ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQU

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

ET DE L'AGRICULTURE

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

PAR M. CH. LABOULAYE

SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL AUX EXPOSITIONS UNIVERSELLES DE 1862 ET 1867, ETC.

et MM. DEBETTE, Ingénieur des Mines. — BARRAL, Ingénieur. — E. BAUDE.
BERTHELOT, de l'Institut. — BRÉGUET, du Bureau des Longitudes. — DEHÉRAIN, Professeur à Grignon. — P. DESORMEAUX. — DÉGLIN.
DUBIED, Ingénieur. — EBELMEN. — L. FAUCHER, Ingénieur. — FAURE. — GROUVELLE.
HANRIOT, Fabricant. — KNAB, chimiste. — LISSAJOUS, Prof. de physique. — H. MAGNE. — MALLET, Ingénieur-chimiste.
MANGON, de l'Institut. — ROUGET DE LISLE, Ingénieur. — SALVETAT, Chimiste de la Manufacture de Sèvres.
SANSON, Professeur à Grignon. — SCHUTZENBERGER, chimiste. — VINCENDON-DUMOULIN,
et un grand nombre d'Ingénieurs et de Fabricants.

QUATRIÈME ÉDITION

DEUXIÈME TIRAGE

A-D

PARIS

LIBRAIRIE DU DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

60, rue Madame, 60

1874

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Bacon, cet homme qui a entrevu tant de vérités, dit dans son *Novum Organum Scientiarum* : « Il est trois genres comme trois degrés d'ambition. La première « est celle des hommes qui veulent jouir d'une supériorité exclusive : c'est la « plus vulgaire et la plus lâche. La seconde est l'ambition des hommes qui « veulent rendre leur patrie dominante au milieu de l'espèce humaine : elle « est sans doute plus élevée, mais elle n'est pas moins injuste. Enfin celle qui « s'efforce d'agrandir la domination de l'homme sur la nature (si c'est là de « l'ambition) est la plus saine et la plus auguste de toutes. Or, l'empire de « l'homme sur les choses a pour base unique les sciences et les arts; car ce « n'est qu'en étudiant les lois de la nature que l'on peut parvenir à s'en rendre « maître. »

C'est aux personnes animées de cette dernière ambition, à tous ceux qui ont compris la grandeur du travail industriel, gloire et honneur de notre époque, que le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES est destiné. On peut dire qu'il est leur œuvre, car les paroles de Bacon indiquent l'esprit qui a soutenu et les auteurs qui y ont travaillé avec tant de dévouement et nos premiers souscripteurs qui sont venus à nous dès que notre publication a été annoncée. C'est grâce à leur concours empressé que l'on a pu faire tous les sacrifices nécessaires pour présenter un tableau satisfaisant des procédés des diverses industries.

Il est inutile d'expliquer à nos lecteurs combien il importait de remplir convenablement notre tâche; il nous suffira de dire qu'une œuvre de la nature de celle-ci doit fournir le point de départ de tout nouveau progrès, indiquer à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inventeur toutes les ressources dont l'industrie dispose, et en même temps faire pprécier la méthode, l'esprit de l'industrie moderne pour enfanter sans cesse e nouvelles améliorations.

Nous croyons pouvoir, au nom de tous les amis du véritable progrès, remercier os collaborateurs de la part qu'ils ont prise à l'exécution de notre œuvre. Leur ɔncours ne nous a pas fait défaut pour refondre la seconde édition, et combler s lacunes qui nous avaient échappé dans un premier travail. Nous avons été eureux de profiter, pour les reconnaître, des grands spectacles offerts par les xpositions universelles qui ont mis sous nos yeux les productions les plus arfaites des ateliers du monde entier.

Puisse cet ouvrage contribuer autant que nous le désirons à maintenir otre patrie dans les voies du travail, et l'aider à se placer en tête du progrès dustriel où l'appellent les grands travaux de ses savants, le goût de ses tistes, la science de ses fabricants ! C'est dans cette voie seulement que rencontrent aujourd'hui pour les nations la prospérité et la véritable andeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRÉFACE

DE LA TROISIÈME ÉDITION

Lorsque, il y a déjà près de vingt ans, je commençais la publication de la première édition du DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES, je faisais bien des rêves fondés sur l'espoir du succès de mon entreprise. Au début et bien souvent depuis, il m'a semblé que l'on ne rendait pas bonne justice aux efforts de mes collaborateurs et aux miens, et que l'on n'appréciait pas à leur valeur les services que notre ouvrage rendait à l'industrie.

Les années en se succédant m'ont montré que j'avais tort et que si nous n'avions pas obtenu ce succès éclatant et immédiat, mais souvent éphémère, qui n'appartient guère qu'aux œuvres d'imagination, notre Dictionnaire, constamment recherché, était devenu l'ouvrage classique de l'industrie moderne, l'encyclopédie technologique renfermant l'ensemble des connaissances qu'il n'est plus permis de ne pas posséder quand on se sent quelque valeur comme ingénieur, comme fabricant. Plus encore que les profits de l'opération, la notoriété et l'estime qui ont entouré mon nom m'ont apporté bien des causes de satisfaction, et en résumé je crois pouvoir citer mon exemple aux jeunes gens qui ont une idée nette d'une grande et utile entreprise : qu'ils ne craignent pas d'y consacrer tous leurs efforts et toute leur intelligence; ils forceront le succès qu'ils auront mérité. Il pourra tarder, mais il viendra tôt ou tard. Je dis cela, parce que je crois que de semblables exemples sont salutaires et qu'on ne saurait en trop constater.

Refondu et beaucoup amélioré après l'Exposition universelle de 1851, augmenté d'un Complément après celle de 1855, le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES a, encore une fois, été revu avec le plus grand soin dans tous ses détails et augmenté de bien des richesses récoltées à Londres, en 1862, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'excellente position que me faisait mon titre de membre du Jury international pour étudier notamment la grande industrie anglaise.

Le Complément, refondu après l'Exposition de 1867, comprend l'analyse des derniers progrès de l'industrie que ce grand spectacle nous a fait connaître, et l'exposé de la théorie mécanique de la chaleur, ce grand progrès des sciences physiques.

Nous croyons pouvoir dire que, complété comme il l'est aujourd'hui, le DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES est sans contredit l'œuvre la plus étendue et la plus utile qui ait jamais été consacrée à l'exposition des procédés du travail industriel. En le revoyant, je me suis bien gardé d'altérer, dans cette édition définitive, la juste proportion des articles qui constituent le tableau de l'ensemble du travail industriel. J'ai pris également le plus grand soin de laisser toujours en pleine lumière la liaison de la théorie et de la pratique, l'alliance des sciences et des arts, qui apparaît dans chaque article du DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES, pour en faire ressortir un enseignement doublement utile, non-seulement en fournissant des renseignements précieux, mais surtout en initiant le lecteur aux connaissances qui fournissent les règles des procédés de l'industrie, à la méthode qui seule peut conduire à des succès durables et permettre à l'industriel de s'enrichir en s'instruisant et se perfectionnant chaque jour. Notre plus grande satisfaction est de penser que nous devons contribuer ainsi aux succès moraux et matériels des nombreux et intelligents producteurs qui ont recours à notre ouvrage.

CH. LABOULAYE.

QUATRIÈME ÉDITION.

Cette nouvelle édition a été complétée par la description de nombre d'inventions nouvelles et on y a développé des articles qui ont paru insuffisants; ce qui répond encore à un labeur considérable sur les questions les plus intéressantes.

Ainsi revu encore et complété, notre ouvrage se trouve amené à la forme la plus satisfaisante qu'il est en notre pouvoir de lui donner, et nous espérons qu'il continuera à rendre assez d'utiles services aux travailleurs intelligents, pour qu'on conserve un bon souvenir de nos efforts.

C. L.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INTRODUCTION.

L'importance du travail industriel, et par suite des connaissances qui permettent de le rendre le plus profitable qu'il est possible, est trop grande, trop vivement sentie de nos jours, surtout par les personnes qui ouvriront ce livre le plus souvent pour y chercher des renseignements sur quelque fabrication, pour que nous croyions utile de chercher à la faire apprécier. Disons seulement, comme le rendent évident tous les faits dont nous sommes les témoins, que c'est sur lui que repose toute la civilisation moderne, avec ses accroissements si rapides de richesses, sa diffusion de bien-être et d'indépendance à des populations chaque jour plus considérables.

Il y a bien des siècles qu'Aristote, comme s'il eût voulu, par prévision de l'avenir, justifier aux yeux des générations futures l'esclavage sans lequel les riches cités grecques ne pouvaient subsister, disait : *Que l'esclavage ne serait détruit que le jour où le fuseau et la navette marcheraient seuls;* et en effet, à cette époque, aucune partie de la société ne pouvait arriver à une existence libérale qu'autant que les autres classes dont elle était composée, réduites à l'état d'instruments de production, étaient contraintes à créer par un pénible travail une grande quantité de produits, et à n'en consommer qu'une faible partie.

La richesse et la civilisation, qui, au jugement d'Aristote, étaient intimement liées à l'esclavage, reposent aujourd'hui sur l'accumulation des instruments de travail, des machines notamment, qui opèrent une partie chaque jour plus grande du rude labeur imposé autrefois aux classes malheureuses. Admirable résultat qui ne peut se comprendre que si l'on remarque que ce n'est pas seulement à l'aide de sa force physique que l'homme agit sur la nature, que c'est surtout à l'aide de son intelligence; à l'aide des découvertes qui s'accumulent dans les diverses sciences, dans les méthodes perfectionnées que les générations successives se transmettent.

Ce sont ces connaissances qui constituent la *Technologie*, c'est-à-dire *la science des procédés suivant lesquels l'homme emploie les forces et agit sur les matières premières fournies par la nature pour utiliser ces forces et obtenir de ces matières premières ce qui convient à la satisfaction de ses besoins et de ses désirs.*

De cette définition il résulte clairement que la Technologie peut être considérée de deux points de vue distincts : soit quant au but qu'elle se propose, c'est-à-dire la satisfaction des besoins et des désirs de l'homme, excitation et condition du travail ; soit quant aux moyens de production, aux connaissances qui permettent de diriger le travail de la manière la plus utile.

Le premier point de vue, qui, comme nous allons le voir, est celui auquel on s'est le plus souvent placé jusqu'ici lorsqu'on a considéré l'ensemble du travail industriel, en confondant le but de la science avec la science elle-même, peut être convenable pour une science fort importante aujourd'hui et dont les progrès ont accompagné ceux de l'industrie, l'économie politique ou au moins la partie la plus positive de cette science, l'économie

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

industrielle. Étudier le travail dans ses résultats par rapport à l'homme et à la société, analyser comment l'homme est excité à produire et récompensé de ses efforts, l'influence des machines, etc., tel est le principal objet de cette science considérée en général et dont les applications se rapportent à toute question de travail spécial pour en compléter l'étude technologique. Celle-ci, en effet, n'est pas complète dès qu'elle donne un moyen de produire un objet, partie évidemment capitale de la science, mais elle doit encore indiquer le procédé le plus avantageux à adopter entre tous les autres, ce qui rentre dans la partie économique d'une fabrication. Aussi reviendrons-nous sur ce point de vue à la fin de cet ouvrage comme en traitant des principales industries; il fournit le complément naturel de toute étude de moyens de production.

Le second point de vue est celui que nous venons déjà d'indiquer et sur lequel nous avons beaucoup à insister, car il est d'une extrême importance, il se rapporte à l'étude des méthodes à employer, à la direction du travail nécessaire pour créer un produit. Or, d'où peuvent provenir de semblables méthodes, sinon de la connaissance des objets sur lesquels s'exerce le travail, des lois qui permettent d'employer les forces naturelles, lois qui sont l'objet des sciences physiques; autrement dit, chaque étude particulière de Technologie nécessite la connaissance de certaines lois naturelles, offre l'application de certaines parties des sciences physiques.

En suivant cette idée, nous atteindrons un résultat fort important, principal but que nous nous soyons proposé dans cette Introduction, celui de la classification de la Technologie, c'est-à-dire de l'ordre et de la succession, des relations mutuelles des vérités qui constituent cette science, et qui isolées ne constituent qu'une réunion de matériaux, mais non un édifice.

Auparavant, voyons ce qui a été fait dans cette voie.

CLASSIFICATION DE LA TECHNOLOGIE.

L'immense quantité de faits et de théories que comprend le travail industriel a fait nier par beaucoup de personnes la possibilité de parvenir à les renfermer dans une classification satisfaisante. Les rédacteurs de l'ancien *Dictionnaire Technologique* en vingt-deux volumes ont paru reculer devant les difficultés d'un semblable travail, en ne tenant pas la promesse qu'ils avaient faite de terminer leur publication par une classification qui corrigeât les inconvénients qui résultent de l'ordre alphabétique; c'est ce but que dans la même position nous voulons atteindre.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES MATIÈRES PREMIÈRES.

Dans l'*Encyclopédie* de Diderot et de d'Alembert, les arts, métiers et manufactures sont classés comme une dépendance de l'histoire naturelle. (Voir dans cet ouvrage le *Tableau raisonné des connaissances humaines.*)

Leur énumération comprend :

1° Travail et usage de l'*or* et de l'*argent*, d'où les états de *monnayeur, batteur d'or*, de *tireur d'or*, d'*orfévre*, etc., etc.

2° Travail et usage des *pierres fines et précieuses*, d'où *lapidaire, diamantaire, joaillier*, etc.

3° Travail et usage du *fer*, d'où *grosses forges, serrurerie, taillanderie, armurerie, arquebuserie*, etc.

4° Travail et usage du *verre*, d'où *verrerie, glaces, miroitier, lunetier, vitrier*, etc.

. . . . . .

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il suffit de jeter un coup d'œil sur cette énumération des professions pour reconnaître que l'on y rapproche des procédés complétement différents, et qu'on en sépare d'autres qui ont la plus grande analogie. De quelle valeur est le rapprochement fait entre le travail du verrier qui produit le verre, le métier du vitrier qui garnit de vitres les croisées des appartements, et l'art de l'opticien qui taille les lentilles des lunettes astronomiques. La matière première employée dans ces professions est à peu près la même; mais les professions sont tout à fait différentes. Cette classification peut donc servir à former un catalogue des produits, mais ne saurait offrir aucune autre utilité véritable.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES USAGES.

Cette méthode, qui est celle que M. Charles Dupin a développée dans ses cours du Conservatoire, réunit les divers arts et métiers selon les besoins de l'homme, le but et l'origine du travail industriel. Les arts se trouvent ainsi groupés de la manière la plus conforme au rôle qu'ils sont destinés à jouer à l'égard de l'individu et de la société. Dans ce système, on établit sept groupes qui embrassent :

1° La préparation des matières premières.

2° La nourriture de l'homme, en y comprenant ce qui a rapport aux médicaments intérieurs, ou arts alimentaires.

3° Les vêtements ou arts vestiaires.

4° Les changements dans l'extérieur du globe pour le rendre conforme à nos desseins.

5° Le mobilier, les ustensiles, les outils et les machines.

6° Les modifications dans la nature et l'apparence des objets, pour les approprier à différentes destinations.

7° Les instruments et les procédés employés dans la pratique des sciences et des beaux-arts.

Cette classification empirique est présentée comme la moins mauvaise qu'il soit possible d'établir, dans un remarquable article sur la technologie de M. Lalanne inséré dans l'*Encyclopédie nouvelle* de MM. Leroux et Reynaud. Comme la précédente pourtant, elle ne peut servir qu'à dresser un catalogue des professions, sans pouvoir être d'une grande utilité. Elle se rapporte au premier point de vue de la technologie dont nous avons déjà parlé, c'est ce qui lui donne une certaine valeur; mais elle est bien inférieure à celle qui découle de la classification des procédés du travail. Ne se rapportant qu'aux besoins physiques de l'homme, elle laisse pour ainsi dire à l'écart l'action de son intelligence, et ne saurait contribuer au moindre progrès.

A quels besoins physiques de l'homme correspondent les plus belles découvertes des temps modernes, la machine à vapeur, la pile voltaïque, etc.? Le besoin peut bien causer un désir, mais il ne donne pas les moyens de le satisfaire; il ne peut au plus qu'exciter aux recherches. L'invention est essentiellement un produit de l'intelligence qui trouve chaque jour des ressources nouvelles dans les progrès des sciences qui ne dépendent en rien des besoins physiques de l'homme. Aussi bien souvent c'est l'invention qui crée le besoin lui-même en offrant moyen de le satisfaire. Cette classification est donc fautive et présente le grand inconvénient de paraître nier la plus noble tendance du travail industriel de devenir de plus en plus une œuvre d'intelligence, en obtenant de la combinaison des forces physiques, des machines, etc., la majeure partie du travail nécessaire pour convertir les matières premières en produits utiles.

Ces classifications, les premières qui se présentent à l'esprit, et qui ne peuvent servir qu'à embrasser l'ensemble des produits et procédés de l'industrie, sont comparables aux premières classifications faites en botanique, dans lesquelles on rangeait les plantes suivant les ressemblances de quelques-unes de leurs parties. Ces classifications n'étaient que d'une utilité secondaire pour l'étude de l'histoire naturelle, parce que des plantes réunies dans une même division pouvaient être cependant de nature fort différente, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par suite la connaissance de la classe à laquelle elles appartenaient ne les faisait que fort peu connaître.

Mais quand de Jussieu classa les plantes en partant de la similitude de la graine, ou de celle du végétal à sa sortie de la graine, les divisions générales se trouvèrent alors renfermer des plantes dont la nature intime était de même ordre. La classification ne servit plus alors à dresser seulement un catalogue, elle devint un moyen d'étude, en permettant de connaître les propriétés générales d'un végétal, quand on a découvert la classe à laquelle il appartient.

CLASSIFICATION FAITE SUR LA BASE DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS, CONSIDÉRÉS COMME APPLICATIONS DES SCIENCES.

Le caractère fondamental d'une classification est d'être utile comme moyen d'étude, et ce n'est certes pas celui des divers systèmes qui précèdent, qui ne donnent que des catalogues ne pouvant offrir qu'un intérêt de curiosité.

Ce caractère appartient bien clairement au système que nous avons déjà fait pressentir et qui consiste à considérer les procédés technologiques comme des applications des sciences physiques, à ne pas séparer la *connaissance* des lois de la nature qui constitue la science, de l'*utilisation* de ces lois qui constitue les méthodes technologiques. C'est ce qu'a parfaitement expliqué M. Ampère dans son travail sur la classification des sciences.

« On distingue, dit-il, ordinairement les arts des sciences. Cette distinction est fondée « sur ce que dans les sciences l'homme *connaît* seulement, et que dans les arts il connaît « et exécute ; mais si le physicien connaît les propriétés de l'or, telles que sa fusibilité, sa « malléabilité, etc., il faut que l'orfévre, de son côté, connaisse les moyens à employer pour « le fondre, le battre en feuilles, ou le tirer en fils, etc.; et, dans les deux cas, il y a éga- « lement *connaissance*. Il n'y a donc réellement, quand il s'agit de classer toutes les vérités « accessibles à l'esprit humain, aucune distinction à faire entre les arts et les sciences : les « premières doivent, comme les secondes, entrer dans cette classification ; seulement les « arts n'y entrent que relativement à la connaissance des procédés et des moyens qu'ils « emploient, abstraction faite de la dextérité de l'artiste, et non de l'instruction plus ou « moins complète qu'il a acquise, suivant qu'il est plus ou moins *savant* dans son art.

« Sous le rapport de la connaissance, tout art, comme toute science, est un groupe de « vérités démontrées par la raison, reconnues par l'observation, que réunit un caractère « commun ; caractère qui consiste soit en ce que ces vérités se rapportent à des objets de « même nature, soit en ce que les objets qu'on y étudie y sont considérés sous le même « point de vue. »

Rien de plus précis et de plus vrai que ce passage de l'ouvrage de M. Ampère ; au reste, la liaison intime et l'influence réciproque des sciences sur les arts et des arts sur les sciences ne sauraient être douteuses pour personne ; trop d'exemples l'ont démontré. Rappelons un exemple souvent cité des utiles applications qu'y trouvent souvent les spéculations les plus abstraites.

Quand Platon et les géomètres de son école étudiaient les propriétés des courbes que l'on obtient en coupant un cône par un plan, on ne prévoyait pas que, deux mille ans plus tard, Képler découvrirait l'identité de l'ellipse, une de ces courbes, avec les orbites décrites par les planètes autour du soleil, ni que Newton en déduirait la loi de l'attraction universelle, et donnerait les preuves les plus certaines de la liaison qui existe entre l'expression de cette loi et les mouvements géométriques des astres. Or, la théorie de Newton, en permettant de soumettre au calcul longtemps avant l'époque où ils doivent se produire les phénomènes astronomiques les plus complexes, a fourni à la navigation et à la géographie les moyens d'observation les plus sûrs et les plus exacts. Tellement que Condorcet a pu dire avec raison : « Le matelot, qu'une savante observation de la longitude préserve « du naufrage, doit la vie à une théorie conçue deux mille ans auparavant par des hommes « de génie qui n'avaient en vue que des spéculations géométriques. »

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est ainsi qu'un procédé technologique se trouve souvent résulter d'une application immédiate des théories scientifiques, que la science a fait prévoir le résultat de ce que l'art, éclairé par cette prévision, effectue. L'étude approfondie des relations intimes de la science et de l'industrie, en rendant sensibles les progrès qui résultent d'un échange réciproque et perpétuel entre les sciences et les arts, offre le grand avantage de détourner les esprits d'un industrialisme grossier et en quelque sorte matériel, de rappeler que ce qui doit être admiré dans le travail matériel, c'est l'intelligence qui dirige bien plus que la main qui obéit.

Pour que l'excellence de la classification que nous indiquons ici fût parfaitement sensible, il faudrait que les sciences et les arts formassent un tout complet, que la théorie existât toujours pour la pratique sous forme scientifique. Malheureusement il n'en est pas encore ainsi, toutes les méthodes applicables à la pratique et qui reposent sur les sciences ne sont pas formulées; mais c'est précisément l'œuvre la plus saillante de notre époque que de faire sortir des ateliers les méthodes reçues, pour les élever à l'état de théories qui souvent viennent augmenter le domaine des sciences; comme de faire dériver de celles-ci, et des découvertes nouvelles, des applications à l'industrie. Chaque jour l'esprit pratique des savants et la science des fabricants tendent à combler les lacunes qui subsistent encore. Depuis soixante ans, les travaux faits dans cette voie sont immenses. Le magnifique travail de Monge sur la *géométrie descriptive* est venu former la théorie générale du *dessin* et des *arts de construction*. La *chimie* et la *métallurgie* guident aujourd'hui le fabricant de si près, que la science pure et la théorie de la pratique se sont confondues, et que les ateliers ne sont plus que de grands laboratoires. La *mécanique industrielle* a remplacé la routine qui présidait aux constructions mécaniques; les dimensions de chaque pièce qui fait partie d'une machine ont pu être calculées et déterminées théoriquement; la *cinématique* guide les constructeurs dans la disposition des organes mécaniques auxquels doit être imprimé un mouvement voulu.

En réalité, on le voit donc, cette question de classification n'est autre que celle qui a été si souvent discutée de l'alliance des sciences et des arts, de la prédominance de la théorie sur la pratique, question que les progrès de l'industrie moderne ont si complétement résolue.

« On aurait mauvaise grâce, disaient en 1835 les fondateurs de l'École Centrale des arts « et manufactures (école qui a produit nombre d'ingénieurs distingués qui ont amplement « justifié la vérité de ces assertions), à nier l'heureuse influence des sciences sur les progrès « de l'industrie, en face des événements qui se sont accomplis depuis quarante ans, et qui « changeront peut-être les rapports commerciaux du monde entier. La soude artificielle, « le blanchiment par le chlore et le sucre de betteraves, par d'éclatants exemples, montrent « tout ce que renferme un résultat scientifique à qui sait le faire parler.

« Il y a soixante ans, l'industrie avait devancé les sciences; aujourd'hui, les sciences « dominent et maîtrisent l'industrie. Les personnes qui se refusent à admettre ce point de « vue sont dans l'erreur et se laissent préoccuper par les faits du passé, sans tenir assez « compte des événements de l'époque actuelle.

« L'industrie est maintenant une application des sciences, et l'étude de celles-ci, faite « au point de vue pratique, rend éminemment propre à devenir industriel. Voilà des faits « qu'il est permis de regarder comme certains, et qu'au besoin l'existence de l'École « Centrale et le succès de son enseignement mettraient hors de toute espèce de doute.

« S'il en est ainsi, si les connaissances industrielles reposent essentiellement sur des « études scientifiques d'un ordre élevé, il devient, jusqu'à un certain point, possible et « même facile de pénétrer dans l'industrie sans passer par la routine des usines. Il suffit « qu'on puisse acquérir ces connaissances évidemment indispensables de chimie, de phy- « sique ou de mécanique industrielles.

« Ainsi, les jeunes gens étrangers à l'industrie, ajoutaient-ils avec raison, peuvent « maintenant aborder cette carrière avec une préparation salutaire, et non plus par la « force des choses ou le hasard des événements. Une éducation spéciale et forte leur promet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« des succès dans cette direction ouverte à leur jeune ambition, et leur assure une « situation immédiate souvent très-favorable. »

Peut-être les savants fondateurs de l'École Centrale ne tiennent-ils pas assez compte dans ce qui précède des dificultés qui se rencontrent dans le passage de la théorie à la pratique; mais il est bien évident, quelque illusion que l'habitude puisse faire naître dans l'esprit de l'homme dont l'habileté est devenue en quelque sorte toute pratique, qui a appris peu à peu et par un long apprentissage ce que quelques explications bien raisonnées lui eussent fait comprendre en un instant, que l'étude d'une industrie est une opération intellectuelle. Or, les procédés industriels ne peuvent être compris, simplifiés, améliorés qu'à l'aide de la connaissance des lois naturelles qu'ils utilisent, qu'à l'aide de la méthode propre aux sciences expérimentales. Ainsi, les œuvres si admirées des constructeurs de machines, des ingénieurs qui en font les projets, exigent des recherches, des combinaisons, des calculs tout à fait semblables à ceux des savants. L'industrie, tendant à devenir de plus en plus *scientifique* chaque jour, il en est ainsi des travaux relatifs à la plupart des fabrications.

Toute recherche qui a son point de départ dans l'observation ne peut être rendue féconde qu'en suivant la voie adoptée pour les sciences depuis Bacon et Descartes. C'est en réalité la même méthode qui conduit à perfectionner l'industrie, de telle sorte que l'étude des sciences doit précéder celle de l'industrie, non-seulement à cause des matériaux qu'elles fournissent, mais encore parce qu'elles enseignent comment on doit procéder pour analyser tous les phénomènes qui se rencontrent dans les applications.

C'est surtout dans le désir de répandre cet esprit du véritable progrès que cette Encyclopédie a été rédigée, et si nous nous sommes attachés avec le plus grand soin à y décrire toutes les opérations des ateliers, nous nous sommes efforcés avec un zèle aussi grand à indiquer les théories sur lesquelles elles sont fondées, les méthodes à suivre pour les perfectionner.

Nul besoin, d'ailleurs, de dire quel intérêt peut offrir le tableau, l'inventaire des connaissances sur lesquelles reposent la richesse moderne et la seule partie, peut-être, incontestablement progressive de la civilisation. Car, suivant une profonde remarque de l'illustre Poncelet, « c'est dans le perfectionnement, l'accroissement graduel, lent, mais incessant et pour ainsi dire indéfini des découvertes, des idées chimiques, physiques, mécaniques, géométriques ou mathématiques, appliquées ou non à la satisfaction de nos besoins, que réside la perfectibilité de la race humaine, plus encore que dans le prétendu progrès des idées morales, philosophiques et artistiques, dont l'antiquité nous a légué des exemples ou des modèles non encore surpassés de nos jours. En un mot, nous égalons à peine les anciens dans les productions qui se rattachent à l'esprit et au jugement, au goût et à l'imagination; mais nous les surpassons de beaucoup en ce qui touche à la multiplication, à la vulgarisation et à la reproduction rapide, économique, des objets de consommation ou de jouissances matérielles, artistiques et intellectuelles, » notamment au moyen de l'accumulation de puissants instruments de production si profitables au bien-être universel.

Nous ferons bien comprendre la méthode dont nous avons démontré la haute importance, en formulant la classification de la Technologie; ce qui se réduit, d'après ce que nous venons de dire, à partir de la classification des sciences dont la connaissance est si avantageuse pour la pratique de l'industrie, afin de montrer clairement comment les fabrications viennent se rattacher aux diverses sciences et y puiser les théories qui les éclairent et les fécondent. Certes, cet examen ne peut remplacer l'étude de ces sciences mêmes, qui seule peut faire bien saisir les méthodes qu'elles emploient; mais, en présentant l'esprit et non les démonstrations, en écartant les digressions qui distraient l'esprit, on en apercevra mieux peut-être la philosophie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DE LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE.

... Qu'il est possible de parvenir à des connaissances qui soient fort utiles à la vie, et que, au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux, et de tous les autres corps qui nous environnent, aussi distinctement que nous connaissons les métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous ouvrages auxquels ils sont propres, et ainsi nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature.

(DESCARTES. *Discours sur la méthode.*)

Nous ne pouvons aborder l'ensemble des connaissances qui constituent l'édifice scientifique sans dire un mot de la manière de les acquérir.

Lorsque l'esprit de l'homme s'applique vers l'étude de la nature, il finit par connaître la manière dont il peut parvenir à la vérité, la route qu'il doit prendre pour que ses efforts ne soient pas infructueux : cette route c'est la méthode, comprenant l'ensemble des règles propres à aider aux efforts de l'intelligence, à guider l'esprit qui, on doit ne pas l'oublier, est seul actif; aucune méthode ne pouvant conduire une intelligence inerte, en quelque sorte mécaniquement, à une découverte.

Cette méthode va nous apparaître et se développer en passant en revue les principales sciences qui lui fournissent des sujets d'application et par suite de développement. Mais il est quelques règles fondamentales qui la résument et doivent ne jamais abandonner qui veut s'instruire. Ne pouvant songer à les formuler, dépourvus que nous sommes de l'autorité nécessaire en pareille matière, nous préférons renvoyer au grand philosophe français, à Descartes, qui dans son ouvrage, malheureusement inachevé, intitulé ; *Règles pour la direction de l'esprit*, les a admirablement résumées.

Le *Discours sur la méthode* de Descartes, bien plus connu dans les écoles, a fait avec raison considérer ce grand philosophe comme le fondateur de l'école rationaliste moderne; les *Règles pour la direction de l'esprit* doivent, à aussi juste titre, le faire regarder également comme le fondateur de la philosophie positive, considérée comme méthode scientifique, sans amoindrir les sciences morales. Nous insistons sur ce point, car la méthode n'est pas solidaire des tendances antispiritualistes, des erreurs de l'école qui a cru réaliser un triste progrès sur le grand philosophe en niant la possibilité de formuler aucune loi intellectuelle ou morale, aucun principe du juste et du beau, par la seule conscience.

EXTRAIT DE L'OUVRAGE DE DESCARTES INTITULÉ : RÈGLES POUR LA DIRECTION DE L'ESPRIT.

RÈGLE II. — *Il faut nous occuper seulement des objets dont notre esprit paraît capable d'acquérir une connaissance certaine et indubitable.*

Toute science est une connaissance certaine et évidente; l'homme qui doute beaucoup n'est pas plus savant que celui qui n'a jamais pensé; et même je le regarde comme moins savant s'il s'est formé de fausses idées sur certaines choses.

Il vaut donc mieux ne jamais étudier que de s'occuper d'objets tellement difficiles que, ne pouvant distinguer le vrai du faux, on soit obligé d'admettre pour certain ce qui est douteux, puisque dans cette étude on doit moins espérer d'augmenter son savoir que craindre de le diminuer. Nous rejetons donc, par cette règle, toutes les connaissances qui ne sont que probables, et nous posons en principe qu'on ne doit se fier qu'à celles qui sont certaines, et dont on ne peut douter.

Les savants se persuadent peut-être que ces connaissances sont fort rares, et cela parce que, suivant un travers commun à l'esprit humain, ils les ont négligées comme trop faciles et à la portée de tout le monde. Cependant nous les avertissons qu'elles sont en bien plus grand nombre qu'ils ne le pensent, et qu'elles suffisent pour démontrer solidement une foule de propositions sur lesquelles ils n'ont pu jusqu'à présent émettre que des opinions probables; opinions que bientôt, pensant qu'il était indigne d'un savant d'avouer qu'il ignore quelque chose, ils se sont habitués à parer de fausses raisons, si bien qu'ils ont fini par se les persuader à eux-mêmes, et qu'ils les ont données pour vraies.

Mais si nous observons cette règle, il y aura bien peu de choses à l'étude desquelles nous ne puissions nous livrer; car à peine, dans les sciences, est-il une seule question qui n'ait sou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent divisé les hommes d'esprit. Or, toutes les fois que deux hommes sont d'un avis contraire sur la même chose, à coup sûr l'un ou l'autre se trompe; bien plus, aucun d'eux ne me semble posséder la vérité; car si les raisons de l'un étaient certaines et évidentes, il pourrait les exposer à l'autre de telle manière qu'il finirait par le convaincre également.

..... Remarquons que l'on arrive à la connaissance des choses par deux voies : l'expérience (la perception du phénomène sur laquelle Descartes fait reposer l'intuition dont il indique plus loin le rôle capital) et la déduction. Remarquons de plus que l'expérience est souvent trompeuse; la déduction, au contraire, ou, en d'autres termes, l'opération par laquelle on infère une chose d'une autre, il se peut qu'on l'omette si on ne l'aperçoit pas, mais l'intelligence la moins propre au raisonnement ne peut la mal faire. Les entraves au moyen desquelles les dialecticiens croient diriger la raison humaine me semblent ici d'une médiocre utilité, quoique je ne nie pas qu'elles ne soient très-bonnes pour d'autres usages. En effet, toutes les erreurs dans lesquelles puissent tomber les hommes ne naissent jamais d'une mauvaise induction, mais de ce qu'on pose en principe certaines expériences peu comprises, ou de ce qu'on porte des jugements téméraires et sans fondement.

Ceci nous montre clairement pourquoi l'arithmétique et la géométrie sont beaucoup plus certaines que les autres sciences; c'est que leur objet, à elles seules, est si clair et si simple qu'elles ne consistent entièrement que dans des conséquences à déduire par la voie du raisonnement. Elles sont donc les plus faciles et les plus claires de toutes les sciences, et leur objet est tel que nous le désirons, puisque, à moins d'inadvertance, il semble à peine possible à un homme de s'y égarer.....

Concluons de ce qui précède, non pas, il est vrai, qu'il faut apprendre l'arithmétique et la géométrie seulement, mais que ceux qui cherchent le droit chemin de la vérité ne doivent s'occuper d'aucun objet dont ils ne puissent avoir une certitude égale à celle des démonstrations de l'arithmétique et de la géométrie.

Règle III. — Revenant dans la règle troisième sur la méthode que l'esprit humain emploie pour découvrir la vérité, Descartes s'exprime ainsi :

Nous ne pouvons atteindre à la connaissance des choses, sans aucune crainte d'erreur, que par deux sortes d'actes de notre intelligence : l'intuition et la déduction.

J'entends par intuition, non la croyance au témoignage variable des sens, ou les jugements trompeurs de l'imagination, mauvaise régulatrice, mais la conception d'un esprit sain et attentif, si facile et si distincte qu'aucun doute ne reste sur ce que nous comprenons; ou bien, ce qui est la même chose, la conception ferme qui naît dans un esprit sain et attentif des seules lumières de la raison, et qui, plus simple, est conséquemment plus sûre que la déduction elle-même, qui cependant, comme nous l'avons remarqué plus haut, ne peut être mal faite par l'homme. Ainsi chacun peut voir par intuition : qu'il existe, qu'il pense, qu'un triangle se termine par trois lignes, qu'un globe n'a qu'une surface, et d'autres vérités semblables, qui sont plus nombreuses qu'on ne le croit communément parce qu'on dédaigne d'appliquer son esprit à des choses si faciles.

..... La déduction est une opération de l'esprit par laquelle nous comprenons toutes les choses qui sont la conséquence nécessaire de toutes les autres dont nous avons une connaissance assurée.

Il est, en effet, beaucoup de choses que l'on peut savoir sûrement, bien qu'elles ne soient pas évidentes par elles-mêmes, pourvu toutefois qu'on les déduise de principes avérés et connus, au moyen d'un mouvement continu et non interrompu de la pensée, avec une intuition claire de chaque chose. C'est ainsi que nous savons que le dernier anneau d'une longue chaîne est uni au premier, bien que nous ne puissions embrasser d'un seul coup d'œil tous les anneaux intermédiaires qui les unissent, et que nous nous rappelions que, depuis le premier jusqu'au dernier, chaque anneau tient à celui qui le précède et à celui qui le suit.

Nous distinguons donc l'intuition de la déduction certaine, parce que dans la déduction on conçoit un mouvement ou une certaine succession, au lieu que dans l'intuition il n'en est pas de même; et qu'en outre la déduction n'a pas besoin, comme l'intuition, d'une évidence présente, mais qu'elle emprunte plutôt, en quelque sorte, toute sa certitude à la mémoire. D'où il résulte qu'on peut dire que les propositions qui sont la conséquence immédiate d'un premier principe peuvent être connues, tantôt par l'intuition, tantôt par la déduction, suivant la manière de les considérer, tandis que les principes le sont seulement par l'intuition, et que les conséquences éloignées ne peuvent l'être que par la déduction.

Voilà les deux voies les plus sûres pour arriver à la science; l'esprit ne doit pas en admettre davantage; toutes les autres, au contraire, doivent être rejetées comme suspectes et sujettes à l'erreur.

Règle IV. — *La méthode est nécessaire pour la recherche de la vérité.*

Les mortels sont possédés d'une curiosité si aveugle que souvent ils dirigent leur esprit dans des voies inconnues sans aucun motif d'espérance, mais seulement pour voir si par hasard ce qu'ils cherchent n'y serait pas; comme un homme qui serait dévoré par un désir si insensé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de découvrir un trésor, qu'il parcourrait sans cesse tous les chemins, cherchant si quelque voyageur n'en aurait pas laissé un. Ainsi étudient presque tous les chimistes, la plupart des géomètres et beaucoup de philosophes. Je ne nie pas qu'au milieu de leurs erreurs ils n'aient parfois le bonheur de rencontrer quelque vérité; cependant je n'accorde pas qu'ils soient pour cela plus habiles; ils sont seulement plus heureux.

Il vaut beaucoup mieux ne jamais songer à chercher la vérité sur aucune chose que de le faire sans méthode; car il est très-certain que les études sans ordre et les méditations obscures troublent les lumières naturelles et aveuglent l'esprit, et quiconque s'accoutume ainsi à marcher dans les ténèbres s'affaiblit tellement la vue qu'il ne peut plus supporter le grand jour; ce que confirme aussi l'expérience, puisque le plus souvent nous voyons ceux qui n'ont jamais étudié juger beaucoup plus solidement et plus clairement de ce qui se présente que ceux qui ont toujours fréquenté les écoles. Or, par méthode, j'entends des règles certaines et faciles dont la rigoureuse observation empêchera qu'on ne suppose jamais vrai ce qui est faux, et fera que, sans se consumer en efforts inutiles, mais au contraire en augmentant graduellement son savoir, l'esprit arrive à la véritable connaissance des choses qu'il peut atteindre.

Règle V. — *Toute la méthode consiste dans l'ordre et la disposition des choses vers lesquelles il est nécessaire de tourner son esprit pour découvrir quelque vérité. Nous la suivrons de point en point si nous ramenons graduellement les propositions obscures et embarrassées à de plus simples; et si, partant de l'intuition des choses les plus faciles, nous tâchons de nous élever par degrés à la connaissance de toutes les autres.*

C'est en cela seulement qu'est renfermée la perfection de l'habileté humaine, et l'observation de cette règle n'est pas moins nécessaire à celui qui veut aborder la science, que le fil de Thésée à celui qui voudrait pénétrer dans le labyrinthe. Mais beaucoup de gens ou ne réfléchissent pas à ce qu'elle commande, ou l'ignorent tout à fait, ou présument n'en avoir pas besoin; et souvent ils examinent avec si peu d'ordre les questions les plus difficiles qu'ils me semblent agir comme un homme qui, du pied d'un édifice, voudrait s'élancer d'un saut jusqu'au faîte, soit en négligeant l'escalier destiné à cet usage, soit en ne l'apercevant pas.

Ainsi font tous les astrologues, qui, sans connaître la nature des astres, sans même en avoir parfaitement observé tous les mouvements, espèrent pouvoir en indiquer les effets; ainsi font la plupart de ceux qui étudient la mécanique sans savoir la physique, et qui fabriquent au hasard de nouveaux moteurs; ainsi ces philosophes qui, négligeant l'expérience, croient que la vérité sortira de leur propre cerveau, comme Minerve du cerveau de Jupiter.

Or, tous pèchent également contre cette règle; mais comme souvent l'ordre qu'elle prescrit est tellement obscur que tous ne peuvent reconnaître quel il est, on aura de la peine à ne pas s'égarer, à moins qu'on n'observe avec soin ce qui va être exposé dans la règle suivante.

Règle VI. — *Pour distinguer les choses les plus simples des plus complexes, il faut dans chaque série d'objets où de vérités que nous avons déduites d'autres vérités chercher les rapports qui existent entre eux.*

Notons que toutes les choses, dans le sens où elles peuvent se rattacher au but que nous nous proposons, lorsque nous ne les considérons pas isolément, mais que nous les comparons entre elles pour les connaître les unes par les autres, peuvent être appelées ou *absolues* ou *relatives*.

J'appelle absolu tout ce qui contient en soi la nature pure et simple que l'on cherche; ainsi, par exemple, tout ce qu'on regarde comme indépendant, cause, simple, universel, un, égal, semblable, droit, etc.; et je dis que l'absolu est ce qu'il y a de plus simple et de plus facile, et que nous devons nous en servir pour résoudre les questions.

(Descartes affirme ici sous une forme simple le principe fondamental de la philosophie, la certitude absolue des vérités que l'esprit humain perçoit clairement, lumineuses, éclatantes, et en déduit ensuite la solidité des relations de cause à effet, la stabilité des lois naturelles, principes sur lesquels reposent les développements modernes des sciences.)

J'appelle relatif ce qui est de même nature, ou qui du moins participe de l'absolu en un point par lequel on peut l'y rattacher et l'en déduire en suivant un certain ordre. Le relatif renferme en outre certaines autres choses que j'appelle des rapports; tel est ce qu'on nomme dépendant, effet, composé, particulier, multiple, inégal, dissemblable, oblique, etc. Les choses relatives s'éloignent d'autant plus des choses absolues qu'elles contiennent plus de rapports subordonnés l'un à l'autre; il faut avec le plus grand soin distinguer ces rapports, en observer la connexion et l'ordre naturel, de manière que, partant du dernier et passant par tous les autres, nous puissions arriver à ce qu'il y a de plus absolu.

(La recherche de la vérité poursuivie ainsi de proche en proche distingue le travail utile du savant de celui du rêveur qui reste absorbé dans la contemplation d'un ensemble dont il reste constamment ébloui. La double évolution de l'esprit recommandée ici, savoir la décomposition pour revenir du composé au simple, est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'*analyse*, et celle qui permet de s'élever du simple au composé est la *synthèse*.)

Règle XII. — *Il faut employer toutes les ressources de l'intelligence, de l'imagination, des sens et de la mémoire, soit pour avoir une intuition distincte des propositions simples, soit pour comparer convenablement ce qu'on cherche avec ce qu'on connaît, afin de le découvrir par ce moyen.*

(Cette règle, dans laquelle rentre la patiente attention de Newton, fait appel à l'énergie de l'esprit, indispensable pour arriver à toute découverte. Les deux grands moyens d'investigation scientifique sont : l'expérimentation, l'observation des phénomènes dans les conditions les plus variées pour faciliter l'intuition, et la mesure des éléments pour faciliter la déduction, pour employer la science mathématique, tout entière consacrée à l'étude des relations possibles entre des grandeurs, pour tirer de ces mesures la loi des phénomènes.)

Nous renvoyons à l'ouvrage de Descartes pour l'étude d'un ouvrage dont ces extraits donnent une idée et qui malheureusement est resté incomplet. J'ajouterai même que le grand philosophe ne pouvait guère le terminer sans reprendre successivement la plus grande partie des questions formant la philosophie des sciences, qui fait l'objet de son grand ouvrage intitulé : *Principes de philosophie naturelle*, que les découvertes faites depuis lui, en appliquant sa méthode, ont bien vieilli pour ce qui concerne les sciences physiques.

En effet, pour aller plus avant, il lui fallait définir et montrer l'étendue de ce qu'il appelle rapport, des relations de cause à effet, des *lois* dont l'existence rend seule profitable le travail intellectuel, qui n'aurait qu'à enregistrer des faits, si elles ne pouvaient être découvertes par nos efforts ; si l'expérience, c'est-à-dire l'étude du concret, ne permettait pas de s'élever à l'abstraction, aux premiers principes. Au point de vue de l'étude du monde matériel, c'est donc à connaître les lois possibles, les lois générales et à les découvrir que les efforts doivent être consacrés, et la méthode qui peut y conduire se particularise dans chacune de manière à faire partie intégrante des sciences qui ont été constituées par leur réunion. L'analyse sommaire des sciences que nous allons faire est donc le véritable cadre qui doit renfermer les développements et les applications des règles qui viennent d'être exposées. Nous allons voir se dérouler successivement tous les éléments de cette philosophie utile que Descartes annonce dans le beau passage de son *Discours sur la méthode* qui nous sert d'épigraphe, tout en étudiant ou plutôt en indiquant les connaissances spéciales que nous verrons bientôt après se transformer en moyens de forcer la nature à fournir tout ce qui est nécessaire pour la satisfaction des besoins et des désirs de l'homme. C'est surtout la méthode newtonienne qui ressortira clairement de cette relation, c'est-à-dire l'emploi de la théorie et de l'expérimentation se prêtant un mutuel appui pour atteindre aux plus importantes découvertes, sans crainte de jamais s'égarer.

DES SCIENCES EN GÉNÉRAL.

Les sciences sont de leur nature propre purement théoriques. Elles répondent aux efforts de notre intelligence pour *connaître*. Mais l'activité humaine, qui veut atteindre des buts déterminés, cherche à utiliser à cet effet les connaissances acquises, à *appliquer* la science. Il s'agit alors du domaine de l'art.

En résumé, *science* d'où *prévoyance* ; *prévoyance* d'où *action* (dit fort bien A. Comte), telle est la formule qui exprime d'une manière exacte la relation générale de la *science* et de l'*art*.

Tels sont les principes de l'action du travail de l'homme sur la nature, les relations du *vrai* et de l'*utile*. Le travail ne saurait avoir pour objet la création de la matière, ce qui n'est pas au pouvoir de l'homme, mais seulement sa modification par l'emploi des forces naturelles. Or, comment l'action de ces forces, les modifications de la matière qui résultent de leur application, sont-elles prévues par la science ? Comment la science peut-elle dispenser, autant que le comportent les divers phénomènes, de toute observation directe ? C'est en permettant de déduire du plus petit nombre possible de données immédiates le plus grand nombre possible de résultats, ce qui a lieu par la constatation des *lois* que nous parvenons à découvrir entre les phénomènes naturels, c'est-à-dire des rapports constants de succession, de dépendance, qui rattachent les uns aux autres tous les phénomènes que présentent les êtres de l'univers.

La conception des lois auxquelles sont soumis les phénomènes de la nature, la combinaison des lois multiples qui régissent un phénomène complexe, constituent un travail de l'intelligence, extérieur et indépendant en quelque sorte de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nature même, qui en offre l'application et en éveille l'idée dans notre esprit.

De cette observation fondamentale se déduit facilement la division principale qui préside à la classification des sciences. Il en résulte clairement que la première étude à faire est évidemment celle des lois elles-mêmes, objet de la science mathématique, qui doit être considérée depuis Descartes et Newton comme la base fondamentale de la philosophie naturelle.

Quant à la philosophie naturelle elle-même, le plus simple, le plus rationnel, le plus satisfaisant des arrangements qui peuvent être adoptés pour constituer une classification scientifique est celui qui tient le mieux compte de l'enchaînement naturel des phénomènes, de leur dépendance mutuelle.

En considérant l'ensemble des phénomènes observables, on reconnaît qu'il est possible de les classer en quelques groupes naturels, disposés de telle façon que l'étude rationnelle de chacun soit basée sur la connaissance des lois principales du groupe précédent; et qu'à son tour la catégorie envisagée devienne le préliminaire indispensable, la base de l'étude de la catégorie suivante.

Cet ordre est déterminé par le degré de simplicité des phénomènes, d'où résulte leur dépendance successive, et par suite la facilité plus ou moins grande de leur étude. On peut reconnaître même, *à priori*, que les phénomènes les plus simples, ceux qui sont le moins compliqués par d'autres, sont nécessairement aussi les plus généraux. En effet, tout phénomène qui se montre dans le plus grand nombre de circonstances est nécessairement celui qui est le plus dégagé, le plus indépendant des conditions propres à chaque phénomène particulier.

Par conséquent, c'est par l'étude des phénomènes les plus généraux ou les moins compliqués qu'il faut commencer, puis arriver graduellement aux phénomènes les plus particuliers, les plus compliqués.

En procédant de la sorte on est amené à établir les sept catégories suivantes de sciences fondamentales, en faisant rentrer dans celles-ci, comme accessoires, celles qui constituent surtout des classifications d'objets, la minéralogie, par exemple, dans la chimie; et d'après les règles précédentes on doit les ranger ainsi qu'il suit :

1° Mathématique;
2° Géométrie;
3° Mécanique;
4° Physique;
5° Chimie;
6° Biologie.

L'excellence de cet ordre va être facilement reconnue par l'esquisse que nous allons tenter des principaux traits de ces diverses sciences.

I. MATHÉMATIQUE.

ARITHMÉTIQUE.

La notion la plus abstraite, la plus générale que nous inspire la vue de la nature, c'est celle de la grandeur.

La contemplation de la grandeur résulte de la sensation; la connaissance de la grandeur, l'action de l'intelligence, la science en un mot commence lorsqu'on cherche à apprécier les grandeurs, à les comparer, à les mesurer.

C'est de là que proviennent les rapports, les nombres dont l'étude est l'objet de l'Arithmétique.

Passons rapidement en revue l'esprit des principales parties de cette science.

Des nombres. — On ne peut se faire une idée d'une grandeur qu'en la comparant à une autre grandeur bien connue (l'unité).

Pour la comparer à cette unité on peut dire que la grandeur excède l'unité d'une certaine grandeur; ce qui généralement n'apprend rien puisque l'on ne connait pas plus cette nouvelle grandeur que la première. Ou bien on peut pousser plus loin l'opération; chercher de combien ce reste surpasse l'unité; agir de même sur le deuxième reste et ainsi de suite; ce qui revient à chercher, pour évaluer la première grandeur, combien de fois l'unité est comprise dans cette grandeur, ce qui constitue le nombre. Donc pour se représenter rigoureusement une grandeur, il faut connaître l'unité à laquelle on la rapporte, et se former une idée exacte des nombres.

C'est la numération qui établit les nombres, qui fixe les mots qui servent à les énoncer, et les signes qui servent à les représenter.

De la numération. — La numération fixe une nomenclature qui limite le nombre des mots et des signes, au nombre de 10 dans le système décimal, qui servent à désigner tous les nombres.

La série complète des nombres se forme en ajoutant successivement l'unité au nombre antérieur; de la même manière les nombres existants s'ajoutent les uns aux autres en ajoutant à un premier nombre les unités des autres, ou mieux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

directement des collections d'unités par la méthode abrégée qui constitue l'*addition*.

Les additions successives d'un même nombre se remplacent par les méthodes abrégées de la *multiplication*.

Enfin la multiplication conduit aux élévations de puissances qui en forment un cas particulier.

Comparaison des grandeurs. — Il y a deux manières de comparer les grandeurs, comme il a été indiqué déjà pour former les nombres lorsqu'une des grandeurs est l'unité.

1° *Par soustraction.* — Deux grandeurs ou plutôt deux nombres qui les représentent étant donnés, nous pouvons aisément déterminer la différence de ces deux nombres, retrancher de toutes les unités qui forment le premier, toutes celles qui constituent le second, et alors nous avons une relation de différence, qui est un nombre : c'est l'opération de la *soustraction*.

2° *Par division.* — Deux nombres étant donnés, si nous déterminons le quotient de ces deux nombres, combien de fois un nombre est contenu dans un autre, nous avons une idée exacte de ces nombres, l'un par rapport à l'autre : c'est la *division*. Mais il est possible que la division de deux nombres l'un par l'autre ne se fasse pas exactement; alors apparaissent les fractions.

Je m'arrêterai un instant sur la notion de fraction, qui ne résulte pas, avec toutes ses conséquences, de la notion des nombres entiers. En effet, lorsque le nombre à diviser ne contient pas un nombre exact de fois le diviseur, il est impossible de trouver pour *quotient* un nombre entier, de telle sorte que le quotient de 15 par 4 n'est pas compris dans la série infinie des nombres. C'est pour répondre à cette circonstance particulière de la division dans laquelle le dividende ne contient pas exactement le diviseur, que la raison crée, dit fort bien M. A. Transon, de nouveaux nombres en introduisant jusqu'à un certain point l'idée de *continuité* dans la génération de ces nombres, que jusque-là la contemplation directe des objets lui donnait sous une forme absolument *discontinue*. Telle est la véritable origine des nombres fractionnaires, qui se trouvent définis par les deux nombres entiers qui particularisent la division non effectuée, et qui peuvent sous cette forme être soumis aux diverses opérations arithmétiques.

Remarquons que les nombres fractionnaires contenant exactement un nombre de parties aliquotes de l'unité, satisfont à la définition de Newton que *tout nombre est le rapport d'une grandeur avec l'unité*.

L'égalité de deux quotients constitue une *proportion* entre les quatre nombres qui ont fourni ces quotients et qui jouissent de propriétés précieuses, utilisées dans beaucoup de questions où les méthodes de l'arithmétique trouvent à s'employer.

L'égalité de deux différences entre quatre nombres constitue une autre espèce de proportion dite *arithmétique* pour la distinguer de la première, dite *géométrique*. La comparaison de deux proportions des deux espèces convenablement choisies permet d'établir comme appartenant à l'Arithmétique, l'importante théorie des logarithmes.

Des fractions décimales. — Lorsqu'on établit de calculer par dizaines et centaines, il est naturel et conforme à la théorie de calculer par dixièmes, centièmes et d'appliquer au calcul des quantités moindres que l'unité les mêmes règles qu'aux quantités plus grandes. C'est sur leur emploi que repose le grand avantage, dans les calculs, du système décimal des poids et mesures. Je citerai ici la réponse d'un grand géomètre à l'objection qui est seule reproduite encore quelquefois contre un système qui est un immense progrès sur ceux que la tradition avait fait adopter dans les divers pays.

Comparant le système duodécimal au système décimal, Lagrange dit dans ses leçons à l'école normale :

« Le nombre 12 est celui qui a le plus de diviseurs dans l'étendue de 1 à 24; le nombre 60 en a le plus dans l'étendue de 1 à 120.

« Sous le point de vue des diviseurs, le système duodécimal paraît donc préférable; mais voici une observation.

« Quand on emploie les fractions décimales, la considération des diviseurs ou des parties aliquotes devient inutile, et je vais vous faire voir que dans l'usage ordinaire l'emploi de ces fractions est infiniment préférable à celui des parties aliquotes ou des fractions ordinaires.

« L'essentiel, dans l'usage des nombres, c'est de s'en former une idée nette; quand je dis *un*, j'ai idée d'une seule chose existante et isolée; quand je dis *deux*, c'est la même chose, prise deux fois; *trois*, c'est la même chose, prise trois fois; ainsi de suite.

« Il n'en est pas de même des fractions; l'esprit les conçoit bien moins facilement que les nombres entiers; si je dis une demie, je conçois la même chose, partagée en deux parties; si je dis un tiers, il faut concevoir la même chose partagée en trois parties; tant que je n'ai qu'une fraction, cela va bien; je saurai ce que c'est qu'un tiers en me formant l'idée d'une chose et en la séparant par l'esprit en trois parties; mais quand je veux les comparer, cela n'est pas aisé, et vous verrez que, parmi les personnes qui n'ont pas exercé leur esprit à compter, il y en aura peu qui puissent vous dire sur-le-champ de combien un demi est plus grand qu'un tiers, de combien un quart est plus grand qu'un cinquième : par exemple, on vous demande, pour faire un habit, deux aunes et un tiers de drap; vous trouverez qu'un tiers c'est trop, et vous ne prenez qu'un quart; mais vous n'avez pas une idée nette de combien un tiers est plus grand qu'un quart.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Les fractions dont le dénominateur varie, comme $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, quoique les plus simples en elles-mêmes, sont, par cette raison, les moins commodes dans l'usage, parce qu'elles sont difficiles à comparer entre elles; il y a, en effet, peu de personnes qui puissent dire sur-le-champ de combien un cinquième est plus grand qu'un septième; et vous avez vu qu'il faut faire un certain calcul pour les réduire au même dénominateur; notre esprit ne conçoit et ne compare facilement que les nombres fractionnaires dont le dénominateur est le même, parce qu'il regarde le dénominateur comme un tout dont il voit les différentes parties. Cet inconvénient n'a pas lieu dans l'arithmétique décimale; car l'avantage des fractions décimales est d'avoir toujours le même dénominateur, ou de pouvoir y être rapportées très-aisément; de sorte que, depuis *un* jusqu'à *dix*, vous avez un seul dénominateur, et de même depuis 1 jusqu'à 100, et ainsi de suite : si on vous demande, par exemple, trois mètres et trois décimètres d'une étoffe, et que l'on trouve qu'il n'y en a pas assez, on en prendra quatre ou cinq décimètres, etc., à la place de trois, et on saura toujours au juste de combien vous augmentez, ce que vous ne savez pas dans les fractions ordinaires; si vous allez jusqu'aux centimètres, et que, par exemple, vous preniez trois décimètres cinq centimètres, quoique le dénominateur soit changé, vous pourrez aisément réduire vos fractions décimales en donnant à vos décimètres le nom de dizaine, et vous aurez trente-cinq centimètres; par ce moyen vous aurez toujours un dénominateur constant, quelque petites que soient vos fractions décimales.

« Il me semble que cette raison doit surtout vous faire préférer ces sortes de fractions pour les usages ordinaires, parce que, de cette manière, on aura des nombres fractionnaires une idée aussi nette que des nombres entiers.

« On voit aussi par là qu'il est indifférent que le nombre qui suit la base du système, comme le nombre 10 dans notre système décimal, ait des diviseurs ou non; peut-être même y aurait-il, à quelques égards, de l'avantage à ce que ce nombre n'eût point de diviseurs, comme le nombre 11, ce qui aurait lieu dans le système undécimal, parce qu'on en serait moins porté à employer les fractions $^1/_2$, $^1/_3$, etc. »

Des puissances et des racines. — L'élévation aux puissances n'est qu'un cas particulier de la multiplication, de même que la multiplication n'est elle-même qu'un cas particulier de l'addition.

Les deux facteurs étant égaux, on doit pouvoir, connaissant le produit, déterminer ces facteurs, opération qui peut évidemment s'effectuer toujours, au moins par tâtonnements successifs.

Dans l'extraction des racines arrivent des nombres *irrationnels* que, sous la préoccupation de la *discontinuité* des nombres, principe posé au début de l'arithmétique, on a défini à tort des *quantités qui n'existent pas.*

Si l'on cherche la racine troisième de 45, on trouve que trois est trop faible et quatre trop fort; elle n'existe donc pas dans la série des nombres naturels. Mais, de plus, une telle racine n'est pas davantage un nombre fractionnaire; car, on prouve qu'en poussant indéfiniment la subdivision de l'unité en parties égales, jamais ces parties ne seront d'une telle grandeur que la racine s'exprime en un nombre de ces quantités. Toujours, en s'arrêtant à une subdivision quelconque, on peut s'arrêter entre deux nombres fractionnaires consécutifs issus de cette subdivision, c'est-à-dire deux nombres fractionnaires ne différant que d'*une* des parties correspondantes de l'unité entre lesquelles la racine cherchée est comprise : ainsi la quantité qui représente cette racine n'est pas exprimable en nombres discontinus, la *continuité* seule peut la représenter, par exemple, une ligne qui serait le côté d'un cube dont le volume serait égal à 45. Cette ligne est dite *incommensurable*, ne peut être exprimée par un nombre avec une exactitude absolue, n'a pas de *commune mesure* avec l'unité adoptée.

C'est, en général, lorsqu'on veut exprimer une grandeur continue par un nombre discontinu que les incommensurables apparaissent. On peut citer pour exemple le côté du carré et sa diagonale, la circonférence de cercle et son rayon, qui n'admettent pas de commune mesure.

THÉORIE DES FONCTIONS.

Le point de vue auquel nous nous sommes placés pour poser les bases de l'arithmétique est singulièrement restreint et est bien loin de pouvoir donner idée de la science mathématique. Nous avons supposé que la grandeur sur laquelle nous opérions pour pouvoir la représenter par un nombre, était directement mesurable; que c'était, par exemple, une ligne droite horizontale sur laquelle un mètre peut être porté un certain nombre de fois.

Le nombre qui représente le rapport de cette ligne à l'unité de longueur peut être déterminé de bien d'autres manières, par diverses relations qu'elle peut avoir avec d'autres lignes. Tel est précisément le but de la science mathématique; et c'est grâce à la notion scientifique fondamentale de mesure, sur laquelle on ne saurait trop insister, que la science mathématique devient applicable aux phénomènes et engendre les découvertes les plus précieuses, grâce à la puissance de cette logique supérieure, de cet admirable instrument de déduction que constitue la science mathématique.

Elle est définie habituellement la *science des grandeurs*, ou, ce qui est plus positif, la *science de la mesure des grandeurs;* en ce sens, que cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mesure est *indirecte*, c'est-à-dire qu'on s'y propose constamment de *déterminer les grandeurs les unes par les autres, d'après les relations précises qui existent entre elles*. Pour bien fixer les idées, nous emprunterons encore à M. A. Comte un exemple, celui du phénomène de la chute des corps.

« En observant ce phénomène, dit-il, l'esprit le plus étranger aux conceptions mathématiques reconnaît sur-le-champ que les deux quantités qu'il présente, savoir : la hauteur d'où un corps est tombé et le temps de sa chute, sont nécessairement liées l'une à l'autre, puisqu'elles varient ensemble, ou, suivant le langage des géomètres, qu'elles sont fonction l'une de l'autre. Le phénomène considéré sous ce point de vue donne donc lieu à une question mathématique qui consiste à suppléer à la mesure directe d'une des grandeurs, lorsqu'elle sera impossible, par la mesure de l'autre. »

La solution complète d'une question consiste donc dans la formule qui indique cette loi, cette relation de plusieurs grandeurs, et qui, pouvant fournir la valeur d'une quantité égale à une combinaison des autres, doit nécessairement être fournie sous la forme d'une équation. Cette équation, qui indique les relations entre les éléments inconnus, ne peut être, dans l'état actuel des connaissances, que d'une des formes qui indiquent les rapports d'ordre mathématique, aujourd'hui connus, entre deux quantités y et x. Nous pouvons donc résumer, dans le tableau suivant, les fonctions qui, simples ou combinées entre elles, forment presque tout l'objet des mathématiques :

1er couple.	$y = a + x$	fonction *somme*.
	$y = a - x$	fonction *différence*.
2e couple.	$y = ax$	fonction *produit*.
	$y = \frac{a}{x}$	fonction *quotient*.
3e couple.	$y = x^a$	fonction *puissance*.
	$y = \sqrt{x}$	fonction *racine*.
4e couple.	$y = a^x$	fonction *exponentielle*.
	$y = lx$	fonction *logarithmique*.
5e couple.	$y =$ sin. x	fonction *circulaire directe*.
	$y =$ arc (sin. $= x$)	fonction *circulaire inverse*.

De ce que nous venons de poser résulte la division fondamentale de la science mathématique :

1° L'*algèbre*, le calcul des fonctions, comprenant comme question principale la résolution des équations pour en tirer les valeurs des inconnues;

2° L'*arithmétique*, le calcul des valeurs pour utiliser les formules dans chaque cas particulier : qui permet d'utiliser les résultats fournis par la science du calcul;

3° Le *calcul infinitésimal*, méthode destinée à conduire à la mise en équation des problèmes qui se rapportent aux quantités liées par une loi de continuité, ce qui comprend tous les phénomènes naturels, mise en équation qui, fort souvent, est inabordable directement.

Passons en revue brièvement ces sciences, sauf l'arithmétique déjà étudiée et qui a pour objet le calcul des valeurs fournies par les fonctions.

ALGÈBRE.

En algèbre, l'idée des opérations est dans les signes $+$, $-$, $\times$, $:$, qui représentent les opérations qui peuvent s'effectuer en arithmétique; ce qu'on y appelle addition, soustraction, etc.; ne sont que des opérations indicatives, des réductions.

Les chiffres, avec leur valeur déterminée de 5, 6, 8 unités, ne peuvent se mouvoir *sans se confondre ou se morceler*. Ainsi, on ne voit plus dans 32 les facteurs 4 et 8, qui ont donné ce nombre; en 2, moitié de 4, on ne voit pas que 2 soit une moitié; en représentant, au contraire, les nombres, comme on le fait en algèbre, par des lettres, on trouve cet avantage qu'elles ne peuvent *ni se confondre ni se morceler*, et elles montrent constamment leurs éléments primitifs, en mettant en évidence le mode de formation des quantités inconnues. De sorte qu'en $a \times b$, on voit le produit ab des facteurs a et b; en $\frac{a}{2}$, on voit la cause et l'effet puisqu'une fraction algébrique représente en même temps une division à faire, et le quotient de la même division faite.

On voit aussi que les *formules* auxquelles conduit l'emploi des lettres fournissent la solution de toutes les questions *d'une même espèce*, c'est-à-dire dont les énoncés ne différeraient que par les valeurs diverses des nombres. Elles permettent d'étudier les liaisons qui existent entre les quantités inconnues et celles connues, et les variations que subissent les premières, quand on donne aux secondes les différentes valeurs que comporte *le phénomène mathématique* que l'on étudie. Telle est l'idée d'immense généralisation que Viète a eue le premier, et qu'il a lui-même appliquée en représentant les quantités connues par des lettres.

Des nombres positifs et négatifs. — Les signes $+$ et $-$, qui indiquent l'addition et la soustraction, prennent en algèbre une signification plus étendue qu'en arithmétique. Soient a et b, deux quantités ou plutôt deux nombres; $a - b$ peut aussi bien être une quantité négative qu'une quantité positive, c'est-à-dire un reste à retrancher, qu'une quantité de même nature que a, c'est ce qui aura lieu si b est plus grand que a. Or, on a souvent à opérer sur ces restes, à les combiner, soit avec d'autres quantités, soit entre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

eux de toutes les manières possibles; il faut donc, à moins de particulariser l'algèbre, ce qui serait absurde, puisqu'au contraire l'algèbre tend à tout généraliser, savoir opérer aussi bien sur les quantités négatives que sur les quantités positives, tant séparément que simultanément. C'est ainsi que l'idée première de l'algèbre conduit à la théorie des quantités négatives, et c'est par une généralisation très-remarquable que l'on est conduit à considérer deux ordres de grandeur, qui, dans la plupart des cas de la pratique, ont une interprétation concrète.

De leur nature. — La nature essentielle des quantités négatives, c'est d'être des quantités opposées directement aux quantités positives. Ainsi, si $+ a$ représente une longueur mesurée sur une ligne en partant d'un certain point, $- a$ représentera la même longueur sur la partie de la ligne prolongée de l'autre côté du point d'origine; si $+ a$ représente la propriété d'une somme d'argent, $- a$ sera une dette égale à a, directement opposée à la propriété d'une somme d'argent. De telle sorte que l'on doit bien distinguer l'emploi des signes + et —, qui ont deux emplois bien distincts, bien qu'équivalents quant à leur emploi dans les opérations :

1° Comme indicatifs de l'addition et de la soustraction; c'est ainsi qu'ils sont employés en arithmétique;

2° Comme caractéristiques de quantités opposées par leur nature propre.

Dans une quantité a il faut donc considérer deux choses : sa valeur absolue mesurée par la grandeur a, ou le nombre qui l'exprime, et son signe + ou —. Une quantité positive est d'autant plus grande comme quantité et dans l'ordre de progression ascendante, que sa valeur absolue est plus grande. Une quantité négative est d'autant plus grande comme quantité négative, mais d'autant plus petite dans l'ordre de progression ascendante, que sa valeur absolue est plus grande. C'est-à-dire, par exemple, que si nous avons les quatre quantités $-2, +2, -4, +4$; placées par ordre de progression ascendante, elles se rangeraient dans l'ordre suivant : $-4, -2, +2, +4$. Entre les quantités négatives qui diminuent et qui sont d'autant plus petites que leur valeur absolue est plus grande, et les quantités positives, qui augmentent, qui sont d'autant plus grandes que leur valeur absolue est plus grande, se trouve la quantité nulle ou *zéro*, qui n'augmente ni ne diminue, qui est à la fois la limite supérieure des quantités négatives et la limite inférieure des quantités positives, qu'on peut considérer à la fois comme positif ou négatif.

Les quantités négatives sont aussi réelles que les quantités positives, car il est aussi naturel à une grandeur que l'on compare à une autre de même espèce de l'augmenter que de la diminuer. Ainsi cinq francs que vous devez et qui sont une quantité négative, sont aussi réels que cinq francs qui vous sont dus et qui sont une quantité positive. Le kilomètre que l'on parcourt en revenant sur ses pas, et qui est une quantité négative, puisqu'il diminue le chemin déjà parcouru, est tout aussi réel que le kilomètre parcouru en marchant en avant et qui est une quantité positive, puisqu'il augmente la distance au point de départ.

De leurs avantages. — On peut déjà entrevoir quelques avantages qui résultent de l'introduction des quantités négatives dans le calcul.

En effet, dans une question d'argent, par exemple, on voit que le calcul ne porterait pas seulement sur la quantité dont il est question, ni seulement sur notre bien, mais aussi sur le bien d'autrui par rapport au nôtre.

Nous insistons sur ce point de vue de préférence aux mouvements en sens contraire qu'on emploie habituellement, parce qu'il fournit la véritable théorie des comptes créditeurs et débiteurs de la tenue de livres en partie double, élément indispensable aujourd'hui de la comptabilité commerciale.

De ces considérations se déduisent les règles des signes dans les opérations, ou mieux dans les réductions qu'il est possible d'effectuer en algèbre pour ramener des opérations indiqués à l'expression la plus simple.

Des puissances et des racines des expressions algébriques. — Les opérations de multiplication, de division, etc., qui s'effectuent sur les nombres, s'opèrent également sur les expressions algébriques; mais, d'après la nature même de l'algèbre, ces opérations ne pouvant être qu'indiquées, elles se réduisent en réalité à des simplifications qui sont terminées lorsqu'elles sont ramenées à une suite d'expressions simples, de la forme $ax^m y^n \ldots$

Il en est de même des élévations aux puissances et des extractions de racines des expressions algébriques; le problème consiste à convertir en une suite de monômes le polynôme qui doit tout entier être élevé à une certaine puissance.

Les résultats des opérations conduisent donc à des polynômes que l'on ordonne, en général, suivant les puissances décroissantes de la variable, c'est-à-dire sous la forme $ax^m + bx^{m-1} + cx^{m-2} \ldots, a, b, c \ldots$ étant des coefficients numériques d'une valeur déterminée dans chaque cas particulier.

Nous n'entrerons pas ici dans des détails qu'on doit chercher dans les traités d'algèbre, sur la forme du polynôme formé par les multiplications successives d'un premier polynôme; nous citerons seulement le cas de l'élévation à une puissance quelconque d'un binôme, d'un polynôme composé de deux termes. C'est sur la découverte de la loi de ce développement, due à Newton, que sont fondés des résultats importants pour la théorie des équations.

D'après cette loi, un terme de rang n du dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

veloppement du binôme $x+h$ à la puissance m sera $h^n x^{m-n}$ multiplié par le produit :

$$\frac{m(m-1)(m-2)\ldots m-n}{1.2.3\ldots n},$$

fraction dont le numérateur correspond à toutes les permutations possibles, de m lettres prises n à n, et le dénominateur au nombre de fois que ces permutations se répètent pour former des produits équivalents.

Équations. — Nous arrivons présentement au grand problème que l'algèbre se propose, celui de la résolution des *équations;* condition de l'interprétation arithmétique de la loi qu'elles expriment.

Équations du premier degré. — Dans cette théorie on se propose de trouver les valeurs de m quantités inconnues, connaissant m relations ou équations du *premier degré* qui lient entre elles ces quantités. Le cas le plus simple, celui d'une équation à une inconnue, se résout immédiatement; l'équation étant ramenée à la forme $ax=h$, on en déduit $x=\frac{h}{a}$, valeur qui est dite racine de l'équation; il est à remarquer que cette valeur satisfait à la proposée, quels que soient les signes de a et de h, pourvu qu'on se conforme aux règles des signes. Considérons présentement les deux équations :

$$ax+by=k \quad a'x+b'y=k'.$$

Les valeurs de x et y, susceptibles de satisfaire à ces équations, satisferont aussi à la suivante :

$$(a-\lambda a')x+(b-\lambda b')y=k-\lambda k',$$

que l'on obtient en retranchant de la première des proposées la deuxième préalablement multipliée par λ, et cela quel que soit le facteur λ; cela posé, si l'on donne à λ les deux valeurs $\frac{a}{a'}$, $\frac{b}{b'}$, on aura les deux nouvelles relations

$$\left(b-\frac{ab'}{a'}\right)y=k-\frac{ak'}{a'},$$

$$\left(a-\frac{ba'}{b'}\right)x=k-\frac{bk'}{b'},$$

qui sont équivalentes aux proposées, et qui fournissent les valeurs suivantes de x et y

$$x=\frac{kb'-bk'}{ab'-ba'},\quad y=\frac{ak'-ka'}{ab'-ba'}.$$

La même méthode, due à Bezout, ramène la résolution d'un système de m équations à m inconnues à celle de $m-1$ équations à $m-1$ inconnues, et conduit par suite aux racines cherchées.

Équations du deuxième degré. L'équation du deuxième degré peut toujours être ramenée à la forme $x^2+px+q=0$, ou

$$\left(x+\frac{p}{2}\right)^2-\left(\frac{p^2}{4}-q\right)=0.$$

Si $\frac{p^2}{4}-q$ est positif, le polynôme du premier membre se décomposera en deux facteurs, et l'équation deviendra :

$$\left(x+\frac{p}{2}+\sqrt{\frac{p^2}{4}-q}\right)\left(x+\frac{p}{2}-\sqrt{\frac{p^2}{4}-q}\right)=0.$$

Elle sera donc satisfaite par la valeur de x, qui annulera l'un ou l'autre de ces facteurs. Soient x' et x'' ces deux valeurs de x qu'on appelle *racines* de l'équation proposée, l'équation prendra la forme $(x-x')(x-x')=0$. On en déduit aisément les deux relations suivantes entre les coefficients et les racines : $x'+x''=-p, x'x''=q$. Il résulte de là que si l'on demandait deux quantités dont le produit fût q et la somme $-p$, il suffirait de résoudre l'équation $x^2+px+q=0$, dont les racines feraient connaître les quantités cherchées.

Si la quantité $\frac{p^2}{4}-q$ est négative, l'équation proposée prend la forme $(x-\alpha)^2+\beta^2=0$, et l'on voit qu'elle ne peut être satisfaite pour aucune valeur de x; mais si, au lieu de β^2, on met $-i^2\beta^2$, elle devient $(x-\alpha)^2-i^2\beta^2=0$, d'où l'on déduit $x=\alpha\pm i\beta$. Les deux valeurs de x que nous venons de trouver satisferont encore à l'équation proposée, si après les calculs effectués on remplace i^2 par -1. Il n'existe aucun nombre dont le carré soit -1, la racine carrée d'une quantité négative, qui ne peut exister, est dite une expression *imaginaire*, et il en est de même des valeurs précédentes de x, qui ne sont susceptibles d'aucune représentation concrète. Mais c'est toujours rigoureusement que sous forme algébrique, sinon arithmétique, on dit encore que l'équation du deuxième degré a deux racines $\alpha+i\beta$, et $\alpha-i\beta$. L'emploi logique de ces expressions imaginaires est d'une immense utilité dans l'analyse.

La résolution des équations littérales du troisième et du quatrième degré a été indiquée pour la première fois par *Cardan*. La formule à laquelle il a été conduit n'a guère d'utilité dans la pratique, mais elle est fort remarquable en ce sens qu'elle fait connaître les racines en fonction des coefficients, ce qui n'a été fait jusqu'ici en général que pour les équations des quatre premiers degrés.

Théorie générale des équations. — Dans l'impossibilité de trouver d'une manière générale les expressions des racines des équations de tous les degrés en fonction des coefficients, les géomètres ont dû y suppléer par l'étude des propriétés générales des équations. Les travaux faits dans cette direction comprennent des recherches admirables qu'il n'est certes pas possible d'exposer ici; néanmoins nous indiquerons quelques-uns des résultats les plus remarquables, ne pouvant passer sous silence les travaux qui comprennent le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

point le plus élevé peut-être auquel l'esprit humain ait porté la déduction.

On démontre d'abord, ce que nous avons déjà vérifié pour l'équation du deuxième degré, que :

Le premier terme d'une équation ayant un coefficient égal à l'unité, ou tous les termes étant divisés par le coefficient qui pouvait l'affecter, ce qui est toujours possible,

1° Une équation qui a pour racine une valeur de x égale à a est divisible par $x - a$;

2° Le coefficient du second terme est égal à la somme des valeurs des racines;

3° Le coefficient du troisième terme est égal à la somme des produits (différents) deux à deux des racines;

4° Le coefficient du quatrième terme est égal à la somme des produits (différents) trois à trois des racines et ainsi de suite.

On démontre encore qu'une équation a autant de racines réelles ou imaginaires qu'il y a d'unités dans la puissance la plus élevée de l'inconnue qui entre dans l'équation.

La théorie générale des équations repose surtout sur l'emploi des dérivées et sur la formule de Taylor qui indique les relations de celles-ci avec l'équation fondamentale $f(x) = 0$.

Pour indiquer comment on arrive à cette formule fondamentale, il faut remplacer dans l'équation x par $x+h$, h étant un accroissement de la variable. Tous les termes viendront se développer suivant la loi que nous avons indiquée sous le nom de binôme de Newton, et si nous appelons $f'(x)$ la dérivée d'une fonction $f(x)$, $f''(x)$ la dérivée de $f'(x)$ ou la seconde dérivée de $f(x)$, on trouve, en effectuant les opérations, la célèbre formule de Taylor qui s'écrit ainsi :

$$f(x+h) = f(x) + \frac{h}{1} f'(x) + \frac{h^2}{1.2} f''(x) + \dots$$

Lorsque l'accroissement h de la variable est très-petit, le rapport de l'accroissement de la fonction à celui de la variable ou $\frac{f(x+h)-f(x)}{h}$ tend à devenir égal à $f'(x)$, à la dérivée, seul terme qui ne renferme pas h supposé très-petit. Elle représente la limite de ce rapport.

Cette interprétation de la dérivée fait pressentir le parti qu'on en tire pour la théorie des équations lorsqu'on étudie les variations de valeur de la fonction, au lieu de considérer seulement celles qui la rendent égale à zéro, c'est-à-dire, en réalité, si on y introduit l'étude de la continuité de la fonction lorsqu'on fait croître d'une manière continue la valeur de la variable. Nous verrons bientôt, en traitant du calcul infinitésimal, combien cette méthode est féconde.

Nous verrons aussi bientôt, en exposant la géométrie de Descartes, comment les équations à deux variables facilitent l'étude et la découverte des propriétés des courbes, précisément en permettant de les considérer comme engendrées par l'accroissement continu de la variable; inversement on peut se servir soit du théorème de Taylor, soit de la propriété équivalente des courbes de permettre de suivre la loi de continuité de la variation des valeurs d'une équation à une seule inconnue pour établir quelques théorèmes de la théorie générale des équations.

Si, au lieu de considérer seulement les racines, c'est-à-dire les valeurs de la variable qui rendent l'équation égale à zéro, on considère toutes les valeurs que celle-ci peut prendre, qu'on la regarde comme une autre variable y, on aura l'équation

$$y = x^m + px^{m-1} + qx^{m-2} \dots + v$$

qui représentera une courbe du degré m, et les points de rencontre de cette courbe avec l'axe des x fourniront les racines réelles, positives ou négatives de l'équation.

Cette courbe du premier degré en y aura deux branches infinies. En effet, y croîtra indéfiniment, car on peut toujours supposer à x une valeur assez grande pour qu'on ait

$$x^m > px^{m-1} + qx^{m-2} \dots v$$

ou en divisant par x^{m-1} les deux termes

$$x > p + \frac{q}{x} \dots \dots + \frac{v}{x^{m-1}}$$

puisque, hors le premier terme du second membre dont la valeur est finie, tous les autres décroissent à mesure que x augmente.

On tire facilement de l'inspection des formes générales de ces courbes ainsi étudiées un certain nombre de théorèmes principaux que nous nous contenterons d'énoncer ici.

Ils résultent en général des rapports des courbes avec l'axe de x, puisque les points de rencontre fournissent précisément des valeurs des racines.

1° Dans toute équation de degré impair, il y a toujours au moins une racine réelle.

2° Lorsque deux nombres substitués successivement dans le premier membre d'une équation donnent deux résultats de signes contraires, ces deux nombres comprennent au moins une racine réelle.

3° Toute équation de degré pair dont le dernier terme est négatif a au moins deux racines réelles, l'une positive et l'autre négative.

4° Entre deux racines réelles et inégales d'une équation, il se trouve au moins une racine réelle de sa dérivée.

Il nous resterait à montrer le parti que M. Sturm a tiré de la considération des dérivées et de la division successive de l'équation par la dérivée et de celle-ci par le reste obtenu. Ne pouvant entrer dans ces détails, nous dirons seulement que le théorème qui porte son nom permet, pour la détermination du nombre de racines d'une équation, de fournir des résultats plus précis, mais de même ordre, que ceux que donne la règle des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

signes de Descartes, remarquable théorème qui s'énonce ainsi :

Une équation ne peut avoir plus de racines positives qu'elle n'a de variations (différence de signes de deux termes consécutifs), ni plus de racines négatives qu'il ne se trouve de variations dans l'équation obtenue en changeant x en $-x$; et si toutes ses racines sont réelles, elle a précisément autant de racines positives que de variations et autant de racines négatives qu'il y a de variations dans sa transformée en $-x$.

Ce théorème est fondé sur ce que dans le produit d'un polynôme par un facteur $x-a$, dans lequel a est positif, le produit a toujours au moins une variation de plus que le multiplicande.

De l'élimination. — Dans tout ce qui précède, sauf le cas des équations du premier degré, nous ne nous sommes occupés que des équations à une seule inconnue.

Examinons maintenant le cas de deux équations d'un degré quelconque à deux inconnues.

S'il était toujours possible de résoudre une des équations par rapport à l'une des inconnues qu'elle renferme, en substituant la valeur ainsi trouvée dans l'autre équation, on obtiendrait une équation qui ne contiendrait plus qu'une inconnue qui servirait à en déterminer les valeurs. Mais la résolution d'une équation par rapport à l'une des inconnues est le plus souvent impossible. Il est en effet démontré, depuis les belles recherches d'Abel, qu'à partir du cinquième degré les racines des équations ne peuvent plus être exprimées par une fonction algébrique des coefficients[1], et jusqu'à ce jour rien n'indique qu'aucune fonction transcendante ait été trouvée qui puisse fournir une solution de ce problème.

On a alors cherché une méthode à l'aide de laquelle on pût, sans avoir besoin de résoudre aucune équation, effectuer l'élimination de l'une des inconnues entre les deux équations proposées et obtenir ainsi une équation à une seule inconnue dont les racines fussent toutes les valeurs, et les seules valeurs de cette inconnue. Tel est le but de la méthode dite d'élimination.

Cette méthode est fondée sur la recherche du plus grand commun diviseur entre les deux équations. Elle est trop spéciale pour que nous puissions l'exposer ici avec détail; nous voulions seulement indiquer comment on surmontait une difficulté capitale.

Résolution des équations numériques. — L'impossibilité de trouver sous forme algébrique la valeur des racines des équations en fonction des coefficients pour des degrés supérieurs au quatrième, a fait reporter les recherches sur les méthodes les plus expéditives pour trouver les valeurs numériques des équations dont les coefficients sont de valeur connue. Cette solution, dont il faut bien se contenter, est malheureusement fort insuffisante; car c'est souvent moins la valeur numérique d'une inconnue qu'il importe de connaître que la *formule*, la manière dont elle se forme de quantités inconnues. Toutefois, il est juste d'observer que quand les lois sont représentées par des équations d'un ordre élevé, on peut dire que leur compréhension échappe presque aux forces de l'esprit humain; aussi la solution des équations des premiers degrés comprend-elle la très-majeure partie des lois de la nature que nous avons pu soumettre au calcul.

La méthode employée est essentiellement une méthode de tâtonnements que l'on abrége toutefois considérablement par la détermination des limites entre lesquelles peuvent être comprises les racines; elle est l'équivalent de la méthode géométrique que nous avons indiquée, c'est-à-dire de celle qui consiste à déterminer assez de valeurs de la fonction pour en saisir les variations, et approcher de plus en plus de la valeur de la variation qui la rend égale à zéro.

Des équations exponentielles, des logarithmes. — Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'inconnue x était élevée à certaine puissance, mais jamais qu'elle était l'exposant de la puissance d'une quantité connue. La considération de termes semblables conduit aux logarithmes. Le logarithme d'un nombre est l'exposant de la puissance à laquelle il faut élever un nombre invariable, positif et autre que l'unité, pour reproduire le premier. On appelle système de logarithmes la série des logarithmes de tous les nombres possibles pour une valeur particulière du nombre invariable que l'on nomme la base de ce système. Pour les tables habituellement employées, la base est 10.

On voit que x étant le logarithme d'un nombre quelconque b, dans un système dont la base est a, $a^x=b$. Pour $b=a$, x ou log. $a=1$, c'est-à-dire que le logarithme de la base est égal à l'unité.

Les propriétés des logarithmes résultent clairement de leur définition.

Soient b, b', b''... des nombres quelconques, et x, x', x''..., leurs logarithmes respectifs, nous aurons :

$$a^x=b \quad a^{x'}=b' \quad a^{x''}=b''...$$

et en multipliant membre à membre :

$$a^{x+x'+x''...}=bb'b''...$$

Mais, d'après la définition, $x+x'+x''...$ est le logarithme du produit $bb'b''...$; donc le logarithme d'un produit de plusieurs facteurs est égal à la somme des logarithmes de ces facteurs.

Si on divise membre à membre les équations $a^x=b$ $a'=b'$, on trouvera :

$$a^{x-x'}=\frac{b}{b'}$$

(1) Voir le *Cours d'Algèbre supérieure de M. A. Serret.* de l'Institut.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi $x - x'$ est le logarithme de $\frac{b}{b'}$; donc le logarithme du quotient de la division de deux nombres est égal au logarithme du dividende, moins le logarithme du diviseur.

Si on élève à la puissance m les deux membres de l'équation $a^x = b$, il viendra $a^{mx} = b^m$; donc le logarithme d'une puissance quelconque d'un nombre est égal au logarithme de ce nombre multiplié par l'exposant de cette puissance.

On verra de même que $a^{\frac{x}{m}} = \sqrt[m]{b}$, c'est-à-dire que le logarithme d'une racine quelconque d'un nombre est égal au logarithme de ce nombre divisé par l'indice de la racine.

On voit, d'après cela, de quelle ressource sont les logarithmes pour simplifier les calculs les plus compliqués à l'aide d'une table de logarithmes, c'est-à-dire d'une suite de tableaux renfermant dans une colonne la suite des nombres entiers 1, 2, 3, ..., et en regard leurs logarithmes calculés d'avance. En reportant sur les logarithmes les opérations à effectuer sur les nombres, pour remonter ensuite à ceux-ci à l'aide des tables, on voit que les multiplications deviennent des additions, les divisions des soustractions, les élévations aux puissances de simples multiplications par les exposants, les extractions de racines des divisions par les indices.

Revenons aux équations exponentielles. Tant qu'elles sont de la forme $a^x = b$, elles sont facilement résolues numériquement à l'aide des tables de logarithmes, puisque, prenant le logarithme de chacun des membres de cette équation, on a l'équation nouvelle $x \log. a = \log. b$ ou $x = \frac{\log. b}{\log. a}$, qui fournit la valeur de x.

Fonctions circulaires. — Les fonctions circulaires correspondent aux relations qui existent entre un arc de cercle et certaines lignes qui varient avec lui. L'étude de ces fonctions, dont l'origine est toute géométrique, mais dont le calcul est une partie de l'algèbre, constitue la trigonométrie. L'introduction dans le calcul de ces fonctions transcendantes en synthétisant des relations extrêmement complexes a ouvert la voie aux derniers progrès des sciences mathématiques qui ont cherché à s'enrichir de quelques autres fonctions transcendantes, des fonctions elliptiques notamment.

De la combinaison algébrique de ces lignes résulte, dans nombre de problèmes, le moyen de mesurer des arcs, ou plutôt les angles mesurés par ceux-ci, par voie indirecte. Nous nous contenterons de dire que les principales fonctions circulaires à considérer sont le sinus, le cosinus et la tangente, liées intimement à l'arc de cercle auquel elles appartiennent. Ces fonctions sont liées entre elles par les relations :

$$\sin.^2 x + \cos.^2 x = 1 \qquad \text{tang.}\, x = \frac{\sin x}{\cos x}.$$

CALCUL INFINITÉSIMAL.

La difficulté la plus grande qui s'oppose en général à l'étude d'une question est la mise en équation du problème, l'expression sous forme algébrique de la loi d'un phénomène. C'est pour résoudre cette difficulté que le calcul infinitésimal fournit un élément d'une merveilleuse fécondité, comme le prouvent les grandes découvertes dont il a été la source.

Pour en comprendre l'esprit, il faut le considérer comme se proposant d'étudier la continuité, caractère qui peut toujours être considéré comme appartenant au mode de génération de l'objet considéré, puisque c'est avec ce caractère que tout se produit dans la nature, et que la loi de continuité d'une fonction, quand la variable varie, a un rapport intime avec cette fonction, dont on comprend bien qu'on puisse la déduire.

Ainsi une courbe peut toujours être considérée comme engendrée par un certain mouvement d'un point qui la parcourt. On comprend donc comment on peut parvenir à la notion de la courbe par celle des positions successives du point, par les conditions auxquelles doivent satisfaire successivement les éléments infiniment petits de cette courbe. Telle est précisément la donnée fondamentale de la conception de Leibnitz.

La méthode consiste à introduire dans le calcul les éléments infiniment petits dont on considère comme composées les quantités entre lesquelles on cherche les relations. Ces éléments ou *différentielles* auront entre eux des relations constamment et nécessairement plus simples et plus faciles à découvrir que celles des quantités primitives, d'après lesquelles on peut ensuite, par un calcul spécial ayant pour destination propre l'élimination de ces infinitésimales auxiliaires, remonter aux équations cherchées, qu'il eût été le plus souvent impossible d'obtenir directement.

Il peut paraître que les accroissements infiniment petits des grandeurs proposées étant de même espèce qu'elles, leurs relations ne devaient pas s'obtenir plus aisément. Mais il est aisé de s'expliquer d'une manière tout à fait générale à quel point, par un tel artifice, la question doit se trouver simplifiée. Il faut, pour cela, commencer par distinguer les différents ordres d'infiniment petits, dont on peut se faire une idée fort précise en considérant que ce sont ou les puissances successives d'un même infiniment petit primitif, ou des quantités qu'on peut présenter comme ayant avec ces puissances des rapports finis, en sorte que, par exemple, les différentielles seconde, troisième, etc., d'une même variable, sont classées comme infiniment petit du second ordre, du troisième, etc.

Ces notions préliminaires étant posées, l'esprit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'analyse infinitésimale consiste à négliger constamment les quantités infiniment petites devant des quantités finies, à considérer que, lors de la continuité, l'infiniment petit s'évanouit devant une quantité finie, et généralement les infiniment petits d'un ordre quelconque vis-à-vis de ceux d'un ordre supérieur. On conçoit immédiatement combien une telle faculté doit faciliter la formation des équations entre les différentielles des quantités, puisqu'à ces quantités on pourra substituer tels autres éléments qu'on voudra, et qui seraient plus simples à considérer, en se conformant à cette seule condition, que les nouveaux éléments ne diffèrent des précédents que de quantités infiniment petites par rapport à eux. C'est ainsi qu'il sera possible, en géométrie, de traiter les lignes courbes comme composées d'une infinité d'éléments rectilignes, les surfaces courbes comme formées d'éléments plans; et en mécanique, les mouvements variés comme une suite infinie de mouvements uniformes, se succédant à des intervalles de temps infiniment petits.

Essayons par quelques exemples d'éclaircir le caractère fondamental de la méthode infinitésimale.

Qu'il s'agisse, par exemple, de déterminer la longueur de l'arc d'une courbe quelconque, considéré comme une fonction des coordonnées de ses extrémités. Il serait impossible d'établir immédiatement l'équation entre cet arc s et ses coordonnées, tandis qu'il est aisé de trouver la relation correspondante entre les accroissements, les différentielles de ces diverses grandeurs. Les plus simples théorèmes de la géométrie élémentaire donneront, en effet, sur-le-champ, en considérant l'arc infiniment petit ds comme une ligne droite, les équations :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2, \text{ ou } ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

suivant que la courbe sera plane ou à double courbure. Dans l'un et l'autre cas, la question est maintenant tout entière du domaine de l'analyse, qui introduira dans ces relations celles propres à la nature de la courbe considérée dont on a l'équation, puis finalement à la relation qui existe entre les quantités finies elles-mêmes que l'on considère, par l'élimination des différentielles qui est l'objet propre du calcul intégral.

Il en serait de même pour la quadrature des aires curvilignes. Si la courbe est plane et rapportée à des coordonnées rectilignes, on concevra l'aire A comprise entre elle l'axe des x et deux ordonnées extrêmes, comme augmentant d'une quantité infiniment petite $d\,A$, par suite d'un accroissement analogue de l'abscisse. Alors la relation entre ces deux différentielles pourra s'obtenir immédiatement avec la plus grande facilité, en substituant à l'élément curviligne de l'aire proposée le rectangle formé par l'ordonnée extrême et l'élément de l'abscisse, dont il ne diffère évidemment que d'une quantité infiniment petite du second ordre, ce qui fournira aussitôt, quelle que soit la courbe, l'équation différentielle très-simple :

$$d\,A = y\,dx$$

d'où le calcul intégral, quand la courbe sera définie par son équation, apprendra à déduire l'équation finie, objet immédiat du problème.

Ce qui précède montre bien clairement les immenses avantages qu'offre le calcul infinitésimal dans nombre de cas pour mettre un problème en équation; on voit aussi qu'il est fondé sur un artifice logique d'une grande finesse et que des intelligences supérieures telles que celles de Newton et Leibnitz pouvaient seules concevoir.

Voyons maintenant les méthodes de calcul qui permettent de passer des fonctions aux différentielles et inversement.

Si nous considérons, par exemple, l'équation $y = ax^2$, si l'on fait croître x d'une quantité très-petite Δx, y croîtra d'une quantité Δy telle que l'on ait :

$$y + \Delta y = a\,(x + \Delta x)^2 = ax^2 + 2ax\Delta x \times \Delta x^2$$
$$\text{ou } \Delta y = 2ax\Delta x + \Delta x^2$$

Or, plus on prendra Δx petit, plus le terme Δx^2 deviendra petit par rapport à $2ax\Delta x$, et il sera rigoureusement nul si nous passons de la notion de ses valeurs diverses à la notion de continuité, c'est-à-dire si l'accroissement peut être considéré comme d'un tout autre ordre que celui de toute quantité appréciable, ce que nous appelons infiniment petit, et n'est qu'une autre manière de nous représenter le fait de continuité.

En raisonnant de la sorte, c'est-à-dire en négligeant les différentielles du second ordre en présence de celles du premier, on aura pour les diverses fonctions simples les différentielles contenues dans le tableau suivant, les dérivées premières comme nous l'avons déjà indiqué.

$y = a + x$	$dy = dx$
$y = a - x$	$dy = -dx$
$y = ax$	$dy = a\,dx$
$y = \frac{a}{x}$	$dy = -\frac{a\,dx}{x^2}$
$y = x^m$	$dy = mx^{m-1}\,dx$
$y = a^x$	$dy = \log. a\,a^x\,dx$
$y = \log. x$	$dy = \log. \varepsilon \frac{dx}{x}$
$y = \sin. x$	$dy = \cos. x\,dx$
$y = \cos. x$	$dy = -\sin. x\,dx$
$y = \text{arc. sin.} = x$	$dy = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$
$y = \text{arc. cos.} = x$	$dy = -\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$

Nous ne pouvons entrer ici dans le calcul des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fonctions composées, non plus que dans les artifices du calcul intégral, inverse du calcul différentiel dont nous venons d'indiquer l'esprit. Il est clair seulement que l'intégrale de la seconde colonne du tableau ci-dessus est la fonction donnée dans la première, ainsi $\int \frac{adx}{x^2} = \frac{a}{x} + C$, C représentant une constante à déterminer pour chaque cas et qui ne change pas la forme de la différentielle. On voit bien par cet exemple en quoi consiste l'intégration des fonctions simples, et comment on peut remonter des relations entre les différentielles aux équations entre les quantités.

II. GÉOMÉTRIE.

La géométrie est la science de l'étendue ou, pour parler avec plus de précision, la science de la mesure de l'étendue.

On voit que cette science emprunte à la nature, à la connaissance des corps, son idée fondamentale, la notion d'étendue, et paraît en quelque sorte une science naturelle; mais cette notion générale à tous les corps est réduite par l'esprit à une abstraction qui fait de la géométrie une véritable science mathématique.

Bien qu'il soit évidemment impossible de concevoir aucune étendue privée de l'une quelconque de ses trois dimensions fondamentales : longueur, largeur et hauteur, il y a grand avantage pour l'esprit à considérer l'étendue dans deux sens ou dans un seul à la fois, ce qui constitue des *surfaces*, des *lignes*. Il suffit pour cela de concevoir la dimension que l'on veut éliminer comme décroissant indéfiniment, et parvenant à un tel degré de ténuité, que l'esprit conçoive clairement l'abstraction qu'il imagine lorsque cette quantité disparaît, abstraction sur laquelle repose la science mathématique rigoureusement exacte pour la conception de notre esprit, et non d'approximation, comme la science d'observation, qui constitue la *géométrie*.

Ainsi, la *surface* est l'étendue à deux dimensions, la *ligne* d'étendue a une seule dimension, et enfin le *point* est l'étendue considérée uniquement par rapport à son lieu, abstraction faite de toute grandeur, et destinée par conséquent à préciser les positions. Les surfaces, ont d'ailleurs, évidemment la propriété générale de circonscrire exactement les volumes, de même que les lignes, à leur tour, circonscrivent les surfaces, et sont limitées par les points.

Ces préliminaires étant posés (1), revenons à la définition de la géométrie, au but final que nous lui avons assigné, la *mesure* de l'étendue.

Si l'on prend le mot *mesure* dans son acception mathématique directe et générale, qui signifie simplement l'évaluation des *rapports* qu'ont entre elles des grandeurs homogènes quelconques, on doit considérer, en géométrie, que la mesure des surfaces et des volumes, par opposition à celle des lignes, ne s'effectue jamais immédiatement. En effet, on conçoit que deux lignes peuvent être superposées; mais la superposition de deux surfaces, et à plus forte raison de deux volumes, est évidemment impossible à établir dans la plupart des cas.

Mais quelle que puisse être la forme d'un corps, il existe toujours un certain nombre de lignes, plus ou moins faciles à assigner, dont la longueur suffit pour déterminer exactement la grandeur de sa surface ou de son volume. La géométrie, regardant ces lignes comme seules susceptibles d'être mesurées immédiatement, se propose de déduire de leur simple détermination le rapport de la surface ou du volume cherchés à l'unité de surface ou de volume. Il résulte de cela la possibilité de réduire à des questions de lignes toutes les questions relatives aux volumes et aux surfaces, envisagées quant à leur grandeur.

De la même manière, la géométrie des lignes a pour objet général de ramener constamment la mesure des lignes courbes à celle des lignes droites; et par suite, sous un point de vue plus étendu, de réduire à de simples questions de lignes droites toutes les questions relatives à la grandeur de courbes quelconques. Pour comprendre la possibilité d'une telle transformation, il faut remarquer que, dans toute courbe quelconque, il existe constamment certaines droites dont la longueur est intimement liée à celle de la courbe. Ainsi, dans un cercle, il est évident que de la longueur du rayon on doit pouvoir déduire celle de la circonférence; de même la longueur d'une ellipse dépend de celle de ses deux axes. Découvrir la relation qui existe entre la longueur d'une ligne courbe et celle de semblables lignes droites, tel est le problème qu'on a essentiellement en vue dans la partie de la géométrie relative à l'étude des lignes.

Ainsi, comme des formes diverses peuvent être

(1) A. Comte, tome I, page 358.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déterminées par des conditions fort éloignées de tout moyen direct de mesure, on doit considérer comme rentrant dans le but assigné à la géométrie toutes les recherches relatives aux propriétés des formes étudiées. Ces recherches, qui constituaient une part si considérable de la géométrie des anciens, et qui sont si propres à développer l'esprit et à préparer aux recherches scientifiques, en faisant résulter des données d'une question une foule de conséquences intéressantes, permettent d'atteindre les éléments d'où résulte la mesure obtenue ainsi indirectement, but de la science géométrique.

GÉOMÉTRIE PRÉLIMINAIRE.

D'après ce qui précède, la géométrie préliminaire pourrait être restreinte à la seule étude de la ligne droite pour ce qui concerne la géométrie des lignes, à la quadrature des aires planes rectilignes, et enfin à la cubature des corps terminés par des surfaces planes.

Les propositions élémentaires relatives à ces trois questions fondamentales constituent, en effet, le point de départ nécessaire de toutes les recherches géométriques; elles seules ne peuvent être obtenues que par une étude directe du sujet; tandis qu'au contraire la théorie complète de toutes les autres formes quelconques, même celle du cercle, dont on introduit l'étude dans les préliminaires surtout en vue d'arriver promptement à la mesure des angles, peut aujourd'hui rentrer dans la géométrie générale ou analytique.

Ce n'est, au contraire, que par une aberration étrange qu'on a pu essayer de présenter, sous un point de vue purement algébrique, l'établissement des principaux théorèmes de la géométrie élémentaire qui résultent de la nature de la ligne droite, ou qui servent à constituer les unités de surface, de volume : comme la relation constante qui existe entre les trois angles d'un triangle rectiligne, la proposition fondamentale de la théorie des triangles semblables, la mesure des rectangles, des parallélipipèdes, etc. Ces propositions, et elles seules, ne peuvent être obtenues que pour des considérations directes relatives à l'étendue, ne peuvent ressortir que de la nature propre de celle-ci, sans que le calcul puisse y avoir la moindre part.

Passons en revue l'énoncé des principales théories de la géométrie, qui comprennent toutes les belles découvertes des géomètres anciens, la science d'Archimède, Euclide, etc. La forme des démonstrations spéciales pour chaque cas, résultant des propriétés particulières du système considéré, ne permet guère d'observations d'un caractère général.

Ligne droite. — Se définit le plus court chemin d'un point à un autre. — Intersection de deux droites. — Angles. — Angle droit formé par deux angles égaux à la rencontre de deux

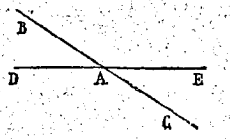


Fig. 1.

droites. — Lignes parallèles, ne pouvant se rencontrer, à quelque distance qu'on les prolonge.

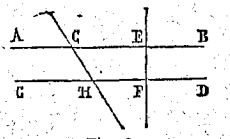


Fig. 2.

— Égalité des angles formés par des parallèles avec une même ligne droite.

Triangles. — Conditions d'égalité de deux triangles, démontrées par superposition. — La somme des angles d'un triangle est égale à deux angles droits.

Du cercle. — Ligne courbe la plus simple, celle dont tous les points sont également distants du centre. — Mesure des angles au centre par des arcs de cercle, ou les cordes ou autres lignes intimement liées avec l'arc (fonctions circulaires).

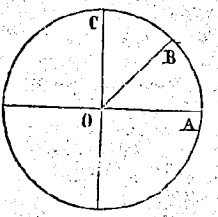


Fig. 3.

Mesure de la circonférence en raison du rayon. Égale à $2\pi r$, π ou rapport de la circonférence au diamètre (incommensurable) égal en valeur approchée à :

$\frac{22}{7}$ ou mieux $\frac{355}{113}$.

Mesure des surfaces. — Mesure du rectangle, égal au produit de la base par la hauteur. — Du triangle, égal à la moitié de ce produit. — D'où se déduit aisément la mesure du trapèze, du parallélogramme, — d'un polygone quelconque.

Théorème du carré de l'hypothénuse. — Mesure de la surface du cercle.

La surface d'un cercle du rayon r est πr^2, π étant le rapport de la circonférence au diamètre.

BEEBUS - Recherche & Classification numérique

Le carré fait sur l'hypoténuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des carrés faits sur les deux autres côtés.

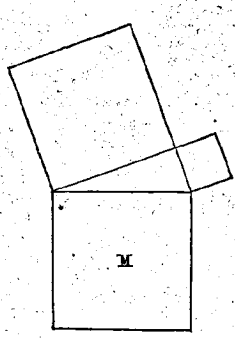


Fig. 4.

Similitude des figures. — Triangles semblables. Deux triangles sont semblables, lorsqu'ils ont les trois angles égaux chacun à chacun. Les côtés opposés aux angles égaux dans les deux triangles, dits *homologues*, sont proportionnels.

Les triangles semblables conduisent à la notion des polygones semblables et des centres de similitude souvent utilisés dans l'industrie, notamment dans le *Pantographe*.

Intersection des plans dans l'espace. — Angles dièdres. — Angles trièdres.

Polyèdres. — On appelle *polyèdre* tout solide terminé par des plans ; ceux-ci se coupant avec les plans voisins sont nécessairement terminés par des lignes droites qui sont les arêtes du polyèdre.

On appelle polyèdre régulier celui dont les faces sont des polygones réguliers égaux, et dont tous les angles solides sont égaux entre eux.

On distingue :

1° Le tétraèdre régulier, dont les faces sont des triangles (fig. 5).

2° L'hexaèdre régulier ou *cube*, dont les faces sont des carrés (fig. 6).

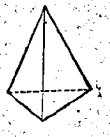


Fig. 5.

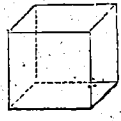


Fig. 6.

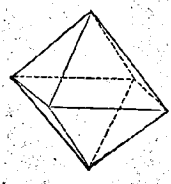


Fig. 7.

3° L'octaèdre régulier, dont les faces sont des triangles (fig. 7).

4° Le dodécaèdre régulier, dont les faces sont des pentagones (fig. 8).

5° L'isocaèdre régulier, dont les 20 faces sont des triangles (fig. 9).

Mesure des volumes. — Polyèdres à faces parallèles, parallélipipède, prisme, la pyramide.

Le volume d'un parallélipipède, ou en général d'un prisme quelconque, est équivalent au produit de la base par la hauteur ; ou, en d'autres termes, si l'on multiplie le rapport de la base à

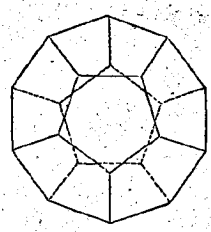


Fig. 8.

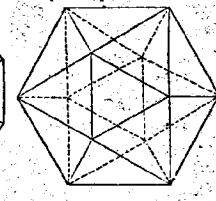


Fig. 9.

l'unité superficielle, ou au carré qui a pour côté l'unité de longueur, par le rapport de la hauteur à cette unité linéaire, le produit exprimera le rapport du solide que l'on considère à l'unité de volume, ou au cube qui a pour côté l'unité de longueur.

Algébriquement cette expression est Bh, B étant la surface de la base, h la hauteur.

Le volume d'une pyramide quelconque est égal au tiers du produit de sa base par sa hauteur, ou à $\frac{1}{3}\,Bh$.

Cylindre. — *Cône.* — *Sphère.* — Mesure des volumes. — Des surfaces.



Fig. 10.



Fig. 11.

La surface convexe d'un cylindre est égale au produit de la circonférence de la base par la hauteur, ou à $2\pi rh$, π étant le rapport de la circonférence au diamètre.

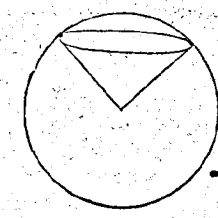


Fig. 12.

Le volume d'un cylindre est égal au produit de l'aire de la base par la hauteur ou à $\pi r^2 h$.

La surface convexe d'un cône est égale à la moitié du produit de la circonférence de la base par le côté ou à πrl.

Le volume d'un cône est égal au tiers du pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

duit de l'aire de la base par la hauteur, ou $\frac{1}{3}\pi r^2 h$.

La surface de la sphère est égale au produit du diamètre par la circonférence du cercle générateur, ou à $4\pi r$.

Le volume de la sphère est égal au produit de la surface par le tiers du rayon, on a $\frac{4}{3}\pi r^3$.

Lorsque l'on considère un rectangle dont la hauteur est le diamètre du cercle générateur de la sphère et dont les bases égales au rayon sont tangentes au cercle; pendant que le demi-cercle engendre la sphère en tournant autour de son diamètre, le rectangle engendre un *cylindre circonscrit* à la sphère. La surface de la sphère est à la surface totale du cylindre circonscrit (en y comprenant les deux bases) dans le rapport de 2 : 3; les volumes de ces deux corps sont dans le même rapport. Archimède qui découvrit ce beau théorème le considérait comme un de ses principaux titres de gloire.

L'établissement de la géométrie par les anciens, par l'étude directe des lignes, a été une des plus admirables œuvres de l'esprit humain, la base de tout l'édifice des sciences, de tout le développement qu'elles ont pris surtout depuis deux siècles.

GÉOMÉTRIE GÉNÉRALE ET ANALYTIQUE

La géométrie générale étant entièrement fondée sur la transformation des considérations géométriques en considérations analytiques équivalentes, nous devons d'abord étudier cette conception due au génie de Descartes, sur laquelle il fonda la géométrie analytique, établit un rapport intime entre les sciences du calcul et celles de l'étendue, entre les deux premières sciences mathématiques. La grandeur géométrique, considérée jusqu'à lui au point de vue de la forme, il l'envisagea au point de vue du nombre par lequel il montra qu'on pouvait la représenter; il indiqua comment les relations de quantité pouvaient être substituées à des relations de qualité. Ce fut grâce à cette vue féconde que tous les progrès des sciences de calcul vinrent s'appliquer aux recherches de la géométrie, et donner à cette science une impulsion admirable.

Rappelons le principe fondamental de cette belle conception. Soit un cercle du rayon a par le centre duquel on a mené deux lignes à angle droit ox, oy, divisées à l'infini en fractions de l'unité de longueur. D'un point quelconque de la circonférence de ce cercle, abaissons sur ces lignes deux perpendiculaires; appelons x le nombre de divisions intercepté à partir de o sur ox (longueur égale à celle de l'une des perpendiculaires), et y le nombre de ces divisions sur l'autre axe, on aura évidemment l'équation $x^2+y^2=a^2$, qui s'appliquera à tous les points

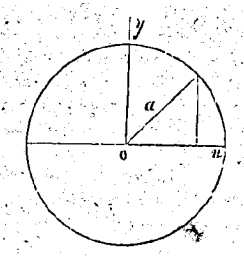


Fig. 13.

de la circonférence du cercle, et ne s'appliquera à aucun autre point du plan, de telle sorte qu'elle représentera ce cercle aussi bien que le tracé lui-même. Il n'est pas besoin de dire qu'une semblable transformation, en permettant d'appliquer le calcul à la recherche de toutes les propriétés d'une courbe, sera d'une grande utilité; mais la proposition réciproque est également vraie, comme nous l'avons vu en parlant des équations. Ainsi, pour l'équation $x^2+y^2=a^2$, on comprendra infiniment mieux les relations qui existent entre les deux variables, en sachant qu'elle représente un cercle, qu'en ne l'envisageant que sous sa forme purement algébrique.

Prenons un exemple encore plus simple :

Pour une droite passant par le point o, on aurait de même pour le rapport constant de deux perpendiculaires abaissées d'un point quelconque de la droite sur deux axes $o\,x$, $o\,y$, $\frac{y}{x}=a$; le rapport constant entre deux quantités sera donc représenté par une ligne droite, comme la valeur constante de la somme de deux carrés par un cercle.

Ainsi donc, grâce au génie de Descartes, la science des grandeurs et la science de l'étendue étant venues se confondre et se prêter un mutuel appui, une loi peut se traduire par une courbe, ou réciproquement une courbe représenter une relation entre deux quantités.

Remarquons que le système d'éléments que nous venons d'indiquer comme propres à indiquer la situation d'un point n'est pas le seul qui puisse être adopté. En général, il faut rapporter tout objet dont on veut assigner la position à d'autres objets connus, en fixant la grandeur des éléments géométriques quelconques par lesquels on le conçoit lié à ceux-ci. Ces éléments, qu'on appelle les *coordonnées* de chaque point considéré, sont nécessairement au nombre de deux si l'on sait d'avance dans quel plan le point est situé, et au nombre de trois s'il peut se trouver indifféremment dans une région quelconque de l'espace. Autant de constructions différentes on pourra imaginer pour déterminer la position d'un point, soit sur un plan, soit dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'espace, autant on conçoit de systèmes de coordonnées distinctes, qui sont par suite susceptibles d'être multipliés à l'infini.

C'est ainsi qu'outre le système de coordonnées rectilignes décrit précédemment et le plus souvent employé à cause de sa simplicité, on fait encore usage, dans quelques cas, des coordonnées polaires. La position d'un point sur un plan est alors déterminée par sa distance à un point fixe, et la direction de cette distance estimée par l'angle plus ou moins grand qu'elle fait avec une droite fixe.

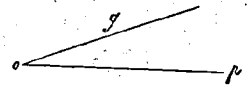


Fig. 14.

D'un point de vue général, si l'on suppose qu'un point se meuve sur un plan sans que son parcours soit déterminé d'aucune manière, ses deux coordonnées sont deux variables indépendantes; sa position est déterminée absolument si l'on donne à la fois les valeurs de ses deux coordonnées, distinctement l'une de l'autre; enfin, quand le point doit se trouver sur une ligne définie, la valeur d'une seule coordonnée suffit pour fixer entièrement sa position. La seconde coordonnée est donc alors une fonction déterminée de la première, ou, en d'autres termes, il doit exister entre elles une certaine *équation*, d'une nature correspondante à celle de la ligne sur laquelle le point est assujetti à rester. Cette équation détermine la courbe, le *lieu géométrique* des points qui satisfont aux conditions qu'elle exprime.

C'est ainsi qu'on peut établir d'une manière générale la nécessité de la représentation analytique des lignes par les équations, et inversement qu'on peut mettre en évidence la nécessité géométrique de la représentation d'une équation à deux variables par une certaine ligne, qui aura pour destination scientifique de fixer immédiatement l'attention sur la marche générale des solutions de l'équation, qui se trouvera ainsi notée de la manière la plus sensible et la plus simple.

On fait aujourd'hui dans la pratique de l'expérimentation mécanique un fréquent et très-utile usage de la représentation des lois par des courbes. Celles-ci fournissent avec facilité tous les résultats en vue desquels l'expérimentation a été combinée, tandis que la complication de la loi eût pu rendre son expression algébrique très-difficile ou même impossible à obtenir et à utiliser.

De l'expression des courbes par des équations résulte la classification naturelle des lignes comme celle des équations, en raison du degré, les plus simples étant celles du degré le moins élevé. C'est ainsi qu'on rencontre, pour le premier degré, la ligne droite; pour le second degré, le cercle et les sections coniques, c'est-à-dire l'ellipse, l'hyperbole et la parabole.

Les équations étant, en coordonnées rectangulaires :

Pour le premier degré $ax + by + c = 0$.

Pour le second $ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f = 0$ qui se réduisent par un choix convenable des coordonnées aux formes simples.

$y^2 + m^2 x^2 = p$ (ellipse, fig. 15).

$y^2 - m^2 x^2 = p$ (hyperbole, fig. 16).

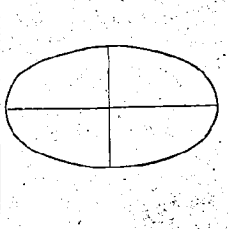


Fig. 15.

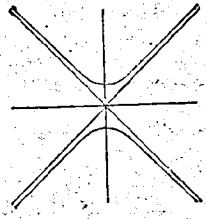


Fig. 16.

$y^2 = 2px$ (parabole, fig. 17).

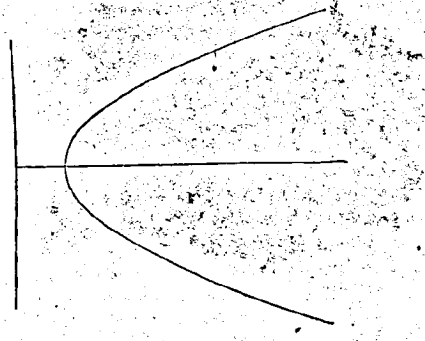


Fig. 17.

Ce qui donne une importance réelle à cette classification des courbes, c'est qu'elle répond, au moins dans le système des coordonnées rectilignes, à un fait géométriquement très-saillant. En effet, on prouve facilement que dans un tel système l'équation du premier degré appartient exclusivement à la ligne droite. D'après cela, si on voulait trouver les points de rencontre d'une ligne droite avec une courbe d'un degré déterminé, on aurait à éliminer l'une des deux variables entre une équation de ce même degré et une équation du premier. L'équation finale donnant les abscisses, ou bien les ordonnées des points de rencontre, serait donc au plus du même degré que l'équation de la courbe proposée; d'où il résulte que le plus grand nombre de points dans lesquels une ligne droite puisse rencontrer une courbe est précisément égal au degré de l'équation de cette courbe (et, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exemple, il est infini quand l'équation est transcendante). Il y a donc ici une très-heureuse corrélation de l'algèbre avec la géométrie; car, naturellement on aurait pu prendre *à priori* pour principe *géométrique* de la classification des courbes le nombre maximum des points dans lesquels elles sont coupées par une ligne droite.

Newton a fait l'étude des courbes du troisième degré, et on a cherché à en faire la classification. Mais le nombre d'espèces différentes croissant très-rapidement avec le degré de l'équation, on a renoncé à des études qui ne menaient qu'à des résultats de peu d'intérêt, pour faire de la géométrie générale, afin de résoudre pour toutes les courbes en même temps les problèmes que l'on se propose habituellement pour chacune d'elles.

Si nous avions un autre but que d'indiquer simplement ici le domaine de chaque science, nous devrions entrer, comme on le fait dans l'enseignement, dans des détails plus étendus relativement à l'étude des courbes du second degré, et les prendre, comme on le fait avec grande raison dans l'enseignement, comme sujet des applications des méthodes de la géométrie générale. Nous ne pouvons, sans sortir de notre cadre, entrer dans des développements pour lesquels nous sommes forcés de renvoyer à des traités spéciaux.

Insistons sur le point de vue tout à fait général que comporte cette partie de la science. De même dans la théorie générale des équations on ne s'attache plus, en algèbre, à aucune équation déterminée, de même il doit être de l'esprit de la géométrie générale d'étudier, pour toutes les formes possibles, tous les problèmes de relation de forme et de mesure qui sont possibles.

On peut, en effet, ramener les résultats de l'étude des équations à deux variables, et des courbes qu'elles représentent, à la solution d'un certain nombre de problèmes. La marche à suivre, dans chaque cas, constitue une théorie spéciale qui indique la manière d'opérer pour une équation quelconque, mais se réduit toujours à l'application d'une même méthode algébrique, absolument comme la recherche des points d'intersection des deux courbes se réduit à effectuer entre leurs équations l'opération algébrique de l'élimination. On distingue les onze théories principales dont suit l'énumération, et qui se rapportent à l'étude des propriétés des courbes, à la détermination des lignes et des points dont les rapports avec ces courbes sont les plus remarquables :

1° Tangentes, ou droites ayant avec une courbe un élément commun. — Normales ou perpendiculaires sur la tangente au point de contact.

2° Asymptotes, ou droites s'approchant de certaines courbes, mais ne les rencontrant qu'à l'infini.

3° Courbes enveloppes. — Lieu des intersections successives de toutes les courbes engendrées par une équation $f(x, y, a) = 0$ dans laquelle a est un paramètre variable.

4° Courbures et développées. — Le centre de courbure d'une courbe est le centre du cercle, dit cercle osculateur, qui a deux éléments communs avec la courbe, et dont la courbure est par suite la même que celle de la courbe au point commun. Ce centre de courbure se confondant par suite avec le point de rencontre de deux normales infiniment voisines, le lieu des centres de courbure se confond avec l'enveloppe des normales à la courbe.

5° Centres. Point tel que toutes les droites qui y passent et rencontrent la courbe en deux points y sont divisées en deux parties égales.

6° Diamètres. — Lieux des points milieux d'une série de cordes parallèles.

7° Axes.—Droites qui partagent une courbe en deux parties symétriques.

8° Foyers et directrices. — Points et droites jouissant de propriétés spéciales surtout au point de vue du tracé des courbes.

9° Points singuliers. — Points séparés des courbes continues, etc.

10° Conditions nécessaires à la détermination d'une courbe d'espèce donnée.

11° Similitude des courbes.

Deux autres théories complètent, au point de vue fondamental de la mesure, l'étude des courbes. Ce sont celles qui ont pour but :

1° La rectification des arcs de courbe;

2° La quadrature des surfaces planes enveloppées par des courbes.

On voit que la représentation des lignes et des surfaces par des fonctions algébriques conduit à une féconde série de conséquences géométriques déduites, découvertes, car elles ne perdent pas leur caractère géométrique à l'aide de l'emploi des ressources de l'analyse.

GÉOMÉTRIE GÉNÉRALE A TROIS DIMENSIONS.

L'étude des surfaces se compose d'une suite de questions générales exactement analogues à celles qu'on se propose en traitant des lignes. Il n'y a d'autre différence analytique que d'envisager des équations à trois variables au lieu d'équations à deux variables, un point étant évidemment déterminé par l'intersection de trois plans parallèles à trois plans qui se coupent.

L'équation du premier degré est celle du plan. Celle du second degré représente l'ellipsoïde, l'hyperboloïde ou le paraboloïde, surfaces cour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bes dont la connaissance parfaite a fourni le point de départ à nombre de progrès scientifiques.

Quant à l'étude générale des surfaces à l'aide des ressources de l'algèbre, c'est dans le grand ouvrage de Monge qu'il faut étudier la théorie des plans tangents, des contacts de surfaces, etc., pour apprécier toute la généralité des méthodes analytiques, et en étudier notamment les applications aux surfaces du second degré qui sont d'un emploi fréquent dans l'art des constructions. Nous donnerons seulement ici les résultats de la théorie relativement aux sections principales et aux lignes de courbure qui ont des applications pratiques importantes.

Euler a le premier établi que, parmi toutes les sections normales faites par des plans passant par un même point d'une surface et la normale en ce point, on en pouvait distinguer deux principales, dont la courbure, comparée à celle de toutes les autres, était un *minimum* pour la première et un *maximum* pour la seconde, et dont les plans présentent cette circonstance remarquable d'être constamment perpendiculaires entre eux. Il a fait voir ensuite que, quelle que fût la surface étudiée et sans qu'il fût même nécessaire de la définir, la courbure de ces deux sections principales suffisait seule pour déterminer complétement celle d'une autre section normale quelconque, à l'aide d'une formule invariable et très-simple, d'après l'inclinaison de plan de cette section sur celui de la section de plus grande ou de plus petite courbure.

On voit, d'après cela, comment les géomètres ont pu parvenir à la représentation la plus exacte des surfaces à l'aide de leurs *lignes de courbure*, c'est-à-dire des lignes déterminées par la condition que deux normales consécutives à la surface soient toujours comprises dans un même plan. En chaque point d'une surface quelconque, il existe deux de ces lignes perpendiculaires entre elles, et dont les directions coïncident à leur origine avec celles des deux sections normales *principales* considérées ci-dessus. La détermination de ces lignes de courbure s'effectue très-simplement sur les surfaces les plus usuelles, telles que les surfaces cylindriques, coniques et de révolution, et est très-utile pour la représentation des surfaces dans les arts du dessin.

III. MÉCANIQUE.

La mécanique est la science du mouvement et des causes du mouvement.

La mécanique rationnelle est fondée sur les principes qui ressortent de la nature même du mouvement, idée première comme celle de la forme; sur une des séries de notions fondamentales les plus certaines que nous formulons d'après les résultats de l'expérience, et sur l'application de l'algèbre et de la géométrie à cette grandeur; d'où suit l'interprétation des formules algébriques et des théorèmes de géométrie, qui deviennent les expressions de relations mécaniques.

Les conceptions sur lesquelles repose la mécanique sont : celle des mouvements uniformes ou variés dans un temps qui, lui-même, ne peut s'apprécier que par des déplacements identiques des corps; celle de la vitesse et celle des forces.

On appelle *forces* les causes de mouvement, sans s'inquiéter aucunement, en mécanique, de la nature des forces; ainsi deux forces qui impriment à un même corps libre le même accroissement de vitesse, la même accélération en un même temps, sont regardées comme identiques, quelque différente que puisse être leur origine.

Cela posé, le problème général de la mécanique rationnelle consiste à déterminer l'effet que produiront sur un corps donné différentes forces quelconques agissant simultanément, lorsqu'on connaît le mouvement simple qui résulterait de l'action isolée de chacune d'elles. Toute la mécanique porte donc essentiellement sur la combinaison des forces, soit que, de leur concours, il résulte un mouvement dont il faut étudier les diverses circonstances, soit que, par leur neutralisation mutuelle, le corps reste en repos, se trouve dans un état d'équilibre dont la science doit fixer les conditions.

Inertie. — La définition des forces entraîne, comme conséquence, la loi d'inertie, à savoir : qu'un corps matériel en repos reste en cet état tant qu'il ne survient aucune action extérieure, qu'aucune force n'agit sur lui; et s'il se meut sans qu'aucune nouvelle force lui soit appliquée, son mouvement sera rectiligne et uniforme.

Il ne faut pas conclure de cette loi qu'il n'y a jamais lieu de tenir compte de la constitution d'un corps pour évaluer l'effet des forces extérieures qui agissent sur lui, mais seulement que la matière dont il est formé est considérée comme entièrement passive, afin de n'avoir à tenir compte que de l'action de forces convenablement déter-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

minées, pour établir les lois abstraites de l'équilibre et du mouvement.

Mesure des forces. — Nous avons dit qu'une force était une cause de mouvement. Quand le mouvement du corps est empêché par un obstacle insurmontable, la force se manifeste par une pression ou une traction sur l'obstacle. Les efforts dont sont capables des agents quelconques dans une direction et en un point déterminé sont par suite toujours comparables et peuvent se mesurer par des poids, ou mieux à l'aide d'instruments à ressorts tels que le *dynamomètre* de Regnier, certains pesons du commerce, etc., qui ont été tarés ou vérifiés à l'avance, en y suspendant des poids *étalons*. Ainsi les forces sont toujours exprimables en unités de poids, en *kilogrammes* par exemple, dont le nombre représente la grandeur de la force, et qui, comme tout nombre, pourra être représenté par des longueurs de ligne droite. — Cette manière d'évaluer les forces fait bien comprendre la loi, établie comme loi fondamentale par Newton, et confirmée par tous les résultats de la science, que *l'action est égale et contraire à la réaction*, c'est-à-dire que toujours, comme on le voit dans un ressort, le corps qui presse avec une certaine force est pressé par une force égale de direction contraire.

Indépendance des mouvements. — Le principe de l'indépendance des mouvements, dit M. A. Comte, considéré sous le point de vue le plus simple, se réduit à ce fait général, que tout mouvement rectiligne et uniforme exactement commun à tous les corps d'un système quelconque n'altère pas les mouvements particuliers de ces différents corps les uns à l'égard des autres, mouvements qui continuent à s'exécuter comme si l'ensemble du système était immobile.

Cette loi est encore fondée sur l'expérience de chaque jour; c'est ainsi que dans le mouvement général d'un bateau, quelque rapide qu'il puisse être, et suivant quelque direction qu'il ait lieu, les mouvements relatifs des objets placés sur le bateau continuent à s'exécuter exactement comme s'il était immobile, bien qu'ils se composent avec le mouvement total pour un observateur qui n'y participe pas.

Ce principe conduit immédiatement à établir la proportionnalité des forces aux accélérations qu'elles produisent. On arrive ainsi par deux conceptions de la force résultant de ses effets à l'état statique ou à l'état dynamique, à établir les règles de la composition des forces, le théorème dit du parallélogramme des forces. Ces deux routes conduisent aux différentes parties de la science mécanique.

Telles sont les notions fondamentales sur lesquelles repose la mécanique rationnelle; indiquons maintenant les développements de cette science.

Divisions de la science. — On divise, en général, la mécanique en trois parties, celle qui traite des conditions d'équilibre ou la *statique*, la *cinématique* ou l'étude des mouvements mêmes considérés indépendamment des causes de mouvement, enfin l'analyse des effets des forces ou la *dynamique*. La statique offrant en général des questions plus faciles à traiter que la dynamique est ordinairement étudiée la première. Cette facilité résulte de ce que, dans les questions de statique, on fait *abstraction du temps*, c'est-à-dire que le phénomène à étudier étant considéré comme permanent, ou instantané si l'on aime mieux, on n'a pas besoin d'avoir égard aux variations que les forces du système peuvent éprouver, considération qui complique essentiellement les questions de dynamique.

Nous devons, toutefois, faire remarquer qu'il y a dans cet ordre un inconvénient, c'est que si les études sont bornées aux premiers éléments de la science, on n'en garde que des notions incomplètes, quelquefois plus dangereuses qu'une ignorance absolue. Aussi cet ordre a-t-il été modifié par plusieurs maîtres de la science, surtout lorsque l'étude de la mécanique doit être utilisée pour acquérir la science des machines.

STATIQUE.

La statique a pour objet la détermination des conditions d'équilibre d'un système, conditions qui, en dernière analyse, sont représentées par des équations qui indiquent que le corps ne pourra prendre ni mouvement de translation dans aucune direction, ni mouvement de rotation dans aucun sens, ce qui conduit aux six équations qui expriment ces deux conditions pour trois plans rectangulaires, et par suite pour des plans quelconques.

Si l'on représente les forces par des droites proportionnelles à leur grandeur, il est clair que les considérations géométriques seront parfaitement convenables pour résoudre les questions de statique synthétiquement. C'est surtout ce qu'a fait, avec grand succès, M. Poinsot à l'aide de l'introduction du couple, système composé de deux forces égales, opposées et parallèles, auquel une force unique ne saurait faire équilibre. Ces couples introduisant la considération de systèmes susceptibles d'engendrer la rotation, comme les forces concourantes répondent aux mouvements de translation, conduisent facilement aux conditions d'équilibre.

La statique peut se réduire au contraire à une pure question analytique, comme l'a fait voir le grand géomètre Lagrange, en établissant d'abord *à priori* le principe des vitesses virtuelles qui fournit une équation renfermant implicitement toutes les équations qui doivent être satisfaites pour l'équilibre.

On appelle *vitesse virtuelle* un déplacement possible infiniment petit du point d'application d'une force, estimé suivant la direction de cette force.

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

Voici comment Lagrange pose, dans toute sa généralité, le principe des vitesses virtuelles sur lequel il a fait reposer le grand édifice de sa *Mécanique analytique* :

Si un système quelconque de tant de corps ou de tant de points que l'on veut, tirés chacun par des puissances quelconques, est en équilibre, et qu'on donne à ce système un petit mouvement quelconque, en vertu duquel chaque point parcourra un espace infiniment petit, la somme des puissances multipliées chacune par l'espace que le point auquel elle est appliquée parcourt suivant la direction de cette même puissance (projeté sur cette puissance) sera toujours égale à zéro, en regardant comme positifs les petits espaces parcourus dans le sens des puissances, et comme négatifs les espaces parcourus dans un sens opposé (dont la projection tombe en avant ou en arrière du point d'application).

Ce principe peut être démontré *à priori* comme il suit : Considérons une poulie mobile, soutenue par deux cordons et supportant un poids P; il est bien évident que les deux cordons seront tendus avec une force égale à $\frac{1}{2}$ P. Que l'on monte sur le même axe deux poulies semblables, et qu'on fasse passer le même cordon sur ces poulies et sur deux autres poulies fixes, la tension de chacun des quatre brins du cordon sera $\frac{1}{4}$ P. Et en général, dans ce système appelé *mouffle*, composé de deux systèmes de poulies, les unes attachées à un point fixe, les autres mobiles, embrassées par une même corde, dont l'une des extrémités est fixement attachée et l'autre est tirée par une puissance, celle-ci est au poids porté par le système mobile comme l'unité est au nombre de cordons qui y aboutissent. Nous faisons abstraction, bien entendu, de tout frottement et de toute roideur de la corde dans ce raisonnement, et alors il est bien évident qu'à cause de la tension uniforme de la corde dans toute sa longueur, le poids est soutenu par autant de puissances égales à celle qui tend la corde qu'il y a de cordons qui soutiennent les poulies mobiles, puisque ces cordons sont tous parallèles, également tendus et agissent dans des circonstances identiques.

Maintenant, supposons que chaque force qui agit sur le système soit remplacée par l'action d'un même poids agissant par l'intermédiaire de mouffles, d'un nombre de poulies convenable, dont les points fixes sont extérieurs au système et dont la traction s'exerce suivant la direction de cette force. En faisant passer le même cordon sur toutes les mouffles, au moyen de poulies de renvoi, la puissance qui, appliquée à son extrémité mobile, déterminera la tension de tous les cordons, produira, à l'aide de chaque mouffle, des efforts égaux à chacune des forces du système si celles-ci sont à cette puissance unique comme le nombre des cordons est à l'unité. C'est-à-dire que si nous désignons par a, b, c, etc., les espaces infiniment petits qu'un mouvement ferait parcourir aux différents points du système, suivant les directions des puissances qui les tirent (projetés suivant la direction de ces puissances), et par P, Q, R, etc., ces forces, il faudra pour l'équilibre des puissances représentées par les nombres P, Q, R, etc., que l'on ait l'équation :

$$Pa + Qb + Rc \ldots = 0.$$

Autrement le mouvement virtuel correspondrait à un déplacement dans l'intérieur du système, l'équilibre n'aurait pas lieu.

De l'équation fondamentale ci-dessus se déduisent les équations d'équilibre par de simples transformations algébriques.

CINÉMATIQUE PURE.

On donne aujourd'hui ce nom à la science rationnelle dans laquelle on ne s'occupe que des mouvements en eux-mêmes; on la dit *pure* quand on néglige les applications qu'on fait de cette science à la théorie des machines (où elle reçoit son entier développement, comme nous le montrerons).

L'étude directe des mouvements en eux-mêmes comprend d'abord les notions fondamentales que nous avons indiquées au début, la notion de vitesse rectiligne ou angulaire, de mouvement uniforme ou varié; la composition des mouvements et des vitesses.

La notion de la vitesse conduit à celle de l'accélération, et aussi, quand on applique les résultats de l'étude de la cinématique à la dynamique, à la mesure des forces agissant sur les corps en mouvement par les effets qu'ils produisent et non plus par les pressions qu'elles exercent sur un corps fixe, comme dans la statique.

L'idée d'étudier *les mouvements indépendamment des forces*, dit M. Chasles, qui aurait pu être suscitée par l'objet même de la *statique*, où l'on traite *des forces indépendamment des mouvements*, fut émise, il y a trois quarts de siècle, par Carnot alors capitaine du génie, dans son *Essai sur les machines en général*, et reproduite depuis dans la *Géométrie de position*, et dans un rapport à l'Institut. Néanmoins elle semblait rester inféconde, ou du moins négligée, quand Ampère, enfin, qui en comprit le caractère, fit de l'étude *des mouvements considérés en eux-mêmes* le sujet d'une division distincte de la mécanique générale, sous le nom de *Cinématique*, dans son *Essai sur la philosophie des sciences* (année 1834).

« L'illustre auteur associa cette nouvelle branche de la science à la statique, comme formant ensemble les connaissances fondamentales qui doivent précéder l'étude de la dynamique, où l'on traite à la fois *des mouvements et des forces qui les produisent*. La partie de la science qu'il

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

nomma la cinématique a pour objet principal, dans ses développements, l'étude des communications et transformations de mouvement dans les machines, et se rapporte plus particulièrement à la mécanique pratique, tellement que des auteurs la regardent comme la théorie des *mécanismes*. » Ceux-ci rendent possibles les mouvements, objet de cette science.

Tandis que la mécanique rationnelle telle que nous l'avons définie, consiste essentiellement dans l'application du calcul aux facteurs du mouvement des corps, la cinématique est plutôt l'application à la mécanique de la géométrie. Cette science pure doit en effet trouver à s'appliquer à une science dans laquelle se trouvent à étudier des phénomènes d'étendue, de forme. L'application de la science du calcul à la géométrie montre toute l'utilité de la réaction mutuelle de deux sciences.

En dehors de l'ordre logique que l'étude de la cinématique a permis d'introduire dans l'enseignement de la science en étudiant les forces lorsqu'elles agissent sur les corps en mouvement, et non à l'état d'équilibre (ce qui n'est qu'une méthode d'enseignement), les considérations qu'elle embrasse ont conduit à des résultats très-intéressants, d'un caractère essentiellement géométrique ; je veux parler de la théorie des centres et des axes instantanés de rotation, c'est-à-dire des points et des axes fixes lorsque se produit un mouvement quelconque, ainsi ramené, en chaque instant, à être un mouvement de rotation ; ce qui conduit simplement à la solution de problèmes difficiles.

En même temps apparaît un fait bien curieux, c'est la réaction inverse de la mécanique sur la géométrie, d'une science pure qui devait fournir et a fourni en effet de brillants théorèmes en s'appliquant à l'autre, de telle sorte que les progrès de la *géométrie mécanique* sont peut-être plus importants que ceux de la *mécanique géométrique*.

Sauf la description de la conchoïde de Nicomède, on ne trouve pas, dit M. Chasles, une seule question de la géométrie des anciens, où l'on ait à considérer le mouvement d'une figure de forme invariable.

« C'est, dans la solution du problème de la tangente à la cycloïde donnée par Descartes, quand cette courbe faisait le sujet des recherches passionnées des Pascal et des Roberval, que se trouve la première trace des propriétés relatives à une figure en mouvement. Mais il ne s'agit dans cette question que d'un mouvement particulier, celui d'une courbe qui roule sur une courbe fixe. Descartes remarqua que ce mouvement est à chaque instant une simple rotation autour du point de contact actuel des deux courbes. Il s'ensuit que la normale à la trajectoire d'un autre point de la courbe roulante passe par ce point de contact, et que par suite la tangente est déterminée. Solution merveilleuse de simplicité, dans une question qui alors offrait à l'analyse des difficultés. »

Je citerai encore comme appartenant à la géométrie mécanique, la méthode de Roberval pour mener une tangente à une courbe en partant de la notion du tracé de la courbe par le mouvement d'un point, et par suite de la possibilité de décomposer la vitesse considérée comme une résultante de deux composantes dirigées suivant des directions connues, ce qui conduit à la détermination de la tangente par la construction du parallélogramme des vitesses.

Mais ce qu'il faut surtout citer, c'est l'admirable théorème de Guldin pour mesurer la surface ou le volume des solides de révolution en multipliant le contour ou l'aire de la courbe méridienne par la circonférence du cercle décrit par le centre de gravité.

Il me semble, sans entrer dans d'autres détails, que l'on peut apprécier à sa juste valeur, par ce qui précède, l'importance des applications qui peuvent être faites d'une des sciences fondamentales à l'autre, et comment les théorèmes auxquels elles conduisent sont peut-être ceux qui frappent le plus vivement l'esprit, la première fois qu'on les rencontre.

DYNAMIQUE.

Mouvement d'un point. — La question générale de la dynamique consiste à déterminer exactement toutes les circonstances du mouvement composé résultant de l'action simultanée de diverses forces, en supposant connu le mouvement rectiligne que prendrait le mobile sous l'influence exclusive de chaque force envisagée isolément.

Il faut concevoir, sous le point de vue le plus général, que la loi d'un mouvement varié peut être donnée par une équation quelconque pouvant contenir quatre variables dont une seule est indépendante : le temps, l'espace parcouru, la vitesse ou la force. Le problème consistera à déduire de cette équation la détermination distincte des trois lois caractéristiques relatives à l'espace, à la vitesse et à la force en fonction du temps, et par suite en corrélation mutuelle. Il se réduit, dans chaque cas, à une recherche purement analytique, à l'aide des deux formules dynamiques fondamentales qui expriment, en fonction du temps, la vitesse et la force, étant supposée connue la loi relative à l'espace.

Mouvement rectiligne d'un point libre. — La méthode infinitésimale conduit à ces deux formules avec la plus grande facilité.

Il suffit, en effet, pour les obtenir, de considérer, suivant l'esprit de cette méthode, le mouvement comme uniforme pendant la durée d'un intervalle de temps infiniment petit, et comme uniformément accéléré pendant deux intervalles consécutifs. Dès lors, la vitesse, supposée mo-

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

mentanément constante, sera exprimée par la différentielle de l'espace divisée par celle du temps, et la force continue par le rapport entre l'accroissement infiniment petit de la vitesse et le temps employé à produire cet accroissement.

Ainsi, en appelant t le temps écoulé, e l'espace parcouru, v la vitesse acquise et φ l'intensité de la force continue à chaque instant, la corrélation générale de ces quatre variables simultanées sera exprimée analytiquement par les deux formules fondamentales,

$$v = \frac{de}{dt} \qquad \varphi = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2e}{dt^2}.$$

D'après ces formules, toutes les questions relatives à cette théorie préliminaire du mouvement varié se réduiront immédiatement à de simples recherches analytiques.

Mouvement curviligne d'un point libre. — D'après la méthode d'Euler, on obtient les équations de ce mouvement en décomposant directement le mouvement du corps en chaque instant, ainsi que la force continue totale dont il est animé, en trois autres dans le sens des trois axes coordonnés. D'après la loi de l'indépendance des mouvements, le mouvement selon chaque axe étant indépendant du mouvement suivant les deux autres, n'est dû qu'à la composante totale des forces accélératrices parallèlement à cet axe; en sorte que le mouvement curviligne se trouve ainsi continuellement remplacé par le système de trois mouvements rectilignes, à chacun desquels on peut aussitôt appliquer la théorie dynamique préliminaire exposée ci-dessus. En nommant X, Y, Z les composantes totales, parallèlement aux trois axes des x, des y et des z, des forces continues qui agissent à chaque instant dt sur la molécule dont les coordonnées sont x, y, z, on obtient immédiatement les équations :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = X, \frac{d^2y}{dt^2} = Y, \frac{d^2z}{dt^2} = Z.$$

Telles sont les équations différentielles fondamentales du mouvement curviligne d'après lesquelles les questions quelconques de dynamique se réduisent immédiatement à des problèmes purement analytiques, lorsque les données ont été convenablement exprimées.

En considérant d'abord la question générale directe, qui est la plus importante, on se propose, connaissant la loi des forces continues dont le corps est animé, de déterminer toutes les circonstances de son mouvement effectif. Pour cela, de quelque manière que cette loi soit donnée, ou en fonction du temps, ou en fonction des coordonnées, ou en fonction de la vitesse, il suffira, en général, d'intégrer ces trois équations du second ordre, ce qui donnera lieu à des difficultés analytiques plus ou moins élevées, que l'imperfection du calcul intégral pourra souvent rendre insurmontables. Les six constantes arbitraires, successivement introduites par cette intégration, se détermineront d'ailleurs en ayant égard aux circonstances de l'état initial du mobile, dont les équations différentielles n'auront pu garder aucune trace. On obtiendra ainsi les trois coordonnées du point en fonction du temps, de manière à pouvoir assigner exactement sa position à chaque instant, et on trouvera ensuite les deux équations caractéristiques de la courbe qu'il décrit en éliminant le temps entre ces trois expressions.

Si, prenant maintenant en sens inverse la théorie générale du mouvement d'une molécule libre, on se propose de déterminer, au contraire, d'après les circonstances caractéristiques du mouvement effectif, la loi des forces accélératrices qui ont pu le produire, la question sera nécessairement beaucoup plus simple sous le rapport analytique, puisqu'elle ne consistera essentiellement qu'en des différentiations; car il sera toujours possible alors, par des recherches préliminaires plus ou moins compliquées, qui pourront ne porter que sur des considérations purement géométriques, de déduire, de la définition primitive du mouvement proposé, les valeurs des trois coordonnées du mobile à chaque instant en fonction du temps écoulé; et dès lors, en différentiant deux fois ces trois expressions, on obtiendra les composantes des forces continues suivant les trois axes, d'où l'on pourra conclure immédiatement la loi de la force accélératrice totale, de quelque nature qu'elle soit.

C'est ainsi qu'en astronomie, les trois lois fondamentales trouvées par Képler pour les mouvements des corps célestes qui composent notre système solaire, conduisent à la loi de la gravitation universelle qui devient ensuite la base de toute la mécanique de l'univers.

Mouvement sur une courbe. — Après avoir établi la théorie du mouvement curviligne d'une molécule libre, il est aisé d'y faire rentrer le cas où cette molécule est assujettie, au contraire, à rester sur une courbe donnée.

Il suffit de comprendre alors dans les forces continues auxquelles la molécule est soumise, la résistance totale exercée par la courbe proposée, ce qui permettra évidemment de considérer le mobile comme entièrement libre. Toute la difficulté propre à ce second cas se réduit donc à analyser avec exactitude cette résistance. Or, il faut, à cet effet, distinguer d'abord dans la résistance de la courbe deux parties très-différentes.

La première provient de la pression exercée sur la courbe proposée par les forces accélératrices dont le corps est animé. On l'obtiendra en déterminant la composante de la force totale, suivant la normale à la courbe donnée au point que l'on considère.

La seconde résulte de la tendance perpétuelle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du corps à abandonner la courbe qu'il est forcé de décrire, pour continuer à suivre, en vertu de la première loi fondamentale du mouvement, la direction de la tangente. Cette seconde résistance, à laquelle on a donné le nom de *force centrifuge*, qui se manifeste dans le passage du mobile, d'un élément de la courbe à l'élément suivant, est évidemment dirigée à chaque instant selon la normale à la courbe située dans le plan du cercle osculateur.

Dans un cercle elle a pour expression le carré de la vitesse avec laquelle le mobile décrit le cercle, divisé par le rayon de ce cercle. En combinant ce résultat avec la théorie des rayons de courbure également due à Huyghens, le mouvement pouvant toujours être considéré comme s'effectuant dans le cercle osculateur qui a deux éléments communs avec la courbe, l'expression générale de la force centrifuge est donc, pour toute courbe, égale au carré de la vitesse divisée par le rayon du cercle osculateur.

De la masse des corps.—Remarquons que tout ce que nous venons de dire d'un point matériel s'applique aux corps, en tenant compte de leur masse, de la quantité de matière pondérable dont ils sont composés. Le kilogramme était pris pour unité de force, le mètre pour unité de longueur, l'unité de masse sera fournie par la relation $P=mg$, P étant égal à 1 et g à 9,808. Cette relation est fournie par la proportionnalité des forces aux vitesses et aux masses qui constitue un des principes fondamentaux de la mécanique.

Principe de d'Alembert. — Puisque, par les réactions que les divers corps exercent les uns sur les autres en vertu de leur liaison, chacun d'eux prend un mouvement différent de celui que les forces dont il est animé lui eussent imprimé s'il eût été libre, on peut évidemment regarder le mouvement naturel comme décomposé en deux, dont l'un est celui qui aura effectivement lieu, et dont l'autre, par conséquent, aura été détruit. Le principe de d'Alembert consiste proprement en ce que tous les mouvements de ce dernier genre, ou, en d'autres termes, les quantités de mouvement perdues ou gagnées par les différents corps du système dans leur réaction, se font nécessairement équilibre, par suite des liaisons du système.

En considérant le principe de d'Alembert sous le point de vue le plus philosophique, on peut, dit M. A. Comte, en reconnaître le véritable germe primitif dans la seconde loi fondamentale du mouvement établie par Newton sous le nom d'égalité de l'action et la réaction. Le principe de d'Alembert coïncide exactement, en effet, avec cette loi de Newton, quand on envisage seulement un système de deux corps agissant l'un sur l'autre suivant la ligne qui les joint.

D'après ce principe général, on conçoit que toute question de dynamique pourra être immédiatement convertie en une question de statique, puisqu'il suffira de former, dans chaque cas, les équations d'équilibre entre les mouvements détruits; ce qui donne la certitude de pouvoir mettre en équation un problème quelconque de dynamique, et de le faire ainsi dépendre uniquement de recherches analytiques.

Il en résulte, par suite, que la méthode la plus philosophique pour traiter la dynamique rationnelle consiste à combiner le principe de d'Alembert avec le principe des vitesses virtuelle, qui fournit directement toutes les équations nécessaires à l'équilibre d'un système quelconque. Telle est la combinaison conçue par Lagrange, et si admirablement développée dans sa *Mécanique analytique*, qui a élevé la science générale de la mécanique abstraite au plus haut degré de perfection que l'esprit humain puisse ambitionner sous le rapport logique, c'est-à-dire à une rigoureuse unité, toutes les questions qui sont du ressort de cette science étant uniformément rattachées à un principe unique, d'après lequel la solution définitive d'un problème quelconque ne présente plus nécessairement que des difficultés analytiques.

Mouvement des systèmes matériels. — Tant que l'on ne considère qu'un point mathématique, on ne peut observer que son mouvement de translation suivant une trajectoire quelconque; mais quand on étudie ceux d'un corps, d'un système de points, alors il y a à tenir compte non-seulement des actions des éléments les uns sur les autres, par suite des liaisons du système, mais encore à mesurer le double mouvement produit en chaque instant, savoir : un mouvement de translation de son centre de gravité et un mouvement de rotation autour de ce point.

Inertie de rotation. — Lorsque toute force extérieure cesse d'agir sur un corps, il ne possède pas pour cela un simple mouvement de translation, il est animé en même temps d'un mouvement de rotation. Poinsot a formulé synthétiquement et d'une manière excellente cette intéressante théorie, qui reçoit tant d'applications dans l'étude du mouvement des corps célestes, qui rend parfaitement compte de tous les phénomènes mal analysés jusqu'ici de mouvement de tout corps, de toute molécule libre.

Tout corps qui se meut dans l'espace, en vertu de son inertie, de l'action de forces qui ont cessé d'agir sur lui, possède, en général, à la fois un mouvement rectiligne et uniforme de translation de son centre de gravité et un mouvement de rotation autour de ce centre.

En vertu de l'inertie, le mouvement rectiligne de translation persistera indéfiniment avec une vitesse constante. Le mouvement de rotation continuera de même indéfiniment; mais, au lieu d'être constante, la vitesse du mouvement indéfini de rotation est nécessairement seulement,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

périodiquement constante. Cette vitesse a une valeur minimum et une valeur maximum; à chaque instant elle décroît du maximum au minimum, puis croît du minimum au maximum. La longueur de la période et les valeurs successives de la vitesse pendant sa durée dépendent de la forme du corps considéré, de la disposition de sa masse autour du centre de gravité.

Sphère.—Pour un corps sphérique homogène, le mouvement de rotation a lieu autour d'un *axe constant*. C'est une conséquence de la symétrie parfaite de toutes les parties de la sphère, d'où il résulte que rien ne peut faire changer l'axe spontané de rotation déterminé au premier instant.

Le bras d'inertie r, la distance au centre de gravité, déterminée par la valeur de Σmr^2 du moment d'inertie dont dépend le mouvement de rotation, égal à la somme de produits semblables pour toutes les molécules situées sur une droite passant par le centre de gravité, aura toujours la même valeur pour une sphère. Il n'en est pas de même pour un autre corps, pour un ellipsoïde, par exemple : les diamètres étant inégaux, la valeur de r l'est aussi.

Corps d'une figure quelconque. — On peut déterminer pour tout corps homogène terminé par une surface continue, son *ellipsoïde central* d'après la théorie des moments d'inertie, ellipsoïde dont les trois axes sont inversement proportionnels aux bras d'inertie qui leur correspondent dans le corps; les formules conduisant par tous les points déterminés d'une manière semblable, dans toutes les directions possibles, à une équation du second degré qui est celle d'un ellipsoïde.

Or, le théorème des forces vives et le théorème des aires combinés (voir ci-après) conduisent à démontrer que le plan tangent mené à l'ellipsoïde central, en un instant quelconque du mouvement, au point où l'axe instantané de rotation perce sa surface, est toujours à une distance constante du centre de gravité.

Il en résulte que ce plan conserve une position invariable par rapport à des axes de direction constante qui seraient menés par le centre de gravité; puisque, d'une part, il reste toujours parallèle à lui-même, et que, d'une autre part, il est toujours à la même distance du centre de gravité. Le solide se meut donc de telle manière, que son ellipsoïde touche toujours ce plan, déterminé une fois pour toutes comme nous venons de le dire; et comme son axe de rotation passe à chaque instant par le point de contact de l'ellipsoïde, il s'ensuit que cet ellipsoïde *roule* sur le plan dont il s'agit. La vitesse angulaire avec laquelle s'effectue ce roulement varie d'un instant à un autre, de manière à rester proportionnelle à la longueur du rayon de l'ellipsoïde qui passe par son point de contact avec le plan.

Les effets de l'inertie de rotation se trouvent rendus ainsi parfaitement sensibles, et cet ellipsoïde central étant supposé lié invariablement au corps et tournant avec lui, rend compte de toute sa rotation. On peut supprimer le corps par la pensée et le supposer réduit à son ellipsoïde central. D'où ce théorème : *un corps qui possède un mouvement de rotation n'est soumis à l'action d'aucune force nouvelle, lorsque son ellipsoïde central roule sans glisser sur un seul de ses plans tangents* (mû avec la vitesse rectiligne de translation du centre de gravité du corps); *et la vitesse de ce mouvement est en général seulement périodiquement constante*. Par ces théorèmes, Poinsot a rendu tout à fait palpables les effets produits par l'inertie de rotation et aussi faciles à concevoir que les effets d'inertie qui produisent la translation.

Théorèmes généraux.— Les formules générales de la dynamique permettent d'établir quelques grands principes fort importants par leur généralité, et qui dominent toutes les applications de la science mécanique.

Théorème des forces vives. — L'équation générale qui met en présence les forces vives et le travail des forces qui agissent sur tous les points du système, qui s'exprime par la formule,

$$\Sigma mv^2 - \Sigma mv_0^2 = 2\Sigma \int (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz),$$

les forces étant décomposées suivant les trois axes des coordonnées, est le plus général et le plus fécond en conséquences dans l'étude des phénomènes physiques, pour calculer les effets produits sans avoir besoin de connaître toutes les phases du phénomène. Il sert en outre à créer la science des machines, ce qui se conçoit facilement, l'équation n'ayant plus qu'une interprétation possible dans une machine, chaque point ne pouvant parcourir qu'un chemin déterminé par les liaisons de la machine. Il en résulte que l'équation fondamentale, base que fournit la mécanique rationnelle à l'étude de la mécanique appliquée aux machines, est suffisante pour déterminer toutes les conditions de leur travail.

Principe relatif au mouvement du centre de gravité. — Ce principe peut s'énoncer de la manière suivante :

Le centre de gravité d'un système quelconque se meut de la même manière qu'un point entièrement libre dans lequel serait concentrée toute la masse du système, et auquel on appliquerait des forces égales et parallèles à celles qui sollicitent les différents points. Les actions mutuelles qui s'exercent entre les diverses parties du système sont absolument sans influence sur le mouvement du centre de gravité.

Si, par exemple, on considère un bateau mû par des rames; pour déterminer le mouvement de son centre de gravité il faut supposer que toutes les forces qui proviennent de l'action de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'eau sur les rames et sur le bateau agissent sur un même point matériel ayant même masse que le bateau. Quant aux actions exercées par les rameurs sur les rames, par les pieds des rameurs sur le fond du bateau, etc., il est absolument inutile d'en tenir compte; car ce sont des actions mutuelles entre les points du système considéré.

Principe des aires. — Le principe des aires s'applique aux systèmes qui ne sont sollicités que par l'action mutuelle de leurs différents points. Il s'applique donc essentiellement à l'astronomie, et ne peut avoir d'emploi dans les applications de la mécanique à l'industrie. Voici son énoncé :

Si un système n'est sollicité par aucune force extérieure, que l'on joigne chacun des points matériels qui le composent à un point fixe, la somme des produits des masses élémentaires par les aires respectives que tracent leurs projections sur un plan fixe est proportionnelle au temps. Ce principe s'applique à un système ayant un point fixe, pourvu que l'on prenne le point fixe pour l'origine des rayons vecteurs.

Il s'applique aussi à un corps pesant, pourvu que l'on prenne son centre de gravité pour origine des rayons vecteurs, et que, faisant abstraction du mouvement de ce centre de gravité, on ne considère que la rotation du corps autour de ce point considéré comme fixe.

ASTRONOMIE.

D'après le but que nous poursuivons, nous devons tendre vers les applications des sciences qui trouvent leur emploi dans l'industrie; nous n'avons donc pas à nous arrêter beaucoup sur l'application directe que trouve la mécanique à l'étude des corps célestes, à l'astronomie, ce qui a fait appeler par Laplace *mécanique céleste* la théorie des mouvements des astres. Cependant nous devons dire quelques mots des admirables résultats auxquels la science est parvenue, et qui constituent peut-être le plus beau titre de gloire de l'esprit humain; elle conduit d'ailleurs à des connaissances très-importantes non-seulement pour la vie civile, mais encore pour l'agriculture, et surtout pour la navigation.

Comme nous allons le voir ci-après, la mécanique rationnelle, fondée sur l'étude du mouvement des corps, considérés comme doués des propriétés les plus générales seulement, ne peut suffire dans la pratique de l'industrie, pour l'étude des phénomènes du mouvement des corps; il faut, par l'étude de leur nature physique, tenir compte de leur constitution, combiner une foule de lois complexes qui interviennent simultanément dans la production d'un seul phénomène.

Il n'en est pas de même pour le mouvement des corps célestes : leur action mutuelle étant à chaque instant la cause unique des modifications de leurs mouvements, le problème que nous présentent les corps célestes est complétement soluble à l'aide des ressources qu'offre la mécanique rationnelle. D'où ce résultat bien remarquable, que le mouvement des corps célestes, placés à de si immenses distances de nous, peut être infiniment mieux connu, les périodes en être prévues avec une précision infiniment plus grande que les circonstances du mouvement d'un corps placé à la surface de la terre. C'est ainsi qu'à l'aide du principe des aires Newton remonta des belles observations de Kepler, qui avait précisément mesuré celles-ci pour les corps célestes, à l'admirable loi de la gravitation, la gloire des temps modernes.

Tous les grands travaux dus aux successeurs de Newton ont eu surtout pour objet d'étendre les vérifications et les applications de cette théorie. Ne parlons ici que de celles qui se rapportent à la navigation et à la théorie des éclipses.

Puisque la forme de la trajectoire, la vitesse, en un mot toutes les lois du mouvement sont déterminées pour chaque astre, il est possible de calculer les positions que chacun d'eux occupera à des époques déterminées. De là la publication de la *Connaissance des temps*, qui fournit à l'avance aux marins la position relative de plusieurs astres à certains jours et à certaines heures de l'année, en un lieu quelconque du globe, à Paris, par exemple. Le navigateur a ainsi, par une observation, le moyen de déterminer l'heure à Paris, pendant que le passage du soleil au méridien lui fournit le midi, et par suite, l'heure du lieu qu'il occupe; d'où se déduit la longitude du lieu où il se trouve par la différence des heures.

Lorsque deux astres doivent être placés de telle sorte que l'un se trouve dans le cône d'ombre projeté par l'autre, éclairé par le soleil, les calculs astronomiques permettront de déterminer à l'avance l'étendue et la durée de l'éclipse pour des points déterminés du globe.

La méthode qui a conduit à ces admirables résultats est précisément celle qui peut conduire le plus sûrement aux découvertes des lois des phénomènes physiques. L'homme, dit M. Lamé, pourra découvrir tous les secrets de la nature, en s'attachant à suivre, dans l'étude de chaque nouvelle classe de phénomènes, la marche progressive de l'astronomie, marche si bien réussie, savoir : observer et expérimenter les faits, dans toutes les circonstances réalisables; coordonner ces expériences et ces observations, de manière à les grouper sous un certain nombre de lois, puis, le calcul aidant, diminuer successivement le nombre de ces lois, en les faisant rentrer les unes dans les autres, pour arriver finalement à une seule loi, qui sera le *principe partiel* de la classe de phénomènes étudiée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi pensent et travaillent, ont pensé et travaillé, nos chimistes et nos physiciens, nos géologues et nos minéralogistes. Les travaux de ces illustres savants ont établi un nombre fini de lois, homologues de celles de Képler, mais plus complètes, en ce sens qu'elles ne font pas abstraction des perturbations, qu'elles signalent elles-mêmes leurs écarts et leurs anomalies : sortes de jalons qui serviront de guides lorsqu'il s'agira de fondre les principes partiels de toutes les sciences en un dernier principe seul véritablement universel, dont l'attraction newtonienne ne sera que le corollaire le plus simple, ou celui qui devait être découvert le plus facilement.

DE L'ENSEMBLE DE LA SCIENCE MATHÉMATIQUE.

Nous pouvons déduire du court exposé que nous venons de faire de l'esprit des principales théories qui composent les sciences mathématiques, les principaux délinéaments de cette philosophie première qu'à l'exemple de Descartes nous avons cherché à indiquer, et qui comprend, au point de vue de son utilité, la théorie des connaissances que l'homme peut acquérir, connaissances indispensables pour que le travail industriel, la modification de la nature par l'action de l'homme, soit possible.

La notion scientifique par excellence est celle de *mesure*. Les phénomènes ne sont que décrits, que catalogués tant que l'idée de mesure n'a pas été introduite dans leur étude. Bien entendu que nous entendons parler ici de *mesure* dans l'acception la plus générale du mot, que nous ne parlons pas seulement du cas où elle est directe, mais de tous ceux où elle peut être obtenue indirectement, par les relations d'un ordre quelconque des divers éléments du phénomène avec la grandeur à déterminer.

C'est grâce à cette notion de mesure que les lois des phénomènes peuvent être considérées comme des relations exprimées par des quantités ; c'est ainsi, comme nous l'avons vu en géométrie analytique, que les rapports de position, qui paraissent d'un ordre tout spécial, peuvent être remplacés par des rapports entre des quantités ; qu'en un mot les rapports entre les grandeurs liées entre elles dans un phénomène, qui varient en même temps, sont *fonction* les unes des autres, sont représentées par une équation entre des quantités.

L'important progrès qui fait des équations l'expression des lois des phénomènes géométriques et mécaniques fait comprendre toute l'importance : 1° des sciences de calcul qui traitent des expressions possibles des fonctions, de la théorie des équations, des méthodes à suivre pour déduire les quantités inconnues de l'expression de leurs rapports avec des quantités connues ; 2° du calcul infinitésimal qui, en permettant de procéder par l'étude de la loi de continuité d'un phénomène, est le plus puissant instrument que le génie de l'homme ait découvert pour établir la loi complète qui règle les variations simultanées de diverses quantités.

Après l'étude des sciences du calcul, de la mathématique pure, que l'on doit considérer, à proprement parler, comme une extension de la logique, comme l'ensemble des conceptions de l'intelligence humaine s'appliquant à prévoir la succession des phénomènes, on doit naturellement passer à l'étude des corps de la nature, à ce qu'ils offrent de plus général.

Les corps de la nature considérés en eux-mêmes sont essentiellement définis par l'*étendue*, considérés par rapport à d'autres dont les distances varient, par le *mouvement*.

Ces deux abstractions, l'étendue base de la géométrie, le mouvement base de la mécanique, comparables à la notion de quantité base des sciences de calcul, pour l'universalité de leur application à tous les corps de la nature, forment avec celle-ci les sciences mathématiques ou sciences par excellence. Bien que l'esprit humain emprunte à l'expérience des notions, celles-ci conçues abstraitement sont telles que, de déduction en déduction, l'esprit humain a pu les faire servir de base à des sciences étendues et d'une exactitude égale dans toutes leurs conséquences à celle de la science du calcul.

Pour étudier d'une manière générale la géométrie et la mécanique, il faut parvenir à donner une forme algébrique aux relations qui se présentent sous une forme concrète et qui ne peuvent être considérées comme formant partie d'une science complète qu'autant que tous les progrès de la théorie des fonctions viennent y trouver une application. Mais pour obtenir ce résultat, il faut d'abord étudier directement les principes nécessairement spéciaux de ces sciences, puis découvrir ensuite l'interprétation concrète des résultats généraux de la science du calcul pour chaque science particulière ou inversement.

Nous avons indiqué comment la géométrie se composait d'abord de géométrie spéciale ou géométrie des anciens, dans laquelle les principes étaient établis directement ; c'est en partant de ces principes et par des méthodes géométriques spéciales, c'est-à-dire sans s'élever à la compréhension de l'identité des rapports géométriques avec les rapports algébriques, que les anciens étaient arrivés à la solution d'un nombre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

important de problèmes relatifs à certaines lignes.

Dans la géométrie générale ou analytique constituée par les modernes, grâce au génie de Descartes, les lignes et leurs propriétés peuvent être étudiées d'une manière générale; les équations à deux variables trouvent leur interprétation dans les lignes, celles à trois variables dans les surfaces; les questions relatives aux tangentes, aux longueurs des arcs, à la surface des aires, etc., répondent à des formules générales, et chaque cas particulier donne lieu à effectuer un calcul déterminé.

Dans la mécanique, nous avons trouvé la même division, c'est-à-dire qu'il a fallu d'abord établir les principes fondamentaux des phénomènes auxquels le mouvement donne lieu, à l'aide de l'expérience. Ce n'est qu'après les avoir établis qu'il a été possible de chercher à formuler sous forme algébrique les lois des phénomènes. Ces séries de déductions basées sur les premiers principes, et conduisant à l'établissement des théorèmes généraux, constituent la mécanique rationnelle, l'ensemble des lois générales toujours vérifiées dans les phénomènes de mouvement.

Nous avons remarqué aussi que la mécanique venait emprunter des secours à la géométrie, non-seulement parce que le déplacement du mobile venait donner naissance à une courbe qui pouvait être étudiée par les méthodes géométriques, mais encore parce que les propriétés géométriques venaient se traduire en relations mécaniques et inversement; d'où résultaient deux extensions logiques des deux sciences pures.

Remarquons que si on doit bien apprécier les secours que le calcul apporte aux diverses sciences, il ne faut pas exagérer toutefois la vertu des formules et croire qu'il n'y a de progrès que dans le maniement des signes algébriques. C'est ce qu'un des plus grands savants du siècle, Poinsot, explique très-bien dans le passage suivant :

« Ce n'est point dans le calcul que réside cet art qui nous fait découvrir, mais dans cette considération attentive des choses, où l'esprit cherche avant tout à s'en faire une idée, en essayant, par l'analyse proprement dite, de les décomposer en d'autres plus simples, afin de les revoir ensuite comme si elles étaient formées par la réunion de ces choses simples dont il a une pleine connaissance. Ce n'est pas que les choses soient composées de cette manière, mais c'est notre seule manière de les voir, de nous en faire une idée, et, partant, de les connaître. Ainsi, notre vraie méthode n'est que cet heureux mélange de l'analyse et de la synthèse, où le calcul n'est employé que comme un instrument. » (*Théorie nouvelle de la rotation des corps*, p. 30-31.)

« Gardons-nous de croire qu'une science soit faite quand on l'a réduite à des formules analytiques. Rien ne nous dispense d'étudier les choses en elles-mêmes, et de nous bien rendre compte des idées qui font l'objet de nos spéculations. N'oublions point que les résultats de nos calculs ont presque toujours besoin d'être vérifiés d'un autre côté, par quelque raisonnement simple ou par l'expérience. Que si le calcul seul peut quelquefois nous offrir une vérité nouvelle, il ne faut pas croire que sur ce point même l'esprit n'ait plus rien à faire; mais, au contraire, il faut songer que cette vérité *étant indépendante des méthodes ou artifices qui ont pu nous y conduire*, il existe certainement quelque démonstration simple qui pourrait la porter à l'évidence : ce qui doit être le grand objet et le dernier résultat de la science mathématique. (*Ibid.*, pag. 34.) »

De ce que la géométrie et la mécanique de la science mathématique renferment les notions les plus générales, les plus abstraites qu'il nous soit possible d'avoir sur les corps de la nature, on conçoit comment c'est à réduire à des notions du domaine de ces sciences que se bornent les explications des phénomènes que les autres sciences enregistrent. Nous ne voulons pas insister ici sur cet important principe mis en lumière par le puissant génie de Descartes, nous aurons à y revenir plus en détail; mais nous devions la consigner ici pour faire apprécier toute la portée des sciences mathématiques.

Remarquons aussi, en nous plaçant au point de vue principal de ce travail, que ces sciences, essentiellement déductives, n'empruntent à l'observation qu'un petit nombre de vérités que notre esprit voit par intuition et qui, servant de base à de nombreuses déductions, ne sont pas (prises isolément) directement applicables. Elles ne font pas acception de toute la réalité des corps de la nature, mais seulement de quelques notions très-générales, très-abstraites. Les lois fondamentales qu'elles établissent sont nécessairement les plus importantes de toutes; mais elles ne peuvent être appliquées avec certitude aux corps de la nature qu'autant qu'on aura étudié ceux-ci en eux-mêmes, qu'on appliquera aux corps tels que nous aurons reconnu qu'ils existent, à l'aide de tous les moyens d'investigation dont nous pouvons disposer, et non pas seulement aux corps abstraits, simplifiés, définis seulement par des propriétés générales et prédominantes, tels que notre esprit les imagine; il faut reconnaître quels systèmes ils constituent en réalité.

Au point de vue qui nous a fait entreprendre ce travail, nous ne pouvons donc faire suivre l'exposé des sciences mathématiques de l'indication des applications de ces connaissances à la pratique industrielle, avant d'avoir étudié dans les sciences naturelles la nature intime des corps. Passons donc à l'étude de celles-ci; mais remarquons que pour elles la division précédente n'a plus d'objet. Les corps y étant étudiés en eux-mêmes, et non tels qu'une abstraction de notre

EFELRUS - Recherche & Classification numérique

esprit peut nous les représenter, elles fournissent des connaissances qui sont scientifiques si on se place à un point de vue spéculatif, qui sont technologiques si on se place au point de vue de l'application qu'on en peut faire.

Nous réunirons donc l'indication de ces deux études dans ce qui va suivre, et aurons à insister avec un peu plus de détails sur les résultats principaux de la science qui sont intimement liés à la technologie; nous reviendrons ensuite sur les applications des sciences mathématiques aux corps conçus avec toutes leurs propriétés, et verrons que nous parcourrons ainsi le cadre complet des connaissances du savant, de l'ingénieur, du fabricant et de l'ouvrier, qui, au point de vue de l'application, se partagent, par une division bien entendue du travail, l'exploitation de la nature.

IV. PHYSIQUE.

L'homme est en communication avec le monde extérieur par ses sens; ce sont donc ceux-ci qui lui indiquent les modifications de la nature, ses modes généraux d'existence, en établissant tout d'abord des différences capitales entre des phénomènes qu'il perçoit de manière très-différente. C'est ainsi qu'il reconnaît par la vue les phénomènes de la lumière, par la vue et le toucher la forme des corps, par ce dernier seul leur matérialité et aussi les phénomènes de chaleur; enfin par l'ouïe il entend les sons. Cependant ce serait se faire une fausse idée des résultats auxquels ont conduit les recherches des physiciens que de les croire limités à la connaissance des lois des phénomènes qui se révèlent pour ainsi dire d'eux-mêmes à nos sens. Ceux-ci restent nécessairement la seule base possible de nos moyens d'observation; mais leur action, amplifiée par le secours que leur prêtent des découvertes antérieures, vient s'appliquer à l'observation de phénomènes modifiés dans leurs effets, de manière à devenir facilement observables. C'est ainsi, par exemple, que des courants électriques ne nous sont nullement perceptibles par eux-mêmes; ils le deviennent, leur étude fournit la base d'intéressantes théories, et conduit à de curieuses découvertes, lorsqu'on rend mobiles les corps que traversent ces courants, lorsqu'ils peuvent obéir à l'action de ces courants.

C'est d'après les résultats de la science, d'après une étude de la nature bien plus complète que ne l'indique la série des phénomènes perceptibles à première vue par les sens, que peut s'établir la classification des modes généraux d'existence des corps dont l'étude est l'objet de la physique.

On établit les sept divisions suivantes dans la physique :

I. *Constitution des corps.* — Corps solides. — Ténacité. — Malléabilité. — Compressibilité. — Cristallisabilité. — Corps amorphes. — Liquides. — Gaz.

II. *Pesanteur.*

III. *Chaleur.* — Mesure de la chaleur. — Lois de propagation. — Effets de la chaleur. — Production de la chaleur.

IV. *Électricité.* — Statique. — Dynamique.

V. *Magnétisme et électro-magnétisme.*

VI. *Acoustique.* — Production du son. — Sa nature. — Lois de sa propagation.

VII. *Lumière.* — Réflexion. — Réfraction. — Double réfraction. — Polarisation. — Théorie des ondulations.

But de la science physique. — Nous avons déjà remarqué que les notions, objet de la géométrie et de la mécanique, sont le dernier degré d'abstraction des propriétés inhérentes à la matière auquel notre esprit puisse s'élever; les plus irréductibles auxquelles il puisse parvenir. Il en résulte que l'explication d'un phénomène physique est pour nous complète, lorsque nous sommes parvenus à l'analyser comme d'ordre géométrique ou mécanique, à le mesurer (il n'y a vraiment science que quand ce résultat est obtenu) en vertu des lois de ces deux sciences.

Si l'on considère un instant l'explication d'un des phénomènes qu'étudie la physique, on voit comment il en est ainsi. Le son, par exemple, est un phénomène obscur pour nous, tant qu'il n'est que perçu par l'oreille; il est étudié, analysé, connu pour nous quand nous savons qu'il est produit par le mouvement vibratoire d'une corde tendue, propagé par le mouvement d'ondes formées dans l'air; il est étudié scientifiquement, il est mesuré lorsqu'on connaît l'amplitude, le nombre de vibrations de la corde en une seconde, et enfin la vitesse de propagation des ondes.

On ne saurait aller au delà de cette explication d'un phénomène aussi complexe que paraît le son, et l'on voit qu'elle n'est en réalité que la réduction de ce phénomène à des considérations mécaniques.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En s'élevant au point de vue général, on comprend que les corps en repos ne donnent essentiellement lieu qu'à des considérations géométriques; c'est par l'étendue, la forme, que nous en avons la perception. Les corps en mouvement, ou soumis à l'action de forces qui tendent à produire le mouvement, donnent lieu à des considérations mécaniques.

Toute modification dans l'état d'un corps étant naturellement rapportée dans notre esprit à une cause qui la produit, nous assimilons naturellement ces causes aux causes du mouvement, seule notion claire des modifications de la matière que l'esprit humain puisse concevoir, comme l'a si bien établi le génie de Descartes; la seule, par conséquent, qui puisse être la base de connaissances scientifiques. Nous avons traité avec quelques détails de cette question à l'Introduction du Complément, et montré les belles vérifications que les derniers progrès de la science fournissent aux déductions du philosophe.

Méthode. — L'étude des faits, leur observation multipliée étant la seule base certaine des connaissances dont la déduction puisse tirer des lois plus ou moins hypothétiques eu égard à l'état de la science, c'est évidemment l'expérience qui constitue la principale ressource des physiciens pour l'étude de toutes les questions un peu compliquées. Ce moyen artificiel fondamental consiste toujours à observer en dehors des circonstances naturelles, en plaçant les corps dans des conditions artificielles instituées expressément pour faciliter l'examen de la marche des phénomènes qu'on se propose d'analyser sous un point de vue déterminé, mis de la sorte en relief.

C'est en physique que l'expérimentation atteint son plus haut degré de développement, parce que notre pouvoir de modifier les corps n'y est forcé à aucune sorte de restriction. Sans doute, nous ne pouvons jamais isoler absolument le phénomène à étudier de tout autre, mais on peut le plus souvent approcher de ce but. Il n'en est plus ainsi, comme nous le verrons, pour l'étude des êtres organisés, chez lesquels s'ajoute la nécessité de maintenir l'état de vie et autant que possible l'état normal, ce qui exige un ensemble complexe de conditions.

Après les expériences, la principale base du perfectionnement de la physique résulte de l'application de l'analyse mathématique, d'une manière plus ou moins complète suivant les différents cas, en évitant l'exagération de déductions faites en partant d'expériences insuffisantes, un des écueils de la science moderne.

I. CONSTITUTION DES CORPS.

De la matière.

Les idées les plus abstraites, les plus générales qu'éveillent en nous les corps de la nature, l'étendue, la grandeur, la mobilité, font l'objet, comme nous l'avons vu, des sciences mathématiques.

Il est quelques autres propriétés de la matière, qui, bien que s'appliquant à tous les corps, ne nous apparaissent pas avec le degré d'abstraction des premières : ce sont ces propriétés simples qu'on appelle propriétés physiques.

Si logiquement ces propriétés donnent lieu à des phénomènes réductibles à la mécanique, il faut chercher à analyser leur caractère, à les bien connaître, sans idée préconçue, pour arriver, sans doute possible, à cette réduction. Les corps nous apparaissent sous trois états très-différents, solides, liquides ou gazeux; la première chose à faire est d'analyser leur constitution par l'étude de la manière dont ils résistent au travail mécanique, aux actions de compression, de traction que nous connaissons le mieux. Cette analyse bien faite doit être féconde en résultats pour l'interprétation des divers phénomènes qui apparaissent dans les corps placés dans des positions diverses. Ce doit être la première étude dont doit s'occuper le physicien.

Corps solides.

Les corps solides se présentent à nous doués d'un certain nombre de propriétés qui permettent d'en concevoir nettement la structure, et inversement par la connaissance des causes de cette structure de prévoir un certain nombre de phénomènes qui dépendent de celle-ci, et sont de la plus grande importance pour la pratique.

Porosité. — Les corps sont composés de parties non contiguës laissant entre elles des intervalles plus ou moins apparents. C'est ce que l'expérience démontre de bien des manières.

La notion de porosité, fournie par la vue de parties sensibles, écartées entre elles de distances appréciables, conduit à la notion de la structure des corps, considérés comme composés de parties extrêmement petites, écartées entre elles de distances non appréciables, tenus en équilibre par l'action de forces.

L'existence de l'atome extrêmement petit, mais indivisible propre à chaque corps simple, est démontrée par la partie de la physique générale qui a pris depuis un siècle un très-grand développement, et constitue une science importante, par la chimie.

De la cohésion. — La force qui rend adhérentes entre elles les molécules des corps solides, celle qui résulte de l'attraction mutuelle des molécules de la matière à des distances infiniment petites, est rendue sensible par la ténacité des corps solides, par la résistance qu'ils opposent à la rupture.

La mesure de la ténacité est fort importante pour les arts industriels, et constitue la part la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus importante de l'étude d'un corps solide au point de vue de l'usage qu'on en peut faire.

Élasticité. — Lorsque la force mécanique appliquée à exercer une traction sur un corps est insuffisante pour produire aucune rupture entre les molécules le corps reprend son état primitif lorsque la force cesse d'agir. C'est ce qu'on appelle l'élasticité des corps, propriété dont il y a à tenir grand compte pour l'emploi des corps dans les arts.

Ductilité. — Malléabilité. — Lorsque la force qui agit sur le corps exerce une compression : tantôt le corps est réduit en poussière; tantôt ses molécules, lorsqu'il est ductible et malléable, restent adhérentes entre elles, et le corps peut s'étirer en fils à la filière, par une traction, ou s'étendre en plaques sous l'action du laminoir.

Dureté. — Un corps est plus dur qu'un autre lorsqu'étant frottés l'un sur l'autre, le premier raye ou entame le second sans en être lui-même attaqué par celui-ci. En faisant agir ainsi tous les corps les uns sur les autres, on parviendrait à les ranger suivant l'ordre de leur dureté; mais cet ordre ne conviendrait qu'aux corps placés dans les conditions de l'examen, la constitution d'un corps et sa dureté pouvant être modifiées par la chaleur, la trempe, etc.

Vibrations moléculaires. — Si, au lieu d'en rester à des considérations statiques, qui ne fournissent pas dans l'action des forces connues d'effet qui puisse limiter l'attraction, qui empêche les molécules de venir en contact, on remarque que le repos absolu n'existe pas dans la nature, ne peut être que relatif; si on se place au point de vue dynamique, on reconnaît bientôt que les corps solides sont essentiellement susceptibles d'entrer en vibration. Si celles-ci se produisent facilement pour les masses élémentaires, vibrations qui sont l'objet de l'acoustique, elles se produisent évidemment avec autant de facilité pour les éléments moléculaires. Cet état vibratoire entraine un écartement, une action répulsive dont les effets sont bien d'accord avec l'expérience, car son existence empêche le contact moléculaire, la force centrifuge apparaissant dès qu'une molécule se meut autour d'une autre, quelque minime que soit l'élément de la trajectoire. C'est la combinaison de cette force et de celle d'attraction qui rend compte de la constitution des corps solides, que fait bien comprendre la théorie des plaques vibrantes.

Cristallisabilité. — Propriété des molécules des corps de s'orienter, de se disposer de manière à fournir des formes déterminées pour les corps placés dans des conditions convenables.

Les résultats de la cristallographie nous conduisent à des notions intéressantes sur la constitution intime des corps.

Si l'on divise un cristal en parties aussi ténues que possible, par les moyens mécaniques, on reconnaît, à l'aide du microscope, que ces parties sont de petits cristaux semblables au gros cristal primitif, ce qui conduit à admettre la seule manière dont nous puissions concevoir un peu clairement la formation d'un cristal : que les molécules premières qui s'orientent dans le liquide, sous l'influence de forces qui s'exercent par leurs pôles, sont de même forme que le cristal.

C'est cette molécule primitive, inaltérable tant que la nature du corps ne change pas, qui se forme, se meut, se dispose par rapport aux molécules voisines sous l'influence de mouvements vibratoires dont nous reconnaîtrons la cause dans la chaleur, en raison des nœuds et des ventres de la vibration calorifique.

Nous verrons bientôt comment les résultats de la chimie conduisent à compléter cette conception, en forçant à considérer dans les corps composés la molécule comme un groupe d'atomes chimiques, disposés suivant une forme géométrique déterminée, qui varie cependant quelquefois pour une même composition, dans les cas d'isomérisme.

Liquides.

Ce qui caractérise les liquides, c'est l'absence de cohésion entre les systèmes qui les composent. Le liquide parfait serait celui dont les molécules n'opposeraient au mouvement d'autre résistance que celle de leur propre inertie. L'imperfection de mobilité moléculaire qui persiste dans les liquides, d'une manière insensible pour la plupart, s'appelle la *viscosité.*

Par les divers degrés de développement que la viscosité peut atteindre, elle fait apparaître, entre l'état solide et l'état liquide, tous les degrés intermédiaires possibles, notamment l'état pâteux.

L'étude des lois du mouvement des liquides et de celles qui président à leur équilibre, se rattache théoriquement à la mécanique rationnelle et a reçu le nom d'hydrostatique et d'hydro-dynamique. Ce sont surtout des résultats d'expérience qui remplacent, dans la pratique, cette partie peu avancée de la théorie difficile qui se rapporte aux mouvements d'un système composé d'un nombre presque infini d'éléments.

Égalité de pression. — La loi fondamentale de l'équilibre des liquides est celle de l'égalité de pression en tous sens, c'est-à-dire qu'un liquide transmet sans altération, à toutes ses parties, une pression exercée sur une portion quelconque de sa surface.

Compressibilité des liquides. — La compressibilité des liquides est extrêmement minime, et on peut, sans inconvénient, les considérer, dans les applications comme incompressibles. Dans les expériences les plus précises on a trouvé en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fraction du volume primitif, pour une pression d'une atmosphère, 0,000049 pour l'eau, 0,000033 pour le mercure, 0,000091 pour l'alcool, 0,000126 pour l'éther.

Capillarité. — Lorsqu'un corps solide est réduit en un tube d'un diamètre moindre qu'un millimètre, et qu'on en plonge l'extrémité dans un liquide, on observe que le niveau intérieur se maintient au-dessus ou au-dessous du niveau extérieur, selon que le liquide mouille ou ne mouille pas la substance du tube.

Ces phénomènes s'expliquent par la comparaison des attractions que le corps solide exerce sur le liquide, avec celles que les molécules liquides exercent les unes sur les autres. Ils jouent un rôle extrêmement important dans les arts et surtout dans la biologie. Ce sont eux qui favorisent l'absorption et la circulation dans les plantes. On le comprendra facilement d'après la loi démontrée par l'expérience, que les élévations du liquide dans un tube capillaire sont en raison inverse des diamètres, et en observant combien sont petits les diamètres des canaux cellulaires des plantes, des pores des tissus animaux.

Constitution des liquides. — L'attraction existe donc dans les liquides et cependant leur division n'offre pas de résistance. Comment expliquer leur constitution à l'état dynamique seul admissible aujourd'hui? On est conduit nécessairement à admettre que l'attraction d'une part et la cause qui produit les vibrations des molécules des solides, une impulsion moléculaire de l'autre, constituent un système planétaire à orbites fermés, elliptiques, autrement les liquides exerceraient une pression à leur surface supérieure, ce qui n'est pas. Nous allons rencontrer ce cas pour les corps qui prennent l'état gazeux.

Gaz.

Dans l'état gazeux les molécules ne manifestent plus d'attraction les unes pour les autres. Le caractère distinctif des gaz est une tendance à augmenter sans cesse de volume.

Compressibilité et élasticité des gaz. — Les gaz sont des corps éminemment compressibles, et dans une foule de cas nous faisons varier leurs volumes, dans d'énormes proportions, par l'emploi de forces mécaniques. Cette variation suit une loi très-simple, dite loi de Mariotte. Elle consiste en ce que les volumes occupés par une même masse de gaz sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte.

Les expériences de M. Regnault ont indiqué que cette loi n'était pas absolument rigoureuse, comme on l'avait cru reconnaître, et que pour de très-grandes variations de pression il fallait lui faire subir une très-faible correction, variable pour chaque gaz, ayant par suite un rapport intime avec la nature de celui-ci.

Mouvement des gaz. — Le mouvement des gaz, ou la pneumatique, fait partie de l'hydro-dynamique. Comme dans les liquides, dans les fluides élastiques la pression se répartit également dans tous les sens dans l'état d'équilibre, principe fondamental qui rend les lois des mouvements des deux espèces de corps très-voisines au moins avec une exactitude suffisante pour les besoins de la pratique.

Constitution des gaz. — Lorsqu'on voit les gaz, malgré leur nature différente, se comporter tous de la même manière dans diverses circonstances (la généralité de la loi de Mariotte, leur égale dilatation par la chaleur dont nous allons bientôt parler, etc.), on est forcé d'admettre que l'attraction n'intervient pas sensiblement dans les gaz et que les orbites hyperboliques qui résulteraient de l'impulsion de leurs molécules, combinée avec la force d'attraction moléculaire, en poursuivant le mode d'analyse de l'état liquide auquel succède l'état gazeux lorsque les impulsions augmentent, peuvent être regardés comme se réduisant à des éléments rectilignes. C'est en choquant contre les parois des vases qui les renferment que les gaz exercent une pression, conception qui explique fort bien tous les faits d'expériences et notamment la loi de Mariotte.

II. PESANTEUR.

L'action de la force constante de l'attraction de la terre sur tous les corps placés à sa surface s'appelle pesanteur. L'attraction paraît là une propriété aussi incontestable au moins de la matière que lorsqu'elle intervient dans la constitution moléculaire des corps. Le calcul indique les lois du mouvement des corps sollicités par une force constante, ou plutôt l'observation des lois de la chute des graves indique qu'elle est due à l'action d'une force constante. C'est en faisant cette grande découverte, en l'analysant avec une admirable logique, que Galilée a créé la science mécanique moderne, la dynamique.

Si tous les corps de la nature ne se précipitent pas vers le sol avec une même vitesse, cet effet est dû à la présence de l'air, comme on le voit aisément, en les faisant tomber dans une capacité dont on a retiré l'air.

Du pendule. — Si l'on supporte une sphère pesante par un fil inextensible attaché à un point fixe, on aura le système appelé pendule, qui permet d'évaluer l'intensité de la pesanteur. En effet, la tige du pendule faisant un certain angle avec la direction de la pesanteur, la verticale du lieu, si le système est abandonné à lui-même, le point matériel se meut d'un mouvement accéléré; il arrive au point le plus bas de sa course avec une vitesse acquise et remonte alors de l'autre côté de la verticale; dans cette partie ascendante de sa trajectoire, la pesanteur agit comme force

EFERUS - Recherche & Classification numérique

retardatrice et diminue la vitesse des mêmes quantités dont elle l'avait augmentée dans la partie descendante; il suit de là que le point matériel parviendra, avec une vitesse nulle, à la même hauteur d'où il est descendu. La pesanteur continuant d'agir, il redescendra de nouveau pour former des oscillations semblables et dans le même temps.

Si l'arc parcouru est d'un petit nombre de degrés, le temps t d'une oscillation est donné par la formule

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

l étant la longueur du pendule, g l'intensité de la pesanteur, et π la mesure de la circonférence dont le diamètre est 1.

Du poids. — Des balances. — Le poids d'un corps est la pression qu'il exerce contre l'obstacle sur lequel il repose; cette pression est mesurée par la balance. La pesanteur s'exerçant sur tous les corps permet de mesurer en chaque lieu les masses proportionnelles aux poids et de suivre ainsi toutes les transformations de la matière, lorsque toutes les propriétés apparentes d'un corps viennent à se modifier. La science qui analyse les combinaisons des corps, la chimie, a été créée par l'emploi judicieux de la balance.

Pesanteur de l'air. — Tous les corps placés à la surface de la terre sont soumis à la pesanteur, notamment les gaz sur lesquels cette action est peu apparente. C'est ainsi que l'atmosphère qui entoure la terre doit peser sur les corps placés à la surface de celle-ci.

En effet, que l'on prenne, comme l'a fait le premier Torricelli, un tube bouché à une extrémité, et qu'après l'avoir rempli d'un liquide, de mercure par exemple, on le renverse dans un bain de mercure; si le tube est suffisamment long, au moment où l'extrémité bouchée devient libre, on voit le mercure descendre et s'arrêter à $0^m,76$ environ au-dessus du niveau extérieur. Cette colonne exerce par son poids, sur le bain qu'elle surmonte, une pression qui remplace celle que l'atmosphère exerce à l'extérieur, elle lui fait équilibre et peut servir à la mesurer.

Cette pression, qui ne varie que dans des limites étroites, forme une unité souvent employée dans les arts et qui se nomme une *atmosphère*.

Principe d'Archimède. — Du principe d'égalité de pression dans tous les sens, dans les fluides en repos, et de la propriété des corps d'être pesants, résulte le grand principe dont la découverte est due à Archimède. Il consiste en ce qu'un corps plongé dans un fluide perd une partie de son poids égal à celui du volume de fluide déplacé.

C'est d'après ce principe que l'on peut calculer les circonstances du mouvement, suivant la verticale, d'un corps dans un fluide, en raison des densités relatives, l'ascension d'un ballon dans l'air, par exemple.

III. CHALEUR.

La sensation que nous éprouvons, lorsqu'un de nos organes se trouve en contact avec un corps chaud, donne l'idée de la chaleur, et nous sommes entourés de phénomènes qui apparaissent dans les corps lorsqu'ils nous font éprouver cette sensation; telle est la liquéfaction des solides, la vaporisation des liquides, etc. Les lois de production de ces phénomènes, les relations de cause à effet qui les réunissent à d'autres phénomènes plus simples, la mesure des effets produits, forment l'objet des recherches que se propose la physique.

L'influence de la chaleur est tout à fait prépondérante lorsqu'on envisage les modifications les plus profondes de la matière relatives soit à l'état d'agrégation, soit à la composition intime des molécules des corps; la vitalité enfin lui est essentiellement subordonnée. Il est donc facile de justifier l'importance immense de l'étude des phénomènes de la chaleur dont l'application bien entendue constitue, en outre, la principale part de l'action de l'homme sur la nature.

Thermomètres. — De tous les effets de la chaleur, l'augmentation du volume des corps est le plus facile à mesurer avec exactitude, non que cette augmentation soit toujours considérable, mais parce qu'on peut toujours, par des procédés et des artifices convenables, la rendre assez apparente pour être observée. L'expérience indique que tous les corps se dilatent lorsque la chaleur augmente et se contractent lorsqu'elle diminue; on appelle température l'intensité de l'action de la chaleur accusée par un certain état de dilatation d'un corps.

Le thermomètre est l'instrument qui sert à mesurer les températures, et en partant du thermomètre à air, on considère comme différentes de quantités égales, des températures indiquées par des dilatations successives d'une même fraction du volume primitif du gaz. En observant comparativement avec le thermomètre à air le thermomètre à mercure, à alcool, les pyromètres, etc., on réduit à une même échelle des observations faites avec les instruments les plus commodes dans chaque cas.

Mesure de la dilatation des corps par la chaleur. — Les températures étant fixées par les dilatations égales d'un corps qui sert à construire le thermomètre, on peut mesurer les dilatations des corps, leurs *coefficients de dilatation*, c'est-à-dire la fraction dont leur volume augmente pour une augmentation d'un degré de température. Ce coefficient va en croissant des solides aux liquides, des liquides aux gaz. Peu considé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rable pour les solides et les liquides, il varie avec chaque substance; dans les gaz, il est bien plus considérable, sensiblement le même et égal à 1/267 de leur volume à zéro pour chaque degré.

M. Regnault a montré que cette loi n'était pas mathématiquement exacte pour les gaz qui s'écartent de la loi de Mariotte; toutefois les différences sont minimes et tout à fait négligeables dans les applications.

Des quantités de chaleur.—Des chaleurs spécifiques. — Les degrés de chaleur observés, les températures ne constituent qu'une mesure incomplète de la chaleur, n'en sont qu'un élément, comme la force relativement au travail mécanique. C'est la quantité de chaleur qui est l'unité complète. Cette assimilation est d'autant plus vraie que la chaleur est une force vive. (Voy. INTRODUCTION DU COMPLÉMENT de cet ouvrage.) L'unité de chaleur, la calorie, est la quantité nécessaire pour échauffer d'un degré un kilog. d'eau.

On ne saurait estimer la quantité totale de chaleur contenue dans un corps; mais on peut comparer entre elles les quantités de chaleur qu'il faut ajouter ou enlever pour produire sur un même corps des effets thermométriques différents, ou le même changement de température sur différents corps.

On y parvient, par exemple, par des expériences faites à l'aide du calorimètre, instrument dans lequel la quantité de chaleur perdue par le corps sur lequel on opère sert à échauffer une certaine quantité d'eau qui l'entoure, et dont le poids sert à mesurer la quantité de chaleur. Plusieurs lois fort importantes se rattachent aux chaleurs spécifiques des divers corps, et surtout la célèbre loi de Dulong, qui consiste en ce que le produit des chaleurs spécifiques par les poids des atomes des corps simples, est une quantité constante. (Voy. CHAL. SPÉCIF., COMPLÉMENT).

Variation des capacités. — Les capacités des corps pour la chaleur sont sensiblement constantes dans une petite étendue; mais entre des limites plus écartées, on trouve que ces capacités éprouvent des variations très-sensibles pour les liquides et les solides surtout, à mesure que la température s'élève; ces variations ne sont pas les mêmes pour toutes les substances.

Changement d'état des corps. — Les dilatations ne constituent qu'un phénomène limité, c'est-à-dire que si le premier effet de la chaleur sur la forme des corps solides est de changer leur volume, cette dilatation n'a lieu que jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle il y a changement d'état; le corps fond, passe de l'état solide à l'état liquide. On voit apparaître ce phénomène lors de la fusion de la glace, de la cire, du plomb, etc., et si on ne peut l'observer pour tous les corps, c'est que la température de la fusion varie d'un corps à l'autre et peut être trop élevée dans certains cas pour être produite dans les laboratoires. On doit donc admettre, ce que prouve le nombre croissant des corps qu'on peut mettre en fusion à mesure qu'on trouve moyen de produire des températures de plus en plus élevées, que tous les corps solides indéfiniment chauffés doivent finir par se liquéfier.

Lorsque de même on expose un corps liquide à des températures continuellement croissantes, il passe à l'état de gaz, de vapeur. On peut observer ce nouveau changement d'état sur un grand nombre de corps, et l'analogie porte à croire que si on pouvait produire une température aussi élevée qu'on le voudrait, tous les corps de la nature pourraient être vaporisés. Inversement, de nombreux exemples doivent aussi faire penser que les corps qui sont naturellement à l'état de gaz ou fluides élastiques pourraient être ramenés à l'état liquide, si l'on pouvait produire artificiellement une décroissance indéfinie de température.

Les vapeurs dont les forces élastiques peuvent être déterminées sous une pression connue ont fait l'objet de fort beaux travaux de physique expérimentale qui ont établi les faits suivants :

1° Les liquides donnent des vapeurs dans le vide à des températures très-inférieures à leur point d'ébullition.

2° La quantité et la force élastique de la vapeur d'un même liquide capable de saturer un espace vide, augmentent avec la température de cet espace. On trouvera à l'article VAPEUR l'indication des forces élastiques de la vapeur d'eau, pour diverses températures, déterminées avec une grande précision.

3° Lorsqu'un espace saturé de vapeur à une certaine température est en contact avec une surface dont la température est moins élevée, il y a liquéfaction de la vapeur sur cette surface; et la vapeur qui reste dans cet espace n'a que la température de la surface condensante, et la force élastique qui convient à cette température.

4° Le phénomène de l'ébullition, de l'apparition de bulles de vapeur dans une masse liquide, n'a lieu que lorsque la pression exercée à la surface du liquide est moindre ou tout au plus égale à la force élastique de la vapeur qui tend à se former, et lorsque, par la disposition des foyers ou des flux de chaleur, une portion inférieure de la masse liquide est plus échauffée que sa surface.

Chaleurs latentes. — On donne le nom de chaleur latente à la chaleur qui disparaît comme chaleur sensible, et qui est entièrement absorbée ou dégagée lors du changement d'état des corps. C'est là un de ces cas qui montre bien avec quelle facilité l'esprit humain accepte quelquefois un mot qui n'est que l'énoncé d'un fait, pour une explication. On distingue la chaleur latente de fusion et celle de vaporisation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chaleur latente de fusion. — Lorsqu'on fait fondre des métaux ou leurs alliages, en les exposant à un foyer très-actif et qu'on a soin d'agiter les liquides qui se forment, on observe que leur température demeure invariable jusqu'à ce que toute la partie solide soit fondue. On trouve ainsi 79 unités pour la chaleur latente absorbée pendant la fusion de l'unité de poids de la glace. Il est clair qu'un travail mécanique notable a été consommé à rompre la cohésion qui réunissait les molécules du corps solide et est la cause de la disparition de la chaleur. On a pu, d'après cela, établir des relations entre la chaleur latente de fusion et les coefficients d'élasticité qui, vérifiées pour les métaux fusibles, s'appliquent utilement à ceux qu'on ne sait pas fondre, pour déterminer approximativement leurs chaleurs de fusion.

Chaleur latente de vaporisation. — La chaleur qui passe d'un foyer dans un liquide en ébullition, dont la température reste fixe tant que la pression extérieure ne varie pas, est absorbée par le changement d'état du liquide et employée à le gazéifier. Pour évaluer la chaleur latente qui disparaît dans cette circonstance, on procède, en général, en recherchant la quantité de chaleur qui peut être restituée par la vapeur lorsqu'elle repasse à l'état liquide.

De séries d'expériences fort nombreuses, M. Regnault a déduit que toute la chaleur ajoutée à de l'eau à zéro degré pour l'amener à l'état de vapeur sous pression constante et à la température T était $L = 606 + 0{,}305\,T$, ce qui donnerait pour la chaleur totale de l'eau à 100° 637 cal. et 537 pour la seule chaleur latente de la vapeur d'eau. On a trouvé pour l'alcool 208, pour l'éther 91.

De la nature de la chaleur. — Une expérience de chaque instant montre que l'effet constant de la chaleur est d'augmenter d'une manière constante le volume d'un corps jusqu'à ce que le changement d'état ait lieu, le corps devenant liquide, puis le liquide vapeur. Ces effets s'expliquent tous, concordent avec l'analyse de la constitution des corps exposée précédemment, lorsqu'on considère l'échauffement comme produisant des impulsions moléculaires, l'intensité de celles-ci comme croissant avec la température. Une production de forces vives apparaît donc quand une quantité de chaleur disparaît, et c'est avec grande raison que Locke a dit : *Ce qui pour nous est chaleur, dans le corps est mouvement.*

Propagation de la chaleur. — Lorsque deux corps sont en présence, ils se transmettent de la chaleur par *rayonnement*. Cette propagation a lieu en ligne droite, de telle sorte que, dans l'hypothèse ci-dessus, le rayonnement indique que l'impulsion est en ligne droite.

L'intensité de la chaleur, rayonnant d'un point central, varie en raison inverse du carré de la distance à ce point. Elle est aussi proportionnelle au cosinus de l'angle que les rayons calorifiques font avec la normale à un élément rayonnant.

La chaleur se réfléchit à la surface des corps comme la lumière, ainsi que le démontre l'expérience faite à l'aide de deux miroirs paraboliques. Des charbons incandescents placés à l'un des foyers permettent de mettre le feu à des substances placées au foyer du second miroir, placé vis-à-vis du premier, et à une distance considérable.

Pour la chaleur comme pour la lumière, il y a des corps transparents et des corps opaques. On appelle *athermanes* les substances qui arrêtent la chaleur rayonnante, et *diathermanes* celles qui la laissent passer. La diathermanéité n'est pas en raison de la diaphanéité, ni l'athermanéité en raison de l'opacité; ces propriétés dépendent de la nature du corps. Ainsi le verre noir et le quartz enfumé sont très-diathermanes, et l'alun l'est excessivement peu.

Le pouvoir rayonnant ou émissif varie avec la nature des corps pour des températures égales; mais il y a toujours des rayons calorifiques émis par tout corps, de telle sorte que la température d'un corps quelconque dépend de la nature de tous les corps au rayonnement desquels il peut être soumis.

Le pouvoir absorbant est la propriété dont jouissent les corps d'absorber une partie de la chaleur qu'ils reçoivent. Cette partie varie avec la nature du corps et l'état de la surface.

La quantité de chaleur réfléchie est complémentaire de celle absorbée, c'est-à-dire que la somme des quantités de chaleur absorbées et réfléchies doit toujours reproduire la totalité de la chaleur incidente.

Conductibilité. — La rapidité avec laquelle la chaleur se propage dans les corps dépend de leur nature intime. Elle est très-grande dans les métaux, différente dans les corps cristallisés selon les divers axes de cristallisation.

Elle est très-faible dans les liquides et les gaz, mais pratiquement elle paraît souvent considérable, à cause des courants intérieurs que fait naître l'échauffement d'une partie de la masse, qui, diminuant de densité, tend à s'élever.

Refroidissement. — Lorsqu'un corps se refroidit dans une enceinte vide et entretenue à une température constante, la vitesse du refroidissement, pour des excès en proportion arithmétique, croît comme les termes d'une progression géométrique diminués d'un nombre constant.

Cette vitesse est plus grande dans un gaz, et croît avec la pression de ce gaz.

Sources ou production de chaleur et de froid.

Insolation. — La principale cause de chaleur, celle qui entretient la vie de tout le règne vé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gétal et animal, est la chaleur due aux rayons solaires.

Percussion. — La percussion produit de la chaleur, ce qui ne peut s'expliquer pour les corps comme le plomb, dont la densité ne change pas par l'écrasement, que parce que la chaleur est une force vive communiquée aux molécules.

Compression et dilatation des gaz. — On explique de la même manière les effets calorifiques qui apparaissent par ces actions mécaniques; la chaleur qui se produit lorsqu'on comprime un gaz, et l'abaissement de température que l'on observe lorsqu'on laisse croître son volume, sont deux effets du changement de travail mécanique en force vive moléculaire, et inversement. Une expérience de Joule démontre la correspondance des deux effets et est probante en faveur de la théorie mécanique de la chaleur.

Frottement. — Le frottement est aussi une cause de chaleur en faisant naître des mouvements vibratoires moléculaires.

Combustion. — Les combinaisons chimiques et surtout la combustion des corps combustibles, principalement du charbon dans l'oxygène de l'air, constituent la source de chaleur artificielle toujours employée dans l'industrie.

Les conditions de la production de ce phénomène sont admirablement exposées, tant au point de vue de la théorie qu'à celui de la pratique, dans le beau travail dont Ebelmen a doté cet ouvrage. (Voir COMBUSTION.)

Mélanges réfrigérants. — Évaporation. — Le froid se produit en utilisant les faits de chaleur latente lors du passage des corps de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux. Ainsi de la neige mêlée à un acide est brusquement fondue à cause de l'affinité de l'acide et produit un froid considérable. De même un liquide placé dans le vide répand des vapeurs; si celles-ci sont constamment absorbées par des corps convenables, le refroidissement est rapide. On fait ainsi congeler l'eau sous la machine pneumatique.

IV. ÉLECTRICITÉ.

Les corps de la nature paraissent se partager en deux grandes catégories, sous le rapport de l'aptitude plus ou moins grande qu'ils présentent à se charger d'électricité. Les uns, tels que la résine, le verre, l'ambre, etc., sont susceptibles de se charger d'électricité par le frottement; les autres, tels que les métaux, ne prennent jamais d'électricité dans ces circonstances.

Le fluide que l'on dit, pour analyser les faits, se développer dans les circonstances précédentes sur la résine est nommé fluide *résineux*; l'autre est le fluide *vitré*. On dit généralement que le fluide isolé dans le premier cas est négatif; que celui développé dans le second est positif. Ces dénominations n'indiquent autre chose qu'une opposition de propriétés, et il est généralement admis que c'est l'électricité en excès dans un cas et en défaut dans l'autre qui doit être la cause des phénomènes.

Des expériences simples permettent de formuler un principe important, c'est que les deux fluides de même nom se repoussent, tandis qu'il y a attraction entre les fluides de noms contraires.

Électricité statique. — L'expérience et le calcul démontrent que les *attractions et les répulsions électriques sont en raison directe des quantités de fluides, et en raison inverse du carré des distances.*

Dès qu'un corps contient une proportion quelconque de fluide libre, ce dernier existe seulement à la surface en formant une couche d'une ténuité excessive.

Il est évident que sur une sphère conductrice la couche électrique doit avoir la même épaisseur dans toutes ses parties, puisque tout est symétrique autour d'un point, le centre; mais la distribution du fluide n'offre plus la même identité lorsque la forme du conducteur n'est pas sphérique.

On a démontré par le calcul que la tension du fluide électrique est toujours proportionnelle à son épaisseur. Il est facile d'en conclure que si l'un de ces éléments peut être déterminé en chacun des points d'un conducteur, l'autre sera également connu. On trouve facilement que, dans un ellipsoïde de révolution, l'épaisseur de la couche électrique est beaucoup plus considérable aux pôles qu'à l'équateur. Cette épaisseur, et par conséquent la tension, croissent avec une très-grande rapidité si les extrémités d'un tel conducteur sont amincies.

C'est en tenant compte de cette loi que l'on comprend facilement comment une pointe aiguë pouvant être assimilée au pôle d'un ellipsoïde très-allongé, la force répulsive du fluide électrique y est toujours assez grande pour vaincre la résistance de l'air. Sur ce principe est basé ce qu'on désigne en physique sous le nom de pouvoir des pointes, propriété qui a reçu par la découverte des paratonnerres une des plus brillantes et des plus utiles applications.

Des condensateurs. — On accumule de l'électricité dissimulée dans les *condensateurs* formés essentiellement de deux plaques conductrices séparées par une plaque non conductrice. Les deux électricités opposées s'accumulent sur les deux plaques conductrices et s'attirent à travers la plaque non conductrice. On peut ainsi réunir des quantités d'électricité considérables, susceptibles de produire de puissants effets, une décharge très-énergique. C'est le plus souvent le verre qui est employé comme substance non conduc-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trice, et le condensateur est formé d'une bouteille; c'est la bouteille de Leyde.

Électricité atmosphérique. — Les physiciens du dix-huitième siècle, dès qu'ils connurent les effets des condensateurs, et notamment de la bouteille de Leyde, l'action plus puissante des batteries électriques formée de la réunion d'un certain nombre d'appareils semblables, soupçonnèrent l'identité de l'électricité et de la foudre. Mais la démonstration de cette grande vérité appartient tout entière à Franklin et le place parmi les physiciens les plus illustres, comme la découverte des paratonnerres le met au rang des bienfaiteurs de l'humanité.

Vitesse de l'électricité. — Elle est, on peut dire, infiniment grande. L'expérience a donné de 100,000 à 180,000 mètres par seconde.

Électro-dynamique. — En 1790, Galvani observa que des grenouilles écorchées se contractent subitement lorsque l'on touche avec un arc composé de métaux différents les nerfs lombaires de l'animal en même temps que les muscles de la cuisse.

Cette observation singulière du médecin de Bologne a joué un rôle important dans la science moderne, car les interprétations contradictoires qu'elle suscita conduisirent Volta à la découverte de la pile. (Voyez, PILE et GALVANOPLASTIE, la description des diverses piles usitées.)

Toutes les fois que l'on place à une petite distance l'un de l'autre les rhéophores qui établissent la communication entre les deux pôles d'une pile assez forte, on observe une série d'étincelles remarquables par leur éclat. Si les fils sont de platine, la lumière qui jaillit est blanche et incolore. Lorsque ce sont des fils de cuivre, la flamme est bleue ou verdâtre, ce qui est dû à la volatilisation d'une certaine proportion de ce métal et à sa combustion dans la flamme. On peut terminer les rhéophores par deux fragments de charbon fortement calciné, et alors on a le spectacle d'une lumière tellement brillante, que son éclat ne peut être comparé qu'à celui du soleil. Si l'expérience se fait dans l'air, le charbon brûle et disparaît sous forme d'acide carbonique; mais il est possible d'engager les rhéophores dans un vase de verre où l'on fait le vide : le phénomène présente alors la même splendeur sans qu'il y ait aucune combinaison chimique. Dans ces circonstances, on constate seulement un fait digne de remarque, c'est que le charbon a subi une modification profonde dans sa constitution moléculaire. La température qui accompagne cette production de lumière est la plus élevée que l'on ait encore pu obtenir. Les corps les plus réfractaires à l'action de la chaleur n'y résistent pas; de petits fragments y sont fondus ou volatilisés.

L'espace compris entre les extrémités des rhéophores est constamment lumineux, il constitue une sorte de sphère d'un éclat moins vif que celui des extrémités conductrices, sphère dans laquelle jaillissent de temps à autre des étincelles brillantes; on lui donne le nom d'arc électrique. On a observé dans ces expériences que le rhéophore positif présente constamment un éclat plus considérable et une température plus élevée que le négatif. C'est l'application de cette expérience qui fournit la lumière électrique qui tend à entrer dans la pratique.

Effets chimiques. — A peine la pile fut-elle introduite dans les laboratoires, que les plus brillantes découvertes couronnèrent les efforts des savants qui appliquèrent ce puissant instrument aux recherches de la chimie.

L'eau avait été pendant longtemps considérée comme un élément; Nicholson et Carlisle en firent l'analyse au moyen de la pile.

Voici comment on peut se rendre compte de ce qui se passe dans cette action du courant sur l'eau et sur les dissolutions qu'il décompose.

Que l'on imagine une série linéaire de molécules d'eau comprise entre les extrémités de deux rhéophores. Au moment où le courant passe, la molécule la plus voisine du fil négatif est décomposée, les deux molécules d'hydrogène restent libres, la molécule d'oxygène chargée de fluide négatif constitue, avec les deux atomes d'hydrogène de la molécule suivante, de l'eau. Une suite de recompositions semblables s'effectue jusqu'au fil positif; mais le dernier atome d'eau décomposé en contact avec celui-ci laisse libre une molécule d'oxygène. Il n'y a donc pas eu transport des molécules décomposées d'un pôle de la pile à l'autre; il y a eu des séries de décompositions et de recompositions, qui se sont transmises comme un ébranlement moléculaire entre les deux rhéophores.

L'action de piles énergiques peut être assez puissante pour vaincre l'affinité la plus grande que les corps puissent présenter. La découverte de Davy, une des conquêtes les plus importantes de la chimie moderne, le prouve suffisamment.

Les alcalis, la potasse, la soude avaient été considérés jusqu'à Davy comme des corps simples. Cet illustre chimiste eut l'heureuse idée de les soumettre à l'action d'une forte pile. Bientôt on reconnut que les alcalis, que toutes les terres n'étaient rien autre chose que des combinaisons oxygénées.

Les rapports qui existent entre les phénomènes chimiques et l'électricité forment à eux seuls une science, l'électrochimie, riche de faits, et qui constitue une mine féconde où notre siècle a largement puisé. La loi fondamentale de cette partie de la physique peut être énoncée ainsi : Si on fait traverser par un même courant voltaïque une série de composés chimiques de nature différente, les quantités pondérables des éléments

EFERUS - Recherche & Classification numérique

isolés sont entre elles comme les équivalents chimiques des corps mis en liberté.

Des sources d'électricité. — En traitant des phénomènes particuliers de l'électricité statique, nous avons vu que le frottement, c'est-à-dire une action mécanique, est capable de déterminer la séparation des deux fluides électriques. Cette électricité de tension peut, au moyen de dispositions convenables, être transformée en courant. Les phénomènes chimiques sont la cause générale de la production de l'électricité, et presque toujours on parvient à découvrir une action chimique là où apparaît un courant.

La propagation de la chaleur dans l'intérieur des corps peut aussi devenir la cause de courants assez énergiques.

Rapports de la chaleur et de l'électricité. — Les relations de la chaleur et de l'électricité paraissent ouvrir la voie qui peut permettre d'évaluer convenablement la *quantité* d'électricité et de faire participer l'une des théories de partie des progrès accomplis par l'autre. En plaçant dans un calorimètre un élément d'une pile, et dans un autre, les fils partant des deux pôles, M. Fabre a toujours trouvé 1,84 calories par équivalent de zinc de l'élément oxydé, et cela quelle que fût la grosseur du fil et, par suite, sa résistance, qui faisait varier beaucoup la quantité de chaleur reçue dans le second calorimètre. La quantité reçue par le premier variait inversement, et la somme était constante. L'électricité n'est donc qu'une métamorphose de la quantité de chaleur dégagée par l'effet de la combinaison chimique.

V. MAGNÉTISME.

Si l'on place un fragment de la matière qui possède la singulière propriété d'attirer le fer dans une masse de limaille de fer, plusieurs points de sa surface se couvrent de cette poussière métallique; on observe de plus que les particules de fer adhèrent les unes aux autres en formant des espèces d'aigrettes.

L'action de l'aimant ne s'opère pas seulement au contact, il est facile de voir qu'elle s'exerce encore à une certaine distance et malgré l'interposition de lames minces de diverses substances.

La propriété attractive de l'aimant peut se communiquer au fer : l'expérience de la limaille le montre, car si les particules métalliques restent adhérentes les unes aux autres, il est facile de voir que ce phénomène est dû à l'attraction que chacune d'elles exerce sur celle qui la suit. On peut démontrer d'une manière plus nette cette influence, en prouvant qu'un petit barreau de fer doux, soumis à l'action d'un aimant naturel, attire comme ce dernier les particules de limaille. La vertu magnétique qu'il acquiert dans ces circonstances dure seulement autant que l'action de l'aimant.

Il n'en est pas de même si on fait cette expérience avec un fragment d'acier trempé; la puissance attractive paraît moins développée dans ce dernier que dans le fer doux, mais elle persiste après que l'action de l'aimant naturel n'existe plus. C'est cette faculté de conserver la vertu magnétique qui a été désignée sous le nom de *force coercitive*. Cette aptitude remarquable a été mise à profit pour former, au moyen de l'acier trempé, des aimants artificiels d'une forme déterminée, des aiguilles et des barreaux aimantés.

La force d'attraction n'est pas la même dans tous les points de la surface. Les parties où l'accumulation est la plus abondante et la puissance magnétique la plus développée, ou, si l'on aime mieux, les centres d'action de la force magnétique, ont reçu le nom de *pôles*. Dans tout aimant naturel ou artificiel, il existe au moins deux pôles; ils se trouvent en général à chacune des extrémités.

Si on suspend, au moyen d'un fil de cocon, une aiguille de manière qu'elle se tienne dans un plan horizontal, on observe alors qu'elle s'arrête dans une position telle que, si on vient à l'en écarter, elle y retourne sans cesse après une série d'oscillations plus ou moins longue.

Le plan vertical passant par les deux extrémités de l'aiguille, lorsqu'elle a pris sa position d'équilibre, est le *méridien magnétique* du lieu où se fait l'observation. L'angle compris entre le méridien magnétique et le méridien terrestre d'un point de la surface du globe est désigné sous le nom de *déclinaison*.

Si cette dernière était nulle, une des extrémités de l'aimant serait dirigée exactement vers le nord, et l'autre vers le sud. Telle était la position de l'aiguille à Paris en 1664; depuis cette époque, la position du méridien magnétique s'est déplacée, et la valeur de la déclinaison est aujourd'hui d'environ 22°. La portion de l'aiguille qui regarde vers le nord se portant à l'ouest, on dit que la déclinaison est occidentale.

Lorsqu'on rapproche deux aiguilles aimantées bien suspendues, on observe que si l'on place les deux pôles qui se dirigeaient dans le même sens à une petite distance, ils se repoussent; ceux dont la direction est inverse s'attirent au contraire.

Si vers le milieu d'un fort barreau aimanté offrant deux pôles on place une aiguille, elle paraît ne plus obéir à sa force directrice primitive et prend une position telle que son pôle nord regarde l'extrémité de l'aimant qui se dirigerait vers le sud, et réciproquement.

Cette observation porte à conclure que la terre agit sur l'aiguille aimantée comme un énorme aimant ayant deux pôles, l'un au nord, pôle boréal, l'autre au sud, pôle austral. Le pôle austral

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'aiguille est celui qui se dirige vers le nord, son pôle boréal regarde le sud.

Mais l'expérience démontre encore que la direction que prend une aiguille aimantée, dans les circonstances où nous l'avons supposée placée, n'est pas celle que la terre tend sans cesse à lui imprimer. Pour arriver à définir complétement cette position, il faut déterminer le point par lequel on doit suspendre l'aiguille avant son aimantation pour qu'elle se tienne dans un plan horizontal.

Si, après l'avoir aimantée, on la suspend par le même point au moyen d'un fil de cocon sans torsion, on observe qu'elle se place dans le plan du méridien magnétique. Mais elle s'incline par rapport à l'horizon d'une quantité notable, c'est l'angle formé par l'aiguille et l'horizon qui a reçu le nom d'*inclinaison*.

A Paris, il est facile de constater par cette expérience que le pôle austral de l'aiguille aimantée occupe la partie inférieure, tandis que le pôle boréal se dirige en haut. La valeur de l'angle d'inclinaison est d'environ 7° dans ce point du globe.

Électro-magnétisme.

En 1820, Œrsted découvrit que, si on place dans le voisinage d'une aiguille de déclinaison un fil métallique traversé par un courant voltaïque, l'aiguille est déviée de sa position primitive et prend une position d'équilibre déterminée par sa situation relativement au courant.

Pour se former une idée exacte des relations qui peuvent exister entre un courant et l'aiguille aimantée, quelques définitions sont nécessaires. Tous les faits portent à admettre l'existence d'une circulation électrique dont les caractères sont ceux d'un *courant*. On admet que le mouvement s'opère dans le rhéophore du pôle positif au pôle négatif; c'est une simple convention dans la théorie des deux fluides, mais le *courant apparent* se comprend bien dans le cas d'une accumulation d'électricité à un pôle et de déficit à l'autre relativement à l'état normal du corps. Un courant est toujours désigné par la forme de l'arc qu'il parcourt; et si le fil métallique qui joint les pôles d'une pile est rectiligne, circulaire, rectangulaire, on donne au courant qui le traverse ces mêmes épithètes.

C'est à Ampère que nous devons une formule simple, qui permet de définir avec la plus grande précision la position d'équilibre d'une aiguille sous l'influence d'un courant quelconque. Supposons, pour plus de simplicité, qu'il soit rectiligne, et, avec l'illustre physicien, imaginons que, suivant sa longueur soit étendu un personnage humain dont les pieds sont constamment dirigés vers le pôle positif de la pile, la tête vers le pôle négatif, le visage regardant toujours l'aiguille magnétique. Le courant ainsi personnifié aura une droite et une gauche faciles à retrouver d'après les conventions précédentes; toutes les positions que peut prendre l'aiguille par rapport au fil interpolaire seront comprises dans cette phrase : « l'aiguille magnétique se met en croix avec le courant, son pôle austral se portant à sa gauche. »

C'est en s'appuyant sur ces principes que Schweiger a construit un appareil précieux dans les recherches de la physique moderne, le *galvanomètre* ou *multiplicateur*, destiné à faire reconnaître l'existence de faibles courants, qu'aucun autre instrument n'eût pu mettre en évidence, et à mesurer leurs intensités liées intimement aux causes qui les produisent.

Pour arriver à comprendre la théorie du galvanomètre, il faut ne pas perdre de vue que, d'après la formule d'Ampère, une aiguille aimantée entourée par un circuit fermé, de forme rectangulaire par exemple, est sollicitée par toutes ses parties, lorsqu'un courant le traverse, à se diriger dans un seul et même sens. Mais la force qui agit croît avec l'étendue des portions du circuit qui sont en rapport avec elle. Si, au lieu de faire agir sur une aiguille un seul circuit rectangulaire, on contourne un fil métallique dont les différents plis sont isolés par de la soie, de façon que le nombre des rectangles soit très-grand, on comprend que l'influence d'un courant qui, par lui-même serait incapable de dévier l'aiguille, deviendra assez grande pour lui imprimer une direction facilement appréciable. Telles sont les idées qui ont présidé à la construction du galvanomètre.

L'intensité du courant ne peut pas toutefois être mesurée directement par les degrés qu'on lit sur le limbe. La proportionnalité entre ces deux espèces de quantités ne doit être admise que pour des angles très-petits, de 8° ou 10° par exemple. Pour les courants plus forts, il est nécessaire de construire des tables.

De l'effet des courants sur l'aiguille aimantée est résultée l'assimilation des aimants aux courants électriques. Arago a démontré qu'un morceau de fer doux entouré d'un fil de fer couvert de soie, dans lequel passe un courant électrique, se comporte comme un véritable aimant. Inversement les aimants peuvent servir à déterminer des courants. Ceux obtenus dans ces circonstances, dont la découverte est due à Faraday, sont dits courants d'*induction*.

La démonstration des courants de cette espèce est facile. Il suffit, pour y arriver, d'enrouler autour d'une bobine de bois creuse, un fil de cuivre entouré de soie et dont les extrémités communiquent avec les fils d'un galvanomètre. Si on plonge dans l'intérieur de la bobine le pôle d'un fort aimant cylindrique, on observe qu'au moment de l'immersion l'aiguille du galvanomètre est chassée de sa position d'équilibre; il y a donc eu un courant développé dans le fil; après quelques oscillations, l'aiguille revient à sa pre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mière position. Mais, si on enlève brusquement l'aimant, elle est de nouveau déviée, dans une direction inverse de la première, et revient encore dans le méridien magnétique.

De ces expériences Faraday a déduit la proposition fondamentale qui comprend l'ensemble des faits de l'induction, quelque compliqués qu'ils puissent paraître. « Toutes les fois, dit-il, que l'on soumet un circuit fermé, dans une de ses parties, à l'action d'un aimant ou d'un courant, au premier moment le circuit est parcouru par un courant inverse. Lorsque l'action cesse par suite de l'éloignement de l'aimant ou de l'interruption du courant, le circuit est parcouru par un courant direct; mais si l'influence du courant ou de l'aimant est maintenue pendant quelque temps, toute manifestation électrique cesse. »

La propriété des courants induits d'avoir une forte tension est venue fournir au physicien le moyen précieux d'obtenir, au moyen de la pile qui directement produit de grandes quantités d'électricité à faible tension, de puissants effets. C'est en multipliant les interruptions et créations de courants induits, en employant un condensateur, qu'on y est arrivé dans l'appareil de Rumkorf.

Remarquons que l'emploi d'aimants naturels ou artificiels mis en mouvement par une force mécanique et produisant de la chaleur et de la lumière, est une des plus brillantes démonstrations de la corrélation des forces physiques, de la métamorphose du travail mécanique en chaleur, en électricité, en lumière, c'est-à-dire de l'homogénéité de ces forces, dont nous traitons avec quelques détails dans l'*Introduction* du Complément; ce qui revient, d'après ce qui a été dit au début, à la réduction de la totalité des phénomènes physiques à la mécanique, vérité que Descartes posait en principe philosophique, et que les expériences de la science moderne se trouvent démontrer.

VI. Acoustique.

La vue et le toucher permettent de constater, dans presque tous les cas, que le son qui frappe notre oreille a pour cause le mouvement vibratoire d'un corps solide, liquide ou gazeux.

Dans une expérience très-simple, le son produit dans le vide n'arrivant plus à nos oreilles, on en conclut que c'est l'air qui est le véhicule qui nous transmet le son le plus généralement.

Vitesse du son dans l'air et dans l'eau. — Le son ne se transmet pas instantanément; il suffit de voir tirer un coup de canon pour s'apercevoir de l'intervalle de temps très-notable qui s'écoule entre l'explosion indiquée par le phénomène lumineux et la perception du son.

Des expériences ont fait reconnaître que le son parcourt 333 mètres par seconde à la température de 0; pour une température plus élevée qui diminue la densité de l'air, cette vitesse augmente; elle s'est trouvée de 337 mètres par seconde à la température de 6 degrés.

Ces résultats, déduits d'expériences faites au bruit du canon, donnent-ils la vitesse réelle de propagation de tous les sons possibles? Autrement, les sons qui diffèrent par leur intensité, leur hauteur et leur timbre, se propagent-ils tous également vite? Cela paraît démontré par le fait seul que l'harmonie d'un concert n'est pas troublée à quelque distance qu'on se place pour l'entendre. L'intensité générale diminue, ainsi que cela doit être; mais la mesure et la simultanéité des sons différents qui concourent à former les accords restent inaltérées. Il est donc permis de conclure de la vitesse observée par le bruit du canon à celle d'un autre son quelconque.

L'air n'est pas le seul milieu dans lequel on ait entrepris de déterminer la vitesse du son. MM. Colladon et Sturm ont déterminé cette vitesse dans l'eau calme par une belle série d'expériences faites sur le lac de Genève. Ils ont trouvé que la vitesse de propagation du son dans l'eau était de 1,435 mètres par seconde.

Mesure des sons. — La mesure des sons et les moyens de les produire sont la base d'une industrie, celle qui se propose la construction des instruments de musique. Nous renverrons aux articles Acoustique, Orgues, Pianos, de cet ouvrage, où ces questions sont traitées.

Mode de propagation du son. — Le mouvement de vibration se propage dans l'air d'une manière particulière, et qui donne lieu à une des plus belles théories, à la mathématique appliquée à la physique. Ce mode de propagation est dû non plus à un mouvement direct d'un corps, mais à une transmission de proche en proche, que l'on peut assimiler grossièrement à des épis courbés par le vent et se relevant successivement dans un champ de blé, ou aux vagues de la mer. Elle a permis d'analyser tous les phénomènes qui se passent dans ce mode de propagation, que l'expérimentation n'est, en quelque façon, plus chargée que de vérifier. C'est ainsi notamment que, par son application aux phénomènes de la lumière, on parvient à analyser de curieux phénomènes qui étaient inexplicables quand on partait de l'idée d'émission, de mouvement direct qui s'offre la première à l'esprit. La différence des phénomènes physiques que l'on peut rapprocher, à ce point de vue, de ceux qu'on étudie dans l'acoustique, c'est que dans cette partie de la science qui relève directement de la mécanique ordinaire, ce sont, en général, des masses, des fractions notables du corps vibrant qui sont en mouvement, tandis que ce sont ou les éléments d'un fluide comme l'éther, qu'on est forcé de considérer comme impondérable, pour la lumière, ou pour la chaleur, les premiers éléments des corps,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les atomes presque infiniment petits, qui sont en mouvement, et il n'en peut résulter pour nous de perception semblable à celles que nous procurent les phénomènes mécaniques ordinaires dans lesquels des masses notables sont en jeu.

Lorsqu'une lame se met en mouvement, elle comprime les molécules d'air qu'elle rencontre, exerce une certaine pression qui va croissant avec la vitesse de la lame, puis décroissant et enfin devenant nulle quand celle-ci rentre en repos. Un effet inverse se produit par le mouvement d'avant en arrière de la lame. On appelle onde sonore l'ensemble des couches d'air à diverses pressions croissantes et décroissantes pour une vibration complète.

Par suite de la grande élasticité des gaz, ces couches d'air communiquent leur vitesse aux couches suivantes, puis rentrent en repos; les molécules d'air ne parcourent donc que des chemins peu étendus, tandis que l'onde se propage, comme les ondes liquides à la surface de l'eau.

Expérimentation. — On doit signaler parmi les plus heureux progrès accomplis, dans ces dernières années, dans les méthodes expérimentales appliquées à cette science, l'emploi de procédés graphiques et optiques pour matérialiser les phénomènes acoustiques.

VII. LUMIÈRE.

La lumière qui paraît propre à certains corps, que l'on dit, par suite, lumineux tels que le soleil, les flammes, etc., tend à se répandre et à se propager dans toutes les directions. Les corps qu'elle rencontre peuvent: soit la laisser passer, et s'appellent alors transparents; soit l'arrêter, être opaques. Ces propriétés sont susceptibles de divers degrés.

L'expérience prouve que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent homogène, en ligne courbe dans un milieu hétérogène.

Comme toutes les émanations d'un centre unique, les surfaces des sphères de rayons variables ayant leur centre en ce point qui en reçoivent l'effet, étant entre elles comme les carrés des rayons, l'intensité d'une même lumière décroît comme le carré des distances. C'est sur cette loi que sont fondées les expériences photométriques, les mesures d'intensité de lumière de deux points lumineux, dont on fait varier la distance à un tableau jusqu'à ce que deux ombres projetées soient d'égale intensité.

Vitesse de la lumière. — Des observations astronomiques (celle des éclipses des satellites de Jupiter dans des positions différentes de cette planète) ont permis d'établir que la vitesse de la lumière était de 310,000 kilomètres par seconde. Cette détermination a été confirmée, avec une réduction toutefois, par des expériences directes faites à la surface de la terre.

Catoptrique ou réflexion de la lumière.

La surface d'un corps poli est, pour tout rayon de lumière qui la frappe, la cause d'un changement de direction. Toute la portion de lumière qui ne pénètre pas dans le corps est dite *réfléchie*.

Le cas le plus simple à examiner tout d'abord, et qui permet de mettre en évidence les deux lois fondamentales de la réflexion de la lumière, est celui où cette réflexion a lieu sur une surface plane.

Si l'on fait pénétrer, par un orifice étroit, dans une chambre obscure, un faisceau délié de lumière solaire pour la faire tomber sur une plaque plane et polie, on aura à considérer trois directions ou trois lignes : 1° la ligne que suit le rayon incident et qui est déterminée par l'orifice d'admission et par le point de la surface métallique frappé par la lumière; 2° la perpendiculaire ou normale élevée en ce point du plan réfléchissant; 3° la ligne que suit le rayon réfléchi, et qui est déterminée par le point déjà considéré sur le miroir et par celui des parois de la chambre obscure où va tomber la lumière après sa réflexion.

On remarque 1° que ces trois lignes sont contenues dans un même plan, nommé plan de réflexion, nécessairement perpendiculaire à celui de la surface réfléchissante; 2° on remarque aussi que, dans ce plan de réflexion, le rayon incident et le rayon réfléchi font avec la normale des angles égaux. Ces conditions sont toujours satisfaites, quelle que soit l'inclinaison sous laquelle le miroir se présente au rayon lumineux.

C'est sur ces lois qu'est fondée la propriété des miroirs plans, des glaces planes, d'offrir une représentation symétrique des objets situés devant eux.

Des miroirs, formant un angle, permettent de multiplier les images. (Voyez KALÉIDOSCOPE.)

On construit aussi, pour les besoins de l'optique, des miroirs terminés par des surfaces de sphère, soit concaves, soit convexes. Ils produisent des effets variables avec la distance à laquelle on les considère et avec celle qui les sépare des objets environnants, variables aussi avec la longueur de leurs rayons de courbure.

L'image des objets éloignés viendra se concentrer au foyer d'un miroir de forme parabolique; c'est sur ce principe qu'est fondé le télescope.

Dioptrique ou réfraction de la lumière.

Lorsque la lumière tombe sur la surface polie d'un corps transparent, une partie seulement se réfléchit suivant les lois précédemment indiquées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'autre pénètre dans le corps en éprouvant une déviation à laquelle on donne le nom de *réfraction*. Ce phénomène s'observe chaque jour lorsqu'on examine des corps plongés en partie dans l'eau; ils paraissent rompus au point où ils émergent de la surface de l'eau.

Descartes a découvert les lois de la réfraction, dont voici l'énoncé : 1° Le plan qui contient le rayon incident et le rayon réfracté passe par la normale à la surface de séparation des deux milieux au point de concours de ces deux rayons; 2° le rapport des sinus des angles que ces rayons font avec la normale reste constant pour les mêmes milieux quand l'incidence varie et est dit *l'indice de réfraction;* 3° si la lumière rebroussait chemin, elle suivrait les mêmes directions dans un ordre inverse.

Théorie des lentilles. — Si l'on dresse les faces d'un corps réfringent de manière qu'il se trouve terminé par deux surfaces de sphère, il prend le nom de *lentille*. La forme des lentilles, et par suite leur propriété de réunir ou d'écarter les rayons lumineux, peuvent varier à l'infini, puisqu'on dispose de deux surfaces que l'on peut faire à volonté ou concaves ou convexes, et dont les rayons de courbure peuvent prendre toutes les longueurs possibles. Elles sont dites *convergentes* ou *divergentes*. Au premier groupe appartiennent les lentilles dont le centre est plus épais que le bord; celles, au contraire, dont le bord est plus épais que le centre, sont comprises dans la seconde catégorie.

La distance à laquelle s'opère le croisement des rayons tombés parallèlement sur la lentille est ce qu'on appelle la distance focale principale; on la trouve par expérience, et, une fois connue, elle peut servir à prévoir la distance d'un des foyers conjugués, celle de l'autre étant donnée. On peut trouver *a priori* cette distance focale principale et la déduire de l'indice de réfraction de la substance qui compose la lentille et des rayons de courbure qui la terminent.

Décomposition et recomposition de la lumière.

Si l'on fait tomber sur une des faces d'un prisme un mince faisceau de lumière solaire pénétrant dans une chambre obscure par un orifice étroit, celui-ci éprouve, en traversant successivement les deux surfaces, deux réfractions dans le même sens, et peut être projeté finalement sur un écran. Outre que le faisceau est dévié vers la base du prisme, on trouve qu'il se dilate dans le plan de réfraction et donne naissance à une image oblongue, formée par la succession et la superposition de disques circulaires dus à la forme circulaire du soleil. Cette image, issue de rayons primitivement blancs, étale aux yeux les plus vives couleurs, parmi lesquelles on distingue les nuances suivantes : *rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.* L'ordre dans lequel nous venons de les énumérer est constant, et toujours c'est le rouge qui éprouve la moindre déviation. Tout rayon ou tout faisceau de lumière blanche que l'on voit se résoudre ainsi en une image colorée porte généralement après sa transformation le nom de *spectre*. Le *spectre solaire* est celui que l'on forme avec la lumière empruntée au soleil. En réalité, il ne se compose pas seulement de sept couleurs, mais bien d'une infinité de couleurs qui viennent se ranger d'elles-mêmes dans l'ordre de leur réfrangibilité.

Newton, qui a analysé le premier cette belle expérience, en a conclu que la lumière blanche n'est pas homogène, qu'elle est composée d'une infinité de rayons qui diffèrent les uns des autres par la couleur et aussi par leur aptitude à être plus ou moins déviés par la réfraction; cette dernière qualité, plus ou moins développée chez les rayons de différentes couleurs, est ce qu'on appelle la *réfrangibilité*. Quand un faisceau de lumière, émané du soleil, traverse les espaces célestes, ou bien pénètre dans des milieux réfringents normalement à leur surface, il n'y a pas de raison pour que les diverses espèces de rayons dont il se compose s'isolent les uns des autres; mais du moment où ce faisceau rencontre sur son passage la surface oblique d'un milieu réfringent, celui-ci agit inégalement sur les différents rayons, leur imprime des directions variées, et fait apparaître le brillant phénomène de la *dispersion*.

Ce qui prouve que dans son passage à travers le prisme la lumière blanche n'a été que décomposée et non altérée, c'est qu'on peut la recomposer en recevant le spectre entier sur une large lentille convergente ou sur un miroir concave, qui auront pour effet l'un et l'autre de réunir en un foyer les rayons de toutes couleurs et d'y faire réapparaître la lumière blanche.

Au lieu d'opérer la recomposition complète de la lumière, il est curieux d'en combiner ensemble partiellement les rayons. On reçoit un spectre sur un système de plusieurs miroirs plans qui peuvent prendre indépendamment les uns des autres toutes sortes de positions; on en profite pour recevoir sur quelques-uns d'entre eux les rayons dont on veut connaître l'effet résultant, et l'on fait converger ces mêmes rayons après leur réflexion sur un écran placé à proximité. Quand on fait concourir de la sorte en un même lieu tous les rayons du spectre, on tombe sur une nouvelle manière de recomposer la lumière blanche; mais si l'on partage tous ces miroirs en deux groupes disposés pour recevoir la totalité du spectre, et si chaque groupe est orienté pour déterminer sur l'écran un point de convergence, il en résultera deux images colorées, qui, par leur réunion, régénéreraient la lumière blanche. Quel que soit le mode de répartition des deux groupes de miroirs par rapport au spectre, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

couleurs qu'ils font naître sont dites *complémentaires*, l'une par rapport à l'autre; et en général on nomme ainsi deux couleurs susceptibles, par leur réunion, de donner du blanc.

Les teintes formées d'une partie des rayons colorés, toutes variées qu'elles soient, ne se forment pas au hasard, elles obéissent à des lois déterminées. Cela est si vrai qu'après avoir répété un grand nombre de fois ces sortes d'expériences, on finit par acquérir la notion confuse de ces lois, et qu'on peut prédire à l'avance quel sera le résultat du mélange de tels ou tels rayons. Mais, pour arriver à la précision, on rencontre un obstacle insurmontable dans l'impossibilité absolue d'évaluer numériquement nos sensations visuelles. Aussi est-il bien curieux que Newton ait pu formuler une règle empirique que nous avons rapportée à l'article CONTRASTE DES COULEURS, à l'aide de laquelle il est permis de prévoir, comme par le fait d'une très-grande habitude, les effets résultant d'un mélange de rayons donnés.

Couleurs propres des corps. — Puisque toutes les couleurs existent dans la lumière blanche, on admettra sans peine que les corps de la nature lui empruntent les teintes qui les distinguent les uns des autres. Ceux qui renvoient indistinctement tous les rayons tombant à leur surface sont pour nous des corps blancs, tels sont le papier, la neige, et généralement tous les corps transparents et incolores, réduits en poudre fine ou en filaments déliés. Les corps noirs, au contraire, sont ceux qui absorbent également et en abondance toutes les espèces de rayons; leur présence au milieu d'autres objets qui rayonnent plus vivement fait naître cette sorte de contraste que l'on rapporte ordinairement à la couleur noire. Enfin les corps qui absorbent certains rayons préférablement aux autres nous paraissent doués de la teinte complémentaire de celle que formeraient les rayons absorbés; ainsi l'on peut être assuré, en voyant un corps rouge, qu'il absorbe le vert, et, semblablement, que les corps jaunes absorbent le violet, et les violets le jaune. On en acquiert la certitude en promenant dans le spectre des corps remarquables par une couleur franche; on les voit alors devenir très-lumineux quand ils sont plongés dans les rayons qui présentent le plus d'analogie avec leur teinte propre; dans les autres parties du spectre, ils paraissent presque noirs, et le peu de lumière qu'ils réfléchissent est toujours identique pour la couleur aux rayons éclairants; elle n'est aucunement influencée par la teinte propre du corps.

Les milieux transparents et diversement colorés présentent des phénomènes analogues. Quand une substance transparente et incolore, comme le verre, l'eau, le cristal de roche, est placée comme écran sur le trajet des rayons qui composent un spectre, celui-ci reste inaltéré. Mais si la substance est fortement colorée, soit en rouge, en bleu ou en vert, le spectre en le traversant se dépouille de certaines couleurs et conserve avec une intensité prédominante celles que l'on reconnait à l'œil dans la substance interposée; autrement dit, un verre rouge, vert ou bleu est transparent pour le rouge, pour le vert ou pour le bleu, et se montre au contraire plus ou moins opaque pour les autres couleurs.

Achromatisme. — Achromatiser un rayon de lumière qui a été dispersé par la réfraction, c'est le recomposer dans son état primitif sans annuler sa déviation.

Si on réunit deux espèces de verre nommées crown-glass et flint-glass, le dernier produisant une dispersion bien plus forte que le premier, on conçoit que, par des épaisseurs et formes convenables, on pourra contre-balancer la dispersion. Toutefois, la recomposition de la lumière n'est jamais obtenue complétement au moyen des verres que l'on possède; l'achromatisme n'est jamais parfait : cela tient à ce que les spectres obtenus par les prismes de crown et de flint ne sont pas entièrement superposables. Certaines couleurs sont plus dilatées dans l'un, plus contractées dans l'autre; ces spectres sont, comme on dit, *irrationnels*. Quand l'achromatisme a été obtenu aussi parfaitement que possible, c'est-à-dire quand les rayons rouges et violets ont été ramenés au parallélisme, les rayons intermédiaires conservent une petite divergence qui devient sensible à grande distance.

Raies du spectre. — En étudiant le spectre solaire, Wollaston remarqua plusieurs lignes nettement accusées entre des couleurs voisines, et bientôt après Frauenhoffer montra qu'il existait un très-grand nombre de raies noires dans toute l'étendue d'un spectre, raies qui sont perpendiculaires à la plus grande longueur de l'image.

Le nombre des raies et surtout leur disposition varient avec la nature de la source lumineuse; et dans certains cas on voit des bandes brillantes d'un éclat remarquable se substituer aux lignes noires du spectre solaire.

Frauenhoffer a établi le premier de ces deux résultats, en comparant aux raies du spectre solaire celles du spectre qui lui fournissait la lumière des planètes ou celle des étoiles. La lumière des premières est bien identique à la lumière du soleil dont elle provient, tandis que celle de chaque étoile fixe fournit des raies disposées d'une manière particulière qui indique des différences dans leur constitution.

Quant à l'autre phénomène, celui de l'apparition des bandes brillantes, on l'a découvert en étudiant les spectres formés par des lumières artificielles. Il devient surtout extrêmement remarquable, lorsque les rayons sont émis par l'arc lumineux que l'on obtient entre les deux pôles d'une pile, lorsque l'on volatilise et brûle entre eux une substance métallique.

Analyse spectrale. — Ce sont ces bandes co-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lorées en raison de la nature des substances volatisées dans la flamme que MM. Bunsen et Kirchhoff ont mises à profit pour constituer un nouveau mode d'analyse chimique qui constitue une des découvertes les plus curieuses de notre siècle.

« Ils ont vu, dit M. Dumas, que tous les sels d'un même métal, mis en contact avec une flamme, produisent dans le spectre des raies colorées, brillantes, identiques de teintes et de situation; que les sels des métaux différents produisent des raies différentes de teintes et de position; enfin, que des quantités infiniment petites d'un métal suffisent pour en faire apparaître les caractères spécifiques.

« Chacun des métaux, ou plutôt, en généralisant la proposition, chacun des éléments de la chimie actuelle imprime donc au spectre des flammes, au sein desquelles sa vapeur se répand, un caractère propre qui signale sa présence; méthode d'analyse chimique aussi extraordinaire par sa simplicité et son exquise sensibilité que par sa généralité et sa certitude, car elle indique dans tout composé ou dans tout mélange quels éléments s'y trouvent, quels éléments y manquent, et, chose plus merveilleuse encore, elle y manifeste avec une incomparable précision la présence même de tout élément inconnu jusqu'ici.

« La méthode est tellement délicate, et ce spectre se montre tellement impressionnable, que la puissance de ces nouveaux moyens d'analyse dépasse tout ce que l'imagination aurait pu rêver. Que l'on partage, par exemple, un kilogramme de sel marin en un million de parties et chacune de celles-ci en trois millions d'autres plus petites, une seule de ces dernières traces si insaisissables de sel marin suffira pour communiquer à la flamme les propriétés caractéristiques par lesquelles se révèle la présence du sodium, qui en est la base.

« C'est ainsi que MM. Bunsen et Kirchhoff ont reconnu que des éléments réputés très-rares, tels que le lithium, faisaient, en réalité, partie des matières les plus communes, et c'est ainsi que, rectifiant les anciennes analyses chimiques les plus dignes de confiance, ils ont signalé dans les roches et les sédiments très-répandus à la surface de la terre certains éléments que rien n'y faisait soupçonner.

« C'est ainsi surtout que l'apparition dans le spectre de caractères qui n'appartenaient à aucun métal connu a permis à MM. Bunsen et Kirchhoff de deviner l'existence, dans certains produits minéraux, de deux métaux dont les traces auraient été inappréciables par tout autre moyen. Justement confiants dans la sûreté du principe qui leur servait de guide, ils sont parvenus à les isoler en quantité convenable à une étude exacte. Le *rubidium* et le *cæsium*, dont la découverte fait époque dans l'histoire des sciences, sont, dès à présent, inscrits à leur rang parmi les corps simples.

« Désormais aucun élément connu ou inconnu ne pourra donc se dérober aux perquisitions de la chimie; les lacunes existant encore dans la liste des corps simples qui empêchent d'en compléter le classement méthodique seront comblées; l'analyse des eaux minérales sera moins souvent impuissante à rendre compte de leurs propriétés thérapeutiques; la géologie, qui employait surtout les débris des êtres organisés comme témoignages de la contemporanéité des terrains sédimentaires, invoquant la présence ou l'absence de certain élément dans ces mêmes terrains, comme caractères non moins décisifs, rétablira la constitution chimique des mers antédiluviennes d'où ils ont été déposés, ainsi qu'elle en a restitué depuis un demi-siècle la population végétale ou animale. »

Double réfraction.

Nous avons supposé que les substances à travers lesquelles passait la lumière pour se réfracter étaient composées de molécules équidistantes et par suite exerçant une action égale sur la lumière. Il n'en est pas ainsi pour la plupart des substances cristallisées, et alors la loi de la réfraction est plus compliquée que la loi de Descartes. Lorsque la forme primitive élémentaire du cristal diffère du cube ou de l'octaèdre régulier, un rayon lumineux en pénétrant dans le milieu cristallisé se décompose en deux faisceaux différents; l'un de ces faisceaux suit la loi ordinaire, et l'autre une loi toute différente, lorsque la forme primitive est un polyèdre semi-régulier, comme un rhomboïde, un octaèdre isocèle à base carrée; ces deux faisceaux suivent tous les deux des lois nouvelles quand la forme primitive est un polyèdre tout à fait irrégulier.

Les cristaux dans lesquels on observe la double réfraction forment ainsi deux classes distinctes. Si l'on taille une face plane dans un cristal de l'une ou l'autre classe, un rayon lumineux qui y tombera perpendiculairement se divisera, en général, en deux faisceaux; mais pour un cristal de la première classe il existe une seule direction particulière de la face plane, pour laquelle le rayon incident normal pénètre sans se diviser. Pour un cristal de la deuxième classe, il y a deux directions qui jouissent de cette propriété. La normale à la face particulière d'un cristal doublement réfringent pour laquelle cette propriété est observée, ou la direction suivie par le rayon incident normal non divisé, est appelée un axe de *double réfraction*. C'est pour cela qu'on donne aux deux classes différentes de cristaux, jouissant de la double réfraction, le nom de cristaux à un seul axe et celui de cristaux à deux axes.

Parmi les cristaux à un seul axe on doit particulièrement distinguer la chaux carbonatée connue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sous le nom de spath d'Islande : c'est la substance la plus usitée dans les expériences.

Polarisation.

Lorsqu'un rayon lumineux incident normal traverse un cristal à un seul axe doublement réfringent, et à faces parallèles, il s'y partage en deux rayons réfractés d'inégale intensité. Si les deux rayons émergents de ce premier cristal sont reçus sur un autre cristal à faces parallèles, aussi doublement réfringent, chacun d'eux s'y bifurque encore en deux autres, en sorte qu'il y a quatre rayons émergents du second cristal. Si donc on regarde un objet à travers les deux cristaux, on verra, en général, quatre images de cet objet. Mais si l'on fait tourner le second cristal, en laissant le premier fixe, on n'apercevra plus que deux images dans quatre positions rectangulaires pour lesquelles les deux sections principales sont parallèles ou perpendiculaires entre elles.

L'intensité de lumière de ces quatre images sera très-différente, si ce n'est pour certains angles ; d'où l'on doit conclure que la lumière qui a traversé un cristal bi-réfringent a acquis des propriétés nouvelles et qui la distinguent de la lumière naturelle.

Celle-ci peut acquérir ces propriétés nouvelles après une simple réflexion sur des corps polis, sous de certaines incidences.

On donne le nom de polarisation à la propriété que la lumière réfléchie acquiert dans ces circonstances, parce que, pour l'expliquer dans le système de l'émission, on admettait que les molécules lumineuses ont deux pôles ou centres d'action analogues aux pôles des aimants, et que la réflexion fait tourner toutes les molécules lumineuses du rayon réfléchi suivant une même direction, de manière que l'axe de chacune d'elles, ou la ligne qui joint ses pôles, soit parallèle au plan de réflexion. De cette hypothèse sont nées plusieurs dénominations : la lumière qui jouit des propriétés énoncées précédemment est dite *polarisée* ; on appelle *plan de polarisation* le plan de la réflexion suivant lequel la lumière a acquis les propriétés dont il s'agit, ou, dans l'hypothèse de l'émission, le plan auquel les axes des molécules de la lumière sont parallèles ; on dit alors que *la lumière est polarisée suivant ce plan*. Ainsi le rayon ordinaire dans le spath d'Islande est polarisé suivant le plan de la section principale, et le rayon extraordinaire l'est suivant un plan perpendiculaire à cette section principale.

Si l'on reçoit un rayon polarisé, c'est-à-dire réfléchi par une glace de verre sous l'angle de 35° 25′ sur une seconde glace faisant le même angle avec ce rayon ; que l'on fasse tourner cette seconde face autour du rayon, sans changer l'angle qu'elle fait avec lui ; on remarque que la lumière réfléchie par cette nouvelle glace a son maximum d'intensité quand le second plan de réflexion est parallèle au premier, qu'il n'y a au contraire presque aucune lumière réfléchie lorsque ces deux plans de réflexion sont perpendiculaires entre eux, et que, dans ce dernier cas, toute la lumière polarisée suivant le premier plan de réflexion pénètre dans la seconde glace.

On appelle *angle de polarisation* d'une substance l'angle que doit faire un rayon lumineux incident avec une surface plane et polie de cette substance pour que le rayon réfléchi correspondant soit polarisé le plus complétement possible. Brewster a découvert cette loi remarquable, que l'angle de polarisation est celui pour lequel le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté. De telle sorte que A étant cet angle, l l'indice de réfraction, $\cos. A = l \sin. A$ ou $\tang. A = \frac{1}{l}$.

L'industrie a su tirer un très-heureux parti des propriétés qu'acquiert la lumière en traversant des milieux cristallisés ou des solutions de corps cristallisables, pour reconnaître la présence des cristaux élémentaires. (Voyez SUCRE, POLARIMÈTRE.)

De la théorie des ondulations.

Comme nous l'avons souvent répété, toutes les recherches scientifiques ont pour objet de rattacher les phénomènes les plus compliqués à des phénomènes dont la nature est intelligible à l'aide des notions fondamentales de la mécanique. On y parvient le plus souvent par des hypothèses heureuses qui permettent de grouper avec avantage un très-grand nombre de faits. Telle est la théorie des ondulations, dans laquelle la lumière est considérée comme se propageant absolument comme le son, par la propagation de vibrations d'un milieu infiniment subtil appelé éther, ce qui ramène les phénomènes lumineux dans le domaine de la mécanique.

Interférences. — C'est par un mode de propagation de cette nature que peut s'expliquer un des phénomènes les plus curieux que présente la lumière ; nous voulons parler des interférences.

Considérons deux systèmes d'ondes, ou deux rayons lumineux déterminés par les axes perpendiculairement auxquels se produisent les vibrations, et qui suivent la même direction de propagation ou deux directions faisant entre elles un très-petit angle. Supposons que ces deux systèmes d'ondes de même longueur soient en retard l'une sur l'autre d'un certain nombre entier ou fractionnaire d'ondulations, soit qu'émanées du même centre d'ébranlement elles y aient eu leur origine à deux époques différentes, soit que, parties en même temps, elles aient parcouru des chemins différents avant d'atteindre le point considéré. Si ce retard est d'un nombre pair de demi-ondulations, elles tendront à imprimer à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaque instant à l'élément du fluide deux vitesses de vibration égales et de même signe; l'effet de leur superposition sera donc, en quelque sorte, d'augmenter l'intensité de la lumière. Mais, si ce retard est d'un nombre impair de demi-ondulations, les deux systèmes d'ondes tendant à imprimer au même instant à ce même élément deux vitesses égales et de signes contraires, l'effet de leur superposition sera le repos de la molécule et la *lumière de l'un des rayons ajoutée à celle de l'autre produira de l'obscurité.*

C'est ainsi que s'expliquent la scintillation des étoiles, et diverses expériences de physique qui ne peuvent s'analyser si on n'admet le mode de propagation de la lumière par vibrations.

DE L'EXISTENCE DE L'ÉTHER AU POINT DE VUE DES THÉORIES GÉNÉRALES DE LA PHYSIQUE.

Il faut tenir compte de l'existence de l'éther démontrée par les phénomènes lumineux qui ne peuvent s'analyser qu'avec son aide, dans les diverses théories de la physique, pour celles surtout où il a fallu faire pour l'explication des faits des hypothèses qui ne sont pas justifiées par d'aussi brillantes conséquences théoriques que celles auxquelles l'éther a conduit, qui ne sont pas nécessaires au même degré.

L'existence de l'éther paraît, avec celle de l'attraction moléculaire, devoir suffire pour le grand œuvre de la corrélation synthétique des phénomènes physiques qui paraît devoir être le grand progrès que notre époque accomplira dans le domaine scientifique. Voici comment s'exprime à ce sujet un de nos savants les plus profonds, M. Lamé.

« L'existence du fluide éthéré est incontestablement démontrée par la propagation de la lumière dans les espaces planétaires, par l'explication si simple et si complète des interférences dans la théorie des ondes; enfin par les lois de la double réfraction qui prouvent avec non moins de certitude que l'éther existe dans les milieux diaphanes. Ainsi la matière pondérable n'est pas seule dans l'univers, ses particules nagent en quelque sorte au milieu d'un fluide. Si ce fluide n'est pas la cause unique des phénomènes observables, il doit au moins les modifier, les propager, compliquer leurs lois. Il n'est donc plus possible d'arriver à une explication rationnelle et complète des lois de la nature physique sans faire intervenir cet agent dont la présence est inévitable. »

Si nous passons en revue, en tenant compte de cet élément, les deux grandes catégories de phénomènes physiques, ceux qui se rapportent à la chaleur et ceux qui se rapportent à l'électricité, dont nous avons parlé sans tenir compte de l'éther, il sera facile de voir que plusieurs lacunes évidentes seront comblées, que la voie dans laquelle des progrès futurs doivent presque sûrement faire entrer la science sera indiquée.

Chaleur. — Les phénomènes de la chaleur rayonnante sont de tout point assimilables à ceux de la lumière, et Melloni a démontré qu'aucune distinction n'était possible. C'est donc par les ondulations de l'éther que la propagation se produit dans l'un et l'autre cas pour produire des réflexions, des réfractions, etc., suivant les mêmes lois.

Si l'éther joue un très-grand rôle dans les phénomènes de la chaleur rayonnante, il n'est pas permis de ne pas en tenir compte dans l'étude de la chaleur dans les corps, qui se formule si complétement dans la *Théorie mécanique de la chaleur*. Celle-ci suffit pour le calcul total des effets, mais l'intervention de l'éther conduit à l'explication de la manière dont se produisent les phénomènes; il contribue d'une manière prédominante à la production des impulsions, cause des changements que la chaleur produit dans les corps, et même ainsi à l'analyse de leur constitution intime.

L'ensemble des faits, ceux de réfraction notamment, devant faire admettre que la molécule pondérable agit sur l'éther, condense autour d'elle une atmosphère éthérée, on peut, en effet, déduire de cette notion l'explication de faits difficiles à analyser sans son aide, je veux parler des communications des mouvements de l'éther aux molécules pondérables, et inversement.

L'éther en vibration, comme nous le voyons dans la chaleur rayonnante, ne paraît pas pouvoir agir directement sur les molécules pondérables dont la masse est infiniment grande par rapport à la sienne; on conçoit, au contraire, fort bien qu'il agit nécessairement sur l'éther adhérent aux molécules, action transmise à celles-ci immédiatement par l'effet de cette adhérence même. Inversement les molécules pondérables entraînent dans leurs mouvements l'éther adhérent, et les vibrations de celui-ci se communiquent à l'éther ambiant pour faire naître le calorique rayonnant.

Électricité et magnétisme. — L'électricité, qui ne rentre que par des métamorphoses d'effets dans la grande synthèse des forces physiques, y sera sans doute ramenée prochainement par l'analyse même des premiers effets, au moyen du principe des atmosphères moléculaires. N'est-il pas infiniment probable que les effets des courants, leur rapide propagation à travers les corps, tout à fait assimilable pour la vitesse à celle des phénomènes lumineux à travers l'éther libre, se rapportent à des actions produites dans l'éther condensé autour des molécules? Sans développer des considérations qui n'ont pas encore pris place dans la science, nous pouvons indiquer à coup sûr que cette route doit conduire à l'explication des faits, des métamorphoses nombreuses des phénomènes électriques en phénomènes calorifiques ou lumineux, qui démontrent l'homogénéité intime de ces divers modes d'action.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1. PHYSIQUE INDUSTRIELLE.

La physique industrielle comprend les applications au travail industriel des théories que fournit l'étude des forces et agents divers de la nature, l'utilisation des lois générales des phénomènes que l'on observe.

Nous avons reconnu que l'étude scientifique des forces de la nature consiste à mesurer, suivant les cas, les quantités, l'étendue, les mouvements produits; que, par suite, la physique ne présente, pour des phénomènes en apparence d'un ordre spécial, que des applications multiples des sciences mathématiques.

Pour rendre possible l'application des lois, il faut que l'expérience ait constaté les relations des phénomènes qui se succèdent, dans chaque cas, avec la cause qui les produit. Mais on voit de suite à quel degré de précision, en quelque sorte mathématique, il faut que l'art expérimental soit amené pour que la loi réelle puisse se dégager des résultats nécessairement toujours fort complexes que l'expérience fournit, pour que les mille causes d'erreur qui se rencontrent dans la pratique soient évitées, ou au moins appréciées; combien, en un mot, la loi mathématique d'un phénomène est difficile à découvrir. Il est évident que de semblables lois, dès qu'elles sont établies, fournissent des règles certaines pour la pratique. Ainsi la loi mathématique de la réfraction de la lumière permet de déterminer les formes et les courbures des lentilles des instruments d'optique, et donne par suite la règle de la pratique. Mais la certitude mathématique fait souvent défaut quand il s'agit des phénomènes naturels, et dans les cas les plus fréquents, les lois physiques ne sont que des approximations obtenues par la vérification approchée des résultats de l'expérience avec une loi mathématique admise pour la loi véritable. Mais alors même que les lois obtenues sont scientifiquement incomplètes, ne sont qu'approchées, elles sont suffisantes pour les applications pratiques.

Les lois empiriques déduites des expériences s'appliquent directement à l'industrie, aussitôt qu'un emploi industriel le réclame, que le phénomène vient à être utilisé. Obtenues dans des conditions semblables à celles des applications, elles trouvent dans l'industrie un utile emploi, même sans avoir un véritable caractère scientifique, et leur ensemble constitue, à proprement parler, une science expérimentale, une des sciences que nous appellerons sciences de l'ingénieur.

Il n'y a donc pas ici de place pour des connaissances intermédiaires entre la science et l'application, comme lorsqu'il s'agit de sciences abstraites. Ainsi, entre les résultats expérimentalement et scientifiquement déduits relativement à la chaleur, et les règles qui guident dans le chauffage, nul intervalle; toute la différence entre la théorie pure et la règle de la pratique n'est que dans l'utilisation, dans la pratique d'une partie seulement des lois découvertes.

C'est, au reste, le caractère des sciences de la nature de s'appliquer directement et immédiatement à l'industrie, et cela résulte trop évidemment de leur essence même pour qu'il y ait lieu d'insister à cet égard.

Un des plus importants emplois de l'étude physique des corps est, après celle de la mécanique physique qui repose sur l'étude de leur constitution, et que nous étudierons plus loin comme une science appliquée qui procède à la fois de la mécanique et de la physique, la classification, la connaissance des corps, d'après leurs propriétés physiques bien définies. Passons en revue les principales divisions établies.

Cristallographie. — De la forme que prennent les corps susceptibles de cristalliser, se déduit un moyen de les classer, moyen fort commode pour trouver dans les recherches minéralogiques la nature d'un minéral cristallisé, presque par une simple inspection. Cette étude intéressante a été ramenée par Haüy à un ensemble de doctrines qui, appliquées à tous les corps, offrent le caractère d'une science naturelle. Ce n'est pourtant pas véritablement une science dans le sens que nous attachons à ce mot, comme nous le disons plus loin; elle ne constitue en réalité qu'un catalogue des corps arrangés d'après le point de vue physique des formes qu'ils prennent en cristallisant.

Il n'en serait pas ainsi si l'on pouvait prévoir ces formes, les déduire de l'ensemble des conditions de leur formation. C'est dans la chimie que rentrent les recherches qui paraissent pouvoir conduire à la solution de ce problème, celles qui se rapportent aux corps isomorphes et aux corps dimorphes notamment.

Dureté, — Ductilité, — Malléabilité, — Élasticité, — Ténacité. — Toutes ces propriétés physiques des corps solides, considérés au point de vue des résistances qu'ils opposent aux actions des forces qui agissent sur eux, forment l'objet de la mécanique physique dont nous parlons plus loin, c'est-à-dire sont utilisées surtout au point de vue mécanique auquel elles se rapportent. Les corps, considérés par rapport à ces propriétés, peuvent être rangés dans un ordre où celles-ci vont croissant ou décroissant, et l'industrie tire grand parti de semblables tableaux, qui lui indiquent les corps les plus convenables à employer dans chaque cas.

Ainsi la dureté des corps sera indiquée par un tableau où les corps seront disposés de telle sorte, que l'un soit rayé par ceux qui le précèdent et raye ceux qui le suivent.

Caractères physiques en général. — En réalité tous les caractères physiques qui servent à défi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nir les corps sont la base de semblables classifications utiles pour les applications. Telle est la couleur, la conductibilité pour la chaleur, l'électricité, etc., caractères qui permettent de rendre raison de l'emploi des divers corps dans l'industrie.

Corps liquides et gazeux. — De même que les propriétés physico-mécaniques des solides, celles des liquides et des gaz trouvent des applications de toute sorte dans l'industrie; et il résulte du caractère de science de la nature qui appartient à la physique, que les connaissances qui en font partie se trouvent être directement applicables. Ainsi, pour les liquides l'incompressibilité, la capillarité, etc.; pour les gaz, la faible densité, la loi de leur compression, etc., trouvent des applications de chaque instant.

Chaleur. — L'art du chauffage est fondé entièrement sur l'étude scientifique de la production et de la propagation de la chaleur, mais n'a besoin d'emprunter à la théorie qu'une partie des connaissances qu'elle fournit, complétée par des règles empiriques suffisamment exactes pour la pratique; sa théorie doit être considérée comme constituant une science d'ingénieur. La production du travail mécanique par la chaleur, étude qui n'est plus seulement physique, qui se rapporte autant aux phénomènes du ressort de la mécanique qu'à ceux qui sont l'objet de l'étude de la physique, constitue une section capitale de la mécanique physique.

Lumière. — Comme les règles fournies par l'étude des phénomènes calorifiques guident pour les applications au chauffage, l'art de l'éclairage emprunte les siennes à la théorie de la lumière.

La photographie fournit une application industrielle nouvelle des propriétés des lentilles de réduire les images des corps, et a permis d'obtenir par l'action de la lumière la représentation perspective des objets.

Acoustique. — L'acoustique fournit toutes les lois auxquelles doivent satisfaire les instruments de musique, et fournit un exemple des cas où l'expérimentation des industriels a bien souvent devancé les recherches des savants.

Électricité. — Magnétisme. — Les applications des phénomènes de l'électricité et du magnétisme, et par suite des lois que la science est parvenue à reconnaître, sont nombreuses dans l'industrie et le deviennent encore bien davantage chaque jour. Citons, entre autres, la galvanoplastie, la boussole, la télégraphie électrique, l'éclairage électrique, etc.

V. CHIMIE.

Si, au lieu de se borner à l'étude générale des corps, indépendamment de tout changement dans leur nature, comme on le fait dans la physique, on étudie, au contraire, exclusivement ces modifications spéciales dans la nature de chacun d'eux mis en rapport avec tous les autres et dans toutes les circonstances imaginables, on rentre dans le domaine de la science appelée *chimie*. On comprend quels grands résultats a dû produire une science qui accroît en quelque sorte la nature par la création incessante de nouveaux corps, et par suite quels importants résultats elle a fournis à l'industrie depuis qu'elle a été si récemment constituée.

Méthode. — Au point de vue de la méthode scientifique, il est à remarquer que c'est en chimie que l'*observation* proprement dite acquiert son entier développement. En astronomie, la vue, en physique, la vue, l'ouïe et le toucher, tels sont nos moyens d'exploration. En chimie, le goût et l'odorat viennent se joindre aux sens précédents, et acquièrent une importance dont on ne peut se faire une idée qu'en supposant pour un instant ce que serait la chimie sans l'emploi de ces deux sens, en analysant leur influence dans le langage chimique, les acides, les amers, etc. Mais c'est surtout la balance qui, depuis Lavoisier, a constitué la science en y introduisant la précision et l'élément *mesure*. La propriété générale de tous les corps d'être pesants et l'axiome fondamental que la matière ne se détruit pas, que *rien ne se perd, rien ne se crée*, comme disait Lavoisier, telles sont les données sur lesquelles, à la suite de ce grand homme, a été élevé avec une rapidité inouïe un merveilleux édifice.

De l'ordre assigné à la chimie. — Nous paraissons négliger, dans l'ordre que nous suivons ici, une foule de connaissances, indispensables cependant pour l'existence même de la chimie, comme la minéralogie, la géologie, etc. Nous laissons en apparence une lacune considérable.

C'est qu'il faut distinguer, dit A. Comte, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapport à tous les ordres de phénomènes, deux ordres de sciences : les unes, abstraites, générales, ont pour objet la découverte des lois qui régissent les diverses classes de phénomènes, en considérant tous les cas qu'on peut concevoir; les autres, concrètes, particulières, descriptives et qu'on désigne quelquefois sous le nom de sciences naturelles proprement dites, consistent dans l'application de ces lois à l'histoire effective des différents êtres existants. Les premières sont fondamentales, les autres, quelle que soit leur importance propre, ne sont réellement que secondaires, bien qu'indispensables pour les applications.

Telles sont, par exemple, la chimie et la minéralogie; la première est évidemment la base rationnelle de la seconde. Dans la chimie, on considère toutes les combinaisons possibles des molécules, dans toutes les circonstances imaginables; dans la minéralogie, on considère seulement celles de ces combinaisons qui se trouvent réalisées dans la constitution effective du globe terrestre, et sous l'influence de circonstances particulières.

Nous devons donc subordonner aux sciences *dynamiques*, à celles qui se rapportent aux lois de phénomènes mécaniques, et telle est la chimie qui se rapporte évidemment à des phénomènes de mécanique moléculaire, les sciences naturelles descriptives, celles qui ont pour objet le catalogue des corps qui se rencontrent dans l'univers, qui ne fournissent aucun moyen d'action sur ceux-ci : telles sont la minéralogie et la géologie qui indiquent dans quel état et où se rencontrent les substances qui font l'objet de la chimie générale dont nous allons parler, et qui sont par suite d'un grand intérêt industriel. Nous les rencontrerons plus loin lorsqu'il s'agira non des lois de l'action de l'homme sur la nature, mais du travail même dans son application. Nous ne contestons pas l'importance de leur étude; nous disons seulement qu'elles sont d'un ordre tout à fait différent des sciences proprement dites. Leur importance dépend bien plus de la variété des objets qui se rencontrent dans l'univers que de leur valeur propre au point de vue intellectuel; car toutes les lois qui ont présidé à la formation des corps qu'elles étudient ne sont autres que les lois qui constituent la chimie et la physique.

LOIS DE LA CHIMIE GÉNÉRALE.

Distinction des corps en corps simples et en corps composés. — Les corps composés sont ceux desquels on peut extraire plusieurs substances différentes entre elles par leurs propriétés et différentes de la substance primitive. Au contraire, on considère comme simples tous les corps qui n'ont pu être décomposés en d'autres principes.

On compte aujourd'hui 65 corps simples, parmi lesquels 45 seulement sont l'objet des études sérieuses des chimistes; les autres, rares et récemment découverts, offrent peu d'intérêt.

Un assez grand nombre de corps simples, le chlore, l'iode, le brome, par exemple, sont assez voisins les uns des autres par leurs diverses propriétés, forment assez clairement des familles naturelles, pour qu'on puisse penser que plusieurs de ces corps pourront un jour être reconnus avoir un radical commun; mais les chimistes ont grand soin de se fier, pour la majeure partie, aux progrès de la science du soin d'éclairer ce genre de questions et de ne pas perdre leur temps en recherches qui seraient évidemment faites dans une fausse voie; car c'est celle où se rencontre cette espèce de folie qui a fait tant de victimes, la recherche de la pierre philosophale. Personne ne peut prévoir ce que les progrès de la science amèneront à ce sujet; il n'est pas absolument impossible que certains métaux voisins ne puissent, comme les corps que nous venons d'indiquer, provenir d'un corps plus simple et par suite le métal le plus précieux être obtenu à l'aide de corps d'une moindre valeur. Tout ce qu'on peut dire, c'est que, dans l'état actuel de la science, rien de semblable n'est possible, et que ce ne peut être que de la découverte de lois nouvelles, c'est-à-dire des progrès généraux de la science que peut jamais provenir une semblable possibilité, mais non de la contemplation indéfinie des corps sur lesquels on croirait trouver bon d'opérer.

La notion de corps simple, dernière limite des décompositions que la chimie parvient à effectuer, peut servir à définir celle-ci, à assigner le but vers lequel elle tend, c'est-à-dire : étant données les propriétés de tous les corps simples, trouver tous les composés qu'ils peuvent former, et les propriétés de ces composés.

Ce but, surtout quant aux propriétés des composés, est malheureusement bien loin d'être atteint; aussi la chimie est-elle encore, sous ce rapport, une science empirique, c'est-à-dire que les propriétés d'un composé ne sont guère connues que par l'expérience, et la science est-elle bien voisine de la simple description du fait. Elle constitue encore une science presque purement expérimentale, purement industrielle par suite, puisque le fait y tient la plus grande place.

Des atomes. — La notion de composé qui est celle sous laquelle nous arrivons à comprendre les divers corps, sauf les corps simples, nous entraîne nécessairement à comprendre comme composée la dernière molécule des corps; elle est formée de la réunion des dernières molécules des corps constituants, de ce qu'on nomme leurs atomes, Ces atomes ne sont pas seulement des entités que l'esprit se propose pour expliquer les phénomènes; ils existent réellement et constituent la limite au-dessous de laquelle la divisibilité de la matière cesse d'être possible. C'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

là une conséquence directe des résultats de la chimie. En effet, si cette proposition était erronée, il est évident que dans les compositions d'un corps avec tous les autres corps, les quantités de ce corps seraient sans aucun rapport entre elles, et les combinaisons de deux corps suivant toutes les proportions imaginables pourraient avoir lieu. Or, il n'en est nullement ainsi.

Loi des proportions multiples. — Lorsque deux corps simples A et B se combinent, si le principe ci-dessus énoncé est vrai, et dans ce cas seulement, 1 atome de A se combinera avec 1, 2, 3, 4... atomes de B, ou bien 2 atomes de A se combineront avec 3, 5, 7... atomes de B, et ainsi de suite. Il est évident, d'après cela, que les quantités pondérables des deux substances A et B que l'on trouvera dans les divers composés qu'elles peuvent former seront entre elles dans des rapports rationnels et commensurables. Ce fait, qui a été parfaitement démontré par l'expérience, est la principale preuve que nous invoquons pour établir la divisibilité limitée de la matière, et l'existence des atomes indivisibles. L'expérience montre même que les rapports les plus simples sont ceux qui se présentent le plus fréquemment; ainsi on rencontre ordinairement dans les corps composés les rapports de 1 : 2, de 1 : 3, de 1 : 4, de 1 : 5 ou les rapports de 2 : 3, de 2 : 5, de 2 : 7.

Cette belle loi établie par Dalton, qui étendit la loi trouvée par Richter, a été confirmée par tous les travaux des chimistes, mais surtout mise hors de doute par Gay-Lussac, qui, dans des expériences faites sur les gaz, put opérer sur les volumes au lieu d'opérer sur les poids. Il a démontré que les gaz (dont la nature ne peut se concevoir qu'en se les représentant comme formés de molécules écartées les unes des autres, molécules qui, pour les gaz simples très-éloignés de leur point de liquéfaction, très-surchauffés, doivent être les atomes mêmes) se combinent toujours dans un rapport simple, et que si le produit de la combinaison est gazeux ou volatil, il existe aussi un rapport simple entre son volume et celui qu'occupaient les gaz avant leur combinaison.

Équivalents chimiques. — On donne le nom d'équivalents chimiques aux nombres qui représentent les quantités pondérables des différents corps pouvant se remplacer mutuellement dans les combinaisons chimiques.

La loi des équivalents repose sur l'idée des rapports simples et des proportions multiples qui règlent toutes les combinaisons chimiques et en est une conséquence indirecte. L'équivalent des corps simples est la quantité la plus minime qui puisse former des composés relativement à une quantité déterminée d'un corps pris pour unité. L'équivalent des composés est la somme des équivalents des corps simples qui les constituent. Ces lois furent d'abord établies par Wenzel et Richter.

La loi de Wenzel peut être énoncée ainsi :

Si P, P′, P″, P‴ représentent les poids d'une série de bases pouvant neutraliser un poids Q d'un certain acide, si Q′, Q″, Q‴ représentent les poids d'une série d'acides neutralisant un poids de la base P, ces quantités d'acides Q′ Q″ Q‴ neutraliseront également les proportions de bases P′, P″, P‴.

La loi de Richter est la suivante :

Pour les sels d'un même genre, il existe un rapport constant entre la quantité d'oxygène de l'acide et la quantité d'oxygène de la base.

Ces lois combinées avec les précédentes permettent d'établir la série des équivalents des corps, c'est-à-dire de former un tableau des proportions en poids suivant lesquels ils se combinent avec une unité déterminée.

On comprend de quelle importance industrielle est une semblable loi qui permet de calculer avec une extrême facilité les dosages des substances à employer pour toutes les combinaisons à effectuer.

Nomenclature chimique. — Parmi les sciences où la multitude des objets considérés excite à la formation des nomenclatures spéciales, la chimie est la seule où, par sa nature, les phénomènes soient assez simples, assez uniformes, et en même temps assez déterminés, pour que la nomenclature rationnelle puisse être à la fois claire, rapide et complète, de façon à contribuer puissamment au progrès général de la science. Toutes les considérations chimiques sont nécessairement dominées, d'une manière directe et incontestable, par une seule notion prépondérante, celle de la composition; le but propre de la science étant de tout rallier à ce caractère suprême. Ainsi le nom systématique de chaque corps, en faisant directement connaître sa composition, peut aisément indiquer, d'abord, un juste aperçu général, et ensuite un résumé fidèle, quoique concis, de l'ensemble de son histoire chimique.

Tel est l'esprit de la nomenclature heureusement fondée par Guyton-Morveau et qui a eu une puissante influence sur les progrès de la chimie. Malheureusement l'esprit de cette nomenclature devait porter l'empreinte des idées théoriques qui régnaient à l'époque où elle fut créée. Ces idées s'étant beaucoup modifiées, il en résulte que la nomenclature n'est plus en harmonie avec l'état actuel de la science et qu'il importerait de la modifier. C'est ce qui a été fait pour quelques noms, mais ne peut être tenté qu'avec une extrême circonspection pour ne pas rompre la tradition entre les ouvrages des chimistes antérieurs à une réforme et ceux postérieurs.

Nous exposerons en quelques mots cette no-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

menclature dont les principes ont servi à former tous les noms des composés employés dans l'industrie.

Corps simples. — Les corps simples sont habituellement rangés en deux classes.

Dans la première on range ceux qui sont gazeux et liquides, et ceux qui, étant solides, sont le plus souvent privés de l'éclat métallique, sont mauvais conducteurs du calorique. On les appelle corps simples non métalliques ou métalloïdes. Il y en a 14, savoir :

Oxygène, Hydrogène, Silicium, Bore, Carbone, Phosphore, Arsenic, Soufre, Sélénium, Chlore, Bróme, Iode, Azote et *Fluor.*

La deuxième classe renferme les éléments généralement pourvus de l'éclat métallique, solides à l'exception d'un seul, bons conducteurs du calorique. On les appelle corps simples métalliques ou métaux. On en compte 47, savoir :

Aluminium, Antimoine, Argent, Baryum, Bismuth, Cadmium, Calcium, Cérium, Chrôme, Cobalt, Cœsium, Cuivre, Didymium, Erbium, Etain, Fer, Glucinium, Iridium, Lanthane, Lithium, Magnésium, Manganèse, Mercure, Molybdène, Nickel, Niobium, Or, Osmium, Palladium, Pélopium, Platine, Plomb, Potassium, Rhodium, Rubidium, Ruthénium, Sodium, Strontium, Tantale, Tellure, Terbium, Thallium, Thorium, Titane, Tungstène, Uranium, Vanadium, Yttrium, Zinc, Zirconium.

Des composés binaires. — L'oxygène, que l'on considérait comme le corps par excellence lors du renouvellement de la chimie et qui conserva longtemps dans les esprits quelque chose du phlogistique de Stahl, forme en s'unissant avec les autres éléments, deux classes de corps, les *acides* et les *oxydes*; les premiers ont une saveur aigre, analogue à celle du vinaigre, et rougissent la teinture bleue de tournesol; les deuxièmes sont insipides, ou, s'ils ont une saveur, elle n'est pas aigre, mais âcre et brûlante; ils ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide. Les oxydes conservent toujours ce nom lorsqu'ils n'ont pas de saveur; s'ils en ont une urineuse et analogue à celle de la potasse, on les appelle habituellement alcalis.

Acides. — On ajoute au nom du radical la terminaison *ique* ou *eux*, suivant que le corps renferme une plus ou moins grande quantité d'oxygène; acide sulfureux, acide sulfurique, indiquent l'union du soufre (radical) et de l'oxygène; mais il y a plus d'oxygène dans le deuxième composé que dans le premier.

Cette règle suffisait à l'époque où elle fut faite, quand on ne connaissait que l'oxygène pour principe acidifiant; mais les progrès de la science ont forcé de modifier cette partie de la nomenclature : ainsi, quand l'hydrogène vient former un acide, le nom de l'acide comprend le radical hydro, pour indiquer que l'hydrogène entre dans le composé; l'acide hydrosulfurique ou mieux sulfhydrique est un acide formé d'hydrogène et de soufre.

Oxydes. — Corps composés d'un radical combustible, métallique ou non, et d'oxygène, n'ayant pas de saveur ou ayant une saveur urineuse analogue à celle de la potasse. L'oxygène peut s'unir en diverses proportions avec un radical, en formant toujours un oxyde : on fait donc précéder le mot oxyde des prépositions *prot, deut, per,* pour indiquer la proportion d'oxygène. Protoxyde de potassium, protoxyde et deutoxyde de fer, protoxyde et deutoxyde de mercure, indiquent les combinaisons : 1° d'oxygène et de potassium; 2° de fer avec une et deux proportions d'oxygène; 3° de mercure avec une et deux proportions d'oxygène. Certains oxydes alcalins ont conservé leurs noms anciens : potasse, soude, baryte, strontiane, chaux, etc., se disent pour protoxyde de potassium, protoxyde de sodium, protoxyde de barium.

Composés binaires. — Ils peuvent être formés de deux corps combustibles quelconques. La nomenclature varie suivant que la combinaison a lieu : 1° entre des combustibles non métalliques; 2° entre un métal et un combustible non métallique; 3° entre deux métaux.

Si le composé est liquide ou solide, ou formé de deux substances non métalliques, ou d'un élément métallique et d'un élément non métallique, on nomme le composant non métallique en lui donnant la terminaison *ure,* et on le fait suivre du deuxième élément au génitif; sulfure de phosphore, sulfure de zinc, indiquent les combinaisons binaires liquides ou solides du phosphore et du soufre, du soufre et du zinc.

Si le corps est gazeux, il renferme au moins un gaz dans sa composition; on nomme le gaz le premier, et on le fait suivre du nom du deuxième corps, terminé en *é* : hydrogène carboné, indique le composé gazeux formé d'hydrogène et de carbone.

Les métaux, en se combinant entre eux, forment des composés qui portent le nom générique d'alliages. Exemples : alliage d'étain et de plomb, de cuivre et d'étain.

Sels. — Les composés binaires peuvent s'unir entre eux, de manière à former des composés plus complexes; les acides et les oxydes forment les sels. Voici comment on forme leurs noms. Le nom des acides terminés en *ique* reçoit la désignation *ate;* celui des acides terminés en *eux,* la désignation *ique.* A ces noms ainsi modifiés, on joint le nom de l'oxyde qui fait partie du sel. Ainsi, borate de soude, sulfite de soude désignent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des sels composés d'acide borique ou d'acide sulfureux et d'oxyde de sodium.

De la combinaison des corps.

Les idées de combinaison des corps entraînent nécessairement avec elles l'idée de forces qui les déterminent et que la science doit apprendre à mesurer; cependant, ce n'est que tout récemment qu'on a pensé à atteindre ce que Lavoisier entrevoyait dans le lointain comme le couronnement de l'édifice. Jusqu'ici, les chimistes n'ont guère cherché que les théories conduisant au plus à la prévision de quelques faits, par analogie avec des faits connus; c'est ce que fit Berthollet. Les travaux, dans cette direction, ont été résumés ainsi qu'il suit par Chevreul :

Analyse chimique. — L'affinité d'antagonisme des corps, considérée au point de vue analytique, c'est-à-dire au point de vue des décompositions des corps composés, se manifeste par des phénomènes dont les principaux peuvent être rapportés aux cinq cas suivants :

Premier cas. — Action des dissolvants sur les principes immédiats d'un sel qui sont inégalement solubles.

Le dissolvant peut entraîner la décomposition complète ou partielle du sel.

Deuxième cas. — Effet de la force d'expansibilité ou de la volatilité considérée relativement à la décomposition d'un sel par un acide, par un alcali ou par un sel.

La chaleur surtout en augmentant la volatilité d'un élément est un puissant moyen d'analyse, d'un emploi fréquent.

Troisième cas. — Influence de l'insolubilité considérée dans la précipitation produite par l'addition d'un acide ou d'un alcali à la solution d'un sel.

Quatrième cas. — Influence de l'insolubilité dans la solution mutuelle des sels solubles.

C'est à Berthollet que l'on doit la généralisation des faits concernant la décomposition de deux sels différents l'un de l'autre par l'acide et la base, généralisation qu'on peut formuler ainsi : toutes les fois que deux sels différents par l'acide et la base sont dissous dans un même liquide, ils se décomposent mutuellement, si, du mélange de leurs solutions respectives, il résulte un ou deux sels moins solubles qu'ils ne le sont, et si d'ailleurs ils ne peuvent produire un sel double par leur combinaison.

Cinquième cas. — Intervention d'un corps combustible dans la décomposition d'un sel dissous dans l'eau.

C'est par l'influence d'une force additionnelle dans un système en équilibre, que s'expliquent, à première vue, ces actions qui, étudiées dans leurs détails, forment les ressources dont dispose le chimiste. Toutefois, il est bien clair que ces divers résultats d'expérience, groupés d'une manière empirique sous forme de lois, ne forment qu'un premier pas vers une théorie bien vaguement entrevue. Les notions qui s'en dégagent et que l'on peut essayer de généraliser sont, avec celle de l'attraction moléculaire : 1° l'idée de dualisme; 2° celle de l'intervention des phénomènes de la chaleur en présence des affinités.

1° L'idée de dualisme, c'est-à-dire d'antagonisme entre molécules de nature différente, a reçu des développements théoriques exagérés en chimie minérale; c'est ce qu'a prouvé l'étude des composés organiques, tous formés de groupements variés de trois ou quatre éléments, dans lesquels l'un d'eux peut être remplacé par un autre. Toutefois, il est vrai que le dualisme est respecté le plus souvent lorsque les forces qui ont déterminé une première combinaison sont énergiques, ce qui fait que dans les diverses réactions où elle est engagée, on reste fort éloigné du point où la séparation de ses éléments pourrait avoir lieu. Ainsi, l'acide sulfurique une fois formé pourra participer à bien des compositions et décompositions salines, sans se trouver dans des conditions où le soufre et l'oxygène qui le forment pourraient se séparer. Il agit donc nécessairement comme un corps simple, et c'est parce qu'il en est le plus souvent ainsi dans la chimie minérale que la loi du dualisme y a été reconnue comme capitale;

2° Si on cherche les causes premières des réactions formulées ci-dessus, on reconnaîtra facilement qu'elles résident dans des quantités de chaleur. En effet, quelle est la cause de l'insolubilité d'un corps? Ce ne saurait être l'absence absolue d'attraction qui paraît inhérente aux molécules matérielles; c'est la distance du point de fusion de ce corps, c'est la chaleur latente qui répond à l'éloignement du corps considéré de l'état liquide, celui du dissolvant, à la température de l'expérience. Un état analogue à celui de liquidité, la mobilité moléculaire, est évidemment la condition essentielle de toute réaction; *corpora non agunt nisi soluta* était un aphorisme souvent répété autrefois. C'est en effet à l'étude de la production de la chaleur que se ramène le problème de mécanique moléculaire, dont on étudie en chimie les manifestations diverses, et les différents effets dus à la solidification, à la vaporisation répondent à des effets produits par des quantités de chaleur de changement d'état. C'est ce que nous allons facilement reconnaître.

MÉCANIQUE CHIMIQUE.

La constitution de la mécanique chimique sera peut-être le plus beau résultat d'ordre scientifique de la constitution de la *théorie mécanique de la chaleur*. Je crois l'avoir établi pour la première fois et d'une manière irréfutable dans l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR du complément

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cet ouvrage. Je n'y reviendrai pas longuement ici, je dirai seulement que du moment que quantité de chaleur est reconnue être quantité de travail, on ne peut se refuser à voir dans la chaleur qui apparaît, lors d'une réaction chimique, le résultat du travail moléculaire entre éléments déterminés par les poids des équivalents. De telle sorte qu'en négligeant d'évaluer les quantités de chaleur, les chimistes ont jusqu'ici laissé de côté l'élément qui permettrait de constituer la mécanique chimique, de réduire la chimie à la mécanique, et de l'amener par suite à un état de perfection définitive.

On verra dans divers articles de cet ouvrage, et notamment dans l'Introduction du Complément, l'idée que nous pouvons nous faire de la chaleur, qui fait bien comprendre comment une quantité de chaleur représente une quantité de travail. Je n'y reviendrai pas ici, mais dirai seulement quelques mots de l'attraction intermoléculaire qui joue le même rôle en chimie que la gravitation en astronomie et qui lui paraît identique. Au point de vue philosophique, ces deux conceptions qui consistent à douer la matière d'une qualité occulte, ne sont pas soutenables. On peut sans doute s'en tenir à la formule de Newton et dire que *tout se passe comme s'il existait une attraction,* laissant aux progrès de la science à déterminer la véritable cause de cette attraction. Sans qu'on soit en mesure aujourd'hui de dire comment elle se produit, on peut dire que la confirmation de la réalité de l'éther par l'analyse des phénomènes lumineux et l'évidence de la constitution dynamique de l'univers, tendent à faire sortir cette analyse des mouvements de l'éther. Newton, après avoir longtemps réfléchi aux causes de la gravité, dit, dans une des notes de son Optique : « Ce serait ici le lieu « d'ajouter quelque chose sur cette espèce d'es- « prit subtil qui pénètre à travers les corps so- « lides et qui est caché dans leur substance; « c'est par la force et l'action de cet esprit que « les particules des corps s'attirent mutuelle- « ment aux plus petites distances et qu'elles « cohèrent quand elles sont contiguës. »

Euler était toujours resté convaincu que la gravitation était un effet dont la cause réside dans une impulsion extérieure. Il dit dans sa lettre LXVIII à une princesse d'Allemagne : « Certains philosophes ont recours à la toute- « puissance divine et soutiennent que Dieu a re- « vêtu tous les corps d'une force leur permet- « tant de s'attirer mutuellement. Mais comment « un corps pourrait-il, sans intermédiaire, *sentir* « un autre corps éloigné de lui? Comment pour- « raient-ils avoir le désir de s'approcher? Ce « sont des idées qui révoltent. Puisque nous sa- « vons, ajoute-t-il, que tout l'espace entre les « corps célestes est rempli d'une matière subtile « qu'on nomme l'éther, il semble bien plus rai- « sonnable d'attribuer l'attraction mutuelle des « corps à une action que l'éther y exerce, quoi- « que la manière nous soit inconnue, que de re- « courir à une qualité inintelligible. »

Quoi qu'il en soit, les atomes se réunissant dans les composés chimiques, *comme si une force attractive agissait,* nous pouvons étudier les phénomènes de mécanique chimique, comme si celle-ci existait réellement.

Je rapporterai ici la série de raisonnements qui conduit directement à l'établissement de la théorie mécanique, les principes fondés sur l'expérience qui conduisent sans erreur possible, sans hypothèse contestable, à l'analyse de la production de la chaleur, ou, ce qui est la même chose, des phénomènes qu'a à étudier et à mesurer la mécanique chimique.

1° Les combinaisons chimiques sont produites par de véritables forces tout à fait de la nature de l'attraction;

2° Les atomes composés sont formés d'atomes composants réunis par ces forces; ils ne peuvent, par suite, être séparés que par l'application d'un travail mécanique ou la consommation d'une quantité de chaleur équivalente;

3° Nous connaissons très-bien les effets calorifiques qui accompagnent l'apparition de la cohésion entre molécules semblables, qui, au point de vue des phénomènes calorifiques et mécaniques, ne peut différer de celle qui prend naissance entre les molécules de corps différents. Nous savons que la cohésion ne peut être rompue que par l'emploi d'une certaine quantité de travail mécanique, ou par la consommation d'une certaine quantité de chaleur équivalente dite *chaleur latente,* et que lorsque cette cohésion s'établit, lorsqu'un corps passe de l'état liquide à l'état solide, il dégage une quantité de chaleur égale à cette chaleur latente.

4° Ce qui est vrai pour les atomes semblables est évidemment vrai également pour les atomes différents. On vérifie à chaque instant le fait de la destruction de la cohésion d'un composé par une certaine quantité de chaleur, qui est ainsi consommée à produire ce travail de séparation. Inversement le dégagement de cette chaleur, lors de la naissance de la cohésion chimique du composé, est un fait général qui est constaté lors de chaque combinaison. On ne peut révoquer en doute l'un des deux phénomènes, car nécessairement le résultat est inverse quand la cause agit en sens opposé.

Par une simple extension parfaitement fondée et parfaitement logique de résultats d'expériences, se rapportant aux cohésions entre molécules semblables, pour analyser les cohésions atomiques entre molécules différentes, c'est-à-dire le jeu des mêmes forces, on arrive donc à ce principe fondamental :

Les combinaisons gazeuses formées entre éléments gazeux (pour ne pas tenir compte de leur constitution physique qui ne diffère de l'état ga-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

zeux que d'une quantité de chaleur déterminée), *considérés les uns et les autres à une même température, produisent le dégagement d'une quantité de chaleur équivalente au travail mécanique qui serait nécessaire pour rompre leur cohésion atomique; les décompositions consomment, au contraire, cette même quantité de chaleur.*

Ce principe, qui ne paraît pas discutable, suffit pour l'analyse du phénomène de la production de la chaleur, et permet de remonter de la mesure de celle-ci à celle du travail moléculaire. Il était impossible de le tenter tant que la notion de la corrélation de la chaleur et du travail mécanique dans les actions moléculaires était inconnue, qu'on ignorait qu'une consommation de chaleur correspondait à une production de travail, que la catégorie des idées, qui devait naître de l'étude de la production du travail mécanique par la chaleur, n'avait pas pris un développement suffisant. C'est là le principe nouveau dont l'application doit permettre de fonder, sur des bases solides, la théorie des actions chimiques.

CHIMIE ORGANIQUE

La chimie permet de retirer des corps organisés des substances diverses, comme elle le fait des masses minérales. Cela fait, elle étudie les propriétés de chacune de ces substances, et cherche à utiliser, d'après cette connaissance, les actions des divers corps sur ces substances pour les modifier au profit de l'homme. Cette analyse est l'action principale qui peut être exercée; la synthèse, la production des corps que produisent les êtres organisés, au moyen d'actions chimiques et de corps d'une composition plus simple, lutte difficilement avec les actions vitales; mais les résultats obtenus dans cette voie n'en sont pas moins, au point de vue scientifique, d'une grande valeur.

En procédant par analyse, on est arrivé à bien connaître, en premier lieu, les produits de l'organisme végétal et animal.

L'analyse de ces produits de l'organisme, tels que les huiles, les graisses, etc., appartient réellement à la chimie, et l'opportunité de l'application de cette science à l'étude de ces corps se manifeste par l'importance même des résultats auxquels on est conduit.

Quant à l'étude des tissus proprement dits, des liquides tels que le sang, la lymphe, assujettis à des variations continuelles, n'étant presque toujours que de simples mélanges, leur étude ne saurait appartenir à la chimie; ils rentrent dans le domaine de la biologie, qui les étudie à l'aide des données fournies par la chimie.

C'est en se plaçant au point de vue de la biologie, que les produits peuvent être classés d'après le rôle que chacun d'eux remplit dans le développement des êtres organisés; on doit étudier, par exemple, comment la fécule, les huiles qui se rencontrent dans les graines, fournissent les éléments nécessaires à leur germination et à la nutrition de la jeune plante.

Les méthodes d'analyse des substances organiques sont d'une extrême importance, puisqu'elles permettent d'étudier toutes les transformations des substances qui entrent dans l'organisme et s'y modifient continuellement.

Mais, au point de vue de la chimie pure, les substances doivent être surtout considérées au point de vue des forces qui ont concouru à les former, et d'abord naturellement, par assimilation avec la chimie minérale, au point de vue d'antagonisme qui est si utile, puisqu'il conduit à prévoir les réactions des divers corps avec lesquels elles peuvent être en contact. On distingue donc :

Les acides organiques;

Les corps neutres, parmi lesquels on distingue les corps peu altérables à l'air et ceux qui se transforment par fermentation en d'autres composés;

Les alcalis organiques.

Le grand nombre des substances neutres, la facilité de la décomposition des produits du règne organique en d'autres produits par les actions de fermentation, l'effet de la chaleur, l'intervention des actions chimiques, s'expliquent facilement par les conditions spéciales auxquelles ils ont été soumis en prenant naissance. C'est sous l'action de forces peu énergiques, que les végétaux s'assimilent l'eau et l'air. Ils sont donc composés d'oxygène, d'hydrogène, de carbone et, pour quelques produits analogues aux substances animales, d'azote. D'autres éléments ne peuvent s'y rencontrer qu'accidentellement et en petites quantités. Les éléments principaux fixés successivement, soudés par adjonction les uns les autres donnent naissance à de nombreux composés, dont la molécule comprend des nombres multiples d'atomes de corps simples, qui diffèrent beaucoup, sous ce rapport, des composés de la chimie minérale.

La composition complexe de la molécule organique fait comprendre les fermentations, c'est-à-dire la facilité de ces molécules à se grouper d'une manière nouvelle, pour engendrer de nouveaux corps plus fixes, moins facilement décomposables que les premiers. C'est à son aide que les végétaux viennent servir à l'alimentation des animaux, et qu'inversement s'accomplit le grand circulus du développement et de la décomposition de tous les êtres.

Aux ressources que fournissait l'analyse, la séparation des éléments des corps composés, se sont jointes celles que fournit la synthèse, l'addition d'éléments nouveaux.

Tout, dit M. Berthelot, avait concouru à faire regarder par la plupart des esprits, comme impossible en chimie organique ce qui se produit à chaque instant en chimie inorganique et la barrière entre les deux chimies comme infranchis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sable. Pour expliquer notre impuissance, on tirait une raison spécieuse de l'intervention de la force vitale, seule apte jusque-là à composer des substances organiques. C'était, disait-on, une force particulière qui résidait dans la nature vivante, et qui triomphait des forces moléculaires propres aux éléments de la matière organique. L'on ajoutait : « C'est cette force mystérieuse qui détermine exclusivement les phénomènes chimiques observés dans les êtres vivants; elle agit en vertu de lois essentiellement distinctes de celles qui règlent les mouvements de la matière purement mobile et quiescible. Elle imprime à celle-ci des états d'équilibre particuliers, et qu'elle peut seule maintenir, car ils sont incompatibles avec le jeu des affinités minérales. » Elle était l'explication au moyen de laquelle on justifiait l'imperfection de la chimie organique, et on la déclarait pour ainsi dire sans remède.

En proclamant ainsi notre impuissance absolue dans la production des matières organiques, deux choses avaient été confondues : la formation des substances chimiques dont l'assemblage constitue les êtres organisés, et la formation des organes eux-mêmes. Ce dernier problème n'est point du domaine de la chimie. Jamais le chimiste ne prétendra former dans son laboratoire une feuille, un fruit, un muscle, un organe. Ce sont là des questions qui relèvent de la physiologie; c'est à elle qu'il appartient d'en discuter les termes, de dévoiler les lois du développement des êtres vivants tout entiers, sans lesquels aucun organe isolé n'aurait ni sa raison d'être, ni le milieu nécessaire à sa formation. Mais ce que la chimie ne peut faire dans l'ordre de l'organisation, elle peut l'entreprendre dans la fabrication des substances renfermées dans les êtres vivants. Si la structure même des végétaux et des animaux échappe à ses applications, elle a le droit de prétendre à former les principes immédiats, c'est-à-dire les matériaux chimiques qui constituent les organes, indépendamment de la structure spéciale en fibres et en cellules que ces matériaux affectent dans les animaux et dans les végétaux. Cette formation même et l'explication des métamorphoses pondérales que la matière éprouve dans les êtres vivants constituent un champ assez vaste, assez beau; la synthèse chimique doit le revendiquer tout entier.

Ce qui différencie les composés organiques des composés inorganiques, ce qui fait que les combinaisons de synthèse des premiers ne peuvent prendre naissance le plus souvent qu'au moyen de combinaisons accessoires, c'est que les composés organiques emmagasinent souvent de la chaleur, de telle sorte que leur décomposition occasionne un *dégagement* au lieu d'une consommation de chaleur.

Cette anomalie apparente se manifeste surtout dans les premiers termes des familles organiques qui comprennent les carbures, les alcools les acides. Ce sont là, par conséquent, les corps dont la synthèse est la plus difficile. Mais dès qu'ils ont pu être formés, on obtient tous les autres, par une suite de réactions et de combinaisons régulières, effectuées en général avec dégagement de chaleur et conformément aux lois ordinaires.

Substitutions. — Une des lois les plus curieuses et les plus fécondes de la chimie moderne est *la loi de substitution*, ainsi formulée à l'origine par Dumas :

Quand on traite une substance hydrogénée par le chlore, le brome, l'iode ou l'oxygène, etc., ces corps lui enlèvent généralement de l'hydrogène, et, pour un équivalent d'hydrogène enlevé, il se fixe un équivalent de chlore, de brome, d'iode ou d'oxygène dans le composé.

M. de Luynes a fort bien expliqué cette loi, dont les applications se sont fort étendues. « Imaginez, dit-il, une maison construite toute en briques ou en bois; on pourra remplacer une partie des briques par de la pierre, une autre par du marbre; on pourra substituer le fer au bois; et par ces substitutions, faites d'une manière rationnelle, on modifiera les propriétés de la construction comme solidité, comme ornementation, tout en lui conservant ses dimensions et ses caractères primitifs.

« Or, les corps se présentent comme des édifices dont les atomes sont les matériaux; et c'est en enlevant certains atomes à ces édifices, et leur substituant des atomes de nature différente, ou même ces groupes d'atomes tout formés à l'avance, et qu'on appelle des radicaux, que le chimiste parvient à modifier leurs propriétés et à obtenir un nombre de corps nouveaux, d'autant plus considérable que le nombre des substitutions qu'il peut opérer est plus grand.

« Mais ces substitutions ne se font pas au hasard, et un corps quelconque ne peut pas se substituer à un autre. Le chimiste est alors guidé dans son travail par des lois dont l'ensemble forme la théorie des substitutions.

« Pour faire comprendre la fécondité des résultats auxquels elle conduit, nous prendrons pour exemples l'ammoniaque AzH^3, et nous indiquerons la série des composés nouveaux que les substitutions ont permis d'en dériver.

« Aux atomes d'hydrogène, Wurtz a d'abord substitué les radicaux alcooliques, et il a obtenu une série nombreuse de corps nouveaux qu'il a décrits sous le nom d'ammoniaques composées.

« Plus tard, on a substitué d'autres radicaux, notamment ceux qui se trouvent dans les produits du goudron de houille, et comme le nombre en est très-grand, on prépare de cette façon, par voie de substitution, une série de corps nouveaux qui offrent cela de remarquable qu'ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont tous basiques, comme l'ammoniaque qui a servi de point de départ.

« Parmi ces alcalis artificiels, comme on les nomme, considérons ceux qu'on dérive du goudron de houille, l'aniline, la toluidine et leurs homologues. Ces corps sont caractérisés par la facilité avec laquelle ils se transforment en matières colorantes.

« La découverte du rouge d'aniline, par Verguin, à Lyon, a produit trop d'émotion pour qu'il soit nécessaire de la rappeler. Mais ce qui doit être signalé ici, c'est le rôle que la théorie des substitutions a joué dans cette production des couleurs dérivées du goudron de houille, qui forment une des plus étonnantes séries dont la chimie se soit enrichie. Le rouge d'aniline est une base qui renferme de l'hydrogène, à cet hydrogène on a substitué des radicaux, l'éthyle, le méthyle, le phényle, etc., et on a préparé ainsi de nouvelles matières colorantes, mais qui, au lieu d'être rouges, étaient violettes, bleues, vertes, jaunes, etc. Si l'on observe maintenant que le nombre des radicaux organiques dont dispose le chimiste est très-grand; que la substitution de chacun des radicaux donne des bases parmi lesquelles un grand nombre sont susceptibles d'engendrer des matières colorantes; que chaque matière colorante peut, à son tour, engendrer par substitution une série de couleurs différant de nuances et de tons, on pourra se faire une idée du développement qu'a pris la fabrication de ces couleurs.

« Mais le chimiste ne s'est pas arrêté là; non content de modifier l'arrangement des corps de manière à en produire de nouveaux, il a cherché à construire de toutes pièces des produits semblables à ceux que nous fournit la nature. Pour y parvenir, il a d'abord soumis à l'analyse les corps qu'il voulait reproduire; il les a démolis, si on peut dire, pour en examiner les matériaux, en reconnaître les propriétés et l'arrangement, et tenter de les replacer dans l'ordre où la nature les présentait. Il a fait, en un mot, l'analyse chimique de ces corps en vue de les reconstituer ensuite par la synthèse. Nous donnerons un exemple d'application de cette féconde méthode.

« Parmi les matières tinctoriales naturelles, il en est une précieuse entre toutes par la variété et la vivacité des nuances qu'elle fournit avec les différents mordants, non moins que par sa solidité. C'est la garance, dont la racine renferme les produits colorants que tous les chimistes connaissent. Le plus important de ces produits, l'alizarine, a été isolé par des chimistes français, Robiquet et Colin. Ses propriétés remarquables ont attiré depuis longtemps l'attention des chimistes, et bien des tentatives, suivies de bien des insuccès, ont été faites pour reproduire le précieux pigment. C'est que ces recherches n'étaient pas éclairées par l'analyse. MM. Graebe et Liebermann ont pris l'alizarine naturelle, l'ont chauffée avec de la poudre de zinc, et ont obtenu comme résultat de l'analyse un corps blanc composé de carbone et d'hydrogène, l'anthracène. Ils en ont conclu que l'anthracène était le point d'où il fallait partir pour reproduire l'alizarine. Et, en effet, la théorie leur indique qu'il suffisait de fixer sur l'anthracène une quantité convenable d'oxygène, en enlevant une portion de l'hydrogène pour arriver au résultat si désiré. Mais ce nouvel arrangement ne pouvait s'opérer que par le secours des opérations les plus délicates. En effet, pour introduire cet oxygène, il fallait d'abord brûler une partie de l'hydrogène, ce qui permet de fixer une première dose d'oxygène. Il faut, ensuite, ajouter le reste de l'oxygène. Mais ce résultat ne peut pas être atteint directement. On introduit d'abord de l'acide sulfurique, qui prépare la place que vient prendre ensuite l'oxygène nécessaire à la construction totale de l'édifice. Pour que cette découverte devînt industrielle, il fallait avoir à sa disposition la matière première, l'anthracène. Or, depuis 1832, Dumas et Laurent l'avaient signalé dans le brai, résidu du goudron de houille; cette matière de faible valeur est devenue la mine précieuse d'où l'on tire l'anthracène, qui sert déjà à fabriquer des milliers de kilogrammes d'alizarine artificielle. »

On voit comment la production à bon marché de substances d'origine organique d'un prix élevé, au moyen de substances de peu de valeur, la quinine, l'indigo, etc., paraît pouvoir ressortir un jour des travaux des chimistes, comme en est provenue la découverte décrite ci-dessus.

Atomicité. — Types chimiques. — L'atomicité, autre que la force qui produit la combinaison, est mesurée par le nombre des atomes d'hydrogène ou d'un élément analogue que l'atome d'un corps donné peut fixer. Les atomes de chlore et ceux d'hydrogène sont ainsi faits qu'un atome du premier se combine toujours avec un atome du second. La force avec laquelle il l'attire, dit Wurtz, c'est l'affinité; la vertu de se contenter d'un seul atome, c'est l'atomicité. C'est ainsi que l'oxygène a une autre capacité de combinaison que le chlore, puisqu'il se combine avec deux atomes d'hydrogène pour former de l'eau. L'atomicité est donc cette propriété particulière d'un atome de se combiner avec un nombre plus ou moins grand d'atomes.

L'hydrogène pris pour terme de comparaison est *monoatomique;* il en est de même du chlore, du brôme, de l'iode.

L'oxygène est *diatomique* par la raison qu'un atome de ce corps prend deux atomes d'hydrogène.

L'azote est *triatomique* lorsqu'il s'unit à trois atomes d'hydrogène.

Le carbone est *tetraatomique* dans le gaz des marais où il est uni à quatre atomes d'hydrogène.

PLURUS - Recherche & Classification numérique

Les radicaux organiques, les composés stables qui se comportent comme des corps simples dans les combinaisons et substitutions, doivent être classés de la même manière. Parmi les groupes monoatomiques, les radicaux alcooliques, tels que l'éthyle et le méthyle, sont les plus importants.

Les questions d'atomicité, de substitution, se rapportent aux arrangements relatifs des atomes, que l'on rapporte naturellement à ceux de quelques corps principaux pris comme types fondamentaux. Ce sont : 1° le type hydrogène $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}$, ou acide chlorhydrique $\left.\begin{matrix}CL\\H\end{matrix}\right\}$; 2° le type eau $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$; enfin, 3° le type ammoniaque $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right\}Az$.

Classement par séries. — Il est évident que par substitution le nombre de corps qui peuvent être obtenus, en partant de groupes très-complexes élaborés dans les êtres vivants par des réactions lentes, dans les appareils appartenant à l'organisme vital, est, pour ainsi dire, infini, et qu'on peut espérer arriver, par bien des routes, à produire une substance précieuse. Les recherches toutefois ne pourraient se poursuivre qu'au hasard, et par suite avec bien peu de chances d'obtenir d'importants résultats, sans l'introduction dans cette partie de la science d'une notion nouvelle. Nous voulons parler de l'idée de série sur laquelle Gerhardt fit reposer la classification des substances organiques, différant en général des voisines par un carbure d'hydrogène.

Cette notion repose en réalité sur la classification en familles naturelles, si utile dans la botanique et la zoologie, et qui faisant déjà sentir son utilité dans la chimie minérale, est nécessaire, à plus forte raison, au milieu de la multitude de composés qu'on étudie dans la chimie organique. En effet, cette *sériation* permet de prévoir les propriétés, l'existence même de corps inconnus, d'après celles de corps connus, et par suite de simplifier l'étude de la chimie tout en en étendant singulièrement les résultats.

C'est surtout quand on considère les combinaisons si nombreuses et si variées que présente l'étude des corps non métalliques, qu'on remarque que des analogies de composition correspondront à des analogies de propriété. Ainsi en prenant pour exemple l'eau, on voit que ce composé peut échanger tantôt son hydrogène, tantôt son oxygène contre certains corps simples, ou contre certains *groupes* plus ou moins complexes, en engendrant des substances qui présenteront avec elle des analogies plus ou moins étroites en même temps que le même groupement moléculaire.

La sériation de corps analogues, de types semblables, présente un immense avantage dans l'étude des phénomènes chimiques en ce qu'elle permet de déduire de la connaissance parfaite des propriétés d'un des corps les plus importants de la série, de la famille, l'histoire à peu près complète des autres termes qui la composent. Une série étant donc établie, pour en faire une étude complète, le chimiste n'aura qu'à choisir le terme qui lui paraîtra le plus convenable.

Ce terme sera comme une sorte de pivot autour duquel tourneront tous les composés qui lui correspondent par leurs propriétés, leur composition, et par la similitude des métamorphoses auxquelles ils donnent naissance, lors de leur contact avec les différents réactifs.

Isomérie. — Ce qui est encore propre à la chimie organique, c'est que l'immense variété de corps qu'elle étudie ne comprenant jamais que trois ou quatre éléments combinés en proportions simples, grand nombre sont isomères, peuvent renfermer les mêmes éléments dans le même rapport sans être nullement les mêmes. C'est du mode de combinaison des atomes 2 à 3, 3 à 4, etc., ou plutôt de cohésions entre atomes similaires, que résultent ces formations effectuées dans les appareils si délicats de l'être organisé. Je montre à l'article *Production de la chaleur* comment la mesure des phénomènes calorifiques apparaissant lors des réactions, doit permettre d'analyser le mode de combinaison d'un composé.

2. CHIMIE INDUSTRIELLE.

La chimie étant une science de faits qui enregistre les modifications, les combinaisons mutuelles des corps qui agissent les uns sur les autres, ses résultats sont presque tous applicables à l'industrie ; il n'y a vraiment d'exception que pour les corps qui ne se rencontrent que dans les laboratoires, qu'on ne sait pas encore préparer à des prix peu élevés, et qu'on ne produit pas par suite en quantités considérables. Non-seulement les résultats de la chimie sont presque tous applicables à l'industrie, mais encore c'est toujours immédiatement qu'ils peuvent s'appliquer. La chimie est la réunion des connaissances indispensables au fabricant de produits chimiques, le laboratoire se confondant absolument avec la fabrique ; l'échelle de la production diffère seule.

Malgré cette observation, les faits plus spécialement applicables dans certaines séries industrielles sont assez nombreux pour constituer de véritables sciences d'ingénieur, assez différentes de la chimie pure, et assez considérables pour faire l'objet des études spéciales des ingénieurs qui en poursuivent les applications. Nous allons les passer en revue.

GÉOLOGIE, MINÉHALOGIE, ETC.

L'étude des substances minérales qui se rencontrent dans l'intérieur de la terre a conduit à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des séries de connaissances de la plus grande importance, basées sur la chimie.

La *géologie* se rattache à la fois à la géographie physique, quant à l'étude des lieux où certaines substances sont déposées sur le globe, et à la chimie, quant à l'étude de la nature de ces substances. De l'observation, elle permet de déduire sûrement (et indépendamment des hypothèses par lesquelles ces résultats peuvent s'expliquer) s'il est possible de rencontrer une couche d'une espèce de terrain sous une autre que l'observation fait connaître; les diverses espèces de terrain se succédant toujours dans un ordre déterminé par l'observation; non qu'elles se rencontrent nécessairement toutes, mais à ce point de vue seulement que les inversions dans l'ordre de la succession sont impossibles. Ces beaux résultats, qui permettent de conjecturer comment s'est formée l'écorce du globe, constituent un ordre de connaissances tout à fait fondamental pour l'ingénieur des mines.

La *minéralogie* a surtout pour objet la classification et la description des minéraux et, comme les sciences naturelles dont elle fait partie, elle permet de reconnaître par l'inspection de la place que les corps étudiés occupent dans une classification leurs principales propriétés. Nous avons déjà parlé de la cristallographie qui fournit les moyens les plus précieux d'atteindre ce résultat. Comme nous l'avons déjà dit en traitant de la chimie, cette science fournit à la minéralogie la connaissance des éléments qui composent le minéral, de telle sorte que les progrès de celle-ci ont fait négliger les méthodes spéciales de la minéralogie pour réduire à de véritables analyses les essais qui permettent de fixer la nature d'un minéral.

Nous avons donc à dresser ici la liste des principaux produits d'ordre minéral sur lesquels s'exerce l'industrie et qui se présentent en masses considérables. Considérées au point de vue de la composition chimique et de la constitution physique des corps qui en font partie, ces séries doivent être complétées par l'indication des utilités qu'ils nous procurent, car c'est là évidemment la cause de leur exploitation; mais le classement scientifique qui facilite leur étude doit toujours dominer comme nous l'avons expliqué, car c'est toujours à la science qu'il faut avoir recours, si on veut trouver de nouvelles ressources pour la pratique.

MINÉRALOGIE INDUSTRIELLE.

1° Roches.

Fournissant les matériaux de construction naturels.

A. Roches feldspathiques.....
- Granit... / Porphyre. } Les plus durs des matériaux. — Employés dans les cas où une très-grande résistance est nécessaire.
- Ardoises. — Espèces ayant la propriété de se déliter en lits parallèles.
- Serpentines. — Servent pour l'ornementation; prennent un beau poli.

B. Roches quartzeuses.....
- Silex. — Pierre à fusil.
- Pierres meulières. — Meules de moulin.
- Grès quartzeux. — Pavage.

C. Calcaires....
- Marbres blancs et colorés. — (Carbonate de chaux.)
- Pierres calcaires habituellement employées dans la construction.
- Anhydride. — Gypse compacte. — (Chaux sulfatée.)

Matériaux artificiels. — Matières premières provenant de roches quelquefois après leur décomposition lente, servant pour les constructions et les usages domestiques après un travail préparatoire très-simple, consistant en une simple action de la chaleur.

Chaux diverses. — Pouzzolanes. — Trass. — Arènes.
Kaolins.
Produits argileux. — Briques et poteries.

2° Combustibles et produits minéraux.

Servant dans l'économie domestique après simple extraction.

Houille. — Anthracite. — Bitume. — Lignite.
Soufre.
Eaux douces et salées. — Sel gemme.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3° Métaux.

Les propriétés des métaux en font la matière première, tant de la plus grande partie des objets d'un usage usuel que de presque tous les outils à l'aide desquels nous transformons les produits naturels pour les appliquer à nos besoins. Nous ne pouvons indiquer ici que quelques exemples des principaux minéraux; c'est dans les articles spéciaux qu'il faut en chercher une liste un peu complète, et l'indication de l'âge des terrains dans lesquels ils se trouvent, à quelle époque de la formation, des révolutions du globe ils sont venus se déposer, se condenser dans les fissures lorsqu'il s'agit de filons. Les modes de formation peu nombreux rendent compte du nombre assez limité de minéraux.

Fer.	Peroxyde de fer cristallisé. — Oxydes alliés avec pierre calcaire ou argile.
Plomb.	Sulfure en filons. — Carbonate en poches.
Cuivre.	Sulfure en filons. — Carbonate et sulfate.
Étain.	Oxyde. — Se trouve dans les terrains d'alluvion.
Zinc.	Sulfure. — Carbonate en amas.
Plomb.	Sulfure en amas et en filons.
Argent.	A l'état métallique. — Combiné au plomb.
Or.	A l'état métallique dans les roches quartzeuses.
Platine.	A l'état métallique.
Mercure.	Sulfure.

4° Pierres précieuses.

Cristallisations naturelles produites pendant les révolutions du globe, utilisées pour leur dureté dans les arts mécaniques, pour leur éclat dans l'ornementation.

Carbone. Diamant. — Diamant noir.
Alumine. Rubis. — Corindon. — Émeraude, etc

5° Sol.

La surface de la terre, sur laquelle s'exerce le travail agricole, où se passent les principaux phénomènes de végétation, est formée des détritus de toute nature de roches. (Voyez AGRICULTURE.) On distingue comme éléments principaux les suivants :

Débris quartzeux.	Sables.	*Débris calcaires.*	Terrains calcaires.
Débris alumineux.	Argiles.	*Détritus végétaux.*	Humus.

Métallurgie, docimasie. — Un des objets principaux des connaissances dont nous venons de parler, est d'arriver à l'extraction des métaux enfouis, le plus souvent à l'état de combinaisons chimiques, dans les entrailles de la terre. La préparation du minerai, les opérations chimiques qu'on lui fait subir dans l'industrie, forment l'objet de la métallurgie; les opérations analogues faites sur une petite échelle et par suite sans qu'il y ait alors à s'occuper du prix de revient, pour juger des procédés, étudier les dosages des substances diverses, constituent la docimasie.

Les opérations métallurgiques (en dehors de la partie mécanique qui constitue une application de la science des machines) consistent essentiellement dans la production artificielle d'un certain nombre de combinaisons et décompositions chimiques, et surtout d'oxydations et désoxydations. Il n'y a donc rien d'étranger à la chimie proprement dite dans les méthodes employées, mais seulement une application variée d'éléments déterminés, dans des conditions particulières, qui en rendent l'étude indispensable pour l'ingénieur des mines.

Métalloïdes. — Corps organisés. — Les sections qui précèdent sont les seules qui, fondées sur les connaissances chimiques, aient été constituées en un corps de doctrine formant science appliquée. Ainsi les opérations qui s'exécutent sur les métalloïdes et qui sont en grande partie du domaine du fabricant de produits chimiques ne forment pas un corps spécial de doctrine, distinct de la chimie générale, bien que des observations importantes soient à noter pour la fabrication sur une grande échelle. Il en est de même pour l'extraction des produits du règne organique, du sucre, par exemple, bien que les usines soient le plus souvent établies par de véritables ingénieurs-chimistes.

Une exception doit être faite pour la teinture. Bien que reposant aujourd'hui sur les théories chimiques, l'art de la teinture est bien loin de n'avoir recours qu'à des théories complètes. Bien des recettes empiriques, des tours de main particuliers y sont nécessaires, et l'ensemble de ces connaissances peut, à bon droit, être considéré comme constituant une science de l'ordre de celles que nous appelons sciences d'ingénieur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VI. BIOLOGIE.

Les phénomènes de l'univers, considérés dans leur ensemble, peuvent être divisés en deux grandes classes principales : la première renferme tous les phénomènes des corps bruts, la seconde tous ceux des corps organisés.

Les premiers ne dépendent que des faits géométriques et mécaniques, ou au moins les phénomènes peuvent être compris comme réductibles aux notions fondamentales sur lesquelles reposent ces sciences; les seconds sont plus compliqués que les précédents et dominés par eux. Les propriétés dynamiques des éléments anatomiques, dites *propriétés vitales*, diffèrent de celles des corps bruts, ou plutôt la complication des causes de tout genre qui concourent à la production de chaque phénomène et à leur modification incessante fait que les relations obtenues sous la forme habituelle des premières sciences ne sont que secondaires et tout à fait insuffisantes pour l'explication du développemment des phénomènes.

La différence capitale qui existe entre ces deux ordres de phénomènes réside dans cet élément nouveau qu'on rencontre dans les corps organisés qu'on appelle la *vie*, et qu'il importe d'abord d'analyser.

On donne le nom de VIE *au double phénomène du mouvement moléculaire, à la fois général et continu, de composition et de décomposition, que présentent les corps organisés placés dans un milieu convenable.*

Cette définition est l'énoncé du seul phénomène absolument et rigoureusement commun à l'ensemble de tous les êtres vivants; elle ne comprend pas la division habituelle de la vie en *organique* et en *animale*, parce que la vie animale n'est qu'un simple perfectionnement complémentaire surajouté chez certains êtres à la vie *organique* ou vie fondamentale.

Pour les actes fondamentaux dont la succession perpétuelle caractérise la vie, la science des corps vivants se subordonne d'une manière directe et complète à la chimie, à plus forte raison à la physique dont relèvent les conditions qui rendent possibles les réactions chimiques. Ils sont, en effet, nécessairement chimiques, puisqu'ils consistent en une suite continue de compositions et de décompositions plus ou moins profondes. Au moment où a lieu une combinaison chimique quelconque, il se passe réellement quelque chose d'analogue à la vie, mais avec cette différence que le phénomène est instantané ici et cesse dès qu'il est produit; tandis que dans tout organisme placé dans un milieu convenable, il se renouvelle continuellement par cette lutte régulière et permanente entre le mouvement de composition et celui de décomposition.

Il est même quelques cas en chimie où certaines circonstances de structure (quelque peu analogues à celle des corps organisés) déterminent des réactions énergiques qui n'eussent pu se produire indépendamment de cette structure particulière, telles sont celles que font naître l'éponge de platine et certains corps poreux.

Tout corps organisé placé dans un milieu convenable a la propriété de présenter le double phénomène général qui caractérise la vie, lequel se manifeste par la nutrition ou accroissement, et le décroissement de ses éléments anatomiques. Ce sont là les *propriétés vitales* les plus générales de ces éléments, propriétés variables pour chaque élément anatomique distinct. Ce sont autant de *propriétés vitales élémentaires et spéciales* inhérentes à chaque élément des tissus.

Connaissant donc :

1° L'*élément anatomique*, c'est-à-dire les derniers corps nettement déterminés auxquels on puisse ramener les tissus organisés par séparation mécanique ou isolement successif des tissus qui les constituent (1), et qui possèdent un ensemble des propriétés physiques qui leur sont tout à fait propres;

2° Le *tissu* composé par l'enchevêtrement des éléments anatomiques;

On est amené à considérer :

3° Les *systèmes*, ou l'ensemble des parties formées d'un même tissu;

4° Les *organes* qui sont des instruments constitués par un ou plusieurs tissus prenant une forme spéciale appropriée à leur distinction;

5° Enfin, les *appareils* formés par une certaine disposition réciproque des organes constituants, conformément, d'une part, à la *fonction* qu'ils ont à remplir, et, d'autre part, au *milieu* dans lequel celle-ci s'exécute.

D'après ce qui précède, on peut reconnaître que le but de la biologie doit être de chercher à rattacher constamment l'un à l'autre dans chaque cas déterminé le point de vue anatomique et le point de vue de la fonction, le milieu dont l'étude appartient aux sciences physiques étant supposé connu.

La biologie est donc la science qui étudie les êtres organisés dans le but d'arriver par la connaissance des organes ou des modifications orga-

(1) C'est surtout le mode de groupement des principes immédiats, d'où résultent les éléments anatomiques dans les corps organisés, et la forme primitive de chaque type cristallin dans les corps bruts, qui distingue ceux-ci des corps organisés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

niques à connaître les fonctions ou actes, et réciproquement.

Ainsi prévoir comment agira, quelles modifications éprouvera dans des circonstances données tel être organisé, ou quel est l'organe qui a pu produire tel acte et réciproquement, tel est le but que doit toujours se proposer le biologiste.

Il est inutile d'insister sur la nécessité de comprendre dans cette définition, à la fois, la physiologie et l'anatomie, sans distinction de l'une avec l'autre; car il ne peut exister de physiologie sans anatomie, comme aussi, sans la physiologie, l'anatomie n'aurait aucun caractère scientifique, c'est-à-dire ne pourrait conduire à aucune découverte.

Cette définition ajoute à l'anatomie et à la physiologie une autre branche essentielle, peu connue, et encore imparfaite. C'est la science qui traite *de l'étude des milieux, ou modificateurs externes généraux et spéciaux, et de leur action sur l'organisme.*

Nous avons vu, en effet, que si l'idée de vie est inséparable de celle d'organisation, elle l'est au même degré de celle du milieu en relation déterminée avec l'organisme.

NUTRITION.

La biologie doit d'abord, avec le secours de la chimie, étudier les phénomènes de nutrition, de vie, relativement au milieu dans lequel vivent tous les êtres organisés.

Les fonctions vitales se manifestent chez tous les animaux par un dégagement de chaleur, une absorption d'oxygène et l'expulsion de divers produits parmi lesquels figurent principalement l'eau, l'acide carbonique et l'azote contenu dans les urines à l'état d'urée.

Ces phénomènes établissent d'une manière bien frappante l'analogie qui existe entre les produits de la vie chez les animaux et ceux de la combustion de nos foyers; des deux côtés il y a absorption d'oxygène et production d'acide carbonique, de chaleur et par suite de travail mécanique absolument comme dans la machine à vapeur. « Dans la respiration comme dans la combustion, a écrit Lavoisier au moment où la vérité lui est apparue, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit à la combustion, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe qui s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. On dirait que cette analogie qui existe entre la respiration et la combustion n'avait point échappé aux poëtes, ou plutôt aux philosophes de l'antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée, ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique, c'est la peinture fidèle des opérations de la nature. On peut donc dire avec les anciens que le flambeau de la vie s'allume au moment où l'enfant respire pour la première fois, et qu'il ne s'éteint qu'après la mort. » Dans les organes, dans le sang des animaux se produit donc une combustion lente, qui transforme en produits oxydés, à l'aide de l'oxygène de l'air qu'ils respirent, la partie utilisable des aliments qu'ils absorbent chaque jour. Ces combustions, cause de production de chaleur, le sont aussi du travail mécanique que les animaux peuvent produire. (Voy. INTRODUCTION, *Complément.*)

Si les animaux sont des appareils d'oxydation, les végétaux sont, au contraire, dans les circonstances les plus ordinaires, des appareils de réduction. Au lieu d'absorber l'oxygène pour brûler du carbone, les appareils délicats dont ils sont formés décomposent l'acide carbonique sous l'influence de la lumière solaire, s'assimilent le carbone et mettent en liberté l'oxygène en donnant naissance à une foule de composés différents, en raison de la nature des végétaux et des réactions qui se passent dans leur intérieur. Il suffit, en effet, d'exposer à la lumière une branche garnie de feuilles dans un vase rempli d'acide carbonique, pour voir au bout de quelques heures cet acide carbonique complétement absorbé et remplacé par un volume sensiblement égal au sien d'oxygène pur.

Quant à l'azote que les végétaux renferment, ils le puisent en grande partie dans les fumiers, et ces fumiers eux-mêmes doivent principalement leur richesse aux matières azotées excrétées par les animaux.

Ainsi donc, les animaux se nourrissent ou de végétaux, ou de la chair d'autres animaux; ils transforment ces aliments, à l'aide de l'oxygène de l'air, en eau, acide carbonique et produits azotés; les végétaux, au contraire, se développent et se nourrissent en décomposant l'acide carbonique et les produits azotés rejetés par les animaux. Ils les rencontrent dans l'air ou dans le sol qui les porte, et présentent de nouveau aux animaux, sous une forme appropriée à leurs besoins, les aliments qu'ils consomment. Tel est, d'une manière générale, la circulation, l'admirable mécanisme que la nature emploie pour fournir sans cesse, avec une quantité limitée de matière, aux besoins des plantes et des animaux et leur procurer les matériaux nécessaires à leur entretien et à leur développement.

Les animaux ne créant rien, formant leurs corps aux dépens des plantes, présentent une uniformité de constitution chimique aussi totale que possible; aussi ne diffèrent-ils les uns des autres que par leurs formes. Les minéraux se forment à leurs propres dépens, les végétaux organisent les minéraux, et les animaux détruisent les végétaux et les font repas-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ser à l'état de minéraux : telle est en peu de mots la série de transformations que subit la matière à la surface du globe. « Pour le chimiste, dit M. Sacc, c'est le règne végétal qui est le plus intéressant, puisque c'est lui qui organise la matière inerte et qui en tire une quantité si grande de produits nouveaux et variés, qu'ils étonnent l'imagination. »

Après les phénomènes de nutrition, considérés dans l'ensemble de la statique chimique des êtres organisés, phénomènes les plus importants de tous au point de vue de l'utilité, puisque c'est à aider à leur développement, à assurer leur existence que se réduit en général le travail de l'homme (Voir les grands articles de cet ouvrage, NUTRITION DES ANIMAUX, NUTRITION DES VÉGÉTAUX, où les questions de nutrition sont traitées aussi complétement que le permet l'état actuel des connaissances), résumons les principes fondamentaux des sciences physiologiques dont quelques applications rentrent dans le domaine industriel, tandis que les plus importantes appartiennent à celui des sciences médicales dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE.

Anatomie végétale. — Le tissu fondamental des végétaux, le tissu cellulaire se compose de vésicules transparentes dont les parois se touchent; la membrane qui sépare deux cellules voisines est donc nécessairement double. Souvent l'adhérence entre les cellules contiguës n'est pas parfaite, il existe entre elles des espaces que l'on nomme des *méats intercellulaires*.

Lors du développement d'un végétal, les cellules s'engendrent l'une l'autre par leur face externe ou interne, ou bien une seule cellule se sépare en plusieurs parties qui finissent par s'isoler complétement.

Organographie.

Organes de la nutrition. — On nomme ainsi tous ceux qui sont nécessaires ou utiles à l'existence et à l'accroissement de l'individu.

Racine. — C'est la partie du végétal qui tend sans cesse vers le centre de la terre et est ordinairement cachée sous la surface du sol.

Les racines ne s'allongent que par leurs extrémités, et leur longueur n'est pas toujours proportionnelle à la hauteur des tiges. Les racines de la luzerne sont aussi longues que celles du peuplier et plus longues que celles du sapin.

Les racines ont plusieurs formes, dont voici les principales : pivotante, fibreuse, bulbifère, rameuse, fasciculée.

Les racines fixent le végétal au sol et absorbent l'eau et les sucs contenus dans la terre par *leur extrémité seulement*. C'est pourquoi les jeunes arbres épuisent le sol près de leur pied, les vieux dans les limites d'un cercle dont le diamètre est plus grand en général que celui de la cime de l'arbre.

Quand une portion de racine rencontre un sol fertile, elle s'y développe prodigieusement comparativement à celles qui se trouvent dans un mauvais terrain. C'est surtout dans l'eau qu'elles prennent un développement extraordinaire et forment des masses connues vulgairement sous le nom de queues de renard.

Tige. — C'est la partie du végétal qui tend à s'élever verticalement et qui porte en haut les feuilles et les fleurs, en bas les racines.

La direction des tiges varie; généralement verticales, quelquefois elles sont rampantes, quelquefois enroulées.

Tiges des végétaux dycotylédonés. — Appartiennent à cette classe les tiges de tous les arbres et de beaucoup d'autres plantes de nos climats. Examinées de dedans en dehors, elles se composent des parties suivantes :

La moelle. — C'est un cylindre plein, composé de tissu cellulaire dans les jeunes branches, surtout dans celles du sureau, mais qui disparaît avec l'âge. Elle est entourée d'un cylindre creux formé de trachées et appelé *étui médullaire*.

Les rayons médullaires sont des lames de tissu médullaire analogues à la moelle et qui la mettent en communication avec la périphérie de l'arbre. Ces deux organes servent probablement à nourrir le bourgeon. De là leur disparition avec l'âge.

Autour de l'étui médullaire on remarque une série de couches concentriques qui constituent le *bois*. Autour du tronc des arbres il se forme chaque année une nouvelle couche de bois, et dans les climats où la végétation est interrompue par l'hiver, on peut savoir l'âge d'un arbre en le coupant au pied et en comptant le nombre de ses couches. En général, l'épaisseur des couches annuelles va en décroissant régulièrement du centre à la circonférence.

Les couches ligneuses n'ont pas toutes la même dureté. Celles qui entourent la moelle sont les plus résistantes et constituent le *cœur du bois*, celles qui sont le plus excentriques forment l'*aubier*. L'aubier n'offre jamais une teinte foncée, il est presque toujours blanc, mou et facilement décomposable.

Après l'aubier vient l'écorce, qui se compose en dedans de lames superposées, formées elles-mêmes par un réseau de vaisseaux entremêlé de tissu cellulaire. On donne à ces couches le nom de *liber*.

Chaque année, il se forme une nouvelle couche de liber en dedans de celle de l'année précédente, c'est-à-dire entre celle-ci et l'aubier. Ainsi donc, l'aubier et le liber croissent en sens inverse l'un de l'autre : l'aubier de dedans en dehors, le liber de dehors en dedans.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un corps inséré dans l'aubier finit par être recouvert de bois par l'addition successive de couches nouvelles; un corps placé dans le liber est rejeté vers la périphérie.

Les couches corticales les plus extérieures étant distendues et déchirées par l'accroissement de l'arbre, sont en général privées de vie. Dans les jeunes tiges, l'enveloppe extérieure est appelée *médulle externe*, et forme comme un fourreau.

Types des végétaux monocotylédonés. — Nous n'avons point dans nos climats d'arbres de ce genre; on indique comme types les palmiers, les cocotiers, arbres des régions intertropicales. Leur structure est tout à fait différente de celle des arbres dont nous venons de parler. Au centre, nous ne trouvons pas de moelle ni de rayons médullaires, mais des fibres ligneuses distinctes, séparées ou unies seulement par un tissu cellulaire très-lâche. A mesure qu'on s'approche de la circonférence, ces fibres se rapprochent, se soudent et finissent par former un bois parfait qui envelope la partie centrale comme un cylindre creux.

Ces tiges n'ont pas de véritable écorce, la dernière enveloppe est formée par la base des feuilles qui persiste, tandis que le reste s'est détaché.

Un palmier s'accroît d'abord en hauteur et en épaisseur; mais lorsqu'il a atteint un certain diamètre et que les fibres extérieures ont formé un anneau ligneux inextensible, alors son accroissement en diamètre s'arrête, et l'arbre, au lieu d'offrir la forme conique des troncs de nos chênes et de nos ormes, est cylindrique dans toute sa hauteur.

Organes appendiculaires. — On nomme ainsi tous les organes auxquels la tige sert de support.

1° *Poils.* — Analogues à ceux des animaux.

2° *Bourgeons.* — Corps ovoïdes qui, dans leur développement, produisent les feuilles et les fleurs qu'ils renferment d'abord.

3° *Feuilles.* — Expansions d'un faisceau de fibres de formes variées et le plus souvent colorées en vert.

Organes de la reproduction. — Les organes destinés à reproduire le végétal, entourés des enveloppes qui les protégent, constituent la fleur.

La fleur est *mâle, femelle* ou *hermaphrodite*, suivant qu'elle contient des *étamines* seulement, ou un *pistil* seulement, ou bien ces deux organes réunis.

La plupart des fleurs sont hermaphrodites.

Le mode de disposition des fleurs sur la tige est un des caractères employés pour la classification.

Structure de la fleur. — Une fleur complète se compose : 1° d'une première enveloppe ordinairement verte appelée *calice;* 2° d'une seconde enveloppe presque toujours colorée appelée *corolle;* 3° d'un rang d'organes filiformes et terminés par de petites bourses ou *étamines*; 4° d'un ou plusieurs organes, contenant une ou plusieurs graines, appelés *pistil* quand il est jeune, *fruit* quand il est arrivé à son plus haut degré de développement.

Fécondation végétale. — Pour qu'un pistil devienne fruit et renferme des graines fertiles, c'est-à-dire capables de reproduire la plante qui les a portées, il faut que le pollen des anthères (partie supérieure des étamines) ait touché le stigmate du pistil.

De la graine.— C'est un corps particulier contenu dans le fruit et renfermant l'embryon qui doit reproduire la graine.

Germination. — Pour qu'une graine germe, il faut qu'elle ait été fécondée et qu'elle soit mûre.

Les agents nécessaires à la germination sont :

1° L'eau qui ramollit le test, favorise la sortie de l'embryon et dissout les matières nutritives;

2° Une température modérée, mais pouvant être comprise entre un ou deux degrés au-dessous de zéro, et 40 et 50° au-dessus.

La graine en germant absorbe l'oxygène de l'air et dégage de l'acide carbonique.

Classification des végétaux.

En biologie, outre les moyens d'exploration appartenant aux sciences précédentes, la *comparaison*, c'est-à-dire la considération de toutes les similitudes qui n'est qu'à l'état rudimentaire dans celles-ci, atteint son plus haut degré de développement. La multiplicité des êtres vivants, et l'extrême variété de leurs rapports tendent à rendre leur comparaison, leur *classification* d'autant plus parfaite qu'il est possible de saisir des analogies plus étendues et plus variées, de manière à éviter l'équivoque.

Le naturaliste se propose deux buts : le premier, de classer les plantes de manière à trouver facilement le nom d'une plante qu'il a sous les yeux. C'est le seul but qu'on s'est d'abord proposé dans tous les systèmes artificiels et dans celui de Linnée en particulier. L'autre but est beaucoup plus élevé, c'est de classer les plantes suivant leurs affinités, de réunir celles qui ont le plus de rapports entre elles, d'éloigner celles qui en ont le moins. La méthode naturelle tend à atteindre ce résultat.

C'est des cotylédons ou parties de la graine, lorsque la germination commence, que l'on part pour la classification naturelle; l'expérience prouve que l'on rapproche ainsi des plantes par les analogies les plus importantes, celles qui partent de la similitude de la graine qui les contient virtuellement. Tous les végétaux se divisent en deux grands embranchements : les *végétaux vas-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

culaires ou phanérogames ou colytédones, les *plantes cellulaires cryptogames ou acotylédones*.

Les végétaux *vasculaires* sont formés de tissus cellulaires et de vaisseaux, leurs feuilles sont garnies de stomates. Ils ont une racine et une tige; ils ont des fleurs plus ou moins visibles, et au moment de leur germination, l'embryon plus ou moins protégé par des téguments se montre avec un ou plusieurs cotylédons.

Les végétaux *cellulaires* n'ont point de vaisseaux. Leurs organes de la reproduction ne sont pas doubles (étamines et pistils), ils se propagent par graines non fécondées appelées sporules. Enfin, lors de leur germination, on ne voit pas de cotylédons.

La nature ne passe pas sans transition du premier de ces embranchements au second : ainsi les fougères sont des végétaux vasculaires, acotylédones et cryptogames.

Les végétaux vasculaires se divisent en deux classes : les *dicotylédones*, plantes qui germent avec deux ou plusieurs cotylédons, et dont la tige est formée de couches concentriques distinctes, dont la solidité décroît du centre à la circonférence; et en *monocotylédones*, plantes à embryon pourvu d'un seul cotylédon, dont la tige n'est pas formée de couches concentriques distinctes, dont la solidité décroît de la circonférence vers le centre.

Les subdivisions de ces grandes classes, acotylédones, monocotylédones et dicotylédones, s'obtiennent par les apparences de la fleur de chaque plante, élément très-important pour établir des divisions secondaires, de moindre valeur que les divisions fondamentales qui se rapportent aux plus importants organes, à la nature intime du végétal.

Ces classes se subdivisent donc en familles par la réunion des genres de plantes les plus analogues entre eux.

Les familles se divisent en genres qui sont à leur tour formés de l'ensemble des espèces qui ont le plus de rapports entre elles.

L'espèce, enfin, est la réunion de tous les individus qu'on peut supposer être issus originairement d'une seule plante.

De la vie chez les végétaux. — Chaque élément organisé des végétaux constitue une *monade*, douée de propriétés vitales que l'on peut assimiler aux forces vives du règne inorganique; ce qui mène à considérer comme constante la quantité de vie végétale dans l'univers, ou tout au moins comme faisant partie de la quantité constante de matière et de forces vives qui constitue l'univers. C'est là précisément la grande synthèse formulée par Gœthe. Le travail humain ne peut intervenir pour créer d'une manière absolue, mais seulement pour faire prendre une forme utile aux éléments des végétaux; il peut agir surtout pour accélérer la production et la consommation utile, qui conduit bientôt à une nouvelle production dont elle restitue les éléments.

ZOOLOGIE.

On donne le nom de zoologie à la partie de la science biologique qui traite des animaux.

Tissus.— Les tissus élémentaires des animaux ne sont plus comme ceux des végétaux des cellules ou utricules pourvues de parois distinctes, creuses à l'intérieur; ils sont, en général, composés de filaments ou de lamelles qui s'entrecroisent de façon à circonscrire imparfaitement des lacunes et à constituer des masses ou des membranes plus ou moins spongieuses.

De la nutrition. — La nutrition des animaux s'opère par le concours de plusieurs phénomènes.

Absorption. — L'absorption est l'acte par lequel les êtres vivants pompent, en quelque sorte, les substances qui les environnent ou qui sont déposées dans l'intérieur de leur corps. L'absorption par un tissu est d'autant plus rapide que ce tissu offre une texture plus lâche et plus spongieuse, et est d'autant moins active que le corps approche davantage de son point de saturation; l'eau étant d'ailleurs le principal élément constitutif des liquides qui se rencontrent dans l'économie animale.

Digestion. — Les aliments des animaux sont élaborés dans l'appareil digestif : 1° pour séparer la partie nutritive des parties qui ne possèdent pas cette propriété et doivent être rejetées; 2° pour transformer cette partie nutritive en un liquide propre à se mêler au sang pour nourrir le corps.

C'est par le travail mécanique de la mastication que les éléments sont d'abord préparés, puis ils arrivent humectés de salive, dans l'estomac, véritable laboratoire où ils sont élaborés à l'aide de l'action mécanique des parois, et surtout de l'action chimique du suc gastrique qui vient s'y mêler et qui est la cause principale des altérations, des fermentations qu'ils éprouvent.

Une portion des substances dont les animaux se nourrissent étant solubles dans l'eau, sont dissoutes directement par la salive, le suc gastrique ou les boissons ingérées dans l'estomac; le suc gastrique agit sur l'albumine, la fibrine, etc., et liquéfie ces matières dans la cavité de l'estomac; la fécule qui a résisté à l'action de la salive et qui est arrivée intacte dans l'intestin, y rencontre le suc pancréatique qui en opère la transformation en glucose; celui-ci agit également sur les matières grasses, et les rend absorbables en les émulsionnant. A mesure que ces diverses réactions s'effectuent, les matières alimentaires liquéfiées sont absorbées par les parois de la cavité stomacale ou de l'intestin. Le liquide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi absorbé est le chyle qui, à l'origine des vaisseaux absorbants, est surtout formé d'albumine, plus loin il renferme aussi de la fibrine, et sa composition va se rapprochant de celle du sang avec lequel il va enfin se réunir.

Du sang. — Dans les animaux dont la structure est la plus simple, tous les liquides de l'économie sont semblables entre eux; ils ne paraissent renfermer que de l'eau plus ou moins chargée de particules de matières organisées; mais dans les êtres qui occupent un rang plus élevé dans le règne animal, les liquides ne sont plus tous de même nature, et il en est un qui joue un rôle tout à fait prépondérant, c'est le sang.

Blanc chez les animaux inférieurs, rouge chez les autres, le sang se compose d'un liquide dans lequel nagent de petits globules.

Le sang contient presque tous les éléments qui se rencontrent dans les diverses parties qui constituent le corps des animaux; aussi l'a-t-on appelé avec raison de la *chair coulante.*

Circulation du sang. — Chez la plupart des animaux, l'appareil de circulation consiste dans un système de canaux, dits vaisseaux sanguins, qui conduisent le sang et dans un organe particulier, le cœur, destiné à le mettre en mouvement.

Le cœur est le centre de l'appareil de circulation; c'est une espèce de poche charnue en communication avec les vaisseaux sanguins, qui reçoit le sang dans son intérieur, et qui, en se contractant et se dilatant alternativement, lance ce liquide dans les canaux et y détermine un courant continuel.

Les vaisseaux sanguins sont de deux ordres, savoir :

1° Les artères qui servent à porter le sang du cœur dans toutes les parties du corps;

2° Les veines qui rapportent ce liquide de toutes les parties du corps dans le cœur.

Les dernières ramifications des artères dans la substance des organes se continuent avec les racines également capillaires des veines, de manière à former une suite non interrompue; de telle sorte que l'appareil vasculaire forme un circuit complet dans lequel le sang se meut pour revenir sans cesse à son point de départ.

Par l'effet de l'élasticité des artères, le mouvement intermittent du cœur produit le mouvement continu du sang.

Prenons l'homme pour exemple et suivons le phénomène d'alimentation dont nous avons parlé ci-dessus. Les produits variés qui sont portés dans le ventricule droit du cœur se mélangent avec le sang veineux qui s'y trouve ramené de toutes les parties du corps par les veines caves. Les contractions du ventricule droit chassent tout ce mélange dans les poumons où il se trouve en contact avec l'oxygène de l'air, et aussitôt de brun foncé qu'il était il devient d'un rouge vif en absorbant l'oxygène et en dégageant de l'acide carbonique; se transforme ainsi en sang artériel qui revient au ventricule gauche par un système spécial de vaisseaux.

Enfin, le ventricule gauche lance ce sang rouge dans le système artériel qui le porte aux différents organes, dans chacun desquels il éprouve des modifications spéciales dont le résultat général est de lui enlever sa couleur rouge, de remplacer l'oxygène qu'il avait absorbé dans les poumons par de l'acide carbonique et de le transformer de nouveau en sang veineux qui retourne au ventricule droit pour effectuer de nouveau le trajet circulatoire que nous venons d'indiquer.

Respiration. — Les rapports de l'animal avec l'air ou plutôt l'oxygène qui en constitue la partie utile sont la cause d'une série de phénomènes qui constituent la respiration.

Nous venons de parler de ce phénomène fondamental, cause essentielle de la chaleur animale, et de la force motrice de la machine animale. C'est dans le sang, qui dissout l'air que se passe le phénomène de la combustion, qui a ainsi lieu dans les profondeurs de l'organisme. C'est dans un organe spécial, les poumons (les branchies chez les poissons), et par un mouvement d'exhalation et d'inhalation, que l'air est mis en contact avec le sang, et que les produits de la combustion sont expulsés.

Sécrétions. — On donne le nom de sécrétions à la formation de liquides spéciaux qui, dans l'économie animale, se produisent aux dépens du sang et diffèrent essentiellement de la partie séreuse de ce liquide.

Les principaux instruments à l'aide desquels la nature opère ce travail de chimie vitale se composent de cavités, en général d'une petitesse extrême, qui ont la forme de poches, de bourses ou de canaux d'une grande ténuité, et qui reçoivent un nombre considérable de vaisseaux sanguins ainsi que des nerfs. On désigne ces organes sous le nom de GLANDES.

Leur disposition varie beaucoup, mais elles peuvent se rapporter à deux types principaux. Elles se composent soit de petits sacs à orifices plus ou moins rétrécis, soit de tubes d'une ténuité extrême.

Ces organes sont baignés d'un côté dans le fluide nourricier, tandis que la surface opposée, revêtue d'une couche plus ou moins épaisse de cellules ou utricules, est libre et circonscrit d'ordinaire une cavité; le liquide absorbé et sécrété suinte de cette dernière surface; les matériaux dont ce liquide se compose sont puisés dans le sang.

Assimilation et décomposition nutritive. — Nous avons déjà traité, au point de vue chimique, de ces fonctions fondamentales de la vie

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

animale ; il nous reste à énoncer les principaux résultats que la science a obtenus sur la manière dont se passent ces phénomènes dans l'animal.

L'introduction des matières étrangères s'effectue par imbibition, et leur absorption ne peut avoir lieu qu'autant qu'elles sont dans un état de division extrême, liquéfiées en quelque sorte par la digestion.

Ces éléments nutritifs se mêlent avec le sang et sont portés dans les diverses parties de l'organisme par ce liquide. Là ils se décomposent et le tissu vivant s'accroît à leurs dépens. C'est ce dépôt de molécules nouvelles, leur arrangement en un tissu organique, et leur admission au partage des propriétés vitales, qui constituent le phénomène de l'assimilation.

Mais comment s'opèrent ces phénomènes? La science est peu avancée à cet égard, et ne le sera probablement jamais beaucoup, car ils se passent sous l'influence immédiate des forces vitales d'une nature propre et dont les modes d'action peuvent seuls faire l'objet de recherches.

Excrétion. — Pendant que les parties vivantes s'approprient des molécules nouvelles et les incorporent à leur substance, il se fait dans ces mêmes parties un mouvement de décomposition qui amène un résultat inverse, c'est-à-dire la séparation d'une portion des molécules constituantes des tissus organiques et leur expulsion au dehors.

C'est ainsi que les matériaux qui alimentent la respiration sont brûlés par l'oxygène de l'air, et expirés à l'état d'acide carbonique.

Toutes les transformations opérées dans l'économie animale paraissent résulter de cette combustion poussée plus ou moins loin, en brûlant une partie de carbone ou de l'hydrogène des substances préexistantes, phénomènes qui font de l'animal un véritable appareil réductif. C'est ainsi, lorsque l'alimentation est insuffisante, que l'animal brûle sa graisse et ses propres tissus, maigrit avant de périr d'inanition.

Système nerveux.

Le système nerveux représente, sans contredit, la partie la plus admirable de l'organisation animale ; c'est par son intermédiaire que les décisions de la volonté, du *moi* pensant qui se détermine dans sa liberté et indépendamment du corps matériel, se transmettent aux diverses parties de celui-ci.

Indépendamment de cette union mystérieuse, objet éternel des méditations infructueuses des philosophes, car elle est de sa nature même parfaitement insaisissable pour notre esprit, le système nerveux est la source d'une action chimique extrêmement remarquable et qui n'a commencé à être sérieusement étudiée que dans ces derniers temps, à savoir, la différence de sécrétion des glandes suivant l'état du système nerveux. Ces appareils, plus ou moins excités par le système nerveux, ont une action différente sur les liquides sur lesquels ils agissent; ainsi, d'après une expérience de M. Bernard, en piquant un certain lobe du cerveau, on donne à un animal la maladie connue sous le nom de diabète sucré, c'est-à-dire que tous les aliments féculents ingérés passent à l'état de glucose jusque dans les urines.

Le système nerveux est formé par une substance particulière, molle et pulpeuse, qui est presque fluide dans les premiers temps de la vie, et qui acquiert plus de consistance à mesure que l'homme s'avance vers l'âge mûr (nous prenons l'homme pour type parce que c'est chez lui que se rencontre le système nerveux le plus complet). L'aspect de cette substance, que l'on nomme *tissu nerveux*, varie beaucoup; tantôt elle forme des masses plus ou moins considérables, d'autres fois elle forme des cordons allongés et ramifiés. Ces derniers organes portent le nom de *nerfs*, et les premiers celui de *ganglions* ou de *centres nerveux*, car ils servent de point de réunion aux premiers.

Dans l'homme et dans tous les animaux qui s'en rapprochent le plus, l'appareil nerveux se compose de deux parties.

1° Le système *cérébro-spinal*, composé du cerveau, du cervelet et de la moelle épinière, logé dans une gaîne osseuse formée par le crâne et la colonne vertébrale ou épine du dos.

2° Le système *ganglionnaire*, composé de petites masses nerveuses bien distinctes, mais liées entre elles par des cordons médullaires ou des nerfs qui vont s'anastomoser avec ceux du système cérébro-spinal ou se distribuer dans les organes voisins.

Les nerfs du système cérébro-spinal se rendent aux organes des sens, à la peau, aux muscles, etc.; ceux qui font partie du système ganglionnaire se distribuent aux poumons, au cœur, à l'estomac, aux intestins, aux parois des vaisseaux sanguins. En un mot, les premiers appartiennent spécialement aux organes de relation, les seconds aux organes de nutrition.

Ce système nerveux complet est celui de l'homme, mais il ne se retrouve pas dans les animaux inférieurs. Ainsi chez les insectes l'axe cérébro-spinal paraît manquer, et tous les nerfs vont se réunir dans un certain nombre de ganglions plus ou moins éloignés entre eux.

De la sensibilité. — La sensibilité est la faculté de recevoir des impressions et d'en avoir conscience. Elle appartient à tous les animaux, mais elle est plus ou moins développée pour chacun d'eux. C'est surtout la conscience de l'impression reçue, la connaissance qui en résulte, qui varie avec le degré qu'occupe l'animal dans l'échelle des êtres, pour atteindre le plus haut degré de perfection dans l'homme.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Partout où les sensations produites par les objets extérieurs sont un peu variées, il existe un système nerveux distinct, et c'est de son action que résulte la faculté de sentir.

Les nerfs aboutissent tous au cerveau ou à la moelle épinière, qui elle-même se termine dans le cerveau. Or l'expérience prouve que l'action du cerveau est seule indispensable à la perception de la sensation et à la manifestation de la volonté, et que c'est à cet organe que les impressions reçues par les nerfs doivent arriver pour que l'animal en ait conscience.

Les nerfs qui servent aux mouvements et en même temps au sens du toucher naissent, soit de la moelle épinière, soit de la base du cerveau par deux racines ; et l'expérience a prouvé que les fibres dont se compose l'une des racines servent à la transmission des sensations, tandis que celles qui constituent l'autre racine servent à produire les mouvements involontaires.

Le système nerveux ganglionnaire n'est que peu ou point sensible.

Des sens. — Sens du toucher. — La sensibilité dont la peau est douée dépend des nerfs qui se distribuent dans sa substance.

Un organe spécial, la main, permet à l'homme, par l'action du tact, d'exercer ce sens dans les conditions les plus convenables.

Sens du goût. — La saveur est l'action que des substances solubles exercent sur un organe spécial, la langue, dont la surface est formée d'une muqueuse dans laquelle s'épanouissent de nombreuses ramifications d'un nerf principal, dit nerf lingual.

Sens de l'odorat. — Les odeurs sont produites par des particules d'une extrême ténuité, qui, émanant des corps odorants, sont transportées par l'air et qui viennent agir sur la muqueuse placée à l'orifice des organes respiratoires.

Le sens de l'odorat a son siége dans les fosses nasales ; le mucus qui les tapisse s'imbibe des particules odorantes qui sont ainsi arrêtées sur la membrane pituitaire qui reçoit les filets du nerf olfactif.

Sens de l'ouie. — Les vibrations des corps sont transmises par l'air à l'appareil auditif, de manière à impressionner le nerf auditif. C'est par l'action d'une membrane vibrante que ces sons viennent agir dans l'appareil.

Sens de la vue. — L'œil, formé essentiellement d'une lentille dite cristallin, reçoit sur sa partie postérieure les images des objets. C'est dans cette partie postérieure, la rétine, que s'épanouissent les derniers filaments du nerf optique, qui transmet au cerveau la sensation de la vue.

Des muscles. — De la charpente osseuse.

Des muscles. — On appelle muscles des réunions de faisceaux fibreux qui constituent la seule partie de l'économie qui, chez les animaux supérieurs, possède la faculté de se contracter ; mais cette propriété n'est mise en jeu que par l'influence du système nerveux.

Chaque faisceau musculaire reçoit un ou plusieurs nerfs ; si on sépare ceux-ci de la masse du système nerveux, on empêche les muscles de se contracter. Il suffit même de comprimer le cerveau d'un animal vivant pour lui faire perdre la faculté d'exécuter des mouvements.

Les muscles dont les mouvements peuvent être déterminés par la volonté reçoivent tous des nerfs du système cérébro-spinal.

Quant aux muscles dont les contractions sont entièrement indépendantes de la volonté, ils reçoivent leurs nerfs du système ganglionnaire.

Os. — Les os sont des cartilages, des parties gélatineuses durcies par le dépôt de sels calcaires dans leur épaisseur. Les os se réunissent par des articulations qui sont en général formées de parties rondes, convexes, pouvant rouler l'une sur l'autre et maintenues en contact par des ligaments ou liens qui s'y rattachent. L'articulation est entourée de toutes parts d'une poche, dite bourse synoviale, qui se remplit d'un liquide visqueux pour la graisser et diminue le frottement. Cette poche, en écartant les liquides ambiants, fait naître entre les os l'adhérence qui résulte de la pression atmosphérique sur des surfaces en contact.

Action des muscles sur les os. — Tous les muscles destinés à produire les grands mouvements du corps sont fixés au squelette par leurs deux extrémités. Il en résulte que lors de leur contraction ils doivent déplacer l'os qui leur présente le moins de résistance, et l'entraîner vers celui qui reste immobile et qui leur sert de point d'appui pour mouvoir le premier.

Les os sont donc de véritables leviers, et les muscles des cordes y attachées qui servent à les mettre en mouvement. En vertu des lois de la mécanique, on peut donc établir que :

Toutes choses égales d'ailleurs, le mouvement déterminé par certaine contraction d'un muscle sera d'autant plus grand que ce muscle s'insérera moins obliquement sur l'os mobile.

La distance qui sépare le point d'attache du muscle du point d'appui sur lequel l'os se meut et de l'extrémité opposée du levier que cet organe représente, influe puissamment sur les effets produits par sa contraction.

La longueur des leviers influe autant sur la rapidité des mouvements que sur l'effort transmis ; autrement dit, on perd en effort ce qu'on gagne en vitesse.

De la locomotion. — L'impulsion nécessaire au mouvement du corps est donnée par le déploiement d'un certain nombre d'articulations plus ou moins fléchies. Le phénomène est d'ordre méca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ique, doit être étudié avec les ressources de la écanique.

De la voix. — La voix se forme dans la por- ion du conduit aérifère appelé larynx.

Dans la formation de la voix, le larynx agit de même manière que le ferait un instrument à nche ordinaire, un hautbois par exemple; c'est-dire que le courant d'air venant des poumons carte les cordes vocales jusqu'à ce que ces lèvres astiques, revenant sur elles-mêmes, interrom- ent momentanément le passage du fluide, qui ientôt les écarte de nouveau et produit ainsi des ibrations assez rapides pour donner naissance à es sons.

Des difficultés que présente la découverte des is en biologie. — Tout être vivant constitue un ppareil physico-chimique extrêmement com- liqué, agissant continuellement sur le milieu ans lequel il est placé, appareil variable d'un ndividu à un autre, en raison de leur organisa- on, de leur tempérament, et de plus variable ez le même individu, d'un instant à un autre, raison de la nutrition, de l'action du milieu, son développement.

Donc, l'expérimentation appliquée à l'étude es phénomènes, pour découvrir l'influence de acun des éléments qui concourent à leur pro- uction, ne pouvant jamais les reproduire dans es conditions identiques, ne disposant que êtres sans cesse transformés par leur vie même, peut plus conduire à des lois précises, mathé- atiques.

Cela ne veut pas dire que les sciences biolo- ques ne puissent établir un grand nombre de is générales, au milieu des modifications spé- ales pour chaque individu; je me contenterai citer celles du développement et de la vieil- sse pour chaque espèce; la permanence de la e, la mort succédant à la production de ger- es d'individus de même nature. Mais ce qu'on saurait trouver, c'est la formule mathématique l'individu, déterminant ce qu'il sera en un stant donné, non pas à peu près par une appré- ation générale des éléments en jeu, mais d'une anière positive, absolue, et cela parce que la e, que ne peut atteindre l'expérimentation, est ne cause incessante de modifications impos- bles à prévoir avec une certitude absolue.

Ceci est d'autant plus vrai qu'il s'agit d'êtres lus éloignés du règne inorganique et déjà très- ensible quand on étudie le premier degré de la ie, la vie végétale des plantes, le devient bien avantage quand il s'agit des animaux et surtout e l'homme placé au degré le plus élevé de l'é- helle. Non-seulement les variations de la vie ui proviennent des caractères spécifiques de haque individu viennent souvent modifier les hénomènes d'une manière imprévue, mais en- ore des réactions intérieures, n'ayant plus leur rigine dans l'action du milieu qui peut être prévue, au moins approximativement, les chan- gent complétement.

Tout le monde a entendu parler de ces mer- veilleuses expériences, dans lesquelles une action exercée sur le système nerveux transforme la nature des liquides sécrétés par diverses glandes; mais, sans entrer dans des détails physiologiques, nous prouverons aisément notre proposition en rappelant quelques faits que chacun a éprouvés, qui démontrent la puissante réaction du moral sur le physique; la circulation du sang qui s'ar- rête par la frayeur, la congestion qui suit la colère, etc.

Nous pensons avoir démontré que l'expérimen- tation ne peut être utilisée aussi profitablement dans les sciences biologiques que dans les sciences physiques, et que la précision avec laquelle les détails des phénomènes peuvent être prévus y est infiniment moindre. Et *à priori* on eût pu reconnaître qu'il devait en être ainsi, que la vie étant un élément d'ordre supérieur à celui des forces du monde inorganique, l'homme ne pouvait être placé au même degré au-dessus d'elle; que la difficulté d'observer devait croître avec celle de dominer. Il ne pourrait y parvenir sans arri- ver à comprendre son être, et surtout sa propre intelligence qui réagit sur cette nature, à un degré impossible à admettre.

Sans donc vouloir décourager les personnes qui se vouent à des recherches aussi importantes que difficiles, on peut établir que les problèmes atteignent, dans les sciences biologiques, un degré de complication qui en rend la solution nécessairement incomplète pour l'esprit humain, et le force à proportionner la probabilité de ses conclusions au degré de certitude que fournit l'expérimentation; l'intuition n'est pas plus claire que pour les corps inorganiques et la déduction devient plus douteuse. Il faut renoncer à l'espoir de manier les éléments de la vie des corps orga- nisés, avec la même certitude que ceux que l'on rencontre dans une question de mécanique.

Classification.

La classification de la zoologie, œuvre im- mense vu le nombre infini des animaux aux- quels elle doit s'appliquer, et qui n'est possible qu'à l'aide d'une étude attentive de l'organisa- tion souvent fort compliquée de chacun d'eux, repose, au début, sur la division fondamentale du règne animal en quatre classes, savoir :

Vertébrés; Annelés; Mollusques; Zoophytes.

Chacune de ces classes se divise en genres et en espèces, en raison des caractères spéciaux moins importants que ceux de la division fon- damentale qui se rapporte au système nerveux.

La classification peut être considérée comme une méthode logique très-importante, presque étrangère aux sciences mathématiques et physi- ques, qui ne commence à être appliquée d'une manière utile qu'en chimie, où elle entre néces-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sairement dans la nomenclature, et qui trouve tout son développement, son type dans la biologie.

Quelles sont les conditions fondamentales, dit A. Comte, sur lesquelles doive nécessairement reposer l'application rationnelle d'un tel mode d'exploration ? Elles consistent évidemment, par la nature même du procédé, dans l'indispensable concours de l'unité essentielle du sujet principal avec la grande diversité de ses modifications effectives. Sans la première condition, la comparaison n'aurait aucune base solide ; sans la seconde, elle manquerait d'étendue et de fécondité ; par leur réunion, elle devient à la fois possible et convenable.

La méthode naturelle est principalement caractérisée, sous le point de vue philosophique, par l'établissement général de la vraie hiérarchie organique, d'où résulte par suite la coordination rationnelle la plus utile des genres et des familles.

3. BIOLOGIE INDUSTRIELLE.

Les études pratiques basées sur la connaissance de la biologie sont : 1° l'*éducation* des êtres vivants, végétaux et animaux, c'est-à-dire les modifications qu'on leur fait subir par une direction systématique imprimée dans un but déterminé durant l'ensemble de leur développement ; 2° leur *médication*, c'est-à-dire l'action rationnelle exercée par l'homme pour ramener à l'état normal les êtres dont les organes sont altérés.

Laissant de côté cette seconde partie, qui n'est pas de même ordre que la technologie, nous rencontrons ici la série de connaissances qui constitue l'agriculture proprement dite, en comprenant, sous ce nom, comme c'est l'usage, l'élève du bétail aussi bien que la production des céréales.

L'ingénieur agriculteur, indépendamment des connaissances qu'il trouve dans la physiologie végétale et animale, les plus importantes de toutes, a besoin de nombreuses connaissances de chimie, de mécanique, dont il fait de journalières applications. Toutefois l'agriculture doit être surtout considérée comme l'application de la biologie, puisque le travail de l'homme ne peut qu'aider au développement des forces vitales agissant suivant des lois complexes. C'est même parce que ces lois sont très-complexes, parce que l'observation ne permet guère de guider les travaux de manière à reproduire avec exactitude les conditions d'une abondante production sans être guidé par une théorie complète permettant d'apprécier les causes de succès dans chaque cas particulier, que la science agricole, la plus ancienne et la plus importante de toutes, est en même temps la plus imparfaite.

Sans aucun doute, les progrès de la science feront naître une science de l'ingénieur agriculteur extrêmement importante, mais qui aujourd'hui encore n'est pas nettement formulée. Il en existe cependant déjà de magnifiques parties, la théorie des assolements, par exemple, qui tend à indiquer pour chaque sol l'ordre de succession des cultures le plus avantageux. La théorie des engrais et amendements, des conditions de leur emploi, a également fait des progrès immenses dans ces derniers temps.

Nous noterons ici comme connaissance indispensable pour l'ingénieur agriculteur la chimie organique, qui lui fournit les règles de l'extraction et de l'utilisation des produits que l'agriculture s'efforce de créer en abondance.

Nous ne pouvons entrer ici dans de longs détails sur les conditions de production et de développement qui ressortent des résultats de la science. Nous renvoyons pour cela aux articles de cet ouvrage, consacré aux industries agricoles, et notamment aux articles AGRICULTURE, NUTRITION DES VÉGÉTAUX, DES ANIMAUX, etc.

Nous donnerons, pour le règne végétal et animal, des tableaux analogues à ceux donnés précédemment, dans lesquels on peut faire entrer, sous les grandes divisions de la science, les matières premières que fournissent ces deux règnes au travail industriel. Nous n'indiquerons que quelques types pour chaque division.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE.

Principaux végétaux utiles obtenus tant par l'action spontanée de la végétation (forêts, prairies naturelles) qu'avec l'intervention du travail humain (agriculture).

ACOTYLÉDONÉES.....	*Lichens, mousses, etc.* — Premier produit végétal, prépare la matière de l'existence d'autres plantes sur le sol.
MONOCOTYLÉDONÉES..	*Herbes.* — Servant à la nourriture des mammifères, qui élaborent la viande qui forme la base de l'alimentation humaine.
	Céréales. — Blé, seigle, riz, maïs, etc., servant à la nourriture végétale de l'homme.
	Plantes sucrées. — Renfermant le sucre cristallisable. — Canne à sucre.
DICOTYLÉDONÉES....	*Plantes à fibres filamenteuses.* — Lin. — Chanvre.
	» *tinctoriales.* — Garance. — Indigo.
	» *féculentes.* — Pommes de terre.
	» *oléagineuses.* — Pavot. — Colza.
	» *légumineuses.* — Haricots. — Pois. — Lentilles.
	» *médicinales.* — Aconit. — Tabac.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DICOTYLÉDONÉES. ...

ARBRES ET ARBUSTES.

Feuilles. — Thé.

Bois. — Variétés très-nombreuses. — Espèces communes, employées comme combustibles. — Espèces résistantes, emplois : construction, menuiserie, charpente. — Chêne. — Orme.

Bois colorés. — Acajou. — Palissandre. — Thuya, etc., pour ébénisterie.

Bois tinctoriaux. — Campêche. — Santal.

Écorces. — Liége. — Sparterie. — Tan.

Fleurs. — Fleurs d'oranger. — Rose. — Jasmin, etc.

Fruits. — Vigne. — Olivier. — Pommier, etc.

Accessoires filamenteux de certaines graines. — Coton.

Exsudations et produits de la séve. — Gommes. — Résines. — Caoutchouc. Gutta-percha.

ZOOLOGIE INDUSTRIELLE.

L'intervention du travail humain est ou nulle ou limitée à faciliter les conditions d'existence des animaux.

Zoophytes et Mollusques.

Utilisés comme aliment et quelquefois pour leurs enveloppes calcaires :

Moules. — *Huîtres.* — *Éponges.* — *Corail.* — *Nacre.* — *Écaille.*

Insectes.

Sangsues. — Usage médicinal.

Abeilles. — Cire et miel.

Cochenille. — Servant à préparer le carmin.

Ver à soie. — Soie.

Vertébrés.

Laissant de côté les différences qui subsistent entre les espèces et l'utilité mécanique des animaux qu'on peut faire travailler, comme le cheval et le bœuf, nous considérerons les éléments qu'ils fournissent au travail industriel, point de vue auquel nous devons surtout nous placer ici.

Viande. Lait. OEufs. — Base de l'alimentation humaine.
Poils. — Laine. — Matières premières pour tissus.
Plumes. — Duvets.
Peaux. — Tissus naturels.
Os. — Ivoire.
Graisse. — Suifs.
Huile. — Huile de baleine.
Corne. — Écaille.

Excréments et décomposition des produits végétaux et animaux privés de vie, formant engrais, fumiers, guanos, etc., restituant au sol les éléments nécessaires à la production que les récoltes enlèvent; d'où une rotation à l'aide de laquelle l'importance de la production végétale et animale, au lieu de s'amoindrir, peut aller toujours croissant par une utilisation plus complète et plus rapide des produits de la décomposition des matières organiques, et la fixation, sous forme de substance végétale, d'éléments du règne inorganique, du carbone provenant de l'acide carbonique de l'atmosphère principalement.

SCIENCES APPLIQUÉES.

Les sciences étudiées uniquement au point de vue abstrait de l'explication des phénomènes, de la satisfaction intellectuelle qu'éprouve l'esprit quand il arrive à prévoir les phénomènes, leur ordre de succession, leur dépendance mutuelle, ne sont pas toujours essentiellement propres à être directement appliquées. Elles doivent souvent recevoir des développements spéciaux pour répondre aux divers cas de la pratique, être transformées en quelque sorte pour être mises sous une forme qui permette de les utiliser plus facilement.

La nécessité de ce travail préparatoire est bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

indiquée par la grande utilité des personnes qui sont chargées d'effectuer ce travail : nous voulons parler des ingénieurs. Leur tâche consiste à utiliser constamment les derniers progrès des sciences pour les traduire en progrès industriels et à transmettre aux fabricants, aux ouvriers, des projets dont l'exécution, des méthodes dont l'emploi rentrent dans les limites d'adresse ou d'expérience ordinaires.

Cette classe de sciences intermédiaires, que l'on peut appeler sciences de l'ingénieur, n'appartient en réalité qu'aux sciences pures, aux sciences abstraites, qui se composent de lois qui s'appliquent à des corps définis mathématiquement. Il existe un intervalle entre la théorie et la pratique. Il n'en est pas de même des dernières sciences que nous venons de considérer, des sciences physiques, chimiques et biologiques, qui ne donnent que les lois des modifications et du développement de corps naturels, et qui trouvent leur application immédiate dès qu'on considère ces corps à un point de vue quelconque. C'est pour cela que, dans ce qui précède, nous avons traité des connaissances applicables à l'industrie après celles qui constituent la science pure, ce qui s'est à peu près borné à montrer que celle-ci s'appliquait alors directement à la pratique. Il nous reste donc à parler des sciences d'application qui se rapportent à la mécanique, puis de celles qui fournissent des applications à la géométrie; la première partie des mathématiques, le calcul, n'étant qu'une extension de la logique, ne pouvant évidemment donner lieu à aucune application concrète.

4. MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

PREMIÈRE PARTIE. — CINÉMATIQUE.

La mécanique, science plus concrète, moins abstraite que le calcul et la géométrie, est subordonnée à ces deux sciences et leur emprunte d'importants résultats. Elle se divise au point de vue général de ses rapports avec ces sciences, en deux parties : l'étude algébrique des mouvements et des forces, leur combinaison comme quantité, c'est celle qui constitue la mécanique proprement dite, et l'étude géométrique des mouvements, l'application plus directe de la géométrie, constituant la partie de la science à laquelle on a donné le nom de Cinématique (1).

Disons de suite que dans le cas le plus général et indépendamment des principes généraux qui ont été classés sous le nom de *Cinématique pure*, cette seconde partie de la science se confond avec la première, comme la géométrie avec l'analyse dans la géométrie analytique; les relations des forces entre elles étant, dans la mécanique rationnelle, établies par des équations dans lesquelles entrent les positions variables des divers points où elles agissent ; ces équations traduites à l'aide des méthodes de la géométrie analytique fournissent les trajectoires suivies par les corps, les formes géométriques du mouvement.

La science est donc complète à cet égard, au moins quand il s'agit de corps libres ; car quand on passe à une des plus importantes parties de la mécanique, à son application aux machines, c'est à-dire à des corps gênés par des liaisons, des guides divers, les équations du mouvement ne peuvent plus comprendre utilement toutes les relations qui existent entre les divers éléments de systèmes aussi complexes ; elles ne s'établissent plus qu'entre les résultats des actions des forces sous l'influence des liaisons du système qu'on ne pourrait introduire dans le calcul qu'à l'aide de complications extrêmes et le plus souvent sans en tirer aucune utilité.

La traduction géométrique des équations qui suffisent au calcul des effets des machines, et sur lesquelles repose la mécanique appliquée aux machines, ne représentant plus les trajectoires, les mouvements des divers points du système, c'est à la cinématique à combler la lacune qui en résulte ; car tandis que la complication des mouvements qu'il est nécessaire d'obtenir pour les besoins des arts rendrait peu utile leur étude à l'aide des ressources du calcul, par voie analytique : au contraire, au moyen de considérations géométriques, par voie synthétique, la détermination des divers mouvements, des tracés des différentes pièces d'après la nature de leur mouvement devient relativement facile et en même temps bien utile, puisqu'elle fournit immédiatement les règles de la pratique.

On peut donc définir cette science appliquée en disant que *la cinématique a pour objet l'étude, au point de vue géométrique, des systèmes à l'aide desquels on peut produire, transmettre et modifier un mouvement donné.* Cette science est donc la véritable science du mécanicien, car elle embrasse tous les problèmes que se propose l'industrie manufacturière en construisant des machines.

Il y a en réalité deux parties entièrement distinctes dans la mécanique appliquée aux machines. La première, qui traite du meilleur emploi possible de la force motrice, du maximum d'effet utile, de l'évaluation des résistances, constitue la mécanique que nous appellerons *dynamique*; elle a été admirablement résumée dans les travaux de M. Poncelet, le principal créateur de la mécanique appliquée aux machines. La seconde partie traite des directions et des vitesses des mouvements qui s'engendrent les uns par les autres, c'est celle que nous appellerons la mécanique *géométrique* ou la *cinématique*; celle qui jusqu'ici n'est pas entrée dans l'enseignement et que nous avons tenté de formuler dans notre

1. Ce qui suit est emprunté à notre *Traité de Cinématique.*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traité. Autrefois les corps savants, l'ancienne Académie des sciences, par exemple, se plaçaient toujours au point de vue de cette science: Lahire, Deparcieux, Vaucanson, etc., ont toujours dirigé leurs travaux dans cette voie que les grands progrès du calcul de l'effet des machines n'eussent pas dû faire abandonner, car il s'agit de deux parties également utiles d'une même science.

« L'objet d'une machine, dit Carnot dans son rapport sur le *Traité des machines* de M. Hachette (1811), est de modifier l'action d'un moteur donné suivant le but qu'on se propose. Cette machine peut modifier l'action du moteur, ou relativement à sa direction, ou relativement à sa quotité. Les différentes directions que la machine fait prendre à l'action du moteur dépendent de la liaison que la forme même de la machine établit entre les corps et se rapportent aux mouvements purement géométriques dont la théorie complète serait si importante.

« Lorsqu'il s'agit, dit encore Carnot dans un de ses ouvrages de géométrie, de déterminer la marche d'un fil qui forme successivement les mailles d'un tricot, il ne s'agit nullement des lois de l'action et de la réaction, ni de la force avec laquelle le fil est tendu; il en est de même enfin de toutes les machines dont le but n'est pas d'économiser des forces, mais d'établir tels ou tels rapports entre les directions et les vitesses des différents points d'un système. »

Maintenant que nous avons expliqué l'esprit de la cinématique, disons quelles en sont les limites, les divisions naturelles.

Faudra-t-il étudier les nombreuses machines qu'emploie l'industrie, passer en revue successivement celles qui servent à la filature, au tissage, les horloges, etc.? Faudra-t-il, en un mot, étudier successivement toutes les fabrications pour comprendre comment fonctionnent les divers mécanismes qui y sont employés, et dont le nombre augmente chaque jour? Cette marche serait la seule possible, la seule qui permît un enseignement industriel complet (si tant est qu'on pût réunir les éléments d'un enseignement aussi étendu), si aucun principe scientifique ne venait nous guider, c'est celle qu'emploie l'apprenti pour apprendre un état en bien du temps que quelques heures de leçons eussent pu beaucoup diminuer.

Mais si l'on parvient à formuler d'abord la science qui préside à la construction des organes élémentaires des machines, le champ indéfini qui se présentait devant nous se circonscrit singulièrement, et toutes les machines seront connues, ou, pour le moins, comprises à une première inspection, quand on aura étudié les lois qui président à la construction des organes qui se retrouvent dans toutes et qui sont bien loin d'être en nombre aussi considérable qu'on pourrait le croire, d'après la multiplicité des machines qu'engendre la variété des combinaisons de ces éléments.

Si nous portons notre attention sur ces organes dont sont composées les machines, nous apprécierons mieux un aperçu dû au génie de Monge, et sur lequel seul peuvent reposer les divisions fondamentales de la cinématique. Monge reconnut *à priori* que les mouvements d'un organe d'une machine étaient continus ou alternatifs, et quant au mouvement d'un de leurs points, circulaires, rectilignes, ou d'après une courbe donnée. Mais pourquoi en est-il ainsi? Cette classification est-elle simplement empirique, ou bien fondée sur la nature des choses? C'est une question à laquelle il est facile de répondre.

Du mouvement dans les machines.

Soit un corps soumis à l'action de forces, et faisons croître le nombre de points fixes faisant obstacle à son mouvement, ce qui en fait une machine, nous reconnaîtrons les trois cas suivants :

1° L'obstacle est *un point fixe;* le corps, ne pouvant pas déplacer cet obstacle, ne pourra que tourner en tous sens autour de ce point; c'est ce qui constitue la machine simple appelée *levier.* Le mouvement d'un point quelconque appartenant au levier aura lieu sur une sphère, sera *circulaire*, en chaque instant, et *alternatif* dans une machine, le support matériel du point fixe s'opposant à ce qu'il puisse être continu dans le cas général.

2° L'obstacle consiste en *deux points* ou une *droite fixe;* dans le cas général où la résultante de toutes les forces agissant sur le corps ne passera pas par cette droite, il se produira un mouvement de rotation autour de celle-ci, un *mouvement circulaire* continu. Le *tour* est la machine simple, type du mouvement circulaire.

3° L'obstacle consiste en *trois points* fixes ou un *plan inébranlable* passant par ces trois points. Dans le cas général, le corps se mouvra suivant un élément linéaire de ce plan, ne pouvant déplacer les obstacles inébranlables. Le mouvement ayant lieu en chaque instant suivant un élément linéaire de ce plan, l'ordre de la succession de ces éléments déterminera le *mouvement rectiligne ou suivant une courbe donnée.*

Le *plan incliné*, ainsi nommé parce qu'on considère le plus souvent le plan fixe supportant des corps pesants et incliné à l'horizon, est la machine simple, type de ce genre de mouvement.

Le nombre de points fixes, non en ligne droite, peut être plus grand que trois; mais il n'en résulte pas de nouveau genre de mouvement. En effet, trois points fixes déterminant, pendant un instant, le mouvement le long du plan passant par ces trois points, un quatrième point fixe ne peut que faire naître la rotation du corps autour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la normale au plan des trois points fixes, en même temps que le glissement a lieu. Ce n'est donc alors que la réunion d'un des systèmes précédents et du système plan, c'est-à-dire qu'un plus grand nombre de points ne produira pas une nouvelle nature de mouvements. Si en plus des trois points fixes qui déterminent la nature de l'organe, d'autres points fixes agissent sur le corps, et sont convenablement disposés pour permettre la continuité du mouvement, ils pourront seulement servir à déterminer la direction du mouvement élémentaire, fournir des guides courbes, par exemple. Un nombre de points plus grand que trois ne sert donc qu'à assurer les formes particulières du chemin parcouru, mais ne fournit pas de système nouveau. D'où résulte une importante conséquence, c'est que les seules machines simples sont : le levier, le tour et le plan, et que si l'on décompose en leurs derniers éléments les mécanismes les plus complexes, ces derniers éléments seront nécessairement un de ces systèmes.

Quant aux mouvements produits, on déduira encore cette conséquence non moins essentielle, que puisque les obstacles qui gênent le mouvement des corps pour constituer des machines ne peuvent fournir que l'un des trois systèmes précédents, les mouvements produits sont nécessairement ceux engendrés dans le genre *levier*, ou dans le genre *tour*, ou dans le genre *plan*, en comprenant dans ce dernier les successions de plans, les surfaces courbes, etc. Par suite, les mouvements élémentaires seront tous ou circulaires alternatifs, ou circulaires continus, ou enfin rectilignes; la succession des éléments linéaires pouvant d'ailleurs engendrer les mouvements suivant une courbe, qui comprennent les mouvements rectilignes alternatifs.

On doit entrevoir, dès à présent, combien cette observation simplifie l'étude de la cinématique. Les machines n'étant plus composées que d'un nombre d'éléments très-limité quant à leur mode de mouvement, il n'y aura plus qu'à étudier la théorie géométrique du levier, du tour et du plan et des combinaisons de ces éléments, pour en arriver promptement à analyser les mouvements des machines les plus compliquées, au lieu d'être contraint d'étudier celles-ci successivement et comme des systèmes n'ayant aucun rapport entre eux. Il en résulte, en un mot, la possibilité de constituer sur des théories élémentaires l'étude géométrique des machines. (Voyez article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.)

Nous citerons parmi les principales applications de la cinématique traitées dans le présent ouvrage :

Les organes de transformation de mouvement et leurs combinaisons de tout genre;

Les appareils de mise en mouvement ou d'arrêt de variation, de régularisation, de vitesse;

Enfin la partie géométrique de toutes les machines opératrices, celles notamment combinées en vue de dispositions géométriques comme la filature, le tissage.

DEUXIÈME PARTIE. — MÉCANIQUE APPLIQUÉE OU MÉCANIQUE PHYSIQUE.

La partie, qu'on peut appeler *analytique*, de la science mécanique est encore plus importante que la partie *géométrique* pour les nombreuses applications qu'on en fait dans le travail industriel. Nous entrerons ici dans quelques détails sur la notion fondamentale de cette science, celle du travail des forces, et sur le principe des forces vives. Nous n'avons pas à traiter ici des théories particulières, objet d'articles étendus de cet ouvrage, puisqu'il s'agit ici de sciences appliquées, c'est-à-dire précisément des questions auxquelles il est consacré.

Du travail des forces.

Les forces de la nature agissent toujours par une succession continue d'efforts déterminés le long du chemin parcouru par leur point d'application. Il y a donc une relation intime entre les efforts, le chemin parcouru et l'effet produit par les causes de mouvement. Ces deux éléments, l'effort en chaque instant et le chemin parcouru, doivent être étudiés en même temps; si on peut à la rigueur les étudier séparément quand il s'agit de corps libres, pour lesquels le chemin parcouru résulte directement de la grandeur des forces, il n'en est point de même quand on considère des systèmes de corps pour lesquels des liaisons spéciales contribuent à déterminer les chemins que l'action de la force fait parcourir à son point d'application. Dans ce cas, le mouvement de ce point ne dépend plus seulement de la force, mais encore des liaisons du système.

Pour considérer en même temps la force et le chemin parcouru, on introduit dans le calcul un nouvel élément, *le produit de la force par le chemin décrit par son point d'application, évalué suivant la direction de cette force*. C'est ce qu'on appelle le travail de cette force, notion fondamentale de la mécanique appliquée. Entrons dans quelques détails à cet égard.

Supposons qu'une force verticale, dirigée de bas en haut, soit employée à élever uniformément un fardeau; cette force sera constante et égale au poids du fardeau. Quant à l'effet produit, il sera évidemment proportionnel au poids du fardeau élevé, ou, ce qui revient au même, à la force considérée, mais il sera aussi proportionnel à la hauteur verticale que le fardeau aura parcourue; en sorte que celui-ci sera, en définitive, mesuré par le produit de cette force par cette hauteur. Cette quantité est ce qu'on appelle *le travail*. Rien de plus facile donc pour le cas de l'élévation verticale des corps que d'évaluer ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travail en nombres; car, si l'on prend pour unité de travail celui qui consiste à élever l'unité de poids à l'unité de hauteur, il paraîtra évident qu'élever à une hauteur quelconque H un poids donné P, c'est répéter autant de fois l'effet partiel qui répond à l'unité de travail qu'il y a d'unités de longueur dans H et d'unités de poids dans P; le produit PH est donc la mesure naturelle de l'effet ou du travail *utile* total de la force motrice qui, par son activité, a élevé le poids P à la hauteur H; peu importe, au surplus, la manière dont aient varié l'effort et la vitesse propre de l'agent en intensité ou en direction. L'effet dont il s'agit ne suppose en lui-même autre chose qu'un effort vertical constant, mesuré par P, et dont le point d'application décrit un certain chemin H dans sa direction propre.

Cette notion et cette mesure du travail mécanique cadre d'ailleurs avec la manière dont se payent, dans les arts, tous les travaux qui se rapportent à l'élévation verticale des fardeaux; par exemple, quand il s'agit de tirer de l'eau du fond d'un puits, d'élever des terres, des matériaux quelconques à certaines hauteurs. En effet, le prix est toujours réglé proportionnellement au nombre des *mètres cubes* de chaque espèce de matière, dont le poids, et par conséquent la valeur vénale doivent augmenter avec la densité.

L'unité de poids étant le kilogramme, et l'unité de longueur le mètre, l'unité de travail sera le kilogrammètre ou le kilogramme élevé à un mètre.

Voyons maintenant comment on peut évaluer le travail mécanique de forces quelconques, dont la grandeur peut toujours être évaluée en poids, et ramener l'expression de sa mesure aux mêmes unités que celle qui se rapporte à l'élévation d'un poids suivant la verticale.

En y réfléchissant un peu, on voit qu'exécuter un travail mécanique quelconque c'est vaincre, d'une manière utile pour le besoin des arts, des résistances telles que la force d'adhésion des molécules des corps, la force du calorique et des ressorts, la force de la pesanteur, la résistance des fluides, les frottements et quelquefois l'inertie de la matière, comme lorsqu'il s'agit de lancer des projectiles, de mettre en action des marteaux, des pilons, etc. Mais, pour vaincre et détruire successivement des résistances continuellement renouvelées le long d'un certain chemin, il faut un effort de traction ou de pression agissant au point d'application de cette résistance, et qui se renouvelle en se déplaçant lui-même constamment. Or il peut arriver, ou que l'effort soit dirigé à chaque instant dans le sens du chemin décrit par son point d'application, ou que cet effet varie d'une manière quelconque, en grandeur et en direction, sans cesser néanmoins de faire constamment équilibre à la résistance que lui oppose directement son point d'application, en vertu du principe de l'action égale et contraire à la réaction.

Considérons d'abord le premier cas, et supposons que l'effort et par suite la résistance conservent une valeur constante à tous les instants, on pourra évidemment appliquer à cet effort le même raisonnement que pour le cas où il s'agissait d'élever directement un poids à une certaine hauteur, sans lui faire quitter la même verticale, la quantité d'action qu'il développera dans une longueur de chemin donnée sera donc ici encore directement proportionnelle et à l'intensité constante de cet effort et au nombre de fois qu'il a été répété, ou au nombre des résistances particlles et égales qui ont été vaincues, c'est-à-dire au produit de cet effort, exprimé en unités de poids par la longueur effective du chemin parcouru dans sa direction propre, estimé en unités de distance. Q étant donc le nombre des kilogrammes qui mesurent l'effort, q celui des mètres qui mesurent la longueur du chemin, la valeur du travail pourra encore être exprimée par le produit:

$$Q^{k} \times q^{m} \text{ ou } Qq^{km},$$

en faisant attention qu'ici l'unité de travail 1^{km} se rapporte à un effort constant de 1^{k}, qui se répète le long d'un chemin d'un mètre dirigé d'une manière quelconque.

Dans le second cas, quand le point d'application d'une force se meut dans une direction différente de celle de la force, ce n'est plus l'espace parcouru par ce point qu'on multiplie par la force pour former l'expression du travail produit par la force, c'est la projection de cet espace sur la direction de la force, ou, si l'on aime mieux, on n'a à tenir compte que du travail de la composante suivant le chemin parcouru. La composante perpendiculaire à cette direction ne produit aucun travail, et il n'y a à en tenir compte que pour l'évaluation des résistances, des frottements.

Si l'effort est variable, tout ce que nous venons de dire s'applique encore à ce cas, à la seule condition d'obtenir le travail total par la somme de tous les produits élémentaires de l'effort en chaque instant par le chemin élémentaire parcouru pendant que cet effort est constant, ce qui rentre dans les questions du calcul infinitésimal les plus simples, les questions de quadrature.

C'est en établissant, dès le début de la science, la notion du travail des forces, en suivant la transmission de ce travail dans les machines et les opérations mécaniques, que Poncelet a fondé la mécanique industrielle et a fait pour celle-ci ce que Monge avait fait pour la géométrie descriptive. En partant de l'unité complète, du travail, il a simplifié, élucidé une science trop complexe avant lui, pour la plupart de ceux qui avaient à l'appliquer.

Principe des forces vives.

La notion de force est une conception de no-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tre esprit; ce qui existe dans la nature, ce sont des mouvements, auxquels des obstacles ne peuvent être opposés sans qu'apparaissent des effets de pression, de traction dont nous déduisons l'idée de force première, bien qu'elle soit toujours secondaire. C'est dans le principe des forces vives que s'introduit cette transformation des mouvements et son rapport avec le travail des forces. Il consiste en ce que l'accroissement de la force vive d'un système, pendant un temps quelconque, est égal au double de la somme des quantités de travail des forces qui ont agi sur lui, ou $Te = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$.

On sait que la force vive d'un système est la somme des produits des masses par le carré des vitesses. Ce théorème fondamental se démontre avec facilité (voyez *Mécanique*) comme résultat des définitions mêmes, et, réuni à celui de la transmission du travail, permet l'établissement des théories les plus utiles, de celles dont les applications sont les plus fécondes.

Des machines.

On donne le nom de machine à tout système de corps destiné à transmettre le travail des forces et par suite à modifier celles-ci quant à leur intensité, et le mouvement quant à la vitesse et à la direction en raison du but à atteindre.

Ce sont surtout les variations du chemin parcouru qui rendent les machines propres à une infinité d'usages industriels. Ces variations déterminées ne sauraient avoir lieu sur un corps entièrement libre, ne pouvant par suite qu'obéir aux forces qui agissent sur lui, que prendre le mouvement qui résulte de leur direction. C'est en gênant le mouvement d'un corps par des obstacles inébranlables, par des points fixes, que le travail des forces devient utilisable par machines, et que le mouvement est transformé de manière à satisfaire à toutes les conditions nécessaires pour le besoin des arts.

Que des points fixes transforment les mouvements d'un système, cela est bien évident; mais, de plus, ces points interviennent d'une manière très-importante dans l'équilibre des forces qui agissent sur ce système.

On comprend facilement comment, par l'intervention de points fixes, des forces de grandeurs quelconques peuvent se faire équilibre. Dans de pareils systèmes, il n'est plus nécessaire que les résultantes des forces qui agissent sur eux soient nulles d'elles-mêmes; il suffit que leurs directions rencontrent les obstacles inébranlables qui les annulent par leur résistance.

Ainsi, à l'aide d'un corps solide qui s'appuie sur un point fixe, d'un levier, une force minime fera équilibre à une très-grande force, si elle est disposée à l'égard de celle-ci de manière que la résultante des deux forces passe par le point fixe; d'où l'on voit que la plus petite force ne détruit pas la plus grande, ce qui serait impossible, mais qu'elle ne sert en quelque sorte qu'à détourner l'effort de la plus grande et à le faire passer avec le sien propre combiné vers un obstacle invincible. Cet obstacle agit comme une force égale à la résultante et de sens opposé, et par suite en détruit l'effet.

Il résulte du principe des forces vives, comme conséquence importante, qu'une fois la machine arrivée à l'état permanent, le travail total développé par les forces qui agissent sur elle est nul, ou, en nommant travail moteur celui des forces qui tendent à accélérer le mouvement, et travail résistant celui des forces qui tendent à le retarder, quand la vitesse est uniforme, le travail moteur est égal au travail résistant pendant un même intervalle de temps. Mais il faut distinguer, dans le travail résistant, le travail utile et le travail inutile. Le travail utile est celui qui provient de la résistance des corps sur lesquels la machine exerce son action; le travail inutile provient du frottement, des chocs, etc. On voit donc que le travail utile d'une machine est toujours moindre que le travail moteur employé à le produire. Le travail est par conséquent une quantité que l'on ne peut augmenter par l'effet de machines; celles-ci peuvent servir à modifier soit la force motrice, soit le chemin décrit par leur point d'application, à les partager l'un et l'autre en plusieurs autres, à modifier leur position et leur direction, mais sans jamais augmenter leur produit. La science ne peut que rendre le travail utile une fraction du travail moteur la plus voisine de l'unité qu'il est possible.

Production et consommation du travail.

Dans toutes les applications des forces, c'est-à-dire pour tous les travaux qu'exécute l'industrie de l'homme, la nature propre des corps, leur résistance à toute action extérieure résultant de leur constitution physique est la première chose à considérer. On reconnaît bientôt que cet ordre de phénomènes ne peut s'analyser que par l'étude des forces qui s'exercent entre les molécules des corps, et que, par suite, cette étude est à la fois une application des connaissances qui constituent la physique et de celles qui sont étudiées dans la mécanique.

La production du travail est encore une étude à la fois d'ordre physique et d'ordre mécanique, liée intimement aux forces moléculaires.

On peut diviser en quatre parties cette science de l'ingénieur : 1° Conditions de la production de ce travail; mode de l'appliquer à la première pièce d'une machine, au récepteur; 2° Résistances des corps à toute action exercée sur eux, à l'état statique, lorsqu'ils ne supportent que des pressions, comme lorsqu'ils entrent dans des constructions; 3° Résistances à l'état dynamique, lorsque des corps doivent être mis en mouvement relatif, soit entièrement, soit partiellement lorsqu'il s'agit de surmonter la résis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tance qui s'oppose à la désunion de leurs molécules, comme dans les opérations mécaniques qui ont pour objet la division des corps pour les amener à une forme voulue.

4° Résistances au mouvement des fluides et des surfaces des solides en contact.

I. — *Production du travail.*

La force motrice, qu'il est possible d'utiliser pour mettre en mouvement des machines qui effectuent des opérations industrielles, provient de quatre sources :

1° Des moteurs animés ;

2° De la vitesse des corps et surtout des liquides et fluides élastiques qui se rencontrent à l'état de mouvement ;

3° De la pesanteur ;

4° De la chaleur, des actions chimiques et électro-magnétiques résultant des combinaisons des diverses substances entre elles.

Moteurs animés. — Les efforts des moteurs animés, bien qu'étant pour nous, économiquement parlant, une source de force motrice, sont en réalité le résultat de la machine complexe qui constitue l'animal. Composés d'os et de muscles, c'est-à-dire de leviers et de cordes, les organes qui servent au développement de la force animale sont de véritables organes de machines et la cause première de la puissance motrice, la combustion produite dans l'acte de la respiration, cause de la vie et de la vigueur de l'animal, a fait établir un parallèle incontestable entre la machine animale et la machine à feu.

Quoi qu'il en soit, ce n'est qu'à l'état de moteur primitif que la mécanique considère l'animal, et c'est à l'aide de l'expérience, aidée des lumières des sciences biologiques, que l'on détermine les conditions les plus favorables à leur emploi, la valeur de l'effort et la vitesse au point d'application les plus convenables pour produire le maximum de travail journalier pour une fatigue qui n'altère pas la santé de l'animal supposé recevoir une alimentation convenable.

Corps en mouvement. — Corps solides. — On ne rencontre pas sur la terre de corps solides en mouvement autres que ceux mus par l'action des machines. Leur action à l'état de mouvement constitue un phénomène fort important par ses applications industrielles, le choc qui se produit à la rencontre de deux corps.

La théorie mathématique du choc est une des plus importantes de celles de la mécanique appliquée. Elle se résume dans le théorème de Carnot, qui s'énonce ainsi : La force vive perdue par le choc est égale à la différence des forces vives correspondantes aux vitesses du corps avant et après le choc. Contraire en apparence au principe général de la nature, à celui de conservation des forces vives, l'effet des chocs est une des bases les plus solides de la théorie mécanique de la chaleur, la quantité de celle-ci qui apparaît ne pouvant évidemment être autre chose que le travail qui ne se retrouve pas.

Corps liquides. — Les corps liquides se rencontrent fréquemment en mouvement dans la nature, et la vitesse des cours d'eau est un des moyens le plus fréquemment employés dans l'industrie pour donner le mouvement aux machines. Du principe des forces vives et de l'étude du choc résulte la théorie des moteurs hydrauliques, celle peut-être qui a fait le plus de progrès de nos jours. La détermination des vitesses des récepteurs, de leurs formes, résulte directement de cette théorie.

Gaz. — L'air atmosphérique en mouvement est utilisé pour faire mouvoir des machines par son action sur les voiles. La théorie des moulins à vent, bien qu'ayant fait des progrès importants par l'application des principes généraux qui ont conduit à la théorie complète des roues hydrauliques, est pourtant loin d'être arrivée au même degré de perfection.

Forces agissant d'une manière continue. — Chutes d'eau. — Pesanteur. — Pression atmosphérique, etc. — La pesanteur agissant d'une manière continue et constante sur tous les corps placés à la surface de la terre, est une source de travail mécanique. Comme la pression atmosphérique, la pression d'un ressort, etc., la pesanteur des corps solides n'est utilisée que comme moteur secondaire, c'est-à-dire quand un premier travail les ayant écartés de leur position, la pesanteur ou l'élasticité leur font faire reprendre la position initiale.

L'eau, au contraire, se formant dans les parties les plus élevées du globe, par la condensation, sur les sommets des montagnes, des vapeurs produites par l'action de la chaleur (source première du travail) descend, en vertu de la pesanteur, vers les parties basses. Lorsqu'on utilise la vitesse qu'elle prend en obéissant à l'action de la pesanteur, on rentre dans le premier cas dont nous venons de parler. Lorsqu'au contraire, soit par le barrage d'un cours d'eau, soit par une disposition quelconque, on maintient le liquide à un niveau supérieur à celui qu'elle peut prendre dans un réservoir avec lequel elle communique, on peut utiliser directement par machines le travail mécanique dû à la descente du poids de l'eau, du niveau supérieur au niveau inférieur. Le principe de la transmission du travail s'applique facilement dans ce cas à l'étude des récepteurs convenablement disposés, et permet la détermination des règles d'établissement des roues à augets, des balances d'eau, etc.

Chaleur. — La chaleur est la source de force la plus générale et la plus importante ; c'est elle qui, par la vaporisation, élève les masses liquides à l'état de nuages. La chaleur est encore la cause

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

ou au moins la condition essentielle du travail des moteurs animés, dont l'appareil respiratoire constitue un véritable appareil de combustion, et qui ne peuvent produire du travail qu'en raison des aliments qui fournissent les matériaux que consume cette combustion.

Ne parlant ici que de la chaleur produite par la combustion dans les foyers, le principe fondamental de son emploi est celui-ci, qui est presque évident de soi : le travail d'une unité de chaleur (capable d'échauffer un kilogramme d'eau d'un degré) a un maximum théorique dont on s'approche plus ou moins dans la pratique, comme un poids d'eau qui tombe d'une certaine hauteur. Autrement ce serait admettre qu'une quantité limitée de chaleur pourrait produire un travail infini, ce serait admettre par voie détournée le mouvement perpétuel.

Cette conséquence presque évidente de soi, en partant de la nécessité d'un rapport entre la cause et l'effet, était à peine comprise avant les nouveaux progrès accomplis dans la théorie de chaleur. S. Carnot l'avait pourtant mise en lumière dans son admirable brochure sur la puissance motrice du feu, et on peut voir dans l'article Calorie de cet ouvrage, que j'ai eu soin de laisser tel qu'il a été écrit en 1844, comment, avant les travaux modernes, ceux de R. Mayer notamment, la lumière commençait à se faire dans tous les esprits qui ne pouvaient se résoudre à admettre les conséquences évidemment erronées auxquelles conduisait la théorie mathématique des machines à feu, fondée sur des données physiques insuffisantes.

La théorie mécanique de la chaleur fournit aujourd'hui une analyse tout à fait satisfaisante de la production du travail mécanique par la chaleur dans les *machines à feu*, et on peut dire avec raison que l'importance prépondérante de la machine à vapeur dans l'industrie conduisait presque nécessairement à un progrès qui subordonne le caractère chaleur au caractère travail mécanique, à l'homogénéité des deux ordres de quantité. C'est le résultat logique que devait entraîner le fait technique, l'avance que le constructeur de machines avait prise sur les savants purs, J. Watt, sur les philosophes de son temps. La chaleur étant, comme je l'ai expliqué plus haut, une force vive moléculaire, la production de travail mécanique par la chaleur n'est autre chose que la conversion de cette force vive en travail. Dans le cas où de la machine à vapeur ou de la machine à air, les molécules gazeuses exercent leur pression sur le piston par une succession indéfinie de chocs résultant de leur vitesse en raison de la température. Sur les parois fixes, elles rebondissent et le sens de leur mouvement est seul changé, la vibration passe à une autre période, mais la somme des forces vives ne varie pas ; sur la surface du piston mobile, au contraire, la vitesse de la molécule diminue en raison du mouvement de celui-ci. La production du travail par la détente et la consommation de chaleur qui l'accompagne, comme les effets inverses de la compression par travail mécanique se trouvent parfaitement expliqués et comme confirmation tout à fait probante que c'est bien l'expression de la vérité, je citerai l'expérience de Joule, qui, faisant détendre des gaz comprimés dans des vases inextensibles, par suite en empêchant toute production de travail mécanique extérieur, a montré qu'il n'y avait pas de variation dans la quantité de chaleur.

Production de travail par des actions chimiques et électro-magnétiques. — Pour compléter les considérations qui précèdent, et qui limitent le champ des résultats qu'il est possible d'obtenir des machines à feu, on peut pousser plus loin les recherches et se demander si, comme bien des inventeurs en ont conçu l'espérance, on peut espérer produire, par certaines actions chimiques ou électro-magnétiques, un travail mécanique dont le prix de revient soit notablement inférieur à celui obtenu à l'aide de la vapeur d'eau produite par la combustion du charbon. Les preuves de la corrélation des forces physiques que le progrès des sciences accumule, montrent que la plupart de ces espérances sont chimériques. C'est ce qu'on peut établir directement.

Actions chimiques. — Les actions chimiques peuvent fournir de la chaleur, comme le fait la combustion du charbon, mais aucune dans des conditions comparables sous le rapport de l'économie, et sans aucun avantage spécial.

En est-il de même de celles qui, comme le mélange d'acide sulfurique et de bi-carbonate de soude, peuvent donner lieu à un dégagement de gaz qui se continue même sous des pressions très-considérables? Cela est certain d'après la théorie qui fait de la chaleur le produit direct et nécessaire des réactions chimiques; mais néanmoins on ne peut pas dire qu'il puisse y avoir certains cas spéciaux dans lesquels, indépendamment de l'économie, on ne puisse employer, quelque jour, quelques réactions soit connues, soit de celles que la chimie pourra faire découvrir. Remarquons que ces actions n'ont lieu que dans certaines conditions qui répondent au maximum possible dans chaque cas. Ainsi un dégagement de gaz ne peut avoir lieu que jusque sous une certaine pression, en raison de l'affinité; par exemple M. Galy-Cazalat a reconnu par expérience que l'hydrogène cessait de se dégager lors de l'action de l'eau acidulée sur le zinc sous une pression de 28 atmosphères.

Les seules actions chimiques utilisées jusqu'à ce jour sont les explosions et surtout celle de la poudre à canon, dont la puissance est due au volume et à la haute température de la vapeur d'eau et des gaz produits par la combustion,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire toujours à des quantités de chaleur. Le moyen de l'utiliser consiste à faire naître l'explosion dans un cylindre résistant qui reçoit une partie mobile, le boulet de même diamètre. La projection du boulet qui est ici le travail à produire et la grande vitesse nécessaire pour atteindre le but constituent un problème mécanique d'un ordre particulier. Quant à employer la poudre à canon pour produire un travail mécanique utilisable dans l'industrie, M. Poncelet a calculé (voyez *Introduction à la mécanique*) que le travail fourni par la poudre était 90 fois plus cher que celui fourni par la houille.

Le mélange des gaz hydrogène ou hydrogène carboné et d'air a été aussi tenté; de semblables systèmes fournissent toujours un travail mécanique plus cher que celui fourni par l'emploi des combustibles pour vaporiser l'eau. Ce que nous rapportons ci-après, d'après M. Liebig, relativement aux actions électro-chimiques s'applique, au reste, en partie, aux actions chimiques et nous paraît limiter parfaitement ce qu'on peut retirer de semblables recherches.

Actions électriques et électro-magnétiques.

Dans l'application la plus importante de ces actions, dans le télégraphe électrique, on produit le mouvement de va-et-vient d'un morceau de fer doux par les établissements et les interruptions successives de l'attraction d'un aimant momentané qui soulève un contre-poids. Cette application a prouvé les grands avantages de l'électricité pour transmettre instantanément de petites forces à de très-grandes distances; résultat fort précieux, mais pour lequel le prix de revient de l'unité de travail est sans importance.

A l'aide d'électro-aimants disposés en cercle et d'une roue portant des morceaux de fer doux qu'ils viennent attirer, on a construit des machines électro-magnétiques qui sont fort curieuses et dont on a prétendu quelquefois tirer une production économique de travail. Dans ses Lettres sur la chimie M. Liebig s'est posé, il y a déjà bien des années, cette question, et y a fait une réponse bien précise : Quel est le plus économique des deux moteurs, l'un étant la houille servant à produire de la vapeur, l'autre du zinc se dissolvant dans l'acide sulfurique et produisant un courant capable d'attirer et de repousser un aimant?

« Lorsque, dit-il, nous prenons du zinc et que nous le mettons en contact avec de l'acide sulfurique étendu, il se dissout sous forme d'oxyde de zinc : il y a combustion de zinc aux dépens de l'oxygène que lui cède le liquide. Cette action chimique a pour résultat la formation d'un courant électrique qui, si on le conduit au moyen d'un fil, fait passer ce fil à l'état magnétique.

« Dans l'exemple que nous venons de citer, nous savons que la puissance motrice est produite par la dissolution (par l'oxydation) du zinc. Mais si nous faisons abstraction du nom que l'on donne à la force motrice qui se développe dans ce cas-ci, nous savons que nous pouvons également la produire au moyen d'un appareil tout différent. Ainsi, lorsque nous faisons brûler du zinc sous la chaudière d'une machine à vapeur, c'est-à-dire dans l'oxygène de l'air au lieu de l'oxygène de la pile galvanique, nous produisons de la vapeur d'eau, et, par le moyen de cette vapeur, une certaine quantité de force motrice. Si maintenant nous admettons (ce qui, du reste, n'est nullement prouvé) que la quantité de force obtenue soit inégale dans les deux cas de combustion du zinc, c'est-à-dire que nous obtenions deux ou trois fois plus de force, ou bien, si l'on veut, que la déperdition de force soit beaucoup moins considérable quand nous employons la pile galvanique, nous ne devons pas perdre de vue que le zinc peut être représenté par certains équivalents de charbon; et nous devons les prendre pour éléments de notre calcul. D'après les expériences de Despretz, 6 kil. de zinc, en se combinant avec l'oxygène, ne développent pas plus de chaleur que la combustion d'un seul kil. de charbon : par conséquent, toutes choses étant égales d'ailleurs, 1 kil. de charbon produira six fois plus de force motrice que 1 kil. de zinc. Il est évident qu'en supposant la perte de force égale de chaque côté, il serait beaucoup plus avantageux de se servir de charbon que de zinc, alors même que ce métal brûlé dans la pile galvanique produirait quatre fois autant de chaleur qu'un poids égal de zinc brûlant sous la chaudière d'une machine à vapeur. En un mot, il est extrêmement probable que si nous brûlions sous la chaudière d'une machine à vapeur la quantité de charbon nécessaire pour traiter une certaine quantité de minerai de zinc, nous obtiendrions une somme de travail de beaucoup supérieure à celle que pourrait produire le zinc obtenu, sous quelque forme et dans quelque appareil que ce métal fût employé.

« Il existe entre la chaleur, l'électricité et le magnétisme des rapports intimes. Avec une quantité donnée d'électricité, nous produisons une proportion correspondante de chaleur ou de force magnétique : la chaleur et la force obtenues sont réciproquement équivalentes. Nous nous procurons cette quantité déterminée d'électricité au moyen de l'affinité chimique qui, sous une forme, donne de la chaleur, et, sous une autre, de l'électricité ou du magnétisme. Avec une certaine somme d'affinité, nous produisons un équivalent d'électricité; de même, en sens inverse, avec une somme déterminée d'électricité, nous décomposons des équivalents de combinaisons chimiques. Ainsi donc la dépense de force magnétique correspond rigoureusement à la dépense d'affinité chimique. Dans la pile, c'est l'affinité chimique du zinc et de l'acide sulfurique qui produit la force motrice; dans la machine à vapeur, c'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'affinité du charbon et de l'oxygène du courant d'air. »

Si donc on songe au bas prix auquel on obtient le charbon (le seul corps combustible qui se trouve, dans la nature, en masses considérables sous forme de houille), on en conclut qu'aucun corps combustible ne peut lui être comparé pour l'économie dans la production du travail, d'autant plus qu'en général ceux-ci n'ont pu être extraits de leurs combinaisons qu'à l'aide d'un poids de charbon capable de produire une quantité de chaleur au moins égale à celle qui pourrait être produite par une nouvelle combinaison de ces corps avec l'oxygène ou par une force électro-magnétique correspondante à cette quantité de chaleur.

II. — *Des résistances que les corps opposent en raison de leur constitution, de leur nature propre à l'action directe des forces.*

Les corps solides sont formés de molécules juxtaposées. On a donné le nom de cohésion à la force qui les réunit, et qui est mesurée par celle qu'il faut employer pour les séparer.

On sait que les corps placés dans des conditions convenables cristallisent, c'est-à-dire que les atomes chimiques qui constituent les molécules, et par suite les molécules elles-mêmes, possèdent, quant à leurs forces d'attraction réciproques, des propriétés qui varient, non-seulement avec leurs distances absolues, mais encore avec leurs positions relatives, avec la direction de leurs axes; de sorte qu'elles ont elles-mêmes une tendance à se grouper dans un certain ordre régulier lorsque les circonstances sont favorables, et que rien ne vient troubler le jeu des forces qui les animent. Tel est le phénomène de la cristallisation ou de la formation des cristaux ou corps à facettes planes, décomposables avec le minimum de résistance suivant des plans parallèles à ces faces planes, dits plans de clivage.

La lenteur dans le rapprochement des molécules est une condition indispensable de la cristallisation; autrement elles se trouvent en quelque sorte *surprises* dans leur mouvement, et il en résulte un état de cristallisation incomplète ou confuse, qui est celui de tous les corps qui passent brusquement de l'état liquide à l'état solide. Tout corps que l'on examine est en général, dans la pratique, très-différent des corps définis par sa seule composition chimique. On peut dire, d'après l'analyse de la constitution des corps indiquée précédemment, qu'il lui reste à dégager une quantité de chaleur pour passer à l'état cristallin, seul fixe et invariable, répondant à l'action complète des forces moléculaires.

Les corps organisés, les végétaux et les animaux ont une constitution toute différente. On n'y trouve plus des formes polyédriques, et sous l'influence des forces vitales les molécules sont groupées d'une manière spéciale. En général, elles se disposent en réticules, en fibres ou filets rangés les uns à côté des autres, ou recroisés de manière à former tantôt des cylindres, tantôt des tissus à mailles plus ou moins serrées.

Des hypothèses concernant les forces moléculaires. — L'ensemble des phénomènes que présentent les corps considérés au point de vue de leur structure est bien représenté par l'antagonisme de la force attractive, dite attraction, cohésion, considérée comme propre à ces molécules, et de la force centrifuge qui tend à écarter ces molécules les unes des autres en raison des impulsions, de la force vive qui correspond à leur température. Suivant que la distance qui joint les molécules est augmentée ou diminuée par l'action d'une cause ou force étrangère, l'état de stabilité est altéré et l'attraction l'emporte sur la répulsion, ou la répulsion sur l'attraction.

Élasticité moléculaire. — Des molécules d'un corps solide, écartées de leur position de stabilité par une force étrangère, se rapprochent ou s'éloignent jusqu'à la position qui répond à l'énergie de la force étrangère et pour laquelle il y aura équilibre ou repos; si ensuite cette force vient à cesser son action, les molécules tendront à reprendre leur première position. Comme elles sont alors animées d'une certaine vitesse, ou plutôt d'une force vive égale au double de la quantité de travail dépensé pour produire la déformation, elles dépasseront leur position d'équilibre naturel pour y revenir bientôt, et ainsi de suite indéfiniment par une série d'oscillations qui décroissent de plus en plus par la communication du mouvement aux corps environnants.

De l'analyse de ces mouvements se déduit le principe suivant, qui est fondamental pour l'application du calcul aux phénomènes d'élasticité:

Les forces totales en vertu desquelles les molécules des corps s'attirent ou se repoussent entre elles sont proportionnelles aux déplacements correspondants de ces molécules, tant qu'ils demeurent très-petits par rapport à l'intervalle absolu qui sépare celles-ci.

Mesure de la force élastique. — La résistance élastique des molécules, leur roideur, est d'autant plus grande que les déplacements qu'elles subissent, au premier instant, sont plus petits par rapport aux efforts de traction ou de compression qui les produisent; le rapport de ceux-ci à ceux-là donne immédiatement la mesure de cette roideur. C'est le coefficient d'élasticité des corps, qui peut encore se définir le poids susceptible d'allonger de 1 mètre une base de 1 mètre de longueur, si un tel allongement était possible. (Voyez article RÉSISTANCE.)

Le principe ci-dessus énoncé revient donc à dire que, pour des déplacements très-petits des molécules des corps, la force élastique conserve des valeurs sensiblement constantes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les forces qui agissent dans les limites d'élasticité des corps sont telles qu'après leur disparition le corps reprend sa forme primitive.

L'élasticité dépend moins de la valeur absolue de la force de cohésion que de la sphère d'action de cette force. Il suffit de citer le caoutchouc pour prouver combien l'élasticité peut être étendue dans des corps dont la ténacité est peu considérable.

L'analyse des phénomènes d'élasticité s'établit en admettant :

Que la résistance d'une barre est indépendante de sa longueur absolue et proportionnelle à l'aire de sa section par un plan perpendiculaire à sa longueur;

Que les allongements sont proportionnels à la longueur de la barre;

Enfin, que la réaction élastique a pour mesure le rapport des charges aux allongements très-petits qui correspondent aux premiers déplacements des molécules, avant que le corps puisse avoir subi aucune altération. C'est de ce rapport que se déduit le module ou coefficient d'élasticité pour chaque corps, le nombre qui nous représente le mieux la nature des corps solides, l'énergie des forces qu'ils opposent, par exemple à l'action des corps durs disposés de manière à modifier leurs formes, et notamment aux outils tranchants.

Causes de l'imparfaite élasticité des corps. — La cause la plus fréquente de l'imparfaite élasticité des corps employés dans l'industrie, réside dans les opérations mécaniques qu'ils ont supportées et qui ont fait dépasser à quelques molécules la limite au-dessus de laquelle l'action moléculaire cesse de s'exercer; le corps s'est en quelque sorte rompu dans certaines régions, quoiqu'on n'en aperçoive aucune trace extérieure.

De plus, il faut tenir grand compte du mode d'agrégation des molécules qui rend, par exemple, dans des cristaux, l'élasticité bien différente dans la direction des axes ou perpendiculairement à ceux-ci. Or dans tout corps des groupes de molécules forment des cristallisations partielles, et il faut évidemment tenir compte de la forme de ces groupes, de leurs points de contact. Des actions mécaniques occasionnent aussi des passages de l'état cristallin à l'état fibreux qui modifient les résistances des corps.

C'est par de semblables considérations qu'on peut apprécier les effets des causes qui, tendant à modifier l'état d'agrégation moléculaire des corps, changent par cela même leurs propriétés physiques. Parmi ces causes, la plus importante et celle dont les arts tirent le plus grand parti, la trempe, est dans cet ouvrage l'objet d'un article étendu qui nous permet de ne pas insister ici sur les considérations relatives à ce phénomène, si important pour la pratique des arts.

Résistance des matériaux.

Des principes que nous venons d'exposer relativement à la structure des corps solides se déduisent quelques théories importantes, et, dans beaucoup de cas, seulement quelques règles empiriques qui règlent l'emploi des divers corps solides dans les arts et le mode d'action le plus convenable à employer pour en modifier les formes.

Les forces qui agissent sur les corps solides peuvent se classer, au point de vue de leur action sur les corps, en deux classes, celles qui restent dans les limites de l'élasticité et celles qui dépassent ces limites. Le premier cas est le seul à considérer dans la grande application des sciences aux arts de construction.

1° *Résistance à l'extension.* — Les nombreux résultats des expériences qui peuvent guider les constructeurs, se représentent habituellement par des tableaux ou des courbes, dont les éléments sont les charges d'une part et les allongements de l'autre. Tant que la proportionnalité des deux effets se maintient, on est dans les limites d'élasticité; il ne se produit pas de déformations permanentes, et le corps reprend sa forme primitive quand l'action d'allongement a cessé, au moins sans variation sensible pour la pratique; car, à mesure que les moyens d'observation se perfectionnent, on constate des déformations pour des charges de moins en moins considérables. Les allongements permanents sont une source de dangers, conduisant à la rupture dans une foule de cas : ainsi, un pont suspendu, dont le tablier est soutenu par un certain nombre d'attaches, sera menacé de rompre si l'une d'elles est allongée d'une manière permanente par un choc accidentel. Comme elle cessera de porter le tablier, les deux voisines s'allongeront bientôt par suite à leur tour, et ces allongements successifs et répétés amèneront bientôt à un état assez voisin de la rupture pour être dangereux. C'est par ce motif que dans des circonstances analogues les métaux les plus roides sont préférés, que l'acier est employé à la place du fer. Toutefois cela ne peut avoir lieu qu'en tenant compte du travail total que la rupture consomme, de la *résistance vive de rupture.* Il y a en effet quelque chose de tout à fait insuffisant, de tout à fait en arrière des derniers progrès de la science, à se limiter à une étude *statique* des effets de l'élasticité, quand la rupture est évidemment due à la consommation d'un travail mécanique. Si l'on fait la quadrature des courbes dont il a été parlé plus haut, dont les ordonnées sont les efforts exercés, et dont les abscisses sont les allongements ou les chemins parcourus dans la direction de ces efforts, on aura bien le travail qui répond à un allongement donné. Si celui-ci répond au point où commencent les déformations permanentes, on aura la résistance vive d'élas-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ticité; si elle répond au point de rupture, on aura la résistance vive de rupture. On reconnaît ainsi, pour nous reporter à l'exemple cité, que les fers doux possèdent une résistance vive de rupture bien plus grande que les fers durs et les aciers.

2° *Résistance à la compression.* — La résistance des corps à la compression, à des actions qui tendent à rapprocher leurs molécules avant le point de rupture, est en général bien plus grande que celle qu'ils opposent à la rupture par extension. Pour les corps cassants, les pierres, les briques qui forment les massifs en maçonnerie, les efforts doivent être dans la pratique bien inférieurs à ceux qui pourraient, en causant un commencement d'altération, faire courir les plus grands dangers à la solidité d'un édifice. On voit par là quel rôle capital jouent, dans l'art de l'architecture et les arts de construction en général, les recherches dont il s'agit, et dont l'ensemble constitue la théorie de la résistance des matériaux. Celle-ci résulte de l'ensemble des expériences faites sur les substances employées, expériences interprétées avec toutes les ressources du calcul. (Voy. *Résistances.*)

3° *Résistance à la flexion.* — La partie où le calcul prête le plus d'aide à l'expérience est celle qui se rapporte à la résistance des corps de sections diverses soumis à un effort transversal qui tend à en déterminer la rupture. Cette théorie conduit à la détermination des formes des solives des planchers, des différentes parties des fermes, aux formes des fers dits à T, si employés dans les constructions; enfin à la forme parabolique des solides d'égale résistance, forme usitée dans les grandes constructions de machines, et qui est celle du solide qui, encastré à une de ses extrémités et chargé d'un poids à l'autre, offre la même résistance en tous les points quelle que soit leur distance du point où le poids est suspendu.

III. — *Fabrications mécaniques. — Outils et machines-outils.*

Nous rangeons sous ce titre (en laissant de côté les questions d'assemblage dont les principes sont du domaine de la géométrie) les opérations dans lesquelles les corps sont soumis à des forces supérieures à celles qui répondent à la limite d'élasticité, ce qui n'a guère jamais lieu, en effet, que pour leur donner des formes voulues, pour atteindre un but utile.

1° *Désagrégation, pulvérisation des corps durs.* — Nous citerons d'abord l'emploi du choc pour pulvériser les corps durs, pour les broyer et les amener à l'état de poussières d'une grande ténuité. On peut dire que la théorie de ces opérations est encore peu avancée, surtout pour ce qui se rapporte à la forme des éléments. (Voy. *Broyage*).

2° *Le changement de forme pour les métaux.* — On distingue la propriété si précieuse pour l'industrie, de modifier la forme des métaux par l'action des forces en deux classes. La *malléabilité* se rapporte à la faculté de s'étendre en lames spécialement à l'aide du laminoir, de se forger, soit à froid, soit à chaud, base de tout le travail du fer, du cuivre pour chaudronnerie, etc., propriété surtout utilisée par des actions de compression. La *ductilité* se rapporte seulement aux actions d'extension dans un cas spécial, à la facilité du corps à s'étendre en fils, en lames, par son tirage à la filière; à sa résistance à la rupture en même temps qu'à sa malléabilité.

Dans les deux cas, les molécules sont déplacées au delà de la limite d'élasticité, puisqu'elles ne reviennent pas à leur position primitive; ce qui explique la nécessité, dans la plupart des cas, de réchauffages pour ressouder les molécules entre elles.

L'écoulement du métal sous l'influence de forces supérieures à celles de cohésion, se produit comme celui d'un liquide par l'effet des forces les plus minimes.

3° *Division des corps.* — C'est en réalité par une action de rupture par compression qu'agissent tous les outils qui servent à donner la forme voulue aux corps sur lesquels on opère. Seulement la forme tranchante donnée aux outils permet d'opérer la division avec de faibles efforts, d'après la théorie mécanique du plan incliné. Cela est vrai non-seulement pour les corps fibreux, tels que le bois, mais aussi pour les corps fondus, pour la fonte de fer, par exemple; l'outil agit encore comme un corps dur qui repousse et comprime la partie du métal qu'il rencontre, la fait rompre des parties voisines du corps. Ces phénomènes forment la base de l'importante théorie des *machines-outils.*

IV. — *Résistances au mouvement.*

Frottement de glissement. — Des expériences très-précises et fort utiles, puisqu'elles ont permis d'évaluer exactement des résistances qui se rencontrent à chaque instant du mouvement d'un corps, et qui sont souvent presque les seules forces retardatrices qui s'opposent à la continuation d'un mouvement une fois imprimé, ont permis d'établir les trois grandes lois du frottement, qui sont :

1° Le frottement est proportionnel à la pression;

2° Le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces en contact;

3° Le frottement est indépendant de la vitesse du mouvement.

Il suit de là que, pour avoir le travail consommé par le frottement, il suffit de connaître par expérience le rapport du frottement à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pression pour les surfaces en contact, ce qu'on appelle le coefficient du frottement. Les valeurs de ces coefficients déterminées avec grande précision pour les substances habituellement en contact dans les applications, forment des tableaux qui permettent d'évaluer avec facilité la résistance passive due au frottement de glissement, la plus importante de toutes.

La nature des lois du frottement prouve bien clairement qu'il ne provient pas d'un engrénement des molécules des surfaces en contact, qui serait nécessairement en raison des aspérités rencontrées, et par suite de la vitesse, mais d'une vibration qui se propage dans l'intérieur du corps, ce qui se reconnaît au reste dans nombre de cas où le frottement engendre des vibrations sonores.

Frottement de roulement. — On appelle frottement de roulement la résistance qui s'exerce au contact d'une partie circulaire qui roule *sans glissement*. Cette résistance est tout à fait insignifiante; si, dans la pratique, il ne paraît pas quelquefois en être ainsi, c'est qu'on confond avec le roulement soit le travail consommé par une action de compression sur le support, soit un frottement de glissement qui se produit en même temps.

Résistance des liquides. — La résistance des liquides n'a pas jusqu'à ce jour pu être ramenée à une théorie simple. Ce sont les résultats obtenus par voie expérimentale qui fournissent surtout les règles de la pratique.

La règle fondamentale formulée par Newton *a priori*, et qui serait exacte si les filets liquides ne participaient au mouvement imprimé, c'est que la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse du corps en mouvement dans le fluide.

Cette loi doit être modifiée en raison de la forme des corps, tant de la forme de la partie antérieure que de la partie postérieure et latérale. C'est sur l'étude du mode d'inflexion des filets fluides et leur séparation avec le minimum de communication de forces vives à la masse liquide qu'est fondée la science de l'ingénieur maritime, du constructeur de navires.

Résistance de l'air. — Comme dans le cas précédent, cette résistance peut approximativement être considérée comme proportionnelle au carré de la vitesse, multipliée par un coefficient variable en raison de la forme du corps en mouvement.

5. GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

APPLICATIONS DE LA GÉOMÉTRIE.

La géométrie étant, comme nous l'avons dit, la science de l'étendue figurée, fournit la base de plusieurs sciences d'application d'une grande importance, de l'ordre de celles que nous avons appelées sciences d'ingénieur.

L'application directe de la géométrie des anciens fournit les règles des tracés de tout genre, de l'arpentage, de la mesure des surfaces, des volumes. etc.

Pour ce qui se rapporte aux corps, il faut employer des méthodes constituées en corps de doctrine, formant une science qui fournit des instruments indispensables pour toutes les industries, et qui constitue la base de l'instruction de tout ingénieur; nous voulons parler de la géométrie descriptive.

Géométrie descriptive. — C'est sous ce nom que l'illustre Monge a résumé sous forme scientifique l'ensemble des méthodes qui ont pour but, soit de représenter toutes les formes extérieures des corps, soit de résoudre sur des figures considérées dans l'espace, à l'aide de constructions exécutées seulement sur un plan, tous les problèmes qui peuvent se présenter.

Pour parvenir à ce but, la géométrie descriptive emploie la méthode des projections; rappelons en quoi elle consiste essentiellement.

Si l'on considère un point dans l'espace, et trois plans se coupant à angles droits, la position de ce point sera complétement déterminée si l'on connaît la distance de ce point aux trois plans; ou, ce qui revient au même, les longueurs des perpendiculaires abaissées de ce point sur chacun des trois plans, puisqu'il se trouve à la rencontre des trois plans parallèles aux premiers, distants de ces longueurs de perpendiculaires. Si on suppose celles-ci construites, et qu'on abaisse du point de rencontre de chaque perpendiculaire avec le plan une perpendiculaire sur la ligne d'intersection de ces plans, on formera ainsi pour chaque système de deux plans un rectangle, et les lignes tracées sur un plan représenteront la distance du point à l'autre plan. Donc les deux lignes tracées sur deux des plans suffiront, avec les pieds des deux perpendiculaires abaissées du point, et qui sont dites *projections* de ce point, à déterminer rigoureusement la position du point, par rapport à ces deux plans, et même d'une manière absolue, car l'ensemble des deux perpendiculaires détermine le plan parallèle au troisième, que nous avons supposé passant par le point; ce troisième est donc superflu.

Mais si le système des deux plans suffit pour déterminer la position d'un point, en faisant tourner un de ces plans autour de la ligne d'intersection, dite *ligne de terre*, rien ne sera déformé dans ce plan qui viendra se superposer au premier.

Donc, rigoureusement, mathématiquement, la position d'un point dans l'espace sera déterminée par des tracés faits sur un seul plan.

Une ligne droite, une ligne courbe seront de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même déterminées par les projections des points qui composent ces lignes. Un plan sera déterminé par ses intersections avec les deux plans de projection; un corps engendré par une ligne droite (cylindres, cônes, etc., corps qui s'exécutant à l'aide de la règle, sont presque seuls usités dans les constructions), par leur intersection avec les plans de projection et la direction des droites génératrices.

Il est difficile de montrer en quelques mots comment se résout, dans chaque cas, le problème, théoriquement assez simple, qui forme l'objet des méthodes de la géométrie descriptive, à savoir : passer d'une ligne dans l'espace, déterminée par des relations avec des lignes connues, à ses projections, ou inversement, à l'aide des projections connues, construire cette ligne.

Sans entrer dans aucun détail, on comprend facilement que le problème se réduit toujours à déterminer pour chaque point le rectangle formé par le plan passant par les deux perpendiculaires qui déterminent les projections de ce point et qui coupe les plans de projection. Ayant obtenu les projections, en rabattant ce rectangle sur un des plans de projection (et on a tous les éléments nécessaires pour le construire), on pourra obtenir tout élément dont la connaissance sera utile.

En réunissant ainsi les méthodes simples qui conviennent pour chaque nature de problème, on peut résoudre tous les problèmes d'intersection, de tangence, etc., des divers corps, comme si on opérait sur les mêmes corps eux-mêmes, trouver la solution rigoureusement exacte de tout problème qui peut être proposé sur tous les corps dans l'espace. Toutes les opérations d'assemblage, de construction, pourront donc partir de ces dessins dits *épures*, au moyen desquels on déterminera la forme exacte des parties qui doivent s'assembler, dont les formes seront complétement déterminées par le tracé.

Nous rapporterons ici une belle page, c'est la préface de la Géométrie descriptive de G. Monge, le maître qui a le plus fait pour l'application des bonnes méthodes. Aussi respire-t-elle l'esprit du véritable progrès, et montre-t-elle bien l'utilité de la géométrie descriptive. Elle mérite à tous égards d'être conservée précieusement.

L'art de la géométrie descriptive a, dit-il, deux objets principaux : le premier est de représenter avec exactitude, sur des dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois, et qui sont susceptibles de définition rigoureuse.

Sous ce point de vue c'est une langue nécessaire à l'homme de génie qui conçoit un projet, à ceux qui doivent en diriger l'exécution, et enfin aux artistes qui doivent eux-mêmes en exécuter les différentes parties.

Le second objet de la géométrie descriptive est de déduire de la description exacte des corps tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives. Dans ce sens, c'est un moyen de rechercher la vérité; elle offre des exemples perpétuels de passage du connu à l'inconnu : et parce qu'elle est toujours appliquée à des objets susceptibles de la plus grande évidence, il est nécessaire de la faire entrer dans le plan d'une éducation nationale. Elle est non-seulement propre à exercer les facultés intellectuelles d'un grand peuple et à contribuer par là au perfectionnement de l'espèce humaine, mais encore elle est indispensable à tous les ouvriers, dont le but est de donner aux corps certaines formes déterminées; et c'est principalement parce que les méthodes de cet art ont été jusqu'ici trop peu répandues, ou même presque entièrement négligées, que les progrès de notre industrie ont été si lents.

On contribuera donc à donner à l'éducation nationale une direction avantageuse, en familiarisant nos jeunes artistes avec l'application de la géométrie descriptive aux constructions graphiques, qui sont nécessaires au plus grand nombre des arts, et en faisant usage de cette géométrie pour la représentation et la détermination des éléments des machines, au moyen desquelles l'homme, mettant à contribution les forces de la nature, ne se réserve pour ainsi dire, dans ses opérations, d'autre travail que celui de son intelligence.

ARTS DE CONSTRUCTION.

Une des plus importantes applications de la géométrie descriptive est celle que l'on en fait aux arts de construction et notamment à la coupe des pierres et à la charpente, pour déterminer les formes les plus convenables à la solidité de toutes les parties qui entrent dans une voûte, un pont, ou dans un système de charpente.

Coupe des pierres. — Une voûte qu'il s'agit de diviser en voussoirs étant représentée par les projections de ses lignes génératrices, il faudra mener par les points de division les plus convenables, les plans suivant lesquels le contact doit avoir lieu. Les projections des intersections de ces plans avec la surface intérieure et extérieure de la voûte étant construites, il suffira de faire tourner ces plans jusqu'à ce qu'ils se confondent avec un plan de projection, pour en déduire le tracé exact des patrons dits *panneaux* qui servent à tailler les voussoirs.

Charpente.—Le travail des épures nécessaires pour le travail des bois et l'assemblage des charpentes est de même nature que celui relatif à la coupe des pierres. De la projection faite en plan horizontal et vertical résulte presque toujours directement l'écartement de grande partie des pièces principales, les plans de projection étant parallèles aux plans verticaux et horizontaux qui renferment en général ces pièces dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une charpente. Les assemblages obliques déterminés en projection sont tracés à l'aide de panneaux déterminés au moyen de la méthode de rabattement dont nous venons de parler.

ARTS D'IMITATION. — 1. *Dessin.*

Nous venons de parler des épures, du dessin linéaire appliqué aux arts de construction. Les mêmes méthodes s'appliquent aux dessins qui doivent servir pour l'exécution, et dans lesquels par suite on doit éviter d'altérer les formes et proportions, comme pour les machines, l'architecture, les fortifications, etc. On les trace alors en général le plus souvent sur un plan parallèle à la disposition générale des objets, et on construit une projection qui se trouve être en même temps un dessin représentatif.

Traitons maintenant des méthodes scientifiques qui s'appliquent surtout au dessin artistique.

Perspective. — La *perspective* a pour but la représentation sur un plan des objets tels qu'ils nous apparaissent dans la réalité. Le problème à résoudre consiste à tracer sur ce plan ses points de rencontre avec tous les rayons qui, partant de l'œil, vont joindre tous les points des objets, c'est-à-dire tous les rayons lumineux qui, partant des contours des objets, se dirigent en ligne droite vers l'œil.

On voit que la détermination de la perspective est entièrement d'ordre géométrique, et que les méthodes de la géométrie descriptive suffisent parfaitement pour l'obtenir.

Le plan du tracé étant le plan vertical de projection, et les projections de l'objet et du point de vue étant données, le problème se réduit à déterminer le point de rencontre de ce plan avec chaque ligne menée par le point de vue et un point de l'objet, problème de géométrie descriptive fort simple.

On voit facilement que :

Toute ligne droite reste droite en perspective;

Toute droite parallèle au plan du tableau reste parallèle à elle-même en perspective;

Les droites parallèles entre elles, mais qui ne sont pas parallèles au plan du tableau, concourent en perspective; et, pour obtenir leur point de fuite ou de concours, il faut par l'œil du spectateur mener une droite parallèle aux premières et la prolonger jusqu'à la rencontre du plan du tableau.

Ombres. — On appelle *ombre* la portion de l'espace pour laquelle tous les rayons lumineux émanant d'un corps de forme quelconque sont interceptés par la présence d'un autre corps opaque, et *pénombre* la portion où parvient une partie seulement des rayons éclairants.

Le problème général des ombres consiste dans la détermination des lignes qui limitent l'ombre et la pénombre projetées sur une surface quelconque pour des formes connues du corps lumineux et du corps opaque.

Si l'on imagine un plan dont la position varie, mais de telle sorte qu'il reste toujours à la fois tangent aux deux corps, les intersections du plan dans ses positions successives détermineront une surface développable tangente à ces deux corps. Cette surface aura généralement plusieurs nappes dont la plus extérieure déterminera les limites extrêmes de la pénombre, et la plus intérieure les limites de l'ombre proprement dite. Les intersections de ces nappes, avec une surface quelconque, donneront les contours de l'ombre et de la pénombre *portées* sur cette surface.

Toutes ces constructions s'effectueront dans chaque cas particulier d'après les principes de la géométrie descriptive, puisque le problème se réduit à mener des plans tangents à des surfaces (le plus souvent seulement un cône tangent, quand l'objet lumineux se réduit à un point, est situé à une grande distance). La perspective des lignes d'ombre dont on aura ainsi obtenu les projections, se trouvera d'après les méthodes dont nous venons de parler précédemment.

Du dessin en général. — Le dessin artistique étant surtout fondé sur la perspective et les ombres, trouve donc dans la géométrie descriptive la règle des déterminations que l'expérience permet ensuite de tracer, à main levée, avec une exactitude suffisante.

C'est encore l'étude de la géométrie descriptive qui permet à l'artiste d'apprécier les lignes essentielles d'un corps, celles qui accusent sa forme plus complétement que toute autre, les génératrices des surfaces de révolution, les lignes de plus grande courbure, dont l'emploi judicieux fait le charme des travaux des grands graveurs; travaux qui paraissent engendrés à peu de frais, et qui cependant sont le résultat d'une science profonde.

Dans la gravure, dit Monge, les teintes des différentes parties de la surface des objets représentés sont exprimées par des hachures que l'on fait d'autant plus fortes ou d'autant plus rapprochées, que la teinte doit être plus obscure. Lorsque la distance à laquelle la gravure doit être vue est assez grande pour que les traits individuels de la gravure ne soient pas aperçus, le genre de la hachure est à peu près indifférent; et, quel que soit le contour de ces traits, l'artiste peut toujours les forcer et les multiplier, de manière à produire la teinte qu'il désire et à produire l'effet demandé. Mais, et c'est le cas le plus ordinaire, quand la gravure est destinée à être vue d'assez près pour que les contours des traits de la hachure soient aperçus, la forme des contours n'est plus indifférente. Pour chaque objet et pour chaque partie de la surface d'un objet, il y a des contours de hachure plus propres que tous les autres à donner une idée de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la courbure de la surface; ces contours particuliers sont toujours au nombre de deux, et quelquefois les graveurs les emploient tous deux à la fois, lorsque, pour forcer plus habilement leurs teintes, ils croisent les hachures.

Ces contours, dont les artistes n'ont souvent qu'un sentiment confus, sont les *projections des lignes de courbure* de la surface qu'ils veulent exprimer.

Comme les surfaces de la plupart des objets ne sont pas susceptibles de définition rigoureuse, leurs lignes de courbure ne sont pas de nature à être déterminées, ni par le calcul, ni par les constructions graphiques. Mais si, dans leur jeune âge, les artistes avaient été exercés à rechercher les lignes de courbure d'un grand nombre de surfaces différentes et susceptibles de définitions exactes, ils seraient plus sensibles à la forme de ces lignes et à leur position, même pour les objets les moins déterminés scientifiquement; ils les saisiraient avec plus de précision, et leurs ouvrages auraient plus d'expression.

Représentation des surfaces du sol.

Représentations de petite étendue. — Pour représenter un terrain, c'est-à-dire une surface ondulée suivant des lois souvent très-complexes, on suppose celui-ci coupé par des plans horizontaux équidistants, et on projette ces courbes à l'échelle du levé sur un plan horizontal, par suite sans les défigurer. Ces courbes sont cotées suivant la hauteur du plan coupant, et serviront par suite à tracer sur le terrain, avec une extrême facilité, les routes, canaux, etc., assujettis à des conditions déterminées de pentes. Tous les éléments nécessaires sont fournis par le levé dont les méthodes sont des applications directes de la géométrie. (Voyez *Levé de plans.*)

Si l'on désire une figure du terrain plus représentative, on trace entre chaque courbe les lignes de plus grande pente, qui sont perpendiculaires aux deux courbes. Ces lignes étant tracées d'autant plus fortes qu'elles sont moins longues, les pentes les plus rapides seront plus noires, et l'œil saisira avec grande facilité les mouvements du terrain.

Le terrain ainsi figuré permet en fortification l'opération du défilement, opération qui consiste essentiellement à mener d'un point donné un plan tangent au terrain, afin de pouvoir élever un rempart dont la crête atteigne ce plan, et soit par suite assez élevée pour que du point culminant du sol on ne puisse voir l'intérieur d'un ouvrage de fortification.

C'est l'étude de cette question, la tradition des travaux faits dans le corps du génie, et surtout à l'école de Mézières, qui a permis à Monge d'extraire tout ce qu'il y avait de général dans les méthodes employées, et d'en faire le corps de doctrine dit de *Géométrie descriptive*, si important depuis lui, et devenu une des bases fondamentales de l'enseignement industriel.

Représentations d'une grande étendue. — Cartes de géographie. — La position d'un point sur le globe se détermine à l'aide de deux coordonnées, les longitudes et les latitudes, c'est-à-dire par l'arc du méridien compris entre ce point et l'équateur (la latitude); et l'angle de ce méridien avec un autre méridien servant de point de départ, celui de Paris, par exemple (la longitude).

Sur toutes les cartes ces deux systèmes de coordonnées sont tracés, mais d'une certaine manière en raison de la nature de la carte. De la même manière devront être représentées les parties du globe entrant dans ces carreaux, en partant du système précédemment décrit pour les détails.

C'est par des applications diverses de la méthode des projections que l'on obtient le mode de représentation dont il s'agit.

2. *Reproduction des objets.*

Passons maintenant au cas plus général où il s'agit, non plus seulement comme dans les arts du dessin, de produire l'image d'un objet, mais un objet en tout semblable à un autre. Cette question paraît surtout une question de mécanique; en effet, une section importante des applications de celle-ci correspond aux moyens de donner à un corps une forme voulue. Mais ces moyens mécaniques ne sont pas les seuls, il est d'autres procédés physiques et chimiques, le moulage par fusion ou dépôt galvanique, par exemple, qui sont destinés au même but, et qui, assez simples par eux-mêmes, sont utilement réunis au point de vue géométrique, au point de vue des formes à obtenir, car ils constituent alors une industrie qui dérive des beaux-arts, la classe des arts d'imitation. La question de la forme, de la pureté et de la proportion des lignes de l'objet à créer en rend le caractère d'arts géométriques prédominant et doit lui faire subordonner les moyens qui sont utilisés pour les produire.

Nous arrivons ainsi aux procédés des beaux-arts qui constituent des moyens industriels trop simples pour devoir être, la plupart du temps, longuement décrits; ils deviennent dignes d'une étude spéciale quand le procédé technique se complique et que la production perd de son caractère purement artistique. Ainsi le procédé industriel qu'emploie le sculpteur pour produire une statue avec un ciseau et un marteau est d'une extrême simplicité; mais si cette statue est produite par un outil dont la position varie de manière à engendrer successivement tous les points de la surface, le procédé qui permet d'atteindre ce résultat exige toutes les ressources de la mécanique.

On voit de plus que ce mouvement ne peut être produit convenablement qu'autant qu'il est

EFEERUS - Recherche & Classification numérique

déterminé par un système qui a une relation intime avec la surface à produire. Un genre de relations semblables existe nécessairement pour toute création analogue à celle des beaux-arts engendrée par procédés industriels, c'est-à-dire dont la production peut être répétée à l'infini, indépendamment du talent de l'opérateur ; c'est pour ce motif qu'ils constituent la division des arts d'imitation.

Il en sera de même, en général, de tout ce qui contribue à la décoration, à l'ornement de tout produit industriel. Le produit spontané du talent de l'artiste sera de l'art, la reproduction indéfinie de cet objet sera du domaine de l'industrie. Ceci montre comment bien souvent, dans les plus hauts degrés de l'échelle, l'art vient se réunir à l'industrie. Les procédés rentrant dans la division des arts d'imitation sont ceux : de la gravure en tout genre, — de la sculpture, — du moulage, — de l'impression en général.

AUTRES CONNAISSANCES DONT RELÈVE LA TECHNOLOGIE.

En montrant que la technologie repose entièrement sur les sciences, que celles-ci renferment les lois, les connaissances qu'elle utilise, nous devons préserver le lecteur d'une erreur qui pourrait en résulter et qui consisterait à confondre les sciences et l'industrie. Celle-ci, en effet, n'est pas seulement une application platonique des sciences, elle ne s'exerce qu'en vue de la satisfaction des désirs de l'homme, et si, pour l'étude des procédés de l'industrie surtout, nous avons vu qu'il y a grand avantage à se placer au point de vue des sciences que constituent les théories dont ils procèdent, il faut, pour qu'elle soit complète, tenir compte des éléments humains, qui tiennent une place importante dans la technologie, dont il n'est pas permis de faire abstraction, tout en reconnaissant qu'on leur avait donné une prépondérance exagérée dans les anciennes classifications dont nous avons parlé plus haut. Autrement dit, les sciences physiques fournissant à la technologie tout ce qui se rapporte au *vrai*, il faut y joindre, pour compléter l'analyse des créations du travail industriel, ce qui concerne le *beau* et l'*utile*, catégories où l'homme apparaît comme but bien plus encore que comme moyen. Ces séries annexes comprennent tout ce qui a trait à la perfection de la forme, à la beauté des produits, à l'ART INDUSTRIEL, et aussi ce qui se rapporte à l'économie des machines et des manufactures, au droit aux fruits du travail, à l'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE. Ce sont là deux séries d'un ordre tout différent de celles des connaissances de la nature, des sciences positives ; il s'agit de connaissances se rapportant à l'homme, de l'ordre des sciences dites morales.

Le caractère de l'industrie moderne est bien d'être *scientifique*, parce qu'elle doit être exercée, non-seulement et avant tout, en profitant de toutes les connaissances que fournissent les sciences positives pour atteindre le plus simplement possible le meilleur résultat, mais encore conformément aux principes de la science économique, pour parvenir au but avec le minimum de dépenses, de la manière la plus profitable ; et aussi, toutes les fois que la chose est possible, que la nature du produit s'y prête, conformément à la science du beau, pour qu'il soit élégant, plaisant à la vue.

Donnons une idée sommaire de ces deux ordres de connaissances, auxquelles sont consacrés dans cet ouvrage des articles qui en sont de véritables traités.

6. ART INDUSTRIEL.

L'analyse des sciences appliquées à l'industrie nous a conduit finalement à un genre de questions d'un ordre spécial, se rapportant aux Beaux-Arts, dont l'importance est manifeste. Il faut que la création artistique qui viendra servir de modèle pour l'ornementation, que l'élégance d'un produit industriel, que la forme qui sera assignée à celui-ci, dérive des beaux-arts, satisfasse aux conditions de goût, de beauté que la culture de ceux-ci apprend à connaître.

Il n'est donc pas permis de laisser de côté les applications de beaux-arts à l'industrie dans une œuvre consacrée à l'ensemble du travail producteur, et de se limiter à l'étude des procédés techniques, en négligeant ce qui se rapporte à l'élégance des formes, à l'harmonie des proportions et des couleurs. Une semblable étude doit être le couronnement indispensable de notre œuvre comme celle des sciences devait en former la base. Il est facile d'en démontrer l'absolue nécessité dans la pratique.

Il n'est pour ainsi dire pas de fabrication qui n'exige l'emploi de la faculté que nous appelons le goût, pour laquelle il suffise de remplir des conditions de solidité, d'économie. Qu'on jette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un coup d'œil sur la plupart, et on aura bientôt reconnu que l'art entre pour une grande part dans la production industrielle, et c'est souvent la plus importante; il n'est pas de fabricant qui, à un point de vue spécial, ne l'ait senti. Il me suffit, pour le prouver, d'indiquer quelques cas pour lesquels aucune contestation n'est possible, de citer l'orfévrerie, les bronzes, les meubles, les poteries, les étoffes. Pour tous ces produits, la bonté de fabrication ne suffit pas; il faut compléter l'œuvre par l'élégance des formes, le charme des décorations.

Les beaux-arts, c'est-à-dire l'architecture, la sculpture, la peinture viennent remplir pour l'art industriel exactement le même rôle que les sciences pures pour les sciences appliquées aux arts, fournir les règles de l'application, sans toutefois que l'étude des principes et les déductions puissent conduire à des résultats aussi précis, guidant sûrement vers la perfection. En effet, la méthode à suivre pour s'avancer quelque peu dans un ordre de connaissances tout différent des connaissances scientifiques, est tout autre que pour celles-ci. Il suffit pour le comprendre facilement de réfléchir à la nature du genre de notions auquel appartient l'esthétique, dont relèvent les règles qui dominent les beaux-arts, c'est-à-dire à une théorie essentiellement d'ordre moral, philosophique, à une analyse de sentiments bien différents des axiomes des sciences positives. Aussi, ce n'est plus l'expérimentation physique aidée de la déduction pure, c'est l'étude des aspirations successives qui ont passionné l'humanité, c'est l'ordre historique qui peut seul mener à quelques résultats. Il faut, pour développer en nous le sentiment du beau, étudier les œuvres produites aux époques de plus grande splendeur de la civilisation, c'est-à-dire, comme pour la littérature: la Grèce de Démosthène, de Platon, de Sophocle; la Rome de Virgile, d'Horace; le Moyen âge de l'imitation, de Froissard; la Renaissance du Dante, de Pétrarque; le siècle de Racine, de Corneille; celui de Voltaire, de Rousseau; enfin, l'époque actuelle avec sa passion pour l'art dans toutes ses manifestations.

S'il résulte de ce que les règles à suivre ne se déduisent pas d'un premier principe, qu'on ne peut formuler des résumés aussi satisfaisants, établir des règles aussi positives que celles que fournit l'application des sciences exactes au travail industriel, on peut toutefois espérer par une étude attentive de cet ordre de questions : fournir un utile point de départ, montrer la voie pour des recherches ultérieures, enfin, guider et épurer le goût, c'est-à-dire ce qui varie le plus avec l'individu, en réunissant ce qu'il est possible de formuler de plus incontestable, et ainsi sûrement, tout au moins, faire éviter de grossières erreurs en signalant les écueils.

La somme de vérités qu'il est possible de réunir sur cet intéressant sujet formerait, d'un travail qui lui serait consacré, l'œuvre la plus utile au progrès des arts et de l'industrie si l'auteur était capable de n'en pas oublier et surtout de les faire bien sentir aux débutants dans la carrière.

7. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Ce n'est pas seulement pour exercer ses bras que l'homme travaille; c'est pour créer des subsistances, des vêtements, des habitations, etc., en un mot des richesses de tout genre. Les questions de l'économie de la production, d'attribution de la propriété de la richesse produite, font l'objet d'une science d'ordre spécial, où il y a souvent plus à tenir compte des droits de l'homme que des lois des corps matériels. C'est l'Économie industrielle.

C'est en combinant avec les éléments économiques les connaissances fournies par les sciences physiques, que le producteur se meut dans le champ de la technologie. Les questions relatives à l'économie des machines et à la division du travail, à l'échelle de la fabrication, au lieu d'établissement des manufactures, aux débouchés, etc., sont l'objet constant des préoccupations du fabricant, et en fournissant les règles de la meilleure utilisation possible des moyens de production, les règles établies sont aussi profitables que les perfectionnements de ceux-ci. De grands progrès industriels sont chaque jour le résultat de la combinaison intelligente, en vue de produire à bon marché, de procédés et de machines peu nouveaux et paraissant d'un médiocre intérêt.

La partie juridique que nous n'avons à considérer ici qu'en partie, celle qui se rapporte au droit de propriété des œuvres créées, est encore bien plus la préoccupation de tout producteur. La limite des droits du patron et de l'ouvrier, les conditions d'ordre dans l'atelier, par exemple, ont toujours constitué des questions difficiles, mais jamais elles n'ont été aussi brûlantes qu'à notre époque; aussi serait-il impossible de rencontrer un industriel qui n'en soit préoccupé, et ce ne serait pas un ouvrage encyclopédique sur l'industrie que celui qui n'en traiterait pas. On a tant exagéré ces questions, en déchaînant les passions, qu'il est utile de les ramener à leurs proportions vraies, de montrer que l'absolu n'existe pas sur la terre, et qu'il n'y a qu'à respecter la liberté du travailleur, à augmenter par les efforts de tous la production, tout en cherchant avec soin à amoindrir par des créations inspirées par l'amour du bien, les souffrances dont les imperfections de la nature humaine nous font un inévitable fardeau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSUMÉ.

Nous pouvons résumer le travail qui précède aux deux points de vue auxquels nous nous sommes placés, ce qui en montrera bien les relations intimes.

Etude de la nature et des lois au point de vue de la connaissance.

I. Mathématique pure. — Étude des lois et des relations en elles-mêmes.
II. Géométrie. — Étude de l'étendue figurée.
III. Mécanique rationnelle. — Étude des lois du mouvement.
IV. Physique. — Étude des propriétés générales des corps de la nature.
V. Chimie. — Étude des modifications de la nature intime des corps.
VI. Biologie. — Étude de la vie des êtres organisés.

Application au travail industriel des connaissances réunies dans les sciences précédentes.

1. Physique industrielle. — Règles pour le chauffage, l'éclairage, l'emploi de l'électricité, etc.
2. Chimie industrielle. — Utilisation des actions réciproques des corps. — Leur extraction. — Métallurgie. — Produits chimiques, etc.
3. Biologie industrielle. — Agriculture. — Culture des plantes. — Élève des animaux.
4. Mécanique industrielle. — I. Cinématique (mouvement au point de vue géométrique). Théorie des mécanismes. — II. Mécanique physique. — 1° Production du travail; — 2° Résistance des matériaux; — 3° Fabrications mécaniques, outils et machines-outils; — 4° Résistances au mouvement.
5. Géométrie industrielle. — Arts de construction. — Arts d'imitation.

Si le lecteur veut bien réfléchir un instant à ce qui précède, à moins que nous n'ayons pas su nous faire comprendre, il admettra avec nous :

Que notre classification des sciences pures comprend dans son cadre toutes les connaissances positives qui peuvent être acquises sur les lois des phénomènes que peuvent présenter tous les corps de la nature, toutes celles à l'aide desquelles on peut prévoir le résultat d'une action quelconque;

Que notre classification de l'emploi de ces connaissances comprend toutes les méthodes qu'elles peuvent fournir et à l'aide desquelles l'homme peut agir, le travail industriel s'effectuer. Toutes les pratiques industrielles doivent donc pouvoir se rattacher directement à l'une de ces divisions, et y trouver leurs règles.

Au point de vue humain, il faut ajouter que les beaux-arts, qui sont l'expression la plus élevée du goût à chaque époque, dominent et inspirent les formes, les dessins, les couleurs des œuvres que l'industrie produit, et par suite compléter notre classification, en y ajoutant la classe suivante, relevant des beaux-arts comme les précédentes des sciences.

6. Art industriel. — Application des Beaux-Arts à l'industrie. — Architecture. — Sculpture. — Peinture.

Enfin, et au point de vue du bon emploi du travail et de sa rémunération, il reste à ajouter une section, savoir :

7. Économie industrielle. — Économie des machines et manufactures. — Droit de propriété. — Liberté du travail. — Institutions de prévoyance.

Si nous avons bien raisonné, nous avons accompli l'œuvre que nous nous étions proposée, et la table suivante des matières renfermées dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, disposée d'après l'ordre ci-dessus indiqué, fait de cet ouvrage un traité complet de technologie, tout en lui laissant les avantages pour la facilité de recherches, la variété pour la lecture, que lui procure l'ordre alphabétique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLE

DU

DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

ET DE L'AGRICULTURE.

INTRODUCTION.

Importance de la technologie. — Classification de l'industrie. — Divers systèmes proposés : en partant des matières premières ; en partant des emplois des utilités produites, des besoins auxquels l'industrie satisfait. — Vices de ces systèmes. — Le meilleur système, sans contestation possible lorsqu'il s'agit de l'étude de la technologie, pour l'analyse des moyens de production et la théorie des diverses fabrications, est celui qui fait reposer la classification de ceux-ci sur l'ordre logique des sciences qui renferment les lois dont les procédés industriels sont des applications.

Une semblable classification fait apprécier la liaison intime qui existe entre les sciences, les arts et l'industrie, et, par suite, tend à inciter puissamment tout producteur industriel, une fois qu'il a bien compris comment il ne peut parvenir à la création d'un objet que par l'application des lois naturelles, à avancer dans la voie de son perfectionnement, à chercher à devenir capable d'analyser les phénomènes.

Pour en démontrer la valeur, nous passons en revue dans cette introduction, à un point de vue général, les connaissances que les sciences mettent à la disposition du travail industriel ; on voit clairement alors qu'elles embrassent la totalité de celles qu'utilise l'industrie. La classification des sciences conduit par suite à celle des procédés de l'industrie.

INTRODUCTION. De la méthode scientifique, et de son application à tout genre de recherches. — Règles pour la direction de l'esprit, par Descartes. — Des sciences en général.

Sciences pures. I. Mathématique, ou Science des lois en elles-mêmes. — De la grandeur et des quantités. — Arithmétique, science des nombres. — Théorie des fonctions : Algèbre, Calcul infinitésimal.

II. Géométrie, science de la mesure de l'étendue. — Géométrie préliminaire ou des anciens. — Géométrie générale ou analytique. — Conception de Descartes.

III. Mécanique rationnelle, science du mouvement et des causes du mouvement. — Cinématique pure, ou étude du mouvement indépendamment de ses causes. — Statique, ou étude de l'équilibre. — Dynamique, ou effets des forces. — Théorèmes généraux de la mécanique : théorèmes des forces vives, des aires, de la conservation du centre de gravité. — Astronomie.

De l'ensemble de la science mathématique, renfermant les ressources de la logique appliquée à l'étude du caractère le plus général de tout phénomène, à la grandeur, à la quantité, et subjectivement les lois du monde matériel réduites au plus haut degré possible d'abstraction.

Sciences physiques. Étude de la nature intime et de l'état des corps réels.

IV. Physique, science des états généraux des corps, des forces vives et des actions des molécules élémentaires qui les composent. — Constitution des corps solides, liquides, gazeux. — Pesanteur. — Chaleur. — Électricité. — Magnétisme. — Électro-magnétisme. — Acoustique. — Lumière. — De l'éther.

1. PHYSIQUE INDUSTRIELLE. — Application à l'industrie des lois des phénomènes naturels qu'étudie la science physique.

V. Chimie, ou Science des combinaisons des premiers éléments de la matière. — Mécanique moléculaire. — Chimie générale. — Chimie organique.

2. CHIMIE INDUSTRIELLE. — La science et l'application se confondent dès que le corps produit par les réactions peut être utile. — Minéralogie, métallurgie.

VI. Biologie, science des phénomènes vitaux. — Physiologie végétale. — Classification des végétaux. — Zoologie : Circulation, respiration, nutrition, système nerveux. — Classification des animaux.

3. BIOLOGIE INDUSTRIELLE. — AGRICULTURE. — Botanique industrielle, produits fournis à l'industrie par les végétaux. — Zoologie industrielle, produits fournis par les animaux. — Agriculture. — Culture des végétaux et élève du bétail. — Hygiène.

Sciences appliquées. Application des sciences pures aux corps doués de toutes les propriétés que les sciences physiques nous font connaître comme leur appartenant, et non réduits à une abstraction.

4. MÉCANIQUE INDUSTRIELLE. — Cinématique : — Transformations et modifications du mouvement. — 1. Génération du travail mécanique. — Récepteurs. — Moteurs animés, moteurs hydrauliques, machines à feu. — 2. Mécanique physique : Résistances des matériaux, des corps à la déformation. — 3. Outils et machines-outils servant à agir sur les corps. — Fabrications mécaniques. — 4. Production de mouvement.

5. GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE. — Arts de construction : — Architecture, Travaux publics. — Arts d'imitation : — Sculpture mécanique, — Moulage et fonderie, — Dessin, — Gravure, — Impression.

Enfin, comme complétant l'ouvrage, en dehors du domaine de la philosophie naturelle, nous rangerons dans les deux sections suivantes ce qui, dans le travail industriel, se rapporte au beau et à l'utile.

6. ART INDUSTRIEL. — L'art intervient dans toute production. — Les beaux-arts fournissent les règles du beau qui, comme celles des phénomènes naturels fournies par les sciences, dominent le travail industriel. — Succession des styles dans l'architecture, la sculpture la peinture, et dans la céramique, les meubles, l'orfévrerie, les tissus, etc. (V. p. 31).

7. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE. — Principes de l'économie politique. — Production de la richesse par le travail. — Organisation de l'industrie française. — Droits qui limitent la concurrence. — 1. Droits personnels : — Liberté de l'industrie. — Brevets d'invention. — Enseignement. — 2. Droits de propriété : — Du crédit et de l'association. — 3. Monopoles légaux. — Chemins de fer. — Douanes et libre échange (Voir page 32).

CLASSIFICATION des produits de l'industrie suivie pour l'Exposition de 1867 (*Compl.*).

EFEROS - Recherche & Classification numérique

PREMIÈRE SECTION.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE.

La physique industrielle a pour objet les applications au travail industriel des théories auxquelles conduit l'étude expérimentale des états généraux des corps, les lois des phénomènes qu'ils nous présentent sous l'influence des causes de modification de ces états. Les résultats des recherches scientifiques fournissent directement les règles de la pratique.

La physique industrielle comprend :

1° La connaissance de la constitution des corps qui explique leurs propriétés spéciales qu'on utilise dans l'industrie, constitution que la théorie mécanique de la chaleur conduit à considérer sous un point de vue nouveau ;

2° Les règles pour la production et l'emploi dans les arts de la chaleur, c'est-à-dire de l'agent presque universel du travail industriel, par suite de sa nature de force vive moléculaire, tant pour aider à la transformation des corps par action chimique que pour créer la puissance mécanique à l'aide des machines à feu ;

3° L'étude des applications modernes de l'électricité, tant de l'électro-chimie que de l'emploi des courants électriques pour la télégraphie et l'éclairage ;

4° L'utilisation des phénomènes du mouvement vibratoire des corps sonores, des principes de l'acoustique, sur lesquels repose la construction des instruments de musique ;

5° Les règles pour la construction des appareils d'éclairage, les actions physiques et chimiques de la lumière, les effets de contraste des couleurs. La question de l'éclairage comme celle du chauffage est à étudier pour la bonne organisation de tous les établissements industriels.

Constitution des corps.

GAZ. — Caractères généraux des gaz. — Leur élasticité. — Loi de Mariotte. — Mouvements vibratoires permanents des molécules gazeuses. — Leur vitesse. — Force vive pour l'unité de poids. — Démonstration de leur mode de constitution par les expériences d'endosmose de Graham. — Cherche-fuites (*Compl.*).

LIQUIDES. — Divisibilité. — Résistance à la compression. — Mouvements orbitaires et tourbillons. — Attraction des molécules des liquides, figures de cohésion. — Diffusion. — Capillarité. — Constitution des liquides. — Formule de leur état dynamique (*Compl.*).

SOLIDES. — Elasticité dans les solides. — Des vibrations dans les solides. — Constitution des solides. — De la cristallisation et du mouvement vibratoire des molécules (*Compl.*).

DURETÉ. — Expériences de MM. Johnson et Calaert. — De M. Hugueny (*Compl.*).

DUCTIBILITÉ. — MALLÉABILITÉ. — ÉLASTICITÉ des principaux corps.

PLASTIQUES (CORPS). — Définition de la plasticité. — Emploi du plomb. — Applications industrielles (*Compl.*).

ADHÉSION. — Des corps au contact. — Adhésion des liquides. — Machine de Véra.

GÉLIVITÉ DES PIERRES.

CAPILLARITÉ. — Expériences de M. Plateau (*Compl.*).

OSMOSE. — Procédé Dubrunfault pour le traitement des mélasses (*Compl.*).

FILTRATION (par M. Rouget de Lisle). — Historique. — Considérations générales, par Arago. — Filtration en grand. — Appareils de Toulouse. — Appareils de Londres.

Petits appareils. — Filtre Ducommun. — Filtre Réal. — Filtre Fonvielle. — Manière de monter le filtre, — de le nettoyer. — Quantités d'eau filtrées. — Filtre Lanay. — Filtre Souchon.

Filtres industriels. — Leur emploi pour des substances autres que l'eau. — Filtre Dumont à noir animal. — Filtres Tard, à pâte de papier.

CRISTALLISATION.

COMPRESSIBILITÉ DES GAZ. — Loi de Mariotte. — Expériences de M. Regnault (*Compl.*).

VOLUMÉNOMÈTRE (*Compl.*).

MANOMÈTRES (par M. Debette). — Instruments propres à mesurer la pression des gaz. — Manomètre à air libre. — Manomètre Journeux de l'invention de Galy-Cazalat. — Manomètre métallique de M. Bourdon. — Son emploi pour l'épreuve des chaudières. — Manomètre Richard. — Manière d'introduire le mercure et l'eau dans les tubes.

LIQUÉFACTION DES GAZ. — Expériences de Pouillet. — Appareil Thilorier. — Méthode de Faraday. — Mesure de la quantité de travail qu'exige la liquéfaction de l'unité de volume des principaux gaz (*Compl.*).

Pesanteur.

Effets de la gravité sur les corps à l'état statique.

DENSITÉS des principaux corps.

POIDS ET MESURES adoptés par les diverses nations.

BALANCE (par M. Debette). — Conditions auxquelles doivent satisfaire de bonnes balances. — Romaine. — Peson. — Bascule.

ARÉOMÈTRE. — Emploi de cet instrument pour obtenir la densité d'un liquide. — Aréomètre à poids variable. — A volume variable. — Tableaux pour l'emploi de l'aréomètre de Beaumé, et pour celui de Cartier.

BAROMÈTRE. — Valeur de ses indications pour la prévision du temps. — Comparaison des valeurs simultanées de la pression atmosphérique en divers lieux, connues à l'aide du télégraphe électrique. — Emploi du baromètre pour la mesure des hauteurs. — Baromètres métalliques (*Compl.*).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALCOOLOMÈTRES. — Systèmes divers. — Tables pour leur emploi.

FLOTTEUR.

INDICATEUR de niveau d'eau (*Compl.*).

OLÉOMÈTRE (par M. Girardin). — Oléomètre à chaud de M. Laurot. — Oléomètre à froid de M. Lefebvre. — Tableaux pour l'emploi de l'oléomètre. — Élaïomètre de M. Gobley.

CLINOMÈTRE. — Instrument qui permet d'apprécier l'inclinaison d'un navire.

SYPHON.

AÉROSTAT. — Montgolfière. — Ballon de Charles. — Direction des ballons. — Impossibilité par moyens mécaniques démontrée par Navier. — Ballons captifs. — Réunion d'un ballon et d'un cerf-volant, proposée par M. Transon. — Mouvements obliques au vent. — Aérostat Dupuy de Lôme. — Formule du mouvement d'ascension. — Théorie des parachutes.

CLOCHE A PLONGEUR. — Scaphandre. — Appareil Rouquairol. — Nautilus (*Compl.*).

Chaleur.

Moyens de se procurer du feu. — Mesure des quantités de chaleur.

BRIQUET. — A silex. — A gaz hydrogène. — Phosphorique.

ALLUMETTES. — Allumettes dites chimiques. — Allumettes sans explosion. — Allumettes sans soufre. — Allumettes-bougies.

AMADOU.

THERMOMÈTRE. — Manière de construire le thermomètre à mercure. — Thermomètres métalliques.

THERMOMÈTRES. — PYROSCOPES (*Compl.*).

DILATATION. — Coefficients pour les divers corps.

DILATATION DES LIQUIDES. — Recherches de M. I. Pierre. — De M. Thilorier. — De M. Drion. (*Compl.*).

CHALEURS SPÉCIFIQUES (par M. Ch. Laboulaye).

I. Chaleurs spécifiques des gaz simples. — Expériences de M. Regnault. — Loi de Dulong et Petit. — Valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur déduite de la valeur constante, à égalité de volume, des chaleurs spécifiques et des coefficients de dilatation des gaz simples.

II. Chaleurs spécifiques des corps solides. — Limites d'exactitude de la loi de Dulong. — Effets de la cohésion moléculaire.

III. Chaleurs spécifiques des liquides. — Variations des chaleurs spécifiques des liquides avec la température. — De l'application de la loi de Dulong aux liquides.

IV. Chaleurs spécifiques des gaz composés.

V. Chaleurs spécifiques des vapeurs.

VI. Des chaleurs spécifiques des gaz à pression constante et à volume constant. — Travail mécanique équivalent à la différence des deux capacités (*Compl.*).

CHALEUR LATENTE OU CHANGEMENT D'ÉTAT DES CORPS (par M. Ch. Laboulaye).

I. Chaleur de fusion des solides. — Sa relation avec les coefficients d'élasticité.

II. Chaleur de vaporisation des liquides. — Constance du travail de vaporisation par calorie, pour les divers liquides. — Travail résistant des forces moléculaires dans un liquide.

FORCES VIVES CALORIFIQUES TOTALES DES CORPS. — 1° A l'état de gaz. — 2° A l'état liquide. — 3° A l'état solide.

Emploi industriel des chaleurs de changement d'état. — 1° Températures constantes. — 2° Transport de chaleur. — 3° Production du froid : par vaporisation des liquides; par liquéfaction des solides. — Mélanges réfrigérants (*Compl.*).

Production de la chaleur.

PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LES COMBINAISONS CHIMIQUES (par M. Ch. Laboulaye). — Historique de la question. — Théorie du phlogistique de Stahl. — Théorie du calorique de Lavoisier. — Théorie électrique de Berzélius. — Le principe d'équivalence de la chaleur et du travail mécanique pouvait seul montrer, dans la quantité de chaleur, la mesure du travail mécanique de cohésion des atomes élémentaires d'un composé.

I. Phénomènes physiques. — Chaleurs spécifiques, de changement d'état, etc.

II. Phénomènes chimiques. — Résultats des expériences de Dulong, de Favre et Silbermann.

Combinaisons de corps gazeux demeurant gazeux. — Combustion de l'oxyde de carbone dans l'oxygène. — De l'hydrogène.

Combustion du carbone. — Du soufre.

Cas général. — Réactions entre corps liquides.

Mode de combinaison indiqué par les quantités de chaleur dégagées. — Remarques sur les équivalents mécaniques.

Des corps qui dégagent de la chaleur en se décomposant. — Des composés azotés. — Des corps d'origine végétale (*Compl.*).

COMBUSTIBLES. — **COMBUSTION** (par Ebelmen). — De la chaleur produite par la combustion. — De la température de combustion.

DES DIVERS COMBUSTIBLES. — (Mesure de leur pouvoir calorifique). — Bois. — Charbon roux. — Charbon. — Tourbe. — Houilles de diverses formations. — Coke.

DE L'EMPLOI DES COMBUSTIBLES. — Foyers de chaudières à vapeur. — Fourneaux à réverbère. — Fours à porcelaine. — Appareils à vent forcé. — Hauts-fourneaux. — Cubilots.

DE LA COMBUSTION DES GAZ. — Application de la théorie aux hauts-fourneaux. — De la transformation des combustibles en gaz, — par distillation, — par l'action de la vapeur d'eau, — par l'action de l'air seul.

Dessin et description d'un gazogène propre à cette transformation. — Résultats d'expériences. — Importance de ce nouveau mode d'emploi des combustibles.

Chaudière Beaufumé. — Fours Siemens.

COMBUSTION. — Évaluation approchée de la valeur calorifique d'un combustible, d'après sa composition chimique (*Compl.*).

CHALUMEAU AÉRHYDRIQUE (par M. Delbrück). — Dessin et description de l'appareil. — Chalumeau à vapeurs combustibles.

CHALUMEAU pour obtenir des températures très-élevées (Voy. PLATINÉ et CHAUFFAGE).

CHEMINÉE. — Théorie de l'ascension des produits de la combustion. — Construction des cheminées. — De la hauteur des cheminées des usines.

TIRAGE. — Tirage par la fumée en partie refroidie. — Tirage par l'air brûlé refroidi. — Tirage produit par un jet de vapeur. — Expériences et théorie de M. Zeuner. — Expériences de Siemens. — Forme du souffleur. — Tirage par procédés mécaniques. — Comparaison du prix de revient du tirage dans ces divers systèmes.

FUMÉE (par M. Debette). — Moyens de prévenir la fumée. — Systèmes de condensation de Ward, Vivian, etc. — Courant d'air additionnel, expériences de Combes. — Emploi de la vapeur d'eau, appareil Thierry. — Distributeurs mécaniques. — Grilles de Juckes. — Appareil Duméry, produisant la distillation et la combustion des gaz avant celle du carbone fixe. — Grille à gradins.

ESCARBILLES.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Utilisation de la chaleur.

CHAUFFAGE (par Grouvelle). — Emploi de la chaleur dans les habitations.

I. **CHAUFFAGE DIRECT PAR LA COMBUSTION.**

II. **CHEMINÉES.** — De Rumford. — A foyer mobile. — De Millet. — Cheminées à coke. — Cheminées qui fournissent de l'air chaud.

III. **POÊLES.** — De Chevalier. — De Duvoir. — Pour anthracite. — Calorifère Joly à combustion lente.

IV. **CHEMINÉES-POÊLES.** — Cheminées à la prussienne.

V. **CALORIFÈRES.** — De R. Duvoir. — De Gurney. — De Grouvelle.

VI. **CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR.** — Dimensions du générateur, des tuyaux en proportion de l'espace à chauffer. — Mode d'assemblage. — Poêles à vapeur. — Chauffage de l'Institut.

VII. **CHAUFFAGE PAR CIRCULATION D'EAU CHAUDE.** — Circulation à basse pression. — Poêles d'eau. — Chauffage des serres. — Chauffage de la Chambre des pairs, par M. Léon Duvoir.

Circulation d'eau à haute pression. — Appareils de Perkins.

VIII. **CHAUFFAGE PAR VAPEUR ET CIRCULATION D'EAU CHAUDE.** — Avantages qu'offre la réunion des deux systèmes. — Application faite par Grouvelle au chauffage de Mazas.

Considérations générales sur le chauffage des établissements publics, des serres, etc.

CHAUFFAGE (au coke, au gaz, au pétrole). — Hôpital Saint-Louis. — Poêles anglais. — Brûleur Bunsen. — Chalumeau de M. Selcesing (*Compl.*).

ÉBULLITION. — Point d'ébullition de l'eau en raison des hauteurs. — Point d'ébullition de divers liquides. — Digesteur de Papin. — Autoclave de d'Arcet. — Point d'ébullition des dissolutions salines. — Expériences de M. Legrand.

ÉBULLITION. — Expériences de M. Donny. — De Dufour (*Compl.*).

CHAUDIÈRES A VAPEUR. — Comparaison des systèmes employés dans l'industrie. — Équation d'une chaudière en tenant compte de tous les éléments de la question. — Expériences de MM. Dubied et Burnat. — Chaudières à bouilleurs avec réchauffeurs. — Chaudières tubulaires verticales. — Chaudières type locomotive. — De l'excès d'air habituellement employé. — Alimentation des chaudières. — Réservoirs et prise de vapeur. — Appareils de sûreté. — Soupapes de sûreté. — Manomètre à air libre. — Thermomanomètre. — Indicateurs de niveau et flotteurs d'alarme. — Dépôts qui se forment dans l'intérieur des chaudières. — Des explosions.

CHAUDIÈRES à foyers intérieurs. — à circulation : Belleville, — Field, etc. (*Compl.*).

INCRUSTATIONS (Voy. 2e *Section*).

ALIMENTATION (Voy. 4e *Section*, MACHINES A VAPEUR et INJECTEUR).

VAPEUR. — Propriétés de la vapeur. — Tableau des forces élastiques de la vapeur d'eau de zéro à 150°. — Résultat des expériences de M. Regnault. — Densité de la vapeur d'eau saturée. — Expériences de Fairbairn.

HYGROMÉTRIE. — Psychomètre. — Hygromètres divers.

SPHÉROIDAL (État). — Expériences de M. Boutigny (*Compl.*).

FUMIGATION.

ÉVAPORATION. — Évaporation spontanée à l'air libre. — Évaporation par un courant d'air forcé. — Travaux de Montgolfier, Curandeau, Kneller, Brame-Chevalier.

Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer. — Maximum théorique que peut évaporer 1 kil. de houille. — Disposition des foyers et des chaudières pour se rapprocher de ce maximum.

Évaporation par chauffage à la vapeur. — Avantages de cette méthode. — Cas où elle est applicable.

Évaporation dans le vide. — Appareils anglais. — Appareil de Howard. — Système à triple effet.

ÉVAPORATION. — Théorie de l'appareil à triple effet (*Compl.*).

SÉCHOIR. — Séchage à l'air chaud. — Quantité d'air chauffé à diverses températures, nécessaire pour enlever un kil. d'eau (Voy. *Impression*).

DISTILLATION. — Invention d'Adam. — Calcul du combustible nécessaire pour une opération déterminée. — Appareil Laugier. — Appareil Cellier-Blumenthal continu. — Travaux de Derosne et Cail. — Étude de chacun des éléments de l'appareil à colonnes.

CARBONISATION (par M. Debette).

CARBONISATION DU BOIS. — Procédé de Schwartz. — Procédé de Foucault. — Carbonisation en tas rectangulaires. — Carbonisation en meules.

Théorie de la carbonisation, d'après les travaux d'Ebelmen.

CARBONISATION DE LA HOUILLE. — Méthode du Straffordshire. — Méthode du pays de Galles. — Méthode du bassin de la Loire. — Carbonisation dans des fours

CARBONISATION DE LA TOURBE. — En meules. — En vases clos.

COKE (par M. Debette). — Utilité du lavage de la houille. — Procédés usités en Belgique. — Prix de revient.

Fours pour préparer le coke de chemins de fer. — Fours du chemin de Boulogne.

FUSIBILITÉ. — Des principaux corps.

CALCINATION.

SUBLIMATION.

GRILLAGE DES TISSUS à l'aide du gaz. — D'une plaque chauffée. — Système Tulpin.

RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE (par Grouvelle). — Thermostat. — Régulateur de Sorel. — Thermo-régulateur de M. Rolland.

CHALEUR PERDUE (par Grouvelle). — Des fourneaux. — Des machines à vapeur sans condenseur (*Compl.*).

FOURNEAUX DE CUISINE. — Travaux de Rumford. — Plaques allemandes. — Fourneaux de la Charité. — Emploi du bain-marie. — Fourneaux des Jeunes-Aveugles.

Appareil Harel.

Fourneaux construits par Grouvelle pour la Société hollandaise.

TREMPE (par M. Laboulaye). — Effets de la trempe de l'acier. — Expériences de Karsten. — Effets de la trempe du bronze. — Explication probable des phénomènes de durcissement et de ramollissement produits par la trempe. — Du chauffage à un point fixe. — Des bains métalliques. — Du recuit. — Trempe des principaux outils. — Trempe des scies et ressorts de montre. — Procédé Griset pour la trempe des laminoirs d'acier.

Trempe au paquet. — Trempe régulière à l'aide du chauffage au gaz produisant une température constante.

RÉFRIGÉRANT. — Opérant par rayonnement dans l'air. — Par contact de l'eau froide passant de la partie la moins chaude à la plus chaude. — Dessins et descriptions de plusieurs appareils dans lesquels cette condition est satisfaite.

Appareils dans lesquels le refroidissement est obtenu par l'évaporation.

CONGÉLATION, ou production de froid. — 1° Par dilatation des gaz; — 2° par évaporation; — 3° par mélanges frigorifiques. — Tableau de l'abaissement de température obtenu par divers mélanges. — Dispositions d'un appareil pour la production de la glace.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRODUCTION DU FROID. — Appareil de M. Carré pour la production de la glace par travail mécanique. — Par gaz liquéfié (*Compl.*).

GLACIÈRE.

Rapports de la chaleur et du travail.

CALORIE (par M. Laboulaye). — Comment se produit le travail dû à un changement de température. — La puissance motrice d'une même quantité de chaleur est constante, quel que soit le corps échauffé. — Vérification de cette loi, par le calcul, à l'aide de données fournies par les expériences de la physique. — Corps solides. — Liquides. — Gaz. — Vapeurs.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR (par M. Laboulaye). — Du genre d'expérience le plus convenable pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur.

I. Frottement. — Expériences de M. Hirn sur le frottement des solides, avec interposition d'huiles diverses. — Frottement des liquides. — Expériences de M. Joule.

II. Écrasement du plomb.

III. Compression de gaz. — Expériences de M. Joule.

IV. Détente d'un gaz comprimé dans un réservoir. — Expériences de MM. H. Tresca et Ch. Laboulaye. — Nombres de deux séries, comprenant trente expériences conduisant à la valeur 370 kil. mèt. pour l'équivalent mécanique d'une calorie (*Compl.*).

DE LA PERMANENCE DES PUISSANCES NATURELLES (INTRODUCTION DU COMPLÉMENT). — Résultats généraux de la théorie mécanique de la chaleur.

VENTILATION (par M. Grouvelle). — Moyens de mesure. — Anémomètre. — Hygromètre. — Conditions de salubrité. — Procédés divers de ventilation.

Emploi général de la chaleur. — Cheminées.

Emploi des forces mécaniques. — Ventilateurs. — Machines à cloche. — Vis pneumatique. — Vis Fabry.

Tableau des résultats obtenus, et prix du mètre cube d'air évacué pour chaque système.

Application des principes à la ventilation des hôpitaux, — des prisons, — des prisons cellulaires, — des fosses d'aisances, — du dépotoir de la Villette, — des théâtres, — du palais de Sydenham, — des amphithéâtres.

VENTILATION PAR INSUFFLATION. Voy. AIR COMPRIMÉ (4e Section).

VENTS. — Théorie de Maury sur la circulation atmosphérique. — Vents alizés (*Compl.*).

Les divers articles consacrés à l'étude de la chaleur constituent une théorie mécanique de la chaleur, fondée sur le théorème des forces vives. Les mémoires et ouvrages relatifs à la théorie mécanique de la chaleur, parus jusqu'ici, doivent être rangés dans la physique mathématique ; c'est assez dire qu'on y arrive souvent à des conséquences exagérées, par l'interprétation de formules basées sur quelques expériences, qui ont permis d'établir la relation différentielle qui a conduit à ces formules et qui constituent une base insuffisante pour un édifice trop élevé. En partant, au contraire, du principe des forces vives pour calculer les effets de la chaleur d'ordre moléculaire, j'arrive à établir d'une manière simple et parfaitement logique, tous les théorèmes vrais de ce grand progrès scientifique. C'est parce que la chaleur, dans les corps, est une somme de forces vives, que la conversion de celle-ci en travail mécanique aussi bien que l'effet inverse, s'analysent parfaitement.

Pour faire un ensemble des divers articles de cet ouvrage, relatifs à la chaleur, dont la réunion forme un traité de sa théorie mécanique, il faut passer en revue les principaux, dans l'ordre suivant : Constitution des corps. — Gaz, liquides, solides. — Chaleurs spécifiques, — Chaleurs latentes, — Production de la chaleur. — Travail mécanique, comprenant : Équivalent mécanique de la chaleur. — Calorie. — Théorie des machines à air chaud, des machines à vapeur (IVe Section).

Électricité.

ÉLECTRICITÉ. — Production industrielle de l'électricité. — Pile Daniell. — Pile de Bunsen. — De M. Chutaux. — Effets physiques de la pile. — Effets chimiques. — Machines magnéto-électriques. — Machine-Gramme.

INDUCTION. — Bobine de Rumkorf (*Compl.*).

PARATONNERRE.

GALVANOPLASTIE. — Histoire de la découverte.

APPAREILS GALVANIQUES. — Appareils simples. — Piles employées.

DES BAINS. — Bains de cuivre. — Bains de plomb. — Bains d'étain.

DES MOULES. — Moules métalliques. — Moules plastiques. — Cire à cacheter. — Cire vierge. — Stéarine. — Papier et plâtre. — Soufre. — Gutta-percha.

MÉTALLISATION DES MOULES. — Solutions métalliques. — Poudres métalliques. — Plombagine. — Métallisation des poteries et des verres.

Des soudures.

APPLICATIONS DE LA GALVANOPLASTIE. — Reproductions des monnaies et médailles. — Copie des cachets, empreintes. — Galvanisation des statuettes, bas-reliefs. — Reproduction des végétaux. — Applications à l'art du fondeur. — A la métallurgie. — Reproductions de planches gravées.

GALVANOPLASTIE. — Reproduction des gravures sur bois. — Creux en cuivre. — Galvanoplastie du fer (*Comp.*)

DORURE GALVANIQUE (par M. Barral). — Historique de l'invention de ce procédé. — Dispositions adoptées chez MM. Christofle. — En quoi consiste essentiellement la découverte d'Elkington. — Composition des bains. — Revivification des bains. — Argenture. — Balance de Roseleur. — Platinage. — Cuivrage. — Zingage. — Plombage. — Cobaltissage.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE (par M. Bréguet). — Principes de ce mode de télégraphie. — Historique. — Idées d'Ampère. — Télégraphe de Schilling. — De Wheastone. — Dessin et description du télégraphe à cadran. — Télégraphe de Morse. — A aiguilles de Wheastone. — Télégraphe de Hughes, — Autographique de Caselli. — Des horloges électriques. — Applications diverses de l'électricité.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE (par L. Foucault). — Résultats obtenus jusqu'à ce jour. — Appareils pour rendre la lumière stable, — de M. Foucault, — de Staite, — de Soleil, — de M. Serrin. — Difficultés et avenir de ce mode d'éclairage.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — Prix de la lumière

AIMANT. — Aimant vibrant de Froment (*Compl.*).

LIMAILLE. — Machine de M. Verrin pour séparer la limaille de fer de celle de cuivre.

BOUSSOLE.

INDICATEUR MAGNÉTIQUE du niveau d'eau des chaudières, sans ouverture extérieure, par M. Lethuillier-Pinel (*Compl.*).

ÉQUIVALENCE DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE LA CHALEUR OU DU TRAVAIL. — Expériences de De la Rive et de M. Favre. — Des moteurs électro-magnétiques. — Production d'électricité par travail mécanique. — Machines de Clark, de Wilde, de Ladd, etc. — Machines de l'Alliance (*Compl.*).

Acoustique.

ACOUSTIQUE. — Échelle musicale. — Gamme. — Dièses et bémols. — Tempérament. — Accords.

Mesure des nombres de vibrations. — Sirène.

Des différentes manières de produire les sons. — Cordes vibrantes. — Vibration des tiges. — Vibration de l'air dans les tuyaux d'orgue.

TIMBRE. — Théorie de M. Heilmotz.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MUSIQUE (FABRICATION DES INSTRUMENTS DE) par M. Silbermann. — Principes de l'acoustique industrielle. — Tableau de la série entière des sons musicaux avec l'étendue tonale du plus grand nombre des instruments usités. — Classification des instruments de musique au point de vue acoustique et au point de vue industriel.

INSTRUMENTS DE MUSIQUE.

INSTRUMENTS A VENT EN BOIS. — Flûtes. — Clarinettes. — Hautbois, etc.

INSTRUMENTS EN CUIVRE. — Trompettes. — Cors. — Saxophones.

PIANOS (par M. Blanchet).

I. De la charpente. — Du barrage. — De la table d'harmonie. — Des cordes et de leurs diamètres.

II. De la mécanique. — Description d'une mécanique perfectionnée.

III. De l'ajustement. — Soins nécessaires.

VIOLON-VIOLONCELLE.

ORGUES (par M. Lissajous). — Exposition détaillée des principes de la construction des grandes orgues.

I. Organes sonores. — Tuyau à bouche. — Tuyau à anche.

II. Soufflerie. — Dispositions de M. Cavaillé-Coll.

III. Sommiers.

Dispositions générales du mécanisme.

HARMONIUM.

Lumière.

KALÉIDOSCOPE. — Théorie de cet instrument. — Son emploi dans le dessin industriel. — Disposition commode pour dessiner l'image produite.

DIORAMA (d'après Daguerre). — Description des procédés de peinture et d'éclairage inventés par Daguerre.

PANORAMA.

MICROSCOPE (par M. Lerebours). — Historique. — Principes de construction. — Systèmes principaux. — Emplois du microscope dans l'industrie. — Illusions. — Microscope solaire.

POLARIMÈTRE (Voy. SUCRE). Principe de cet appareil. — Mode d'opérer. — Description du polarimètre de Soleil. — Exemples d'applications.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE (par M. Lejeune). — Taille des verres au bassin. — Méthodes de vérifications de Foucault. — Instruments catoptriques. — Instruments dioptriques. — Lunettes. — Théodolite. — Cercle méridien. — Electro-chronographes (*Compl.*).

TÉLÉMÈTRE de M. Gautier (*Compl.*).

NICOL (PRISME DE). (*Compl.*)

TÉLÉGRAPHIE AÉRIENNE — Historique. — Découverte de Chappe. — Description du télégraphe français. — Systèmes divers.

PHOTO-CHIMIE. — Action de l'éther.

PHOTOGRAPHIE-DAGUERRÉOTYPIE. — Invention. — Manière d'opérer. — Chambre noire. — Choix et polissage des plaques. — Iodage des plaques. — Des substances accélératrices. — De l'exposition au mercure. — Lavage à l'hyposulfite de soude. — Fixage des épreuves au chlorure d'or.

Photographie sur papier. — Papier ciré de M. Legray. — Photographie sur verre. — A l'albumine. — Au collodion. — Épreuve négative. — Tirage du positif. — Multiplication des épreuves. — Copie des gravures.

Héliochromie.

Héliogravure. — Gravure photographique. — De la Photo-lithographie. — Procédé Poitevin. — Photoglyptie.

STÉRÉOSCOPE (*Compl.*).

COULEURS.

NACRE DE PERLES (*Compl.*).

CONTRASTE DES COULEURS (par M. Rouget de Lisle). — Des gammes et des tons des couleurs. — Tableau des variations qu'éprouvent les principales couleurs quand elles sont juxtaposées, d'après M. Chevreul. — Application des principes et exemples pris dans l'industrie.

Production de la lumière.

FLAMME.

LAMPE DE SURETÉ. — Propriété des toiles métalliques. — Description de la lampe de Davy. — Perfectionnements apportés par Muesseler, — par Combes.

ÉCLAIRAGE (par M. Gibon). — Résumé des propriétés physiques de la lumière. — Photométrie. — Photomètre de Foucault, — de Bunsen.

ÉCLAIRAGE PAR LES MATIÈRES SOLIDES. — Chandelles. — Bougies.

ÉCLAIRAGE PAR LES HUILES. — LAMPES. — Becs des lampes. — Bec d'Argand. — Bec de la lampe sinombre. — Bec à mèches multiples.

Réservoirs placés au niveau des becs. — Réservoirs supérieurs aux becs. — Lampe de bureau. — Réservoirs inférieurs aux becs. — Lampe à ressort. — A modérateur. — Lampe Girard. — Lampe hydrostatique. — Lampe Carcel. — Lampe solaire.

ÉCLAIRAGE AU GAZ (par M. Mallet). — Historique. — *Distillation de la houille.* — Formes des cornues. — Cornues en terre. — Description des fours. — Fours Siemens, Muller, Pauwels, etc.

De la condensation et de l'épuration. — Condensation à l'air. — Emploi du lait de chaux. — Procédé Mallet pour l'épuration du gaz par voie humide. — Disposition de l'appareil Mallet. — Voie sèche. — Sulfate de plomb. — Oxyde de fer hydraté. — Exhausteurs Pauwels. — A pompe. — Compteurs de fabrication.

Distribution du gaz. — Gazomètres. — Gazomètres télescopiques. — Gazomètre Pauwels. — Sortie du gaz du gazomètre. — Appareil pour mesurer la pression du gaz à sa sortie. — Régulateurs. — Des diverses espèces de tuyaux. — Tuyaux de fonte. — Tuyaux en grès. — Tuyaux Chameroy. — Tuyaux de plomb. — Tuyaux en zinc.

Éclairage. — Du pouvoir éclairant. — Appareil Dumas et Regnault. — Influence de la densité des vapeurs des hydro-carbures sur l'éclat de la flamme (par M. Berthelot). — Composition du gaz d'éclairage. — Des becs. — Expériences de Audouin et Bérard. — Bec Manchester. — Papillon. — Bec Monnier. — Lanterne de la ville de Paris. — Rhéomètre.

Gaz portatif non comprimé. — Gaz comprimé. — Gaz riche. — Gaz de résine. — Gaz au bois.

Gaz à l'eau. — Système Gillard.

Éclairage oxhydrique.

Machines à gaz. — Chauffage au gaz.

Appendice. — Manomètres. — Cherche-faites. — Valves.

ÉCLAIRAGE PAR LES CARBURES D'HYDROGÈNE. — Insufflation d'air. — Lampe Donny. — Lampe à pétrole.

Alcoolat. — Lampes Robert. — Inconvénients et avantages de l'éclairage au gazogène.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE (Voy. ÉLECTRICITÉ).

PHARE (par M. Mangon). — Construction des phares. — Échafaudage. — Montage et apprêt des matériaux. — Éclairage des phares. — Lampes. — Lentilles à échelons de Fresnel. — Disposition des diverses lentilles. — Portée des phares. — Intensité de leur lumière.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DEUXIÈME SECTION.

CHIMIE INDUSTRIELLE.

La chimie industrielle comprend l'étude, l'analyse de tous les corps qui se trouvent dans la nature, les lois de la préparation de tous ceux qui peuvent être obtenus par la transformation, par l'action mutuelle de corps convenablement traités ; en un mot, tous les résultats utiles des actions de la mécanique moléculaire.

Presque tous les résultats de la science chimique forment les bases d'autant d'industries, puisqu'ils mènent le plus souvent à la préparation d'un corps déterminé, à son isolement d'une combinaison dans laquelle il est engagé, ou inversement. En parcourant la table suivante on apercevra facilement combien de produits nouveaux sont nés des progrès de la science; combien de procédés, grâce à celle-ci, ont été heureusement simplifiés.

La chimie industrielle se divise en plusieurs parties, savoir :

1° L'étude des métalloïdes et de leurs combinaisons entre eux, comprenant les principaux acides agents essentiels des industries chimiques ;

2° Celle des métaux terreux, comprenant les bases les plus énergiques et les sels qu'elles forment avec les acides;

3° Celle des métaux proprement dits, dont l'extraction forme une des principales divisions du travail industriel, la métallurgie;

4° La chimie végétale, l'étude des principes élémentaires des végétaux, l'extraction des substances utiles qu'ils renferment, leurs transformations ;

5° Les substances colorantes, les substances en général d'origine végétale qui sont utilisées pour la teinture, les moyens d'application de celles-ci sur les divers corps;

6° La chimie animale, l'étude des substances qu'il est possible d'extraire des corps d'origine animale, et les moyens de conserver ceux-ci sans altération.

ÉQUIVALENTS CHIMIQUES (Voy. *Compl.*).

ÉQUIVALENTS MÉCANIQUES DES CORPS (V. PRODUCTION DE LA CHALEUR).

PHOTO-CHIMIE. — Effets chimiques de la lumière.

ANALYSE CHIMIQUE. — Moyens de séparation des corps (*Compl.*).

DISSOCIATION. — Expériences de MM. Deville et Debray. — Température de la combustion de l'hydrogène. — Du carbone, etc.

DÉPLACEMENT (Méthode de). — Conditions auxquelles elle satisfait : — D'obtenir des solutions concentrées au maximum. — D'épuiser complétement les matériaux renfermant la substance soluble, en employant le minimum de liquide.— Application de cette méthode au lessivage des plâtras salpêtrés.

DÉPLACEMENT. Appareil P. Havrez (*Compl.*).

VASES CLOS (par M. Berthelot). — Méthode des vases clos capitale pour effectuer des synthèses (*Compl*).

Métalloïdes.

La préparation des métalloïdes, et des composés qu'ils forment entre eux, constitue la partie principale de la fabrication des produits chimiques, comprend notamment la fabrication des principaux acides.

GAZ. — MOYEN DE LES RECUEILLIR (*Compl.*).

OXYGÈNE. — Industrie de l'oxygène (*Compl.*).

HYDROGÈNE.

AZOTE.

AIR ATMOSPHÉRIQUE.

SOLUBILITÉ DES PRINCIPAUX GAZ d'après Bunsen (*Compl.*).

EFFLORESCENCE.

DÉLIQUESCENCE.

ACIDES.

ACIDE NITRIQUE OU AZOTIQUE (par M. Knab). — Propriétés. — Composition. — Point d'ébullition à diverses densités. — Préparation. — Dosages. — Disposition des appareils.

AMMONIAQUE. — Propriétés. — Extraction du sel ammoniacal: — des substances animales, — des eaux de condensation du gaz d'éclairage.

SOUFRE (par M. Debette). — Propriétés. — Soufrières de la Sicile. — Exploitation du soufre brut. — Purification du soufre. — Soufre en fleur. — Extraction du soufre des pyrites.

ACIDE SULFUREUX. — Propriétés.— Préparation — Soufroir. — Disposition de d'Arcet pour bains sulfureux.

ACIDE SULFURIQUE (par M. Mallet). — Propriétés de l'acide-anhydre, — de l'acide ordinaire. — Sa composition. — De l'acide de Nordhausen.

Préparation de l'acide sulfurique ordinaire par grandes masses et à bas prix. — Théorie des chambres de plomb. — Dessin et description de ces chambres. — Appareil dénitrifieur de Gay-Lussac.

Emploi des pyrites.— Four Perret.

Maladies des chambres.

Concentration de l'acide. — Cornues de platine. — Syphon Bréant. — Concentration dans le vide.

Prix de revient de l'acide sulfurique.

HYDROGÈNE SULFURÉ.

CHLORE. — Usage du chlore dans l'industrie. — Sa préparation.

CHLOROMÉTRIE. — Essai de la valeur des dissolutions de chlore.

ACIDE HYDROCHLORIQUE OU CHLORHYDRIQUE. — Propriétés. — Composition chimique. — Préparation. — Procédé des fours. — Disposition des cylindres. — Des bonbonnes dans lesquelles l'acide est con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

densé. — Appareil continu pour la condensation. — Disposition usitée en Angleterre.

EAU RÉGALE.

BROME.

ACIDE HYDROBROMIQUE ou BROMHYDRIQUE.

IODE.

ACIDE HYDRIODIQUE ou IODHYDRIQUE.

FLUOR.

PHOSPHORE.

ALLUMETTES. — Fabrication. — Dangers auxquels elle expose les ouvriers. — Emploi du phosphore rouge. — Système salubre de M. Lundstrom (*Compl.*).

ACIDE PHOSPHORIQUE.

ARSENIC.

ACIDE ARSÉNIEUX.

BORE.

ACIDE BORIQUE. — Procédé employé en Toscane pour le recueillir. — Système Larderelle.

ACIDE BORIQUE (par M. Salvétat). — Emploi pour les produits céramiques du borate de chaux naturel (*Compl.*).

SULFURE DE CARBONE. — Son emploi pour l'extraction des corps gras (*Compl.*).

SILICIUM (*Compl.*).

SILICE.

QUARTZ.

CARBONE.

DIAMANT.

OXYDE DE CARBONE.

ACIDE CARBONIQUE.

HYDROGÈNE CARBONÉ.

HYDROCARBURES (par M. Mallet). — Préparation des hydrocarbures pour l'éclairage. — Extraction de la houille et du goudron du gaz. — Rectification. — Mode d'opérer de M. Barral. — Rectification dans le vide. — Rendement.

Appareil de Payen à vases successifs. — Distillation à l'aide de la vapeur d'eau.

Distillation des schistes bitumineux. — Procédé Selligue. — Substances diverses fournies par la distillation.

HUILE DE SCHISTE. — Procédés d'extraction des schistes d'Autun. — Emploi de la vapeur surchauffée. (*Compl.*)

DISTILLATION DE LA HOUILLE. — Épuration, etc. Voy. Ire Section. Éclairage au gaz).

CYANOGÈNE.

ANTHRACITE.

HOUILLE. — (Voy. 5e *Section.*)

JAIS.

TOURBE.

GOUDRON MINÉRAL.

GOUDRON. — Produits de la distillation de la houille. — Benzine. — Acide phénique. — Brai. — Houilles agglomérées à l'aide du goudron ou péras. — Charbon de Paris.

NAPHTE.

NOIR DE FUMÉE.

NOIR DE SCHISTE.

SUIE.

PARAFFINE.

BENZINE (*Compl.*).

Métaux terreux.

Corps qui constituent les alcalis les plus énergiques.

GÉOLOGIE (par M. Debette). — Notions de géographie physique. — De l'atmosphère. — Des eaux. — Écorce minérale du globe.

DES ROCHES. — Roches granitoïdes. — Roches porphyroïdes. — Roches trachytiques. — Roches amphiboliques. — Roches pyroxéniques. — Roches micacées. — Quartz. — Roches calcaires. — Laves. — Roches arénacées. — Argiles et marnes.

DIVISION DES TERRAINS. — *Terrains sédimentaires.* — Tableau général des formations sédimentaires. — Alluvions. — Terrains tertiaires. — Terrains secondaires. — Terrain de transition.

TERRAINS IGNÉS ou primitifs. — Des soulèvements.

Disposition générale des masses qui forment le sol de la France.

MINÉRALOGIE (par Mr Debette). — Caractères extérieurs des minéraux. — Caractères cristallographiques. — Types cristallins. — Détermination de la forme primitive et des formes secondaires d'un minéral. — Goniomètres.

Caractères physiques des minéraux. — Caractères chimiques. — Action des acides. — Des alcalis. — Essais par la voie sèche.

EAUX (par M. Hervé-Mangon). — Étude chimique de la nature et la qualité des eaux. — De la dureté des eaux. — Procédés hydrotimétriques.

EAUX MINÉRALES. — Eaux alcalines. — Eaux ferrugineuses. — Eaux salines. — Eaux sulfureuses.

EAUX GAZEUSES. — Historique. — Moyens employés pour obtenir l'acide carbonique. — Système de Genève. — Système continu de Bramah. — Système Vernaut et Barruel. — Système Savaresse. — Méthodes pour boucher les bouteilles. — Vase syphoïde. — Limonades gazeuses. — Eaux médicinales.

SELS. — Sulfates. — Nitrates.

CHLORURES. — HYDROCHLORATE D'AMMONIAQUE. — Préparation de ce sel. — Décomposition du sulfate d'ammoniaque par le sel marin.

CHLORURE D'ÉTAIN.

CHLORURE DE MERCURE.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES, — leur fabrication, d'après Ébelmen.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES. — Recherches faites depuis les travaux d'Ebelmen (*Compl.*).

POTASSIUM.

POTASSE. — Proportions de potasse contenues dans les cendres des principaux végétaux. — Son emploi dans les engrais. — Lavage des cendres. — Évaporation.

Cendres gravelées. — Sels de potasse extraits des eaux-mères des marais salants.

Préparation de la potasse caustique.

SALIN. — Potasse extraite des vinasses.

POTASSIMÈTRE. — Procédé de M. O. Henri, pour l'essai alcalimétrique des potasses du commerce.

NITRATE DE POTASSE. — Extraction du salpêtre des plâtras.

POUDRE. — Historique. — Propriétés de la poudre. — Sa combustion. — Vitesse d'inflammation. — Vitesse de combustion. — Produits de la combustion. — Tension des gaz. — Travail produit par l'explosion.

MATIÈRES PREMIÈRES. — Salpêtre. — Extraction du salpêtre. — Lessivage des plâtras. — Évaporation. — Cristallisation. — Essai du salpêtre brut. — Raffinage. — Lavage. — Collage. — Cristallisation. — Arrosage. Séchage. — Essai du salpêtre raffiné.

Charbon. — Bois convenables. — Carbonisation. — Soufre. — Distillation.

FABRICATION. — Dosage des poudres de plusieurs pays. — Description des pilons. — Trituration. — Mélange. — Humectation. — Compression. — Granulation. — Séchage. — Des meules. — Des presses. — Du guillaume et du tourteau.

Époussetage. — Lissage de la poudre.

Fabrications expéditives. — Poudres rondes. — Emploi des tonnes. — Poudres anglaises.

Embarrillage. — Emmagasinage.

Épreuves. — Éprouvette-Régnier. — Mortier éprouvette. — Fusil-pendule. — Éprouvette de M. Melsens.

Analyse des gaz de l'explosion, par Bunsen. — Analyse de la poudre.

POUDRE (par M. Faucher). — Poudres compri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mées. — Poudre au chlorate de potasse. — Au picrate de potasse. — Poudres inexplosibles. (*Compl.*)

ARTIFICE. — Composition des diverses pièces employées pour feux d'artifice. — Feux de couleur.

ARTIFICES DE GUERRE. — Fusées employées dans l'artillerie. — Fusées percutantes. — Fusées à la congrève.

CHLORATE DE POTASSE. — Ses propriétés. — Sa préparation. — Ses usages.

SODIUM. — Sa préparation en grand.

SOUDE (par M. Mallet). — Sels de soude. — Extraction des plantes marines. — Extraction du sel marin. — Dessin et description du four employé à Marseille. — Théorie du procédé Leblanc. — Dosages. — Soude raffinée. — Lessivage par déplacement. — Cristaux de soude. — Préparation du bi-carbonate de soude. — Soude ou lessive caustique. — Nouveaux procédés. — Procédé Becquerel pour la préparation de la soude par l'électricité.

Extraction de la soude des eaux-mères des marais salants. — Procédé Balard. — Extraction des sels de soude et de potasse des vinasses. — Appareils de M. Massy de Saint-Quentin.

SEL (par M. Debette). — Exploitation des puits et sources salées. — Bâtiments de graduation. — Évaporation dans les chaudières. — Conduite du travail. — Salinage.

Exploitation du sel gemme, — par puits et galeries, — par dissolution.

MARAIS SALANTS (par M. Mangon). — Usages du sel. — Sa composition chimique. — Salure de la mer.

Marais salants de l'Ouest. — Plan d'un marais salant. — Conduite du travail, et succession des opérations. — Raffinage des produits.

Salines du Midi. — Différences avec celles de l'Ouest. — Sel plus pur que celui obtenu dans l'Ouest.

Traitement des eaux-mères. — Sel d'été. — Sulfate de soude. — Sels de potasse. — Gisement de Strassfurt.

Sel ignifère. — Extraction du sel par la gelée.

ALCALIMÈTRE de Decroizilles. — De Gay-Lussac.

BORAX. — Composition des diverses espèces de borax. — Préparation. — Raffinage du borax.

BARYTE.

STRONTIANE.

ALBATRE.

MARBRE.

PIERRE. — Classification des espèces diverses de pierres. — Silicatisation des pierres tendres.

PLATRE (par M. Curtel). — Propriétés. — Cuisson du plâtre. — Emploi du plâtre. — Plâtre durci ou aluné. — Stuc à la chaux et stuc au plâtre.

CRAIE.

CHAUX. — Grand four à foyers extérieurs (*Compl.*).

MORTIER (par M. Mangon). Chaux. — Cuisson de la chaux. — Description des diverses espèces de fours. — Avantages des fours continus. — MATIÈRES QUI ENTRENT DANS LA COMPOSITION DES MORTIERS. — Chaux grasses. — Chaux hydrauliques. — Procédés pour analyser les calcaires. — Fourneau pour les cuire. — Cuisson de la chaux. — Cuisson en tas. — Fours intermittents. — Fours à feu continu.

Fabrication de la chaux hydraulique artificielle. — Recherches de Vicat. — Prix de revient.

Ciment. — Ciment anglais. — Ciment de Pouilly. — Sable. — Pouzzolanes. — Pouzzolanes artificielles. — Leur préparation. — Arènes.

Matières diverses.

FABRICATION ET EMPLOI DES MORTIERS ET BÉTONS. — Extinction de la chaux. — Procédé ordinaire. — Extinction par immersion. — Extinction spontanée. — Dosage des mortiers. — Fabrication des mortiers. — A bras. — Manége à roues. — Prix de fabrication du mètre cube. — Tonneau à mortier de M. Roger. — Prix de fabrication du mètre cube. — Emploi et solidification des mortiers. — Fabrication du béton. — A bras. — Couloir à béton de M. Krantz.

Emploi et coulage du béton. — Coulage sous l'eau.

MORTIER dit CIMENT-PORTLAND (par M. Mangon). — Composition des divers ciments à prise lente. — Choix des matériaux et fabrication du ciment Portland. — Expériences de résistance (*Compl.*).

INCRUSTATIONS (par M. Mallet). — Dépôts de certaines fontaines. — Utilisation de cette propriété pour obtenir des moulages. — Dépôts dans les conduites d'eau. — Moyen de les éviter.

INCRUSTATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. — Dangers d'explosion qui résultent de la présence des dépôts calcaires. — Moyens d'empêcher l'adhérence. — Emploi des pommes de terre. — Emploi de l'argile délayée. — Emploi de décoctions de bois de teinture. — Des alcalis. — Épuration préalable des eaux. — Appareils Wagner, Bérenger, etc. — Recherches de M. Cousté. — Déjecteur Dumery.

CHLORURES DÉCOLORANTS.

CHLORURE DE CHAUX. — Son emploi dans le blanchiment. — Sa préparation sur une grande échelle. — Chlorure de magnésie. — Chlorure de potasse. — Chlorure de soude.

VERRE (par M. Debette). — Historique. — Propriétés physiques du verre.

Choix et préparation des matières premières. — Matières siliceuses. — Potasse. — Soude. — Sulfate de soude. — Sel marin. — Chaux. — Alumine. — Baryte. — Oxyde de plomb. — Peroxyde de manganèse. — Arsenic.

Combustibles. — Fours. — Creusets.

Verre soluble de Fuchs.

VERRE A BOUTEILLES. — Composition. — Fours.

VERRE A VITRES. — Procédés de fabrication. — Verre à vitres cannelé. — Globes. — Cloches. — Tubes de verre. — Verre filé. — Verres de montres.

VERRE DE BOHÊME. — Composition. — Organisation de cette industrie en Bohême.

CRISTAL. — Composition. — Travail.

VERRES D'OPTIQUE. — Travaux de M. Guinand et de M. Bontemps. — Flint-glass. — Crown-glass.

VERRES COLORÉS. — Rouge. — Rubis. — Rouge ancien. — Bleu. — Jaune. — Vert, etc.

Verres opalins. — Hyalithe.

Verres filigranés. — Verres mosaïques.

Taille des verres. — Gravure par l'acide fluorhydrique. — Décoration des verres. — Dorure. — Argenture. — Platinure. — Incrustation. — Peinture.

VERRE A GLACES. — Glaces soufflées. — Glaces coulées. — Fabrication.

Étamage des glaces. — Argenture.

Méthode optique pour reconnaître le degré de trempe des verres, par M. Mascart.

IMITATION DES PIERRES PRÉCIEUSES. — Préparation du strass. — Strass incolore. — Topaze. — Rubis. — Émeraude. — Saphir. — Améthiste. — Grenat, etc.

VERRE MOULÉ. — Verres bombés. — Verres taillés au sable. — Verre trempé (*Complément*).

AVENTURINE. — AVENTURINE DE CHROME (*Compl.*).

SOUFFLAGE DU VERRE (par M. Mangon). — Lampe d'émailleur. — Couper les tubes. — Courber les tubes. — Fermer les tubes. — Souffler une boule. — Souder les tubes. — Fabrication d'un thermomètre. — D'un tube de Welter. — Filage du verre et des émaux. — Yeux artificiels. — Boules argentées.

ALUMINIUM. — Propriétés. — Préparation du sodium, — du chlorure d'aluminium. — Procédés de M. Deville (*Compl.*).

ALUMINE (Industrie de l'—).

SULFATE D'ALUMINE. — Au moyen de l'acide sulfurique et de l'argile. — Aluminate de soude.

ALUN. — Composition de l'alun. — Fabrication de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'alun au moyen de l'alunite. — Au moyen des schistes alumineux. — Préparation des schistes. — Lessivage. — Évaporation des eaux de lessivage. — Brevetage. — Cristallisation.

ARGILES. — Propriétés de l'argile. — Argiles kaolins. — Argiles plastiques. — Argiles smectiques ou terre à foulon. — Argiles figulines. — Argiles effervescentes ou marnes. — Argiles ocreuses. — Argiles légères.

ARGILE (par M. Salvetat). — Analyses. — Étude géologique des argiles et kaolins (*Compl.*).

MARNE.

OUTREMER (par M. Debette). — Outremer naturel. — Découverte de la fabrication de l'outremer artificiel. — Procédé de Pruckner.

OUTREMER. Rapport de M. Stass (*Compl.*).

BRIQUES. — Extraction et préparation de l'argile. — Travail à la main. — Rebattage. — Types principaux de machines à briques.

Procédés pour cuire les briques. — Cuisson en plein air. — Fours. — Four Hoffmann.

Briques légères. — Tuyaux de drainage (Voy. AGRICULTURE).

BRIQUES CREUSES (*Compl.*).

TUILES. — En terre molle. — En terre dure. — Machine à fabriquer les tuiles à emboîtement.

CREUSET. — Creusets de plombagine. — Creusets argileux. — Creusets poreux. — Creusets brasqués.

POTERIE (par M. Debette). — Composition générale des pâtes. — Préparation des pâtes. — Dessin et description des moulins de la manufacture de Sèvres. — Ressuage. — Pétrissage des pâtes.

Façonnage des pâtes. — Tour du potier. — Moules en plâtre. — Ébauchage. — Rachevage. — Calibrage. — Glaçures.

Cuisson des pâtes. — Fours à réverbère. — Fours à calandiers.

POTERIES A PATE TENDRE. — Terres cuites à surface mate. — Poteries lustrées, glaçure mince. — Poteries vernissées, glaçure plombifère. — Poteries émaillées, glaçure stannifère. — Manière de disposer des objets dans le four. — Cazettes.

POTERIES A PATE DURE OPAQUE. — Faïence fine à pâte incolore, glaçure vitro-plombique. — Plans d'une fabrique anglaise de faïence fine.

GRÈS-CÉRAME. — Pâte colorée, sans glaçure ou avec glaçure silico-alcaline.

POTERIE A PATE DURE TRANSLUCIDE. — Porcelaine dure. — Pâte kaolinique, glaçure feldspathique. — Encastage des pièces. — Encastage Regnier. — Durée de la cuisson. — Cuisson à la houille.

Boutons en porcelaine.

Porcelaine tendre. — Pâte marno-saline. — Composition des pâtes. — Glaçure vitro-plombique.

COLORATION ET DÉCORATION DES POTERIES. — Couleurs vitrifiables. — Préparation des diverses couleurs ou matières terreuses fixées pour un fondant vitreux.

Métaux à l'état métallique. — Lustres métalliques. — Posage des couleurs. — Posage par impression. — Cuisson des couleurs.

POTERIES (par M. Salvetat). — État présent de la fabrication. — Constitution des pâtes. — Leur préparation. — Façonnage. — Procédé de coulage. — Nouveaux procédés de cuisson à la houille. — Nouvelles fabrications : Parian, boutons, carreaux incrustés (*Compl.*).

DORURE SUR PORCELAINE. — Préparation du métal. — Application. — Procédé Rousseau. — Brunissage. — Lustres.

DÉCORATION CÉRAMIQUE (par M. Salvetat). — Oxydes métalliques. — Engobes. — Émaux. — Couleurs. — Métaux. — Lustres métalliques. — Préparation des divers fondants convenables pour chaque espèce de poterie (*Compl.*).

ARDOISE ÉMAILLÉE, de M. Magnus (*Compl.*).

FAIENCE INGERÇABLE AU FEU (par M. Barral). — Historique. — Composition des pâtes de faïence commune. — Causes des gerçures. — Méthode de M. Feilner de Berlin. — Fabrication de M. Pichenot de Paris. — Moyen d'obtenir des plaques d'épaisseur uniforme. — Composition de l'émail blanc ou coloré. — Procédé de M. Vogt pour obtenir des plaques portant des dessins de diverses couleurs.

ÉMERI.

Métaux proprement dits.

MINES. — *Coup d'œil statistique sur les principales mines du monde.*

1° Mines de formations antérieures au terrain houiller. — Mines des Cordillères, — des monts Alleghanys, — d'Espagne, — des Pyrénées, — du centre de la France, — de la Bretagne, — des Vosges, — du Hartz, — de l'Est de l'Allemagne, — de Hongrie, — de l'Oural, — de la Norwége, — de la Grande-Bretagne.

2° Mines des formations secondaires et tertiaires. — Bassins houillers de Glascow, New-Castle, Saint-Étienne, etc.

Mines de mercure, — de sel gemme.

3° Mines des terrains d'alluvion. — Minerais de fer. — Étain. — Pierres précieuses. — Or. — Platine.

MÉTALLURGIE (par M. Debette).

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS. — Laverie à gradins. — Tamis à secousses. — Patouillet. — Trommel. — Appareil de M. Carnall. — Concasseur. — Cylindres broyeurs. — Bocards. — Meules. — Caisses allemandes. — Tables dormantes. — Tables à toiles. — Tables à secousses. — Criblage à la cuve. — Crible à secousses.

CALCINATION, GRILLAGE. — Grillage en tas. — Grillage dans les fours.

FUSION ET AFFINAGE. — Hauts-fourneaux. — Demi-hauts-fourneaux. — Fourneaux à manche. — Fourneaux à réverbère. — Bas foyers à tuyère.

Liquation. — Coupellation. — Disposition des fourneaux de coupelle. — Sublimation. — Traitement par voie humide. — Amalgamation. — Traitement par les acides. — Traitement électro-chimique.

DOCIMASIE (par M. Debette). — Principes généraux.

OPÉRATIONS MÉCANIQUES. — Cassage. — Pulvérisation. — Tamisage. — Triage. — Lavage.

OPÉRATIONS CHIMIQUES. — Grillage. — Réduction. — Fusion. — Distillation.

FOURNEAUX D'ESSAI. — Fourneaux. — Fourneaux à réverbère. — Fourneaux à vent. — Forges.

RÉACTIFS POUR LA VOIE SÈCHE. — Réductifs. — Oxydants. — Désulfurants. — Sulfurants. — Fondants ou flux.

GANGUE.

MATTE.

MANGANÈSE (par M. Debette). — Propriétés du manganèse. — Composés qu'il forme avec l'oxygène. — Sels de manganèse.

Minerais. — Usages. — Essai des manganèses du commerce.

FER (par M. Debette). — Propriétés du fer. — Qualités et défauts des divers fers du commerce. — Minerais de fer. — Essais de ces minerais.

FABRICATION DE LA FONTE. — Hauts-fourneaux. — Machines soufflantes. — Dosage. — Produits. — Mise en feu. — Coulée. — Disposition pour moulage en première fusion. — Réparations des fourneaux. — Allures diverses.

Théorie de la fabrication de la fonte. — Conditions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

économiques de la production de la fonte en France. — Emploi de l'air chaud, — du bois vert ou desséché, — de l'anthracite et de la houille crue, — de la tourbe.

TRANSFORMATION DE LA FONTE EN FER FORGÉ. — Affinage à l'allemande. — Foyers. — Marteaux. — Méthode comtoise. — Conduite de l'affinage. — Méthode champenoise. — Méthode bourguignonne. — Théorie de l'affinage dans les feux d'affinerie. — Perfectionnements récents. — Emploi de l'air chaud. — Emploi du bois vert ou desséché. — Mazéage. — Méthode nivernaise.

MÉTHODE ANGLAISE. — Puddlage. — Par bouillonnement à l'eau. — Corroyage du fer puddlé au laminoir. — Prix de revient du fer.

EMPLOI DES FOURS A GAZ. — Construction de ces fours. — Leur emploi.

FABRICATION DES RAILS. — Formes des laminoirs. — Des scies pour mettre de longueur. — Fours pour réchauffage. — Emploi des fours à gaz. — Leur disposition à Audincourt.

FABRICATIONS DIVERSES. — Fers martinés. — Fers laminés. — Fer fendu. — Fer de riblons. — Fabrication du fil de fer.

Statistique de la production en France et en Europe.

FONDERIE DE FER. — (Voy. v^e^ SECTION).

FONTE MALLÉABLE. — Procédés. — Développement de cette industrie dans ces dernières années. — Résultats d'expériences de résistance des pièces en fonte malléable (*Compl.*).

FORGES CATALANES ET CORSES (par M. Debette). — Marteau. — Trompe. — Disposition du foyer. — Travail de la loupe. — Produite de l'usine. — Prix de revient du fer.

FOURS TOURNANTS. — Four à puddler de Danks.

PYRITE.

COLCOTAR.

ACIER (par M. Debette). — Acier naturel. — Acier de forge. — Méthode de l'Isère. — Méthode de Thuringe. — Méthode de Westphalie. — Méthode de Carinthie. — Acier de cémentation ou acier poule. — Acier fondu. — Wootz.

Acier puddlé. — Procédé Bessemer. — Four Siemens-Martin. — Fabrication de Krupp. — Travail de l'acier pour de très-grandes fabrications : roues et bandages pour chemins de fer, canons en acier fondu, etc.

DAMAS. — Analyse des travaux de l'ingénieur russe Anoçof. — Du fond. — Du reflet du damas. — Damas rayé. — Damas moiré. — Damas ondulé. — Damas réticulaire. — Damas chevronné.

Travail de la forge. — Façon des objets. — Trempe. — Affilage et polissage. — Décapage.

Alliages de MM. Bréant, Faraday, etc., analogues au damas.

ÉPONGES MÉTALLIQUES. — Procédé Chenot (*Compl.*).

CHROME.

CHROMATES.

COBALT (par M. Debette). — Combinaisons du cobalt. — Minerais de cobalt. — Extraction du cobalt. — Procédé allemand pour la préparation de l'oxyde de cobalt. — Statistique de la production du cobalt.

NICKEL (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages du nickel. — Ses oxydes. — Sels de Nickel. — Minerais. — Traitement.

ZINC (par M. Debette). — Propriétés physiques. — Oxydes de zinc. — Sels. — Alliages.

Minerais de zinc. — Essai des minerais de zinc.

Traitement métallurgique. — Fabrication du zinc métallique avec la calamine. — Méthode anglaise. — Méthode belge, prix de revient de 1,000 kilog. de zinc brut. — Méthode silésienne, prix de revient.

Fabrication du zinc métallique avec la blende.

Statistique de la production du zinc en Europe.

BLANC DE ZINC (par M. Debette). — Historique. — Fabrication du blanc de zinc. — Emplois du blanc de zinc. — Sa supériorité sur la céruse.

Gris de zinc. — Jaunes de zinc. — Verts de zinc.

Siccatif non plombeux.

CADMIUM (par M. Debette). — Propriétés du cadmium. — Ses composés. — Sa préparation.

ÉTAIN (par M. Debette). Propriétés de ce métal. — Ses composés. — Ses minerais. — Essai des minerais d'étain.

MÉTHODE SAXONNE. — Grillage des minerais. — Fonte. — Prix de revient.

MÉTHODE DE BOHÊME.

MÉTHODE DE CORNOUAILLES. — Fonte au fourneau à manche. — Fonte au fourneau à réverbère. — Raffinage. — Prix de revient.

Statistique de la production de l'étain.

ÉTAMAGE (par M. Barral). — Utilité de l'étamage, de l'application d'un métal en couche mince sur la surface d'un autre métal plus facilement altérable. — Du décapage. — Emploi du chlorure double de zinc et d'ammoniaque.

ÉTAMAGE DU CUIVRE. — Alliage Biberel.

ÉTAMAGE DE LA TOLE. — Décapage. — Disposition des bains successifs. — Raffinage des déchets d'étain. Des divers genres de moiré.

ÉTAMAGE AU PLOMB. — Procédé de MM. Rogers et Morewood.

ÉTAMAGE AU ZINC. — Ancienneté du procédé. — Description publiée par Malouin en 1742. — Procédé de Sorel, dit Galvanisation du fer.

ÉTAMAGE AU ZINC ET AU PLOMB. — Procédé Rabatel.

ÉTAMAGE DE LA FONTE. — Étamage de M. Budi. — Supériorité de l'émaillage de la fonte sur son étamage. — Description de cette fabrication.

ÉTAMAGE DES GLACES. — Emploi d'un amalgame d'étain. — Mode d'opérer.

ÉTAMAGE A L'ARGENT. Voy. VERRE.

FOTÉE D'ÉTAIN.

ÉMAIL. — Émail blanc. — Émaux de diverses couleurs. — Application de l'émail sur les métaux. — Lampe d'émailleur.

ÉMAILLAGE (par M. Salvetat). — Sur le fer et le cuivre. — Peinture sur pâte. — Couleurs diverses (*Compl.*).

PLOMB (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages. — Oxydes de plomb. — Sels.

Minerais de plomb. — Essai des matières plombeuses. — Essai par voie humide des matières renfermant du plomb.

Traitement métallurgique. — Méthode de Bleiberg. — Méthode du pays de Galles. — Méthode du Derbyshire. — Méthode de Bretagne. — Méthode écossaise. — Méthode silésienne. — Revivification des litharges.

Statistique de la production du plomb en Europe.

CÉRUSE. — Procédé hollandais. — Fusion du plomb. — Disposition des fosses. — Procédés salubres de décapage et de broyage de la céruse. — Procédé de M. Lefebvre de Lille. — Incorporation de la céruse et de l'huile.

Procédé de Clichy. — Perfectionnements qu'il a reçus.

MINIUM. — Composition du minium. — Description du fourneau à réverbère convenable pour sa préparation. — Oxydation du plomb. — Broyage du massicot. — Tamisage. — Lavage. — Dernière calcination. — Essai du minium.

BISMUTH (par M. Debette). — Propriétés du bismuth. — Ses alliages. — Oxydes du bismuth. — Traitement métallurgique.

ANTIMOINE (par M. Debette). — Liquation du mi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nerai. — Extraction du métal, — par le procédé d'Auvergne, — au four à réverbère.

Production de l'antimoine.

ÉMÉTIQUE.

TUNGSTÈNE.

CUIVRE (par M. Debette). — Combinaisons du cuivre. — Minerais de cuivre. — Méthodes pour en faire l'essai.

Dosage du cuivre par voie humide.

Traitement des minerais de première classe. — Méthode de Chessy.

Traitement des minerais de seconde classe. — Méthode du Hartz, — de la Hesse, — de l'Angleterre. — Recherches de M. Leplay.

Raffinage du cuivre noir. — Méthode anglaise. — Méthode de Chessy. — Méthode hongroise. — Raffinage au petit foyer. — Raffinage des alliages de cuivre. — Laminage du cuivre. — Statistique de la production du cuivre en Europe.

VERT DE SCHEELE.

VERT DE SCHWEINFURT.

CENDRES BLEUES.

ÉMERAUDE. — Vert émeraude de M. Guignet (*Compl.*).

BRONZE. — Bronze antique. — Bronze Keller. — Bronze des tam-tams. — Bronze pour bouches à feu. — Bronze pour la dorure.

BRONZE. — Fonte du bronze d'art (*Compl.*).

LAITON. — Variétés de laiton employées par l'industrie. — Fonte du laiton. — Fourneaux. — Dosages. — Emploi de la calamine. — Recuit.

MERCURE (par M. Debette). — Propriétés du mercure. — Ses composés. — Sels de mercure.

Minerais. — Essai des minerais de mercure.

Traitement métallurgique d'Almaden. — d'Idria. — Dans le duché de Deux-Ponts. — Statistique de la production.

VERMILLON. — Composition. — Procédé hollandais pour obtenir une couleur vive. — Préparation par voie humide.

ARGENT (par M. Debette). — Propriétés de l'argent.

Minerais d'argent. — Argent natif. — Argent sulfuré. — Argent rouge.

Cuivre gris argentifère. — Galène argentifère.

TRAITEMENT DES MINERAIS D'ARGENT. — Minerais d'argent proprement dits. — Amalgamation américaine. Amalgamation saxonne.

Minerais de plomb et d'argent. — Traitement par fusion et coupellation.

Affinage par cristallisation.

Traitement des minerais de cuivre et argent. — De plomb, cuivre et argent.

Traitement des minerais d'argent par le procédé électro-chimique.

Statistique de la production de l'argent.

ESSAI DES MATIÈRES ARGENTIFÈRES. — Fusion. — Scorification. — Coupellation. — Disposition des fourneaux de coupelle et conduite de l'opération.

ESSAI PAR VOIE HUMIDE. — Des alliages de cuivre et d'argent. — De la dissolution normale de sel marin. — Burette graduée. — Disposition des appareils.

ARGENTURE.

OR (par M. Debette). — Propriétés. — Alliages. — Oxydes. — Sels.

Minerais. — Or natif. — Alluvions.

Tellurures aurifères.

Traitement des minerais d'or. — Appareil des monts Ourals. — Méthode du Tyrol. — De la haute Hongrie. — Production de l'Australie et de la Californie. — Statistique de la production annuelle de l'or.

ESSAI DES MATIÈRES D'OR. — Touchaux. — Départ.

AFFINAGE.

DORURE (par M. Barral).

DORURE SUR MÉTAUX A L'AIDE DU MERCURE. — Préparation de l'amalgame d'or. — Préparation des bronzes. — Opération de la dorure. — Fourneau salubre de d'Arcet. — Mise en couleur.

DORURE PAR IMMERSION OU AU TREMPÉ. — Préparation du bain. — Préparation des bijoux. — Dorure. — Mise en couleur. — Comparaison avec la dorure au mercure.

DORURE A L'AIDE DE LA PILE (Voy. ÉLECTRICITÉ).

PLATINE (par M. Debette). — Propriétés. — Oxydes. — Sels. — Minerais de platine. — Traitement. — Alliages.

PLATINE (par M. Grandeau). — Procédés de MM. Deville et Debray (*Compl.*).

ALLIAGES (par M. Laboulaye).

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ALLIAGES. — Densité. — Dureté. — Élasticité. — Fusibilité. — Chaleur spécifique. — Chaleur latente.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES ALLIAGES. — Oxydation. — Action des acides.

PRÉPARATION DES ALLIAGES. — Par fonte des métaux. — Par réduction simultanée des oxydes.

MOULAGE DES ALLIAGES. — De la liquation.

Importance de l'ordre de combinaison des métaux composant les alliages élémentaires qui constituent l'alliage composé. — Explication des résultats les plus curieux de la pratique qui échappant à l'analyse chimique du composé, répondent à des résultats semblables à ceux qui se rencontrent dans la chimie organique.

ALLIAGES DIVERS. — ALLIAGES BINAIRES. — Des métaux cassants entre eux. — Des divers métaux avec les métaux cassants. — Alliages binaires des métaux ductiles entre eux et avec les métaux mous.

Expériences de Wertheim sur l'élasticité des alliages et celle des métaux qui les forment.

ALLIAGES MULTIPLES.

SOUDURES. — Application d'un métal sur un autre.

Des recherches à faire sur les alliages.

SOUDER (par M. Delbrück). Fer à souder. — Chalumeau aérhydrique.

Soudure autogène du plomb. — Importance de ce procédé pour les chambres de plomb.

SOUDURES des divers métaux.

Chimie organique.

La chimie des corps organisés transforme, en les dédoublant ou les combinant, les composés végétaux formés sous l'influence d'appareils délicats et surtout de la chaleur solaire. De là des composés variés, doués de propriétés spéciales.

ACÉTATES. — ACIDE ACÉTIQUE. — Acétate d'alumine. — Acétate de chaux. — Acétates de cuivre, verdet et vert-de-gris. — Acétates de fer. — Acétates de plomb. — Nouveau procédé de préparation des acétates.

ACIDE ACÉTIQUE. — De la fermentation acide. — 1° Vinaigre de vin. — Procédé Schutzenbach. — 2° Vinaigre de malt. — 3° Vinaigre de sucre.

Vinaigre radical.

Acide pyroligneux ou vinaigre de bois.

Acétimètre.

ACÉTONE.

ACIDE CITRIQUE, — FORMIQUE, — MALIQUE.

OXALIQUE (Acide). — Sa préparation avec la sciure de bois (*Compl.*).

BLANCHIMENT (par M. Salvetat). — Appareils de lessive à circulation. — Appareils à tremper. — Appareils à dégorger. — Appareils à essorer et à apprêter.

Décoloration des tissus. — Pratique du blanchiment.

Blanchiment des laines.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Blanchiment des soies.

BLANCHIMENT. — Procédé de M. P.-F. Didot (*Compl.*).

BLANCHISSAGE (par le même). — Lessivage et coulage. — Appareil à circulation de René Duvoir. — Appareil Bouillon et Muller. — Rinçage et essorage.

DÉGRAISSEUR (par M. Rouget de Lisle). — Action des principales substances sur les étoffes. — Réactifs propres à enlever les taches. — Méthodes pour rétablir les apprêts, les couleurs altérées.

PAPIER (par M. Hanriot). — Du chiffon. — Lessivage des chiffons. — Défilage. — Description de la pile. — Blanchiment du défilé. — Raffinage.

Colle animale. — Mode de l'appliquer sur la machine en Angleterre. — Colle végétale ou savon de résine.

Coloration des pâtes.

Dessin et description de la fabrication automatique du papier continu.

Cassés, rognures. — Salle d'apprêt.

Déchets. — Compteurs et Machines accessoires. — Coupeuses de chiffons. — Releveuses de pâte. — Régulateurs. — Épurateurs. — Sablières. — Rouleaux égoutteurs.

Calandres. — Machines à couper le papier en long et en travers. — Lisses.

Fabrication du papier à la main.

Historique. — Papyrus. — Papier du Japon.

Succédanés du chiffon. — Bois mécanique. — Bois chimique. — Paille. — Alfa.

AMIDON. — FÉCULE. — Procédé E. Martin pour séparer l'amidon et le gluten de la farine de céréales.

FÉCULE. — Lavage des tubercules. — Râpage. — Tamisage. — Lavage de la fécule brute. — Égouttage. — Dessiccation. — Blutage de la fécule.

Arrow-root. — Salep. — Sagou. — Tapioka.

FARINE. — Analyse de diverses farines. — Altération des farines. — Méthode Boland pour la reconnaître.

COLLE DE PATE.

SUCRE. — (par M. Basset). Propriétés et composition du sucre. — Culture des plantes saccharifères.

EXTRACTION DU SUCRE DE CANNES. — De la canne à sucre. — Sa composition. — Du moulin à exprimer le jus de la canne. — Rendement. — Clarification. — Cuite. — Cristallisation. — Sucre terré.

SUCRE DE BETTERAVES. — Variétés de betteraves. — Récolte de la betterave. — Emmagasinage. — Silos. — Analyse de la betterave. — Nettoyage. — Lavage. — Râpage. — Expression à la presse hydraulique. — Presses continues. — Défécation. — Évaporation. — Filtre Dumont. — Filtre Peyron. — Clarification. — Cuite. — Essais de la clairce. — Cuite dans le vide. — Dessins et description de l'appareil Derosne et Cail.

Fabrication du sucre de betterave par le procédé Schutzenbach. — Procédé Rousseau.

Sucre de sorgho. — Sucreries agricoles.

RAFFINAGE DU SUCRE. — Principes de l'opération. — Clairçage par force centrifuge. — Sucre candi.

Principaux procédés saccharimétriques. — Polarimètre.

GLUCOSE (par M. Knab). — Composition chimique. — Saccharification de la fécule. — Saturation. — Filtration sur le noir animal. — Première évaporation. — Seconde filtration. — Cuite du sirop. — Repos et refroidissement. — Cristallisation et clairçage. — Égouttage et séchage. — Comptes de fabrication et prix de revient.

GOMMES.

MANNE.

FERMENTATION. — Théorie de la fermentation de Liebig, — de Pasteur. — Des diverses espèces de fermentation.

INJECTION DES BOIS (par M. Adhémar). — Procédé Bréant. — Procédé Boucherie. — Appareil Légé-Fleury. — Emploi des sels de baryte (*Compl.*).

ALCOOL. — Sources économiques d'alcool fournies par le règne végétal. — Des transformations qui lui donnent naissance. — Synthèse de l'alcool (par M. Berthelot). — Des conditions économiques de la production industrielle.

ALCOOL MÉTHYLIQUE.

ALCOOLS (par M. Berthelot). — Famille des alcools polyatomiques.

ÉTHER. — Composition. — Propriétés de l'éther. — Préparation.

PYROXYLE (par M. L. Faucher). — Découverte. — Composition. — Décompositions spontanées. — Effets balistiques. — Pyroxyle Lenk. — Nitro-glycérine. — Dynamite (*Compl.*).

DIASTASE.

BIÈRE (par M. Knab). — Des matières premières.

PRÉPARATION DU MALT. — Mouillage. — Germination. — Dessiccation.

Concassage du malt.

DU BRASSAGE. — Cuisson de la bière. — Réfrigérants. — Des diverses espèces de bière.

Disposition d'une grande brasserie anglaise. — Figures et description des appareils. — De la fermentation basse. — De l'emploi de la drèche pour la nourriture du bétail.

BIÈRE DE MUNICH. — Théorie de sa fabrication, d'après Liebig.

VIN (par M. Curtel). — Espèces de vignes. — Vendange. — Foulage. — Composition du moût. — Fermentation du moût. — Des cuves ouvertes. — Des cuves fermées. — Décuvage. — Pressurage. — Mise en tonneau. — Fermentation lente dans les tonneaux. — Appareil Herpin. — Bondes hydrauliques.

Conservation des vins. — Travaux de M. Pasteur.

CIDRE. — Fabrication du cidre. — Maladies du cidre.

PAIN (par M. Knab). — De la fermentation panaire. — Du levain. — Du pétrissage. — Cuisson

Pain de gruau. — Pain de dextrine. — Pain viennois. — Pain de munition. — Biscuit. — Pain de seigle. — Pain de pommes de terre. — Pain de riz.

Des perfectionnements à apporter dans la fabrication du pain. — Pétrissage mécanique. — Pétrin-Fontaine. — Dessins et description du four aérotherme.

Pétrin Rolland. — Four à sole tournante.

De l'adultération du pain. — Moyens de la reconnaître.

TABAC (par M. Barral). — Travail des boucauts.

Fabrication des cigares.

Fabrication des rôles, — du tabac à fumer. — Fabrication du tabac en poudre. — Hachage. — Fermentation en masses. — Moulinage. — Tamisage. — Fermentation en caves. — Mise en paquets.

TÉRÉBENTHINE (par M. Mangon). — Térébenthine de Chio. — Térébenthine de Venise. — Térébenthine commune ou du pin. — Galipot.

Huile essentielle de térébenthine. — Colophane ou arcanson. — Poix résine ou brai sec. — Poix de Bourgogne. — Brai gras. — Poix noire. — Goudron. — Poix bâtarde.

CAMPHRE.

VERNIS (par Tripier-Devaux). — Définition des vernis. — Leur mode d'action. — Causes qui rendent les vernis plus ou moins siccatifs. — Causes qui concourent à rendre les vernis durables. — A quoi tient la coloration des vernis.

Vernis à l'éther sulfurique.

VERNIS A L'ALCOOL. — De la solution des matières résineuses dans l'alcool. — Manière d'opérer au bain-marie. — A feu nu. — Vernis divers. — Vernis de copal. — Vernis de gomme-laque et d'autres résines — Vernis pour carreaux d'appartement.

VERNIS A L'ESSENCE. — Vernis pour tableaux de prix,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de Tingry. — Préparation à froid. — Préparation à chaud. — Vernis à tableaux du commerce. — Vernis au vert. — Vernis couleur d'or. — Vernis à retoucher. — Vernis de goudron.

VERNIS GRAS. — Observations générales. — Substances qui entrent dans la composition des vernis gras. — L'huile se mélange, mais ne se combine pas avec le copal fondu.

Ustensiles d'une fabrique de vernis. — Matras. — Fourneaux. — Spatules. — Trépieds. — Entonnoirs.

Préparation de l'huile de lin. — Huile pour vernis. — Appareils pour l'oxydation des huiles. — Manière l'opérer.

Travail des vernis gras au copal demi-dur, au copal endre.

Vernis gras au succin.

Formules de divers vernis spéciaux.

CIRAGE.

CAOUTCHOUC. — Extraction du caoutchouc. — Sa lissolution dans les huiles essentielles.

Tissus imperméables. — Tissus élastiques en caoutchouc. — Vulcanisation du caoutchouc.

CAOUTCHOUC. — Déchiquetage ou pétrissage. — Vulcanisation. — Caoutchouc durci de M. Godyear (*Compl.*).

GUTTA-PERCHA.

GOMMES-RÉSINES. — Assa-fœtida. — Euphorbe. — Gomme-gutte. — Scammonée.

AMBRE.

GOMME AMMONIAQUE.

COPAL (Voy. VERNIS).

CANNELLE.

CAFÉ. — Des diverses espèces de café. — Cafetière circulation.

BAUMES.

BENJOIN.

CIRE.

CIRE A CACHETER.

HUILES (par M. Curtel).

HUILES GRASSES. — Propriétés. — Extraction de huile des graines oléagineuses. — Écrasage des raines. — Chauffage à feu nu ou à la vapeur. — Preière pression. — Second écrasage. — Nouveau chauffage. — Seconde pression. — Dessin et description un appareil perfectionné.

Épuration des huiles. — Appareil Grouvelle. — mploi des résidus. — Extraction de l'huile d'olive.

HUILES ESSENTIELLES. — Extraction par distillation. - Huile essentielle de térébenthine. — De citron. — ssence de rose, — de jasmin, etc.

GRAISSAGE (par M. Barral). — Graisses pour maines. — Recettes diverses. — Graisse pour wagons. - Graisse pour voitures. — Graisse noire. — Graisurs divers. — Dispositions pour graissage continu.

GRAISSAGE. — Essai des huiles. — Éprouvette ac-Naught. — Balance de M. Hirn (*Compl.*).

PARFUM. — Procédé d'extraction de M. Milon *ompl.*).

PARFUMERIE. — Pommades. — Eaux de senteur. - Eau de Cologne. — Pastilles du sérail. — Pâte d'aandes. — Crèmes ou pâtes liquides.

ESSENCES ARTIFICIELLES. — D'ananas. — de pommes. - d'amandes amères, etc. (*Compl.*).

SAVONS (Par E. Lormé). — Théorie de la fabricaon, d'après M. Chevreul.

Fabrication marseillaise. — Savons durs. — Préparation des lessives. — Saponification de l'huile. — elargage. — Coction sur lessive. — Savon blanc. — ıvon marbré.

Fabrication du Nord. — Savon de Windsor. — ıvon d'amandes. — Compositions d'un grand nombre savons.

SAVONS DE TOILETTE. — Travail mécanique des pâtes savon. — Machines pour l'exécuter.

ENCAUSTIQUE (par Tripier-Devaux). — Peinture encaustique. — Encaustique pour meubles. — Encaustique à la potasse. — Encaustique liquide. — Encaustique dure à l'essence.

QUINQUINA. — Espèces diverses. — Préparation de la quinine et des alcalis organiques.

Matières colorantes.

COULEURS MATÉRIELLES (par M. Rouget de Lisle). Couleurs solides. — Couleurs plus ou moins superflues. — Couleurs peu solides et cependant employées. — Couleurs nuisibles.

Préparation des diverses couleurs. — Blanc. — Jaune. — Rouge. — Bleu. — Terre de Sienne. — Vert, etc.

INDIGO.

ORSEILLE (par M. Mallet). — Emploi de l'orseille. — Historique. — Des lichens qui fournissent l'orseille. — Préparation de l'orseille. — Emploi de l'ammoniaque. — Prix de revient (V. art. TEINTURE.).

GARANCE. — Garance de Hollande. — Garance d'Alsace. — Garance d'Avignon. — Préparation de l'alizarine. — De la garancine. — De la colorine.

CARTHAME.

CARMIN.

BOIS DU BRÉSIL.

CAMPÊCHE.

GAUDE.

ROCOU.

COCHENILLE (Voy. TEINTURE).

FUCHSINE (Voy. TEINTURE).

EXTRAITS (par M. Rouget de Lisle). — Extraits des bois de teinture. — Division des bois. — Dessins et description des machines Valery. — Système Panay.

PRÉPARATION DES EXTRAITS. — Système Salleron. — Presse à vapeur de Rommerhausen. — Dispositions employées par M. Panay. — Appareil de M. Meissonnier. — Appareil de M. Besseyre. — Purification des extraits.

EXTRAITS PHARMACEUTIQUES. — Lavage et évaporation. — Filtre-presse. — Extraits alcooliques. — Extraits éthérés. — Extracteur à distillation continue de Payen.

ENCRE (par M. Rouget de Lisle).

ENCRE A ÉCRIRE. — Matières premières qui entrent dans la composition de l'encre. — Eau. — Corps renfermant du tannin. — Sels de fer. — Bois d'Inde. — Gomme et matières visqueuses. — Modes de préparation de l'encre. — Encres anglaises.

ENCRE DE CHINE. — Procédé chinois. — Préparation ordinaire.

ENCRES POUR MARQUER LE LINGE. — Encres anglaises. — Autres compositions.

ENCRES COLORÉES. — Rouges, — jaunes, — bleues, etc. — Encres sympathiques.

ENCRE LITHOGRAPHIQUE. — Procédé Crusel. — Procédé Lemercier.

ENCRE D'IMPRIMERIE. — Matières premières convenables. — Préparation du noir. — Cuisson du vernis. — Trituration. — Encre pour taille-douce.

Encre communicative pour copier les lettres. — Moyens d'écrire sur le verre et le zinc.

COLORATION ET CONSERVATION DES BOIS (par Paulin Désormeaux). — Abattage des bois. — Séchage.

COLORATION. — En rouge. — En bleu. — En jaune. — En vert. — En violet. — En noir.

Procédé Boucherie. — Expériences de l'auteur de l'article. — Dessin et description de son mode d'opérer. — Mode d'opérer de M. Boucherie pour un arbre sur pied.

TEINTURE (par M. Salvetat).

I. DES MATIÈRES TEXTILES dans leurs rapports avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les opérations de la teinture, au point de vue de l'importance de la production. — Coton. — Lin et chanvre. — Laine. — Soie.

II. Des mêmes matières au point de vue de leurs propriétés physiques et chimiques. — Fibres d'origine végétale. — Matières d'origine animale.

III. DES TISSUS destinés à la teinture.

IV. BLANCHIMENT (Voy. l'article spécial).

V. THÉORIE des phénomènes de teinture.

VI. DES PRÉPARATIONS GÉNÉRALES auxquelles on soumet les fibres en vue des opérations de la teinture.

VII. DES MATIÈRES COLORANTES considérées dans leur nature, leur origine, leur préparation, etc. — Action de l'air, — des réactifs. — Extraits.

VIII. DES SUBSTANCES TINCTORIALES et des principes colorables ou colorés qu'elles contiennent. — Classification de M. Chevreul : 1, Cochenille. 2, Kermès. 3, Lakelake. 4, Lake-dye. 5, Samadra indica. 6, Graine de grémil. 7, Garance, Alizarine artificielle. 8, Bois de Brésil. 9, Bois de santal. 10, Bois d'amaranthe. 11, Rouge de sorgho. 12, Peganum harmale. 13, Safranum. 14, Murexide. 15, Créosote. 16, Rouge d'aniline. 17, Orcanette. 18, Violet d'aniline. 19, 20, 21, Orseilles. 22, Pourpre française. 23, Indigo. 24, Carmin d'indigo. 25, Bois de Campêche. 26, Fleurs de mauve noire. 27, Vert des feuilles. 28. Vert du chardon. 29, Vert de Chine. 30, Quercitron. 31, Bois jaune. 32, Gaude. 33, Fustet. 34, Sarrasin. 35, Gardenia grandiflora. 36, Graine de Perse. 37, Curcuma. 38, Rocou. 39, Acide picrique. 40, Sambucus ebulus.

IX. DE LA TEINTURE proprement dite, considérée dans ses résultats généraux. — Couleurs simples. — Couleurs binaires. — Couleurs ternaires.

X. DE LA TEINTURE considérée sous le rapport de la stabilité des couleurs.

XI. DE LA TEINTURE considérée dans ses méthodes générales.

XII. DISPOSITIONS GÉNÉRALES D'UNE TEINTURERIE. — Description de nouvelles machines convenables pour les diverses opérations de la teinture.

XIII. DES PROCÉDÉS PRATIQUES D'UNE TEINTURERIE. — 1° Teinture en rouge pour les diverses substances qu'on peut employer, et pour tous les genres de lettres. — 2° Teinture en violet. — 3° Teinture en bleu. — 4° Teinture en vert. — 5° Teinture en jaune.

Couleurs petit teint. — Noir. — Gris. — Bronze, etc.

XIV. RAPPORTS DE LA TEINTURE AVEC L'IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

IMPRESSION SUR ÉTOFFES (Voy. 6e *Section*).

BOUSAGE. — Emploi de la bouse de vache dans l'impression des indiennes. — Composition des sels pour bousage, par lesquels on l'a remplacée.

Chimie animale.

SANG.

CRIN.

DÉPILATOIRE.

FIBRINE.

FIEL DE BŒUF. — Composition. — Purification. — Propriétés et usages.

OS.

IVOIRE.

NOIR ANIMAL. — Propriétés du noir animal. — Travaux de Bussy et de Payen. — Appareil à cylindres. — Appareils à marmites. — Revivification du noir.

BLEU DE PRUSSE ET PRUSSIATE DE POTASSE. — Prussiate jaune et prussiate orange. — Précipités qu'ils forment dans les dissolutions des sels métalliques et notamment des sels de fer.

Préparation du prussiate jaune. — Préparation du bleu de Prusse.

PRUSSIATES (par M. Mallet). — Fabrication avec des matières animales. — Expériences de M. Kuhlmann. — Expériences de M. Jacquemyns. — Procédé de M. Possoz.

BOUGIES STÉARIQUES. — Saponification par la chaux. — Pulvérisation des savons de chaux. — Décomposition de ces savons par l'acide sulfurique étendu. — Lavage des acides gras rendus libres. — Moulage et cristallisation des acides gras. — Découpage des masses cristallines. — Pressage à froid. — Pressage à chaud. — Épuration des acides. — Fonte et moulage des bougies. — Moules en fer. — Blanchiment, — polissage mécanique, — mise en paquet des bougies. — Fabrication par distillation.

SAVON (Voy. CHIMIE ORGANIQUE).

GLYCÉRINE. — Glycérocolle (*Compl.*).

GÉLATINE (par M. Ch. Knab). — Gélatine par les acides. — Conduite du travail. — Appareil Grenet. — Gélatine extraite des os par la vapeur. — Appareil d'Arcet. — Gélatine alimentaire. — Prix de revient. — Qualité nutritive de la gélatine.

COLLE FORTE. — Rendement en colle forte des principales substances animales. — Traitement de ces matières. — Dessiccation de la colle forte.

Extraction de la colle forte des os au moyen des acides.

FERMENTATION PUTRIDE.

ENGRAIS (Voy. 3e *Section*).

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES (Voy. 4e *Section*).

TANNAGE. — But du tannage. — Tannage des peaux destinées à donner des cuirs mous. — Trempage. — Pélanage. — Épilage. — Travail sur le chevalet. — Tannage.

Tannage des peaux destinées à fournir des cuirs forts.

Emploi de la soude. — Procédé Vauquelin.

Corroyage des cuirs. — Travail par machines. — Pilons, marguerite mécanique. — Presse à tannée, etc.

Cuirs de Russie. — Cuirs hongroyés. — Mégisserie. — Chamoiserie. — Maroquin.

TANNAGE (*Compl.*).

CUIRS VERNIS (par M. Mabrun). — Emploi des cuirs vernis. — Apprêtage de la peau. — Composition des apprêts. — Mode de les appliquer.

Vernissage. — Composition des cuirs vernis les plus estimés.

ADIPOCIRE.

ASTIGOTS.

BOYAUDERIE (d'après Labarraque).

DES BOYAUX INSUFFLÉS. — Dégraissage. — Retournage. — Fermentation putride. — Ratissage. — Lavage. — Insufflation. — Dessiccation. — Désinsufflation. — Aunage. — Soufrage. — Ployage.

BAUDRUCHE, — pour batteurs d'or.

DES CORDES A BOYAUX. — Cordes pour rémouleurs. — Cordes à raquettes. — Cordes à fouet. — Cordes d'archet. — Cordes pour les horlogers.

CORDES D'INSTRUMENTS (par M. Savaresse). — Causes de la supériorité des chanterelles de Naples. — Mode de préparation et choix des boyaux pour obtenir d'excellents résultats. — Cordes colorées. — Cordes recouvertes de cantine.

CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES. — Influence sur la fermentation, — de l'air, — de l'eau, — de la chaleur.

Dessiccation. — Salaison. — Immersion dans l'esprit de vin. — Emploi du sucre. — Emploi du froid. — Soustraction du contact de l'air ou procédé d'Appert. — Emploi de substances antiseptiques. — Fumée, Créosote. — Acide arsénieux. — Procédé Gannal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TROISIÈME SECTION.

BIOLOGIE INDUSTRIELLE. — AGRICULTURE.

Ce qui distingue le travail de l'Agriculture de tout autre travail industriel, c'est que l'effort de l'homme intervient dans la production d'une manière toute particulière; au lieu d'engendrer immédiatement le résultat cherché, il a pour seul effet de tout disposer pour que les *forces vitales*, la puissance qui fait que le corps vivant se développe dans un milieu convenable, ait son plein et entier effet, crée peu à peu et en quelque sorte d'elle-même le corps à obtenir.

Par suite, si les objets sur lesquels s'exerce le travail de l'homme, dans l'agriculture, l'élève les animaux, si les industries qui relèvent des sciences biologiques, sont en très-grand nombre, es procédés du travail humain qui intervient pour aider au développement des substances organisées, n'a pour objet que de les placer dans un milieu convenable.

C'est le point de vue auquel nous nous sommes placés dans cet ouvrage, c'est-à-dire que notre ut est de diriger scientifiquement le *travail* pour disposer le plus utilement possible les éléments ui concourent au développement utile des corps organisés.

AGRICULTURE (par M. Mangon).

I. STATISTIQUE AGRICOLE DE LA FRANCE. — 1° Production végétale. — 2° Animaux domestiques.

II. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE SCIENCE AGRICOLE. — Notions générales. — Terrains agricoles. — Composition chimique des terrains. — Procédés d'analyse. — Propriétés physiques des terres. — Hygroscopicité des terres. — Propriétés calorifiques. — Classification des terres arables.

Météorologie agricole. — Calorique. — Lumière. — Électricité. — Pression de l'air. — Des vents. — Hygrométrie. — Évaporation de l'eau. — Pluie dans divers pays.

III. AMÉNAGEMENT DES EAUX AU POINT DE VUE AGRICOLE. — Curage des cours d'eau. — Rigoles d'assainissement ouvertes.

Drainage ou assainissement au moyen de rigoles couvertes. — Immense utilité de cette pratique. — Historique. — Différents modes d'exécution des canaux de drainage. — Fabrication des tuyaux de drainage. — Des diverses machines d'Ainslie, de Brethon, de Sclosser. — Cuisson des tuyaux. — Pose des tuyaux au fond des tranchées. — Systèmes divers de drainage avec fascines, pierres, etc. — Profondeur et écartement des drains. — Pente des drains. — Exemples de drainage. — Drainage des sources. — Drainage vertical. — Volume d'eau entraînée par les drains. — Effets et théorie du drainage. — Résultats financiers des travaux de drainage.

Dessèchement. — Études préparatoires de toute opération de dessèchement. — Travaux de dessèchement — Dessèchement à l'aide de canaux d'écoulement. — Dessèchements des marais proprement dits. — Dessèchements hollandais. — Des moères françaises. — Des polders. — Dessèchement du lac de Harlem.

Puits forés et puisards absorbants.

Endiguement et défense des rives.

Irrigations. — Quantité d'eau par hectare employée aux irrigations au Nord et au Midi. — Moyen d'obtenir ces eaux pour l'irrigation. — Construction des réservoirs. — Déversoirs et prises d'eau. — Canaux et rigoles d'irrigation. — Machines à élever l'eau.

Emploi des eaux d'irrigation. — Par submersion. — Par déversement sur les terrains inclinés. — Sur les terrains disposés en ados. — Exemples d'irrigations. — Formation des prairies. — Exécution des travaux d'irrigation. — Limonages. — Eaux animalisées. — Pratique des irrigations. — Jardinages.

Exemples de grands travaux d'irrigation. — Barrage du Nil. — Campine belge.

V. ALIMENTATION VÉGÉTALE, — ENGRAIS ET AMENDEMENTS (Voy. ENGRAIS, NUTRITION DES VÉGÉTAUX).

VI. CULTURES. — ASSOLEMENTS.

Céréales. — Froment (variétés de). — Épeautre. — Seigle. — Orge. — Avoine. — Riz. — Sarrasin. — Maïs. — Maladies des céréales.

Légumineuses. — Haricots. — Fèves. — Pois. — Vesces.

Plantes fourragères. — Plantes des prairies permanentes. — Récolte des foins. — Prairies temporaires. — Luzerne. — Trèfle. — Sainfoin. — Spergule.

Plantes à racines alimentaires. — Pomme de terre. — Navet. — Carotte.

Cultures industrielles. — Plantes textiles. — Chanvre. Lin. Plantes oléifères. Colza. Cameline. Pavot.

Plantes tinctoriales. — Garance. — Pastel.

Des assolements. — Des divers systèmes à adopter dans les diverses circonstances de la pratique.

VII. ANIMAUX DOMESTIQUES. — Race bovine. — Race chevaline. — Race asine. — Race ovine. — Race porcine.

VIII. CONSTRUCTIONS RURALES. — Dispositions générales des bâtiments d'exploitation. — Étables. — Bergeries. — Porcheries. — Granges. — Greniers. — Fosse à fumier. — Laiterie.

NUTRITION DES VÉGÉTAUX (par M. P. Dehérain).

I. DE LA GERMINATION. — Influence de l'humidité, de la lumière et de la chaleur sur la germination. — 2. L'oxygène est nécessaire à la germination. — 3. Influence de la germination sur l'atmosphère ambiante. — 4. Des changements de poids que subissent les graines pendant la germination. — 5. Des modifications que subissent les principes immédiats pendant la germination.

II. ASSIMILATION DU CARBONE PAR LES VÉGÉTAUX. — 1. Expériences de Bonnet, de Priestley, d'Ingen-Housz, de Sennebier, de Saussure. — 2. Appareil employé pour observer la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles. — 3. Le volume d'oxygène dégagé par les feuilles est égal au volume d'acide carbonique disparu. — 4. Influence de la lumière sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles; action des deux côtés de la feuille. — Expériences inédites sur la respiration des plantes. — 5. Formation du glucose dans les végétaux.

III. ASSIMILATION DE L'AZOTE. — Présence des composés azotés dans les végétaux. — 2. Assimilation de l'azote à l'état de nitrates. — 3. Assimilation à l'état de sel ammoniacal. — 4. Assimilation de l'azote sous forme de matières ulmiques. — 5. Assimilation de l'azote à l'état libre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IV. Assimilation des substances minérales par les plantes. — 1. De l'état dans lequel se trouvent les substances minérales dans les plantes. — 2. Substances minérales déposées par évaporation. — 3. Matières minérales formant avec les principes immédiats des combinaisons définies.— 4. Combinaisons non définies. — 5. Anciennes hypothèses proposées pour expliquer la composition des cendres. — 6. Des phénomènes de diffusion. — 7. Explication de l'accumulation des principes combinés à l'état insoluble des végétaux. — 8. Assimilation dans les végétaux des phosphates et des bases. — 9. Accumulation dans les feuilles des substances solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure. — 10. Des faits encore inexpliqués par la théorie précédente. — 11. Sur l'influence des substances minérales sur le développement des végétaux et sur la théorie de la restitution.

V. Formation des principes immédiats dans les végétaux. — 1. Les hydrates de carbone. — 2. De l'absorption d'oxygène et de l'émission d'acide carbonique par les végétaux. — 3. Formation des acides végétaux. — 4. Tannin, matières grasses, résines. — 5. Formation des matières albuminoïdes, des bases organiques.

VI. Migration des principes immédiats dans les végétaux. — 1. De l'absorption de l'eau par les racines.— 2. De l'évaporation de l'eau par les feuilles. — 3. Eau évaporée par les cultures herbacées. — 4. Les rayons lumineux favorisent l'évaporation. — 5. Composition de la sève ascendante. — 6. Apparition de la chlorophylle dans les feuilles. — 7. Migration de l'acide phosphorique, des principes azotés, etc. — 8. Mécanisme de la migration dans les végétaux herbacés. — 9. De l'établissement des prairies naturelles. — 10. Métamorphoses des principes immédiats dans les plantes herbacées. — 11. Accumulation des matériaux formés par les grains. — 12. De l'accumulation des principes immédiats dans les racines. — 13. De la sève élaborée dans les végétaux ligneux. — 14. De la maturation des fruits; matières gélatineuses, gommoses, acides, sucre de canne, sucre interverti, etc.

Assolements. — Plantes à longue racine. — Leur utilité (*Compl.*).

Eaux (Aménagement des) — pour l'agriculture. — Enrichissement de la France par les irrigations. (*Comp.*).

Rigoles horizontales pour irrigations (par Polonceau).

Sources artificielles (par Bernard Palissy).

Barrages. — Barrage du Furens (*Compl.*).

Silos pour la conservation des grains.

Forêts.

Forêts de la France (*Compl.*).

Cocotier.

Riz.

Manioc.

Pommes de terre.

Chanvre.

Lin.

Instruments d'agriculture.

Instruments d'agriculture. — I. Instruments destinés à la préparation du sol. — *Instruments mus à bras d'homme.* — *Instruments mus par les animaux.* — 1. Charrue. — Éléments de la charrue. — Charrue Howard. — Charrue Grangé. — Charrue Valleraud. — 2. Scarificateurs, extirpateurs, buttoirs. — 3. Herses. — 4. Rouleaux. — *Instruments mus par la vapeur.* — Labourage à la vapeur, système de Fowler à une et à deux locomobiles. — Système de Howard.

II. Semoirs. — Semoirs à barillet. — Semoirs à cuillers. — Semoirs à brosses. — Semoirs à soupapes.

III. Instruments pour la récolte. — *Instruments mus à bras d'homme.* — *Instruments mus par les animaux.* — Faucheuse de Wood. — Moissonneuse de Mac-Cornick. — Moissonneuse de Burghess et Key.— Faneuses et râteaux.

IV. Instruments pour la préparation des produits dans les fermes. — Appareils pour l'application de la force motrice. — Manèges. — Locomobiles. — Battage des grains. — Machines à battre. — Batteur de Ransome.— Machine Duvoir.— 2. Machines à nettoyer les grains.— Tarare. — Trieur. — 3. Machines diverses : — Hache-paille.— Coupe-racines.— Concasseur.

Baratte. — Baratte normande.—Baratte des environs de Paris.—Baratte de Rouen.—Baratte de Sussex. — Baratte américaine. — Grande baratte de Clyburn.

Engrais.

Engrais (théorie de Liebig, — de M. Boussingault). — De l'azote que renferment les plantes. — Des engrais minéraux. — Tableaux d'analyses. — Engrais rendant à la terre ce que la plante enlève utilement.

Engrais azotés. — Fumier de ferme. — Fumier de cheval. — De vache. — De mouton. — Poudrette. — Procédé Salmon.— Débris d'animaux.— Broyeur d'os. — Coprolithes. — Chair musculaire. — Sang. — Os. — Substances minérales azotées. — Tangue. — Merl. — Suies. — Cendres. — Écobuage. — Substances végétales. — Engrais verts. — Végétaux divers.

Débris végétaux. — Terreau. — Tourbe. — Marc de raisin. — Pulpes. — Résidus des féculeries, — des fabriques de sucre de betterave.— Tableau général de la valeur comparative des engrais.

Engrais minéraux ou amendements. — Chaux. — Marne. — Cendres. — Sels. — Plâtre.

Transport des engrais.

Égouts. — Valeur agricole des eaux d'égout (Voy. 5e section, article Égouts.)

Désinfection (par M. Mallet). — Moyens de désinfecter l'air. — Emploi du chlore.

Désinfection des fosses d'aisances. — Importance de la question au double point de vue de la salubrité et de la valeur des engrais.

Emploi du sulfate de fer. — Emploi du charbon, procédé Salmon. — Système Huguin.

Vidanges. — Restitution au sol des éléments de sa fertilité. — Utilisation des eaux d'égout à des irrigations.—Leur clarification à l'aide du sulfate d'alumine (*Compl.*).

Animaux et produits animaux.

Nutrition des animaux (par M. A. Sanson).

De la nutrition en général. — Composition du sang. — Aliments. — Équivalents nutritifs. — Coefficient de digestibilité. — Condiments. — Boissons. — Préparation des aliments. — Composition des rations. — Proportion des matières azotées ou non azotées. — Distribution de la nourriture. — Respiration. — Circulation du sang. — Nutrition proprement dite.

Production du jeune bétail. — De la sélection comme moyen capital d'amélioration.— Théorie de la précocité.

Production du lait. — De l'engraissement de la vache laitière.

Production de la viande et de la graisse.— Des rations complémentaires.

Production de la laine. — Des laines d'Australie. — De la possibilité de produire des laines à aussi bas prix en France qu'en Australie.

Production de la force motrice. — Conversion de la chaleur en travail mécanique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ABEILLES.

CIRE.

LAIT. — Composition. — Altérations du lait. — falsifications. — Du lactomètre.

SOIE. — Production de la soie.

ÉDUCATION DES VERS A SOIE. — Moment de l'éclosion. — De la levée du ver. — Soins à donner aux vers. — eurs maladies. — De la montée du ver et du boisement. — Description de la magnanerie salubre de d'Arcet. — Maladies des vers. — Travaux de M. Pasteur.

CROISEMENT DES RACES (par M. Magne). — tilité, — avantage des croisements. — Règles du roisement des races. — Fixité des métis.

MOUTON (par M. Magne). — Importance des bonnes aces. — Moutons français à laine grossière. — Mou- ons français à laine commune. — Moutons français à aine intermédiaire. — Moutons à laine fine. — Mé- nos. — Moutons à laine soyeuse. — Moutons à laine stra-fine.

CHOIX DES MOUTONS. — Taille. — Tempérament. — ormes. — Qualités de la laine. — Avantages des bêtes ines à laine fine.

PORCHERIE (par M. A. Sanson). — Zoologie des ores. — Habitation. — Multiplication. — Alimenta- on des pores.

OISEAUX DE BASSE-COUR.

PISCICULTURE. — Découverte de Jacobi. — De emy, pêcheur des Vosges. — Appareil d'éclosion de . Coste. — Établissement d'Huningue. — Importance la question.

PÊCHE MARITIME. — De la production et de l'ali- entation des poissons de mer. — Lignes. — Chalut. rande pêche de Norwége (*Compl.*).

SANGSUES (élève des) (*Compl.*).

Industries agricoles.

Les premières transformations des produits agricoles ne ssortissent plus directement, en général, de la biologie, mais utôt de la mécanique ou de la chimie, suivant que la modifi- tion se rapporte à la nature du corps ou à son état physique. outefois, plusieurs de ces opérations sont assez simples pour ue le travail industriel se fasse toujours près de la ferme. est naturel de classer, comme on le fait habituellement, sous nom d'industries agricoles, un certain nombre d'entre elles.

BEURRE.

FROMAGE.

VIN (Voy. la IIe SECTION).

CIDRE (Voy. la IIe SECTION).

ALCOOL. — Fabrication de l'alcool à l'aide des grains, es pommes de terre, etc.

DISTILLATION DES BETTERAVES (par M. H. Man- on). — Procédé Champonnois. — Résultats ob- nus (*Compl.*).

BIÈRE (Voy. IIe SECTION. CHIMIE VÉGÉTALE).

SUCRE (Voy. IIe SECTION. CHIMIE VÉGÉTALE).

FÉCULE (FABRICATION DE LA) (par P. Grouvelle). — Description d'une féculerie perfectionnée annexée à ne exploitation agricole. — Silos. — Succession des pérations. — Drague. — Laveurs. — Râpes. — Tamis ylindriques à tambour fixe. — Décantage. — Lavage. — Étuve.

GLUTEN. — Description de la fabrication de gluten ranulé de M. Véron.

TABAC (par M. Barral). — Fabrication du Scafer- ati. — Du tabac à priser. — Méthodes employées ans les manufactures françaises.

MOULIN A BLÉ (Voy. IVe section).

RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE. — INCUBA- TION ARTIFICIELLE (par P. Grouvelle). — Méthode pratiquée en Égypte. — Recherches de Réaumur. — Travaux de Bonnemain. — Dessin et description de ses appareils. Conduite de l'incubation.

Incubation à l'aide de la chaleur des eaux minérales.

Couvoirs portatifs. — Couvoir de Lemare. — Couvoir de Sorel.

Hygiène de l'industrie.

Étude des moyens de parer aux dangers et d'éviter les inconvénients afférents à diverses fabrications. — D'utiliser les divers détritus au profit de l'agriculture, quand il y a lieu.

INSALUBRES (ARTS ET ÉTABLISSEMENTS) (par P. Grouvelle). — Législation française. — Classement des établissements en plusieurs classes. — Des principaux moyens d'assainissement.

1. Des distances qui doivent être observées entre les fabriques insalubres et les habitations. — Influence des vents régnants. — Polygone de d'Arcet.

PREMIÈRE CLASSE.

2. *Abattoirs et fondoirs de suif.* — Mégisseries. — Fourneaux pour la fonte du suif. — 3. *Savon.* — Appareil pour empêcher les savonniers de tomber dans les chaudières de cuite. — 4. *Acides sulfurique et chlorhydrique, et produits chimiques.* — Procédé Holker. — Nouveau système de M. Kuhlmann. — Emploi de la baryte. — Disposition en cascade. — 5. *Affinage d'or et d'argent.* — Dispositions d'ateliers. — Emploi du lait de chaux dans des tambours tournants successifs, et de longs tuyaux de plomb pour absorber les gaz acides. — 6. *Engrais.* — Emploi de substances désinfectantes.

DEUXIÈME CLASSE.

7. *Appareil salubre pour éteindre le coke dans les usines à gaz.* — Description d'un appareil qui a très-bien réussi. — 8. *Colle animale et gélatine.* — 9. *Buanderies et lavoirs.* — 10. *Fonderies de plomb.* — 11. *Travail du caoutchouc.* — Nécessité de précautions multiples. — 12. *Fulminate de mercure.* — 13. *Cuirs vernis.* — 14. *Galvanisation du fer.* — 15. *Fabrication du tabac.* — Innocuité des odeurs de tabac. — Fourneau de d'Arcet pour brûler les côtes de tabac.

TROISIÈME CLASSE.

16. *Amphithéâtres de dissection.* — Nécessité d'une ventilation énergique. — Tables de dissection ventilées, en fonte. — 17. *Exhumations.* — Emploi abondant des chlorures. — 18. *Brochage de livres.* — 19. *Dorure.* — Moyens de salubrité trouvés par d'Arcet pour la dorure au mercure. — Forge salubre. — Ramonage des cheminées de doreur. — Dorure galvanique. — 20. *Féculeries.* — 21. *Fabriques de fer-blanc.* — Disposition des creusets servant au travail sous des cheminées, appliquée par d'Arcet. — 22. *Laiterie.* — Conservation du lait. — Son alcalisation. — 23. *Vernis noir pour les ferrures.* — 24. *Clarification des eaux de rivière.* — Filtration. — Emploi de l'alun. — 25. *Assainissement des maisons.* — Observations d'asphyxies lentes causées par l'insalubrité des logements. — Séchage des bâtiments et des murs. — 26. *Extinction des feux de cheminée.* — 27. *Accidents causés par des vases culinaires en maillechort.* — Comparaison de cet alliage avec l'argent au second titre. — 28. *Accidents causés par des cornichons.* — Moyen facile de rencontrer la présence de sels de cuivre. — 29. *Emploi des balances de cuivre.* — 30. *Curage des égouts* (*Compl.*).

ÉQUARRISSAGE (par M. Valério). — Insalubrité de cette industrie. — Valeur qu'elle retire d'un cheval mort. — Description des opérations à l'abattoir salubre d'Aubervilliers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

QUATRIÈME SECTION.

MÉCANIQUE INDUSTRIELLE.

La mécanique industrielle fondée sur les lois du travail mécanique en général, qui conduisent à obtenir gratuitement les effets du travail humain par le seul jeu des forces de la nature, se définit habituellement la science du mouvement et des causes de mouvement qui peuvent agir sur les corps. D'après cette définition, on voit qu'elle comprend deux parties distinctes : celle qui se rapporte à la mécanique géométrique, à ce que Ampère a désigné sous le nom de CINÉMATIQUE, où le mouvement est considéré, quant à sa direction, à la figure géométrique du chemin parcouru, indépendamment de la grandeur des forces qui sont en jeu ; et la MÉCANIQUE PHYSIQUE, que l'on appelle généralement Mécanique appliquée, dans laquelle les théorèmes établis dans la Mécanique rationnelle viennent s'appliquer aux corps doués des propriétés que la physique a fait connaître.

Les divisions de la Mécanique industrielle, c'est-à-dire des connaissances qui guident pour l'application utile des forces aux corps, se déduisent de ces considérations. Elles comprennent :

1° La Cinématique, c'est-à-dire la théorie des mouvements des organes des machines, l'étude des systèmes où les mouvements importent plus que les forces. Les appareils d'horlogerie nous fournissent le type de systèmes de cette nature ;

2° La Mécanique physique ou appliquée comprenant l'analyse :

I. Des meilleures dispositions des récepteurs pour rendre utilisables les forces naturelles ;

II. De la résistance des matériaux et des systèmes convenables pour surmonter les résistances de cohésion qu'opposent les corps aux forces employées pour modifier leurs formes ;

III. Des outils et fabrications mécaniques obtenues par leur emploi ;

IV. Des systèmes destinés à produire le mouvement, à surmonter les résistances qui s'y opposent.

Cinématique.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE (par M. Laboulaye). — Nécessité de l'étude de la théorie des mécanismes. — Ce n'est qu'en étudiant les premiers organes des machines qu'on peut en saisir la composition. — Résultats de cette décomposition. — Guides du mouvement. — Division des machines en : — 1° Récepteurs. — 2° Organes de transformation de mouvement. — 3° Organes de modification de mouvement. — 4° Opérateurs.

ORGANES DE TRANSFORMATION DE MOUVEMENT. — Classification des mouvements élémentaires. — Pourquoi elle est simple et le nombre des premiers organes limité. — Rapports de vitesse de deux organes dépendants l'un de l'autre.

I. *Mouvement circulaire continu en circulaire continu.* — Rouleaux. — Courroies. — Chaînes. — Engrenages. — Roues elliptiques. — Roues d'angle. — Vis sans fin. — Fusée. — Joint universel, etc.

II. *Mouvement circulaire continu en rectiligne continu.* — Crémaillère. — Treuil. — Vis et écrou.

III. *Mouvement rectiligne continu en rectiligne continu.* — Plan incliné. — Poulies.

IV et V. *Mouvement circulaire continu en circulaire ou rectiligne alternatif.* — Bielle et manivelle. — Excentriques circulaires. — Excentriques en général. — Courbes en cœur. — Cames.

VI et VII. *Mouvement rectiligne continu en circulaire ou rectiligne alternatif.* — Encliquetages. — Rainures.

VIII. *Mouvement circulaire alternatif en circulaire alternatif.* — Leviers droits et coudés. — Roues dentées. — Cordes. — Mouvement de sonnette.

IX. *Mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif.* — Rainures. — Cordes. — Archet. — Articulations.

X. *Mouvement rectiligne alternatif en rectiligne alternatif.* — Cordes. — Articulations. — Losange.

XI. *Mouvement quelconque en mouvement d'après une courbe.* — Combinaisons de mouvements rectilignes et circulaires. — Pantographe.

GRAPHIQUES (REPRÉSENTATIONS) d'un phénomène mécanique. — Représentation graphique d'une fonction. — Tracés produits par les corps en mouvement. — Méthodes appliquées par M. Marey pour l'étude des corps vivants (*Compl.*).

COURROIES. — Dispositions diverses (*Compl.*).

COURROIES MÉTALLIQUES de grande longueur, système Hirn (*Compl.*).

COUSSINETS (par M. Dubied). — Des substances propres aux coussinets. — Forme des coussinets. — Coussinets à galets. — Leurs avantages et leurs défauts.

PIVOT. — TOURILLON. — GLISSIÈRE.

PARALLÉLOGRAMME de Watt (Voy. MACHINES A VAPEUR), — de Peaucellier.

BIELLE. — Transformation du mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif ou inversement par bielle et manivelle. — Représentation du travail de la bielle.

Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif par le même système. — Disposition de Girard. — Évaluation du frottement de la bielle. — Excentrique circulaire. — Frottement.

Mouvement circulaire continu en circulaire continu par bielles et manivelles. — Système Rouleaux.

Combinaisons des bielles et des leviers.

PLAN INCLINÉ. — Du frottement sur le plan incliné.

ENGRENAGES. — Théorie générale des engrenages (Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE). — Engrenages à coin de M. Minotto. — Engrenages à dents. — Tracé épicycloïdal. — Tracé de Willis. — Odontographe et table pour série de roues pouvant toutes engrener les unes avec les autres (*Compl.*).

ROUES DENTÉES (SYSTÈME DE). — Mode de con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

truction de roues montées sur canon en usage dans horlogerie. — Rapport de vitesse dans un système omposé de roues et de pignons. — Détermination du ombre de roues et du nombre des dents de ces roues our obtenir un rapport voulu de vitesse entre deux xes. — Cas où les deux termes du rapport sont des ombres premiers. — Méthode de Huyghens à l'aide es fractions continues. — Méthode de M. Brocot.

EXCENTRIQUES. — Leur construction suivant la i du mouvement à obtenir.

DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT) (par M. Laboulaye). - Définition des organes animés de ce mouvement ns les divers cas de transformation de mouvement.

RECTILIGNE EN RECTILIGNE. — Moufles.

CIRCULAIRE EN RECTILIGNE. — Guides à mouvement ectiligne. — Du mouvement rectiligne. — Du mouement circulaire. — Guides à mouvement circuire.

CIRCULAIRE EN CIRCULAIRE. — Des divers systèmes picycloïdaux. — Détermination des rapports de vitesse. - Premier système : — Mouche ou roue planétaire. — econd système : son application aux horloges. — Troième système : son application aux bancs à broches aux compteurs. — Quatrième système : son applicaon aux horloges à équation.

MOUVEMENTS ALTERNATIFS EN MOUVEMENTS ALTERNAFS. — Zigzag. — Parallélogramme de Watt. — Pallélogramme d'Olivier Evans.

COURBES ÉPICYCLOIDALES. — Famille indéfinie courbes qui peuvent être tracées par des systèmes ayant que les guides du mouvement circulaire *ompl.*).

JOINT UNIVERSEL (par Willis). — Historique. — apport des vitesses de rotation des deux axes. — n emploi pour tracer les cadrans solaires. — Moyen obtenir un rapport de vitesse constant.

GLISSIERE.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — ORGANES DE MODICATION DE MOUVEMENT. — *Organes de mise en mouvement.* — Poulie folle. — Embrayage. — Roues à dénte.

Organes servant à la régularisation du mouvement. — olants. — Frein. — Pendule conique. — Ressort dynamométrique de Poncelet. — Pendule.

Organes à réaction. — Ressort spiral. — Ressort en mes.

Organes d'arrêt. — Roue à rochet. — Échappement ancre, — à chevilles, — à recul, — à repos. — chappement libre.

HORLOGERIE (par M. Bréguet). — Du temps et de mesure. — Temps vrai et temps moyen. — Équaon du temps. — Détermination du midi vrai. — ipléiscope.

Histoire de l'horlogerie.

I. PUISSANCE MOTRICE. — Poids moteur des horloges. - Poids moufles. — Ressort moteur. — Fusée. — Des montoirs d'égalité.

II. RÉGULATEUR. — Pendule. — Durée des oscillaons. — De l'isochronisme. — Pendule cycloïdal. — u centre d'oscillation. — Suspension à ressort. — héorie de Laugier sur la force du ressort.

Compensation du pendule. — Pendule à grille. — ystème de Julien Leroy. — Pendule à mercure.

Régulateur à ressort spiral. — Formes de spiraux. - Théorie de M. Philips. — Longueur des spiraux. - Raquette. — Du balancier. — Suspension du balanier (*Extrait des manuscrits de A. Bréguet*).

De la compensation. — Lames compensatrices pour hronomètres. — Thermomètre métallique de Bréguet. Exécution des balanciers compensateurs à lames bi-métalliques. — Autres systèmes proposés.

III. ÉCHAPPEMENT. — 1° Échappement à recul, son racé. — 2° Échappement à repos. — Tracé de Graham. — Échappement à ancre pour pendules; id. pour montres. — Échappement à chevilles. — Échappement à cylindre, — son tracé. — Courbe des dents. — Échappement Dupleix. — 3° Échappements libres. — Principes de leur construction. — Observations sur ces échappements, par A. Bréguet. — Échappements à remontoirs et remontoirs d'égalité pour horloges. — Remontoir à ressort, pour pendules.

IV. ROUAGES. — Du mouvement circulaire. — Du rapport de vitesse constant. — Des engrenages. — Du nombre minimum d'ailes des pignons. — Nombre des dents des roues. — Exemples de calcul. — Rouage d'une horloge de huit jours, — d'une horloge d'un mois. — Épaisseur des dents. — Frottement.

V. DES APPAREILS D'HORLOGERIE AU POINT DE VUE MÉCANIQUE. — Frottements. — Chocs. — Pivots. — De l'huile. — Du régulateur et de l'isochronisme. — Des modèles à suivre. — Comparaison de pièces semblables.

VI. APPAREILS CHRONOMÉTRIQUES. — Des calibres. — Du compas de proportion.

1. *Régulateur astronomique* de Bréguet. — Disposition des rouages. — Description des diverses pièces.

Des sonneries. — Sonnerie à chaperon. — Sonnerie à râteau.

2. *Grosses horloges.* — Progrès modernes dans la construction et la disposition des pièces. — Sonnerie. — Éclairage du cadran.

3. *Pendules* pour l'usage civil.

4. *Montres.* — Montres à échappement à cylindre. — Calibres. — Montres sans clef. — Dispositions adoptées par la maison Bréguet. — Montres à répétition.

5. *Horloges électriques.* — Emploi de l'électricité comme moteur. — Transmission à distance. — Remise à l'heure.

CHRONOSCOPES. — Mesure de très-petites durées.

CHRONOMÈTRE (par Bréguet). — Utilité des chronomètres pour la navigation. — Du régulateur. — De l'échappement libre. — Du moteur. — Du rouage. — Du balancier compensateur. — Mode de construction et d'assemblage des pièces. — Observations du célèbre A. Bréguet.

CLEPSYDRES ou horloges d'eau (*Compl.*).

AUTOMATE. — De divers automates célèbres. — Automate de Vaucanson. — Description du célèbre mécanicien. — Mécanismes de plusieurs automates.

COMPTEURS.

CALCULER (MACHINES A) (par M. Laboulaye). — Machine de Pascal. — Machine du docteur Roth. — Arithmaurel. — Arithmomètre de M. Thomas.

MACHINES GRAPHIQUES. — Règle logarithmique. — Arithmoplanimètre de M. Lalanne.

MACHINES A CALCULER. — Description de la machine de Ch. Babbage. — De celle de MM. Scheutz, de Stockholm (*Compl.*).

MACHINE A ÉQUATIONS. — Théorie de M. Stamm, basée sur les propriétés du planimètre. — Des limites de la puissance de ces machines. — Du tracé des courbes, seconde face de la question. — Courbes que l'on peut tracer avec la règle et le compas (*Compl.*).

PLANIMÈTRE. — Du problème de la mesure des surfaces par procédés mécaniques. — Planimètre à cône d'Oppikofer, — à plateau de Gonella.

PLANIMÈTRE POLAIRE D'AMSLER. — Description et mode d'opérer. — Théorie.

PLANIMÈTRE BEUVIÈRE. — Subdivision de la figure en bandes. — Transformation des triangles terminaux en rectangles équivalents. — Manière d'opérer.

TOURS COMPOSÉS. — Tour à équipages différentiels. — Tour excentrique. — Modèles de décorations obtenues. — Tour ovale. — Tour à guillocher. — Tour à portrait. — Machines à graver, — à sculpter (*Compl.*).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Filature et tissage.

L'industrie si importante qui a pour but principal la fabrication des étoffes, a un caractère dominant qui doit la faire ranger dans la cinématique. Elle se propose la solution du problème de disposer les éléments sur lesquels on opère, dans un ordre déterminé. On parallélise les fibres de forme allongée, on les égalise par étirage et doublage, enfin on les réunit par torsion pour obtenir les fils. L'entrelacement de ces fils donne naissance aux tissus de tout genre. C'est sur ces méthodes appliquées aux diverses matières textiles, modifiées dans les différents cas en raison de la nature des fibres et de la nature de l'étoffe à produire, que reposent les grandes industries de la filature et du tissage, industries qui ont reçu un immense développement dans tous les pays civilisés, puisqu'elles comprennent la fabrication de tous les tissus consommés en si grande quantité pour la confection des vêtements et les usages de l'économie domestique.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — ORGANES DE DISPOSITION. — *En ligne droite.* — Cardes. — Peignes. — Étirage. — Cylindres cannelés.

En hélice. — Broche.

Entrelacement. — Marches. — Lisses. — Navettes.

Organes classificateurs. — Cartons et cylindre de la Jacquart. — Tambour.

PEIGNEUSE HEILMANN. — Importance de cette machine. — Description détaillée (*Compl.*).

ROUET A FILER (*Compl.*).

CABLES ET CORDES. — Filature du chanvre. — Fil de caret.

COMMETTAGE DES FILS. — Travail à la main. — Machines à commettre.

CABLES EN FIL DE FER.

CABLES ET CORDES (*Compl.*).

ÉPISSURE.

NŒUDS.

COTON. — Des diverses espèces de cotons. — Sawgin. — Nettoyage du coton. — Batteur éplucheur et étaleur. — Cardes. — Débourreuse. — Étirage. — Tordage. — Banc à broches à mouvement différentiel. — Métier en fin. — Mull-Jenny. — Principes du self-acting.

LIN. — Culture du lin. — Rouissage. — Rouissage par procédé chimique. — Macquage ou broyage. — Coupage du chanvre. — Peignage. — Peigneuse Girard. — Autres peigneuses.

Cardage des étoupes. — Étalage. — Filage en gros. — Filage à sec. — Filage à l'eau chaude. — Filature des étoupes.

BROCHE différentielle de M. F. Durand (*Compl.*).

JUTE (par M. Frichot). — Filaments du *corchorus* de l'Inde. — Sa préparation. — Peignage. — Cardage. — Comparaison de sa filature avec celle du chanvre. — Importance de l'industrie du jute.

RETORDAGE.

LAINES. — Emploi industriel des laines, selon leur nature.

LAINES PEIGNÉES. — Désuintage. — Battage. — Peignage à la main. — Peigneuse Collier. — Peigneuse Heilmann. — Peigneuse Holden. — Premier étirage. — Filage en gros. — Filage en fin au Mull-Jenny.

LAINES CARDÉES. — Désuintage. — Battage. — Graissage. — Cardage. — Filage. — Description des anciens métiers. — Mull-Jenny.

FABRICATION DES DRAPS. — Foulage. — Foulon ordinaire. — Foulon anglais. — Machines Valery et Lacroix. — Apprêt. — Lainage ou garnissage. — Tondage. — Tondeuse Collier. — Tondeuse l'oupart.

APPRÊTS. — Apprêt à la chaleur et à la vapeur.

DRAPS-FEUTRES. — Dessin et description des machines inventées pour cette fabrication. — Défauts du produit. — Tapis. — Fils feutrés.

FIL DE LAINE FLOCHE (par M. Rouget de Lisle). — Qualités que doit posséder le fil de laine pour la broderie en tapisserie. — Choix de la laine. — Manière d'apprêter la laine peignée.

CHAPEAUX.

CHAPEAUX DE FEUTRE. — Secrétage des poils. — Arçonnage. — Foulage. — Mise en forme. — Apprêt. — Machines américaines pour fabrication mécanique.

Chapeaux de soie. — Chapeaux mécaniques. — Chapeaux de paille.

SOIE. — Production de la soie. — Longueur et disposition du fil d'un cocon. — Composition d'un cocon. — Consommation de la soie en France.

TIRAGE DE LA SOIE DU COCON. — Tour Bourcier. — Tour Robinet. — Tour Locatelli.

MOULINAGE DE LA SOIE. — Moulin rond. — Moulin ovale. — Moulin à dévider. — Dévidoir de Guilléni. — Condition des soies.

CORDONNET. — Description du métier à cordonnet. — Mouvements combinés des bobines qui portent les fils

BONNETERIE. — Des divers objets qui se fabriquent en tricot. — Description des diverses pièces qui entrent dans le métier à tricoter. — Tricot à côtes. — Métier circulaire. — Métier rectiligne automatique à divisions multiples.

TISSAGE (par Alcan). — Notions générales de tissage. — Classification des tissus.

Ourdissage. — Pliage et montage. — Encollage et parage. — Mouillage des trames.

Armures. — Armures fond de toile ou taffetas. — Armure Batavia ou croisée. — Armure sergée. — Armure satin.

Velours. — Gazes.

Tissus façonnés. — Mise en carte.

Métier du tisserand. — Métier à cylindres. — Métier à bosses. — Métier mécanique. — Métier à la tire. — Note de Piobert sur l'histoire des métiers à tisser les étoffes façonnées.

Métier à la Jacquart, son principe. — Montage de la Jacquart. — Emponpages. — Moquettes. — Tissus brochés.

Dispositions générales des principaux tissus. — Étoffes pour meubles. — Étoffes pour gilets, etc.

Tissage à hautes lisses. — Montage de la chaîne. — Exécution du travail.

Travail des tapis veloutés.

DENTELLE (*Compl.*).

CORSETS TISSÉS (*Compl.*).

MACHINES A COUDRE, d'après Willis. — 1° Machines à coudre dont l'aiguille passe entièrement à travers l'étoffe. — 2° Machines à coudre avec un fil produisant le point de chaînette. — 3° Machines à coudre avec deux fils produisant le point de navette. — 4° Machines à coudre avec deux fils produisant un double point de chaînette. — Description détaillée de la machine à navette.

FILETS. — Machine Pecqueur pour fabriquer mécaniquement les filets de pêche.

BATTANT-BROCHEUR.

CACHEMIRE. — Introduction du cachemire en France. — Mode de fabrication du châle de l'Inde. — Du cachemire français.

BRODERIE (par M. Rouget de Lisle). — Des diverses sortes de broderies. — Point de broderie. — Broderie en tapisserie. — Broderie en velours. — Métiers à broder. — Machine à broder de Heilmann.

TULLE. — Description du tulle. — Mode de fabrication. — Bobine plate. — Barre du métier à tulle. — Mouvement des bobines (*Compl.*).

PLIAGE DES PAPIERS IMPRIMÉS.

PLIAGE DES ÉTOFFES. — Machine à mètrer de M. Mannier de Vesserling. — Avantages qu'offre cette machine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

I. Génération du travail mécanique. — Récepteurs.

ARTS MÉCANIQUES (par Diderot).

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX MACHINES. — Définition des machines. — Travail des forces. — Expression et mesure du travail. — Principe de la transmission du travail. — Équation des forces vives.

De l'établissement des machines industrielles.

DYNAMOMÈTRE. — Facteurs du travail, effort et chemin parcouru. — Ressorts. — Chemin parcouru par un style. — Relèvement des courbes. — Manivelle dynamométrique. — Dynamomètre à compteur. — Dynamomètre de rotation, — à style, — à compteur. — Dynamomètre américain. — Nouveau compteur par engrenages.

Indicateur de Watt perfectionné.

DYNAMOMÈTRE chromatique de Wertheim.

FREIN DE PRONY.

TRAVAIL UTILE. — Résultats d'expériences sur le travail produit par les moteurs animés. — Prix de revient du travail du cheval, — du bœuf. — Prix du travail par machines à vapeur, — par roues hydrauliques. — Travail consommé par les principales fabrications mécaniques.

TRANSMISSION du travail (*Compl.*).

TRAVAIL MÉCANIQUE (SOURCES DE). — De l'épuisement des mines de houille (*Compl.*).

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. (FORMES DES RÉCEPTEURS.)

MOTEURS ANIMÉS. — Force de l'homme. — Action réduite par la force des bras. — Par le poids du corps. — Force des animaux. — Manége.

PESANTEUR. — *Des solides.* — *Des liquides.* — Balance d'eau. — Balancier. — Roues motrices. — (Voy. HYDRAULIQUE). — Machine à colonne d'eau.

INERTIE. — *Des liquides.* — *De l'air.* — Moulin à vent.

MOTEURS SECONDAIRES. — Pression atmosphérique. — Ressorts. — Contre-poids.

CHALEUR. — Élévation d'un liquide par l'action directe de la vapeur. — Machines rotatives. — Machines à vapeur à corps de pompe et piston.

MOULIN A VENT. — Description. — Système A. Durand. — Système Bernard.

HYDRAULIQUE (par M. Debette). — Lois de l'écoulement de l'eau contenue dans un réservoir. — Des eaux courantes. — Des canaux. — Des rivières. — Lois du mouvement de l'eau dans des tuyaux de conduite. — Jaugeage des distributions d'eau. — Cuvette de jauge et de distribution de la machine de Marly.

DE L'EAU EMPLOYÉE COMME MOTEUR. — Balance d'eau. — Machine à colonne d'eau. — Roues à augets. — Roues à aubes planes. — Roue Poncelet. — Roues de côté. — Roues à aubes courbes. — Turbines. — Turbine Fourneyron. — Turbine Jonval. — Hydropneumatisation. — Turbine Girard. — Turbine Thomas, prenant l'eau par-dessous. — Roues à couloirs. — Roues à réaction.

BÉLIER HYDRAULIQUE. — Construction de Montgolfier. — Perfectionnements de M. Bollée.

JAUGEAGE. — Compteur hydraulique de MM. Loup et Kock (*Compl.*).

ACCUMULATEUR (Voy. PRESSE HYDRAULIQUE et AIR COMPRIMÉ).

COURS D'EAU. — Utilisation au profit de l'industrie de la pente des cours d'eau. — Projets pour la Seine à Paris. — Projet d'Arago. — Barrage de Suresnes.

RÉGULATEUR. — A air de Molinié, de Larivière. — Modérateur à boules, de Watt. — Parabolique. — A bras croisés, — à contre-poids, de Foucault. — Régulateurs isochrones à ailettes.

Production du travail par la chaleur.

MACHINE A VAPEUR (historique et notions générales). — Héron d'Alexandrie. — Vitruve. — Branca. — Salomon de Caus. — Papin. — Machine de Savery. — Machine de Newcomen. — Machine de Watt, à simple effet, — à double effet. — Brevets de Watt. — Emploi de la détente. — Machines de Wolf. — Machines oscillantes. — Machines rotatives.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR (Voy. 1re SECTION, PHYSIQUE).

AIR CHAUD (MACHINES A —). — Comment l'échauffement des gaz engendre du travail. — Action directe. — Détente. — Travail produit par la détente d'un gaz dont la température reste constante. — Cycle de S. Carnot. — Formule de Poisson. — Travail produit par la détente d'un gaz sans réchauffement extérieur, par consommation de chaleur interne.

Des divers systèmes de machines à air chaud. — Machine de R. Stirling. — Machine d'Ericson. — Domestic-engine d'Ericson. — Machine Vilcox. — Machine Belou. — Machine Niepce. — Machine Lenoir. — Machine Otto. — Machine à gaz ammoniac. — Machine à poudre à canon. — Artillerie (*Compl.*).

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE) (par M. Laboulaye). — Lois physiques qui servent de base à la théorie, admise jusqu'à ce jour, de la machine à vapeur.

CALCUL DU TRAVAIL. — Travail de la vapeur à pression pleine. — Travail dû à la détente. — Quantité de travail par unité de chaleur. — Nécessité de corriger les résultats obtenus en tenant compte des éléments négligés. — Chaleur absorbée par la détente.

Nécessité d'un coefficient déterminé par expérience. — Emploi de l'indicateur de Watt.

Actions des parois du cylindre. — Théorie des enveloppes. — Enveloppes à circulation.

MACHINES A VAPEUR COMBINÉES. — Avantages illusoires de cette invention.

Machines à vapeur et à air.

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE PHYSIQUE). — Méthode fournie par la théorie mécanique de la chaleur pour l'évaluation du travail par la mesure de la chaleur consommée pour l'engendrer.

État initial. — Formation de la vapeur. — Tensions de la vapeur d'eau saturée, aux diverses températures. — Volume de cette vapeur. — Chaleur dépensée.

État final. — Chaleur restant dans la vapeur.

Machine à vapeur. — 1. Action directe. — 2. Condensation de la vapeur. — 3. Détente de la vapeur saturée. — Calcul du travail total.

Réchauffement direct de la vapeur. — Vapeur surchauffée (*Compl.*).

MACHINES A VAPEUR ROTATIVES. — Leur peu d'utilité. — Machine de Thompson, — de Behrens, — de Pecqueur. — Disc-engine. — Turbines à grande vitesse et à cascade. — Système de Girard (*Compl.*).

DÉTENTE (par M. Debette). — Du recouvrement du tiroir. — Système Farcot pour la détente variable. — Système Meyer pour locomotives. — Détente Trésel.

AVANCE DU TIROIR. — Rapport de Lamé sur un travail de Clapeyron.

GAZ LIQUÉFIÉS (MACHINE A) (par M. Ch. Laboulaye). — Machine à gaz carbonique par Brunel. — A gaz ammoniaque. — Fausseté du principe sur lequel ces machines sont fondées; avec peu de chaleur, on ne peut engendrer que peu de travail mécanique.

ARTILLERIE. — Production de travail mécanique par explosion.

EXPLOSION (MACHINES A). — Machine Brown. — Système Selligue proposé pour la propulsion directe des bateaux. — Erreur commise par nombre d'inventeurs.

(Voir MACHINES A AIR CHAUD.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2. Résistances à la déformation.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE (Opérateurs).

PRESSION. — Presses à vis. — A excentriques. — Hydraulique. — Banc à tirer. — Découpoir. — Marteaux. — Laminoir. — Meules.

DIVISION. — Limes. — Meules de grès. — Ciseau. — Machines à planer. — Scies. — Cisailles.

Tour. — Alésoir. — Filière. — Taraud.

RÉSISTANCE DES SOLIDES (par M. Laboulaye). — Structure des corps. — De la ténacité et de l'élasticité. — Résistance des prismes aux allongements, aux compressions. — Coefficient d'élasticité. — Résultats d'expériences pour les divers corps.

Rupture par extension. — Appareils d'essai.

Des fers durs et des fers doux. — Résistance des métaux à l'écrasement. — Influence de la durée de l'action sur la résistance.

Résistance des pierres, des briques. — Résistance des bois. — Résistance à des actions transversales. — Résistance des cordes et courroies.

Formes des solides produits lors de l'écrasement des corps durs. — Corps malléables. — Écoulement des solides. — Expériences de M. Tresca.

Emploi de la pression.

PRESSES. — Presse à levier. — Presse à vis. — Presse à cylindres. — Presse à excentriques. — Pressoir Mabille. — Pressoir Semain. — Presse à coin. — Presse hydraulique. — Accumulateur de Sir W. Armstrong.

PRESSE ANTI-FRICTION de M. Dick, de Philadelphie (*Compl.*).

TUYAUX DE PLOMB. — Fabrication par la presse hydraulique (*Compl.*).

BANC-A-TIRER. — Pinces. — Filière simple. — Filière composée. — Précautions à prendre pour un bon travail. — Exécution de profils variés. — Banc à emboutir. — Tubes-Cordes.

FILIÈRES EN PIERRES FINES (par M. Garapon). — Perçage de la pierre. — Forme du trou. — Tréfilerie des métaux précieux.

LAMINOIR.

FORGE. — Machine à forger de Ryder.

CALANDRE.

GAUFRAGE.

APPRÊT DES ÉTOFFES. — Emploi de la pression hydraulique et du caoutchouc. — Appareil de M. Mathias (*Compl.*).

Appareils agissant avec choc.

CHOC. — Emploi des effets produits par les chocs dans diverses opérations industrielles. — Sonnettes pour enfoncer les pilotis.

DÉCOUPOIR (par M. Dubied). — Couteau ou emporte-pièce. — Piston et lunette. — Emploi du marteau ou du balancier pour découper. — Fabrication des écrous au découpoir.

BROYER (art de) — Classification des substances qu'on réduit en poussière. — Influence des procédés employés sur la forme des particules des corps, et leur manière de se comporter dans divers emplois. — Pilons. — Concasseurs. — Cylindres. — Meules. — Des grilles. — Des blutoirs. — Pulvérisation des bois de teinture.

MOULIN A BLÉ (par M. H. Mangon). — Historique. — Mouture économique. — Mouture américaine ou à l'anglaise. — Mouture à gruaux.

Disposition générale d'un moulin. — Appareils de nettoyage. — Emotteur. — Nettoyeur. — Cylindre cribleur. — Mouillage. — Cylindres comprimeurs. — Meules. — Outils pour le rhabillage des meules. — Disposition des meules. — Beffroi. — Récipient à boulange. — Râteau refroidisseur. — Bluterie. — Appareils accessoires.

Moulins portatifs.

Prix d'établissement des moulins. — Force motrice par paire de meules.

Importance de l'industrie de la mouture du blé dans un pays tel que la France.

BALANCIER mû mécaniquement. — Disposition de M. Cheret.

MARTEAU A VAPEUR. — Marteau-pilon mu par action directe de la vapeur. — Disposition de l'appareil.

PILOTIS, PIEUX A VIS. — Sonnette mue par machine à vapeur de M. Bower, — de M. Janvier. — Pilon à vapeur de Nasmyth. — Prix de revient comparatif. — Pieux à vis (*Compl.*).

PERFORATEURS mécaniques. — Leur emploi dans les mines (*Compl.*).

SONDAGE, SONDE (par M. Dobette).

SONDAGE AVEC SONDE ORDINAIRE A TIGE RIGIDE. — Composition d'une sonde. — Tête. — Tiges. — Outils. — Clef de retenue, — de relevée. — Tourne-à-gauche. — Caracole. — Tire-bourre. — Cloche à écrou. — Accrocheur à pinces de Kind.

Manœuvre de la sonde. — Engins. — Exemples de vitesse de sondage.

Glaisage et tubage des trous.

Division de la tige en deux parties. — Tiges en bois. — Déclic de Kind.

SONDAGE A LA CORDE. — Sondage chinois. — Système Jobard. — Système de M. Goulet-Collet.

SONDAGE AVEC TIGE RIGIDE CREUSE. — Procédé Fauvelle.

3. Outils et fabrications mécaniques.

Outils tranchants.

OUTILS. — Forme des tranchants. — Angle d'incidence. — De tranchant. — Meule de Whithworth.

OUTILS COUPANTS d'après Poncelet (*Compl.*).

DIAMANT. — Ses propriétés en raison des formes des arêtes (*Compl.*).

MACHINES-OUTILS pour le travail des métaux. — Considérations générales sur les machines-outils.

I. TOUR. — Tour proprement dit. — Support à chariot. — Tour à double-outil. — Grand tour d'atelier, — pour roues de locomotives.

II. Tour à fileter les vis.

III. Machines à percer. — Machine radiale de Fairbairn.

IV. Machines à fraiser. — Emploi des engrenages elliptiques. — Meules en émeri.

V. Machine à tailler les roues dentées. — Système de MM. Bréguet et Boquillon.

VI. Machine à tarauder de Whithwort. — Machine à tarauder de Sellers.

VII. Machines à raboter, à planer. — Petite machine à vis. — Machine de Whithworth à retour accéléré. — Grandes machines à outil fixe, à chariot porte-outil mobile.

VIII. Machines à mortaiser.

IX. Étaux limeurs universels.

MACHINES-OUTILS pour le travail du bois. (Voy. *Menuiserie.*

PERCER. — *Outils pour percer les tôles.* — Découpoir. — *Outils pour percer le bois.* — Vrille. — Vilebrequin. — Mèches. — Mèches anglaises. — *Outils pour les métaux.* — Forets. — Machine à percer. — Grande machine de Whithwort.

RABOT (par P. Désormaux). — Espèces de rabots. — Construction. — Semelles en fonte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

LIME. — Des divers genres de limes. — Choix de l'acier. — Forgeage des limes. — Dressage. — Taille. — Trempe des limes. — Céments divers.

DIVISION DES ROUES D'ENGRENAGE (par M. Mathieu). — Division à la main. — Machine à diviser. — Plate-forme. — Porte-outil. — Fraise.

Division des plates-formes. — Emploi de la vis sans fin. — Diviseur universel de Decoster. — Fraise de Decoster pour tailler les dents.

CISAILLES. — Cisailles à la main. — Construction des grosses cisailles. — Cisailles circulaires.

HACHE.

FRAISE.

TOUR (par M. Dubied). — Tour à pointes. — Manière de monter une pièce sur le tour.

Tour en l'air.

Tour à pointes à engrenages. — Tour à plateau. — Mandrins. — Tour parallèle et à chariot.

Forme des outils. — Vitesse du tour suivant la nature des substances travaillées.

TOUR A PORTRAIT. — (Voy. TOURS COMPOSÉS. CINÉMATIQUE).

ALÉSOIR (par M. Dubied). — Alésoir à la main. — Alésoir automatique vertical. — Défauts des alésoirs horizontaux.

TARAUD (par M. Dubied). — Tarauds cylindriques. — Tarauds coniques. — Tarauds triangulaires. — Tarauds polygonaux. — Tarauds à saillies rapportées.

Construction des tarauds à métaux.

Tarauds à bois.

FILIÈRE (par M. Dubied).

FILIÈRES SIMPLES. — Leur mode d'action. — Leur fabrication.

FILIÈRES DOUBLES. — Forme du fût. — Forme des coussinets. — Filières à trois coussinets.

Machine à fileter et à tarauder.

Filières à bois.

VIS. — Propriétés. — Frottements. — Tour à fileter. — Table de systèmes d'engrenages pour tour à fileter les vis.

Travail du bois.

SCIERIE MÉCANIQUE (par M. Mangon). — Scieries mouvement alternatif. — Scieries qui s'établissent dans les forêts. — Dessins et description de la scierie perfectionnée de M. E. Philippe.

Scieries à placage. — Scieries pour les jantes des roues.

Scie à ruban de M. Perrin. — Scies circulaires. — Dessins et description de ces scies.

Renseignements généraux. — Lame de la scie. — Voie. — Quantité de travail mécanique que les scieries consomment par unité de surface de sciage.

POULIES. — Propriété des poulies. — Moufle. — Poulie différentielle de Weston.

Système de fabrication mécanique de I. Brunel. — Machine à percer les poulies. — Machine pour donner les formes. — Machines à mortaiser et à entailler les gorges des poulies.

POULIES. — Complément des machines de Brunel (*Compl.*).

MENUISERIE (par E. Baude). — Machines-outils pour le travail du bois. — Machine de M. Garand pour trancher les placages. — Machines à planer, — à rainures et languettes, — à faire les tenons et les mortaises. — Lambris. — Portes. — Chassis (*Compl.*).

CHARRONNAGE. — Emploi des bois, — du fer et de l'acier. — Machines employées (*Compl.*).

PLACAGE (Voy. 5e *Section*).

Fabrications mécaniques.

AIGUILLES. — Coupage du fil d'acier. — Redressage. — Aiguisage. — Perçage. — Polissage. — Triage.

ÉPINGLE. — Redressement du fil. — Empointage. — Découpage. — Tortillement des têtes. — Couper les têtes. — Recuire les têtes. — Frapper les têtes. — Décaper les épingles. — Les blanchir. — Polissage. — Vannage. — Piquage des papiers.

HAMEÇONS. — Fabrication anglaise.

CARDES. — Machine à bouter les cardes.

CLOUS. — Clous forgés. — Travail du cloutier. — Fabrication semblable par procédé mécanique. — Pointes de Paris. — Machine à pointes.

AGRAFES (*Compl.*).

FAUX. — Fabrication de la Styrie. — Faucille. — Faux flamande. — Faux à râteau.

ANCRE. — Fabrication et dimensions.

CABLES EN FER. — Choix du fer. — Forme des mailles. — Fabrication par le procédé Brunton. — Placement des étançons.

ARMES A FEU. — Forgeage des canons, nouveaux procédés. — Forage. — Carabinage. — Dispositions des appareils à percussion. — Batterie. — Système Fontenau. — Carabines Delvigne. — Balles cylindro-ogivales.

Armes se chargeant par la culasse. — Fusil Lefaucheux. — Fusil Robert. — Fusil prussien. — Chassepot, — à cartouche métallique obturatrice. — Werder. — Remington. — Martiny, etc.

BOUCHES A FEU (par M. Laboulaye). — Longueur d'âme en proportion des vitesses à imprimer aux projectiles. — Des métaux convenables pour la fabrication des bouches à feu. — Canons en bronze. — Canons en fonte. — Canons en fer. — Canons en fer et en fonte. — Description de la fonte des canons. — Canon en acier. — Du forage et du travail mécanique.

REVOLVER de Colt, — d'Adam, — de Devisme, — de Lefaucheux (*Compl.*).

CLINQUANT. — Fabrication du clinquant. — Clinquant blanc. — Clinquant rouge. — Clinquant bleu.

BATTEUR D'OR. — Description des opérations successives. — Battage mécanique.

BOUTONS. — Boutons à un trou, — à plusieurs trous. — Boutons moulés. — Boutons fondus. — Boutons découpés. — Boutons métalliques. — Boutons en pâte céramique.

CLOUS DE TAPISSIER. — Leur fabrication par machines (*Compl.*).

CHAUSSURES A VIS (*Compl.*). — Importance de l'industrie de la chaussure. — Forme des vis les plus convenables. — Des diverses machines employées. — Description de nouvelles machines. — Résultats constatés (*Compl.*).

POUDREUSE (*Compl.*).

PLUMES MÉTALLIQUES.

ESTAMPAGE. — Base de plusieurs fabrications.

CUIVRES ESTAMPÉS. — Des moules. — De la percussion par une masse de plomb. — Emploi de l'eau pour faire venir les parties les plus fines.

CAPSULES FULMINANTES. — Procédés mécaniques inventés par Tardy. — Découpage. — Sassage. — Chargement.

CARTOUCHES MÉTALLIQUES. — Théorie. — Cartouche Boxer. — Progrès accomplis.

MOULURES. — Machine de Roberts (de Manchester), pour faire des moulures en feuilles métalliques.

PAPIER MACHÉ (Objets en) (*Compl.*).

CHAUDRONNERIE. — PETITE CHAUDRONNERIE. — Retreinte au marteau. — GROSSE CHAUDRONNERIE (par A. Barrault). — Machines mues par l'action directe de la vapeur, de M. Lemaître. — Machine à découper. — Machine à percer. — Machine à cintrer. — Des rivets. — Machine à river de Fairbairn.

RIVER. — Machines à river par pression hydraulique.

FER BATTU. — Ustensiles en fer embouti et étamé. — Importance et avenir de cette fabrication. — Méthodes de travail.

MONNAIE. — Historique. — De la fonte des métaux. — Machine à couler les lingots de Bolton. — La-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

minage. — Étirage. — Recuit. — Découpage des flans. — Décapage. — Monnayage au balancier. — Système à air raréfié de la Monnaie de Londres. — Dessin et description de la presse de Munich. — Pèse-monnaie.

BIJOUTIER-JOAILLIER (art du). — Métaux employés. — Moulage. — Laminage. — Estampage. — Gravure. — Des soudures.

Montage des pierres par sertis-ure.

Mise en couleur.

ORFÉVRERIE (par M. Barral).

JOAILLERIE. — Dessin d'un bijou. — Découpage. — Dé à emboutir. — Bouterolle. — Mise en ciment des pierres. — Sertissure. — Soudures. — Monture des roses.

BIJOUTERIE. — De l'or employé en bijouterie. — Catégories diverses de bijouterie.

Bijouterie d'art. — Modelage. — Moulage. — Soudure. — Dérochage. — Polissage. — Mise en couleur. — Assemblage.

Bijouterie de haute fantaisie. — Description de la fabrication d'un bracelet.

Bijouterie de consommation à bon modèle. — Bijouterie en plein. — Bijouterie en creux. — Filigrane. — Exécution du filigrane. — Description des procédés suivis dans l'atelier de MM. Christofle et Ce.

Bijouterie de corail. — Mise en œuvre des matières à faire les camées. — Bijouterie en mosaïque. — Emploi des perles. — Perles de roses de Turquie. — Bijouterie de deuil. — Bijou doublé et bijou doré.

ORFÉVRERIE proprement dite. — Du véritable but de l'orfévrerie. — Des divers styles d'orfévrerie. — Des nielles. — Procédé de MM. Mention et Wagner. — De l'emploi des émaux. — Quantités d'argent employées dans l'orfévrerie. — Soudures de l'orfévrerie d'art. — De la vaisselle plate et montée. — De la fabrication des couverts.

Dessins et description de la fabrication des couverts, par procédé mécanique.

PLAQUÉ. — Historique. — Fabrication des feuilles de plaqué. — Travail par la retreinte, — par l'estampage. — Bordures en argent.

Plaqué sur fer. — Orfévrerie de cuivre. — Maillechort.

SERRURERIE (par M. Curtel). — Forge. — Soufflet. — Étaux. — Machines à percer.

Serrurier en bâtiments. — Des ouvrages en fonte. — Des gros fers. — Des objets de quincaillerie. — Des releveurs de fer.

Serrures simples. — Dessins et description des principales serrures à combinaisons. — Serrure de Bramah.

Serrurier en voitures. — Fabrication des ressorts. — Des essieux.

SERRURERIE. — Serrures à secret. — Garnitures mobiles, par M. E. Baude (*Compl.*).

COUTELLERIE. — Nature spéciale de cette fabrication. — Succession des opérations.

TUYAU. — Tuyaux en bois. — Tuyaux en terre cuite, — en grès. — Tuyaux en verre.

Tuyaux en plomb, par pression, à la presse hydraulique (*Compl.*).

En fer. — Soudés et étirés à chaud.

Tuyaux en zinc. — Tuyaux en cuivre. — Tuyaux en fonte. — Tuyaux en tôle.

Tuyaux en tôle et bitume. — Description complète de la fabrication des tuyaux Chameroy. — Avantages qu'offrent ces tuyaux.

CRAYONS. — Fabrication de Conté. — De la plombagine. — Insertion de la mine dans le bois. — Fabrication par machines. — Crayons à dessin. — Pour le pastel. — Composition de la pâte. — Moulin pour sa préparation. — Four pour la cuisson.

CHOCOLAT. — Des diverses espèces de cacaos. — Moulin pour le broyage du cacao et la préparation du chocolat.

ROTATION. — Emploi de la rotation pour pulvériser les substances fusibles (*Compl.*).

LIÉGE (par Jobard). — Du chêne-liége. — Fabrication des bouchons à la main. — Dessin et description de la fabrication mécanique de M. Moreau.

LAPIDAIRE (art du). — Tour du lapidaire. — Outils. — Tailles diverses des pierres. — Manière de les fixer.

POLISSAGE mécanique des glaces (*Compl.*).

Construction de machines.

CONSTRUCTION DE MACHINES (par Faure). — De l'organisation générale d'un grand atelier de construction.

FONDERIE. — Fours à réverbère — Cubilots. — Ateliers de moulage, — de menuiserie de modèles.

ATELIERS DE FORGEAGE. — Ateliers de forgeage à la main. — Atelier pour le forgeage mécanique.

ATELIERS POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX A FROID. — Cisailles. — Travail de la lime. — Machine à percer. — Tours. — Alésoirs. — Machines à raboter. — Machines à mortaiser, — à diviser, — à tarauder. — Ajustage et montage.

CLEF (par Paulin-Désormeaux). — Clef carrée. — Clef fendue. — Clef à goujons. — Clef à pincettes. — Clef anglaise perfectionnée.

MACHINE A VAPEUR (par Julien). — *Construction.* — Assemblage de deux pièces fixes, — d'une pièce fixe et d'une pièce mobile, — de deux pièces mobiles.

PIÈCES GÉNÉRALES DES MACHINES. — Boulons et écrous. — Charnières. — Douilles. — Tés. — Tourillons. — Chapes. — Clavettes. — Supports — Leviers. — Stuffing-box. — Poulies. — Décomposition des pièces en séries.

CHAUDIÈRES A VAPEUR. — Vaporisation. — Fourneaux. — Générateurs. — Appareils de sûreté. — Tuyaux distributeurs. — Tiroirs et soupapes.

MACHINE. — Cylindres ou corps de pompe. — Pistons et garnitures. — Tiges. — Guides. — Balanciers. — Bielles. — Manivelles. — Volants.

Condensation. — Détermination des dimensions de la pompe à eau et à air. — Alimentation. — Bâti.

Tableau des dimensions proportionnelles des parties des machines à vapeur depuis 1 jusqu'à 500 chevaux.

DES DIVERS GENRES DE MACHINES A VAPEUR. — Machines d'épuisement. — Machines de Cornouailles. — Marteau-pilon. — Machines pour soufflerie. — Machines à balancier, — à bielles, — horizontales, Farcot, Corliss, — oscillantes. — Machines à cylindre tournant, — à pilon — à tige-bielle, — à bielle en retour.

VOLANT. — Poids pour les divers cas de la pratique (*Compl.*).

RÉGLEMENTATION DES TIROIRS.

TIROIRS équilibrés pour machines à vapeur. — Système de M. Jobin. — Systèmes divers. (*Compl.*).

4. Production de mouvement.

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE. — *Résistance due à la pesanteur.* — Élévation des solides. — Treuil. — Grue. — Élévation des liquides. — Chapelet. — Tympan. — Vis d'Archimède. — Roues à palettes planes. — Pompes.

Résistances d'inertie et résistances passives. — Traction. — Roues. — Rouleaux. — Roues à palettes. — Hélices. — Ventilateur. — Machine soufflante.

RÉSISTANCES PASSIVES. — Frottement : — travaux de Parent, — proportionnel à la pression, — indépendant de l'étendue des surfaces en contact et de la vitesse du mouvement.

Roideur des cordes. — Disposition de Wren.

ROULEAUX pour diminuer le frottement des axes (*Compl.*).

MARCHE. — Mécanisme de la marche (*Compl.*).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POMPE (par M. Debette). — Pompes domestiques. — Pompes rotatives. — Pompes des prêtres. — Pompes d'épuisement. — Pompes Letestu. — Pompes à plongeur. — Soupapes de Cornouailles. — Pompes centrifuges d'Appold, de Neut et Dumont. — Pompes à incendie. — Pompes à incendie à vapeur.

ESSORER. — Moyens de sécher les étoffes mouillées. — Égouttage et tordage. — Compression entre deux cylindres. — Essoreuse à force centrifuge. — Turbine des sucreries.

CHÈVRE. — Son emploi dans les constructions. — Treuil et sapine.

GRUE. — Grues à simple volée, à arbre tournant, — à arbre fixe. — Grues à double volée. — Grues du quai d'Orsay. — Grues à transmission. — Grue Arnoux. — Grue-balance, système George. — Grues à vapeur.

CABESTAN pour câbles en chanvre, — à couronnes pour chaînes-câbles. — Cabestans à gorge. — Guindeaux.

TREUIL HYDRAULIQUE (par M. Mangon). — Treuils et grues, système Armstrong, employés dans les docks de l'Angleterre. — Grue à volée mobile.

VOITURES. — Théorie des roues. — Écuanteur des roues. — Des essieux et des boîtes. — Boîtes Patent. — Ressorts. — Train. — Voitures à six roues de Sidney Smith. — Attelage. — Omnibus parisien.

VÉLOCIPÈDE (*Compl.*).

BALAYEUSE A CHEVAL (*Compl.*).

LOCOMOTIVE (par M. Debette). — Historique. — État actuel. — Appareil de vaporisation. — Nouvelles dispositions. — Appareil moteur. — Coulisse Stephenson. — Bâti ou châssis. — Tender.

Divers systèmes de machines. — Machines à voyageurs. — Machines mixtes. — Machines-Crampton. — Machines à marchandises. — Machines-tender. — Machines américaines. — Machines pour les fortes rampes. — Machines Engerth. — Grosses locomotives du Nord à 12 roues et 4 cylindres.

Locomotives pour tramways.

FREIN — à frottement. — Emploi de la contre-vapeur pour arrêter les trains. — Envoi de l'eau seule dans les cylindres. (*Compl.*).

RÉSISTANCE DES FLUIDES (par M. Laboulaye).

Liquides. — Cohésion. — Frottement. — Résistance directe. — Tourbillons. — Explication nouvelle des gerbes verticales. — Effet des proues. — Effet des poupes.

Air. — Formule de M. Thibaut. — Application aux voiles des navires.

LOCH. — Loch sondeur (*Compl.*).

VOILURE. — Action des voiles. — Détermination du centre de voilure.

BATEAU A VAPEUR (par M. Laboulaye).

Forme du bateau. — Avant du bateau. — Moyen de diminuer la résistance qu'il rencontre. — Flancs et arrière du bateau.

Bateaux a roues. — Machines oscillantes. — Machines à balancier. — Machines à action directe. — De la pression. — De la détente et de l'avance du tiroir. — Des diverses formes des chandières. — Des réservoirs de la vapeur. — Roues à aubes. — Travail utile des roues à aubes.

Rapport de la dépense de travail aux accroissements de vitesse du bateau.

Bateaux a hélices. — Chaudières. — Condenseur à surfaces. — Machine à action directe, — à à fourreau. — Compound.

Hélices. — Système Smith. — Système Rennie. — Système Ericson.

Bateau a vapeur (par M. Laboulaye). — Bateaux à roues. — Navires à hélice. — Navires mixtes dans lesquels la vapeur est l'auxiliaire de la voile. — Nouveau système de navire à vapeur sans autre appareil de propulsion que la voile. — Bateau à roues et à hélice, projet de transatlantique à grande vitesse (*Compl.*).

HÉLICE. — Son grand intérêt pour la marine. — Difficultés de la détermination de ses éléments. — 1° Nombre de bras. — Hélice Sollier. — Hélice Mangin. — 2° Diamètre de l'hélice. — 3° Aire de l'hélice. — 4° Pas et recul.

Calcul des effets de l'hélice.

Discussion des effets de l'hélice, quand on fait varier les divers termes qui entrent dans leur expression (*Compl.*).

GOUVERNAIL. — Installation et charpente. — Barres et drosses (*Compl.*).

INJECTEUR Giffard pour l'alimentation des chaudières à vapeur. — Sa théorie (*Compl.*).

ASPIRATEUR AUTOMOTEUR de M. Legat (*Compl.*).

NAVIGATION (par V. Dumoulin). — Disposition de la voilure d'un vaisseau pour le faire avancer dans une direction oblique sur celle du vent. — De la dérive. — Du loch. — Du patent-log des Anglais. — Loch de M. Clément. — Manière de se diriger en mer. — De la loxodromie. — Louvoyages. — Principales routes de navigation.

BOULETS TOURNANTS ou **CANONS RAYÉS.** — L'accroissement de portée des carabines nécessitait un progrès semblable pour les canons. — Difficultés spéciales résultant de la dureté des projectiles. — Système Cavalli. — Système Gras. — Système du capitaine Tamisier, première solution théorique complète. — Effets des tenons en zinc. — Inconvénients pratiques de la disposition proposée par l'inventeur. — Rapport de la commission de La Fère. — Tenons fixes.

Boulets Armstrong à enveloppe de plomb. — Système adopté par la marine (*Compl.*).

PROJECTILES. — Forme des projectiles. — Projectiles formés par la réunion des projectiles d'un petit calibre.

Pénétration des projectiles, — dans le roc, — les maçonneries, — les terres, — dans les métaux. — Déformation et rupture des projectiles.

Déformation des balles de plomb.

Fabrication des projectiles. — Moulage des obus longs.

ARMES A FEU (Voy. plus haut, 3, Fabrications mécaniques).

PORTE-AMARRES à fusée, de M. Tremblay (*Compl.*).

MACHINES SOUFFLANTES (par M. Debette). — Trompe. — Machine à piston. — A grande vitesse. — A petite vitesse. — Cagniardelle. — Tympan formant machine soufflante.

VENTILATEUR. — Théorie du ventilateur. — Orifices d'aspiration. — Orifices de sortie. — Formes des palettes. — Expériences de M. Dolfus (*Compl.*).

TÉLÉGRAPHIE PNEUMATIQUE ou poste atmosphérique. — Système de Paris et de Londres.

AIR COMPRIMÉ. — Étude historique. — Des phénomènes mécaniques. — Des phénomènes calorifiques. — Applications diverses, — A l'état statique comme ressort. — Régulateur automateur de pression. — Appareil Triger pour le travail sous l'eau. — Fondations tubulaires, — A l'état dynamique pour transmettre le travail : Fusil à vent. — Machines à piston. — Compresseurs du Mont-Cenis. — Vente de force à domicile. — Pour ventilation : ventilation de l'Exposition de 1867. — Perfectionnements apportés aux appareils de compression (*Compl.*).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CINQUIÈME SECTION.

GÉOMÉTRIE INDUSTRIELLE.

De même que la mécanique rationnelle fournit la base par son application aux corps, tels que la nature nous les offre, d'une science industrielle prédominante, même quand on ne fait pas rentrer dans son domaine la physique et la chimie; la géométrie, l'autre partie de la science mathématique qui s'applique aux corps (car la science du calcul est une extension de la logique, un pur travail de l'esprit), forme la théorie d'une dernière série de sciences appliquées.

La géométrie industrielle renferme deux parties bien distinctes : l'une comprend les arts de construction, dont les beaux travaux de Monge forment la base; la charpente, la coupe des pierres, la construction en général rentrent dans cette partie. La seconde forme la partie technique des beaux-arts; elle comprend les ombres, la perspective, le dessin en général, la gravure, la sculpture, etc. Ces dernières divisions se résument en une catégorie : arts d'imitation, car la création première est toujours de l'art pur; ce qui devient un produit de fabrication est une imitation; l'industrie ne peut qu'imiter, reproduire.

On voit que ces arts forment la transition de l'industrie aux beaux-arts et complètent parfaitement le cadre, formé de toutes les divisions précédentes, qui renferme la totalité du travail industriel, étudié dans les procédés techniques qu'il emploie.

Géométrie appliquée.

ABAQUE. — Chinois, — de M. Picard, — de M. Lalanne. — Géométrie anamorphique. — Utilité des échelles logarithmiques. — Nouvelle disposition d'échelle logarithmique (*Compl.*).

ÉPICYCLOIDALES (Courbes). (Voir Section IV.)

CONCHOIDE (*Compl.*).

LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES. — Leurs longueurs pour les divers degrés (*Compl.*).

CADRANS SOLAIRES. — Principes de leur tracé (*Compl.*).

MÉTÉOROGRAPHES (par M. Lejeune). — Baromètrographes. — Thermomètrographes. — Anémomètrographes. — Pluviomètrographes. — Pluvioscope de M. Mangon.

REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES (Voir Sect. IV).

LONGITUDES ET LATITUDES (par M. V. Dumoulin). — Détermination de la latitude d'un lieu par l'observation du passage du soleil au méridien. — Par deux hauteurs.

Détermination de la latitude, — par les chronomètres, — par deux observations.

Assemblages.

C'est sur les moyens d'assembler des pièces convenablement taillées, que repose presque toute l'utilisation dans l'économie domestique, pour vêtements notamment, d'un grand nombre de produits créés par l'industrie manufacturière.

ASSEMBLAGES. (Voy. CHARPENTE, SERRURERIE).

ENDUITS-COLLES.

CIMENT-MASTIC. — Ciment pour recoller le verre. — Dissolution de la gomme-laque dans l'alcool. — Mastic de fer. — Résine-mastic. — Principaux luts.

ENVELOPPES. — Machine de M. Rémond (de Birmingham). — Emploi de l'air pour plier la feuille de papier. — Succession des opérations. — Figure et légende.

SAC. — Machines de M. Bréval.

CARTES A JOUER. — ÉVENTAIL.

RELIURE. — Machine à plier. — Battage du livre. — Grecquer. — Coudre. — Rogner. — Machine à endosser. — Couvrir. — Dorer. — Machines de M. Pfeiffer.

PLACAGE (par Paulin Desormeaux.) — Au marteau, — à la cale, — à la sangle, etc.

SCELLEMENT. — Au plâtre, — au mastic, — au plomb. — Manière d'opérer.

COUDRE (Machines à). (Voir Section IV.)

CHAUSSURES A VIS. (Voir Section IV.)

Arts de construction.

BOIS. — Pesanteurs spécifiques. — Classification, par familles naturelles, des diverses espèces de bois qu'emploie l'industrie.

CHARPENTE (par E. Baude). — Résistance des bois. — Équarrissage. — Courbure. — Assemblages. — Fermes. — Pans de bois. — Planchers. — Combles, etc. (*Compl.*).

ESCALIERS (par E. Baude). — Escaliers en pierre. — Limons. — Escaliers en bois. — Sans limons (*Compl.*).

ÉCHAFAUDAGES (par E. Baude). — Échelles. — Cintres. — Échafaudages fixes et volants. — Étayements. — Appareils de levage. — Moteurs. — Grues (*Compl.*).

COUESRON OU COIRON (par Paulin Désormeaux). — Substance curieuse qui se trouve en Bretagne, et est propre au travail de la tabletterie.

AFFUT DES CANONS.

Affût de campagne. — Manœuvre et transport.

Affût de montagne. — Affût de siége. — Affût de mortier. — Affût de place et de côte. — Affût marin.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION (par E. Baude). — Matériaux artificiels (*Compl.*)

PIERRES. — Tableau des caractères et usages des diverses pierres. — Silicatisation des pierres tendres.

PISÉ (par M. Curtel). — Préparation de la terre. — Battage de la terre. — Enduits.

MAÇONNERIE (par M. E. Chevalier). — Matériaux divers. — Choix et mise en œuvre des matériaux. — Fondations. — Construction par lits successifs. — Fiche. — Hachette. — Truelle.

Bossage à joints droits. — Bossage à onglets. — Bossage à double épaisseur.

Du fruit des murs. — Perrés. — Maçonnerie de briques. — Prix de la maçonnerie.

BITUME. — Différentes espèces de bitumes. — Calcaire bitumineux. — Préparation pour enduits et dallages. — Manière de l'employer.

GROSSE SERRURERIE (par E. Baude).

CONSTRUCTIONS EN FER. — Expériences de Hodginson. — Boulons, Assemblages. — Fers de formes diverses qui se trouvent aujourd'hui dans le commerce. — Planchers en fer. — Fermes de combles pour grandes charpentes. — Gares des principaux chemins de fer. — Ponts en fer. — Pont Britannia, de Cheptow. — Théorie des treillis. — Piles de viaducs en fer.

MENUISERIE. (Voir Section IV.)

CONSTRUCTION DES NAVIRES. — Description de la charpente du navire. — Tracé des plans. — Détermination des dimensions principales de la carène. — Nécessité des liaisons obliques. — Vaigrage et lattes en fer. — De la voilure.

NAVIRES EN FER. — Historique. — Avantages et inconvénients des bâtiments en fer. — Membrure, quille

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et carlingues. — Des baux. — Liaison des baux avec la muraille. — Du bordé, différentes espèces de joints. — Du rivetage.

CONSTRUCTION DES MACHINES (Voy. IVe SECT.)

PAVAGE. — Extraction des grès. — Forme en sable. — Outils du paveur. — Disposition des joints. — Repiquage. — Pavés bitumés.

Pavage en bois. — Système Delille.

Carrelage et dallage. — Emploi des laitiers des hauts-fourneaux pour fabriquer des pavés.

COUVERTURE (par E. Baude). — En tuiles. — Nouvelles formes. — En ardoises. — En zinc (*Compl.*).

VOUTES (par M. Claudel). — Dimension des voûtes. — Joints de rupture. — Théorie. — Épaisseur des voûtes à la clef. — Épaisseur des pieds droits. — Méthode graphique de M. Méry. — Tracé de la courbe de pression. — Tableaux de M. Petit pour déterminer les dimensions des voûtes. — Usage des tables.

Théorie de M. Villarceau, conduisant à la construction de nouvelles voûtes.

Travaux publics.

TERRASSEMENTS (par M. Tourneux). — Importance du prix des travaux de terrassement. — Transport à la brouette. — Brouette anglaise. — Transport au tombereau. — Transport par wagons sur chemins de fer. — Du déchargement. — Échafaud mobile dit baleine. — Machines diverses employées aux terrassements. — Excavateur américain.

PONTS (par V. Bois). — Du système de pont à adopter dans chaque circonstance. — Emplacement. — Largeur. — Débouché.

Fondations. — Sondages. — Fondation par batardeau. — Fondation par caisse étanche, — par caisse non étanche. — Fondation sur gravier, — argile. — Pilotis. — Sonnettes à tiraudes. — Sonnettes à déclic. — Récépages.

Fondation par caisson. — Fondation sur un terrain vaseux, radier général. — Fondation sur grillages. — Fondations avec l'aide de l'air comprimé. — Pont de Bordeaux.

Forme des arches. — Tracé des profils.

PONTS EN PIERRE. — Ponceaux. — Ponts à grande portée. — Pose des voussoirs. — Décintrement. — Voûtes de décharge. — Chappe. — Ponts-canaux. — Ponts-aqueducs. — Ponts-viaducs.

PONTS EN CHARPENTE.

PONTS EN MÉTAL. — Ponts en fonte. — Système de Polonceau. (Voy. Grosse SERRURERIE.)

Ponts biais. — Ponts mobiles. — Ponts de bateaux. — Ponts-levis. — Ponts tournants.

PONTS SUSPENDUS. — Câbles en fil de fer. — Chaînes. — Courbes de suspension. — Tiges. — Tablier. — Pulées. — Piles. — Pont du Niagara.

FONDATIONS TUBULAIRES. — Pratique de l'Inde. — Grandes constructions modernes (*Compl.*).

PONTS AMÉRICAINS (par M. Mangon). — Fermes. — Tablier. — Moises. — Contreventement. — Levage. — Prix d'établissement. — Calcul de la résistance des fermes.

AQUEDUC.

TUNNEL (par M. Leroy). — Circonstances qui nécessitent le percement d'un tunnel. — Formes et dimensions. — Travaux préparatoires. — Foncement des puits. — Machines d'extraction. — Percement des galeries. — Aménagement des travaux. — Percement dans un terrain sans consistance. — Percement dans un terrain éboulenx et aquifère. — Description du percement des tunnels de Bleckingley et Saltwood.

ROUTES (par M. Gibon). — Détermination de la direction générale d'une route. — Principe de M. Brisson.

Du tracé. — Profil en long. — Profil en travers. — Déblais et remblais. — Prix de revient.

Construction des chaussées. — Chaussées pavées, — en empierrement. — Chaussées à la Mac-Adam.

ROULEAU COMPRESSEUR. — Des chaussées en empierrement. — Chaussées à la Mac-Adam. — Inconvénients qu'elles présentent après le chargement. — Rouleau Polonceau. — Rouleau Schattenmann. — Rouleau à vapeur.

CHEMINS DE FER (par E. Baude).

I. HISTORIQUE. — Stephenson. — Séguin. — Concours de Manchester. — Construction des chemins de fer en France. — Tableau des chemins de fer construits dans les divers pays.

II. MATÉRIEL FIXE. — 1° *Rails* : Fabrication des rails, coussinets, chevillettes, coins, traverses, ballast, sabotage, éclisses, système Pouillet, système Barberot, rail à patin, rail Brunel, voie entièrement métallique.

2° *Accessoires de la voie* : Changements de voie, croisement de voie.

Traversées de voie, plaques tournantes, chariots roulants.

III. TERRASSEMENTS ET TRAVAUX D'ART. — Dimensions de la voie. — Passages des chemins. — Passages à niveau. — Passage des cours d'eau, — des vallées.

IV. GARES ET STATIONS. — Voies. — Bâtiments. — Alimentation d'eau des locomotives.

V. MATÉRIEL ROULANT. — Roues. — Bandages. — Essieux. — Boîtes à graisse. — Ressorts. — Plaques de garde. — Châssis. — Attelages. — Freins divers. — Frein Guérin. — Caisses. — Matériel à voyageurs. — Matériel à marchandises. — Mouvement de lacet.

VI. ÉTUDES ET TRACÉS. — 1° *Considérations générales.* — 2° *Considérations militaires.* — 3° *Considérations commerciales et industrielles.* — Du produit net, des tarifs. — Établissement des frais de transport. — Tarifs différentiels. — 4° *Considérations techniques.* — Résistances en ligne droite et de niveau. — Influence des rampes. — Influence des courbes. — Comparaison des tracés. — De la répartition des rampes sur un tracé. — Des systèmes de traction sur les principaux chemins de fer. — 5° *Considérations financières.* — Frais de premier établissement : — Frais généraux. — Acquisition des terrains. — Terrassements. — Ouvrages d'art courants. — Ouvrages exceptionnels. — Bâtiments. — Stations. — Ateliers, etc.

VII. EXÉCUTION, ORGANISATION, EXPLOITATION, SÉCURITÉ. — 1° Systèmes d'exécution des chemins de fer. — 2° Organisation administrative et exploitation. — 3° Sécurité : Télégraphie. — Signaux de la voie. — 4° Dépenses d'exploitation.

VIII. DIVERS SYSTÈMES DE CHEMINS DE FER. — Système Arnoux. — Essieux brisés. — Système funiculaire. — Système Séguier. — Système Girard. — Chemins de fer atmosphériques. — Chemins de fer économiques. — Chemins d'usines et de mines.

TRAMWAYS. (*Compl.*).

BASSIN DE RADOUB. — Formes sèches. — Docks flottants. — Disposition adoptée par M. E. Clark à Blackwall. — Emploi de la presse hydraulique.

CANAL (par Déglin). — Utilité des canaux.

TRACÉ DES CANAUX. — Emplacement du point de partage. — Consommation d'eau par évaporation, — par filtration. — Perte par les portes. — Remplissage des écluses. — Réservoirs.

OUVRAGES D'ART. — Écluses. — Portes d'écluse. — Introduction de l'eau dans les sas. — Prises d'eau. — Déversoirs. — Aqueducs. — Syphons. — Ponts-canaux. — Traversée des lits des rivières.

Digues en terre. — En maçonnerie. — Souterrains.

ÉCLUSE. — Dépense d'eau par éclusée. — Moyens divers tentés pour la réduire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLUSE GIRARD. — Disposition du flotteur. — Des syphons. — Des soupapes. — Manœuvre du système.

PLANS INCLINÉS DES CHEMINS DE FER ET CANAUX (par M. E. Chevalier). — Utilité des plans inclinés dans certains cas de la construction des chemins de fer et des canaux. — Plans inclinés américains. — Plan incliné du canal Morris, près New-York.

EAUX (DISTRIBUTION D') (par M. H. Mangon).

I. NATURE ET QUALITÉ DES EAUX. — Analyse des eaux. — (Voy. CHIMIE.)

II. QUANTITÉS D'EAU A DISTRIBUER. — Distributions d'eaux à Rome, New-York, Bordeaux, Dijon, etc.

III. MOYENS D'OBTENIR L'EAU POUR L'ALIMENTATION DES VILLES. — Sources naturelles et artificielles. — Exemples et applications de la théorie à l'étude du projet de M. Belgrand pour Paris. — Étangs. — Puits artésiens. — Citernes.

Filtrage des eaux. — Galeries filtrantes.

IV. CONDUITE ET ÉLÉVATION DES EAUX. — Aqueducs. — Construction. — Pont du Gard. — Aqueduc de Roquefavour.

Machines élévatoires. — Pompes élévatoires mues par des roues hydrauliques. — Machines à vapeur.

V. DISTRIBUTION DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES. — Réservoirs. — Tracé et diamètre des conduites. — Nature des tuyaux. — Dimensions et poids des divers tuyaux employés à Paris. — Robinets divers. — Ventouse. — Appareils d'écoulement. — Mode de vente.

ÉGOUTS (par M. Mangon). — Etude complémentaire de la précédente sur les moyens d'assainir les villes. — Formes et dimensions des égouts de Paris et de Londres. — Valeur agricole des eaux d'égout. — Leur analyse. — Synthèse pour Paris. — Procédé de Leicester (*Compl.*).

Exploitation des Mines.

MINES (EXPLOITATION DES) (par M. Debette). — Couches. — Filons. — Systèmes de filons. — Amas. — Mines en sacs.

Recherche des mines. — Abattage des roches. — Exploitation à ciel ouvert. — Excavations souterraines. — Galeries. — Boisage des galeries. — Galeries en maçonnerie. — Puits. — Cuvelage. — Muraillement des puits. — Serrements.

MÉTHODES DIVERSES D'EXPLOITATION. — Grandes tailles dans le plan du gîte, remblayées au fur et à mesure. — Gradins renversés. — Méthode par gradins droits. — Larges tailles horizontales.

AÉRAGE DES MINES. — Ventilation par foyer d'appel, — par machines.

Transport. — Extraction des minerais.

EPUISEMENT DES EAUX DES MINES. — Pompes élévatoires. — Pompes à piston plein.

Levé des plans des mines.

PUITS DE MINES forés à la sonde (*Compl.*).

HOUILLE (par M. Debette). — Disposition des formations houillères. — Des failles et dykes.

Exploration du terrain houiller. — Puits et galeries à travers bancs. — Epuisement des eaux.

Exploitation proprement dite, — par piliers et galeries, — par grandes tailles.

Traction de la houille dans l'intérieur de la mine. — Extraction par les puits. — Aérage.

Ensemble des machines d'exploitation d'une houillère.

ARDOISE. — Exploitation à ciel ouvert. — Exploitation par galeries souterraines. — Qualité des ardoises. — Ardoises artificielles.

CARRIÈRES.

TOURBE (par M. Debette). — Reconnaissance des bancs tourbeux. — Exploitation de la tourbe.

Arts d'imitation.

1. Sculpture.

SCULPTURE PAR PROCÉDÉ MÉCANIQUE (par M. Ronget de Lisle). — Méthode de Amédée Durand pour mise au point. — Procédé de Collas. — Procédé de Sauvage. — Procédé de Dutel. — Procédé de Grimpé. — Procédé Girard. — Procédé de A. Durand. — Procédé de Graenacker. — Procédé de Moreau. — Procédé de Ardisson.

CISELEUR (par Paulin Désormeaux). — Importance de son œuvre pour la perfection d'un objet d'art. — Travail du ciseleur.

2. Moulage et fonderie.

Les procédés de moulage des métaux varient avec leur fusibilité, les plus fusibles pouvant être fondus dans des moules formés avec ceux qui le sont moins, pour lesquels on ne peut employer le plus souvent que des moules en sable, en terre réfractaire et par suite donnant peu de perfection. Au point de vue des procédés qui tendent à empiéter les uns sur les autres, on doit donc distinguer deux classes de métaux :

Les métaux facilement fusibles. — *Étain, plomb, zinc* et les alliages de ces métaux.

Les métaux fusibles à haute température. — *Fonte de fer, acier, cuivre* et ses alliages, *bronze, laiton.*

PATES MOULÉES (*Compl.*).

FONDERIE DE FER (par A. Barrault). — Qualité de la fonte. — Matériel des fonderies. — Établissement des fourneaux. — Des grues. — Des étuves. — Machine à broyer. — Moulin à noir. — Des poches. — Des châssis.

Ustensiles des mouleurs. — Moulage en sable vert. — Moulage en sable vert séché. — Moulage en sable d'étuve. — Moulage en terre.

Exemples du moulage de diverses pièces. — Moulage en coquilles. — Moulage mécanique. — De la coulée.

CALEBASSE (FONTE A LA).

FONDERIE DE CUIVRE ET DE BRONZE.

Fonte des cloches. — Tableau des épaisseurs. — Tracé des formes. — Moulage.

FONDERIE DE ZINC (par M. Barral). — Développements de cette industrie à Berlin. — Ses avantages. — Manière d'opérer.

FONDERIE EN CARACTÈRES (par M. Laboulaye).

Conditions auxquelles doivent satisfaire les caractères d'imprimerie. — Métal convenable pour leur fabrication. — Du fourneau. — Du moule. — Emploi du moule. — De la ligne. — De l'approche.

Romperie. — Frotterie. — Coupoir. — Apprêt.

Des caractères d'écriture. — De l'impression de la musique par caractères mobiles.

Interlignes. — Filets. — Garnitures.

FONDERIE MÉCANIQUE. — Fonderie polyamatype. — Procédé Herhan. — Machine américaine. — Caractères apyrotypes.

FONDERIE EN CARACTÈRES. — Machine allemande. — Machine française (*Compl.*).

POLYTYPIE. — Fabrication de la matrice. — Fonte du relief. — Montage du cliché.

STÉRÉOTYPIE. — Procédé Didot. — Procédé Herhan. — Stéréotypie au moyen du plâtre. — Au moyen du papier. — Pyrostéréotypie appliquée à la musique.

3. Dessin.

Le dessin est l'œuvre originale qui, au point de vue technique (en laissant ici de côté l'œuvre d'art industriel), est la représentation d'une réalité existante, comme la figure du sol représentée par une carte, ou le projet d'une réalité à créer. C'est dans ce dernier cas que rentrent les plans de l'architecte, de l'ingénieur. C'est une première réalisation anticipée de l'œuvre, qui permet de faire tous les calculs relatifs aux dimensions, d'établir toutes les formes, de les mesurer ; il n'y a plus qu'à les traduire avec la précision qu'assure l'habileté des ouvriers, la perfection des machines-outils, pour obtenir l'œuvre projetée par la science de l'ingénieur.

PROJECTIONS-CARTES (par Boutroux).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NIVELLEMENT ET LEVÉ DES PLANS (par M. H. angon).

LEVÉ DES PLANS. — Mesure des distances, — par ainage, — avec des lunettes. — Mesure des angles. Graphomètre. — Théodolithe. — Pantomètre. — anchette.

NIVELLEMENT. — Principes. — Niveau d'Égault. — oyens de vérifier la précision. — Niveau de Lenoir. Niveau d'eau. — Mires.— Rapport du nivellement. simètres. — Niveau de Chézy. — Eclymètre.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES OPÉRATIONS.— Cour- et hachures. — Cartes. — Représentation pour xécution des travaux.

UBATURES.

HYDROGRAPHIE (par V. Dumoulin). — Conuction des cartes. — Cartes plates. — Cartes rétes. — Levé des cartes marines. — Emploi des tes marines. — Emploi des cartes à la mer.— Rengnements portés sur les cartes.

DESSIN INDUSTRIEL (par M. Rouget de Lisle). — LQUÉ DES DESSINS. — A l'aide d'une vitre. —A l'aide n papier frotté de sanguine. — A l'aide d'un papier ué.—Machine à piquer les dessins par M. Barthélemy.

MÉTHODES POUR OBTENIR DES COPIES PROPORTIONLES.— Chambre noire.— Pantographe. — Équerre Cigoli ou Diagraphe. — Chambre claire de Wollas. — Procédé Rouillet pour amplifier les dessins.

ISE EN CARTE DES DESSINS DE CHALE.

'ANTOGRAPHE. — Son emploi pour les réductions. Machine Collas pour réduction des statues.

ERSPECTIVE ISOMÉTRIQUE. — Avantages de ce le de représentation, pour les machines. — Perctive d'un cube. — D'une roue d'engrenage.

TÉRÉOTOMIE (par M. Lejeune).— Tracés pour la pe des pierres. — Plates-bandes. — Voûtes plates. Berceaux. — Voûte sphérique. — Trompes.— Pont s. — Voûtes d'arc, etc. — Lunettes. — Vis sans etc. — Pour l'établissement des bois. — Croupe ite. — Croupe biaise. — Escaliers. — Empanon ersé (*Compl.*).

4. Gravure.

our obtenir la reproduction industrielle d'un dessin, par des édés du domaine de la mécanique et non pas de l'art, il que ce dessin devienne plus susceptible d'être soumis à ces édés que ne l'est le dessin original. C'est par des gravures, , soit à la main d'un artiste, soit à des procédés physiques himiques, en partant du dessin même, qu'on y parvient.

RAVURE. — Genres divers de gravures.

RAVURE EN CREUX. — Gravure à l'eau-forte.— Des lis. — Application du vernis sur la planche. — nsport du dessin. — Des pointes. — Morsure à -forte. — Gravure de l'acier.

ravure au burin. — Gravure en manière noire. — vure à l'aqua-tinta.

ravure de la musique.

ravure des rouleaux pour l'impression des étoffes. Machines à graver : — Tour à guillocher.— Tour à er à la molette. — Pantographe de Lockett.

lachine de Collas.

RAVURE EN TYPOGRAPHIE (par M. Laboulaye).—Des ons et contre-poinçons. — Pierre à l'huile et erre. — Burins et limes.— Outils divers.—Calibres. ravail du graveur. — Observations sur les formes diverses lettres.

rappe des matrices.— Justification des matrices.— hine à justifier. — Justification de l'italique.

RAVURE SUR BOIS (par M. Pégard). — Succession opérations.— Genre classique. — Genre fac-simile.

RAVURE EN RELIEF sur métaux, — par les acides, par machine.

rocédé Dulos par capillarité, et emploi des ressources fournies par la galvanoplastie.

Gravure sur pierre lithographique. — Gravure sur pierres fines. — Gravure de médailles.

MACHINES A GRAVER. Voy. TOURS COMPOSÉS.

HÉLIOGRAVURE. PHOTOGLYPTIE. (Voy. *Photographie.*)

5. Application des couleurs. — Impression.

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE. — Modèle de la casse française. — Mode d'opérer du compositeur. — Composteur.— Galée.— Mise en pages.— Imposition. — Corrections. — Formulaire pour la correction des épreuves.

Dessin et description de la presse Stanhope.— Rouleau et table-encrier. — Travail du pressier.

IMPRESSION MÉCANIQUE. — Essais de Nicholson. — Invention de Kœnig. — Machine de Donkin. — Presse double de Cowper et Applegath. — Presse en blanc. — Presse à réaction de Normand. — Description de la presse rotative de Hoe pour tirage des journaux. — Presse continue employant des clichés.

COMPOSITION MÉCANIQUE.

Machine de MM. Young et Delcambre.— Vitesse du travail. — Prix de revient. — Machine à distribuer de M. Gaubert. — Machine Sorensen. — Machine américaine à cordons.

IMPRIMERIE. — Compositeur de Flamm, — de Sweet. —Machines rotatives.—Numéroteurs (*Compl.*).

IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE.

Encrage de la planche. — A la main.— Au chiffon. — Du tirage. — De la presse.

IMPRESSION CONTINUE à l'aide de cylindres gravés en creux (*Compl.*).

ÉCRITURES (*Moyen de les multiplier*). — Procédé de Brunel. — De Watt. — Prompt-copiste. — Instruments pour écrire à l'usage des aveugles.

LITHOGRAPHIE (par M. Rouget de Lisle). — Historique. — Pierres lithographiques. —Encres et crayons lithographiques. — Recettes de Lemercier et Engelmann. — Moulage des crayons. — Taille-crayon mécanique. — Dissolutions qu'on passe sur les pierres après le dessin. — Liquides pour effacer.

DE LA ZINCOGRAPHIE. — Ses avantages. — Manière de préparer la planche de zinc.

GRAVURE SUR PIERRE. — A la pointe sèche. — A l'aide de la machine à graver. — A l'acide.

IMPRESSION. — Dessin et description de la presse lithographique. — Presse à cylindre. — Presse Quinet. — Presses lithographiques mécaniques. — Presse Perrot. — Presse de M. Voirin.

CHROMO-LITHOGRAPHIE. — Châssis à repérer.

PHOTOGRAPHIE (Voy. 3e *Section*).

IMPRESSION SUR ÉTOFFES (par M. Schutzenberger).—Théorie des opérations d'impression. — Étude détaillée du garançage.— Des couleurs d'application. — Leur préparation. — Formules diverses. — Des couleurs minérales fixées à l'albumine.

DES DIFFÉRENTS GENRES D'IMPRESSION.

IMPRESSION. — Des moyens mécaniques d'exécution. — Machine à enrouler. — Table à imprimer. — Manière d'imprimer un bloc. — Impression au rouleau. — Machine à rouleaux à plusieurs couleurs. — Dessins et description de la Perrotine. — Métier à surface.

FIXAGE DES COULEURS.— A la guérite.— A la boîte. Enroulement des étoffes. — Fixage à la chambre. — A la cuve. — Fixage à la vapeur.

IMPRESSIONS DIVERSES. — Conversion. — Teinture ombrée. — Impression des foulards. — Rongeants.

PAPIER PEINT. — Posage du fond. — Lissage. — Impression à la planche plate. — Nouvelles machines pour imprimer à l'aide de rouleaux. — Couleurs. — Papiers satinés. — Veloutés. — Dorés ou argentés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SIXIÈME SECTION.

ART INDUSTRIEL.

Le travail industriel modifiant les formes et les couleurs des corps, produit des résultats analogues a ceux qui sont dus aux beaux-arts, avec cette différence toutefois, que ceux-ci ont pour but principal le beau, tandis que c'est l'utile qui domine dans l'industrie. Tandis que l'utilité est le seul but atteint par les objets les plus communs de chaque genre, l'élégance, la beauté est surtout recherchée pour ceux qu'on peut considérer comme placés en tête de la série, et qui deviennent de véritables objets d'art.

La recherche de la beauté par l'emploi de toutes les ressources du travail industriel s'exerce pleinement dans la construction, dans l'Architecture, que l'on peut classer tantôt dans les beaux-arts, tantôt dans l'industrie, selon que l'utilité ou l'art prédomine, qu'il s'agit d'une construction de pure utilité ou d'un monument.

Les autres arts, la sculpture et la peinture se mêlent souvent à l'industrie sans rien perdre de leur nature artistique; les œuvres d'art peuvent servir à décorer des objets ayant plus ou moins un caractère d'utilité, mais sans perdre leur nature propre. Plus souvent, par l'intervention des arts d'imitation, l'œuvre de l'artiste est un type que le travail industriel reproduit à l'infini, et c'est cette vulgarisation qui forme le cachet principal des œuvres que l'on range dans l'art industriel. Des œuvres d'art exécutées pour décorer un produit de l'industrie appartiennent toujours aux beaux-arts; leur multiplication par procédés mécaniques pour embellir un objet utile donne un produit véritablement industriel.

Les connaissances qui peuvent être de quelque utilité au point de vue de l'art industriel, des applications des beaux-arts à l'industrie, ne peuvent découler que de l'étude des beaux-arts, comme l'étude des sciences fournit les règles des procédés techniques. Aussi l'examen des faits conduit-il à cette conclusion, que la double culture des sciences et des beaux-arts est, pour une nation, la condition capitale du développement et de la prééminence de son industrie.

ART INDUSTRIEL (*2e partie du Complém.*).—Grande importance de l'art industriel.—Sa classification.—Éléments de l'art industriel.—De la méthode propre à son étude.—Elle est nécessairement autre que celle qui convient pour les sciences. — Du beau. —De l'esthétique.

De la méthode historique. — Des grandes époques de l'humanité. — Des idées qui l'ont alors passionnée, et des styles qui y correspondent.

I. ARCHITECTURE.—Étude de ces styles dans l'architecture où ils ont leur plus complète manifestation. — Caractère de l'architecture des diverses civilisations:

Architecture Égyptienne : — Temples. — Pyramides.

— Grecque : — Colonnes. — Parthénon.

— Romaine : — Arc de triomphe. — Colisée.

— Byzantine: — Sainte-Sophie. — Saint-Trophime.

— Gothique : — Notre-Dame.

— Renaissance : — Saint-Pierre de Rome. — Château d'Amboise.

— Louis XIV : — Louvre. — Porte Saint-Denis.

— Mauresque : — Alhambra.

— Indoue. — Chinoise.

— Époque actuelle : — Constructions en fer. — Gare de Strasbourg. — Palais de cristal de 1851. — Opéra de Paris.

Succession des styles dans les industries qui relèvent de l'architecture. — MEUBLES. — CÉRAMIQUE. — VERRERIE, formant le résumé de l'histoire de l'Ébénisterie, de la Céramique, etc.

Meubles Égyptiens, Grecs, Romains, du Moyen Age, de la Renaissance, de Louis XIV (de Boule), de Louis XV. — Époque actuelle : Meubles de Fourdinois, de Grohé, de Tahan, etc. — Meubles anglais.

Céramique.—Vases Grecs et Etrusques.—Faïences de la Renaissance;— de Bernard de Palissy.— Porcelaine chinoise.—Porcelaine tendre.—Produits de Sèvres, etc.

Verrerie. — Vase de Portland, Verres de Venise, Verres de Bohème, Candélabre de Baccarat.

II. SCULPTURE.—Succession des styles dans la sculpture et les industries qui en relèvent : les Vêtements,— les Bronzes, — l'Orfévrerie, — la Bijouterie.

Arts Vestiaires. — Antiquité. — Époque de Charlemagne. — Renaissance. — Époque moderne.

Bronzes. — Bronzes antiques. — Bronzes de la Renaissance. — Louis XIV. — Louis XV. — Époque actuelle. — Influence de Pradier, etc.

Orfévrerie. — Éclat de l'Orfévrerie au moyen âge. — Grands orfévres du règne de Louis XIV. — Époque actuelle d'après le duc de Luynes. — Toilette de Froment-Meurice.— Boucliers de M. Wetche. — Thé de M. Lecointe, etc.

Bijouterie. — Bijoux égyptiens. — Bijoux étrusques. — Émaillerie au moyen âge. — Benvenuto Cellini. — Époque moderne. — Montage des pierres. — Parures de Lemonnier, etc.

III. PEINTURE.—Industries qui relèvent de la peinture.

DESSIN. —Vignettes caractéristiques des principaux styles qui se rencontrent dans les monuments et les œuvres de chaque époque et de chaque pays.

Gravure. — Genres divers de gravure.

Typographie. — Monuments de l'invention de l'imprimerie. — Ecriture des manuscrits et caractères de la première Bible. — Garamond. — Caractères anglais. — Calligraphie.

Lithographie. — Reproduction du dessin de l'artiste. — Développements de la chromo-lithographie.

Photographie. — Accroissement considérable des moyens techniques de l'art.

APPLICATION DES COULEURS. — Des gammes des couleurs.— Du contraste simultané des couleurs. — Colorations appliquées : à l'*Architecture*, — à la *Céramique*, — à l'*Orfévrerie*.—*Papier Peint*.—*Impression sur étoffes*.

JUXTA-POSITION D'ÉLÉMENTS COLORÉS.—Des combinaisons d'éléments. — *Mosaïques*.

Vitraux. — Historique de la peinture sur verre.

Tissus. — Effets optiques des étoffes.— *Tapis*.— *Tissus brochés*. — *Cachemires*. — *Dentelles*. — *Broderies*.

Conclusion. — Développement et vulgarisation des Beaux-Arts, véritable base de la splendeur de l'art industriel chez une nation.

MUSÉES D'ART INDUSTRIEL. — Utilité d'une fondation de cette nature pour l'avenir de l'industrie. — Plan à suivre (*Compt.*).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SEPTIÈME SECTION.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

L'étude des relations du travail avec les intérêts du producteur, de son droit à la propriété du ésultat de ses efforts, au fruit de ses peines, doit nécessairement compléter une étude sérieuse des oyens de production de l'industrie. Toutefois, dans une œuvre consacrée surtout aux questions chniques, c'est l'économie des efforts, l'organisation de la fabrique pour atteindre un but déter- iné, c'est l'économie industrielle, l'économie des manufactures qui doit surtout être considérée. 'est de chaque article, spécialement consacré à une fabrication déterminée, que doit se dégager l'in- cation de la méthode de production la plus convenable dans chaque cas, pour obtenir des béné- ces, pour que les efforts du producteur lui soient profitables, et dans toute étude de technologie partie économique tient toujours une place importante. Nous n'avons à ranger dans cette classe rticulière, avec l'analyse du résumé de la science de l'économie industrielle qui termine le *Diction- aire*, que des articles entièrement consacrés à des questions d'ordre économique.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE (par M. Laboulaye). — nclusion de cet ouvrage. — Ce n'est pas seulement ur appliquer ses connaissances sur la nature que omme se livre au travail. — Études des relations du avail de l'homme avec ses intérêts, — des éléments raux qui excitent au travail.

Méthode à suivre dans cette étude. — De la richesse. Division de la science.

PRODUCTION DE LA RICHESSE. — Du travail. — Divi- n du travail. — Liberté du travail. — Du capital.— s machines. — Des premiers éléments de la produc- n.— De l'échange.— De la valeur.— De son évalua- nen travail.—De la monnaie.— Variation des prix.

DISTRIBUTION DE LA RICHESSE. — Propriété des fruits travail. — Sécurité de la propriété. — Rémunéra- n du capital.— De la rente de la terre.— De la rente des profits dans l'industrie. — Des droits qui, limi- nt la concurrence, forment l'objet de l'étude con- ète de l'économie politique.

CONSOMMATION DE LA RICHESSE. — De l'épargne. — luxe. — De l'impôt. — De la population.

ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE. — De griculture en France. — De l'industrie française.— mparaisons de l'agriculture et de l'industrie en ance, en Angleterre et en Allemagne.

ORGANISATION DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE.— l'ordre dans l'industrie. — Anciennes corpora- ns. — Ouvriers de première classe.

DE L'ABONDANCE DU TRAVAIL.

DES DROITS QUI LIMITENT LA CONCURRENCE.

DROITS PERSONNELS. — Libre exercice d'une in- stric. — Brevets d'invention. Ils sont fondés sur le oit incontestable de l'inventeur ; de leur durée; des ibunaux les plus convenables pour juger les procès contrefaçon. — Extension de l'enseignement.

DROITS DE PROPRIÉTÉ. — Institutions de crédit. Banques. — Unions de crédit. — Crédit sur nan- sement. — Sociétés par actions. —Encouragements x petites fabrications.

MONOPOLES LÉGAUX. — Services publics. — Chemins fer. — Des douanes et du libre échange.

CHEMINS DE FER (Voy. v° SECTION).

Influence du bas prix des transports.

EXPOSITIONS UNIVERSELLES des produits de ndustrie : 1851, 1855, 1862 et 1867 (*Compl.*).

STATISTIQUE de l'agriculture française (Voy. AGRI- LTURE).

STATISTIQUE de l'industrie française.—Statistique de la production par départements. — Par nature de produits. — Enquête de 1865.

STATISTIQUE de l'industrie de la ville de Paris.

ÉCONOMIE DES MANUFACTURES (d'après Bab- bage). — Du lieu d'établissement d'une usine. — Divi- sion du travail. — Emploi des machines. — Continuité du travail. — Emploi des résidus. — Comptabilité. — Commerce. — Achat des matières premières. — Vente des produits.

ÉCONOMIE AGRICOLE. — Moyens d'accroître la fertilité. — D'obtenir les produits les plus avanta- geux. — De diminuer les dépenses. — De la petite culture (*Compl.*).

TENUE DES LIVRES.—Principes fondamentaux de la tenue des livres en partie double.

INVENTION. — De l'importance de l'invention dans l'industrie. — Moyens de développer l'esprit d'inven- tion. — Jury d'examen. — Expérimentation.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS (par Paulin Désormeaux). — Historique de sa création. — Organisation d'ateliers modèles.

CONSERVATOIRE. Son état actuel, son développe- ment nécessaire (*Compl.*).

GARANTIE.

CHAUDIÈRE A VAPEUR. — Ordonnance relative aux machines et chaudières à vapeur.

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES. — Des établis- sements dangereux ou insalubres. — Formalités qui doivent précéder leur création.

MINES. — Loi du 21 avril 1810 sur les mines.

TABAC (par M. Barral). — Industrie exploitée sous le régime du monopole.

Historique. — Impôt sur le tabac en France. — Pays de régime libre. — Pays placés sous le régime de l'impôt. — Régime de la mise en ferme. — Régime du monopole.

De la culture du tabac en France. — Achat des tabacs étrangers.— Magasins.— Transport des feuilles des magasins aux manufactures.

Frais totaux de la fabrication. —Transport des ma- nufactures aux entrepôts. — Des entrepôts. — Valeur réelle du tabac. — Répression de la fraude. — Vente des tabacs aux débitants et aux consommateurs. — Bénéfice réel de la régie. — Consommation par tête.

ALGÉRIE. — Avenir industriel de l'Algérie.

Paris. — Imprimerie E. CAPIOMONT et V. RENAULT, 6, rue des Poitevins.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

A

ABATTOIR. Établissement dans lequel on force les bouchers à venir tuer et préparer les animaux destinés à la vente. Avant la création des abattoirs à Paris, chaque boucher avait sa tuerie particulière, ce qui était une cause permanente d'accidents, par suite du fréquent passage des animaux, et d'infection pour les alentours, par la rapide putréfaction des débris. Créé surtout dans des vues de police municipale, ce genre d'établissements, qui s'est répandu dans la plupart des grandes villes de France, a encore présenté de très-grands avantages au point de vue industriel, surtout en permettant de tirer un parti très-avantageux de résidus autrefois perdus. Ainsi le sang qu'on laissait autrefois couler dans les ruisseaux est aujourd'hui recueilli avec soin; les fondoirs de suifs ont pu être munis des appareils les plus économiques. Aussi, tandis que l'administration pouvait s'applaudir d'avoir débarrassé la ville de Paris de foyers d'infection, et de les avoir remplacés par de grands et vastes ateliers bien aérés, où une distribution abondante d'eau entretient une grande propreté; de pouvoir surveiller, dans l'intérêt de l'hygiène publique, la qualité des viandes livrées au commerce, et faire rejeter celles provenant d'animaux malades; l'industrie s'est félicitée de cette grande association réalisée sous l'influence du gouvernement. Elle y a trouvé tous les avantages résultant de la mise en valeur des résidus, et en même temps tous ceux provenant d'une bonne division du travail. Au lieu d'être forcé de faire par lui-même toute la préparation de ses viandes, chaque boucher a pu, pour un droit modique, faire exécuter telle partie de son travail à son choix, par des hommes expérimentés, ne faisant habituellement qu'une même opération. Les éleveurs ont pu faire détailler par quartiers les bœufs que les acheteurs en gros ne voulaient pas acquérir à un prix convenable, et résister ainsi à des coalitions nuisibles à leurs intérêts.

Les anciens abattoirs de Paris offraient d'excellents modèles aux ingénieurs qui peuvent être chargés de la création d'établissements de ce genre. On y avait disposé avec soin les diverses parties dont se compose l'abattoir, étables, échaudoirs, fonderies, etc., dans l'ordre le plus convenable au travail. Ce qu'on peut faire de mieux est d'en imiter les dispositions, tant qu'on ne dispose que de bois pour les fermes de toitures, de dimensions par suite assez limitées. C'est en fer qu'ont été faites en effet les toitures au grand marché de La Villette, à Paris, depuis que le chemin de ceinture a permis de réunir en un point unique tous les marchés et abattoirs.

ABATTOIR DE CHEVAUX. Si les établissements dont nous venons de parler présentent de grands avantages pour l'abattage des animaux destinés à l'alimentation des villes, ils sont peut-être encore plus nécessaires quand il s'agit des chevaux morts ou impropres au service, dont les dépouilles ont bien moins de valeur à Paris.

L'écarrissage des chevaux s'est fait pendant plusieurs siècles dans l'intérieur de la capitale; plus tard les émanations putrides, bien autrement incommodes que celles des boucheries, que développaient ces établissements, les firent rejeter hors de la ville. Dans des ateliers voisins d'infectes voieries, l'écarrisseur ne tirait que très-peu de chose des chevaux abattus; la peau destinée au tannage, la graisse, les crins, quelques boyaux, et une partie de la chair servant à la nourriture des chiens, étaient les seules parties utilisées; tous les autres débris des animaux morts, entassés pêle-mêle, soumis à une putréfaction incessante, devenaient des foyers d'infection pour les environs et même pour les quartiers les plus riches de la capitale. On peut se faire une idée de tous les abus et de tous les inconvénients qui résultaient d'un semblable état de choses, lorsqu'on saura qu'année commune, Paris et les environs envoient à l'abattoir 12 à 13,000 chevaux. (Voy. ÉCARRISSAGE.)

Au point de vue de la police municipale et de la salubrité publique, l'établissement d'un abattoir de chevaux a donc réalisé une amélioration d'une haute importance; mais au point de vue industriel les avantages obtenus sont bien autrement considérables; la réunion des écarrissages a permis de tirer un grand parti de tous les débris des chevaux, et une fabrique s'est élevée à côté de l'abattoir pour transformer ces détritus en produits d'une assez grande valeur. Le sang recueilli avec soin dans des rigoles cimentées est transformé en un engrais énergique; la chair musculaire, desséchée et réduite en poudre, trouve son application dans les fabriques de produits chimiques; sous cette forme elle constitue également un puissant engrais facile à transporter au loin; une porcherie adjointe à l'établissement trouve une nourriture abondante dans la chair cuite. Les os que l'on brûlait autrefois sont recherchés aujourd'hui par les fabricants de colle-forte et de noir animal; la peau, la graisse, les crins, etc., etc., recueillis et préparés avec plus de soin, ont augmenté de valeur; enfin les intestins et quelques autres débris peuvent être transformés en peu de temps, et sans incommodité pour le voisinage, en un engrais excellent. En résumé, l'écarrissage, qui a été autrefois un sujet continuel de réclamations et d'inconvénients, est devenu une source de richesse pour l'industrie et surtout pour l'agriculture.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ABEILLE (*angl.* bee, *all.* biene). Une ruche d'abeilles stitue, comme chacun sait, un immense atelier, dans uel une multitude d'ouvrières industrieuses vont ré- ter sur les fleurs, produisent la cire et le miel, que mme n'a plus qu'à enlever.

l n'entre pas dans le cadre que nous nous sommes é de nous étendre ici longuement sur la physio- e de ces insectes et les mœurs de cette république; e étude est plus spécialement du ressort de l'histoire urelle, et nous n'insisterons ici que sur la production deux substances utiles que l'abeille fournit à l'indus- , la *cire* et le *miel*.

ous rappellerons seulement que les abeilles vivent sociétés nombreuses, régies par des lois immuables sont sûrement un des exemples les plus merveilleux ce que peut l'instinct. Ces sociétés offrent trois ces d'individus: les *ouvrières*, les *reines* et les *faux-rdons*. Les premières effectuent tous les travaux dont end l'existence de tous; les autres sont les femelles es mâles chargés de la multiplication de l'espèce.

Dans une ruche qui renferme en moyenne 20,000 ou 000 individus, dont 600 à 800 faux-bourdons, on ne ive presque toujours qu'une seule reine, sauf au prin- ps où, au milieu d'une éclosion considérable, appa- sent quelques jeunes reines, ce qui précède peu la ie d'un essaim guidé par la vieille reine.

'abeille est munie d'une trompe, au moyen de la- lle elle puise dans le calice des fleurs les sucs qui nt déposés, aussi les qualités du miel produit sont- en rapport avec le genre des fleurs, dont les sucs , soit employés de suite à sa nourriture propre, soit en réserve sous forme de miel. La cire est la seule étion des abeilles; elle se forme en rubans autour anneaux de leur ventre.

éaumur admettait que l'abeille ne faisait que ré- er la cire brute, et la purifier par l'élaboration de organes digestifs. Conduits aussi à penser que l'ori- des graisses animales devait se trouver dans le ie végétal, et qu'elles étaient fournies par les parties ses des végétaux, MM. Dumas et Milne-Edwards se livrés vers 1846 à une série d'expériences qui ont démontré que cette théorie ne devait pas être prise d'une manière trop absolue. Des abeilles nourries avec du sucre ont constamment produit de la cire, comme Huber l'avait déjà reconnu antérieurement. La production de cette



Fig. 1.

tance, très-voisine au point de vue chimique des tances grasses, a prouvé que les organes des ani- x pouvaient produire les corps gras, et ne se bor- nt pas à les accumuler.

'insecte réunit et travaille la cire avec ses pattes. construit les gâteaux, attachés au sommet de la ie, qui lui servent à emmagasiner son miel pour la on d'hiver, et à fournir un asile aux œufs pondus la reine, qui y accomplissent toutes leurs métamor- ses avant d'en sortir abeilles.

a construction des gâteaux est un des plus admi- es produits de l'instinct des animaux, car cette con- ction est disposée de manière à employer le moins natériaux possible, tout en laissant le plus grand disponible; et pour cela les formes géométriques plus convenables sont observées avec une admirable ision. Ces gâteaux forment des murailles parallèles pendues au haut de la ruche, dont les axes sont océes de 3 à 4 centimètres, distance suffisante pour l reste un passage entre ces gâteaux. Ils sont formés véoles hexagonales disposées horizontalement et opposées par la base, comme on le voit figure 2.

Les cellules ou alvéoles de cire sont généralement l'été des berceaux, l'hiver des magasins de pollen et de miel. Lorsque, dit Réaumur, la récolte de pollen est si facile et si abondante qu'il en vient plus à la ruche qu'il ne peut en être consommé, l'abeille qui arrive avec deux pelotes de cette substance attendrait longtemps avant de trouver des compagnes qui vinssent les lui ôter. Toutes en sont gorgées; celle qui en rapporte est probablement aussi rassasiée, mais elle n'a garde de laisser perdre le fruit de son travail. Il vient des temps où il y a disette de poussière d'étamines, et même dans la saison la plus favorable, il y a des jours fâcheux où les abeilles ne peuvent aller ramasser celle dont les fleurs sont chargées. Il leur convient d'avoir, pour de pareils temps, du pollen en provision. L'abeille qui arrive chargée de deux pelotes de cette matière s'accroche avec ses deux jambes contre le bord d'une cellule dans laquelle il n'y a ni ver ni miel; elle y fait entrer ses deux jambes postérieures, celles qui sont chargées de pelotes, et alors avec le bout de chacune des jambes du milieu, elle pousse dans l'alvéole la lentille de pollen de chacune des jambes postérieures.

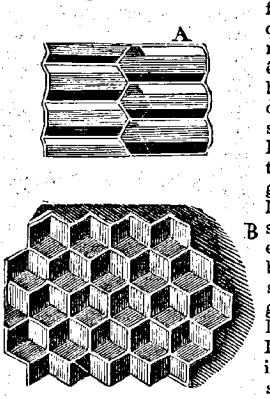


Fig. 2.

Il faut remarquer que la quantité de miel produite par les abeilles est bien supérieure à celle qui est strictement nécessaire à leur entretien pendant la mauvaise saison. Une partie de leur récolte en miel doit cependant leur être conservée. Quant à la cire, il est inutile d'en laisser, et le travail des ouvrières a bientôt regarni la ruche. La cire a du reste plus de valeur que le miel.

La cire brute est jaune sale; elle sert en cet état au frottage des appartements, à fabriquer l'encaustique. On la blanchit pour en faire des bougies, des figures, etc., en l'exposant à l'air. Voir CIRE, BOUGIES.

Nous trouvons dans un ancien ouvrage d'agriculture l'indication suivante des préceptes les plus essentiels pour réussir dans l'éducation des abeilles.

Il n'y a jamais qu'une reine dans une ruche, et une ruche sans reine périt inévitablement si on ne lui en donne une autre. Tant qu'il y a dans une ruche un couvain, ou des larves d'ouvrières de moins de trois jours, les ouvrières peuvent se créer une reine. Si la reine périt plus de trois jours après que la ponte des œufs d'ouvrières est finie, et avant la ponte des œufs de reine, la ruche périt ou se réunit à une autre. Il y a du couvain, des larves, presque toute l'année, excepté dans les temps froids. Les ruches essaiment plutôt dans les pays chauds que dans les pays froids. Quand une ruche n'est pas assez peuplée pour sa dimension, ou qu'il s'y trouve du vide, il ne sort pas d'essaim. Lorsqu'une ruche est faible, il faut l'empêcher d'essaimer. Le moyen d'empêcher une ruche d'essaimer, c'est d'y ajouter une partie vide. Une seule ruche peut fournir jusqu'à six et huit essaims. Les ruches qui fournissent plus de trois essaims périssent presque toujours. Un essaim de l'année peut fournir deux ou trois essaims. Les essaims refusent une ruche trop spacieuse. Un bon essaim doit peser trois kilogrammes. La cire étant plus chère que le miel, il y a de l'avantage à forcer les abeilles à travailler en cire. Dans une grande ruche, on obtient plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cire; dans une petite ruche, on obtient plus de miel. Une ruche bien peuplée consomme en hiver un kilogramme de miel. Le meilleur miel est dans la partie supérieure de la ruche. Plus le miel est nouvellement fait, meilleur il est. Plus les ruches sont vieilles, moins elles contiennent de miel et moins la cire est blanche. Tous les rayons d'une ruche doivent être renouvelés en deux ans. Le renouvellement bisannuel des gâteaux est le moyen le plus certain de se garantir des teignes.

ACÉTATES (*angl.* acetates, *all.* essigsaure salze). On désigne sous ce nom tout sel formé par l'acide acétique. Les acétates sont généralement solubles; ceux qui le sont très-peu (acétates d'argent et de mercure) n'ont aucun emploi dans l'industrie. Ces sels, traités par l'acide sulfurique, donnent lieu à un dégagement d'acide acétique qui les fait aisément reconnaître. La chaleur décompose tous les acétates; mais les produits de cette décomposition sont très-variables, suivant la stabilité du sel. Les acétates les plus stables, tels que ceux de potasse et de chaux, donnent à la distillation un liquide extrêmement volatil, ayant une odeur éthérée qui porte le nom d'*esprit pyro-acétique* ou d'*acétone* (voir ce dernier mot). Les acétates peu stables, celui de cuivre par exemple, donnent lieu à un dégagement d'acide acétique très-concentré; enfin les acétates moyennement stables, comme ceux de plomb et d'argent, produisent un mélange d'acide acétique et d'acétone. Les acétates employés dans les arts sont les suivants:

ACÉTATE D'ALUMINE (*angl.* acetate of alumina, *all.* essigsaure alaunerde). Ce sel est le *mordant* le plus habituellement employé pour fixer les couleurs sur les tissus. Sa solubilité permet de l'appliquer à l'état de dissolution très-fortement chargée. Etant déliquescent, il reste, en se desséchant, sous forme de pâte, et il ne peut offrir l'inconvénient de détruire, en cristallisant, les dessins des étoffes. Enfin, la facilité avec laquelle il perd son acide le rend propre à céder au tissu dont il est imprégné, de l'alumine ou un sous-sel d'alumine capable de fixer les matières colorantes.

L'acétate d'alumine se prépare dans les ateliers en décomposant, à froid, l'alun par l'acétate de plomb; il se précipite du sulfate de plomb, tandis qu'il reste dans la liqueur, filtrée ou décantée, de l'acétate d'alumine et de l'acétate ou du sulfate de potasse, suivant que l'on a employé plus ou moins d'acétate de plomb. L'acétate d'alumine que l'on obtient ainsi n'est donc pas pur, mais le sel avec lequel il est mêlé ne produit aucun effet nuisible sur les couleurs qu'il s'agit de fixer. 62 parties en poids d'alun octaédrique ordinaire sont complétement décomposées par 100 parties d'acétate de plomb.

L'acétate d'alumine se prépare aussi en traitant l'alumine pure par de l'acide acétique.

ACÉTATE DE CHAUX (*angl.* acetate of lime, *all.* essigsaures kalk). Voyez acide ACÉTIQUE.

ACÉTATES DE CUIVRE (*angl.* acetate of copper, *all.* essigsaures kupferoxid, grünspan). On en distingue jusqu'à cinq variétés, dont deux seulement, l'acétate neutre ou *verdet*, et le sous-acétate dit *vert-de-gris*, sont livrés au commerce. La fabrication de ces produits est surtout concentrée aux environs de Montpellier.

On prépare le *vert-de-gris* au moyen de marc de raisin; pour cela, on place le marc dans des tonneaux défoncés ou dans de grands vases en terre, en le divisant le plus possible; on couvre les vases et on abandonne le tout à lui-même, pour que la fermentation acide s'y développe. La masse s'échauffe, une odeur de vinaigre se fait sentir, et si on laissait l'action se continuer d'elle-même, la température s'élèverait au point de perdre une grande partie de l'acide: au bout de trois à quatre jours, dans les circonstances les plus ordinaires, on procède à la suite de l'opération; mais si la formation de l'acide acétique n'a pas lieu assez promptement, on échauffe artificiellement le local où se trouvent les vases, au moyen de réchauds; on prend soin de les couvrir avec des couvertures, pour prévenir la déperdition de la chaleur développée par l'acte de la fermentation, et de temps à autre on remue la masse pour que l'air y pénètre mieux. Quelquefois, au contraire, l'acétification fait des progrès si rapides, qu'une grande quantité d'acide se répand au dehors. Dans une bonne opération, la température du marc se maintient entre 35 et 40° centigrades. Les feuilles de cuivre que l'on emploie proviennent ordinairement du doublage des vaisseaux; on commence par les diviser en plaquettes de 8 centimètres de large sur 12 à 16 centimètres de long, et pesant 250 grammes environ chaque. Ces plaquettes ne seraient que difficilement attaquées, si on n'avait eu préalablement soin de les frotter avec un linge imprégné d'une dissolution de vert-de-gris, et de les faire sécher ensuite à l'air en les plaçant de champ; il suffit encore de les laisser quelque temps sur du marc, la surface s'oxyde, et la formation du vert-de-gris peut marcher avec facilité.

Pour savoir si le marc est à l'état convenable, on y laisse pendant vingt-quatre heures une lame de cuivre; au bout de ce temps, elle doit être recouverte d'une couche mince de vert-de-gris. Si, au contraire, il s'y dépose des gouttelettes de liquide, la température est trop élevée. Les conditions convenables étant reconnues, on forme dans des vases de terre nommés *oules* des couches alternatives de marc et de feuilles de cuivre, qui ont été élevées à une température telle qu'on ne puisse les toucher avec la main, en les tenant sur une grille placée dans un tonneau défoncé par les deux bouts, et au-dessous de laquelle on fait du feu. On reconnaît la fin de l'opération à ce que le marc blanchit; on enlève alors les plaques de cuivre qui sont recouvertes de petits cristaux soyeux, on les pose de champ sur des bâtons, et à diverses reprises on les plonge dans l'eau et on les remet dans la même position. Après trois ou quatre immersions, qui ont lieu tous les cinq ou six jours, on gratte la surface avec un couteau pour détacher la couche de vert-de-gris, que l'on comprime dans des sacs de peau, de manière à lui donner la forme de pains cubiques, sous laquelle on le rencontre dans le commerce.

On place dans chaque vase 15 à 20 kilogrammes de cuivre, et on obtient environ 3 kilogr. de vert-de-gris.

Dans cette opération, l'acide acétique, produit par la fermentation de l'alcool contenu dans le marc de raisin, détermine l'oxydation du cuivre, qui devient alors susceptible de se combiner avec l'acide; mais il ne peut se former qu'un sous-sel, parce que l'acide est en faible quantité, relativement à celle du métal.

L'acétate neutre ou *verdet* est très-vénéneux, soluble dans cinq fois son poids d'eau bouillante; il s'obtient en faisant chauffer ensemble une partie en poids de vert-de-gris récemment préparé et deux parties de bon vinaigre distillé. On agite de temps en temps avec une spatule de bois, et quand la couleur du liquide n'augmente plus d'intensité, on le laisse déposer, puis on le décante. On verse de nouveau vinaigre sur le dépôt, et s'il se colore moins que le premier, on y ajoute un peu de vert-de-gris. Les résidus épuisés ne consistent qu'en cuivre peu oxydé. On les distribue en couche de 5 centimètres d'épaisseur, au plus, sur des planches étagées autour de l'atelier. On les humecte de temps en temps avec du vinaigre, et on renouvelle les surfaces. Celles-ci se recouvrent d'efflorescences que l'on traite comme le premier vert-de-gris. Quant à la dissolution, on la fait évaporer jusqu'à pellicule, et on la fait cristalliser dans des vases où l'on place des tiges de bois fendues en quatre à l'un des bouts, autour desquelles les cristaux viennent se grouper en grosses grappes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ACÉTATE DE FER (*angl.* acetate of iron, *all.* essigsaures eisenoxid). Ce sel se prépare aisément en traitant des rognures de fer ou de tôle par l'acide acétique rendu. Il est très soluble dans l'eau, de laquelle une légère évaporation le sépare en une gelée d'un rouge brun très foncé, déliquescente. On le prépare en grand dans les fabriques d'acide *pyroligneux*, pour les besoins de la teinture; on emploie pour cet objet l'acide distillé. On avait d'abord essayé de se servir de l'acide qui n'avait subi aucune purification; mais on obtenait alors un sel tellement impur qu'il ne contenait jamais moins de 2 p. 100 de goudron, lequel nuisait à la couleur que cet oxyde fixait sur le tissu, et offrait plusieurs graves inconvénients. Comme le goudron qui s'attachait à la fer- blanche sur laquelle on versait l'acide pyroligneux, ne tardait pas à la recouvrir d'une couche épaisse qui la soustrayait à l'action dissolvante de l'acide, il fallait sans cesse l'en débarrasser, la disposer de temps en temps en plan incliné et y mettre le feu; le goudron brûlait, et la chaleur produite par la combustion produisait l'oxydation complète.

On préfère aujourd'hui prendre l'acide distillé marquant 3° à l'aréomètre de Baumé, ce qui correspond à une richesse de 6 1/2 d'acide acétique anhydre pour 100 de liquide. On le verse sur de la tournure ou des copeaux de fer, disposés dans un tonneau à deux fonds, muni d'un robinet placé à la partie inférieure. Après quelque temps de contact, il se dégage des bulles d'hydrogène en assez grande quantité : ce qui s'écoule par le robinet est reversé de temps à autre dans le tonneau; au bout de trois ou quatre jours la dissolution est ordinairement achevée; elle marque 10° à l'aréomètre; on la concentre jusqu'à ce qu'elle arrive à 14 ou 15°. Arrivée à ce point, elle est livrée au commerce, et elle y est connue sous le nom de *bouillon noir*. Avec 10 parties de ferraille, on obtient 100 parties de bouillon noir.

ACÉTATE DE PLOMB (sel de Saturne; *angl.* acetate of lead; sugar of lead; *all.* essigsaures bleioxid, bleizucker). On prépare ce sel en dissolvant à chaud de la litharge dans de fort vinaigre de malt, de bois ou de vin, jusqu'à ce que l'acide soit complétement saturé. Pour faire cette opération sur une grande échelle, l'appareil le plus convenable que l'on puisse employer est une chaudière de cuivre doublée en plomb à l'intérieur. 325 parties d'oxyde de plomb bien pulvérisé, neutralisent 575 parties d'acide acétique marquant 7° à l'aréomètre de Baumé et donnent 960 parties d'acétate de plomb cristallisé. On verse peu à peu l'oxyde dans le vinaigre, et on agite constamment le mélange, afin d'empêcher les matières solides de s'attacher au fond, la dissolution se fait immédiatement avec une grande chaleur. On entretient l'élévation de température en faisant un peu de feu sous la chaudière dans laquelle on opère. On ajoute de l'eau provenant des lavages des opérations antérieures, et après avoir fait bouillir le tout, on laisse refroidir lentement et reposer. Il faut alors retirer à l'aide d'un siphon la dissolution limpide, et la concentrer jusqu'à 32° B., en ayant soin d'y maintenir toujours un petit excès d'acide, pour empêcher la formation de sous-sels qui pourraient gêner la cristallisation ultérieure. Lorsque la liqueur concentrée est colorée, on la décolore en la filtrant sur une couche de noir en grains.

Les vases en faïence vernis au feu sont ceux qui conviennent le mieux pour cristallisoirs. On empêche l'acétate de plomb s'attacher à leurs bords en les graissant avec du suif. Les cristaux obtenus doivent être égouttés et séchés dans une étuve, à une douce chaleur. Il est à remarquer que le linge, la paille, le bois, le papier imbibés d'acétate de plomb et séchés, prennent facilement feu et se consument comme des mèches. Quand les eaux mères ne déposent plus de cristaux, on les décompose par le carbonate de soude, ou par une petite quantité de chaux, et l'on obtient un carbonate ou un oxyde de plomb que l'on peut traiter avec de nouveau vinaigre. L'acétate de soude qui surnage peut fournir de l'acide acétique pur, en le traitant par l'acide sulfurique.

Il est essentiel de se servir d'un acide concentré pour préparer l'acétate de plomb; autrement on perdrait beaucoup de temps à rapprocher les dissolutions. Le sel, extrait d'un liquide moyennement concentré, donne des cristaux à 4 et à 6 pans, qui sont incolores et transparents; obtenu dans une dissolution plus concentrée, il cristallise en petites aiguilles qui jaunissent en se fondant, pour peu que l'acide dont on s'est servi soit impur. L'acétate de plomb est inodore, il a un goût métallique doux et astringent, une pesanteur spécifique de 2,345; il se conserve à l'air à la température ordinaire, mais lorsqu'on le chauffe à 57° 1/2, il éprouve la fusion aqueuse, perd son eau de cristallisation, et forme une poudre qui, à l'air, se transforme peu à peu en carbonate de plomb. Le sel cristallisé est efflorescent, et très soluble dans l'eau et l'alcool; il rougit faiblement le papier de tournesol. Mais sa réaction sur les teintures de curcuma et de violette est alcaline. Il est formé de :

oxyde de plomb. . . .	58,71
acide acétique. . . .	27,08
eau.	14,21
	100,00

On emploie souvent l'acétate de plomb dans l'impression sur calicot. Ce sel est un poison dont l'emploi exige une grande circonspection.

Il y a deux sous-acétates de plomb : le premier, qui est un tri-sous-acétate, a trois atomes de base pour un d'acide; il est connu depuis longtemps sous le nom d'*extrait de Goulard*. On l'obtient en faisant digérer à chaud une dissolution d'acétate neutre avec de la litharge ou du massicot. Il se forme alors des écailles blanches, cristallines, qui ont une saveur moins douce que celle de l'acétate neutre de plomb, ne se dissolvent que dans 30 fois leur poids d'eau, sont insolubles dans l'alcool, et font éprouver une réaction alcaline très marquée au papier de tournesol. L'acide carbonique en précipite le plomb à l'état de carbonate, ainsi que l'a indiqué *Thénard*, en parlant de la fabrication du blanc de plomb. Le sous-acétate est formé de 88,66 d'oxyde et de 13,34 d'acide. On s'en sert pour préparer le sous-chromate orangé de plomb, et il est quelquefois employé en chirurgie.

On peut encore obtenir un autre *sous-acétate* à 6 atomes de base, en ajoutant un excès d'ammoniaque à la dissolution du sel précédent, et en lavant le précipité avec de l'eau ammoniacale. On obtient alors une poudre blanche, soluble dans l'eau bouillante, et qui, par le refroidissement, se dépose sous la forme de paillettes blanches soyeuses. Ce sel se compose de 92,86 d'oxyde et de 7,14 d'acide.

ACÉTATE DE SOUDE (*angl.* acetate of soda, *all.* essigsaures natron.) Voy. acide ACÉTIQUE.

ACÉTATES *(nouveau procédé de préparation des)*. Quelques-uns des acétates que nous venons d'indiquer peuvent se préparer par un procédé qui a pris naissance dans les fabriques d'acide pyroligneux, et qui est appliqué depuis l'année 1844 dans la fabrique de Choisy-le-Roi. La matière première est l'acétate de soude torréfié, que l'on obtient, comme il est dit à l'article acide ACÉTIQUE, par la réaction simultanée de l'acide acétique, du sulfate de soude et de la craie. En traitant une dissolution de cet acétate de soude, par un sulfate soluble, également en dissolution, comme les sulfates de cuivre ou de fer, il y a double décomposition; il se forme un acétate avec la base du sulfate employé, et du sulfate de soude dans les deux cas. On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arrive facilement à séparer l'acétate de cuivre ou de fer, du sulfate de soude, par l'évaporation et par la différence de solubilité de ces sels ; les opérations sont en un mot tout à fait les mêmes que lorsqu'il s'agit de séparer deux sels solubles, et cristallisables à des degrés de concentration différents.

L'acétate de fer et l'acétate de cuivre s'obtiennent très-bien par ce procédé ; mais il est évident que l'acétate de plomb ne se trouve pas dans les mêmes conditions, puisque le sulfate est insoluble.

Le sulfate de soude qui résulte de cette méthode très-ingénieuse, de préparer les acétates de fer et de cuivre, sert à décomposer l'acétate de chaux pour obtenir de nouveau de l'acétate de soude. Il n'y a donc de perdu dans cette opération que le déchet inévitable que l'on éprouve toujours en fabrication. Les acétates que l'on obtient sont très-purs quoiqu'ils n'aient pas été préparés avec de l'acide acétique rectifié, ce que l'on est obligé de faire dans la préparation directe ; on évite donc une distillation toujours assez coûteuse.

ACÉTIFICATION. Voyez acide ACÉTIQUE.

ACÉTIMÈTRE. Appareil servant pour déterminer la force ou le degré d'acidité du vinaigre. Voyez à la fin de l'article acide ACÉTIQUE.

ACIDE ACÉTIQUE (*angl.* acetic acid, *all.* essigsäure). C'est le nom du principe acide qui constitue le vinaigre ; on le trouve tout formé dans plusieurs produits du règne végétal, et il résulte de la fermentation spontanée de plusieurs sucs végétaux et animaux. Le *sambucus nigra* ou *sureau noir*, le *phœnix dactilifera* et le *rhus typhinus* sont des plantes dont on peut extraire une grande quantité de vinaigre. On trouve aussi cet acide dans la sueur, l'urine, le lait et l'estomac des animaux. Toute infusion de matière animale ou végétale dans l'eau, exposée à l'air pendant quelque temps à une température modérée, éprouve la fermentation acide. Beaucoup de végétaux, lorsqu'ils sont soumis à la décomposition par le feu, donnent aussi des vapeurs d'acide acétique que l'on peut condenser. Tous les liquides contenant de l'alcool, de l'eau et du gluten sont susceptibles de se transformer en vinaigre ; il en est de même des matières susceptibles de former du glucose, comme l'amidon, la fécule, etc., c'est-à-dire la plupart des matières végétales.

On peut distinguer quatre variétés de vinaigres suivant leur mode de préparation, quoiqu'ils puissent tous être convertis par des moyens chimiques en un acide acétique identique. Ce sont : 1° le vinaigre de vin ; 2° le vinaigre de grain ; 3° le vinaigre de sucre ; 4° le vinaigre de bois, autrement dit, acide pyroligneux. C'est par la fermentation que l'acide se forme dans les trois premières variétés. Il se produit d'abord de l'alcool, et celui-ci est ensuite transformé en vinaigre sous l'influence de l'air, à une température convenable ; changement dont nous nous occuperons avec plus de détails au mot FERMENTATION. Mais la conversion de l'esprit-de-vin en acide acétique peut se démontrer par une expérience directe. Lorsque la vapeur d'alcool est mise en contact, dans l'air atmosphérique, avec la poudre noire qui résulte de la précipitation du chlorure double de platine et de potassium par l'alcool, il se forme rapidement du vinaigre aux dépens de l'alcool employé. En Allemagne, où l'alcool commun est à bas prix, on a monté des fabriques de vinaigre sur ce principe. Comme ce procédé jette quelques lumières sur les phénomènes qui se passent dans l'acétification, nous allons le décrire en peu de mots.

On met sous une large cloche plusieurs soucoupes en terre cuite ou en bois, qu'on range sur des tablettes superposées les unes aux autres à une distance de quelques pouces. On suspend ensuite au-dessus de chaque soucoupe, préalablement remplie d'esprit-de-vin, une certaine quantité de noir de platine humecté. On a soin de placer ce simple appareil dans un endroit éclairé (exposé au besoin aux rayons du soleil) maintenu à une température de 20° à 30° centigrades, et on favorise l'évaporation de l'alcool en suspendant sous la cloche plusieurs feuilles de papier buvard, de manière que leurs bords inférieurs plongent dans le liquide. Quelques minutes après, on voit se produire un phénomène des plus intéressants. L'action mutuelle du noir de platine et de l'alcool se manifeste par une augmentation de température, et donne lieu à la formation de vapeurs acides qui viennent se condenser sur les parois de la cloche d'où elles tombent en ruisselant vers le fond. Cette transformation remarquable continue jusqu'à ce que tout l'oxygène de l'air renfermé sous la cloche soit absorbé. Si l'on veut alors que l'opération ne s'arrête pas, il suffit de renouveler l'air, ce qui est l'affaire d'un instant. Avec une caisse ayant une capacité de 700 litres et 200 à 210 grammes de poudre de platine, on peut, dans le cours d'une journée, convertir un kilogr. d'alcool en acide acétique pur, pouvant servir à toute espèce d'usages, soit culinaires, soit chimiques. Avec 20 ou 30 kilogr. de cette même poudre (qui ne s'use pas) on peut transformer journellement près de 300 kilogr. de mauvais esprit-de-vin en vinaigre de première qualité.

Voici quels sont les nombres qui représentent la conversion de l'alcool en acide acétique :

574,88 part. en poids d'alcool = H^6 C^4 O^2 renfermant
74,88 » » d'hydrog. = H^6
300,00 » » carbone = C^4
200,00 » » oxygène = O^2

étant combinées au moyen du procédé ci-dessus avec 400 parties d'oxygène = O^4. On aura :

Eau = 337,44 = H^6 O^3
Acide acétique = 637,44 = H^3 C^4 O^3.

Ainsi, dans la formation du vinaigre, 100 parties en poids d'alcool s'emparent de 69,6 parties d'oxygène ; et il se produit 58,4 parties d'eau, et 111,2 d'acide acétique.

Ces belles expériences prouvent que dans un simple mélange d'alcool et d'eau, il se forme du vinaigre, après un temps considérable, et que, sous la double influence de l'air atmosphérique et de la chaleur, il s'en forme également, d'une manière semblable mais beaucoup plus efficace, en présence d'un ferment qui exerce alors une action spéciale dont l'étude est du plus haut intérêt. (Voyez FERMENTATION.) Plusieurs substances azotées peuvent servir à provoquer et accélérer la fermentation acide, telles sont le vinaigre déjà fait, son résidu ou sa lie, l'orge germé, le levain, la levure de bière et toute matière végétale semblable qui contient du gluten. Toutefois, le meilleur des ferments est le vinaigre lui-même. Nous devons y joindre, comme condition essentielle de l'acétification, l'accès libre de l'air atmosphérique.

C'est un fait bien connu que les liqueurs spiritueuses telles que l'eau-de-vie faible, le vin, la bière, etc., peuvent être conservées pendant des années en vase clos, sans éprouver la fermentation acide, même lorsque le liquide repose sur un dépôt de lie ; personne n'ignore non plus que si ces mêmes liquides sont renfermés dans des vases ouverts, ils s'aigrissent promptement, surtout lorsqu'ils sont exposés à une température tant soit peu élevée. Si l'on remplit un flacon d'eau-de-vie commune, et qu'on le laisse débouché sous l'influence de l'air et de la chaleur, la liqueur peut ne manifester aucun signe sensible d'acidité, même après plusieurs semaines ; si on ajoute à l'eau-de-vie un ferment, et qu'on tienne le flacon privé d'air et hermétiquement bouché, il ne se manifestera encore aucun changement ; mais si on a laissé dans le flacon une certaine quantité d'air, ou bien si on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'a tenu débouché, l'eau-de-vie ne tardera pas à s'aigrir.

En s'assurant de la nature du gaz qui vient à la surface du liquide pendant l'acte de l'acétification, on trouvera que ce n'est plus qu'un mélange d'acide carbonique et d'azote, tout l'oxygène ayant été transformé en acide acétique et en eau.

Puisque cette absorption de l'oxygène de l'air ne peut avoir lieu qu'à la surface des liquides en fermentation, nous voyons par là la nécessité et l'importance pratique qu'il y a d'amplifier cette surface pour accélérer l'acétification et la rendre plus complète en multipliant les points de contact entre l'alcool et l'oxygène de l'air. La nouvelle méthode allemande de M. *Schutzenbach* pour obtenir une acétification rapide repose tout à fait sur ce principe.

La température exerce aussi une influence remarquable dans la formation du vinaigre; la fermentation acide marche lentement sous une basse température, et s'accélère rapidement à mesure que celle-ci s'élève. Il paraîtrait même que les vapeurs spiritueuses qui viennent d'elles-mêmes se mettre en contact avec l'air atmosphérique, peuvent, sans l'intervention d'aucun ferment, être converties en acide acétique, car on a vu l'acidité se manifester dans la simple opération de la rectification de l'eau-de-vie, dans un alambic muni d'un grand chapiteau auquel était adapté un tube qui permettait à l'air de s'introduire dans l'intérieur. Ainsi la chaleur ne semble pas se borner seulement à provoquer la combinaison de l'alcool avec l'oxygène sous le point de vue purement chimique, elle agit encore, si l'on peut parler ainsi, physiquement. A la surface du liquide chauffé, on voit flotter une couche de vapeurs spiritueuses, laquelle venant pour ainsi dire lutter là avec l'oxygène atmosphérique, donne probablement lieu à la formation d'une certaine quantité d'acide acétique qui accélère ensuite l'opération beaucoup plus que ne fait le simple contact de l'oxygène avec la surface liquide.

Lorsqu'on expose à l'action de l'air des liquides spiritueux, tels que le vin, la bière, etc., avec la quantité de ferment nécessaire, et à une température de 17 à 20 degrés centigrades, le liquide, de clair qu'il était auparavant, devient trouble en peu de temps; on commence par apercevoir de petits filaments visqueux, nageant au milieu et sur les côtés du vase, qui viennent ensuite former une écume au-dessus de la liqueur. Lorsque cette écume a acquis une certaine épaisseur et une certaine consistance, elle tombe au fond sous la forme d'un sédiment, auquel on a donné le nom de *mère de vinaigre*, ou simplement *mère*, parce qu'il sert à déterminer l'acétification de nouvelles liqueurs. En même temps la température du liquide s'est élevée au-dessus de la température ambiante, et les progrès de la transformation en vinaigre, se trahissent par un arome particulier qui se répand dans le laboratoire. Lorsque tout l'alcool employé a été converti en acide acétique, la température descend au même point que celle de l'atmosphère, le liquide s'éclaircit, et devient un article commercial bien connu par son goût et son odeur, sous le nom de vinaigre.

Le vinaigre de vin diffère des vinaigres de cidre, de sucre, de bière, etc., en ce qu'il contient du tartre; c'est cette particularité qui le fait distinguer des autres, à moins que pour déguiser ceux-ci, on n'y ait ajouté artificiellement une certaine dose de tartre du commerce. Le vinaigre de drêche contient une certaine quantité d'acide phosphorique, à l'état de phosphate de chaux ou de magnésie provenant du grain.

Ces considérations générales sur l'acétification étant posées, nous allons maintenant décrire les procédés suivis dans la fabrication des vinaigres livrés au commerce.

1° *Vinaigre de vin.* — Le premier objet dont doit s'occuper un fabricant de vinaigre, c'est d'avoir un bon atelier de fermentation où les vins puissent être soumis à une température constante, et toujours en présence d'une quantité suffisante d'air atmosphérique. Comme cet air est rapidement privé de son oxygène, il doit être pourvu d'avance au moyen de le renouveler, par une ventilation modérée. Les soupiraux ménagés dans ce but, doivent être disposés de manière à pouvoir être fermés aussitôt que la température commence à s'abaisser par trop, ou bien lorsqu'il fait du vent. Le meilleur moyen de procurer une chaleur convenable à un atelier de ce genre, c'est d'employer des tuyaux de poêles, ou des tubes, dans lesquels circule de l'eau chaude, placés les uns ou les autres le long du parquet, sur les côtés, et aux extrémités de l'atelier, ainsi qu'on le pratique pour les étuves; on place le foyer en dehors, afin qu'aucune poussière ne pénètre dans l'atelier. Un tuyau de briques ayant une section de 25 à 30 centim. en travers sur 38 centim. de profondeur vaudrait encore mieux. La suie qui se dépose, même lorsqu'on brûle du charbon, trouverait assez d'espace dans un tuyau de cette dimension pour ne pas nécessiter de ramonage, et par conséquent d'interruption pendant un long espace de temps. L'atelier sera toujours mieux placé au rez-de-chaussée, que dans toute autre partie de la maison; il convient que les murs soient épais, construits avec des matériaux peu conducteurs de la chaleur, tels que des briques, qu'on recouvrirait avec des lattes et du plâtre gâché; si toutefois le local avait un plafond élevé, les cuves de fermentation pourraient être rangées sur un échafaudage, et placées à une hauteur convenable pour mieux profiter de la chaleur des couches d'air supérieures.

La ville d'Orléans est très célèbre pour ses fabriques de vinaigre. Les ateliers destinés à cette fabrication y portent le nom de *vinaigreries;* ils sont indifféremment placés sur le sol, ou sur un plancher qu'on y a superposé; mais on a toujours soin de les exposer au midi, afin de profiter de l'influence des rayons solaires. Les vaisseaux employés pour l'acétification sont des tonneaux nommés *mères.* Aujourd'hui ce sont des futailles en chêne de 230 litres au plus, très solides, et cerclées en fer. Il est maintenant bien constaté que le vin s'aigrit d'autant plus promptement que la masse sur laquelle on opère est plus petite, que la surface de contact avec l'air atmosphérique est plus grande, et que la température est plus convenable. Ces tonneaux étaient autrefois disposés sur trois rangs par le moyen d'un échafaudage massif; on les place aujourd'hui sur quatre rangs, et ils reposent sur des solives plus petites, qui permettent de les rapprocher les uns des autres. Les barriques qui sont placées horizontalement, sont percées à la partie supérieure du fond antérieur, de deux trous, l'un de ces trous s'appelle *l'œil*, il a deux pouces de diamètre; il sert à introduire le liquide dans le tonneau, et à en soutirer le vinaigre, lorsqu'il est fait; l'autre trou beaucoup plus petit, et placé tout à côté du premier, sert à donner issue à l'air intérieur, lorsqu'on remplit le tonneau, vu qu'alors l'entonnoir bouche complétement *l'œil.*

Lorsque les tonneaux sont neufs, on commence par se procurer du meilleur vinaigre; on le fait bouillir, et on en remplit au tiers tous les tonneaux; c'est sur cette première portion, qui devient la vraie *mère,* de tout le vinaigre, que l'on ajoute successivement tout le vin à acidifier. Dans cette manipulation, on commence ordinairement par ajouter à la *mère* qui occupe le tiers du tonneau un broc de dix litres de vin rouge ou blanc; huit jours après, on en ajoute un second, puis un troisième, puis un quatrième, en observant toujours le même intervalle de temps. Après cette dernière charge, on soutire environ 40 litres de vinaigre, et l'on recommence les additions successives.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est nécessaire que le tonneau reste toujours à moitié vide, si l'on veut que l'acétification s'opère régulièrement. Mais comme il se forme du tartre et de la lie, qui en s'accumulant au fond du tonneau finissent par contrarier et ralentir la fermentation, il arrive un moment où il faut interrompre l'opération, pour enlever ce résidu, et nettoyer tous les tonneaux. Le matériel doit être renouvelé tous les dix ans; mais si les tonneaux ont été bien faits et sont bien réparés, ils peuvent durer 25 ans.

Nous venons d'établir une période déterminée après laquelle on soutire le vinaigre fait; mais c'est dans la supposition que l'opération a eu tout le succès qu'on peut désirer : il y a des circonstances, difficiles à apprécier, qui en modifient la marche, et que nous allons maintenant exposer. On doit donc, avant de soutirer, déguster le liquide, et s'assurer que la fermentation a été complète. On procède comme il suit : on plonge dans la liqueur un bâton blanc recourbé par un de ses bouts, et on le retire en le levant dans la situation horizontale; s'il est recouvert d'une écume blanche et épaisse, à laquelle on donne le nom de *travail*, on en conclut que l'opération est terminée; mais si le *travail*, au lieu d'être blanc et perlé, est rouge, les fabricants regardent la fermentation comme non achevée, et ils cherchent alors à l'accélérer, soit en ajoutant de nouveau vin, soit en élevant la température de l'atelier.

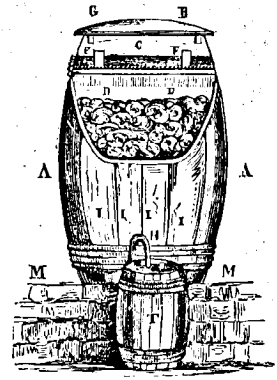
Il n'est pas facile d'expliquer pourquoi, dans certains cas, la fermentation marche plus lentement que dans d'autres. Il se présente même quelquefois des phénomènes singuliers dont on ne peut se rendre compte. Ainsi il arrive parfois que quoique tous les tonneaux aient été également alimentés avec le même vin, la fermentation ne se fait cependant pas de la même manière dans tous; elle marchera plus rapidement dans quelques-uns, et elle sera languissante ou inerte dans d'autres. C'est là une anomalie embarrassante; on l'a attribuée à l'électricité, et à d'autres causes obscures, faute de pouvoir l'expliquer par le défaut de chaleur, puisqu'il arrive souvent, contrairement à l'une des lois générales que nous avons énoncées plus haut, que les tonneaux qui sont placés dans les parties les plus chaudes de l'atelier sont le plus en retard, on ne peut non plus attribuer cette singularité à la nature du bois dont sont faits les tonneaux. L'opération est quelquefois paralysée d'une manière si complète, que les fabricants les plus experts n'ont pas d'autre moyen, lorsque cet accident arrive, que de vider entièrement ces tonneaux, qu'ils appellent paresseux, puis de les remplir de leur meilleur vinaigre. La fermentation s'y établit alors de nouveau, et y marche aussi bien que dans les autres. (Voyez au mot FERMENTATION.)

Nous devons faire ici une remarque importante relativement à la température que l'on doit préférer dans un local propre à la fermentation. On trouve dans beaucoup d'ouvrages de chimie que cette température ne doit pas dépasser 22° à 23° centigrades, de crainte d'obtenir de mauvais produits. Cependant les vinaigriers maintiennent toujours leurs ateliers à une température de 30° centigrades environ, c'est celle qui fait marcher rapidement l'acétification, tout en donnant du vinaigre aussi fort que les températures plus basses. La meilleure preuve que cette température n'est pas trop élevée, c'est que, sous son influence, les tonneaux qui sont placés à la partie supérieure de l'atelier travaillent mieux et plus vite que les autres. A Orléans on se procure cette chaleur avec des poêles de fonte qu'on chauffe avec du bois.

Avant de verser le vin dans les *mères*, on le clarifie de la manière suivante : On a de grandes futailles, qui peuvent contenir de 12 à 15 pièces de vin, et qui portent au centre du fond supérieur une ouverture de 10 à 12 centim. de diamètre, qu'on peut boucher ensuite avec un tampon en bois; cette ouverture ou bonde est destinée à recevoir le goulot d'un gros entonnoir. L'intérieur de la futaille est rempli de copeaux de bois de hêtre bien tassés. On verse le vin sur ces copeaux, et on l'y laisse séjourner pendant quelque temps, puis on le soutire doucement par un robinet placé au bas du tonneau. La lie se dépose sur les copeaux, et le vin sort tout à fait clair. Cependant il arrive quelquefois que malgré cette précaution, le vinaigre, lorsqu'il est fait, exige une nouvelle clarification, surtout lorsqu'on a employé du vin faible. Cette clarification s'exécute comme nous venons de l'indiquer pour le vin, et a l'avantage de mélanger les produits des divers tonneaux, de manière à donner un vinaigre d'une qualité uniforme.

Cette méthode, telle qu'elle est pratiquée à Orléans, exige plusieurs semaines avant que l'acétification soit complète. Récemment, en Allemagne, M. Schutzenbach a trouvé le moyen de hâter considérablement la fermentation acide par une disposition particulière des appareils. On a donné à ce système le nom de *Vinaigrerie rapide*, parce qu'en effet, l'opération de l'acétification est complète en deux ou trois jours, et même souvent dans un temps plus court encore. Il est fondé principalement sur une construction particulière des vaisseaux de fermentation, qui permet de multiplier considérablement les points du contact des liqueurs alcooliques avec l'air atmosphérique.

Voici la description de ces appareils, extraite du journal polytechnique de *Dingler*.



3

Un *poinçon* ou *tonneau* AA (fig. 3), de 2 mètres de hauteur, 1 mètre de diamètre, et pouvant contenir 14 à 15 hectolitres, est surmonté d'un couvercle B, qui ferme exactement, mais qu'on peut enlever à volonté. Ce tonneau est en chêne et fortement cerclé en fer. A un demi-pied du haut, il est muni intérieurement d'un cercle très fort en chêne ou en hêtre, qui porte un fond mobile C. L'espace au-dessous de ce fond est destiné à l'acétification du liquide, et pour que celui-ci soit le plus possible en contact avec l'air atmosphérique, on a disposé l'appareil de la manière suivante. Le fond mobile C est percé comme un crible de trous de 3 à 4 millimètres de diamètre, et distants les uns des autres de 35 à 40 millimètres. Dans chacun de ces trous est passée une ficelle DD, de 16 à 17 centimètres de longueur, qui pend dans l'intérieur du tonneau, et est retenue par le haut à la surface supérieure du fond au moyen d'un nœud. Ce nœud doit être d'une grosseur telle, qu'il permette seulement à un liquide versé sur le fond de s'écouler goutte à goutte, et pour empêcher l'infiltration sur les bords du cercle intérieur, on garnit et on bourre les jours ou fentes avec du coton, de l'étoupe ou du vieux linge. L'espace inférieur du tonneau est presque entièrement rempli de copeaux minces de hêtre rouge, bien sains, tassés et non foulés. Le liquide qui filtre le long des ficelles tombe goutte à goutte sur ces copeaux, coule sur eux avec lenteur, et arrive au fond du tonneau où il se rassemble. Ces copeaux avant d'être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placés dans le tonneau ont été échaudés à l'eau bouillante, séchés, puis arrosés à plusieurs reprises avec de bon vinaigre chaud. Pour le renouvellement continuel de l'air, ce vase est percé à environ 30 à 35 centim. de son fond inférieur de 8 trous I, I..., également espacés, de 16 à 18 millimètres de diamètre, percés dans une direction plongeant vers l'intérieur et par lesquels l'air pénètre, sans que le liquide qui s'écoule le long des parois intérieures puisse s'échapper au dehors. Pour que l'air dépouillé de son oxygène, par suite de la formation de l'acide acétique, puisse être porté au dehors de l'appareil, on a ménagé dans le fond C, 4 grandes ouvertures équidistantes, dont la surface totale est un peu moindre que celle des 8 trous I, I..., pratiqués près du fond du tonneau. Sur ces ouvertures sont établis des tubes en verre F, F..., qui s'élèvent de quelques centimètres au-dessus du fond, afin que les premières ne laissent pas écouler le liquide qu'on verse sur celui-ci. C'est par ces ouvertures tubulées que l'air chargé d'acide carbonique s'échappe, et afin d'en favoriser l'expulsion au dehors, on perce dans le couvercle B, une autre ouverture G, de 60 à 65 millimètres de diamètre, qui sert en même temps, au moyen d'un entonnoir, à ajouter du nouveau liquide, après que celui versé précédemment, a filtré de la première capacité du tonneau dans la seconde, et s'est rassemblé dans la partie inférieure.

Pour être à même de connaître la température à l'intérieur de l'appareil, on a percé dans les parois, vers le milieu, un trou incliné, de dehors en dedans, et fermé par un bouchon dans lequel glisse un thermomètre.

Enfin pour faire écouler le liquide qui se rassemble au fond du tonneau, avant qu'il ait atteint les trous I, I..., qui renouvellent l'air, on perce un peu au-dessus de ce fond une ouverture qui reçoit un bouchon au travers duquel passe un tube de verre en forme de siphon H, disposé de telle sorte que sa courbure n'atteigne pas tout à fait les trous I, I..., et que l'ouverture de sa branche la plus courte se trouve à environ 8 centimètres au-dessous du plan des trous. Le liquide qui s'écoule lentement par le siphon est reçu dans un tonnelet T, et le tonneau lui-même est établi sur un bâtis en bois, ou un petit massif en maçonnerie M, de 30 à 40 centimètres de hauteur.

Une cuve construite ainsi que nous venons de le décrire, s'appelle un *tonneau de graduation*. Voici maintenant comment on opère : l'atelier doit être d'abord chauffé à une température de 40 à 45° centigrades ; jusqu'à ce que le thermomètre centigrade du tonneau de graduation marque au moins 25°, on laisse alors tomber le feu, puis on verse par l'ouverture G du couvercle supérieur de la cuve, un mélange de 8 parties d'eau-de-vie, de 25 parties d'eau de pluie ou de rivière, de 15 parties de bon vinaigre, et d'une égale quantité de vin pur ou de bière, le tout chauffé à 62° centigrades. On commence par faire chauffer l'eau, puis on y ajoute le vinaigre, l'eau-de-vie et le vin ou la bière froids. On ne verse de ce mélange sur le second couvercle qu'autant qu'il en faut pour le recouvrir sur une hauteur de 6 à 8 centimètres. On ajoute ensuite peu à peu le reste, à mesure que le liquide déjà versé s'écoule dans la partie inférieure du tonneau.

Le liquide qui n'a traversé qu'une seule fois le tonneau de graduation, n'est pas encore suffisamment acidifié ; aussi le vinaigre faible qui en résulte et que l'on recueille dans le tonnelet T est introduit une seconde, et même, s'il le faut, une troisième fois dans la cuve, afin de convertir tout l'alcool en acide acétique. Il faut remarquer, qu'en général, plus la liqueur vineuse est forte, plus elle est difficile et lente à se convertir en vinaigre, mais celui-ci n'en est que plus fort. Afin de diminuer jusqu'à un certain point cette difficulté, il serait convenable de ne pas mettre toute l'eau-de-vie à la première fois dans le mélange, mais de l'ajouter à mesure qu'on repasse une deuxième ou une troisième fois le liquide dans le tonneau de graduation, surtout lorsqu'on désire obtenir du vinaigre très fort,

Quand l'appareil est en activité depuis quelques jours, il ne devient plus nécessaire d'ajouter du vinaigre et de la bière au mélange d'eau-de-vie ou de vin et d'eau, car alors les parois de la cuve, les copeaux et les mèches sont imprégnés du ferment. Le mélange que l'on introduit dans le tonneau doit toutefois toujours être préalablement porté à la température de 40 à 45° centigrades.

Au lieu du mélange ci-dessus d'eau-de-vie, d'eau et de vin, généralement usité en Allemagne, on peut employer, d'après *Dingler*, du moult de drèche fermenté, clarifié et mêlé avec une petite quantité d'alcool. Le vinaigre que l'on recueille dans le tonnelet T, lorsque l'acétification est complétement terminée, peut être mis immédiatement dans les tonneaux destinés à la vente.

On a objecté contre ce dernier procédé, que par l'effet du mélange de matières sucrées et glutineuses qui sont contenues dans la bière ou dans le moult, en même temps qu'il y a la fermentation acéteuse, il se produit aussi, en partie, une fermentation vineuse qui donne lieu à un dégagement d'acide carbonique assez considérable pour arrêter l'acétification. Mais on peut remédier à cet obstacle en rendant le circulation de l'air plus libre, ou en mettant dans l'atelier de la chaux vive. On a fait à ce système une autre objection plus grave : c'est que, à la suite de l'addition répétée de la bière, etc., il se dépose beaucoup de lie dans la cuve de graduation, ce qui oblige de la nettoyer fréquemment, ainsi que les copeaux, et donne lieu à une perte inévitable de temps et de vinaigre. Le seul moyen d'obvier à cet inconvénient, c'est de n'employer le mélange liquide qu'après l'avoir bien clarifié.

Un autre inconvénient, inhérent à la rapidité de l'acétification, est une perte par évaporation des parties spiritueuses des liquides employés. Puisque dans la cuve de graduation il existe une température de 40 à 45° centigrades, il devient impossible d'éviter la perte d'une certaine quantité de vapeurs alcooliques, entraînées par la circulation de l'air. Il est vrai que l'air qui s'échappe par l'ouverture du couvercle supérieur pourrait être forcé de traverser à sa sortie un appareil réfrigérant, où les vapeurs alcooliques se condenseraient en grande partie : mais, après tout, cette crainte d'éprouver par là de grandes pertes, est, nous le pensons, sans fondement ; car l'alcool est rapidement acidifié par l'oxygène de l'air, et perd alors sa volatilité.

La cuvette qui doit fournir au fur et à mesure le mélange liquide et chaud, à la cuve de graduation, doit être placée près du plafond de l'atelier où la température est plus élevée, et elle doit être remplie de nouveau avec le liquide faiblement acétifié qui s'écoule dans le récipient T, qui est placé sous le siphon. Il est convenable, pour atteindre ce but, de placer deux cuvettes à la partie supérieure, et de tenir toujours le liquide de l'une d'elles assez chaud pour que l'opération marche sans interruption.

Procédé de M. Pasteur. — M. Pasteur, en poursuivant ses travaux sur les fermentation, a dû analyser les conditions de la production du vinaigre à l'aide de boissons alcooliques.

Il a été ainsi conduit à un mode d'opérer qui résume l'ensemble de ses recherches et que je reproduirai ici. Il consiste à favoriser directement le développement du *mycoderma aceti*, plante qui est l'agent direct de la fermentation acétique dans la pratique de l'industrie, ce qui paraît heureusement résumer les conditions auxquelles la fabrication industrielle doit satisfaire.

« Les meilleurs vases à employer, dit M. Pasteur, sont des cuves de bois rondes ou carrées, peu profondes, analogues à celles qui servent dans les bras-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ACIDE ACÉTIQUE.

series à refroidir la bière, et munies de couvercles. Aux extrémités sont deux ouvertures de petites dimensions pour l'arrivée de l'air. Deux tubes de gutta-percha fixés sur le fond de la cuve et percés latéralement de petits trous servent à l'addition des liquides alcooliques sans qu'il soit nécessaire de soulever les planches du couvercle ou de déranger le voile de la surface.

« Les plus grandes cuves que la place dont je disposais m'ait permis d'utiliser avaient 1 mètre carré de surface et 20 centimètres de profondeur. J'ajoute que les avantages du procédé ont été d'autant plus sensibles que j'ai employé des vases de plus grandes dimensions et que j'ai opéré à une plus basse température.

« Je sème du mycoderme à la surface du liquide qui doit tenir des phosphates en dissolution. Ils sont indispensables. Ce sont les aliments minéraux de la plante. Bien plus, si au nombre de ces phosphates se trouve celui d'ammoniaque, la plante emprunte à la base de ce sel tout l'azote dont elle a besoin; de telle sorte que l'on peut provoquer l'acétification complète d'un liquide alcoolique renfermant environ un dix-millième de chacun des sels suivants: phosphates d'ammoniaque, de potasse, de magnésie, ces derniers étant dissous à la faveur d'une petite quantité d'acide acétique, lequel fournit en même temps que l'alcool tout le carbone nécessaire à la plante.

« Quels sont les avantages de ce nouveau procédé d'acétification? Avant de les indiquer, je rappelerai qu'il existe aujourd'hui deux procédés industriels de fabrication du vinaigre. L'un, connu sous le nom de procédé d'Orléans, est surtout en usage dans le Loiret et dans la Meurthe. On ne peut l'appliquer qu'au vin. Dans des tonneaux de 200 litres environ de capacité, disposés par rangées horizontales, on place du vinaigre de bonne qualité, environ 100 litres par tonneau, et un dixième de volume en vin ordinaire de qualité inférieure. Après six semaines ou deux mois d'attente, plus ou moins, on retire tous les huit ou dix jours 10 litres de vinaigre et on ajoute 10 litres de vin. Une fois en travail, chaque tonneau fournit donc environ 10 litres de vinaigre tous les huit jours. On ne touche d'ailleurs aux tonneaux que lorsqu'ils ont besoin de réparations.

« Un autre procédé est connu sous le nom de procédé des copeaux de hêtre, ou procédé allemand. Le liquide que l'on veut acétifier tombe goutte à goutte par les extrémités de tuyaux de paille ou de ficelles sur des copeaux de bois de hêtre entassés dans de grands tonneaux. Ce procédé est très-expéditif, mais ne peut guères s'appliquer au vin, mais seulement à l'alcool; il est reconnu que ses produits sont de qualité inférieure.

« Je ferai remarquer que la supériorité des vinaigres d'Orléans ne tient pas uniquement, comme on serait porté à le croire, à ce qu'ils sont fabriqués avec du vin, mais surtout à leur mode même de fabrication, qui conserve au vinaigre ses principes volatils indéterminés, d'odeur agréable, principes qu'enlèvent à peu près entièrement le courant d'air et l'élévation de la température dans la fabrication des vinaigres d'alcool. Grâce à ces principes, le vinaigre d'Orléans paraît plus fort à l'odorat et au goût que les vinaigres d'alcool, lors même que la proportion d'acide n'y est pas supérieure et quelquefois moindre.

« Mais il est utile d'entrer dans quelques détails sur un inconvénient très-singulier du procédé d'Orléans, qui a été tout à fait inaperçu jusqu'à présent. Cet inconvénient est dû, comme je vais l'expliquer, à la présence bien connue, dans les tonneaux de fabrication, des anguillules du vinaigre.

« Tous les tonneaux, sans exception, dans le système de fabrication d'Orléans en sont remplis, et comme on ne les enlève jamais que partiellement, puisque de 100 litres de vinaigre on ne retire que 10 litres tous les huit jours, en rajoutant 10 litres de vin, leur nombre est quelquefois prodigieux. Or ces animaux ont besoin d'air pour vivre: d'autre part, mes expériences établissent que l'acétification ne se produit qu'à la surface du liquide, dans un voile mince de *Mycoderma aceti* qui se renouvelle sans cesse. Supposons ce voile bien formé en travail d'acétification active, tout l'oxygène qui arrive à la surface du liquide est mis en œuvre par la plante, qui n'en laisse pas du tout aux anguillules. Ceux-ci alors se sentent privés de la possibilité de respirer, et, guidés par un de ces instincts merveilleux dont tous les animaux nous offrent à des degrés divers de si curieux exemples, se réfugient sur les parois du tonneau, où ils viennent former une couche humide, blanche, épaisse de plus d'un millimètre, haute de plusieurs centimètres, tout animée et grouillante. Là seulement ces petits êtres peuvent respirer. Mais on comprend bien que ces anguillules ne cèdent pas facilement la place au mycoderme. J'ai maintes fois assisté à la lutte qui s'établit entre eux et la plante. A mesure que celle-ci, suivant les lois de son développement, s'étale peu à peu à la surface, les anguillules réunis au-dessous d'elle, et souvent par paquets, s'efforcent de la faire tomber dans le liquide sous la forme de lambeaux chiffonnés. Dans cet état, elle ne peut plus leur nuire, car j'ai montré qu'une fois que la plante est submergée, son action est nulle ou insensible. Je ne doute pas que presque toutes les maladies des tonneaux, dans le procédé d'Orléans, soient causées par les anguillules, et que ce soient eux qui ralentissent et souvent arrêtent l'acétification.

« Tout ceci posé, les avantages du procédé que j'ai l'honneur de communiquer à l'Académie peuvent être pressentis. J'opère dans des cuves munies de couvercles, à une basse température. Ce sont les conditions générales du procédé d'Orléans, mais je dirige à mon gré la fabrication. Il n'y a qu'une chose qui acétifie dans le procédé d'Orléans, c'est le voile de la surface. Or je le fais développer dans des conditions que je détermine et dont je suis maître. Je n'ai pas d'anguillules, parce que, s'ils prenaient naissance, ils n'auraient pas le temps de se multiplier, puisque chaque cuve est renouvelée après que la plante a agi autant qu'elle peut le faire. Aussi l'acétification est-elle au moins trois à quatre fois plus rapide qu'à Orléans, toutes chose égales d'ailleurs.

« Relativement au procédé des copeaux, les avantages sont d'une part dans la conservation des principes qui donnent *du montant* au vinaigre, parce que l'acétification a lieu à une température basse, et d'autre part dans une grande diminution de la perte en alcool, parce que l'évaporation est très-faible pour un liquide placé dans une cuve couverte. Enfin le nouveau procédé peut être appliqué à tous les liquides alcooliques. »

2° *Vinaigre de malt.* La plus grande partie du vinaigre fabriqué en Angleterre est fait avec du malt, par le procédé que voici : on brasse un *boll* (218 litres) de bon malt d'orge, grossièrement moulu, avec de l'eau à la température de 71° centigrades; la première eau doit avoir cette température, la seconde doit être plus chaude, et la troisième eau, pour l'extraction de toute la matière soluble, doit être bouillante. En tout on ne doit pas extraire plus de 100 gallons (454 litres) de moût. Lorsque le liquide s'est refroidi, et que sa température est descendue à 24° centigrades environ, on y verse 3 ou 4 gallons (de 13 à 18 litres) de levûre de bière, et on mêle avec soin, à l'aide d'un agitateur convenable. Après trente-six ou quarante heures, selon la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

température de l'air et la qualité du mélange en fermentation, on le soutire dans des barils qui sont placés à plat dans l'atelier de fermentation de la vinaigrerie, lequel doit être maintenu à la température de 24° centigrades au moins. Pendant l'été la chaleur solaire suffit en partie pour produire cette température, mais en général on se la procure par le moyen de poêles, comme nous l'avons décrit plus haut. Les bondes doivent rester ouvertes, et les barils ne doivent pas être entièrement remplis, afin que l'air puisse agir sur une plus grande surface de liquide. Il serait convenable de faciliter la circulation de l'air en perçant un trou à chaque extrémité du baril, près du rebord supérieur. Comme le liquide, par l'effet de l'évaporation, aurait ordinairement une température inférieure de quelques degrés à celle de l'air de l'atelier, la circulation s'établirait du dehors au dedans par la bonde, et du dedans au dehors par les trous pratiqués dans les extrémités. En opérant par les méthodes ordinaires, il faut trois mois pour obtenir une acétification complète et un vinaigre susceptible d'être livré au commerce, ou employé à la fabrication de l'acétate de plomb. Lorsqu'il s'agit de la fabrication du vinaigre destiné aux usages domestiques, les barils sont ordinairement posés sur leur fond, et ils ont quelquefois un faux fond percé de trous, placé à 33 centimètres environ au-dessus du premier; sur ce double fond on met du marc de raisin ou d'autres fruits provenant des fabriques de vin anglais. On ajoute au liquide obtenu une quantité convenable de levure. Après vingt-quatre heures environ, la température s'est élevée notablement, et on le soutire alors dans un autre baril semblable au premier; on continue ce transvasement pendant quelque temps, puis on laisse la fermentation acéteuse s'achever tranquillement. On doit toujours maintenir le baril à une température convenable, en le plaçant dans un endroit chaud. Une petite quantité de tartre ajoutée au liquide en fermentation, lui donne plus d'analogie avec le vinaigre de vin. On emploie quelquefois de la colle de poisson pour clarifier le vinaigre, et on y ajoute souvent une certaine quantité d'acide sulfurique, afin de lui donner plus de force.

Voici le tableau des dépenses d'une fabrique de vinaigre de malt, en Angleterre, produisant annuellement 100,000 gallons (4,543 1/2 hectolitres) de vinaigre par le procédé que nous venons de décrire.

Matières premières et combustibles. .	91689f,75c
Salaires de 8 ouvriers, à 31f,55c chaque, par semaine.	13124f,80c
Entretien de 3 chevaux pour le manége qui dessert la fabrique.	2263f,50c
Frais de direction, réparations et frais divers.	31749f,00c
Capital et fonds de roulement pour six mois, 110,000 fr., dont l'intérêt à 5 p. 100 est.	5500f,00c
Droit à payer à la régie 0f,21c par gallon (4 1/2 livres environ) de vinaigre fabriqué.	2850f,50c
Total des *frais*.	147177f,55c
Produit, 100,000 gallons, valant 1f,90c le gallon (0f,42c le litre). . . .	190000f,00c
Bénéfice net.	42822f,45c

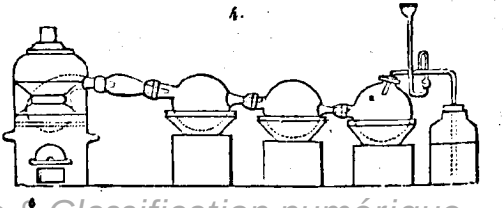
3° *Vinaigre de sucre.* On peut faire un excellent vinaigre de sucre en se conformant au procédé qui suit : Dans 180 litres à peu près d'eau bouillante, faites dissoudre 5 kilogr. de sucre et 3 kilogr. de tartre; mettez la dissolution dans un tonneau pour la faire fermenter; lorsqu'elle s'est refroidie à la température de 24° à 26° centigrades, ajoutez 4 litres et demi de levure de bière. Brassez bien le mélange, puis couvrez légèrement le tonneau, et tenez-le pendant 6 à 8 jours à une température de 21 à 24° centigrades, pour provoquer la fermentation vineuse. Quand la liqueur vineuse s'est éclaircie, soutirez-la, et faites-la acidifier soit dans une cuve de graduation, comme celle que nous avons décrite ci-dessus, soit par le procédé ordinaire des vinaigriers. Avant que l'acétification ne soit terminée, ajoutez 13 litres et demi de forte eau de-vie, et 17 litres de bon vinaigre, afin de compléter la fermentation acide. Cette addition de vinaigre n'est pas nécessaire si l'on fait usage d'une cuve de graduation.

La recette suivante pour faire le vinaigre de sucre est plus simple et mérite attention. Pour chaque hectolitre d'eau chaude mettez 12 kilogr. et demi de sucre, et lorsque le sirop s'est refroidi à la température de 24° centigrades, ajoutez en volume 4 p. 100 de levure de bière. Lorsque la fermentation vineuse est assez avancée, c'est-à-dire après 2 ou 3 jours, tirez au clair le liquide, mettez le dans un tonneau convenable et ajoutez-y, pour chaque hectolitre d'eau employée, 70 grammes de tartre, et autant de raisins écrasés. Exposez ensuite le tout d'une manière et pendant un temps convenables, à la fermentation acide, d'après l'un ou l'autre des procédés décrits; puis, soutirez le vinaigre et clarifiez-le sur des copeaux de hêtre; on le mettra ensuite dans des bouteilles qu'on aura soin de bien boucher.

Le vinaigre obtenu par les méthodes qui précèdent a toujours une couleur jaunâtre ou brunâtre; on le décolore par distillation; on pratique cette distillation dans une cornue de verre, dans les laboratoires de chimie; mais quand il s'agit d'opérer sur une plus large échelle, on se sert d'un alambic de cuivre, très propre, muni d'un chapiteau et d'un serpentin en argent ou en étain. L'acide se volatilise à la température de l'eau bouillante et si l'opération est conduite avec rapidité, il ne corrode pas sensiblement le cuivre. Mais, par ce moyen, on ne peut jamais obtenir un produit concentré parce qu'il arrive un certain degré de concentration qu'on ne peut dépasser en élevant la température de crainte de donner à l'acide une odeur empyreumatique, parce qu'alors le gluten, la matière colorante, etc., commencent à adhérer au fond de l'alambic; on est donc forcé de suspendre l'opération au moment même où le vinaigre acquiert de la force. On a aussi proposé de concentrer le vinaigre par la congélation; mais il en reste beaucoup au milieu de la glace, et le vinaigre commun, après avoir été concentré par distillation, est encore si faible qu'il se congèle tout d'une masse.

Vinaigre radical. Avant que le moyen d'extraire l'acide pyroligneux, ou le vinaigre de bois, fût connu, il n'y avait qu'une seule méthode pratiquée par les chimistes pour obtenir du vinaigre fort; ils la suivent même encore pour préparer ce qu'on appelle le vinaigre radical ou aromatique. Cette méthode consiste à décomposer par la chaleur le bi-acétate de cuivre cristallisé. On se sert à cet effet d'une cornue de grès (fig. 4) d'une grandeur proportionnée à la quantité de matière sur laquelle on veut opérer; on la revêt d'un mélange d'argile et de crottin de cheval, pour lui faire mieux supporter la chaleur; lorsque cette couverte est sèche, on introduit dans la cornue l'acétate cristallisé, légèrement concassé, et très sec; on remplit celle-ci de manière qu'il ne puisse en rien sortir lorsqu'on tient le bec fortement incliné,

4.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

on la pose alors sur un fourneau convenable; on adapte une allonge au goulot, et l'on dispose à la suite deux ou trois matras à deux tubulures; le dernier matras a une de ses tubulures verticales; l'appareil se termine par un tube de Welter à double branche; la plus courte sort du dernier matras, et l'autre plonge dans un flacon rempli de vinaigre distillé; chaque chose étant ainsi arrangée, on lutte les joints avec un mastic fait avec de la terre à pipe et de l'huile de lin, et on les recouvre avec du papier et de la colle forte. Chaque matras est placé dans une bassine à part remplie d'eau froide, ou bien le tout peut être mis dans un baquet oblong dans lequel on fait passer un courant constant d'eau froide. On doit laisser sècher le lut pendant tout un jour; le lendemain on procède à la distillation en ayant le plus grand soin de modérer la chaleur au commencement, et de l'augmenter graduellement et très lentement, jusqu'à ce qu'on voie les gouttes se succéder assez rapidement en sortant du goulot de la cornue, ou par l'extrémité de l'allonge. Comme les vapeurs qui s'échappent sont très chaudes, il s'ensuit qu'il faut une série de matras pour les condenser; on doit renouveler de temps en temps l'eau des bassines, et tenir des linges humides sur les matras; mais cela demande le plus grand soin, principalement si le feu marche un peu trop vite, car alors les vases deviennent si chauds qu'ils se briseraient infailliblement, s'ils étaient mis subitement en contact avec de l'eau froide. Il est toujours facile de régler l'opération d'après la sortie du gaz par l'extrémité de l'appareil. Lorsque les bulles d'air se succèdent avec une grande rapidité on doit ralentir le feu.

Le produit que l'on obtient pendant la première demi-heure a peu de force; cela vient, jusqu'à un certain point, d'une petite quantité d'eau restée dans les cristaux, lesquels, néanmoins, lorsqu'ils ont été bien préparés, doivent être anhydres. Il arrive un moment, vers le milieu de l'opération, où l'on voit l'extrémité du bec de la cornue, et celle de l'allonge, couvertes de cristaux lamellaires ou sous forme d'aiguilles, et d'une teinte vert pâle. Ces cristaux sont entraînés peu à peu par les vapeurs acides dans le liquide condensé qu'ils colorent; ce sont des cristaux d'acétate de protoxyde de cuivre. A mesure que l'opération approche de la fin il faut augmenter l'intensité du feu pour que les vapeurs acides puissent continuer à se dégager; finalement, on juge que la distillation est achevée, quand les matras deviennent froids, quoique le fourneau soit à son plus haut degré de chaleur, et quand il ne sort plus de vapeurs; on doit alors retirer le feu et laisser refroidir la cornue.

Comme l'acide qu'on a obtenu par ce moyen est légèrement coloré par le cuivre, on doit le rectifier avant de le mettre en vente. On se sert pour cela du même appareil, seulement on remplace la cornue de grès par une cornue de verre qu'on chauffe au bain de sable. Tous les matras doivent être parfaitement propres et secs. On conduit la distillation comme ci-dessus. Si l'on divise les produits en trois parts, la première donnera l'acide le plus faible, et la troisième le plus fort. On ne doit point pousser l'opération jusqu'à refus, parce qu'il reste toujours dans la cornue des impuretés qui altéreraient l'arome et la bonne saveur de l'acide.

La totalité de l'acide qu'on obtient par ce moyen forme à peu près la moitié, en poids, de l'acétate employé, et le résidu en est les trois dixièmes. De sorte que deux dixièmes de l'acide ont été décomposés par la chaleur, et sont perdus. Comme l'oxyde de cuivre est promptement réduit à l'état métallique, son oxygène s'unit aux éléments d'une partie de l'acide, et forme de l'eau, laquelle se mêle aux produits gazeux, acide carbonique, hydrogène carboné et oxyde de carbone, qui se dégagent; il ne reste donc plus dans la cornue que du charbon mêlé avec du cuivre métallique. Ces deux matières sont dans un tel état de division, que le résidu est pyrophorique; aussi prend-il souvent feu au moment où on le retire de la cornue après le refroidissement. La grande perte que l'on éprouve dans cette opération a porté plusieurs chimistes à essayer différentes méthodes pour obtenir tout l'acide contenu dans l'acétate. On a conseillé, par exemple, d'ajouter une certaine quantité d'acide sulfurique; mais outre que le vinaigre radical qu'on obtient par ce procédé contient toujours de l'acide sulfureux, dont il est difficile de le débarrasser, il perd par cela même cet esprit qu'on appelle *pyro-acétique* ou *acétone*, qui tempère le piquant de son odeur, et lui donne un arome agréable. Il est donc à présumer que le procédé que nous venons de décrire, continuera à être préféré quand on voudra obtenir du vinaigre aromatique ou *vinaigre radical*. On modifie souvent après coup l'odeur de celui-ci, par l'addition d'huiles essentielles diverses, telles que celles de romarin, de lavande, etc.

On peut encore préparer l'acide acétique des chimistes par les procédés suivants : 1° On distille lentement, dans une cornue de verre, deux parties d'acétate de potasse fondu, et une partie d'acide sulfurique concentré, et le produit de la distillation, recueilli dans un réfrigérant, est de l'acide acétique concentré; comme celui-ci est souillé par une petite quantité d'acide sulfureux, on l'en débarrasse en le distillant de nouveau avec un peu d'acétate de plomb. 2° Quatre parties d'acétate neutre de plomb traitées par une partie d'acide sulfurique, donnent un acide acétique un peu plus faible que ci-dessus. 3° En mélangeant du sulfate de fer ou *vitriol vert* légèrement torréfié avec de l'acétate neutre de plomb, dans la proportion de 1 partie du premier sel et de 2 1/2 parties du second, ou bien avec de l'acétate de cuivre, et distillant le mélange avec précaution dans une cornue de porcelaine qui communique à un réfrigérant, on obtient dans ce dernier de l'acide acétique très concentré. Dans ce procédé, le sulfate de protoxyde de fer se transforme par une évaporation et une légère torréfaction au contact de l'air, en sous-sulfate de peroxyde, qui agit alors par l'acide sulfurique qu'il retient avec très peu de force et qu'il laisse dégager par l'action de la chaleur. Toutefois, de tous ces divers modes de préparation, celui par le bi-acétate de cuivre que nous avons décrit, est encore préférable.

4° Acide pyroligneux, ou vinaigre de bois. Le procédé suivi pour obtenir cet acide est fondé sur cette propriété générale, que possède la chaleur de séparer les éléments des substances végétales, et de les combiner de nouveau dans un autre ordre, en donnant lieu à des composés qui n'existaient pas dans les corps soumis à son action. Les proportions respectives des produits obtenus varient non seulement avec les différentes substances, mais aussi pour le même corps, selon que l'intensité de la chaleur à laquelle ils ont été soumis, a été plus ou moins forte, ou que le feu a été conduit avec plus ou moins d'habileté. Lorsqu'on distille une substance végétale en vase clos, on obtient d'abord l'eau qu'elle renferme, ou l'eau de végétation; il se forme ensuite une autre portion d'eau aux dépens de l'oxygène et de l'hydrogène que le corps renferme; une quantité proportionnelle de charbon devient libre, et par l'augmentation successive de la chaleur, une petite portion de celui-ci se combine avec de l'oxygène et de l'hydrogène pour former de l'acide acétique. Ce dernier produit fut considéré, pendant quelque temps, comme un acide particulier, et on lui donna le nom d'*acide pyroligneux*. A mesure que la proportion de carbone devient prépondérante, celui-ci se combine avec d'autres principes, et alors il se volatilise une huile empyreumatique qui a d'abord peu de couleur, mais qui s'épaissit et se colore de plus en plus, à mesure qu'elle se charge davantage de carbone.

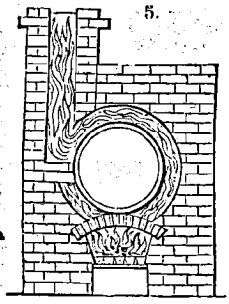
Plusieurs fluides élastiques accompagnent ces divers

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produits; il se dégage de l'acide carbonique, mais en petite quantité, beaucoup d'hydrogène carboné, et vers la fin une proportion considérable d'oxyde de carbone. L'excédant de charbon qui n'est point entraîné dans ces diverses combinaisons se retrouve dans la cornue, y conservant ordinairement la forme du végétal qui l'a fourni. Depuis qu'on a commencé à se rendre raison des différentes opérations pratiquées dans les arts, et qu'on en a fait le but de recherches scientifiques, on a introduit dans plusieurs branches de l'industrie une multitude d'améliorations, dont elles ne paraissaient pas susceptibles. C'est ainsi, par exemple, que les procédés de carbonisation du bois se sont singulièrement améliorés, et que par suite des observations qui précèdent, on a tiré profit de plusieurs produits, qui auparavant n'étaient pas même recueillis.

L'appareil employé pour obtenir le vinaigre de bois brut, par l'action de la chaleur, se compose de plusieurs grands cylindres de fer. En Angleterre, ces cylindres sont en fonte, et posés horizontalement sur le foyer. En France, ils sont en feuilles de tôle rivées ensemble, et posés debout sur le feu. La fig. 5 donne une idée exacte de la

5.



disposition adoptée en Angleterre, elle est presque la même que celle adoptée pour la décomposition de la houille dans les usines à gaz; seulement les cylindres des fabriques d'acide pyroligneux sont généralement plus grands; ils ont fréquemment 1m,33 de diamètre, sur 2m à 2m,66 de longueur, et ils reposent horizontalement sur la brique, de manière qu'il y en ait deux dans chaque fourneau. Il y aurait probablement de l'avantage à leur donner des dimensions approchant de celles des cornues à gaz pour l'éclairage, et à assimiler tout le système des opérations, à celui de cette dernière industrie.

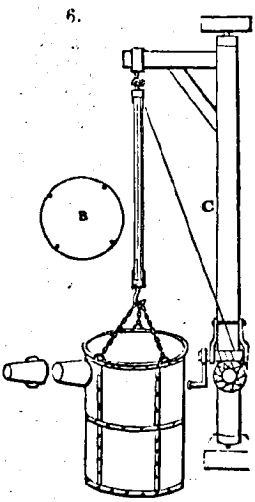
On a adopté la disposition suivante, dans un des premiers établissements de Glasgow : les cylindres aussi grands que ceux dont nous avons parlé d'abord, y ont 2 mètres de long, et les deux extrémités dépassent tant soit peu la maçonnerie en briques. L'une de ces extrémités est garnie d'un disque de fonte, bien ajusté et fortement boulonné; il part du centre de ce disque un tube de fer, d'environ 30 centim. de diamètre, qui entre à angle droit dans le tube principal du réfrigérant. Le diamètre de ce dernier peut avoir de 24 à 36 centimètres, suivant le nombre de cylindres. L'autre extrémité de chaque cylindre s'appelle la bouche de la cornue; elle est également fermée par un disque en fonte recouvert, tout autour de ses bords, avec un lut d'argile grasse, et maintenu dans sa position, à l'aide de coins de sapin. La charge de bois pour un cylindre de cette dimension est d'environ 406 kilog. Les bois durs, tels que le chêne, le frêne, le bouleau et le hêtre, sont seuls employés; le sapin ne convient pas. On entretient le feu pendant le jour, et on laisse refroidir le fourneau pendant la nuit; le lendemain matin, on ouvre les cylindres, on en retire le charbon, et on y introduit une nouvelle charge de bois. Le rendement en vinaigre brut, appelé *acide pyroligneux*, est de 163 litres par charge. Il est très souillé de goudron, et d'une couleur brun foncé; sa pesanteur spécifique est de 1,025, le poids total du produit est donc d'environ 136 kilogr.; mais comme le résidu en charbon ne pèse plus guère que le cinquième du bois employé, il s'ensuit que près de la moitié de la matière pondérable du bois, s'est transformée en gaz non condensés. Le comte de Rumford a avancé que le charbon obtenu forme en poids plus de quatre dixièmes du bois employé. Cette erreur grossière tient à la faible température du four, dans lequel il avait placé le cylindre de verre qui renfermait le bois sur lequel il expérimentait. Les résultats que nous donnons ici ressortent de l'expérience d'un éminent chimiste manufacturier.

On rectifie l'acide pyroligneux brut par une seconde distillation dans un alambic en cuivre, dans l'intérieur duquel il reste environ 20 p. 100 d'une espèce de goudron visqueux. Le vinaigre présente alors une couleur brune mais transparente, et une odeur fortement empyreumatique. Sa pesanteur spécifique n'est plus que de 1,013. Son acidité est supérieure à celle des meilleurs vinaigres de ménage, dans la proportion de trois à deux. En le redistillant de nouveau, saturant par la chaux vive, faisant évaporer l'acétate liquide jusqu'à siccité, et convertissant en acétate de soude par le sulfate de soude, on le dépouille si complétement de la matière empyreumatique à laquelle il était mélangé, qu'en décomposant l'acétate de soude pur par l'acide sulfurique, on obtient à la distillation un vinaigre tout à fait sans couleur et très agréable au goût, dont la force est proportionnelle au degré de concentration de l'acide décomposant.

Dans un des principaux établissements de Manchester, on se sert de cornues en fonte de 2 mètres de long sur 1m,20 de diamètre. Il y a deux cornues par fourneau, disposées de telle sorte que la flamme les enveloppe de toutes parts. Leur fond seul est protégé par des briques réfractaires contre l'action directe du feu. Un quintal métrique de houille suffit pour effectuer la distillation d'une seule charge de bois, qui produit 168 litres d'acide pyroligneux brut, d'une pesanteur spécifique de 1,025. Après vingt-quatre heures, qui est la durée d'une opération, on retire le charbon de bois resté dans la cornue, et après l'avoir jeté dans un étouffoir que l'on ferme aussitôt, on procède à un nouveau chargement.

On purifie l'acide pyroligneux en le faisant bouillir dans une grande chaudière, sur le bord de laquelle est pratiqué un bec ou échancrure inclinée, par laquelle s'écoule la plus grande partie du goudron, à mesure qu'il monte sous forme d'écume à la surface du bain, par l'action de la chaleur. En saturant l'acide ainsi purifié, par de la chaux éteinte, on obtient du pyrolignite de chaux, que l'on peut purifier par plusieurs cristallisations successives, ou mieux, en le torréfiant à 250 ou

6.



300° centigrades au plus, avec beaucoup de précaution, entre deux plaques de tôle ou de fonte; puis, reprenant par l'eau et faisant cristalliser. En décomposant le pyrolignite ou l'acétate de chaux, par une dissolution d'alun, il se précipite du sulfate de chaux, et la dissolution qui surnage est de l'acétate d'alumine impur ou *liqueur rouge* employée dans l'impression des calicots.

En général, on conduit en France la fabrication de l'acide pyroligneux de la manière suivante :

On introduit le bois à carboniser dans de grands cylindres en tôle (fig. 6), au haut et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur le côté desquels se trouve ajusté une espèce de grosse tuyère également en tôle : un couvercle de tôle s'adapte à la partie supérieure du grand cylindre, et y est fixé par des boulons. Le cylindre ainsi fermé représente, comme on voit, une vaste cornue. Lorsqu'il a été chargé, ainsi que nous venons de le dire, on le soulève au moyen d'une grue et on le place dans un fourneau (fig. 7),

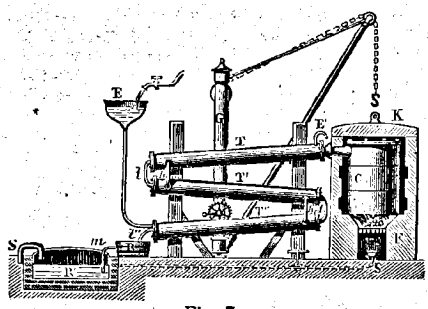


Fig. 7.

dont la forme correspond à celle du cylindre, et dont l'ouverture est recouverte du dôme K en maçonnerie ou en briques. Tout étant ainsi disposé, on allume le feu au bas du fourneau. L'eau hygrométrique du bois commence d'abord par se dégager, mais le liquide cesse par degré d'être incolore et devient fuligineux; c'est alors qu'on ajuste un tube au petit cylindre latéral; ce tube entre dans un autre ayant la même inclinaison, et qui est le commencement de l'appareil de condensation. Le mode de condensation varie selon les localités. Dans certaines fabriques, on refroidit avec l'air, en faisant passer les vapeurs à travers de longues séries de cylindres, et quelquefois même à travers une série de barriques communiquant ensemble. Mais, le plus ordinairement, on condense avec l'eau froide, lorsqu'on peut s'en procurer facilement et en abondance. L'appareil de condensation le plus efficace que l'on peut employer consiste en deux cylindres T, t, (fig. 7), l'un enveloppant l'autre, et laissant entre eux un espace suffisant pour qu'une quantité d'eau considérable puisse y circuler pour le refroidir.

On ajuste ce double cylindre au vaisseau distillatoire, en lui donnant une certaine inclinaison. On en ajuste à la suite un second, quelquefois même un troisième, tout à fait semblables, et qu'on fait revenir sur eux-mêmes en zigzag, afin de ménager la place. On fait ensuite circuler l'eau par un moyen ingénieux adopté aujourd'hui dans un grand nombre de fabriques. De l'extrémité inférieure du système condensateur s'élève perpendiculairement un tube dont la hauteur dépasse à peine le point le plus élevé dudit système. L'eau froide, fournie par un réservoir E, entre, au moyen du tube perpendiculaire, par l'extrémité inférieure du condensateur, et remplit tout l'espace qui se trouve entre chaque double tube. Quand l'appareil est en activité, les vapeurs, en se condensant, élèvent la température de l'eau; celle-ci, pressée par la colonne verticale, s'élève vers la partie supérieure des tubes, et arrive enfin dans le tube supérieur auquel est adapté un bout de tube, recourbé vers le sol, qui sert de dégorgeoir.

L'appareil de condensation se termine par un conduit menant les liquides et les gaz à deux réservoirs, un petit à la tête et un grand à la suite. Le liquide condensé dans les cylindres tombe par le tube recourbé t" dans le premier réservoir; lorsque celui-ci est plein, il se vide de lui-même par un tuyau de dégorgement dans un autre grand réservoir R. Le tube t" plonge dans le liquide, de sorte que toute communication est interceptée entre les gaz qui se rassemblent à la partie supérieure du réservoir et l'intérieur de l'appareil. Ces gaz non condensés, qui se dégagent, sont conduits au moyen de tuyaux placés sur l'un des côtés du réfrigérant, dans la partie inférieure du cendrier. Ces tuyaux sont munis de robinets placés à quelque distance en avant du fourneau, qui permettent de régulariser le jet de gaz, et d'interrompre à volonté toute communication avec l'intérieur de l'appareil. L'extrémité des tubes, qui entre sous le fourneau, s'y élève perpendiculairement de quelques pouces au-dessus du sol, et s'épanouit comme la pomme d'un arrosoir. Par cette disposition, les gaz peuvent se distribuer uniformément d'eux-mêmes dans le foyer, sans que le tuyau qui les amène vienne jamais à s'obstruer par du fraisil ou des cendres.

La température nécessaire pour opérer la carbonisation n'est pas considérable; cependant, vers la fin de l'opération, elle doit s'élever assez, pour que le cylindre qui renferme le bois devienne rouge. La durée de l'opération est nécessairement proportionnelle à la quantité de bois à carboniser. Avec un cylindre qui contient 5 mètres cubes de bois, il suffit de huit heures de feu. On reconnaît que la carbonisation est complète à la couleur de la flamme des gaz. Celle-ci est d'abord d'un rouge jaunâtre; elle devient ensuite bleuâtre dès qu'il se dégage une plus grande quantité d'oxyde de carbone que d'hydrogène carboné; et, vers la fin, elle est tout à fait blanche. Cette circonstance est probablement due à ce que la température du fourneau est alors beaucoup plus élevée, et que la combustion est plus complète. Il y a encore un autre moyen de reconnaître la marche de l'opération, auquel on a très-souvent recours. Il consiste dans le refroidissement des premiers tubes de dégagement, qui ne sont pas rafraîchis par un courant d'eau; si, lorsqu'on fait couler sur leur surface quelques gouttes d'eau, elles s'évaporent avec lenteur, on en conclut que la carbonisation a été poussée suffisamment loin. Alors on délute le tube de communication et on le fait glisser dans le tuyau qui suit, puis on bouche immédiatement les orifices des cornues avec des plaques de tôle, qu'on lute avec du plâtre. On enlève ensuite le couvercle K du fourneau au moyen de la grue tournante; on en fait autant à l'égard du cylindre, et on remplace immédiatement celui-ci par un autre qu'on a chargé d'avance. Lorsque le cylindre qu'on a retiré du fourneau est tout à fait refroidi, on défait son couvercle, et on retire le bois carbonisé. Dix stères de bois fournissent environ 4 stères 1/2 de charbon.

M. Kestner, à *Thann* (Alsace), emploie un appareil dont l'usage s'est très-répandu en France, et qui est représenté fig. 8. Le bois est chargé dans un cylindre en fonte *a*, dont la capacité est de 3 mètres cubes environ; on l'y introduit par une ouverture pratiquée dans le couvercle du cylindre, après l'avoir préalablement débité en bûchettes de dimensions convenables. Le cylindre est placé dans un fourneau à grille. La flamme du combustible s'élève en circulant tout autour du cylindre *a*, dans les carneaux *c*, *c*..., et se rend enfin dans la cheminée d'appel *f*, comme il est indiqué fig. 8.

Les produits de la distillation se rendent par le tuyau en tôle *g*, dans l'appareil de condensation, qui se compose de quatre tuyaux horizontaux, placés les uns au-dessus des autres, réunis par des coudes, et enveloppés de manchons en tôle *m*, *m*..., dans lesquels on fait continuellement circuler un courant d'eau. Cet appareil est soutenu par une charpente en bois *n*. L'eau froide arrive d'un réservoir *k*, et se rend par le tube *l* en *m* dans le manchon inférieur, puis passe successivement dans les autres manchons par les tubes verticaux *o*, *o*, *o*, et s'échappe enfin bouillante par le tube recourbé *i*. Les produits condensés de la distillation tombent par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conduit *q*, dans le premier réservoir *r*, tandis que les gaz inflammables se rendent par le conduit *s*, muni d'une valve régulatrice, sous le cylindre *a*; de sorte qu'il n'est besoin de charger du combustible sur la

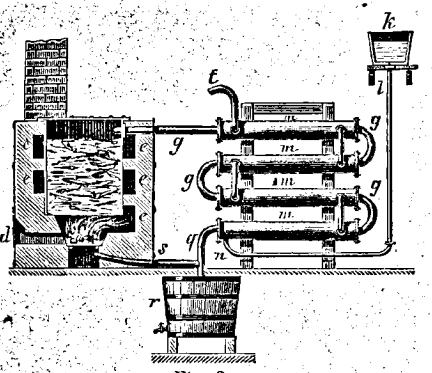


Fig. 8.

grille qu'au commencement de l'opération, la chaleur produite par la combustion des gaz non condensés étant ensuite suffisante pour achever la distillation. On laisse refroidir le charbon de bois pendant cinq à six heures, et on le retire ensuite par une porte pratiquée au bas du cylindre *a*, et correspondant à une ouverture du fourneau. Chaque stère de bois de sapin, soumis à la distillation, donne 5 hectolitres d'acide pyroligneux brut. Cet acide est très-fortement coloré en brun, très-chargé de goudron, et marque 5° à l'aréomètre de Baumé. Il reste dans la cornue environ 220 kilogrammes de charbon de bois, et on consomme, sur la grille, 1 stère de fagots et menus branchages. Les 5 hectolitres d'acide brut, purifiés par plusieurs distillations successives, donnent 40 kilogr. de goudron et 375 litres d'acide pyroligneux propre à être livré au commerce et contenant 7 p. 100 d'acide acétique anhydre.

Les différentes qualités de bois employés dans cette opération donnent à peu près les mêmes produits en acide; mais il n'en est pas de même relativement au charbon; celui-ci est d'autant meilleur que le bois employé est plus dur; et l'on a remarqué que le bois qui a été longtemps exposé à l'air donne un charbon de moins bonne qualité que celui qui a été carbonisé peu de temps après qu'il a été coupé.

L'acide brut obtenu a une couleur brune rougeâtre. Il tient en dissolution une certaine quantité d'huile empyreumatique et de goudron, qui se sont formés pendant la distillation; une autre portion de ces produits y existe aussi à l'état de simple mélange. Celle-ci peut en être séparée en laissant reposer et décantant. Nous avons dit plus haut que l'appareil de distillation se terminait par un réservoir souterrain où tous les produits vont se rendre et se mêler.

L acide pyroligneux est séparé par décantation du goudron non dissous, et transporté dans de grandes chaudières en tôle, où on le sature, soit avec de la chaux vive, soit avec de la craie. Pendant la saturation, il se sépare une nouvelle quantité de goudron, sous la forme d'écumes, qui viennent nager à la surface du bain, et que l'on retire avec des écumoires. On laisse ensuite reposer; puis on décante la liqueur qui surnage. On fait ensuite évaporer la dissolution saline, ainsi clarifiée, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,114 (15° de l'héromètre de Baumé); on y ajoute alors une dissolution saturée de sulfate de soude. Il se précipite du sulfate de chaux, et il reste en dissolution de l'acétate de soude. Dans quelques manufactures, au lieu de suivre ce procédé, on dissout le sulfate de soude dans l'acide pyroligneux chaud, qu'on sature ensuite avec de la craie ou avec de la chaux. Par ce moyen, on n'a pas besoin d'employer de l'eau pour dissoudre le sulfate, et, par conséquent, on obtient une dissolution suffisamment concentrée, sans avoir besoin de l'évaporer. Dans les deux modes d'opérer, on laisse déposer le sulfate de chaux; puis on décante la dissolution d'acétate de soude qui surnage. Le résidu est lavé à part; les premières eaux de lavage sont repassées avec la dissolution d'acétate de chaux, et les dernières servent à laver une première fois de nouveaux résidus. On évapore ensuite la dissolution d'acétate de soude, ainsi obtenue, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,225 ou de 1,23, selon la saison. On la verse ensuite dans de grands cristallisoirs, d'où l'on décante les eaux-mères, après trois ou quatre jours, selon leur capacité, et l'on obtient de premiers cristaux, fortement colorés et très-volumineux, se présentant sous la forme de prismes rhomboïdaux. Les facettes de ces cristaux sont très-polies et leurs arêtes très-vives. Les eaux-mères sont soumises à des évaporations et à des cristallisations successives, jusqu'à ce qu'elles ne donnent plus de cristaux; puis, en les évaporant à sec et calcinant, on obtient du carbonate de soude.

Pour éviter d'établir d'une manière conjecturale les proportions des matières à employer, ce qui est toujours préjudiciable, tant par suite de la perte de temps qui en résulte qu'à cause des mauvais résultats que les tâtonnements ne peuvent manquer de produire, on doit déterminer d'avance, expérimentalement, les quantités absolument nécessaires pour la décomposition réciproque, spécialement quand on change l'acide acétique ou le sulfate de soude précédemment employés. Mais il faut remarquer que, quelles que soient les précautions que l'on prenne, il se perd toujours une quantité notable de sulfate de soude et d'acide acétique; cela tient à ce qu'il reste toujours une certaine quantité d'acétate de soude ou de chaux avec le sulfate de chaux qui se précipite. Celui-ci, de son côté, n'est pas entièrement insoluble, de sorte qu'il y en a toujours une certaine quantité qui se concentre dans les dernières eaux-mères, et qui, par l'évaporation et la calcination, donne naissance à une quantité correspondante de sulfate de soude, qui se trouve mélangé avec le carbonate de soude provenant de la décomposition, par la chaleur, de l'acétate de soude; et, lorsqu'on reprend ce carbonate impur par l'eau, il reste un résidu de carbonate de chaux.

La découverte de l'esprit de bois, de l'*alcool méthylique*, qui, servant comme l'alcool de vin à la préparation des vernis, a une assez grande valeur, a fait naître, pour les fabricants d'acide pyroligneux, une source de quelques profits. Pour recueillir cet alcool, il faut faire passer par un réfrigérant les premiers produits de l'évaporation des eaux acides qui le renferment. Il constitue, comme nous le disions en traitant de cet alcool, environ 1 pour 100 des eaux acides produites par la distillation du bois.

On pourrait supposer qu'en torréfiant convenablement l'acétate de chaux, on détruirait complétement l'huile empyreumatique avec laquelle il se trouve mélangé; mais cela n'est pas. Quelques manufacturiers préfèrent fabriquer l'acétate de soude par une saturation directe de l'acide par l'alcali, et ils pensent que le prix plus élevé de cette dernière substance est plus que compensé par l'économie de temps et de combustible que ce procédé procure.

On purifie aisément l'acétate de soude par des cristallisations répétées on par la torréfaction; ce dernier procédé, lorsqu'il est bien conduit, le débarrasse complétement des moindres particules de goudron. Cette torréfaction, à laquelle on peut donner le nom de fusion, exige beaucoup de soin et de dextérité. On la fait ordinairement dans des chaudières en fonte, peu pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fondes et de forme hémisphérique. Pendant tout le temps que la chaleur se maintient à peu près à 250 à 300° centigrades, la masse en fusion doit être soigneusement remuée avec des râbles, opération qui dure environ vingt-quatre heures pour 500 kilogrammes de matières. On doit éviter avec le plus grand soin d'élever la température au point de décomposer l'acétate, et s'assurer que la chaleur est également distribuée; car si un seul point de la masse entre en décomposition, celle-ci se propage avec une si grande rapidité, qu'il devient excessivement difficile d'en arrêter les progrès et d'empêcher la destruction de la totalité de la charge. La chaleur ne doit jamais devenir assez forte pour qu'il se dégage la moindre fumée, même lorsque tout l'acétate est liquéfié. Lorsqu'il ne se forme plus d'écume à la surface et que la masse coule comme de l'huile, l'opération est terminée; on laisse alors refroidir en bloc, ou bien on coule dans des moules, ce qui est préférable.

On dissout ensuite l'acétate torréfié dans l'eau et on en sépare la matière charbonneuse, provenant de la décomposition du goudron, par filtration, ou en faisant bouillir la dissolution jusqu'à ce qu'elle ait été ramenée à la densité de 1,114; alors la matière charbonneuse tombe au fond; et en évaporant le liquide clarifié, on obtient un acétate parfaitement pur, qui donne de magnifiques cristaux incolores par le refroidissement. Dans cet état de pureté, on le décompose par l'acide sulfurique pour en séparer l'acide acétique.

Cette dernière opération, quoique simple en apparence, n'en exige pas moins beaucoup de soins et d'adresse. L'acétate de soude cristallisé et broyé est mis dans une chaudière de cuivre, et on verse par-dessus de l'acide sulfurique à la densité de 1,842, en quantité suffisante (environ 35 p. 100 du sel employé) pour décomposer, sinon tout, du moins presque tout l'acétate. On laisse réagir entre elles les matières en présence. L'acide acétique se sépare par degrés de sa combinaison et vient à la surface. La plus grande partie du sulfate de soude, qui résulte de la réaction, tombe au fond sous forme pulvérulente ou en petits cristaux granulés; une autre portion reste dissoute dans le liquide, qui a alors une densité spécifique de 1,08. Par la distillation, on sépare ce sulfate, et on obtient finalement dans le récipient un acide acétique ayant une pesanteur spécifique de 1,05, d'un goût et d'une odeur agréables, quoique vers la fin il passe un peu empyreumatique et coloré; c'est pourquoi on doit recueillir à part les derniers produits de la distillation.

L'acide destiné aux usages culinaires doit être distillé dans un alambic dont le chapiteau et le serpentin sont d'argent; et pour l'avoir parfaitement pur, on doit le clarifier avec un peu de noir animal bien lavé. On l'obtient ordinairement ainsi assez concentré, mais si l'on désire l'avoir dans un plus grand état de concentration, il suffit de le distiller sur du chlorure de calcium. On peut ensuite faire congeler l'acide ainsi concentré, et la portion qui cristallisera sera celle qui aura le plus de force. On décantera, et les cristaux obtenus se fondront si on les expose à une température de 15 à 21° centigrades. On répète l'opération jusqu'à ce que l'acide se congèle sans résidu à la température de 12 à 13 degrés centigrades; il a alors atteint son maximum de concentration et sa densité est de 1,063.

Nous ajouterons une observation sur le mode indiqué plus haut pour décomposer l'acétate de soude par l'acide sulfurique, et qui est assez délicat. Si on verse l'acide sulfurique par petites quantités à la fois, il se dégage des vapeurs acides tellement irritantes que les ouvriers sont obligés de quitter l'atelier. On prévient cet inconvénient en versant tout l'acide sulfurique à la fois, il gagne alors le fond de la chaudière, et ne décompose que la portion d'acétate qui est en contact avec lui. La chaleur qui se dégage par suite de la réaction se distribue dans toute la masse, et ne produit plus aucun effet sensible.

On n'a pu jusqu'ici obtenir l'acide acétique anhydre, et l'acide le plus concentré que l'on puisse préparer renferme encore un équivalent d'eau, ou 14,86 pour 100 en poids. Les procédés que l'on suit pour préparer l'acide acétique concentré tendent quelquefois à le priver de cette eau, sans laquelle il ne peut pas exister; il arrive alors qu'une partie de l'acide se décompose et fournit l'eau de constitution nécessaire à ce qui reste. Les principes constituants de la portion décomposée forment alors un liquide particulier, d'une saveur âcre et brûlante, très-inflammable, qu'on appelle esprit pyro-acétique, ou *acétone* (voyez ce mot).

L'acide le plus concentré a une densité de 1,063. Celle-ci augmente jusqu'à un certain point en ajoutant de l'eau, puis diminue ensuite. Selon Berzélius, l'équivalent primitif de cet acide est de 643,189; l'oxygène était représenté par 100. En conséquence l'acide le plus concentré dont il s'agit se trouve formé d'un équivalent d'acide 643,189, et d'un équivalent d'eau 112,479. Lorsqu'il contient trois atomes d'eau, c'est-à-dire 337,437 parties pour 643,189 d'acide, ou 34,41 centièmes d'eau pour 65,59 d'acide anhydre, en tout 100,00 d'acide hydraté, il atteint son maximum de densité qui est de 1,079; mais si on ajoute encore de l'eau, sa pesanteur spécifique diminue, ainsi que l'indique la table suivante dressée par Mollerat. L'acide primitif dont il est question ici a une densité de 1,063, et contient 14,86 d'eau.

ACIDE au maximum DE CONCENTRATION.	EAU AJOUTÉE.	PESANTEUR spécifique DU MÉLANGE.
110 parties.	0,0 part.	1,0630
—	10,0 —	1,0742
—	22,5 —	1,0770
—	32,5 —	1,0791
—	43,0 —	1,0763
—	55,0 —	1,0742
—	66,5 —	1,0728
—	97,5 —	1,0658
—	108,5 —	1,0637
—	118,2 —	1,0630

L'acide acétique prend rapidement feu lorsqu'il est chauffé dans des vases ouverts, à la température de l'ébullition; il brûle alors avec une légère flamme bleue, presque semblable à celle de l'alcool. On doit le conserver en vases clos, autrement il perd sa force en attirant à lui l'humidité de l'air. A l'état de concentration, il n'est guère employé que comme excitant, sur les organes de l'odorat, dans les indispositions et les défaillances. Ses propriétés anti-épidémiques sont apocryphes. Ce qu'on trouve chez les marchands, sous le nom de sels de vinaigre, n'est autre chose que du sulfate de potasse, renfermé dans de petits flacons et imprégné d'acide acétique, qu'on aromatise quelquefois avec de l'essence de romarin ou de lavande.

Lorsqu'on fait passer de l'acide acétique, réduit en vapeur, à travers un tube de fer chauffé au rouge, il se convertit en eau, en acide carbonique, en hydrogène carboné, et principalement en acétone.

L'acide acétique dissout un grand nombre de produits organiques, tels que le camphre, le gluten, les gommes résines, les résines, la fibrine du sang, le blanc d'œuf, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est un problème important que de pouvoir s'assurer de la force et de la pureté du vinaigre. On le rend souvent acide en le frelatant avec des acides à bas prix, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique. On découvre aisément l'acide sulfurique en y ajoutant un sel soluble de baryte ou de plomb, qui donne lieu à un précipité blanc lorsque le vinaigre a été falsifié par ce moyen. Lorsqu'il l'a été par l'acide nitrique, qui est plus difficile à reconnaître, on le fait chauffer dans un verre de montre avec un peu d'acide muriatique pur et un morceau de feuille d'or; celle-ci se dissout avec dégagement de vapeurs nitreuses, s'il y a de l'acide nitrique. On peut employer de la tournure de cuivre, ce qui réussit tout aussi bien, et se borner à constater la formation de vapeurs nitreuses, ou bien ajouter à la dissolution un peu de sulfate de protoxyde de fer, qui prendra une couleur violette très-intense passant au noir. Si le vinaigre contenait de l'acide hydrochlorique, on le reconnaîtrait à ce qu'il donnerait lieu par le nitrate d'argent à un précipité blanc cailleboté qui devient en très-peu d'instants d'un bleu violet sale, par l'action de la lumière solaire.

La pesanteur spécifique, si on a le soin de la déterminer avec un pèse-acide bien confectionné, est un bon moyen d'essai pour reconnaître la force du vinaigre pur. On peut considérer la table suivante, donnée par MM. Taylor, comme à peu près correcte, ou du moins comme suffisante pour les transactions commerciales.

PESANTEUR spécifique.	TENEUR CORRESPONDANTE en acide anhydre pour 100.
1,0085	5
1,0170	10
1,0257	15
1,0320	20
1,0470	30
1,0580	40

En Angleterre, on ne détermine pas directement la force du vinaigre par sa pesanteur spécifique, mais bien par la densité qu'il prend, quand il est saturé de chaux vive. La fraction décimale de la pesanteur spécifique de l'acétate de chaux est à très-peu près le double de celle du vinaigre pur qui lui correspond; c'est-à-dire que cette densité étant de 1,009 pour le vinaigre, elle devient 1,018 pour l'acétate de chaux. Le vinaigre de grain ou de malt contient tellement de mucilage ou de gluten, qu'un vinaigre de malt de même force que le précédent a une densité de 0,014, qui devient de 1,023, quand ce vinaigre est converti en acétate de chaux; il s'ensuit que 0,005 de sa densité sont dus à la présence de matière mucilagineuse, qu'il renferme. Ce fait démontre l'erreur que l'on peut commettre en déterminant par l'aréomètre la force des vinaigres qui sont plus ou moins mélangés de gluten. Le seul procédé d'essai exact, pour cet acide, comme du reste pour tous les autres, consiste à déterminer la quantité d'alcali, qu'un poids ou un volume donné peuvent saturer.

On peut employer le bicarbonate de potasse, qu'il est facile de se procurer très-pur, en se basant sur ce fait, que ce sel sature à très-peu près exactement la moitié de son poids d'acide acétique anhydre.

On peut également, pour mesurer la concentration des vinaigres, se servir d'ammoniaque caustique d'une densité et d'un titre connus, et c'est sur ce procédé qu'est basé l'acétimètre de M. *F.-J. Otto*, dont voici la description :

Un tube (fig. 10) fermé par un bout, de 32 centimètres de longueur, et 13 à 14 millimètres de diamètre, porte près de sa partie inférieure un trait de lime A, niveau auquel s'élève, à la température de 15° C., un gramme d'eau distillée. L'espace entre A et B ou 0 contient 10 grammes de la même eau à cette température; de B en C, de C en D et ainsi de suite, le tube est partagé en parties égales, subdivisées elles-mêmes en plus petites. Les premières peuvent contenir chacune 2,080 grammes d'eau ou 2,070 grammes d'ammoniaque liquide, contenant 1,369 p. 100 d'ammoniaque.

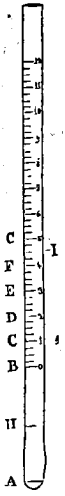


Fig. 10.

Cette quantité de 2,070 grammes de liqueur ammoniacale, à ce titre, est suffisante pour saturer un décigramme d'acide acétique hydraté, contenant un équivalent ou 14,86 pour 100 d'eau. Comme les divisions à partir de C répondent à des centièmes, on peut les désigner aussi par les chiffres 1, 2, 3, etc.

Voici la manière de se servir de cet instrument:

On verse dans le tube jusqu'en A, une teinture bleue de tournesol faite pour cet objet, avec une partie de tournesol en pain et quatre parties d'eau; puis, on ajoute jusqu'en B le vinaigre à essayer, dont il faut environ 10 grammes. Toute la liqueur du tube devient aussitôt rouge. Maintenant on prend la liqueur ammoniacale d'épreuve au titre annoncé ci-dessus, et on la verse par parties avec précaution, en secouant chaque fois et en fermant l'extrémité du tube avec le doigt. On continue ainsi lentement jusqu'à ce que la teinture bleue du tournesol soit rétablie. La hauteur du mélange dans le tube donne en centièmes le degré acétimétrique du vinaigre. Par exemple, si la liqueur s'élevait jusqu'en I, le vinaigre essayé contiendrait 4 1/2 pour 100 d'acide acétique.

L'avantage de cette méthode est de pouvoir être exécutée par tout le monde, en peu d'instants et sans beaucoup de connaissances préalables. D'ailleurs, il est facile de se procurer toujours de la liqueur d'épreuve au même titre, puisque la quantité absolue d'ammoniaque qu'elle renferme s'apprécie très-exactement au moyen du poids spécifique. On n'obtient pas, il est vrai, ainsi une exactitude rigoureuse, mais le procédé est bien suffisant dans la pratique, et donne de meilleurs résultats que tous ceux proposés jusqu'à ce jour, surtout quand il s'agit de vinaigres d'eau-de-vie et de tous ceux qui sont dépouillés de matières mucilagineuses.

Pour que les praticiens puissent facilement eux-mêmes titrer leurs liqueurs d'épreuve, M. *Otto*, d'après des essais qui lui sont propres, a dressé la table suivante des quantités d'eau qu'il faut ajouter à une liqueur ammoniacale d'une densité quelconque, pour l'amener à contenir 1,369 p. 100 d'ammoniaque.

On fait usage de cette table de la manière suivante: on prend avec un aréomètre à la température de 13° Réaumur ou 16° C., la pesanteur spécifique de l'ammoniaque, dont on peut disposer. Supposons qu'on la trouve de 0,9650; en cherchant ce nombre dans la deuxième colonne de la table, on voit vis-à-vis dans la première colonne, le nombre 8,5, qui indique la quantité absolue d'ammoniaque contenue dans 100 parties de ce liquide. Maintenant, pour en faire de la liqueur d'épreuve, la 3e et la 4e colonnes nous apprennent que sur 1000 parties en poids, ou si on veut 1000 grammes, il faut prendre 161 parties ou grammes (3e colonne) de cet ammoniaque liquide, et y ajouter 839 parties ou grammes (4e colonne) d'eau distillée. Cette liqueur d'épreuve est alors versée dans des flacons qu'on conserve bien pleins et bien bouchés pour s'en servir au besoin, en exposant le moins possible au contact de l'air cette dissolution

EFERUS - Recherche & Classification numérique

LIQUEUR AMMONIACALE		QUANTITÉS qu'il faut prendre pour former une liqueur d'épreuve contenant 1,569 p. 100 d'ammoniaque.	
Contenant en ammoniaque dans 100 part.	d'une pesanteur spécifique de	De la liqueur ammoniacale.	D'eau distillée
12,009	0,9517	114,08	886,02
11,875	0,9521	115,3	884,7
11,750	0,9526	116,5	883,5
11,625	0,9531	117,8	882,2
11,500	0,9536	119,0	881,0
11,375	0,9549	120,0	880,0
11,250	0,9545	121,7	878,3
11,125	0,9550	123,0	877,0
11,000	0,9555	124,5	875,5
10,954	0,9556	125,0	875,0
10,875	0,9559	126,0	874,0
10,750	0,9564	127,3	872,7
10,625	0,9569	129,0	871,0
10,500	0,9574	130,4	869,6
10,375	0,9578	132,0	868,0
10,250	0,9583	133,5	866,5
10,125	0,9588	135,0	865,0
10,000	0,9593	137,0	863,0
9,875	0,9597	138,0	861,4
9,750	0,9602	140,4	859,6
9,625	0,9607	142,2	857,8
9,500	0,9612	144,0	856,0
9,375	0,9616	146,0	854,0
9,250	0,9621	148,0	852,0
9,125	0,9626	150,0	850,0
9,000	0,9631	152,0	848,0
8,875	0,9636	154,0	846,0
8,750	0,9641	156,4	843,6
8,625	0,9645	158,7	841,3
8,500	0,9650	161,0	839,0
8,375	0,9654	163,5	836,5
8,250	0,9659	166,0	834,0
8,125	0,9664	168,5	831,5
8,000	0,9669	171,0	829,0
7,875	0,9673	173,8	826,2
7,750	0,9678	176,6	823,4
7,625	0,9683	179,5	820,5
7,500	0,9688	182,5	817,5
7,375	0,9692	185,6	814,4
7,250	0,9697	188,8	811,2
7,125	0,9702	192,0	808,0
7,000	0,9707	195,6	804,4
6,875	0,9711	199,0	801,0
6,750	0,9716	202,8	797,2
6,625	0,9721	206,6	793,4
6,500	0,9726	210,6	789,4
6,375	0,9730	214,7	785,3
6,250	0,9735	219,0	781,0
6,125	0,9740	223,5	776,5
6,000	0,9745	228,0	772,0
5,875	0,9749	233,0	767,0
5,750	0,9754	238,0	762,0
5,625	0,9759	243,4	756,6
5,500	0,9764	249,0	751,0
5,375	0,9768	254,7	745,3
5,250	0,9773	260,8	739,2
5,125	0,9778	267,0	733,0
5,000	0,9783	273,8	726,2

ammoniacale. Pour les vinaigres très faibles, on réussit mieux en étendant encore la liqueur d'épreuve avec son volume d'eau distillée. Alors, il faut prendre la moitié du résultat indiqué par l'instrument pour le degré acidimétrique du vinaigre essayé. Pour les vinaigres trop forts, au contraire, il faut les étendre d'une fois leur volume d'eau, ce qui est facile avec l'instrument, lequel porte en H une marque qui partage en deux parties égales l'espace entre A et B. Seulement, après l'épreuve, il faut avoir soin de doubler le nombre donné par l'instrument, pour avoir le véritable degré d'acidité du vinaigre essayé.

Le vinaigre après qu'il a été tiré au clair doit être conservé dans des vases propres, bien pleins et bouchés soigneusement, qu'on dépose dans un lieu tranquille, obscur et frais.

Lorsqu'il est en contact avec l'air, il s'y forme des animaux infusoires connus sous le nom d'*anguilles de vinaigre*, et appelés par les naturalistes *vibrion du vinaigre* (vibrio aceti); qui sont quelquefois assez gros pour être aperçus à la vue simple. Ces animaux pouvant faire corrompre le vinaigre, il faut les tuer en faisant passer ce liquide à travers un serpentin d'étain entouré d'eau élevée à la température de 90° à 100°. Ces animalcules périssent par l'action de la chaleur; après quoi, on filtre le vinaigre pour le rendre limpide, et ils ne s'y montrent plus. Lorsqu'on opère en petit, on chauffe le vinaigre dans des cruches ou dans des bouteilles qu'on place dans un vase plein d'eau, où on les laisse jusqu'à ce que cette eau entre en ébullition.

Conservé dans des vases ouverts, ou lorsqu'il est en vidange, le vinaigre perd de sa transparence, et peu à peu, il s'y rassemble une masse cohérente, gélatineuse et tranparente, qui paraît gluante et gonflée quand on la touche, et que les fabricants désignent improprement sous le nom de *mère de vinaigre*. Elle est produite aux dépens du vinaigre et celui-ci s'affaiblit d'autant plus qu'il se forme une quantité plus considérable de cette substance. Celle-ci est en quelque sorte, suivant M. Berzélius, le produit de la putréfaction du vinaigre; elle ne prend pas naissance dans le vinaigre très concentré, mais seulement dans le vinaigre étendu, et elle se forme d'autant plus facilement que celui-ci est plus faible. On prévient la décomposition, qui ne manque pas d'avoir lieu après ce dépôt, en filtrant le vinaigre à travers une chausse, ou mieux une couche un peu épaisse de poussière de charbon.

Enfin, le vinaigre bien préparé, contenant un peu d'éther acétique et un corps volatil particulier, qui lui donnent en partie l'odeur et la saveur qui le font rechercher, il importe de lui conserver ces principes en ne l'exposant pas à une température élevée, à l'action de la lumière et au contact prolongé de l'air.

On ajoute ordinairement au vinaigre de bois purifié un peu de sucre brûlé (caramel) et d'éther acétique, et même en France un peu de vin, pour lui donner autant que possible la couleur et le goût du vinaigre de vin. La propriété qu'il possède de blanchir les choux rouges qu'on y fait digérer, tient à ce qu'il renferme une petite quantité d'acide sulfureux dont on peut le débarrasser en le distillant, soit avec un peu de peroxyde de manganèse, soit mieux avec une très petite quantité de peroxyde de manganèse et d'acide sulfurique. On perd toujours dans cette opération un peu d'acide, parce qu'il se forme une petite quantité d'acétate de manganèse, et que d'ailleurs on ne peut pas distiller à sec dans le cas où on a ajouté de l'acide sulfurique.

Stolze a reconnu, à la suite d'un grand nombre d'expériences, que par la distillation, 100 kilogrammes de bois, donnent 36 à 48 kilogr. de produits liquides, desquels on retire 12 à 31 kilogr. d'acide pyroligneux, suivant la nature du bois employé. Les bois feuillus, durs et vieux, qui ont cru sur un sol sec, sont ceux qui donnent l'acide le plus concentré. Le bouleau blanc et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le hêtre rouge donnent par 100 kilogr. : 46 kilogr. d'acide pyroligneux distillé, 8 kilogr. d'huile empyreumatique et de goudron, et 25 kilogr. de charbon de bois; il faut 524 parties de l'acide obtenu pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse. Le pin rouge donne par 100 kilogr. : 41 kilogr. d'acide pyroligneux, 16 kilogr. d'huile empyreumatique et de goudron, et 24 kilogr. de charbon de bois; mais il faut 1309 parties de cet acide pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse, ce qui lui assigne une force qui est les 521/1309, ou exactement les deux cinquièmes de celle de l'acide obtenu par la distillation du bouleau. Il faut de 576 à 640 parties des acides préparés avec du houx, du hêtre blanc, du frêne ordinaire ou du châtaignier sauvage, ou bien 960 à 990 parties des acides provenant de la distillation de l'aulne ou du pin blanc, pour saturer 100 parties en poids de carbonate de potasse.

L'acide pyroligneux est exclusivement employé dans les arts, pour beaucoup d'opérations qui n'exigent pas de l'acide acétique parfaitement pur. On en fait un grand usage dans les ateliers d'impression sur indiennes, pour la préparation de l'acétate de fer dit *bouillon noir*, et pour celle de l'acétate d'alumine dit *liqueur rouge*. On s'en sert aussi pour fabriquer l'acétate de plomb; mais, dans ce cas, si l'acide renferme une quantité notable de matières goudronneuses, l'acétate de plomb ne cristallise qu'avec peine, sous la forme de concrétions imitant les choux-fleurs. On peut remédier à cet inconvénient en faisant bouillir la dissolution saline avec une très-petite quantité d'acide nitrique, qui détermine un précipité granulaire brunâtre et donne à la liqueur une teinte rougeâtre. On filtre ensuite sur du charbon pilé, et on obtient une dissolution incolore, qui fournit, par l'évaporation spontanée, des cristaux très-réguliers d'acétate de plomb.

L'acide pyroligneux possède au plus haut degré des propriétés anti-putrides. La viande qu'on y met tremper pendant quelques heures, peut ensuite être desséchée à l'air, sans crainte qu'elle se corrompe; mais elle devient dure en quelque sorte comme du cuir, de manière que ce mode de conservation n'est guère pratiquable pour les viandes de boucherie. On l'emploie quelquefois pour le poisson.

ACÉTONE ou *esprit pyro-acétique* (*angl.* pyro-acetic spirit, *all.* essiggeist). Ce liquide, découvert par Chenevix, s'obtient en soumettant à une distillation sèche les acétates alcalins ou terreux, tels que ceux de soude et de chaux. On le rectifie en le distillant de nouveau au bain-marie, sur du carbonate de potasse ou du chlorure de calcium. Quelquefois même, après plusieurs distillations successives, l'acétone conserve une odeur empyreumatique très-désagréable, analogue à celle de l'ail; on l'en débarrasse en la rectifiant sur du noir animal. L'acétone, ainsi préparée, est un liquide incolore très-limpide et très-volatil, d'une odeur éthérée et pénétrante, brûlant comme l'alcool, avec une flamme de peu d'apparence et légèrement bleuâtre. Il bout à 56°, sa densité est de 0,7921, à 15° et demi, et la densité de sa vapeur 2,019, sa composition est de :

Carbone.	62,5	$C^3 H^6 O$
Hydrogène	10,2	
Oxygène	27,3	
	100,00	

Ce qui donne une proportion ou *atome* d'acide acétique, moins un atome d'acide carbonique. On l'emploie pour dissoudre les résines-gommes, qui servent à donner de la consistance aux chapeaux.

ACIDES (*angl.* acids, *all.* saüre). On donne le nom d'acides aux substances qui ont la propriété de neutraliser les bases salifiables, en produisant une classe particulière de corps qu'on désigne sous le nom de sels. Ils ont généralement une saveur aigre, piquante, et rougissent certaines couleurs bleues végétales, notamment celle du tournesol.

Les acides sont les agents les plus énergiques qu'emploie la chimie industrielle pour transformer la composition des corps et créer de nouveaux produits. Leur rôle est d'une importance égale à celui des machines dans la transformation de la forme des corps. Les acides sulfurique et nitrique, surtout, sont d'un emploi incessant dans une foule d'industries, et nous les rencontrerons presque à chaque page de ce livre. (Voir l'article spécial au nom de chaque acide).

ACIDIMÉTRIE. Pour déterminer la valeur des acides qui se trouvent toujours dans le commerce étendus d'eau, on se sert généralement d'aréomètres, qui indiquent leur densité, d'où l'on conclut leur force avec quelque approximation. Si l'on craint le mélange de substances étrangères, qui peuvent faire varier cette densité, tout en diminuant la force de l'acide, on peut déterminer celle-ci exactement, en saturant l'acide avec une dissolution titrée d'alcali. On ajoute avant l'essai, à l'acide, quelques gouttes de teinture de tournesol, qui le colorent en rouge; lorsque la quantité d'alcali, que l'on ajoute par petites portions, arrive à ramener la couleur bleue, le point de saturation est atteint, et de la qualité d'alcali employée, il est facile de déduire la valeur réelle de la dissolution en acide pur.

Précisons, en donnant la manière d'opérer pour effectuer des essais qui doivent être répétés à chaque instant dans les fabriques.

Préparons une liqueur titrée alcaline (voy. ALCALIMÉTRIE), en dissolvant une quantité exactement pesée de carbonate de soude sec et pur dans l'eau distillée. On pourra prendre 3g,310 de ce carbonate et le dissoudre dans 50 grammes d'eau. La liqueur renfermera, par centimètre cube, 1 dix-millième d'équivalent de carbonate de soude. Car celui-ci = 662,17, dont le demi-centième = 3,310, dissous dans 50 grammes d'eau, donne bien à la liqueur la teneur indiquée ci-dessus. Cette liqueur sera versée dans une burette graduée.

Quel que soit l'acide à essayer, on en pèsera 2g,5 par exemple; on les placera dans un verre à pied, en les étendant à peu près de leur volume d'eau; on ajoutera quelques gouttes de tournesol bleu, qui vireront immédiatement au rouge; puis versant goutte à goutte, au moyen de la burette, la solution alcaline, on s'arrêtera au moment précis où la liqueur acide sera revenue au bleu.

En lisant alors sur la burette le nombre de centimètres cubes employés à la saturation, et, le mulpliant par 40, on saura combien il faut de dix millièmes d'équivalent de carbonate de soude pour saturer 100 grammes de l'acide à essayer. Il sera, dès lors, facile d'en déduire la richesse en centièmes de cet acide.

S'agit-il, par exemple, d'acide sulfurique, dont l'équivalent, à l'état monohydraté, est 612,5, on dira : chaque centimètre cube de la liqueur alcaline contient un dix millième d'équivalent de carbonate de soude et sature, par conséquent, un dix millième d'équivalent d'acide sulfurique monohydraté, soit 0,06125. Donc 2,5 renferment autant de fois 0,06125 d'acide qu'on a employé de centimètres cubes, et 100 grammes en renferment 40 fois plus. Si, par exemple, il faut 35 cent. cubes de liqueur alcaline, on écrira :

$$35 \times 0{,}06125 = 2^g{,}143, \text{ et } 2^g{,}143 \times 40 = 85{,}720.$$

Donc l'acide renfermera 85,72 p. 100 d'acide monohydraté. On opérera de même, quel que soit l'acide soumis à l'essai, en employant naturellement, dans le calcul ci-dessus, l'équivalent qui appartient à chacun d'eux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ACIER (*ang.* steel, *all.* stahl.). L'acier est un composé de fer et de carbone; la quantité de carbone qu'il renferme est très-faible et varie de 1 à 2 p. 100.

On y rencontre souvent des quantités moindres encore de silicium, de phosphore et d'azote. Ses propriétés physiques sont peu différentes de celles du fer (Voy., SERRURERIE, la comparaison de l'élasticité et de la ténacité des deux métaux), et il peut se travailler d'une manière analogue. Mais ce qui le caractérise essentiellement, c'est que, quand il a subi la trempe, c'est-à-dire quand après l'avoir porté à la chaleur rouge on le refroidit brusquement par l'immersion dans l'eau froide, il acquiert une grande dureté et devient alors propre à la confection des outils.

En considérant la trempe dure comme la qualité essentielle de l'acier et en tenant compte des conditions à satisfaire pour un bon travail, on définissait autrefois, ainsi qu'il suit, les caractères du bon acier :

1° Trempé à un faible degré de chaleur il acquiert une grande dureté.

2° Sa dureté est uniforme dans toute la masse.

3° Après la trempe, il résiste au choc sans se rompre, et ne perd sa dureté que par un recuit très-intense.

4° Il se soude avec facilité, ne se fendille pas, supporte une chaleur très-élevée et conserve presque toute sa dureté après un raffinage répété.

5° Il montre dans sa cassure, le grain le plus fin et le plus égal, jouit d'une grande pesanteur spécifique, et convient aux objets polis, parce qu'il est très-homogène et offre beaucoup d'éclat.

Une propriété curieuse de l'acier, c'est d'être très-sonore lorsqu'il a été forgé, refroidi lentement et limé. Il produit alors des sons agréables et harmonieux; aussi est-il propre à la confection des ressorts harmoniques, etc.... Il n'en est plus de même lorsqu'il a été trempé ; il ne rend plus alors que des sons ternes et voilés, semblables à ceux qu'on tire des instruments félés.

Il est inutile de démontrer quel admirable et précieux métal constitue l'acier par sa dureté, sa résistance, sa propriété de se tremper. Sans lui, on peut dire que l'industrie moderne n'existerait pas, et c'est une conséquence nécessaire en quelque sorte de sa grande utilité, que l'importance et les progrès de sa fabrication aient suivi les progrès de l'industrie. Ils ont été considérables de nos jours, et quant à l'économie de la production qui a permis d'en multiplier l'emploi, et quant à la variété des qualités propres à des applications spéciales. Aussi, tandis que la trempe était considérée autrefois comme la propriété caractéristique du bon acier, les progrès de la fabrication ont conduit à fabriquer des qualités d'acier fondu, malléables et tenaces à un très-haut degré, mais qui ne prennent pas la trempe, et qui par suite seraient, dans les idées anciennement admises, plutôt du fer fondu que de l'acier. Aussi a-t-on proposé de placer dans la fusion même le caractère distinctif des fers et des aciers, seul moyen de permettre une classification rationnelle, basée sur un fait d'une importance capitale sur lequel nous reviendrons plus loin.

On distingue plusieurs sortes d'acier d'après les procédés qui ont servi à les préparer; ils ont des caractères généraux semblables, mais diffèrent souvent beaucoup entre eux en raison de la nature du minerai et des matières qui sont entrées dans la fabrication, comme de la perfection du travail. Ce sont :

1° L'*acier naturel*, retiré directement des minerais, produit par leur réduction.

2° L'*acier de cémentation* produit par la carburation du fer.

3° L'*acier de forge*, produit par l'affinage incomplet de la fonte.

I. ACIER NATUREL. On obtient souvent, dans les forges catalanes, du *fer cédat*, ou *acier naturel*, en traitant certains minerais d'une grande richesse. Nous exposons cette fabrication et les moyens de produire à volonté du fer ou de l'acier naturel à l'article *Forges catalanes*.

Les progrès de la métallurgie n'ont pas laissé absolument de côté cette production directe de l'acier, qui semble la plus logique de toutes, car on n'a pas à passer par la fabrication intermédiaire de la fonte ou du fer. Nous donnons, à l'article ÉPONGES MÉTALLIQUES du *Complément*, l'indication des essais faits dans cette direction par M. Chenot. Mais ce sont surtout les perfectionnements du pudlage pour acier, à l'aide des gaz, à volonté réducteurs ou oxidants que nous décrivons plus loin, qui peuvent permettre de traiter directement des minerais riches, soit employés seuls, soit partiellement comme décarburants de la fonte, comme nous l'expliquerons. La question n'est donc pas différente de celle que nous étudions ci-après, quant aux procédés techniques conduisant à la solution du problème.

II. ACIER DE CÉMENTATION. La cémentation consiste essentiellement à carburer le fer forgé sous l'influence prolongée d'une haute température au contact du charbon de bois. Les matières mises en présence sont toujours chauffées en vase clos, c'est-à-dire préservées par des parois réfractaires et imperméables contre l'action des gaz émanant du foyer où se produit la chaleur nécessaire à la réaction. Chaque fourneau de cémentation reçoit de 10,000 à 25,000 kilogr. de fer à cémenter par opération. La figure 11 représente la coupe trans-

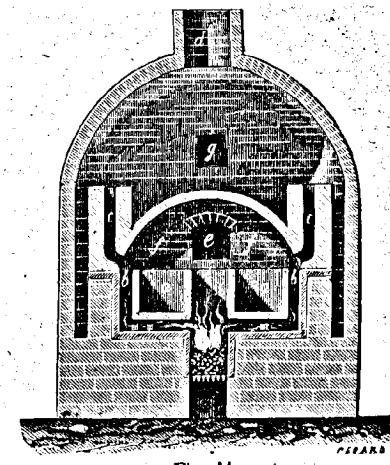


Fig. 11.

versale d'un fourneau de cémentation du comté d'York en Angleterre. Ce fourneau reçoit une charge de 17,600 kilogr. de fer. Les caisses de cémentation *a* sont construites soit en briques réfractaires, soit en grès quartzeux soigneusement taillé. Les parois verticales en grès ont ordinairement 0m,15 d'épaisseur ; celles en briques sont composées de deux assises de briques posées de champ, et n'ont que 0m,11 d'épaisseur. Le fond a moitié en sus de l'épaisseur des parois verticales. La longueur de chaque caisse intérieurement est de 3m,11, sa profondeur de 0m,86, et son volume 3m,138. Les deux caisses sont placées au même niveau, et d'une manière symétrique par rapport à la chauffe qui les sépare. Celle-ci a 0m,46 de large, est à 0m,63 en contrebas des caisses, et s'étend sur toute leur longueur. L'enceinte qui enveloppe les caisses et la chauffe, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans laquelle le combustible développe son effet calorifique, se compose de quatre parois verticales, recouvertes par deux voûtes surbaissées et raccordées en arc de cloître. Les parois verticales sont à 15 ou 16 centim. des faces extérieures des caisses, et la hauteur de la voûte est de 0m,90 à 1m,50. Cette hauteur est nécessaire pour que les ouvriers se tiennent aisément dans le fourneau lorsqu'ils chargent les caisses ou enlèvent l'acier. Les ouvertures *f*, *f*... servent à introduire les barres à cémenter et à les retirer après la cémentation. D'autres ouvertures permettent de retirer dans le cours même de l'opération, et à diverses époques successives, des éprouvettes ou barres d'essai disposées à cet effet lors du chargement des caisses, qui servent à apprécier les progrès de la cémentation, et à reconnaître le moment où l'opération est terminée. La flamme circule autour des caisses par les canaux *b*, *b*...., et les baigne sur toutes leurs faces, puis s'échappe par des rampants *c*..., de 0m,15 de côté, disposés deux par deux, qui la conduisent dans six petites cheminées verticales, carrées, de 0m,20 de côté, et s'élevant à peine de quelques centim. au-dessus du niveau de la voûte. Une grande cheminée conique, de 10 à 15 mèt. de hauteur, et construite en briques communes, donne issue aux gaz et à la fumée sortant des petites cheminées.

Les meilleurs fers de cémentation sont les fers suédois, norvégiens et russes, très-purs, fabriqués au charbon de bois. Parmi les fers suédois, les fers de *Danemora*, marqués L, OO, et JB, sont les plus recherchés, et parmi les fers russes ce sont ceux de *Nijni Taguilsk*, marqués CCMD. Tous les fers du nord que recherchent les fabricants d'acier de cémentation se distinguent par une couleur gris bleuâtre éclatante, assez analogue à celle du zinc, et par une structure grenue, compacte, passant à une structure lamellaire plus ou moins prononcée, plus rarement à la structure fibreuse. Les barres à cémenter ont une section méplate, leur épaisseur varie de 0m,008 à 0m,20. et leur largeur de 0m,060 à 0m,140. On emploie comme *cément* du menu charbon de chêne, partie à l'état pulvérulent, partie concassé en fragments dont le volume ne dépasse pas 2 centimètres cubes. On a souvent essayé sans succès d'employer comme cément le charbon calciné d'une opération précédente ; ordinairement on diminue un peu la dépense sans altérer sensiblement la propriété carburante du cément, en passant avec le charbon neuf un quart de charbon calciné. La houille est le seul combustible employé en Angleterre, soit pour le chauffage nécessaire pour produire la cémentation, soit pour toutes les autres branches du travail de l'acier.

La conduite d'un fourneau de cémentation exige deux ouvriers; ceux-ci commencent par couper les barres à cémenter en tronçons qui ont toujours 0m,05 de moins que la plus grande dimension des caisses. On place d'abord au fond de chaque caisse une couche de cément épaisse de 0m,08, puis on stratifie de deux manières différentes le fer avec de nouvelles couches de cément. Tantôt on pose à plat et par lits horizontaux les barres à peu près juxtaposées, et on les sépare par des couches de charbon épaisses de 0m,008 à 0m,015; tantôt on les pose de champ. Lorsqu'on est arrivé au niveau des quatre ouvreaux *h*, *h*,.., on y dispose des fragments de barres, de telle sorte qu'on puisse aisément les retirer pour juger par leur aspect du progrès de la cémentation. Enfin on termine toujours le chargement par une couche de cément épaisse de 0,08, qui doit rester à quelques centimètres au-dessous du bord supérieur des caisses. Les caisses ainsi chargées sont hermétiquement fermées par un moyen aussi simple qu'efficace, qui consiste à recouvrir la dernière couche de charbon par une couche de 0m,10 d'une sorte de mortier formé des détritus pulvérulents qui se déposent au pied des meules d'aiguisage. Cette matière qui se compose essentiellement de quartz pulvérulent et de parcelles d'acier oxydées à leur surface, se coagule et se ramollit par l'action de la chaleur, sans jamais se liquéfier.

La mise en feu doit être conduite avec beaucoup de ménagement, quand le fourneau est neuf, ou quand une partie de la maçonnerie a été renouvelée; mais dans le cas ordinaire on pousse rapidement le feu, afin de porter aussi promptement que possible les caisses à la température rouge où la cémentation se produit. Pour le fourneau que nous avons décrit, cette mise en feu dure vingt-quatre heures. L'habileté de l'ouvrier consiste surtout à régler le feu, de manière à entretenir constamment la température rouge vif qui convient le mieux à la cémentation, sans la dépasser et sans laisser jamais la grille dégarnie. Il n'y a point de registre pour faire varier le tirage, en sorte que l'ouvrier ne peut diriger le feu qu'au moyen des soins qu'il donne à la chauffe. On maintient le feu pendant un nombre de jours proportionné à la section transversale des barres à cémenter, et au degré de carburation qu'on veut leur donner. Pour une charge de 17,600 kilogr., la durée du feu varie entre 5 et 9 jours; elle est ordinairement de 7 jours, mais il faut considérer que la cémentation se produit encore assez longtemps après qu'on a cessé de charger le combustible, pendant la période du refroidissement.

On termine l'opération en faisant refroidir le fourneau beaucoup plus lentement qu'on ne l'avait échauffé. A cet effet, on laisse accumuler le mâchefer sur la grille de manière à la boucher complétement. Le fourneau étant refroidi au-dessous du rouge sombre, on ouvre progressivement les divers orifices pour hâter le refroidissement au moyen de l'air frais. Ordinairement on peut procéder au défournement huit jours après que l'on a cessé de fournir du combustible au foyer.

En résumé, la cémentation de 17,600 kilogr. de fer exige moyennement le nombre de jours indiqué ci-après :

Chargement, fermeture des caisses, nettoyage des carneaux et du foyer, fermeture des portes et ouvreaux.	1 jour.
Chauffage.	7
Refroidissement.	8
Déchargement, menues réparations. . .	1
Total.	17 jours.

Un fourneau de cette capacité, maintenu en pleine activité, ne reçoit guère que 20 charges par an.

Les propriétés physiques du fer sont complétement modifiées par la cémentation. La malléabilité, qui est développée au plus haut degré dans les bonnes marques de fer à acier, est détruite dans l'acier brut, au point que les barres se brisent quand on les laisse tomber d'une faible hauteur sur l'arête d'une enclume ; on peut les réduire en très-petits fragments sous le choc d'un simple marteau à main. La surface des barres les mieux forgées devient très-inégale; elle est couverte d'ampoules, ce qui a fait donner à l'acier de cémentation le nom d'*acier poule*, et l'on y voit en outre distinctement l'empreinte de fragments de charbon avec lesquels cette surface était en contact. On remarque dans la cassure transversale des meilleures sortes d'acier brut de cémentation de nombreuses fissures, ordinairement parallèles aux grandes faces de la barre. Dans les aciers communs, ces fissures atteignent des dimensions assez considérables, et se prolongent jusqu'à la surface de la barre. La structure est toujours lamellaire; les lamelles sont incomparablement plus grandes que celles qu'on remarque dans certains fers ; elles dépassent souvent un centimètre. Leur surface, au lieu d'être plane et brillante, est grenue ou écailleuse et ré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fléchit mal la lumière; aussi la cassure est-elle moins éclatante que celle des fers lamellaires. Enfin la couleur est elle-même profondément modifiée; la nuance bleuâtre a disparu, et est remplacée par un blanc grisâtre.

Voici le tableau du prix moyen de revient des 100 kilogrammes d'acier brut de cémentation en Angleterre.

Fer, 99k,1 à 45 fr. les 108 kilog. . . .	41f,60c
Charbon de bois, 5k,5 à 5f,40 les 100 kil.	0f,30c
Houille, 75k à 1f,06c les 100 kilogr. . .	0f,80c
Main-d'œuvre à 3f,62c par journée. . . .	0f,72c
Frais généraux.	1f,71c
Total.	48f,13c

Acier laminé. Pour la fabrication des ressorts de voitures, on se contente de réchauffer les barres d'acier brut dans un four à réverbère et de les passer ensuite au laminoir, afin de rapprocher et de souder les parties fissurées par la cémentation. Le déchet est de 2 à 3 p. 100, et on dépense 50 p. 100 de houille.

Acier étiré. Le réchauffage de l'acier se fait dans des foyers à tuyère, alimentés avec de la houille menue, très-collante, qui forme voûte au-dessus du foyer, et analogues aux forges de maréchaux. L'étirage se fait au martinet.

L'acier simplement étiré se prépare au moyen de deux opérations successives : dans la première qu'on nomme *ressuage*, on chauffe une à une chaque barre brute de cémentation, puis on la soude sous le martinet en lui donnant à peu près une forme carrée, mais sans en diminuer notablement la section transversale. Dans la seconde opération, on réchauffe la barre au blanc soudant, et on l'étire aux diverses dimensions que réclame le commerce. Cet acier est peu homogène, ordinairement pailleux et ne convient que pour les fabrications de qualité moyenne. On consomme 105 kil. d'acier brut et 60 kilogr. de houille, par 100 kilogr. d'acier étiré obtenu.

Acier corroyé. L'acier une fois corroyé se prépare de même au moyen de deux opérations successives : dans la première, nommée *soudage*, on chauffe une trousse ou paquet composé de plusieurs fragments de barres d'acier cémenté, jusqu'à ce qu'il ait atteint la température du blanc soudant, puis on le soumet avec précaution à l'action du martinet, de manière à souder ensemble tous les fragments. Pour rendre le soudage plus facile et plus prompt, on place quelquefois au-dessus et au-dessous de l'acier brut des barres auxquelles on a déjà fait subir un ressuage. Le massiau soudé est ensuite reporté au feu et étiré à la dimension voulue. On consomme 111 kilogr. et demi d'acier brut et 100 kilogr. de houille par 100 kilogr. d'acier une fois corroyé obtenu.

L'acier deux fois corroyé se prépare de la même manière que la sorte précédente, avec cette différence, qu'on emploie pour matière première des barres une fois corroyées, réunies ordinairement au nombre de douze à dix-huit en un seul paquet. Enfin, on prépare quelquefois, pour la fabrication de certains objets de qualité supérieure, des aciers trois fois corroyés. Les déchets sur le second et le troisième corroyage sont d'environ 5 p. 100, et chacun d'eux donne lieu à une consommation de 120 kilogr. de houille par 100 kil. d'acier corroyé obtenu.

Nous invitons les personnes qui désireraient avoir plus de détails relativement à la fabrication de l'acier de cémentation et de l'acier fondu, à consulter le beau travail de M. *Le Play*, sur les aciéries d'Angleterre, inséré dans *les Annales des mines* pour 1843.

Théorie de la cémentation. En 1850, M. Caron a présenté à l'Académie des sciences une série d'expériences qui tendent à prouver que le corps aciérant dans la cémentation, dont on soupçonnait l'existence, devait être un cyanure alcalin, formé en présence du charbon par l'azote qui forme l'atmosphère des caisses de cémentation et par l'alcali que les charbons de bois contiennent toujours en quantité notable.

Pour le prouver, il suffisait de faire voir que le charbon sans alcali et sans azote ou sans l'un de ces deux corps ne donnait jamais de cémentation.

Un morceau de fer, entouré de charbon privé d'alcali par le lessivage et la calcination, fut chauffé au rouge dans un courant d'azote; il n'y eut pas de cémentation.

Un morceau de fer entouré de charbon ordinaire non lessivé et non calciné, fut chauffé au rouge dans un courant de gaz hydrogène bien privé d'azote; il n'y eut pas de cémentation.

D'un autre côté, du charbon privé d'alcali, et qui n'avait pu produire de cémentation sous l'influence de l'azote, devint un cément très-actif après qu'il eût été imbibé d'une dissolution alcaline.

Du charbon de bois non lessivé et non calciné, mais qui n'avait pu cémenter du fer (*sensiblement*) en l'absence (*difficile à obtenir absolu*) de l'azote, devient aussi un cément actif sous l'influence de ce gaz.

Il était donc démontré que la cémentation, telle qu'elle se pratique dans l'industrie, nécessitait non-seulement la présence du charbon et de l'azote, mais encore celle d'un alcali. Or, le charbon, l'azote et un alcali mis en présence au rouge, forment toujours un cyanure quand l'alcali se trouve être de la potasse, de la soude, de la lithine, de la baryte ou de la strontiane; on pouvait donc penser que la cémentation se faisait par les cyanures, corps volatils au rouge, et indécomposables à cette température par la chaleur seule. Comme confirmation de cette hypothèse, on reconnut que la chaux qui, dans les mêmes circonstances, ne donne pas de cyanure, ne produit non plus aucune cémentation.

Si l'on examine ce qui se passe dans les opérations industrielles, on aura encore, s'il est besoin, une confirmation de la justesse de l'hypothèse précédente. En effet, le charbon qui a servi une fois à la cémentation n'est plus actif, et doit être rejeté ou mélangé par économie avec une grande quantité de charbon neuf. Ce n'est cependant ni l'azote, ni le carbone qui manquent après la première opération : c'est l'alcali qui a été entraîné par les gaz; sans alcali, il n'y a plus de cyanure possible, et sans cyanure il n'y a plus de cémentation.

Pourquoi l'industrie a-t-elle reconnu l'utilité d'ajouter au charbon de bois des cendres, du sel, des matières animales, etc.? C'est parce que ces différents corps contiennent, sans exception, des alcalis qui activent la cémentation en permettant la production d'une plus grande quantité de cyanures.

Pourquoi enfin l'aciération avec les ciments potassiques, sodiques et surtout barytiques, est-elle plus lente et exige-t-elle une plus haute température qu'avec les céments ammoniacaux? C'est parce que les cyanures de potassium, de sodium et de baryum, exigent pour se former, pour se volatiliser et pour cémenter plus de temps et plus de chaleur que les cyanures ammoniacaux.

Wootz. C'est par cémentation et à l'aide d'un procédé peu connu, suivi dans l'Inde par les naturels du pays, qu'est fabriqué l'acier indien renommé dit *wootz*.

Le minerai de fer est composé de 58 p. 100 de fer oxydulé et de 42 p. 100 de gangue quartzeuse. Il est fondu dans un petit fourneau à poitrine fermée, en argile réfractaire, de 1m,20 à 1m,50 de hauteur, qui a intérieurement 0m,60 à 0m,70 de côté près de la sole et 0m,30 à 0m,35 au gueulard. La soufflerie se compose de sortes d'outres en peau de chèvre, d'où l'air est conduit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par des tuyaux de bambous creux dans la tuyère en argile du fourneau. Après avoir rempli celui-ci de charbon de bois, on introduit par la tuyère un tison enflammé et on donne le vent. Tout le charbon ne tarde pas à s'allumer et s'affaisse à mesure qu'il se consume. On charge alors par le gueulard une certaine quantité de minerai concassé en petits fragments et préalablement humecté d'eau, sans y ajouter aucun fondant, puis on achève de remplir le fourneau avec du charbon. Trois ou quatre heures après, l'opération est terminée; on arrête le vent, on démolit un petit mur en argile de 30 à 40 centim. de hauteur, qui fermait provisoirement la poitrine ou partie antérieure du fourneau, et l'on retire la loupe ou masse de fer avec des pinces. On la bat sur le sol de l'usine pour en séparer autant que possible les scories dont elle est imprégnée, et on la coupe en partie à la tranche, afin de pouvoir facilement examiner la qualité de la masse à l'intérieur. On vend en cet état le fer aux forgerons qui le réchauffent et l'étirent en barres. On ne retire environ que 15 de fer pour 100 de minerai employé; cela tient à ce que, n'ajoutant point de fondant pour le quartz, celui-ci ne passe dans les scories qu'en dissolvant une quantité très-considérable d'oxyde de fer qui forme à peu près les deux tiers de celle contenue dans le minerai; d'un autre côté il se peut que les silicates terreux que l'on pourrait former par l'addition de fondants, ne soient pas fusibles à la faible température qui est développée dans ces fourneaux, et qu'avec les appareils ci-dessus, il soit impossible de séparer la gangue autrement qu'à l'état de silicate métallique.

Les Indiens cémentent le fer ainsi obtenu dans des creusets façonnés avec une argile réfractaire, mélangée de paille de riz hachée en assez grande quantité. On charge environ 500 grammes de fer coupé en fragments dans chaque creuset et au-dessus 50 grammes de bois sec, coupé très-menu, puis le tout est recouvert avec deux ou trois feuilles vertes : on choisit de préférence pour cette opération du bois du *cassia auriculata* et des feuilles de l'*asclepias gigantea* ou du *convolvulus laurifolius*. Enfin on ferme les creusets avec une couche d'argile humectée, que l'on tasse aussi fortement que possible, afin de prévenir tout contact avec l'air.

On empile les creusets ainsi préparés, au nombre de 20 à 25 dans un petit fourneau à courant d'air forcé, alimenté au charbon de bois, où on les maintient à une température aussi élevée que possible, pendant deux heures et demie environ. Au bout de ce temps, on regarde l'opération comme terminée ; on retire les creusets du feu et après qu'ils sont refroidis, on les casse et on en retire l'acier sous la forme de culots. Lorsque ce culot présente des protubérances à sa surface, l'acier est de mauvaise qualité et l'opération est manquée; lorsqu'au contraire, la surface du culot est régulière et couverte de stries rayonnant du centre, l'acier est d'excellente qualité. On obtient ordinairement par opération 4 à 5 culots plus ou moins défectueux. Quand on choisit les culots bien réussis et qu'après les avoir refondus, on les forge avec soin, on obtient un produit d'excellente qualité, et qui, d'après *Stodart*, est supérieur pour la coutellerie fine aux meilleurs aciers fondus anglais.

Les culots d'acier obtenus comme nous l'avons dit, sont très-cassants; avant de les forger, les Indiens les adoucissent par un ressuage, qui consiste à les maintenir au rouge pendant plusieurs heures dans un petit fourneau à courant d'air forcé et au charbon de bois. Pendant cette opération l'acier perd une partie de son carbone, s'adoucit, et se laisse ensuite aisément étirer sous le marteau.

Acier fondu. L'acier brut de cémentation se prête difficilement au corroyage et à l'étirage. Il perd assez rapidement sa propriété aciéreuse dans les nombreuses chaudes qu'on lui fait subir pour lui donner plus d'homogénéité, et le corroyage ne fait disparaître qu'imparfaitement les défauts de continuité ou *pailles* que la cémentation développe dans la plupart des fers à acier.

On remédie à tous ces inconvénients par la fabrication de l'acier fondu dont la découverte est due à Benjamin Huntsmann, qui fonda le premier établissement de ce genre à *Handsworth*, près *Sheffield*, en 1740, et a mérité de prendre place parmi les célébrités industrielles en produisant une matière admirable, qui a permis d'obtenir des instruments tranchants d'une qualité supérieure.

La partie principale du matériel de fabrication est un fourneau à courant d'air naturel, recevant deux creusets où l'acier est fondu à l'abri des gaz de la combustion.

Chaque fourneau (fig. 12) est un parallélipipède rec-

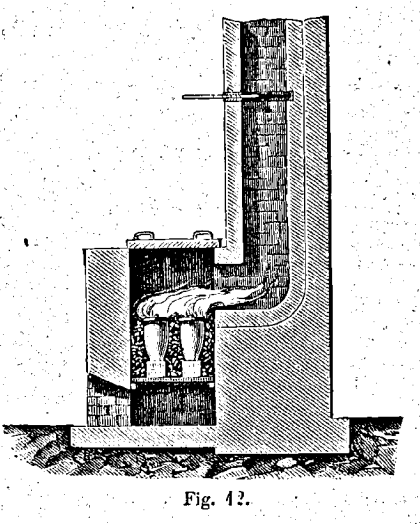


Fig. 12.

tangulaire de 0m,58 de long, 0m,34 de large et 0m,91 de profondeur ; à la partie supérieure, l'ouverture se rétrécit et n'a plus que 0m,23 sur 0m,30. La grille se compose de cinq barreaux de 0m,025 à 0m,035 de côté. Trois des côtés du prisme se prolongent juqu'au sol à 1m,71 au-dessous de la grille; le quatrième côté reste ouvert pour laisser un large accès à l'air atmosphérique nécessaire à la combustion. Un *rampant* ou canal horizontal rectangulaire de 0m,38 de large, 0m,14 de hauteur, et long de 0m,64, dont l'arête supérieure est à 0m,11 en contre-bas de l'orifice du fourneau, conduit les gaz de la combustion dans une cheminée à section le plus ordinairement carrée, de 0m,30 de côté, et qui a de 10 à 12 mètres d'élévation. Les parois du fourneau sont faites avec du grès quartzeux très-compacte et excessivement réfractaire. Ces fourneaux sont toujours

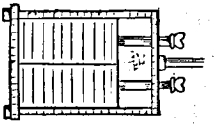


Fig. 13.

réunis sur une même file au nombre de 4 à 10. Pendant la fusion, on ferme leurs orifices supérieurs avec un couvercle (figure 13), formé de larges briques ré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fractaires maintenues par des vis de pression dans un cadre en fer.

Le four Siemens a trouvé ici une heureuse application dans les grandes aciéries.

Pour la fabrication des creusets à fondre l'acier, on emploie de l'argile de *Stourbridge* que l'on mélange avec une certaine quantité d'argile de *Stannington*. Voici, d'après M. Le Play, la composition de ces deux sortes d'argiles.

	Stourbridge.	Stannington.
Silice.	46,1	42,0
Alumine.	38,8	40,9
Magnésie.	«	0,1
Chaux.	«	1,3
Oxyde de fer.	«	trace
Perte au feu (eau, matières combustibles volatiles). .	12,8	14,7
Carbone produit par la calcination en vase clos. .	1,5	«
	99,2	90,0

Le mélange qui sert à fabriquer chaque creuset est composé comme il suit :

Argile de Stourbridge sèche pulvérisée. .	5k,22
— de Stannington id. id. . . .	5k,22
Fragments de vieux creusets pulvérisés.	0k,43
Coke pulvérisé.	0k,05
	10k,42

Les creusets ont environ 1m,60 de hauteur. Ils sont faits à l'aide d'un moule cylindrique, en fonte NN, ouvert à ses deux bouts. Ce cylindre est inséré dans une semelle en fonte MM, solidement attachée sur une pièce de bois circulaire convenablement élevée. Dans le centre de la semelle, suivant l'axe du cylindre, est percé un trou qui reçoit l'extrémité d'une tige supportant le moule intérieur. Celui-ci est formé d'un morceau de bois dur, dont la surface correspond à la forme intérieure du creuset ; à travers le centre de cette pièce passe un axe en fer, dont l'extrémité supérieure arrondie s'élève au-dessus du couvercle circulaire en bois. On voit le tout en place dans la fig. 14, et le vide qu'on y observe répond à la forme et aux dimensions du creuset. La surface de N et celle du noyau ayant été

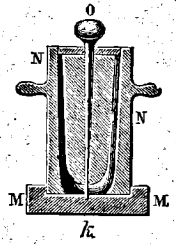


Fig. 14.


Fig. 15.


Fig. 16.

enduites d'huile, de l'argile est placée dans l'intérieur et le noyau sert à la comprimer à la main ; à la fin on frappe avec un marteau sur la tête arrondie de l'axe en fer O, jusqu'à ce que son extrémité entre dans le trou K pratiqué dans la semelle. Pour dégager l'argile moulée, la pièce centrale est enlevée et le trou du centre bouché ; le moule extérieur renfermant l'argile est alors élevé sur un bloc de bois supporté par une forte tige de fer, fig. 15, d'un diamètre un peu moindre que celui du fond du pot. On fait descendre doucement le moule sur ce bloc, sur lequel reste le creuset. La partie supérieure de celui-ci est alors achevée à la main et pressée intérieurement de manière à prendre la forme représentée fig. 16.

Le plus grand diamètre extérieur est 0m,19, la hauteur 0m,41 ; l'épaisseur varie progressivement de 0m,030 (fond) à 0m,44 (bord supérieur). Les fromages sur lesquels reposent les creusets, sont de petits cylindres ayant 0m,13 de diamètre sur 0m,08 de hauteur. Les couvercles, légèrement bombés au centre, ont pour épaisseur maximum 0m,04.

Chaque creuset, pesant environ 25 livres, est porté, aussitôt terminé, dans une étuve chauffée, où il sèche lentement, et quelques heures avant de les employer chauffés au rouge. Ils servent rarement plus de trois fois sans être fondus, de telle sorte que leur fabrication doit être continue ; on compte qu'il en faut 108 par semaine pour un fourneau de dix creusets.

Le coke employé dans les fonderies d'acier est dense, très-dur, et préalablement concassé en fragments dont le volume est compris entre 60 et 190 centimètres cubes. L'essai d'un coke réputé de très-bonne qualité pour la fusion de l'acier a donné :

Carbone fixe.	83,7
Substances combustibles volatiles. . .	3,9
Eau hygrométrique.	1,5
Cendres argileuses, très-réfractaires. .	10,9
	100,0

La durée des campagnes varie de trois à cinq jours, et encore, bien qu'ils restent allumés, les fourneaux ne travaillent que dix heures sur vingt-quatre.

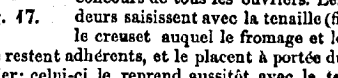
On commence par chauffer le fourneau pendant douze heures environ, très-graduellement, jusqu'au rouge sombre, puis on y introduit les creusets vides, préalablement séchés à l'air, et portés ensuite au rouge dans un four à recuire particulier. On place le couvercle sur les creusets vides, on remplit les fourneaux de coke frais, on débouche les rampants, fermés jusqu'alors par une brique, et l'on ferme l'orifice supérieur. Il se produit immédiatement un très-fort tirage et dans l'intervalle d'une demi-heure le fourneau atteint une température fort élevée.



Fig. 17.

On procède alors au chargement en découvrant les creusets et en se servant d'un entonnoir en tôle, de manière à faire tenir dans chaque creuset la plus grande charge possible ; elle est ordinairement de 13 à 14 kil. par creuset. La charge faite, on replace le couvercle des creusets, on remplit le fourneau de coke frais, on ferme au moyen du couvercle l'orifice supérieur, et l'on commence la fusion. Ordinairement on charge d'heure en heure 20 à 25 kilogr. de coke à la fois dans chaque fourneau : cette charge se fait aussi rapidement que possible. La fusion de l'acier est complète quatre heures environ après le chargement : le fondeur s'assure de l'état de la charge en découvrant les creusets.

La coulée du métal en lingots se fait avec la plus grande célérité et exige le concours de tous les ouvriers. Les fondeurs saisissent avec la tenaille (fig. 17) le creuset auquel le fromage et le couvercle restent adhérents, et le placent à portée du chef d'atelier; celui-ci le reprend aussitôt avec la tenaille (fig. 18), détache le couvercle par un léger coup de


Fig. 18.

marteau, et verse immédiatement tout le contenu dans une lingotière en fonte. On remet ensuite les creusets

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vides dans le fourneau, et on procède de même dans la journée à une deuxième et troisième fonte qui ne durent chacune que trois heures, par suite de l'échauffement des fourneaux. Les creusets ne servent qu'à trois fontes. Les lingots d'acier pèsent 12 à 16 kil., et ont ordinairement la forme de prismes octogonaux de 25 à 30 centimètres carrés de section, et 60 centimètres de longueur.

Bien que l'acier fondu brut soit cassant, les lingots, en raison de leur section considérable, sont assez difficiles à briser. La cassure fraîche offre une couleur grise sans reflet bleuâtre. La masse entière est ordinairement criblée de petites cavités de forme arrondie à surface irisée, et presque toujours il existe au centre une cavité beaucoup plus grande dont la surface, également irisée, est tapissée d'une multitude de cristaux aciculaires. Considérée en petit, la cassure est grenue, âpre et comme chagrinée; mais lorsqu'on fait miroiter la lumière sur l'ensemble de la cassure, on y aperçoit distinctement une disposition lamellaire fibreuse très-régulière; ces fibres sont toutes perpendiculaires à la surface extérieure contiguë, en sorte que leur rencontre dessine très-régulièrement les deux diagonales du carré qui résulte de la section transversale du lingot.

Le prix de revient des 100 kilogr. d'acier fondu brut s'établit moyennement comme il suit en Angleterre.

Acier brut de cémentation, 102k,7 à 48f,13 les 100k	49f,43
Coke, 325k à 1f,65 les 100k	5f,36
Main-d'œuvre, 11,23 à 3f,07	3f,78
Autres frais et bénéfice	11f,94
	70f,51

Les lingots d'acier fondu présentent toujours, comme nous l'avons dit, dans leur partie centrale, des cavités dues au retrait que prend le métal fondu en se solidifiant; ils sont en outre dépourvus de malléabilité. On ne peut donc les employer dans l'industrie manufacturière qu'après les avoir soumis à une suite de ressuages et d'étirages opérés avec de grandes précautions. Les barres d'acier fondu raffiné l'emportent en général sur les sortes provenant des mêmes fers, et obtenues par un double corroyage de l'acier de cémentation; elles sont moins pailleuses, plus homogènes et retiennent mieux dans les élaborations ultérieures la propriété acéreuse.

Influence des corps que l'on rencontre dans l'acier. Avant de passer à l'étude de fabrications qui n'ont plus leur point de départ dans l'emploi de fers exceptionnellement purs, il faut bien connaître l'influence des corps étrangers, qui sont cause des qualités différentes obtenues dans chaque usine. M. Caron, dans ses excellentes recherches sur l'acier, a parfaitement défini l'influence des divers corps qu'on rencontre le plus souvent dans l'acier, ce qui permet d'expliquer bien des résultats et bien des déceptions rencontrées dans diverses tentatives de fabrication. Nous lui empruntons ce qui suit.

Les corps que l'on rencontre le plus souvent dans l'acier sont le silicium, le soufre, le phosphore et l'arsenic, l'étain, le zinc, le cuivre, etc., etc., le manganèse, le tungstène, le titane, etc., etc. Nous examinerons successivement l'influence de ces corps sur les qualités de l'acier, en comparant leurs alliages aux carbures de fer que nous connaissons.

Carbone. Quelle que soit la température et le temps de chauffe employés, le fer ne s'allie jamais à plus de cinq ou six pour cent de carbone, et souvent même, après le refroidissement du métal, une grande partie du carbone, qui s'était dissoute d'abord, se sépare ensuite et se retrouve à l'état de graphite disséminé dans la masse. Les carbures de fer durcissent toujours par la trempe, et le recuit peut, dans certains cas, leur faire acquérir de nouvelles propriétés.

Silicium. Le fer se comporte tout autrement avec le silicium; ce métalloïde donne des alliages plus fusibles et plus durs que le fer; ils sont souvent malléables, si la proportion n'en est pas trop considérable. Mais, quelle que soit la rapidité ou la lenteur du refroidissement de l'alliage porté au rouge, le silicium reste toujours combiné au fer. La trempe et le recuit n'ont aucune influence sur la dureté du métal. Ce corps a, en outre, une propriété particulière fort importante à connaître. Lorsqu'on ajoute à un carbure de fer en fusion du silicium, ou mieux un alliage riche en silicium, le charbon du carbure est déplacé en grande partie, et si le refroidissement du métal n'est pas trop brusque, le peu de charbon qui s'y trouve encore est presque entièrement à l'état de graphite.

Azote. L'azote ne modifie en rien les aciers, les fers ou les fontes, et c'est bien à tort qu'on a cru pouvoir comparer ses effets à ceux du soufre et du phosphore; une barre de fer ou d'acier, chauffée longtemps dans ce gaz, n'en absorbe pas la plus petite trace; mais le métal s'aigrit par la chaleur et devient extrêmement fragile; le même effet est produit par l'hydrogène ou la chaleur seule dans le vide. Dans tous les cas, un martelage convenable, fait à chaud, rend toujours au fer et à l'acier leurs qualités primitives.

Soufre, phosphore, arsenic. Ces trois corps se combinent en toutes proportions avec le fer; ils donnent des alliages durs et cassants, mais dont la dureté n'a pas d'analogie avec celle de l'acier. La trempe et le recuit n'ont aucune influence sur la dureté de ces alliages. De même que le silicium et le bore, le soufre et le phosphore chassent de la fonte une partie du carbone qu'elle contient, le soufre donne des fontes blanches où le peu de carbone qui reste semble combiné; le phosphore, au contraire, produit souvent des fontes grises.

Étain, zinc, aluminium. Les corps susceptibles de s'allier au fer, mais non au carbone, ont tous la propriété d'expulser de l'acier et des fontes une grande partie du carbone qui s'y trouve à l'état de combinaison. De plus, ces métaux modifient sensiblement les caractères des carbures en les rendant cassants, inforgeables, etc.; mais aucun d'eux ne peut donner au fer, en l'absence du carbone, les propriétés qui caractérisent les aciers.

Manganèse, tungstène. Nous arrivons maintenant à une classe de corps dont le manganèse fait partie et nous servira de type. Ces corps peuvent s'allier au fer en même temps qu'au carbone, et, par suite, leur introduction dans la fonte n'exclut pas celle de ce métalloïde. Le manganèse par lui-même ne possède aucune qualité aciérante; on rencontre, comme l'a remarqué Karsten, de très-bons fers qui contiennent beaucoup plus de manganèse que certains aciers de bonne qualité. Il est donc bien clair qu'un alliage uniquement composé de fer et de manganèse ne saurait jouir des propriétés de l'acier; mais ce métal ne pouvant guère être obtenu qu'à l'état de carbure, on peut, en alliant du fer à une proportion convenable de manganèse carburé, produire des aciers dont les qualités sont vraiment remarquables.

Le manganèse possède, en outre, d'autres propriétés. Si l'on ajoute à une fonte grise en fusion une certaine quantité de manganèse, on obtient toujours une fonte blanche; autrement dit, le manganèse, à cause de son affinité pour le carbone, empêche ce dernier de se séparer du fer pendant le refroidissement de l'alliage; de plus, si la fonte contient du soufre ou du silicium, et que l'atmosphère soit un peu oxydante, on est certain d'obtenir après l'opération une fonte non-seulement blanche, mais encore débarrassée de la plus grande partie de son sou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fre et de son silicium, lorsque, bien entendu, la proportion du manganèse est suffisante. Ainsi donc, en mettant de côté les qualités que le manganèse peut faire acquérir à l'acier ou à la fonte, lorsqu'il s'y trouve allié, on voit qu'il a la propriété fort intéressante d'entraîner, en se scorifiant, la plus grande partie du soufre et du silicium qui souillent trop souvent ce carbure.

Il n'en est pas de même du phosphore; une fonte phosphoreuse ne peut être purifiée par l'addition du manganèse.

III. ACIER PRODUIT PAR LA DÉCARBURATION INCOMPLÈTE DE LA FONTE. Nous allons étudier maintenant les aciers produits par un mode de travail qui permet des fabrications rapides et économiques, en rapport avec les besoins de l'industrie moderne, qui exige, pour tant d'emplois différents, un métal dur et tenace.

Acier de forge, affinage au bas-foyer. Les seules fontes employées pour cette fabrication de l'acier sont les fontes grises ou blanches produites par une allure froide, avec des minerais spathiques manganésifères. Pendant l'affinage, le manganèse et le silicium se séparent et passent dans les scories.

Les principaux groupes industriels, où l'on fabrique l'acier de forge, sont : l'Isère, la Thuringe, la Westphalie, la Styrie et la Carinthie. Bien que le désir d'économiser le combustible, l'emploi des fours Siemens ait, dans beaucoup d'usines, fait modifier les anciennes méthodes de travail, de manière à se rapprocher beaucoup du puddlage pour acier, nous conserverons ici avec soin les détails intéressants et précis, donnés par M. Debette dans la première édition de cet ouvrage.

Méthode de l'Isère. La fonte employée dans les aciéries de l'Isère vient partie de la Savoie, partie du département même ; elle est presque toujours grise, quelquefois blanche sublamellaire et striée. On l'affine dans des foyers à parois en brasque, n'ayant qu'une seule tuyère, presque horizontale, située à 36 centimètres au-dessus du fond. Le personnel se compose de quatre ouvriers qui se relayent deux par deux à tour de rôle. Après avoir réparé le foyer, s'il est nécessaire, on charge sur le contrevent 8 à 12 cents kilogrammes de fonte avec des scories riches de l'opération précédente, et le charbon de bois sur la tuyère, puis on conduit la fonte très-lentement, et elle n'est terminée qu'après environ huit heures.

L'affinage se fait seulement par la réaction des scories riches sur la fonte; ces scories, étant très-basiques, retiennent assez faiblement une certaine quantité d'oxyde de fer, qui réagit sur le carbone de la fonte et le volatilise en se transformant en fer métallique. Afin que la décarburation ne soit pas complète et qu'il y ait peu de déchet, il faut que la température soit moins élevée que dans les feux d'affinerie ordinaires, et cependant que les scories restent bien fluides. Celles-ci, par conséquent, ne peuvent pas s'appauvrir autant que lorsqu'on fabrique du fer. On a soin de maintenir la fonte à l'état fluide et de favoriser la décarburation en la travaillant avec un ringard. Cette partie de l'opération, qui est l'*affinage proprement dit*, dure environ six heures. Lorsque ces opérations ont été suffisamment prolongées, on réduit autant que possible l'action décarburante, en diminuant le vent et en appauvrissant les scories par l'addition d'une certaine quantité de sable quartzeux. L'acier prend alors nature à la surface du bain et s'y coagule à l'état spongieux. L'affineur casse cette croûte avec son ringard et la pousse vers le contrevent, où il forme une petite loupe de 15 à 20 kilogr., qu'il enlève ensuite pour la cingler sous un marteau pesant 280 kilogr. Il faut environ dix minutes pour former et cingler une loupe. On continue ainsi jusqu'à ce que tout l'acier ait été enlevé. Cette dernière opération dure environ 8 heures, ce qui fait 22 heures pour l'opération totale.

Pour obtenir 100 kilogr. de massiaux d'acier, on consomme 117 kilogr. de fonte brute et 130 kilog de charbon de bois. Les massiaux obtenus sont chauffés dans un foyer spécial alimenté à la houille et étirés. Pour 100 kilog. d'acier étiré et obtenu, on consomme 132 kilogr. de fonte brute, 170 kilogr. de charbon de bois et 90 kilogr. de houille.

Méthode de Thuringe. La fonte employée à la fabrication de l'acier est blanche, caverneuse, tachetée de gris; elle contient à la fois beaucoup de manganèse et de carbone; quelquefois elle est rayonnée, quelquefois lamelleuse à grandes lames. On emploie du charbon léger pendant l'affinage. Le foyer est construit en pierres réfractaires ou en briques; il est rectangulaire et a 70 centim. de côté. La pierre de fond est légèrement excavée et s'use rapidement. La tuyère est en cuivre; son inclinaison est de 8°, et elle est placée à 25 centim. environ de la *rustine*. Le marteau pèse 100 kilogr. Le personnel d'un foyer est de trois ouvriers et un aide. L'opération précédente étant terminée et la loupe enlevée, l'un des ouvriers jette à plusieurs reprises de l'eau dans le foyer et enlève toutes les scories. Il tasse ensuite de l'argile au fond, et place par-dessus d'abord une pierre plate en grès, circulaire, puis une autre pierre de forme triangulaire, qu'il consolide avec de l'argile humide. Il charge alors du charbon et 15 kilogr. environ de fonte qu'il recouvre avec du combustible, et il donne du vent. Ceci se fait pendant que l'on forge la loupe et qu'on la coupe en deux. L'une des moitiés est placée au-dessus de la tuyère, tandis qu'on divise l'autre sous le marteau en plusieurs lopins. Cette division faite, on partage de la même manière la seconde moitié de la loupe. Elle est ordinairement divisée en 4, 5 ou 6 parties que l'on coupe, que l'on rapproche et que l'on forge de nouveau afin de rendre le tout plus homogène. Une loupe fournit de 18 à 20 barres de 0m,02 de côté. On ajoute, pendant cette première partie, des scories riches à plusieurs reprises. Après 2 heures 1/2, on charge 30 kilogr. de fonte. A 3 heures, on commence à travailler avec le ringard dans le bain, une grande partie de la fonte est déjà fondue. A 3 heures 1/2, on ajoute 10 kilogr. de fonte. On travaille à plusieurs reprises dans la loupe; l'ouvrier enfonce son ringard et la perce en plusieurs endroits. A quatre heures trois quarts, nouvelle addition de scories, si le travail marche trop lentement. Après 5 heures, on enlève la loupe comme nous l'avons dit ci-dessus; pendant cette seconde partie de l'opération, on continue le corroyage de l'acier. On donne plus de vent que pour la fabrication du fer; aussi, par suite de la grande rapidité avec laquelle la fonte se décarbure, est-on obligé de ne l'ajouter que par parties et successivement. L'acier obtenu est d'excellente qualité, et livré sans autre préparation au commerce. Voici le tableau du prix de revient de l'acier corroyé pour une des usines des environs de Schmalkaleen.

Frais spéciaux.	Fonte, 136 kilogr.	27 fr.	09 c.
	Charbon de bois, 324 kil.	14 »	26 »
	Main-d'œuvre.	4 »	27 »
Frais génér.	Frais de direction et d'entretien. Intérêt du capital et des fonds de roulement.	2 »	13 »
Prix de revient du quintal métrique d'acier raffiné.		47 fr.	75 c.

Méthode de Westphalie. En Westphalie et dans le pays de Siegen, on traite des fontes blanches lamelleuses manganésées qui s'affinent très-rapidement. Le feu est monté d'une manière analogue aux feux d'affinerie; on y charge la fonte par petites portions de 36 kilogr. au plus, que l'on affine à mesure. L'étirage des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ACIER.

lopins se fait pendant la fusion suivante. On consomme 130 kilogr. de fonte lamelleuse et 200 kilogr. de charbon pour 100 kilogr. d'acier obtenu.

Méthode de Carinthie. Nous allons décrire le procédé suivi dans l'usine de *Niederwœlz*, appartenant au prince de Schwarzenberg. La fonte obtenue au haut fourneau de *Turrach*, avec un mélange de fer oxydé brun et de fer carbonaté spathique manganésifères, est grise ou truitée. On commence par lui faire subir un raffinage ou *maséage* préliminaire dans un fourneau dont la fig. 19 donne la coupe.

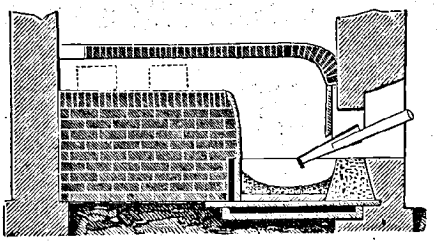


Fig. 19.

Le fond du creuset est formé de deux plaques en fonte entre lesquelles l'air peut circuler, et au-dessus de la plaque supérieure, il y a un pavé formé d'une assise de briques réfractaires. La *warme* et le *laiterol*, ou face de *chio*, sont deux blocs de grès réfractaire convenablement taillés. La *rustine* ou *haire* et le *contrevent* sont formés de plaques de fonte, qui laissent entre elles et la maçonnerie un espace vide où l'air peut circuler et les rafraîchir pendant l'opération.

Le feu a de la *warme* au *contrevent*, au niveau de la tuyère $1^m,00$, et à la sole $0^m,95$; sa largeur, de la *haire* au *chio*, est de $0^m,90$, et sa profondeur de $0^m,32$. Au-dessus de l'assise en briques réfractaires, on tasse $0^m,06$ de sable fin ou de quartz pilé, ce qui réduit la profondeur du feu à $0^m,26$. Il y a deux tuyères en cuivre plongeant sous un angle de 12 à 15°, qui avancent de $0^m,16$ dans le feu et dont les axes sont éloignés de $0^m,24$; elles sont demi-rondes et ont à leur extrémité $0^m,040$ de large sur $0^m,033$ de haut. Les buses qui amènent l'air de la soufflerie sont rondes, ont $0^m,033$ de diamètre à leur embouchure, et viennent s'arrêter à $0^m,18$ de l'extrémité des tuyères.

Le foyer est recouvert par une voûte située à $1^m,32$ au-dessus de la sole, qui conduit la flamme dans un four à réverbère ayant $1^m,98$ de long, $0^m,79$ de large à l'avant et $0^m,71$ à l'arrière, dont la voûte est à $0^m,29$ au-dessus de la sole. Enfin la flamme s'échappe par un rampant de $0^m,16$ sur $0^m,68$, qui débouche dans la cheminée. Le personnel se compose de 4 ouvriers, qui se relayent deux par deux après deux opérations successives ou à peu près de 6 en 6 heures. La coulée étant terminée, on répare la sole en quartz, et après avoir rempli le creuset de charbon, on donne le vent; puis on charge 170 kilogr. de fonte grise concassée en morceaux de 26 à 32 centim. de long, 18 à 21 centim. de large et 8 centim. d'épaisseur, et préalablement portée au rouge vif dans le four à réverbère, alimenté par les flammes perdues. On ajoute de temps en temps du charbon, et on soulève les fragments de fonte non fondus pour les reporter sur le charbon, près du contrevent, à l'aide du ringard en fer pointu A (fig. 22).

Lorsque la première charge de fonte est presque entièrement fondue, on fait tomber sur le charbon, à l'aide du ringard, la fonte qui était dans le four à réverbère, on la ramène sur le contrevent et on introduit une nouvelle charge dans le four à réverbère. On continue ainsi, jusqu'à ce que le creuset soit presque entièrement rempli de fonte, de sorte que le niveau de celle-ci ne soit plus qu'à 6 à 8 centim. au-dessous de la lèvre de la tuyère. On ajoute, pendant l'opération, une quantité plus ou moins grande de scories riches d'affinage, pour accélérer la décarburation, s'il est nécessaire, et diminuer le déchet. On ne fait pas de percée de scories. Dès que le creuset est plein de fonte, on débouche le trou de percée, et on coule fonte et scories en plaques minces, dans un moule en sable. On jette de l'eau dessus, les scories qui sont venues à la surface *s'étonnent* et se séparent alors aisément; la fonte est ensuite cassée en fragments dits *blettes*, qui ont 2 1/2 à 3 centim. d'épaisseur. Les scories contiennent quelques grenailles de fonte et sont passées au *bocard à crasses*. Chaque opération dure environ trois heures. On produit moyennement par feu et par vingt-quatre heures 45 à 50 quintaux métriques de fonte en *blettes*, avec un déchet de 3 1/2 p. 100, lorsqu'on ajoute des scories d'affinage, et de 7 à 8 p. 100, lorsqu'on n'en ajoute point. On consomme environ 40 kilogr. de charbon de bois léger par 100 kilogr. de blettes obtenues. Ces blettes ont une cassure blanche, caverneuse, quelque peu rayonnée.

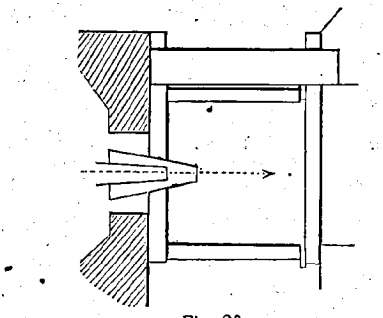


Fig. 20.

La figure 20 donne le plan et la figure 21 la coupe du feu d'affinerie pour la fabrication de l'acier.

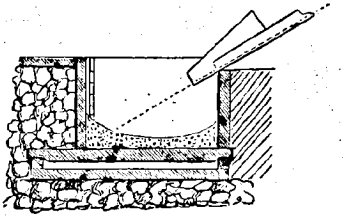


Fig. 21.

Toutes les parois du creuset sont formées de plaques de fonte verticales ; le fond est également formé par une plaque en fonte qui est baignée par un courant d'air qui la rafraîchit pendant l'opération. La hauteur des plaques de *haire*, de *contrevent* et de *chio* est de $0^m,40$; celle de la *warme* est de $0^m,32$. La distance de la haire au chio est de $0^m,62$; celle de la warme au contrevent est, près de la haire, $0^m,60$, et près du chio $0^m,62$. Il n'y a qu'une tuyère circulaire en cuivre, dont le diamètre est de $0^m,035$, qui plonge sous un angle de 12 à 16°, et avance dans le feu de $0^m,13$. La buse par laquelle l'air arrive sous une pression de $0^m,048$ de mercure a $0^m,039$ de diamètre.

Avant de mettre le foyer en activité, on le remplit de menu charbon venant de l'opération même, et sou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent mélangé de cendres et de scories; on l'enflamme, et lorsque la moitié à peu près en est consumée, on tasse le tout aussi fortement que possible. On répète cette opération jusqu'à ce que la sole en brasque s'élève à 0m,18 en contre-bas de la tuyère. Cette sole dure à *Niederwœlz* beaucoup plus longtemps que dans la plupart des autres feux carinthiens, où le mazéage préliminaire s'effectue dans le même foyer. — Aussitôt que la loupe a été retirée du feu, on vide tout le creuset, et on répare, s'il est nécessaire, la sole en brasque. On remplit ensuite le creuset de charbon, on charge 20 à 30 kilogr. de fonte brute près du contrevent pour former un massif sur lequel vient plus tard se poser la loupe, et on donne le vent; la fonte ne tarde pas à se fondre, et gagne le fond du creuset, où elle est protégée contre le vent et ne se décarbure que très-lentement. Pendant ce temps, on partage la *loupe* en deux *massiaux* que l'on reporte dans le feu, le premier près du contrevent, le second au-dessus de la tuyère, et que l'on recouvre d'une pelletée de charbon. Dès que le premier massiau est arrivé au rouge blanc, on le retourne et on le nettoie successivement, dans le feu même, sur toutes ses faces et la moitié de sa longueur, avec une sorte de petite pelle en fer B (fig. 22).

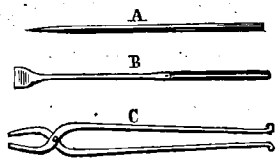


Fig. 22.

On enlève ainsi toute la croûte ferrugineuse et non aciérée qui recouvre l'une des extrémités du massiau que l'on étire ensuite en bout de barre de 8 centim. de côté, qui sert à le manœuvrer. On reporte pendant ce temps le second massiau près du contrevent et on le traite de même. Cela dure en tout une heure et demie. Le marteau est soulevée par la queue, pèse 190 kilogr., a une levée de 0m,48 et bat de 135 à 140 coups par minute. On manœuvre les massiaux à l'aide de grandes pinces C figurées ci-dessus fig. 22.

On vide alors le creuset, et on examine l'état de la fonte qui doit être à l'état pâteux et que l'on brise avec le ringard pointu pour l'amonceler au milieu de la sole. Si la décarburation n'est pas assez avancée et que la fonte soit encore trop liquide, on la brasse avec des battitures de fer que l'on y ajoute; si au contraire elle est trop avancée, on y ajoute des fragments de nouvelle fonte

Cela fait, on saisit le premier massiau avec les tenailles D et on le reporte dans le feu.

Puis, après avoir nettoyé la tête, on l'étire en bout de barre de 8 centim. de côté. On commence alors à former la loupe en chargeant les blettes sur le contrevent. On réchauffe le massiau dans le feu, en ayant soin de jeter dessus une pelletée de scories riches humectées d'eau, afin de le préserver contre l'action du vent, et on le partage en deux grosses barres qui sont successivement réchauffées, divisées en deux petites barres, et chacune d'elles subdivisée en trois bouts de barre, qui sont étirés dans un foyer spécial. On reporte ensuite le second massiau dans le feu, et on le traite de même.

Pour accélérer la décarburation, on ajoute des scories riches de l'opération même et des battitures tombées du marteau; pour la ralentir, on y ajoute de la fonte crue ou du quartz pilé; dans ce dernier cas, il faut avoir soin de donner immédiatement après écoulement aux scories, afin de diminuer le déchet sur la fonte qu'occasionne toujours l'addition du quartz, et charger de nouvelles scories. Les scories ne doivent recouvrir la loupe que de 6 à 7 centim., celle-ci doit s'élever régulièrement en restant à l'état pâteux. Lorsqu'il se forme à la surface des champignons provenant d'un affinage trop avancé, on y porte de petits fragments de fonte crue; lorsqu'il s'y forme des creux, cela tient à ce qu'en ces points la matière métallique y est trop liquide et la décarburation en retard; on l'accélère en y portant des scories riches ou des battitures. Dès que le niveau du bain métallique est arrivé à 4 centim. environ au-dessous de la tuyère, on arrête le vent, on fait écouler les scories et on enlève le charbon. A mesure que les scories viennent se solidifier sur la surface de la loupe en couches minces, on les enlève à la pelle, et après 15 à 20 minutes, on jette de l'eau sur la loupe pour solidifier les dernières scories que l'on enlève, comme il est dit ci-dessus. On soulève alors la loupe à l'aide du ringard en fer recourbé E pour la placer sur deux ringards droits disposés en travers du feu, et on la nettoie sur sa face inférieure avec l'outil B indiqué plus haut.

Cela fait, on saisit la loupe avec de grandes pinces F (fig. 23), et on la porte sous le marteau où on la partage en deux massiaux à l'aide d'un tranchant.

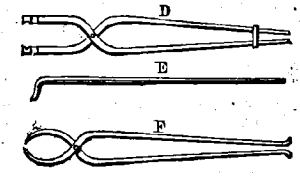


Fig. 23.

L'opération dure à peu près six heures et donne de 85 à 140 kilogr. d'acier. On produit par vingt-quatre heures 350 à 400 kilogr. de barres. Le déchet sur les blettes est de 22 p. 100, et par 100 kilogr. de barres obtenus, on consomme 317 kilogr. de charbon de bois léger; ou bien, y compris le mazéage, on produit par 100 kilogr. de fonte brut :

Acier en barres	44k,6
Fer aciéreux en barres. .	28k,7
Fer en barres.	4k,7
Déchet	25 p. 100.

Et on consomme par 100 kilogr. de fer et acier en barres 369 kilogr. de charbon de bois léger.

Les barres d'acier pesant 3 à 4 kilogr., qui viennent du feu d'affinerie, sont cassées en morceaux, mises en trousses, réchauffées dans le four à réverbère alimenté par les flammes perdues du four de mazéage, ou, si celui-ci n'est pas en activité, dans un foyer particulier qui consomme 40 kilogr. de charbon de bois par 100 kilogr. d'acier corroyé, et sont étirées sous un marteau à queue pesant 116 kilogr., dont la levée est de 0m,32, et qui bat 180 coups par minute. La plus grande partie de l'acier est étirée en barres de 13 millimètres de côté, et quelquefois même seulement de 6 millim. Il est connu dans le commerce sous le nom d'acier à *la rose*, et est de qualité supérieure.

Acier puddlé. La fabrication de l'acier puddlé repose sur l'emploi du four à réverbère de grandes dimensions, si avantageux au point de vue de l'utilisation de la chaleur, de l'appareil dont l'emploi a eu des résultats si considérables dans la fabrication du fer à la houille.

Les fontes que l'on puddle pour acier varient avec les localités. Dans les aciéries françaises de la Loire, on traite surtout des fontes grises chaudes, plus ou moins manganésées, provenant des minerais méditer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ranéens. Dans les usines westphaliennes, au contraire, on emploie des fontes blanches, chaudes, très-carburées et manganésifères, comme les spiegeleisen provenant des minerais de Siegen et de Nassau. En Styrie et en Carinthie on emploie des fontes miroitantes et des fontes blanches rayonnées. Ces diverses fontes doivent être puddlées de manières différentes.

On connaît l'importance du rôle de la scorie dans le puddlage ; c'est de la nature de cette scorie, de sa plus ou moins grande fluidité, de son action décarburante plus ou moins forte, que dépendra, en grande partie, la qualité de l'acier. On ne doit pas, du reste, compter beaucoup dans le puddlage sur une action épurante ; il faut que les fontes employées soient aussi pures que possible, c'est-à-dire renferment seulement de très-faibles traces de soufre et de phosphore. Il importe surtout d'avoir une scorie très-fluide et peu décarburante, tout en étant suffisamment basique.

Le puddlage pour acier diffère du puddlage ordinaire pour fer, soit par la construction même du four, soit par la conduite de l'opération.

Il faut une voûte plus surbaissée pour mieux concentrer la chaleur, le travail doit être conduit très-lentement, se faire à la plus haute température possible, sous un bain de scories, avec une flamme aussi peu oxydante que possible. Au Creuzot, on a trouvé grand avantage à appliquer un courant d'air forcé au four à puddler, dont le cendrier est clos hermétiquement. Cet emploi d'un courant d'air forcé a paru nécessaire pour obtenir facilement la haute température que réclame le puddlage pour acier, avec les charbons dont on disposait. Le système du four à gaz de Siemens (Voy. COMBUSTION) a amélioré et simplifié ce travail. Il paraît aussi, au moins dans plusieurs établissements, qu'on ajoute certaines proportions de manganèse, qui donne des silicates, des scories fusibles qui ne sont pas réductives, qui rendent la réduction pendant le puddlage plus lente que dans le cas ordinaire, lorsqu'on affine la fonte pour produire du fer. Les boules d'acier puddlé se confectionnent dans une atmosphère fumeuse et à registre fermé.

Essayons d'analyser ce qui se passe dans ce genre de travail.

Théorie du puddlage pour acier. Les recherches de Graham et les spéculations de Horschel, Brayley et autres savants, ont attiré l'attention sur les grandes variations d'état physique de corps dont la composition chimique ne change pas; ils ont été conduits par l'observation à la division des substances en cristalloïdes et en colloïdes.

Graham a remarqué que l'acide silicique peut exister tantôt comme cristalloïde et tantôt comme colloïde; de même la glace formée à 0° peut prendre l'état vitreux ou colloïde et est en réalité un verre de glace, tandis que celle formée à une température plus basse a, d'une manière très-marquée, toutes les apparences d'un cristalloïde. Ces recherches de Graham nous ont donné une vue plus précise sur les caractères de la matière passant de l'état liquide à l'état solide. Elles nous conduisent à une nomenclature et à une théorie qui peut nous servir à expliquer plusieurs opérations métallurgiques. N'est-il pas naturel de penser que le fer peut, dans le four à puddler, au lieu de l'état cristalloïdal, prendre celui colloïdal, par l'effet de la chaleur, ou devenir un mélange des deux, s'il est vrai qu'un pareil passage d'un état dans l'autre soit possible?

Dans le four à puddler, le fer d'abord se débarrasse du silicium combiné, par suite de la grande affinité de celui-ci pour les autres substances étrangères mises en présence, comme cela doit être dans une opération d'affinage, aidée sans aucun doute par la légèreté et la grande fusibilité des composés siliceux. L'enlèvement du carbone du fer fondu est dû à la plus grande affinité du carbone, pour les gaz en contact avec lui, que pour le fer. Cette action étant graduelle peut être arrêtée à volonté, de manière à obtenir soit du fer doux, soit du fer aciéreux. Environ 200 kilogrammes de fer sont généralement produits par chaque opération, et cette quantité est habituellement divisée en trois, quatre ou six loupes par l'ouvrier, dans le but d'exposer toutes les parties à la flamme qui oxyde le carbone, lequel réduit ce qu'il peut y avoir d'oxyde de fer formé. Suivant la quantité de carbone enlevé, on a de l'acier puddlé, du métal homogène (acier doux) ou du fer pur. L'acier n'est jamais obtenu, toutefois, qu'avec de la fonte provenant de minerais de nature convenable et avec un fourneau produisant une température fort élevée qui permet aux actions moléculaires de produire leur effet intégral.

L'enlèvement du charbon par le puddlage est l'opération inverse de celle produite dans le four à cémentation pour convertir le fer en acier. Le procédé de cémentation pour faire de l'acier doit être réglé avec le plus grand soin, de telle sorte que le carbone puisse parvenir à la distance voulue de la surface de la barre de fer, et que la proportion convenable de carbone soit répandue dans sa masse.

Dans le procédé employé pour convertir la fonte en fonte malléable, celle-ci est portée à une température élevée en présence de l'oxyde de fer, et le carbone est enlevé, mais seulement à une certaine distance de la surface, par l'effet de sa plus grande affinité pour le peroxyde de fer chauffé que pour le fer pur avec lequel il est combiné.

Sans donc entrer dans la question encore bien obscure de la nature de l'acier, on entrevoit, d'après ce qui précède, comment, pour des produits préparés à l'aide de minerais à propension aciéreuse, c'est-à-dire que la pratique fait reconnaître bien nettement comme convenables pour la fabrication de l'acier, quelle qu'en soit la cause, on peut obtenir des produits aciéreux dans le four à puddler. Par des actions à haute température qui paraissent nécessaires à la production de l'acier, on doit obtenir dans chaque petite loupe, du centre à la circonférence, des produits passant du fer à l'acier de cémentation et de celui-ci à l'acier fondu et à la fonte. Après la forge, et surtout la fonte au creuset, les produits prennent une homogénéité, une régularité assez grande pour qu'entre les mains d'habiles ouvriers on puisse obtenir à volonté des produits de qualité voulue. C'est en refondant au creuset l'acier puddlé produit aisément à l'aide des fontes miroitantes et manganésées des bords du fin Rhin, que Krupp a monté sa célèbre fabrication d'acier.

Procédé Bessemer. — La fabrication de l'acier par puddlage, en fournissant à l'industrie une matière première douée de qualités précieuses et à un prix modéré, ne paraît pas fournir cependant la solution complète du problème de permettre d'obtenir l'acier sur une très-grande échelle et en très-grosses pièces, ni surtout d'utiliser aisément des fontes provenant de certains minerais.

C'est principalement pour résoudre la seconde partie du problème, produire de l'acier par exemple à l'aide des fontes obtenues au moyen d'hématites rouges très-pures, qu'on a eu recours au procédé Bessemer.

La méthode métallurgique due à M. Bessemer a pour but d'obtenir directement de l'acier fondu en faisant passer un courant d'air dans la fonte liquide. La découverte capitale de M. Bessemer est d'avoir reconnu que ce courant d'air traversant une masse de fonte liquide, loin de la refroidir, comme on aurait pu le croire, l'échauffe au contraire par suite de la combustion des corps plus oxydables que le fer, qui se trouvent dans la fonte.

La disparition des corps étrangers se fait successive-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment et dans un ordre qui dépend de leur oxydabilité et de leur affinité pour le fer.

L'affinage Bessemer s'éloigne, comme on le voit, du *mazéage*, dans lequel les tuyères ne pénètrent jamais dans la masse métallique, et qui donnent le *fine metal* bien différent de l'acier par tous ses caractères.

Lorsqu'une fonte contient les éléments de l'acier, et en outre des corps nuisibles, et surtout du silicium, que le courant d'air peut enlever sans détruire l'aciération, l'acier Bessemer est obtenu immédiatement, en arrêtant l'affinage au moment où les corps inutiles ont été oxydés.

Mais dans la plupart des cas, pour produire un acier pur et surtout d'une qualité déterminée, on a intérêt à éliminer complétement tous les métalloïdes qui existent dans la fonte, à produire du fer, et même du *fer brûlé;* on reconstitue ensuite l'acier en mélangeant celui-ci avec une petite quantité de fonte aciéreuse.

La fabrication de l'acier par la méthode Bessemer est alors d'une simplicité merveilleuse; elle revient à introduire dans du fer fondu, et complétement affiné, des quantités variables de matières aciéreuses qui se trouvent dans une fonte convenablement choisie.

L'appareil dans lequel se fait l'élaboration, et auquel M. Bessemer a donné le nom de convertisseur (*converter*), consiste en une sorte de cubilot, mobile autour d'un axe horizontal, formé de plaques de tôle boulonnées et garni intérieurement de terre réfractaire. Le fond de ce cubilot porte une plaque de fonte trouée, destinée à laisser passer les tuyères qui y sont

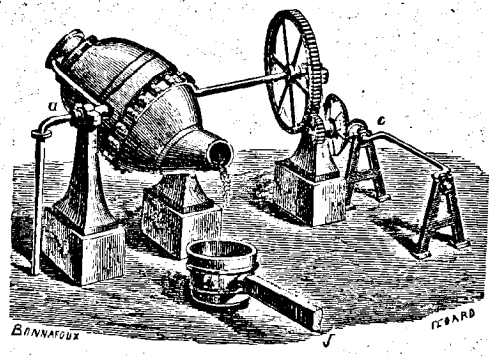


Fig. 24.

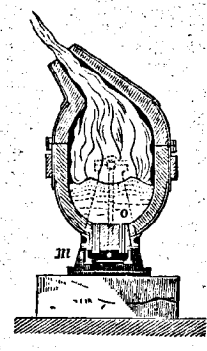


Fig. 25.



Fig. 26.

vissées par leur partie inférieure, et qui viennent déboucher au fond du vase, en restant entourées de lut réfractaire. Au-dessous des tuyères se trouve un cylindre métallique, fermé par une plaque de fonte clavetée, de même dimension que celle qui supporte les tuyères: ce cylindre sert de boîte à air commune à toutes les tuyères; l'air y est amené par un tuyau qui permet aux tuyères de conserver leur activité, quelle que soit la position de l'appareil. (Fig. 24.)

Les détails de formes de ces diverses parties sont réglés de manière à faciliter les réactions qui s'opèrent dans l'intérieur du convertisseur et les manœuvres dont il est l'objet. L'appareil, étranglé et recourbé à la partie supérieure, présente un renflement d'un côté, ce qui lui donne la forme d'une cornue de grosse dimension dont le col serait tronqué. Les tourillons autour desquels s'effectue sa rotation ne pénètrent pas dans l'intérieur de l'appareil ; ils sont seulement boulonnés par des pattes sur les plaques de tôle, et placés à une hauteur telle, que quand l'appareil est vide, il est complétement équilibré; et quand il est chargé de fonte, son centre de gravité est abaissé de manière à assurer sa stabilité. L'étranglement a pour but d'éviter les projections lorsque la masse entre en ébullition ; le renflement permet, en mettant horizontal le grand axe de l'appareil, d'y introduire la quantité de fonte nécessaire, sans amener le niveau du liquide à s'élever au-dessus des tuyères, qui pourraient être obstruées si elles ne fonctionnaient pas, et qui donneraient des barbottements considérables si elles fonctionnaient pendant l'introduction de la fonte liquide, le grand axe étant vertical. Par suite de la mobilité de l'appareil et de cette combinaison de formes, bien que les tuyères soient toujours au-dessous du bain pendant la marche, elles ne sont jamais exposées à être détruites, ou à devenir un objet d'embarras pendant les manœuvres de l'introduction ou de la coulée.

Ces tuyères sont des cylindres en terre réfractaire portant chacun cinq ou sept trous cylindriques de $0^m,01$ environ de diamètre; elles sont au nombre de sept, et réparties également sous le fond du vase. (Fig. 26). La manœuvre de l'appareil est faite au moyen d'engrenages mus à la main, ou à l'aide de machines, pour les grands appareils.

Le tuyau qui amène l'air dans la boîte à air, dont nous avons parlé, est également l'objet d'une disposition particulière qui permet de conserver le vent dans toutes les positions de l'appareil. Ce tuyau, en partant de la boîte à air, remonte extérieurement le long du ventre de la cornue, puis entre dans l'axe d'un des tourillons qui la supportent, sort de cet axe et continue jusqu'à une boîte à étoupe qui le met en communication avec la conduite amenant le vent de la machine soufflante.

Dès que l'acier est obtenu, on verse le produit dans une grande poche chargée de le distribuer dans les moules ; cette poche doit avoir toute la mobilité désirable, afin d'aller recevoir l'acier à la sortie de l'appareil et de le distribuer aux moules. Pour obtenir ce résultat, on place la poche à l'extrémité d'un châssis ou d'un bras de levier mobile autour d'un axe vertical; on équilibre la seconde partie de ce châssis ou bras de levier, au delà de l'axe, par des poids convenables. On ne s'est pas contenté de cette mobilité autour de l'axe vertical, on a pris pour axe le piston d'une presse hydraulique; ce qui permet, tout en conservant la faculté de faire manœuvrer la poche sur l'arc de cercle, d'élever plus ou moins cette poche suivant les différences de hauteur soit des moules, soit de la gueule de l'appareil. La poche consiste en un vase en tôle de fer doublé de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

terre réfractaire, percé, à sa partie inférieure, d'un trou, qui est ouvert ou fermé au moyen d'une quenouille, comme dans les fonderies ordinaires.

Un atelier Bessemer se compose de deux vases convertisseurs, desservis tous deux par une même poche montée sur piston hydraulique; d'une série de moules ordinaires, dispersés sur le trajet de cette poche; de deux fours de fusion de la fonte, un pour chaque appareil. Ces fours sont situés à un niveau supérieur à celui de l'atelier; ils sont suivis chacun d'une conduite fixe, qui peut être continuée par une conduite mobile, pour faire arriver la fonte dans chacun des appareils. L'air est fourni par une machine soufflante, ordinairement à deux cylindres, pouvant servir pour chacun des appareils ou pour leur marche simultanée; la force de la machine à vapeur menant la soufflerie varie de 50 à 100 chevaux, suivant qu'on opère sur des appareils de 1,000 à 5,000 kilogrammes. Comme l'opération Bessemer est discontinue, on a toujours intérêt à multiplier les appareils pouvant être desservis par la même machine soufflante. La pression de l'air dans le réservoir est, pendant la marche, d'environ une atmosphère.

Dès que la fonte est fondue dans le four de fusion, l'intérieur du convertisseur ayant été chauffé, puis débarrassé ensuite du coke qu'il contenait, on renverse l'appareil dans la position où son axe est horizontal, on y fait arriver la fonte par une conduite; on donne au vent toute sa force, on relève l'appareil dans la position de l'axe vertical, et l'opération commence.

La première impression de l'air sur la fonte produit un grand nombre d'étincelles; au bout de quelques minutes, on voit apparaître une flamme assez courte, rougeâtre, qui va sans cesse en croissant et en s'éclaircissant pendant la durée de l'opération. Avec quelque habitude, on trouve dans cette flamme des indications précieuses pour la conduite de l'opération.

On peut diviser en quatre périodes la durée d'une opération complète qui n'est que de 22 minutes.

1re *période*. — Durée de 7 à 8 minutes; production des étincelles jusqu'à l'arrivée de la flamme.

2e *période*. — Durée de 8 minutes; augmentation de la flamme; formation du dard.

3e *période*. — Durée de 8 minutes; détonations, éruptions (en raison du manque de fluidité); projections.

4e *période*. — Durée de 3 à 4 minutes; accélération de la flamme, augmentation du pouvoir lumineux jusqu'à la chute de la flamme.

Dès qu'on est arrivé au point d'affinage que l'on désire, on peut couler directement le métal; mais il est difficile à atteindre; il vaut mieux le dépasser, puis ajouter la quantité de fonte aciéreuse jugée nécessaire pour obtenir un degré d'acier déterminé; on relève pour un moment l'appareil afin de mélanger le fer et la fonte, puis on le renverse en dépassant la position horizontale; on fait couler le produit dans la poche qu'on a placée à une hauteur convenable; la poche est ensuite manœuvrée de manière à aller successivement remplir chacun des moules.

Si on coule le métal Bessemer lorsque l'affinage de la fonte est terminé, et avant l'addition de la fonte aciéreuse, on obtient, le plus souvent, un corps qui présente tous les caractères du *fer brûlé*; il cristallise en larges facettes; il est tenace à froid, mais éminemment rouverain. Dans cet état, il ne peut recevoir aucune application.

M. Jordan, qui a fort bien analysé l'influence du silicium pour produire une température suffisamment élevée dans l'appareil Bessemer, résume ainsi les principes qui doivent guider pour reconnaître, d'après la composition des fontes, celles qui donneront de bons produits, quand elles seront soumises à ce mode de traitement.

Les fontes à Bessemer doivent satisfaire à deux conditions indispensables : 1° être assez *chaudes*, c'est-à-dire contenir assez d'éléments combustibles pour que la température du bain atteigne et dépasse celle de la fusion de l'acier; 2° être assez *pures* pour donner un acier de qualité suffisante. Elles doivent être d'autant plus chaudes que l'on veut avoir de l'acier plus doux, d'autant plus pures, que l'on veut de l'acier de qualité plus fine.

Les éléments qui donnent de la chaleur au bain sont le silicium surtout, puis le manganèse dans certaines conditions; le carbone a une action calorifique moindre; nous ne parlons pas du fer, que l'on doit ménager autant que possible, pour ne pas avoir un trop grand déchet. On voit que les fontes les plus chaudes seront les plus siliciées. Les fontes très-manganésées, mais non siliciées, comme les spiegeleisen, ne peuvent être employées, parce que l'oxyde du manganèse infusible qui est produit, attaque rapidement la garniture silicieuse des appareils pour former une scorie peu fusible, par suite de la faible proportion de silice et parce qu'il en résulte des projections et même des explosions résultant de la viscosité de cette scorie. Il faut qu'il existe dans la fonte au moins 1 pour 100 de silicium pour chaque 2,75 pour 100 de manganèse. Un excès de silicium donne un acier silicié qui est cassant. Une fonte blanche carburée, ni manganésifère, ni siliciée, ne peut réussir, et on n'obtient qu'un magma de fer plus ou moins décarburé et d'oxyde de fer, et non de l'acier fondu.

Il faut enfin que les fontes soient pures, c'est-à-dire dépourvues de matières qui puissent rendre leurs produits rouverains ou cassants à froid. L'élément le plus nuisible est le phosphore, qui ne peut être éliminé dans l'affinage rapide du procédé Bessemer, puisque jamais la scorie n'est asssez basique pour l'absorber à l'état de phosphate. Le soufre est moins nuisible, parce qu'une petite proportion peut être éliminée par la scorie manganésifère qui se forme.

Par une étude attentive du procédé Bessemer, on est parvenu à de remarquables résultats : comme économie, en envoyant directement la fonte du haut fourneau aux convertisseurs, et opérant sur une grande échelle, on obtient, comme à Terre-Noire, d'excellents rails en acier à bas prix; comme qualité, par un bon choix des fontes et une bonne conduite de l'opération, des aciers doux, extrêmement précieux, pour canons, frettes, etc.

On rencontre dans la pratique des difficultés fort grandes pour obtenir directement, à l'aide du Bessemer, des lingots de grandes dimensions pour arbres à manivelles, canons, etc. Cela est dû à ce que la température ne peut être élevée à volonté au moment du versement du métal.

La forme de la cornue rend l'état d'imparfaite liquidité, ou, si l'on préfère, d'imparfaite solidité très-incommode; elle gêne pour diriger le métal où il doit être porté. Ainsi qu'il a été dit, aussitôt que la couleur de la flamme, qui paraît au-dessus du vase qui renferme la charge de fer fondu, montre que le carbone a été enlevé, la soufflerie est arrêtée, et immédiatement une charge de fonte au bois, à propension aciéreuse, y est versée. Le vent est alors rendu, et le temps nécessaire pour l'union parfaite des deux éléments n'est que de quelques moments, pendant lesquels le carbone est réduit à la proportion voulue par le vent. On voit que l'instant où l'on verse une matière difficilement fusible n'est pas celui qui répond à la température la plus élevée. Dans la fabrication ordinaire de l'acier fondu, l'acier n'est pas détérioré pour être resté fondu, même deux heures entières dans le creuset, et l'ouvrier ne verse jamais le contenu du creuset avant d'être assuré que l'acier est homogène et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exactement à la température convenable, bien qu'il n'y ait qu'une seule nature de substance dans le pot. Aussi, pour bien des pièces, on est contraint à se rapprocher de l'ancien procédé de Sheffield, de l'emploi du creuset.

Affinage par mélange de fer avec la fonte. Dans son grand ouvrage, Réaumur avait, dès 1722, indiqué comme moyen simple de fabrication de l'acier, l'incorporation du fer dans un bain de fonte. Malgré l'analyse chimique qui faisait reconnaître dans le produit la quantité de carbone convenable pour l'acier, ce procédé, réinventé nombre de fois, n'a jamais donné de bons résultats, jusque dans ces derniers temps, tant parce qu'on se servait de produits de toutes provenances, ce qui ne pouvait conduire qu'à une fabrication hétérogène, que parce qu'on ne tenait pas assez compte des conditions à réaliser pour obtenir les groupements moléculaires convenables, par un chauffage suffisamment élevé notamment. Ces conditions ont été réalisées d'une manière assez satisfaisante dans le four Martin, qui, bien que reculant devant le Bessemer, sert à fabriquer de bons produits, notamment avec des fontes trop froides pour celui-ci.

Four Martin. Pour obtenir de hautes températures avec économie de combustible, M. Le Chatelier, qui présida aux premières tentatives faites à Imphy, fit adopter le système Siemens pour chauffer le four à réverbère, et recommanda d'employer directement la loupe sortant des fours à puddler pour fer, avant le martelage. Nous donnerons la description d'une opération d'après M. Jordan, qui l'a décrite avec soin dans son beau travail sur l'état de la métallurgie du fer en 1867.

Les appareils comprennent pour chaque four pour acier du système Martin :

1° Un ou deux générateurs ou gazogènes, du système inventé par MM. Siemens.

2° Un four à reverbère ordinaire, chauffé à la houille et destiné au réchauffage préalable des morceaux de fonte ou de fer qui doivent être fondus dans le four à acier.

3° Le four pour fusion d'acier, système Martin, qui n'est autre qu'un four à réverbère à sole creuse, chauffé par les gaz provenant des gazogènes ci-dessus, et muni, comme ceux-ci, de quatre chambres à briques ou régénérateurs de chaleur qui servent tantôt à refroidir les flammes qui sortent du four, tantôt à chauffer le gaz et l'air préalablement à leur entré dans le four et à leur combustion. La flamme dans le four peut être rendue à volonté oxydante, réductrice ou neutre par la manœuvre des clapets placés sur les conduites d'arrivée de l'air et du gaz.

On introduit dans le four de fusion, qui est à une haute température par suite des opérations précédentes, une quantité de 900 à 1,000 kilogrammes de fonte en morceaux, portés préalablement au rouge, et en deux ou trois fois. Cette fonte entre en fusion, et quand le bain est parfaitement liquide, on fait une première addition de fer porté au rouge blanc. Celui-ci est soit du vieux fer, soit du fer fabriqué spécialement au four à puddler. Il se dissout dans le bain de fonte assez rapidement si la température est assez élevée et sans qu'on effectue aucun brassage. Quand il est parfaitement fondu, on fait une seconde addition de 100 kilogrammes et on continue de la sorte jusqu'à ce qu'on ait ajouté 1,600 à 1,700 kilogrammes de fer. Pendant tout ce temps, on gradue les quantités relatives d'air et de gaz, de façon à ce que l'atmosphère, dans le four, soit aussi neutre que possible.

La quantité de carbone qui se trouvait dans les 1,000 kil. de fonte primitivement fondue se trouve alors répartie dans les 2,600 kil. de métal, et celui-ci est devenu de l'acier, à la composition chimique de l'acier. Une partie du carbone a disparu pendant la durée de l'opération, qui est assez longue (6 à 10 heures, suivant la température que l'on peut maintenir), sous l'influence de la faible quantité d'air libre qui pénètre dans le four, et aussi des particules d'oxyde de fer qui accompagnent toujours les morceaux de fonte ou de fer qu'on y introduit; la faible quantité de silicium que renferme la fonte employée se transforme en scorie, sous les mêmes influences, longtemps prolongées. On prend, au moment de chaque addition, un échantillon de métal à l'aide d'une cuiller, et on essaye sa dureté et sa malléabilité. D'après ces essais, on ajoute à la fin de l'opération une petite quantité de fonte miroitante très-carburée, à l'aide de laquelle on arrive à la dureté désirée pour l'acier. On fabrique, par ce procédé, des produits de quatre espèces : 1° des aciers fonteux; 2° des aciers durs pour la fabrication des rails et des outils; 3° des aciers doux pour la fabrication des canons de fusil, des bandages; 4° un métal presque complétement décarburé, semblable aux bons fers au bois.

Procédé Micolon. — On a monté à Paris, en utilisant les riblons de fer et d'acier, exactement la fabrication indiquée par Réaumur, et on a obtenu des résultats aussi bons que le permettait le peu de régularité de la nature des matières premières.

M. Micolon, qui a fondé cette fabrication, employait, pour fondre, soit le cubilot, soit le creuset.

L'acier au cubilot se faisait en fondant au coke dans un cubilot ordinaire des riblons de fer assez peu triés, auxquels on ajoutait seulement un peu de riblon d'acier et une faible portion de spiegeleisen. On obtenait ainsi un acier notablement carburé qui ne soudait pas, mais qui se moulait aisément sans soufflures, et avec lequel on fabriquait des cloches et des sonnettes qui eurent beaucoup de succès; en le recuisant convenablement, on arrivait à le forger et à l'étirer, et nous avons vu des haches et des pics fabriqués de cette façon. On a fait aussi des hélices pour canots à vapeur, des engrenages qui étaient remarquables par leur ténacité. Cette fabrication d'acier au cubilot, n'a peut-être pas dit son dernier mot.

Pour l'acier au creuset, le procédé Micolon ne présente rien de particulier, et n'est autre que le procédé par réaction indiqué déjà par Réaumur. On fond dans des creusets des riblons de fer mélangés de riblons d'acier, du spiegeleisen en proportions variables, et on obtient des aciers plus ou moins durs, plus ou moins doux, suivant le dosage des charges. Ces aciers peuvent être de qualité supérieure, comme ils peuvent être tout à fait inférieurs, suivant la nature des matières qui ont servi à leur fabrication. On peut du reste modifier plus ou moins cette qualité par l'addition de matières fondantes ou épurantes diverses.

Procédé Siemens. Il y a quelque chose d'anormal à employer le fer puddlé pour produire de l'acier, qui serait obtenu, au lieu de fer, si on avait arrêté la décarburation au point convenable. M. Siemens a trouvé bien plus avantageux d'obtenir la décarburation de la fonte au moyen d'oxydes de fer à bon marché, de minerais riches, dont le fer vient augmenter la quantité d'acier obtenue. Cette fabrication, basée sur l'emploi des gaz et effectuée dans un four tournant, pour agiter la matière soumise à l'action de flammes oxydantes ou réductrices à volonté, l'a conduit à des résultats assez satisfaisants pour qu'il tente de l'appliquer à la réduction directe des minerais mélangés de charbon pour produire de l'acier naturel.

Il paraît douteux que l'on trouve économie à supprimer l'emploi si avantageux du haut fourneau, si ce n'est dans le cas de minerais donnant des fontes phosphoreusés au haut fourneau, qui pourraient donner des produits non phosphoreux en présence des scories basiques qui ne permettent pas la décomposition des phosphates.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALLIAGES D'ACIER. — Stodart et Faraday ont fait des expériences nombreuses sur les alliages d'acier, d'où ils avaient conclu que l'on pouvait améliorer la qualité de l'acier, en l'alliant avec divers métaux. C'est, en général, la dureté que l'on augmente ainsi, mais aux dépens de la ténacité. L'industrie n'a guères tiré parti de ces expériences, dont nous consignerons ici les résultats.

L'acier allié avec 1/500 d'argent donne un produit plus dur que le meilleur acier fondu. Quand on augmente la proportion de l'argent, ce métal ne se combine pas, et se dispose en fibres que les acides mettent à découvert.

L'acier allié avec 1/100 de nickel donne un produit très-dur, prenant un beau poli, et capable de se damasser par l'action des acides. M. Fischer de Schaffouse a fabriqué quelque temps cet alliage qu'il appelait fer météorique. L'acier allié avec 1/100 ou 3/100 de chrome donne un produit très-dur, aussi malléable que le fer; il se damasse parfaitement. Cet alliage, proposé par Berthier, a été fabriqué sur un grande échelle dans les environs de Liége.

L'acier allié avec 1/100 ou 3/100 de platine fournit des résultats analogues. M. Bréant a fabriqué de belles lames damassées avec cet alliage. C'est avec cet alliage, croyons-nous, que le duc de Luynes avait fait fabriquer les lames de magnifiques sabres orientaux.

On peut varier beaucoup ces alliages, et il en est qui prennent un si beau poli, que Stodard et Faraday les recommandent pour la fabrication des miroirs métalliques. Voici la densité de quelques-uns d'entre eux.

Fer météorique, forgé.	7,965
Fer et 3/100 de nickel	7,849
Acier et 10/100 de platine (*miroir*). . . .	8,100
Acier et 10/100 de nickel (*miroir*).	7,684
Acier et 1/100 d'or, forgé.	7,870
Acier et 2/100 d'argent, forgé.	7,808
Acier et 1,5/100 de platine, forgé	7,73

Acier au tungstène. M. Gruner a communiqué à la Société d'encouragement les résultats de l'examen qu'il a fait d'un acier spécial d'une très-grande dureté, qui est employé à la fabrication de crochets servant à tourner les bandages en acier des roues de chemins de fer de l'Ouest.

Cet acier spécial est d'une dureté extrême, sa cassure d'un beau blanc argentin mat; son grain est extrêmement fin, d'un aspect velouté, présente une surface unie, même à la loupe. On ne peut le travailler qu'au rouge faible; il éclate lorsqu'on essaye de le tremper à l'eau, et il est assez dur pour entamer l'acier ordinaire, même sans trempe. On peut, cependant, le tremper à l'huile; mais, comme il est très-aigre, on doit faire chauffer uniformément la pièce entière et la faire refroidir ensuite avec beaucoup de précaution, pour ne pas causer de brisure.

Cette dureté particulière fait rechercher cet acier quand il faut tourner les métaux durs, et particulièrement quand il s'agit de travailler les jantes en acier des roues de chemins de fer; mais son aigreur le rend impropre à la plupart des usages auxquels on emploie l'acier ordinaire.

Il est vendu sous le nom d'acier spécial ou *acier Mushet*, du nom de M. Mushet (R.), fondateur de la société Titanic forest-steel work, qui le fabrique.

Le nom de cette compagnie pouvait faire croire que cet acier contenait du titane; mais cette opinion était peu probable. En effet, Berthier et d'autres chimistes ont essayé vainement de préparer des alliages de fer et de titane; les essais faits par M. Gruner et ceux de M. Ponsard pour réduire le fer titané n'ont amené qu'à fabriquer de la fonte et de l'acier contenant à peine quelques millièmes de titane, lequel, sans doute, y est engagé mécaniquement, et sans constituer un alliage réel. Cet acier spécial ne paraît donc pas devoir ses propriétés particulières au titane.

L'analyse directe qu'a fait M. Gruner lui a montré que ce métal était un véritable alliage de fer et de tungstène; il y a trouvé 8 pour 100 de tungstène et 2 1/2 pour 1 000 de silicium, et approximativement, 14 pour 1 000 de carbone.

L'acier au tungstène est connu depuis une vingtaine d'années; les premiers essais d'industrie furent faits par le docteur Koller, de Vienne. MM. Caron, Leguen, Petin et Gaudet ont successivement fait de l'acier au tungstène et étudié ses propriétés. On a reconnu, que le tungstène augmente à la fois la ténacité et la dureté de l'acier d'une manière croissante jusqu'à ce qu'il atteigne la proportion de 3 pour 100. Au delà de ce point, la dureté continue à croître, mais la ténacité tend à diminuer. L'acier devient aigre et cassant; un barreau extra-dur venant de Puy-les-Vignes, près de Saint-Léonard, contenait 6 pour 100 de tungstène et était cassant comme du verre. Il est donc très-remarquable que l'acier Mushet contienne 8 pour 100 de ce corps, et soit cependant assez ductible pour pouvoir être travaillé, trempé à l'huile et préparé en crochets de tours de forte dimension, quoique son aigreur le rende impropre à la fabrication des instruments tranchants, des ressorts, des canons, etc. Tout indique qu'il a dû être préparé au creuset en fondant ensemble un excellent acier cémenté, et du wolfram réduit parfaitement épuré.

TRAVAIL DE L'ACIER. Nous réunirons ici quelques procédés du travail de l'acier, qui ont pu être adoptés grâce aux moyens de production qui viennent d'être exposés, et qui ont fourni des ressources infiniment précieuses pour réaliser d'importants progrès dans les constructions mécaniques, l'artillerie, l'exploitation des chemins de fer, etc.

Aciers moulés. Lorsqu'on a eu la disposition de grandes masses d'acier fondu, soit par la puissance des appareils producteurs, soit plus sûrement, comme température et homogénéité, par la réunion du métal contenu dans un grand nombre de creusets et de fours, on a été naturellement conduit à chercher à employer, pour obtenir des pièces de forme voulue, les procédés de moulage, qui, appliqués à la fonte, rendent tant de services. Mais, quand on l'a tenté, on s'est heurté longtemps contre des obstacles qui paraissaient infranchissables, les pièces coulées s'obtenaient toutes caverneuses et remplies de soufflures à l'intérieur; la surface extérieure était couverte de taches provenant de la vitrification du sable du moule : plus on voulait obtenir de l'acier doux, plus ces difficultés étaient graves. M. Jordan définit, ainsi qu'il suit, les conditions auxquelles il faut satisfaire pour obtenir de bons résultats.

Le sable pour moulage d'acier doit être suffisamment réfractaire. On le fabrique surtout par le broyage de vieux creusets d'argile dont on sépare toutes les parties vitrifiées; en ajoutant à cette poudre sèche un peu d'argile réfractaire et malaxant les matières, on obtient une substance assez réfractaire et assez plastique pour former la première couche au contact du modèle. La nature de l'enduit est aussi un point important. La plombagine broyée, ou l'ardoise, paraît en former la base.

Il faut, pour éviter les soufflures, se garer aussi bien de l'air qui peut être entraîné avec le métal fluide que de celui qui est contenu dans le moule ou adhérent à ses parois. Ce moule doit être étuvé à une haute température et conservé encore très-chaud, afin qu'il ne se forme pas trop vite une croûte solide à son contact lors de la coulée, croûte qui gênerait le dégagement des bulles. Pour couler, on place sur l'orifice du moule un bassin de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coulée muni au fond d'un ajutage fermé avec une quenouille réfractaire; lorsque tout le métal nécessaire pour remplir le moule est rassemblé dans le bassin, on soulève la quenouille et le métal forme un jet dans l'orifice du moule sans en toucher les parois, sans entraîner d'air, et en permettant à celui qui remplit le vide de s'échapper. En laissant au métal quelques instants pour se reposer dans le bassin, il se débarrasse des bulles qu'il aurait pu entraîner jusque-là. Les parois du moule, parfaitement sèches, ne fournissent point de gaz, et l'air chaud, qui remplit les interstices des grains de sable, s'échappe sans difficulté par les joints et par les trous du châssis.

Le métal doit être très-fluide et, par conséquent, à une très-haute température, surtout s'il s'agit d'acier doux, c'est-à-dire peu carburé. Il faut couler d'autant plus lentement que l'acier est plus doux; si l'on va trop vite, avec de l'acier à canons par exemple, il se produit comme un rochage; le métal semble bouillir; il remplit le bassin qui déborde.

L'acier se solidifie à une plus haute température que la fonte; son retrait, ou plutôt sa contraction, depuis cette température jusqu'à celle ordinaire, est, par suite, considérable. Aussi, pour ne pas obtenir des moulages chambrés ou caverneux, il faut qu'ils soient munis de masselottes considérables et qu'on ait soin d'alimenter ces masselottes.

Enfin, lorsque le métal est solidifié, il faut débarrasser le moulage autant que possible de son enveloppe qui gênerait les contractions, et le faire refroidir très-lentement dans une étuve ou plutôt dans un four à recuire. A l'usine Vickers, de Sheffield, la fonderie est tellement disposée que les châssis avec les pièces coulées, portés sur des wagons, peuvent être poussés dans les fours à recuire, au sortir même des fosses de coulée. On dit même que certains moulages d'acier très-doux sont coulés en acier dur qu'on adoucit ensuite par un recuit au sein d'une poudre oxydante, opération semblable à celle de la fabrication de la fonte malléable.

Les moulages sont, la plupart du temps, employés tels qu'ils sortent des moules après burinage et ébarbage, surtout lorsque leur forme est un peu compliquée; il est rare alors qu'on puisse les marteler pour améliorer la qualité de l'acier.

Parmi les objets dont on a le mieux réussi la fabrication en acier moulé, sans grand travail après la fonte, on doit citer : des cloches en acier, des croisements et changements de voie, des roues de wagons, des roues d'engrenage, des socs de charrue.

Fabrication au petit creuset de Krupp. Nous donnerons quelques détails sur la fabrication de Krupp d'Essen, qui, en continuant à refondre l'acier au petit creuset, obtient une régularité, une qualité supérieure grâce à la liquéfaction parfaite de la matière, et à l'addition du fer dans les creusets pour obtenir la ténacité très-grande recherchée pour divers produits, surtout pour les pièces d'artillerie de gros calibre qui lui ont valu une si grande renommée.

D'après les renseignements fournis par la maison Krupp, lors de l'Exposition de 1867, tous les produits qui sortent de l'usine sont, comme on vient de le dire, des aciers fondus au creuset. Les nombreux fours à puddler et les convertisseurs Bessemer ne servent qu'à fabriquer des aciers bruts qui sont ensuite refondus dans des creusets avec des fers soigneusement préparés, ou avec des fontes de choix, pour obtenir les aciers marchands. On n'emploie dans les creusets de l'acier cémenté que pour la fabrication des aciers à burin et de cylindres trempés et polis, qui servent pour le laminage des métaux précieux et qui formaient autrefois la spécialité de la maison. La majeure partie de la fabrication provient d'un mélange d'acier brut et de fer provenant du puddlage des excellentes fontes manganésifères fabriquées avec des minerais des pays de Siegen et de Nassau.

Les creusets sont fabriqués avec un soin extrême; la pâte se compose d'un mélange de plombagine, d'argile réfractaire, de débris de briques et de vieux creusets; elle est mélangée et pétrie mécaniquement; le mélange se fait par emboutissage au balancier; le séchage a lieu très-lentement dans des séchoirs qui contiennent toujours 100,000 creusets. Ces creusets plombaginés ont une capacité qui varie de 20 à 40 kilogrammes suivant la nature de l'acier à obtenir; on ne craint pas l'action carburante de la plombagine contre laquelle on prend les précautions nécessaires dans le dosage de la charge. Ils ne servent, du reste, jamais qu'une fois, et on peut ainsi les porter à une température extrêmement élevée, à laquelle des creusets chargés pour la deuxième ou la troisième fois ne résisteraient probablement pas.

Les fours sont de diverses natures, chauffés au coke ou au gaz, et renferment 2, 4, 8, 12 ou 24 creusets. Dans la plus grande halle de fonderie, il y a des fours pour 1,500 creusets, chauffant tous à la fois, disposés de telle sorte qu'avec des ouvriers exercés et bien dirigés, le contenu du tous ces creusets puisse arriver à un même moule.

M. Turgan, qui a assisté à une de ces coulées, donne quelques détails curieux sur ce travail, que nous reproduisons ici.

Les fours dans lesquels reposent les creusets sont disposés le long des parois de la halle; des galeries commodes ouvrent une circulation facile sous le foyer. Lorsque les ouvriers conducteurs de la fusion ont, avec de longues tiges de fer, constaté que l'état de liquidité est bien celui qui est désirable, on commence par enlever, par-dessous, le coke qui entourait les creusets dans les fours; la bonne disposition des galeries rend cette manœuvre facile.

Les creusets peuvent alors être enlevés. Le problème est le suivant, que la coulée soit grande ou petite : Faire arriver dans un moule, sans interruption, un ruisseau d'acier fondu, assez chaud pour couler sans arrêt aucun et se placer dans le moule de manière à s'y solidifier, en étant parfaitement homogène. Or, l'acier se refroidit, se solidifie très-vite, et la plus mince couche solidifiée, que produirait une interruption dans l'écoulement, enlèverait toute valeur au lingot. Les manœuvres sont fort simples, mais elles seraient complétement inexécutables par un personnel inexpérimenté; il faut que chacun exécute parfaitement, mathématiquement, le temps qui le regarde dans l'opération. Le chef doit bien déterminer la place du moule, pour qu'il soit à portée de tous les fours en fusion. Il doit calculer également la pente des rampes descendant vers la tranchée; sur ces pentes reposent des canaux convergents à une cuvette dominant le moule. Dans ces canaux recouverts d'une légère feuille de tôle et évasés à leur extrémité libre, les ouvriers, systématiquement conduits, versent l'acier qui s'écoule vers la cuvette, dont le rôle est de régulariser la descente de l'acier dans le moule. Les canaux sont, en forte tôle, revêtus à l'intérieur de terre réfractaire.

Quand le chef a jugé la disposition de la cuvette et des canaux convenablement agencée, il fait un signal, et les ouvriers à leur poste commencent par découvrir les fours, en tirant sur des rails leur couvercles en fonte revêtus de briques et qui sont portés sur des galets.

Un ouvrier saisit alors un creuset avec une pince, mais au lieu de l'enlever à bout de bras, il accroche simplement la tige recourbée de sa pince sur une barre que viennent lui présenter deux autres ouvriers, qui la portent en travers de leurs épaules; il est donc aussitôt délivré de son fardeau et peut saisir un autre creuset, tandis que les deux hommes qui en ont hérité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le portent sans fatigue et sans secousse, pendu verticalement entre eux comme les fardeaux que portent les porte faix de Marseille ; ils le déposent presque instantanément sur une place laissée libre au-devant des fours. A cette place, d'autres ouvriers rangés militairement, deux par deux, tiennent entre eux une pince libre dont l'anneau entoure le ventre du creuset, qui reste encore vertical entre les deux porteurs.

Puis ils marchent alors lentement, mais sûrement, vers le canal qui est destiné à leur équipe, et y versent le contenu du creuset qui s'écoule vers la cuvette ; dès que le creuset est vidé, ils le précipitent par un entonnoir dans les caves, de sorte qu'il n'embarrasse pas le sol de la halle; ils trempent dans des bassins d'eau disposés à cet usage leurs pinces, que le contact du creuset échauffe rapidement, et les longues manches de toile épaisse qui leur servent de gants; puis ils reprennent leurs pinces et vont se mettre à la suite de leur compagnie, et tout cela sans agitation, sans autres cris que l'appel poussé par l'équipe pour indiquer aux chauffeurs, placés dans les galeries souterraines, que le moment est venu de retirer le coke entourant les creusets. Quelques minutes suffisent pour remplir la vaste capacité contenant quelquefois 40,000 kilogrammes comme le lingot cylindrique de 1m,567 de diamètre mis, par M. Krupp, à l'Exposition de 1867, dont la face supérieure polie permettait d'apprécier la finesse, la densité et la pureté du métal. Tous les métallurgistes ont admiré l'uniformité du grain, et l'absence totale de soufflures, si remarquables dans une pièce de cette dimension.

Martelage. Nous montrons à l'article TREMPE de quelle importance est le martelage pour la qualité de l'acier, comment, par un effet tout particulier, il contribue à son homogénéité, aussi l'emploi du marteau-pilon est devenu l'élément essentiel de la fabrication des pièces en acier. Ainsi, l'importante fabrication des canons en acier, si bien réussie par Krupp, a conduit à l'établissement d'un marteau-pilon de 40 tonnes, pour marteler à cœur les pièces de canon de très-fort calibre.

Emploi de l'acier pour rails. La grande diminution du prix de l'acier, par suite de la puissance des moyens de fabrication qu'a su trouver l'industrie moderne, permet de lui assigner des emplois qui répondent à une consommation extrêmement considérable. On doit citer avant tout celle qui doit répondre à la fabrication des rails de chemin de fer, qui en fer ordinaire ne peuvent résister aux grands trafics plus de 10 ou 12 ans. Nous citerons ici les vues d'un haut intérêt de M. E. Flachat sur cette question.

Le fer produit, couramment, par le procédé Bessemer, a une très-grande dureté et une très-grande ténacité, et l'appareil servant à cette fabrication, fonctionne en ce moment dans la plupart des établissements métallurgiques importants. Il y sert, il est vrai, à la production d'un fer ayant des qualités aciéreuses; mais s'il ne réussit pas à faire avec toutes les fontes un métal susceptible de la trempe, il réussit à faire, avec beaucoup d'entre elles une matière dont la dureté et la résistance à froid, la cohésion, l'homogénéité et l'élasticité conviennent éminemment à l'emploi en rails.

Or, il n'y a aucune raison pour que la fabrication de ce fer fondu en lingots soit plus coûteuse que celle du fer puddlé. Chaque jour on se rapproche de l'égalité des prix.

Ce qui est constaté aujourd'hui, c'est que l'opération qui consiste à corroyer le fer, c'est-à-dire à le laminer par bandes plates, à le couper pour le mettre en paquets, à le marteler et le laminer de nouveau, puis à recommencer deux fois et trois fois la même opération, est un procédé qui peut servir à compléter l'épuration du métal, mais non lui donner la texture, l'homogénéité et le grain qui sont particuliers aux fers durs et tenaces. Le marteau produit cet effet, le laminoir jamais. Le laminage donne au fer une texture d'autant plus fibreuse, ou nerveuse, suivant la qualité première, qu'il est plus répété et fait à de plus basses températures. Son action rend le fer moins pesant, plus *creux*, moins résistant, c'est-à-dire plus coulant à la chaleur soudante. Le fer laminé s'est, pour ces motifs, introduit très-lentement dans l'emploi par les forges à bras, dites maréchales.

Le pas que le procédé Bessemer a fait faire à la fabrication, à part l'expérience d'une méthode d'affinage nouvelle et plus efficace, c'est de montrer la supériorité de résistance du fer affiné *fondu* sur le fer affiné par le puddlage, c'est de montrer la valeur de l'action du marteau, de réduire l'utilité du laminoir à la simple mise dans la forme d'emploi, et de démontrer ainsi, non-seulement l'inutilité du corroyage, mais aussi l'inconvénient de soumettre le fer, à partir de sa fusion en lingots, à un travail à chaud exagéré. Il y a bien peu d'années encore, quand on voulait fabriquer un arbre en fer de 0,30 centimètres de diamètre, on mettait au four un paquet de petites bandes de fer laminé, ayant 1 mètre à 1m,20 carré de section. Aujourd'hui, on met au four un lingot fondu de 0m,50, et on obtient un fer plus résistant du double. Cette différence capitale dans la fabrication du fer ne vient-elle pas de deux causes: la première de ce que, dans le travail actuel du fer, la haute température, celle de fusion du fer lui-même, n'intervient jamais, puisque le fer n'est jamais fondu; la seconde de ce qu'il est travaillé par un instrument dont le mode d'action participe bien plus de l'étirage que d'une pression normale.

Le procédé Bessemer a ouvert une voie nouvelle: il a produit, avec la même fonte, des fers plus homogènes que ne faisait la méthode ancienne d'affinage, plus résistants aussi; des fers exclusivement à grain, texture qui ne se perd, sous l'influence du laminoir, qu'aux dépens de certaines qualités. On entend les ingénieurs les plus expérimentés dans l'emploi du fer, exprimer l'opinion que le meilleur fer est celui qui, dans le traitement, a conservé sa texture *grenue*, tandis qu'autrefois c'était le fer rendu *nerveux* par le traitement qui avait la préférence ; et comme le nerf se donne par des passages répétés au laminoir, par des façons énergiques à basse température, le fer était étiré mais non pas comprimé; il était préféré pour des emplois à froid, parce que les fibres superficielles en contact avec le laminoir, acquéraient, par une sorte d'écrouissage, la propriété du fil de fer.

Le fer puddlé ordinaire n° 1, destiné à produire par le corroyage les fers de qualité, étant soumis à la traction, présente une résistance très-faible: 15 à 18 kilog. par millimètre de section; converti par un seul corroyage, c'est-à-dire par un faible traitement mécanique, en fer de gros échantillon, il ne résiste guère à un effort de traction de plus de 28 à 30 kil.; corroyé deux fois et laminé en ronds à la main et à basse température, il résiste à 37 et 42 kilog.; enfin, réduit par une façon de plus, dans les laminoirs à guides, à un diamètre de 4 à 5 millimètres, il résiste à 40 ou 45 kilog.; puis, passé à froid à la filière, et converti en fil de fer de 1 millimètre, il résiste à 80 kilog. par millimètre de section. Mais le fer aciéreux obtenu aujourd'hui, des mêmes fontes à fer, dans l'appareil Bessemer, par la fusion à haute température, coulé en lingots, après un affinage qui donne au produit des qualités de densité et d'homogénéité particulières, présente déjà, sans façons aucunes, une résistance égale à celle du fil de fer, et le marteau élève ensuite cette résistance de 25 pour 100; sa densité est celle de l'acier, et, dans tous les cas, très-supérieure à celle du meilleur fer.

La réduction du prix de fabrication était le seul progrès

EFEROS - Recherche & Classification numérique

à accomplir; nous allons dire comment a été levée la seule difficulté qui existait encore.

Déphosphoration des fontes. — La rapidité avec laquelle s'est développée la fabrication de l'acier Bessemer, fondée sur la rapidité de l'affinage produit par une insufflation d'air, a été merveilleuse et le prix de l'acier s'est rapproché de plus en plus de celui du fer. Cette limite eût même été franchie sans l'impossibilité d'obtenir de bons produits avec des fontes phosphoreuses, c'est-à-dire en employant les minerais qui alimentent presque toutes les usines à fer, toutes celles de l'Angleterre notamment.

Il a fallu alors recourir, à grands frais, aux minerais de fer oligiste des Pyrénées, de Mokta-el-Halid, en Algérie, le phosphore ne disparaissant pas dans le convertisseur Bessemer ordinaire, c'est-à-dire à des minerais riches exempts de phosphore, de l'élément qui influe le plus sur la fragilité de l'acier, qui le rend cassant.

Mais ce défaut grave était-il inhérent au procédé? C'est ce que s'est demandé le savant métallurgiste Gruner, et il a établi que c'était la nature siliceuse de la garniture du convertisseur, qui, rendant acides les scories, empêchait l'affinage à produire et qu'il en serait autrement si elles étaient basiques, si on la faisait en chaux ou en magnésie. La difficulté était de lui donner une résistance suffisante pour passer aux applications pratiques, car l'excellence de la théorie avait été démontrée par les premiers essais.

Se conformant aux conseils de M. Gruner, deux métallurgistes anglais, MM. Thomas et Gilchrist ont essayé avec succès pour le revêtement intérieur du convertisseur, une base (la dolomie) qui peut se combiner avec le phosphore. Il était fort difficile de trouver un moyen d'obtenir que ce revêtement intérieur pût conserver une durée suffisante. Après de longues recherches, les inventeurs sont parvenus à vaincre cette difficulté en faisant deux revêtements distincts, l'un destiné à être placé à demeure, et l'autre à être renouvelé; ces deux revêtements ont la même composition chimique et ne diffèrent que par leurs qualités physiques.

Le revêtement fixe est composé d'un mélange d'environ 7 0/0 de silice, 3 1/2 0/0 d'alumine et d'oxyde de fer et 88 0/0 de carbonate de fer et de magnésie. Ces diverses matières sont réduites en poudre et ensuite on en forme des briques par la pression en y ajoutant une petite quantité d'eau. Ces briques sont cuites dans un four spécial, à une température excessivement élevée, température atteignant presque celle de la fusion du platine, elles deviennent après cette cuisson assez réfractaires pour supporter sans altération la température d'un convertisseur pendant un nombre indéfini d'opérations.

Pour empêcher ces briques réfractaires, qui forment le revêtement du convertisseur, d'être attaquées, il était nécessaire de placer un second revêtement facilement renouvelable dont on va comprendre l'utilité.

Une certaine quantité de chaux, ou, pour mieux dire, d'un mélange de chaux et de magnésie, est employée à cet effet. On verse la fonte et on donne le vent; après un certain temps, on arrête le vent et l'on jette dans le convertisseur des mottes composées de chaux, de magnésie et d'oxyde de fer. Cela suffit pour préserver le revêtement intérieur. Le poids total de la composition basique qu'il est nécessaire d'introduire dépend de la quantité de silice et de phosphore contenue dans la fonte et de la proportion de mélange basique empruntée aux briques de revêtement par le métal en fusion.

Les matériaux qui forment le revêtement fusible se retrouvent sous forme de scories à la fin de l'opération qui ne doit pas être trop prolongée, autrement le fer, trop affiné, reprendrait le phosphore aux scories en les décomposant. C'est là le point délicat du procédé, surtout si, comme le dit M. Pourcel de Terre-Noire, la déphosphoration n'a lieu qu'après la décarburation. La nécessité d'une double opération, d'une coulée des scories avant la production de la seconde réaction, serait une conséquence directe de cette théorie, surtout avec certains minerais très phosphoreux.

L'opération d'une coulée d'acier se fait, à l'exception de l'addition des matières fusibles, comme pour l'acier Bessemer ordinaire et, après l'élimination du phosphore, on ajoute les fontes manganésifères avant d'opérer la coulée. Le temps employé pour chaque opération est de trente minutes environ. L'acier obtenu ainsi avec des fontes du Cleveland est de bonne qualité et ne contient plus de phosphore. D'après les analyses, la fonte employée renfermait 1,5 0/0 de phosphore et on n'en trouvait plus dans l'acier produit que 0,02 0/0.

Il reste maintenant à examiner le prix de revient du nouvel acier. Le prix actuel de production des fontes du Cleveland est de 42 fr. 50 la tonne, tandis que la fonte d'hématite pour le procédé Bessemer coûte 60 fr. dans cette même région; il y a donc une différence de 17 fr. 50 entre les deux produits qui doivent être employés à la fabrication de l'acier. Il est probable que les prix de fabrication par le nouveau procédé qui ne nécessite que l'emploi de matériaux, chaux et magnésie, d'un prix insignifiant, seront à peine supérieurs à ceux du procédé Bessemer; en comptant 6 ou 7 francs de plus par tonne, on voit qu'il resterait encore une marge suffisante pour assurer un développement considérable à la production du nouvel acier.

Ferro-manganèse. — L'emploi de fonte manganésifère, dans la fabrication du Bessemer, a fait songer à fabriquer directement des alliages de fer riches en manganèse qui, employés en petite quantité, n'ajoutent pas de phosphore. Il fut primitivement préparé à Terre-Noire au four Siemens, ou du moins on opéra d'abord, sur la sole de ce four, l'enrichissement de la fonte manganésifère provenant du haut fourneau; mais, depuis 1875, grâce à la haute température du vent, on est arrivé, à Terre-Noire, Saint-Louis, Montluçon (compagnie de Fourchambault) et ailleurs, à obtenir, dans les hauts fourneaux eux-mêmes, des ferro-manganèses à 50, 60, même 80 et 85 0/0 de manganèse. Il faut pour cela une allure ultra-chaude et des laitiers extra-basiques. La haute température nécessaire résulte de ce simple fait, que, tandis que la fonte Bessemer ordinaire peut se produire dans les hauts fourneaux à vent surchauffé avec une consommation de 100 0/0 de coke, on en brûle, pour les ferro-manganèses riches, jusqu'à 200, 250, même 270 0/0, dès qu'il s'agit d'atteindre des teneurs de 80 à 85 0/0 de manganèse.

Pour avoir des laitiers moins siliceux, on introduit, outre la chaux et l'alumine, de la magnésie ou de la baryte dans les lits de fusion. Par les travaux de Sefstrom et de Plattner, on sait que la baryte est plus fondante que la chaux, et que déjà le bisilicate simple de baryte (à 28 0/0 de silice), entre en fusion à la température de cuisson de la porcelaine.

L'allure ordinaire en ferro-manganèse riche rend les gaz trop peu combustibles pour pouvoir encore les utiliser au chauffage du vent. Au premier abord, cela peut paraître paradoxal, puisqu'on brûle plus du double de carbone pour le même poids de fonte; mais on se l'explique aisément si l'on réfléchit à la nature du minerai de manganèse, qui fournit de l'oxygène libre par simple calcination. Cet oxygène se dégage dans les parties les plus élevées du fourneau et y transforme CO en CO^2. Les gaz deviennent plus chauds, mais aussi plus riches en acide carbonique. Heureusement que le remède est ici facile. M. Pourcel a de nouveau rendu aux gaz leur combustibilité en ajoutant au lit de fusion (minerai et fondant) 1/17 à 1/12 de son poids en houille crue hydrogénée.

Bandages de roues pour wagons. Nous allons décrire

EFEROS - Recherche & Classification numérique

le curieux procédé de fabrication appliqué par Krupp sur une très-grande échelle.

Un lingot d'acier fondu est forgé de la forme représentée fig. 27, et deux trous d'environ 5 centimètres de diamètre sont percés au foret ou au découpoir à travers toute son épaisseur. Une fente est pratiquée pour les réunir, comme l'indique la figure, puis le bloc est chauffé et ouvert de manière à former un anneau d'acier fondu, fig. 27, qui est laminé ou forgé au marteau de manière à former un bandage.

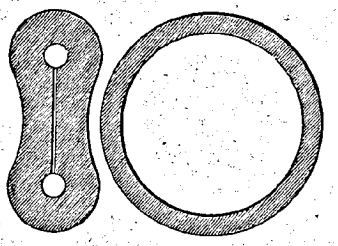


Fig. 27.

Roues en acier fondu. Ces roues sont fabriquées par Vickers, de la forme représentée dans la section, fig. 28, et obtenues directement par moulage. L'a-

Fig. 28.





Fig. 29.

cier passe des creusets dans une poche et de là dans un moule revêtu de substances assez réfractaires pour résister à l'action de l'acier fondu. Ce procédé est bien moins coûteux que celui de Krupp, qui forge un lingot d'acier fondu, de manière à l'amener à la forme d'un disque A, fig. 30, puis le fait pas-

A

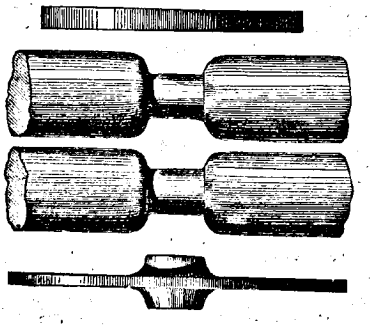


Fig. 30.

ser à travers une paire de cylindres, entaillés tous deux dans leur milieu, comme le montre la figure, en changeant continuellement le point de la circonférence par lequel le disque d'acier se présente aux rouleaux. Celui-ci est de la sorte écrasé et étendu, la résistance du métal étant d'ailleurs de plus en plus accrue par le laminage, pendant que le moyeu de la roue se produit en raison du moindre diamètre du milieu des cylindres. Le disque est alors martelé sur la tranche pour prendre la forme indiquée dans la figure 29, et enfin tourné. Le prix coté par Krupp, savoir 125 francs pour une roue d'acier fondu pesant 150 kilog., forgée et finie, indique que ce procédé de fabrication est arrivé à un degré extraordinaire de perfection et d'économie.

Canons. La fabrication de pièces d'artillerie en acier doux, est encore une des applications importantes de ce métal, exigeant toutes les ressources des machines-outils les plus puissantes. Nous reviendrons sur cette fabrication à l'article BOUCHES A FEU; nous donnerons ici seulement la description du procédé de fabrication des canons avec le laminoir employé en Angleterre et dû à M. Clay.

On se sert des cylindres ordinaires à surface lisse; mais, au lieu de vis pour déterminer leur écartement, des tiges de piston sont adaptées aux coussinets supérieurs du cylindre de dessus, et celui-ci monte et descend avec ces tiges. Elles sont attachées à des pistons se mouvant dans des cylindres hydrauliques qui surmontent les deux montants. Ces cylindres portent des tuyaux de sortie fermés par une soupape, qui permet de régler à volonté la sortie de l'eau du cylindre. Supposons le cylindre rempli d'eau, les rouleaux donneront une certaine compression, soit à une loupe, soit à une barre poussée entre eux. Lorsque la valve viendra à être ouverte pendant que la barre de fer est entraînée afin d'obtenir la forme conique, l'écartement des cylindres augmentera graduellement en proportion de l'eau qui s'échappe du cylindre, et de l'élévation du piston qui en résulte. Une des extrémités de la barre est alors diminuée d'épaisseur pendant que l'autre est à peine altérée. La barre est ainsi passée entre les cylindres jusqu'à ce qu'elle ait pris la forme conique voulue. Quand il s'agit de forger un canon, si l'extrémité du côté de la bouche et celle du côté de la culasse doivent appartenir à des cônes très-différents, ou varier brusquement d'épaisseur, les cylindres peuvent être arrêtés en débrayant quand la partie de plus petit diamètre est finie, et ils sont alors disposés pour une opération suivante, la soupape étant ouverte pour une forme nouvelle. La soupape étant ajustée, la culasse est fabriquée à l'aide des mêmes cylindres. Les tourillons sont assemblés en dernier.

Cette méthode est applicable au laminage de toutes les pièces de forme conique. Inventée à Birmingham au commencement du siècle pour laminer les canons de fusil, elle a été appliquée à la fabrication des carabines d'Enfield.

ACOUSTIQUE. C'est sur l'étude des sons, leur mesure, les moyens de les produire, que repose l'industrie qui a pour objet la production des instruments de musique. Cherchons donc à résumer les principaux résultats de la science des sons.

ÉCHELLE MUSICALE. Nous avons déjà dit que le son résultait de la vibration des corps; c'est la vitesse des vibrations qui décide de la hauteur du son: plus les vibrations sont rapides, plus le son est aigu; plus au contraire elles sont lentes et plus le son est grave. Il y a des limites entre lesquelles seulement les vibrations sont musicales. En général, les sons cessent d'être perceptibles lorsque le nombre de vibrations dépasse une soixantaine de mille par seconde, on reste inférieur à trente vibrations pour la même unité de temps; au delà de ces limites leur trop grande acuité ou leur extrême gravité ne permettent plus qu'ils soient perçus par des oreilles humaines. Dans tous les cas, ces vibrations sont beaucoup trop rapides pour qu'on puisse les compter

EFEROS - Recherche & Classification Numérique

directement; cependant on y arrive d'une manière assez précise par plusieurs procédés détournés qui se contrôlent les uns les autres.

Le plus simple consiste dans l'emploi d'une corde assez forte, assez longue pour que, tendue entre deux points fixes et éloignés de sa position rectiligne, elle y revienne en décrivant de part et d'autre des oscillations lentes et très faciles à compter. Alors, en faisant varier seulement la longueur de la corde, on constate que le nombre des vibrations est en raison inverse de la longueur de la corde; cette loi, que d'ailleurs le calcul indique, étant ainsi vérifiée par l'expérience, on raccourcit la corde jusqu'au point d'obtenir un son appréciable et correspondant à un nombre de vibrations que l'on déduit de la longueur de la partie vibrante. A partir de ce point, et en faisant vibrer des longueurs de plus en plus petites comptées sur la même corde, ou mieux sur une autre corde préalablement mise à l'unisson, on obtient une infinité de sons de plus en plus élevés, parmi lesquels une oreille bien organisée saisit certains rapports remarquables.

Supposons qu'une corde vibrante de 1 mètre de longueur rende un son net et bien apprécié par l'oreille, réduite à un demi-mètre elle rend un son plus aigu, mais qui possède avec le premier une analogie extrême et qu'on reconnaît être à l'*octave*. Mais, au lieu de réduire brusquement la corde à moitié, on peut diminuer par tâtonnements sa longueur, de manière à lui faire rendre successivement toutes les notes de la gamme naturelle comprise entre deux sons à l'octave l'un de l'autre. Ces notes ont reçu les dénominations conventionnelles : *ut, ré, mi, fa, sol, la, si, ut*. En opérant comme nous venons de le dire, on trouve que pour une même corde, toujours également tendue, les longueurs qui correspondent à ces notes sont représentées par les nombres :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{4}{5}$,	$\frac{3}{4}$,	$\frac{2}{3}$,	$\frac{3}{5}$,	$\frac{8}{15}$,	$\frac{1}{2}$.

Et d'après la loi énoncée précédemment, qui dit que la vitesse des vibrations est inversement proportionnelle aux longueurs de corde, on déduit pour les différentes notes de la gamme des nombres de vibrations qui sont représentés par les quantités :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Ainsi le nombre de vibrations de deux notes à l'octave l'une de l'autre diffère entre elles du simple au double exactement; et quel que soit le nombre n des vibrations correspondant à un son donné, si on le prend pour point de départ d'une gamme, le nombre des vibrations des différentes notes de cette gamme sera toujours égal au nombre n multiplié par le nombre fractionnaire correspondant à chacune de ces notes.

Les gammes sont donc toutes pareilles, quel que soit leur point de départ dans la série des sons perceptibles; et ce qui constitue essentiellement l'intervalle sensible entre les différentes notes, c'est uniquement le rapport qui existe entre les nombres des vibrations qui leur correspondent. Cette définition de l'intervalle musical est puisée dans la nature même de nos sensations auditives.

Ainsi compris, les intervalles qui séparent les différentes notes de la gamme ne sont pas tous égaux, car, en divisant chaque note par celle qui précède, on trouve des quotients différents, que nous allons écrire en troisième ligne et en regard de l'intervalle qu'ils représentent :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.
	$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{16}{15}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{10}{9}$,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{16}{15}$.

L'inspection de ces nombres montre que dans la gamme naturelle il y a des intervalles de trois grandeurs différentes : 3 représentés par $\frac{9}{8}$, 2 par $\frac{10}{9}$ et 2 par $\frac{16}{15}$. La différence entre $\frac{9}{8}$ et $\frac{10}{9}$ est assez petite pour que l'oreille la néglige; elle constitue un nouvel intervalle désigné sous le nom de *comma*. En négligeant le comma on ne trouve plus dans la gamme que deux sortes d'intervalles, des grands et des petits : cinq grands représentés indistinctement par $\frac{9}{8}$ ou $\frac{10}{9}$, et deux petits représentés par $\frac{16}{15}$. On appelle les premiers des *tons* et les seconds des *demi-tons*. Ils sont répartis dans la gamme de manière que le premier demi-ton se trouve entre la deuxième et la troisième note, et le second entre la septième et la huitième.

Dièses et bémols. — Mais on emploie en musique d'autres notes que celles que nous avons considérées jusqu'ici. Voici comment on s'y est trouvé conduit : je suppose que, disposant de l'échelle musicale dans toute son étendue perceptible, on compose un instrument capable de donner, à partir de la note la plus grave, une série de gammes à l'octave les unes des autres, comme serait, par exemple, un piano réduit à ses touches blanches. Il serait possible d'exécuter sur cet instrument un chant simple, pourvu que l'on commençât par la note convenable. Mais si l'on voulait commencer par une autre note, on rencontrerait une impossibilité absolue à reproduire ce même chant avec son caractère et son sens musical. La raison en est simple : les tons et les demi-tons n'étant pas régulièrement répartis dans la gamme, l'intercalation d'un même nombre de touches entre deux notes successives ne représente pas toujours le même intervalle pour l'oreille; et lorsqu'on essaie de déplacer un air sur l'instrument, ou, comme on dit, de le *transposer*, on éprouve à chaque instant la nécessité d'intercaler entre deux notes, séparées par un ton, une troisième note intermédiaire. C'est pour répondre à ce besoin qu'on a introduit l'usage des notes *diésées* ou *bémolisées*.

Diéser une note, c'est l'élever de manière à multiplier le nombre de ses vibrations par $\frac{25}{24}$; la bémoliser, c'est la baisser en multipliant le nombre de ses vibrations par le rapport inverse, c'est-à dire par $\frac{24}{25}$. Il suit de là qu'entre deux notes de la gamme séparées par un ton, entre *ut* et *ré*, par exemple, on peut intercaler *ut* dièse et *ré* bémol. Mais ces notes sont tellement voisines et diffèrent si peu l'une de l'autre, qu'on a pu se permettre, sans blesser l'oreille, de leur substituer une note unique qui sert pour tous les cas. On en fait autant pour les quatre autres tons de la gamme, que l'on partage en deux par l'introduction d'une note intermédiaire, et l'on obtient ainsi une nouvelle gamme, dite chromatique, dont toutes les notes successives sont à un demi-ton les unes des autres.

Tempérament. — Toutefois, si, pour compléter l'échelle musicale, on s'était borné à intercaler, tel que nous venons de le dire, cinq notes nouvelles entre les notes de la gamme naturelle conservée parfaitement juste, on n'arriverait pas encore à satisfaire aux exigences d'une oreille tant soit peu exercée, parce que les douze intervalles qui composeraient ainsi la nouvelle ne seraient pas tous égaux entre eux. On est donc convenu d'altérer encore l'échelle naturelle suivant une méthode appelée *tempérament*. On part de ce principe que, de tous les intervalles employés en musique, le seul qui exige une justesse absolue, c'est l'octave; puis, cet intervalle on le partage en douze demi-tons égaux. On ne conserve plus aucune des notes de la gamme naturelle, mais on leur substitue de nouvelles notes qui en approchent beaucoup et qui ont l'avantage de se prêter avec facilité à toutes les transpositions possibles. Dans une gamme chromatique établie sur ces principes, tous les demi-tons sont représentés par un même nombre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et ce nombre est tel que, multiplié douze fois par lui-même, il devienne égal à 2: il est donc égal à la racine douzième de 2 ou à 1,059.

Accords. — Si l'on considère l'une après l'autre et en montant toutes les notes d'une gamme tempérée ou non, on trouve d'abord, comme nous l'avons dit, deux tons, puis un demi-ton, puis trois tons, et enfin un demi-ton. Les intervalles compris entre la première et la seconde note, entre la première et la troisième, etc., jusqu'à l'octave, s'appellent une *seconde*, une *tierce*, une *quarte*, une *quinte*, une *sixte*, une *septième* et une *octave*. Ces mêmes intervalles peuvent se compter à partir d'une note quelconque; mais alors leur grandeur peut varier d'un demi-ton, et il vient à propos de distinguer des tierces, des quartes, etc., *majeures* et *mineures*.

Quand deux ou plusieurs notes de la gamme se font entendre au même instant, il résulte de leur simultanéité des sensations qui flattent ou qui blessent l'oreille, et qui produisent des *accords* ou des *dissonances*. L'accord le plus simple est l'unisson, après vient l'octave, puis la quinte, puis les tierces majeure et mineure, et enfin la quarte Les secondes majeure et mineure, et surtout cette dernière, ne produisent que des dissonances. Quand trois sons simultanés sont tels que le premier et le second forment une tierce majeure, le second et le troisième une tierce mineure, le premier et le troisième forment nécessairement une quinte; il en résulte une triple consonnance que l'on a nommée *accord parfait*.

MESURE DES SONS. Jusqu'à présent nous n'avons parlé que d'un seul moyen d'évaluer le nombre de vibrations correspondant à un son donné. Ce moyen est fondé sur la loi simple qui lie le nombre des vibrations d'une corde à sa longueur. Nous avons supposé d'ailleurs que deux corps vibrant à l'unisson exécutaient dans le même temps le même nombre de vibrations. Il est facile de montrer que cette supposition n'est point hasardée, car on possède plusieurs moyens de produire des sons et de compter leurs vibrations, et tous fournissent des résultats concordants. Nous nous bornerons à indiquer la sirène de M. Cagniard de La Tour (fig. 1).

Sirène. — Une boîte cylindrique *cc* communique par sa base inférieure avec un tuyau qui doit permettre

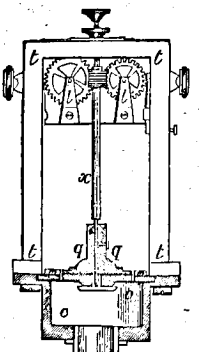


Fig. 1.

l'arrivée d'un fluide liquide ou gazeux, tandis que sa base supérieure porte une rangée de trous équidistants et disposés en cercle. Cette base sert en outre de point d'appui à une monture métallique *tt* et à l'extrémité inférieure d'un axe vertical *x*, susceptible de tourner sur lui-même avec une grande facilité. Perpendiculairement à cet axe on a monté un plateau circulaire *qq*, qui vient se placer aussi près que possible de la base sans la toucher, et qui porte comme elle une rangée d'un même nombre de trous disposés en cercle, à la même distance du centre, et percés obliquement dans l'épaisseur du métal.

Par suite de cette disposition ingénieuse, si l'on imprime au plateau un mouvement de rotation, et si l'on fait affluer par le tuyau un fluide quelconque, de l'air, par exemple, il arrive que l'écoulement au dehors de la boîte ne peut pas se faire d'une manière continue mais seulement intermittente; car, parmi toutes les positions que le plateau mobile occupe par rapport au fond fixe de la boîte, on peut distinguer celles pour lesquelles il y a coïncidence entre les deux systèmes de trous, et celles pour lesquelles ils ne se correspondent pas. De plus, il est évident que par suite de son mouvement continu le plateau passe alternativement de l'une à l'autre de ces deux sortes de positions, et par suite permet et suspend alternativement l'écoulement Quand le mouvement de rotation est suffisamment rapide, les chocs résultant de cet écoulement intermittent engendrent un son dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation du plateau. Or cette vitesse est entretenue par l'écoulement même du fluide à travers les trous obliques du plateau, et elle dépend de la pression sous laquelle cet écoulement a lieu. Il en résulte qu'en faisant varier cette pression on fait aussi varier la hauteur du son rendu par l'instrument. Si c'est une soufflerie qui est chargée de subvenir à cet écoulement, il suffit de la charger plus ou moins pour obtenir toutes les hauteurs possibles de son entre deux limites très éloignées. Mais, ce qui complète admirablement cet appareil remarquable et ce qui le rend capable d'indiquer lui-même le nombre de vibrations correspondant au son qu'il rend, c'est le soin qu'on a pris de faire engrener volonté l'axe vertical du plateau mobile avec un compteur ou système de roues dentées situé en *ll*. Ce compteur porte deux aiguilles dont le mouvement indique l'extérieur le nombre de tours exécutés par le plateau quelle que soit la vitesse dont il est animé; le nombre de tours multiplié par le nombre des trous du plateau donne évidemment le nombre des chocs ou des vibrations complètes qui produisent le son. Tel est l'instrument imaginé par M. Cagniard de La Tour, et auquel il a donné le nom de *Sirène*, parce qu'il est capable de parler aussi bien dans l'eau que dans l'air.

Pour déterminer le nombre des vibrations exécutées par un corps sonore, on commence par mettre la sirène à l'unisson avec lui en réglant l'écoulement de l'air quand on procède avec soin, on arrive à maintenir le son fixe pendant quelque temps. Alors on engrène le compteur pendant un certain nombre de secondes déterminé. La marche des aiguilles sur les cadrans indique le nombre des tours du plateau, et par suite le nombre des vibrations exécutées pendant un nombre de secondes connu; on en tire facilement le nombre de vibrations exécutées par seconde.

Quelle que soit la méthode employée pour compter les vibrations, les résultats obtenus sont assez concordants pour qu'on puisse les considérer tous comme étant sensiblement l'expression de la vérité. Dans la partie moyenne de l'échelle des sons, on en a choisi un pour servir en quelque sorte de point de départ. Ce choix est tout à fait arbitraire; mais l'usage l'a fixé, et le *la* du diapason représente dans le langage musical un son d'une hauteur bien déterminée. Soumis à l'étude physique, ce son a été trouvé correspondant à 880 vibrations simples, c'est-à-dire à 880 excursions des molécules du corps sonore.

Comme la série entière des sons perceptibles renferme plusieurs octaves composées chacune des notes *ut*, *ré*, *mi*, etc., il a été nécessaire d'affecter chacune de ces octaves d'un indice particulier pour les distinguer les

EPEROS - Recherche & Classification numérique

unes des autres. L'octave qui renferme le *la* du diapason porte l'indice 3, qu'on écrit à la suite et en bas de chaque note. Ainsi le *la* du diapason est un la_3; par suite, le *la* du violoncelle, qui est à l'octave en dessous, est un la_2; il en résulte que celui-ci fait 440 vibrations par seconde : le la_1 en fait 220, le la_{-1} 110, et le la_{-2} 55 seulement, en sorte que l'ut_{-2} n'en fait que 33; c'est la note la plus grave employée en musique.

On peut, d'après ce qui précède, déterminer la longueur absolue des ondes sonores dans un milieu quelconque, car il suffit pour cela de connaître la vitesse avec laquelle le son se propage dans ce milieu et le nombre des vibrations qui produisent le son. Dans l'air, cette vitesse est de 333 mètres par seconde; il est évident qu'un son qui résulterait de 333 vibrations par seconde émettrait 333 ondes égales entre elles et qui, par conséquent, auraient 1 mètre de longueur. Pour des vibrations plus nombreuses les ondulations seraient plus courtes; elles seraient plus longues dans le cas contraire. On voit qu'en général la longueur de l'onde s'obtient en divisant la vitesse du son par le nombre des vibrations, ce qui donne pour l'ut_{-2} une ondulation de plus de 10 mètres ou de 32 pieds de longueur.

Battements. — L'évaluation numérique des sons conduit à l'explication d'un phénomène d'acoustique qui paraît au premier abord fort extraordinaire. Lorsque deux instruments de même nature, soit deux cordes ou deux tuyaux, rendent des sons prolongés et différant très peu de hauteur, on entend en outre une sorte de roulement dont les battements élémentaires sont d'autant plus rapprochés que l'intervalle des deux sons est plus grand. Quand les deux instruments parlent à l'unisson, tout battement cesse. Quand au contraire ils rendent des sons très distants l'un de l'autre, le roulement peut devenir assez précipité pour engendrer un troisième son. Ce phénomène, proprement désigné sous le nom de *battement*, est dû à la coïncidence des vibrations des deux corps sonores, qui se reproduit périodiquement, et détermine chaque fois un renforcement dans le son.

Des différentes manières de produire des sons. Les frottements et les chocs excitent une quantité de bruits ou de sons confus en déterminant dans les molécules des corps des agitations et des mouvements qui n'ont rien de régulier, et qui n'offrent aucune prise à l'étude. Nous n'avons à nous inquiéter que des circonstances dans lesquelles prennent naissance des sons musicaux et appréciables, et allons passer en revue les systèmes employés dans les divers instruments de physique.

Cordes vibrantes. Nous avons déjà parlé des sons rendus par les cordes tendues entre deux points fixes, et nous avons énoncé la loi très simple qui lie, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des vibrations à la longueur de la corde; mais comme le degré de tension, la grosseur et la densité de cette corde ont également une influence sur la rapidité des vibrations, il importe d'indiquer l'influence qui dépend de chacune de ces données.

Les expériences confirment les lois suivantes, auxquelles on arrive aussi par le calcul :

« Les nombres de vibrations des cordes sont proportionnels aux racines carrées des poids qui les tendent; mais ils sont en raison inverse des longueurs des cordes, de leur épaisseur et des racines carrées de leurs densités. »

Ces lois ne sont relatives qu'aux vibrations *transversales* des cordes, c'est-à-dire à celles qu'elles exécutent en s'infléchissant de part et d'autre autour de leur position d'équilibre.

Il est possible d'exciter dans une corde tendue des vibrations d'une autre espèce, désignées sous le nom de vibrations *longitudinales*, et qui suivent des lois toutes différentes. Pour produire ces sortes de vibrations, il faut frotter une corde tendue dans le sens de sa longueur avec un archet ou un morceau de drap saupoudré de colophane. On sollicite, en opérant ainsi, les molécules à se déplacer et à osciller dans le sens de la longueur de la corde. Mais dans ces circonstances l'élasticité propre de la substance intervient d'une manière puissante, et le son obtenu par ce mode d'ébranlement est toujours très aigu quand on le compare à celui que rend une même corde vibrant transversalement.

Que les cordes vibrent transversalement ou longitudinalement, elles peuvent se partager presque spontanément en 2, 3, 4, 5, etc., parties vibrant isolément. Dans deux parties consécutives les mouvements, considérés au même instant, se font toujours dans des sens opposés, ce qui aide à comprendre comment, sur la limite de deux parties vibrant isolément, il existe des molécules qui restent en repos. Ces points de repos sont ce qu'on appelle des *nœuds;* et les points milieux des parties vibrantes, ceux qui décrivent les plus grandes excursions, sont appelés les *ventres*.

On détermine facilement l'apparition des nœuds dans une corde vibrante : il suffit de la toucher légèrement en l'un des points où ces nœuds tendent à se produire, c'est-à-dire en un point correspondant à l'une des divisions qui fractionneraient la corde en parties d'égale longueur. La série des sons que peut donner une même corde dans ces diverses circonstances est représentée, à partir du son le plus grave ou fondamental, par la série naturelle des nombres 1, 2, 3, 4, etc.

Vibration des tiges. — Une tige rigide et élastique fixée à l'une de ses extrémités ou par son milieu offre encore la facilité de produire des sons, avec un grand nombre de substances différentes. Quand une tige ou une lame est pincée par une de ses extrémités dans un étau, si on fait effort pour la courber et qu'on l'abandonne à elle-même, ou la voit, comme une corde pincée, décrire des oscillations dont le nombre est lié à la longueur de la partie vibrante d'une manière assez simple. « Ce nombre est en raison inverse de la racine carrée de la longueur, comptée à partir de l'extrémité libre jusqu'au point où la tige s'engage entre les mors de l'étau. »

Vibration de l'air dans les tuyaux. — Enfin l'air lui-même est, dans bien des cas, le corps dont les vibrations excitent le son. Les instruments à vent nous en présentent de nombreux exemples. En général ils isolent une colonne d'air dont les dimensions influent sur la hauteur du son. Le procédé usité pour mettre cette colonne en vibration varie d'un instrument à l'autre; mais toujours on peut le considérer comme fondé sur l'emploi de l'*anche* ou du *bec de flûte*.

L'anche agit d'une manière simple et facile à comprendre; c'est une languette L (fig. 2) fixée par une

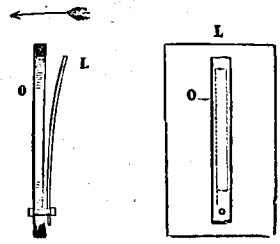


Fig. 2.

extrémité au devant d'une ouverture rectangulaire O pratiquée dans une paroi solide. Cette languette est construite de manière à se cambrer dans l'état de re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pos et à dégager l'ouverture sous-jacente. Mais, si l'on établit d'une manière quelconque un courant d'air qui tende à s'échapper par l'ouverture *o* dans le sens indiqué par la flèche, on voit la languette entraînée s'appliquer d'abord sur la paroi et suspendre momentanément l'écoulement ; puis son élasticité la ramène à sa position première, après quoi elle est entraînée de nouveau, et ainsi de suite, tant que l'air fait effort pour s'écouler par l'ouverture. On voit par là que la sortie de l'air doit se faire par intermittences, et lorsque ces intermittences sont assez rapprochées, il en résulte un son beaucoup plus fort que celui qu'on pourrait attribuer aux vibrations de la lame seule.

Dans beaucoup d'instruments à vent le son se produit avec l'intervention d'une anche : la clarinette, le hautbois ; certains jeux d'orgues sont dans ce cas. Le cor de chasse semble dépourvu d'anche, mais les lèvres en tiennent lieu. Enfin la voix humaine elle-même se produit dans le larynx par le passage plus ou moins rapide de l'air expiré entre les replis membraneux appelés *cordes vocales*, qui jouent, à très peu près, le rôle d'anche. En effet ces cordes, tendues sur les parois du larynx, interceptent entre elles l'ouverture allongée, étroite, connue sous le nom de *glotte*. Lorsqu'on veut donner de la voix et sous l'influence de certains muscles, les cordes se tendent, la glotte se rétrécit et devient insuffisante pour le libre écoulement de l'air fourni par les poumons : alors les cordes sont pressées, elles s'écartent momentanément et reviennent par leur propre élasticité ; en un mot, elles s'animent d'un mouvement de vibration qui fait varier périodiquement les dimensions de la glotte, et il se produit un son en rapport avec la rapidité de ce mouvement vibratoire.

Dans les tuyaux d'orgue, appelés tuyaux de flûte, on n'aperçoit plus aucune pièce vibrante, tout se passe dans la colonne d'air et suivant les lois simples qui ont été indiquées par Daniel Bernouilli, et qui varient selon que les tuyaux sont ouverts par les deux bouts ou par un bout seulement. (Voy. ORGUES.)

Dans les tuyaux de cette espèce (fig. 3), l'air chassé par une soufflerie s'insinue en passant par une fente étroite dont la trace se voit en *l* dans la coupe ci-jointe. Cette fente, désignée sous le nom de lumière, vient s'ouvrir au niveau d'une ouverture transversale *b* pratiquée dans l'épaisseur de la paroi du tuyau. Cette ouverture est dite la *bouche* du tuyau et son bord le plus élevé est aminci en biseau. C'est sur le bord ou lèvre supérieure que le courant d'air dirigé par la lumière vient se briser en produisant un son. La matière solide des parois du tuyau n'influe en rien sur la hauteur du son, mais seulement sur son timbre.

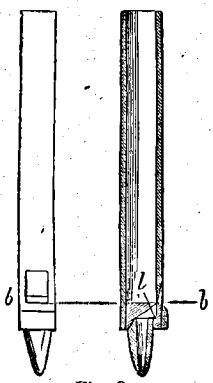


Fig. 3.

TRACÉ DES VIBRATIONS. — Les vibrations acoustiques, étant un phénomène mécanique, peuvent être étudiées par les méthodes graphiques comme tous les mouvements, ainsi qu'il a été expliqué à l'article GRAPHIQUES (*Complément*) où nous en avons montré l'application à l'enregistrement des mouvements d'une corde vibrante. Nous insisterons ici sur les ingénieuses inventions, reposant sur ce même principe, qui ont conduit à tracer et surtout à reproduire la voix humaine.

Phonautographe. — Dès 1859, un inventeur qui a contribué beaucoup, indirectement, à l'invention des appareils dont nous allons parler, et qui n'a guère tiré de gloire, et encore bien moins de profit de ses travaux, M. Scott inventa un appareil propre à enregistrer les sons, la voix humaine se propageant dans l'air.

Il se composait essentiellement d'une membrane d'assez grande dimension, faisant conque, rappelant le tympan de l'oreille. A son ombilic était placé un poil de sanglier, pouvant tracer sur un cylindre enfumé tournant, le résultat des vibrations.

Les graphiques ainsi obtenus, répondant à l'ensemble des vibrations, compliqués, même pour les sons assez simples, des harmoniques de ceux-ci, indépendamment des inflexions du style, ne se sont pas trouvés analysables. Il ne semble possible de trouver le son dominant, répondant à chaque individu, que par une échelle spéciale pour chaque cas, ce qui ne semble pouvoir mener, par un long travail, qu'à un résultat bien incomplet. Nous donnerons ici un extrait du brevet constatant la priorité de l'inventeur qui a eu le mérite d'ouvrir une voie nouvelle et féconde.

Brevet Scott. — « La phonautographie est un art nouveau créé par une invention de M. Édouard-Léon Scott pour laquelle il a pris un brevet de quinze ans à la date du 25 mars 1857. Cet art se propose pour objet d'obtenir facilement une impression correcte des mouvements rapides et spécialement des mouvements vibratoires qui s'accomplissent dans l'air et qui sont produits par des agents quelconques, mécaniques, physiques ou physiologiques, et entre autres par les instruments d'acoustique, de musique ou même les voix.

Le brevet d'invention repose essentiellement sur trois moyens qui, soit séparément, soit par leur réunion, sont l'âme des divers appareils et manipulations dont se compose la Phonautographie. Ces trois moyens sont :

1° L'application d'un style sur une membrane placée à l'extrémité d'un conduit dont les formes peuvent varier selon l'objet spécial qu'on a en vue ;

2° L'emploi d'un style souple, d'origine animale ou végétale, et composé d'une ou de plusieurs parties ;

3° La fixation, au moyen d'un ou de plusieurs bains chimiques, du tracé obtenu sur un papier ou tissu revêtu d'une couche d'un noir de lampe spécial.

On concevra sans peine combien il est curieux, au point de vue de la science, de conserver la représentation exacte des phases par lesquelles passe un phénomène, qu'on avait cru simple, pendant un intervalle de temps insaisissable à nos sens par sa brièveté, quelques millièmes de seconde seulement. La phonautographie, par exemple, met aux mains des physiciens et des physiologistes un diagramme naturel des états successifs ou simultanés des corps qui sont la cause primitive de nos sensations.

La plupart de ces mouvements sont si délicats et si rapides que leur inscription sur une couche sensible présentait les plus grandes difficultés. Le frottement du pinceau le plus léger en masque entièrement la loi. J'ai donc dû adopter en Phonautographie un style ferme et souple à la fois, sans poids appréciable, complètement différent sous ce rapport du style métallique employé par M. Wertheim pour écrire les vibrations des solides. Le style phonautographique, à pointe très fine, marque, par une sorte de balayage, sa trace sur une couche mince de noir de lampe produite par une huile spéciale et déposée par voie de sublimation. Étant suspendu à l'état semi-fluide, ce noir n'a presque aucune adhérence avec le papier ou tissu qui l'arrête pendant son ascension. L'image phonautographique aussitôt formée est fixée. Elle peut être ensuite multipliée, s'il y a lieu, par les moyens connus.

Je vais maintenant indiquer les additions au brevet d'addition qui font l'objet du certificat. Dans le brevet du 25 mars 1857, tout en déclarant que l'invention me

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paraissait indépendante de la nature du moteur qui imprime la vitesse à la couche sensible, j'avais indiqué un moteur à mouvement uniforme pour communiquer un va-et-vient progressif et régulier à cette couche. J'ai reconnu depuis que, pour un très grand nombre d'applications, on pouvait se contenter du mouvement continu d'un cylindre mu par une vis en hélice s'avançant dans un écrou fixe. »

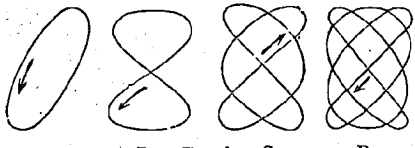
Il n'y avait qu'une utilité à retirer de cet effet des sons, à laquelle on ne songea nullement, c'était de les reproduire, de transmettre la résultante de la parole enregistrée complètement, sans une décomposition presque impossible; c'est ce qu'a réalisé la curieuse invention du phonographe que nous allons décrire après avoir dit quelques mots d'un autre genre de tracé des mouvements vibratoires producteurs des sons.

Courbes Lissajous. — Tracés optiques. — M. Lissajous a fondé sur le phénomène de persistance des impressions lumineuses sur la rétine, un moyen simple de rendre sensible aux yeux le mouvement vibratoire d'un diapason. Il suffit pour cela de fixer à l'une des branches de celui-ci un petit miroir métallique (en ayant soin d'attacher à l'autre branche un contre-poids égal), et de regarder dans le miroir l'image réfléchie d'un corps lumineux. Lorsque le diapason vibre, l'image semble s'allonger dans le sens de la longueur de la branche : l'œil perçoit une ligne lumineuse.

Cette expérience fait comprendre le moyen, imaginé par M. Lissajous, pour comparer deux sons à l'aide de l'œil, organe beaucoup plus sensible que l'oreille, et en même temps moins sujet à la fatigue. L'un des diapasons qu'il s'agit de comparer est vertical, l'autre horizontal; chacun d'eux porte un miroir disposé comme dans l'expérience précédente: les deux miroirs sont en regard. Le faisceau lumineux se réfléchit d'abord sur le premier miroir, puis sur le second, et enfin sur un miroir fixe qui projette l'image sur un écran. Dès qu'on ébranle le diapason vertical, on voit l'image s'allonger et se transformer en une ligne verticale. Si l'on ébranle au contraire le diapason horizontal, l'image est une droite horizontale.

Enfin, quand on fait vibrer à la fois les deux diapasons, l'image est animée d'un mouvement composé de deux mouvements oscillatoires rectangulaires: elle décrit sur l'écran une ligne sinueuse plus ou moins compliquée, dont la forme dépend de la relation qui existe entre la durée de l'oscillation dans chacun des deux mouvements. Cette courbe est d'ailleurs toujours comprise à l'intérieur d'un rectangle, dont les côtés sont précisément égaux aux amplitudes des mouvements vibratoires des deux diapasons.

Dans le cas de l'unisson, l'image reçue sur le plan est une courbe fermée qui n'a que deux tangentes parallèles à une direction quelconque (A): elle affecte la forme d'une ligne droite, d'un cercle ou d'une ellipse, suivant la différence de phase des deux vibrations.



A B Fig. 4. C D

A l'octave, l'un des deux diapasons faisant deux vibrations pendant que l'autre n'en fait qu'une, on a pour la courbe une forme dont nous donnons un type (B). La quinte est représentée par la figure (C), la quarte par (D).

Enfin, si les nombres des vibrations ne sont pas dans un rapport simple, la courbe est plus ou moins irrégulière.

PHONOGRAPHE D'EDISON. — Le phonographe consiste en un cylindre enregistreur mis en mouvement par un moteur quelconque, et devant lequel on a adapté une plaque vibrante, qui porte, par l'intermédiaire d'un support en caoutchouc, une pointe traçante, soutenue d'autre part par une lame de ressort qui lui donne la roideur et l'élasticité convenables pour se prêter à la fois à l'enregistration et à la réception du son, et qui modère l'effet des trop grandes amplitudes de la plaque. Le cylindre, dont l'axe est muni d'un pas de vis, pour lui faire accomplir un mouvement longitudinal de progression en même temps que s'effectue son mouvement de rotation, présente à sa surface une petite rainure hélicoïdale, dont le pas est exactement celui de la vis qui fait avancer le cylindre, et la pointe s'y trouvant une fois engagée, peut la parcourir dans toute sa longueur. Une feuille de papier d'étain ou de cuivre très mince est appliquée exactement sur cette surface cylindrique, et elle doit y être un peu déprimée, afin d'y marquer exactement la trace de la rainure et d'y placer convenablement la pointe qui doit la parcourir. Celle-ci, d'ailleurs, appuie sur cette feuille sous une pression susceptible d'être réglée (fig. 5).

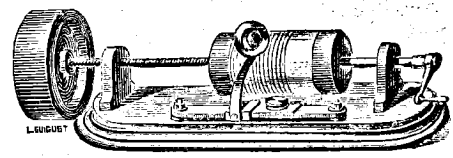


Fig. 5.

Quand l'appareil est ainsi disposé, il suffit de parler fortement devant la plaque, en faisant tourner rapidement et régulièrement le cylindre, pour qu'aussitôt les vibrations se trouvent enregistrées sur la feuille d'étain par une multitude de petits gaufrages imperceptibles et plus ou moins profonds, qui sont distribués le long de la rainure. Or, ces gaufrages ont un relief suffisant pour que, repassant sous la pointe traçante de la lame téléphonique, ils puissent à leur tour faire vibrer celle-ci, produire un effet inverse, et lui faire reproduire les paroles ou les sons qui l'avaient impressionnée. Ces sons étant amplifiés au moyen d'une sorte de porte-voix, peuvent être entendus à quelque distance de l'instrument, lorsqu'on remet le cylindre en mouvement.

La parole, enregistrée sur une feuille d'étain, peut se reproduire plusieurs fois, mais à chaque fois les sons deviennent plus faibles et moins distincts, parce que les reliefs s'affaissent de plus en plus. Avec une lame de cuivre ces reproductions sont meilleures, mais pour les obtenir indéfiniment, il faut faire clicher ces lames, les reproduire par la galvanoplastie, en employant une disposition de l'appareil comprenant un enregistreur-plan, au lieu d'un cylindre.

Les sons produits par le phonographe, quoique plus faibles que ceux de la voix qui a produit les traces enregistrées, sont néanmoins assez forts pour réagir sur des téléphones à ficelle et même sur des téléphones *Bell*, dont il va être parlé ci-après, et comme, dans ce cas, les sons sont éteints sur l'appareil, et qu'il n'y a que celui qui est en rapport avec le téléphone qui perçoit les sons, on peut être assuré qu'aucune supercherie n'a pu être employée pour les produire.

Comme la hauteur des sons dans l'échelle musicale dépend du nombre des vibrations effectuées dans un temps donnné, on comprend aisément qu'on puisse obtenir la parole sur un ton plus ou moins élevé, suivant qu'on tourne l'appareil plus ou moins vite, qu'il octavie pour une vitesse double, mais sa reproduction est toujours effectuée de la même manière. L'emploi d'un régulateur et mieux d'un mouvement d'horlogerie,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

corrige ce défaut. Dans les conditions actuelles de l'instrument, les sons produits par l'appareil ont un timbre métallique assez désagréable et qui les ferait prendre pour ceux qu'émettent les ventriloques; mais il est possible que, en modifiant la nature de la lame vibrante, on parvienne à améliorer ce timbre, et alors on pourrait reproduire le chant d'une manière satisfaisante.

Les applications du phonographe sont encore peu importantes, mais elles se multiplieront sûrement dans l'avenir pour obtenir des jouets et automates extrêmement curieux. Elles exigeront, pour durer longtemps l'emploi d'une surface plane tournant horizontalement au lieu d'un cylindre, d'une spirale au lieu d'une hélice, ce qui a été réalisé facilement par l'inventeur.

Transmission des sons. La transmission des sons à distance n'avait guère fait de progrès importants depuis l'antiquité jusqu'à l'apparition du Téléphone qui a si justement, de nos jours, excité un grand étonnement. Les porte-voix agissant sur la colonne d'air, les cordons acoustiques la conservant, étaient à peu près seuls employés, et cependant, dès 1667, Hooke écrivait : « Je puis affirmer qu'en employant un fil tendu, j'ai pu « transmettre instantanément le son à une grande dis- « tance et avec une vitesse sinon aussi rapide que celle « de la lumière, du moins incomparablement plus « grande que celle du son dans l'air. Cette transmission « peut être effectuée non seulement avec le fil tendu « en ligne droite, mais encore quand ce fil présente plu- « sieurs coudes. »

Ce système de transmission des sons, sur lequel sont basés les téléphones à ficelle qui ont tant amusé le public, est resté à l'état de simple expérience, plusieurs fois repétée par Biot notamment sur de longues conduites de fonte, jusqu'en 1819, époque à laquelle Wheastone l'appliqua à sa lyre magique. Dans cet appareil, les sons étaient transmis à travers une longue tige de sapin dont l'extrémité était adaptée à une caisse sonore; de là à l'emploi des membranes utilisées dans les téléphones à ficelle, il n'y avait qu'un pas. Quel est celui qui eût cette dernière idée?... Il est assez difficile de le dire, car beaucoup des vendeurs de téléphones se l'attribuent sans se douter même de la question.

Quoi qu'il en soit, dit Du Moncel, les cabinets de physique ne possédaient pas ces appareils, il y a quelques années, et beaucoup de personnes croyaient même que la ficelle qui réunit les deux membranes flexibles qui forment le fond des deux porte-voix était constituée par un tube acoustique de petit diamètre. Cet appareil, quoique devenu un jouet d'enfant, est d'une grande importance scientifique, car il montre que les vibrations capables de reproduire la parole, doivent être d'un ordre infiniment petit, puisqu'elles peuvent être conduites mécaniquement à des distances dépassant cent mètres. Toutefois, au point de vue télégraphique, le problème de la propagation des sons à distance était loin d'être résolu de cette manière, et l'idée d'appliquer les effets électriques à cette sorte de transmission, dut naître aussitôt que l'on put être témoin des effets merveilleux de la télégraphie électrique, ce qui nous reporte déjà aux époques qui suivirent l'année 1839.

Une découverte inattendue faite par Page en 1837, en Amérique, et étudiée depuis par Vertheim, de la Rive et autres, devait d'ailleurs y conduire naturellement; car on avait reconnu qu'une tige magnétique soumise à des aimantations et à des désaimantations très rapides, pouvait émettre des sons, et que ces sons étaient en rapport avec le nombre des émissions de courants qui les provoquaient.

Téléphone Bell. — Décrivons maintenant l'appareil dû à Graham Bell.

La figure 6 en montre une coupe longitudinale.

Une membrane de fer fort mince est placée devant l'entonnoir ou embouchure de l'appareil;

Derrière cette membrane une tige d'acier aimantée, est placée perpendiculairement à la membrane;

Sur cette tige d'acier est une toute petite bobine de fil de cuivre, toute courte et toute voisine de la membrane.

Tel est le téléphone, qui est enfermé dans une boîte de bois, dont la forme extérieure reproduit le profil de l'appareil intérieur.

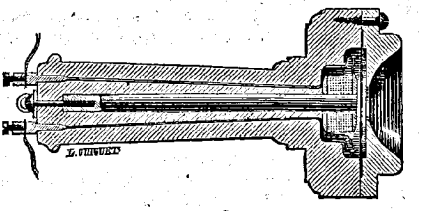


Fig. 6.

Examinons maintenant comment il fonctionne, et disons d'abord que les téléphones transmetteur et récepteur sont reliés l'un à l'autre par les deux fils de la bobine ou un fil et la terre, de telle sorte qu'il y ait un circuit complet dans le sens télégraphique du mot.

Partons du transmetteur; on le présente à sa bouche, on parle dans l'entonnoir, dans l'embouchure, comme on parlerait dans un vulgaire porte-voix; la membrane de fer vibre à l'unisson de tous les sons que produit successivement et même simultanément la voix; de ces vibrations de la membrane de fer et par suite du voisinage de l'aimant, il résulte des courants d'induction dans le fil de la petite bobine qui vont reproduire l'aimantation de la première bobine sur la seconde, qui agit à son tour sur la seconde plaque, et par suite reproduit les mêmes paroles.

Pour se servir du téléphone il faut parler, en articulant bien les mots, devant l'embouchure du téléphone qu'on tient à la main, pendant que l'auditeur placé à la station correspondante tient contre son oreille l'embouchure du téléphone récepteur. Ces deux appareils composent un circuit fermé avec les deux fils qui les relient, mais un seul suffit pour réaliser complètement la transmission, si l'on a soin de mettre en communication les deux appareils avec la terre, qui de cette manière tient lieu de second fil.

Dans la pratique, il convient d'avoir à sa disposition deux téléphones à chaque station, afin d'en avoir un à l'oreille pendant qu'on parle dans l'autre.

Sans avoir la prétention de donner une théorie de l'appareil, on peut faire comprendre, dit M. Niaudet, comment doit fonctionner le téléphone et pourquoi, dans sa simplicité, il donne les merveilleux résultats qu'on en obtient.

Si le *parleur* et l'*auditeur* étaient dans des pièces contiguës, séparées par une cloison mince, le second entendrait la voix du premier, mais avec un peu d'affaiblissement; il distinguerait le timbre de cette voix, et les notes des instruments de musique. L'élasticité de la matière de cette cloison transmet donc d'une de ses surfaces à l'autre, la très minime quantité de travail produite par les ondes sonores aériennes dont elle est frappée et qui émanent de la voix; et cette dernière surface rend ce travail à l'air ambiant de la seconde pièce, d'où résultent des ondes sonores perçues par l'*auditeur*. L'expérience journalière constate que les choses se passent ainsi. On peut concevoir cependant, que cette action de l'élasticité intérieure de la cloison, soit remplacée par d'autres agents, sans que la transmission du son d'une surface à l'autre cesse d'avoir lieu.

Il suffit, pour cela, que ce travail soit transmis instan-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tanément et en quantités proportionnelles, à travers tout les organes de l'appareil intermédiaire, quel qu'il soit.

C'est ce que Graham Bell a réalisé par la construction du téléphone. Les deux faces de la cloison hypothétique entre les deux interlocuteurs, ont été séparées et transportées à une grande distance l'une de l'autre et, pour la transmission du travail mécanique causé par le choc des ondes sonores, l'élasticité de la matière intermédiaire a été remplacé par l'action de deux appareils magnétiques semblables et éprouvant simultanément des variations pareilles. Pour établir cette simultanéité d'état, les deux appareils sont reliés par un fil formant un circuit fermé, dans lequel des courants d'induction transportent instantanément et avec exactitude, toutes les variations d'état de l'un de ces appareils à l'autre.

Ainsi, les vibrations de la plaque de départ agissent directement sur l'état magnétique du barreau, auquel elle fait face, et auquel ses molécules sont liées mécaniquement par l'attraction magnétique qui s'exerce entre elles et lui. Ces variations dans l'état magnétique du barreau produisent dans la bobine des courants d'induction qui transportent instantanément ces variations d'état à l'appareil magnétique du récepteur, lequel est formé du deuxième barreau et de l'attraction magnétique qui le relie à la deuxième plaque de fer doux. Ces changements rapides agissent sur les molécules de cette deuxième plaque, laquelle n'est autre chose que la deuxième paroi de la cloison que nous avons supposée exister entre les deux interlocuteurs, et cette plaque, vibrant exactement comme la première, produit des ondes sonores perçues par l'oreille de l'auditeur.

On voit qu'en définitif cette reproduction du son est basée, d'une part, sur la liaison intime qui s'établit entre l'état dynamique d'un barreau aimanté et la position des molécules de la plaque de fer doux qui en est voisine, propriété connue depuis des siècles, qui constitue le magnétisme et, d'autre part, sur l'existence des courants d'induction qui se développent dans un circuit fermé, lorsqu'une partie de ce circuit est en présence des variations d'intensité magnétique d'un barreau aimanté.

Une des circonstances les plus frappantes dans ce curieux appareil et ce qui explique la majeure partie des observations que nous allons rapporter, est l'extrême faiblesse des actions dynamiques mises en jeu et des courants qui parcourent la ligne. Ce sont certainement les courants les plus faibles qu'on ait eu occasion d'employer et il est même difficile d'apprécier a quel degré de tenuité ils descendent.

On comprend que le son puisse être reproduit à de très grandes distances, bien que très-affaibli, puisque le courant d'induction passe même quand il est entravé par de grandes résistances. On a voulu trouver jusqu'où pouvait aller cette facilité dans la transmission. On a intercalé sur le trajet du courant des résistances de 1,000 kilomètres, sans que la transmission cessât. Des expériences ont été faites entre Jersey et l'Angleterre sur un câble sous-marin de 100 kilomètres et elles ont donné d'excellents résultats. Une autre épreuve a été faite entre Boston et New-York sur un fil télégraphique de 400 kilomètres de longueur, et la transmission a été complète. On voit donc que le téléphone peut atteindre de très-grandes distances.

Les obstacles qu'on éprouve pour des communications usuelles proviendront, surtout, de l'affaiblissement du son transmis, qui est essentiellement lié avec la valeur acoustique des deux appareils magnétiques vibrants. Quant aux courants d'induction leur faiblesse les soumet à l'influence de toutes les nombreuses actions électriques qui se développent à chaque instant dans une région habitée; mais ils paraissent subir ces influences, sans s'éteindre, et par suite être plus résistants qu'on ne pourrait le supposer.

La manière dont le fil du téléphone est influencé par les courants voisins, explique un phénomène très curieux qui se passe entre eux. Si le fil du téléphone chemine côte à côte sur une ligne de poteaux avec un fil télégraphique qui transmet des dépêches, l'action de ce dernier sur le premier se transmet par les poteaux ou bien y développe des courants d'induction assez nets pour que le tic-tac de la dépêche soit entendu par le téléphone et pour qu'une personne habituée à lire les dépêches Morse par le son qu'elles rendent dans le transmetteur, puisse lire par le téléphone ce qui passe par le télégraphe. De là des indiscrétions possibles et on conçoit qu'elles pourraient avoir une grande importance en temps de guerre. Un homme seul pourrait aller établir une ligne téléphonique parallèle à une petite partie du fil du télégraphe de l'ennemi et il recueillerait ainsi les dépêches qui seraient envoyées par ce fil.

A l'école d'artillerie de Clermont, on a établi, à titre d'expériences, une communication téléphonique entre cette école et le champ de tir, qui est à une distance de 14 kilomètres. Une autre communication du même genre est établie entre l'observatoire de Clermont et celui du Puy-de-Dôme, à 15 kilomètres de distance. Ces deux lignes sont portées par les mêmes poteaux sur un parcours de 10 kilomètres et dans ce trajet, sur ces poteaux, se trouve un fil télégraphique ordinaire; enfin, dans cet espace, les poteaux, pendant 300 mètres, portent aussi sept autres fils télégraphiques. Les deux fils téléphoniques sont éloignés à $0^m,85$ l'un de l'autre.

Dans ces conditions : on a constaté que le téléphone de l'école lit très-bien, par le son, les dépêches Morse qui passent dans le télégraphe sur les deux fils qui l'avoisinent. Mais ce tic-tac dont on peut facilement faire abstraction, ne gêne en rien le passage ni l'audition de la communication verbale par le téléphone.

Le mode d'emploi du téléphone aux États-Unis est le suivant dans les villes où il est organisé. Dans chaque ville est un bureau central d'où rayonnent des lignes de téléphones en communication avec les bureaux des abonnés. Lorsqu'on désire converser avec quelqu'un, on avertit le bureau central en faisant fonctionner une sonnerie d'appel et faisant fonctionner le téléphone. L'employé du bureau établit alors au moyen d'un commutateur la communication directe avec la personne dont on veut se faire entendre, et celle-ci se poursuit ainsi pendant un temps déterminé.

Téléphone Gower. — M. Gower a essayé d'accroître les effets du système de Bell sans en compliquer la construction.

Son appareil reproduit non seulement la parole assez haut pour la faire entendre à une distance de 7 à 8 mètres de l'instrument, mais peut encore la transmettre quand on parle à une distance assez grande de l'appareil transmetteur. Dans ce dernier cas, par exemple, le téléphone récepteur doit être rapproché de l'oreille.

Dans ce nouveau système, qui n'est du reste qu'un perfectionnement du modèle carré de Bell, l'aimant en fer à cheval a une forme particulière qui contribue à lui donner une force plus grande. Il est constitué par une sorte de demi-circonférence d'acier aimanté dont les deux extrémités sont repliées de manière à former comme un diamètre du cercle ; seulement ce diamètre est coupé au centre, de sorte que les deux pôles de l'aimant se présentent l'un devant l'autre, comme dans l'électro-aimant de Faraday. Ils sont munis de deux semelles de fer terminées antérieurement par deux lames minces de fer sur lesquelles sont placées les bobines électro-magnétiques, qui sont oblongues et qui en constituent les noyaux magnétiques. Le diaphragme est en ferblanc ; il est plus épais que les diaphragmes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ordinaires, et est maintenu solidement sur les bords de la boîte circulaire qui enveloppe le tout et qui constitue une sorte de caisse sonore. Cette boîte est en cuivre, et le serrage du diaphragme est effectué dans des conditions de solidité telles que la lame semble faire corps avec elle et donne un son quand on la touche, ce qui n'a pas lieu dans les téléphones ordinaires. C'est une des conditions qui ont rendu l'appareil plus sonore. L'aimant est aussi beaucoup plus énergique ; il est aimanté au moyen du courant d'une forte machine Gramme qui agit sur lui pendant près de vingt minutes. Il n'y a pas, dans cet appareil, d'embouchure proprement dite ; le couvercle de la boîte qui porte le diaphragme, lequel n'en est distant que de 2 millimètres à peine, est simplement muni d'un trou vis-à-vis du centre du diaphragme, et on visse dans ce trou, soit un porte-voix en ferblanc de 50 centimètres de longueur, quand l'appareil doit reproduire ou transmettre la parole à distance, soit un tube acoustisque terminé par une embouchure, quand on veut écouter ou transmettre à la manière des téléphones ordinaires. Mais ce qui est curieux dans ce système, c'est que l'appareil peut servir lui-même d'avertisseur très-bruyant, sans qu'on ait autre chose à faire que de souffler au lieu de parler.

A cet effet, le diaphragme est pourvu, à mi-rayon, en dehors de son centre, d'une petite ouverture oblongue derrière laquelle à une équerre en cuivre fixée sur le diaphragme lui-même, est adaptée, une anche d'harmonium. Sous l'influence du souffle, l'air repoussé, pénètre à travers ce petit trou, et en rencontrant l'anche, la fait entrer en vibration, en déterminant un son plus ou moins aigu, suivant les conditions de la lame vibrante. Cette addition au diaphragme n'altère nullement ses qualités au point de vue de la parole, de sorte que, quand, après avoir soufflé, on entame la conversation, le téléphone récepteur répète la parole après avoir émis un son qui ressemble un peu à un appel de cor. L'appareil est alors pourvu du porte-voix dont il a été question.

Rien n'est plus curieux que d'entendre ainsi une conversation dans son fauteuil à 5 ou 6 mètres de l'appareil et sans qu'il soit besoin, pour y répondre, de changer de place. Le correspondant, par exemple, est obligé de parler et d'entendre dans le tube acoustique, et il doit même parler un peu fort pour que la parole soit entendue de loin à l'autre station. Mais pour l'audition, les sons lui arrivent avec une grande ampleur.

Réglage des téléphones. Un réglage précis est la condition essentielle du bon fonctionnement de ces instruments qui deviennent très imparfaits pour un petit écartement de la plaque et de l'électro-aimant.

Les téléphones ordinaires portent une vis de réglage que l'on est obligé de faire marcher avec un tourne-vis sans jamais savoir où l'on est et si même on ne force pas l'aimant contre la plaque vibrante en détériorant celle-ci, ce qui arrive fréquemment dans les stations qui sont livrées à tous : habiles et maladroits ou ignorants.

M. Champvallier dont nous allons indiquer les observations a fait remplacer la tête de la vis de réglage par un bouton moleté qui porte à la base de son axe une aiguille perpendiculaire à cet axe. Cette aiguille se meut à la surface d'un cercle de cuivre dont la circonférence est divisée en douze parties égales portant les numéros 1, 2, 3, etc.

« On commence par régler le téléphone en faisant lire sur le même ton son correspondant et tournant le bouton régulateur jusqu'au maximum de netteté de l'audition ; si le téléphone ne doit servir qu'à entendre (ce qui est préférable dans un bureau bien installé), le téléphone se trouve réglé.

« S'il doit servir uniquement à parler, on le règle par l'opération inverse en lisant soi-même et tournant à droite ou à gauche le bouton jusqu'à ce que le correspondant vous avertisse que vous êtes arrivé au maximum de netteté dans la parole.

« Si le téléphone doit servir à parler et à entendre, après l'avoir réglé des deux manières ci-dessus décrites et noté les deux positions de l'aiguille sur la circonférence du limbe, positions toujours très-voisines mais différentes, on donne à la pointe de l'aiguille une position intermédiaire.

Quoi qu'il en soit, une fois le téléphone bien réglé, il faudra très peu éloigner ou rapprocher l'aimant de la plaque vibrante pour le régler à nouveau suivant la température, l'état électrique ou humide de l'air, la force d'aimantation changeante du barreau, etc. L'expérience a appris que, avec le pas de vis adopté, une demi circonférence parcourue par la pointe de l'aiguille, à droite ou à gauche, était toujours suffisante pour parvenir à un réglage parfait.

« Nous plaçons alors un arrêt sur le limbe à 180° de la position de l'aiguille quand le téléphone est réglé pour la première fois, et nos plaques vibrantes se trouvent à l'abri de toutes les maladresses, volontaires ou non, des visiteurs et des indiscrets.

« Chaque téléphone porte un numéro d'ordre et sur un registre matricule, ouvert *ad hoc*, vis-à-vis du téléphone on inscrit dans une première colonne son point de réglage, c'est-à-dire la division où se trouve la pointe de l'aiguille :

« Si le réglage doit être changé, ce qui est rare, on s'y décide après examen et on l'inscrit dans la colonne suivante avec la date.

« Grâce à ce procédé si simple, on peut livrer à tous et sans surveillance les téléphones, et on peut toujours, sans hésitation, replacer l'aimant à sa position sans tâtonnement. Tous ceux qui voudront, comme nous employer le procédé précité arriveront à se servir sans mécompte du merveilleux instrument inventé par Bell, le meilleur et le plus simple de tous, et qu'il est, selon moi, inutile de perfectionner au moins pour les petites distances.

« Que peut-on demander, en effet, de plus à un instrument que de transmettre à 15, 20 kilomètres la voix avec son timbre et sensiblement toute sa puissance, même quand on la fait entendre à la fois, comme je l'ai fait, à vingt personnes en plaçant dans le même circuit vingt téléphones. »

Théorie du téléphone. — La théorie du téléphone est beaucoup moins simple qu'il ne paraît à première vue et de nombreuses expériences confirment l'opinion de M. du Moncel, qui attribue les effets du téléphone aux vibrations moléculaires qui sont produites par les aimantations et desaimantations produites sous l'influence du barreau aimanté ; la plaque de fer ne fait que renforcer ces vibrations, et les rendre plus sensibles à l'oreille, en vibrant elle-même.

Voici comment on peut le mettre en évidence : On enlève l'embouchure et la membrane de fer du téléphone, et, le tenant d'une main, de l'autre main on fait passer un archet sur le bord. En appuyant fortement, et tirant lentement, on obtient un son aigu que l'on entend clairement dans le téléphone récepteur.

Une petite règle placée en travers sur le devant de l'instrument, et le dépassant de quelques centimètres produit un son quand on en frotte l'extrémité avec l'archet. A mesure qu'on la racourcit, les sons s'élèvent et donnent les notes d'une gamme ascendante, qui viennent toutes frapper l'oreille au récepteur.

Ce qui surprend dans cette expérience, c'est que les notes graves, qui ébranlent l'instrument et la main qui les tient, ne sont pas entendues au récepteur, tandis que les notes aigues s'y reproduisent facilement : c'est peut-être parce que les vibrations des sons aigus se rapprochent des vibrations moléculaires.

EFEROS - Recherche & Classification numérique

Il va sans dire qu'avec la membrane de fer, ces expériences prennent un caractère tout différent.

On est toujours tenté d'attribuer les effets du téléphone aux vibrations *sensibles* de la plaque de fer, dont le va-et-vient devant le barreau aimanté représente des actions connues depuis longtemps, et auxquelles on s'est habitué. Mais les vibrations moléculaires, qui s'accomplissent pour ainsi dire d'atome à atome dans la plaque immobile, jouent un rôle plus important, et sans elle la parole articulée serait peut-être impossible.

Le téléphone, nous montre jusqu'où peut aller la division et la réciprocité des forces. Mais ce qui est encore plus admirable que ces nouveaux et merveilleux instruments, c'est l'incomparable délicatesse de l'ouïe, qui perçoit et apprécie, sans en laisser échapper un seul, des milliers de mouvements qui se perdent en quelque sorte dans les infiniments petits.

L'expérimentation du téléphone a ramené l'attention sur la facile propagation des vibrations et les phénomènes surprenants qu'elles produisent, que Savart avait déjà étudié, mais dont on ne tient pas assez compte en général.

Emploi de la pile. Les difficultés rencontrées dans l'usage du téléphone se rapportent surtout à la nécessité de prévenir le correspondant qu'on va faire usage de l'instrument et aux perturbations qu'éprouve le courant si faible dont on fait usage. C'est par l'adjonction d'une pile que l'on a cherché à compléter l'instrument, mais malheureusement en le compliquant. Nous allons décrire deux dispositions de ce genre.

Téléphone avertisseur de M. Perrodon. — Je me suis demandé, dit cet inventeur, si le téléphone, légèrement modifié, ne chanterait pas tout seul sous l'action d'une pile. Pour en faire l'expérience, j'ai décapé avec soin la plaque d'un téléphone, et j'ai fait communiquer en permanence l'un des bouts du fil de la bobine avec cette plaque, et l'autre avec le pôle — d'une pile. Au pôle +, j'ai attaché un fil de cuivre nettement coupé à l'autre bout, et j'ai constaté qu'à chaque contact de cette pointe avec la plaque, le téléphone rendait un son aigu comme un cri d'oiseau.

J'ai réussi à obtenir des sons continus de la manière suivante : j'ai collé sur la membrane du téléphone un peu de papier d'étain; j'ai placé le téléphone sur un support fixe, l'embouchure en haut, et j'ai enroulé le fil venant du pôle + de la pile autour du levier et du bouton d'un manipulateur Morse. Le bout du fil étant amené à peu de distance de la membrane, j'ai achevé le contact en agissant sur la vis de réglage du manipulateur. J'ai obtenu ainsi des sons continus pendant plus d'un quart d'heure.

Le son produit est, en général, élevé, quelquefois comme enroué, souvent très-pur. Avec les téléphones que j'ai employés, il se produit plus facilement en attachant le fil au pôle +, c'est-à-dire en faisant passer le courant de la pointe à la lame. Si l'on inverse les pôles, le son baisse d'une octave et donne à peu près le *la* du diapason normal. J'ai opéré sur une quinzaine de téléphones de divers modèles, de diverses provenances; l'expérience a réussi avec tous.

Du 30 septembre au 4 octobre dernier, j'ai employé cet avertisseur au polygone d'Orléans, pendant les exercice de tir, à des distances qui ont varié de 1,000 à 3,000 mètres; depuis il a bien fonctionné jusqu'à 6,000 mètres. Dans les abris des observateurs, l'avertissement dominait le bruit de la conversation d'une dizaine de personnes. On l'entend bien aussi, en plein air, en tenant l'instrument à la main. Le poste sans pile fait marcher aussi facilement que l'autre son avertisseur, en attachant le fil de ligne au manipulateur.

L'organisation des postes téléphoniques des champs de tir, à l'aide de cet avertisseur, devient alors très-simple. Une pile serait établie à demeure à l'entrée du polygone; les postes mobiles, à hauteur des batteries et des cibles, s'intercaleraient sur la ligne qui serait mise à terre au poste le plus éloigné. On pourrait appliquer une disposition analogue sur les chemins de fer à une voie, et munir les gardes-barrières de téléphones, qui deviendraient avertisseurs par le courant des piles des stations voisines.

Une sonnerie électrique est plus souvent employée.

Téléphone à pile. — Edison a cherché à augmenter les effets du téléphone Bell en y introduisant l'action d'une pile, qui augmente beaucoup les effets dus à l'électricité. Le système devient plus compliqué, car il comprend une pile en plus et l'appareil récepteur est différent de l'appareil transmetteur, mais il est moins susceptible d'être influencé par les causes exiérieures et permet des transmissions à de plus grandes distances.

Il place un disque de plombagine ou de noir de fumée entre la plaque vibrante d'un téléphone et une lame de platine mise en rapport avec la pile. La lame du téléphone étant mise en communication avec le fil du circuit, il résultera des vibrations de cette lame devant le disque de charbon, une série de pressions croissantes et décroissantes, donnant lieu à des effets correspondants dans l'intensité du courant transmis, et ces effets doivent réagir d'une manière analogue aux courants ondulatoires déterminés par l'induction dans le système de Bell.

Dans ce système, comme dans les divers téléphones à pile qui ont été combinés, on a trouvé avantage à transformer les courants de pile en courant induits dont la tension est plus élevée, et cela en leur faisant traverser le circuit primaire d'une bobine d'induction bien isolée; le fil de ligne était alors mis en communication avec le fil secondaire de la bobine.

C'est sous cette forme et en poursuivant ses recherches avec une ténacité qui est une condition de succès qu'Edison est parvenu à augmenter considérablement l'intensité de la parole reproduite et y a réussi, non à l'aide de résonnateurs, de tables d'harmonie qui ne peuvent que rendre l'impulsion qui leur est communiqué, que la conserver, mais par l'emploi de la disposition indiquée qui ouvre une voie nouvelle.

Le microphone a été découvert en même temps par l'éminent électricien américain, M. Hughes, sous une forme différente bien qu'équivalente en réalité à celle adoptée par Edison. Nous le décrirons ici.

Le microphone est fondé sur la propriété que possèdent certains corps médiocrements conducteurs, de constitution grenue comme le charbon, la plombagine, d'avoir une conductibilité modifiée par la pression. Le microphone le plus simple consiste en deux petits cubes en charbon A, B, dans lesquels sont percés deux trous servant de crapaudines à un crayon de charbon C en forme de fuseau, c'est-à-dire avec les pointes émoussées par les deux bouts et d'une longueur d'environ quatre centimètres. Ce crayon appuie par une de ses extrémités dans le trou du charbon inférieur et doit balotter dans le trou supérieur qui ne fait que le maintenir dans une position plus ou moins rapprochée de celle de l'équilibre instable, c'est-à-dire de la verticale. Les deux cubes de charbon sont d'ailleurs munis de contacts métalliques qui permettent de les metttre en rapport avec le circuit d'un téléphone ordinaire dans lequel est interposée une pile de trois éléments Daniell avec une résistance additionnelle intercalée dans le circuit.

Pour faire usage de l'appareil, on le place avec la planche qui sert de support à la pièce de bois verticale qui porte les cubes de charbon, sur une table. En parlant devant l'appareil, la parole s'entend dans le téléphone, et celui-ci transmet fort amplifié le tic-tac d'une montre posée sur la planche.

L'appareil est de sa nature délicat pour la pratique.

EFEROS - Recherche & Classification numérique

ACTIONS. Titres représentant, dans les sociétés par actions, une part de propriété des valeurs de ces sociétés. C'est sous les diverses formes d'associations, de sociétés par actions, dont nous avons traité dans l'ECONOMIE INDUSTRIELLE, que peut s'effectuer le plus facilement la division des propriétés industrielles, des grandes usines, de la même manière que s'est produit en agriculture le morcellement des champs. C'est en réalité à cela seul que se réduit le problème posé de mille manières par les utopistes, mais qui, pour les hommes de bon sens, qui savent que rien n'est possible par des systèmes de bouleversement général, en dehors du respect de la famille et du foyer domestique, condition d'indépendance et de liberté toujours peu respectée dans les systèmes de novateurs toujours peu pratiques.

Pour montrer la valeur de la généralisation de ce mode de division, disons un mot de ce qui a lieu dans cette voie en Amérique. Nous empruntons ce qui suit à l'économiste américain Carey. Après avoir énuméré le rôle des associations de tous genres pour l'administration des cités, des écoles, des banques, des compagnies d'assurances, etc., dans une société qui fonctionne en quelque sorte d'elle-même, par de libres associations, il parle ainsi qu'il suit des associations industrielles proprement dites: « Dans les Massachusets seulement, nous voyons cinquante-trois compagnies d'assurances, sous diverses formes, répandues sur toute la surface du pays et toutes constituées en sociétés anonymes. Les fabriques sont élevées et conduites par des sociétés du même genre, dont le capital est divisé en actions, et tous ceux qui ont une part quelconque dans la gestion, depuis l'achat des matières premières, jusqu'à la vente de l'article manufacturé, sont actionnaires, et chaque employé a la perspective de le devenir avec de la prudence, du travail et de l'économie. Il y a des associations charitables en grand nombre, toutes sous la forme de société anonyme (incorporated). Les navires employés à la pêche sont en actions et appartiennent à ceux qui s'en servent : le matelot du navire qui va pêcher la baleine, compte, pour une grande partie de son salaire, sur le succès de la pêche. Tout capitaine d'un navire qui fait le commerce de l'Amérique du Sud, en est propriétaire pour une partie, et l'intérêt qu'il a dans l'armement l'excite au travail et à l'économie par lesquels les habitants de la Nouvelle Angleterre triomphent rapidement de la concurrence des autres nations, pour la navigation et le commerce de cette partie du monde. En quelque lieu qu'ils s'établissent, ils ont la même tendance à combiner leurs efforts.

« A New-York, ce sont eux principalement qui sont propriétaires des bateaux transatlantiques dont les actions sont partagées entre les constructeurs, les armateurs, le capitaine et les officiers inférieurs : ces derniers acquièrent en général les moyens de devenir capitaines à leur tour, et c'est à cela qu'on doit leurs grands succès. Ce système est le plus complétement démocratique qu'il y ait au monde : il donne à tout travailleur, à tout matelot, à tout ouvrier, homme ou femme, une perspective d'avancement, et il produit exactement les résultats que l'on est en droit d'en attendre. Dans aucune partie du monde le talent, l'activité et la prudence n'ont une récompense si assurée et si large. »

On voit, par ce qui précède, que l'association, la division par parts des propriétés industrielles, peut fournir des ressources très grandes, pour la seule solution raisonnable de ce qu'on appelle le problème social, c'est-à-dire pour l'accession des ouvriers capables et économes à la propriété, dans les cas où il s'agit de manufactures d'un prix considérable et non de petits établissements dont l'acquisition est possible pour les compagnons expérimentés.

ACTIONS.

Cette voie est celle du véritable progrès pour une société industrieuse, passionnée pour l'égalité, mais assez intelligente pour juger ce qui est possible, où l'on comprend cette vérité évidente, qu'on n'a droit aux bénéfices que quand on participe également aux pertes (ce qui fait de la participation aux bénéfices seuls, un simple don du chef qui a couru les chances bonnes ou mauvaises de l'entreprise), et qu'il n'y a jamais de bénéfices absolument certains, lorsque les transactions sont libres, que le gendarme n'intervient pas pour forcer personne à vendre ou à acheter.

Une autre observation que nous déduirons encore de l'exemple de l'Amérique, c'est qu'il n'est pas de forme d'association qui soit une panacée universelle ; suivant la nature de la fabrication, et bien plus encore, selon les mœurs et les idées des populations dont les lois doivent favoriser l'évolution dans la bonne direction, mais ne peuvent créer l'esprit d'entreprise, l'ordre et l'économie sans lesquels aucun progrès n'est possible; ces formes peuvent varier utilement pour développer les efforts et arriver à de bons résultats. L'association assez nombreuse avec droits égaux, qui s'appelle souvent maintenant la coopération, quand elle n'est pas inspirée par des idées de communisme qui en compromettent le succès, quand elle est formée de membres n'aliénant aucun de leurs droits, pourra réussir quand elle aura lieu entre quelques ouvriers-artistes, habiles dans leur profession, comme réussit la société anonyme pour les entreprises qui exigent un très gros capital. La société en commandite par actions qui permet l'exploitation d'établissements importants, se multipliera sûrement lorsque les ouvriers sachant bien reconnaître parmi eux une capacité de bon aloi, viendront se grouper derrière un habile producteur qui acceptera d'être leur gérant, se feront gloire de lui obéir pour ne pas paralyser son initiative. Leur exemple entraînera souvent plus d'un capitaliste. Ce genre de société qui réserve la direction personnelle, c'est-à-dire la cause dominante de succès dans la plupart des cas, s'est développé avec grand avantage en Amérique autour des inventeurs brevetés pour aider à leurs succès, et partager avec eux les fruits, souvent considérables du monopole momentané que leur confère leur invention.

En résumé, tous les efforts que peuvent faire les ouvriers pour acquérir par leurs économies une petite part des établissements industriels dans lesquels ils sont employés, doivent être admirés et encouragés ; ils tendent à nous amener à une société organisée en vue d'une excellente production, où la répartition serait aussi parfaite que l'ordre et la bonne administration, pour les moindres détails de laquelle interviendrait le concours d'ouvriers intéressés.

Nous terminerons là ces quelques réflexions sur un sujet bien intéressant; le problème, dans chaque cas particulier peut recevoir une solution intéressante; ce n'est pas le bonheur pour tous, même pour les ivrognes et les paresseux, comme le promettent les politiciens qui n'ont jamais vu dans ces questions qu'un moyen de se rendre populaires, moyen qui réussit trop souvent malgré les observations des gens sensés; c'est la voie d'un progrès lent, qui peut conduire l'industrie à abandonner les voies de lutte, si désastreuses pour les patrons et les ouvriers et conduire à une état de société meilleure que l'état actuel, par le travail successif de plusieurs générations, dont les économies iraient en s'accumulant, car une solution immédiate et complète du problème est aussi impossible que la création de la richesse sans un long et pénible travail.

Au reste ce que nous indiquons ici se pratique déjà sur une grande échelle ; les paysans eux-mêmes préfèrent aujourd'hui l'obligation du chemin de fer qui traverse la contrée, à l'agrandissement de leurs champs ; ils y trouvent un résultat presque égal et sans travail. C'est

BnF Bibliothèque de recherche & Développement 2018

l'exemple que doivent suivre les ouvriers en remplaçant par une énergique économie la dissipation qu'engendre facilement la camaraderie des grands ateliers, afin d'acquérir le droit de se dire des associés utiles et estimés de la fabrique où ils travaillent.

La multiplication des titres industriels a beaucoup contribué à la fortune de l'Angleterre et c'est elle aussi, bien comprise et surtout secondée par les mœurs, afin d'éviter les abus de l'estimation exagérée des fonds mis en société, qui doit faire celle de la population laborieuse de nos manufactures.

Bien longtemps, des publicistes éclairés par l'exemple de l'Angleterre ont répété qu'elle était dans la voie qui conduisait à la richesse et à la liberté et réclamaient contre l'exploitation de l'État qui tend à confisquer les grandes entreprises, au profit du despotisme royal ou jacobin, comme si l'État était fait pour être fabricant ou voiturier, au lieu de faire respecter les droits de chacun. La lumière a été faite par l'immense succès des chemins de fer en France qui n'est pas contestable sérieusement, qui a produit une grande augmentation de richesses. Or, quand nous dirons que l'industrie des transports par les chemins de fer répond en France à un capital de dix milliards, divisé pour la majeure partie en titres d'une valeur de 300 francs seulement, rapportant 15 francs d'intérêt annuel, et qui souvent figurent par deux ou par trois dans nombre de petites bourses, on comprendra facilement à quel capital répondent les usines et propriétés dont sortent les marchandises transportées par ces chemins de fer, et quel gage elles offriraient pour la valeur de titres pouvant se diviser entre presque tous les membres d'une société laborieuse et économe.

La voie dont l'exemple de l'Amérique et le succès des compagnies de chemins de fer ont démontré la praticabilité, semblera ne conduire qu'à de modestes résultats pour les chercheurs du bonheur universel. Mais l'Icarée, la Banque du peuple et autres folies, datant de 1848, au moins dans leurs dernières formes, car elles sont pour la plupart renouvelées des Grecs, sont aujourd'hui démodées et il importe de ne pas s'attarder dans des recherches qui conduisent toujours à la confiscation de la liberté.

Celle-ci respectée, les solutions simples et nécessaires s'imposent forcément à tous les bons esprits, et ne peuvent guère être autre chose qu'une association volontaire, réunissant les conditions indispensables de succès démontrées par la pratique, ce qui est toute autre chose que l'élucubration des rêveurs qui ignorent l'industrie. C'est ainsi que, dès 1827, lorsque le système manufacturier commençait à briller en France, l'illustre économiste Sismondi qui en redoutait le développement, arrivait à bien peu près au système qui vient d'être indiqué et écrivait:

« Je désire que la propriété des manufactures soit « divisée entre un certain nombre de moyens capita- « listes, et non possédée par un seul homme, maître « de plusieurs millions; je désire que l'ouvrier indus- « trieux ait devers lui la chance, presque la certitude « d'être associé à son maître. »

ADHÉSION. L'Adhésion est la force qui réunit deux corps en contact et se rapproche beaucoup de la *cohésion*, qui est la force qui réunit les molécules d'un même corps. Les anciens physiciens se sont beaucoup occupés de ce genre d'action; ils ont reconnu que cette force était proportionnelle aux nombres des points de contact, et était pour les corps solides en raison du poli des corps et des efforts de compression exercés pour rapprocher les surfaces.

Musschenbroëck a constaté que deux plaques de verre de moins de 5 centimètres de diamètre, chauffées à la température de l'eau bouillante et mises en contact (du suif fondu étant placé entre leurs surfaces, et par suite la pression atmosphérique s'ajoutant aux phénomènes d'adhésion), exigent pour leur séparation une force de 65 kil.

Des morceaux de plomb de même dimension ne se séparent que sous un effort de 135 kil., et des morceaux de fer poli ont atteint 150 kil.

Ces limites sont encore dépassées lorsque l'application des surfaces devient très parfaite.

Adhésion des liquides. L'adhésion de l'eau à des corps solides, a donné lieu à l'invention ingénieuse des *machines à cordes de Vera*. Vera montra, en 1780, à l'Académie de Paris, un modèle de son invention, qui fut jugé par la Commission comme très utile. Le principe d'après lequel cette machine était construite et les principales parties qui la composent seront aisément compris. Une poulie fixée à un support quelconque, et qu'on fait mouvoir avec une manivelle, porte une courroie sans fin qui passe sur la gorge d'une poulie plus petite, à laquelle elle communique un mouvement rapide. Sur l'axe de cette seconde poulie, en est montée une troisième réunie par une corde sans fin à une quatrième et dernière poulie plongée dans le liquide. La corde sans fin soulève l'eau qui s'attache à elle, et la fait jaillir, en tournant autour de la poulie supérieure. Les ouvertures destinées au passage de la corde sont munies de viroles montantes qui empêchent le retour de l'eau.

Le modèle que l'inventeur présenta produisait de grands effet. Avec une corde de 15 millimètres de diamètre, on tira en 7 minutes 3/4, d'une profondeur de 20m 1/2, 233 litres d'eau. Beaucoup d'améliorations pour cette machine furent proposées depuis. Venel et Benzenberg ont proposé de mettre en mouvement deux systèmes de poulies avec deux cordes plates et continues, à l'aide d'une roue dentée, extérieurement et intérieurement, qui engrène avec des pignons montés sur les axes des poulies motrices, de manière à les faire mouvoir dans le même sens; ils rapprochent en même temps tellement ces deux cordes l'une de l'autre, qu'un prisme massif d'eau reste suspendu entre elles et est jeté hors du bassin.

Les services que paraîtrait pouvoir rendre cette machine, dont le mécanisme est aussi simple que commode, sont beaucoup diminués par l'impossibilité où l'on est de trouver, pour fabriquer les cordes, une substance qui résiste à l'influence destructive de l'humidité. Les entrelacer de crins, ou les entourer, en forme de vis, d'une corde plus mince, augmenterait à la vérité le volume d'eau soulevée, mais ne remédierait pas à l'inconvénient que nous venons de signaler. Il serait bon de se servir de nattes en genêt au lieu de chanvre, ce qu'avait déjà conseillé de faire l'inventeur. Au reste, il faut remarquer qu'outre la force nécessaire pour soulever l'eau dont partie redescend, il y a encore à vaincre un frottement considérable et qu'on communique inutilement à l'eau une grande vitesse. Cette machine ne peut donc être utilement employée dans la *pratique;* c'est ce que disait Berthollet quand elle parut.

ADIPOCIRE (*angl.* adipocire, *all.* fettwachs). Fourcroy a désigné sous ce nom la matière grasse que l'on rencontre dans les corps morts, lorsqu'ils ont été enterrés dans des circonstances particulières. Lorsque dans les années 1786 et 1787, on fouilla, pour l'assainir, l'ancien cimetière des Innocents à Paris, et qu'on en transporta les ossements dans les catacombes, on remarqua qu'un grand nombre de cadavres, et en particulier la plupart de ceux qui avaient été enterrés quinze ans auparavant dans une fosse commune, et dont les bières, au nombre de quinze cents, avaient été entassées tout à fait les unes sur les autres s'étaient transformés en une matière blanche et savonneuse. Ces corps s'étaient aplatis sous leur pression mutuelle; et quoiqu'ils conservassent généralement leurs formes, il s'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tait déposé autour des os d'un grand nombre d'entre eux, une substance d'un blanc grisâtre un peu molle et flexible. Fourcroy présenta à l'Académie des sciences, en 1789, un mémoire sur ce phénomène, par lequel il démontra que le corps gras en question était un savon ammoniacal contenant du phosphate de chaux ; que, de même que le spermaceti, il prenait par un refroidissement spontané une structure cristalline et foliacée, et que, comme la cire, il devenait granulaire par un refroissement rapide. Il l'appela en conséquence *adipocire*. Son point de fusion était 52°,5 centigrades.

Cette substance fut de nouveau examinée par M. Chevreul en 1812, et ce chimiste trouva qu'elle contenait de l'acide margarique et de l'acide oléique, combinés avec une matière colorante jaune et odorante, de l'ammoniaque, un peu de chaux, de potasse, d'oxyde de fer, d'acide lactique, et d'une substance azotée. Cette matière doit donc être considérée comme une combinaison des acides margarique et oléique en proportions variables (d'où provient sa fusibilité également variable), et n'a aucune analogie soit avec le spermaceti, soit avec la cholesterine, comme l'avait admis Fourcroy.

D'après MM. Gay-Lussac et Chevreul, cet *adipocire* provient seulement de la graisse préexistante dans le corps mort, et non de l'altération de la chair musculaire des tendons, ou des cartilages, ainsi qu'on l'avait d'abord présumé ; ce qui avait donné lieu à des essais dispendieux et sans résultat pour convertir sur une grande échelle, en *adipocire*, les corps morts des bêtes à cornes, et les rendre propres à la fabrication des chandelles et du savon, par la seule exposition de ces corps, pendant quelque temps, à l'action de l'humidité.

ADULTÉRATION. Altération d'un produit manufacturé quelconque, et plus spécialement d'un produit chimique, par un mélange frauduleux de substances de moindre valeur. Nous décrirons les moyens de s'assurer de la pureté des divers produits, aux articles spéciaux relatifs à leur fabrication.

AÉRAGE (*angl.* ventilation, *all.* wetterwechsel). Renouvellement de l'air vicié renfermé dans un lieu quelconque ; voyez VENTILATION. Ce mot s'applique surtout au renouvellement de l'air dans les puits et galeries de mines; voyez MINES.

AÉROSTAT (*angl.* air-balloon, *all.* luftschiff). La découverte des aérostats est l'une des inventions qui ont le plus fixé l'admiration du public, et bien que les années qui se sont écoulées depuis n'aient pas justifié toutes les espérances qu'elle avait fait naître, on ne peut cependant s'empêcher de la considérer comme l'une des plus extraordinaires des temps modernes.

C'est aux frères Montgolfier que nous devons cette merveilleuse découverte. Ils avaient annoncé qu'une grande machine de leur invention serait capable de parcourir l'atmosphère ; l'expérience en fut tentée à Annonay, le 5 juin 1783, en présence des états généraux et d'un concours immense de peuple ; c'est alors que l'on vit en effet un spectacle nouveau sur la terre, et bien digne d'exciter l'enthousiasme : un globe immense qui s'élevait majestueusement dans les airs, et qui semblait s'y soutenir par quelque puissance invisible. Cette espèce de prodige est cependant bien facile à comprendre. La *montgolfière* (c'est le nom qu'ont reçu les appareils de cette nature, d'après celui de leurs inventeurs), se compose d'un globe de papier verni ou de taffetas, qui porte à sa partie inférieure une ouverture de quelques pieds carrés. Au-dessous de cette ouverture, et à quelque distance, est suspendu un panier léger, en fil de métal, contenant un corps combustible, soit de la paille hachée, soit de la laine ou du papier. Ce combustible étant enflammé, l'air chaud qui l'environne monte de lui-même pénètre dans le globe et en remplit bientôt toute la capacité. A volume égal, l'air chaud pèse moins que l'air froid; ainsi le poids du globe est moindre que le poids de l'air qu'il déplace, et il doit s'élever par l'excès d'énergie de la poussée du fluide. Il s'élève, emportant avec lui le combustible enflammé qui produit sa puissance ascensionnelle, et, pour qu'il s'arrête, il faut qu'il arrive dans des couches d'air assez raréfiées pour que la différence des poids de l'air froid déplacé et de l'air chaud intérieur soit justement égale aux poids réunis de l'enveloppe, du panier et du combustible qu'il contient.

Pilâtre des Roziers et le marquis d'Arlandes osèrent les premiers monter dans une nacelle suspendue à une montgolfière, et voyager librement dans l'atmosphère, malgré l'immense danger qui les attendait, dans le cas où le feu, qu'il était nécessaire d'entretenir sous le ballon pour maintenir la dilatation de l'air intérieur, serait venu à gagner l'enveloppe et l'incendier au milieu des airs.

Nous joignons ici, figure 1, le dessin de la montgolfière qui, en novembre 1783, s'éleva de la Muette, emportant Pilâtre des Roziers et d'Arlandes, qui s'élevèrent ainsi dans les airs.



Fig. 1.

Un physicien célèbre, Charles, jeune alors, et professeur à Paris, entreprit de remplacer l'air chaud par le *gaz hydrogène*, dont Cavendish avait fait connaître l'extrême légèreté dès 1766, de le maintenir renfermé dans une étoffe, recouverte de couches de vernis. C'était supprimer l'emploi si dangereux du feu ; aussi presque tous les ballons, construits depuis cette époque l'ont-ils toujours été sur ce principe. Charles fit construire un ballon de 500 mètres cubes; et, pour montrer la confiance que devait inspirer sa découverte, il fit avec Robert, le 1er décembre 1783, une ascension dans laquelle il fut porté en quelques minutes à la hauteur de 900 à 1000 mètres, et parcourut, dans cette région de l'atmosphère, plus de neuf lieues dans l'espace de deux heures. C'est au milieu des Tuileries que Charles fit son ascension. Toute la population de Paris était en mouvement ; les places publiques, les sommets des édifices, et tous les lieux élevés étaient couverts de spectateurs. Un coup de canon fut le signal du départ, et bientôt on vit monter le ballon, comme un météore qui s'élève sur l'horizon ; au plus haut des airs on distinguait encore les banderoles flottantes, éclairées par le soleil, et les navigateurs tranquilles qui saluaient la terre. Jamais expérience de physique n'excita tant d'admiration et un tel concert d'applaudissements.

Les ascensions se sont bien multipliées depuis cette époque et les ballons sont devenus un accessoire obligé des fêtes publiques. Il n'entre pas dans notre cadre de nous occuper de la description des nombreuses ascen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sions qui ont été faites, mais bien d'analyser les principes de la construction des ballons, comme question industrielle et les lois de leur mouvement comme question de physique et de mécanique.

Force ascensionnelle. — La densité du gaz hydrogène est 0,0688 ou à peu près 1/15 par rapport à l'air, à la même pression et à la même température. Un mètre cube d'air pesant à 0 et sous la pression 0m,76, 1k,299, un mètre cube dans les mêmes conditions pèsera un peu moins de 0k,09. La différence entre ces poids ou 1k,20 mesure, d'après le principe d'Archimède, la force avec laquelle un mètre cube de gaz hydrogène est soulevé dans l'air.

Le gaz hydrogène qui, à cause de sa légèreté, constitue l'élément capital de la construction des ballons, se prépare au moyen de l'action de l'acide sulfurique sur des copeaux de fer. On peut multiplier à volonté les tonneaux dans lesquels on produit le dégagement du gaz; cependant cette préparation ne laisse pas que d'être longue pour des aérostats d'une grande dimension. Aussi se contente-t-on souvent d'employer le gaz hydrogène carboné que les usines à gaz des villes possèdent tout préparé dans leurs gazomètres ; mais ce gaz ayant une densité plus grande que l'hydrogène, la force ascensionnelle n'est plus que de 735 grammes par mètre cube à la pression 0,76, au lieu de 1k,20. M. Giffard prépare rapidement et économiquement l'hydrogène en faisant passer de la vapeur d'eau sur des tournures de fer chauffées au rouge, puis après l'oxydation de celles-ci, en les revivifiant en faisant passer dans le four de l'oxyde de carbone, produit facilement dans un gazogène.

Nous donnons ci-après une table qui fait voir quelle capacité, en employant l'hydrogène, doit avoir un ballon sphérique pour enlever un poids donné.

DIAMÈTRE en mètres.	Volume en mètres cubes	Surface en mèt. carrés	Kilogrammes que le gaz peut enlever.	Poids de l'enveloppe.	Force ascensionnelle.
				kil.	kil.
2	4,19	12,57	5,03	3,14	1,89
4	33,51	50,27	40,21	12,57	27,65
6	113,10	113,10	135,72	28,27	107,44
7	179,59	153,94	215,51	38,48	177,03
8	268,08	201,06	321,70	52,01	269,69
9	381,70	254,47	458,04	63,62	394,42
10	523,60	314,16	628,32	78,54	549,78
11	696,91	380,13	836,29	95,03	741,26
12	904,78	452,39	1085,74	113,10	972,84
13	1150,35	530,93	1380,42	132,73	1247,69

L'enveloppe doit être à la fois légère, résistante et imperméable au gaz hydrogène, pour que le ballon ne perde pas rapidement sa force ascensionnelle en cessant d'être plus léger que l'air dans lequel il est plongé. On satisfait assez bien aux premières conditions par l'emploi d'une bonne étoffe de soie, en double épaisseur, mais la dernière on ne peut jamais l'obtenir qu'imparfaitement, vu la facilité avec laquelle l'hydrogène traverse tous les corps à l'exception des corps vitreux. On doit donc se rapprocher de ceux-ci, ce qu'on obtient avec des vernis, des huiles siccatives, des dissolutions de caoutchouc et surtout de gélatine, qui a donné de bons résultats à M. Dupuy de Lôme. Il a formé l'enveloppe de son ballon d'un taffetas de soie blanche pesant 52 grammes par mètre carré, et de nanzouk, avec interposition d'une dissolution épaisse de caoutchouc entre les deux étoffes; elle a été rendu imperméable par trois couches d'un enduit ainsi préparé : 1° on dissout au bain-marie 100 parties en poids de gélatine dans 600 parties d'acide pyroligneux et on ajoute 100 de glycérine; 2° on dissout 100 parties de tannin dans 600 parties d'acide pyroligneux ; 3° on verse doucement, à chaud, la première dissolution dans la seconde et l'on recuit le tout au bain-marie pendant une heure au moins, en ajoutant peu à peu de l'acide de manière à maintenir le même volume total. On applique l'enduit au pinceau du côté du nanzouk.

Pour découper dans une étoffe d'assez faible largeur les bandes ou fuseaux dont la réunion forme l'enveloppe sphérique du ballon, on procède ainsi qu'il suit :

Tracez (fig. 2) le quart de cercle GOA, avec le rayon OA du ballon; portez ce rayon sur la circonférence de A en E, puis de G en C, et divisez les arcs de AC, CE, EG, en parties égales aux points B, D, F ; le quart de cercle se trouvera ainsi divisé en 6 parties égales.

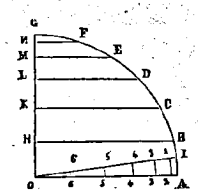


Fig. 2.

Par les points de division, menez des parallèles BH, CK, DL, FN, AO ; joignez le point O du milieu I de AB, et du point O comme centre avec les longueurs BH, CK, etc., décrivez successivement les arcs de cercle 22 33, 44, etc. AI, étant la vingt-quatrième partie de l'équateur de la sphère de rayon AO, les arcs 22, 33, 44, etc., seront la vingt-quatrième partie des parallèles respectifs des rayons BH, CK, DL, etc.; de sorte que si l'on développe un méridien en portant (fig. 3), sur la ligne droite *ab*, 12 fois la longueur AB et qu'ensuite, des points de division 1, 2, 3, 4, 5, 6, comme centres, et avec les rayons respectifs AI, 22, 33, 44, 55, 66, etc., on décrive des arcs de cercle de chaque côté de la ligne *ab*, et qu'on trace tangentiellement à ces arcs de cercles la courbe *amb n*, on obtiendra un patron tel que vingt-quatre fuseaux de cette sorte, assemblés par leurs bords, formeront un ballon sensiblement sphérique. Quand le globe a de grandes dimensions, comme chacun des arcs AB, BC ne peut être censé égal à sa corde, on divise pour plus d'exactitude le quart du cercle en 12 parties égales (et même plus encore) au lieu de 6, et l'on fait la même construction que ci-dessus. La sphère est alors formée de 48 fuseaux au lieu de 24. On doit laisser des deux côtés de chaque fuseau une bande pour la couture avec le fuseau voisin.



Fig. 3.

Si le globe doit être ovoïde, la construction est la même, seulement la fig. 2 doit représenter le quart du méridien de cet ovoïde, G étant l'un des pôles et DA l'équateur; on doit toujours partager l'arc du méridien GA en parties égales.

Comme on le voit sur la fig. 4, la nacelle dans laquelle se place l'aéronaute doit être suspendue au ballon par un filet qui repose sur la plus grande partie de sa surface, sans points d'attache qui compromettraient la solidité de la surface et pourraient occasionner des déchirements.

La force ascensionnelle du ballon sert à enlever, avec l'aéronaute, du lest, des sacs de sable qui permettent de partir avec une vitesse modérée, avec une force ascensionnelle réduite (que l'on mesure avec une romaine). C'est en jetant successivement ce sable que l'on peut s'élever à des hauteurs croissantes. Pour des-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cendre, l'aéronaute entr'ouve une soupape placée à la partie supérieure du ballon et qu'il peut manœuvrer au moyen d'une corde. Le ballon perd ainsi une partie de sa force ascensionnelle et en manœuvrant convenablement, à l'aide de la soupape et du lest, il devient possible de descendre sans danger.

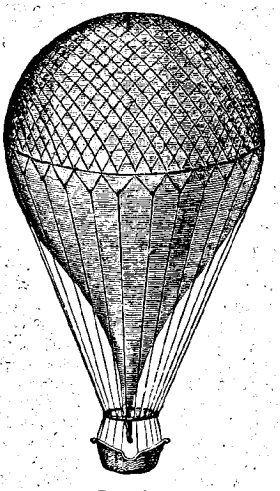


Fig. 4.

Il importe de ne pas gonfler l'aérostat lors du départ ; car, à mesure qu'il s'élève, la pression de l'atmosphère diminuant, le gaz intérieur augmente de volume et exerce une pression croissante sur l'enveloppe, qui pourrait bientôt être déchirée.

Nous diviserons en trois parties cette étude sur les aérostats, pour traiter successivement les questions les plus intéressantes qui s'y rapportent, savoir :

1° Les ballons captifs ;

2° Les ballons sphériques, les lois de leur mouvement ;

3° Les aérostats de forme allongée.

I. BALLONS CAPTIFS. C'est surtout au point de vue de l'étude de la météorologie que l'emploi continu des ballons propres à observer les phénomènes qui se passent à diverses hauteurs peut être bien précieux. Arago avait proposé l'emploi de ballons captifs, attachés au sol par un fil de métal, pour faire passer dans le sol l'électricité des nuages et préserver ainsi les récoltes de la grêle. Rappelons encore que, pendant les guerres de la Révolution et notamment à la bataille de Fleurus, on employa des ballons captifs comme moyen d'observer les mouvements de l'armée ennemie, mais par suite, des difficultés de leur emploi, surtout par une cause dont nous parlerons plus loin, ils rendirent peu de service, et on y renonça bientôt.

M. Giffard a fait fonctionner à l'Exposition de 1867 un ballon captif, attaché par un cordage qu'une machine à vapeur faisait enrouler à volonté autour d'un treuil. Le poids du cordage limitait l'élévation du ballon à quelques centaines de mètres, mais évitait les pertes de gaz, par la soupape, pour les descentes.

Il s'était efforcé d'éviter les pertes de gaz à travers les parois, qu'on ne peut que diminuer par des enduits, qui sont toujours notables et qui ne permettraient pas à un appareil de fonctionner longtemps. Elles ne disparaîtraient même pas avec des enveloppes en feuilles métalliques minces, avec lesquelles M. Marey-Monge avait construit un ballon en les soudant au chalumeau. D'ailleurs un pareil système offrirait ce danger qu'avec le peu d'épaisseur des feuilles métalliques rendues aigres par le laminage, le ballon ne pourrait varier de dimensions avec les changements de pression, ce qui serait cause de fréquentes déchirures.

Le second obstacle à lever serait de parvenir à maintenir contre le vent les ballons captifs. Cette question a été traitée dans le numéro de mai 1844, du *Magasin pittoresque*, par M. Transon, d'une manière si remarquable et si neuve, qu'on nous saura gré d'en extraire ce qui suit :

Les ballons captifs paraissaient, dans l'origine de l'invention, devoir rendre de grand services à l'art de la guerre et à la météorologie. Ainsi il paraissait qu'un aérostat, demeurant en communication avec le chef de l'armée, serait d'un grand secours pour effectuer une reconnaissance militaire, pour éclairer les mouvements de l'ennemi, pour étudier les ressources et les moyens de défense d'une ville assiégée, etc. ; et tout le monde sait que l'armée du Nord, en 1793, renfermait une compagnie d'aérostiers dirigée par le colonel Coutelle. Cet officier raconte que, dans ses études préparatoires au château de Meudon, il avait pu, du haut de son aérostat captif, reconnaître le cours de la Seine jusqu'à Meulan ; résultat bien suffisant pour donner une idée des services que ce mode d'observation pourrait rendre s'il était convenablement organisé. — Comment la météorologie, de son côté, ne tirerait-elle pas de l'emploi des ballons captifs un avancement rapide, puisqu'elle y trouverait le moyen d'étudier les phénomènes de température, de pression barométrique, d'électricité, etc., qui se produisent dans le cours de la journée à toutes les hauteurs de la verticale d'un même lieu? Enfin c'est par les ballons captifs qu'on pourra sans doute réaliser quelque jour l'ingénieuse idée de l'*aérostat paratonnerre et paragrêle*.

Nous entrerons à ce sujet dans quelques détails.

On sait que le phénomène du tonnerre, et probablement aussi celui de la grêle, dépendent de la quantité d'électricité que les nuages orageux transportent avec eux dans l'atmosphère. Cependant comme les corps terminés en pointe, s'ils sont en même temps de nature métallique, ont la propriété de soutirer l'électricité, il devient manifeste que présenter de tels corps à distance convenable d'un nuage électrique, c'est un moyen assuré d'annuler ou, sans aucun doute, d'amoindrir indéfiniment les effets de l'orage. Aussi espérait-on bien, à l'époque de l'invention du paratonnerre, que l'établissement d'un grand nombre de semblables appareils sur toute la surface d'un pays ne manquerait pas de diminuer considérablement le nombre des orages et la grandeur des désastres qui en sont la suite. Mais cet espoir ne s'est pas réalisé. Le paratonnerre ne devient efficace que si le nuage électrique est à une petite distance, et, à la vérité, cela suffit pour qu'il soit à l'égard de nos édifices une excellente sauvegarde contre les effets de la foudre. Mais la plupart des nuages orageux sont beaucoup trop élevés pour recevoir des paratonnerres la moindre influence. Kaemtz, dans son cours de météorologie, combat par des observations précises l'opinion vulgaire qui attribue à tous les nuages orageux une faible hauteur (pag. 364 de la traduction de Martins). Ces nuages passent donc au-dessus de nos villes toutes hérissées de paratonnerres sans que leur charge électrique soit diminuée, et par conséquent sans cesser d'être une source de désastres pour les campagnes. Cependant imaginez, comme l'a proposé Arago, qu'un ou plusieurs ballons aient été élevés à une hauteur voisine des nuages orageux ; armez-les de pointes pour soutirer l'électricité ; enfin maintenez une communication entre eux et la terre par une corde également conductrice du fluide ; par là vous aurez forcé vraiment l'orage à s'écouler sans fracas ni danger. Mais, pour employer les ballons captifs, il faut les *maintenir contre le vent*. L'air est calme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelquefois ; mais c'est une circonstance rare et qui dure à peine quelques heures. L'état naturel de l'atmosphère, c'est d'être agité par le vent. Eh bien! la force d'un vent, même médiocre, suffira pour porter à terre tout ballon captif. C'est là la vraie difficulté qu'a rencontrée Coutelle au siége de Mayence et qu'il a signalée dans sa notice. (*Revue encyclopédique*, septembre 1826.) S'étant fait élever pour reconnaître la place, il pouvait déjà discerner les mouvements des troupes dans l'intérieur de la ville assiégée. Mais, tout d'un coup le vent fraîchit, et porta trois fois de suite son aérostat jusqu'à terre, en le faisant tourner autour des points d'attache, de toute la longueur des cordes de retenue. A chaque fois que le ballon avait touché, il se relevait par la réaction du choc avec une vitesse extrême, et, de suite après, il était de nouveau rabattu. Naturellement, il fallut se faire descendre et abandonner la partie. Mais ce simple récit explique assez pourquoi l'expérience faite à la bataille de Fleurus n'a pas été renouvelée dans les campagnes suivantes.

Pour atteindre au but proposé, il suffira de combiner avec le principe de l'*aérostat* celui du *cerf-volant*. Prenons d'abord cette idée dans toute sa simplicité, et imaginons qu'à la corde de reteuue et au-dessous du ballon soit attaché un véritable cerf-volant : n'est-il pas manifeste qu'un tel appareil s'élèvera d'abord avec facilité comme aérostat, et qu'ensuite, comme cerf-volant il se maintiendra avec une facilité égale ? Notez bien qu'alors, comme précédemment, le ballon sera sollicité par le vent et de la même manière ; de plus, l'impulsion exercée sur la paroi inclinée du cerf-volant produira deux efforts, dont l'un dans le sens horizontal ne ferait à la vérité qu'augmenter la tendance du ballon et à coucher à terre. Mais cet effort horizontal ne sera pas le seul ; il sera accompagné d'une nouvelle force ascensionnelle ; de cette force qui, dans les circonstances ordinaires, est employée à soutenir le poids du cerf-volant. Et comme cette force ascensionnelle varie avec la vitesse du vent de la même façon précisément que la force horizontale, elle ne risque pas d'être vaincue par elle. Il suffira donc que tout l'appareil se maintienne contre le vent dans le cas d'une vitesse modérée, et on comprend que cela est facile à réaliser, pourvu qu'on combine convenablement l'étendue et l'inclinaison du cerf-volant... Cela, dis-je, suffira pour que l'appareil se maintienne ensuite contre toute vitesse, n'y ayant de limites à cet égard que celles résultant du plus ou du moins de résistance de toutes les parties, et notamment de la résistance dont sera susceptible le cordon de retenue. Une idée si simple a dû se présenter déjà plusieurs fois à l'esprit. Et en effet, lorsque cette idée à été communiquée à la Société philomatique, M Peltier, dont les recherches sur l'électricité, et notamment sur l'électricité atmosphérique, sont appréciées de tous les physiciens, fit savoir que déjà, à sa connaissance, deux personnes avaient attaché à l'aérostat de véritables cerfs-volants, et avaient ainsi maintenu leurs ballons captifs à une certaine hauteur. Ces expériences antérieures assurent donc l'efficacité du moyen proposé. Mais c'est le principe du cerf-volant plutôt que le cerf-volant lui-même dont nous proposons de faire emploi. Imaginez une voile exactement carrée, soutenue par deux vergues égales formant les diagonales du carré ; ou bien une voile octogonale avec deux vergues de plus ; toutes ces vergues sensiblement arquées pour donner plus de prise au vent. L'ensemble offrira à peu près l'aspect d'un parachute à la Garnerin, ou plus vulgairemet d'un parapluie. La corde de retenue de l'appareil est attachée au croisement des vergues, dans la concavité de la voile. Une autre corde est fixée également au versant et diminuant ainsi le poids de l'appareil, soit de 350 kilos. Enfin, pour être parfaitement rigoureux, il conviendrait d'avoir encore égard à la résistance de l'air contre la nacelle, les cordages, etc.,

du filet qui enveloppe le ballon, et c'est ainsi que la voile est réunie au ballon. Le filet supporte d'ailleurs une nacelle, comme à l'ordinaire.

Cet appareil, étant élevé par la force ascensionnelle de ballon, donnera prise au vent ; de sorte que, si la voile est placé dans une situation analogue à celle du cerf-volant, elle produira nécessairement les mêmes effets. La queue du cerf-volant des écoliers est tirée en arrière par l'effort du vent ; par là elle procure au cerf-volant l'inclinaison nécessaire pour que tout l'appareil se soutienne. Nous assurerons à notre voile une inclinaison convenable en fixant le bout d'une corde à l'extrémité inférieure de l'une des vergues, extrémité qui sera en même temps le point le plus bas de la voile. Nous mettrons l'autre bout de cette corde à la portée de l'aéronaute qui est dans la nacelle. En tirant plus ou moins cette corde, il donnera à la voile telle inclinaison qu'il jugera convenable ; et, pour que son effort soit plus efficace, nous ferons passer cette corde de manœuvre sur un palan fixé lui-même à la corde principale qui lie le filet à la convexité de la voile. Ainsi l'aéronaute pourra peser sur cette corde de tout son propre poids réuni à celui de la nacelle ; ce qui sera bien plus suffisant que pour l'effet qu'on veut obtenir... Déjà notre appareil est supérieur au cerf-volant ordinaire, en ce que nous pouvons approprier l'inclinaison de la voile à la force actuelle du vent ; mais nous pouvons mettre aussi à la portée de l'aéronaute trois autres cordes, ou, en termes de marine, trois autres manœuvres, fixées par leurs autres bouts, l'une à l'extrémité supérieure de la vergue précédente, ce qui sera le point le plus haut de la voile, et les deux autres aux deux extrémités de la vergue horizontale. Il pourra alors se mouvoir latéralement, descendre ou remonter à volonté par l'effet de la force du vent. (Nous renvoyons au curieux article du *Magasin pittoresque* les personnes qui désireraient savoir comment, au moyen de l'emploi de cette voile, l'auteur propose de diriger deux ballons réunis se mouvant dans des zones de vents différents, qu'il admet se succéder souvent à de faibles distances. Ce ne serait certes pas un moyen de locomotion commode ni avantageux, mais au moins il paraît possible dans quelques cas).

II. BALLONS SPHÉRIQUES LIBRES. — *Lois de leur mouvement.* Malgré le faible intérêt que présente, au point de vue industriel, la question des aérostats, elle est assez curieuse ; et il importe de compléter, autant que possible, l'étude scientifique de cette question de mécanique à propos de laquelle, dans la plupart des écrits, on trouve plus souvent des écarts d'imagination que des renseignements positifs.

Ascension verticale des aérostats. Considérons, dit Poncelet, un ballon sphérique de 10 mètres de diamètre, son volume sera de $523^{mc},6$; par conséquent le poids du volume d'air qu'il déplace (à 12° et 0,750 de pression) aura pour valeur $523,6 \times 1^k227 = 642^k,5$; celui du gaz hydrogène qu'il contient

$$523,6 \times 0,082 = 42,94 ;$$

et, enfin, le poids absolu du fluide qu'il entraîne, la *proue fluide*, qui accompagne une sphère en mouvement, doit, d'après les expériences de Dubuat, être évaluée à $0,6 \times 642,5 = 385^k,5$, poids énorme et qui doit exercer une grande influence sur le mouvement du ballon.

Ordinairement, les ballons destinés aux voyages aériens portent, suspendue à un système de cordes qui passent sur la partie supérieure du ballon, une nacelle en osier très-légère, dans laquelle se placent les aéronautes ; nous supposerons que le poids de ces objets et de tout le surplus de l'équipage, y compris le lest, du sable qui permet de s'élever dans des couches supérieures, en le versant et diminuant ainsi le poids de l'appareil, soit de 350 kilos. Enfin, pour être parfaitement rigoureux, il conviendrait d'avoir encore égard à la résistance de l'air contre la nacelle, les cordages, etc.,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mais, comme ces quantités sont impossibles à évaluer d'une manière précise, et qu'elles sont très-petites vis-à-vis de celles qui se rapportent au ballon, nous les négligerons dans ce calcul approché. D'après cela, le ballon serait enlevé de terre avec une force constante $P' - P = 642^k,5 - 42,94 - 350 = 249^k,56$, qui sera diminuée, à chacun des instants du mouvement ascensionnel, de toute la résistance opposée par l'air, que l'on devra évaluer au moyen de la formule $R = 0,0625\ KAV^2$ (voy. RÉSISTANCE DES FLUIDES), laquelle devient ici à cause de

$$A = 3,1416 \times 5 \times 5 = 78^m,54,\ R = 4,91\ KV^2.$$

M. Mangon, par des expériences directes sur des ballons tirés, à diverses vitesses assez petites, a trouvé $R = 0,024\ A^{1,10}\ V^2$, qui donne une résistance plus grande que la précédente, qui conduit à admettre, dans le calcul approché que nous faisons ici, $K = 0,90$, valeur plus élevée que celle qui résulte des expériences de Hutton, sur des boulets (0,64).

On aura donc pour calculer les circonstances du mouvement:

$$F = 249^k,56 - 4,911\ KV^2,$$

Le ballon, partant de terre avec une vitesse V, d'abord nulle, tant que la résistance restera au-dessous de $249^k,56$, cette vitesse ira toujours en augmentant de quantités relativement décroissantes pour des temps égaux t. Mais, si cette résistance pouvait devenir égale à $249^k,56$, ce qui exigerait que la vitesse atteignît elle-même la valeur fournie par la relation

$$249^k,56 = 4,911\ kV^2 \text{ ou } P - P' = \frac{kp\ AV^2}{2g},$$

ou
$$V = \sqrt{\frac{2g\,(P' - P)}{kp\ A}},$$

ou, en prenant $K = 0,90$, $V = 7,87$,

il cesserait d'y avoir alors aucune variation, et un mouvement uniforme se continuerait indéfiniment, si les circonstances restaient, dans les régions supérieures de l'atmosphère, les mêmes qu'à la surface de la terre. Mais il n'en est pas ainsi: on sait que le baromètre baisse à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, et qu'il sert à mesurer ces élévations; que, par suite, la pression de l'air diminuant, la force ascensionnelle du ballon diminue également.

Pour donner une notion exacte des diminutions de densité de l'air à mesure que l'on s'élève, nous reproduisons le tableau suivant des élévations correspondantes, à différentes hauteurs barométriques, pour la latitude 45°, la pression 0,76 au niveau de la mer, et la somme des températures aux stations extrêmes égales à zéro.

Longueur des colonnes barométriques.	Élévation du lieu d'observation au-dessus du niveau des mers.
0,70	657m
0,60	1888
0,50	3344
0,40	5127
0,30	7425

Si le ballon n'est pas bien plein au départ, la perte de puissance ascensionnelle est négligeable jusqu'à ce qu'il soit gonflé.

Lorsque le ballon peut augmenter de volume, la densité de l'air qu'il déplace reste toujours dans un rapport constant avec celle du gaz intérieur, puisque toutes deux varient par les mêmes causes et suivant les mêmes lois; le poids de l'air déplacé reste donc constant comme celui du gaz intérieur. Mais l'enveloppe, les agrès et les corps étrangers que le ballon emporte avec lui ont un volume appréciable. L'air déplacé par eux pèse de moins en moins à mesure que le ballon s'élève, et cette variation amène une légère diminution de la force ascensionnelle.

Soit V le volume intérieur du ballon gonflé à la pression H, v celui de l'enveloppe et des agrès, enfin p le poids de tous les objets dont le volume est égal à v; de plus, supposons la température constante et égale à zéro, la force ascensionnelle sera alors:

$$V\frac{H}{0,76}(1,293 - 0,09) + v\frac{H}{0,76}1,293 - p.$$

En égalant cette expression à zéro, on a une équation qui donne la valeur H de la pression de la couche où le ballon de volume V doit s'arrêter en équilibre. On voit que le ballon étant donné, on dispose des valeurs v, et p, c'est-à-dire du lest et des corps étrangers pour faire varier H.

Nous verrons comment on utilise ces éléments pour élever et maintenir le ballon à une hauteur convenable, mais, avant de les résumer, parlons de la descente.

Vitesse de descente des parachutes dans l'air. — La nécessité de laisser sortir du gaz par la soupape, pour détruire la force ascensionnelle du ballon, lui donne des formes variables pour lesquelles un calcul est difficile, la résistance d'un ballon un peu dégonflé devenant, dès une vitesse de trois mètres, double de celle du ballon gonflé. Nous en donnerons le type en empruntant encore à Poncelet le calcul de la descente dans l'air des parachutes de forme concave, propre à fournir le maximum de résistance.

On sait que ces parachutes, à l'aide desquels les aéronautes peuvent abandonner leurs ballons et descendre sans danger des régions supérieures de l'atmosphère, sont à peu près disposés comme les parapluies ordinaires (fig. 5), si ce n'est qu'ils reçoivent des dimen-

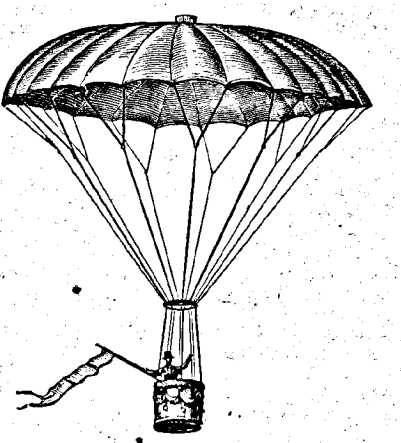


Fig. 5.

sions beaucoup plus grandes, et qu'ils portent, à l'extrémité inférieure de leur axe vertical, une petite nacelle en osier propre à recevoir le voyageur. Quelle sera la limite de vitesse qu'un pareil système pourra atteindre, sous des dimensions données, dans sa descente verticale, ou, si l'on aime mieux, quelles doivent être ces dimensions pour que la vitesse effective demeure inférieure à une limite reconnue n'offrir aucun péril pour le voyageur?

D'après les expériences de Thibault, pour une flèche comprise entre 1/3 et 1/4 de l'envergure ou diamètre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyen du parachute, la résistance serait 1,15 fois celle d'un plan mince qui aurait pour aire la projection A de sa surface, sur un plan perpendiculaire à son axe vertical. D'un autre côté, nous savons que la valeur la plus probable de K, pour ces derniers plans, est de 1,3; on aurait donc, dans le cas actuel, $K = 1,3 \times 1,15 = 1,5$, en nombre rond; de sorte qu'en supposant au parachute un diamètre moyen de 8 mètres, ce qui donne $A = 3,1416 \times 4 \times 4 = 50^{mq},2656$, on pourrait calculer sa résistance par la formule:

$$R = 0,06253 \times 1,5\,AV^2 = 0,0938\,AV^2 = 4,715\,V^2 \text{ kil.}$$

D'après cela, supposant que le poids P — P' du voyageur et de tout le surplus de l'équipage mesuré dans l'air soit de 85 kil., la plus grande vitesse que puisse acquérir le parachute, dans sa descente, sera donnée par l'équation $85^k = 4,715\,V^2$ ou $V = \sqrt{18,277} = 4^m,25$ par seconde. Une telle vitesse *limite*, en supposant qu'elle pût être atteinte, serait assez faible pour prévenir un accident à l'instant où la nacelle toucherait la terre. Un calcul inverse, et tout aussi simple d'ailleurs, servirait à trouver la valeur de l'aire A, propre à satisfaire à toute autre condition.

Nous n'avons pas tenu compte de la résistance de la nacelle, des tiges du parachute, etc., et les calculs ne se rapportent qu'à la plus grande vitesse que puisse acquérir le système, à celui qui répond à l'instant où le mouvement serait devenu entièrement uniforme. Or, il est aisé de se convaincre que c'est là une limite, une asymptote, et que, dans la réalité, les corps qui tombent ou s'élèvent verticalement dans l'air, ne peuvent jamais parvenir rigoureusement à cet état de mouvement, quoiqu'ils en approchent sans cesse, et que, dans certains cas où la masse du corps et du fluide entraîné est très-petite, ils puissent en approcher de fort près, même au bout d'un intervalle de temps médiocre.

Disons encore que l'expérience a montré que pour arrêter les oscillations dangereuses, il fallait pratiquer une petite ouverture au haut du parachute, une petite cheminée, qui diminue sa puissance retardatrice, mais le ramène dans la direction verticale.

Règles pratiques de l'aérostation. — L'étude analytique qui précède permet de tracer les principales règles à suivre pour exécuter des ascensions dans les meilleures conditions et en obtenir les meilleurs résultats.

Le ballon étant rempli de gaz hydrogène ou de gaz d'éclairage, sans que l'enveloppe soit tendue, on charge de lest la nacelle, attachée au bras court d'une romaine, permettant de mesurer la force ascensionnelle. On fait celle-ci un minimum, eu égard aux dangers que l'aérostat peut rencontrer dans le commencement de son parcours.

Une fois en l'air, l'aéronaute jette du lest peu à peu pour atteindre la couche du vent qui lui semble convenable, évitant d'ouvrir la soupape, à moins de danger de rupture du ballon trop gonflé au départ. En effet, le ballon perdant constamment du gaz par exosmose, malgré tous les vernis adoptés, un ballon ordinaire ne peut guère faire de voyage de plus de 3 ou 4 heures, à moins de disposer d'un excédant de lest très-considérable. Après *une heure*, il tombe très-notablement, et, si le lest a été jeté, la fin du voyage est proche.

Avec ces précautions, en consultant bien la direction et la vitesse du vent, 25 ballons sur 27 ont échappé à l'ennemi qui entourait Paris, lors du siége par les Prussiens, sur des distances de 40 à 50 lieues, dans plusieurs directions, indéfiniment dans un tiers de la zône.

Pour descendre, il faut, après s'être rapproché de terre par de petites ouvertures de soupape, les faire plus grandes en arrivant en un endroit convenable bien découvert. On laisse pendre de la nacelle un long cordage qui, en flottant sur le sol, amortit la force vive, puis une ancre au bout d'une ligne, et celle-ci mordant, on ouvre la soupape en grand. Le concours de passants, pour saisir les cordes pendantes et empêcher le rebondissement du ballon, est fort utile quand un vent un peu fort contrarie ces manœuvres et rend l'arrêt difficile.

Direction des aérostats. — Les ballons flottant dans l'atmosphère font en quelque sorte partie de celle-ci, obéissent à tous les vents, se meuvent avec les couches d'air dont ils font partie. L'aéronaute est donc transporté dans une direction souvent tout autre que celle qu'il voudrait suivre, et, par suite, l'utilité que pouvait produire son voyage est, bien souvent, annulée. Aussi, depuis l'origine de l'invention des aérostats, s'est-on occupé de leur direction, et des multitudes d'inventeurs ont-ils proposé des systèmes plus étranges en général les uns que les autres. Bien qu'il y ait bien à rabattre des résultats pouvant être obtenus par la solution du problème proposé, bien qu'il soit facile de montrer que cet immense progrès de l'humanité, suivant la phrase stéréotypée, ne peut donner des résultats économiques, par la nature même des choses, il est intéressant, au point de vue théorique, d'analyser tout ce qu'il est possible de faire, d'autant plus que, dans des circonstances extraordinaires, on pourrait en tirer des résultats pratiques très-intéressants.

Nous en finirons d'abord avec une solution qui ne repose que sur l'imagination des inventeurs, et à laquelle l'expérience des aéronautes est tout à fait contraire.

On a remarqué depuis longtemps qu'il existe souvent, à des hauteurs diverses de l'atmosphère, des courants de direction différente, ou même, quelquefois, tout à fait opposée. L'aéronaute peut donc quelque peu espérer de rencontrer un vent à peu près convenable; mais la manœuvre de monter ou descendre, pour atteindre les régions où le courant pourrait être favorable, abrége essentiellement la durée du voyage, puisqu'elle exige, comme nous l'avons dit, soit une perte de lest pour gagner de la hauteur, soit une perte de gaz pour descendre, en diminuant ainsi la force ascensionnelle du ballon.

Il n'y a là qu'une bien faible ressource pour ne pas être entraîné absolument dans la direction du vent régnant à terre. Nous doutons qu'elle réussisse souvent; mais, en tous cas, il n'y a pas à songer à trouver toujours, à une hauteur quelconque, le vent susceptible de transporter l'aérostat dans une direction déterminée.

Meunier, officier du génie fort distingué, avait étudié avec beaucoup de soin un projet de ballon conçu surtout en vue d'utiliser cette chance fort aléatoire, projet qui n'a pas été exécuté. Il cherchait à éviter la consommation de gaz pour descendre, en comprimant de l'air dans un ballon, en ménageant, dans celui-ci, comme le dit le titre de son mémoire, une cavité particulière destinée à contenir de l'air atmosphérique et en faisant tourner pour s'élever, comme pour modifier la direction du ballon, de grandes ailes analogues à celles employées pour les moulins à vent, que nous appelons aujourd'hui des hélices propulsives.

Pour appliquer un travail moteur croissant à faire tourner l'hélice, il faut augmenter le nombre d'hommes agissant sur des manivelles, pour la faire tourner; mais par suite aussi, les dimensions du ballon, destiné à annuler leur poids, et, par conséquent, la résistance au mouvement du système. Y a-t-il avantage à le faire? Le système est-il susceptible d'un maximum? c'est la question que Navier a soumise au calcul, par une analyse qui a son point de départ dans la manière de calculer l'action de l'air sur les ailes des moulins à vent. Il parvient à la formule finale, pour la vitesse u, qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est possible d'imprimer, par un système semblable à un ballon de rayon a,

$$u = \left(1{,}223\, a\right)^{\frac{1}{3}}$$

Ce qui donne, pour un ballon :

de 5m	de rayon,	392 mètres cubes	$u = 1^m{,}82$
10	»	3140	» $u = 2^m{,}29$
20	»	25120	» $u = 2^m{,}89$

c'est-à-dire qu'en dépassant toutes les limites possibles dans l'exécution, on ne pourrait penser à se diriger contre un vent insignifiant de 2^m, 50 par seconde, celui qui permet à peine aux moulins à vent de se mettre en mouvement.

En laissant de côté la question du remplacement des hommes par une machine à feu placée sous le ballon rempli d'hydrogène, question sur laquelle nous reviendrons, on doit conclure, de ce qui précède, l'impossibilité pratique de diriger les ballons sphériques.

III. AÉROSTATS DE FORME ALLONGÉE. — Pendant le siége de Paris, M. Dupuy de Lôme, initié par ses travaux antérieurs à la théorie de l'hélice propulsive, à l'emploi des cordages dans le gréement des navires à voiles, s'est proposé d'exécuter un aérostat dirigeable, dans les limites où la chose était scientifiquement reconnue possible, c'est-à-dire en employant un aérostat de forme ovoïde portant des hommes actionnant une hélice capable de donner une impulsion au système, et, par suite, de lui permettre d'obéir à une voile faisant gouvernail; permettant, non d'avancer contre le vent, mais d'obliquer sur sa direction, et, par suite, d'atteindre des parages déterminés, avec un vent à peu près convenable. Dans ces conditions, on eût pu rentrer à Paris pendant le siége, but des efforts du savant ingénieur.

Il s'exprimait, ainsi qu'il suit, dans son mémoire, lu à l'Institut, le 17 octobre 1870.

La nécessité de maintenir la direction de l'aérostat sensiblement en ligne droite, et de faire qu'elle ne se modifie qu'à la volonté de l'aéronaute agissant sur le gouvernail, exige que l'ensemble de l'appareil présente, d'une façon très-caractérisée, un axe horizontal de moindre résistance, ainsi qu'une surface de résistance latérale placée à l'arrière du centre de gravité. Ce n'est donc pas seulement pour la convenance de réduire la résistance de l'aérostat à la marche horizontale qu'il faut renoncer à la forme du ballon ordinaire, dont la surface est engendrée par la révolution d'un méridien autour d'un axe vertical. Un pareil aérostat, muni d'un moteur, serait sans cesse, pour sa direction, dans un état d'équilibre instable, exposé à tournoyer sur lui-même en faisant, ce qu'on appelle en marine, des *embardées* intolérables.

J'ai donc adopté une forme oblongue suffisamment caractérisée, malgré les difficultés qui en résultent pour le maintien de cette forme de la traction des suspentes de l'édifice qui doit porter les voyageurs, les colis, le moteur, le lest, etc. Cette forme oblongue nécessite encore des dispositions particulières pour éviter, sous l'influence d'un dégonflement partiel, des dénivellements trop sensibles de l'axe qui doit rester horizontal. Tout considéré, j'ai adopté pour la forme du ballon celle d'une surface de révolution engendrée par une courbe spéciale se rapprochant d'un arc de cercle de 7 mètres de flèche, et tournant autour de sa corde de 42 mètres de longueur. Cette corde constitue l'axe horizontal du ballon, dont la longueur est réduite à 40 mètres, en substituant, pour la solidité de la construction, une petite surface sphérique à la pointe des extrémités.

Le volume est ainsi de 3,860 mètres cubes, et la maîtresse section verticale de 154 mètres carrés.

Pour s'opposer à la déformation sous la traction des suspentes (indépendamment de l'effet de la pression intérieure des gaz), la nacelle est d'une forme allongée et d'une construction rigide. Elle présente, en outre, à son avant ainsi qu'à son arrière, deux appendices également rigides faisant fonction de brancards de nacelle. Les suspentes en corde de soie descendent du filet deux par deux des plans perpendiculaires à l'axe longitudinal du ballon, et sont fixées tant sur la nacelle que sur les brancards. Ces suspentes sont croisées par quelques étais obliques destinés à s'opposer seulement à un mouvement de balan de l'avant à l'arrière.

Pour maintenir le ballon sans cesse gonflé dans les conditions indiquées ci-dessus, en présence des déperditions de gaz sur lesquelles il faut compter, ou lorsque l'aéronaute en fera échapper volontairement pour opérer une descente partielle ou totale, il sera introduit de l'air atmosphérique dans un petit ballon logé à cet effet dans l'intérieur du grand, et remplissant ainsi une fonction ayant quelque analogie avec la vessie natatoire des poissons. Si le petit ballon étant rempli, le dégonflement du grand ballon continuait, il serait alors introduit un supplément d'air atmosphérique directement dans le gaz du grand ballon.

Il est évident que, si l'on ne considérait que la simplicité, on se bornerait à ce dernier procédé. On éviterait ainsi le poids de l'étoffe nécessaire à la confection de cette poche. C'est environ 50 kilogrammes qui pourraient être ajoutés au lest ; mais la poche de dilatation, malgré la réduction qu'elle occasionne sur le lest, procure la faculté d'opérer un plus grand nombre de montées et de descentes alternatives. En effet, elle permet de faire ces montées et ces descentes sans perdre de gaz ; d'où il suit que la presque totalité du lest n'aurait à faire face qu'aux déperditions à travers l'enveloppe.

J'arrive à l'évaluation du travail nécessaire pour imprimer la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, par rapport à l'air ambiant, à l'aérostat conformé comme je l'ai dit ci-dessus.

Par suite de ces données, on a :

Section de la maîtresse partie du ballon porteur	154^{mq}
Section de la maîtresse partie de la nacelle et de la partie du corps des hommes dépassant la nacelle environ	4^{mq}
Filet et suspentes en cordes de soie	10^{mq}

Il importe d'évaluer séparément la résistance qu'opposeront à la marche à travers l'air ces diverses parties de l'aérostat.

Si c'étaient des plans minces se présentant perpendiculairement au courant d'air, il résulte des recherches faites à ce sujet, par divers expérimentateurs, que la pression exercée par ce courant, à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure (ou de 2^m,222 par seconde), serait de 0^{kg},665 par mètre carré.

Mais on sait que la pression d'un courant d'air, comme d'un courant d'eau, diminue dans une très-grande proportion quand ces courants n'ont qu'à contourner des solides façonnés pour faciliter le mouvement du gaz ou du liquide autour d'eux.

L'étude des navires a fourni à cet égard des données nombreuses qui manquent encore pour l'air. Toutefois, les données relatives au mouvement des masses aqueuses autour d'un corps plongé dans leur milieu peuvent fournir un moyen d'estimer au moins des *minima* pour le coefficient de réduction entre la résistance des plans minces soumis perpendiculairement à un courant d'air et celle de corps à maîtresse section égale en surface au plan mince, mais configurés de manière à faciliter la division de l'air à l'avant et son remplacement à l'arrière.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Parmi les navires comparables au ballon porteur qui nous occupe, au point de vue capital des angles d'incidence du courant à l'avant, des rayons de courbure des sections longitudinales, et enfin des angles d'incidence de remplacement du fluide à l'arrière, on n'en saurait trouver dont la résistance, rapportée à la surface de la maîtresse section ne ressorte pas à moins de 1/40 de la résistance du mètre carré de plan mince frappant perpendiculairement la surface. Il est des navires où ce rapport descend à moins de 1/80.

sont petits, elle porte des hommes et des objets sans forme définie, et il est, par suite, prudent de porter le coefficient de réduction de la résistance de cet ensemble par rapport au plan mince au 1/5.

Enfin, pour les cordonnets du filet ou les cordes de suspente, leur diamètre et par suite leur rayon de courbure étant très-petits, j'ai porté leur coefficient de réduction par rapport à la surface plane à 1/2.

Cela posé, la résistance de l'aérostat à la marche se composera ainsi qu'il suit :

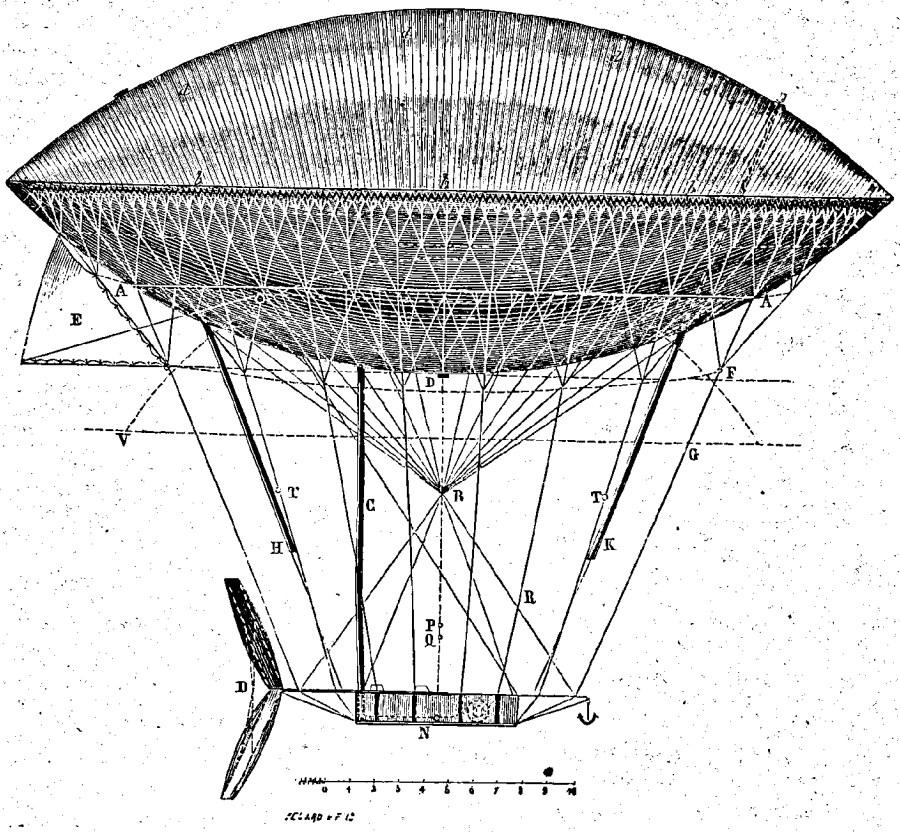


Fig. 6.

Cela pose, ne serait-il pas légitime de compter que le ballon porteur qui nous occupe présenterait également une résistance à la marche dans l'air, réduite à 1/40 de la résistance du plan mince, *si ce ballon pouvait conserver la forme régulière du dessin?* Mais cette dernière hypothèse n'est pas réalisable : il faut compter que le ballon, sous la pression de son filet, présentera des surfaces plus ou moins bombées dans l'intervalle des mailles. Pour tenir compte de la déformation partielle de la surface géométrique, produisant une multitude de petites ondulations, j'estime qu'on leur fera une large part d'influence, en doublant la résistance calculée.

Pour la nacelle les formes sont également étudiées de manière à faciliter son passage dans l'air autant que le permettent les exigences de sa fonction ; mais elle n'aura pas une surface polie, les rayons de courbure

Ballon sans filet :

154mq	à 0,665	feraient 102kg,412	: à 1/20 ou a :	5kg,120
Nacelle et accessoires :				
4	à 0,665	— 2 ,660	: à 1/5 —	1 ,330
Filet et suspentes :				
10	à 0,655	— 6 ,650	: à 1/2 —	3 ,350
			Résistance totale.....	9 ,800

Pour une vitesse de l'aérostat de 2m,22 par seconde, le travail final accompli par l'aérostat est donc de

9k,800 × 2m,22, ou de 21k-m,77.

Je me propose d'employer comme propulseur, pour obtenir la poussée et la vitesse calculées ci-dessus, une hélice, qui exigera un travail moteur d'environ 30k-m à cause des frottements et résistances.

En présence de cette petite puissance motrice, il m'a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paru avantageux d'employer simplement la force des hommes. Quatre hommes peuvent, sans fatigue, soutenir, *pendant une heure*, en agissant sur une manivelle, ce travail de 30 kilogrammètres, qui n'exige de chacun d'eux que $7^{kgm},5$. Avec une relève de deux hommes, chacun d'eux pourra travailler une heure, se reposer une demi-heure, et ainsi de suite, pendant les dix heures du voyage, qui sont une des données de cette étude.

Passons à la description du ballon exécuté d'après ce programme et aux résultats obtenus.

Les dimensions suivantes ont été adoptées : longueur, $36^{m},12$; diamètre au milieu, $14^{m},84$; section en ce point, $172^{mq},96$; volume, 3454^{mc}.

Le ballon est parti entièrement gonflé d'hydrogène. Deux tuyaux *pendentifs* H, K (fig. 5) descendent à 8 mètres au-dessous du ballon; librement ouverts, ils permettent au gaz de s'échapper à mesure de sa dilatation, tout en gardant un excès de pression intérieure qui prévienne toute déformation sous l'action du vent. Pour obtenir la permanence de la forme, en dépit des causes de déperdition de gaz et des diminutions de pressions dans les descentes partielles ou totales, l'auteur a recours au jeu d'un *ballonnet* interne, dont le cercle V indique le contour, dans lequel on peut, à volonté, envoyer de l'air à l'aide d'un ventilateur et d'un tuyau C. Une soupape D est réglée de telle sorte que de l'air, insufflé mal à propos, doit s'échapper plutôt que de refouler l'hydrogène au delà du bas des pendentifs; au cas où le ballon aurait à remonter après une descente partielle, le gaz, plutôt que de se dégager par les pendentifs en se dilatant, chasserait l'air du ballonnet par cette soupape. En volume, le ballonnet est $1/10^{e}$ du ballon; son jeu permet donc d'atterrir avec le ballon toujours gonflé, en partant d'une hauteur où la pression barométrique ne serait environ que les 0,9 de $0^{m},76$, soit d'une hauteur de 866 mètres.

Le propulseur est une hélice à deux ailes formée par des lattes de bois supportant de l'étoffe, et portée sur un mât qui permet de la relever lorsqu'on atterrit. Appelons R la résistance de l'air pour la vitesse u de l'aérostat; d, p, n, le diamètre de l'hélice, son pas, son nombre de tours par minute, α le recul de l'hélice. En posant :

$$\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, u,$$

le travail de l'hélice, par seconde, s'écrira :

$$R\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, R\, u;$$

et le travail T, à dépenser dans le même temps, dépassera cette dernière quantité de la valeur des frottements. L'expérience de l'éminent ingénieur a triomphé ici de grandes incertitudes d'appréciation. Pour la vitesse de $2^{m},22$ par seconde, il avait estimé celle du ballon seul à 6 kilogrammes, et celle de l'appareil entier à 11 kilogrammes. Ayant adopté les valeurs $d = 9^{m}, p = 8^{m}$, la théorie de l'hélice le conduit à supposer $\alpha = 0,26$. Il obtient ainsi, pour n et T, des valeurs qui justifient l'emploi de quelques hommes actionnant directement l'arbre de l'hélice : 4 hommes pour la vitesse de $2^{m},22$, le double pour une plus grande vitesse de $2^{m},22 \sqrt[3]{2} = 2^{m},80$ environ.

La solidarité entre le ballon et la nacelle, qui reçoit la poussée de l'hélice, est à obtenir impérieusement. Un ballon de forme oblongue, surtout s'il vient à se dégonfler, a tendance à *cabaner*, à se dresser verticalement sur son grand axe. Là est donc un danger imminent à conjurer. M. Dupuy de Lôme relie la nacelle au ballon par un système de deux filets supportés par le ballon au moyen de rubans plats; ou plutôt, indépendamment du *filet porteur* proprement dit, il a eu la lumineuse idée de disposer un second filet, qu'il appelle *filet de balancines*, dont les cordages se croisent à l'intérieur du premier suivant des règles qu'il tire de la théorie des systèmes funiculaires. Ce filet de balancines est l'un de traits dominants de la solution de M. Dupuy de Lôme : avec le ballonnet, il défie la possibilité du danger dont nous parlions et dont l'histoire de l'aérostation n'est pas sans exemple.

Une voile triangulaire de 15 mètres carrés E placée sous le ballon, près de la pointe arrière, sert de gouvernail, sa vergue inférieure est attachée à une corde qui se manie de la nacelle. La discussion du parallélogramme des vitesses V du vent et u du ballon fait connaître l'angle I de la route résultante sur la direction de vent, ainsi que la possibilité ou le moyen d'atteindre une destination donnée. On reconnaît que le maximum I_1 de I répond au cas où l'on oriente le cap perpendiculairement à la route suivie sur le sol.

Le gaz employé a été l'hydrogène provenant de l'action de l'acide sulfurique et de l'eau sur la tournure de fer, puis lavé et séché.

L'ascension s'est faite au fort neuf de Vincennes. Gonflé (avec le ballonnet affaissé, pour simplifier l'opération) et lesté en équilibre au ras du sol, le ballon avait une force ascensionnelle de 3799 kilogrammes, égale au total des poids :

Aérostat proprement dit, avec tous ses accessoires et instrument d'observations.	1776^{kg}	Ensemble 3799^{kg}
14 hommes d'équipage, bagages et vivres . . .	1148	
Colis à porter à destination.	275	
Lest disponible	600	

On est parti en abandonnant 150 kilogrammes de lest. Étaient à bord : M. Dupuy de Lôme, MM. Zédé, ingénieur de la marine, Yon et Dartois, aéronautes, Bouron, contre-maître de la maison Claparède. Un anémomètre spécial donnait la vitesse propre de l'aérostat dès que l'hélice entrait en mouvement. Divers procédés, empruntés à la pratique des marins ou imaginés pour les besoins de la navigation aérienne, boussole, baromètre anéroïde, permettaient de rapporter la route sur une carte. Voici les éléments mesurés entre 560 mètres et 910 mètres d'élévation, 8 hommes agissant sur les manivelles motrices de l'hélice et développant un travail qu'on ne saurait estimer à plus de 60 kilogrammètres par seconde.

ANGLE, sur la direction qu'imprimerait l'action seule du vent,		Vitesse par seconde		Nombre de tours de l'hélice.
de l'orientation donnée au cap.	de la route résultante suivie.	propre à l'aérostat.	résultante.	
°	°	m	m	
97	12	2,35	12	25
85	10	2,45	16	26
84	11	2,82	17	27,5

OBSERVATION. — Vent fort, d'une intensité croissante; vitesse avec l'hélice stoppée comprise entre 12 mètres et 17 mètres.

En lâchant 300 kilogrammes de lest, on s'est élevé jusqu'à 1020 mètres.

Au moment d'atterrir, le lieu désigné par le *point* fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur une carte, Mondécourt près de Noyon, s'est trouvé vrai : les observations de vitesses et d'orientations de routes étaient donc exactes. La stabilité a été merveilleuse. Plusieurs personnes pouvaient se déplacer à la fois dans la nacelle sans produire aucune oscillation. Intentionnellement, on descendit de 1020 mètres à 600 mètres sans user encore du ballonnet : les plis de l'aérostat étaient alors très-accentués, et il devint intéressant de voir la tension de telle ou telle balancine maintenir l'horizontalité du grand axe du ballon. La descente a été fort belle, sans choc, malgré le vent.

Les résultats de l'expérience de M. Dupuy de Lôme sont fort beaux et paraissent donner à peu près tout ce qu'on peut espérer de la navigation aérienne. Faut-il répéter, avec la plupart des publicistes et avec le savant ingénieur, qu'ils seraient bien plus beaux en remplaçant 7 des travailleurs par « une machine à vapeur de 8 chevaux, propre à donner à l'aérostat une vitesse propre de 22 kilomètres à l'heure, lui permettant de se dévier du vent d'un angle considérable, et, souvent même, de suivre toute route voulue.

Cette conséquence nous paraît exagérée. Outre le danger de l'emploi de la machine à feu sous un ballon rempli d'hydrogène, souvent plus ou moins mélangé d'air, la machine humaine, dont le travail correspond à la combustion des matières alimentaires, est loin d'être inférieure à la machine à vapeur. Pour la plupart des systèmes de machines, elle est moins lourde à travail égal. Sans doute M. Giffard a combiné précisément, en vue de l'aérostation, ses petites machines à grande vitesse de piston, qui sont très-légères ; mais il ne faudrait pas que la traversée durât quelques heures, que l'approvisionnement d'eau et de combustible fût bien considérable, pour que la supériorité revînt à la machine humaine. On n'aura toujours ainsi qu'un appareil dangereux, ne pouvant servir que quelques heures, incapable de lutter contre des vents notables. On rencontre rarement des circonstances qui rendraient utile l'emploi d'un semblable système.

Travaux de M. Giffard.—Il serait injuste d'oublier ici ces travaux de M. Giffard, qui, comme inventeur, avait ouvert la voie à l'ingénieur expérimenté dont nous venons d'analyser le travail.

Nous emprunterons quelques détails sur son ascension de 1852, et sur l'installation d'une machine à vapeur qu'il a eu le courage de tenter, à une lettre publiée par lui à cette époque.

Elle ne relate pas les dangers qu'il a courus lors de la descente surtout et qui font apprécier la valeur d'une étude complète, qui a conduit à une bonne proportion d'hélice et surtout à la construction d'un aérostat allongé, d'une grande stabilité, ce qu'on n'avait pas su faire avant M. Dupuy de Lôme.

« L'appareil aéronautique, dont je viens de faire l'expérience, a présenté pour la première fois dans l'atmosphère la réunion d'une machine à vapeur et d'un aérostat d'une forme nouvelle et convenable pour la direction.

« Cet aérostat est allongé et terminé par deux pointes; il a 12 mètres de diamètre au milieu et 44 mètres de longueur; il contient environ 2,500 mètres cubes de gaz; il est enveloppé de toutes parts, sauf à la partie inférieure et aux pointes, d'un filet dont les extrémités ou *pattes d'oie* viennent se réunir à une série de cordes fixées à une traverse horizontale en bois de 20 mètres de longueur; cette traverse porte à son extrémité une voile triangulaire assujettie par un de ses côtés à la dernière corde partant du filet, et qui lui tient lieu de charnière ou axe de rotation.

« Cette voile représente le gouvernail et la quille ; il suffit, au moyen de deux cordes qui viennent se réunir à la machine, de l'incliner de droite à gauche pour produire une déviation correspondante à l'appareil et changer immédiatement de direction. A défaut de cette manœuvre, elle revient aussitôt se placer d'elle-même dans l'axe de l'aérostat, et son effet normal consiste alors à faire l'office de quille ou girouette, c'est-à-dire à maintenir l'ensemble du système dans la direction du vent relatif.

« A 6 mètres au-dessous de la traverse sont suspendus la machine à vapeur et tous ses accessoires.

« Elle est posée sur une espèce de brancard en bois, dont les quatre extrémités sont soutenues par des cordes de suspension, et dont le milieu, garni de planches, est destiné à supporter les personnes et l'approvisionnement d'eau et de charbon.

« La chaudière est verticale et à foyer intérieur sans tubes; elle est entourée extérieurement, en partie, d'une enveloppe en tôle qui, tout en utilisant mieux la chaleur du charbon, permet au gaz de la combustion de s'écouler à une plus basse température; la cheminée est dirigée de haut en bas, et le tirage s'y opère au moyen de la vapeur qui vient s'y élancer avec force à sa sortie du cylindre, et qui, en se mélangeant avec la fumée, abaisse encore considérablement sa température tout en les projetant rapidement dans une direction opposée à celle de l'aérostat.

« La combustion du charbon a lieu sur une grille complétement entourée d'un cendrier, de sorte qu'en définitive il est impossible d'apercevoir extérieurement la moindre trace de feu.

« La vapeur produite se rend aussitôt dans la machine proprement dite; celle-ci est à un cylindre vertical dans lequel se meut un piston qui, par l'intermédiaire d'une bielle, fait tourner l'arbre coudé placé au sommet. Celui-ci porte à son extrémité une hélice à 3 patelles de $3^m,40$ de diamètre, destinée à prendre le point d'appui sur l'air et à faire progresser l'appareil. La vitesse de l'hélice est d'environ 110 tours par minute, et la force que développe la machine pour la faire tourner est de 3 chevaux, ce qui représente la puissance de 25 ou 30 hommes. ».

IMITATION DU VOL DES OISEAUX.— Disons un mot, en terminant, du système que des inventeurs reproduisent périodiquement, qui consiste à donner le moyen de voyager dans l'air, au moyen d'ailes plus ou moins analogues à celles des oiseaux, dont le vol a toujours excité la jalousie de l'homme, comme le montre la tradition d'Icare.

L'homme ne peut jamais espérer voler dans les airs par sa seule puissance ; son poids est trop grand par rapport au travail qu'il peut produire par unité de temps, et il ne saurait être comparé à l'oiseau qui, pesant si peu, dépense tant d'efforts dans un vol rapide, énergie en rapport avec sa respiration accélérée, car les oiseaux ont aussi le degré de chaleur animale le plus élevé parmi tous les animaux. L'homme peut nager, parce que la densité de l'eau est assez voisine de celle de ses tissus, pour qu'une partie importante de son poids s'y trouve annulée. C'est précisément ce qui arrive aux oiseaux dans l'air, et leurs plumes si légères rendent leur poids minime, relativement à leur volume.

Nous voyons la même condition satisfaite pour les poissons, immergés aussi dans un fluide; non-seulement leur densité est peu différente de celle des liquides, mais ils la diminuent à volonté au moyen de l'espèce de ballon qu'ils portent à l'intérieur de leur vessie natatoire, qui leur permet de monter ou descendre, et qui fait que leur poids est toujours annulé dans la couche d'eau où ils se déplacent par l'action de leur nageoire.

Un simple calcul montre facilement combien le problème est insoluble. La résistance de plateaux de surface S, mus dans l'air, avec une vitesse V, a été trouvée par Piobert égale à un nombre de kilogrammes exprimés par la formule $0,084\ SV^2$.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Demandons-nous quelle devrait être la surface de l'espèce d'aile, du plateau qu'un homme, pesant 65 kil., devrait manier pour se soutenir dans l'air ou pour qu'on ait en chaque instant :

$$65 = 0{,}084\ SV^2.$$

L'effort musculaire que l'on peut faire pour soulever un poids égal à celui du corps ne peut être produit qu'avec une très-faible vitesse ; les expériences indiquent qu'on ne peut pas l'évaluer à plus de 0m,25. L'équation ci-dessus donne alors :

$$65 = 0{,}084 \times 0{,}0625\ S = 0{,}00525\ S,$$

d'où $S = 12{,}370$ mètres carrés !

APPAREILS PLUS LOURDS QUE L'AIR. — En faisant appel à la puissance des machines, on peut combiner des systèmes propres à élever des poids dans l'air ; c'est ainsi que l'hélice, tournée rapidement, s'élève dans certains jouets. Cela a été proposé, en effet, à diverses reprises et sous diverses formes, mais toujours dans des projets vagues et mal étudiés ; ils n'ont jamais passé par les mains d'ingénieurs capables de mesurer les poids, les surfaces, les quantités de travail nécessaires pour atteindre le but, ou, plutôt, ils ont toujours conduit à des impossibilités. Avec une quantité relativement très-grande de travail, on peut produire de petits effets de ce genre, mais rien de plus ; nous citerons le *spiralisateur*, dont l'hélice, qui pèse quelques grammes, peut s'élever à 15 ou 20 mètres, lorsqu'un homme sait la bien lancer au loin. Mais ce ne sont pas là des systèmes pouvant servir à parcourir à volonté les régions de l'air, en y supportant des poids notables. On ne pourrait poser des chiffres sans arriver à des résultats analogues à ceux que nous avons trouvés ci-dessus, en cherchant la solution du problème du vol au moyen de la force musculaire de l'homme. Mais, ajoute-t-on, on trouvera dans l'avenir des moteurs tellement puissants et si légers, que tout ce qui nous paraît impossible aujourd'hui deviendra alors facile. Il serait aisé d'établir que c'est là un rêve, si l'on veut tenir quelque peu compte des prix de revient, que la source de tout travail mécanique étant la chaleur, il est absurde de croire que l'on trouvera des machines à feu utilisant incomparablement mieux que les corps organisés la chaleur produite par la combustion de la partie assimilée de leurs aliments.

En résumé, laissant de côté la question de prix, on peut, pour satisfaire à quelques esprits passionnés, accorder qu'il n'est pas impossible que, quelques composés chimiques coûteux, comme la poudre, la dynamite, que l'on peut considérer comme des réservoirs de travail, puissent servir à alimenter des machines à la fois très-puissantes et très-légères, ou plutôt agir directement par réaction comme la poudre dans la fusée qui s'élève et se maintient en l'air, dans une direction voulue, tant que toute la poudre n'est pas brûlée, en utilisant la réaction (qui serait peut-être une des formes les moins défectueuses d'utilisation d'un travail moteur), et qu'un jour, peut-être, on pourra faire dans l'air, quand il y aura peu de vent, des transports qui coûteront mille fois plus cher, au moins, que par chemin de fer. Ce n'est pas la peine de faire tant d'efforts pour avoir quelques chances d'obtenir un pareil résultat.

AFFILER. Voyez AFFUTER.

AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT, DÉPART (*angl.* refining of gold silver, parting ; *all.* Scheidung in die Quart). La séparation des matières d'or et d'argent est l'objet d'une industrie d'une certaine importance à cause de la valeur de ces métaux. Elle se fait soit au moyen de l'acide nitrique, soit au moyen de l'acide sulfurique.

Parlons d'abord de l'emploi de l'acide nitrique aujourd'hui abandonné.

Le degré de concentration de l'acide nitrique, le plus convenable pour effectuer le *départ*, est celui qui correspond à une densité de 1,320 ; s'il ne se trouble pas lorsqu'on y verse quelques gouttes de nitrate d'argent, il ne contient pas d'acide muriatique, et est propre au *départ*. S'il en renfermait on le purifierait en ajoutant assez de nitrate d'argent pour précipiter tout l'acide hydrochlorique à l'état de *chlorure d'argent*. La petite quantité d'acide sulfurique qu'il peut contenir n'offre aucun inconvénient.

Le procédé du *départ* par l'acide nitrique est fondé sur ce principe, que l'argent est soluble dans l'acide nitrique, tandis que l'or ne l'est pas. L'expérience démontre que, pour que l'alliage soit complétement attaqué, la composition la plus convenable correspond à trois parties d'argent en poids pour une d'or. Il faut théoriquement 38 kilogr. d'acide nitrique ayant une densité de 1,320 pour oxyder 100 kilogr. d'argent et 111 kilogr. d'acide pour dissoudre l'oxyde formé, en tout 149 kilogr. d'acide nitrique ; mais l'affineur en consomme souvent plus de 200 kilogr., par suite des moyens imparfaits qu'il emploie pour condenser les vapeurs acides. On évite cette perte au moyen d'un vase de grande dimension placé à la suite de celui dans lequel a lieu l'attaque, qui est refroidi par de l'eau et communique avec l'air extérieur par des tubes remplis de fragments siliceux humectés d'eau ; l'acide nitrique donne lieu, par suite de la réaction à des vapeurs nitreuses qui absorbent de l'oxygène dans le réservoir annexé, et se transforment de nouveau, presqu'en totalité, en acide nitrique : de sorte qu'en définitive, la quantité d'acide dépensée se réduira à peu près aux 110 kilogr. nécessaires pour dissoudre l'oxyde d'argent. On peut admettre qu'en opérant avec soin, il suffira de 120 kilogr. d'acide pour opérer le départ d'un alliage de 100 kilogr. d'argent et de 25 kilogr. d'or.

Comme 100 kilogr. de cuivre exigent théoriquement pour s'oxyder 130 kilogr. d'acide nitrique, ayant une densité de 1,320 et 390 kilogr. pour dissoudre l'oxyde formé, en tout 520 kilogr. d'acide, il importe que l'alliage soumis au départ ne renferme pas de cuivre.

Ces données ayant été adoptées comme base de l'opération, on introduit 30 kilogr. de l'alliage d'or et d'argent grenaillé, devant contenir à peu près de 21 à 22 kilogr. d'argent, dans la cornue de platine dont la capacité est de 45 litres, puis on verse par la tubulure 40 kilogr. d'acide nitrique à la densité de 1,320 ayant un volume de 27 litres.

A l'aide du système décrit plus haut, on pourra recueillir de 10 à 15 kilogr. d'acide sur les 40 kilogr. introduits. Lorsqu'en ouvrant l'orifice on ne voit plus apparaître de vapeurs nitreuses rougeâtres, on retire le feu, et, après avoir laissé refroidir, on démonte l'appareil ; on décante ensuite le liquide ; on traite enfin par de l'acide nitrique pur bouillant et plus concentré la poudre d'or restée au fond de la cornue, pour dissoudre les dernières parcelles d'argent, et on lave avec soin le résidu par décantation avec de l'eau distillée. Enfin, après l'avoir desséché, on le fond dans un creuset avec un peu de borax et de nitre, et on coule dans des lingotières ; c'est de l'or fin.

On précipite la dissolution nitrique et les eaux de lavage, le tout préalablement étendu d'eau distillée, par des lames de cuivre ; il se forme du nitrate de cuivre qui colore la liqueur en bleu, et l'argent se précipite à l'état métallique. On lave le précipité d'argent avec de l'eau distillée bouillante pour enlever tout le nitrate de cuivre qu'elle contient, puis on le comprime à l'aide d'une presse hydraulique dans des cylindres en fonte. Les culots, fondus dans des creusets avec un peu de nitre et de borax et coulés dans des lingotières, donnent de l'argent fin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si l'on veut revivifier le nitrate de cuivre, l'appareil indiqué ci-dessus permet de recueillir une portion considérable de l'acide nitrique, en évaporant d'abord le nitrate presqu'à siccité, puis rajustant le tuyau de communication avec le condenseur, et augmentant graduellement le feu pour expulser l'acide; l'oxyde de cuivre se déposera au fond de la cornue, sous forme d'une masse noire, et si on a eu soin d'entretenir le gravier des tubes constamment humide, l'acide nitrique est régénéré sans autre dépense qu'un peu de chauffage.

Après avoir séparé l'oxyde de cuivre, on peut l'employer à préparer du sulfate de cuivre en ajoutant 122 parties d'acide sulfurique, étendues d'eau, pour 100 d'oxyde. Quant à la quantité de cuivre nécessaire pour précipiter l'argent, elle est de 29 kil. pour 100 kil. d'argent.

Dans le départ au moyen de l'acide nitrique, l'or retient un peu d'argent, ce qu'on démontre en le dissolvant dans l'eau régale, et étendant d'eau, il se forme au bout de quelques heures un précipité opalin de chlorure d'argent. De même l'argent obtenu contient une petite quantité d'or.

M. *Dizé* a eu l'idée de remplacer l'acide nitrique par l'acide sulfurique, au moyen duquel on peut séparer de l'argent affiné, par le procédé décrit plus haut, une certaine quantité d'or. Ce procédé est généralement adopté en France, et a permis de retirer de l'argent affiné par l'acide nitrique, un millième de son poids d'or. Ce qui donne un produit de 3,444 fr. 44 c. par 1,000 kil. d'argent.

L'alliage le plus convenable au départ par l'acide sulfurique se compose d'or, d'argent et de cuivre, dans le rapport de 200, 725 et 75, en tout 1,000. Il ne doit jamais contenir plus d'or, parce qu'alors tout l'argent ne serait pas attaqué, et il ne doit pas non plus contenir plus de cuivre, sans quoi le sulfate de ce métal qui se formerait, et qui est insoluble dans l'acide sulfurique concentré, empâterait l'alliage et le garantirait de l'action de l'acide. Si l'alliage contient des métaux oxydables, tels que du plomb, de l'étain, etc., en quantité un peu grande, on commencera par les séparer au moyen de la coupellation. Si la proportion de ces métaux est très petite, leur séparation s'exécute en même temps que celle du cuivre en excès par l'opération de la *poussée*, en fondant l'alliage avec un peu de nitre.

Le procédé de départ par l'acide sulfurique, pour l'argent contenant peu d'or se compose des cinq opérations suivantes :

1° On a plusieurs fourneaux de 0m,32 de diamètre, sur chacun desquels on place des cornues en platine de forme ovale; on charge dans chaque cornue 3 kil. d'argent aurifère granulé, et 6 kil. d'acide sulfurique concentré. Les cornues ont des chapiteaux coniques terminés par des tubes recourbés qui conduisent les vapeurs acides dans des tuyaux en plomb, faisant office de condenseurs. Comme l'acide sulfurique n'attaque pas à froid l'alliage, on chauffe jusqu'à l'ébullition; une partie de l'acide se décompose alors en oxygène, qui s'unit à l'argent et au cuivre métalliques, et en acide sulfureux qui se dégage, une autre partie dissout les oxydes et forme des sulfates qui se déposent en partie sous la forme de poudre cristalline, parce qu'ils sont peu solubles dans l'acide sulfurique concentré. La dissolution s'opère très rapidement pendant les premières heures, puis elle se ralentit et n'est complète qu'au bout de douze heures. Pendant l'ébullition une certaine quantité d'acide sulfurique non décomposé se vaporise et s'échappe avec l'acide sulfureux. On la condense dans un grand récipient en plomb maintenu à une basse température. On a proposé de condenser l'acide sulfureux en le mettant en contact avec du lait de chaux sur une grande étendue de surface, dans des appareils analogues à ceux qu'on emploie pour purifier le gaz d'éclairage.

2° Quand tout l'argent a été converti en sulfate, on le transvase dans un réservoir en plomb, et on l'étend d'eau pure jusqu'à ce que la dissolution marque 15 ou 20° de l'aréomètre de Baumé; quant à la poudre d'or non attaquée, on la lave avec de l'eau distillée et bouillante, et l'on ajoute les eaux de lavage à la dissolution précédente. On précipite ensuite l'argent par des lames de cuivre, on lave avec soin le précipité avec de l'eau bouillante, puis on le soumet encore humide à une forte compression, afin d'en séparer les dernières parties de sulfate de cuivre.

3° L'argent précipité et desséché est fondu dans un creuset et coulé en lingots.

4° L'or est de même desséché et fondu en ayant soin de lui ajouter un peu de nitre, afin d'oxyder et de séparer les quelques molécules de cuivre qui peuvent n'avoir pas été dissoutes.

5° Comme le sulfate de cuivre a une valeur assez grande, il faut neutraliser sa dissolution, l'évaporer et faire cristalliser dans des cristallisoirs en plomb. Les fermiers consomment en France une immense quantité de ce sel pour chauler leur blé, en l'humectant avant les semailles avec une dissolution qui marque 2 ou 3° à l'aréomètre de Baumé, ce qui le préserve des ravages des oiseaux et des insectes.

L'or pur, à l'instant de son départ par l'acide sulfurique, étant en poudre très fine, et à une température assez élevée, tend à se souder au platine et à épaissir ainsi le fond de la cornue; comme il est important et pour la conservation de la cornue, et pour l'économie du chauffage de pouvoir ôter la croûte d'or qui s'y dépose, les affineurs se servent de petites quantités d'eau régale étendue qui dissout rapidement l'or et n'attaque pas sensiblement le platine. Cette opération est délicate et exige de la circonspection. La formation de ces dépôts augmente par l'emploi d'une trop forte chaleur et d'une trop faible quantité d'acide relativement à celle de l'alliage. Il convient donc d'employer de grandes cornues. On doit surtout éviter la présence du plomb et de l'étain, qui détruiraient promptement les vases en platine, accident qui est arrivé plus d'une fois.

Depuis l'emploi des nouveaux procédés d'affinage, les lingots contenant plus d'un dixième d'or sont pris par les affineurs, comme or fin; ils rendent l'or et l'argent, gardent le cuivre, et reçoivent seulement 5 fr. 50 c. par kilogr. pour frais d'affinage.

Pour un lingot d'argent contenant moins d'un dixième d'or, l'affineur garde un millième de l'or et le cuivre du lingot, rend le reste de l'or, tout l'argent, et paie au propriétaire une prime qui s'élève jusqu'à 0 fr. 75 c. par kilogr.; et si le propriétaire veut avoir tout l'or et tout l'argent, il paie à l'affineur, qui garde en outre le cuivre, 2 fr. 68 c. par kilogr. Pour l'argent à bas titre, le cuivre seul en fait les frais.

Les ateliers d'affinage de MM. Saint-André et Poisat, rue de la Fidélité, à Paris, sont peut-être les plus beaux de ce genre, qui existent au monde. La chambre principale a 80 mètres de long, 13 mètres de large et environ 10 mètres de haut; une grande cheminée s'élève en son milieu, et il y en a une autre à chacune des extrémités. L'une des moitiés de l'atelier sert au *départ* proprement dit; l'autre moitié renferme les chaudières et cuves employées pour faire évaporer et cristalliser le sulfate de cuivre obtenu, et pour concentrer l'acide sulfurique condensé dans le récipient. On fond l'argent dans des creusets en fer forgé, capables d'en contenir plusieurs quintaux, et on le granule en le coulant dans des cuves métalliques remplies d'eau. Les grenailles d'argent sont desséchées, puis transportées dans un bureau bien éclairé, entouré de châssis vitrés, où elles sont pesées, enregistrées, et réu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nies en portions d'un poids déterminé. Chacune de ces portions est mise dans une chaudière hémisphérique et légèrement aplatie, en fonte, ayant 0m,65 environ de diamètre, et recouverte d'un chapiteau également en fonte. Un tuyau de dégagement placé au sommet du chapiteau communique avec un récipient de forme allongée en plomb, qui est situé au-dessous du niveau du plancher. Ces chaudières, dont le fond est baigné par la flamme, sont placées par couple sur chaque fourneau, parallèlement au petit axe de l'atelier. Les fourneaux sont disposés symétriquement par rapport au grand axe de l'atelier, de telle sorte que l'on puisse circuler librement tout autour.

On emploie 2 parties en poids d'acide sulfurique concentré pour 1 partie d'argent, et on fait bouillir lentement jusqu'à ce que tout l'argent soit transformé en un sulfate pâteux; le récipient souterrain en plomb, dans lequel se condense la petite quantité d'acide sulfurique entraînée avec l'acide sulfureux, communique par un tuyau vertical en plomb, de 0m,10 de diamètre, à l'une des extrémités d'une grande chambre en plomb, située dans la charpente de l'atelier et solidement soutenue par de forts chevrons en bois. Cette chambre qui a 10m de long, 3m,30 de large, et 2m de haut, sert à condenser et à recueillir l'acide sulfurique, que l'on obtient en faisant arriver au milieu de l'acide sulfureux venant du récipient souterrain une certaine quantité de vapeurs nitreuses d'air et de vapeur d'eau; tout à fait comme cela se pratique dans la fabrication de l'acide sulfurique dans des chambres de plomb (voyez acide SULFURIQUE). Un grand tuyau carré en plomb, partant de l'autre extrémité de la chambre, et légèrement incliné, amène l'acide qui s'est condensé dans un petit réservoir en plomb, qui lui-même décharge par un autre tuyau dans la cheminée centrale les produits gazeux non condensés, et entretient ainsi un tirage continu, à travers toutes les chambres en plomb jusqu'aux cornues en fonte.

Outre les cornues en fonte, ne servant qu'à traiter l'argent allié de cuivre qui ne contient qu'une très petite quantité d'or, il y a au milieu de l'atelier et près de la cheminée six cornues en platine, dans lesquelles on traite les alliages assez riches en or.

Le sulfate d'argent pâteux, avec excès d'acide obtenu dans les cornues en fonte, est transvasé avec une cuillère en fonte à long manche dans de grandes cuves en plomb attenantes aux cornues, et étendu d'eau, jusqu'à ce qu'il marque 36° à l'aréomètre de Baumé. On y fait alors arriver de la vapeur d'eau par une série de tuyaux verticaux en plomb, placés sur toute la longueur du réservoir et plongeant presque jusqu'au fond; la liqueur entre bientôt en ébullition, et on continue de faire arriver de la vapeur d'eau jusqu'à ce que l'aréomètre ne marque plus que 22 degrés. On transvase alors le sulfate à l'aide de siphons en plomb, dans de grands bassins, à fond arrondi également en plomb; où on le précipite par des lames minces de cuivre; on décante enfin le sulfate de cuivre dans un bassin inférieur, où on le laisse reposer et s'éclaircir.

Le précipité d'argent est égoutté, puis fortement comprimé à l'aide d'une presse hydraulique dans des moules en fonte à section carrée. On opère sur 30 kilogr. d'argent à chaque fois. Les culots d'argent ainsi obtenus, sont desséchés, et fondus dans des creusets en graphite, dans un fourneau placé à côté du bureau de contrôle qui, comme nous l'avons dit, est fait avec des cloisons vitrées, de sorte que l'inspecteur peut voir tout ce qui se passe dans l'atelier.

Le sulfate de cuivre est évaporé jusqu'au degré de concentration convenable, dans de larges chaudières à fond plat en plomb, placées sur une même rangée dans le second compartiment de l'atelier, puis transvasé à l'aide de siphons dans des cristallisoirs également en plomb. Après avoir laissé reposer pendant trois à quatre jours, on concentre de nouveau les eaux-mères.... et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elles marquent 60° à l'aréomètre de Baumé; elles ne retiennent plus alors que des traces de sel; on achève de les concentrer jusqu'à 66° dans les cornues en platine; elles se décolorent complétement et sont employées comme de l'acide neuf.

On obtient d'abord des cristaux de sulfate de cuivre hydraté (vitriol bleu), mais dès que la concentration est arrivée à un certain point, l'affinité de l'acide sulfurique pour l'eau est telle que les eaux-mères ne donnent plus que des masses blanches, confusément cristallisées, de sulfate de cuivre anhydre, qu'on redissout dans de l'eau pure, pour le faire cristalliser de nouveau à l'état hydraté, et le livrer au commerce. On peut affiner par jour dans l'établissement de MM. Saint-André et Poisat, au moins 250,000 fr. Une petite machine à vapeur de la force de 6 chevaux, met en mouvement les pompes en plomb, qui amènent l'acide sulfurique étendu et les dissolutions de sulfate acide de cuivre dans les chaudières de concentration, un appareil pour pulvériser les vieux creusets, et un petit moulin d'amalgamation qui consiste en deux segments de sphère, tournant autour d'un axe vertical, dans une cuve en fonte à fond hémisphérique. Le sol de l'atelier est couvert d'une grille en fer; la poussière et les boues qui se rassemblent dans les interstices et au-dessous sont recueillies de temps à autre, et portées au moulin d'amalgamation. Il n'y a en tout que dix ouvriers, et il suffit que l'argent traité renferme $\frac{1}{2\,5\,2\,3}$, ou un peu moins de 0,0004 d'or pour compenser les frais de départ. Voyez *Complément*, INSALUBRES (ART.)

AFFINITÉ. Terme de chimie, désignant la force attractive particulière qui produit la combinaison de substances de différentes nature; comme, par exemple, celle d'un alcali avec un acide, ou du soufre avec un métal.

AFFUT. On donne le nom d'affût au système qui supporte la pièce de canon.

Trois choses sont à considérer pour déterminer la composition d'un affût : le tir, les manœuvres et le transport. Il faut donc un affût différent pour chaque espèce de service auquel la pièce est destinée. Nous examinerons successivement : l'affût de campagne et de montagne, l'affût de siége, l'affût de place et côte, et l'affût marin, en décrivant les formes adoptées par l'artillerie française, qui depuis le remaniement complet de son matériel en 1827, peuvent être regardées comme celles qui approchent le plus de la perfection.

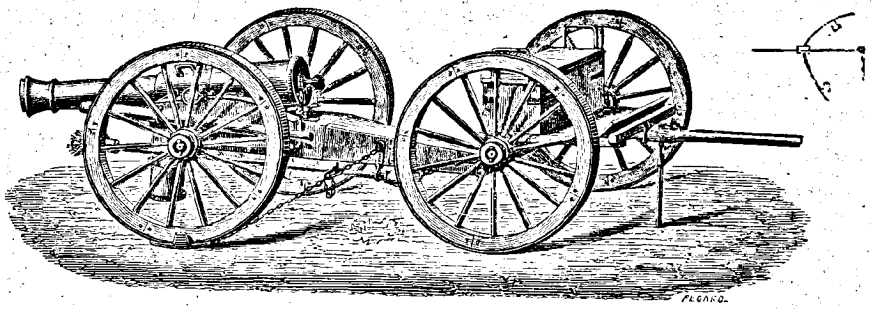
AFFUT DE CAMPAGNE. L'artillerie de campagne se compose : de pièces de 8 et d'obusiers de 24 pour les batteries de position, de pièces de 12 et d'obusiers de 6 pouces pour les batteries de réserve. Deux affûts seulement suffisent au service de ces quatre bouches à feu, construits d'après les mêmes principes et composés des mêmes pièces, ils ne diffèrent entre eux que par des détails.

La mobilité est la première condition de l'artillerie de campagne. L'affût se compose de deux parties principales, l'affût proprement dit et son avant-train, qui, réunis, forment une voiture complète à quatre roues. (fig. 35). Lorsqu'il s'agit de faire feu, on détache l'affût de son avant-train, et l'on a : d'un côté, l'avant-train, voiture à deux roues; d'un autre, l'affût reposant à terre par trois points; ses deux roues et l'extrémité de sa *flèche* (fig. 36).

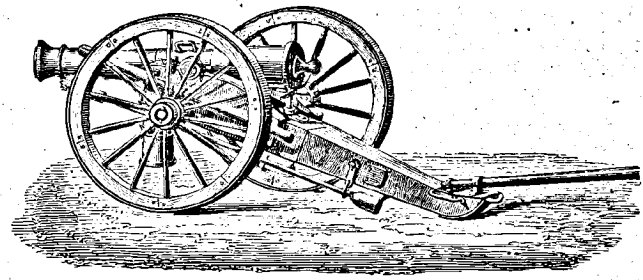
On appelle *flasques* les deux pièces sur lesquelles est immédiatement portée la bouche à feu, les tourillons y sont reçus dans deux logements dits *encastrements*, les flasques reposent à leur tour sur l'essieu, et sont réunis à la *flèche*, à la hauteur de la culasse. En ce point est la vis de pointage, destinée à donner à l'âme de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

35.



36



bouche à feu une inclinaison convenable. La construction limite cette inclinaison seulement jusqu'aux portées pour lesquelles le tir a de la justesse; sans cette précaution, il arriverait souvent que des chefs de batterie, contraints d'obéir aux ordres d'officiers étrangers à l'artillerie feraient consommer inutilement les munitions.

La direction est donnée au moyen d'un levier fixé dans une lunette à l'extrémité de la flèche; ce levier peut s'enlever à volonté quand on unit l'affût avec son avant-train.

L'affût doit porter le long de ses flasques, et fixées par des moyens simples qui les retiennent malgré les cahots, toutes les pièces de l'armement, telles que: deux écouvillons, un tire-bourre, deux leviers de pointage et un seau d'eau pour rafraîchir la pièce, quand un tir précipité l'échauffe d'une manière dangereuse. La hauteur des flasques doit être telle que la pièce puisse être chargée avec aisance.

A ces conditions il s'en joint d'autres de formes et de résistance, dont on ne peut se rendre compte sans entrer dans quelques considérations sur l'action de la poudre.

Lorsqu'une pièce fait feu, le fond de l'âme éprouve une réaction qui est communiquée à l'affût par les tourillons unis aux flasques dans les encastrements. On comprend que chaque partie de l'affût éprouve des percussions qui tendent à le détruire, et que l'habileté du constructeur consiste à les combattre; il est guidé en cela par les principes suivants :

1° Les percussions s'affaiblissent quand on augmente le poids de la bouche à feu par rapport à celui du projectile, et d'un autre côté la percussion exercée sur les encastrements des flasques est d'autant moindre que l'affût offre moins de résistance au recul; il faut donc que le poids de la pièce soit un maximum, et le poids de l'affût un minimum.

2° La flèche souffre beaucoup des percussions : plus l'angle qu'elle fait avec le terrain est aigu, plus elles sont amorties, il faut cependant remarquer que ce principe n'a de véritable importance que pour de grandes variations de cet angle qui affecte alors d'une manière sensible le recul.

La flèche se trouve affaiblie par le logement de la vis de pointage et un boulon d'assemblage, précisément en un des points où la réaction est la plus vive, surtout dans le tir des obusiers, dont le poids est inférieur à celui des canons; il faut donc apporter le plus grand soin à la qualité du bois de construction que l'on emploie.

3° La tête de l'affût choque l'essieu, et il se forme souvent une fente à l'angle antérieur de l'encastrement d'essieu. Ce choc est causé par l'inertie et le frottement des roues. On ne peut songer à le combattre en diminuant le recul qui est nécessaire; il ne reste donc qu'à rendre le poids des roues, un minimum.

4° Le frottement des fusées et des moyeux est de peu d'influence sur le recul, quand les essieux sont en fer et les boîtes en bronze; mais il devient très important, si l'on augmente le rayon moyen des fusées, et si, par exemple, en faisant rouler les roues sur leurs moyeux, on met en contact des substances d'un grand frottement.

Manœuvre et transport. L'affût s'unit à l'*avant-train* au moyen d'un simple crochet ou *cheville ouvrière;* il faut donner par conséquent peu d'élévation à cette articulation, rendre toujours visibles la lunette et la cheville ouvrière, et placer le centre de gravité du système de telle manière que la flèche puisse être facilement soulevée par deux hommes; la manœuvre est facilitée par deux poignées en fer; malgré ces précautions l'opération d'attacher l'affût à l'avant-train peut paraître trop longue dans certains cas, alors tous deux restent liés pendant le tir au moyen d'une corde nommée *prolonge*, et l'on peut dans cet état les faire manœuvrer au galop. Ce moyen d'union doit être employé le plus rarement possible. La prolonge est portée toute roulée sur la flèche de l'affût.

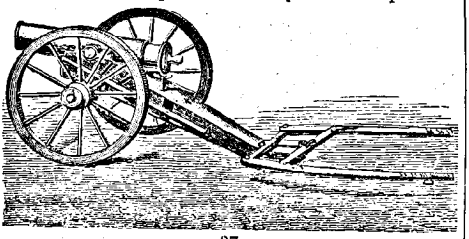
Le crochet cheville ouvrière se trouve en arrière de l'essieu de l'avant-train, de plus, les flasques, au lieu d'être prolongés jusqu'à la lunette, étant remplacés par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une flèche de peu de largeur, la voiture, quoique munie de roues d'égale hauteur à son avant-train et à son arrière-train, satisfait aux conditions de roulage et de tournant nécessaires au service. Deux plaques en fer sont placées sur la flèche, aux deux endroits où doivent venir frotter les roues de l'avant-train. La position de la cheville ouvrière en arrière de l'essieu laisse aux deux trains une indépendance complète; cette indépendance assure la mobilité du système.

La roue de 1m,49 de diamètre d'un modèle unique convient à toutes les voitures de campagne, ce qui donne une grande simplicité; mais ces avantages sont rachetés par quelques inconvénients. Le timon de l'avant-train, privé de contre-appui, obéit à toutes les secousses de la voiture, et ces réactions doivent être supportées par les deux chevaux de derrière, elles leur sont communiquées par deux branches en fer fixées à l'extrémité du timon et engagées dans un anneau à la partie inférieure du collier. Pour diminuer ces réactions autant que possible, on dispose le centre de gravité de telle sorte que les chevaux portent constamment au moyen de leurs supports 14 à 18 kilogr. selon que l'avant-train est vide ou chargé. De plus ces mêmes secousses et le support qui les transmet, ne permettent pas d'attacher à l'extrémité du timon une *volée* pour les attelages de devant; en sorte qu'il faut les faire tirer directement sur les traits des chevaux de derrière, ce qui est le mode le plus vicieux pour utiliser leurs efforts.

AFFUT DE MONTAGNE. L'artillerie de montagne est en quelque sorte un appendice de l'équipage de campagne, car son emploi commence précisément quand le



37.

terrain n'est plus accessible aux voitures. La pièce unique dont on se sert alors est un obusier de 12, pesant 100 kilogr., charge ordinaire d'un mulet de bât. L'affût ne doit pas excéder ce poids.

Le corps d'affût est formé d'une seule pièce de bois. Sa partie antérieure convenablement évidée, reçoit l'obusier, soutient les tourillons, et permet de pointer sous tous les angles nécessaires au-dessus et au-dessous de l'horizon.

La voie est au plus de moitié de celle des autres voitures, à cause des chemins creux et encaissés qui se trouvent dans les pays montagneux. Le recul doit être aussi limité que possible, puisque ces bouches à feu sont destinées à tirer souvent sur des emplacements fort resserrés, ou sur des rampes ascendantes, et cependant l'affût doit être fort léger; il a donc fallu faire usage d'essieux en bois, diminuer le rayon des roues et, ces précautions étant encore jugées insuffisantes, établir une enrayure qui arrête complétement le mouvement rétrograde après une course de peu d'étendue.

L'avant-train de l'affût de montagne consiste en une limonière qui s'adapte à la crosse d'une manière simple et solide. Quand la route le permet, les deux mulets porteurs de l'affût et de la pièce y sont attelés à la suite l'un de l'autre. Un levier passé dans l'âme de la pièce sert à maintenir la voiture dans les tournants difficiles.

AFFUTS DE SIÉGE. L'artillerie de siége se compose de pièces de 24 et de 16, d'obusiers de 8 pouces, de mortiers et pierriers.

Un même affût sert aux pièces de 24 et aux obusiers de 8 pouces; l'affût des pièces de 16 n'en diffère que par ses dimensions. (fig. 38). Comme dans l'artillerie de campagne, l'affût peut transporter sa pièce, et se compose de l'affût proprement dit et d'un avant-train.

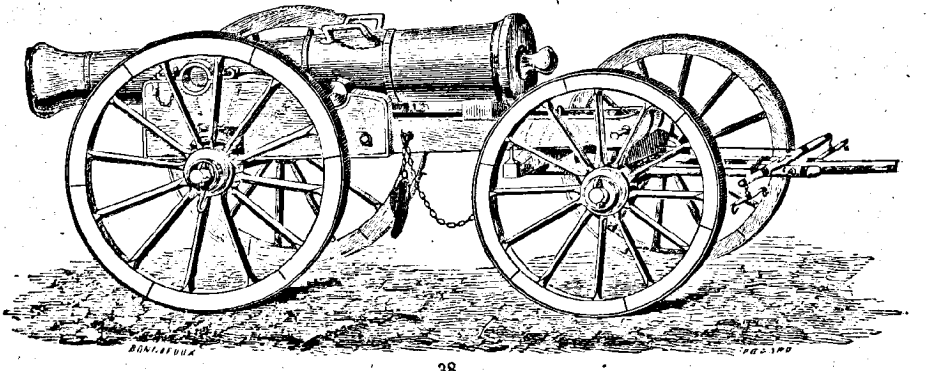
Outre les principes déjà énoncés, l'affût proprement dit demande à être construit dans les conditions suivantes pour le tir.

1° Être aussi élevé que le permet la manœuvre. En effet, la pièce de siége est abritée par une masse de terre percée d'une ouverture appelée embrasure; plus cette embrasure sera élevée au-dessus du sol, mieux la pièce et ses servants seront à couvert, mais d'un autre côté, les projectiles employés étant d'un certain poids, il faut que sa hauteur laisse toute liberté aux hommes pour la charger. Cette hauteur est donnée par une pièce de bois dont on garnit l'essieu en fer.

2° Le recul doit être borné aux stricts besoins du service.

En campagne, une pièce recule sans inconvénient, elle repose sur le sol naturel; une pièce de siége a besoin, en raison de son poids, d'un sol préparé, on lui construit donc une plate-forme en madriers jointifs, posant sur trois fortes lambourdes enterrées. Il y a économie de matériel, à faire la plate-forme la plus courte possible.

Le recul sera donc limité de manière à ce qu'il dégage seulement l'âme de la pièce de son embrasure pour l'exécution de la charge.



38.

3° Aux deux côtés de l'affût, doivent se trouver des points d'application pour les leviers de manœuvre, les

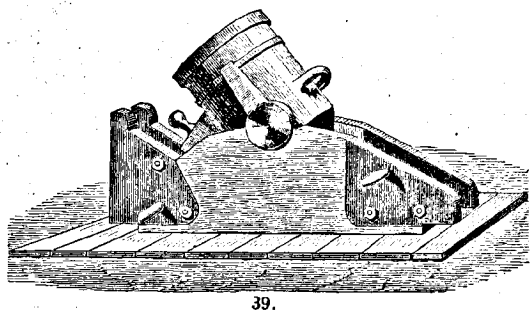
EFERUS - Recherche & Classification numérique

uns en avant de l'essieu, d'autres en arrière, et d'autres encore près des crosses. Le poids de l'affût et de la pièce ne permettrait pas en effet de les diriger au moyen d'un simple levier de pointage. Une vis sert à donner à la pièce l'inclinaison voulue ; quand l'affût est chargé d'un obusier, elle est remplacée par un coin, l'obusier étant trop court pour reposer sur la vis ; cette inclinaison doit pouvoir varier entre 12° au-dessus de l'horizon et 5° ou 6° au-dessous.

Jamais un équipage de siége n'est exposé à parcourir des terrains fort accidentés ; on a donc dû renoncer à l'indépendance des deux parties de la voiture à quatre roues que forment l'affût et l'avant-train, et alors, employer un attelage supérieur à celui de l'artillerie de campagne. Les chevaux de derrière n'ont plus de supports pour résister aux oscillations du timon maintenu par une pièce de contre-appui et les chevaux de devant tirent directement sur une volée attachée à l'extrémité du timon.

Il faut remarquer que la cheville ouvrière traverse la pièce de contre-appui, ce qui donne une grande ouverture d'angle pour le tournant. Cette précaution jointe à la réunion des flasques à une flèche unique, a permis de donner aux quatre roues le même diamètre. Ce diamètre est de 1,55. Cependant le timon ne serait pas complétement soustrait aux réactions de l'arrière-train, si la pièce restait en route dans les encastrements du tir, il a fallu dans ce cas répartir d'une autre manière le poids des deux trains entre les essieux, et c'est là une des différences les plus importantes de l'affût de siége et de celui de campagne. Dans la position de route la pièce repose, par son premier renfort, sur un coussinet, que deux boulons unissent à la flèche et par la volée sur la tête de cette même flèche située au-dessus du second essieu. Deux chevilles-arrêtoirs s'opposent à un nouveau glissement des tourillons en avant, le talus des flasques empêche le glissement en arrière, et ces flasques empêchent tout mouvement de rotation sur l'axe de l'âme de la pièce, bien qu'ils ne supportent pas le moindre poids.

AFFUTS DE MORTIERS ET PIERRIERS. Les affûts de mortiers et pierriers (fig. 39) sont dans des conditions



39.

tout à fait différentes des affûts de canon, uniquement destinés au tir. Une voiture est nécessaire pour les transporter d'un lieu à un autre eux et leurs pièces.

On observera pour la construction de l'affût que :

1° Un mortier doit tirer sous un angle de 45°, cette cause et le faible rapport du poids de la pièce et du projectile rend tellement grande la percussion exercée normalement sur le sol, qu'il a fallu supprimer les roues et faire porter sur le sol les flasques dans toute leur longueur ; et de plus ces flasques doivent avoir peu d'élévation pour que les efforts auxquels elles doivent résister tendent plutôt à les écraser qu'à les faire ployer dans le sens vertical.

2° Le mortier tire derrière un épaulement sans embrasures, le poids des bombes est fort considérable l'affût sera donc peu élevé au-dessus du sol.

3° La plate-forme sur laquelle il repose est composée de lambourdes de fort équarissage, elle sera donc fort lourde à transporter et on doit chercher à obtenir un recul minimum.

4° Enfin pour lui donner la direction nécessaire, il faut des points d'application pour les leviers, les uns à la tête, les autres à la queue de l'affût.

AFFUTS DE PLACE ET COTE. La défense se sert des mêmes affûts que l'attaque pour ses canons, ses obusiers et ses mortiers; mais elle y en ajoute un qui lui est particulier, et que lui commandent impérieusement les nécessités de son service. Nous avons vu l'affût de siége en effet disposé derrière un terre-plein et faisant pénétrer la pièce à travers une embrasure. La défense doit être avare du sang de ses soldats dont le nombre est toujours restreint, l'embrasure ouvre une brèche à travers laquelle ils sont découverts. De plus, il lui faut donner à chacune de ses bouches à feu un vaste champ de tir, pour diriger tous ses feux à la fois sur un des établissements de l'ennemi, et celui-ci ruiné, les reporter aussitôt sur un autre point; autrement, si elle dispersait ses moyens de destruction, une grande quantité de munitions serait consommée, sans produire l'effet désiré. Il faut donc un affût de place qui élève la pièce au-dessus du parapet et lui donne le plus grand champ de tir possible.

Les batteries destinées à défendre les bords de la mer sont mobiles ou fixes. Les premières doivent empêcher les débarquements, tirer sur les troupes, etc., ce seront donc des batteries de campagne; mais les secondes sont affectées à la défense de points principaux, tels qu'un port, une rade, etc. Composées de canons, d'obusiers et de mortiers elles sont placées derrière un épaulement. L'affût des mortiers reste le même comme nous l'avons dit pour toute espèce de service. Mais les canons et les obusiers tirant sur des buts mobiles comme des vaisseaux devront être montés sur des affûts élevant la pièce au-dessus du parapet et permettant de lui donner facilement toutes les directions.

Cette similitude de conditions avec les affûts de place a fait adopter le même système pour les deux services. Seulement, comme les pièces de côte sont destinées à tirer à de grandes portées, c'est-à-dire avec de fortes charges et sous de grands angles, l'on prendra pour base la résistance de leur affût; de plus, le voisinage de la mer détériore avec la plus grande promptitude les ferrures engagées dans le bois, elles devront donc être aussi peu nombreuses que possible.

Cette double condition d'élever la pièce au-dessus du parapet, et de lui donner un champ de tir fort étendu, s'obtient au moyen d'un élément nouveau. C'est un châssis composé de deux parties distinctes, le petit et le grand châssis.

Trois pièces longitudinales réunies par deux entretoises forment le grand châssis. Celles de droite et de gauche qui forment les côtés supportent l'affût, c'est sur elles qu'il se meut ; à leurs deux extrémités, des taquets arrêtent sa marche, soit dans le recul, soit dans la mise en batterie Pour faciliter cette dernière manœuvre, le châssis est un peu incliné de l'arrière à l'avant. La pièce du milieu, ou poutrelle directrice, dépasse d'une quantité assez considérable la queue du châssis ; elle sert à donner la direction.

C'est sur le petit châssis que repose la tête du grand. Deux semelles en bois assemblées par des entailles, un plateau circulaire également en bois, une cheville ouvrière en fer qui entre dans la tête de l'axe du grand châssis ; telles sont les diverses parties du petit châssis.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On comprend que le petit châssis étant fixe par sa nature, et ne se trouvant lié avec le grand qu'en un seul point, ce dernier est libre de se mouvoir en tous sens autour de ce point.

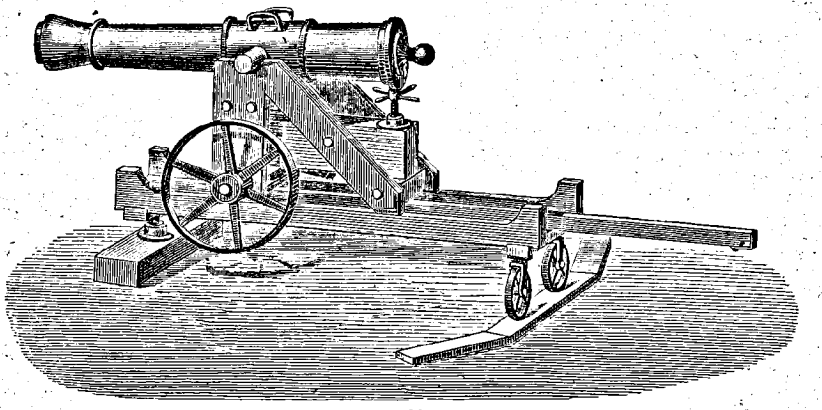


Fig. 40.

Pour obtenir ce mouvement circulaire et vaincre les frottements, la queue du grand châssis est supportée par deux roulettes en fonte tournant librement dans des châsses verticales. Ces roulettes circulent sur trois madriers posés bout à bout, c'est à cela que se réduit la plate-forme de l'affût de place et côte; il serait inutile, en effet, de faire un plancher complet comme pour les pièces de siége.

Quant à l'affût proprement dit, nous remarquerons:

1° Les flasques qui se composent chacun d'un montant légèrement incliné, et d'un arc-boutant dont l'ensemble figure une espèce de V renversé. Ils sont unis par des entretoises et un corps d'essieu en bois; de plus on a assemblé un fort tirant de bois avec le corps d'essieu, par son extrémité antérieure, et l'entretoise des arcs-boutants, par son autre bout. L'affût, de cette manière, offre toutes les garanties nécessaires contre les commotions du tir, et ne laisse par son profil que peu de prise au ricochet dont les terribles effets détruisent si promptement l'armement d'une place.

2° Les roues, de $1^m,10$ de diamètre, et la lunette qui le termine, permettent d'en faire, au moyen d'un avant-train, une voiture à quatre roues, de telle sorte que la pièce peut être transportée facilement d'une place à une autre, le long du parapet, manœuvre si fréquente dans un siége.

3° Les moyeux des roues sont en fonte; ils s'appuient sur les côtés du châssis pendant l'exécution du tir, et fonctionnent ainsi comme des roues d'un très-petit diamètre, ce qui tend à limiter le recul, ainsi que nous l'avons déjà fait observer.

Le service des places et côtes nécessite trois affûts de ce genre pour les diverses pièces employées; mais ces trois affûts ne diffèrent que par leurs dimensions; ils ont le même châssis, le même essieu, les mêmes roues et le même avant-train, qui est l'avant-train de campagne déjà décrit.

AFFUT MARIN. La marine employait exclusivement sur ses vaisseaux, jusqu'à l'adoption des pièces nécessitées par les cuirasses des navires, des pièces d'un calibre en général très-fort, des boulets pesant 36, 30, 24 et 18 livres. Toutes ces pièces sont en fonte, et par conséquent d'un poids bien plus considérable que celui des pièces en bronze correspondantes. Le pont et les entreponts dans lesquels se trouvent les batteries sont nécessairement des espaces restreints; enfin jamais le service, comme dans l'artillerie de terre, ne demande que l'affût devienne une voiture susceptible de voyager. Par suite des violentes réactions qu'ont à supporter ces affûts, de leur immobilité une fois placés sur le vaisseau, et de la nécessité de diminuer le recul autant que possible, leur construction doit leur faire tenir le milieu entre l'affût

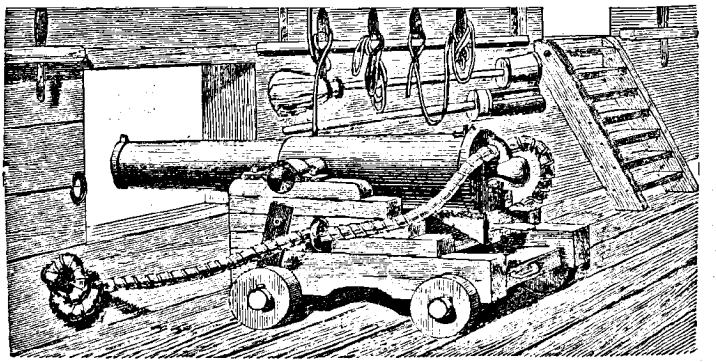


Fig. 41.

des canons que nous avons décrit et celui des mortiers.

Ainsi des flasques peu élevés offrant une grande résistance à l'écrasement, de simples roulettes d'un petit rayon, montées sur des fusées d'un rayon comparativement beaucoup plus grand, donnent de grandes garanties à la résistance et à un minimum de recul. Mais ces garanties ne suffiraient pas à la deuxième condition, si l'on n'employait un procédé particulier à l'affût marin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La *brague* est un cordage qui passe dans une lunette que les pièces d'artillerie de marine portent au-dessus de leurs boutons de culasse, ce cordage entre ensuite dans deux anneaux qui se trouvent fixés sur les côtés extérieurs des deux flasques, et va s'attacher à la paroi intérieure du bordage. Plus ou moins tendue suivant les besoins du service, la brague fixe la pièce dans l'écoutille qui lui sert d'embrasure, l'empêche d'obéir au roulis du vaisseau, et, pendant l'exécution du tir, limite le recul dans l'espace strictement nécessaire.

Comme tous les autres affûts, l'affût marin est construit en fer et en bois; mais le bois doit chez lui remplacer les pièces en fer toutes les fois que la chose est praticable, à cause des promptes détériorations que fait éprouver, au fer engagé dans le bois, l'air de la mer.

Affûts en fer. Les changements apportés aux affûts ressortiront de l'analyse des inconvénients que l'expérience a fait reconnaître aux affûts en bois.

Les principaux défauts que l'on peut reprocher aux différents affûts dont nous venons de donner une description succincte, sont moins inhérents à leurs formes et à leurs dimensions qu'aux matériaux dont ils sont composés. La nature de ces matériaux n'est même pas souvent sans influence sur certains vices de construction. Ainsi l'on a été obligé de réunir en une flèche les deux flasques de l'affût de campagne, afin de donner aux deux trains le plus grand angle de tournant possible; il s'en suit qu'à l'endroit même où l'affût reçoit les plus vives réactions, le bois se trouve affaibli par deux boulons d'assemblage et la place de l'écrou de la vis de pointage. Supposez au lieu de bois une matière pouvant offrir la même résistance sous un plus petit volume, les flasques pourront alors être prolongés jusqu'à la crosse de l'affût sans offrir plus d'épaisseur que la flèche actuelle et le défaut signalé disparaîtra.

Mais de tous les reproches adressés au matériel de l'artillerie, le plus grave est sans contredit son peu de durée. Sur les côtes, dans les places et dans les parcs, les affûts pourrissent promptement; d'immenses magasins sont employés dans les arsenaux à garantir des approvisionnements de bois ruineux, que le temps, malgré ces précautions, détruit avec une telle rapidité que les dépenses pour leur renouvellement annuel se comptent par millions; enfin le déboisement général de la France rend de plus en plus rares, de plus en plus coûteux, les chênes de choix qui seuls peuvent remplir les conditions voulues pour la plupart des pièces.

On a donc cherché à remplacer le bois par une autre matière qui pût résister aux intempéries de l'atmosphère. Le bronze dans presque tous les cas autres que celui de l'artillerie de campagne remplirait merveilleusement les conditions exigées, mais son prix a dû faire écarter toutes propositions de cette nature.

La fonte et le fer venaient ensuite; on a construit des affûts de place et de côte en fonte et en fer forgé. Comme service, ces affûts essayés à La Fère n'ont rien laissé à désirer, mais il n'en a pas été de même lorsque l'on a voulu expérimenter l'effet que produiraient sur eux les projectiles ennemis.

On sait que le tir à ricochet, c'est-à-dire l'emploi de boulets sphériques qui viennent en bondissant enfiler les faces des ouvrages d'une place, est destiné à détruire son matériel. Telle est la puissance de ce tir, qu'il constitue à lui seul, pour ainsi dire, la supériorité de l'attaque sur la défense, et les projectiles allongés, si efficaces pour le bombardement des places, sont dans ce cas inférieurs aux boulets. Des affûts facilement brisés rendraient l'action de ce tir encore plus grande; ainsi en armant une place de cette manière, on diminuerait d'autant ses chances de résistance. Quand un boulet vient frapper une pièce de bois, la partie atteinte est enlevée, mais la vitesse ne se communique pas au reste de l'affût. Il n'en est pas de même de la fonte dont la cohésion moléculaire est telle que les affûts volent en éclats sous les chocs des projectiles, produisent une mitraille si terrible qu'outre la destruction de son matériel, la place aurait bientôt perdu tous ses défenseurs.

On avait fondé quelques espérances sur l'affût en fer forgé, mais il fut aussi maltraité que les autres, et même le nombre de ses éclats fut plus considérable. Ce dernier résultat pourrait être discuté. N'y avait-il pas une trop grande solidarité entre toutes les pièces de l'affût? Quelles étaient les dimensions des pièces en fer? N'étaient-elles pas beaucoup trop fortes? Le fer était-il de la qualité convenable? En résumé il est admis aujourd'hui que la fonte doit être proscrite dans la construction des affûts destinés à être exposés au tir à ricochet, mais sur les côtes, dans les casemates, où ce tir n'est pas à craindre, on doit adopter des affûts en fonte.

Pour l'artillerie de campagne, une condition de plus est à remplir que pour l'artillerie de place et même de siége, c'est la facilité des réparations. Il faut qu'en route, sur le champ de bataille presque, la plupart des menues réparations puissent être effectuées de suite, sans autres moyens que ceux que l'on a ordinairement à sa disposition. Plusieurs essais, presque tous contestés, ont été tentés. En Angleterre des expériences ont été faites et ont paru satisfaisantes, mais la plus concluante de toutes, si les faits annoncés sont parfaitement exacts, serait celle de l'artillerie wurtembergeoise. Un affût en fer forgé a manœuvré sans accident aucun au polygone, puis, exposé au tir d'une batterie, il a été mis en pièces; alors, séance tenante, on l'a reconstruit avec le seul secours de la forge de campagne, et il a recommencé sa manœuvre.

Toutefois la véritable solution du problème n'est apparue que depuis qu'on a employé un nouvel élément que l'on a appris à manier merveilleusement; je veux parler de la tôle de fer laminé qui ne peut que se déchirer par le choc et non voler en éclats, et de la réunion de pièces de section convenable par des entretoises et des fers à cornières, d'épaisseur modérée et de grande ductilité; tels sont les éléments de la solution du problème, qui se réduit à bien combiner les formes en raison des résistances. Ce n'est qu'à l'aide de matériaux de cette nature qu'on a pu établir des affûts convenables pour les puissantes pièces qu'il faut employer pour percer les cuirasses en fer des vaisseaux; nous en donnons un exemple en traitant des canons rayés (Voy. BOULETS TOURNANTS, *Complément*). Combiner des épaisseurs de tôle résistant de champ à des efforts considérables, avec une épaisseur limitée; des entretoisements convenables pour empêcher toute torsion, c'est un genre de construction que la pratique des constructions en fer permet d'exécuter dans des conditions diverses, de manière à répondre à toutes les conditions indiquées ci-dessus, et en outre aux pressions considérables qui résultent des portées considérables et des poids des projectiles allongés, conditions auxquelles les progrès de la construction des éléments de l'artillerie ne satisferont jamais assez, puisque c'est une condition de supériorité sur les champs de bataille.

AFFUTER. — AFFILER. Quand un outil tranchant ou pointu a servi pendant quelque temps, il se trouve hors de service. Pour pouvoir s'en servir de nouveau, on l'*affûte* ou on le *repasse*, soit en le frottant sur des pierres ordinairement en grès fin compacte, soit au moyen de meules mues avec rapidité. L'usure produite sur les faces de l'outil en diminue l'épaisseur et rend par suite plus vif l'angle du tranchant. Mais cette partie, devenue trop fine, se courbe sous l'action de la meule et forme une partie très-mince qui se recourbe; c'est ce qu'on appelle le *morfil*, qui rend nécessaire un affilage subséquent. Cet affilage se fait en général en reployant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le morfil s'il est trop long, puis, dans tous les cas, en passant légèrement l'outil sur une pierre à l'huile très-douce et à grains très-fin. Voyez COUTELLERIE.

AGARIC. Nom générique de certains champignons appartenant aux genres *boletus* et *fungus*; ils donnent une coloration noire avec les sels de fer. On dit qu'on peut en fabriquer une espèce d'encre de Chine.

AGATE. Pierre siliceuse, ordinairement rubannée, qu'on taille en cachets ou sous toute autre forme, pour les articles grossiers de la joaillerie. Voyez PIERRE PRÉCIEUSE et QUARTZ.

AGGLOMÉRÉS. A l'article GOUDRON il a été parlé de l'emploi de cette substance pour obtenir, à l'aide du mucus de houille, des masses d'un emmagasinement facile, dont la navigation à vapeur et les chemins de fer font aujourd'hui grand usage. Les houillères qui produisent beaucoup de mucus ont adopté avec empressement cette méthode, qui, combinée avec le lavage (Voyez COLLE), permet d'obtenir de beaux produits.

AGRICULTURE. En présence du chiffre de nos importations annuelles de denrées alimentaires, et de l'accroissement continuel de notre population, on ne saurait mettre en doute l'impérieuse nécessité de s'occuper des moyens d'augmenter la production agricole de la France, pour la mettre en rapport avec les besoins toujours croissants de la consommation journalière.

Grâce à la vulgarisation des théories scientifiques et aux encouragements qui lui ont été prodigués, l'industrie française a reçu, depuis un demi-siècle, un admirable développement. Il est temps de faire pour l'agriculture ce que l'on fait pour l'industrie manufacturière : il faut que les hommes d'instruction et d'énergie s'occupent enfin d'opérations agricoles, et que la science vienne éclairer la pratique du cultivateur.

Les travaux agricoles convenablement dirigés sont assez lucratifs — nous le démontrerons par des faits nombreux — pour attirer l'attention des spéculateurs, et offrent assez d'attrait pour occuper les hommes les plus capables et les plus actifs. La science, de son côté, possède maintenant les éléments nécessaires pour expliquer et prévoir la plupart des phénomènes.

Le rôle de chaque plante, de mieux en mieux connu, permet de réaliser autour d'elle les conditions les plus favorables à son développement; l'étude chimique de l'alimentation végétale perfectionne la théorie des assolements et détermine les éléments qu'il faut ajouter ou retrancher au sol pour le rendre propre à telle ou telle culture.

La mécanique apporte chaque jour de nouveaux perfectionnements aux instruments agricoles et utilise de plus en plus au profit de l'homme, les forces naturelles.

La puissance de la vapeur livre à la culture d'immenses surfaces de terrains jusqu'alors recouverts par les eaux; d'autres contrées sont arrosées, d'autres, enfin, assainies par d'ingénieux systèmes de travaux souterrains, voient de magnifiques récoltes remplacer la stérilité la plus complète.

L'agriculture, par l'introduction dans la pratique des données scientifiques et des ressources de la mécanique, constitue maintenant, par elle-même, une véritable industrie manufacturière, et doit dès lors occuper dans le *Dictionnaire*, une place en rapport avec son importance.

Nous ne prétendons pas, on le conçoit, enseigner ici la pratique agricole; mais nous entrerons dans assez de détails pour nous faire entendre du cultivateur praticien, lui faire comprendre la théorie de ses opérations, lui permettre d'apprécier sainement le but et les résultats de chacune d'elles, ainsi que les avantages et les inconvénients des diverses méthodes qui lui seront proposées.

Les opérations agricoles les plus importantes et les plus lucratives sont basées sur l'*aménagement* des eaux de domaines, ou de contrées plus ou moins étendues. Ces opérations exigent le concours de grands capitaux et de connaissances spéciales. Elles peuvent donner lieu à de véritables entreprises industrielles et à la formation de puissantes associations. L'intérêt qui s'attache aujourd'hui aux irrigations, aux desséchements et au drainage des terres, l'importance de ces divers travaux, au double point de vue des intérêts généraux et des spéculations particulières, expliquent l'étendue de la partie de cet article consacrée à ce sujet, que nous avons cherché à faire connaître le plus complétement possible.

Obligé de réunir dans un cadre fort restreint des documents extrêmement nombreux, nous avons dû chercher à les classer avec ordre, en évitant toute répétition et tout développement d'une utilité douteuse. Après quelques données statistiques qui permettront d'apprécier la valeur de la production territoriale de notre pays et l'importance des questions qui s'y rapportent, nous exposerons les principes les plus essentiels de la science agricole; nous étudierons ensuite les travaux d'aménagement des eaux, qui doivent souvent précéder toute entreprise de culture. Ces notions préliminaires suffiront pour étudier rapidement, et cependant d'une manière assez complète, les procédés agricoles proprement dits et les constructions que réclame une exploitation bien dirigée.

Voici, du reste, les divisions principales que nous avons cru devoir adopter; il est utile de les indiquer ici pour en faire comprendre l'ensemble :

I. Statistique agricole de la France.
II. Principes généraux de la science agricole.
III. Aménagement des eaux au point de vue agricole.
IV. Opérations mécaniques de culture ; machines agricoles.
V. Alimentation végétale ; engrais et amendements.
VI. Cultures ; assolements.
VII. Animaux domestiques.
VIII. Constructions rurales.

CHAPITRE Ier.

STATISTIQUE AGRICOLE DE LA FRANCE.

Il conviendrait sans doute, dans un traité complet, de présenter d'abord des notions historiques plus ou moins étendues sur l'agriculture, de rechercher l'origine des divers procédés, de citer les auteurs des principales découvertes, de suivre les progrès successifs de cet art, dont l'origine se perd dans la nuit des temps, et d'apprécier l'influence des institutions publiques sur la position du cultivateur et sur le développement de l'industrie qu'il exerce. A notre point de vue purement pratique, cette étude rétrospective, d'une immense difficulté, d'une étendue sans bornes, ne présente aucune utilité réelle. Nous nous contenterons, par conséquent, de citer les faits historiques à côté des opinions qu'ils tendent à justifier ou des pratiques dont ils pourront éclairer l'usage, sans nous occuper de les grouper dès l'abord d'une manière systématique. Mais il nous importe de connaître l'état actuel de l'agriculture française et de le comparer à celui des nations voisines, placées dans des circonstances plus ou moins analogues à celles où nous nous trouvons nous-mêmes, pour reconnaître les améliorations à réaliser ou les écueils à éviter. Rappelons donc d'une manière succincte les données principales de la statistique agricole.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La France, grâce à son étendue, à la diversité de hauteur et d'exposition des différentes parties de son territoire, offre le rapprochement de climats assez différents et des cultures les plus dissemblables; on peut la partager, au point de vue de ses productions naturelles, comme Arthur Young paraît, un des premiers, avoir essayé de le faire, en quatre zones ou régions agricoles à peu près parallèles et dirigées du sud-ouest au nord-est. La première de ces zones, comprise entre la Méditerranée et une ligne droite passant par Carcassonne et Montélimart, est caractérisée par la culture de l'olivier. La zone suivante produit la vigne et le maïs; elle est limitée par la zone précédente, d'une part, et de l'autre par une ligne passant par Bourges et l'embouchure de la Garonne. La troisième zone est encore propre à la culture de la vigne, mais n'admet plus celle du maïs; elle est limitée par une ligne menée de Guérande à Coucy. La dernière zone, enfin, ne présente plus la culture de la vigne. Cette division, vraie d'une manière générale, ne saurait, on le conçoit, supporter un examen de détail : les abris, les différences de cultures, d'altitudes, de natures de terrain, et une foule d'autres circonstances inutiles à détailler, transforment en lignes singulièrement contournées les limites rectilignes indiquées par l'auteur que l'on vient de citer. Mais cette division grossière suffit pour donner une idée générale de la répartition de nos cultures, considérées dans leur ensemble, et méritait, sous ce rapport, d'être mentionnée.

Cet aperçu général est du reste complétement insuffisant pour faire concevoir la variété de nos produits et la richesse de notre sol. Chaque zone principale, sans perdre ses caractères généraux, se partage en contrées d'un aspect particulier. Nos anciennes provinces présentent presque toutes les caractères spéciaux qui les distinguent, les caractérisent, et feront conserver longtemps encore aux contrées qui les composaient les dénominations que notre nouvelle division administrative semblait devoir effacer en peu de temps. Des caractères plus spéciaux encore que ceux des provinces agricoles appartiennent aux *contrées* agricoles; ils donnent à chacune d'elles sa physionomie particulière, déterminent les conditions de ses cultures et la nature des améliorations à y exécuter. Une monographie exacte et détaillée de nos principales contrées agricoles serait un des travaux les plus utiles et les plus importants. Ces documents, ces portraits agricoles, si l'on peut s'exprimer ainsi, sont malheureusement encore ou trop peu nombreux, ou trop incomplets, pour qu'il soit possible, en les réunissant ici, de produire une esquisse de géographie agricole suffisamment exacte pour être de quelque utilité; on se bornera donc, quant à présent, à une étude de chiffres, sauf à donner plus loin quelques renseignements sur l'aspect général de l'agriculture de certaines localités dont on devra s'occuper d'une manière particulière.

Les auteurs de la *Statistique officielle de la France* ont partagé le territoire en quatre régions, déterminées par l'intersection du méridien de Paris et du 47e parallèle. Cette division, fort commode pour les opérations du vaste travail que l'administration voulait entreprendre, n'est nullement en rapport avec les faits agricoles, et ne saurait donner à cet égard aucun renseignement positif; mais il était nécessaire de la connaître pour l'intelligence de ce qui va suivre.

La surface totale de la France, d'après M. Moreau de Jonnès, auquel nous empruntons la plupart des chiffres suivants, est de 52 millions 768,618 hectares, dont plus de 50 millions constituent le domaine agricole. Il convient d'étudier séparément, comme l'ont fait les auteurs de la *Statistique officielle*, la production végétale et la production animale de cet immense territoire.

AGRICULTURE.

1° *Production végétale.*

Nous avons réuni dans le tableau suivant les renseignements qui forment le résumé sommaire placé à la fin de la *Statistique officielle*.

Les chiffres de ce tableau ne présentent pas tous le même degré de certitude, comme le remarquent eux-mêmes les auteurs de la *Statistique*. Les renseignements relatifs aux céréales sont aussi exacts que possible; mais diverses causes d'erreurs peuvent avoir influé sur la détermination des quantités de plusieurs autres produits. L'extrême division de la culture des pommes de terre, la grande variété des produits du jardinage rendent presque impossible toute évaluation complétement rigoureuse. La nouveauté et la division des cultures secondaires, telles que le colza, le houblon, etc., laissent des doutes sur les chiffres qui s'y rapportent. Les produits des prairies artificielles, qui sont du trèfle, de la luzerne et du sainfoin, varient en quantité et en valeur suivant ces espèces, et comme on n'a pu en tenir compte séparément, les termes généraux qui ont été adoptés ne sont que des approximations. On pourrait faire au sujet d'autres chiffres encore des observations analogues à celles qui précèdent; néanmoins les résultats fournis par la statistique générale offrent un degré d'exactitude qui n'avait jamais été obtenu dans aucun travail de cette nature, et qui donne un puissant intérêt aux renseignements qu'elle fournit.

L'administration s'est trouvée forcée d'omettre dans ses tableaux quelques produits qu'elle n'a pu faire évaluer avec une exactitude convenable, notamment les pailles, les récoltes des oseraies, de certains vergers, etc. On est obligé pour ces diverses matières d'avoir recours à des estimations basées sur des observations plus ou moins complètes, mais ne présentant pas de caractère officiel. En ce qui concerne les pailles, M. Moreau de Jonnès estime que leur production se partage de la manière suivante entre les diverses espèces :

	Production annuelle.	Production par hect.
Froment.	110,906,026q.m.	19q.m.,71
Seigle et méteil.	68,870,902	19 ,18
Avoine.	42,799,750	14 ,19
Maïs.	6,890,974	10 ,91
	229,467,652q.m.	16q.m.,00

La valeur totale de ces pailles, suivant le même auteur, s'élèverait à 764,767,460 fr., soit environ 36 pour 100 de la valeur totale des céréales elles-mêmes.

M. Royer a cherché à combler les lacunes que laissaient subsister les omissions de la statistique officielle et à rectifier quelques-unes des évaluations présentées dans ce grand travail. D'après cet auteur, on doit ajouter aux estimations du grand tableau les sommes suivantes :

Additions par rectifications. . . .	1,433,082,814 fr.
Valeur des pailles, résidus, etc., non évalués.	524,279,924 fr
Valeur du pâturage, etc., non évalué.	57,887,035 fr.
	2,015,249,773 fr.

ce qui porterait à 6 milliards et demi environ par an la valeur totale de la production végétale en France. Ce chiffre ne paraît pas exagéré, quand on tient compte de la faiblesse de certains prix d'estimation admis dans les calculs de la *Statistique officielle*; il est cependant un peu supérieur à l'évaluation de M. Moreau de Jonnès.

On ne saurait examiner ici en détail la répartition des diverses cultures et les renseignements spéciaux qui se rapportent à chacune d'elles; mais l'importance du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION DES CULTURES ET PRODUITS.	SURFACE DES CULTURES. Par espèces.	Par groupes.	QUANTITÉ TOTALE ANNUELLE. Du produit.	de la semence.	PRIX moyen.	VALEUR TOTALE DU PRODUIT ANNUEL. Par espèces.	Par groupes.
CÉRÉALES.	hectares	hectares.	hectol.	hectol.	fr. c.	fr.	fr.
Froment.	5586786,53	» »	69558062	11441780	15 85	1102768057	» »
Épeautre.	4733,43	» »	136127	15752	5 95	806723	» »
Méteil.	910932,59	» »	11829448	1932427	12 20	144170351	» »
Seigle.	2577253,88	» »	27811700	5139422	10 65	296292740	» »
Orge.	1188189,53	» »	16661462	2575645	8 25	137622411	» »
Avoine.	3000634,19	» »	48899785	7015508	6 20	302011470	» »
Maïs.	631731,89	13900262,04	7620264	242792	9 40	71796084	2055467836
CULTURES DIVERSES							
Pommes de terre.	921970,59	» »	96233985	10267255	2 10	202105866	» »
Sarrasin.	651241,92	» »	8469788	551562	7 25	61388641	» »
Légumes secs.	298925,72	» »	3460877	539893	15 05	52007840	» »
Jardins.	360696,41	» »	» »	» »	»	157093888	» »
Betteraves.	57663,15	» »	15740691qm	444892k	1 85	28979449	» »
Colza.	173506,39	» »	2279363h	19859h	22 45	51126744	» »
Chanvre. Graine.	176148,48	» »	1671641	450799	17 05	86287341	» »
Chanvre. Filasse.			67507076k	252472	0 90		» »
Lin. Graine.	98241,41	» »	737394h		21 65	57507216	» »
Lin. Filasse.			36875401k		1 15		» »
Tabac.	7955,31	» »	88897qm	» »	61 70	5483558	» »
Garance.	14674,25	» »	460340	» »	58 25	9343349	» »
Houblon.	826,89	» »	888289k	» »	1 05	951559	» »
Châtaigneraies.	455386,87	» »	3478582h	» »	3 90	13528490	» »
Autres cultures.	226901,62	3442139,01	» »	» »	»	12209868	» »
Mûriers.	» »	» »	» »	» »	»	42779088	» »
Oliviers.	» »	» »	167330	» »	136 10	22776398	803568995
PÂTURAGES.							
Prairies naturelles.	4198197,88	» »	105203888qm	» »	»	462598243	» »
Prairies artificielles.	1576547,19	» »	47258674	29091061k	»	203765169	» »
Jachères.	6763281,34	» »	» »	» »	»	92285902	» »
Pâtures et pâtis.	9191076,08	21729102,49	» »	» »	»	82064046	840713360
FORÊTS.							
De la Couronne.	52972,03	» »	110253st	» »	»	1047404	» »
De l'Etat.	1048907,63	» »	5203499	» »	»	32871969	» »
Des communes et des particuliers.	7333965,91	» »	29256833	» »	»	172681452	» »
Sol forestier.	368705,40	8804550,97	» »	» »	»	» »	206600525
BOISSONS.	1972340,21	1972340,21	» »	» »	»	» »	» »
Vins.	» »	» »	36783223h	» »	11 40	419029152	» »
Eaux-de-vie.	» »	» »	1088802	» »	54 25	59059150	» »
Cidre. Gros.	» »	» »	10880947	» »	10 10	84422137	» »
Cidre. Petit.					4 65		» »
Bière. Forte.					20 85		» »
Bière. Petite.	» »	» »	3885365	» »	7 90	58035735	620546474
Bière. Mélangée.					10 50		
VERGERS.							
Pépinières et oseraies.	766577,91	766577,91	» »	» »	»	» »	» »
DOMAINE AGRICOLE.	50614972,63	50614972,63	» »	» »	»	» »	» »
AUTRES SURFACES.	» »	2153646,22	» »	» »	»	» »	» »
Totaux.	»	52768618,85	» »	» »	»	» »	4526896890

EFERUS - Recherche & Classification numérique

froment ne permet pas de passer sous silence les faits principaux relatifs à cette intéressante culture.

Le froment est cultivé dans tous les départements, mais il y a une très grande différence entre l'étendue relative de sa culture dans chacun d'eux; ainsi, tandis qu'elle occupe dans le Gers 144,667 hectares, elle ne s'étend dans la Creuse que sur 1,242 hectares. Le tableau suivant rend bien sensible l'inégalité de l'étendue de cette culture dans les différentes parties de la France :

	hect.	hect.	p. %	
Nord oriental. . .	1,584,335		29	»
Midi oriental. . . .	953,635		17	»
France orientale. .	2,537,970	2,537,970	46	46
Nord occidental. .	1,465,705		26	»
Midi occidental.. .	1,543,192		28	»
France occidentale.	3,008,897	3,008,897	54	54
France continent..		5,546,867	»	100
Corse..	39,919	39,919	»	»
Total.		5,586,786		100

Des inégalités plus prononcées encore que celles qui se produisent dans l'étendue de la culture s'observent dans la moyenne annuelle de la consommation individuelle dans nos différents départements, comme le prouvent les chiffres suivants :

Consommation moyenne par habitant.

		hectol.
Maxima.	Gers.	3,07
	Tarn-et-Garonne.	3,06
	Calvados.	2,89
	Lot-et-Garonne..	2,84
	Seine..	2,72
	Seine-Inférieure.	2,54
Minima.	Morbihan..	0,54
	Ardèche.	0,46
	Corrèze.	0,41
	Lozère.	0,31
	Loire	0,26
	Cantal.	0,18

Nous ne pousserons pas plus loin, quant à présent, ces études comparatives, sur lesquelles nous aurons l'occasion de revenir plus loin.

2° *Animaux domestiques.*

Les animaux domestiques forment aujourd'hui une partie importante de notre production agricole, la France ne possède cependant que trois bœufs ou vaches, et neuf moutons ou brebis par dix habitants, proportion inférieure à celle des mêmes animaux en Angleterre, en Prusse, en Sardaigne, en Espagne, etc., et bien minime si on la compare à l'abondance de bestiaux qui existait chez certains peuples de l'antiquité. Voici, du reste, le résumé des renseignements fournis par la *Statistique officielle* sur l'ensemble de la richesse et de la production animale en France (voir le tableau ci-dessous).

Certains chiffres de ce tableau ne présentent pas toute la certitude désirable; tels sont principalement ceux qui se rapportent à la fixation de la valeur du revenu annuel et à la détermination du poids brut et du poids net.

Les rapports des nombres des diverses espèces d'animaux à la population paraissent à peu près égaux à ce qu'ils étaient aux époques antérieures, c'est-à-dire que l'accroissement du nombre des animaux domestiques, semble suivre à peu près la même loi que celui de la population elle-même.

La valeur totale et le produit annuel des animaux domestiques, indiqués en masse dans le tableau ci-dessous, se partagent de la manière suivante entre les diverses parties du territoire :

	Valeur.	Produit des animaux vivants fr.
Nord oriental. . . .	529,978,504	221,004,583
Midi oriental. . . .	346,930,228	128,572,101
France orientale. . .	876,908,732	349,576,684
Nord occidental. . .	581,477,390	287,051,238
Midi occidental. . .	402,691,852	127,337,090
France occidentale. .	984,169,242	414,388,328
France continentale.	1861,077,974	763,965,012
Corse.	9,494,395	3,286,839
Totaux. . .	1,870,572,369	767,251,851

DÉSIGNATION des ESPÈCES.	NOMBRE total de chaque espèce D'ANIMAUX.	PRIX moyen par TÊTE.	VALEUR TOTALE.	Revenu moyen par tête et par an.	REVENU TOTAL par an.	NOMBRE d'animaux abattus par an.	Poids brut par tête.	Poids net par tête.	CONSOMMATION totale par an.	VALEUR TOTALE de la viande consommée par année.
		fr. c.	fr.	fr. c.	fr.		kil.	kil.	kil.	fr.
Taureaux.. . .	399,026	84	33,613,990	24 30	9,695,577	»	»	»	»	»
Bœufs. . . .	1,968,838	153	301,819,337	31 80	62,576,699	492,905	413	248	122,446,618	100,557,522
Vaches. . . .	5,501,825	89	487,875,663	39 05	214,790,094	718,956	240	144	103,567,986	71,454,288
Veaux. . . .	2,066,849	26	52,936,763	12 15	25,153,237	2,487,362	48	29	72,874,391	57,278,746
Béliers. . . .	575,715	16 05	9,243,405	4 55	2,607,790	»	»	»	»	»
Moutons. . . .	9,462,180	13 50	127,862,305	4 45	42,233,317	3,432,166	28	17	56,664,356	50,129,144
Brebis. . . .	14,804,946	9 20	135,938,491	4 05	59,925,119	1,337,327	20	12	16,695,674	11,044,985
Agneaux. . . .	7,308,589	5 70	41,539,056	2 10	15,284,217	1,035,188	10	6	6,313,291	5,661,761
Porcs. . . .	4,910,721	35 00	172,556,008	16 15	79,427,010	3,957,407	91	73	290,446,475	243,683,484
Chèvres. . . .	964,300	9 20	8,851,451	5 65	5,448,301	157,416	22	12	1 906,385	896,014
Chevaux (1). .	1,271,630	172	218,498,584	95 05	120,852,951	»	»	»	»	»
Juments. . . .	1,194,231	146	174,709,681	76 70	91,583,056	»	»	»	»	»
Poulains. . . .	352,635	70	24,626,018	24 55	8,659,029	»	»	»	»	»
Mules et mulets	373,841	172	64,284,246	56 85	21,244,148	»	»	»	»	»
Anes et ânesses	413,519	39	16,217,371	18 80	7,771,306	»	»	»	»	»
Totaux. . .	. . . . .	. . . .	1,870,572,369		767,251.851	13,618,727			673,389,781 (a)	543,180,518 (b)

(1) Non compris 50,987 chevaux de l'armée. — (a) Y compris 2,474,605 kilogrammes de viande à la main vendus à Paris. — (b) Y compris la valeur de la viande à la main.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le nord occidental se place au premier rang, sous le rapport de la valeur totale et du produit annuel de ses animaux domestiques. Cette supériorité est due à l'immense influence de circonstances locales particulières. Le Nord, malgré son agriculture si avancée, se trouve surpassé, sous ce rapport, par la Normandie, que favorise un ciel si convenable à l'entretien du bétail et au développement des pâturages.

Aux chiffres fournis par les tableaux précédents, on doit ajouter certaines sommes assez importantes, pour obtenir la valeur totale du produit annuel des animaux. Le cuir, les cornes, les abats, le suif, les produits des basses-cours, etc., ne figurent pas, en effet, dans la *Statistique officielle;* on est obligé de les évaluer par des déductions plus ou moins rigoureuses; voici le résumé des calculs présentés à cet égard par M. Moreau de Jonnès :

Produit des animaux vivants, comme au tableau.	767,251,851
Viande consommée, comme au tabl.	543,180,518
Autres produits alimentaires.	62,775,000
Produits industriels.	92,529,000
Cire et miel.	15,000,000
Total général.	1,480,736,369

3° *Récapitulation.*

En réunissant la valeur de la production végétale à celle de la production animale, on obtient un total de 6 milliards environ; mais on doit retrancher de cette somme la valeur du produit des pâturages qui est consommé par les animaux, ce qui réduit à 5 milliards et 166 millions environ le produit total annuel de l'agriculture française. On examinera plus loin (chapitre IX) comment se répartit cette masse énorme de richesses, et les moyens de favoriser son accroissement progressif; mais on voulait seulement, dans cette introduction, faire apprécier la prodigieuse importance de l'agriculture dans notre pays et l'intérêt qui s'attache aux plus légères améliorations, quand elles s'étendent à des masses de produits aussi considérables; les chiffres précédents nous semblent suffire complétement pour atteindre ce but.

CHAPITRE II.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA SCIENCE AGRICOLE.

Première section. — Notions générales.

Le but de l'agriculture est de produire les matières du règne végétal et du règne animal nécessaires aux besoins de l'homme. Une exploitation agricole est une véritable fabrique de végétaux et d'animaux, et comme ces derniers se nourrissent presque exclusivement de matières végétales, c'est à la production de ces substances que se ramène en définitive le problème agricole, considéré d'une manière abstraite.

Comme toutes les industries qui combinent et transforment les substances élémentaires pour constituer des produits nouveaux, l'agriculture est essentiellement un art chimique. Mais, comme tous les arts de cette espèce, elle appelle à son aide la mécanique pour préparer de mille manières les matériaux qu'elle met en œuvre, et, de plus, opérant sur les plantes et les animaux, elle doit s'appuyer constamment sur deux autres sciences non moins importantes pour elle, la physiologie végétale et la physiologie animale avec toutes leurs applications.

Les êtres organisés sont formés, comme on le sait, d'un petit nombre d'éléments principaux : l'oxygène, l'hydrogène, le carbone et l'azote, combinés sous mille formes diverses, et auxquels viennent s'ajouter en faible proportion quelques substances minérales, dont le rôle, bien que secondaire, est cependant de la plus haute importance. Mais il ne suffit pas, pour produire les réactions mystérieuses qui donnent naissance à telle ou telle plante, de mettre en présence les éléments qui la constituent, il faut encore savoir réaliser les conditions physiques et chimiques nécessaires au développement et à l'entretien de la vie, et fournir au végétal, sous une forme appropriée à sa nature, les aliments dont il a besoin. Posé dans ses termes les plus généraux, le problème dont l'agriculture doit chercher la solution serait donc de modifier les propriétés physiques et chimiques d'un sol donné de telle sorte qu'il puisse produire une récolte déterminée.

La science ne prétend pas, il est inutile de le dire, résoudre un tel problème, et ne doit même pas se le poser sans d'importantes restrictions. Bien que l'homme, par ses travaux, puisse dans certaines limites modifier un climat, il y aurait folie pour lui à prétendre naturaliser une culture loin de la contrée qui lui est propre. Il doit chercher à utiliser les ressources des différentes régions du globe, et non pas vouloir imposer ses caprices à la création. Mais si la science se renferme dans des bornes plus étroites, elle n'en est pas moins utile et fournit chaque jour à la pratique des enseignements et des moyens nouveaux. La chimie, sans pénétrer dans le domaine des fonctions vitales, donne déjà sur la nutrition des végétaux les renseignements les plus précis et l'explication des principaux phénomènes que présente leur développement.

L'introduction du *Dictionnaire* contient des notions de physiologie végétale qu'il est inutile de reproduire ici. On ne saurait d'ailleurs présenter dans cet article, sans sortir du cadre qui lui est imposé, des notions étendues de chimie appliquée à l'agriculture; on se bornera donc à rappeler quelques faits généraux, qui suffiront pour faire comprendre les explications de détail dispersées dans cet article et le but général des diverses opérations que l'on décrira successivement.

Les végétaux, comme tout le monde le sait, pénètrent dans le sol par leurs racines et étendent dans l'air leurs tiges, leurs rameaux et leurs feuilles. Ils vivent ainsi dans deux milieux bien différents, la terre et l'atmosphère. Chacun de ces milieux leur fournit pour sa part, en proportion plus ou moins considérable, de l'oxygène, de l'hydrogène, du carbone et de l'azote; mais c'est dans la terre seulement qu'ils peuvent trouver les matières minérales fixes qui entrent dans leur constitution. Ne nous occupons pas pour le moment de cette partie de leur alimentation, sur laquelle on reviendra, et cherchons à expliquer comment ils s'assimilent les éléments principaux qui les constituent, c'est-à-dire l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote, en exposant d'abord les phénomènes de la germination, pour nous occuper ensuite du végétal complétement développé et de son accroissement progressif.

Les graines présentent toutes une assez grande analogie de composition. On y trouve de l'amidon, de la gomme, une matière azotée et une matière grasse, ainsi qu'une certaine quantité de substances minérales. Ces éléments se rencontrent en proportions très variables dans les différentes plantes, et présentent dans chacune d'elles des caractères physiques ou chimiques un peu différents, mais ils conservent toujours leurs propriétés générales et distinctives. Cette analogie de constitution chimique mérite une sérieuse attention, car elle montre combien sont uniformes et simples les procédés que la nature emploie pour produire cette immense quantité de plantes dont la variété fait la continuelle admiration des esprits observateurs.

La germination d'une graine ne peut se produire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sans le concours d'une *température convenable* et d'un *certain degré d'humidité;* elle exige de plus la présence du gaz oxygène, dont l'indispensable nécessité pour la production de ce phénomène a été constatée par de nombreuses expériences, dans le détail desquelles il serait inutile d'entrer ici. Il paraît même que la germination est d'autant plus rapide que la jeune plante trouve autour d'elle ce gaz à un plus grand état de pureté. C'est sans doute à l'action oxydante du chlore en présence de l'eau que l'on doit attribuer l'influence de ce gaz sur la germination de graines qui semblaient incapables de se développer et que l'on a fait lever, d'après les conseils de M. de Humboldt, en les mettant dans une pâte d'acide chlorhydrique et de peroxyde de manganèse, mélange propre à dégager du chlore. Ce procédé n'a pas été, à notre connaissance, appliqué sur une grande échelle, mais le bas prix des substances employées permettrait sans doute d'en étendre l'usage à des opérations importantes.

Quand on fait germer des graines dans un vase fermé, on reconnaît sans peine que, dans les premiers temps de la germination, une certaine quantité d'oxygène est remplacée par un volume à peu près égal d'acide carbonique. Mais les phénomènes de la germination ne se bornent pas à une simple combustion, comme semblerait l'indiquer l'observation précédente; un acide particulier et quelques autres produits se développent en même temps que l'acide carbonique. La germination, au point de vue chimique, constitue une réaction des plus complexes, dont l'étude détaillée n'a pas encore été faite d'une manière tout à fait complète. On peut dire seulement, d'une manière générale, que la jeune plante, dans les premiers temps de son développement, se nourrit aux dépens d'une partie des substances renfermées dans la graine, en produisant de l'acide carbonique par un phénomène de combustion comparable à celui de la respiration des animaux.

Peu de temps après la germination, les racines se développent et les parties vertes apparaissent. Les phénomènes chimiques de la nutrition du végétal se manifestent alors d'une manière beaucoup plus nette que dans les premiers temps de son existence et doivent être indiqués rapidement.

La découverte de la décomposition de l'acide carbonique par les plantes remonte au dix-huitième siècle; elle suffirait pour illustrer l'histoire scientifique de cette époque. Senebier, profitant des observations de Bonnet et de Priestley, qui avaient reconnu que des feuilles plongées dans de l'eau aérée dégageaient de l'oxygène, rattacha ce phénomène à la nutrition des plantes, et posa le principe général qui préside à leur développement.

Les parties vertes des végétaux, en présence de la lumière, jouissent de la propriété de décomposer l'acide carbonique en fixant le carbone et en dégageant l'oxygène combiné avec lui. Il suffit pour établir ce fait de placer une branche garnie de feuilles dans une cloche exposée à la lumière et contenant de l'acide carbonique; on remarque, au bout de quelques heures, qu'une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique a été décomposée et remplacée par un égal volume de gaz oxygène. Mais, pour étudier directement l'action des plantes vivantes sur l'acide carbonique existant en si faible proportion dans l'air ordinaire, il est nécessaire d'opérer sur un volume d'air très considérable, en plaçant, autant que possible, la plante dans les conditions normales de son existence. M. Boussingault a exécuté cette expérience, en introduisant dans un ballon de verre de grande dimension un rameau de vigne garni de ses feuilles. Un aspirateur, convenablement disposé, faisait passer à travers le ballon un courant d'air animé d'une vitesse uniforme. Dans les conditions où l'expérience avait lieu, l'air renfermait avant son entrée dans le ballon 0,0004 de gaz acide carbonique, et il n'en contenait plus, quand on opérait le jour, que 0,0001 à 0,0002 au moment de sa sortie. Les expériences de cette nature, variées et répétées plusieurs fois, ont toujours donné des résultats analogues.

La lumière est indispensable à l'accomplissement du phénomène de décomposition dont on vient de parler. Pendant la nuit, les feuilles, au lieu de mettre de l'oxygène en liberté, abandonnent au contraire une certaine quantité d'acide carbonique dont l'origine n'est peut-être pas encore parfaitement connue.

Une plante peut vivre et se développer avec le secours seul de l'eau et de l'acide carbonique qu'elle trouve dans l'air. Il est facile de faire germer différentes graines dans du sable pur et calciné, en les arrosant avec de l'eau distillée, et en les préservant du contact de toute substance étrangère. Dans ces conditions, la croissance d'un végétal est toujours lente et son développement incomplet; mais la végétation devient plus active si l'eau qui mouille les racines contient elle-même une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique en dissolution. Entraîné par le mouvement ascendant de la sève, ce gaz parvient dans les feuilles, où il subit, sous l'influence de la lumière, la même décomposition que celui que la plante absorbe directement dans l'atmosphère. L'influence favorable sur la végétation de l'eau renfermant de l'acide carbonique, parfaitement établie par une foule d'observations, et particulièrement par une expérience directe de M. de Gasparin, explique l'utilité de la présence dans le sol de matières organiques en décomposition, et plusieurs autres phénomènes sur lesquels on aura l'occasion de revenir.

On a dit que la lumière était nécessaire à la décomposition de l'acide carbonique par la matière verte des feuilles, et par suite au développement des plantes elles-mêmes. Certains végétaux dépourvus de parties vertes, les champignons par exemple, peuvent, il est vrai, végéter et grossir dans l'obscurité; mais ces plantes ne vivent qu'aux dépens des matières organiques en décomposition au milieu desquelles s'accomplit leur végétation. Elles ne forment donc pas de matières organiques, elles ne font que transformer celles qu'elles absorbent, et se rapprochent en cela de la manière d'être des animaux.

Les racines des plantes ont besoin d'être en contact avec le gaz oxygène, soit libre, soit en dissolution dans l'eau, pour conserver leur vitalité et puiser dans le sol l'humidité qui forme la sève, dont la circulation constitue la vie des végétaux. Les plantes plongées dans de l'eau privée d'air par un procédé physique ou chimique, périssent rapidement. Ce fait permet de comprendre la pernicieuse influence des eaux stagnantes et croupissantes sur la végétation, et d'apprécier, en partie, les avantages d'un sol rendu poreux et facilement perméable aux gaz par des préparations convenables.

Les plantes ne se bornent pas à décomposer l'acide carbonique pour s'assimiler du carbone; elles paraissent aussi décomposer l'eau pour se combiner avec l'hydrogène, que quelques-unes d'entre elles renferment en proportion un peu plus considérable que celle qui serait nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène qu'elles contiennent. Mais cette partie de l'alimentation végétale, bien moins importante que la précédente, a été beaucoup moins étudiée. Quant à l'oxygène que ces plantes renferment, il est naturellement fourni par l'eau qui baigne et pénètre tous les organes des végétaux.

L'oxygène, l'hydrogène et le carbone ne sont pas les seuls éléments constitutifs des végétaux; l'azote entre aussi dans leur composition. Ce dernier corps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

joue un rôle des plus importants dans la végétation ; son action ne saurait être trop soigneusement étudiée.

Il ne paraît pas possible d'admettre que les végétaux absorbent *directement* l'azote gazeux de l'air. Mais comme il est incontestable que la plupart des récoltes renferment plus d'azote que n'en contenaient les engrais mis à leur disposition, sans que pour cela le sol paraisse s'être appauvri de composés azotés, il est nécessaire d'expliquer comment l'azote s'introduit et se fixe ainsi dans les plantes.

L'action si favorable des azotates sur la végétation démontre nettement que les plantes peuvent absorber et réduire l'acide azotique et s'assimiler son azote, comme elles absorbent et comme elles réduisent l'acide carbonique pour s'assimiler son carbone.

L'emploi comme engrais de composés ammoniacaux s'explique probablement par la même réaction, car on sait avec quelle facilité l'ammoniaque s'oxyde et se transforme en acide azotique, sur lequel les plantes exercent l'action réductrice dont on vient de parler.

Reste donc à se rendre compte des sources où les végétaux puisent l'acide azotique, qui leur fournit une plus ou moins grande partie de l'azote nécessaire à la formation de leurs tissus.

Les eaux de pluie et d'orage renferment de l'ammoniaque et de l'acide azotique en proportions excessivement faibles, qui, multipliées par le volume d'eau qui tombe annuellement sur un hectare, produisent une quantité de composés azotés très-appréciable, mais cependant insuffisante en général pour l'alimentation de récoltes abondantes. Il faut donc chercher ailleurs la source d'une partie de l'acide azotique qui sert de véhicule à l'introduction de l'azote dans les végétaux. (Voy. NUTRITION DES VÉGÉTAUX).

L'observation des nitrières naturelles ou artificielles a appris depuis longtemps que dans certaines conditions, l'acide azotique peut prendre naissance au sein d'une masse terreuse. Des observations plus récentes et plus délicates ont montré que la même réaction se produit, bien que sur une échelle beaucoup plus faible, dans les terres arables de bonne qualité.

Les conditions dans lesquelles l'azote gazeux de l'air se transforme à la surface du sol en acide azotique et en azotates, ne sont pas encore connues d'une manière assez élémentaire pour qu'il soit possible de les exposer ici en quelques mots. Mais le fait de la nitrification étant admis, on comprend qu'une partie de l'azote de l'air se transforme en acide azotique, qu'il soit absorbé sous cette forme de composé soluble par les racines et qu'il se fixe enfin dans la plante par l'action réductrice dont on a parlé en commençant. On comprend en un mot que, sans appauvrir la terre, une récolte contienne plus d'azote que l'engrais qui lui a été fourni et que la graine qui lui a donné naissance.

Les faits déjà connus expliquent un grand nombre de résultats pratiques. Ils indiquent, par exemple, qu'il se forme plus d'acide azotique dans le sol recouvert de certaines récoltes que de certaines autres ; pourquoi, par conséquent, certaines plantes sont plus épuisantes que d'autres.

En résumé, les végétaux trouvent l'azote nécessaire à leur existence en partie dans les produits de la décomposition des matières organiques mises à leur disposition, et, pour le reste, dans une faible portion de l'azote de l'air lui-même transformé dans le sol en acide azotique.

Les végétaux outre l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et le carbone renferment encore, comme on l'a déjà dit, une proportion relativement assez faible de matières minérales, qui paraissent indispensables à leur développement complet. Ces substances constituent les cendres laissées par la combustion des végétaux. On trouvera à l'article ENGRAIS de nombreux résultats d'analyse des matières minérales contenues dans les végétaux. Il suffira de dire ici, pour donner une idée de l'importance de ces substances dans l'acte de la végétation, que le produit de la récolte d'un hectare de la plupart de nos plantes cultivées enlève au sol, dans des circonstances ordinaires, plus de 200 kilogrammes de matières fixes, parmi lesquelles on rencontre les acides phosphorique et sulfurique, la silice, l'alumine, la chaux, la potasse, etc. On a longtemps négligé cette importante partie de l'alimentation végétale; mais son intérêt, bien compris depuis quelques années, est sans contredit l'un des grands progrès dus aux perfectionnements des procédés d'analyse chimique, assez avancés aujourd'hui pour permettre d'établir d'une manière précise la nature des amendements ou des récoltes les plus convenables pour un terrain déterminé.

La nature et les proportions relatives des substances minérales contenues dans les végétaux varient naturellement d'une espèce à l'autre, en raison de leur constitution propre et de leurs caractères spéciaux. Les racines d'une plante, plongées dans un sol renfermant un plus ou moins grand nombre de sels minéraux différents, choisissent, en quelque sorte, ceux de ces composés qui conviennent à leur espèce. Ainsi, en analysant les cendres de diverses plantes venues dans un même terrain, on trouve que l'une est riche en sel marin, que les phosphates prédominent dans une autre, que la silice abonde dans une troisième, et ainsi de suite.

La présence dans les plantes, en assez forte proportion, de matières regardées comme insolubles est facile à expliquer, bien qu'elle ait été un sujet d'étonnement pour les savants qui l'observèrent les premiers. On sait maintenant, en effet, que l'insolubilité n'est pas une propriété absolue. Les corps réputés insolubles ne le sont que relativement, et l'eau, surtout quand elle est aérée et chargée d'acide carbonique, en dissout toujours une petite quantité. D'un autre côté, le volume d'eau qui traverse une plante pendant la durée de sa végétation est véritablement énorme ; ainsi, pour ne citer qu'un fait : Hales a constaté qu'un soleil de force moyenne absorbait par jour 0^{k}700 kil. d'eau, qui s'évaporait à la surface de la plante. De sorte que l'on comprend très bien, quelque faible que soit la quantité de substance minérale dissoute dans l'eau que le végétal absorbe, qu'il puisse recevoir par cette voie tous les sels dont il a besoin.

La terre cultivable renferme d'ailleurs, quand elle est appropriée à une récolte, tous les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. Mais ces éléments ne sont pas tous arrivés à l'état de désagrégation qui les rend partiellement solubles et assimilables par les plantes; ils n'arrivent à cet état que successivement, par l'action prolongée des agents atmosphériques et des préparations répétées que l'on fait subir au sol.

La nature spéciale des aliments minéraux nécessaires à chaque espèce de plante, la puissance élective que possèdent les racines, et la lenteur enfin avec laquelle les roches qui constituent les terrains agricoles se désagrègent et passent à l'état de solubilité relative qui permet aux plantes de les absorber, donnent le moyen de se rendre compte de la nécessité d'alterner les récoltes et d'expliquer d'une manière générale le principe des assolements. On conçoit, en effet, qu'une première récolte, ayant puisé dans le sol les sels dont elle a besoin, puisse être suivie d'une seconde récolte exigeant une alimentation différente, puis celle-ci d'une troisième encore différente, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on puisse revenir à la première récolte, qui trouvera de nouveau, dans un état convenable, les éléments minéraux qui lui sont nécessaires, s'il s'est écoulé un temps suffisant, depuis la première culture, pour que les labours et les intempéries aient pu désa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gréger et rendre soluble une nouvelle proportion des roches du terrain cultivé.

On vient de rappeler, aussi brièvement que possible, les notions de chimie agricole les plus indispensables à l'explication des phénomènes dont nous avons à nous occuper. On n'insistera pas davantage sur ces préliminaires qui seront développés plus loin quand le sujet l'exigera. C'est dans les ouvrages spéciaux de botanique, de physiologie et de chimie, qu'il faut chercher des notions étendues sur ces intéressantes questions. Hâtons-nous donc d'entrer d'une manière plus intime dans notre sujet en étudiant, avec les détails nécessaires, les deux milieux dans lesquels vivent et se développent les végétaux : le sol qui les supporte, et l'atmosphère dans laquelle ils étendent leurs rameaux et leurs feuilles.

Deuxième section. — Terrains agricoles.

I. CONSTITUTION GÉOLOGIQUE.

On trouvera à l'article *Géologie* du *Dictionnaire* des notions étendues sur les différentes formations de notre globe. On doit seulement ajouter ici quelques mots sur la constitution de la couche arable la plus superficielle de la terre, quelquefois fort différente du *terrain* géologique sur lequel elle repose.

Les géologues ont été longtemps sans s'occuper des dépôts qui recouvrent une partie du globe. Ils ne voyaient dans ce mélange confus de roches brisées ou décomposées qu'un amas informe indigne de leur attention. L'importance des études de géologie agricole, mieux appréciée dans ces derniers temps, a porté plusieurs personnes à s'occuper d'une manière directe de cet ordre d'idées. Tout fait espérer que de bonnes descriptions géologiques de terrains agricoles ne tarderont pas à être moins rares qu'elles ne le sont aujourd'hui, et qu'elles pourront fournir à la pratique de précieuses indications.

Les couches des terres arables n'ont pas toutes la même origine. On peut, sous le rapport de leur mode de formation, les partager en plusieurs classes principales, parmi lesquelles nous citerons :

Les *terrains formés sur place* par la décomposition même de la roche qui les supporte. Ils sont généralement peu profonds et d'une fertilité médiocre : les forces qui tendent à désagréger une roche pour la transformer en terre cultivable sont assez nombreuses. Les gelées, la pesanteur, les propriétés plus ou moins hygrométriques des parties qui constituent le terrain, les racines en pénétrant dans les fentes du rocher, l'action de l'oxygène, de l'eau, de l'acide carbonique, etc., sont autant de causes qui tendent à décomposer les minéraux, soit en modifiant leurs propriétés physiques, soit en altérant plus ou moins profondément leur constitution chimique. Mais ces forces agissent toujours avec une extrême lenteur, et leur action décroît rapidement d'intensité quand une couche de débris suffisamment épaisse recouvre la roche et la préserve de nouvelles attaques.

Les *terrains diluviens*, qui forment la plus grande partie du sol cultivable de la France, et même de l'Europe entière, offrent plusieurs caractères généraux, souvent modifiés par l'influence de circonstances locales, mais toujours assez nettement définis pour permettre de rattacher ces immenses dépôts à une même révolution géologique.

Les *terrains d'alluvion* se forment encore chaque jour sous nos yeux : les galets, les graviers, les sables et le limon entraînés par les fleuves et les rivières, se déposent en différents points de leur cours et forment des terrains composés de couches superposées répondant aux diverses crues du cours d'eau. Les terrains les plus fertiles de nos vallées appartiennent à cette formation qui constitue une portion de l'Egypte et des bassins du Rhin, de la Garonne, etc. On ne saurait assez se préoccuper de favoriser le dépôt de ces alluvions précieuses, dont des travaux d'endiguement mal dirigés facilitent trop souvent l'entraînement à la mer.

Les *terrains d'atterrissement* se produisent sur quelques points des côtes où les vents et les courants viennent déposer les matières terreuses et sablonneuses apportées par les fleuves, ou enlevées par les vagues à d'autres points de la côte. Les terrains ainsi formés ne peuvent pas s'élever au-dessus du niveau des grandes marées ; pour devenir propres à la culture, ils doivent être défendus contre les eaux par des travaux d'endiguement. Mais leur fertilité compense largement les dépenses d'établissement et d'entretien de ces ouvrages de défense, dont le nord de la France, la Hollande et la Belgique offrent de si beaux exemples.

Les *dunes*, qui occupent en France une étendue considérable sur les côtes de l'Océan, sont formées de grains de sable quartzeux d'un très petit volume. Ces montagnes de sable, poussées par le vent, avancent graduellement et recouvrent successivement les champs et les villages qu'elles rencontrent. L'art parvient maintenant à fixer les dunes et à les transformer, dans quelques localités, en un sol cultivable très propre à certains végétaux.

Les *terrains paludéens*, dont le nom indique l'origine, jouissent de propriétés aussi variées que les circonstances locales qui leur ont donné naissance. La facilité que présente souvent l'amélioration de cette espèce de terrains doit appeler sur eux toute l'attention des cultivateurs.

Il est nécessaire de dire ici quelques mots de la *disposition des couches des terrains agricoles.*

L'épaisseur de la couche du sol où vivent et se développent les racines des plantes est excessivement variable ; réduite à quelques centimètres dans les mauvais sols, elle atteint 0m,25 à 0m,35 dans les sols profonds. On désigne sous le nom de *sous-sol* le terrain placé au-dessous de la couche agraire dont on vient de parler. Mais on conçoit que cette simple division en sol et sous-sol manque de précision, et ne suffit pas pour exprimer la nature si variable des différentes couches qui se succèdent dans un terrain agricole. M. de Gasparin, pour préciser d'une manière plus complète leur constitution, les partage en quatre classes : « Nous appellerons, dit cet habile agronome, le *sol* la couche supérieure du terrain, jusqu'à la profondeur où elle conservera la même nature minérale. Le sol se divisera en : 1° *sol actif*, celui qui est mêlé de terreau, qui reçoit les impressions de l'atmosphère, les sels solubles, dans lequel se passent les phénomènes de la végétation et qui est atteint par les labours ; 2° au-dessous de cette première couche, et quoique conservant la même composition minérale, si le sol est profond, nous appellerons *sol inerte* la seconde couche qui n'est pas entamée par les cultures. »

« Au-dessous du sol, au moment où une nouvelle couche de composition minérale différente se présente, nous avons le *sous-sol*, qui peut être formé lui-même de plusieurs couches variables aussi dans leur composition, jusqu'à ce qu'on atteigne dans la profondeur la couche imperméable. »

On conçoit d'ailleurs que dans certains cas particuliers quelques-unes des couches précédentes n'existent pas ; ainsi le *sol* peut reposer directement sur la couche imperméable, etc.

La profondeur du sol actif, d'après ce qui précède, dépend exclusivement de la profondeur des labours. Il est avantageux que le sol actif soit assez profond ; mais on ne peut poser aucune règle générale sur la conve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

nance de le mélanger plus ou moins souvent au sol inerte en ramenant à la surface une partie de celui-ci. Le succès de cette opération dépend évidemment de la composition relative de ces deux parties du sol. Si le sol actif est épuisé et que le sol inerte soit doué d'une grande fertilité, le mélange est avantageux. Si, au contraire, le sol inerte était de mauvaise qualité et que le sol actif n'eût été amélioré qu'à force d'engrais et d'amendements, il est clair qu'il faudrait éviter avec soin toute espèce de mélange des deux couches.

Le sous-sol, quand surtout il est voisin de la surface, exerce une influence capitale sur la valeur du terrain, soit par sa nature même, soit par son action sur l'écoulement des eaux. Il y a telles contrées qui ne doivent leur infertilité qu'à la nature du sous-sol. Nous ferons d'ailleurs une étude spéciale de ce sujet dans le chapitre III, en nous occupant de l'assainissement des terres.

Quant à la couche imperméable, il importe surtout d'examiner son épaisseur pour reconnaître de combien elle sépare le sol du réservoir inférieur des eaux, dont l'action est si grande et quelquefois si favorable à la végétation de la surface, soit parce qu'il conserve au terrain une fraîcheur constante, soit parce qu'il fournit, à l'aide de puits artésiens ou de machines, les eaux nécessaires à l'irrigation.

II. COMPOSITION CHIMIQUE DES TERRAINS.

Les terres cultivables diffèrent chimiquement beaucoup plus entre elles par les proportions relatives des matières qui les constituent que par la nature même de ces matières. On ne rencontre, en effet, à de rares exceptions près, dans les sols arables, abstraction faite de l'eau, que les substances suivantes, soit isolées, soit combinées entre elles ou avec certains acides :

Silice,	Soude,
Alumine,	Oxyde de fer,
Chaux,	Oxyde de manganèse,
Magnésie,	Azote,
Potasse,	Terreaux.

Les propriétés chimiques de la plupart de ces composés sont décrites à l'article spécial qui les concerne. Il suffira de quelques mots pour compléter leur histoire, au point de vue particulier qui nous occupe.

La *silice* est une des substances les plus abondamment répandues dans la nature ; ses propriétés varient extrêmement avec son état d'agrégation : tout à fait insoluble quand elle est en masses compactes, comme dans le quartz pur, les silex et la plupart des minéraux où elle se rencontre, elle est, au contraire, assez soluble dans l'eau quand elle provient de la décomposition des silicates. Elle peut donc dans cet état pénétrer dans les végétaux, où on la rencontre en effet presque toujours, et quelquefois en quantité tellement abondante qu'elle communique à leurs tissus une dureté considérable et un aspect particulier, comme on le remarque, par exemple, dans les prêles, le bambou, etc.

L'*alumine*, à l'état de pureté, est extrêmement rare dans la nature ; mais, combinée avec de l'eau et de la silice, elle constitue l'*argile*, si répandue à la surface de la terre, et dont le rôle est si important en agriculture. Il existe beaucoup d'espèces d'argiles formées de mélanges en proportions variées de calcaire, d'oxyde de fer, etc., avec la combinaison d'alumine et de silice dont on vient de parler. L'argile pure peut absorber 0,70 de son poids d'eau, fait pâte avec ce liquide, ne l'abandonne que difficilement et durcit beaucoup par la dessiccation ; de sorte qu'elle offre de grandes difficultés de travail pour les instruments de culture, soit à l'état sec, soit à l'état humide. L'argile brûlée absorbe énergiquement les gaz avec lesquels elle se trouve en contact ; mais sa propriété la plus remarquable, sous le rapport des phénomènes de la végétation, est la faculté qu'elle possède de s'emparer des composés ammoniacaux et de les retenir jusqu'à ce qu'elle en soit en quelque sorte saturée. Tous les agriculteurs savent, en effet, que les premières fumures sont presque sans effet sur les terres argileuses épuisées depuis longtemps ; les composés ammoniacaux restent combinés avec l'argile et n'agissent pas sur la végétation. Mais après un certain temps le fumier ajouté profite entièrement aux récoltes, et on peut même obtenir alors, pendant un ou deux ans, d'abondants produits sans nouvelles fumures, en reprenant au sol la richesse qu'il s'était appropriée.

La *chaux* n'existe jamais pure dans la nature ; on la rencontre en général dans les terres cultivées à l'état de carbonate, de sulfate et de phosphate. Le premier de ces sels est de beaucoup le plus abondant dans les terres arables ; il constitue même la base de certains sols et imprime toujours un caractère spécial à ceux où il se trouve. Le carbonate et le phosphate de chaux sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique. Le sulfate est assez soluble ; on sait qu'il se rencontre dans les eaux de source ou de puits d'un grand nombre de localités. On étudiera attentivement le rôle et les propriétés des trois sels précédents dans le chapitre consacré aux engrais et amendements (chapitre V).

La *magnésie*, à l'état de carbonate et de phosphate, existe en assez forte proportion dans un grand nombre de sols très fertiles, et se retrouve dans les plantes qui végètent dans ces terrains. Le carbonate de magnésie absorbe beaucoup plus d'eau que le carbonate de chaux ; il tend par conséquent à rendre les terrains plus frais et plus liants, quand il se trouve en proportion convenable. Mais quand le sol est exclusivement formé de débris de dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie), il présente la stérilité et les défauts des sols crayeux, dont il offre aussi l'aspect général.

La *soude* et la *potasse* présentent entre elles la plus grande analogie ; ces deux alcalis peuvent même, jusqu'à un certain point, se substituer l'un à l'autre dans la constitution des plantes. Ils exercent sur la végétation une très grande influence, et leur emploi judicieux pourrait souvent modifier de la manière la plus avantageuse les produits d'un terrain qui ne serait pas suffisamment pourvu de matières alcalines. Une récolte de froment n'enlève pas au sol moins de trente et quelques kilogrammes de potasse et de soude, et comme ces substances n'existent en général qu'en assez faibles proportions dans les terrains, on voit combien il importe de restituer à la terre, par les fumiers ou autrement, une quantité de ces bases à peu près équivalente à celle qui a été enlevée par la récolte précédente. Cette observation explique les heureux résultats obtenus dans quelques circonstances de l'emploi de cendres de bois ou d'eaux de lessive répandues sur le sol.

Le *fer oxydé* se rencontre à peu près dans tous les terrains ; il leur donne différentes couleurs, variant du rouge brun foncé au jaune clair. Le peroxyde de fer paraît jouir, comme les argiles, de la propriété de fixer et de conserver les composés ammoniacaux. Il exercerait par là une grande influence sur la végétation. On a dit, dans ces derniers temps, que le fer à l'état de sel de protoxyde existe en assez grande quantité dans des terres fertiles. Si cette observation se vérifie, elle pourra servir à expliquer l'utilité de l'oxyde de fer dans les terres labourées et l'origine d'une partie des produits ammoniacaux consommés par les plantes. Les composés de fer sont rarement employés dans la grande culture comme amendement ; mais on a, par plusieurs expériences, constaté leur action favorable sur les plantes étiolées ou atteintes d'une espèce de chlorose.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'*oxyde de manganèse* paraît plus répandu dans les terres cultivables qu'on ne l'avait cru pendant longtemps. Il est, dans tous les cas, beaucoup moins abondant que l'oxyde de fer. Son influence sur la végétation n'est pas encore bien connue ; des expériences à cet égard pourraient être fort utiles. Dans le cas où elles seraient favorables, le bas prix des sels de manganèse, aux environs de certaines villes manufacturières, permettrait d'en faire d'utiles applications à l'agriculture.

L'*azote* existe en général dans les terrains à l'état de composés ammoniacaux et d'acide azotique, mais toujours en très-faible proportion, puisque les terres fertiles, dans leur état naturel, n'en renferment pas plus de 0,0004 de leur poids. On ne connaît pas encore d'une manière précise toutes les réactions qui donnent naissance aux produits azotés qui servent à la végétation. On sait seulement que les principales sources de ces composés sont : les eaux de pluie, qui réunissent l'ammoniaque qui paraît exister dans l'atmosphère ; les engrais, enfin certains corps poreux, qui semblent favoriser la production des azotates.

Le *terreau* ou l'*humus* est le produit de l'altération des matières végétales par l'action combinée de l'oxygène de l'air, de l'humidité et d'une espèce particulière de fermentation. Les feuilles, les tiges, le bois, les enveloppes des fruits abandonnés à l'air, perdent une partie de l'eau qui entre dans leur composition ; et une proportion relativement moindre de carbone, de sorte que le produit de l'altération de ces diverses substances est plus riche en carbone qu'elles ne l'étaient elles-mêmes. Le terreau provenant de sources diverses, — et produit dans des circonstances souvent très-différentes les unes des autres — est loin de constituer un corps parfaitement défini et toujours identique avec lui-même. Ce composé mériterait une étude particulière ; on ne peut maintenant qu'indiquer ses propriétés les plus générales, ou plutôt les caractères qu'il communique aux mélanges plus ou moins complexes dont il fait partie. La potasse caustique en dissolution dissout le terreau, en formant une liqueur d'un brun foncé dont les acides séparent une masse floconneuse d'une teinte noirâtre, à laquelle on a donné les différents noms d'acide ulmique, humique, etc. Cette matière brune constitue le terreau isolé ; elle est à peu près insoluble dans l'eau, mais elle peut éprouver un second degré d'altération qui la rend soluble et la transforme en ce que l'on nomme extrait de terreau. Pendant que cette seconde altération se produit, il se dégage de l'acide carbonique, et il se forme, en petite quantité, quelques autres acides organiques. La propriété dont jouit le terreau d'absorber les gaz atmosphériques, et de se décomposer en produisant de l'acide carbonique, explique en partie l'influence énergique qu'il exerce sur la végétation. Le terreau est très-avide d'oxygène et paraît susceptible de réduire certains corps avec lesquels il se trouve en contact. Les terrains très-fertiles en contiennent, en général, de 0,05 à 0,08. Quand cette proportion est notablement dépassée, la fertilité décroît, et les terres qui renferment 0,25 de terreau sont presque toujours à peu près stériles et exigent des amendements et un mode de culture tout à fait spéciaux.

Les terreaux, produits par les débris de végétaux riches en tannin, en contiennent eux-mêmes une certaine quantité. L'acidité que leur communique cette substance les rend impropres à la plupart des cultures, et ne peut être corrigée que par l'emploi de quantités considérables de chaux ou autres matières alcalines.

La tourbe est une espèce de terreau dû à la destruction successive des plantes aquatiques. Elle forme quelquefois des couches plus ou moins épaisses exploitées comme combustible ; ses caractères chimiques varient à l'infini avec les circonstances qui ont présidé à sa formation. La tourbe, dans d'autres circonstances, est intimement mélangée avec le sol, comme l'humus dans les terres ordinaires, et forme alors des terrains paludéens d'une grande richesse s'ils renferment du calcaire, et, au contraire, presque sans valeur quand ils ne contiennent pas ce principe de fertilisation.

On vient d'indiquer la nature et les propriétés les plus importantes des matières qui entrent habituellement dans la composition des terrains agricoles. Il serait impossible de faire connaître ici avec assez de détails les procédés de l'analyse chimique des terres. On se bornera à indiquer une méthode d'essai très-simple de la terre arable, la *lévigation*, que tout le monde peut exécuter, et qui fournit aux praticiens de fort utiles indications.

Le choix de l'échantillon de terre que l'on veut soumettre à l'expérience doit être fait avec soin. Il convient toujours de prendre des échantillons en divers points d'un champ, et de les mélanger pour former un échantillon moyen, qui représente mieux la composition générale du sol que ne pourrait le faire la terre prise en un seul point.

On fait bouillir dans une capsule ou une casserole en porcelaine, pendant une heure environ, de 300 à 500 grammes de terre avec 1 ½ à 2 ½ litres d'eau pure, ou mieux d'eau distillée, puis on jette la masse sur une petite passoire en fer-blanc dont les trous ont un ½ millimètre de diamètre. En agitant le mélange avec une cuillère, l'eau s'écoule dans un vase à précipité de deux litres environ placé sous la passoire, et entraîne les parties les plus fines de la terre. On reverse sur la passoire, en la puisant avec la cuillère, une partie de l'eau déjà écoulée, pour achever d'entraîner les parties fines de la terre qui auraient échappé à la première opération, et enfin on termine le lavage en versant peu à peu et à plusieurs fois, si cela est nécessaire, sur les matières restées dans la passoire, une petite quantité de nouvelle eau. Ce qui reste sur la passoire est jeté dans un vase à précipité, à peu près semblable au précédent, en partie rempli d'eau. On imprime à ce liquide un mouvement de rotation, de manière à mettre en suspension dans l'eau tout ce qu'il renferme. Les *gros débris organiques*, non encore décomposés, nagent à la surface du liquide ; ils sont recueillis avec une cuillère, ou, ce qui est plus commode, avec une petite écumoire, on les fait sécher au grand soleil, ou mieux à la chaleur d'un bain-marie très-simple, formé d'une assiette creuse posée sur une casserole où on entretient de l'eau bouillante, et enfin on les pèse. La matière restée au fond du vase, après l'enlèvement des débris organiques, est un mélange de sable moyen et de gravier. On le jette sur une seconde passoire dont les trous ont 3 millimètres de diamètre. Le *gravier* reste sur la passoire et le *sable moyen* passe à travers. On recueille ces deux substances, on les sèche et on les pèse.

Les matières entraînées par l'eau à travers la première passoire sont formées de terre et de sable fin. Pour séparer ces deux substances, on imprime au liquide du vase qui les renferme un mouvement de rotation aussi rapide que possible ; on laisse le mouvement se ralentir et on décante le liquide. Le sable fin, plus pesant que la terre et en grains plus volumineux, tombe au fond de l'eau et reste dans le vase, tandis que l'eau entraîne la terre proprement dite. Si la séparation des deux substances n'était pas suffisamment nette la première fois, une partie de la terre fine étant restée avec le sable, on pourrait reverser dans le vase renfermant ce dernier une partie de l'eau écoulée avec la terre, après l'avoir laissée reposer pendant quelque temps, puis recommencer une seconde fois l'opération de l'agitation, puis du décantement du liquide, revenu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à peu près au repos. Le *sable fin* est recueilli séparément, séché et pesé. Quant au liquide trouble chargé de terre, on l'agite vivement pour mettre la terre fine en suspension, et on jette le tout sur un filtre en papier non collé contenu dans un entonnoir placé sur un support en bois, au-dessus d'une capsule ou d'une casserole de porcelaine. La *terre fine* reste sur le filtre, on la lave avec un peu d'eau chaude qui s'ajoute à l'eau primitivement employée, on la sèche et on la pèse.

III. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES.

Les propriétés physiques des terres, qu'il serait si nécessaire de bien connaître, n'ont malheureusement été jusqu'à présent que très imparfaitement étudiées. M. de Gasparin est, à notre connaissance, le premier auteur français qui ait cherché à grouper avec méthode les données expérimentales, obtenues avant lui sur ce sujet; nous lui emprunterons la plus grande partie de ce qui suit.

Densité. Pour obtenir la densité d'une terre, on pèse un flacon plein d'eau distillée, on le vide et on le sèche, puis on le remplit en partie de la terre soumise à l'expérience; on le pèse de nouveau, on achève de le remplir d'eau, et on agite avec soin pour chasser les bulles d'air, ou plutôt, quand on veut obtenir une grande précision, on le met dans le vide pendant quelque temps, et enfin on fait une troisième pesée. En appelant p, p' et p'' les poids obtenus dans les opérations précédentes, diminués du poids du vase, et D la densité cherchée, il est évident que l'on a :

$$D = \frac{p'}{p + p' - p''}$$

On peut opérer d'une manière plus expéditive et suffisamment exacte pour les recherches ordinaires, en opérant de la manière suivante : On prend un flacon à large ouverture, contenant exactement deux décilitres cubes jusqu'à un trait marqué sur le col, on verse dans ce flacon un décilitre d'eau, puis on achève de le remplir avec la terre sur laquelle on opère. Le poids de la terre nécessaire à cette opération, exprimé en *hectogrammes*, fournit immédiatement la densité cherchée, puisque ce nombre indique précisément le rapport du poids d'un décilitre cube de terre à celui d'un égal volume d'eau.

Voici quelques nombres obtenus par Shübler :

Désignation de la terre.	Densité.
Sable calcaire.	2,822
Sable siliceux.	2,753
Glaise maigre (1).	2,704
Glaise grasse (2).	2,652
Terre argileuse (3).	2,603
Argile pure (4).	2,594
Terreau.	1,225
Terre de jardin (5).	2,332
Terre d'Hoffwill (6).	2,401
Terre du Jura (7).	2,526

On ne saurait évidemment conclure de la densité d'une terre sa composition chimique. Cependant, on peut dire, d'une manière générale, que les terres très denses sont riches en silice, et que les terres légères renferment de fortes proportions de terreau.

L'écartement plus ou moins grand qui existe entre les particules de la terre et qui varie avec une foule de circonstances, ne permet pas d'établir une relation simple entre la densité et le poids d'un mètre cube de terre; de sorte qu'il est impossible de déduire l'une de ces quantités de l'observation de l'autre. M. de Gasparin, en soumettant diverses terres complétement imprégnées d'eau à une même préparation, est arrivé aux résultats suivants :

	Pesanteur spécifique.	Poids d'un mèt. cube.
Glaise sablonneuse du Grand-Serre (Drôme).	2,47	2,103k
Terre siliceuse ocreuse de Bagnols (Gard).	2,56	1,833
Terre argilo-calcaire de Camargue, dite forte.	2,60	1,683
Glaise micacée d'Aulas (Gard) . . .	2,45	1,661
Terre argilo-calcaire de Camargue, dite légère.	2,50	1,639
Terre argilo-calcaire d'Orange (Prebois).	2,50	1,510
Glaise sablonneuse de la Valoire (Drôme).	2,63	1,458
Terre siliceuse des Arnas (Rhône). .	2,60	1,370
Terre d'Orange, riche en terreau (Grenouillet).	2,12	1,126

Les terres augmentent presque toujours de volume par l'action de la fouille; de sorte que le poids d'un mètre cube, après cette opération, est moindre que le poids du mètre cube de la même terre non fouillée. Ce foisonnement de la terre est extrêmement variable. On l'estime, en moyenne, à 1/10 du volume primitif; mais cette donnée n'a rien d'absolu, et doit être vérifiée par une expérience directe dans chaque pas particulier. Ainsi, j'ai eu l'occasion d'observer des terres qui foisonnaient à peine, et on en cite qui augmentent par la fouille du cinquième de leur volume primitif.

Le poids du mètre cube de terre, telle qu'elle se trouve dans les champs, est un document précieux pour l'exécution des travaux agricoles. Nous réunissons ici quelques données pratiques empruntées à différents observateurs.

	Poids du mètre cube.	
Sable fin et sec.	1,399k à 1,428k	
Sable fin et humide.	1,900	»
Sable fossile argileux.	1,713	1,799
Terre végétale légère.	1,214	1,400
Terre argileuse.	1,600	»
Terre glaise.	1,900	»
Terre de bruyère.	614	643
Terreau.	828	857
Tourbe sèche.	514	»
Tourbe humide.	785	»
Marne.	1,571	1,642
Grosse terre mêlée de sable et de gravier.	1,860	»
Terre grasse, mêlée de cailloux.	2,290	»

Ténacité, adhérence des terres. Les terres soumises aux travaux de la culture sont presque toujours humides, les instruments ont donc à vaincre la ténacité propre du terrain et la force avec laquelle il adhère au bois ou au métal de l'outil employé. La ténacité et l'adhérence des terres exercent par conséquent une grande influence sur la difficulté des cultures, et l'on comprend dès lors tout l'intérêt que le cultivateur attache à la nature plus ou moins *forte* de la terre qu'il exploite. Un coup de bêche suffit au praticien exercé pour se rendre compte de cette propriété, ou du moins pour établir une comparaison assez exacte entre la terre qu'il examine et

(1) Contenant 40 p. 100 de sable siliceux fin.
(2) — 24 p. 100 — —
(3) — 10,75 p. 100 — —
(4) Argile privée de sable, d'un gris bleuâtre, douce au toucher et un peu grasse.
(5) Légère, noire et fertile, contenant 52,4 d'argile, 36,5 de sable siliceux, 1,8 de sable calcaire, 2 de carbonate de chaux pulvérulent, et 7 d'humus.
(6) Contenant 51,1 d'argile, 42,7 sable siliceux, 0,4 de sable calcaire, 2,3 carbonate de chaux pulvérulent, et 3,4 d'humus.
(7) Contenant 63 de sable siliceux, 33,3 d'argile, 1,2 sable calcaire, 1,2 carbonate de chaux pulvérulent, et 1,2 d'humus.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

celle qu'il cultive habituellement ; mais pour rendre rigoureusement comparables ces diverses évaluations, des méthodes plus précises deviennent nécessaires.

Dans les travaux publics, on classe les terres, sous le rapport de la difficulté de leur travail, d'après le temps nécessaire pour fouiller à la pioche un certain volume de déblai (voyez le mot *Terrassement*). La même méthode serait applicable, dans certains cas, aux ouvrages agricoles de terrasse et donnerait, avec des modifications convenables, des indications précieuses pour la pratique. Mais jusqu'à présent les agronomes ont eu recours à d'autres procédés.

Quelques personnes se bornent à former, avec les terres à essayer, des boules de 0m,03 de diamètre, que l'on dessèche à une température de 50° à 60°, et dont on compare la résistance à l'écrasement. Les boules de terres sablonneuses s'écrasent entre les doigts, et quelquefois tombent d'elles-mêmes en poussière. Les terres argileuses, au contraire, présentent une résistance plus ou moins grande, et quelquefois très considérable. Mais on comprend que cette méthode ne donne, comme la première, que des indications assez vagues et ne saurait présenter aucun caractère de précision.

On a cherché à mesurer la résistance absolue des terres en brisant sous des charges connues, et dans des circonstances déterminées, des prismes de dimensions également connues. On comprend combien le peu d'homogénéité de la terre doit apporter de perturbation dans les résultats obtenus ainsi. Les écarts d'une expérience à l'autre, faite sur une même terre avec des précautions identiques, s'élèvent souvent à plus des huit dixièmes de la charge maximum ou minimum de rupture. On ne pourrait donc arriver à des données de quelque valeur qu'en répétant les mêmes expériences un très grand nombre de fois pour chaque espèce de terrain, ce qui devient réellement impraticable. Les expériences faites jusqu'à présent ne sauraient, par conséquent, donner de renseignements assez précis pour qu'il soit utile de reproduire ici les chiffres obtenus.

Si la détermination de la ténacité des terres est à peu près impossible, scientifiquement parlant, il n'en est pas de même de la comparaison de leur adhérence, qui peut se faire d'une manière assez rigoureuse en opérant de la manière suivante : on suspend à l'un des plateaux d'une balance un disque de bois ou de fer de un décimètre carré de surface, et on lui fait équilibre au moyen de poids placés sous l'autre plateau, puis on met le disque en contact avec la terre, et on note les poids qu'il est nécessaire d'ajouter dans le second plateau pour rompre l'adhérence du disque et de la terre. On doit employer dans ces expériences toutes les terres à un même degré d'humidité relative ; celui que l'on obtient, par exemple, en les réduisant en bouillie claire et les laissant égoutter sur une toile grossière. L'adhérence du fer à la terre est de 1/10 moins forte, en moyenne, que celle du bois, résultat bien connu du reste de quiconque a manié comparativement un instrument de fer et un instrument de bois. Voici quelques chiffres obtenus par Schübler, en opérant comme on vient de l'indiquer :

	Adhérence par décimètre carré pour le bois de hêtre.
Sable siliceux	0k,49
Sable calcaire	0k,20
Terre du Jura	0k,27
Terre d'Hoffwil	0k,28
Terre de jardin	0k,34
Glaise maigre	0k,40
Glaise grasse	0k,52
Terre calcaire	0k,71
Terre argileuse	0k,86
Argile pure	1k,32

Il est inutile d'insister sur les conséquences à déduire du tableau précédent. Il traduit en nombres des renseignements dont tout agriculteur possède plus ou moins le sentiment. Remarquons seulement combien l'humidité peut influer sur la propriété qui nous occupe, puisque le sable siliceux qui, sec, n'offre pas d'adhérence, en acquiert une aussi notable quand il est mouillé.

La ténacité et l'adhérence des terres sont, comme on l'a vu, deux propriétés distinctes dont la composante, en quelque sorte, exerce la plus grande influence sur la difficulté que présente la culture du sol. Il n'existe malheureusement pas de procédé simple et pratique pour évaluer isolément la première de ces propriétés ; aussi serait-il de la plus grande importance d'avoir un moyen, prompt, simple et facile, de comparer à la fois la résistance au travail des terres dans leurs différents états naturels et dans différents lieux. C'est le but que M. de Gasparin s'est efforcé d'atteindre en proposant l'emploi d'une bêche ou d'une fourche d'un poids constant, et tombant d'une certaine hauteur, dont l'enfoncement indiquerait la plus ou moins grande résistance du sol. Ce moyen très simple donnerait certainement des résultats assez comparables, et il serait vraiment à désirer que son emploi se généralisât parmi les agronomes éclairés. La bêche dynamométrique de M. de Gasparin pèse 2k,75, et on la laisse tomber bien verticalement de 1 mètre de hauteur ; le fer a 0m,150 de large. Dans les terrains pierreux on emploierait une fourche à trois dents du même poids que la bêche. Les dents de cette fourche, terminées en pointe peu aiguisée, ont 0m,03 de côte.

Hygroscopicité des terres. On désigne sous ce nom la propriété que possèdent, à un plus ou moins haut degré, les différentes terres de retenir l'eau entre leurs particules sans la laisser égoutter. On constate et on évalue facilement cette propriété en faisant avec 20 gr. de terre, préalablement desséchée, une bouillie claire que l'on verse sur un filtre mouillé et pesé. Quand il ne s'écoule plus d'eau, on pèse le filtre et la terre qu'il contient. La quantité d'eau retenue se calcule en retranchant du poids total ainsi obtenu celui de la terre sèche et du filtre. Un grand nombre de circonstances peuvent influer fortement sur cette propriété : l'addition des engrais l'augmente beaucoup ; l'écobuage, au contraire, la diminue notablement. C'est donc complétement à tort que certains auteurs ont donné comme mesure de la fertilité d'un sol son degré d'hygroscopicité. Cette propriété dépend à la fois de l'état physique et de la composition chimique des particules.

Voici, du reste, quelques résultats obtenus par Schübler :

	Eau retenue par 100 parties de terre.
Sable siliceux	25
Gypse	27
Sable calcaire	29
Glaise maigre	40
Glaise grasse	50
Terre argileuse	60
Argile pure	70
Terre calcaire fine	85
Terreau	190
Carbonate de magnésie	456
Terre de jardin	89
Terre arable d'Hoffwil	52
Terre arable du Jura	48

La *perméabilité* des terres, c'est-à-dire la propriété qu'elles ont de laisser passer l'eau, n'est point en rapport direct avec l'hygroscopicité comme on pourrait le croire. On compare la perméabilité de différentes terres en plaçant sur un tamis une couche d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

certaine épaisseur de la terre à étudier, et on évalue la vitesse avec laquelle l'eau versée sur ces terres s'écoule dans un vase placé sous le tamis. Le sable laisse écouler l'eau très rapidement; l'argile, au contraire, la laisse à peine passer. La perméabilité des terres est une propriété importante qu'il importe d'étudier avec soin; elle se rattache à leurs propriétés capillaires, qui exercent sur la végétation une très grande influence, en facilitant plus ou moins les mouvements des gaz et des liquides, et qui jouent un rôle des plus importants dans les opérations de drainage et d'irrigation. Un examen attentif de la perméabilité des terres expliquerait peut-être bien des anomalies restées jusqu'à présent incomprises dans les travaux de cette espèce.

Les expériences de laboratoire dont nous venons de parler, et celles de même ordre qu'il nous reste à indiquer, ne permettent pas d'apprécier l'une des plus précieuses propriétés que puisse posséder une terre arable, la fraîcheur. Cette propriété dépend de la nature du sous-sol, de l'exposition du terrain, etc. Pour l'apprécier on prend un échantillon de terre à $0^m,33$ de profondeur, on le renferme dans un flacon à large ouverture bouché avec soin, pour le transporter au lieu de l'expérience. On le pèse, on le dessèche à 100° et on le pèse de nouveau. Pour qu'une terre soit saine, il faut que deux ou trois jours après une forte pluie elle ne renferme pas plus de la moitié de l'eau qu'elle peut retenir en raison de son hygroscopicité propre, déterminée comme on l'a indiqué ci-dessus, et pour qu'elle ne soit pas sèche, il est nécessaire qu'au mois d'août, après huit jours de sécheresse, elle renferme encore 10 p. 100 de son poids d'eau M. de Gasparin range parmi les terres fraîches celles qui retiennent habituellement de 15 à 23 p. 100 d'eau, et parmi les terres sèches celles qui en renferment moins de 10 p. 100.

Faculté des terres de se dessécher, d'absorber l'humidité, les gaz, etc. L'aptitude que les terres possèdent de se dessécher à l'air est à peu près en raison inverse de leur hygroscopicité. Schübler déterminait cette propriété en exposant les terres saturées d'humidité, sur des plateaux d'une surface donnée, à une température également déterminée. Les conditions ainsi déterminées ne paraissent pas assez nettement définies. Il conviendrait d'opérer à la fois à une température constante et dans un milieu constamment ramené au même degré de sécheresse, par la présence d'un corps déliquescent, de chlorure de calcium, par exemple.

Quand une terre se dessèche, elle diminue de volume, se resserre sur elle-même, et exerce souvent dans ces mouvements une action des plus nuisibles sur les racines, qu'elle écrase et déchire quelquefois. On apprécie ce retrait en formant des cubes de $0^m,30$ de côté avec des terres mouillées; on les dessèche à l'ombre, et quand ils ne changent plus de poids on mesure de nouveau leurs dimensions. En opérant ainsi, Schübler a obtenu les chiffres suivants :

	1,000 parties perdent de leur volume
Terre calcaire fine.	50
Glaise maigre.	60
Glaise grasse.	89
Terre du Jura.	95
Terre argileuse.	114
Terre d'Hoffwil.	120
Terre de jardin.	149
Argile pure.	183
Terreau.	200

La différence de retrait de l'argile et du calcaire explique la pulvérisation de la marne par les alternatives seules de sécheresse et d'humidité. Le terreau perd le cinquième de son volume par la dessiccation, et revient quand on le mouille à son volume primitif, ce qui explique en partie les mouvements si prononcés que l'on observe dans les terrains tourbeux quand la proportion d'eau qu'ils renferment vient à varier. L'abaissement de terrains de cette espèce a quelquefois été très sensible à la suite de travaux de drainage, et tous les ingénieurs qui ont eu à faire des remblais avec des terres de cette qualité ont eu l'occasion de remarquer les modifications produites dans les ouvrages par les variations d'humidité de la masse.

Les terres plongées dans l'air humide jouissent presque toutes de la faculté d'absorber une certaine quantité d'eau; cette propriété concourt à les entretenir dans l'état d'humidité nécessaire à une bonne végétation et constitue par conséquent une qualité précieuse dans beaucoup de circonstances. Schübler, dont le nom revient si souvent dans l'étude des propriétés physiques des terres, opérait en plaçant 5 gr. de chacun des échantillons qu'il voulait expérimenter sur de petits plateaux de $0^m,036$ de côte, disposés sous une cloche plongeant dans l'eau à sa partie inférieure. Il suffisait de peser, après différents intervalles de temps, les plateaux et leur contenu pour se rendre compte de ce que chaque échantillon avait absorbé d'eau. Le terreau se place en première ligne sous le rapport de la propriété qui nous occupe; de sorte que certains agronomes ont proposé de prendre pour mesure de la valeur d'un sol sa propriété d'attirer l'humidité. Mais on comprend qu'on ne saurait ainsi faire abstraction de la composition du terrain, de son exposition et de ses autres propriétés, sans s'exposer à commettre de graves erreurs.

Voici, du reste, les nombres obtenus dans quelques expériences faites comme on vient de l'indiquer :

	Absorbtion après :			
	12 heures.	24 h.	48 h.	72 h.
Sable siliceux. . . .	0,000	0,000	0,000	0,000
Sable calcaire. . . .	0,040	0,045	0,045	0,045
Terre du Jura. . . .	0,071	0,095	0,100	0,100
Terre d'Hoffwil. . . .	0,081	0,110	0,115	0,115
Glaise maigre. . .	0,105	0,130	0,140	0,140
Glaise grasse. . . .	0,125	0,150	0,170	0,175
Terre calcaire fine.	0,130	0,155	0,175	0,175
Terre argileuse. . .	0,150	0,180	0,200	0,205
Terre de jardin. . .	0,175	0,220	9,250	0,260
Argile pure.	0,185	0,210	0,240	0,245
Humus.	0,400	0,485	0,550	0,600

Les terres ne jouissent pas seulement de la propriété d'absorber l'humidité; elles exercent sur les gaz, quand elles sont humides, une action analogue qui a particulièrement été étudiée pour l'oxygène. Quand les terres se dessèchent, elles abandonnent l'oxygène qu'elles avaient en quelque sorte condensé mécaniquement, et ne reprennent la propriété d'absorber ce gaz qu'autant qu'elles sont humectées de nouveau. L'absorption du gaz oxygène, comme on vient de le dire, se produit sans action chimique quand les terres ne contiennent ni humus, ni fer à un degré inférieur d'oxydation; mais quand ces dernières substances existent dans un terrain, les choses se passent d'une manière bien différente. L'oxygène, en agissant sur l'humus, le transforme en eau et acide carbonique, qui, entraîné par la sève, ou dégagé dans l'atmosphère, favorise énergiquement le développement des plantes. La suroxydation du fer ne paraît pas moins importante; elle a lieu non-seulement par l'action directe du gaz oxygène, mais aussi par la décomposition de l'eau, pendant laquelle l'hydrogène naissant se combine à de l'azote, pour former de l'ammoniaque, dont on connaît la puissante influence sur les végétaux.

L'absorption de l'oxygène par la terre humide a été souvent étudiée; nous indiquerons seulement ici quel-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ques expériences de Schübler, bien qu'elles laissent beaucoup à désirer. Le contact des substances durait trente jours :

	Absorption d'oxygène en poids pour 100,000 parties en poids de la terre.
Sable siliceux.	4,6
Sable calcaire.	5,6
Glaise maigre.	9,3
Terre calcaire fine.	10,8
Glaise grasse.	11,0
Terre argileuse.	13,6
Terre arable du Jura.	15,2
Argile pure.	15,3
Terre arable d'Hoffwil.	16,2
Terre de jardin.	18,0
Humus.	20,3

Propriétés calorifiques des terres. La constitution physique des terres et leur composition chimique influent considérablement, et sur leur propriété de retenir la chaleur, et sur leur calorique spécifique. On n'a pas d'expériences bien précises sur ce sujet, et les observateurs ne semblent pas s'être assez préoccupés de distinguer les différents éléments de la question. On s'est borné à échauffer, à une même température, des poids égaux de différentes terres, à les laisser refroidir d'un même nombre de degrés, après les avoir renfermés dans des vases semblables, et à noter le temps nécessaire à ce refroidissement. La faculté de retenir la chaleur est proportionnelle à ce temps. On comprend que les résultats ainsi obtenus sont assez peu comparables. Voici cependant l'ordre dans lequel Schübler range, sous ce rapport, les terres soumises à ces expériences :

	Faculté de retenir la chaleur.
Sable calcaire	100
Sable siliceux.	956
Glaise maigre.	769
Terre du Jura.	743
Glaise grasse.	714
Terre d'Hoffwil	704
Terre argileuse.	684
Argile pure.	667
Terre de jardin.	648
Terre calcaire.	618
Terreau.	490

L'échauffement des terres par la chaleur solaire est une propriété bien plus intéressante, au point de vue pratique, que celle dont on vient de parler. Cet échauffement dépend, pour un même lieu, de la nature de la surface du sol, de sa composition chimique, de son degré d'humidité, et enfin de l'inclinaison sous laquelle il reçoit les rayons calorifiques.

La couleur du sol exerce sur son échauffement une très grande influence. Les cultivateurs ont remarqué qu'à égalité d'exposition, les sols colorés donnaient des récoltes plus hâtives que les sols blancs; que le vin des premiers était plus généreux que celui des seconds. Les jardiniers recouvrent souvent leurs planches de terreau et de matières noires, pour activer la maturité des fruits et des légumes. C'est encore en se fondant sur cette propriété que l'on a souvent recommandé de peindre en noir les murs d'espalier. Cette coutume, du reste, n'est pas également applicable dans toutes les contrées; elle tend plutôt à régulariser le climat dans lequel vivent les fruits qu'à le rendre plus chaud par moments. Elle paraît dès lors convenir davantage aux pays chauds qu'aux contrées du Nord, où les murs blancs, en rejetant sur les fruits toute la chaleur du jour, peuvent favoriser leur développement et leur maturité.

La composition chimique du sol paraît presque sans action sur l'échauffement des terres par le soleil. Différents terrains ramenés à avoir une surface de même espèce n'ont présenté que des différences de température n'excédant pas 2° à 3°.

L'état de sécheresse ou d'humidité d'un terrain exerce au contraire sur son échauffement une grande influence. Les mêmes terrains, desséchés ou humides, ont présenté, dans des expériences faites avec soin, des différences de 7 à 8°. L'évaporation qui se produit à la surface des terrains humides doit être pour beaucoup dans l'abaissement de température dont il s'agit.

On n'insistera pas davantage sur l'examen des propriétés physiques et chimiques des terrains, considérées d'une manière abstraite. On a pu voir combien il reste de questions à éclaircir, de points à étudier sur cet intéressant sujet. Quelques-unes des méthodes d'expériences indiquées dans ce qui précède exigent des recherches assez délicates et n'offrent jusqu'à présent qu'un intérêt scientifique; mais le plus grand nombre présente, au contraire, un caractère de simplicité et d'utilité pratique facile à apprécier. L'essai chimique des terres, la détermination de leur densité et de leur degré de fraîcheur, sont autant d'opérations faciles à exécuter, et qui fournissent tous les renseignements nécessaires pour arriver à une juste appréciation des qualités d'un terrain.

On comprend du reste, sans qu'il soit en quelque sorte besoin de l'indiquer, que l'on doit toujours procéder dans ces études par voie de comparaison, c'est-à-dire, en soumettant aux essais et la terre dont on veut apprécier les qualités, et une terre prise dans des localités voisines et dont les propriétés sont bien connues et établies par une longue suite d'observations.

Il ne reste plus, pour compléter l'étude générale des terrains et résumer l'ensemble des notions précédentes, qu'à dire quelques mots de la classification des terres arables.

IV. CLASSIFICATION DES TERRES ARABLES.

Les terres arables présentent dans leurs caractères et leurs propriétés une variété infinie. Tous les auteurs qui se sont occupés d'agriculture ont senti le besoin d'une bonne classification des terrains et ont essayé de les partager en familles et en groupes, d'établir une nomenclature claire et précise permettant de reconnaître un terrain par son nom, ou de donner un nom à un sol jouissant de propriétés connues. Aucunes des tentatives faites jusqu'à présent, il faut bien l'avouer, n'ont atteint complétement le but proposé. Dans chaque localité, n'ayant à comparer qu'un petit nombre d'espèces et de variétés, on arrive facilement à des dénominations suffisamment précises dans le cercle auquel on les applique, mais tout à fait insuffisantes quand il s'agit de les étendre à d'autres contrées.

On n'essayera pas d'indiquer ici les divers systèmes de classifications des terres successivement proposés : les uns sont exclusivement fondés sur la constitution chimique des terrains, ou sur leurs propriétés physiques; les autres ne tiennent compte que de la nature des produits cultivés; d'autres, enfin, cherchent à employer une méthode mixte et à considérer à la fois un ensemble de caractères déduits de considérations de plusieurs genres. Il suffira d'indiquer les méthodes de classification les plus généralement suivies par les auteurs qui se sont occupés dans ces derniers temps des questions de cette nature.

Dans quelques publications récentes on s'est borné à distinguer seulement : 1° les terres fortes ou compactes; 2° les terres franches ou normales; 3° les terres légères; 4° les terres très maigres ou sableuses; 5° les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

terres de natures exceptionnelles, telles que les tourbes, les dunes, etc. Il est inutile d'insister sur tout ce que présente de vague et d'insuffisant une pareille classification; on conçoit qu'il est impossible de l'appliquer avec succès dans toute étude tant soit peu précise.

Une classification plus complète a été proposée par M. Oscar Leclerc-Thouin, dans la *Maison rustique du dix-neuvième siècle*, et reproduite depuis lors, avec quelques légers changements, par la plupart des ouvrages élémentaires d'agriculture. Voici, en résumé, les divisions adoptées par l'auteur que nous citons. Elles répondent assez bien, dans leur ensemble, aux dénominations usuelles consacrées par l'habitude et employées par beaucoup de cultivateurs :

A. Sols argileux.
1. Argile pure.
2. Argilo-ferrugineux.
3. Argilo-calcaire.
4. Argilo-sableux. — Terres fortes. — franches.

B. Sols sableux.
1. Sablo-argileux.
2. Quartzeux et graveleux.
3. Granitiques.
4. Volcaniques.
5. Sablo-argilo-ferrugineux.
6. Terre de bruyère.
7. Sable pur.

C. Sols calcaires.
1. Sable calcaire.
2. Crayeux.
3. Tuffeux.
4. Marneux.

D. Sols tourbeux et marécageux.
1. Tourbeux.
2. Uligineux.
3. Marécageux.

E. Sols magnésiens.

Nous indiquerons en peu de mots les caractères essentiels des cinq grandes classes du tableau précédent et de leurs principales subdivisions :

A (1). L'argile existe en forte quantité dans tous les sols de cette classe et leur imprime, à un plus ou moins haut degré, suivant sa proportion, les caractères qui lui sont propres. Les terres argileuses ont beaucoup de ténacité et de compacité; elles restent en masses consistantes après le labour et exigent un travail fréquent et pénible. Par la cuisson, les fragments de terre argileuse deviennent très durs et sonores comme de la brique.

Les terrains de cette espèce retiennent l'eau avec beaucoup de force, et leur assainissement présente souvent de très grandes difficultés. La sécheresse y produit des gerçures profondes, les resserre fortement, et s'oppose ainsi au développement des racines des végétaux. Les défauts que l'on vient de signaler appartiennent aux terrains d'argile presque pure; mais ils disparaissent plus ou moins complétement lorsque cette substance est intimement mêlée de sable et de calcaire, qui lui donnent des qualités précieuses pour la culture, lorsqu'ils existent en quantités convenables dans le sol, comme cela arrive dans quelques-unes des variétés suivantes.

(2) Les terres *argilo-ferrugineuses* contiennent une plus ou moins forte proportion de fer; elles acquièrent par la cuisson une couleur rouge brun très prononcée. A l'état naturel, elles sont noirâtres, rouges ou jaunes; ces dernières sont généralement fort impropres à la culture.

Comme exemple de composition de terrain argilo-ferrugineux, nous rapporterons l'analyse d'une terre d'une île de la Seine, en amont de Rouen, par M. J. Girardin ;

Sable fin.	Siliceux	11,28
	Calcaire	6,77
Débris organiques grossiers et coquilles		1,00
Matières solubles dans l'eau.	Humus soluble azoté. Carbonate et chlorures alcalins. Sulfate alcalin et sels magnésiens	0,85
Terre ténue.	Humus insoluble	17,30
	Argile	34,60
	Calcaire avec carbonate de magnésie	12,18
	Peroxyde de fer	16,02
		100,00

(3) Les terres *argilo-calcaires* se partagent en plusieurs variétés, suivant l'état de division du calcaire. Lorsqu'il est en petits fragments, le terrain se rapproche, quant à ses propriétés physiques, des terres argilo-sableuses; lorsque, au contraire, le calcaire se trouve dans un état d'extrême division, il constitue une argile marneuse, terrain qui absorbe l'eau avec une grande facilité et la retient avec une telle énergie, qu'il est à peu près impropre à la culture dans les pays humides, ou dans les années pluvieuses.

(4) La lévigation extrait des terres argilo-sableuses une plus ou moins grande proportion de sable. On les partage en terres fortes et en terres franches; ces dernières renferment de 10 à 30 p. 100 de calcaire et autant de sable. Elles conviennent à la plupart des végétaux usuels et jouissent habituellement d'une assez grande fertilité.

B. Les sols sableux possèdent des propriétés opposées à celles des sols argileux. Ils sont légers, ne présentent aucune consistance, n'adhèrent pas aux instruments. Ils se dessèchent avec une facilité si grande, qu'ils ne peuvent souvent produire aucune récolte sans le secours des irrigations.

(1) Les sols *sablo-argileux* se confondent, par des transitions insensibles, avec la dernière variété de la première classe. On place dans l'espèce qui nous occupe les terrains les plus fertiles et les plus propres à la culture, telles que les alluvions récentes de nos principales vallées. Tous les engrais conviennent à ces terrains, déjà riches, en général, en matières organiques et en calcaire.

(2) Les terres *quartzeuses*, composées de cailloux ou de graviers plus ou moins volumineux, sont peu propres à la culture. Elles acquièrent cependant une grande valeur si l'ensemble des circonstances locales permet, comme dans le Bordelais, d'y cultiver la vigne, dont les racines pénètrent assez profondément pour trouver dans ces sols arides une nourriture suffisante, ou bien encore si le voisinage d'un cours d'eau permet d'y appliquer les procédés du colmatage ou du terrement.

(3 et 4) Les sols *granitiques* et *volcaniques* proviennent, comme leurs noms l'indiquent, de la décomposition plus ou moins complète des roches de granite, ou des produits d'éruptions volcaniques anciennes ou modernes.

Les terrains produits par la décomposition de granites feldspathiques, quand ils acquièrent une épaisseur convenable, comme dans certaines parties du Limousin, sont d'une grande fécondité. Mais ces circonstances heureuses se présentent rarement, et, dans le plus grand nombre des cas l'abondance des fragments siliceux enlève aux terrains granitiques toute leur fertilité.

Les terrains volcaniques présentent presque toujours une grande valeur; ils constituent d'excellentes terres cultivables quand ils possèdent une certaine humidité. La belle plaine de la Limagne d'Auvergne offre, en France, l'exemple le plus remarquable de cette espèce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sol. La couleur foncée du terrain lui permet d'absorber la chaleur avec facilité, et la nature du sous-sol assure à la couche superficielle une fraîcheur continuelle.

(6) La terre de bruyère est un mélange de sable fin siliceux et de terreau, qui lui donne une couleur foncée et des propriétés particulières. Ce genre de sol ne joue jusqu'à présent qu'un rôle très secondaire dans la grande culture ; il est trop aride en été et généralement trop peu profond. Il occupe cependant en France d'assez vastes étendues pour attirer l'attention des cultivateurs, et se trouve souvent assez à proximité des moyens d'amélioration qui lui sont propres pour mériter une étude sérieuse.

L'analyse suivante, due à M. Payen, peut donner une idée de la composition de cette espèce de terre ; elle s'applique à un échantillon pris à Meudon, près Paris :

Sable de grès.	62,0
Racines et débris végétaux. .	20,0
Humus.	16,0
Matière soluble à l'eau froide. .	1,2
Carbonate de chaux	0,8
	100,0

(7) Le sable siliceux pur recouvre, sur quelques parties des côtes de France, de vastes étendues. Longtemps délaissées comme improductives, les dunes commencent à préoccuper sérieusement l'opinion, depuis que les travaux de Brémontier ont prouvé la possibilité de les fixer et de les planter en pins, et que d'autres essais ont établi que l'on pouvait, avec de l'eau, en tirer un excellent parti. En Belgique et en Hollande, on voit des terrains de sables, ensemencés en spergule, fournir d'abondantes récoltes de ce fourrage et se transformer peu à peu, sous l'influence d'une culture éclairée, en sols d'une qualité remarquable. On reviendra plus loin sur ce sujet, en indiquant les procédés de fixation et d'amélioration des landes de Gascogne.

C. Les sols calcaires sont ceux où le carbonate de chaux se rencontre en proportion prépondérante. Ces sols sont maigres, arides, et généralement peu fertiles. Leur couleur, ordinairement blanche, les empêche d'absorber la chaleur solaire. Ils consomment les fumiers avec une grande rapidité. Il convient, autant que possible, de leur appliquer les engrais à l'état de composts, formés avec l'argile et le terreau recueillis dans les mares et fossés où se dirigent les eaux pluviales qui ont arrosé des terres de meilleures qualités. Une partie de la Champagne est formée d'un sol crayeux qui imprime à tout le pays une stérilité que remarque l'observateur le moins attentif.

Il est inutile d'examiner les sous-divisions de ce groupe de terrains, heureusement assez peu répandus en France.

D. Les sols tourbeux ou marécageux, dans leur état naturel, sont ordinairement impropres à la culture ; ils exigent presque toujours, pour devenir capables de nourrir les plantes cultivées, des travaux préliminaires et des améliorations que nous indiquerons dans les chapitres suivants.

La tourbe est le produit de la décomposition plus ou moins avancée de végétaux, accumulés, par une cause ou par une autre, sous une couche d'eau. Elle est colorée en brun ou en noir, et présente souvent une assez forte proportion de plantes non encore décomposées. Elle contient de 80 à 93 p. 100 de matières organiques et seulement 7 à 20 p 100 de matières minérales ; sable siliceux, argile, carbonate, sulfate et phosphate de chaux et de magnésie. Les tourbes ne renferment pas d'alcali et présentent, en général, une

réaction acide qui s'oppose au développement de tous les végétaux, autres que les quelques variétés spéciales à ce genre de terrains.

Les sols marécageux, quand ils ont été convenablement desséchés, en leur conservant toutefois des moyens d'arrosage, peuvent fournir d'excellentes terres d'une fertilité souvent remarquable. Les cultures de garance de nos départements méridionaux existent quelquefois dans des terrains de cette nature, riches en matières animales, et assez heureusement placés, par rapport au réservoir inférieur des eaux, pour conserver une humidité permanente et convenable

E. Les sols magnésiens n'occupent pas en France une étendue assez importante pour qu'il soit nécessaire de s'en occuper ici. Ils sont, au contraire, assez abondants en Angleterre et en Italie. Ils proviennent de la décomposition d'une espèce de dolomie. Ils se dissolvent lentement dans l'acide chlorhydrique faible, et l'ammoniaque précipite abondamment la solution. Ces caractères suffisent pour les distinguer des sols calcaires.

M. de Gasparin, dans son grand ouvrage, propose une classification nouvelle des terrains, assez différente de celle que nous venons de faire connaître. Cette classification est loin d'être généralement adoptée ; mais elle présente un caractère remarquable de netteté scientifique que tous nos lecteurs apprécieront.

Voici le tableau synoptique des divisions adoptées par M. de Gasparin :

- A. Terrains renfermant l'élément calcaire.
  - 1. Limons (loams).
    - Inconsistants.
    - Meubles.
    - Tenaces.
  - 2. Argilo-calcaires.
    - Argileux.
    - Calcaires.
  - 3. Craies.
    - Fraîches.
    - Sèches.
  - 4. Sables.
    - Meubles.
    - Inconsistants.
- B. Terrains ne renfermant pas l'élément calcaire.
  - 1. Siliceux.
    - Secs.
    - Frais.
  - 2. Glaiseux.
    - Inconsistants.
    - Meubles.
      - Micacés.
      - Schisteux.
      - Volcaniques.
      - Sabloneux.
    - Tenaces.
- C. Argiles.
- D. Terreaux.
  - 1. Doux.
  - 2. Acides.
    - Terre de bruyère.
    - Terre de bois.
    - Tourbe.

Les caractères propres de ces différentes classes de terrains sont les suivants :

A. Les terrains renfermant l'élément calcaire font effervescence avec les acides.

1. *Les limons*, après avoir été traités par l'acide nitrique ou chlorhydrique, donnent un résidu d'argile et de silice libre, qui séparées par la lévigation forment au moins chacune un dixième du poids de la terre.

Les limons se couvrent naturellement d'herbes, parmi lesquelles dominent les bonnes graminées ; ils offrent aux plantes un point d'appui suffisamment solide, et ont assez d'affinité pour l'eau pour entretenir autour des racines une fraîcheur convenable. Ils sont d'ailleurs *inconsistants*, *meubles* ou *tenaces*, selon que l'argile y existe en proportion plus ou moins considérable.

Comme exemples de composition de terrains appar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tenant à la classe qui nous occupe, on peut citer les analyses suivantes :

Terre d'alluvion formée par le Rhône, à Gabet, près Orange.

Terreau	4,0
Carbonate de chaux	43,5
Argile	32,5
Silice libre	20,0
	100,0

Limon meuble de la rive gauche du Volga, analysé par M. Payen.

Silice	71,56
Alumine	11,40
Oxyde de fer	5,62
Chaux	0,80
Magnésie	1,22
Chlorures alcalins	1,21
Acide phosphorique	traces
Matière organique (2,45 p. 0/0 d'azote)	6,95
Perte	1,24
	100,00

Limon tenace du Nil, analysé par M. Lassaigne.

Silice	4
Argile	48
Oxyde de fer	6
Carbonate de chaux	18
Carbonate de magnésie	4
Terreau	9
Eau	11
	100

2. Les terres *argilo-calcaires* contiennent plus d'un dixième de carbonate de chaux; le résidu de l'action des acides ne contient pas un dixième de sable siliceux libre séparable par lévigation. Les terres de cette classe appartiennent à la première subdivision du tableau synoptique quand elles renferment au moins 50 p. 100 d'argile, et à la seconde quand elles contiennent au moins 50 p. 100 de carbonates. Les terres argilo-calcaires se subdivisent encore en *tenaces*, *meubles* et *inconsistantes*.

3. Les *craies* renferment au moins 60 p. 100 de carbonate de chaux et au plus 10 p. 100 d'argile. Ces terrains sont généralement infertiles. Ils sont froids, légers et ne conservent pas les fumiers.

Analyse d'un terrain crayeux de Brimont, près Reims, par Barruel.

Carbonate de chaux	66,7
Phosphate de chaux	2,0
Hydrate de peroxyde de fer	2,0
Alumine	2,3
Sable siliceux	27,0
	100,0

Les craies sont *fraîches* quand la position du réservoir des eaux inférieures leur permet de conserver l'été 0,1 d'humidité, à 0m,30 de profondeur. Dans le cas contraire, elles sont *sèches*, et présentent tous les inconvénients de leur nature.

4. Les *sables calcaires* renferment au moins 0,50 de sable calcaire ou siliceux, ne passent pas à travers un crible dont les trous ont un demi-millimètre de diamètre. Quand le sable prédomine dans le terrain, il est *inconsistant;* quand ils renferment un peu d'argile et de craie fine, ils peuvent acquérir une certaine consistance et se classer dans les terres *meubles*.

B. Les terrains *ne renfermant pas de calcaire* ne font point effervescence avec les acides :

1. Les terrains *siliceux* donnent au moins par la lévigation 0,55 de silice libre.

2. Les terrains glaiseux fournissent par la lévigation au moins 0,45 d'argile et 0,10 de silice libre.

C. Les *argiles* renferment au moins 0,85 d'argile et de la silice libre. Elles sont impropres à la culture.

D. On range parmi les *terreaux* les terres qui, préalablement desséchées, perdent plus d'un cinquième de leur poids par la combustion. Les sous-divisions sont suffisamment définies par leurs noms mêmes, sans qu'il soit nécessaire de les étudier avec détails.

La nature des plantes qu'un terrain produit naturellement est l'un des caractères les plus propres à déterminer ses propriétés. C'est un renseignement précieux qui permet souvent d'apprécier la valeur d'une terre que l'on veut mettre en culture, et qu'il ne faut jamais négliger de fournir, quand on veut faire connaître par une description les qualités d'un sol donné.

Nous avons pensé qu'il serait utile de présenter, dans le tableau suivant, en regard des principaux types de terrains, les noms de quelques-unes des plantes dont la végétation spontanée caractérise le mieux chacun d'eux.

DÉSIGNATION du terrain.	PLANTES SAUVAGES caractéristiques.
Terrains argileux.	Tussilage pas d'âne. Laitue vireuse. Sureau yèble. Lotier corniculé. Orobe tubéreux. Agrostis traçante. Chicorée sauvage.
Terrains argilo-calcaires.	Anthyllide vulnéraire. Potentille anserine Potentille rampante. Mélique bleue. Laitue vivace. Sainfoin cultivé. Chondrille jonçée. Frêne commun.
Terrains calcaires.	Brunelle à grandes fleurs. Boucage saxifrage. Germandrée petit chêne. Gaude. Potentille printanière. Coquelicot. Seslerie bleuâtre. Chardons. Globulaire commune. Noisetier commun.
Terrains sableux.	Jasione des montagnes. Elyme des sables. Statice des sables. Laiche des sables. Roseau des sables. Fléole des sables. Sabline pourpre. Canche. Fétuque rouge. Drave printanière. Oseille petite. Agrostide. Spergule des champs. Réséda jaune. Bouleau. Pin maritime.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION du terrain.	PLANTES SAUVAGES caractéristiques.
Terrains constamment submergés.	Mâcre. Fétuque flottante. Laiches. Scirpes. Souchets. Nénuphars. Roseau à balais. Fléchière. Plantin d'eau. Menthe poivrée. Épilobes.
Terrains non constamment submergés.	Spirée ulmaire. Menthe aquatique. Joncs. Laiches. Prêles.

Les deux classifications des terrains agricoles que l'on vient d'exposer, assez différentes en apparence, présentent au fond une certaine analogie, et il ne serait pas difficile, pour les personnes qui désireraient le faire, d'établir la synonymie à peu près exacte des principales dénominations employées. Mais on ne saurait s'empêcher de reconnaître que les noms adoptés par les auteurs des différentes méthodes de classification des terrains, sont ou trop peu précis, ou trop peu répandus, pour qu'il soit possible de reconnaître avec certitude la nature d'un sol par l'énoncé du nom qui lui est attribué. Il est donc indispensable, toutes les fois que l'on veut faire connaître un terrain, d'en donner une description complète, fournissant sommairement, comme le recommande M. de Gasparin, les indications suivantes :

1° La situation topographique du terrain;
2° Son altitude au-dessus de la mer;
3° La place que le terrain occupe dans la classification adoptée;
4° La position géologique, le genre de formation des terrains agricoles dont il dépend;
5° Sa pesanteur spécifique;
6° Sa ténacité;
7° Son hygroscopicité;
8° Sa fraîcheur;
9° Sa couleur à l'état sec ou humide;
10° Son analyse, précédée de la séparation par criblage et lévigation, et de l'examen microscopique des différents lots;
11° L'épaisseur du sol, la nature du sous-sol, la profondeur du réservoir inférieur des eaux;
12° L'inclinaison de la surface, son exposition;
13° Ses abris, leur direction, leur hauteur;
14° Les circonstances accidentelles prévues, inondations, gelées, etc.;
15° Les plantes sauvages les plus communes;
16° L'état de la végétation des arbres et des plantes cultivées;
17° Le prix de l'hectare, du fermage, l'assolement, l'état des voies de communication et des débouchés, l'impôt, les charges, etc.

On vient de donner sur la classification des terrains tous les renseignements nécessaires, quant à présent. L'examen des cultures et des amendements les plus propres à chaque espèce de sol se trouvera naturellement dans les chapitres suivants. Quant à l'appréciation de la *valeur* des terres, que beaucoup d'auteurs placent à la suite de la classification des terrains, nous croyons devoir la renvoyer au chapitre IX, parce que cette question ne saurait être convenablement traitée avant l'exposé des considérations économiques et commerciales qui se rattachent à l'estimation des produits.

Troisième section. — Météorologie agricole.

Après avoir étudié avec détails, comme on vient de le faire, les terrains agricoles dans lesquels se développent les racines des végétaux, il convient de s'occuper des propriétés de l'atmosphère au milieu de laquelle ils étendent leurs rameaux et leurs feuilles, et d'examiner les principaux phénomènes météorologiques qui exercent sur la végétation une si puissante influence.

Nous devons dans cette partie de notre travail, comme dans les précédentes, renvoyer aux traités spéciaux pour l'étude détaillée des phénomènes, en nous bornant à un résumé succinct des faits d'un intérêt pratique et à l'indication des méthodes d'observations les plus simples et les plus usuelles.

La météorologie en général, et surtout l'application à l'agriculture de cette branche importante de la physique, est encore fort peu avancée. L'absence d'observations assez multipliées se fait sentir à chaque instant et ne permet pas, jusqu'à présent du moins, de formuler avec certitude les lois les plus fondamentales. On commence cependant à comprendre l'utilité des observations météorologiques, et tout fait espérer que les louables efforts de quelques physiciens, qui s'occupent spécialement de propager ce genre d'études, parviendront à le rendre plus général. Mais on doit reconnaître que les observations isolées, sans direction commune, faites par des méthodes différentes, ne peuvent apporter à la science que des données bien imparfaites et souvent trompeuses, et que pour arriver à des notions positives il serait indispensable d'établir des observatoires météorologiques plus ou moins nombreux, pourvus d'instruments comparables, établis et employés sous la direction de l'observatoire principal de chaque contrée, avec le concours effectif de l'État. Cette idée si souvent et, à notre avis, si justement soutenue, ne présenterait, du reste, aucune difficulté réelle d'exécution et n'exigerait en France qu'une dépense insignifiante, puisque l'administration pourrait trouver, dans les différents corps savants qu'elle emploie, un grand nombre d'hommes qui se chargeraient avec empressement d'observations de cette espèce, si on leur fournissait seulement les appareils et l'emplacement nécessaires. Le plus grand nombre des observations udométriques connues jusqu'à présent sont dues à des ingénieurs de l'État. Rien ne serait plus facile que de multiplier les études de cette espèce, sans entraver en aucune façon les travaux habituels des services, et d'arriver ainsi, en fort peu de temps, à une connaissance exacte de cet élément important de notre climat.

La nature des éléments fixes et variables de l'air a déjà été indiquée. On ne reviendra point ici sur ce sujet, et on se bornera à l'examen rapide des principaux phénomènes atmosphériques qui agissent directement sur la végétation.

I. Chaleur.

La chaleur exerce, comme tout le monde le sait, l'action la plus directe sur la végétation. Mais avant d'étudier les effets mêmes de cet agent sur les plantes, quelques explications sont nécessaires.

La température moyenne d'un jour est la somme des températures observées à différentes époques équidistantes de la journée, divisée par le nombre des observations. Plus les observations sont rapprochées, et plus le quotient ainsi obtenu approche de la moyenne absolue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

On a reconnu, par un assez grand nombre d'observations, que la moyenne de la journée est à peu près la moyenne des températures observées à huit heures du matin et à huit heures du soir, ou plus exactement la moyenne des températures de quatre heures et de dix heures du matin, et de quatre heures et de dix heures du soir.

La température moyenne des mois et des années s'obtient en faisant la somme des températures moyennes de chaque jour, et divisant par le nombre des termes ainsi ajoutés.

La température moyenne d'un lieu dépend d'un très grand nombre de circonstances, parmi lesquelles on remarque particulièrement la latitude de ce lieu, son altitude, la direction des vents régnants, la proximité ou l'éloignement de montagnes, de grandes masses d'eaux, de marais ou de forêts, la couleur du sol, l'exposition, etc., etc. On conçoit dès lors que l'expérience peut seule fournir cette donnée, et qu'il est inutile de s'arrêter à l'examen de formules empiriques établies par quelques auteurs, au moyen d'un nombre de renseignements évidemment insuffisant. On peut seulement admettre, comme résultat moyen suffisamment approché, dans la partie de l'Europe que nous habitons, que, toutes choses égales d'ailleurs, la température décroît de un degré centigrade par 160 mètres environ d'élévation.

L'ensemble des lieux jouissant de la même température moyenne, en les supposant ramenés à une même altitude, forme ce qu'on appelle une ligne *isotherme*. Les lignes de cette espèce ne sont encore que très vaguement et très imparfaitement tracées à la surface du globe, et même en Europe. On appelle lignes *isothères* le lieu des points d'égales températures moyennes d'été, et lignes *isochimènes* le lieu des points d'égales températures moyennes d'hiver. Les tracés des lignes isothermes, isothères et isochimènes diffèrent beaucoup les unes des autres. Les deux dernières classes de lignes sont encore plus mal connues que la première. Elles présenteraient cependant, au point de vue agricole, un plus grand intérêt; mais les observations sont loin d'être assez nombreuses pour permettre de les déterminer, même d'une manière approximative.

La température moyenne annuelle de la partie habitée de la France paraît être de 12° environ. La plus basse température qu'on y ait observée a été de 28°,1, le 3 février 1830, à Mulhouse. La plus haute température constatée à l'ombre, également en France, a été observée à Orange, en juillet 1830, par M. de Gasparin; le thermomètre s'est élevé à 40°,2.

Les différences entre les températures moyennes de l'hiver et de l'été et les maximum et minimum de chaque jour, sont d'autant moins fortes que l'on s'approche davantage des bords de l'Océan ou de la Méditerranée. Ainsi, tandis que la différence des températures moyennes de l'hiver et de l'été est à peu près de 18° dans les villes de l'intérieur de la France, telles que Strasbourg, Dijon, etc., elle se réduit à 13° ou 14° dans les villes dont la distance à la mer n'excède pas 230 kilomètres, comme Poitiers, La Rochelle, etc., et reste même notablement au-dessous de cette limite dans beaucoup de points de notre littoral.

Les chiffres précédents se rapportent à la température de l'air, mais ce milieu transparent laissant passer plus ou moins facilement les rayons lumineux et calorifiques, n'atteint pas la même température que la terre et les végétaux qui vivent à sa surface. La chaleur solaire, ainsi reçue par les plantes, augmente très notablement leur température moyenne et les place dans des conditions beaucoup plus avantageuses à leur développement que celles qui résulteraient de la température seule de l'air, à la latitude du lieu qu'elles occupent. D'après un grand nombre d'observations faites ou réunies par M. de Gasparin, la moyenne annuelle de chaleur atmosphérique étant à Paris de 10°,8, à Peissemberg de 5°,65 et à Orange de 13°,1, la chaleur solaire est de 14°,0 à Paris, de 9°,45 à Peissemberg et de 19°,9 à Orange; ce qui donne une augmentation de 3°,2 dans la première localité, de 3°,80 dans la seconde et de 6°,8 dans la dernière. Ces différences, déjà très considérables, prendront une plus grande importance encore si l'on se borne à observer l'influence de la chaleur solaire pendant le printemps, époque où la végétation commence à se développer. On trouve, en effet, les résultats suivants :

	Températures moyennes du printemps.		
Lieu d'observation.	à l'ombre.	au soleil.	Différence.
Paris.	10,60	14,80	4,20
Peissemberg. .	8,20	19,32	11,12
Orange. . . .	12,00	19,40	7,40

Les chiffres précédents suffiront pour indiquer l'importance de la chaleur solaire sur les plantes et démontrer la nécessité de tenir compte de cet élément dans l'établissement des climats agricoles. L'évaporation qui se produit à la surface de la terre humide abaisse d'ailleurs, d'une manière plus ou moins notable, sa température au-dessous de celle des tiges et des parties sèches des végétaux, ce qui établit entre les racines et les autres parties des plantes une différence de température probablement fort utile au mouvement de la sève et au développement de leurs fonctions vitales.

La quantité de chaleur absorbée par le sol est d'autant plus considérable, toutes choses égales d'ailleurs, que la direction des rayons solaires est plus voisine de la perpendiculaire à la surface, au point considéré. On conçoit, d'après cela, que les terrains inclinés au sud doivent avoir une température moyenne supérieure à celle des terrains exposés au nord; et l'on s'explique facilement les différences qui existent entre la valeur de terres voisines, par le fait seul de leur exposition plus ou moins avantageuse. L'étude complète de l'influence de l'inclinaison d'un terrain sur sa température exige quelques calculs qu'il serait inutile de reproduire maintenant.

Les températures moyennes, soit annuelles, soit même diurnes, sont loin d'exercer sur la végétation l'influence qu'on serait naturellement porté à leur attribuer, et ne donnent que des notions extrêmement incertaines sur le climat agricole d'une contrée déterminée. On conçoit, en effet, que la même température moyenne peut résulter de l'addition de températures extrêmes fort différentes. Les *maxima* et les *minima* absolus de températures, ou les moyennes de ces valeurs extrêmes, ont un intérêt bien plus direct et bien plus appréciable.

La température s'élève rarement assez dans nos climats pour exercer sur les plantes, pourvu qu'on leur fournisse une humidité suffisante, une action nuisible. Nos végétaux souffrent bien plus souvent de l'absence que de l'excès de la chaleur; nous n'avons donc rien à dire, quant à présent, sur les effets des *maxima* de température. Il n'en est pas de même des températures *minima*, qui produisent si souvent en France des ravages effrayants.

L'action du froid sur les végétaux dépend de son intensité, de sa durée, de l'époque où il a lieu, et des circonstances qui accompagnent le retour d'une température plus élevée.

Le degré de froid qui suspend la végétation dans une plante et détruit ses organes, varie avec la nature et les parties de cette plante exposées à la gelée. Les jeunes pousses de chêne, par exemple, résistent souvent à une température inférieure à zéro, qui fait pé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rir celles du figuier, et les plantes de serre ne peuvent supporter un froid de 4°. D'un autre côté, les parties les plus tendres des végétaux, celles qui sont les plus imprégnées de sucs, périssent plus facilement que les parties ligneuses et compactes. Les bourgeons meurent souvent, tandis que les branches résistent; et celles-ci sont quelquefois atteintes sans que le tronc soit affecté. Les racines enfin, protégées par la terre, ne sont ordinairement frappées qu'en dernier lieu. Chaque espèce de plante ne peut probablement supporter qu'un certain minimum de température. Mais il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, d'évaluer ce minimum, qui indiquerait une limite absolue à la culture de chaque végétal. Il ne suffit pas, en effet, de savoir que tel arbre est mort sous l'action d'une température déterminée, pour assurer qu'il ne pourra pas vivre et se développer dans un climat où cette même température se produit chaque année, car il pourrait arriver qu'il résistât parfaitement, si la durée du froid et les circonstances du dégel n'étaient pas les mêmes que dans le premier cas.

Les gelées qui ont lieu à une époque avancée de l'année sont toujours les plus funestes aux végétaux : d'abord, parce que la sève, déjà en mouvement, remplit tous les organes, et ensuite parce qu'un réchauffement rapide succède généralement, pendant le jour, au froid de la nuit. Les variations brusques de température, les dégels subits, sont du reste les conditions les plus dangereuses pour les végétaux. Aussi, voit-on souvent, dans le Midi, les plantes périr par un froid peu intense suivi d'un beau soleil, tandis que les mêmes végétaux résistent parfaitement dans les climats du Nord à une gelée beaucoup plus forte suivie de pluie, d'un dégel lent et d'une température encore assez basse.

La température la plus basse de l'année a lieu, en moyenne, vers le 15 janvier, et la plus élevée vers le 15 juillet. Mais entre ces deux points extrêmes, eux-mêmes assez variables, la température ne croît pas d'une manière continue pour décroître ensuite avec la même régularité. Une foule de circonstances locales ou accidentelles produisent de nombreuses irrégularités dans la succession des températures, et une série de maxima et de minima relatifs très différente d'une année à l'autre. L'époque de la floraison des plantes et de la maturation de leurs fruits suit avec assez de régularité les variations de la chaleur des saisons. Tout le monde remarque, en effet, que les récoltes se font beaucoup plus tôt les années chaudes que les années froides. Cette observation, en quelque sorte banale, a conduit les physiciens et les agronomes à se demander s'il ne serait pas vrai que chaque plante exige pour son entier développement une certaine somme de degrés de chaleur, en relation avec sa nature même. Les observations faites jusqu'à présent tendent à confirmer cette hypothèse, et les faits allégués d'abord pour l'infirmer, analysés avec plus de soin, lui apportent au contraire une remarquable confirmation. Le blé, qui a été plus particulièrement étudié au point de vue que l'on vient d'indiquer, commence à végéter d'une manière sensible quand la température moyenne atteint + 6°; si l'on ajoute les degrés de la température journalière moyenne depuis ce moment jusqu'à celui de la récolte, on trouve une somme de 1601° à Orange et de 1943° à Paris. Mais si au lieu d'ajouter les températures moyennes de l'air, on additionne les températures moyennes solaires, on arrive à des résultats un peu différents et beaucoup plus concordants, savoir : 2432° pour Paris et 2468° pour Orange; c'est donc toujours sur les températures solaires moyennes qu'il convient d'établir les calculs analogues aux précédents. Les résultats, pour devenir comparables dans des lieux dont les latitudes sont très différentes, exigent du reste une correction qu'il convient d'indiquer. A Lyngen, par exemple, à 70 degrés de latitude boréale, on obtient, dans les terrains abrités, des récoltes de blé qui germe, se développe et mûrit en soixante-douze jours. La somme des températures moyennes atmosphériques est pendant ce temps de 675°, et la somme des degrés de chaleur solaire de 907°, en tout 1582°. Ce chiffre est de beaucoup inférieur à celui que nous avons indiqué comme nécessaire à la maturation du blé en France. Mais si l'on remarque que la lumière est nécessaire à la végétation, que le soleil est presque toujours sur l'horizon à Lyngen pendant la période du développement du blé, tandis qu'il n'en est pas de même à Orange ou à Paris, on se rendra compte de cette différence. Cette explication est du reste complétement vérifiée par un calcul très simple. En retranchant de la somme des températures solaires moyennes à Orange les sommes des températures atmosphériques nocturnes, on obtient le nombre 1652°, aussi rapproché qu'il est possible de le désirer, avec les observations imparfaites que l'on possède, du nombre 1582, obtenu pour Lyngen. En résumé, le blé ne peut se développer et fructifier qu'autant que la somme des températures moyennes de la terre au soleil, pendant le temps où la végétation de cette plante est possible, s'élève, pendant le jour, à 1600° environ.

La somme des degrés de température nécessaire au développement des plantes est très variable avec les espèces. Ainsi le maïs exige 4,000 degrés environ de chaleur solaire moyenne en France, tandis que le blé, comme on l'a vu (la chaleur nocturne non déduite), n'en demande que 2,400 environ.

Nous ne terminerons pas ce que nous voulons dire ici sur les températures sans indiquer combien on peut simplifier, au moyen de figures, la représentation des observations météorologiques. Un seul exemple suffira pour le faire comprendre. Nous avons représenté, figure 4, les courbes des températures mensuelles résultant de la moyenne d'un grand nombre d'années d'observations faites à Strasbourg, Paris, Peissemberg, Orange, Chiswick, Helston et Dunino. Ce simple dessin, dont l'inspection suffit pour faire comprendre la construction, est la traduction matérielle de trois ou quatre pages de tableaux numériques, et fournit à l'œil tous les renseignements qu'une étude attentive permettrait seule de saisir dans des colonnes de chiffres.

La courbe S représente la suite des températures moyennes mensuelles à Strasbourg, de 1806 à 1820.

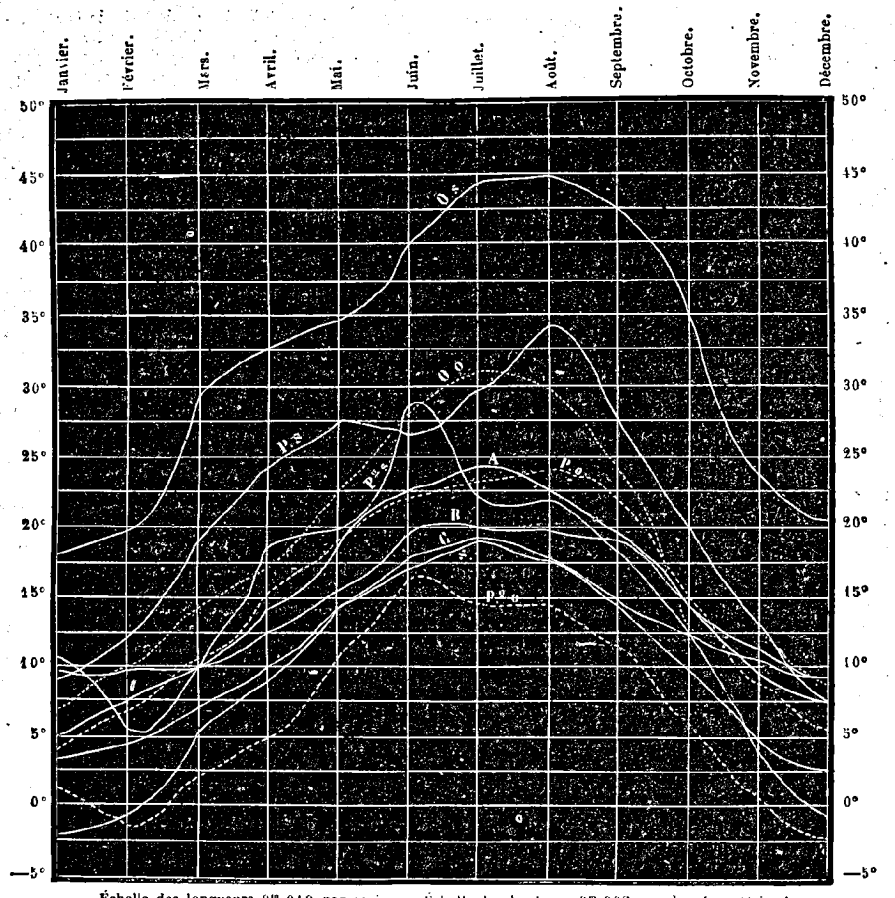
Les courbes A,B,C indiquent les températures moyennes observées à Chiswich, Helstone et Dunino.

Les lignes Po, Ps.o, O.o, indiquent les températures moyennes observées à l'ombre, à Paris, Peissemberg et Orange. Les lignes P.S, Ps.S, O.s, indiquent au contraire les résultats des observations faites au soleil dans les mêmes localités. Ces deux systèmes de lignes permettent d'apprécier clairement ce que nous avons dit de l'influence solaire. Les ordonnées des courbes qui nous occupent sont les moyennes d'observations faites à Paris de 1838 à 1842, à Orange de 1836 à 1842, et à Peissemberg en 1786.

On a dû supprimer dans cette figure, pour ne point trop la compliquer, trois courbes destinées à montrer les différences qui existent entre les moyennes des températures *maxima* et *minima* des différents mois de l'année, ainsi que deux courbes indiquant les variations qui se manifestent, entre les températures mensuelles moyennes, d'une année à l'autre.

Il est d'ailleurs inutile d'observer que, faute d'espace, on a dû réduire beaucoup trop l'échelle des mois et même celles des températures. Il convient, en pratique, de prendre pour échelle des longueurs horizontales autant de millimètres par jour que l'on a besoin de consigner d'observations dans cet intervalle. Les papiers quadrillés, que l'on trouve à très bas prix

EFERUS - Recherche & Classification numérique



Échelle des longueurs 0m,010 par mois. — Échelle des hauteurs 0m,002 par degré centésimal

Fig. 4.

ans le commerce, permettent de former facilement des ableaux analogues à ceux dont la figure offre un croquis réduit.

Ces tableaux, faciles à dresser par tous les observateurs, fourniraient, s'ils étaient plus nombreux, des enseignements on ne peut plus utiles pour la météorologie et la détermination des climats agricoles. Nous e citerons qu'un seul exemple de leur application. upposons que l'on ait la courbe des températures soires moyennes de chaque jour dans une localité déerminée, et qu'il s'agisse de savoir si la culture du lé est possible dans cette localité. Il suffira, pour réondre à cette question, si les unités ont été convenalement choisies, de tracer une ligne horizontale à 6° u-dessus de la ligne 0°, de mener les ordonnées pasant par les points où cette horizontale coupe la courbe es températures, et de s'assurer que l'aire comprise ntre ces ordonnées, la courbe et la ligne 0° est supéieure à 1,600 unités de surface. On pourrait, au moyen e la même courbe, déterminer, *à priori*, l'époque de la naturité, le nombre possible de récoltes annuelles, etc.; nais il est inutile d'insister davantage sur ces applicaions, qui sont beaucoup plus théoriques que pratiques, ant que la météorologie agricole ne sera pas plus riche en observations bien faites qu'elle ne l'est aujourd'hui.

II. LUMIÈRE, ÉLECTRICITÉ.

La *lumière*, ou plutôt les rayons chimiques qui l'accompagnent, est indispensable, comme on l'a déjà dit, au développement complet de nos plantes ordinaires. C'est seulement sous l'action de cet agent que se produisent les réactions chimiques auxquelles les plantes doivent leur accroissement, et particulièrement celles qui leur procurent le carbone existant dans leurs tissus. Les végétaux privés de lumière s'étiolent, leurs tiges blanchissent et s'allongent, sans acquérir de solidité et sans produire de graines. Une expérience remarquable de M. de Gasparin établit d'une manière bien nette l'influence de la lumière directe sur la végétation. Cet observateur a choisi trois mûriers aussi semblables que possible, mais très-diversement exposés à la lumière, puisque le premier recevait le soleil toute la journée, que le second n'y était exposé qu'une partie du jour, et que le troisième était constamment à l'ombre. Il a desséché un même poids de feuilles de ces trois arbres, et il a reconnu que les feuilles du premier renfermaient 45 p. 100 de matière solide, que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

celles du second en contenaient 36 p. 100, et celles du dernier, enfin, 27 p. 100 seulement.

La nature et la composition de la lumière, au point de vue de ses effets sur la végétation, ont du reste été fort peu étudiées. L'observation démontre que l'état de nébulosité plus ou moins habituelle du ciel exerce sur les plantes, et surtout sur les fleurs et les fruits, une action très prononcée; quelques expériences, peu nombreuses il est vrai, faites avec des verres colorés de diverses manières, établissent aussi que toutes les parties du spectre solaire n'agissent pas de la même manière sur les végétaux. Il y a une série de travaux importants à entreprendre dans cette voie; mais on est forcé de reconnaître que, jusqu'à présent, il n'existe pas sur ce sujet de données bien précises, ni de renseignements d'un intérêt pratique.

L'*électricité* atmosphérique, comme la lumière, joue dans la nature un rôle des plus importants, et exerce sur la végétation une influence qui ne paraît pas douteuse; mais cet agent est encore trop peu connu, au point de vue qui nous occupe, pour que son étude puisse nous offrir un intérêt pratique. Nous ne nous arrêterons donc pas davantage à l'examen des phénomènes électriques qu'à celui des phénomènes lumineux, et nous passerons immédiatement à l'exposition des principaux faits physiques que présente l'air atmosphérique.

III. PRESSION DE L'AIR.

La *pression* de l'air à la surface de la terre s'observe à l'aide du baromètre. Cet instrument, que tout le monde connaît, est l'appareil météorologique le plus habituellement employé par les cultivateurs, en raison des services qu'il peut rendre en fournissant des indications sur la probabilité de la pluie. Le baromètre à cadran ne donne que des indications très imparfaites; l'emploi ne saurait en être recommandé. Un bon baromètre à cuvette ordinaire convient parfaitement pour les besoins usuels. Pour les observations plus précises, on se sert souvent du baromètre à syphon de M. Gay-Lussac, qui fournit des indications fort exactes, et dont le transport ne présente aucune difficulté.

Les observations barométriques se font, à l'Observatoire de Paris, à neuf heures du matin, à midi, à trois heures et à neuf heures du soir. L'observation de midi donne la moyenne du mois et de l'année. Les trois autres observations servent à déterminer les variations *horaires*.

La pression moyenne du baromètre à Paris, déduite de vingt années d'observations, est de $0^m,756$. Les variations horaires sont assez faibles, et ne s'élèvent qu'à quelques dixièmes de millimètre. En moyenne, dans notre climat, la hauteur barométrique atteint son maximum vers neuf heures du matin, et son minimum vers trois heures du soir.

On remarque, en général, qu'un abaissement du baromètre est un indice de pluie, et que son élévation est au contraire un pronostic de beau temps. Il ne faut pas, comme le font certaines personnes, ajouter une confiance absolue à ces indications générales. Un phénomène naturel est la résultante de trop de circonstances différentes pour qu'il soit possible de le prévoir par l'observation d'un seul instrument; mais il est certain que, dans chaque localité, l'examen attentif, prolongé pendant plusieurs années, de la marche d'un baromètre, combinée avec l'étude des vents et de quelques autres phénomènes, conduit aisément à prévoir, avec une grande probabilité, quelques jours d'avance, la chute de la pluie. On ne saurait donc engager trop vivement les agriculteurs à noter chaque jour, à midi, la hauteur du baromètre, et à enregistrer aussi chaque jour de pluie. La construction de tableaux analogues à celui de la fig. 4 permet de comparer facilement de longues périodes d'observations, et évite la peine d'écrire les hauteurs barométriques en chiffres, puisqu'il suffit d'un simple point marqué sur la ligne verticale du jour, à la hauteur convenable.

M. Prévost a reconnu, par un grand nombre d'expériences, qu'à Genève, sur cent pluies initiales, c'est-à-dire succédant à plusieurs jours de beau temps, il y en avait quatre-vingt-cinq précédées d'un abaissement de $0^m,00015$ au moins. A Alais, en 1812, on a trouvé que soixante-neuf pluies sur cent avaient été annoncées par un abaissement du baromètre. D'un autre côté, il résulte, d'une longue série d'observations faites à Montmorency, que les probabilités de pluie ou de neige correspondant à diverses hauteurs du baromètres sont les suivantes :

Hauteur du baromètre.		Probabilité de pluie.	Probabilité de neige.
m.	m.		
0,728 à	0,738	0,70	0,22
0,738	0,742	0,58	0,04
0,742	0,751	0,46	0,04
0,751	0,760	0,19	0,01
0,760	0,769	0,08	0,00
0,770	0,771	0,00	0,00

Enfin, d'après M. de Gasparin, vingt-sept années d'observations, de 1813 à 1842, ont conduit, à Orange, aux résultats suivants :

	Pluies avec le baromètre plus bas que la moyenne.	plus haut que la moyenne.	Ces nombres sont entre eux comme :
Décembre. . . .	150	42	100 : 28
Janvier.	162	49	100 : 30
Février.	138	55	100 : 40
Mars.	153	39	100 : 25
Avril.	199	49	100 : 25
Mai.	203	67	100 : 38
Juin.	135	52	100 : 38
Juillet.	100	42	100 : 42
Août.	118	50	100 : 42
Septembre. . . .	162	50	100 : 31
Octobre.	211	58	100 : 27
Novembre. . . .	194	54	100 : 28

Il paraît que l'on pourrait tirer de l'observation attentive des variations horaires du baromètre des pronostics plus certains encore que ceux qui sont fournis par ses mouvements généraux. Mais ce genre d'observation exige des instruments trop précis et des soins trop délicats pour que nous nous en occupions ici.

Les variations de la pression atmosphérique ne paraissent pas exercer par elles-mêmes d'action bien directe sur la végétation, mais ce que l'on vient de dire sur les pronostics tirés du baromètre, suffit pour indiquer l'intérêt que présente l'observation de cet instrument.

IV. DES VENTS.

La fréquence et la force des vents se placent au premier rang parmi les éléments caractéristiques d'un climat. Les végétaux sont fortement modifiés par ces mouvements de l'air. On peut dire d'une manière générale que les vents modérés, en renouvelant l'air et en imprimant aux plantes une certaine agitation, compatible avec leur élasticité propre, sont favorables à la végétation. Mais les vents secs, ou régnant avec trop de force ou de continuité dans une direction déterminée, fatiguent les plantes, et leur impriment des caractères spéciaux que tout le monde a pu remarquer. Les arbres plantés au bord de la mer, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

exemple, offrent un aspect *rabougri* tout à fait caractéristique : la tête s'incline du côté opposé au vent, les branches s'allongent dans ce sens et les racines s'accroissent et prennent, dans la direction opposée, un développement tout à fait anormal. L'étude de la direction des vents régnants doit précéder l'établissement des plantations ou constructions faites pour abriter certaines parties d'un domaine ou d'une contrée, comme on le fait dans quelques parties de la Belgique et en France, dans les dunes des bords de l'Océan.

La direction des vents s'observe au moyen de girouettes plus ou moins perfectionnées; et, leur vitesse, autre élément non moins important, à l'aide d'anémomètres à compteurs, sur lesquels nous n'avons pas à insister ici.

La France, considérée d'une manière générale, appartient à la grande zone du vent du sud-ouest; mais une foule de circonstances locales, la présence de montagnes, de grandes masses d'eau, etc., modifient dans chaque localité la direction habituelle, les caractères et les propriétés des vents. Nous avons réuni dans le tableau ci-dessous quelques-uns des chiffres donnés par M. Martins, pour la fréquence relative des différents vents dans plusieurs points de la France. Ces renseignements pourront servir de terme de comparaison aux personnes qui voudraient faire des observations de cette nature.

Le baromètre est affecté par la direction des vents ; il est généralement plus haut pendant les vents de l'est ou du nord que pendant les vents du sud ou de l'ouest. On doit tenir compte de cette observation quand on emploie comme pronostics les indications barométriques.

V. HYGROMÉTRIE, ÉVAPORATION ET PLUIE.

L'air renferme toujours une plus ou moins forte proportion de vapeur d'eau. La détermination de cette quantité de vapeur, et des lois que suit sa distribution dans les différents climats, aux diverses époques de l'année, constitue ce qu'on désigne d'une manière générale sous le nom *d'hygrométrie*. Les instruments employés par les physiciens, pour déterminer le degré d'humidité de l'air, sont, jusqu'à présent, ou trop peu précis ou d'un emploi trop délicat, pour que cette partie importante de la météorologie ait été convenablement étudiée. Cette lacune est d'autant plus regrettable que l'humidité de l'air exerce sur la végétation une action des plus directes, et qu'il suffirait, sans doute, de quelques bonnes séries d'observations sur ce point pour éclairer beaucoup de phénomènes encore fort obscurs. L'un des hygromètres les plus exacts est celui de M. Regnault, mais il ne peut être employé avec succès que par des

LOCALITÉS.	N.	N.-E.	E.	S.-E.	S.	S.-O.	O.	N.-O.
Strasbourg	97	237	58	87	268	120	39	94
Mulhouse	112	199	84	184	184	265	11	11
Nancy	32	65	24	8	53	70	70	24
Paris	127	106	64	65	173	181	190	94
Bruxelles	63	164	71	46	104	285	181	86
Abbeville	85	175	82	85	87	205	128	153
La Chapelle (près Dieppe)	36	41	23	31	37	93	48	52
Denainvilliers (près Pithiviers)	181	193	40	11	221	311	13	30
Bourges	44	34	36	34	35	58	97	74
Poitiers	54,3	32,3	45,9	2,4	81,9	46,1	84,5	17,6
La Rochelle	94	270	57	31	104	274	89	81
Toulouse	77	25	38	295	31	56	161	317
Lyon	334	45	77	51	179	48	98	168
Mâcon	243	49	28	8	290	39	300	43
Alais	118	17	6	10	51	16	8	22
Nîmes	22	88	24	19	73	12	17	111
Montpellier	20	124	84	186	124	14	186	262
Toulon	7	15	10	16	9	28	34	144
Bastia	60	102	57	176	65	163	76	34

Il existe, dans chaque localité, une relation très intime entre la direction du vent et les probabilités de pluie. Le vent peut déterminer la chute de la pluie dans deux conditions différentes. Quand un courant d'air chaud passe au dessus d'un grand amas d'eau, il entraîne une plus ou moins grande quantité de vapeur, qui se dépose à l'état de pluie, si la masse d'air arrive dans une contrée dont l'air soit à une température suffisamment basse. Un vent froid, au contraire, arrivant dans une contrée dont l'air plus échauffé renferme une quantité de vapeur d'eau un peu considérable, peut également y déterminer la chute de la pluie; on pourra donc, dans chaque pays, reconnaître d'avance les vents pluvieux, en tenant compte, d'une part de la position des grands amas d'eau qui peuvent fournir aux vents chauds des réservoirs de vapeur, et, d'autre part, de la position des hautes montagnes, ou autres causes de refroidissement, qui peuvent abaisser la température des masses d'air en mouvement.

observateurs exercés. L'hygromètre à cheveu est d'un prix trop élevé pour la plupart des cultivateurs, qui le remplacent par les hygromètres communs, composés d'une corde de boyau, dont la torsion met en mouvement le capuchon ou le bras d'une petite figure en carton peint. Ces instruments ne sont nullement comparables entre eux, mais il est certain qu'ils indiquent les variations du degré d'humidité atmosphérique, et qu'ils peuvent ainsi, jusqu'à un certain point, donner quelques renseignements sur les probabilités de pluie. Leur observation, combinée avec celles des vents et de quelques autres apparences physiques, peut donner, avec une longue habitude, d'assez bons pronostics, ce qui explique le grand nombre d'appareils de cette espèce que l'on rencontre dans les campagnes.

L'*évaporation* qui a lieu à la surface de l'eau ou de la terre humide est liée directement au degré de sécheresse et à la température de l'air, à l'intensité du vent, à tous les phénomènes, en un mot, qui intéres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

sent la culture. La connaissance exacte de ce phénomène est indispensable aux calculs relatifs à l'établissement des réservoirs et des opérations de dessèchement. Les appareils d'observation sont malheureusement encore assez imparfaits et les expériences des physiciens très peu nombreuses. L'évaporation s'observe au moyen d'un vase rectangulaire en métal, d'une section donnée, rempli d'eau dans laquelle plonge un thermomètre. On pèse chaque jour le vase, ou l'on mesure, à l'aide d'une vis micrométrique, l'abaissement du niveau du liquide. Quand le vent est un peu fort, il produit, à la surface du vase, de petites vagues et entraîne mécaniquement, à l'état liquide, une certaine quantité d'eau. Il est nécessaire de retrancher la quantité d'eau ainsi entraînée de la perte totale pour avoir le volume d'eau réellement vaporisé. L'un des moyens les plus convenables pour atteindre ce but consiste à placer autour du bord du vase un cadre garni de papier peint à la colle en couleur claire. Chaque gouttelette d'eau en tombant sur ce papier y produit une tache plus ou moins grande. En comptant chaque jour les taches produites, on peut, jusqu'à un certain point, à l'aide d'expériences préalables, se rendre compte de la quantité d'eau entraînée mécaniquement. L'étude de l'évaporation produite à la surface de la terre humide se fait à l'aide d'un vase analogue à celui dont on vient de parler, mais rempli de terre, percé de trous et enfoncé dans le sol jusque près de ses bords. La dessiccation naturelle d'un terrain est, du reste, un phénomène complexe qui ne se produit pas seulement par l'évaporation de la surface. Le capillarité et la nature du sous-sol y interviennent pour une forte part. La meilleure marche à suivre, pour étudier les variations d'humidité du sol, consisterait à prendre chaque jour, à la même profondeur, dans un même champ, un échantillon de terre, à le dessécher et à peser la perte qu'il éprouverait par cette opération. Les indications précédentes suffisent pour faire comprendre les instruments à employer pour l'étude agricole du phénomène de l'évaporation. On trouvera dans le chapitre suivant le résumé des données pratiques obtenues par différents observateurs et employées par les ingénieurs dans les calculs relatifs aux irrigations et aux dessèchements.

La *pluie* a été beaucoup mieux étudiée que les deux phénomènes précédents, auxquels elle se rattache cependant de la manière la plus directe. Les données que l'on possède sur les quantités de pluie qui tombent annuellement sont cependant loin d'être complètes, et leur importance pour les opérations agricoles est telle qu'il paraît utile d'entrer dans quelques détails sur les moyens d'observation de cet élément essentiel de météorologie pratique.

Les instruments qui servent à mesurer les quantités d'eau qui tombent en une année à la surface de la terre se nomment udomètres ou pluviomètres. Ces instruments se composent ordinairement d'un vase en métal, communiquant avec un entonnoir terminé par une partie cylindrique d'une section déterminée. Le vase en métal, ou réservoir, porte, à sa partie inférieure, un robinet au moyen duquel on recueille l'eau, après chaque jour de pluie, dans un vase gradué de telle sorte que le volume recueilli fasse connaître *l'épaisseur* de la couche d'eau tombée dans l'entonnoir. Les appareils de cette espèce convenablement établis donnent, entre les mains d'observateurs attentifs et consciencieux, d'excellents résultats. Mais ces instruments ne fournissent aucun moyen de vérification, et confiés à des agents subalternes leurs indications ne pourraient inspirer aucune confiance.

J'ai fait construire, pour remédier à l'inconvénient que l'on vient de signaler, le pluviomètre totaliseur représenté par la fig. 5 et dont voici la description :

A, entonnoir en cuivre ou en zinc verni, garni à sa partie supérieure d'une bague en laiton tournée formant la circonférence d'un cercle de quatre décimètres carrés de surface.

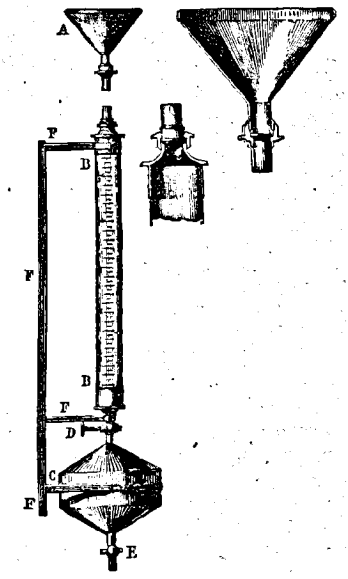


Fig. 5.

BB, tube en verre gradué en centilitres. Les deux extrémités de ce tube sont mastiquées dans des viroles en laiton.

L'entonnoir A et le tube B communiquent par un tube en plomb ou en caoutchouc vulcanisé, quand la disposition des lieux oblige à séparer ces deux parties de l'appareil.

C, réservoir en cuivre ou en zinc.

D, robinet servant à établir la communication entre le réservoir C et le tube gradué BB.

E, robinet placé à la partie inférieure du réservoir C. Ce robinet ne peut être manœuvré qu'à l'aide d'une clef qui doit rester entre les mains de la personne qui dirige et surveille les observations.

FFF, support en bois de l'instrument. Ce support se fixe contre un mur, ou un poteau vertical, au moyen d'anneaux dont il est garni.

L'entonnoir A doit être placé sur le toit de la maison ou de la guérite destinée à servir d'observatoire, les autres parties du pluviomètre sont disposées à l'intérieur.

La queue de l'entonnoir et la virole supérieure du tube BB sont garnies de bagues de raccordement, comme l'indique la coupe de l'entonnoir et de son raccord, qui rendent facile la pose du tuyau de raccordement de ces deux parties de l'appareil.

L'emploi de l'instrument que l'on vient de décrire est extrêmement simple. Le robinet D étant fermé, l'eau reçue par l'entonnoir s'accumule dans le tube gradué BB. Les chiffres inscrits sur ce tube, d'après les dimensions et graduations adoptées, indiquent en *quarts* de *millimètres* la hauteur de la couche d'eau tombée. L'agent chargé des observations inscrira chaque jour le résultat de sa lecture, et, aussitôt après cette opération, il fera tomber l'eau du tube gradué dans le réservoir, en ouvrant le robinet D, qu'il refer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mera soigneusement aussitôt après l'écoulement complet de l'eau du tube gradué dans le réservoir.

La personne qui surveille les observations mesurera, à des intervalles plus ou moins éloignés, l'eau du réservoir, en ouvrant avec sa clef le robinet E et en recevant dans une éprouvette en verre graduée le liquide accumulé depuis sa dernière observation. Le nombre de centilitres d'eau ainsi recueillis exprimera en quarts de millimètre la hauteur de la couche d'eau tombée dans l'intervalle considéré, hauteur qui devra se trouver sensiblement égale à la somme des hauteurs inscrites dans la même période par l'agent chargé des observations journalières. Cette vérification, toujours facile à faire et ne demandant que quelques minutes par mois, constitue le perfectionnement apporté au pluviomètre dont il s'agit. Elle permet de confier les observations aux agents les plus inférieurs, et rend presque impossibles les erreurs que la négligence ou l'oubli introduisent trop souvent dans les observations météorologiques, de sorte qu'un même observateur principal peut surveiller un grand nombre de pluviomètres distribués sur les différents points d'un bassin.

On a souvent cherché à construire des pluviomètres inscrivant eux-mêmes les quantités d'eau tombées, au moyen de compteurs et de dispositions mécaniques plus ou moins compliquées. Les instruments de cette espèce, connus jusqu'à présent, ne peuvent fournir aucune indication précise.

Flaugergues a fait établir un pluviomètre indiquant de lui-même les quantités de pluie tombées par chaque vent : il suffit, pour atteindre ce résultat, de placer au-dessous de l'entonnoir un ajutage mobile, communiquant avec une girouette et versant l'eau dans un vase divisé en 8 compartiments répondant aux vents principaux. Cette disposition n'est pas généralement employée, elle ne paraît pas présenter d'utilité assez réelle pour compenser la complication qu'elle introduit dans l'appareil.

Après avoir fait connaître les instruments propres à mesurer les quantités d'eau de pluie, passons à l'étude de ce phénomène lui-même.

C'est la pluie, en général, qui distribue aux plantes l'humidité dont elles ont besoin; on conçoit par cela seul l'importance agricole de ses effets. La répartition des pluies et leur abondance dans les différentes saisons de l'année sont un des principaux éléments de la fertilité des terrains et l'une des causes les plus réelles de l'aspect général de l'agriculture d'un pays, on ne saurait donc rassembler avec trop de soin les données que fournissent sous ce rapport les observations météorologiques.

Les pluies sont très inégalement réparties dans les différentes parties de la France, soit que l'on considère la quantité absolue d'eau tombée, soit que l'on tienne compte seulement du nombre annuel de jours de pluie, et de leur distribution dans différentes saisons. Dans les contrées où il pleut souvent, chaque pluie est peu abondante, elle pénètre uniformément la terre et entretient les végétaux dans un état continuel d'humidité et de fraîcheur. Ces contrées conviennent surtout à la culture des fourrages et à l'élève des bestiaux. Dans les pays où les pluies sont peu fréquentes, et le volume d'eau tombé cependant considérable, les pluies sont torrentielles, ravagent les cultures dans les terrains en pente, noient le sol dans les parties basses et le laissent ensuite se dessécher complétement par l'action prolongée d'un temps sec et d'une chaleur élevée. L'automne, dans la plus grande partie de la France, est la saison de l'année dans laquelle il tombe le plus d'eau; dans les Vosges et dans une partie du bassin de la Seine, l'été se place sous ce rapport au premier rang.

Nous avons réuni, dans le tableau (A), placé plus loin, les principaux renseignements recueillis en France et dans quelques parties de l'Europe au sujet des quantités d'eau tombées annuellement et de leur répartition dans les différentes saisons de l'année. Tous ces chiffres ne présentent pas assurément le même degré de certitude, mais leur ensemble offre une image assez fidèle du phénomène considéré dans sa généralité. Le tableau (A) présente seulement la répartition des pluies par saisons : l'hiver comprenant les mois de décembre, janvier et février; le printemps, mars, avril et mai, et ainsi de suite.

Les nombres inscrits dans le tableau (A) sont des moyennes résultant d'observations faites pendant un plus ou moins grand nombre d'années. Mais il ne faut pas oublier que les quantités d'eau tombées annuellement oscillent entre des limites fort étendues, comme le prouvent les faits suivants qu'il serait facile de multiplier : il est tombé à Metz, en 1834, $0^m,738$ d'eau et $0^m,416$ seulement en 1826. A Joyeuse, en 1827, l'épaisseur de la couche d'eau tombée était de $2^m,197$, et n'était que de $0^m,893$, en 1825. A Marseille, en 1839, il est tombé $0^m,906$ d'eau, et en 1832, $0^m,339$ seulement. Le tableau suivant pourra donner une idée de la différence qui existe entre les années sous le rapport de la quantité d'eau tombée.

ANNÉES.	HAUTEURS D'EAU.		
	PARIS cour de l'Observat.	STRASBOURG.	MARSEILLE.
	m.	m.	m.
1821	0,55	0,742	»
1822	0,48	0,675	»
1823	0,52	0,677	0,402
1824	0,65	0,912	0,413
1825	0,52	0,665	0,432
1826	0,47	0,582	0,536
1827	0,58	0,747	0,620
1828	0,63	0,631	0,484
1829	0,59	0,754	0,637
1830	0,64	0,678	0,304

Des variations plus marquées encore se présentent d'une année à l'autre quand on compare les quantités d'eau tombées dans les mois correspondants. Pour indiquer ces variations, sans agrandir outre mesure le tableau de la page suivante, nous y avons réuni seulement les quantités mensuelles d'eau tombée, pendant les cinq dernières années dans la cour de l'Observatoire de Paris et celles recueillies dans le Rhinlande. Les premiers chiffres sont extraits des tableaux publiés chaque mois dans les comptes rendus de l'Institut, et les autres d'un mémoire couronné par l'Académie de Rotterdam.

Il nous a paru utile d'insister plus qu'on ne le fait ordinairement sur ces variations de la distribution et des quantités de pluie. On verra plus loin l'importance de cet ordre de faits dans la rédaction des projets de dessèchement et de construction de réservoirs.

Les quantités d'eau tombées en un jour méritent aussi de fixer l'attention des agriculteurs et des ingénieurs; elles varient depuis une couche à peine sensible jusqu'à des hauteurs vraiment extraordinaires. Ainsi, sans parler des pluies torrentielles des tropiques, ni de l'averse tout à fait extraordinaire observée à Gênes, en 1822, et pendant laquelle il tomba $0^m,82$ d'eau, on a vu tomber à Joyeuse, le 9 août 1807, $0^m,25$ d'eau, et le 9 octobre 1827, en 22 heures $0^m,791$. A Marseille, un orage produisit $0^m,325$ de hauteur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MOIS.	HAUTEURS D'EAU TOMBÉE à Paris, en					dans le Rhinlande, en				
	1846.	1847.	1848.	1849.	1850.	1837.	1838.	1839.	1840.	1841.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Janvier.	0,077	0,047	0,027	0,054	0,050	0,015	»	0,028	0,024	0,023
Février.	0,020	0,036	0,046	0,018	0,034	0,023	»	0,023	0,012	0,008
Mars.	0,053	0,022	0,055	0,031	0,020	0,010	0,020	0,010	0,008	0,009
Avril.	0,074	0,045	0,100	0,062	0,057	0,018	0,020	0,009	0,001	0,015
Mai.	0,042	0,031	0,021	0,066	0,061	0,025	0,019	0,009	0,037	0,021
Juin.	0,038	0,027	0,064	0,087	0,024	0,014	0,031	0,023	0,016	0,024
Juillet.	0,023	0,114	0,053	0,074	0,044	0,022	0,038	0,015	0,036	0,074
Août.	0,086	0,048	0,112	0,028	0,158	0,021	0,043	0,027	0,024	0,039
Septembre. . . .	0,067	0,028	0,020	0,084	0,033	0,027	0,021	0,031	0,055	0,031
Octobre.	0,087	0,038	0,053	0,047	0,062	0,035	0,048	0,009	0,036	0,098
Novembre.	0,028	0,028	0,038	0,065	0,050	0,060	0,021	0,031	0,039	0,048
Décembre.	0,057	0,033	0,042	0,033	0,049	0,031	0,010	0,033	0,007	0,057
Totaux. . . .	0,652	0,497	0,631	0,649	0,638	0,301	0,271	0,248	0,295	0,447

d'eau ; à Trèbes, en 1772, on observa une pluie qui répondait à 0m,190 d'eau en 24 heures. Enfin, à Pau, on a recueilli en 2'30" une couche d'eau de 0m,048.

Il serait difficile, dans les grands travaux, de se mettre en garde contre ces circonstances exceptionnelles, à moins de dépenses extraordinaires. Mais les personnes qui font des observations pluviométriques doivent noter soigneusement les hauteurs d'eau tombées pendant les jours de grandes pluies assez fréquentes pour qu'il importe de se préserver des dangereux effets qu'elles pourraient produire dans les travaux de dessèchement.

On a remarqué, dans tous les observatoires, que les udomètres placés à la surface du sol recevaient plus d'eau que ceux qui se trouvaient élevés à une certaine hauteur. La quantité d'eau recueillie dans l'udomètre le plus élevé étant représentée par 1, les quantités reçues dans l'instrument le moins élevé sont représentées :

A Paris, pour une différence de niveau de			23m, par	1,13
A Copenhague,	—	—	32	1,27
A Manchester,	—	—	25	1,60
A York,	—	—	53	1,72
A Pavie,	—	—	14	1,01

Les rapports précédents varient, du reste, d'une saison à l'autre. Ces faits, encore mal expliqués, pourraient faire supposer que la quantité de pluie est moindre dans les lieux élevés que dans les plaines. Il n'en est rien cependant. Tous les faits connus tendent au contraire à établir, qu'à moins de circonstances exceptionnelles, la quantité d'eau qui tombe annuellement augmente avec l'altitude des points que l'on considère. Les faits suivants viennent à l'appui de cette opinion.

Il tombe annuellement, au mont Saint-Bernard, 1m,5129 d'eau, tandis que dans les villes placées au pied de cette montagne une longue suite d'observations ont donné les résultats suivants :

	m.
Milan.	0,9665
Berne.	1,1387
Genève.	0,7527

Le même accroissement s'observe quand on remonte les vallées des grands fleuves. Nous trouvons en effet :

Vallée du Danube.

	Hauteurs d'eau tombée annuellement. m.
Bude.	0,424
Vienne.	0,492
Ratisbonne.	0,570
Ulm.	0,681
Genkingen.	1,544

Vallée du Pô.

	m.
Venise.	0,835
Padoue.	0,860
Milan.	0,966
Turin.	0,954

Vallée du Rhin.

	m.
Middlebourg.	0,655
Haguenau.	0,677
Strasbourg.	0,684
Zurich.	0,870
Berne.	1,139

Les exceptions à cette règle que présentent Viviers, dans la vallée du Rhône, et Mâcon dans celle de la Saône, sont facilement expliquées par la position de ces deux villes.

L'augmentation de la quantité annuelle de pluie, en approchant des montagnes, a été constatée par un assez grand nombre d'observateurs. A Saint-Rambert (Ain), sur les premiers échelons de la montagne, il tombe annuellement 1m,590 d'eau ; à Moncint (Saône-et-Loire), à un kilomètre de la montagne cette quantité se réduit à 1m,450 ; à Bourg (Ain), dix kilomètres plus loin, il ne tombe plus que 1m,250 ; à Mâcon, la hauteur annuelle de pluie n'est plus que de 0m,840, et se réduit enfin à 0m,800 à Oullins (Rhône), dans les coteaux de l'Isère. Miller, dans le Cumberland, à l'est des montagnes, a fait des observations analogues : il a trouvé qu'il est tombé, en 1845, 1m,244 d'eau à Whitehaven, 3m,148 à Gotesgoth, et enfin

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(A) Tableau de la répartition des pluies, par saisons, dans diverses localités.

LIEUX D'OBSERVATION.	HIVER.		PRINTEMPS.		ÉTÉ.		AUTOMNE.		TOTAUX		OBSERVATIONS ANNÉES d'après lesquelles on a établi la moyenne.
	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	
	m.		m.		m.		m.		m		
sbourg. . . .	0,11347	23	0,15924	29	0,22013	33	0,17541	30	0,66825	115	1806-1820
— . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,68520	»	1806-1834
ich.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,8701	»	» »
ne.	0,2232	26,2	0,2383	34,8	0,4087	42	0,2687	37,6	1,1389	140,6	» »
uenau. . . .	0,127	37	0,143	43	0,189	44	0,219	49	0,678	173	1780-1784
house. . . .	0,146	35	0,191	45	0,220	40	0,197	44	0,754	164	1777-1784
z.	0,11416	»	0,12689	»	0,19267	»	0,15104	»	0,58473	149	1825-1834
icy.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5685	114	1782-1820
ève	0,1542	23,5	0,1598	25,6	0,2193	25,7	0,2247	28,4	0,758	103,2	1801-1831
sanne. . . .	0,1737	»	0,1889	»	0,3400	»	0,2755	»	0,9781	»	8 ans
ey.	»	»	»	«	»	»	»	»	1,183	»	» »
is (cour de l'Ob-vatoire.). . .	0,1164	34	0,14076	35	0,17189	36	0,13445	37	0,5635	142	1764-1827 1806-1826 [1]
ıtmorency. . .	0,1108	38	0,1540	36	0,2279	37	0,1975	36	0,6902	147	» »
xelles (pluie et ige).	0,1543	»	0,1528	»	0,1922	»	0,2006	»	0,7000	176	1833-1842
t.	0,1550	»	0,0976	»	0,2334	»	0,2773	»	0,7633	»	2 ans
s.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5740	169	1777-1784
ıbrai.	0,05549	»	0,08235	»	0,14960	»	0,13430	»	0,42174	122	1777-1784
n.	0,1572	42	0,1402	42	0,2034	42	0,1683	38	0,6691	164	» »
lons-s.-Marne.	0,0840	23	0,0928	31	0,1200	24	0,1093	28	0,4031	106	1825 et 1827-1829
rtres. . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,541	139	1777-1784
ainvilliers (près thiviers). . .	0,1052	»	0,0990	»	0,1526	»	0,1239	»	0,4807	115	1748-1778
xerre.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,628	»	1767-1772
it-le-Voy. . .	0,2072	»	0,2040	»	0,2223	»	0,3056	»	0,9361	»	1837-1843
irges.	0,0925	»	0,0925	»	0,1624	»	0,1692	»	0,5166	104	19 ans
irs.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5655	»	» »
gers.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,520	»	3 ans
ites.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,714	»	1834-1837
tiers.	0,1467	»	0,1343	»	0,1250	»	0,1746	»	0,5806	»	1778-1818
Rochelle. . .	0,175	37	0,132	33	0,126	31	0,223	38	0,656	139	50 ans
nt-Maurice-le-irard (Vendée).	0,2078	34	0,0677	34	0,1232	32	0,2274	34	0,6261	134	1776-1785
rdeaux. . . .	0,18205	»	0,14076	»	0,15859	»	0,17640	»	0,6578	150	1714-1770 et 1776-1784
ides.	»	»	»	»	»	»	»	»	1,000	»	» »
alais.	0,1255	»	0,1448	»	0,1408	»	0,1947	»	0,6058	»	1833-1843
rmande. . . .	0,1805	»	0,2241	»	0,1531	»	0,2047	»	0,7624	»	1838-1843
ilouse. . . .	0,1007	34,7	0,1924	36,5	0,1221	24,7	0,1458	39,7	0,5610	132,6	1839-1842
i.	0,287	»	0,322	»	0,151	»	0,325	»	1,085	125	1837-1842 [2]
rillac.	0,2443	»	0,2689	»	0,2796	»	0,3603	»	1,1501	»	» »
on.	0,1308	24,4	0,1846	33	0,2263	27	0,2346	34,6	0,7763	119	1765-1780
on.	0,123	28	0,138	29	0,160	25	0,250	36	0,671	118	1777-1785 1838-1842
—	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6787	»	1763-1765 1838-1842
zé-la-Ville, à 3 kilomètres de âcon.	0,1645	42,6	0,2070	43,7	0,2395	35,2	0,2334	38,3	0,8444	159,8	1820-1835
con.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,846	128	16 ans
ay.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	» »
arg.	0,24336	»	0,28856	»	0,28640	»	0,35380	»	1,17212	»	9 ans
ntarlier. . . .	0,2397	35	0,2315	33	0,2448	36	0,2891	31	1,0051	135	» »
yeuse.	0,28401		0,30296	»	0,20912	»	0,52155	»	1,3176	97,5	1804-1829

[1] Pour le nombre des jours de pluie. — [2] 39 mois d'observations.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tableau de la répartition des pluies par saisons, dans diverses localités.

(Suite.)

LIEUX D'OBSERVATION.	HIVER.		PRINTEMPS.		ÉTÉ.		AUTOMNE.		TOTAUX.		OBSERVATIONS. ANNÉES d'après lesquelles on a établi la moyenne.
	Hauteur d'eau tombée	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	Hauteur d'eau tombée.	Nombre de jours de pluie	
	m.		m.		m.		m.		m.		
Lons-le-Saulnier. .	0,2348	35	0,2204	34	0,3129	31	0,2528	30	1,0209	130	6 ans
Viviers.	0,1785	25,6	0,2371	25,4	0,2430	18,2	0,2444	28,8	0,9000	98	1778-1847
Marseille.	0,1328	17	0,1185	17	0,0551	8	0,2056	17	0,5120	59	1772-1845
Alais.	0,22940	»	0,23574	»	0,14169	»	0,38424	»	0,99107	68	1802-1837
Orange.	0,1489	21	0,1738	24,6	0,1106	18,5	0,3048	26,8	0,7381	90,9	30 ans
Arles.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,423	»	1806-1815 et 1829-1833
. . . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6108	107,7	5 ans.
Nîmes.	0,1435	»	0,1544	»	0,0893	»	0,2564	»	0,6433	42	17 ans
Avignon.	»	»	»	»	»	»	»	»	0,5688	»	1805-1029
Montpellier. . . .	0,2327	»	0,1830	»	0,1055	»	0,3032	»	0,8244	67	1767-1792
—	»	»	»	»	»	»	»	»	0,7697	»	1767-1802 et 1806-1817
. . . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,728	54	» »
Carcassonne. . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,6655	»	» »
Castelnaudary. . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,4383	»	» »
Béziers.	0,1318	»	0,1464	»	0,0503	»	0,1398	»	0,6429	»	» »
Arquettes. . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	0,7465	40	1824-1833
Hyères.	0,2670	»	0,1426	»	0,0417	»	0,2952	»	0,5157	44	1749-1784
Toulon.	0,1462	10	0,1179	9	0,0448	9	0,2068	16			

ANGLETERRE.

1° COMTÉS DE L'OUEST.

(Nombres admis dans les ouvrages anglais les plus récents.)

Helston (comté de Cornwall). . . .	0,309	51	0,180	33	0,199	27	0,279	35	0,967	146
Stroud (comté de Gloucester). . . .	0,197	38	0,190	37	0,197	40	0,228	42	0,812	157
Liverpool (comté de Lancashire).	0,184	»	0,157	»	0,248	»	0,274	»	0,863	»
Rothesay (comté de Bute).	0,264	»	0,182	»	0,214	»	0,319	»	0,979	157
Stromness (comté de Orkney. . .	0,326	57	0,129	36	0,208	44	0,370	48	1,033	185
Moyennes. .	0,256	49	0,167	35	0,213	37	0,295	42	0,931	161

2° COMTÉS DE L'EST ET DU CENTRE.

Thwaite (comté de Suffolk).	0,146	41	0,124	27	0,146	38	0,169	43	0,585	149
Chiswick (comté de Middlesex). .	0,148	48	0,121	43	0,169	44	0,187	43	0,625	178
Highfied-House (c. de Nottingham).	0,148	55	0,174	48	0,148	37	0,162	37	0,632	177
Dunino (Fife). . .	0,142	31	0,162	32	0,235	37	0,243	35	0,782	135
Kinfauns (Perth).	0,142	35	0,108	30	0,129	38	0,225	44	0,604	147
Moyennes . .	0,145	42	0,138	36	0,166	39	0,197	40	0,646	156

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

3m,866 à Seathwaite. Dans cette dernière localité on a recueilli 1m,467 de pluie dans les seuls mois de novembre et de décembre.

On voit, d'après tout ce qui précède, combien il est nécessaire de multiplier les observations pluviométriques, pour arriver à des résultats approchés sur la quantité totale d'eau qui tombe dans un bassin, puisque cette quantité varie d'un point à un autre par une foule de circonstances locales. On comprend, à plus forte raison, l'impossibilité où l'on est, quant à présent, de calculer avec quelque exactitude la hauteur annuelle moyenne de la pluie tombée dans une contrée. Aussi, voyons-nous les auteurs donner à cet égard les chiffres les plus discordants : M. Puvis admet que la hauteur moyenne de la pluie qui tombe annuellement en France est de 1m,00 au moins; M. de Gasparin l'évalue à peu près à 0m,750; M. Martins évalue cette hauteur à 0m,681, répartis de la manière suivante par saison et par climat :

CLIMATS.	QUANTITÉ moyenne annuelle.	QUANTITÉ RELATIVE. Hiver	Printemps.	Été.	Automne	NOMBRE de jours de pluie.
	m.					
Vosgien...	0,669	19	23	31	27	137
Séquanien..	0,548	21	22	30	27	140
Girondin..	0,586	25	21	23	34	130
Rhôdanien.	0,946	20	24	23	34	107
Méditerran.	0,654	25	24	11	41	53
Moyennes..	0,681	22	23	23	33	113

Sans aucun doute, les deux derniers nombres sont beaucoup plus approchés de la vérité que le premier, mais il serait cependant impossible de leur accorder une confiance absolue.

Nous nous sommes arrêtés assez longuement à l'étude de la pluie. L'importance de ce phénomène rendait indispensables les développements dans lesquels nous sommes entrés, et nous regrettons même que l'espace ne nous permette pas ici une discussion approfondie des faits que nous avons réunis.

Il resterait, pour compléter l'examen des météores aqueux, à parler des brouillards, des nuages, de la neige, de la rosée, de la grêle, etc. Le cadre restreint dans lequel nous sommes renfermés ne nous permet pas de nous en occuper. Ces différents phénomènes exercent, il est vrai, sur l'agriculture une action très puissante, tantôt favorable, tantôt désastreuse; mais leur étude est encore trop imparfaite, et les observations recueillies jusqu'à présent sont trop peu nombreuses pour fournir des conclusions un peu générales, ou d'un véritable intérêt pratique.

On a indiqué, en parlant des vents, de la pression de l'air, etc., les *pronostics* que l'on peut tirer de ces phénomènes au sujet de la pluie. L'examen de plusieurs ordres de faits différents permet également de prévoir, avec plus ou moins de probabilité, le retour ou la cessation du beau temps. Ces divers pronostics, qu'il serait peu philosophique de dédaigner sans examen, ne présentent cependant pas de caractères assez positifs, ni assez généraux pour que nous croyions utile de nous y arrêter. C'est aux hommes éclairés, dans chaque localité, de recueillir les opinions les plus accréditées parmi les habitants de la campagne, de les soumettre à l'épreuve d'observations prolongées, et de s'assurer ainsi du fondement qu'elles peuvent avoir et du degré de confiance qu'il convient de leur accorder. Il arrivera souvent que l'on trouvera une origine sérieuse et une valeur réelle à des croyances qu'un examen superficiel ferait classer parmi les préjugés et rejeter avec dédain. Les travaux de Wells sur la rosée, la notice de M. Arago sur la lune rousse, et quelques autres écrits que nous pourrions citer, suffisent pour encourager dans cette voie les agronomes observateurs.

CHAPITRE III.

AMÉNAGEMENT DES EAUX AU POINT DE VUE AGRICOLE.

Dessécher et assainir les terrains envahis par les eaux et dépourvus d'écoulement; préserver le sol des ravages des inondations; procurer, en tout temps, aux terres cultivées, le degré d'humidité le plus convenable au développement des végétaux utiles; telles sont les opérations comprises sous le titre général d'aménagement des eaux au point de vue agricole.

Tous les hommes éclairés reconnaissent aujourd'hui l'importance pratique des travaux d'irrigation, de dessèchement ou d'assainissement; il serait superflu d'insister sur ce point. Les faits particuliers que nous aurons occasion de citer dans les paragraphes suivants et les chiffres réunis dans ce chapitre, sont d'ailleurs les arguments les plus positifs à présenter à cet égard.

L'aménagement des eaux au point de vue agricole, considéré dans toute sa généralité, comprend l'exécution de travaux très nombreux et très variés. On décrira minutieusement ceux que tous les cultivateurs, avec un peu de soin et d'attention, peuvent entreprendre et diriger eux-mêmes avec succès. Mais on sera forcé par l'espace de passer plus rapidement sur les grandes opérations qui exigent le concours de capitaux considérables et de constructeurs expérimentés.

L'intérêt qui s'attache aujourd'hui à cette importante partie de l'art agricole explique, du reste, l'étendue relativement considérable de l'espace que nous lui consacrons ici.

L'eau si utile, si indispensable même à l'agriculture, est souvent aussi l'un de ses plus terribles ennemis. Les eaux stagnantes qui imbibent ou submergent les terres s'opposent plus ou moins complétement à leur mise en culture, et tout le monde connaît les ravages causés par les inondations et les corrosions des rives de la mer, des fleuves et des rivières. Avant de chercher à utiliser les eaux, il convient d'apprendre à se défendre de leurs dangereux effets : les premières sections de ce chapitre seront donc consacrées aux assainissements, aux dessèchements et aux travaux de défense des rives, et les suivantes aux irrigations et à quelques remarques sur les questions générales que soulève l'aménagement des eaux au point de vue agricole.

On trouvera d'ailleurs au mot *hydraulique* l'explication de toutes les formules relatives au mouvement des eaux dont nous devrons faire usage pour déterminer le tracé, les sections, etc., des canaux, vannes et autres ouvrages nécessaires aux irrigations et aux dessèchements.

Première section. — Assainissement, drainage.

Le mot *drainage* est employé en Angleterre pour désigner toutes les opérations dont le but est l'égouttement, l'assainissement et le dessèchement, dans un but agricole ou autre, depuis la construction de toute espèce d'égouts de villes ou de maisons particulières, jusqu'aux plus vastes entreprises de dessèchements de lacs et de marais. L'extension donnée et les perfec-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tionnements apportés depuis quelques années, dans le Royaume-Uni, à l'assainissement des terres cultivées (drainage of lands, agricultural drainage), ont appelé d'une manière toute particulière sur ce genre de travaux l'attention des cultivateurs et ont fait généralement adopter, en France, pour les désigner, l'expression employée en Angleterre. Nous nous conformerons en partie à cette habitude déjà consacrée par l'usage, en précisant cependant un peu plus qu'on ne le fait habituellement le sens que nous donnerons aux mots *assainissement* et *drainage*. Nous appliquerons le premier à l'égouttage des terres effectué au moyen de rigoles *ouvertes*, et, pour éviter toute confusion, nous nous servirons du second et de ses dérivés, pour indiquer les assainissements opérés au moyen de rigoles *couvertes*, bien que depuis fort longtemps l'emploi de ces rigoles, exécutées de diverses manières, soit parfaitement connu et appliqué dans plusieurs parties de la France sous les noms de *pierrées*, de *coulisses*, etc.

Tous les agriculteurs connaissent les inconvénients des terrains trop humides, c'est-à-dire des terres retenant en toute saison plus de 20 à 22 p. 100 d'eau. Les opérations d'assainissement et de drainage ont pour but de faire cesser ces inconvénients, c'est assez dire leur importance et le nombre de localités où elles seraient nécessaires. L'humidité surabondante qui existe dans beaucoup de terres cultivables est due à un certain nombre de circonstances différentes qu'il n'est pas utile d'énumérer ici. En exposant les méthodes à suivre pour l'assainissement, on fera connaître les cas où chacune d'elles est applicable, et, par cela même, les différents ordres de causes qui produisent un degré excessif d'humidité.

I. CURAGE DES COURS D'EAU.

Nous plaçons en tête des opérations d'assainissement le curage des cours d'eau naturels. Ce sont, en effet, les colateurs auxquels doivent aboutir les différentes rigoles d'égouttement de la vallée. Et, d'un autre côté, l'expérience nous a montré l'utilité de ces travaux pris en eux-mêmes, travaux trop souvent négligés et sur lesquels il importe d'autant plus d'appeler sans cesse l'attention que l'autorité administrative possède dès à présent tous les pouvoirs nécessaires pour en assurer l'exécution. Les lois des 12 et 20 août 1790 et du 14 floréal an XI imposent, en effet, aux préfets le devoir d'assurer le libre écoulement des eaux des rivières et ruisseaux non navigables ni flottables, et leur fournissent le moyen de subvenir aux dépenses des travaux nécessaires pour atteindre ce but.

L'encombrement du lit d'un ruisseau par les herbes qui y croissent ou les terres qui s'y déposent, suffit souvent pour s'opposer à l'écoulement de l'eau et transformer en marécages, sur une plus ou moins grande étendue, tout le fond d'une vallée. Le curage, et quelquefois le faucardement seul du ruisseau, font disparaître ce fâcheux état de choses. Le curage à vif d'un ruisseau est en lui-même une opération très facile, mais qui exige cependant une certaine attention pour être exécutée de la manière la plus économique et la plus satisfaisante. Il convient de profiter de l'opération du curage pour opérer le redressement du lit du cours d'eau, supprimer les coudes brusques et les sinuosités qui, en allongeant le parcours, réduisent la pente par mètre. Avant de commencer les travaux, quand il s'agit d'un ruisseau de quelque importance, il faut toujours lever un profil en long très exact du cours d'eau et une série de profils en travers. A cet effet, on enfonce sur la rive du ruisseau une série de forts piquets en bois numérotés et distants de 20 à 100 mètres les uns des autres. On fait un nivellement exact sur la tête de ces piquets, on lève un profil en travers du lit au droit de chacun d'eux et on le rapporte sur le papier à une échelle déterminée, 0,005 par exemple. On trace sur les profils ainsi dessinés la forme actuelle du lit, et celle que l'on veut lui donner. Ces profils servent à calculer les volumes des terrassements à effectuer et à dresser l'estimation de la dépense à faire. La section projetée ne doit pas, en général, rester la même dans toute l'étendue du cours du ruisseau : elle doit varier d'un point à un autre, en raison de la pente, de manière à assurer toujours un même débit à l'eau. Les différentes sections se calculent au moyen de l'une des formules qui seront indiquées plus loin en parlant des canaux de desséchement ou d'irrigation. Cette remarque permet souvent de diminuer notablement le cube des terres à remuer. On adopte habituellement, pour la section du lit du cours d'eau, un plafond horizontal et deux berges présentant une inclinaison variant de 1 à 2 de base pour 1 de hauteur. Il serait peut-être préférable de donner au fond du ruisseau la forme courbe qu'il tend à prendre naturellement.

Le curage d'un ruisseau doit se faire en remontant de l'aval à l'amont. On se débarrasse ainsi plus facilement des eaux affluentes. Les vases et les terres extraites du lit sont jetées sur les rives par les ouvriers curcurs. Ces terres forment presque toujours un bon amendement que les propriétaires riverains s'empressent de répandre sur leurs champs. S'ils ne le faisaient pas, on devrait faire enlever ces terres par des ouvriers spéciaux, car les espèces de digues que les produits du curage formeraient, en se desséchant sur les berges du ruisseau, présenteraient presque toujours dans la suite des inconvénients plus ou moins graves.

Les bourrelets, dont on vient de parler, produits par les résidus des curages déposés le long des rives des cours d'eau, ont quelquefois une véritable utilité en formant de petites digues qui protégent les terres contre les faibles crues du printemps. On doit alors les conserver et les entretenir avec soin ; mais pour qu'elles ne produisent aucun effet nuisible en s'opposant en temps ordinaire à l'égouttement des champs voisins, il faut les couper de place en place et garnir les ouvertures ainsi formées de petits clapets que l'on ferme seulement pendant les crues et que l'on laisse ouverts quand les eaux du ruisseau sont rentrées dans leur lit ordinaire.

On trouvera dans la dernière section de ce chapitre l'indication des principales dispositions des lois relatives au curage des cours d'eau non navigables ni flottables.

II. RIGOLES D'ASSAINISSEMENT OUVERTES.

Les sections des rigoles d'assainissement ouvertes varient avec le volume d'eau dont elles doivent assurer l'écoulement. Ces rigoles, dans certains cas, sont de véritables canaux de desséchement dont on étudiera plus loin le mode de tracé et d'exécution, et dans lesquels se réunissent les eaux d'un plus ou moins grand nombre de rigoles de petites dimensions. Ce sont ces dernières seulement qu'il s'agit d'examiner ici.

Les rigoles ouvertes présentent un assez grand nombre d'inconvénients inhérents à leur nature même. Elles occupent une plus ou moins grande partie du terrain, elles opposent à la culture de véritables obstacles, elles exigent un entretien continuel et n'atteignent que d'une manière imparfaite le but proposé, puisqu'elles n'enlèvent, en général, que les eaux de la surface du sol qui s'écoulent en entraînant une partie des principes fertilisants de la terre et des fumiers. Mais la facilité de leur exécution et les services qu'elles peuvent rendre dans un grand nombre de circonstances, quand elles sont convenablement disposées, doivent appeler sur elles l'attention sérieuse des cultivateurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La *section* des petites rigoles d'assainissement présente habituellement un fond plat et deux talus plus ou moins inclinés. On donne quelquefois au fond de la rigole une forme courbe, et on abat les bords en pente douce pour les raccorder avec la surface du sol et diminuer l'étendue enlevée à la culture. Les rigoles, surtout dans les terrains faciles, peuvent être ouvertes à la charrue et terminées à la bêche. On les exécute souvent à l'aide seulement de ce dernier instrument; le travail est alors plus parfait, mais ordinairement un peu plus coûteux.

Le *tracé* des petites rigoles d'assainissement ne présente, en général, aucune difficulté; la disposition du sol et les habitudes locales le déterminent facilement dans chaque cas particulier. Les plus petites rigoles se réunissent en plus ou moins grand nombre dans des rigoles un peu plus importantes, et celles-ci, à leur tour, versent leurs eaux dans une rigole d'un ordre plus élevé, ou bien dans les fossés, canaux ou ruisseaux qui doivent leur livrer passage. Le raccordement de deux rigoles doit, autant que possible, se faire sous un angle aigu pour que les vitesses de l'eau ne se contrarient pas au point de convergence. Il convient que le fond d'une rigole soit de quelques centimètres en contre-bas de celui des rigoles dont elle reçoit les eaux. La pente des rigoles est souvent fixée par celle du terrain lui-même; elle peut, sans inconvénient, être presque nulle pour les plus petites rigoles, quand leur longueur est peu considérable.

L'égouttement des terres labourables, gênées par la stagnation des eaux, se fait au moyen de rigoles ménagées entre les planches labourées auxquelles on a soin de conserver un certain bombement. Ces raies profondes sont coupées, de distance en distance, par une rigole plus importante, tracée dans une direction perpendiculaire ou inclinée à la leur, qui traverse toutes les planches et conduit les eaux dans le fossé général d'écoulement. Ces diverses rigoles sont ouvertes à la charrue et les raccordements faits à la bêche. Les plaines de la Romagne et du Boulonnais offrent les exemples les plus remarquables que nous connaissions d'assainissements de cette espèce. La pente générale du pays est extrêmement faible, elle n'atteint pas $0^m,002$ par mètre et rend nécessaires, par conséquent, des dispositions toutes particulières qui conviendraient, du reste, à tous les pays plats et qu'il sera utile de décrire en peu de mots.

Les champs sont partagés en compartiments (fig. 6)

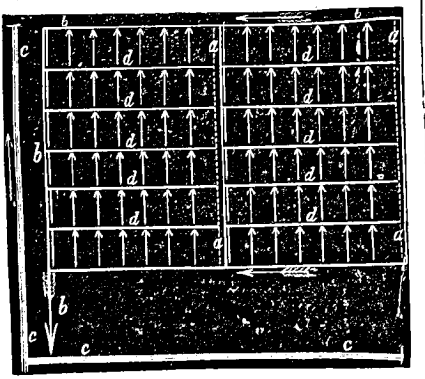


Fig. 6 (éch. 0,0002).

de 452 mètres de largeur sur 228 mètres de longueur environ. Ces compartiments sont séparés les uns des autres par des chemins d'exploitation herbés au milieu desquels se trouve creusé un fossé permanent d'écoulement *aa* qui débouche dans d'autres fossés *bb* communiquant eux-mêmes avec la rigole provinciale d'écoulement *c*. Les chemins d'exploitation sont établis dans toute leur étendue à $0^m,20$ ou $0^m,24$ en contre-bas de l'ensemble des planches et faciliteraient déjà beaucoup leur égouttement; mais d'autres fossés d'écoulement *d d*, également établis à demeure, espacés de 38 en 38 mètres à peu près, communiquent avec les premiers et complètent les travaux fixes d'assainissement. Ces dernières rigoles sont établies entre les planches labourées, et quand l'ensemencement est terminé, on ouvre enfin de petites saignées, indiquées par des flèches, communiquant avec les fossés *d*. La communication des fossés *d* avec les fossés *a* a lieu sous le chemin d'exploitation au moyen de petits aqueducs grossièrement construits avec quelques briques.

Les frais de curage et d'entretien des différentes rigoles sont peu considérables; les dépenses d'établissement des parties permanentes du système d'assainissement que l'on vient de décrire peuvent s'évaluer par hectare de la manière suivante, en supposant, pour simplifier le calcul, que la journée de terrassier soit de 1 fr.

Nivellement général du sol par l'enlèvement des parties proéminentes et le comblement des parties déprimées.	40 fr.
Creusement de la rigole principale et du chemin d'exploitation.	8
Ouvertures des rigoles secondaires et construction de l'aqueduc.	12
Portion du canal d'écoulement à la charge de chaque hectare.	4
Total. . . .	64 fr.

Il est souvent nécessaire, dans les pays humides à sol peu perméable, d'assainir, par une série de rigoles ouvertes, les terrains en pente et les collines destinés à la pâture des troupeaux. On y parvient en ouvrant, comme l'indique la fig. 7, une série de petites rigoles *r r* à peu près horizontales, communiquant avec une rigole plus importante R, tracée suivant une ligne de plus grande pente du terrain et destinée à conduire les eaux dans une rigole d'un ordre plus élevé ou dans un canal général de décharge. Ce genre d'assainissement très usité en Écosse et dans les comtés du nord de l'Angleterre, où l'on s'occupe particulièrement de l'élève du bétail, y a rendu les plus grands services, et paraît, jusqu'à présent, le meilleur moyen de préserver les troupeaux de moutons de la pourriture qui les décime si fréquemment, ce qui fait donner aux rigoles dont nous parlons le nom de *rigoles à moutons* (sheep drain).

L'espacement des rigoles horizontales dépend de la nature du sol et de l'abondance des eaux. On est quelquefois obligé de les placer à quelques mètres les unes des autres, mais, en général, on peut les établir à d'assez grandes distances.

On commence par creuser les rigoles principales d'écoulement et on termine par les rigoles horizontales. Les petites rigoles d'égouttement dont nous nous occupons ont $0^m,15$ ou $0^m,20$ de largeur au fond, des talus inclinés à 45°, et $0^m,20$ à $0^m,30$ de profondeur moyenne; on peut les ouvrir à la charrue et les terminer à la bêche. Mais il est généralement préférable de les exécuter entièrement avec ce dernier instrument. La terre extraite est rejetée contre le bord, du côté le plus bas du terrain (fig. 8); quelquefois on laisse un petit intervalle entre le bourrelet de terre et l'arête de la rigole pour que la terre ne retombe pas dans celle-ci. Dans les terrains très résistants ou recouverts d'un gazon très touffu, on trace la rigole avec une forte et lourde bêche,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

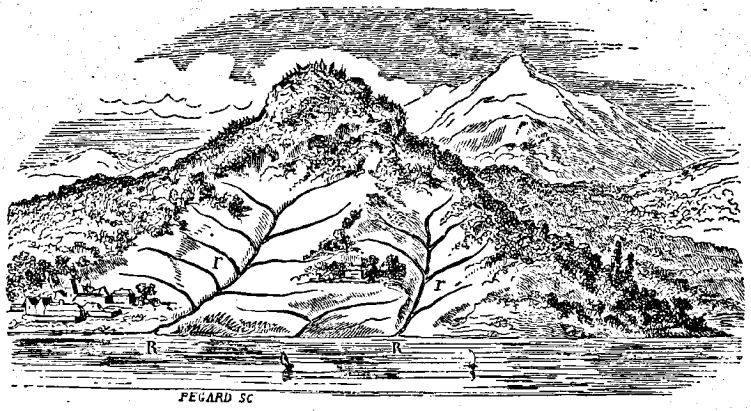


Fig. 7.

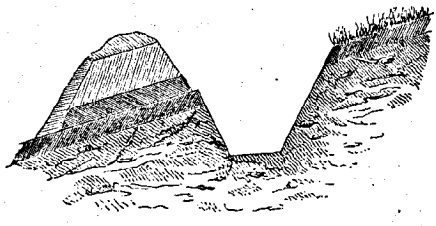


Fig. 8.

bien acérée, en forme de langue de bœuf (fig. 9) et dont le manche est terminé par une poignée horizontale. Lorsque la rigole est bien tracée sur une assez grande longueur, on divise la terre en mottes d'une certaine largeur, perpendiculairement à la direction du tracé, et un second ouvrier arrache ces mottes et les dépose sur le côté au moyen d'une espèce de griffe (figure 10). On termine le travail avec une bêche ordinaire.

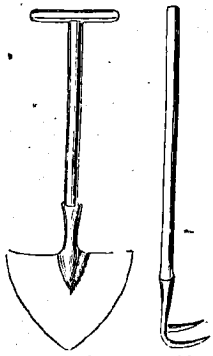


Fig. 9. Fig. 10.

Ces rigoles exécutées par des ouvriers exercés peuvent coûter de 2 à 4 cent. le mètre courant.

Un grand nombre de terrains en pente, surtout dans le centre de la France, sont entretenus dans un état constant d'humidité surabondante, par les suintements qui se produisent aux points d'affleurement avec le sol de couches perméables aquifères (fig. 11), comprises entre des couches imperméables plus ou moins épaisses. Les terrains de cette espèce sont facilement assainis en ouvrant de petites rigoles à pentes faibles, attaquant un peu le sol imperméable comme l'indique la figure en *c*, et suivant la ligne d'affleurement des couches perméables.

Le cas précédent n'est pas le seul où la présence d'une couche aquifère sous le sol cultivable transforme celui-ci en terrain plus ou moins marécageux. Mais toutes les fois que la disposition des lieux permet de procurer aux eaux un écoulement complet, on comprend qu'il est très facile, au moyen de saignées coupant la couche perméable, de dériver en quelque sorte les eaux qui la traversent, et de s'opposer ainsi à leur action nuisible. On voit, d'après cela, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans l'examen de divers cas particuliers, sur lesquels on reviendra plus loin (voyez *Drainage des sources*),

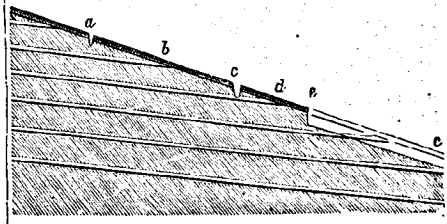


Fig. 11.

combien il importe, avant d'entreprendre des travaux d'assainissement de l'espèce de ceux dont il s'agit en ce moment, de reconnaître avec exactitude la position de la nappe perméable par rapport à la surface du sol. Cette reconnaissance s'exécute facilement au moyen d'une petite sonde à main, ou de quelques coups de bêche si la profondeur à explorer est très peu considérable. Dans les travaux d'une certaine importance il convient de conserver la trace de ces études préliminaires, de dresser un véritable plan topographique du sol et du sous-sol. Ce plan sert à étudier et à tracer de la manière la plus convenable la position des différentes rigoles. Voici comment on peut procéder à son exécution : on détermine sur le sol, au moyen du niveau, une série de points appartenant à des courbes horizontales équidistantes, et l'on dessine le plus exactement possible, au moyen de jalons, la position de ces lignes. On trace alors un certain nombre de lignes de plus grande pente qui sont, comme on sait, perpendiculaires aux premières. On enfonce un piquet aux différents points d'intersection des deux séries de lignes dont on vient de parler; on rapporte la position de ces piquets sur un plan des lieux à grande échelle, et on inscrit sur ce plan les résultats de chacun des sondages faits auprès de ces piquets. Il n'est pas indispensable de tracer, comme on vient de l'indiquer, les lignes horizontales et de plus grande pente du terrain donné. On peut se borner à tracer une série de lignes perpendiculaires les unes aux autres, à en faire le nivellement, à les rappor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ter sur le plan, avec l'indication des résultats des sondages exécutés à leurs points d'intersection. Mais les personnes habituées au maniement des instruments et à l'étude des plans préféreront suivre la première méthode. Les plans du cadastre, à l'échelle de 0,0001 à 0,001, sont très-convenables pour rapporter les différentes opérations dont on vient de parler.

III. ASSAINISSEMENT AU MOYEN DE RIGOLES COUVERTES, OU DRAINAGE.

Nous avons passé rapidement sur l'assainissement des terres au moyen de rigoles ouvertes; la simplicité des travaux de cette espèce et la connaissance que les cultivateurs possèdent en général des méthodes les plus convenables pour leur exécution, nous dispensaient d'insister longuement sur ce sujet. Il n'en est pas de même des opérations dont nous allons maintenant nous occuper.

L'assainissement au moyen de rigoles couvertes, exige une exécution des plus soignées, sans laquelle le succès est impossible.

Ces procédés ne sont connus en France que depuis peu d'années, et il arrive encore souvent que le propriétaire est obligé de former des ouvriers et des contre-maîtres.

On comprend par conséquent la nécessité d'expliquer ici avec détails les procédés d'exécution, et de faire connaître aussi complétement que possible les principes sur lesquels repose leur application.

L'assainissement des terrains, au moyen de rigoles couvertes, s'exécute généralement aujourd'hui, en posant au fond de tranchées de $1^m,0$ environ de profondeur, des tuyaux de terre cuite que l'on recouvre avec la terre extraite de cette même tranchée. Ce procédé très simple et fort économique n'est employé que depuis peu d'années, et diverses méthodes le remplacent encore aujourd'hui dans certaines circonstances.

Il convient, avant d'entrer dans l'examen détaillé de ces différentes manières d'opérer, d'indiquer d'abord d'une manière rapide l'histoire des procédés d'assainissement à l'aide de rigoles couvertes. Cette étude préliminaire aura le double avantage de préciser autant que possible ce qui constitue l'importance des moyens actuels, et de fournir sur l'ensemble de la méthode des notions générales qui faciliteront l'intelligence des explications étendues qui seront données plus loin.

1. *Historique.*

L'art d'assainir les terres au moyen de rigoles couvertes se perd dans la nuit des temps. Comme tous les arts utiles, il est probable que ses progrès auront été si lents et si graduellement amenés, que chacun d'eux aura passé pour ainsi dire inaperçu, et sans laisser à son auteur le mérite de sa découverte. Ce qu'il y a de certain, c'est que les Romains connaissaient l'art d'assainir les terres, et qu'ils le pratiquaient sur une grande échelle. Tous leurs écrivains agricoles le signalent, et donnent même sur l'exécution des travaux des préceptes très judicieux, soit que ces procédés d'assainissement aient été employés d'abord par les Romains eux-mêmes, soit qu'ils en aient appris l'usage de peuples plus anciennement civilisés. Il est probable que leurs armées victorieuses et leurs colonies en enseignèrent l'usage dans les différentes parties du monde, et que c'est à leur exemple que furent établis les travaux de cette espèce, dont on rencontre encore de nombreux vestiges, et dont l'origine nous est maintenant inconnue.

Les anciens employaient pour la formation de leurs rigoles souterraines d'assainissement, des pierres, des branches, et même de la paille Voici comment Columelle décrit ce travail : «..... S'il est humide (le sol), il faudra faire des fossés pour le dessécher, et donner de l'écoulement aux eaux. Nous connaissons deux espèces de fossés : ceux qui sont cachés et ceux qui sont larges et ouverts..... D'un autre côté, on fera pour les fossés cachés des tranchées de trois pieds de profondeur que l'on remplira jusqu'à moitié de petites pierres ou de gravier pur, et l'on recouvrira le tout avec la terre tirée du fossé. Si l'on n'a ni pierre ni gravier, on formera, au moyen de branches liées ensemble, des câbles auxquels on donnera la grosseur et la capacité du fond du canal, et qu'on disposera de manière à remplir exactement ce vide. Lorsque les câbles seront bien enfoncés dans le fond du canal, on les recouvrira de feuilles de cyprès, de pin, ou de tout autre arbre qu'on comprimera fortement, après avoir couvert le tout avec la terre tirée du fossé; aux deux extrémités on posera en forme de contre-fort, comme cela se pratique pour les petits ponts, deux grosses pierres qui en porteront une troisième, le tout pour consolider les bords du fossé, et favoriser l'entrée et l'écoulement des eaux (1). »

Les mêmes matériaux, employés à peu près de la même manière, ont été utilisés de tout temps, et sont encore aujourd'hui mis en œuvre d'une manière analogue dans beaucoup de parties de la France, pour atteindre le même but. Cependant nous ne connaissons aucun ancien auteur agricole français qui se soit spécialement occupé de ce sujet et qui l'ait traité avec les développements nécessaires, de sorte que l'histoire de l'emploi en France des rigoles d'assainissement couvertes se réduit à très peu de chose, bien qu'assez répandu, nous le répétons, et indiqué par l'abbé Rozier et par d'autres auteurs, comme une pratique très connue et d'un emploi fort répandu. L'Angleterre, au contraire, possède plusieurs traités anciens et spéciaux, sur les procédés d'assainissement, qui permettent de suivre assez facilement la marche progressive de cet art, maintenant si répandu dans le Royaume-Uni.

L'ouvrage anglais le plus ancien sur le drainage agricole paraît être celui du capitaine Walter Blight, dont la troisième édition fut imprimée en 1652. Cet ouvrage, remarquable à beaucoup d'égards, et dans lequel on trouve, au sujet de la misère générale des travailleurs et des moyens d'y remédier, des idées très justes d'économie sociale; idées que suggèrent toujours les temps de révolution, mais que le calme fait trop vite oublier, ne contient pas de simples détails d'exécution des travaux, les préceptes s'appuient presque toujours sur une saine théorie qui n'a guère été perfectionnée depuis cette époque. Encore aujourd'hui, on ne peut mieux faire que de répéter avec W. Blight, que nous traduisons littéralement : « Quant à ta tranchée de drainage, tu dois la faire assez profonde pour qu'elle aille au fond de l'eau froide qui suinte et croupit.—Un yard, ou quatre pieds de profondeur, si tu veux drainer à ta satisfaction. Et de nouveau, arrivé au fond où repose la source suintante, tu dois aller plus profond d'un fer de bêche, quelque profond qu'il soit déjà, si tu veux drainer ta terre à souhait..... Mais pour ces tranchées ordinaires que l'on fait souvent à un pied ou deux, je dis que c'est une grande folie et du travail perdu que je désire éviter au lecteur » Ces préceptes si justes de Blight semblent s'être peu répandus, car maintenant encore il faut les reproduire et les soutenir, tant est lente la diffusion et la mise en pratique des idées justes, même les plus simples.

A la fin du siècle dernier, Elkington, fermier du Warwickshire, esprit judicieux et observateur infatigable, s'occupa d'une manière toute particulière de l'assainis-

(1) *Collection des auteurs latins*, publiée par M. Nisard — *Les agronomes latins*, page 195.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sement des terrains infestés de sources. Les succès remarquables qu'il obtint d'une pratique intelligente et expérimentée attirèrent sur lui l'attention du parlement. Des récompenses importantes lui furent accordées. Ce fut le premier pas dans la voie des encouragements au drainage, que le gouvernement anglais a distribués depuis sur une grande échelle. Mais les procédés d'Elkington n'étaient pas assez généraux, ils exigeaient, par cela même, une habileté qu'une longue expérience pouvait seule donner, et ne s'appliquaient qu'à certains sols d'une constitution spéciale.

Cependant l'emploi de drains couverts, plus ou moins profonds, et formés de paille, de branchages et même de briques ou de tuiles, recommandés depuis si longtemps, se répandait peu à peu en Angleterre et en Écosse, par les soins de propriétaires riches et intelligents, lorsque Smith de Deanston, au commencement de ce siècle, exposa ses vues sur le drainage, et fit connaître sous une forme systématique les procédés propres à débarrasser à la fois le sol des eaux de source et des eaux de pluie. La méthode de M. Smith, souvent désignée sous le nom de Drainage de Deanston, consistait à ouvrir des rigoles assez rapprochées, de 0m,60 à 0m,75 de profondeur, destinées à recevoir les eaux de pluie, filtrant à travers les couches superficielles du sol, à arrêter et à recueillir les eaux de source, sourdant des couches inférieures. Dans les premiers temps de ses travaux, M. Smith garnissait de pierres cassées le fond de ses rigoles, et achevait de les remplir avec la terre qui en avait été extraite. La simplicité et la généralité de ce mode d'opération vulgarisèrent rapidement son emploi, et appelèrent sur lui l'attention publique. Smith, en ramenant à des formules simples et générales les préceptes du drainage profond, et en défendant avec un zèle infatigable la pratique de ses procédés, a puissamment concouru à l'extension que les travaux de drainage ont reçue en Angleterre ; son nom restera certainement parmi ceux des hommes les plus utiles à l'agriculture de son pays, bien qu'il n'ait peut-être pas compris assez tôt les avantages de rigoles plus profondes que celles qu'il construisait.

Dans ces dernières années, plusieurs ingénieurs anglais, à la tête desquels se place sans contredit M. Parkes, ont puissamment concouru à l'extension et aux perfectionnements des travaux de drainage. Ils ont soutenu les avantages des tranchées profondes, et ont singulièrement simplifié les procédés d'exécution des travaux. Mais on doit reconnaître que la transformation et l'importance actuelles de l'art du drainage sont principalement dues à l'emploi des briques et des tuiles creuses, et surtout à l'invention et aux perfectionnements rapides des machines à fabriquer les *tuyaux* de drainage.

Il y a déjà plus de quarante ans que diverses personnes, qui bien certainement n'avaient point connaissance de leurs essais respectifs, placèrent des tuyaux au fond de leurs tranchées d'assainissement. Mais cette pratique était à peine connue, et lorsqu'on parla accidentellement de tuyaux de drainage, à la Société royale d'agriculture de Londres, en 1843, cette communication ne fit aucune impression. On ne s'en occupa que quelques mois plus tard, lorsque J. Read présenta divers spécimens de tuyaux à l'exposition agricole de Derby. Une médaille d'or fut accordée à l'exposant, sur le rapport de M. Parkes, qui comprit toute la valeur de ces essais, et qui n'a cessé, depuis cette époque, de concourir plus ou moins directement aux améliorations et aux perfectionnements de tout genre qui se sont succédé sans interruption. Les explications qui vont suivre feront comprendre toute l'importance de ces perfectionnements, et montreront que de l'emploi de ces tuyaux datent en grande partie la généralisation et l'intérêt pratique des procédés de drainage.

AGRICULTURE.

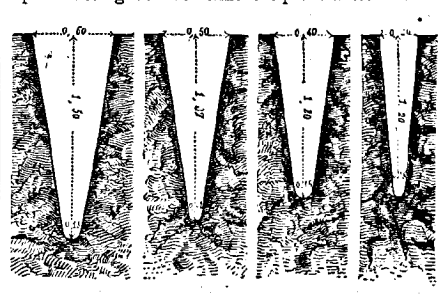
2. *Des différents modes d'exécution des canaux de drainage.*

On croit devoir exposer d'abord avec détails le mode de construction des canaux de drainage ; il serait difficile, avant cette première étude, de faire bien comprendre leur manière d'agir et les résultats à attendre de leur action. Les frais d'établissement des ouvrages de cette nature et leurs résultats économiques ne seront d'ailleurs exposés qu'à la fin de la présente section.

Les rigoles d'assainissement couvertes, ou drains, peuvent s'exécuter de plusieurs manières différentes, entre lesquelles les circonstances locales, le prix de la main-d'œuvre, ou celui des matériaux, permettent, en général, de choisir sans difficulté. Les drains garnis de tuyaux de terre sont maintenant, comme on l'a déjà dit, les plus fréquemment employés. On s'occupera d'abord de leur établissement, et l'on indiquera ensuite quelques autres méthodes de construction recommandées à différentes époques, et qui peuvent être avantageusement employées dans quelques circonstances particulières.

1. *Drains garnis de tuyaux de terre.* Quel que soit le mode de remplissage ou de garniture d'un drain, l'ouverture de la tranchée est la première opération à exécuter.

La profondeur de ces tranchées dans les travaux récemment exécutés varie, en général, de 0m,90 à 1m,50. Elles ont de 0m,40 à 0m,70 de largeur au sommet, et seulement 0m,06 à 0m,07 au fond, quand il s'agit de drains secondaires, et 0m,20 environ pour les drains principaux. Les fig. 10 à 13 donnent le profil exact de tran-



Tranchée de drainage. Échelle de 0m,02 pour 1m.

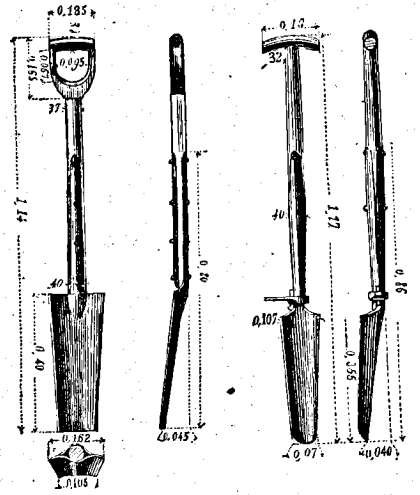
Fig. 10. Fig. 11 Fig. 12. Fig. 13.

chées de différentes dimensions. La largeur des tranchées n'a rien d'absolu. Elle dépend en grande partie de l'habitude et de l'adresse des ouvriers terrassiers qui les exécutent; il faut réduire autant que possible cette largeur, pour diminuer le cube des terrassements par mètre courant. L'ouverture au sommet et l'inclinaison des talus sont calculées de manière que l'ouvrier puisse descendre et se tenir facilement dans la tranchée, à 0m,60 ou 0m,80 au-dessus de son fond, afin de pouvoir, de ce point, atteindre avec ses outils à la profondeur adoptée.

L'ouverture des tranchées n'offre aucune difficulté dans les terrains ne renfermant pas de corps assez durs pour résister aux instruments ordinaires, et cependant assez compactes pour se maintenir sans éboulement pendant quelques jours. On commence par indiquer la direction de la tranchée à ouvrir, au moyen de piquets et de jalons. On trace ensuite sa largeur, au moyen d'une bêche analogue à celle représentée par la fig. 9, et en se guidant avec un cordeau de 20 à 25 mètres de longueur. Lorsque le sol est garni d'un gazon très-épais ou de nombreuses racines de bruyère ou autres,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

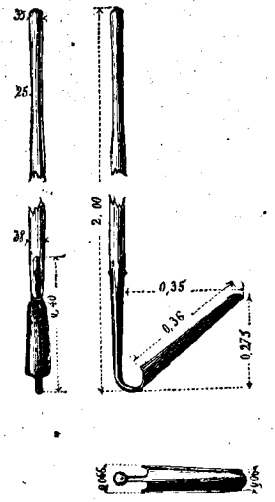
la bêche dont on vient de parler peut être avantageusement remplacée par une espèce de hache. Les instruments employés pour achever de creuser les tranchées ainsi tracées sur le sol sont extrêmement simples. Ce sont (fig. 15, 16, 17 et 18) des bêches en fer bien aciéré, solidement emmanchées et garnies de fortes poignées pour en rendre le maniement plus facile.



Bêches de drainage. Échelle de 0m,5 pour 1m.

Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17. Fig. 18.

La drague (fig. 19 à 21) sert à curer et à unir le fond de la tranchée avant la pose des tuyaux. Ces



Drague de drainage. Échelle de 0m,05 pour 1m.

Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21.

instruments sont d'autant moins nécessaires que le travail a été mieux fait à la bêche. On emploie aussi quelquefois, pour régulariser le fond des tranchées, une espèce de dame en fer, de forme cylindrique. On doit autant que possible éviter l'emploi de ce moyen, qui augmente la dépense sans avantage réel.

On emploie en général, pour régulariser le fond de tranchées de drainage ouvertes au louchet et préparer l'emplacement des tuyaux, les écopes à long manche manœuvrées du bord de la tranchée, dont on vient de parler. L'emploi de ces instruments exige, pour donner de bons résultats, des ouvriers adroits et extrêmement soigneux. L'opération est toujours assez longue et occasionne, par conséquent, une dépense notable.

M. Marc a cherché à rendre à la fois cette partie essentielle des travaux de drainage plus rapide et plus parfaite, plus facile et plus économique. L'appareil qu'il a construit semble, en effet, réaliser une véritable amélioration sur les moyens ordinairement employés pour le même objet.

L'instrument imaginé par M. Marc se compose d'une barre de fer méplat de 3m,00 environ de longueur et de 0m,10 de hauteur, sur 0m,01 d'épaisseur, garnie, près de ses extrémités, de deux lames d'acier de forme demi-cylindrique, du diamètre des tuyaux que l'on emploie, taillées en biseau et légèrement inclinées sur la direction de la barre. A la partie antérieure de la barre de fer est fixé à l'aide d'une charnière en fer un levier coudé, dont l'extrémité supporte une cheville et un bout de chaîne pour recevoir la barre d'attelage sur laquelle s'exerce le tirage. L'ouvrier qui conduit la machine la dirige, et règle son action en saisissant d'une main l'extrémité du levier coudé et de l'autre main une poignée que l'on fixe à la hauteur convenable, avec une vis de pression, sur la tige verticale soudée à l'extrémité postérieure de la grande barre.

La manœuvre de cet instrument est extrêmement facile. Deux, trois ou quatre hommes, selon la résistance du terrain, tirent en marchant de chaque côté de la tranchée, sur une longue perche passée dans l'anneau de tirage, tandis que le chef ouvrier, en appuyant plus ou moins sur la poignée et sur le levier, règle l'entrure des petits socs. L'outil fonctionne ainsi au fond de la tranchée comme une longue et étroite varlope de menuisier, et rabote le fond en lui donnant exactement la forme régulière et demi-cylindrique des tuyaux que l'on doit y placer.

Deux ou trois passages, au plus, de l'instrument suffisent pour dresser le fond d'une tranchée ouverte dans une terre argileuse de bonne consistance. Des ouvriers armés d'écopes enlèvent les fragments de terre détachés par chaque passage de la machine.

L'instrument imaginé par M. Marc fonctionne parfaitement dans les argiles les plus dures. Il peut encore agir lorsque le sol renferme quelques gros graviers, mais il est évident qu'il ne saurait être employé dans des terres mêlées de pierres volumineuses ou dans un sol détrempé par les pluies ou par des sources. Il faudrait, dans ces circonstances difficiles et heureusement exceptionnelles, renoncer à son emploi et recourir à l'usage des outils habituels.

Dans des conditions ordinaires, un atelier composé d'un chef ouvrier pour conduire la machine, de trois hommes pour la tirer et de deux ouvriers pour enlever les terres détachées, pouvait facilement dresser par jour 2,000 mètres courants de tranchées. En évaluant à 2 fr. 75, en moyenne, la journée de chaque ouvrier, on voit que l'atelier représente une dépense quotidienne de 16 fr. 50, ce qui fait revenir cette opération à 0 fr. 008 environ, c'est-à-dire moins de 1 centime le mètre courant.

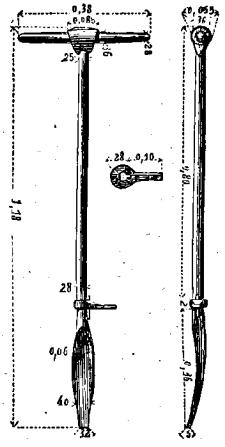
Le travail est mieux fait que par les procédés ordinaires; la dépense pour cette partie de l'opération se trouve reduite à la moitié des prix habituels, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la pose des tuyaux est rendue plus facile et plus parfaite.

L'instrument que l'on vient de décrire est donc appelé à rendre de véritables services à la pratique du drainage; il permet d'exécuter une des parties les plus délicates de l'opération avec plus de perfection et à plus bas prix qu'on ne peut le faire avec les outils employés jusqu'à présent. Il est à désirer que l'emploi s'en répande. M. Marc vend son instrument une soixantaine de francs.

Quand le sol est assez dur pour résister à l'action des instruments précédents, on a recours à l'emploi de la pioche, ou du pic à pédale (fig. 22).



Pic à pédale français. Échelle de 0m,05 pour 1m.

Fig. 22.

On doit toujours commencer l'ouverture des tranchées de drains par leur partie inférieure, afin que les eaux que l'on pourrait rencontrer, ou celles provenant des pluies survenues pendant la durée des travaux, puissent constamment s'écouler, sans gêner ou interrompre les ouvriers. La nature du sol que l'on rencontre, l'importance des ouvrages à exécuter et les ressources dont on dispose, peuvent modifier jusqu'à un certain point l'organisation des chantiers. Mais, en général, quand aucune circonstance particulière ne s'y oppose, on partage les ouvriers en brigades de trois hommes. Le premier trace le travail, enlève la couche de terre végétale, et la dépose sur l'un des côtés de la tranchée, pendant que les deux autres achèvent de la creuser. Quand on est obligé d'employer la pioche ou le pic, l'un des hommes emploie ces instruments, tandis que l'autre déblaie les terres ainsi fouillées et régale le fond et les faces latérales de l'ouvrage. Si on peut se borner à l'emploi des bêches, les deux ouvriers opèrent à une petite distance l'un de l'autre; le premier continuant le travail commencé par le chef de brigade, et le second terminant l'approfondissage et le régalage de la tranchée.

Dans les terres meubles qui menacent de s'ébouler avant qu'on ait pu poser les tuyaux, on est quelquefois obligé de boiser les tranchées au moyen de planches (fig. 23) appuyées contre leurs parois et maintenues par quelques morceaux de bois formant arcs-boutants.

Aussitôt après l'ouverture de la tranchée, il faut soigneusement vérifier ses dimensions. On y parvient

facilement en essayant d'y introduire un petit gabarit (fig. 24), formé de trois règles solidement fixées les unes aux autres. Il vaut mieux faire faire autant de ces gabarits que l'on a de types de sections de drainage, que d'avoir un seul gabarit formé de pièces mobiles, toujours sujettes à se déranger.

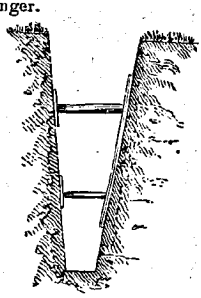


Fig. 23.

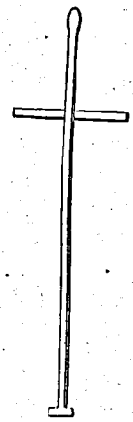


Fig. 24.

L'uniformité de la pente du fond des tranchées est plus importante encore que celle de leur profil transversal. Elle doit être l'objet d'un examen attentif. On la vérifie du reste partiellement au moyen d'une nivelette, analogue à celle des paveurs (fig. 25), dont on

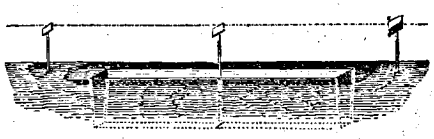


Fig. 25.

pose le pied de place en place sur le fond du drain, en s'assurant que dans toutes ces positions sa partie supérieure affleure toujours la ligne de visée guidée par deux autres nivelettes fixées et posées à une hauteur convenable, au moyen d'un niveau, ou de repères déterminés d'avance au moment du tracé des lignes de drains.

Les points de repère des lignes de drains se déterminent à l'aide des procédés ordinaires de nivellement. On peut employer avec avantage un niveau à pinnules et à bulle d'air, véritable niveau de Chézy, ne donnant pas les pentes. Cet instrument, facile à manier et plus précis que le niveau d'eau, ne coûte pas plus cher que lui chez les opticiens de Paris.

Quant aux vérifications partielles de la pente des drains, on peut les effectuer au moyen d'un grand niveau de maçon dont la base a 2 mètres à 2m,50 de longueur, et dont le fil est remplacé par une espèce de pendule muni d'un index, qui parcourt un arc de cercle sur lequel sont tracées les positions répondant à différentes inclinaisons données.

On indiquera plus loin le prix de revient des tranchées, en parlant de l'ensemble de la dépense d'une entreprise de drainage, ainsi que quelques machines qui ont été proposées pour remplacer le travail des ouvriers terrassiers. Ce qui précède suffit pour faire comprendre la marche la plus habituellement suivie. Il nous reste à parler des tuyaux en terre, de leur fabrication et de leur pose.

Forme des tuyaux. Les tuyaux de drainage à peu près exclusivement employés aujourd'hui sont en terre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ite (fig. 26). Ils ont de 0m,30 à 0m,40 de longueur; ır diamètre intérieur varie de 0m,030 à 0m,20, sui-



Tuyau cylindrique en terre cuite.

Fig. 26.

nt le volume d'eau dont ils doivent assurer l'écoulement; leur épaisseur est de 0m,01 environ. Les extrémités des tuyaux sont engagées dans des colliers, également en terre cuite, de 0m,07 à 0m,10 de longueur, nt le diamètre est tel que le tuyau entre facilement ns le collier (fig. 27). On a quelquefois proposé



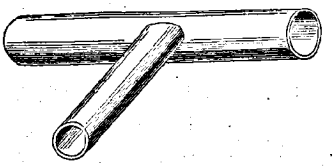
Assemblage de tuyaux avec un manchon.

Fig. 27.

employer des colliers criblés de trous, pour rendre lus facile l'introduction de l'eau dans le tube de terre. ette disposition, qui augmentait le prix des colliers, t diminuait leur solidité, a été reconnue inutile et ême nuisible; l'eau trouve bien assez d'issues entre es joints imparfaits des tuyaux. Ces ouvertures, plus arges, placées surtout à la partie supérieure d'un uyau, ne peuvent que faciliter l'introduction des corps olides et concourir ainsi à la dégradation de l'ouvrage.

L'emploi de colliers n'est pas indispensable, mais il ne loit jamais être négligé dans les travaux exécutés dans les conditions difficiles. Les propriétaires qui ne peuvent surveiller eux-mêmes leurs travaux d'une manière continue devront toujours employer les colliers, parce qu'ils rendent les malfaçons à peu près impossibles.

Le raccordement de deux lignes de drains s'effectue au moyen d'une ouverture circulaire pratiquée dans le plus gros tuyau, et dans laquelle pénètre le plus petit (fig. 28). Ces tuyaux percés d'une ouverture se fabri-



Raccordement de deux lignes de tuyaux.

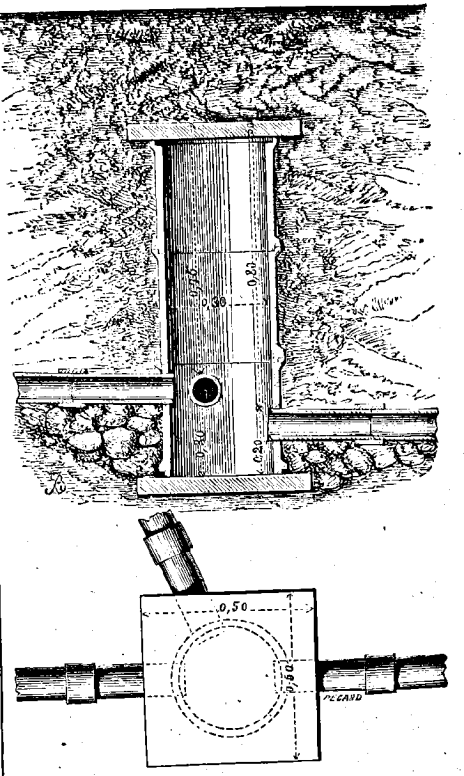
Fig. 28.

quent très-simplement et ne coûtent que un tiers environ en sus du prix des tuyaux ordinaires de même dimension.

Il convient d'établir de place en place, sur les lignes de drains de quelque importance, de petits regards. On les construit (fig. 29) au moyen d'un bout de gros tuyau percé de deux ouvertures en regard l'une de l'autre, dans lesquelles débouchent les drains. Ce tuyau est placé verticalement et repose sur une tuile plate. On ferme son ouverture supérieure avec une motte de gazon, une tuile ou une pierre plate, et on la recouvre de terre, en ayant soin de conserver quelque point de repère pour en faciliter la recherche.

On a beaucoup varié la forme des tuyaux en terre cuite. Nous devons indiquer quelques-unes des dispositions essayées, bien que reconnues maintenant inférieures à la précédente, ne serait-ce que pour éviter

aux fabricants de renouveler des tentatives dont l'expérience a démontré les inconvénients.



Élévation et plan d'un regard. Échelle de 0m,05 sur 1m.

Fig. 29.

L'une des formes de tuyaux les plus satisfaisantes en apparence est celle indiquée par la figure 30*a*. La



Fig. 30*a*.

section de ces tuyaux est ovoïde. L'eau s'y rassemble mieux que dans les tuyaux cylindriques et y conserve, même en petite quantité, une certaine vitesse qui peut s'opposer à la formation de dépôts dans l'intérieur des conduits. Mais ces tuyaux sont plus difficiles à poser que les tuyaux ronds, ils ont moins d'assiette au fond de la tranchée et se dérangent plus facilement. Pour éviter ce dernier inconvénient, on a proposé de ménager au tuyau un empatement (fig. 30*b*)

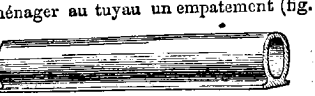


Fig. 30*b*.

en conservant au vide la section précédente; mais les tuyaux ainsi construits sont plus lourds et d'un prix

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

plus élevé que les tuyaux cylindriques qui conservent ainsi sur ces derniers une véritable supériorité. Nous en dirons autant des tuyaux à section de fer à cheval et de plusieurs autres formes plus ou moins analogues aux précédentes, et dont il est inutile de donner les croquis.

Pour éviter l'emploi des manchons et rendre plus complétement solidaires les uns des autres les conduits de drains, on a proposé de terminer leurs extrémités contiguës, quelle que soit d'ailleurs leur section, par des lignes courbes s'enchevêtrant l'une dans l'autre (*fig.* 31).

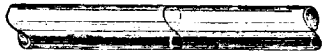


Fig. 31.

La fabrication de ces tuyaux ne présente pas de difficulté particulière et n'exige qu'une légère modification dans la partie des machines destinée au coupage des tubes; mais cette disposition, évidemment inutile quand on emploie des manchons de raccordement, ne saurait les remplacer et ne doit dès lors être signalée que pour montrer ses inconvénients. Nous en dirons autant des tuyaux garnis de languettes à leurs extrémités, et, en général, de toutes les tentatives faites pour modifier la disposition indiquée en premier lieu, qui paraît être le dernier degré de simplicité qu'il soit possible d'obtenir. Les tuyaux coniques, s'emboîtant les uns dans les autres, ne peuvent se fabriquer que par des procédés coûteux et ne mériteraient dès lors aucune attention, quand bien même ils présenteraient quelques avantages que la pratique n'a nullement fait reconnaître.

Fabrication des tuyaux de drainage. — Les tuyaux de drainage se fabriquent à la machine. Un volume ne suffirait assurément pas pour expliquer les nombreux appareils destinés à cet usage et inventés depuis que le drainage a pris un si grand développement. Nous nous bornerons à signaler seulement quelques-uns de ces appareils.

La fabrication des tuyaux de drainage est une annexe de l'art du briquetier, traité dans le dictionnaire; quelques mots suffiront par conséquent pour faire comprendre la question à ceux de nos lecteurs qui auront pris connaissance de l'article *Brique* (voyez ce mot).

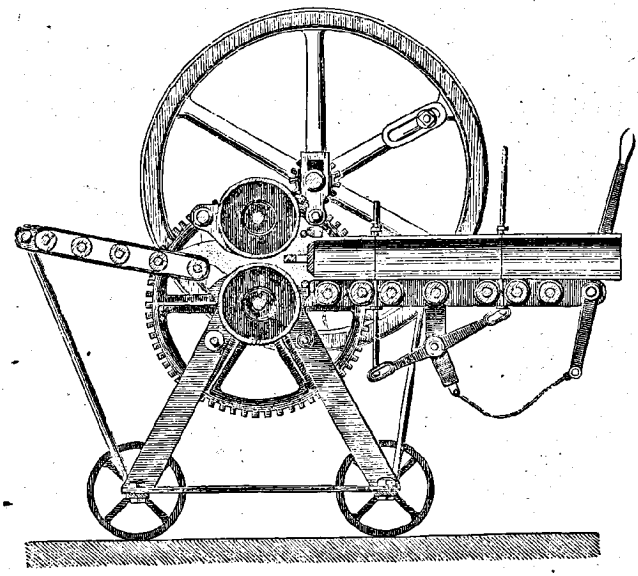
Choix et préparation de l'argile.—Toutes les bonnes argiles à tuiles, bien purgées de pierres et de corps étrangers, conviennent à la fabrication des tuyaux de drainage. Les meilleures sont celles qui se déforment le moins au feu et fournissent après la cuisson les matières les plus dures et les plus sonores. La préparation de la terre pour les tuyaux de drainage est la même, en principe, que pour les tuiles; elle doit seulement être faite avec plus de soin encore; l'expulsion des pierres doit être surtout l'objet d'une attention particulière. On emploie habituellement pour cette première opération un tonneau broyeur (voyez *Brique* et *Mortier*) mis en mouvement par un ou deux chevaux. Cet appareil donne des résultats très-bons et beaucoup plus économiques que la préparation à bras; il est à peu près exclusivement employé dans les fabriques de tuyaux de drainage.

Machines à fabriquer les tuyaux de drainage.—Toutes les machines à tuyaux de drainage peuvent se partager en deux classes : les machines à action continue et les machines à action intermittente ou à pistons. Nous décrirons avec quelques détails une machine de chacun de ces systèmes, et nous nous bornerons à indiquer quelques-unes de celles qui se rapportent à ces deux types principaux.

(A) *Machines à action continue.* — Nous nous occupons d'abord des machines de cette espèce.

La machine d'Ainslie appartient à la catégorie dont il s'agit. Elle est maintenant parfaitement exécutée dans les ateliers de M. Laurent; elle est employée par quelques fabricants de tuyaux de drainage, mais ne laisse pas de présenter des inconvénients.

Cette machine (*fig.* 32) se compose de deux cylindres en fonte tournant en sens contraire. Ces deux cylindres forment l'un des côtés d'un coffre prismatique, dans la face opposée duquel sont ménagées des ouvertures annulaires présentant la section des tuyaux que l'on veut fabriquer. Nous appellerons ces ouvertures les *filières*. La pâte argileuse est déposée sur une toile sans fin placée en avant des deux cylindres et poussée entre les cylindres par un ouvrier. Les cylindres en tournant entraînent la terre argileuse et la compriment assez fortement, dans la boîte dont on a parlé, pour la forcer à passer à travers les filières et à se modeler en tuyaux. Ces tuyaux, en sortant de la filière, sont reçus par une toile sans fin très-mobile, que l'on voit à droite de la figure, et sur laquelle ils s'étendent sans se déformer. Pour couper les tuyaux de longueur voulue on emploie un fil métallique porté par un châssis auquel on imprime un mouvement convenable, à l'aide d'une manivelle. Le mouvement du fil doit être combiné de telle sorte que le tuyau, malgré son mouvement de translation, soit coupé bien carrément. Ce



EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

ésultat est d'ailleurs assez facile à obtenir, et les tuyaux ien fabriqués sont coupés avec une netteté parfaite.

La machine d'Ainslie est habituellement servie par quatre hommes et trois ou quatre enfants. Deux ouvriers tournent alternativement la manivelle, un autre fournit l'argile aux cylindres, et le dernier coupe les tuyaux et les enlève de la toile sans fin pour les déposer à côté de lui. Les enfants apportent la terre que l'ouvrier dirige vers les cylindres, et portent au séchoir les tuyaux fabriqués.

La machine d'Ainslie peut fournir par jour 1,800 à 2,200 mètres de tuyaux de la dimension indiquée. Elle coûte, prise chez M. Laurent, 750 fr.

Parmi les machines à tuyaux à action continue, nous citerons entre autres celles de M. Franklin, que M. Brethop, mécanicien à Tours, exécute d'une manière très-satisfaisante. Cette machine (*fig.* 33) est mise en mouvement par un cheval attelé à un manége ou par une machine à vapour, ou par une roue hydraulique. Elle se compose d'un cylindre en fonte dans lequel se meut un arbre vertical armé de couteaux hélicoïdaux. Le même appareil malaxe la terre, l'épure on la faisant passer à travers un crible et la façonne en tuyaux en la faisant passer à travers des filières placées à droite et à gauche, au bas du cylindre. Ces machines conviennent bien aux fabriques

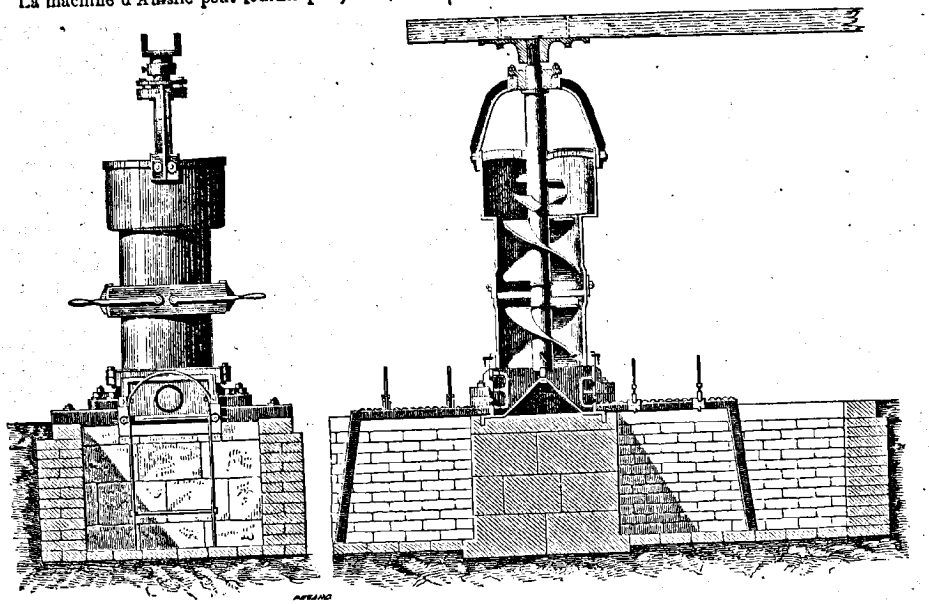


Fig. 33. Élévation de face et coupe de la machine Brethon

d'une certaine importance, qui possèdent un moteur.

(B) *Machines à action d scont nue.* — Toutes les machines de cette classe sont établies sur le même prin-

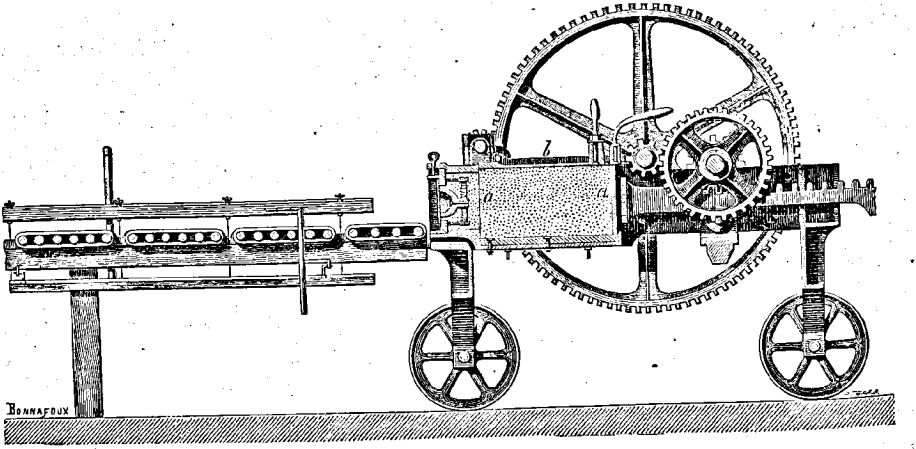


Fig. 34. Coupe en long d'une machine à tuyaux de drainage à simple effet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cipe : la compression, au moyen d'un piston, de l'argile molle renfermée dans une capacité garnie de filières à tuyaux.

La figure 33 représente la coupe d'une machine de cette espèce. La terre corroyée est déposée en gros pains dans une caisse prismatique *a a* qui se ferme par un couvercle à charnière *b*. La face antérieure de la machine est formée d'une filière, appareil que représente à une plus grande échelle la figure 35.

Lorsque le piston *c* (*fig.* 34) est mis en mouvement par l'action des roues dentées, engrenant avec la crémaillère qui forme sa tige, il comprime la terre dans la caisse qui la renferme, et la force à sortir, sous forme de tube continu, à travers les espaces annulaires que présentent les filières.

Les tubes, en sortant des filières, sont reçus par les toiles sans fin que portent les cylindres mobiles *e e* (*fig.* 35). Quand les tuyaux occupent la longueur entière de ces toiles sans fin, on les coupe de longueur convenable, à l'aide des fils d'un appareil particulier dont le dessin montre assez bien la disposition.

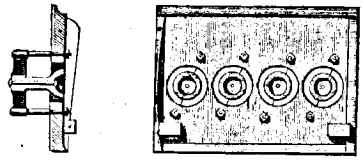


Fig. 35. Élévation et coupe d'une filière.

Les machines à piston, comme celle qui est représentée figure 34, sont intermittentes, mais elles présentent différentes dispositions utiles à mentionner.

L'appareil de la fig. 34 a été construit par M. Laurent, qui fabrique d'ailleurs presque tous les systèmes de machine à tuyaux, il pèse 500 kilog. environ et coûte 550 à 600 francs. Cette machine est simple, facile à déplacer et très-convenable pour les petits fabricants.

On construit des machines basées sur le même principe, mais garnies de deux caisses opposées et de deux pistons placés aux deux bouts de la tige de la crémaillère. Grâce à cette disposition, l'une des caisses se trouve toujours prête à recevoir de la terre quand l'autre est vidée et cesse de produire des tuyaux. On gagne ainsi tout le temps perdu, dans la machine à simple effet, pendant que l'on ramène le piston en arrière après avoir transformé en tuyaux le contenu de la caisse. Mais on perd encore le temps nécessaire au remplissage de la caisse.

Les machines à simple et à double effet sont ordinairement manœuvrées à bras. Cependant, quand ces dernières sont de grandes dimensions, on peut, avec avantage, les mettre en mouvement avec un moteur. A cet effet, M. Whitehead remplace la manivelle par un embrayage à poulie fort bien disposé. Cet embrayage se compose d'une poulie folle, séparant deux poulies motrices dont l'une fait marcher les pistons dans un sens, tandis que l'autre les fait agir en sens contraire. A la fin de chaque course de piston, un décliquetage amène la courroie motrice sur la poulie folle; on remplit la caisse de terre et on ramène la courroie sur la poulie qui donne le mouvement dans le sens voulu. Cette machine est d'un fort bon usage dans les fabriques d'une certaine importance.

Pour éviter, en partie, la perte de temps qui a lieu dans le remplissage des caisses, M. Schlosser a eu l'idée de substituer aux caisses fixes rectangulaires en fonte des machines ordinaires, des boisseaux cylindriques en tôle, qui ne sont que posés sur le bâti de la machine (*fig.* 36). Chaque appareil est accompagné de trois boisseaux. L'un d'eux fournit des tuyaux, et le piston se retire de celui qui vient de travailler, tandis qu'un ouvrier remplit le troisième boisseau séparé momentanément de l'appareil. Aussitôt que les pistons arrivent au bout de la course, on enlève le boisseau vide, dont le piston est sorti, on met en place le boisseau plein et on tourne en sens convenable, pour transformer en tuyaux la terre qu'il renferme. La manœuvre de l'enlèvement et de la mise en place des boisseaux est très-rapide, et les temps perdus se réduisent à fort peu de chose. Cette machine

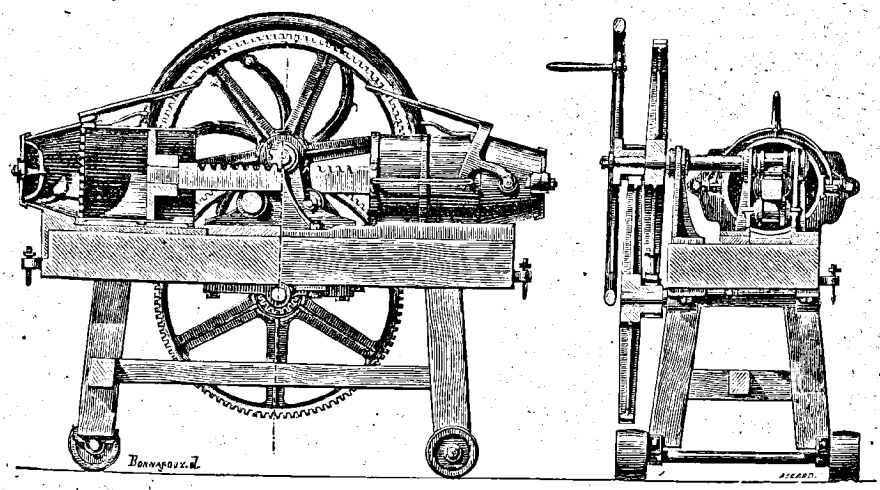


Fig. 36

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pèse 600 kilog. et coûte de 650 à 700 fr. Elle est une des plus répandues en France.

L'effort nécessaire à la fabrication des tuyaux diffère beaucoup d'une machine à l'autre. Il résulte d'un très-grand nombre d'expériences que j'ai dû faire sur des machines de différents constructeurs, que la quantité de travail nécessaire à la fabrication d'un kilogramme de tuyaux frais, avec la même terre, varie de 20 à 120 kilogrammètres. Cette énorme différence ne tient pas seulement, comme on pourrait le croire, au frottement plus ou moins grand des organes de transmission. Elle dépend surtout du rapport des sections des ouvertures à celle du piston. Une disposition particulière des expériences m'a permis de mesurer avec exactitude la pression exercée sur la terre, et, par conséquent, d'éliminer toutes les résistances extérieures, toujours difficiles à estimer, et qui compliquent les résultats des essais ordinaires. Il serait trop long de reproduire ici ce travail, il suffisait d'indiquer aux constructeurs l'un des points sur lesquels doit particulièrement se porter leur attention.

Les tuyaux frais, au sortir de la machine, renferment en général de 27 à 33 p. 100 d'eau. Après le séchage, au moment de l'enfournement, ils n'en renferment plus que de 9 à 12 p. 100.

La cuisson de 1000 tuyaux de 0m,35 de diamètre intérieur et de 0m,33 de longueur consomme habituellement de 80 à 158 kilogrammes de houille.

Le poids des tuyaux est très-variable. A titre de renseignement, on donne dans le tableau précédent quelques résultats moyens de pesées faites sur les produits de nombreuses tuileries françaises et étrangères.

Séchage des tuyaux. — Quelle que soit la machine employée, les tuyaux, en sortant de l'appareil qui les moule et les coupe de longueur, sont enlevés par des enfants qui les soulèvent en introduisant, dans leur intérieur, des baguettes de diamètre convenable réunies en forme de râtelier, au nombre de deux, trois ou quatre sur un même manche, et les transportent aux séchoirs : ce sont de simples hangars semblables à ceux de nos tuileries, et sous lesquels on dispose les tuyaux à plat sur des étagères en planches horizontales, *fig.* 37.

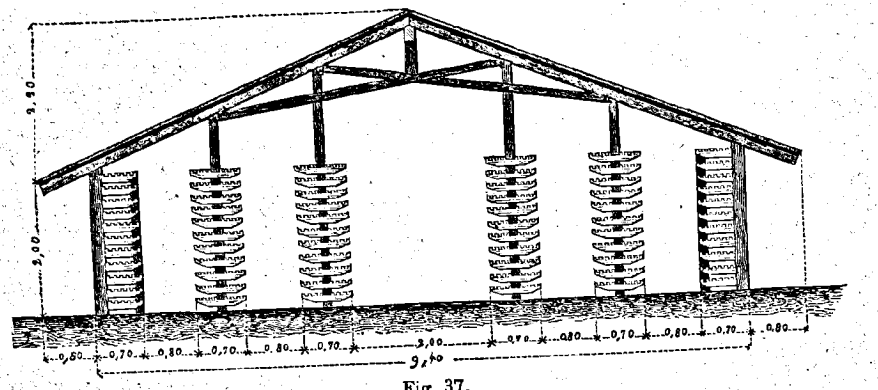


Fig. 37.

Plusieurs constructeurs ont imaginé des machines pour fabriquer des tuyaux avec un emboîtement à l'une de leurs extrémités, afin d'éviter l'emploi des manchons. La solution de ce problème n'a qu'un intérêt pratique assez secondaire, et, jusqu'à présent, le prix de revient des tuyaux augmente dans une forte proportion.

N° d'ordre.	DIAMÈTRE intérieur.	DIAMÈTRE extérieur.	LONGUEUR	POIDS de mille tuyaux secs.	Observations.
	m.	m.	m.	k.	
1	0,027	0,0430	0,320	424	Trop minces.
2	0,028	0,0450	0,320	552	
3	0,031	0,0500	0,320	686	
2	0,031	0,0500	0,330	720	
3	0,035	0,0545	0,308	740	
4	0,039	0,0590	0,345	998	
5	0,040	0,0610	0,308	1002	
6	0,054	0,0745	0,315	1098	
7	0,057	0,080	0,302	1342	
8	0,097	0,128	0,302	3200	
9	0,132	0,167	0,302	4880	
10	0,185	0,231	0,302	8800	

On retourne de temps en temps les tuyaux en les changeant de place, et lorsque la dessiccation est fortement avancée, on les fait rouler un à un, par des enfants, sur une pierre unie pour les régulariser et faire disparaître les déformations qui se produisent quelquefois pendant le séchage, surtout quand l'argile était un peu trop molle. Ce roulement des tuyaux, avant le dernier séchage et la mise au feu, est regardé comme fort important par les praticiens soigneux.

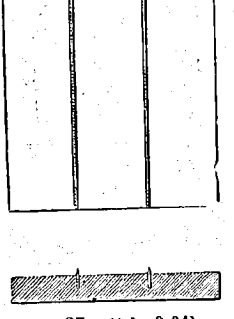


Fig. 37 *a* (éch. 0,04).

Fabrication des colliers et tuyaux de raccordement. — Les colliers se fabriquent d'une manière très-simple : on prépare des tubes d'un diamètre convenable, et à peu près de la longueur ordinaire, et, quand ils sont en partie séchés, on les roule sur une planche rectangulaire (fig. 37) garnie de trois lames d'acier faisant une saillie égale à la moitié environ de l'épaisseur du tuyau et espacées entre elles de la longueur que l'on veut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner au collier. Le tuyau se trouve ainsi partagé en tronçons qui n'ont plus entre eux qu'une assez faible adhérence. On termine le séchage et on cuit, comme les autres, les tuyaux ainsi préparés. Après le défournement, il suffit d'un coup sec, donné à faux, pour séparer les tronçons du tuyau, et obtenir les colliers.

Les ouvertures circulaires ou latérales, que doivent présenter les tuyaux destinés à former des regards ou des raccordements d'une ligne de drains avec une ligne d'un ordre plus élevé, sont exécutées à la main sur les tuyaux à moitié desséchés, par des enfants munis d'un compas grossier ou d'un patron, et d'un petit couteau avec lequel ils coupent la terre argileuse.

Cuisson. Tous les fours à tuile peuvent servir à la

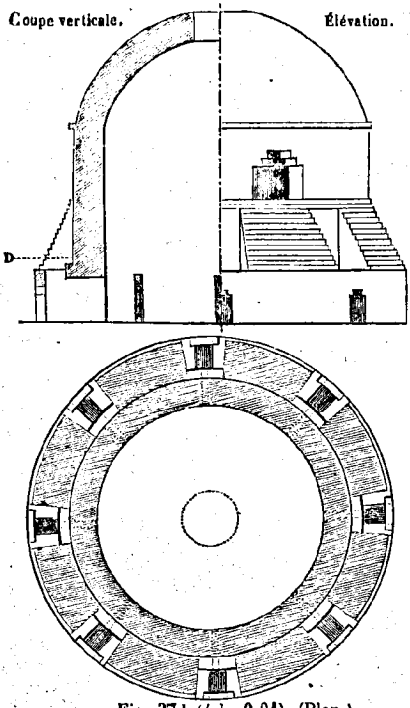


Fig. 37 *b* (éch. 0,01). (Plan.)

cuisson des tuyaux de drainage. On dispose les tuyaux verticalement les uns à côté des autres. Quand on cuit en même temps, ce qui a presque toujours lieu, des tuyaux de grosseurs différentes, on introduit les plus petits dans les plus gros, pour ménager la place et s'opposer à l'irrégularité que produiraient, dans le tirage, des canaux entièrement libres et d'un trop fort diamètre.

Les fabricants spéciaux de tuyaux de drainage emploient généralement dans les établissements d'importance moyenne un four en coupole, dont la fig. 37 *b* indique suffisamment la disposition. Le combustible est placé sur les allandiers disposés à la circonférence de la base du fourneau. Le fourneau est en briques communes garni intérieurement d'une chemise en argile réfractaire. Quelques fourneaux sont même entièrement en terre et construits d'une manière analogue aux ouvrages en pisé.

On peut cuire à la fois dans un four de cette espèce 30 à 35 mille tuyaux de 0m,045 de diamètre, disposés verticalement les uns au-dessus des autres. T[illegible]uisson

dure 33 à 34 heures, et consomme 4 tonnes environ de houille de qualité moyenne. On défourne 24 heures après l'extinction du feu, en démolissant les cloisons légères établies après l'enfournement dans les portes ménagées dans les côtés du four.

Le prix de revient de la fabrication des tuyaux est, on le conçoit, extrêmement variable. Voici, à peu près, les limites entre lesquelles varient, dans les circonstances ordinaires, les prix élémentaires de cette fabrication pour 1,000 tuyaux de 0m,35 de diamètre intérieur et de 0m,33 de longueur, déchets compris.

	fr.	fr.
Achat, extraction et transport de la terre à pied d'œuvre.	0,15	à 2,00
Trempage, malaxage, épuration, mélange	0,40	1,80
Façon.	1,00	1,50
Roulage.	0,15	0,30
Soins de séchage.	0,30	0,50
Enfournement.	0,75	1,55
Soins de cuisson.	0,50	1,00
Combustible.	4,00	10,00
Frais généraux.	1,55	3,45
Total.	8,80	22,10

Pose des tuyaux au fond des tranchées. Aussitôt après l'achèvement de la tranchée et la vérification de son profil transversal et de sa pente longitudinale, on s'occupe de la pose des tuyaux. Cette opération exige beaucoup de soin; elle doit être confiée à un ouvrier exercé et constamment surveillée par le directeur du travail.

Quand on emploie des colliers, les tuyaux s'y engagent et sont ainsi maintenus à la suite les uns des autres. On cale les tuyaux et leurs colliers au fond de la tranchée au moyen de quelques petites pierres, ou de simples mottes de terre soigneusement appliquées et un peu pilonnées, sur lesquelles on jette la terre extraite de la tranchée et déposée sur un de ses côtés. Lorsqu'on n'emploie pas de colliers, on met les tuyaux bout à bout, aussi exactement que possible; on les assujettit à leur point de raccordement au moyen de quelques tessons provenant de tuyaux cassés ou de tuiles, par-dessus lesquels on tasse fortement une motte de terre aussi grasse que possible, et l'on termine le remplissage comme dans le premier cas. Inutile d'ajouter que ce mode de pose est plus délicat que le premier, qu'il demande plus de temps et d'adresse, et qu'il ne peut jamais offrir autant de garanties.

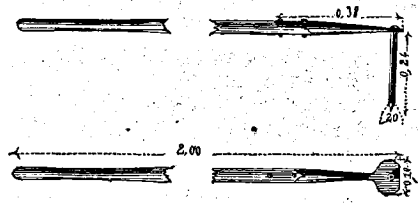


Fig. 38. Broche à poser les tuyaux sans colliers.

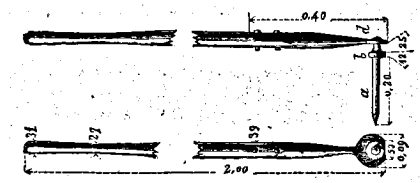


Fig. 38 *a*. Broche à poser les tuyaux avec collier.

Pour déposer au fond des tranchées étroites et pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fondes les tuyaux de terre, on emploie un des instruments représentés par les figures 38 et 38 *a*. L'ouvrier le tient par le manche en bois et introduit dans le tuyau la tige placée à l'extrémité ; il enlève ainsi le tuyau et le dépose à la place qu'il doit occuper. Cet outil est surtout précieux pour poser les tuyaux à colliers. La tige *a*, fig. 38 *a* entre dans le tuyau qui vient s'appuyer contre l'épaulement *b*. La longueur *bd* est égale à la moitié de celle du collier ; son diamètre est supérieur au diamètre intérieur du tuyau et inférieur à celui du collier ; de sorte qu'on maintient ainsi le tuyau et le collier dans la position relative qu'ils doivent occuper, et qu'il est facile d'introduire l'extrémité libre du tuyau dans le collier précédent, déjà déposé de la même manière au fond de la tranchée.

Les tuyaux sont déposés à l'avance, par des enfants, le long de la tranchée. On les y apporte sur des brouettes ou sur de petites civières garnies de deux planches verticales pour empêcher les tubes de rouler.

2. *Des différents genres de drains non garnis de tuyaux de terre.* Les drains avec tuyaux en terre cuite, garnis de colliers, sont aujourd'hui, nous ne saurions assez le répéter, généralement adoptés. On ne les remplace que dans des circonstances spéciales et exceptionnelles par d'autres natures de conduits que nous devons décrire maintenant, ne serait-ce que pour éviter à quelques agriculteurs de les employer sur la foi de certains ouvrages, reproduction d'anciens livres, et qui les présentent à tort comme étant encore aujourd'hui d'un emploi étendu.

Drains avec tuiles courbes et solles plates. L'emploi de tuiles creuses, posées au fond de la tranchée de drainage sur une solle plate (fig. 39), était déjà un véritable per-



Fig. 39.

fectionnement sur la plupart des méthodes antérieurement employées. Mais les tuyaux d'une seule pièce remplacent évidemment avec avantage ces pièces séparées et beaucoup plus fragiles qu'eux. Cependant on peut encore avoir l'occasion d'employer les tuiles creuses, soit pour épuiser d'anciens approvisionnements, soit pour faire des essais de drainage dans des localités où les tuiles seraient un objet de fabrication courante, et dès lors peu coûteuses, et où l'on ne voudrait pas, avant d'être éclairé sur les résultats du drainage, faire les frais d'établissement d'une fabrication de tuyaux. Il est dès lors nécessaire d'entrer dans quelques détails au sujet de l'emploi de cette nature de matériaux.

Les tranchées destinées à recevoir des conduits en tuiles courbes ne diffèrent pas, quant à la profondeur, de celles qui doivent être garnies de tuyaux ; seulement leur largeur au fond doit être un peu plus considérable, pour que la tuile plate y entre librement et y prenne complétement son assiette.

La longueur des tuiles plates est quelquefois égale à celle des tuiles courbes ; mais il vaut mieux que ces dernières ne soient que le tiers de la longueur de la solle, comme l'indique la figure, afin que chaque solle porte deux tuiles entières. Dans tous les cas on place les tuiles et les solles à joints croisés. Quand les solles sont soigneusement posées et mises en contact entre elles et avec le terrain, on place les tuiles courbes. Il convient de les entourer de manière à garnir le fond du drain avec de la paille ou des gazons, ou toutes autres matières filamenteuses, pour empêcher la terre et le gravier de s'introduire dans le canal, à travers les

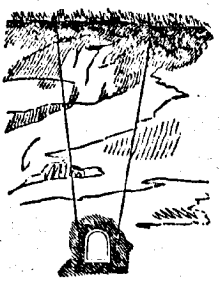


Fig. 40

joints si nombreux et toujours imparfaits qui existent entre les différentes parties du canal. On tasse soigneusement les premières couches de terre sur le tuyau et on achève de le remplir comme de coutume. La figure 40 représente la coupe d'un drain ainsi garni.

Le raccordement de deux lignes de drains a lieu au moyen de tuiles échancrées (fig. 41) les drains principaux sont formés de deux

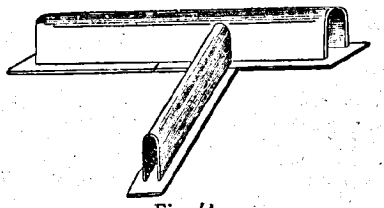


Fig. 41

tuiles courbes, séparées par une solle plate, ou de trois tuiles courbes placées l'une près de l'autre (fig. 42).

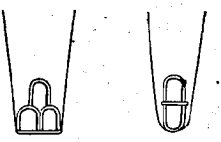


Fig. 42.

La fabrication des tuiles courbes peut se faire au moyen des machines à tuyaux, en remplaçant les filières circulaires par de simples plaques percées d'une ouverture en *U*, ou bien sans machines, comme les tuiles faîtières ordinaires. Toute l'attention de l'ouvrier doit se porter sur la partie courbe qui est sujette à se briser, par suite de la fatigue qu'éprouve la terre courbée trop brusquement ou dans un état de sécheresse trop avancée.

Quelques agriculteurs, trompés par l'apparence de dureté et de résistance de la terre du fond de la tranchée, ou séduits par l'espoir d'une fausse économie, ont voulu supprimer les solles plates sous les tuiles courbes, ou ne placer ces espèces de semelles que sous les joints des tuiles courbes. Ces différents modes d'opération ne donnent que de très mauvais résultats. Les argiles les plus dures, sous l'action de l'air et de l'eau, se délitent et se détrempent rapidement, la tuile courbe s'enfonce dans le terrain et le tuyau est bientôt complétement détruit ou bouché.

Drains en pierre. Les drains de cette espèce sont formés de petits matériaux jetés pêle-mêle au fond de la tranchée, ou bien présentent de véritables petits canaux plus ou moins artistement disposés pour utiliser les pierres dont on dispose. Cette dernière forme ne saurait en général être recommandée. L'arrangement des pierres présente de la difficulté, l'ouvrage se détériore rapidement et le canal sert de refuge aux taupes et à d'autres animaux nuisibles qui accélèrent encore sa destruction. La fig. 43 représente une des dispositions les plus ordinaires de ces sortes de pierrées, que nous ne signalons ici qu'en passant à cause de la rareté des circonstances où il convient de les employer. Il en est tout autrement des drains rem-

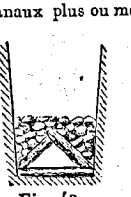


Fig. 43.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

plis de petites pierres jetées au hasard, que l'on pourrait appeler drains *à pierres perdues*; fortement recommandés par Smith, ils ont été employés sur une immense échelle, ont rendu de très grands services et doivent encore être préférés dans certaines circonstances particulières que nous indiquerons. Il convient d'étudier avec soin tous les détails de leur construction.

Les tranchées remplies de pierres cassées, de gros graviers ou de galets, doivent avoir environ $0^m,18$ de largeur au fond et présenter, à $0^m,38$ au-dessus de ce fond, limite à laquelle s'arrête la couche de pierres, une ouverture de $0^m,23$. La profondeur de la tranchée, toutes choses égales d'ailleurs, doit être un peu plus considérable que celle qui est nécessaire pour les drains à tuyaux. L'exécution de ces tranchées ne présente d'ailleurs aucune particularité remarquable.

Quand on peut se procurer des cailloux bien propres ou des galets d'une grosseur convenable ces matériaux doivent être préférés. A défaut de cailloux de cette espèce on emploie des pierres parfaitement purgées de terre et cassées de manière que les plus grosses puissent passer dans un anneau de $0^m,076$ de diamètre. De plus gros matériaux pourraient tomber au fond de la tranchée et y former, de place en place, de véritables barrages. Les petits matériaux d'ailleurs remplissent plus également l'espace, soutiennent mieux les parois de la tranchée et s'opposent plus efficacement aux ravages des taupes et des rats d'eau. Le cassage des pierres ne doit pas se faire sur les bords des drains, mais bien dans des chantiers spéciaux d'où on apporte les pierres, au moyen de charrettes, et mieux de camions à bras, quand la distance est assez peu considérable. Le derrière des charrettes ou camions qui servent au transport des pierres doit être garni d'une planche à rebord, disposée comme l'indique la fig. 44, pour arrêter les pierres

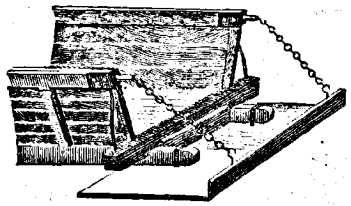


Fig. 44

qui pourraient se répandre sur le sol quand on les extrait avec une pelle de l'intérieur de la voiture.

Dans les travaux soigneusement exécutés on ne se borne pas à jeter pêle-mêle les pierres dans le drain; on leur fait subir un triage et un dernier nettoyage au moyen d'un double crible d'une forme particulière, représenté par la fig. 45. Ce crible est supporté par quatre montants verticaux de $1^m,50$ de hauteur, environ, fixés aux côtés d'une brouette ordinaire. On peut changer l'inclinaison du crible au moyen des vis qui le fixent au châssis. Le plan du crible supérieur est prolongé par le fond d'une auge en planche, assez longue pour arriver un peu au delà du bord de la tranchée à remplir. La planche verticale *a*, fixée aux côtés prolongés du crible, a pour but de forcer les pierres, qui roulent sur le plan incliné de l'appareil, à tomber verticalement au fond de la tranchée sans aller choquer et dégrader la face latérale. Cette planche doit venir s'appuyer contre le bord de la tranchée opposé à celui où se trouve la brouette. Au-dessous du crible dont on vient de parler, existe un second crible plus fin débouchant dans la brouette; il retient les petites pierres qui ont traversé le premier crible, les jette dans la brouette et laisse passer la terre et les poussières mêlées aux pierres. Ces impuretés tombent sur le sol. L'écartement des fils du crible supérieur varie de $0^m,040$ à $0^m,050$, et celui des fils du crible inférieur de $0^m,010$ à $0^m,015$.

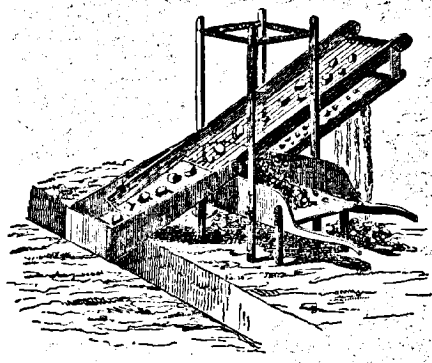


Fig. 45.

L'emploi de l'instrument précédent est extrêmement simple. Les pierres prises à la pelle dans le camion dont on a déjà parlé sont versées (et non jetées) sur la partie supérieure de l'appareil, que l'on garnit de tôle pour éviter la trop prompte usure du bois par le choc réitéré de la pelle en fer. Les pierres les plus grosses tombent au fond du drain et les plus petites dans la brouette. Quand les pierres sont arrivées dans la tranchée à la hauteur voulue, on déplace un peu la brouette et on continue le remplissage. On régularise alors sur une petite longueur avec un rateau la surface de l'empierrement, on jette dessus les plus petites pierres recueillies dans la brouette et on continue ainsi jusqu'à l'extrémité de la tranchée. On pilonne l'empierrement avec une espèce de dame en bois pour le tasser et rendre la surface aussi compacte que possible, et enfin on remplit le drain avec la terre qui en avait été extraite. La fig. 46 représente la coupe en travers d'un drain de $1^m,10$ de profondeur ainsi exécuté.

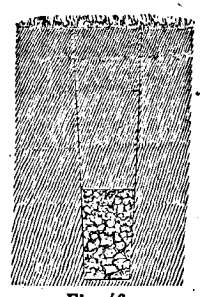


Fig. 46.

Deux hommes occupés, le premier, à décharger les tombereaux, le second, à manœuvrer le crible, à égaliser l'empierrement et à le damer, emploient par heure de travail de $2^{m.\,cube},50$ à $3^{m.\,cube},00$ de pierre. Ce résultat, observé dans une expérience faite très en grand, n'a pu être obtenu qu'avec d'excellents ouvriers; il permet cependant d'apprécier approximativement la dépense de cette partie de l'opération.

On conseille quelquefois de mettre des gazons fortement tassés au-dessus de l'empierrement, disposé comme on vient de le dire. Cette méthode paraît vicieuse, puisque le gazon, en se décomposant, amène un détritus très fin qui s'introduit facilement dans les pierres, et produit ainsi l'effet auquel on voulait s'opposer. Il vaut mieux couvrir seulement l'empierrement de gravier ou de sable et le pilonner avec soin, ainsi que la première couche de terre.

Considérés en eux-mêmes, les drains empierrés sont, sous beaucoup de rapports, inférieurs aux drains à tuyaux. Ils sont, en général, plus coûteux que ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

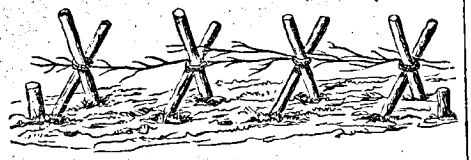
derniers, exigent plus de main-d'œuvre et des précautions plus minutieuses d'exécution. Ils doivent être moins durables, et enfin causent à la terre beaucoup plus de dommages pendant leur exécution, en raison des transports considérables qu'ils exigent et de la plus grande section des tranchées. Les drains en empierrement ne paraissent donc devoir être adoptés maintenant, que dans un terrain qu'il faut épierrer. On évite des frais de transport quelquefois considérables, et des pertes de terrain, en jetant dans les drains les produits de l'épierrement. Ces avantages peuvent compenser ce que la méthode en elle-même offre de peu satisfaisant.

Drains garnis de fascines. Les coulisses garnies de cordes en paille, de branchages ou de fascines, déjà employées par les peuples de l'antiquité, comme on l'a vu au commencement de cette section, sont encore très répandues dans plusieurs parties de la France, de l'Angleterre, et paraissent même assez appréciées en Allemagne. Le peu de durée des matériaux de cette espèce, qui ne sauraient résister plus de six ou huit ans dans des sols humides, doit les faire rejeter par tous les agriculteurs éclairés. On ne doit y recourir que dans des cas de pénurie extrême, lorsque les pierres et les matériaux argileux sont également rares et coûteux. Voici, du reste, comment on exécute, quand on est forcé d'y avoir recours, les ouvrages de cette espèce.

Les drains garnis de fascines, par le fait même de leur peu de durée, ne sauraient être poussés aux profondeurs considérables que nous avons indiquées comme les plus convenables pour un bon drainage; on ne leur donne guère plus de 0m,55 à 0m,75 de profondeur. Leur forme varie avec les localités. Quelquefois leur section transversale est un simple trapèze dont le fond est garni de fascines posées sur le sol ou supportées de distance en distance par des croisillons en bois. Dans d'autres circonstances on ménage un double épaulement, sur lequel repose la fascine qui sert alors seulement à recouvrir la petite rigole pratiquée au-dessous d'elle. Dans tous les cas, et quelle que soit la disposition adoptée qui peut, comme on le conçoit, varier à l'infini, on place au-dessus des fascines des branchages légers ou des gazons, si on peut s'en procurer, et on tasse fortement au-dessus les premières couches de terre.

On fabrique les fascines sur un métier (fig. 47) formé de trois ou quatre croix en bois, enfoncées de

Fig. 47.



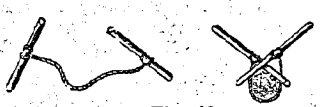


Fig. 48.

0m,90 environ dans la terre, et s'élevant à 0m,60 au-dessus du sol. Ces croisillons sont espacés de 0m,60 à 1m,20 les uns des autres, et formés de rondins de 0m,15 à 0m,20 de diamètre. On les charge de la quantité de branches nécessaires à la fabrication d'un saucisson, et pendant qu'un ouvrier serre fortement ce fagot avec une corde nouée à deux bâtons (fig. 48), un autre ouvrier les lie avec une hart de bois flexible, préalablement passée à la flamme pour lui donner plus de souplesse.

Tuyaux de drainage en sapin. Le bois de pin, dans un terrain fortement humide, peut se conserver fort longtemps; aussi a-t-on proposé de s'en servir pour faire des tuyaux de drainage de différentes formes. M. Scot de Craigmuie construit ces tuyaux avec quatre planches de 0m,025 d'épaisseur, clouées ensemble et formant un canal rectangulaire de 0m,05 de côté intérieurement, et de 0m,10 extérieurement. Les planches sont percées de trous pour faciliter l'introduction de l'eau. M. J. Fowler a construit des machines pour fabriquer, d'une seule pièce, des tuyaux de cette espèce. Le bois est débité, à la scie circulaire, en parallélipipèdes rectangulaires de 0m,38 de longueur et de 0m,065 de côté. Un chariot mobile sur un banc de tour incliné reçoit ces pièces de bois, et les présente à une mèche mue par le tour, qui les fore dans toute leur longueur. Une dernière machine tourne les extrémités de manière qu'elles puissent s'engager les unes dans les autres. Les tuyaux sont d'ailleurs, comme les précédents, percés de trous, ou sciés suivant une de leurs arêtes, pour donner passage à l'eau. Avant l'emploi, on les passe dans un bain de créosote impure pour augmenter leur durée. M. Fowler introduit ses tuyaux dans le sol, à la suite du soc d'une charrue-taupe, perfectionnée par lui, et d'ailleurs analogue à celle qui sera décrite plus loin.

Dans les circonstances ordinaires les tuyaux de bois sont plus coûteux que les tuyaux de terre; cependant ils pourraient avantageusement lutter avec eux dans quelques pays où les bois sont sans valeur, et où de nombreuses chutes d'eau pourraient fournir le moteur nécessaire à la fabrication, qui est tellement simple qu'elle peut être entièrement confiée à des enfants. Nous avons dû dès lors indiquer cette espèce de tuyaux.

Drains avec conduits en tourbe. Dans le drainage des terrains tourbeux et marécageux, on emploie avec succès, et souvent avec une grande économie, des tuyaux

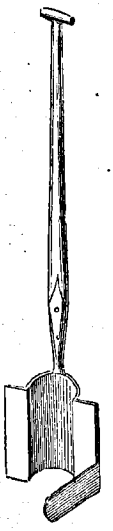


Fig. 50

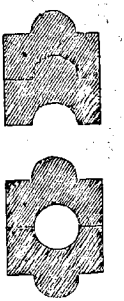


Fig. 49.

exécutés avec la tourbe elle-même. Ces tuyaux sont formés de deux parties superposées (fig. 49), laissant entre elles un vide de forme circulaire dans lequel l'eau s'écoule. Les deux parties qui composent ainsi le tuyau sont parfaitement égales et se découpent dans la masse tourbeuse au moyen d'un louchet (fig 50) d'une forme particulière, qui produit d'un seul coup la disposition voulue. Un ouvrier exercé fait deux à trois mille prismes par jour. Les morceaux de tourbe ainsi taillés sont fortement desséchés au soleil avant l'emploi. Ils présentent alors, quand la ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tière première est de bonne qualité, une grande résistance, et sont parfaitement propres à l'emploi qui leur est destiné. Ces tubes en tourbe sont du reste placés au fond d'une tranchée ordinaire que l'on remplit comme de coutume. Les drains en tourbes sont d'autant plus utiles dans le dessèchement des marécages, qu'il n'existe en général ni argile ni pierres à proximité de cette classe de terrains, dont l'assainissement deviendrait impossible sans l'emploi de cette méthode particulière.

On adopte quelquefois, dans le drainage des terrains tourbeux, une autre disposition qui peut également donner de bons résultats. On ménage au-dessus de la rigole étroite qui termine le drain deux épaulements, sur lesquels on rejette la surface placée en dessous, la première motte enlevée de la tranchée, par-dessus laquelle on replace les deux mottes de la seconde tranche de terrain. La fig. 51 indique cette disposition, qui exige une grande précision, rendue d'ailleurs assez facile par la nature même des terrains auxquels s'applique cette méthode. On a quelquefois conseillé cette disposition dans les terrains ordinaires, mais elle n'est pas de nature à présenter de bons résultats.

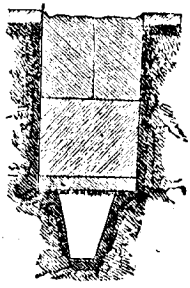


Fig. 51.

Drains sans tuyaux. On a souvent essayé dans les terres fortes, et surtout dans les argiles très compactes, de construire des drains sans aucune espèce de tuyaux, en utilisant seulement la résistance propre des terres de cette nature. Les travaux de drainage de cette espèce ne peuvent évidemment présenter, en général, aucune garantie de durée, aussi ne les indiquerons-nous ici que pour mettre nos lecteurs en garde contre les éloges qu'on en a faits à différentes époques et les réclames bruyantes de certains inventeurs.



Fig. 53.

convenable au travail, l'éperon latéral étant parallèle à la direction du drain, on le retire et on lui fait faire un demi-tour sur lui-même en le portant en arrière de la longueur de l'éperon, puis on l'enfonce de nouveau de la même quantité que la première fois. Cette double opération détache sur ses quatre faces un prisme d'argile parfaitement régulier et facile à enlever. Enfin, on termine la tranchée avec une espèce d'écope analogue à celle représentée fig. 20. Quand la tranchée est terminée sur une certaine longueur, et que, grâce aux précautions indiquées, le fond présente une régularité complète, on pose dans cette tranchée une espèce de chapelet formé de quatre ou six pièces de bois de 0m,30 environ de longueur, de 0m,15 de hauteur sur 0m,05 d'épaisseur à la base et 0m,06 au sommet (fig. 54). Ces morceaux de bois sont réunis les uns aux autres par des lames de tôle engagées dans des traits de scie, de manière que l'ensemble forme une barre un peu flexible terminée par une forte chaîne. Ce mandrin doit remplir très exactement le fond de la tranchée. On jette dessus la terre la plus compacte, et on la pilonne très fortement par couches successives, jusqu'à ce que la tranchée soit en partie remplie. On passe alors le dernier anneau de la chaîne dans un fort levier enfoncé dans la terre, et au moyen duquel on tire en avant le mandrin de la moitié de sa longueur environ. On pilonne de nouvelle terre sur la portion revenue au jour, et on continue de cette façon jusqu'à ce que le drain soit complétement

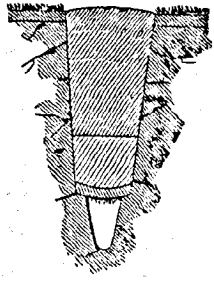


Fig. 52.

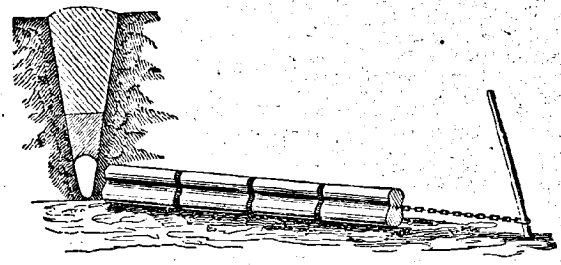


Fig. 54.

Les drains en gazon (fig. 52) ne diffèrent des précédents qu'en ce que les faces de la tranchée sont inclinées au lieu d'être verticales. La motte de gazon enlevée du sol est chassée de force, jusqu'à ce qu'elle vienne poser sur les épaulements qui doivent la maintenir au fond du drain, que l'on achève d'ailleurs de remplir de terre pilonnée.

On peut encore faire des drains au moyen de mandrins ou noyaux, sur lesquels on pilonne la terre et que l'on enlève successivement. Voici comment s'exécute ce travail : on ouvre la tranchée comme de coutume jusqu'à ce qu'elle soit à 0m,15 ou 0m,20 de sa profondeur définitive et on la termine avec une espèce de bêche à pédale (fig. 53). On enfonce d'abord cet instrument à la profondeur voulue et sous l'angle le plus formé dans toute sa longueur, le noyau de bois laissant libre derrière lui le canal dont il occupait la place pendant le pilonnage de la terre. Ce mode de construction exige, comme on le voit, beaucoup de main-d'œuvre, des ouvriers adroits et très consciencieux, puisque les malfaçons, si funestes dans ce cas, sont à peu près impossibles à reconnaître, et revient, en définitive, au moins aussi cher que les drains à tuyaux en terre dans les conditions normales. Il ne saurait donc être recommandé que dans des circonstances très exceptionnelles.

Drains en coulée de taupes. La dépense considérable de main-d'œuvre, nécessitée par l'ouverture des drains, a porté à chercher à les remplacer par de simples rigoles pratiquées dans le sol au moyen d'un instrument désigné, en raison de son mode d'opération, sous le nom

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

de *charrue-taupe*. On a varié de mille manières cet instrument sans en obtenir jusqu'à présent de résultat satisfaisant. La partie essentielle de toutes les modifications proposées est toujours un coutre extrêmement fort, terminé à sa partie inférieure par une pièce conique en fer ou en fonte. Ce cône pénètre dans le sol et laisse derrière lui un vide que la terre ne remplit pas, si elle est suffisamment compacte. La mise en mouvement des machines de cette espèce exige une force considérable. On les manœuvre au moyen d'un cabestan à manége conduit par deux ou trois chevaux, et fixé à l'extrémité de la ligne de drain à ouvrir. On reconnaît facilement, en calculant l'effort nécessaire à la manœuvre de ces charrues telles qu'on les construit, qu'elles ne peuvent donner que des résultats assez médiocres. Les travaux qu'elles servent à exécuter sont toujours peu satisfaisants et leur prix de revient très élevé, quand on tient compte de la valeur considérable de l'outillage et de sa prompte détérioration.

Charrues de drainage. Beaucoup de fermiers et la plupart des constructeurs d'instruments agricoles ont cherché à établir des machines propres à ouvrir mécaniquement les tranchées de drainage. Les essais de toutes natures faits jusqu'à présent n'ont point fourni de résultats satisfaisants.

Les appareils les plus parfaits ne peuvent fonctionner que dans les terrains très-homogènes et tout à fait privés de pierres.

Nous ne reproduirons aucune des charrues, dragues circulaires et autres mécanismes proposés en si grand nombre pour les travaux de cette espèce.

Les mécanismes qui paraissent avoir le plus approché de la solution agissent en comprimant fortement la terre qui entoure les tuyaux et en rendant difficile, par conséquent, le fendellement du sol qui assure le succès du drainage.

3. *Profondeur, écartement et tracé des drains.*

On a indiqué, en parlant des différents modes d'établissement des tranchées de drainage, les profondeurs qu'il convient en général de leur donner; mais il reste à justifier ces indications et à faire connaître les circonstances qui peuvent conduire à s'écarter plus ou moins notablement des dimensions habituellement adoptées. Cette discussion nous conduira naturellement à l'examen de l'écartement et du tracé des lignes de drains.

Profondeur. Peu de questions de l'art agricole ont donné lieu à de plus longues et de plus vives discussions que celle de la profondeur des drains. Emportés par l'ardeur de la polémique, des esprits également justes et des praticiens également distingués, en sont arrivés à indiquer comme des règles invariables des profondeurs différentes, hors desquelles chaque école soutenait qu'il n'y avait pas de succès possible. Les faits, également incontestables et allégués de part et d'autre, sont venus prouver que des méthodes fort diverses pouvaient cependant réussir. On a donc reconnu qu'il n'existait pas de règles empiriques et générales; peu à peu les défenseurs des divers systèmes se sont rapprochés et maintenant on est arrivé, sinon à une pratique commune, au moins à poser certaines limites entre lesquelles on fait varier la profondeur des drains en raison de la nature du sol et de la forme du terrain.

La porosité du sol, l'action que le drainage lui-même exercera sur lui, sa nature en un mot, influent évidemment sur la profondeur à donner aux drains qu'un praticien exercé ne fixera jamais qu'après un examen attentif; mais les exigences de la culture permettent de fixer la profondeur minimum qu'il est possible de donner aux drains. Cette limite inférieure peut se déterminer par les considérations suivantes. Les labours profonds peuvent atteindre 0m,25 à 0m,30; la partie supérieure du conduit de drainage, quel que soit son mode de construction, pour être complétement à l'abri de l'attaque des instruments, doit se trouver à 8 ou 10 centimètres au-dessous de la profondeur qu'ils atteignent; de sorte que dans aucun cas on ne doit mettre le dessus des conduits à moins de 0m,10 au-dessous de la surface du sol. Il serait même imprudent de s'arrêter à cette limite, car ce serait s'interdire à jamais les défoncements poussés à 0m,50 au-dessous du fond des sillons. En ajoutant à cette distance de 0m,50 l'épaisseur de la couche préservatrice, qui doit toujours exister au-dessus des conduits de drainage, et en tenant compte des dépressions naturelles ou artificielles de certaines parties du sol, on voit qu'on ne saurait, sans imprévoyance, établir la partie supérieure des conduits à moins de 0m,60 à 0m,70 en contre-bas de la surface du sol.

Une autre considération conduit à une seconde limite peu différente de la précédente : les racines des plantes cultivées ne doivent pas, en effet, atteindre les tuyaux de drainage. Or, elles ne descendent pas, en général, à 0m,60, de sorte que les tuyaux, abstraction faite de tout autre motif, pourraient sans inconvénient se placer à cette dernière profondeur. Enfin, l'eau n'arrive aux tuyaux de drainage qu'en vertu de l'action de la pesanteur, et par conséquent la surface de la nappe doit s'élever, à partir du tuyau, suivant une certaine inclinaison, d'autant plus prononcée que le sol offre plus de résistance au mouvement du liquide; de sorte que pour obtenir la profondeur minimum de la partie supérieure du canal de drainage, il faudrait ajouter aux chiffres précédents une hauteur dépendant et de la nature du sol et de l'écartement des drains.

Stéphens, par des considérations analogues aux précédentes, établit de la manière suivante, pour différents terrains, la profondeur minimum de la partie supérieure du canal de drainage au-dessous de la surface du sol.

	Sous-sols		
	Poreux.	Friable.	Argileux.
	m.	m.	m.
Profondeur du labour ordinaire.	0,178	0,178	0,178
Profondeur d'un défoncement de sous-sol. . . .	0,406	0,406	0,406
Épaisseur de la terre sur les matériaux de remplissage de la tranchée.	0,076	0,076	0,076
Hauteur des tuiles et soles.	0,152	0,152	0,152
Hauteur nécessaire à l'écoulement.	0,025	0,254	0,457
Profondeur des drains.	0,837	1,066	1,269

Il faudrait réduire ces chiffres de 0m,10 environ si on employait des tuyaux cylindriques au lieu de tuiles creuses, et les augmenter au contraire de 0m,16 à 0m,20 pour des drains *empierrés*.

Il ne suffirait pas de fixer comme on vient de le faire la plus petite profondeur des drains, il faut encore déterminer la profondeur la plus convenable à leur donner pour qu'ils enlèvent toute l'eau surabondante, et abaissent en même temps assez le plan de l'eau stagnante pour qu'elle ne puisse pas remonter jusqu'aux racines, ou même à la surface du sol, par l'action de la capillarité. Une profondeur de 0m,90 à 1m,20 suffit, comme nous l'avons déjà dit, pour atteindre dans les cas ordinaires ce double but. Mais cette indication générale serait insuffisante dans certaines circonstances particulières qu'il convient maintenant d'examiner.

Quand on opère dans un sol poreux, avec sous-sol

EFERUS - Recherche & Classification numérique

saturé d'eau, parce qu'il repose sur une couche imperméable, il faut autant que possible pousser la tranchée à une profondeur suffisante pour poser le tuyau sur la couche imperméable elle-même. Dans les sols très-poreux, en effet, il est démontré que l'action d'un drain s'étend d'autant plus loin que sa profondeur est plus considérable.

Il arrive fréquemment dans les sols argileux qu'il existe à une certaine distance de la surface une couche aquifère composée de matériaux très-poreux. Si cette couche n'est pas à plus de 1m,50 ou 1m,80 de la surface, elle sera un excellent auxiliaire du drainage, car en poussant jusqu'à cette couche un moindre nombre de drains que cela ne serait nécessaire en général, cette couche fournira un vaste déchargeoir des eaux de toute la surface. Dans le drainage des tourbières peu profondes il faut toujours pousser les canaux jusqu'au terrain solide, car la tourbe forme une très-mauvaise fondation de conduits de drainage.

On doit toujours, du reste, avant d'entreprendre une opération de drainage, ouvrir dans chaque champ une ou deux tranchées d'essai poussées à des profondeurs successivement croissantes. On les étudie attentivement pendant quelque temps, pour se rendre compte de la stratification du sol, de la manière dont l'eau se réunit dans chaque partie, etc., et on conclut facilement de ces observations la profondeur qu'il convient d'adopter d'une manière définitive, pour que les tranchées à ouvrir produisent le plus grand effet utile possible avec la moindre dépense relative.

De tout ce qui précède il résulte que la profondeur des tranchées doit varier dans chaque cas particulier. Les drains, dans un sol poreux, seront profonds et largement espacés, parce que l'eau y arrivera de toutes parts, et que plus ils seront profonds plus ils neutraliseront la capillarité du sol. Dans les sols d'argile les drains n'ont pas seulement à enlever l'eau, ils doivent encore concourir à entretenir la porosité artificielle du sol, au moyen de laquelle l'eau arrive jusqu'à eux. Ils ne pourront produire cette action s'ils sont placés à une profondeur où ne puisse s'étendre le retrait du sol. On ne doit pas perdre de vue que cette action de retrait n'est pas partout également prononcée et qu'elle se manifeste d'autant plus, toutes choses égales d'ailleurs, que la température est plus élevée et la saison plus sèche. Le peu d'effet de drains ouverts dans l'argile, la première année après leur établissement, surtout si le temps a été humide, indique assez la justesse de cette remarque.

En résumé, dans les cas ordinaires, on peut admettre que la profondeur des drains doit être comprise entre 0m,90 et 1m,20, mais il faut toujours la déterminer par des observations préliminaires faites avec soin.

Écartement des drains. Les opinions n'ont pas été moins différentes au sujet de l'écartement des drains qu'à l'égard de leur profondeur. D'un côté, M. Smith disait : Dans les terres fortes et compactes, ou dans les argiles sableuses, l'écartement des drains ne doit pas dépasser 3m,00 à 4m,5. Dans les terres plus légères, avec sous-sol poreux, une distance de 5m,50 à 7m,30 sera convenable; enfin, dans les sous-sols très-poreux, on pourra conserver une distance entre les drains de 12m,20.

D'un autre côté, M. Parkes affirmait que des drains de 1m,80 de profondeur pouvaient être écartés de 7m,30 à 20m,10.

Les chiffres de M. Smith sont en général trop faibles; l'écartement des drains, comme leur profondeur, dépend d'une foule de circonstances locales qu'il faut soigneusement étudier avant de prendre un parti. Parmi ces circonstances, l'une des plus importantes est la nature du sous-sol. Quand il est poreux ou qu'il repose sur une couche perméable dont les drains peuvent enlever les eaux, les tranchées peuvent être éloignées et profondes. Dans le cas contraire, il convient de les rapprocher davantage.

AGRICULTURE.

La porosité du sol *avant* le drainage n'est pas seule à considérer; certains sols se fendillent facilement par l'action des travaux et acquièrent une porosité artificielle équivalente à la porosité naturelle.

Le climat exerce aussi une grande influence sur les résultats d'une opération de drainage. Le fendillement du sol, qui lui donne la porosité artificielle dont il a besoin, est d'autant plus prononcé et s'étend d'autant plus loin, toutes choses égales d'ailleurs, que la température est plus élevée et le temps plus sec. Les effets d'un été sur un sol drainé seront bien plus sensibles dans le Midi que dans le Nord.

Les natures de sols sur lesquelles le drainage agit peut-être le moins sont certaines argiles mêlées de cailloux roulés, qui se rencontrent particulièrement dans les formations carbonifères. Elles n'éprouvent point ce retrait particulier qui donne aux argiles ordinaires leur porosité artificielle, et elles sont quelquefois si imperméables, qu'on les trouve sèches à quelques pieds de profondeur quand la surface est en bouillie. Un défoncement profond doit toujours accompagner le drainage dans les sols de cette espèce.

Le fendillement des masses argileuses a lieu de proche en proche, en s'éloignant du drain par l'écoulement successif de l'eau et le dessèchement progressif de la masse. La présence d'une source ou d'une couche aquifère qui maintient le terrain auprès du drain dans un état permanent d'humidité s'oppose quelquefois complétement à cet effet et paralyse ainsi tout le bien que l'on pouvait espérer de l'exécution des travaux.

La largeur habituelle des planches de labour dans le pays où l'on opère influe, dans certaines limites, sur l'écartement des lignes de drains, surtout quand ils sont dirigés dans le sens même du labour; on s'arrange alors, autant que possible, pour que cet écartement soit égal à un nombre exact de fois la largeur des billons, et l'on profite pour ouvrir les tranchées de la dépression produite par le labour. Du reste, dans les terres bien drainées, on abandonne presque toujours le labour en billons pour le labour à plat.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les questions relatives à la profondeur et à l'écartement des drains. Les partisans des divers systèmes ont cherché à les faire prévaloir par une foule de considérations qu'il serait inutile et beaucoup trop long de reproduire, après avoir indiqué, comme nous l'avons fait, les dispositions le plus généralement adoptées aujourd'hui et les considérations qui doivent influer sur la fixation de la profondeur ou de l'écartement des lignes de tranchées. Nous ajouterons seulement qu'il existe évidemment une relation entre la profondeur et l'écartement des drains, mais qu'il est impossible, dans l'état actuel des connaissances acquises, d'exprimer mathématiquement cette relation. La question se complique d'un trop grand nombre d'éléments différents pour qu'il soit possible d'établir par des considérations purement géométriques, comme un auteur français a prétendu le faire il y a quelque temps, une formule digne d'être prise en considération par les praticiens.

Pente des drains. La facilité avec laquelle l'eau s'écoule dans les tuyaux en poterie permet de leur donner une pente longitudinale beaucoup plus faible que celle qui est nécessaire aux drains empierrés. Une pente de 2 millimètres par mètre suffit, à la rigueur, pour les files de tuyaux; elle ne doit pas être inférieure à 5 ou 6 millimètres au moins dans les autres conduits. D'un autre côté, il faut éviter de donner aux drains une pente assez considérable pour que la vitesse de l'eau puisse dégrader les matériaux employés à la construc-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

tion. Quand la pente du terrain est assez forte pour que cette circonstance se présente, on partage chaque conduit en sections à faible déclivité raccordées par des chutes. Dans cette circonstance et dans quelques autres, on est donc obligé de faire communiquer entre elles deux lignes de conduits établies à des niveaux différents. Le raccordement peut s'établir au moyen de tuyaux inclinés à 45°, et solidement fixés à leurs extrémités dans un petit massif en pierrailles ou en maçonnerie. Quand la différence de niveau à racheter est un peu considérable, ou quand il s'agit de maîtres-drains destinés à donner passage à un volume d'eau considérable, la méthode précédente n'offrirait peut-être pas assez de garantie. Le raccordement s'exécute alors en briques posées à redans les unes sur les autres et formant une sorte d'escalier. Pour de très-petits drains, on pourrait se borner à faire un puisard rempli de pierres cassées; le conduit supérieur communiquerait avec la partie supérieure et le conduit inférieur avec le fond du puisard.

Tracé et direction des drains. La pesanteur est la force qui détermine l'écoulement de l'eau à travers les canaux capillaires naturels ou artificiels du massif de terre sur lequel doit agir un drain. Le tracé des lignes de tranchées doit donc, avant tout, favoriser autant que possible l'action de cette force.

Lorsque le sol est sensiblement horizontal, la direction des drains est en elle-même assez peu importante. Il est indifférent qu'ils soient parallèles, perpendiculaires ou obliques à la direction des sillons; leur disposition dépend alors de la position des canaux de décharge et des moyens d'écoulement dont on dispose.

Mais quand le terrain est incliné, d'autres considérations influent sur la position des drains. Si la pente est très-faible, on comprend que pour assurer l'écoulement de l'eau dans les tuyaux il faut les diriger suivant la ligne de plus grande pente. Plusieurs raisons conduisent, du reste, à adopter la même règle pour toutes les inclinaisons du sol. Le canal placé au fond d'une tranchée dirigée suivant la ligne de plus grande pente se trouve en effet symétriquement placé par rapport à la surface, et fait sentir son action, dans un terrain homogène, à égale distance à droite et à gauche. Il n'en est pas de même quand le tracé s'écarte de la ligne de plus grande pente. Le drain agit alors entièrement du côté où le terrain s'élève, mais son action se trouve plus ou moins réduite du côté où le terrain descend, et peut même s'arrêter presque complétement, comme il est facile de s'en convaincre à l'aide d'un dessin très-simple, quand le drain est perpendiculaire à la ligne de plus grande pente et que le sol présente une déclivité très-prononcée. Dans ce cas extrême, pour que les drains de deux systèmes, l'un perpendiculaire et l'autre parallèle à la ligne de plus grande pente, pussent produire le même effet d'assainissement, il faudrait donc que les premiers fussent moitié plus rapprochés que les seconds. Si, par exemple, dans un terrain donné, un drain fait sentir son action à une distance de 5 mètres, il faudra poser à cette distance les unes des autres les lignes de drains perpendiculaires à la ligne de plus grande pente qui n'agissent que par une de leurs faces, tandis qu'on pourra laisser un intervalle de 10 mètres entre les drains parallèles à cette ligne, puisque chacun d'eux assainit une largeur de 5 mètres sur chacune de ses rives.

Une autre observation, moins générale que la précédente, mais cependant d'une application assez fréquente, indique qu'il convient de diriger les lignes de drains suivant la plus grande pente du terrain à assainir. Il existe, en effet, dans beaucoup de terrains, des veines plus perméables que l'ensemble de la terre, et qui, sans fournir de véritables sources, dénotent leur présence par de petits suintements. Ces couches aquifères affleurent généralement la surface du sol, suivant des lignes à peu près horizontales, changent son aspect et lui donnent souvent les plus mauvaises qualités. Or, il arrivera nécessairement que des drains perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, quel que soit d'ailleurs le soin apporté dans le choix de leur emplacement, ou ne rencontreront pas, comme en *a* (voyez ci-dessus fig. 41), cette ligne d'eau, qui viendra dès lors percer le sol en *b*, ou bien poussés à la profondeur normale comme en *c*, ils ne couperont qu'en partie la veine d'eau, et alors la plus grande partie de ce liquide passera sous le drain et viendra affleurer le sol en *d*. Si au contraire on trace les drains parallèlement à la ligne de plus grande pente, comme on le voit de *e* en *e'*, ils rencontreront toutes les veines d'eau à un niveau inférieur à celui des anciens affleurements, et recueilleront successivement leurs produits, pour les conduire vers le canal de décharge.

Quelques tranchées d'essai ouvertes en différents points de la terre à drainer, comme on l'a déjà recommandé, permettront de déterminer facilement, en tenant compte des observations précédentes, la profondeur et l'écartement des drains; il ne restera plus qu'à fixer la position des canaux de décharge et celle des drains principaux.

Les nivellements généraux effectués sur le champ tout entier et sur les fossés et rigoles qui peuvent servir à l'écoulement de ses eaux, feront connaître les points où l'on devra amener les bouches des drains principaux.

Les petits drains peuvent se tracer d'une manière très-simple, en général, et qui ne présente quelques difficultés que dans certains cas particuliers. Cette méthode consiste à décomposer le champ à drainer en plusieurs parties planes et à tracer parallèlement les uns aux autres, à la distance reconnue nécessaire et suivant la ligne de plus grande pente de chacune de ces parties planes, les drains de dernier ordre. Quand la direction des sillons coïncide avec celle que nous venons d'indiquer, il convient de profiter des dépressions du terrain pour y établir les tranchées. On diminue ainsi un peu le cube des terrassements à exécuter; mais cette considération ne doit pas en faire négliger de plus importantes.

Les drains de dernier ordre ayant $0^m,030$ à $0^m,035$ de diamètre ne doivent pas avoir plus de 250 à 350 mètres de longueur. On les fait déboucher dans les drains principaux ou sous-principaux, et non pas directement dans le canal de décharge. Les mauvaises herbes, les impuretés de toutes sortes et les animaux peuvent en effet obstruer facilement quelques-unes des extrémités des drains; il convient donc de les réduire à un petit nombre, plus facile à entretenir et à surveiller. Ces drains principaux sont établis à $0^m,05$ ou $0^m,07$ plus bas que les drains dont ils reçoivent les eaux; ceux-ci doivent se raccorder à angle aigu avec les premiers au moyen de petites courbes dirigées dans le sens du canal. Il convient d'éviter la rencontre de deux lignes de drains, vis-à-vis l'une de l'autre, dans le même drain principal. Il est nécessaire d'établir un drain principal de $0^m,04$ à $0^m,08$ de diamètre pour recevoir le produit des petits drains de 2 ou 4 hectares, sauf à réunir plusieurs de ces drains principaux dans un maître-drain, qui fait alors fonction de conduite et mène les eaux dans le canal de décharge. Les drains principaux et les maîtres-drains sont établis dans les thalwegs du terrain.

Quelques exemples rendront parfaitement claires les indications précédentes relatives au tracé des drains.

Les fig. 55 et 56 représentent les plans des drains établis sur des terrains de différentes formes. Les lignes ponctuées, sur la première figure, sont les horizontales du terrain; on voit que les drains de dernier

EFERUS - Recherche & Classification numérique.

ordre, représentés par les traits fins *aa*, sont perpendiculaires à cette direction, c'est-à-dire parallèles aux lignes de plus grande pente. Ces drains viennent se réunir aux drains plus importants B, qui versent à leur tour les eaux dans le drain principal ou dans le canal de décharge. Les lignes ponctuées n'ont pas été tracées sur la fig. 56. Mais il est facile de les rétablir par la pensée : elles sont en effet perpendiculaires aux petits drains *a* qui se réunissent, comme dans l'exemple précédent, dans les drains principaux B.

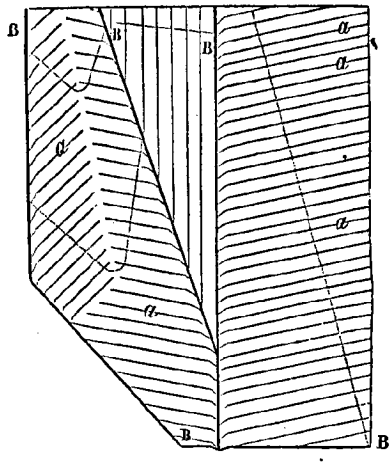


Fig. 55.

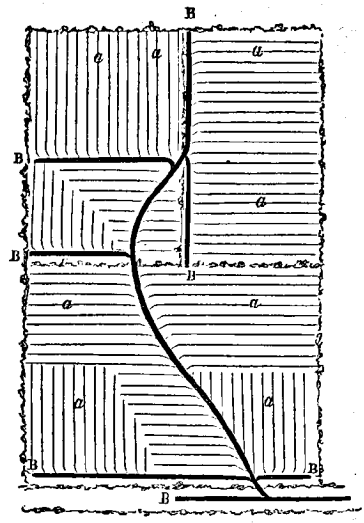


Fig. 56.

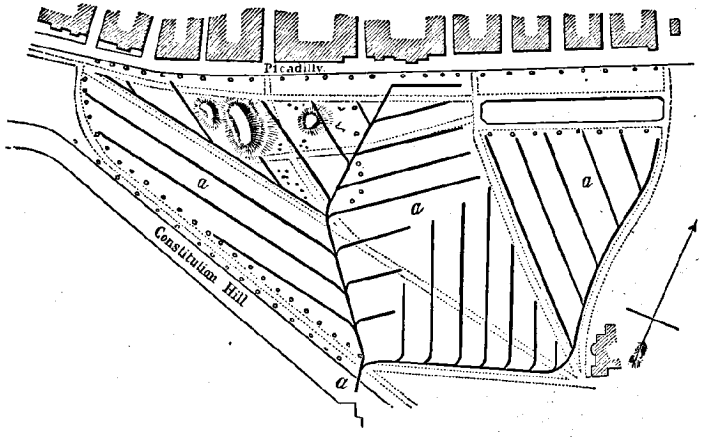


Fig. 57.

La figure 57 *a* offre un exemple de drainage emprunté à la ferme de Crèvecœur. L'eau de drainage d'une partie du terrain situé au-dessus du chemin alimente l'abreuvoir de la cour de la ferme ; le puits *b* de la ferme est également alimenté par l'eau de drainage conduite par le tuyau *ab;* l'eau en excès sort par le tuyau *bc*, qui sert de trop-plein. Un regard placé en *a* permettrait, au besoin, d'empêcher les eaux de se rendre dans le puits *b* et les dirigerait en ligne droite vers le drain général d'écoulement.

Les dispositions générales du drainage de l'ancien étang de Chevrier (département du Cher) sont représentées par la figure 57 *b*.

Les eaux recueillies par les lignes de drains sont amenées dans le canal principal de décharge, qui traverse cette pièce sur une longueur de 1,200 mètres environ. Les points marqués de croix + indiquent l'emplacement de *drainages verticaux*.

Une partie des eaux de source étaient incrustantes et ont nécessité la construction de regards d'une forme particulière.

Les lignes ponctuées ..... sont des drains de défense

EFERUS - Recherche & Classification numérique

contre les racines des peupliers qui bordent l'ancienne digue de l'étang.

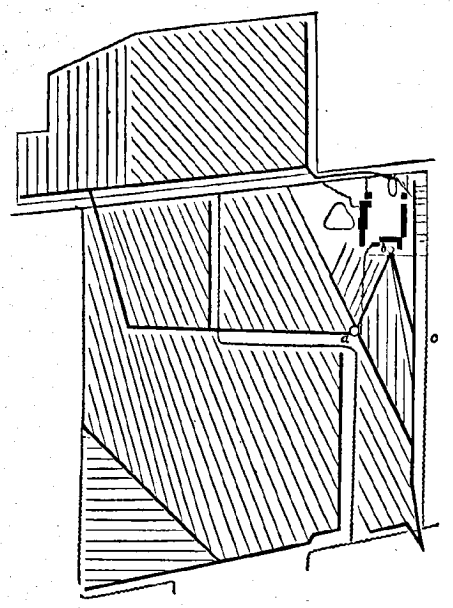


Fig. 57 *a*. Plan de drainage.

Ce terrain, de 60 hectares environ, est presque horizontal : la pente d'une partie des drains n'excède pas 0^m002 par mètre, et n'a pu être obtenue qu'en augmentant leur profondeur de l'origine à l'extrémité.

La fig. 57 indique la direction des lignes de drains *aa* projetées pour l'assainissement de la belle promenade de Green-Park, à Londres. Les drains de dernier ordre seront espacés de 15 à 20 mètres. On n'en a représenté que la moitié environ pour ne pas surcharger la figure.

AGRICULTURE.

4. *Du drainage des sources.*

L'eau en excès qui existe dans un terrain peut avoir deux origines différentes : la pluie tombée à la surface de ce terrain et les sources de fond qui peuvent y exister. Tout ce qui précède s'applique plutôt au drainage des terres où l'eau de source ne joue qu'un rôle secondaire, qu'à celles où les eaux de cette nature sont prépondérantes. Il reste à faire connaître la marche à suivre dans ce dernier cas, beaucoup moins fréquent que le premier, et à décrire les procédés particuliers d'assainissement des terres criblées de sources abondantes.

Les sources, comme on sait, doivent leur origine à certaines dispositions de la croûte terrestre, qui permettent à l'eau tombée sur des sols poreux de s'écouler à travers les fissures naturelles du terrain, et de venir ensuite se faire jour à de plus ou moins grandes distances de leur point de départ. Les dispositions relatives des couches perméables ou imperméables, qui donnent naissance aux sources et aux terrains mouillés ou marécageux qu'elles produisent, varient à l'infini. C'est par une longue et attentive observation de ce genre de phénomènes que l'on peut arriver à la détermination des procédés d'assainissement les plus appropriés à chaque cas particulier. Une longue expérience et un tact spécial ont conduit Elkington, comme on l'a déjà dit, à une habileté dans ce genre de travaux qui n'a pas été dépassée. Il serait impossible de poser des règles générales et absolues à l'égard des procédés à adopter pour combattre les effets nuisibles des eaux de source. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre l'esprit de la méthode à suivre ; son application est du reste assez rare, ce qui la rend beaucoup moins importante que celle qui s'applique aux terrains simplement imbibés d'eau en excès.

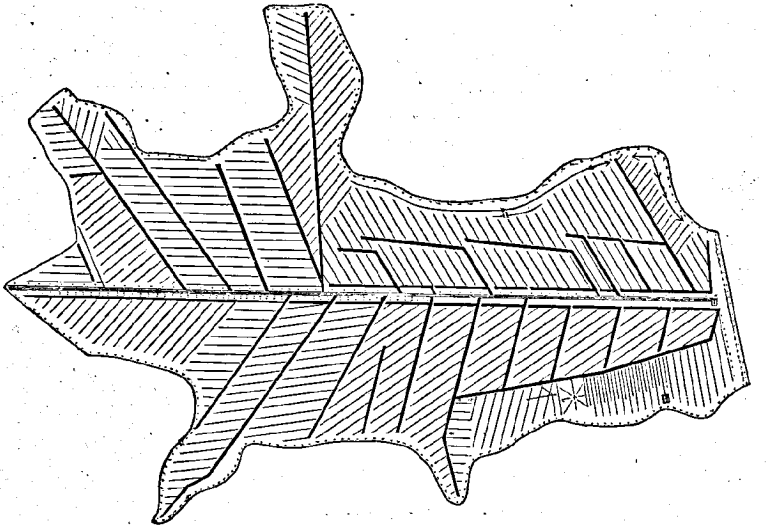


Fig. 57 *b*. Plan de drainage.

Supposons, d'abord, qu'il s'agisse d'assainir un terrain formé par un sol imperméable *g*, sous lequel, comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'indique la coupe (fig. 58) viennent s'engager les couches d'un sol perméable *f* recouvert d'une terre absorbante *e*. L'eau tombée sur ce dernier terrain pénétrera dans son intérieur et viendra s'accumuler dans la partie perméable de la masse sous le sol imperméable, à travers lequel se feront jour de place en place des sources permanentes *c*, qui transformeront le terrain en marais sur une plus ou moins grande étendue. Puis, quand ces sources ne pourront point débiter toute l'eau qui arrivera dans le sol poreux, le niveau s'élèvera et de fausses sources jailliront dans les points *d*. Il pourra même arriver que, sous l'action d'une forte pression, d'autres fausses sources se fassent jour temporairement au-dessous même des sources permanentes *c*. La distinction entre les sources permanentes *c*, qu'Elkington appelle maîtresses sources, et les sources temporaires est excessivement importante et doit être faite avec le plus grand soin. On conçoit, en effet, que si

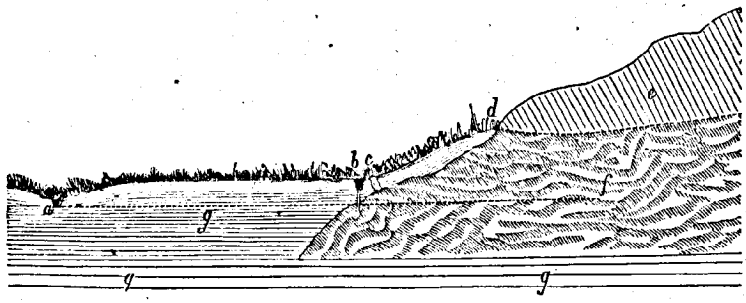


Fig. 58.

l'on pousse une tranchée de drainage au sein même des sources permanentes, on obtiendra tout le résultat désiré, tandis que l'on ferait des dépenses presque inutiles si on ne pénétrait que dans les sources passagères. Cela posé, dans le cas actuel, le meilleur mode d'assainissement consiste évidemment à tracer un drain principal en *b*, à le mettre en communication par un sondage ou un puits avec la couche perméable, et enfin à conduire les eaux recueillies dans toute la longueur de ce drain, par un conduit convenable, jusque dans la rigole de décharge *a*. Par ce moyen, l'eau ne pouvant pas s'élever au delà du niveau du fond du drain *b*, les sources temporaires *d*, et permanentes *c*, seraient supprimées, aussi bien que les sources passagères produites au-dessous de *c* par des sous-pressions trop considérables.

Prenons pour second exemple le cas suivant : le fond des vallées, dans les pays ondulés, est souvent formé de terre végétale peu perméable comprise entre deux collines de sable, comme l'indique la coupe fi-

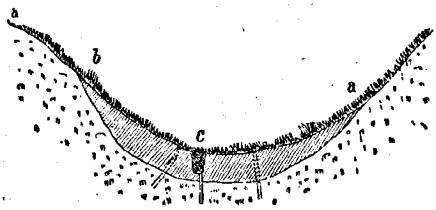


Fig. 59.

gure 59. L'eau déborde alors aux points *a* et *b* et transforme en marécage tout l'espace compris entre ces deux points. Ce qu'il y a de mieux à faire en pareil cas est souvent d'ouvrir un drain dans le thalweg en *c* et de le mettre en communication avec le sous-sol perméable. L'eau remonte, s'écoule par le drain, et cesse de produire à la surface du sol les dégâts qu'elle y causait.

Dans les deux exemples précédents, l'eau remonte par les trous de sonde ou les puits qui mettent en communication le sous-sol perméable avec le drain. Mais il arrive aussi quelquefois que la couche imperméable sur laquelle repose la veine aquifère elle-même ne présente qu'une assez faible épaisseur, et qu'elle s'étend à son tour sur des bancs absorbants. Dans ce dernier cas, on peut donner une issue naturelle aux eaux nuisibles, sans avoir besoin de s'occuper de l'établissement de canaux de décharge, en perçant par un sondage ou un puits cette seconde couche imperméable, et mettant ainsi en communication la première couche aquifère avec une couche absorbante.

On vient de donner quelques exemples d'applications du principe des méthodes d'Elkington; indiquons maintenant le mode d'établissement des communications à ouvrir entre les drains et les parties poreuses.

Quand la profondeur de la couche perméable au-dessous du sol à assainir n'excède pas 3 mètres, il convient habituellement de pousser le drain jusqu'à cette profondeur, soit qu'on le remplisse de pierres, soit qu'on emploie des tuyaux en poterie, et alors on rentre dans l'application des moyens ordinaires. Mais lorsque la couche perméable se trouve au-dessous du sol, à une profondeur telle qu'il serait impossible de l'atteindre sans une dépense trop considérable, on se borne à ouvrir de distance en distance et à côté du drain lui-même, creusé à la profondeur habituelle, des puits ou des trous de sondage que l'on pousse jusqu'à la rencontre de la couche aquifère.

La disposition de ces puits est extrêmement simple; ils sont rectangulaires ou cylindriques, et d'une largeur seulement suffisante pour permettre à un ouvrier d'y travailler sans trop de gêne. On les remplit de pierres cassées jusqu'à la hauteur de celles employées à la construction du drain lui-même, ou bien jusqu'à quelques décimètres au-dessus du tuyau de terre qui sert de conduit, quand on adopte ce mode de construction. La figure 60 représente la coupe d'un puits semblable à celui que l'on vient de décrire, faite perpendiculairement à la direction du drain auquel il appartient.

Lorsque la profondeur du puits devrait excéder $4^m,0$ à $4^m,5$, on le remplace par un simple forage exécuté avec la sonde à main (voyez SONDAGE), placé à côté du drain, comme le représente la figure 61. On a indiqué dans cette figure un drain à pierres sèches, destiné à conduire un volume d'eau considérable. Cette disposition, rarement employée maintenant, méritait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cependant d'être indiquée. Il est bien entendu, d'ailleurs, que les trous de sonde s'appliquent également à toute autre espèce de drains.

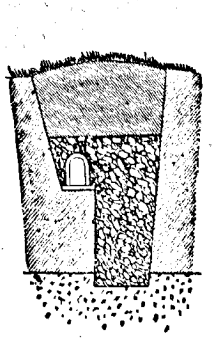


Fig. 60.

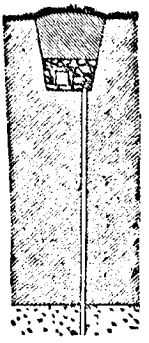


Fig. 61.

Pour le drainage des terrains bourbeux et criblés de sources, j'emploie un procédé différent des précédents, désigné sous le nom de drainage vertical. L'économie qu'il procure, son succès dans des terrains complétement détrempés où tout autre travail serait impossible, le rendent précieux dans un grand nombre de circonstances.

On ouvre, comme de coutume, une tranchée de drainage et on la prolonge à travers les parties les plus bourbeuses du terrain. Si cela est nécessaire, on ouvre quelques autres tranchées partant du centre du terrain bourbeux, et prolongées en patte d'oie jusqu'à une certaine distance de leur origine, comme l'indique la fig. 60 *a*.

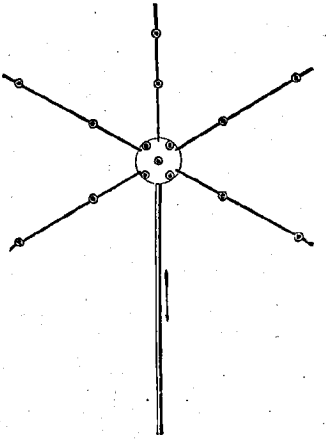


Fig. 60 *a*.
Plan d'un drainage vertical.

On prépare ensuite des tuyaux ordinaires, et on les entre librement et à joints croisés dans des tuyaux d'un numéro immédiatement supérieur, qui forment, pour les premiers, des manchons de même longueur qu'eux : il suffit, pour cela, de commencer par un demi-tuyau. On a soin, comme le montre la figure, d'échancrer les tuyaux pour rendre facile l'introduction de l'eau extérieure dans l'intérieur de ces tuyaux.

On fait passer dans la file de tuyaux ainsi préparés une tige de fer rond de 0m,015 à 0m,025 de diamètre, ou bien, suivant les cas, une tige de bois, d'un diamètre inférieur de 5 à 6 millimètres à celui des tuyaux.

On enfonce l'extrémité inférieure de cette tige de bois ou de fer dans un cône en bois dur (fig. 61 *b*), ferrée à la pointe si le terrain est résistant. Cette espèce de sabot a 0m,04 de diamètre de plus environ que celui du tuyau extérieur. Il n'est que très-légèrement réuni à la tige cylindrique, pour que l'on puisse séparer ces deux pièces l'une de l'autre sans éprouver une forte résistance en les tirant en sens opposé.

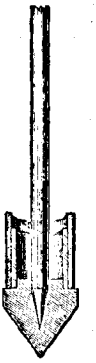


Fig. 61 *b*.
Enfonçage des drains verticaux.

Les choses ainsi disposées, on enfonce verticalement, au fond des tranchées ouvertes à l'avance, les tuyaux précédés du sabot. Si le terrain est très-bourbeux, comme celui de certains prés à bouillons, la colonne s'enfonce, pour ainsi dire, par l'action seule de son poids. Si le terrain est plus résistant, on la fait descendre en frappant sur le sommet de la tige de bois ou de fer dont on a parlé. Dans le cas où le terrain serait plus dur encore, et où l'on ne pourrait faire descendre la colonne de tuyaux par ce moyen, on préparerait leur emplacement avec un petit pieu en bois dur, saboté en fer à la pointe, et fretté à sa tête comme comme un pilotis, que l'on enfoncerait à la masse ou avec un petit mouton, et que l'on arracherait ensuite. Enfin on aurait recours à la sonde dans les terrains où l'on rencontrerait de grosses pierres isolées, ou des couches minces trop dures pour céder à l'action du pieu ferré.

Lorsque la colonne de tuyaux est mise en place, quelle que soit la méthode employée, on soulève la tige qui traverse les tuyaux ; elle se sépare du sabot, qui reste sous la colonne de tubes, et peut être ramenée à l'extérieur pour servir à d'autres opérations.

La tête des tuyaux ainsi placés est entourée de quelques pierres formant enrochement, et s'introduit, comme on le voit en A, fig. 61 *c*, dans le tuyau horizontal du drain, percé, à cet effet, d'une ouverture circulaire, comme pour un raccordement ordinaire.

Quand l'abondance des eaux oblige à placer plusieurs tuyaux verticaux les uns à côté des autres (figures 61 *c* et 61 *d*), on peut les recouvrir, comme l'indique la fig. 61 *d*, par une espèce de voûte en pierres sèches formant l'origine du drain de décharge.

La disposition des tranchées, en plan, varie nécessairement avec la disposition des lieux ; mais il est bien rare que quelques tuyaux groupés au centre même du terrain bourbeux ne suffisent pas à son assainissement. Des tuyaux verticaux placés dans un drain à 8 ou 10 mètres les uns des autres enlèvent déjà un énorme volume d'eau.

Quand on a placé des tuyaux verticaux dans un terrain, il convient, avant de recouvrir le drain de décharge, d'attendre que le régime des eaux soit bien établi, afin de proportionner le diamètre, ou le mode de construction du drain, au volume d'eau à débiter.

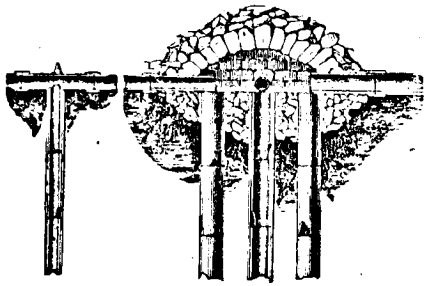
La longueur des colonnes de tuyaux dépend nécessairement de la nature du sol où l'on opère. On les enfonce autant que le permet la résistance du terrain ; souvent on atteint des profondeurs de 4, 5 et 7 mètres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et plus, qui, ajoutées à la profondeur de la tranchée, placent l'extrémité inférieure du tuyau à 8 ou 9 mètres au-dessous du sol. Chacun de ces tuyaux fonctionne, sur toute sa longueur, comme un drain ordinaire. On opère donc ainsi un drainage vertical d'une très-puissante action sur les eaux remontantes, ou sur les eaux descendantes, si l'on atteint une couche absorbante; ce qui, du reste, arrive assez rarement.

Fig. 61 *c*.

Coupe d'un drainage vertical.



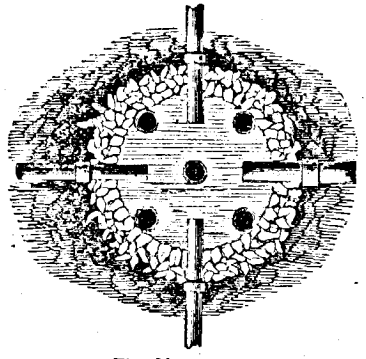


Fig. 61 *d*.

Plan d'un drainage vertical au niveau du tuyau d'écoulement.

L'espace ne nous permet pas d'entrer dans de plus longs détails sur le drainage des sources. On voit que la méthode se réduit à fournir aux eaux de cette espèce un écoulement régulier et assuré qui les empêche de se rendre en différents points du sol, de se répandre à sa surface et d'imprégner sa masse entière.

Le drainage des sources, comme on l'a déjà dit, se présente moins souvent que celui des eaux de pluie; cependant les eaux de source entrent souvent pour une plus ou moins forte proportion dans la masse des eaux surabondantes d'un terrain, et il est peu d'opérations de drainage un peu étendues où on ne rencontre pas l'occasion d'appliquer quelques-unes des méthodes précédentes. Le drainage d'Elkington, en un mot, est un auxiliaire souvent précieux des méthodes ordinaires et méritait par conséquent d'être signalé.

5. *Volume d'eau entraîné par les drains.*

Nous ne pouvons donner aucune règle générale sur la quantité d'eau de source à enlever d'un terrain donné. Ce volume d'eau varie d'un lieu à un autre, et l'expérience seule peut le faire connaître dans chaque cas particulier. Mais l'eau de pluie, dont on a bien plus souvent à combattre les fâcheux effets dans les terres lourdes et compactes, a été l'objet d'études nombreuses qui fournissent déjà quelques renseignements intéressants.

On a donné précédemment (chap. II, 3e section, II) des renseignements étendus sur la quantité annuelle de pluie dans différentes localités; il est inutile de rappeler ces données, auxquelles le lecteur se reportera. Mais toute l'eau de pluie n'est pas entraînée par les drains, une forte proportion disparaît par l'évaporation, l'action de la végétation, et quelquefois par l'écoulement superficiel. Les expériences directes permettent seules de déterminer la quantité d'eau qui traverse le sol pour atteindre les drains.

Les expériences sur la quantité d'eau entraînée par les drains sont malheureusement encore peu nombreuses, mais elles sont faciles à faire, et on peut espérer qu'elles se multiplieront de plus en plus, car aucune donnée ne serait plus utile pour l'étude théorique et pratique du drainage.

Plusieurs méthodes peuvent être employées pour évaluer le volume d'eau que débite une bouche de drainage. On peut disposer sous cette bouche un compteur à eau à bascule, dont on relève de temps en temps les indications, ou bien dont on enregistre électriquement les mouvements dans le cabinet même de l'observateur. Mais ces appareils sont coûteux, assez fragiles et d'une installation un peu difficile. Il est donc préférable de se servir de la petite jauge (fig. 60 *e*) que j'emploie

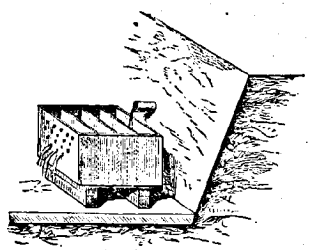


Fig. 60 *e*.

Jauge de drainage.

pour cet objet. Cet instrument se compose d'une caisse rectangulaire en fer-blanc ou en cuivre dans laquelle tombe l'eau du drain. Sa face antérieure est percée d'une série de trous disposés en échiquier et par lignes un peu inclinées comme l'indique la figure. Deux ou trois cloisons verticales établies dans la boîte amortissent le choc de l'eau et donnent à l'écoulement une grande régularité. Avant de mettre la jauge en place on fait quelques expériences pour déterminer exactement le débit répondant à l'écoulement de divers nombre de trous. Il suffit donc de compter trois ou quatre fois par jour le nombre de trous qui donnent de l'eau pour calculer avec une exactitude suffisante le débit de la bouche. Ces observations très-simples, qui n'exigent aucune écriture, peuvent être confiées à un ouvrier quelconque, pourvu qu'il soit attentif et consciencieux. Ce petit appareil, que l'on trouve maintenant chez les principaux fabricants d'instruments de physique, peut d'ailleurs être construit pour quelques francs, par tous les ferblantiers.

A défaut de tout appareil de jaugeage, on peut encore noter le temps nécessaire pour remplir un vase d'une capacité connue. Mais cette expérience

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exige l'emploi d'une montre à secondes, la présence de deux personnes autant que possible, une certaine habitude, et donne avec beaucoup plus de peine des résultats dont l'exactitude est souvent inférieure à celle que l'on peut attendre de l'instrument précédent.

Lorsqu'on observe les volumes d'eau qui s'écoulent d'un champ drainé, on doit placer à une petite distance un pluviomètre pour connaître la quantité d'eau de pluie versée sur le sol.

L'eau qui tombe sur un sol drainé, se partage en trois parties. La première s'écoule par les drains, la seconde s'évapore et retourne dans l'atmosphère. La troisième enfin, dans certains terrains, s'infiltre dans les couches profondes du sol sans pénétrer dans les tuyaux.

Si on rend nulle l'infiltration de l'eau dans le sous-sol, comme l'ont fait à l'aide d'appareils particuliers quelques observateurs, la différence de l'eau tombée et de l'eau entraînée par les drains représente l'eau évaporée à la surface du sol.

Si au contraire on opère dans des conditions pratiques, il faut évaluer le volume d'eau évaporé par le sol, celui entraîné par les drains, retrancher la somme de ces deux quantités d'eau, du volume de l'eau de pluie et en déduire, par différence, le volume infiltré dans les couches profondes. Ce dernier mode d'expérimentation, qui serait le plus important, n'a pas encore été appliqué, à ma connaissance, d'une manière complétement satisfaisante, et l'on ne peut donner ici que des résultats moins complets mais qui seraient déjà fort intéressants pour la pratique, s'ils étaient plus multipliés.

M. Dickinson a fait, dans un autre but, une longue série d'observations pour déterminer le rapport de l'eau enlevée par évaporation à l'eau qui s'infiltre dans le sol. Il s'est servi à cet effet d'un pluviomètre ordinaire, qui lui fournissait la hauteur totale d'eau tombée, et d'une jauge de Dalton pour évaluer la quantité d'eau infiltrée. La différence entre ces deux nombres était portée par l'auteur que nous citons au compte de l'évaporation.

La jauge de Dalton, dont il s'agit, est un cylindre en métal de 0m,30 de diamètre et de 0m,91 de profondeur, fermé par un crible fin à sa partie inférieure, et terminé par un réservoir disposé de manière à mesurer l'eau qui s'y accumulait. Le cylindre, rempli de la terre même du champ où l'on opérait, était enfoncé dans le sol de manière que sa base supérieure affleurât la surface.

Le tableau suivant résume les expériences de M. Dickinson, faites au moyen de l'instrument précédent :

ANNÉES.	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	RAPPORT de la filtration à la pluie.
	m.	m.	m.	m.
1836	0,787	0,339	0,448	0,57
1837	0,536	0,359	0,177	0,33
1838	0,560	0,344	0,216	0,39
1839	0,794	0,416	0,378	0,48
1840	0,547	0,337	0,210	0,38
1841	0,815	0,455	0,360	0,44
1842	0,671	0,372	0,299	0,44
1843	0,672	0,467	0,205	0,30
Moyennes..	0,673	0,386	0,287	0,42

Les nombres obtenus par Dalton lui-même sont assez différents des précédents, comme on le voit ci-dessous.

ANNÉES.	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	RAPPORT de la filtration à la pluie.
	m.	m.	m.	m.
1796	0,778	0,603	0,175	0,22
1797	0,985	0,706	0,279	0,28
1798	0,794	0,606	0,188	0,24
Moyennes..	0,852	0,638	0,214	0,25

Mais les deux séries d'observations s'accordent sous un certain rapport, c'est que toute l'eau tombée pendant le mois de février est absorbée, ainsi que l'indiquent les chiffres moyens suivants :

Observateurs.	Février.			RAPPORT de la filtration à la pluie.
	Pluie.	Évaporation.	Filtration.	
	m.	m.	m.	m.
Dalton...	0,046	0,013	0,031	0,72
Dickinson.	0,050	0,015	0,035	0,70

Au contraire, pendant les mois de juin, juillet, août et septembre, la filtration est presque nulle et l'eau s'évapore presque entièrement. Voici la moyenne des observations faites par les deux auteurs que nous citons :

Observateurs.	Juin, juillet, août et septembre			RAPPORT de la filtration à la pluie.
	Moyenne de la pluie.	Moyenne de l'évaporation.	Moyenne de la filtration.	
	m.	m.	m.	m.
Dalton...	0,342	0,320	0,022	0,06
Dickinson.	0,243	0,231	0,012	0,05

M. Ch. Charnock a fait des expériences analogues à celles de Dalton, mais plus complètes, en ce sens qu'il a également mesuré l'évaporation. Voici les résultats obtenus :

	1842.	1846.
	m	m
Hauteur d'eau tombée.	0,663	0,638
Hauteur d'eau filtrée à travers le sol.	0,115	0,171
Hauteur d'eau évaporée d'un sol drainé.	0,548	0,467
Hauteur d'eau évaporée d'un sol saturé.	0,762	0,845
Hauteur d'eau évaporée dans un vase exposé au vent et au soleil. . .	0,854	0,881

Les expériences précédentes laissent, on le conçoit, beaucoup à désirer, en raison du mode même d'observation ; il convenait cependant de les citer comme indication. Des recherches plus pratiques sont dues à M. Milne.

Il a recueilli pendant dix mois, de juin 1848 à avril 1849, l'eau débitée par les drains d'une certaine étendue de terrain. Il a trouvé que la masse d'eau obtenue pendant l'intervalle précité était de 522mc,28 par hectare, répondant à une couche d'eau uniforme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de 0m,052228 seulement d'épaisseur. Les expériences de Dalton indiquaient, pour une période semblable, une couche de 0m,169159, et celles de Dickinson une couche de 0m,27636.

On comprend, du reste, que la nature du terrain influe notablement sur sa propriété filtrante; cependant les résultats de M. Milne montrent qu'il serait peu sage d'accorder à la jauge de Dalton une confiance trop absolue.

Dans une expérience faite dans la terre des Hauts-Noirs en Sologne, M. Delacroix a trouvé que la hauteur d'eau tombée en 1856 étant de 0m,734, la hauteur d'eau écoulée était de 0m,427; rapport 0m,48. En 1857, la hauteur d'eau tombée a été de 0m,453 et la hauteur d'eau écoulée de 0m,219, rapport 0m,44.

Le rapport de l'eau tombée à l'eau écoulée varie donc d'une année à l'autre, par suite des conditions météorologiques et surtout suivant la distribution des pluies dans les différents mois et leur ordre de succession.

Voici enfin les résultats d'expériences que j'ai pu faire aux environs de Meulan.

La pièce soumise aux observations avait une étendue de 1 hect. 226. Le sol était argileux et assez fort, le sous-sol était plus perméable. Cette pièce, louée à plusieurs cultivateurs, était labourée et produisait des récoltes de différentes sortes, céréales, racines et chardon à foulon. Les volumes de pluie tombée et d'eau écoulée par mois, ramenés à la surface d'un hectare sont réunis dans le tableau suivant :

MOIS ET ANNÉES.	EAU de pluie tombée.	EAU écoulée par les drains.	RAPPORT de l'eau écoulée à l'eau tombée.
1855.			
	mc.	mc.	
Mars	347.2	67.5	0,194
Avril	100.5	20.0	0,199
Mai	663.0	55.4	0,085
Juin	365.0	2.1	0,005
Juillet	555.0	0.0	0,000
Août	210.0	0.0	0,000
Septembre	103.7	0.0	0,000
Octobre	537.5	0.7	0,001
Novembre	137.5	40.9	0,297
Décembre	130.0	56.1	0.431
Totaux	3149.4	242.7	0,077
1856.			
	mc.	mc.	
Janvier	373.8	84.7	0,226
Février	97.5	34.8	0,356
Mars	127.5	44.9	0,352
Avril	455.0	34.2	0,075
Mai	1281.3	60.8	0,047
Juin	456.3	113.1	0,247
Juillet	62.5	0.0	0,000
Août	632.0	0.0	0,000
Septembre	873.0	0.0	0,000
Octobre	112.5	0.0	0,000
Novembre	606.3	12.6	0,020
Décembre	511.3	27.4	0,053
Totaux	5589.0	412.5	0,073

Une autre pièce, peu éloignée de la précédente, cultivée d'une manière analogue, mais recevant, je crois, un peu d'eau des terrains supérieurs, a donné les résultats consignés dans le tableau ci-après :

MOIS ET ANNÉES.	EAU de pluie tombée.	EAU écoulée par les drains.	RAPPORT de l'eau écoulée à l'eau tombée.
1856.			
	mc.	mc.	
Janvier	373.8	87.7	0,234
Février	97.5	45.3	0,464
Mars	127.5	73.0	0,572
Avril	455.0	39.5	0,086
Mai	1281.3	104.3	0,081
Juin	456.3	173.1	0,379
Juillet	62.5	0.0	0,000
Août	632.0	0.0	0,000
Septembre	873.0	0.0	0,000
Octobre	112.5	0.0	0,000
Novembre	606.3	17.3	0,028
Décembre	511.3	93.5	0,182
Totaux	5589.0	633.7	0,113
1857.			
	mc.	mc.	
Janvier	473.5	409.0	0,863
Février	97.5	72.9	0,747
Mars	430.0	112.0	0,260
Avril	555.0	146.4	0,263
Mai	345.0	0.3	0,001
Juin	644.8	0 0	0,000
Juillet	135.0	0.0	0,000
Août	442.5	0.0	0,000
Septembre	921.2	0.0	0,000
Octobre	362.5	0.0	0,000
Novembre	117.5	0.0	0,000
Décembre	143.8	0.0	0,000
Totaux	4668.3	740.6	0,158

D'après ces chiffres, la moyenne des rapports de l'eau écoulée par les drains à l'eau tombée a été de 0m,077 pour la première pièce pendant les dix derniers mois de 1855, et de 0m,073 pour l'année 1856. Dans la seconde pièce ce rapport a été 0m,113 en 1856, et 0m,158 en 1857.

Mais les moyennes sont le résultat de chiffres mensuels très-différents les uns des autres. Ainsi, tandis qu'en janvier 1857, les drains ont écoulé plus de 86 p. 100 de l'eau tombée sur la seconde pièce, ils n'ont point coulé pendant les mois d'été pour des volumes d'eau tombés plus considérables que ceux fournis par la pluie en janvier.

Si l'on étudie attentivement le livre d'observations journalières dont les tableaux précédents ne sont que le résumé succinct, ou mieux encore si l'on examine les courbes indiquant les volumes d'eau tombée et écoulée par jour, que l'espace ne permet pas de reproduire ici, on se rend facilement compte de ces différences.

Lorsque la terre est sèche au moment d'une pluie, l'eau est retenue par le sol et ne s'écoule pas par les drains. Au contraire, si le sol est déjà très-mouillé, l'addition d'une quantité d'eau même assez faible peut déterminer l'écoulement. En un mot, pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les pluies initiales le rapport de l'eau écoulée à l'eau tombée est nul ou très-faible ; et pour les pluies non initiales ce rapport est d'autant plus grand que l'évaporation et l'absorption souterraine ont été moindres depuis la pluie précédente.

La répartition des pluies et des sécheresses exerce donc sur le rapport que nous considérons une influence beaucoup plus grande que l'abondance même de ces pluies.

Un drainage ne commence pas à couler avant que le terrain qui le recouvre ne renferme une certaine masse d'eau, déterminée par son hygroscopicité, c'est-à-dire par sa nature propre, et dont la mesure est un des éléments les plus utiles à connaître pour caractériser un sol arable.

Les courbes des eaux tombées et écoulées par le drainage, fournissent un autre renseignement d'un grand intérêt pratique, c'est le temps qui s'écoule entre la pluie qui détermine l'écoulement et le commencement de cet écoulement. Ce temps est variable avec la nature du sol, et pour un même sol avec son degré d'humidité au commencement de la pluie, en général il varie de six heures à quarante-huit heures. Plus le sol est rétentif et plus l'écoulement d'un drainage est prolongé et régulier, mais chaque période isolée d'écoulement présente toujours un maximum ordinairement moins éloigné de l'origine de l'écoulement que de sa fin, la courbe d'écoulement s'élève plus rapidement qu'elle ne s'abaisse.

En résumé, si l'on considère une longue période de temps, il résulte des expériences que l'on vient de rapporter et de plusieurs autres trop longues à citer, que le rapport des eaux écoulées par les drains aux eaux de pluies tombées à la surface des terres peut varier, comme limites extrêmes, de $0^m,05$ à $0^m,80$.

La position de la nappe d'eau souterraine dans les terrains drainés dépend de la nature du sol, comme il est facile de le prévoir et comme l'ont vérifié d'ailleurs plusieurs observateurs. La surface de cette nappe d'eau présente une forme convexe dont les points les plus élevés se trouvent au milieu de l'intervalle des drains. Les expériences de cette nature sont faciles à faire ; on enfonce des tubes verticalement dans le sol, suivant des directions perpendiculaires à celle des lignes de drains, et l'on relève chaque jour la hauteur de l'eau dans ces tubes. Il résulte de diverses observations que la pente moyenne de la nappe d'eau vers les drains varie de $0^m,008$ à $0^m,130$ par mètre suivant la nature plus ou moins retentive du sol. Cette pente varie du reste dans le même terrain avec la plus ou moins grande quantité d'eau restant à écouler ; c'est-à-dire qu'elle atteint son maximum peu après le commencement de l'écoulement, puisqu'elle diminue successivement avec l'intensité de l'écoulement lui-même, et se confond enfin sensiblement avec l'horizontale quand les eaux cessent de sortir par les bouches des drains. — La discussion attentive d'observations de cette espèce donnerait, sur le jeu des eaux à l'intérieur des terres, des renseignements pratiques fort intéressants.

Du reste, s'il est impossible, quant à présent, de fixer *a priori* la quantité d'eau qui traversera un sol donné dans un temps déterminé, et par conséquent de fixer scientifiquement le diamètre minimum d'un drain destiné à l'assainissement d'une surface connue, on peut au moins facilement démontrer que les plus petits tuyaux adoptés dans la pratique sont capables d'écouler, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, non-seulement la quantité d'eau qui arrive jusqu'à eux, mais encore la masse entière de pluie qui peut tomber sur la surface qu'ils doivent assainir. Ainsi, par exemple, on reconnaît facilement par le calcul qu'un tuyau de drainage de $0^m,03$ de diamètre, de 100 mètres de longueur, et ayant seulement 0,003 de pente, destiné à desservir une zône de 45 mètres de largeur, pourrait débiter, en quarante heures seulement, toute l'eau versée sur la surface à laquelle s'étend son action, par un orage qui donnerait près de $0^m,05$ de hauteur d'eau, ce qui répond à une pluie très rare dans nos climats.

Néanmoins, il ne faudrait pas croire, comme l'affirment quelques personnes, que les tuyaux de drainage sont toujours trop larges et que l'on ne saurait assez réduire leur diamètre. Indépendamment en effet de la facilité avec laquelle de trop petits tuyaux peuvent s'engorger, on a vu des drains couler à gueule bée, ce qui indiquait qu'ils ne pouvaient débiter assez vite toute l'eau qui leur arrivait. Ce dernier fait est du reste assez rare, et toutes les expériences faites jusqu'à présent établissent, comme le raisonnement, que dans les circonstances ordinaires des tuyaux de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre intérieur suffisent parfaitement quand la largeur et l'écartement des lignes n'excèdent pas les limites que nous avons indiquées dans les articles précédents.

6. *Effets et théorie du drainage.*

Tous les agriculteurs connaissent les inconvénients d'un sol imbibé d'eau stagnante, et comprennent l'intérêt que l'on a, sous tous les rapports, à donner à cette eau surabondante un moyen régulier d'écoulement, sans cependant produire une dessiccation complète, aussi funeste qu'une trop grande humidité ; mais quelques explications sont nécessaires pour faire concevoir comment le drainage des terres peut atteindre ce double but, et pour répondre à quelques objections qui se présentent tout d'abord à l'esprit, quand on étudie pour la première fois les procédés de l'art du drainage. Les expériences sont encore peu nombreuses, et la théorie laisse encore beaucoup de faits sans explication. Cet état d'imperfection de la science rendrait nécessaires de longs développements qui ne sauraient trouver place ici ; on se bornera aux points les plus importants.

On a vu que la germination des graines exige, pour se produire de la manière la plus satisfaisante, une certaine température et le concours de l'air et d'une humidité convenable. Les mêmes conditions sont nécessaires au développement des racines et à l'exercice des fonctions nutritives de la plante entière. Examinons donc d'abord comment la constitution même du sol, considérée seulement au point de vue physique, se prête à la réalisation de ces conditions et le rôle que l'eau peut jouer dans le phénomène, indépendamment de son action chimique.

Considéré en général, le sol arable se compose de particules plus ou moins grosses, depuis les pierres et les graviers jusqu'à la poussière la plus impalpable. Ces diverses particules, en raison de leur variété de forme et de grosseur, ne sauraient être en contact intime, de sorte qu'il existe entre elles une série de vides communiquant les uns avec les autres et formant de véritables canaux non interrompus. Mais examinées isolément, les diverses particules qui composent la terre sont elles-mêmes plus ou moins poreuses, de sorte que dans un terrain donné existent toujours deux séries de petites cavités, les unes *intérieures* aux particules constituantes du sol, les autres *extérieures* à ces particules et produites par l'ensemble des vides laissés entre elles. Les fig. 62, 63 et 64, sans être l'image exacte, mais amplifiée, d'une terre donnée, aideront cependant à saisir notre explication, et permettront de concevoir le rôle de l'eau dans ces différents ordres de cavités. Si le sol est parfaitement sec (fig. 62), tous les pores intérieurs des particules et les vides formant canaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laissés entre elles, sont naturellement remplis d'air. La graine, ou les racines des plantes, sont parfaitement approvisionnées de ce gaz, mais tout à fait privées d'eau. Dans la figure suivante, au contraire, les pores et les canaux sont remplis d'eau, indiquée par la teinte noire, qui a pris la place de l'air. Le sol est *très mouillé*, et les plantes aquatiques pourraient seules y prospérer. Dans la fig. 64, l'eau n'existe plus que dans les pores et les canaux sont remplis d'air. La graine se trouve alors dans les conditions les plus favorables; elle est en contact à la fois avec l'air et avec l'eau ; le sol est alors *humide*, mais il n'est pas *mouillé;* c'est l'état le plus favorable à la végétation, la terre paraît alors imbibée d'eau, mais elle s'écrase sans faire pâte entre les mains.

La fig. 65 permet de comprendre un autre état du sol, malheureusement trop fréquent : après une grande pluie, ou par toute autre circonstance, les particules du terrain se sont agglomérées les unes aux autres et forment des mottes plus ou moins volumineuses. Les pores de ces mottes contiennent de l'eau, mais les canaux sont oblitérés et l'air ne peut plus traverser la masse. L'eau elle-même est en quelque sorte devenue inutile, puisque les racines ne peuvent pénétrer ces mottes, qui ne diffèrent de la pierre que parce qu'elles contiennent de l'eau. La pulvérisation de la terre par les opérations mécaniques de la culture fait cesser ce fâcheux état de choses, et l'on conçoit dès lors, sous le rapport seulement qui nous occupe, toute l'importance, pour la végétation, d'une parfaite division du sol par les opérations de labourage et autres dont il sera question plus loin (chapitre IV).

La considération abstraite de ces quatre états du sol permet de se rendre assez nettement compte d'un certain nombre de phénomènes. En y réfléchissant, on comprend, par exemple, que du rapport des pores aux canaux résultent la plupart des différences physiques constatées dans les propriétés des sols, par rapport à l'eau. Cherchons à tirer de ces considérations quelques conclusions pratiques

Fig. 64.

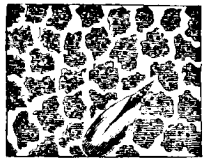
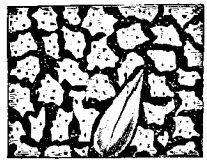


Fig. 63



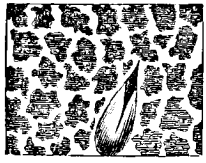


Fig. 62



Fig. 65.

Le premier cas est celui de l'extrême sécheresse; il n'y a pas à l'examiner maintenant. Si l'on ajoute de l'eau à un sol dans cet état, elle pénétrera dans les canaux, et de là, par suite de l'attraction capillaire, dans les pores. De sorte que si le liquide n'arrive qu'en proportion convenable, les canaux se videront d'eau et se rempliront d'air, et on aura le sol humide de la fig. 64. Si, au contraire, l'eau arrive en excès,

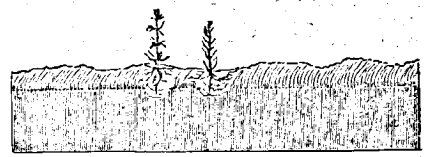
après avoir rempli les pores, elle remplira les canaux et la terre sera mouillée (fig. 63); c'est l'état des terres non drainées, soit artificiellement, soit naturellement par leur position sur un sous-sol perméable.

Cela posé, l'action, sur un terrain mouillé, d'une tranchée garnie d'un tuyau d'écoulement est facile à concevoir : l'eau contenue dans les canaux ou fissures du sol, sollicitée par l'action de la pesanteur, s'écoulera dans le drain par ces canaux eux-mêmes, tandis que l'eau des pores, retenue par une action capillaire énergique, n'obéira point à l'action de la pesanteur et restera dans le sol; de sorte que le drainage peut empêcher une terre d'être mouillée sans lui ôter sa fraîcheur.

On peut se rendre compte, d'après ce qui précède, de la hauteur à laquelle le plan d'eau, dans les canaux capillaires du sol, s'arrêtera dans un champ drainé. Il est clair, en effet, que le niveau de cette eau stagnante sera supérieur à celui du drain d'une quantité égale à la surélévation produite par la force capillaire, et que cette hauteur s'accroît, en s'éloignant du drain, d'une quantité égale à la pente nécessaire pour assurer l'écoulement de l'eau dans les fissures, eu égard au frottement qu'elles opposent au mouvement du liquide.

Les deux fig. 66 et 67 feront mieux concevoir qu'une longue explication la différence qui existe entre un champ drainé et celui qui ne l'est pas. Dans ce dernier (fig. 66), le plan d'eau est assez élevé pour gêner le

Fig. 66.



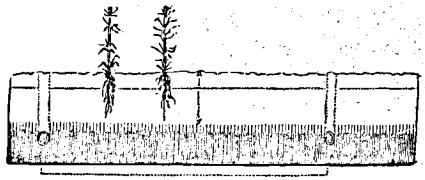


Fig. 67.

développement des racines des végétaux et faciliter, par l'ascension capillaire du liquide, une évaporation rapide, et, par suite, un refroidissement notable à la surface du sol. Dans le terrain drainé, au contraire (fig. 67), le plan de l'eau stagnante et celui de l'eau élevée par capillarité sont assez abaissés pour que les inconvénients précédents ne se produisent pas, et que les racines puissent prendre tout leur développement.

Dans tous les terrains sujets à souffrir d'un excès d'eau, même passager, le drainage rendra donc cet immense service de faciliter la division du sol, par les labours ou autrement, en empêchant la terre de garder l'excès d'eau qui la transforme en pâte, et fait que l'action des instruments de culture, bien loin d'accroître la perméabilité du terrain, ne sert qu'à le transformer en mottes plus compactes et plus dures. Ces mottes se gercent par le dessèchement et se divisent en fragments plus ou moins volumineux, mais incapables d'absorber l'humidité atmosphérique, et forment pendant l'été des sols brûlés. Le drainage, destiné à enlever l'excès d'eau, assure donc aussi, jusqu'à un certain point, l'humidité des terres.

RERUS - Recherche & Classification numérique

On se demande souvent comment des canaux placés à une grande profondeur sous des sols argileux, compactes et imperméables, peuvent recevoir les eaux qui tombent à la surface; comment, en un mot, de pareils terrains acquièrent par le drainage une porosité relative qui paraissait opposée à leur constitution. La nature même de l'argile explique ce résultat. Quand cette espèce de terre est humide, elle forme une masse homogène compacte; mais quand elle se dessèche, elle se fendille d'elle-même, et les fissures produites, communiquant les unes avec les autres, se ramifient en tous sens et donnent à la terre une véritable porosité. Or, quand on ouvre une tranchée dans une masse argileuse et que l'on place des tuyaux ou des pierres dans cette tranchée, l'argile, qui forme les parois du couduit, se trouve en contact avec l'air, se dessèche partiellement et se fendille jusqu'à une certaine profondeur. L'action ainsi commencée s'étend ensuite de proche en proche, à une plus ou moins grande distance, dans toute la masse, chaque fissure déterminant l'assèchement des parties qu'elle avoisine et déterminant la formation de nouvelles fissures. La marche progressive de cette action de fendillement se manifeste clairement par l'accroissement successif du produit de l'écoulement des drains pendant les premiers mois, et quelquefois même pendant les premières années de leur formation, aussi bien que par les modifications et l'amélioration continue de la nature du sol.

L'accroissement de porosité du sol et son assainissement sont les résultats immédiats de l'opération du drainage; mais de ces premiers résultats découlent d'importantes conséquences et des phénomènes consécutifs non moins intéressants, au point de vue physique et chimique de la végétation.

L'évaporation de l'eau à la surface du terrain abaisse considérablement sa température, par l'absorption de la chaleur latente nécessaire à la vaporisation. La formation d'un seul kilogramme de vapeur enlève assez de chaleur à 250 kil. de terre pour abaisser de 5° leur température. D'un autre côté, pendant la plus grande partie de l'année, la température de l'eau de pluie au moment de sa chute, ou au moins après avoir traversé la couche la plus superficielle du terrain, est supérieure à la température moyenne de la masse du sol arable. On comprend dès lors qu'en diminuant l'évaporation à la surface et en obligeant l'eau de pluie à pénétrer profondément dans le sol aussitôt après sa chute, on augmente la température de ce sol, et de la chaleur que lui communique l'eau et de celle que lui aurait enlevée l'évaporation. Or, c'est là précisément le double effet que produit le drainage, puisque, d'une part, les canaux d'assèchement attirant à eux, aspirant en quelque sorte, l'eau de la masse terreuse obligent l'eau de pluie à la traverser rapidement, et que, d'un autre côté, en abaissant le niveau de l'eau stagnante à une profondeur supérieure à l'ascension capillaire, il diminue dans une forte proportion l'évaporation produite à la surface. Ce ne sont point là, du reste, de simples inductions théoriques : des expériences rigoureuses et l'ensemble des phénomènes agricoles établissent d'une manière positive l'élévation de température du sol produite par le drainage. Quelques faits suffiront pour fixer sur ce point l'attention.

Nous citerons d'abord, sans rappeler les expériences de M. Charnock, déjà mentionnées, quelques essais scientifiques de M. Parkes, exécutés dans un marais tourbeux nommé le *Red-Moss*. Le terrain était parfaitement découvert, de sorte que rien ne pouvait troubler les observations; il n'existait d'ailleurs aucune eau de source de nature à modifier la température du sous-sol. Toutes les précautions, en un mot, semblaient avoir été prises pour assurer l'exactitude des résultats; malheureusement les expériences ont été peu nombreuses. M. Parkes les résume de la manière suivante : La température du sol naturel non drainé était de 7°,7, depuis 0m,30 jusqu'à 0m,76 de profondeur. Le thermomètre, enfoncé à 0m,18, a constamment marqué 8°,3. Le thermomètre, enfoncé à 0m,78 dans la terre drainée, marqua jusqu'à 9°,0 et semblait encore s'élever; le thermomètre, enfoncé à 0m,18, s'éleva à 18°,8 après un orage, indiquant ainsi un excès de 9°,8 sur l'autre thermomètre; et, sur trente-cinq observations, il a donné une surélévation de 5°,6. Le détail des observations de M. Parkes établit, du reste, un autre fait non moins important, ce sont les variations énormes de température qui ont lieu d'une époque à l'autre dans un terrain drainé.

M. Modden évalue à 6° 1/2 la différence moyenne de température entre deux sols semblables, l'un drainé et l'autre ne l'étant pas. Cette différence répond à une altitude de 594 mètres environ.

Des effets physiques du drainage que l'on vient d'indiquer découlent, au point de vue chimique, d'autres avantages : l'eau de pluie contient toujours de l'air, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque en dissolution. Ces divers agents exercent une action que l'on a déjà exposée, soit en concourant directement à l'alimentation végétale, soit en facilitant la désagrégation des éléments du sol et les amenant à l'état soluble, qui les rend assimilables par les organes des végétaux; de sorte que le drainage, en amenant la terre à l'état de sécheresse convenable au développement des racines, leur fournit en même temps l'accroissement de nourriture que leur refuse un sol impénétrable aux gaz et constamment imbibé d'eau stagnante. En résumé, les opérations de drainage produisent le rapide écoulement de l'eau de pluie à travers le sol devenu poreux, et elles abaissent le plan d'eau stagnante à la profondeur la plus convenable pour le succès des diverses cultures. De ces deux premiers faits résulte un accroissement notable de la chaleur du sol, et un accroissement énorme de sa fertilité par l'introduction des gaz et des substances les plus nécessaires au développement de toutes les récoltes. Quelques exemples authentiques, choisis entre mille, de résultats obtenus en grand suffiront pour établir la réalité de ces assertions.

De fortes argiles d'Écosse, citées par M. Smith, où les navets ne réussissaient jamais et où les pommes de terre manquaient souvent, produisent maintenant régulièrement ces deux récoltes, que l'on fait alterner avec la culture du froment. Dans les terres fortes et marécageuses du nord de l'Écosse, on ne parvenait presque jamais à recueillir les récoltes, et la nielle faisait de tels ravages que l'on renonçait à la culture des céréales. Dans les terres drainées cette maladie disparaît, et les récoltes se font sans difficulté. M. Neilson possédait un champ où il ne pouvait obtenir plus de trois tonnes de navets par an; ce terrain drainé en fournit maintenant plus de vingt-sept.

Le drainage exerce sur le climat des contrées où il est exécuté sur une échelle un peu considérable les résultats les plus avantageux. Ainsi la ferme de Deanston, de 200 acres, sur laquelle M. Smith fit ses premiers essais, était très fréquemment plongée dans les brouillards les plus épais. Ces phénomènes locaux ont disparu et on ne souffre plus que des brouillards qui s'étendent sur tout le pays.

Un terrain marécageux existait autrefois près de Birkenhead; tous les soirs il était couvert d'un brouillard des plus épais, un drainage profond, poussé à 2m,13 de profondeur, a fait disparaître ces brouillards. La valeur de ce terrain situé près de cette intéressante cité, appelée depuis quelques années à un si prodigieux développement, a plus que *quadruplé* de valeur par cette opération.

Les épidémies qui attaquaient périodiquement les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

races ovines et bovines sur un grand nombre de fermes disparaissent rapidement par l'effet du drainage. C'est un des résultats les plus constants de cette opération, que l'on applique maintenant dans ce seul but à tous les prés et terrains où l'on élève des animaux rares ou précieux. La santé des hommes éprouve ces mêmes effets bienfaisants du drainage des champs sur une certaine étendue. Dans beaucoup de localités, le nombre des fièvres intermittentes et autres maladies de même espèce a été réduit, en un an, dans le rapport de 100 à 16.

Les arbres forestiers se développent beaucoup mieux sur les terres drainées que sur celles qui ne le sont pas. Les arbres à fruit surtout éprouvent de cette opération un avantage considérable.

On trouvera plus loin, sur les résultats financiers du drainage, quelques renseignements qui nous dispensent de multiplier davantage les exemples des avantages généraux qu'il procure.

7. *Résultats financiers des travaux de drainage.*

Prix des travaux. Le prix des opérations de cette nature doit évidemment varier avec une foule de circonstances, et il est impossible de répondre, par un seul chiffre, à cette question si fréquemment répétée : quelle est la dépense nécessaire pour drainer un hectare de terre?

On dira seulement que le prix du drainage varie aujourd'hui en France de 160 à 300 fr. par hectare. Le prix doit toujours être réglé, avec les entrepreneurs, au mètre courant de drain, sans quoi en écartant les lignes outre mesure ils diminueraient la dépense et pourraient compromettre le résultat de l'opération.

Bénéfices produits par le drainage. On estime comme résultat moyen et général que les sommes dépensées en travaux de drainage rapportent 10 pour 100 net, sans tenir compte des facilités que donne à la culture un sol assaini, de l'accroissement de la salubrité, etc. Cette estimation est plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. On sait d'ailleurs que beaucoup de fermiers acceptent avec empressement de payer 5 p. 100 et plus d'intérêt pour les sommes dépensées en drainage par les propriétaires, ce qu'ils ne feraient pas si les travaux ne devaient leur rapporter bien au delà de cet intérêt. Les exemples de fermiers qui drainent leurs terres à leur compte, ou moyennant une faible subvention, quoique jouissant seulement d'un bail assez court, ne sont pas rares.

L'estimation de 10 pour 100 d'intérêt de la dépense est de beaucoup au-dessous de la vérité pour les terres de bonne qualité convenablement traitées : elle n'est trop forte que pour quelques terres médiocres. Dans beaucoup de cas, les dépenses faites en drainage rapportent jusqu'à 25 pour 100. Ces énormes bénéfices cessent du reste d'étonner quand on tient compte des avantages de toutes sortes qui résultent d'un bon drainage sur une terre qui en a besoin. La facilité seule de labourer plus à loisir, pendant une plus grande partie de l'année, permet de réduire le nombre de chevaux nécessaire à la culture.

Les estimations officielles portent à 30 pour 100 de la dépense, en moyenne, la plus-value annuelle des travaux.

Depuis la publication de cet article dans la deuxième édition de cet ouvrage, il a été drainé en France environ 120,000 hectares de terrains, moyennant une dépense évaluée à 35 millions environ. Ces travaux se multiplient tous les jours davantage, et il n'est plus douteux maintenant que le drainage ne s'étende avec le temps à plusieurs millions d'hectares dans notre pays.

Législation. Une loi du 10 juin 1854 donne aux propriétaires le droit de faire passer au besoin leurs drains dans les propriétés voisines moyennant une indemnité. L'application de cette loi ne présente aucune difficulté, et les arrangements nécessaires se font presque toujours à l'amiable.

Deux autres lois, des 17 juillet 1856 et 28 mai 1858 autorisent le gouvernement à prêter aux particuliers, pour des travaux de drainage. Le montant du prêt est remboursé en vingt-cinq années, intérêt et amortissement compris, moyennant une annuité de 6,4 p. 100. Rien de plus simple, en pratique, que la marche à suivre pour réaliser un prêt pour le drainage. (Voir nos INSTRUCTIONS SUR LE DRAINAGE.)

En résumé, la pratique de la loi sur les prêts pour le drainage ne présente pas les difficultés et les complications dont on s'est effrayé lors de son apparition. Elle serait certainement susceptible d'améliorations considérables, mais telle qu'elle est, les propriétaires, les syndicats et les communes peuvent retirer de son application de très-grands avantages.

Deuxième section. — Desséchements.

On rencontre sur différents points du globe des contrées quelquefois très-étendues, soit constamment, soit périodiquement recouvertes d'eau, qu'il est possible, par des travaux de desséchement convenablement dirigés, de transformer en terres cultivables, souvent d'une grande valeur.

Les travaux nécessaires aux desséchements d'une grande importance présentent de sérieuses difficultés. Ils se compliquent presque toujours de questions contentieuses et administratives les plus complexes, et exigent à la fois le concours de la science du jurisconsulte et de toutes les ressources de l'art de l'ingénieur. Il ne saurait être question dans cet article d'exposer en détail tout ce qui se rapporte au problème compliqué des desséchements. On essayera seulement d'indiquer l'esprit des méthodes à employer. Quelques exemples choisis avec soin compléteront d'ailleurs les explications générales.

Les marais proprement dits occupent en France une étendue que l'on évalue à 600,000 hectares au moins. Les départements qui en possèdent le plus sont la Charente, les Deux Sèvres, les Bouches-du-Rhône, etc.

Mais on en rencontre aussi de fort étendus dans d'autres parties de la France, et bien peu de départements en sont complétement débarrassés.

La variété des lieux où se trouvent des marais indique assez la diversité des causes auxquelles on doit attribuer l'état de ces terrains. L'examen attentif de ces causes doit précéder toute étude de desséchement, car il indique presque toujours la nature des procédé à adopter pour faire cesser l'état de choses auquel il faut remédier. Les développements donnés dans le cours de cette section permettront d'apprécier l'importance de cette opération, sur laquelle nous appelons particulièrement l'attention de nos lecteurs.

I. ÉTUDES PRÉALABLES A TOUTE OPÉRATION DE DESSÉCHEMENT.

Dessécher un marais, c'est le débarrasser des eaux qui séjournent à sa surface et donner un écoulement régulier à celles qui y arrivent. Les marais, considérés d'une manière générale, peuvent se partager en deux grandes classes.

La première comprend les marais où la disposition des lieux est telle qu'il existe un point inférieur par lequel le liquide peut trouver une issue permanente ou périodique; le problème consiste alors dans la détermination des emplacements, pentes et sections des canaux émissaires.

La seconde se compose des marais dont la surface,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étant inférieure à tous les points environnants, forme une cuvette d'où le liquide ne s'échappe que lorsqu'il est arrivé à une hauteur déterminée. On ne peut l'extraire, dans ce cas, qu'au moyen de machines d'épuisement ou de puits absorbants.

Certains marais appartiennent à la fois aux deux grandes divisions précédentes, c'est-à-dire qu'ils sont en partie desséchables par écoulement, et que l'opération ne peut se terminer qu'à l'aide des machines. Le desséchement des marais de cette espèce nécessite l'emploi des méthodes applicables aux deux premiers cas, qu'il est dès lors indispensable d'étudier successivement.

Dans tous les travaux de desséchement, sauf les cas particuliers où des circonstances étrangères à l'opération elle-même obligeraient de déroger à la marche générale, on doit se proposer :

1° D'éloigner de la surface des marais les affluents extérieurs;

2° De purger cette surface elle-même des eaux en excès : ou au moyen de rigoles d'assèchement conduisant les eaux qui s'y rassemblent au point de sortie : ou en expulsant les eaux de la cuvette au moyen d'une force motrice quelconque, dont on conserverait tout ou partie pour chasser les eaux d'orage que l'évaporation et les infiltrations n'absorberaient pas assez vite lorsque la cuvette aurait été une première fois vidée.

Pour le calcul des différents éléments de ces travaux, il faut s'être rendu compte :

1° De l'étendue du bassin du marais et des bassins secondaires qui y aboutissent;

2° De la quantité de pluie qui tombe dans l'année, dans les diverses saisons, et de celle qui peut tomber au maximum dans un jour donné;

3° De la proportion suivant laquelle cette eau se répartit dans les divers bassins entre l'évaporation, l'infiltration dans le sol, et l'écoulement à la surface, ainsi que du temps nécessaire à cet écoulement;

4° Du débit des sources et des cours d'eau pérennes, soit à leur étiage, soit pendant leurs plus grandes crues, et de la détermination du volume d'eau que peuvent fournir pour un jour d'orage les lits habituellement à sec.

Détermination de l'étendue des bassins. On peut définir le périmètre d'un bassin, l'ensemble des points à partir desquels l'eau qui tombe sur un plateau peut couler indifféremment dans ce bassin ou le bassin voisin. La ligne du périmètre se détermine par des points principaux qu'on reconnaît immédiatement sur le terrain, lorsque les plateaux voisins sont peu étendus et à pentes assez fortes, ou au moyen des nivellements transversaux des faîtes. Le point de la courbe de nivellement où la tangente est horizontale est celui qu'on cherche. En réunissant sur une carte ces emplacements par des lignes, on a le contour et par conséquent la superficie du bassin. Les cartes topographiques faites avec soin font immédiatement connaître les lignes de faîte dont il s'agit ici. On sait que les positions des lignes de faîte et de thalweg obéissent à des lois générales assez simples dont la connaissance, inutile à rappeler maintenant, facilite singulièrement les études sur le terrain.

Il importe d'ailleurs de remarquer ici que les eaux qui tombent à la surface d'un bassin ne sont pas toujours les seules qui y arrivent : à l'affleurement des couches perméables il peut en effet jaillir des sources provenant des eaux d'infiltration, venues de bien plus loin que les limites apparentes du périmètre. Ainsi, dans son travail sur les marais Pontins, M. de Prony annonce qu'en comparant le volume d'eau pluviale qui devient courante dans ce bassin, et doit s'échapper annuellement par l'émissaire unique qui lui donne passage, avec le volume total du liquide effectivement débité par cet émissaire, il a reconnu que celui-ci était à peu près le double du premier. Il en conclut naturellement que les sources débitent une quantité considérable d'eau venant des infiltrations produites dans les bassins voisins, et amenées dans celui des marais par la déclivité de la couche imperméable qui s'étend beaucoup au-delà de la crête des versants extérieurs.

De la quantité et de la répartition des eaux de pluie dans l'année. On a réuni dans le chapitre II, troisième section, un grand nombre de documents relatifs à ce sujet; il serait inutile de les reproduire ici. Mais il ne suffit pas de connaître la masse générale d'eau qui peut tomber en une saison, il faut tenir compte de la valeur des grandes pluies ordinaires. Pour se mettre à l'abri de toutes les pluies d'orage, dans toutes les circonstances possibles, il faudrait évidemment établir les calculs en tenant compte de la plus grande hauteur d'eau tombée en douze heures. Mais on arriverait ainsi à des travaux d'une importance trop considérable, et il suffit de baser les évaluations, comme on le verra plus loin, sur la hauteur d'eau tombée pendant un orage d'intensité moyenne. Ainsi, pour ne citer en ce moment qu'un seul exemple, bien qu'on ait observé à Rome des orages versant à la surface du sol une couche d'eau de $0^m,12$ d'épaisseur, M. de Prony a calculé les débouchés des différents émissaires des marais Pontins, en admettant que la hauteur d'eau tombée pendant un orage resterait comprise entre $0^m,04$ et $0^m,07$.

De la proportion suivant laquelle l'eau des pluies se répartit dans les divers bassins entre l'évaporation, l'infiltration dans le sol et l'écoulement à la surface. Les eaux qui tombent à la surface du sol se partagent en trois parties. La première est enlevée par l'évaporation ou la végétation; la seconde pénètre dans le sol par infiltration à une plus ou moins grande profondeur, et forme quelquefois, à la surface des couches imperméables, les nappes aquifères qui alimentent les sources situées plus loin à un niveau inférieur; la troisième coule à la surface, et, par différentes rigoles, va rejoindre, dans un temps assez court, les ruisseaux qui se déchargent dans le marais.

On comprend quelle importance aurait, pour la question qui nous occupe, la détermination de la proportion suivant laquelle l'eau tombée se divise entre ces trois destinations. Malheureusement, il est impossible d'avoir à ce sujet des données générales et précises, et on est obligé, pour chaque cas particulier, d'avoir égard aux diverses circonstances locales, et d'évaluer cette répartition en tenant compte, le mieux qu'on peut, de ce qui a quelque influence sur elle.

L'état de la surface du sol et la composition géologique de ses couches supérieures sont évidemment les éléments les plus importants de cette détermination. Sur un sol boisé et couvert d'herbes, l'infiltration est généralement considérable, parce que l'eau préservée du vent et du soleil, et retenue par les plantes entre lesquelles elle s'introduit ne peut ni s'évaporer ni couler facilement à la surface. Sur un terrain découvert, au contraire, l'infiltration, toutes choses égales d'ailleurs, sera relativement peu considérable, et la plus grande partie du liquide s'écoulera pour aller gagner les thalwegs des ruisseaux, ou sera enlevée par l'évaporation que favorise alors l'action du vent et du soleil. Entre ces deux cas extrêmes, celui d'une surface couverte d'herbes où l'infiltration est prépondérante, et celui d'une surface aride et imperméable où elle est presque nulle, se placent naturellement une foule d'états intermédiaires qui font varier à l'infini les rapports des quantités d'eau enlevée par écoulement, par infiltration ou par évaporation. Mais l'état de la surface n'est pas le seul élément de la question : la nature du sol et du sous-sol, sa perméabilité plus ou moins-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grande exercent aussi une influence capitale sur l'écoulement de l'eau. Il est donc impossible de déterminer d'avance, et par une règle générale, le rapport des quantités d'eau tombées, évaporées et infiltrées; ce rapport varie d'un lieu à l'autre et ne peut être déterminé, dans chaque cas particulier, que par une longue série d'observations. Les résultats suivants montreront les différences qui existent à cet égard.

M. de Prony estime que, dans le bassin des marais Pontins, la quantité annuelle d'eau perdue par l'évaporation est égale aux $0^m,091$ de celle qui tombe. Ainsi, la moyenne d'un grand nombre d'années d'observations donnant $0^m,805$ pour la hauteur d'eau tombée annuellement, M. de Prony admettrait que la hauteur de l'eau, pouvant passer dans les canaux, sera de 0,724. Cependant les observations faites à Rome, sous le même climat, donnent $2^m,362$ pour la couche d'eau évaporée dans l'année, en dehors de l'influence de l'action solaire.

Pour justifier la différence de ces chiffres qui paraît établie arbitrairement, cet auteur fait observer que l'évaporation constatée dans les observatoires doit être bien plus considérable que l'évaporation effective sur des terrains bas, ombragés et abrités des vents; que la surface exposée à l'évaporation sur les marais, au lieu d'être constante, comme dans les observatoires, est très variable, et qu'elle est à son *minimum* lorsque la cause évaporatrice est à son *maximum*, et réciproquement.

Cette proportion « estimée d'après divers rapprochements qui portent sur des détails trop minutieux pour les rapporter » n'a pas d'ailleurs, dans sa pensée, besoin d'être rigoureusement établie, car il ajoute : « L'objet de cette évaluation est d'avoir un des éléments du calcul qui donne la balance de la recette et de la dépense à l'époque où le desséchement sera opéré et où les eaux, coulant dans des canaux réguliers, ne stagneront plus dans la campagne, le système de ces canaux devant être établi de manière à débiter l'eau que reçoit annuellement le bassin général, moins celle qui est enlevée par l'évaporation ou perdue par les infiltrations. Cette considération simplifie beaucoup le problème, et même une erreur dans sa solution ainsi envisagée ne tire pas à conséquence si elle est en moins, vu que la seule conséquence qui puisse en résulter est une légère augmentation dans la capacité des canaux. »

On a déjà donné, en parlant du drainage, quelques renseignements sur ce sujet; ils seront complétés par ceux que l'on trouvera dans la section suivante, à l'article des réservoirs d'irrigation. En réunissant ces diverses données, on se formera une idée assez nette de ce sujet.

L'absorption de l'eau par les terres exerce, sur la question qui nous occupe, une influence bien plus grande que l'évaporation. On ne possède pas sur ce sujet de résultats positifs, et on ne peut dès lors se laisser guider que par des analogies plus ou moins éloignées. M. de Prony, dans son projet de desséchement des marais Pontins, estime que l'eau absorbée par le sol du bassin de ces marais est égale à un tiers de celle qui tombe, et que cette quantité d'eau s'élève à un demi dans le bassin des marais d'Arles. Cette proportion doit évidemment varier avec la hauteur d'eau tombée.

En comparant le débit total annuel de la Seine au volume d'eau qui tombe sur le bassin de cette rivière et de ses affluents, on arrive au rapport 2/7. De sorte que 5/7 de l'eau tombée sont enlevés par l'absorption ou l'évaporation.

Le débit moyen annuel du Rhône est de 54,236 millions de mètres cubes, ou de 1,718 mètres cubes par seconde. La surface totale du bassin principal et des affluents de ce fleuve est de 927 myriamètres carrés. Le débit moyen annuel est égal aux 0,58 environ de la quantité d'eau tombée sur cette surface.

M. Vallès a fixé, par une discussion très complète de la question, cette proportion à 4/7 pour le bassin du lac de Grandlieu (Loire-Inférieure), de sorte qu'en admettant que l'épaisseur de la couche d'eau tombée pendant un orage d'intensité moyenne soit, dans cette localité, de $0^m,04$ en 24 heures, il y aura une couche de $0^m,023$ d'épaisseur absorbée, et une autre couche de $0^m,017$ seulement coulera sur le sol. Ces rapports dépendent évidemment de la nature du sol et de sa pente. Nous ne saurions assez répéter que les chiffres que nous citons n'ont rien d'absolu, mais semblent être compris, comme première approximation, dans une partie de la France, entre 4/7 et 5/7.

Ces renseignements sont d'ailleurs complétés par les données fournies ci-dessus (1re section) et par celles de la section suivante.

Du débit des sources et des cours d'eau par année, soit à leur étiage, soit pendant les plus grandes crues, et de la détermination du volume d'eau que peuvent fournir pour un jour d'orage les lits habituellement à sec. Le jaugeage des sources et des cours d'eau permanents s'effectue sans difficulté par les méthodes ordinaires de l'hydraulique (voyez ce mot), c'est-à-dire en formant un déversoir pour les très petits cours d'eau, et en employant, pour ceux d'une plus grande importance, soit le moulinet de Woltman, soit la méthode des flotteurs.

Mais la détermination du volume d'eau que peuvent fournir, après un jour d'orage, les lits des torrents ordinairement desséchés, ou les crues des cours d'eau permanents, présente plus de difficulté; voici la marche suivie pour arriver approximativement à cette détermination.

Désignons par a la surface du bassin, par h l'épaisseur de la tranche d'eau qui peut tomber en un jour d'orage sur la surface de ce bassin, et par $\frac{1}{n}$ le coefficient d'absorption, ou le rapport de l'eau perdue par infiltration à l'eau tombée. Soit enfin t, le temps en secondes employé par l'eau qui coule à la surface, pour s'accumuler en masses capables de produire des effets nuisibles. Il est évident que $\frac{n-1}{n}\,ah$ sera le volume d'eau coulant par jour; et $\frac{n-1}{nt}\,ah$ celui qui devra s'écouler par seconde par l'émissaire dont la section, pour satisfaire à cette condition, sera dès lors facile à calculer. Il paraîtrait naturel de prendre pour h la valeur de la plus forte pluie observée. Mais ce *maximum* est presque toujours énorme par rapport à la moyenne des *maxima* des pluies d'orage, et conduirait à donner aux canaux des dimensions très considérables et très coûteuses qui n'auraient d'utilité que pour un jour exceptionnel dans le courant d'un grand nombre d'années. Aussi les auteurs se sont-ils généralement accordés à s'arrêter pour h à la moyenne des *maxima*.

Ainsi dans les marais Pontins, quoique dans les observations faites à Rome une pluie d'orage tombée le 6 avril 1797 ait donné une hauteur d'eau de $0^m.126$, M. de Prony, dans son projet de desséchement, adopte-t-il pour h la hauteur de $0^m,06$.

Pour les marais d'Arles, bien qu'il soit tombé à Marseille, le 15 septembre 1772, en quatorze heures, une hauteur d'eau de $0^m,325$, et à Arles, le 4 octobre 1806, pendant douze heures, un prisme de $0^m,193$ d'épaisseur, le même auteur admet pour h une hauteur de $0^m,09$.

Enfin M. Vallès, dans son projet de desséchement du lac de Grandlieu, dans la Loire-Inférieure, fait $h = 0^m,04$, quoiqu'un orage de quatre heures ait donné

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à Nantes un prisme d'eau de 0m,217, et à Vatou un prisme de 0m,338.

La quantité t varie avec la conformation des lieux, leurs pentes plus ou moins abruptes, leur surface plus ou moins lisse, etc. Elle a été évaluée à 212,000 secondes pour les marais Pontins, à 691,200 secondes pour les marais d'Arles, et à 680,400 pour le lac de Grandlieu.

Enfin, la quantité $\frac{1}{n}$ dépend de la nature plus ou moins absorbante du sol. Et même, pour un terrain donné, elle doit varier avec l'état de siccité, de culture, de température où ce terrain se trouve chaque jour d'orage; cependant, pour s'arrêter à un chiffre, dans les exemples cités plus haut, on a admis pour $\frac{1}{n}$ les valeurs $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{4}{7}$.

Il semble assez naturel d'admettre que dans deux bassins dont les pentes seraient sensiblement les mêmes, les nombres de secondes nécessaires à l'accumulation des eaux seront en raison inverse des hauteurs d'eau s'écoulant à la surface, et proportionnels à la longueur du principal cours d'eau du bassin. De sorte qu'en désignant par t', a', h', n' des quantités analogues à t, a, h, n, et par l et l' les longueurs des cours d'eau principaux des bassins considérés, on aurait :

$$\frac{t}{t'} = \frac{l}{l'} \frac{\frac{n'-1}{n'} a'h'}{\frac{n-1}{n} ah},$$

équation dont on pourrait tirer t' si toutes les autres quantités étaient déterminées. Si les pentes des bassins étaient sensiblement différentes, cette formule cesserait d'être applicable. Il faudrait la remplacer par une autre trop compliquée pour être indiquée ici.

Après avoir évalué, par les considérations précédentes, l'étendue du bassin, la hauteur d'eau qui tombe annuellement ou pendant un jour d'orage sur ce bassin, la proportion de cette eau qui est absorbée par le sol ou entraînée par l'évaporation, et enfin le volume des sources et des eaux pérennes ou autres qui y affluent, on a, comme on va le voir, tous les éléments nécessaires à la rédaction des projets de desséchement, dont nous allons maintenant nous occuper.

II. Travaux de desséchement.

Canaux de ceinture. Quand il s'agit d'un marais que l'on ne peut dessécher qu'au moyen de machines, il est évident qu'il est indispensable de commencer par détourner de la surface du marais toutes les eaux extérieures, qui sans cela continueraient à y affluer, et ne pourraient en être extraites que par des procédés coûteux : dans les autres cas, cette obligation peut paraître moins nécessaire, puisque l'écoulement de ces eaux peut avoir lieu par le même point que celui des eaux du bassin lui-même. Cependant, plusieurs raisons portent en général à déverser les affluents extérieurs dans des canaux de ceinture situés en dehors du périmètre des marais.

D'abord la cause première de la formation des marais est généralement la difficulté d'écoulement due au peu de pente que présente la surface; imposer aux émissaires qui doivent la purger l'obligation de recevoir le volume total des eaux, c'est nécessairement les exposer aux mêmes causes qui ont produit l'état de choses qu'il s'agit de détruire.

Ensuite les bassins extérieurs présentent toujours des pentes bien plus considérables que le marais lui-même; les affluents arrivés à celui-ci tendent donc à y perdre considérablement de leur vitesse, à y déposer les matériaux qu'ils charrient, et, par conséquent, à y créer des atterrissements qui détruiraient promptement le régime régulier qu'on tend à établir.

Pour empêcher les crues de ces affluents de déborder sur les terres rendues à la culture, il faudrait les contenir dans des digues souvent fort élevées, qui feraient obstacle à l'établissement régulier des canaux d'asséchement proprement dits, ou leur creuser des lits larges et profonds sujets à de fréquents curages, et dont la construction serait très coûteuse.

D'autre part, en rassemblant les eaux du dehors dans des canaux extérieurs, dont il est facile, par conséquent, de maintenir le niveau au-dessus de la surface du marais, on se donne le moyen de les utiliser pour l'irrigation des nouvelles cultures; ce qui est souvent nécessaire, soit pour dessaler les terrains conquis sur la mer, soit pour communiquer au sol une fertilité qu'il ne pourrait avoir sans le secours de ce puissant moyen de fécondation. L'irrigation, en un mot, est dans beaucoup de cas le complément nécessaire d'un desséchement, et l'on doit, dès l'origine, prendre les mesures convenables pour que ce double but soit simultanément atteint.

Quels que soient, en résumé, la nature du marais à dessécher, et les procédés ultérieurs à employer pour cette opération, il convient donc, à moins de circonstances toutes spéciales, d'arrêter, dans des canaux de ceinture, toutes les eaux extérieures affluant dans le marais. Le tracé de ces canaux de ceinture résulte de la disposition des lieux. On doit chercher à déterminer leurs directions de manière à utiliser les lits déjà existants, et, dans tous les cas, à réduire autant que possible la dépense, tout en assurant la bonne exécution des travaux. Le tracé de ces canaux détermine, en général, leurs pentes en long, qui doivent être aussi fortes que possible, pour éviter les atterrissements, sans dépasser cependant les limites nécessaires à la conservation des ouvrages et les niveaux imposés par les besoins de l'irrigation ou d'autres services. Les pentes et le tracé étant déterminés par les considérations précédentes, la section de ces émissaires est facile à fixer, puisqu'il suffit d'introduire dans la formule ordinaire du débit (voyez HYDRAULIQUE) les quantités d'eau qu'ils doivent débiter par seconde dans les circonstances les plus défavorables. Ce volume d'eau se décompose en deux autres : celui des sources et des cours d'eau permanents déterminé par expérience, et que nous désignerons par p, et celui des eaux d'orages roulant à la surface du sol, égale, comme on l'a vu précédemment, à $\frac{n-1}{n} ah = q$. Si l'on pose, pour abréger $p+q=Q$, on aura pour déterminer la section du canal émissaire en un point où sa pente sera I par mètre, les relations

$$Q = \omega u$$

$$\frac{\omega}{\chi} I = Au + bu^2,$$

dans lesquelles :

u est la vitesse moyenne du liquide par seconde,
ω la section du canal;
χ le périmètre mouillé;
$a = 0{,}000024$;
$b = 0{,}000366$.

La quantité χ dépend de la forme de la section adoptée et peut se déterminer dans chaque cas particulier sans difficulté, de sorte que ces équations renferment tous les éléments nécessaires à la solution du problème.

La forme généralement adoptée pour la section d'un

FEERUS - Recherche & Classification numérique

canal est un trapèze dont les bases parallèles sont horizontales et dont les côtés ont une inclinaison qui dépend de la tenue des terres qui forment la berge. Cette inclinaison varie ordinairement entre 1 et 3 de base pour 1 de hauteur.

Quand il y a une différence très-notable entre le débit à l'étiage et le débit pendant les crues ou les pluies d'orage accidentelles, comme il y a intérêt à rassembler les eaux d'étiage dans un lit où elles puissent conserver une hauteur suffisante pour avoir un écoulement facile, on évase seulement à la partie supérieure le lit préparé pour l'étiage. De sorte que le profil de la section présente deux trapèzes superposés; l'excès de la base inférieur et du grand sur la base supérieure du petit, forme deux banquettes qui ne sont atteintes par les eaux qu'au moment des crues.

Dailleurs, comme on ne calcule les débouchés que pour les crues produites par les orages d'intensité moyenne, il peut arriver que les canaux soient insuffisants dans le cas d'orages extraordinaires; si l'inondation qui doit en résulter ne peut occasionner, d'après la disposition des lieux, que de faibles dommages, on ne tient pas compte de cette prévision. Dans le cas contraire, on peut établir à droite et à gauche, et à une certaine distance de l'axe du canal, des digues formant un nouveau lit majeur destiné à contenir ces débordements accidentels.

La nature et la forme des terrains à traverser doivent avoir une grande influence sur le choix de l'emplacement des canaux. Il faut éviter avec soin de les faire passer sur les parties tremblantes et présentant une grande profondeur de vase, qu'on rencontre fréquemment aux approches ou dans l'enceinte des marais sur des terrains spongieux ou compressibles, à travers des roches qui en rendraient l'ouverture extrêmement coûteuse, etc.; d'un autre côté, l'établissement des pentes convenables impose des conditions nouvelles qui doivent se coordonner avec les précédentes.

On connaît les cotes du point de départ et celles du point d'arrivée de chaque canal; on sait donc la hauteur de chute qu'on doit racheter par les pentes; celles que l'on adopte sont déterminées par la vitesse qu'on peut ou qu'on veut admettre. A l'époque des crues ou des orages, la plupart des affluents arrivent dans les canaux chargés de matières en suspension qu'ils laissent retomber en tout ou en partie, suivant que leur vitesse disparaît ou diminue; il est donc très important, pour éviter les atterrissements, que la vitesse des eaux, après leur arrivée dans les canaux, soit constante, ou même croissante jusqu'à leur sortie.

Il paraîtrait naturel, pour satisfaire à cette condition et à celle d'un débit plus rapide des eaux, de réunir les deux points extrêmes par la ligne la plus directe, lorsque la disposition des lieux s'y prête; mais il est d'autres considérations qui imposent à la vitesse qu'on doit admettre une limite supérieure.

Il faut éviter que la vitesse de l'eau, au fond des canaux, devienne assez grande pour dégrader leurs lits. On a dressé le tableau suivant des limites supérieures de la vitesse que l'eau peut prendre dans les canaux, selon la nature de leur fond, sans les dégrader.

Nature du fond.	Limites de la vitesse. au fond.	moyenne.
	m.	m.
Terres détrempées, brunes. . . .	0,076	0,101
Argiles tendres.	0,152	0,202
Sables.	0,305	0,406
Graviers.	0,609	0,810
Cailloux.	0,614	0,817
Pierres cassées, silex.	1,220	1,623
Cailloux agglom., schistes tendres.	1,520	2,021.
Roches en couches.	1,830	2,434
Roches dures.	3,050	4,060

On peut donc dire que dans la plupart des cas la vitesse se trouve limitée entre 0m,80 et 1 mètre par seconde; du reste, dans cette limite le limon et le sable fin tenus en suspension ne se déposent pas, et on peut toujours s'arranger de manière que les matières plus grossières s'arrêtent avant l'entrée de l'eau dans les canaux.

Desséchement du marais proprement dit. Le canal de ceinture, en arrêtant, pour les conduire au dehors, toutes les eaux qui se dirigeaient dans le marais, réduit autant que possible la tâche du dessécheur, puisqu'il ne reste plus qu'à se débarrasser des eaux de pluie qui tombent directement sur le marais et des sources qui peuvent y déboucher. Les procédés, pour cette dernière partie de l'opération, dépendent de la position des lieux. Si la surface du marais est inférieure à celles de toutes les masses d'eau environnantes, il faut avoir recours aux machines d'épuisement; si au contraire elle est assez élevée pour que les eaux puissent couler au dehors, il suffit d'ouvrir des canaux convenablement disposés pour leur donner passage.

I. *Desséchements à l'aide de canaux d'écoulement.* Ce premier cas se divise lui-même en deux autres : celui où l'écoulement dans les canaux peut être permanent, et celui où il est intermittent, ce qui a lieu dans les marais dont les canaux débouchent dans l'Océan ou dans les fleuves à marées.

On examinera successivement dans ce qui va suivre ces deux classes de desséchements.

(a). Marais dont l'écoulement par les canaux émissaires peut être permanent.

Pour donner un écoulement aux eaux qui naissent ou tombent à la surface proprement dite du marais, on établit d'abord un canal central, dirigé, sauf la légère variation que peut rendre obligatoire l'état des lieux, suivant l'axe principal d'écoulement. On désigne ainsi le lieu des points où tendent à se rassembler les eaux pluviales tombant sur toute l'étendue du marais. Cet axe se détermine facilement au moyen des nivellements généraux du terrain.

On doit, comme on l'a déjà dit, éviter en général de faire arriver dans ce canal les eaux pérennes; cependant il convient de se ménager le moyen d'y introduire, en temps de sécheresse, un volume d'eau vive suffisant pour entraîner les eaux croupissantes et s'opposer aux atterrissements.

On amène les eaux dans le canal principal, tracé comme on vient de le dire, par des fossés auxiliaires placés entre eux, et par rapport au canal central, à des distances telles que l'eau tombant sur un point quelconque du marais ait toujours un récipient inférieur où elle puisse arriver avant que son mouvement soit éteint par les obstacles qu'elle encontre sur cette surface. Le tracé de ces fossés ne comporte d'autre loi générale que l'obligation de présenter une pente suivie depuis leur origine jusqu'à leur embouchure dans le canal central. Leur direction doit être inclinée sur celle du canal central de telle sorte que les lignes de plus grande pente des surfaces qui aboutissent au thalweg général soient coupées par plusieurs fossés à la fois.

Enfin d'autres rigoles intermédiaires et d'une dimension moins considérable s'embranchent sur ces fossés et complètent l'ensemble des moyens d'assèchement de la surface.

Les dimensions du canal central qu'il est important de déterminer, *à priori*, dans les différents points de son parcours, se déduisent de la double condition de fournir un écoulement suffisant pour les pluies d'orage maxima, sans amener de débordement, et de ne laisser aux eaux ordinaires qu'un lit assez retréci pour qu'elles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

y conservent toujours une vitesse qui ne permette pas les envasements et la stagnation.

On détermine, comme pour les canaux de ceinture, les quantités d'eau à écouler dans un temps donné, la pente dont on peut disposer et la vitesse qu'on doit admettre; la section peut donc se déterminer par des formules analogues à celles que nous avons déjà données.

La section du canal principal d'écoulement doit presque toujours présenter, comme celle des canaux de ceinture, un lit mineur pour les basses eaux, un lit majeur pour les grandes eaux, et une double ligne de digues dans les points où les grandes eaux extraordinaires pourraient produire des inconvénients sérieux.

Dans tous les cas il est indispensable d'établir, le long des canaux, des fossés de ceinture destinés à recevoir les eaux affluentes des terrains voisins, à les laisser déposer et à les amener, après leur éclaircissement, dans le canal principal, par des ouvertures ménagées à cet effet.

Si le tracé le plus convenable a une longueur moindre que le développement nécessité par l'établissement des pentes, on rachète la perte de hauteur due à ce raccourcissement du parcours par une ou plusieurs chutes qu'on dispose à son gré, en ayant soin seulement de ne pas les faire trop considérables et trop rapprochées, pour éviter, d'une part, les dégradations qui accompagnent la chute d'une masse considérable d'eau, et, d'autre part, la destruction des pentes qui tendrait à se produire par les dénivellations qui accompagnent les crues dans les biefs trop courts.

Les desséchements exécutés dans les circonstances dont il s'agit maintenant exigent surtout des travaux de terrassement, mais ne nécessitent aucun ouvrage d'art d'une nature particulière ou offrant des difficultés exceptionnelles. Quand les canaux sont navigables ils doivent présenter des écluses avec pertuis accolés; quand, au contraire, ils ne doivent servir qu'au desséchement, des pertuis ou chutes, pour racheter les pentes trop fortes, sont les seuls travaux spéciaux qu'ils nécessitent. Les ponts et ponceaux établis sur les canaux et rigoles pour assurer les communications, ne diffèrent en rien des travaux du même genre exécutés dans d'autres circonstances.

Beaucoup de marais appartenant à la catégorie qui nous occupe maintenant sont produits par les barrages des usines hydrauliques établies sur les cours d'eau. Quand on ne peut pas faire abaisser le niveau du bief qui produit l'inondation plus ou moins permanente des terrains riverains, on ne peut se débarrasser des eaux que par une véritable opération de desséchement. Les travaux sont quelquefois trop coûteux pour qu'il soit possible de les exécuter avec avantage; mais dans certaines circonstances, quand la nature du sol et la disposition des lieux le permettent, on peut, par des travaux très simples, se débarrasser des eaux nuisibles. Il suffit d'ouvrir parallèllement et à une certaine distance du bief un fossé dont les terres servent à former une digue de défense, et à faire communiquer ce fossé par un aqueduc syphon établi dans la chaussée du moulin, ou autrement, avec le bief d'aval de l'usine. Quand les terres sont peu perméables, le travail que nous venons d'indiquer réussit très bien et permet souvent d'assainir, avec une faible dépense, une grande étendue de terrain.

Parmi les nombreux marais desséchés que nous pourrions citer en France, nous nous bornerons à dire quelques mots du marais des Baux, dont les travaux ont été récemment terminés conformément aux projets dressés par M. Poulle.

Le marais des Baux est situé dans le département des Bouches-du-Rhône. Sa surface avant le desséchement se composait de :

	hect.
Prés palustres.	490,00
Marais fauchés.	360,00
Marais bourbeux.	961,80
Etangs.	312,98
	1824,78

La surface du bassin, dont il fallait écouler les eaux, était de 24,466 hectares y compris celle du marais lui-même. La disposition des lieux n'a point permis d'établir de canal de ceinture. Le canal principal reçoit, par conséquent, toutes les eaux qui arrivent au marais. Il communique avec les étangs et débouche dans le deuxième bief du canal d'Arles à Bouc : il a 7 mètres de largeur au plafond, et peut débiter 17 à 18 mètres cubes d'eau par seconde. Des rigoles secondaires et des fossés d'assainissement complètent le dessèchement. On a calculé qu'il pourrait arriver dans le marais jusqu'à 50 mètres cubes d'eau par seconde, en temps d'orage. Ces eaux extraordinaires s'accumulent dans deux grands étangs qui ne seront pas desséchés et dont la capacité est de plus de 4 millions de mètres cubes, et s'écouleront ensuite peu à peu par le canal principal.

La dépense totale du dessèchement, y compris les frais de conduite des travaux, et les intérêts des sommes avancées pendant l'opération, s'est élevée à 1,208,772 fr. La plus-value, fixée à 1,000 fr. par hectare pour les prés palustres, à 1,100 fr. pour les marais fauchés et à 1,150 pour les marais bourbeux, s'élève à la somme de 1,559,700 fr.

(b). Marais dont l'écoulement ne peut être permanent. Quand la surface d'un marais à dessécher n'est point sensiblement supérieure au niveau des hautes marées au point où débouche son canal de desséchement, l'écoulement des eaux ne peut plus être permanent, et l'opération se complique de considérations différentes des précédentes et que nous allons maintenant indiquer.

La surface d'un marais à dessécher, quand son niveau est inférieur à celui des hautes marées et supérieur à celui des basses, doit être, avant tout, entourée d'une digue qui la préserve de l'invasion périodique des eaux. Ces digues ne diffèrent pas de celles qui seront décrites dans les paragraphes suivants; il est inutile de s'y arrêter maintenant. Mais les canaux d'écoulement présentent des particularités qu'il est nécessaire d'indiquer, ainsi que le mode de détermination de leur capacité et de leur section.

Les canaux de desséchement dont le niveau est compris entre celui des hautes et des basses marées, au point où ils débouchent, traversent naturellement les digues d'enceinte du marais et se terminent par des ouvrages plus ou moins importants garnis de portes s'ouvrant de dedans en dehors, pour permettre aux eaux du marais de s'écouler pendant la basse mer et pour empêcher la rentrée des eaux extérieures. La construction de ces ouvrages varie suivant l'importance de l'émissaire, depuis les portes d'écluses de la plus grande dimension jusqu'aux vannes ou clapets de quelques décimètres de section. Les clapets que l'on emploie ordinairement sont de simples panneaux en bois garnis de ferrures et pouvant tourner autour d'une charnière située à leur partie supérieure. Ces clapets ferment ordinairement l'ouverture d'aval d'un aqueduc pratiqué dans la digue. Ils cèdent à la pression des eaux intérieures aussitôt que leur niveau dépasse celui des eaux extérieures, et s'appliquent au contraire sous la pression de ces dernières contre les châssis qui les supportent aussitôt que la mer revient à une hauteur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suffisante. Ces clapets fonctionnent ainsi d'eux-mêmes, mais ils sont sujets à se déranger, et ne se ferment quelquefois pas en temps utile, par suite de l'interposition de corps étrangers. On leur préfère donc, pour les travaux d'une importance moyenne, des vannes à treuil ou à crémaillères, semblables à celles qui seront décrites plus loin (3e section)), et que manœuvrent aux heures convenables des agents responsables et spécialement chargés de ce service. Quant aux portes de flot, elles ne diffèrent pas de celles des canaux ordinaires, et leur installation ne peut être confiée qu'à des constructeurs expérimentés.

Les canaux terminés comme nous venons de l'indiquer, ne peuvent verser leurs eaux que pendant le temps où leur niveau est supérieur à celui des eaux extérieures. La première recherche à faire, dans ce cas, consiste à dresser des tables, ou plutôt à tracer des courbes, indiquant d'une manière précise les différentes hauteurs des eaux extérieures pour chaque instant d'une marée déterminée. Ces tables ou courbes, résultats d'expériences répétées et de calculs assez délicats, indiquent le temps que les portes, vannes ou clapets peuvent rester ouverts chaque jour, et les différences successives de niveau qui existeront entre le plan d'eau du canal de desséchement et celui des eaux extérieures. On possède alors les éléments nécessaires à la détermination, à peu près exacte, du volume d'eau qui pourra s'écouler du canal de desséchement pendant chaque marée, par une ouverture déterminée. Ce volume d'eau doit être égal à celui qui s'est accumulé dans le marais pendant le temps réuni de l'ouverture et de la fermeture des orifices, que l'on peut alors calculer en conséquence.

Le débouché des canaux émissaires du desséchement n'est point la seule considération à faire entrer en ligne de compte dans leur établissement. Non-seulement il faut qu'ils puissent débiter pendant le temps de l'ouverture des portes le volume total d'eau à écouler, mais il faut encore que la capacité des derniers biefs soit telle que l'eau qui s'y réunit pendant le temps de la fermeture des portes puisse y être entièrement contenue et ne déborde pas sur les terrains voisins. On est souvent obligé de construire, près de l'extrémité du canal, un réservoir spécial, pour remplir cette dernière condition; les eaux se réunissent dans ce bassin et en sortent pendant l'ouverture des portes. Ces bassins de réserve permettent, jusqu'à un certain point, de réduire les orifices, parce qu'ils donnent le moyen d'évacuer, au besoin, en plusieurs marées les eaux dont il aurait sans eux fallu se débarrasser en une seule. La capacité de ces bassins régulateurs, si l'on peut s'exprimer ainsi, se détermine toujours assez facilement, dans chaque cas particulier, en tenant compte du volume d'eau qu'ils peuvent accidentellement recevoir.

Les marais dont la surface est comprise entre le niveau des hautes et basses mers sont en France les plus nombreux et les plus importants. Ils s'étendent sur une grande partie du littoral de la Manche et de l'Océan, et occupent quelquefois d'immenses surfaces. Les départements maritimes du sud-ouest ne contiennent pas, à eux seuls, moins de 200,000 hectares de marais de cette espèce. Le département de la Manche, aux environs de Carentan, renferme aussi de vastes pâturages appartenant à cette catégorie de terrains, et justement célèbres par leur valeur absolue et la qualité de leurs produits.

II. *Desséchements à l'aide de machines.* Lorsque la surface des marais est inférieure au niveau de toutes les eaux environnantes, on ne peut parvenir à les dessécher qu'en élevant les eaux, à l'aide de machines, à un niveau supérieur à celui des mers, lacs ou rivières qui peuvent les recevoir. Les perfectionnements continuels des roues et machines à élever l'eau et l'accroissement progressif de la valeur des terres, donnent à ce genre d'opérations un intérêt de plus en plus grand, qui nous oblige à l'étudier avec soin. Un seul ingénieur anglais, M. Glyn, a établi en quelques années dix-sept machines, représentant ensemble une force de 870 chevaux, et destinées au desséchement de plus de 50,000 hectares de marais.

Dans les desséchements par machines, l'établissement des canaux de ceinture est, comme on l'a déjà dit, plus indispensable que dans toutes les autres espèces de travaux de ce genre. Ces canaux s'établissent du reste en suivant les règles précédemment exposées, et sur lesquelles il est inutile de revenir en ce moment.

Le volume total des eaux à évacuer chaque année (abstraction faite des sources qui, du reste, sont très rares dans les marais de ce genre) est égal au produit de la surface du marais multipliée par l'épaisseur annuelle de la couche d'eau de pluie diminuée de l'eau qui s'infiltre dans le sol et de celle qui est enlevée par l'évaporation. La détermination de ces deux dernières quantités est toujours assez incertaine et ne peut se faire que par analogie ; mais comme il vaut toujours mieux se tenir au-dessus qu'au-dessous de la vérité, il convient d'estimer aussi bas que possible ces deux chiffres et de porter ainsi un peu trop haut le volume d'eau à enlever. En désignant ce volume, exprimé en mètres cubes, par V, par h la hauteur moyenne à laquelle il faut élever l'eau, la force, en nombre de chevaux nécessaire, au moteur, supposé constamment agissant, serait : $\alpha \frac{1000\,V.h}{75 \times 31536000} = \frac{\alpha V h}{2365200}$. En appelant en outre α le rapport du travail moteur au travail utile pour la machine élévatoire que l'on se propose d'employer. Les moteurs n'agissant que périodiquement, il convient d'ailleurs, comme on l'a déjà dit, d'être toujours au-dessus de la vérité dans tous les calculs de cette nature; de sorte que l'on adopte généralement un nombre double ou triple de celui que fournit la formule que l'on vient d'indiquer. Il est bien entendu d'ailleurs que la capacité des canaux, ou des réservoirs y annexés, est suffisante pour recevoir les eaux d'un grand orage et les conserver jusqu'à ce que la machine, par son travail régulier, ait pu les enlever.

La disposition des canaux de desséchement est du reste très simple; les eaux, réunies par des canaux, fossés ou rigoles plus ou moins rapprochés, sont amenées dans un vaste bassin où la machine élévatoire les prend et les élève à la hauteur convenable. La capacité de ces réservoirs, ajoutée à celle des canaux, doit être assez grande pour recueillir toutes les eaux tombées pendant une série de jours pluvieux, en sus de ce que peut enlever à chaque instant la machine d'épuisement, afin que les eaux sortant des canaux n'inondent pas les parties basses des marais. La pente des canaux dans les desséchements de cette espèce peut être plus faible encore que dans tous les autres; leur section se calcule d'ailleurs d'après le volume d'eau qu'ils doivent écouler.

Lorsqu'il existe entre les différents points du marais des différences notables de niveau, on partage la surface en plusieurs zones dont on recueille les eaux dans des bassins situés à des hauteurs inégales, afin de réduire autant que possible, comme on le verra dans les exemples suivants, la hauteur à laquelle il faut élever l'eau.

Les moteurs ordinairement employés pour les desséchements de marais sont les moulins à vent et les machines à vapeur (voyez ces mots). Les machines élévatoires sont des roues à palettes emboîtées dans des coursiers, des vis d'Archimède, et quelquefois diverses espèces de pompes (voyez HYDRAULIQUE, VIS, etc.).

En Hollande, on estime qu'un moulin à vent, avec quatre ailes de 12 à 14 mètres de longueur et de 2 mètres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de largeur, peut élever 60 mètres cubes d'eau à 1 mètre en une minute. Ils peuvent travailler soixante jours par an environ; mais dans les calculs on compte seulement que chaque moulin élève par an 3 millions de mètres cubes d'eau à 1 mètre.

Quelques exemples éclairciront mieux, du reste, la question des desséchements par épuisement que ne pourraient le faire de plus longues explications.

Moères françaises. Les moères formaient autrefois, aux environs de Dunkerque, un immense lac de plus de 3,000 hectares. Il fut en partie desséché au commencement du dix-septième siècle; mais bientôt après, en 1646, le gouverneur de la ville de Dunkerque, qui était assiégée, fit ouvrir les écluses comme moyen de défense de la place, et tous les travaux, envahis par les eaux, furent en partie détruits. Vers 1780, on entreprit de nouveau de dessécher les moères; la révolution interrompit le travail, qui fut repris en 1802 et terminé bientôt après.

La moère française, dont la surface est de 1,700 à 1,800 hectares, est maintenant entourée d'un canal de ceinture; des canaux de desséchement, tracés perpendiculairement les uns aux autres, sillonnent le marais et conduisent les eaux vers différents points de la circonférence où sont établis deux moulins à vent à roues à palettes échelonnées, et six moulins à vis plus ou moins éloignés les uns des autres.

Les canaux secondaires de desséchement ont environ 1 mètre de largeur moyenne. La section des canaux principaux augmente en approchant des moulins. Leur largeur moyenne est de 5 à 7 mètres. Les vis et les roues à palettes jettent les eaux dans le canal de ceinture, qui débouche lui-même dans un autre canal allant à la mer.

Les moulins à vent ont quatre ailes de 13 mètres de longueur chacune et de 2 mètres de largeur, dont $1^m,50$ en toile et $0^m,50$ en planches. Les vis sont à trois filets; elles ont 8 mètres de longueur, 2 mètres de diamètre extérieur; le noyau a $0^m,50$ de diamètre. La hauteur à laquelle elles élèvent l'eau varie de $1^m,70$ à 2 mètres, suivant les saisons. Les roues à palettes, quoique d'un grand diamètre, ne peuvent pas élever l'eau à beaucoup plus de 1 mètre, de sorte qu'il faut deux moulins avec roue à palettes pour élever l'eau à la hauteur nécessaire.

Desséchements hollandais. Une grande partie de la Hollande est, comme on sait, au-dessous du niveau de la mer. Ce n'est qu'à force d'art que ces riches contrées ont été conquises sur les eaux, et qu'on peut les défendre contre ce terrible ennemi. C'est dans ce pays qu'il faut étudier les desséchements, nulle part on ne les fait plus simplement et sur une plus grande échelle. D'excellents ouvrages, écrits par les ingénieurs les plus expérimentés, ont rendu classique dans ce pays ce genre de travaux.

Il existait en Hollande, en 1844, pour le service des desséchements, 2,445 moulins à vent de grande dimension, dont 64 à vis et les autres avec roues à palettes. Ces chiffres indiquent assez les immenses services que rendent ces machines.

De toutes les opérations modernes de desséchement, la plus gigantesque est celle du lac de Harlem, qui est terminée depuis 1852.

Le lac de Harlem occupait, au commencement du seizième siècle, moins de 4,000 hectares de superficie. Depuis lors il n'a cessé de s'agrandir avec une effrayante rapidité: en 1641, il occupait déjà une étendue de près de 14,000 hectares, lorsque Jan Adriaanszen Leegwater dressa un projet complet de desséchement auquel il ne fut pas donné suite.

Les envahissements successifs du lac continuaient leurs ravages, lorsque, enfin, par une loi votée le 2 avril 1838, le gouvernement hollandais, après bien des tentatives infructueuses et des projets restés sans résultat, se décida à supprimer de l'intérieur du pays cette plaie dévorante. Les ouvrages furent commencés en 1840 et le sol du lac est aujourd'hui complétement cultivé.

La fig. 68 représente la forme générale du lac de Harlem et de son canal de ceinture destiné à recevoir et à conduire à la mer les eaux que les machines enlèvent du lac, et une partie de celles qui y affluaient autrefois. Ce canal de ceinture forme une voie de grande navigation, dont la fig. 69 indique le profil. Il a 29 mètres au plafond, 45 mètres au niveau du plan horizontal passant par le o de l'échelle d'Amsterdam (plan que nous désignerons, pour abréger, conformément à l'usage hollandais, par A. P.), et 3 mètres de profondeur. Le plafond est, à peu près, à la cote, $3^m,90$—A. P. La crête de la digue entre le canal et le lac est arrasée à peu près à une hauteur de $2^m,20$ + A. P.

La profondeur du lac de Harlem varie de 3 à 4 mètres au-dessous de A. P. La cote inférieure des eaux dans les canaux de desséchement, pendant l'été, sera comprise entre $4^m,90$ et $5^m,00$ — A. P.

La masse d'eau contenue dans le lac, au commencement du desséchement, était de 700 millions de mètres cubes environ. La plus grande différence entre l'épaisseur de la couche tombée et l'eau évaporée a été en un mois, sur une période de quatre-vingt-dix-huit ans, de $0^m,1657$; on a ajouté à cette couche d'eau, pour tenir compte des infiltrations possibles à travers les digues, une épaisseur de $0^m,0343$, de sorte que les machines d'épuisement ont été établies de manière à pouvoir enlever après le desséchement, par mois, un volume d'eau égale à la surface du lac multipliée par $0^m,20$, c'est-à-dire 181000000 m. c., $\times$ $0^m,20$ = 36200000 mètres cubes d'eau. Le volume total à enlever chaque année, déduction faite de l'évaporation, est estimé à 54845000 mètres cubes.

On a reconnu qu'en raison de l'irrégularité et du peu de durée de leur action, les moulins à vent devaient être remplacés, dans cette grande opération, par des machines à vapeur. Ces machines sont au nombre de trois, comme l'indique le plan (fig. 68), nommées Leegwater, Cruquius et Van Lepeden. La première fait mouvoir 11 pompes, les deux autres chacune 8 d'un plus grand diamètre.

La machine de Leegwater, peu différente des deux autres, a deux cylindres concentriques assis sur la même plaque inférieure et communiquant entre eux par la partie supérieure du plus petit, qui a $0^m,037$ de hauteur de moins que le plus grand. Le cylindre extérieur a $3^m,66$ de diamètre, et le cylindre intérieur $2^m,140$. La course du piston est de $3^m,047$. Le petit cylindre est alésé intérieurement et extérieurement, pour recevoir un piston intérieur et le piston annulaire qui frotte sur lui et sur le grand cylindre. Le piston du petit cylindre porte une tige de $0^m,304$ de diamètre, et le piston annulaire quatre tiges traversant, comme la première, le couvercle des cylindres à travers des boîtes à graisse. Ces cinq tiges de piston sont fixées à leur partie supérieure dans une immense masse de fonte. Ce bloc de fonte appuie, par sa face inférieure et par l'intermédiaire de galets en fonte, sur l'extrémité des balanciers qui font mouvoir les pompes.

La machine a cinq chaudières de $9^m,14$ de longueur chacune, et de $1^m,83$ de diamètre. Un tube cylindrique de $1^m,21$ de diamètre traverse cette chaudière dans toute sa longueur. La flamme et les produits de la combustion reviennent sous la chaudière, passent dans sa partie antérieure et vont gagner la cheminée par deux carneaux latéraux. Une chambre à vapeur de $12^m,80$ de longueur et de $1^m,84$ de diamètre est placée au-dessus des bouilleurs, perpendiculairement à leur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

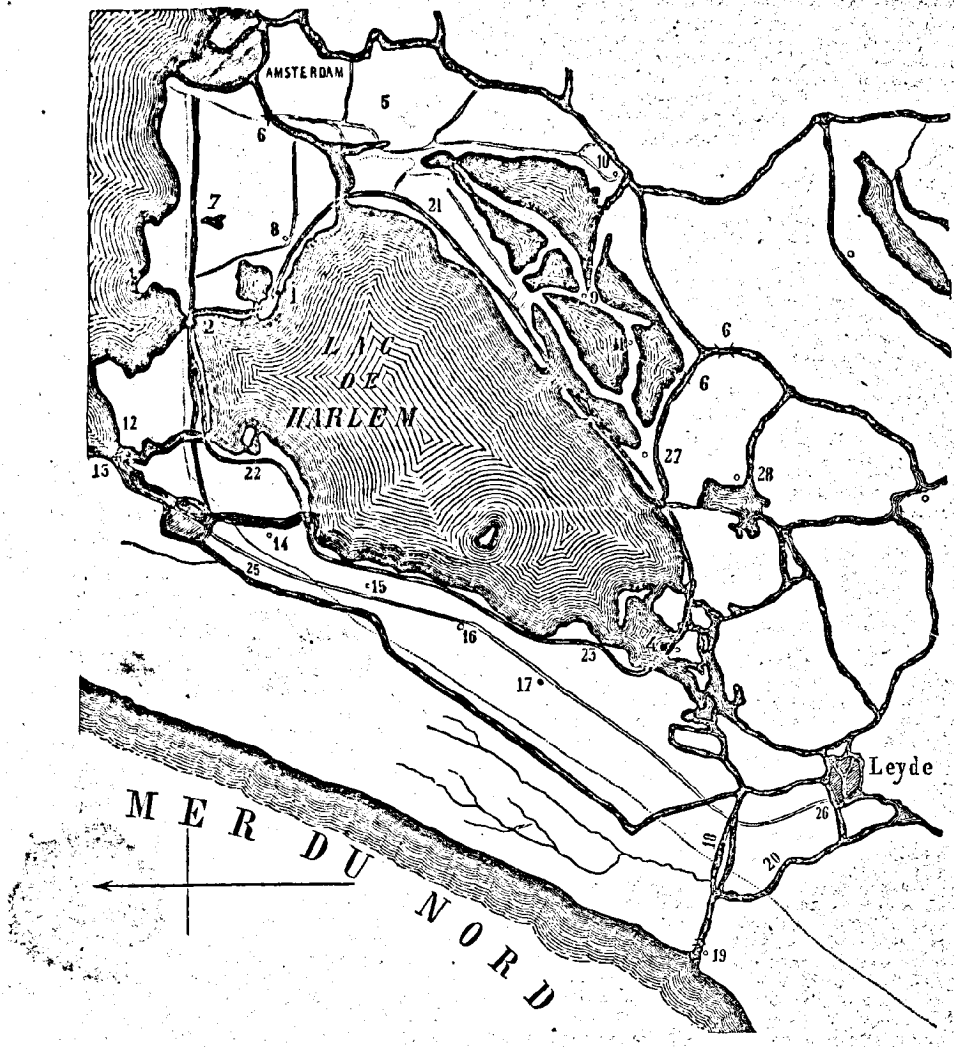


Fig. 68. Dessèchement du lac de Harlem (échelle de 0,000,004)

1, 3, 4 Machines à vapeur.
2 Écluse de Mulfwegen.
5, 21 Polders.
6, 6, 6 Écluses.
7 T'ool meertje.
8 Staten.
9 Kudelstaart.
10 Vithovorn.
11 Kolslage.
12, 13 Écluse de Spaandam.
14 Heemstede.
15 Bennebrock.
16 Dillegom.
17 Lisse.
18 Canal de dérivation, nouveau.
19 Écluse de Katwyck.
20 Vieux Rhin.
22, 23 Canal de ceinture.
24 Alphen.
25, 26 Route de Leyde à Harlem.
27 Leymuiden.
28 Rhynsenterwonde.



Fig. 69. (0.001).

direction, et peut communiquer avec chacun d'eux. Le tuyau de prise de vapeur a 0m,609 de diamètre. Le volume total occupé par la vapeur, dans les bouilleurs, dans la chambre et dans les conduits, est de plus de 37 mètres cubes ; de sorte qu'on empêche ainsi complétement la machine de primer. La consomma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion de combustible n'est que de 1k,20 par heure et par cheval, quand on marche avec une force de 350 chevaux.

Chaque cylindre occupe le centre d'une tour M, dont la fig. 70 indique le plan. Les balanciers des pompes P oscillent sur des palliers fixés dans des embrasures ménagées dans les murs de la tour. Leurs extrémités opposées à la machine portent des tiges de fer terminées par des chaînes qui soulèvent les pistons des pompes disposées circulairement dans le canal qui enveloppe la tour.

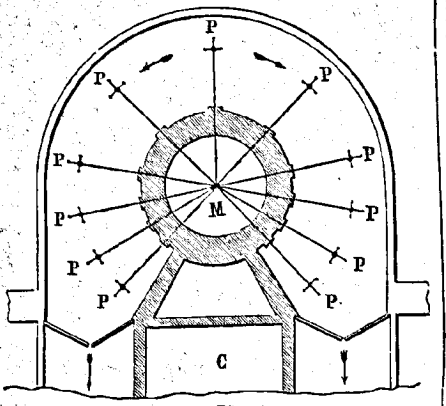


Fig. 70.

PPP Pompes.
M Tour occupée par la machine.
C Bâtiment des chaudières.

La machine y compris les bâtiments et tous les accessoires a coûté 900,000 fr., dont 375,000 pour les bâtiments seulement.

Les pompes de la machine Leegwater ont 1m,60 de diamètre, celles des deux autres machines ont 1m,85. La course de leurs pistons est égale à celle du piston de la machine à vapeur. Les pistons de ces pompes ont une construction fort remarquable (fig. 71 et 72). Ils se

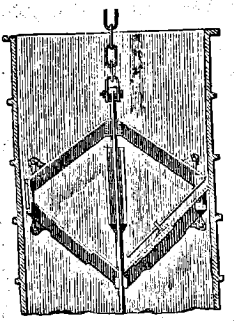


Fig. 71.

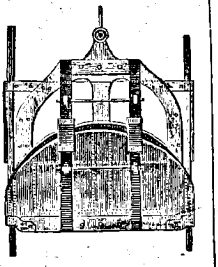


Fig. 72.

composent simplement de deux grandes valves en tôle et en cuir remplissant le corps de pompe pendant la montée du piston, et s'appliquant l'une sur l'autre à la descente.

Dans les pompes de 1m,85, le piston est guidé par deux tiges verticales qui n'existent pas dans celles de 1m,60. Ce genre de piston, très convenable dans des appareils de grand diamètre, ne serait évidemment pas

applicable à des petits corps de pompes, où des fuites, même peu importantes en elles-mêmes, produiraient une forte perte de travail. Les soupapes du fond des pompes sont construites d'une manière analogue aux pistons eux-mêmes.

Le desséchement du lac de Harlem a coûté 23 millions de francs. La valeur actuelle des terres qu'il renferme excède en ce moment 100 millions. Là où les flottes espagnoles et néerlandaises se livraient un combat naval en 1573, on compte aujourd'hui deux communes, quatre églises, huit à dix mille habitants.

Nous donnerons encore un exemple assez remarquable de desséchement, d'autant plus intéressant qu'il se rapproche par son étendue de beaucoup de travaux analogues que l'on pourrait entreprendre en France. C'est celui de Noetdorp, près de La Haye, que vient de terminer M. l'ingénieur Greeve, auteur d'un excellent mémoire sur les desséchements. La fig. 73 in-

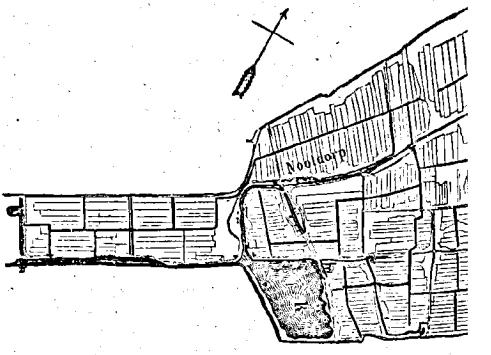


Fig. 73.

dique le plan et le parcellement de ce polder d'une étendue de 1,000 hectares environ.

Le desséchement a été opéré et entretenu par une machine à vapeur et trois moulins à vent.

La machine à vapeur met en mouvement, simultanément ou successivement, deux vis.

La plus basse élève l'eau du niveau de l'étiage des canaux de desséchement au niveau du bassin régulateur R, situé trois mètres plus haut.

Les moulins à vent, ou la deuxième vis de la machine, reprennent l'eau de ce bassin et l'élèvent encore à une hauteur de deux mètres, pour la jeter dans les canaux qui doivent la conduire à la mer.

Si le desséchement du lac de Harlem est la plus gigantesque entreprise de desséchement connue, celui du Zuid-Plas, terminé il y a peu d'années, était une des plus difficiles à entreprendre, à cause de la grande profondeur des eaux qu'on a été obligé d'élever à plus de six mètres.

La fig. 74 représente le plan de ce lac avec l'indication du *parcellement*, c'est-à-dire le tracé des petits fossés qui séparent les champs de terre, reçoivent les eaux et les conduisent aux canaux principaux qui se rendent aux machines. Le Zuid-Plas, comme tous les marais desséchés de Hollande, est entouré d'un canal de ceinture et d'une digue dont les fig. 75 et 76 donnent le profil transversal et indiquent le mode de construction.

Le creusement des fossés d'écoulement est la partie

EFEPUS - Recherche & Classification numérique

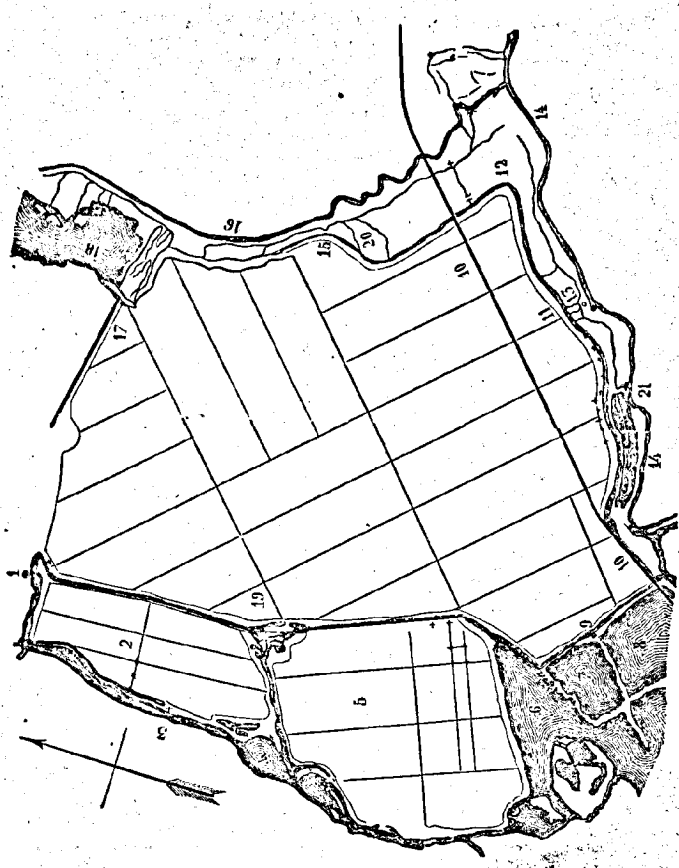


Fig. 74. Zuid-Plas desséché (échelle de 0,00001).

1 Moerkapel.
2 Tweemans polder.
3 Rivière de Zotte.
4 Lacs de Bleiswyeck.
5 Eendragts polder.
6 Volle Toppen plas.
7-8 Esse plas.
9 Nieuwerkerk.
10 Chemin de fer.
11-15 Canal d'enceinte.
12 Brockhurm.
13 Moordrecht.
14 Issel, rivière.
16 Gouwe rivière.
17 Vladinxveen.
18 Voorafsche, Plass et polder.
19 Zevenhuizen.
20 Le Voggie.
xx Moulins.

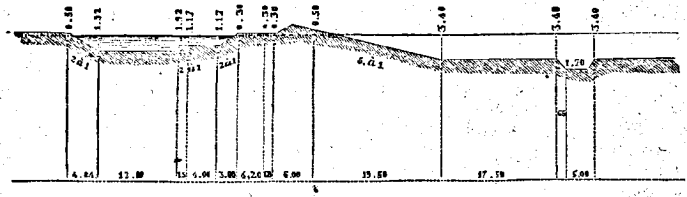


Fig. 75. Profil et canal de ceinture du Zuid-Plas (échelle de 0,001).

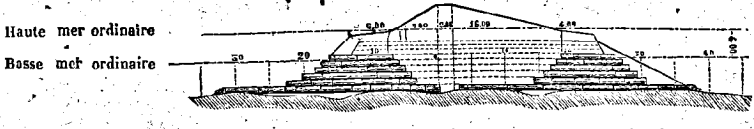


Fig. 76. Profil de la digue de défense du Zuid-Plas (échelle de 0,001).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

la plus délicate et la plus pénible des desséchements. On l'entreprend aussitôt que les eaux sont à peu près enlevées et que le sol, encore vaseux, peut supporter des ouvriers dont les pieds sont garnis de planches qui les empêchent d'enfoncer dans la terre molle. On sème en même temps du colza qui pousse bien sur les terrains de cette espèce et concourt énergiquement à la consolidation du sol.

Dans les desséchements de l'espèce qui nous occupe, les fossés et canaux de desséchement occupent près de 0,1 de la surface totale.

La surface de Zuid-Plas est de 4,600 hectares environ. La dépense du desséchement s'est élevée à 3 millions.

Desséchements en Angleterre. Depuis vingt ans les machines à vapeur ont presque complétement remplacé les moulins à vent dans les marais de l'Angleterre. Entre Lincoln et Cambridge, il y avait autrefois 700 moulins à vent; il n'en reste pas plus de 200 aujourd'hui. Les machines à vapeur, dans le Lincolnshire, sont au nombre de 70 environ; leur force varie de 10 à 80 chevaux chacune. Elles font, en général, mouvoir des écopes et élèvent l'eau de 1m,83 à 4m,87 et même à 6m,09. L'étendue ainsi desséchée n'est pas de moins de 89,688 hectares.

Parmi les marais desséchés par la vapeur, on peut citer les suivants :

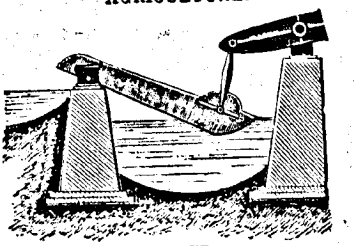


Fig. 77.

III. *Puits forés et puisards absorbants.* Dans tout ce qui précède, on a supposé que l'eau du marais à dessécher pouvait s'écouler par sa pente naturelle à travers un canal, ou devait être enlevée par des procédés mécaniques. Dans certains cas particuliers, quand la couche imperméable du marais repose sur un sol perméable et absorbant, on peut se débarrasser des eaux, sans avoir recours à l'ouverture de canaux ou à l'établissement de machines, en perçant la couche imperméable par un trou de sonde (voyez PUITS ARTÉSIENS, SONDAGE), ou par un véritable puits que l'on remplit ensuite de grosses pierres, et dont on recouvre l'ouverture par un lit de branchages ou autres substances analogues, formant une espèce de filtre, pour retenir les matières terreuses qui obstrueraient rapidement le puisard ou *boitout*. Le marais de l'Archaut, en Gatinais, est un des desséchements les plus importants effectués par cette méthode.

DÉSIGNATION DES MARAIS.	ÉTENDUE.	MACHINES EMPLOYÉES.	
		Nombre	Force.
	hect.		
Deeping-Fen, près Spalding, Lincolnshire.	10100,00	2	80 et 60
Marsh-West-Fen, Cambridgeshire.	1454,40	1	40
Misserton-Moss.	2424,00	1	40
Littleport-Fen, près d'Ely (soixante-quinze moulins à vent étaient autrefois employés dans ce district).	11312,00	2	30 et 40
Middle-Fen (Cambridgeshire).	2828,00	1	60
Waterbeach-Level, entre Ely et Cambridge.	2020,00	1	60
Magdalen-Fen, près Lynn, Norfolk.	1616,00	1	40
March-Fen-District, Cambridge.	1090,80	1	30
Feltwell-Fen, près de Brandon.	969,60	1	20
Soham-Mere, Cambridgeshire (ancien lac).	645,40	1	40

Quand toutes les eaux étrangères sont détournées par un canal de ceinture, il ne reste à la machine à enlever que l'eau de pluie. Dans ces parties de l'Angleterre il en tombe souvent 0m,66 par an. Mais une partie est enlevée par l'évaporation, et les ingénieurs anglais estiment qu'il suffit de pouvoir se débarrasser par mois d'une quantité d'eau répondant à une couche de pluie de 0m,0508, c'est-à-dire de 508 mètres cubes par hectare. Une machine de dix chevaux élèverait cette masse d'eau à 3m,04 de hauteur en 34 minutes 19 secondes, c'est-à-dire qu'une machine de cette force, en faisant seulement vingt journées de douze heures par mois, pourrait dessécher 445 hectares environ. Ce sont à peu près les données pratiques admises dans le Lincolnshire.

La fig. 77 peut donner une idée des écopes à vapeur dont on vient de parler. Elles s'adaptent très bien aux machines à simple effet de Cornouailles, et leur simplicité nous engage à les faire connaître. L'écope a 7m,60 de longueur et 9m,14 de largeur divisée par une cloison verticale et longitudinale en deux parties égales. Une machine de soixante chevaux peut élever dix-sept tonnes d'eau à chaque oscillation; elle dépense 1k,36 par heure et par force de cheval.

Un puits foré absorbant, établi à Bondy, a débité jusqu'à 133 mètres cubes de liquide en vingt-quatre heures. Plusieurs résultats analogues ont été obtenus par différents sondeurs.

Il existe dans quelques localités, à Cujes par exemple, des *embucs* naturels qui donnent issue aux eaux surabondantes d'un bassin fermé.

Les puisards absorbants doivent être ouverts au point le plus bas du terrain à dessécher, pour que l'eau puisse y arriver au moyen de rigoles disposées à cet effet. Ces puisards ont de 4 à 8 mètres de profondeur et 2 ou 3 mètres de diamètre. On leur donne une forme conique, si le sol n'est pas assez résistant pour se tenir suivant des lignes verticales. Si on ne peut pas pousser assez profondément le puits pour rencontrer la couche absorbante, on fait au centre un trou de sonde dont le tuyau s'élève à une certaine hauteur. L'intervalle compris entre ce tuyau et les parois du trou est rempli de pierres brutes, pour éviter les éboulements, et le tout est recouvert, comme on l'a déjà dit, de pierres plates et de fagots.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'inconvénient principal des puisards absorbants est l'impossibilité où l'on est de fixer d'avance le volume d'eau qu'ils pourront absorber, volume du reste presque toujours assez limité, puisque le forage que nous avons cité débiterait à peine, en vingt-quatre heures, le volume d'eau tombé dans le même temps, par une forte pluie, sur un hectare de terrain. Nous n'insisterons pas davantage sur ce moyen de dessèchement, dont nous avons déjà indiqué l'usage dans certaines opérations de drainage.

IV. *Colmatages.* Toutes les méthodes indiquées dans ce qui précède, pour le dessèchement des marais, reposent sur l'abaissement du plan d'eau au-dessous du niveau du sol. On conçoit que l'on arriverait au même résultat en élevant la surface du terrain lui-même au-dessus du niveau des eaux, par des remblais convenables. Ces remblais, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, ne peuvent s'exécuter économiquement qu'en faisant déposer, sur les terres à remblayer, les parties solides que les torrents et les rivières à fortes pentes entraînent dans leur cours. Cette opération se nomme colmatage, du mot qui la désigne en Italie, où elle est employée sur une très grande échelle.

On produit aussi des remblaiements de terrains bas, au moyen des eaux troubles chargées de limons très fertiles, que le flot soulève à chaque marée, à l'embouchure de la plupart des rivières qui arrivent à la mer.

Toutes les opérations de colmatage, quelle que soit l'origine des eaux que l'on emploie, consistent à faire arriver les eaux troubles sur le terrain en couche aussi épaisse que possible, à laisser déposer les parties solides, puis à faire écouler les eaux éclaircies, pour recommencer ensuite la même série d'opérations.

Le terrain à colmater est entouré d'une digue, élevée jusqu'à la hauteur à laquelle on peut maintenir les eaux. Cette digue est coupée d'un côté pour recevoir le canal d'amenée, et interrompue, du côté d'aval, par une ouverture garnie de poutrelles. Ces poutrelles forment un barrage provisoire qui communique avec un canal de décharge, et doivent être disposées de telle sorte qu'il soit facile de les enlever successivement pour faire écouler par déversement les eaux éclaircies. Quand on opère sur les côtes avec les eaux soulevées par la marée, les ouvrages sont un peu plus compliqués, et peuvent même prendre une très grande importance s'il s'agit de surfaces considérables. Les digues d'enceinte du terrain sont percées par des aqueducs ou canaux éclusés garnis de vannes et quelquefois de portes d'èbe et de flot, que l'on manœuvre en temps utile pour faire entrer les eaux troubles à marée haute et faire sortir les eaux éclaircies à marée basse.

Lorsque les terres à colmater présentent une très grande étendue ou une pente un peu sensible, on partage la surface, par de petites digues ou bourrelets, en une série de bassins où l'on fait séjourner l'eau. On empêche par cette division la formation des vagues qui s'opposeraient au dépôt, et d'un autre côté on évite de trop grandes inégalités de hauteur d'eau et la surélévation inutile et dispendieuse des digues d'aval.

Quand la profondeur à combler est considérable, on commence, si cela est possible, par y amener des eaux torrentielles charriant des galets et de gros graviers. Ce qui produit le double avantage d'accélérer le remblaiement et de former sous la terre cultivable un sous-sol poreux très convenable.

Quelquefois, pour profiter plus rapidement et successivement des résultats du colmatage, lorsque surtout l'espace à combler offre une assez grande profondeur, on ne répand point, à la fois, les eaux sur toute la surface. On limite, par une digue, une certaine étendue voisine de l'embouchure du canal d'amenée. Lorsque ce premier espace est comblé, on le met en culture, et on prolonge à travers la surface ainsi conquise le canal d'amenée, pour combler de même une certaine étendue limitée à la suite de la première, et ainsi de suite successivement.

AGRICULTURE.

Avant d'entreprendre une opération de colmatage, on doit se rendre compte de la quantité de matières solides tenues en suspension dans l'eau, et, quand on opère avec des eaux torrentielles, du nombre de jours de crues par an. La détermination de la quantité totale des matières solides peut s'obtenir en filtrant un peu d'eau à travers un papier sans colle; mais il est plus simple, et peut-être plus conforme aux besoins de la pratique, de se borner à laisser déposer l'eau dans une éprouvette graduée ou tout autre vase, de décanter l'eau arrivée au degré de limpidité dont on devra, plus tard, se contenter, de recueillir et de peser le dépôt.

On possède assez peu de données bien positives sur la quantité de troubles contenues dans les eaux de nos rivières. L'eau de la Durance, en grandes crues, contient 4k,179 de matières solides par mètre cube, et 0k,279 seulement en moyenne. L'eau du Rhin en renferme, dit-on, 0,02; celle de certaines rivières d'Angleterre, de la Trent, par exemple, jusqu'à 0,08. On ne saurait toutefois garantir l'exactitude de ces derniers chiffres.

Les eaux du Rhône, en 1844, d'après les observations de la commission hydrométrique de Lyon, ont renfermé, au maximum, 493 grammes de dépôt par mètre cube, au minimum 7 grammes, et en moyenne 138gr,8. L'eau de la Saône contient, au plus, 100gr,4 de dépôt par mètre cube; au moins, 8gr,4, et en moyenne 40 grammes.

Des expériences faites sur les eaux de la Meuse, puisées au pont de la Goffe, à Liége, tous les jours du mois de décembre 1849, ont donné les résultats suivants. La plus grande quantité de matières tenues en suspension dans les eaux de la Meuse, marquant alors 3m,20 à l'échelle du Pont-des-Arches, a été de 0gr,474 par litre. La plus petite quantité, de 0gr,014. La moyenne du mois a été de 0gr,10, soit 1/10,000 de poids de l'eau. Voici, du reste, les moyennes des résultats répondant à différentes hauteurs d'eau :

HAUTEURS de la MEUSE.	QUANTITÉ de dépôt séché à 100°, par litre d'eau.	NOMBRE de jours d'observation
m. m.	gr.	
1,25 à 1,50	0,0447	4
1,60 à 2,00	0,0499	15
2,10 à 2,50	0,1062	7
2,75 à 2,88	0,1492	2
3,15 à 3,25	0,3795	3

On rappellera ces derniers résultats en parlant des limonages et des irrigations.

Quand on s'est rendu compte de la masse d'eau que l'on pourra introduire sur le terrain, et de sa richesse en matières solides, on peut évaluer le temps nécessaire à l'opération et calculer ses résultats probables. Il ne reste plus alors qu'à établir des digues et les canaux d'amenée et d'évacuation des eaux. La pente des canaux d'amenée doit être suffisante pour que la vitesse de l'eau soit assez forte pour ne pas laisser déposer les matières solides. Cette vitesse doit donc varier de 0m,10 à 0m,80 et plus, suivant que le torrent ou le cours d'eau charrient des limons fins, des sables ou des graviers.

Les travaux de colmatage, avec des eaux de rivière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

res, les plus remarquables de France, se rencontrent sur l'Ardèche, la Drôme, l'Hérault et l'Ouvèze. On peut, dans certains points, produire, avec les eaux de cette rivière, des exhaussements de 0m,16 par an. En général, on n'atteint pas, tant s'en faut, cette hauteur pour profiter plusieurs années de suite de ce puissant moyen de fertilisation. Les travaux se rapprochent alors des simples limonages dont nous parlerons plus loin. On estime de 250 à 300 francs par hectare les frais de colmatage exécutés dans des circonstances ordinaires.

On obtient quelquefois indirectement, comme résultat de travaux destinés à améliorer la navigation, de magnifiques colmatages, résultat naturel des dispositions dont le but primitif et principal n'était pas celui-là. Ainsi, dans les travaux de la Seine maritime, derrière les digues en pierres sèches qui dessinent le chenal, se sont produits, en quelques années, des atterrissements très-étendus et qui promettent des terrains d'une grande fertilité.

A la fin d'août 1850, les terrains ainsi colmatés avaient une étendue de plus 1,400 hectares ainsi distribués :

Rive droite de la Seine :

	hect.
Commune de Villequier.	25,62
— Norville.	131,43
— Saint-Maurice . .	213,83
— Petite-Ville. . . .	290,34
— *Id.*	296,78

Rive gauche de la Seine :

	hect.
Commune de Saint-Nicolas . . .	74,15
— Vatteville	359,25
— d'Aizier	9,86
— Vieux-Pont	4,98
	1406,24

Quelquefois, quand les localités s'y prêtent, on accélère beaucoup le remblaiement d'un terrain en faisant tomber et en délayant dans les eaux du canal d'amenée les terres des coteaux contre lesquels il s'appuie. Cette opération porte le nom de *terrement*. Les eaux sont alors dérivées par larges coupures sur le sol à terrer. Elles se répandent en couches minces et abandonnent la plus grande partie des terres qu'elles entraînaient. On rend encore plus complet ce dépôt en établissant de place en place, transversalement au courant, des rangées de fascines retenues par des piquets, à travers lesquelles l'eau éprouve une espèce de filtration et un ralentissement qui facilite le dépôt. La surface des terres où l'on fait ainsi écouler des eaux ne doit pas présenter une pente de plus de 0m,004 à 0m,005 par mètre, sans quoi le sol se ravinerait et les dépôts ne se formeraient pas.

Le procédé du terrement est fréquemment employé dans certaines parties de l'Allemagne. Cette opération revient de 150 à 400 francs par hectare.

On n'insistera pas davantage ici sur les procédés de colmatage. Ces opérations, par une transition insensible, se transforment en *limonages* qui ne sont que des colmatages par très-faibles couches de matières fertilisantes et que l'on aura l'occasion d'étudier plus loin avec détail au sujet des irrigations.

Troisième section. — Endiguement, défense des rives.

Nous ne mentionnons ici, en quelque sorte que pour mémoire, le sujet qui fait l'objet de cette section. Les grands travaux d'endiguement et de défense des rives des rivières et des fleuves ou des côtes de la mer, ne peuvent être exécutés que par des ingénieurs de profession, avec le concours, ou au moins sous la surveillance active de l'État; d'ailleurs, il existe sur cette matière un grand nombre d'ouvrages spéciaux. Les agriculteurs et les propriétaires ne peuvent avoir à s'occuper que de travaux de faible importance exécutés au droit de leurs propriétés, et, en général, sur des torrents ou ruisseaux ni navigables, ni flottables. Ce sont seulement de ces petits ouvrages que nous dirons quelques mots.

Endiguement des ruisseaux. Les petits torrents et les ruisseaux à pente rapide sont sujets à des débordements d'autant plus désastreux que le sol des vallées que traversent ces cours d'eau a, en général, une assez forte pente, et que les eaux y acquièrent une telle vitesse, qu'elles entraînent les récoltes ou les semences et les fumiers, et quelquefois même la plus grande partie de la couche de terre végétale. Il ne saurait être question, pour le moment, des causes des débordements et des mesures d'ensemble qui pourraient les prévenir ou en atténuer les effets. Le mal existant, le seul moyen pour les propriétaires d'y porter remède consiste à protéger leurs terrains des ravages des eaux par des endiguements économiques convenablement disposés.

Le tracé des digues exige une attention soutenue. Il doit se composer d'alignements droits raccordés par des courbes tangentes de rayons aussi grands que possible. L'ensemble du tracé de la digue doit envelopper la direction générale du ruisseau; mais sans être assujetti à en suivre les coudes brusques et les irrégularités qui produiraient des tourbillons et faciliteraient l'attaque et la destruction des ouvrages.

La distance entre les deux digues parallèles tracées de chaque côté du ruisseau dépend de la masse des eaux à écouler. L'espace existant entre le pied de la digue et le bord du ruisseau est occupé par des prairies bien gazonnées pour résister aux affouillements. Les extrémités de la digue doivent être soigneusement enracinées dans le terrain insubmersible. Cette partie de l'ouvrage exige un soin tout spécial pour que les eaux ne tournent pas la digue qu'on leur oppose et ne parviennent pas à la détruire en peu de temps.

Le mode de construction de la digue le plus économique et le plus approprié aux travaux ruraux consiste à l'exécuter en terre ou en graviers, à la revêtir en terre végétale et en gazons, et à planter au sommet une haie d'épines ou d'autres arbustes analogues. Les dimensions des digues dont il s'agit dépendent de leur hauteur. Pour les travaux de l'ordre de ceux dont nous nous occupons, c'est-à-dire pour des digues n'excédant pas 2 à 3 mètres de hauteur, on donne ordinairement 0m,50 à 0m,60 de largeur au sommet, avec un talus incliné de 1,50 ou 2 de base pour 1 de hauteur, du côté des cours d'eau, et incliné à 1 ou 1,50 de base pour 1 de hauteur, du côté des terres. Lorsque l'on peut disposer d'ouvriers soigneux, on remplace avec avantage le talus, du côté du cours d'eau, par une courbe concave qui se raccorde mieux avec le terrain naturel. Voici maintenant comment on procède à l'opération, après avoir arrêté le tracé de la digue, sa hauteur et son profil. On enfonce dans le sol, de 20 mètres en 20 mètres environ, des jalons dont les sommets, élevés à 0m,50 au-dessus des plus hautes eaux, indiquent le tracé de l'arête intérieure du couronnement de l'ouvrage. Au droit de chacun de ces jalons, on enfonce deux piquets qui marquent le pied des talus. Celui de ces piquets qui est du côté de la rivière est placé à une distance du pied du jalon égale à deux fois la hauteur de ce jalon, si on a adopté le rapport de 2 à 1 par le talus de ce côté de la digue. La distance de l'autre piquet au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pied du jalon s'obtient en ajoutant à la largeur au sommet une fois ou une fois et demie la hauteur du jalon lui-même.

Le piquetage ainsi terminé, on commence par enlever le gazons et une partie de la terre végétale sur toute la largeur que doit occuper la digue, en mettant de côté ces matériaux qui serviront à son revêtement. On apporte alors les terres qui doivent former le remblai, et on les pilonne fortement, en les arrosant au besoin, par couches de 0m,20 à 0m30 d'épaisseur, en leur donnant le profil adopté, moins l'épaisseur que doit occuper le revêtement de terre et de gazons. Quand on a du gravier à sa disposition, il est très convenable d'en mettre, au centre de la digue, un noyau enraciné dans le terrain naturel pour s'opposer au passage des taupes dont les ravages sont funestes aux ouvrages de cette espèce. On peut également, pour des travaux très soignés, quand on dispose à la fois de terre franche et de gravier, déposer sur chaque couche de terre une couche de gravier à peu près de même épaisseur et que l'on pilonne jusqu'à ce qu'elle ait pénétré dans la couche de terre. On remet une seconde couche de terre, puis une couche de gravier, et l'on continue ainsi jusqu'à l'achèvement du travail. Dans les travaux difficiles, où l'on ne craint point une légère augmentation de dépense, on peut arroser la terre graveleuse ou le sable avec un lait de chaux, au lieu d'eau pure, avant le pilonnage. On forme ainsi des masses d'une extrême compacité. Quand la digue est formée comme on vient de le dire, on la recouvre de la terre végétale mise de côté, que l'on bat bien également, et enfin on applique les gazons mis d'abord en réserve, ou pris sur les terrains voisins.

Pour éviter de transporter les terres nécessaires à la construction de la digue, on les prend habituellement dans un large fossé ouvert parallèlement à la direction de l'ouvrage, du côté des terres. En donnant à ce fossé une faible profondeur et en le raccordant par une pente douce avec le terrain, on peut le conserver en culture et ne pas perdre la surface qu'il occupe.

La fig. 78 représente la section d'une digue construite



Fig. 78.

comme on vient de le dire. Quand le sol sur lequel on établit une digue est très poreux et que l'on peut craindre que l'eau ne s'infiltre sous la digue, on l'enracine au sol par une tranchée creusée à une certaine profondeur, et que l'on remplit de terres bien pilonnées, comme la digue tout entière.

Si l'on craint une crue avant que les gazons de revêtement n'aient fait prise, on les fixe au moyen de chevilles en branchages enfoncées dans le corps de la digue, ou bien par de grandes perches couchées sur le sol et fixées, de place en place, par des piquets. On peut économiser les gazons en ne les posant pas jointivement, les espaces vides s'herbent assez facilement, quand le temps est convenable, et que l'on a bien battu les mottes de gazon pour les faire taller sur leurs bords.

Il convient de ménager de place en place dans les digues de petites buses en bois, fermées par des clapets, pour permettre l'écoulement au ruisseau des eaux de pluie et autres qui pourraient, sans cela, s'accumuler derrière les digues.

Les digues élevées le long des côtes de la mer, pour défendre des inondations les terrains submersibles, sont beaucoup plus fortes que celles dont on vient de parler. Leur sommet doit être arrasé à une assez grande hauteur au-dessus des plus hautes mers, pour que les vagues ne puissent pas le dégrader. L'inclinaison du talus exposé à la mer est extrêmement faible, il est réglé en général à raison de 4 à 6 mètres et même plus de base pour 1 mètre de hauteur. Du côté de la terre, le talus peut n'avoir que 1 mètre 1/2 de base pour 1 mètre de hauteur. Un fossé est creusé à une certaine distance et parallèlement à la digue du côté des terres. Les déblais de ce fossé servent à l'établissement de la digue elle-même.

La fondation de ces digues, quand le terrain n'est point solide, doit être poussée assez profondément pour éviter tout accident. Le mode de construction de l'ouvrage dépend de la nature des matériaux dont on dispose; le corps de la digue est presque toujours en terre ou en gravier, mais la nature des revêtements est extrêmement variable; quelquefois on emploie des pierres disposées en perrés, ou en enrochements, d'autres fois des fascines ou des clayonnages; enfin, dans certaines circonstances, il faut protéger la digue contre les flots et la fortifier de place en place par des épis d'une construction plus ou moins compliquée. L'exécution de ces différents ouvrages est fort difficile; elle exige des précautions multipliées, et ne saurait être confiée qu'à des constructeurs expérimentés. On ne pourrait, du reste, entrer ici dans les développements nécessaires à cet égard sans sortir des limites qui nous sont imposées. Les traités spéciaux de construction peuvent seuls fournir sur cette matière des détails circonstanciés.

Corrosions. Les eaux des ruisseaux torrentiels ne se bornent pas toujours à se répandre en nappes plus ou moins épaisses et plus ou moins rapides sur les terrains qu'elles inondent. Souvent elles corrodent leurs rives, même en basses eaux, et enlèvent successivement à l'agriculture des surfaces plus ou moins considérables. Les rives ainsi attaquées peuvent être défendues au moyen d'enrochements, de perrés, de fascinages, etc. Nous n'indiquerons que les plus simples et les plus économiques des travaux de cette espèce, ceux, en un mot, que les particuliers peuvent avoir à exécuter sur leurs propriétés pour remédier aux corrosions partielles produites par les ruisseaux qui traversent leurs terrains.

On se borne quelquefois à défendre les rives corrodées au moyen d'enrochements jetés à leur pied, ou bien en dressant en pente douce la surface du sol et en la recouvrant d'un perré posé avec soin sur un lit de gravier. Mais ces deux méthodes exigent un entretien continuel et sont trop coûteuses, pour convenir dans les cas ordinaires. Il convient, en général, de se borner à battre au pied et un peu en avant de la rive attaquée une rangée de forts piquets un peu inclinés, entre lesquels on entrelace des clayons; on remblaie l'espace compris entre le clayonnage et la rive en pierrailles ou en terre forte; puis on raccorde par une pente douce, revêtue de gazons, la partie supérieure de ce remblai avec la surface du sol. Si l'action destructive du courant était fort énergique, on pourrait employer un double rang de piquets séparés par un intervalle de 0m,80 à 1 mètre, rempli de forts graviers bien tassés. On fait ordinairement les piquets dont on vient de parler en branches de saule, qui reprennent bien dans l'eau, et forment, au bout d'un certain temps, une haie vive très résistante. Les clayons eux-mêmes peuvent s'engager

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le sol par une de leurs extrémités, et alors tout l'ouvrage, composé de végétaux vivants, acquiert de plus en plus de force. Quand le terrain est un peu dur il convient de préparer, avec un piquet en fer, les trous des piquets et des clayons pour que la reprise ait lieu plus facilement.

Si la rive corrodée reposait sur un sol pierreux où les piquets ne pourraient pas s'enfoncer, on commencerait par couler au fond de l'eau une couche suffisamment épaisse de fascines chargées de pierre et de gravier, et l'on enfoncerait dans cette masse, facile à pénétrer, les piquets d'un clayonnage analogue aux précédents.

Il n'est pas toujours nécessaire de remblayer l'espace compris entre les clayonnages et le pied des rives attaquées. Il arrive quelquefois que les eaux laissent déposer dans ces espaces fermés les matières qu'elles entraînent pendant les crues, et qu'elles les comblent assez rapidement.

Les travaux dont il vient d'être question, endiguement, défense des rives, etc., ne doivent être exécutés qu'avec beaucoup de précaution, pour ne pas provoquer les plaintes et les réclamations des propriétaires riverains plus ou moins rapprochés.

On ne parlera pas ici des travaux de défense des côtes de la mer; ils exigent, en général, une connaissance approfondie de l'art des constructions et des dépenses très considérables. Les grands travaux de la pointe de Grave et la fixation des dunes se rattachent jusqu'à un certain point aux ouvrages dont il s'agit; mais ils sont confiés aux ingénieurs de l'État, et il serait trop long de les étudier dans cet article.

Quatrième section. — Irrigations.

Les sections précédentes ont été consacrées à l'étude des procédés propres à se préserver des eaux nuisibles; celle-ci aura pour objet l'emploi des eaux utiles à l'agriculture. Les avantages des irrigations sont maintenant assez connus pour qu'il soit inutile de s'y arrêter en commençant. Nous passerons donc immédiatement à l'examen des eaux d'irrigation et des moyens de les employer.

I. QUALITÉS DES EAUX EMPLOYÉES AUX IRRIGATIONS.

L'eau n'agit pas seulement quand elle est de bonne qualité en entretenant les végétaux dans l'état d'humidité nécessaire à leur développement; elle tient toujours en dissolution, dans son état naturel, de l'oxygène, de l'acide carbonique et des sels qui exercent, comme on sait, une action énergique sur la végétation, en fournissant aux plantes les aliments dont elles ont besoin. Certaines eaux, au contraire, renferment des produits, ou se trouvent dans certaines conditions qui les rendent funestes aux plantes. Il convient donc, avant tout, d'examiner la composition des eaux, d'indiquer les caractères qui permettent d'apprécier leurs qualités et les moyens de corriger leurs défauts.

On a déjà parlé, à propos des colmatages, des substances tenues en suspension dans les eaux; on reviendra sur ce point au sujet des limonages. Il ne s'agit ici que des matières tenues en dissolution, et que l'on trouve dans les eaux parfaitement claires. Les analyses bien faites d'eaux de source ou de rivière applicables à l'irrigation sont assez peu nombreuses. Ce genre de recherches serait cependant fort utile aux progrès des travaux agricoles. Nous nous bornerons à citer les exemples suivants :

Les eaux du bassin de Paris ont été naturellement examinées avec un soin scrupuleux. Voici les compositions de quelques-unes d'entre elles déterminées par

MM. Henri et Bouchardat (voyez le tableau page suivante).

Les eaux de la Meuse, employées à l'irrigation de la Campine, ont été étudiées par M. Chaudelon, de Liége, par ordre du gouvernement belge. Il résulte de ce travail, très important pour l'objet qui nous occupe, que les sels contenus dans l'eau vont en décroissant quand on s'éloigne de la prise d'eau, excepté le chlorure de sodium, dont la proportion suit une progression inverse, et que la quantité de matières organiques est tout à fait insignifiante. Voici d'ailleurs les chiffres obtenus

SUBSTANCES contenues dans dix litres d'eau.	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
Résidu salin provenant de l'évaporation.	gr. 2,300	gr. 2,100	gr. 1,050	gr. 0,750
Carbonate de chaux. . . .	1,369	1,255	0,498	0,321
Carbonate de magnésie. .	0,270	0,241	0,089	0,055
Sulfate de chaux.	0,122	0,136	0,203	0,124
Sulfate de magnésie. . . .	0,043	0,030	0,021	0,012
Chlorure de sodium. . . .	0,150	0,140	0,100	0,092
Silice.	0,200	0,182	0,104	0,028
Alumine et oxyde de fer.	0,050	0,040	0,024	0,023
Sels de potasse.	traces	traces	traces	traces
Matières organiques . . .	—	—	—	—
	2,204	2,024	1,039	0,655

N° 1. Eau recueillie à Hocht, dans le bassin de la Meuse, immédiatement en amont de la prise d'eau.

N° 2. Eau recueillie à Bocholt, dans l'écluse n° 18, à l'embranchement du canal de la Campine et à 39 kilomètres de la prise d'eau.

N° 3. Eau recueillie à la Pierre-Bleue, à 69 kilomètres de la prise d'eau.

N° 4. Eau recueillie à Arendonck, canal d'embranchement vers Turnhout, à 84 kilomètres de la prise d'eau.

Nota. Les écluses étaient fermées depuis quinze jours quand on a puisé les échantillons n^os^ 3 et 4.

La composition des sels contenus dans l'eau dépend des terrains qu'elle traverse. Les eaux des terrains anciens sont généralement préférables à celles des terrains tertiaires. Ces qualités cependant sont relatives, et, pour un terrain donné, la meilleure eau est celle qui renferme surtout les principes manquant à ce terrain; ainsi, des eaux riches en calcaire pourront être très avantageuses sur un terrain argileux et détestables sur un sol crayeux; des eaux riches en potasse conviendraient parfaitement sur les sols calcaires.

L'analyse chimique de l'eau fournit sur sa valeur agricole les renseignements les plus précis; mais cette opération délicate est d'une exécution difficile, et l'on peut, en général, se guider sur les indices suivants qui paraissent assez certains pour caractériser les qualités des eaux courantes. L'eau est de très bonne qualité quand on y rencontre le cresson de fontaine (*nasturtium officinale*), les épis d'eau (*potamogeton perfoliatus* et *fluitans*), les véroniques (*veronica anagallis* et *beccabungæ*), la renoncule aquatique (*ranunculus aquatilis*). Elle est moins bonne lorsqu'elle produit les roseaux (*arundo*), les patiences (*rumex*), les ciguës (*cicuta*), les salicaires (*lythrum*), les menthes (*mentha*), les scirpes (*scirpa*), les joncs (*juncus*), etc. Enfin, l'eau est de mauvaise nature quand il n'y végète que quelques carets (*carex acuta*, *carex stricta*) et des mousses. Les charas indiquent souvent une eau fortement calcaire.

Les eaux provenant de marécages, de tourbières ou de hautes bruyères renferment, en général, des prin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SUBSTANCES CONTENUES DANS UN LITRE D'EAU.

DÉSIGNATION des EAUX.	Acide carbonique libre.	Air atmosphérique.	BI-CARBONATES de chaux.	BI-CARBONATES de magnésie.	BI-CARBONATES de potasse.	SULFATES ANHYDRES de chaux.	SULFATES ANHYDRES de magnésie et de soude.	SULFATES ANHYDRES de potasse.	SULFATES ANHYDRES de strontiane.	CHLORURES de calcium, de sodium et de magnésie	CHLORURES de potassium.	Sels de potasse.	Nitrate alcalin	Silice, alumine, oxyde de fer.	Matières organiques.	TOTAUX.
	lit.	lit.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.				gr.		gr.
De la Seine, au pont d'Ivry. .	0,013	0,003	0,132	0,060	»	0,020	0,040	»	»	0,010	»	traces	indices	0,008	traces	0,240
De la Seine, au pont Notre-Dame.	0,014	0,003	0,174	0,062	»	0,039	0,017	»	»	0,025	»	—	—	0,014	—	0,331
De la Seine, au Gros-Caillou.,	0,014	0,004	0,229	0,075	»	0,040	0,027	»	»	0,032	»	—	—	0,023	—	0,426
— à Chaillot. . . .	0,013	0,093	0,230	0,076	»	0,040	0,030	»	»	0,032	»	—	—	0,024	—	0,432
De la Marne, au pont de Charenton.	0,013	indéter.	0,301	0,120	»	0,022	0,018	»	»	0,020	»	»	traces	0,030	traces	0,511
D'Arcueil.	0,070	0,004	0,158	0,060	»	0,138	0,072	»	»	0,081	»	traces	—	0,048	—	0,527
De Belleville.	indéterminée.		0,400		»	1,100	0,520	»	traces	0,400	»	»	—	1,100		2,520
Des prés Saint-Gervais. . . .	—		0,032	0,012	»	0,430	0,100	»	—	0,600	»	»	—	0,020		1,194
Du puits de Grenelle.	—		0,0292	0,0092	0,010	»	0,032		»	»	0,057	»	»	0,042	traces	0,1494
De la Bièvre.	0,020	indéter.	0,308		»	0,116	0,170	»	»	0,181	»	»	»	0,034	—	0,804
De la rivière d'Ourcq. . . .	indéterminée.		0,107		»	0,082	0,051	»	»	0,014	»	»	traces	0,027	indices	0,281
De la Callinance.	—		0,193		»	0,060	0,230	»	»	0,100	»	»	—	0,050	—	0,633
Du Clignon.	—		0,247		»	0,044	0,060	»	»	0,040	»	»	»	0,009	—	0,370
De la Gergogne.	—		0,221		»	0,044	8,060	»	»	0,020	»	»	indices	0,010	—	0,322
De la Thérouenne.	—		0,380		»	0,064	0,041	»	»	0,059	»	»	»	0,031	traces	0,572
De la Roche de Crégy. . . .	—		0,846		»	1,170	0,175	»	traces	0,110	»	»	indices	0,024	—	2,595
Du Rutel.	—		0,116		»	0,050	0,310	»	»	0,120	»	»	traces	0,060	—	0,956
De la Beuvronne.	—		0,142	0,100	»	0,071	0,180	»	»	0,105	»	»	—	0,063	—	0,661
Du Morg.	—		0,210	0,105	»	0,055	0,102	»	»	0,135	»	»	—	0,050	quantité notable	0,657
De l'Arneuse.	indéterminée		0,258		»	0,020	0,036	»	»	0,014	»	»	traces	0,044	—	0,372
Du canal de l'Ourcq.	—		0,158	0,075	»	0,080	0,095	»	»	0,113	»	»	—	0,069	—	0,590

AGRICULTURE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pes acides et astringents qui les rendent très nuisi-es à la végétation. On peut les améliorer en les isant passer dans des bassins contenant de la chaux, ı bien en les mélangeant avec des eaux alcalines de mier.

Les eaux très froides sont également de mauvaise ıalité. Il faut, avant de les employer, les faire cir-ler dans de longs canaux, ou les laisser séjourner ıns des bassins peu profonds, où elles se réchauffent.

Enfin les eaux tuffeuses, c'est-à-dire celles qui con-ennent un excès de sels calcaires qu'elles abandon-ent à l'air, produisent sur la terre des incrustations ui nuisent à la culture. Il faut les faire passer en ouches minces, avant de les utiliser, sur des fagots ı autres matériaux qui les divisent et les exposent à air dans toutes leurs parties, pour les dépouiller du if qu'elles entraînent. On reconnaît facilement les ıux de cette espèce à la difficulté qu'elles ont à dis-oudre le savon et à cuire les légumes.

Les différentes espèces d'eaux de mauvaise qualité ont nous venons de parler s'améliorent, en général, ı s'éloignant de leur point de départ, par leur con-act avec l'air et le sol. Cependant, employées seules, les ne donnent jamais que de médiocres résultats, ıais elles peuvent rendre de grands services pour le épandage des engrais liquides dont nous parlerons lus loin, et l'on doit toujours s'estimer heureux de osséder de l'eau sur une exploitation, quelque mé-iocre que soit sa qualité.

II. Moyens d'obtenir les eaux pour l'irrigation.

Les eaux que l'on peut employer aux irrigations roviennent des puits artésiens, des opérations de drai-age, des sources, des pluies et enfin des rivières et uisseaux.

1. *Puits artésiens.* On n'ajoutera rien à ce qui se rouve dans l'article spécial consacré aux puits artė-iens (voy. ce mot). Nous dirons seulement qu'il existe lusieurs exemples remarquables de l'application des aux de cette nature à l'irrigation; mais l'incertitude u succès des sondages s'opposera longtemps encore la généralisation de ce moyen d'arrosage.

2. *Eaux provenant des travaux de drainage.* Nous avons ıdiqué déjà l'application des eaux de cette espèce en uisant remarquer combien leur composition les ren-ait quelquefois propres à cet usage. Les drains four-issent presque toujours leur plus grand débit lorsque es irrigations sont suspendues. Il faut donc, en gé-éral, recueillir les eaux de drainage comme les eaux e pluie dans des réservoirs pour les utiliser au be-oin. Quand les drains ne débouchent pas à un niveau ssez élevé pour que l'on puisse conduire directement es eaux sur les terres à arroser, il faut, en outre, ecourir à l'emploi des machines élévatoires. Nous envoyons, par conséquent, à l'article des eaux de luie et aux machines élévatoires pour ce qui se rap-orte aux eaux dont il s'agit.

3. *Eaux de source.* Les eaux de source proprement ites sont rarement assez abondantes à leur origine, et , une température convenable pour servir aux irriga-ions. Leur emploi n'exige, du reste, aucun ouvrage articulier; nous voulons seulement parler ici d'un rocédé fréquemment employé en Italie pour réunir es eaux de source et les employer en irrigations. Ce rocédé consiste à ouvrir une tranchée atteignant le iveau où sourdent les sources, à observer attentive-ent les points où l'eau arrive en plus grande quantité, t à entourer ces points de tonneaux ouverts par les eux bouts, pour protéger la source contre les envase-ents et les éboulements de graviers. Quelquefois le bouillonnement de l'eau n'est pas assez énergique pour indiquer nettement l'emplacement le plus convenable des tonneaux; dans ce cas, les fontainiers milanais abandonnent la fouille à elle-même pendant un an, et après ce temps ils placent les tonneaux aux points où les touffes de cresson présentent la plus belle végéta-tion.

Plusieurs grands canaux de la Lombardie sont, en partie, alimentés par des sources artificielles obtenues comme nous venons de l'indiquer. Dans plusieurs parties de la France ce procédé serait susceptible d'application.

4. *Eaux de pluie, étangs et réservoirs.* Les réservoirs d'eaux destinés aux besoins de l'irrigation sont, sans aucun doute, l'un des plus puissants moyens de pro-pager cette utile pratique et d'apporter de précieuses et importantes modifications au régime général des eaux d'une vaste contrée. L'état morcelé de la pro-priété en France leur donne, en effet, un intérêt tout particulier au point de vue des travaux privés, et l'heureuse disposition du terrain, dans quelques-uns de nos départements montagneux, permet à l'Etat de les utiliser à peu de frais, et sur une très grande échelle, pour l'amélioration du régime des eaux, de la naviga-tion et de l'agriculture sur d'immenses étendues de pays. « Partout, dit M. de Gasparin, où un vallon, recevant les eaux d'une vaste surface de collines, laisse échapper, lors des pluies ou des orages, un tor-rent passager qui souvent dégrade les terres inférieu-res; partout où un ruisseau trop peu abondant pour être utile peut être retenu, et ses eaux mises en ré-serve pour le besoin, la création d'un réservoir peut devenir une source de richesse. Il suffit de calculer et la quantité d'eau que l'on peut recevoir, et l'étendue du bassin que l'on doit former, et les frais que coûtera sa construction, puis balancer ces dépenses avec l'ac-croissement de valeur qu'acquerront les terres à arro-ser. »

La capacité d'un réservoir dépend et de la quantité d'eau qu'il peut recevoir et de celle dont on a besoin. On donnera plus loin tous les détails nécessaires à la détermination du volume d'eau d'irrigation nécessaire par hectare, c'est-à-dire le moyen de fixer la limite in-férieure de la capacité d'un réservoir projeté. Pour le moment on ne s'occupera que du moyen de déter-miner le maximum de sa capacité, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il est sage d'attendre de l'établissement d'un ouvrage de cette nature.

La détermination de la capacité d'un réservoir est un problème extrêmement complexe, et qu'il est im-possible de traiter d'une manière complétement rigou-reuse; on essayera donc seulement d'indiquer ici les principaux éléments de la question. On ne manquera pas de remarquer l'analogie de ce sujet avec celui qui a été précédemment traité en parlant des marais. Les différences entre les règles qui seront posées maintenant, et celles qui ont été données dans le premier cas, s'expliquent facilement en observant qu'il convenait, pour éviter tout mécompte, d'arriver à une évaluation du *maximum* de la quantité d'eau à recevoir dans le premier cas; tandis que dans celui dont il s'agit maintenant, il importe d'autant plus de s'arrêter à un *minimum*, que c'est précisément dans les années où le réservoir recevra le moins d'eau que les terres en auront le plus besoin.

L'eau des réservoirs a deux origines différentes : les sources ou ruisseaux à débit plus ou moins régulier, et les eaux de pluie coulant à la surface du sol. Il suffit de jauger, pendant une assez longue période de temps, les courants permanents, en un point voisin du réservoir projeté, pour évaluer le volume d'eau qu'ils lui fourniront; la détermination du produit des eaux de pluie coulant à la surface du sol ou se réunissant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les rigoles qui les amènent au réservoir, présente plus de difficulté et d'incertitude. Voici comment il convient de procéder à cette recherche.

On doit déterminer d'abord l'étendue de la surface versant dans le réservoir projeté. On y parvient facilement en traçant, par quelques nivellements, la ligne de faîte qui circonscrit le bassin ; ou, plus simplement encore, au moyen d'une bonne carte topographique de la localité, quand il en existe. La carte de l'état-major suffit, dans beaucoup de cas, pour les recherches de cet ordre.

Lorsque la surface du bassin versant a été déterminée, si l'on veut opérer avec beaucoup de rigueur, quand il s'agit d'ouvrages d'une grande importance, il faut déterminer la hauteur d'eau de pluie tombant annuellement sur différents points du bassin (voy. chap. II, sect. 3e, V), et prendre la moyenne des résultats obtenus. Mais cette méthode est beaucoup trop longue et trop compliquée pour des travaux particuliers d'une faible importance. On doit donc se borner à prendre pour la hauteur d'eau tombée dans le lieu que l'on considère, celle qui a été observée dans une localité analogue et voisine, autant que possible, de celle où l'on se trouve. Le tableau de la troisième section du chapitre II est assez étendu pour donner à cet égard, dans toutes les parties de la France, des indications suffisantes. Les moyennes fournies par le tableau ou par des observations directes doivent être réduites, dans un certain rapport, pour éviter tout mécompte dans les années de sécheresse. Il serait difficile de fixer ce rapport d'une manière absolue ; mais, en pratique, il paraît suffisant de prendre, pour la hauteur d'eau tombant dans le bassin considéré, les 3/4 ou les 5/6, dans les pays très secs, de la moyenne fournie par plusieurs années d'observations. Cette hauteur d'eau ainsi corrigée, multipliée par l'étendue de la surface versante, représenterait la quantité d'eau sur laquelle on pourrait compter, si elle arrivait entièrement au réservoir, et s'y conservait sans perte. Mais l'évaporation et les infiltrations qui se produisent soit à la surface du sol, soit dans le réservoir lui-même, réduisent dans une forte proportion, comme on va l'indiquer, les eaux disponibles.

Les expériences positives pour déterminer la fraction de l'eau tombée sur un bassin qui arrive au point le plus bas de ce bassin, sont assez rares. Voici les principales évaluations fournies à cet égard par les auteurs les plus accrédités.

Au canal de Bourgogne on a jaugé la Brenne, avec tous les soins convenables, pendant 1,120 jours, en observant, en même temps, les hauteurs d'eau tombées à Pouilly, et l'on a obtenu les résultats suivants, trop importants pour n'être pas intégralement rappelés :

ANNÉES.	HAUTEUR d'eau fournie par la Brenne, par m. carré.	PLUIE tombée à Pouilly.	RAPPORT
	m.	m.	
1834 (trois mois)	0,036	0,110	0,32
1835	0,432	0,856	0,50
1836	0,729	1,019	0,70
1837 (dix mois)	0,377	0,705	0,53

Les rapports de l'eau recueillie à l'eau tombée sur le bassin versant sont respectivement 0,45, 0,19, 0,15 et 0,22 pour les réservoirs de Grosbois, de Poultier, de Tillot et de Chazilly au canal de Bourgogne. Sur le canal du Centre, on a trouvé 0,34 pour l'étang de Torcy, et 0,25 pour l'étang Berthand, en admettant que la hauteur d'eau de pluie tombée était de 0m,65 dans la vallée de ce dernier réservoir. Enfin, on admet que les réservoirs de la montagne Noire reçoivent les deux tiers de l'eau tombée dans les bassins qui les alimentent.

La couche d'eau qui tombe annuellement dans le département du Cher, évaluée d'après une moyenne de vingt années d'observations, a 0m,53 d'épaisseur. Les réservoirs du canal du Berry ont été construits dans l'hypothèse, confirmée maintenant par l'expérience, que le tiers de cette quantité, c'est-à-dire 1,766 mètres cubes par hectare, arriverait aux réservoirs.

Les chiffres précédents permettent, par analogie, de fixer le volume d'eau fourni à un réservoir par hectare versant On peut admettre en résumé, et comme résultat moyen pratique pour les petites opérations, que, dans le centre de la France, on ne doit compter que sur le tiers ou la moitié au plus du volume tombé, en prenant bien entendu pour ce volume les 3/4 ou les 5/6 seulement, comme on l'a déjà dit, de la hauteur moyenne de pluie obtenue par un grand nombre d'années d'observations.

Pour évaluer le volume d'eau qui restera disponible pour les irrigations, il faut encore déduire du résultat, calculé comme on vient de le dire, le volume d'eau enlevé par évaporation à la surface du réservoir. Cette dernière quantité est très variable d'un point à un autre. Voici quelques chiffres à ajouter à ceux qui ont été précédemment donnés au sujet du drainage et des desséchements. M. Surell estime que l'évaporation, pendant la période estivale, est de 0m,007 par vingt-quatre heures dans les étangs de la Camargue. La température de cette partie de la France explique l'élévation de ce chiffre, qui est presque double de celui que l'on peut adopter dans le centre. On admet généralement que l'évaporation annuelle, en France, enlève une couche d'eau de beaucoup supérieure à celle que verse la pluie. Cependant, des expériences récemment publiées et qui paraissent fort bien faites ont fourni, de 1839 à 1845, les résultats moyens suivants, qu'il peut être utile de donner à titre de renseignement :

LOCALITÉS.	ALTITUDE.	PLUIE	ÉVAPORATION.
	m.	m.	m.
Saint-Jean de Losne.	185	0,8583	0,5658
Dijon.	241	0,7518	0,6282
Pouilly.	400	0,8008	0,5648
La Roche-sur-Yonne	85	0,5440	0,4900

On sait d'ailleurs que le volume d'eau enlevé par l'évaporation est égal au produit de la surface moyenne de l'eau dans le réservoir, par le coefficient d'évaporation applicable à la contrée où l'on se trouve. En retranchant ce produit du volume d'eau reçu dans le réservoir, on obtient le volume réellement disponible.

Dans tout ce qui précède, on s'est borné à indiquer la marche à suivre pour le calcul du volume d'eau rendu annuellement disponible par un réservoir, et à réunir les principales données numériques relatives à cette question. Mais un dernier élément est nécessaire à la solution, c'est l'ordre de succession des arrosages et le nombre de fois que l'on pourra remplir et vider le réservoir chaque année. Cette dernière considération permettra de fixer sa capacité et d'évaluer la quantité d'eau disponible dans chaque saison. On ne doit pas d'ailleurs oublier qu'il faut toujours laisser dans le réservoir un certain volume d'eau, indispensable à la conservation des terrassements et à l'entretien de la salubrité de l'air environnant.

Les explications précédentes permettent de faire en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

trer en ligne de compte, dans le projet d'un réservoir, les principaux éléments de la question, et suffisent pour montrer les données préliminaires nécessaires à une solution complète du problème. Mais, pour formuler une règle pratique qui puisse être immédiatement appliquée à la construction de petits réservoirs, par les personnes qui ne voudraient pas se livrer aux recherches que nécessite une étude complète, nous dirons que, dans la plus grande partie de la France, on peut admettre, sans crainte d'être au-dessus de la vérité, qu'en moyenne, et dans les circonstances ordinaires, un réservoir fournit annuellement 1,000 à 1,200 mètres cubes d'eau par hectare versant.

On peut accroître beaucoup la quantité d'eau amenée à un réservoir, en ouvrant, dans l'étendue du bassin qui lui verse les eaux, une série de fossés à faible pente communiquant les uns avec les autres et avec le réservoir, et destinés à recueillir les eaux après leur chute, sans leur laisser le temps de se perdre par infiltration, et par évaporation à la surface du sol. Parmi les applications assez nombreuses que l'on pourrait citer de ce genre de travaux, nous rappellerons seulement que la plus grande partie des eaux de Versailles sont ainsi recueillies dans les plaines voisines.

On calcule le nombre d'hectares arrosables à l'aide d'un réservoir donné, en divisant le volume d'eau qu'il peut fournir par le nombre de mètres cubes nécessaires à l'irrigation d'un hectare. Ce dernier chiffre est égal au produit du nombre d'arrosages annuels par le volume d'eau que chacun d'eux exige. On reviendra plus loin sur l'étude des volumes d'eau nécessaires aux irrigations; on va seulement rapporter quelques indications fournies au sujet des réservoirs par différents auteurs. M. de Gasparin admet que les réservoirs de profondeur moyenne doivent contenir par hectare à arroser autant de fois 1,000 mètres cubes d'eau qu'il convient de faire d'arrosages. Cette formule donne évidemment une capacité beaucoup trop considérable dans la plus grande partie de la France. M. Polonceau estime que, dans le centre, chaque arrosage de 24 heures exige, par hectare, 200 mètres cubes d'eau pour les terres argileuses, 300 pour les terres franches, et 4 à 500 dans les terres sableuses et perméables. Il base sur ces chiffres la capacité de ses réservoirs.

M. Pareto estime qu'en Sologne les réservoirs doivent contenir 2,000 mètres cubes d'eau environ par hectare de pré à arroser. Ce chiffre, pour cette localité, n'est pas suffisant, surtout dans les années sèches pour obtenir de fortes récoltes.

Construction des réservoirs. Lorsqu'il est possible d'amener les eaux au-dessus du niveau du terrain à irriguer, et qu'il s'agit de former un petit réservoir, on peut se borner à creuser le sol à une certaine profondeur, et employer la terre provenant de ce déblai à former une digue d'enceinte. On donne au talus de la fouille une pente de 1 1/2 à 2 de base pour 1 de hauteur, et on établit le pied de la digue à $0^m,30$ ou $0^m,40$ en arrière de l'arête de la fouille. Cette digue d'enceinte présente à peu près le profil des digues de défense des rives. Son sommet doit être arrasé à 0^m25 ou $0^m,40$ au-dessus du niveau de l'eau. Quand le sol est imperméable, il suffit de bien piloner les terres de la digue pour qu'elle conserve l'eau. Mais si la terre est facilement perméable, il faut recouvrir les parois de la fouille et des digues d'un corroi imperméable formé de sable gras naturel, ou d'un mélange d'argile en bouillie et de sable, arrosé d'un fort lait de chaux. On taille alors les parois de la digue et ceux de la fouille en redans, et on pilone par couches successives le corroi précédent, sur une épaisseur de $0^m,08$ à $0^m,10$. L'addition de chaux au corroi, même en très faible quantité, a le double avantage de lui donner beaucoup de consistance et d'empêcher les vers et autres insectes de le traverser. Le prix d'établissement d'un réservoir construit comme nous venons de le dire est facile à calculer dans chaque localité. Presque toujours leur construction, bien qu'assez dispendieuse, constitue cependant une opération lucrative. Il convient de ne pas donner à ces réservoirs moins de 3 à 6 mètres de profondeur.

Les réservoirs ou les grands étangs, destinés à retenir des quantités d'eau considérables, s'établissent dans des vallées ou des plis de terrain que l'on ferme à leur partie inférieure par un barrage. On doit d'abord étudier avec soin l'emplacement le plus convenable à la construction, c'est-à-dire celui où, toutes choses égales d'ailleurs, on retiendra le plus grand volume d'eau avec la moindre dépense. Le point où la vallée est la plus resserrée et la plus profonde est celui qu'il convient ordinairement de choisir pour l'établissement du réservoir. Les digues ou barrages du réservoir peuvent se construire, suivant les circonstances locales ou leur importance en maçonnerie, en terre seule ou en terre revêtue de maçonnerie sèche ou à mortier. Les barrages en maçonnerie ne conviennent, en général, que pour des ouvrages d'une grande importance. Nous ne décrirons pas ici en détail leur construction, qui présente assez de difficultés; nous dirons seulement qu'il faut établir leurs fondations sur un sol parfaitement solide et incompressible. Ils s'enracinent dans le sol par redans. Ils peuvent avoir, en plan, une forme rectiligne, ou concave du côté de l'eau, ce qui, du reste, ne semble pas présenter d'avantage réel. L'épaisseur du barrage augmente du sommet à la base. Le parement extérieur doit présenter un fruit plus ou moins considérable ou une courbe concave; le parement du côté de l'eau offre une inclinaison régulière ou une courbure plus ou moins prononcée, ou bien une série de redans.

Un procédé géométrique très simple, analogue à celui que l'on emploie pour vérifier la stabilité des voûtes, permet de déterminer l'épaisseur à donner au barrage. La résultante du poids du mur et de la poussée de l'eau, par unité de longueur, doit venir passer à une distance telle de l'arête extérieure du mur, que les 2/3 de cette résultante, répartie sur cette distance, ne donnent pas une pression supérieure à la résistance du sol de fondation ou à celle de la maçonnerie elle-même. Cette pression, en général, ne doit guère dépasser 5 à 6 kilogrammes; elle est de $6^k,19$ au barrage de Bosmeléac, de $6^k,18$ à celui de Vioreau; elle était de plus de 13 kilogrammes à celui de Grosbois, qu'il a été nécessaire de renforcer. Quand le sol n'est point très résistant, il convient que la résultante passe près du milieu de la fondation. La maçonnerie des barrages doit être exécutée d'ailleurs avec le plus grand soin, et en employant de très bonne chaux hydraulique, au moins dans une certaine épaisseur du côté de l'eau.

Les digues en terre pour les réservoirs dont nous nous occupons ici, et dont les profondeurs n'excèdent pas 5 à 7 mètres, sont presque toujours plus économiques que les barrages en maçonnerie. Leur construction exige un assez grand nombre de précautions.

Quand on a choisi l'emplacement du barrage, on indique par un piquetage fait avec soin, et en suivant la marche indiquée pour les digues des rivières, l'emplacement que doit occuper le remblai auquel il convient de donner une certaine convexité du côté de l'eau. L'inclinaison du talus de ces digues dépend de leur élévation et de la nature des terres que l'on emploie. Dans les circonstances ordinaires, le talus du côté de l'eau doit avoir $2^m,50$ à 3 mètres de base pour 1 de hauteur, et le talus extérieur 1 à 2 mètres de base pour 1 de hauteur. Dans les digues très élevées, on pourrait ménager du côté de l'eau une ou deux banquettes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à des hauteurs différentes, et diminuer progressivement l'inclinaison en s'approchant de la base, de manière à ce que l'ensemble du talus présente la forme concave que prennent à la longue les anciennes chaussées d'étangs. Une largeur de 1m,50 à 2 mètres au couronnement est largement suffisante, même avec des terres médiocres, comme il est facile de le reconnaître par l'expérience aussi bien que par le raisonnement. Le couronnement des digues doit être arrasé à 0m,60 ou 0m,70 au-dessus du niveau de l'eau, pour que les vagues ne puissent pas le dépasser. Une plus grande surélévation est même nécessaire pour les digues des étangs ou réservoirs exposés au vent et d'une grande étendue. Il convient enfin de donner à la digue un bombement sensible au milieu de sa longueur, pour que l'eau déborde seulement aux extrémités, si une circonstance accidentelle leur faisait dépasser leur niveau ordinaire.

La fondation et l'enracinement des digues des réservoirs dans le terrain naturel doivent être exécutés avec un soin minutieux. La fondation doit s'approfondir par redans successifs, et présenter une assez grande profondeur vers le milieu de la digue. Le fond de la fouille est pioché, pour que la liaison se fasse bien avec les terres rapportées, dont les premières couches doivent être pilonées avec plus de soin encore que les suivantes, et arrosées, si cela est possible, avec du lait de chaux. Toutes les terres remblayées sont soigneusement émiettées et bien tassées par le passage des brouettes, ou mieux à l'aide du pilon.

On élève quelquefois au milieu de la digue un fort corroi en glaise, en sable gras ou même en béton maigre. Cette précaution est nécessaire quand on ne dispose que de terres de médiocre qualité. M. Polonceau indique l'emploi, au centre des digues, d'une rangée de palplanches enveloppées d'un corroi très soigné; mais ce mode de construction ne paraît pas, en général, devoir être recommandé.

Le talus d'aval des digues doit être gazonné ou semé. Il est bon de défendre aussi celui d'amont avec des gazons enlevés, autant que possible, dans des terrains marécageux. La partie supérieure de la digue exposée aux vagues et aux mouvements de l'eau est nécessairement garnie d'enrochements ou de piquets clayonnés. Pour les petits réservoirs bien abrités quelques lignes de joncs, plantés au niveau de l'eau, suffisent pour résister au clapotement du liquide.

Une dernière précaution, que l'on ne saurait assez recommander dans l'établissement des réservoirs, consiste à donner à leurs berges une forte inclinaison, pour éviter, pendant les basses eaux, la formation des parties marécageuses, véritable cause de l'insalubrité si souvent attribuée aux étangs. On doit donc creuser le terrain autour des bords du réservoir projeté, surtout du côté de la queue, où le sol présente en général le moins de pente, et l'eau le moins de profondeur. La terre extraite de ces fouilles sert à la construction de la chaussée, ou à la formation d'une petite digue d'enceinte, qui permet souvent d'augmenter beaucoup, et presque sans dépense, la profondeur et la capacité du réservoir.

Déversoirs et prises d'eau. Toutes les digues de réservoirs doivent être munies de déversoirs destinés à écouler, en temps d'orage ou de crues accidentelles, les eaux qui pourraient dépasser le niveau de la digue et la dégrader en s'écoulant à sa surface. Ces déversoirs sont construits en pierres, en briques, ou en bois. On les place à l'extrémité de la digue, de manière à établir le canal de décharge à flanc de coteau, et autant que possible sans tranchée. La largeur des déversoirs doit être telle que la tranche d'eau qu'ils débitent ne dépasse jamais 0m,15 à 0m,20, et n'acquière pas une vitesse suffisante pour dégrader les ouvrages; une largeur de quelques mètres suffit, pour cela, dans les déversoirs moyens. Lorsque la disposition des lieux oblige à établir le canal de décharge à une certaine hauteur en contre-bas du deversoir, on divise cette hauteur en plusieurs chutes, séparées par de petits bassins, dans lesquels l'eau se brise et amortit sa vitesse. L'eau des déversoirs est quelquefois employée pour les irrigations d'hiver.

Le mode de construction des prises d'eau dépend de leur importance. Dans de très petits réservoirs, une simple buse en bois (fig 79), placée dans le corps de la digue et fermée du côté de l'étang par une petite

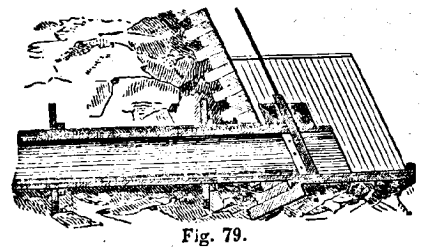


Fig. 79.

vanne, que l'on manœuvre de la chaussée avec une tige également en bois, suffit parfaitement. Les buses qui traversent des digues doivent être soigneusement goudronnées et calfatées avant leur pose. Il ne suffirait pas toujours de bien piloner la terre autour du corps prismatique de la buse pour s'opposer à toute infiltration d'eau entre elle et le terrain. Il faut encore garnir extérieurement ces buses de grands diaphragmes rectangulaires en bois, autour desquels on pilone soigneusement des corrois en terre grasse. Ces surfaces, verticales et imperméables, arrêtent les progrès des infiltrations qui tendraient à se produire.

La plupart des étangs, en France, ont un autre système de prise d'eau, très convenable comme moyen de vidange, mais qui ne semble pas très avantageux pour les prises d'eau d'irrigations dont la manœuvre doit être fréquente et facile à graduer. La fig. 80 fera comprendre cette disposition. Une forte buse en bois, ou un aqueduc dallé *a* est établi sous la digue et communique, par une ouverture conique pratiquée à son extrémité supérieure, avec une seconde buse, ou un aqueduc *c*, qui débouche dans l'étang. Une bonde en bois *d*, quelquefois garnie de cuir, peut boucher l'ouverture conique dont nous venons de parler et intercepter ainsi toute communication de l'eau avec l'extérieur. La bonde *d* est suspendue par une pièce de bois ou de fer, dont l'extrémité supérieure peut être manœuvrée au niveau de la chaussée. En soulevant la bonde on fait écouler l'eau de l'étang, et en la laissant redescendre on arrête cet écoulement. La bonde et sa tige sont renfermées dans un fort coffrage en charpente, ou mieux dans un puits cylindrique en maçonnerie, qui s'élève autour de l'orifice de l'aqueduc jusqu'au niveau de la chaussée. On peut éviter la construction, toujours assez dispendieuse, de ce coffrage ou de ce puits en plaçant la bonde au pied du talus d'amont de la digue. On manœuvre alors sa tige au moyen d'un appontement léger disposé comme celui indiqué par la fig. 81.

La manœuvre des bondes que l'on vient de décrire est assez difficile quand la profondeur d'eau est considérable, puisque l'effort à exercer, indépendamment des résistances accidentelles, est égal au poids d'une colonne d'eau ayant pour base la surface de la bonde et pour hauteur la profondeur de l'étang lui-même au-dessus de l'aqueduc de décharge. On ne doit pas donner à ces bondes plus de 0m,40 à 0m,50 de diamètre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

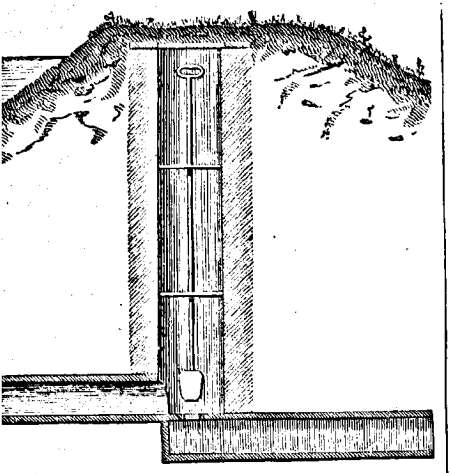


Fig. 80.

Une bonde de 0m,45 de diamètre avec une charge de 3 mètres débite environ 750 litres par seconde. Quand la section des aqueducs est assez grande relativement à celle de la bonde, on peut approximativement calculer le débit Q, par la formule : $Q = 0{,}62 \cdot s \sqrt{2gh}$ dans laquelle s est la section de l'ouverture de la bonde, h la hauteur de l'eau au-dessus de cette ouverture, et $g = 9{,}81$.

Dans les réservoirs un peu importants la prise d'eau peut se faire au moyen d'un véritable aqueduc construit sous la digue, et dont la tête d'amont est garnie d'une vanne analogue à l'une de celles décrites plus loin. Cette vanne se manœuvre de l'extrémité d'un appontement léger disposé comme le montre la fig. 81, qui indique, en même temps, le profil de la digue. Cette disposition ne permet de visiter et de réparer la vanne qu'en vidant complétement le réservoir. On peut éviter cet inconvénient, pour les réservoirs d'une grande dimension, en élevant les murs en aile de la figure précédente, avec l'inclinaison de la digue, jusqu'au niveau de l'eau, et plaçant la tête de l'aqueduc à l'aplomb de l'arête supérieure de la chaussée. On ménage dans les murs en aile, à 1m,50 environ en avant de la tête de l'aqueduc, deux rainures, où l'on place des poutrelles quand on a besoin de réparer la vanne ou son aqueduc. Enfin, quand la profondeur d'eau est très considérable, on fait quelquefois des prises à différentes hauteurs dans l'étang. Les ouvrages de cette espèce sont un peu compliqués, et ne sont d'ailleurs nécessaires que pour des réservoirs beaucoup plus vastes que ceux que les simples particuliers peuvent avoir à construire. Il est inutile de nous y arrêter.

On peut encore faire d'excellentes prises d'eau au moyen de tuyaux de fonte traversant les digues, engagés du côté de l'eau dans une tête en maçonnerie, et fermés par des vannes en métal glissant dans une rainure.

Quand la profondeur de l'eau atteint 2 ou 3 mètres, la formule de la dépense, pour un tuyau disposé comme on vient de l'indiquer, se ramène, sans erreur notable, à une forme assez simple : en appelant h la hauteur de l'eau au-dessus de l'extrémité d'aval du tuyau, l la longueur et d le diamètre de ce tuyau, et Q la dépense par seconde, on a sensiblement

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 0{,}80 \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + 0{,}02 \frac{l}{d}}}.$$

En avant des vannes ou bondes de prise d'eau il faut mettre des grilles en fer ou en bois pour empêcher le poisson de sortir de l'étang, ou les herbes d'obstruer les canaux.

Dans les réservoirs d'irrigation il y a souvent une bonde de vidange placée au point le plus bas, et une prise d'eau plus élevée pour le service des arrosages. Chacune de ces ouvertures est desservie par un canal de fuite particulier. L'eau est, en général, animée d'une grande vitesse en sortant des tuyaux de prise d'eau ; il convient de lui faire perdre cet excès de vitesse dans de petits bassins placés à l'entrée des canaux de fuite, ou au moins de garnir ceux-ci d'empierrements, sur une certaine longueur, pour qu'ils ne soient pas dégradés par des affouillements.

Il existe en Espagne et en Italie un grand nombre de réservoirs d'irrigation. On cite, entre autres, dans ce dernier pays, le réservoir de Ternevasio, qui a 23 hectares de superficie, une profondeur moyenne de 5 mètres, et sert à l'irrigation de 57 hectares de terrain. En France, les grands réservoirs, exclusivement consacrés à l'arrosage, sont assez rares ; l'un des plus remarquables est celui de Caromb (Vaucluse):

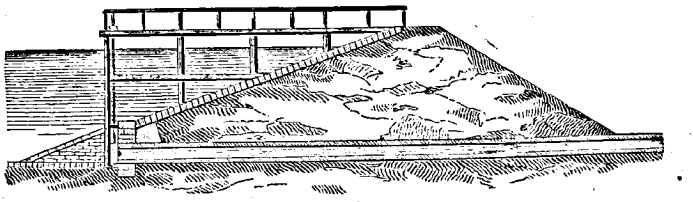


Fig. 81.

il contient 250,000 mètres cubes d'eau. Sa digue est en maçonnerie, elle a 17 mètres de hauteur et 78 mètres de longueur. Les réservoirs moins importants sont assez nombreux ; il serait impossible de les signaler tous.

5. *Prises d'eau dans les rivières et ruisseaux.* La construction des dérivations et des barrages établis sur les fleuves et rivières navigables ou flottables appartient à l'Etat. On ne s'occupera donc ici que des travaux d'une importance secondaire que les particuliers peuvent avoir à entreprendre sur de petits cours d'eau.

Quand on veut détourner entièrement l'eau d'une rivière ou d'un ruisseau, ou bien élever son niveau pour atteindre des terrains plus élevés que ceux que l'on pourrait naturellement arroser, on est obligé de recourir à l'établissement d'un barrage en aval de l'entrée de la rigole de prise d'eau. Dans le cas contraire, une simple dérivation, avec épi plus ou moins long, mais sans barrage, suffit parfaitement. Les prises d'eau,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les rivières ou canaux, peuvent donc s'effectuer avec ou sans barrage.

Prises d'eau sans barrage. L'introduction de l'eau, dans le canal de dérivation, peut avoir lieu sans aucun ouvrage spécial, ou bien au moyen d'un déversoir, d'un aqueduc couvert traversant les digues de la rivière; ou, enfin, par des vannes ou autres moyens analogues.

Les canaux communiquant librement avec les rivières ou ruisseaux sont exposés, comme les cours d'eau naturels, à tous les inconvénients des inondations et à de fréquents ensablements. Lorsque les canaux débouchent directement dans une rivière, il faut, pour éviter qu'ils ne lui enlèvent plus ou moins d'eau qu'ils ne doivent le faire, régulariser parfaitement leur section sur une longueur de quatre ou 500 mètres, et construire, de place en place, quelques profils-types en maçonnerie pour servir de points de repères invariables à l'époque des curages.

Les déversoirs limitent le maximum du volume d'eau que le canal peut recevoir en étiage; ils s'opposent jusqu'à un certain point à l'introduction, dans le canal, des sables et graviers, mais ne le protègent nullement contre les inondations.

Les aqueducs de prises d'eau couverts, quand ils ne sont pas garnis de vannes, ont les mêmes inconvénients, bien qu'à un moindre degré, que les deux premières dispositions.

Pour régler l'entrée de l'eau dans un canal, et la supprimer au besoin, on emploie presque toujours, des martelières. Les fig. 82 et 83 indiquent le mode de construction

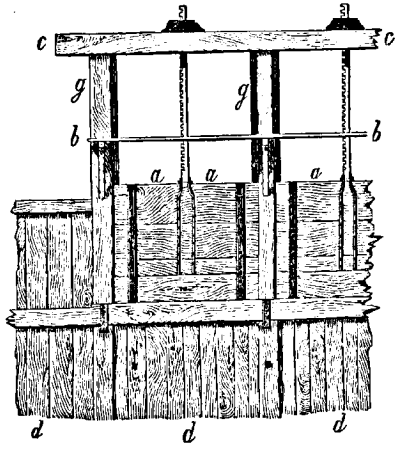


Fig. 82.

d'un ouvrage de cette nature. Les vannes *a* se meuvent dans des cadres en charpente, formés d'un seuil horizontal et d'une série de montants verticaux *g* reliés par un chapeau *c*, qui supporte les crics destinés à soulever les vannes. De forts planchers, ou des enrochements, forment un avant et un arrière radier qui s'opposent aux affouillements. Dans les sols peu résistants et dans les ouvrages bien faits, on drague jusqu'au terrain solide à l'emplacement de l'ouvrage; on bat la ligne de pieux et palplanches *d* sur lesquels reposent les vannes, et, enfin, on coule de chaque côté de cette première charpente de forts empattements en béton. Il est quelquefois nécessaire de battre en avant de l'ouvrage une seconde rangée de pieux et de palplanches *f*, et de remplir de béton ou d'enrochements tout l'espace compris entre l'aplomb des vannes et cette seconde ligne. La vanne que représente la figure précédente, en augmentant, au besoin, le nombre des vantaux, suffit pour les plus grands ouvrages de la nature de ceux qui nous occupent.

Les fig. 84, 85 et 86 indiquent la disposition d'une petite vanne beaucoup plus simple que celle que l'on vient de décrire. Elle suffit parfaitement pour toutes les rigoles d'arrosage, et se place à leur embranchement avec les ruisseaux ou les rigoles d'un ordre plus élevé. Les montants *d* entre lesquels glissent les vantelles sont en bois ou en pierre. Une vanne à deux ouvertures coûte dans les Vosges environ 60 fr.

Dans tous les canaux qui ne sont pas garnis de vannes à leur embouchure, il faut toujours ménager, en un point convenable, une enclave en maçonnerie, avec rainures pour recevoir des poutrelles qui empêchent l'introduction de l'eau quand le canal a besoin de réparations.

La direction du canal, dans son point de raccordement avec le cours d'eau naturel, fait, en général, avec celui-ci un angle aussi aigu que possible. L'embouchure de ces canaux doit offrir un certain évasement raccordé avec les rives du ruisseau par des courbes. Ces raccordements sont défendus des corrosions par des revêtements en gazons, en clayonnages, en perrés ou même en maçonnerie, suivant l'importance de l'ouvrage, la rapidité du cours d'eau et la valeur relative des différents matériaux dans le lieu de la construction.

Prises d'eau avec barrage. Les *barrages* construits en lit de rivière pour élever l'eau au-dessus de son niveau

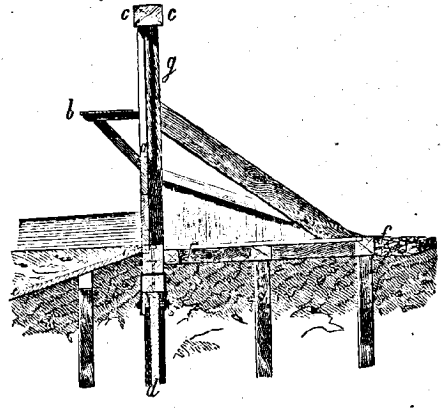


Fig. 83.

naturel et établir une prise d'eau ou un moteur hydraulique sont *fixes* ou *mobiles*. On va dire quelques mots de ces deux classes de constructions.

Le mode d'établissement des barrages *fixes* varie avec leur importance, et dépend d'une foule de circontances locales. Quelques pieux, des branchages, des pierres et du gravier suffisent pour barrer un très petit cours d'eau et mettre ses eaux à la disposition du cultivateur; mais quand il s'agit de travaux plus solides, les méthodes varient à l'infini.

Les barrages à paroi verticale du côté d'aval sont, en général, rapidement détruits par les affouillements qui se produisent à leur pied. On les remplace presque toujours par des barrages à plan incliné. L'une des méthodes les plus simples de construction de ces ouvrages consiste à battre deux files de pieux et palplanches (fig. 87; réunis par des moises longitudinales et transversales)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

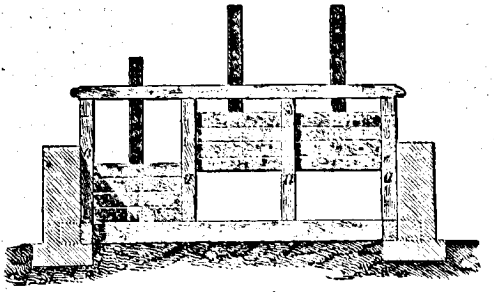


Fig. 84 (0,01). Élévation.

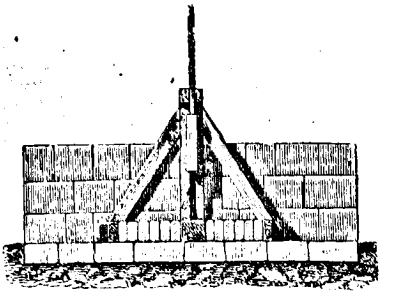


Fig. 85 (0,01). Coupe.

ce coffrage est rempli de moellons bruts laissant entre eux le moins de vide possible. Les glacis supérieurs sont formés avec de gros moellons ayant au moins 0m,60 de queue, et posés jointivement. On jette d'autres moellons en amont de la construction, et en aval on drague le sol sur une certaine étendue; on enfonce de petits pieux à tête saillante dans cette fouille, et on remplit les vides avec des moellons formant un radier sur lequel l'eau achève de perdre son excès de vitesse.

Pour les barrages plus élevés que les précédents, on emploie souvent la construction suivante. On bat (fig. 88) deux lignes de pieux et palplanches reliés par

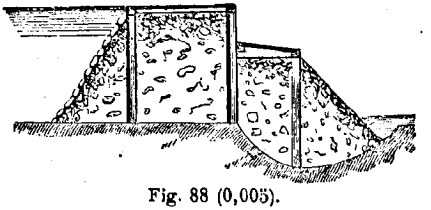


Fig. 88 (0,005).

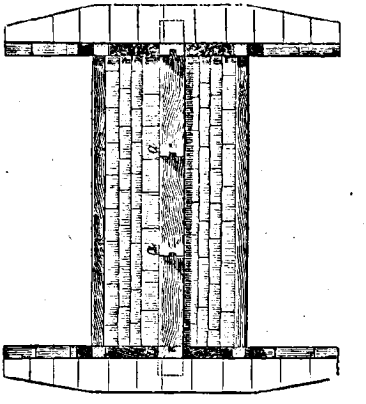


Fig. 86 (0,01). Plan.

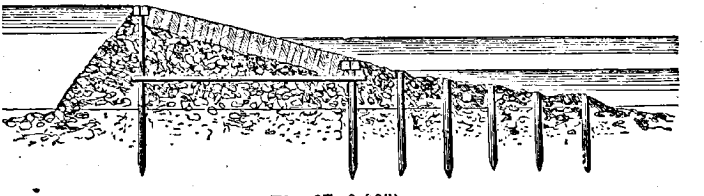


Fig. 87 (0,005)

des moises, et formant un coffrage de la hauteur que doit avoir le barrage. On remplit ce coffrage de moellons et on le recouvre de madriers jointifs. En aval de ce barrage, on établit un radier en charpente divisé en gradins si la chute est considérable.

On construit quelquefois des barrages au moyen de pierres perdues jetées dans le lit de la rivière; peu à peu les interstices des pierres se remplissent de sable, et le barrage retient bien l'eau; mais on emploie ainsi, en général, beaucoup de pierres, de sorte qu'en définitive ce mode de construction, très simple en apparence, est en réalité plus coûteux que les précédents.

On peut souvent former des barrages très économiques, et cependant assez durables, au moyen de couches alternatives de fascines et de gravier; de forts piquets fixent entre elles et au sol les divers rangs de fascines. On donne à ces barrages une pente très douce en aval, et on maintient le pied par une rangée de pieux, suivie d'un enrochement ou d'une série de fascines ou paniers remplis de gravier qui forment l'arrière-radier de l'ouvrage.

L'arête supérieure des barrages doit être arasée aussi horizontalement que possible, afin que le déversement de l'eau ait lieu d'une manière plus uniforme. Dans quelques barrages on construit un véritable déversoir sur une certaine largeur, et on élève le reste du barrage au-dessus du niveau des eaux. A moins de circonstances exceptionnelles, cette disposition ne semble pas présenter d'avantage véritable.

Dans les petits ruisseaux on dispose généralement les barrages en ligne droite perpendiculaire au cours d'eau. Pour les ouvrages plus importants, il convient d'adopter une ligne brisée ou un arc de cercle dont la convexité soit tournée vers l'amont. Cette disposition rejette l'eau vers le milieu du lit et diminue les remous et les affouillements. On doit, en tout cas, éviter au-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

tant que possible de faire des barrages de plus de 2 mètres ou 2m,50 de hauteur, car la construction deviendrait alors très difficile.

Les barrages *mobiles* ont l'avantage de s'enlever complétement en temps de crues, et de laisser à l'eau tout l'espace nécessaire à son écoulement. Il existe un très grand nombre de dispositions de barrages mobiles. L'un des plus simples et des plus employés dans ces derniers temps a été imaginé par M. Poiréo. On en trouve maintenant la description dans tous les ouvrages de navigation ; mais pour les petits travaux dont nous parlons maintenant, une vantillerie, semblable à celle que nous avons décrite ci-dessus (fig. 82), est ce qu'il y a de plus convenable. On manœuvre les vannes en raison du remous dont on a besoin, et on les lève complétement en temps de crue. Quand la vantillerie n'a qu'une dizaine de mètres de largeur, on la met en ligne droite ; si elle est plus considérable, il convient de la disposer, comme les barrages fixes, en chevron brisé dont le sommet est du côté d'amont. On lui donne ainsi plus de rigidité et de force pour résister à la poussée.

La construction des barrages est toujours difficile et demande beaucoup de soins et de précautions que nous ne saurions indiquer ici. Nous recommanderons seulement, comme l'une des précautions les plus indispensables, de bien enraciner les ouvrages dans les deux rives, où se trouvent presque toujours les points les plus exposés.

Canaux et rigoles d'irrigation. Après avoir indiqué les différents moyens de se procurer de l'eau, il faut étudier les dispositions des ouvrages qui servent à conduire cette eau du point où elle est réunie jusqu'aux champs à arroser.

On distingue plusieurs classes de canaux d'irrigation, qui diffèrent les uns des autres par leurs dimensions et la nature des ouvrages qu'ils nécessitent. Les uns conduisent l'eau depuis la prise jusqu'au point où commencent les irrigations. Ce sont les canaux d'amenée proprement dits ; leur débit est à peu près constant sur toute leur étendue. Les canaux d'arrosage leur font suite ; sur ces derniers s'embranchent les différentes rigoles ou canaux secondaires, dont les ramifications plus ou moins nombreuses portent l'eau jusqu'aux rigoles du dernier ordre qui sillonnent les terres arrosables. — On indiquera plus loin la disposition du sol à irriguer ; pour le moment, il ne s'agit que d'examiner les canaux et les rigoles qui apportent l'eau au cultivateur.

On ne saurait donner de règles générales pour déterminer, dans chaque cas particulier, le tracé des canaux et des rigoles principales d'irrigation. On ne peut qu'indiquer les conditions générales auxquelles doivent satisfaire ces travaux, dont les études exigent toute la sagacité de l'ingénieur.

Le volume Q, d'eau à débiter par seconde, la pente par mètre I, et la section Ω d'un canal sont liés entre eux par les relations que nous avons précédemment indiquées (2e section), savoir :

$$RI = 0{,}000024\,u + 0{,}000366\,u^2$$

$$R = \frac{\Omega}{\chi} \qquad Q = \Omega u.$$

dans lesquelles, comme on sait, u représente la vitesse moyenne, et χ le périmètre mouillé. Mais il ne faut pas croire que l'une de ces quantités étant donnée, toutes les autres peuvent être choisies arbitrairement. Les vitesses de l'eau dans les canaux, et, par suite, les pentes par mètre, sont renfermées dans des limites assez étroites. Le tableau que nous avons donné à propos des canaux de desséchement, et qui indique les vitesses que l'eau ne doit pas dépasser dans différents terrains, est également applicable au cas actuel.

Plus la vitesse est grande, plus la section du canal pour un débit donné peut être faible, et plus par conséquent sont réduits les frais d'ouverture des canaux et les pertes d'eau par infiltration et par évaporation. Mais, d'un autre côté, les grandes vitesses nécessitent de fortes pentes qui réduisent d'autant la hauteur à laquelle on peut amener les eaux d'arrosage, et entraînent d'ailleurs d'autres inconvénients. Le choix de la pente des différentes parties d'un canal ou d'une rigole d'irrigation se trouve ainsi déterminé par un grand nombre de circonstances et de considérations qui doivent être soigneusement étudiées dans chaque cas particulier. Les auteurs donnent, du reste, à cet égard des indications très variables, et les travaux exécutés montrent qu'en effet il serait impossible d'indiquer par un seul nombre les pentes les plus convenables. En général, on peut admettre que la vitesse, dans les grands canaux, doit être comprise entre 0m,20 et 0m,50 par seconde.

Les pentes des grands canaux d'arrosage peuvent varier de 0m,10 à 0m,30 par kilomètre. Celles des rigoles secondaires peuvent atteindre 1 mètre ou 1m20 ; mais il est rare qu'il convienne de dépasser cette dernière limite, à moins de circonstances exceptionnelles, quoiqu'on en rencontre plusieurs exemples dans le tableau suivant, où se trouvent réunis quelques chiffres relatifs aux pentes de certains canaux existants.

Désignation des canaux :	Pentes par kilomètre :	
	m.	m.
Rigoles d'arrosage en pays de montagnes, dans le Tyrol, les parties hautes des Alpes, etc.	2,00 à	6,00
Canaux d'Alaric, de la Gespe et de Tarbes	2,22	5,00
Canal du Bazer (Haute-Garonne)	0,24	0,40
Canal de Craponne	0,86	2,30
Canal des Alpines (parties modernes)	0,30	0,50
Canaux de Saint-Julien, de Cavaillon, etc.	0,45	1,60
Canal de Marseille	0,30	1,00
Canal de Pierrelate	0,43	0,41
Canal d'Ivrée (Piémont)	0,52	1,28
Canaux particuliers modernes dans le Piémont	0,36	0,84
Naviglio-Grande (Milanais)	0,20	1,55
Canal de Pavie	0,18	0,41
Canaux particuliers modernes du Milanais	0,27	0,62

Quand on a fixé, à l'aide des considérations précédentes et de l'étude sur le terrain, le profil en long d'un canal ou d'une rigole, et que l'on connaît d'ailleurs la portée qu'il doit avoir, la détermination du profil en travers ne présente plus en général de difficulté et ne demande que quelques essais. On donne presque toujours à la section d'un canal la forme d'un trapèze dont les côtés qui forment les berges sont également inclinés. Cette inclinaison dépend de la nature des terres ; elle varie de 1 à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. Dans les terrains très peu résistants on est même obligé d'adopter des talus à pentes encore plus douces ; dans les sols très compactes, on peut au contraire rapprocher les talus de la verticale. Certains canaux ouverts dans le rocher, ou garnis de revêtements en maçonnerie, présentent même une section rectangulaire. — Il serait avantageux, comme nous l'avons déjà remarqué, de donner aux canaux, au moment de leur creusement, la forme concave que l'eau tend à leur faire prendre. Dans tous les cas, la crête de la berge doit être à 0m,30 ou 0m,40 au moins au-dessus du niveau de l'eau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

Exécution des canaux, terrassements et ouvrages d'art. Le creusement des canaux ou rigoles dans les terrains ordinaires ne présente aucune difficulté particulière. Si le canal est fortement en déblai, il faut interrompre par des banquettes la continuité du talus. Dans les canaux un peu importants, on laisse une banquette à la hauteur de la flottaison du côté du chemin de halage. Les talus, du reste, sont recouverts de gazons semés ou rapportés. Lorsqu'on traverse des terrains éboulеux, on défend les rives par des clayonnages ou par des fascines, soutenus par des pieux, ou même par des murs, si les pierres sont abondantes. Quand le terrain le permet, le tracé du canal est tel que le terrain extrait de la fouille sert à former à droite et à gauche deux digues qui complètent le profil en travers adopté. Quelquefois aussi le canal est entièrement en remblai. Dans ces deux cas, il faut apporter le plus grand soin à l'exécution des digues, piocher la surface du sol pour que le raccordement de la terre se fasse bien, piloner le remblai par couches, et enfin le gazonner sur toute sa surface. L'inclinaison des talus de ces digues varie, en général, de 1 à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. La largeur de la digue en couronne est ordinairement égale à la profondeur de l'eau du canal.

Lorsque les canaux ou rigoles traversent des terrains perméables qui absorbent une grande quantité d'eau, on doit essayer de les étancher. Les cuvettes en béton ou en maçonnerie sont presque toujours des ouvrages trop coûteux pour les petites entreprises agricoles. Dans les travaux qui nous occupent, il faut recourir seulement à des corrois en terre grasse, pilonés sur le fond et les bords des canaux, avec les précautions indiquées en parlant des réservoirs. Quand les filtrations ne sont pas trop considérables, on peut souvent les arrêter plus économiquement en délayant dans l'eau du canal du sable fin et des terres argileuses. Ces matières, entraînées par l'eau, pénètrent dans les fissures du sol et finissent par les boucher.

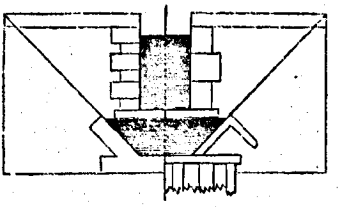
Les travaux d'art que nécessitent les grandes entreprises d'irrigation sont les mêmes, pour la plupart, que ceux des canaux de navigation. Nous ne parlerons ici que des ouvrages de moindre importance qui se rencontrent même dans les petits canaux d'irrigation, ou qui sont spéciaux à ce genre de travaux.

On est souvent forcé de faire passer une rigole ou un canal d'arrosage au-dessus d'un cours d'eau naturel. Lorsque la hauteur du canal est assez considérable, un simple aqueduc ordinaire, ou un petit pont sur lequel passe le canal avec son profil de remblai, laisse au cours d'eau son écoulement habituel; mais quand le ruisseau se trouve à peu près à la même hauteur que le canal, on est obligé d'avoir recours à un aqueduc syphon en maçonnerie, ou en fonte et maçonnerie. Nous n'insistons pas du reste sur ce genre d'ouvrage; il ne se rencontre que dans des travaux importants et nécessite le concours d'un constructeur de profession.

Les ponts et ponteaux à établir au-dessus des canaux et rigoles d'irrigation, pour conserver les chemins qu'ils traversent, se construisent en pierre et plus souvent en bois. Leur portée est généralement assez faible, et quelques poutres, réunies par des longrines et un plancher, suffisent pour les établir.

Le terrain que doit traverser un canal présente quelquefois une pente supérieure à celle qu'il convient d'adopter. On est obligé, dans ce cas, de partager la longueur totale du canal en différents biefs, d'une pente convenable, séparés par des différences brusques de niveau, obtenues au moyen d'ouvrages plus ou moins importants. Dans les grands canaux d'Italie, qui servent à la fois à l'irrigation et à la navigation, les biefs sont séparés les uns des autres par des écluses ordinaires avec pertuis accolés et barrages ou déversoirs, pour assurer le passage de l'eau nécessaire aux arrosages, lorsque le service de l'écluse ne suffit pas pour atteindre ce but. Dans les petits canaux on se borne à séparer les biefs par des chutes formées d'une ou de plusieurs vannes établies dans un ouvrage en maçonnerie, défendu à sa partie d'aval par un radier capable de résister aux affouillements. Les fig. 89, 90

Fig. 89 (0,01). Élévation.



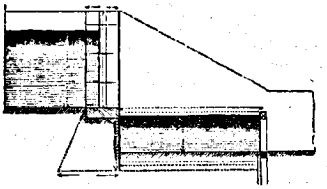


Fig. 90 (0,01). Coupe en long.

représentent la disposition des chutes établies sur les rigoles secondaires d'irrigation en Belgique. Ces petits ouvrages d'art sont formés d'un massif en maçonnerie dans lequel est ménagée une ouverture rectangulaire de la largeur du plafond de la rigole. Les banquettes des biefs inférieurs et supérieurs viennent s'appuyer contre le massif de maçonnerie. Un revêtement en briques, retenu à l'aval par une rangée de palplanches peu épaisses, moisées à leur partie supérieure, défend, contre les affouillements, le plafond et les banquettes du bief d'aval. Des rainures, ménagées dans les bajoyers de la chute, reçoivent la vanne en bois qui règle l'écoulement de l'eau d'un biez dans le biez suivant. Une barre de fer méplat percée de trous est fixée au milieu de la vanne. Cette barre de fer passe dans l'œil d'une traverse, également en fer, scellée dans les bajoyers, et permet de maintenir la vanne à la hauteur voulue, au moyen d'une cheville placée dans un trou convenablement choisi.

On peut établir en bois des ouvrages analogues, plus économiques de construction, mais plus dispendieux d'entretien.

Les rigoles d'arrosage, même de petites dimensions, peuvent rendre de très grands services pour le transport des engrais et des récoltes. Il convient, quand il en est ainsi, de supprimer les chutes ou du moins de les remplacer par de véritables écluses à sas, mais d'une construction très simple. L'emploi d'un barrage mobile, analogue à celui de M. Thénard, peut offrir, dans ce cas, de grandes économies.

Parmi les ouvrages les plus indispensables sur les canaux d'arrosage, se trouvent les vannes de décharge et les prises d'eau établies au point d'embranchement d'une rigole sur une autre. Les dispositions de ces ouvrages varient avec leur importance et le goût des constructeurs; il suffira d'indiquer les suivantes :

Les fig. 91 et 92 montrent la disposition d'une vanne de décharge construite sur le canal de Marseille.

Les fig. 93 et 94 représentent une prise d'eau à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

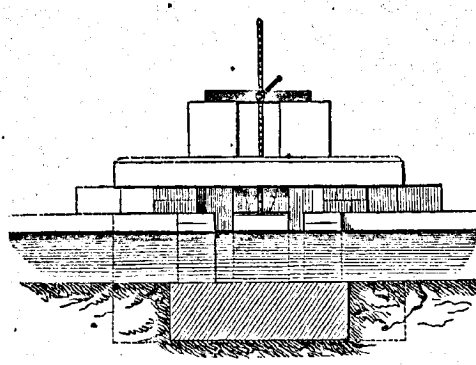


Fig. 91 (0,01). Élévation d'amont.

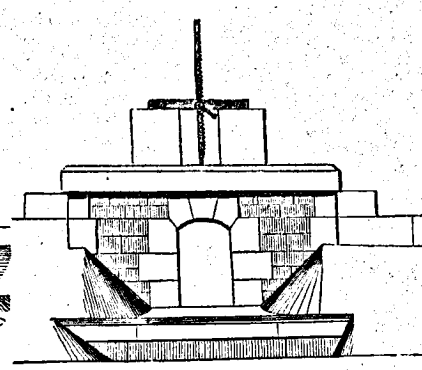


Fig. 92 (0,01). Élévation d'aval.

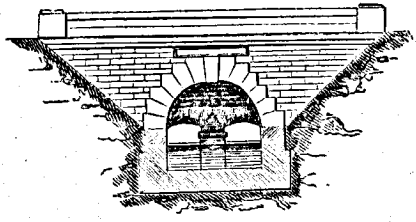


Fig. 93 (0,005). Élévation d'aval.

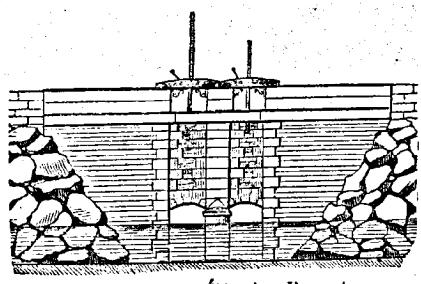


Fig. 94 (0,005). Élévation d'amont.

deux vannes du canal de Peyrolles (Bouches-du-Rhône). Cet ouvrage est d'un aspect satisfaisant; la pile, qui partage la grande voûte en deux parties, a pour but de réduire à une grandeur convenable la largeur de ces vannes.

Pour les prises d'eau des petites rigoles sur les ruisseaux, ou sur les canaux secondaires, on emploie avec avantage une vantillerie semblable à celle qui a été décrite ci-dessus (fig. 84, 85, 86). Au canal de Marseille, les prises d'eau peu importantes sont disposées comme l'indique la fig. 95.

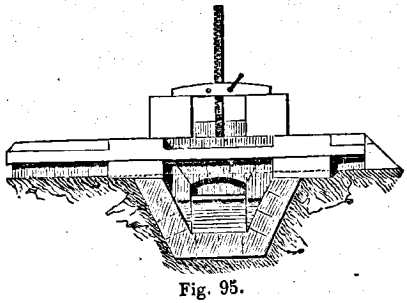


Fig. 95.

Machines à élever l'eau. L'emploi des machines à élever l'eau pour les irrigations présente une très grande importance dans les pays où, comme en France, la propriété est extrêmement divisée, et où les populations ne comprennent point encore assez les avantages de l'association. Il est rare, en effet, qu'un propriétaire possède une assez grande étendue de terrain pour qu'elle puisse supporter à elle seule les frais d'établissement d'un canal d'amenée, construit à force d'indemnités sur le terrain d'autrui. Les machines, au contraire, peuvent s'établir partout, sur les bords des cours d'eau, au droit de chaque intéressé, sans soulever les réclamations des riverains, et sans rencontrer les entraves administratives. Il convient donc de les étudier avec soin et de ne pas les rejeter comme trop coûteuses. On verra, en effet, qu'elles offrent souvent le moyen le plus économique de se procurer de l'eau.

Les grandes pompes, les vis, les roues à palettes et les écopes à vapeur dont nous avons parlé ci-dessus, au sujet des desséchements, peuvent également servir comme machine d'irrigation. On trouve dans le *Dictionnaire* tous les renseignements nécessaires à l'établissement des différentes machines hydrauliques; il serait inutile de revenir ici sur ce sujet; nous nous bornerons à mentionner les appareils les plus convenables pour l'objet qui nous occupe.

Le manége des maraîchers, que tout le monde connaît, est employé pour les puits d'une assez grande profondeur. Il ne saurait convenir, dans sa forme habituelle, que pour l'arrosage de cultures très productives, et ne constitue pas une machine d'irrigation proprement dite. On pourrait peut-être en dire autant des *norias* (voy. ce mot) employées dans la culture maraîchère du midi. Cependant cet appareil paraît susceptible d'applications en grand, et nous pourrions citer, aux environs de Toulouse, des prairies irriguées avec bénéfice au moyen de norias. On emploie en Espagne des norias grossières, construites avec des cordes et de vases de terre.

L'effet utile de ces appareils primitifs est considérable; il atteint celui de la plupart des norias en métal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les roues à godets et les tympans (voy. HYDRAUL.), par la simplicité de leur construction et la régularité de leur marche, sont probablement les machines les plus convenables pour les irrigations. Nous citerons, enfin, la machine de Japelli, qui paraît devoir fournir d'excellents résultats, et qu'il serait désirable de voir plus répandue.

Les différentes machines dont il vient d'être question, et les autres de même nature, peuvent être mises en jeu suivant leur importance et la disposition des lieux, par des moteurs animés, des roues hydrauliques ou la vapeur. Le vent, en raison de son irrégularité surtout pendant la saison des arrosages, nécessite, en général, l'établissement de réservoirs pour conserver l'eau élevée pendant la marche du moulin.

Partage des eaux entre les intéressés. Quand l'eau est rare et vivement recherchée par les intéressés, comme cela arrive dans les pays où les irrigations sont appréciées à toute leur valeur, la répartition de l'eau entre les ayants droit devient une source fréquente de réclamations et de procès. Les appareils de distribution prennent alors une très grande importance et leur construction, très difficile, du reste, pour arriver à des résultats rigoureux, mérite de fixer l'attention d'une manière d'autant plus spéciale que l'on doit reconnaître l'imperfection des moyens proposés ou employés jusqu'à présent pour cet objet.

L'eau se vend généralement, sur les canaux d'irrigation français, à raison d'un prix fixé par hectare arrosé. Cette méthode est on ne peut plus vicieuse; elle porte l'usager à gaspiller l'eau au lieu de la ménager, et donne lieu à une foule de contestations. Il conviendrait de vendre l'eau au mètre cube. L'un des problèmes d'hydraulique agricole les plus intéressants serait de trouver un moyen simple d'évaluer, avec certitude, la quantité de liquide livrée à chaque usager.

Le débit d'une vanne dépendant à la fois de la section qu'elle présente et de la charge d'eau qui existe au-dessus d'elle, on a proposé l'emploi d'une double vanne, percée d'une ouverture rectangulaire, que l'on peut ramener à l'aide d'une vis ou d'une crémaillère, à une hauteur constante au-dessous du niveau de l'eau. La vantelle destinée à fermer au besoin l'ouverture dont on vient de parler reçoit un mouvement indépendant de celui de la vanne, de sorte qu'elle peut laisser libre, dans chaque circonstance particulière, la section dont on a besoin.

L'appareil que l'on vient de décrire exige une surveillance continuelle et doit être manœuvré toutes les fois que le niveau de l'eau change dans le canal où se fait la prise. D'autres ingénieurs ont voulu rendre inutile la surveillance de leurs vannes, et charger l'eau elle-même de les maintenir à la hauteur voulue. A cet effet, ils ont suspendu la vanne régulatrice, à l'aide d'une forte traverse, à deux flotteurs en tôle placés dans un bassin communiquant directement avec le canal. Ce dernier procédé paraît fort ingénieux et produit, sans doute, de bons résultats. On est cependant forcé de reconnaître qu'il est, comme le précédent, un peu compliqué, et qu'il demande encore quelques améliorations de détail.

C'est dans le Milanais et le Piémont que les appareils régulateurs offrent le plus d'intérêt et se présentent en plus grand nombre. On trouvera sur ces constructions tous les détails nécessaires dans le *Traité des irrigations en Italie* de M. Nadault de Buffon. Il suffira d'en indiquer ici le principe. Lorsqu'il s'agit seulement de partager, en un certain nombre de parties égales ou proportionnelles le débit d'un canal, on établit dans son lit régularisé en amont, sur une assez grande longueur, un *partiteur* formé de petits murs terminés chacun par une arête verticale. L'eau ainsi divisée se dirige dans les nouveaux canaux dont les petits murs forment l'entrée. Ce moyen ne peut donner des résultats rigoureux que dans le cas du partage de l'eau en deux parties égales; dans tous les autres cas on ne peut arriver que par des tâtonnements assez longs à un partage à peu près convenable.

Les difficultés sont plus grandes encore pour dériver d'un canal un volume déterminé, quelle que soit la hauteur de l'eau. On n'y parvient également que d'une manière approximative, même à l'aide des régulateurs employés dans le nord de l'Italie, qui sont cependant jusqu'à présent les appareils les plus parfaits et les plus pratiques que l'on connaisse; mais ils ont l'inconvénient d'exiger une certaine chute, et, par conséquent, de ne livrer l'eau qu'à un niveau inférieur à celui du canal lui-même, ce qui est un véritable inconvénient dans les pays plats, où l'on n'amène que difficilement l'eau à la hauteur nécessaire. La partie principale des *régulateurs* milanais est une espèce de bassin qui reçoit l'eau du canal au moyen d'une vanne, et la livre aux bouches des rigoles par des ouvertures, ordinairement rectangulaires, qui doivent être complétement noyées du côté du bassin. L'eau n'arrive dans le bassin qu'en passant par-dessous une vanne, dont l'ouverture est déterminée de manière que l'eau, dans le bassin, soit notablement plus basse que dans le canal, et plus élevée que dans les rigoles situées au-delà des bouches. Il résulte des pertes de charge, dues aux différentes inflexions que les filets d'eau subissent en passant sous la vanne et dans les bouches, que les variations de niveau sont moindres dans le bassin que dans le canal, et moindres encore dans le canal de fuite, de sorte que des variations de niveau assez considérables dans le canal n'exercent sur le débit qu'une influence peu sensible.

Prix de revient de l'eau obtenue par différentes méthodes. Le prix de revient de l'eau dépend évidemment d'une foule de circonstances, et il est impossible de donner à ce sujet une règle générale. Dans chaque cas particulier, on pourra parvenir à évaluer le prix du mètre cube d'eau, en divisant la somme de l'intérêt du premier établissement et de l'entretien annuel des ouvrages par le volume obtenu; les faits et les chiffres que nous allons citer ne sont destinés qu'à fournir quelques exemples et certains éléments des prix de revient.

(*a*) *Eau fournie par les grands canaux d'arrosage.* La plupart des grands canaux d'arrosage du midi de la France sont de création ancienne; on ignore, pour la plupart, le prix d'établissement, et il serait à peu près impossible de faire connaître le véritable prix de revient du mètre cube d'eau. Les chiffres suivants sont les prix payés par les usagers, aux propriétaires des canaux, par hectare arrosé. La consommation est d'ailleurs assez variable et généralement beaucoup trop grande :

Désignation des canaux.	Prix d'arrosage par hectare.
	f.
Département des Bouches-du-Rhône.	
Canal des Alpines.	33,00
Canal de Peyrolle.	33,00
Canal de Craponne, branche de Saint-Chamas.	36,00
Canal de Marseille.	60,00
Département de Vaucluse.	
Canal de Crillon.	23,44
Canal de Cambis.	23,44
Canal de Bonaventure. . . .	28,51
Canal de Cabedan-Neuf. . . .	27,00
Canal de Carpentras. . . .	25,00
Département de la Drôme.	
Canal de Pierrelatte. . . .	50,00

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(*b*) *Eau élevée par machines.* Le prix de l'eau obtenue au moyen de machines varie avec le moteur, la machine employée et une foule de circonstances locales. On a donné quelques renseignements à ce sujet en parlant des desséchements; on va les compléter par quelques autres indications spécialement applicables aux irrigations.

Le travail de l'homme est trop cher en France pour être appliqué aux irrigations proprement dites. Il ne saurait convenir que pour l'arrosage des cultures potagères. Examinons donc les machines mues par d'autres moteurs :

1° *Machines mues par les animaux.* Les bêtes de trait peuvent, dans certains cas, être appliquées avec avantage à l'élévation de l'eau pour les irrigations. En admettant que la machine élévatoire employée soit mue par un manége et fournisse 0,6 de travail utile, les nombres de mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre de hauteur par jour seront environ :

	m. cub.
Pour un cheval de.	669,0
— bœuf de.	622,0
— âne de.	193,5

Ces chiffres permettent de calculer facilement le prix du mètre cube d'eau élevé à une hauteur donnée, quand on connaît le prix de la journée des animaux, la valeur de la machine et sa durée approximative

2° *Moulins à vent.* Les moulins à vent sont, en général, peu convenables pour fournir de l'eau aux irrigations. L'irrégularité de leur marche oblige presque toujours à construire des réservoirs d'une grande capacité, dont les frais d'établissement augmentent beaucoup le prix de revient de l'eau. Cependant ils peuvent rendre des services dans certaines localités, et l'on peut citer d'utiles applications des petits moulins, se régularisant eux-mêmes, établis par M. Durant.

3° *Moteurs hydrauliques.* Le prix du travail des moteurs hydrauliques est très variable; cependant en général il est assez bas, et toutes les fois que la disposition des lieux le permet on doit l'utiliser pour les irrigations.

4° *Machines à vapeur.* Les machines à vapeur présentent, sous beaucoup de rapports, de grands avantages comme moteurs des appareils à élever l'eau pour les irrigations; à prix égal il convient toujours de leur donner la préférence. Les nombres suivants ont été généralement adoptés comme éléments de prix pour différents projets d'irrigation dans le midi, notamment pour les travaux de la Camargue. Ces prix, du reste, paraissent supérieurs à la vérité. On a admis que les machines élévatoires ne donneraient que 0,5 d'effet utile, et on a établi les calculs des machines à vapeur sur cette base, ce qui revient à doubler leur force. Dans cette hypothèse, les prix des machines ont été évalués de la manière suivants :

	de 20 à 40 chevaux	40 à 60	60 à 80	80 à 100
Achat par cheval.	1200	1100	1000	900
Transport —	»	»	»	»
Pose —	120	100	80	60
Bâtiments —	500	410	330	250

Le prix des machines élévatoires, dans les meilleures conditions d'établissement, ne doit pas dépasser 450 fr. par cheval. Nous croyons même qu'avec plusieurs appareils ce prix serait trop élevé.

Nous allons indiquer maintenant quelques chiffres obtenus par expérience. M. Peyret Lallier, avec une machine de cinq chevaux seulement, fait un arrosage qui ne revient qu'à 12 fr. par hectare, en élevant l'eau à 2 mètres. M. Taylor, de Marseille, a construit pour la Camargue des machines dans le système de Cornouailles, qui ne consomment que très peu de charbon et qui pourraient irriguer, en élevant l'eau à 2 mètres, à raison de 5 à 6 fr. par hectare.

(*c*) *Eau des réservoirs.* L'eau de pluie ou de petits cours d'eau, réunie à l'aide de réservoirs, revient ordinairement à très bas prix. Le mètre cube coûte :

			f.
Au réservoir de Grosbois, canal de Bourgogne.			0,025
—	de Chazilly,	—	0,017
—	de Cercey,	—	0,007
—	de Couzon, canal de Givors. . . .		0,012
—	de M. d'Angeville, à Lauprès. . .		0,0094
A l'étang de Bréviande.			0,0026

(*d*) *Puits artésiens.* On cite, aux environs de Tours, six puits artésiens qui ont coûté ensemble 18,600 fr., et qui fournissent 80 litres par seconde.

III EMPLOI DES EAUX D'IRRIGATION.

Après avoir indiqué les ouvrages à exécuter pour obtenir les eaux et les amener jusqu'aux terres à arroser, il nous reste à faire connaître comment on les emploie, à exposer en un mot la pratique des irrigations.

On distingue trois espèces principales d'irrigations : les irrigations par *submersion*, les irrigations par *déversement* sur les terrains inclinés, et enfin les irrigations sur les terrains *disposés en ados*. Nous allons indiquer en quoi consistent ces méthodes d'irrigation, auxquelles se rapportent plus ou moins directement quelques autres systèmes particuliers d'arrosage, nécessaires à certaines cultures spéciales ou à quelques opérations particulières.

Egouttement. Quelle que soit du reste la méthode adoptée, il faut que l'irrigateur ait toujours présent à l'esprit ce principe élémentaire de toute irrigation bien faite : *l'eau doit pouvoir arriver partout et ne séjourner nulle part.* La nécessité de l'égouttement des terres arrosées oblige à créer à côté de toutes les rigoles d'arrosage des rigoles d'égouttement, quand la disposition du sol ne l'assure pas naturellement. Ces rigoles d'égouttement, que l'on désigne sous le nom général de *colateurs*, ont une très grande importance et forment un réseau aussi étendu que celui qui sert à l'arrosage. Les rigoles d'égouttement deviennent, en se réunissant, de véritables canaux d'assainissement, dont les pentes et les sections sont réglées de manière à suffire très largement au débit de toutes les eaux qu'ils doivent recevoir. On peut admettre comme règle pratique que les rigoles ou canaux colateurs ont à peu près les mêmes sections que les rigoles et canaux d'arrosage correspondants et des pentes un peu plus fortes que ceux-ci. Cette règle approximative conduit évidemment à des dimensions qui seraient exagérées dans de grands ouvrages, mais qui peuvent convenir pour des entreprises d'importance moyenne

Irrigations par submersion dans les terrains à peu près horizontaux. Les irrigations des terrains très peu inclinés se font souvent par submersion, en recouvrant toute l'étendue du sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, que l'on renouvelle à des intervalles déterminés. La disposition du terrain, pour les irrigations de cette espèce, se rapproche beaucoup de celle qui a été décrite en parlant des colmatages. Seulement les digues qui forment les bassins partiels se réduisent à de simples bourrelets de 0m,20 à 0m,25 de hauteur environ. Ces bourrelets sont établis horizontalement, formés avec les terres extraites de petits fossés, ouverts à leur pied, et servant à l'assainissement du terrain quand on enlève les eaux. L'écartement des bourrelets de terre dont on vient de parler dépend de la pente naturelle du sol, mais il ne doit en aucun cas dépasser 30 à 40 mètres. Les différents bassins communiquent,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à leur partie supérieure, avec le canal d'arrosage, et à leur partie inférieure avec les rigoles d'égouttement. La forme du terrain ne permet pas toujours de mettre tous les compartiments en communication directe, comme on vient de le dire, avec les canaux d'égouttement et d'arrosage. Dans ce cas, les différents compartiments communiquent les uns avec les autres par les petits fossés creusés au pied des bourrelets de terre; l'eau arrive dans le compartiment le plus élevé et s'échappe par le plus bas. On interrompt les communications entre les différents compartiments au moyen d'une ardoise, d'une tuile ou d'une planche mince enfoncée dans les petits canaux de communication, aux points où ils traversent les digues.

Irrigations par déversement sur les terrains en pente. Ce mode d'irrigation est le plus répandu en France; il est très économique et convient parfaitement dans les pays montagneux et dans les petites vallées à coteaux fortement inclinés; il peut également, avec du soin, s'appliquer aux prairies à faible pente. Il consiste, en principe, en une série de rigoles tracées suivant les lignes de niveau du terrain, répandant l'eau sur le sol par déversement du côté de la pente et alimentées par des rigoles communiquant avec un canal de prise d'eau. On introduit successivement l'eau dans les différentes rigoles horizontales en barrant immédiatement au-dessous d'elles la rigole alimentaire, au moyen d'un gazon ou même d'une pelle en bois ou en tôle. L'eau déversée par chaque rigole horizontale s'écoule à la surface du sol en pente; la partie non absorbée par la terre, les plantes ou l'évaporation, tombe dans la rigole suivante, qui la reverse, à son tour, sur le terrain inférieur avec l'eau qu'elle reçoit directement de la rigole alimentaire.

L'écartement des rigoles horizontales dépend de la plus ou moins forte inclinaison du sol, de sa forme particulière et de son degré de perméabilité. Cet écartement varie, dans le plus grand nombre des cas, de 10 à 20 mètres. Pour que l'eau arrive facilement dans toute l'étendue de la rigole de déversement, et se répande avec régularité, il faut que ces rigoles aient, au plus, une cinquantaine de mètres de longueur.

L'exécution des rigoles horizontales ne présente aucune difficulté. On détermine, avec un niveau et une mire, des points plus ou moins rapprochés appartenant aux lignes horizontales du sol. On trace à la bêche ou à la charrue, entre les points ainsi déterminés, et en suivant les ondulations du terrain, les rigoles à ouvrir. On donne quelquefois au fond de ces rigoles, en les approfondissant de leur origine à leur extrémité, une pente de $0^m,002$ à $0^m,005$ par mètre; mais leurs arêtes doivent être parfaitement horizontales, ce que l'on obtient toujours sans difficulté au moyen de légers écrêtements et de quelques remblais. On peut, du reste, en introduisant l'eau dans les rigoles, obtenir une ligne parfaitement horizontale pour diriger cette partie du travail. Les rigoles horizontales ont de $0^m,08$ à $0^m,025$ de profondeur, $0^m,05$ à $0^m,18$ de largeur au fond, et des talus plus ou moins inclinés selon le degré de consistance de la terre. Les rigoles qui amènent l'eau de la partie la plus élevée du champ alimentent en général les rigoles horizontales qui s'embranchent sur elles à droite et à gauche de son cours. Il convient, par conséquent, pour que l'introduction de l'eau se fasse partout avec la même facilité, que la rigole alimentaire soit à peu près perpendiculaire au système des rigoles horizontales.

La disposition des ouvrages que l'on vient d'indiquer doit évidemment varier avec la forme du terrain, la position des canaux de prise d'eau, etc.; de sorte qu'il est impossible de donner un plan applicable à toutes les localités; mais les règles générales que l'on vient de poser permettent toujours de tracer les ouvrages dans chaque pré donné. Cette méthode d'arrosage s'applique à tous les terrains dont la pente générale dépasse $0^m,04$ à $0^m,05$ par mètre.

Le mode d'irrigation dont on vient de parler s'applique très facilement dans les petites vallées, en faisant dans le cours d'eau une dérivation à faible pente, tracée à flanc de coteau, et dans laquelle on fait les prises d'eau pour les terrains arrosables situés entre la rivière et la dérivation. Les eaux surabondantes s'écoulent dans le lit du cours d'eau qui forme le colateur naturel de l'irrigation.

Les parties du pré voisines des rigoles, du côté où elles déversent, s'améliorent plus rapidement que les autres. Il est bon de déplacer les rigoles tous les deux ou trois ans, en comblant les anciennes avec les terres extraites des nouvelles.

Irrigations sur les terrains disposés en planches inclinées. On a cherché à obtenir sur les terrains à faibles pentes les avantages de l'irrigation par déversement dont il vient d'être question. On y parvient facilement en disposant le sol en planches présentant une inclinaison de $0^m,04$ à $0^m,08$ par mètre, et séparées par des ressauts brusques. On ménage une rigole d'égouttement au bas de chaque planche et une rigole d'arrosage au sommet. La longueur des planches est limitée par celle des rigoles d'arrosage qui ne doivent pas avoir plus de 40 mètres, depuis leur embranchement sur la rigole alimentaire jusqu'à leur extrémité. Une longueur de 20 à 25 mètres est généralement préférable. La largeur des planches varie de 2 à 6 andins. Les rigoles d'arrosage et d'égouttement ne diffèrent pas d'ailleurs de celles qui vont être décrites en parlant des ados.

Irrigations sur les terrains disposés en ados. Ce dernier genre d'irrigation n'est avantageusement applicable qu'aux terrains en plaine ne présentant qu'une assez faible pente. C'est le mode le plus perfectionné d'arrosage, celui qui permet le mieux d'économiser et d'utiliser les eaux. Les billons ou ados sont, comme on sait, des plauches de terre plus ou moins longues, présentant deux surfaces en pentes opposées, ou *ailes*.

Une rigole d'arrosage est ménagée au sommet de chaque billon et une rigole d'égouttement au fond du pli formé par la réunion des ailes de deux billons contigus. La forme, les dimensions et les dispositions des ados varient, dans certaines limites, d'un pays à un autre. Deux exemples suffiront pour faire nettement concevoir ce genre d'ouvrages.

Les fig. 96, 97 et 98 feront comprendre les dispositions le plus généralement adoptées pour l'établissement des ados dans la campine belge (1), où cette question a été l'objet de l'étude la plus attentive de la part des ingénieurs. Le terrain est ordinairement divisé en compartiments de $67^m,30$ de largeur et d'une longueur variable avec la distance des rigoles principales d'irrigation et d'égouttement. Au milieu de chaque compartiment, et dans le sens de sa longueur, est établie la rigole de distribution *a*, destinée à alimenter les rigoles d'irrigation et de déversement *b*.

La rigole de distribution *a* s'embranche sur l'une des rigoles principales d'irrigation. La rigole d'égouttement *c* longe les ados du côté du pignon; elle reçoit les eaux recueillies par les petites rigoles d'égouttement *d* pratiquées à l'intersection des ailes *i*, qui forment les ados.

La rigole *a* communique avec la rigole d'alimentation *e* au moyen d'une buse en bois de $0^m,20$ d'ouverture (fig. 99). Le plafond de la rigole *a* présente une pente de $0^m,002$ par mètre; sa largeur est de $0^m,70$. La crête de cette rigole est établie à $0^m,20$ en contre-haut du plafond, à son origine. Les talus sont inclinés à 3

(1) *Études sur les irrigations de la campine*, etc., p. 186. Paris, Mathias, quai Malaquais, 15.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

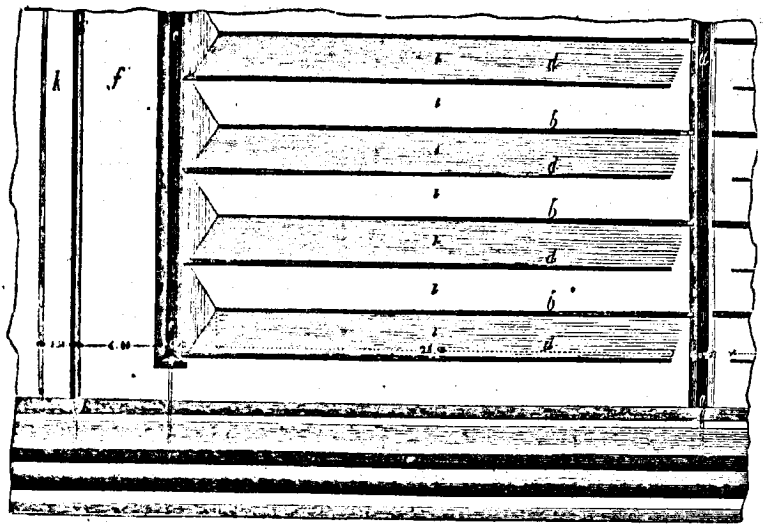


Fig. 96 (0,0025). Plan.

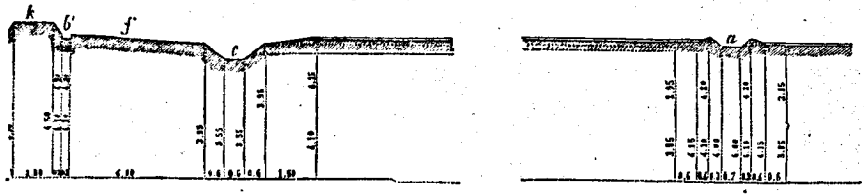


Fig. 97 (0,005). Coupe en long.

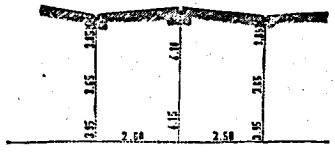


Fig. 98 (0,005). Coupe en travers.

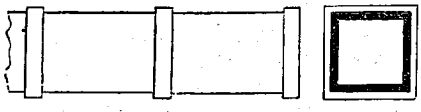


Fig. 99 (0,05).

de base pour 2 de hauteur. Lorsque la pente naturelle du terrain dépasse celle qui est assignée à la rigole de distribution *a*, on rachète la différence de ces deux pentes en partageant la longueur de cette rigole en biez plus ou moins longs, séparés par de petites chutes.

Les ados ont 25 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; ils sont formés de la réunion de deux plans inclinés en sens contraire, présentant une pente de $0^m,20$ répartie sur une largeur de $2^m,50$.

Les rigoles de déversement *b* sont, autant que possible, perpendiculaires à la rigole de distribution *a*. La largeur des rigoles *b*, à leur origine, est de $0^m,25$. Leur plafond, horizontal ou incliné de $0^m,0005$ par mètre, est établi à $0^m,10$ au-dessous de la crête de la rigole *a*; leur profondeur est de $0^m,05$.

Les rigoles d'égouttement *d* sont parallèles aux rigoles de déversement; leurs crêtes sont horizontales et à $0^m,20$ en contre-bas des crêtes des rigoles *b*. La largeur des rigoles d'égouttement est de $0^m,15$ à leur origine et de $0^m,30$ à leur point de rencontre avec la rigole d'évacuation *c*; leur profondeur, dans ce dernier point, est de $0^m,25$, et se réduit à $0^m,10$ à l'autre extrémité.

Les rigoles d'évacuation *c* ont une pente de $0^m,003$ au moins; leur largeur au plafond est de $0^m,60$, et leur profondeur est de $0^m,40$.

Les chemins de culture *f* ont 4 mètres de largeur et une pente totale en travers de $0^m,25$; ils sont irrigués par une rigole *b'* de $0^m,30$ de largeur et de $0^m,10$ de profondeur, communiquant avec la rigole alimentaire par une buse *h* de $0^m,10$ d'ouverture.

Les digues *k* ont $1^m,50$ de largeur et $0^m,30$ de hauteur au-dessus de la partie supérieure du chemin irrigué *f*. Ces contre-forts recevront des plantations d'aulnes, ou d'autres arbres, qui serviront de clôture entre les différentes séries d'ados, et formeront, par leur ensemble, un système d'abris appelés à jouer un rôle des plus importants dans l'amélioration agricole de la campine.

Les dispositions que nous venons d'indiquer pour l'établissement des ados sont le plus généralement adoptées; elles n'ont cependant rien d'absolu. Ainsi quelques agronomes distingués, en Belgique, donnent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aux ailes des ados une largeur de 15 à 20 mètres, et portent leur longueur jusqu'à 100 et même 125 mètres. Mais l'élément le plus variable dans les travaux de cette nature est l'inclinaison des surfaces arrosées. On ne dépasse presque jamais la pente de 0m,08 par mètre adoptée dans le dessin dont nous avons donné la description, mais quelquefois on la réduit beaucoup; il existe des ados dont les ailes ne présentent qu'une pente de 0m,02 à 0m,03 par mètre.

Le système de rigoles et ados que l'on vient de décrire s'exécute de la manière suivante :

La première opération à faire, pour disposer un terrain à l'irrigation, consiste à fixer aux ouvriers, en plan et en hauteur, la position des points principaux des rigoles; ils les exécutent ensuite en dessinant leur profil au moyen de plaques de gazon de bruyères ayant 0m,15 de côté sur 0m,04 d'épaisseur. Ce premier travail exécuté, on procède au défoncement qui doit être poussé à 0m,60 de profondeur au moins, et on donne en même temps au terrain le relief exigé. On laisse habituellement à la surface du sol défoncé la couche de terre qui s'y trouvait primitivement. Dans quelques localités où la nature du sous-sol le rend propre à la culture, on le ramène à la surface du champ. Ces défoncements s'exécutent presque toujours à la bêche (on sait qu'il est facile avec cet instrument de ramener le sous-sol à la surface ou de le laisser dans sa position naturelle). Quelques cultivateurs, guidés par un sentiment d'économie mal entendue, ont exécuté des défoncements moins profonds que nous ne l'avons indiqué; les résultats obtenus ne paraissent pas satisfaisants. Il paraît qu'en Belgique il faut plutôt chercher à augmenter qu'à diminuer la profondeur à laquelle on remue les terres qui doivent être irriguées.

La dépense totale pour les parties de terrain traitées comme on vient de l'indiquer, s'élève à 394 fr. 82 c. par hectare, répartie de la manière suivante :

	fr.	c.
Terrassements pour la formation des ados.	160	»
Toilette des terrassements.	18	»
Emploi et façon de 50 mètres cubes de compost.	65	»
Plantations servant d'abris.	17	»
Buses en bois.	18	»
Achat de graines.	72	37
Frais d'ensemencement.	11	55
Planches de roulage et brouettes.	5	40
Journées d'ouvriers pour maintenir l'eau dans les rigoles pendant les sécheresses.	27	50
Total.	394	82

Les ados le plus ordinairement employés dans les Vosges (fig. 100) diffèrent un peu des précédents. Ils sont en général plus courts, les ailes ont quelquefois 6 mètres de longueur, mais le plus ordinairement 4 mètres seulement, et en général une largeur égale à un multiple de 2 mètres, parce que, dans les Vosges, la faux coupe l'herbe sur cette largeur à la fois. Les rigoles des sommets des ados, 1, 1, ont 0m,30 de largeur et 0m,15 de profondeur à leur origine, et seulement 0m,15 de largeur et 0m,10 de profondeur à leur extrémité. Leur pente est sensiblement nulle. La pente des ailes est de 0m,04 par mètre au moins. Les rigoles principales d'irrigation et d'assainissement 3 3,

Coupe sur AB.

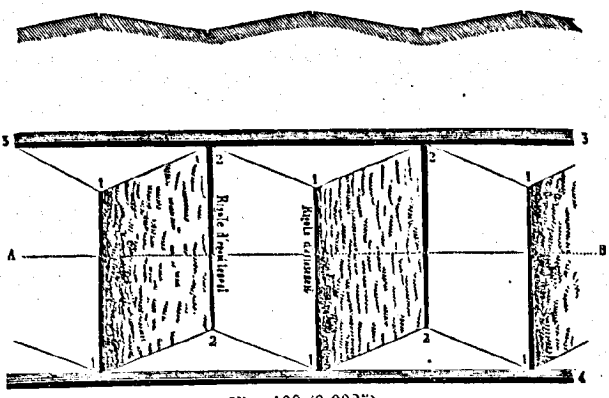


Fig. 100 (0,0025).

4 4, sont payées 0f,10 le mètre cube. Toutes les rigoles secondaires des ados coûtent 0f,005 le mètre courant. On les exécute avec une hache (fig. 101) et un louchet

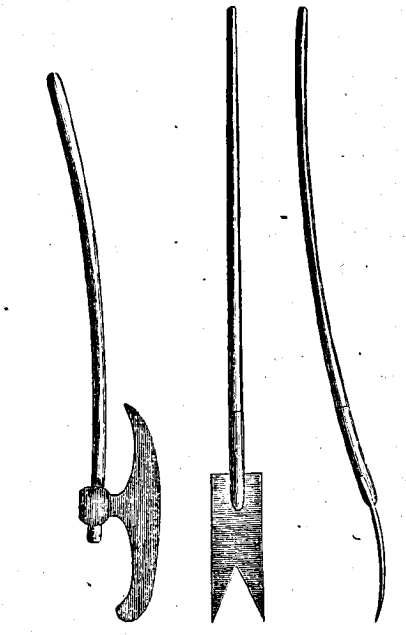


Fig. 101 (0,05). Fig. 102 (0,05).

(fig. 102). L'enlèvement du gazon et sa remise en place après la formation de l'ados sont payés 0f,02 le mètre carré dans les prés ordinaires, et 0f,03 dans les prés marécageux.

On vient d'indiquer, par deux exemples, les dispositions principales des ados; il faut, pour terminer ce sujet, examiner les motifs qui peuvent déterminer les formes et dimensions à adopter et la disposition relative des séries d'ados.

La longueur des planches ne doit pas dépasser 35 à 40 mètres, pour que l'eau arrive et se répande convenablement jusqu'à leur extrémité. La pente générale

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du terrain fixe du reste la longueur qu'il convient de leur assigner, au-dessous de cette limite, pour que les terrassements nécessaires à l'établissement du niveau de leurs crêtes soient les plus faibles possible. On peut d'ailleurs, quand la pente du terrain le rend nécessaire, partager l'ados en sections horizontales plus ou moins longues, établies à des hauteurs différentes et séparées par de petites chutes égales, en hauteur, à la différence de niveau des deux parties de la rigole d'imbibition.

La largeur des ailes des ados doit être un multiple de la portée du coup de faux pour que la récolte des foins se fasse avec plus de facilité. Cette largeur, du reste, ne doit pas être trop considérable pour que l'eau n'arrive pas au bas de l'aile épuisée de principes fertilisants. Toutes choses égales d'ailleurs, on peut faire des ailes d'autant plus larges que l'eau est plus abondante et de meilleure qualité et que l'inclinaison adoptée est plus forte. Dans les circonstances ordinaires, une largeur d'aile de 6 à 7 mètres paraît un maximum et une largeur de 2 mètres un minimum.

La pente des ailes dépend d'une foule de circonstances; en général, plus le terrain est poreux, plus elle doit être considérable; mais jusqu'à présent il n'existe pas d'expériences assez positives pour formuler une règle générale. On peut dire seulement qu'elle ne doit pas être au-dessous de $0^m,01$, ni au-dessus de $0^m,08$ par mètre.

L'exposition la plus convenable des ados est du nord au sud, afin que les deux ailes reçoivent également l'action des influences atmosphériques.

La disposition générale de l'ensemble d'un système d'ados dépend nécessairement de la forme du terrain dont on dispose. On a supposé, dans tout ce qui précède, que l'on opérait sur un terrain régulier, où les rigoles principales d'arrosage et d'assèchement étaient rectilignes et parallèles. Il n'en est pas toujours ainsi; mais il faut autant que possible se rapprocher de cette disposition. Il serait impossible de fournir à cet égard des renseignements un peu complets sans multiplier outre mesure les exemples de plans d'irrigations. Nous avons seulement montré (figure 103) deux cas élémentaires

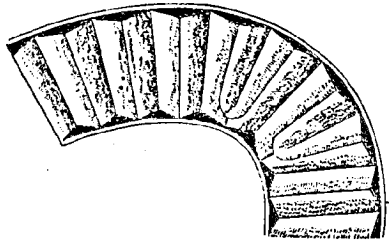


Fig. 103 (0,001).

auxquels peuvent se ramener la plupart de ceux que rencontre la pratique. Quand la rigole alimentaire présente une courbe brusque, comme on le voit à droite de la figure, on dispose les rigoles d'arrosage des ados en éventail, et l'on donne à ceux-ci la disposition indiquée; quand, au contraire, la courbe de la rigole principale est assez peu prononcée, on se borne à donner aux ados une forme trapézoïdale facile à déterminer dans chaque cas particulier.

Irrigations mixtes. On vient d'indiquer les trois modes principaux d'emploi de l'eau en irrigation; mais il arrive souvent que la disposition du sol et les habitudes locales conduisent à adopter des dispositions un peu différentes de celles qui ont été prises pour types dans ce qui précède. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre les principales modifications des méthodes générales d'arrosement.

Irrigations par rigoles irrégulières. On emploie quelquefois ce mode d'arrosage sur les prairies peu inclinées quand on ne veut apporter aucun changement à la surface du sol. A cet effet, on trace une série de rigoles disposées de manière à conduire l'eau sur toutes les parties relativement élevées du sol, et une autre série de rigoles destinées à égouter toutes les parties relativement basses. Ces diverses rigoles sont en lignes plus ou moins contournées, tracées à la demande du sol, mais elles forment en réalité un système de lignes d'amenée et d'écoulement des eaux. On comprend qu'avec des vannes placées à la sortie des rigoles d'égouttement et d'autres vannes placées en tête des rigoles d'amenées, on puisse ou arroser le pré par déversement continu, comme avec des ados, ou le laisser noyé plus ou moins longtemps, comme dans les irrigations par submersion. Ce mode d'arrosage présente quelques avantages, mais l'entretien et l'exécution des rigoles exigent un soin et une intelligence extrêmes; aussi est-il bien rare de rencontrer des prés de cette espèce complétement dépourvus de plantes aquatiques ou de parties trop sèches.

Les rigoles de formes irrégulières en apparence tracées sur les prés, fonctionnent quelquefois d'une manière différente de celle que l'on vient d'indiquer. Elles servent surtout à diriger l'eau et à imbiber toutes les parties du pré, quand on fait gonfler l'eau de la rigole principale d'amenée, en fermant une vanne en aval; quand on lève cette vanne, les eaux se retirent par les mêmes rigoles et viennent retomber dans la rigole principale revenue à son niveau primitif. Les critiques précédentes s'appliquent à plus forte raison à ce dernier mode d'arrosage d'un emploi cependant assez fréquent dans les pays où l'eau est rare et le climat chaud.

Arrosages divers. La garance s'arrose dans le midi en amenant l'eau dans les sentiers creusés entre les planches pour obtenir la terre nécessaire au rechaussement des plantes.

Le blé s'arrose aussi quelquefois de la manière analogue en mettant l'eau dans la raie qui sépare les sillons. Mais, toutes les fois que la terre n'est pas sujette à se plomber par l'arrosage, il est préférable, comme on le fait en Espagne, de cultiver le blé à plat et de procéder par submersions régulières et modérées.

Les oliviers, les orangers et autres arbres s'arrosent d'une manière particulière. On donne un binage au pied de l'arbre et on établit un bourrelet de terre formant un cercle de 1 mètre à 2 mètres de diamètre autour de l'arbre. L'eau est amenée dans cette espèce de cuvette et s'absorbe dans le sol.

On a proposé à plusieurs reprises un système d'irrigation combiné avec le drainage du sol. Voici comment les travaux s'exécutent. Des lignes de drains principaux sont posées suivant les lignes de plus grande pente du sol. Ces lignes de drains sont interrompues par des regards verticaux dans lesquels on peut à volonté arrêter l'écoulement de l'eau pour l'obliger à refluer à la surface. Des rigoles horizontales de déversement tracées à la surface du sol partent de chacun de ces regards. Par une manœuvre convenable des tampons d'arrêt des regards, on peut ainsi porter l'eau successivement sur toutes les bandes de terre comprises entre les rigoles de déversement.

Dans ce système d'arrosage, les drains remplissent les fonctions de rigoles d'amenées et de colateurs. On diminue ainsi les travaux de surface, et on peut obtenir dans certains cas de très-bons résultats.

Parmi les exemples d'irrigations établies sur un terrain de forme irrégulière et offrant la réunion des principaux genres d'arrosages, on peut citer l'étang desséché de Corian, en Bresse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La superficie de cet étang est de 30 hectares. Les parties qui présentaient une pente suffisante, de 0m,04 environ par mètre, sont arrosées par déversement; les parties plates sont disposées en billons. Dans les eaux moyennes, les ruisseaux et les sources qui arrosent ce terrain débitent ensemble 133 litres par seconde. Ce volume d'eau fournit par conséquent 4 litres 43 centièmes par seconde et par hectare. La dépense totale s'est élevée à 670 francs par hectare. L'étang rapportait avant les travaux moins de 25 francs par hectare; il produit actuellement plus de 190 francs par hectare.

Irrigations par reprises d'eau. Dans ce qui précède on a supposé que l'eau ne passait qu'une fois sur le sol, et que celle qui n'était point absorbée retournait immédiatement dans les canaux d'égouttement. Dans les méthodes d'irrigation par déversement, on a vu cependant que l'eau en excès pouvait descendre d'une planche sur l'autre, mais toujours plus ou moins mélangée avec de l'eau venue directement des rigoles d'alimentation. Lorsque l'eau est très peu abondante on est obligé de l'employer avec une grande économie, et de faire repasser sur le sol celle qui n'est pas immédiatement absorbée. C'est ce qu'on appelle irrigation par reprise d'eau. Cette méthode peut s'appliquer aux systèmes de plans inclinés et au billonnage. Dans les deux cas la disposition des ouvrages varie avec l'inclinaison du sol. Nous nous bornerons encore ici à deux exemples, ne pouvant pas entrer dans les nombreux détails que nécessiterait l'examen complet de la question.

Considérons d'abord un pré disposé en plan incliné (fig. 105), sur un terrain présentant une certaine pente

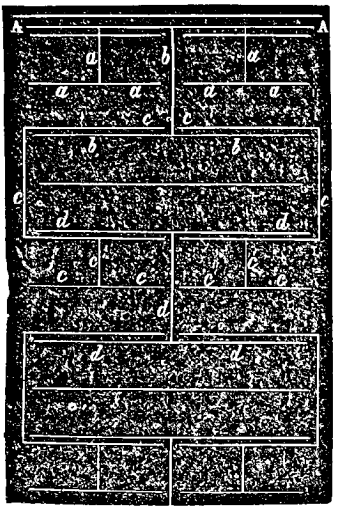


Fig. 105.

A A Rigole alimentaire.
a a Rigoles d'arrosage de la première planche
b b b — deuxième planche.
c c c Rigoles d'égouttement de la première planche arrosant la troisième.
d d Rigoles d'égouttement de la deuxième planche arrosant la quatrième, et ainsi de suite.

générale. L'eau arrivant par la rigole d'alimentation A A se déversera sur les plans inclinés au moyen des rigoles horizontales *a a*, *b b*. L'eau en excès du premier compartiment sera recueillie par les rigoles d'égouttement *c*, *c*, qui la porteront dans les rigoles de

déversement du troisième compartiment. De même l'eau en excès du deuxième compartiment sera répandue sur le quatrième; celle du troisième sera reportée au cinquième et ainsi de suite. On voit qu'il faut que la pente générale du terrain soit telle, dans l'exemple considéré, que les rigoles d'égouttement d'un compartiment soient de niveau ou un peu plus élevées que les rigoles de déversement du second compartiment après celui que l'on considère. La longueur de chaque compartiment doit être calculée en conséquence. Si la pente du terrain était assez faible pour qu'on fût obligé de donner trop de longueur à un compartiment, il faudrait faire passer l'eau d'une série non plus à la seconde série après elle, mais à la troisième ou même à la quatrième. Dans ce cas il faudrait conduire l'eau du canal directement jusqu'à la troisième série ou même jusqu'à la quatrième, afin que la cinquième puisse être arrosée par l'eau surabondante de la première, et ainsi de suite.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de séries d'ados (fig. 106), l'échelle de la figure n'a pas permis de re-

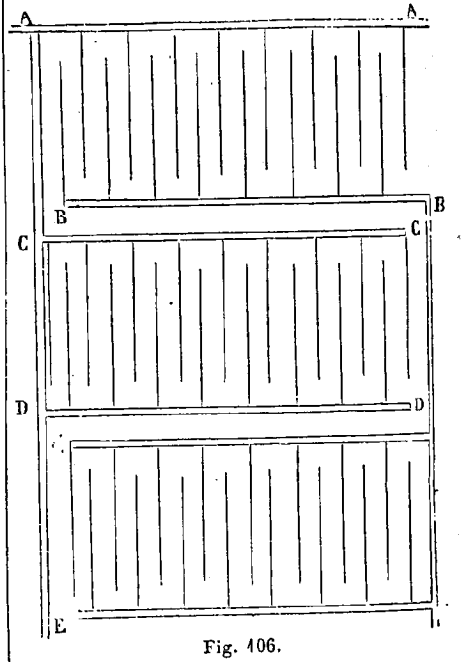


Fig. 106.

A A Rigole d'alimentation principale arrosant directement la première division, et par A C C la deuxième.
B B, Colateurs de la première division, arrosant la troisième.
D D E, Colateurs de la deuxième, pouvant arroser la quatrième, et ainsi de suite.

présenter les billons eux-mêmes parallèles aux rigoles d'alimentation A A. Ainsi que l'indique la légende, les deux premières séries de billons reçoivent directement l'eau du canal d'alimentation A A. L'eau égouttée de la première série arrose la troisième, celle de la deuxième est conduite sur la quatrième, et ainsi de suite. Il faut, pour que cette disposition soit admissible, que le produit de la pente par mètre du terrain, multipliée par la longueur d'une série de billonnages, soit égal ou même un peu inférieur à la différence de niveau des rigoles alimentaires et d'égouttement de chaque série. Si la pente du terrain était moindre, il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faudrait que les eaux égouttées d'une série soient conduites à une série plus éloignée que la seconde après elle. On cite des irrigations par reprise d'eau dans lesquelles les colatures sont conduites à la sixième série de billons après celle où elles sont recueillies. Ce cas se présente dans un terrain dont la pente générale n'est, il est vrai, que de 0m,001 par mètre.

L'eau abandonne promptement ses principes fertilisants en passant sur le sol; elle ne les retrouve qu'après une longue exposition à l'air et un long parcours à la surface du sol; les parties du terrain qui ne reçoivent les eaux qu'après leur passage répété sur les planches ou les billons se trouvent donc beaucoup moins bien partagées que celles qui les reçoivent directement; cependant dans les pays secs, où les eaux sont naturellement ou artificiellement riches en principes fertilisants, les irrigations par reprises d'eau peuvent rendre de grands services; elles seront d'autant plus importantes que la pratique des irrigations se répandra et se perfectionnera davantage.

Les irrigations par infiltration ne diffèrent pas, quant à la disposition des travaux, des irrigations par rigoles horizontales dont nous avons parlé. Seulement, au lieu de faire déverser l'eau par-dessus les bords des rigoles, on se borne à les emplir d'eau qui s'infiltre peu à peu à travers le sol. Quelquefois aussi, pour certaines cultures, on se borne à introduire l'eau entre les planches labourées et à la laisser pénétrer dans la terre par absorption capilluire.

Limonages, eaux animalisés. Souvent les eaux sont employées non-seulement pour rafraîchir les plantes et leur apporter les matières qu'elles renferment naturellement *en dissolution*, mais encore pour transporter sur le sol des substances fertilisantes qu'elles tiennent naturellement ou artificiellement en suspension. Ces dernières applications des procédés généraux d'irrigation constituent la pratique des limonages et des arrosages avec les eaux chargées d'engrais. Les limonages sont assez répandus en France et y produisent d'excellents résultats; mais l'emploi des eaux rendues artificiellement fécondantes y est à peine connu; nous insisterons particulièrement sur cette source certaine d'améliorations immenses pour notre agriculture.

Les colmatages, dont nous avons déjà parlé, se transforment par une transition difficile à préciser en limonages. Il est rare que des opérations d'irrigation bien conduites ne produisent pas un peu de limonages, c'est-à-dire ne déposent pas sur le sol une plus ou moins forte couche de matières terreuses fertilisantes. Toute irrigation produit donc, jusqu'à un certain point, des limonages; mais nous voulons parler des opérations spécialement dirigées dans ce sens. Les irrigations par submersion se prêtent surtout au limonage des terrains. Dans les autres arrosages le limon se dépose presque entièrement dans les rigoles horizontales, d'où on l'extrait, pendant les curages, pour le répandre sur le sol.

Dans certains cas, on recueille les limons au moyen d'ouvrages spéciaux et on les répand ensuite sur la terre. Ces ouvrages portent le nom de bassins de limonages. Ce sont de larges conduits en briques, en terre pilonnée, ou même en planches, dans lesquels on reçoit l'eau pour la laisser reposer et recueillir son dépôt. Ces bassins sont séparés les uns des autres par de petites planches formant déversoir, afin que le liquide passe d'un bassin à l'autre sans soulever les dépôts déjà accumulés. Si les bassins eux-mêmes ont une trop grande longueur, ou que l'eau y circule avec une certaine vitesse, on les partage en compartiments, par des planches verticales formant barrages, au-dessus desquelles l'eau s'écoule lentement.

Sur les bords d'un grand nombre de ruisseaux et de rivières, en France, on a transformé en excellentes prairies des grèves arides, au moyen d'irrigations et de limonages. Ces entreprises, du reste, ne peuvent réussir qu'avec des eaux d'excellente qualité et très abondantes. De tous les exemples de travaux de cette espèce que l'on pourrait citer, nous nous bornerons à mentionner ceux des grèves de la Moselle, exécutés maintenant avec succès sur plus de 800 hectares de terrain. L'arrosage se fait par ados ou par plans inclinés. Les travaux préparatoires, y compris les canaux de prises d'eau, etc., coûtent de 6 à 1,200 fr. par hectare.

Les irrigations au moyen d'eaux chargées artificiellement de matières fécondantes sont employées depuis longtemps en Angleterre, et produisent les plus remarquables résultats. Beaucoup de fermiers n'emploient plus d'autre moyen de répandre leurs fumiers liquides sur les terres, que de les étendre de beaucoup d'eau et de les faire arriver sur les champs au moyen de machines à vapeur et de tuyaux fixes, sur lesquels s'embranchent des tuyaux flexibles en cuir ou en gutta-percha.

Les eaux d'égouts des villes offrent d'immenses avantages pour l'arrosage des terres cultivées. On connaît la belle application qui a été faite de cette méthode sur les domaines du duc de Portland, près de Mansfield.

La commission des égouts de Londres avait chargé l'un de ses ingénieurs, M. Donaldson, de faire à cet égard quelques expériences en grand. Elles ont conduit aux résultats suivants : Avec des machines à vapeur et un personnel suffisant pour répandre par semaine 2,000 tonnes de liquide, l'engraissement est revenu, y compris la main-d'œuvre et les frais d'appareils, à 77 francs 20 cent. par hectare, recevant 125 tonnes de liquide. D'après les expériences de Smith, de Deanston, 80 tonnes d'eau d'égout équivalent à 279 kilog. de guano ou 50 tonnes de fumier de ferme. En supposant que le transport ait lieu à 400 mètres, l'application de 50 tonnes de fumier de ferme coûtera environ 21 fr. 25 c., et celle de 80 tonnes de liquide d'égout, avec des pompes et des tuyaux, ne reviendra qu'à 9 fr. 30 c.

La construction des égouts qui longent la Seine pourra donner lieu plus tard à de magnifiques travaux de cette espèce. Deux machines à vapeur établies à l'extrémité de ces égouts, en élevant leurs eaux, mélangées au besoin en proportions convenables avec de l'eau de la Seine, permettront d'irriguer et d'engraisser, presque sans frais, de grandes étendues de prairies (voir le mot ÉGOUT).

On reviendra plus loin (chapitre V) sur le répandage des engrais liquides plus ou moins étendus d'eau. Nous voulons seulement parler ici d'une véritable irrigation avec des eaux contenant de très faibles proportions de matières fertilisantes, exécutée avec un grand succès par M. Batailler, aux environs de Montargis. Le principe de cette opération nous paraît susceptible d'un grand nombre d'applications extrêmement importantes.

Quelle que soit la disposition du sol, M. Batailler emploie pour mélanger à l'eau les matières fécales dont il se sert un mécanisme très simple que nous allons indiquer.

L'appareil dont il s'agit (fig. 107) se compose d'une cuve en maçonnerie dans laquelle tourne un agitateur à arbre vertical, mis en mouvement par un mécanisme quelconque. Dans le dessin, la force motrice est le vent agissant sur une espèce de panemore. La cuve en maçonnerie forme un véritable vase de Mariotte, fermé par des soupapes hydrauliques qui s'opposent à tout dégagement d'odeur. Lorsque le mélange est opéré, on arrête la machine : les parties insolubles de la matière fécale se précipitent et sont extraites par un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tuyau de décharge B, pour être ultérieurement répandues sur le sol. Quant au liquide, on le fait couler avec une vitesse uniforme dans la rigole d'irrigation., où il se mélange avec l'eau pure amenée par le syphon C, en proportion déterminée, avant d'arriver sur les terres.

Formation des prairies. On trouvera plus loin, au sujet de la culture des prairies en général, ce qui se rapporte à l'entretien des prairies arrosées, à la nature des graminées qui doivent les composer, etc. Nous devons seulement indiquer ici les moyens et les précautions qui sont habituellement employés pour former le gazon des prairies et la couche de terre végétale, quand on opère, comme il arrive quelquefois, sur des sols stériles. La formation des prairies peut avoir lieu par semis ou par gazonnements. Quand on sème de la graine de foin au printemps ou à l'automne, autant que possible par un temps humide, il faut donner l'eau avec beaucoup de ménagement; si elle arrivait trop vite, elle entraînerait la graine et détruirait la végétation naissante; on doit se borner à entretenir la fraîcheur du sol. On peut, avec le secours seul de l'eau, former des prairies sur des sols arides; mais il convient, en général, de recourir à l'emploi toujours lucratif des matières fertilisantes, qui accélèrent singulièrement, surtout dans les terres médiocres, la formation du gazon. Beaucoup d'expériences intéressantes ont été faites sur ce sujet dans les bruyères irriguées de la Campine. L'un des moyens les plus employés consiste simplement à répandre, par hectare, et à mélanger à la herse un compost formé de 50 mètres cubes de gazons de bruyères et de 20 mètres cubes de chaux. Le tableau suivant indique plusieurs autres mélanges qui ont tous donné de bons résultats. Le n° 7 a été particulièrement employé sur une grande échelle par une des compagnies qui s'occupent de ces entreprises :

Nos d'ordre.	SURFACES des parcelles.	COMPOSITION de l'engrais par hectare. Boue de ville.	Noir animal.	Cendres de Hollande.	DÉPENSE par hectare.
	h. a. c.	m. cub.	kilog.	kilog.	fr. c.
1	7 » 75	50	500	500	306 60
2	» 78 75	40	1000	250	289 95
3	3 81 25	40	500	250	250 87
4	1 75 »	25	500	»	172 22
5	» 45 »	60	»	»	315 »
6	3 65 »	50	»	»	265 50
7	7 22 50	40	»	»	210 »
8	13 13 75	50[1]	400	400	266 53
9	1 20 »	50[2]	500	250	280 87
10	» 80 »	35[3]	500	250	202 69
11	1 75 »	35[4]	400	400	190 26
12	» 30 »	»	2000	2000	176 40

[1] Compost formé de parties égales de boue de ville et de terre du Ruppel. — [2] Compost précédent avec un 20me de chaux. — [3] 15 mètres du compost[1], mélangés de 7 mètres cubes de boue de ville et de 13 mètres cubes de terre du Ruppel. — [4] 15 mètres cubes du compost[1] et 20 mètres cubes de terre du Ruppel.

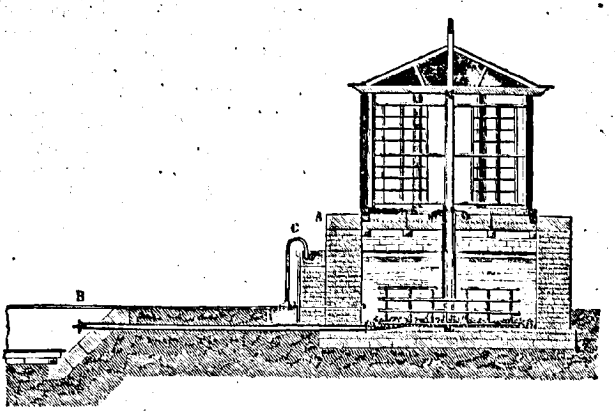


Fig. 107.

Nous ne citons, du reste, ces faits qu'à titre de renseignements. Chaque propriétaire emploie les matières dont il peut disposer, en tenant compte des résultats qu'elles doivent produire et de leur prix de revient.

La formation des prairies au moyen du gazonnement consiste tout simplement à appliquer à la surface des ados, ou des plans inclinés, des plaques de gazons enlevées sur le bord des chemins ou dans des prairies naturelles. Les gazons ont, en général, 0m,15 à 0m,30 de côté. Ils sont ordinairement disposés par lignes parallèles espacées de 0m,40, ou bien séparés les uns des autres, en tous les sens, par une distance double de leur largeur. La transplantation des gazons, dans des circonstances favorables, coûte de 30 à 50 francs par hectare. On les bat pour les appliquer sur le sol et favoriser le tallement de l'herbe. On arrose immédiatement après l'application des gazons. Habituellement la surface est entièrement herbée en moins d'un an. Cette méthode donne des résultats qui paraissent, en général, inférieurs à ceux que fournissent les semis.

Exécution des travaux d'irrigation. Quel que soit le système d'irrigation adopté, le mode d'exécution des travaux et les études préalables qu'ils nécessitent sont toujours à peu près les mêmes. Bien qu'une grande habitude donne à certains ouvriers un coup d'œil d'une sureté remarquable pour apprécier les pentes d'un terrain et les hauteurs de ses différents points, il convient toujours de faire précéder toute entreprise d'irrigation, même peu importante, d'un nivellement de la surface à arroser, rapporté sur un plan, comme nous l'avons indiqué en parlant des plans de drainage. Ce plan topographique permet de tracer de la manière la plus convenable les rigoles d'alimentation, et de déterminer avec certitude les dispositions de la surface qui nécessiteront le moins de terrassements. Les nivellements sur le terrain, la vérification de la pente des rigoles, etc., peuvent se faire au niveau de maçon, comme nous l'avons déjà dit. Quant aux instruments nécessaires aux terrassements d'irrigation, ils sont très simples et se rapprochent beaucoup de ceux qui sont habituellement employés dans les exploitations rurales; nous allons indiquer les principaux.

On emploie, pour tracer les rigoles dans les sols herbés et pour couper les gazons, la hache représentée par la fig. 108, ou celle dont il a été question ci-dessus (fig. 14 et 104). Ces instruments sont bien préférables, pour cet usage, à la bêche qui les remplace quelquefois. On a proposé, dans le même but, un instrument formé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une roulette en tôle aiguisée à sa circonférence et placée à l'extrémité d'un manche. Il ne paraît pas que cet

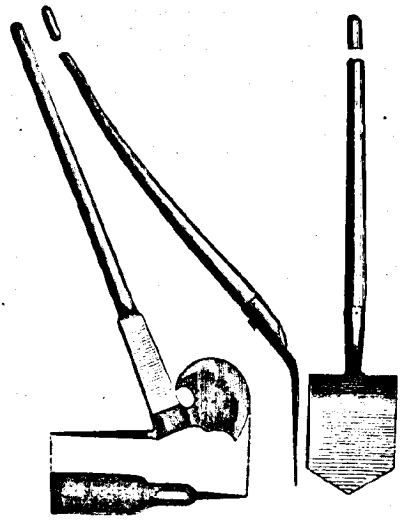


Fig. 108 (0,05).

Fig. 109 (0,05).

outil se soit beaucoup répandu. On emploie aussi une espèce de couteau (fig. 110), tiré par un homme à l'aide d'une corde passée dans l'anneau.

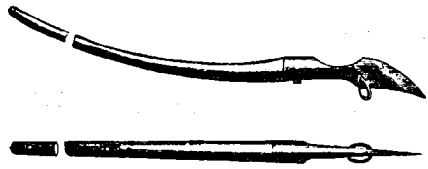


Fig. 110 (0,05).

Les bêches à lever le gazon ont l'une des formes indiquées par les fig. 102 (ci-dessus) ou 109. Elles le soulèvent en plaques bien régulières quand il a été d'avance coupé avec netteté. En France, on enlève le gazon par plaques rectangulaires de 0m,15 à 0m,20 de largeur, sur 0m,30 ou 0m,40 de longueur. Dans d'autres pays, et notamment en Allemagne, on le détache du sol par bandes plus ou moins longues, et on enroule ces bandes, qui ont jusqu'à 20 mètres, l'herbe en dedans, sur des bâtons assez longs pour que deux hommes puissent en saisir les extrémités et porter ces rouleaux de gazons aux points où ils doivent être appliqués, et où on les déroule comme un tapis. Ces rouleaux peuvent être abandonnés à eux-mêmes pendant un certain temps, pour faire périr les mousses, qui résistent moins longtemps que l'herbe à cette privation d'air et d'humidité.

L'ouverture des rigoles est l'opération qui se présente le plus souvent dans les travaux d'irrigation. On exécute entièrement ce travail avec des bêches ordinaires, ou bien on le commence à la charrue et on le termine à la main. On construit également, pour ouvrir les rigoles, de petites charrues à soc concave, garnies d'un versoir qui rejette la terre sur le côté. Ces instruments, connus sous le nom de *rigoleurs*, ont reçu des formes assez variées, que nous croyons inutile de décrire, parce que jusqu'à présent leur usage est peu répandu, et que les résultats qu'ils fournissent sont assez peu satisfaisants.

Les travaux de terrassements généraux pour le nivellement du sol s'exécutent à la pelle et à la pioche, ou à la bêche, et les transports se font à la brouette, ou au tombereau quand les distances sont considérables. Mais dans des terrains convenables une étude attentive peut presque toujours éviter l'emploi de ce dernier moyen, qui augmente beaucoup les frais d'établissement des ouvrages.

Les billons se font généralement à la bêche, en creusant un peu l'intervalle entre les ailes et en rejetant le produit de cette fouille sur le sommet des planches. Ce travail préparatoire, dans les terrains assez réguliers, peut se faire en grande partie à la charrue, manœuvrée comme on le fait pour former les planches bombées ordinaires. Les rigoles d'arrosage des planches, le régalage et l'achèvement des terrassements se font toujours à la bêche.

Pratique des irrigations. Le mode d'emploi de l'eau sur les terres arrosées varie d'une culture à l'autre, et même pour chaque culture d'une contrée à l'autre. C'est en étudiant séparément les principales cultures irriguées qu'il convient d'indiquer le mode d'emploi de l'eau qui convient le mieux à chacune d'elles. Nous dirons seulement ici quelques mots sur l'irrigation des jardins.

Jardinage. Les cultures maraîchères exigent, en général, beaucoup d'eau. L'irrigation permet de leur donner, dans certaines localités, un développement vraiment extraordinaire. Aux environs de Paris on tire l'eau des puits au moyen de manéges. Le haut prix des légumes permet aux jardiniers de supporter ce moyen coûteux d'arrosage. L'eau, versée dans des tonneaux enfouis dans le sol, est répandue sur le terrain avec des arrosoirs, à raison de 36 litres par mètre carré et par arrosage; ou mieux, élevée par des pompes dans des réservoirs en tôle, elle est répandue à l'aide de tuyaux terminés par une lance munie d'une pomme d'arrosoir. Dans le Midi et en Espagne on obtient l'eau au moyen de norias. Mais quand les localités le permettent, on a recours à de véritables irrigations, comme on peut l'observer sur une très-grande échelle à Cavaillon, Château-Renard, dans le Midi, aux environs de Clermont-Ferrand. A Cavaillon, la culture des melons, des artichauts et des légumes a pris une grande extension. Les produits de cette contrée sont exportés dans un cercle de plus en plus étendu et commencent déjà à venir à Paris comme primeurs. A Cavaillon, le terrain est divisé en planches de 1m,75 à 4m,80 de largeur, entre lesquelles on ménage des rigoles de 0m,28 de largeur. Les arrosages ont lieu tous les cinq jours pendant la saison, qui est de deux cents jours. Ces quarante arrosages consomment chacun environ 1,000 mètres cubes d'eau par hectare, ce qui fait 40,000 mètres cubes par saison, ou un débit de 2 litres ½ par seconde environ. Quand la capillarité du sol ne suffit pas pour humecter assez les plantes, on les arrose en projetant sur elles l'eau des rigoles avec des écopes très-plates.

Quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Pour que l'on puisse arroser, il faut disposer, au moment de l'opération, d'un certain volume d'eau. On comprend en effet qu'un simple filet d'eau s'imbiberait dans les rigoles ou à l'entrée du champ, et ne pourrait arriver aux parties du terrain éloignées de la prise d'eau. Le débit par seconde nécessaire à un bon arrosage dépend de la nature du sol, de celle de la culture, de l'étendue de la pièce à arroser et enfin de l'habileté et de l'activité de l'irrigateur. Il varie par conséquent entre des limites fort étendues. Dans les terres arables, on introduit généralement moins d'eau à la fois que dans les prairies bien herbées, parce que les ravinements y sont plus à craindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

On admet, en général, que le plus petit volume d'eau qu'il soit possible de conduire convenablement et utilement au moment d'un arrosage est de 5 litres par seconde. D'un autre côté, sur les prairies les mieux disposées, il est bien difficile à un seul homme de bien gouverner et de bien surveiller l'emploi de plus de 100 à 120 litres par seconde. Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas de prairies submergées, où on laisse passer, sans s'en occuper, des volumes d'eau souvent énormes.

Quand le débit dont on dispose est inférieur à celui qui est nécessaire au moment de l'arrosage, il faut avoir un réservoir où l'eau s'accumule pendant un certain temps, et d'où on la fait écouler au moment de l'arrosage.

Dans les Vosges on utilise ainsi les plus petits filets d'eau. Quelquefois, pour éviter les pertes de temps répétées on charge l'eau elle-même, à l'aide d'un mécanisme très-simple, d'ouvrir le réservoir quand il est plein et de le refermer ensuite pour qu'il s'emplisse de nouveau.

Le débit par seconde nécessaire au *moment même où l'on donne un arrosage* est, du reste, une quantité très-différente du volume total de l'eau nécessaire *annuellement* pour entretenir en culture irriguée une surface donnée. Cette dernière question est assez compliquée et donne lieu tous les jours à de longues discussions. Il est nécessaire de l'examiner ici.

On doit remarquer avant tout que le volume d'eau nécessaire à une irrigation varie dans chaque cas particulier. Il est absolument impossible de l'exprimer par un seul chiffre comme on veut le faire souvent. Les expériences bien faites à cet égard sont encore peu nombreuses, et il est fort difficile de distinguer l'influence de chaque élément de la question dans l'ensemble des phénomènes dont on ne connaît que le résultat général.

L'eau employée aux irrigations agit de plusieurs manières, qu'il est nécessaire d'analyser pour se rendre compte des principes qui peuvent guider dans l'étude qui nous occupe. L'analyse suivante, quelque imparfaite qu'elle soit, aura l'avantage d'appeler l'attention sur certains points particuliers de recherches et d'indiquer les éléments scientifiques de cette discussion.

Quand on veut exclusivement limoner un terrain, le résultat obtenu est évidemment proportionnel à la quantité d'eau que l'on peut faire reposer sur ce terrain. Mais ce cas particulier écarté, dans les arrosages proprement dits l'eau peut se partager, par la pensée, en plusieurs parties principales, savoir :

(*a*) L'eau perdue dans les canaux d'amenée, par infiltration ou par évaporation.

(*b*) L'eau absorbée par imbibition dans le sol pour l'entretenir à l'état de fraîcheur nécessaire à la végétation.

(*c*) Les pertes par infiltration à travers les sous-sols perméables, quand la disposition des lieux le permet.

(*d*) L'eau fixée par les végétaux.

(*e*) Les pertes, par évaporation, soit que l'eau se trouve en nappes plus ou moins épaisses, soit qu'elle mouille seulement les végétaux et le sol qui les supporte.

(*f*) L'eau qui ne fait que passer sur le sol et retomber dans des rigoles d'égouttement, après avoir abandonné aux plantes l'oxygène et les autres gaz qu'elle tenait en dissolution.

Disons quelques mots sur ces divers éléments du problème :

(*a*) La perte par les rigoles d'amenée peut être assez forte. Elle dépend de la nature du sol, de la température, de la pente, du volume en mouvement, etc.; ainsi, par exemple, dans un petit canal portant 10 litres d'eau par seconde, entre Blidah et Montpensier, on a trouvé que la pente par litre était de 0,00025 par mètre; quand le débit s'élevait à 30 litres, la pente par mètre et par litre n'était plus que de 0,00012.

(*b*) La quantité d'eau nécessaire pour imbiber une couche donnée de terre dépend des propriétés physiques de cette terre et de l'humidité qu'elle contient au commencement et à la fin de l'arrosage. Si l'on suppose par exemple que l'arrosage commence quand la terre renferme 10 pour 100 de son poids d'eau et qu'il cesse quand elle en renferme 25 pour 100, il est clair qu'il suffira de déterminer le poids de la couche de terre à laquelle s'applique l'arrosage pour évaluer, dans chaque cas particulier, le volume d'eau nécessaire à l'imbibition.

(*c*) Écartons les pertes par infiltrations qui sont souvent nulles, et prennent, au contraire, dans quelques circonstances, une valeur devant laquelle s'effacent toutes les autres causes de consommation d'eau.

(*d*) L'eau fixée par les végétaux n'est évidemment qu'une fraction très-petite des volumes d'eau dont il vient d'être question. Mais ce côté du problème est cependant l'un des plus intéressants à étudier. Le passage de l'eau sur les terres arrosées modifie singulièrement sa composition, et si le volume de liquide absorbé est faible, la quantité d'éléments solubles fixés peut être relativement considérable et varie avec les diverses conditions de l'opération comme on le verra plus loin. En un mot, l'eau s'appauvrit en passant sur les plantes, et l'on doit s'appliquer à mesurer non pas le volume de liquide absorbé, mais les éléments de fertilité retenus par le sol ou par les végétaux.

(*e*) Les pertes par évaporation sont très-difficiles à évaluer. Il s'agit d'eau en mouvement en couches plus ou moins minces, quelquefois de terres simplement mouillées. Ces conditions sont variables et très-différentes de celles où l'on opère dans nos observatoires. La quantité d'eau enlevée par évaporation est comprise entre celle qui est donnée par les formules pour les vases d'eau tranquilles et celle qui s'évapore d'un sol saturé. Cette dernière quantité est évaluée au quart de la première. Dans des conditions semblables de température, d'agitation de l'air, etc.

(*f*) Reste, enfin, à évaluer la quantité de liquide qui ne doit que passer sur le sol, celle qui sert à entretenir la vitesse d'écoulement et à abandonner aux plantes les gaz et autres aliments dissous que les eaux peuvent renfermer. On regarde une couche d'une épaisseur moyenne de $0^m,003$, animée d'une vitesse de $0^m,005$ par seconde, comme la plus petite quantité qu'il soit possible d'employer. Dans ces circonstances le débit est de 0 litre 015 par seconde et par mètre courant. Il est clair que l'épaisseur de la couche d'eau varie, pour un même débit, avec la vitesse, c'est-à-dire avec l'inclinaison des pentes des surfaces arrosées. Mais en admettant que le débit soit constant sur chaque unité de surface, on voit que la consommation totale d'eau devra varier avec la configuration des surfaces mouillées, c'est-à-dire avec le rapport de la longueur à la largeur des planches.

Les observations précédentes permettent de se rendre compte des principales causes qui déterminent le volume d'eau nécessaire à une irrigation, et de se diriger dans quelques-unes des expériences qui permettront de fixer plus tard, avec connaissance de cause, cette quantité.

Les expériences sont encore fort peu nombreuses. M. Keelhoff, dans la Campine belge, a fait établir un appareil de jaugeage, à l'aide duquel il a exécuté un certain nombre d'essais fort intéressants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous ne rapporterons que les chiffres de deux des expériences de M. Keelhoff.

RIGOLES DE DÉVERSEMENT

	de 0,28 de profondeur.	de 00,8 de profondeur bien donné.
	lit.	lit.
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans la rigole principale.	5,72	5,72
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans les rigoles de distribution	5,27	5,27
Consommation d'eau par hectare et par seconde dans les rigoles de déversement	64,17	16,13
Eau employée en déversement. .	4,50	4,47
	79,66	31,59

En tenant compte de la disposition des prairies où il opérait, M. Keelhoff déduit des chiffres précédents : que l'absorption par seconde par mètre carré de surface infiltrante des rigoles de déversement était de 0l,037, pour les rigoles de 0m,28 de profondeur et de 0,0222 pour celles de 0m,05 de profondeur et bien donné. L'infiltration par seconde et par mètre carré de rigoles de distribution était de 0l,0148 et de 0m,0077 par mètre quarré de rigole principale.

On doit remarquer en outre que ces prairies ne sont pas constamment arrosées, et que les eaux sont employées à plusieurs reprises dans le pays, de sorte que la consommation permanente est bien inférieure aux chiffres qui viennent d'être donnés.

Laissons de côté du reste ces considérations abstraites pour arriver à des chiffres et à des observations plus pratiques.

On estime de différentes manières la quantité d'eau nécessaire aux irrigations : les uns l'expriment par un écoulement permanent, en litres, par seconde; d'autres par l'épaisseur de la couche liquide qui serait répandue sur le sol si toute l'eau employée s'y trouvait réunie au même instant; d'autres, enfin, par le nombre absolu de mètres cubes d'eau employés par hectare et par saison d'arrosage. Il est facile de passer de l'une à l'autre de ces unités différentes. Il suffit, en effet, de multiplier le débit régulier, en litres, par seconde et par hectare, par le nombre 15,552 pour obtenir le volume total, en mètres cubes, dépensé par hectare, en six mois, et par 1m,5552 pour obtenir l'épaisseur, en mètres, de la couche d'eau correspondante; et, réciproquement, de diviser le volume employé par hectare par 10,000 pour avoir l'épaisseur de la couche d'eau, ou, enfin, ce même volume par 1,5552 pour avoir le débit permanent, par seconde, correspondant, en litres.

La quantité d'eau nécessaire à l'irrigation d'un hectare, pendant l'année, est égale au produit du nombre des arrosages par le volume d'eau donné à chaque arrosage. Ce volume et ce nombre d'arrosages sont donc les deux éléments essentiels de la question qui nous occupe. La durée de la saison des arrosages est très-variable. Dans le Midi elle dure du 1er avril au 30 septembre. Elle se réduirait sans doute à cinq mois dans le centre. Dans certaines contrées on arrose presque toute l'année.

M. de Gasparin admet, en termes généraux, que, dans le Midi, il faut donner un arrosage tous les quinze jours à la terre contenant 20 p. 100 de sable; un tous les onze jours à celle en contenant 40; un tous les six jours à celle en contenant 60; un tous les trois jours à celle en contenant 80, et que chaque arrosage exige une couche d'eau de 0m,08 à 0m,10, ou 800 à 1,000 mètres cubes par hectare, ce qui répondrait, en adoptant le second nombre, aux consommations d'eau suivantes, par hectare, pour une période de 190 jours d'arrosage :

m. c.	lit.			Terres contenant
12,000 ou	0,77	par 1″	avec 20 p.	100 de sable.
16,000	1,03	—	40	—
30,000	1,92	—	60	—
60,000	3,83	—	80	—

M. Puvis, après avoir cité plusieurs exemples, conclut qu'il faut donner au moins 0m,10 d'épaisseur d'eau aux prairies par vingt-quatre heures, 0m,30 au maximum et 0m,20 en moyenne, et que le nombre de jours d'arrosage par an peut s'élever à vingt-cinq ou trente, et même beaucoup plus. Cette évaluation, en prenant le chiffre moyen de 0m,20 et vingt-cinq jours d'arrosage, répond à une dépense d'eau de 50,000 mètres cubes par an, ou bien à un écoulement permanent de 3l,21 par seconde et par hectare prolongé pendant six mois.

Les derniers chiffres empruntés à M. de Gasparin sont suffisants pour le Midi; on peut même citer beaucoup de bons arrosages en Espagne, en Algérie et dans la Provence, qui ne consomment pas autant d'eau. Le chiffre de M. Puvis répond assez bien à la moyenne de sa contrée. Dans les Vosges, dans l'Ouest, en Campine, en Angleterre, on consomme beaucoup plus, dans des irrigations fort bien entendues.

On calcule, en général, les volumes d'eau nécessaires aux irrigations à raison de 1/2 ou de 1 litre par seconde et par hectare à arroser. Cette règle est beaucoup trop générale, c'est à tort que l'on veut soumettre au même régime des terrains consacrés à des cultures différentes sous des latitudes éloignées, ainsi que je l'ai démontré dans un travail étendu dont il convient de rappeler ici les conclusions(1).

Pour étudier les problèmes délicats que soulève l'emploi des eaux dans les irrigations, il fallait, non des expériences isolées, mais de longues séries d'observations comparatives et plusieurs années d'un travail soutenu, car on ne pourrait écarter autrement tant de causes d'erreur que toute expérience isolée comporte quand il s'agit d'agriculture.

J'ai employé dans mes cultures, placées comme il convenait aux deux extrémités de la France, les irrigateurs les plus habiles des localités adoptées et j'ai suivi leurs pratiques jour par jour, mesurant exactement les volumes d'eau employés, constatant avec précision la composition de l'eau à l'entrée et à la sortie, me rendant compte enfin de la quantité des récoltes obtenues et de leur composition.

Mes expériences, poursuivies pendant trois années sur des champs de cultures différentes, embrassent des milliers de jaugeages, de déterminations météorologiques et d'analyses trop longues à indiquer ici en détail. On se bornera à quelques indications indispensables pour faire apprécier le caractère de ce travail et en justifier les conclusions.

J'ai opéré dans les Vosges sur deux prairies arrosées par la Meurthe, l'une de trois quarts d'hectare, l'autre d'un hectare, et, dans le département de Vaucluse, sur quatre terrains en prairies ou en cultures diverses, dont trois arrosées par la Durance et un par la Sorgue.

Les jaugeages, au nombre de plus de mille, ont été effectués à l'aide d'une vanne ou de déversoirs dont les débits ont été vérifiés à l'aide du tube de Pitot, perfectionné par M. Darcy, et quelquefois à l'aide de jaugeages directs, avec des vases de capacité connue.

(1) *Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations sous différents climats.* Paris, Dunod, 1863.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

Les eaux destinées à l'analyse étaient recueillies à l'entrée et à la sortie, à chaque arrosage, dans le Midi, et une fois par jour dans les arrosages continus des Vosges.

Les récoltes ont été faites absolument par les méthodes en usage dans les localités où je m'étais placé. J'ai laissé faire les cultivateurs; mais tous les produits qu'ils obtenaient ont été pesés avec la plus grande attention. On a déterminé par l'analyse, sur des échantillons moyens, tous les coefficients nécessaires à l'appréciation de la teneur générale des récoltes elles-mêmes.

La température de l'eau était mesurée chaque jour à l'entrée et à la sortie du champ soumis aux expériences.

Les principaux résultats numériques de ces observations, dont le compte rendu occupe un volume, sont réunis dans le tableau suivant :

	PRAIRIE de Taillades.	LUZERNE de Taillades.	HARICOTS de Taillades	PRAIRIE de l'Isle.	PRAIRIE de Saint-Dié.	PRAIRIE de Habeaurupt.
Volume total d'eau versé par hectare et par an.....	mc. 16383.006	mc. 37959.224	mc. 5125.649	mc. 5402.289	mc. 1548661.23	mc. 4489722.43
Débit continu correspondant par seconde et par hectare.....	lit. 1.89	lit. 4.393	lit. 0.988	lit. 1.126	lit. 68.675	lit. 217.133
Débit continu par seconde et par hectare, l'hiver.....	»	»	»	»	101.285	312.835
Débit continu par seconde et par hectare, l'été.....	»	»	»	»	33.737	49.93
Azote de l'ammoniaque et de l'acide azotique par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	mil. 1.583	mil. 1.523	mil. 1.773	mil. 1.580	mil. 1.380	mil. 1.194
Azote de l'ammoniaque et de l'acide azotique par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	1.002	1.021	»	1.363	1.247	1.136
Azote de l'eau d'irrigation fixé par hectare et par an.....	k. 23.442	k. 55.731	k. 9.090	k. 8.093	k. 207.880	k. 261.116
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'année	0.36	0.33	»	0.13	0.10	0.05
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'hiver.	»	»	»	»	0.03	0.015
Rapport de l'azote fixé par litre à l'azote de l'eau d'entrée, moyenne de l'été.	»	»	»	»	0.32	0.30
Azote du fumier.....	k. 121.884	k. 105.806	k. 87.662	k. 139.724	k. »	k. »
Azote de la récolte.....	184.345	431.537	103.961	165.857	70.861	102.057
Différence de l'azote de la récolte et de l'azote de l'eau et du fumier.....	+39.019	+271.280	+7.209	+18.410	−135.684	−155.994
Acide carbonique dissous par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	cc. 4.87	cc. 4.30	cc. 6.1	cc. 11.3	cc. 1.40	cc. 1.13
Acide carbonique dissous par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	5.29	4.80	»	13.6	1.60	1.48
Oxygène dissous par litre d'eau d'entrée, moyenne de l'année.....	4.54	4.80	4.1	5.7	7.60	7.64
Oxygène dissous par litre d'eau de sortie, moyenne de l'année.....	3.78	4.20	»	4.7	7.10	7.22

La différence essentielle de la pratique des arrosages dans le Midi et dans les régions plus froides résulte de la manière la plus frappante des premiers chiffres de ce tableau. Tandis que l'arrosage de l'une des cultures soumises à nos essais a eu lieu dans le département de Vaucluse en employant le produit d'un débit continu de moins d'un litre par seconde et par hectare; une autre prairie, située dans les Vosges, a reçu le produit d'un débit moyen de 217 litres par seconde, qui dans l'été même s'élevait encore à près de 50 litres par seconde et par hectare.

Pendant l'hiver, les eaux sont, en général, assez abondantes pour suffire à tous les besoins; il n'y a pas à se préoccuper de leur emploi en grandes masses. Lorsqu'elles n'agissent pas par colmatage, elles servent alors beaucoup plus, sans aucun doute, à régulariser les conditions de température de l'herbe qu'à fournir aux plantes et au sol des matières fertilisantes; car elles n'abandonnent en passant sur le terrain que 1 à 3 p. 100 de leur azote combiné. Les observations qui vont suivre s'appliquent donc essentiellement aux volumes d'eau employés pendant l'été.

Dans les irrigations du Midi, citées ici, les eaux n'apportent aux récoltes qu'une faible partie des matières fertilisantes nécessaires à leur développement, comme le montre le tableau précédent. Elles servent surtout à rafraîchir le sol et à rendre possibles les phénomènes d'absorption et d'évaporation indispensables à la vie des plantes. L'importance de leur rôle sous ce double rapport dépend de l'hygroscopicité du sol et de l'ensemble de ses propriétés physiques.

Dans les pays plus froids, les eaux d'irrigation remplissent véritablement le rôle de producteurs d'engrais; elles fournissent toutes les matières fertilisantes nécessaires au développement des récoltes et à l'accroissement progressif de la richesse du sol.

Dans les expériences des Vosges, l'azote fixé par hectare de prairie, après l'enlèvement de la récolte, n'atteint même pas les chiffres de 135k.6 ou de 155k.9 portés au tableau. Ces chiffres eux-mêmes n'exprimeraient qu'un accroissement assez lent de la fertilité du sol; on voit donc qu'une réduction des volumes d'eau d'arrosage, pour peu qu'elle fût notable, rendrait insuffisante la proportion de matières fertili-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

santes apportées par les eaux, et diminuerait les récoltes dans la même proportion, à moins qu'on ne remplace par une quantité équivalente de fumier le volume d'eau enlevé à la prairie.

On pourrait remarquer, il est vrai, que les eaux, en passant sur les prairies soumises à nos expériences des Vosges, n'abandonnent que le tiers de l'azote combiné qu'elles renferment, et se demander si par un meilleur mode d'emploi des eaux, on pourrait les dépouiller complétement, ce qui permettrait de réduire des deux tiers le volume employé. Il est facile de répondre à cette question. On dira d'abord que l'azote laissé dans les eaux d'irrigation n'est point perdu; en continuant leurs cours, elles s'enrichissent de nouveau et sont employées plus loin à d'autres arrosages. Mais il y a plus : il ne paraît pas possible, par la réduction du volume d'eau, de fixer une plus forte proportion d'azote de l'eau, car les prairies des Vosges, pendant les arrosages d'été, fixent un peu plus de 30 p. 100 de l'azote contenu dans les eaux qui les arrosent, c'est-à-dire sensiblement autant que les prairies de Vaucluse arrosées avec une si grande parcimonie.

Il semble donc que les plantes ne puisent plus rien dans les eaux dont la richesse en azote combiné descend au-dessous d'une certaine proportion, d'un certain titre de fertilité, si l'on peut s'exprimer ainsi. Ce fait, du reste, n'a rien d'étonnant; il s'accorde avec les idées généralement admises sur l'influence exercée par le degré de dilution sur les affinités.

Si cette dernière observation est fondée, il est clair que dans les irrigations bien disposées, les cultures fixeront tout l'azote des eaux excédant cette proportion constante pour chaque cas particulier, au-dessous de laquelle s'arrête toute assimilation des principes fertilisants du liquide. Le rapport de l'azote fixé à l'azote total sera par conséquent d'autant plus grand que l'eau sera plus riche en azote. On comprend par là les merveilleux effets de très-petits volumes d'eau suffisamment chargés de principes fertilisants.

Si les chiffres précédents expliquent parfaitement le rôle des arrosages à grands volumes, ce n'est pas à dire qu'ils les justifient toujours d'une manière complète. Puisque l'emploi de grands volumes d'eau a pour but de fournir aux récoltes la totalité des matières fertilisantes nécessaires à leur développement, on peut remplacer une partie de l'eau d'arrosage par une proportion d'engrais équivalente. On se trouve donc conduit à substituer l'un à l'autre ces deux moyens de fertilisation selon leur abondance, leur prix relatif, la nature du sol et du climat sous lequel on opère.

Ce serait s'écarter du but de ce travail d'examiner ici l'influence sur la qualité des récoltes de l'emploi plus ou moins abondant et plus ou moins exclusif des eaux d'irrigations; on dira seulement que, dans certains cas, on perd plus en qualité qu'on ne gagne en quantité par l'emploi de volumes d'eau excessifs, et cette circonstance suffit habituellement pour empêcher les abus que l'on pourrait craindre dans l'usage des eaux.

La méthode suivie dans le mémoire que nous citons permet d'ailleurs de décider, dans chaque cas particulier, si le volume d'eau réclamé par les intéressés excède leurs besoins. Il suffit, en effet, de jauger ces eaux et de comparer la quantité de matières fertilisantes qu'elles abandonnent en passant sur la prairie à la récolte obtenue. On aura donc, à l'avenir, une base certaine d'appréciation pour la concession et le partage des eaux d'irrigation. Désormais les cultivateurs des pays froids pourront répondre péremptoirement aux personnes qui leur citeront les arrosages du Midi et déterminer, dans chaque cas particulier, la limite au-dessous de laquelle le volume de leurs eaux d'arrosage ne pourrait être réduit sans diminuer la production de leurs prairies arrosées et sans exiger l'emploi de fumures auxiliaires.

Cette méthode fournit aussi la solution du problème des *reprises d'eau*. Il est évident qu'il faut cesser de les multiplier quand la composition de l'eau de sortie égale celle de l'eau d'entrée, et même quand la différence de composition de ces deux liquides représente une valeur inférieure aux frais d'établissement et d'entretien de la prairie.

La sensibilité et l'exactitude de ces procédés d'observations faites par séries est telle qu'on peut reconnaître l'influence d'une pente plus ou moins forte du sol de la prairie.

Les gaz dissous dans les eaux d'irrigation exercent une grande influence sur leur action sur les prairies.

Dans nos expériences, l'acide carbonique dissous a été plus abondant dans l'eau de sortie que dans l'eau d'entrée, et l'oxygène au contraire a toujours été plus abondant à l'entrée qu'à la sortie.

Il y a donc combustion lente de matières carbonées pendant le passage de l'eau sur les cultures. Ce phénomène paraît général; les irrigations déterminent par conséquent dans le sol des phénomènes d'oxydation semblables à ceux que produit le drainage lui-même. Ces deux puissants moyens d'amélioration agricole, si différents en apparence, agissent à cet égard de la même manière.

La facilité avec laquelle les eaux d'irrigation abandonnent aux cultures les matières fertilisantes qu'elles renferment, semble plutôt donner la mesure de leurs qualités que leur composition absolue. Ainsi les eaux de la Sorgue qui arrosent la prairie de l'Isle, se rapprochent beaucoup par leur composition de celles de la Durance qui arrosent la prairie de Taillades, mais elles sont beaucoup moins appréciées. On voit, en effet, que ces dernières abandonnent plus de 30 p. 100 de leur azote à la prairie qu'elles arrosent, tandis que ces dernières ne perdent que 13 p. 100 de leur richesse dans des conditions semblables en apparence.

Ces différences peuvent tenir à plusieurs causes qu'il serait fort utile d'étudier; mais la comparaison des eaux de la Sorgue et de la Durance, aussi bien que quelques autres faits, porterait à penser que la présence d'une trop forte proportion relative d'acide carbonique dans l'eau nuit à ses qualités pour l'irrigation. Ce fait paraîtra du reste très-probable, si l'on se rappelle qu'une eau déjà chargée de gaz carbonique en dissout plus difficilement une nouvelle proportion, et présente ainsi une certaine résistance à l'action comburante de l'oxygène, puisque l'acide carbonique produit ne se trouve pas entraîné aussi facilement. Quelques expériences très-faciles permettraient, du reste, de vérifier cette supposition (1).

Une question plus délicate se rattache à cette combustion lente par l'oxygène dissous dans les eaux. Les matières organiques, fixées par le chevelu des racines et brûlées en partie dans les années suivantes par l'oxygène, sont plus ou moins riches en azote. Que devient cet azote? Se dégage-t-il à l'état gazeux? se concentre-t-il dans l'humus pour l'enrichir de plus en plus, ou bien enfin se transforme-t-il, en totalité ou en partie, en acide azotique, en se trouvant à l'état naissant au moment d'une combustion lente en présence de l'oxygène? Les expériences rapportées dans ce travail permettent seulement de poser cette question, dont la solution ne peut être donnée que par une autre série de recherches.

Les eaux d'irrigations apportent à la terre plus de

(1) Cette vérification aurait une grande importance pratique, car elle donnerait le moyen d'améliorer facilement les eaux de cette espèce.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

matières minérales que les récoltes n'en enlèvent. Il est probable, en général, que les eaux renferment tous les éléments des cendres végétales. L'action absorbante du sol arable sur les sels solubles dont il n'est pas saturé explique d'ailleurs comment les terres arrosées enlèvent aux eaux les composés salins dont elles ont besoin en leur laissant entraîner les substances dont elles sont suffisamment imprégnées ou qu'elles renferment en trop grande abondance.

L'influence générale de la température sur la fixation par les cultures de l'azote fourni par l'ammoniaque et l'acide azotique des eaux d'irrigation, est bien nettement accusée par les observations faites sur les deux prairies des Vosges. Lorsque la température est inférieure à 7 degrés l'assimilation paraît nulle ou très-faible. Ce phénomène si important mérite, du reste, d'être étudié avec plus de détail, en puisant des eaux d'entrée et de sortie, d'heure en heure, et en notant la température relative du sol et de l'eau.

Les chiffres élevés qui représentent la chaleur spécifique de l'eau et la chaleur latente de sa vapeur donnent un grand intérêt aux recherches qui seraient faites pour étudier la vaporisation sur les prairies arrosées et les changements de température produits dans la couche arable par le fait de l'irrigation.

Après l'étude de l'action de la température sur les arrosages, il conviendrait de faire une série d'observations sur les eaux d'irrigation employées pendant la nuit, pour savoir si, à température égale, il se fixe alors autant d'azote que pendant le jour.

D'après ce qui précède, les eaux d'irrigations doivent être considérées comme agents *physiques* et comme agents *chimiques*. Leur rôle à ce double point de vue est extrêmement complexe, et dépend non-seulement des conditions naturelles du sol et du climat déjà si variables d'un pays à un autre, mais encore des conditions économiques qui règlent la valeur relative des différentes récoltes, des engrais et de l'eau elle-même.

Le tableau suivant résume d'ailleurs, à titre de renseignements, un certain nombre de faits relatifs à des arrosages du Midi :

DÉSIGNATION des CULTURES.	LOCALITÉS.	DURÉE de la saison d'arrosage.	NOMBRE d'arrosages par saison.	ÉPAISSEUR de la couche d'eau à chaque arrosage.	VOLUME d'eau employée par saison et par hectare.	ÉCOULEMENT continu correspondant par seconde et par hectare.
		jours.		m.	m.	lit.
Prairies...	Haute-Garonne.....	160	16	0,05	8,000	0,58
—	Bouches-du-Rhône, La Crau.	180	16	0,08	12,800	0,11
—	— —	180	18	»	5,330	1,00
—	Hautes-Alpes.....	90	10	0,053	»	0,68
—	Piémont, province d'Ivrée..	180	20	0,077	»	1,00
—	Milan [1].....	180	20	»	»	1,00
—	Pavie [2].....	180	20	»	»	0,75
—	Cavaillon [3].....	»	»	0,05	»	1,00
—	Le Pontet [4].....	»	»	0,06	»	1,15
—	Avignon [5].....	»	»	0,10	»	0,965
—	La Médecine [6].....	»	»	0,04	»	0,77
Luzerne...	Cavaillon [7].....	»	»	0,06	»	1,003
—	Avignon [8].....	»	»	0,08	»	0,9
—	Entraigues, etc. [9].....	»	»	0,10	»	0,5
Jardins...	Cavaillon [10].....	»	»	0,107	»	2,5
Haricots...	— — [11].....	»	»	0,05	»	»

1. Moyennes. — 2. Ibid. — 3. Un arrosage tous les sept jours. — 4. Un arrosage tous les cinq jours. — 5. Un arrosage tous les douze jours. — 6. Un arrosage tous les sept jours. — 7. Ibid. — 8. Arrosage tous les dix à douze jours. — 9. Arrosage apres chaque coupe seulement. — 10. Arrosage tous les cinq jours au moyen de rigoles entre les planches. — 11. Arrosage tous les cinq jours.

Nous donnons encore ici sur la richesse des limons de certaines eaux d'arrosage (1), quelques renseignements que les exigences de la mise en page n'ont pas permis de placer à leur véritable place.

La fertilité proverbiale des limons déposés chaque année par le Nil sur les plaines de l'Égypte, et les bénéfices des opérations de colmatage ont appelé, de tout temps, l'attention des agronomes sur les avantages que l'agriculture peut attendre d'un judicieux emploi des matières solides entraînées par les eaux. D'un autre côté, on n'a pas été sans remarquer que les inondations désastreuses qui ravagent à intervalles irréguliers nos contrées du centre et du midi, ne sont pas toujours sans compensation. Il existe de nombreux exemples d'une fertilisation exceptionnelle des sols inondés produite par le limon que le fleuve y laisse en se retirant.

La fertilisation des terres arables, et la réduction des crues des cours d'eau torrentiels, c'est-à-dire la solution du problème des inondations, dont se préoccupe si vivement le public et l'administration des ponts et chaussées, sont donc deux questions liées entre elles de la manière la plus intime. Aussi ne doit-on pas s'étonner de voir les agronomes et les ingénieurs, de Gasparin et Polonceau, pour ne citer que les plus illustres, signaler à l'envi l'emploi des limons comme le seul moyen de faire tourner au profit de l'agriculture et de la richesse publique l'action si redoutée des torrents et des fleuves les plus dangereux.

Ces idées si simples, et si souvent reproduites, n'ont reçu cependant jusqu'à présent dans notre pays que des applications assez bornées. Lorsqu'on cherche à

(1) *Expériences sur les limons charriés par les cours d'eau*, par M. Hervé Mangon. Extrait des *Annales du Conservatoire*. Paris, E. Lacroix, éditeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PÉRIODES des OBSERVATIONS.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	RÉSIDU argilo-siliceux		ALUMINE et peroxyde de fer		CARBONATE de chaux		AZOTE		CARBONE		EAU COMBINÉE et produits non dosés	
		sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.	sur 100	la totalité.
	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 1er nov. 1859 au 29 fév. 1860	1090455310	46.05	502154670.2	4.25	46344350.7	43.30	472167149.2	0.083	905077.9	0.472	5146949.1	5.845	63737118.9
Du 1er au 31 mars 1860	187816644	49.10	92217972.2	4.85	9109107.2	39.64	74450517.7	0.128	240405.3	0.658	1235833.5	5.624	10562608.1
Du 1er au 30 avril 1860	879993228	45.55	400836915.3	4.85	42679671.6	42.41	373205128.0	0.104	915193.0	0.486	4276767.1	6.600	58079553.0
Du 1er au 31 mai 1860	335921910	45.15	151668177.4	5.45	18307049.1	43.03	144546884.9	0.071	238540.4	0.646	2170058.9	5.653	18989649.3
Du 1er au 30 juin 1860	335134962	48.40	162204945.2	5.00	16756714.1	39.73	133148519.1	0.081	271458.7	0.695	2329532.9	6.094	20430834.6
Du 1er au 31 juillet 1860	276391170	40.55	112076619.4	5.20	14372340.8	48.12	132999431.0	0.072	199001.6	0.493	1362608.5	5.365	15381169.6
Du 1er au 31 août 1860	68014032	44.30	30130216.2	4.30	2924603.4	43.83	29810550.2	0.085	57811.9	0.330	360474.4	6.955	4730375.9
Du 1er au 30 septembre 1860	518120044	51.60	267349687.1	5.65	29273853.3	36.25	187818342.2	0.084	435208.8	0.486	2516036.6	5.930	30724519.6
Du 1er au 31 octobre 1860	332889667	49.55	164946803.0	5.15	17143128.8	38.93	129593033.2	0.072	239604.9	0.470	1564309.6	5.828	19400839.5
Totaux	17733321767		8599118006.0		930950246.0		7033714605.5		14166131.5		98201420.6		1047871357.3

les approfondir et à préciser leur importance, on reconnaît malheureusement qu'il n'a été fait sur la quantité et la nature des limons de nos cours d'eau que des observations peu nombreuses et presque toujours isolées; en un mot, que les données numériques nécessaires à des études sérieuses et détaillées font presque complétement défaut aux agriculteurs aussi bien qu'aux ingénieurs. J'ai cherché à combler en partie cette lacune regrettable en apportant quelques chiffres positifs dans une discussion où l'on ne peut avancer avec sûreté sans des données préalables parfaitement certaines.

On ne citera ici que les chiffres relatifs à la Durance. Le poids et la composition des limons entraînés par cette rivière du 1er novembre 1859 au 31 octobre 1860 sont réunis dans le tableau ci-contre.

Le premier résultat qu'il y a lieu de signaler dans le tableau qui précède a trait à l'importance du poids et du volume du limon entraîné. Pendant l'année des observations, qui a été plutôt au-dessous, qu'au-dessus de la moyenne, sous le rapport des crues, le poids total des limons charriés par la Durance devant Mérindol, du 1er novembre 1859 au 31 octobre 1860, pour un débit total de 12,188,880,000 mètres cubes d'eau, a été de 17,723,321 tonnes de 1,000 kil.

En admettant que ces limons déposés sur le sol pèsent en moyenne 1,600 kil. le mètre cube, ce qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de la réalité, leur volume serait de 11,077,071 mètres cubes.

Un volume équivalent à un cube de 220 mètres de côté environ a donc été enlevé aux terrains supérieurs, et entraîné sous forme de limon, dans les parties basses du cours de la rivière jusqu'à la mer.

Si ce limon se déposait entièrement sur le sol, il recouvrirait en un an d'une couche de 0m,01 d'épaisseur l'énorme surface de 110,770 hectares. S'il était amené sur la Camargue, il pourrait en combler les marais et la transformer en une plaine des plus fertiles en moins d'un demi-siècle.

Plusieurs des régions les plus riches du département de Vaucluse ont été formées, sans aucun doute, à des époques plus ou moins anciennes par des colmatages naturels de la Durance. Les terres si fertiles des communes de Cheval-Blanc, de Cavaillon, etc., ne doivent leur richesse qu'à une couche de limons, semblables à ceux qui nous occupent, déposée sur des terrains caillouteux d'une date plus ancienne. L'étendue de cette couche de limons est environ de 25,000 hectares. Il faudrait beaucoup plus de sondages que je n'ai pu en faire pour évaluer son épaisseur moyenne et calculer son volume; mais on peut affirmer qu'elle a pu se former en un temps assez court, sans qu'il soit nécessaire d'attribuer à la Durance une puissance de transport supérieure à celle qu'elle possède encore aujourd'hui, et dont nous venons de donner la mesure exacte.

De semblables résultats permettent de se rendre facilement compte de l'action des limons du Nil, qui exhaussent, comme on sait, le sol de l'Égypte environ d'un millimètre par an, et de la formation des terrains littoraux si étendus de l'embouchure de certains fleuves.

Un dernier rapprochement sera facile à saisir, et fera mieux comprendre encore la vértable signification des chiffres qui précèdent.

On regarde comme très-fertiles, dans le département de Vaucluse, les terres arables qui possèdent 0m,30 d'épaisseur de ces précieuses alluvions, ou 3,000 mètres cubes par hectare. Le volume de limon entraîné en une année par la Durance à Mérindol représente donc la terre arable de $\frac{11,077,071^{mc}}{3000} = 3,692$ hectares de ces sols de première qualité, très-supérieurs à la moyenne de nos terres de première classe, ou près de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux centièmes de la surface arable d'un département moyen (1). En cinquante ans, les eaux de la Durance entraînent donc une quantité de sol arable égale à celle d'un département français.

La désagrégation des parties dénudées du territoire prépare sans cesse ces précieuses alluvions, que les cours d'eau entraînent aujourd'hui sans profit. Il appartient à l'homme de les utiliser à la transformation des plaines arides et caillouteuses que dominent les cours d'eau limoneux, et au renouvellement continu de la fertilité des terres cultivées. Le relief naturel du sol a suffi pour déterminer le dépôt des limons qui forment aujourd'hui plusieurs de nos plus riches vallées. Imiter ces exemples et ne pas laisser perdre dans la profondeur des mers de tels éléments de richesse et de fertilité n'est point au-dessus des ressources de la science, et la solution du problème des inondations aura fait un grand pas quand les intérêts agricoles y prendront une part plus large.

La composition chimique des limons donne lieu à des observations d'une autre nature. Les 17,723,321 tonnes de matières solides entraînées par an par la Durance à Mérindol, sont formées de 9,529,368 tonnes d'argile, de 7,033,714 tonnes de carbonate de chaux, de 14,166 tonnes d'azote, de 98,201 tonnes de carbone, et enfin de 1,047,871 tonnes d'eau combinée ou matières diverses, le tout réuni dans les conditions les plus favorables à la constitution des terres arables les plus fertiles.

Une seule rivière entraîne donc par an plus de 14,000 tonnes d'azote, à l'état de combinaison le plus convenable au développement de nos plantes cultivées, alors que l'agriculture achète au dehors, aux prix des plus grands sacrifices, d'autres matières azotées, et que l'importation du guano, qui fournit à peine cette quantité d'azote chaque année à l'agriculture française, lui coûte une trentaine de millions de francs.

La quantité de carbone contenu dans les limons exige quelques explications.

On admet ordinairement qu'il s'établit dans notre atmosphère un certain équilibre entre le volume d'acide carbonique décomposé par les parties vertes des plantes et l'acide carbonique produit par la respiration des animaux, la combustion lente des matières organiques en décomposition, et surtout la combustion lente du carbone engagé dans la constitution de la terre végétale. Le carbone passerait ainsi de l'acide carbonique gazeux de l'atmosphère à l'état de matières organiques, pour se transformer ensuite de nouveau en acide carbonique destiné à l'alimentation de nouvelles générations de plantes. De sorte que la massse totale de carbone en circulation, pour ainsi dire, entre la terre et l'air pourrait être la même pendant une période de siècles en quelque sorte illimitée.

L'entraînement à la mer de la terre végétale peut apporter de notables changements à cette succession de phénomènes. Il paraît probable, en effet, jusqu'à preuve contraire, que le carbone des limons entraînés dans la profondeur des mers se transforme en acide carbonique beaucoup plus lentement qu'il ne le ferait à la surface du sol. Chaque kilogramme de carbone entraîné avec les limons au fond de la mer se trouve donc soustrait, pour ainsi dire, à la circulation dont on parlait tout à l'heure. Cette action paraît, à la longue, pouvoir diminuer la proportion d'acide carbonique contenu dans l'atmosphère, si d'autres phénomènes ne compensent pas cet effet.

(1) Les céréales et les cultures diverses, proprement dites, occupent en France 13,900,262 + 344,239 = 17,342,501 hectares, ou 201,652 hectares par département moyen. Or,

$$\frac{3,692}{201,652} = 0,018.$$

Les anciens dépôts de houille, de lignite et de tourbe, qui ont immobilisé une portion considérable du carbone circulant autour du globe, ne sont donc pas les seuls représentants de l'acide carbonique qui a passé à travers notre atmosphère. Il faut y ajouter cette matière organique particulière que les fleuves entraînent sous nos yeux avec les limons qu'ils charrient.

Les limons charriés en un an par la Durance, devant Mérindol, contiennent, comme on l'a vu, 98,201 tonnes de carbone; en supposant qu'ils se perdent en totalité dans la profondeur des mers, et qu'ils n'y éprouvent qu'une combustion lente, nulle ou très-faible, ce poids de carbone se trouve enlevé à la terre végétale, et par suite à l'atmosphère. Or, il représente 360,070 tonnes d'acide carbonique, ou la quantité de ce gaz contenue dans environ 1,200,000,000 tonnes d'air normal, ou enfin dans un prisme d'air de 100 mètres de hauteur, et de 930,232 hectares de superficie. Cette masse d'air est très-notable quand on pense qu'il s'agit d'un seul cours d'eau charriant des limons pendant une seule année.

Comparée à la quantité de carbone fixée par les forêts, la composition des limons de la Durance conduit à un chiffre non moins remarquable. Un forêt en pleine végétation assimile environ 2,000 tonnes de carbone par hectare et par an. La Durance entraîne donc en une année autant de carbone que pourrait en fixer dans le même temps une forêt de 49,100 hectares, c'est-à-dire égale en étendue à 3 p. 100 environ de la surface totale du bassin de la Durance, qui est évalué à 1,340,000 hect.

L'action continue d'effets de cette nature et la formation de dépôts de combustibles fossiles suffisent pour expliquer l'appauvrissement en acide carbonique que notre atmosphère paraît avoir subi depuis les anciennes périodes géologiques.

Aujourd'hui les neuf dixièmes des limons de la Durance ne sont point utilisés et vont se perdre dans la mer. Un pareil chiffre dit assez bien combien il importe de multiplier les colmatages et de tenir compte des travaux de ce genre dans toutes les entreprises d'irrigation.

Des observations analogues à celles dont on vient d'indiquer les résultats ont été exécutés en même temps sur la Loire et ses principaux affluents, et ont conduit à des conclusions semblables aux précédentes. Je poursuis en ce moment une série d'expériences du même genre sur les eaux de la Seine et de la Marne. Ces rivières, peu rapides, transportent également des volumes de limon considérables.

IV. EXEMPLES DE GRANDES OPÉRATIONS D'IRRIGATION.

Après avoir décrit en détail les procédés d'irrigation, il ne sera pas inutile, pour montrer l'importance des travaux de cette espèce au point de vue de l'intérêt général et la part que l'État peut prendre à leur exécution, de citer quelques exemples d'irrigations exécutées, en cours d'exécution, ou seulement projetées.

Parmi les entreprises de cette espèce, nous ne pouvons nous empêcher de mentionner l'arrosage de toute la basse Égypte, au moyen du barrage situé à la pointe du Delta, près du Caire. Ce vaste projet, conçu par Méhémet-Ali, dressé et en partie exécuté par un ingénieur français, n'est pas moins digne de fixer l'attention que les travaux gigantesques du même genre attribués aux anciens Égyptiens.

Ce projet consiste (fig. 114) dans l'établissement de deux ponts éclusés à l'extrémité du Delta, sur les deux branches de Rosette et de Damiette. Le premier a 452m,3 de longueur et se compose de cinquante-neuf

EFERUS - Recherche & Classification numérique

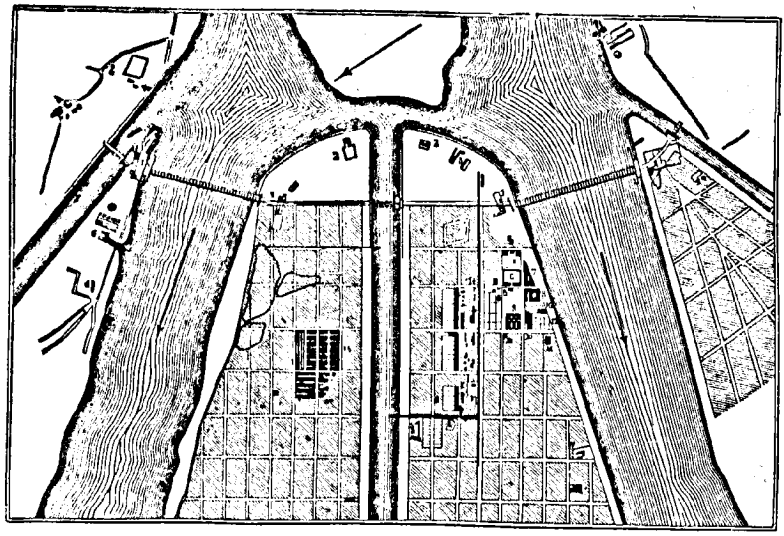


Fig 111 (0,00004).

arches; le second a 522m,20 de longueur et soixante-onze arches. Ces arches sont ogivales et ont chacune (fig. 112) 5 mètres d'ouverture. Elles seront fermées au

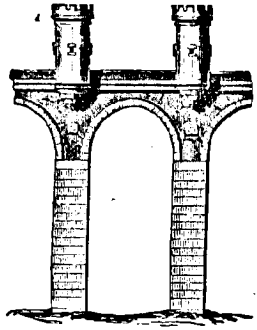


Fig. 112

moyen de poutrelles appliquées contre la tête d'amont. La sur-élévation des eaux produite par le barrage sera de 5 mètres, en général, et s'élèvera quelquefois à 6m,60. Au milieu de chaque pont éclusé, on a ménagé une arche marinière de 15 mètres, avec volée mobile et un bateau-porte pour fermeture. Des écluses de 47 mètres de longueur, près des rives, permettront aux bateaux de passer en tout temps d'un côté à l'autre du barrage. Des portiques monumentaux, ménagés sur les culées, serviront de magasins et de corps-de-garde.

La construction du barrage a nécessité l'établissement d'un immense chantier, dont le plan ci-dessus indique les dispositions générales. En 1, 1, 1 sont établis les manéges à mortier et à béton, avec machines à vapeur de la force de douze chevaux. Les ateliers provisoires de cette espèce étaient en 2, 2. Les fours à chaux, 3, et les moulins à pouzzolane, 4, conduits par une machine de vingt-cinq chevaux, fournissent les matières premières de la fabrication précédente. La briqueterie mecanique, 5, est mue par une machine de dix chevaux. Deux magasins généraux sont établis aux points 6, 6. L'arsenal, les forges et l'atelier de réparation sont réunis dans le bâtiment 8, voisin du logement, 9, des officiers du régiment campé dans la caserne 14. En 9 et 10 se trouvent un moulin à farine et les fours à pains. Le vice-roi et sa suite, pendant leur séjour sur les travaux, occupent le kiosque et ses dépendances, 11, 11. L'ingénieur-directeur est logé dans le bâtiment 12, le chef de la comptabilité et les employés dans les maisons 13 et 16. La grande construction 15 est un bazar, et enfin l'hôpital est au point 7.

Les lignes noires fortes et pleines représentent les chemins de fer de service, et les rectangles couverts de hachures l'emplacement d'une ville projetée.

Le barrage fera refluer les eaux jusqu'au Caire, permettra de compléter le réseau navigable de l'Egypte et d'arroser plus de 84,000 hectares de la basse Egypte, qui produiront trois récoltes par an, au lieu d'une seule qu'on obtient actuellement, et où l'on pourra cultiver alors la canne à sucre, l'indigo, le cotonnier, etc. L'arrosage de cette immense surface aura lieu au moyen de trois canaux débouchant en amont du barrage, et servant à la fois à l'irrigation et à la navigation. Le premier se dirige vers la rive droite du Nil, à travers la province du Charkie, le second, au centre même du Delta; et le troisième, vers Alexandrie, à travers la province du Bahéré. Les deux premiers auront 100 mètres de largeur et le dernier 60 mètres. Leur tirant d'eau variera de 4m,50 à 3 mètres.

Les travaux exécutés par le gouvernement belge, en Campine, par l'analogie de climat, de mœurs et d'administration qui existe entre ce pays et le nôtre, méritent également de fixer l'attention. C'est l'exemple le plus propre à encourager notre gouvernement à mettre à exécution les travaux analogues projetés dans différentes parties de la France, en Sologne, dans les Pyrénées, etc.

La Campine fait aujourd'hui partie des provinces d'Anvers et du Limbourg; comprise entre la Meuse et l'Escaut, dans l'un des points où ces deux fleuves

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont le plus rapprochés, elle est bornée au nord par la frontière hollandaise et au sud par la Dyle et le Demer. Cette vaste contrée, à peine peuplée il y a quelques années, renferme 150 à 200,000 hectares de terrains à peu près improductifs. Le gouvernement belge n'a pas craint d'entreprendre l'amélioration de ce pays tout entier. Les plus heureux résultats ont déjà couronné ses efforts, et l'on peut affirmer, dès à présent, qu'un succès complet ne tardera pas à couronner une entreprise que le parti rétrograde des Chambres s'était efforcé de repousser, en le signalant comme ruineux et du plus mauvais effet moral.

Un grand canal, devant servir à la fois à la navigation et à l'irrigation, porte les eaux de la Meuse sur une partie du pays. Ce canal, les rigoles principales d'alimentation et les chemins d'exploitation sont exécutés par l'État; ils constituent ce que l'on appelle les travaux préparatoires. Les billonnages, les rigoles secondaires et la mise en culture sont laissés aux particuliers, sous la direction et la surveillance des agents du gouvernement. On estime que les bienfaits de l'irrigation pourront s'étendre à 25,000 hectares, au plus bas mot. On verra, du reste, plus loin, quels sont les résultats de cette immense entreprise, au double point de vue de l'intérêt public et privé.

Les irrigations alimentées par les petits cours d'eau commencent à être assez répandues en France; on en rencontre de beaux exemples, dans les Ardennes, les Vosges, la Meurthe, la Moselle, les Pyrénées, la Loire, le Puy-de-Dôme, le Doubs, Saône-et-Loire, etc., etc. Cependant elles sont loin d'atteindre le développement que l'heureuse disposition de nos vallées permettrait de leur donner. Les irrigations au moyen de grands canaux d'arrosage sont, au contraire, assez rares; elles ne se rencontrent que dans certains départements du Midi, et les quelques grands canaux que nous possédons sont, pour la plupart, d'une construction fort ancienne. Il existe cependant de vastes projets, qu'il serait on ne peut plus désirable de voir exécuter, pour l'irrigation et l'aménagement des eaux de parties considérables de notre territoire, telles que la Dombe, la Brenne, la Sologne, la vallée du Guérivaudan, une partie des Landes, etc. Parmi ces projets, nous devons particulièrement citer celui relatif à la distribution et à l'aménagement des eaux de la région des Pyrénées. Ce projet, qu'il serait trop long de décrire ici avec détails, est un des plus importants étudiés jusqu'à présent, et l'un de ceux qu'il serait le plus désirable de voir mettre prochainement à exécution.

Résultats financiers des irrigations. Il nous reste enfin à signaler quelques faits qui permettront d'apprécier les résultats que l'on peut attendre des irrigations, soit au point de vue de la spéculation privée, dans les petites entreprises, soit au point de vue de l'intérêt général, lorsque les grandes opérations que l'État dirigera intéresseront à la fois le commerce, l'agriculture et l'industrie, toutes les branches, en un mot, de la richesse publique.

Pour abréger, nous choisissons au hasard parmi les faits innombrables que nous pourrions citer.

Dans les arrondissements de Semur et d'Avallon, les terres se louent, dans les terrains granitiques, de 12 à 30 fr., et dans ceux du lias de 30 à 70 fr. Les mêmes terres, arrosées, acquièrent une valeur de 45 à 100 fr. pour les premières, et de 75 à 180 fr. pour les secondes. Les frais d'établissement des travaux d'irrigation sont évalués, en moyenne, à 300 fr. par hectare.

Dans les environs d'Autun, des terrains, qui ne valaient que 900 fr. l'hectare, ont monté à 5,000 fr. en cinq années. En Bretagne, des landes que l'on vendait 300 fr. valent 3,000 fr.

M. d'Angeville, à Lauprès (Ain), a fait des irrigations dans des conditions tout à fait exceptionnelles, et des plus désavantageuses, puisque ses travaux ont coûté plus de 800 fr. par hectare. Néanmoins, l'argent employé est placé à plus de 10 p. 100. La dépense, en effet, a été de 33,480 fr., savoir :

Construction de réservoirs.	19,200 fr
Autres travaux.	14,280
	33,480 fr.

La surface irriguée est de 40 hectares; elle rapportait, avant les travaux.	1,440 fr.
Elle produit aujourd'hui.	5,280
Augmentation	3,840 fr.

Les grèves de la Moselle, qui sont sans valeur avant l'irrigation, arrivent, en peu d'années, à valoir 5,000 fr. l'hectare. Les dépenses d'irrigation s'élèvent à peu près à 1,200 fr. par hectare

Un canal, construit en Auvergne par M. Herbeys, pour dériver une partie des eaux de la Severaisse, arrose environ 1,800 sétérées de terre (16ares,76). La sétérée de terre se vendait, avant l'établissement du canal, 40 fr. Elle vaut maintenant 800 fr. Ce canal, de 28 kil. de longueur, n'a pas coûté plus de 100,000 fr., et a permis de créer une valeur de 1,368,000 fr., différence entre la valeur passée et la valeur présente de la terre arrosée.

Dans différents travaux d'irrigation, exécutés en Touraine par M. Pareto, on a dépensé 165f,66 par hectare; l'augmentation moyenne du revenu net, par hectare, a été de 66f,25. Ce résultat a été régulièrement constaté. C'est un placement fait à près de 42 p. 100.

M. Puvis, dans l'Ain, a irrigué 92hect.,43 d'anciens prés. La dépense s'est élevée à 19,000 fr.; l'augmentation de produit a été de 207,000 kilogr. de foin de meilleure qualité que celui que l'on recueillait avant l'irrigation. Quelque bas que l'on fixe le prix du foin, l'opération de M. Puvis est toujours excellente. Le même agronome a créé 38hect.,59 de prés, avec une dépense de 20,150 fr. Il en obtient 217,500 kilogr. d'excellent foin. La terre où on a établi ces prairies était presque sans valeur.

En Sologne, les près non arrosés donnent de 1,600 à 2,000 kilogr. de foin par hectare; les prés arrosés en fournissent de 4,500 à 8,000 kilogr.

Terminons enfin par un exemple de travaux exécutés sur une grande échelle, et où l'irrigation se développe avec tous les caractères d'une vaste entreprise d'utilité publique : c'est dans la Campine belge, dont nous avons déjà parlé.

Les travaux préparatoires à l'irrigation, comprenant, comme on l'a déjà dit, les chemins d'exploitation et les rigoles principales d'irrigation et d'égouttement, sont aujourd'hui terminés sur une étendue de plus de 1,500 hectares, et déjà plus de 1,000 hectares sont en pleine culture. Les données fournies par une aussi vaste expérience peuvent être regardées comme parfaitement établies, et servir de base aux calculs les plus positifs.

La dépense d'établissement des travaux préparatoires à l'irrigation s'élève, en moyenne, à 130 francs environ par hectare. Il n'est pas encore possible de fixer d'une manière absolue le prix des travaux laissés aux soins des acquéreurs qui les ont exécutés de mille manières. Mais nous pouvons dire ici d'une manière générale que les travaux de la mise en culture, convenablement dirigés, s'élèvent *au plus* à 6 ou 700 fr. par hectare, et quelquefois à beaucoup moins, de sorte que le prix de revient d'un hectare de prairie, y compris l'achat du terrain, ne dépasse pas aujourd'hui 1,000 à 1,200 fr. Le revenu net de l'hectare de prairie irriguée, dans les plus mauvaises conditions, ne s'élève pas, à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

partir de la seconde année, à moins de 130 à 150 fr. Les capitaux placés dans les opérations agricoles de la Campine rapportent par conséquent de 10 à 15 p. 100 par an. Les évaluations précédentes sont plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

La mise en culture des terrains préparés à l'irrigation et vendus aux enchères par le gouvernement, s'exécute par les soins de grands propriétaires, ou par les agents de compagnies formées à cet effet. Les avantages certains des opérations de cette nature considérées en elles-mêmes, et l'espoir de réaliser des bénéfices considérables en revendant en détail, après un certain temps, les terrains transformés en prairies, ont donné naissance à plusieurs compagnies d'irrigation établies à Maëstricht, à Anvers et à Bruxelles. Ce sont des exemples remarquables de l'application à l'agriculture de compagnies industrielles. Il serait vivement à désirer de voir les grands capitaux s'engager en France dans la même voie. Nous ne doutons pas du succès des entreprises de cette espèce, sagement et honnêtement dirigées.

Les faits particuliers que nous venons de citer établissent clairement les avantages pécuniaires, et, pour ainsi dire, individuels, des travaux agricoles dirigés par le gouvernement belge; mais ils ne donnent qu'une idée très incomplète de leurs résultats généraux, des immenses bienfaits qu'ils répandent dans la classe ouvrière et des ressources nouvelles qu'ils sont appelés à créer en Belgique. Quelques chiffres suffiront pour faire apprécier l'importance de cette grande entreprise.

L'œuvre du défrichement en Campine, dit M. Kümmer, dans son rapport annexé à la loi du 25 mars 1847, peut s'étendre sur une surface de 150,000 hectares. Une étendue de 100,000 hectares est irrigable et peut être convenablement transformée en prairies. Mais pour se tenir dans les limites d'une extrême modération, et pour que les résultats soient de beaucoup au-dessus des avantages prévus, on ne doit compter que sur la conversion en prairies de 25,000 hectares. C'est ce dernier nombre qui a généralement été pris pour base des différents calculs faits sur ce sujet.

Les bruyères de la Campine se vendaient, en 1830 ou 1835, de 15 à 20 fr. l'hectare. Ce prix s'éleva, en 1840, dans la prévision de la prochaine exécution des travaux, à 40 fr. Aujourd'hui, le prix de l'hectare varie de 250 à 400 fr., déduction faite des sommes avancées par l'Etat pour les travaux préparatoires. Le prix des terrains incultes s'est donc accru de plus de 200 fr. par hectare, grâce aux travaux préparatoires, ce qui donne, pour les 25,000 hectares dont nous avons parlé, une augmentation de valeur vénale de plus de 5 millions. Cette augmentation dépasserait de beaucoup 20 millions, si les prix de ventes s'élevaient assez pour réduire à 5 p. 100 l'intérêt des fonds placés en bruyères irrigables, qui rapportent maintenant, comme nous l'avons déjà dit, au moins 10 p. 100 par an.

Cette augmentation de la valeur vénale des terrains ne donne, du reste, qu'une mesure tout à fait insuffisante des résultats des travaux d'irrigation. Pour arriver à une estimation exacte de leur importance, il faut évaluer les produits qu'ils permettront de créer annuellement. En supposant, ce qui est assurément fort au-dessous de la vérité, que chaque hectare de prairie ne nourrisse qu'une tête de gros bétail, la formation, en Campine, de 25,000 hectares de prairies suffirait pour augmenter la production de viande en Belgique d'une quantité supérieure au chiffre considérable de l'importation actuelle de cette denrée. Mais ce n'est pas tout encore : les fumiers des animaux nourris au moyen des nouvelles prairies exerceront, sur la culture des terres labourées environnantes, une influence dont chacun appréciera la valeur, sans qu'il soit nécessaire de rappeler les chiffres que les agronomes admettent à cet égard. De sorte que, non-seulement les 25,000 hectares de prairies que nous prenons pour base de nos calculs nourriraient 25,000 têtes de gros bétail, mais encore augmenteraient, dans une énorme proportion, le produit annuel en céréales des terres voisines. En ajoutant la valeur de ces deux productions naturelles on arrive à la véritable estimation de l'accroissement de la richesse publique produit par les travaux d'irrigation de la Campine. Cette dernière remarque est d'ailleurs tout à fait générale, et s'applique à tous les cas dont nous avons parlé, de sorte que l'accroissement *direct* de revenu que nous avons seul pu faire entrer en ligne de compte, doit être augmenté dans une forte proportion pour tenir compte de l'accroissement *indirect* dû à l'amélioration des cultures voisines.

CHAPITRE IV.

OPÉRATIONS MÉCANIQUES DE CULTURE. MACHINES AGRICOLES.

(Voir l'article *Instruments d'agriculture.*)

CHAPITRE V.

ALIMENTATION VÉGÉTALE, ENGRAIS ET AMENDEMENTS.

(Voir l'article *Engrais.*)

CHAPITRE VI.

CULTURES, ASSOLEMENTS.

On a fait connaître, dans les chapitres précédents, les faits généraux qui intéressent à la fois toutes les cultures. On étudiera, en particulier, dans celui-ci, les principales plantes agricoles de notre climat, et les soins spéciaux que chacune d'elles exige pour atteindre tout son développement.

Ce chapitre sera divisé en six sections, comprenant l'étude des céréales, des légumineuses cultivées pour leurs semences, des plantes fourragères, des plantes à racines alimentaires, des plantes industrielles, et enfin de la théorie des assolements. Cette division, très-incomplète au point de vue scientifique, suffira pour le but pratique que nous poursuivons.

Première section. — Céréales.

La classe des céréales comprend un certain nombre de plantes de la famille des graminées et le sarrasin, cultivées principalement pour leur grain, facile à transformer en farine par l'action de la meule. Les graines des céréales présentent, pour la nourriture de l'homme, un grand nombre de qualités précieuses qui les ont fait rechercher pour cet usage depuis la plus haute antiquité, et qui donnent à leur culture une importance supérieure à celle de toutes les autres plantes. On va passer en revue les espèces les plus importantes de cette grande classe de végétaux.

I. FROMENT.

On désigne sous ce nom les espèces du genre botanique de Linné, *triticum*, qui se dépouillent de leurs balles par le battage.

Le froment est de toutes les céréales la plus riche en principes nutritifs. Sa culture se répand tous les jours davantage dans les pays où l'agriculture est en progrès. Les faits principaux relatifs à la production annuelle moyenne du froment dans quelques États de l'Europe sont réunis dans le tableau suivant :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	Produit. hectol.	Étendue cultivée. hectares.	Multiplication de la semence.
Angleterre. . . .	27,000,000		9 p. 1
Écosse.	4,540,000	560,000	8 —
Irlande.	10,600,000		» —
Suède.	239,450	103,000	4,50 —
Pologne.	1,000,000	228,400	» —
Prusse.	7,400,000		6 —
Autriche.	29,430,000		» —
Hollande et Belgique. . . .	3,426,000	286,000	» —
France.	70,000,000		6,07 —
Espagne.	17,860,000		» —
— provinces de Murcie, parties arrosées.			36 —

Variétés du froment. Il existe un très grand nombre de variétés de froment et on en annonce tous les jours de nouvelles. Les essais d'acclimatation du froment doivent être tentés avec beaucoup de réserve; car il est rare qu'une variété donnée conserve, dans une contrée nouvelle, les qualités qu'elle possédait dans le climat où elle s'était primitivement développée. La classification la plus pratique des diverses variétés de froment est celle adoptée par M. Vilmorin, que nous reproduisons ici :

1° *Grains tendres.*

(a) Tousselles, épis sans barbes ou à barbes très courtes et peu nombreuses; paille creuse. Les principales variétés sont les suivantes :

Blé d'hiver commun. Cette variété est la plus répandue dans le centre et le nord de la France. L'épi (fig. 144) est jaunâtre, pyramidal; le grain est rousseâtre et long.

Le blé dit anglais, ou froment rouge, se rapproche beaucoup de celui-ci; les épis, de forme quadrangulaire, sont plus forts et plus longs.

Blé de mars commun. C'est le trémois du nord et du centre de la France. Le grain est presque dur, l'épi est plus court que celui du précédent.

Blé blanc de Flandre, connu sous le nom de blé blanc-zée, blé blazé de Lille, blé de Fellenberg, etc. Cette variété est une des plus productives; elle convient surtout aux terres de bonne qualité et un peu fraîches.

Blé de Hongrie, appelé blé anglais, aux environs de Blois. L'épi est blanc, ramassé, presque carré. Son poids est supérieur à celui du précédent; sa paille est moins longue.

Tousselle blanche de Provence. Épi très blanc, à épillets écartés; grain blanc jaunâtre, très long. Il convient parfaitement dans le midi de la France; le climat du Nord et même de l'Ouest est trop rigoureux pour lui.



Fig. 144.

Blé richelle blanche de Naples. Épi blanc, quelques arêtes courtes. Cette variété est très belle, mais elle craint le froid.

Blé d'Odessa, tousselle rousse de Provence, blé meunier du Comtat. Cette variété redoute un peu le froid; mais elle résiste bien à la sécheresse, et vient même dans les terres à seigle. L'épi est rougeâtre ou cuivré, un peu irrégulier; épillets inégaux. Le grain est plus étroit que celui de la richelle.

Blé de Saumur. Gros grain bien plein, paille très blanche; redoute l'humidité.

Blé des haies. Epi carré, épais, régulier, couvert d'un duvet blanc velouté; grain court blanc jaunâtre; très précoce.

Blé Lama. Épi rouge clair ou doré; grain petit, de très bonne qualité. Cette variété s'accommode de tous les terrains, mais redoute les hivers rigoureux. On doit la recueillir un peu avant la maturité, parce qu'elle est sujette à s'égrener.

Blé du Caucase. Épi d'un rouge obscur, long, à épillets écartés, grain allongé, rougeâtre, assez dur et pesant. Sa paille est faible et sujette à verser. Il craint les hivers du nord de la France. Il y a une sous-variété à épis blanchâtres.

Blé carré de Sicile. C'est un blé de mars, épi rouge brun, court, carré, à grains rayés, presque dur, de bonne qualité. Variété hâtive, paille assez haute, et grosse dans la partie supérieure.

(b) Seisettes. Épis barbus, paille creuse, plus ferme que celle des tousselles, et moins recherchée pour la nourriture des bestiaux.

Plusieurs variétés tendent à disparaître de nos cultures; les principales sont les suivantes :

Blé barbu de printemps. Épi blanchâtre, à barbes très développées (fig. 145), grain gros, demi-tendre, de couleur grisâtre.

Seisette de Provence. Cette variété craint le froid du nord de la France; elle est assez répandue dans le midi.

On distingue encore le *blé barbu d'hiver*, presque entièrement abandonné; le *blé à chapeau de Toscane*, sous-variété appauvrie du blé barbu de printemps; le *blé Victoria* et le *blé hérisson*, garni de barbes divariquées, à grain court, petit, rougeâtre; espèce très productive, qu'il convient de semer au printemps.



Fig. 145.

(c) Poulards. Épis barbus, carrés, paille pleine vers le sommet, et peu estimée à cause de sa dureté. Cette espèce se développe dans les sols humides et riches en matières organiques, où toutes les autres verseraient ou se rouilleraient. Elle produit beaucoup dans les terres qui lui conviennent; mais le grain est toujours moins cher que celui des autres natures de blé. On distingue principalement les variétés suivantes :

Le *poulard carré velu*, désigné aussi sous le nom de gros blé du Midi, gros turquet, etc. Ce blé est très répandu dans le Midi, dans l'Ouest, en Espagne, etc.; son épi est blanc ou rougeâtre. Il supporte bien l'hiver, mais mûrit un peu lentement (figure 146).

Poulard carré à barbes noires, ou *garagnon du Languedoc.* Epi blanc, lisse, barbes blanches ou noires. Les arêtes tombent à la maturité; paille forte.

Blé miracle. Épi rameux, très productif dans les terres riches. Sa farine est grossière; sa paille est très dure. Il est sujet à dégénérer.

2° *Grains durs*

(d) Aubaines. Épis à barbes longues et raides;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grain long et glacé. La paille, pleine vers le sommet, est très ferme, et verse difficilement; la farine est riche en gluten, et convient pour la fabrication des pâtes d'Italie. Les aubaines sont sensibles au froid, et murissent difficilement; leur culture ne s'étend pas avec avantage au-delà de la région des oliviers.

Aubaine de Tangarock. Epi allongé, lâche, à quatre faces égales. Les sous-variétés ont les barbes noires, rousses ou blanches.

Aubaine à épi comprimé. Les articles de l'épi sont très courts, l'épi, aplati, très large et lancéolé, est couvert de gros poils nombreux.

(*e*) BLÉ DE POLOGNE. Il a bien réussi dans le midi de la France; mais son grain, très allongé, très dur, et son aspect particulier l'ayant fait repousser des marchés, on a abandonné sa culture.

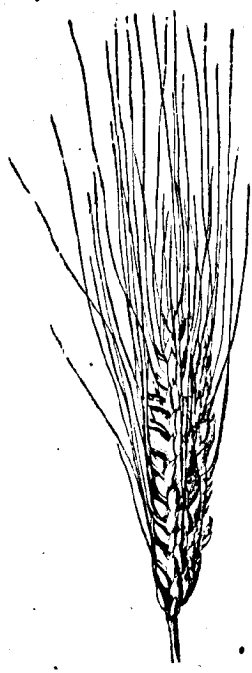


Fig. 146.

Culture du froment. La partie moyenne de la zone tempérée est le climat où le blé vient le mieux; cependant il s'étend au-delà de cette limite, et on le rencontre dans presque tous les points du globe où l'homme a pu s'établir sans de trop grandes difficultés.

Le froment redoute également un excès de sécheresse ou d'humidité. Toutes les terres qui renferment plus de 20 p. 100 d'eau, ou qui, quinze jours avant la moisson, n'en contiennent plus 10 p. 100 à 0m,33 de profondeur, sont incapables de fournir de bonnes récoltes de cette plante. On conçoit dès lors pourquoi, dans les pays très humides, les terres argileuses sont impropres à la culture du froment, tandis que ce sont celles que l'on recherche pour cet objet dans les pays chauds. Dans la plus grande partie de la France, ce sont les terrains de consistance moyenne qui conviennent le mieux au blé.

Pour déterminer la nature et la proportion des engrais ou des amendements que nécessite la culture du blé, il faut comparer la composition de cette récolte à celle du sol. Or, d'après M. Boussingault, les 200 parties de paille et les 100 parties de grain qui composent une récolte de froment supposée sèche, contiennent :

	Grain.	Paille.	Total.
Carbone.	46,10	96,96	143,06
Oxygène.	5,80	10,68	16,48
Hydrogène. . . .	43,40	76,58	119,98
Azote.	2,29	0,70	2,99
Acide sulfurique. . .	0,02	0,14	0,16
Acide phosphorique.	1,14	0,44	1,58
Chlore.	traces	0,08	0,08
Chaux.	0,07	1,18	1,25
Magnésie.	1,39	0,68	1,07
Potasse.	0,72	1,28	2,00
Soude.	traces	0,04	0,04
Silice.	0,03	9,42	9,45
Fer et alumine. . . .	»	0,14	0,14
Perte.	»	»	1,72
			300,00

On voit que les principes minéraux les plus abondants sont les silicates et les phosphates alcalins et terreux. Le fumier de ferme renferme tous les éléments nécessaires, mais quelques-uns en trop faible quantité, notamment les phosphates, qui sont exportés du domaine avec les grains et le laitage, où se concentrent particulièrement les sels de cette espèce. On conçoit, par conséquent, la nécessité d'ajouter aux engrais des os, du guano ou autres matières riches en phosphates, si le sol n'en contient pas naturellement une forte proportion. Les céréales entraînent aussi une notable quantité de chaux, qu'il faut restituer aux sols, qui n'en renferment pas assez.

La nature de l'engrais exerce sur la composition du grain une influence très marquée : plus il est riche en azote, et plus le grain contient de gluten. Ainsi, tandis que du grain venu sur une terre non fumée renfermait 9,2 de gluten et 66,7 d'amidon, celui obtenu sur un sol fumé avec de l'urine d'homme contenait 35,1 de gluten et 39,3 d'amidon.

La quantité d'engrais à employer varie avec la richesse acquise du sol, et la nature même de l'engrais. L'analyse exacte du terrain, de la récolte à obtenir et du fumier dont on dispose peut seule conduire à une conclusion logique à cet égard. La question est trop complexe pour qu'il soit possible d'arriver, sans le secours de l'analyse, à une appréciation positive. On peut admettre, comme résultat moyen, que le froment s'assimile de 0,20 à 0,35 de la quantité d'azote existant dans le sol et dans les fumiers qu'on y ajoute. On peut, d'après cette donnée, calculer approximativement la quantité d'un engrais donné qu'il faut ajouter à un terrain d'une fertilité connue, pour obtenir une récolte déterminée de grain et de paille de froment.

La préparation mécanique à donner à la terre qui doit recevoir du blé dépend, en grande partie, de la récolte à laquelle il succède. Dans tous les cas, il faut que le sol ait été ameubli à une profondeur de 0m,20 au moins; mais il convient de laisser à la terre le temps de se raffermir avant les semailles, qui ne doivent être précédées que d'un labour très superficiel. On ne doit pas trop pulvériser la surface du sol, surtout pour les blés d'hiver. Il est bon qu'il reste un assez grand nombre de petites mottes de 0m,05 à 0m,07 de diamètre, qui, en se délitant au printemps, recouvrent les tiges des jeunes plantes.

Les terrains qui doivent être ensemencés en blé, *au printemps*, reçoivent, à la fin de l'été, après l'enlèvement des récoltes, un labour et un hersage; puis un labour profond avant l'hiver, et enfin, au moment de l'ensemencement, un labour superficiel suivi d'un roulage et d'un hersage.

Lorsque le sol a été bien ameubli par une récolte de féverolles, de maïs ou de pommes de terre, biné et fumé, il suffit de le herser fortement pour l'égaliser, de le labourer, puis de herser de nouveau; on fait ensuite passer le rouleau, on sème le blé et on l'enfouit à la herse.

Après l'enlèvement des fourrages verts annuels, quand on doit semer du blé, on donne un labour profond. On nettoie la terre de temps à autre avec le scarificateur. Enfin, au moment des semailles, on donne au sol une dernière façon avec le même instrument; on herse et on roule.

La préparation, pour recevoir du blé, d'un sol cultivé en luzerne, et même en sainfoin ou en trèfle, quand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces dernières plantes ont duré un peu longtemps, est plus compliquée que dans les cas précédents. Aussitôt après la première coupe on donne un labour superficiel. Quand les gazons sont desséchés, on herse en travers pour enlever les racines des plantes nuisibles. Pendant l'été, il faut donner deux nouveaux labours profonds suivis de hersages. Enfin, au moment des semailles, on donne un dernier labour au scarificateur.

Les grains employés comme semences doivent être choisis avec soin Leur volume ne paraît pas très important; mais il faut qu'ils soient parfaitement bien conformés, qu'ils aient été récoltés très mûrs, qu'ils soient autant que possible de l'année précédente, et enfin parfaitement triés et débarrassés de grains et autres matières étrangères, par un passage réitéré au van, au crible, ou mieux au trieur Vachon. Le renouvellement des grains, au moyen d'espèces amendées de pays plus ou moins éloignés, ne paraît utile qu'autant que la variété de blé que l'on veut conserver dégénère dans le pays où l'on se trouve.

Le chaulage de la semence est une opération qui a pour but de préserver plus tard les plantes de la carie. Il convient toujours de prendre cette précaution, qui est fort peu coûteuse, et qui ne peut en aucun cas produire de mauvais résultats. Beaucoup de substances peuvent servir à atteindre le but proposé, soit seules, soit mélangées. Le sulfate de cuivre seul ou mélangé de sel marin est un des plus puissants préservatifs de la carie; mais ce sel, comme le vert-de-gris, comme l'arsenic, etc., est très vénéneux, et puisqu'il est possible de le remplacer très convenablement par un mélange de sulfate de soude et de chaux vive, nous ne conseillerons que cette dernière recette, dont nous allons indiquer le mode d'application.

Il convient d'abord de laver le grain à l'eau pure à deux ou trois reprises et de le bien égoutter. On procède ensuite au chaulage, ou plutôt au sulfatage. A cet effet on dissout, pour chaque hectolitre de grain, 640 gr. de sulfate de soude dans 9 kil. d'eau, et on éteint par immersion, pour les réduire en poudre, 2 kil. de chaux vive en fragments. On met le grain dans un grand baquet, et pendant qu'un ouvrier le remue en tous sens, une autre personne l'arrose avec la dissolution de sulfate de soude. Quand on voit l'eau paraître un peu en excès, on saupoudre la chaux sur la masse en remuant toujours, jusqu'à ce que tous les grains soient bien recouverts de chaux. On retire le grain du baquet et on le dépose dans un coin jusqu'au moment de l'emploi Il se dessèche généralement assez vite; cependant il convient de le remuer de temps en temps pour l'empêcher de s'échauffer.

L'ensemencement du froment consomme en France annuellement 11,441,780 hectolit., soit, en moyenne, 2hectol.,05 par hectare, Mais tandis que dans la Manche on emploie jusqu'à 2 hectol.,65 de semence par hectare, on n'en consomme que 1hectol.,32 dans la Charente. On voit, par ces deux chiffres, combien le mode de culture, la nature du sol, le climat, etc., peuvent influer sur la consommation de semence, et, par suite, l'attention que mérite cette partie de la culture. Les blés de printemps doivent, en général, être plus serrés que ceux d'hiver, qui tallent davantage.

On répand les semences, soit à l'aide de semoirs, soit à la volée.

Les semoirs présentent plusieurs avantages : ils économisent près du tiers de la semence, la répartissent d'une manière plus uniforme, et placent tous les grains à la même profondeur et à la même distance les uns des autres. La régularité des lignes permet l'emploi de binages presque toujours favorables, et favorise ainsi beaucoup le développement des pieds. Mais en revanche les semoirs sont d'un prix assez élevé, et n'opèrent d'une manière satisfaisante que dans les terrains très soigneusement préparés; ils ne conviennent donc que dans les pays riches et où l'agriculture est fort avancée. Ils rendent en Angleterre de grands services; mais on doit reconnaître que de nombreux progrès sont encore nécessaires pour que leur usage devienne général dans notre pays.

AGRICULTURE.

Le semis à la volée est le procédé le plus généralement employé en France. Il exige des ouvriers adroits et attentifs, pour que la semence soit distribuée en quantité convenable, et d'une manière bien égale. On sème avec les deux mains à la fois, ou bien avec une seule main. Le semeur, suivant qu'il suit l'une ou l'autre de ces méthodes, porte la semence dans une corbeille suspendue à son cou par une courroie, ou bien dans une sorte de tablier formant sac. La largeur que le semeur peut embrasser dans chaque jet est de 9 mètres quand il sème d'une main, et de 6 mètres seulement quand il emploie les deux mains. Un bon ouvrier peut ensemencer par jour 4 à 5 hectares de terrain.

Les moyens employés pour enterrer la semence répandue sur le sol dépendent de l'épaisseur de terre dont on veut la recouvrir. Dans le Midi et dans les terres sèches, on enfouit le grain à 0m,07 ou 0m,08 de profondeur, en faisant passer une dernière fois la charrue sur le terrain ensemencé. On arrive plus rapidement avec un scarificateur. Quelquefois le semeur suit la charrue, et dépose, dans le sillon qui vient d'être ouvert, le grain, qui se trouve recouvert par le sillon suivant. Ce procédé est fort long, ce qui est un inconvénient sérieux, en raison du peu de beaux jours sur lesquels on peut généralement compter à l'époque des semailles. Dans les terrains humides, on enfouit le grain à 0m,02 seulement de profondeur; à cet effet, on sème après le dernier labour et l'on donne enfin un coup de herse. Le grain, dans ce procédé, s'accumule au fond des raies et se trouve très inégalement réparti et recouvert. Il vaut mieux, en général, herser après le dernier labour, pour égaliser le sol, semer et herser de nouveau, pour recouvrir la semence.

Les blés d'hiver se sèment vers le commencement d'octobre dans le centre et le nord de la France, et seulement en novembre dans le midi. L'époque des semailles de printemps varie de la fin de février au milieu de mars, et se prolonge même jusqu'en avril dans les terrains très humides. La nature de la terre et le plus ou moins grande sécheresse de la saison déterminent d'ailleurs, dans chaque cas particulier, le moment le plus favorable à adopter.

Le blé, pendant sa période de végétation, exige plusieurs opérations qui dépendent, en grande partie des variations météorologiques. En général, on donne un hersage aux blés d'hiver, vers le mois de mars, pour ameublir le sol durci pendant l'hiver. Le hersage, pour les blés semés en ligne, est avantageusement remplacé par un ou deux binages. Dans les sols légers tourmentés par les gelées et les dégels, un roulage énergique produit, en mars ou en avril, un très bon résultat. Le sarclage à la main en avril, quand le blé a déjà 0m,20 à 0m,25, est une des opérations les plus utiles, et ne doit jamais être négligé dans les exploitations bien tenues.

Il arrive quelquefois, après les hivers doux, que le blé pousse avec une vigueur qui l'exposerait à verser après la floraison. Il convient, dans ce cas, de le faire pâturer par quelques moutons ou faucher, de manière à couper environ le tiers supérieur des feuilles.

La production moyenne du froment est de 9 à 10 hectolitres par hectare en France; mais cette production atteint dans des circonstances extrêmement favorables jusqu'à 40 hectolitres, et même 46 hecto-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

litres dans les terres arrosées du département de Vaucluse. Dans les bons terrains convenablement traités, elle varie de 20 à 30 hectolitres. Le poids de l'hectolitre de froment varie de 75 à 85 kil. On adopte habituellement 77 ou 80 kil. pour le poids moyen. Un hectolitre contient 1 million environ de gros grains, et jusqu'à 1 million 700,000 grains de petit blé. D'après un grand nombre d'expériences, 100 parties de récolte de froment se décomposent de la manière suivante :

Grain.	22,8
Balle.	4,0
Paille.	57,7
Chaume.	15,5
	100,0

Du reste, le rapport du poids de la paille à celui du grain est extrêmement variable. Ainsi, à Béchelbronn, le poids de la paille étant 100, celui du grain a été 24, en 1840 et 1841 ; en 1842, il s'est élevé à 90. Voici, d'après différents auteurs, le poids du grain, répondant en moyenne à 100 de paille :

Boussingault.	38
Thaër.	50
Padowils.	35
Barger.	41
Block	33
Schwertz.	44

Quant aux dépenses de production du froment, il serait difficile d'en faire un compte moyen exact; mais on peut sans peine, dans chaque localité, évaluer séparément les divers travaux et les matières premières nécessaires à cette production, et en estimer ainsi le montant total.

II. ÉPEAUTRES.

On désigne sous ce nom les espèces de blé dont le grain reste adhérent à la balle après la maturité, et dont l'axe se désarticule à chaque article. On distingue le *grand* et le *petit* épeautre. Le premier a un épi long, grêle, à barbes peu développées ; les épillets sont écartés, et laissent l'axe à nu dans leurs intervalles. Il est peu cultivé en France. Le petit épeautre présente un épi barbu très aplati, composé de deux rangs d'épillets très écartés et à un seul grain. On cultive cette variété dans le Berri et le Gâtinais, comme semence d'automne; elle est très peu productive; mais elle peut se développer dans les terres les plus pauvres, ce qui lui donne un certain intérêt.

III. SEIGLE.

La culture du seigle n'est point aussi ancienne que celle du froment. On n'en trouve pas dans les tombeaux d'Egypte, et il n'en est pas question dans les auteurs d'une haute antiquité. On le cultivait en grand dans l'Auvergne et le Forez dès le quinzième siècle.

Le seigle d'*hiver* (fig. 147) est la variété la plus généralement cultivée. Le seigle de *printemps* a le grain plus petit, et produit beaucoup moins. Le seigle d'hiver se sème à l'automne ou



Fig. 147.

à la fin de juin. Dans ce dernier cas, on peut obtenir une récolte de fourrage vert à l'automne et une récolte de grain l'année suivante. Le seigle est moins sensible au froid que le froment; il mûrit plus vite, et prospère dans des sols légers et secs où le blé ne viendrait pas bien. Enfin, on peut obtenir du seigle plusieurs années de suite du même terrain sans l'épuiser. Les préparations à donner au sol pour le seigle sont à peu près les mêmes que pour le froment. Le seigle se sème toujours à la volée. Il doit être enfoui à une profondeur moitié moins considérable que celle qui convient pour le froment. On emploie 2hect.,82 de semence par hectare dans le Doubs, et 1hect.,45 seulement dans la Gironde. L'ensemencement du seigle consomme annuellement, en France, 5,139,422 hectolitres de cette espèce de grain.

L'hectolitre de seigle pèse, en moyenne, 72 kilog. On obtient, en général, une partie de grain pour deux parties de paille. Dans de bonnes conditions, l'hectare fournit 18 à 25 hectolitres de seigle.

On admet qu'il faut dépenser environ 200 kilog. de fumier pour 100 kilog. de grain et de paille produits.

IV. ORGE.

La culture de l'orge remonte à la plus haute antiquité. On en trouve dans les tombeaux égyptiens, et les plus anciens auteurs chinois en font mention. La croissance rapide et la vigueur de cette céréale permettent de la cultiver dans les climats les plus opposés, au nord et au midi ; on la rencontre, en Suisse, à près de 2,000 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer. L'orge ne produit que du pain de mauvaise qualité ; mais elle fournit dans le Nord le principal élément de la bière, et constitue, sous différentes formes, une excellente nourriture pour les bestiaux. Les espèces et variétés d'orge cultivées sont extrêmement nombreuses. Nous mentionnerons seulement les plus répandues.

Orge commune. Les grains sont distribués sur six rangs irréguliers, et restent couverts de leurs balles; l'épi est long et aigu. Cette variété talle beaucoup, mais elle exige une forte fumure, et ne peut être semée qu'au printemps (fig. 148).

L'*orge escourgeon* est la variété la plus répandue en France, comme orge d'hiver ; l'épi est court, régulier, et s'égrène facilement.

L'*orge à deux rangs* mûrit très vite. On le sème au printemps; l'épi est long, comprimé, à arêtes parallèles; elle demande des terres fertiles, mais fournit du grain de bonne qualité (fig. 149).

On cite encore l'*orge éventail* (fig. 150), l'*orge céleste*, l'*orge trifurquée*, etc. Les trois figures qui représentent les variétés d'orge que l'on vient de citer sont à peu près à l'échelle d'un tiers, et dessinées d'après des échantillons ayant le même degré de développement, ce qui permet de les comparer les unes aux autres.

L'orge peut végéter à peu près dans tous les terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop humides; cependant les terres de consistance moyenne lui conviennent particulièrement. Elle demande un sol parfaitement ameubli et très soigneusement préparé. Les semailles se font généralement à la volée; mais on pourrait parfaite-

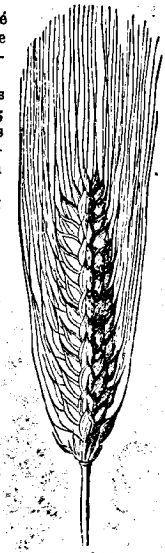


Fig. 148

EFERUS - Recherche & Classification numérique



Fig. 149.



Fig. 150.

ment employer le semoir, on les fait en août ou septembre, pour les orges d'hiver, et en février, mars ou avril, pour les orges de printemps, suivant le degré d'humidité de la terre et la température de la saison. On emploie, par hectare, dans les Hautes-Alpes, 3hect.,30 de semence, et 1hect.,25 seulement dans le département de Vaucluse. Cette dernière quantité paraît beaucoup trop faible. L'orge doit être un peu plus enfouie que le blé.

La proportion de la paille au grain varie beaucoup. Cependant, en moyenne, on récolte 2 parties de l'une pour 1 partie de l'autre. L'hectare, en orge d'hiver, produit moyennement 35 à 40 hectolitres de grain, et 24 à 30 hectolitres en orge de printemps. L'hectolitre ne pèse que 64 kilog. environ.

Le grain d'orge séché à l'air contient encore 10 à 17 p. 100 d'eau, et 14 p. 100 en moyenne. Voici sa composition d'après Fresénius :

	Séché à l'air	Desséché.
Gluten	12,88	14,96
Albumine	0,30	0,35
Fécule	48,06	55,80
Gomme	3,87	4,50
Sucre	3,75	4,36
Matières grasses	0,34	0,40
Ligneux	13,34	15,50
Cendres	3,56	4,13
Eau	13,90	»
	100,00	100,00

Les cendres contiennent, en moyenne :

	Grain.	Paille.
Potasse	15,61	22,17
Soude	5,03	0,84
Chaux	3,06	7,59
Magnésie	8,04	3,55
Oxyde de fer et perte	1,94	4,35
Acide phosphorique	35,68	3,22
Acide sulfurique	1,22	2,61
Silice	28,97	46,30
Chlorure de sodium	0,45	9,37
	100,00	100,00

L'orge enlève donc au sol une forte proportion de potasse, de chaux et d'acide phosphorique. On estime que cette récolte consomme 220 kilog. de fumier par 100 kilog. de paille et de grain, soit 10 à 12,000 kilog. de fumier par hectare pour une récolte ordinaire. Les engrais riches en phosphates et en sels alcalins conviennent parfaitement à cette plante. On se trouve très bien d'un mélange formé, par hectare, de :

Guano du Pérou	123 kil.
Nitrate soude	63 —
Sulfate de magnésie	63 —
Chlorure de sodium	250 —

On répand le guano en même temps que la semence et les sels quand la plante est sortie de terre.

Le *méteil* est un mélange en proportions différentes de seigle et de froment, et quelquefois d'orge et de froment. Il faut choisir un blé hâtif pour qu'il soit à peu près mûr au moment où il convient de couper le seigle ou l'orge. A l'automne, on sème les mélanges de seigle et de froment, et au printemps ceux d'orge et de froment. La culture du méteil offre certains avantages ; mais ce produit se vend désavantageusement sur les marchés ; il convient dès lors de le consommer sur place.

V. AVOINE.

Dans le nord et le centre de l'Europe, l'avoine sert principalement à la nourriture des animaux domestiques ; elle n'est employée à l'état de gruau, pour la nourriture de l'homme, que dans un petit nombre de localités. Il existe un très grand nombre d'espèces et de variétés d'avoine. On ne cultive en grand, pour leurs graines, que les suivantes.



Fig. 151.

Avoine commune. Les fleurs de cette variété (fig. 151) sont disposées en panicules lâches. Les épillets sont ordinairement à deux fleurs ; les grains sont lisses, allongés, et de couleur variable. On distingue dans cette espèce : l'avoine d'*hiver* et celle de *printemps*. La première résiste mieux au froid que la seconde, et se sème avantageusement au printemps. L'avoine de Sibérie est très précoce ; mais elle a l'écorce très dure. Enfin, l'avoine *patate*, à grain court, rond, et à écorce très tendre, exige un bon terrain.

L'*avoine de Hongrie* a le panicule serré, les grains portés sur des pédicules très courts et inclinés du même côté. Il y a une variété à grains blancs et l'autre à grains noirs. Cette dernière est la plus productive. On les sème l'une et l'autre au printemps, dans des terres substantielles.

L'*avoine courte* et l'*avoine nue* sont beaucoup moins répandues que les précédentes. La première convient particulièrement aux montagnes élevées, et la seconde fournit des gruaux de bonne qualité.

Toutes les espèces de terres conviennent pour ainsi dire à l'avoine, depuis les argiles compactes jusqu'aux sables les plus arides. Elle peut succéder à toutes les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

récoltes ; mais il convient de la placer après les racines, parce qu'elle réussit bien sur les terres profondément remuées et mélangées avec une partie du sous-sol.

Les préparations du sol sont à peu près les mêmes pour l'avoine que pour le froment. On sème en septembre, dans le Midi, pour les avoines d'hiver. Les avoines de printemps se sèment au commencement de mars. On emploie 5 hectolitres de semence par hectare dans les terres très légères, et 3 hectolitres seulement dans les terres très fertiles. On sème à la volée, et on enterre le grain assez profondément.

Les cendres d'avoine contiennent en moyenne :

	Grain.	Paille.
Potasse.	16,76	19,14
Soude.	2,49	9,69
Magnésie.	7,70	3,78
Chaux.	3,92	8,07
Acide phosphorique. . . .	18,19	2,56
Acide sulfurique.	1,29	3,26
Silice.	47,08	48,42
Peroxyde de fer et perte. .	0,64	1,83
Chlorure de sodium. . .	0,20	»
Chlorure de potassium. . .	0,14	»

Le grain fournit environ 3 p. 100 de cendres, et la paille 5 p. 100. On voit qu'il faut fournir à l'avoine des sols alcalins et calcaires. Le plâtre paraît même lui convenir dans certains cas.

Le poids de l'hectolitre d'avoine est de 42 à 46 kilog. On obtient, dans de très bonnes conditions, 48 à 50 hectolitres par hectare; 20 hectolitres sont un faible produit. La moyenne, en France, est de 40 hectolitres. Moins de 2 parties de paille répondent à 1 partie de grain. D'après Crud, l'avoine consomme 188 kilog. de fumier par 100 kilog. de grain et de paille, ce qui porte la fumure nécessaire, par hectare, pour une récolte ordinaire, à 8 ou 9,000 kilog.

VI. RIZ.

La culture du riz est une des plus avantageuses comme produit net; elle n'épuise pas le sol, n'exige quelquefois aucune fumure, et prépare parfaitement la terre pour les autres céréales. Aussi, dans tous les pays où cette culture est possible, les grands propriétaires, habitant loin des rizières, et ne se préoccupant que de leur produit, ne cessent-ils d'exagérer leurs avantages généraux, et d'atténuer, ou même de nier complétement leurs inconvénients et leur insalubrité, pour lutter contre les lois et ordonnances que tous les gouvernements n'ont cessé de rendre dans le but de limiter l'extension de cette industrie, et de diminuer autant que possible les dangers qu'elle présente. Telle est l'origine de certaines publications dans lesquelles on a prétendu démontrer l'innocuité des rizières, dont aucune personne de bonne foi ne peut s'empêcher de reconnaître les dangers. Les environs des rizières sont extrêmement insalubres ; cette funeste influence s'étend à de grandes distances ; les arbres eux-mêmes en sont affectés et arrêtés dans leur développement. Depuis quelques années cette culture tend à se répandre dans le midi de la France, et notamment en Camargue. Il peut être nécessaire de l'autoriser pour dessaler certains marais, ou comme prime, en quelque sorte, de la mise en valeur de terrains abandonnés. Mais cette autorisation ne doit être que temporaire, et toujours assez restreinte pour que le mal ne devienne pas irrémédiable.

On cultive en Europe deux variétés de riz : le riz *commun* (fig. 152), dont le grain décortiqué est parfaitement blanc, et le riz *sans barbe*, plus hâtif et plus fécond que le premier, mais dont le grain grisâtre est moins recherché du commerce. La première variété exige

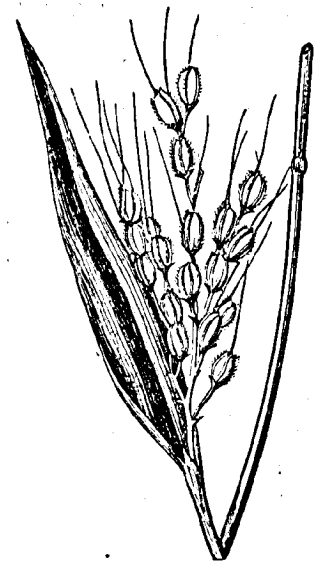


Fig. 152.

pour arriver à maturité 3,600 à 3,700° de chaleur solaire, et dans le climat d'Italie 2,700° environ de chaleur moyenne à l'ombre. La seconde variété n'exige, dans les mêmes circonstances, que 2,000° de chaleur moyenne. Le riz ne peut donc prospérer que dans les pays chauds ; il ne réussit en France, à moins de circonstances particulières, que dans les départements les plus méridionaux. Tous les terrains conviennent à la culture du riz, pourvu qu'on y amène en quantité suffisante des eaux de bonne qualité; car il ne peut se développer que dans l'eau, ou sur les sols extrêmement humides.

Quand le terrain est naturellement sec, on peut établir la rizière temporairement, et la faire alterner avec d'autres cultures. Dans les terrains marécageux, on fait des rizières permanentes. Dans tous les cas, il faut disposer le terrain comme nous l'avons indiqué ci-dessus pour les irrigations par submersion, et donner aux petites digues de séparation des différents compartiments une hauteur telle que l'on puisse retenir jusqu'à 0m,16 de hauteur d'eau sur la terre. Le terrain est d'ailleurs soigneusement labouré, soit à la charrue, s'il est assez solide pour porter les animaux, soit à la bêche, dans le cas contraire.

On sème les rizières en avril si le sol est bien échauffé, et en mai seulement dans les anciennes rizières où le terrain a été refroidi par une inondation prolongée. Le semeur entre dans le champ couvert d'eau, et répand la graine à la volée ; il est précédé d'un cheval qui traîne une planche destinée à unir le sol et à mettre en suspension dans l'eau une certaine quantité de vase et de terre qui recouvre la graine en se déposant de nouveau. On emploie 2 hect. à 2hect.,8 par hectare. Il convient, avant de semer, de faire tremper les sacs de riz dans l'eau pendant huit ou dix heures.

Deux ou trois jours après les semailles, on retire presque complétement l'eau de la rizière pour échauffer le sol et favoriser le premier développement des jeunes plantes. Quand les premières feuilles paraissent, on introduit l'eau de nouveau, et on en augmente peu à peu la quantité jusqu'à ce qu'elle atteigne la profondeur de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

0m,10 à 0m,15. Si les insectes attaquaient la rizière, on la mettrait à sec pour les détruire. Pendant les grands vents on abaisse le niveau pour que les vagues ne déracinent pas les jeunes plants de riz. Quand on ne peut pas disposer d'un courant d'eau continu, on maintient l'eau le mieux possible dans la rizière, et on en met de nouvelle seulement tous les sept ou huit jours. Les rizières peuvent parfaitement prospérer avec des irrigations périodiques, pourvu que le terrain ne reste que quelques jours à sec, entre chaque arrosage. Les mauvaises herbes sont un des plus grands dangers des rizières; il faut faire au moins deux sarclages par saison. Cette opération est pénible et très mal saine.

Le riz n'a besoin que de très peu de fumier. En Italie, on fume tous les trois ans avec 7,600 kilog. de fumier par hectare. La force de cette fumure dépend, du reste, en grande partie, de la qualité du sol, et surtout de celle de l'eau; car la fumure précédente fournirait à peine les 2/3 de la quantité d'azote enlevée par les récoltes. Le rendement moyen des rizières est de 40 hectolitres de *rizon*, pesant chacun 75 kilog., c'est-à-dire de grain garni de sa balle. Par la décortication, le volume se réduit de 39 p. 100 environ, et le poids de moitié. La paille est au grain, au moment de la récolte, dans le rapport de 13 à 10 environ.

L'assolement des rizières alternes varie beaucoup. On sème en riz trois années de suite, puis on dessèche le terrain, on le fume, et on cultive du maïs, de l'orge et du seigle; ou bien on sème du froment, puis du trèfle, et l'on revient au riz.

Il est difficile d'établir complétement le compte du produit d'une rizière. Les dépenses varient avec les terrassements nécessaires, la valeur de l'eau, etc. Voici les nombres admis par Ferrario, pour les environs de Milan :

	RIZIÈRES : Alterne.	Pérenne.
	fr. c.	fr. c.
Labour, trois journées d'hommes et d'un couple de bœufs.	15 90	» »
Travailler le terrain et briser les mottes.	» »	22 50
Construction des digues, deux journées un tiers.	3 50	» »
Entretien et réparation des digues.	6 85	4 50
Semer.	0 50	» »
Semer, sarcler, moissonner, battre, etc.	» »	67 40
Sarcler, journées de femmes à 1 fr. 35 c.	10 25	» »
Sarcler les nénuphars et autres plantes aquatiques.	» »	2 25
Moissonner.	23 95	» »
Dépiquage, criblage, etc.	26 90	» »
Eaux.	76 50	41 50
Semence, à 9 fr. 35 c. l'hectolitre.	26 15	26 15
Fumier.	75 00	52 00
Risques et périls, 1/9 du produit brut.	48 00	32 50
Totaux.	343 50	248 80

En comparant ces dépenses au produit que cette culture peut fournir, on reconnaît que le produit net est assez élevé relativement à la nature médiocre des terrains qui conviennent au riz.

VII. SARRASIN.

Le sarrasin n'appartient pas, comme les plantes précédentes, à la famille des graminées; mais son rôle, en agriculture, le rapproche trop des céréales pour que nous ne le placions pas à leur suite. Dans les pays pauvres, le sarrasin est employé sous diverses formes à la nourriture de l'homme. Quand il est grossièrement concassé, il convient très bien à l'engraissement des animaux. On cultive aussi le sarrasin pour être enfoui, en vert, au moment de la floraison. La fig. 153 représente un fragment de plante de sarrasin ordinaire. Depuis quelques années, on cultive assez en grand une autre variété connue sous le nom de sarrasin de Tartarie, à fleurs vertes, produisant du grain de moins bonne qualité que le précédent, mais plus vigoureux que lui et plus convenable comme engrais vert.



Fig. 153.

Le sarrasin est extrêmement sensible aux influences météoriques. Sa réussite n'est un peu assurée que dans certaines contrées dont le climat et le sol présentent des conditions particulières, la Bretagne, par exemple. Il se développe et mûrit très rapidement, de sorte qu'il convient bien, dans beaucoup de localités, comme récolte dérobée. Il faut seulement pouvoir le récolter avant les gelées blanches, qui lui sont funestes. En Bretagne, on le sème au milieu de juin pour le recueillir à la fin d'août, et dans le Midi, à la fin d'août pour le récolter à la fin d'octobre. Les semailles se font à la volée, en enterrant le grain peu profondément. On emploie, en général, 1 hect. de semence par hectare; quelquefois 0hect.,50 seulement, et, au contraire, jusqu'à 1hect.,50 dans les terres médiocres où on le sème pour être enfoui en vert.

Le sarrasin vient bien dans les terres légères et calcaires; les sols tenaces ou trop riches en fumiers ne lui conviennent pas. Il se débarrasse lui-même des mauvaises herbes, et n'exige aucun soin pendant la durée de sa végétation. On peut le cultiver sur des défrichements de landes; il donne à la terre le temps de se rasseoir, et profite des premiers fumiers que le froment trouve ensuite bien consommés.

Le grain de sarrasin renferme de 2,20 à 2,56 p. 100 de cendres. Les cendres du grain, analysées par Bichon, et celles de la paille essayées par Sprengel, ont fourni les résultats suivants :

	Grain:	Paille.
Potasse.	8,74	10,36
Soude.	20,10	»
Chaux.	6,66	21,98
Magnésie.	10,38	10,34
Alumine.	»	0,81
Silice.	0,69	4,37
Peroxyde de fer.	1,05	0,47
Protoxyde de manganèse.	»	1,00
Chlorure de sodium. . . .	»	4,90
Acide sulfurique.	2,16	6,77
Acide phosphorique. . . .	50,07	9,00

Les feuilles abondantes du sarrasin lui permettent d'absorber, dans l'atmosphère, une forte proportion d'azote et de carbone; mais il faut qu'il trouve dans le sol une assez grande quantité de potasse et de sels calcaires et magnésiens; aussi se plaît-il dans les sols feldspathiques; il consomme environ 116 kilog. de fu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mier par 100 kilog. de paille et de grain obtenu. Il épuise donc beaucoup moins la terre que les plantes précédentes.

Le poids moyen de l'hectolitre de sarrasin est de 57 à 60 kilog. Le poids des fanes sèches est assez variable; il est à peu près égal à celui du grain. Le rendement du sarrasin est on ne peut plus variable. En Bretagne, en moyenne, il est de 15 hectol.; en Flandre, il s'élève quelquefois jusqu'à 50 hectol.

VIII MAÏS.

La culture du maïs est loin d'être aussi répandue qu'elle devrait l'être. Elle peut dépasser de beaucoup les limites du climat qu'on lui attribuait exclusivement autrefois. Les départements où on rencontre le plus abondamment cette belle céréale appartiennent au midi occidental. Rien ne s'opposerait à ce qu'elle prît le même développement dans le midi oriental.

Il existe un grand nombre d'espèces et de variétés de maïs. Il suffit d'indiquer les suivantes :

Maïs d'été. Grain jaune orangé, épi de douze à quatorze rangées de trente à trente-cinq grains. L'hectolitre pèse 78 kilog. Cent épis produisent de 7 à 9 kilog. de grain. La tige s'élève à 1m,20 environ.

Maïs d'automne. Grain jaune, plus tardif que le précédent; les épis sont plus forts. La tige s'élève à 2 mètres. Il y a une variété à épis blancs.

Maïs quarantin. Dans le Midi, on le sème vers le 20 juin, pour le récolter à la fin d'octobre. Sa tige n'a que 0m,60 à 0m,70 de hauteur. Cent épis ne rendent que 6 à 7 kilog. de grain.

Maïs nain. La tige n'a que 0m,40 à 0m,50 de hauteur. Cent épis ne rendent que 3 à 4 kilog. au plus de grain. Il y a des sous-variétés à grain jaune, blanc ou rouge.

Maïs de Pensylvanie. Les grains sont jaune-clair, aplatis et très gros. Cent épis donnent jusqu'à 28 kilog. de grain. La tige s'élève à 2 mètres ou 2m,50. Cette variété est beaucoup plus tardive que les précédentes, et ne convient qu'à nos départements méridionaux. Le maïs de Virginie est à grains blancs, et se rapproche d'ailleurs de celui-ci.

Maïs à bec. Le grain de cette variété se termine en forme de bec. Il est aussi hâtif que le quarantin, mais plus productif.

Nous renvoyons, pour la description des autres variétés de maïs, et pour leurs figures, à l'ouvrage spécial de M. Bonafous sur ce sujet.

Les nombreuses façons que réclame le maïs pendant sa végétation lui font jouer dans le Midi, comme assolement, le rôle que les racines sarclées jouent dans le Nord. En général, on applique à cette plante la fumure de la rotation, et on la fait précéder les autres récoltes.

Dans les terres fortes, on donne avant l'hiver un labour profond, puis au printemps on fume et on recouvre l'engrais par un labour. Enfin, on nettoie la terre une ou deux fois avec l'extirpateur avant l'ensemencement. Dans les terres légères, il suffit de deux labours au printemps

Le maïs exige de fortes fumures. Quand on est obligé d'économiser le fumier on le dispose au fond des raies, on le recouvre d'un peu de terre, on sème sur ces lignes et on enterre légèrement la graine. Les semailles se font à la volée ou en lignes. Le premier procédé est tout à fait défectueux; le second s'exécute à la main ou avec un semoir. Les lignes sont espacées de 0m,60 à 0m,80 les unes des autres, et les plantes de 0m,30 à 0m,50, selon l'espèce de maïs et la qualité du sol. Pour les petites variétés, ces écartements peuvent être réduits de moitié. On emploie de 35 à 45 litres de graine par hectare. Le produit est en moyenne de 45 pour 1 de semence dans les Hautes-Pyrénées, de 68 pour 1 dans la Vendée, ce qui fait environ 60 hectolitres par hectare dans les bons terrains, et 30 à peu près dans ceux qui sont moins propres à cette culture. Cent kilog. de grain répondent environ à 200 kil. de paille, 26 de spathes et 48 de rafles.

Le maïs a besoin d'engrais riches en sels alcalins et terreux. On estime que la consommation de fumier est environ de 333 kil. par 100 kil. de paille et de graine recueillis. En Piémont, on donne tous les quatre ans 24,342 kil. de fumier par hectare et l'on sème le maïs sur cette fumure.

On doit donner au maïs, pendant son développement, des façons assez nombreuses. On bine aussitôt que les plantes montrent leur troisième ou quatrième feuille. On arrache les tiges trop rapprochées et l'on resserre, avec une variété un peu plus hâtive que la première, les espaces vides; quinze à vingt jours après on donne un buttage. Lorsque les plantes atteignent 0m,30 à 0m,40 de hauteur, on donne un second binage suivi d'un buttage. Au moment de la floraison, on enlève les ramifications qui naissent aux nœuds inférieurs, et, après la fécondation, on peut supprimer les épis mâles, qui forment un très bon fourrage. L'espacement des pieds de maïs permet de donner avec les instruments la plupart des façons dont on vient de parler.

On associe quelquefois au maïs un certain nombre d'autres plantes, telles que le chanvre, la betterave, les haricots sans rames, les citrouilles, etc. Ces mélanges de différentes plantes sur le même terrain entraînent à beaucoup de soins, et ne sont généralement avantageux que dans la petite culture.

IX. MILLET.

On distingue le millet commun et le millet d'Italie. Ces deux variétés exigent à peu près le même climat que le maïs. Les millets demandent, comme les maïs, de nombreuses façons, qui rendent avantageuses les semailles en lignes. L'hectolitre de millet pèse 70 kil. On obtient, par hectare, 32 hectolitres environ de grain et 3,900 kil. de paille.

Nous n'insisterons pas davantage sur la culture du millet, qui n'offre en France qu'un très médiocre intérêt. Nous en dirons autant du *sorgho*, que l'on cultive pour faire des balais, et obtenir une graine propre à la nourriture de la volaille.

X. MALADIES DES CÉRÉALES.

Les céréales sont sujettes à un assez grand nombre de maladies, qui les détruisent quelquefois d'une manière à peu près complète. Certains insectes, les influences météoriques, et surtout diverses plantes parasites qui vivent et se développent aux dépens de ces plantes, sont les causes de ces accidents si funestes aux cultivateurs.

Les pluies trop abondantes, la grêle, les sécheresses extrêmes, les gelées tardives, etc., sont autant de phénomènes des plus nuisibles pour les céréales, et contre lesquels il est à peu près impossible de lutter. Dans le midi, les brouillards qui précèdent des journées très chaudes au moment où le grain va mûrir, produisent un accident connu sous le nom de ventaison, blé échaudé, etc. On préserve les grains de cette cause de perte en secouant les épis, avant le lever du soleil, pour faire tomber l'eau qui les mouille, et les soustraire à l'action nuisible que les rayons solaires exerceraient ensuite sur eux s'ils restaient couverts de rosée. A cet effet, les cultivateurs se réunissent et parcourent les champs en tenant une corde assez raide pour faire courber la tête aux épis, et leur imprimer une légère secousse, qui les débarrasse des perles de rosée. Cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

manœuvre, connue sous le nom de *cordage*, produit toujours de très bons effets.

Parmi les insectes les plus nuisibles aux céréales, on distingue les limaces, les vers de terre, les larves de hanneton, etc. Il n'existe pas de moyens bien assurés de détruire ces divers insectes; l'un des procédés les plus efficaces consiste à les étouffer par un roulage énergique au printemps, quand ils se rapprochent de la surface du sol. Le rouleau de Croskill, dont on a déjà parlé (fig. 125), convient particulièrement à cet usage.

Les maladies produites par les plantes parasites et connues sous les noms de *rouille*, d'*ergot*, *charbon* ou *nielle*, et *carie*, ont été très souvent étudiées. On a minutieusement décrit les diverses variétés de champignons microscopiques qui les produisent. Mais, il faut le dire, ces recherches ont eu, jusqu'à présent, un caractère plutôt scientifique que pratique, et on n'est point parvenu à trouver de moyens préservatifs efficaces, si ce n'est contre la carie, qu'un chaulage, exécuté comme on l'a expliqué ci-dessus, prévient d'une manière presque infaillible. Nous ne nous arrêterons donc point à décrire ces différentes maladies : cette étude exigerait de longs développements et un grand nombre de figures que l'espace ne nous permet pas de placer ici.

On a indiqué plus haut (chapitre IV) les instruments destinés à la récolte des céréales; on trouvera dans le chapitre VIII l'indication des moyens de conservation et d'enmagasinage des grains ou des pailles.

Deuxième section. — Légumineuses cultivées pour leurs graines.

Les légumineuses, à un petit nombre d'exceptions près, puisent dans l'atmosphère une forte proportion de principes azotés, et laissent au sol, par leurs racines et leur chaume, autant de principes organiques qu'elles lui en ont empruntés; de sorte que leur culture ne consomme pour ainsi dire pas de fumier. D'un autre côté, les graines de cette espèce sont généralement plus riches en azote que celles des céréales; ces plantes offrent ainsi ce double avantage, dans les pays pauvres en bestiaux, de fournir pour l'alimentation de l'homme le supplément d'azote qu'il ne peut trouver dans la viande, et, en même temps, de laisser tout le fumier disponible pour les récoltes épuisantes.

Les légumineuses cultivées en France sur une grande échelle sont assez peu nombreuses; nous allons signaler les plus importantes.

I. HARICOTS.

Cette plante est très répandue en France; elle joue surtout un rôle important dans le sud-est. Les animaux ne mangent cette graine que concassée; les moutons et les bêtes à cornes acceptent sa paille sèche.

On cultive un assez grand nombre de variétés de haricots qui se partagent en deux classes : les *haricots nains* et les *haricots à rames*, dont les tiges ont besoin d'être soutenues. Parmi ces derniers, on distingue les variétés suivantes :

Haricot de Soissons. Graine blanche, plate et grosse, très cultivée dans les départements du Nord.

Haricot sabre. Graine blanche, plate, de grandeur moyenne, gousse plate, contournée. On le mange vert ou sec.

Haricot de Prague. Grain rond, rouge, violet ou panaché; il est très tardif et ne mûrit pas toujours dans le Nord. Il a besoin de rames très hautes.

Haricot de Lima. Grain blanc sale, épais et très gros; gousse large, courte et chagrinée; très productif, mais mûrissant fort tard. Il exige des rames élevées.

Haricot mange-tout. Très cultivé en Normandie; grain blanc arrondi; gousse plate contournée, très bonne à l'état frais. Cette variété dégénère rapidement dans les environs de Paris.

Parmi les *haricots nains* on peut citer les suivants :

Haricot de Soissons nain. Grain semblable au haricot de Soissons ramé.

Haricot nain blanc. Graine blanche, petite, aplatie.

Haricot nain sabre. Ne diffère de la variété ramée que par la forme de sa gousse.

Les deux variétés précédentes ne conviennent pas aux terrains humides.

Haricot nain blanc d'Amérique. Grain petit, blanc, un peu allongé. Variété très productive.

Haricot solitaire. Grain rouge, violet, marbré de blanc, touffe très-forte. Également très productif.

Les haricots *suisse* et de *Bagnolet*, à grains marbrés, sont peu estimés.

Les haricots s'accommodent de climats assez différents; cependant on est obligé, dans le Nord, de choisir les variétés les plus hâtives et de les mettre dans les terres sèches et légères; dans le Midi, au contraire, il convient de choisir les sols substantiels et frais.

La culture des haricots exige trois labours. On donne le premier, qui doit être très profond, avant l'hiver; le second, moins profond, au printemps, suivi de deux hersages, et enfin, le troisième, au moment des semailles. On prend, en général, pour semence, des graines de deux ans, aussi bien choisies et conformées que possible. On sème en juin dans le Centre, et beaucoup plus tôt dans le Midi; il faut de 1 à 5 hectol. par hectare, selon le développement des touffes de l'espèce employée. Les lignes sont espacées de $0^m,30$ à $0^m,40$, et les pieds de $0^m,15$ à $0^m,20$, dans chaque ligne. L'espace réservé entre les lignes ne permet pas l'usage de la houe à cheval; toutes les façons se donnent à la main. Voici en quoi elles consistent : Quand les plantes atteignent une hauteur de $0^m,06$ à $0^m,08$, on donne un léger binage; on en donne un second, en buttant un peu, quand les fleurs apparaissent, et trois semaines après on en donne un dernier. On place les rames de mètre en mètre, en les réunissant au sommet aussitôt que les tiges tendent à s'entrelacer.

Dans le Midi, on arrose les haricots par infiltration, en introduisant l'eau dans les rigoles formées par les binages, toutes les fois que le sol est desséché à plus de $0^m,05$ de profondeur. La récolte des haricots se fait en arrachant les plantes lorsque la plupart des gousses sont mûres. On laisse sécher quelques jours en javelles, et on engrange ensuite. Le battage se fait ultérieurement au fléau.

Les haricots, parmi les légumineuses que nous examinons, sont les seules plantes qui consomment une forte proportion de fumier. On admet que 100 kilog. de grain et de paille récoltés consomment 367 kilog. d'engrais normal, ce qui ferait 16,000 kilog. par hectare environ. Crud regarde les haricots comme peu épuisants; mais cette opinion manque évidemment de base.

L'hectolitre de haricots pèse 77 kilog. On obtient, en moyenne, 29 hectol. de grain et 2,200 à 2,300 kilog. de paille.

II. FÈVES.

Les fèves présentent deux espèces différentes : la fève de marais et la fève de cheval ou *féverolle*. Cette dernière est moins grosse que la première; son écorce est plus dure; mais son produit est plus considérable. La fève est employée comme aliment pour l'homme et pour les animaux; elle est cultivée dans toutes les parties tempérées de l'Europe, et peut réussir dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

argiles compactes, qui ne conviennent qu'à un très petit nombre de plantes. Les fèves exigent à peu près les mêmes soins que les haricots; seulement, on peut assez espacer les plants, pour donner les façons avec les instruments à cheval. La fig. 154 représente quelques variétés de fèves.



Fig. 154.

La récolte se fait à la faux ou à la faucille. Les amendements les plus convenables pour les fèves doivent contenir une forte proportion de sels alcalins et de phosphates. Les fèves reçoivent habituellement la fumure de la rotation; mais elles ne la consomment pas et augmentent même sa fertilité par les racines et les pailles qu'elles abandonnent. La propriété des fèves, de puiser dans l'atmosphère une forte proportion de produits ammoniacaux, en fait une des plantes les plus utiles à cultiver comme engrais vert.

On recueille, en moyenne, par hectare, 26 hectol. de fèves pesant 88 kilog. chacun, et un poids de fanes à peu près égal à celui du grain

III. POIS.

La paille et le grain des pois fournissent une nourriture également recherchée par les animaux. On cultive plusieurs espèces de pois; nous distinguerons seulement :

Le *pois de champs* ou pois gris. Les fleurs sont roses, violacées; sa graine est grisâtre; elle sert particulièrement à la nourriture des animaux. Il y a des pois gris de printemps et d'hiver; cette dernière variété ne peut être cultivée que dans le Midi.

Le *pois cultivé*. Les fleurs sont généralement blanches; son grain est jaunâtre ou verdâtre; destiné à l'alimentation, ses variétés sont nombreuses. On peut citer, parmi les meilleures espèces, les *pois de Marly*, *de Clamart*, *gros vert normand*, les *pois anglais*, etc.

Le pois doit, en général, être placé à la fin des assolements, et ne jamais se succéder à lui-même; si on le semait après la fumure on obtiendrait, au détriment du grain, un trop grand développement herbacé.

Le nombre de labours nécessaires au sol qui doit fournir des pois varie avec la place de cette récolte dans la rotation. Les pois se plaisent dans un sol profondément ameubli, mais qui ne soit pas trop finement pulvérisé; il convient donc d'éviter, ou de n'employer qu'avec réserve, la herse et le rouleau. Dans le Midi, on sème à l'automne; dans le Nord, on préfère généralement attendre le printemps. Les semis se font à la volée ou en lignes. Quand les pois ont atteint 0m,05 à 0m,06 de hauteur, on donne un léger coup de herse pour ameublir la couche superficielle du sol durcie par les eaux. Les pois cultivés exigent un binage et un fort buttage, pour diminuer leur tendance à s'élever, au point d'exiger des rames, qu'on ne peut leur fournir dans la grande culture.

Le rendement des pois est très variable; le rapport du grain à la paille est surtout extrêmement différent d'une année ou d'un terrain à l'autre. En moyenne, on obtient, par hectare, 13 hectol. de graine pesant 79 kilog. chacun.

IV. VESCES, LENTILLES, etc.

La vesce présente un certain intérêt pour la nourriture des animaux domestiques. On distingue la *vesce noire*, qui se sème en automne, la *vesce blanche*, que l'on sème au printemps; enfin, la *vesce velue* ou de Russie, introduite depuis un certain nombre d'années dans la grande culture, qui fournit, dans les terrains convenables, un produit abondant. Cette plante est peu difficile, n'exige qu'une préparation très simple du sol, et vient dans le plupart des terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop épuisés.

La vesce produit environ 15 hectol. par hectare, pesant 80 kilog. l'un, et 3,000 kilog. de paille, qui forme un bon fourrage.

La *lentille* forme une bonne nourriture pour l'homme et les animaux. Sa farine, introduite dans le pain en proportion convenable, lui enlève sa blancheur, mais lui communique une saveur agréable. Cette plante prospère dans les terres légères et graveleuses; les terres compactes ne lui conviennent pas; on emploie 1 hectol. à 1 hectol. 1/2 de semence par hectare; le produit varie de 10 à 21 hectol. du poids de 85 kilog.

Le *pois chiche* et la *gesse* sont deux plantes qui se rapprochent des précédentes, mais dont la culture est réserrée dans un trop petit nombre de départements méridionaux pour qu'il soit utile de s'en occuper ici.

Troisième section. — Plantes fourragères.

On peut dire, sans paradoxe, que l'état d'un pays dépend du rapport de sa production en plantes fourragères à l'ensemble de ses autres cultures. De ce rapport, en effet, résulte celui de la population au nombre des animaux domestiques, qui fournissent au cultivateur les forces motrices qu'il emploie, et, au commerce, l'un des éléments les plus précieux de l'alimentation publique, ainsi que les matières premières des industries les plus importantes. On développera plus loin cet aperçu, véritable point de départ de l'économie agricole. Pour le moment, on se bornera, comme dans les sections précédentes, à faire connaître les faits pratiques les plus essentiels de chacune des cultures que l'on examinera.

I. PRAIRIES PERMANENTES.

Presque tous les terrains abandonnés à eux-mêmes se recouvrent d'un gazon formé par la réunion d'un plus ou moins grand nombre d'herbes différentes. Cette végétation, pour ainsi dire spontanée, est suspendue dans le Nord par le froid rigoureux des hivers, et ne reprend son activité que pendant le printemps et l'été. Dans le Midi, au contraire, elle se continue pendant l'hiver, et s'arrête seulement pendant les sécheresses des étés brûlants de ces contrées. Enfin, entre ces deux climats extrêmes, sur les côtes occidentales de notre continent, en Hollande, en Normandie, en Irlande, etc., l'humidité constante de l'atmosphère et la douceur des hivers permettent aux herbes de se développer à peu près en toute saison, et de conserver sans cesse leur verdure naturelle. Ce sont les pays d'herbages proprement dits, dont l'art des irrigations et une culture avancée permettent de retrouver les avantages dans des contrées plus favorisées qu'eux sous le rapport de la température.

La nature des plantes qui composent une prairie naturelle dépend du climat, de la nature du sol, des soins qu'on lui donne et du mode d'exploitation. Quelles que soient les herbes existantes à l'origine, la propor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

tion relative des différentes espèces se modifie, d'année en année, en raison des circonstances extérieures, jusqu'à ce qu'elle arrive à un état d'équilibre, en quelque sorte, qui ne se modifie plus, à moins qu'on n'apporte quelques modifications nouvelles à l'état de la prairie par une fumure, par un mode nouveau d'exploitation, ou de toute autre manière.

Les graminées et les légumineuses sont les deux familles prépondérantes dans les prairies ; toutes les autres plantes n'ont qu'une utilité secondaire, et pourraient en général en être bannies. Les plantes des prairies sont extrêmement nombreuses. Nous nous bornerons à donner ici l'énumération des meilleures variétés, en empruntant à M. de Gasparin leur classification, l'époque de leur floraison dans le climat de Paris, la perte que chacune d'elles éprouve par la dessiccation, et, enfin, la teneur en azote du foin qu'elle fournit. Ces renseignements suffiront pour aider dans les choix que l'on pourrait avoir à faire, pour la création de prairies, dans des conditions déterminées :

Les fig. 155, 156, 157, 158, 159 et 160 représentent quelques-unes des plantes qui se trouvent le plus ordinairement dans nos prairies.

Lorsqu'il s'agit de former une prairie sur un terrain déjà gazonné, on doit utiliser ce commencement de végétation et se borner à le favoriser, en enlevant les plantes nuisibles, en aplanissant les taupinières, et de plus, surtout dans les bons terrains, en répandant quelques engrais et de la graine des espèces d'herbes qui conviennent le mieux au sol, et qui manquent, ou sont trop peu nombreuses, dans le gazon.

Pour former une prairie sur un terrain non herbé, on procède habituellement par semis. A cet effet, on prépare la terre comme pour un ensemencement de blé ; on sème sur le sol, bien fumé et bien ameubli, le mélange de graine qui paraît le plus convenable et on le recouvre avec une herse légère, ou même avec un rateau, quand il s'agit d'ados irrigués. On peut semer avec la graine de gazon du sarrasin, qui, par son feuillage, protége les herbes contre la sécheresse ; mais cette précaution

	Fleurit à Paris.	L'herbe perd par la fenaison.	Azote p. 100 de foin normal.
1° PLANTES DES TERRAINS HUMIDES.			
Poa fluitans. Bord des ruisseaux et des étangs, fourrage tendre et excellent.	20 juillet	0,70	1,95
Poa aquatica. Fourrage assez grossier, très dur si on le coupe tard ; racines fortes et traçantes.	20 juillet	0,80	1,27
Phleum pratense. Terres tourbeuses et humides, très répandu dans les prairies humides ; beau regain, fourrage excellent.	16 juillet	0,56	1,00
Phalaris arundinacea. Glaise sableuse, près des amas d'eau. Fourrage d'apparence grossière, mais assez bon quand il a été fauché avant la floraison	16 juillet	0,50	1,49
Alopecurus pratensis. Bonne récolte dans les terrains humides et frais.	20 mai	0,70	0,67
Festuca elatior. — Pratensis. — Gigantea. Il faut choisir la grande variété quand on recueille la graine. Terres riches et humides.	12 juillet	0,60 0,54 0,66	1,53 1,58 1,71
Festuca arundinacea. Fourrage abondant, mais grossier.	10 juillet	0,50	0,54
Agrostis stolonifera. Prairies sablonneuses et humides.	» »	0,55	1,33
Arundo phragmites. Terrains inondés ou humides. Son foin doit être coupé de bonne heure.	10 août	0,50	0,75
Lathyrus pratensis. Excellente plante, fourrage abondant ; terrains riches et humides.	15 juin	0,68	2,36
2° PLANTES DES TERRAINS FRAIS.			
Festuca elatior. La variété *gigantea* atteint dans ce terrain son plus grand développement.	12 juillet	0,66	1,71
Avena elatior. Repousse toute l'année ; fourrage amer, qu'il ne faut pas donner seul aux bestiaux.	24 juin	0,60	0,85
Lolium perenne. Repousse constamment, aime à être fauché ; fourrage médiocre.	1er juillet	0,58	0,98
Alopecurus pratensis. Vulpin des prés, précoce ; regain abondant.	20 mai	0,70	0,67
Phleum pratense. Pousse constamment ; excellente graminée.	16 juillet	0,56	1,02
Dactylis glomerata. Excellente plante.	24 juin	0,59	0,85
Holcus lanatus. Excellente plante. On ne peut pas la semer seule.	14 juillet	0,53	1,92
Poa pratensis. Doit être coupée en fleur ; résiste bien à la sécheresse.	30 mai	0,70	1,03
Poa trivialis. Doit être fauchée tard.	13 juin	0,70	1,60
Poa nemoralis. Ne craint pas l'ombre ; ne gazonne pas.	28 juin	0,55	1,64
Bromus pratensis. Fourrage abondant, mais médiocre.	» »	0,58	0,58
Trifolium pratense. C'est la base essentielle d'une prairie, dont elle garnit le fond.	» »	0,78	1,54
3° PLANTES DES TERRAINS SECS.			
Lolium perenne.	1er juillet	»	0,98
Poa trivialis.	13 juin	»	1,60
Festuca glauca.	13 juin	»	0,99
Agrostis vulgaris.	24 juillet	»	1,30
Triticum repens. C'est une des bonnes plantes des prairies sèches, mais elle demande du fumier.	10 août	»	1,53
Holcus mollis. C'est la plante spéciale à ces terrains.	24 juillet	»	2,60
Avena pratensis.	18 juin	»	1,37
Lotus corniculatus.	» »	»	»

EFERUS - Recherche & Classification numérique



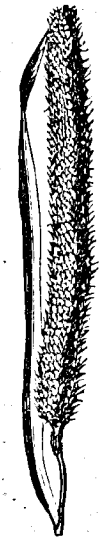
Avena elatior.

Fig. 155.



Flouve odorante.

Fig. 156.



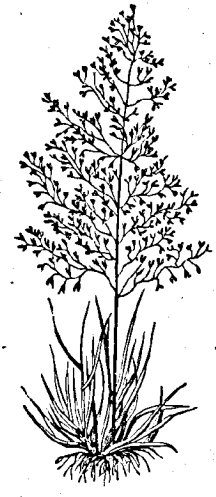
Phleum pratense.

Fig. 157.



Holcus lanatus.

Fig. 158.



Agrostis vulgaris.

Fig. 159.



Vulpin des prés.

Fig. 160.

n'est pas nécessaire. On arrache ce sarrasin, soit lorsqu'il est mûr, soit lorsqu'il est seulement en fleur, si la saison ne doit pas lui permettre d'arriver à maturité. On ne doit ni faucher, ni faire pâturer les semis de gazon l'année de leur formation. Les semis se font en automne dans le Midi et au printemps dans le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nord. Voici les proportions de graines que M. de Gasparin conseille d'employer, par hectare, pour la formation des prairies :

1° Terrains humides.

	kil.
Festuca arundinacea	5,0
Festuca elatior	5,0
Poa serotina	2,5
Poa aquatica	2,5
Phleum pratense	1,0
Agrostis stolonifera	1,0
Medicago maculata	2,0
Lathyrus pratensis	1,5
Vicia sepium	1,5
Trifolium pratense	2,0
	24,0

2° Terrains frais.

	kil.
Dactylis glomerata	4,0
Poa nemoralis	1,4
Festuca loliacea	4,0
Agrostis vulgaris	4,6
Festuca elatior	4,0
Festuca sylvatica	4,0
Holcus lanatus	2,3
Phleum pratense	0,8
Trifolium pratense	2,0
Trifolium repens	4,0
Lathyrus palustris	1,0
Vicia sepium	1,0
Vicia cracca	1,0
	31,1

Dans les terrains secs destinés à être fauchés, on sème un mélange de *luzerne*, de *sainfoin*, de *festuca rubra* ou *glauca*, de *trifolium repens* et de *holcus mollis*. Pour les pâturages de ces mêmes terrains on emploie :

	kil.
Festuca rubra	5,0
— glauca	5,0
— duriuscula	5,0
Bromus secalinus	5,0
Holcus lanatus	3,0
Holcus mollis	3,0
Paspalum dactylum	3,0
Triticum repens	3,0
Hedysarum onobrychis	30,0
Trifolium repens	4,0
Lotus corniculatus	2,0
	68,0

Dans les prairies irriguées de la Campine, l'un des mélanges les plus convenables paraît être le suivant :

	kil.
Ray-grass d'Angleterre	19,0
Thimothy	5,0
Vulpin des prés	5,0
Cretelle des prés	4,0
Brome des prés	5,0
Flouve odorante	3,0
Lupuline	3,0
	44,0

On a donné précédemment le prix de revient d'établissement d'une prairie irriguée.

Les soins d'entretien à donner aux prairies permanentes de bonne qualité se bornent à arracher les mauvaises plantes, à aplanir les taupinières et à fumer les prairies fauchées, et, au besoin, les prairies pâturées, quand le répandage des excréments des bestiaux qui s'y nourrissent ne produit pas une fumure suffisante.

Le produit des prairies est extrêmement variable. Certains prés ne donnent pas par hectare 250 kil de foin par an, ou leur équivalent en herbe pâturée, et l'on en cite des prés marcites, aux environs de Milan, où l'on obtient 68,618 kil. d'herbe ou 19,202 kil. de foin. Mais il faut, pour obtenir de tels résultats, arroser les prairies avec des eaux extrêmement fertilisantes, ou bien leur fournir, quand elles sont arrivées à toute leur valeur, un poids de fumier contenant la moitié ou les deux tiers de la quantité d'azote enlevé par le foin lui-même.

La récolte des foins consiste dans le fauchage, le séchage, le bottelage, et le transport dans les greniers. Le séchage des foins s'effectue par une série de façons d'autant plus nombreuses et plus compliquées que le climat où l'on opère est moins chaud et la saison moins sèche. On retourne le foin sur les andins, et on l'agite en l'air au moyen de fourches légères en bois. On a proposé beaucoup de machines pour effectuer ce travail. Leur emploi commence à se généraliser.

Dans les pays très humides, où le foin ne sécherait pas sur le sol, on emploie quelquefois une sorte de pyramide en bois (fig. 161), sur laquelle on place le four-

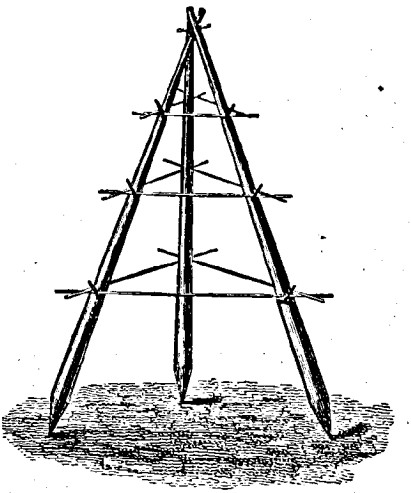


Fig. 161.

rage pour accélérer sa dessiccation. Cet appareil est surtout employé en Allemagne.

Toutes les charrettes sont bonnes pour le transport des foins ; mais la disposition très simple indiquée par la fig. 162 facilite beaucoup le chargement. L'essieu se prolonge au delà du moyeu des roues et sert d'appui à deux arcs-boutants qui soutiennent le haut de la ridelle, ce qui permet d'élargir le chargement et de réduire sa hauteur. Ces chariots conviennent également au transport des autres récoltes.

Les frais de récoltes du foin dépendent, jusqu'à un certain point, du produit; cependant, en France, en moyenne, on peut les évaluer de la manière suivante, par hectare :

Fauchage	25 à 35 fr.
Fouage et chargement	30 à 40
Transport	» »
Mise au fenil	15 à 25

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

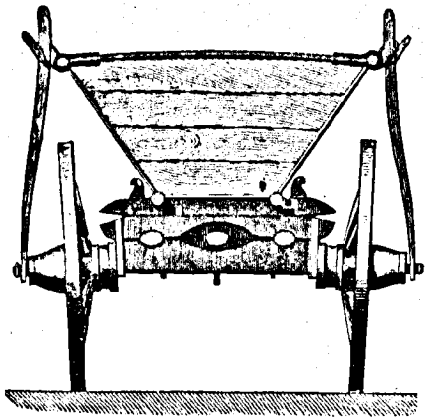


Fig. 162.

II. PRAIRIES TEMPORAIRES.

Les prairies temporaires, ou prairies artificielles, n'ont pris que depuis peu d'années en France le développement considérable qu'elles ont aujourd'hui. Leurs avantages sont très réels dans beaucoup de localités; elles permettent d'augmenter le nombre des bestiaux et de suppléer, jusqu'à un certain point, aux prairies naturelles. Dans les pays où les printemps et les étés secs sont très rares leur succès est à peu près assuré, et leur culture est dès lors fort avantageuse dans les terrains de bonne qualité. Dans le Midi, au contraire, la sécheresse ordinaire du printemps s'oppose souvent au succès des semis, et, alors il convient de n'y consacrer que des terres de peu de valeur, de ne compter sur la récolte que comme supplément, et d'assurer par les prairies arrosées les besoins ordinaires de la ferme.

Les plantes qui composent les prairies temporaires se partagent en deux classes : les unes empruntent à l'atmosphère une forte proportion de principes nutritifs et laissent à la terre plus de matières fertilisantes qu'elle n'en contenait avant leur culture; les autres, au contraire, enlèvent au sol une plus ou moins forte proportion de sa fertilité.

Les plantes de la première catégorie constituent un groupe améliorant, dans lequel se placent la luzerne, les trèfles, les sainfoins, la spergule, les genets et ajoncs, etc. Les plantes de la deuxième catégorie, au contraire, forment un groupe épuisant dans lequel on remarque l'ivraie vivace, l'herbe de Guinée, le seigle, etc.

On va étudier les plus importantes de ces plantes.

Luzerne. Cette plante est très anciennement connue. Elle paraît originaire des pays chauds, et craint, quand elle est jeune, les hivers très rigoureux et les gelées tardives. Elle a besoin d'un sol profond, ou au moins reposant sur un sous-sol perméable. Ses racines, qui peuvent atteindre plusieurs mètres de longueur, puisent dans le sous-sol une partie de leur nourriture. Les terres froides et constamment humides, ou les argiles fortes ne lui conviennent pas du tout; mais elle vient très bien sur ces terrains, quand leurs mauvaises qualités ont été détruites par un drainage énergique.

On sème la luzerne à la volée, à raison de 40 kil. par hectare environ, après un labour aussi profond que possible et une forte fumure. Les semailles se font à l'automne ou au printemps, quelquefois après celles des céréales. On recouvre légèrement la graine en faisant passer une herse renversée et garnie d'épines. Quand la luzerne sort de terre on donne quelques sarclages, puis des hersages après chaque coupe. On donne aussi à la luzerne, après la dernière coupe et avant qu'elle n'entre en végétation, un léger labour avec le scarificateur.

La durée de la luzerne est extrêmement variable, et peut se prolonger pour ainsi dire indéfiniment dans certaines circonstances exceptionnelles; mais en pratique, dans le plus grand nombre des cas, on ne conserve pas le luzernières plus de cinq ou six ans. Quand on sème au printemps, on peut faire deux coupes seulement la première année; si l'on sème en automne, la luzerne est en plein rapport dès l'année suivante. La seconde année le produit augmente encore; mais il cesse de croître, et diminue même quelquefois, dès la troisième année, dans les sols peu profonds, où la luzerne ne peut point enfoncer ses racines.

Les amendements calcaires sont indispensables à la luzerne dans les terrains qui ne sont pas riches en substances de cette espèce. Le plâtre surtout exerce sur elle une influence des plus favorables. Les cendres de luzerne, qui s'élèvent jusqu'à 6,8 p. 100 du poids du foin, contiennent une forte proportion de potasse. La lenteur avec laquelle se décomposent les silicates naturels de cette base explique peut-être la nécessité d'interrompre pendant plusieurs années la culture de la luzerne sur un même terrain. Les sels de potasse seraient certainement, dans les terrains pauvres en alcalis, un excellent amendement pour cette plante.

La luzerne est une des plantes fourragères les plus productives. Elle commence à végéter, selon M. de Gasparin, quand la température moyenne de l'air atteint + 8°. On la coupe quand elle est en fleur, c'est-à-dire quand elle a reçu 852° de chaleur totale au-dessus de + 8°. De sorte qu'en divisant par ce nombre la somme totale de chaleur annuelle dans chaque contrée, entre le moment où la chaleur moyenne atteint 8° et celui où elle retombe au-dessous de ce chiffre, on obtient pour quotient le nombre de coupes de luzerne que l'on peut recueillir. A Alger, dans les terrains frais, on fait huit coupes par an; dans le Midi, on en fait cinq ou six; à Paris, on fait quatre coupes les années chaudes et trois dans les autres, en faisant pâturer la quatrième.

Dans une bonne luzernière du Midi, en cinq coupes M. de Gasparin a recueilli 15,300 kil. de foin sec. Aux environs de Paris, dans des conditions analogues, on a obtenu en trois coupes 9,600 kil. de foin sec. Dans les terres sèches, on irrigue la luzerne avec avantage. On donne un arrosage après chaque coupe.

Pour défricher la luzerne on donne un labour profond, quand le sol est un peu humide, puis on cultive en céréales. Quelquefois on donne seulement un labour de 0m,10 ou 0m,12 de profondeur; puis on sème de l'avoine ou du blé d'hiver. L'année suivante, après la récolte des céréales, les pieds de luzerne qui ont échappé montent en graine que l'on peut récolter. La même manière de procéder peut se renouveler deux années de suite.

La luzerne est soumise à plusieurs causes de destruction qu'il est utile d'indiquer. Le rhizoctone de la luzerne est un cryptogame qui enveloppe de ses filets rougeâtres la racine de la plante et la fait périr. Quand la maladie se manifeste dans un champ, il faut cerner la place par une tranchée circulaire très profonde. Si le mal continue ses progrès, il ne reste qu'à défricher la luzerne et à attendre plusieurs années avant d'en resemer à la même place.

La cuscute est une plante grimpante annuelle qui enlace les tiges des luzernes et les fait périr. Le moyen le plus simple de s'en débarrasser est de faire pâturer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toute l'année la luzernière par des moutons, ou de la faucher toutes les fois que les plantes ont 0m,06 ou 0m,07 de hauteur. Par ces moyens, la cuscute ne peut monter en graine et ne se reproduit pas l'année suivante. La graine de cuscute ne se sépare point par le criblage de celle de la luzerne; mais, en frottant entre deux toiles rudes le mélange des deux graines et criblant ensuite, celle de cuscute est facilement séparée.

Enfin, un insecte particulier, le *colopsis atra*, dévore quelquefois la luzerne. Il faut, quand cet ennemi attaque un champ, le mettre en fuite en fauchant la luzerne. On peut aussi attendre à l'époque de l'apparition des larves. Il paraît même que ce retard est avantageux.

Trèfle rouge. Le trèfle est pour les climats froids et humides ce qu'est la luzerne pour les contrées plus chaudes. Le trèfle vient évidemment d'autant mieux que la terre est de meilleure qualité; mais il donne encore de bons produits dans des terres médiocres, et réussit presque partout, à moins de conditions tout à fait défavorables.

Il existe plusieurs variétés de trèfle; mais la plus répandue et la plus rustique est le trèfle rouge ordinaire (fig. 163). Il serait cependant utile d'essayer un peu en grand les autres variétés; on en trouverait sans doute quelques-unes de convenables pour certaines conditions déterminées.



Fig. 163.

On sème le trèfle à la volée, à raison de 15 à 20 kilog. par hectare. La semaille a lieu en automne, avec les céréales, ou bien au printemps, soit avec les céréales d'automne, soit avec celles du printemps. La graine ne doit être recouverte que de 0m,020 à 0m,025 de terre. Les graines plus profondément enfouies ne lèvent que très difficilement.

On défonce généralement les trèfles à la fin de leur deuxième ou au plus tard de leur troisième année. Quelquefois même on ne recueille qu'une année de fourrage; mais cette méthode n'est justifiable que dans le cas d'un semis mal réussi; car le produit le plus abondant est celui de la seconde année, et le trèfle étant, éminemment améliorant, accroît par son séjour même la fertilité du sol.

Le trèfle enlève à la terre une forte proportion d'éléments minéraux qu'il est indispensable de restituer au sol par des amendements appropriés. Le plâtre est très favorable à cette culture. Il convient d'en répandre une certaine quantité après chaque coupe. Le plâtrage annuel doit être de 300 kilog. environ par hectare.

Pour faire consommer le trèfle en vert, on le coupe aussitôt que la faux peut le saisir. Quand on veut le convertir en foin, on le coupe en pleines fleurs, si l'on espère une seconde coupe, et seulement quand elles commencent à se flétrir dans le cas contraire. Le séchage du trèfle est très difficile parce qu'il contient plus des 3/4 de son poids d'eau. La graine se récolte habituellement sur les plantes de la seconde coupe. On obtient, en moyenne, 5,000 à 7,000 kilog. de foin de trèfle par hectare. Le produit, dans les terres fraîches et irriguées du Midi, peut s'élever à 9,000 kilog., et Crud dit en avoir obtenu, en Suisse, jusqu'à 10,000 kilogrammes.

Le *trèfle incarnat* est un fourrage précoce qui peut rendre des services en raison de ses qualités particulières. Il est assez peu répandu.

Sainfoin. Il y a deux variétés de sainfoin : le petit et le grand. La seconde, obtenue par les cultures soignées, dans les bonnes terres calcaires du Languedoc, est infiniment plus vigoureuse que la première; le regain est assez abondant pour être fauché, ce qui lui a fait donner le nom de sainfoin à deux coupes. Il dégénère à la longue dans les terres pauvres et arides, et la graine doit être renouvelée.

Le sainfoin se plaît particulièrement dans les terres profondes, légères et fortement calcaires. Mais il vient dans tous les terrains, même les plus sableux et les plus arides; il ne redoute que les sols à eaux stagnantes ou constamment humides. Cette faculté de croître dans les terrains arides fait du sainfoin une plante fourragère des plus précieuses; non-seulement il donne un produit dans des terres pour ainsi dire sans valeur, mais encore il les enrichit par ses débris, augmente leur consistance, et permet de cultiver des céréales dans des terrains où on n'aurait pas essayé de le faire avant lui.

Les cultivateurs qui attachent une grande importance à la culture du sainfoin le sèment au printemps, quand la température atteint environ 10°, sur une terre préparée à cet effet l'automne précédent. Avant les semailles, on donne un coup de scarificateur pour bien nettoyer et ameublir le terrain. Habituellement on se borne à semer à l'automne, sur les sols bien égouttés, avec les céréales d'hiver, ou bien, au printemps, soit sur la céréale d'hiver, après un hersage, soit avec les céréales de printemps, ou enfin avec un semis de vesces destinées à être consommées en vert. On emploie 4 à 6 hectol. de graines par hectare, selon sa qualité. Dans les terrains peu calcaires, on répand, chaque année, 200 à 250 kilog. de plâtre. Le sainfoin doit être conservé deux ou trois ans, et même plus longtemps, s'il n'est pas trop envahi par les mauvaises herbes.

On fauche le sainfoin quand la floraison est complète. On obtient, dans les terrains convenables, 4,000 à 7,000 kilog. de foin par hectare. Le regain, quand on ne le fauche pas, doit être pâturé par des bêtes à cornes; les moutons coupent la plante trop près du collet et la déchaussent. On doit éviter de semer le sainfoin trop près des arbres; il leur est funeste.

Le trèfle, la luzerne et le sainfoin forment la presque totalité de nos prairies artificielles. Nous nous bornerons à mentionner quelques autres plantes employées au même usage.

Le *sulla* ou sainfoin d'Espagne est une plante fourragère des pays chauds; elle rendra probablement de grands services en Algérie; mais les hivers, en France, même dans le Midi, sont souvent trop rigoureux pour elle.

La *lupuline* ne peut être fauchée, mais elle fournit un pâturage assez précieux dans les terrains où le trèfle ne réussit pas, et où le sainfoin ne s'élève pas assez.

Les *vesces* et les *gesces* sont semées, soit seules, soit mélangées avec d'autres plantes, et consommées en sec ou en vert; employées comme fourrages, ces plantes n'offrent d'avantages que dans des circonstances assez spéciales.

L'*ajonc*, en Bretagne, le *genêt d'Espagne*, dans le Midi, rendent quelques services comme fourrage. Ces deux plantes, mieux connues, permettraient d'utiliser

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de vastes terrains pour ainsi dire abandonnés aujourd'hui.

La *spergule* rend, en Belgique, d'immenses services, soit comme engrais vert, soit comme fourrage. Elle paraît réussir beaucoup moins bien en France, et dégénère souvent avec une rapidité singulière.

Enfin, on cultive quelquefois l'orge, le seigle, le maïs, etc., comme fourrages verts annuels, et les ivraies, l'herbe de Guinée, etc., comme fourrages permanents. Toutes les plantes de cette dernière catégorie enlèvent au sol plus de principes fertilisants qu'elles ne lui en restituent, de sorte que si elles se placent sous le rapport de leurs applications parmi les plantes fourragères, elles doivent être soigneusement distinguées de celles que nous avons étudiées avec plus de soin, et qui jouent un rôle si important, au point de vue de l'économie agricole, par suite de la propriété qu'elles possèdent d'accroître la fertilité du sol.

Quatrième section. — Plantes cultivées en grand pour leurs racines alimentaires.

Les racines entrent maintenant en forte proportion dans le régime alimentaire de l'homme et des animaux. Elles rendent à l'agriculture, par leurs qualités spéciales, des services signalés, et leur introduction, dans certaines localités, a transformé l'état du sol et son mode d'exploitation. On ne doit pas cependant se laisser aller à trop d'admiration pour les produits de cette culture. Ils ont, il est vrai, un poids très considérable, mais ils ne contiennent relativement qu'une faible quantité de matières nutritives, et l'exemple terrible de l'Irlande montre le danger de laisser prédominer dans un pays la culture d'aliments d'un ordre aussi inférieur.

On étudiera, dans ce qui va suivre, les principales plantes à racines alimentaires, à l'exception de la *betterave*, pour laquelle nous renvoyons à l'article SUCRE.

I. POMMES DE TERRE.

Les variétés de pommes de terre sont extrêmement nombreuses, et se multiplient tous les jours. Il serait impossible d'en donner une liste complète, et surtout de définir nettement et chacune d'elles. La collection conservée par M. Vilmorin est partagée en quatre sections : 1° les pommes de terre très productives, à goût moins délicat que les autres ; 2° les pommes de terre remarquables par leurs bonnes qualités ; 3° les pommes de terre hâtives ; 4° les pommes de terre de longue garde. Cette classification pratique serait difficile à appliquer en tous lieux. M. de Girardin a proposé de partager les pommes de terre, en raison de leur conformation extérieure, en trois sections : 1° les *patraques*, à tubercules généralement arrondis, offrant des yeux nombreux et apparents ; 2° les *parmentières*, à tubercules allongés ou aplatis, munis d'yeux peu nombreux ; 3° les *vitelottes*, à tubercules allongés et cylindriques, offrant des yeux très nombreux, très apparents, et enchâssés dans une cavité profonde.

Les parmentières ne comprennent que des variétés de jardin ; parmi les vitelottes, quelques-unes seulement conviennent à la grande culture. Dans la section des patraques, enfin, se rencontrent les espèces les plus productives. La patraque ox-noble se place en première ligne, excepté dans les terrains calcaires, soit pour les emplois alimentaires, soit pour la féculerie.

La pomme de terre se développe dans la plupart des terrains, pourvu qu'ils ne soient pas trop compactes, et qu'ils ne soient ni tout à fait secs, ni constamment mouillés. Elle se plaît particulièrement dans les terres fertiles, légères et fraîches.

Dans les climats humides et les terrains frais, on peut se dispenser de remuer profondément la terre qui doit recevoir des pommes de terre. Mais les labours profonds et les défoncements sont indispensables dans les terres disposées à la sécheresse.

On reproduit, en général, les pommes de terre en déposant en terre des tubercules coupés en morceaux, de telle sorte que chaque fragment contienne au moins un œil. Le moyen le plus expéditif de semer consiste à déposer les fragments au fond d'une raie de charrue de 0m,10 de profondeur, et à les recouvrir par la terre que renverse le versoir en ouvrant le sillon suivant. Quelquefois on plante à la main, en quinconce, en ouvrant de petits trous au point d'intersection de lignes d'avaire perpendiculaires, éloignées les unes des autres d'une quantité convenable. Dans les terres humides, on plante les pommes de terre au sommet de billons étroits, et on les recouvre avec la terre de deux sillons voisins formant rigoles d'assainissement. L'espace entre les plantes est très variable ; cependant, dans le plus grand nombre des cas, il est de 0m,25 à 0m,30 en tout sens. Cet écartement paraît être celui qui donne le maximum de produit ; mais il oblige à donner à la main toutes les façons.

On sème les pommes de terre en automne, au printemps, ou bien même après la récolte des céréales, dans les pays assez chauds et où le sol est en même temps assez frais pour que l'on puisse obtenir la récolte avant l'hiver.

Les soins que réclame la pomme de terre se bornent à des sarclages, que l'on peut donner à la herse, et à un buttage quand la végétation est assez avancée. Cette dernière opération est même quelquefois négligée sans que le produit paraisse en souffrir beaucoup.

On arrache presque toujours les pommes de terre à la fourche ou à la bêche. On estime qu'il faut dix-huit journées d'homme et huit de femme pour recueillir, sur 1 hectare, 23,110 kilog. de tubercules. L'époque de la récolte n'est pas absolument fixée, comme pour les plantes aériennes. Le moment le plus convenable est celui où toute la pomme de terre présente une consistance homogène. Elle renferme alors, en moyenne, environ 75 à 77 p. 100 d'eau.

Les pommes de terre demandent des engrais d'une décomposition facile, fournissant beaucoup d'acide carbonique, et riches en sels alcalins. Le fumier ordinaire leur convient très bien ; selon Schwerz, il faut en employer 19,000 à 20,000 kilog. par hectare pour obtenir 17,700 kilog. de récolte, ce qui répond assez bien aux indications de la théorie.

Un hectolitre ras de pommes de terre pèse de 62 à 65 kilog. Il contient 300 tubercules, s'ils sont très gros, 900 s'ils sont moyens, et jusqu'à 2,000 s'ils sont très petits. On obtient, dans les bonnes cultures, 25,000 et jusqu'à 30,000 kilog. de pommes de terre par hectare. Mais, dans les terres médiocres mal soignées, ou dans une mauvaise année, la récolte tombe quelquefois à 10,000 kilog. On estime qu'elle est, en moyenne, de 17,000 kilog. contenant 64 kilog. d'azote, et représentant, par conséquent, une masse de nourriture égale à celle que fourniraient 49 hectol. de blé, c'est-à-dire le produit de près de 4 hectares consacrés à cette plante.

Les pommes de terre se conservent très bien quand on peut les mettre à l'abri de la lumière et des gelées, et surtout des dégels trop rapides. Des caves bien sèches, et assez profondes pour qu'il n'y gèle pas, seraient le meilleur emplacement pour conserver cette récolte ; mais il est rare que l'on dispose de pareilles caves ; on y supplée au moyen de silos en maçonnerie ou en terre. Ces derniers se construisent en creusant dans le sol une fosse de 0m40 à 0m,50 de profondeur ; on garnit de paille le fond et les bords de cette fosse, et on la remplit de pommes de terre que l'on dispose

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n tas conique ou prismatique, et que l'on recouvre une couche de terre de 0m,30 d'épaisseur. Quand le terrain est humide et le climat pluvieux, il convient d'entourer le silo d'une tranchée plus profonde que lui, et de le recouvrir d'un toit en chaume.

Les pommes de terre sont atteintes par plusieurs maladies : la *gale*, la *frisolée* et la *rouille* des feuilles, qui détruisent plus ou moins complétement les récoltes qu'elles attaquent; mais ces diverses maladies n'avaient jamais pris de caractère général inquiétant. Il n'en est pas de même de la maladie proprement dite des pommes de terre, qui a produit en Europe, depuis quelques années, de si grands ravages. Cette affection se manifeste par des taches rousses, partant en général de la circonférence près des tiges, et gagnant peu à peu la couche corticale, et enfin le tubercule tout entier. Bien que la maladie ait sévi pendant les années sèches comme pendant les années pluvieuses, il paraît cependant bien établi que l'humidité est une des causes déterminantes de son invasion, et qu'elle se montre moins souvent et avec moins d'intensité dans les terrains bien assainis. Tous les moyens préservatifs conseillés jusqu'à présent n'ont donné aucun résultat positif. On peut dire seulement que les variétés hâtives échappent à cette cause de destruction, parce que leur récolte peut avoir lieu avant l'époque habituelle de l'invasion de la maladie.

La contagion se transmet par le contact des tubercules affectés et des tubercules sains. Il paraît que l'on peut conserver des pommes de terre saines avec celles qui sont malades, pourvu qu'elles soient séparées les unes des autres dans les silos par une couche de sable. Mais ce qu'il y a de mieux à faire pour tirer parti d'une récolte atteinte est de la livrer aux féculeries pour en extraire le plus vite possible ce qu'il reste de fécule encore intacte. La distillation donne des alcools d'une saveur désagréable, ce qui rend peu avantageux ce mode d'emploi des pommes de terre malades.

II. NAVETS.

La variété la plus répandue dans la grande culture a une forme ronde aplatie; on la désigne sous les noms de rave du Limousin ou rabioule. On cultive aussi le navet à tête rose ou grande rave.

La culture du navet est très avantageuse dans les climats doux et humides, comme ceux de l'Angleterre et d'une partie de nos côtes; mais elle ne donne, en général, dans le Centre et le Midi, que d'assez médiocres résultats, qui font nier, par certains agriculteurs, les avantages incontestables de cette plante dans les pays qui lui conviennent.

Les terrains les plus convenables aux navets sont peu compactes et frais sans être humides. Cependant ils peuvent venir dans presque tous les terrains, et les argiles fortes elles-mêmes, qui ne leur conviennent pas du tout dans leur état naturel, en fournissent de belles récoltes quand elles ont été bien drainées. Les navets commencent en général la rotation; on les fait suivre de céréales d'automne, si leur récolte a été assez hâtive, et, dans le cas contraire, de céréales du printemps.

La préparation du sol destiné à recevoir les navets doit être très soignée. Il faut que la terre soit profondément remuée et parfaitement pulvérisée; à cet effet, on emploie successivement la charrue, la herse, le scarificateur et le roulcau.

On sème les navets depuis le commencement de mai jusqu'à la fin de juin. L'ensemencement se fait en lignes, soit à la main, soit au semoir. En général, avant de semer les navets, on dépose le fumier au fond des sillons, on le recouvre par un second passage de la charrue, et on sème au-dessus des lignes de fumier, qui

se trouve ainsi plus à proximité de la jeune plante. On doit entretenir, par des sarclages répétés, la propreté des champs de navets. Les premiers sarclages peuvent se donner à la herse; mais, dans les cultures soignées, faites sur des lignes de fumier, on emploie la houe à cheval entre les lignes, et la houe à main pour éclaircir le plant et le débarrasser des mauvaises herbes. Après le hersage, on donne encore quelquefois deux façons au buttoir, pour recouvrir de terre le collet de la racine; mais elles ne sont pas indispensables. On espace les plantes de 0m,25 à 0m,50 les unes des autres. L'emploi de la houe à cheval oblige à écarter les lignes beaucoup plus qu'on ne le ferait dans une culture à la main.

Ce que l'on vient de dire s'applique à la culture des navets considérée comme récolte principale; mais en France, et surtout aux environs de Paris, le navet est une récolte dérobée que l'on obtient après les céréales. A cet effet, on enterre le chaume par un ou deux labours, on sème le navet à la volée, et aussitôt que les plantes ont leurs premières feuilles, on donne un sarclage à la main. Les plantes sont espacées, en moyenne, de 0m,15 à 0m,25 les unes des autres.

On peut arracher les navets et les conserver à peu près comme les pommes de terre, ou les faire manger sur place par les bestiaux.

Les navets produisent, par hectare, de 25,000 à 65,000 kilog. Les feuilles forment, en outre, un fourrage vert que les animaux mangent avec plaisir.

III. CAROTTE.

Cette racine est très recherchée du bétail, et forme, pour l'hiver, un utile auxiliaire des autres aliments; mais elle exige des soins si multipliés que son prix de revient est fort considérable, ce qui empêche sa culture de prendre une grande extension. Les carottes se sèment quand la température est arrivée depuis quelque temps à + 9°. Les lignes sont espacées de 0m,15 environ. On retarde autant que possible la récolte, en évitant toutefois, avec le plus grand soin, d'être surpris par les gelées. Il faut faire consommer les carottes de bonne heure, parce qu'elles recommencent à végéter aussitôt que la température atteint 9° à 10°. On obtient, en moyenne, 20,000 kilog. de carottes par hectare.

Nous nous bornerons à citer encore, parmi les plantes à racines fourragères ou alimentaires, le panais, la patate, le topinambour, le rutabaga, etc. Ces différentes plantes peuvent, dans certains cas spéciaux, être fort utilement employées; quelques-unes d'entre elles paraissent même appelées à occuper une place importante dans les cultures avancées; mais elles sont ou trop peu connues, ou trop peu répandues jusqu'à présent, pour qu'il soit utile de s'y arrêter ici.

Cinquième section. — Cultures industrielles.

Nous réunissons sous ce titre un certain nombre de plantes qui trouvent dans les arts leur principal emploi. Leur importance, généralement secondaire au point de vue agricole, nous permettra d'abréger beaucoup leur étude.

I. PLANTES TEXTILES.

L'agriculture du Midi, et surtout celle de l'Algérie, semblent devoir s'enrichir, dans un avenir prochain, d'une nouvelle plante textile, le *phormium tenax*, dont quelques expériences semblent démontrer les bonnes qualités. Mais, quant à présent, les deux seules plantes cultivées en France, pour leurs fibres, sont le chanvre et le lin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chanvre. Le chanvre (fig. 164) a besoin d'un terrain fertile profond, qui ne soit pas extrêmement tenace,



Fig. 164

et qui, sans être mouillé, reste frais pendant toute la durée de la végétation de cette plante. La rapidité de sa croissance permet de le cultiver dans des climats très opposés.

La terre à chanvre doit être bien préparée et abondamment fumée, à moins qu'elle ne soit par elle-même d'une extrême fertilité, périodiquement renouvelée par des inondations ou autrement. On sème depuis le milieu de mars jusqu'en juillet, selon la récolte qui accompagne ou précède la culture du chanvre. On emploie de 6 à 12 hectol. de semences par hectare, selon le but que l'on se propose d'atteindre et la nature du terrain. Les semis clairs donnent des tiges grandes et fortes très convenables pour fournir de la graine, mais dont la filasse est grossière; les semis épais, au contraire, fournissent de petites tiges qui s'abritent les unes les autres, et donnent de la filasse fine et douce. Les semis épais n'exigent, pour ainsi dire, aucun soin, parce que le chanvre étouffe les mauvaises herbes. Dans les semis clairs, on donne au plant un ou deux sarclages et un binage. La récolte du chanvre se fait en deux fois. On arrache d'abord le chanvre mâle, et quelques semaines après le chanvre femelle, qui n'arrive à maturité qu'un peu plus tard.

Lin. Cette plante est cultivée soit pour sa filasse, soit pour sa graine. Il est difficile d'obtenir à la fois ces deux produits dans de bonnes conditions. La filasse a perdu une partie de ses qualités quand la graine arrive à maturité. Cependant, en cueillant le lin un peu avant la maturité de la graine, on obtient une filasse passable, et, pendant le séchage, la graine arrive à un point suffisant de maturité pour être employée à la fabrication de l'huile, et surtout comme assaisonnement des fourrages.

Le lin exige, comme le chanvre, des terrains fertiles, frais, riches en engrais et en humus. Les alluvions et les prairies défoncées conviennent particulièrement à sa culture. La préparation du sol varie avec les usages locaux, mais elle doit toujours être soignée. Les engrais énergiques conviennent très bien au lin; il enlève au sol une forte proportion de sels minéraux. On recommande vivement, en Irlande, de lui appliquer, par hectare, un mélange formé de :

Os en poudre.	300 kil.
Chlorure de potassium. . . .	166
Chlorure de sodium.	155
Plâtre cuit pulvérisé.	188
Sulfate de magnésie.	311
	1,120

On sème en automne ou vers le mois de mai, à raison de 125 à 250 kil. de graine par hectare, selon que l'on veut obtenir de la graine, ou des filasses plus ou moins fines. On obtient de 400 à 600 kil. de filasse par hectare, en moyenne.

On recueille le lin, comme le chanvre, en l'arrachant par petites poignées. On le fait sécher, puis on le soumet au rouissage et aux autres opérations industrielles nécessaires à sa transformation en matière ouvrée. Nous n'avons pas à examiner ces différentes manipulations, qui font l'objet d'un article spécial du *Dictionnaire;* mais nous ne pouvons passer sous silence une modification récemment introduite dans la préparation du lin, et qui permet de remplacer l'ancien procédé si insalubre du rouissage par une opération qui n'entraîne avec elle aucun inconvénient, et permet de restituer au sol toutes les matières solubles qui se perdent ordinairement dans les routoirs. Ce procédé consiste à placer le lin dans des cuves remplies d'eau chauffée à 32° environ. La fermentation se développe rapidement et le rouissage est terminé en soixante ou quatre-vingt-dix heures. Dans le grand établissement de MM. Bernard et Koch, les cuves sont en bois, de forme elliptique; le grand diamètre a $4^m,27$, le petit $3^m,05$. La profondeur des cuves est de $1^m,12$. Elles sont garnies d'un double fond percé de trous, dans lequel se trouve un serpentin où l'on fait passer de la vapeur pour échauffer l'eau. Le lin est placé verticalement dans les cuves et maintenu par un disque en planches. On remplit l'appareil d'eau, on fait arriver la vapeur dans le serpentin, et quand la masse est suffisamment échauffée on l'abandonne à elle-même; la fermentation suffit pour entretenir la température nécessaire. Quand la fermentation est terminée, on fait sécher le lin comme de coutume. L'eau des cuves est employée comme engrais; elles rendent au sol la presque totalité des principes fertilisants enlevés par le lin, et permettent ainsi de ramener souvent cette plante sur la même terre sans l'épuiser.

II. PLANTES OLÉIFÈRES

La graine de lin peut servir à la préparation d'une huile fort utile pour les arts. Cependant, c'est comme plante textile que le lin rend le plus de services; aussi l'avons-nous placé dans la division précédente. On cultive en France pour la fabrication des huiles un assez grand nombre de plantes, parmi lesquelles nous citerons seulement les suivantes, qui sont les plus répandues. Toutes ces plantes, épuisant le sol, exigent des engrais abondants et doivent être associées dans la culture aux plantes qui concourent à enrichir le sol de terreau. Leur place dans la rotation doit être la même que celle des céréales, c'est-à-dire entre une récolte sarclée et une plante fourragère.

Colza. Le colza (fig. 165) vient bien dans presque tous les terrains qui ne sont pas trop inconsistants. On le sème à l'automne ou au printemps, sur le terrain soigneusement préparé, ou bien on le transplante. Cette dernière méthode est la plus fréquemment employée. On choisit un moment où le terrain de la pépinière est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

humide, pour que l'arrachage ait lieu sans difficulté. La plantation se fait à la charrue; on dépose les pieds



Fig. 165.

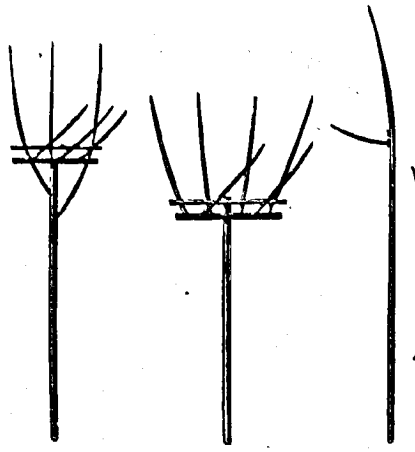


Fig. 166.



Fig. 167.

de colza contre la raie, à 0m,25 environ les uns des autres; la charrue les enfouit en formant le sillon suivant. Il ne faut point enterrer le collet, ce qui exige assez de soin. Quelquefois on replante par simples boutures.

Le colza exige une forte fumure et des engrais riches en azote. Le guano, l'engrais flamand, lui conviennent parfaitement. Dans de bonnes conditions, on obtient 40 hectolitres de graine par hectare, pesant 68 kil. chacun environ, et fournissant à peu près 0,3 de leur poids d'huile.

On se sert, en général, pour charger le colza sur les charrettes sans l'égrener, d'une grande fourche à dents, en bois léger (fig. 166), qui pourrait également convenir pour d'autres récoltes.

Cameline. Cette plante (fig. 167) peut prospérer dans les terrains légers et sablonneux. Elle est très épuisante; on la sème en mai ou juin. On éclaircit le plant de manière que les pieds soient écartés de 0m,16 environ, et on sarcle pour détruire les mauvaises herbes. La cameline produit, par hectare, de 12 à 20 hectolitres de graine, du poids de 70 kil. chacun. Elle est moins délicate que le colza et moins sujette à manquer complétement; mais son produit est bien moins considérable.

Pavot. La culture du pavot n'a d'importance en France qu'en Lorraine et dans l'Artois; elle exige des soins et une adresse tels, que l'on intéresse toujours l'ouvrier au succès par une part dans la récolte. Le pavot fournit, en moyenne, par hectare, 20 hectolitres de graine, du poids de 35 à 60 kil. Cette graine renferme plus de 40 p. 100 d'huile; mais on n'en extrait en pratique que 30 p. 100.

On cultive encore comme plantes oléifères la moutarde, le madia, le sésame, l'arachide, etc.; mais elles sont peu répandues en France et ne méritent pas une mention spéciale.

III. PLANTES TINCTORIALES.

La *garance* (fig. 168) est la plus importante de nos plantes tinctoriales. Elle exige un climat chaud et ne réussit en France que dans les départements méridionaux (voyez GARANCE).

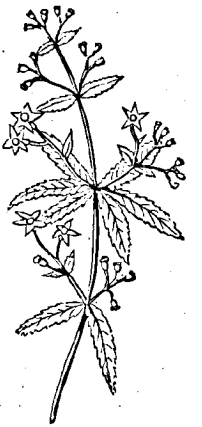


Fig. 168.



Fig. 169.

Le pastel (fig. 169) peut être employé comme fourrage vert ou pour obtenir l'indigo, dont il renferme une faible quantité. Son importance, sous ce rapport, diminue tous les jours, avec l'accroissement des rela-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tions commerciales. On livre le pastel au commerce sous forme de feuilles desséchées ou de *coques* (voyez INDIGO).

La *persicaire*, la *gaude*, le *tournesol*, sont encore cultivés pour les matières colorantes qu'elles fournissent; mais ces cultures sont tellement restreintes qu'elles ne méritent pas d'arrêter l'attention.

IV. PLANTES INDUSTRIELLES DESTINÉES A DIVERS USAGES.

Dans cette dernière section se rangent le tabac, le houblon, le chardon à foulon, le safran, etc.; mais nous sortirions de notre cadre en nous en occupant d'une manière spéciale. La plupart de ces plantes ou de leurs produits font l'objet d'ailleurs d'articles particuliers du *Dictionnaire*.

Sixième section. — Assolements.

En traitant des cultures en particulier, on a indiqué autant que possible la place que chacune d'elles doit occuper dans la succession des récoltes. D'un autre côté, les notions générales contenues dans le second chapitre et les nombreuses analyses de plantes qui se trouvent soit dans l'article ENGRAIS, soit dans celui-ci, fournissent les éléments principaux de la théorie des assolements. Il serait trop long de la résumer maintenant et d'approfondir les problèmes délicats et encore obscurs qu'elle soulève. Nous nous bornerons, par conséquent, à quelques renseignement pratiques sur ce sujet.

Dans certaines circonstances exceptionnelles où l'on peut se procurer économiquement des fumiers et où la main-d'œuvre est très offerte, il importe assez peu de varier les produits d'une année à l'autre. Les fumiers, les amendements et les nombreuses façons que l'on peut donner au sol le remettent constamment en état de produire. Le cultivateur ne se préoccupe alors que de la valeur vénale des récoltes. Mais ces circonstances ne se présentent qu'accidentellement, et la culture devient alors une véritable opération de jardinage. Dans les circonstances ordinaires il faut éviter d'épuiser le sol, et, pour cela, varier les cultures de telle sorte que chaque récolte rende à la terre ce que la précédente lui a enlevé. A un point de vue purement abstrait, l'art des assolements consisterait à faire succéder les plantes les unes aux autres, de manière à produire la plus grande quantité de matière organique, dans le temps le plus court, et avec le moins de fumier possible. Mais, au point de vue pratique et économique, il faut ajouter à cette condition abstraite celle de la valeur de cette matière organique, de telle sorte que le produit obtenu soit le plus considérable possible; ce qui introduit alors, dans le choix des assolements, toutes les considérations de climat, de population, de mœurs locales, etc., etc., qui font, en réalité, des problèmes agricoles les questions les plus complexes et en même temps les plus importantes et les plus attrayantes de toutes celles que peuvent se poser les esprits actifs et exercés aux combinaisons commerciales, industrielles et économiques.

L'ancien système d'assolement triennal, qui tend chaque jour à disparaître, mais que l'on rencontre encore quelquefois, il faut l'avouer à la honte de notre agriculture, consiste en une année de jachère morte, pendant laquelle on laboure et on fume, suivie de deux années de céréales. Le tiers de la terre reste ainsi chaque année complétement improductif. Depuis longtemps déjà, et surtout depuis l'introduction des prairies artificielles, on a reconnu qu'il était possible d'utiliser cette année de chômage du sol et d'obtenir de la terre, sans l'épuiser, une récolte permettant d'accroître le nombre des bestiaux, et revenant ensuite à la terre en éléments de fertilité nouvelle. Mais l'inconvénient de ramener aussi souvent les mêmes plantes sur le même sol, la nécessité de varier les produits, les avantages des récoltes sarclées, ont rendu nécessaire le perfectionnement de l'assolement triennal avec plantes fourragères, et ont conduit à des périodes plus longues, et à des assolements plus complexes qui se perfectionnent de jour en jour davantage.

AGRICULTURE.

Les terres d'une exploitation rurale sont généralement partagées en deux parties inégales, l'une consacrée aux pâturages permanents, l'autre aux cultures annuelles. Cette dernière portion se divise elle-même en autant de parties égales qu'il y a d'années dans la période de l'assolement. Chaque *sole* enfin, dans certains cas, peut être consacrée à plus d'une espèce de plante, et se partage alors en autant de lots qu'elle est destinée à recevoir de cultures différentes la même année.

Dans l'assolement triennal ancien, par exemple, la terre arable serait partagée par tiers successivement occupé, chaque année, par la jachère, le blé et l'avoine, comme l'indique le tableau ci-dessous :

ANNÉES.	NATURE DES CULTURES.		
Première.. .	Jachère.	Blé.	Avoine.
Deuxième. .	Blé.	Avoine.	Jachère.
Troisième. .	Avoine.	Jachère.	Blé

De même dans un assolement quadriennal, une terre arable pourrait être partagée en quatre soles égales, savoir :

ANNÉES.	NATURE DES CULTURES.			
1re	Cult. sarcl.	Avoine.	Trèfle.	Blé.
2e	Avoine.	Trèfle.	Blé.	Cult. sarcl.
3e	Trèfle.	Blé.	Cult. sarcl.	Avoine.
4e	Blé.	Cult. sarcl.	Avoine.	Trèfle.

Chacune de ces soles pourrait elle-même se partager en plusieurs lots consacrés à diverses cultures; ainsi, par exemple, les céréales seraient en partie remplacées par le lin, ou autre culture analogue; les cultures sarclées pourraient comprendre, sur un certain espace, des betteraves, sur un autre du colza, et ainsi de suite.

Ces préliminaires établis, il suffira de donner quelques exemples d'assolements suivis dans diverses parties de la France; il sera facile de les appliquer aux terres auxquelles ils conviennent, en tenant compte de ce qui a été dit sur les terrains les plus appropriés à chaque espèce de plante.

L'assolement de deux ans ne convient que dans quelques rares circonstances ou avec des méthodes de cultures toutes spéciales; aussi n'en dirons-nous rien ici.

L'assolement de trois ans est également trop court; cependant il est fréquemment employé. Ainsi dans les contrées où le navet forme un des éléments essentiels

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la nourriture des bestiaux, on adopte souvent l'assolement suivant : première année, navets fumés et paturés; deuxième année, orge; troisième année, blé. Ou bien encore, pommes de terre fumées, orge ou seigle, trèfle ou lupuline. Dans les terres plus fortes, on peut prendre : première année, fèves fumées et binées; deuxième, blé ou avoine; troisième, trèfle. Pour éviter le retour trop fréquent du trèfle, on peut lui substituer le sarrasin, comme fourrage, ou les vesces. Dans le Midi, l'assolement triennal s'enrichit des plantes propres à ce climat; ainsi on y observe les différents assolements suivants :

Années	1.	2.	3.	4.
1re	Maïs	Pommes de terre	Fèves	Betteraves
2e	Rég. pâturée	Trèfle	Blé	Froment
3e	Céréale	Seigle	Maïs	Maïs fourragé

L'assolement de quatre ans est déjà de beaucoup préférable au précédent. Il est assez répandu et a été l'objet de beaucoup d'expériences.

Mathieu de Dombasle, pour le centre et le nord, et dans les terres plutôt légères que fortes, recommande l'une des rotations suivantes; la première s'appliquant surtout aux bonnes terres, la seconde aux terrains moyens :

	1.	2.
1re année,	betteraves fumées.	Pommes de terre, betteraves ou choux.
2e —	colza d'hiver, repiqué avec trèfle.	Orge ou avoine.
3e année,	trèfle.	Trèfle.
4e —	blé.	Blé ou colza.

Dans les terres plus fortes que celles auxquelles s'appliquent les deux assolements que l'on vient d'indiquer, on adopterait l'une des rotations ci-dessous :

Années			
1re	Fèves.	Gesses coupées en vert.	Carottes ou tabac.
2e	Blé, puis trèfle.	Avoine et trèfle.	Froment.
3e	Trèfle.	Trèfle.	Colza.
4e	Blé, colza ou avoine.	Blé.	Avoine.

Le trèfle, comme on le voit, figure presque toujours dans cet assolement. Dans le Midi, son succès incertain rend plus douteux les avantages de l'assolement de quatre ans. Mais dans les terrains fertiles et arrosés de ce climat, on peut obtenir jusqu'à sept récoltes différentes, dont trois de froment en quatre ans.

L'assolement de cinq ans convient parfaitement quand les fumiers sont abondants, et dans quelques autres circonstances résultant de la valeur industrielle de certains produits. En Alsace, l'assolement ordinaire est : première année, pommes de terre ou betteraves fumées; deuxième année, froment; troisième année, trèfle; quatrième année, froment et navets dérobés; cinquième année, avoine.

Sur les vieilles prairies on peut adopter, suivant les cas : première année, pommes de terre sans engrais; deuxième, navets; troisième, orge; quatrième, pommes de terre fumées; cinquième, orge et graine de pré. Ou bien, sur un sol très riche : première année lin; deuxième, colza; troisième, blé; quatrième, trèfle; cinquième, blé.

A Hohenheim, l'assolement de six ans se compose : première année, pommes de terre; deuxième, froment; troisième, trèfle; quatrième, froment et navets dérobés; cinquième, pois fumés; sixième, seigle. L'assolement suivi pour l'amélioration des terres de la Champine comprend les six récoltes suivantes : pommes de terre fumées, avoine et trèfle, trèfle, seigle et spergule, navets, seigle.

Les assolements de sept ou de huit ans ne sont, en général, que la réunion de deux assolements de trois et de quatre ans, dans lesquels on varie quelques-unes des cultures. Quelquefois, cependant, l'assolement de sept ans a un caractère bien spécial. En voici quelques exemples :

Première année, vesces d'automne ou de printemps; deuxième, pommes de terre fumées; troisième, avoine et trèfle; quatrième, trèfle; cinquième, froment; sixième, racines fumées; septième, céréales.

Première année, pommes de terre fumées; deuxième, avoine; troisième, trèfle, quatrième, froment ou seigle et sainfoin; cinquième, sixième et septième années, sainfoin.

Première année, sarrasin et genêt; deuxième, troisième et quatrième, genêt; cinquième, avoine; sixième, seigle fumé; septième, pommes de terre. Ce dernier assolement est souvent suivi dans les plus pauvres terrains de la Sologne.

Les exemples précédents suffiront pour montrer combien on peut varier les assolements, et en même temps l'influence qu'un choix judicieux peut exercer sur la prospérité d'une exploitation.

CHAPITRE VII.

ANIMAUX DOMESTIQUES.

L'éducation et l'entretien des animaux domestiques forment une branche toute spéciale de l'industrie agricole. La physiologie animale et l'art vétérinaire qui constituent les connaissances spéciales indispensables à l'étude complète de la zootechnie, ne peuvent être convenablement présentés que dans les traités exclusivement consacrés à ces sciences. L'article NUTRITION DES ANIMAUX renferme tout ce qu'il est utile de connaître au point de vue de l'industrie de l'élevage, une des plus grandes industries dans tous les pays. On trouvera aussi au mot CROISEMENT, l'exposé des principes qui doivent présider à l'amélioration des diverses races d'animaux domestiques. Nous nous bornerons ici, pour atteindre le but principal de ce travail, à donner les éléments nécessaires au calcul de l'influence du bétail dans les opérations agricoles, c'est-à-dire les chiffres relatifs à sa consommation, d'une part, et à ses produits de toute nature, d'autre part.

I. RACE BOVINE.

Au point de vue de son utilité et de l'importance des produits qu'elle fournit à l'homme, la race bovine se place en tête des animaux domestiques.

Il existe, comme on sait, un très grand nombre de races de bestiaux. Le choix que l'on doit faire de chacune d'elle dépend et du but que l'on se propose d'atteindre et du pays où l'on se trouve. Parmi les races les plus répandues et les plus caractéristiques de nos exploitations agricoles, on peut citer :

Parmi les races laitières et d'engrais, celles de Normandie, de Flandre, de Bretagne et du Jura;

Parmi les races de travail, celles du Charolais, du Morvan, du Limousin, de Cholet, de Gascogne, de la Camargue et de la Franche-Comté;

La race d'Auvergne, également propre au travail et à l'engrais;

La race Durham, éminemment propre à la boucherie, et qui fournit, par son croisement avec plusieurs de nos espèces, et notamment avec les Charolais, de si excellents résultats.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

Dans les circonstances normales, le poids moyen d'un animal ne varie pas d'une manière sensible. Les déjections, les sécrétions et les produits des organes respiratoires ont un poids précisément égal à celui des aliments ingérés. Dans ces circonstances, l'animal consomme précisément ce que l'on peut appeler sa ration d'entretien ; mais cette ration elle-même varie, toutes choses égales d'ailleurs, selon que l'animal dépense plus ou moins de force. On peut donc, par la pensée, la décomposer en deux portions, l'une strictement nécessaire au soutien de la vie, sans autres mouvements que ceux indispensables à l'entretien de la santé, et l'autre qui sert à la production du travail. Pendant la croissance des jeunes animaux, ou l'engraissement, les choses ne se passent plus ainsi, les organes de l'animal fixent une plus ou moins forte proportion des éléments de sa nourriture, et son poids s'accroît chaque jour de la différence des produits consommés à la somme totale des produits excrétés. Dans ce cas encore, la ration de chaque jour peut, par la pensée, se décomposer comme tout à l'heure, en deux portions, dont la dernière seulement concourt à l'engraissement. Une conséquence des plus importantes découle de cette remarque bien simple, c'est l'économie qu'il y a toujours à nourrir, aussi fortement que leur constitution le permet, les animaux de travail ou d'engrais, puisque la ration d'entretien, partie en quelque sorte improductive, forme une fraction de la dépense totale, d'autant plus forte que la consommation totale est moins considérable.

La nourriture des herbivores renferme quatre principes essentiels dont la réunion, en quantité convenable, doit constituer l'aliment normal ; ce sont une matière azotée, une matière huileuse, ou se rapprochant de la matière des corps gras, une matière à composition ternaire, des sels, et particulièrement des phosphates de chaux, de magnésie et de fer.

La matière azotée, fibrine, albumine végétale, ou gluten, est probablement l'origine de la viande. Par suite de considérations un peu longues à développer, les chimistes ont été conduits à admettre que la faculté nutritive des végétaux est proportionnelle à la quantité d'azote qui entre dans leur composition. Cette loi, qui n'est admissible, bien entendu, que sous la réserve des autres conditions physiques et chimiques que doit présenter une substance alimentaire, fournit un moyen simple de contrôler et de diriger des expériences directes sur la comparaison de la puissance nutritive de différents aliments. Ces expériences sont, du reste, très délicates à exécuter dans la pratique, et jusqu'à preuve contraire, on peut admettre, pour l'équivalent de la puissance nutritive, le chiffre déduit du dosage de l'azote qu'il renferme. Le tableau ci-dessus, extrait de celui dressé par M. Boussingault, donne les équivalents des principaux aliments du bétail déduits de leur teneur en azote.

Les tourteaux de différentes graines étudiés dans ces derniers temps, par MM. Soubeiran et Girardin, ont fourni les résultats analytiques suivants :

Tourteaux de :	Eau p. 100.	Huile p. 100.	Azote p. 100.	Phosph. p. 100.
Cameline. . .	14,5	12,2	5,57	4,20
Faine	14,0	4,0	4,50	2,10
Chanvre. . . .	13,8	6,3	6,20	7,10
Colza. . . .	13,2	14,1	5,55	6,50
Arachide . .	12,0	12,0	6,07	1,20
Lin	11,0	12,0	6,00	4,90
Œillette. . . .	11,0	14,2	7,00	6,30
Sésame. . . .	11,0	13,0	5,57	3,20

On déduit facilement de ces nombres que, pour obtenir l'équivalent d'une ration de foin de 12 kil. contenant 138 gr. d'azote, il faut employer :

	kil.
Tourteaux d'œillette.	1,970
— de chanvre.	2,225
— de lin.	2,300
— de colza.	2,486
— de sésame.	2,477
— de cameline.	2,477
— d'arachide.	2,673
— de faine.	3,066

DÉSIGNATION DES CULTURES.	EAU normale dans 100 parties.	AZOTE dans 100 parties de substances sèches.	AZOTE dans 100 parties de substances non desséchées.	ÉQUIVALENT théorique.
Foin ordinaire des prairies naturelles.	11,0	1,34	1,15	100
— — de très bonne qualité.	14,0	1,50	1,30	98
Foin de luzerne.	16,6	1,66	1,38	83
Trèfle rouge de 2e année, coupé en fleur, fané. . .	10,1	1,70	1,54	75
— — vert. . .	76,0	»	0,64	311
Paille de froment nouvelle (Alsace).	26,0	0,36	0,27	426
— ancienne des magasins militaires de Paris.	8,5	0,53	0,49	235
Paille de seigle des environs de Paris.	12,6	0,50	0,42	250
— d'avoine —	21,0	0,36	0,30	383
— d'orge —	11,0	0,30	0,25	460
— de pois —	8,5	1,95	1,79	64
Vesces fauchées en fleur et fanées.	11,0	1,16	1,14	101
Navets.	92,5	1,70	0,13	885
Betteraves champêtres.	87,8	1,70	0,21	548
Carottes.	87,6	2,40	0,30	382
Pommes de terre	75,9	1,50	0,36	319
Vesces en grain.	14,6	5,13	4,37	26
Féveroles.	7,9	5,50	5,11	23
Sarrasin.	12,5	2,40	2,10	55
Orge.	13,2	2,02	1,76	65
Avoine.	20,8	2,20	1,74	68
Son de Paris.	13,8	2,77	2,30	50

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les observations précédentes s'appliquent à l'alimentation de tous les animaux domestiques. Arrivons aux faits qui se rattachent d'une manière plus spéciale à celle de la race bovine.

On nourrit le bétail, soit entièrement au pâturage, soit entièrement à l'étable, soit, enfin, en combinant ces deux méthodes.

La constitution des bêtes à cornes, et la manière dont elles saisissent leur nourriture, ne leur permet pas de se contenter de pâturages aussi pauvres que ceux qui peuvent suffire aux moutons et même aux chevaux. Elles ont besoin d'herbe touffue et d'une certaine longueur. Les meilleurs pâturages sont indispensables aux bêtes à l'engrais. Les vaches laitières n'en exigent pas d'aussi riches; mais l'herbe doit être fine et formée de bonnes plantes. Les pâturages composés de plantes aigres sont surtout funestes aux vaches laitières et aux très jeunes animaux; il ne faut y mettre que les bœufs de travail.

Le nombre d'animaux à placer sur un pâturage doit être soigneusement examiné. Trop nombreux, ils se gênent les uns les autres, et ne trouvent pas une alimentation suffisante. Trop peu nombreux, ils se promènent en tout sens, fatiguent l'herbe, ne prennent que celle qui leur plaît le plus, et n'utilisent que fort imparfaitement le sol où ils se trouvent. Dans les pays où le pâturage est bien organisé, les herbages sont partagés par des haies, ou autrement, en enclos plus ou moins étendus, dans lesquels on ramène les bestiaux quand l'herbe a eu le temps d'atteindre, depuis la dernière pâture, une hauteur de $0^m,12$ à $0^m,18$.

La surface de pâturage nécessaire à la nourriture d'une bête à corne est excessivement variable. En général, on admet qu'il faut renoncer à entretenir autre chose que des moutons sur une pâture où une vache du poids de 350 kilog. exige plus de 1hect.,50 de terrain, et qu'il faut consacrer aux bêtes à engraisser un terrain tel que la vache dont on vient de parler n'ait besoin, pour son entretien, que de 0hect.,30.

La nourriture à l'étable se compose de fourrage vert ou sec, de racines fourragères, etc. Elle est généralement beaucoup plus économique que la nourriture au pâturage, et permet, en outre, de recueillir les fumiers qui se dispersent sur le sol, et sont en partie perdus dans l'autre méthode d'alimentation.

La ration journalière des animaux, en foin, peut s'évaluer, pour les entretenir seulement, à 1/60 de leur poids vivant, ce qui fait environ, par an, six fois leur poids de foin.

Produits du bétail. — Travail. On peut atteler les bœufs, les vaches et les taureaux eux-mêmes avec quelques précautions. Les bœufs travaillent bien depuis leur quatrième année jusqu'à l'âge de neuf ou dix ans. On estime qu'une paire de bœufs fait les 3/4 ou les 4/5 du travail d'une paire de chevaux dans les mêmes conditions d'âge et d'énergie. Le bœuf parcourt de $0^m,80$ à 1 mètre par seconde, selon sa taille. Il convient surtout dans les pays montagneux, et pour les travaux qui exigent surtout un effort continu et régulier. Les moyens à employer pour conduire des bœufs sont très différents de ceux qui conviennent aux chevaux. Quand on veut introduire dans un pays l'usage de faire travailler les bœufs, il faut y amener un bouvier de profession; car un charretier arriverait difficilement à posséder la patience et l'habitude que nécessite l'emploi du bœuf, qui obéit surtout à la voix de son conducteur. La ration de travail ou d'entretien du bœuf se calcule à peu près en fonction de son poids comme pour le cheval.

On a beaucoup agité la question de savoir s'il est avantageux de faire travailler les vaches laitières. Il est certain que le travail fait diminuer la production de lait; mais il peut arriver que la perte éprouvée de ce côté soit compensée par le travail obtenu, cela dépend du prix et de la quantité relative de ces deux valeurs. Il a été fait peu d'expériences positives à cet égard; voici l'une des plus nettes : huit vaches semblables, et nourries de la même manière, furent partagées en deux lots; les quatre premières, travaillant une demi-journée par vingt-quatre heures, produisirent chacune, en moyenne, 646 litres de lait, et perdirent 6 kilog. de leur poids. Les quatre autres, restées à l'étable, donnèrent, dans le même temps, 658 litres de lait, et gagnèrent 48 kilog. en poids. Il est vrai que ce lait était moins butireux que celui des vaches de travail. On peut calculer ce qu'avait coûté le travail obtenu en fixant le prix du lait et celui de la viande vive.

Production du lait. La laiterie forme souvent un des éléments principaux d'une opération agricole. Le choix des vaches destinées spécialement à la production du lait est donc on ne peut plus important. Jusque dans ces derniers temps, on n'avait, pour reconnaître à l'avance une vache laitière, aucun moyen positif; mais les judicieuses observations de M. Guénon l'ont conduit à reconnaître d'une manière certaine si une vache est bonne laitière, et même à estimer, jusqu'à un certain point, la quantité de lait qu'elle peut fournir. Il faudrait de nombreuses figures et beaucoup d'espace pour indiquer les principes posés par M. Guénon; d'ailleurs, son ouvrage vient d'être publié, et l'on doit, pour le moment, laisser à l'auteur de cette remarquable et utile découverte le soin de l'exposer lui-même d'une manière complète.

La quantité de lait fournie par une vache est extrêmement variable; elle dépend de sa nature, de son âge, de l'époque de l'année, etc., etc. Les observations de différents agronomes sont tellement dissemblables que l'on se demande si elles ont été faites d'une manière comparable. Cette quantité est évaluée à 1,700 lit. par an, par M. Perrault de Jotemps, dans l'Ain, pour une vache pesant 400 kilog. et consommant $12^k,5$, de foin par jour; à 915 lit. par M. d'Angeville, dans le même département, pour une vache pesant 275 kilog., et consommant $6^k,3$ de foin; à 1,416 lit., en moyenne, par Mathieu de Dombasle, dans la Meurthe, pour des vaches consommant 10 kilog. de foin. On cite souvent des rendements de lait vraiment prodigieux; ainsi, M. de Crud rapporte que des vaches ont donné jusqu'à 40 lit. de lait par jour; Thaër va même plus loin encore. En Normandie, j'ai souvent entendu citer des faits semblables; mais je n'ai jamais pu en observer; s'ils sont vrais, ils sont tout à fait anormaux; un produit de 30 lit. paraît déjà un chiffre extrêmement élevé.

A Béchelbronn, M. Boussingault a jaugé très exactement, pendant un an, le lait de sept vaches laitières; elles recevaient, chaque jour, l'équivalent de 15 kilog. de foin, et ce fourrage, quand elles n'étaient pas au vert, entrait pour une forte proportion dans la ration. Les vaches soumises à l'expérience pesaient respectivement 760, 659, 811, 715, 600, 700, 612 kilog.; elles ont produit, dans l'année, 2,938, 3,142, 2,235, 2,235, 2,056, 1,596, 3,372 lit., ce qui fait 2,541 lit., en moyenne, par an et par vache, ou $6^{lit.},8$ par jour, en moyenne, ou bien enfin, $8^{lit.},3$ par jour de rendement, dont le nombre a été, en moyenne, de 302,5 pour chaque vache. Les observations ainsi faites peuvent être influencées par différentes circonstances; il vaudrait mieux mesurer le lait produit d'un part à l'autre.

La plus ou moins grande abondance de lait semble dépendre surtout de la quantité réelle d'aliments consommés; mais la qualité du produit dépend de la nature de ces aliments, et leur choix influe beaucoup sur la finesse du beurre ou des fromages, et par suite sur la valeur vénale de ses produits.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut de 25 à 35 lit. de lait pour fabriquer un kil. de beurre, et 6 à 8 lit. pour faire 1 kilog. de fromage de Camemberg (voyez BARATTE).

Production de la viande. — *Engraissement.* On engraisse le bétail à l'étable ou au pâturage. Ce dernier procédé ne s'applique sur une grande échelle qu'en Normandie. Les bêtes du pays, de sept à dix ans, sont achetées par les herbagers aux foires d'automne, et passent l'hiver au pâturage. On ne les rentre que pendant les neiges prolongées. Pendant les grands froids, on leur donne un peu de foin dans l'herbage. Aux foires du printemps, on achète surtout des bêtes de l'Anjou, du Poitou, et on les met à l'herbe pendant l'été, en commençant par les placer dans les moins bons herbages, et en terminant par les meilleurs. Les bœufs et les vaches sont séparés; on met un taureau avec ces dernières pour couvrir celles qui deviendraient en chaleur. Les animaux mis au pâturage en mai sont généralement engraissés quatre ou cinq mois après. On engraisse, dans les fonds de première qualité, en Normandie, un gros bœuf sur une étendue de 24 à 25 ares; un bœuf moyen, sur les fonds de seconde qualité, sur une étendue de 40 ares, et enfin, un petit bœuf, sur 30 ares de troisième qualité.

Tous les animaux ne sont pas également propres à l'engrais. La quantité de nourriture nécessaire pour amener à point un individu dépend de son espèce, de son âge et de son tempérament particulier. Certaines races sont particulièrement propres à la boucherie. Les durham, par exemple, dont la fig. 170 représente un

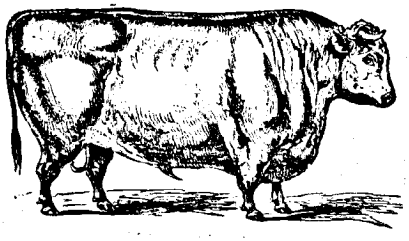


Fig. 170.

des plus beaux types, avec leurs jambes courtes, leur corps arrondi, leur poitrine vaste, leur dos large et plat, semblent destinés seulement à la production de la viande. Bien que ces animaux puissent aussi travailler, et que les vaches soient souvent de bonnes laitières, c'est surtout pour l'engraissement qu'ils présentent le plus d'avantages, en raison de leur précocité et de la bonne qualité de leur viande.

Les bêtes engraissées à l'étable doivent être nourries avec beaucoup de régularité, entretenues avec propreté, et préservées de toute cause de trouble ou d'inquiétude. L'âge le plus convenable à l'engraissement varie de quatre à huit ans, selon les espèces et les individus.

Un bœuf de 340 kilog., consommant par jour 18 à 20 kilog. de foin, peut gagner en poids 0k,900 environ. La ration en foin, ou son équivalent d'autre matière, est calculée, en moyenne, à raison de 4 à 5k,5 p. 100 du poids vif de l'animal. L'engraissement augmente avec la nourriture consommée; mais, passé une certaine limite, l'accroissement du poids est une trop petite fraction de celui de la nourriture pour qu'il y ait avantage à continuer.

L'accroissement de poids vif, par jour, est de :

0k,93,	soit pour	100 kil.	de foin consommé	5k,03[1]
0k,94	—	100	—	4k,25[2]
0k,94	—	100	—	4k,20[3]
8k,89	—	100	—	5k,70[4]
0k,95	—	100	—	7k,70[5]

[1] Suivant Thaër. — [2] Law. — [3] Stéphenson, premier lot — [4] Stéphenson, deuxième lot. — [5] Dubois.

On peut citer des accroissements journaliers beaucoup plus considérables, et s'élevant, pour des durham, à plus de 1,100 gr. par jour; mais les auteurs qui rapportent ces exemples ont exprimé la nourriture en volume et non en poids, ce qui rend impossible tout calcul précis.

Le rendement, en chair nette et autres produits d'un animal vivant, est un des éléments principaux du commerce de la boucherie dans ses rapports avec l'agriculture. Nous devons citer les chiffres les plus généralement admis à ce sujet.

D'après Thaër, 100 kilog. de poids vivant donnent 53k,5 de chair nette, pour un bœuf qui n'est pas tout à fait maigre; 55 kilog. pour un bœuf un peu gras, et 64 kilog. pour un bœuf gras. Stephenson admet, en moyenne, que 100 kilog. de poids vif fournissent :

Chair nette.	57,7
Suif.	8,0
Peau.	3,5
Entrailles et dépouilles. . . .	28,0

Ces chiffres se rapprochent assez de la moyenne; mais souvent on obtient des résultats plus avantageux. Sinclair cite un beau bœuf de Devonshire pesant, en vie, 704 kilog., qui a fourni :

Viande de boucherie.	70,0
Cuir.	5,5
Suif.	9,2
Entrailles et sang.	10,5
Tête et langue.	2,4
Pieds.	1,4
Cœur, foie et poumons.	1,3

Ce n'est pas seulement le rapport de la viande nette au poids vif qui varie beaucoup d'un animal à l'autre; le rapport de la viande de choix aux bas morceaux n'est pas moins variable, et c'est en cela surtout que se manifeste plus encore peut-être l'influence des races. Ainsi, deux bœufs à peu près de même force, le premier, normand, saintongeais ou charollais, et le deuxième, durham, fourniraient pour 100 kilog. de viande nette :

	Premier.	Deuxième.
En première qualité.	31,07	65,11
En deuxième qualité.	26,25	10,17
En troisième qualité.	42,66	24,70

II. RACE CHEVALINE.

Jusqu'au moment de l'invention des locomotives, le cheval avait été à peu près le seul moteur employé pour les transports. On sait le rôle qu'il remplissait dans les guerres du moyen âge. La France possède aujourd'hui environ 3,000,000 de chevaux, qui se renouvellent chaque année dans la proporton de 1/8 à 1/10 de ce nombre. La production du pays ne suffit pas à sa consommation; les contrées limitrophes en importent chaque année un nombre considérable.

L'espèce chevaline offre plusieurs variétés et sous-variétés qui changent avec le climat et le but spécial auquel on les destine.

On distingue principalement les races de trait et les races de selle. Dans cette dernière classe viennent se ranger en première ligne les chevaux arabes, si re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

marquables par l'élégance de leurs formes et leurs excellentes qualités; puis les chevaux limousins, navarins, de la Camargue, etc., ainsi que le cheval de course anglais (fig. 471), auquel on attache en France,

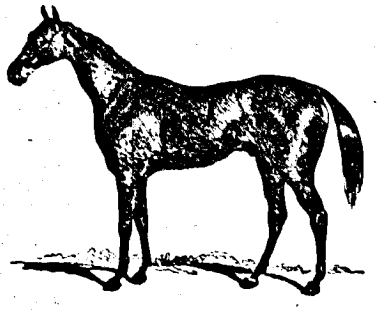


Fig. 471. Voltigeur (courses de Derby, 1850).

depuis un certain nombre d'années surtout, une valeur que ne semblent pas justifier, à beaucoup près, ses propriétés spéciales et ses qualités si exclusives. Parmi les races de trait on remarque particulièrement les chevaux boulonnais, poitevins, comtois, normands, et enfin le cheval percheron, si particulièrement approprié au service des voitures de poste et de messageries.

L'influence du croisement des races de chevaux sur leurs qualités, et les soins à donner aux élèves, ont été l'objet de sérieuses études. On a fait, en revanche, sur la nourriture du cheval et son entretien beaucoup moins d'expériences que sur celle du bétail. On admet qu'un cheval de taille moyenne, et soumis à un travail ordinaire, est convenablement nourri avec 3k,75 de foin et 4k,21 d'avoine, équivalant à 6k,48 de foin, en tout, 10k,22 de foin. En 1840, les chevaux de la garde municipale recevaient : foin, 5 kilog.; avoine, 3k,60; paille, pour nourriture et litière, 5 kil. Les gros chevaux de charrette consomment à peu près, à Paris, 7 kilog. de foin et 7 à 8 kilog d'avoine, ration équivalente à plus de 19 kilog. de foin.

La ration des chevaux de cavalerie, en France, se compose de :

	Réserve.	Ligne.	Légère.
Foin.	4 kil.	3kil.	3 kil.
Avoine . . .	4,20	4	3
Paille. . . .	5,00	5	5

La proportion d'avoine a été augmentée par suite de la difficulté que l'on éprouvait à faire fournir de bons foins. Du reste, cette ration serait insuffisante pour des chevaux soumis à un travail régulier; elle n'équivaut, en effet, qu'à 10 ou 11 kilog. de foin; et, dans la plupart des exploitations rurales bien dirigées, les chevaux reçoivent une quantité de nourriture équivalente à 15 kilog. de foin environ.

Dans le Midi on remplace souvent l'avoine par du maïs, de l'orge ou du seigle. Les racines cuites ou crues peuvent avantageusement entrer pour un tiers ou un quart dans la ration du cheval. On peut également, dans certains cas, remplacer économiquement une partie du foin ou de l'avoine par de l'ajonc pilé, de la paille hachée, etc. Les chevaux bien soignés mangent ordinairement trois fois par jour : le matin, avant le travail; au milieu de la journée; et le soir, en rentrant à l'écurie.

Il existe certainement une relation entre la ration d'entretien et le poids des chevaux; mais, jusqu'à présent, peu d'agriculteurs se sont occupés de la rechercher. A Béchelbronn, la ration s'élève à 3k,08 de foin par 100 kilog. du poids des animaux, dont le poids moyen est de 486k,5.

D'après M. Payen, un cheval abattu, pesant 401 kil., a donné :

Chair.	230
Os.	50
Sang.	28
Graisse.	35
Issues.	30
Peau	25
Crins.	0,5
Sabots et fers.	2,5
	401

Travail. Il n'existe pas encore assez d'expériences pour permettre de déterminer le travail que peut produire un cheval dans des circonstances déterminées. M. de Gasparin estime qu'il faut ajouter à la ration d'entretien d'un cheval une quantité d'aliments renfermant 0g,084 d'azote par 1,000 kilogrammètres de travail produit. La ration d'entretien d'un cheval, d'après cet auteur, étant calculée de manière à contenir 20 gr. d'azote par 100 kilog. du poids de l'animal, devrait être augmentée de façon à renfermer autant de fois 0g,084 d'azote qu'il produirait 1,000 kilogrammètres. Comme on ne peut pas savoir chaque jour le travail produit, on peut admettre comme une évaluation large que la ration doit contenir, pour un cheval travaillant, 47 gr. d'azote par 100 kilog. du poids de l'animal. Il est bien entendu, d'ailleurs, que cette nourriture est composée des substances habituellement employées à cet usage, et qui, pour cette dose d'azote, renferment plus que le carbone brûlé par la respiration. Il faut, d'ailleurs, que cette nourriture soit assez substantielle pour ne pas gonfler l'animal, et cependant assez volumineuse pour le lester. Ces deux dernières conditions conduisent au mélange de foin et d'avoine généralement usité ou à des rations d'une composition analogue. D'ailleurs, en dehors de ces principes mathématiques en quelque sorte, on ne doit jamais perdre de vue, pour les chevaux comme pour tous les autres animaux, les conditions imposées par leurs goûts et leur organisation propre, qui font souvent rejeter par certaines races les aliments qui conviennent parfaitement à d'autres.

III. RACE ASINE.

On distingue, en France, deux races d'ânes : les gros baudets du Poitou et les grands baudets de Gascogne. Les premiers ont 4 pieds 4 pouces à 4 pieds 9 pouces; ils sont gros, étoffés, généralement noirs, avec le nez blanc. Quelques-uns de ces animaux, très estimés, ont encore, à cinq ou six ans, leur poil de lait mêlé et très abondant, comme on le voit par le dessin (fig. 472) de l'un de ces animaux entretenu à l'institut de Versailles. La seconde espèce est plus haute, plus mince, et moins forte que celle-ci. La plupart des ânes que l'on rencontre dans les villes et dans les petites exploitations se rapprochent bien peu, il faut l'avouer, des deux races que l'on vient d'indiquer; généralement maltraités, mal nourris et accablés de travail, ils ne présentent que des individus abâtardis, et chez lesquels il serait difficile de reconnaître la trace d'une race caractérisée.

L'élève des ânes et des mulets offre une grande importance dans quelques parties de la France, et surtout en Poitou. Il n'est pas rare de voir, dans ce dernier pays, des ânes étalons atteindre une valeur de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

4,000, 5,000 et même 8,000 francs. On conserve, pour la reproduction, les plus beaux individus; les autres

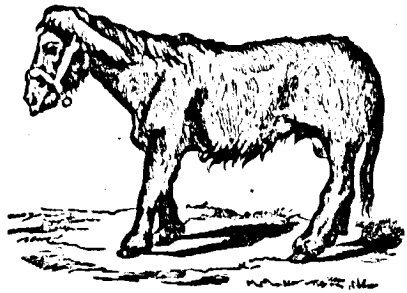


Fig. 172.

sont vendus ou exportés pour servir à différents travaux.

Il n'existe pas d'expériences sur la consommation et le travail de l'âne; mais sa sobriété, sa force, et la qualité de son fumier, le rendraient certainement précieux dans beaucoup de localités trop pauvres et trop arides pour entretenir des chevaux.

IV. RACE OVINE.

La race ovine fournit à l'homme de la chair, de la laine et quelquefois du lait. Elle offre ainsi des produits nombreux et importants; mais elle exige des soins attentifs, et est soumise à un assez grand nombre d'affections qui font éprouver aux propriétaires des pertes considérables, qui ont souvent découragé beaucoup d'agriculteurs.

Guidés par les mêmes principes pour tous les animaux de boucherie, les Anglais ont obtenu une race de moutons (fig. 173) remarquable par son aptitude à

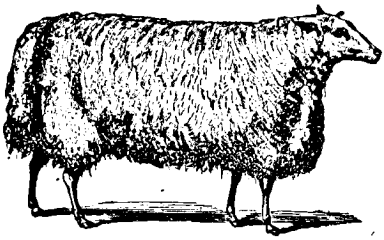


Fig. 173. (Primé à Édimbourg en 1848).

l'engraissement, et par la qualité de la laine de certaines variétés. (Voy. MOUTON.)

Les races ou variétés les plus répandues en France sont désignées par le nom des contrées où on les rencontre principalement; tels sont les moutons du Roussillon, de l'Auvergne, du Poitou, des Ardennes, du Berry, de Sologne, etc. En Angleterre, on estime surtout les south-down, les new-kent et les dishleys. Ces derniers commencent à se multiplier en France, ainsi que les mérinos et divers produits de leurs croisements. (Voy. MOUTON.)

Le pâturage est le régime le plus convenable à la santé

des troupeaux de moutons; mais il doit être dirigé avec beaucoup de soins et d'intelligence. Un bon berger est de toute nécessité pour arriver à avoir un bon troupeau. Un berger et son aide suffisent à un troupeau de trois cents têtes. Le mouton craint surtout l'humidité et le brouillard; on peut lui faire passer la nuit dehors, l'été; mais, en général, il est plus sûr de le rentrer chaque soir; il faut éviter de le laisser le jour à l'ardeur du soleil.

Un mouton de taille moyenne mange, par jour, 4 kilog. d'herbes vertes ou 1 kilog. de foin sec. Cette dernière nourriture ne lui est pas propice. Il est bon de la varier en mettant une quantité de racines équivalente à la demi-ration.

On engraisse les moutons par un pâturage abondant, à l'étable, ou en combinant ces deux méthodes. L'engrais à l'herbage n'exige que deux mois ou deux mois et demi, dans des circonstances favorables. La luzerne, le trèfle et le sainfoin sont les plantes qui engraissent le plus vite; mais les deux premières produisent facilement la météorisation.

L'engraissement à l'étable se fait de différentes manières, suivant les lieux et le prix des denrées : tantôt avec des résidus de sucreries, tantôt avec du grain ou des graines légumineuses concassées. Dans beaucoup de localités, la ration se compose, par jour, de 1 kil. de foin, et de 400 à 500 grammes de tourteaux et d'avoine. On supprime les tourteaux, et on les remplace, pendant les quinze derniers jours de l'engraissement, par du grain, pour éviter le goût désagréable qu'ils donnent à la viande. Les navets conviennent parfaitement à l'engraissement des moutons; ils communiquent à la viande de très bonnes qualités. On peut les faire consommer sur place ou à l'étable, après les avoir fait couper et mêler avec de la paille, du foin haché, ou des balles et un peu de sel, dont l'usage paraît, en général, très avantageux dans l'engraissement du mouton. D'après M. Barral, il faut par jour à un mouton du poids de 25 kil. une dose de sel comprise entre 3 et 9 grammes, et dans les plus ordinaires de 5 grammes, en supposant qu'il n'y ait pas de sel naturellement renfermé dans la ration alimentaire.

La ration journalière des moutons à l'engrais est réglée, en moyenne, à raison de 3 kil. de foin, ou d'une quantité équivalente d'autres matières, pour 100 de poids vivant. L'augmentation de poids, dans de bonnes conditions, varie de 7 à 8 kil. par 100 kil. de foin consommé.

Le fumier produit par les moutons présente une grande importance quand on le recueille convenablement. Le parcage est le moyen le plus économique d'atteindre ce résultat. Il consiste, comme on sait, à renfermer, pendant la nuit, les moutons dans une enceinte facile à déplacer, et établie sur le champ labouré que l'on veut fumer. On regarde la fumure comme très forte quand chaque mouton, occupant un mètre carré de surface, en moyenne, reste deux nuits sur le même champ; elle est déjà forte quand il n'y passe qu'une nuit.

Les moutons abattus donnent de 40 à 50 kil. de viande de boucherie pour 100 kil. de poids vivant.

La quantité de laine produite annuellement par un mouton n'est pas moins variable que sa qualité. Elle dépend à la fois de la nourriture de l'animal, de son espèce et des soins qui lui sont donnés. On estime qu'un mouton produit par an, en moyenne, 1 kil. de laine; mais cette quantité s'élève quelquefois jusqu'à 4 et 5 kil. On trouvera au mot LAINE le mode de lavage et de préparation des toisons. Pour donner une idée des différences qui existent d'une laine à l'autre, nous reproduirons seulement les quelques chiffres suivants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ESPÈCES OU RACES.	DIAMÈTRE d'un brin.	NOMBRE de courbures dans un centimètre.	LONGUEUR moyenne.	OBSERVATIONS.
	mm.		m.	
Mouflon de Corse. { laine.	0,014	12 à 13	0,015	Des écailles très sensibles.
Mouflon de Corse. { poil..	0,180	5	0,027 à 0,030	De très petites écailles.
Rambouillet-mérinos. . .	0,025	8 à 10	0,080	Des écailles nombreuses divisées.
Rambouillet-mauchamps.	0,038	5 à 6	0,073	— —
Mauchamps de Reims. . .	0,026	3 à 4	0,105	Des écailles plus grandes que dans les deux races précédentes.
Newkent-mérinos.	0,030	9 à 10	0,070	De grandes écailles.
Anglo-mérinos.	0,046	9 à 11	0,075	De nombreuses petites écailles.
South-down..	0,036	8 à 10	0,080	De grandes écailles.
Dishley.	0,028	30	0,221	De larges écailles.

V. RACE PORCINE.

Le porc est omnivore; mais la nature de ses aliments influe beaucoup sur les résultats de son engraissement. Il se multiplie très facilement; la truie porte pendant trois mois et quelques jours. On peut avoir deux portées par an. Chaque portée est de huit à neuf petits, mais quelquefois ce nombre s'élève jusqu'à quinze ou seize. Les porcs destinés à l'engrais sont châtrés à six semaines ou à six mois, selon qu'ils doivent être mis à l'engrais vers dix mois, ou seulement à deux ans. Ce dernier âge paraît plus convenable. La durée de l'engraissement varie de douze à vingt semaines, suivant l'aptitude du sujet et le degré d'engraissement que l'on veut atteindre. (Voy. PORCHERIE.)

Certains porcs prennent par l'engraissement un développement énorme. La fig. 174, dessinée d'après un

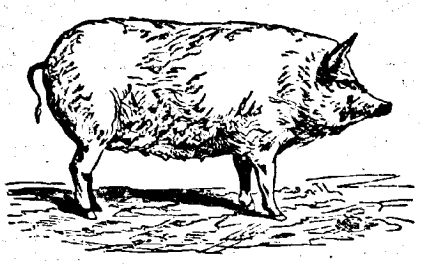


Fig. 174.

individu de race anglaise perfectionnée, offre un exemple remarquable des résultats que l'on peut obtenir en s'appliquant à développer chez les animaux domestiques l'aptitude à l'engraissement.

On mêle aux aliments des porcs les résidus de la laiterie, les eaux grasses et une foule de produits qu'ils transforment en chair, et qui sans eux passeraient directement aux fumiers. L'évaluation de cette partie de leur ration est difficile à obtenir et figure cependant pour une forte part dans leur alimentation, de sorte que les expériences même les mieux faites sur la nourriture du porc présentent une lacune importante. Quoi qu'il en soit, voici les chiffres les plus précis à cet égard.

A Bechelbronn, la nourriture donnée aux truies, au moment où elles viennent de mettre bas, est d'autant plus considérable qu'elles ont une plus forte portée. Pendant les cinq semaines que dure l'allaitement, on donne par jour à une truie ayant cinq petits :

Pommes de terre cuites. . . .	11k,250
Seigle et farine.	1k,225
Lait écrémé et caillé.	6k,005

On diminue ensuite progressivement cette ration, qui équivaut à 8k,23 de foin, de manière à la ramener à 7k,5 de pommes de terre cuites, équivalant à 2k,38 de foin. Les gorets, au moment du sevrage, reçoivent par tête et par jour 0k,67 de pommes de terre cuites, 0k,15 de farine de seigle et 0k,26 de lait écrémé et caillé. On diminue progressivement le lait et la farine en augmentant les pommes de terre, de manière qu'à l'âge de trois mois environ chaque animal reçoit 5 à 6 kil. de pommes de terre délayées dans de l'eau grasse. Cette ration d'entretien est continuée jusqu'au moment de l'engraissement.

Sept porcs de quinze mois pesant ensemble 769 kil., ont consommé à Béchelbronn, en cent quatre jours, 351 kil. de seigle, 474 kil. de pois, 4,320 kil. de pommes de terre, et une quantité d'eaux grasses et de petit lait qui n'a pu être évaluée. Ils pesaient après l'engraissement 955 kil., ce qui fait un accroissement moyen par tête et par jour de 0k,26. A l'abattage, on a obtenu de ces sept animaux :

Sang.	35 kil.
Tête, pieds et issues.	135
Corps.	785
	955

CHAPITRE VIII.

CONSTRUCTIONS RURALES.

Les bâtiments ruraux présentent généralement en France une apparence des moins satisfaisantes. Groupés sans ordre, mal exécutés, plus mal entretenus, ils n'offrent que l'aspect de la misère et de l'abandon. La bonne construction d'une ferme exerce cependant sur son exploitation une influence plus grande qu'on ne serait porté à le croire, et l'on ne saurait assez blâmer l'incurie ou l'ignorance des propriétaires qui n'apportent ni goût, ni soin dans leurs travaux de bâtisse. On peut presque toujours, sans augmenter la dépense, et avec les matériaux dont on dispose, donner à une construction une certaine élégance de forme et un degré de propreté et de convenance dont l'influence se fait constamment sentir sur les habitudes des ouvriers du domaine.

Nous n'avons ici qu'à donner quelques indications sur la disposition générale des bâtiments ruraux, et sur le mode de construction de quelques-unes de leurs parties élémentaires, sans nous arrêter aux procédés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'exécution des différents ouvrages que nos lecteurs connaissent d'avance, ou qu'ils trouveront disséminés dans les nombreux articles du *Dictionnaire* consacrés à l'art des constructions.

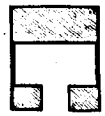
Choix de l'emplacement. Il est rare qu'on ait à établir complétement à nouveau les bâtiments d'une exploitation agricole et par conséquent à choisir leur emplacement. Dans le plus grand nombre des cas, on a seulement à aménager d'anciens bâtiments ou à construire dans un point rendu obligatoire par un motif ou par un autre. Mais quand on est libre de choisir l'emplacement des constructions, on ne saurait apporter trop de soin dans sa détermination, afin qu'il soit salubre, abrité des vents dangereux, voisin d'eaux vives, et le plus rapproché possible de bons chemins d'exploitation et du centre de gravité des transports.

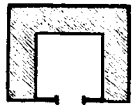
Dans tout établissement rural doit se trouver une cour, où les attelages puissent se remuer facilement; cette cour doit avoir *au moins* 16 mètres de côté. Cette dimension minimum, combinée avec les autres nécessités auxquelles sont astreints les bâtiments, conduit à adopter comme forme générale l'une des quatre dispositions suivantes. Quand le développement des bâtiments ruraux ne doit pas dépasser 32 mètres, on adopte la première (fig. 175), consistant en une seule ligne de

Fig 175.



Fig. 176.





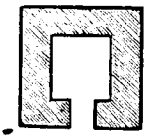


Fig. 177

Fig. 178.

bâtiments, à l'exposition sud, et précédés d'une cour fermée de murs. Quand les bâtiments auront de 32 à 50 mètres, on pourra les disposer de chaque côté de la cour comme on le voit dans la fig. 176, ou bien en retour d'équerre (fig. 177) quand ils devront avoir de

Il est bien entendu d'ailleurs que les limites précédentes n'ont rien d'absolu, et qu'elles peuvent être modifiées par une foule de circonstances locales; mais les dispositions générales des figures précédentes qui se rencontrent le plus généralement étaient bonnes à indiquer.

Les fig. 179, 180, 181 et 182 et les légendes qui les accompagnent donnent le détail des dispositions générales de plusieurs fermes que nous avons eu l'occasion de visiter en Angleterre. Ces constructions sont peut-être trop importantes pour les besoins de la plupart de nos exploitations rurales. Nous avons cru cependant nécessaire de les indiquer; les grandes opérations agricoles, les entreprises de dessèchement ou d'irrigation, sont à nos yeux des travaux d'intérêt général qui ne peuvent tarder à appeler sur eux l'attention de l'État et des associations; l'étude de grandes usines agricoles doit dès lors trouver place dans cet ouvrage, éminemment industriel.

Les fig. 179 et 181 représentent le plan et l'élévation de bâtiments employés à l'exploitation d'une ferme de 800 hectares environ, principalement consacrés au pâturage. Les bâtiments sont peu étendus et d'une disposition simple, ainsi qu'il convient à une exploitation de cette nature.

Les fig. 180 et 182 donnent le plan et l'élévation des bâtiments d'une ferme de 120 hectares environ, établie dans le voisinage d'une ville, pour l'exploitation de terres d'une grande valeur.

Les légendes jointes à ces différentes figures suffisent pour en faire saisir les détails. Après avoir indiqué rapidement, comme on vient de le faire, les dispositions d'ensemble des différents bâtiments destinés à l'exploitation d'un domaine, revenons à l'étude particulière de chacune de ces constructions.

Habitation. Nous n'avons rien à dire de la distribution de la maison d'habitation d'un propriétaire ou d'un riche fermier. Elle dépend du goût, des besoins et des moyens de chacun, et il convient presque toujours de s'adresser à un bon architecte pour obtenir avec la moindre dépense le plus de comfort possible. Les seules conditions dont personne ne doit s'écarter sont une bonne exposition, un aérage complet et des dimensions un peu spacieuses, toujours indispensables à la campagne.

L'habitation des petits fermiers et des ouvriers agricoles est trop souvent négligée. On ne saurait cependant apporter assez de soin à un sujet d'un intérêt aussi général; les hommes éclairés doivent d'autant plus s'en préoccuper que ceux qu'il concerne sont presque



Fig. 179. (Elévation du plan fig. 181.)

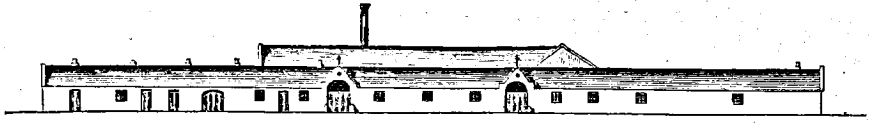
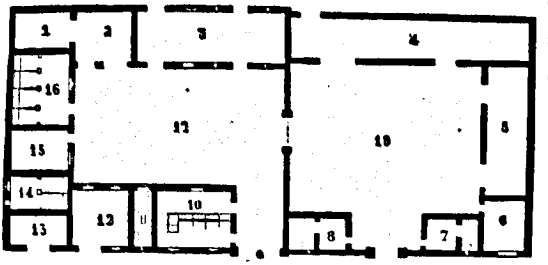


Fig. 180. (Elévation du plan fig. 182.)

50 à 75 mètres, et enfin entourant complétement la cour (fig. 178), quand on aura besoin de constructions plus importantes.

toujours incapables de donner au travail une direction convenable. Les deux exemples de construction de cette espèce que nous donnons ici sont moins des types à

EFERUS - Recherche & Classification numérique



1, 2 Dépôt des instruments et des voitures.
3 Machine à battre.
4, 5 Hangars.
6 Dépôt de racines
7, 8 Porcherie.
9 Entrée.
10 Etable à vaches.
11 Poulailler.
12 Chaudières.
13 Remise.
14 Ecurie des chevaux de selle.
15 Grenier à foin.
16 Écurie des chevaux de travail.
17 18 Cours.

Fig. 481 (0,0013).

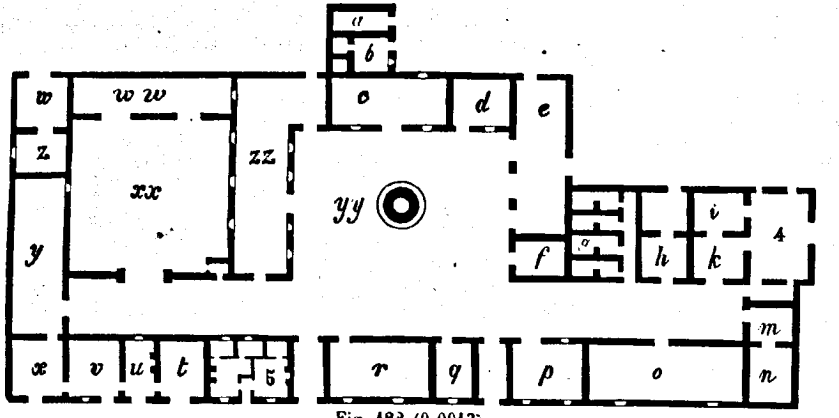


Fig. 482 (0,0013).

a, *b* Chaudière et machine à vapeur.
c, *d* Machine à battre, coupe-racines, etc.
e Hangar avec grenier.
f Instruments.
g Porcherie.
h. *i*, *k*, *l* Etables à vaches et cours de service.
m, *n* Étables pour taureaux
o Dépôt de racines.
p Menuiserie.
q Poulailler.
r Chaudières.
s Logement des domestiques.
t, *u*, *v* Remise, sellerie, écurie.
x Grenier à foin.
y Écurie des chevaux de travail.
z, *w* Infirmerie et cours de service.
w w Hangar.
z z Grange.
x x Cour.
y y Abreuvoir.

imiter d'une manière rigoureuse que des cadres qui permettent de fixer les principales dimensions des pièces les plus importantes.

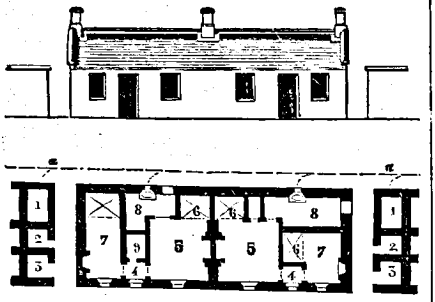


Fig. 483 (0,002).

1, 1 Dépôts de cendres.
2, 2 Latrines.
3, 3 Combustibles
4, 4 Entrées.
5, 5 Cuisines
6, 6 Lits
7, 7 Chambres.
8, 8 Laveries et évier.
a, *a* Drains.

La fig. 483 indique une disposition de maison à un étage, pour deux familles d'ouvriers agricoles.

La fig. 484 donne la disposition d'un logement plus satisfaisant, à deux étages. Toutes les fois que des circonstances particulières n'y mettent pas un obstacle absolu, cette seconde disposition est préférable ; elle est plus propre, plus salubre et plus économique pour atteindre le même degré de bien-être.

Écuries. Ces bâtiments, comme tous ceux de la ferme, doivent être parfaitement assainis par des travaux de drainage quand le sol, par lui-même, ne présente pas une sécheresse absolue ; l'humidité est aussi redoutable pour les chevaux que le manque d'air et de ventilation.

Le bâtiment d'une écurie bien établie doit renfermer, outre les stalles des chevaux, une chambre à avoine, une sellerie, et le logement du garçon d'écurie.

Les chevaux, dans les écuries un peu importantes, sont placés sur deux ou sur un seul rang. Dans le premier cas, les mangeoires sont placées le long des murs, et un passage est ménagé entre les chevaux ; dans le second cas, le passage occupe un des côtés de l'écurie. La chambre à avoine, le logement du gardien et la sellerie sont, en général, placés au fond de l'écurie. On supprime souvent la sellerie dans les écuries à un seul rang de chevaux ; les harnais sont alors suspendus sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une forte pièce de bois fixée dans le mur, derrière chacun d'eux

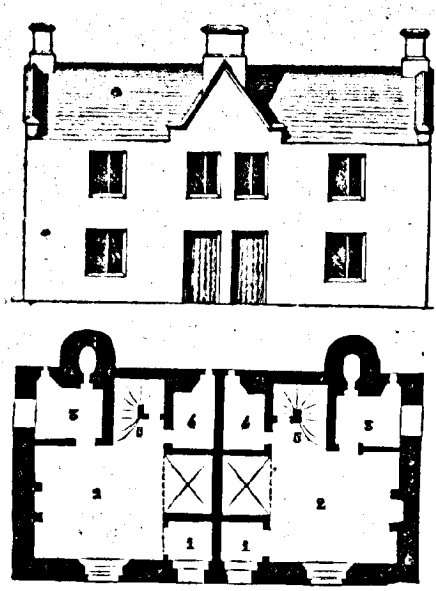


Fig. 184 (0,004).

1, 1 Entrées. — 2, 2 Cuisines. — 3, 3 Laveries et fours. 4, 4 Dépenses. — 5, 5 Escaliers.

L'espace nécessaire par cheval, pour que la ventilation de l'écurie se fasse convenablement, est de 30 à 35 mètres cubes. Avec les dimensions généralement adoptées pour l'emplacement des chevaux, on voit par là que l'écurie doit avoir au moins 4 mètres de hauteur.

Chaque cheval, dans une écurie bien disposée, doit avoir sa stalle assez grande pour que le cheval ne soit pas gêné, et assez restreinte cependant pour qu'il ne puisse pas s'y retourner trop facilement. Les stalles ont généralement, à partir du mur, une largeur de $2^m,5$ à $2^m,80$, y compris le râtelier et l'auge, et $1^m,75$ de largeur. Dans les écuries à un rang, on doit conserver derrière les stalles un passage de $1^m,80$ environ, dont $0^m,50$ sont occupés par les harnais, de sorte que la largeur totale du bâtiment, dans œuvre, est de $4^m,60$ environ. Dans les écuries à deux rangs, avec sellerie isolée, la largeur dans œuvre, y compris le passage entre les stalles, ne doit pas être de moins de 8 mètres. Les stalles sont séparées par des cloisons pleines en bois de 2 mètres de hauteur, du côté du râtelier, et se réduisant à $1^m,50$ environ du côté opposé. L'arête supérieure de ces cloisons est recouverte d'une lisse en bois ou même en fonte creuse, comme on le voit dans la coupe (fig. 185); chaque stalle est garnie d'une auge et d'un râtelier disposés comme l'indique la figure 186, qui représente la coupe et l'élévation de ces deux parties essentielles de l'écurie.

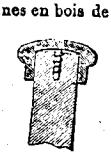


Fig. 185.

Le sol de l'écurie peut être formé de briques ou de pierres posées à bain de mortier hydraulique, de bois ou d'asphalte. Le bois se pourrit facilement; l'asphalte est d'un prix élevé et se répare difficilement; de bonnes briques posées de champ, ou des pierres bien taillées, quand on peut en avoir, paraissent ce qu'il y a de mieux pour daller les écuries. Chaque stalle doit présenter une pente de $0^m,03$ par mètre dans le sens de sa longueur, et être formée de deux plans inclinés vers son axe de 0,025 à 0,03 par mètre. Un caniveau couvert règne

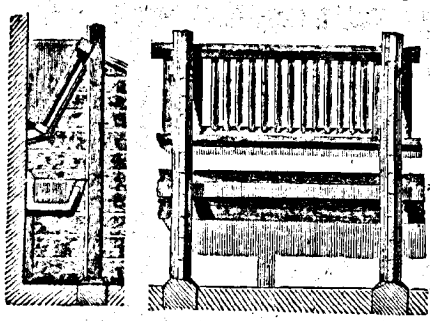


Fig. 186.

dans toute la longueur du passage de l'écurie, reçoit les urines de chaque stalle et les conduit au trou à fumier. Ce caniveau doit être établi avec soin, ne présenter ni coudes brusques ni jarrets dans son profil, afin que l'écoulement y soit facile, et qu'il ne s'y forme jamais de flaches ni de dépôts. Cette rigole peut être exécutée en ciment, en pierre, ou même en tuyaux de fonte. On l'établit à $0^m,30$ au moins en contre-bas du fond des stalles, et on lui donne la plus forte pente possible.

Étables. Les étables sont généralement trop basses et n'offrent pas aux animaux un cube d'air suffisant. Il convient d'accorder à chaque vache ou bœuf au moins 24 mètres cubes d'air. Les étables sont comme les écuries à un ou deux rangs. L'espace accordé à chaque bête doit avoir en moyenne $1^m,50$ de largeur environ et 4 mètres de longueur, y compris le passage et la mangeoire, dans les étables à un rang. La hauteur du sol au plafond, d'après ces chiffres, ne doit donc pas être inférieure à 4 mètres. Dans les étables disposées comme les écuries, il faut pouvoir jeter le fourrage de l'étage supérieur dans la crèche. Quand on ne peut adopter cette disposition, les crèches, dans les étables à deux rangs, sont placées le long du passage, les animaux tournent le dos aux murs et sont approvisionnés par ce passage. Les étables renferment un logement pour le bouvier. L'écoulement des matières liquides doit être assuré avec autant de soin que dans les écuries.

Les fig. 187 et 188 représentent le plan et la coupe des étables à un rang les plus généralement employés en Angleterre. L'appentis, à gauche, sert de magasin à racines. Les crèches sont approvisionnées par le passage placé derrière elles. La ventilation est assurée par des ouvertures en lanternes, disposées au sommet du toit, comme l'indique la coupe à grande échelle (fig. 189). Ce mode de ventilation est également applicable aux écuries et aux bergeries.

Bergeries. L'espace nécessaire est de 1 mètre carré pour chaque brebis et de $0^{m.c.},75$ pour chaque agneau. La crèche doit avoir $0^m,50$ de développement par tête. La hauteur de la bergerie, avec les dimensions ordinaires, ne doit pas être inférieure à 4 mètres. En général, le cube total de la bergerie se calcule en multipliant par $3^m,50$ le nombre de bêtes blanches à abriter. Dans une bergerie de 8 mètres, on met un râtelier le long de chaque mur et un râtelier double au milieu.

L'urine des bêtes ovines est absorbée par la litière, l'argile ou la marne déposée sur le sol. Il est donc

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Fig. 187.

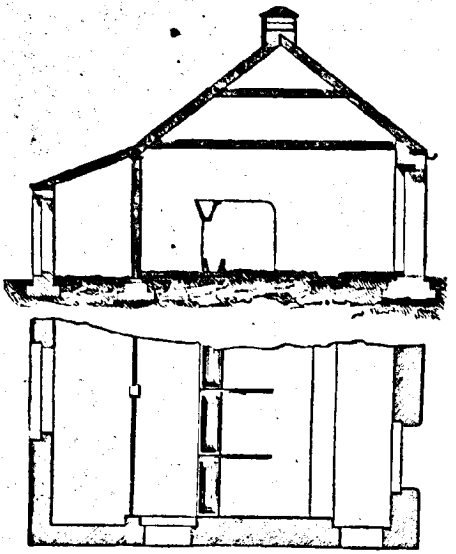


Fig. 188.

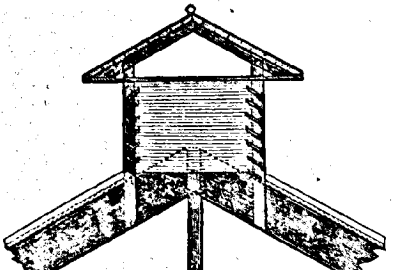


Fig. 189.

inutile de ménager dans les bergeries un ruisseau d'écoulement, comme celui dont nous avons parlé pour les écuries et les vacheries; mais il faut éviter que les matières liquides ne s'infiltrent dans le sol, où elles entrent en putréfaction, se perdent pour le fumier, et produisent des exhalaisons très nuisibles au troupeau. Il faut donc que le sol des bergeries soit rendu parfaitement étanche au moyen d'un bétonnage ou d'un pavage posé à bain de mortier.

Loges à porcs. La loge à porcs se compose d'un toit où l'animal couche et d'une cour placée en avant. Cette cour est quelquefois divisée en autant de compartiments qu'il y a de loges, et d'autres fois est commune à une série de loges. Dans ce dernier cas, il faut toujours avoir autant d'auges séparées qu'il y a d'animaux, sans quoi les plus forts s'emparent de la nourriture des plus faibles et les font dépérir. Les loges ont habituellement 1m,60 de largeur sur 2 mètres de longueur et 2m,50 de hauteur. Elles sont exposées au midi et séparées par des murs de 1m,20 à 1m,50 de hauteur. Elles sont soigneusement pavées et un peu plus élevées que le sol de la cour pour être constamment sèches. Un caniveau établi dans la cour assure son assainissement ainsi que celui des loges, et conduit le liquide à la fosse

à fumier. Les portes et toutes les parties des loges à porcs doivent être très solidement établies, car ces animaux sont très destructeurs. Il faut pouvoir donner aux porcs leur nourriture sans entrer dans leur cour. A cet effet, les auges sont établies à côté ou dans le mur de clôture, et on les remplit au moyen de l'une des dispositions indiquées par les fig. 190 et 191.

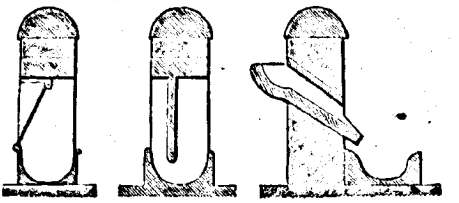


Fig. 190. Fig. 191.

Dans la première l'auge est en fonte, ainsi que la porte qui la ferme. Dans les autres figures, toute la construction est en pierre. Le nettoyage se fait plus facilement dans les deux premières dispositions que dans la dernière.

Granges. Le mode de conservation des gerbes depuis la récolte jusqu'au battage varie d'un lieu à l'autre selon le climat et les circonstances locales. Dans la plus grande partie de la France on engrange les gerbes. Dans le Midi, on fait sans beaucoup de soin des meules circulaires, que l'on bat presque immédiatement. Dans les Pays-Bas on fait des meules circulaires recouvertes d'un toit mobile, qu'on élève ou qu'on abaisse avec des verrins ou des poulies. En Allemagne, en Angleterre et dans quelques parties de la France, on fait des meules circulaires soigneusement établies et recouvertes d'un toit en chaume. Dans les pays où les vols sont fréquents, il convient de renfermer les meules dans une cour spéciale et fermée, pour les protéger contre la malveillance.

Le choix entre la conservation en meules et la conservation en granges se réduit ainsi, en général, à une question de dépense. Il faut comparer l'intérêt du capital de construction des granges et leur entretien annuel aux frais de construction du mur de la cour des meules et aux dépenses annuelles de leur établissement, qui ne laissent pas d'être assez considérables. Toutes les fois que la comparaison ne sera pas trop désavantageuse à l'engrangement, il conviendra de préférer cette méthode de conservation, qui offre toujours plus de sécurité contre l'incendie et les infidélités que les meules, même renfermées dans un enclos.

La capacité d'une grange, y compris l'aire de battage, se calcule facilement, en moyenne, en multipliant par 3m.c.,20 le nombre d'hectolitres de grain que l'on doit récolter. On entasse généralement les gerbes sur une hauteur de 6 à 8 mètres, de sorte qu'on obtiendra la surface dans œuvre de la grange à établir en divisant par ce dernier nombre le volume calculé comme on l'a dit d'abord. Il faut que les charrettes chargées puissent entrer dans la grange; l'espace réservé à cet effet sert ensuite comme aire de battage. La forme la plus simple d'une grange de grandeur moyenne est celle d'un rectangle, au milieu duquel est conservée l'aire de battage, de 3 mètres de largeur environ, et l'entrée des charrettes. Le sol de la grange doit être un peu plus élevé que les terrains environnants et parfaitement sec.

Greniers à fourrages. Dans beaucoup de pays on met en meule les fourrages. Cette méthode peut convenir dans les climats secs ou pour les fourrages grossiers;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AGRICULTURE.

mais il convient, en général, de mettre dans des greniers les foins de bonne qualité. La capacité des greniers à fourrages dépend de la composition des rations des animaux. On ne peut que donner les éléments de cette détermination. Le mètre cube de foin pèse environ 100 kil., de sorte que le grenier devra contenir autant de mètres cubes que l'on devra consommer dans l'année de quintaux métriques de ce fourrage. En admettant que la ration moyenne d'un cheval ou d'un bœuf est de 12 kil. par jour, on voit que la capacité du grenier à fourrages, en mètres cubes, sera sensiblement égale à quarante-quatre fois le nombre de têtes de bétail. Pour les moutons, il suffit d'une capacité de 4 à 5 mètres au plus par tête. Les chiffres précédents sont généralement un peu forts, parce qu'une partie de la ration étant donnée en grain ou en racines conservés ailleurs, le volume du fourrage se trouve réduit d'autant. Les greniers à fourrages pour les chevaux ou le gros bétail sont, autant que possible, placés au-dessus des étables ou écuries. Pour les moutons, leur position est réglée par la convenance seule des lieux, puisque l'approvisionnement ne peut pas se faire en jetant le fourrage par le haut dans les crèches.

Greniers à blé. Les greniers à blé sont souvent placés au-dessus de la maison d'habitation. Dans tous les cas, ils doivent être établis sur de fortes poutres en fer ou en bois armé de fer, quand on veut mettre une couche épaisse de grain dont le poids, comme on sait, est de près de 800 kil. le mètre cube. Dans la plupart des petites exploitations, on se borne à remuer souvent le blé à la pelle pour le préserver des insectes et des parasites, qui l'attaquent si souvent quand on l'abandonne à lui-même. Mais cette précaution serait tout à fait insuffisante pour conserver des quantités considérables de blé. On doit avoir recours dans ce cas aux *silos* ou aux greniers mobiles.

Les *silos* employés de toute antiquité dans les pays chauds n'avaient jamais donné dans nos climats que des mécomptes dont les causes restaient incompréhensibles.

M. Doyère est parvenu à résoudre le problème de l'ensilage.

Il a déterminé les conditions du succès, et il est parvenu à les réaliser. Il a établi en effet que le blé ne pouvait se conserver qu'autant qu'il ne renferme qu'une proportion d'eau hygrométrique inférieure à une limite déterminée, et qu'il faut l'emmagasiner dans des capacités imperméables aux gaz et à l'abri des variations brusques de température.

Les silos de M. Doyère sont en tôle mince, goudronnée et entourée d'une enveloppe en béton. Le prix d'établissement est en moyenne de 5 fr. par hectolitre. Le blé peut s'y conserver sans main-d'œuvre et sans déchet d'aucune sorte, ainsi que l'ont constaté plusieurs applications portant sur des milliers d'hectolitres.

Parmi les greniers conservateurs où le blé est agité et aéré par des procédés mécaniques, on peut citer ceux de MM. Huart, Pavy et d'Auxy. Mais ces appareils, quel que soit leur degré de perfection, resteront toujours inférieurs aux silos Doyère.

Les hangars pour abriter les charrettes et les instruments agricoles sont indispensables dans toute ferme bien tenue. Il ne faut pas craindre de leur donner une étendue un peu considérable, parce que l'on trouve toujours à l'utiliser. On compte qu'il faut 10m carrés par charrettes et 5m c. par charrue, en moyenne. On doit ajouter à la surface, calculée sur ces bases, l'espace nécessaire au retournement et au service de ces appareils.

Fosse à fumier. Dans la plupart de nos petites fermes, on entasse le fumier au milieu de la cour, dans une espèce de mare, où il est lavé par les eaux de pluie qui entraînent en pure perte les parties les plus solubles et les plus actives de l'engrais. Cette méthode, vraiment déplorable, ne saurait être assez combattue. Il convient presque toujours de mettre le fumier en dehors de la cour de ferme, derrière les étables, en un point où puissent se réunir les tuyaux d'assainissement des étables ou écuries. Le fond et les parois du trou à fumier doivent être construits en bonne maçonnerie hydraulique, parfaitement étanche et préservée des eaux étrangères. Le fond de la fosse est formé d'un plan légèrement incliné ou par la réunion de deux plans inclinés en sens contraire. Au point le plus bas de cette fosse on ménage une citerne où se réunissent les eaux de fumier, où on les mélange avec les matières minérales ou autres que l'on veut y ajouter, et où plonge une pompe rustique qui sert à l'arrosage du tas. Les latrines de la ferme communiquent avec cette espèce de citerne ou sont établies au-dessus d'elle.

Le fumier ne doit pas être entassé sur plus de 1m,50 d'épaisseur dans la fosse, construite comme on vient de le dire. Cela posé, il est facile de calculer la surface d'une aire à fumier établie dans ces conditions dans une ferme donnée. La quantité de fumier produite par jour, par un cheval ou un bœuf, est en moyenne, de 50 kil., ce qui ferait par an 18,250 kil. si les animaux étaient toujours à l'étable. Mais on ne compte que sur les deux tiers de cette quantité, soit 12,170 kil. pour les chevaux; et, pour les bœufs, sur la moitié seulement, soit 9,125 kil. si le pacage dure la moitié de l'année. Pour les moutons, en admettant un pacage de six mois, la production est d'environ 1,022 kil. Le mètre cube de fumier, pesant à peu près 800 kil., on voit qu'en divisant par ce chiffre la somme des produits des coefficients précédents par le nombre de bêtes de chaque espèce, on obtiendra le cube des fumiers à recueillir chaque année. Ce cube, divisé par 1m,50, donnera en mètres carrés l'aire de la fosse à fumier. La surface ainsi calculée devrait être divisée par deux si on vidait la fosse deux fois par an, comme on le fait quelque fois.

Les citernes à engrais liquides employées dans la Flandre sont de véritables caves parfaitement maçonnées et cimentées, ne représentant qu'un regard pour entrée, et dans lesquelles on emmagasine les produits de vidanges.

Laiterie. L'extrême propreté indispensable dans la laiterie, et la nécessité de l'éloigner des fumiers et de toutes les sources de mauvaise odeur, la font souvent placer dans une construction complétement séparée, bien que très-rapprochée de la ferme. Quand on dispose d'une machine à vapeur ou d'une roue hydraulique, on met en mouvement la baratte par un renvoi de mouvement. Il est très-convenable de drainer le sol sur lequel on veut établir une laiterie.

Dans tout son développement, une laiterie (voyez BARATTE) doit renfermer une salle pour le lait, une salle pour la baratte, une autre pour la fabrication des fromages, un séchoir pour leur dessiccation, et enfin une laverie commune aux pièces précédentes. On réunit souvent la baratte et la fromagerie. Les fig. 192 et 193 donnent le plan et l'élévation d'une laiterie complète. Le dépôt de lait est en 5. Ses fenêtres sont au nord et le carrelage de cette pièce est de 1 mètre en contre-bas du sol, mais les murs sont entourés d'un fossé de même profondeur garni d'un petit mur. Cette pièce doit être dallée et présenter un écoulement facile aux eaux. Les fenêtres sont doubles. Les tables où sont déposés des vases à lait doivent être en pierre. Un courant d'eau froide l'été et légèrement échauffée l'hiver l'entretient toujours à une température convenable. Toutes les ouvertures sont garnies de toiles métalliques et de gazes fines, pour arrêter les insectes et la poussière. Cette pièce, enfin, renferme un évier 7 pour se débarrasser des liquides inutiles. La fromagerie est en 2. Le séchoir est établi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans l'étage ; on y monte par l'escalier communiquant avec cette pièce. La baratte est en 4 et la laverie en 1. Un petit générateur placé en 3 et 9 fournit l'eau

Fig. 192.



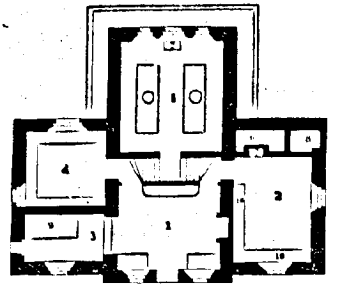


Fig. 193.

chaude nécessaire à tout le service. La capacité des diverses pièces de la laiterie est toujours facile à déterminer, selon les besoins et l'importance de la ferme.

CHAPITRE IX.

ÉCONOMIE AGRICOLE.

Ce chapitre devait renfermer le résumé des données pratiques dispersées dans le cours de cet article, sur les dépenses et les produits d'une exploitation agricole, la comptabilité rurale, des notions sur l'estimation des terres, et enfin quelques observations générales sur l'influence exercée par différents modes de cultures et par l'industrie agricole en général, sur la production et la répartition des richesses publiques.

L'étendue déjà trop considérable de cet article oblige de renvoyer plus loin ce dernier chapitre, à en réunir les principes au travail sur l'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE qui termine cet ouvrage. Aussi bien les principales questions économiques ont des solutions semblables quel que soit l'objet du travail du producteur.

HERVÉ MANGON.

AIGUILLES (*angl.* needles, *all.* nœhnadeln). La fabrication des aiguilles, de ces petits outils dont la bonne qualité est si importante pour tous les arts vestiaires, et notamment pour la presque totalité du travail des femmes, est un curieux exemple de la division du travail. Avec toutes les conditions auxquelles il faut satisfaire pour exécuter une bonne aiguille, on ne comprendrait jamais comment on peut livrer à 10 ou 15 fr. le mille des aiguilles d'excellente qualité, et à 4 ou 5 fr. celles de seconde qualité, si on n'avait déjà apprécié par d'autres exemples les avantages d'une bonne organisation des travaux partagés entre les ouvriers divers qui concourent à la production.

En Angleterre on fabrique des aiguilles avec du fil d'acier ; à Aix-la-Chapelle et à Borcette (le centre de fabrication d'aiguilles le plus important du continent), et en France, on emploie le plus souvent du fil de fer qu'on cémente après que l'aiguille est fabriquée. Le travail est alors plus facile, mais on n'obtient pas des produits aussi parfaits qu'avec l'acier étiré.

Pour décrire la fabrication des aiguilles, nous nous aiderons d'un curieux article du *Magasin pittoresque*, dû à M. Léon Lalanne, dans lequel cet ingénieur a décrit ce qu'il avait fort bien vu à Borcette, et où il a décrit les derniers perfectionnements introduits dans cette fabrication.

Une aiguille passe avant d'être livrée au commerce par les mains de plus de quatre-vingts ouvriers différents. Les diverses opérations qu'elle doit subir peuvent se subdiviser en cinq séries distinctes.

La première comprend toutes les opérations relatives au façonnage de l'aiguille, c'est-à-dire à la conversion du fil métallique en aiguilles brutes.

La seconde série a pour objet la trempe et le recuit des aiguilles brutes.

La troisième série est relative au polissage.

La quatrième série a pour but d'arriver au triage des aiguilles polies.

La cinquième, enfin, comprend l'affinage et la mise en paquets des aiguilles pour les livrer au commerce.

La première série renferme une vingtaine d'opérations distinctes dont voici l'énumération :

Première opération. Choix des fils. On commence par examiner la qualité des fils d'acier, et pour cela, on en coupe quelques bouts à chaque botte. On les met chauffer dans un four ou poële dont la grandeur intérieure est de 4 à 5 décimètres, et on les trempe dans l'eau froide lorsqu'ils sont rouges ; on les casse ensuite entre les doigts pour juger de leur qualité ; on met à part les bottes auxquelles appartiennent les plus cassants ; elles servent pour les aiguilles dites *anglaises*.

Deuxième opération. Calibrage des fils à l'aide d'une jauge dont les fentes représentent toutes les grosseurs des fils dont on a besoin ; on examine si le fil d'une même botte, pris en différents points, est d'une grosseur bien uniforme. Cette opération se fait sans délier les bottes ; on renvoie à la filière celles dont le fil n'est pas rond ou n'est pas égal.

Troisième opération. Les fils qu'on renvoie à la filière ont d'abord besoin d'être décrassés, c'est-à-dire dépouillés d'un enduit noir dont on les couvre dans les tréfileries pour les garantir de la rouille. Un ouvrier décrasse ces fils à la main en les frottant avec du *mâchefer* qu'il tient dans un morceau de linge.

Quatrième opération. On passe alors ces fils à la filière pour les amener au calibre convenable.

Cinquième opération. Dévidage des bottes de fil d'acier. On place les paquets de fil sur un dévidoir A (fig. 1 et 2) un peu conique, et on les dévide à l'aide

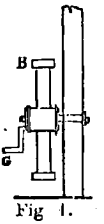


Fig. 1.

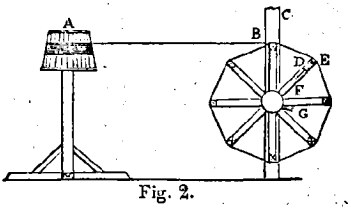


Fig. 2.

du rouet B, formé de huit rayons égaux, liés invariablement à un moyeu tournant autour d'un axe en fer solidement fixé à un des piliers C de l'atelier, et mû par la manivelle G. Chacun des rayons a une longueur de 0m,17, et l'un d'eux D est composé de deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parties, l'une F fixée au moyen d'une manière invariable, l'autre E glissant à coulisse sur la première, et pouvant être rendue solidaire avec elle par le moyen d'une vis qu'on desserre lorsque le dévidage est terminé, ce qui permet d'enlever ensuite aisément le fil.

Sixième opération. On ôte la botte de fil qui enveloppe le rouet; on la coupe en deux endroits diamétralement opposés, soit à l'aide d'une cisaille à main, soit à l'aide d'une cisaille mue mécaniquement. Il en résulte deux faisceaux composés de quatre-vingt-dix ou cent fils longs de 26 à 27 décimètres.

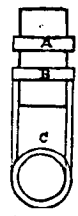


Fig. 3.

Septième opération. Ces faisceaux de fils sont alors coupés en morceaux d'une longueur égale à celle de deux aiguilles, et même un peu plus grande. Pour cela on place les fils dans un demi-cylindre fermé par un bout (fig. 3), et on les coupe tous à ras de l'ouverture, avec des cisailles; un seul ouvrier coupe en dix heures de travail 400,000 fils de chacun deux aiguilles.

Huitième opération. Les fils, coupés de la longueur de deux aiguilles, sont en partie pliés et courbés; il faut les redresser : c'est ce qu'on fait très promptement, et d'une manière aussi simple qu'ingénieuse, à l'aide d'un banc à presser, de deux anneaux et d'une règle à jour.

Cette opération consiste : 1° à placer dans deux anneaux cinq à six mille fils bien serrés et bien pressés; 2° à poser le rouleau ou faisceau qui en résulte sur un banc uni, couvert d'une plaque de fonte, après avoir chauffé préalablement ce rouleau jusqu'au rouge cerise dans un four établi à cet effet; 3° à appliquer dessus une règle à jour appelée *râpe* (fig. 4), de manière

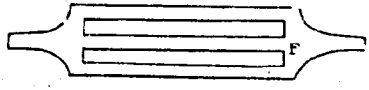


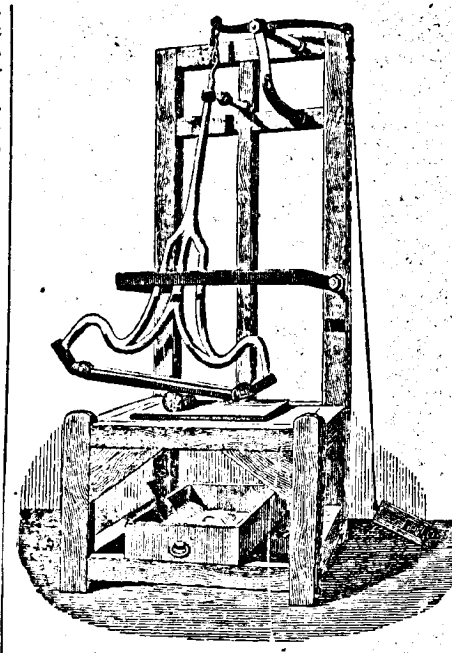
Fig. 4.

que les deux anneaux se trouvent dans les intervalles de la règle, et faire aller et venir cette règle cinq ou six fois en appuyant sur le faisceau, ce qui le fait tourner sur lui-même et redresse presque en un clin d'œil tous les fils qui la composent. Au lieu de faire cette opération avec la règle à main, on la fait plus promptement et mieux avec la règle à bascule représentée dans la fig. 5. La plaque de fonte est recouverte de sable que l'on puise, à l'aide d'une spatule, dans la caisse placée à la partie inférieure de la figure. Lorsqu'un paquet est redressé, l'ouvrier appuie le pied sur la pédale : la bascule joue, la râpe est soulevée, et on enlève facilement le rouleau.

Neuvième opération. Les fils dressés sont portés à l'aiguiserie. L'aiguiserie ou empointerie consiste ordinairement en vingt-huit ou trente meules distribuées dans les divers étages d'un bâtiment, et mues par une seule roue hydraulique ou par une machine à vapeur.

Les meules ont 5 décimètres et 12 à 13 centimètres d'épaisseur, elles sont de grès quartzeux, de couleur grise tirant sur le blanc, d'un grain brillant et d'une dureté moyenne. Comme ces meules tournent avec une grande vitesse et qu'elles sont sujettes à éclater, leur partie antérieure est cachée par une tôle forte, ouverte au milieu sur une hauteur de 2 décimètres et une largeur un peu plus grande que l'épaisseur des meules.

Chaque ouvrier qui est assis vis-à-vis de chaque meule prend en ses mains, entre le pouce et l'index, cinquante ou soixante fils, et les présente par un bout sur la partie découverte de la meule; il appuie sur ces


Fig. 5.

fils à l'aide d'un doigtier de cuir fort, qu'il fait aller et venir pour leur imprimer à tous à la fois un mouvement de rotation sur eux-mêmes, ce qui est nécessaire pour que les pointes soient coniques. L'habileté de l'ouvrier consiste à prendre à la fois le plus grand nombre de fils, et à leur imprimer un mouvement de rotation bien régulier pour que la conicité soit parfaite.

Ce premier travail sur la meule se nomme *dégrossissage*. Les fils, échauffés par le frottement de la meule, rougissent bientôt; l'ouvrier les éteint dans une caisse pleine d'eau qu'il a près de lui, et il continue de dégrossir les pointes d'autres fils. L'ouvrier, pour garantir sa vue des étincelles brûlantes qui s'éparpillent en tous sens, porte sur la tête un chapeau dont le large bord, rabattu sur son visage, est percé pour recevoir un verre de 12 à 15 centimètres de longueur et de 5 à 6 centimètres de largeur.

On emploie encore, à l'exemple des Anglais, un garde-vue plus commode; c'est un carré de verre dont le cadre en fer est mobile : l'ouvrier le place devant la meule et se garantit ainsi du danger des étincelles. Sa mobilité facilite le nettoyage, et sa grandeur permet de voir l'ensemble de l'opération.

Les meules sont tendres et friables, et elles s'usent rapidement et inégalement. Il faut souvent les retailler. Lorsque ce cas arrive, l'ouvrier prend un charbon qu'il tient dans une position fixe près de la meule qui tourne, et de manière à marquer en noir les endroits saillants qui ont besoin d'être enlevés; il fait ensuite arrêter la meule, et se sert d'une espèce de pioche avec laquelle il pique la meule et abat tout ce qui a été marqué par le charbon.

Dixième opération. Les fils empointés par les deux bouts reviennent au premier atelier; on les coupe alors en deux pour en faire deux aiguilles. On se sert pour cela d'un petit appareil semblable à celui représenté

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fig. 3, et ayant tout justement la longueur d'une aiguille. On y place un certain nombre de fils empointés, et on les coupe tous à la fois au ras du bord à l'aide de la cisaille à main, qu'on fait mouvoir, dans ce cas, avec le genou; on agit de même sur la partie restante, ce qui donne un léger déchet; mais ce déchet est indispensable : on se rappelle (septième opération ci-dessus) qu'on a donné aux fils une longueur un peu plus grande que celle de deux aiguilles. Les empointeurs usant toujours plus ou moins les fils, ces fils seraient souvent trop courts si on ne leur donnait que la longueur juste de deux aiguilles.

Onzième opération. Les aiguilles, coupées de la longueur précise qu'elles doivent avoir, ont été rangées parallèlement les unes sur les autres dans de petites boîtes de carton ou de bois. On porte ces boîtes à l'ouvrier chargé d'aplatir la tête des aiguilles. Celui-ci, assis vis-à-vis d'une table sur laquelle est fixé un tas d'acier de forme cubique et de 8 à 9 centimètres de côté, prend de la main gauche vingt ou vingt-cinq aiguilles entre le pouce et l'index, et les arrange en forme d'éventail, c'est-à-dire les pointes serrées sous le pouce et les têtes plus écartées au dehors; il pose les têtes sur le tas d'acier, et, saisissant de la main droite un petit marteau à tête plate, il frappe plusieurs coups successifs sur toutes les têtes et les aplatit en un instant, ce qui se nomme *aplatir*. L'ouvrier range ces aiguilles ainsi aplaties dans une boîte, et continue la même opération sur d'autres aiguilles.

Douzième opération. Les têtes palmées des aiguilles se sont écrouies par le choc du marteau, et elles courraient le risque de se fendre ou de se casser lorsqu'on les percera, si on ne les faisait recuire auparavant. On les porte donc dans un four, on les en retire quand elles sont chaudes, et on les laisse se refroidir lentement.

Treizième opération. Les têtes ainsi recuites, on les perce avec un poinçon. Ce poinçon est d'acier, et il a la forme et les dimensions qu'on veut donner à l'œil ou au trou des aiguilles.

Un enfant, assis devant une table garnie d'un *tas* ou petite enclume d'acier, prend de la main gauche une aiguille et le poinçon; il pose la tête de l'aiguille sur le tas et le poinçon sur la tête de l'aiguille, et frappe aussitôt un coup de marteau sur le poinçon; puis, retournant l'aiguille et y appliquant le poinçon de manière à rencontrer le trou commencé sur le côté opposé, il frappe un second coup. Cette opération se nomme *marquer*.

Quatorzième opération. Les aiguilles marquées passent dans les mains d'un autre enfant, dont la fonction est de *troquer* les aiguilles, c'est-à-dire d'enlever le petit morceau d'acier qui reste encore dans leur tête.

Cet enfant a devant lui deux petits tas, l'un de plomb et l'autre d'acier. Il place la tête de l'aiguille sur le premier tas, et, y appliquant ensuite un poinçon, il frappe dessus et fait entrer dans le plomb le petit morceau d'acier. Il pose alors à plat sur le second tas le poinçon et l'aiguille que ce poinçon traverse, et, frappant un coup sur chaque côté, il fait prendre à l'œil ou trou de celle-ci la forme exacte de celui-là.

Ces deux opérations, treizième et quatorzième, se font avec beaucoup plus de vitesse qu'il n'en faut pour les décrire. Les enfants à qui elles sont confiées sont si adroits, qu'ils se font un jeu de percer avec un poinçon le cheveu le plus fin, et de faire passer un autre cheveu au travers.

Quinzième opération. Un ouvrier qu'on nomme *évideur* s'empare ensuite des aiguilles pour faire la cannelure ou coulisse longitudinale et en arrondir la tête. Les instruments dont il se sert consistent :

En une petite lime plate qui a la forme d'une petite hache dont le tranchant est taillé en scie; elle sert à faire la cannelure;

En une lime carrée taillée sur ses quatre faces; elle sert pour arrondir la tête des aiguilles;

En une pince à bride; elle sert à tenir l'aiguille;

Enfin en un tasseau ou enclumeau de bois fixé sur la table et portant deux entailles, l'une angulaire, l'autre demi-cylindrique.

L'ouvrier place une aiguille dans la pince, de manière que l'œil corresponde au côté plat de cette pince. Il appuie ensuite la tête de l'aiguille dans l'entaille angulaire, ayant soin que l'œil de l'aiguille soit placé horizontalement. Dans le même instant il prend de la main droite la lime, la pose à plat sur le tasseau, l'approche de l'aiguille, et creuse en deux coups la coulisse longitudinale; puis, tournant l'aiguille sur elle-même sans la déplacer, il présente à la lime le côté opposé et y creuse une coulisse semblable.

Il reste alors à arrondir la tête : l'ouvrier, tenant toujours de la main gauche la pince et l'aiguille, pose la tête de celle-ci dans l'entaille demi-cylindrique, et avec la lime carrée qu'il appuie sur le tasseau il arrondit la tête de l'aiguille en deux ou trois coups. Il desserre ensuite, avec le petit doigt gauche, la bride de la pince qui tient l'aiguille, et jette celle-ci sur la table.

Seizième opération. Toutes les aiguilles évidées, jetées sur la table comme il vient d'être dit, sont mises ensuite pêle-mêle et sans ordre dans une espèce d'auge plate, légèrement concave au fond. Un ouvrier debout prend en ses mains cette auge, l'agite horizontalement de droite à gauche, d'arrière en avant, et ces mouvements d'oscillation et de trépidation, répétés plus ou moins vite et dans des directions convenables, ramènent l'ordre parmi les aiguilles; en un instant et comme par magie, elles viennent toutes se ranger parallèlement les unes aux autres sur le côté que l'ouvrier tient appuyé sur son ventre. Cette méthode simple et ingénieuse n'est pas ancienne : elle n'est connue que depuis une cinquantaine d'années; l'on était obligé auparavant de ranger les aiguilles à la main.

Variantes et procédés nouveaux dans la première série d'opération. On emploie actuellement à l'Aigle, et probablement aussi dans d'autres établissements à l'étranger, une série de procédés très remarquables, à partir de la dixième opération. Ces procédés diffèrent des précédents, surtout en ce qu'on emploie des moyens mécaniques et en ce qu'on place dans un autre ordre les diverses phases de la fabrication. Ainsi la séparation des aiguilles jumelles ne se fait qu'après le palmage, le perçage et l'évidement,

La fig. 6 représente le mécanisme au moyen duquel on produit l'estampage. L'aiguille jumelle est placée de telle sorte que son milieu, portant sur un petit bloc d'acier, correspond à un poinçon placé à la partie inférieure d'un *mouton*, ou poids considérable en fonte de fer. L'estampeur appuie le pied sur un étrier, soulève le mouton et laisse brusquement retomber celui-ci sur l'aiguille sur laquelle l'empreinte dessine aussitôt les deux têtes et la place du trou appelé *chas* en langage de fabrique. Un homme fait de neuf à dix mille estampages dans sa journée, ce qui correspond à dix-huit ou vingt mille aiguilles.

Le perçage est une opération tout à fait analogue à la précédente. L'ouvrière (fig. 7) agit à l'aide d'un levier sur un poinçon à double pointe, adapté au bout d'une vis de pression, et les deux pointes viennent percer à jour sur chacune des deux aiguilles du couple le *chas*, qui n'était encore qu'indiqué par la première opération.

Au fur et à mesure du percement les aiguilles sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prises par une petite fille qui les enfile dans deux broches de fer de la manière indiquée fig. 8. Les broches ont de 15 à 20 centimètres de longueur.

C'est alors que l'on procède à la séparation des aiguilles jumelles. Pour cela, on applique les rangées d'aiguilles enfilées dans les broches sur une petite tablette à deux versants, comme un toit de maison. La double rangée ressemble ainsi à un fragment d'arête de poisson. On maintient les aiguilles au moyen d'un cadre en cuivre dont l'une des extrémités tourne autour d'une charnière, et dont l'autre extrémité porte une chaîne fixée à une pédale sur laquelle presse le pied de l'ouvrier.

Quand les deux côtés des attaches sont limés, on brise facilement ce qu'il en reste, et en opérant sur une rangée d'aiguilles simples, on achève de donner la forme brute à la tête.

Nous avons dit en commençant qu'en France, où le fil d'acier ne se fabrique pas en grand, et l'on opère sur du fil de fer, sauf à convertir plus tard l'aiguille de fer en acier. C'est sur l'aiguille brute amenée au point qui vient d'être décrit que l'on effectue la manipulation appelée *cémentation*, par laquelle le fer se combine avec une certaine quantité de carbone, de manière à devenir

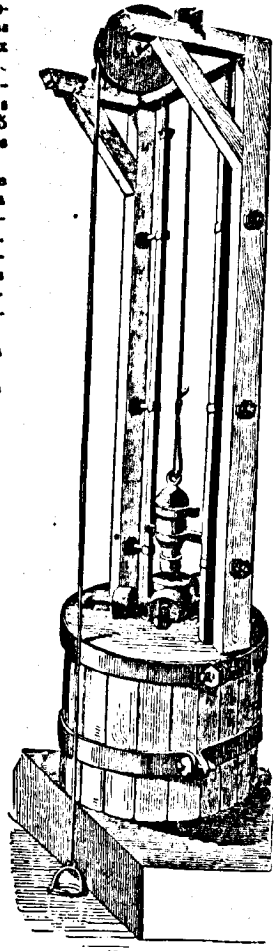


Fig. 6.

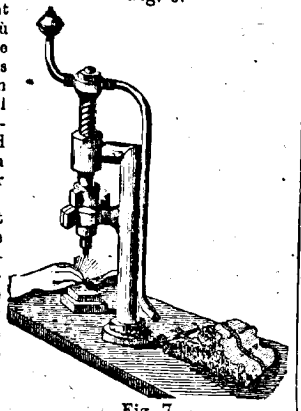


Fig. 7.

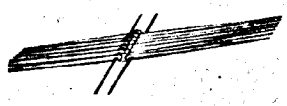


Fig. 8.

de l'acier. On range très également dans une espèce de boîte ou de marmite en fonte une quantité de deux à trois cent mille aiguilles séparées par des lits de charbon de bois; on place cette boîte dans un four, et on y *lute* le couvercle de manière à donner lieu à la plus faible déperdition possible de calorique. La cuisson dure sept à huit heures, au bout desquelles on laisse le four refroidir lentement. Alors on a des aiguilles dont le corps s'est imprégné de charbon de la surface vers le centre, et qui sont devenues de l'acier par voie de cémentation. Comme dans cette opération et dans quelques-unes des précédentes, leur rectitude a pu être altérée, on profite de la malléabilité que l'acier possède à chaud pour les redresser au feu encore une fois, à la râpe, par le procédé de la fig. 3.

Seconde série d'opérations. — Trempe.

Les aiguilles, façonnées comme on l'a expliqué ci-dessus, sont soumises à un premier examen qui en fait rejeter un certain nombre. Celles qui sont reçues subissent neuf opérations constituant la seconde série :

Première opération. On pèse par tas de 15 kilogr. environ, ce qui fait depuis 250 jusqu'à 500,000 aiguilles. On met ces tas dans des boîtes séparées et on les porte dans l'atelier de trempage. Cet atelier contient : 1° un fourneau garni d'une grille pour recevoir le charbon, de deux barreaux de terre cuite pour porter les plateaux qui contiennent les aiguilles, et d'une cheminée avec un régulateur qui permet de maîtriser la marche du feu; 2° des cuveaux ou chaudrons de cuivre toujours pleins d'eau froide et munis d'un robinet d'écoulement; 3° une table sur laquelle sont déposées les boîtes pleines d'aiguilles et les plateaux sur lesquels on les arrange; 4° un ou plusieurs poêles en fonte, couverts d'une table de même métal, lutés en terre dans tout leur pourtour.

Deuxième opération. Un ouvrier étend les aiguilles sur les plateaux, à raison d'environ dix mille pour chaque, et les arrange parallèlement à la longueur de ceux-ci.

Troisième opération. Le trempeur place ensuite deux plateaux chargés d'aiguilles sur les barreaux de terre cuite du fourneau; il chauffe au charbon de bois jusqu'à ce que les aiguilles aient atteint la couleur du rouge cerise, si elles sont grosses ou moyennes, et jusqu'à un degré moindre si elles sont fines. Alors il retire un des plateaux à l'aide d'une pince, le porte au-dessus du baquet rempli d'eau, l'incline et jette les aiguilles en les éparpillant circulairement, de manière que tombant séparément pour ainsi dire, toutes reçoivent la même trempe. Lorsqu'il a jeté de même les aiguilles de l'autre plateau, il vide les deux cuveaux, enlève les aiguilles avec deux crochets ou mains de fer, et les dépose pêle-mêle dans une boîte. Ensuite il place au four d'autres plateaux, remplit d'eau les deux cuveaux, et continue de la même manière.

Quatrième opération. Un autre ouvrier prend la boîte où l'on a jeté les aiguilles trempées, et il les met en ordre en exécutant la seizième opération de la première série.

Cinquième opération. Les aiguilles qui viennent de subir la trempe sont trop cassantes pour être employées dans cet état. Le recuit leur donne de l'élasticité sans les rendre trop molles ni pliantes. Mais avant de les recuire, il faut leur enlever la crasse dont l'opération de la trempe les a couvertes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un ouvrier place 15 à 20,000 aiguilles tant à côté les unes des autres que bout à bout dans une toile serrée, et en fait un rouleau qu'il étrangle et lie par les deux extrémités. Il met ce rouleau sur une table et le fait rouler en avant et en arrière, en appuyant dessus avec un bâton ou une règle qu'il fait aller et venir; puis il trempe ce rouleau dans un seau d'eau, le remet sur la table, et le fait rouler de nouveau pendant quelques instants. Alors la crasse se détache successivement, et l'aiguille est assez nettoyée pour l'opération suivante.

Sixième opération. On porte les rouleaux d'aiguilles près des poëles à recuire, on ouvre et on développe ces rouleaux. Deux ouvriers à chaque poële, l'un d'un côté, l'autre de l'autre, disposent les aiguilles encore mouillées sur la table de fonte du poële, et en font chacun deux rangées parallèles, épaisses de 8 à 10 millimètres environ, longues de 5 à 6 décimètres. Leur besogne est de rouler sans cesse les aiguilles sur elles-mêmes, en appuyant dessus avec une règle de fer courbée, les pressant et les ramenant, afin que les aiguilles supérieures descendent au-dessous, que les inférieures remontent au-dessus, et que toutes soient chauffées uniformément. Quand on juge que le recuit est terminé, ce que l'on reconnaît à la couleur d'un bleu nuancé que prennent les aiguilles, on les pousse hors de la table du poële, et on les jette dans une sébille placée au bas.

Septième opération. Ces aiguilles ainsi mêlées et sans ordre, sont aussitôt rangées parallèlement les unes aux autres par une opération semblable à la seizième de la première série.

Huitième opération. Comme la trempe a déformé une partie des aiguilles, il faut les redresser. On les prend une à une entre l'index et le pouce de la main gauche, et on les roulant on reconnaît celles qui sont courbées; on les redresse aussitôt sur un tas d'acier à l'aide d'un marteau particulier, et on les jette dans une boîte. Ce marteau a un manche très court et placé obliquement, afin que l'ouvrier qui le tient très près de la tête, puisse le manœuvrer aisément sans trop coucher le poignet, et ne donner que de petits coups.

Neuvième opération. On arrange ensuite les aiguilles jetées dans la boîte en exécutant pour la quatrième fois la seizième opération de la première série.

Observations. Il y a quelques variantes dans les procédés précédents : ainsi la trempe peut se donner dans un bain de plomb chauffé au rouge. A l'Aigle, on jette les aiguilles rougies à blanc dans un bain d'huile chaude, d'une chaleur supportable à la main. Ensuite, pour dégraisser les aiguilles, on les vanne avec de la sciure de bois; enfin le recuit s'opère dans un fourneau semblable à ceux qui servent à brûler du café, mais garni à l'intérieur de pointes très saillantes pour diviser les aiguilles et les empêcher de s'accumuler.

Troisième série d'opérations. — Polissage.

Le polissage est l'opération la plus longue dans la fabrication des aiguilles. On fait la cannelure, on perce le trou en un clin d'œil; mais il faut beaucoup de temps et une dépense assez notable de force et de matière pour rendre la surface de l'aiguille lisse, unie et brillante. Il est vrai que la lenteur de l'opération est compensée par la multitude d'aiguilles qui la subissent à la fois. On perce les aiguilles une à une, on les palme par vingtaines, on les trempe par milliers; mais on les polit par centaines de milliers, et même par millions. Les paquets ou rouleaux soumis au polissage en contiennent jusqu'à 500,000 chaque, et la même machine, que dirige un seul homme et qu'un courant d'eau fait agir, polit en même temps vingt ou trente paquets, c'est-à-dire dix ou quinze millions d'aiguilles.

L'opération principale du polissage se subdivise en trois autres séries d'opérations : la première consiste à former les paquets ou rouleaux d'aiguilles; la seconde à les placer sur les tables du polissoir; la troisième à nettoyer les aiguilles.

Les principaux instruments et les machines principales qui servent au polissage, sont : 1° une table garnie d'une auge ou moule à faire les rouleaux ou paquets d'aiguilles; 2° une machine ou moulin à polir; 3° un tonneau à dégraisser, mobile autour de son axe; 4° un van en cuivre; 5° un baril de cuivre monté aussi sur un axe.

Lorsque les aiguilles ont été trempées, recuites et dressées, on les porte dans l'atelier destiné à la confection des rouleaux; on place deux ou trois carrés de toile qui ont déjà servi à cette opération dans l'auge, de manière qu'ils couvrent le fond et les côtés intérieurs, et qu'ils débordent en dehors; on augmente l'épaisseur de l'enveloppe avec plusieurs bandes de toile longitudinales. Sur le fond, on étend une couche de petites pierres de schiste quartzeux micacé, ou de silex, ou d'émeri, ou de pierre calcaire compacte, ou même de potée d'étain, quand on veut donner aux aiguilles un poli blanc. On range par dessus, et dans le sens de la longueur du rouleau, une couche d'aiguilles épaisse d'un centimètre, et longue d'environ 45 centimètres, ce qui exige sept ou huit longueurs d'aiguilles ordinaires. On recommence une couche de petites pierres, puis un lit d'aiguilles, et ainsi de suite jusqu'au cinquième lit d'aiguilles, que l'on recouvre d'un sixième lit de petites pierres, et on verse sur le tout environ un demi-litre d'huile de colza. On replie alors la toile par les deux bords, puis par les deux bouts, et on ferme le rouleau dont on étrangle les deux extrémités. Quand un certain nombre de rouleaux ont été préparés de cette manière, deux hommes les prennent successivement et achèvent de les lier ou de les serrer étroitement à l'aide d'une forte ficelle que l'on serre autour de chaque rouleau, de manière à lui faire décrire une suite de spires qui se recouvrent mutuellement (fig. 9).



Fig. 9.

Dans cet état, les rouleaux sont envoyés à l'atelier de polissage.

Le polissoir est composé de deux chariots roulant sur des madriers de chêne, au moyen de roues à rainures maintenues par des rails. Un des deux chariots s'avance pendant que l'autre recule. Chaque rouleau, enfermé dans un compartiment qui correspond à l'un des montants verticaux du bâti en charpente, roule continuellement tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, soumis à la forte pression de la table du chariot. Les cailloux renfermés à l'intérieur s'écrasent peu à peu, et leur frottement finit par donner à l'aiguille le poli dont elle a besoin.

Lorsque les rouleaux d'aiguilles ont ainsi tourné sur eux-mêmes entre les tables à polir, pendant dix-huit à vingt heures, on les enlève, on les délie, on les déploie; on en retire les aiguilles toutes grasses et couvertes de cambouis; on les verse dans une sébile, on les recouvre de sciure de bois ou de paille hachée, et on les introduit dans le tonneau (fig. 10). Là, elles sont soumises à un mouvement de rotation prolongé jusqu'à ce qu'elles soient ressuyées et dégraissées sur toute leur surface, et que leurs trous soient débouchés.

Du tonneau, on les fait tomber dans le van de cuivre qu'on a eu soin de placer dessous. Le vannage s'opère comme celui du grain. La sciure vole, les pierres se séparent, les aiguilles restent au fond du vase : elles sont déjà ressuyées et presque sèches. On les verse dans un tiroir, on les met en ordre, en exécutant pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la cinquième fois la seizième opération de la première série, et on les porte ensuite à l'ouvrier qui est chargé de faire les rouleaux d'aiguilles.

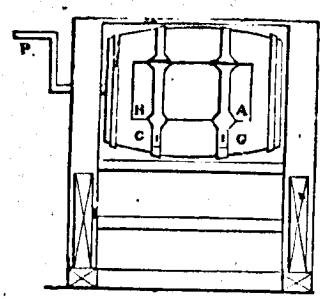


Fig. 10.

On fait alors des rouleaux semblables aux premiers, on les renvoie au moulin à polir, on roule pendant vingt heures, on dégraisse à la sciure de bois dans le tonneau, on vanne, on range et on fait de nouveaux rouleaux. On recommence ainsi sept fois de suite la même série d'opérations; on la fait même dix fois; seulement on varie la composition de la substance frottante dans les rouleaux. La huitième fois, les aiguilles ne sont arrosées que d'huile et roulées pendant six heures; la neuvième et la dixième fois, on emploie des lits de son de froment gros, sec et dépouillé de farine, et on ne roule encore que peu d'heures.

On termine enfin le polissage en essuyant les aiguilles une à une avec un linge.

Le polissage comprend donc cinq opérations distinctes qui se répètent chacune dix fois, et une dernière opération qui ne s'exécute qu'une fois, savoir : 1° confection des rouleaux; 2° position des rouleaux sur les tables du moulin à polir; 3° dégraissage dans le tonneau; 4° vannage; 5° arrangement des aiguilles; 6° essuiement des aiguilles.

Quatrième série d'opérations. — Triage des aiguilles polies.

La plupart des opérations précédentes donnent lieu à un certain déchet, et l'un des soins de l'ouvrier, en recevant les aiguilles pour les soumettre à une nouvelle main-d'œuvre, consiste à rejeter toutes celles qui sont sorties défectueuses des épreuves qu'elles ont subies; mais le principal déchet a lieu au polissage. Les rouleaux qui reviennent du moulin à polir ne sont plus serrés et ronds comme quand on les y avait portés. Ils se sont aplatis; les aiguilles ne sont plus dans le même ordre; plusieurs sont piquées dans la toile qui les enveloppe; beaucoup sont croisées, et les pointes même de quelques-unes traversent les trous de quelques autres. Toutes sont émoussées, et lorsqu'elles ont été exposées dix fois, dans des rouleaux successifs, à l'action des polissoirs, on compte, en général, un dixième d'aiguilles cassées et un vingtième d'aiguilles courbées et pliées.

Les aiguilles polies passent dans un atelier particulier qu'on a soin de tenir toujours sec, afin qu'elles ne soient pas exposées à se rouiller; là elles subissent cinq opérations.

Première opération. Elle a pour objet de détourner les aiguilles, c'est-à-dire de mettre toutes les têtes du même côté. En même temps, l'ouvrier rejette les aiguilles cassées par le milieu.

Deuxième opération. Un second ouvrier prend les aiguilles détournées et les étale sur une table; il sépare

celles qui sont cassées à la tête. Il est en outre chargé de faire deux qualités d'aiguilles, en raison du poli plus ou moins brillant.

Troisième opération. Un troisième ouvrier est chargé de mettre à part les aiguilles dont la pointe est cassée, sauf à les appointer de nouveau.

Quatrième opération. On redresse au marteau et sur une petite enclume de bois les aiguilles qui se sont courbées pendant le polissage.

Cinquième opération. On sépare chaque espèce d'aiguilles en trois tas, selon leurs diverses longueurs. Cette opération s'exécute promptement et simplement au tact; elle pourrait être confiée à un aveugle.

Cinquième série d'opérations. — Derniers tours de mains et mises en paquets.

Cette cinquième série d'opérations paraît avoir reçu des changements ou plutôt des additions notables depuis une cinquantaine d'années, qui ont beaucoup amélioré la qualité des produits.

Première opération. — Le bronzage. Un enfant aligne sur une table de cuivre un certain nombre d'aiguilles, les têtes dehors, et l'ouvrier vient appliquer en dessous des têtes une barre de fer rouge dont la chaleur détermine l'apparition d'une couleur bleue, utile au *drilleur* dans l'opération qui va suivre, et à la personne qui, se servant de l'aiguille, veut y entrer le fil. L'espèce de support à mouvement oscillatoire, qui est employé à cette opération, porte, d'un côté, la barre de fer rouge, et est tenu de l'autre par la main gauche de l'ouvrier qui dirige son opération de cette main; la main droite n'est employée qu'à tenir le fer rouge qui détermine le bronzage.

Deuxième opération. — Le drillage. On appelle ainsi l'achèvement ou l'arrondissement du *chas, œil* ou *trou*. Sur une plaque mince de cuivre, on range une trentaine d'aiguilles que l'on maintient avec les deux pouces, tandis que l'index de chaque main soutient la plaque par dessous. Le chas était déjà percé, mais bien imparfait; l'ouvrier le présente à la *drille*, espèce de burin d'acier très fin, animé d'un mouvement de rotation rapide qui arrondit le trou et régularise les bords, de manière à empêcher le fil d'être coupé. Il faut pour cette main-d'œuvre beaucoup d'attention, du coup d'œil et une grande habitude. Mais c'est chose merveilleuse que de voir la promptitude avec laquelle opèrent les ouvriers exercés. A peine la drille paraît-elle toucher les aiguilles; l'outil ne manque jamais de tomber où il le faut; la rangée s'avance successivement de gauche à droite, et tout est fini, que le spectateur a eu à peine le temps de suivre les détails de l'opération.

Troisième opération. — Le brunissage. Cette main-d'œuvre, la dernière de la confection, à proprement parler, ne laisse pas d'être fort importante. Elle consiste à donner le poli le plus fin à l'aiguille, sur une bobine de buffle, recouverte de matières pulvérulentes d'une nature variable, mais qui toutes remplissent

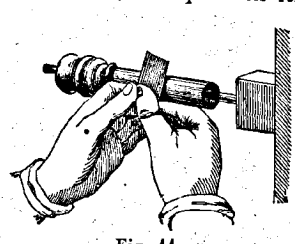


Fig. 11.

le même but. C'est dans le brunissage qu'excellent les ouvriers anglais. La fig. 11 représente cette opération.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quatrième opération. — *La mise en paquets.* Elle se subdivise elle-même en une dizaine d'autres :

1° On coupe le papier en petits carrés d'une grandeur proportionnée aux aiguilles, en général de dimension triple de la longueur de l'aiguille. Le papier est bleu ou violet, d'une composition particulière qui le rend peu susceptible d'attirer l'humidité ;

2° Un enfant plie ces papiers au tiers, et forme le premier pli ;

3° Un ouvrier compte cent aiguilles et les met dans un des plateaux d'une petite balance ; il met en même temps dans l'autre plateau des poids équivalents au poids des cent aiguilles ; puis il verse celles-ci dans un des papiers dont le premier pli a été fait par l'opération précédente. Il continue à peser des poids égaux aux cent premières aiguilles, et il obtient ainsi successivement des centaines d'aiguilles.

Le comptage des aiguilles est une opération longue, fastidieuse et sujette à erreur quand elle se fait à la main. C'est pour l'éviter que l'on fait ces pesages successifs ; mais on perd peut-être en précision ce que l'on gagne en promptitude. On peut opérer autrement, mécaniquement en quelque sorte, en employant une espèce de règle en fer dont la face supérieure porte des cannelures proportionnées à la grosseur des aiguilles et dont le nombre est connu ; les cannelures sont assez larges et assez profondes pour qu'en faisant tomber sur sa surface une certaine quantité d'aiguilles que l'ouvrier tient entre le pouce et l'index, il ne s'en loge qu'une à la fois dans chaque cannelure ;

4° Un ouvrier prend les paquets et achève de les plier, il les range ensuite dans une boîte qui porte les numéros des aiguilles ;

5° On écrit sur les paquets le numéro des aiguilles, le nom du fabricant et les marques particulières adoptées pour chaque espèce et chaque qualité d'aiguilles. Pour certaines aiguilles, le papier est en outre revêtu d'un timbre à sec ;

6° On réunit en un seul dix paquets de cent, ce qui forme des paquets de mille aiguilles ; on les enveloppe de papier bleu ou violet, qu'on lie avec du fil blanc ou rouge. On recouvre quelquefois les paquets de mille d'une feuille de papier blanc, portant des figures et des caractères dorés ;

7° On réunit encore tous ces paquets au nombre de cinquante, ce qui forme des paquets de 50,000, qu'on enveloppe immédiatement de papier blanc, puis d'une ou deux vessies de bœuf séchées, et on recouvre le tout de papier ciré ou de toile cirée, et on y ajoute une dernière enveloppe de toile grise. Sur celle-ci, on écrit l'assortiment des aiguilles avec une marque qui en indique la qualité.

De l'insalubrité de l'empointage et des moyens de l'atténuer. Parmi les opérations précédentes, il y en a surtout une qui a des effets nuisibles pour la santé de l'ouvrier : c'est l'empointage qui se fait ordinairement à sec pour prévenir la rouille. La poussière qui se produit dans l'empointage ainsi fait sur les meules de grès est extrêmement dangereuse. Sans l'emploi de certains préservatifs, les empoinleurs ne peuvent guère exercer leur métier plus de dix à quinze ans. Ils meurent à la fleur de l'âge, atteints de phthisie pulmonaire, à moins qu'ils n'aient renoncé de très-bonne heure à cette partie de la fabrication. Un médecin de Reddith a observé, pendant une longue pratique, que sur plusieurs milliers d'ouvriers empointeurs il y en a un à peine qui atteint l'âge de quarante ans. Dès le commencement de ce siècle (vers 1810), des tentatives ont été faites en Angleterre pour remédier à l'insalubrité reconnue de l'empointage. M. Prior imagina un appareil simple, espèce de soufflet mû par le pied de l'ouvrier ou par le moteur qui fait tourner la meule, et dont le vent, chassé à travers un tube percé de fentes longitudinales qui embrasse la meule, produit un courant assez fort pour entraîner la poussière. Un autre appareil fondé sur le même principe fut construit, en 1816, par M. Thomas Roberts ; enfin M. Abraham inventa en 1822 un appareil simple ayant pour but à la fois d'entraîner la poussière de grès et d'arrêter les particules fines d'acier. C'est à l'aide de barreaux aimantés qu'il retenait les poussières métalliques qui échappaient à la ventilation.

C'est au moyen d'appareils plus puissants, tels que des ventilateurs mus par la machine à vapeur, qu'on cherche aujourd'hui à débarrasser les grands ateliers des poussières nuisibles. Voir ci-après AIGUISERIE.

Conditions auxquelles satisfait une bonne aiguille. — Pour être réputées bonnes, les aiguilles doivent satisfaire à diverses conditions. Il faut que le fil soit d'acier de bonne qualité, bien trempé, que la partie cylindrique soit d'une rectitude parfaite ; que la cannelure soit faite avec une très-grande régularité ; que l'œil soit percé dans l'axe, bien rond, et que ses bords ne coupent pas le fil ; que la tête ait assez de résistance pour ne pas se rompre sous l'effort de traction qu'on exerce sur le fil au travers de certaines étoffes ; que la pointe soit aiguë, bien conique, ne déviant pas de l'axe ; que le poli soit parfait ; que l'entrée dans l'étoffe soit facile et qu'il n'y ait pas de *centre*, c'est-à-dire qu'après l'entrée, la sortie soit également facile ; que l'élasticité soit convenable pour faciliter le passage dans des parties de couture où l'aiguille ne peut pénétrer qu'en formant à chaque point un arc très prononcé, arc qu'elle doit perdre entièrement sitôt qu'elle se trouve mise en liberté.

AIGUISERIE. L'emploi des meules de grès pour user l'acier, sur lequel repose le travail de la coutellerie, celui de la fabrication des aiguilles, des armes blanches, etc., est très insalubre, et il ne peut appartenir qu'à un état primitif de l'industrie de laisser les ouvriers exposés à absorber par les voies respiratoires les poussières qui se dégagent des meules. La solution naturelle du problème consistant à soustraire l'ouvrier à cette atmosphère délétère, se trouve dans une ventilation produite, par exemple, par un puissant ventilateur pour aspirer, entraîner hors de l'atelier les poussières nuisibles. C'est ce qui a été fait avec succès dans nombre d'ateliers, parmi lesquels nous citerons l'atelier de M. Goldenberg, dont les dispositions ont été publiées. Toutefois, malgré les meilleures dispositions prises pour bien entourer la meule, pour utiliser toute l'action du ventilateur à entraîner les poussières dans des conduits aboutissant à une cheminée, la faible aspiration obtenue à l'aide du ventilateur peut être insuffisante dans des circonstances où la production des poussières est considérable.

Lorsque d'ailleurs elle n'a lieu qu'à intervalles, il y a grand avantage à produire l'entraînement à l'aide d'insufflation d'AIR COMPRIMÉ. Nous montrerons le mode d'opérer en décrivant l'installation d'un semblable système à l'aiguiserie de la manufacture d'armes de Saint-Etienne, d'après le rapport des officiers chargés de l'établir, ce qui nous fournira l'occasion de donner quelques détails sur une intéressante fabrication.

On emploie, dans la fabrication des lames de sabre, des meules de trois dimensions différentes :

1° De grandes meules de 2^m,00 de diamètre ; elles servent à aiguiser le dos de la lame ;

2° De grandes meules à gouttières, de 1^m,20 de diamètre ; elles servent à aiguiser les pans creux ;

3° De petites meules à gouttière de 0^m,60 de diamètre, qui servent à faire le talon.

La vitesse des meules à la circonférence varie de 12 à 15 mètres par seconde, les grandes meules ayant la plus grande vitesse.

Les lames de sabre présentent à leur surface des par-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ties rentrantes auxquelles on donne le nom de pans creux; pour que l'aiguiseur puisse les refouiller sur sa meule, il faut que celle-ci porte sur sa circonférence des côtes qui permettent à l'ouvrier d'user les pans creux sans attaquer les parties saillantes de la lame. L'opération qui a pour but de produire ces côtes porte le nom de rifflage et se fait de la manière suivante : l'ouvrier imprime à sa meule une vitesse de 70 tours par minute environ, appuie une barre d'acier sur une traverse en bois placée sur la bâche, en presse la pointe contre la meule et trace ainsi des cannelures dont il fait varier les formes et les dimensions selon l'espèce de lame qu'il a à aiguiser. C'est pendant ce travail, qui se fait sur la meule sèche, que se dégagent en quantité considérable les poussières dont les effets sont si funestes sur la santé des ouvriers.

Le rifflage est fondé sur un fait d'expérience bien connu de tous les aiguiseurs; lorsqu'on presse un outil en acier sur une meule sèche, la meule s'use rapidement, et l'on trace des côtes dont les arêtes sont vives; si au contraire la surface de la meule est arrosée par un filet d'eau, la meule s'use moins que l'acier ; il faut un temps relativement assez long pour obtenir des cannelures, les arêtes ne sont jamais aussi nettes. Cette expérience justifie la pratique des ouvriers qui rifflent toujours leur meule sèche, et, au contraire, l'arrosent d'un filet d'eau pendant l'aiguisage.

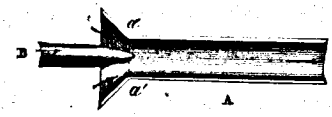
On pourrait croire qu'en rifflant la meule mouillée on se débarrasserait des poussières qui se produisent pendant le travail du rifflage; des expériences faites dans ce but permettent d'affirmer le contraire: on a constaté que, même en faisant arriver un filet d'eau sur la pointe de l'outil, il se dégage une quantité notable de poussières mélangées à de l'eau pulvérisée, par suite de la rapide rotation de la meule.

En résumé, la question à résoudre peut se résumer ainsi : trouver un moyen simple et pratique d'entraîner, au moment où elles se produisent, les poussières provenant du rifflage, sans qu'il s'en répande de traces dans l'atmosphère et sans même qu'elles puissent s'élever à la hauteur du visage de l'ouvrier. Le procédé d'appel employé pour entraîner les poussières devra produire une ventilation active et continue, afin de débarrasser l'atmosphère de l'eau pulvérisée par le mouvement des meules, eau qui forme comme un nuage dans l'atelier et qui renferme toujours des parcelles de grès en suspension.

Lorsque les accidents observés sur la santé des ouvriers eurent conduit les officiers chargés de la direction de l'usine de Châtellerault à s'occuper de débarrasser les ateliers des poussières produites par le rifflage, la première solution qui dut se présenter à leur esprit et qui a été appliquée fut l'emploi d'un ventilateur. Un canal collecteur, parcourant toute la longueur de l'atelier, fut mis en communication avec la bâche de chaque meule par une conduite de plus petite dimension. Un ventilateur à palettes hélicoïdales, disposé en dehors de l'usine, devait aspirer l'air du canal collecteur et par suite celui des bâches des meules; on espérait ainsi entraîner les poussières produites par le rifflage. Chaque jour, à une heure déterminée, on mettait le ventilateur en mouvement, et les ouvriers rifflaient leur meule tous à la fois. Les résultats obtenus par ce procédé furent insignifiants; les ventilateurs employés n'avaient pas une force suffisante pour agir simultanément sur toutes les meules, et le règlement des diamètres des conduits d'aspiration de chacunes d'elles, en raison de l'éloignement du ventilateur, offrait de grandes difficultés.

L'emploi de l'insufflation par l'air comprimé fournit une solution bien préférable, pouvant être utilisée avec avantage dans nombre de cas. Disons en quoi il consiste.

Considérons un tube cylindrique A : à l'une de ses extrémités et dans la direction de l'axe est fixé un ajutage conique B mis en communication avec un réservoir d'air comprimé. L'air comprimé qui sort par l'ajutage chasse devant lui l'air du tuyau; il se produit une dépression



dans les sections *aa'*, et l'air extérieur est entraîné dans le tube. L'expérience indique que la longueur du tube A doit être au moins égale à cinq fois son diamètre. Tel est l'organe disposé sur la bâche de chaque meule, le tuyau d'aspiration allant déboucher dans un conduit central en maçonnnerie.

L'appareil de compression employé à Saint-Etienne est un ventilateur triple dû à M. Perrigault, constructeur qui a eu le premier l'idée d'accoupler plusieurs ventilateurs entre eux. Le premier ventilateur aspire l'air extérieur, l'envoie dans un deuxième, qui l'envoie lui-même dans un troisième. On obtient ainsi des pressions assez élevées; ainsi, tandis qu'un bon ventilateur simple donne une pression de 0m,30 de hauteur d'eau, les ventilateurs doubles ont donné 0m,80, et le ventilateur triple qui a été appliqué donne jusqu'à 1m,25; le rendement au reste est très bon, il dépasse 50 0/0.

Lorsque l'ouvrier veut riffler sa meule, il ouvre le robinet qui intercepte l'air comprimé, tire la vanne qui masque l'orifice de la bâche; l'aspiration de l'air se produit instantanément, et toutes les poussières sont entraînées; il ne s'en enlève pas de traces dans l'atmosphère. L'opération terminée, il repousse la vanne et masque l'orifice de la bâche, puis ferme le robinet de l'injecteur. Si l'ouvrier n'avait pas le soin de fermer la vanne avant le robinet, l'air de la galerie ressortirait par le tube d'entraînement et rentrerait dans l'usine.

L'aspiration de l'air produit une dépression dans la bâche; par suite l'air est appelé et entraîné par tous les vides qui existent entre le contour de la bâche et la meule. Il est évident que plus la surface de ces vides sera réduite, plus la vitesse de l'air, à hauteur de la bâche, sera considérable pour une même vitesse d'entraînement: par suite la force à employer sera d'autant moindre que la surface des vides sera plus petite. A la partie postérieure, la bâche est entièrement fermée par les linges mouillés dont l'ouvrier recouvre sa meule pour empêcher la projection de l'eau; sur le devant on les diminue au moyen de la traverse sur laquelle l'ouvrier appuie son outil; enfin sur les côtés sont disposées deux lames mobiles que l'ouvrier rapproche autant que possible des meules et maintient par des écrous de pression; par cette disposition on réduit la largeur de ce vide à moins de 0m,01, et le tirage est d'une très grande efficacité.

AIR (*ang.* air, *all.* luft). Gaz formant autour de la terre une enveloppe désignée sous le nom d'atmosphère. On sait, depuis les mémorables travaux de Lavoisier, que l'air est un mélange, en volume, de 79,2 parties d'oxygène et 20.8 parties d'azote. Le litre de ce gaz pèse 1gr,3, sous la pression barométrique de 0m,76 et à 0°. Sa densité est 1/770 de celle de l'eau ; il renferme une quantité variable de vapeur d'eau et une très-faible proportion (0,0004 à 0,0006 en vol.) d'acide carbonique. C'est parce que l'air est un mélange, et non une combinaison, qu'en se dissolvant dans l'eau il abandonne plus d'oxygène que d'azote. On trouve, en effet, dans l'eau, de bonne qualité et bien aérée, 32 parties d'oxygène et 68 d'azote. L'air est le seul gaz qui puisse entretenir la respiration, aussi doit-il être renouvelé avec soin dans tous les endroits où il se vicie constamment, tant par la respiration humaine que par la combustion des foyers, des corps éclairants, etc. Voyez VENTILATION.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'oxygène de l'air étant sans cesse absorbé dans la combustion et dans la respiration des animaux et remplacé par une quantité correspondante d'acide carbonique, on peut se demander si la composition de l'air ne doit pas s'altérer progressivement. Il en serait ainsi si la production d'acide carbonique ne se trouvait détruite par la vie des végétaux, dont le rôle inverse est de transformer en oxygène l'acide carbonique dont ils s'assimilent le carbone, leur accroissement se trouvant ainsi solidaire de celui de la vie animale et inversement.

AIR CHAUD. Voir au *Complément*, une étude complète de l'emploi de l'air chaud, comprenant : Théorie de la production du travail mécanique par l'échauffement de l'air. — Systèmes divers de machines à air chaud : Stirling, Ericson, machine Lenoir, Otto, Frot, etc.

AIR COMPRIMÉ. Voir, *Complément*, les divers emplois de l'air comprimé. Théorie. — Effets caloriﬁques qui accompagnent la compression.—Appareil Triger.— Elévation des liquides. —Machines soufflantes. — Fusil à vent. — Machines du Mont-Cenis. — Distribution de la force à domicile. — Chemins de fer à air comprimé. — Transport dans des tubes. — Ventilation par insufflation d'air comprimé.

ALAMBIC, voy. DISTILLATION.

ALBATRE. Pierre ordinairement blanchâtre ou jaunâtre, qui se laisse facilement rayer au couteau. Il y a deux espèces d'albâtre : l'*albâtre gypseux*, qui est purement un sulfate de chaux hydraté ou pierre à plâtre saccharoïde et translucide ; et l'*albâtre calcaire* qui est un carbonate de chaux. L'*albâtre oriental*, présentant les mêmes caractères intérieurs que le précédent, est toujours calcaire ; c'est le plus estimé de tous à cause de ses couleurs vives et agréablement variées, offrant une série de zones alternatives, jaune de miel, jaune brun, rouges, etc. Il est, en outre, susceptible de prendre le poli du marbre.

La finesse du grain de l'albâtre, l'uniformité de sa texture, l'éclat du poli et sa demi-transparence sont autant de qualités qui le rendent précieux pour un sculpteur ou un fabricant d'objets d'ornement.

On trouve fréquemment l'albâtre calcaire sous forme d'un dépôt blanc jaunâtre dans certaines sources minérales. Aux bains de *San Felippo*, en Toscane, l'eau thermale, presque bouillante, coule sur une énorme masse de stalactites qu'elle a formée, et tient en dissolution du carbonate de chaux, probablement à l'état de bicarbonate, qui se décompose au contact de l'atmosphère, et se dépose à l'état de carbonate neutre. On a tiré parti de cette propriété pour obtenir des bas-reliefs d'une grande dureté, en plaçant des moules de soufre très-inclinés et presque verticaux, dans des cuves de bois ouvertes par le fond. L'ouverture supérieure de ces cuves est surmontée d'une grande croix de bois ; on fait d'abord déposer à l'eau de la source, dans un réservoir extérieur, son sédiment le plus grossier, puis on la fait couler sur cette croix de bois, où elle se distribue en petits filets qui, en tombant dans les creux du soufre, y déposent un précipité d'un grain d'autant plus fin que le moule est plus rapproché de la position verticale. Il faut de un à quatre mois pour cette opération, selon l'épaisseur que l'on veut donner à l'incrustation. C'est par des procédés semblables que les artistes sont parvenus à mouler en relief des vases, des figures d'animaux et d'autres objets de différentes formes, qui ne demandent plus que d'être un peu retouchés et ensuite polis.

L'albâtre commun est un sulfate de chaux analogue à la pierre à plâtre. Il y a cependant quelques variétés qui font effervescence avec les acides, et qui, par conséquent, contiennent du carbonate de chaux. Cet albâtre se rencontre avec diverses couleurs et différents degrés de dureté ; mais il est toujours plus tendre que le marbre ; il forme ordinairement les couches inférieures des carrières de gypse. Les sculpteurs préfèrent les morceaux les plus durs, les plus blancs, et ceux qui sont d'une texture granulaire, comme le marbre de Carrare, auquel ils ressemblent parfois tellement, qu'on ne peut les en distinguer que par la dureté.

On travaille l'albâtre avec les mêmes outils que le marbre ; plus il est tendre, plus il est facile à tailler, mais aussi plus il est difficile à polir à cause de son peu de solidité. Lorsqu'on lui a donné la forme voulue, on l'adoucit en le passant à la pierre ponce, puis on le polit avec diverses substances, comme nous le dirons plus loin.

C'est avec une variété facile à travailler, avec un albâtre tendre, d'un blanc pur et demi-transparent, qu'on fait de petits objets d'ornement, tels que des boîtes, des vases, des lampes, des supports, etc. Cette branche d'industrie est très-exploitée à Florence, à Livourne, à Milan, etc., et y occupe un grand nombre de tours. De tous les albâtres, celui de Florence mérite la préférence pour sa beauté et son uniformité, qui le rendent apte à être taillé en figures de très-grandes dimensions. Il existe, dans ce but, de grands ateliers où on le scie, avec des scies d'acier, en blocs et en masses de différentes formes.

Il y a d'autres espèces de gypse, tels que ceux de Salzbourg et d'Autriche, qui renferment des veines de sable et des nodules durs, ce qui oblige à extraire les blocs de la carrière par des opérations de clivage et par l'emploi de la poudre à canon, qui les mettent dans le cas de se fendre, et les rendent impropres à être façonnés en objets délicats de sculpture. Ce genre d'albâtre est, en outre, d'une nuance grise, et souvent taché de noir. L'albâtre le plus propre à la fabrication des objets d'ornement est déjà assez blanc quand on le détache de la carrière, et il devient plus blanc encore à sa surface en se séchant. Il se taille aisément au couteau ou au ciseau, et on lui donne facilement toutes les formes voulues avec des outils d'acier appropriés à cet usage. On le travaille, soit à la main, soit au tour ; les outils du tour ne doivent pas être trop minces ni trop tranchants; ceux qui servent à travailler l'ivoire et le cuivre jaune conviennent tout à fait à l'albâtre ; on les emploie principalement à raser et à gratter la surface. Les statuettes et objets analogues se travaillent à la râpe et au ciseau.

Pour bien polir des ouvrages de ce genre, il faut avoir recours à un procédé particulier. La pierre ponce réduite en poudre en adoucit très-bien la surface, mais elle altère la blancheur de l'albâtre. La prêle sèche (*equisetum*), si employée par les tourneurs, convient beaucoup mieux pour faire disparaître les inégalités; en frottant avec cette plante et de l'eau, on polit les aspérités que le ciseau a laissées; ensuite on fait disparaître les petites stries que laisse la prêle elle-même, en frottant la pièce avec de la chaux éteinte, réduite en poudre fine et passée au tamis, dont on forme une pâte ou une espèce de mastic avec de l'eau. Le poli et le lustre satiné de la surface s'obtiennent en frottant avec de l'eau de savon et de la chaux, et finalement avec du talc ou de la craie de France réduite en poudre et décantée (*blanc d'Espagne*), enfin le dernier poli s'obtient en frottant la surface avec de la flanelle. Quand les articles sont composés de plusieurs pièces, on joint celles-ci avec un ciment composé de chaux vive et de blanc d'œuf, ou avec du plâtre de Paris bien calciné et bien tamisé, gâché avec la plus petite quantité d'eau possible.

Les objets d'albâtre sont susceptibles de jaunir avec le temps ; ils sont spécialement gâtés par la fumée, la poussière, etc. On peut alors les restaurer jusqu'à un certain point en les lavant avec du savon et de l'eau

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

puis avec de l'eau pure seulement, et en les polissant de nouveau avec de la prêle. Les taches de graisse peuvent s'enlever soit en les frottant avec du talc en poudre, soit avec de l'essence de térébenthine.

On peut graver à la surface de l'albâtre en recouvrant les parties qui ne doivent pas être touchées, avec une dissolution de cire dans de l'essence de térébenthine épaissie avec du blanc de céruse (carbonate de plomb), puis, plongeant dans l'eau pure les objets ainsi préparés, on les y laisse de 20 à 50 heures, plus ou moins, selon la profondeur que l'on veut donner à la gravure. Après les avoir retirés on enlève la couche de vernis avec de l'essence de térébenthine; les endroits qui ont été en contact avec l'eau ont perdu leur poli, on les frotte alors avec une brosse et du plâtre réduit en poudre fine, lequel leur donne une espèce d'opacité qui fait contraste avec le reste de la surface polie.

On peut colorer l'albâtre de la même manière que les marbres, soit avec des dissolutions métalliques, soit avec des teintures alcooliques de plantes colorantes, soit enfin avec des huiles colorées.

On peut durcir, dit-on, l'albâtre gypseux en l'exposant à la température d'un four de boulanger pendant un intervalle de 10 à 20 heures, au sortir de la carrière, et après l'avoir dégrossi sous la forme qu'on a l'intention de lui donner. Au sortir du four on le fait tremper pendant deux minutes dans l'eau courante; lorsqu'il est refroidi, il faut l'y faire tremper une seconde fois, et pendant le même temps; après avoir été exposé à l'air pendant plusieurs jours, l'albâtre ainsi traité acquiert une dureté qui approche de celle du marbre. Cela peut avoir lieu surtout lorsque l'albâtre est très impur, et ce serait un phénomène bien connu qui se rapporte à la qualité des plâtres de diverses localités; ainsi le gypse très pur ne produit qu'un plâtre qui offre peu de consistance, tandis que le gypse de Montmartre qui contient une quantité très notable de carbonate de chaux donne, par la cuisson, un plâtre qui gâché avec un peu d'eau prend rapidement consistance et acquiert une dureté et une résistance beaucoup plus grandes que celles qu'il possédait auparavant. (Voyez PLATRE).

ALBUMINE. L'albumine est une substance qui fait partie d'un grand nombre de liquides animaux. Elle entre en forte proportion dans le sang. A l'exception d'un peu d'eau et de quelques sels en très petite quantité, elle constitue le blanc d'œuf, d'où elle a tiré son nom.

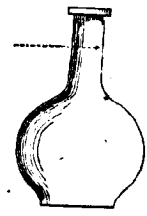
Elle se coagule avec facilité par l'action de la chaleur, et aussi par la présence de l'alcool, du tannin; elle perd alors sa transparence pour devenir d'un blanc opaque.

En se congulant l'albumine fait l'effet d'un réseau qui masse toutes les substances solides répandues dans le liquide. C'est ainsi qu'elle opère dans la clarification des vins, où elle se trouve coagulée par l'action du tannin et de l'alcool. Il suffit après l'avoir étendue d'un peu d'eau de l'introduire dans la pièce de vin, que l'on fouette et soutire ensuite.

Le sang est employé dans le même but dans les raffineries de sucre, mais c'est par la chaleur du bain que l'albumine est coagulée, le liquide ne doit pas être trop agité au moment de l'ébullition afin que le réseau albumineux ne soit pas brisé.

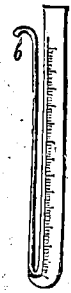
ALCALIMÈTRE. Instrument servant à apprécier la valeur des alcalis et particulièrement de la potasse et de la soude. La valeur des alcalis s'exprime ordinairement en centièmes d'acide nécessaire pour la saturation (alcalimètre de Decroizilles) ou en centièmes d'alcali pur ou réel (alcalimètre de Gay-Lussac). Les premiers se nomment *degrés alcalimétriques* ou simplement *degrés*, et les seconds représentent le *titre pondéral*. Nous décrirons seulement le procédé de M. Gay-Lussac qui est le plus généralement suivi, en faisant remarquer qu'on peut déduire les degrés alcalimétriques des *poids pondéraux* donnés par l'expérience en divisant les nombres obtenus, pour la potasse par 0,9614 et pour la soude par 0,637. Le *titre pondéral* d'un alcali étant le nombre de kilogrammes d'alcali réel qu'il renferme au quintal, il faut pour le déterminer, prendre d'une part, une certaine quantité d'acide qu'on divise en 100 parties, et de l'autre une quantité d'alcali telle que si elle était pure elle saturât exactement les 100 parties d'acide : le nombre de parties d'acide employées pour la saturation d'un alcali impur en exprimera le *titre pondéral*. 5 grammes d'acide sulfurique concentré à 66° Baumé saturant exactement 4^{g},807 de potasse pure, la prise d'essai est de 4^{g},807 de la potasse à essayer. Si c'était de la soude le poids de la prise d'essai serait de 3^{g},202.

L'acide sulfurique à 66° a une densité de 1,8427 à 15° C.; 100^{g} de cet acide doivent donc occuper à cette température un volume de 54^{cc},268; on pourra en conséquence au besoin se procurer très exactement, sans balance ce poids d'acide, à l'aide d'un tube en verre gradué. Cela fait on prend un ballon en verre (fig. 77) de la capacité d'un litre, on y introduit 400 à 500 grammes d'eau, puis on y verse peu à peu les 100 grammes d'acide concentré, en imprimant au vase un mouvement rapide et continuel de rotation; on rince à plusieurs reprises le flacon dans lequel l'acide était contenu, on réunit les eaux de lavage à la liqueur, on laisse refroidir, et l'on complète ensuite le litre avec de l'eau; on agite de nouveau et la préparation de l'acide normal est terminée.



77.

La mesure de l'acide normal se fait aisément à l'aide d'une burette B à tube latéral (fig. 78). Cette burette est graduée avec soin et divisée en demi centimètres cubes de sorte que 100 divisions ou degrés représentent 5 grammes d'acide sulfurique concentré: après l'avoir remplie d'acide titré, un peu plus haut que la division *o*, on incline légèrement la burette, et on en fait sortir l'excédant goutte à goutte par le bec *b*, qui doit être enduit d'une très légère couche de cire. Comme toutes les gouttes que l'on fait tomber occupent sensiblement le même volume, on subdivise avec facilité chaque division en autant de parties qu'elle contient de ces gouttes. En quelques minutes, on acquiert avec cet instrument une dextérité telle que l'on répond facilement d'une seule goutte.



78.

Si l'on pesait directement 4^{g},807 de la potasse à essayer, on serait sujet à quelques erreurs, surtout si l'on n'avait pas à sa disposition de balance très sensible. Pour les éviter, on en prend dix fois plus, c'est-à-dire 48^{g},07 qu'on forme de divers échantillons pris çà et là dans toute la masse d'alcali à essayer et qu'on dissout dans de l'eau en faisant en sorte que le volume de la liqueur soit exactement d'un demi-litre; à cet effet on se sert de l'éprouvette (figure 79). Alors, au moyen de la pipette (figure 80) de



79.



80.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

50 centim. cubes, on en prend la dixième partie que l'on introduit dans le verre (fig. 81) où la saturation doit avoir lieu, puis on lave la pipette avec un peu d'eau pure que l'on verse également dans le verre.



Fig. 81.

Le réactif que l'on emploie pour reconnaître le point de saturation est le papier bleu de tournesol : on prend du papier bien collé, coupé en bandes étroites que l'on colore au pinceau, d'un côté seulement, avec une teinture aqueuse de tournesol qui se prépare en dissolvant dans l'eau le tournesol en pains du commerce. L'acide normal, la potasse et le réactif coloré étant ainsi préparés, on procède à la saturation. A cet effet, on verse dans le verre (fig. 81), contenant déjà 4°,807 de la potasse à essayer en dissolution, une quantité de teinture de tournesol suffisante pour lui donner une couleur bleue prononcée. On remplit, d'autre part, la burette B d'acide titré jusqu'au 0, et la tenant d'une main, puis le verre de l'autre, on verse peu à peu l'acide dans la dissolution alcaline, en ayant soin d'imprimer au verre un mouvement continuel. Aussitôt qu'on a versé plus de la moitié de l'acide nécessaire à la saturation, la couleur bleue, qui ne changeait pas d'abord, commence à virer au *rouge vineux*. Dès que l'acide ne produit plus en tombant dans la liqueur qu'une faible effervescence, on ne le verse plus que par deux gouttes à la fois; et l'on a soin, après chaque addition, de faire un trait sur un papier tournesol soit avec une baguette de verre, soit avec un bout d'allumette. Aussitôt que le point de saturation est dépassé, la liqueur prend une couleur *pelure d'oignon*, et le trait fait sur le papier bleu est rouge et *persistant*. Pour mieux saisir le point de saturation on continue à faire une ou deux additions d'acide de deux gouttes chacune (représentant par exemple un quart de centième) : on lit sur la burette le nombre de centièmes d'acide titré employés pour la saturation, et de ce nombre on retranche autant de quarts de centième que l'on a de traits rouges persistants, plus un. Le nombre restant sera le titre de la potasse.

Il est bon de recommencer une seconde fois l'essai; ce qui n'exige que fort peu de temps, parce que les dissolutions sont déjà préparées, et que l'on peut verser de suite, à un ou deux centimètres près, la quantité d'acide nécessaire à la saturation. Ce procédé donne facilement, à quatre ou cinq millièmes près, le titre réel d'un alcali. Quand l'alcali que l'on doit essayer contient des sulfures et des sulfites, ce qu'on reconnaît à ce que l'acide sulfurique en dégage des gaz hydrogène sulfuré et sulfureux, on doit, avant de procéder à la saturation, les convertir en sulfates; à cet effet, on calcine l'alcali jusqu'au rouge avec une petite quantité (un dixième environ) de chlorate de potasse, et l'on opère ensuite comme il a été dit ci-dessus. Sans cette précaution, les sulfures et les sulfites neutraliseraient une certaine quantité d'acide, et l'on commettrait une erreur qui pourrait être très-notable. Le chlorate de potasse ajouté se transforme par la calcination en chlorure de potassium, sel tout à fait neutre, de sorte qu'il n'y a pas lieu à en tenir compte.

ALCALIS. On distingue sous ce nom les alcalis proprement dits, potasse et soude: l'alcali volatil, ammoniaque; et les alcalis terreux, chaux, baryte et strontiane. Les premiers sont extrêmement solubles dans l'eau et l'alcool, verdissent la teinture du chou rouge et le sirop de violette, ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par les acides, font passer au brun la couleur du curcuma, ainsi que celle de plusieurs autres teintures jaunes; et sont enfin des bases salifiables très-énergiques. Les alcalis terreux présentent également les mêmes propriétés, mais beaucoup moins prononcées, et donnent des carbonates insolubles sans action sur les réactifs ci-dessus, tandis que les carbonates de potasse, de soude et d'ammoniaque sont très-solubles et ont une forte réaction alcaline sur les teintures végétales. Tous les alcalis jouissent de la propriété de former des savons avec les huiles et les corps gras, ceux de potasse, de soude et d'ammoniaque sont seuls solubles, et on n'emploie que les deux premiers. Nous verrons cependant le savon insoluble de chaux préparé comme produit intermédiaire dans la fabrication des bougies stéariques.

ALCOOL (ang. *alcohol*, all. *alcohol* ou *weingeist*). Liqueur enivrante bien connue que l'on obtient par la distillation de divers sucs végétaux et d'infusions d'une nature sucrée, qui ont éprouvé la fermentation vineuse. L'alcool ordinaire contient la moitié environ de son poids d'eau. On peut le concentrer jusqu'à ce que sa densité se réduise à 0,825 par simple rectification au bain-marie. Mais, pour l'obtenir anhydre, il faut le distiller sur du carbonate de potasse sec ou mieux du chlorure de calcium ; on obtient alors un liquide incolore, brûlant sans fumée, avec une légère flamme bleuâtre, d'une odeur agréable et d'une saveur forte et brûlante ; sa densité n'est plus que de 0,7947 à la température de 18° centigrades; à la densité de 0,825, il contient encore 11 p. 100 d'eau, et, dans cet état, est aussi volatil que l'alcool absolu. Selon Fuchs, le point d'ébullition de l'alcool absolu est plus élevé que celui de l'alcool qui contient 2 ou 3 p. 100 d'eau ; d'où il résulte que, dans la distillation de l'alcool à 94 centièmes, les premières portions qui se vaporisent sont plus aqueuses que les suivantes. L'alcool absolu bout à 75°,8 centigrades d'après le docteur Ure. Mais quand il contient plus de 6 p. 100 d'eau, les premières portions qui se distillent sont les plus riches en alcool, et le point d'ébullition s'élève à mesure que la distillation avance, comme on peut le voir dans le tableau inséré à l'article DISTILLATION.

Il résulte de ce fait que l'on peut obtenir, d'un seul coup, un esprit aussi privé d'eau que possible par la simple distillation ; à cet effet, on place au-dessus du chapiteau un bain d'eau à travers lequel on fait passer un tuyau en spirale venant de l'alambic, qu'on fait ensuite descendre obliquement dans le réfrigérant. Si on maintient ce bain à une température constante, ce qui s'exécute comme il est dit à l'article DISTILLATION, il ne passera en vapeur que la quantité d'alcool correspondante à cette température; tout le reste sera condensé et retombera dans l'alambic. Si on maintient, par exemple, la température de l'eau à 79° centigrades, la vapeur spiritueuse qui passera contiendra, d'après la table que nous venons de citer, 90 p. 100 d'alcool absolu.

Sœmmering a découvert une autre méthode pour concentrer l'alcool ; elle est fondée sur la propriété qu'ont les vessies de bœuf de laisser transsuder l'eau en dehors, où elle s'évapore, et de ne pas permettre à l'alcool de passer à travers leurs pores, si ce n'est en très-petite quantité. De là il résulte que, si on remplit d'esprit-de-vin une vessie de bœuf, qu'on en lie soigneusement l'ouverture et qu'on la tienne suspendue dans un endroit chaud, l'eau s'évaporera continuellement, et l'alcool deviendra presque anhydre ; car on peut obtenir par ce moyen de l'alcool à 97 et 98 centièmes.

D'après Sœmmering, on doit choisir pour cela une vessie de bœuf ou de veau, la faire tremper pendant quelque temps dans l'eau, la gonfler, la débarrasser de sa partie graisseuse et de tous les filaments vasculaires qui y sont adhérents, et en faire autant à la surface intérieure en retournant la vessie de dedans en dehors. Après l'avoir gonflée de nouveau et fait sécher, on passe à l'extérieur deux couches et intérieurement quatre couches d'une dissolution de colle de poisson, qui en rend la texture plus serrée, et fait que l'alcool se con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

centre mieux. Une vessie ainsi préparée peut servir plus de cent fois. On doit la remplir de manière à laisser un petit espace vide; on lie le col en le serrant fortement, et on la suspend dans une étuve maintenue à une température de 50° centigrades, ou bien au-dessus d'un bain de sable ou dans le voisinage d'un four. La surface de la vessie reste humectée d'eau tant que la densité de l'alcool qu'elle renferme reste au-dessus de 0,952. L'esprit-de-vin faible perd son eau plus promptement que le fort; toutefois, quand la température est propice, la concentration de l'alcool peut ne durer que six à douze heures. Cette méthode économique est particulièrement applicable pour obtenir l'alcool qui doit servir à la préparation des vernis. Lorsqu'on destine l'alcool à d'autres emplois, on doit le dépouiller ensuite par une distillation ultérieure de certaines matières en dissolution provenant de la vessie. L'alcool peut encore se concentrer, ainsi que Sœmmering s'en est assuré, lorsque le vaisseau qui le contient est recouvert d'une vessie liée sur ses bords sans être en contact avec le liquide. On peut de même, par ce moyen, rendre plus spiritueux tous les autres liquides qui contiennent de l'alcool, tels que le vin, le cidre, etc.

Pour se procurer de l'alcool absolu, on prend du chlorure de calcium récemment fondu, qu'on concasse grossièrement et qu'on mêle avec son poids d'esprit-de-vin, ayant une densité de 0,833, dans une bouteille qu'on a le soin de bien boucher, et qu'on agite jusqu'à ce que le sel soit entièrement dissous. La dissolution s'étant éclaircie, on la verse dans une cornue, on la soumet à une douce chaleur, et on retire par la distillation la moitié du volume de l'alcool employé. On peut obtenir sans distillation l'alcool presque privé d'eau, en ajoutant du carbonate de potasse sec à de l'esprit-de-vin ayant une densité de 0,825. L'eau se combine avec la potasse, et tombe au fond du vase en un liquide épais, tandis que l'alcool pur surnage au-dessus et s'enlève à l'aide d'un siphon; ainsi obtenu, il contient toutefois un peu d'alcali qu'on ne peut séparer que par distillation.

L'alcool anhydre est composé en poids de 52,66 de carbone, de 12,90 d'hydrogène et de 34,44 d'oxygène. Son poids atomique se compose de

4 atomes de carbone.	300	ou pour H = 1	48
6 atomes d'hydrogène.	75	.....	6
2 atomes d'oxygène...	200	.....	16
	575		70

soit $C^4H^6 + 2HO$.

Il est très-avide d'eau, et il absorbe avec énergie celle de l'atmosphère; on doit, par conséquent, pour le conserver, le tenir dans des vases hermétiquement bouchés. Il s'empare aussi de l'humidité des végétaux et de celle des corps morts, d'où résulte son emploi si répandu pour la conservation des substances organiques. A l'état anhydre, il agit comme un poison mortel, non-seulement par son action extrêmement stimulante sur le système nerveux, mais encore parce qu'il s'empare des parties aqueuses des membranes de l'estomac, avec lesquelles il se trouve en contact, et les désorganise. L'alcool est un dissolvant très-énergique pour un grand nombre de substances : on s'en sert beaucoup pour dissoudre les résines, les huiles essentielles, le camphre, etc., dans la préparation des vernis, des parfums, etc. La dissolution d'une résine ou d'une huile essentielle dans l'alcool devient laiteuse quand on y ajoute de l'eau, parce que celle-ci, par son affinité pour l'alcool, sépare ces substances. Divers sels, et particulièrement les sels déliquescents sont également dissous par l'alcool, et plusieurs d'entre eux en colorent la flamme; ainsi les dissolutions des sels de strontiane brûlent avec une flamme cramoisie, celles des sels de cuivre et de borax donnent une flamme verte, celles des sels de chaux une rouge et celles des sels de baryte une jaune.

ALCOOMÉTRIE. Lorsqu'on mêle de l'eau à de l'alcool, il en résulte un dégagement de chaleur et une condensation de volume. Ces effets sont à leur maximum lorsque le mélange est de 54 p. 100 d'alcool et de 46 p. 100 d'eau; ils vont en diminuant à mesure qu'on ajoute une plus grande proportion d'eau. Lorsque l'alcool contient 90 p. 100 d'eau, la contraction du volume est de 1,94 p. 100; lorsque la proportion d'eau est de 80 p. 100, la contraction est de 2,87; celle-ci est de 3,44 à 70 p. 100 d'eau, de 3,73 à 60 p. 100, de 3,44 à 40 p. 100, de 2,70 à 30 p. 100, de 1,72 à 20 p. 100 et de 0,72 à 10 p. 100. D'où il suit que, pour apprécier la quantité d'alcool qu'il y a dans un esprit au moyen des densités, il faut connaître la pesanteur spécifique qui correspond à chaque proportion déterminée d'alcool et d'eau mêlés ensemble. Cela fait, on peut, au moyen d'un aréomètre construit pour les liquides plus légers que l'eau, déterminer la force d'un esprit, soit d'après une table des densités, soit d'après une graduation convenable. Un aréomètre construit dans ce but s'appelle un alcoomètre, particulièrement lorsque l'échelle est graduée de manière qu'au lieu d'indiquer la pesanteur spécifique, elle indique immédiatement le nombre de centièmes d'alcool anhydre qui est contenu dans un poids ou un volume donné de liquide.

Les plus employés de ces appareils sont l'*alcoomètre centésimal* imaginé par Gay-Lussac, et les anciens aréomètres de *Baumé* et de *Cartier*, dont nous parlerons à l'article ARÉOMÈTRE. D'après le principe de la graduation de l'alcoomètre centésimal, la force d'un liquide spiritueux est le nombre de centièmes (en volume) d'alcool pur que ce liquide renferme à la température de 15° centigrades, d'où il suit que l'on obtiendra toujours facilement et immédiatement la quantité d'alcool réel contenu dans un esprit, en multipliant le nombre qui exprime le volume de cet esprit par la force de ce même liquide, force donnée par l'instrument.



Fig. 1.

L'alcoomètre (*fig. 1*) a la forme d'un aréomètre ordinaire; son échelle est divisée en 100 parties ou degrés, dont chacun indique un centième d'alcool : la division 0, au bas du tube, correspond à la densité de l'eau pure, et la division 100, vers le haut, à celle de l'alcool absolu. Lorsqu'il est plongé dans un liquide spiritueux à la température de 15° centig., il en donne immédiatement la force; ainsi, si à cette température il s'y enfonce, dans un essai, par exemple, jusqu'à la division 50, c'est que la force du liquide est de 50 pour 100 ou qu'il contient 50 centièmes d'alcool pur.

Plusieurs États étrangers ont, comme la France, adopté exclusivement l'alcoomètre centésimal, et il serait à désirer qu'on le substituât partout à l'aréomètre de Cartier, qui est beaucoup moins exact et surtout moins commode.

Nous rapporterons ici quelques tables extraites du travail de Gay-Lussac, qui est imprimé sous le titre de: *Instruction pour l'usage de l'alcoomètre centésimal et des tables qui l'accompagnent.*

Le tableau suivant donne les densités de l'alcool absolu, et de son mélange avec l'eau, à la température de 15° centig. d'après Gay-Lussac.

Alcool en centièmes.	Densité de la liqueur.
100	0,7947
95	0,8168
90	0,8346
85	0,8502
80	0,8645
75	0,8779
70	0,8907
65	0,9027

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Alcool en centièmes.	Densité de la liqueur.
60	0,9141
55	0,9248
50	0,9348
45	0,9440
40	0,9523
35	0,9595
30	0,9636

Les tables ci-jointes servent à déterminer la richesse alcoolique. La première colonne verticale indique les températures auxquelles on opère ; les colonnes suivantes, le degré marqué par l'instrument à ces diverses températures, et pour les différents centièmes de richesse réelle ; enfin, les nombres écrits en petits chiffres au-dessous des précédents expriment le volume que prendraient, à 15° centig., 1000 parties du liquide soumis à l'essai :

Pour montrer la manière de se servir de ces tables, nous allons en donner un exemple : supposons qu'à la température de 24° C., l'alcoomètre marque 72°,2 dans une liqueur qui occupe un volume de 725 litres ; en rapportant le tout à la température de 15° C., la liqueur occuperait un volume de $725 \times 0{,}992$ litres, et marquerait 75°, de sorte que la quantité d'alcool absolu renfermé dans la liqueur ou sa richesse est :

$$725 \times 0{,}992 \times 0{,}75 = 539{,}4 \text{ litres.}$$

Avant l'invention des aréomètres, on soumettait les liquides alcooliques, pour en estimer la richesse, à divers essais que l'on appelait des *preuves*. Dans le commerce, on a conservé l'usage de quelques-unes de ces preuves, et on se sert souvent des divers termes qui y sont relatifs. Il importe d'avoir à cet égard des définitions précises.

Une eau-de-vie satisfait à la *preuve de Hollande*, lorsque, agitée vivement dans un flacon, elle fait *la perle*, c'est-à-dire qu'il se forme à sa surface une série de gouttelettes. Une telle eau-de-vie marque environ 49° à l'aréomètre de Cartier, 50° à l'alcoomètre de Gay-Lussac, et est formée de volumes égaux d'eau et d'alcool absolu.

Cette variété d'eau-de-vie, qui est au plus faible degré de concentration auquel les produits alcooliques se trouvent dans le commerce, est devenue un type commercial auquel on rapporte tous les autres. Ainsi on nomme *cinq-six* (5/6) un liquide alcoolique tel, qu'en prenant 5 volumes et y ajoutant un volume d'eau, on obtient 6 volumes d'eau-de-vie preuve de Hollande ; ce nouveau type correspond à 21° 3/4 Cartier ou 58° centésimaux ; c'est le degré de la véritable eau-de-vie de Cognac ; c'est la plus élevée que l'on trouve dans les liqueurs destinées à la boisson.

De même que le 5/6 est l'eau-de-vie la plus forte, le 4/5 est l'esprit le plus faible ou celui qui contient le plus d'eau ; c'est le liquide alcoolique dont 4 volumes, avec un volume d'eau, donnent 5 volumes marquant 49° ou preuve de Hollande. Le 4/5 marque environ 23° Cartier ou 62° centésimaux. On nomme le 4/5 *preuve d'huile*, parce que l'huile qui surnage l'eau a, à peu près, la même densité que cet esprit, cesse de rester à la surface du liquide et se mélange avec lui. Ces dénominations ne sont guère usitées aujourd'hui.

Viennent ensuite l'esprit 3/4 qui correspond à 68 centésimaux, le 2/3 à 72°, le 3/5 à 76°, le 4/7 à 78°, etc., toutes dénominations peu usitées aujourd'hui.

Il n'en est pas de même du *trois-six* (3/6) ; il est tel que 3 volumes ajoutés à 3 volumes d'eau forment 6 volumes d'eau-de-vie preuve de Hollande ; il est très-répandu dans le commerce, et donne lieu à un grand nombre de transactions. Il correspond à 33° Cartier ou à 85° Gay-Lussac ou centésimaux.

On appelle ordinairement *esprit rectifié* celui qui est à 90° centésimaux.

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force reelle, dressées par M. Gay-Lussac.

Temper C.	51c	52c	53c	54c	55c	56c	57c	58c	59c	40c	41c	42c	43c	44c	45c
Degrés.															
10	33,0 1002	34 1002	35 1003	36 1003	37 1003	38 1003	39 1003	40 1003	41 1003	42 1003	43 1003	44 1004	45 1004	46 1004	46,9 1004
11	32,6 1002	33,6 1002	34,6 1002	35,6 1002	36,6 1002	37,6 1002	38,6 1002	39,6 1002	40,6 1003	41,6 1003	42,6 1003	43,6 1003	44,6 1003	45,6 1003	46,6 1003
12	32,2 1001	33,2 1001	34,2 1002	35,2 1002	36,2 1002	37,2 1002	38,2 1002	39,2 1002	40,2 1002	41,2 1002	42,2 1002	43,2 1002	44,2 1002	45,2 1002	46,2 1002
13	31,8 1001	32,8 1001	33,8 1001	34,8 1001	35,8 1001	36,8 1001	37,8 1001	38,8 1001	39,8 1001	40,8 1001	41,8 1001	42,8 1001	43,8 1001	44,8 1002	45,8 1002
14	31,4 1001	32,4 1001	33,4 1001	34,4 1001	35,4 1001	36,4 1001	37,4 1001	38,4 1001	39,4 1001	40,4 1001	41,4 1001	42,4 1001	43,4 1001	44,4 1001	45,4 1001
15	31 1000	32 1000	33 1000	34 1000	35 1000	36 1000	37 1000	38 1000	39 1000	40 1000	41 1000	42 1000	43 1000	44 1000	45 1000
16	30,6 1000	31,6 1000	32,5 999	33,5 999	34,5 999	35,5 999	36,5 999	37,5 999	38,5 999	39,5 999	40,6 999	41,6 999	42,6 999	43,6 999	44,6 999
17	30,2 999	31,2 999	32,1 999	33,1 999	34,1 999	35,1 999	36,1 999	37,1 999	38,1 999	39,1 999	40,2 999	41,2 999	42,2 999	43,2 998	44,2 998
18	29,8 999	30,8 999	31,7 998	32,7 99	33,7 998	34,7 998	35,7 998	36,7 998	37,7 998	38,7 998	39,8 998	40,8 998	41,8 998	42,8 998	43,8 998
19	29,4 998	30,4 998	31,3 998	32,3 998	33,3 998	34,3 998	35,3 998	36,3 998	37,3 997	38,3 997	39,4 997	40,4 997	41,4 997	42,5 997	43,5 997
20	29 998	30 998	30,9 997	31,9 997	32,9 997	33,9 997	34,9 997	35,9 997	36,9 997	37,9 997	39 997	40 997	41 997	42,1 997	43,1 996
21	28,6 997	29,6 997	30,5 997	31,5 997	32,5 997	33,5 997	34,5 997	35,5 996	36,5 996	37,5 996	38,6 996	39,6 996	40,6 996	41,7 996	42,7 996
22	28,2 997	29,2 997	30,1 996	31,1 996	32,1 996	33,1 996	34,1 996	35,1 996	36,1 996	37,1 996	38,2 996	39,2 995	40,2 995	41,3 995	42,3 995
23	27,8 996	28,8 996	29,7 996	30,7 996	31,7 996	32,7 996	33,7 996	34,7 995	35,7 995	36,7 995	37,8 995	38,8 995	39,8 995	40,9 994	41,9 994
24	27,4 996	28,4 996	29,3 995	30,3 995	31,3 995	32,3 995	33,3 995	34,3 995	35,3 994	36,3 994	37,4 994	38,4 994	39,4 994	40,5 994	41,5 994
25	27 995	28 995	28,9 995	29,9 995	30,9 995	31,9 994	32,9 994	33,9 994	34,9 994	35,9 994	37 994	38 994	39 993	40,1 993	42,1 993

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force réelle, dressées par H. Gay-Lussac.

Tempér. C.	46e	47e	48e	49e	50e	51e	52e	53e	54e	55e	56e	57e	58e	59e	60e
Degrés															
10	47,9 1004	48,9 1004	49,9 1004	50,9 1004	51,8 1004	52,8 1004	53,8 1004	54,8 1004	55,8 1004	56,8 1004	57,8 1004	58,8 1004	59,7 1004	60,7 1004	61,7 1004
11	47,6 1003	48,6 1003	49,5 1003	50,5 1003	51,5 1003	52,5 1003	53,5 1003	54,4 1003	55,4 1003	56,4 1003	57,4 1003	58,4 1003	59,4 1003	60,4 1003	61,4 1003
12	47,2 1002	48,2 1002	49,2 1002	50,2 1002	50,2 1002	52,1 1002	53,1 1002	54,1 1002	55 1002	56 1002	57 1002	58 1002	59 1002	60 1002	61 1002
13	46,8 1002	47,8 1002	48,8 1002	49,8 1002	50,8 1002	51,8 1002	52,7 1002	53,7 1002	54,7 1002	55,7 1002	56,7 1002	57,7 1002	58,7 1002	59,7 1002	60,7 1002
14	46,4 1001	47,4 1001	48,4 1001	49,4 1001	50,4 1001	51,4 1001	52,3 1001	53,3 1001	54,3 1001	55,3 1001	56,3 1001	57,3 1001	58,3 1001	59,3 1001	60,3 1001
15	46 1000	47 1000	48 1000	49 1000	50 1000	51 1000	52 1000	53 1000	54 1000	55 1000	56 1000	57 1000	58 1000	59 1000	60 1000
16	45,6 999	46,6 999	47,6 999	48,6 999	49,6 999	50,6 999	51,6 999	52,6 999	53,6 999	54,6 999	55,6 999	56,6 999	57,6 999	58,6 999	59,6 999
17	45,2 998	46,2 998	47,2 998	48,2 998	49,2 998	50,3 998	51,3 998	52,3 998	53,3 998	54,3 998	55,3 998	56,3 998	57,3 998	58,3 998	59,3 998
18	44,9 998	45,9 998	46,9 998	47,9 998	48,9 998	49,9 998	50,9 998	51,9 998	52,9 998	53,9 998	54,9 998	55,9 998	56,9 997	57,9 997	58,9 997
19	44,5 997	45,5 997	46,5 997	47,5 997	48,5 997	49,5 997	50,6 997	51,6 997	52,6 997	53,6 997	54,6 997	55,6 997	56,6 997	57,6 997	58,6 997
20	44,1 996	45,1 996	46,1 996	47,2 996	48,2 996	49,2 996	50,2 996	51,2 996	52,2 996	53,2 996	54,2 996	55,2 996	56,2 996	57,2 996	58,2 996
21	43,7 996	44,8 996	45,8 996	46,8 995	47,8 995	48,8 995	49,8 995	50,8 995	51,8 995	52,9 995	53,9 995	54,9 995	55,9 995	56,9 995	57,9 995
22	43,3 995	44,3 995	45,3 995	46,4 995	47,4 995	48,4 995	49.4 995	50,4 995	51,4 994	52,5 994	53,5 994	54,5 994	55,5 994	56,5 994	57,5 994
23	42,9 994	43,9 994	44,9 994	46 994	47 994	48 994	49,1 994	50,1 994	51,1 994	52,1 994	53,1 994	54,1 994	55,1 994	56,1 993	57,1 993
24	42,5 994	43,6 994	44,6 994	45,6 993	46,6 993	47,6 993	48,7 993	49,7 993	50,7 993	51,8 993	52,8 993	53,8 993	54,8 993	55,8 993	56,8 992
25	42,2 993	43,2 993	44,2 993	45,2 993	46,3 993	47,3 993	48,3 993	49,3 993	50,3 992	51,4 992	52,4 992	53,4 992	54,4 992	55,5 992	56,5 992

Tempér. C.	61e	62e	63e	64e	65e	66e	67e	68e	69e	70e	71e	72e	73e	74e	75e
Degrés															
10	62,7 1004	63,7 1004	64,7 1004	65,7 1004	66,7 1004	67,6 1004	68,6 1004	69,6 1004	70,6 1004	71,6 1004	72,6 1004	73,5 1004	74,5 1003	75,5 1003	76,5 1003
11	62,4 1003	63,4 1003	64,4 1003	65,4 1003	66,4 1003	67,3 1003	68,3 1003	69,3 1004	70,3 1004	71,3 1004	72,3 1004	73,2 1004	74,2 1004	75,2 1004	76,2 1004
12	62 1002	63 1002	64 1002	65 1002	66 1002	67 1002	68 1003	69 1003	70 1003	71 1003	72 1003	72,9 1003	73,9 1003	74,9 1003	75,9 1003
13	61,7 1002	62,7 1002	63,7 1002	64,7 1002	65,7 1002	66,7 1002	67,7 1002	68,7 1002	69,6 1002	70,6 1002	71,6 1002	72,6 1002	73,6 1002	74,6 1002	75,6 1002
14	61,3 1001	62,3 1001	63,3 1001	64,3 1001	65,3 1001	66,3 1001	67,3 1001	68,3 1001	69,3 1001	70,3 1001	71,3 1001	72,3 1001	73,3 1001	74,3 1001	75,3 1001
15	61 1000	62 1000	63 1000	64 1000	65 1000	66 1000	67 1000	68 1000	69 1000	70 1000	71 1000	72 1000	73 1000	74 1000	75 1000
16	60,6 999	61,7 999	62,7 999	63,7 999	64,7 999	65,7 999	66,7 999	67,7 999	68,7 999	69,7 999	70,7 999	71,7 999	72,7 999	73,7 999	74,7 999
17	60,3 998	61,3 998	62,3 998	63,3 998	64,3 998	65,3 998	66,3 998	67,3 998	68,3 998	69,3 998	70,3 998	71,3 998	72,3 998	73,3 998	74,3 998
18	59,9 997	61 997	62 997	63 997	64 997	65 997	66 997	67 997	68 997	69 997	70 997	71 997	72 997	73 997	74 997
19	59,6 997	60,6 997	61,6 997	62,7 997	63,7 997	64,7 997	65,7 997	66,7 997	67,7 996	68,7 996	69,7 996	70,7 996	71,7 996	72,7 996	73,7 996
20	59,2 996	60,3 996	61,3 996	62,3 996	63,3 996	64,3 996	65,4 996	66,4 996	67,4 996	68,4 996	69,4 996	70,4 995	71,4 995	72,4 995	73,4 995
21	58,9 995	59,9 995	61 995	62 995	63 995	64 995	65 995	66 995	67 995	68,1 995	69,1 995	70,1 995	71,1 995	72,1 994	73,1 994
22	58,5 994	59,5 994	60,6 994	61,6 994	62,7 994	63,7 994	64,7 994	65,7 994	66,7 994	67,8 994	68,8 994	69,8 994	70,8 994	71,8 993	72,8 993
23	58,1 993	59,2 993	60,2 993	61,3 993	62,3 993	63,3 993	64,3 993	65,4 993	66,4 993	67,4 993	68,4 993	69,4 993	70,5 993	71,5 993	72,5 993
24	57,8 992	58,9 992	59,9 992	61 992	62 992	63 992	64 992	65 992	66 992	67,1 992	68,1 992	69,1 992	70,1 992	71,2 992	72,2 992
25	57,5 992	58,5 992	59,5 992	60,6 991	61,6 991	62,6 991	63,7 991	64,7 991	65,7 991	66,7 991	67,8 991	68,8 991	69,8 991	70,8 991	71,8 991

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Extrait des Tables alcoométriques pour l'évaluation de la force réelle, dressées par M. Gay-Lussac.

Tempér. C.	76e	77e	78e	79e	80e	81e	82e	83e	84e	85e	86e	87e	88e	89e	90e
Degrés.															
10	77,5	78,5	79,5	80,5	81,5	82,4	83,4	84,4	85,4	86,4	87,4	88,3	89,3	90,2	91,2
	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003
11	77,2	78,2	79,2	80,2	81,2	82,2	83,1	84,1	85,1	86,1	87,1	88	89	90	91
	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004
12	76,9	77,9	78,9	79,9	80,9	81,9	82,9	83,9	84,8	85,8	86,8	87,8	88,7	89,7	90,7
	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003
13	76,6	77,6	78,6	79,6	80,6	81,6	82,6	83,6	84,6	85,5	86,5	87,5	88,5	89,5	90,5
	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002
14	76,3	77,3	78,3	79,3	80,3	81,3	82,3	83,3	84,3	85,3	86,3	87,3	88,2	89,2	90,2
	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001	1001
15	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
16	75,7	76,7	77,7	78,7	79,7	80,7	81,7	82,7	83,7	84,7	85,7	86,7	87,7	88,7	89,7
	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
17	75,4	76,4	77,4	78,4	79,4	80,4	81,4	82,4	83,4	84,4	85,4	86,4	87,4	88,4	89,5
	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998
18	75,1	76,1	77,1	78,1	79,1	80,1	81,1	82,1	83,1	84,1	85,2	86,2	87,2	88,2	89,2
	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997	997
19	74,7	75,8	76,8	77,8	78,8	79,8	80,8	81,9	82,9	83,9	84,9	85,9	86,9	87,9	88,9
	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996	996
20	74,4	75,5	76,5	77,5	78,5	79,5	80,5	81,6	82,6	83,6	84,6	85,6	86,6	87,7	88,7
	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995	995
21	74,1	75,2	76,2	77,2	78,2	79,2	80,2	81,3	82,3	83,3	84,3	85,3	86,4	87,4	88,4
	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994
22	73,8	74,8	75,9	76,9	77,9	78,9	79,9	81	82	83	84	85	86,1	87,1	88,2
	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993	993
23	73,5	74,5	75,5	76,6	77,6	78,6	79,6	80,7	81,7	82,7	83,8	84,8	85,8	86,8	88,9
	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992	992
24	73,2	74,2	75,2	76,3	77,3	78,3	79,3	80,4	81,4	82,4	83,5	84,5	85,5	86,5	87,6
	992	992	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991
25	72,8	73,9	74,9	76	77	78	79	80,1	81,1	82,1	83,2	84,2	85,2	86,3	87,4
	991	991	991	991	991	991	991	990	990	990	990	990	990	990	990

Alambic d'essai. Il est évident que les aréomètres ne peuvent donner d'indications précises que lorsqu'on essaye des liquides ne renfermant que de l'eau et de l'alcool. Dans tout autre cas, les matières dissoutes changeant les conditions de la densité, les résultats sont erronés. Aussi doit-on soumettre préalablement la liqueur essayée à la distillation, afin d'en extraire toute la partie alcoolique, qui ne sera plus accompagnée, après cette opération, que d'une proportion plus ou moins grande d'eau distillée, et dont on pourra dès lors doser rigoureusement la valeur, soit par la pesée directe, soit par les aréomètres.

Nous donnerons ici la description de l'appareil le plus commode et le plus complet, celui dû à M. Salleron.

La cucurbite (fig. 2), élevée sur trois pieds métalliques, est chauffée par une lampe à alcool; elle se rattache au serpentin par un tube qui s'adapte à l'aide de deux étriers à vis. La cuve du serpentin est montée sur trois pieds métalliques, et elle porte un tube à entonnoir pour l'introduction du liquide froid. Un trop-plein rejette par le bas le liquide chaud. Une éprouvette porte un point de repère au-dessous duquel le volume total est divisé par deux traits, qui indiquent le tiers ou la moitié de la capacité jusqu'au point de repère. Enfin, à l'appareil sont annexés une pipette, un thermomètre et un alcoomètre, ainsi qu'une table de correction.

Lorsqu'on veut faire un essai, on dispose sur une table les pièces importantes de l'appareil. On remplit d'eau froide la cuve du serpentin, puis on mesure du liquide à éprouver, à l'aide de l'éprouvette, jusqu'au point de repère. Cette quantité est versée dans le bouilleur, puis on ajuste le tube conducteur, et l'on serre les vis des étriers. On allume alors la lampe, et l'on chauffe jusqu'à ce qu'on ait obtenu assez de produit pour remplir l'éprouvette jusqu'au trait 1/3 pour les liquides pauvres, et jusqu'au 1/2 pour les liqueurs très-alcooliques.

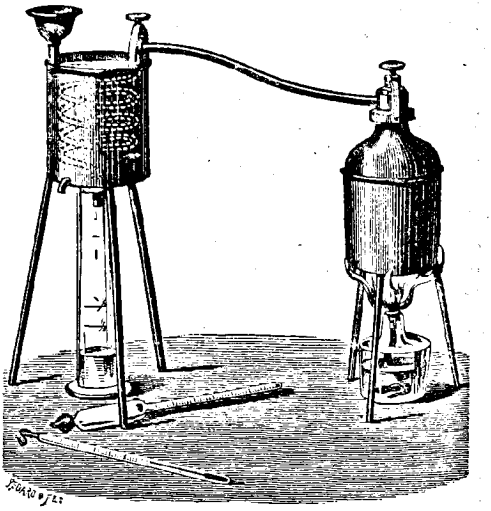


Fig. 2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il va sans dire que l'on verse de l'eau froide par l'entonnoir, dans le cas où le réfrigérant s'échaufferait au-dessous du quart supérieur.

Lorsque le produit est obtenu, on éteint la lampe et l'on retire l'éprouvette. On la remplit alors d'eau simple jusqu'au point de repère, afin de reconstituer le volume total de la prise d'essai, puis on plonge le thermomètre et l'alcoomètre dans la liqueur bien mélangée, et l'on note les chiffres obtenus.

Comme l'alcoomètre a été spécialement construit pour la température de + 15 degrés, il est clair que les indications de cet instrument seront trop faibles si la température est inférieure à ce degré, et que, au contraire, elles seront exagérées si le mélange accuse une température supérieure.

Nous avons déjà donné la table de correction qui sert à reconnaître la valeur réelle de l'indication alcoométrique, selon les degrés de température, et cette table rend les plus utiles services dans les essais que l'on peut avoir à faire. M. Salleron, dans le but de simplifier encore la pratique de l'essai des vins, a imaginé un petit instrument qui donne immédiatement la correction cherchée sans que l'on ait aucun calcul à effectuer. Cet instrument est une *règle de compensation* (fig. 3), fondée sur une proportionnalité assez approchée des effets de l'échauffement, dont l'usage est aussi facile que la construction en est simple et ingénieuse. Il se compose d'une petite règle plate, présentant sur les côtés l'indication alcoométrique; le milieu est occupé par une rainure à coulisse, dans laquelle peut glisser à volonté une réglette mobile marquant les degrés de température de 0 degré à 30 degrés, comme l'indique la figure 3 ci-contre.

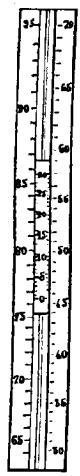


Fig. 3.

Si l'on veut connaître la valeur précise d'un esprit dont le degré apparent est donné à une température connue, il suffit de faire araser le point de la réglette intérieure donnant la température avec la ligne du degré alcoolique apparent; la ligne de la réglette qui correspond à la température de + 15 degrés donnera le degré alcoolique réel marqué sur l'un des bords de la règle.

Autres appareils. Le désir de faciliter le travail de vérification lors de la perception des impôts élevés auxquels est soumis l'alcool a fait combiner divers appareils fondés sur d'autres propriétés physiques des liqueurs alcooliques que leur densité, sans qu'aucun ait été adopté, comme aussi simple qu'un aréomètre. Nous citerons seulement les principaux :

1° Le liquomètre. Cet appareil d'alcoolimétrie est basé sur l'ascension des liquides dans un tube capillaire; il est représenté par la figure 4 ci-contre; nous allons le décrire sommairement.

Le liquomètre est un tube capillaire à parois épaisses, en verre, dans lequel les liquides alcooliques peuvent s'élever à une hauteur plus ou moins considérable, en vertu des lois de l'attraction, selon leur composition et la température de la liqueur au moment de l'opération. L'application des faits de la capillarité à l'alcoométrie est due à M. Arthur.

Le tube du liquomètre porte des divisions qui indiquent la richesse alcoolique du liquide observé à la température de + 15 degrés, et le zéro correspond à l'eau pure.

Voici le manuel opératoire indiqué pour l'usage de cet instrument. On plonge le tube dans l'eau à + 15 degrés jusqu'à ce qu'il soit bien équilibré de température avec ce liquide. On le retire alors, et l'eau étant écoulée, on aspire dans le tube du liquide à essayer jusqu'à ce qu'il soit plein, puis on en met la pointe à l'affleurement avec la liqueur. La portion contenue dans le tube descend plus ou moins, selon la richesse alcoolique. On n'a qu'à lire la division correspondante au point d'arrêt pour avoir la richesse du vin examiné.

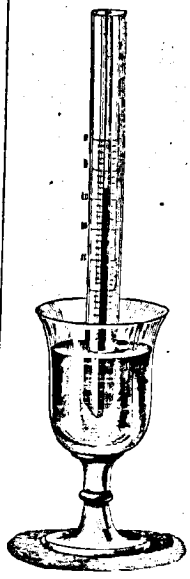


Fig. 4.

Ce mode d'essai serait fort simple, et il ne resterait plus à faire sur le résultat qu'une simple correction proportionnelle à la température de l'observation, si les choses se passaient exactement comme le suppose l'inventeur. Mais il ne faut que des traces insignifiantes de corps gras, de principes savonneux ou résinoïdes de certaines matières salines, etc., pour fausser les indications du liquomètre, et il est impossible d'accorder à cet instrument plus de confiance qu'on n'en aurait dans un à peu près. Ce n'est pas là de la précision, et il faut toujours en revenir à une distillation préalable pour isoler l'alcool et l'eau des matières étrangères et pour pouvoir apprécier nettement la richesse alcoolique d'un vin donné.

2° Le dilatatomètre de M. Silbermann, qui permet de mesurer la dilatation de la liqueur à essayer, chauffée dans un tube cylindrique; on lit le nombre de degrés parcourus sur une échelle divisée comme pour un thermomètre, et de cette lecture se conclut l'accroissement de volume (au moyen d'une graduation préalable), et par suite de la différence de la dilatation du liquide alcoolique avec celle de l'eau, différence assez sensible pour que l'instrument soit possible, la dilatation de l'alcool étant triple de celle de l'eau, on calcule la proportion d'alcool mélangé à l'eau.

3° Les ébullioscopes fondés sur la constatation du point d'ébullition. En 1833, M. Tabarié, de Montpellier, proposa son *œnoscope centésimal* fondé sur le principe de la variation du point d'ébullition de mélanges alcooliques de richesses différents. En 1841, M. l'abbé Brossard-Vidal, de Toulon, fit connaître son *ébullioscope alcoolométrique*, fondé sur le même principe. Des modifications plus ou moins heureuses de ces alcoomètres à ébullition ont été indiquées par le docteur Ure, M. Conati, mademoiselle Vidal, etc.

Dans la pratique, tous ces systèmes n'ont pu détrôner la mesure si simple de la densité, l'alcoomètre de Gay-Lussac.

Production de l'alcool par la fermentation. Après être resté longtemps en médicament, préparé dans le laboratoire des pharmaciens, l'alcool commença à être plus connu au XVIe siècle. Libavius indique qu'on peut l'extraire non-seulement du vin (d'où son nom d'*esprit-de-vin*), mais encore des grains, des fruits sucrés, des glands, de la bière et des moûts fermentés. Mais ce n'est guère que dans les premières années du XVIIIe siècle que la consommation des eaux-de-vie commença à prendre des développements qui ont toujours été en s'accroissant, et que la distillation des vins, et successivement des autres liquides alcooliques, pût être considérée comme une industrie, qui est devenue de nos jours très-considérable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'industrie de la production de l'alcool présente le caractère remarquable d'être à la fois agricole et manufacturière: elle fournit une solution d'un problème économique du plus haut intérêt, savoir: extraire des récoltes un produit qui peut être obtenu dans les campagnes et qui est d'un prix élevé, sans que son exportation appauvrisse le sol cultivé, en emportant avec lui des matières fertilisantes, coûteuses ou difficiles à remplacer. Or l'alcool, comme le sucre, comme l'huile, satisfait parfaitement à cette condition, puisqu'il ne contient que des éléments carbonés, hydrogénés et oxygénés que l'atmosphère fournit en abondance, et que l'on peut garder dans les fermes, sous forme de pulpes, vinasses et tourteaux, tous les principes azotés et minéraux des plantes récoltées, et s'en servir pour nourrir du bétail et obtenir des engrais abondants.

Sources d'alcool. L'alcool est la substance qui donne à toutes les liqueurs fermentées, les vins, la bière, le cidre, leurs propriétés spéciales, toniques et enivrantes; on l'extrait de ces corps par DISTILLATION. Nous avons consacré un article spécial à chacune de ces fabrications, comme à la fermentation et à la distillation. Nous n'avons donc pas à traiter ici ces questions en détail, nous voulons seulement analyser d'une manière générale les conditions de la production de l'alcool, et indiquer les sources nombreuses, qu'en outre des précédentes, offre le règne végétal.

Les végétaux sont composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène; l'azote ne se trouve que dans les grains et dans les germes, les matières minérales qui s'y rencontrent en minimes quantités ne sont que des incrustations produites par l'entraînement de l'eau venant du sol et qui forme la sève de la plante. Un simple aperçu général, dit fort justement M. Basset dans son grand ouvrage sur la fabrication de l'alcool, permet d'établir sommairement les propositions suivantes:

1° Le corps le plus répandu dans le monde végétal, celui qui fait la base de la trame organique est le *carbone*.

2° La combinaison du carbone, qui se rencontre le plus fréquemment dans les végétaux, est celle qu'il forme avec l'hydrogène; elle donne lieu à bien des produits divers, à des *carbures d'hydrogène*.

3° Enfin l'oxygène, qui joue un si grand rôle lors de la nutrition ou de la décomposition d'un végétal, lorsque la vie cesse, à l'état d'acide carbonique, vient former un composé ternaire en se combinant au carbone et à l'hydrogène.

Une combinaison très-fréquente est celle des *corps hydrocarbonés*; elle existe partout, dans toutes les plantes: la *cellulose*, la *fécule*, les *gommes*, les *sucres*, etc., etc., appartiennent à ce groupe dont le caractère distinctif est que de l'oxygène et de l'hydrogène s'y trouvent dans les mêmes proportions que l'eau.

Tous les corps hydrocarbonés sont alcoolisables.

Voyons quels sont, au point de vue économique, c'est-à-dire en raison de la plus grande facilité de production par la culture, les corps pouvant servir à produire l'alcool. Bien entendu que la condition d'économie du corps producteur n'est pas seule à considérer; la dépense nécessitée par la préparation doit être placée dans l'autre plateau de la balance, dans le cas général, indépendamment des cas particuliers où la qualité spéciale des produits rend impossible la substitution à un certain alcool de celui préparé par un moyen plus économique. Telles sont les eaux-de-vie extraites du vin de raisin, ayant une saveur et un arome spécial, dus sans doute à des quantités minimes d'éther, qui leur donnent un haut prix. En allant des substances les plus chères aux moins coûteuses, nous avons l'ordre suivant:

Fruits. — Raisins, Pommes, Prunes, Cerises.

Graines. — Blé, Seigle, Riz.

Sucres végétaux renfermés dans les tiges. — Canne à sucre, Sorgho, Maïs.

Tubercules. — Pommes de terre, Topinambours.

Racines sucrées. — Betteraves, Carottes.

Bois — Ligneux.

Les corps hydrocarbonés cités plus haut, qui jouent le rôle essentiel dans le développement de la plante et surtout dans la nutrition des germes, sont les seuls qui intéressent l'alcoolisation; car, seuls, ils sont fermentescibles, mais non toujours immédiatement.

En effet, le sucre seul est fermentescible avec production d'alcool, comme cela est facilement constatable; mais encore, tous les sucres ne sont-ils pas placés dans les mêmes conditions, et l'on peut dire, strictement, que le seul sucre, fermentescible directement et sans modification, est le sucre des fruits acides $C^{12}H^{9}O^{9}.3HO$, car c'est le seul qui se dédouble, sans reste, en alcool et en acide carbonique.

Le sucre de raisin ou glucose paraît n'en être qu'un bihydrate, sous sa forme normale, et l'on peut le regarder comme représenté par $C^{12}H^{9}O^{9}.3HO+2HO$. Il abandonne un *reste* de deux équivalents d'eau en se décomposant par la fermentation vineuse. Quant au sucre prismatique cristallisable, il ne fermente qu'après avoir acquis une proportion d'eau et être parvenu de l'état de $C^{12}H^{9}O^{9}.2HO$ à celui de $C^{12}H^{9}O^{9}.3HO$, au moins, modification que, d'ailleurs, il éprouve avec la plus grande facilité.

De cela il résulte que si l'on comprend sous le nom générique de glucose le sucre non prismatique, on peut dire en thèse générale:

« *Le glucose seul est directement fermentescible.* »

Examinons donc comment la nature produit cette modification dans les fruits qui offrent le glucose à l'état normal.

Si nous supposons avoir sous les yeux des *pommes* ou des *poires*, par exemple, qui ne soient pas encore parvenues à leur maturité, nous pourrons facilement constater, par l'analyse ou le simple examen, que le sucre n'y existe pas encore, ou, du moins, qu'il ne s'y trouve qu'en très-faible proportion. Nulle odeur, pas de dégagement d'acide carbonique, etc.; un fruitier rempli de fruits verts semblables ne trahit nullement leur présence. Que si, au contraire, nous pénétrons dans un cellier plein de fruits mûrs, l'odeur fortement vineuse qui s'en dégage et l'acide carbonique libre, qui se trouve abondamment dans le local, viennent nous démontrer l'existence d'une véritable fermentation alcoolique naturelle.

Lorsque le fruit est arrivé à toute sa grosseur, que, pour pouvoir être cueilli, il n'attend plus que la maturité, il contient une quantité très-considérable de pectosine de cellulose et d'acide malique; on y remarque aussi une certaine proportion de fécule et un peu de glucose.

Au fur et à mesure que survient la maturité, l'acide réagit sur ces éléments et transforme la cellulose peu agrégée, la pectosine et la fécule, en sucre incristallisable de fruits, au moins pour la plus grande partie; des fruits, parvenus à cet état et transportés dans un local à température constante, suffisamment élevée, ne tardent pas éprouver une véritable fermentation alcoolique, sous l'influence des ferments globulaires et des matières albuminoïdes qu'ils renferment; c'est cette fermentation qui détermine le dégagement d'acide carbonique et l'odeur d'alcool de fruits, toujours si remarquable dans un cellier. Ces deux produits volatils se dégagent et disparaissent assez promptement; il y a même certaines espèces de pommes ou de poires assez poreuses pour qu'après sept ou huit jours la fermentation alcoolique ait complétement cessé et que la pourriture commence; le blessissement des pommes et des poires n'a pas d'autre cause. D'autres variétés, au contraire, ne renferment presque pas d'acide et, en revanche, n'offrent qu'une chair farineuse et sans goût.

En effet, dans ces dernières, de l'acide n'ayant pas réagi sur la fécule et sur les autres matières transfor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mables, le peu d'alcool et d'acide carbonique produits se sont rapidement dégagés, et il ne reste plus qu'une matière féculente d'une saveur nulle et d'un goût fade, presque désagréable.

Tels sont les phénomènes naturels qu'il s'agit de produire dans la fabrication des divers alcools industriels.

Saccharification. — Pour amener à l'état de sucre les substances hydrocarbonées qui peuvent subir cette transformation, il faut les rendre solubles, les ramener à l'état gommeux qui les rend susceptibles de s'hydrater. On y parvient en employant soit la diastase, les grains germés, soit un acide étendu, comme nous l'avons dit aux articles BIÈRE, GLUCOSE, etc.

La diastase, qui n'introduit aucun principe insalubre dans les résidus des fabrications, dont le bon emploi pour la nourriture du bétail est d'importance capitale, est employée pour les fabrications des produits de meilleure qualité. L'acide sulfurique étendu est employé pour des fabrications rapides et dans des cas où la diastase aurait une action insuffisante.

Alcoolisation. Le sucre de fruits acides fermente immédiatement au contact de la levure de bière, quand on le place dans des circonstances convenables de dissolution, d'aération et de température. Le dédoublement s'opère sans reste, et les produits de la réaction sont indiqués par la formule :

$$C^{12}H^{12}O^{12} + 3HO = 2(C^4H^6O^2 + 2HO) + 4CO^2.$$

Sucre de fruit = alcool + acide carbonique.

$$2250 = 1150 + 1100 \ (= 2250).$$

Passons en revue les principales fabrications d'alcool, au moyen des divers corps hydrocarbonés, remarquant qu'en créant l'industrie de la production de l'alcool au moyen de diverses substances que la culture produit facilement en immenses quantités, la chimie a appris à l'obtenir à un prix minime et en proportions illimitées. Nous ne donnerons ici que les principes de ces fabrications en renvoyant à l'article DISTILLATION, pour l'extraction de l'alcool formé dans les liquides, ce qui revient à indiquer les conditions convenables à la saccharification et à la fermentation.

1° *Alcool de fruits, de raisin.* — Les alcools de fruits, ayant une odeur et un goût agréables, ne se préparent en général qu'à l'état d'EAU-DE-VIE, extraits pour le raisin, du vin, par distillation. Le ferment déposé dans les graines en même temps que le jus sucré en rend la fabrication très-simple. Le vin distillé de manière à fournir de l'alcool à 54° donne, dans la Charente, les eaux-de-vie de Cognac, qui acquièrent toutes leurs qualités après avoir été conservées pendant quelques années dans des fûts en chêne.

Les alcools de Montpellier à 85°, obtenus à l'aide des vins du Midi, donnent encore de très bonnes eaux-de-vie, quand on abaisse leur degré avec de petites eaux, c'est-à-dire de l'eau de pluie, dans laquelle on fait infuser des copeaux de chêne blanc ou des coquilles de noix concassées, et quelquefois de petites quantités de vanille, de cachou, de baume de tolu, etc.

Le jus de cerises fermenté et distillé donne la liqueur connue sous le nom de KIRSCH-WASER.

2° *Alcool préparé au moyen de sucs végétaux sucrés.* Après les fruits, la première substance dont nous parlerons est le *vesou*, ou jus exprimé de la canne à sucre, qui contient 12 à 16 p. 100 de sucre, et qui, de même que le suc de raisin, éprouve de lui-même la fermentation vineuse sans l'addition d'un ferment, puis qui, soumis à la distillation, donne le *rhum*, liqueur spiritueuse qui doit sa saveur particulière à une certaine huile volatile renfermée dans le jus de la canne à sucre.

Quoique, comme nous venons de le dire, le vesou éprouve de lui-même la fermentation vineuse, celle-ci marche si lentement et d'une manière si irrégulière, que l'on y ajoute ordinairement un peu de ferment pour l'accélérer. A cet effet, on suspend dans la liqueur des chiffons de laine qui s'imprègnent du ferment qui se forme, et qu'on laisse ensuite sécher jusqu'à la récolte suivante, pour les ajouter alors au vesou que l'on veut faire fermenter. Très-souvent, au lieu d'employer le vesou, on fabrique le rhum en faisant fermenter un mélange de mélasse, d'écumages de la fabrication du sucre, d'eaux provenant du lavage du sucre brut ou terré, et même quelquefois de sucre cristallisé, puis soumettant le tout à une ou deux distillations dans des alambics simples.

Le suc de palmier, le lait de coco, etc., traités comme le vesou, donnent des liqueurs spiritueuses qui portent le nom d'arrach, etc. Le miel, étendu d'eau et traité de même, fournit l'hydromel.

Toutes les matières sucrées comme les mélasses, formées presque exclusivement de sucre et qu'il n'y a qu'à faire fermenter, beaucoup de racines sucrées, telles que les betteraves, les carottes, etc. (voyez *Complément*, DISTILLATION DE BETTERAVES), sont susceptibles de produire de l'alcool à bon marché.

3° *Emploi des matières amylacées.* Déjà, à l'article BIÈRE, nous avons traité de la transformation de l'amidon en alcool, il nous restera donc ici peu de chose à ajouter.

Eau-de-vie de grains. Toutes les céréales propres à la fabrication de la bière, le froment, le seigle, l'orge et l'avoine, servent à la fabrication de l'eau-de-vie. La quantité d'eau-de vie qu'on en retire est en proportion de celle de l'amidon qu'elles renferment. La différence qu'elles présentent consiste surtout dans le prix d'achat. Dans les années de grande abondance, la fabrication de l'alcool avec ces matières prend beaucoup de développement. C'est le seul moyen d'utiliser les grains avariés. L'orge et le seigle sont les plus employés. On emploie l'orge en tout ou en partie à l'état de malt, tandis que l'on ne fait subir aucune préparation aux autres céréales, et qu'on se contente d'y ajouter une certaine quantité de malt d'orge, pour fournir la DIASTASE nécessaire pour opérer la transformation de l'amidon en sucre. Ordinairement, lorsqu'on n'emploie que de l'orge, on en prend 1/3 à 1/6 à l'état de malt, et lorsqu'on se sert d'autres céréales, on y ajoute 1/6 à 1/8 de malt d'orge. L'avoine a l'avantage de rendre l'opération plus facile.

Dans les meilleures distilleries d'Écosse, on emploie le mélange suivant :

	En volume.	En poids.
Avoine	400	8
Malt d'orge	468	42
Seigle	400	9
Orge	632	78
	1,000	107

La préparation du malt se fait comme nous l'avons indiqué à l'article BIÈRE ; mais il doit être pâle et très-faiblement torréfié, sous peine de communiquer à l'eau-de-vie un arrière-goût désagréable.

L'extraction du moût se fait comme pour la bière, à cette différence près, que l'on réduit d'abord les céréales en farine sous des meules ordinaires, au lieu de se contenter de concasser grossièrement le malt entre des cylindres broyeurs.

Le moût ainsi obtenu s'aigrit beaucoup plus facilement que le moût de bière préparé avec du malt d'orge seulement, et doit, par conséquent, être refroidi le plus rapidement possible, et ramené à une température de 18 à 20°. On en accélère ensuite la fermentation par l'addition, à plusieurs reprises, d'une certaine quantité de levure de bière ; la densité de la liqueur diminue peu à peu, et on reconnaît que la fermentation alcoolique est terminée, lorsque le liquide prend une réaction acide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et rougit d'une manière permanente le papier de tournesol. On se sert souvent de l'aréomètre pour juger des progrès de l'opération ; celle-ci s'opère d'une manière d'autant plus régulière et plus complète, que les cuves de fermentation sont plus grandes.

Lorsqu'on n'emploie que du malt d'orge, on se contente de le concasser grossièrement avant l'extraction du moût, que l'on traite ensuite comme il est dit ci-dessus.

La fabrication qui vient d'être décrite est celle suivie en Angleterre par les distillateurs de whisky et de gin. Par la méthode anglaise, dit fort bien M. Lacambre, on analyse en quelque sorte les matières farineuses ; on dissout d'abord toutes les matières utiles à la distillation, pour en séparer des matières qui, non-seulement ne renferment rien d'alcoolisable, mais encore contiennent différents principes nuisibles à la qualité des produits. En effet, quand la saccharification est bien conduite d'après la méthode anglaise, le marc est complétement épuisé et ne renferme plus que des quantités insignifiantes de matières féculentes, tandis que la presque totalité des huiles essentielles que contiennent ces céréales, restent dans le marc: d'où il résulte que les produits de la distillation obtenus par la méthode anglaise sont bien plus purs que ceux qui proviennent de la méthode souvent suivie en Allemagne, c'est-à-dire de la fermentation et de la distillation de la totalité des matières farineuses que l'on traite; où l'on distille les matières pâteuses dont l'altération engendre des produits infects.

Genièvre. La fabrication du genièvre diffère de celle de l'eau-de-vie de grains : 1° en ce qu'on arrête la fermentation du moût avant que tout le sucre se soit converti en alcool, ce qui cause, il est vrai, une perte considérable sur le produit, mais empêche d'un autre côté la production de cette huile volatile qui communique un goût si désagréable aux eaux-de-vie de grain ; 2° en ce que l'on ajoute au moût, soit avant la fermentation, soit seulement après, et avant la première ou la seconde distillation, une certaine quantité de genièvre.

Emploi du maïs et du riz. — La nature cornée du maïs exige impérieusement sa mouture préalable et la séparation de la farine d'avec le son. La farine doit être empâtée avec de l'eau plus que tiède, et il faut la laisser s'hydrater un temps suffisant avant l'introduction de 15 à 25 p. 100 d'orge germée. Le mode d'opération est d'ailleurs le même que celui employé pour les céréales, le maïs renfermant comme elles 70 p. 100 de fécule, mais, en outre, 5 à 8 p. 100 d'huile grasse.

Le riz est souvent, par suite des variations des prix, une matière première avantageuse pour la fabrication de l'alcool. Présentant également une texture très-serrée, il demande, comme le maïs, à être réduit préalablement en farine, et cette dernière à être hydratée avec soin pour la saccharification.

4° *Alcool préparé au moyen des pommes de terre.* Les pommes de terre, en raison de leur bas prix et de leur richesse en fécule, qui s'élève de 16 à 22 p. 100 de leur poids (dans lequel l'eau entre pour 72 p. 100), sont très-employées pour la fabrication de l'alcool.

On commence par laver les pommes de terre dans un appareil semblable à celui employé pour le lavage des betteraves (voyez SUCRE); puis on les cuit à la vapeur dans une cuve à double fond. On les retire de la cuve dès qu'elles sont cuites, et on les réduit immédiatement en une pâte homogène au moyen d'un appareil qui se compose de deux cylindres tournant en sens inverse l'un de l'autre, d'un laminoir. Les pommes de terre, tombant d'une trémie placée au-dessus des cylindres, sont écrasées et tombent ensuite dans la cuve à saccharification. On ajoute ensuite du malt concassé, dans la proportion de 1/20 du poids des pommes de terre, et de l'eau en quantité suffisante pour ramener la température du mélange à 75°. On brasse le tout mécaniquement ou à bras pendant deux heures, puis on ajoute de l'eau froide jusqu'à ce que la température se soit abaissée à 25°, et on transvase le mélange dans la cuve à fermenter à travers des tamis qui retiennent les parties insolubles, en y ajoutant environ 3 à 4 p. 100 de levûre. La fermentation marche très-rapidement et produit beaucoup de levûre.

5° *Emploi de la cellulose.* — C'est à Braconnot de Nancy, un des premiers chimistes qui ont commencé à élever l'édifice de la chimie organique, devenu depuis si considérable, qu'est due la découverte de la possibilité de saccharifier la cellulose végétale. Elle n'a pas conduit jusqu'ici à des résultats industriels, et le travail accompli par la végétation pour fournir abondamment des végétaux féculents ou à jus sucré est moins dispendieux que celui répondant à la consommation d'acides exigée par cette opération, mais elle n'en offre pas moins théoriquement beaucoup d'intérêt.

La composition de la cellulose pure, telle qu'elle se trouve dans la moelle de sureau, le papier, le linge longtemps blanchi, etc., est la même que celle de la fécule ; elle représente du sucre auquel il manque de l'eau. Cette composition explique le succès de Braconnot. Il décrit ainsi qu'il suit la manipulation.

On prend 5 grammes de chiffons de toile ; après les avoir bien desséchés, on les arrose dans un mortier de verre avec de l'acide sulfurique, 34 grammes, en agitant et broyant ensuite ; le linge est réduit en une masse mucilagineuse poissante, peu colorée, sans dégagement d'acide sulfurique ni dépôt de carbone. On délaye dans de l'eau, qui dissout la masse, sauf un petit résidu qui est du linge non décomposé. On sature avec de la craie l'acide dissolvant ; on filtre pour séparer le dépôt de sulfate de chaux, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse en séparant un reste de sélénite. On continue à chauffer cette matière gommeuse avec de l'acide sulfurique étendu d'eau comme pour préparer du glucose avec de la fécule; on met en ébullition pendant dix heures, on sature avec le carbonate de chaux ; enfin, on évapore en sirop et l'on met à cristalliser. On obtient ainsi du sucre que l'on peut rendre très-blanc par une filtration sur du noir d'os, et qui paraît semblable au sucre d'amidon ou de raisin. *Une livre de chiffons donne au delà d'une livre de sucre.*

On voit que l'expérience est bien probante. Elle est bien souvent répétée dans les cours de chimie, et cependant n'a pas fourni la base d'une fabrication industrielle. C'est que si la matière première est à bas prix, la consommation d'acide est considérable et fait que le procédé n'est pas économique. M. Basset, dans le *Guide du fabricant d'alcools*, faisant le calcul des frais de fabrication, en partant de la sciure de bois, montre qu'il ne permet pas, en admettant une réussite complète dans une fabrication en grand, de produire l'alcool à moins de 77 fr. l'hectolitre. Si l'on ajoute à cette somme les frais généraux, le procédé est loin d'offrir une probabilité de supériorité sur le traitement des plantes à jus sucré que l'agriculture fournit à l'industrie de la production de l'alcool.

FABRICATION DE L'ALCOOL PAR SYNTHÈSE. — Depuis quelques années, on s'est préoccupé dans l'industrie de fabriquer l'alcool par synthèse, au moyen de l'hydrogène bicarboné. Quoique ces tentatives n'aient pas encore fourni de résultats pratiques, nous croyons utile de donner les procédés de laboratoire qui conduisent à cette fabrication, et d'indiquer les conditions qu'il semble nécessaire de remplir pour résoudre le problème industriel.

Exposons d'abord le principe de cette synthèse, réalisée en 1855 par M. Berthelot.

Pour former l'alcool ordinaire, il suffit d'ajouter deux équivalents d'eau à l'éthylène (autrement dit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hydrogène bicarboné). Cette addition est représentée par la formule suivante :

$$C^4H^4 + H^2O^2 = C^4H^6O^2$$
Éthylène Eau Alcool

Elle se réalise par deux degrés successifs. On combine d'abord l'éthylène avec l'acide sulfurique, ce qui donne naissance à un composé désigné sous le nom d'acide éthylsulfurique. Ce composé, mis en présence d'une grande quantité d'eau, se détruit avec production d'alcool et régénération d'acide sulfurique. Le dernier corps joue donc le rôle d'intermédiaire et reparaît théoriquement sans perte à la fin des réactions.

Décrivons maintenant l'expérience, telle qu'on la réalise dans les laboratoires : les circonstances dans lesquelles elle se produit ont une grande importance au point de vue de l'avenir industriel de la fabrication.

Dans un flacon bouché à l'émeri et rempli en grande partie d'éthylène, on introduit sur la cuve à mercure et à l'aide d'une pipette courbe, une certaine quantité d'acide sulfurique monohydraté. Cet acide doit être concentré à l'avance, et en vue de l'expérience même, par l'ébullition ; pour peu qu'il contienne de l'eau, il ne donne aucun résultat. Tout d'abord, aucune réaction n'apparaît, si ce n'est une légère absorption, comparable à celle que l'eau pourrait produire à l'égard de l'éthylène. Pour opérer la combinaison, il faut recourir à une condition mécanique nouvelle, à une agitation opérée dans des circonstances tout à fait exceptionnelles. En effet, après avoir bouché le flacon qui contient de l'acide sulfurique, de l'éthylène et du mercure, on le secoue vivement et pendant un temps très-long : trois quarts d'heure environ et trois mille secousses sont nécessaires. En opérant sur 30 litres de gaz, on a dû employer 53,000 secousses. On fait ainsi intervenir des phénomènes mécaniques tout particuliers, produits par le choc et qui semblent faciliter la combinaison. Sous cette influence, le gaz s'absorbe graduellement et complétement, s'il est pur.

Sans attendre ce résultat, à mesure que la quantité de gaz diminue, on peut en faire passer une nouvelle proportion dans le flacon. En faisant intervenir un nombre de secousses convenable, on réussit alors à faire absorber à l'acide sulfurique jusqu'à 120 fois son volume d'éthylène. Toutefois, l'absorption des dernières portions de gaz étant d'autant plus lente et plus difficile que l'on se rapproche davantage du point de saturation de l'acide, il est bon de s'arrêter lorsque 80 volumes environ ont été absorbés.

En disposant les appareils de façon à pouvoir exercer sur le gaz une pression de plusieurs atmosphères, et en élevant la température avec modération, on réussirait sans doute à abréger beaucoup la durée de la réaction et à augmenter la quantité totale du gaz absorbé.

Il s'agit maintenant d'effectuer la seconde phase de la réaction, c'est-à-dire de décomposer l'acide éthysulfurique et d'obtenir l'alcool.

A cette fin, on verse le liquide des flacons avec précaution, et en évitant une trop forte élévation de température, dans un volume d'eau égal à 8 ou 10 fois le volume de la liqueur acide. Le tout est ensuite introduit dans une cornue et distillé. Comme l'alcool bout à une température plus basse que l'eau, il suffit de recueillir les premiers produits de la distillation : ils renferment tout l'alcool formé. Pour concentrer cet alcool, on se sert des mêmes artifices sur lesquels repose la préparation industrielle de ce corps au moyen du vin et des liquides fermentés.

Telles sont les conditions de l'expérience de laboratoire. Examinons maintenant jusqu'à quel point elles peuvent être transportées dans l'industrie.

A ce point de vue, ces conditions peuvent être ramenées à trois catégories, savoir :

1° Matières premières ;
2° Manipulations ;
3° Produits obtenus.

1° *Matières premières.* — Le gaz d'éclairage se présente en apparence tout naturellement comme source économique d'éthylène, puisqu'il est fabriqué dans l'industrie en très-grandes quantités. Cependant c'est une mauvaise matière première. En effet, la quantité d'éthylène qu'il renferme est très-faible ; en général on ne peut guère l'évaluer au-dessus de 1 à 2 pour 100.

Ce chiffre surprendra peut-être : dans la plupart des Traités de Chimie, on le porte à 5, 6 et 8 centièmes. C'est que l'on comprend dans le gaz de l'éclairage, sous le nom de *gaz oléfiant* (éthylène), tous les gaz absorbables par le chlore, par le brôme, ou, ce qui revient au même, par l'acide sulfurique de Nordhausen. Mais cette appréciation, entendue strictement, est très-peu exacte. En effet, le chlore, le brôme, ou l'acide sulfurique fumant, enlèvent au gaz de l'éclairage non-seulement de l'éthylène, mais aussi un grand nombre d'autres gaz et vapeurs, tels que l'acétylène, divers autres carbures gazeux, enfin les vapeurs de certains corps volatils, tels que la benzine, la naphtaline, etc. Tous ces carbures contribuent, autant et plus encore que l'éthylène, à donner au gaz ses propriétés éclairantes. A ce point de vue, l'estimation du volume total absorbé par le brôme ou l'acide sulfurique fumant fournit un renseignement précieux. Mais il n'en est pas de même quand il s'agit de fabriquer l'alcool ordinaire : l'éthylène seul concourt à cette production, et sa proportion est très-inférieure au volume total des gaz qui concourent aux propriétés éclairantes.

Il résulte de cette pauvreté en éthylène que, pour obtenir une très-faible quantité d'alcool, il faudrait employer un volume énorme de gaz de l'éclairage, ce qui entraîne des difficultés de diverse nature. Soit, par exemple, 5,000 mètres cubes de gaz renfermant 1 pour 100 d'éthylène, ils fourniront au plus 2 litres d'alcool.

Ce n'est pas tout : les substances diverses contenues dans ce gaz réagissent sur l'acide sulfurique concentré, en donnant des produits étrangers à l'alcool. Leur formation est facile à démontrer : il suffit de faire passer un courant de gaz dans un matras contenant une mince couche d'acide sulfurique concentré, pour voir ce liquide jaunir, puis brunir très-rapidement. Au bout d'un jour de contact, l'acide est complétement noirci. Au contraire, l'éthylène pur colore à peine en jaune clair l'acide sulfurique. Ces impuretés contenues dans le gaz de l'éclairage ont le double inconvénient de souiller l'alcool et l'acide sulfurique qui doivent être régénérés plus tard.

2° *Manipulations.* — Les manipulations relatives à l'absorption de l'éthylène par l'acide sulfurique, dans l'état présent de nos connaissances, sont très-difficiles à réaliser économiquement sur une grande échelle. Nous avons vu, en effet, que ce n'est pas par une agitation ordinaire que l'on arrive à faire absorber à l'acide sulfurique l'éthylène pur ; mais il faut recourir à une agitation excessivement prolongée et compliquée de phénomènes mécaniques particuliers. Pour réaliser une telle agitation dans l'industrie, il faudrait recourir soit à une grande dépense de force, soit à une disposition spéciale d'engins plus ou moins coûteux. A la vérité, il est à peu près certain qu'en opérant avec le concours d'une pression élevée, les masses mises en contact sous le même volume étant plus considérables, la réaction aurait lieu plus rapidement. Mais, même dans ce cas, il faudrait toujours dépenser un certain travail pour comprimer le gaz et se servir à cet effet d'appareils très-coûteux. Toutes ces difficultés se présenteraient déjà si l'on pouvait opérer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec l'éthylène pur ; elles seraient nécessairement bien plus grandes et presque insurmontables avec un gaz aussi pauvre en éthylène que le gaz de l'éclairage.

3° *Produits obtenus.* — La nature des produits que l'on obtiendra demande aussi à être examinée. Ces produits sont de deux natures : l'alcool et l'acide sulfurique.

Commençons par l'alcool. L'alcool obtenu avec le gaz de l'éclairage, du premier jet, sera certainement d'une très-mauvaise qualité et doué d'une forte odeur empyreumatique. Il contiendra, en effet, diverses impuretés provenant des matières absorbées par l'acide sulfurique. L'alcool acétylique, entre autres, s'y rencontrera nécessairement. En effet, le gaz de l'éclairage renferme des quantités sensibles d'acétylène et le procédé par lequel nous réalisons la synthèse de l'alcool ordinaire est applicable, de point en point, à celle de l'alcool acétylique. Or, cet alcool acétylique est un corps analogue à l'alcool ordinaire par sa formation, sa solubilité et sa volatilité ; mais il en diffère extrêmement par ses propriétés organoleptiques. Il est doué d'une odeur piquante et analogue à celle des produits de la décomposition des huiles grasses par la chaleur ; ses vapeurs irritent extrêmement la gorge et les yeux.

La séparation de ces diverses substances, qui rendraient nécessairement impur l'alcool préparé avec le gaz de l'éclairage, n'est assurément pas impossible ; mais elle entraînerait évidemment des frais considérables.

Venons à l'autre produit de la réaction finale, c'est-à-dire à l'acide sulfurique régénéré, en même temps que l'alcool, par l'action de l'eau. Cet acide ne peut être rejeté sans autre examen : son poids est trop considérable, et son prix suffirait pour rendre la fabrication de l'alcool impossible. En effet, il faut 14 grammes environ d'acide concentré pour absorber 1 gramme d'éthylène. Même en supposant que cette quantité pût être réduite à moitié ou moins, par des tours de main convenables, il n'est pas moins certain qu'une semblable fabrication exigerait des masses énormes d'acide sulfurique, et qu'il faudrait régénérer constamment cet acide. Théoriquement l'acide sulfurique, après la production de l'alcool, ne contient plus que de l'eau, et il semble qu'il suffise de le concentrer pour pouvoir le faire servir à une nouvelle opération. Mais, sans parler des frais de combustible qu'exigera l'évaporation des masses d'eau dont il est étendu, l'acide sulfurique demeure souillé par les produits de diverses réactions secondaires ; il en est ainsi, même avec l'éthylène pur et à plus forte raison avec le gaz de l'éclairage. Il faut, pour purifier l'acide, le chauffer à une température assez élevée pour brûler la matière charbonneuse qui se forme alors, aux dépens de l'oxygène de l'acide sulfurique, tandis qu'une partie de ce dernier se transforme en acide sulfureux ; de là des pertes considérables et cependant inévitables d'acide sulfurique.

En raison des circonstances que je viens de développer, je ne pense pas que le gaz de l'éclairage, avec sa composition actuelle, puisse jamais devenir une source industrielle d'alcool.

Cependant, il en serait autrement si l'on venait à découvrir une source naturelle de gaz oléfiant, analogue aux sources de pétrole d'Amérique ; si même on arrivait, en utilisant un résidu quelconque de fabrication, à se procurer artificiellement, et pour ainsi dire sans frais, un gaz contenant 20 ou 30 pour 100 d'éthylène. Dans ces conditions, ce mode de fabrication de l'alcool pourrait devenir applicable industriellement et lutter contre le procédé généralement employé, et qui consiste à produire l'alcool par fermentation.

Le grand avantage que présente ce dernier procédé, c'est que nous ne dépensons rien pour produire les réactions chimiques qui lui donnent naissance. L'alcool de fermentation, en effet, provient toujours du sucre, lequel se produit chaque jour naturellement par le travail chimique de la lumière solaire, qui convertit gratuitement en sucre, l'acide carbonique de l'atmosphère : toute la dépense réside dans les manipulations de culture et de distillation. Au contraire, en opérant sur l'éthylène, il faut faire intervenir les affinités chimiques de l'acide sulfurique, c'est-à-dire d'un produit qui a coûté déjà des frais de fabrication. La distillation intervient d'ailleurs dans les deux circonstances. Il faudrait donc que les manipulations fussent moins coûteuses que les frais de culture mis en œuvre. M. Berthelot.

ALCOOL MÉTHYLIQUE OU ESPRIT DE BOIS. Lorsqu'on distille le bois par l'action de la chaleur, on produit, outre l'acide pyroligneux et le goudron, divers autres produits. Parmi ceux-ci, le plus remarquable est l'esprit de bois, qui a de nombreux points de ressemblance avec l'alcool ordinaire. Il se trouve en dissolution dans la partie aqueuse des produits de la distillation. Celle-ci étant décantée, pour la séparer du goudron non dissous, on la soumet à la distillation dans les fabriques, afin d'en extraire, au moins en partie, le goudron qu'elle tient en dissolution.

On recueille les dix premiers litres provenant de chaque hectolitre de liqueur mise en distillation, et on soumet ce produit brut à des rectifications répétées, comme s'il s'agissait de concentrer de l'eau-de-vie. Pour abréger, on peut, dès la première des rectifications, mettre dans l'alambic de la chaux vive qui retient l'eau sans altérer l'esprit de bois. Dans tous les cas, on ne parvient à une rectification absolue du produit, qu'en faisant usage de ce réactif.

D'après M. Dumas, qui a fait, avec M. Péligot un travail excellent sur l'esprit de bois, celui-ci forme environ 1 p. 100 des produits aqueux de la distillation. Cette proportion est, dit-on, notablement plus forte quand on évite les décompositions qui résultent de la trop haute température de l'appareil distillatoire, en employant par exemple le chauffage au bain de plomb.

L'esprit de bois est un liquide très-fluide, incolore, d'une odeur particulière ; il brûle avec une flamme semblable à celle de l'alcool. Son point d'ébullition est à 66°,5 sous la pression 0m,76 ; sa densité 0,798 à 20°, c'est-à-dire sensiblement la même que celle de l'alcool vinique.

ALCOOLS (CLASSE DES). Le mot *alcool*, appliqué vers le treizième siècle par les Arabes au produit le plus volatil de la distillation du vin, a reçu en chimie organique une signification beaucoup plus étendue. Après avoir été réservé d'abord à une substance particulière, ce mot désigne aujourd'hui toute une classe de composés, généralisation qui n'est pas rare dans l'histoire des sciences. Plusieurs de ces substances et de leurs dérivés jouent un rôle important dans les applications industrielles ; aussi croyons-nous utile de donner quelques notions générales à ce sujet.

On désigne sous le nom d'*alcool* tout corps formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et susceptible de se combiner directement avec les acides pour former des *éthers*. Les éthers se produisent avec séparation des éléments de l'eau ; ils peuvent régénérer l'alcool et l'acide, en fixant ces mêmes éléments de l'eau.

Voici comment la classe des alcools a été établie.

En 1834, MM. Dumas et Péligot donnèrent le nom d'alcool méthylique à une substance obtenue par la distillation du bois (esprit de bois), et dont ils avaient démontré les remarquables analogies avec l'alcool ordinaire. Ils appliquèrent le même nom d'alcool à l'éthal, matière préparée par M. Chevreul au moyen du blanc de baleine et dont ce savant avait déjà remarqué la ressemblance avec l'alcool ordinaire. Tel est le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

point de départ de la classe des alcools. L'alcool amylique (huile de pommes de terre), caractérisé par MM. Cahours et Balard, les alcools cérotique et mélissique, extraits des cires de Chine et d'abeilles par M. Brodie, l'alcool caprylique, préparé avec l'huile de ricin par M. Bouis, et beaucoup d'autres découverts depuis vinrent se ranger dans la même classe. Tous les alcools précédents renferment 2 équivalents d'oxygène et ne s'unissent qu'à un seul équivalent d'acide pour former des éthers : nous disons maintenant que ce sont des alcools monoatomiques.

En 1854, M. Berthelot a démontré que la glycérine, c'est-à-dire l'un des produits constants de la saponification des corps gras neutres, était un *alcool polyatomique*, renfermant 6 équivalents d'oxygène et capable de s'unir avec 1, 2, 3 équivalents d'un acide quelconque pour former plusieurs groupes d'éthers : de là résulte la synthèse des corps gras naturels, stéarine, margarine, oléine, etc. Le caractère d'alcool polyatomique appartient encore, d'après les recherches du même savant, à la mannite, principe cristallisable de la manne, à la quercite, principe contenu dans le gland de chêne, à l'érythrite, principe extrait des lichens à orseille, enfin aux glucoses et à la plupart des sucres. La constitution chimique d'une multitude de substances contenues dans les plantes s'explique par cette théorie générale : ce sont les éthers ou les dérivés des alcools polyatomiques. — Depuis, M. Wurtz a découvert le groupe des glycols ou alcools diatomiques, intermédiaires entre les anciens alcools et la glycérine.

Aujourd'hui la classe des alcools comprend une quarantaine de composés connus, soit naturels, soit artificiels, et il est permis de prévoir l'existence de plusieurs milliers d'alcools, susceptibles d'être formés par des méthodes générales. Voici la liste des principaux alcools.

Alcools monoatomiques :

Alcool méthylique (esprit de bois).	$C^2H^4O^2$
Alcool ordinaire (ordinaire) ou éthylique.	$C^4H^6O^2$
Alcool amylique (huile de pommes de terre).	$C^{10}H^{12}O^2$
Alcool caprylique.	$C^{16}H^{18}O^2$
Alcool éthalique (éthal ; alcool cétylique, générateur du blanc de baleine).	$C^{32}H^{34}O^2$
Alcool cérotique.	$C^{52}H^{54}O^2$
Alcool mélissique (générateurs des cires).	$C^{60}H^{62}O^2$
Alcool acétylique.	$C^4H^4O^2$
Alcool allylique (générateur des essences d'ail, de moutarde, etc.).	$C^6H^6O^2$
Alcool camphylique (camphre de Bornéo, générateur du camphre ordinaire).	$C^{20}H^{18}O^2$
Alcool benzylique (générateur de l'essence d'amandes amères).	$C^{14}H^8O^2$
Alcool cholestérique (cholestérine, principe très-répandu dans les organes des animaux).	$C^{52}H^{44}O^2$

Alcools polyatomiques :

Glycol.	$C^4H^6O^4$
Glycérine (générateur des corps gras neutres).	$C^6H^8O^6$
Erythrite (principe contenu dans les lichens tinctoriaux).	$C^8H^{10}O^8$
Mannite et corps analogues.	$C^{12}H^{14}O^{12}$
Glucoses et sucres.	$C^{12}H^{12}O^{12}$

Parmi ces alcools, les plus importants au point de vue des applications sont l'alcool ordinaire, l'alcool méthylique, la glycérine et les sucres.

L'alcool ordinaire joue un rôle fondamental dans le vin et dans les liqueurs spiritueuses. En nature, il est employé principalement comme dissolvant et comme combustible spécial ; étendu d'eau, il forme la masse principale des eaux-de-vie. Son oxydation produit le vinaigre, et, dans des conditions spéciales, les fulminates. Enfin ses combinaisons avec les acides constituent les éthers dont plusieurs ont reçu des applications en parfumerie (essence de pommes, d'ananas, etc.), et dont d'autres concourent à former le bouquet des vins et des eaux-de-vie.

L'alcool méthylique ou esprit de bois est usité, surtout en Angleterre, comme dissolvant et combustible analogue à l'alcool du vin.

La glycérine a été proposée dans l'industrie comme lubréfiant depuis quelques années. Mais c'est surtout à l'état de combinaison qu'elle joue un rôle capital. Presque tous les corps gras naturels, huiles, beurres, graisses, etc., sont des éthers de la glycérine.

Les sucres enfin, sont employés soit comme aliments, soit comme substances propres à produire de l'alcool ordinaire par la fermentation. Parmi leurs combinaisons utilisées dans l'industrie, on compte les tannins et un grand nombre de substances amères et astringentes naturelles. M. BERTHELOT.

ALÉSOIR. L'alésoir est une machine destinée à terminer des surfaces cylindriques concaves, comme l'intérieur d'un coussinet, d'un cylindre de machine à vapeur, d'un tube, etc. — Les *outils* et machines destinés à remplir ce but sont assez variés, leur forme dépendant du diamètre des trous à aléser. Quand les trous à aléser ne dépassent pas 15 à 20 millimètres de diamètre et 10 à 15 centimètres de profondeur, on emploie des alésoirs pleins en acier, que l'on fait tourner à la main, soit au moyen d'un vilebrequin, soit au moyen d'un tourne-à-gauche. Le trou est d'abord exécuté avec un foret, puis agrandi avec des équarrissoirs ; on le termine complétement au moyen des alésoirs. Ce sont des barreaux d'acier ayant en coupe la forme indiquée dans les figures 83 et 84.

L'alésoir (fig. 83) se fait avec un barreau d'acier de 13 centim. de longueur, que l'on place sur le tour et que l'on tourne conique sur le tiers de la longueur ; la partie tournée cylindrique a exactement le diamètre du trou à aléser et se termine par une partie carrée que l'on place dans le trou du vilebrequin ou du tourne-à-gauche ; les deux pans se font à la machine à raboter ou à la lime. On introduit l'alésoir dans le trou par sa partie conique ; on le tourne et on le fait descendre au moyen d'une vis qui pèse sur le vilebrequin.



83.


84.

La forme de l'alésoir (fig. 84) est préférable, la matière est attaquée à la fois par trois angles, par conséquent l'outil s'use moins ; de plus, les angles restent toujours sur la circonférence extérieure, tandis que l'angle de l'outil (fig. 83) étant usé, cet outil ne coupe plus la matière que par l'arête C ; en second lieu, trois parties cylindriques discontinues guident mieux qu'une partie cylindrique continue.

Dans les coupes de ces deux outils, les parties abattues sont planes, on les fait quelquefois concaves. La matière à attaquer est alors moins refoulée, l'outil présente moins de résistance, et la limaille et les copeaux sortent plus facilement du trou.

Ces outils se trempent au rouge cerise ; on les fait ensuite revenir plus ou moins, suivant la nature de l'acier employé et la matière sur laquelle ils sont destinés à agir. Quand les angles sont émoussés, on les affûte sur une meule cylindrique ou sur une pierre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dès que les trous à finir prennent des dimensions un peu fortes, on doit rejeter l'emploi de ces outils qui coupent la matière sur toute la longueur du trou et qui exigeraient pour les faire marcher un effort considérable, on fixe alors sur un arbre un ou plusieurs outils ; on fait passer cet arbre dans le trou, et on le fait tourner en lui donnant en même temps un mouvement très lent dans le sens de sa longueur. Les outils n'attaquent alors la matière que sur une étendue peu considérable, et quand l'arbre est bien guidé dans ses coussinets et qu'il n'éprouve pas de vibrations, on obtient des surfaces parfaitement unies et régulières.

Tel est le principe d'après lequel sont construits les divers alésoirs employés dans les ateliers de construction, et dont on se sert pour travailler l'intérieur des cylindres à vapeur, des moyeux de roues, des coussinets, etc.

Les alésoirs pour les cylindres à vapeur sont établis en général sur de très fortes proportions, on les divise suivant la position de l'arbre qui porte les outils en deux classes : les alésoirs horizontaux et les alézoirs verticaux.

Quelquefois l'arbre et les outils sont fixes et c'est le cylindre qui tourne ; cette disposition est en général fort peu employée.

Les alésoirs horizontaux sont employés pour l'alésage des petits cylindres à vapeur. Quand on doit aléser de grands cylindres sur une machine horizontale, il est presque impossible d'obtenir un résultat convenable, parce que l'épaisseur du cylindre étant très faible relativement au diamètre, surtout si ce sont des cylindres de machines soufflantes, son poids seul suffit pour déformer la pièce qui une fois sortie de la machine peut fort bien être elliptique.

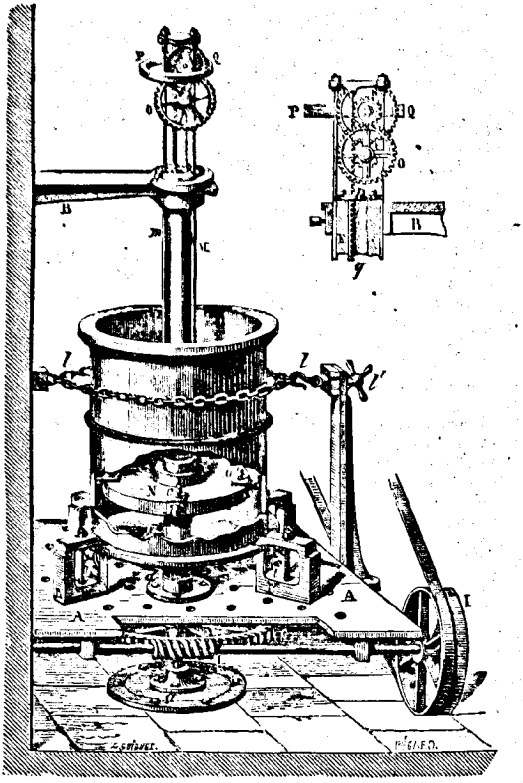
Ces inconvénients ne se présentent pas sur une machine verticale, si l'on prend les précautions convenables pour ne pas trop serrer le cylindre dans certaines parties ; en outre, il est plus facile de mettre la pièce en place, et les copeaux enlevés par les outils tombent par leur propre poids, tandis qu'il remplissent le cylindre quand il est placé horizontalement.

Ces considérations ont fait rejeter l'emploi des alésoirs horizontaux pour l'alésage des grands cylindres. Il faut aussi remarquer que quand l'arbre est horizontal son poids et celui du plateau où sont placés les outils tendent à le faire fléchir, et lui font éprouver des vibrations sensibles qui nuisent au résultat final, c'est-à-dire à la perfection des surfaces obtenues.

Pour de petits cylindres, l'alésoir horizontal est généralement employé. Le porte-outils est fixé à l'arbre qui le transporte avec lui ; le cylindre est placé sur plusieurs pièces de bois perpendiculaires à son axe et fixées sur deux jumelles, on change ces pièces de bois suivant le diamètre du cylindre, qu'on réunit solidement aux jumelles au moyen de chaînes fortement tendues. La vitesse des outils qui attaquent la fonte est de 4 à 5 centimètres par seconde, elle est d'autant moindre que la fonte est plus dure. Le mouvement de translation est toujours communiqué à l'arbre par la machine elle-même.

On alése quelquefois des cylindres sur des tours parallèles, le porte-lames n'a alors qu'un mouvement de rotation, et c'est la pièce qui avance. Dans ce cas, on est toujours limité par la hauteur du centre des poupées au-dessus du banc, on ne peut jamais y placer des pièces qui auraient un rayon extérieur plus grand que cette distance.

Nous donnons ici (fig. 86) la description d'un grand alésoir vertical sur lequel on peut placer des cylindres ayant jusqu'à deux mètres de diamètre. Sa construction est à la fois simple et solide. Tout le système est placé près d'un mur à la partie supérieure duquel se trouve un support B portant un coussinet où tourne le haut de l'arbre F. Cet arbre, à la partie inférieure, porte un pivot *e* qui repose dans une crapaudine *a* située au-dessous d'une grande plaque en fonte A placée au niveau



86.

du sol de l'atelier; l'arbre est encore soutenu par un support *d* boulonné sur cette plaque. Cet arbre, dont le diamètre est de 30 centimètres, est ainsi fixé d'une manière très solide, condition fort importante, car il est nécessaire, si l'on veut aléser le cylindre en une seule passe, que les outils n'éprouvent aucune vibration. Au-dessous de la plaque A est une roue d'engrenage G à laquelle une vis sans fin I communique le mouvement de rotation. Comme l'arbre doit marcher très lentement, cette disposition est préférable comme simplicité, à tout autre système d'engrenages que l'on pourrait employer pour diminuer la vitesse du moteur.

Des pièces L, placées sur le grand plateau A et pouvant s'éloigner plus ou moins de l'arbre, supportent le cylindre et serrent fortement au moyen de boulons et d'écrous la bride placée à sa partie inférieure. Plus haut le cylindre est entouré par des chaînes *l* fixées à des supports extérieurs, et qui servent encore à augmenter sa stabilité.

Pour placer le cylindre sur le plateau, on enlève l'arbre au moyen de poulies et de cordes placées au-dessus, on amène le cylindre sur les pièces L, on laisse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

redescendre l'arbre, on règle la position du cylindre au moyen des vis *i*, et on serre fortement les écrous et les chaînes.

Pendant la marche, l'arbre creux tourne, mais il est immobile dans le sens de sa longueur, c'est le plateau N où sont fixés les burins qui descend peu à peu au moyen de la disposition suivante :

Une pièce Q circulaire que l'on peut envisager comme un grand écrou, porte intérieurement un filet très peu incliné qui ne fait que deux ou trois fois le tour ; une roue P, dont les dents sont taillées convenablement pour s'engager dans les filets de l'écrou et dont l'axe est horizontal, est entraînée par l'arbre F auquel elle est fixée par des supports, dans son mouvement de rotation ; il est facile de comprendre que cette roue tourne autour de son axe avec une vitesse très faible; son mouvement de rotation est communiqué par l'intermédiaire d'un pignon S, à une roue O, aussi fixée sur l'arbre vertical, et dont l'arbre porte un second pignon engrenant avec une crémaillère *q*.

Cette crémaillère pénètre dans l'intérieur de l'arbre vertical, et est assemblée à sa partie supérieure avec une traverse *p* aux deux extrémités de laquelle se trouvent deux tringles méplates *m* qui soutiennent le porte-outils N. On conçoit qu'à mesure que la crémaillère descend, les tiges *m* qui sont liées avec elle, déterminent le mouvement descensionnel du porte-outils N.

Le plateau N porte à son pourtour deux outils ou burins en acier, qui attaquent simultanément la matière. Ces outils sont serrés dans des trous pratiqués dans le plateau au moyen de vis *o*. Quelques constructeurs emploient une seconde vis qui pousse le burin dans le sens de sa longueur, et qui, tout en l'empêchant de reculer permet de le fixer à la distance convenable du centre de rotation.

Quel que soit le nombre d'outils placés à la circonférence du plateau, il faut les disposer de manière à leur faire partager le travail afin d'éviter leur échauffement, et des vibrations nuisibles à la perfection de l'alésage. Les outils qui décroûtent sont situés plus bas et moins avancés vers la circonférence, ce sont eux qui fatiguent le plus, mais ils laissent moins à faire aux autres et l'alésage est plus parfait. Le dernier outil à la forme d'une plane de tourneur, c'est-à-dire, qu'il a son arête tranchante parallèle à l'axe de rotation, et qu'il ne fait, pour ainsi dire, que polir la matière. Aussi, quand on prend les précautions convenables, le cylindre est poli à l'intérieur comme une glace, sans qu'on soit obligé de donner une seconde passe. On a différents plateaux, porte-outils suivant le diamètre des cylindres à aléser.

Ordinairement on rôde les cylindres qui sortent de l'alésoir; on les place alors horizontalement ou inclinés, on fait marcher dans le sens de la longueur une masse de plomb, et on jette dans le cylindre, que l'on fait tourner peu à peu, de l'eau et de l'émeri ; on obtient ainsi une surface striée dans le sens de la longueur, ce qui facilite beaucoup la marche du piston et diminue les chances d'usé.

Quelques grands alésoirs verticaux établis dans différents ateliers, présentent une disposition un peu différente de celle que nous avons décrite. Le mouvement descensionnel est communiqué au porte-outils par une vis placée dans l'intérieur de l'arbre, ou par deux vis placées de chaque côté. Enfin, l'alésoir tout entier est souvent établi dans une fosse placée dans le sol, où l'on descend le cylindre. Cette fosse est recouverte par un plateau situé au niveau du sol de l'atelier.

Nous avons dit qu'on employait encore dans les ateliers de construction, de petits alésoirs destinés à travailler des coussinets, des moyeux de roues d'engrenage, des trous de manivelles, etc. Leur disposition est en général assez simple ; l'arbre est vertical et passe dans un coussinet fixé au plateau horizontal sur lequel on place la pièce à aléser; l'outil, ou burin, entre dans une mortaise pratiquée dans cet arbre, et on l'y serre par une clavette; outre son mouvement de rotation, l'arbre possède un mouvement lent dans le sens de sa longueur. Quelquefois l'arbre ne descend pas, il ne fait que tourner, et on fait marcher l'outil horizontalement; on exécute alors une surface plane, et la machine se transforme en machine à raboter.

On emploie cette disposition sur l'alésoir vertical pour dresser les parties planes par lesquelles le cylindre s'ajuste à son fond et à son couvercle, on fixe sur l'arbre une pièce horizontale, portant une coulisse où marche une petite pièce dans laquelle on place l'outil, cette pièce forme l'écrou d'une vis située dans la coulisse et qui se termine par une étoile en dehors de la pièce horizontale; à chaque tour de l'arbre, une des branches de l'étoile rencontre un arrêt, l'étoile et la vis tournent d'une petite quantité, l'outil avance dans sa coulisse, et une nouvelle portion de la matière est attaquée.

DUBIED.

ALGÉRIE. L'avenir industriel de l'Algérie, la seule question que nous puissions traiter ici, et son importance relativement à la richesse de la France, sont encore bien obscures après bien des années d'efforts peu fructueux. Le faible développement de la culture du coton, au moment où l'Europe en manquait, paraît indiquer que les irrigations sont trop rares pour sa production, au moins à un prix de revient avantageux, surtout avec les efforts que fait le gouvernement pour organiser la petite propriété, si nécessaire au point de vue politique, mais qui ne peut guère produire que les objets nécessaires à la nourriture des colons, devenus le but et non le moyen de la colonisation.

Mais si le littoral et les plaines fertiles de l'Algérie doivent être occupés par une nombreuse population européenne, les parties plus reculées, les immenses étendues qui bordent le désert, et le Sahara lui-même, où la végétation pousse encore quelques touffes d'herbes, ne peuvent être utilisés qu'au parcage et à l'alimentation des bestiaux. Au reste il n'y a pas à créer sous ce rapport; la population arabe, presque tout entière pastorale, élève d'immenses troupeaux qui constituent toute sa richesse.

On pourra cependant, nous le croyons du moins, régulariser et augmenter cette production. Que l'on étudie ce que les Hollandais ont fait à Java, où le sol, comme dans l'Algérie, est presque entièrement propriété de l'État, pour développer la culture du café, qui est pour la métropole la source d'énormes revenus, tant en faisant payer les impôts en nature qu'en assurant la jouissance paisible du sol, les moyens de production et surtout d'échange aux populations malaises, et on reconnaîtra qu'il est possible de développer dans l'Algérie, au grand profit de la France, une immense production de bestiaux, de cuirs, mais surtout de laines, la matière première de l'industrie la plus importante peut-être de la France, celle qui est le plus en avance sur les industries étrangères, et dont les progrès ne sont limités que par le prix élevé de la matière première.

La question à résoudre à cet égard se réduit à ceci : suffit-il de compter sur le commerce, sur l'intérêt de la race arabe pour le développement de son industrie, ou faudrait-il, comme l'ont fait les Hollandais à Java pour la race malaise, forcer cette production par les institutions, par exemple, profiter des traditions du droit oriental pour faire payer l'impôt, la part de propriété de l'État, en laines, et exciter à l'accroissement de cette production? Pour qui connaît les merveilleux résultats du système hollandais, et l'apathie des Arabes, nous croyons que la réponse ne saurait être douteuse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALLIAGES (*angl.* alloy, *all.* legirung). Les alliages métalliques peuvent être considérés, relativement à l'industrie, comme constituant de nouveaux métaux, jouissant de propriétés spéciales plus ou moins différentes de celles qui appartiennent aux métaux qui les composent.

Peu de métaux sont employés isolément ; on ne peut guère citer que le fer, le cuivre, le plomb, l'étain, le zinc, le platine, le mercure et enfin l'aluminium.

Le plus souvent on les utilise à l'état d'alliage ; ainsi parmi les métaux ci-dessus indiqués, il n'y a que le fer qui ne donne pas naissance à des alliages utiles (l'acier et la fonte étant des combinaisons d'un autre ordre que les alliages formés par des métaux seulement). Pour les autres il en est tout autrement. Le cuivre, par exemple, sert surtout à l'état d'alliage sous forme de laiton. L'or et l'argent ne sont jamais employés à l'état de pureté ; ils sont toujours associés à une quantité de cuivre déterminée, pour l'alliage monétaire, la bijouterie, l'orfévrerie. L'antimoine, le bismuth, le nickel, ne sont jamais employés seuls, ces métaux étant trop cassants.

En définitive, il y a environ treize métaux employés qui forment aujourd'hui une cinquantaine d'alliages utiles. Certains métaux sont trop cassants ou trop mous pour être employés seuls, comme l'or et l'argent, qu'on emploie toujours associés à une certaine quantité de cuivre, comme il vient d'être dit, ce qui offre l'avantage important d'assurer la durée des objets, en leur donnant un certain degré de dureté. Il en est de même du cuivre : le cuivre rouge est d'un prix assez élevé ; associé au zinc, ce prix se trouve diminué, et l'on obtient un alliage plus dur qui se conserve mieux à l'air. Le rôle que jouent les métaux dans l'industrie est d'une telle importance, qu'on ne peut mettre en doute l'immense intérêt qui doit s'attacher à l'étude des alliages qu'ils fournissent par leurs combinaisons mutuelles. Malheureusement cette partie de la science a été peu cultivée jusqu'à ce jour, surtout sous le rapport de ses applications ; espérons que cette lacune sera bientôt comblée par quelque savant plus jaloux de l'utilité que de l'éclat de ses travaux ! C'est le désir de montrer tout l'intérêt que mérite une étude semblable, qui nous a engagés à donner à cet article un développement peut-être exagéré ; mais tant que les lois des variations de dureté, de fusibilité, etc., des alliages, en raison des métaux employés, seront inconnues, on ne saurait faire rien de plus utile que d'enregistrer de nombreux résultats d'expérience, pouvant guider le praticien dans une question fondamentale pour une foule d'industries.

Les alliages ont été fort longtemps considérés comme de simples mélanges, et cela parce qu'il est possible de mélanger en proportions quelconques des métaux fusibles, qui restent unis par la solidification qui résulte du refroidissement. Mais, sauf ce phénomène accessoire, le cas est absolument le même que celui d'un acide dissous dans l'eau ; en conclut-on que l'acide ne persiste pas et qu'il change de nature à mesure qu'on augmente le volume de l'eau ? Aussi, aujourd'hui, admet-on que les métaux se combinent comme tous les corps en proportions définies, malgré leur dissolution dans un métal ou dans d'autres combinaisons. Ce qui le prouve, c'est que, si on laisse un alliage fondu se refroidir, on reconnaît qu'il se sépare en deux ou plusieurs couches qui sont des composés différents à proportions déterminées ; c'est surtout ce qu'il est facile de constater dans tous les cas où il y a cristallisation, indice certain d'un composé défini, qui se constate pour nombres d'alliages. Je citerai l'amalgame de sodium, certains alliages de cuivre et d'étain, comme exemples ; ceci n'empêche pas le mélange de pouvoir accompagner les combinaisons définies, ce qui est le cas de la plupart des cas dans la pratique, mais nous ne pouvons étudier tous les mélanges possibles dans lesquels des alliages entrent pour des quantités minimes, bien qu'il en résulte quelquefois des modifications très-utiles de propriétés du composé, que l'on pourra prévoir en raison de celles des alliages que nous allons étudier.

L'étude scientifique des alliages doit donc avoir pour base celle des composés à proportions définies, qu'il faudrait bien déterminer. Ce sont les combinaisons et mélanges de ces alliages atomiques entre eux, et avec les métaux constituants, qui forment les alliages qu'emploie l'industrie.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ALLIAGES EN GÉNÉRAL. *Densité.* La densité des alliages est tantôt moindre, tantôt plus grande que celle qui serait déduite des densités et des proportions des métaux dont ils sont formés. Aucune loi n'a été reconnue à cet égard. On connaît seulement, par expérience, pour un certain nombre d'alliages, dans quel sens marche la densité.

Lorsque, dans un alliage, il n'y a ni contraction, ni dilatation, la pesanteur spécifique ou densité de l'alliage est donnée par la formule $\Delta = \frac{(P + p)\,D\,d}{P\,d + p\,D}$ dans laquelle P et p désignent les poids des métaux composants qui entrent dans l'alliage, et D et d leur densité respective. Lorsque l'expérience donne pour densité de l'alliage un nombre différent de Δ, on en conclut qu'il y a contraction, si ce nombre est plus grand, et dilatation, s'il est plus faible ; c'est ainsi qu'on a pu dresser les tables ci-dessous qui se rapportent aux principaux alliages binaires :

ALLIAGES dont la densité est plus grande que la densité moyenne des métaux qui les constituent.	ALLIAGES dont la densité est moins grande que la densité moyenne des métaux qui les constituent.
Or et zinc.	Or et argent.
Or et étain.	Or et fer.
Or et bismuth.	Or et plomb.
Argent et zinc.	Or et cuivre.
Argent et plomb.	Argent et cuivre.
Argent et étain.	Étain et plomb.
Argent et bismuth.	Étain et antimoine
Argent et antimoine.	Cuivre et plomb.
Cuivre et zinc.	Zinc et antimoine.
Cuivre et étain.	Fer et bismuth.
Cuivre et bismuth.	Fer et plomb.
Cuivre et antimoine.	Fer et antimoine.
Plomb et bismuth.	Plomb et antimoine.

Si l'on voulait absolument déduire de ce tableau la loi qu'il renferme, quoiqu'il soit beaucoup trop incomplet pour arriver à aucun résultat certain, on serait amené à admettre qu'il y a en général condensation quand l'alliage est composé de deux métaux ayant une grande affinité réciproque, et que par suite la combinaison est intime, qu'il y a formation de composé défini, et *vice versa* qu'il y a dilatation quand les deux métaux ont peu d'affinité l'un pour l'autre et ne sont pour ainsi dire que mélangés. Ainsi le cuivre, qui a beaucoup d'affinité pour le zinc et l'étain, forme avec ces métaux des composés d'une densité plus grande que la densité moyenne, tandis qu'avec le plomb, métal avec lequel il forme plutôt des mélanges que des combinaisons, il donne des alliages d'une densité au-dessous de la densité moyenne. Pour un même métal, la même loi devrait s'appliquer, si on augmentait au delà du point de saturation du premier métal composant l'alliage, la proportion du second. C'est ce que paraîtraient démontrer des expériences de Muschenbrœck sur les variations de densité des alliages dans lesquels on fait varier la proportion des métaux. Elles tendraient à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

établir qu'il existe un point de combinaison plus intime pour chaque alliage correspondant sans doute à un composé défini.

La densité des alliages peut servir à faire connaître, au moins d'une manière approximative, la proportion des éléments. Tel est *l'essai à la balle* employé pour reconnaître la pureté de l'étain. On coule de l'étain dans un moule à balle et on pèse celle-ci comparativement avec une balle semblable d'étain pur. La proportion de plomb est indiquée par l'augmentation du poids.

Dureté. — Ductilité. — Ténacité. Les alliages sont en général plus durs, plus aigres et ont moins de ductilité et de ténacité que celui des métaux constituants le plus ductile et le plus tenace.

Élasticité des alliages. Nous extrayons du rapport fait par M. Babinet, à l'Institut, sur un intéressant mémoire de Wertheim, traitant de l'élasticité des métaux et des alliages, ce qui est relatif à ces derniers, recherches dont nous donnons plus loin les résultats numériques. Wertheim a cherché à constater le rapport qui peut exister entre les propriétés mécaniques des métaux et celles des alliages afin d'en déduire la connaissance de l'état moléculaire de ces composés.

Les alliages ont été préparés avec des métaux purs. Après les avoir suffisamment mêlés et brassés à plusieurs reprises pendant la fusion, il les a coulés dans une lingotière de 50 centim. de longueur qui fut quelquefois chauffée jusqu'au rouge. Les alliages ductiles furent ensuite étirés, les autres furent calibrés à la lime.

Chaque alliage a été soumis à l'analyse chimique, quoique, pour la plupart d'entre eux, les métaux eussent été combinés dans le rapport de leurs poids atomiques ou des multiples les plus simples de ces poids. Mais l'inégale oxydabilité des constituants, ou la volatilité de l'un d'eux avait souvent notablement changé ces rapports. Il a fallu avoir égard, en outre, à la non homogénéité de leur composition; ceux surtout dans lesquels entrent des métaux dont les poids spécifiques diffèrent beaucoup entre eux, offrent souvent de grandes inégalités de composition, qui se trahissent déjà par des différences de couleur et de malléabilité, mais que l'on reconnaît sûrement au moyen de deux analyses faites sur des parties que l'on prend aux deux extrémités des verges. L'auteur a rejeté toutes celles qui offraient de trop grandes inégalités.

Les expériences de M. Wertheim portent sur 54 alliages binaires et 9 alliages ternaires de composition simple et connue; dans ce nombre se trouvent la plupart des alliages qu'on emploie si fréquemment dans les arts, sans bien mesurer leurs propriétés mécaniques; tels sont le laiton, le bronze, le tombac, le packfong, le métal des tam-tam trempé et non trempé, l'alliage des caractères d'imprimerie.

Ces expériences ont conduit l'auteur aux résultats suivants :

1° Les coefficients d'élasticité des alliages s'accordent assez bien avec la moyenne des coefficients d'élasticité des métaux constituants; les condensations et les dilatations qui ont lieu pendant la formation de l'alliage n'influent pas sensiblement sur ce coefficient.

On peut donc déterminer d'avance quelle doit être la composition d'un alliage pour qu'il ait une certaine élasticité, ou pour qu'il conduise le son avec une vitesse donnée; pourvu que cette élasticité ou cette vitesse tombe entre les valeurs extrêmes des mêmes quantités des métaux connus.

2° Ni la cohésion, ni la limite d'élasticité, ni l'allongement maximum ne peuvent être déterminés *a priori* au moyen des quantités connues pour les métaux simples qui les composent.

3° Les alliages se comportent comme les métaux simples quant aux vibrations et quant à l'allongement.

4° Si l'on suppose que toutes les molécules des alliages sont à la même distance les unes des autres, on trouve que plus cette moyenne distance est petite, plus le coefficient d'élasticité est grand. Toutefois, cet accord n'est pas suffisamment exact pour qu'on en puisse conclure avec sûreté que l'arrangement moléculaire est réellement tel qu'il a été supposé.

Fusibilité. Les alliages sont toujours plus fusibles que le moins fusible des métaux composants et souvent plus que chacun d'eux pris séparément. L'alliage fusible de Darcet, en est un exemple remarquable.

Chaleur spécifique. M. Régnault dans ses belles recherches sur les chaleurs spécifiques, a démontré que la chaleur spécifique des alliages était exactement la moyenne des chaleurs spécifiques des métaux composants; les observations étant faites à une distance suffisante des points de fusion et de ramollissement.

Point de fusion. Un beau travail de M. Rudberg, le plus curieux qui ait été fait dans ces dernières années sur les alliages en général, repose sur les propriétés de la chaleur latente.

Il a observé que quand on laisse refroidir un alliage fondu, le thermomètre devenait en général deux fois stationnaire entre le point de fusion et de solidification, s'arrêtant une fois à un point commun à tous les alliages des deux mêmes métaux et une autre fois à un point qui varie avec leurs proportions. Il explique ainsi ce phénomène.

Deux métaux fondus ensemble et bien mélangés doivent former une combinaison à proportions définies, qui se trouve répandue dans celui d'entre eux qui est en excès. L'alliage chimique quand il est seul, se solidifie à un degré déterminé que M. Rudberg appelle le *point fixe*. Mais quand il y a excès d'un des métaux, la solidification du métal et de l'alliage n'ayant plus lieu au même degré, l'excès de métal qui généralement se solidifie le premier, dégage alors sa chaleur latente, ce qui produit un retard dans la marche du thermomètre. Ce métal solidifié reste ainsi disséminé dans l'alliage chimique encore fluide, qui lors de sa solidification occasionne à son tour un second arrêt du thermomètre, par le dégagement de sa chaleur latente. Ainsi d'après M. Rudberg le plomb se solidifie à 334°, l'étain à 230° et pour les alliages d'étain et de plomb le point fixe est à 186°, c'est le point de fusion de l'alliage chimique $Pb\,Sn^3$. Il a trouvé pour les points de fusion des divers alliages formés par l'alliage du métal et de l'alliage chimique les points de fusion suivants :

5 Sn	1 Pb	—	194°
4 Sn	1 Pb	—	149
3 Sn	1 Pb	—	186
2 Sn	1 Pb	—	196
1 Sn	1 Pb	—	214
1 Sn	3 Pb	—	189

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES ALLIAGES. En général les alliages se comportent comme le feraient les métaux séparés. L'état de combinaison modifie cependant dans certains cas, d'une manière très-notable, l'action des divers agents chimiques.

Oxydation. L'action de l'air est en général moindre sur les alliages que sur les métaux qui les composent. Il y a cependant des cas où elle est plus grande, ainsi l'alliage de 3 parties de plomb et 1 d'étain brûle et s'oxyde au rouge avec une extrême rapidité. Cet effet résulte de la combinaison rapide qui se produit entre les deux oxydes avec dégagement de chaleur, et sans doute d'un état électrique favorable à l'oxydation qui en provient, l'oxyde de plomb étant une base énergi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que et l'oxyde d'étain un acide véritable, l'acide stannique.

Quand l'un des métaux qui entrent dans un alliage s'oxyde avec facilité, tandis que le second n'est pas oxydable, on peut les séparer en convertissant le premier en oxyde, tandis que le second reste intact; c'est sur cette propriété que reposent les procédés de coupellation qui permettent de séparer l'argent du plomb.

On séparerait encore en grande partie par ce procédé deux métaux différemment oxydables, celui qui jouit de cette propriété au plus haut degré, s'oxydant bien plus rapidement que le second. C'est ainsi qu'on est parvenu pendant la Révolution à séparer le cuivre de l'étain, pour convertir en bronze à canons le métal des cloches.

En général, on évite de fabriquer des alliages qui s'altèrent à l'air; on cherche au contraire à faire qu'ils résistent au contact des agents atmosphériques, et à l'action de l'acide carbonique. Si les deux métaux présentent la même tendance, l'alliage est alors extrêmement peu oxydable, c'est ce qui arrive pour l'alliage de cuivre et de zinc, ou laiton, qui est moins oxydable que le cuivre. Si l'on se place dans des conditions inverses, si l'on vient à allier un métal électro-positif avec un autre métal électro-négatif, on obtient un alliage extrêmement oxydable, tantôt à la température ordinaire, tantôt à une température plus élevée : comme l'alliage de bismuth et d'antimoine, qu'on ne peut conserver au contact de l'air. Quand on en prend une certaine quantité qu'on réduit en poudre, et qu'on l'introduit dans un vase qui renferme de l'eau, de manière à pouvoir recueillir l'hydrogène, on a un dégagement très-sensible de ce gaz; cela dépend, du reste, des conditions physiques, car si l'on en prend dans un grand état de division, il s'oxyde avec une rapidité telle, qu'exposé au contact de l'air humide, il a la propriété de détoner, tant il absorbe d'oxygène. Pourquoi ce composé est-il aussi oxydable? C'est qu'on a employé, d'une part, un métal ayant une tendance électro-positive prononcée : c'est le bismuth, et un métal ayant une tendance électro-négative : c'est l'antimoine; ce dernier donne naissance à des acides, l'autre donne naissance à une base extrêmement énergique. (M. Péligot.)

Parmi les alliages qui s'oxydent très-facilement, sans doute à cause des tendances électriques des métaux qu'ils renferment, et aussi de la dissolution dans la masse d'un métal oxydable, il faut citer l'alliage formé par le zinc et l'antimoine, métaux qui ont des tendances contraires; on peut l'obtenir à l'état cristallisé. Même facilité d'oxydation pour l'alliage connu sous le nom d'*alliage de Réaumur*, et qui est composé de fer et d'antimoine.

Action des acides. Ils agissent en général sur l'alliage comme sur le métal prédominant.

Préparation des alliages. *Premier procédé.* — Le procédé le plus généralement suivi consiste à fondre ensemble les deux métaux à allier, lorsqu'ils sont facilement fusibles, soit en les renfermant tous deux dans le même creuset, soit en ajoutant l'un des métaux au premier quand il est fondu. Il se développe souvent une forte chaleur au moment du mélange qui indique une action chimique énergique.

Deuxième procédé. — Quand l'un des métaux est volatil, ou que la réduction des oxydes isolés est très-difficile, on prépare les alliages en réduisant par le charbon les oxydes des métaux à allier mélangés, ou l'un des métaux à l'état d'oxyde mélangé avec l'autre à l'état métallique. Le mélange des oxydes a sur le mélange des métaux l'avantage de fournir des alliages beaucoup plus homogènes; néanmoins ce procédé est bien plus fréquemment employé dans les laboratoires que dans les ateliers.

Moulage des alliages. Quand un alliage a été formé, on le coule dans des moules de formes déterminées, ou dans des lingotières. Avant de le couler, il faut brasser le bain avec soin, autrement l'alliage ne serait pas homogène s'il y avait une grande différence de pesanteur spécifique entre les métaux alliés; la partie inférieure contiendrait le métal le plus pesant en plus grande quantité que la partie supérieure. Aussi a-t-on soin de faire les lingotières larges et peu profondes pour diminuer autant que possible cet effet.

La pesanteur n'est pas la seule cause de la séparation qui se produit pendant la solidification. Dès que l'alliage commence à se figer, il se partage le plus souvent en un alliage moins fusible qui se solidifie le long des surfaces suivant lesquelles le refroidissement a lieu, et un autre alliage plus fusible et plus léger qui remonte vers le haut. C'est cet effet de séparation qui fait la grande difficulté de la fabrication des bouches à feu, dans lesquelles se rencontrent parfois des taches blanches, composées d'un alliage très-riche en étain et qui forment des cavités lorsque la chaleur produite par l'explosion de la poudre les a fait fondre. Le seul moyen de lutter contre de semblables effets par le mode de moulage est d'activer le refroidissement; il n'y a pas de séparation, si le métal est solidifié presque aussitôt qu'il a touché le moule.

Un autre effet qui cause souvent une altération fâcheuse dans la ténacité des alliages, c'est la cristallisation qu'engendre le refroidissement lent qui se produit lors de la solidification dans des moules non métalliques. L'alliage chimique forme alors dans la masse, des cristaux qui augmentent généralement la dureté de la matière, mais en diminuent considérablement la ténacité. Il faut éviter autant que possible cet effet de cristallisation qui, trop considérable dans certains alliages, contraint à renoncer à leur emploi dans beaucoup de cas. On y parvient en accélérant le refroidissement et aussi quelquefois en soumettant l'alliage pendant son refroidissement à une forte pression qui gêne ce mouvement moléculaire. Cet effet s'obtient souvent en partie par l'emploi de masselottes ou masses considérables qu'on coule à la partie supérieure des pièces qu'il s'agit de fondre. Dans d'autres cas, cet effet est produit, et plus sûrement par une percussion sur la masse fluide, au moment où elle va se figer, ce qui évite une cristallisation nuisible en général, car les corps cristallisés ne présentent pas la résistance des corps qui ont un grain plus fin. C'est sur des alliages fondus dans cette condition que devraient être faites les comparaisons de densité, de dureté, de ténacité qui se font trop souvent sur des produits fondus dans des conditions différentes, ce qui ne peut conduire à aucun résultat.

De la liquation. Si l'on chauffe un alliage à une température insuffisante pour déterminer sa fusion, et s'il peut se former par certaines proportions des métaux un alliage fusible à cette température, celui-ci prendra naissance et abandonnera la masse métallique qui subsistera sous forme d'une carcasse. C'est sur cette propriété qu'est basé le procédé de liquation fort usité dans la métallurgie. Ainsi pour séparer l'argent du cuivre, on commence par fondre cet alliage avec une quantité de plomb, telle que le plomb et le cuivre soient atome à atome dans le composé. Lorsqu'on vient à chauffer l'alliage à un certain degré de chaleur, il se forme 2 alliages dont l'un beaucoup plus fusible, contient 12 atomes de plomb et 1 atome de cuivre; et l'autre moins fusible renferme au contraire 12 atomes de cuivre et 1 atome de plomb. Le premier entraîne les douze treizièmes de l'argent, que l'on peut en retirer par la coupellation. Ces phénomènes sont intimement liés à ceux constatés par les expériences de Rudberg sur la nature différente des alliages qui sont solides à des températures différentes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPORTANCE DE L'ORDRE DE PRÉPARATION DES ALLIAGES ÉLÉMENTAIRES QUI CONSTITUENT L'ALLIAGE COMPOSÉ. Du fait bien avéré de la séparation d'un alliage simple ou compliqué en plusieurs alliages suivant leur ordre de fusibilité, il nous paraît qu'on doit tirer une conséquence importante relativement à leur préparation et qui ne se trouvant pas jusqu'à ce jour nettement formulée, est cependant la base de recettes pour la préparation de qualités estimées dans le commerce; c'est qu'il n'est nullement indifférent de préparer un alliage en ajoutant les métaux dans un ordre quelconque, et que deux alliages dans lesquels l'analyse chimique fait reconnaître des proportions identiques des mêmes métaux peuvent néanmoins être doués de propriétés très-différentes. Un exemple nous servira à bien faire comprendre ce principe.

C'est une chose bien connue dans l'artillerie que les bouches à feu en bronze fabriquées aujourd'hui, ne valent pas celles fondues sous le règne de Louis XIV, par les frères Keller. Le général Gassendi le dit positivement dans son aide-mémoire, et il ne faisait que proclamer un résultat que venait de constater l'usure de nombre de pièces de canon de cette époque. Rien n'était plus facile néanmoins que de faire l'analyse du métal employé par les frères Keller, et on reconnut qu'il contenait 2 à 3 parties de zinc. M. Dusaussoy, qui fit en 1825 des expériences nombreuses en vue de déterminer les avantages qui résulteraient de l'addition du zinc dans l'alliage, a conclu des résultats obtenus qu'elle ne produisait pas d'effet utile. La tradition s'était-elle trompée? Nous ne le pensons pas.

Ce n'était pas du zinc que les frères Keller ajoutaient à leur bronze, mais bien un alliage de cuivre et de zinc déjà préparé. Leurs proportions étaient : 100 parties de cuivre, 9 d'étain, 6 de laiton. Or, n'y a-t-il pas grande différence à ajouter à un bain de cuivre et d'étain quelques centièmes de zinc, ce qui constituera un alliage ternaire, ou du laiton, composé de cuivre et de zinc intimement alliés, qui, restant unis, formeront un alliage quaternaire. Il est probable que des expériences faites dans cette direction eussent donné des résultats plus avantageux, et qu'on eût positivement reconnu (ce que les expériences ont à peine indiqué) que le mélange plus intime qui résultait de l'introduction du laiton, diminuait l'effet des liquations intérieures.

On peut par une expérience bien simple constater l'influence de l'ordre suivi dans la préparation des alliages. Qu'on combine 90 étain et 10 de cuivre, et qu'à cet alliage on ajoute 10 parties d'antimoine, ou qu'on combine 10 parties d'antimoine à 10 parties de cuivre, et qu'on ajoute 90 parties d'étain, on aura deux alliages chimiquement les mêmes, et pourtant il sera facile de reconnaître que sous tous les autres rapports, fusibilité, ténacité, etc., ils diffèrent totalement. D'où cela peut-il résulter? Évidemment de la nature de leur combinaison qui résulte de l'ordre suivi dans la préparation, et qui persiste après le mélange. L'expérience indique encore dans beaucoup de cas, notamment dans la préparation des alliages de plomb et d'antimoine, que si on élève la température de l'alliage à un degré bien supérieur au point de fusion, l'alliage devient aigre et cassant. Cela provient probablement d'alliages qui se sont formés à cette température élevée qui ne peuvent plus ensuite se redissoudre dans la masse. Souvent la pratique force à avoir égard au principe posé ici, l'alliage ne pouvant s'obtenir qu'en opérant dans un ordre convenable. Ainsi il est difficile d'unir directement le fer au bronze; on y parvient facilement en employant du fer-blanc, c'est-à-dire du fer déjà en partie allié à de l'étain.

Le genre de considérations sur lesquelles nous attirons ici l'attention n'est autre que celui sur lequel repose toute la chimie organique et qui est encore trop négligé dans la chimie minérale, à savoir la nature des composés élémentaires en lesquels peut se subdiviser un même nombre d'atomes, suivant les circonstances diverses de la production du composé. C'est dans cette voie, nous le répétons après en avoir fait l'expérience, que peuvent s'obtenir les plus beaux succès dans la préparation des alliages les plus convenables pour atteindre un but déterminé.

ALLIAGES DIVERS. Passons en revue succinctement les principaux alliages qui ont fait l'objet de quelques travaux intéressants. On trouvera des détails plus complets sur ceux qui sont d'un grand intérêt dans l'industrie aux divers articles qui en traitent plus spécialement (Voir BRONZE, LAITON).

Les métaux similaires n'ayant en général que des réactions insignifiantes les uns sur les autres, et donnant lieu plutôt à de simples mélanges qu'à des alliages, tandis que les métaux de nature différente donnent des produits d'un grand intérêt, il importe de grouper les métaux dans un ordre qui simplifie l'étude, au point de vue des propriétés physiques des composés.

Les métaux d'un usage réel et étendu, en ne comptant pas le platine qui ne s'emploie guère qu'à l'état de pureté, sont au nombre de 11. Ce sont les seuls dont il y ait à s'occuper au point de vue de l'application.

Nous les diviserons en cinq classes, d'après leurs propriétés physiques, leurs caractères principaux.

DURETÉ. — RAYÉS PAR :		POINT DE FUSION.	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mill. carré.	DENSITÉ.	COEFFICIENTS d'élasticité.
		1° MÉTAUX CASSANTS.			
le verre.	ANTIMOINE.	Fusible un peu au-dessus du rouge.		6,70	
—	ARSENIC.	Se volatilise au-dessous du rouge.	0,67	—	
le carbonate de chaux.	BISMUTH.	256° centigr.	0,97	9,82	
		2° MÉTAL INTERMÉDIAIRE.			
le verre.	ZINC.	370° centigr.	15	7,434	7536
		3° MÉTAUX DUCTILES.			
		DANS L'ORDRE DE LEUR MOINDRE FUSIBILITÉ.			
le verre.	FER.	130° pyromètre de Wegwood.	64	7,74	20869
le carbonate de chaux.	OR.	32 — —	27	18,514	8134,5
— —	CUIVRE.	27 — —	40,30	8,89	12459
— —	ARGENT.	20 — —	29	10,360	7357,7
		4° MÉTAUX MOUS.			
l'ongle.	PLOMB.	322° centigr.	2,07	11,21	1775,0
le carbonate de chaux.	ÉTAIN.	210° centigr.	3,40	7,40	4643
		5° MÉTAL LIQUIDE.			
	MERCURE.	36° centigr. —	0	13,56	0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALLIAGES BINAIRES DES MÉTAUX CASSANTS. — *L'arsenic, l'antimoine et le bismuth entre eux.* — Les alliages de ces métaux cassants, et qui pour cette raison ne peuvent être employés seuls dans l'industrie, sont également cassants, et par suite sans usage. Aussi, si ces métaux sont souvent mélangés, c'est qu'ils se rencontrent fréquemment ensemble dans leurs mines; car il n'y a pas d'intérêt à les allier. Les métaux cassants forment au contraire avec les autres métaux des alliages très-utiles, parce qu'ils leur donnent de la dureté sans détruire (quand ils n'entrent que dans certaines proportions) leur ténacité.

Nous les avons rassemblés dans les tableaux qui suivent.

ALLIAGES DES DIVERS MÉTAUX AVEC LES MÉTAUX CASSANTS.

MÉTAUX COMBINÉS.	ARSENIC.	ANTIMOINE.	BISMUTH.
	Les arséniures ont tous l'éclat métallique. Très-cassants. En général très-fusibles.	Aigrit beaucoup les métaux avec lesquels il est allié, même quand il est en très-petite quantité.	Aigrit beaucoup moins les métaux avec lesquels il est allié que l'arsenic ou l'antimoine, son effet se rapproche de celui de l'étain : forme des alliages en général très-fusibles.
Métal intermédiaire.			
ZINC.	D'une préparation difficile. Très-cassant. Sans intérêt.	Très-cassant. Gris d'acier; dur et très-combustible.	Inconnu.
Métaux ductiles.			
FER.	Blanchâtre, dur, aigre, cassure approchant de celle de l'acier, susceptible de prendre un beau poli, ce qui l'a fait employer, dit-on, pour la bijouterie.	L'alliage formé d'un atome des deux métaux ou en poids de 70 ant. et 30 de fer est assez fusible, très-dur, blanc. L'alliage de 2 de fer pour 1 d'ant. plus dur encore; donne des étincelles quand on le lime rapidement.	Combinaison douteuse.
OR.	Gris métallique. Très-cassant.	L'antimoine a une très-grande affinité pour l'or et le dissout rapidement. La moindre fumée d'ant. suffit pour altérer la ductilité de l'or. Les alliages sont jaune-pâle, à cassure grenue et mate comme celle de la porcelaine.	Effet tout à fait semblable à celui de l'antimoine. Il y a de même contraction dans l'alliage formé. Couleur jaune-verdâtre, cassure terreuse.
CUIVRE.	Le composé de 62 p. cuivre et 37 arsenic, Cu^2 As, est gris éclatant, très-cassant, fusible au rouge, inaltérable par la chaleur. En augmentant la quantité de cuivre il devient blanchâtre, un peu ductile. Sert pour la fab. des boutons sous le nom de cuivre blanc ou tombac.	Combinaison rapide par la fusion des deux métaux. Alliages cassants. Celui formé de parties égales des deux métaux est d'une belle couleur violette.	Alliages cassants. Couleur rouge pâle.
ARGENT.	L'arséniure composé de 85 p. argent, 14 arsenic Ag^2 As, est gris-blanc, mat, cassant, prend l'éclat métallique par le frottement. Très-fusible, indécomposable par la chaleur.	L'antimoine et l'argent ont beaucoup d'affinité. Alliages d'autant moins blancs qu'il entre plus d'antimoine. Toujours cassants.	Alliages cassants et lamelleux. Très-fusibles; assez blancs. S'aplatissent un peu sous le marteau avant de se briser.
ALUMINIUM.	Inconnu. Sûrement très-cassant.	Inconnu. Sûrement très-cassant.	Un millième de bismuth aigrit l'aluminium et le fait se gercer sous le marteau.
Métaux mous.			
ÉTAIN.	Composés cassants, gris, lamelleux, moins fusibles que l'étain. — 6 p. d'arsenic sur 100 d'étain suffisent pour faire cristalliser l'alliage en grandes lames comme le bismuth et ôter toute ductilité au composé.	Les alliages d'antimoine et d'étain sont aussi blancs que l'étain, beaucoup plus durs et moins ductiles. Ils deviennent cassants quand l'antimoine s'y trouve en forte proportion. L'alliage formé de 90 p. étain 10 antimoine, sert à faire les ustensiles en métal dit *métal anglais*, d'un bel éclat, pour théières. Celui formé de 75 p. étain 25 antimoine est plus dur, plus brillant, mais plus cassant que le précédent (*métal d'Alger*).	L'étain et le bismuth s'allient facilement en toutes proportions par la fusion. Les alliages ont plus de dureté, d'éclat, de sonorité que l'étain; aussi ajoute-t-on habituellement un peu de bismuth à l'étain pour les objets de luxe fabriqués avec ce métal. Les alliages sont plus fusibles que chacun des deux métaux séparés. Le point fixe des alliages est à 143°, ce qui correspond à l'alliage Sn^3 Bi^2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALLIAGES DES DIVERS MÉTAUX AVEC LES MÉTAUX CASSANTS.

Métaux mous.	ARSENIC.	ANTIMOINE.	BISMUTH.
PLOMB.	L'arsenic rend le plomb cassant. Les arséniures de plomb sont gris-blanc; leur cassure est lamellaire et éclatante. L'arséniure non décomposable par la chaleur, signe d'une combinaison atomique intime, est composé de 84 p. plomb et 16 arsenic, et correspond à Pb^3 As. L'arséniure de plomb sert pour la fabrication du plomb de chasse amené par simple fusion à la forme globulaire. L'introduction de 2 ou 3 millièmes d'arsenic détermine la formation d'un arséniure qui, se solidifiant librement dans l'air, en tombant de haut, et entouré de plomb, forme de chaque gouttelette une petite sphère, sous l'influence de l'attraction intérieure partant du centre.	L'antimoine donne de la dureté au plomb, et ne le rend très-cassant que quand il entre en grande proportion dans l'alliage. Celui composé de 76 p. plomb et 24 p. antimoine, correspondant à Pb^3 Sb paraît le point de saturation des deux métaux. Il est plus fusible que la moyenne des composants, ductile, beaucoup plus dur que le plomb. Il sert à la fabrication des caractères d'imprimerie, sans offrir, pour les petits, toute la dureté désirable. Il se gonfle en se figeant, condition essentielle pour obtenir un moulage parfait. Quand on augmente la prop. d'antimoine, l'alliage devient bientôt très-cassant, vitreux, cristallisant facilement, et se réduit en poussière sous un faible effort.	Les alliages de bismuth et de plomb, sont moins cassants, plus ductiles que les antimoniures, mais aussi moins durs. Néanmoins l'alliage de 3 p. de plomb et 2 de bismuth est encore dix fois plus dur que le plomb. — Celui composé de 66 p. de plomb et 34 de bismuth, ou Pb^2 Bi a une couleur intermédiaire entre celle de l'étain et celle du plomb. Il est très-ductile. Fond à 166° cent. Le point fixe de ces alliages est à 129°, c'est le point de fusion de l'alliage Pb^2 Bi^3. La grande fusibilité de ces alliages comme de beaucoup d'autres où entre le bismuth rendra l'emploi de ce métal très-fréquent, le jour où on l'obtiendra abondamment, à un prix peu élevé.
Métal liquide.			
MERCURE.	Sans intérêt.	Sans intérêt. Alliages grenus, blancs, sans consistance.	Le mercure peut dissoudre beaucoup de bismuth sans cesser d'être liquide, seulement il forme alors des gouttelettes allongées, et fait la queue. L'alliage de 1 p. de bismuth, 4 de mercure est très-fusible, peut servir à étamer, et s'attache aux corps avec lesquels il est mis en contact.

ALLIAGES DU ZINC

(Métal intermédiaire entre les métaux cassants et les métaux ductiles),

AVEC LES MÉTAUX DUCTILES, MOUS ET LIQUIDES.

Il résulte de la nature du zinc que sa présence doit durcir les métaux avec lesquels il entre en combinaison; comme il n'est pas cristallisable, et qu'il a par lui-même une certaine ténacité, il s'ensuit que cet effet sera produit sans une altération de ténacité analogue à celle que font naître les métaux cristallins ordinairement cassants. — Il est encore une circonstance importante à noter et qui rend compte de la difficulté que présente la fabrication des alliages du zinc, c'est qu'il est volatil, et que son oxydation est très-rapide.

Métaux ductiles.

FER. — Alliage qui ne se produit que par une action très-prolongée des deux métaux, d'une préparation directe difficile, l'un des métaux étant volatil et l'autre très-réfractaire. L'action du zinc sur le fer n'est pourtant pas douteuse et a servi de base à la préparation d'une espèce de fer-blanc où l'étain est remplacé par le zinc (voyez FER GALVANISÉ).

OR. — Alliages jaunes-verdâtres, cassants, susceptibles de prendre un beau poli.

CUIVRE. — Les alliages de cuivre et zinc, appelés laiton, ou cuivre jaune, sont d'une très-grande importance pour l'industrie.

Le zinc pâlit la couleur du cuivre; 20 p. de zinc, alliées à 80 p. de cuivre, forment un alliage ayant une belle couleur jaune d'or, et qui fait par cette raison la base de la bijouterie d'imitation. Quand la proportion de zinc est plus grande, la couleur devient jaune-verdâtre et passe au gris-bleuâtre, quand il entre pour plus de moitié dans l'alliage. Ces alliages sont tous plus fusibles, plus durs, plus roides, moins oxydables que le cuivre, et enfin d'un prix moins élevé. Ceux qui renferment au plus le tiers de leur poids de zinc sont très-malléables et très-ductiles à la température ordinaire, mais deviennent très-fragiles à une chaleur un peu élevée. La trempe les rend malléables, les adoucit.

L'alliage le plus employé qui sert à fabriquer les ustensiles de ménage, les tringles, les fils, etc., contient 2 atomes, ou 66 p. de cuivre et 1 atome ou 34 p. de zinc. On emploie des alliages renfermant moitié de leur poids de zinc pour les objets de moulerie, qui n'ont pas besoin de malléabilité et qu'il importe d'obtenir à bas prix (Voy. LAITON).

ARGENT. — L'argent et le zinc se combinent facilement. Composés cassants, si la proportion de zinc est très-grande, blancs bleuâtres; texture grenue à grain fin.

L'alliage à 1/10 de zinc et 9/10 d'argent a été proposé par M. Péligot pour la monnaie de billon. Il est blanc, légèrement jaunâtre, se frappe fort bien. Il est bon d'observer que les sels

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se zinc sont bien moins vénéneux que les sels de cuivre. Avec équivalents égaux d'argent et de zinc et avec deux équivalents d'argent pour un de zinc, on a des produits assez malléables, tandis que les composés $Ag + 2Zn$ et $2Ag + 3Zn$ sont trop cassants pour être laminés.

ALUMINIUM. — Inconnu. — D'après la manière dont se comporte l'aluminium dans les alliages, ce composé doit être aigre et peu susceptible d'emploi.

Métaux mous.

PLOMB. — Le zinc donne au plomb de la dureté et la propriété de pouvoir prendre un beau poli, sans diminuer sa malléabilité. Le composé est aussi plus tenace que le plomb et sa pesanteur spécifique plus grande que la moyenne des deux métaux.

ÉTAIN. — L'alliage d'étain et de zinc est extrêmement remarquable par sa grande dureté et sa ténacité. Celui composé de parties égales d'étain et de zinc est presque aussi tenace que le laiton, très-dur, il résiste aussi bien au frottement. Il fond de 460° à 500° et est très-fluide. L'alliage composé de 1 d'étain et 2 de zinc fond de 300 à 360°; celui composé de 1 d'étain et 3 de zinc fond de 250 à 300°.

Métal liquide.

MERCURE. — Composés blancs, très-cassants; pâteux quand le mercure est en proportion notable. L'amalgame de cadmium, métal bien voisin du zinc, est employé par les dentistes à cause de sa propriété de se durcir lentement.

ALLIAGES QUE FORMENT LES MÉTAUX DUCTILES ENTRE EUX.

	OR.	CUIVRE.	ARGENT.	ALUMINIUM.
FER.	Le fer et l'or s'allient facilement; l'alliage est d'une décomposition difficile. L'alliage qui renferme un douzième de fer est jaune pâle, celui qui en renferme de un cinquième à un sixième est jaune-gris. Ce dernier s'emploie dans la bijouterie sous le nom d'or gris. L'alliage qui renferme 3 ou 4 de fer pour 1 d'or est gris-blanc, très-dur. Ces alliages durcissent par la trempe. Le dernier surtout pourrait servir à fabriquer des instruments tranchants.	Le cuivre et le fer ne peuvent former de véritables alliages; on peut cependant les mélanger par la fusion, et le fer retient toujours une petite quantité de cuivre qui le rend aigre et cassant. Un dixième de cuivre combiné avec la fonte, donne un produit homogène, très-dur, plus tenace que la fonte et qui peut trouver un jour un utile emploi.	Alliage de fer et d'argent, douteux, peu étudié.	Des traces de fer altèrent la malléabilité de l'aluminium. Un vingtième de fer ou de cuivre rend l'aluminium impossible à travailler. Parmi les alliages où l'aluminium domine, celui qui contient 5 p. 100 d'argent se travaille comme l'aluminium pur et a l'avantage d'être plus dur et de prendre un plus beau poli. Un dixième d'or n'ôte à l'aluminium rien de sa malléabilité, et l'alliage ainsi formé est intermédiaire pour la dureté entre l'aluminium pur et l'alliage à 5 p. 100 d'argent. Quand au contraire l'aluminium intervient pour la moindre proportion, il modifie utilement les propriétés des autres métaux, à la condition toutefois que la quantité d'aluminium introduite soit peu considérable. C'est ainsi qu'un vingtième d'aluminium communique au cuivre l'éclat et la belle couleur de l'or en même temps qu'une dureté qui ne nuit point à sa malléabilité. Un dixième d'aluminium produit avec le cuivre un alliage couleur d'or pâle, jouissant tout à la fois d'une grande dureté et d'une assez grande malléabilité. Le bronze d'aluminium est appelé à un grand avenir industriel. Sa résistance à la rupture s'élève à 60 kil. par millimètre carré. 5 parties d'aluminium alliées à 100 parties d'argent pur donnent un alliage presque aussi dur que l'argent monétaire.
	L'or et le cuivre s'allient en toutes proportions; la dureté de l'alliage est plus grande que celle de l'or; le maximum appartient à l'alliage renfermant un huitième de cuivre. Il est aussi plus fusible que l'or, et un peu moins ductile. C'est à cause de sa plus grande dureté que cet alliage remplace l'or dans les monnaies, la bijouterie.		L'or et l'argent se mélangent facilement ensemble, mais ne paraissent pas former de véritable combinaison. Ces alliages sont d'un blanc verdâtre; un vingtième d'argent suffit pour changer la couleur de l'or. Ils sont plus fusibles que l'or, ductiles, plus durs, plus élastiques et plus sonores que l'or et que l'argent. Les bijoutiers emploient souvent *l'or vert* composé de 70 p. d'or et 30 p. argent qui correspond à peu près à l'alliage possédant le maximum de dureté.	
			L'argent et le cuivre s'allient facilement en toutes proportions. On fait grand usage dans les arts de ces alliages, qui sont presque aussi ductiles que l'argent pur tout en ayant beaucoup plus de dureté et d'élasticité. Ils restent blancs, même quand le cuivre entre pour moitié. Le maximum de dureté appartient à l'alliage renfermant un cinquième de cuivre.	

ALLIAGES DES MÉTAUX DUCTILES AVEC LES MÉTAUX MOUS.

Métaux mous.

	FER.	OR.	CUIVRE.	ARGENT.
PLOMB.	Ne paraissent pas pouvoir former d'alliage.	Alliages très-cassants; un deux millième de plomb suffit pour altérer la ductilité de l'or. L'alliage renfermant huit pour cent de plomb, est jaune pâle, extrêmement fragile. Il y a expansion dans tous ces alliages.	Ne paraissent pas pouvoir former de véritables alliages. Toutefois le plomb est souvent combiné au laiton et au bronze pour lui communiquer des qualités spéciales. (Voir plus loin). On remarquera qu'il n'est plus alors en présence du cuivre seul.	Le plomb et l'argent s'unissent en toutes proportions; une très-petite quantité de plomb diminue beaucoup la ductilité de l'argent. Ces alliages sont cependant ductiles; ils sont aussi plus fusibles et plus denses que la moyenne des métaux composants. Le plomb fondu dissout au rouge une grande proportion d'argent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ALLIAGES DES MÉTAUX DUCTILES AVEC LES MÉTAUX MOUS.

Métaux mous.	FER.	OR.	CUIVRE.	ARGENT.
ÉTAIN.	Les alliages d'étain et de fer sont cassants. Une très-petite quantité de fer suffit pour diminuer la malléabilité de l'étain, ternir sa couleur et lui donner de la dureté. L'alliage composé de 6 p. d'étain et 1 de fer, est dur et cassant. Son grain ressemble à celui de l'acier. Sa densité est 7,246. L'étain ferrugineux constitue un alliage dur et tenace, avantageusement employé dans la fonderie en caractères.	Les alliages d'étain et or sont cassants ; ils conservent néanmoins quelque ductilité quand la proportion d'étain ne dépasse pas un douzième. Leur couleur est pâle ou tout à fait blanche. Les deux métaux se contractent en s'unissant.	Les alliages de cuivre et d'étain sont d'une importance extrême pour les arts à cause de leur grande ténacité, de leur dureté et de leur fusibilité. L'alliage composé de 90 p. de cuivre et 10 d'étain est jaune sombre, plus fusible, beaucoup plus dur et plus tenace que le cuivre, moins oxydable à l'air, mais peu malléable. (Voyez Bronze). La dureté augmente avec la proportion d'étain. L'alliage composé de 76 p. de cuivre et 24 étain, est blanc, légèrement rosé et très-éclatant, cassant, à cassure conchoïde et unie.	Alliages aigres, très-durs, une petite quantité d'étain suffit pour détruire la ductibilité de l'argent. Il y a contraction dans l'alliage.
Métal liquide.				
MERCURE.	Le mercure est sans action sur le fer. C'est pour cela qu'on le renferme dans des vases de ce métal pour le transporter. — Les amalgames qu'on parvient à former à l'aide de la pile, sont brillants, butyreux. A l'air ils ne sont pas stables et le fer passe à l'état de peroxyde.	Le mercure a une action très-grande sur l'or; il le dissout rapidement et en grande quantité sans que l'amalgame cesse d'être liquide. Le point de saturation paraît être de 2 parties d'or pour une de mercure. Le composé est blanc, pâteux, cristallisable.	Amalgame d'une préparation assez difficile par action directe. S'obtient aisément à l'aide de la pile; en plaçant du mercure au pôle où se réduit le cuivre. D'abord pâteux, il devient très-dur en quelques heures.	Le mercure se comporte envers l'argent à peu près comme envers l'or. Aussi emploie-t-on l'amalgame d'argent pour argenter, de même que l'amalgame d'or pour dorer. Employé par les dentistes pour plomber les dents à cause de sa propriété de se durcir après quelque temps.

MÉTAUX MOUS.

ALLIAGES QU'ILS FORMENT ENTRE EUX ET AVEC LE MERCURE.

ÉTAIN.	PLOMB.
	Le plomb et l'étain s'allient facilement en toutes proportions par la fusion. Les alliages sont moins blancs que l'étain mais beaucoup plus durs. Le plus tenace et le plus dur est composé de 25 p. ou 1 atome de plomb et de 75 p. ou 3 atomes d'étain. L'alliage composé de 33 p. étain et 67 p. plomb est blanc-gris, malléable, plus fusible que l'étain, brûle à la chaleur rouge. Sa densité est 9,55. L'alliage formé par 3 p. de plomb et 1 p. d'étain brûle à l'air comme de l'amadou lorsque sa température a été suffisamment élevée. Il est remarquable que le plomb augmente la dureté de l'étain, d'autant plus qu'en général il y a dilatation dans ces alliages. Cependant celui composé de 2 p. d'étain et 1 p. de plomb, n'éprouve ni contraction, ni dilatation. C'est cette propriété, après l'économie, qui fait employer par les potiers l'étain plombeux de préférence à l'étain pur. Le point fixe dans le refroidissement des alliages de plomb et d'étain, est 187° qui correspond à l'alliage chimique $Pb\,Sn^3$.

Métal liquide.		
MERCURE.	Le mercure et l'étain se combinent à chaud en toute proportion, et s'amalgament même à froid. L'amalgame formé de parties égales des deux métaux est solide. — Celui formé de 10 p. de mercure et 1 d'étain est liquide et ressemble au mercure sinon qu'il est moins coulant.	Le mercure dissout le plomb à froid par trituration, et très-rapidement à chaud. Il peut absorber moitié de son poids de plomb sans perdre sensiblement sa liquidité. L'amalgame formé de parties égales des deux métaux est susceptible de cristalliser.

ALLIAGES MULTIPLES. Les alliages binaires formant de nouveaux métaux peuvent servir eux-mêmes à préparer de nouveaux alliages jouissant de nouvelles propriétés; s'ils sont combinés de nouveau avec un métal il en résulte ordinairement un nouvel alliage binaire, dans lequel l'atome composé du premier alliage joue le rôle d'un atome simple. Si la combinaison a lieu entre deux alliages préexistants, il se forme un nouveau composé, dans lequel un des corps joue le rôle de base et l'autre celui d'acide; corps dont les propriétés doivent être souvent bien différentes de celles du composé qu'on obtiendrait en combinant successivement chaque métal.

Il s'en faut néanmoins beaucoup que les composés multiples aient la même importance que les alliages binaires. Ceux-ci ayant été déterminés en vue de modifier la nature du métal le plus convenable au but qu'il s'agit d'atteindre, l'addition d'un autre métal ou d'un autre alliage n'a pour but que de modifier, dans des limites bien plus restreintes, la nature du premier. Aussi les cas où les combinaisons de cette nature sont employées sont-ils peu nombreux, et le nouvel élément n'entre-t-il qu'en proportion minime dans le nouveau composé.

En général il y a avantage à faire entrer dans un alliage quelque élément nouveau, en petite quantité, dût son action propre être presque indifférente. Les effets d'affinité qu'il met en jeu tendent à maintenir un mélange plus intime et s'opposent quelquefois très-avantageusement aux effets de séparation qui tendent à se produire dans la masse, et par une combinaison plus intime en augmentent la densité et l'homogénéité.

Nous passerons en revue les métaux à ce point de vue, et nous indiquerons les quelques cas dans lesquels l'industrie les emploie, eux ou leurs alliages binaires, dans les alliages composés.

4° MÉTAL LIQUIDE. — *Mercure.* Le mercure, dont les composés sont toujours sans consistance, ne s'em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ploie que pour rendre quelques alliages fusibles à une très-basse température.

MÉTAUX MOUS. — 1° *Étain*. L'étain est employé pour augmenter la fusibilité et la ténacité de quelques alliages.

Le métal des caractères d'imprimerie, composé de 75 p. 100 de plomb et 25 d'antimoine, est grandement amélioré par l'addition de 8 à 10 p. d'étain; il acquiert plus de ténacité et le grain en devient plus fin; lorsqu'on dépasse cette proportion, l'alliage devient cristallin et cassant.

L'alliage de bismuth et de plomb est extrêmement fusible, celui à parties égales des deux métaux fond vers 165°. L'addition de l'étain en augmente encore la fusibilité; tellement que l'alliage dit de Darcet composé de 8 p. plomb, 5 bismuth, 3 étain, fond à 94°. En variant les proportions des trois métaux, on obtient des alliages fusibles de 94 à 300°, qui sont employés à divers usages, notamment à confectionner les plaques fusibles qu'on adaptait, il y a quelques années, aux chaudières à vapeur.

2° *Plomb*. Le plomb sert à donner de la sécheresse, empêche le composé de rester fibreux, rend plus facile le travail du burin.

Ainsi le laiton le plus estimé par les tourneurs, contient 2 ou 3 centièmes de plomb. Il n'a plus le défaut de graisser la lime, d'empâter l'outil; il peut alors se scier, se perforer avec netteté et précision. Ce laiton dont la malléabilité est diminuée, ne vaudrait rien pour le travail au marteau. Bien souvent le plomb n'est introduit qu'à cause de son bas prix, par exemple dans les planches pour gravure de musique formées de 37,5 étain, 25 antimoine, 60 de plomb.

Zinc. Le zinc en petite quantité peut durcir beaucoup les alliages dans lesquels on le fait entrer, mais le plus souvent au lieu de l'employer directement, on emploie avec avantage le laiton, combinaison intime du zinc. Nous avons déjà dit le rôle important que nous pensions qu'il jouait dans le bronze des frères Keller. Dans la plupart des bronzes du commerce il entre des alliages de ce genre, et c'est de la proportion exacte du bronze proprement dit, du laiton et quelquefois du plomb, ainsi que de l'ordre de la combinaison, que résultent les qualités que recherchent les arts.

Ainsi une analyse de M. Berthier, faite d'un fil de Jemmapes première qualité, a donné : cuivre 0,641, zinc 0,336, plomb 0,020, étain 0,003.

MÉTAUX DUCTILES. — 1° *Argent*. N'est pas employé comme accessoire d'autres alliages à cause de sa valeur.

2° *Cuivre*. Le cuivre à cause de la fusibilité de son alliage avec l'étain, et de la ténacité du composé, est souvent employé pour accroître la ténacité des alliages facilement fusibles. Ainsi un alliage formé de 9 p. alliage de plomb et d'antimoine et 1 partie bronze formé de 9 p. étain et 1 cuivre augmente la résistance des caractères d'imprimerie, des couverts en métal d'Alger.

M. Pelouze a proposé de remplacer le maillechort par l'alliage de cuivre et de nickel, en supprimant le zinc, qui par son oxydation pendant la préparation, la rend plus difficile et moins certaine. Il a reconnu que parties égales de nickel et de cuivre donnent un métal, très-dur et très-malléable; d'un beau blanc et qui reçoit le plus beau poli. Avec 2 parties de cuivre et 1 de nickel on a encore un métal qui jouit de précieuses qualités; il tire sur le rouge et se rapproche davantage de la nature du cuivre.

Ces composés sont bien plus chers que le maillechort ordinaire formé de 59 de cuivre, 30 de zinc, 1 de fer et 10 de nickel : telle est la composition du métal pour couverts argentés. Je citerai encore ici l'alliage curieux formé de cuivre 58 parties, zinc 40 et 2 parties de plomb allié d'antimoine qui a parfaitement la couleur du bronze, sans renfermer trace d'étain.

3° *Or*. Même observation que pour l'argent.

4° *Fer*. D'une combinaison souvent difficile surtout à cause de son infusibilité; produit un effet analogue à celui du cuivre, en donnant plus de ténacité. L'introduction de l'étain ferreux, de l'étain allié à une petite quantité de fer dans un alliage de plomb, est le meilleur moyen de lui donner de la dureté, sans le rendre cassant, cristallin, comme le fait toujours un peu l'alliage du cuivre contenant une forte proportion d'étain. On a pris des brevets pour des alliages de fer, nickel et cuivre, très-malléables et imitant l'or. Le maillechort est amélioré par l'introduction du fer.

MÉTAUX CASSANTS. — 1° *Bismuth*. Sert à accroître la fusibilité des alliages, et quelquefois à augmenter leur éclat et leur dureté.

2° *Antimoine*. — 3° *Arsenic*. Servent à donner de la dureté et à rendre les alliages cassants.

DES RECHERCHES A FAIRE SUR LES ALLIAGES. Nous avons cherché dans le travail qui précède à grouper tous les résultats importants que la science possède aujourd'hui sur les alliages. Ils ne sont pas, comme on le voit, en quantité suffisante pour éclairer tous les problèmes que présente la pratique. En effet, la fabrication d'un alliage, ayant des propriétés déterminées, est souvent capitale, et ce n'est que par tâtonnement que l'on s'efforce d'y parvenir le plus souvent.

Si l'on cherche comment il se fait que le nombre considérable de recherches qui ont dû être faites dans cette direction n'ait pas conduit à de meilleurs résultats, on trouvera bientôt que la cause en est que toutes les recherches faites sur ces questions ne sont pas comparables, sont en dehors de toute méthode scientifique, et que, par suite, les recherches successives n'ajoutent rien au domaine de la science. Il n'y a pas de mesure, et par suite pas de science véritable.

Prenons, pour rendre notre idée sensible, le résultat d'une expérience faite par une des personnes qui ont le mieux étudié les alliages, M. Guettier, auteur d'un ouvrage sur la fonderie de fer :

« Alliages : Étain, zinc.

« N° 1. Étain, 30; zinc, 70. — Texture d'un blanc « terne. — Tassement moyen. — Casse aisément. — « Cassures à larges facettes, plus brillantes que celles « du zinc. — Sec à limer. — Prend à la lime un poli « bleuâtre. — Éclate sous le burin. — Sonne peu. — « Traces de cristallisation à la surface. »

Comment de semblables expériences déduire quelque résultat précis de la part qui revient à chaque métal dans la constitution de l'alliage?

Si au contraire on étudiait concurremment la résistance à la rupture des métaux constituants et des alliages successifs, on aurait des chiffres, des nombres mesurant la résistance, permettant de déduire d'expériences faites des résultats nouveaux pour les cas qui se présenteraient. Savoir qu'un alliage *casse aisément*, c'est ne rien savoir; savoir qu'il rompt sous des charges plus ou moins fortes, pour un millimètre carré, c'est en connaître la valeur industrielle dans la plupart des cas.

Nous ne voulons pas insister à cet égard, car pour de semblables travaux c'est peu de dire ce qui est à faire si on ne les exécute pas. Malheureusement nous n'avons jamais pu parvenir à les effectuer, et un beau travail de Wertheim est le seul qui puisse être cité comme tout à fait satisfaisant, seulement il ne s'étend qu'à quelques alliages et la méthode employée aurait besoin d'être remplacée par un mode d'investigation plus simple.

Nous ne saurions donc mieux faire que de rapporter ici les résultats du beau travail de Wertheim, qui sont renfermés dans les tableaux suivants :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Expériences sur les alliages des métaux usuels entre eux.

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.		DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
[1] Plomb, étain.	$Pb_{16} Sn_{13}$	68,50	31,50	10,073	2596	0,552	0k,93
(*Soudure des plombiers.*)	Pb Sn	63,80	36,20	9,408	2969	2,077	2,46
	$Pb_3 Sn_7$	42,50	57,50	8,750	3512	1,591	2,07
	$Pb_7 Sn_7$	33,25	66,75	8,378	3700	0,340	1,07
[2] Plomb, bismuth.	$Pb_{13} Bi_7$	62,40	37,60	11,037	2021	0,262	1,52
	Pb Bi	50	50	10,790	2367	0,440	1,79
	$Pb Bi_2$	33	66	10,403	2838	0,025	5,22
[3] Plomb, antimoine. . . .	$Pb_2 Sb$	76	24	10,101	2183	»	1,87
(L'alliage $Pb_2 Sb$ est sensiblement celui employé pour les caractères d'imprimerie.)	Pb Sb	62	38	10,064	2592	»	5,59
	$Pb Sb_2$	43	57	8,946	3242	»	»
	$Pb Sb_3$	35	65	8,499	3536	»	»
Plomb, or.	$Pb_{20} Au$	95,4	4,60	11,301	2227	0,055	4,74
Plomb, argent.	$Pb_3 Ag_2$	48	52	10,743	3095	»	»
Plomb, platine.	$Pb_{85} Pt$	98,85	1,15	11,473	2684	0,026	1,65
	$Pb_6 Pt$	85	15	12,207	3107	»	»
[4] Plomb, zinc.	$Pb_6 Zc$	95	5	11,199	2144	0,069	2,75
	$Pb_4 Zc$	92,2	7,80	11,172	2493	0,060	2,02
	$Pb_2 Zc$	87	13	11,130	2833	0,060	2,02
	Pb Zc	76,30	23,70	9,430	4007	»	3,47
	$Pb_2 Zc_3$	68,20	31,8	9,043	6647	»	3,40
	$Pb Zc_5$	39	61	8,397	6108	»	»
	$Pb Zc_{10}$	24	76	7,910	7352	0,004	4,40
Plomb, cuivre.	$Pb_5 Cu$	94,20	5,80	11,165	2113	0,043	2,13
Étain, bismuth.	$Sn_9 Bi_{10}$	33	66	8,68	3610	0,028	8,19
	$Sn_3 Bi_4$	54,60	45,40	8,89	2874	0,015	6,63
Étain, antimoine.	$Sn_4 Sb$	78,5	21,5	7,21	4033	»	8,86?
	$Sn_8 Sb_5$	66	44	7,05	4695	0,010	7,82
	$Sn_3 Sb_2$	67,7	42,3	7,007	5168	»	»
[5] Étain, zinc.	$Sn_2 Zc$	78,5	21,5	7,366	5336	0,246	5,78
	$Sn_3 Zc_2$	73,40	26,60	7,255	5982	0,252	5,00
	Sn Zc	64	36	7,143	6453	0,036	4,68
	$Sn_3 Zc$	48	52	7,193	7113	0,124	2,44
	$Sn Zc_3$	37,5	62,5	6,746	6976	0,082	4,32
	$Sn Zc_5$	26,7	73,30	6,957	7314	0,023	7,52
Étain, platine.	$Sn_{50} Pt$	96,70	3,30	7,578	5309	»	4,75
[6] Étain, cuivre.	$Sn_5 Cu_6$	61,60	38,40	8,332	6113	»	»
	$Sn Cu_2$	48,30	51,70	8,531	8280	»	»
(*Métal des tam-tams*). . .	$Sn Cu_7$	21	79	8,813	9784	»	»
	Le même trempé.			8,686	7716	»	»

[1] Les alliages de plomb et d'étain sont en général plus fusibles que l'étain, surtout le second qui est fusible à basse température.

[2] et [3] La cohésion de l'alliage formé de parties égales de bismuth et de plomb, comme celle de l'alliage antimonieux PbSb, montrent le bon effet de l'alliage des métaux cassants avec le plomb. Leur effet est évidemment de s'opposer aux effets de glissement moléculaire, d'arrachement qui est le mode de rupture du plomb.

L'accroissement de la quantité d'antimoine dans l'alliage le rend vitreux, cassant, et nous doutons de l'exactitude du chiffre qui donne la valeur de la cohésion de l'alliage Pb Sb, nous le croyons trop fort.

[4] Le plomb s'allie difficilement au zinc, dans la pratique il se produit presque toujours un départ entre les deux métaux. Cet effet est sans doute dû en partie à la densité; toutefois si on remarque que le zinc ne s'allie pas très-bien à l'étain dont la densité est peu différente et s'allie très-bien au cuivre qui est beaucoup plus lourd que lui, on doit en conclure que l'ordre de la différence des points de fusion qui tend à solidifier un métal avant l'autre, doit avoir la plus grande influence sur cette action de séparation.

L'effet le plus utile pour la pratique est celui produit par une petite quantité de zinc qui reste toujours unie au plomb et en augmente la dureté. De même une faible proportion de plomb donne un peu plus de malléabilité au zinc.

[5] L'alliage de parties égales de zinc et d'étain a une grande dureté (non signalée dans le travail de M. Wertheim), et, d'après d'autres expérimentateurs, sa cohésion serait plus grande que celle trouvée ici.

[6] Les alliages à base principale de cuivre jusqu'à la combinaison 85 cuivre et 15 étain environ, sont nerveux, malléables. Quand la proportion d'étain augmente, ils deviennent durs, secs. Lorsque la proportion d'étain atteint 80 p. 100, les alliages reprennent de la malléabilité. Ceux compris entre les deux limites que nous venons de fixer sont les moins utiles dans l'industrie, il faut en excepter les alliages sonores, qui atteignent leur maximum de sonorité à environ 75 cuivre et 25 étain, proportion adoptée pour les cymbales et les tam-tams. La composition du métal de cloches varie de 79 cuivre et 21 étain à 77 C. et 23 S. Le métal blanc des télescopes est formé de 65 cuivre et 35 étain.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NOMS des MÉTAUX ALLIÉS.	FORMULES chimiques ADOPTÉES.	COMPOSITION pour 100 PARTIES.			DENSITÉS.	COEFFICIENTS d'élasticité par vibrations.	ALLONGEMENTS maxima.	COHÉSIONS pour 1 millimètre de section.
(*Bronze*).	$Sn\,Cu_{12}$	7,80	92,20		8,738	8115?	»	»
»	Le même trempé.				8,537	0734?	»	»
Étain, fer.	$Sn_{20}\,Fe$	98,20	1,80		7,266	4881	»	»
	$Sn_{11}\,Fe$	96	4		7,418	5001	»	2,40
[7] Argent, cuivre (*alliage de la monnaie*).	$Ag_5\,Cu$	94,5	5,50		10,121	8913	»	44,05
	$Ag\,Cu$	87,4	22,6		9,603	8590	0,002	51,97
Or, platine.	$Au_7\,Pt_2$	78,2	21,80		19,650	9844	»	7,12
Or, fer.	$Au_{19}\,Fe_2$	97,25	2,75		18,842	9024	0,016	20,41
[8] Zinc, cuivre.	$Zc_{13}\,Cu_4$	76,80	23,20		7,301	7678	»	4,10
	$Zc\,Cu$	51,5	48,5		8,265	8774	»	18,68
	$Zc_3\,Cu_4$	43,3	56,7		8,310	9105	»	36,80
(*Laiton pur*).	$Zc\,Cu_2$	33,75	65,25		8,606	10163	»	60,2
(*Laiton de Berlin*).	$Zc_8\,Cu_{17}$	32,45	67,55		8,427	9823	0,002	65,10
(*Espèce de similor*).	$Zc\,Cu_6$	14,6	85,4		8,636	9778	0,001	51,90
	$Zc_2\,Cu_{11}$	15,65	84,35		8,670	10290	0,003	48,30
Plomb, bismuth, étain (*métal d'Arcet*).	$Pb_2\,Bi_3\,Sn_2$	44,5	47,8	17,7	9,795	2626	0,695	1,74
[9] Plomb, antimoine, étain.	$Pb_4\,Sb_2\,Sn_5$	57	18	25	9,196	2735	0,032	7,80
	$Pb\,Sb\,Sn_2$	36,5	22,5	41	8,317	3232	»	5,62
Plomb, étain, zinc.	$Pb_{14}\,Sn_4\,Zc_9$	73	12	15	10,212	2486	0,162	1,44
Étain, antimoine, cuivre. .	$Sn_4\,Sb_2\,Cu_3$	51	28	21	7,751	5770	»	4,17
Zinc, cuivre, nickel. . . .	$Zc_9\,Cu_{15}\,Ni_2$	35	57,5	7,5	8,403	9517	0,001	»
(*Maillechort*).	$Zc_4\,Cu_{13}\,Ni_3$	18,6	60	21,4	8,541	10227	0,001	61,88
(*Pakfong très-ductile*). . .	$Zc_8\,Cu_6\,Ni_3$	37	43	20	8,436	11722	0,001	55,0
(*Pakfong du commerce*. . .	$Zc_2\,Cu_5\,Ni_3$	21	50,6	28,4	8,615	12250	0,002	68,10

[7] Nous devons citer ici l'alliage Levol, dont les propriétés remarquables résultent d'un alliage atomique. Cet alliage, représenté par la formule Ag^3Cu^1, est formé pour 1000 parties de 719 argent et 281 cuivre, jouit d'une homogénéité complète que ne peut avoir l'alliage à 9/10 de fin employé pour les monnaies françaises. Il a été avantageusement adopté, après de nombreuses expériences, par la Hollande pour la refonte des monnaies de Java.

[8] Les alliages qui renferment plus de 25 p. 100 de zinc sont d'une préparation difficile, le zinc brûlant avec facilité.

[9] Cet alliage est la base de la composition douée du maximum de résistance que puisse employer la fonderie en caractères. Elle est malheureusement d'un prix élevé à cause de la grande proportion d'étain.

SOUDURES. — On réunit les pièces métalliques soit par application mécanique, soit pour le fer en utilisant l'admirable propriété dont il jouit de se ramollir à une forte chaleur et de pouvoir alors sous l'action du marteau se réunir à la pièce qu'on applique sur lui, ce qui ne peut avoir lieu qu'avec une déformation; soit par soudure, c'est-à-dire par fusion de parties voisines du point de contact qui rétablit la continuité. On doit distinguer deux espèces de soudures :

1° Soudures autogènes; ce sont les soudures formées par la fusion du métal lui-même sans introduction d'aucun métal étranger. Comme en général on ne saurait fondre un point métallique sans s'exposer au danger de fondre la pièce métallique tout entière, ou au moins de la déformer considérablement dans les parties voisines du contact, on ne peut espérer réussir dans les applications de ce genre que pour les métaux facilement fusibles et au moyen d'appareils développant une chaleur très-intense, de telle sorte que la fusion soit plus rapide que la propagation de la chaleur.

La soudure de l'étain peut se faire ainsi au moyen d'un fer chaud; M. Desbassyns de Richemont est parvenu à l'exécuter aussi pour le plomb, au moyen du dard d'un fort chalumeau, ce qui a été trouvé fort avantageux pour les soudures des plaques dont sont construites les chambres de plomb qui servent pour la fabrication de l'acide sulfurique. Dans ce cas, l'introduction d'un métal étranger fait naître des actions chimiques extrêmement nuisibles. (Voy. CHALUMEAU.)

2° Soudures résultant de l'introduction d'un autre métal ou alliage, au point de contact. Pour souder deux pièces métalliques, on emploie un métal ou un alliage plus fusible que ces pièces, et ayant l'action chimique la plus forte possible sur celle-ci.

Plus on emploiera des corps dont le point de fusion sera voisin de celui des pièces métalliques à souder, meilleure sera en général la soudure, puisque les parties en contact seront amenées bien près de l'état de fusion, plus aussi la soudure sera résistante et participera de la nature des pièces soudées avec lesquelles elle aura formé de véritables alliages. La partie soudée résistera alors en général aux actions mécaniques presqu'autant que les autres parties, ce sera une soudure ferme.

Le genre de soudure dont il vient d'être parlé, reposant sur l'emploi d'un alliage formé du métal à souder, combiné avec avec une faible quantité d'un autre métal qui le rend un peu plus fusible, en utilisant l'affinité que possède le métal ajouté pour celui à souder, a nécessairement le défaut de forcer l'ouvrier à chauffer fortement les pièces à souder et de les détériorer par l'action du feu. Quand cette action doit être évitée et qu'on peut atteindre un résultat satisfaisant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour la pratique en sacrifiant quelque chose de la solidité; on emploie des soudures molles, c'est-à-dire dont la base est formée de métaux beaucoup plus fusibles que les métaux à réunir; elles ne sauraient alors supporter, à beaucoup près, les mêmes actions mécaniques que les pièces qu'elles sont destinées à réunir.

A l'article SOUDURE, on trouvera les détails de la partie mécanique de l'opération, nous nous contenterons de donner ici la composition de quelques soudures :

Soudure pour le platine, — or.

Soudure ferme pour l'or, — or, 18 parties, cuivre, 10 parties, — argent, 10 parties.

Soudure ferme pour l'argent, — argent, 66 parties, cuivre 23 parties, zinc, 10 parties.

Soudure pour fer, — cuivre rouge.

Pour les petites pièces on emploie une soudure plus fusible composée de cuivre 67, zinc, 33.

Quelquefois on emploie pour soudure molle l'étain, mais elle est sans solidité.

Soudure pour le plomb, — soudure des plombiers, plomb 2 parties, étain 1 p.

Soudure pour le fer-blanc,—plomb 7 parties, étain 1 p.

Soudure pour le cuivre, — étain pour les pièces qui ne doivent pas aller au feu. — Pour les autres un laiton très-chargé de zinc.

Soudure pour l'aluminium, — alliages d'aluminium et de zinc.

APPLICATION D'UN MÉTAL SUR UN AUTRE. — L'étude des alliages ne saurait être complète, sans celle des applications d'un métal en couche mince sur un autre qui donnent lieu à nombre d'industries d'une grande importance. Nous ne parlerons pas ici du travail de deux métaux, tous deux d'une certaine épaisseur, soudés ensemble, à cause des détails que l'on trouvera à l'article PLAQUÉ. Nous dirons seulement que l'adhérence d'un métal sur un autre ne peut avoir lieu avec solidité qu'autant qu'il y a combinaison entre les deux métaux juxtaposés, et ne peut réussir qu'autant qu'ils peuvent s'allier ensemble; dans le cas contraire, il faut en général faire d'abord l'application d'un métal intermédiaire ayant affinité pour les deux métaux.

L'application d'un second métal en couche mince à la surface d'un premier métal forme un composé ayant toutes les propriétés intérieures du premier, c'est-à-dire dureté, ténacité, etc., et jouissant de toutes les propriétés extérieures du second, savoir : Éclat, oxydation difficile, etc.; suivant les divers besoins auxquels il s'agit de satisfaire. (Voir ÉTAMAGE, DORURE.)

Ainsi, le bronze se moule avec facilité, est d'un prix modéré, mais ne peut prendre qu'un faible éclat; doré ou argenté, il offre toute l'apparence de l'or ou de l'argent. Ainsi, les objets en fer ou en acier, c'est-à-dire durs, tranchants, mais oxydables à l'air, peuvent devenir inaltérables s'ils sont recouverts d'or ou d'argent.

EMPLOI DE LA CHALEUR. Si l'on plonge un métal bien décapé dans un métal fondu, pour lequel il ait de l'affinité, il se fera un alliage à la surface, et la pièce, retirée du bain et bien essuyée, sera recouverte d'une couche du métal composant le bain.

On prépare de la sorte le FER-BLANC et le FER GALVANISÉ au moyen de bains d'étain et de zinc, dans le but de rendre la tôle de fer inoxydable. On étame de même les vaisseaux de cuivre et de laiton employés dans l'économie domestique.

L'or et l'argent étant difficilement fusibles, et l'emploi du procédé ci-dessus donnant toujours lieu à l'application de couches fort épaisses, on emploie pour DORER et ARGENTER par la chaleur l'intermédiaire du mercure. On prépare, au moyen de ce métal, un amalgame pâteux qui, appliqué en couches minces sur la pièce bien décapée, est chauffé dans un four. Le mercure, en se volatilisant, laisse déposer une couche très-mince d'or ou d'argent qui adhère fortement à la pièce métallique, pour peu que l'or, l'argent ou le mercure aient d'affinité pour ce métal. C'est ainsi qu'on dore et qu'on argente le *cuivre*, le *laiton* et le *bronze*.

Le fer prend mal la dorure et l'argenture par ce procédé, quand on n'a pas soin de faire d'abord déposer à sa surface une légère pellicule de cuivre, ce qui se fait en plongeant la pièce en fer dans une dissolution acide d'un sel de cuivre.

APPLICATION PAR VOIE HUMIDE. On peut quelquefois faire déposer une couche infiniment mince d'un métal à la surface d'un autre métal, par la réaction de liqueurs contenant le premier en dissolution. Ce procédé est en général très-économique.

Dans la fabrication des épingles on étame le laiton par le procédé suivant :

On place dans une bassine de l'étain amalgamé avec 1/40 de son poids de mercure. On place dessus de l'étain en grenailles. On ajoute le lendemain de la crème de tartre et de l'eau et on fait bouillir pendant une heure, après avoir ajouté les épingles, et l'étamage est parfait.

La crème de tartre dissout l'étain avec dégagement d'hydrogène; il se forme un tartrate double de protoxyde d'étain et de potasse. Le zinc de la surface du laiton décompose ce sel, et l'étain se précipite à la surface.

M. Elkington est parvenu à exécuter par voie humide une dorure très-précieuse pour la fabrication de la fausse bijouterie, par l'économie que procure la simplicité du procédé et la minime épaisseur de la couche d'or qu'il permet de déposer à la surface des objets.

L'or est dissous dans l'eau régale, ce qui le convertit en perchlorure d'or; on mêle celui-ci avec un grand excès de bicarbonate de potasse (sel qui contient toujours quelques traces de matières organiques), et on fait bouillir pendant assez longtemps, ce qui paraît convertir le sel en protochlorure. Les pièces de bronze, laiton ou cuivre, bien décapées, sont plongées dans la liqueur bouillante, et la dorure s'applique immédiatement, tandis qu'une portion de cuivre se dissout pour remplacer l'or qui se précipite. Voy. DORURE.

APPLICATION AU MOYEN DE LA PILE GALVANIQUE. Un nouvel art, basé sur l'emploi de la pile galvanique, est venu fournir une brillante et complète solution de la question de l'application d'un métal quelconque sur un autre, sans qu'une affinité énergique ait besoin d'intervenir, et peut être considéré comme un admirable progrès, surtout quand on pense à tous les dangers et à toutes les maladies qu'entraîne, pour les doreurs, l'emploi du mercure.

Nous traitons à l'article DORURE de cette industrie si importante, nous donnerons toutefois ici une partie du rapport de M. Dumas, qui a si brillamment inauguré cette nouvelle industrie, l'indication de l'utilité de ces procédés. Disons seulement que l'expérience a montré que la dorure obtenue par ce procédé n'était pas aussi continue que celle obtenue par le mercure, et qu'elle ne formait qu'une espèce de réseau extrêmement serré, de sorte qu'on doit y attacher moins d'importance pour le cas où il s'agit de préserver les corps d'actions chimiques que pour ceux où il s'agit de décoration, ce qui est, au reste, le plus fréquent.

Dorure. M. de la Rive, qui parvint le premier à dorer, au moyen de la pile, après avoir dissous l'or, plongeait les deux pôles d'une pile à courant constant dans la dissolution obtenue, l'objet à dorer étant suspendu au pôle négatif, où l'or venait se déposer.

La dorure n'est solide qu'autant qu'on emploie certaines dissolutions. M. Elkington emploie une dissolution formée de 31g,25 d'or converti en oxyde, 5 hectog. de cyanure de potassium et 4 litres d'eau. Le cyanure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

double de potassium et d'or, en assurant l'alcalinité permanente des liqueurs, a fourni la solution complète du problème, et permis de dorer tous les métaux en usage dans le commerce, et même des métaux qui, jusqu'ici, n'y ont pas été employés.

« Ainsi l'on peut dorer le platine, soit sur toute sa surface, soit sur certaines parties, de manière à obtenir des dessins d'or sur un fond de platine.

« L'argent se dore si aisément, si régulièrement et avec des couleurs si pures et si belles, qu'il est permis de croire qu'à l'avenir tout le vermeil s'obtiendra de la sorte. On varie à volonté l'épaisseur de la couche d'or, sa couleur même. On peut faire sur la même pièce des mélanges de mat et de poli. Enfin, on dore avec une égale facilité les pièces à grande dimension, les pièces plates ou à reliefs, les pièces creuses ou gravées et les filaments les plus déliés.

« Tout ce qu'on vient de dire de l'argent, il faut le répéter du cuivre, du laiton, du bronze. Rien de plus aisé, de plus régulier que la dorure des objets de diverse nature que le commerce fabrique avec ces trois métaux. Tantôt l'or, appliqué en pellicules excessivement minces, constitue un simple vernis propre à garantir ces objets de l'oxydation; tantôt, appliqué en couches plus épaisses, il est destiné à résister, en outre, au frottement et à l'usage. Par un artifice très-simple, on peut varier l'épaisseur de la couche d'or, la laisser mince partout où l'action de l'air est seule à craindre, l'épaissir, au contraire, là où il importe d'empêcher les dégradations dues au frottement. La bijouterie tirera grand parti de ces moyens.

« Le packfong prend très-bien la dorure par ce procédé, et il devient facile de convertir en vermeil les couverts en packfong, déjà assez répandus et qui ne sont pas sans danger.

« L'acier, le fer paraissent se dorer bien par cette méthode, qui n'a aucun rapport, à cet égard, avec les procédés si imparfaits de dorure sur fer ou acier; seulement il faut commencer par mettre sur le fer ou l'acier une pellicule cuivreuse. Les couteaux de dessert, les instruments de laboratoire, les instruments de chirurgie, les armes, les montures de lunettes et une foule d'objets en acier ou en fer recevront ce vernis d'or avec économie et facilité.

« L'étain a été, sous ce rapport, l'objet d'expériences très-intéressantes de M. de Ruolz. Il s'est assuré qu'il ne se dore pas très-bien par lui-même; mais vient-on à le couvrir d'une pellicule infiniment mince de cuivre, au moyen de la pile et d'une dissolution cuivreuse, dès lors il se dore aussi aisément que l'argent. Le vermeil d'étain est même d'une telle beauté, qu'on peut assurer que le commerce saura trouver d'utiles débouchés à ce nouveau produit; quoiqu'il soit de notre devoir d'ajouter qu'à raison du prix élevé de l'or il devient difficile de mettre sur des couverts d'étain une couche d'or suffisante pour les rendre durables, sans élever trop leur prix.

« La commission a mis un grand intérêt à s'éclairer d'une manière précise, sur les circonstances de l'opération au moyen de laquelle on applique l'or sur les divers métaux. Diverses questions se présentaient : pouvait-on, en effet, augmenter à volonté l'épaisseur de la couche d'or de manière à produire les mêmes effets qu'au moyen du mercure, ou même de manière à aller plus loin? Le dépôt du métal se faisait-il régulièrement ou d'une manière variable? Quelle était la part de la température du liquide, de sa concentration, du nombre des éléments de la pile, de la nature des métaux employés?

« 1° La précipitation de l'or est régulière; elle est exactement proportionnelle au temps de l'immersion : circonstance précieuse qui permet de juger de l'épaisseur de la dorure par la durée de l'opération et de la varier à volonté, comme l'ont parfaitement prouvé nos expériences.

« *Argenture.* — Tout ce que nous venons de dire des applications de l'or, il faut le répéter de celles de l'argent. M. de Ruolz est également parvenu, au moyen du cyanure d'argent dissous dans le cyanure de potassium, à appliquer l'argent avec la plus grande facilité.

« L'argent peut s'appliquer sur l'or et sur le platine, comme affaire de goût et d'ornement.

« Il s'applique très-bien aussi sur laiton, bronze et cuivre, de manière à remplacer le plaqué.

« On argente aisément aussi l'étain, le fer, l'acier.

« L'application de l'argent sur le cuivre ou le laiton se fait avec une telle facilité, qu'elle est destinée à remplacer toutes les méthodes d'argenture au pouce, d'argenture par voie humide, et même en bien des cas la fabrication du plaqué.

« L'argent s'applique très-bien sur l'étain. Il fournit ainsi le moyen de faire disparaître, à bon marché, l'odeur désagréable des couverts d'étain, en leur donnant d'ailleurs l'aspect et toutes les propriétés extérieures des couverts d'argent. Ce serait là, sans nul doute, une des circonstances les plus importantes des procédés qui nous occupent, si à la place de l'étain, comme corps de la pièce, on substitue un autre métal plus économique et plus solide.

« Il s'agit du fer ou même de la fonte. Ces métaux, façonnés en couverts et revêtus d'une couche d'argent, permettront de populariser en France, par leur bon marché, des objets déjà usuels en Angleterre. On fabrique, en effet, par d'autres procédés bien plus chers et bien moins parfaits, beaucoup de couverts en fer argenté à Birmingham, et leur usage est habituel dans la plupart des familles en Angleterre. L'expérience en est donc faite, et la Commission a vu avec le plus vif intérêt les procédés de M. de Ruolz fournir une argenture égale et parfaite, sur fer, acier ou fonte, comme le prouvent les objets mis sous les yeux de l'Académie.

« Tout en reconnaissant que l'étain peut s'argenter sans difficulté, il semblerait plus convenable aux vrais intérêts du consommateur de faire des couverts en fer ou fonte argentée, et de réserver l'étain argenté pour des pièces destinées à des maniements moins fréquents, et surtout pour des pièces obtenues par des moulages délicats.

« *Platinure.* — Au premier abord, d'après l'analogie qui existe entre le platine et l'or à beaucoup d'égards, on aurait pu croire que le platine s'appliquerait aussi facilement que l'or sur les divers métaux déjà cités. Cependant ce résultat a offert de graves difficultés pendant longtemps, par la lenteur avec laquelle il obéissait à l'action de la pile. Il fallait avec les dissolutions dans les cyanures, par exemple, donner à l'expérience une durée cent ou deux cents fois plus longue pour le platine que pour l'argent ou l'or, à égales épaisseurs.

« Mais en faisant usage de chlorure double de platine et de potassium dissous dans la potasse caustique, on obtient une liqueur qui permet de platiner avec la même facilité et la même promptitude que lorsqu'il s'agit de dorer ou d'argenter. »

CH. LABOULAYE.

ALLUMETTES. Les allumettes se fabriquent en immergeant dans du soufre fondu de petits morceaux de bois bien sec, d'un décimètre environ de longueur, des chenevottes, des roseaux, ou toute autre matière de nature organique d'une facile combustion. On emploie de préférence le bois de tremble que l'on fend dans la direction de ses fibres et que l'on fait ensuite sécher dans une étuve ou un four.

On se sert encore un peu aujourd'hui des allu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mettes dites *oxygénées*, qui sont d'un usage très commode en ce qu'il suffit, pour les enflammer, d'en plonger l'extrémité dans un petit flacon rempli d'amiante humectée avec de l'acide sulfurique concentré.

La pâte employée à leur préparation consiste ordinairement en un mélange de 1 partie en poids de soufre et de 3 parties de chlorate de potasse; mélange que l'on ne doit faire qu'avec les plus grandes précautions; après avoir séparément pulvérisé les matières aussi fin que possible, et au moyen d'une carte sur une feuille de papier, afin d'éviter des explosions qui pourraient arriver si l'on broyait les matières ensemble dans un mortier. On ajoute à la poudre un peu de lycopode, on la réduit ensuite en pâte molle à l'aide d'une dissolution de gomme adragante, et l'on colore la masse soit en bleu avec un peu d'indigo, soit en rouge avec un peu de cinabre ou de minium; après quoi on y plonge une à une les allumettes, que l'on pique ensuite par le bout non imprégné, dans un bain de sable où on les laisse sécher.

On peut encore se procurer facilement de la lumière en se servant de phosphore que l'on fond dans un petit tube de plomb ou de verre, avec un peu de magnésie, de sable ou d'oxyde de fer, en ayant soin d'agiter continuellement le mélange pendant toute la durée de son refroidissement. On ferme ensuite le tube avec un bouchon de plomb ou de liége qui doit s'y adapter exactement. Il suffit pour avoir du feu de plonger dans ce briquet un petit morceau de bois quelconque, une allumette ordinaire, le phosphore très divisé s'y enflamme aussitôt qu'il arrive au contact de l'air, et la combustion se communique immédiatement au bois.

Nous terminerons cet article en décrivant le mode de préparation des allumettes chimiques, dont l'usage est actuellement devenu général.

Pour fabriquer les allumettes *sans explosion*, préférées aujourd'hui parce qu'elles ne lancent pas des parcelles de phosphore, on opère comme suit :

Après avoir imprégné de soufre l'extrémité des allumettes, desséchées au feu, on en garnit les extrémités d'une des deux compositions dont nous empruntons la recette à M Payen :

	Pâte à la colle.		Pâte à la gomme.
Phosphore. . . .	2,5		2,5
Colle forte. . . .	2	gomme.	2,5
Eau.	4,5		3
Sable fin.	2		2
Ocre rouge. . . .	0,5		0,5
Vermillon. . . .	0,1		0,1

On peut substituer à ces deux substances colorantes 0,05 de bleu de Prusse.

On prépare le mélange à chaud, au bain-marie, pour la pâte à la colle, et à froid pour celle à la gomme. On incorpore le sable fin et la substance colorante avec la colle ou la gomme avant de mettre le phosphore, puis on étend la pâte, bien battue en émulsion et refroidie, sur une table de fonte à l'aide d'une règle La table de fonte est entretenue à une température de 30° environ par un bain-marie placé en dessous. On plonge les allumettes soufrées dans cette pâte pour qu'elles en soient imprégnées.

Dès que les allumettes sont munies de la pâte, on pose verticalement ou horizontalement les cadres qui les contiennent entre des montants, afin que la dessiccation commence à l'air. On la termine à l'étuve chauffée régulièrement par une circulation de vapeur ou d'eau chaude, car des tuyaux de poêles chauffant toujours certains filets d'air à une température élevée, mettent souvent le feu aux allumettes.

Allumettes sans soufre. On a réussi avec assez de succès à préparer des allumettes sans soufre, afin d'éviter l'odeur désagréable de l'acide sulfureux. Pour cela, on dessèche jusqu'à les faire roussir l'extrémité des allumettes placées sur une plaque de fonte chauffée puis on les pose dans un bassin portant une couche mince d'acide stéarique fondu.

Comme l'acide stéarique est moins facilement inflammable que le soufre, il est bon d'ajouter à la pâte gommeuse un corps très oxydé, tel que du minium.

Allumettes-bougies. On rencontre encore une autre sorte d'allumettes, qui offre l'avantage de durer quelques minutes, de pouvoir servir comme de petites bougies.

Elles se fabriquent très simplement au moyen d'un système analogue à un métier à tisser : 100 ou 200 mèches composées de brins de coton non tordus se déroulent d'un cylindre et sont maintenues écartées par un peigne. Elles passent dans un bain de cire fondue et dans une filière qui régularise la couche de cire. Un couteau mécanique coupe d'un coup toutes ces bougies suivant la longueur voulue; elles sont ensuite garnies de pâte inflammable de la même manière que les allumettes en bois. Voir *Complément.* ALLUMETTES.

ALOES. Une série d'expériences ont été faites, il y a peu d'années à Paris, pour vérifier la force comparative de câbles faits les uns avec du chanvre, les autres avec de l'aloès tiré de l'Algérie; et l'on dit que ces essais ont été entièrement à l'avantage de l'aloès. Pour des câbles de même grosseur, ceux d'aloès ont soutenu un poids de 2,000 kilogr.; tandis que ceux qui étaient faits de chanvre n'ont supporté qu'un poids de 400 kilogr. On remarquait, il y a quelques années, à l'exposition de l'industrie nationale de Bruxelles, des câbles d'aloès signalés comme étant de beaucoup préférables à ceux de chanvre (voy. CABLE).

ALUDEL. Vaisseaux en forme de poire, ouverts par chaque bout, dont on forme un tuyau continu, en les enfilant à la suite, ainsi que cela se pratique en Espagne pour la distillation du mercure (voyez MERCURE).

ALUMINE. L'alumine pure est encore à peine connue dans le commerce, et cependant il n'est pas douteux que cette substance ne soit destinée à jouer un rôle important dans les industries chimiques; elle remplacera avec avantage l'alun et même le sulfate d'alumine dans quelques applications considérables. En effet dans ces sels, l'alumine est le seul produit utile au consommateur; or, l'alun n'en renferme que 10 à 12 pour 100, et le sulfate d'alumine 17 à 18. Les frais de transport seraient donc diminués de plus des quatre cinquièmes, par l'emploi du nouveau produit. Mais l'avantage le plus grand est certainement celui de pouvoir transformer à volonté et avec une grande facilité l'alumine pure en sulfate, en acétate ou en chlorure, en la dissolvant dans l'acide sulfurique, dans l'acide acétique ou dans l'acide hydrochlorique. Cet avantage est évident surtout pour la préparation de l'acétate d'alumine dont l'emploi est général dans les fabriques de toiles peintes, et que l'on obtient aujourd'hui par la double décomposition de l'alun et de l'acétate de plomb (voyez ACÉTATES). En traitant directement l'alumine par l'acide acétique, on éviterait cette préparation rendue très coûteuse par l'emploi du sel plombeux.

Voici le procédé que l'on emploie pour préparer le peu d'alumine pure que les fabriques de produits chimiques livrent au commerce : on traite le sulfate d'alumine, dissous dans l'eau de manière à marquer seulement 8 ou 10° à l'aréomètre de Baumé, par une dissolution de cristaux de carbonate de soude; pour 100 kil. de sulfate d'alumine du commerce, contenant 17 kilogr. d'alumine, on emploie à peu près 100 kilogr. de carbonate de soude, de manière en un mot à saturer tout l'acide du sulfate; dans cette réaction, la soude déplace l'alumine qui se précipite, il se forme du sulfate de soude et il y a dégagement d'acide carbonique. Lorsque l'alumine est suffisamment précipitée, on décante la dissolution de sulfate de soude, on recueille le dépôt, on le lave pour enlever les dernières traces de sulfate de soude,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on le fait égoutter, on le dessèche à une assez basse température, et on le calcine très légèrement jusqu'à ce qu'il ne retienne plus à peu près que 40 pour 100 d'eau. Si l'on poussait plus loin la dessiccation, l'alumine, comme on le sait, deviendrait difficilement attaquable par les acides. La dissolution de sulfate de soude est évaporée dans des chaudières en plomb, ou même en tôle, et on doit terminer sa dessiccation sur la tôle d'un four à réverbère. Dans ce procédé, il est évident que le carbonate de soude employé est à peu près complétement perdu; en effet 100 kilogr. de carbonate cristallisé coûtent 33 fr., on en retire à peu près 50 kilogr. de sulfate sec à 16 fr. les 100 kilogr., soit 8 fr.; la perte est donc des trois quarts. Or, comme il faut près de 500 kil. de carbonate de soude pour produire 100 kil. d'alumine, on voit que le prix de revient de cette dernière en est sensiblement augmenté; malgré ces frais considérables, les teinturiers trouvent déjà de l'avantage à préparer leur acétate avec l'alumine pure plutôt qu'avec l'alun; si donc on parvient par un procédé quelconque à éviter la perte de la soude, il est évident que les débouchés ne pourront que s'agrandir. Les fabricants doivent diriger leurs recherches sur ce point important; car il nous paraît probable que l'avenir des aluns et du sulfate d'alumine est en grande partie subordonné à celui de l'alumine pure.

ALUMINE (sulfate d'). Le sulfate neutre d'alumine est composé de 3 équivalents d'acide sulfurique, d'un équivalent d'oxyde d'aluminium et de 18 équivalents d'eau; ou bien, 100 de sulfate renferment: 36 pour 100 d'acide sulfurique anhydre, 15 pour 100 d'alumine et 49 d'eau. Ce sel est très soluble, déliquescent même, en sorte qu'il est impossible de le faire bien cristalliser en grand. On l'obtient et on le livre au commerce en morceaux amorphes.

Le sulfate d'alumine est un produit tout nouveau dans l'industrie, et qui a pris en deux ou trois ans une grande extension. Il est destiné à remplacer les aluns à base de potasse ou d'ammoniaque, qui en définitive n'agissent que par l'alumine qu'ils contiennent. L'emploi du sulfate d'alumine présente donc cela d'avantageux, qu'il économise tout à fait les sulfates de potasse ou d'ammoniaque qui entrent dans la composition des aluns, et que par conséquent l'alumine qu'il contient revient à un prix beaucoup moins élevé que celle de ces sels doubles.

Malheureusement, il y a un revers à la médaille: le sulfate d'alumine que l'on trouve dans le commerce n'a pas toujours une composition identique; souvent il renferme un grand excès d'acide sulfurique et une quantité d'eau plus ou moins considérable. L'alun cristallisé, au contraire, a une composition invariable et qui ne dépend pas de la volonté ou de l'habileté des ouvriers.

Un autre inconvénient du sulfate d'alumine, que n'ont pas les aluns, c'est que les qualités ordinaires contiennent toujours une petite proportion de fer, très nuisible dans quelques applications; on peut, il est vrai, enlever complétement ce métal, mais le procédé est assez coûteux, et nous ne croyons pas qu'il soit encore applicable aux qualités à bas prix.

Les restrictions que nous venons de poser prouvent que la fabrication qui va nous occuper a encore des progrès à faire; mais il n'en est pas moins certain que le sulfate d'alumine, préparé avec soin, est un produit qui remplace l'alun avec avantage dans plusieurs circonstances.

En principe, la préparation du sulfate d'alumine consiste à traiter une argile par l'acide sulfurique, à lessiver le produit de manière à séparer les substances insolubles, à précipiter le fer, enfin à évaporer la dissolution de sulfate jusqu'au degré nécessaire pour qu'il puisse se prendre en masse, par le refroidissement.

L'argile que l'on emploie doit être riche en alumine et très pauvre en fer; à Paris, on fait généralement usage de l'argile de Vanvres. La première opération qu'elle doit subir est un lavage par décantation qui doit séparer le sable, les cailloux et en général les substances inutiles. L'argile est ensuite soumise à une dessiccation dans un four à réverbère; la température ne doit pas être trop élevée, parce que dans ce cas l'argile serait difficilement attaquable par l'acide sulfurique; 1,000 kilog. d'argile brute sont réduits, après la dessiccation, à 800 kilog. L'argile sèche et concassée est placée dans des cuves ou *bacs* doublés de plomb; on la délaie avec 1,125 kilog. d'acide sulfurique à 53° Baumé, et on laisse séjourner le mélange pendant vingt-quatre heures; au bout de ce temps, on le porte dans une chaudière ou *bastringue* en plomb, où l'on termine l'attaque en élevant la température jusqu'à l'ébullition. La chaudière en plomb n'a que 30 à 40 centimètres de profondeur sur une grande surface; on peut la fermer au moyen d'un couvercle doublé de plomb, que l'on lute tout autour.

La flamme du foyer s'introduit d'abord sous le couvercle de la chaudière, de manière à lécher la surface de la matière; puis on fait revenir en dessous de la chaudière les produits de la combustion, qui entraînent avec eux toutes les vapeurs acides développées pendant l'attaque.

On emploie du bois pour chauffer la *bastringue;* il salit moins la matière et il donne une chaleur plus uniforme.

L'attaque dure de huit à dix heures, et on obtient environ 1,904 kilog. de sulfate d'alumine brut pour les 800 kilog. d'argile sèche employée, soit 100 kilog. pour 42 kilog. de glaise sèche; l'attaque ne se termine pas entièrement dans la *bastringue:* au sortir de celle-ci, le sulfate brut est porté dans un four à réverbère, où l'on élève la température plus qu'on ne peut le faire dans une chaudière en plomb, mais cependant pas assez pour le décomposer.

Il s'agit maintenant de dissoudre le sulfate brut, pour le séparer de toutes les matières insolubles; le lessivage se fait méthodiquement dans un système de quatre cuviers doublés de plomb, et on amène ainsi la dissolution à 21° Baumé, si on ne veut pas précipiter le fer. Si, au contraire, on veut obtenir du sulfate parfaitement pur, la dissolution n'a pas besoin d'être aussi concentrée; dans ce cas, on traite la liqueur par une dissolution de prussiate de potasse, qui précipite tout le fer à l'état de bleu de Prusse. Cette précipitation se fait dans de grands bacs doublés de plomb; si la dissolution de sulfate d'alumine était trop concentrée, le bleu de Prusse se déposerait difficilement.

Au bout de huit à dix heures de repos, on décante le liquide clair, qui ne contient plus alors que du sulfate d'alumine et quelques sels incolores en minime quantité; il ne reste plus qu'à l'évaporer pour l'amener à l'état solide.

L'évaporation de la liqueur se fait dans des chaudières en plomb ordinaires, si ce n'est qu'à l'une de leurs extrémités elles sont munies d'une large soupape, qui sert à en évacuer le contenu. L'évaporation doit être poussée jusqu'au moment où un échantillon pris avec une spatule se prend en masse par le refroidissement; à ce point de concentration, la liqueur marque 32° Baumé; on la retire immédiatement en enlevant la soupape placée à l'extrémité de la chaudière. Le sulfate liquide est reçu sur une aire dallée ou sur une feuille de plomb très épaisse, disposée bien horizontalement sur le sol de l'atelier. Par le refroidissement, le sulfate se prend en masse; on le découpe en morceaux et on l'emballe immédiatement dans des tonneaux.

Le bleu de Prusse qui est resté pour résidu est purgé du sulfate d'alumine par des lavages successifs, et en définitive par la filtration, qui l'amène à l'état de pâte. Si l'on n'a pas le débouché de ce bleu, il est nécessaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de le revivifier pour épurer une nouvelle quantité de sulfate d'alumine; mais il est évident que dans cette manipulation il y a une perte considérable, surtout au prix où se trouve le prussiate de potasse. Jusqu'à présent, toutes les recherches imaginables n'ont pu amener la découverte d'un procédé d'épuration plus économique que par le prussiate.

L'alun à base d'ammoniaque coûte plus cher que le sulfate d'alumine et ne contient pas autant d'alumine; aussi cette fabrication a-t-elle eu un succès certain.

Nous allons voir que d'autres méthodes sont encore nées pour fournir à l'industrie les quantités d'alumine, encore assez limitées, dont elle a besoin.

PRÉPARATION INDUSTRIELLE DE L'ALUMINE. — L'industrie de la préparation de l'alumine est surtout née dans ces dernières années des recherches auxquelles a donné lieu l'extraction de l'aluminium. Nous extrairons les détails qui suivent d'une notice de M. Lechatelier, le savant ingénieur des mines, qui a réuni ses efforts à ceux de M. Deville pour la mise en pratique de cette conquête de la chimie.

La nouvelle industrie repose essentiellement sur la préparation des aluminates alcalins, des composés dans lesquels l'alumine joue le rôle d'acide et non celui de base comme dans les aluns.

Aluminate de soude. — La matière qui sert de base à la fabrication de l'aluminate de soude est un minéral particulier ferrugineux, dit *Minerai des Baux*, du lieu de son extraction, très-riche en alumine et contenant très-peu de silice; on le trouve dans les Bouches-du-Rhône, le Var, en Calabre et au Sénégal. Sa composition est la suivante :

Alumine	60 à 75 p. 100
Peroxyde de fer. . .	12 à 20 —
Silice	1 à 3 —
Eau.	Variable.

Il y a, en outre, d'après M. Deville, un peu de vanadium, de chrôme et peut-être de tungstène.

Si on traite le minéral par l'acide muriatique, on se débarrasse aisément du fer, mais ce travail, utile pour obtenir des produits d'une très-grande pureté, n'est pas absolument nécessaire.

Deux procédés sont employés; celui de la cuite analogue au travail des savons, et un second semblable à celui de la fabrication de la soude, qui est tout à fait convenable pour une grande fabrication annexée à celle des usines à soude.

Dans le premier, le minerai pulvérisé est mis en digestion avec une lessive de soude caustique très-concentrée; on chauffe dans une chaudière de fer ou de fonte, en ayant soin de remuer de temps en temps; on obtient par lixiviation une solution d'aluminate de soude.

La dissolution décantée mise à déposer dans des vases en bois, ou mieux en métal, fer, zinc, cuivre, plomb, etc., se clarifie en laissant déposer l'oxyde de fer extrêmement divisé qu'elle peut tenir en suspension. Elle doit d'ailleurs être filtrée immédiatement avant ou après le dépôt.

La soude dans l'aluminate normal $2Al^2O^3 + 3NaO$ étant un peu inférieure à la quantité d'alumine, on pourra en général employer une lessive contenant une quantité de soude caustique anhydre, égale à celle de l'alumine contenue dans le minerai à traiter. Suivant qu'il y a intérêt à économiser la soude ou le minerai, on peut réduire ou augmenter cette proportion d'alcali.

Dans l'attaque du minerai des Baux, par la cuite à la soude caustique, il se forme un composé insoluble de silice, d'alumine et de soude, hydraté, qui reste avec l'oxyde de fer; il ne nuit pas à la réaction, mais il fait passer dans le résidu une petite quantité de soude, qui est environ le tiers du poids de la silice.

Dans le cas où on opère la cuite sur le minerai des Baux, débarrassé de son oxyde de fer, le résidu sera très-faible, les lixiviations seront très-faciles et la liqueur pourra être filtrée sans qu'il y ait à craindre de voir de l'oxyde de fer excessivement divisé passer à travers le filtre; dans un appareil d'une capacité donnée, on traitera plus de matière.

La cuite, au lieu d'être faite avec une lessive caustique préparée *ad hoc*, peut aussi être opérée avec un mélange de sel de soude ou de cristaux de soude et de chaux caustique, en proportion convenable pour mettre en liberté la totalité de la soude caustique. Il conviendra cependant de mettre un petit excès de carbonate de soude pour prévenir la formation d'un aluminate de chaux insoluble ou pour le détruire une fois qu'il sera formé.

Le second procédé consiste à mêler le minerai broyé avec du sel ou du carbonate de soude et à le calciner dans un four à réverbère, où le brassage de la masse et la circulation des gaz facilitent l'opération. Il est bon que le mélange soit aussi intime que possible afin d'obtenir des rendements plus considérables; à cet effet, on mélange les poussières à sec, puis on humecte la masse pour faire pénétrer dans toutes ses parties le carbonate de soude auquel l'eau sert de véhicule. On calcine au rouge vif et on reprend la masse par l'eau bouillante; par décantation et filtration, on obtient une lessive d'aluminate de soude renfermant, s'il y a lieu, le carbonate de soude employé en excès ou qui n'aurait pas concouru à la réaction faute d'un mélange assez intime.

En mettant le minerai d'alumine en excès, on sursature la soude d'alumine, et l'excès de celle-ci, après le lessivage à chaud, se précipite spontanément.

L'aluminate de soude ainsi obtenu renferme, en général, de petites quantités de fer, qui se trouve probablement à l'état de ferrate de soude.

Nous recommandons, pour prévenir cet inconvénient, l'emploi d'une petite quantité de charbon de bois, de houille ou de coke, même insuffisante pour réduire tout l'oxyde de fer à l'état métallique ou pour décomposer tout le carbonate de soude, qui sera mêlée grossièrement dans la masse; l'oxyde de carbone qui se dégagera pourra empêcher la suroxydation du fer et la formation des ferrates solubles; la présence du charbon pourra favoriser la décomposition du carbonate de soude et rendre la réaction plus complète.

Le produit prêt à être employé dans l'industrie se présente sous forme d'une poudre d'un vert-jaunâtre léger, sèche au toucher et par conséquent facile à emballer. L'analyse y indique 48 p. 100 d'alumine, c'est-à-dire une richesse très-grande.

Préparation de l'alumine au moyen de l'aluminate de soude. On fait circuler à travers un cylindre horizontal en fer un courant continu de solution d'aluminate qu'on a soin d'agiter constamment. On fait passer en même temps dans ce cylindre un courant d'acide carbonique. Le liquide qui s'écoule du cylindre est une solution de carbonate de soude renfermant l'alumine en suspension. Malgré les lavages les plus soignés, l'alumine ainsi préparée retient toujours une certaine quantité de carbonate de soude (carbonate double insoluble de soude et d'alumine).

Le bicarbonate de soude précipite l'alumine de l'aluminate, le carbonate neutre de soude étant l'autre produit de la réaction. Si l'on emploie avec précaution le bicarbonate, on peut obtenir l'alumine complétement exempte de carbonate de soude.

Préparation de l'acétate d'alumine. — Autrefois, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

préparait toujours l'acétate d'alumine par la décomposition partielle de l'alun au moyen de l'acétate de plomb; on perdait ainsi les sulfates de potasse ou d'ammoniaque qui restaient dans le liquide, et aussi le sulfate de plomb. On prépare très-bien l'acétate au moyen de l'aluminate, mais pour que l'alumine soit soluble dans l'acide acétique, il faut la précipiter par l'acide chlorhydrique plutôt que par l'acide carbonique.

ALUMINIUM. Voy. *Complément*. Analyse des procédés de M. H. Deville.

ALUN (*ang.* alum, *all.* alaun). L'alun est un sulfate double d'alumine et de potasse ou d'ammoniaque. L'alun à base de potasse est composé de

1 at. sulfate de potasse. . . .	1089,07	18,34.
4 at. sulfate d'alumine. . . .	2149,80	36,20.
24 at. d'eau.	2699,52	45,46.
	5938,39	100,00.

et l'alun ammoniacal est formé de

1 at. sulfate d'ammoniaque. . .	716,7	12,88.
4 at. sulfate d'alumine.	2149,8	38,64.
24 at. d'eau.	2699,5	48,48.
	5566,0	100,00.

Il se présente ordinairement sous forme de cristaux octaédriques, a une saveur âpre un peu acide, et rougit la teinture bleue de tournesol.

Il existait des fabriques d'alun, il y a plusieurs siècles, à Roccha, appelée autrefois *Edessa*, en Syrie, et c'est de là qu'est venu l'ancien nom d'alun de *roche* que l'on donnait à ce sel. On le fabriqua ensuite à *Foya nova*, près de Smyrne et dans les environs de Constantinople. Les Génois, et les autres peuples commerçants de l'Italie importaient l'alun de ces lieux de fabrication dans l'Europe occidentale, pour l'usage des teinturiers en rouge. Vers le milieu du quinzième siècle, on commença à le fabriquer à la *Tolfa*, à *Viterbe*, et à *Volaterra*, en Italie. Après cette époque l'importation de l'alun oriental fut prohibée par le pape, comme préjudiciable aux intérêts de ses états. La fabrication de ce sel s'introduisit en Allemagne au commencement du seizième siècle, et un peu plus tard en Angleterre où elle fut importée par Thomas Chaloner, sous le règne d'Élisabeth.

Tout l'alun employé dans la grande Bretagne, provient du lessivage des schistes alumineux de *Whitby*, en Angleterre, et de *Hurlett* et *Campsie*, près de Glasgow, en Écosse. L'alun qui se fabrique en Angleterre est à base de potasse. Celui qu'on fait en France est tantôt à base d'ammoniaque, tantôt renferme à la fois de la potasse et de l'ammoniaque et quelquefois est à base de potasse. On peut reconnaître en général l'alun en le dissolvant dans l'eau bouillante et y versant de l'ammoniaque, qui sépare l'alumine sous la forme d'un précipité floconneux blanchâtre. Si la dissolution est froide et très étendue, le précipité restera longtemps suspendu, sous la forme d'une nuage opalescent, avant de se déposer.

Ce précipité recueilli sur un filtre et lavé avec soin à l'eau bouillante est de l'alumine pure, en le dissolvant encore humide dans de l'acide sulfurique faible on obtient du sulfate d'alumine, sel soluble dans deux parties en poids d'eau froide. En versant de l'ammoniaque dans une dissolution froide et concentrée de sulfate d'alumine, il se précipite une poudre blanche insoluble qui est du sous-sulfate d'alumine tribasique. En versant dans la dissolution concentrée de sulfate neutre d'alumine une dissolution également concentrée de sulfate de potasse il se précipitera une poudre blanche, grenue; du véritable *alun;* mais si l'on a employé des dissolutions étendues et si l'on fait évaporer leur mélange, et qu'on laisse ensuite refroidir; on obtiendra de l'alun cristallisé.

Lorsque l'on fait bouillir une dissolution d'alun, sur de l'alumine en gelée précipitée, une portion de celle-ci entre en combinaison avec le sel, et constitue un composé insoluble qui se précipite sous la forme de poudre blanche, le même phénomène se produit en ajoutant à une dissolution bouillante d'alun une dissolution de potasse caustique jusqu'à ce que le mélange qui rougissait d'abord fortement le papier de tournesol y paraisse presque neutre. Cet alun basique insoluble, qui a reçu le nom d'alun *aluminé*, est composé de

1 at. sulfate de potasse. . . .	1089,07	19,71.
3 at. sous-sulfate d'alumine tribasique.	3433,44	62,11.
9 at. d'eau.	1004,92	18,18.
	5527,43	100,00.

On le transforme en alun ordinaire soit en le traitant par une quantité convenable d'acide sulfurique, soit en le calcinant assez pour décomposer le sous-sulfate d'alumine en sulfate neutre et en alumine, puis reprenant par l'eau.

L'alun se présente rarement tout formé dans la nature; on le rencontre accidentellement à l'état d'efflorescences superficielles, et dans certaines eaux minérales des Indes orientales. L'alun du commerce en Europe est fabriqué artificiellement; on le prépare au moyen de la pierre d'alun ou *alunite*, des schistes alumineux, ou de l'argile.

1° *Fabrication de l'alun au moyen de l'alunite.* L'alunite ou pierre d'alun est un minéral assez rare; on l'a trouvée à la *Tolfa* près Civita Vecchia, à *Piombino* en Italie, et en quantité plus considérable en Hongrie, à *Bereghszasz* et à *Muszag*, où elle forme des lits entiers dans une roche dure, caractérisée par de nombreuses cavités ou *druses* dont l'intérieur est tapissé de cristaux d'alunite. L'*alunite* pure se compose d'après une analyse de M. Cordier de

2 at. sulfate de potasse.	2178	18,53.
2 at. sulfate d'alumine.	4293	38,50.
5 at. hydrate d'alumine.	4903	42,97.
	11374	100,00.

c'est un véritable alun aluminé qui est insoluble. Les gros morceaux contiennent plus ou moins de quartz disséminé dans leur masse, et sont, selon leur qualité, ou mis à part pour en faire de l'alun, ou laissés de côté. Les morceaux choisis sont grillés ou calcinés et c'est dans cette opération que l'hydrate d'alumine, qui est associé avec le sulfate d'alumine perd son eau, et son affinité pour l'alun, de sorte que celui-ci devient libre, et par une exposition subséquente à l'air, l'alunite calcinée se désagrège, et l'alun devient soluble dans l'eau.

La calcination se fait dans des fours à plâtre à la manière ordinaire. Il faut régler le feu, de manière à prévenir la fusion ou le tassement des pierres, et même tout dégagement d'acide sulfurique ou d'acide sulfureux, qui causerait une perte correspondante dans le produit et l'alun. On doit donc pour cette raison éviter autant que possible le contact des pierres incandescentes avec les matières charbonneuses. Aussi est-il infiniment préférable de réduire l'*alunite* en poudre grossière, et d'effectuer ensuite le grillage dans des fours à réverbère, ce qui permet de le rendre plus complet et plus uniforme, tout en opérant à une température beaucoup plus basse.

L'*alunite*, ainsi calcinée est ensuite empilée en tas de 80 à 90 centimètres de haut, à l'air libre, et entretenue continuellement humide à l'aide d'un peu d'eau qu'on y fait arriver. A mesure que l'eau se combine avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'alun les pierres se délitent, et finissent par se changer en une masse pâteuse qu'on lessive avec de l'eau chaude; on laisse les eaux de lavage s'éclaircir dans un grand réservoir; le liquide clarifié qui surnage est décanté, puis on le fait évaporer et cristalliser; enfin on purifie les premiers cristaux en les dissolvant dans de l'eau chaude et les faisant cristalliser de nouveau; on obtient ainsi un alun propre à être livré au commerce. C'est ainsi qu'on fabrique l'alun de Rome qui est recouvert d'une légère couche rouge de peroxyde de fer. On retirerait de l'alunite une quantité notablement plus considérable d'alun, en la traitant par une quantité d'acide sulfurique suffisante pour transformer tout l'hydrate d'alumine en sulfate; l'attaque se fait avec la plus grande facilité, et il est certain que dans un grand nombre de cas on trouverait beaucoup d'économie à employer ce procédé.

2° *Fabrication de l'alun au moyen des schistes alumineux.* — La plus grande partie de l'alun que l'on trouve dans le commerce, en Angleterre et en Allemagne, s'extrait d'un schiste ardoisier, et alumineux et d'autres minéraux du même genre, contenant plus ou moins de pyrites de fer et de matières charbonneuses ou bitumineuses. Celles-ci sont parfois si abondantes qu'elles rendent le minerai jusqu'à un certain point combustible. Dans les couches de lignite et de bois bitumineux, les lits supérieurs immédiatement recouverts par des couches d'argile, sont composés de matières charbonneuses, mélangées avec de l'argile et des pyrites. On les incinère en tas et on lessive les cendres pour en retirer de l'alun comme nous l'avons vu pratiquer en grand dans tout le nord-ouest de la Bohême. Si l'on y trouve des rognons isolés de pyrites on met celles-ci de côté et on les emploie pour la fabrication de l'acide sulfurique fumant (voyez *acide* SULFURIQUE). Ce triple mélange constitue le caractère de tous les bons schistes alumineux, le charbon sert à économiser le combustible, rend la texture poreuse, et facilite ainsi la sulfatisation. En calcinant ces schistes, les pyrites de fer qu'ils renferment perdent la moitié environ de leur soufre sous forme de soufre sublimé et passent à l'état de sulfure noir magnétique qui exposé à l'action de l'air humide, en attire promptement l'oxygène et l'eau et se change en sulfate de protoxyde de fer hydraté, ou *vitriol vert*. Les lignites terreux contiennent souvent des cristaux de vitriol vert qui se sont formés spontanément au milieu d'eux. Le sulfate de fer transmet peu à peu son acide à l'argile, tandis que le fer se peroxyde, par l'action de l'air sous une faible élévation de température, et c'est ainsi que le sulfate d'alumine se produit. Une portion du vitriol vert reste toutefois indécomposée, et il y en a d'autant plus qu'il peut se trouver moins des autres bases salifiables dans l'ardoise alumineuse, pour peu qu'il s'y trouve de magnésie ou de chaux, le vitriol se décompose plus complétement, et il se produit alors une certaine quantité de sel d'epsom et de gypse.

La fabrication de l'alun au moyen des schistes alumineux peut se diviser en six opérations principales qui sont les suivantes : 1° Préparation des schistes alumineux; 2° lessivage; 3° concentration des eaux de lessivage; 4° brevetage; 5° lavage des cristaux; et 6° purification de l'alun.

1° *Préparation des schistes alumineux.* Quelques-uns de ces schistes sont d'une nature telle qu'étant mis en tas en plein air, et humectés de temps à autre, ils s'échauffent spontanément, et s'affaissent par degrés en une masse pulvérulente propre à être lessivée. Mais généralement, il y a beaucoup d'avantage à calciner ou à griller les schistes alumineux; la cohésion se trouve par ce moyen tellement diminuée, que leur décomposition en devient beaucoup plus rapide; les pyrites ayant perdu une portion de leur soufre, se sont transformées en un sulfure qui se sulfatise avec une grande facilité, et les vapeurs sulfureuses qui se dégagent pendant le grillage attaquent une certaine quantité d'argile, et produisent du sulfate d'alumine.

Lorsque le schiste contient trop peu de matière bitumineuse ou de charbon pour suffire au grillage, on doit le stratifier avec de la houille menue, du bois de fagots ou des branchages, de manière à en former des tas très étendus en surface, et ayant 1m,00 à 1m,50 de hauteur; on met le feu sur différents points de la couche inférieure de combustible, et lorsque la masse est bien embrasée, on ajoute successivement des lits de schistes, et au besoin de combustible, au-dessus du tas. A *Whitby*, ce mode d'empilement successif se continue jusqu'à ce que le tas ait atteint une hauteur de 30 à 33 mètres, et l'aire horizontale est augmentée en même temps jusqu'à ce qu'elle offre une surface à la base d'environ 60 mètres de côté, de sorte que la masse totale offre un solide d'environ 100,000 mètres cubes. On modère la rapidité de la combustion en tassant sur les crevasses, du schiste en petits morceaux humectés. Lorsqu'une masse aussi prodigieuse se trouve embrasée, la chaleur est assurément trop forte, et il doit s'en dégager une immense quantité de soufre et d'acide sulfurique. Cette perte a été remarquée aux fabriques de Whitby. A *Hurlett* la hauteur à laquelle on élève les tas est seulement de quelques pieds, tandis que l'aire horizontale est très étendue, ce qui est une disposition beaucoup plus judicieuse. A Whitby, il faut 130 tonnes de schiste calciné pour produire une tonne d'alun. Sous le climat humide de l'Angleterre, il serait convenable de recouvrir les strates formées de broussailles ou de houille menue et de schiste, d'un chapeau de schiste menu tassé, dont la surface serait unie et n'offrirait que quelques soupiraux pour faciliter la circulation de l'air; une pareille masse ainsi disposée protégerait le tas entier contre la pluie, et empêcherait en même temps la combustion de devenir trop active. Si une pluie trop forte survenait, on creuserait une gouttière autour du tas pour recevoir la lessive alumineuse, et la conduire dans un réservoir.

On doit chercher à produire une chaleur continue, mais lente, et un feu égal; lorsque le feu est trop vif, le sulfate de fer peut former avec les matières terreuses une espèce de scorie, ou le soufre s'échapper à l'état de vapeur; ce sont là deux accidents qui diminuent notablement le produit en alun. Les schistes bitumineux qui ont été employés comme combustible sous les chaudières à vapeur, y éprouvent une combustion si violente que leurs cendres ne contiennent presque plus d'alun. Les tas mêmes qui sont les plus régulièrement conduits sont susceptibles de brûler trop vivement lorsque le vent est fort; on doit, en pareille circonstance, tenir les carneaux bouchés avec soin. On peut admettre comme une règle générale, que plus la combustion sera lente, plus le minerai calciné sera riche en sulfate d'alumine. Lorsque la calcination est complète, le tas a diminué de la moitié de son volume primitif; il est recouvert d'une cendre fine rougeâtre, et est devenu très poreux à l'intérieur, de sorte que l'air peut circuler librement à travers la masse; pour en favoriser l'accès, les tas ne doivent pas être trop élevés, et par un temps sec, on doit parfois les arroser avec une petite quantité d'eau, laquelle dissout et entraîne un peu de matière saline, et rend par ce moyen l'intérieur de la masse plus accessible à l'atmosphère.

Lorsque le minerai calciné s'est entièrement refroidi, on doit procéder au lessivage. Mais comme depuis l'établissement des premières assises des tas jusqu'à leur calcination complète, il peut s'écouler plusieurs semaines et même des mois entiers,, on doit avoir soin d'en construire un nombre suffisant ou de les étendre assez, pour être en état de continuer le lessivage et les opérations subséquentes pendant tout le cours de l'année,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ou du moins pendant toute la mauvaise saison, durant laquelle la calcination doit être suspendue. On reconnaît que le grillage est suffisamment avancé : 1° à ce que le tas se recouvre de nombreuses efflorescences salines, et que les cendres ont acquis une forte saveur alumineuse; et 2° par un essai qui consiste à lessiver une certaine quantité du schiste grillé, et à constater ensuite la quantité d'alun que les eaux de lavage donnent, en y ajoutant du sulfate de potasse où d'ammoniaque et faisant cristalliser.

2° *Lessivage*. Le lessivage se fait mieux dans des réservoirs construits en pierres, que dans des cuves en bois; quelques fortes que soient d'abord celles-ci, elles sont bientôt endommagées et exigent de fréquentes réparations. On doit les établir à proximité des tas de grillage afin de diminuer les frais de transport, et les disposer en cascade. Sous ce rapport, une terrasse en pente est la localité la plus convenable pour établir une fabrique d'alun. A la partie inférieure de la terrasse et dans le voisinage de l'atelier de concentration, il y a deux ou trois bassins abrités sous un hangard, assez profonds, et plus ou moins grands pour laisser déposer les eaux brutes du lessivage. On doit établir à un niveau un peu plus élevé les réservoirs destinés aux eaux de lessivage clarifiées. On charge le schiste grillé dans les réservoirs supérieurs, en ayant le soin de placer au fond les gros morceaux, et de les recouvrir avec les cendres les plus fines. On y fait alors couler par-dessus une quantité d'eau suffisante, et on laisse reposer pendant quelque temps, puis on soutire les eaux de lavage à l'aide d'un tuyau à robinet placé au fond du réservoir, et on les laisse couler dans le réservoir suivant dont le niveau est tant soit peu plus bas. On verse ensuite une nouvelle quantité d'eau sur le schiste, en partie épuisé; on laisse encore reposer pendant un temps suffisant, et on soutire l'eau de lavage affaiblie qui en résulte dans un réservoir à part. Dans quelques cas, on lave avec une troisième eau, et l'on réserve l'eau de ce dernier lavage pour le premier lavage d'une nouvelle portion de schiste grillé. Afin d'économiser les frais d'évaporation, il convient toujours d'augmenter la force des eaux faibles, en les employant, au lieu d'eau pure, pour lessiver de nouvelles portions de schiste grillé. L'économie et le succès d'une fabrique d'alun dépendent beaucoup de la disposition relative et de la forme des bassins de lessivage. On doit toujours avoir recours à l'aréomètre pour déterminer le degré de concentration des dissolutions.

La pierre ainsi lessivée étant épuisée de ses parties solubles, est retirée des réservoirs, et tantôt mise en tas dans un endroit convenable, où on la laisse se décomposer par l'action des agents atmosphériques, tantôt soumise à un nouveau grillage après dessiccation à l'air libre.

La densité de la dissolution peut être portée moyennement par lessivage de 1,09 à 1,15. Cette dernière densité peut toujours s'obtenir, en concentrant les dissolutions les plus faibles sur du schiste récemment calciné. On laisse alors déposer le sulfate de chaux, l'oxyde de fer et les matières terreuses, et on décante. Il est avantageux de laisser le liquide exposé à l'air pendant un certain temps, durant lequel le vitriol vert peut se transformer en sulfate de peroxyde de fer, qui réagit, par une partie de son acide, qu'il retient avec très peu de force, sur une certaine quantité de l'argile en présence, et augmente par là la quantité de sulfate d'alumine. La fabrication de l'alun est d'autant plus imparfaite qu'il reste plus de sulfate de fer non décomposé dans la liqueur. On doit donc essayer autant que possible à convertir tout le sulfate de fer en sulfate d'alumine.

3° *Evaporation des eaux de lessivage du schiste alumineux*. Comme les eaux de lessivage, quelque soit le temps qu'on les ait laissé reposer pour les clarifier, sont néanmoins encore susceptibles de laisser déposer une grande quantité de matières terreuses pendant leur concentration par la chaleur, on les évapore beaucoup mieux en faisant agir le feu sur la surface que par dessous. C'est ainsi qu'on procède à *Hurlett* et à *Campsie* (Angleterre). On construit un réservoir en pierre bien étanche; on met un lit d'argile bien battue derrière les dalles ou carreaux qui revêtent le fond et les côtés. Cette espèce de cuve peut avoir 1m,25 à 2m,00 de large, 0m,70 à 1m,00 de profondeur, et 10 à 12 mètres de longueur; elle est recouverte dans toute sa longueur d'une voûte en pierre ou en briques. A l'une des extrémités de ce tunnel ou de cette espèce de canal couvert, on établit une grille, et à l'autre extrémité on construit une haute cheminée d'appel. La cuve étant remplie jusqu'au bord avec des eaux de lavage des schistes, on charge de la houille sur la grille; la flamme ainsi que l'air chaud sont forcés de raser dans toute sa longueur la surface du liquide, de manière à le maintenir dans un état permanent d'ébullition et à entraîner toute la vapeur aqueuse qui se forme. La suie qui se condense pendant l'opération tombe au fond du liquide et en clarifie la masse. A mesure que la concentration avance, on introduit une nouvelle quantité d'eau de lavage crue, qu'on fait couler du bassin d'alimentation, qui est placé à un niveau un peu plus élevé. L'on continue ainsi jusqu'à ce que toute la cuve soit remplie d'un liquide clarifié, ayant une pesanteur spécifique suffisamment élevée pour être porté dans les chaudières de plomb.

A *Whitby*, les chaudières de plomb ont 3 mètres de longueur, 1m,45 de largeur, 0m,66 de profondeur à l'une des extrémités et 0m,81 à l'autre. Cette différence de niveau de 0m,15 entre les deux extrémités facilite la décantation de la lessive concentrée; cette décantation se fait par le moyen d'un siphon qu'on place à l'extrémité inférieure. Le fond de la chaudière est supporté par une série de barres de fer parallèles, placées très près l'une de l'autre. On porte le liquide à l'ébullition, en chauffant les chaudières par dessous. Tous les matins les chaudières sont vidées, et le liquide transvasé dans un cristallisoir en pierre ou en plomb. La densité du liquide doit être ordinairement d'environ 1,4 à 1,5 : toutefois, elle doit varier selon les différentes espèces de lessives et d'après le but que se propose le fabricant. En effet, pour un liquide dans lequel il entre deux parties de sulfate d'alumine et une partie de sulfate de fer, il ne faut concentrer la liqueur que jusqu'à ce qu'elle atteigne une densité de 1,25; tandis que, pour une dissolution qui contient deux parties de sulfate de fer et une partie de sulfate d'alumine, il faut, pour que le sulfate de fer puisse se séparer le premier par cristallisation, que la densité du liquide bouillant ne soit pas inférieure à 1,4.

La construction d'un fourneau évaporatoire convenablement adapté à la concentration des eaux de lessivage, alumineuses ou autres, se trouvera décrite à l'article SOUDE. Le bassin qui doit contenir le liquide doit être construit en dalles ou en carreaux, joints par du bon ciment hydraulique. On dit qu'un mortier fait de chaux vive, mêlée avec du schiste en poudre complétement épuisé et de la limaille de fer, constitue un ciment très propre à cet usage. Quelquefois au-dessus du four à réverbère on met un bassin plat au lieu d'une voûte, et on y verse le liquide cru pour l'y concentrer en partie. En Allemagne, ce bassin est en cuivre, parce que s'il était en fer il s'userait trop rapidement, et qu'en plomb il serait trop susceptible de fondre. Par cette disposition, la cuve d'évaporation placée par-dessous se trouve graduellement alimentée avec du liquide chaud. Sur l'un des côtés de cette cuve inférieure, on place une porte par laquelle on peut faire sortir, à l'aide d'un râteau, le sédiment à mesure qu'il s'accumule au fond. Cette disposition est très convenable pour ce mode d'évaporation,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et permet aussi de faire promptement toutes les réparations nécessaires. Du reste, une construction ainsi faite et bien établie tout d'abord peut servir bien des années.

Pendant la concentration finale, on est dans l'usage d'ajouter une certaine quantité d'eaux mères provenant d'une opération antérieure; cette quantité doit être réglée d'après une analyse spéciale et la connaissance qu'on doit avoir de leur composition. Si ces eaux mères contiennent beaucoup d'acide sulfurique libre provenant de la formation du sous-sulfate de fer, elles peuvent devenir avantageuses en dissolvant une partie de l'alumine du sédiment, dans lequel il y en a toujours en plus ou moins grande quantité.

4° *Précipitation de l'alun par l'addition de sels alcalins* (ou *brevetage*). En règle générale, il est plus avantageux de séparer d'abord des dissolutions clarifiées et concentrées l'alun à l'état de poudre ou de petits cristaux, par l'addition d'un sulfate alcalin, et de laisser dans les eaux mères les sels étrangers tels que le sulfate de fer ou de magnésie, plutôt que d'essayer à séparer ces sels par une cristallisation préalable. Par cette méthode, non seulement on simplifie et on accélère la fabrication de l'alun, en laissant provisoirement de côté les eaux mères, que l'on retraite plus tard, mais on ne court pas le risque d'enlever une partie du sulfate d'alumine avec le sulfate de fer ou de magnésie. Dans ce cas, on ne doit pas pousser la concentration assez loin pour que le liquide donne des cristaux, mais seulement faire en sorte que la concentration se rapproche de ce point. On peut à cet égard déterminer d'avance et par expérience la densité ou le degré de concentration le plus convenable.

Arrivé à ce point, on fait passer le liquide clarifié dans la cuve à précipitation, et on y ajoute la quantité convenable de sulfate de potasse ou d'ammoniaque. Au lieu des sulfates, on peut employer du chlorure de potassium ou du carbonate d'ammoniaque; le chlorure de potassium a sur le sulfate de potasse, lorsqu'on peut se le procurer à bon marché, l'avantage d'être plus soluble et de se transformer en sulfate de potasse aux dépens du sulfate de fer, qu'il change en chlorure, lequel cristallise très difficilement, et est par conséquent moins apte que le sulfate à souiller les cristaux d'alun. Le carbonate d'ammoniaque réagit d'une manière analogue sur le sulfate de fer, en donnant lieu à la formation de sulfate d'ammoniaque et à la précipitation d'une quantité correspondante d'oxyde de fer.

La quantité de sels alcalins nécessaire pour précipiter l'alun en poudre granulaire d'une eau de lavage concentrée à un degré convenable dépend, d'un côté, de leur richesse en potasse ou en ammoniaque, et de l'autre, de la teneur des eaux en sulfate d'alumine. L'on doit s'assurer de ces quantités réciproques par une expérience préliminaire faite en petit. Une approximation exacte n'est pas praticable quand on opère sur une grande échelle; mais, comme les eaux mères sont ensuite mêlées ensemble dans une cuve, s'il y a eu un excès de précipitant dans une opération, il sera compensé par un excès de sulfate d'alumine qui sera resté dans une autre, et l'alun qui en résulte se rassemble au fond de la cuve. Lorsque la liqueur est parfaitement refroidie et éclaircie, on décante l'eau mère qui surnage avec une pompe, ou, mieux encore, avec un siphon ou un robinet, et on la fait passer dans une cuve inférieure. Plus le soutirage aura été complet, plus aussi il sera facile de purifier l'alun.

Cette eau mère a généralement une densité de 1,4 à la température moyenne de l'atmosphère, et consiste en une dissolution saturée de chlorure ou de sulfate de protoxyde et de peroxyde de fer, mêlée à du sulfate de magnésie dans certaines localités, à du chlorure de sodium, et enfin du sulfate d'alumine. En ajoutant de temps en temps une certaine quantité de cette eau à des eaux de lessivage neuves, une portion de ce dernier sulfate se convertit en alun; mais il y a des occasions où il convient de faire évaporer cette eau mère de manière à en retirer, par cristallisation, du sulfate de protoxyde de fer ou vitriol vert, avant de la traiter de nouveau pour alun.

Lorsque les eaux de lessivage contiennent une grande quantité de sulfate de fer, il est bon de commencer par en séparer une partie par cristallisation avant de précipiter l'alun. Dans ce cas, on doit faire évaporer le liquide jusqu'à ce qu'il ait atteint une densité de 1,40, puis, le transvaser dans les cristallisoirs en pierre. Lorsque le vitriol vert s'est séparé, on ramène le liquide à l'aide d'une pompe en plomb dans la cuve d'évaporation, et on le réduit de nouveau à la densité de 1,40. Si on y ajoute alors l'un des précipitants alcalins que nous avons énumérés plus haut, l'alun se séparera de cette solution concentrée, et se précipitera sous forme d'une poudre très tenue, très facile à laver, et à purifier. Mais cette méthode exige plus de vaisseaux et plus de manipulations que la méthode précédente, et l'on ne doit y avoir recours que lorsque la nécessité le commande; de plus, il est à remarquer que la couperose ou vitriol vert, extraite en premier lieu des eaux de lavage, entraîne, ainsi que nous l'avons dit, une portion du sulfate d'alumine, et acquiert par là un aspect terne; tandis que celle qu'on retire des eaux mères après la séparation de l'alun, a au contraire un aspect brillant.

5° *Lavage ou édulcoration de l'alun en poudre.* L'alun pulvérulent et cristallin est d'une couleur brunâtre, ce qui tient à ce qu'il est sali par des eaux ferrugineuses; mais on peut faire disparaître cette couleur par un lavage avec de l'eau très froide qui ne dissout pas plus d'un dix-huitième de son poids d'alun. Après avoir bien agité ensemble la poudre et l'eau, on doit laisser déposer l'alun, et puis on décante l'eau de lavage; on procède ensuite à un second lavage qui rend l'alun presque pur, et même à un plus grand nombre, s'il est nécessaire. Moins on emploie d'eau, et mieux elle est décantée, plus l'opération est complète. La deuxième eau peut être employée au lieu d'eau pure, pour le premier lavage d'une portion de poudre d'alun non encore lavée, etc. Ces eaux de lavage sont toujours saturées d'alun et servent de nouveau dans le lavage de la poudre d'alun, à l'exception de la première eau de lavage qui est préalablement évaporée et donne du sulfate de fer par cristallisation.

6° *Cristallisation.* L'alun lavé est mis dans une cuve de plomb avec la quantité d'eau justement nécessaire pour le dissoudre à la température de l'ébullition : on chauffe et on facilite la dissolution en agitant. Lorsque la solution est arrivée à l'état de saturation, on la fait couler dans les cristallisoirs qu'on appelle en anglais *roching casks,* et en français *masses.* Ce sont des tonneaux qui ont à peu près 1m,50 de haut, 0m,90 de large au ventre et un peu moins aux extrémités. Ils sont construits avec de très fortes douves en bois bien ajustées l'une contre l'autre, et maintenues par des cercles de fer épais, qu'on enfonce provisoirement de manière à pouvoir ensuite aisément les enlever, afin d'écarter les douves quand cela devient nécessaire. La dissolution concentrée forme pendant son refroidissement lent dans ces vaisseaux fermés une couche épaisse sur toutes les faces du tonneau, intérieurement tapissée de gros cristaux bien réguliers d'alun. Après huit ou dix jours, plus ou moins, selon le temps, on enlève les cercles et les douves, et on trouve une masse d'alun ayant la forme même du tonneau. L'ouvrier perce alors avec un pic, cette masse sur le côté près du fond, et donne issue à l'eau mère de l'intérieur, qui s'écoule sur les dalles en pente de l'atelier, et se rend dans un bassin destiné à la recueillir. On l'en retire ensuite pour l'ajouter à une nouvelle quantité de poudre lavée, et la faire ser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vir à sa cristallisation. L'alun est immédiatement brisé en gros morceaux et mis à sécher dans un lieu convenable, puis emballé dans des tonneaux et porté au magasin, où il reste jusqu'à ce qu'il soit livré au commerce. Il se trouve quelquefois au fond du tonneau une petite quantité d'alun basique insoluble (sous-sulfate) qu'on y laisse, et qui, lorsqu'on y verse de nouveau les eaux mères, s'empare de leur acide sulfurique, ou bien qui étant mêlé directement avec une petite quantité d'acide sulfurique se convertit également en alun.

Lorsqu'au lieu de se servir de la potasse ou de ses sels, on emploie des sels ammoniacaux ou de l'urine putréfiée, on produit de l'alun ammoniacal qui est tout à fait semblable à l'alun de potasse par l'apparence et par les propriétés. Soumis à une douce chaleur, ils perdent l'un et l'autre leur eau de cristallisation.

A une température suffisamment élevée, l'alun ammoniacal perd son acide sulfurique et son ammoniaque, il ne reste plus que l'alumine pure, mais en cet état elle est insoluble dans les acides. L'alun ammoniacal se distingue facilement des autres aluns par l'odeur d'ammoniaque qu'il exhale lorsqu'on le triture avec de la chaux vive.

L'alun de Rome, extrait de l'alunite, possède la plupart des propriétés des aluns tirés des schistes alumineux, mais il présente quelques caractères particuliers; il cristallise toujours en cubes opaques, tandis que l'alun commun cristallise en octaèdres transparents. Il est probable que l'alun de Rome est un sulfate double d'alumine et de potasse combiné avec une petite quantité d'hydrate d'alumine. Il reste permanent lorsqu'on le dissout dans l'eau froide, car après une évaporation lente, il reprend sa forme cubique; mais lorsqu'on le dissout dans de l'eau ayant une température supérieure à 40° centigr., ou bien lorsque sa dissolution est chauffée au-delà de ce point, il se précipite une petite quantité d'alun basique ou *alun aluminé*, et par l'évaporation, on obtient des cristaux octaèdres d'alun ordinaire. La composition exacte de l'alun de Rome n'a pas encore été déterminée, du moins à notre connaissance, il diffère probablement aussi de l'alun ordinaire par la quantité d'eau de cristallisation qu'il renferme. L'alun de Rome contient, d'après MM. Thénard et Roard, seulement $\frac{1}{2400}$ de sulfate de fer, tandis que les aluns du commerce ordinaires en contiennent $\frac{1}{1000}$. Il peut être facilement purifié par la dissolution, la granulation, la cristallisation et le lavage, ainsi qu'il a déjà été expliqué.

L'alun se fabrique en France sur une grande échelle avec un sulfate d'alumine artificiel. Dans ce but, on choisit des argiles aussi exemptes que posssible de carbonate de chaux et d'oxyde de fer. On les calcine dans des fours à réverbère afin d'en chasser l'eau, de peroxyder le fer, et de rendre l'alumine plus attaquable par l'acide. L'expulsion de l'eau rend l'argile poreuse et capable d'absorber l'acide sulfurique par l'attraction capillaire. La peroxydation du fer rend celui-ci moins soluble dans l'acide sulfurique; la silice de l'argile, par sa réaction sur l'alumine, diminue son agrégation et la rend plus facile à attaquer par l'acide sulfurique. L'argile doit en conséquence n'éprouver qu'une calcination modérée, et ne pas être réduite au degré de dureté de la poterie, car alors elle subit une espèce de fusion qui en condense les molécules et la rend très difficile à attaquer par les acides. On calcine ordinairement l'argile dans un four à réverbère dont on utilise les flammes perdues pour chauffer deux chaudières évaporatoires et un bassin destiné à l'attaque de l'argile calcinée par l'acide sulfurique. Aussitôt que l'argile chargée dans le four est devenue friable, on l'en retire, on la pulvérise, et on la passe au travers d'un tamis fin; on met pour 100 parties d'argile pulvérisée, 45 parties d'acide sulfurique ayant pour densité 1,45; on mêle bien le tout ensemble dans un bassin de pierre voûté en briques. La flamme et l'air chaud d'un fourneau à réverbère sont dirigés le long de la surface du mélange de la manière que nous avons déjà décrite pour l'évaporation des liquides provenant du lessivage des schistes. On agite le mélange de temps en temps, et au bout de quelques jours on le retire, on le met à part dans un lieu bien chaud, et on laisse l'acide agir sur l'argile pendant six ou huit semaines. Au bout de cet intervalle, on doit le laver pour en extraire le sulfate d'alumine; ce lavage s'exécute comme ceux que nous avons décrits ci-dessus. Si l'on se propose de faire de l'alun de potasse, on évapore ce sulfate d'alumine jusqu'à la densité de 1,38. Mais si c'est de l'alun ammoniacal que l'on veut obtenir, la pesanteur spécifique doit être seulement de 1,24, parce que le sulfate d'ammoniaque étant soluble à froid, dans deux fois son poids d'eau, il donnera un précipité d'alun pulvérulent avec une solution plus faible de sulfate d'alumine qu'avec le sulfate de potasse, qui est moins soluble, et que par conséquent on ne peut employer en dissolution aussi concentrée.

L'alun est très employé dans les arts, et particulièrement dans la teinture, dans la fabrication des laques, la préparation des peaux de mouton, le collage du papier, pour clarifier les liquides, etc. La pureté de celui qui est destiné à la teinture peut être constatée par le prussiate de potasse qui donnera en quelques minutes à la solution d'alun une teinte bleue si elle contient la moindre trace de fer. La noix de galle est également un bon réactif pour signaler la présence du fer, quoiqu'un peu moins sensible que le précédent.

Quelques schistes pyriteux traités pour alun, et particulièrement celui de Whitby (Yorkshire), contiennent des quantités considérables de magnésie qu'on extrait des eaux mères de l'alun sous forme de sulfate. La majeure partie du sel d'Epsom, si généralement employé en Angleterre, provenait autrefois de cette source. Mais aujourd'hui on importe, dans ce pays, de grandes quantités de carbonate de magnésie naturel (magnésite) provenant de la Grèce, et on le convertit en sulfate par l'action de l'acide sulfurique. On extrait aussi des quantités très-considérables de sulfate de magnésie des eaux mères des salines du midi de la France.

Fabrication de l'alun à l'aide de l'acide sulfurique.— Nous avons vu comment le bas prix de l'acide sulfurique a conduit à la préparation du sulfate d'alumine à l'aide d'argiles pures, et surtout du kaolin, soit pour l'utiliser directement, soit pour l'employer à la fabrication de l'alun, système qui permettant d'extraire l'alumine d'un produit cristallisé, offre plus de garanties de pureté, d'absence de fer que la seule action de l'acide sur les argiles.

Nous avons vu que l'argile, qui à première vue paraît la source par excellence de l'alumine, était loin d'être le corps le plus avantageux dans tous les cas, par exemple pour la fabrication de l'aluminate de soude. On est arrivé en Angleterre à l'emploi d'une substance autre que l'argile pour la fabrication directe de l'alun à l'aide de l'acide sulfurique. M. Spener, qui a fait breveter ce procédé en 1845, emploie les schistes situés au-dessous des couches de houille dans le sud du Lancashire. Ce schiste, dont la couleur noire est due à la matière organique qu'il contient, est accumulé en tas de 0m,50 de hauteur, et calciné lentement à une température approchant à peine de la chaleur rouge; ce grillage a pour objet de rendre l'alumine du schiste soluble dans l'acide sulfurique. Une température trop élevée empêcherait la réalisation de ce but en provoquant une vitrification partielle, ce qui rendrait l'alumine tout à fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

insoluble dans l'acide. Cette calcination dure environ dix jours, et l'on ajoute journellement du schiste nouveau aux premiers tas. Après avoir été suffisamment calciné, la matière est tendre, poreuse et d'un rouge brique pâle. Le schiste calciné est ensuite placé dans des cuves munies d'un couvercle et pouvant contenir chacune 20 tonnes de cette matière; on l'y fait digérer, pendant 36 à 48 heures, avec de l'acide sulfurique d'une densité de 1,35. On maintient le liquide à une température de 100°c. d'un côté en chauffant les cuves en-dessous, ou plutôt en faisant circuler à travers la masse liquide des tuyaux métalliques formant la cheminée d'un foyer placé près de chaque cuve, et de l'autre en y introduisant les vapeurs d'une chaudière contenant les eaux ammoniacales des usines à gaz. Les sels ammoniacaux volatils pénètrent dans les cuves et y sont décomposés par l'acide sulfurique; en ajoutant de la chaux dans la chaudière, on met en liberté l'ammoniaque que cette liqueur pourrait encore contenir à l'état de combinaison. La solution bouillante d'alun est ensuite écoulée dans les citernes, et l'on a soin de l'agiter continuellement pendant qu'elle se refroidit, afin de favoriser la formation de petits cristaux. On laisse égoutter la farine cristalline et on la lave avec les eaux mères des blocs d'alun; ces eaux contiennent une forte proportion de sulfate ferrique, et cependant les cristaux d'alun n'accusent aucune trace de fer.

Il est inutile d'observer combien ce travail de purification de l'alun par lavage se rapproche du raffinage des sucres; il est fondé sur les mêmes principes.

A cette opération en succède une autre qui consiste en une recristallisation rapide et qu'on nomme *roching*. M. Spence opère la redissolution par l'action de la vapeur seulement, et sans ajouter de l'eau comme dissolvant. On introduit les cristaux dans une trémie au fond de laquelle arrive un jet de vapeur qui les dissout rapidement, et qui doit être bien privée d'air, de telle sorte qu'elle se condense parfaitement à mesure que la dissolution se poursuit. En opérant ainsi, on peut dissoudre 4 tonnes de cristaux dans l'espace d'une demi-heure à trois quarts d'heure. La solution s'écoule directement dans un réservoir en plomb, où elle s'éclaircit par un repos de trois heures, en déposant en abondance une matière également insoluble dans l'eau et dans les acides, et qu'on suppose être une combinaison constituée par du sulfate d'alumine basique ou en renfermant. On écoule ensuite le liquide clarifié dans des tonneaux dont les fonds se composent de dalles, ayant chacun $1^m,80$ de diamètre, et dont les parois sont formées de douves mobiles de 2 mètres de long, qu'on maintient en place au moyen de cercles et de vis. Après un repos de 5 à 8 jours, on dévisse les cercles, on enlève les douves et l'on met à découvert une masse d'alun cristallisé ayant la forme du tonneau. On laisse de nouveau reposer pendant 8 jours, puis on perce un trou à une distance de 25 centimètres du fond, par où s'échappe une certaine quantité de liquide. Cette masse d'alun présente généralement $0^m,45$ d'épaisseur au fond et $0^m,30$ sur les côtés; elle contient 3 tonnes d'alun commercial, tandis que le liquide, qui en renferme encore une tonne, retourne aux chaudières et sert à une autre opération.

La moitié de la quantité totale d'alun fabriqué aujourd'hui en Angleterre (300 tonnes par semaine) est faite d'après le procédé qui vient d'être décrit, et l'on voit qu'il ne fournit que de l'alun ammoniacal. Cependant la substitution de l'ammoniaque à la potasse n'appartient pas d'une manière particulière aux fabricants qui emploient le procédé direct par l'acide sulfurique. Par suite de l'élévation, sans cesse croissante, du prix des sels potassiques, l'emploi de l'alcali volatil est aussi très-généralement répandu dans toutes les fabriques qui suivent l'ancienne méthode, en France, en Angleterre et en Allemagne.

Alumine alun. — M. Barthe, ingénieur civil des mines, a eu l'idée de traiter par l'acide sulfurique l'alunite du Mont-Dore. On a donné le nom d'alumine-alun au produit ainsi fabriqué et qui permet, comme on le voit, d'après ce qui a été dit plus haut, de tirer un utile parti de l'alumine qui se trouve dans l'alunite associée à l'alun, et qui était perdue et était une cause de frais dans l'ancien procédé. Le produit définitif est formé d'un mélange d'alun potassique et de sulfate d'alumine, et remplace avec avantage l'une ou l'autre de ces deux substances dans la fabrication du papier. Il est aisé de voir, d'après la composition du minerai, que le rendement doit être considérable. En effet, 100 kilogrammes de minerai peuvent donner jusqu'à 200 kil. d'alumine-alun.

AMADOU. Nom donné en France à une substance combustible spongieuse appelée en allemand *Zunderschwamm*, qu'on prépare avec une espèce d'agaric ou de champignon (le *Boletus ignarius*) qui croît sur les vieux troncs des chênes, des frênes, des hêtres, etc. On doit le récolter dans les mois d'août et de septembre. On le prépare en enlevant avec un couteau l'enveloppe extérieure, et en séparant avec soin la substance spongieuse intérieure, qui a une couleur jaune brun, d'avec la substance ligneuse qui se trouve par dessous. On coupe la partie spongieuse en plaques minces, que l'on bat avec un maillet, pour les adoucir jusqu'à ce qu'elles puissent se déchirer facilement avec les doigts. Dans cet état le *Boletus* est une substance précieuse pour arrêter les hémorrhagies lentes, et pour plusieurs autres emplois en chirurgie. Pour le convertir en amadou, il doit recevoir une dernière préparation qui consiste à le faire bouillir dans une forte dissolution de nitre, à le faire sécher, à le battre de nouveau, et à le mettre tremper une deuxième fois dans la dissolution. Quelquefois aussi pour le rendre très-inflammable, on l'imbibe avec de la poudre à canon, et c'est de là que vient la distinction entre l'amadou noir et l'amadou brun.

Depuis l'invention des allumettes chimiques, l'amadou qui formait avec le briquet de silex et d'acier le moyen par excellence d'obtenir du feu, a été complétement abandonné, sauf pour quelques fabrications de petite importance. Telle est celle de l'amadou destiné aux chasseurs et aux marins, pour se procurer du feu malgré le vent, et qui est formé de petites gouttes de la matière inflammable des allumettes déposées sur un petit rectangle d'amadou. Par frottement, l'inflammation de cette substance a lieu et se communique à l'amadou facilement combustible, sans flammes, et le vent ne saurait empêcher la combustion de se continuer.

Toutes les vesses du loup qui appartiennent au genre lycopode, et qui ont une structure charnue ou filamenteuse, fournissent un amadou tout de suite prêt si on les plonge dans de l'eau où l'on a délayé de la poudre à canon. Les Hindous font usage, dans le même but, d'une plante légumineuse qu'ils appellent *solu*. Cette plante a une tige épaisse spongieuse qu'ils réduisent en charbon qui prend feu comme l'amadou.

AMALGAMATION. C'est le nom d'un des procédés par lesquels on sépare en grand l'argent et l'or de quelques-uns de leurs minerais. Ce procédé repose sur la propriété qu'a le mercure de dissoudre et de liquéfier en quelque sorte ces deux métaux quand ils sont disséminés à l'état natif ou à l'état de chlorure dans les minerais, ce qui permet de les séparer ainsi de leurs matières terreuses par de simples lavages. (Voyez les articles MERCURE, ARGENT et OR.)

AMALGAME. Nom générique des alliages formés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par le mercure; ainsi les alliages de mercure et de cuivre, de mercure et d'étain, ... portent le nom d'amalgames de cuivre, d'étain, ... quelques-uns de ces amalgames sont très employés dans certaines industries (Voyez DORURE, ARGENTURE, et étamage des GLACES, etc...)

AMANDE (*angl.* almond; *all.* mandel). On distingue dans le commerce deux sortes d'amandes : les amandes douces et les amandes amères : les amandes douces servent à faire des dragées et du nougat; leur émulsion mêlée avec de l'eau d'orge et du sucre, forme l'orgeat; elles entrent dans beaucoup de préparations pharmaceutiques. On fait avec les amandes amères des massepains, des patisseries et des sucreries. Elles servent à préparer l'*amygdaline;* pour cela on écrase les amandes mondées, et on les soumet à une forte pression, dans des sacs en toile, après les avoir légèrement chauffées pour coaguler les matières mucilagineuses; on en sépare ainsi une huile fixe et onctueuse; enfin on traite à plusieurs reprises le résidu par de l'alcool absolu bouillant qui dissout l'amygdaline, et la laisse déposer par le refroidissement sous la forme de paillettes blanches et nacrées. Mais, si on écrase les amandes amères dans de l'eau, on obtient une dissolution laiteuse qui contient un ferment très soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool, et qui par sa réaction sur l'amygdaline donne naissance à de l'essence d'amandes amères que l'on reconnaît de suite à l'odeur qui se dégage; aussi pour préparer l'amygdaline faut-il employer de l'alcool absolu. En distillant l'émulsion d'amandes amères, on obtient un mélange d'essence d'amandes amères ou *hydrure de benzoïle* et d'acide hydrocyanique. Les amandes douces ne présentent pas de phénomène analogue. Voici les résultats de l'analyse immédiate des deux espèces d'amandes :

	AMANDES DOUCES. d'après Boullay.	AMAND. AMÈR. d'après Vogel.
Pellicules.	5	8,5
Huile fixe.	54	28,0
Sucre incristallisable. . .	6	6,5
Gomme	3	3,0
Légumine et albumine. .	24	30,0
Fibres.	4	5,0
Eau, amygdaline et perte.	4	19,0
	100	100,0

AMANDES (huile d'). Voyez HUILES.

AMBRE GRIS (*angl.* amber gris; *all.* ambra). Sécrétion morbide du foie du cachalot (physeter macrocephalus), qu'on trouve ordinairement surnageant à la surface de la mer, sur les côtes de Coromandel, du Japon, des Moluques et de Madagascar. On en a quelquefois extrait du rectum des cachalots pêchés dans la mer du Sud. Sa couleur est d'un gris blanchâtre; il est souvent rayé de noir, ou marbré de jaune et de noir. Il a une odeur forte, mais assez agréable; une saveur graisseuse. Il est plus léger que l'eau, fond à 60° centigr., se dissout promptement dans l'alcool absolu, l'éther et les huiles grasses et volatiles. Il contient 85 pour 100 d'une substance inflammable appelée *ambréine*. On extrait celle-ci de l'ambre gris en le faisant digérer dans de l'alcool à la densité de 0,827, filtrant la solution et l'abandonnant à une évaporation spontanée. On l'obtient ainsi sous forme de houppes blanches et déliées, que l'acide nitrique convertit en acide ambréique. On fait usage de l'ambre gris dans la parfumerie.

AMBRE JAUNE ou SUCCIN (*angl.* amber; *all.* bernstein). Minéral solide d'une couleur jaune diversement nuancée, qui brûle entièrement avec flamme, et est formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Sa pesanteur spécifique varie, d'après le docteur Ure, entre 1 080 et 1,085. Il devient négativement et puissamment électrique par la friction; à la flamme d'une bougie, il prend feu et se boursouffle considérablement en répandant une fumée blanche d'une odeur piquante, mais il ne coule pas. Le copal, qui lui ressemble sous plusieurs rapports, en diffère en ce qu'il est plus mou, et en ce qu'il coule par gouttes à la flamme; tandis que le *mellite*, ou *pierre de miel*, qui est un minéral de même couleur, devient blanc lorsqu'on le pose sur un charbon incandescent.

Le succin est d'une texture résino-vitreuse, sa cassure est conchoïdale et a un éclat vitreux. Il est parfaitement homogène; assez dur pour rayer le gypse et pour prendre un beau poli; toutefois il est rayé par le spath calcaire. Lorsqu'on distille du succin dans une cornue, le dôme de celle-ci se recouvre d'aiguilles cristallines d'acide succinique, et il passe dans le récipient une huile essentielle. Les résines fossiles, telles que celles de Highgate, qu'on a trouvées dans la formation argileuse de Londres, ne donnent point d'acide succinique par la chaleur, le copal non plus. On trouve parfois du succin ayant une couleur blanchâtre ou brunâtre.

On ne rencontre le succin ni en lits continus, comme les silex de la craie, ni en veines, mais en fragments ou rognons isolés, de grosseur variable, très souvent accompagnés de pyrites et disséminés dans des sables, des argiles ou des lignites, appartenant à la formation de l'*argile plastique*.

Le succin nous vient principalement des bords de la mer Baltique. Il se trouve quelquefois interposé en plaques minces entre les couches de lignites, plutôt près de l'écorce des lignites fibreux provenant de végétaux dicotylédons, qui ont conservé la texture ligneuse que vers le milieu du tronc de l'arbre; position qui est analogue à celle des matières résineuses sécrétées par nos végétaux actuels; on est donc porté à lui attribuer une origine analogue.

Quelques échantillons de succin présentent à leur surface des empreintes de mailles irrégulières, indiquant une espèce de rétrécissement pendant la consolidation, et par conséquent une matière qui a été à une certaine époque fluide, visqueuse, ou du moins molle.

Les différents corps qui se trouvent renfermés dans le succin et qu'on peut distinguer à cause de sa transparence, démontrent, en effet, de la manière la plus convaincante, son état primitif de liquidité ou de molesse. Ces corps ont longtemps exercé le talent des naturalistes. Ce sont généralement des insectes, ou des restes d'insectes, et quelquefois des feuilles, des pétioles, ou d'autres portions de végétaux. Certaines familles d'insectes s'y rencontrent plus abondamment que d'autres. Ainsi, celles des *Hyménoptères*, insectes à quatre ailes membraneuses nues, comme l'abeille, la guêpe; et celle des *Diptères*, insectes munis seulement de deux ailes, comme les moucherons, les mouches, les taons, etc., sont les plus fréquentes; viennent ensuite la tribu des araignées; quelques *Coléoptères*, (insectes armés d'écailles crustacées, ou d'élytres qui se joignent ensemble et forment une suture longitudinale sur le dos), ou des *Scarabées;* principalement de ceux qui vivent sur les arbres, tels que les *Élatérides*, ou les sauteurs, et les *Chrysomélides*. Les *Lépidoptères*, insectes ayant quatre ailes membraneuses, ainsi que les *Ptérigostes* qui sont recouverts d'écailles en forme de mailles, se rencontrent rarement dans le succin. On voit par cette énumération qui résulte des travaux de Germar de Schweiger, etc., que les insectes qui se trouvent enveloppés dans cette matière résineuse sont en général ceux qui se tiennent sur les troncs des arbres ou qui vivent dans les fissures de leur écorce. Jusqu'à présent, néanmoins, on n'a pu encore parvenir à les rapporter à des espèces vivantes; mais on a observé, qu'en général, ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ressemblent plus aux insectes des climats chauds qu'à ceux des zones tempérées.

Les districts où le succin se rencontre dans des conditions convenables pour donner lieu à des travaux de mines ne sont pas en grand nombre ; mais les localités où on le trouve en petits morceaux dispersés sont très nombreuses. On le recueille principalement dans la Poméranie prussienne, sur les côtes de la mer Baltique, entre Mémel et Dantzick, et particulièrement, dans le voisinage de Kœnigsberg, le long du rivage, entre Grossdirschheim et Pillau, et sur divers autres points près de Dantzick.

On le ramasse sur cette côte de plusieurs manières : 1° Dans les lits de petits ruisseaux qui coulent près des villages où on le trouve en fragments arrondis sans écorce, ou bien dans les bancs de sable des rivières, en galets, rejetés par la mer et arrondis par les vagues. 2° Si les morceaux qui sont soulevés par les eaux ne sont pas nombreux, des pêcheurs, revêtus d'habits de peau, entrent dans la mer, ayant de l'eau jusqu'au cou, ils cherchent à découvrir le succin en regardant à travers la surface, et le saisissent avec des filets en forme de sacs, attachés à l'extrémité de très longues perches. Ils concluent que la mer a détaché une grande quantité de succin de la falaise, lorsqu'ils voient beaucoup de morceaux de lignites surnager. Cette manière de se procurer le succin, n'est pas exempte de danger ; c'est pourquoi les pêcheurs, s'avancent en troupes dans l'eau, afin de se porter mutuellement secours en cas d'accident ; mais malgré toutes ces précautions leur succès est très précaire. 3° La troisième méthode pour se procurer le succin est une véritable exploitation à ciel ouvert, qui consiste à creuser dans les dunes de sable des fossés qui atteignent quelquefois 40 à 50 mètres de profondeur. 4° Le dernier procédé consiste à explorer en bateaux les falaises escarpées, et à en détacher les masses de terre peu adhérentes ; on fait usage pour cela de longues perches terminées par des crochets de fer, ce qui est encore un moyen fort hasardeux ; on explore avec un grand soin la roche au niveau où se trouvent ordinairement les nodules de succin, et on enfonce les crocs partout où l'on aperçoit des fissures. Dans ce travail, les bateaux vont quelquefois se briser contre les rochers, ou sont coulés bas par une avalanche de terres ou de quartiers de roches éboulées.

Le succin se rencontre en Sicile, disséminé dans les couches d'argile ou de marne qui reposent sous le calcaire grossier. Il y est accompagné de bitume ; et quoique le dépôt soit peu riche, on l'exploite néanmoins pour le commerce. Les morceaux sont recouverts d'une espèce d'écorce blanchâtre, ils sont variés en couleurs et renferment beaucoup d'insectes. Le succin se trouve encore dans un très grand nombre de localités des districts sablonneux de la Pologne, à une très grande distance de la mer ; il est là mêlé a des pommes de pin. On le trouve également en Saxe, dans le voisinage de Pretsch et de Wittemberg ; dans une couche d'argile bitumineuse mêlée à du lignite, à l'embouchure du Jenissey (Sibérie) ; il en est de même au Groënland ou il accompagne aussi le lignite.

Les beaux morceaux de succin sont très estimés pour la fabrication de certains objets d'ornement ; les échantillons de moindre valeur trouvent leur emploi en chimie, en médecine, et dans certains arts. Les Orientaux font plus de cas que les Européens des bijoux en succin ; c'est pourquoi la plus grande partie de l'ambre jaune, recueilli en Poméranie, se vend en Turquie. On dit que le gouvernement prussien tire de ce minéral un revenu annuel de 85,000 a 90,000 fr. Un morceau du poids d'un demi-kilogr. vaut 250 fr. Il n'y a pas longtemps, on en a trouvé en Prusse, un échantillon pesant 12 kilogr. 1/2, pour lequel on a offert 25,000 fr., et qui, d'après l'opinion de marchands arméniens rapporterait à Constantinople, de 150,000 à 200,000 fr. Autrefois, on avait l'habitude de faire chauffer les morceaux de succin opaques, à une douce chaleur dans le sable, pendant plusieurs heures, afin de les rendre transparents, ou bien on les mettait tremper pour le même but dans de l'huile de navette chaude ; mais rien n'indique jusqu'à quel point ces procédés pouvaient être avantageux.

Lorsque le succin doit être travaillé en bijoux, on le dresse d'abord sur le tour, contre une plaque de plomb (voyez taille des *pierres gemmes*) ; ensuite, on lui donne diverses formes avec une pierre à aiguiser, de Suède. On le polit sur le tour avec de la craie et de l'eau ou avec une huile végétale, et on lui donne le fini en le frottant avec de la flanelle. Pendant ces opérations, le succin est susceptible de devenir très électrique, de s'échauffer considérablement, et même de voler en éclats ; c'est pourquoi les artistes ne travaillent leurs pièces qu'aussi longtemps de suite, qu'elles ne se sont que peu échauffées. Les ouvriers éprouvent souvent des tremblements nerveux dans les poignets et dans les bras, provenant de l'électricité qui se dégage par le frottement. Des morceaux de succin peuvent être proprement réunis ensemble, en passant sur leurs bords une couche d'huile de lin, et en les pressant fortement l'un contre l'autre ; tandis qu'on les tient au-dessus de charbons de bois incandescents. Il existe dans le garde-meuble de la couronne, à Dresde, des échantillons de succin solide qu'on dit avoir été complétement fondus par une application particulière de la chaleur.

On obtient un vernis fort et durable en dissolvant du succin dans de l'huile de lin siccative. Il faut, toutefois, pour cela, que le succin soit préalablement chauffé dans un pot de fer, sur un feu clair, jusqu'à ce qu'il soit ramolli ou à demi-liquéfié. On verse alors l'huile siccative (625 gram. d'huile pour un kilogr. de succin) chauffée d'avance, et on agite vivement. Après que les deux substances se sont complétement incorporées, et que le liquide est un peu refroidi, on ajoute 1 kilogr. d'essence de térébenthine. On dit que le vernis noir fin des carrossiers, se prépare en fondant 1 kilogr. de succin dans un pot de fer, ajoutant un tiers de litre d'huile de lin siccative bouillante, 190 gram. de résine en poudre et autant d'asphalte ; après avoir bien malaxé le tout sur le feu, on le retire, on laisse refroidir pendant quelque temps, et on y verse deux tiers de litre d'essence de térébenthine chaude.

L'huile de succin, entre dans la composition d'un ancien article de parfumerie, connu sous le nom d'*eau de Luce*. Elle se convertit par l'action d'une petite quantité d'acide nitrique concentré, en une masse visqueuse analogue à la poix des cordonniers, qui exhale une forte odeur de musc, et qui, sous le nom de musc artificiel, a été prescrite, en solution alcoolique, comme un remède contre la coqueluche, et contre d'autres maladies spasmodiques.

L'acide du succin (acide succinique) est à l'état de sel ammoniacal employé dans la chimie analytique comme un réactif très délicat pour séparer le peroxyde de fer d'un grand nombre d'autres oxydes métalliques.

AMBRE LIQUIDE (*angl.* liquid amber). L'ambre liquide provient d'un arbre appelé *liquidamber styraciflica*, qui croît au Mexique, dans la Louisiane et dans la Virginie. Quelques échantillons de ce liquide ont la fluidité de l'huile ; d'autres sont aussi épais que la térébenthine. Il est transparent, a la couleur de l'ambre, exhale une odeur forte, et possède une saveur aromatique et piquante. Il se dissout presque entièrement dans l'alcool. Il renferme une grande quantité d'acide benzoïque.

AMIANTE, ASBESTE, substance minérale qui se rapporte généralement par sa composition à l'*amphi*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bois, et est très-remarquable par sa flexibilité, son éclat soyeux, sa texture fibreuse telle qu'on la confondrait aisément, quant à ses propriétés extérieures, avec la soie ou le lin.

Les caractères de ce corps inorganique, incombustible et très-difficilement fusible, ont toujours beaucoup attiré l'attention. On s'est souvent proposé d'en faire des étoffes ayant la propriété d'être incombustibles, et on est parvenu à le filer et à le tisser, soit seul, soit, ce qui est bien plus facile, en le mélangeant avec du coton, dont on se débarrasse ensuite en passant l'étoffe au feu. On en a aussi fait du papier. Mais les filaments d'amiante ne sauraient avoir l'élasticité ni la propriété de se feutrer comme du coton ou du fil, et les produits qu'ils donnent laissent toujours à désirer sous le rapport de la solidité et de la durée; ce qui, joint au peu d'abondance de la matière première et aux difficultés qu'elle présente à la mise en œuvre, suffit pour expliquer leur rareté et leur peu d'emploi.

Parmi les applications possibles et curieuses de l'amiante, nous citerons la préparation d'un carton susceptible de conserver à l'état liquide des métaux fondus à une haute température, versés sur sa surface, dans des circonstances analogues à celles indiquées à l'article FONDERIE EN CARACTÈRES *par procédé mécanique*, pour fondre le cuivre dans des moules métalliques.

On a proposé de faire avec l'amiante des mèches de lampes, qui ne seraient pas susceptibles de se charbonner. On l'employait comme éponge pour retenir l'acide sulfurique concentré dans les briquets dits *oxygénés* (voyez ALLUMETTES).

Une application curieuse de l'amiante est son emploi pour la garniture des presse-étoupes et des pistons des machines, et en général pour tous les joints qui sont exposés à la fois au frottement et à une température élevée. Dans ces conditions, l'amiante résiste parfaitement, tandis que les garnitures faites en matière végétale sont, on le sait, détruites en très-peu de temps.

D'importantes sources de cette matière ont été découvertes dans diverses contrées, principalement aux États-Unis et au Canada, en filaments d'une longueur et d'une ténacité remarquables, ce qui a fait penser à l'application dont nous parlons.

Ainsi, au Canada, on en exploite deux variétés: l'une est couleur d'ambre, translucide, et en couches parallèles; ses fibres ont de 5 centimètres à 3m,15 de longueur. La deuxième renferme un excès de magnésie et a une faible ténacité; ses fibres ont de 5 à 60 centimètres de longueur.

Les préparations que l'amiante doit subir, pour l'application importante dont nous parlons, sont simples. La matière, purifiée de corps étrangers, est d'abord désagrégée; elle est ensuite introduite, graduellement, dans la partie centrale d'une trémie composée de plusieurs segments assujettis par des ressorts et formant une paroi élastique : le tout est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe de la trémie. Trois rubans de coton, bobinés sur la partie fixe du métier, se développent le long de la paroi interne de la trémie, de manière à entourer l'amiante et à le revêtir d'une couche continue commise en même temps que les fibres elles-mêmes; enfin le cordon, une fois formé, est revêtu d'une fourrure en fil d'une grosseur convenable. On obtient ainsi, avec la vitesse de 30 centimètres par minute, des garnitures de 2 centimètres et demi de diamètre, très-régulières, et d'une densité constante, telles qu'il les faut pour les garnitures des presse-étoupes des machines.

L'amiante possède toutes les qualités que réclame cet emploi, sauf, peut-être, celle d'une élasticité assez durable : c'est, en effet, une matière minérale résistante, fibreuse, inattaquable par la chaleur ou par les acides, d'une ténacité remarquable qui peut bien être diminuée par la chaleur, mais qui revient à son état primitif après le refroidissement.

AMIDON, FÉCULE (*angl.* starch; *all.* stærke). L'amidon ou fécule est une poudre blanche formée de granules sphéroïdes, ovoïdes, ou plus ou moins allongés, suivant la nature et l'âge de la plante qui les a produits. On peut l'extraire : 1° des grains de toutes les plantes acotylédones, et par conséquent des blés et autres graminées; 2° d'un grand nombre de racines ou tubercules charnus, tels que les pommes de terre, les *convolvulus batatas* et *edulis*, l'*helianthus tuberosus*, le *jatropha manihot*, etc., qui en contiennent une quantité très-considérable; 3° des tiges de plusieurs plantes monocotylédones, particulièrement du palmier qui donne le *sagou*; et 4° des racines d'*inula helenium*, des *dahlias*, de la plupart des plantes de la famille des radiées et de quelques espèces de lichens. L'amidon qui provient de cette quatrième catégorie porte le nom d'*inuline*. L'*inuline* a la même composition chimique que l'amidon ordinaire, et à peu près les mêmes propriétés; on la distingue en ce qu'elle prend par la teinture d'iode une teinte jaune ou brunâtre, tandis que l'amidon est coloré en bleu ou en violet.

On donne plus particulièrement le nom d'*amidon* à celui retiré des céréales, et celui de *fécule* à l'amidon extrait des pommes de terre. Nous décrirons successivement leur mode de préparation et leurs usages.

Donnons quelques détails sur cette matière amylacée que l'on peut considérer comme une gomme, un mucilage solidifié, par suite soustrait aux forces vitales, susceptible de conservation presque indéfinie.

La matière amylacée pure est blanche, inodore, insipide; elle fait entendre sous les doigts un bruit de craquement particulier; elle est insoluble dans l'eau et l'alcool, inaltérable à l'air sec, et *peu* altérable à l'air humide, sinon après un temps considérable, bien qu'elle soit très-hygrométrique et qu'elle absorbe des quantités considérables d'eau dans une atmosphère saturée d'humidité.

La figure 87 représente une cellule féculente de la pomme de terre remplie de grains de fécule, et la figure 88 donne la forme des grains d'amidon du froment vus au microscope, fort différents de ceux de la figure 87.

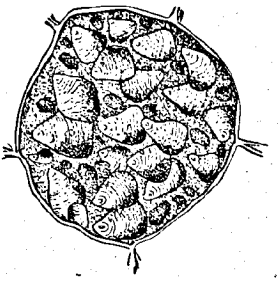


Fig. 87.



Fig. 88.

Les grains de fécule offrent à l'observation des différences de grosseur très-remarquables, et l'on peut, d'après cela, distinguer à l'aide du microscope diverses espèces de fécule. Nous donnons plus loin les résultats de cet examen pour les principales.

AMIDON. Les matières d'où l'on extrait l'amidon livré au commerce sont ordinairement les farines des céréales et les remoulages de ces farines. On peut encore, sans inconvénient, se servir de farines altérées, car tandis que le gluten, l'albumine et le sucre qui s'y trouvaient ont été décomposés en tout ou en partie, l'amidon y est resté presque en totalité intact.

On emploie deux procédés différents pour séparer l'amidon du gluten : l'un, le plus ancien, surtout en usage dans l'ouest de la France, consiste à altérer profondé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment les farines par une longue fermentation; le gluten devient soluble, et l'on peut alors facilement, mais non sans perte, en séparer l'amidon. L'autre procédé, plus nouveau, évite les longueurs, l'insalubrité et les pertes occasionnées par une fermentation putride, et n'exige en retour qu'un peu plus de main-d'œuvre; le rendement en amidon est d'ailleurs plus considérable, et le gluten intact peut servir à différents usages.

Le premier procédé consiste à prendre des grains grossièrement concassés, ou des remoulages de farines, et à les mettre tremper dans de grandes cuves avec de l'eau ordinaire à laquelle on ajoute un huitième à un dixième d'eaux sûres, provenant des opérations précédentes. Ces eaux, rendues acides par la production d'un peu d'acides acétique et lactique, provenant de la fermentation du sucre que contiennent toujours les farines, renferment en outre des matières organiques qui servent de levain pour déterminer ou activer la fermentation. Il faut de 2 à 4 semaines, suivant la température, pour rendre le gluten entièrement soluble; les eaux contiennent alors des acides carbonique, sulfhydrique, acétique et lactique, de l'acétate d'ammoniaque, des matières azotées, du phosphate de chaux, de la dextrine et du gluten soluble. La fermentation terminée, on lave à plusieurs reprises successives, par repos et décantation, pour enlever le gluten, les autres parties solubles et les substances très-divisées en suspension. Quand la dernière eau sort claire, on délaye de nouveau l'amidon brut dans de l'eau pure, et on le passe à travers un tamis grossier en crin ou en toile métallique, qui retient les débris de tissu végétal et la plupart des matières étrangères insolubles. Un second tamisage, au travers d'un tamis de soie plus fin que le précédent, épure plus complétement l'amidon. On le laisse ensuite déposer; et avec une spatule on enlève la couche supérieure, qui contient encore du son et quelques substances brunes légères qu'on relave avec une nouvelle quantité d'amidon brut. L'amidon épuré, et qui doit être d'une blancheur éclatante, est égoutté dans des caisses percées de trous, ou des paniers intérieurement recouverts d'une toile, et qui ont ordinairement $0^m,50$ de long, $0^m,34$ de large, et $0^m,28$ de profondeur. On complète l'égouttage en renversant les pains sur une aire en plâtre qui absorbe une partie de l'humidité; puis on les divise en pains de moindre dimension, que l'on expose pendant vingt-quatre à trente-six heures dans un séchoir à air libre, jusqu'à ce que leur surface commence à s'écailler légèrement; on les enveloppe alors dans du papier maintenu par de la ficelle, et on termine la dessiccation dans une étuve à courant d'air chaud, où la température, graduellement croissante, ne doit pas dépasser dans le commencement 40° centigrades, mais qui, vers la fin, peut être portée à 50, 60 et même 80°, sans aucun inconvénient. Les aiguilles obtenues sont d'autant plus grandes que les pains sont plus gros, et proviennent du retrait régulier qui s'opère dans la masse quand la dessiccation est bien ménagée.

Le second procédé que l'on suit pour préparer l'amidon est dû à M. Émile Martin, de Vervins, et consiste à faire une pâte de la matière dont on veut extraire l'amidon, et à soumettre cette pâte à un lavage continu sur un tamis en toile métallique n° 120. On obtient d'une part, dans le liquide, l'amidon en suspension et la matière sucrée dissoute; de l'autre, sur le tamis, le gluten sans altération, si l'on opère sur de la farine de froment de bonne qualité.

La pâte se fait de la même manière que pour la confection du pain, en ajoutant à la farine environ 40 pour 100 de son poids d'eau. On laisse reposer la pâte pendant une demi-heure en été, et une heure ou deux en hiver, avant de la laver, afin de bien hydrater le gluten. La pâte faite avec les farines les plus belles peut être lavée vingt minutes après sa confection en été; les farines très-grossières exigent un temps plus long, et qui peut varier de deux à six heures.

Le lavage de la pâte se fait sur une cuve à eau convenablement disposée et proportionnée au nombre de laveurs qu'on veut employer. Au-dessus d'elle est placé un tamis métallique n° 120, doublé pour plus de solidité d'une toile n° 15, et ayant des rebords de 20 centimètres à peu près. Enfin, au-dessus de ce tamis, un tube terminé en pomme d'arrosoir projette de nombreux filets d'eau très-fins sur presque toute sa surface, et un robinet, qui alimente ce tuyau, règle à volonté l'écoulement.

Le laveur ou la laveuse prend un morceau de pâte de 4 à 5 kilogr. et le présente sous le tube; puis, le posant sur le tamis, il le malaxe avec les deux mains, d'abord doucement, puis à mesure que le gluten se forme en filaments, avec plus de vivacité, jusqu'à ce que l'eau cesse de s'écouler blanchâtre.

Si la matière première n'est pas assez riche en gluten pour former avec l'eau une pâte liante, ce qui est le cas des recoupes et des sons gras, l'ouvrier la délaye sur le tamis et l'y promène avec une brosse molle, de manière à la laver aussi complétement que possible; l'opération terminée, il ferme le robinet, fait égoutter la matière en la pressant légèrement avec la main, la jette dans un baquet, et recommence une nouvelle opération.

L'eau qui tombe sous le tamis entraîne tout l'amidon que contient la pâte. Le liquide est d'un blanc laiteux parfait, si la matière employée est riche; mais comme il renferme toujours une petite quantité de gluten, on le soumet, dans une chambre chauffée à 20° centigrades environ, à une fermentation de vingt-quatre heures, aidée par le levain que produit l'espèce d'écume ou de levure de l'opération précédente.

On purifie et on dessèche l'amidon de la même manière, et en suivant les mêmes précautions que nous avons indiquées pour l'ancien procédé.

On peut, par ce moyen, retirer du froment de bonne qualité jusqu'à 50 pour 100 de bel amidon; tandis que par l'ancien procédé on n'en obtiendrait, toutes choses égales d'ailleurs, que de 35 à 40 pour 100.

Pendant l'épuration de l'amidon, on obtient en outre de l'amidon un peu impur, qui, égoutté et desséché, donne 10 pour 100 environ d'amidon de deuxième qualité, d'un très-bon emploi pour apprêter les étoffes de couleurs, surtout les nuances foncées et grises. Dans quelques amidonneries, on fait de la bière avec ce produit pâteux saccharifié par l'orge germée.

Le gluten frais obtenu forme à peu près le quart de la farine employée. Des expériences dues à M. Robine portent à croire que les pommes de terre seules, bouillies et mélangées avec une certaine quantité de gluten, qui en ferait un pain artificiel en augmentant leur qualité nutritive, formeraient un aliment économique et d'une bonne qualité.

Le gluten frais et pur peut encore servir à la fabrication du vermicelle. En y ajoutant assez de farine pour le durcir, on peut obtenir d'aussi bonne pâte à macaroni qu'en employant les plus belles farines de blés d'Asie. La quantité de farine doit être calculée de façon à conserver la consistance du vermicelle au délayage. On se sert le plus souvent du gluten ainsi obtenu pour nourrir les bestiaux et surtout les porcs; le gluten de 500 kil. de farine, pétri avec 75 kilogr. de son, donne 200 kil. de pain. Les animaux le mangent avec plus de plaisir encore si on ajoute à la pâte un peu de sel ou de mélasse de betteraves.

Le gluten frais se conserve sans altération vingt-quatre à trente-six heures pendant l'été, et deux ou trois jours en hiver; le seul moyen de le conserver plus longtemps consiste à le dessécher à une douce température.

Le gluten granulé et séché est entré dans la consom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mation et sert à confectionner, avec du bouillon, un potage très-nourrissant. On trouvera à l'article GLUTEN des détails sur des procédés de mise en œuvre du gluten, complément heureux du procédé Martin.

FÉCULE. Après la fabrication du sucre de betteraves, l'extraction de la fécule des pommes de terre est, en France, la plus importante de nos industries agricoles. Il n'y a pas lieu de s'en étonner quand on pense que ce produit, d'une conservation extrêmement facile, peut jusqu'à un certain point remplacer la farine du blé, et met ainsi les pays qui cultivent la pomme de terre à l'abri de toutes chances de disette, en réalisant le vœu de *Parmentier*, qui voulait qu'en rendant susceptibles de conservation les pommes de terre ou leurs produits, on pût résoudre cette grande question des réserves: *faire venir les années d'abondance au secours des années de disette.*

Outre son mélange avec les farines, dont elle augmente la blancheur, la fécule sert à la confection du vermicelle, de pâtes dites *semoule, tapioca, gruau, polenta*, et d'une foule d'autres préparations alimentaires; enfin, ses transformations diverses en *sucre de raisin, sirops, mélasses, vin, bière, boissons diverses, alcool, vinaigre*, etc., lui ouvrent chaque jour de plus grands et de nouveaux débouchés.

La meilleure variété de pommes de terre à employer dans la fabrication de la fécule est celle connue sous le nom de *patraque jaune;* en général les pommes de terre renferment, suivant les espèces, de 15 à 24 pour 100 de fécule sèche et 3 pour 100 au plus de tissu cellulaire; le reste se compose d'eau et de pectine, de sels, etc.

Dans une grande usine on est obligé de conserver des quantités considérables de pommes de terre pour pouvoir travailler une grande partie de l'année; on emploie à cet effet les mêmes procédés que pour la conservation des betteraves. (Voyez SUCRE.)

L'extraction de la fécule est extrêmement simple, condition heureuse pour sa propagation dans les fermes: il suffit en effet, pour l'obtenir, de réduire par un moyen quelconque la pomme de terre en pulpe très-fine, et de laver celle-ci sur un tamis métallique; la fécule, entraînée par l'eau, traverse le tamis, tombe dans une cuve placée au-dessous et s'y rassemble au fond par le repos. La pulpe épuisée, au contraire, reste sur le tamis et peut servir à différents usages, notamment à la nourriture des bestiaux. Enfin la fécule est épurée d'une manière analogue à l'amidon.

La fabrication de la fécule propre à être versée dans le commerce se compose de sept opérations distinctes, savoir :

1° Lavage des tubercules.
2° Râpage des tubercules.
3° Tamisage de la pulpe.
4° Lavage de la fécule brute.
5° Egouttage de la fécule lavée.
6° Dessiccation de la fécule.
7° Blutage de la fécule, mise en magasin, etc.

Le lavage des tubercules s'exécute à la main, ou mieux dans un trommel ou cylindre à claire-voie, tournant autour d'un axe horizontal dans une auge remplie d'eau jusqu'au niveau de l'axe. Ce trommel se compose de deux joues circulaires, réunies sur leur pourtour par des barres en bois convenablement espacées, de manière à former une grille à travers laquelle les pommes de terre ne puissent passer.

Les tubercules lavés sont réduits en pulpe à l'aide d'une râpe semblable à celle employée pour râper les betteraves dans la fabrication du sucre.

Le but de la *réduction en pulpe* étant de *déchirer le plus grand nombre possible de cellules végétales qui renferment tous les grains de fécule*, les meilleures râpes sont celles qui donnent la pulpe la plus fine.

La pulpe obtenue est lavée soit à la main, soit mécaniquement. Pour de petites quantités, le lavage à la main se fait sur un tamis métallique, absolument comme nous l'avons décrit plus haut en parlant de la fabrication de l'amidon; mais ce système devient insuffisant quant il s'agit de fabrications un peu importantes.

C'est à l'aide des brosses que le lavage peut se faire mécaniquement sur des toiles métalliques. On a d'abord cherché à mouvoir les brosses agissant sur la toile métallique horizontale, sur laquelle arrive la fécule entraînée par l'eau; mais après bien des essais, ces appareils ont fait place, pour les grandes exploitations, aux longs tamis cylindriques, d'une disposition bien plus commode, qui permettent de prolonger le lavage en opérant sur de grandes proportions. (Voyez FÉCULE.)

Quel que soit le mode d'extraction que l'on ait employé, la fécule se rend avec l'eau ayant servi au tamisage dans une série de tonneaux où on la laisse reposer pendant deux ou trois heures et où elle se dépose : on décante le liquide surnageant, on agite bien la fécule avec son volume d'eau pure, et on passe dans un tamis très-fin tout le mélange liquide. Le sable et les matières terreuses plus lourdes que la fécule sont restées dans les tonneaux; une partie des débris du tissu cellulaire reste sur le tamis. On répète ce lavage à une ou deux reprises en se servant à chaque fois de tamis de plus en plus fins. Enfin, comme il reste toujours quelques impuretés qui sont plus légères que la fécule et qui, par conséquent, ne se déposent qu'en dernier lieu, on enlève mécaniquement sur une certaine épaisseur la superficie du dépôt, à l'aide d'une racloire en fer-blanc. La partie ainsi enlevée doit être soumise à un nouveau lavage lorsqu'on en a réuni une certaine quantité.

La fécule qui s'est déposée après le dernier lavage est en masse assez dure pour qu'on puisse la couper en morceaux ou pains d'un volume déterminé, que l'on porte dans des paniers légèrement coniques, intérieurement garnis de sacs en toile, et que l'on y tasse par quelques secousses. Après vingt-quatre à trente-six heures, la fécule a pris assez de consistance pour qu'on puisse retirer les pains et les renverser sur une aire en plâtre, de 20 à 30 centim. d'épaisseur, qui forme ordinairement le plancher du séchoir à air libre, et qui, en très-peu de temps, absorbe toute l'eau encore apparente. Après vingt-quatre heures environ d'exposition sur le plâtre, on la porte dans un séchoir à air libre (fig. 90)

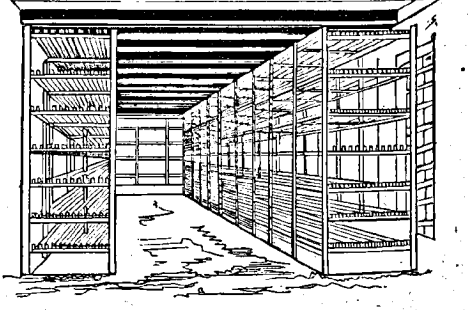


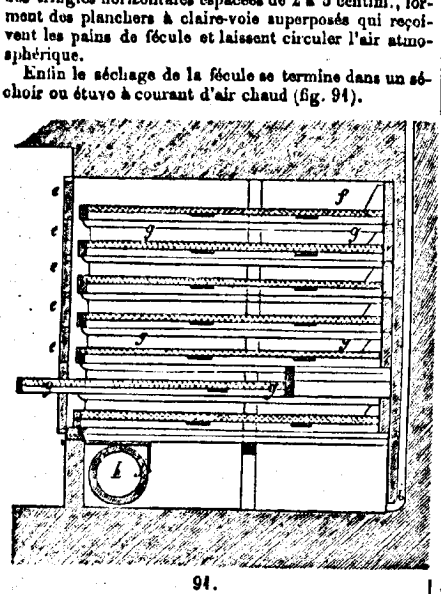
Fig. 90.

vaste, bien aéré et garni à l'entour de persiennes qui permettent de régler l'affluence de l'air; le séchoir pro-

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

prement dit, se compose de plusieurs séries de montants verticaux, qui soutiennent des traverses sur lesquelles des tringles horizontales espacées de 2 à 3 centim., forment des planchers à claire-voie superposés qui reçoivent les pains de fécule et laissent circuler l'air atmosphérique.

Enfin le séchage de la fécule se termine dans un séchoir ou étuve à courant d'air chaud (fig. 94).



94.

Le tuyau *h* d'un bon calorifère amène l'air chaud à la partie inférieure du séchoir; ce dernier après avoir circulé au-dessus des 7 tiroirs *f, f,* sur lesquels on place la fécule à dessécher, s'échappe chargé d'humidité par la cheminée d'appel *b*.

Les tiroirs *f, f* sont des châssis en bois tendus de toile qui glissent sur les tasseaux *g, g;* leurs rebords ne sont en saillie que d'un pouce au-dessus de la toile, excepté à leur face antérieure qui a 4 pouces de hauteur, afin qu'elle ferme comme un tiroir chaque ouverture par laquelle on introduit le châssis; la fig. 94 fait aisément comprendre cette forme; on voit que tous les châssis à tiroirs étant placés, la devanture est entièrement close, tandis qu'à l'intérieur il reste entre tous les lits de fécule environ 3 pouces d'espace libre pour la circulation de l'air chaud. Les châssis du premier rang en bas ont un fonds plein afin qu'ils ne perdent rien de la fécule qui passe au travers des fonds en toile des châssis superposés.

On ne porte habituellement la fécule à l'étuve qu'après qu'elle a perdu de 6 à 10 et quelquefois 15 centièmes de son poids d'eau; on la rend pulvérulente en la frottant légèrement entre les mains ou à la pelle, puis on l'étend en couche d'un pouce environ sur chaque châssis que l'on pose ensuite chacun à sa case.

Des bandes en fer-blanc doublées de lisières en drap, couvrent les joints extérieurs entre les tiroirs. Des taquets en bois *e, e*, les maintiennent; il est important que la température de l'air dans l'étuve ne s'élève pas au delà de 55° surtout lorsque la fécule y est portée très humide, car tous les grains se gonfleraient, seraient déchirés et adhéreraient les uns aux autres de manière à former des grumeaux que l'on ne pourrait plus ramener à la forme commerciale.

On s'assure aisément de l'avancement de la dessiccation en ouvrant plusieurs tiroirs, et prenant la fécule que l'on fait rouler entre les doigts; on peut, pour vérification, achever la dessiccation d'une petite quantité de fécule sur une assiette ou une lame de verre; lorsque la dessiccation est suffisante, on répand la fécule sur une aire unie ou carrelage devant l'étuve, on écrase les plus grosses mottes à l'aide d'un rouleau en fonte semblable à celui qu'emploient les jardiniers, mais moins pesant; on relève ensuite la fécule en tas, puis on la porte au blutoir mécanique.

Le blutoir mécanique se compose d'une trémie ou entonnoir, dans lequel on verse la fécule; de deux tamis superposés à travers lesquels la fécule est successivement obligée de passer par l'action de brosses mues rapidement par un arbre vertical; enfin, d'un espace, placé au-dessous des tamis et qui reçoit la fécule blutée. Des brosses, semblables aux précédentes, expulsent la fécule hors de l'appareil; on la reçoit directement dans des sacs, ou bien elle se rend dans les magasins, où on la conserve jusqu'à la vente.

Le peu d'altérabilité de la fécule permet de la conserver à tous les étages d'une maison; toutefois, il importe qu'elle soit à l'abri des poussières qui pourraient la salir, et que d'un autre côté elle ne perde ni ne gagne d'eau; puisqu'on l'a amenée au terme de siccité commercial; il convient de la tenir dans un magasin, au rez-de-chaussée, ou même au-dessous du sol; le sol et les parois sont d'ailleurs planchéiés, et des courants d'air ménagés entre les lambourdes, préservent le bois du contact de la maçonnerie.

La fécule se vend sous les dénominations de *fécule sèche* et *fécule verte*. Cette dernière, simplement égouttée, représente, terme moyen, seulement les deux tiers du poids de la première, et se vend à un prix moins élevé encore que dans cette proportion, puisqu'elle coûte moins de main d'œuvre et n'exige pas de combustible pour le séchage, mais l'élévation des frais de transport ne permet pas de la consommer avantageusement loin des lieux de production.

On distingue encore quelquefois dans le commerce la fécule bien lavée et épurée, comme nous l'avons dit, de la *fécule brute* ou *non lavée*. Celle-ci, recueillie sans autre lavage, après le premier dépôt, se vend moins cher, et sous ce rapport, est quelquefois préférée par les grands consommateurs; tels que les fabricants de sirops communs, les brasseurs, etc.

En quelque état que se vende la fécule, les transactions devraient toujours être basées sur la *proportion de substance sèche* et pure; on éviterait ainsi bien des mécomptes. Par exemple, la fécule dite *sèche* contient une proportion d'eau variable entre 8 et 15 centièmes sans que son prix change; la fécule vendue comme verte contient de 33 à 40 p. 0/0 d'eau et son cours ne varie pas. Cependant les quantités de sirops ou d'alcool obtenues varient dans le même rapport, et les calculs de rendement deviennent illusoires.

Ces variations peuvent le plus souvent être accidentelles; mais il n'en est pas de même de quelques mélanges vraiment frauduleux, dont nous allons dire un mot. Il est arrivé plusieurs fois que des fécules sèches ou humides ont présenté des déficits énormes aux fabricants de sirops; cela tenait à des additions d'*argile blanche* ou d'*albâtre gypseux* (sulfate de chaux) inaperçues longtemps, car ces corps inertes restaient dans les marcs. Mais les fraudeurs y ayant substitué de la *craie*, il arriva que la conversion en sucre par l'acide sulfurique, fut complétement entravée, puisque l'acide étant saturé avant sa réaction sur la fécule, celle-ci ne devait plus donner et ne donna plus en effet que de l'empois. Une expertise décela cette fraude et donna lieu à la découverte des autres.

Le moyen le plus simple de *constater ces falsifications*, se réduit à faire brûler complétement dans une capsule en platine chauffée au rouge une quantité connue (5 ou 10 gram., par exemple,) de la fécule à essayer, puis à peser le résidu de la combustion. Si la fécule est d'une pureté commerciale ordinaire, elle devra laisser moins d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

demi-centième de résidu incombustible, tandis que falsifiée elle laissera probablement au moins dix fois davantage, et jusqu'à quarante fois plus. La fécule très bien épurée laisserait moins d'un demi-millième de son poids de résidu non combustible.

Un procédé plus certain encore pour le cas où la fécule serait mélangée avec quelques matières insolubles dans l'eau, mais combustibles, consisterait à la traiter par la *diastase*, ou une solution d'orge germée, avec les mêmes précautions que celles indiquées ci-après, relativement à l'essai des farines, du pain, du riz et autres matières féculentes ou amylacées. Le même moyen, d'ailleurs, ferait aussi connaître la proportion de toutes substances insolubles dans l'eau combustibles ou non.

Nous donnons plus loin (voyez FÉCULE) quelques détails sur l'organisation des grandes féculeries, considérées comme annexes des entreprises agricoles. Nous donnerons ici le compte de l'extraction de la fécule, d'après M. Payen, compte qui se rapporte, nous pensons, à une exploitation des environs de Paris :

		Par jour de travail.
Pommes de terre, 200 hectolitres à 1 fr. 50 c.		300 fr.
Emmagasinage et soins dans les silos.		15
Main-d'œuvre dans la fabrique.		60
Direction.		10
Combustible.		20
Chevaux (neuf, dont trois attelés et six au repos).		27
Loyer, entretien.		25
Transport.		10
Intérêts, frais imprévus, emballage.		12
		479 fr.
Produit : Fécule, 2,295 kil. à 21 fr. les 100 kil.	481 fr.	514 fr.
Produit : Pulpe pressée, 4,400 k à 75 c.	33	
Bénéfice.		35 fr.

La pulpe, épuisée après les lavages, pèse, égouttée, environ 15 p. 100 du poids primitif des tubercules, elle contient à peu près 5 p. de matières sèches dont 3 de fécule. Ce marc est vendu aux nourrisseurs, pour être mélangé aux aliments moins aqueux, des vaches et des cochons; on parviendrait à le conserver et à l'améliorer beaucoup en en exprimant l'eau et le faisant sécher sur une tourailles.

Outre la fécule de pommes de terre, on trouve dans le commerce plusieurs autres fécules alimentaires dont nous allons dire quelques mots.

La racine de la *maranta arundinacea*, plante qui croît aux Indes-Orientales, étant pilée dans des mortiers, et décantée à travers des tamis, fournit une espèce particulière de fécule qu'on appelle généralement, mais improprement, *arrow-root*. Cette fécule est reconnue pour être plus nourrissante que celles du froment et de la pomme de terre; elle est aussi généralement exempte de toute saveur et de toute odeur particulière; ce qui fait que comme aliment elle est plus agréable au goût que les précédentes. La racine, dans l'état frais, se compose, d'après Benzon, de 0,07 d'huile volatile, de 26 parties de fécule (dont 23 sont obtenues sous forme de poudre, et 3 doivent être extraites de la matière cellulaire réduite à l'état de pâte et traitée par l'eau bouillante); de 1,58 d'albumine végétale; de 0,6 d'une gomme extractive; de 0,25 de chlorure de calcium; de 6 parties de fibrine insoluble, et de 65,6 parties d'eau.

Le *sagou* est une fécule extraite de la moelle du *sagus farinaria*, espèce de palmier qui atteint une hauteur de 9 à 10 mètres, et croît aux Moluques et dans les îles Philippines. On abat l'arbre, et, après l'avoir fendu dans le sens de sa longueur, on enlève la moelle qu'on lave sur un tamis avec de l'eau pour en extraire la fécule qui passe au travers du tamis, et se dépose dans une cuve placée au-dessous, on la laisse sécher jusqu'à ce qu'elle ait acquis une certaine consistance, puis on la force à passer, à l'aide d'une certaine pression, au travers d'une plaque métallique percée de trous, à peu près comme s'il s'agissait de faire du vermicelle, afin de la granuler. Enfin on dessèche la fécule dans une chaudière en cuivre très-plate, chauffée en dessous, en ayant soin de l'agiter constamment.

Le *salep* est le nom que l'on donne aux racines tuberculeuses de plusieurs espèces d'*orchis*, et notamment de l'*orchis mascula*, qui nous viennent de la Perse et de l'Asie-Mineure. On le rencontre dans le commerce sous la forme de petits grains ovales jaune-blanchâtres, à demi transparents, d'un aspect corné, très-durs, ayant une légère odeur qui leur est particulière et un goût analogue à celui de la gomme adragante mais légèrement salé. Le salep est très-recherché dans le Levant comme un restaurant très-énergique. Ses propriétés aphrodisiaques sont apocryphes. En lavant les bulbes de l'*orchis mascula* qui croît dans nos pays, puis les faisant bouillir pendant quelque temps dans l'eau pour enlever l'odeur forte qu'elles possèdent, et les desséchant ensuite à l'air, on pourrait préparer du salep aussi nourrissant que celui de Turquie, et qui reviendrait à un prix beaucoup moins élevé.

Le *tapioka* s'extrait principalement de la racine du manioc (*Jatropha manihot*. Linnée). Cette plante qui croît aux Indes-Occidentales, sur les côtes d'Afrique et dans les régions tropicales de l'Amérique, appartient à la famille des euphorbiacées.

On lave ces racines et on les réduit en pulpe à l'aide d'une râpe. Cette pulpe est chargée dans des sacs en toile forte et grossière, que l'on soumet à l'action d'une puissante presse. On sépare ainsi la plus grande partie du suc vénéneux de cette plante, qui est employé par les Indiens pour empoisonner leurs flèches. Comme le principe actif de ce jus est volatil, on a reconnu que c'était de l'acide hydrocyanique ou prussique qui se développait par l'action de la chaleur. On s'en débarrasse aisément en séchant sur une plaque de fer chauffée en dessous la pulpe préalablement comprimée. En distillant 80 kilogr. de jus récemment exprimé, et recueillant les premiers produits de la distillation, on obtient 1 kilogr. d'une dissolution extrêmement vénéneuse; 35 gouttes de cette dissolution administrées, à Cayenne, à un esclave convaincu du crime d'empoisonnement, amenèrent sa mort, au bout de six minutes, au milieu de convulsions tétaniques épouvantables, d'après un mémoire de M. le docteur Fermin, présenté à l'Académie des sciences de Berlin.

La pulpe séchée comme nous l'avons dit ci-dessus, s'agglomère en pelotes, qui deviennent dures et friables en se refroidissant. On les concasse en fragments plus petits que l'on achève de faire sécher au soleil, et qui, sous le nom de pain de cassave, constituent un aliment très sain qui forme la nourriture principale des nègres et d'un grand nombre de colons. Le pain de cassave est la seule provision que les naturels du Brésil et de la Guyane emportent avec eux dans leurs voyages, sur la rivière des Amazones. En le faisant bouillir dans l'eau, avec un peu de bœuf ou de mouton, ils obtiennent une sorte de soupe très agréable au goût.

Le pain de cassave, envoyé en Europe, se compose presque entièrement de fécule, mélangée seulement d'une petite quantité de matière ligneuse. On peut le purifier en le ramollissant dans l'eau chaude, et passant le liquide laiteux, que l'on obtient, à travers un linge, puis l'évaporant sur le feu en ayant soin de le maintenir dans une agitation continuelle. La fécule qui s'était dissoute par l'action de la chaleur, s'épaissit à mesure que l'eau s'évapore et se granule lorsqu'on l'agite con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

stamment, enfin, on finit la dessiccation dans une étuve; sa densité en cet état est de 1,530.

Le produit de ce traitement est connu dans le commerce sous le nom de *tapioka*, et il est souvent recommandé par les médecins comme un aliment très facile à digérer, étant presque absolument composé de fécule pure. On l'imite en traitant la fécule de pommes de terre d'une manière analogue.

Le jus de manioc, séparé par expression, contient en suspension une fécule très fine, qu'il dépose lentement au fond des vases où on le reçoit. En enlevant par décantation, le liquide surnageant, lavant à plusieurs reprises, et desséchant, on obtient une fécule magnifique qui craque quand on la roule entre les doigts. Elle porte, dans la Guyane Française, le nom de *cipipa*, et est employée pour la préparation de divers articles culinaires délicats, surtout dans la pâtisserie; comme poudre à poudrer, etc...

L'amidon ou fécule, quelque soit le procédé par lequel on l'ait préparé, est toujours une poudre blanche et douce qui craque lorsqu'on la roule entre les doigts, comme la fleur de soufre; elle est insipide, inodore et inaltérable dans l'air sec; sa pesanteur spécifique est de 1,53.

On peut très aisément reconnaître la nature des fécules et leur pureté, d'après l'observation microscopique de leur forme et de leur grosseur. M. Payen s'est livré sur ce sujet à des recherches fort intéressantes dont nous allons citer quelques-uns des résultats :

La fécule de pommes de terre se distingue par la grosseur de ses grains (0mm,140 à 0mm,185 de diamètre), par les portions de sphéroïdes et d'ellipsoïdes qui les composent, et enfin par la marque du *hile* (point par lequel la substance amylacée s'est introduite), et les traces ou lignes d'accroissement plus faciles à distinguer que sur les autres fécules. L'amidon retiré du blé est en grains à peu près sphériques, ou plutôt lenticulaires et à rebords arrondis, ayant 0mm,050 de diamètre. L'arrow-root, le sagou, le salep et le tapioka sont toujours en grains agglomérés; le salep est en grains généralement ovoïdes, plus ou moins irréguliers, ayant 0mm,045 de diamètre, et où le hile est situé sur le gros bout du grain; les grains de sagou importé ont 0mm,070 de diamètre; et ceux de sagou frais, non altéré par une sorte de torréfaction, ont seulement 0mm,045 de diamètre; l'arrow-root du commerce est en grains sphéroïdaux irréguliers, de 0mm,140 de diamètre; et le tapioka est en grains sphériques de 0mm,045 à 0mm,050 de diamètre.

L'amidon est complétement insoluble dans l'eau froide; mais si l'on chauffe graduellement l'eau, il arrive un point où le tout se prend en masse, en formant une gelée mucilagineuse à laquelle on a donné le nom d'*empois*. Si l'on observe au microscope ce qui se passe pendant cette opération, on remarque que les grains amylacés s'hydratent et se gonflent énormément, puis se soudent ensemble de manière à former l'empois. La température à laquelle l'empois prend une consistance gélatineuse n'est pas la même pour toutes les fécules; ainsi pour l'amidon retiré des céréales, cette température est de 85 à 90° centigrades, et seulement de 60 à 70° pour la fécule de pommes de terre. Par le refroidissement, l'empois se prend en masse opaque et consistante, qui se sèche à l'air, se fendille quelquefois et se transforme en une matière translucide semblable à de la gomme.

L'amidon est complétement insoluble dans l'alcool même bouillant, et par conséquent n'y forme aucun empois.

La présence des alcalis caustiques détermine même à froid la dissolution de l'amidon dans l'eau; les acides faibles ne le dissolvent que par l'action de la chaleur. Si l'on fait bouillir de l'eau avec de l'amidon, et qu'à l'empois ainsi obtenu, on ajoute une très faible quantité d'acide sulfurique étendu, la liqueur devient presque immédiatement parfaitement liquide et limpide; en maintenant le mélange pendant quelque temps à la température de 60 à 70° centigrades, l'amidon se transforme en une substance gommeuse qui porte le nom de *dextrine*. Le principe actif de l'orge germé, qui porte le nom de *diastase* (voyez ce mot), agit sur l'amidon d'une manière tout à fait analogue.

Le nom de *dextrine* vient de ce que cette substance en dissolution aqueuse ou en plaque mince, détourne à droite plus que toute autre substance connue le plan de polarisation; elle est d'un blanc légèrement jaunâtre, insipide et sans odeur, transparente en plaques minces et à cassure vitreuse, aigre et friable lorsqu'elle est complétement desséchée. Chauffée à 140° centigrades, elle commence à éprouver une sorte d'altération, se colore en brun et répand l'odeur du pain que l'on retire du four.

Pour préparer en grand la dextrine au moyen de la diastase, on met dans une chaudière 400 kilogrammes d'eau avec 5 kilogr. d'orge finement moulu; on chauffe le tout à 60° centigrades, et on y ajoute 100 kilogr. de fécule de pommes de terre par petites portions, et en maintenant le mélange dans une agitation continuelle. On maintient la température à 70° centigrades environ, jusqu'à ce que tout l'amidon se soit dissout et que la liqueur ne se colore plus en bleu violet par la teinture d'iode, puis on fait bouillir pendant quelque temps pour détruire le ferment, sans quoi la dextrine se transformerait subséquemment en sucre de raisin. On laisse ensuite refroidir jusqu'à 50° centigrades environ; on y verse du blanc d'œuf délayé dans une petite quantité d'eau, on mêle bien le tout et on fait bouillir de nouveau; l'albumine se coagule et vient former des écumes que l'on enlève. La liqueur ainsi clarifiée est évaporée, autant qu'il est possible de le faire sans brûler le résidu, qui, par le refroidissement, se prend en une gelée d'une certaine consistance que l'on peut soit employer immédiatement, soit dessécher dans une étuve pour la conserver.

Pour préparer la dextrine à l'aide de l'acide sulfurique, on fait bouillir 25 parties d'acide sulfurique avec 125 parties d'eau, et on y ajoute par petites portions une bouillie de 100 parties d'amidon et de 125 d'eau froide, en ayant soin d'agiter continuellement. La température s'abaisse de 60 à 70° centigrades, où on la maintient; sans cela une grande partie de la fécule se transformerait en sucre. Aussitôt que l'amidon est dissous et forme une liqueur presque claire et fluide, on sature l'acide par de la craie, on filtre pour séparer le sulfate de chaux ou gypse qui s'est formé, et on évapore la liqueur filtrée comme ci-dessus.

Un procédé très commode et peu coûteux, pour préparer en grand la dextrine, découvert par M. Payen, a fait le sujet d'un brevet d'invention, pris par M. Heuzé en 1838. On ajoute à 400 parties de fécule sèche ou à une quantité correspondante de fécule verte, une partie d'acide nitrique ayant une densité de 1,4, et la quantité d'eau nécessaire pour en former une pâte épaisse. Avec la fécule sèche, il est beaucoup plus facile de distribuer l'acide d'une manière uniforme dans la masse, ce qui est de la plus haute importance pour la réussite de l'opération. Cette pâte est d'abord partagée en pains du poid de 12 à 13 kilogr., que l'on sèche par une exposition de quelques heures à l'air libre, puis que l'on égrène et que l'on porte dans une étuve à courant d'air chaud où la température s'élève au plus à 64° centigrades. Après un séjour de vingt heures dans cette étuve, on émotte et on blutte la matière comme dans la préparation de la fécule ordinaire, puis on la torréfie pendant 10 minutes environ dans un four maintenu à la température de 100 à 120° centigrades. Le produit obtenu est d'autant plus blanc que la température de torréfaction a été moins élevée; mais d'un autre côté, la durée de l'opération en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est augmentée d'autant. La dextrine ainsi préparée donne avec l'eau froide un liquide presque clair, mucilagineux, qui offre la plus grande ressemblance avec une dissolution de gomme arabique, et peut être employé à une foule d'usages en industrie, comme pour épaissir les couleurs dans l'impression des étoffes et celle des tapis, le gommage des tissus, etc. Il n'est pas nécessaire d'ajouter que dans cette préparation l'acide nitrique est complétement détruit par sa réaction sur la fécule, et que l'on n'en retrouve plus la moindre trace dans le produit obtenu.

Winterfeld recommande un procédé tout à fait analogue ; seulement il emploie une quantité d'acide nitrique plus considérable (2 d'acide en poids pour 100 de fécule sèche à traiter), ne dessèche la pâte qu'à une température de 22 à 25° centigr., à l'air libre en été et dans une étuve en hiver, puis effectue la torréfaction à la faible température de 63 à 69° centigr., en ayant soin de retourner fréquemment la matière avec un râble. On prépare par voie sèche, dans les arts, de la dextrine impure, ou *amidon torréfié*, très employé dans les apprêts, l'encollage, les applications des mordants et des couleurs, etc. On le prépare spécialement avec l'amidon des céréales que l'on pulvérise et que l'on échauffe graduellement à une température de 140 à 160° centigr., dans un four, ou un cylindre en fer-blanc analogue à ceux qui servent à brûler le café, jusqu'à ce que la matière ait pris une teinte brun clair et exhale l'odeur du pain fortement cuit. A Manchester, où la fabrication de l'amidon torréfié se fait très en grand pour l'impression des indiennes et autres étoffes de coton, on opère la torréfaction dans des fourneaux construits en plaques de fonte qui sont chauffées extérieurement, à un point tel que la température intérieure s'y élève à 150° centigr.

On étend l'amidon sur des plaques en tôle munies de rebords, que l'on introduit par quatre à la fois dans le fourneau ; il s'y agglomère et forme des pelottes irrégulières, translucides, d'un brun jaunâtre, que l'on passe au moulin lorsqu'elles sont refroidies pour les réduire en farine, état sous lequel on verse l'amidon torréfié dans le commerce. Ainsi préparé, l'amidon torréfié se dissout assez complétement dans l'eau, en formant une dissolution qui, concentrée, est mucilagineuse et colorée en brun assez foncé, ce qui empêche de l'employer pour l'application de certaines couleurs pâles ou très délicates.

La fécule de pommes de terre ne se torréfie pas bien par les procédés que nous venons d'indiquer, parce qu'elle s'attache aux parois des vases dans lesquels s'opère la torréfaction ; pour remédier à cet inconvénient, on a proposé de faire bouillir une partie de l'amidon avec une certaine quantité d'eau et $\frac{1}{40}$ de son poids d'alun, puis de mélanger cette bouillie avec le reste de la fécule et d'en former une pâte épaisse que l'on briserait en fragments, que l'on ferait sécher et que l'on torréfierait ensuite, comme il est dit ci-dessus.

L'amidon torréfié diffère de la dextrine préparée par voie humide : 1° en ce qu'il n'est pas transformé en sucre de raisin par l'acide sulfurique étendu, ou l'infusion d'orge germé ; 2° en ce que l'amidon torréfié prend une coloration rouge pourpre par l'iode, et la dextrine une coloration brunâtre ; enfin, d'après M. le docteur Ure, la composition chimique de ces deux corps ne serait pas la même, comme il résulte des nombres suivants :

	Dextrine.	Amidon torréfié.
Carbone. . .	35,7	43,5
Hydrogène. . .	6,2	6,8
Oxygène. . .	58,1	49,7
	100,0	100,0

Il est à remarquer que la dextrine et l'amidon torréfié, préparés en grand, contiennent presque toujours une certaine quantité d'amidon non décomposé, et que par suite lorsqu'on les traite par l'eau froide, ils donnent lieu à un résidu d'apparence floconneuse plus ou moins considérable.

Nous terminerons cet article en parlant de l'action remarquable de l'iode sur l'amidon.

Lorsqu'on arrose de l'amidon sec avec une dissolution aqueuse d'iode, les granules prennent aussitôt une couleur bleu clair. Si au contraire, on agite de l'empois avec de la teinture d'iode, le tout prend aussitôt une belle couleur bleu foncé, au moyen de laquelle on peut reconnaître dans une liqueur les moindres traces d'amidon et réciproquement, l'amidon est un des moyens les plus précieux et les plus délicats que nous ayons pour découvrir la présence de l'iode. Si l'on chauffe de l'amidon ainsi coloré par l'iode avec de l'eau, la couleur commence par virer au rouge et finit par disparaître presque entièrement, parce que toute la masse s'est dissoute ; par le refroidissement, l'empois s'agrège peu à peu et la couleur reparaît de nouveau. Par l'action prolongée de la lumière, toute coloration disparaît, parce que sous cette action l'iode se transforme en un mélange d'acides iodique et hydriodique ; on peut la faire reparaître en ajoutant un peu de chlore qui revivifie l'iode ; si l'on en ajoutait trop, il se formerait du chlorure d'iode et la couleur disparaîtrait de nouveau. Il paraîtrait, d'après quelques observations récentes, que les fibres végétales peuvent, dans quelques circonstances, donner, avec l'iode, une coloration bleue, et que par conséquent cette coloration ne serait pas toujours un signe assuré de la présence de l'amidon.

Pour ce qui regarde la transformation de la fécule en sucre de raisin, voyez les articles DIASTASE, FERMENTATION, GLUCOSE.

AMMONIAQUE. L'ammoniaque ou alcali volatil a une assez grande importance industrielle, puisqu'il sert à extraire l'orseille, la cochenille, etc. ; mais cette importance est bien autrement considérable lorsqu'il s'agit des sels, que cette base peut donner en se combinant avec les acides, tels que l'hydrochlorate et surtout le sulfate d'ammoniaque, auxquels nous consacrerons des articles spéciaux (voir CHLORURES et SULFATES).

L'ammoniaque jouit des propriétés alcalines des bases les plus puissantes ; il verdit fortement le sirop de violette, ramène au bleu le papier rouge de tournesol, sature complétement les acides les plus énergiques et forme des sels parfaitement définis et cristallisés ; toutes ces propriétés lui assignent dans l'industrie un rang très élevé et qui tend à grandir chaque jour.

L'ammoniaque anhydre est gazeux à la température et à la pression ordinaires ; ce gaz est incolore, très âcre, caustique, son odeur vive et pénétrante provoque la suffocation et le larmoyement ; il est susceptible de se liquéfier à une très basse température ou sous une forte pression, enfin, et ce qui nous importe surtout ici, il est extrêmement soluble ; à la température et à la pression ordinaires, l'eau en dissout le tiers de son poids, ce qui fait environ 4 ou 500 fois son volume, et la dissolution diminue de densité au fur et à mesure qu'elle contient une plus grande proportion d'ammoniaque.

Voici au reste un tableau, dressé par Davy, et qui indique approximativement la proportion réelle d'ammoniaque qui existe dans une dissolution à des pesanteurs spécifiques différentes.

Ainsi, la pesanteur spécifique de l'eau étant 1,0000, on aura :

Pesanteur spécifique.	Ammoniaque.	Eau.
0,8750 . . .	32,50 . . .	67,50
0,8875 . . .	29,25 . . .	70,75
0,9000 . . .	26,00 . . .	74,00
0,9054 . . .	25,37 . . .	74,63
0,9166 . . .	22,07 . . .	77,93
0,9235 . . .	19,54 . . .	80,46
0,9326 . . .	17,52 . . .	82,48

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pesanteur spécifique.	Ammoniaque.	Eau.
0,9385	15,58	84,42
0,9435	14,53	85,47
0,9476	13,46	86,54
0,9513	12,40	87,60
0,9545	11,56	88,44
0,9575	10,82	89,18
0,9597	10,17	89,83
0,9619	9,60	90,40
0,9692	9,50	90,50
1,0000	0,00	100,00

La dissolution aqueuse d'ammoniaque est très peu stable; à la température de l'ébullition la presque totalité de l'alcali volatil qu'elle tient en dissolution se dégage; exposée à l'air libre, même à la température ordinaire, elle finit également, à la longue, par s'en dépouiller complétement; il faut donc avoir grand soin de conserver les dissolutions d'ammoniaque dans des vases parfaitement fermés. Du reste, la dissolution aqueuse de l'ammoniaque possède les mêmes propriétés que l'alcali gazeux lui-même, et c'est à cet état seulement qu'on le rencontre dans le commerce.

A l'état de gaz, l'ammoniaque est composé de 3 volumes d'hydrogène et de 1 vol. d'azote condensés en 2 volumes, ou bien en nombres de :

Azote.	82,53	$Az^2 H^6$.
Hydrogène.	17,47	
	100,00	

A l'état de dissolution, c'est-à-dire tel qu'on le trouve dans le commerce, il est uni à une quantité d'eau telle, qu'il marque de 21° à 22° Baumé, et qu'il forme 18 à 20 p. 100 du poids de la dissolution.

Pour obtenir l'ammoniaque liquide, il existe aujourd'hui deux méthodes parfaitement distinctes : 1° L'ancien procédé qui consiste à prendre un sel ammoniacal cristallisé, préparé d'avance, et à le décomposer par de la chaux caustique; 2° le nouveau procédé qui consiste, au contraire, à retirer directement l'ammoniaque que renferment les eaux de condensation des usines à gaz. On voit tout de suite en quoi diffèrent essentiellement ces deux méthodes; dans la première, l'ammoniaque doit supporter des frais d'acide et de fabrication qui sont complétement supprimés dans la nouvelle fabrication; décrivons successivement les deux procédés.

1° Si l'on mélange intimement un sel ammoniacal tel que l'hydrochlorate ou le sulfate, avec de la chaux parfaitement caustique, puis qu'on chauffe le mélange, on sait que l'ammoniaque est mis en liberté et se dégage à l'état gazeux, tandis que la chaux prend sa place pour former du chlorure de calcium ou du sulfate de chaux. Le sulfate d'ammoniaque est aujourd'hui exclusivement employé dans cette préparation; il renferme un peu plus d'alcali, et d'ailleurs, son prix est bien moins élevé que celui de l'hydrochlorate (voyez, article CHLORURE, la préparation de ces deux sels au moyen des matières animales putréfiées).

On prend à peu près poids égal de sulfate d'ammoniaque cristallisé et de chaux parfaitement délitée, et en poudre impalpable, dont on fait un mélange intime que l'on porte de suite dans l'appareil de décomposition. C'est une chaudière en fonte ou en tôle, qui doit être disposée de manière à pouvoir être chauffée uniformément, ainsi qu'à permettre d'y introduire facilement les matières premières et d'en retirer les résidus de l'opération. Un appareil analogue à ceux qui s'emploient dans la fabrication de l'acide nitrique, réussit très-bien, pour de grandes productions.

Le gaz ammoniac qui se dégage par la réaction de la chaux caustique, sur le sulfate d'ammoniaque, est conduit dans une série de vases cylindriques en plomb, disposés en appareil de Wolf; il se rend d'abord dans un premier flacon laveur, destiné à le débarrasser de ses impuretés; puis, dans deux ou trois autres vases dans lesquels on a mis d'avance la quantité d'eau nécessaire pour donner une dissolution à 22°; on doit s'arranger pour que chaque flacon ait au moins le tiers de sa capacité vide. Les tubes qui amènent le gaz ammoniac, doivent plonger jusqu'au fond des vases, sans cette précaution la dissolution, qui est plus légère que l'eau, se ferait difficilement.

L'opération commence immédiatement aussitôt que l'on commence à chauffer; la rapidité plus ou moins grande de l'émission du gaz, que l'on entend barbotter, sert de guide pour augmenter ou diminuer le feu; le flacon laveur absorbe d'abord tout le gaz; mais lorsque la petite quantité d'eau qu'il renferme est saturée, l'ammoniaque se rend dans le premier vase de dissolution; à mesure qu'elle se dissout, le volume du liquide augmente, sa température s'accroît rapidement, et deviendrait même un obstacle à la dissolution si l'on n'avait soin de refroidir le flacon avec de l'eau froide; d'ailleurs, la densité de la dissolution diminue sans cesse jusqu'à la saturation complète du liquide. A ce moment, le vase ne tarde pas à se refroidir, le gaz ammoniac passe entièrement dans le vase suivant, et ainsi de suite.

L'opération est terminée lorsqu'il n'y a plus de dégagement de gaz; à ce moment le sulfate d'ammoniaque est entièrement décomposé, et il ne reste plus dans l'appareil de décomposition, que du sulfate de chaux, de la chaux en excès et les substances étrangères non volatiles que renfermait le sulfate d'ammoniaque.

La dissolution d'ammoniaque, versée dans le commerce, doit marquer 21 à 22° à l'aréomètre Baumé; on la livre dans des bouteilles en grès, exactement fermées au moyen de bouchons en liége, enveloppés d'une rondelle de parchemin et recouverts par de la glaise que l'on enveloppe au moyen d'une nouvelle feuille de parchemin, ficelée autour du col de la bouteille.

2° *Le nouveau procédé*, qui consiste à retirer directement l'ammoniaque des eaux de condensation du gaz d'éclairage, où il se rencontre en grande quantité est dû à M. Mallet, qui a organisé magistralement cette fabrication, et en a fait un accessoire précieux de la grande industrie de la distillation de la houille pour produire le gaz.

Les eaux de condensation du gaz dans l'eau renferment, entre autres produits, du carbonate et de l'hydrosulfate d'ammoniaque, et marquent à l'aréomètre de Baumé, depuis 1 jusqu'à 5 degrés, terme moyen 2 degrés. En principe, la méthode que l'on emploie est extrêmement simple, elle consiste à distiller ces eaux ammoniacales sur de la chaux parfaitement éteinte; l'ammoniaque mise en liberté se dégage, et il se forme du carbonate de chaux et du sulfure de calcium, qui reste dans les eaux épuisées; tout le secret du procédé réside donc dans la disposition des appareils. L'appareil breveté qu'emploie M. Mallet, et qui réalise une disposition d'alambic perfectionné, se compose : 1° de trois chaudières distillatoires, munies d'agitateurs, dont la première est disposée directement au-dessus du foyer, la seconde est chauffée par la chaleur perdue, et par les vapeurs de la première, la troisième par ces vapeurs seulement; celle-ci renferme de la chaux qui passe avec les eaux ammoniacales dans la seconde, puis dans la première chaudière; 2° d'un serpentin condensateur, où se condense le gaz ammoniac, et qui est refroidi par les eaux qui doivent être distillées dans l'opération suivante; 3° d'un vase destiné à recevoir l'ammoniaque condensée dans le serpentin; 4° d'un flacon de lavage destiné à épurer l'ammoniaque; 5° d'un appareil de Woolf pour la dissolution du gaz qui a échappé à la condensation et qui se dissout dans l'eau que contiennent les vases qui le constituent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'alcali, que l'on obtient par ce procédé, marque 21 à 22° à l'aréomètre, il n'est pas parfaitement blanc et contient encore un peu d'huile essentielle; mais l'expérience a prouvé qu'il donnait des résultats aussi bons pour la plupart des applications que l'alcali parfaitement pur.

M. Lamingue, inventeur d'un procédé analogue, enlève à l'ammoniaque l'huile empyreumatique qu'elle renferme au moyen d'une huile grasse qui la dissout complétement; le produit épuré de cette manière est beaucoup plus pur que le précédent, il convient peut-être mieux dans quelques cas où il est nécessaire d'employer de l'alcali parfaitement pur; mais dans la plupart des applications en grand, il ne donne pas de meilleurs résultats, et il a l'inconvénient de revenir à un prix plus élevé.

AMMONIAQUE (Gomme résine). C'est le suc épaissi d'une plante ombellifère (le *Dorema armeniacum*) qui croît en Perse. Il nous arrive ou en petites larmes blanches réunies entre elles, ou en masses brunâtres mêlées à beaucoup d'impuretés. Il a une odeur particulière ressemblant un peu à celle de l'*asso fœtida*, et une saveur amère. On l'emploie en médecine. On ne s'en sert guère dans les arts que pour faire un ciment avec lequel on peut coller ensemble des morceaux de porcelaine cassée ou de verre. On prépare ce mastic de la manière suivante : prenez : colle de poisson 16 parties, eau distillée 96 p., faites bouillir et réduire à 48 p.; ajoutez 24 p. de fort esprit-de-vin, faites bouillir le mélange pendant une minute ou deux; passez-le; ajoutez, pendant qu'il est chaud d'abord 8 p. d'une émulsion laiteuse de gomme ammoniaque, et ensuite 5 p. d'une solution alcoolique de résine mastic. Cette composition ressemble à celle que l'on vend dans les boutiques de Londres sous le nom de *ciment diamant*.

AMORPHE (sans forme). Se dit d'un minéral et de toutes les autres substance qui se présentent sous des formes tout à fait irrégulières.

ANALYSE; SYNTHÈSE. *Analyser* un produit ou une machine, c'est les décomposer et en séparer les parties constituantes ou éléments; recomposer le tout en partant des éléments forme la *synthèse*. On ne saurait trop recommander en industrie la connaissance et l'emploi de ces deux procédés sans lesquels il n'est pas de progrès possible. Nous avons vu à l'article ALCOOL combien l'introduction de la synthèse en chimie, la science de l'analyse par excellence, devait conduire à d'importants résultats.

ANCRE (*angl.* anchor, *all.* anker). Les bâtiments sont retenus au mouillage au moyen de leur câble, fixé par l'une de ses extrémités à l'*ancre* engagée plus ou moins profondément au fond de la mer, et lié par l'extrémité opposée au corps du navire, par l'intermédiaire de l'appareil de charpente qui constitue les

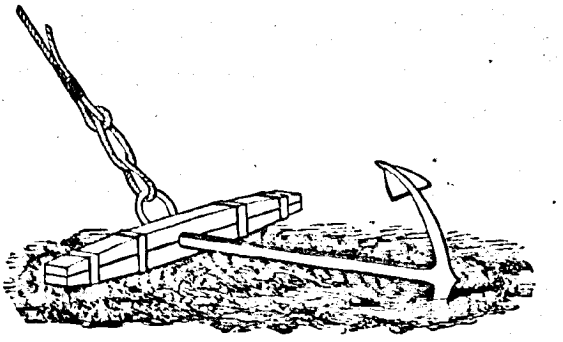


Fig. 92.

bittes. Le salut du navire ne dépend souvent que de la bonne tenue du mouillage, ou de la solidité de ses ancres, de ses câbles et en général de tous les apparaux de mouillage; aussi la confection de ces apparaux a-t-elle toujours été l'objet des plus grands soins, et celle des ancres, en particulier, a donné lieu à des études suivies qui ont conduit aux formes et aux proportions, ainsi qu'aux procédés de fabrication

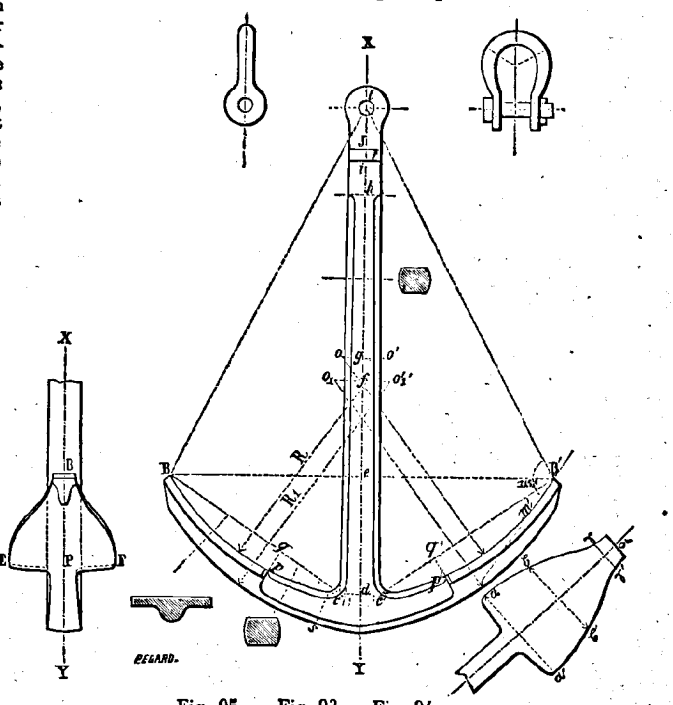


Fig. 95. Fig. 93. Fig. 94.

actuellement en usage, et dont les résultats sont très-satisfaisants.

La manière dont une ancre agit se trouve représentée par la figure 92. On y voit clairement d'après la direction de la force, lorsque le câble qui la réunit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au navire est suffisamment incliné, que l'ancre ne peut se mouvoir sans labourer le fond dans lequel entre une de ses *branches* ou *bras*. Lorsque malheureusement cela arrive, soit à cause de la nature du fond, soit par la manière dont l'ancre a mordu, soit enfin à cause de la violence des vents et des courants, on dit que le vaisseau *chasse* sur ses ancres. Lorsque le fond est ferme, le câble ou le bras de l'ancre qui pénètre dans le fond, se casserait plutôt que de permettre au vaisseau de chasser.

Nous donnerons le tracé des ancres d'après l'excellent travail de M. de Freminville (*Guide du Marin*) :

Les ancres sont toujours en *fer forgé* de la meilleure qualité; elles présentent deux parties distinctes : la *verge* X Y, et les *bras* c p B, c' p' B' (*fig.* 93). La verge est droite; elle est percée à la partie supérieure d'une ouverture A, qui reçoit l'*organneau*, ou plutôt le boulon de jonction d'une *cigale* ou *manille*, que l'on préfère généralement à l'organneau. Les bras sont soudés à la partie inférieure de la verge; leurs extrémités reçoivent des palettes E F B, nommées les *pattes*, destinées à répartir l'effort qu'elles transmettent sur de grandes surfaces et à augmenter ainsi la tenue. Pour faciliter la pénétration de l'ancre dans les fonds résistants, les bras sont prolongés au delà de la patte, d'une certaine quantité nommée le *bec*; enfin les bras sont courbés en arc de cercle, excepté à l'intérieur et dans le voisinage du bec, où la patte est plane sur une certaine étendue B' *m'*. L'ancre proprement dite est toujours accompagnée d'une pièce additionnelle, ordinairement en bois, nommée le *jas*, G H (*fig.* 96), fixée

Fig. 96.

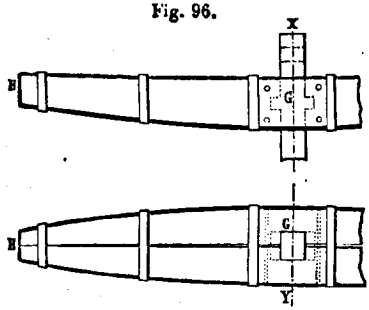


Fig. 97.

perpendiculairement à la verge, à sa partie supérieure, et normalement au plan des bras. Le jas contribue peu à la tenue de l'ancre, mais il sert à la guider de manière que les bras tombent normalement sur le sol; il est évident, en effet, que si le jas n'existait pas, l'ancre se coucherait toujours à plat sur le terrain, et que les bras n'y pénétreraient pas comme ils doivent le faire. Le jas est composé de deux pièces de bois rapprochées l'une de l'autre par des frettes en fer; il est en outre assujetti sur la verge au moyen de deux tenons *t t'* (*fig.* 93), réservés sur celle-ci et nommés les *tourillons*.

Tracé des ancres usitées dans la marine française. Les ancres employées dans la marine militaire sont depuis longtemps exécutées dans les forges de La Chaussade, appartenant à l'État. Toutes leurs proportions ont été calculées d'après les formules de la résistance des matériaux; des épreuves directes à la presse hydraulique ont ensuite été exécutées dans le but de contrôler par des faits l'exactitude des calculs théoriques, ou de vérifier les parties d'une exécution difficile et en particulier les soudures des bras avec la verge. En opérant de la sorte on a déterminé les formes et les dimensions d'une ancre type, de grandeur arbitraire, et les proportions de ce type ont ensuite été conservées pour les ancres de toute grandeur, c'est-à-dire que les dimensions d'une ancre d'un poids quelconque P' ont été déduites de celles de l'ancre type du poids P, en multipliant ces dernières par la racine cubique du rapport des poids P' et P, ou

$$\text{par } \sqrt[3]{\frac{P'}{P}}.$$

Dans les premières ancres construites à la Chaussade, les pattes étaient simplement soudées à plat sur les bras; cette disposition manquait de solidité, et l'on y a complétement renoncé, pour adopter exclusivement les ancres dites à la *hollandaise*, dans lesquelles les pattes sont forgées et étampées d'une seule pièce avec les bras.

Les éléments géométriques qui déterminent la forme de ces ancres sont les suivants :

La longueur totale, X Y (*fig.* 93), mesurée de l'extrémité de la verge au sommet;

La largeur de la verge à la croisée, *c c'*;

La longueur totale de l'envergure, ou ligne des becs, B B';

La distance *e* Y de la ligne des becs au sommet Y;

La longueur des bras, *c* B, mesurée depuis l'angle de l'aisselle jusqu'au bout des bras;

La direction de la partie plane, B' *m'*, de la patte; elle s'obtient en joignant le centre A, de l'organneau au bec B', et en menant la droite B' *m'*, faisant avec A B' un angle de 115°;

La courbure intérieure des bras; elle est déterminée par la flèche ou *cintre p' q'*, menée perpendiculairement à B' *c'* par l'extrémité de la patte; le contour intérieur des bras est d'ailleurs un arc de cercle; on donne son rayon R, et la position de son centre O, définie par ses distances à l'axe de la verge et au sommet de l'ancre;

Le contour extérieur des bras est formé également par un arc de cercle dont on donne le rayon R' et le centre déterminés par leurs coordonnées prises par rapport au sommet de l'ancre.

On peut voir dans le *Guide du Marin* les dimensions de l'ancre de 4,700 kilogrammes, ainsi que les rapports de ces dimensions à la longueur, rapports qui peuvent servir à déterminer toutes les parties d'une ancre quelconque dont la longueur est connue.

Le jas est le plus souvent en bois, ainsi que nous le disions en commençant; cependant on emploie aussi des jas en fer consistant en une simple barre ronde, traversant la verge dans un trou circulaire, percé au-

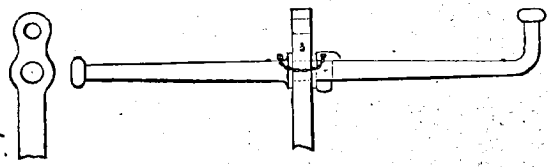


Fig. 99. Fig. 98.

dessous de celui de l'organneau (*fig.* 98). Ce jas est maintenu en position par un épaulement et une clavette; lorsque l'ancre n'est pas en service, on repousse la clavette, et on le fait glisser jusqu'à son extrémité recourbée à angle droit; le jeu laissé libre dans l'ouverture de la verge permet d'y introduire cette partie,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en le faisant tourner de 90°, de manière à l'appliquer le long de la verge; on l'amarre dans cette position, et l'ancre est alors bien moins encombrante, et plus facile à placer en réserve. Les jas en fer n'ont été employés à l'origine que pour les ancres de petites

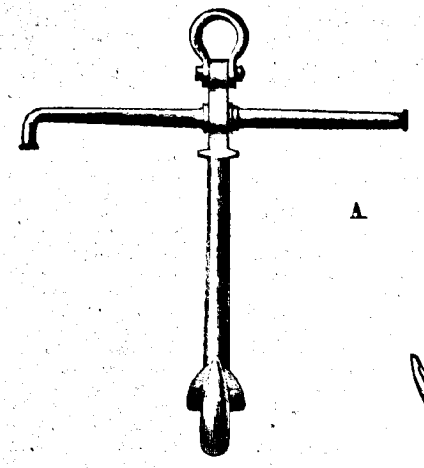


Fig. 100.

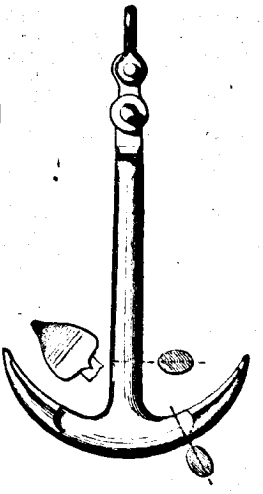


Fig. 101.

dimensions, mais actuellement leur usage se répand de plus en plus, et on les emploie volontiers pour les ancres du plus fort échantillon.

Divers modèles d'ancres anglaises. Les ancres de la marine militaire d'Angleterre sont depuis longtemps

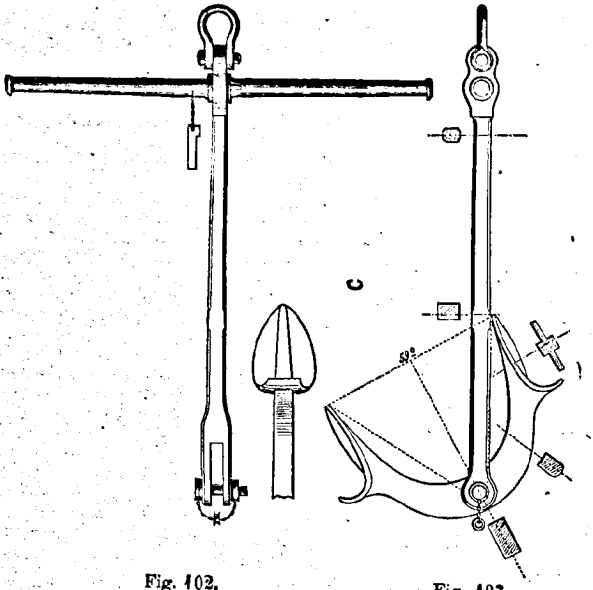


Fig. 102. Fig. 103.

d'un modèle uniforme, connu sous le nom de *modèle de l'amirauté*; elles sont à pattes hollandaises, et leurs formes diffèrent peu de celles des ancres françaises; cependant les pattes sont moins développées, la verge et les bras sont plus gros, tous les contours sont arrondis, et les angles ou les arêtes vives sont évités avec soin (*fig.* 100 et 101); le jas est généralement en fer, mais les tourillons de la verge sont conservés, afin que l'on puisse y placer un jas en bois, dans le cas où le premier serait brisé ou tordu, sans que l'on eût à bord les moyens de le réparer.

De nombreux modèles ont été présentés comme supérieurs à celui de l'amirauté, mais ayant été soumis à des expériences comparatives, on a toujours vu s'évanouir les prétentions dont ils étaient l'objet. Parmi ces ancres nous citerons cependant celle de M. Trotman, perfectionnée par M. Porter, et qui présente des dispositions nouvelles méritant, jusqu'à un certain point, de fixer l'attention. Dans ce système les bras, au lieu d'être soudés à la verge, sont articulés sur celle-ci à l'aide d'une moufle et d'un fort boulon de jonction (*fig.* 102 et 103); l'auteur paraît avoir adopté cette disposition, principalement dans le but d'éviter la difficulté que l'on rencontre à obtenir une bonne soudure entre les bras et la verge pour de très-grosses pièces; il est certain, en effet, qu'avec ce mode d'assemblage chaque partie de l'ancre jouit de toute la résistance que comporte sa section, ce qui n'a pas lieu avec des soudures imparfaites; de plus l'articulation des bras présente encore d'autres avantages, ainsi, lorsque l'un des bras est engagé dans le sol, l'autre est appliqué sur la verge, et il en résulte que dans les ports de marée, les bâtiments ne sont pas exposés à crever leur carène, comme cela peut leur arriver sur la patte saillante des ancres ordinaires; enfin elles se présentent mieux pour pénétrer dans le fond et sont moins sujettes que les autres à tomber à plat. Au point de vue de la résistance, les ancres Trotman ont donné des résultats satisfaisants; quelques compagnies maritimes en font usage; mais dans la marine militaire, bien qu'elles aient donné lieu à des essais entrepris sur une assez large échelle, on en est toujours revenu au modèle de l'amirauté.

Complétons cette étude par quelques détails sur la manière dont l'ancre est maintenue après avoir été levée, après que le navire ayant été amené à pic au-dessus d'elle pour déraper, elle a pu abandonner le fond par l'effet d'une traction suivant la verticale.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Bossoirs et chaînes de mouilleur. Le bossoir est une forte pièce de bois encastrée dans la muraille, et présentant à l'extrémité qui fait saillie à l'extérieur, des rouets qui constituent, avec la *poulie* de *capon*, l'appareil employé à lever l'ancre; il est consolidé par une courbe verticale en bois placée par-dessous, et par une courbe horizontale en bois ou en fer, mise par le côté, soit sur l'avant, soit sur l'arrière. Les conditions auxquelles le bossoir doit satisfaire sont les suivantes :

1° Sa longueur, déterminée par la distance horizontale de l'axe des clans à la muraille, doit être assez grande pour que l'ancre étant suspendue à la poulie de capon, elle puisse décrire une révolution complète sans que les pattes ni le jas ne viennent rencontrer le bordé;

2° La hauteur de l'axe des rens doit être telle, que la poulie de capon étant à bloc, les pattes de l'ancre se trouvent suffisamment élevées hors de l'eau, pour que l'on puisse facilement y crocher la poulie de traversière;

3° Il convient que le bossoir soit reporté le plus possible vers l'avant pour faciliter la manœuvre de la poulie de traversière, mais il convient en même temps que sa position soit combinée avec celle des sabords de l'avant, de manière qu'aucun d'eux ne soit engagé, par la courbe verticale, ou par l'ancre elle-même lorsqu'elle est à poste de mouillage. Ces deux conditions fixent la position du pied du bossoir ainsi que celle de sa tête, en observant en outre que lorsque l'ancre est traversée, l'extrémité du jas doit venir butter sur la herpe;

4° Le pied du bossoir est inséré dans la muraille à la hauteur de la vaigre bretonne; dans cette position son encastrement peut être établi avec la solidité suffisante; la hauteur de sa tête étant fixée par les considérations précédentes, il en résulte pour le bossoir lui-même une inclinaison assez prononcée; cette inclinaison n'entraîne d'ailleurs aucun inconvénient, et facilite même l'établissement de la courbe principale.

Les dispositions du bossoir résultant de ces conditions générales sont indiquées dans la *fig.* 104 ci-jointe.

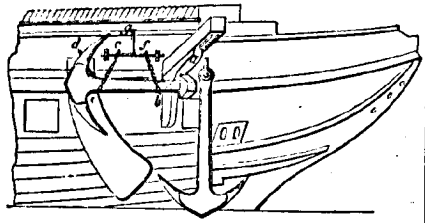


Fig. 104.

Lorsque l'ancre est traversée, sa patte est soutenue par un plan incliné rapporté en saillie sur la muraille; mais ce sont principalement les *bosses* qui la maintiennent dans cette position. Les bosses sont au nombre de deux : la *bosse de bout*, qui passe dans l'organeau et fait retour sur l'extrémité du bossoir pour venir s'amarrer à l'intérieur de la muraille, et la *serre-bosse*, qui décrit plusieurs révolutions autour de la verge de l'ancre et l'amarre solidement à quelque point fixe disposé à cet effet, soit à l'extérieur soit à l'intérieur. Pour mouiller, on commence par filer la serre-bosse, l'ancre reste suspendue sur la bosse de bout, et c'est au moment où cette dernière est larguée que l'ancre tombe à la mer.

Depuis l'introduction des câbles-chaînes, les bosses en filin ont été remplacées par des chaînes en fer, et ont en même temps reçu une disposition nouvelle : la bosse de bout fait dormant sous le bossoir en *a*, mais au lieu de la faire passer dans l'organeau, on se contente de lui faire contourner la verge suivant *a b f*, pour venir se fixer à la muraille en *f*; la serre-bosse est fixée à la muraille en *d*, suit le contour *d e c*, et vient de nouveau se fixer à la muraille par l'extrémité opposée *c*. Ces bosses reçoivent les longueurs convenables pour maintenir solidement l'ancre à son poste lorsqu'elle est traversée Pour mouiller, on largue les deux bosses à la fois, en faisant fonctionner des échappements analogues aux étalingures mobiles et placés aux extrémités *c* et *f*. Pour que les chaînes des mouilleurs fonctionnent bien, il est nécessaire qu'elles échappent simultanément; pour arriver à ce résultat, on a définitivement remplacé les échappements *indépendants*, par la barre de mouillage représentée *fig.* 105. Ainsi que son nom l'indique, cet appareil se compose d'une barre en fer rond, supportée par deux pitons chevillés à la muraille; sur cette barre sont soudés deux ergots *c*, *f*, sur lesquels on engage les derniers maillons de chaque chaîne de mouilleur; un levier *g* est amarré contre la muraille et maintient les maillons en prise. Pour mouiller, il suffit de couper l'amarrage de ce levier; le poids de l'ancre entraîne la barre, les bosses échappent, et l'ancre tombe à la mer en pagaie.

L'usage des chaînes de mouilleurs ne dispense pas d'ailleurs des bosses ordinaires en filin; la bosse de bout doit toujours être conservée par mesure de précaution lorsque la poulie de capon fonctionne, et la serre-bosse est indispensable pour assujettir l'ancre contre la muraille, et pour prévenir les ballottements continuels que permettent les bosses en chaîne, et qui ne tarderaient pas à entraîner l'usure ou la destruction des parties en contact.

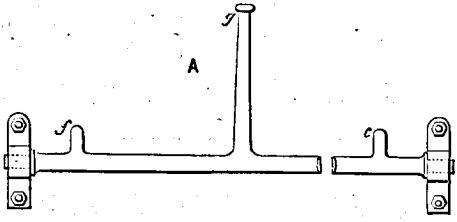
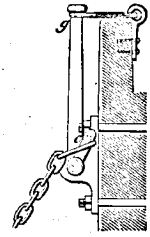


Fig. 105.

ANIMÉ (résine). D'une couleur brun jaunâtre pâle, transparente et cassante. Elle transsude du *courbaril*, arbre qui croît à Cayenne et dans plusieurs autres parties de l'Amérique du Sud; elle nous arrive en fragments de diverses grosseurs, qui renferment souvent une quantité prodigieuse d'insectes appartenant à des espèces encore vivantes, d'où lui vient son nom *animé*. Elle renferme une petite quantité d'huile volatile, qui lui donne une odeur agréable. L'alcool et l'huile essentielle de caoutchouc ne dissolvent pas la résine animé pure; mais un mélange à parties égales de ces deux substances l'amène à l'état d'une bouillie assez molle pour que l'on puisse alors piquer les insectes qu'elle renferme, et les en retirer sans injurier le moins du monde leurs parties les plus délicates.



La pesanteur spécifique de la résine animé varie de 1,054 à 1,057. Chauffée dans une cornue en verre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur la lampe à esprit-de-vin, elle se ramollit, et si l'on opère avec ménagement, on peut la faire fondre, sans qu'elle se décolore; elle dégage alors quelques vapeurs blanches d'acide succinique.

Cette résine est très-employée dans la fabrication des vernis.

ANTIMOINE. On trouve l'antimoine dans la nature tant à l'état métallique qu'à l'état de combinaison; mais le seul minerai qui se rencontre en quantité suffisante pour être traité en grand est le sulfure d'antimoine. On le trouve ordinairement en masses composées d'aiguilles prismatiques juxtaposées, d'une couleur gris de plomb tirant sur le gris d'acier et douées d'un éclat fortement métallique. La rayure offre la même couleur. Ces aiguilles sont extrêmement aigres et cassantes, fondent à la simple flamme d'une chandelle, et exhalent une odeur sulfureuse. Réduit en poudre, le sulfure est gris noir, et était autrefois employé par les femmes pour se teindre les sourcils et les paupières. Sur 100 parties en poids, il renferme 72,86 d'antimoine et 27,14 de soufre; sa densité est de 4,13.

Le sulfure d'antimoine est ordinairement associé à du quartz, du sulfate de baryte et du carbonate de chaux; à Allemont on le trouve dans les nombreuses fissures du schiste micacé. Dans le traitement du minerai pour en retirer le métal, la première chose à faire est de séparer le sulfure d'antimoine de la gangue à laquelle il est associé; cette séparation se faisait autrefois dans des pots d'argile, que l'on plaçait soit dans des fosses en plein air, soit sur la sole d'un fourneau où on les chauffait modérément. Le sulfure d'antimoine, qui est très-fusible, se séparait par *liquation* des matières étrangères auxquelles il était associé, et se rendait par un trou pratiqué au fond de chaque pot dans une série de pots inférieurs dits *boulets*, placés hors de l'action du feu. Les grandes pertes qui résultaient de la casse des pots, ont fait adopter dans beaucoup de localités une autre méthode, qui consiste à concasser grossièrement le minerai trié et à le charger sur la sole concave d'un fourneau à réverbère, près de l'autel. On opère ainsi une liquation. Les matières terreuses restent où on les a chargées, et le sulfure fond et se rassemble au milieu de la sole, d'où on le coule.

A l'usine de *Malbosc*, dans le département de l'Ardèche, on opère la liquation d'une manière différente, et que nous allons décrire, parce que cet établissement est un des plus considérables qui existent en France.

Le fourneau de liquation est représenté dans la fig. 106; en coupe verticale et en élévation, *a*, *c*, *b*, sont les trois foyers munis de grilles qui ont $1^m,37$ de long sur $0^m,27$ de largeur, et sont séparés par deux murs dans lesquels sont pratiquées des galeries rectangulaires longitudinales, dont le fond est situé à $0^m,30$ au-dessus du niveau du sol de l'usine, et qui sont fermés à leurs extrémités par des portes en fonte munies de regards. Les parois et la partie supérieure de ces galeries sont construites en briques réfractaires. Des ouvertures *f*, pratiquées dans chaque mur de séparation, permettent à une partie de la flamme de s'introduire dans les galeries rectangulaires *e*, et d'échauffer préalablement les creusets coniques en fonte *h*,... où le sulfure d'antimoine tombe goutte à goutte à mesure qu'il se sépare des matières étrangères auxquelles il était associé; ces creusets ont $0^m,30$ à $0^m,33$ de profondeur, $0^m,25$ de diamètre à l'ouverture, et $0^m,15$ au fond; l'épaisseur de la fonte est de $0^m,01$; ils sont portés sur des chariots à roulettes, en fonte, ce qui permet de les retirer au besoin; on a soin de les revêtir d'un enduit d'argile réfractaire, afin de prévenir l'action sulfurante du sulfure d'antimoine sur la fonte.

Il y a dans chaque fourneau 4 tubes de liquation *g* en argile réfractaire; ces tubes sont verticaux, légèrement coniques, et ont $1^m,02$ de hauteur, $0^m,26$ de diamètre intérieur en haut, et $0^m,21$ en bas; leur épaisseur est de $0^m,015$; des ouvertures de $0^m,19$ à

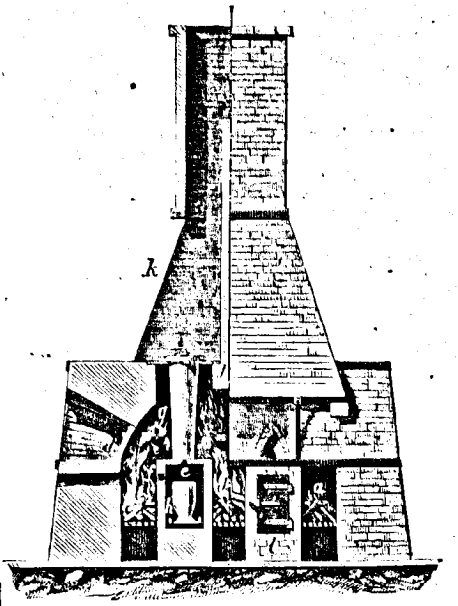


Fig. 106.

$0^m,12$ de large, placées au bas des tubes de liquation, et vis-à-vis les portes, qui sont bouchées pendant la fonte avec des plaques d'argile, servent à les nettoyer; le sulfure fondu s'écoule par de petits trous et tombe dans les creusets *h*, *h*... Les tubes de liquation traversent la voûte dans des ouvertures pratiquées à cet effet, et se ferment à l'aide des plaques de recouvrement. La flamme sort du fourneau par des rampants munis de registres, et se rend dans la cheminée *j*, haute d'environ 4 mètres; une petite cheminée sert à donner issue aux vapeurs sulfureuses qui se dégagent lorsqu'on enlève les crasses et résidus de la liquation; une dernière cheminée consolidée par des tirans en fer et en bois, qui commence au niveau de la partie supérieure des tubes de liquation, et est partagée en deux compartiments par un mur de séparation J, est destinée à entraîner les fumées qui se dégagent lors du chargement des cylindres. Enfin des portes, fermées par des plaques, *d*, *d*, lutées avec de l'argile, permettent de visiter au besoin l'intérieur du fourneau, et d'examiner si l'un quelconque des tubes de liquation est hors de service.

On charge à la fois, dans chaque tube de liquation, 220 à 230 kilogr. de minerai d'antimoine, préalablement chauffé sur la voûte même du fourneau; peu de temps après, le sulfure commence à couler goutte à goutte dans les creusets de réception; quand tout écoulement a cessé, on retire les résidus par les ouvertures latérales, et on introduit une nouvelle charge. On laisse les creusets de fonte enduits d'argile se remplir aux trois quarts, puis on les retire du fourneau, où on en introduit d'autres; on les laisse refroidir lentement, et on les vide; chaque lingot pèse environ 40 kilogr. On passe une charge toutes les trois heures, et lorsque l'opération marche bien, on produit par tube de liquation et par heure, de 40 à 50 kilogr. de sulfure d'antimoine. La durée moyenne des tubes de liquation est de trois se-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

malines; on en voit même qui durent le double. Le fondage est d'environ 10 jours. Le rendement du minerai en sulfure d'antimoine est de 40 à 50 p. 100, et on consomme 63 parties de houille p. 100 de sulfure d'antimoine obtenu. Ce procédé se recommande par la faible consommation de combustible, l'économie dans la main-d'œuvre, et le grand appauvrissement des résidus. D'après l'ingénieur en chef des mines Furgaud, ce fourneau a donné dans une campagne de 36 jours 23t,71 kilogr. de sulfure avec un minerai rendant 40 p. 100, en dépensant :

45000k de houille grosse et menue à 2f les 100k, soit.	3000f
240 journées d'ouvriers à 1f,50 l'une, soit. .	360
Renouvellement des cylindres, outils, réparations.	60
Total. . . .	3420f

ce qui donne 3f,06 pour les frais de traitement, correspondant à la production de 100 kilogr. de sulfure d'antimoine.

« Dans le travail en plein air, les frais de traitement s'élèvent à 8f,42 par 100 kilog. de sulfure d'antimoine fondu produit; ils sont moins considérables dans les fours avec pots à boulets; mais y sont cependant encore bien supérieurs à ceux du fourneau de Malbosc. »

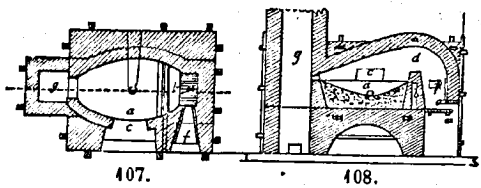
Le sulfure d'antimoine, ainsi obtenu par la fusion des minerais, porte le nom impropre *d'antimoine cru*, et est en cet état employé, partie à la préparation de différents produits pharmaceutiques, partie à la fabrication de l'antimoine métallique ou *régule*.

Le procédé le plus simple pour convertir le sulfure d'antimoine en régule, consiste à le porter au rouge avec du fer métallique; il se forme du sulfure de fer et de l'antimoine métallique, un peu ferreux, qui se séparent par la fusion. Les meilleures proportions à observer sont de 42 parties de fer métallique p. 100 de sulfure d'antimoine. Quoique le sulfure d'antimoine renferme 72 parties d'antimoine métallique, on n'en obtient que 50; cette perte tient à ce qu'une partie du métal se volatilise pendant l'opération, et à ce qu'une autre partie reste mécaniquement mélangée dans le sulfure d'antimoine. Le rendement augmente d'une manière notable, si l'on ajoute au mélange, du sulfure de potassium ou de sodium, ou bien un mélange de sulfate de soude et de charbon; il se forme alors un sulfure double de sodium et de fer, beaucoup plus fusible et plus léger que le sulfure de fer, et qui par conséquent se sépare beaucoup mieux de l'antimoine métallique.

D'après M. Berthier, 100 parties de sulfure d'antimoine, 60 de battitures de fer, 45 à 50 de carbonate de soude, et 10 de charbon de bois pulvérisé, donnent par la fusion de 65 à 70 parties d'antimoine métallique. On peut également employer le sulfate de soude au lieu du carbonate, et, avec les proportions suivantes : 100 de sulfure d'antimoine, 80 de battitures de fer, 50 de sulfate de soude, et 17 de charbon, on obtient 57 parties de régule.

L'ancien procédé d'extraction, presque entièrement abandonné aujourd'hui, consiste à fondre au rouge, dans des creusets, un mélange de 4 parties en poids de sulfure d'antimoine, 3 parties de tartre, et 1 partie 1/2 de nitre. On n'obtenait que 27 parties de régule métallique p. 100 de sulfure employé, ce qui, joint au prix élevé du nitre et du tartre, a été la cause de l'abandon presque général de ce procédé. L'énorme déchet que l'on obtient résulte de ce qu'une grande partie de sulfure d'antimoine se combine avec le sulfure de potassium qui se forme, et échappe ainsi à la réduction. Dans les rares usines où ce procédé est encore appliqué, et où il est juste de dire que l'on obtient un métal d'une grande pureté, on utilise les scories alcalines que l'on obtient en les dissolvant dans l'eau; il se précipite du sulfure d'antimoine, qui est lavé, desséché, puis vendu à bas prix sous le nom de *kermès minéral préparé par voie sèche*, et est employé dans la médecine vétérinaire.

Lorsqu'on réduit le sulfure d'antimoine par l'un des procédés indiqués par M. Berthier; la séparation de l'antimoine métallique se fait bien plus aisément et à une plus basse température, de sorte que dans ce cas on peut aisément opérer la réduction sur la sole d'un fourneau à réverbère, et traiter directement le minerai brut. M. Frank, pharmacien à *Linz*, sur les bords du Rhin, prit en 1828 un brevet à ce sujet; nous donnons ici (fig. 107 et 108) le plan et la coupe de son fourneau de réduction. Le lit de fusion étant préparé comme nous l'avons dit, on en charge 100 à 150 kilogr. sur la sole, formée d'un mélange bien damé de sable et d'argile, par la porte *c* qui sert en même temps à retirer les scories. On coule l'antimoine réduit par le trou de percée



107. 108.

a, qui pendant l'opération est bouché avec de la brasque de charbon. On charge le combustible sur la grille *e*, par la porte *f*; la flamme passe par-dessus l'autel *d*, continuellement rafraîchi par un courant d'air qui traverse le canal *b*, se réverbère sur la sole du four, et s'échappe enfin par le rampant qui la termine dans la cheminée *g*. Chaque fonte dure huit à dix heures.

Comme l'antimoine ainsi obtenu n'est pas assez pur pour être immédiatement livré au commerce, on le fond de nouveau avec un peu de charbon dans des creusets que l'on chauffe dans un four à réverbère. On le purifie encore mieux dans quelques usines, en le fondant avec $\frac{1}{10}$ de son poids de verre d'antimoine, qui enlève le sulfure d'antimoine dissous dans le régule. L'antimoine métallique, tel qu'on le rencontre dans le commerce, renferme presque toujours une certaine quantité de fer et d'arsenic. La présence de ce dernier corps, tient à ce que le sulfure d'antimoine natif est presque toujours associé à une petite quantité de sulfure d'arsenic, qui se réduit en partie avec l'antimoine. Il n'est pas rare non plus d'y rencontrer une petite quantité de plomb et de cuivre. L'arsenic se reconnaît, en fondant l'antimoine au chalumeau, par l'odeur d'ail qui se dégage. Comme il est très important pour les préparations pharmaceutiques d'avoir de l'antimoine parfaitement pur, on a proposé un grand nombre de méthodes pour purifier l'antimoine du commerce; le procédé qui réussit le mieux, consiste à mélanger ensemble 16 parties en poids d'antimoine impur, 1 partie de sulfure d'antimoine et 2 parties de carbonate de soude fondu, puis de mettre le mélange dans un creuset de Hesse et de le maintenir en fusion pendant une heure environ; on laisse ensuite refroidir, et on sépare d'un coup de marteau les scories surnageantes du culot métallique, que l'on achève de raffiner en répétant encore deux fois la même opération.

L'antimoine a une couleur blanc d'argent avec une très légère teinte bleuâtre; sa cassure est extrêmement lamelleuse, et il est tellement aigre et cassant que l'on peut aisément le pulvériser dans un mortier. Il se fond un peu au-dessous du rouge en répandant dans l'air d'épaisses fumées blanches. Il se fond au chalumeau avec une fumée blanche, et vient déposer sur le charbon une auréole blanche formée d'aiguilles cristallines

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'oxyde d'antimoine; si on jette le globule fondu et rouge sur une feuille de papier, il se divisera en une foule de globules plus petits, qui resteront longtemps en incandescence, et qui courront dans tous les sens avec vitesse sur le papier, en y laissant des traces blanches d'oxyde d'antimoine. Fondu avec le borax ou avec d'autres flux vitreux, l'oxyde d'antimoine forme un verre jaunâtre.

L'acide nitrique concentré convertit l'antimoine en acide antimonieux, ou en acide antimonique, ou en un mélange de ces deux acides; l'acide nitrique étendu, au contraire, le convertit en oxyde d'antimoine; mais comme ces trois degrés d'oxydation d'antimoine sont insolubles dans l'acide nitrique, on peut employer ce procédé pour séparer l'antimoine, surtout dans ses alliages avec la plupart des autres métaux.

La pesanteur spécifique de l'antimoine est, d'après *Bergmann*, de 6,86. Celle de l'antimoine natif est, d'après *Haidinger*, de 6,646.

Les anciens alchimistes avaient conçu à l'égard de ce métal les plus brillantes espérances. La facilité avec laquelle il s'allie à l'or, puisqu'il suffit d'exposer ce dernier, le plus ductile de tous les métaux, à l'action de la vapeur d'antimoine, pour le rendre immédiatement aigre et cassant, les détermina à attribuer à l'antimoine une sorte d'origine noble, et à le distinguer des autres métaux par le titre latin de *regulus* ou *régule*, qui veut dire petit roi, titre sous lequel il est encore connu.

Aujourd'hui les principaux emplois de l'antimoine consistent dans la fabrication de quelques préparations pharmaceutiques, et dans celle de certains alliages métalliques, parmi lesquels nous citerons l'alliage des caractères d'imprimerie, l'alliage des planches stéréotypes, l'alliage des planches de musique et le métal d'Angleterre. L'alliage des caractères d'imprimerie est formé à peu près de 3 parties de plomb pour 1 partie d'antimoine; l'alliage des planches stéréotypes se compose de 6 parties de plomb et 1 partie d'antimoine; les planches sur lesquelles on grave la musique sont formées d'un alliage de plomb, d'étain et d'antimoine; et le métal d'Angleterre est également un alliage de plomb, d'étain et d'antimoine, auquel on ajoute une petite quantité de cuivre et de bismuth.

La production annuelle en Europe du sulfure d'antimoine fondu est d'environ 568077 kilogr., et se répartit comme il suit :

Empire d'Autriche.			231000k
Angleterre.			160000
France (1841).			88584
Prusse (1841).	Antimoine cru.	27653	58493
	Régule retiré directement du minerai.	30840	
Saxe.			10000
Hartz, pays de Nassau, etc.			20000
Total.			568077k

Les $\frac{9}{10}$ environ de la quantité totale de sulfure d'antimoine obtenu, sont ultérieurement transformés en régule.

En France le sulfure d'antimoine fondu, se vend moyennement à raison de 60f les 100 kilogr.; et l'antimoine métallique ou régule, au prix de 200f les 100 kil.

P. DEBETTE.

ANTHRACITE. Difficilement combustible tant par la difficulté qu'on éprouve à l'allumer, que par la fâcheuse propriété que possèdent quelques espèces de se déliter par l'action de la chaleur et d'intercepter le passage de l'air, l'anthracite n'en est pas moins un combustible bien précieux, et qui sera une source féconde de richesses pour plusieurs régions de la France, qui en possèdent des gisements abondants, quand on connaîtra mieux la manière de l'employer. La possibilité de l'utiliser, surtout après les travaux de M. Ebelmen, qui est parvenu à obtenir avec les déchets les plus inférieurs de la houille les températures les plus élevées que l'on produise dans la métallurgie du fer, ne saurait être douteuse; mais de plus, l'exemple des Américains, qui travaillent le fer à l'anthracite, prouve bien que son emploi ne doit plus être limité à la cuisson de la chaux, comme cela a lieu généralement en France.

Il faut aussi remarquer que si les combustibles à longue flamme sont très recherchés, à cause de la facilité de leur combustion dans les appareils les plus imparfaits, le progrès tend à leur substituer des charbons sans flamme. Alimentation moins fréquente, chauffage plus régulier, utilisation d'une fraction plus importante de leur valeur réelle, qui passe presque tout entière à l'état de chaleur rayonnante; telles sont en partie les raisons qui font souvent préférer les charbons qui se rapprochent beaucoup de l'anthracite, celui de Fresnes, par exemple, aux charbons à longue flamme.

Nous avons cru devoir insister sur l'importance de l'avenir probable de l'anthracite, parce que cette question est d'une importance très grande pour quelques-uns de nos départements. L'Isère et les Hautes-Alpes, par exemple, qui en possèdent d'admirables gisements, situés au milieu de nombreuses formations métallifères non utilisées, le long de torrents possédant une force motrice immense, ne doivent-ils pas devenir un jour le lieu d'usines métallurgiques considérables? C'est cet avenir probable, et nous espérons prochain, que nous appelons de tous nos vœux.

ANTISEPTIQUES. Substances qui empêchent ou arrêtent la décomposition spontanée des matières organiques animales et végétales. Ce sont principalement le sel de cuisine, le nitre, les épices et le sucre qui agissent en partie en modifiant la nature des fibres de la substance, soit animale, soit végétale, et en partie, en rendant leur constituant aqueux inapte à la décomposition. Voyez PUTRÉFACTION (moyens de prévenir la).

AQUEDUC. On en fait d'*apparents* et de *souterrains*.

Les premiers, construits comme les ponts et formés d'une série d'arches, traversent les vallons et les fondrières; pour conduire l'eau d'un sommet de montagne à un autre sommet opposé, ou pour la faire couler au-dessus du niveau d'un fleuve dont l'aqueduc croise le cours. La rigole, ou canal de conduite des eaux, est placée à la partie supérieure, dans le *tablier;* tantôt l'eau y coule à ciel ouvert, tantôt on la recouvre d'une voûte pour la garantir contre l'action du soleil.

On est quelquefois obligé de percer des montagnes pour conduire l'eau d'un côté de la base à l'autre, alors l'aqueduc est souterrain. Dans ce cas, on commence le percement par les deux extrémités, en se dirigeant à l'aide de la *boussole* ou du *niveau*, et si la galerie a une longueur assez considérable, on pratique sur sa direction et sur les flancs de la montagne, un ou plusieurs puits verticaux, que l'on fonce jusqu'au niveau que devra avoir la galerie, puis on attaque la roche de chaque côté des puits, en partant de leur pied et s'avançant dans la direction de la galerie. Lorsque le travail est conduit avec soin, les parties de galeries, ainsi attaquées par leurs extrémités, doivent se rejoindre exactement. Les puits verticaux servent à l'extraction des déblais pendant la construction de l'aqueduc, et plus tard de *regards*. L'aqueduc est ensuite généralement muraillé (voyez MINES), en tout ou en partie, suivant la nature du sol qu'il traverse.

Quelquefois on donne à la maçonnerie d'un aqueduc apparent assez d'épaisseur pour permettre aux voitures d'en parcourir la longueur sur une chaussée publique qu'on ménage sur l'édifice, à la hauteur convenable : l'aqueduc offre alors l'avantage non-seulement de faire franchir à l'eau les vallons qui séparent les montagnes, mais encore de faciliter les communications de l'une à l'autre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les anciens nous ont laissé en ce genre des travaux magnifiques, parmi lesquels nous citerons : le *Pont du Gard* formé par trois rangs d'arcades superposées et construit par les Romains pour l'alimentation de la ville de Nimes; l'aqueduc de *Petra*, en Mingrelie, qui, selon Procope, fut construit par les soins de Cosroës, roi de Perse, et qui se compose de trois aqueducs superposés, et enfin les immenses aqueducs qui alimentaient Rome.

M. *Montricher* a construit l'aqueduc gigantesque de Roquefavour (décrit à l'article EAUX), qui laisse bien loin derrière lui tout ce qu'a fait l'antiquité. Cet aqueduc amenant les eaux de la *Durance* à *Marseille* alimente la ville, en même temps qu'il contribue à l'assainissement du port en y amenant des eaux courantes, enfin permet l'irrigation des environs de la ville.

ARDOISE. Nom donné à une sorte de schiste qui se trouve répandu en grande masse dans la nature, et qui, par son inaltérabilité à l'air, et la faculté qu'il possède de pouvoir se diviser aisément en lames ou feuillets très-minces, est très-employé pour former des toitures aussi légères que solides. On trouve en France, dans les *Ardennes*, et surtout près d'*Angers* (Maine-et-Loire), deux gisements considérables d'ardoises éminemment propres à cet usage.

Les couches d'ardoises sont ordinairement verticales ou très-inclinées sur l'horizon, rarement presque horizontales. On les exploite suivant leur position, tantôt à ciel ouvert, tantôt par galeries souterraines.

Exploitation à ciel ouvert. Comme exemple de ce mode d'exploitation, nous allons décrire brièvement le foncement de l'une de ces immenses excavations à ciel ouvert ou *perrières*, qui entourent la ville d'*Angers*, et qui fournissent la plus grande partie des ardoises consommées en France. On y comptait en 1841, d'après M. Le Châtelier, quatorze *perrières*, dont la production annuelle s'élevait à 120 millions d'ardoises, représentant une valeur de 2 millions de francs. Les couches de schistes sont verticales ou inclinées d'au moins 75 à 80° sur l'horizon. Après avoir enlevé, sur une étendue rectangulaire de 2,000 à 5,000 mètres carrés, la terre végétale et l'argile provenant de la décomposition du schiste ardoisier, laquelle présente souvent une épaisseur considérable, on attaque la roche par *foncées* successives ou *gradins droits* (voir MINES), de 3 mètres de hauteur chaque. On coupe verticalement les deux parois ou *chefs* perpendiculaires à la direction du schiste, en laissant seulement de 3 en 3 mètres une saillie de quelques centimètres pour marquer les foncées. C'est sur celui qui présente le plus de solidité que l'on établit les machines à molettes servant à l'enlèvement de la pierre et à l'épuisement des eaux. On commence chaque foncée en ouvrant au milieu de la carrière et parallèlement à la direction des feuillets du schiste, une longue tranchée de 3 mètres de profondeur, 1 mètre de large à l'ouverture et se terminant en coin; ce travail qui est assez long et ne donne que des débris, se fait avec la *pointe*, sorte de pic droit à manche mince, flexible et long d'un mètre; on abat ensuite le rocher de côté et d'autre, de manière à former ainsi plusieurs gradins sur chacun desquels on dispose un atelier. La tranchée ouverte, on pratique avec la pointe et à une distance de 2 à 5 décimètres de son bord supérieur, d'après l'examen des *délits* ou veines qui se montrent à la surface de la foncée, une série de trous espacés de 3 à 5 décimètres, et destinés à recevoir les *fers*, coins de 2 à 3 décimètres de long; c'est ce qu'on appelle *faire le chemin* ou *enferrer*. Après avoir enfoncé ces fers à coups de masse, on les retire et on les remplace par les *quilles*, autres coins plus gros de 3 décimètres de long, dont le nombre dépend de l'étendue du bloc que l'on veut abattre; puis des ouvriers, armés de lourds marteaux en fer, frappent en cadence sur la tête des quilles, et quand elles ont pénétré tout entières, les chassent avec de nouvelles. Il faut quelquefois en superposer ainsi jusqu'à 5 et 6 rangées. Le rocher se brise par le pied, et le bloc finit par se détacher; si l'inclinaison du schiste ne lui permet pas de tomber par son propre poids, on introduit dans le joint de gros leviers de fer, sur lesquels on agit au moyen de cordages que l'on tire à bras d'hommes ou avec un treuil. Le bloc, en tombant dans la tranchée, s'y brise en plusieurs blocs plus petits ou *cremons*, que l'on subdivise en y faisant des entailles et en frappant sur le plat d'après leur direction afin de les rendre plus transportables; enfin des ouvriers abattent ou *rangent* au moyen de la pointe, les *écots* ou saillies que le bloc en se détachant a laissés adhérents à la masse.

Les blocs d'ardoises et les débris ou *vidanges* sont amenés à la surface du sol dans des caisses rectangulaires dites *bassicots*, par le moyen de manéges mus par des chevaux et formés d'un tambour vertical autour duquel deux câbles s'enroulent en sens inverse, et viennent ensuite passer sur des molettes ou poulies de renvoi verticales, soutenues par une charpente qui fait saillie sur l'excavation, de telle sorte qu'un bassicot vide descend toujours lorsqu'un autre monte. On vide les bassicots par le *lucet* ou côté formé d'une planche mobile. Lorsque l'excavation est assez profonde, on guide les bassicots dans leur mouvement, au moyen de câbles tendus en travers de la carrière, de manière à les faire arriver naturellement aux différents points de chargement, ce qui procure au spectateur un coup d'œil très-curieux et très-intéressant. Lorsqu'on est parvenu à une certaine profondeur on donne aux tranchées une pente légère pour faciliter l'écoulement des eaux, et l'on creuse à l'extrémité une grande cuve pour les recevoir. On les épuise avec deux grands seaux qu'un manége fait monter et descendre alternativement. Les *chefs* sont, comme nous l'avons dit, toujours taillés verticalement; les parois latérales sont taillées en gradins plus ou moins larges, suivant la solidité de la roche, ou en talus rapide, pour prévenir les éboulements. On abandonne la carrière lorsque les parties supérieures, fatiguées par les filtrations d'eau, donnent lieu à des éboulements trop fréquents, ou lorsque la carrière est devenue trop étroite pour que l'exploitation soit profitable. La profondeur atteint souvent 100 mètres; on a vu, il y a quelques années, une carrière finir à la profondeur de 140 mètres. C'est du reste un fait à peu près constant que l'ardoise est d'autant meilleure que l'on s'enfonce à une profondeur plus considérable.

Aussitôt après leur extraction, les blocs amenés au jour sont façonnés en plein air sur un tas de remblais qui entourent la carrière. On les débite d'abord en *répartons* ou pièces de 2 à 3 centimètres d'épaisseur et présentant grossièrement la forme et les dimensions des ardoises de diverses espèces; on les subdivise ensuite en suivant le fil de la pierre, en ardoises brutes ou *fendis*, à l'aide d'un petit maillet et d'un ciseau plat très-mince, appelé *dougé*; enfin on termine les ardoises, et on leur donne la dimension et la forme voulues, en les taillant sur le *chaput*, billot en bois armé sur le bord d'une lame de fer qui forme l'arête, avec une petite hache ou *doleau;* cela s'appelle *rondir* l'ardoise.

Exploitation par galeries souterraines. On exploite ainsi les couches recouvertes d'une grande épaisseur de *mort terrain*. On les rejoint par des puits ordinairement inclinés et on enlève le schiste d'une manière à peu près analogue à celle que nous venons de décrire en laissant d'espace en espace, pour soutenir le faîte des excavations, un certain nombre de piliers disposés en quinconces.

Qualité des ardoises. La plus estimée est la *carrée fine*, elle est rectangulaire et a 0m,30 de long sur 0m,22 de large et environ 0m,003 d'épaisseur; elle n'a point de tacles et vaut sur le port d'Angers 25 francs le mille

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(1040) et à Paris 56 francs en place. La seconde qualité est le *gros noir* qui ne diffère de la carrée qu'en ce qu'elle est plus petite. La troisième est le *poil noir*, seulement plus mince que la précédente. La quatrième est le *poil taché*, comme le poil noir, mais semée de taches rousses; elle vaut sur le port d'Angers 15 fr. le mille. La cinquième est le *poil roux*. La sixième est la *carte*, comme la carrée, mais plus petite et plus mince. La septième est l'*hiridelle*, étroite et longue à deux côtés taillés et deux bruts. La huitième est la *coffine*, ardoise à surface courbe; enfin la dernière est l'*écaille*, ardoise arrondie. Ces trois dernières espèces ont des emplois spéciaux et sont assez rarement fabriquées; le *poil taché* et le *poil roux* sont des ardoises communes, employées uniquement dans le pays; et il n'y a guère que les premières qualités qui soient livrées au commerce extérieur.

On doit rejeter les ardoises qui contiennent des pyrites ou des corps organisés, celles dont la structure peu compacte permet d'absorber l'eau, ce qui les rend non seulement peu durables, mais même nuisibles aux pièces de bois qu'elles recouvrent.

Plus une ardoise est dure et pesante, meilleure elle est: elle doit rendre lorsqu'on la frappe un son clair et sonore et après être restée plongée dans l'eau pendant une journée entière, elle ne doit pas être mouillée plus d'un centimètre au-dessus du liquide. Les plus noires sont généralement les meilleures, les bleues claires sont bonnes, les vertes durent longtemps, les bleues foncées tirant sur le noir sont spongieuses.

Les ardoises d'Angers durent de 20 à 30 ans, celles des Ardennes de 90 à 100 ans, celles d'Angleterre encore plus.

M. Violet a proposé de faire cuire les ardoises dans un four à briques, jusqu'à ce qu'elles acquièrent une couleur rouge pâle; de cette manière on augmente leur durée et leur solidité. Il faut avoir soin de les percer avant cette opération qui revient à 1 fr. 50 c. par mille.

Les ardoises propres à d'autres usages qu'à la couverture des édifices s'exploitent comme les autres pierres. On les trouve surtout au *Platberg* (Suisse), où elles sont l'objet d'un commerce considérable; on en fait des tablettes pour écrire, des tables de poêles, etc...; on les emploie même pour la peinture et il y a sur cette pierre plusieurs tableaux de maîtres.

Ardoises artificielles. M. Braconnot de Nancy a fait l'analyse de plusieurs tablettes connues en Allemagne sous le nom impropre d'*ardoises élastiques*, et il a indiqué le moyen suivant pour les imiter. Prenez :

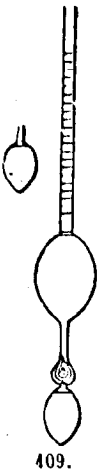
Sable quartzeux, réduit en poudre impalpable.	82 parties.
Noir de fumée.	8
Huile de lin cuite.	10

On broie bien ces substances ensemble pour qu'il en résulte une pâte presque pulvérulente que l'on délaie avec une quantité suffisante d'essence de térébenthine, et qu'on étend ensuite avec un pinceau sur un carton mince bien uni. Lorsque la première couche est sèche, on en applique une seconde et même une troisième. Si cette dernière présente des inégalités, on les fait disparaître et l'on adoucit la surface en y promenant un pinceau ou un tampon enduit du mélange ci-dessus, et de plus détrempé d'essence.

Les tablettes ainsi préparées sont légères, peu embarrassantes, point fragiles, et très-commodes pour écrire avec un crayon d'ardoise. (Voy. *Comp.* ARDOISES.)

ARÉOMÈTRE. Instrument qui sert à déterminer la densité des liquides et même des corps solides. Il y en a de deux sortes : les aréomètres à poids variable et les aréomètres à volume variable; ces derniers servent à déterminer la densité des liquides, ce sont les seuls employés dans l'industrie, et ce sont les seuls dont nous nous occuperons.

L'aréomètre à volume variable (fig. 109) est formé d'une boule ou d'un cylindre en verre creux soufflé à l'extrémité d'un petit tube ou tige en verre creux, et portant à sa partie inférieure un petit appendice également en verre dans lequel on introduit un lest de plomb ou de mercure qui sert à maintenir la tige verticale dans un équilibre stable. On fixe dans l'intérieur de la tige une bande de papier qui porte les divisions ou *degrés*, et on juge de la densité du liquide par le degré au niveau duquel l'instrument s'y enfonce.



409.

Les règles pour tracer ces divisions sont très variables; nous avons déjà parlé de l'*alcoomètre* à l'article ALCOOL, et il ne nous reste plus qu'à indiquer les deux autres échelles les plus usitées, savoir : celle de *Baumé* et celle de *Cartier*.

On distingue les aréomètres de *Baumé* en *pèse-sels* ou *pèse-acides* pour les liquides d'une densité supérieure à l'eau, et en *pèse-liqueurs* ou *pèse-esprits* pour les liquides plus légers que l'eau. Pour construire un pèse-sel on dissout 15 parties en poids de sel marin sec, dans 85 parties d'eau distillée, on prend l'aréomètre à graduer, et on le plonge dans l'eau pure, le lest doit être tel que le niveau affleure vers le sommet du tube, en un point, que l'on marque avec soin, c'est le 0 de l'échelle; on essuie l'instrument et on le plonge dans la dissolution saline préparée comme il a été dit ci-dessus; comme la densité est supérieure à celle de l'eau, il y entrera moins, et une plus longue partie de la tige sortira du liquide; on marque 15° au point d'affleurement, on divise en 15 parties égales l'espace compris entre ces deux niveaux, et on porte ensuite sur la tige, de haut en bas, ces mêmes degrés jusqu'au globe de l'aréomètre. Plus le degré est grand, plus la densité qui s'y rapporte est forte. L'acide nitrique va jusqu'à 45°, l'acide sulfurique à 66°, etc.

Pour construire les *pèse-liqueurs* ou *pèse-esprits*, on fait dissoudre 10 parties en poids de sel marin sec, dans 90 parties d'eau, et on marque sur la tige le point d'affleurement dans l'eau pure et dans cette dissolution. Le 0 est au niveau de la dissolution saline, et au bas de la tige de l'instrument qui doit être lesté à cet effet d'une manière convenable, et le n° 10 au point d'affleurement dans l'eau pure; enfin, on divise l'intervalle compris entre ces deux niveaux en 10 parties égales, que l'on prolonge en allant de bas en haut. Plus le degré est fort et plus la densité qui s'y rapporte est faible. Dans l'alcool il peut aller à 35 et 40°, et dans l'éther sulfurique jusqu'à 70°.

Plus la tige, qui doit être d'ailleurs parfaitement cylindrique, est mince relativement au globe, et plus l'instrument a de sensibilité; mais alors elle devient très fragile, parce qu'il faut lui donner d'autant plus de longueur et devient moins portative et d'un usage moins commode; aussi ne conserve-t-on cette longueur d'échelle que pour les *étalons*, régulateurs qui servent à fabriquer les divers aréomètres employés dans le commerce, qui ne doivent indiquer que les densités comprises entre des limites données assez rapprochées et qui varient suivant l'usage auquel on les destine. On conçoit, par exemple, que le sirop de sucre ne pouvant dépasser 34 à 36° sans tourner au caramel ou sans se prendre en masse, ce pèse-sirops n'a besoin que des degrés de 20 à 36°; le *pèse-vin* ou *pèse-moût*, nommé aussi *œnomètre*, ne s'étend que de 10 à 12° au-dessous du niveau de l'eau, jusqu'à 10 à 12° au-dessus; le *pèse-esprit*, que de 10 à 40°; le *galactomètre* ou *pèse-lait*, va de 0 à 12 ou 15°; le *pèse-éther* va de 30 à 70°.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'aréomètre se loge dans un étui de verre ou de fer-blanc nommé *éprouvette*, que l'on remplit avec les liquides à essayer; on y met flotter l'aréomètre, qui doit s'y mouvoir sans flotter contre les parois; on a soin d'en mouiller la tige pour que les oscillations verticales soient fort libres, et l'on attend qu'il ne se dégage plus aucune bulle d'air; lorsque tout est bien tranquille on lit le numéro d'arrêt ou le *degré;* mais il faut imprimer à la tige de petits mouvements verticaux, pour s'assurer si cet arrêt est toujours le même, car la liberté des mouvements dans le tube est une chose indispensable.

La relation qui existe entre le poids spécifique d'un liquide et son degré à l'aréomètre de Baumé est donnée d'après M. *Francœur*, par les formules ci-après :

$$\text{Pour le pèse-acide } p = \frac{152}{152-d};$$

$$\text{Pour le pèse-esprit } p = \frac{146}{136+d};$$

p étant le poids spécifique ou la densité, et d le degré aréométrique correspondant, ou bien par la table suivante :

Table des poids spécifiques des liquides et des degrés de l'aréomètre de Baumé, à la température de 12°,5 centigr.

Pèse-acide de Baumé.						Pèse-esprit de Baumé.			
Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique.	Degrés.	POIDS spécifique
0	1,0000	26	1,2063	52	1,5200	10	1,0000	36	0,8488
1	1,0066	27	1,2160	53	1,5353	11	0,9932	37	0,8439
2	1,0133	28	1,2258	54	1,5510	12	0,9865	38	0,8391
3	1,0201	29	1,2358	55	1,5671	13	0,9799	39	0,8343
4	1,0270	30	1,2459	56	1,5833	14	0,9733	40	0,8295
5	1,0340	31	1,2562	57	1,6000	15	0,9669	41	0,8249
6	1,0411	32	1,2667	58	1,6170	16	0,9605	42	0,8202
7	1,0483	33	1,2773	59	1,6344	17	0,9542	43	0,8156
8	1,0556	34	1,2881	60	1,6522	18	0,9480	44	0,8111
9	1,0630	35	1,2992	61	1,6705	19	0,9420	45	0,8066
10	1,0704	36	1,3103	62	1,6889	20	0,9359	46	0,8022
11	1,0780	37	1,3217	63	1,7079	21	0,9300	47	0,7978
12	1,0857	38	1,3333	64	1,7273	22	0,9241	48	0,7935
13	1,0935	39	1,3451	65	1,7471	23	0,9183	49	0,7892
14	1,1014	40	1,3571	66	1,7674	24	0,9125	50	0,7849
15	1,1095	41	1,3694	67	1,7882	25	0,9068	51	0,7807
16	1,1176	42	1,3818	68	1,8095	26	0,9012	52	0,7766
17	1,1259	43	1,3945	69	1,8313	27	0,8957	53	0,7725
18	1,1343	44	1,4074	70	1,8537	28	0,8902	54	0,7684
19	1,1428	45	1,4206	71	1,8765	29	0,8848	55	0,7643
20	1,1515	46	1,4339	72	1,9000	30	0,8795	56	0,7604
21	1,1603	47	1,4476	73	1,9241	31	0,8742	57	0,7566
22	1,1692	48	1,4615	74	1,9487	32	0,8690	58	0,7526
23	1,1783	49	1,4758	75	1,9740	33	0,8639	59	0,7487
24	1,1875	50	1,4902	76	2,0000	34	0,8588	60	0,7449
25	1,1968	51	1,4951			35	0,8538	61	0,7411

L'aréomètre, ou *pèse-liqueur* de *Cartier*, n'est qu'une altération de celui de *Baumé*. Pour construire un étalon suivant l'échelle de Cartier, on établit d'abord l'échelle Baumé; puis à partir du 22e degré de Baumé, en dessus et en dessous, on partage en 15 degrés égaux, 16 de Baumé; l'étalon ainsi obtenu, sert à la fabrication des aréomètres livrés au commerce.

L'équation qui sert à traduire les degrés C de Cartier en ceux B de Baumé, et réciproquement, est :

$$16\,C = 15\,B + 22;$$

Celle qui donne les poids spécifiques p correspondant à C degrés est,

$$p = \frac{136,8}{126,1+C}.$$

Lorsqu'on se sert des aréomètres il faut tenir note de la température à laquelle on opère, ce qui donne lieu, lorsque cette température diffère de 12° 1/2 centigrades, à une correction que l'on trouve toute faite dans des tables dressées à cet effet, et que nous nous dispenserons de rapporter ici.

Nous avons déjà parlé de l'*alcoomètre* au mot ALCOOL, de sorte que nous nous contenterons d'extraire du travail de M. Gay-Lussac les deux tables suivantes, qui donnent la relation qui lie les degrés de Cartier aux degrés centésimaux et réciproquement.

Ces tables, faites pour la température de +15° centigrades, peuvent néanmoins servir pour une température différente, et donnent les indications correspondantes de chaque instrument placé dans le même liquide.

Évaluation des degrés de Cartier en degrés centésimaux, à la température de + 15° centigrades.

DEGRÉS de Cartier	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.
10	0,2	19	49,1	28	74,0	37	91,2
10 1/2	2,4	19 1/2	50,9	28 1/2	75,2	37 1/2	91,9
11	5,1	20	52,5	29	76,3	38	92,7
11 1/2	8,1	20 1/2	54,1	29 1/2	77,3	38 1/2	93,4
12	11,2	21	55,6	30	78,4	39	94,1
12 1/2	14,5	21 1/2	57,2	30 1/2	79,4	39 1/2	94,7
13	18,2	22	58,7	31	80,5	40	95,4
13 1/2	21,8	22 1/2	60,1	31 1/2	81,5	40 1/2	96,0
14	25,2	23	61,5	32	82,5	41	96,6
14 1/2	28,5	23 1/2	62,9	32 1/2	83,4	41 1/2	97,2
15	31,6	24	64,2	33	84,4	42	97,7
15 1/2	34,4	24 1/2	65,5	33 1/2	85,3	42 1/2	98,3
16	36,9	25	66,9	34	86,2	43	98,8
16 1/2	39,3	25 1/2	68,1	34 1/2	87,1	43 1/2	99,4
17	41,5	26	69,4	35	88,0	44	99,8
17 1/2	43,5	26 1/2	70,6	35 1/2	88,8		
18	45,5	27	71,8	36	89,6		
18 1/2	47,3	27 1/2	72,9	36 1/2	90,4		

Évaluation des degrés centésimaux en degrés de Cartier, à la température de + 15° centigrades.

DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux.	DEGRÉS de Cartier.	DEGRÉS centésimaux	DEGRÉS de Cartier.
0	10,03	30	14,73	60	22,46	90	36,24
5	10,97	35	15,63	65	24,29	95	39,70
10	11,82	40	16,66	70	26,26	100	44,19
15	12,57	45	17,88	75	28,43		
20	13,25	50	19,25	80	30,76		
25	13,97	55	20,79	85	33,33		

ARGENT (*angl.* silver, *all.* silber). Métal d'un blanc parfaitement pur et caractéristique. Fondu, sa densité est de 10,47, écroui sous le marteau, elle devient 10,54. Il est extrêmement malléable et l'on peut le réduire, sous le marteau, en feuilles de $\frac{4}{4000}$ de millimètre d'épaisseur sans qu'il se déchire, de 0° à 100°, il se dilate de $\frac{1}{500}$ de sa longueur. Sous le rapport de la dureté, il tient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le milieu entre l'or et le cuivre. Il fond au rouge vif, ou d'après Daniell, à 1022° centigrades. Lorsqu'on le soumet à une température extrêmement élevée, soit à l'aide d'une forte lentille, soit à l'aide du chalumeau à gaz oxygène ou d'une forte batterie électrique, il se volatilise rapidement et brûle avec une flamme verdâtre. Un fil d'argent de 1 millimètre carré de section, se rompt sous un poids de 24 kilogr. Il est inattaquable par l'action des agents atmosphériques. Fondu il absorbe l'oxygène de l'air, environ 22 fois son volume, qu'il dégage de nouveau en se solidifiant, ce qui donne lieu au *rochage*, singulier phénomène que MM. *Gay-Lussac* et *Lucas* ont étudié avec soin, et dont ils ont fait connaître les circonstances aussi curieuses que remarquables. Ce phénomène est surtout très intéressant à observer, sur de grandes masses d'argent fondu, 20 à 25 kilogr. par exemple. Lorsqu'après avoir maintenu pendant longtemps à l'état de fusion une pareille quantité d'argent fin, on la laisse refroidir spontanément, la partie supérieure commence par se solidifier. Bientôt la voûte ainsi formée se fendille, et de l'argent très fluide s'échappe par les fissures et déborde sur la croûte en couche mince; cette première période du phénomène paraît due, non pas à un dégagement gazeux, mais bien à l'expansion qui résulte d'un commencement de cristallisation. Bientôt après, et à mesure que le refroidissement continue, le dégagement gazeux commence en soulevant sur plusieurs points la croûte solidifiée, et donne lieu à la formation de véritables petits cratères volcaniques, par l'ouverture desquels se dégage un courant d'oxygène, tandis que des laves d'argent fondu se répandent par dessus leurs bords. Au milieu de chaque cratère on aperçoit l'argent fondu qui bouillonne avec violence. A mesure que le dégagement gazeux continue, la hauteur de ces cratères augmente par suite de la solidification du métal qui s'écoule par dessus leurs bords; la plupart d'entre eux s'obstruent peu à peu, tandis que le gaz s'échappe avec une force constamment croissante en entraînant avec lui de petites gouttes d'argent fondu qu'il projette au loin, et en donnant lieu à chaque éruption à de petites explosions qui se succèdent par intervalles très rapprochés. Les cônes d'éruption peuvent atteindre jusqu'à 2 ou 3 centim. de hauteur et 6 à 8 centim. de diamètre à la base; et pour une quantité de 25 kilogr. d'argent, la durée totale du rochage varie de 30 à 45 minutes. Ce phénomène n'a plus lieu dès que l'argent est allié à quelques centièmes de cuivre, d'or, ou de plomb, qui empêchent l'absorption de l'oxygène.

L'argent présente trois degrés d'oxydation.

1° L'*oxyde d'argent*, qui s'obtient en décomposant le nitrate d'argent par de la potasse caustique en excès, lavant à grande eau et desséchant avec précaution; il a une couleur gris brunâtre, et est complétement réduit à l'état métallique par l'action d'une chaleur rouge ou même seulement par l'action prolongée de la lumière solaire. C'est une des bases métalliques les plus puissantes, et il donne des sels parfaitement neutres. En le faisant digérer dans de l'ammoniaque caustique, on obtient une poudre noire extrêmement détonnante, dite *argent fulminant*, qui paraît être de l'azoture d'argent, suivant les observations de MM. Gay-Lussac et Sérullas. Ce composé qu'il ne faut pas confondre avec le FULMINATE D'ARGENT (voyez ce mot), n'a pu recevoir aucune application, à cause des dangers imminents que présente son maniement.

2° L'*oxydule d'argent*, découvert par Wœhler, qui se prépare en décomposant le mellitate d'argent par l'hydrogène.

3° Le *peroxyde d'argent*, que l'on obtient sous la forme d'une poudre noire, en décomposant par la pile une dissolution de nitrate d'argent; il se rassemble au pôle positif, et contient d'après M. Ritter deux fois autant d'oxygène que l'oxyde.

L'argent s'allie très aisément au soufre, et se couvre de suite d'une couche brune de sulfure d'argent, au simple contact de l'hydrogène sulfuré. Pour nettoyer les objets ainsi attaqués, le moyen le plus simple est de les plonger pendant quelque temps dans une dissolution de *caméléon minéral* (manganate de potasse) que l'on obtient en chauffant au rouge, un mélange à parties égales de potasse et de peroxyde de manganèse et reprenant par une petite quantité d'eau; dans cette opération le manganate se décompose et réagit sur le soufre du sulfure d'argent qu'il oxyde et dissout ensuite. On pourrait aussi employer de l'*eau oxygénée*, si l'on en avait à sa disposition. L'argent est très soluble dans l'acide nitrique et ses dissolutions se reconnaissent en ce qu'elles donnent lieu, par l'addition d'acide hydrochlorique ou d'un chlorure soluble, à un précipité blanc, caillebotté, de chlorure d'argent, qui se colore promptement en bleu violacé sale, lorsqu'on l'expose à l'action des rayons solaires. Beaucoup de métaux (le cuivre et le mercure non en excès, par exemple) le précipitent à l'état métallique de ses dissolutions.

Les minerais d'argent sont les suivants :

Argent natif. L'argent natif présente les propriétés de l'argent pur, quoique moins prononcées, ce qui tient à ce qu'il est toujours allié à une petite quantité de métaux étrangers, il est presque toujours terne à la surface; mais il prend le blanc d'argent par la raclure. On le trouve tantôt cristallisé en cubes ou en octaèdres, tantôt en feuilles, en filets tortueux, en fils déliés ou en dendrites, et tantôt en masses amorphes.

On le rencontre principalement en filons dans les terrains primitifs, c'est-à-dire dans le granit et le gneiss, plus rarement dans les schistes argileux et la grauwacke des terrains de transition, accompagné de quartz, de chaux carbonatée, de baryte sulfatée, de chaux fluatée, de fer carbonaté et oxydé, de galène, etc... Les localités principales où on trouve l'argent natif sont : Kongsberg en Norwége; le Schlangenberg en Sibérie; Freiberg, Schneeberg et Johanngeorgenstadt en Saxe; Joachimsthal; Przibram et Ratiborzitz en Bohême; Schemnitz en Hongrie; Kapnik et Felsœbanya en Transylvanie, Andreasberg au Hartz; Allemont en France; enfin le Mexique et le Pérou en Amérique. On en a parfois trouvé dans quelques-unes de ces localités des masses considérables, ainsi : Kongsberg a fourni des masses de 25 à 275 kilogr.; en Amérique, à la fin du siècle dernier, on a trouvé des masses de 100 à 400 kilogr.; et on a extrait une fois de la mine de Johanngeorgenstadt un bloc d'argent massif qui pesait, dit-on, 4000 à 5000 kilogr.

Argent sulfuré (*all.* glaserz ou silberglanz). Renferme 85 p. 100 d'argent métallique. Il est d'un gris foncé noirâtre terne à l'extérieur et éclatant dans la coupure; il cristallise en cubes ou en octaèdres, mais il est le plus souvent amorphe ou filiforme; il est un peu malléable, presqu'aussi mou que le plomb, et se laisse couper au couteau. Il fond aisément au chalumeau et même à la simple flamme d'une bougie, en dégageant une légère odeur sulfureuse et finit par se réduire sur le charbon, en argent métallique. On le rencontre dans les mêmes gisements que l'argent natif, rarement à l'état de pureté, en quantité assez considérable; il se présente dans la nature presque toujours combiné avec d'autres sulfures, tels que ceux de cuivre, de plomb, etc.

Argent rouge (*all.* rothgültigerz). Il y a trois espèces d'argent rouge : 1° L'*argent antimonié sulfuré* ou sulfure double d'argent et d'antimoine, d'un rouge foncé, tirant sur le noir, presque opaque, ordinairement cristallisé en prismes hexaèdres, présente un éclat à la fois adamantin et métalloïde et renferme 60 p. 100 d'argent pur. On le trouve surtout à Andréasberg (Hartz), Joachimsthal (Bohême), Freiberg (Saxe), Kongsberg (Norwége), Schemnitz et Kremnitz (Hongrie); 2° le sulfure double d'argent et d'arsenic (*Proustite*), qui est d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rouge clair, transparent, avec éclat adamantin, et renferme 64 p. 100 d'argent métallique; enfin 3° la *myargyrite* qui ne diffère de l'argent antimonié sulfuré qu'en ce qu'elle renferme une proportion trois fois moins considérable de sulfure d'argent.

Argent sulfuré aigre (*all.* sprœdglaserz) qui présente 2 variétés essentiellement distinctes : 1° la *Polybasite*, combinaison de sulfure de cuivre, de sulfure d'argent et de sulfure d'antimoine ou d'arsenic; éclat métalloïde, d'un gris de fer; vue par transmission en esquilles minces, elle présente une couleur rouge de sang; elle renferme de 60 1/2 à 72 1/4 p. 100 d'argent et se trouve surtout dans l'Erzgebirge saxon; et 2° l'*argent sulfuré aigre* proprement dit (*all.* schwarzgültigerz), qui est une combinaison de sulfure d'argent avec du sulfure d'antimoine ou d'arsenic; d'un gris de fer; éclat faiblement métalloïde; poussière noire se trouve avec l'espèce précédente, ainsi qu'en Hongrie, Transylvanie, etc...

Cuivre gris argentifère (*all.* weissgültigerz). Combinaison de sulfures d'argent, de cuivre, de plomb et d'antimoine; ayant un éclat métalloïde et une couleur comprise entre le gris de plomb et celui d'acier. Celui que l'on trouve dans les mines de Freiberg contient 30 à 32 p. 100 d'argent. Le *Graugültigerz* est une variété de cuivre gris beaucoup plus pauvre en argent que la précédente.

Bismuth sulfuré plombo-argentifère (*all.* wismuthbleierz). Métalloïde, gris de plomb, cassant; c'est un sulfure triple de bismuth, de plomb et d'argent; renfermant 15 p. 100 d'argent métallique. On le trouve à Schapbach (Forêt-Noire), rare.

Argent antimonial (*all.* spiessglanz silber); substance, métalloïde, assez rare, blanc d'argent, composée d'environ 77 parties d'argent et de 23 p. d'antimoine; on le trouve quelquefois cristallisé en prismes rectangulaires, mais le plus souvent il se présente en masses concrétionnées. On le trouve à Wolfach (Forêt-Noire) et dans quelques mines du Hartz.

Argent chloruré (*all.* silberhornerz), demi-ductile, assez tendre pour se laisser couper au couteau; couleur gris de perle tirant souvent sur le bleu et brunissant à l'air; éclat vitreux; ordinairement translucide; cristallise en cubes. Se trouve surtout en Amérique.

Iodure d'argent, découvert par Vauquelin dans des minerais du Mexique; jaunâtre; assez rare.

Bromure d'argent. Découvert il y a peu d'années par M. Berthier dans des minerais du Mexique, où il paraît assez commun; en grains verts cristallins.

Séléniure et *tellurure d'argent* extrêmement rares et ne sont cités ici que pour mémoire.

Amalgame, mercure argental, d'un blanc d'argent très éclatant, tendre, se laissant couper au couteau. Il cristallise en octaèdre régulier ou en dodécaèdre. On ne le rencontre en quantité assez considérable que dans les mines du Chili (Coquimbo, Arqueros). Il renferme 86 p. 100 d'argent.

Galène argentifère. Presque toujours le sulfure de plomb ou galène est associé à une petite quantité d'argent à l'état de sulfure. On la regarde comme extrêmement riche lorsqu'elle renferme 0,005 d'argent, et dans beaucoup de cas on peut en extraire avec avantage celui-ci lorsqu'elle a même une teneur dix fois plus faible.

En général, et quelle que soit leur nature, on regarde comme très riche des minerais qui renferment 0,005 d'argent métallique.

Argent carbonaté. On trouve quelquefois des carbonates de plomb argentifères dans lesquels l'argent paraît être à l'état de carbonate. Très rare.

Sous le rapport du traitement métallurgique, on divise les minerais d'argent en quatre classes, savoir :

1° Minerais d'argent proprement dits avec gangues stériles.

2° Minerais de plomb et d'argent.

3° Minerais de cuivre et argent.

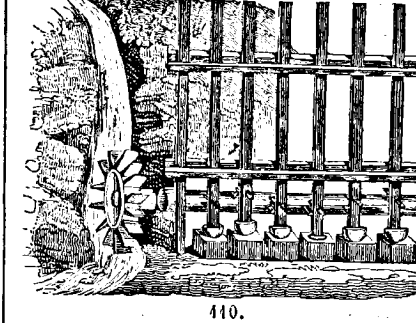
4° Minerais de plomb, cuivre et argent.

La séparation de l'argent de ses minerais peut se résumer en deux méthodes tout à fait distinctes, le traitement par *amalgamation* (*all.* verquicken), et celui par une série de fontes successives qui concentrent l'argent dans une certaine quantité de plomb que l'on en sépare ensuite par la *coupellation* (*all.* treiben). Le premier de ces procédés consiste essentiellement à mettre en contact intime, avec du mercure métallique, les minerais d'argent finement pulvérisés et ayant déjà été soumis à une préparation particulière; l'argent se dissout dans le mercure, et après avoir recueilli, par lavage, l'amalgame, on le distille et on obtient un résidu d'argent métallique. Ce procédé offre sur tous les autres, l'avantage d'une grande simplicité, mais comme on perd les métaux étrangers tels que le cuivre et le plomb qui se trouvent associés dans les minerais, on ne l'emploie généralement que pour les minerais qui ne renferment proportionnellement qu'une faible quantité de plomb et de cuivre; cependant nous verrons un exemple du contraire, dans le pays de Mansfeld. Dans les autres procédés on obtient par une suite de fontes et de grillages successifs, du PLOMB ou du CUIVRE *argentifères* (voyez ces mots), dont il s'agit de séparer l'argent. A cet effet, on soumet le plomb à la coupellation. Quant au cuivre, il doit d'abord être liquaté; opération par laquelle on fait passer la plus grande partie de l'argent qu'il renfermait dans du plomb que l'on coupelle ensuite.

Nous allons exposer sommairement ces principaux procédés :

1° MINERAIS D'ARGENT PROPREMENT DITS AVEC GANGUES STÉRILES *Amalgamation américaine*. Cette méthode inventée au Mexique par *Bartholomé de Médina*, en 1557, existe encore en Amérique dans toute sa simplicité primitive; il est nécessaire pour faire comprendre l'avantage que l'on trouve à employer ce procédé, de se rappeler que dans ce pays les minerais ne sont généralement pas plus riches qu'en Europe, que le plomb y est très cher, le combustible très rare et qu'on y manque de cours d'eau comme force motrice.

Au sortir de la mine, les minerais sont livrés aux *pepenadores*, ouvriers qui, le marteau à la main, les concassent en fragments dont la grosseur ne dépasse pas 2 à 3 centim. cubes, et les trient. On met de côté les minerais riches qui contiennent plus de 0,01 d'argent et qui sont ordinairement soumis à la fonte; le reste est amalgamé. Les minerais destinés à l'amalgamation sont d'abord pulvérisés dans des bocards à sec, renfermant de 6 à 8 pilons qui pèsent chacun 100 kilogr. environ, et sont soulevés par des cames placées sur un arbre horizontal qui est mis en mouvement, soit par une roue hydraulique prise en dessus, comme l'indique la

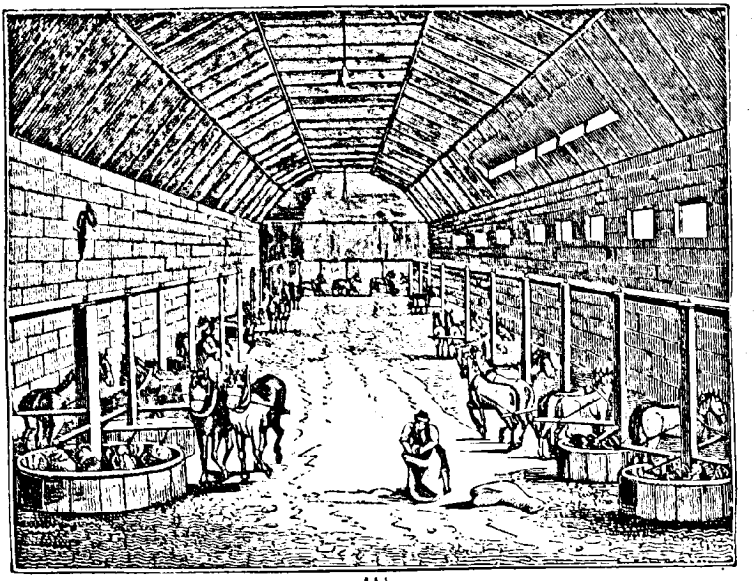


110.

fig. 110, soit par un manége à mulets, si l'on n'a pas à sa disposition d'autre moteur naturel. Chaque pilon

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

vient tomber dans une auge séparée en pierre dure ou mieux en bois. On estime qu'une batterie de 8 pilons peut pulvériser en 24 heures 1,600 kilogr. de minerai. La poudre ainsi obtenue n'est pas assez fine pour être amalgamée, on la réduit en farine impalpable dans des moulins (*arrastres*), où on ajoute un peu d'eau. Ces moulins sont ordinairement mûs par des mulets qui font tourner un arbre vertical armé de 4 bras, sur chacun desquels est montée une meule verticale en granit ou autre roche dure, qui se meut dans un bassin également en pierre. Ces moulins sont ordinairement placés sous un hangar, comme l'indique la fig. 111, qui



111

eprésente le grand atelier de préparation mécanique de *Salgado*, près *Guanajuato*, lequel renferme 36 bocards à sec et 42 moulins à eau, sous le même toit, le tout desservi par des mulets. Chacun d'eux peut réduire en 24 heures, en poudre impalpable, 300 kilogr. environ de minerai déjà passé au bocard. On relaie les mulets toutes les 6 heures. Cette opération est considérée comme très importante, car l'amalgamation est



112.

d'autant plus complète, et la perte en mercure d'autant moins considérable, que la pulvérisation a été poussée plus loin. On recueille les boues qui s'échappent des moulins dans des fosses de 1 à 2 mèt. de profondeur, et après les avoir laissées prendre de la consistance au soleil, on les porte à l'aire d'amalgamation ou *patio* (fig. 112), qui est entourée de murs et pavée. A *Zacatecas*, chaque *patio* est rectangulaire, a 150m de long sur 115m de large et peut contenir 24 tas circulaires de minerai, de 15m de diamètre, sur 0m,15 à 0m,20 de hauteur, disposés sur 4 rangées. On réserve habituellement dans un coin de l'aire un petit espace pour traiter une faible quantité de minerai qui permette de déterminer d'avance la proportion de mercure qu'il faut incorporer dans les tas.

A *Zacatecas* on forme d'abord, pour recevoir chaque tas, des compartiments de grandeur convenable entourés de planches, au milieu de chacun desquels on introduit 55 hectol. 1/2 de sel marin impur; on charge par-dessus 600 quintaux métriques de minerai; on mélange le tout ensemble en le remuant d'abord à la pelle, puis en le faisant piétiner par des mules, et le laissant ensuite reposer le reste de la journée. Le lendemain on ajoute le *magistral*, minerai de cuivre grillé, puis finement pulvérisé, renfermant 10 p. 100 de sulfate de cuivre et autant de sulfate de fer, en quantité variable suivant la teneur en argent du minerai et la saison. Ainsi cette quantité est de 22 quintaux 1/2 par tas en été, et seulement de 11 quintaux 1/4 en hiver, pour des minerais renfermant 0,00150 d'argent métallique; lorsque l'opération marche trop rapidement ou qu'il y a trop de magistral, ce qui tend à augmenter la perte en mercure, on y remédie en ajoutant une certaine quantité de chaux. Après l'addition du magistral, on le mélange, en faisant piétiner la masse pendant 5 à 6 heures par 6 mulets. On commence ensuite à ajouter une certaine quantité de mercure, que l'on tamise sur le tas au travers d'une chausse en laine, et que l'on incorpore dans la masse en faisant d'abord piétiner de nouveau celle-ci, puis la retournant avec des pelles en bois, on continue ainsi pendant plusieurs jours à faire piétiner les tas et à les retourner à la pelle, jusqu'à ce que tout le mercure se soit amalgamé; on en ajoute alors une seconde et même quelquefois une troisième charge, en traitant à chaque fois le minerai comme il vient d'être dit. Enfin on ajoute une dernière charge de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mercure pour réunir l'amalgame et les petites gouttelettes de mercure, et après avoir fait piétiner le mélange pendant quelques heures, on retire les terres amalgamées pour les soumettre au lavage. L'amalgamateur se sert pour juger des progrès de l'amalgamation, d'une petite assiette noire, plate et ronde, faite en argile cuite; il met sur cette assiette un peu de pâte qui est en train de s'amalgamer, et tenant l'assiette inclinée et à moitié submergée dans l'eau, il lui imprime un mouvement rotatoire tel que, tous les points du bord de l'assiette sortant successivement l'un après l'autre de l'eau, les autres s'y replongent, et que l'axe de l'assiette subisse une révolution conique, par suite de laquelle il se forme un courant d'eau circulaire qui retient au centre le sable et les parties métalliques, et les y arrange suivant leurs pesanteurs spécifiques : de manière à ce que le sable de la gangue, occupant le milieu, la partie pesante, grenue, métallique ou *liz*, se porte à la circonférence, et l'amalgame en paillettes glisse par-dessus. C'est surtout l'aspect de la *liz* qui indique la marche de l'opération. On ajoute ordinairement 8 parties de mercure pour une en poids d'argent contenu dans le minerai; ainsi à Zacatecas, pour un minerai ayant une teneur argentifère présumée de 0,001625 (ce qui est le cas le plus ordinaire), on ajoutera à chaque tas, qu'on estime renfermer 97k,50 d'argent, la première fois 480k de mercure, la seconde 150k, et enfin la dernière 210k, en tout 840 kilogr. La durée totale de l'amalgamation est de 12 à 15 jours en été, et de 20 à 25 en hiver; c'est moins du tiers du temps employé dans plusieurs autres usines mexicaines, ce qui tient évidemment à ce que l'on donne très peu d'élévation aux tas, et qu'ils offrent ainsi une grande surface à l'action des rayons solaires.

Le lavage des terres amalgamées se fait dans des cuves circulaires en maçonnerie de 2m,50 de profondeur sur 3m de diamètre. Une roue horizontale dentée, montée sur l'arbre d'un manége mû par 4 mules, communique, par l'intermédiaire d'une seconde roue dentée, un mouvement de rotation à un arbre vertical placé au milieu de la cuve, et armé à sa partie inférieure de 4 agitateurs formés chacun par la réunion d'un certain nombre de tiges en bois de 1m,50 de long, parallèles et verticales; il arrive continuellement un petit filet d'eau par la partie supérieure. L'amalgame gagne le fond de la cuve, on laisse écouler de temps en temps les boues dans un second appareil tout à fait semblable, dans lequel on les relave de nouveau, puis on les jette de côté. On peut en 12 heures de travail laver, dans une cuve, un tas entier de minerai amalgamé. L'amalgame liquide ainsi obtenu est pressé dans un sac en peau dont le fond est formé d'une sorte de flanelle très serrée et très forte. Il s'écoule du mercure renfermant encore une petite quantité d'argent, et qui sert à amalgamer de nouveau minerai, tandis qu'il reste dans le sac un amalgame grenu assez solide, que l'on distille pour obtenir l'argent qu'il renferme; à cet effet on le divise en pains de 15k environ chaque, que l'on dispose en cercle au nombre de 11 sur une plaque en fonte ou en forte tôle de fer, percée en son centre d'un trou; on superpose de nouvelles rangées de pains, et enfin on recouvre le tout d'une cloche également en fonte ou en tôle de fer, que l'on lute aussi bien que possible contre la plaque de fond, avec un mélange de cendres, de sel marin, et de boues de lavages; on construit ensuite, tout autour de la cloche et à une distance de 0m,30, un petit mur en briques, et l'on maintient l'intervalle compris entre ce mur et les parois de la cloche continuellement rempli de charbons ardents pendant 20 heures; on laisse alors tomber le feu et on enlève la cloche. Le mercure s'est échappé par un tuyau fixé à l'ouverture de la plaque de fond, et s'est rendu dans un réservoir inférieur en terre cuite rempli d'eau, où il s'est condensé presque en totalité. L'argent qui reste sous la cloche a conservé la forme des pains d'amalgame, et après avoir été pesé, est ordinairement refondu dans des fours à réverbère et coulé en lingots du poids de 70 à 80 kilogr. On emploie depuis peu dans quelques usines, pour distiller l'amalgame, des cornues cylindriques en fonte placées dans un fourneau à galère. La perte en mercure est de 1k,50 par kilogr. d'argent obtenu.

Voici ce qui se passe dans le procédé d'amalgamation tel que nous venons de le décrire : en Amérique l'argent se trouve dans les minerais, partie à l'état natif, partie à l'état de chlorure, partie à l'état de sulfure simple ou multiple. Le magistral que l'on y ajoute réagit sur le sel marin, en donnant du sulfate de soude et du deutochlorure de cuivre, lequel agit comme chlorurant énergique sur le sulfure d'argent, qu'il change en chlorure d'argent, en passant lui-même à l'état de protochlorure; le chlorure d'argent est à son tour réduit par une partie du mercure ajouté, en formant du protochlorure de mercure, et s'amalgame avec l'autre partie; c'est cette formation de protochlorure de mercure, lequel se trouve entraîné par les eaux de lavage, qui forme la presque totalité de la grande perte en mercure que l'on éprouve. Le sel marin sert non seulement à transformer le sulfate de cuivre en deutochlorure, mais encore à dissoudre le chlorure d'argent et à en faciliter ainsi considérablement la réduction par le mercure.

En moyenne, les minerais d'Amérique sont très pauvres et ne renferment guère que 0,00150 à 0,00160 d'argent; leur immense quantité fait seule concevoir la grande production des mines d'argent de l'Amérique. Les principales sont celles de *Pasco, Cerro de Bambon, Chota* et *Huantajaya* (Pérou); de *Zacatecas, Guanajuato, Valenciana* et *Vetagrande*, au Mexique. Pasco produit annuellement de 50 à 75,000 kilogr. d'argent; Huantajaya, 20,000k; Zacatecas, 135,000k; Guanajuato, 85,000k, et Valenciana, 75,000k. On estime que les 5/7 de l'argent produit en Amérique proviennent des ateliers d'amalgamation, et que 2/7 seulement viennent de la fonte des minerais.

Amalgamation saxonne. Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier que l'on a commencé à traiter en Europe, par amalgamation, les minerais d'argent; ici les circonstances sont différentes, le combustible moins cher et la force motrice abondante; aussi le procédé européen devra-t-il différer notablement du procédé américain. Nous allons faire ressortir en peu de mots ces différences, en décrivant l'opération telle que nous l'avons vue exécuter à l'usine d'*Halsbrücke*, près Freiberg, en Saxe, la plus belle en ce genre qui existe en Europe.

La fig. 113 présente une coupe longitudinale de l'atelier d'amalgamation, qui est divisé en 4 compartiments. Le 1er, AB, sert au grillage et à la chloruration des minerais; le 2e, BC, à la pulvérisation et au tamisage du minerai grillé; le 3e, CD, à l'amalgamation proprement dite et au lavage des résidus; et enfin, le dernier, DE, sert à la distillation de l'amalgame. On y distingue :

1° Dans le compartiment AB : *a, a*, magasins de sel; *b, b*, aires pour le mélange des matières; *c, c*, fourneaux de grillage, dont la flamme, après avoir passé sur les soles 23,23, se rend dans les chambres de condensation 45,45, et de là s'échappe par la cheminée *e*.

2° Dans le compartiment BC : *g*, moulins de pulvérisation; *d*, tamis pour le minerai pulvérisé; *f*, roues hydrauliques mettant en activité les moulins de pulvérisation et les tonnes d'amalgamation.

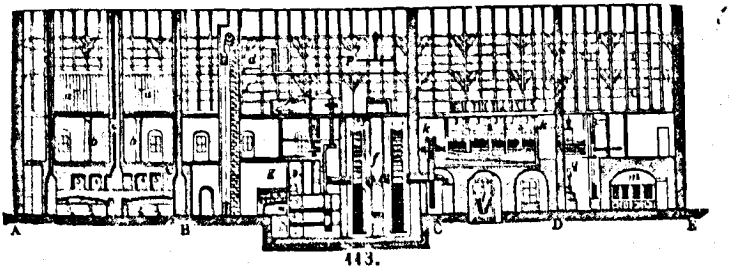
3° Dans le compartiment CD : *k, k*, tonnes d'amalgamation; *l*, cuve qui sert à laver les résidus.

4° Dans le compartiment DE : *m*, fourneaux pour la distillation de l'amalgame; *q*, magasin.

On ne soumet à l'amalgamation que les minerais d'argent qui renferment moins de 7k de plomb et de 1k

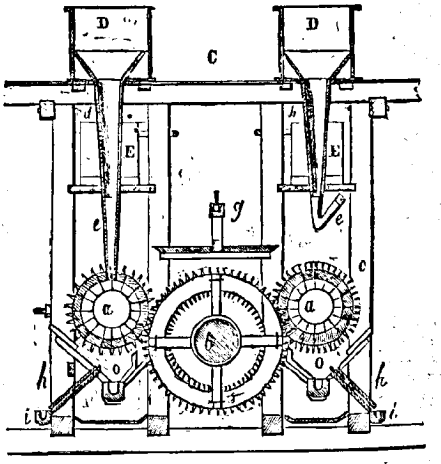
EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cuivre au quintal, parce qu'au-delà le plomb passerait dans l'amalgame et le rendrait très impur, tout en rendant l'opération plus difficile, et que le cuivre serait totalement perdu; on les associe entre eux de manière à ce que le mélange ait une teneur moyenne en argent de 0,00200 à 0,00250. On y ajoute au besoin des pyrites de fer, jusqu'à ce qu'il y en ait en tout 30 p. 100 environ; puis, après l'avoir pulvérisé aussi fin que possible au bocard à sec, on le mêle avec 1/10 de son poids de sel marin, et on le soumet au grillage, dans un fourneau à réverbère dont la sole elliptique a 1m,95 de long sur 2m,50 de large, et dans lequel la hauteur de la voûte, au-dessus du milieu de la sole, est de 0m,46. On charge de 180 à 200k à la fois sur la sole; puis, on élève peu à peu la température jusqu'au rouge sombre, où on la maintient en travaillant très souvent avec un ringard, dans le four, pour renouveler les surfaces et prévenir la fusion des matières. Il se dégage d'abord de la vapeur d'eau, puis d'épaisses et blanches fumées d'acide arsénieux et d'oxyde d'antimoine qui se déposent au-dessus dans les chambres de condensation, après quoi on reconnaît que la pyrite de fer se grille, à la flamme bleuâtre que l'on aperçoit et à la forte odeur d'acide sulfureux qui se dégage. Dès que cette odeur a disparu, on procède à la chloruration en élevant la température au rouge vif, et l'y maintenant jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de chlore, ce qui dure 3/4 d'heure environ; de sorte que l'on passe une charge à peu près toutes les 4 heures. Pendant la première partie de l'opération, ou le grillage, proprement dit, on sépare l'arsenic et l'antimoine, et on transforme les sulfures de fer et de cuivre en sulfate de peroxyde de fer et en deutosulfate de cuivre; ceux-ci, dans la seconde partie, ou chloruration, réagissent à leur tour sur le sel marin (chlorure de sodium), en donnant du sulfate de soude, des protochlorures de fer et de cuivre, et du chlore qui se combine à l'état naissant avec l'argent contenu dans le minerai, et le transforme en chlorure. Enfin, tous les chlorures métalliques, à l'exception du chlorure d'argent, se décomposent eux-mêmes, pendant le dernier coup de feu, en donnant des oxydes et un nouveau dégagement de chlore. Ici c'est surtout le chlorure de fer qui agit comme chlorurant, tandis qu'en Amérique c'est le deutochlorure de cuivre. Il y a à l'usine Halsbrücke 14 fours de grillage, dans chacun desels on traite moyennement par semaine 50 à 60 quintaux métriques de minerai; et les chambres de condensation donnent en tout pendant le même temps de 40 à 50 quintaux métriques de poussières, contenant 0,00125 à 0,00150 d'argent; elles sont retraitées à part comme le minerai cru; on consomme par quintal de minerai cru, soumis au grillage, 0mc,046 de bois cordé pour l'allumage des fourneaux, et 31k,00 de houille. Le service d'un four de grillage exige 2 ouvriers par 24 heures de travail.

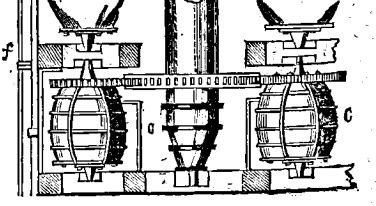


113.

Le minerai grillé est jeté sur une grille inclinée de 45° et ayant 64 ouvertures au décimètre carré; ce qui passe au travers tombe sur un crible, incliné de 6°, de 2m,50 de long et 0m,45 de large, qui reçoit 94 secousses par minute, et qui a 320 ouvertures au décimètre carré à la tête et seulement 192 au bas. On obtient ainsi trois sortes de grosseurs; le *gros* qui reste sur la grille et le crible, le *fin* qui traverse la tête du crible, et le *moyen* qui passe au bas. En résumé, on passe dans chaque crible à secousses par poste de 12h, 31qm 1/2 de minerai grillé, et on obtient moyennement 29qm de fin, 1qm de moyen et 1qm 1/2 de gros. Le gros est concassé avec un marteau à main, puis broyé à part avec le moyen, sous des meules de granit, et grillé de nouveau avec 2 p. 100 de sel marin; seulement cette dernière opération ne dure que 2 heures au lieu de 4. Le fin est broyé à sec entre des meules de granit. Les meules supérieures font de 120 à 140 tours par minute; elles sont rayées comme les meules à farine, et ces rainures qui ont 0m,006 de profondeur, doivent être rafraîchies tous les 3 ou 4 jours. Elles ont primitivement 0m,85 de diamètre sur 0m,56 d'épaisseur, et lorsque celle-ci est réduite à moitié, on s'en sert comme de meules inférieures. On estime qu'il faut une force de 2 à 3 chevaux-vapeur pour chaque moulin. Il y a en tout 10 paires de meules, et chacune d'elles pulvérise par heure de 50 à 70k de



114.



115.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

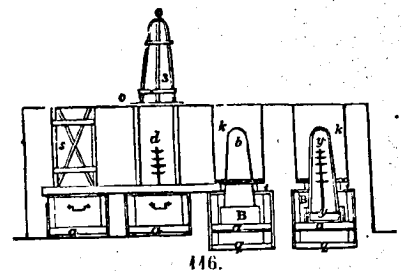
minerai grillé, sur lesquels il reste dans le blutoir 12 à 15 p. 100 de gros, qu'il faut repasser une seconde fois entre les meules. Le service de deux paires de meules exige deux ouvriers par 24 heures de travail.

L'amalgamation se fait dans des tonnes, solidement cerclées en fer, qui ont intérieurement 0m,85 de long et 0m,90 de diamètre au ventre, et qui tournent autour d'axes horizontaux; il y en a 20, disposés sur 4 rangées. Les fig. 414 et 415 donneront une idée de cette disposition; b est l'arbre moteur qui, au moyen d'un système de roues dentées, communique un mouvement de rotation aux tonneaux d'amalgamation a, a. Les bondes c, c, de ces tonnes ont 0m,42 de diamètre, et se ferment hermétiquement à l'aide de bouchons qui sont solidement maintenus dans leur position. C'est le magasin du minerai grillé et moulu, que l'on charge dans les trémies D, D, qui se prolongent par des tuyaux coniques d, d; à l'extrémité de ces tuyaux en sont fixés d'autres e, e, en toile forte et terminés par un bout en tôle, que l'on introduit pendant le chargement dans la bonde, et qu'on relève ensuite, comme l'indique la fig. 414. E, E, sont des caisses renfermant 150 litres d'eau chaque, et munies de tuyaux flexibles à robinets, qui servent à la faire passer au besoin dans les tonnes a, a. Les coussinets des roues dentées, montées sur l'une des extrémités des tonnes d'amalgamation et qui les mettent en mouvement, sont portés sur des coulisses mobiles liées aux tiges f, ce qui permet de les désengrener à volonté. On introduit d'abord dans chaque tonne 150 litres d'eau, 500k de minerai grillé et moulu, et 50k de fer battu en plaquettes, dont les dimensions sont de 1, 2 et 4 centimètres; on ferme les bondes, et on fait tourner lentement les tonnes pendant 1 heure 1/2, de manière à ce qu'elles fassent 14 à 15 tours par minute; pendant ce temps, le chlorure d'argent dissous dans le sel marin est décomposé par les plaquettes de fer, en donnant du chlorure de fer et de l'argent métallique; il est fort important que le grillage ait été poussé assez loin pour décomposer tout le chlorure de cuivre, car sans cela celui-ci serait également réduit par le fer à l'état métallique, et passerait plus tard dans l'amalgame qui serait alors très impur. Au bout d'une heure et demie, on arrête les tonnes et on ajoute dans chacune d'elles 250k de mercure, qu'on y fait arriver par des tuyaux embranchés sur la conduite g, qui communique à un réservoir général gradué, en fonte; puis on les fait tourner de nouveau pendant 19 heures, avec une vitesse de 20 à 22 tours par minute. Toutes les 4 heures on arrête les tonnes pour juger à la main de l'état de l'opération et de la consistance de la pâte. La réaction est facilitée par suite de l'élévation de température que l'on remarque dans le tonneau, et qui est d'autant plus grande que la vitesse de rotation est plus considérable; plus elle est élevée, plus l'appauvrissement des résidus sera complet, mais plus aussi il se perdra, dans les boues de lavage, de mercure très divisé qu'on ne pourra plus réunir; il y a donc un terme moyen à prendre et qui, déterminé par une longue expérience, est celui que nous avons indiqué, lequel correspond à une température de 32° centigr. environ. On regarde alors l'amalgamation comme terminée; on remplit presque entièrement les tonnes d'eau et on les fait tourner pendant 2 heures avec une vitesse de 8 à 9 tours par minute, pour rassembler l'amalgame. On arrête enfin les tonnes et on procède au déchargement: à cet effet, les tampons coniques qui ferment les bondes pendant l'amalgamation sont creux et renferment eux-mêmes un second tampon plein que l'on enlève, et que l'on remplace par un bouchon creux auquel est adapté un tuyau en cuir portant un robinet en fer; puis on renverse la tonne, la bonde en dessous, et on fait tomber l'amalgame le long de la gouttière h dans la rigole i, qui le conduit à un réservoir général. On relève ensuite la tonne pour y ajuster un bouchon creux portant une grille et en la renversant de nouveau, les boues tombent dans le canal o, qui les conduit dans les cuves de lavage, tandis que les morceaux de fer retenus par la grille restent dans la tonne. En tout, chaque opération dure 24 heures. On consomme environ 0k,750 de fer par tonne et par opération, et on en ajoute tous les 15 jours 11k environ.

L'amalgame obtenu est filtré à la main dans un sac de flanelle de forme conique; le mercure qui passe au travers renferme au plus 0,00004 d'argent, et est repassé dans les tonnes d'amalgamation. L'amalgame solide, qui reste dans le sac, renferme, d'après une analyse de M. Kersten :

Mercure	84,2
Argent.	11,0
Cuivre.	3,5
Antimoine, zinc et plomb . .	1,0
Soufre	traces.
	99,7

On le distille sur des assiettes placées sous un appareil à cloche; la fig. 416 représente, dans des positions



416.

différentes, les 4 cloches employées à Halsbrücke pour la distillation de l'amalgame. a, a, a, a, sont des caisses rectangulaires en bois, renfermant des bassins plus petits B, B, ... en fonte, au milieu desquels sont placées des tiges verticales en fer y, ... portées sur trois pieds; on enfile sur chaque tige cinq assiettes qui reçoivent chacune 24k d'amalgame, et on recouvre le tout de cloches en fonte b, ... qu'on soulève à l'aide de poulies; chaque cloche pèse à peu près 90k et a 1m,02 de haut, sur un diamètre intérieur de 0m,35 à l'ouverture, et de 0m,30 à la naissance de la calotte sphérique qui en forme la partie supérieure; elle coûte environ 135f et dure moyennement de 70 à 80 opérations. a ... et B, ... sont remplis d'eau et on fait continuellement arriver un courant d'eau fraîche dans a, a, ... pour faciliter la condensation des vapeurs de mercure dans les bassins B, B, ... Les cloches étant placées, on met sur l'anneau de muraillement 1, des plaques de fonte percées d'un trou circulaire pour le passage des cloches, on lute les jointures en y tassant des cendres et un peu d'argile, on met la porte s formée de briques, soutenues dans un châssis en fer, que l'on lute également; puis dans le manchon k ainsi formé, on jette de la tourbe enflammée et à la fin du charbon de bois. Le feu que l'on fait autour des cloches doit être d'abord très gradué, et ce n'est qu'au bout de 8 heures qu'il atteint son maximum; on le laisse ensuite tomber de lui-même. La conduite du feu est de la plus grande importance et exige la plus grande attention de la part du chauffeur, car si la température n'est pas assez graduée, on court le risque de briser la cloche et en outre de voir une partie de l'argent mécaniquement entraînée par le mercure qui se volatilise, tandis que si elle n'est pas assez élevée, il reste dans l'argent d'assiette une certaine quantité de mercure, qui est complétement perdue lors du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

raffinage. En résumé, chaque opération dure 12 heures et on obtient 20ᵏ environ, d'argent d'assiette (*all. teller silber*) par cloche et par opération. La consommation en combustible est de 0ᵐᶜ,430 de tourbe et 0ᵐᶜ,043 de charbon de bois léger par 100ᵏ d'amalgame soumis à la distillation. L'argent d'assiette ne contient environ que 75 pour 100 d'argent fin. On le fond sans addition dans un creuset de fer découvert et chauffé dans un fourneau à vent; on le coule ensuite en lingots tenant 80 pour 100 d'argent fin. Le peu de scories que l'on obtient est mis de côté et fondu à part à la fin de l'année avec un peu de borax, et donne de l'argent ayant une teneur de 50 à 60 pour 100 d'argent fin.

Les boues d'amalgamation des 20 tonnes se rendent dans 5 cuves à axe vertical ayant 1ᵐ,40 de profondeur, 1ᵐ,54 de diamètre en haut et 1ᵐ,02 au fond, que l'on achève de remplir avec de l'eau, et sur l'une des parois desquelles il existe, à partir du fond, 4 orifices fermés par des robinets et espacés à 0ᵐ,15 environ les uns des autres. Un axe vertical armé de bras destinés à agiter les matières et à effectuer la séparation des dernières parties de l'amalgame, s'y meut avec une vitesse de 12 à 14 tours par minute, pendant 20 à 22 heures; pendant ce temps, on fait écouler les boues, 2 fois par l'orifice supérieur, 2 fois par le second et 1 fois par le troisième, en ayant soin de remplir d'eau les cuves immédiatement après chaque coulée. On ne retire l'amalgame par l'orifice inférieur qu'une fois par semaine; il est très impur et après avoir été fondu il donne un alliage qui ne renferme que 25 à 65 pour 100 d'argent fin. On pourrait raffiner cet argent en le fondant avec un peu de nitre et de borax, mais on préfère l'envoyer tel quel à l'hôtel des Monnaies, où on l'allie à l'argent fin, qui provient de la coupellation des plombs d'œuvre. La quantité de résidus que l'on rejette en définitive s'élève à 80 pour 100 de celle du minerai cru, et leur teneur varie de 0,00008 à 0,00016 d'argent fin. On clarifie par dépôt les eaux de lavage des tonnes d'amalgamation, puis on les concentre dans des chaudières en plomb et on fait cristalliser; on obtient ainsi une certaine quantité de sulfate de soude impur, que l'on purifie par une seconde cristallisation. On précipite ensuite les eaux mères, qui refusent de cristalliser, par du lait de chaux. Le produit que l'on obtient, et qui porte le nom de *dünge salz*, est employé dans le pays avec beaucoup d'avantage pour l'amendement et l'engrais des terres; il se compose d'après M. Lampadius, de :

Gypse hydraté.	68,7
Sel marin.	7,4
Carbonate de potasse. . .	5,3
Hydrates de manganèse et de fer.	12,9
Argile, sable et perte. . . .	5,7
	100,0

La perte totale en argent varie de 5 à 9 p. 100 de la quantité contenue dans le minerai; celle en mercure est de 25ᵏ par 100ᵏ d'argent obtenu, qui, d'après une moyenne de 20 années se compose de :

Perte en mercure qui reste dans les résidus d'amalgamation.	21ᵏ,78
Perte dans la distillation de l'amalgame. .	2ᵏ,77
Perte venant de la fêlure ou du bris des cloches de distillation.	0ᵏ,45
	25ᵏ,00

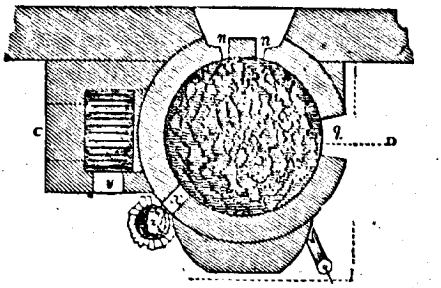
Cette faible consommation comparée à celle de l'amalgamation américaine, tient à ce que, dans ce dernier cas le chlorure d'argent est réduit par le mercure, et que le chlorure de mercure qui se forme passe en entier dans les résidus, tandis qu'en Saxe, cette réduction est opérée par le fer.

Traitement des minerais d'argent par fusion. A Kongsberg en Norwége, on trouve de l'argent natif qui contient 70 à 80 p. 100 d'argent fin, ou le fond avec son poids, environ de plomb, et on obtient un alliage renfermant 30 à 35 p. 100 d'argent fin que l'on sépare par coupellation.

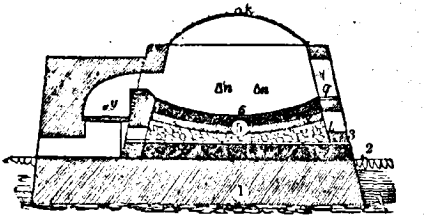
2° MINERAIS DE PLOMB ET ARGENT. Sont traités comme minerais de plomb (voyez PLOMB); on sépare ensuite par la coupellation l'argent du *plomb d'œuvre*, ou plomb argentifère obtenu.

Les fig. 117, 118, 119 et 120 donnent les détails du fourneau de coupelle habituellement employé au Harz :

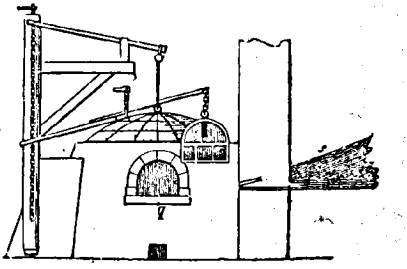
117.



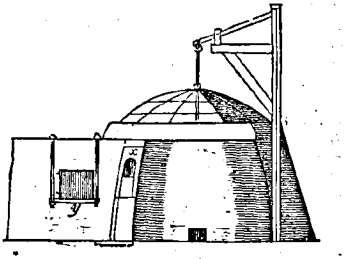
118.



119.



120.



Les fig. 119 et 120 sont des élévations verticales suivant deux directions rectangulaires, indiquées sur le plan fig. 117 par des lignes ponctuées, et la fig. 118 est une coupe longitudinale suivant la ligne *c d* fig. 117 : 1, Fondations du fourneau; 2, ca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARGENT.

naux pour le dégagement de l'humidité, recouverts par une assise de briques 3, sur lesquelles on tasse fortement des scories 4, de la fonte au plomb; par-dessus est un lit de briques réfractaires 5, sur lequel repose la sole de $0^m,25$ à $0^m,30$ d'épaisseur, formée d'un mélange bien damé, de 4 parties en volume de cendres de bois lavées pour un de chaux; *k* chapeau en tôle intérieurement recouvert d'un enduit d'argile réfractaire, et maintenu par un châssis en fer qui se manœuvre à l'aide d'une potence; *n*, *n*, tuyères alimentées par 2 soufflets pyramidaux en bois *s*, *s*, et munies à leur embouchure, de *papillons*, pour rabattre le vent; *q*, porte pour charger le plomb d'œuvre sur la sole; *y*, porte de déchargement de la grille; *x*, voie des litharges par laquelle elles tombent dans le bassin de réception; la sole a $2^m,00$ de diamètre, $0^m,15$ à $0^m,20$ de flèche, et sa distance au chapeau, à la clef, varie de $0^m,80$ à $1^m,00$. La coupelle ayant été battue, ce qui demande 2 heures et demie de travail, on charge en rond sur la sole 4000 à 4500 k. de plomb, on met le chapeau et on allume le feu sur la grille avec des fagots, en l'augmentant peu à peu; après 3 heures, le plomb est entièrement fondu, et recouvert par une couche de matières qui s'y trouvaient mélangées, qui portent le nom d'*abzugs* et que l'on retire avec un râble; on commence à donner le vent, et le bain continue à se recouvrir de poussières grises qui portent le nom d'*abstrichs*, et que l'on enlève de demi-heure en demi-heure; l'ouvrier facilite leur séparation en enfonçant de temps en temps dans le bain, par la porte latérale, une bûche de bois vert, et l'y agitant en tous sens. Bientôt, à mesure que la température s'élève et que les crasses qui se forment à la surface du bain renferment une plus grande proportion d'oxyde de plomb, elles se fondent et s'écoulent par la voie des litharges que l'on a soin d'approfondir au fur et à mesure qu'il en est besoin. Les premières litharges sont encore très-impures et sont dites *litharges noires;* peu à peu elles prennent une couleur jaune ou rouge, ce sont les litharges marchandes. Lorsqu'on les laisse couler en un filet mince que l'on enlève à mesure qu'il se solidifie, on n'obtient guère que des litharges jaunes, tandis que lorsqu'on leur permet de s'écouler sur une large surface et qu'on les laisse refroidir lentement et en grandes masses, on obtient beaucoup de litharges rouges qui ont une valeur commerciale beaucoup plus élevée que les litharges jaunes; dans quelques usines, on transforme ces dernières en litharges rouges, avant de les livrer au commerce, par un traitement ultérieur qui consiste à les pulvériser et à les exposer ensuite au contact de l'air, pendant un certain temps, en couches de quelques centimètres d'épaisseur, sur des plaques de tôle ou de fonte chauffées en dessous au rouge sombre. A la fin de la coupellation, on augmente le feu qui, jusqu'alors, a toujours été maintenu à un point tel, que les litharges soient bien fluides et lorsqu'il ne reste plus que 150 à 200 kil. de plomb dans la coupelle; on met de côté les litharges que l'on obtient et qui sont des *litharges riches*. Il va sans dire que les tuyères, d'abord horizontales, doivent être inclinées à mesure que l'opération avance, de manière à ce que le vent rase toujours la surface du bain. Après 20 heures environ, le phénomène de l'éclair se produit, les pellicules irisées d'oxyde de plomb qui tournoyaient avec une extrême rapidité sur la surface du gâteau d'argent, disparaissent subitement; on arrête aussitôt le vent, on bouche l'ouverture *x* avec une brique et on verse avec précaution de l'eau sur le gâteau d'argent pour le refroidir. On obtient par charge de 40 à 45^{qm} de plomb d'œuvre.

Argent de coupelle au titre de 0,928.	6 à 7 k.
Litharges marchandes, jaunes et rouges, renfermant 0,00007 d'argent . . .	25 à 30^{qm}
Litharges riches	1 à 3^{qm}
Abzugs, abstrichs et litharges noires .	2 à 4^{qm}
Fonds de coupelle	11 à 15^{qm}

Les abzugs, abstrichs, litharges riches et fonds de coupelle, sont repassés dans la fonte au plomb, et donnent de nouveau du plomb d'œuvre; les litharges marchandes sont ordinairement vendues à cet état, et les litharges noires sont seules revivifiées en les fondant dans un fourneau à manche avec du charbon de bois.

Le plomb ainsi obtenu, est aigre et cassant, renferme beaucoup d'antimoine et est vendu, soit aux fabricants de plomb de chasse, soit à ceux de caractères d'imprimerie. On perd de 4 à 8 p. 100 de plomb dans la coupellation. On raffine l'argent de coupelle par une seconde coupellation faite sur une échelle plus petite.

Au lieu de charger sur la sole tout le plomb d'œuvre en une seule fois, comme nous venons de le voir, on n'en charge dans beaucoup d'usines qu'une partie, et on ajoute graduellement le reste par *filage* dans la suite de l'opération; ce procédé offre l'avantage de pouvoir, dans un fourneau de dimensions données, et dans une seule opération, coupeller une quantité de plomb bien plus considérable; mais lorsque l'on trouve à se débarrasser plus avantageusement des litharges marchandes, que du plomb qu'elles renferment, ce qui est le cas général, il faut, pour opérer par filage, que le plomb d'œuvre que l'on traite ne renferme à l'exception de l'argent que des traces de métaux étrangers, et ne fournisse par suite, qu'une petite quantité d'abstrichs qui en quantité notable altéreraient infailliblement la pureté des litharges marchandes.

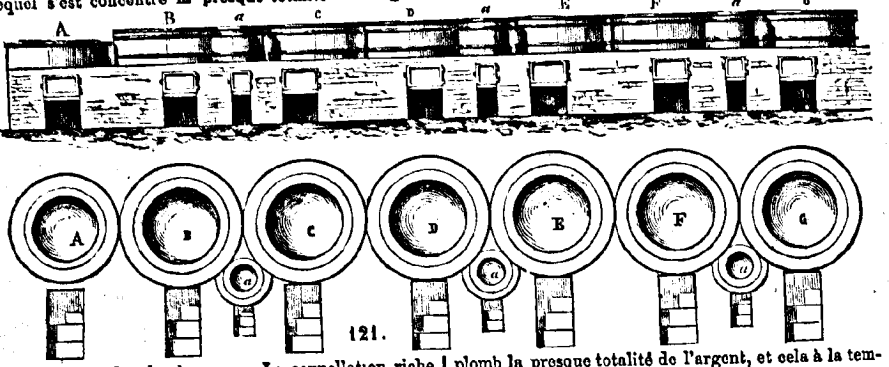
Dans d'autres usines, où l'on opère sur des plombs très-pauvres, on ne pousse la coupellation que jusqu'à ce que les 9/10 environ du plomb soient passés dans les litharges; on obtient ainsi un plomb d'œuvre riche, dans lequel tout l'argent s'est concentré; on le met de côté, et lorsqu'on en a une quantité suffisante, on le coupelle comme à l'ordinaire.

C'est ainsi qu'on opère à *Alston-Moor* (Angleterre); on y emploie des fourneaux à réverbère pour la coupellation. La coupelle est formée à l'aide d'un cadre que l'on remplit de couches successives de cendres d'os et de cendres de fougère, en poussière très-fine, qui, en raison de la forte proportion de potasse que celle-ci renferme, a la propriété de vitrifier la poudre d'os, de faire disparaître sa friabilité. Un petit fourneau en briques est accolé à celui de coupelle; il porte une chaudière, dans laquelle on fait fondre le plomb que l'on file dans le fourneau à réverbère. On ne coupelle que les plombs obtenus au *fourneau écossais* (voir PLOMB), et que l'on regarde comme riches lorsqu'ils contiennent 0,00026 d'argent fin. Le fourneau de coupelle étant préparé et la coupelle placée, on allume le feu, qui doit être poussé, dans les premiers moments, avec beaucoup de ménagement pour sécher la coupelle sans la faire éclater, comme cela arriverait infailliblement si une chaleur brusque faisait évaporer trop vite l'eau qu'elle contient. Lorsqu'on l'a peu à peu séchée complétement et amenée à la chaleur du rouge naissant, on la remplit presque entièrement de plomb qu'on a fait fondre d'avance dans une chaudière de fer; elle peut en recevoir environ 250 kil. A la température à laquelle on introduit le plomb, il se couvre tout de suite d'une pellicule grise d'oxyde; mais quand la température du fourneau a été peu à peu élevée jusqu'au degré convenable, il devient d'un rouge blanchâtre et toute sa surface est recouverte de litharge; on met alors en jeu la machine soufflante, dont le vent dirigé dans le sens du grand axe de la coupelle, fait passer la litharge par l'issue qui lui a été préparée, et par laquelle elle tombe sur une plaque de fonte de niveau avec le sol de l'atelier, et s'y prend en larmes. Dans cet état, on l'enlève pour la porter au fourneau de réduction et la revivifier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARGENT.

Comme par l'effet de l'oxydation continuelle, qu'elle subit, la surface du plomb s'abaisse nécessairement au-dessous ou au niveau de la voie des litharges, on ajoute de nouveau du plomb fondu que l'on prend avec une cuillère, dans la chaudière ci-dessus mentionnée, aussi souvent que le besoin s'en fait sentir; on continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait introduit dans la coupelle 4300 kil. de plomb pauvre, ce qui dure de 16 à 20 heures; et on obtient 55 kil. de plomb riche dans lequel s'est concentré la presque totalité de l'argent



121.

contenu dans le plomb pauvre. La coupellation riche s'exécute dans le même fourneau, et d'une manière analogue, seulement on passe par opération 2500 kil. de plomb riche, et la coupelle présente alors à son fond une dépression, propre à recevoir à la fin de l'opération le gâteau d'argent, de manière à ce qu'une portion du fond reste à découvert, et qu'on puisse y pousser avec un petit râble les scories qu'on arrache des bords du gâteau d'argent. En résumé, trois hommes peuvent en une seule semaine passer à la coupelle 258 quintaux métriques de plomb, et la quantité de houille consommée est d'environ 15 kil. par 100 kil. de plomb soumis à la coupellation.

La litharge obtenue aux environs d'Alston-Moor par le raffinage du plomb, se vend rarement en nature, et est presque toujours revivifiée dans un fourneau à réverbère, dont la sole a 1m,90 de longueur; à cet effet on place d'abord sur la sole un lit de houille de 5 à 6 centimètres d'épaisseur; elle s'embrase bientôt et se réduit en fraisil rouge de feu; on charge alors la litharge en fragments assez gros mélangés d'une certaine quantité de menue houille, et l'on répand ce mélange sur toute l'étendue de la sole; on conduit le feu de manière à maintenir le fourneau au rouge sombre, de sorte que la litharge ne fonde pas, et que le plomb réduit se sépare par liquation. Dans ce fourneau on peut revivifier en neuf ou dix heures 6,300 kil. de plomb. On fond au coke et au fourneau à manche les fumées, les fonds de coupelle et les crasses du fourneau de réduction.

Affinage par cristallisation. Les plombs très-pauvres ne peuvent pas, le plus souvent, être coupellés avec profit, parce que l'argent que l'on en retire ne suffit pas pour couvrir les frais de cette opération; les plombs du Derbyshire (Angleterre), par exemple, sont dans ce cas. Le problème à résoudre consistait donc à trouver un procédé qui permit de concentrer à peu de frais dans une faible quantité de plomb, la presque totalité de l'argent contenu dans une grande quantité de plomb très-pauvre. Ce procédé a été trouvé il y a peu d'années, par M. Pattinson, et il est actuellement appliqué avec succès sur une grande échelle. Il permet d'extraire une quantité d'argent considérable des plombs trop pauvres pour être coupellés directement avec avantage et qui par suite était autrefois perdue.

Le procédé de M. Pattinson, aussi simple qu'ingénieux, et qui porte le nom d'*affinage par cristallisation*, est fondé sur ce principe que dans un bain de plomb argentifère, il se forme par le refroidissement et l'agitation de petits cristaux de plomb qui se réunissent au fond du bain; d'abord ils contiennent peu ou pas d'argent, puis ils deviennent de plus en plus riches; en enlevant toute la première portion de plomb extrêmement pauvre en argent qui se sépare d'abord, on peut donc ainsi concentrer dans une petite quantité de plomb la presque totalité de l'argent, et cela à la température du plomb fondant.

L'atelier d'affinage renferme au moins quatre chaudières de fonte comme celle indiquée fig. 122 (et le plus

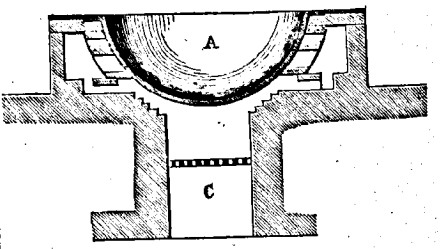


Fig. 122.

souvent 6 ou 8, comme le montre la fig. 121); elles ont 1 mètre de large à l'ouverture et 0m,65 de profondeur; une cinquième plus petite sert à refondre le plomb raffiné et à le couler en saumons; deux autres plus petites servent à chauffer les écumoires dont on se sert pendant l'opération, lesquelles ont 0m,45 de diamètre, 0m,15 de profondeur, et sont percées de trous de 0m,1 de large; il y a par chaudière 1 ouvrier travaillant 9 heures de suite. On commence par charger dans la chaudière n° 1, 4060 kil. de plomb pauvre ayant au plus une teneur de 0,00026, et dès qu'ils sont fondus, on enlève le feu que l'on porte sous la chaudière n° 2, et le plus souvent on verse de l'eau sur la surface pour activer le refroidissement, puis à l'aide de l'écumoire dont nous avons parlé, et qui a été préalablement chauffée dans la petite chaudière la plus voisine, on pêche les cristaux à mesure qu'ils se forment dans la chaudière n° 1, et après les avoir laissé égoutter quelques secondes, on les jette dans la chaudière n° 2; on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait enlevé les trois quarts, ou 3045 kil. du plomb; on jette ensuite à terre 508 kil., ou la moitié du dernier quart, à mesure que l'on l'enlève; enfin on coule en lingots ou dans une chaudière située à gauche, les 507 k., ou le dernier 1/8 qui reste dans la chaudière n° 1, on y remet le plomb que l'on a jeté à terre, et l'on achèv

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PLOMB D'OEUVRE soumis à une cristallisation.		PLOMB RICHE.		PLOMB moyennement riche à repasser avec le plomb d'œuvre.	PLOMB PAUVRE.		RAPPORT entre la teneur du plomb riche et celle du plomb pauvre.
Poids.	Teneur en argent.	Poids.	Teneur en argent.	Poids.	Poids.	Teneur en argent	
1000	0,001606	136	0,003800	125	739	0,001200	3,17
1000	0,001230	136	0,003203	125	739	0,000862	3,70
1000	0,000862	162	0,002150	125	713	0,000568	3,78
1000	0,000598	169	0,001606	125	706	0,000357	4,49
1000	0,000568	169	0,001454	135	696	0,000341	4,26
1000	0,000341	234	0,000814	125	641	0,000170	4,80
1000	0,000234	250	0,000598	125	625	0,000088	6,79
1000	0,000088	259	0,000218	125	646	0,000033	6,64
1000	0,000030	100	0,000130	125	650	0,000020	6,50

le chargement avec des saumons de plomb de la même richesse que ceux traités précédemment. Pendant que cette masse fond, on répète dans la chaudière n° 2 le travail qui vient d'être exécuté dans la chaudière n° 1. On sépare environ les 3/4 de la masse métallique à l'état de cristaux que l'on rejette dans la chaudière n° 3, 1/8 à l'état de cristaux que l'on jette à terre après avoir versé le 1/8 restant au fond de la chaudière n° 2, non pas dans des lingotières mais dans la chaudière n° 1. Il en est de même pour les chaudières nos 3 et 4; le plomb pauvre retiré de cette dernière, que l'on verse au n° 5, y est fondu, puis coulé en saumons. Le tableau ci-dessus, dû à M. Sentis, donnera une idée des résultats obtenus dans chaque cristallisation, pour des plombs de teneur différente soumis à ce traitement.

On voit donc que la concentration de l'argent par ce procédé se fait d'une manière d'autant plus complète, que le plomb d'œuvre sur lequel on opère est plus pauvre, aussi s'applique-t-il parfaitement aux plombs d'Angleterre et d'Espagne, qui sont dans ce cas ; mais pour des plombs riches, il ne serait point applicable; on ne peut non plus l'employer pour des plombs pauvres et impurs, parce que dans la coupellation, on a l'avantage de séparer les impuretés dans les abstrichs, de sorte que l'on obtient ensuite des litharges marchandes, qui, vendues à cet état, ont une grande valeur, ou qui, revivifiées, donnent un plomb de qualité supérieure.

Nous terminerons en donnant les résultats économiques de ce mode de traitement dans l'une des usines des environs de Newcastle. 1000kil de plomb argentifère ayant une teneur de 0,000130, soit en tout 13k,0000, ont donné, après trois cristallisations successives :

814kil,15 de plomb pauvre, ayant une teneur de 0,000012 d'argent, soit en tout. . 0k,96
28,57 de plomb ayant à peu près la teneur primitive 0,000130, soit en tout. . 0k,37
155,43 de plomb riche à coupeller, ayant une teneur de 0,000752, soit en tout. 11k,66
1,85 de perte due principalement à la refonte des écumes du bain. . . 0k,04
1000kil,00 13k,00

1° AFFINAGE PAR CRISTALLISATION DES 1000kil DE PLOMB CI-DESSUS.

Main d'œuvr. 100 journ. à 3f,80 l'une. 380f,00
Combustible. 116kil,30 de houille à 0f,47 le quintal métrique. . . 54f,66
Droit de patente. 0f,36 par quintal métrique de plomb pauvre. . 293f,10
Perte de 1kil,85 de plomb, à 59f,20 le quintal métrique. . . . 109f,52
Total. . . 837f,28 = 837f,28

2° COUPELLATION DES 155kil,43 DE PLOMB RICHE OBTENU.

Main d'œuvre. 0f,41 par quintal métr. 63f,73
Combustible. 0kil,20 par 1kil de plomb à coupeller, à 0f,47 le quintal métrique de houille. . 11f,64
Matériaux de coupelle et frais divers. 0f,20 par quintal métrique de plomb à coupeller. 31f,08
Perte en plomb. 1/14 du plomb coupellé, à 59f,20 le quintal métrique. 657f,25
Total. . . 766f,67 = 766f,67

Total général des frais par le procédé de cristallisation. 1603f,95

Le traitement des 1000kil de plomb argentifère par la coupellation directe, aurait donné lieu aux frais suivants :

COUPELLATION DIRECTE.

Main d'œuvre 0f,41 par quintal métrique. . 410f,00
Combustible. 0kil,20 par 1kil de plomb à coupeller à 0f,47 le quintal métrique de houille. 94f,00
Matériaux de coupelle et frais divers. 0f,20 par quintal métrique. 200f,00
Perte en plomb. 1/14 du plomb coupellé, à 59f,20 le quintal métrique. 4228f,57
Total. 4932f,57

La perte en argent est à peu près la même dans les deux procédés, et on peut compter pour couvrir les frais ci-dessus :

1° *Dans le nouveau procédé.*

11k1/2 d'argent de coupelle à 200 fr. le kilogr. 2300f,00
Excédant de valeur donné par la coupellation aux 144kil,33 de plomb obtenu à raison de 1f,24 par quintal métrique. 178f,97
2478f,97

2° *Dans l'ancien procédé.*

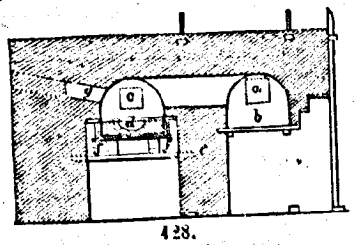
11k1/2 d'argent de coupelle à 200 fr. le kilogr. 2300f,00
Excédant de valeur donné par la coupellation aux 928kil,57 de plomb obtenu à raison de 1f,24 par quintal métrique. . . . 1141f,43
D'où il résulte: 3441f,43

Nouveau procédé. { Produit brut. . 2478f,97 ; Frais, . . 1603f,95 ; Bénéfice. . . 875f,02 }

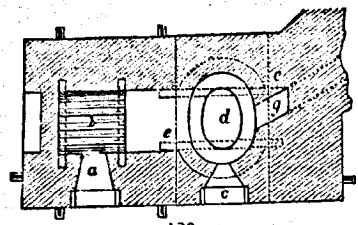
Ancien procédé. { Produit brut. . 3441f,43 ; Frais. . . . 4932f,57 ; Perte. . . . 1491f,14 }

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Raffinage de l'argent de coupelle. L'argent de coupelle contient encore de 0,015 à 0,120 de plomb, cuivre, etc.; on le purifie par une coupellation en petit. Nous ne pouvons mieux faire que de donner ici le fourneau de raffinage employé à *Friedrichshütte* (Haute-Silésie), et qui est représenté en coupe et en plan, fig. 128 et 129 : *a*,



128.



129.

porte de la chauffe; *b*, grille; *c*, porte pour charger l'argent dans la coupelle; *d*, coupelle elliptique en cendres d'os dont le grand axe a 0m,42, et le petit 0m,26, elle est battue dans un cadre en fonte porté sur les briques *f*, *f*, qui reposent sur les 2 barres de fer *e*, *e*; *g*, rampant qui conduit à une cheminée de 6 mèt. de hauteur. On charge 50 à 60 kilogr. d'argent à la fois; en résumé, 100 kil. d'argent de coupelle donnent 94k,057 d'argent fin, avec une consommation de 457 kilogr. de houille et 47 kilogr. de cendres d'os. La petite quantité de fonds de coupelle que l'on obtient est refondue avec les litharges riches, et donne du plomb d'œuvre.

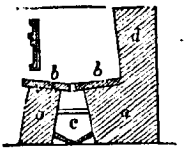
3e MINERAIS DE CUIVRE ET ARGENT. Ordinairement on fond ces minerais pour *cuivre noir* (voir CUIVRE), et lorsque ce cuivre noir a une teneur argentifère égale ou supérieure à 0,00300, il est assez riche pour être soumis avec profit à la *liquation* (*all.* saigern). A cet effet, on fond avec une certaine quantité de plomb pauvre, et on coule l'alliage en pains; on soumet ensuite ces pains à une chaleur très graduée, alors le plomb se fond et se sépare par liquation du cuivre, en entraînant avec lui la plus grande partie de l'argent qui a plus d'affinité pour ce métal que pour le cuivre. L'expérience a montré que, sous le rapport de la perte en cuivre et en plomb, la proportion la plus convenable à observer, entre les quantités de plomb et de cuivre qui forment les pains de liquation, était celle de 11 : 3, et que, pour obtenir une désargentation suffisamment complète, il fallait employer au moins 480 parties de plomb pour une partie d'argent contenue dans le cuivre noir; ces données suffisent pour se diriger d'une manière précise dans chaque cas particulier. Lorsque le cuivre noir est faiblement argentifère, le plomb pauvre, qui a servi à une première liquation, ne s'est pas suffisamment enrichi pour supporter avec bénéfice les frais de coupellation; on s'en sert alors de nouveau pour désargenter une nouvelle quantité de cuivre noir; par ce moyen on double à peu près la teneur argentifère, et c'est alors seulement qu'on le soumet à la coupellation. Enfin, lorsque le cuivre noir est très riche, on commence par lui faire subir une première liquation avec du plomb d'œuvre, obtenu comme nous le verrons ci-après; on obtient ainsi du

plomb d'œuvre riche à coupeller, et du cuivre noir moyennement riche; on soumet alors ce cuivre noir à une seconde liquation avec du plomb pauvre, ce qui donne des résidus cuivreux pauvres, traités pour cuivre rosette, et du plomb d'œuvre moyennement riche qui est repassé dans la liquation riche.

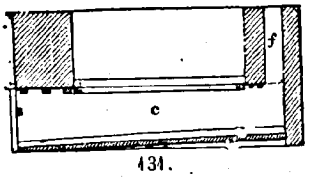
Cela posé, il nous suffira de décrire cette opération en détail dans un cas particulier, et nous prendrons celui des cuivres noirs argentifères du *Mansfeld* (Allemagne), qui sont traités à l'usine de liquation de *Hettstædt*. La teneur en argent des cuivres noirs est moyennement de 0,00520, le plomb et le combustible y sont très chers.

La fonte des *pains de liquation* (*all.* frischstücke) se fait dans un fourneau à manche ordinaire, et est conduite avec beaucoup de rapidité. La campagne ne dure que 30 heures; pendant ce temps on fond 200 pains, pesant environ 175k l'un, et ayant environ 0m,65 de diamètre sur 0m,08 d'épaisseur; on refroidit brusquement ces pains en projetant dessus de l'eau froide, pour empêcher autant que possible qu'une liquation partielle ne s'effectue dans la masse. Pour 1,000 kilogr. de cuivre noir, on ajoute 4,400 kilogr. de plomb pauvre, et on consomme environ 2 stères de charbon de bois.

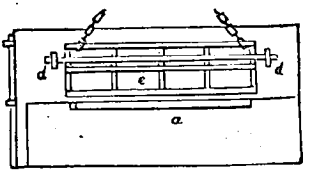
La liquation des pains obtenus, comme il vient d'être dit, se fait sur une *aire de liquation* représentée fig. 130, 131 et 132 : *a*, *a*, sont des murs sur lesquels reposent deux plaques en fonte *b*, *b*, de 0m,08 d'épaisseur sur 0m,48 de large, et 1m,20 à 1m,60 de long; ces plaques laissent entre elles un intervalle de 0m,04, et sont inclinées de 1/6 l'une vers l'autre, de manière à présenter un angle obtus; un mur *d* qui a une hauteur de 0m,65, et une porte mobile *e*, en briques, encadrée dans un châssis en fer, forment tout autour des plaques *b*, *b*, une sorte de fourneau rectangulaire; cette porte sert à charger sur les plaques, verticalement et dans le sens de leur largeur, 6 à 8 pains de liquation, que l'on espace de 0m,10 environ, en remplissant l'intervalle que l'on laisse entre eux avec du charbon de bois. On allume ensuite, entre les deux murs, un feu de bois; le charbon s'enflamme, et bientôt le plomb coule de toutes parts dans la rigole brasquée *c*, située entre les deux murs, pour se rendre de là dans le bassin de réception pratiqué au-devant de l'aire sur le sol de l'usine. On puise ce plomb, et on le verse dans des moules pour le coupeller ensuite, ou bien, s'il est trop pauvre, on le met de côté pour le faire passer dans une liquation riche. Sur l'aire restent les pains déformés appelés *carcas*. L'habileté de l'ouvrier consiste à régler bien également le feu, de manière à ce que les pains s'affaissent régulièrement, et à le graduer progressivement, de telle sorte qu'au commencement la température soit peu élevée, afin que le plomb qui se sépare ne contienne que très peu de cuivre, et que l'alliage ne



130.



131.



132.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fonde pas en masse, puis de l'élever successivement à mesure que l'opération avance; lorsque celle-ci est bien conduite, tout le plomb qui se sépare pendant la liquation, a une teneur uniforme en cuivre qui est comprise entre 2 et 3 p. 100. Un ouvrier peut surveiller deux aires de liquation, et chaque opération dure 4 à 5 heures. Pour liquater 100 pains on consomme 19^{m} de charbon de bois.

Les *carcas* (*all.* kiehnstœcke) renferment encore 25 p. 100 de plomb; on les soumet pour s'en débarrasser à une nouvelle liquation, qui porte le nom de *ressuage* (*all.* darren). A cet effet on accumule les carcas en quantité de 5 à 10 mille kilogr., dans une chambre voûtée, sur une série de petits murs parallèles, entre lesquels on entretient un feu de bois. Le fond de la chambre voûtée est pourvu d'un certain nombre de trous de tirage en communication avec une cheminée. Sur le devant, le four est fermé par une porte en tôle de fer garnie d'argile; à la base seulement on conserve une ouverture pour le passage de l'air et l'introduction du combustible. On chauffe au rouge pendant 14 à 15 heures; le plomb coule et s'oxyde en grande partie; il tombe dans les galeries au milieu du combustible, et de là, comme elles sont en pente, le plomb et son oxyde, tous les deux, plus ou moins chargés de cuivre, se rendent dans un bassin plein d'eau, placé dans le sol de l'usine au-devant du fourneau. On cesse le feu lorsque ces crasses ou scories oxydées prennent une forte teinte rouge, couleur qui dénote la présence du cuivre. On retire les résidus dits *carcas torréfiés* (*all.* darrlinge) tandis qu'ils sont encore rouges, et on les jette dans de l'eau pour séparer à l'état *d'écailles* (*all.* pickschiefer) la croûte oxydée qui les recouvre, et que l'on achève d'enlever à l'aide d'un marteau pointu. 100 kilogr. de carcas donnent ordinairement 60 à 80 kilogr. de carcas torréfiés, et 25 à 40 kilogr. de crasses et débris oxydés.

Les *carcas torréfiés* sont affinés pour cuivre rosette; ils renferment encore 10 p. 100 de plomb, et donnent de 70 à 75 p. 100 de cuivre rosette.

Les crasses, débris et scories de toutes les opérations précédentes, sont fondus dans un demi-haut fourneau avec les litharges et les fonds de coupelle provenant de la coupellation de plomb d'œuvre obtenu dans la liquation; le produit est du plomb cuivreux que l'on coule en pains dans un bassin en fonte; ces pains dits *nains de liquation des crasses* subissent à leur tour toute la série des opérations que nous venons de décrire. Seulement le plomb, provenant de cette nouvelle liquation, est pauvre en argent, et on l'enrichit en s'en servant pour la liquation du cuivre noir avant de le passer à la coupellation. *Les carcas torréfiés des crasses* sont trop impurs pour être affinés seuls, on les ajoute par petites portions aux premiers carcas.

Dans cette série d'opérations, on perd 10 à 12 p. 100 du plomb employé, c'est-à-dire 40 à 50 p. 100 du poids du cuivre noir, ou au moins 60 à 80 kilogr. par chaque kilogr. d'argent de coupelle obtenu. La perte en argent dépasse ordinairement 25 p. 100, en regardant comme perdu l'argent qui reste dans le cuivre. La perte en cuivre est de 5 à 6 p. 100. Les carcas sont très difficiles à affiner et ne donnent jamais de cuivre de première qualité. Ces résultats montrent combien cette méthode est imparfaite; aussi préfère-t-on aujourd'hui, dans les grands centres métallurgiques, séparer l'argent du cuivre, soit par l'amalgamation des mattes, soit par celle du cuivre noir. Ces opérations s'effectuent d'une manière analogue à l'amalgamation saxonne, que nous avons décrite plus haut, de sorte que nous n'aurons qu'à indiquer brièvement les circonstances particulières, résultant de la nature même des matières soumises à l'amalgamation.

L'amalgamation du cuivre noir argentifère est pratiquée à *Schmœlnitz* (Hongrie); la teneur du cuivre est de 0,00400; la principale difficulté à vaincre est la pulvérisation du cuivre noir; pour y parvenir, on le chauffe au rouge sur la sole d'un fourneau à réverbère, et on le porte à cette température sous les pilons d'un bocard; la matière bocardée passe au crible; le fin est réduit en farine sous des meules en fonte, le gros est réchauffé et repassé au bocard. La réduction du chlorure d'argent se fait par des balles de cuivre afin de ne pas précipiter le cuivre du chlorure et rendre ainsi l'amalgame impur, mais alors la perte en mercure est considérable; dans certains cas il pourrait y avoir avantage à saturer la liqueur par de la chaux, et à remplacer les balles de cuivre par du fer, ce qui diminuerait la perte en mercure. Les résidus d'amalgamation sont refondus pour cuivre noir, leur teneur ne dépasse pas 0,00008, et la perte en argent n'est que de 5 p. 100; la perte en mercure est de 2^{k},5 par 1,000 kilogr. de cuivre noir, ou de 0,30 à 0,35 du poids de l'argent. Les frais d'amalgamation ne s'élèvent qu'au quart de ceux de liquation, et le cuivre venant de la fonte des résidus est de qualité supérieure.

L'amalgamation des mattes de cuivre argentifères est employée au *Mansfeld*. La matte de cuivre que l'on y amalgame contient environ 50 p. 100 de cuivre et 0,00250 d'argent. Après avoir pulvérisé la matte on la soumet, dans un four à réverbère, à un grillage préparatoire pour chasser l'excès de soufre; on la réduit ensuite en bouillie avec une dissolution étendue de sel marin et 12 p. 100 de chaux éteinte, qui sert à saturer l'acide sulfurique; on fait sécher la pâte obtenue, on la moud, puis on la grille une seconde fois; c'est la chloruration proprement dite. La réduction du chlorure d'argent se fait par le fer. Les résidus d'amalgamation sont mélangés, encore humides, avec 12 à 13 p. 100 d'argile, et moulés en briquettes, que l'on sèche à l'étuve, et que l'on réduit au demi-haut fourneau en cuivre noir en ajoutant, pour former le lit de fusion 12 à 13 p. 100 de quartz, 1 1/2 à 2 1/2 p. 100 de spath fluor, et 32 à 40 p. 100 de laitiers de la fonte crue. On perd 11 à 12 p. 100 de l'argent contenu dans les mattes, dont 3/4 restent dans le cuivre noir, qui a une teneur de 0.00046; la perte en mercure est de 0^{k},8 par 1,000 kilogr. de mattes, ou 1^{k},6 par 1,000 kilogr. de cuivre noir, c'est-à-dire environ 0,35 du poids de l'argent extrait. La perte en cuivre est moindre que par liquation, et il est d'excellente qualité. Les nombres que nous avons donnés suffisent pour faire opter, dans un cas donné, entre l'amalgamation du cuivre noir et celle des mattes.

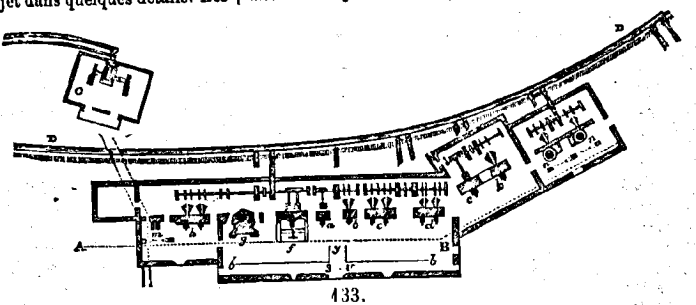
Au lieu d'employer les divers procédés que nous venons de décrire, on pourrait certainement traiter les minerais de cuivre argentifère par voie humide, d'une manière analogue à ce que nous avons vu pratiquer à *Linz* (bords du Rhin), et au *Stadtberg* (Westphalie), pour le traitement de minerais de cuivre carbonatés trop pauvres pour être traités par les procédés ordinaires (voir CUIVRE). Cette méthode consiste à traiter ces minerais par de l'acide sulfurique; on conçoit que l'on ne peut y soumettre directement, ni les minerais à gangue calcaire, parce qu'il se formerait du sulfate de chaux qui empêcherait le cuivre, de sorte que l'attaque se ferait très difficilement, ni les minerais pyriteux qui ne se dissoudraient également qu'avec beaucoup de difficulté. Dans ce cas on séparerait les gangues par une fonte crue qui donnerait des mattes; celles-ci seraient grillées avec une petite quantité de nitre dans des fourneaux ou cornues en maçonnerie, alimentés par un courant d'air forcé; il suffirait d'un peu de menu bois au commencement de la mise en feu, la combustion du soufre développant ensuite la chaleur nécessaire au grillage; on ferait arriver les gaz provenant des cornues avec un courant de vapeur d'eau produit par une chaudière à part, sous des cases remplies de mattes grillées et pulvérisées; par la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

réaction des gaz des cornues et de la vapeur d'eau, il se forme de l'acide sulfurique qui dissoudrait les mattes grillées; on pourrait d'avance exposer celles-ci en tas à l'action simultanée des agents atmosphériques et de l'eau, pour transformer en sulfates solubles, que l'on en retirerait par lavage, les sulfures non décomposés. On pourrait également, si le grillage des mattes ne fournissait pas une quantité suffisante d'acide sulfurique, s'en procurer une nouvelle quantité, en traitant par le même procédé des pyrites de fer. On obtiendrait ainsi une liqueur contenant le fer, le cuivre et l'argent contenu dans les mattes, dont on précipiterait d'abord l'argent par du cuivre métallique, puis le cuivre par du fer métallique; il pourrait être convenable, pour diminuer la consommation en cuivre, de neutraliser d'abord presque entièrement la liqueur par de la chaux, et de séparer le sulfate de chaux par décantation, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que d'altérer un peu la pureté des précipités. On purifierait le précipité d'argent en le fondant avec un peu de nitre et de borax; le cuivre de cément serait raffiné pour cuivre rosette (voir CUIVRE), et enfin on ferait cristalliser le sulfate de fer ou vitriol vert pour le livrer en cet état au commerce, ou bien on le dessécherait, et, après l'avoir légèrement torréfié, on s'en servirait pour préparer par distillation de *l'acide sulfurique fumant*.

Pour le cuivre noir argentifère, on pourrait le dissoudre directement dans l'acide sulfurique, et précipiter ensuite l'argent par du cuivre métallique comme cela se pratique dans les hôtels de monnaie.

4° MINERAIS DE PLOMB, CUIVRE ET ARGENT. Le traitement de ces minerais est peut-être l'opération métallurgique la plus compliquée qui existe, et nous croyons nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques détails. Les minerais de plomb, cuivre et argent, se divisent en deux grandes classes, suivant que c'est le plomb ou le cuivre qui domine: dans le premier cas, on les traite comme minerais de plomb; et outre le plomb d'œuvre, on obtient des mattes plombo-cuivreuses argentifères, que l'on refond à plusieurs reprises avec des matières plombeuses; chaque fonte donne du plomb d'œuvre que l'on coupelle, et les dernières mattes sont fondues seules pour cuivre noir; ce cuivre est ensuite soumis à la liquation ou à l'amalgamation pour séparer l'argent qu'il renferme encore. Les minerais qui renferment une faible quantité de plomb, sont triés avec soin et partagés en deux classes au moins, les minerais riches et les minerais pauvres. Ces derniers d'après leur nature sont soumis à une *fonte crue*, avec ou sans addition de pyrites crues ou en parties grillées, servant dans ce dernier cas de fondant, ou d'autres fondants s'il est nécessaire, tout à fait comme s'il s'agissait de minerais de cuivre (voir CUIVRE); on sépare ainsi les gangues terreuses, et on obtient des *mattes pauvres*, ces mattes sont grillées, à un ou plusieurs feux puis soumises à une *fonte de concentration* avec des minerais de même richesse. On obtient dans cette operation, des scories qu'on repasse dans la fonte crue, et des *mattes riches*. Ces mattes grillées à plusieurs feux, sont fondues avec des matières plombeuses (*fonte plombeuse des mattes*) et des minerais d'argent riches, surtout s'ils sont plombeux. On obtient du plomb d'œuvre que l'on coupelle, et des mattes soumises à une nouvelle fonte avec des matières plombeuses; finalement on arrive à des mattes cuivreuses qui donnent du cuivre noir argentifère, que l'on traite comme il a été dit ci-dessus. La fonte plombeuse des mattes doit se faire à une température aussi basse que possible la perte en plomb; c'est le procédé suivi à Freiberg (Saxe). Lorsque les matières plombeuses sont rares, on remplace la fonte plombeuse des mattes par une *fonte de concentration*, et l'argent est enlevé aux nouvelles mattes par *imbibition;* à cet effet, on fond du plomb pauvre dans le bassin de percée, peu avant la coulée, et on l'y agite avec un ringard au moment où les mattes parviennent dans le creuset; le plomb décompose alors une partie du sulfure d'argent, et passe dans la matte, tandis que l'argent réduit, s'allie avec le reste du plomb et donne du plomb d'œuvre; si ce plomb d'œuvre n'est pas assez riche pour être coupellé, il sert de nouveau à une *imbibition riche;* ce procédé constitue l'*ancienne méthode hongroise;* on retraite de la même manière la nouvelle matte, et à la fin on obtient des mattes cuivreuses qui sont fondues seules et donnent du cuivre noir argentifère. On peut opérer l'imbibition, en introduisant le plomb dans l'avant creuset, ou par l'œil de la poitrine; les réactions se font alors à une température plus élevée et par suite d'une manière plus complète; le sulfure d'argent est mieux réduit; mais d'un autre côté, la perte de plomb par la sulfuration est plus considérable; au reste, on désargente ainsi, non seulement les mattes successives de concentration, mais même encore les mattes de la fonte crue; ce procédé constitue la *nouvelle méthode hongroise*.



133.



134.

Les fig. 133 et 134 donnent le plan et la coupe verticale suivant la ligne AB du plan de l'usine de *Frankenscharn*, près *Clausthal* (Hartz), pour le traitement de galènes argentifères et cuivreuses: *a, b, c, d, e, f, g,* fourneaux pour la fonte des minerais; *a,* est alimenté par une machine soufflante à cylindre; *b, c, d,* par des soufflets pyramidaux en bois; *e,* et *f,* sont des fourneaux avec 3 tuyères et machines soufflantes à cylindre; enfin *g* est un fourneau de fusion à 7 tuyères, qui n'est plus employé; *h,* fourneau à manche pour le traitement des mattes; *k,* fourneau à manche pour la révivification des litharges; *m,* aire de liquation; *n, p,* fourneaux de coupelle; *x y* est l'étage sur lequel on prépare les lits de fusion avant de les charger dans les fourneaux; D, conduit d'eau qui alimente l'usine. C, atelier de bocardage, 8 parties de minerai brut pris sur la mine en don-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nent 1 de *schlich* bon à fondre; on traite annuellement à Frankenscharn 48400^{kg} de schlich et on obtient :

Plomb marchand.	40453^{kg}	1/2
Litharges marchandes.	3777	1/2
Argent environ.	33	1/2
Cuivre rosette (raffiné à Altenau). .	17	1/2
	44282^{kg}	

La teneur des schlichs en plomb est de 60 à 70 p. 100; la gangue est quartzeuse et argileuse; on les fond dans des hauts fourneaux de 6 à 7 ^{m} de hauteur, à 1, 2 ou 3 tuyères, avec 14 à 15 p. 100 de fonte granulée, des matières plombeuses et des scories de la fonte des mattes. La fonte que l'on ajoute au lit de fusion sert à réduire le sulfure de plomb; il se forme du sulfure de fer qui passe dans les mattes, et du plomb métallique. On fond par 24 heures de 4 à 5000 kilogr. de schlich avec une consommation de 420 kilogr. de charbon de bois par 1000 kilogr. de schlich. Le fourneau est desservi par postes de 3 ouvriers, et une campagne dure 9 à 10 semaines. On obtient du plomb d'œuvre qui est coupellé, et des mattes; celles-ci contiennent 0,001 d'argent et 0,34 à 0,40 de plomb, plus tout le cuivre du minerai; on les grille à 3 ou 4 feux, et on les fond ensuite dans des fourneaux à manche avec 3 p. 100 de fonte granulée et des matières plombeuses; par 24 heures on fond 5000 kilogr. de mattes; il y a deux ouvriers par fourneau; on obtient du plomb d'œuvre et une seconde matte que l'on traite comme la précédente, et ainsi de suite. On refond ainsi les mattes à quatre reprises différentes, pour y concentrer le cuivre et en séparer l'argent et le plomb; les dernières mattes que l'on obtient sont grillées à un grand nombre de feux, et fondues seules; elles donnent du cuivre noir argentifère que l'on soumet à la liquation.

Nous terminerons enfin ce qui regarde le traitement des minerais d'argent, en donnant quelques détails sur le traitement par *fonte crue* et *fonte plombeuse des mattes* tel qu'il est pratiqué à Freiberg. On soumet à la fonte crue les minerais pyriteux ou terreux, ayant une teneur en plomb au-dessous de 0,16, en cuivre au-dessous de 0,03 et en argent au-dessous de 0,0015. La teneur moyenne en argent du lit de fusion est de 0,0005 à 0,0006 et il doit donner en petit 45 à 50 p. 100 de mattes, sinon on y ajoute des pyrites; de sorte qu'on produit une matte dont la teneur est de 0,0012 à 0,0016; au mélange des minerais, on ajoute 0,75 en poids de scories de la fonte plombeuse. Lorsque certains minerais pauvres sont très pyriteux, on les grille partiellement et on les ajoute comme fondants. La fusion s'effectue dans des demi-hauts fourneaux de 4 ^{m} de hauteur totale dont le creuset est en brasque posante damée (2 parties d'argile réfractaires et 1 p. de poussier de coke) que l'on répare de temps à autre, et qui reçoivent par minute 6^{mc} d'air environ; cet air est préalablement porté à 250° C. dans un système de tuyaux placés dans un four chauffé avec de la tourbe; en 24 heures, on passe dans le fourneau 1800 kilogr. de minerais non compris les fondants, et on obtient environ 720 kil. de matte crue en 4 coulées; la perte en argent est de 10 à 15 p. 100. On emploie comme combustible du coke dont on consomme 0^{mc},456 par quintal de minerai fondu. Les campagnes durent 4 à 5 mois et même au-delà. Les mattes crues sont grillées à 3 feux, dans des cases qui en contiennent 20000 à 25000 kilogr.; cela dure 2 à 3 mois; les minerais riches sont grillés dans des fours à réverbère. La *fonte plombeuse* se fait à l'air froid et au coke dans des fourneaux, analogues à ceux de fonte crue, où on ne lance que 3 1/2 à 4 kilogr. d'air par minute. Le lit de fusion se compose de mattes grillées, de minerais pauvres en pyrites tenant plus de 0,0015 d'argent, de galènes argentifères tenant plus de 16 à 20 p. 100 de plomb, de minerais riches et cuivreux tenant moins de 6 p. 100 de cuivre et de scories de l'opération. On charge en outre au gueulard immédiatement avant les coulées, une certaine quantité de matières plombeuses consistant en litharges et en plomb pauvre, de manière cependant que le plomb n'arrive dans le creuset qu'après la percée, et y reste en contact avec les mattes qui se forment pendant tout l'intervalle de temps (6 heures) qui s'écoule entre deux coulées. En résumé on prépare le lit de fusion de manière à ce qu'il renferme 0,0025 à 0,0030 d'argent et 40 à 48 p. 100 de plomb. Par 24 heures on passe en moyenne 1400 kilogr. de minerais et mattes grillées; on obtient 420 kilogr. de plomb d'œuvre, 125 kilogr. de mattes et de crasses, et des scories plombeuses qui sont retraitées dans la fonte crue. A la fin de la campagne qui dure 4 semaines, on repasse dans le fourneau les crasses et les mattes de plomb non grillées, avec leur volume de scories plombeuses et une certaine quantité de litharges et fonds de coupelle; on obtient du plomb d'œuvre pauvre et de nouvelles mattes de plomb. La perte en plomb est de 10 à 14 p. 100, celle en argent de 1 p. 100 environ. Les mattes de plomb sont grillées à 4 ou 5 feux; par 100 kilogr. de mattes on consomme environ 1 stère de bois de sapin refendu. On refond les mattes de plomb grillées dans les mêmes fourneaux, avec des minerais de cuivre quartzeux pauvres en argent, et tenant plus de 6 p. 100 de cuivre, des scories de la même opération ou de la fonte plombeuse, et des matières plombeuses (litharges et fonds de coupelle); par 24 heures on passe dans le fourneau 1300 à 1400 kilogr. de mattes de plomb et minerais grillés, et l'on obtient environ 400 kilogr. de plomb d'œuvre et 300 kilogr. de mattes de cuivre. Enfin ces dernières mattes, qui renferment 30 à 40 p. 100 de cuivre, 8 à 25 p. 100 de plomb et 0,001 à 0,0015 d'argent, sont grillées à un grand nombre de feux, et fondues seules pour cuivre noir argentifère, lequel est liquaté à l'usine de *Grünthal*.

Traitement des minerais et mattes de cuivre argentifères par voie humide. Nous décrirons encore un nouveau procédé pour chlorurer les minerais d'argent : on charge 200 kilos de matière grillée et pulvérisée sur la sole supérieure d'un four de grillage à deux soles superposées; après quatre heures de brassage, on les fait tomber sur la sole inférieure, exposée à une plus forte chaleur, où la matière est agitée. Sept heures après le commencement de l'opération, on ajoute 2 à 4 p. 100 au plus de sel marin sec, on continue le brassage pendant une heure à une température élevée, puis on transporte la matière dans l'atelier du lessivage. Les matières chlorurées sont ensuite soumises, soit à froid, soit à chaud, à un lessivage méthodique fait avec une dissolution saturée de sel marin qui dissout le chlorure d'argent formé, et l'argent est précipité après coup de cette dissolution par du cuivre métallique.

Statistique. Nous terminerons cet article en donnant le tableau suivant de la production annuelle moyenne de l'argent sur toute la surface du globe. La moyenne annuelle est très-stable, par une compensation d'accroissements et de diminutions dans divers pays. Ce sont toujours les mines du Mexique, dont la puissance est incomparable, qui fournissent une grande partie de ce métal.

Voici les quantités pour la période 1857-1871, très-peu différentes de celles de la période décennale antérieure (d'après M. E. Roswag).

		Millions de fr.
Océanie. — Australie.		13,8
Amérique.	Mexique.	2 006,2
	Pérou.	327,7
	Chili.	299,7
	États-Unis.	24,0
	Nouvelle-Grenade.	17,8
	Brésil.	0,9

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Europe.	Russie	48,3
	Espagne	454,9
	Autriche	92,4
	Saxe	65,6
	Angleterre	49,2
	Hartz	31,4
	Prusse	21,5
	États Scandinaves	49,1
	France et Algérie	40,7
	Italie et autres pays	3,4
Asie.	Turquie	34,3
	Soit, un total de	3 367,6

en treize années, ou une production annuelle de 259 millions.

On indique 270 millions pour la période antérieure, et la différence est dans les limites d'erreur des évaluations faites d'après des documents peu précis.

Voir pour le complément de cet article les mots AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT, ALLIAGES, ARGENTURE, ESSAIS D'OR ET D'ARGENT, MONNAIE ET PLAQUÉ.

P. DEBETTE.

ARGENTURE (*angl.* silvering, *all.* versilbern). On n'argente guère que le cuivre et le laiton; pour l'argenture sur bois, elle se fait tout à fait de même que la *dorure sur bois*, et nous renverrons le lecteur à ce mot.

Lorsqu'on veut argenter une pièce, on commence par l'*émorfiler*, opération qui consiste à la préparer à la lime ou au tour, puis à enlever avec une pierre à polir le morfil et les arêtes vives. On la *décape* alors en la chauffant au rouge et la plongeant ensuite dans de l'acide nitrique très étendu (eau seconde), puis la *ponçent* avec une pierre ponce et de l'eau. On réchauffe de nouveau la pièce, seulement à un point tel qu'en y projetant quelques gouttes d'eau elles s'évaporent avec un léger bruissement et on la replonge dans de l'eau seconde, qui y fait naître de petites aspérités destinées à retenir les feuilles d'argent; si cela ne suffit pas on *hache* la pièce à l'exception des parties ciselées, c'est-à-dire qu'avec un couteau d'acier approprié à cet usage on la couvre de rayures dans le but de donner plus de solidité à l'argenture : enfin on la fait chauffer jusqu'à ce qu'elle ait acquis une couleur bleuâtre, ce qu'on nomme *bleuir*. Dès lors la pièce ne doit plus refroidir que le travail ne soit achevé. Pour la manier, l'ouvrier la place sur de la cendre chaude renfermée dans une chaudière (*mandrin*), et saisissant de la main gauche, avec de petites pinces ou *brucelles*, deux feuilles d'argent, il les applique sur la pièce chauffée, et les presse fortement de la main droite, avec le *brunissoir à ravaler*; puis, en maintenant toujours la pièce chaude, il applique de 4 à 6 feuilles à la fois, et brunit jusqu'à ce qu'il ait mis de 30 à 60 feuilles, suivant la qualité de l'argenture : la feuille d'argent est un carré de 0m,14 de côté et 12 feuilles pèsent 1 gram. Si en chauffant trop on noircissait la pièce, on enlèverait cette poudre noire avec la *gratte-boësse*, espèce de brosse en fil de laiton. Enfin lorsque la pièce est suffisamment argentée, on *brunit* à fond avec le brunissoir à polir en acier, jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus aucun joint.

Il y a un autre mode d'argenture moins solide, qui porte le nom d'*argenture au pouce*, et qui se fait de la manière suivante : on prend 1 partie de poudre d'argent obtenue en précipitant le nitrate étendu d'eau par une lame de cuivre, 2 p. de sel marin et 2 p. de crême de tartre, on broie le tout ensemble et on le réduit en bouillie avec un peu d'eau ; on s'enveloppe ensuite le doigt avec un linge fin, on le trempe dans cette pâte et on frotte la surface bien décapée de l'objet à argenter que l'on lave ensuite dans de l'eau de lessive tiède, puis dans de l'eau pure ; enfin on essuie avec un linge blanc et on fait sécher à une légère chaleur.

Dans l'argenture en feuille il faut, lorsqu'elle est détériorée en quelques points, désargenter complétement la pièce en la plongeant dans l'eau seconde jusqu'à ce que tout l'argent soit dissout, et argenter ensuite de nouveau en totalité. Le procédé suivant, dû à M. Mallawitz et publié par l'*Académie royale des Sciences*, convient pour les pièces de peu d'épaisseur, surtout si elles sont relevées en bosse : le cuivre est pénétré par l'argent, de sorte que l'argenture est très solide, et si elle s'use en quelques points, elle est facile à réparer en *chargeant* de nouveau la partie qui s'est détériorée. On humecte, au moyen d'un pinceau, la surface de la pièce bien décapée avec de l'eau légèrement salée, et on tamise bien également par-dessus un mélange préalablement pulvérisé et passé au tamis de soie, qui se compose de : argent précipité de sa dissolution nitrique par une lame de cuivre, 1 p.; chlorure d'argent bien lavé et desséché, 1 p.; borax purifié et calciné, 2 p.; on chauffe ensuite la pièce au rouge, on la retire avec des pinces, et on la plonge dans de l'eau bouillante, contenant un peu de sel marin et de crême de tartre, puis l'on gratte-boësse pour enlever les impuretés. Cela fait on passe très également, avec un pinceau, une couche d'une pâte formée de poudre de l'opération précédente, sel ammoniac pur, sel marin pur, sulfate de zinc et fiel de verre (écume qui surnage le verre fondu dans les pots de verrerie, et est principalement composée de sulfate de soude), parties égales, que l'on a mêlées et porphyrisées avec soin, puis délayées avec un peu d'eau légèrement gommée. On chauffe de nouveau au rouge cerise, on retire, on gratte-boësse; on continue de *charger* 4 à 5 fois de suite de la même manière avec la pâte, et l'opération est terminée si l'on veut une argenture matte, autrement on brunit.

On argente d'une manière peu solide il est vrai, mais très peu coûteuse, en frottant les pièces à argenter avec un mélange de chlorure d'argent bien lavé, 3 parties ; crême de tartre, 2 p.; sel marin très blanc réduit en poudre fine, 2 p.; une très petite quantité de sulfate de fer, et un peu d'eau pour en faire une bouillie très épaisse. On lave ensuite bien avec de l'eau pure et on dessèche avec du papier buvard.

Pour fabriquer les qualités inférieures de boutons plaqués, on emploie en Angleterre le procédé suivant : on forme une pâte avec 2 parties de chlorure d'argent, 1 p. de sublimé corrosif (deutochlorure de mercure), 72 p. de sel marin, 72 p. de sulfate de zinc et un peu d'eau ; on recouvre de cette pâte les boutons bien décapés et on les chauffe graduellement jusqu'au rouge sombre, de manière à expulser ainsi tout le mercure. On les finit ensuite en les lavant, puis les brunissant.

On argente le cuivre en le recouvrant d'un vernis spiritueux puis y appliquant les feuilles d'argent par pression.

Voir, pour l'argenture par les procédés électro-chimiques de M. de *Ruolz*, les mots ALLIAGE et DORURE.

ARGILE (*angl.* clay, *all.* thon). Peu de matières provenant du règne minéral contribuent autant que les argiles à satisfaire les besoins de la vie commune tout comme les exigences du luxe le plus raffiné. Elles sont essentiellement composées de silice, d'alumine et d'eau; on ne les rencontre jamais à l'état cristallin, et elles proviennent toujours de la décomposition d'autres minéraux contenant de la silice et de l'alumine; très souvent elles sont mélangées avec des matières étrangères, telles que du sable, de l'oxyde de fer anhydre ou hydraté, du carbonate de chaux, des matières combustibles ou bitumineuses, etc.

Le caractère distinctif des argiles est de former avec l'eau une pâte tenace, plus ou moins *plastique*, c'est-à-dire qui a du corps, et que l'on peut modeler avec facilité ; mais ce caractère varie d'une manière extrêmement remarquable entre les diverses variétés d'argile. En se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ch sèchant, la pâte conserve de la solidité, et quand on l'expose à une chaleur toujours croissante, elle en acquiert une des plus fortes, et devient si dure qu'elle étincelle sous le briquet; dans ce cas, elle ne peut plus se délayer dans l'eau et faire pâte avec elle. L'argile sèche est complétement opaque, à cassure terreuse, *happe* à la langue, et devient plus ou moins onctueuse au toucher après avoir été mouillée. Immergée dans l'eau, elle l'absorbe peu à peu, et devient facile à travailler. Elle est blanche lorsqu'elle est pure, gris bleuâtre plus ou moins foncé lorsqu'elle est mélangée de matières combustibles, l'hydrate de fer la colore en jaune ou en brun, et le peroxyde de fer anhydre en rouge brun. Par calcination elle devient blanche si elle est pure, et colorée en rouge brique plus ou moins foncé lorsqu'elle contient de l'oxyde de fer. Elle éprouve un retrait très considérable par l'action de la chaleur, et se fendille avec une grande facilité, si celle-ci n'est pas extrêmement graduée. C'est sur ce phénomène du retrait de l'argile qu'est fondé le PYROMÈTRE *de Wedgwood*.

L'argile pure est infusible à la chaleur la plus élevée que l'on produise dans les fourneaux employés dans l'industrie. Modérément calcinée, elle durcit, et se transforme en une masse terreuse et poreuse, qui happe fortement à la langue et absorbe l'eau avec avidité. A une température excessivement élevée, elle se ramollit au point de donner une masse pierreuse sonore, à cassure conchoïdale plus ou moins éclatante. Les argiles impures présentent les mêmes phénomènes à une température moins élevée, au-dessus de laquelle elles se fondent.

Les principales variétés d'argiles sont les suivantes :

1° ARGILES KAOLINS. Les kaolins sont exclusivement employés à la fabrication des porcelaines, ils sont friables, maigres au toucher, font difficilement pâte avec l'eau; quand on les a séparés par le lavage, des substances étrangères qu'ils renferment, ils sont absolument infusibles au four de porcelaine et y deviennent très durs et sans solidité. Ils proviennent de la décomposition des feldspaths, et renferment toujours une quantité plus ou moins considérable de mica qui les accompagnait. Dans plusieurs gisements (Chine, Alençon, Saint-Yrieix, près Limoges), les kaolins sont recouverts d'une roche micacée qui a la texture du gneiss, mais qui est rouge et très fusible. Le kaolin de Saint-Yrieix, lavé et desséché, contient 0,56 de silice et 0,44 d'alumine.

Quand le kaolin sort de la carrière, il est mêlé de beaucoup de feldspath dont on le sépare en le délayant dans des cuves avec de l'eau, laissant reposer pendant un temps plus ou moins long, puis décantant; le feldspath reste dans les cuves, et l'eau chargée d'argile, est reçue dans des bassins de dépôt où elle se clarifie; on la fait ensuite écouler, et on recueille l'argile qu'on laisse sécher à l'air. On peut avec avantage dessécher en très peu de temps la pâte au point nécessaire pour la rendre transportable, par un procédé dû à M. Grouvelle, qui consiste à la renfermer dans des sacs en forte toile de chanvre serrée que l'on superpose par lits, séparés par des claies d'osier, et que l'on comprime fortement au moyen d'une presse à bras.

2° ARGILES PLASTIQUES. Douces et presque onctueuses au toucher, se laissant polir avec le doigt; elles donnent avec l'eau, une pâte tenace, très liante et longue, quelquefois un peu translucide sur les bords; elles sont très réfractaires, et acquièrent une grande solidité par l'action de la chaleur. Les plus connues sont : en France, les argiles réfractaires de Dreux, de Montereau, de Forges-les-Eaux et de Gournay, que leur excellente qualité fait rechercher pour la fabrication des pots de verreries et des cazettes qui servent à la cuisson de la porcelaine; en Allemagne, la terre de pipe de Vollendar près de Coblentz et l'argile réfractaire de Gross-Almerode, dont on fait les *creusets de Hesse* en Angleterre, les terres de pipe du Devonshire, du Cornouailles, de l'île de Wight et la célèbre argile réfractaire de Stourbridge dont nous avons déjà parlé au mot ACIER, et en Belgique l'argile d'Andennes.

3° ARGILE SMECTIQUE OU TERRE A FOULON. Grasse et onctueuse au toucher, se polissant avec l'ongle, et formant en peu de temps avec l'eau une bouillie peu ductile; sa couleur varie du gris-jaunâtre au vert et au brun; sa cassure est raboteuse, schisteuse ou conchoïde; elle est compacte et nappe peu à la langue; elle fond au four à porcelaine, et contient souvent de la magnésie à laquelle elle paraît devoir une partie de ses caractères extérieurs. Elle est très employée dans les arts pour le dégraissage ou le *foulage* des draps; on en trouve dans beaucoup de pays; celle de Rittenau en Alsace est de très bonne qualité.

4° ARGILES FIGULINES. Présentent les propriétés physiques des argiles plastiques; beaucoup sont comme elles, douces au toucher et donnent avec l'eau une pâte assez tenace; mais elles sont en général moins compactes, plus friables et se délaient plus facilement dans l'eau; plusieurs aussi sont fortement colorées et loin de perdre cette couleur au feu, elles y deviennent souvent d'un rouge très vif; leur cassure est irrégulière, raboteuse et nullement lamelleuse. Quoique douces au toucher elles n'ont pas ordinairement l'onctuosité des argiles à foulon. Quelques-unes font une légère effervescence avec les acides et se rapprochent tellement des marnes qu'il est difficile de les en distinguer. La chaux et l'oxyde de fer que contiennent ces argiles, les rendent fusibles à une température souvent fort inférieure à celle que les argiles précédentes peuvent supporter sans altération. Ces argiles sont employées dans la fabrication des faïences et poteries grossières, à pâte poreuse et rougeâtre; on en fait aussi des statues et des vases dits de terre cuite, pour les jardins; on en rencontre des bancs très étendus à Vanvres, Arcueil et Vaugirard; elles renferment fréquemment des pyrites de fer.

5° ARGILES EFFERVESCENTES OU MARNES. Les marnes sont formées d'un mélange mécanique et intime de carbonate de chaux et d'argile; suivant que l'un ou l'autre de ces éléments domine dans le mélange, elles prennent le nom de marnes calcaires ou d'argiles marneuses; elles ont peu de consistance, forment avec l'eau une pâte qui n'a point de liant, font une vive effervescence avec les acides et sont très fusibles. Les marnes plus ou moins calcaires sont employées avec succès en agriculture pour amendement des terres fortes ou argileuses.

6° ARGILES OCREUSES. Ce sont des argiles maigres siliceuses colorées par de l'oxyde de fer, en rouge (ocre rouge) lorsqu'il est anhydre, ou en jaune (ocre jaune lorsqu'il est hydraté.

La *sanguine* est une argile ocreuse rouge, qui sert à préparer les *crayons rouges*. La *terre sigillée* ou *bol d'Arménie*, employé en médecine, est aussi une variété d'argile ocreuse rouge très estimée, tirée autrefois par Constantinople de l'île de Lemnos où on la purifie par lévigation, et on en forme de grosses pastilles sur lesquelles on imprime le cachet du gouverneur de l'île ou celui du grand seigneur avant de les livrer au commerce: on se sert maintenant en France pour préparer le *bol d'Arménie*, d'une terre ocreuse que l'on trouve aux environs de Blois et de Saumur.

L'ocre jaune se trouve principalement en France près de Vierzon, et à Bitry près St-Amand (Nièvre); elle est exploitée par puits et galeries, puis calcinée et lavée convenablement elle donne un *ocre rouge; l'ocre de Bitry*, celui de Moragne et celui de Saint-Pourrain se vendent quelquefois naturels ou calcinés, sous les noms de *jaune* et *rouge d'Italie*. On les emploie comme les autres ocres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans la coloration des papiers peints, les peintures communes en détrempe, et les peintures extérieures à l'huile, pour garantir des effets de la pluie ou de l'humidité les volets, persiennes, instruments aratoires, clôtures en bois, charrettes, etc. On mélange souvent les ocres jaunes avec les bleus de Prusse, afin d'obtenir des nuances vertes plus agréables pour diverses sortes de peintures.

7° ARGILE LÉGÈRE. Nous devons dire ici quelques mots sur cette variété d'argile qui se distingue par un caractère remarquable : sèche au toucher, elle donne une poussière dure, employée à polir l'argent; elle se délaye difficilement dans l'eau, et présente à peine du liant; elle résiste au feu et prend une grande dureté sans acquérir une forte densité; dans l'eau, elle surnage tant qu'elle n'en est pas imbibée; on s'en est servi pour faire des briques légères. (Voy. BRIQUES.)

On essaye les argiles : 1° en les calcinant au rouge pour connaître la quantité d'eau qu'elles renferment, et, au cas qu'elles contiennent de l'oxyde de fer, en déterminer approximativement la proportion par la teinte plus ou moins rouge qu'elles prennent par la cuisson; 2° en traitant l'argile complétement desséchée par de l'acide hydrochlorique faible, lavant le résidu avec soin, le desséchant de nouveau et le pesant; la perte de poids représente le carbonate de chaux qu'elle renfermait; on reconnaît sa présence par l'effervescence qu'il donne avec les acides dès qu'il y en a eu une proportion notable; 3° enfin on détermine la proportion de matières sableuses et quartzeuses que l'argile renferme, au moyen d'un lavage par décantation. Voir, pour le complément de cet article, les mots BRIQUES, CIMENTS, CREUSETS, DRAPS, MORTIERS, POTERIE, et *Complément*, art. ARGILE.

ARMES A FEU (*angl.* fire-arms, *allem.* fuergeverhe). On appelle, en général, armes à feu, les armes portatives utilisant l'explosion de la poudre, en désignant, sous le nom de bouches à feu, celles non portatives, qui lancent les lourds projectiles et qui les premières furent utilisées à la guerre; celles-ci sont en quelque sorte les *machines* de l'artillerie, tandis que les premières n'en sont que les *outils*.

Les premières armes à feu remontent à l'origine du XIVe siècle. Elles se composaient de deux parties: 1° un tube creux en fer ou canon, destiné à diriger le projectile; 2° une boîte contenant la poudre. On assemblait les deux parties, au moment du tir, à l'aide de bandes et d'étriers en fer. Le poids de ces armes variait de 20 à 30 kilogrammes, et il fallait deux hommes pour les manœuvrer.

Pour assembler la boîte et le canon ou *volée*, on eut d'abord recours à un grand nombre de moyens. On songea enfin à faire autour de la boîte des filets se vissant dans la volée, qui fut taraudée. La boîte prit alors le nom de *culasse*, et les canons, qu'on avait appelés jusque-là *canons à main*, prirent le nom de *serpentines*, sans doute à cause des filets de la culasse.

En 1344, on eut l'idée d'encastrer les canons dans un fût en bois qui se terminait par une poignée. Un seul homme suffisait pour maintenir l'arme pendant que l'on chargeait et que l'on pointait. On donna à cette arme le nom d'*arquebuse*, à cause de l'analogie de sa forme avec une ancienne arme de jet. Un peu plus tard, on allongea la boîte, et la volée séparée fut supprimée. L'arme était longue de 1m,40 à 1m,60. C'est à cette époque, 1360, que remonte la fabrication des premières *couleuvrines*, ainsi appelées à cause de leur forme générale et la couleur du métal qui servait à leur fabrication. En employant un métal fusible comme le bronze, on put couler la culasse et la volée d'une seule pièce. Cette disposition permit de diminuer les épaisseurs et de rendre l'arme plus légère, tout en la faisant plus longue et plus résistante.

Sous le règne de Louis XII, on introduisit dans nos armées l'usage de l'*arquebuse à croc*. Dans cette arme, le canon en fer était forgé d'une seule pièce. Pour s'opposer à l'effet du recul, on avait adapté à la partie inférieure du canon un croc, qu'on appuyait, au moment du tir, contre un obstacle fixe.

La longueur de cette arme variait de 1m,30 à 2m,30, et son poids de 5 à 25 kilogrammes. Elle lançait des balles de 25 à 250 grammes.

L'emploi du croc était fort incommode. Le fût ayant été prolongé avec une légère inclinaison, le tireur put viser en appuyant l'arme contre le plastron de sa cuirasse, d'où le nom de *poitrinal*. Le soldat, armé du poitrinal, portait en même temps un bâton ferré par le bas et garni en haut d'une fourchette. Lorsqu'il voulait tirer, il plantait son bâton en terre, posait le canon sur la fourchette et appuyait la crosse contre le côté droit de la poitrine. Cette arme était très-répandue du temps de François Ier.

L'on modifia ensuite le fût de telle sorte qu'il put s'appliquer contre l'épaule. L'arme prit alors le nom de *mousquet*, et reçut bientôt après plusieurs modifications pour simplifier les moyens d'enflammer la poudre, moyens sur lesquels nous reviendrons.

Le diamètre de l'âme du tube, le calibre de ces armes était bien moindre que celui des premiers essais. Dès 1510, on avait reconnu que le calibre du canon de seize balles de plomb à la livre (17,5 à 18 millim.) était le plus avantageux et le plus fort qu'on pût employer pour une arme complétement soutenue par le tireur. On a conservé ce calibre jusqu'à nos jours.

Conditions nécessaires de toute arme à feu destinée au service de l'infanterie. — Ses éléments. Considérée en elle-même et indépendamment des effets du tir, une arme à feu portative de guerre doit satisfaire aux conditions suivantes:

1° Son poids doit être proportionné aux forces du soldat;

2° Son maniement doit être facile dans toutes les circonstances du service;

3° Sa longueur doit se prêter à l'emploi efficace de la baïonnette, qui en est l'indispensable accessoire.

Poids. Lorsque la charge de poudre vient à être enflammée dans le canon, le projectile est projeté d'un côté et l'arme en sens opposé. Il faut que le choc ou la poussée que supporte le soldat pendant le tir ne soit pas trop considérable; en un mot, que le recul de l'arme ne soit pas trop fort.

Or, la vitesse de recul (voy. POUDRE) d'une arme varie en raison inverse de son poids et croît avec la vitesse initiale du projectile. Cette vitesse initiale dépend à la fois du poids du projectile et de celui de la charge de poudre.

Si donc on a un projectile donné d'avance, on est forcé pour maintenir le recul dans des limites convenables soit d'en diminuer la vitesse par la réduction du poids de la charge, ce qui présente les inconvénients de diminuer les effets du tir, soit d'augmenter le poids de l'arme sans qu'elle cesse d'être portative. Il existe donc entre le poids d'une arme, celui de son projectile et celui de la charge, une relation forcée qui ne peut se déterminer que par l'expérience. Celle-ci a démontré que, pour satisfaire dans une juste mesure à ces conditions opposées, le poids de l'arme ne devait pas dépasser 5 kilos.

Longueur. L'expérience a fixé à 1m,95 environ la longueur totale du fusil d'infanterie armé de sa baïonnette au delà, le maniement de l'arme devient difficile dans les mouvements rapides des combats individuels; mais elle suffit pour couvrir le premier rang contre une attaque rapprochée et pour que le second rang soutienne le premier.

Forme du canon. La forme intérieure du canon est nécessairement cylindrique pour que le projectile le parcoure librement lorsqu'il se meut par l'effet de la d

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARMES A FEU.

tente du gaz, et celle extérieure est également la conséquence du mode d'action des gaz de la poudre. La partie où s'enflamme la charge ou tonnerre doit être la plus résistante; et cette résistance peut aller en diminuant à mesure qu'on se rapproche de la bouche, comme l'effort qui s'exerce contre les parois. Cette considération a fait donner aux canons des armes à feu une forme conique, qui offre l'avantage de rapprocher le centre de gravité du côté du tireur.

Pour assurer l'égalité de résistance à la rupture, et pour faciliter le redressage du canon, lorsqu'il est faussé, il importe que les deux cercles d'une même section, perpendiculaire à l'axe, soient concentriques.

On donne au canon une épaisseur plus grande qu'il n'est nécessaire, tant pour augmenter la sécurité du soldat que pour éviter qu'il ne se fausse par un choc. Malgré cela, les ruptures de canon arrivent quelquefois, non par insuffisance d'épaisseur (les défauts de fabrication étant reconnus par l'essai au banc d'épreuve, sous une forte charge), mais par suite d'une charge vicieuse avec une ou plusieurs cartouches, ou l'introduction de corps étrangers dans le canon.

Culasse. La culasse est destinée à fermer le tonnerre et à fixer le canon sur la monture. L'assemblage de la culasse sur le canon doit avoir une grande solidité; le bouton doit être assez long pour recevoir un nombre suffisant de filets assez forts, de manière à assurer complétement la fermeture du tonnerre. Le diamètre du bouton, pris au fond des filets, doit être supérieur au calibre de l'arme, afin que les gaz ne puissent s'introduire dans ces filets et par suite les dégrader.

Hausse fixe, Guidon. Pour mettre le tireur à même de diriger convenablement l'arme pour atteindre le but, on ménage de forge, sur la culasse, une petite élévation appelée hausse, sur laquelle est placé le cran de mire, et sur le canon, vers la bouche, se trouve une autre élévation appelée guidon qui est brasée sur le canon.

Le sommet du guidon et le fond du cran de mire de la hausse déterminent une ligne dite ligne de mire de l'arme, qui, au moment de faire feu, doit être placée dans un même plan vertical que l'axe du canon.

Monture. La monture en bois sert à assembler et relier entre elles les diverses pièces de l'arme ; mais surtout elle sert à épauler et à maintenir l'arme au moment du tir.

La crosse s'appuyant à l'épaule au moment du tir, de sa forme dépendent en grande partie la rapidité, la sûreté et la facilité du maniement de l'arme. La crosse ne doit pas être dans le prolongement du canon, mais assez surbaissée pour permettre au tireur, l'arme étant en joue, de porter l'œil sur la ligne de mire. L'abaissement de la crosse au-dessous de l'axe du canon atténue l'action du recul sur l'épaule, mais en faisant naître une composante qui tend à faire pivoter le canon autour de celle-ci, à relever son extrémité. On ne doit pas, par suite, exagérer cette obliquité au delà de ce qui est nécessaire pour la commodité du tireur.

Platine. Les inventeurs des premières armes à feu, aux prises avec la difficulté de rendre les armes portatives, eurent en même temps à se préoccuper du moyen de mettre le feu à la charge d'une manière à la fois rapide et commode, car, dans le principe, le feu se communiquait à la main pendant qu'on soutenait l'arme avec un seul bras soit pour viser, soit pour résister au recul. De là différents systèmes de platines, qui caractérisent les diverses armes qui se sont succédé et ont un véritable intérêt historique.

Platine à mèche ou à serpentin. Cette platine, comme le montre la fig. 1, portait une pièce de fer en forme de serpent, mobile autour d'un axe de rotation par l'intermédiaire de leviers. Son extrémité supérieure portait la mèche serrée entre les mâchoires du serpent. Le levier porté par la platine recevait son mouvement par l'action du doigt sur la tige coudée inférieure; ce mouvement avait pour effet d'amener la mèche dans le bassinet. Un ressort ramenait ensuite le serpentin dans sa position primitive: un couvre-bassinet servait à préserver l'amorce lorsqu'on ne tirait pas. Ce mécanisme permettait de se servir des deux mains pour viser; mais la mèche devait toujours rester allumée, ce qui entraînait parfois des accidents, indépendamment de nombreux ratés causés par le vent et la pluie.

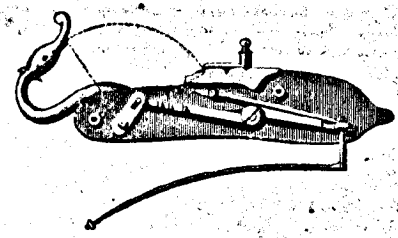


Fig. 1.

Platine à rouet. La platine à rouet, inventée à Nuremberg vers 1520, consistait en un rouet ou roue en acier cannelée sur sa circonférence et portant sur son axe deux tourillons. L'un, extérieur à la platine, se terminait par un carré destiné à recevoir une clef; l'autre, intérieur, portait une chaîne dont l'un des bouts s'attachait à l'extrémité d'un fort ressort fixé sur le corps de la platine (fig. 2).

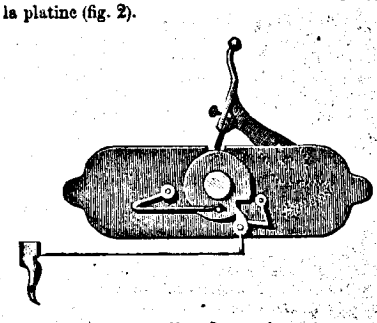


Fig. 2.

Pour armer, on agissait avec la clef sur le carré du tourillon extérieur; la chaîne s'enroulait sur le tourillon intérieur et tendait le ressort placé à gauche sur la figure. La pointe d'une pièce d'arrêt, maintenue par un ressort, s'engageait dans la roue et maintenait au bandé le premier ressort inférieur. La détente de ce ressort, qu'une légère pression du doigt sur la gâchette rendait libre, faisait tourner le rouet rapidement. Ce rouet, dont la partie supérieure dépassait le fond du bassinet, se trouvait en contact avec la poudre d'amorce. Son frottement contre une tablette de pyrite sulfureuse, ou contre un morceau de silex serré entre les mâchoires d'un chien, produisait des étincelles qui mettaient le feu à la poudre. Ce chien, amené dans la position convenable pour faire feu, par la main du tireur, y était maintenu par un ressort.

Ce système donnait lieu à fort peu de ratés, même par le vent et la pluie; il permettait de supprimer la mèche allumée, mais il était assez compliqué; il s'encrassait et se dérangeait assez facilement; de plus, l'opération de monter le ressort retardait l'apprêté de l'arme, et la pierre était promptement mise hors de service par les cannelures du rouet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Platine à miquelet. L'emploi de la pierre à feu fit naître l'idée de remplacer le frottement de l'acier contre la pierre, par le choc de la pierre contre une table d'acier, comme dans les briquets. Au commencement du XVI^e^ siècle, les Espagnols avaient adopté une platine fondée sur ce principe. Cette platine, dite *espagnole* ou à *miquelet*, que l'on rencontre encore chez les Arabes, contient tous les éléments qui ont conduit à la platine à silex.

Platine à silex. La platine à silex fut inventée à Nuremberg, au commencement du XVII^e^ siècle ; elle était usitée en France dès 1630 ; mais son emploi ne s'y est généralisé que vers 1680, et elle ne fut appliquée aux armes de guerre qu'après plusieurs perfectionnements.

Dans la platine à silex, le chien doit prendre un mouvement de rotation assez rapide, pour que le choc de la pierre à fusil, de forme aiguë, sur la table d'acier de la batterie, produise les étincelles qui enflamment la poudre d'amorce. Le moteur est un grand ressort dont l'action se transmet au chien par l'intermédiaire de la noix, sur l'arbre de laquelle le chien est solidement fixé (fig. 3).

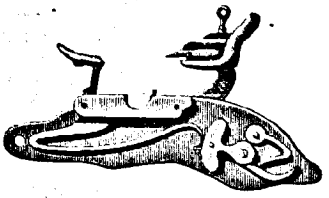


Fig. 3.

Cette action devant être subordonnée à la volonté du tireur, on pratiqua, sur le contour de la noix, deux crans dans lesquels s'engage le bec de la gâchette. En pressant sur la queue de la gâchette, par l'intermédiaire de la détente, son bec se dégage du cran dans lequel il est logé ; alors la noix, cédant à l'action du ressort, entraîne le chien.

La platine à silex a été employée pour les armes de guerre jusqu'à l'adoption de celle disposée pour l'inflammation des capsules à fulminate de mercure, donnant un tir bien plus rapide et plus certain.

Platine à percussion. L'idée du système à percussion remonte, pour ainsi dire, à l'époque de la découverte des composés fulminants, en 1785 ; mais les premiers essais furent infructueux. Ce ne fut qu'en 1812 que l'armurier Pauly prit le premier brevet d'invention pour une arme à amorce fulminante, sous forme de pastille. Ce fut en Angleterre qu'on inventa de placer celle-ci dans une capsule en cuivre, disposition excellente. Huit ans après, la platine à silex était abandonnée pour les armes de chasse, et des expériences commencées pour appliquer le système percutant aux armes de guerre.

La figure 4 représente la meilleure disposition de la

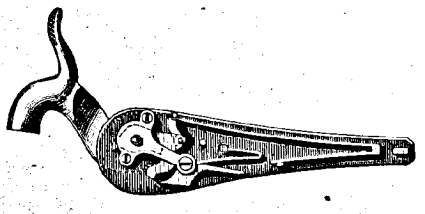


Fig. 4.

platine à percussion dite à chaînette. Nous passerons en revue les principales pièces qui la constituent.

Le corps de platine sur lequel s'assemblent toutes les pièces du mécanisme, et qui sert à fixer la platine sur la monture, est en fer cémenté et trempé, afin de présenter une résistance suffisante aux chocs et efforts qui tendraient à le fausser.

Le chien fait l'office de marteau ; il doit frapper la capsule vivement et bien d'aplomb. La tête du chien est reliée au centre du mouvement par le corps qui doit présenter une solidité suffisante pour résister aux chocs sur la capsule.

La forme de la tête a été l'objet d'une étude intéressante que nous rapporterons ici. Il arrive presque toujours, surtout quand le ressort est trop fort, que par son action répétée, le chien percutant fortement sur la cheminée l'endommage peu à peu. De petites parcelles de poudre fulminante peuvent y demeurer et être une cause d'accidents. M. Fontenau, de Nantes, a cherché à éviter cet inconvénient par une disposition combinée surtout en vue d'éviter les accidents qui surviennent fortuitement, lors du maniement des armes à feu à la chasse.

Pour atteindre ce but, M. Fontenau rend mobile à volonté la partie cylindrique du chien qui vient, dans l'arme à percussion ordinaire, frapper sur la cheminée munie de la capsule. Cette mobilité est obtenue en forant cylindriquement cette partie du chien, et y taraudant un pas très-fin qui permet d'y adapter une vis (fig. 5). Cette vis, terminée extérieurement par une

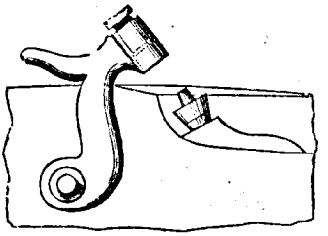


Fig. 5.

tête cannelée, se détourne avec facilité ; un ou deux tours suffisent pour désarmer le fusil et rendre toute explosion impossible, lors même que par un accident quelconque le chien se rabattrait sur la cheminée. On voit avec quelle facilité le chasseur se trouve mis à l'abri de tout accident par cette disposition, avec quelle rapidité le fusil est remis en état de faire feu.

En enlevant entièrement la vis, l'arme devient tout à fait inoffensive et peut sans danger être maniée par les enfants et les personnes les plus imprévoyantes.

La vis dont l'extrémité frappe la capsule peut être facilement amenée à la longueur convenable pour qu'elle approche beaucoup de l'extrémité de la cheminée *sans la toucher*. L'épaisseur du cuivre de la capsule et la charge de poudre fulminante permettent de rendre cet écartement notable, comme on le voit en faisant partir l'arme après avoir détourné la vis de plus d'un tour.

Le bout de la cheminée n'est donc plus martelé, elle n'est plus ébranlée par un choc oblique, le chien frappant à plat sur son collet ; enfin toute projection des débris de la capsule devient impossible.

Pour les armes de guerre il y a tout bénéfice à étalonner le creux de la tête du chien, de manière que la percussion ne vienne jamais mutiler l'extrémité de la cheminée, et faire poser sur l'embase de la cheminée l'extrémité de la tête du chien.

C'est à ce résultat et à l'emploi d'une cheminée portant une embase sur laquelle le chien peut poser, que doivent se borner les constructeurs d'armes qui n'adopteraient pas le système breveté de M. Fontenau, soit à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARMES A FEU.

cause de son prix, soit par la crainte que la vis ne se desserre et ne remonte par le choc, ce qui occasionnerait des ratés. Ce dernier inconvénient a, au reste, été évité par l'inventeur d'une manière ingénieuse. Il perce un petit trou transversalement dans la vis et y chasse une petite cheville en bois qui assure un frottement toujours gras et une adhérence suffisante à la vis. Cette disposition nous paraît pouvoir être appliquée dans grand nombre de petits mécanismes, pour assurer très-simplement l'action des vis. Revenons aux éléments de la platine.

Le ressort se compose de deux branches : la grande branche qui est le moteur, et la petite branche qui maintient le bec de la gâchette engagé dans les crans de la noix. Ces deux branches, ayant chacune un rôle particulier, doivent être indépendantes l'une de l'autre.

La noix transmet au chien l'action de la grande branche du ressort ; d'un côté se trouve le pivot qui est maintenu par la bride de la noix, de l'autre l'arbre qui traverse le corps de platine. Le pivot et l'arbre se trouvent sur le même axe. L'arbre de la noix déborde un peu le corps de platine extérieurement, afin d'empêcher le chien de frotter sur le corps de platine ; à l'intérieur est ménagée une petite embase pour diminuer le frottement de la noix sur ce corps. L'arbre de la noix est terminé par le six pans, qui se loge dans le trou à six pans pratiqué dans le corps du chien. Le six pans de la noix est percé, suivant l'axe de l'arbre, d'un trou taraudé, destiné à recevoir la vis de noix qui fixe le chien.

La chaînette est l'articulation qui transmet à la noix l'action de la grande branche du ressort ; l'un de ses doubles pivots s'engage dans la griffe du ressort, et l'autre dans l'entaille et le trou de la noix. Le rôle de la chaînette est de régulariser l'action du ressort sur la noix aux différentes époques du mouvement. Elle est en effet disposée de telle sorte, qu'à la position du chien à l'abattu, sa direction est perpendiculaire au rayon de la noix qui aboutit au point d'attache ; l'effort qu'elle transmet s'exerce avec toute son intensité. A mesure que le chien se rapproche de la position du bandé, l'énergie du ressort augmente, mais alors la chaînette, s'inclinant de plus en plus sur le rayon de la noix en pénétrant dans l'entaille, son action sur la noix va en diminuant.

Dans une platine bien réglée, lorsque l'on conduit le chien de l'abattu au bandé ou réciproquement, avec le pouce, la résistance que l'on éprouve doit être la même dans tout le parcours du chien.

La gâchette sert à arrêter le chien dans deux positions déterminées : 1° lorsque son bec s'engage dans le cran de sûreté ; 2° lorsqu'il s'engage dans le cran du bandé. Elle doit être disposée de manière à agir tangentiellement à la noix. Mobile autour d'un double pivot, son action est assurée par le petit ressort elle porte une partie courbée perpendiculaire au corps de platine qu'on appelle queue de la gâchette, sur laquelle le tireur agit par l'intermédiaire de la touche recourbée de la détente et de la lame de détente.

Fusil modèle 1842. L'étude des conditions d'établissement d'une bonne arme de guerre se chargeant à la baguette, et la description des meilleures dispositions adoptées pour les diverses parties qui la constituent, nous a conduit à celles qui étaient réalisées dans le modèle 1842, fabriqué d'après les résultats de l'expérience acquise antérieurement à cette époque. Nous n'insisterons pas sur les parties secondaires, les garnitures, la baguette, la baïonnette et toutes les pièces secondaires qui n'ont d'importance que pour la pratique journalière d'une arme aujourd'hui abandonnée.

Armes de chasse. Longtemps les armes de chasse ne se sont distinguées des armes de guerre que par leur légèreté que permettaient la bonne qualité des matériaux et la pression moindre des gaz de la poudre qu'on emploie à des charges moins fortes, pour accomplir un travail bien moindre que dans les armes de guerre. Le fini de la fabrication, l'élégance des sculptures, des damasquinures, permet de faire des armes de luxe, des fusils de chasse toujours à deux coups, ayant deux canons accolés, des produits souvent très-remarquables. Nous n'en parlerons d'une manière spéciale que pour décrire la transformation qu'ils ont subie généralement depuis 1831, c'est-à-dire depuis qu'ils ont été transformés en armes se chargeant par la culasse, d'après le système inventé par Lefaucheux, disposition évidemment très-commode, évitant nombre d'accidents qui survenaient lors du chargement avec la baguette, surtout avec les fusils à deux coups.

Fusil Lefaucheux. Le fusil Lefaucheux se compose d'un double canon fixé, par une charnière tangentielle à sa circonférence, à une pièce de fer repliée en équerre contre laquelle va s'appuyer son extrémité inférieure ; le canon est solidement maintenu en contact avec cette pièce qui lui sert de culasse, à l'aide d'un tirant en forme de T, dont la tête s'engage entre deux crochets soudés sous le canon. La pièce formant culasse fait en même temps fonction de pièce de bascule, et vient s'arrêter à l'ordinaire dans les bois, entre les deux platines. La tête du T est construite de façon à remplir le double office d'appliquer le bout du canon contre la pièce formant culasse lorsqu'on veut fermer le fusil pour faire feu, et de soulever légèrement le canon, par l'action de faces inclinées, pour vaincre l'adhérence des pièces les unes contre les autres lorsqu'on se dispose à introduire une nouvelle cartouche. C'est un levier particulier qui sert à mettre le T en mouvement. Dans ce fusil, tel qu'il avait été inventé, le feu était mis à la poudre, comme à l'ordinaire, par la percussion d'un chien sur un piston taraudé dans le canon.

Les fig. 6 et 7 représentent un fusil de chasse à deux coups, système Lefaucheux.

La fig. 6 représente le fusil prêt à faire feu.

La fig. 7 est une coupe longitudinale du fusil, les canons rabattus et prêts à recevoir les cartouches, à une échelle double.

La fig. 8 montre le T vu en élévation et en plan.

La fig. 9 la cartouche munie de son culot, inventée par suite de la nécessité d'un chargement particulier.

A, canon du fusil. B, B, crochets adaptés sous le tonnerre, entre lesquels s'engage une espèce de verrou nommé T. D, cheminée adaptée sur le canon et recevant la capsule d'amorce. E, clef placée sous la bascule ; on la détourne horizontalement de gauche à droite pour dégager les crochets et abattre le canon ; dans le carré de cette clef entre l'extrémité inférieure du T, qui y est retenu par une vis ; la tête du T est taillée en biseau, pour glisser contre le bout de l'encoche C, taillée en plan incliné ; un ressort, qui n'est pas visible dans les figures, appuie contre le T et tient la clef écartée pendant qu'on charge le fusil. I, pièce de fer repliée en équerre, nommée bascule, solidement fixée au fusil, et sur l'extrémité de laquelle tourne le canon. J, broche traversant la charnière de la bascule et servant de centre de mouvement au canon. K, chien. M, gâchette.

Pour manœuvrer le fusil, on place l'arme sous l'épaule, on passe la main gauche sous le canon et on appuie contre la clef, qui se détourne à l'instant et dégage les crochets C, C. Aussitôt le canon s'abat et présente son tonnerre ouvert. Dans cette position, indiquée par la fig. 7, la clef reste en place et ne peut plus retomber, étant retenue par le ressort qui appuie contre le T. Pendant que le fusil est tenu de la main gauche, on enfonce la cartouche dans l'âme ; puis on relève le canon, on remet la clef en place comme on le voit fig. 6, et le fusil est chargé. Il ne reste plus alors qu'à coiffer la cheminée D d'une capsule en cuivre contenant l'amorce de poudre fulminante et à armer le chien ; celui-ci, en s'abattant vivement sur la capsule, la brise et enflamme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la poudre fulminante, qui met le feu à la charge en traversant la cartouche. Après que le coup est parti, on qu'on élève ou qu'on abaisse au moyen d'un anneau D. Cette culasse s'applique exactement sur l'orifice du ca-

Fig. 6.

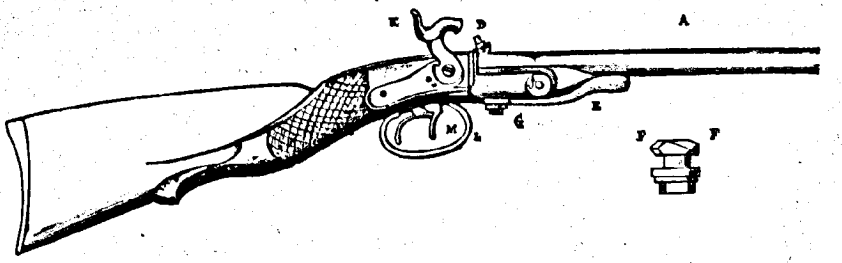


Fig. 9.



Fig. 8.

Fig. 7.

abat le canon, on retire les débris de la cartouche, et on charge comme il a été dit précédemment.

Nous avons dit, à l'article CARTOUCHES, comment le fusil Lefaucheux reçut un perfectionnement tout à fait capital par l'invention des cartouches à broche et à culot. Cette ingénieuse invention, en supprimant le crachement, qui semblait le défaut nécessaire du chargement par la culasse, a été un grand progrès pour le genre d'armes dont il s'agit, a fourni un précieux moyen de perfectionner les systèmes nouveaux qui se sont succédé; aussi, quand on parle d'un fusil se chargeant par la culasse, on ne doit jamais en séparer la cartouche (voy. CARTOUCHE).

Fusil Robert. Nous dirons ici quelques mots du fusil Robert, inventé un peu avant le précédent et qui ramena l'attention sur les fusils se chargeant par la culasse, oubliés depuis les essais de Pauly, qui le premier osa ouvrir le tonnerre par une charnière, mais qui ne put organiser un système de percussion quelque peu satisfaisant. Le problème a été, dans le fusil Robert, élégamment résolu; pour la première fois, l'amorce a été liée à la cartouche, et on ne les sépare pas pour charger et amorcer. Le soldat, pour charger, n'a qu'à pousser la cartouche dans l'âme et refermer la culasse. L'amorce est un petit cylindre de 2 millimètres de diamètre et de 10 à 15 millimètres de longueur, chargé de poudre fulminante; ce cylindre est piqué dans la cartouche et y est fixé de manière à ce qu'il ne puisse s'en séparer. Un marteau intérieur frappe ce cylindre sur une enclume, de sorte que le feu est mis à la charge par un mécanisme intérieur et non extérieur.

La fig. 10 montre le fusil ouvert, armé et chargé; les lignes ponctuées le montrent chargé, armé et fermé.

La fig. 11 est une vue extérieure de la cartouche.

Le fusil se compose d'un canon A ouvert à sa partie postérieure, et d'une culasse H réunie à un levier C, non et fait corps avec deux joues E, E, qui en sont le prolongement et tournent autour d'une forte vis F. A la partie antérieure et prolongée de la culasse, est fixée une pièce *j*, qui est le *bandeur*, et dont l'extrémité appuie, par une petite roulette *a*, sur le grand ressort L, attaché à la sous-garde R par une vis T. Ce ressort est terminé par un marteau M, dont la partie supérieure et tranchante N, nommée *croissant*, vient frapper de bas en haut le petit tube *h* renfermant l'amorce, pris entre l'appendice *i* du canon et l'enclume formée par la culasse mobile. Un index O, qui fait partie du grand ressort L, indique, en faisant saillie dans l'ouverture du pontet, que le fusil est armé. Le marteau M est armé d'un petit cran *b* qui s'engage sous le mentonnet P d'un ressort triangulaire retenu par une vis V sur le pontet X. En appuyant sur la détente Y, on fait reculer le mentonnet P, et on dégage le marteau. Lorsque le levier C est abaissé, son anneau D est retenu par un petit ressort *d*, portant un cran qui s'engage dans une échancrure de la partie antérieure de l'anneau. Sur la cartouche A', contenant la balle et la charge, est adapté le petit tube de cuivre *h* contenant l'amorce de poudre fulminante. Ce petit tube, qui se place sur l'appendice *i* lorsque la cartouche est introduite dans le canon, est brisé par le choc du marteau. La cartouche est enveloppée d'un étui qu'on retire quand on veut s'en servir.

La manœuvre du fusil Robert est très-simple. Pour charger, on saisit le levier C par l'anneau D, et on le soulève. Par ce mouvement la culasse B, en tournant par ses joues E autour de la vis F, découvre la chambre du canon. En même temps le bandeur *j*, en appuyant par la roulette *a* sur le grand ressort L, le comprime jusqu'à ce que le cran *b* du marteau s'engage sous le mentonnet P.

Pour faire feu, on appuie le doigt sur la détente Y, ce qui fait reculer le mentonnet P, et dégage brusquement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le marteau, dont le choc de bas en haut contre l'amorce placée sur l'appendice *f* de la culasse communique instantanément l'inflammation à la charge. Aussitôt que la charge est partie, il faut ouvrir la culasse vivement,

« 2° De pouvoir tirer dix à douze coups par minute, sans passer l'arme à gauche, sans sortir de la ligne horizontale, parallèle à la ligne d'en joue, et sans solution de continuité;

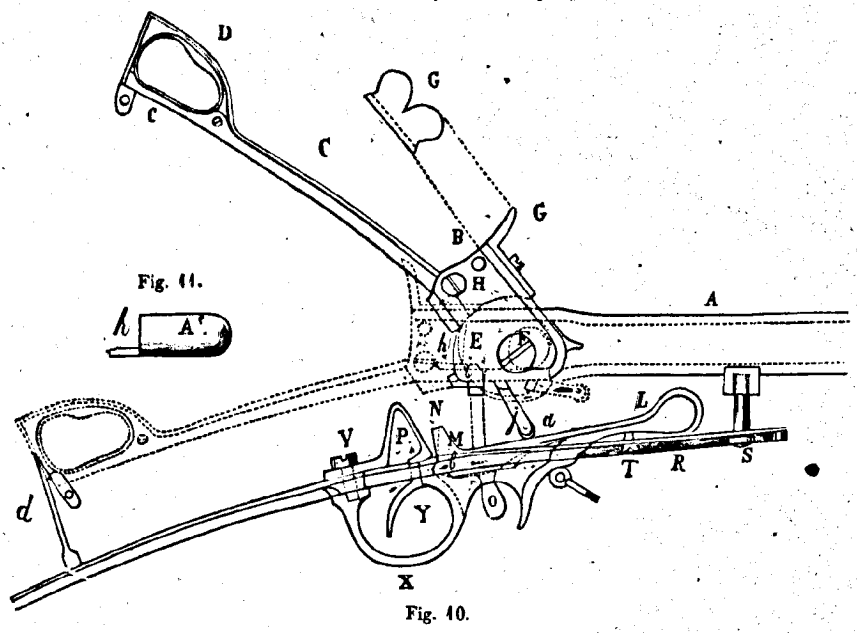


Fig. 11.

Fig. 10.

et d'un seul coup, ce qui permet le passage de l'air à travers le canon, et le rafraîchit lorsqu'il est échauffé. On doit enfoncer la cartouche dans le canon d'une ligne au plus, mais toujours assez pour que la culasse ne la déchire pas en se fermant. On doit également placer l'amorce sur l'appendice ; cependant cette précaution n'est pas indispensable, car la culasse en s'abaissant l'y ramène.

Le crachement à la culasse était le défaut de cette arme et pouvait être corrigé par une cartouche à culot et à percussion centrale, en modifiant la platine. Nous ne décrirons pas ce système, facile à combiner aujourd'hui, cette arme n'ayant plus d'intérêt qu'au point de vue de l'histoire des inventions.

Fusil Pauly. Nous serions trop incomplets au point de vue historique, si nous ne rappelions que les armes qui viennent d'être décrites avaient été précédées par les nombreux essais faits par Pauly, avec l'ancien fusil d'abord, mais surtout dès qu'on proposa d'employer les poudres fulminantes, mais quand on ne savait pas encore les placer dans des capsules métalliques. L'inventeur, officier d'artillerie, comprenait déjà bien l'avenir d'un genre d'armes qu'il s'occupait de perfectionner; nous le prouverons en reproduisant ici, en partie, une note qu'il publiait en 1810, à l'époque où M. Delessert faisait l'éloge de son invention dans un rapport à la Société d'encouragement.

« M. Pauly croit devoir appeler l'attention sur les armes de son invention, dont le mécanisme et l'usage offrent de très-grands avantages, comparativement aux autres agents de destruction de l'espèce dont il s'agit.

« Le fusil de guerre de M. Pauly a pour qualités principales :

« 1° de porter la balle à une distance double des fusils ordinaires;

« 3° De n'exiger ni baguette, ni pierre, ni tire-bourre, ni épinglette;

« 4° De rendre l'infanterie presque inattaquable par la cavalerie, au moyen de baïonnettes qui, allongées ou raccourcies, toujours d'une manière solide et à volonté pour les soldats des second et troisième rangs, présentent le premier rang défendu par cette arme meurtrière ;

« 5° D'offrir les mêmes avantages, dans les retraites les plus précipitées, par la facilité qu'a le soldat de charger, soit en marchant, soit en courant, l'arme étant placée horizontalement sur l'épaule, le bras appuyé sur la crosse, de manière qu'il ne lui reste à faire qu'un demi-tour, en portant le pied gauche en arrière, pour faire feu avec autant de promptitude et de justesse que s'il tirait de front; à plus forte raison, le tirailleur peut-il effectuer sa charge dans telle position qu'il se trouve, debout, couché ou étroitement embusqué;

« 6° Ce fusil de guerre, comme celui de chasse, exempt de tout long feu, insensible aux effets de la pluie sur la poudre, n'a plus, comme les fusils ordinaires, ces jets de fumée si incommodes en bataille et à la chasse, puisqu'il n'y a pas de lumière; son effet ne peut être paralysé faute de pierre, de baguette ou d'instruments d'amorce, non plus qu'être dangereux sous le rapport des doubles et triples charges, si communes dans les feux de file, attendu qu'il est impossible de les effectuer;

« 7° Enfin, il est aussi facile de charger la nuit sans lumière qu'en plein jour, et sans aucun danger, avantage inappréciable, sans doute, pour les cas de surprise et d'attaque nocturne, dans lesquelles celui qui a à se défendre ne peut renouveler la charge des armes ordinaires sans y voir, et sans des lenteurs qui souvent lui coûtent la vie. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARMES A FEU.

La fermeture du fusil Pauly ressemblait beaucoup à celle du fusil Robert ; le mécanisme de la platine qui frappait le fulminate placé sur la cartouche était plus compliqué et s'encrassait par l'effet du tir. Évidemment, la cartouche manquait pour rendre cette arme acceptable en service courant; les inventeurs se succédèrent pour résoudre le problème par des modifications de mécanismes, sans arriver à des résultats satisfaisants, en imaginant des combinaisons de mobilité du tonnerre qui se retrouvent, pour la plupart, dans les armes nouvelles qui se sont succédé depuis que le perfectionnement des cartouches les a rendues pratiquement réalisables.

ARMES CARABINÉES. Revenons à l'importante question des armes de guerre.

La justesse du tir et l'accroissement de portée des armes à feu constituent le plus grand progrès que l'on puisse réaliser pour accroître utilement les forces militaires d'un pays. C'est par l'invention des armes carabinées qu'on a depuis bien longtemps essayé de réaliser de semblables progrès.

Pendant les guerres de la révolution, nos soldats eurent souvent à souffrir de la supériorité de tir que donnait aux chasseurs tyroliens l'emploi de la carabine. On construisit des armes semblables, mais, malgré leurs effets remarquables, leur usage fut abandonné, à cause de l'embarras du chargement. Le canon de ces armes portait intérieurement sept rainures hélicoïdales (fig. 12). On y chassait de force, à coups de maillet, une balle sphérique (fig. 13) d'un diamètre un peu plus grand que l'âme, qui s'y moulait et qui, lorsqu'on faisait feu, sortait, en suivant les rainures, animée d'un mouvement de rotation sur son axe.

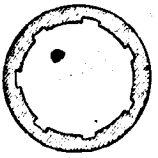


Fig. 12.

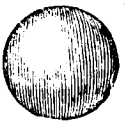


Fig. 13.



Fig. 14.

L'énorme perte de temps qui résulte du mode de chargement au maillet, seul moyen de forcement connu jusque dans ces dernières années, avait toujours empêché l'adoption pour l'armée, même pour les corps d'élite, des armes carabinées, malgré la grande supériorité de tir qu'elles présentent.

Une heureuse invention, due à M. Delvigne, officier français, est venue lever la difficulté et a ouvert la voie féconde des améliorations dont nous allons parler.

Le problème que M. Delvigne s'était proposé, et qu'il a complétement résolu, était celui-ci : après avoir introduit librement une balle dans un canon rayé, faire qu'elle ne puisse sortir que forcée, avec une augmentation de volume suffisante pour remplir les rayures. Dans la carabine de M. Delvigne, la balle (fig. 14), librement descendue dans le canon, repose sur l'extrémité d'une chambre pratiquée dans la pièce de culasse. Un seul coup de baguette de fer, convenablement appliqué sur la balle, suffit pour l'aplatir et changer ses dimensions.

Cette invention de M. Delvigne était extrêmement remarquable; l'écrasement de la balle assure l'effet des rainures, c'est-à-dire procure le mouvement régulier de rotation de la balle par l'effet des rainures hélicoïdales, et par suite la régularité bien vérifiée du tir des carabines, avec un mode de chargement plus simple. Les chasseurs de Vincennes, armés de ces carabines, purent obtenir un tir efficace à 500 et même 600 mètres.

Toutefois, l'écrasement à l'aide de la baguette, sur un épaulement réservé dans le tonnerre au-dessus de la charge de poudre, ne se produit qu'avec quelque difficulté, malgré le poids donné à la baguette, et a été obtenu plus aisément et d'une manière plus facilement applicable aux armes existantes par l'heureuse invention des *carabines à tige* que représente la figure 15, et qui permet la réalisation d'une seconde condition d'augmentation de portée, point de départ d'un grand progrès, dont nous parlerons ci-après. Cette solution, due sans aucun doute, indirectement pour le moins, aux recherches dont l'invention de la carabine Delvigne fut la cause, fut imaginée par le colonel Thouvenin. Elle consiste à fixer dans la culasse du canon une tige dont l'axe est celui du canon. La balle, creuse à la partie inférieure, introduite dans le canon, s'arrête sur la tige; elle y trouve un appui solide, qui permet de la forcer dans les rayures sans la déformer irrégulièrement.



Fig. 15.

On arrivait donc ainsi non-seulement à une modification de l'arme, mais encore à l'emploi d'une nouvelle forme de projectile.

Balles cylindro-ogivales. La forme sphérique donnée aux balles n'est pas celle que la théorie leur assigne, pas plus qu'on ne construit un vaisseau à section circulaire, et tout projectile devrait évidemment, pour la meilleure utilisation de la force vive qui lui a été imprimée, avoir la forme du solide de moindre résistance, être de forme allongée et non sphérique.

L'emploi de balles semblables n'est possible qu'avec des armes carabinées. Une grande diminution de résistance par suite de la diminution du calibre, pour un même poids de la balle, par suite un grand accroissement de portée devient possible par suite de la permanence du plan de rotation de la balle, qui fait que sa pointe reste toujours en avant. Ce mouvement de rotation autour de l'axe assure la régularité du tir. En effet, quand il n'existe pas, il faudrait que la balle fût de forme et de position toujours identiques pour que la résistance de l'air n'engendrât pas un mouvement de rotation autour d'un axe autre que l'axe de figure, différent pour chaque balle et chaque charge, cause variable de déviation et de grande résistance, rendant impossible l'emploi d'une balle allongée dans une arme à canon lisse. Mais il n'en est plus de même quand la balle tourne; sa rotation autour de son axe de figure la rend en quelque sorte parfaitement symétrique. Si, en effet, dans une des positions la résultante des impulsions ou des résistances sur les divers éléments ne passe pas par le centre de gravité et cause une déviation, si on considère les phénomènes après une demi-révolution, un effet absolument inverse sera produit, et on peut dire que tout aura lieu comme si l'ensemble des résistances effectives dans les deux positions passait par le centre de gravité. (Voy. *Complément*, art. BOULETS TOURNANTS.)

Si l'on remarque que dans la carabine Delvigne l'aplatissement de la balle augmente la résistance de l'air, que pour que la balle ne se déchire pas dans les rainures la vitesse initiale ne doit pas être trop forte, on voit que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les limites de vitesse initiale et les accroissements de résistance venaient en compensation des avantages qu'offrait un tir plus régulier. Il n'en est pas de même avec les carabines à tige, dont la balle peut être de forme allongée, se gonfle facilement sur une plus grande longueur, la base étant déformée aisément par l'action de l'extrémité de la baguette qui porte en creux la forme de l'extrémité aiguë de la balle. Enfin surtout, celle-ci ayant une masse plus grande que la balle sphérique tirée avec la même arme, perd moins rapidement la quantité de force vive dont elle est animée.

De la moindre résistance et de la plus grande masse résulte le grand avantage de pouvoir, pour une portée donnée, faire partir la balle avec une vitesse initiale moindre, par suite sans déchirement de la partie du plomb chassée dans les rainures, ou, ce qui résulte d'une plus grande résistance du plomb refoulé sur une plus grande longueur, d'obtenir une vitesse de rotation plus grande de la balle. Cette dernière condition s'obtient avec une rayure ayant un pas d'hélice plus court. On a obtenu ainsi une arme ayant une portée de 1,300 mètres et avec laquelle on met, à 800 mètres de distance, vingt-cinq balles sur cent dans un panneau de 2 mètres de hauteur sur 6 mètres de base.

Balles de formes diverses. On a modifié de diverses manières la forme des balles. A l'extérieur on a pratiqué des cannelures pour utiliser la résistance de l'air et empêcher les inclinaisons de la balle. En la creusant et reportant le poids vers le sommet, on a accru encore la régularité, en imitant la disposition de la flèche. L'invention la plus intéressante dans cette voie est celle des balles expansives ou balles à culot (fig. 16), permettant de supprimer la tige, système adopté avec succès par MM. Munié et Nessler. En pratiquant un évidement à la partie postérieure de la balle, les gaz s'y introduisant au moment de l'explosion, grâce à son inertie et à ce qu'elle remplit bien le canon, étant garnie d'un calepin graissé, forcent les parois à s'épanouir et à pénétrer dans les rainures. Cet effet de forcement est rendu plus énergique quand on dispose à l'entrée de l'évidement un culot ou coin (en bois, fer ou toute autre matière plus résistante que le plomb). L'expérience fait voir que les gaz de la poudre agissant sur ce culot le forçaient à pénétrer dans l'évidement qu'il agrandissait en dilatant la balle. On peut, en réglant convenablement les dimensions du culot et celles de l'évidement, rendre le forcement aussi énergique que possible. Des balles à évidement triangulaire et quadrangulaire ont été seules employées dans l'armée française à partir de 1858, les fusils et les baguettes n'étant pas alors plus lourds que pour les armes à canon lisse, la rapidité du chargement étant d'ailleurs la même.



Fig. 16.

Théorie des armes carabinées. Nous analyserons les conditions théoriques à remplir par ces armes, en reproduisant une discussion excellente de M. le capitaine Lefèvre (Cours de tir de Châlons 1869).

Du petit calibre. Grâce à l'adoption de la forme allongée, à la possibilité de son emploi quand on imprime un mouvement de rotation rapide à son grand axe, le poids de la balle ne dépend plus du calibre d'une manière aussi absolue que dans le cas de la balle sphérique, ou, en d'autres termes, un calibre étant donné, le poids de la balle peut varier entre deux limites fixées par les nombres 2,5 et 3, qui indiquent le rapport déterminé expérimentalement de la longueur admissible du projectile à son calibre.

D'autre part, la résistance que l'air exerce sur la balle étant, à égalité de masse et de vitesse initiale, proportionnelle au rayon de la section du projectile, a moins d'effet sur les balles dont le calibre est petit. En outre, la masse du projectile devenant moindre, on peut, *toutes choses égales d'ailleurs*, augmenter la charge de manière à obtenir plus de vitesse initiale, par conséquent aussi plus de tension, au moins dans les premières portions de la trajectoire ; mais on ne peut trop diminuer le poids de la balle sans diminuer la portée. C'est en tenant compte de ces divers éléments qu'on a adopté le calibre de 11 millimètres et le poids de 25 grammes pour la balle du fusil modèle 1866.

C'est peut-être le perfectionnement le plus important réalisé par cette arme, décrite ci-après, que d'avoir été construite avec un petit calibre, ce qui permet d'employer une forte charge relative de poudre, et, par suite, d'obtenir une vitesse et une portée considérables, sans que le recul devienne une souffrance pour le tireur, pour une charge de 5 grammes de poudre.

M. Treuille de Beaulieu avait fort bien indiqué cette voie, en faisant exécuter une élégante carabine dont la balle n'avait que 9 millimètres de diamètre. Voici ce qu'il en dit dans le rapport de l'Exposition de 1867 : « Cette balle, pesant 12 grammes, avait exactement, à cause de sa forme allongée, le même poids accumulé sur l'unité de surface que celle de la carabine à tige. Or, à la charge de 4 grammes, la balle de 12 grammes pouvait, avec le calibre de 9 millimètres, atteindre la vitesse de 547 mètres, tandis que la vitesse initiale de la balle cylindro-conique de la carabine à tige est à peine de 300 mètres. On peut conclure de là que les effets de pénétration, qui, à vitesse égale, seraient identiques, doivent être entre eux, à bout portant, comme le carré des vitesses initiales, c'est-à-dire dans le rapport de 3,5 à 1.

« Cette petite balle, avec 12 grammes de poudre, perçait, à 40 mètres, la cuirasse d'ordonnance, et lancée par un pistolet avec 2 grammes de poudre seulement, perçait à 800 mètres la cible, c'est-à-dire une épaisseur de bois de 27 millimètres. »

De la forme des rayures. La forme la plus généralement employée pour la courbe directrice des rayures est celle d'une hélice à pas constant.

Soit V la vitesse de la balle à la sortie du canon, la vitesse initiale ; si on suppose le canon et les rayures indéfiniment prolongés et la balle se mouvant toujours avec la vitesse V, il est clair que pour tout espace parcouru p, pas de l'hélice, elle aura fait un tour sur elle-même, et $\frac{V}{p}$ sera le nombre de tours qu'elle fera en une seconde. Soit n ce nombre de tours ; dans le fusil modèle 1866, la vitesse initiale est de 409 mètres, $p = 0{,}55$, d'où $n = 743$ tours environ par seconde.

Dans les anciennes armes rayées, la forme sphérique de la balle se prêtait difficilement à l'action des rayures ; de plus, avec cette forme, le projectile abandonne aisément l'axe de rotation autour duquel il a commencé à tourner. Or, comme la stabilité de cet axe, condition de justesse dans le tir, croît avec la vitesse de cette rotation, on était obligé d'employer des hélices à pas très-petits. Il en résultait un frottement considérable du plomb contre les parois de l'âme, d'où une diminution de la vitesse initiale ; il fallait donc, pour corriger ce défaut, se servir de fortes charges qui augmentaient le recul et nécessitaient des armes très-pesantes.

Avec une balle allongée, on peut, à égalité de charge et de poids de la balle, employer un pas plus grand, pour une même vitesse de rotation, puisque la vitesse initiale augmente, comparée à celle de la balle sphérique.

L'expérience a néanmoins démontré que pour une *même* arme, une *même* balle *allongée*, et une *même* charge de poudre, la variation du pas n'a qu'une faible influence sur la vitesse initiale ; qu'ainsi dans le calibre de 11mm,5 le pas peut varier de 0m,40 à 0m,80 sans que l'augmentation de la vitesse initiale (425 mètres environ) soit de plus de 1/100e de sa valeur moyenne, tandis que la vitesse de rotation varie du simple au double.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

De la rayure à pas progressif. Toute mesure directe de la vitesse de rotation étant, jusqu'à présent du moins, une opération impossible, on peut craindre, dans l'incertitude où l'on est de ce qui se passe dans l'âme, que, pour le cas d'une grande charge et d'un faible pas, le projectile ne franchisse les rayures en s'y déchirant sans les suivre, et ne quitte le canon sans mouvement de rotation régulier.

On a cru pouvoir prévenir la possibilité d'un pareil inconvénient, en adoptant pour directrice de la rayure une hélice à pas variable plus petit vers la bouche que vers la culasse. Ce système a l'inconvénient de déformer, à mesure que la balle entre dans le canon, la dentelure produite sur la balle par l'élément de rayure correspondant à la position que cette balle occupait à l'instant précédent.

Quelque soit le mode de variation que subit la tension des gaz à l'intérieur du canon, il est évident que la vitesse de translation de la balle augmente de la culasse à la bouche, par suite la vitesse de rotation $\frac{V}{p}$ croîtra depuis le moment où la balle commence à se déplacer jusqu'à celui de sa sortie du canon, que le pas de l'hélice soit uniforme ou progressif.

Du profil des rayures. Pour qu'une balle, une fois forcée dans le canon, soit *conduite* par les rayures, il faut que les saillies ou dentelures produites dans le plomb de la balle restent dans les rayures. Le profil de celles-ci doit donc être tel que le plomb puisse en prendre facilement la forme, et leur tracé ne doit pas avoir des parties anguleuses.

Le forcement sera d'autant plus énergique que la rayure sera plus profonde ; mais si cette profondeur est trop grande, le plomb y pénétrera difficilement, pourra ne la remplir qu'imparfaitement. De là, des pertes de gaz occasionnant des inégalités dans la vitesse initiale ; de là aussi de fortes saillies sur la balle, donnant prise à la résistance de l'air. Si la profondeur est trop petite, l'encrassement peut combler la rayure au bout d'un petit nombre de coups ; la balle sortant sans mouvement de rotation chavire immédiatement après sa sortie du canon et n'a plus de portée. Il faut donc rester entre certaines limites ; la profondeur de 0mm,3 à 0mm,4 a paru jusqu'ici la meilleure ; elle est plus que suffisante pour que la balle ne franchisse pas la rayure, même avec une forte charge de poudre.

La largeur des rayures doit croître avec la vitesse initiale et l'angle que la tangente à l'hélice directrice fait avec l'axe du canon, la résistance des saillies de la balle devant croître avec ces éléments pour éviter des arrachements.

Le nombre des rayures était, lors de l'origine des armes rayées, très-grand, et les rayures peu profondes ; mais on reconnut bientôt que l'encrassement rendait ces armes impropres au service de guerre. Au commencement de ce siècle, le nombre descendit à 12 et même à 6, ce que l'on considérait comme un minimum. L'usage est maintenant de se borner à un nombre de rayures qui varie de 3 à 5, les pleins étant égaux aux vides, bien que cette dernière condition ne paraisse avoir rien de nécessaire.

En résumé, moins il y a de rayures, plus le forcement est facile, puisqu'il y a moins de vide à remplir ; mais les dentelures de la balle, étant moins nombreuses, devront, pour avoir une résistance suffisante, être assez larges et assez profondes. Plus il y a de rayures, plus on peut en réduire la largeur et la profondeur ; mais le forcement devenant plus difficile, puisque la balle devra se dilater sur un plus grand nombre d'éléments de sa surface, il y a là une limite qu'on ne peut dépasser.

Sens des rayures. Une déviation à droite est produite par le pivotement du tireur autour de la verticale passant par son centre de gravité, pivotement déterminé par le recul agissant sur l'épaule droite et dont l'effet est de diriger le bout du canon vers la droite du plan de tir. La disposition des rayures de droite à gauche dans le fusil modèle 1866 a pour objet de corriger cette cause de déviation.

Du système Withworth. Les rayures sont sujettes au plombage et à l'encrassement ; de plus elles s'usent à la longue, et elles ne permettent pas de donner un mouvement de rotation à des projectiles en métal dur, en acier, par exemple. C'est ce but qu'a atteint, par une disposition particulière, Withworth, le célèbre constructeur de Manchester.

L'arme présentée, en 1857, au gouvernement anglais par Withworth a une longueur d'âme de 1m,25 environ. Le calibre est de 13 millimètres. La section de l'âme est un hexagone régulier ; chacun des sommets de cet hexagone appartient à une hélice à pas constant. L'âme est donc une surface à six pans hélicoïdaux.

Cette arme est d'un prix élevé, car sa fabrication est difficile, et l'avantage de permettre l'emploi de balles en substances dures est trop rarement utilisable pour qu'on ait songé à adopter cette arme pour le service des armées. Il faut remarquer aussi que dans cette arme la balle n'est pas forcée.

ARMES DE GUERRE SE CHARGEANT PAR LA CULASSE. Le perfectionnement des armes de guerre ne s'est pas arrêté aux succès obtenus dans l'amélioration du tir, on a encore cherché à augmenter beaucoup sa rapidité, ce qui a conduit à abandonner le chargement par la bouche, avec la baguette, pour adopter le chargement par la culasse. Le nombre de ce genre d'armes s'est beaucoup multiplié depuis que toutes les grandes nations les ont adoptées, depuis surtout que les Américains, avec une grande habileté, se sont livrés à leur production. Nous ne nous occuperons que des types les plus remarquables.

On peut classer ces armes de plusieurs manières, suivant le point de départ que l'on adopte.

En partant du système de fermeture, on doit établir les trois classes suivantes :

Dans la première, l'arme se ferme au moyen d'une pièce mobile autour d'une charnière qui peut se rabattre soit de côté, soit en avant ; tels sont les systèmes Robert, Snider, à tabatière, Albini, Mont-Storm, Milbank-Amsler, etc.

Dans la seconde, la pièce de fermeture se meut entièrement ou en partie dans l'intérieur du fusil, dans la partie des anciens fusils où est logée la platine ; c'est à ce groupe qu'appartiennent les armes Peabody, Werder, Henry-Martini, Remington, Spencer, etc.

La troisième classe (celle des fusils à aiguille) se distingue surtout des deux autres, en ce que la fermeture s'effectue dans le sens de la longueur, au moyen d'un cylindre qui peut reculer et avancer dans le sens de l'axe du canon ; pour ces armes, il faut un système de platine tout à fait spécial.

En partant du mode employé pour produire l'obturation, on peut encore établir trois divisions :

1° Les armes dans lesquelles on a cherché (sans jamais y parvenir d'une manière durable) à produire l'obturation par l'exacte juxtaposition des différentes pièces du mécanisme (fusil de rempart, modèle 1834) ;

2° Les armes dans lesquelles on a employé la cartouche pour produire l'obturation ; ce sont toutes celles comprises dans les classes 1 et 2 de la classification précédente ;

3° Les armes où l'on a employé un long ajustement des pièces de fermeture et mis en jeu l'élasticité de certains corps, faisant partie du mécanisme même, pour fermer toute issue au gaz. Ce sont celles de la troisième classe de la classification précédente.

En laissant de côté la première division de la der-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

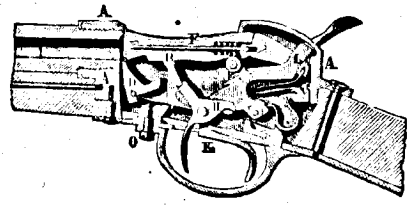
nière classification, qui renferme des armes évidemment inadmissibles comme armes de guerre devant fournir un long service, on voit que ces deux classifications se rapprochent beaucoup; la deuxième classe de la deuxième renfermant les deux premières de la précédente. Nous adopterons cette réduction à deux classes pour l'étude ci-après, parce qu'elle repose sur la différence capitale de ce genre d'armes. On peut dire que le perfectionnement des cartouches métalliques (voyez CARTOUCHE) a bien diminué les avantages que l'on attribuait aux armes de la troisième division sur celles de la deuxième, de ne pas avoir à extraire de cartouche du canon après le coup tiré. L'adhérence de la cartouche dans le canon est un défaut très-grave, mais les perfectionnements de la cartouche métallique ont fait presque entièrement disparaître cet inconvénient, tandis que les avantages du culot pour produire l'obturation et permettre de fortes charges sont extrêmement précieux. Aussi les Anglais ont-ils adopté le fusil Henry-Martini de préférence au fusil prussien et au chassepot français.

1° *Armes employant des cartouches obturatrices.* Nous ne dirons qu'un mot des fusils compris dans la première classe de la première classification donnée plus haut, dans lesquels la culasse, entièrement ou en partie, se sépare du canon en tournant autour d'une charnière. Dans le Snider, dans le fusil français à tabatière, le dessus de la culasse s'enlève seul, et l'axe de la charnière est parallèle à l'axe du canon. Dans le fusil Milbank-Amsler, dans le Waenzel, dans l'Albini, le tonnerre tourne autour d'une charnière perpendiculaire à l'axe.

Ces armes, inventées la plupart avant celles dont nous parlons ci-après, ont été variées de bien des manières. Avec de bonnes cartouches métaliques, elles sont susceptibles d'un assez bon service; l'usage a, toutefois, montré que la charnière exposée à l'air, susceptible de s'encrasser, donnait rapidement une mauvaise fermeture, exigeait des nettoyages fréquents. Aussi ces systèmes ont-ils été ou sont-ils abandonnés successivement partout et reconnus bien inférieurs aux types dont nous allons parler.

Fusil Werder. Ce fusil, imité du Peabody, et très-

Fig. 17.



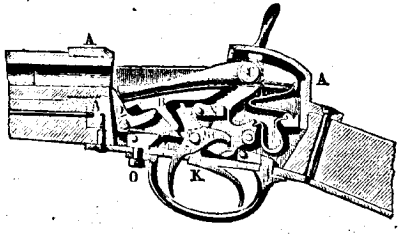


Fig. 18.

voisin du Henry-Martini, nous servira d'exemple pour une classe d'armes (fig. 17 et 18).

La pièce de fermeture B, formant culasse mobile, se meut sur un axe de rotation C situé à sa partie postérieure et placé à angle droit avec la direction de l'âme; il est maintenu par une forte ferrure portant le mécanisme, et assemblée au tonnerre par une pièce taraudée A qui, en outre, à l'avant la réunit au bois du fusil. Le dessus de la culasse mobile est creusé pour faciliter l'introduction de la cartouche dans le canon.

Lors de son mouvement d'abaissement, la culasse mobile agit, par sa partie antérieure, sur la pièce D servant à retirer la cartouche qui vient d'être tirée; cette pièce D saisit le culot à l'aide d'un petit levier en équerre, en deux endroits diamétralement opposés, puis est ramenée à sa position primitive par le petit ressort E. Une broche F traverse la culasse mobile dans toute sa longueur, et cède, quand on tire en arrière le chien, à la pression d'un ressort en spirale qui la ramène dans sa position primitive, en faisant affleurer sa pointe avec la surface antérieure de B. La culasse mobile relevée quand on arme le chien, ferme le canon; elle s'ouvre par l'action d'un ressort à pincettes placé sous son extrémité postérieure. Enfin, pour la maintenir fermée, un support H agissant sur un bras R soutient sa partie antérieure. La pièce H est montée sur le même axe que la détente K, et elle se termine par une languette qui traverse la boîte en tôle de la batterie; cette languette est placée devant celle de la détente, et est recourbée en sens contraire.

La batterie consiste en un chien L, un ressort donnant le choc M, un ressort de détente E et une détente K. Le chien est en dedans de la partie postérieure de la pièce convexe A, et sa poignée sur le côté droit de la batterie. Lorsqu'on arme, c'est un bras N qu'il porte, et qui porte un rouleau à son extrémité, qui relève la culasse mobile.

Tous les axes sont fixés dans deux plaques parallèles. Tout le mécanisme de la platine et de la culasse mobile se trouve compris dans la boîte A vissée au canon. Une bonne vis O consolide l'étrier de la détente et sert à relier le mécanisme à l'enveloppe de la platine.

Pour faire feu on presse la détente, le chien frappe la broche qui vient percuter l'amorce placée au centre du culot de la cartouche. Le coup tiré, veut-on ouvrir l'arme, l'indicateur de la main droite, qui est placé sur la gâchette de la détente, s'avance contre la détente du levier de soutien H, celui-ci abandonne le bras R de la culasse mobile qui, par l'influence du ressort G, s'abaisse. En même temps la pièce D, qui sert à rejeter les débris de la cartouche, se met en mouvement et retire l'enveloppe vide.

Ainsi donc, pour charger, le tireur glisse la cartouche dans le creux pratiqué sur le dessus de la culasse mobile, il arme le chien, et le fusil est prêt à faire feu. Si l'on veut décharger l'arme, il fait baisser lentement le chien en pressant la détente de départ; le canon s'ouvre alors, et la cartouche est retirée de l'arme.

Le fusil Werder est une des armes se chargeant par la culasse qui donnent le tir le plus rapide.

Le Martini est très-voisin de l'arme qui vient d'être décrite, mais lui est supérieur, non-seulement par suite d'une bien meilleure exécution, mais surtout parce que la contre-gâchette est remplacée par le levier du Peabody basculant sous le canon, seul chargé d'ouvrir ou de fermer, de maintenir solidement la fausse culasse. En l'abaissant, il fait mouvoir si rapidement un tire-cartouche, saisissant le culot des deux côtés, que la cartouche est projetée en arrière.

Grâce à la puissance de l'extracteur, on peut employer des cartouches en cuivre embouti, d'une seule pièce, très-résistantes et pouvant servir indéfiniment, formant second tonnerre. La capsule, en cuivre épais, recouvre une saillie tubulaire placée au milieu d'une dépression du centre du culot. La percussion énergique

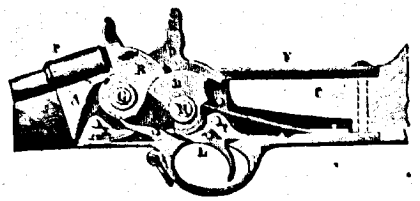
EFERUS - Recherche & Classification numérique

du chien écrasant seulement le point central, l'obturation est parfaite.

Dans ces conditions, l'arme dont nous parlons paraît, à nombre de bons juges, la meilleure que l'on connaisse aujourd'hui.

Fusil Remington. Construite et exploitée avec une grande habileté, cette arme a donné d'assez bons résul-

Fig. 19.



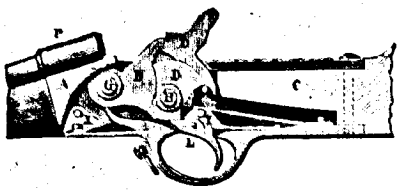


Fig. 20.

tats à la guerre. Elle est représentée fig. 19 et 20. Nous allons en décrire la disposition.

Le tonnerre, fileté extérieurement, se visse dans une boîte A ouverte en dessus et en dessous, présentant latéralement deux faces planes, épaisses et larges, sur lesquelles s'assemblent les différentes pièces du mécanisme. La monture se trouve ainsi coupée, mais la poignée qui entre dans la boîte de culasse est solidement maintenue entre la sous-garde E et la contre-sous-garde F; un boulon C allant d'une de ces pièces à l'autre, à travers le bois, complète cet assemblage que l'on retrouve dans la plupart des armes américaines.

Deux broches-pivots de très-forte dimension, G, H, traversent la boîte de culasse de part en part, perpendiculairement au plan de tir, et prennent leur point d'appui sur les deux faces opposées. Ces pivots sont destinés à servir d'axes de rotation à la fausse culasse B et au chien D, D. La batterie est démontée ou remontée en enlevant ou replaçant ces deux broches, les pièces du mécanisme étant combinées pour être exécutées à l'aide du tour, c'est-à-dire simplement et économiquement. Le chien D, D est disposé pour faire en même temps les fonctions de noix et de pièce de recul. Un ressort droit, fixé par une vis sur la sous-garde, remplit l'office du grand ressort des platines ordinaires; il agit sur la partie plane du chien et tend toujours à le faire tourner en avant. Deux crans maintiennent celui-ci au bandé et au repos, par l'intermédiaire de la gâchette L. Lorsqu'on agit sur la détente, le chien vient frapper par sa partie antérieure le percuteur logé dans la fausse culasse, en même temps que la partie du chien, concentrique au pivot, vient se loger sous la partie correspondante de la fausse culasse et l'immobilise en reportant tout l'effort du recul sur le pivot H.

Il est nécessaire de donner quelques détails sur le percuteur dont nous venons de parler. La percussion se transmet du chien au fulminate logé dans le bourrelet de la cartouche par l'intermédiaire d'une tige qui traverse la fausse culasse dans le sens

du plan du tir, et qui affleure extérieurement la tranche antérieure de cette fausse culasse quand il est au bout de sa course; on la voit en détail dans la fig. 21, qui représente la fausse culasse isolée. Pour l'empêcher de sortir de son logement et lui permettre en même temps un certain jeu longitudinal, on a réservé, vers son milieu, une encoche de forme ovale, dans laquelle passe une petite vis qui traverse la fausse culasse dans le sens perpendiculaire au plan de tir. L'extrémité arrondie du percuteur fait saillir celui-ci en arrière, lorsqu'elle rencontre le bourrelet de la cartouche.



Fig. 21.

Le tire-cartouche, partie délicate des armes qui emploient les cartouches métalliques, est une tige mobile renfermée dans un logement qu'on a ménagé entre le dessous du canon et la boîte de culasse. Une vis traverse une fente pratiquée dans cette tige pour en limiter le mouvement. L'extrémité supérieure de cette tige forme une partie de la feuillure pratiquée à l'extrémité du canon, de dimensions bien petites pour transmettre sans se fausser une traction un peu notable; inférieurement elle forme une saillie qui entre dans une rainure pratiquée dans la fausse culasse et qui la fait mouvoir en arrière quand on ouvre celle-ci.

Nous pouvons maintenant décrire la manœuvre complète de cette arme: armer le chien au moins au cran du bandé, ouvrir la culasse, engager la cartouche dans le canon jusqu'à ce qu'elle vienne buter contre le tire-cartouche, puis fermer la fausse culasse qui pousse en avant la cartouche. Il ne reste plus qu'à agir sur la détente pour faire partir le coup. Le coup parti, si l'on veut continuer le tir, armer le chien, ouvrir la fausse culasse qui entraîne le tire-cartouche; par l'action de celui-ci, le tube de la cartouche qui vient d'être tirée rétrograde assez pour qu'on puisse achever de la dégager, soit avec les doigts, soit en redressant l'arme.

On fait au Remington plusieurs reproches, outre celui qui vient d'être indiqué, que le tire-cartouche est faible.

1° Si la charnière de l'obturateur n'est pas bien huilée, on éprouve de la difficulté à la faire marcher avec les doigts; 2° le frottement continuel de deux pièces rondes (pièce de culasse et chien), produit une usure rapide. La résistance résultant seulement de l'arc-boutement de ces deux pièces qui viennent s'enchevêtrer l'une dans l'autre, il arrive que par suite de l'action des gaz et des fréquents nettoyages qui en sont la conséquence, ou bien par suite de la rouille produite par l'humidité, l'arc-boutement des deux pièces destinées à maintenir la fermeture de la culasse n'existe plus qu'imparfaitement, et l'usure des surfaces donne lieu à un porte-à-faux, d'où il résulte, si cet effet s'exagère, que la cartouche peut crever son bourrelet, donner lieu à des fuites de gaz au moins très-incommodes pour le tireur, et mettre l'arme en peu de temps hors de service.

Disons que la trempe des pièces frottantes augmente leur résistance et que leur fabrication étalonnée rend leur remplacement facile.

Il faut encore remarquer que, tandis que l'action des gaz agit sur la fausse culasse, le point de résistance se trouve placé au-dessous de la fermeture; la force qui tend à l'ouvrir agit donc sur un bras de levier, et, conséquemment, son effet est d'autant plus grand pour produire l'effet indiqué ci-dessus.

Armes à répétition. Le désir d'obtenir des armes à tir rapide devait conduire, pour atteindre ses dernières limites, à l'invention d'armes à répétition, permettant de tirer presque instantanément des cartouches disposées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans un magasin faisant partie de l'arme, dans sa monture le plus souvent.

La première idée qui se présentait à l'esprit était d'imiter la disposition des revolvers. On a, en effet, fréquemment construit des carabines de ce genre, dont le tambour devient énorme; on n'a pu obtenir ainsi que des armes lourdes et sans portée.

On ne pouvait, pour des armes de guerre, s'éloigner des types précédents, on s'est donc proposé de disposer les cartouches dans un tube latéral ou dans la crosse,

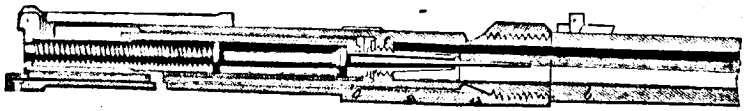


Fig. 22.

d'où elles passent successivement dans le canon, pendant que le mécanisme extrait le tube de la cartouche précédemment tirée.

Tel est le fusil américain de Spencer que l'on a cherché à prôner en Europe, lorsqu'on avait constaté en Amérique que c'était une arme de guerre tout à fait défectueuse. C'est ce qu'un peu d'attention fait bientôt reconnaître.

Les armes à répétition, qui ont eu quelque succès, sont essentiellement fondées sur l'emploi des cartouches métalliques pour remplacer le tonnerre de l'arme; c'est à l'aide de ressorts et de leviers, en abaissant toute la platine, qu'on parvient à amener une cartouche du magasin, pour l'introduire dans l'extrémité du canon, après avoir enlevé les détritus; ce sont évidemment les conditions à satisfaire pour que l'arme à répétition soit réalisée. Mais indépendamment de la complication d'un semblable mécanisme et des causes d'accident qui en résultent, l'assimilation d'une cartouche métallique et d'un tonnerre, dans le sens où nous en parlons ici, n'est vraie que pour une cartouche qui ne donne aucun crachement, c'est-à-dire pour la cartouche à inflammation périphérique, c'est-à-dire dont le cuivre n'a qu'une épaisseur limitée, pouvant être écrasé par le percuteur; c'est-à-dire qu'il ne s'agit ici que d'armes à faibles charges et faibles portées, précisément le contraire de ce que l'on recherche aujourd'hui, avec grande raison, pour les armes de guerre. C'est à grande distance que les actions s'engagent et se dénouent par des mouvements stratégiques, et le soldat armé du fusil qui aura la supériorité à petite distance ne profitera probablement jamais de cet avantage, tandis qu'il sera insuffisamment armé pendant toute la durée des batailles.

Nous croyons donc que c'est se perdre dans les curiosités que d'étudier en détail les armes à répétition. Une disposition qui placerait les cartouches sous la main du tireur au moment où l'action est le plus vive pourrait tout au plus être imitée avec avantage de ce genre d'armes, pour accroître la rapidité du tir.

Fusils à aiguille. Nous allons maintenant traiter de la famille d'armes se chargeant par la culasse pour lesquelles on n'emploie pas de cartouche métallique obturatrice, qui ont été combinées pour ne pas en faire usage; la première arme de ce genre est antérieure aux perfectionnements considérables que celle-ci a reçus, avant lesquels on devait considérer comme un avantage capital de ne rien avoir à extraire du canon après le tir de chaque coup, d'éviter les inconvénients de la sortie du tube de la cartouche.

Fusil à aiguille prussien. C'est à M. Dreyse de Sommerda, en Thuringe, qu'est due l'invention du fusil à aiguille, du Zundnadelgewehr, dont l'adoption par la Prusse a été une des causes des victoires de ses armées.

L'inventeur a été guidé par l'idée ingénieuse de produire l'obturation par l'ajustement de parties coniques, mobiles dans le sens de la longueur de l'arme. Cette disposition était insuffisante, mais la meilleure possible quand on ne veut pas employer de corps étranger. Au total elle n'était pas si imparfaite, avec l'arme neuve surtout; les crachements, éloignés du tireur, étaient assez inoffensifs pour que l'arme ait été adoptée et employée avec succès par une des principales armées de l'Europe.

Voyons comment l'inventeur a réalisé son invention.

Le mécanisme de cette arme (fig. 22) se compose d'une culasse cylindrique mobile dans un manchon ou enveloppe *a*, ce manchon est vissé à la partie postérieure du tonnerre.

La culasse ou tonnerre mobile est munie d'un levier à pommeau qui sert à la faire avancer ou reculer; deux fentes, l'une longitudinale, l'autre transversale, située à la partie inférieure, dans laquelle s'engage la tête de gâchette, permettent de réaliser ces deux espèces de mouvements.

La culasse mobile porte à l'avant un évidement cylyndrique terminé par un chanfrein conique, destiné à emboîter la partie postérieure du tonnerre taillée en biseau. Ces deux parties se raccordent exactement.

L'obturation résulte de la dilatation que subissent, sous l'action des gaz de la poudre, les parois amincies du cône intérieur terminant le canon, contre la surface du cône enveloppe. Cet assemblage conique était peut-être le meilleur mode d'obturation possible, mais, surtout après un peu d'usage de l'arme, il est insuffisant. L'addition d'un anneau de caoutchouc rend l'obturation meilleure, mais celui-ci dure peu.

Le levier à pommeau s'engage dans deux fentes du manchon-enveloppe (voir ci-après ces parties dans le fusil à aiguille français) pratiquées à la partie supérieure de celui-ci et dont l'un permet le mouvement longitudinal, l'autre le rabattement du levier à pommeau. Il rencontre sur l'enveloppe une partie légèrement oblique qui donne une pression destinée à maintenir la culasse mobile assemblée avec le tonnerre.

A l'intérieur, un dard ou conducteur d'aiguille, vissé à demeure dans la culasse mobile, est destiné à former la chambre ardente, destinée par la dilatation des gaz après l'explosion à repousser les débris de la cartouche qui pourraient rester vers le tonnerre. Il est percé dans le sens de son axe pour livrer passage à l'aiguille.

Le tonnerre mobile renferme également une petite platine dont le fonctionnement doit produire en temps voulu l'explosion de la poudre. Il est surmonté d'un ressort d'arrêt destiné: 1° à maintenir en place le mécanisme intérieur ; 2° à tenir le ressort en spirale soit au cran du bandé, soit au cran de sûreté; 3° à empêcher le départ de l'arme avant que la culasse mobile soit revenue à la position de l'arme pour faire feu.

Le cylindre intérieur sert lui-même d'enveloppe à un cylindre porte-aiguille monté sur un ressort en spirale, et avec lequel est assemblée l'aiguille. Celle-ci se compose de deux pièces : l'une, sorte de gaîne en laiton, se visse sur le porte-aiguille pour permettre le remplacement de l'aiguille; l'autre, en acier, dont le choc direct contre la pastille fulminante détermine l'inflammation de la charge. Sur le porte-aiguille on distingue deux renflements, dont l'un (celui en arrière), en venant s'appuyer derrière la tête de gâchette, sert à tendre le ressort en spirale.

On comprend facilement le chargement effectué en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

retirant le cylindre extérieur après avoir tourné le pommeau pour introduire la cartouche, et les mouvements inverses pour mettre l'arme en état de faire feu.

La cartouche se compose d'un tube en papier armé à un bout, et contenant 4gr,8 de poudre. Par dessus se place un culot en carton embouti présentant quatre fentes à la partie supérieure, et à la partie inférieure une cavité dans laquelle est logée la poudre fulminante. La balle est maintenue dans le sabot par l'étui qui enveloppe le tout, grâce à une ligature faite au-dessus de la balle. L'aiguille doit traverser toute la poudre avant d'arriver au fulminate.

Le poids de cette arme est considérable (4k,800 sans la baïonnette). L'aiguille est trop longue, et pour cette raison se fausse facilement. Une fois faussée, elle ne peut rentrer dans le dard, son conducteur, lorsqu'on referme le tonnerre, et se brise sur les bords de l'ouverture.

La vitesse initiale étant assez faible, la trajectoire est peu tendue et la portée extrême ne peut arriver à 600 mètres. L'obturation est très-imparfaite et aucune précaution n'est prise pour s'opposer à l'encrassement du mécanisme intérieur.

La vitesse du tir est d'environ sept coups par minute.

***Fusil modèle* 1866.** Par suite des succès militaires de la Prusse, le fusil auquel on les attribuait en partie devint l'objet de la préoccupation de toutes les puissances militaires de l'Europe. Après avoir dédaigné le fusil Robert, qui, dès 1832, était en France une première solution du problème, on s'est hâté, en 1867, d'adopter d'urgence une arme se chargeant par la culasse. La résistance de mode que l'on voulait éviter; la difficulté était de le faire sans que la décharge de l'arme laissât la sujétion de retirer un culot, ou corps analogue, du canon, condition posée à tort comme essentielle. On n'a donc admis qu'une cartouche qui ne laissât rien dans le canon, par suite sans culot pouvant produire l'obturation; il s'agissait alors d'obtenir, au moyen d'éléments appartenant à l'arme, une fermeture hermétique, ce qui exigeait l'interposition d'un corps élastique pour compléter la fermeture métallique. Cette condition a été remplie dans le fusil prussien modifié par M. Chassepot et adopté pour l'armée française, par l'emploi d'un obturateur formé d'une rondelle épaisse de caoutchouc recouverte d'un disque en métal, qui, pressant sur le caoutchouc, et le préservant de l'action destructive des gaz, n'empêche pas leur pression de le dilater vers les bords, en raison de leur tension même, et de produire par suite une obturation parfaite du joint.

Le mouvement du progrès, commencé par Pauly qui, en 1808, inventa le premier fusil se chargeant par la culasse (qui attira l'attention de Napoléon Ier, qui ne paraît pas toutefois s'être préoccupé longtemps de la valeur de ce genre d'armes), s'est poursuivi, notamment par l'invention du fusil à aiguille construit par Dreyse, qui, comme ouvrier armurier, avait travaillé au fusil Pauly. L'arme que nous allons décrire est réellement supérieure à l'arme avec laquelle il s'agissait de rivaliser, mais elle se prête mal à l'emploi d'une cartouche métallique pour laquelle elle n'est pas construite, dont elle a pour objet de rendre l'emploi inutile. C'est un point sur lequel nous reviendrons.

La fig. 23 représente le fusil modèle 1866.

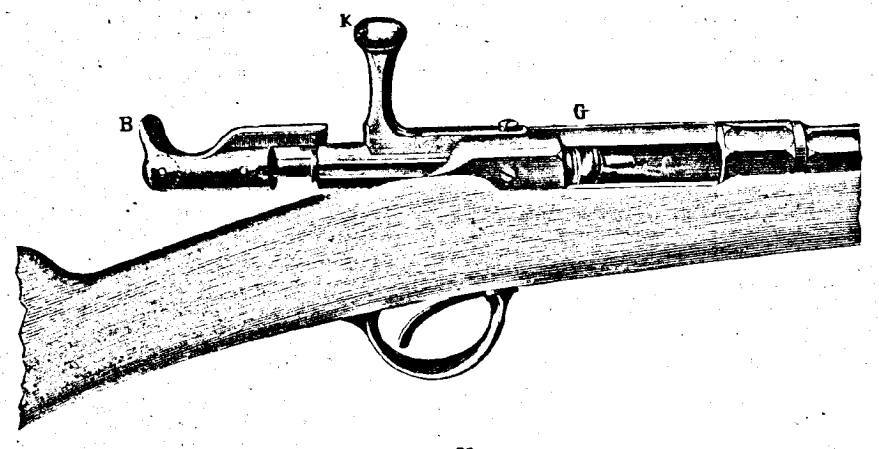


Fig. 23.

l'artillerie, fondée sur la grande consommation de munitions faite dans la guerre avec l'ancien fusil d'un chargement si lent, par suite sur l'impossibilité d'apporter sur le champ de bataille des approvisionnements suffisants pour des armes devant en faire une si grande consommation, a dû nécessairement céder devant l'adoption d'une arme à chargement rapide par une des principales nations militaires de l'Europe. Tout ce qu'on devait conclure de l'expérience, c'est qu'il importe de recommander aux officiers de retenir leurs soldats et de les empêcher de consommer inutilement leurs munitions.

On a cherché partout à faire une arme supérieure au fusil prussien, ce qui n'était pas facile, malgré les progrès faits depuis sa construction, à cause du mérite très-réel de son invention. C'était surtout le crachement incom-

La culasse mobile, élément essentiel de ce genre d'armes, est logée dans une concavité quasi-cylindrique, vissée sur la tranche postérieure du canon et solidement fixée au bois. Celle-ci porte sur son épaisseur, dans le sens longitudinal, deux coupures: l'une, vers le milieu de sa partie supérieure; l'autre, à sa partie inférieure.

La première coupure, analogue à l'entaille pratiquée sur la douille d'une baïonnette ordinaire, permet le *va-et-vient* d'une clef ou *manotte* K, adaptée sur un tube concentrique avec la boîte, ensemble formant verrou, et fixant en place la culasse mobile. Le redressement et le recul de la manotte déterminent l'ouverture du canon, et les mouvements inverses en effectuent la fermeture. La deuxième coupure longitudinale, celle du dessous, livre passage au corps de la détente, pièce qui réagit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au moyen d'une saillie qui est mue par la gâchette, disposition empruntée au fusil Dreyse.

Le mouvement en arrière entraîne une masselotte qui constitue le chien B de cette arme appartenant à la platine. Le verrou contient une tige porte-aiguille, absolument comme le fusil prussien, sur laquelle s'enroule un ressort à boudin établi de façon à pouvoir se comprimer et reprendre ensuite son état normal. Ce ressort est dans les deux armes une partie délicate, il ne peut avoir ni la durée ni la puissance d'un ressort plat. Le verrou contient aussi un autre tube concentrique, ou mieux une tige mobile, forée dans toute sa longueur. C'est sur cette tige qu'on a imaginé de fixer une rondelle en caoutchouc, suffisamment épaisse pour se dilater en s'aplatissant sous la pression des gaz, comprimée qu'elle est en ce moment par un disque en métal qui recouvre sa partie antérieure. C'est dans le canal disposé à l'intérieur de la tige mobile que se meut l'aiguille; et le disque, étant le premier à recevoir l'effort de l'explosion, préserve assez bien d'une prompte détérioration, mais non d'un grand échauffement, la rondelle en caoutchouc. Cette tête se prolonge au centre par un petit cylindre creux ou *dard*, destiné à donner passage à l'extrémité de l'aiguille. L'emplacement réservé à la tige dans l'intérieur du verrou doit avoir des dimensions assez grandes pour que les gaz qui s'infiltrent dans ce logement, par le conduit de l'aiguille, n'en produisent pas l'encrassement.

On a pratiqué le long du verrou trois rainures portant respectivement le nom de : cran de repos, cran de bandé, cran de départ. Elles correspondent avec la *vis-arrêtoir* ajustée sur la masselotte, et servent à maintenir le chien indépendant de la noix, de la pièce mue par la gâchette.

Le porte-aiguille se termine par un carré servant à maintenir le bout du ressort à boudin, tandis que l'embase sur laquelle repose l'autre extrémité du ressort est vissée au corps de la noix pour faciliter le nettoyage de la batterie et le remplacement de l'aiguille ou du ressort.

La masselotte se termine, à l'arrière, par une tête quadrillée, reposant sur une roulette qui facilite son jeu. A l'avant, elle fait retour au-dessous de la noix. Elle affecte alors la forme d'une branche plate, traversée par une vis dont le pied commande le verrou en plongeant dans la rainure du départ. L'obturation ne pouvant avoir lieu sans que la rondelle soit comprimée contre son disque, on obtient ainsi que le *lancé* de l'aiguille reste infructueux si le verrou n'est ramené en avant.

Pour charger l'arme, le soldat tire en arrière le chien, qui ramène l'aiguille en arrière et comprime par suite le ressort à boudin; à ce moment, l'extrémité d'une pièce reliée à la gâchette accroche la noix et fixe le chien dans sa position.

Agissant alors sur la manotte K, qui est horizontale, le soldat la place verticalement, la fait tourner de 90°, et, tirant, porte l'ensemble du système en arrière, mouvement limité par une vis qui adhère à la boîte et plonge dans une rainure du verrou; puis il introduit la cartouche.

L'arme étant chargée, on ramène en avant la culasse mobile, la rondelle qui la termine vient boucher le canon, et en abaissant horizontalement la manotte, on ferme le fusil.

Tant que la boîte n'est pas fermée, le chargement de l'arme ne présente aucun danger quant à une action imprévue du chien. Quand l'arme est chargée, le cran de repos, qui répond à un arrêt qui n'agit que pour une position un peu inclinée de la manotte, soulage le ressort et constitue une sûreté en agissant sur la gâchette.

Les mouvements étant rapides, le tir de cette arme peut atteindre dix coups par minute, et le tir en est efficace jusqu'à 1000 mètres. Le canon, dont le calibre est de 11 millimètres, porte quatre rainures héliçoïdales. La vitesse initiale est d'environ 440 mètres, et la trajectoire tendue, elle ne s'élève pas à plus de 0m,50 au-dessus de la ligne de tir, jusqu'à la distance de 230 mètres, tension qui constitue l'une des circonstances les plus favorables à l'efficacité du tir.

Nous n'avons pas à revenir ici sur les points déjà traités, la forme des rainures, l'avantage du petit calibre, etc. Nous terminerons par quelques observations critiques sur cette arme, sur les défauts que l'usage a manifestés.

La cartouche en papier et gaze (pour assurer l'entraînement du papier) qui a été adoptée (voy. CARTOUCHE) est peu résistante, s'altère dans les transports, dans la cartouchière du soldat, ce qui est un inconvénient sérieux. Le remède était, ce qui est évidemment facile, d'employer une cartouche métallique, et par suite de communiquer au fusil à aiguille les avantages qui en résultent. C'est en effet ce qui se fait, mais il est difficile d'admettre que l'arme puisse, avec une cartouche complète à culot obturateur, lutter de simplicité et de rapidité avec celles qui ont été combinées pour utiliser ces cartouches, comme les armes dont il a été parlé, à moins qu'on ne modifie en même temps le mécanisme de chargement et de percussion, c'est-à-dire qu'on fasse une arme nouvelle.

La conservation du modèle 1866 avec la cartouche métallique n'a pas de raison d'être, puisque les complications de cette arme ne sont justifiées que par le désir de satisfaire à des conditions dont il n'y a pas lieu de se préoccuper quand on emploie des cartouches métalliques.

Disons encore que le Chassepot donne lieu à d'affreux accidents lorsque la rondelle de caoutchouc a été échauffée et ramollie par un tir rapide. En ramenant la culasse mobile, l'extrémité de l'aiguille peut sortir du dard, et pour peu que la cartouche, facilement déformée par suite de son peu de résistance, soit mal engagée dans le canon, le coup part lorsque le soldat ramène vivement la culasse mobile. La masselotte projetée en arrière enlève le pouce avec lequel le soldat la poussait.

En résumé, comme portée et justesse, ce qui dépend des rayures et du calibre, le Chassepot a été un progrès; comme sécurité et rapidité, il paraît dépassé par les armes à mouvement de platine, sans aiguilles ni verrous.

PISTOLETS. Les pistolets ne sont en réalité que des diminutifs de fusil qui se manient d'une seule main; leur construction est soumise aux mêmes règles. Nous n'avons pas à nous y arrêter longuement, et nous nous contenterons de parler de deux systèmes nouveaux qui, le premier surtout, occupent une place importante dans nos mœurs actuelles.

Revolver. On donne ce nom à une nouvelle arme inventée en Amérique, à un pistolet à six coups le plus souvent et à un seul canon. La culasse, portant six cavités pour six charges, fait un sixième de rotation chaque fois que l'on arme le chien, et vient se mettre en position telle que le chien puisse percuter la capsule. (V. *Complément*, article REVOLVER, une étude complète sur ce genre d'armes.)

Nous n'avons pas à revenir ici sur l'invention et les propriétés de cette arme curieuse, non comme portée, toujours défectueuse à cause de la coupure du canon, mais qui fait que le tireur dispose presque instantanément de six coups. Nous avons analysé les armes de Colt, Adam, etc., nous entrerons seulement ici dans quelques détails sur la combinaison ingénieuse de M. E. Lefaucheux qui, mettant à profit l'invention de la cartouche à culot, a rendu le chargement des revolvers très-rapide en les chargeant par la culasse.

C'est l'expérience qu'il possédait de la perfection de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARMES A FEU.

a fermeture que ces cartouches permettaient d'obtenir pour les armes se chargeant par la culasse, qui l'a amené naturellement à appliquer un système semblable à ce nouveau genre d'armes.

La cartouche à culot, la séparation du canon et du tonnerre, le chargement par la culasse, étaient les moyens connus d'obtenir des avantages précieux pour les fusils, mais l'application de ces moyens au genre d'armes dont nous parlons n'avait pas été tentée avant J. Lefaucheux.

Pour charger les revolvers par la culasse, il coupe le tonnerre et fait une échancrure latérale à la coquille de recul, par laquelle il peut faire entrer successivement chaque cartouche, en faisant passer l'ouverture devant chaque cavité du tambour du revolver, entièrement percé de part en part; cette échancrure, il la ferme par une porte à ressort, afin que la cartouche qui passe devant l'échancrure ne puisse s'échapper.

La cartouche employée étant la cartouche à broche, pour laquelle l'explosion se produit en percutant sur une broche placée dans un plan vertical à ce moment, celle-ci vient se loger dans une entaille; le fond de la cartouche vient frotter sur la coquille de recul bien dressée, et comme le culot empêche la destruction de son fond, après qu'elle a fait explosion elle ne gêne en rien la rotation du revolver pour tirer le coup suivant.

On a remplacé avec quelque avantage la cartouche à broche par la cartouche à percussion centrale qui dispense de la broche et permet de placer et retirer les capsules à volonté. Ces combinaisons ont conduit l'inventeur à la fabrication d'un revolver d'un excellent usage.

Pistolets de salon à poudre fulminante. Depuis quelques années il a été construit de petites armes qui, sous le nom de pistolets de salon, ont pu servir de moyens de distraction.

M. Flobert, de Paris, a construit le meilleur modèle. Son arme est de l'espèce de celles qui se chargent par la culasse; mais elle a cela de particulier, que c'est la culasse elle-même qui, prenant une forme analogue à celle du chien des pistolets ordinaires, vient percuter sur la cartouche placée dans le canon afin de déterminer l'explosion.

Cette cartouche, assez semblable à celles usitées pour un assez grand nombre d'armes de guerre en Amérique (voy. CARTOUCHE), n'est en réalité qu'une fort grosse capsule du calibre du pistolet, légèrement évasée à la partie postérieure. On conçoit dès lors que la cartouche n'entrera pas complétement dans le canon, et que la percussion qui viendra la frapper écrasera un petit rebord contenant des parcelles de poudre fulminante et déterminera l'inflammation.

Dans cette arme, la poudre fulminante, de composition peu vive, est la seule cause de la projection de la balle; on n'emploie pas de poudre ordinaire. Disons que ce rebord permet aussi de retirer la cartouche en armant le chien, auquel la cartouche se trouve accrochée par suite de son écrasement.

Les effets ne se bornent pourtant pas, comme on pourrait le croire, à ceux qui pourraient être nécessaires pour un simple amusement, si l'on augmente la proportion de poudre fulminante et le calibre de l'arme. Nous avons vu des balles tirées à 90 pas, et qui sont écrasées de manière à prouver qu'elles eussent été fort dangereuses à pareille distance.

Pour produire de semblables effets avec la poudre fulminante, l'inventeur a dû trouver une disposition qui empêchât le chien de se relever par la réaction; il y est parvenu en le garnissant d'une pièce articulée qui vient résister à cette réaction en s'appuyant sur le bois du pistolet, tandis qu'elle rentre lorsque l'on arme.

L'idée d'employer la poudre fulminante, poudre essentiellement brisante, si on chargeait de la même manière qu'avec la poudre de chasse, a conduit l'inventeur à retrouver les conditions d'emploi de cette poudre, conditions que Piobert avait déjà déterminées. Elles consistent à laisser entre la poudre et le projectile une chambre de grandeur suffisante pour que l'inertie de la balle ne soit vaincue que par des gaz dont la tension diminue en raison de cette capacité.

Le système des pistolets de salon n'est applicable qu'à des explosions d'une intensité limitée, parce qu'il faut que le métal de la capsule, seule fermeture du canon, dont la résistance s'oppose à l'explosion, puisse être facilement écrasé par la chute du chien.

FABRICATION DES ARMES A FEU. La fabrication des armes à feu se divise en deux parties essentiellement distinctes, le travail du fer et le travail du bois. La première comprend le canon, la platine et la garniture, plus, pour les armes de guerre, la baïonnette; la seconde comprend la monture.

Nous ne nous occuperons que des parties du travail toutes spéciales à cette fabrication, qui ne rentrent pas dans les œuvres ordinaires du mécanicien.

Le canon est un tube en fer, exactement cylindrique à l'intérieur, dont l'épaisseur est un peu plus considérable au fond qu'à l'ouverture. L'ouverture du canon se nomme la *bouche*, le fond est le *tonnerre* qui est fermé par une vis, dite vis de *culasse*, le vide intérieur du canon en est l'*âme*, dont le diamètre s'appelle le *calibre* de l'arme. Sur l'une des parois du tonnerre est pratiquée la *lumière* par laquelle l'inflammation se communique à la charge.

La fabrication du canon, pour lequel on doit choisir d'excellent fer très-doux, très-ductile et sans pailles, s'exécute de deux manières différentes. Le procédé le plus habituellement suivi consiste à préparer une barre de fer, ou *maquette*, de la longueur du canon à fabriquer, et de la largeur de son pourtour, puis à la souder au blanc en l'enroulant sur elle-même dans le sens de sa longueur; le second procédé, qui n'est employé que pour les armes de luxe, consiste à enrouler en spirale sur un moule une ou plusieurs petites bandes de fer, ou même du fil de fer, et à souder le tout ensemble au blanc.

Le chauffage de la maquette doit être conduit avec beaucoup de soin, car on ne peut souder le canon que sur une longueur de 5 à 6 centimètres à la fois, et encore faut-il pour cela le réchauffer à trois reprises différentes. Comme par un réchauffage aussi fréquent le fer est très-sujet à brûler, il est indispensable de le maintenir autant que possible recouvert de scories et de menu charbon, et de faire en sorte qu'il ne soit pas exposé à l'action du courant d'air forcé qui alimente la forge. Le brasage s'exécute sur un mandrin ou noyau, que l'on retire lorsque l'on porte la pièce dans le feu. Deux ouvriers sont ordinairement réunis pour le soudage d'un canon, et frappent, non point avec beaucoup de force, mais avec beaucoup de rapidité, sur la partie à braser qui a reçu dans le feu une chaude suante. On commence par le milieu du canon, en allant d'abord vers une extrémité, puis ensuite vers l'autre. Le soudage terminé, on porte de nouveau successivement toutes les parties du canon au rouge blanc, et on le martèle dans une rainure hémisphérique pratiquée dans l'enclume, sans y introduire de mandrin, de manière à le parer autant que possible.

Les meilleures bandes pour la fabrication des canons de fusil sont faites en fer de riblons, c'est-à-dire de clous et de vieux fers à cheval, etc., que l'on réunit en paquets ou trousses qui sont réchauffés à la forge, et étirés au marteau en barres minces, ou mieux en rubans étroits.

Canons tordus. La torsion du canon, en inclinant les fibres du fer, augmente sa résistance. Le canon ordinaire soudé (toutes les opérations antérieures sont les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mêmes, à cette exception près qu'on fait entrer une plus grande quantité de fer dans les canons destinés à subir l'action de la torsion), on ajuste dans la bouche du canon un fer coudé, ou un fer droit ayant une soie carrée ou plate, devant s'engager dans un tourne-à-gauche. L'ajustement doit être tel que le fer ne puisse tourner dans le tube, et, à cet effet, on le fait ordinairement à huit pans, et quelquefois tout simplement rond, mais alors un tant soit peu conique, afin qu'il soit susceptible d'être chassé avec force dans le trou et d'y adhérer fortement. On met alors le canon au feu, on le fait rougir du côté du tonnerre sur une longueur de 14, 16 et 20 centimètres (5, 6 et 8 pouces); il ne faut pas que la chaude soit trop claire, mais simplement rouge-cerise clair, presque blanc. On saisit fortement l'extrémité du canon entre les mâchoires de l'étau à chaud et on tourne un demi-tour, soit à l'aide du fer coudé, soit à l'aide du tourne-à-gauche, en faisant attention de ne point courber le canon. Lorsque le canon est tordu à cet endroit, on le chauffe plus haut et on le tord, et ainsi de suite jusqu'à la bouche; ce qui met le nerf du fer en hélice dont les révolutions peuvent avoir lieu de 27 en 27 centimètres (10 pouces en 10 pouces), plus ou moins, selon qu'on a fait les chaudes plus multipliées sur la longueur. Il faut prendre un terme moyen pour ces chaudes. Si elles sont trop rapprochées, le fer s'altère; si elles sont trop longues, le rampant de l'hélice est plus allongé et alors l'effet de la torsion est moindre.

Après cette torsion, on remet le canon au feu, non-seulement pour le dresser sur la broche, mais encore pour rendre au fer sa qualité qui a été altérée par les chaudes successives qu'il a subies; car c'est un fait reconnu que le fer chauffé au blanc, s'il est abandonné à refroidir sans avoir été martelé, perd son nerf et passe à l'état granuleux. On lui donne donc des chaudes grasses et on le bat à petits coups sur la broche dans une étampe : ce nouveau martelage lui rend sa qualité.

Canons damassés. Pendant un temps, les canons *damassés* furent très en vogue; voici comment on les fabrique: on prend des rubans d'acier et de fer, très-minces, que l'on place côte à côte parallèlement les uns aux autres, en ayant soin de les faire alterner, et que l'on soude ensuite à la forge en une seule pièce; cette pièce est rechauffée, tordue elle-même à plusieurs reprises, puis étirée en ruban que l'on roule en spirale sur un mandrin, ainsi que nous allons le dire.

Canons à rubans. Les meilleurs canons modernes pour les fusils de chasse sont construits de la manière suivante. On prépare un ruban de 0m,0125 de large, ou quelquefois moins; il est un peu plus épais au bout qui doit former la culasse, et un peu plus mince à celui qui doit former la bouche que dans la portion intermédiaire. Après avoir modérément chauffé cette bande, pour augmenter sa malléabilité, on l'enroule en spirale autour d'un mandrin (fig. 24) jusqu'à



Fig. 24.

ce qu'on ait formé une longueur convenable du cylindre: les bords dépassent un peu les uns sur les autres, afin de donner à la soudure plus de solidité. On retire le cylindre du mandrin, et on le chauffe de nouveau, puis, le tenant verticalement, on frappe le bout de la bouche sur l'enclume, ce qui rend la jonction des spirales plus complète et plus uniforme. Il est alors soudé à plusieurs chaudes successives, à coups de marteau, tant verticaux qu'horizontaux, et enfin terminé dans la cannelure hémisphérique de l'enclume. On voit que, par ce mode de fabrication, le fer résiste dans le sens de ses fibres. Ces canons reçoivent le nom de canons à rubans. On fait aussi des canons en fils d'acier, soudés ensemble suivant leur longueur, et tordus ensuite en spirale.

Les arquebusiers de Paris, qui jouissent d'une réputation justement méritée, étirent à la forge le fer destiné à la fabrication des canons de fusil, en bandes de 1m,20 de long, 4 centimètres de large et 2 millimètres et demi environ d'épaisseur. On forme un faisceau avec 25 de ces rubans que l'on place entre deux bandes un peu plus épaisses; la trousse ainsi formée, et qui pèse environ 30 kilogrammes, est étirée à la forge, en une barre méplate de 18 millimètres de large sur 13 millimètres d'épaisseur, que l'on replie en double sur elle-même, et que l'on étire de nouveau en un ruban de 9 millimètres de large sur 1 millimètre d'épaisseur. La longueur de ce ruban (pour 2 canons de fusil de 78 à 83 centimètres) est de 10 à 11 mètres; on le partage en deux parties, que l'on chauffe successivement au rouge cerise, et que l'on enroule en cet état en spirales aussi serrées que possible sur un mandrin de 11 millimètres environ de côté. On retire le mandrin, et on porte le canon dans le feu; puis on le soude comme nous l'avons dit plus haut en commençant au milieu de sa longueur.

D'après ce que nous avons dit, les bandes primitives sont soudées côte à côte normalement à la surface du canon, de sorte que celui-ci paraît être très-finement rubané. Dans les fusils à deux coups, on enroule le ruban qui forme l'un des canons, à droite, et celui qui forme l'autre, à gauche, ce qui produit un effet agréable à la vue. Quinze ouvriers parisiens, dont six à la forge, deux au forage, et sept aux autres parties de la fabrication, ne peuvent livrer par semaine que six canons doubles rubanés pour fusils de chasse, prêts à être montés, et les vendent au prix de 100 à 300 fr. pièce.

Des résultats très-avantageux ont encore été obtenus avec des canons de fusil obtenus en enroulant deux hélices l'une sur l'autre, la deuxième recouvrant les joints de la première. En employant deux barres triangulaires, de manière que le sommet de l'une réponde à la base de l'autre, on augmente l'étendue des surfaces de contact des soudures, et on obtient des canons d'une résistance très-grande. Ces fabrications ne sont réussies, toutefois, que par d'habiles ouvriers.

Lorsque les canons de fusil sont entièrement forgés, on les porte au rouge sombre dans un fourneau particulier, puis on les laisse refroidir très-lentement, pour donner au fer dont ils sont composés le plus de douceur possible; ils sont alors propres à être portés à l'atelier de forage.

Forage. Le foret (fig. 25), l'outil des anciens ateliers, avec lequel les habiles ouvriers obtiennent des canons très-droits, est un long morceau d'acier, à section carrée, légèrement pyramidal et à arêtes tranchantes, qui est soudé à une tige cylindrique en fer, se terminant à l'autre extrémité par une tête carrée qui sert à

Fig. 25.

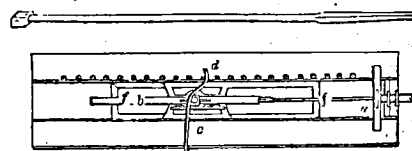


Fig. 26.

fixer l'outil dans la boîte du tour. Il arrive ordinairement que l'on ne laisse pas mordre le foret sur toutes ses

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARMES A FEU.

rêtes à la fois; on applique à l'aide d'un anneau métallique, contre l'une des faces du foret, une petite pièce de bois extérieurement cylindrique, qui vient frotter dans l'âme du canon, tandis que les deux arêtes opposées de l'outil peuvent seules mordre et aléser le trou. Ce procédé a l'avantage de permettre d'agrandir successivement et d'aléser l'âme du canon à l'aide d'un seul et même foret, en augmentant à mesure l'épaisseur de la pièce de bois, tandis qu'autrement il faudrait un grand nombre de forets de grandeurs différentes. Il est aussi à remarquer que dans ce dernier cas, comme l'affûtage doit avoir lieu sur les quatre faces à la fois, ils sont rapidement usés et mis hors de service, tandis que, par le procédé que nous avons indiqué, l'outil ne mordant que par deux arêtes à la fois dure beaucoup plus longtemps.

Le tour à forer est horizontal. Dans quelques cas, cependant, on a entrepris de travailler les canons, sous une inclinaison de 30° à l'horizon, de manière à faciliter le dégorgement des limailles. Le canon est supporté par un point seulement, au milieu de sa longueur, pour se prêter aux mouvements du foret, qui, autrement, serait infailliblement brisé. Le foret, comme on le voit (fig. 26), a simplement sa tête carrée insérée dans la botte du tour, et n'est supporté en aucun autre point de sa longueur.

La fig. 26 représente, en plan, le tour à forer pour les canons de mousquets; *f f* est la poupée ou chariot qui supporte le canon; *a* est la botte du tour, dans laquelle entre la tête du foret; *b* est le canon, fixé par son milieu dans le chariot, et que l'on peut faire avancer à l'encontre du foret, à l'aide du levier *c* que l'on manœuvre à la main, et qui s'appuie successivement contre chacune des chevilles d'une sorte de crémaillère *d*, espacées les unes des autres d'environ 5 centimètres. Le foret ainsi établi semble être à première vue un outil très-mauvais et très-défectueux; mais ses vibrations perpétuelles n'affectent point l'exactitude du forage; il fait 150 à 180 révolutions par minute.

Après que l'âme du canon a été ainsi presque amenée au calibre voulu, on achève de l'aléser avec un alésoir très-tranchant, qu'on recouvre ordinairement de languettes de bois sur deux de ses faces, de manière qu'il ne puisse mordre que très-peu à la fois; enfin, si l'on veut polir l'intérieur, on se sert d'un alésoir en forme de lime ou bien d'un cylindre de plomb enduit d'huile et d'émeri.

Comme, par suite des vibrations continuelles de l'outil, le canon, surtout lorsqu'il présente peu d'épaisseur, est sujet à se courber, l'ouvrier doit l'examiner de temps en temps, et au besoin le redresser à l'aide d'un maillet en bois.

Dressage. On procède ensuite au dressage de l'extérieur, qui s'exécute d'abord sur le tour pris à l'aide de meules sèches en grès, de $2^m,50$ de diamètre sur $0^m,32$ d'épaisseur auxquelles on imprime un mouvement de rotation très-rapide, qui va jusqu'à deux tours par seconde. L'ouvrier tient le canon horizontalement et dans une direction parallèle à l'axe de la meule contre laquelle il le presse modérément; par suite de cette pression, le canon se met à tourner lentement et se trouve ainsi également attaqué sur tout son périmètre.

Canons doubles. Les fusils doubles datent du commencement du XVII^e^ siècle; il en a existé quelques-uns antérieurement, mais les canons en étaient indépendants. Plus tard on les assujettit le long de la monture par trois ou quatre goupilles, passant à travers des tenons situés l'un vis-à-vis de l'autre, et faisant partie de l'un et de l'autre canon: il y avait une visière et un guidon par canon, l'entre-deux vide formait un angle rentrant en dessus et en dessous. Jean Leclerc fut le premier qui souda les canons doubles, à Paris, vers 1738; quelque temps après, en 1740, la fabrication s'en fit plus en grand dans la ville de Saint-Étienne.

Fabrication du canon du fusil modèle 1866. On a adopté pour le chassepot l'acier puddlé fondu, comme comme plus résistant, plus homogène et mettant plus à l'abri des mal-façons par négligence d'un ouvrier. Nous décrirons cette fabrication.

Le barreau prismatique d'acier ayant été forgé et recuit et le canon dressé, de manière que ses génératrices extérieures soient rendues rectilignes, est porté à la machine qui doit la percer d'un bout à l'autre pour faire l'âme, en commençant par la culasse. Ce canon est maintenu vertical sur un plateau animé d'un mouvement rapide (300 tours par minute). Le foret à langue de carpe, porté par une crémaillère verticale, est susceptible d'un mouvement de descente en rapport avec la dureté du métal à percer et le mouvement de rotation du canon. Il s'engage dans la partie du canon déjà percée par un foret précédent et le fore sur une longueur de 6 centimètres environ, recevant, pendant le travail, de l'eau de savon qui limite l'échauffement, après quoi il faut dresser le canon pour rectifier la marche du foret. En effet, par suite de la flexion du foret, dont la tige n'a que $9^{mm},6$ de diamètre, le perçage n'a jamais lieu suivant l'axe; il en résulte pour chaque section perpendiculaire à l'axe une inégale épaisseur des parois que l'on appelle le malégal. Si l'on continuait le perçage sans prendre une précaution indispensable, le malégal irait en augmentant et le foret viendrait déboucher sur les parois du cône. Cette précaution consiste à fausser le canon de manière que, dans la suite du perçage, le foret se rapproche de l'axe au lieu de continuer à s'en éloigner. Cette opération s'appelle le compassage.

Le principe en est facile à comprendre: supposons deux tringles parallèles et liées ensemble à leur partie supérieure d'une manière invariable, l'une s'appuyant sur la portion déjà percée du canon et donnant la direction de l'axe de cette portion, c'est-à-dire de l'axe du foret, l'autre extérieure au canon et descendant à 60 millimètres plus loin que la première. Faussons le canon immédiatement au-dessous, jusqu'à ce que l'extrémité de la tringle extérieure, en tournant autour du canon, reste toujours à la même distance de sa surface; il est évident que si l'on remet le canon sur la machine à percer, l'axe du foret, continuant sa marche en ligne droite du canon, se rapprochera de l'axe de la masse.

L'opération du perçage consiste ainsi en une série de perçages et de compassages de 6 centimètres en 6 centimètres. Pour éviter, autant que possible, les flexions du foret, il est bon que la partie de l'outil qui ressort extérieurement ne soit pas trop longue; on s'arrête à 15 centimètres environ.

Le perçage met les canons au calibre de 10 millimètres.

Au perçage succède l'alésage, au moyen duquel on amène le canon du calibre de 10 millimètres à celui de $10^{mm},7$. Il s'exécute à l'aide d'un alésoir auquel on donne une vitesse de 180 tours par minute. Chaque alésage (fait comme il a été dit plus haut) augmente le calibre de $1^{mm},1$, et est suivi d'un dressage intérieur destiné à corriger les moindres défauts de rectitude des génératrices de l'âme. On continue ainsi jusqu'à ce que le calibre soit à $10^{mm},7$.

Le rayage que l'on effectue ensuite s'opère en faisant passer dans le canon solidement fixé une tringle porte-couteau animée de deux mouvements uniformes simultanés, l'un de translation, l'autre de rotation, à employer la disposition de la machine à tailler les filets héliçoïdaux des vis. Le couteau enlève à chaque passe environ 1/9 du métal, c'est-à-dire qu'il faut 9 passes pour chaque rayure.

Enfin on termine par un polissage qui se fait à l'aide de broches en fer portant à leur extrémité, sur une longueur de $0^m,20$ environ, du plomb coulé dans un canon

EFERUS - Recherche & Classification numérique

type. Ces broches reçoivent un mouvement alternatif de bas en haut et de haut en bas, en suivant les hélices des rainures. On verse de temps en temps un peu d'huile et d'émeri dans les canons.

L'âme étant achevée, la surface extérieure est amenée à la forme voulue par un rabotage. Avant de le commencer, on tourne les extrémités du canon, vers la bouche et vers le tonnerre, sur une longueur de quelques centimètres, pour régler les épaisseurs de métal à enlever et éviter les arrachements. Ces parties tournées s'appellent portées.

Le canon est monté sur une tringle horizontale en fer qui reçoit un mouvement de rotation intermittent. Le ciseau de la machine à raboter reçoit un mouvement de translation parallèle à l'arête supérieure de la surface conique et de la longueur comprise entre les deux portées. Le mécanisme qui le ramène en arrière fait tourner le canon de 1/80 de tour, de sorte que l'opération du rabotage se fait en 80 passes. On termine par un second rabotage, et enfin par un émoulage sur une meule de grès cylindrique, pour faire disparaître les traits longitudinaux du rabotage.

L'ensemble des opérations dont l'objet est de former et de perfectionner le cylindre intérieur et le cône extérieur s'appelle l'*usinage du canon*.

Ce mode de fabrication donne de bons résultats; il suffit, pour le prouver, de dire que les canons en acier ainsi fabriqués donnent des rebuts extrêmement rares, au tir d'épreuve qui s'exécute ainsi qu'il suit.

On visse le canon dans une culasse pleine, dite fausse culasse, qui est taraudée intérieurement sur une longueur de 20 millimètres et est percée d'un canal de lumière de 2 millimètres. La charge est de 10 grammes de poudre de chasse et la balle pèse 44 grammes.

Nous n'entrerons pas dans les détails multipliés qu'exigerait la fabrication des diverses pièces de la platine comme les pièces accessoires diverses. C'est là de la fabrication mécanique courante à laquelle s'appliquent les observations que nous faisons plus loin.

Bois de fusil. La fabrication habituelle du bois de fusil rentre dans le travail ordinaire du bois; son travail, par procédés entièrement mécaniques, a été l'objet d'essais intéressants.

L'irrégularité de la forme du bois, qui n'étant pas une surface de révolution ne peut être obtenue à l'aide du tour, paraît en rendre l'exécution mécanique presque impossible. Cependant, ce problème a été attaqué par Grimpé d'abord, qui avait annoncé la création de puissants moyens pour sculpter le bois à la mécanique, puis par Philippe de Girard, l'illustre inventeur de la filature de lin, et enfin par Decoster.

Nous n'avons nul renseignement sur les procédés des deux premiers inventeurs, mais ils se rapprochaient sans doute beaucoup de celui employé par Decoster. Il consiste essentiellement dans l'emploi de fraises taillées de manière à bien couper le bois, animées d'un mouvement circulaire, et guidées de manière à descendre à une profondeur déterminée pour chaque partie du bois. C'est en quelque sorte la solution du problème général de donner à un morceau de bois une forme quelconque déterminée, appliquée à un cas particulier, le mouvement étant limité par une courbe donnée.

La machine employée pour la fabrication des bois de fusil, dans les manufactures de l'État, et que représente la fig. 27, est une machine à sculpter analogue à

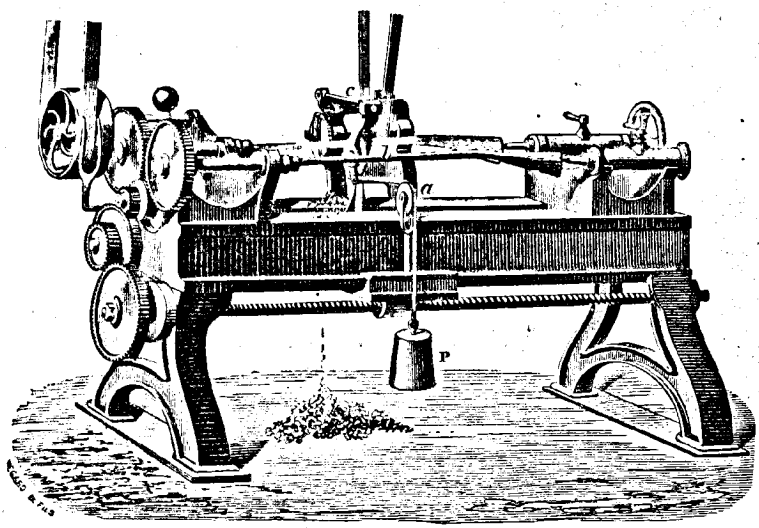


Fig. 27.

celle décrite à l'article TOURS COMPOSÉS du *Complément*.

Le morceau de noyer destiné à la fabrication de la pièce, après avoir été dégrossi à la scie mécanique, est monté horizontalement sur la machine. Parallèlement à lui et à une certaine distance, se trouve placé un modèle de cuivre représentant exactement la forme que devra avoir le bois de fusil. La pièce de bois et le modèle sont tous les deux animés d'un mouvement rapide de rotation. La pièce de bois, en tournant, vient se présenter à l'action d'une fraise circulaire chargée d'entamer sa surface. La quantité de bois que le burin *mangera* dépendra de sa position; plus il avancera sur le bois, plus l'épaisseur mangée sera grande, grâce à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

écision avec laquelle il est guidé par le modèle
cuivre. Voici comment : contre ce dernier s'ap-
ie un galet qui est relié au burin, et quand le
odèle vient présenter une saillie ou aspérité au galet,
lui-ci est rejeté en arrière; par suite, le burin s'éloigne
morceau de noyer et en enlève une quantité moindre.
saillie du modèle se trouve par conséquent repro-
ite sur le bois. Si, au contraire, le modèle présente au
rin une partie d'un diamètre plus petit, un contre-
ids, convenablement disposé, fait avancer le galet
ntre cette partie; le burin, s'avançant en même temps
ntre le bois, l'entame plus profondément et en réduit
diamètre. La machine elle-même se charge de dépla-
er, par l'action d'une vis, le galet suivant la longueur
u modèle, le burin suivant la longueur du morceau de
ois. Nous avons supposé, pour plus de simplicité, qu'il
'y avait qu'une machine à copier chargée de faire le
ois; il y en a deux : l'une fait la crosse, l'autre le devant
u bois.

La rigole dans laquelle on loge le canon, ainsi que les
liverses entailles destinées au montage de l'arme, sont
ussi faites mécaniquement sur d'autres machines.

Fabrication mécanique. Jusque vers 1860, les quelques machines-outils qui figuraient dans les ateliers des manufactures d'armes avaient pour but de préparer, plus ou moins grossièrement, les différentes pièces en fer, en cuivre ou en acier; ces pièces étaient ensuite remises à les ajusteurs pour recevoir les formes et dimensions voulues, mais avec des tolérances assez fortes.

Cette manière d'agir n'était guère à la hauteur de l'industrie mécanique moderne, où toute pièce qui doit être reproduite souvent doit être l'objet du travail d'une machine-outil convenable, qui, sous la surveillance d'un ouvrier, doit l'amener rigoureusement aux dimensions voulues. Ceci fut bien compris en Angleterre, lorsqu'on y connut les progrès de la fabrication américaine.

Lors de la guerre de Crimée, les arsenaux anglais se trouvèrent insuffisants pour armer les troupes de terre et de mer, et les ateliers étaient incapables de fournir plus de 25,000 armes par an. Le gouvernement anglais se vit obligé de faire d'importantes commandes en Belgique et en France, et se hâta de décréter la création d'une grande manufacture d'armes à Enfield. Il envoya en Amérique une commission d'officiers d'artillerie pour y étudier les procédés expéditifs de la fabrication mécanique, et y acheter les machines qu'ils jugeraient avantageux d'introduire dans la nouvelle manufacture. Grâce à celle-ci, l'Angleterre a pu, en moins de huit ans, renouveler tout son armement, et transformer en un an tous ses fusils en armes se chargeant par la culasse.

La célérité n'est pas le seul avantage de la fabrication mécanique; l'identité qu'elle a permis d'obtenir pour les nombreuses pièces dont l'arme se compose en est un autre considérable, en facilitant singulièrement l'entretien et la réparation des armes.

La fabrication des armes de guerre pour l'armement d'une grande nation est un des cas les mieux indiqués pour l'organiser en manufacture, pour accumuler, pour l'exécution de chaque pièce, les machines spéciales les plus convenables pour les obtenir bien et à bon marché. Longtemps l'habileté et le bas prix des salaires des ouvriers faisant ce travail, le plus souvent à prix modéré pour chaque pièce, ont fait négliger cette recherche dans les principaux centres de fabrication; mais en Amérique, dans ce pays où la tradition et la routine tiennent peu de place, où les salaires sont très-élevés et l'ardeur de s'enrichir très-grande, le problème s'est posé lors de l'invention d'armes nouvelles, pour la fabrication sur grande échelle des revolvers Colt notamment. Dans ce cas, comme on doit le faire aujourd'hui pour toute production multiple d'un objet, on a construit des machines-outils spéciales pour l'exécution de chaque pièce, de chaque détail. On peut, en effet, arriver ainsi à fabriquer, en acier ou en bois, des pièces identiques et presque à aussi bon marché que si on pouvait les fondre dans un moule. Pour les objets en fer, ce sont : des machines à forger avec étampes, produisant les petites pièces comme des clous, des laminoirs à empreintes, des tours à outils guidés suivant la forme à obtenir, des fraises et des découpoirs, etc., etc.

Le problème complexe de la fabrication mécanique a été résolu simplement, en décomposant la fabrication en parties successives, en employant de nombreuses machines spéciales qui viennent concourir à la création d'un produit, système qui devient possible et économique seulement lorsqu'il s'agit de la fabrication d'un même article sur une très-grande échelle. Chaque machine est, la plupart du temps, une machine-outil bien connue, disposée en raison du travail toujours le même qu'elle doit accomplir, et la solution du problème de la fabrication mécanique complète d'une pièce, souvent presque impossible, devient relativement facile lorsqu'on la fait résulter du travail successif de plusieurs machines-outils.

ARRACK. Sorte de boisson enivrante qu'on obtient dans l'Inde en distillant le jus fermenté de la noix de coco, le vin de palmier, ou du riz non mondé et fermenté.

ARSÉNIATES. Les arséniates sont généralement fusibles et indécomposables par l'action de la chaleur; le charbon les réduit par voie sèche avec dégagement de vapeurs arsénicales qui exhalent une forte odeur alliacée, et il reste un résidu de sous-arséniure quand l'oxyde du métal minéralisé est réductible, et un oxyde pur dans le cas contraire. Les arséniates métalliques sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans les acides forts. Par les sels de plomb, de baryto et de chaux, les dissolutions d'arséniates donnent des précipités blancs, et par les sels de cobalt un précipité couleur fleur de pêcher caractéristique, solubles dans un excès d'acide. L'hydrogène sulfuré en précipite l'arsenic à l'état de sulfure jaune; mais cette précipitation n'a lieu souvent qu'au bout de quelques heures, à moins qu'on ne les fasse préalablement bouillir avec de l'acide chlorhydrique pour ramener l'acide arsénique à l'état d'acide arsénieux.

Le seul arséniate employé dans l'industrie est celui de potasse; on le prépare en petit en chauffant au rouge, dans un creuset, un mélange à parties égales d'arsenic blanc (acide arsénieux) et de nitre, laissant refroidir, dissolvant la matière fondue dans de l'eau bouillante et filtrant; par le refroidissement on obtient des cristaux réguliers de bi-arséniate de potasse, qui renferment, d'après Berzelius :

		Ox.	
Acide arsénique.	63,87	22,0	$As^2O^5 + KO + 2H^2O$
Potasse.	26,16	4,4	
Eau.	9,97	8,8	
	100,00		

On prépare en Saxe ce sel en grand, en fondant le mélange d'acide arsénieux et de nitre dans des cylindres en fonte; si ensuite on sature l'excès d'acide par de la potasse, on obtiendra un arséniate neutre incristallisable. On emploie quelquefois l'arséniate acide dans l'impression des indiennes, en en formant une bouillie avec de l'eau gommée et de la terre de pipe, que l'on applique sur les parties du tissu que l'on veut soustraire à l'action des mordants.

ARSENIC (*angl.* arsenic, *all.* arsenik). Métal très-cassant, d'un gris d'acier dans la raclure fraîche, se ternissant promptement à l'air; il est très-volatil et exhale lorsqu'on le chauffe une odeur alliacée caractéristique. On le rencontre dans la nature tantôt à l'état natif en masses généralement testacées souvent antimonifères,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelquefois à l'état d'*acide arsénieux* et surtout à l'état de sulfure jaune (ORPIMENT), ou de sulfure rouge (RÉALGAR). On le rencontre en outre dans beaucoup de minerais métalliques, qui, lorsqu'on les grille, le laissent dégager à l'état d'acide arsénieux, sous la forme de fumées blanches. L'arsenic métallique a un emploi très limité; en poudre il constitue la *mort aux mouches*. Il donne avec le cuivre et l'étain un alliage dont on se sert pour fabriquer les miroirs de télescopes. Enfin il forme avec le platine une combinaison assez fusible, propriété qu'on a longtemps mise à profit pour faciliter l'agrégation de ce dernier métal (voir PLATINE); maintenant on suit une toute autre méthode.

Lorsqu'on chauffe l'arsenic au contact de l'air, il brûle avec une flamme bleue et se convertit en une matière blanche volatile, qui est de l'*acide arsénieux* ou *arsenic blanc*; on obtient également cet acide par le grillage des matières arsénicales. Il est soluble dans 80 parties d'eau froide, et beaucoup plus dans l'acide hydrochlorique; il est très vénéneux; il a une saveur légèrement métallique, et est inodore même à l'état de vapeur, l'odeur alliacée n'appartenant qu'à l'arsenic métallique; on l'emploie en médecine; dans la fabrication des verres fins dits *cristaux de Bohême*; pour préparer le VERT DE SCHEELE et le VERT DE SCHWEINFURT, etc.

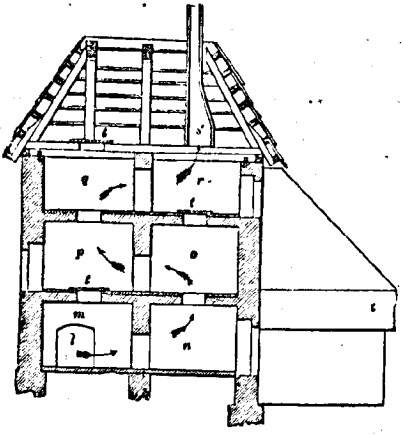
Un second degré d'oxydation de l'arsenic est l'acide arsénique, qui s'obtient en traitant l'acide arsénieux par l'eau régale; il est beaucoup plus soluble que le précédent, et encore plus vénéneux; il n'a aucun emploi dans les arts.

Acide arsénieux. L'arsenic s'obtient ordinairement, à l'état d'acide arsénieux, comme produit accessoire du grillage des minerais de Cobalt et d'étain (Saxe). Quelquefois cependant comme à *Reichenstein* (Silésie), on le prépare, comme produit principal, par le grillage du fer arsénical (*mispickel*). Les fig. 159, 160, 161 et 162 représentent le fourneau employé à *Reichenstein*, pour le grillage du fer arsénical, et les chambres de condensation qui le surmontent.

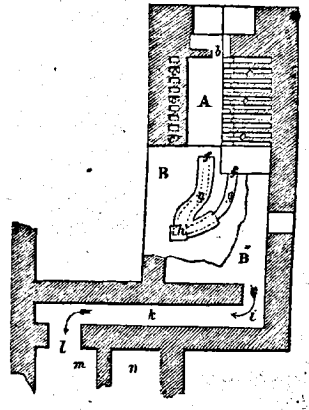
La fig. 159 est une coupe verticale des chambres de condensation (*all.* giftfang); fig. 160, une section longitudinale du fourneau de grillage et des chambres de condensation; fig. 161, une coupe transversale du four de grillage; et fig. 162, le plan de tout l'appareil à deux niveaux différents. Le grillage des minerais arsénifères s'effectue dans une grande moufle en argile réfractaire légèrement inclinée vers la porte de chargement, et baignée par un courant de flamme qui circule tout à l'entour; on charge sur la sole 5 à 8 centim. de minerai préparé et pulvérisé (*schlich*), et on renouvelle de temps en temps les surfaces à l'aide d'un râble ou d'un ringard, pendant qu'un courant d'air, traversant la moufle avec lenteur, oxyde l'arsenic et l'entraîne avec lui dans les canaux et chambres de condensation où il le dépose.

a, est la moufle qui a intérieurement 2m,00 de large sur 2m,90 de long; A, le cendrier au-dessus duquel on voit la grille sur laquelle on charge le combustible; la flamme circule autour de la moufle le long des canaux *c, c, c*, et vient se réunir à la partie supérieure dans les canaux *e, e*, qui la conduisent à la cheminée du fourneau; le courant d'air oxydant qui a traversé la moufle s'échappe avec l'acide arsénieux par les ouvertures *f, f*, pratiquées à l'extrémité de la moufle, et se rend par les canaux *g, g* et la cheminée descendante *h*, dans une grande chambre de dépôt B; et de là, par la porte *i* le canal *k* et la porte *l*, dans la série des chambres de condensation *m, n, o, p, q, r*, qu'il parcourt dans le sens indiqué par les flèches, pour s'échapper enfin dans l'atmosphère par la cheminée *s*. Lorsqu'à la suite d'un travail continu, prolongé pendant un temps assez long, on a obtenu dans les canaux et chambres de condensation une quantité suffisante d'arsenic blanc (*all.* arsenik mehl), on l'enlève et on le met de côté pour lui faire subir plus tard un raffinage préalable avant de le livrer au commerce; pour faciliter ce travail, on ôte les plaques *t, t, t*, et on fait tomber alors sans peine dans les chambres inférieures, l'arsenic qui s'était déposé dans les chambres supérieures. On charge à la fois de 500 à 550 kil. de schlichs arsénifères, dans la moufle, dont le grillage se fait en 12 heures environ.

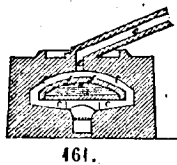
159.



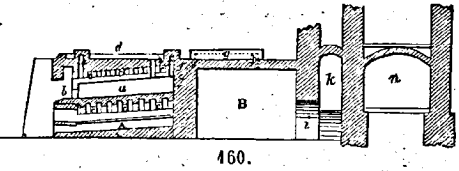
162.



161.



160.

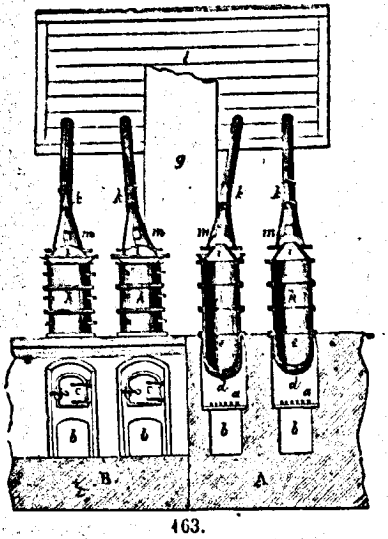


EFERUS - Recherche & Classification numérique

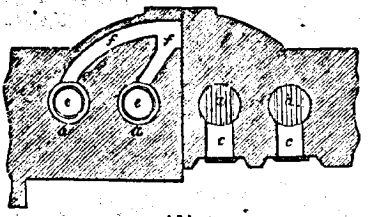
Lorsqu'on obtient l'arsenic comme produit accessoire
u grillage des minerais d'étain (Altenberg, Zinnwald,
:o.), cette opération s'effectue dans des fourneaux de
rillage ordinaires, communiquant avec une série de
ıambres de condensation disposées comme ci-dessus.
es fumées qui se déposent dans les chambres sont mé
ngées avec beaucoup de matières étrangères, et forte-
ent colorées en gris plus ou moins noir; on les purifie,
rsqu'on en a rassemblé une certaine quantité, par un
rillage à part fait à une basse température.

Dans tous les cas l'acide arsénieux pulvérulent ob-
ıu comme il vient d'être dit, ne peut être livré en cet
:at au commerce, partie à cause de son impureté, par-
e parce que le transport et la vente à l'état de farine
npalpable d'une substance aussi vénéneuse, offriraient
:op de dangers; on le soumet préalablement à une
istillation, dans le but de le purifier et de le transfor-
ıer en même temps en une masse compacte et vitreuse.

Les fig. 163 et 164 donnent la coupe, l'élévation et le



163.



164.

plan d'un des fourneaux de sublimation employés à *Reichenstein*.

Les vases de sublimation sont en fonte et consistent chacun en une chaudière *e* placée sur un fourneau *d* et surmontée de trois courts cylindres *h*; on charge par les portes *e*, *e*, le combustible sur les grilles circulaires *a*, *a*, dans lesquelles se trouvent les cendriers *b*, *b*, et la flamme s'échappe par les rampants *f*, *f*, qui la conduisent dans la cheminée commune *g*. Après avoir mis 180 kil. d'acide arsénieux en farine dans chacune des chaudières *e*, *e*, on lute, au-dessus, les cylindres *h*, *h*, que l'on recouvre de chapeaux *i*, *i*, munis de tubes de dégagement *k*, *k*, qui viennent aboutir dans une caisse de condensation en bois. On allume alors le feu, que l'on pousse graduellement jusqu'à un degré convenable; l'acide arsénieux se volatilise, et se condense ensuite contre les parois des cylindres; dans la partie supérieure la condensation est très rapide et donne lieu à la formation d'une poudre cristalline très fine, tandis que dans le cylindre inférieur, si l'opération est bien conduite, la chaleur étant plus élevée, l'acide arsénieux se prend en masse. Si la température est trop basse, on n'obtient qu'une poudre cristalline; si au contraire elle est trop élevée, toute la matière se sublime dans les cylindres supérieurs, et passe même dans la chambre de condensation; les ouvriers jugent à la chaleur des cylindres, par le toucher, si l'opération marche convenablement.

Après 12 heures environ la sublimation est terminée, on laisse alors refroidir l'appareil, puis on démonte les cylindres et on en retire l'arsenic vitreux, tandis que le reste repasse dans la sublimation suivante. Il est rare que la masse vitreuse que l'on obtient par une première sublimation, ait la pureté que réclame le commerce; on la purifie de nouveau par une et même quelquefois deux sublimations subséquentes

L'acide arsénieux ainsi préparé se présente sous la forme d'une masse vitreuse, transparente, à cassure conchoïde presque incolore, offrant seulement une légère teinte jaunâtre. Conservé pendant longtemps, il perd sa transparence; on avait d'abord attribué ce phénomène à l'absorption d'une petite quantité d'eau, on a reconnu depuis qu'il était dû à un changement d'état moléculaire, qui consistait en un passage de l'état amorphe à l'état cristallin.

On prépare moyennement chaque année tant à Reichenstein (Silésie), par le grillage du fer arsénical, qu'à Altenberg (Saxe), par le grillage des minerais d'étain, 1500 quint. métriques d'arsenic blanc vitreux et 25 quint. métr. d'acide arsénieux en farine.

P. DEBETTE.

ARSÉNITES. Moins stables que les arséniates; se comportent comme eux avec le charbon; insolubles dans l'eau; solubles dans les acides forts; quand les dissolutions sont très concentrées, l'acide arsénieux cristallise; quand elles sont étendues, l'hydrogène sulfuré en précipite immédiatement l'arsenic à l'état de sulfure jaune.

Arsénite de potasse. Se prépare en faisant bouillir une dissolution de potasse sur un excès d'acide arsénieux, filtrant la liqueur et la faisant évaporer; on n'obtient pas de cristaux, mais seulement une masse mamelonnée très déliquescente, qui est employée pour préparer le VERT DE SCHÉELE.

ARSÉNIURES. Les arséniures ont tous l'éclat métallique et sont en général très fusibles. Par le grillage ils dégagent d'épaisses fumées blanches d'acide arsénieux ayant une odeur allinacée très forte et se transforment en partie en arséniates. Ils se combinent aisément entre eux pour former des arséniures multiples ou des arsénio-sulfures très communs dans la nature. Beaucoup d'entre ces composés ont, sous le rapport industriel, une très grande importance; tels sont, par exemple, les arséniures et arsénio-sulfures de cobalt, de nickel, d'argent, etc. Nous en parlerons au nom de chacun de ces métaux en particulier.

ARTÉSIENS (PUITS) (*angl.* artesian wells, *all.* artesische brunnen). Nom donné aux trous de sonde forés verticalement, à partir de la surface du sol, dans un terrain stratifié, jusqu'à la rencontre d'une nappe d'eau souterraine comprise entre deux couches imperméables, le plus souvent argileuses. Lorsque l'eau s'élève dans le trou au-dessus de son embouchure et jaillit au dehors, d'une manière continue, on donne plus particulièrement au trou de sonde, le nom de fontaine jaillissante ou *puits artésien*, du nom de la province de France (l'Artois) où ils ont été le plus anciennement pratiqués.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Souvent l'eau se maintient dans le trou foré, à une certaine profondeur au-dessous de la surface, et doit être alors élevée à partir de ce niveau au moyen de pompes. Quelquefois enfin, ces trous sont forés dans le but tout à fait contraire, et servent à faire infiltrer dans des couches perméables des eaux superficielles dont on est embarrassé; on leur donne alors le nom de *puits absorbants* ou *boitouts*.

Les nappes d'eau souterraines paraissent former de véritables courants d'une largeur considérable, qui circulent dans les vides ou fissures de certaines couches, comprises entre des couches d'une imperméabilité complète ou relativement beaucoup plus grande. Les couches perméables sont ordinairement composées de sables plus ou moins désagrégés, et quelquefois de roches solides calcaires ou autres, criblées de fissures; de sorte que l'eau pénètre, pour ainsi dire, la couche entière, qu'il est presque impossible de traverser sans lui ouvrir une issue. Nous faisons ici une restriction parce qu'il y a quelques exemples dans lesquels, de plusieurs trous forés à peu de distance les uns des autres, les uns ont rencontré des sources jaillissantes et les autres ne les ont pas atteintes; ainsi : à *Illingel* dans la vallée de Ternoise, de trois sondages entrepris en 1820, le premier a procuré une belle fontaine jaillissante; les deux autres, au contraire, n'ont pas donné une goutte d'eau, et cependant, les trois trous sont très voisins; des phénomènes analogues se sont présentés à *Lillers*, *Saint-Pol* et *Saint-Venant*; à *Béthune*, un trou de sonde foré jusqu'à une profondeur de 33m, a ramené au jour un beau jet d'eau limpide, tandis que dans le jardin de la propriété contiguë un autre trou de sonde foré jusqu'à une profondeur de 57m, n'a pas rencontré le moindre filet liquide. Pour expliquer ce phénomène, il faut se rappeler que quelquefois la couche perméable est une roche compacte présentant de grandes fissures dans lesquelles l'eau circule, et qu'alors il peut arriver que de deux puits forés voisins, l'un rencontre une de ces fissures et donne de l'eau en abondance, tandis que l'autre n'en rencontre aucune quoique foncé à une profondeur plus considérable; si cependant on poussait ce dernier jusqu'aux limites inférieures de la couche perméable, on serait à peu près certain de ne plus trouver de filets liquides isolés, mais bien une véritable nappe souterraine.

Les eaux qui pénètrent une couche aquifère, constituent, comme nous l'avons dit, un véritable courant alimenté par les eaux des rivières, des lacs sous lesquels passent les affleurements supérieurs de la couche, ou par les eaux pluviales, et qui se déchargent sous forme de sources, aux points les plus bas de ces affleurements, lesquels peuvent se trouver cachés sous le lit des fleuves, ou sous celui de la mer : le lit souterrain du courant est d'ailleurs fort large, mais ordinairement très encombré, puisqu'il n'est formé que des cavités et des fissures qui pénètrent la couche. La vitesse du courant est quelquefois considérable; ainsi nous voyons dans la savante notice de M. Arago, sur les puits artésiens, insérée dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, que des ouvriers perforaient le terrain près de la barrière de Fontainebleau, dans un établissement connu sous le nom de brasserie de la Maison Blanche. Comme d'habitude, les progrès de ce travail étaient lents; mais voilà que tout à coup la sonde s'échappe de leurs mains; ils la voient s'enfoncer brusquement de 7m,50. Sans la manivelle placée transversalement dans l'œil de la première tige et qui ne put passer par le trou déjà fait, la chute se fût probablement continuée encore. Lorsqu'on essaya de retirer la sonde, il devint comme évident qu'elle était comme suspendue; que sa pointe inférieure ne reposait pas sur un terrain solide; et qu'enfin, un fort courant la poussait latéralement et la faisait osciller.

Pendant le percement des puits de la gare de *St Ouen*

MM. Flachat rencontrèrent à une profondeur de 51m,50 une nappe souterraine, dans laquelle la sonde s'enfonça subitement de 0m,35. Le courant doit y être très fort car il imprimait à la sonde un mouvement oscillatoire très sensible. Ce double résultat (l'existence et la force du courant) peut se déduire aussi avec certitude d'un autre fait curieux : quand, en approfondissant le trou, la tarière chargée des débris des couches qu'elle avait attaquées, passait en remontant, au niveau de la nappe ci-dessus, tous ces débris étaient emportés, et il n'était pas nécessaire de la ramener jusqu'à la surface.

A *Cormeilles* (Seine-et-Oise), la sonde arrivée dans les plâtres, oscillait, dit M. Degousée, sous l'action d'un courant inférieur très rapide, comme le balancier d'une pendule.

Enfin, le 30 janvier 1834, le tuyau vertical de la fontaine jaillissante de la place de la cathédrale à *Tours*, ayant été raccourci d'environ 4m, le produit en liquide, comme de raison, devint aussitôt plus grand. L'augmentation fut d'environ un tiers; mais l'eau, auparavant très limpide, ayant reçu un accroissement subit de vitesse, se troubla pendant plusieurs heures; elle amena de la profondeur de 109m, des débris de végétaux et des coquilles d'eau douces et terrestres; tous ces débris ressemblaient à ceux que les petites rivières et les ruisseaux laissent sur leurs bords après un débordement. Ces faits établissent d'une manière incontestable que les eaux de la nappe souterraine qui alimentent la fontaine ci-dessus ne résultent pas, du moins en totalité, d'une filtration à travers des couches de sable. Pour qu'elles puissent entraîner des coquilles, des morceaux de bois, il faut *qu'elles se meuvent librement dans de véritables canaux*.

Les couches que la sonde traverse avant d'arriver à la nappe jaillissante ne sont point complétement imperméables, et par conséquent, absorberaient une partie des eaux montantes, si l'on n'avait soin de placer dans le trou de sonde un tuyau d'ascension destiné à isoler les eaux; ce tuyau doit s'appuyer sur la couche imperméable immédiatement supérieure à la nappe aquifère, et la jonction entre le contour extérieur de ce tuyau, et la couche, doit être aussi exacte que possible afin d'éviter toute déperdition. Si l'on prolonge ce tuyau au-dessus du sol, à tel point que l'eau ne puisse plus s'écouler par son orifice supérieur, elle atteindra dans l'intérieur de ce tuyau, un niveau fixe, qui porte le nom de *niveau hydrostatique* du puits foré, et s'il n'y a pas de déperdition à la base du tubage, la hauteur du niveau hydrostatique au-dessus du fond du trou de sonde, mesurera exactement la pression des eaux souterraines en ce point. Si le prolongement du tuyau ascensionnel offrait quelques difficultés on pourrait déterminer aisément le niveau hydrostatique, en bouchant l'extrémité supérieure du tuyau par un tampon, et mesurant ensuite la pression à cette hauteur à l'aide d'un *manomètre* ordinaire, cette pression convertie en hauteur d'eau et portée au-dessus du tuyau, donnerait la position du niveau hydrostatique. Par suite du mouvement même dont les eaux souterraines sont animées, le niveau hydrostatique d'un puits foré est toujours inférieur aux affleurements supérieurs de la couche; d'un autre côté, il est supérieur aux affleurements les plus bas de cette couche. Enfin il n'est pas invariable, puisqu'il dépend des charges d'eau, sur les orifices d'alimentation et ceux d'écoulement de la nappe aquifère. Ces charges varient avec les crues des cours d'eau qui recouvrent les affleurements supérieurs et inférieurs de la couche, ou avec le niveau des eaux de la mer, lorsque les orifices d'écoulement sont au-dessous de son lit : Ainsi M. Baillet de Belloi a constaté que le niveau de la fontaine jaillissante de *Noyelle-sur-Mer* (Somme) monte et baisse avec la marée; M. Arago rapporte qu'à *Fulham*, près de la Tamise, dans une pe-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lte propriété de l'évêque de Londres, un puits foré de 7m de profondeur, donne 363 ou 273 litres d'eau par minute, suivant que la marée est haute ou basse. Si auprès d'un puits foré déjà établi, on en fore un second, e dernier aura ou non de l'influence sur le produit du remier selon que le rapport des dimensions de l'ouverture comparées à celles de la nappe alimentaire sera notable ou infiniment faible.

On rencontre fréquemment dans les sondages à travers les terrains stratifiés, plusieurs nappes aquifères superposées (fig. 165) : Ainsi à *Saint-Ouen*, MM. Flachat n ont rencontré cinq susceptibles d'ascension :

La 1re à	36m	de profondeur
la 2e à	45m,50	—
la 3e à	51m,50	—
la 4e à	59m,50	—
la 5e à	66m,50	—

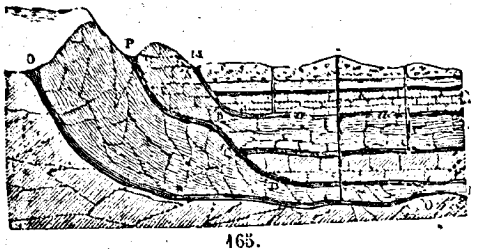
A *Tours*, les trois nappes ascendantes reconnues par M. Degousée se trouvèrent sous le terrain de la place de la cathédrale :

La 1re à	95m	de profondeur
la 2e à	112m	—
la 3e à	125m	—

Enfin, nous citerons les travaux de sondage pour la recherche de la houille, exécutés, non loin de *Dieppe*, près le *Saint-Nicolas-d'Aliermont*, qui y ont fait reconnaître sept grandes nappes d'eau très abondantes et douces, d'une force ascensionnelle très grande :

La 1re de . . .	25 à 30m	de profondeur
la 2e à . . .	100m	—
la 3e de . . .	175 à 180m	—
la 4e de . . .	210 à 215m	—
la 5e à . . .	250m	—
la 6e à . . .	287m	—
la 7e à . . .	333m	—

Généralement, lorsqu'un trou de sonde traverse plusieurs nappes aquifères, les plus profondes sont celles qui ont le niveau hydrostatique le plus élevé, et par suite qui présentent la force ascensionnelle la plus considérable; elles sont aussi ordinairement d'autant plus abondantes qu'elles sont plus profondes; il arrive cependant quelquefois le contraire; ainsi la 5e nappe d'eau (fig. 165) qui a son affleurement supérieur dans la



165.

vallée O, qui est au-dessous de la vallée P où se trouvent les affleurements des 3e et 4e nappes, aura un niveau hydrostatique moins élevé; mais suivant la règle générale, la puissance ascensionnelle de ces dernières sera plus grande que celle des 1re et 2e nappes qui ont leur orifice d'alimentation en M. On conçoit donc que si le puits foré n'était pas soigneusement tubé, une partie des eaux montantes serait absorbée soit par les couches aquifères supérieures, soit par les couches perméables absorbantes que l'on aurait traversées. On a aussi rencontré, rarement il est vrai, des nappes *absorbantes* au-dessous d'autres nappes donnant des eaux jaillissantes. Il pourrait donc arriver qu'on rencontrât, en approfondissant un puits foré, une nappe qui absorbât en partie les eaux supérieures et diminuât le niveau hydrostatique du puits.

La propriété absorbante de certaines nappes est souvent utilisée pour se débarrasser d'eaux nuisibles et pour opérer l'assèchement de grandes étendues de pays auparavant marécageuses et impropres à la culture. Comme exemples de parti que l'on peut tirer de cette propriété nous citerons : La plupart des carrières des environs de Paris, où l'on se débarrasse des eaux au moyen de trous de sonde forés jusqu'à la profondeur des couches fissurées supérieures de la craie; la voirie de Bondy, qui se débarrasse par le même procédé, de 100 mètres cubes d'eau, par 24 heures; la plaine des *Paluns* près de Marseille, qui formait autrefois un grand bassin marécageux qu'il paraissait impossible de dessécher à l'aide de canaux d'assèchement superficiels. Le roi René y fit alors creuser un grand nombre de trous ou puisards, qui jetèrent et jettent encore aujourd'hui dans des couches perméables situées à une certaine profondeur, des eaux qui rendaient toute la contrée improductive. On assure que ce sont les eaux absorbées dans ces puisards (en provençal *embugs*) de Paluns, qui, après un cours souterrain, forment les sources jaillissantes du port de *Mion*, près de *Cassis*. Enfin, nous terminerons en faisant connaître le parti ingénieux que M. Mulot a tiré des propriétés absorbantes de certaines couches pour résoudre un problème dont la solution importait beaucoup à Saint-Denis.

L'eau d'une fontaine creusée sur la place de la Poste-aux-Chevaux de cette ville devint, dans l'été, un excellent moyen de propreté; mais l'hiver venu, les glaces s'accumulèrent sur la voie publique et nuisirent beaucoup à la circulation. Cet inconvénient avait presque fait renoncer à creuser une nouvelle fontaine sur la place aux Gueldres, lorsque M. Mulot imagina le procédé suivant : de l'eau d'excellente qualité, provenant d'une couche située à 65m de profondeur, monte dans un tube métallique d'un certain diamètre. Un tube *notablement plus grand*, enveloppe le premier et va se saisir à 55m de profondeur, d'une nappe d'eau encore très potable, mais moins bonne cependant que la première. C'est exclusivement dans l'espace annulaire compris entre ces deux tubes que l'eau de la nappe, située à 55m peut remonter. Enfin un troisième tube, *notablement plus grand* que le second, descend en l'enveloppant, jusqu'à la profondeur d'une couche absorbante. L'espace annulaire compris entre le tube moyen et le tube extérieur ne donne donc rien; au contraire, il sert, *en hiver*, à ramener dans le sein de la terre la partie non employée des eaux des deux couches ascendantes qui, en se répandant sur la place et dans les rues, auraient formé une épaisse couche de glace.

On conçoit aisément que la quantité d'eau que fournit un puits artésien est très variable, suivant le diamètre du tuyau d'ascension, la hauteur du niveau hydrostatique du puits, et la facilité plus ou moins grande avec laquelle l'eau se meut dans les canaux souterrains qui sont en communication avec le fond du trou. Voici ceux qui donnent le plus grand volume d'eau.

Le fameux puits de *Grenelle*, creusé par M. Mulot, jaugé au niveau du sol, a donné 3,000 litres d'eau par minute.

Le puits artésien que MM. Fabre et Espériquette ont foré à *Bages*, près Perpignan, dans une propriété de M. Durand, donne 2,000 litres d'eau par minute.

Enfin le puits jaillissant que M. Degousée a foré à *Tours*, dans le quartier de cavalerie, jaugé à près de 2m de hauteur au-dessus du sol, a donné 1,110 litres d'eau.

Les plus profonds des puits artésiens en France sont ceux de Grenelle et de Passy qui traversent la craie et parviennent à la même couche de sables verts à 550 mètres de profondeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il arrive quelquefois que le produit d'un puits artésien diminue; dans cette circonstance, il y a deux cas à distinguer, suivant que le niveau hydrostatique n'en reste pas moins constant, ou suivant qu'il diminue. Dans le premier cas, la diminution du produit tient à un engorgement du tube ascensionnel ou du banc aquifère; on y remédie en faisant passer la sonde dans le trou pour le nettoyer, et imprimant ensuite, si cela ne suffit pas, à la colonne liquide, une série d'impulsions brusques, au moyen d'un piston de pompe à clapets, que l'on fait mouvoir avec une grande vitesse dans le tuyau ascensionnel. Lorsque le niveau hydrostatique s'est abaissé, l'accident est beaucoup plus grave, cela annonce qu'il y a déperdition d'eau le long du tube d'ascension; il faut dans ce cas enlever en tout ou en partie le tubage et le remplacer.

On se demande souvent s'il est à présumer que les fontaines artésiennes s'épuisent à la longue; nous nous contenterons pour répondre à cette question de citer le puits foré à *Lillers* (Pas-de-Calais), dont le produit journalier ainsi que la hauteur à laquelle l'eau jaillit, n'ont jamais varié, et dont la construction remonte, dit-on, à l'année 1126.

On sait que depuis longtemps les expériences faites dans les mines avaient démontré qu'à une faible profondeur au-dessous du sol, la température propre de la terre devenait indépendante des saisons et croissait à mesure que l'on s'enfonçait; cet accroissement est de 1 degré par 25 ou 30 mètres de profondeur. La chaleur constante et élevée que possèdent les sources jaillissantes est venue en donner une preuve plus convaincante encore. Nous citerons quelques exemples :

La température moyenne de *Paris*, à la surface du sol, est de.	+ 10°,6
La température de la fontaine jaillissante de la gare de *Saint-Ouen* est de. . . (Profondeur 66m).	+ 12°,9
La température du puits de Grenelle est de. . . . . (Profondeur 548m).	+ 27°,4
La température moyenne de la surface à *Tours* est de.	+ 11°,5
La température du puits artésien foré chez M. Champoiseau est de. . . . . (Profondeur 140m).	+ 17°,5

Les sources artésiennes ont été recherchées comme moteurs même dans les pays où les cours d'eau ne sont pas rares. Leur température constante et élevée permet en effet de les appliquer au service des usines pendant les hivers les plus rigoureux, soit directement quand elles sont abondantes, soit comme moyen de fondre les glaçons qui arrêtent le mouvement des roues hydrauliques. Dans le nord de la France, où la nappe aquifère est située à une faible profondeur, on trouve un grand nombre de moulins alimentés par les eaux de un ou plusieurs puits artésiens. A Tours, M. Degousée a foré, dans la manufacture de soie de M. Champoiseau, un puits de 140 mètres de profondeur, qui verse 1,100 litres d'eau par minute, dans les augets d'une roue de 7 mètres de diamètre; cette roue met en mouvement tous les métiers de la manufacture.

Dans le Wurtemberg, M. Bruckmann, en faisant circuler le long de tuyaux convenablement disposés de l'eau à + 12° centigr. provenant de puits artésiens, est parvenu à maintenir à + 8° la température de divers ateliers, quand le thermomètre extérieur marquait 18° au-dessous de zéro.

A l'époque des grandes pluies, le travail des papeteries était souvent interrompu à cause de l'impureté des eaux. Ces chômages forcés n'existent plus partout où l'on se sert des eaux jaillissantes et constamment limpides des puits forés.

Dans quelques localités, les eaux toujours pures, et d'une température invariable des fontaines jaillissantes, ont servi à établir des *cressonnières* artificielles très productives. La belle végétation du cresson dans les parties des lits des ruisseaux où il existait des sources naturelles a donné l'idée de cette application. On assure que les cressonnières artificielles d'*Erfurth* (Allemagne) ne rapportent pas moins de 300,000 fr. par an!

En cherchant de l'eau dans les entrailles de la terre, au moyen de la sonde, on rencontre quelquefois, au lieu de ce liquide, de grands réservoirs d'un gaz qui monte rapidement à la surface. Ce gaz est ordinairement inflammable; quelquefois c'est de l'hydrogène pur; mais le plus souvent c'est de l'hydrogène carboné, identique à celui du gaz d'éclairage. Dans le forage des trous de sonde destinés à la recherche des eaux salées, les Chinois rencontrent souvent de pareils dégagements gazeux. Ils conduisent alors à l'aide de longs tuyaux le gaz, sous les chaudières qui servent à évaporer les eaux salées, et l'y enflamment: ils n'emploient dans ce cas aucun autre combustible. Ils se servent aussi du même gaz pour éclairer les rues, halles et ateliers, lorsqu'ils en ont en quantité suffisante. Il y a également dans les États-Unis d'Amérique plusieurs villages dans lesquels on a mis à profit, pour éclairer les rues et les maisons, des courants de gaz inflammable qui se dégagent par des trous de sonde qui, dans la même contrée, ont fourni des sources de PÉTROLE.

Nous renverrons pour le complément de cet article, en ce qui regarde le *forage* des puits artésiens et le *tubage* des puits forés, au mot SONDAGE.

P. DEBETIE.

ARTIFICE (FEUX D') (*angl.* fire-works, *all.* feuer werke). La composition des feux d'artifice est un art moderne résultant de la découverte de la poudre à canon. Les plus belles inventions en ce genre sont dues aux célèbres Ruggieri, père et fils, qui exécutèrent à Rome, à Paris et dans les principales capitales de l'Europe, les plus brillants et les plus beaux feux d'artifice qui aient jamais été vus. La description suivante de leurs procédés sera probablement intéressante pour plusieurs de nos lecteurs.

Les trois matières fondamentales de toutes les compositions des feux d'artifice sont les éléments de la poudre, le nitre, le soufre et le charbon, que l'on mêle avec des limailles de fer, d'acier, de cuivre et de zinc, de la résine, du camphre, de la poudre de lycopode, etc. On emploie aussi très souvent la poudre à canon, soit en grains à moitié écrasés, soit finement pulvérisée. Plus la limaille de fer est fine et longue, plus les étincelles rouges et blanches qu'elle donne sont brillantes; elles doit être tout à fait exempte de rouille. Les limailles et tournures d'acier et de fonte contiennent du carbone, et produisent un feu plus brillant avec plus d'étincelles. La limaille de cuivre donne une flamme verte; celle de zinc, une belle couleur bleue verdâtre; le sulfure d'antimoine donne une flamme comme celle du zinc, un peu plus bleue, mais en même temps beaucoup plus de fumée. Le succin produit un feu jaune, ainsi que la colophane et le sel marin, mais ce dernier doit être employé très sec, pour ne pas arrêter la combustion. Le noir de fumée mélangé avec de la poudre à canon pulvérisée produit une couleur rouge foncé, et une couleur rouge clair ou œillet, avec le nitre en excès; on s'en sert pour faire les pluies d'or. Le mica jaune fournit aussi de très belles étincelles jaune d'or. Le vert-de-gris produit un vert léger; le sulfate de cuivre mélangé de sel ammoniac, un vert olive; le camphre donne une flamme très blanche et des fumées aromatiques, qui masquent la mauvaise odeur des autres substances. Le benjoin et le borax sont aussi employés à cause de leur odeur agréable. Le lycopode brûle avec une couleur rose et une flamme magnifique; il est principalement employé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ar les théâtres pour représenter les éclairs et les orches des furies, par suite de la propriété qu'il pos-de, étant répandu dans l'air, de s'enflammer par l'approche d'une bougie.

Les feux d'artifice sont divisés en trois classes : ceux qui doivent être posés sur le sol; 2° ceux qui ont tirés dans l'air; 3° ceux qui agissent sur ou sous eau; enfin on divise la première classe en pièces immobiles et en pièces mobiles.

Presque toutes les pièces d'artifice sont formées d'une nveloppe extérieure ou cartouche en papier ou en carn, dans laquelle on introduit le mélange combusble.

Les cartouches se font en enroulant du papier fort ou u carton mince enduit de colle sur des moules cylinriques de diamètre convenable, et que l'on comprime ans cet état par un mouvement de va-et-vient, au oyen d'une varlope semblable à celle des menuisiers, i ce n'est qu'elle n'a point de ciseau ni de cavité pour en ecevoir. On étrangle ensuite l'extrémité des cartouches n l'entourant d'une ficelle savonnée que l'on tend avec pied au moyen d'une pédale, puis on les lie au lieu e l'étranglement au moyen d'une ficelle, en faisant le *œud* dit de l'*artificier* (voyez NŒUDS), nœud qui est le même que celui que l'on fait pour attacher les lanières es fouets après leur manche.

On étrangle aussi ordinairement, en partie, l'extrémité supérieure des cartouches, afin d'augmenter la vitesse du jet de feu; on ne laisse cette ouverture entièrement ouverte que lorsque l'on veut obtenir un feu lent sans bruit.

La charge, dont la composition est très différente uivant le but qu'on veut atteindre, est, la plupart du emps, aussi fortement comprimée que possible, afin de modérer la rapidité de la combustion, ce qui offre en utre l'avantage de pouvoir en introduire une quantité lus considérable dans un cartouche de dimensions onnées.

Passons maintenant à la description des diverses ièces d'artifice :

La composition pour les *fusées communes*, au-dessous de 2 centim. de diamètre, est de : poudre pulvérisée 16 parties, charbon 3 p.; pour celles d'un plus grand diamètre, on emploie un mélange de 16 p. de poussier de poudre, et 4 p. de limaille de fer.

Roue tournante. Pour un tube de moins de 2 centim. le diamètre, on prend : poudre à canon 16 parties, limaille d'acier 3 p.; pour de plus fortes dimensions : poudre à canon 16 p., limaille d'acier 4 p.

Feu chinois brûlant avec un bouquet d'étincelles couleur jasmin. Lorsque le diamètre de la fusée est moindre que 2 centim., on prend : poudre à canon 16 parties, nitre 8 p., charbon 3 p.; soufre 3 p., tournure de fonte 10 p.; pour de plus fortes dimensions : poudre à canon 16 p., nitre 12 p., charbon 3 p., soufre 3 p., tournure de fonte 12 p.

Brillant fixe Diamètre au-dessous de 2 centim. : poudre à canon 16 parties, limaille d'acier 4 p.; ou, poudre à canon 16 p., tournure fine de fonte 6 p.

Soleils fixes. Ils sont composés d'un certain nombre de fusées, distribuées comme les rayons d'une roue, et dont les extrémités ignivômes sont divergentes. Toutes les fusées prennent feu à la fois.

Lorsque, comme dans le cas précédent, on doit mettre le feu à plusieurs pièces à la fois, on se sert d'étoupilles ou mèches en coton, trempées dans une pâte faite avec de la poudre pulvérisée, un peu d'eau-de-vie et de gomme arabique, que l'on fait sécher, puis que l'on enroule dans une feuille de papier mince; ces feuilles sont enroulées, un peu coniques, de sorte que l'on peut aisément les enfiler par leurs extrémités les unes dans les autres, et obtenir une conduite aussi longue que l'on veut.

Les *gloires* se font comme les soleils fixes, seulement, au lieu de fixer les ouvertures des fusées sur le même cercle, on les dispose de manière à former des figures triangulaires ou étoilées, qui sont souvent composées de plusieurs rangs de fusées.

Les *éventails* sont composés de 5 à 7 fusées disposées suivant les rayons d'un quart de cercle, ou d'un demi-cercle. La *patte-d'oie* est un éventail composé seulement de trois fusées.

La *mosaïque* consiste en un échiquier de poteaux espacés à 1 mèt. environ de distance, et portant des fusées disposées de telle sorte qu'elles produisent des jets de feu qui se croisent quatre par quatre au centre de chaque compartiment; il en résulte que, lorsqu'il y a un nombre suffisant de poteaux, le tout forme en brûlant une sorte de mosaïque.

Palmiers. Ruggieri a inventé un nouveau genre d'artifice destiné à représenter toutes sortes d'arbres et particulièrement le palmier. La composition suivante est celle de ce magnifique feu d'artifice vert : vert-de-gris cristallisé 4 parties, sulfate de cuivre 2 p., sel ammoniac 1 p. Ces ingrédients sont pulvérisés et humectés avec de l'alcool. Un arbre artificiel de chaque genre, étant érigé, on festonne autour du tronc, des branches et parmi les feuilles, des mèches grossières en coton d'environ 5 centim. de diamètre, imprégnées de cette composition, et on les allume immédiatement avant que l'alcool ait eu le temps de s'évaporer.

Cascades. S'obtiennent par un grand nombre de fusées horizontales juxtaposées. Elles imitent des nappes ou des jets d'eau. Le feu chinois est le mieux approprié à ces décorations. Les *pluies d'or* se font de même, seulement on dispose les fusées presque verticalement.

Étoiles fixes. Les fusées ont une construction particulière. On les ferme par les deux bouts, et on perce, près de l'une des extrémités et dans le même plan, cinq trous dans l'enveloppe, de telle sorte que la fusée étant fixée horizontalement, produit en brûlant, vue dans le sens de son axe, cinq jets lumineux divergents qui représentent une étoile fixe.

COMPOSITION D'ÉTOILES FIXES.

	Ordinaires.	Brillantes.	Colorées.
Nitre. . . .	16 parties.	12	0
Soufre. . . .	4 —	6	6
Poudre à canon pulvérisée.	4 —	12	16
Antimoine . .	2 —	1	2

Lances. Ce sont de longues fusées, de petit diamètre, faites avec des cartouches de papier. Celles qui brûlent le plus vivement doivent être les plus longues. Elles sont chargées à la main sans aucun moule, avec des baguettes de différentes longueurs, et ne sont pas étranglées à la bouche, mais simplement munies de mèches. Ces lances forment les figures des grandes décorations; elles sont fixées avec des pointes sur de grandes charpentes en bois, représentant des temples, des palais, des pagodes, etc. La communication entre les diverses pièces s'établit à l'aide d'étoupilles, conduits ou mèches dont nous avons décrit plus haut la préparation.

La composition pour des *lances blanches* est : nitre 16 parties, soufre 8 p., poudre à canon 4 ou 3 p.; pour des *lances blanc-bleuâtres* : nitre 16 p., soufre 8 p., antimoine 4 p.; *lances bleues* : nitre 16 p., antimoine 8 p.; *lances jaunes* : nitre 16 p., poudre à canon 16 p., soufre 8 p., succin 8 p.; *lances plus jaunes* : nitre 16 p., poudre à canon 16 p., soufre 4 p., colophane 3 p., succin 4 p.; *lances verdâtres* : nitre 16 p., soufre 6 p., antimoine 6 p., vert-de-gris 6 p.; *lances œillets* : nitre 16 p., poudre à canon 3 p., noir de fumée 1 p.; d'autres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lances moins vives sont faites avec : nitre 16 p., colophane 3 p., succin 3 p., poudre de lycopode 3 p.

Outre les compositions ci-dessus pour les lances colorées indiquées par Ruggieri, nous ferons connaître ici celles indiquées par Meyer, qui reposent sur l'emploi du chlorure de potassium, mais qui à cause du prix assez élevé de ce sel, ne sont pas généralement employées dans les feux d'artifices ordinaires. Des mélanges de chlorure de potassium et de soufre brûlent avec une vivacité extraordinaire, et un degré de chaleur blanche, que l'on ne peut pas produire avec le nitre. A cette chaleur élevée, un grand nombre de substances donnent lieu par leur combustion, à des colorations particulières très vives, dont on remarquait à peine des traces en se servant de nitre. Parmi ces substances, nous citerons particulièrement les nitrates de strontiane et de baryte, qui donnent avec un mélange de chlorure de potassium et de soufre ; le premier un magnifique rouge pourpre, le second un admirable feu vert. Les bases de ces compositions sont : 1° Un mélange de 80 parties de chlorure de potassium et de 20 parties de soufre; et 2° un mélange de 75 parties de nitre et de 25 parties de soufre. On ajoute à 100 parties du mélange n° 1, pour produire une couleur :

Rouge, 30 parties de carbonate de strontiane ;
Rose foncé, 40 p. de craie (carbonate de chaux) ;
Rose clair, 30 p. de spath fluor (chaux fluatée) ;
Jaune, 50 p. de carbonate de soude fondu ;
Bleu foncé, 30 p. de sulfate ammoniacal de cuivre, et 30 p. de sulfate de potasse.
Bleu clair, 20 p. de sulfate de potasse,
Vert, 20 p. de carbonate de baryte ;
Vert clair, 20 p. d'acide borique ;
Violet, 20 p. de sulfate de potasse et 20 p. de carbonate de chaux (craie) ;
Orange, 30 p. de carbonate de soude et 10 p. de carbonate de chaux.

Dans les feux de théâtre, les feux colorés doivent être accompagnés d'une lumière blanche très vive, pour les faire ressortir et détruire la teinte jaunâtre due à la lumière des lampes ; il faut dans ce cas employer le mélange n° 2 ; voici à cet égard les compositions indiquées par Meyer :

Rouge clair, 50 p. du mélange n° 1 ; 50 p. du mélange n° 2 ; 20 p. de craie et 10 p. de pulvérin ou poudre à canon pulvérisée.
Pourpre foncé, 50 p. du mélange n° 1, 76 p. de nitrate desséché de strontiane et 24 p. de soufre.
Bleu, 50 p. du mélange n° 1, 50 p. du mélange n° 2, 40 p. de sulfate de cuivre ammoniacal et 20 p. de sulfate de potasse.
Vert, 35 p. du mélange n° 1, 80 p. de nitrate de baryte desséché et 20 p. de soufre.
Jaune, 50 p. du mélange n° 1, 50 p. du mélange n° 2 et 40 p. de carbonate de soude fondu.
Violet et *orange*, mélange de bleu et de rouge, de rouge et de jaune.

Cordes de couleur. Elles servent à faire les dessins, les emblèmes, les courtes inscriptions. On emploie de la torsade de coton, d'une grosseur proportionnée à l'effet qu'on veut produire, et l'on passe au milieu un fil de fer, afin de le soutenir et de pouvoir lui donner exactement les formes voulues. Cette torsade ou *câble*, c'est ainsi qu'on la nomme dans le commerce, doit être un peu torse et bien velue ; on la pénètre bien de la composition suivante : nitre 2 parties, soufre 16 p., antimoine 1 p., gomme de genièvre 1 p. ; on peut remplacer la gomme de genièvre par de la gomme arabique.

Feux de Bengale. Ces feux dont l'éclat rivalise avec celui du soleil, se font avec 7 parties de nitre, 2 de soufre, et 1 d'antimoine ; ce mélange est fortement tassé dans des écuelles en terre, et on jette quelques morceaux de mèches sur la surface. Ces flammes produisent un bel effet théâtral pour représenter les embrasements.

Soleils tournants. Ce sont des roues mobiles autour d'un axe horizontal, sur la circonférence desquelles on fixe des fusées de différents diamètres, communiquant entre elles par des conduits, en sorte qu'elles s'allument successivement l'une après l'autre. La composition de ces fusées lorsqu'elles ont moins de 2 centimètres de diamètre est : poudre à canon pulvérisée 16 parties, charbon grossièrement pulvérisé 3 p. Pour de plus grandes dimensions : poudre à canon 20 p., charbon grossièrement pulvérisé 4 p. Pour *soleils radiés* : poudre à canon 16 p., sable micacé jaune, 2 ou 3 p., ou : poudre à canon 16 p., charbon 1 p., sable micacé jaune, 1 ou 2 p. Pour les petits soleils, on fait un long cartouche que l'on enroule en spirale sur lui-même et que l'on enfile par le centre dans un clou qui sert à le fixer à un poteau vertical. Lorsqu'on met le feu à l'extrémité de la fusée le soleil se met à tourner plus ou moins rapidement par suite du recul dû à la combustion de la charge.

Doubles roues tournantes. Ce sont deux soleils tournant autour du même axe, dans des directions opposées. Les fusées sont fixées obliquement et non tangentiellement à leurs circonférences. Les rayons des roues sont chargés d'un grand nombre de fusées ; deux des quatre ailes tournent dans une direction, et les autres dans la direction opposée, mais toujours dans un plan vertical.

Les *girandoles*, *caprices*, *spirales* et quelques autres pièces ont, au contraire, une rotation horizontale. Les artificiers peuvent diversifier grandement leurs effets, par l'arrangement et la couleur de leurs jets de feu. Nous prendrons pour exemple le *globe de lumière*. Qu'on imagine une grande sphère tournant librement sur son axe, avec un hémisphère creux qui tourne aussi sur un axe vertical passant à travers son pôle inférieur. Si les deux pièces sont couvertes de lances colorées ou de cordages, on obtient un globe fixe, lumineux, mais si on place des fusées horizontales sur l'hémisphère, et des fusées verticales sur la sphère, le premier doit avoir un mouvement horizontal relatif, le second, un mouvement vertical qui, étant combiné avec le premier, l'oblige à décrire une espèce de courbe dont l'effet forme un contraste agréable avec le mouvement régulier de l'hémisphère. On peut également placer de petits soleils sur la surface d'un grand soleil tournant, dont ils ont l'air d'être les satellites.

Ruggieri a exécuté entre autres un serpent lumineux, poursuivant avec un tournoiement rapide un papillon qui volait continuellement devant lui. Cet effet extraordinaire était produit par le moyen suivant : sur le sommet d'un octogone, il fixait huit roues égales tournant librement sur leurs axes, dans les plans des faces verticales de l'octogone. Une chaîne sans fin, passée autour de leur circonférence, allant de l'intérieur à l'extérieur, couvrait la demi-circonférence extérieure de la première, l'intérieure de la seconde, et ainsi de suite ; d'où provenait l'apparence d'une grande ligne sinueuse circulaire. La chaîne, pareille à celle d'une montre, portait sur une portion de sa longueur des espèces d'écailles percées de trous, pour recevoir des lances colorées, de manière à représenter un serpent enflammé. A peu de distance de celui-ci, était un papillon construit avec des lances blanches. La pièce était allumée ordinairement par d'autres feux d'artifice, qui semblaient se terminer, en projetant un serpent du sein des flammes. Le mouvement était communiqué à la chaîne par l'une des roues, qui le recevait comme une horloge le reçoit de l'action d'un poids. Ce mécanisme curieux et remarquable a reçu de l'auteur le nom de *Salamandre*.

Les fusées volantes qui s'élèvent dans l'air, avec une prodigieuse vélocité, sont l'une des pièces les plus communes, mais non les moins intéressantes des feux d'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tifice. Lorsqu'elles sont employées avec profusion, elles forment ces riches bouquets qui terminent les fêtes publiques. Le cartouche est semblable à celui des autres fusées, excepté en ce qui concerne sa longueur et la nécessité de le coller fortement et de bien l'unir; mais il est chargé d'une manière différente. Comme ces fusées doivent s'enlever avec rapidité, leur composition doit être telle qu'elles puissent s'enflammer presque instantanément sur toute leur longueur, et dégager un grand volume de fluides élastiques. A cet effet, un petit espace cylindrique est ménagé autour de l'axe, c'est-à-dire que la ligne centrale est tubulaire. Les artificiers appellent cet espace l'*âme de la fusée*. On ménage ce vide en y maintenant lors de la charge une baguette de dimensions convenables, et en bourrant la composition avec un bourroir creux suivant son axe; pendant le bourrage on soutient le corps de la fusée en la plaçant dans un moule ou cylindre en cuivre.

La composition des fusées volantes est la suivante :

COMPOSITION.	DIAMÈTRE INTÉRIEUR.		
	1,89 centim.	3,29 à 3,16 centim.	4,21 centim.
Nitre.	16	16	16
Charbon.	7	8	9
Soufre.	4	4	4
Feu brillant.			
Nitre.	16	16	16
Charbon.	6	7	8
Soufre.	4	4	4
Limaille fine d'acier	3	4	5
Feu chinois.			
Nitre.	16	16	16
Charbon.	4	5	6
Soufre.	3	3	4
Tournure de fonte	3 grosse.	4 moy.	5 fine.

Le cartouche étant chargé comme il a été décrit ci-dessus, le *pot* doit lui être ajusté avec la *garniture*, c'est-à-dire les serpents, les pétards, les étoiles, les pluies de feu, etc. Le pot est un tube de carton, plus large que le corps de la fusée, et d'environ un tiers de sa longueur. Après avoir été étranglé au fond comme la bouche d'une fiole, il est attaché au bout de la fusée au moyen de fil et de colle; ceux-ci sont ensuite couverts de papier. La garniture est introduite dans le bout de la fusée et recouverte par du papier plié en double. Le tout est renfermé dans un tube de carton se terminant en un cône, lequel est fortement collé au pot. On introduit alors la mèche ou étoupille dans l'*âme* de la fusée. La baguette attachée au bout des fusées volantes, pour diriger leur vol, est faite de saule ou de quelque autre bois léger. Ruggieri remplaçait la baguette par des ailes coniques contenant des matières détonnantes, et de cette manière les faisait voler en éclats avant de retomber sur le sol. Voici les dimensions de rigueur à observer dans la confection des fusées volantes; âme de la fusée, diamètre au fond, $\frac{1}{6}$ de celui de la fusée; à l'ouverture, $\frac{2}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de cette même dimension. La baguette ou queue de la fusée a une longueur 18 à 20 fois plus grande, et doit aller en diminuant, de manière à ce que le bout effilé soit de moitié moins fort que le gros bout; elle doit être telle, qu'en plaçant la fusée sur le doigt à quelques centim. en avant de la mèche, l'extrémité libre de la baguette emporte la fusée.

Lorsqu'on supprime la baguette et qu'on met des ailes à la fusée, on la dirige dans un canal triangulaire ou rectangulaire, selon le nombre d'ailes.

Les *garnitures* des fusées volantes sont les suivantes :

Les *étoiles* sont de petits solides, cubiques ou ronds, faits avec une des compositions suivantes et trempés dans de l'esprit-de-vin; *étoiles blanches* : nitre 16 parties, soufre 8 p., poudre à canon 3 p.; *étoiles blanches* plus vives que les précédentes : 16 parties de nitre, 7 p. de soufre et 4 p. de poudre à canon; *étoiles pour pluies d'or* : nitre 16 parties, soufre 10 p., charbon 4 p., poudre à canon 16 p., noir de fumée 2 p.; *étoiles* plus jaunes que les précédentes : nitre 16 p., soufre 8 p., charbon 2 p., noir de fumée 2 p., poudre à canon 8 p.

Dragon ou *courantin*. Lorsqu'il s'agit de communiquer le feu à l'artifice, d'un endroit éloigné, on emploie le dragon : c'est une fusée simple chargée de la composition des feux communs, accolée à un cartouche vide et débouché par les deux bouts; on enfile une ficelle dans ce cartouche vide, ou mieux, un fil de fer ou de laiton tendu de l'endroit d'où l'on veut faire partir le dragon à l'endroit où se trouve l'artifice; la mèche de la fusée étant tournée vers celui qui met le feu. Le dragon va porter le feu, et si l'on veut, on place une fusée en sens contraire qui le ramène ou va le porter à un autre artifice, suivant la direction donnée au support. Lors des fêtes qui eurent lieu à l'occasion du sacre de l'empereur, le dragon partit de l'amphithéâtre établi sur la place de la Grève, traversa la Seine à l'endroit où se trouve actuellement le pont d'Arcole, et alla porter le feu dans la Cité, sur la représentation du mont Saint-Bernard.

Les *serpenteaux* sont de petites fusées faites avec une ou deux cartes à jouer, leur calibre est au-dessous de 1 centim. 1/4. Les *lardons* sont un peu plus grands et sont formés de trois cartes; les *vétilles* sont plus petites. Leur composition est : nitre 16 p., charbon grossièrement concassé 2 p., poudre à canon 4 p., soufre 4 p., limaille fine d'acier 6 p.

Les *pétards* sont des cartouches remplis de poudre ordinaire et étranglés. Les *saxons* sont des cartouches enduits d'argile à chaque bout, chargés avec la composition n° 2 des roues tournantes, et perforés d'un ou deux trous à l'extrémité du même diamètre.

Le *marron* est une boîte carrée ou ronde, de carton ou de parchemin, remplie de poudre à canon en grains et liée tout autour avec du fil retors.

Chandelles romaines. Ce sont des fusées qui jettent successivement de très brillantes étoiles. Avec la composition (comme ci-dessous) imbibée d'alcool et d'eau légèrement gommée, on fait de petites plaques cylindriques, percées d'un trou dans leur centre. Ces corps, lorsqu'ils sont allumés et projetés dans l'air, forment des étoiles. On met premièrement dans le cartouche une charge de poudre à canon fine, proportionnée aux dimensions de l'étoile; au-dessus de cette charge on place une étoile; ensuite une charge de composition pour les chandelles romaines, et ainsi de suite jusqu'à ce que le cartouche soit rempli. Les *étoiles*, lorsqu'elles ont moins de 2 centim. de diamètre, consistent en 16 parties de nitre, 7 p. de soufre, 5 p. de poudre à canon; lorsqu'elles sont plus grandes, 16 p. de nitre, 8 p. de soufre et 8 p. de poudre à canon. La composition des *chandelles romaines* est de : nitre 16 p., charbon 6 p., soufre 3 p.; et lorsqu'elles ont au-dessus de 2 centim. de diamètre : nitre 16 p., charbon 8 p., soufre 6 p.

On nomme *pot à feu* une fusée immobile qui en renferme un grand nombre de plus petites destinées à être lancées en l'air. Pour la faire on prend un large cartouche au fond duquel on met de la poudre que l'on recouvre d'un rond de carton que l'on perce au centre, pour recevoir une fusée plus petite qui communique le feu. La partie vide située entre la paroi interne du gros cartouche et la partie externe du petit est remplie de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARTIFICES DE GUERRE.

serpenteaux. On recouvre le tout d'un fort papier, percé pour laisser passer la fusée centrale.

Les *girandoles* ou *bouquets* sont ces belles pièces qui terminent ordinairement un feu d'artifice et dans lesquelles une multitude de jets semblent embraser le ciel dans chaque direction, et tomber ensuite en pluie d'or. Cet effet se produit en distribuant un certain nombre de pots à feu au sommet des échafaudages; chacun de ces pots contient 140 fusées volantes et communique avec les autres par des mèches convenablement disposées; de cette manière, ils prennent tous feu simultanément et produisent une sorte d'éruption volcanique.

La composition du *feu rouge* se fait en mélangeant 40 parties de nitrate de strontiane, 13 parties de soufre en fleurs, 5 parties de chlorate de potasse, et 4 parties de sulfure d'antimoine. Les *feux blancs* sont produits par un mélange de 48 parties de nitre, 13 parties 1/4 de soufre; 7 parties 1/4 de sulfure d'antimoine; ou 75 parties de nitre, 24 parties de soufre et 1 partie de charbon; ou enfin, 100 parties de poudre à canon pulvérisée et 25 parties de tournure fine de fonte. La composition du *feu bleu* est de 4 parties de poudre à canon pulvérisée, 2 parties de nitre, 3 parties de soufre et 3 parties de zinc en limaille.

ARTIFICES DE GUERRE. Nous passerons successivement en revue les principaux genres d'artifices employées par l'artillerie.

Étoupilles. Autrefois on amorçait les canons en plaçant dans la lumière une *étoupille* formée par un roseau (11 à 15 centimètres de longueur, 5 millimètres de diamètre extérieur au plus) rempli d'une pâte de pulvérin et d'eau-de-vie gommée, et percée dans toute sa longueur avec une aiguille à tricoter. L'étoupille portait en haut un bout de mèche, auquel on mettait le feu avec la *lance à feu*, sorte de cartouche fusante qui dure 10 à 12 minutes. Le canonnier allumait la lance à feu au *toute-feu*, bâton fourchu planté en terre et supportant une certaine longueur de *mèche à canon* (chanvre imprégné de salpêtre), qui brûle lentement (16 centimètres par heure). On emploie aujourd'hui *étoupilles fulminantes* qui dispensent de tout l'attirail ci-dessus. Il y en a deux systèmes en France : celles de la terre et celles de la marine.

L'étoupille fulminante de l'artillerie de terre (fig. 166) se compose d'un tube en cuivre de 3 millimètres de diamètre et de 4 à 5 centimètres de longueur, fendu et ouvert en croix à sa partie supérieure, pour empêcher qu'il tombe dans la lumière. Dans ce tube, fermé en bas par de la cire, se trouve de la poudre de chasse, et un second petit tube concentrique au premier, qui est rempli de poudre fulminante (mélange de 2/3 sulfure d'antimoine et 1/3 chlorate de potasse). Dans ce mélange, on scelle, pendant qu'il est encore humide, l'extrémité aplatie d'un fil de cuivre rouge terminé par un T dont les deux branches s'arrêtent en-dessous sur les bords du petit tube. Ce fil de cuivre porte le nom de *rugueux* : il est enduit d'une couche de vernis à la gomme laque ainsi que les parties intérieures du tube, ce qui conserve mieux la poudre; on a renoncé à le faire en laiton, qui exerçait, par contact avec le cuivre rouge, une action chimique nuisible à la conservation de la poudre. Le petit tube est placé dans le grand à l'aide du fil de cuivre; on bouche le grand tube en haut au moyen d'un tampon en bois, qui est garni en dessous d'une rondelle en caoutchouc (de 1/2 millim. d'épaisseur), contre laquelle s'appuie le petit tube; par dessus le bouchon en bois, on lutte avec de la cire. L'extrémité du fil de cuivre est repliée et tordue pour former la *boucle de tirage* dans laquelle on engage, au moment du tir, le crochet du *tire-feu*; la friction énergique du rugueux détermine alors l'inflammation.

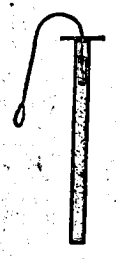


Fig. 166.

Les étoupilles fulminantes à friction de l'artillerie de mer (fig. 167) sont construites de la même façon, seulement les deux tubes (*grand tube* et *tube d'amorce*) sont en plume.

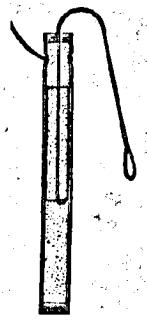


Fig. 167.

Le rugueux, au lieu de se terminer par un T, se termine par une partie aplatie et dentelée, avec un petit crochet en-dessous, qui s'arrête contre le bord du tube d'amorce. Le tampon en bois porte une rainure circulaire qui retient le fil par lequel on attache, et on serre le grand tube contre le tampon; les deux bouts du grand tube sont bouchés avec de la cire. La poudre fulminante est différente de celle de l'artillerie de terre, qui se conserverait moins bien à la mer: elle se compose de 5 fulminate de mercure et 3 sulfure d'antimoine.

Fusées proprement dites. Les fusées de guerre consistent en un cylindre en tôle renfermant une composition d'artifice, fermé à sa partie antérieure qui est terminée par un cône, la paroi postérieure étant au contraire percée de trous.

C'est en analysant ce qui se passe, quand on met le feu à la partie postérieure, qu'on peut déterminer les différentes conditions qu'on doit remplir dans la fabrication des fusées.

Quand la composition prend feu, il se produit un dégagement de gaz qui s'échappent par les orifices avec la vitesse due à la pression qui se forme à l'intérieur; et la fusée se meut, en vertu de la détente du gaz et de la résistance de l'air qu'il rencontre à sa sortie par les orifices. Cet effet est très-grand pendant les premiers instants du mouvement qui est peu rapide; mais à mesure que la vitesse de la fusée augmente, l'effet dû à cette réaction diminue, tandis que la résistance de l'air croît rapidement. Il tendra donc à s'établir une vitesse et une pression constante à l'intérieur de la fusée, car la vitesse d'inflammation sera constante si la composition est homogène et si la surface d'inflammation reste à peu près la même, ce qui arrive sensiblement dans les fusées actuelles. L'observation du tir de ces fusées montre d'ailleurs que leur vitesse est sensiblement constante, et que, par conséquent, on doit tout proportionner au cas de cette tension maximum.

Il est d'abord évident que le cartouche doit être plus résistant que cette pression maximum, sans quoi il crèverait dès le commencement de sa course. Or, la résistance de la tôle, qui est la matière la plus résistante qu'on puisse employer pour la fabrication du cartouche, n'est pas assez grande pour que la petitesse des orifices dépasse une certaine limite. Mais, de plus, il faut tenir compte d'un résultat remarquable : c'est que, si on remplit complétement de composition un cartouche, on n'obtient qu'une portée de quelques mètres et une vitesse très-faible.

L'expérience a prouvé qu'on devait pratiquer un vide intérieur dans l'axe du cartouche, qui est de suite rempli par les premiers gaz qui se forment, et qui sert en quelque sorte de régulateur aux diverses pressions qui tendent à s'établir, lesquelles suffisent pour produire une grande vitesse; dans ce cas, on peut admettre qu'il y a régularité d'émission pendant la plus grande partie du mouvement. Cela admis, on peut, connaissant la vitesse d'inflammation de la composition et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ARTIFICES DE GUERRE.

dimensions de la fusée, déterminer les pressions produites à chaque instant, en admettant toutefois que cette composition donnerait les mêmes pressions, à densité égale, que la poudre, dans les expériences de Rumford, et, en effet, elle ne consiste guère qu'en poudre écrasée. On voit, en faisant ce calcul, que les fusées actuelles donnent le maximum de vitesse d'écoulement après 3/4 de seconde; elle est d'environ 760 mètres, ce qui correspond à une pression inférieure à soixante-dix atmosphères, qui est à peu près celle que peuvent supporter les enveloppes soudées, à la température de 250°.

Quand on veut augmenter la portée des fusées, il faut augmenter leur diamètre; mais alors les résistances croissent très-rapidement, et on atteint bientôt la limite au delà de laquelle on n'obtient plus que des accroissements d'effets peu sensibles. Il en est de même pour la longueur, qu'à partir d'un certain point, on ne trouve nul intérêt à augmenter, la durée de la combustion ne changeant pas.

Pour chaque fusée de diamètre donné, il y a ainsi un certain rapport entre les diverses dimensions, qui est le plus convenable, et qu'on doit déterminer par expérience, comme le choix de la composition à employer.

On s'est arrêté, par expérience, à une composition intermédiaire entre la composition vive qui dure peu et une lente qui donne une moindre pression. On se servait, en 1810, de la composition : 6 parties de nitre, 1 partie de soufre et 3 parties de charbon; on a depuis augmenté la quantité de soufre et diminué celle de charbon, et on s'est rapproché de la composition employée à Berlin, où l'on a fait des fusées avec 9 parties de nitre, 4 parties de soufre et 3 de charbon.

Pour diminuer les déviations qui se produisent dans le tir de ces fusées, on adapte à leur extrémité une baguette assez longue, qui établit le centre de gravité du système à la partie postérieure de la fusée, et qui empêche qu'elle ne tombe à terre ou s'incline dès qu'elle commence son mouvement avec une faible vitesse, comme cela arriverait si le centre de gravité était vers la partie antérieure. De plus, la résistance de l'air agissant sur des portions de cette baguette assez éloignées de ce centre de gravité, s'oppose aux déviations latérales que peuvent produire des causes accidentelles. On a placé longtemps la baguette sur le côté; la résistance de l'air se trouvait moindre d'un côté de l'axe de la fusée que de l'autre, il y avait là une cause de déviation; il est vrai qu'elle n'avait guère lieu qu'au bout de la course, parce que les gaz, en s'échappant, venaient presser le côté de la baguette qui l'était le moins. *Congrève* plaça cette baguette au centre; on aurait pu en placer deux symétriquement.

Les fusées sont difficilement employées, en campagne. Le véritable emploi auquel on destinait les fusées à la guerre, avant que l'on sût tirer des obus à de très-grandes distances, était d'incendier. On les termine, dans ce cas, par un cône qui vient se ficher dans l'objet qu'on veut brûler. Ce cône est creux et rempli de matières incendiaires; sa surface est percée de trous par lesquels le feu se communique à l'objet en contact. Voici une composition d'une matière incendiaire, due à Schumacker, qui a fait un grand nombre d'essais: nitre 384 parties; soufre 120 parties; charbon 5 parties; antimoine 120 parties. Ces matières, mélangées et pulvérisées, sont versées dans une composition de : cire, 64 parties; poix, 8 parties; térébenthine, 32 parties. Ce mélange produit des flammes extrêmement vives, très-propres à incendier.

Dans la pratique de la guerre, l'irrégularité du tir des fusées les rend peu dangereuses. On a quelquefois tenté de leur faire produire des effets extraordinaires. Telle était l'invention du capitaine anglais *Warner*, destinée à détruire les vaisseaux de ligne à de grandes distances; il paraît qu'il se servait de fusées à la congrève, dont le cône était rempli de fulminate de mercure et eût donné lieu, en se fichant, à fleur d'eau, dans le flanc d'un vaisseau en bois, à une explosion terrible, pouvant déterminer une large voie, par suite de laquelle le navire eût sombré presque immédiatement.

Les fusées tirées dans des tubes assez longs, comme on l'a proposé pour éviter les déviations, ne sont guère que des bouches à feu de faible effet, comparativement à ceux de l'artillerie moderne. Voici les portées qu'on obtient avec les fusées anglaises, qui sont les plus célèbres : 51 millimètres de diamètre, portée : 1 520 mètres; 62 millimètres, 1 890 mètres; 88 millimètres, 1 980 mètres. Durée de la combustion, 19". On voit que l'accroissement n'est nullement proportionnel aux diamètres, et il n'est pas probable qu'on pût obtenir, avec les plus grosses fusées qu'on pût fabriquer, une portée de plus de 2 500 à 3 000 mètres.

Si la portée ne peut dépasser ces limites par une augmentation de diamètre, pourrait-on l'obtenir par une augmentation de longueur? Nous avons vu que cela était impossible dans le système actuel de construction des fusées; cet allongement suffirait dans le cas où on emploierait les fusées sans chambre intérieure, mais en laissant un vide entre l'extrémité de celle-ci et par la paroi postérieure, moyen qui a réussi dans l'emploi des poudres brisantes. Il est un moyen plus certain de résoudre le problème, c'est de mettre une deuxième fusée à la suite de la première, c'est-à-dire de donner au cylindre de tôle une longueur double, et de le diviser en deux par une paroi placée au milieu. La fusée postérieure fernit d'abord son effet, puis, à la limite de sa course, quand le système ne se mouvrait plus que par la vitesse acquise, la deuxième partirait et fournirait une nouvelle course.

La disposition à suivre pour réaliser cet effet est assez simple; il suffit de faire dans la paroi de séparation (fig. 168) des trous qu'on fermera par des bouchons coniques en bois, qu'une pression par le petit côté fera aisément sortir. Au centre, on établirait un tube en cuivre effilé au bout intérieur, afin que la composition ne puisse être chassée dans la deuxième cavité; il aurait au plus la longueur de la première fusée, et serait rempli d'une composition telle que la deuxième partit à l'instant voulu. Il nous semble qu'on pourrait obtenir ainsi des portées de 4,000 à 5,000 mètres, puisqu'on a déjà obtenu des portées de 2,600 mètres avec des fusées ordinaires de 89 millimètres de diamètre. Deux fusées accolées et partant l'une après l'autre ont été établies par M. Constantinof, colonel d'artillerie russe, et par le général Boxer en Angleterre, pour lancer à terre des amarres de sauvetage.



Fig. 168.

Fusées pour projectiles creux sphériques. En France, pour les obus et les bombes sphériques, on emploie une *fusée en bois à quatre évents*. L'enveloppe est formée d'un tronc de cône en bois dur (orme, frêne, noyer, poirier, etc.) soigneusement choisi et parfaitement sain; elle est percée d'un *canal* cylindrique de 6 millimètres de diamètre, s'ouvrant dans l'axe en haut sur la tête de la fusée et latéralement à la partie inférieure. La tête est également percée de quatre trous en croix. On remplit le canal d'une composition fusante particulière, on amorce les *évents* latéraux par des brins de mèche à étoupille, et on bouche le haut du canal avec un tampon en pulvérin.

Lorsqu'on charge la fusée, on relève les mèches de façon à les loger dans les rainures de la tête; on place

EFERUS - Recherche & Classification numérique

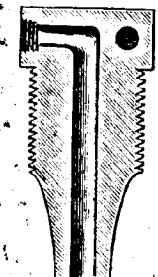
ensuite deux bandes en croix de papier sec, et par-dessus une coiffe en papier frangé, collée sur les bords et maintenue avec un ruban de fil qui entoure la tête de la fusée.

La composition fusante (3 pulvérin, 2 salpêtre, 1 soufre) brûle avec une vitesse de 7,2 millimètres par seconde, et l'enveloppe en bois est graduée extérieurement par des traits circulaires entiers espacés de 7,2 millimètres l'un de l'autre.

Lorsqu'on doit faire usage de la fusée et qu'on connaît le trajet que le projectile doit parcourir avant d'éclater, et par suite la durée nécessaire pour la combustion de la fusée, on perce un trou de vrille au droit de la graduation correspondante, de façon à mettre en communication par ce trou la charge d'éclatement du projectile avec la composition du canal de fusée. La fusée ensuite est fixée sur le projectile au moyen d'une presse à vis et on enlève la coiffe en papier en tirant le bout du ruban de fil qui entoure la tête. Ce sont les gaz de la poudre, passant par le vent du projectile, qui enflamment les brins de mèche et communiquent ainsi le feu à la fusée; celle-ci peut toujours mettre le feu à la charge d'éclatement par son extrémité, alors même qu'on aurait oublié le trou de vrille.

Fusées pour projectiles creux allongés. L'emploi des projectiles creux à la guerre, qu'a rendu prédominant l'usage des canons rayés, projectiles creux d'un volume considérable relativement à celui des projectiles sphériques du même calibre, donne une grande importance à la question des fusées qui servent à enflammer la poudre placée à l'intérieur du projectile et destinée à la faire éclater.

Dans les bouches à feu à âme lisse ou dans le canon rayé français, dans lequel le projectile est guidé par des tenons, la flamme produite par l'explosion de la charge enveloppe complétement le projectile, et par suite met le feu à du pulvérin placé dans un tube placé dans l'œil de celui-ci, système très simple mais insuffisant. On a construit par suite deux autres espèces de fusées: celles dites à *temps*, qui font éclater le projectile au bout d'une certaine portion de sa trajectoire, et celles dites *percutantes*, qui font éclater l'obus au moment de son arrêt brusque contre un obstacle.



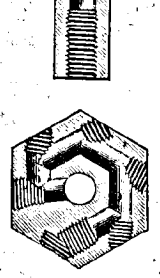


Fig. 169.

Fusées à temps. On appelle ainsi des *fusées hexagonales à deux durées*, en bronze ou laiton, qui se vissent dans leur lumière. (fig. 169) Ces fusées ont un corps fileté partiellement, percé d'un canal longitudinal cylindrique, et une tête hexagonale creusée de six canaux horizontaux, dont cinq sont parallèles aux faces voisines, et le sixième aboutit au canal longitudinal. Celui-ci est garni de poudre à canon écrasée qui brûle à raison de 10 millimètres par seconde; les canaux horizontaux sont chargés avec une composition qui brûle à raison de 4,5^{mm} par seconde. Deux évents, le premier et le troisième, sont munis de calices élargis striés pour mieux retenir le pulvérin formant amorce; on les bouche ensuite avec des rondelles en cuir. Les autres évents, qui ne servent qu'à introduire la composition fusante, sont bouchés aussi, après le chargement, avec des bouchons en cuir. Sur l'évent de la petite distance pour faire arriver de suite le feu au centre est une rondelle en papier rouge marquée 1 400 à 1 600; sur celui de la grande distance est un rectangle en papier blanc marqué 2750 à 2950.

Dans le tir, lorsqu'on veut que l'obus éclate au terme de sa course, on débouche, au moyen du débouchoir, l'évent de la grande distance. Lorsqu'on veut que l'obus éclate entre 1 400 et 1 600 mètres, on débouche en outre l'évent correspondant à cette distance.

Fusées percutantes. Les projectiles munis de fusées percutantes éclatent au moment du choc contre un obstacle, leur disposition étant telle que ce choc enflamme la charge d'éclatement, ce qui offre l'avantage de permettre de rectifier le tir en faisant connaître le point d'arrivée. Le nombre des systèmes différents de fusées de cette classe est considérable. Dans chaque pays, une foule d'inventeurs, artilleurs ou non, se sont occupés de la question; néanmoins les bonnes fusées à percussion sont peu nombreuses. M. Jordan a donné la description de plusieurs d'entre elles, je lui emprunterai la description des fusées employées en France et en Prusse.

Fusée prussienne Cette fusée se compose de plusieurs pièces introduites séparément dans l'œil de l'obus, et surtout du percuteur, de l'amorce et de la broche (fig. 170). Le *percuteur* est un épais cylindre en laiton

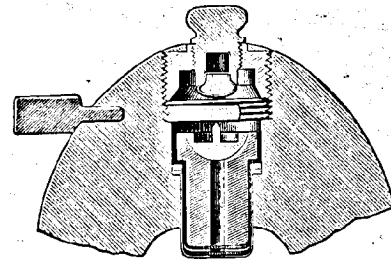


Fig. 170.

traversé d'un canal cylindrique et muni d'un rebord à sa partie supérieure; il porte l'*aiguille*, plaque mince également en laiton, découpée comme le dessin l'indique, et sertie transversalement dans une fente du percuteur, de façon à ne pas obstruer le canal, mais à lui présenter seulement sa faible épaisseur. Le percuteur ne s'appuie pas directement contre la retraite ménagée dans l'œil de l'obus; il est enveloppé dans un godet en laiton mince, qui s'appuie sur cette retraite, et il peut librement glisser dans ce godet. Celui-ci est percé en son milieu d'un trou qui le fait communiquer avec la charge d'éclatement; ce trou est recouvert d'une rondelle en mousseline assujettie par un anneau mince et plat en laiton comme le godet. Cette mousseline empêche les grains de poudre de la charge d'éclatement de s'introduire dans le système: le godet a pour but surtout d'empêcher que la rouille de l'œil en fonte puisse gêner le mouvement du percuteur. L'œil est fermé par la *vis-écrou*, bouchon fileté au centre duquel est un trou également fileté où l'on fixe, au moment du tir, l'amorce de la fusée. Cette amorce se compose de la *vis porte-feu*, bouton en laiton fileté à sa partie inférieure, et dans lequel est assujettie en-dessous, au moyen d'une petite goupille en maillechort, une capsule en cuivre contenant la composition fulminante. Entre la vis écrou et le percuteur se trouve une *broche de sûreté* en plomb, qui traverse la paroi en fonte du projectile et qui s'appuie sur le percuteur, de façon à lui défendre tout mouvement au moment du départ. Dès que l'obus est sorti de la pièce, cette broche s'arrache par l'effet de la force centrifuge à 150 mètres environ, et le percuteur se trouve armé et prêt à frap-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

er avec force la capsule au moment où l'obus sera rrêté plus ou moins brusquement dans sa course ; un enflement terminal augmente l'inertie de la broche et assure son arrachement.

Cette fusée, à côté d'un mérite indiscutable, présente des inconvénients assez graves qui entraînent e fréquents ratés. La broche de plomb fonctionne bien t s'arrache toujours. Mais beaucoup de cas de nonclatement sont dus : 1° à ce qu'au moment du choc a vis porte-feu se tord, de sorte que l'aiguille frappe ur le côté de l'amorce sans l'enflammer ; 2° à ce qu'on lace les vis de travers par suite d'une difficulté de'visage due à l'introduction de poussière ou de boue dans es filets; 3° à ce que, soit par suite d'un arc-boutement, soit par suite de la rouille, le percuteur ne fonctionne pas assez vivement. Cette fusée se compose, en ffet, de trop de parties indépendantes les unes des utres.

La plupart des fusées percutantes ressemblent plus ou moins à cette fusée prussienne, et s'en distinguent seulement soit par les dispositions adoptées pour empêcher le jeu accidentel de l'appareil percutant, soit par la disposition employée pour ne mettre l'amorce qu'au moment du tir. Pour empêcher le percuteur de frapper l'amorce, si ce n'est au moment du choc, on a employé ou essayé soit un fil de laiton attaché au corps le fusée et retenant le percuteur, fil qui se casse par le choc, soit une goupille transversale en acier qui est brisée au départ par l'inertie, soit une masselotte en plomb, qui retient l'aiguille, et est détachée par l'inertie au départ, soit une aiguille mobile qui ne s'arme qu'au moment du départ par l'effet de l'inertie. Quant aux amorces, on a essayé soit des boutons massifs qu'on remplace, au moment du tir, par un bouton creux chargé, soit une amorce, excentrée par rapport à l'aiguille, en deux parties, l'une massive, l'autre chargée, et qu'on fait tourner au chargement, soit une amorce cylindrique, sorte de robinet transversal contenant le fulminate dans une cavité.

Fusée de marine. L'artillerie de marine française emploie depuis longtemps des fusées percutantes. On n'emploie plus maintenant que la *fusée à double réaction* (fig. 171). Le corps en bronze se compose d'un cylindre creux surmonté d'un chapeau conique ayant une cavité à sa partie inférieure pour recevoir une capsule, dont l'ouverture, tournée vers la base du projectile, repose sur une feuille de cuivre. Dans la partie cylindrique se trouve un percuteur de même forme et à peu près de même diamètre, terminé par un autre cylindre ayant les dimensions de l'intérieur de la capsule. Ce percuteur est rempli de poudre maintenue par un tampon en bois ; il est libre dans la fusée, et sa course en arrière est limitée par deux goupilles en fer. Lorsque le projectile rencontre un obstacle, le percuteur continue sa marche, perce la feuille de cuivre et écrase la capsule, qui fait feu, communique l'inflammation à la charge du percuteur, et de là la charge d'éclatement de l'obus. Pour la sécurité, dans plusieurs mécanismes percutants, le percuteur est maintenu par deux tourillons en plomb traversant les parois de la fusée, et qui se rompent au moment du choc initial pour permettre au percuteur de venir reposer sur les goupilles de fer transversales; dans ce cas, la feuille de cuivre est percée à son centre et ne sert plus qu'à maintenir la capsule. Dans ces fusées, la tête conique est percée d'un trou transversal qui facilite le vissage dans l'œil du projectile.

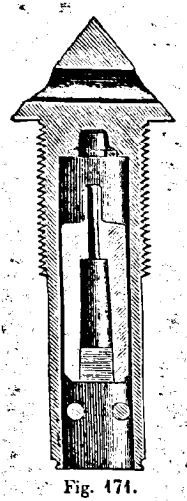


Fig. 171.

Pour le tir sur les blindages en fer, il n'y a pas à s'occuper des fusées; la chaleur engendrée par le choc est assez grande pour produire l'inflammation de la poudre renfermée à l'intérieur du projectile.

Fusées à concussion. Les obus à balles ou shrapnels, qui sont, comme on sait, destinés à porter la mitraille à grandes distances, doivent, pour que leur effet soit obtenu, éclater en l'air, au devant des troupes ennemies, afin que leurs fragments et les balles de leur charge, continuant à suivre la trajectoire du projectile avec une faible dispersion, viennent frapper le front qu'on veut battre. Ils ne peuvent donc être munis de fusées percutantes : il leur faut des fusées à temps. Lorsque celles-ci peuvent être enflammées par le feu du canon, comme dans les canons français à projectiles non forcés, leur disposition est simple et a déjà été décrite. Lorsque le projectile est forcé, à enveloppe de plomb comme dans les canons prussiens et anglais, qui se chargent par la culasse, la disposition est nécessairement plus compliquée. Il faut se servir du choc au départ, faire partir une amorce par un percuteur, qui devient libre au départ de l'obus, qui rompt par inertie le fil métallique qui le retient, comme il vient d'être dit pour des fusées de la marine, employer la *concussion*, comme disent les Allemands, pour enflammer la composition d'un canal fusant dont la longueur est réglée suivant la distance.

ARTILLERIE. L'artillerie est, à proprement parler, l'application de l'industrie à l'art de la guerre. L'établissement et l'emploi des machines de guerre, tel est le but de la science et de l'art renfermés sous la dénomination d'Artillerie. La possibilité de créer ces machines, de les amener à un haut degré de perfection, de les multiplier avec rapidité, n'appartient qu'à un peuple avancé dans la carrière industrielle. Les derniers progrès accomplis ont montré les relations directes des progrès du travail des métaux et de la construction des canons. Citons les travaux d'Armstrong, de Whitworth, de Krupp, de Petin et Gaudet pour construire de puissantes bouches à feu en fer et en acier. (Voyez BOUCHES A FEU.)

On concevra facilement, d'après ce qui précède, pourquoi, dans une publication technologique, nous avons cru devoir comprendre l'artillerie. L'établissement des armes, les règles qu'il faut suivre dans leur fabrication, constituent un problème de mécanique industrielle semblable à tous les autres ; car, avec la condition accessoire de l'instantanéité nécessaire de l'action, la poudre à canon, comme la vapeur, n'est employée que pour produire un travail utile, qui ici consiste à lancer un corps avec une vitesse déterminée, suffisante pour renverser les obstacles éloignés.

Depuis les travaux de Piobert, que nous aurons occasion d'analyser aux articles BOUCHES A FEU, POUDRE, etc., le problème de l'artillerie, des explosions, est parfaitement déterminé et mieux résolu peut-être que celui de la machine à vapeur ; et ces questions sont d'un intérêt extrême pour toutes les personnes qui étudient la mécanique, indépendamment de celui que méritent les moyens de faire respecter par l'étranger l'indépendance de la patrie.

ARTS MÉCANIQUES. L'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert n'a été, au point de vue de l'analyse des procédés de l'industrie, que d'une très-faible valeur, mais elle a eu le mérite de montrer l'utilité de publications faites dans ce but. C'est ce que Diderot, qui a fait beaucoup d'efforts pour un résultat minime, tech-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

niquement parlant, a expliqué dans son bel article sur les ARTS MÉCANIQUES qui mérite d'être conservé et que nous reproduisons ici.

Origine des sciences et des arts. C'est l'industrie de l'homme appliquée aux productions de la nature ou par ses besoins, ou par son luxe, ou par son amusement, ou par sa curiosité, etc., qui a donné naissance aux sciences et aux arts, et ces points de réunion de nos différentes réflexions ont reçu les dénominations de science et art, selon la nature de leurs objets formels, comme disent les logiciens. Si l'objet s'exécute, la collection et la disposition technique des règles selon lesquelles il s'exécute s'appellent *Art*. Si l'objet est contemplé seulement sous différentes faces, la collection et la disposition technique des observations relatives à cet objet s'appellent *Science* : ainsi la métaphysique est une science, et la morale est un art. Il en est de même de la théologie et de la pyrotechnie.

Spéculation et pratique d'un art. Il est évident, par ce qui précède, que tout art a sa spéculation et sa pratique : sa spéculation, qui n'est autre chose que la connaissance inopérative des règles de l'art ; sa pratique, qui n'est que l'usage habituel et non réfléchi des mêmes règles. Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de pousser loin la pratique sans la spéculation, et réciproquement de bien posséder la spéculation sans la pratique. Il y a dans tout art un grand nombre de circonstances relatives à la matière, aux instruments et à la manœuvre, que l'usage seul apprend. C'est à la pratique à présenter les difficultés et à donner les phénomènes, et c'est à la spéculation à expliquer les phénomènes et à lever les difficultés : d'où il suit qu'il n'y a guère qu'un artiste sachant raisonner, qui puisse bien parler de son art.

Distribution des arts en libéraux et en mécaniques. En examinant les productions des arts, on s'est aperçu que les unes étaient plus l'ouvrage de l'esprit que de la main, et qu'au contraire d'autres étaient plus l'ouvrage de la main que de l'esprit. Telle est en partie l'origine de la prééminence que l'on a accordée à certains arts sur d'autres, et de la distribution qu'on a faite des arts en arts libéraux et en arts mécaniques. Cette distinction, quoique bien fondée, a produit un mauvais effet, en avilissant des gens très-estimables et très-utiles, et en fortifiant en nous je ne sais quelle paresse naturelle, qui ne nous portait déjà que trop à croire que donner une application constante et suivie à des expériences et à des objets particuliers, sensibles et matériels, c'était déroger à la dignité de l'esprit humain, et que de pratiquer ou même d'étudier les arts mécaniques, c'était s'abaisser à des choses dont la recherche est laborieuse, la méditation ignoble, l'exposition difficile, le commerce déshonorant, le nombre inépuisable, et la valeur minutielle. Préjugé qui tendait à remplir les villes d'orgueilleux raisonneurs et de contemplateurs inutiles, et les campagnes de petits tyrans ignorants, oisifs et dédaigneux. Ce n'est pas ainsi qu'ont pensé Bacon, un des premiers génies de l'Angleterre ; Colbert, un des plus grands ministres de la France ; enfin les bons esprits et les hommes sages de tous les temps. Bacon regardait l'histoire des arts mécaniques comme la branche la plus importante de la vraie philosophie ; il n'avait donc garde d'en mépriser la pratique. Colbert regardait l'industrie des peuples et l'établissement des manufactures, comme la richesse la plus sûre d'un royaume. Au jugement de ceux qui ont aujourd'hui des idées saines de la valeur des choses, celui qui peupla la France de graveurs, de peintres, de sculpteurs et d'artistes en tout genre ; qui surprit aux Anglais la machine à faire des bas, le velours aux Génois, les glaces aux Vénitiens, ne fit guère moins pour l'État que ceux qui battirent des ennemis et leur enlevèrent leurs places fortes ; et aux yeux du philosophe, il y a peut-être plus de mérite réel à avoir fait naître les Le Brun, les Le Sueur et les Audran ; peindre et graver les batailles d'Alexandre, et exécuter en tapisserie les victoires de nos généraux, qu'il n'y en a à les avoir remportées. Mettez dans un des côtés de la balance les avantages réels des sciences les plus sublimes et des arts les plus honorés, et dans l'autre côté ceux des arts mécaniques, et vous trouverez que l'estime qu'on a faite des uns, et celle qu'on a faite des autres, n'ont pas été distribuées dans le juste rapport de ces avantages, et qu'on a bien plus loué les hommes occupés à faire croire que nous étions heureux, que les hommes occupés à faire que nous le fussions en effet. Quelle bizarrerie dans nos jugements! nous exigeons qu'on s'occupe utilement, et nous méprisons les hommes utiles.

But des arts en général. L'homme n'est que le ministre ou l'interprète de la nature ; il n'entend et ne fait qu'autant qu'il a de connaissance, ou expérimentale, ou réfléchie, des êtres qui l'environnent. Sa main nue, quelque robuste, infatigable et souple qu'elle soit, ne peut suffire qu'à un petit nombre d'effets ; elle n'achève de grandes choses qu'à l'aide des instruments et des règles ; il en faut dire autant de l'entendement. Les instruments et les règles sont comme des muscles surajoutés aux bras, et des ressorts accessoires à ceux de l'esprit. Le but de tout art en général ou de tout système d'instruments et de règles conspirant à une même fin est d'imprimer certaines formes déterminées sur une base donnée par la nature, et cette base est ou la matière, ou l'esprit, ou quelque fonction de l'âme, ou quelque production de la nature. Dans les arts mécaniques, auxquels je m'attacherai d'autant plus ici, que les auteurs en ont moins parlé, le pouvoir de l'homme se réduit à rapprocher ou à éloigner les corps naturels. L'homme peut tout ou ne peut rien, selon que ce rapprochement ou cet éloignement est ou n'est pas possible.

Projet d'un traité général des arts mécaniques. Souvent l'on ignore l'origine d'un art mécanique, ou l'on n'a que des connaissances vagues sur ses progrès : voilà les suites naturelles du mépris qu'on a eu dans tous les temps et chez toutes les nations savantes et belliqueuses pour ceux qui s'y sont livrés. Dans ces occasions, il faut recourir à des suppositions philosophiques, partir de quelque hypothèse vraisemblable, de quelque événement premier et fortuit, et s'avancer de là jusqu'où l'art a été poussé. Je m'explique par un exemple que j'emprunterai plus volontiers aux arts mécaniques, qui sont moins connus que les arts libéraux, qu'on a présentés sous mille formes différentes. Si l'on ignorait l'origine et les progrès de la verrerie ou de la papeterie, que ferait un philosophe qui se proposerait d'écrire l'histoire de ces arts? Il supposerait qu'un morceau de linge est tombé par hasard dans un vaisseau plein d'eau, qu'il y a séjourné assez longtemps, et qu'au lieu de trouver au fond du vaisseau, quand il a été vidé, un morceau de linge, on n'a plus aperçu qu'une espèce de sédiment, dont on aurait eu bien de la peine à reconnaître la nature sans quelques filaments qui restaient, et qui indiquaient que la matière première de ce sédiment avait été auparavant sous la forme de linge. Quant à la verrerie, il supposerait que les premières habitations solides que les hommes se soient construites étaient de terre cuite ou de brique. Or, il est impossible de faire cuire de la brique à grand feu, qu'il ne s'en vitrifie quelque partie; c'est sous cette forme que le verre s'est présenté la première fois. Mais quelle distance immense de cette écaille sale et verdâtre, jusqu'à la matière transparente et pure des glaces, etc.? Voilà cependant l'expérience fortuite, ou quelque autre semblable, de laquelle le philosophe partira pour arriver jusqu'où l'art de la verrerie est maintenant parvenu.

Avantages de cette méthode. En s'y prenant ainsi, les progrès d'un art seraient exposés d'une manière plus

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

nstructive et plus claire que par son histoire véritable, unand on la saurait. Les obstacles qu'on aurait eu à surmonter pour le perfectionner se présenteraient dans un rdre entièrement naturel, et l'explication synthétique es démarches successives de l'art en faciliterait l'intelgence aux esprits les plus ordinaires, et mettrait les rtistes sur la voie qu'ils auraient à suivre pour approher davantage de la perfection.

Ordre qu'il faudrait suivre dans un pareil traité. uant à l'ordre qu'il faudrait suivre dans un pareil raité, je crois que le plus avantageux serait de rappeer les arts aux productions de la nature. Une énumération exacte de ces productions donnerait naissance à ien des arts inconnus. Un grand nombre d'autres naîraient d'un examen circonstancié des différentes faces ous lesquelles la même production peut être considérée. a première de ces conditions demande une connaissance très-étendue de l'histoire de la nature, et la seconde, une très-grande dialectique. Un traité des arts, tel que je le conçois, n'est donc pas l'ouvrage d'un homme ordinaire. Qu'on n'aille pas s'imaginer que ce sont ici des idées vaines que je propose, et que je promets aux hommes des découvertes chimériques. Après avoir remarqué, avec un philosophe que je ne me lasse point de louer, parce que je ne me suis jamais lassé de le lire, que l'histoire de la nature est incomplète sans celle des arts, et après avoir invité les naturalistes à couronner leur travail sur les règnes des végétaux, des minéraux, des animaux, etc., par les expériences des arts mécaniques, dont la connaissance importe beaucoup plus à la vraie philosophie, j'oserai ajouter à son exemple : *Ergo rem quam ago, non opinionem, sed opus esse ; eamque non sectæ alicujus, aut placiti, sed utilitatis esse et amplitudinis immensæ fondamenta.* Ce n'est point ici un système ; ce ne sont point les fantaisies d'un homme : ce sont les décisions de l'expérience et de la raison, et les fondements d'un édifice immense ; et quiconque pensera différemment cherchera à rétrécir la sphère de nos connaissances, et à décourager les esprits. Nous devons au hasard un grand nombre de connaissances ; il nous en a présenté de fort importantes que nous ne cherchions pas. Est-il à présumer que nous ne trouverons rien, quand nous ajouterons nos efforts à son caprice, et que nous mettrons de l'ordre et de la méthode dans nos recherches ? Si nous possédons à présent des secrets qu'on n'espérait point auparavant, et s'il nous est permis de tirer des conjectures du passé, pourquoi l'avenir ne nous réserverait-il pas des richesses sur lesquelles nous ne comptons guère aujourd'hui ? Si l'on eût dit, il y a des siècles, à ces gens qui mesurent la possibilité des choses sur la portée de leur génie, et qui n'imaginent rien au delà de ce qu'ils connaissent, qu'il est une poussière qui brise les rochers, qui renverse les murailles les plus épaisses à des distances étonnantes, qui, renfermée au poids de quelques livres dans les entrailles profondes de la terre, la secoue, se fait jour à travers les masses énormes qui la couvrent, et peut ouvrir un gouffre dans lequel une ville entière disparaîtrait, ils n'auraient pas manqué de comparer ces effets à l'action des roues, des poulies, des leviers, des contrepoids et des autres machines connues, et de prononcer qu'une pareille poussière est chimérique, et qu'il n'y a que la foudre ou la cause qui produit les tremblements de terre, et dont le mécanisme est inimitable, qui soit capable de ces prodiges effrayants. C'est ainsi que le grand philosophe parlait à son siècle et à tous les siècles à venir. Combien (ajouterons-nous à son exemple) le projet de la machine à élever l'eau par le feu, telle qu'on l'exécuta la première fois à Londres, n'aurait-il pas occasionné de mauvais raisonnements, surtout si l'auteur de la machine avait eu la modestie de se donner pour un homme peu versé dans les mécaniques ? S'il n'y avait au monde que de pareils estimateurs des inventions, il ne se ferait ni grandes ni petites choses. Que ceux donc qui se hâtent de prononcer sur des ouvrages qui n'impliquent aucune contradiction, qui ne sont quelquefois que des additions très-légères à des machines connues, et qui ne demandent tout au plus qu'un habile ouvrier ; que ceux, dis-je, qui sont assez bornés pour juger que ces ouvrages sont impossibles, sachent qu'eux-mêmes ne sont pas assez instruits pour faire des souhaits convenables.

Autre motif de recherches. Mais ce qui doit encore nous encourager dans nos recherches et nous déterminer à regarder avec attention autour de nous, ce sont les siècles qui se sont écoulés sans que les hommes se soient aperçus des choses importantes qu'ils avaient, pour ainsi dire, sous les yeux. Tel est l'art d'imprimer, celui de graver. Que la condition de l'esprit humain est bizarre ! S'agit-il de découvrir, il se défie de sa force, il s'embarrasse dans les difficultés qu'il se fait ; les choses lui paraissent impossibles à trouver ; sont-elles trouvées, il ne conçoit plus comment il a fallu les chercher si longtemps, et il a pitié de lui-même.

Différence singulière entre les machines. Après avoir proposé mes idées sur un traité philosophique des arts en général, je vais passer à quelques observations utiles sur la manière de traiter certains arts mécaniques en particulier. On emploie quelquefois une machine très-composée pour produire un effet assez simple en apparence, et d'autres fois une machine très-simple, en effet, suffit pour produire une action fort composée : dans le premier cas, l'effet à produire étant conçu facilement, et la connaissance qu'on en aura n'embarrassant point l'esprit et ne chargeant point la mémoire, on commencera par l'annoncer, et l'on passera ensuite à la description de la machine ; dans le second cas, au contraire, il est plus à propos de descendre de la description de la machine à la connaissance de l'effet. L'effet d'une horloge est de diviser le temps en parties égales, à l'aide d'une aiguille qui se meut uniformément et très-lentement sur un plan ponctué. Si donc je montre une horloge à quelqu'un à qui cette machine était inconnue, je l'instruirai d'abord de son effet, et j'en viendrai ensuite au mécanisme. Je me garderai bien de suivre la même voie avec celui qui me demandera ce que c'est qu'une maille de bas, ce que c'est que du drap, du droguet, du velours, du satin. Je commencerai ici par le détail de métiers qui servent à ces ouvrages. Le développement de la machine, quand il est clair, en fait sentir l'effet tout d'un coup, ce qui serait peut-être impossible sans ce préliminaire. Pour se convaincre de la vérité de ces observations, qu'on tâche de définir exactement ce que c'est que la gaze, sans supposer aucune notion de la machine du gazier.

De la géométrie des arts. On m'accordera sans peine qu'il y a peu d'artistes à qui les éléments des mathématiques ne soient nécessaires ; mais un paradoxe dont la vérité ne se présentera pas d'abord, c'est que ces éléments leur seraient nuisibles en plusieurs occasions, si une multitude de connaissances physiques n'en corrigeaient les préceptes dans la pratique : connaissance des lieux, des positions, des figures irrégulières, des matières, de leurs qualités, de l'élasticité, de la roideur, des frottements, de la consistance, de la durée, des effets de l'air, de l'eau, du froid, de la chaleur, de la sécheresse, etc. Il est évident que les éléments de la géométrie de l'Académie ne sont que les plus simples et les moins composés d'entre ceux de la géométrie des boutiques. Il n'y a pas un levier dans la nature, tel que celui que Varignon suppose dans ses propositions ; il n'y a pas un levier dans la nature dont toutes les conditions puissent entrer en calcul. Entre ces conditions il y en a, et en grand nombre, et de très-essentielles dans l'usage, qu'on ne peut même soumettre à cette partie du calcul qui s'étend jusqu'aux différences les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus insensibles des quantités, quand elles sont appréciables : d'où il arrive que celui qui n'a que la géométrie intellectuelle est ordinairement un homme assez maladroit; et qu'un artiste, qui n'a que la géométrie expérimentale, est un ouvrier très-borné. Mais il est, ce me semble, d'expérience, qu'un artiste se passe plus facilement de la géométrie intellectuelle qu'un homme, quel qu'il soit, d'une certaine géométrie expérimentale. Toute la matière des frottements est restée, malgré les calculs, une affaire de mathématique expérimentale et manouvrière. Cependant, jusqu'où cette connaissance seule ne s'étend-elle pas? Combien de mauvaises machines ne nous sont-elles pas proposées tous les jours par des gens qui se sont imaginés que les leviers, les roues, les poulies, les câbles, agissent dans une machine comme sur un papier, et qui, faute d'avoir mis la main à l'œuvre, n'ont jamais su la différence des effets d'une machine même, ou de son profil? Une seconde observation que nous ajouterons ici, puisqu'elle est amenée par le sujet, c'est qu'il y a des machines qui réussissent en petit, et qui ne réussissent point en grand, et réciproquement, d'autres qui réussissent en grand, et qui ne réussiraient pas en petit. Il faut, je crois, mettre du nombre de ces dernières toutes celles dont l'effet dépend principalement d'une pesanteur considérable des parties mêmes qui les composent, ou de la violence de la réaction d'un fluide, ou de quelque volume considérable de matière élastique à laquelle ces machines doivent être appliquées. Exécutez-les en petit, le poids des parties se réduit à rien; la réaction du fluide n'a presque plus de lieu; les puissances sur lesquelles on avait compté disparaissent, et la machine manque son effet. Mais s'il y a, relativement aux dimensions des machines, un point, s'il est permis de parler ainsi, un terme où elles ne produisent plus d'effet, il y en a un autre au delà ou en deçà duquel elles ne produisent pas le plus grand effet dont leur mécanisme était capable. Toute machine a, selon la manière de dire des géomètres, un maximum de dimensions : de même que dans la construction, chaque partie considérée par rapport au plus parfait mécanisme de cette partie est d'une dimension déterminée par les autres parties; la machine entière est d'une dimension déterminée, relativement à son mécanisme le plus parfait, par la matière dont elle est composée, l'usage qu'on en veut tirer, et une infinité d'autres causes. Mais quel est, demandera-t-on, ce terme dans les dimensions d'une machine au delà ou en deçà duquel elle est ou trop grande ou trop petite? Quelle est la dimension véritable et absolue d'une montre excellente, d'un moulin parfait, du vaisseau construit le mieux qu'il est possible? C'est à la géométrie expérimentale et manouvrière de plusieurs siècles, aidée de la géométrie intellectuelle la plus déliée, à donner une solution approchée de ces problèmes, et je suis convaincu qu'il est impossible d'obtenir quelque chose de satisfaisant là-dessus de ces géométries séparées, et très-difficile de ces géométries réunies.

De la langue des arts. J'ai trouvé la langue des arts très-imparfaite par deux causes : la disette des mots propres, et l'abondance des synonymes. Il y a des outils qui ont plusieurs noms différents; d'autres n'ont au contraire que le nom générique, *engin*, *machine*, sans aucune addition qui les spécifie; quelquefois la moindre petite différence suffit aux artistes pour abandonner le nom générique et inventer des noms particuliers; d'autres fois, un outil, singulier par sa forme et son usage, ou n'a point de nom, ou porte le nom d'un autre outil avec lequel il n'a rien de commun. Il serait à souhaiter qu'on eût plus d'égard à l'analogie des formes et des usages. Les géomètres n'ont pas autant de noms qu'ils ont de figures; mais, dans la langue des arts, un marteau, une tenaille, une auge, une pelle, etc., ont presque autant de dénominations qu'il y a d'arts. La langue change en grande partie d'une manufacture à une autre.

Cependant je suis convaincu que les manœuvres les plus singulières et les machines les plus composées s'expliqueraient avec un assez petit nombre de termes familiers et connus, si on prenait le parti de n'employer des termes d'art, que quand ils offriraient des idées particulières. Ne doit-on pas être convaincu de ce que j'avance, quand on considère que les machines composées ne sont que des combinaisons de machines simples; que les machines simples sont en petit nombre, et que, dans l'exposition d'une manœuvre quelconque, tous les mouvements sont réductibles, sans aucune erreur considérable, au mouvement rectiligne et au mouvement circulaire? Il serait donc à souhaiter qu'un bon logicien, à qui les arts seraient familiers, entreprît des éléments de la grammaire des arts. Le premier pas qu'il aurait à faire, ce serait de fixer la valeur des corrélatifs, *grand*, *gros*, *moyen*, *mince*, *épais*, *faible*, *petit*, *léger*, *pesant*, etc. Pour cet effet, il faudrait chercher une mesure constante dans la nature, ou évaluer la grandeur, la grosseur et la force moyenne de l'homme et y rapporter toutes les expressions indéterminées de quantité, ou du moins former des tables auxquelles on inviterait les artistes à conformer leurs langues. Le second pas, ce serait de déterminer sur la différence et sur la ressemblance des formes et des usages d'un instrument et d'un autre instrument, d'une manœuvre et d'une autre manœuvre, quand il faudrait leur laisser un même nom et leur donner des noms différents. Je ne doute point que celui qui entreprendra cet ouvrage ne trouve moins de termes nouveaux à introduire que de synonymes à bannir, et plus de difficulté à bien définir des choses communes, telles que *grace* en peinture, *nœud* en passementerie, *creux* en plusieurs arts, qu'à expliquer les machines les plus compliquées. C'est le défaut de définitions exactes, et la multitude, et non la diversité des mouvements dans les manœuvres, qui rendent les choses des arts difficiles à dire clairement. Il n'y a de remède au second inconvénient, que de se familiariser avec les objets; ils en valent bien la peine, soit qu'on les considère par les avantages qu'on en tire, ou par l'honneur qu'ils font à l'esprit humain. Dans quel système de physique ou de métaphysique remarque-t-on plus d'intelligence, de sagacité, de conséquence, que dans les machines à filer l'or, faire des bas, et dans les métiers de passementiers, de gaziers, de drapiers ou d'ouvriers en soie? Quelle démonstration de mathématique est plus compliquée que le mécanisme de certaines horloges, ou que les différentes opérations par lesquelles on fait passer ou l'écorce du chanvre, ou la coque du ver, avant d'en obtenir un fil qu'on puisse employer à l'ouvrage? Quelle projection plus belle, plus délicate et plus singulière que celle d'un dessin sur les cordes d'un sample, et des cordes du sample sur les fils d'une chaîne? Qu'a-t-on imaginé, en quel genre que ce soit, qui montre plus de subtilité que le chiner des velours? Je n'aurais jamais fait, si je m'imposais la tâche de parcourir toutes les merveilles qui frapperont, dans les manufactures, ceux qui n'y porteront pas des yeux prévenus ou des yeux stupides.

Je m'arrêterai, avec le philosophe anglais, à trois inventions, dont les anciens n'ont point eu connaissance, et dont, à la honte de l'histoire et de la poésie modernes, les noms des inventeurs sont presque ignorés : je veux parler de l'art d'imprimer, de la découverte de la poudre à canon, et de la propriété de l'aiguille aimantée. Quelle révolution ces découvertes n'ont-elles pas occasionnée dans la république des lettres, dans l'art militaire et dans la marine? L'aiguille aimantée a conduit nos vaisseaux jusqu'aux régions les plus ignorées; les caractères typographiques ont établi une correspondance de lumières entre les savants de tous les lieux et de tous les temps à venir, et la poudre à canon a fait naître tous ces chefs-d'œuvre d'architecture qui dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fendent nos frontières et celles de nos ennemis ; ces trois arts ont presque changé la face de la terre.

Rendons enfin aux artistes la justice qui leur est due. Les arts libéraux se sont assez chantés eux-mêmes ; ils pourraient employer maintenant ce qu'ils ont de voix à célébrer les arts mécaniques. C'est aux arts libéraux à tirer les arts mécaniques de l'avilissement où le préjugé les a tenus si longtemps ; c'est à la protection des rois à les garantir d'une indigence où ils languissent encore. Les artisans se sont crus méprisables, parce qu'on les a méprisés ; apprenons-leur à mieux penser d'eux-mêmes, c'est le seul moyen d'en obtenir des productions plus parfaites. Qu'il sorte du sein des académies quelque homme qui descende dans les ateliers, qui y recueille les phénomènes des arts, et qui nous les expose dans un ouvrage qui détermine les artistes à lire, les philosophes à penser utilement, et les grands à faire un usage utile de leur autorité et de leurs récompenses.

Un avis que nous oserons donner aux savants, c'est de pratiquer ce qu'ils nous enseignent eux-mêmes, qu'on ne doit pas juger des autres avec trop de précipitation, ni proscrire une invention comme inutile, parce qu'elle n'aura pas dans son origine tous les avantages qu'on pourrait en exiger. Montaigne, cet homme d'ailleurs si philosophe, ne rougirait-il pas s'il revenait parmi nous, d'avoir écrit : « Que les armes à feu sont de si peu d'effet, sauf l'étonnement des oreilles, à quoi chacun est désormais apprivoisé, qu'il espère qu'on en quittera l'usage. » N'aurait-il pas montré plus de sagesse à encourager les arquebusiers de son temps à substituer à la mèche et au rouet quelque machine qui répondit à l'activité de la poudre, et plus de sagacité à prédire que cette machine s'inventerait un jour ? Mettez Bacon à la place de Montaigne, et vous verrez ce premier considérer en philosophe la nature de l'agent et prophétiser, s'il m'est permis de le dire, les grenades, les mines, les canons, les bombes, et tout l'appareil de la pyrotechnie militaire.

Mais Montaigne n'est pas le seul philosophe qui ait porté sur la possibilité ou l'impossibilité des machines un jugement précipité. Descartes, ce génie extraordinaire, né pour égarer et pour conduire, et d'autres qui valaient bien l'auteur des *Essais*, n'ont-ils pas prononcé que le miroir d'Archimède était une fable ? Cependant ce miroir est exposé à la vue de tous les savants au jardin du roi, et les effets qu'il y opère entre les mains de M. de Buffon qui l'a retrouvé ne nous permettent plus de douter de ceux qu'il opérait sur les murs de Syracuse entre les mains d'Archimède. De si grands exemples suffisent pour nous rendre circonspects.

Nous invitons les artistes à prendre de leur côté conseil des savants, et à ne pas laisser périr avec eux les découvertes qu'ils feront. Qu'ils sachent que c'est se rendre coupable d'un larcin envers la société, que de renfermer un secret utile, et qu'il n'est pas moins vil de préférer en ces occasions l'intérêt d'un seul à l'intérêt de tous, qu'en cent autres où ils ne balanceraient pas eux mêmes à prononcer. S'ils se rendent communicatifs, on les débarrassera de plusieurs préjugés, et surtout de celui où ils sont presque tous, que leur art a acquis le dernier degré de perfection. Leur peu de lumières les expose souvent à rejeter sur la nature des choses un défaut qui n'est qu'en eux-mêmes. Les obstacles leur paraissent invincibles dès qu'ils ignorent les moyens de les vaincre. Qu'ils fassent des expériences, que dans ces expériences chacun y mette du sien, que l'artiste y soit pour la main-d'œuvre, l'académicien pour les lumières et les conseils, et l'homme opulent pour le prix des matières, des peines et du temps, et bientôt nos arts et manufactures auront sur celles des étrangers toute la supériorité que nous désirons.

De la supériorité d'une manufacture sur une autre. Mais ce qui donnera la supériorité à une manufacture sur une autre, ce sera surtout la bonté des matières qu'on y emploiera, jointe à la célérité du travail et à la perfection de l'ouvrage. Quant à la bonté des matières, c'est une affaire d'inspection ; pour la célérité du travail et la perfection de l'ouvrage, elles dépendent entièrement de la multitude des ouvriers rassemblés. Lorsqu'une manufacture est nombreuse, chaque opération occupe un homme différent. Tel ouvrier ne fait et ne fera de sa vie qu'une seule et unique chose, tel autre une autre chose, d'où il arrive que chacune s'exécute bien et promptement, et que l'ouvrage le mieux fait est encore celui qu'on a à meilleur marché. D'ailleurs le goût et la façon se perfectionnent nécessairement entre un grand nombre d'ouvriers, parce qu'il est difficile qu'il ne s'en rencontre quelques-uns capables de réfléchir, de combiner et de trouver enfin le seul moyen qui puisse les mettre au-dessus de leurs semblables, le moyen ou d'épargner la matière, ou d'allonger le temps, ou de surfaire l'industrie, soit par une machine nouvelle, soit par une manœuvre plus commode. Si les manufactures étrangères ne l'emportent pas sur nos manufactures de Lyon, ce n'est pas qu'on ignore ailleurs comment on travaille là, on a partout les mêmes métiers, les mêmes soies, et à peu près les mêmes pratiques ; mais ce n'est qu'à Lyon qu'il y a 30,000 ouvriers rassemblés et s'occupant tous de l'emploi de la même matière. Nous pourrions encore allonger cet article, mais ce que nous venons de dire, joint à ce qu'on trouvera dans notre discours préliminaire, suffira pour ceux qui savent penser, et nous n'en aurions jamais assez dit pour les autres. On y rencontrera peut-être des endroits d'une métaphysique un peu forte ; mais il était impossible que cela fût autrement. Nous avions à parler de ce qui concerne l'art en général ; nos propositions devaient donc être générales ; mais le bon sens dit qu'une proposition est d'autant plus abstraite, qu'elle est plus générale, l'abstraction consistant à étendre une vérité en écartant de son énonciation les termes qui la particularisent. Si nous avions pu épargner ces épines au lecteur, nous nous serions épargné bien du travail à nous-mêmes. DIDEROT.

ASBESTE. Voyez AMIANTE.

ASPHALTE. Voyez BITUME.

ASSEMBLAGES. Voyez CHARPENTE.

ASTICOTS. On nomme ainsi les larves qui se développent dans les viandes et qui proviennent des œufs que plusieurs espèces de mouches y déposent. On s'en est servi de tous temps, comme amorce, pour la pêche à la ligne ; depuis quelques années seulement, on les emploie avec le plus grand succès pour engraisser les volailles. Sous l'influence de cette nourriture, elles acquièrent en peu de temps un embonpoint tout à fait surprenant. Quelques personnes prétendent que la graisse et la chair des volailles, nourries de cette manière, contractent une mauvaise odeur ; si cela est vrai, rien n'est plus facile que de la faire disparaître ; il suffit pour cela de ne leur donner que du grain pendant les deux ou trois jours qui précèdent leur mise à mort.

Pour les faire naître et les récolter aux environs de Paris, on étale sur le sol, au midi et à l'abri du vent, les chairs, les muscles et particulièrement les intestins provenant de l'équarrissage des chevaux, de manière à en former une couche de 0m,15 à 0m,20 d'épaisseur, sur laquelle on jette quelques poignées de paille, pour prévenir une dessiccation trop prompte ; si la couche était trop épaisse, la fermentation développerait dans la masse une chaleur trop forte qui, jointe à l'ammoniaque qui se dégage, en éloignerait les mouches ou tuerait les larves au fur et à mesure de leur naissance. Bientôt trois espèces de mouches à viande, connues sous les noms de *musca cæsar*, *musca carnaria*, *musca vivipara* s'insinuant à travers les brins de paille, viennent déposer leurs œufs ou leurs petits sur ces matières animales, à la place desquelles on ne trouve plus au bout de quelques jours,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'une masse mouvante composée de myriades de vers, et de quelques détritus de matières animales ; on sépare à la main ou avec le râteau les plus gros de ces détritus ; on ramasse les asticots avec une pelle de bois ; on les mesure comme du grain, et on les expédie dans des sacs de la capacité d'un à trois hectolitres. Quoique l'odeur que dégagent ces exploitations soit extrêmement infecte et désagréable, ce qui devra toujours faire reléguer à une grande distance de tout lieu habité les emplacements destinés à la production des asticots, il est à remarquer qu'elle n'est aucunement nuisible à la santé, et que tous les ouvriers qui vivent journellement au milieu de ces odeurs n'en sont nullement incommodés.

ATOMES, POIDS ATOMIQUES. L'expérience a démontré que : 1° Lorsque deux corps sont susceptibles de former ensemble différents composés, cela a toujours lieu de telle sorte que, pour une même quantité de l'un des corps, les diverses quantités de l'autre corps sont en rapport simple ; ainsi, 345,9 de manganèse se combinent avec 100, 150, 200, 300 et 350 parties en poids d'oxygène pour former 3 oxydes et 2 acides ; c'est là la loi des proportions multiples.

2° Dans les sels neutres, le rapport de la quantité d'oxygène contenue dans l'acide à celle contenue dans la base est constant ; ainsi, dans les nitrates, il est de 5 : 1 ; dans les sulfates de 3 : 1 ; dans les phosphates de 5 : 3 ; etc.... Il y a cependant quelques exceptions où l'on trouve un rapport multiple ; ainsi, on trouve des phosphates dans lesquels le rapport ci-dessus est : : 5 : 2, ou : : 5 : 1 ; cela tient dans ce cas à une modification de l'acide, qui, quoique lui ayant conservé la même composition, a changé ses propriétés, de sorte qu'on peut le considérer comme un nouvel acide.

3° Si en partant de la base salifiable ou du protoxyde pour les oxydes, et de la composition des acides pour ceux-ci, on détermine les équivalents des différents corps simples, c'est-à-dire les quantités de ces corps en poids qui s'unissent à 100 d'oxygène pour former des composés bien définis ; on trouve ultérieurement que les composés binaires ou multiples, formés par ces différents corps entre eux, s'obtiennent par la réunion d'un certain nombre d'équivalents en rapport simple des composants ; cette loi porte le nom de loi des proportions définies. On peut s'en servir pour déterminer les équivalents de nouveaux corps ; ainsi l'eau se compose de 88,9 en poids d'oxygène, et de 11,1 d'hydrogène, d'où l'on tire pour équivalent de l'hydrogène $11,1 \times \frac{100}{88,9} = 12,48$; l'acide hydrochlorique se compose de 2,74 d'hydrogène, et de 97,26 de chlore, d'où l'on tirera, pour l'équivalent du chlore, $97,26 \times \frac{12,48}{2,74} = 442,6$. Quelque soit du reste le composé dont l'on se sert pour déterminer l'équivalent d'un corps, si on arrive pour le même corps à des résultats différents, les équivalents obtenus seront multiples ou sous-multiples les uns des autres.

4° Lorsque les corps qui se combinent sont gazeux, les volumes des combinaisons sont en rapport simple, et s'il y a contraction, elle a ordinairement lieu dans un rapport simple avec les volumes des gaz composants ; ainsi 1 vol. d'oxygène et 2 vol d'hydrogène en se combinant donnent 2 vol. de vapeur d'eau ; 2 volumes d'hydrogène et 2 volumes de chlore se combinent sans condensation et donnent 4 volumes d'acide hydrochlorique, etc.

Si maintenant nous supposons que les molécules constituantes ou *atomes* des corps simples réduits à l'état gazeux occupent le même volume, ces atomes se combineront entre eux en proportions simples et seront représentés soit par les équivalents eux-mêmes, soit par des multiples ou sous-multiples de ces équivalents ; ainsi le poids atomique de l'hydrogène sera la moitié de son équivalent ou 6,24, etc. Les atomes des corps simples étant une fois déterminés, l'analyse de leurs composés permettra facilement d'en déduire le poids de leurs atomes ; comme tous les corps ne sont pas susceptibles de se réduire à l'état gazeux, on s'est servi des deux lois suivantes pour déterminer dans la plupart des cas où il y avait doute, celui des multiples de l'équivalent que l'on devait admettre pour le *poids atomique*.

1° *Loi de l'isomorphisme.* Tous les corps qui ont une composition atomique analogue affectent la même forme cristalline ; ainsi, par exemple, les sels d'alumine et d'oxyde de chrôme étant *isomorphes* avec ceux de peroxyde de fer, et ce dernier ayant pour formule Fe^2O^3, on adoptera pour représenter l'alumine et l'oxyde de chrôme les formules Al^2O^3, Cr^2O^3, ce qui d'après la connaissance de leur composition permettra de déterminer les poids des atomes d'aluminium et de chrôme.

2° *Loi des chaleurs spécifiques.* Dulong et Petit ont reconnu que le produit du poids atomique d'un corps simple par sa capacité pour la chaleur, était constant, de sorte que la chaleur spécifique des atomes des corps simples est la même. Ainsi on est conduit d'après cette loi à prendre pour atome de l'argent 6750,5 au lieu de 1351 que l'on admettait généralement, et alors à représenter l'oxyde d'argent par Ag^2O au lieu de AgO. Cette loi a encore été vérifiée plus tard par Regnault qui a en outre découvert qu'elle était vraie pour les corps composés renfermant le même élément électronégatif ou le même acide, et pouvait dans ce cas s'énoncer ainsi : *le produit des poids atomiques de corps composés renfermant le même élément électro-négatif, par leurs chaleurs spécifiques, est un nombre constant et différent pour chaque série de composés ayant l'élément électronégatif différent.*

On représente les atomes des corps simples par leurs initiales, et dans une combinaison, on met en exposant le nombre d'atomes de chaque composant ; ainsi l'acide nitrique composé de 2 atomes d'azote et de 5 at. d'oxygène sera représenté par la formule Az^2O^5. Les sels s'indiquent en interposant le signe + entre les atomes de l'acide et de la base ; ainsi le nitrate de potasse aura pour formule $Az^2O^5 + KO$. Très souvent on double l'atome d'un corps en le barrant horizontalement, ex : $\overline{Az}$ représente 2 at. d'azote ; on marque souvent les atomes d'oxygène par des points que l'on met au-dessus du corps oxydé : ainsi $\dot{A}z$ représente l'acide nitrique ; $\dot{A}z\dot{K}$ le nitrate de potasse. A cause de l'analogie que présentent les combinaisons du soufre avec celles de l'oxygène, on indique souvent les atomes de soufre par des virgules au lieu de points comme dans le cas précédent ; ainsi $\dot{H}$ ou H^2S est l'hydrogène sulfuré.

Comme dans les arts chimiques, il est très important pour arriver sans tâtonnements à des réactions complètes de connaître les poids atomiques des différents corps, nous jugeons indispensable de donner ici les tables suivantes :

POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES.

Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.
Aluminium.	Al	171,167
Antimoine.	Sb	806,452
Argent.	Ag	1351,607
Arsenic.	As	470,042
Azote.	N ou Az	88,518
Baryum.	Ba	856.880
Bismuth.	Bi	1330,376
Bore.	B	135,983
Brôme.	Br	489,150
Cadmium.	Cd	696,767

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES (*suite*).

Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.	Corps simples.	Formules.	Poids des atomes.
alcium.	Ca	256,019	Oxigène.	O	100,000
arbone.	C	75,000	Palladium.	Pd	714,618
érium.	Ce	574,718	Phosphore.	P	196,155
hlore.	Cl	221,325	Platine.	Pt	1215,220
hrôme.	Cr	351,819	Plomb.	Pb	1294,498
obalt.	Co	368,991	Potassium.	K	489,916
uivre.	Cu	395,695	Rhodium.	R	750,680
tain.	Sn	735,294	Sélénium.	Se	494,582
er.	Fe	339,213	Silicium.	Si	277,478
luor.	F	116,900	Sodium.	Na	290,897
lucinium.	Be ou G	331,479	Soufre.	S	201,165
lydrogène.	H	6,2398	Strontium.	Sr	547,285
ode.	I	768,781	Tantale.	Ta	1152,718
ridium.	Ir	1233,260	Tellure.	Te	806,452
ithium.	L	127,757	Thorium.	Th	741,900
lagnésium.	Mg	158,353	Titane.	Ti	389,092
langanèse.	Mn	345,900	Tungstène.	W	1183,196
lercure.	Hg	1265,822	Urane.	U	2711,360
lolybdène.	Mo	598,525	Vanadium.	V	855,840
lickel.	Ni	369,675	Yttrium.	Y	401,840
r.	Au	1243,013	Zinc.	Zn	403,226
smium.	Os	1244,210	Zirconium.	Zr	420,238

Nous ferons suivre cette table de la suivante, où nous connons les poids atomiques des principaux composés binaires, à l'aide desquels on pourra former au besoin ceux qui ne se trouveraient pas dans la table.

POIDS ATOMIQUES DES PRINCIPAUX COMPOSÉS BINAIRES.

Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.	Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.
lumine.	$Al^2 O^3$	642,334	Magnésie.	Mg O	258,353
mmoniaque.	$Az^2 H^6$	214,474	Protoxyde de manganèse.	Mn O	445,900
Oxyde d'antimoine.	$Sb^2 O^3$	1912,904	Deutoxyde de manganèse.	$Mn^2 O^3$	991,800
Acide antimonieux.	$Sb^2 O^4$	2012,904	Peroxyde de manganèse.	Mn O^2	545,900
Acide antimonique.	$Sb^2 O^5$	2112,904	Acide manganique.	$Mn^2 O^5$	1491,800
Oxyde d'argent.	Ag O	1451,607	Acide hypermanganique.	$Mn^2 O^7$	1391,800
Acide arsénieux.	$As^2 O^3$	1240,084	Protoxyde de mercure.	Hg^2 O	2631,645
Acide arsénique.	$As^2 O^5$	1440,084	Deutoxyde de mercure.	Hg O	1365,822
Protoxyde d'azote.	Az^2 O	277,036	Acide molybdique.	Mo O^3	898,525
Deutoxyde d'azote.	Az O	188,518	Oxyde de nickel.	Ni O	469,675
Baryte.	Ba O	956,880	Acide nitreux.	$Az^2 O^3$	477,036
Oxyde de bismuth.	$Bi^2 O^3$	2960,752	Acide nitrique.	$Az^2 O^5$	677,036
Acide borique.	$B^2 O^3$	871,966	Protoxyde d'or.	Au^2 O	2586,026
Oxyde de cadmium.	Cd O	796,767	Deutoxyde d'or.	$Au^2 O^3$	2786,026
Oxyde de carbone.	CO	175,000	Acide oxalique.	$C^2 O^3$	450,000
Acide carbonique.	CO^2	275,000	Acide phosphorique.	$P^2 O^5$	892,310
Oxydule de cérium.	Ce O	674,718	Oxyde de platine.	Pt O^2	1415,220
Oxyde de cérium.	$Ce^2 O^3$	1149,436	Protoxyde de plomb.	Pb O	1394,498
Chaux.	Ca O	356,019	Litharge.	$Pb^2 O^2$	2888,996
Acide chlorique.	$Cl^2 O^5$	942,650	Peroxyde de plomb (oxyde		
Acide perchlorique.	$Cl^2 O^7$	1142,650	puce).	Pb O^2	1494,498
Oxyde de chrôme.	$Cr^2 O^3$	1003,638	Potasse.	K O	589,916
Acide chrômique.	Cr O^3	651,819	Peroxyde de potassium.	K O^3	789,916
Oxyde de cobalt.	Co O	468,991	Oxyde de rhodium.	$R^2 O^3$	1801,360
Peroxyde de cobalt.	$Co^2 O^3$	1037,982	Acide sélenieux.	Se O^2	694,582
Oxydule de cuivre.	Cu^2 O	801,390	Acide silicique.	Si O^2	577,478
Oxyde de cuivre.	Cu O	495,695	Soude.	Na O	390,897
Cyanogène.	$Az^2 C^2$ ou Cy^2	327,036	Peroxyde de sodium.	$Na^2 O^3$	881,794
Eau.	H^2 O	112,479	Strontiane.	Sr O	647,285
Oxyde d'étain.	Sn O	835,294	Acide hyposulfureux.	S O	301,165
Acide stannique.	Sn O^2	935,294	Acide sulfureux.	S O^2	401,165
Protoxyde de fer.	Fe O	439,213	Acide hyposulfurique.	$S^2 O^5$	902,330
Peroxyde de fer.	$Fe^2 O^3$	978,426	Acide sulfurique.	S O^3	501,165
Glucine.	$Be^2 O^3$	962,958	Acide tantalique.	$Ta^2 O^5$	2607,430
Acide hydrochlorique.	$H^2 Cl^2$	455,129	Acide tellureux.	Te O^2	1006,452
Acide hydrocyanique.	$H^2 Az^2 C^2$	339,515	Thorine.	Th^2 O	1589,800
Acide hydrosulfurique.	H^2 S	213,644	Acide titanique.	Ti O^2	589,092
Acide iodique.	$I^2 O^5$	2037,562	Acide tungstique.	W O^3	1483,200
Lithine.	L O	227,757	Oxydule d'urane.	U O	801,390

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POIDS ATOMIQUES DES PRINCIPAUX COMPOSÉS BINAIRES (*suite*).

Noms des composés.	Formules.	Poids atomiques.
Oxyde jaune d'urane.	$U^2 O^3$	5722,720
Acide vanadique. . .	$V O^3$	1155,840
Yttria.	$Y O$	501,840
Oxyde de zinc. . . .	$Zn O$	502,226
Zircone.	$Zr^2 O^3$	1140,476
Sulfate de potasse. .	$So^2 Ko$	1091,081
Sulf. de protox. de fer.	$SO^3 Fe O$ ou $\ddot{S} Fe$	940,376
Sulf. de perox. de fer.	$3S O^3 + Fe^2 O^3$	2481,906
Protochlorure de fer.	$Fe Cl^2$	781,863
Perchlorure de fer. . .	$Fe^2 Cl^6$	2006,376
Protochlorure de mercure (calomel). . . .	$Hg^2 Cl^2$	2974,295
Perchlorure de mercure (sublimé corrosif).	$Hg Cl^2$	1708,472
Bleu de Prusse. . . .	$2Az^3C^3K + Az^2C^3Fe$	2308,778
Alun.	$\ddot{S}K + \ddot{S}^3\dot{A}l + 24\,H$	5936,406
Feldspath	$\ddot{S}i\,K + \ddot{S}i^3\dot{A}l$	3542,462

Nous terminerons en disant en quoi consiste la *notation minéralogique*, qui est aussi très-souvent employée, à cause de sa simplicité, et qui diffère de la précédente: en ce que l'on n'exprime pas les quantités d'oxygène contenues dans les oxydes et acides, et qu'on se contente seulement d'indiquer, par des exposants, leurs rapports dans chacun des éléments binaires qui se combinent ensemble pour former des sel simples ou multiples; ainsi, par exemple, l'alun, dont la formule chimique est $\ddot{S}K + \ddot{S}^3\dot{A}l + 24\,H$, a pour formule minéralogique $KS^3 + 3AS^3 + 24Aq$, et celle du feldspath est $KSi^3 + 3AlSi^3$.

Poids atomiques pour H = 1. Les progrès de la chimie organique, où l'hydrogène, le carbone, l'oxygène et l'azote sont les seuls éléments en jeu, ont conduit à l'étude de composés multipliés à l'infini, dans lesquels l'oxygène ne joue plus le rôle prépondérant qu'il remplit dans la chimie minérale et qui était l'objectif principal des travaux de Berzélius. On a été ainsi conduit à prendre pour unité le poids atomique de l'hydrogène, qui donne des nombres simples pour les poids atomiques des éléments avec lesquels il se rencontre dans les composés organiques et à prendre de nouveau en considération la loi émise par Prout en 1815, à savoir que les poids atomiques de tous les corps devaient être des multiples exacts de celui de l'hydrogène. L'idée d'une matière unique primordiale, constituant les atomes divers, était au fond de l'hypothèse de Prout et c'est une notion dont les progrès de la science ont plutôt rapproché qu'éloigné les penseurs. En faisant rentrer dans cette grande loi un assez grand nombre de corps simples, Dumas a montré que ceux qui n'y rentraient pas s'en éloignaient bien peu, si on prenait pour unité un sous-multiple de l'hydrogène 0,50 par exemple ou même 0,25, ce qui est peut-être admissible, mais rend les résultats d'expérience de peu de valeur pour démontrer le principe, vu les limites infranchissables de la précision des déterminations expérimentales et le faible poids atomique de l'hydrogène par rapport à ceux de la plupart des corps. Ce point de vue, d'ailleurs, n'est que d'importance secondaire pour les travaux des chimistes, les affinités n'étant pas proportionnelles au poids des atomes, et ceux-ci devant être considérés comme les centres des forces qui donnent naissance aux combinaisons, forces dont le travail se révèle par les phénomènes calorifiques qui apparaissent alors.

Nous donnons ci-après le tableau des principaux poids atomiques, d'après des déterminations faites avec le plus grand soin, et en tenant compte des atomicités, c'est-à-dire du nombre minimum d'atomes d'un corps entrant en combinaison; telle est la diatomicité admise pour l'oxygène qui se combine à deux atomes d'hydrogène pour engendrer l'eau.

Corps.	Poids atomiques.
Hydrogène. . . .	1
Bore.	11
Carbone.	12
Azote.	14,044
Oxygène.	16
Fluor.	19
Sodium.	23,043
Magnésium. . .	24
Aluminium. . .	27,5
Silicium. . . .	28
Phosphore. . . .	31
Soufre.	32
Chlore.	35,45
Potassium. . . .	39
Calcium. . . .	40
Titane.	50
Chrôme.	52,40
Manganèse . . .	55,20
Fer	56
Nickel.	58
Cobalt.	59
Cuivre.	63,5
Zinc.	67
Arsenic.	75
Brome.	79,95
Argent	107,93
Etain	118
Antimoine . . .	120
Iode.	126,85
Barium. . . .	137,2
Tungstène. . . .	184
Or.	197
Platine	198
Mercure. . . .	200
Plomb.	207
Bismuth. . . .	210

AUNAGE. Ce mot désigne, à proprement parler, le *mesurage des étoffes par aune* (ancienne mesure), mais on l'emploie généralement pour déterminer l'opération *du mesurage au mètre*, qui est la mesure légale aujourd'hui.

Au résumé, l'*aunage* consiste à mesurer *au mètre courant* ou *mètre de cours* qui se prend sur la longueur de l'étoffe, sans considérer sa largeur. Dans tout le commerce, l'usage est encore d'*auner* à la main, malgré l'invention de plusieurs machines assez simples pour effectuer cette opération.

AUTOGRAPHIE. Voy. LITHOGRAPHIE.

AUTOMATE (*angl.* automaton, *all.* automate). Dans le sens étymologique, ce mot (se mouvant de soi-même) sert à désigner toute construction mécanique qui, au moyen d'une force intérieure cachée et invisible à l'extérieur, est susceptible d'exécuter, pendant un temps limité, certains mouvements ayant plus ou moins de ressemblance avec ceux des êtres animés. Sous le rapport de la continuité du mouvement, les horloges, montres, planétaires et tournebroches, de même qu'un nombre immense de machines actuellement employées dans nos manufactures sont de véritables automates. Mais la dénomination d'*automate* est, dans le langage vulgaire, particulièrement appliquée à une classe de machines dans lesquelles un mécanisme caché a pour but d'imiter les mouvements volontaires des créatures vivantes.

Quoique, comme nous venons de le dire, on ne puisse pas, à proprement parler, ranger les horloges dans la classe des automates, on est néanmoins en droit de penser que c'est l'horlogerie, au fur et à mesure de son perfectionnement progressif et de son extension, qui a donné naissance à la construction des automates. La plupart de ceux-ci, dans leur structure intérieure, aussi bien que dans le mode d'appliquer le pouvoir moteur, ont une analogie frappante avec les horloges, et se montent presque toujours de la même manière que les montres. Vers la fin du XIIIe siècle, plusieurs horloges, et entre autres celles de Strasbourg, de Lubeck, de Prague, et d'Olmutz, faisaient déjà mouvoir des mécanismes remarquables. On peut aisément en juger par un des plus célèbres, celui de la cathédrale de Strasbourg, que M. Schwilgué a restauré si admirablement. L'enquête historique la plus soigneuse prouve que l'invention des automates proprement dits n'est certainement pas antérieure à celle des horloges à engrenages, et que les combinaisons les plus parfaites en ce genre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont postérieures à l'introduction générale des ressorts de pendules. Plusieurs relations d'anciens automates, tels que la colombe volante d'Archytas de Tarente, les mouches en fer de Regiomontanus, et l'aigle qui vola devant l'empereur Maximilien, dans Nuremberg, en l'année 1470, sont des déceptions ou des récits inexacts.

Des automates du célèbre mécanicien français *Vaucanson* excitèrent au plus haut point l'admiration publique dans le courant du siècle dernier. Bien que ces œuvres de pure curiosité soient peu estimées de nos jours, où les efforts des mécaniciens se portent de préférence vers la construction des utiles machines de nos ateliers, nous reproduirons ici la majeure partie du mémoire publié en 17.8, dans lequel Vaucanson a décrit son *Joueur de flute*. En montrant les ressources de la mécanique, ce grand inventeur a eu une grande influence sur les progrès de la construction des machines des ateliers industriels, auxquels il a d'ailleurs efficacement contribué par ses machines pour le travail de la soie et son métier à tisser automatiquement. C'est une pièce capitale dans l'histoire de l'industrie française qui doit être conservée.

Flûteur de Vaucanson. La figure, de cinq pieds et demi de hauteur environ (la sculpture était de Coysevox), est assise sur un bout de rocher, et placée sur un piédestal carré, de quatre pieds et demi de haut sur trois pieds et demi de large (fig. 172).



Fig. 172.

A la face antérieure du piédestal (le panneau étant ouvert), on voit à la droite un mouvement, qui, à la faveur de plusieurs roues, fait tourner en-dessous un axe d'acier de deux pieds six pouces de long, coudé en six endroits dans sa longueur par égale distance, mais en sens différents. A chaque coude sont attachés des cordons qui aboutissent à l'extrémité des panneaux supérieurs de six soufflets de deux pieds et demi de long sur six pouces de large, rangés dans le fond du piédestal, où leur panneau inférieur est attaché à demeure; de sorte que, l'axe tournant, les six soufflets se haussent et s'abaissent successivement les uns après les autres.

A la face postérieure, au-dessus de chaque soufflet est une double poulie, dont les diamètres sont inégaux, savoir: l'un de trois pouces, et l'autre d'un pouce et demi, et cela pour donner plus de levée aux soufflets, parce que les cordons, qui y sont attachés, vont se rouler sur le plus grand diamètre de la poulie, et ceux qui sont attachés à l'axe qui les tire se roulent sur le petit.

Sur le grand diamètre de trois de ces poulies du côté droit, se roulent aussi trois cordons qui, par le moyen de plusieurs petites poulies, aboutissent aux panneaux supérieurs de trois soufflets placés sur le haut du bâti, à la face antérieure et supérieure.

La tension qui se fait à chaque cordon, lorsqu'il commence à tirer le panneau du soufflet où il est attaché, fait mouvoir un levier placé au-dessus, entre l'axe et les doubles poulies, dans la région moyenne et inférieure du bâti. Ce levier, par différents renvois, aboutit à la soupape, qui se trouve au-dessous du panneau inférieur de chaque soufflet, et la soutient levée, afin que l'air y entre sans aucune résistance, tandis que le panneau supérieur, en s'élevant, en augmente la capacité. Par ce moyen, outre la force que l'on gagne, on évite le bruit que fait ordinairement cette soupape, causé par le tremblement que l'air occasionne en entrant dans le soufflet : ainsi, les neuf soufflets sont mus sans secousse, sans bruit, et avec peu de force.

Ces neuf soufflets communiquent leur vent dans trois tuyaux différents et séparés. Chaque tuyau reçoit celui de trois soufflets; les trois qui sont dans le bas du bâti à droite par la face antérieure, communiquent leur vent à un tuyau qui règne en devant sur le montant du bâti du même côté, et ces trois-là sont chargés d'un poids de quatre livres : les trois qui sont à gauche dans le même rang donnent leur vent dans un semblable tuyau qui règne pareillement sur le montant du bâti du même côté, et ne sont chargés chacun que d'un poids de deux livres; les trois qui sont sur la partie supérieure du bâti donnent aussi leur vent à un tuyau qui règne horizontalement sous eux et en devant; ceux-ci ne sont chargés que du poids de leur simple panneau.

Ces tuyaux, par différents coudes, aboutissent à trois petits réservoirs placés dans la poitrine de la figure. Là, par leur réunion, ils en forment un seul qui, montant par le gosier, vient par son élargissement former dans la bouche une cavité, terminée par deux espèces de petites lèvres qui posent sur le trou de la flûte ; ces lèvres donnent plus ou moins d'ouverture, et ont un mouvement particulier pour s'avancer et se reculer. En dedans de cette cavité est une petite languette mobile qui, par son jeu, peut ouvrir et fermer au vent le passage que lui laissent les lèvres de la figure.

Voilà par quel moyen le vent a été conduit jusqu'à la flûte. Voici ceux qui ont servi à le modifier.

A la face antérieure du bâti, à gauche, est un autre mouvement qui, à la faveur de son rouage, fait tourner un cylindre de deux pieds et demi de long sur soixante-quatre pouces de circonférence. Ce cylindre est divisé en quinze parties égales d'un pouce et demi de distance. A la face postérieure et supérieure du bâti, est un clavier traînant sur ce cylindre, composé de quinze leviers très-mobiles, dont les extrémités du côté du dedans sont armées d'un petit bec d'acier, qui répond à chaque division du cylindre. A l'autre extrémité de ces leviers, sont attachés des fils et chaînes d'acier, qui répondent aux différents réservoirs de vent, aux doigts, aux lèvres et à la langue de la figure. Ceux qui répondent aux différents réservoirs de vent sont au nombre de trois, et leurs chaînes montent perpendiculairement derrière le dos de la figure jusque dans la poitrine, où ils sont placés, et aboutissent à une soupape particulière à chaque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

réservoir : cette soupape étant ouverte laisse passer le vent dans le tuyau de communication qui monte, comme on l'a déjà dit, par le gosier dans la bouche. Les leviers qui répondent aux doigts sont au nombre de sept, et leurs chaînes montent aussi perpendiculairement jusqu'aux épaules, et là se coudent pour s'insérer dans l'avant-bras jusqu'au coude, où elles se plient encore pour aller le long du bras jusqu'au poignet; elles y sont terminées chacune par une charnière qui se joint à un tenon que forme le bout du levier contenu dans la main, imitant l'os que les anatomistes appellent l'os *du métacarpe*, et qui, comme lui, forme une charnière avec l'os de la première phalange, de façon que, la chaîne étant tirée, le doigt puisse se lever. Quatre de ces chaînes s'insèrent dans le bras droit, pour faire mouvoir les quatre doigts de cette main, et de trois dans le bras gauche pour trois doigts, n'y ayant que trois trous qui répondent à cette main. Chaque bout de doigt est garni de peau, pour imiter la mollesse du doigt naturel, afin de boucher le trou exactement. Les leviers du clavier qui répondent au mouvement de la bouche sont au nombre de quatre: les fils d'acier qui y sont attachés forment des renvois, pour parvenir dans le milieu du rocher en dedans; et là ils tiennent à des chaînes qui montent perpendiculairement et parallèlement à l'épine du dos dans le corps de la figure; et qui, passant par le cou, viennent dans la bouche s'attacher aux parties, qui font faire quatre différents mouvements aux lèvres intérieures: l'un fait ouvrir ces lèvres pour donner une plus grande issue au vent; l'autre la diminue en les rapprochant; le troisième les fait retirer en arrière, et le quatrième les fait avancer sur le bord du trou.

Il ne reste plus sur le clavier qu'un levier, où est pareillement attachée une chaîne qui monte ainsi que les autres, et vient aboutir à la languette qui se trouve dans la cavité de la bouche derrière les lèvres, pour en boucher le trou, comme on l'a dit ci-dessus.

Ces quinze leviers répondent aux quinze divisions du cylindre par les bouts où sont attachés les becs d'acier, et à un pouce et demi de distance les uns des autres. Le cylindre venant à tourner, les lames de cuivre placées sur ses lignes divisées rencontrent les becs d'acier, et les soutiennent levés plus ou moins longtemps, suivant que les lames sont plus ou moins longues: et, comme l'extrémité de tous ces becs forme entre eux une ligne droite, parallèle à l'axe du cylindre, coupant à angle droit toutes les lignes de division, toutes les fois qu'on placera à chaque ligne une lame, et que toutes leurs extrémités formeront entre elles une ligne également droite, et parallèle à celle que forment les becs des leviers, chaque extrémité de lame (le cylindre retournant) touchera et soulèvera dans le même instant chaque bout de levier; et l'autre extrémité des lames formant également une ligne droite, chacune laissera échapper son levier dans le même temps. On conçoit aisément par là comment tous les leviers peuvent agir et concourir tous à la fois à une même opération, s'il est nécessaire. Quand il n'est besoin de faire agir que quelques leviers, on ne place des lames qu'aux divisions où répondent ceux qu'on veut faire mouvoir: on en détermine même le temps, en les plaçant plus ou moins éloignées de la ligne que forment les becs: on fait cesser aussi leur action plus tôt ou plus tard, en les mettant plus ou moins longues.

L'extrémité de l'axe du cylindre du côté droit est terminée par une vis sans fin à simples filets, distants entre eux d'une ligne et demie, et au nombre de douze, ce qui comprend en tout l'espace d'un pouce et demi de longueur, égale à celui des divisions du cylindre.

Au-dessus de cette vis, est une pièce de cuivre immobile, solidement attachée au bâti, à laquelle tient un pivot d'acier d'une ligne environ de diamètre, qui tombe dans une cannelure de la vis et lui sert d'écrou, de façon que le cylindre est obligé, en tournant, de suivre la même direction que les filets de la vis, contenus par le pivot d'acier, qui est fixe. Ainsi, chaque point du cylindre décrira continuellement en tournant une ligne spirale, et fera par conséquent un mouvement progressif de droite à gauche.

C'est par ce moyen que chaque division du cylindre, déterminée d'abord sous chaque bout de levier, changera de point à chaque tour qu'il fera, puisqu'il s'en éloignera d'une ligne et demie, qui est la distance qu'ont les filets de la vis entre eux.

Les bouts des leviers attachés au clavier restant donc immobiles, et les points du cylindre auxquels ils répondent d'abord, s'éloignant à chaque instant de la perpendiculaire, en formant une ligne spirale, qui, par un mouvement progressif du cylindre, est toujours dirigée au même point, c'est-à-dire à chaque bout de levier, il s'ensuit que chaque bout de levier trouve à chaque instant des points nouveaux sur les lames du cylindre, qui ne se répètent jamais, puisqu'elles forment entre elles des lignes spirales qui forment douze tours sur le cylindre, avant que le premier point de division vienne sous un autre levier que celui sous lequel il a été déterminé en premier lieu.

C'est dans cet espace d'un pouce et demi qu'on place toutes les lames, qui forment elles-mêmes les lignes spirales, pour faire agir le levier sous lequel elles doivent toujours passer pendant les douze tours que fait le cylindre. A mesure qu'une ligne change pour son levier, toutes les autres changent pour le leur; ainsi, chaque levier a douze lignes de lames, de 64 pouces de diamètre, qui passent sous lui, et qui font entre elles une ligne de 768 pouces de long. C'est sur cette ligne que sont placées toutes les lames suffisantes pour l'action du levier durant tout le jeu.

Il ne reste plus qu'à faire voir comment tous ces différents mouvements ont servi à produire l'effet qu'on s'est proposé dans cet automate, en les comparant avec ceux d'une personne vivante.

Est-il question de lui faire tirer du son de sa flûte, et de former le premier ton, qui est le *ré* d'en bas? On commence d'abord à disposer l'embouchure; pour cet effet, on place sur le cylindre une lame dessous le levier qui répond aux parties de la bouche, servant à augmenter l'ouverture que font les lèvres. Secondement, on place une lame sous le levier qui sert à faire reculer ces mêmes lèvres. Troisièmement, on place une lame sous le levier qui ouvre la soupape du réservoir du vent qui vient des petits soufflets qui ne sont point chargés. On place, en dernier lieu, une lame sous le levier qui fait mouvoir la languette pour donner le coup de langue; de façon que, ces lames venant à toucher dans le même temps les quatre leviers qui servent à produire les susdites opérations, la flûte sonnera le *ré* d'en bas.

Par l'action du levier qui sert à augmenter l'ouverture des lèvres, on imite l'action de l'homme vivant, qui est obligé de l'augmenter dans les tons bas. Par le levier, qui sert à faire reculer les lèvres, on imite l'action de l'homme, qui les éloigne du trou de la flûte, en la tournant en dehors. Par le levier qui donne le vent provenant des soufflets qui ne sont chargés que de leur simple panneau, on imite le vent faible que l'homme donne alors, vent qui n'est pareillement poussé hors de son réservoir que par une légère compression des muscles de la poitrine. Par le levier qui sert à faire mouvoir la languette, en débouchant le trou que forment les lèvres pour laisser passer le vent, on imite le mouvement que fait aussi la langue de l'homme, en se retirant du trou pour donner passage au vent, et par ce moyen lui faire articuler une telle note. Il résultera donc de ces quatre opérations différentes, qu'en donnant un vent faible, et le faisant passer par une issue large

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lans toute la grandeur du tron de la flûte, son retour produira des vibrations lentes, qui seront obligées de se continuer dans toutes les particules du corps de la flûte, uisque tous les trous se trouveront bouchés, et par onséquent la flûte donnera un ton bas; c'est ce qui se rouve confirmé par l'expérience.

Veut-on lui faire donner le ton au-dessus, savoir, le ré aux quatre premières opérations pour le *ré* on en joute une cinquième; on place la lame sous le levier, ui fait lever le troisième doigt de la main droite, pour déboucher le troisième trou de flûte, et on fait approcher ant soit peu les lèvres du trou de la flûte, en baissant n peu la lame du cylindre qui tenait le levier élevé pour a première note, savoir, le *ré*: ainsi, donnant plutôt ux vibrations une issue en débouchant le premier trou u bout, la flûte doit sonner un ton au-dessus; ce qui st aussi confirmé par l'expérience.

Toutes ces opérations se continuent à peu près les mêmes dans les tons de la première octave, où le même ent suffit pour les former tous; c'est la différente ouver- ure des trous, par la levée des doigts, qui les caracté- ise: on est seulement obligé de placer sur le cylindre es lames sous les leviers, qui doivent lever les doigts our former tel ou tel ton.

Pour avoir les tons de la seconde octave, il faut chan- er l'embouchure de situation, c'est-à-dire placer une ame dessous le levier, qui contribue à faire avancer s lèvres au delà du diamètre du trou de la flûte, et niter par là l'action de l'homme vivant, qui, en pareil as, tourne la flûte un peu en dedans. Secondement, il faut acer une lame sous le levier, qui, en faisant rappro- ier les deux lèvres, diminue leur ouverture: opération ue fait pareillement l'homme quand il serre les lèvres our donner une moindre issue au vent. Troisièmement, faut placer une lame sous le levier qui fait ouvrir la upape du réservoir, qui contient le vent provenant s soufflets chargés du poids de deux livres: vent qui trouve poussé avec plus de force, et semblable à celui ue l'homme vivant pousse par une plus forte compres- on des muscles pectoraux. De plus, on place des lames us les leviers nécessaires, pour faire lever les doigts 'il faut. Il s'ensuivra de toutes ces différentes opéra- ons, qu'un vent envoyé avec plus de force, et passant r une issue plus petite, redoublera de vitesse et pro- ira par conséquent des vibrations doubles; et ce sera *ctave.*

A mesure qu'on monte dans les tons supérieurs de tte seconde octave, il faut de plus en plus serrer les res, pour que le vent, dans un même temps, augmente vitesse.

Dans les tons de la troisième octave, les mêmes iers, qui vont à la bouche, agissent comme dans ceux la seconde, avec cette différence que les lames sont peu plus élevées, ce qui fait que les lèvres vont it à fait sur le bord du trou de la flûte, et que le trou 'elles ferment devient extrêmement petit. On ajoute lement une lame sous le levier qui fait ouvrir la upape, pour donner le vent qui vient des soufflets les us chargés, savoir, du poids de quatre livres; par nséquent le vent poussé avec une plus forte compres- n, et trouvant une issue encore plus petite, augmen- a de vitesse en raison triple: on aura donc *la triple ave.*

Il se trouve des tons dans toutes ces différentes octa- s plus difficiles à rendre les uns que les autres; on t pour lors obligé de les ajuster, en plaçant les lèvres r une plus grande ou plus petite corde du trou de la te, en donnant un vent plus ou moins fort, ce que t l'homme dans les mêmes tons où il est obligé de ménager son vent, et de tourner la flûte plus ou moins dedans ou en dehors.

On conçoit facilement que toutes les lames placées r le cylindre sont plus ou moins longues, suivant le temps que doit avoir chaque note, et suivant la différente situation où doivent se trouver les doigts pour les former; ce qu'on ne détaillera point ici, pour ne point donner à cet article trop d'étendue. On fera remarquer seulement que, dans les enflements de son, il a fallu, pendant le temps de la même note, substituer imperceptiblement un vent faible à un vent fort, et à un plus fort un plus faible, et varier conjointement les mouvements des lèvres, c'est-à-dire les mettre dans leur situation propre pour chaque vent.

Lorsqu'il a fallu faire le doux, c'est-à-dire imiter un écho, on a été obligé de faire avancer les lèvres sur le bord du trou de la flûte, et envoyer un vent suffisant pour former un tel ton, mais dont le retour, par une issue aussi petite qu'est celle de son entrée dans la flûte, ne peut frapper qu'une petite quantité d'air extérieur; ce qui produit, comme on l'a dit ci-dessus, ce qu'on appelle *écho.*

Les différents airs de lenteur et de mouvement ont été mesurés sur le cylindre, par le moyen d'un levier, dont une extrémité, armée d'une pointe, pouvait, lorsqu'on frappait dessus, marquer ce même cylindre. A l'autre bras du levier, était un ressort qui faisait promptement relever la pointe. On lâchait le mouvement qui faisait tourner le cylindre avec une vitesse déterminée pour tous les airs: dans le même temps, une personne jouait sur la flûte l'air qu'on voulait mesurer; un autre battait la mesure sur le bout du levier, qui pointait le cylindre, et la distance qui se trouvait entre les points était la vraie mesure des airs qu'on voulait noter; on subdivisait ensuite les intervalles en autant de parties que la mesure avait de temps.

VAUCANSON.

Encouragé par le succès, Vaucanson exposa, en 1741, d'autres *automates*, qui ne furent pas moins bien reçus. Nous reproduirons ici ce qu'en dit l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert.

1° *Un canard*, dans lequel il représente le mécanisme des viscères destinés aux fonctions du boire, du manger et de la digestion; le jeu de toutes les parties nécessaires à ces fonctions y est exactement imité: il allonge son cou pour aller prendre du grain dans la main, il l'avale, le digère, et le rend par les voies ordinaires tout digéré, tous les gestes d'un canard qui avale avec précipitation, et qui redouble de vitesse dans le mouvement de son gosier, pour faire passer son manger jusque dans l'estomac, y sont copiés d'après nature: l'aliment y est digéré comme dans les vrais animaux, par dissolution, et non par trituration; la matière digérée dans l'estomac est conduite par des tuyaux, comme dans l'animal par ses boyaux, jusqu'à l'anus, où il y a un sphincter qui en permet la sortie.

L'auteur ne donne pas cette digestion pour une digestion parfaite, capable de faire du sang et des sucs nourriciers pour l'entretien de l'animal; on aurait mauvaise grâce de lui faire ce reproche. Il ne prétend qu'imiter la mécanique de cette action en trois choses, qui sont: 1° d'avaler le grain; 2° de le macérer, cuire ou dissoudre; 3° de le faire sortir dans un changement sensible.

Il a cependant fallu des moyens pour les trois actions, et ces moyens mériteront peut-être quelque attention de la part de ceux qui demanderaient davantage. Il a fallu employer différents expédients pour faire prendre le grain au canard artificiel, le lui faire aspirer jusque dans son estomac, et là, dans un petit espace, construire un laboratoire chimique, pour en décomposer les principales parties intégrantes, et le faire sortir à volonté, par des circonvolutions de tuyaux, à une extrémité de son corps tout opposée.

On ne croit pas que les anatomistes aient rien à désirer sur la construction de ses ailes. On a imité, os par os, toutes les éminences qu'ils appellent *apophyses.* Elles y sont régulièrement observées, comme les diffé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rentes charnières, les cavités, les courbes. Les trois os qui composent l'aile y sont très-distincts: le premier, qui est l'*humerus*, a son mouvement de rotation en tous sens avec l'os qui fait l'office d'omoplate; le second, qui est le *cubitus* de l'aile, a son mouvement avec l'*humerus* par une charnière, que les anatomistes appellent *par gynglime*; le troisième, qui est le *radius*, tourne dans une cavité de l'*humerus*, et est attaché par les autres bouts aux petits os du bout de l'aile, de même que dans l'animal.

Pour faire connaître que les mouvements de ces ailes ne ressemblent point à ceux que l'on voit dans les grands chefs-d'œuvre du coq de l'horloge de Lyon et de Strasbourg, toute la mécanique du canard artificiel a été vue à découvert, le dessein de l'auteur étant plutôt de démontrer, que de montrer simplement une machine. L'emploi des excentriques, disposés autour d'un grand cylindre placé dans le piédestal, y était admirablement multiplié; les leviers et les cordes y remplaçaient les os et les muscles.

On croit que les personnes attentives sentiront la difficulté qu'il y a eu de faire faire à cet *automate* tant de mouvements différents: comme lorsqu'il s'élève sur ses pattes, et qu'il porte son cou à droite et à gauche. Elles connaîtront tous les changements des différents points d'appui; elles verront même que ce qui servait de point d'appui à une partie mobile devient à son tour mobile sur cette partie, qui devient fixe à son tour; enfin elles découvriront une infinité de combinaisons mécaniques.

2° *Le Joueur de tambourin*. Le second *automate* est le Joueur de tambourin, fig. 173, planté tout droit sur son

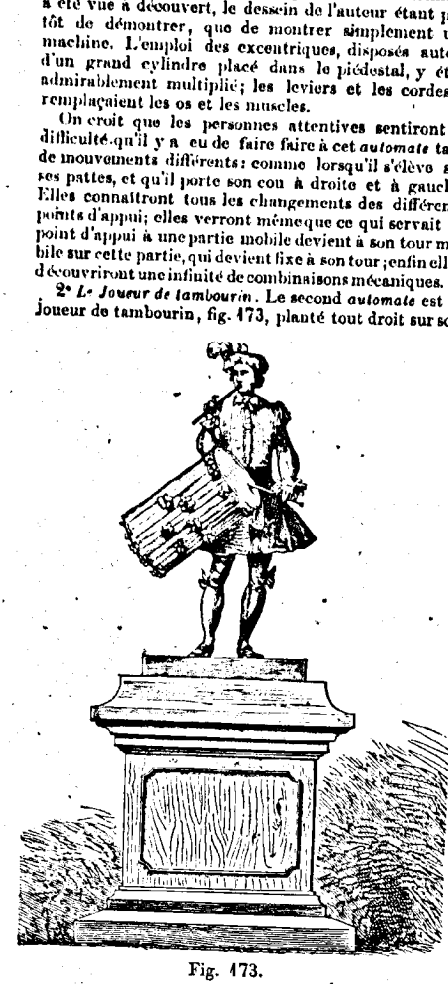


Fig. 173.

piédestal, habillé en berger danseur, qui joue une vingtaine d'airs, menuets, rigodons et contredanses.

On croirait d'abord que les difficultés ont été moindres qu'au flûteur *automate* mais, sans vouloir élever l'un pour rabaisser l'autre, il faut faire réflexion qu'il s'agit de l'instrument le plus ingrat et le plus faux par lui-même; qu'il a fallu faire articuler une flûte à trois trous, où tous les tons dépendent du plus ou moins de force de vent et de trous bouchés à moitié; qu'il a fallu donner tous les vents différents, avec une vitesse que l'oreille a de la peine à suivre; donner des coups de langue à chaque note, jusque dans les doubles croches, parce que cet instrument n'est point agréable autrement.

L'*automate* surpasse en cela tous nos joueurs de tambourin, qui ne peuvent remuer la langue avec assez de légèreté, pour faire une mesure entière de doubles croches toutes articulées; ils en coulent la moitié: tandis que ce tambourin *automate* joue un air entier avec des coups de langue à chaque note.

L'auteur a constaté que cette petite flûte est un des instruments à vent qui fatigue le plus la poitrine des joueurs.

Les muscles de leur poitrine font un effort équivalent à un poids de 56 livres, puisqu'il faut cette même force de vent, c'est-à-dire un vent poussé par cette force ou cette pesanteur, pour former le *si* d'en haut, qui est la dernière note où cet instrument puisse s'étendre. Une once seule fait parler la première note qui est le *mi*: que l'on juge quelle division de vent il a fallu faire pour parcourir toute l'étendue du flageolet provençal.

Ayant si peu de positions de doigts différentes, on croirait peut-être qu'il n'a fallu de différents vents, qu'autant qu'il y a de différentes notes: point du tout. Le vent qui fait parler, par exemple le *ré* à la suite de l'*ut*, le manque absolument quand le même *ré* est à la suite du *mi* au-dessus, et ainsi des autres notes. Qu'on calcule, on verra qu'il a fallu le double de différents vents, sans compter les dièses pour lesquels il faut toujours un vent particulier. L'auteur a été lui-même étonné de voir cet instrument avoir besoin d'une combinaison si variée, et il a été plus d'une fois prêt à désespérer de la réussite: mais le courage et la patience l'ont enfin emporté.

Ce n'est pas tout: ce flageolet n'occupe qu'une main; l'*automate* tient de l'autre une baguette, avec laquelle il bat du tambour de Marseille. Il donne des coups simples et doubles; fait des roulements variés à tous les airs, et accompagne en mesure les mêmes airs qu'il joue avec son flageolet de l'autre main. Ce mouvement n'est pas un des plus aisés de la machine. Il est question de frapper tantôt plus fort, tantôt plus vite, et de donner toujours un coup sec, pour tirer du son du tambour. Cette mécanique consiste dans une combinaison infinie de leviers et de ressorts différents, tous mus avec assez de justesse pour suivre l'air; ce qui serait trop long à détailler.

Nous répéterons ici ce que nous avons dit plus haut, c'est surtout sur l'emploi d'excentriques bien tracés, avec celui de cylindres à chevilles et de touches, que Vaucanson faisait reposer ses constructions.

Autres automates. Vaucanson a eu plusieurs imitateurs, parmi lesquels les frères Droz de la Chaux-de-Fonds furent les plus distingués. Plusieurs de leurs automates sont justement célèbres. L'un d'eux représente un dessinateur; un autre joue du piano, et un troisième est un écrivain. Frédéric de Knaus a également exposé à Vienne, en l'année 1760, un automate écrivain; il est maintenant dans le cabinet des modèles de l'Institut polytechnique de cette ville. Il consiste en un globe de 0m, 61 de diamètre, contenant le mécanisme, sur lequel repose une figure de 0m, 18 de hauteur, qui écrit sur une feuille de papier fixée sur un pupitre placé d'avance sur un cylindre régulateur. Au bout de chaque ligne, la figure relève la main, et la meut obliquement de manière à recommencer une nouvelle ligne.

Aucun automate compliqué, sauf, peut-être, quelques pièces de Robert-Houdin, n'a été fait de nos jours, parce que ces machines sont très-coûteuses, et qu'ayant bien-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tôt satisfait la curiosité elles cessent d'intéresser les Européens, car ils sont fort estimés par les rayahs de l'Inde, qui en donnent de très-hauts prix; les mécaniciens habiles trouvent beaucoup plus d'avantages à consacrer leur temps à la confection des machines de nos manufactures modernes. Nous pouvons noter ici, cependant, l'automate trompette de Mælzel, à Vienne, et un automate semblable de Kauffmann, à Dresde. Dans la Suisse française, plusieurs artistes continuent à faire de petits automates qu'ils réunissent à des boîtes à musique à languettes métalliques : tels sont les serins qui chantent avec des mouvements variés, de petits oiseaux, ayant quelquefois à peine 4 centimètre de longueur, qu'on place dans des tabatières et montres d'or émaillées. Certaines figures artificielles, qui ont été nommées automates, méritent à peine ce nom, puisque le charlatanisme a plus ou moins de part à leur fonctionnement. On peut ranger dans cette classe un grand nombre de figures qui parlent en apparence par mécanisme; les horloges qui commencent à sonner ou à jouer, quand une personne fait un signe en levant le doigt, etc., le joueur d'échecs de Kempelen, qui a excité la curiosité dans le dernier siècle, et qui tous fonctionnent au moyen de personnages cachés. Les ingénieuses figures des Tendler père et fils, construites à Eisenerz (Styrie), qui imitaient un cavalier anglais et des danseurs de corde, n'étaient probablement aussi pas plus de vrais automates que les *fantoccini*, marionnettes d'une grande perfection, que l'on voit dans beaucoup de villes d'Italie et particulièrement à Rome.

Le pouvoir moteur de presque tous les automates est un ressort en acier, à cause de la force qu'il possède sous un très-faible volume et de la facilité que présente son emploi. On se sert rarement de poids, et seulement d'une manière partielle; l'emploi d'autres puissances motrices est plus limité. Quelquefois du sable fin tombe sur la circonférence d'une roue par laquelle le reste du mécanisme est mis en mouvement. On a employé l'eau dans le même but; et quand elle tombe dans une chambre remplie d'air, elle peut déterminer un courant d'air suffisant pour produire dans des tuyaux convenables une série de sons musicaux; il vaut mieux dans ce cas employer des lames métalliques vibrantes. Dans des cas particuliers, on a fait usage du vif-argent, comme, par exemple, dans les magots chinois.

On construit fréquemment, pour joujoux, de petits

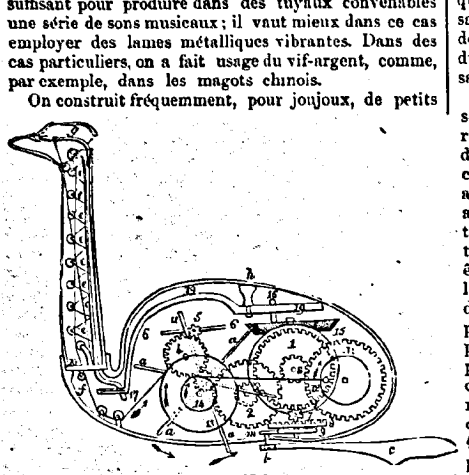


Fig. 174.

automates qui se meuvent au moyen d'un système d'engrenages à peine visibles. Cette industrie est surtout très-répandue dans la Forêt-Noire et aux environs de Nuremberg (Bavière), où elle fait l'objet d'un grand commerce. On voit (fig. 174) le mécanisme de l'un de ces automates, qui pourra donner une idée suffisante de tous les autres; cet automate est un cygne susceptible d'effectuer des mouvement variés. Pour plus de clarté dans l'explication du mécanisme, nous la diviserons en deux parties bien distinctes: la première relative au mouvement de natation du cygne; la seconde qui lui permet de plier son cou de temps à autre, au point de pouvoir plonger le bec et une partie de la tête sous l'eau, et en outre, de dandiner lentement, de côté et d'autre, son cou et sa tête.

Le barillet du ressort extérieur a une roue à rochet ordinaire, il porte une roue d'engrenage 1 qui engrène avec le pignon de la roue 2; celle-ci engrène à son tour dans un pignon, représenté sur la figure en lignes ponctuées, aux extrémités de l'axe duquel sont fixées deux roues à palettes *a*, *a*..... Ces palettes passent à travers des fentes pratiquées à la partie inférieure du cygne et plongent d'une petite quantité dans l'eau, de telle sorte qu'en tournant dans le sens indiqué par les flèches, elles font avancer le canard; les chambres dans lesquelles ces roues tournent sont séparées par des cloisons imperméables à l'eau du reste du mécanisme, afin d'en prévenir la destruction par l'action de l'humidité. Le pignon dont nous venons de parler engrène en outre avec la roue 4 qui engrène elle-même avec le pignon 5 dont l'axe porte un volant 6, qui sert à régulariser le mouvement; un arrêt mobile, qui n'est pas représenté sur le dessin, vient s'engager entre les bras du volant et permet d'arrêter la machine et de la mettre en marche à volonté. Il va sans dire qu'il faut dans ce dernier cas que le ressort soit préalablement tendu, ce qui se fait au moyen d'une clef comme dans les montres ordinaires. Par le mécanisme que nous venons de décrire, on n'obtient encore qu'un mouvement rectiligne; on produit un changement de direction au moyen du levier horizontal *m*, maintenu dans sa position par un ressort et tournant autour d'un axe vertical, qui porte une barre transversale *b*, aux extrémités de laquelle sont fixées deux pattes palmées *c*, *c*; la roue 4 engrène avec le pignon 7, et celui-ci fait mouvoir la roue de côté 8, dont l'axe porte un excentrique 9 qui, agissant sur l'extrémité du levier *m*, fait incessamment varier l'inclinaison des pattes *c*, *c*, qui servent de gouvernail. On conçoit aisément qu'on puisse produire à volonté tel mouvement que l'on voudra, en faisant varier convenablement la forme de l'excentrique.

Le cou est la partie qui réclame l'exécution la plus soignée; il doit être flexible et consiste en un tube spiral de fil de fer, recouvert de cuir très-mince, ou mieux de la peau même du cou d'un cygne, préparée et ayant conservé ses plumes. La plaque 10 qui sert de base au cou est mobile autour d'un axe horizontal parallèle au plan de la figure; elle porte un ressort d'acier maintenu à sa partie inférieure par la fourchette 17 et traversant tout le cou. Ce ressort est très-délié, et doit être seulement assez fort pour redresser sur-le-champ le cou et même le rejeter un peu en arrière; sa roideur doit varier dans toute sa longueur, de manière à correspondre à la courbure naturelle du cou de l'oiseau. A sa partie supérieure est fixée une corde à boyau *f*, qui passe sur une série de petits rouleaux en acier ou en cuivre supportés sur les châssis *e*, *e*....., fixés sur le ressort même, et qui vient enfin s'enrouler sur la gorge d'une poulie 13; l'axe de cette poulie en porte une seconde 14, sur laquelle s'enroule une chaîne légère, fixée par son autre extrémité en un point proche de la circonférence du tambour 12 monté sur l'arbre d'une roue dentée 11, qui engrène avec le pignon *s* de la roue 1. Celle-ci en tournant fait mouvoir les roues dont nous venons de parler dans le sens indiqué par les flèches, tend la corde *f* et fait ployer le cou du cygne jusqu'à ce qu'il ait le bec dans l'eau; mais aussitôt après que le tambour 14 a fait une demi-révolution à partir de la position indiquée dans la figure, le ressort du cou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commence à agir et le relève peu à peu, en ramenant en même temps les poulies 13 et 14 dans leur positon primitive.

La tête, de son côté, est liée au moyen de charnières très-mobiles à la partie supérieure du cou; un petit ressort en acier fixé au cou est lié par son extrémité à la plaque 10, par le moyen d'une corde à boyau. Cette corde est tendue dans la position naturelle, mais elle devient de plus en plus lâche au fur et à mesure que le cou se ploie, de sorte que le ressort *g* agit alors sur la tête et la courbe de manière à ce que le bec puisse entrer dans l'eau.

Enfin une roue d'angle, montée sur l'arbre de la roue 1, engrène avec la roue d'angle à axe vertical 15; celle-ci porte excentriquement une tige 16, qui se meut dans une ouverture rectangulaire ou ovale, pratiquée dans l'un des bras du levier 19, mobile autour du support *h* et dont l'autre extrémité se termine par la fourchette 17 dont nous avons déjà parlé; de sorte que la rotation de la roue 1 communiquera au levier 19, et par suite au ressort du cou et au cou de l'oiseau même, un mouvement latéral oscillatoire. Nous ferons remarquer en terminant que la fig. 174 est à peu près à l'échelle de moitié, et que le corps du cygne doit être formé en tôle mince de laiton ou de cuivre.

Les fig. 175, 176 et 177 indiquent le mécanisme

Fig. 175.

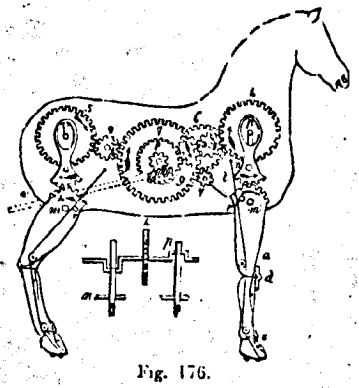


Fig. 176.

d'un autre automate : c'est un cheval qui traîne une voiture, dans laquelle sont deux personnes, et dont les roues ne sont aucunement liées au mécanisme moteur. Une roue centrale 1 fait tourner, par l'intermédiaire des pignons 2 et 3, les roues 4 et 5 dont les axes font mouvoir les pieds de l'animal. L'axe de la roue 4 est coudé en sens diamétralement inverses (fig. 176), au-dessus des pieds de devant, et chacun de ces coudes tourne dans une ouverture ovale *p* pratiquée dans l'extrémité d'un levier, mobile autour de l'axe *n*, lequel, par suite du mécanisme ci-dessus, reçoit un mouvement alternatif de rotation, qu'il communique à la cuisse *a*, mobile autour de l'axe *m*, par le moyen d'un simple engrenage indiqué sur la figure. La jambe et le sabot sont liés à la cuisse et entre elles, par des charnières *d* et *e*; enfin une chaîne *t*, guidée par des rouleaux placés au bas de la cuisse et de la jambe, est fixée d'une part à l'extrémité du sabot, et de l'autre à un point fixe situé dans l'intérieur du corps. La tension de cette chaîne est réglée par un rouleau de pression *r*, fixé non loin du centre de rotation *m*, et détermine en temps et lieu la flexion des articulations de la jambe et du sabot. Une roue dentée, montée sur l'axe de la roue 1, et engrenant avec la roue 6, qui, à son tour, engrène avec le pignon du volant 7, sert à régulariser le mouvement. Il reste encore assez de place dans l'intérieur du cheval pour y mettre, si l'on veut, le mécanisme nécessaire pour imprimer certains mouvements à la tête et aux oreilles.

a (fig. 177) est une roue dentée, montée sur le barillet d'un ressort en acier, qui engrène avec la roue dentée *b*; celle-ci porte une espèce de lanterne dont les fuseaux venant successivement frapper l'une des extré-

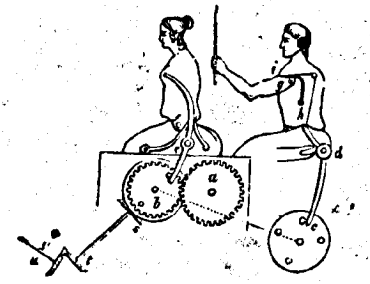


Fig. 177.

mités d'un levier coudé mobile autour du point *e*, font incliner en avant la partie supérieure du corps de la femme, mobile autour d'un axe *f*, et la font ainsi saluer. Une seconde lanterne *c*, montée également sur l'arbre de la roue *b*, et qu'on en a séparée de la figure, ainsi que l'homme, qui, dans sa position naturelle, est assis sur le même banc que la femme, agit d'une manière intermittente par les fuseaux qu'elle porte sur un levier coudé, mobile autour de l'axe *d*, à l'autre extrémité duquel une ficelle passant sur une poulie de renvoi placée près du dos et attachée à la naissance du bras en *i*, le soulève en le faisant tourner autour du point fixe *g*. Un ressort indiqué sur la figure sert à ramener le bras dans la position primitive et à empêcher qu'il ne retombe brusquement.

On peut faire marcher le mécanisme du cheval au moyen d'un ressort particulier, ou bien au moyen de celui de la voiture lequel dans ce cas doit être très-fort, ou se composer de plusieurs ressorts plus petits juxta posés dans le même barillet; dans ce dernier cas, on communique le mouvement de rotation de la roue *b* à l'axe *c*, au moyen des deux engrenages coniques *s*, *tu* (fig. 176 et 177); et cet axe à son tour se termine par une vis sans fin 9 qui, engrenant avec la roue 8 montée sur l'arbre de la roue 1, fait mouvoir tout le mécanisme.

AUTOMATIQUE. Terme employé par le docteur Ure, et adopté en Angleterre pour désigner tout système de manufactures dans lequel les produits sont fabriqués au moyen de machines agissant d'elles-mêmes, et où le rôle de l'homme se borne à une surveillance destinée à éviter les cas d'interruption du travail. C'est surtout dans les filatures de coton, de lin, etc., qu'il faut étudier l'admirable ensemble de fonctions qu'accomplissent des milliers d'organes mécaniques, mis en mouvement par une machine à vapeur ou une roue hydraulique.

L'invention de machines diverses appliquées à une industrie n'est réellement complète, que lorsqu'elle est parvenue à résoudre tous les problèmes relatifs à la création d'un même produit, et à faire se succéder toutes les opérations, de telle sorte que le travail s'accomplisse entièrement sans l'intervention manuelle de l'homme. C'est là le problème que l'industrie moderne tend chaque jour à résoudre dans toute les directions.

Il est un certain nombre d'opérations industrielles auxquelles le système automatique paraissait difficile-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nt applicable: ce sont celles qui ont rapport à la
orication de produits discontinus par leur nature
me. La fabrication des cardes, par exemple, se com-
se du placement dans les trous percés dans un cuir
ne infinité de petits bouts de fil de fer recourbés
avenablement, et il paraît bien difficile d'effectuer
canîquement ces opérations. On est pourtant par-
nu à résoudre ce problème d'une manière complète
à opérer le travail par un procédé automatique.
Cette machine et celles qui sont inventées chaque
ur pour effectuer des opérations multiples mais toujours
mêmes, qui, par leur nature, paraissent devoir être
elles à la continuité du travail, peuvent être conçues,
ant à leur ensemble, de ce point de vue :
Un mouvement de rotation continu étant imprimé à
ou plusieurs axes par une manivelle ou tout autre
oyen, des excentriques montées sur ces arbres imi-
ment des mouvements alternatifs à des pièces gui-
es dans leur course rectiligne ou à des leviers coudés
illant autour de leur axe, de manière à répéter
urs opérations, dont les petits mouvements rempla-
nt les doigts de l'ouvrier. On peut établir comme
montré aujourd'hui par l'expérience des machines à
uter les cardes, à faire les pointes, etc., qu'il est tou-
urs possible de créer par ce procédé entièrement au-
matique des produits de ce genre, pourvu toutefois,
général, que la matière puisse être fournie d'une
nière continue, ce qui est facile, par exemple, dans
machines que nous avons prises pour exemple, en
servant de fil de fer enroulé sur des bobines.
En se plaçant à un point de vue un peu élevé et en tenant
mpte de la gratuité du travail des forces naturelles
oy. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE), c'est un admirable
ogrès que de parvenir presque entièrement à faire
complir, par les forces naturelles, les travaux les
us compliqués et les plus délicats; et on conçoit
sément la part immense que doit avoir l'indus-
e dans la puissance des nations et le bien-être
genre humain, lorsqu'elle proportionne ses résultats
n plus à l'effort musculaire des hommes, mais qu'elle
duit leur rôle à surveiller le travail des doigts méca-
ques mis en mouvement par un moteur hydraulique
une machine à vapeur, agissant avec précision et
gularité, et dont l'exactitude, pour ainsi dire mathé-
atique, frappe d'étonnement et d'admiration, celui qui,
r exemple, visite pour la première fois un grand atelier
filature mécanique.
Ce grand progrès qui fait époque dans l'industrie, est
incipalement dû au génie mécanique de *Arkwright*,
i le premier eut la gloire de combiner le *système au-
matique* de la filature du coton. Lors de l'introduction
son système en 1770, les manufactures anglaises ne
nsommaient pas annuellement en coton 2,000,000^{k}, et
Europe entière 5,000,000^{k}; tandis qu'en 1859, cette
nsommation est montée pour les îles Britaniques seu-
ment, à 443,000,000^{k}. Dans des manufactures spa-
enses, la puissance de la vapeur fait mouvoir des
yriades d'ouvriers mécaniques, à chacun desquels
st assignée une tâche régulière, substituant ainsi à de
énibles efforts musculaires l'énergie de ses bras gigan-
esques, et ne demandant seulement, en retour, qu'un
eu d'attention et de dextérité de la part du surveillant
our corriger les petits accidents qui se présentent acci-
entellement pendant le travail. De magnifiques établis-
ements surpassant, par leur nombre, leur valeur, leur
tilité et l'habileté dans leur construction tous les vains
nonuments de l'antiquité, élevés dans le court espace
l'un demi-siècle, d'où sortent chaque jour des quantités
mmenses d'objets utiles, viennent nous montrer jusqu'à
uel point l'industrie et les sciences peuvent augmen-
er la richesse générale.
Tel est le système automatique, si plein de prodi-
ges en mécanique et en économie politique, et qui est
devenu l'élément le plus puissant des progrès de la
civilisation matérielle du monde moderne. Nous en di-
rions trop long si, à propos de cet élément fondamental
du développement immense de l'industrie en un siècle,
nous voulions entrer dans l'indication des résultats
matériels et intellectuels qui en ont été la conséquence.

AVANCE DU TIROIR. Dans toute machine à va-
peur, dit Lamé dans un intéressant rapport sur un
travail de Clapeyron, où l'histoire et la théorie
de l'avance du tiroir dans les machines à vapeur sont
fort bien traitées, une des faces du piston, dans une
double oscillation qui correspond à une révolution
complète du volant, traverse quatre périodes distinctes,
dont les durées relatives ont une influence sur le
travail transmis. Lors de la première, la face du pis-
ton est en communication avec la vapeur dans la chau-
dière et marche en général dans le sens de la pression
qu'exerce cette vapeur. Plus tard, la communication
avec la chaudière est interrompue; la vapeur renfer-
mée entre le piston et l'appareil distributeur agit par
détente; c'est la deuxième période. La troisième com-
mence à l'instant où la communication s'ouvre, soit
avec le condenseur, soit avec l'atmosphère, et finit au
moment où cette communication est interrompue; le
mouvement du piston est alors ordinairement rétro-
grade. Enfin la quatrième période s'étend depuis le mo-
ment où la communication se ferme avec le condenseur
jusqu'à celui où la communication s'ouvre avec la chau-
dière; pendant cet intervalle de temps, la vapeur, d'a-
bord à la pression du condenseur, reste emprisonnée
entre le piston et l'appareil de distribution, et peut
même éprouver une certaine compression. Pour simpli-
fier, nous appellerons ces quatre périodes: *période d'ad-
mission*, *période de détente*, *période d'échappement* ou *d'é-
vacuation*, enfin *période de compression*.

Si l'on représente par une ligne droite, considérée
comme axe des abscisses, l'espace décrit par le piston;
si l'on élève des ordonnées représentant chacune la
pression éprouvée en son lieu par la face du piston que
l'on considère, tant lors du mouvement direct que lors du
mouvement rétrograde, les extrémités de ces ordonnées
décriront une courbe rentrante ou un polygone fermé,
et le travail transmis par la vapeur sera représenté par
l'aire de ce polygone

Cela posé, le meilleur règlement du tiroir ou la meil-
leure distribution sera réalisée, si l'on peut rendre l'aire
dont il s'agit un maximum pour une même quantité de
vapeur fournie par la chaudière. C'est le but que M. Cla-
peyron s'est proposé d'atteindre par de nombreuses re-
cherches théoriques et pratiques dirigées particulière-
ment sur les machines locomotives. Mais avant d'ex-
poser le résultat de ses travaux, il importe de rappeler
à quel point on était la question quand il l'aborda à
son tour.

Avant lui la plupart des constructeurs de machines
locomotives étaient dans l'habitude de donner à la par-
tie de la paroi du tiroir qui forme une sorte de soupape
glissante, et que l'on désigne dans les ateliers par l'ex-
pression singulière de *bride du tiroir*, une largeur ou
épaisseur précisément égale à la lumière de communica-
tion avec le cylindre. Par cette disposition primitive,
lorsque le piston est à l'extrémité de sa course, le tiroir
est au milieu de la sienne, et sa bride recouvre exacte-
ment la lumière. La période d'admission dure alors tout
le temps du trajet direct du piston; la période de dé-
tente est nulle; la période d'échappement dure autant
que le mouvement rétrograde du piston; enfin la pé-
riode de compression est nulle.

Le polygone fermé, dont l'aire représente le travail
transmis quand on néglige la contre-pression reconnue
plus tard, se réduit alors à un rectangle dont les côtés
horizontaux sont la course même du piston, et dont les
côtés verticaux représentent la différence entre la ten-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AVANCE DU TIROIR.

sion initiale de la vapeur et la pression dans le condenseur ou l'atmosphère. C'est au reste la traduction géométrique de la formule admise dans la théorie ordinaire de la machine à vapeur sans détente.

Mais les praticiens avaient reconnu depuis longtemps que la machine locomotive gagne en puissance et économise en combustible, lorsque, sans rien changer au tiroir, on fait tourner à demeure l'excentrique qui dirige son mouvement sur l'essieu coudé, de telle sorte que l'admission de la vapeur et son évacuation, au lieu de commencer précisément au moment où le piston atteint le point mort, précèdent cet instant d'une certaine quantité. Cette disposition s'était introduite dans les ateliers sous le nom d'*avance du tiroir*. Elle était établie sur les machines locomotives importées d'Angleterre en 1837 pour le service du chemin de fer de Saint-Germain.

L'explication des avantages qui résultent de cette disposition n'était pas un mystère : on savait que l'avance du tiroir a pour effet de diminuer l'influence de la compression qui, dans le règlement sans avance, a lieu pendant tout le temps qui s'écoule entre l'ouverture de la lumière d'échappement et l'instant où l'équilibre de pression s'établit entre la vapeur qui a accompli son travail et le condenseur ou l'atmosphère. En outre, on s'était aperçu que l'*avance* introduisait la vapeur sur une des faces du piston avant que cette face eût atteint le fond du cylindre, et l'on avait paré à cet inconvénient en accroissant la bride de quelques millimètres du côté de la chaudière, ou en lui donnant un faible recouvrement extérieur. L'avance du tiroir est mentionnée dans la première édition de l'ouvrage de M. Pambour sur les locomotives.

Plus tard cette disposition a été l'objet de recherches approfondies dans l'ouvrage intitulé : *Guide du Mécanicien*, publié en 1840, par MM. Flachat et Pétiet. Ces ingénieurs conseillent de régler les machines locomotives de telle sorte, que la vapeur s'introduisant un moment avant que le piston ait changé de mouvement, commence à s'échapper lorsque la manivelle a encore 23 degrés à parcourir pour atteindre le point mort; la vapeur n'est alors introduite que pendant les 0,87 de la course du piston. MM. Flachat et Pétiet ont fait ressortir les avantages qui résultent de cette économie de vapeur; ensuite, à l'aide d'hypothèses plausibles et d'une méthode de calcul approximative, ils ont cherché à découvrir la loi de la pression variable que conserve la vapeur durant l'échappement, et à représenter par des nombres le bénéfice que l'on trouve à faire tourner au profit du travail utile cette même pression qui, dans le règlement sans avance, en consomme inutilement une portion très notable. Mais, à l'imitation des constructeurs, MM. Flachat et Pétiet s'étaient trop arrêtés dans la voie du progrès signalé par de premiers succès pratiques, et qu'ils avaient eux-mêmes contribué à éclaircir et à répandre.

Jusque-là on s'était uniquement occupé de l'idée d'ouvrir la communication avec l'atmosphère ou le condenseur, avant que le piston ait atteint le terme de sa course. Le recouvrement du tiroir, du côté extérieur, avait pour but de n'introduire la vapeur que dans le voisinage du point mort. On avait remarqué, il est vrai, que ce recouvrement donnait naissance à une véritable détente; mais, tout en reconnaissant cet avantage, on le regardait comme une conséquence heureuse de la disposition adoptée, et l'on ne faisait aucun effort pour l'accroître.

C'est en cela que les dispositions proposées et appliquées par M. Clapeyron, se distinguent nettement du mode de règlement connu sous le nom d'avance du tiroir. La détente, acceptée jusqu'à lui comme une conséquence, il se l'est proposée comme un but, et il est effectivement parvenu à l'accroître notablement sans employer aucun nouvel appareil, et sans rien changer aux conditions essentielles de l'admission et de l'échappement de la vapeur.

Revenons maintenant aux quatre périodes que nous avons distinguées dans le mouvement direct et rétrograde de l'une des faces du piston. Il est évident, à priori, que la période d'admission doit avoir son origine au moment où le piston commence sa course, et se terminer lorsque la quantité de vapeur introduite est celle que comporte la puissance évaporatrice de la chaudière. La période de détente, au premier abord, semble se terminer à l'instant où la vapeur dilatée n'a plus qu'une tension égale à la pression de l'atmosphère ou à celle du condenseur; mais ici interviennent deux considérations pratiques qu'on ne saurait abstraire : d'abord on ne peut accroître outre mesure les dimensions du cylindre, et ensuite, pour les locomotives, il faut conserver à la vapeur s'échappant dans l'atmosphère une pression suffisante pour accélérer son évacuation, ou, comme le croient les praticiens, pour opérer convenablement le tirage; afin de tenir compte de ces restrictions, on peut dire que la période de détente doit avoir lieu pendant la plus grande fraction possible de la course du piston. La période d'échappement doit se terminer à l'instant même où la face du piston que l'on considère a atteint le terme de son mouvement direct; néanmoins on peut avec avantage sacrifier quelque chose de la rigueur de ce principe dans le but de diminuer la capacité du cylindre, et assigner pour condition, que la troisième période se termine lorsque le piston, dans son mouvement rétrograde, ne s'est encore éloigné que fort peu du point mort. Enfin la période de compression doit se terminer à l'instant où le piston achève sa double course.

Telles sont les conditions que doit remplir une bonne distribution. On peut y satisfaire à l'aide de plusieurs appareils connus depuis longtemps, et qui ont l'avantage de procurer une détente variable; mais ces appareils ajoutent une nouvelle complication dans la locomotive, où une extrême simplicité est plus désirable encore que pour toute autre machine à vapeur. Or, l'appareil ordinaire de distribution nommé *tiroir* renferme plusieurs éléments indéterminés; ne serait-il pas possible d'en disposer, de manière à remplir les conditions que nous venons d'énoncer sans ajouter aucun nouveau mécanisme? voilà le problème que s'est posé M. Clapeyron.

Mais pour satisfaire à quatre conditions, il faut pouvoir disposer de quatre variables; l'appareil de distribution les fournit-il? c'est ce qu'il importe d'examiner. Supposons le tiroir au milieu de sa course; la lumière qui communique avec le cylindre est alors recouverte par la bride du tiroir qui, dans le cas le plus général, dépasse la lumière des deux côtés : du côté de la vapeur, cet excédant porte le nom de *recouvrement extérieur*; du côté du condenseur ou de l'atmosphère, on peut l'appeler *recouvrement intérieur*. Ces deux recouvrements sont à la disposition du constructeur. Ce n'est pas tout : l'excentrique qui commande le tiroir peut être diversement placé par rapport au bras de la manivelle; voilà une troisième variable dont on peut encore disposer, mais là cesse toute indétermination. Ainsi il n'existe que trois variables pour satisfaire à quatre conditions : ces trois variables sont : le recouvrement extérieur, le recouvrement intérieur, et l'angle qui fixe l'axe de l'excentrique.

Des quatre conditions à remplir il fallait donc en sacrifier une, et conséquemment rechercher avec soin les trois conditions qui influent le plus sur la marche de la machine. La discussion nécessaire pour atteindre ce but fait partie du mémoire de M. Clapeyron. Nous devons nous borner ici à indiquer les résultats pratiques auxquels cet ingénieur a été définitivement conduit.

Dans la machine le *Creuzot*, sur laquelle eurent lieu

EFÈRUS - Recherche & Classification numérique

es premières expériences, et dont le nouveau méca-isme fut commencé en mai 1840, le recouvrement xtérieur fut porté à 0m,003 ou au quart de la course u tiroir, le recouvrement intérieur à 0m,018, et l'angle ompris entre l'axe de la manivelle et celui de l'excen-rique à 55 degrés. Avec ces dispositions, et comme auteur le fait voir à l'aide d'une construction géomé-rique fort simple, la période d'admission cesse quand piston a parcouru les 0,7 de sa course. La période de étente finit aux 0,96, la manivelle faisant alors un ngle de 19° avec la position correspondante au point ort. La période d'évacuation dure jusqu'à ce que le iston ait atteint les 0,79 de sa course rétrograde. Là ommence la période de compression qui se termine au oment où la communication avec la chaudière s'ouvre e nouveau, et lorsque le piston a presque atteint le oint mort, la manivelle n'en étant séparée que d'un ngle de 6°.

M. Clapeyron admet dans son Mémoire que, dans la uatrième période, la vapeur, d'abord à la pression du ondenseur, peut se comprimer sans se liquéfier, à cause e la haute température que doivent conserver les pa-ois du cylindre dans les locomotives. Il était à désirer ue ce fait remarquable fût vérifié par des expériences irectes. C'est ce que vient de faire M. Clapeyron, à aide de l'indicateur de Watt : la courbe tracée par instrument justifie toutes ces prévisions.

Cette compression, dont l'existence est maintenant onstatée, semble au premier abord devoir réduire le ravail utile de la vapeur employée, et il paraît même ue cette considération a empêché les constructeurs 'augmenter convenablement les recouvrements du ti-oir. Mais, comme le fait observer M. Clapeyron, il n'y ura inconvénient que si la vapeur comprimée acquiert ne tension supérieure à celle de la chaudière : si cette imite n'est pas dépassée, et seulement atteinte, il arri-era qu'au commencement de la période d'admission, espace que le piston laisse libre à l'extrémité du cylin-re, et les conduits qui y aboutissent, renfermeront un luide à la pression de la chaudière; la consommation era donc réduite du poids de la vapeur qui, dans l'hypo-hèse ordinaire, eût dû remplir ces espaces, auxquels n pourra toujours donner une capacité suffisante pour u'il en soit ainsi.

Si l'on compare la disposition adoptée par M. Cla-eyron à ce qui avait été fait par ses devanciers, on emarquera qu'il ne change rien aux époques où doivent ommencer les périodes d'admission et d'échappement, nais qu'il profite d'une indétermination qui reste en-ore pour accroître la détente dans des limites pratiques. Le succès obtenu dans la machine le *Creuzot* le orta à pousser plus loin encore la détente dans d'autres ocomotives, où la vapeur est maintenant interceptée aux 0,65 de la course du piston.

Dans le matériel des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), le nombre des locomoti-es modifiées d'après cette théorie monte actuellement à treize. Le diamètre des cylindres a été porté de 13 pouces à 15 pour sept de ces machines, et de 11 pou-ces à 13 pour les six autres. Dans toutes, l'effet utile s'est accru de 40 à 50 p. 100. La consommation a été réduite, mais cette diminution doit être attribuée en par-tie à d'autres causes que l'emploi de la détente. Le mode de distribution ou de *détente fixe*, inventé par M. Cla-peyron, s'est introduit, depuis plus de deux ans, dans la plupart des ateliers où l'on construit et répare les lo-comotives.

Avant ce perfectionnement, les fortes locomotives du chemin de Versailles (rive droite) ne pouvaient franchir la rampe de $\frac{1}{200}$ qui existe sur 18 kilom. du parcours total, qu'avec un convoi de huit wagons. Au-jourd'hui les mêmes machines, modifiées d'après la théorie actuelle, sans consommer une plus grande quan-tité de vapeur, conservent la vitesse normale de 4 myr-iamètres à l'heure, en tête d'un convoi de douze wa-gons, d'un poids total de 73 tonnes, et cela sur une rampe ascendante, que son inclinaison et surtout sa longueur, rendaient très difficile à gravir.

Certes, il y a lieu de s'étonner qu'un résultat aussi important que celui d'augmenter de 40 à 50 p. 100 le travail utile d'une même quantité de vapeur ait été ob-tenu par quelques millimètres de plus donnés aux recou-vrements du tiroir, appareil qui occupe une si petite place dans une locomotive. On pourrait être surpris, surtout, que le bénéfice énorme qui résulte d'une modi-fication aussi simple, et qui peut s'appliquer à toutes les machines à vapeur, eût été découvert si tard. Mais des recherches intéressantes faites récemment par M. Clapeyron, et qu'il nous a communiquées, établis-sent que l'importance du règlement du tiroir avait été pressentie avant 1805 par Watt lui-même; qu'une pra-tique s'en était suivie dans ses ateliers, pratique con-servée mystérieusement, et en quelque sorte comme une propriété exclusive, par les constructeurs anglais, élèves de cet illustre maître; que vers 1836, des ingé-nieurs de la marine française, en recevant et essayant les machines importées d'Angleterre pour les bateaux à vapeur de l'État, ont reconnu les avantages du mode de distribution adopté dans ces machines; que l'un d'eux, M. Reech, en a fait une étude approfondie, et a rédigé sur ce point un travail important, qui a fait grand honneur à cet ingénieur. D'autres renseignements font voir que, depuis 1840, les ingénieurs des chemins de fer anglais ont été conduits à un mode de règlement de tiroirs, dans les locomotives, qui présente une grande analogie avec les dispositions adoptées par M. Clapeyron, mais qui en diffère par plusieurs points essentiels.

Pour trouver la date des premiers efforts tentés dans le but d'opérer un vide moins imparfait derrière le pis-ton, avant qu'il retourne sur ses pas, il faut donc re-monter jusqu'à l'illustre Watt. Cette origine est mise hors de doute par la copie d'un dessin communiqué à M. Campaignac, ingénieur de la marine, par M. Miller, célèbre constructeur anglais. Ce dessin est dressé d'a-près les indications de Watt, et porte la date de 1805; il fait voir que, dès cette époque, Watt avait reconnu la convenance de déterminer les dimensions du tiroir et la position de l'excentrique, de manière à interrompre l'ad-mission de la vapeur aux 0,87 de la course du piston, et à ouvrir la communication avec le condenseur lors-que le bras de la manivelle a encore 24° 1/2 à par-courir avant d'atteindre le point mort.

Cette méthode fut conservée dans l'établissement de Watt et Bolton, à Soho, où M. Miller la recueillit vers 1814 ou 1815. Un petit nombre d'autres construc-teurs en eurent connaissance par la même voie; et cet utile perfectionnement, dû au génie de Watt, resta pen-dant longtemps la propriété exclusive de quelques-uns de ses élèves.

Lorsque la marine française, après avoir importé d'Angleterre les premières machines destinées à l'arme-ment de ses bâtiments à vapeur en eut fait construire d'autres, sur les mêmes modèles, dans les établissements français, on fut frappé de la différence des effets obtenus avec ces diverses machines, en apparence identiques. Avec les appareils français, la production de vapeur était insuffisante, le nombre des coups de piston moin-dre, et les bâtiments marchaient moins vite, quoi-que la consommation en combustible fût plus considé-rable.

Il fut enfin reconnu que cette différence d'effets te-nait uniquement à la *régulation des valves glissantes*, ou au règlement des tiroirs : les appareils anglais arrê-tant l'admission de la vapeur aux 0,8 et même aux 0,7,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tandis que dans les machines françaises cette admission se prolongeait jusqu'à la fin de la course du piston.

Ce résultat est principalement dû à des recherches suivies avec persévérance par M. Reech, ingénieur de la marine. Dans un rapport adressé, le 7 décembre 1836, au ministre de la marine, M. Reech fait voir que l'infériorité des appareils français disparaîtrait si, par un simple déplacement du *toc* qui fixe la position de l'excentrique sur l'arbre de la manivelle, on arrêtait l'introduction de la vapeur entre les 0,7 et les 0,8 de la course d piston.

Depuis, de nouvelles expériences faites à Lorient, pour recevoir les paquebots-postes de la Méditerranée, et d'autres expériences entreprises, en 1837, à Lorient et à Indret, sur les bâtiments à vapeur de la marine royale, ayant confirmé ses assertions antérieures, M. Reech revit ses calculs, les rendit plus complets, et en composa un Mémoire qu'il adressa à l'Académie avant le 1er mai 1838, et qu'il retira en juin 1839 pour le remettre au ministère de la marine.

L'un des résultats les plus saillants, renfermés dans le travail de M. Reech, est compris dans l'énoncé suivant :

« Dans les machines à vapeur à basse pression, disposées et proportionnées comme celles du *Sphinx* (bâtiment de l'Etat), avec un tiroir qui doit fermer l'entrée de la vapeur aux 0,9 de la course, si l'on avance ou recule le toc de l'excentrique sur l'arbre moteur, de manière à faire varier le point de fermeture du tiroir depuis les 0,8 jusqu'à la course entière, toute chose restant égale d'ailleurs, le travail utile, loin d'être proportionnel à la vapeur dépensée, est au contraire à son minimum quand la fermeture a lieu à la fin de la course, et croît rapidement à mesure que l'on donne moins de vapeur, jusqu'à ce que la fermeture ait lieu vers les 0,854. A cette fraction d'introduction correspond le maximum absolu de puissance. Pour une moindre fraction, la puissance diminue en même temps que la dépense, mais le rapport de cette puissance à la consommation ne cesse pas d'aller encore en augmentant. »

Ce n'est pas ici le lieu d'analyser le savant Mémoire de M. Reech (voyez BATEAUX A VAPEUR), les détails qui précèdent suffisent pour constater l'antériorité de ses recherches en ce qui concerne les machines établies sur les bâtiments à vapeur.

Relativement aux machines locomotives, divers articles insérés dans le *Rail-way magazine* prouvent que les ingénieurs anglais ont successivement modifié le règlement des tiroirs de manière à obtenir en dernier résultat une économie de combustible, que M. Wood évalue à 30 p. 100. La disposition définitivement adoptée ne paraît pas remonter au-delà du mois d'août 1840 ; elle fut établie l'année suivante sur plusieurs locomotives du chemin de fer de Liverpool à Manchester. Depuis, cette méthode s'est étendue dans toute l'Angleterre et sur le continent.

De son côté, M. Clapeyron était arrivé à un résultat analogue par une voie théorique, et dès le mois de mai 1840, il établissait ses nouvelles dispositions sur la machine *le Creusot*. Toutefois, quoique ces deux perfectionnements s'appuient évidemment sur le même principe, ils diffèrent quant à leurs applications : les ingénieurs anglais ont pris pour but l'économie du combustible ; M. Clapeyron s'est proposé d'accroître la puissance de ses machines sans augmenter la consommation.

Les méthodes nouvelles se distinguent en outre sur deux points essentiels : les constructeurs anglais n'interceptent pas la vapeur avant les 0,7 de la course du piston ; M. Clapeyron adopte la limite de 0,65. Les premiers, dans toutes leurs machines à vapeur, suppriment complétement le recouvrement intérieur, tandis que M. Clapeyron regarde les deux recouvrements comme étant indispensables dans ses locomotives ; la nécessité de les conserver résulte pour lui d'expériences comparatives qu'il a citées dans son Mémoire.

Au reste, la question du recouvrement intérieur, ou, ce qui revient au même, celle de l'angle sous lequel commence l'échappement, se lie au temps que met la vapeur à perdre son excès de pression. Cet angle doit être plus petit lorsque les lumières d'évacuation sont plus larges, plus grand lorsqu'elles sont plus étroites. Or M. Clapeyron, en faisant construire ses nouveaux cylindres, a notablement accru la largeur des conduits de vapeur, et cette circonstance paraît expliquer l'avantage constaté d'un recouvrement intérieur dans ses machines, en opposition avec la méthode anglaise.

Tels sont les faits historiques relatifs à la régularisation des organes distributeurs dans les machines à vapeur. Il est remarquable qu'en Angleterre et en France, des hommes de pratique et de théorie soient ainsi arrivés à des résultats à peu près identiques, qu'il s'agisse de machines fixes, d'appareils pour les bâtiments à vapeur ou de locomotives, sans que, comme tout porte à le croire, il y ait eu aucune liaison entre leurs travaux. Quand on pense à l'époque reculée à laquelle remonte la pratique de Watt, on se demande comment une disposition aussi simple, et qui, employée avec intelligence, peut ajouter 40 à 50 p. 100 au travail utile d'une quantité donnée de combustible, a pu rester pendant près d'un demi-siècle le secret d'un petit nombre de constructeurs. Nous voyons là un motif de se féliciter que l'Académie ait approuvé les conclusions du rapport. La publicité donnée au travail de M. Clapeyron a contribué à répandre des notions utiles, et provoqué des recherches nouvelles, indispensables pour éclaircir plusieurs points qui restaient encore obscurs, tels que : la limite de la détente possible, sans l'emploi d'un appareil spécial ; la nécessité absolue ou relative du recouvrement intérieur ; enfin, la possibilité de s'opposer à toute perte de force qui proviendrait de la compression, en donnant des dimensions convenables à l'espace libre du cylindre et aux conduits de vapeur.

Nous étudions les dispositions propres à produire la détente dans toute espèce de machines à vapeur, locomotives ou autres, au mot DÉTENTE, mode d'action de la vapeur qui a donné lieu à une grande économie sur le combustible.

AVOINE (*angl.* oats, *all.* hafer). La composition de l'avoine a été moins étudiée que celle des autres céréales ; suivant Vogel, elle fournit moyennement sur 100 parties : 66 de farine et 34 de son, et la farine est composée sur 100 parties de :

Huile grasse d'un jaune verdâtre. . .	2,00
Matière extractive légèrement amère. .	8,20
Gomme.	2,50
Substance grisâtre, ressemblant plus à l'albumine qu'au gluten.	4,30
Fécule.	59,00
Eau et perte.	24,00
	100,00

Schrœder a trouvé dans les cendres de l'avoine de la silice, des carbonates de chaux et de magnésie, de l'alumine et des oxydes de fer et de manganèse.

AZOTATES. Nom donné aux nitrates par quelque chimistes (voyez NITRATES).

ACIDE AZOTIQUE. Nom donné à l'acide nitrique par quelques chimistes (voyez acide NITRIQUE).

AZOTE. Corps gazeux, permanent, incolore, sans odeur ni saveur, qui éteint les corps en combustion et n'est pas susceptible d'entretenir la respiration ; sa densité par rapport à celle de l'air est de 0,976, de sorte qu'un litre de ce gaz, sous la pression barométrique de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

0m,76 de mercure et à la température de 0° pèse 1k,267. Il forme en volume 0,782 de l'air et se dégage en abondance de certaines sources minérales, par exemple, à *Lenk*, près du Gemmi (Suisse) et en quelques endroits dans les Pyrénées, l'île Ceylan et les deux Amériques. En chauffant dans une cornue du nitrite d'ammoniaque ($Az^2 O^3 + Az^2 H^6 + H^2 O$), il se forme de l'eau ($4 H^2 O$) et de l'azote ($4 Az$) qui se dégage. On peut également l'obtenir en brûlant du phosphore sous une cloche pleine d'air et renversée sur de l'eau, dans une cuve pneumatique; le phosphore en brûlant absorbe tout l'oxygène, et il ne reste que de l'azote que l'on peut purifier en l'agitant avec une dissolution de potasse caustique ou de l'eau de chaux, qui s'emparo de l'acide phosphorique formé pendant la réaction et de la petite quantité d'acide carbonique contenue primitivement dans l'air. Le procédé le plus simple pour préparer l'azote parfaitement pur, consiste à faire passer un courant d'air d'abord à travers une dissolution concentrée de potasse caustique où il se dépouille de l'acide carbonique qu'il renferme, puis à travers un tube plein de chlorure de calcium qui s'empare de toute la vapeur d'eau qu'il contenait, et enfin à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge et rempli de tournure de cuivre, d'abord oxydée par un grillage préalable, puis réduite à l'état métallique par un courant d'hydrogène; le cuivre absorbe l'oxygène de l'air et s'oxyde, de sorte qu'il ne s'échappe du tube que de l'azote sec et parfaitement pur, que l'on peut recueillir sous une cloche remplie d'eau ou de mercure.

L'azote n'est pas susceptible de se combiner directement avec l'oxygène; cependant il forme avec lui cinq composés remarquables : le *protoxyde d'azote*, le *deutoxyde d'azote* et les acides NITREUX, HYPO-NITRIQUE et NITRIQUE. Il se combine également avec l'hydrogène pour donner un composé alcalin très important, l'AMMONIAQUE, dont nous avons déjà parlé.

Protoxyde d'azote. Gazeux, inodore, d'une saveur sucrée très sensible; les bougies y brûlent ou s'y rallument presque aussi bien que dans l'oxygène, pourvu toutefois qu'elles offrent seulement quelques points en ignition. La respiration de ce gaz produit sur quelques individus une sorte d'ivresse et d'excitation analogues à celles que procurent les spiritueux, à d'autres elle occasionne de violents maux de tête, et, dans tous les cas, si la quantité de gaz inspiré était considérable, elle donnerait lieu à une asphyxie. La densité de ce gaz, par rapport à celle de l'air, est de 1,527, de sorte qu'un litre pèse 1k,98. Il se compose de 2 volumes d'azote et de 1 vol. d'oxygène, condensés en 2 vol., ou en poids de :

Azote.	63,64	$Az^2 O$.
Oxygène.	36,36	
	100,00	

l'eau en dissout son volume; on peut le liquéfier sous une pression très considérable. On le prépare en décomposant par la chaleur le nitrate d'ammoniaque $Az^2 O^6 + Az^2 H^6 + H^2 O$; il se forme de l'eau $4 H^2 O$, et du protoxyde d'azote $2 Az^2 O$. Il se produit également, mélangé d'une quantité plus ou moins considérable de deutoxyde d'azote dans la réaction de l'acide nitrique concentré sur beaucoup de substances et particulièrement certains métaux.

Deutoxyde d'azote. Gazeux incolore; sa densité est de 1,039, de sorte qu'un litre de ce gaz pèse 1k,340; du moment qu'il arrive en contact avec l'air, il en absorbe l'oxygène en donnant naissance à des vapeurs nitreuses rouges excessivement corrosives et irritantes; il est composé de volumes égaux d'azote et d'oxygène sans condensation ou en poids de :

Azote.	47	$Az^2 O^2$
Oxygène.	53	
	100	

On se procure aisément le deutoxyde d'azote en traitant de la tournure de cuivre par de l'acide nitrique étendu de la moitié de son poids d'eau, et recueillant le gaz qui se dégage dans une cloche pleine d'eau, purgée d'air par l'ébullition, ou de mercure, et renversée sur une cuve pneumatique.

On peut représenter cette réaction par l'équation suivante :

$4 Az^2 O^6$ (acide nitrique), $+ 3$ Cu (cuivre métallique), $= 3 [Az^2 O^6 + Cu O]$ (nitrate de cuivre), $+ Az^2 O^2$ (deutoxyde d'azote). Ce même gaz se produit également en grande quantité dans la réaction de l'acide nitrique sur beaucoup de substances : par exemple, le fer, le mercure, l'argent, le phosphore, le sucre, l'amidon, etc.; mais souvent, si la réaction est trop violente, comme dans le cas où l'on verse de l'acide nitrique concentré sur de la tournure de cuivre, il se dégage en même temps une quantité considérable de protoxyde d'azote.

Une propriété caractéristique du deutoxyde d'azote, sur laquelle est fondé le procédé le plus sensible que l'on connaisse pour reconnaître la présence de l'acide nitrique, consiste dans la faculté qu'il possède d'être complétement absorbé par les sels de protoxyde de fer qu'il colore en noir-violacé très foncé.

AZOTÉ. Se dit de certaines substances végétales, qui, contenant de l'azote, sont supposées participer en même temps de la nature animale; la plupart des corps animaux étant caractérisés par la présence de beaucoup d'azote dans leur composition. Les produits végétaux, indigo, café, gluten et plusieurs autres, contiennent de l'azote en abondance.

AZUR. Voyez COBALT.

B

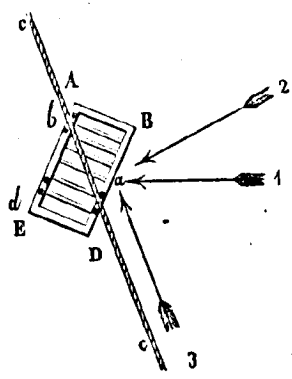
BAC. Bateau plat employé pour passer d'une rive à l'autre d'un fleuve, là, où il n'y a point de pont. Un bac doit satisfaire aux conditions suivantes : 1° Facilité d'embarquer et de débarquer malgré les variations de la hauteur des eaux qui déplacent les points de départ et d'arrivée; 2° tirer peu d'eau; 3° présenter une grande solidité. Il en résulte que l'on donne aux bacs une forme rectangulaire; les parois latérales sont parallèles et verticales; et l'avant et l'arrière sont inclinés de part et d'autre parallèlement au chemin qui amène les voitures; de telle sorte que la section longitudinale est un trapéze renversé et très surbaissé. Aux deux extrémités sont de petits planchers ou *tabliers*, mobiles autour de charnières horizontales, qui peuvent être abaissés ou levés à volonté, à la manière des PONT-LEVIS; on les maintient levés tant que dure la traversée, mais lorsqu'on a atteint le bord, on rabat sur le rivage le tablier correspondant, ce qui forme un plancher solide, qui facilite l'entrée et la sortie des voitures et des bestiaux.

Ce n'est pas à l'aide d'avirons ou de perches qu'on pourrait diriger, au travers du courant, un bateau aussi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chargé et aussi grand que l'est un bac ; on se sert de la force même du courant, en dirigeant le bateau au moyen d'une corde attachée, soit sur les deux bords, soit au milieu du passage ; dans ce dernier cas l'ensemble du bateau et de la corde qui le retient porte le nom de *traille*.

Dans les cours d'eau peu rapides, on tend une corde ou *grelin*, d'un bord à l'autre, au moyen d'un cabestan, et on en arrête les bouts sur deux pieux solidement enfoncés dans la grève. Cette corde ne peut traverser d'une rive à l'autre qu'en s'enfonçant dans l'eau durant une grande partie de sa longueur, puisque sans cela elle empêcherait la navigation. On fait passer cette corde *c*, d'un côté sur un cylindre vertical *a* (fig. 183) mobile sur son axe qui est fixé sur l'un des flancs BD du bac en son milieu, et de l'autre dans une encoche *b* située près de l'une des extrémités du flanc opposé. L'effort du courant qui est dirigé suivant la flèche 1, se décompose en deux ; la force 2 normale au câble directeur, qui est détruite par la résistance de ce câble ; et la force 3 perpendiculaire à la première, qui tend à faire glisser le bac dans le sens du câble directeur suivant le sens indiqué par la flèche. A moins que les eaux ne soient très fortes, le courant ne suffit pas seul pour opérer le trajet ; et même, quand il le pourrait, il le ferait lentement ; aussi y a-t-il toujours un ou deux bateliers qui hâlent sur le câble en allant de *b* vers *a*, pour accélérer la traversée. Arrivé près du rivage, le batelier soulève la corde *c c*, pour la retirer de l'encoche *b*, et la porte vers B, de telle sorte qu'elle devienne parallèle au flanc BD ; BA devient parallèle au rivage, et il ne reste plus qu'à abaisser le tablier pour décharger et recharger le bac. Pour faire revenir le bac à la première rive, on commence par le dégager de la grève, on relève le tablier, puis on fait tourner le bateau en tirant le câble de D vers E jusqu'à ce qu'il soit arrivé dans l'encoche *d*, de manière à ce que le flanc BD présente, en sens inverse, relativement au câble directeur, une inclinaison égale à celle qu'il avait d'abord. Les bacs de cette espèce établis sur la Seine, aux environs de Paris, ont 9^m de longueur sur 5 à 6^m de largeur, et l'expérience a montré que le flanc BD devait être incliné de telle sorte, que l'angle qu'il forme avec la direction du courant, soit de 50 à 55°.



183.

Lorsque le fleuve est très large et le courant très rapide on préfère les *trailles*, qui sont très employées sur l'*Escaut*, le *Rhin*, le *Pô*, etc. On plante au milieu du fleuve un pieu très fort, ou bien on y jette une ANCRE ; on y attache solidement un câble qui est soutenu au-dessus de l'eau par de petits PONTONS sur lesquels il est attaché, et dont l'autre extrémité se termine au bac. Pour le mettre en mouvement, on le dégrave, et à l'aide d'un GOUVERNAIL, on dirige le flanc de manière à ce qu'il se présente obliquement au courant ; il est alors poussé comme précédemment, et le bateau s'éloigne du rivage. La pression des eaux fait ainsi passer le bac d'une rive à l'autre, en lui faisant décrire un arc de cercle dont le centre est l'ancre, et dont le câble est le rayon ; pour que toutes les manœuvres s'exécutent avec facilité, il suffit que la longueur totale du câble soit égale à la largeur de la rivière. De plus, comme il n'est tendu que par l'action du courant contre la barque, il éprouve une traction bien moindre que dans le cas d'un câble fixé sur les deux rives. Les trailles sont donc préférables aux bacs ordinaires, dans tous les lieux où l'on peut choisir entre ces deux dispositions, et il est à regretter, qu'en France, leur usage soit encore si peu répandu.

BAGASSE. Nom donné aux cannes à sucre dont on a exprimé le suc ou *vesou* à l'aide de presses à cylindres (voyez SUCRE). On les laisse sécher à l'air et on les emploie ensuite comme combustible dans le traitement ultérieur du *vesou*.

BAINS (*angl.* baths, *all.* bæder). Les bains, tant sous le rapport de la salubrité que sous celui de la propreté et du bien-être qui en résultent, ont été recherchés de tous temps et dans tous les pays. Comme dans nos climats la température, habituellement froide, nous met, pendant la majeure partie de l'année, dans l'impossibilité de prendre des bains de rivière, et que d'ailleurs les questions qui se rattachent aux bains froids sont du ressort de l'*hygiène*, dont l'étude n'entre pas dans le cadre que nous nous sommes tracés, nous ne parlerons ici que des bains chauds ; cependant les bains de rivière, lorsqu'on peut les supporter, et que la température de l'eau et de l'air les rend agréables, étant pour le moins aussi utiles que les bains chauds, nous ne devons pas les passer sous silence.

Nous donnerons une idée du prodigieux accroissement que l'emploi des bains chauds prend de nos jours, par suite de l'abaissement de prix qui résulte de la concurrence, en rappelant qu'en 1780, tous les établissements de bains publics existant dans Paris ne contenaient ensemble que 250 baignoires ; qu'en 1813, ce nombre s'éleva à 300 ; qu'en 1832, on comptait à Paris 78 maisons de bains, renfermant 2374 baignoires en place, et 1059 baignoires mobiles pour le transport des bains à domicile ; et qu'enfin chaque jour nous voyons de nouveaux établissements de bains s'élever dans l'un ou l'autre des nombreux quartiers de la capitale.

On construit ordinairement les baignoires en cuivre étamé, à cause de la facilité avec laquelle le cuivre se travaille, et parce que la tôle de fer et même le fer-blanc sont trop facilement attaqués par la rouille.

On fait aussi depuis peu de temps des baignoires en FER GALVANISÉ, qui durent aussi longtemps que celles en cuivre et ont l'avantage de coûter moins cher. Pour les bains sulfureux qui attaqueraient le cuivre, on emploie des baignoires en bois, qui ont l'inconvénient de se gercer par suite des alternatives de sécheresse et d'humidité auxquelles elles sont soumises, ou mieux des baignoires en zinc qui sont peu ou point attaquées par les sulfures alcalins que les eaux tiennent en dissolution. On trouve aussi, surtout dans les établissements thermaux, des baignoires en bois doublées de plaques de marbre poli ou de faïence, qui sont très élégantes et très durables, seulement leur poids empêche de les placer dans les étages supérieurs, et leur prix élevé en presque toujours le motif qui les fait rejeter.

La forme des baignoires peut varier à l'infini ; elle est ordinairement ovoïde, parce que cette disposition diminue un peu la quantité d'eau nécessaire pour prendre un bain. Leur nombre varie dans les maisons de bains, suivant les localités et le besoin ; elles peuvent être placées à un étage quelconque ; seulement il va sans dire que le réservoir d'eau chaude doit toujours être placé à la partie supérieure, afin de pouvoir desservir toutes les parties de l'établissement.

La partie la plus importante dans une maison de bains, vu la grande concurrence et par suite le bas prix

EFERUS - Recherche & Classification numérique

auquel ils sont livrés, est l'alimentation d'eau chauffée aussi économiquement que possible.

L'eau chaude qui sert à l'alimentation des baignoires, ne devant pas être chauffée au delà de 70 à 80°, on peut, pour ainsi dire, utiliser dans ce genre de chauffage toute la puissance calorifique du combustible, en faisant faire aux produits de la combustion un circuit assez développé, dans l'intérieur de la masse liquide, pour qu'ils ne s'échappent dans l'atmosphère qu'à une température inférieure à 100°; mais, dans ce cas, le tirage du fourneau, et, par suite, la quantité d'eau échauffée dans un temps donné, se trouvent considérablement diminués. On peut du reste rétablir et même augmenter beaucoup le tirage du fourneau au moyen d'un ventilateur, que l'on met en mouvement, sans frais, pour les bains placés sur des rivières, à l'aide d'une roue pendante établie sur l'une des parois du bateau. Ainsi, d'après Péclet, il a existé aux bains Vigier une chaudière reposant sur un fourneau dont le tirage était déterminé par un ventilateur, et qui utilisait la presque totalité de la puissance calorifique du combustible.

Ce qu'il y a de plus simple est de disposer le foyer dans le réservoir même, et de faire circuler les produits de la combustion dans un certain nombre de tubes décrivant un assez long chemin dans l'intérieur du réservoir. Dans un appareil de ce genre, présenté par Lemare à la Société d'encouragement, il a fallu moins de 2 heures et 33 kilog. de houille pour porter 2000 litres d'eau à l'ébullition. C'est en opérant en grand l'appareil le plus économique qui ait encore été établi. Cet appareil pesait près de 4000 kilogr., et coûtait avec la soupape et les ajustages 2000 fr.

Quand le nombre des bains à donner chaque jour, n'est pas considérable, les appareils contenant toute l'eau à chauffer sont coûteux à cause de leurs grandes dimensions, ce qui doit leur faire préférer les appareils à circulation. Nous empruntons à l'ouvrage de Péclet la description d'un appareil de ce genre, établi par MM. Thomas et Laurens, lequel donne de bons résultats. C'est un véritable calorifère à eau chaude, qui offre l'avantage de séparer le réservoir de l'appareil de chauffage, bien que celui-ci agisse toujours sur la partie la plus froide du liquide.

« Cet appareil (fig. 484) se compose d'une chaudière cylindrique horizontale, réunie par les extrémités à une autre chaudière verticale de 3 mètres de hauteur, renfermant neuf tubes verticaux en cuivre, fixés à la manière des tubes des chaudières tubulaires, et complétement ouverts par les deux bouts. La maçonnerie est disposée de telle sorte que les produits de la combustion baignent les deux parties de la chaudière et puissent simultanément s'élever par les tubes intérieurs. A l'extrémité supérieure se trouve un entonnoir renversé, en tôle, destiné à conduire les produits de la combustion dans la cheminée d'appel, et qu'on peut enlever au besoin pour nettoyer les carneaux ; un réservoir, placé à côté, contient l'eau qui est chauffée par circulation. L'appareil renferme 16 mètres carrés de surface de chauffe et consomme 10 kilogr. de houille par heure. Les gaz qui s'échappent à la partie supérieure n'ont plus qu'une température de 50 à 60°; et le tirage est toujours suffisant, même quand le cône qui surmonte le fourneau est enlevé. »

Depuis que l'usage s'est établi de porter des bains à domicile, on transporte l'eau dans des tonneaux que l'on rend susceptibles d'en conserver longtemps la chaleur, en les faisant doubles, de manière à ce que le tonneau intérieur, qui renferme l'eau chaude, se trouve environné d'une couche d'air qui ne peut se renouveler, et qui, étant peu conducteur de la chaleur, rend la déperdition de celle-ci à peine sensible.

Dans les établissements de bains, il est nécessaire d'avoir une étuve dans laquelle on tienne du linge constamment chaud ; à cet effet, il suffit de le placer dans une caisse que l'on fait traverser par l'un des tuyaux de l'appareil de chauffage.

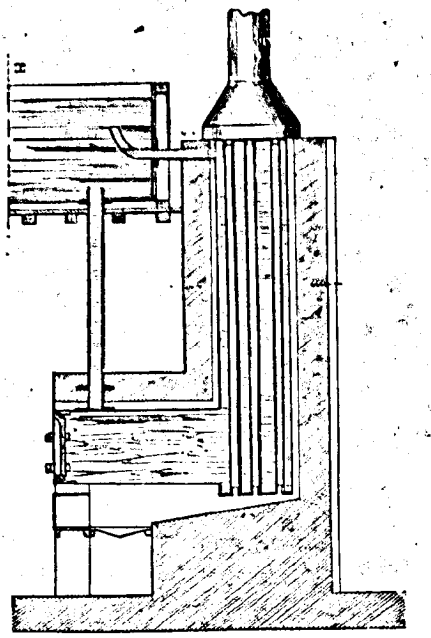


Fig. 484.

Pour les bains établis dans les maisons particulières, le moyen le plus simple consiste à chauffer l'eau au moyen d'un fourneau portatif placé sous la baignoire, et dont le tuyau s'élève verticalement de manière à échauffer une petite caisse destinée à renfermer le linge. L'emploi d'un appareil chauffé par de nombreux becs de gaz est extrêmement commode et convient aux installations riches. (Voy. CHAUFFAGE, *Complément.*)

BALANCE. La balance étant une application directe du levier, nous pensons devoir dire quelques mots de cette machine simple avant de décrire les diverses espèces de balances.

Le levier est une barre, ordinairement métallique, mobile autour d'un point fixe, à laquelle sont appliquées deux forces, l'une mouvante et l'autre résistante.

Quand le point fixe est entre ces deux forces, le levier est de première espèce ; si la résistance est entre le point fixe et la puissance, le levier est de seconde espèce. Enfin, le levier est de troisième espèce quand la puissance est appliquée entre le point fixe et la résistance.

Si l'on étudie les conditions d'équilibre du levier, on voit facilement que, pour que cet équilibre existe, la puissance et la résistance doivent se trouver avec le point fixe dans un même plan ; de plus, ces forces tendent à faire tourner le levier en sens contraire, et leurs intensités doivent être en raison inverse de la distance au point fixe. Dans les leviers de la première espèce viennent se ranger les fléaux de balances, les balanciers des machines à vapeur.

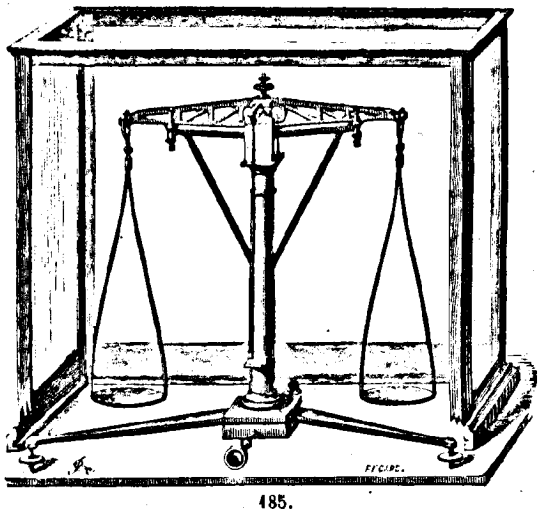
Le levier de la seconde espèce est surtout employé par les tailleurs de pierre ; il sert à soulever les blocs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La résistance a son point d'application au contact du levier avec le bloc ; le point fixe est situé au contact du levier avec le sol, et la puissance se trouve appliquée à l'autre extrémité.

Le levier de la troisième espèce a moins d'applications que les deux premières ; on peut toutefois citer un exemple de son emploi dans les pédales : l'effort du pied s'exerce entre le point fixe, qui est la charnière de la pédale, et la résistance qui se trouve à l'autre extrémité, au point d'articulation de la tige avec la pédale.

La balance ordinaire (fig. 485) n'est autre chose



485.

qu'un levier de la première espèce. Ce levier prend le nom de *fléau* : il supporte à ses deux extrémités, qui sont également distantes du point fixe, deux plateaux suspendus au fléau par des chaînes. Les matières que l'on dépose dans ces plateaux forment avec eux la puissance et la résistance dont nous avons parlé, et si ces forces sont égales il y a équilibre. La balance peut donc servir à apprécier un poids inconnu par sa comparaison avec des poids déterminés à l'avance ; mais pour qu'elle puisse servir à cet usage, elle doit être *juste*, c'est-à-dire se tenir en équilibre lorsqu'on charge dans chacun des plateaux des poids égaux, et perdre cet équilibre quand les poids sont inégaux, ce qui exige que les bras du fléau soient rigoureusement égaux ; de plus, comme le poids du fléau est négligé, ainsi que celui des plateaux, il est important que le fléau soit tout à fait symétrique, par rapport au point fixe, ou, ce qui revient au même, que son centre de gravité se trouve placé sur la verticale qui passe par ce point. Il est très difficile de résoudre pratiquement cette condition, sans laquelle cependant une balance ne peut être juste. Il ne suffit pas qu'une balance soit juste, elle doit être très *sensible* ; c'est surtout dans les expériences de chimie et dans l'appréciation du poids d'une matière précieuse que cette condition est indispensable ; elle dépend, comme on va le voir, de la position du centre de gravité du fléau.

Ce centre de gravité, situé dans la verticale qui passe par le point fixe, peut se confondre avec ce point, être situé en dessus ou en dessous. Si le centre de gravité passe par le point fixe, il est évident que dans toute position la balance sera en équilibre ; de plus, l'inégalité la plus faible dans les poids chargés sur les deux plateaux la fera basculer ; dans ce cas, la balance est *indifférente*.

Si au contraire le centre de gravité est situé au dessus du point fixe, on peut établir l'équilibre ; mais cet équilibre *sera instable*, et le plus léger écart fera basculer le fléau du côté où le premier mouvement l'aura porté. On dit alors que la balance est *folle* ; dans ce cas elle ne peut être d'aucun usage, puisque l'équilibre, même momentané, est à peu près impossible.

Examinons le cas où le centre de gravité est inférieur au point fixe, il est évident que dans cette position l'équilibre sera stable, c'est-à-dire que si l'on force le fléau à tourner sur son axe d'une petite quantité, il tendra à y revenir par une série d'oscillations, dont l'amplitude ira en diminuant, jusqu'à ce qu'elles soient complétement éteintes. Si on met des poids différents dans les deux plateaux d'une pareille balance, le fléau s'inclinera et prendra pour la même charge une position d'équilibre, qui sera d'autant plus inclinée sur l'horizontale, que la distance entre le point fixe et le centre de gravité de l'ensemble du fléau et des plateaux sera moindre. Lorsque la charge sur les plateaux augmente, toutes choses égales d'ailleurs, la *sensibilité* diminue, inconvénient auquel on remédie en rapprochant le centre de gravité de la balance du point fixe, à l'aide d'un écrou mobile placé dans la verticale du couteau médian.

Lorsqu'on veut acheter une balance, on doit lui faire subir quelques épreuves pour s'assurer de sa bonté. Quoique ces épreuves varient avec l'espèce de balances dont il s'agit, néanmoins on comprendra aisément en quoi elles consistent dans chaque cas, lorsqu'on connaîtra celles auxquelles on doit soumettre les balances de précision. Voici comment on doit procéder à l'examen de ces dernières :

1° On examine avec soin le plan d'acier ou d'agate qui supporte l'axe de suspension du fléau, on le dispose horizontalement à l'aide d'un niveau à bulle d'air, et l'on s'assure s'il est bien plan en tournant le niveau dans tous les sens ;

2° On examine si les tranchants des trois couteaux du fléau sont droits, s'ils sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la direction du fléau. Cela fait, on met le fléau en place sans les plateaux, et l'on vérifie si, quand il est en repos, son aiguille tombe au zéro de la division tracée sur le pied ; si, quand il est en mouvement, les oscillations sont lentes et régulières, et l'on compte combien il faut de ces oscillations pour que leur amplitude diminue d'une quantité connue, d'un degré de la graduation par exemple, ensuite on retourne le fléau et l'on fait les mêmes observations ;

3° On met les plateaux en place, on les charge successivement du plus petit poids, du plus grand qu'ils peuvent supporter, et d'un poids intermédiaire ; et, les oscillations de part et d'autre de la verticale étant égales sous chacune de ces charges, on cherche quel est le poids qu'il faut ajouter dans l'un des plateaux pour que le fléau trébuche ;

4° Enfin, il faut, après avoir fait une pesée, changer de bassin les deux poids qui se font équilibre, et examiner si après cette transposition il y a encore équilibre.

« Quelle que soit la balance dont on se sert, il y a toujours à craindre quelque différence dans la longueur des bras du fléau, ce qui donnerait lieu à une erreur que l'on fait disparaître au moyen du procédé de *double pesée*, dû à Borda, et qui est applicable à toutes les balances pourvu qu'elles soient sensibles. Il consiste à

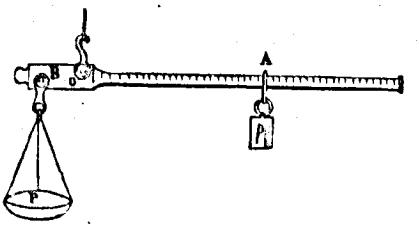
EFERUS - Recherche & Classification numérique

urer d'abord ce corps, c'est-à-dire à le mettre en équilibre en plaçant dans l'autre bassin de la grenaille de plomb, des morceaux de plume ou de papier, etc., puis, à retirer de son bassin le corps proposé, et lui substituer des poids gradués, comme si l'on voulait peser la tare; il est clair que ces derniers poids réunis forment exactement celui du corps.

M. *Bocholtz* a imaginé une balance d'essai qui a été approuvée par la Société d'Encouragement, et qui est fondée sur un principe analogue : l'un des bras du fléau porte seul un plateau, l'autre est chargé d'un contre-poids fixe, tel que la balance ne peut être en équilibre que lorsque le bassin est chargé d'un poids constant, 50 grammes par exemple. On place dans le bassin le corps à peser (qui d'après l'hypothèse que nous avons faite doit au plus peser 250 grammes), puis on ajoute dans le même bassin, ou dans un bassin supérieur, le poids nécessaire pour mettre la balance en équilibre. Supposons, par exemple, qu'il ait fallu ajouter 58^{gr},425, le poids du corps sera de 250^{gr}—58^{gr},425 = 191^{gr},575. Cette balance extrêmement ingénieuse a, dit-on, tous les avantages des bonnes balances ordinaires de précision construites par nos meilleurs artistes, tout en revenant à un prix deux ou trois fois moins élevé, parce que toutes les difficultés de fabrication pour obtenir deux bras de levier parfaitement égaux et mettre les trois couteaux en ligne droite, disparaissent dans cette nouvelle méthode de fabrication.

Toutes les bonnes balances sont pourvues d'un appareil à fourchettes, qui permet de ne faire porter les couteaux que pendant les pesées; il faut tout à la fois abaisser la *chape* et faire porter les plateaux sur la tablette, afin de ne fatiguer ni le couteau médian, ni ceux des extrémités. Presque toujours le fléau porte une aiguille dont l'axe est perpendiculaire à la ligne des points d'appui. Cette aiguille, à laquelle on donne une grande longueur, parcourt un arc de cercle divisé, sur lequel on marque le point où elle doit s'arrêter quand le fléau sera en équilibre. En la voyant osciller, on peut juger d'avance si elle s'arrêtera sur ce point, ce qui abrège l'opération. Dans les bonnes balances de Fortin, si l'on charge dans chaque plateau un poids d'un kilogramme, une addition subséquente d'un milligramme dans l'un des plateaux, fera tourner l'aiguille et l'amènera à un demi-degré de sa position d'équilibre. Enfin, on place ces balances de précision dans une cage de verre dans laquelle on met de la chaux, du chlorure de calcium, ou toute autre substance desséchante, qu'on renouvelle chaque fois qu'il en est besoin. Cette cage, qui s'ouvre par devant lorsqu'on veut exécuter une pesée, sert encore à abriter l'instrument des courants d'air qui en l'agitant troubleraient l'opération.

Romaine. La romaine est une balance dont les bras sont inégaux; le bras le plus court porte le bassin destiné à recevoir les corps à peser, l'autre bras est gradué et porte un curseur que l'on fait glisser tout le long, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. On marque le zéro au point où l'on doit amener le curseur, pour que l'ensemble de la balance vide soit en équilibre; ensuite on charge un certain poids dans le plateau, un kilogramme par exemple, on éloigne le curseur jusqu'à ce qu'il y ait un nouveau équilibre, et on marque 1 kilogr. au point où il s'arrête; on subdivise alors l'espace compris entre le zéro et le n° 1 en parties aliquotes et égales, 1000 p., par exemple, si l'on veut que la balance indique des grammes, et l'on prolonge la même graduation sur toute la longueur du bras. Il est facile de donner l'explication de cette graduation (fig. 186) : soit p le poids du curseur A et a la distance du zéro, déterminé comme il vient d'être dit, à l'axe de rotation O de la balance, le *moment* $p \times a$, de ce poids, par rapport à l'axe, sera précisément égal à celui de la balance vide par rapport au même axe; soit, en outre, A la longueur du bras OB qui porte le plateau si on charge un poids P dans celui-ci, et qu'il faille amener le curseur à une distance b de l'axe de rotation pour rétablir l'équilibre, on aura l'équation des moments P $\times$ A (mo

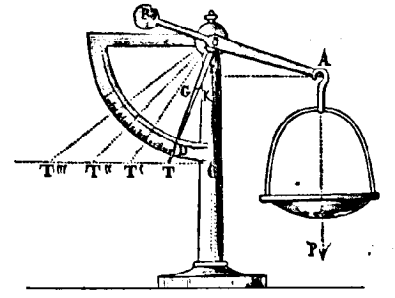


186.

ment du poids P par rapport à l'axe de rotation) $+ p \times a$ (moment de la balance vide) $= p \times b$ (moment du curseur), d'où l'on tire $P = \frac{p}{A}$ (constante) $\times (b - a)$.

ce qui traduit dans le langage ordinaire, veut dire que *la distance à laquelle il faut éloigner le curseur du zéro de la graduation, varie proportionnellement au poids du corps placé dans le plateau de la romaine.*

La romaine, du reste, peut, comme la balance ordinaire, être indifférente, folle, paresseuse ou sensible suivant la position de son centre de gravité par rapport à l'axe de rotation



187.

Peson. Cette balance (fig. 187) se compose d'un levier portant à l'une de ses extrémités A un plateau où l'on applique la puissance P; un contre-poids ordinairement sphérique fait équilibre à ce plateau. Au point fixe autour duquel se meut tout le système, est appliquée une aiguille DG perpendiculaire au levier, cette aiguille décrit un arc de cercle sur un cadran gradué. Si de l'extrémité A du bras de levier qui supporte le plateau et du centre de gravité G de l'aiguille on abaisse des perpendiculaires sur la verticale KC qui passe par le point fixe, si de plus on mène par le point C une droite CT perpendiculaire à CK, il résulte de ces différentes lignes plusieurs triangles rectangles semblables entre eux, de la comparaison desquels on tire cette conséquence : que la puissance, c'est-à-dire, la charge sur le plateau est proportionnelle à la tangente de l'angle formé par l'aiguille avec la verticale qui passe par le point fixe; ainsi cette longueur étant CT pour 1^k, sera CT' = 2CT pour 2^k, etc.

Ceci posé, il est facile de déterminer les points T', T'', T''', etc. pour 2^k, 3^k, 4^k, etc., puis en les joignant à l'axe de rotation, on détermine leurs traces sur le cadran et par suite les différentes positions de l'ai-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

guille correspondant à 2^k, 3^k, 4^k, etc.; les positions intermédiaires se déterminent de la même manière; si l'on veut avoir des décagrammes, par exemple, il suffit de diviser les espaces CT, TT', etc., etc., chacun en dix parties égales et de joindre les points de division avec l'axe de rotation; le cadran se trouvera ainsi convenablement gradué. L'usage de cette balance est assez répandu dans les filatures et les papeteries, pour les pèse-lettres, etc.

Balance de Roberval. Balance extrêmement commode. Voici le principe de cette balance : Soit ABB'A' un parallélogramme articulé à ses quatre sommets (fig. 188-1).

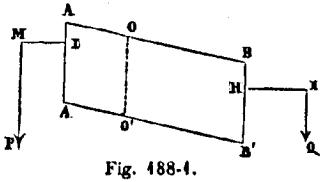


Fig. 188-1.

Supposons son plan vertical, les côtés AA', BB' verticaux et les côtés AB, A'B' mobiles autour de deux points O et O' situés sur une même verticale et par conséquent sur une parallèle aux côtés AA', BB'. Soit N un point quelconque lié au côté BB' et M un second point quelconque lié également par des attaches rigides au côté AA'. Si le parallélogramme vient à se mouvoir, le côté AA' ne cessera pas d'être égal et parallèle à OO', c'est-à-dire vertical; tous ses points s'élèveront donc ou s'abaisseront de la même quantité: le point M s'élèvera ou s'abaissera de la même quantité que l'extrémité I de l'horizontal MI; par conséquent les chemins décrits dans le sens vertical par les points A et M sont les mêmes. On verrait semblablement que les points B et N s'élèvent et s'abaissent aussi de quantités égales. Cela posé, supposons qu'on ait appliqué en M et en N deux forces verticales P et Q qui se fassent équilibre, la somme des travaux virtuels de ces deux forces devra être nulle, pour l'équilibre, les travaux des réactions que les axes exercent en O et en O' étant nuls d'eux-mêmes, Si donc a et b désignent les chemins élémentaires décrits dans le sens vertical par les points M et N, ou ce qui revient au même par les points A et B, on devra avoir:

$$P\,a = Q\,b, \text{ et où } \frac{P}{Q} = \frac{b}{a}.$$

Or, dans un déplacement infiniment petit, les points A et B décrivent de petits arcs semblables, c'est-à-dire proportionnels à leurs rayons OA et OB; d'ailleurs ces petits arcs, perpendiculaires à AB, font des angles égaux avec la verticale; leurs projections sur la verticale sont donc proportionnelles aux arcs eux-mêmes et par conséquent aux rayons; on a donc:

$$\frac{b}{a} = \frac{OB}{OA}, \text{ et par suite } \frac{P}{Q} = \frac{OB}{OA};$$

c'est-à-dire que les forces P et Q sont dans le même rapport que si elles étaient directement appliquées aux extrémités A et B du levier AB, supposé mobile autour du point O, mais indépendant des trois autres côtés du parallélogramme. Et cette conclusion reste la même, quels que soient les points M et N, pourvu qu'ils soient invariablement liés, l'un au côté AA', l'autre au côté BB'. Du temps de Roberval, cette conclusion paraissait paradoxale, parce qu'on n'avait en vue que la théorie du levier; mais l'application du principe plus général du travail virtuel fait disparaître le paradoxe.

Lorsque l'on applique ce principe à la construction d'une balance, on simplifie ordinairement les rapports en prenant les points O et O' au milieu des côtés AB et A'B' (fig. 188-2); il faut alors, pour l'équilibre, que les forces P et Q soient égales. On dispose sur le prolongement des côtés AA' et BB' les plateaux destinés à recevoir les matières à peser et les poids qui doivent leur

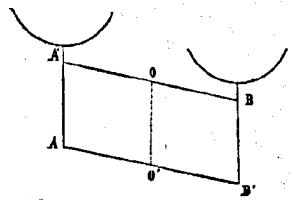


Fig. 188-2.

faire équilibre. Ce genre de balance offre le grand avantage que les plateaux, étant soutenus par-dessous, on n'est pas gêné dans le maniement de la balance par les chaînes de suspension de ces plateaux comme dans les balances ordinaires. Cependant leur adoption a été lente, parce que le frottement des articulations multiples tendait à les rendre peu sensibles; il a fallu, pour les faire accepter, que l'ingénieux mécanicien de Strasbourg, Schwilgué, trouvât le moyen de leur donner une grande mobilité. Il y est parvenu de la manière suivante.

Le fléau supérieur est suspendu à l'aide de couteaux comme dans les balances ordinaires, et c'est également à l'aide de couteaux que les côtés AA' et BB' sont suspendus aux extrémités A et B de ce fléau. Mais pour le fléau inférieur la disposition est différente. La figure 188-3 représente l'extrémité de ce fléau vu par-dessous. Les parties n, n sont des couteaux inclinés en sens contraire et dont les arêtes ab et cd sont placées en ligne droite dans le plan inférieur du fléau. Cette extrémité entre dans un étrier formant le bout inférieur du

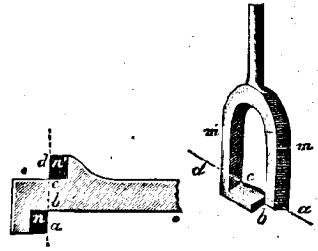


Fig. 188-3. Fig. 188-4. Fig. 188-5

côté AA', et que la figure 188-4 représente en perspective et la figure 188-5 en plan. Sa traverse inférieure est un couteau qui tourne son arête bc vers le haut; les deux montants m et m' sont disposés de telle sorte, que cette arête se trouve dans le plan de la face antérieure de l'un m et dans le plan de la face postérieure de l'autre m'. Lorsque le bout du fléau est assemblé avec l'étrier, l'arête ab du couteau n porte sur la face antérieure du montant m, l'arête cd du couteau n' porte sur la face postérieure du montant m', et la face inférieure du fléau porte sur l'arête bc du couteau formant la traverse de l'étrier. Les arêtes des trois couteaux se trouvent ainsi dans le prolongement l'une de l'autre et chacune d'elles porte sur une surface plane correspondante. Il en résulte que, dans toutes les positions du parallélogramme, le contact a lieu suivant cette même arête, qui forme ainsi l'axe de l'articulation, sans donner lieu à aucun frottement appréciable. Le bout opposé du fléau est articulé de la même manière avec l'étrier qui forme le bout inférieur du côté BB'. En O, l'articulation est encore de même nature, avec cette différence que l'étrier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est fixe. Ce système d'articulation donne au parallélogramme toute la mobilité désirable.

Le fléau inférieur et la plus grande partie des côtés latéraux sont ordinairement cachés par le corps de la balance, comme on le voit fig. 188-6.

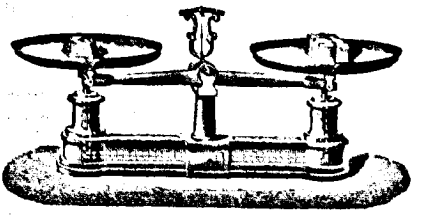


Fig. 188-6.

Les conditions de stabilité et de sensibilité sont d'ailleurs les mêmes que dans la balance ordinaire; il faut toujours que le centre de gravité de chaque fléau, et particulièrement du fléau supérieur, soit à une petite distance au-dessous de l'axe de suspension de ce fléau.

Balance-bascule de Quintenz. Voici en quoi consiste le mécanisme de cet utile et ingénieux instrument. Sur un pied AB (fig. 189), placé verticalement, repose en A

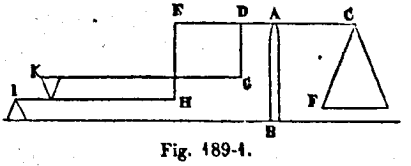


Fig. 189-1.

un fléau CDE; à l'extrémité C de ce fléau est accroché un plateau F destiné à recevoir les poids; de l'autre côté du point A sont suspendues deux tiges verticales DG, EH; cette dernière EH supporte en H le bout d'une verge HI qui porte en I sur un couteau fixe et qui supporte en K une autre verge GK, qui repose elle-même en G sur la tige verticale DG. C'est sur GK que s'appuie la *plate-forme* ou le *pont* sur lequel on place le corps à peser. Le contact des pièces aux points A, C, D, E, G, H, I, K, a lieu au moyen de couteaux; cette disposition rend le système très-mobile. Si l'on place un corps sur la plate-forme, pour que celle-ci s'abaisse en restant toujours horizontale, on voit qu'il faut que l'abaissement du point G, ou, ce qui est le même, du point D, soit égal à l'abaissement du couteau K; ou que l'on ait $\frac{AE}{AD} = \frac{IH}{IK}$.

Supposons maintenant que l'on charge un poids P sur le *pont* en un point quelconque situé entre H et K, ce poids se décomposera en deux forces : l'une *a* appliquée en G ou D, et l'autre P-*a* appliquée en K, qui se décompose elle-même en deux autres: l'une détruite par le point fixe I, l'autre (P-*a*) $\frac{IH}{IK}$ dont le point d'application est en H ou E, et qui peut être remplacée par une force (P-*a*) $\frac{IH}{IK} \times \frac{AD}{AE}$ ou P-*a*, appliquée en D (puisque nous avons vu plus haut que par la construction même de la balance $\frac{IH}{IK} \times \frac{AD}{AE}$ est égal à l'unité), de sorte qu'en résumé, l'effort exercé se réduira à deux forces *a* et P-*a* appliquées au même point ou à leur somme P, et, en définitive, les poids chargés dans le plateau de la balance seront proportionnels aux fardeaux placés sur la plate-forme; il en résulte aussi que si, comme on le fait souvent, AD = 1/10 AC, le poids à placer dans le plateau F sera le dixième de celui qu'on place sur la plate-forme, et enfin que le poids du fardeau est indépendant du lieu qu'il occupe sur la plate-forme.

Cette balance est représentée en son entier fig. 189-2. On y voit comment, au moyen d'un levier coudé

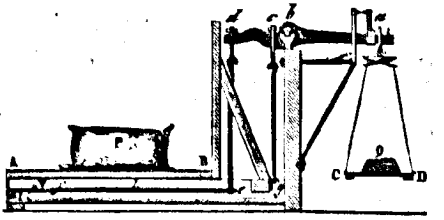


Fig. 189-2.

on arrête le mouvement du fléau et par suite celui de la plate-forme. Lorsqu'on veut s'en servir, on dispose d'abord horizontalement le châssis qui supporte la plate-forme, en le posant sur le sol ou mieux dans une cavité préparée d'avance et telle que le dessus de la plate-forme soit au niveau du sol. Alors on ôte le levier d'arrêt; on équilibre l'instrument à l'aide de grains de plomb que l'on met dans la coupe fixée au-dessus du plateau; enfin, on place sur ce plateau et sur la plate-forme des poids dont l'un soit décuple de l'autre, et l'on vérifie si ces poids se font équilibre, quel que soit le lieu occupé sur la plate-forme par celui qui s'y trouve. Si l'instrument satisfait à ces essais, on peut s'en servir avec confiance pour toutes les pesées qui n'excèdent pas sa force. Chaque couteau ne porte qu'une partie des poids, ce qui augmente sa durée; la machine occupe moins de place qu'une balance à plateaux de même force; enfin, les pesées se font avec une rapidité beaucoup plus grande, augmentée encore en remplaçant le plateau par un poids unique courant sur un fléau forme romaine, etc.

P. DEBETTE.

Peso-mesureur. Nous décrirons ici seulement le principe sur lequel est fondé le jeu du peso-mesureur construit par M. Catenot-Béranger. Dans la bascule ordinaire qui pèse au centième, on n'a point à s'inquiéter de la nature du curseur; quel qu'il soit, des différences égales de poids correspondront toujours à des déplacements égaux. Mais si, à l'aide d'un litre de blé, disposé à la place du curseur, on veut reconnaître la contenance d'un sac rempli du même grain, il est indispensable d'éliminer l'influence de toutes les parties mobiles qui ne sont pas le blé lui-même, telles que le curseur, le plateau qui supporte le litre et la mesure du litre elle-même. S'il était possible d'annuler l'influence de toutes ces pièces, il est évident que la bascule ordinaire indiquerait avec autant de facilité la contenance d'un sac, qu'elle indique aujourd'hui avec un curseur du poids de 1 kilogramme le poids en kilogrammes de ce sac; la même division servirait dans l'un et l'autre cas, et l'on aurait à volonté la contenance en litres et le poids par deux lectures absolument semblables.

Pour annuler l'influence du déplacement des pièces accessoires, M. Catenot a disposé au-dessous du fléau de bascule ordinaire une autre tige parallèle, sur laquelle peut glisser un contre-poids équivalant exactement à celui de ces pièces; le curseur est lié à ce contre-poids par un ruban d'acier continu, qui force ce contre-poids à reculer quand le curseur avance, à avancer quand le curseur recule. Le centre de gravité du système reste donc invariable malgré le déplacement de ses diverses parties, si la mesure du litre est vide; et, si elle est pleine, c'est seulement le déplacement du poids du grain qui exerce une influence; la position du point de suspension correspondra toujours à la division qui indique le rapport entre le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

poids du sac à peser et celui du grain contenu dans le litre.

Tandis que la bascule ordinaire ne permet de peser qu'en kilogrammes, celle-ci pèsera en unités de la valeur du poids additionnel dont on chargera momentanément le fléau, et sa division unique servira dans toutes les circonstances. Cette bascule ne saurait être mieux caractérisée que par cette propriété qu'elle possède de peser à poids constant ou à poids variable, et elle est ainsi dotée d'une propriété que les appareils de ce genre ne possédaient pas jusqu'ici.

Des dispositions accessoires sont prises pour que le grain qui doit servir au pesage arrive toujours dans la mesure d'une manière uniforme, et que par conséquent son tassement soit toujours le même.

Quant à l'exactitude des pesées, elle est attestée par ce fait qu'à l'exposition de Besançon elle a donné, en pesant avec un litre d'eau, des indications très-concordantes avec le volume directement mesuré.

Nous citerons, comme une de ses applications les plus intéressantes, la vérification de la contenance d'un tonneau, au moyen d'un litre du liquide qu'il renferme. Il suffirait, pour que cette vérification fût tout à fait concluante que la tare du tonneau fût inscrite sur l'un des fonds : on l'équilibrerait d'abord avec des poids dans le petit plateau, que l'on dispose habituellement à l'extrémité du fléau pour cet objet, et l'on déterminerait, par la lecture directe sur la tige, le rapport entre la capacité totale du vase et celle de la mesure avec laquelle on aurait opéré.

Bascule élastique de M. Taurines. — M. Taurines, l'ingénieur inventeur d'un système de DYNAMOMÈTRES à ressort a proposé l'application de ce système aux bascules, qui sont en réalité des dynamomètres employés à la mesure de l'action de la gravité. A cet effet, il supprime les couteaux qui s'altèrent par le frottement, les chocs et l'oxydation; il n'emploie que des ressorts très-courts accouplés dans une position verticale, idée aussi heureuse que nouvelle. Quand le tablier s'abaisse, les ressorts s'inclinent un peu; ils éprouvent une si légère flexion que leur courbure est à peine sensible sous une charge de 300 kilogrammes. C'est par le jeu de quatre couples de ressorts et de diverses barres de fer horizontales auxquelles ils sont adaptés que l'extrémité d'un levier s'abaisse et fait descendre la tringle verticale suspendue au petit bras de levier d'une romaine. Le poids curseur manœuvré par le peseur indique la charge du tablier. M. Taurines a exposé, en 1862, une bascule dans laquelle la tringle est remplacée par une crémaillère qui, au moyen d'un pignon, fait tourner une aiguille qui indique le poids sur un cadran. Cette bascule à cadran est une machine automatique; il n'y a plus de romaine à manœuvrer, peu de chance d'erreur, et tout le monde peut lire le poids sur le cadran.

Les ressorts accouplés verticalement sont dans une condition mécanique très-favorable à leur conservation et à une action constante. La tension presque longitudinale qu'ils éprouvent par l'abaissement du tablier les courbe très-légèrement; mais, aussitôt que la pression cesse, ils ont peu de chose à faire pour revenir à leur état primitif.

BALANCE D'EAU. On donne ce nom à une machine hydraulique d'une simplicité extrême, et qui, dans certains cas, lorsque la disposition des lieux le permet, est employée avec beaucoup d'avantage par suite des faibles frais qu'occasionne son établissement. Elle consiste en une tonne suspendue à une corde s'enroulant sur un treuil, cette tonne est munie à sa partie inférieure d'une soupape à queue s'ouvrant de bas en haut; lorsque la tonne est arrivée au haut de sa course, on y fait arriver un courant d'eau, et dès qu'elle en renferme une quantité suffisante pour l'emporter sur le poids qu'il s'agit d'élever, et qui est attaché à une corde qui s'enroule sur la gorge de la poulie du treuil, elle descend en commençant dans son mouvement par fermer, au moyen d'un mécanisme à marteau très-simple, le robinet du tuyau d'alimentation; puis, arrivée au bas de sa course, la queue de la soupape vient buter contre un tasseau, qui l'ouvre, et la tonne se vide; il serait plus simple de supprimer cette soupape, et de disposer hors de l'axe de la tonne une barre, qui lui communiquerait un mouvement de bascule lorsqu'elle viendrait buter contre elle. Lorsque la tonne est vide, elle remonte d'elle-même, et à l'aide du mécanisme ci-dessus, elle ouvre au haut de sa course le robinet du tuyau d'alimentation. Ce mécanisme est très-facile à établir; on peut, par exemple, avoir deux axes parallèles portant deux manivelles réunies par une bielle articulée, ce qui les rend solidaires l'une de l'autre; ces deux axes portent des bras placés dans une direction rectangulaire, et enfin l'axe supérieur porte un marteau ou contre-poids enfilé sur une tige normale à cet axe, et pouvant se mouvoir de 45° d'un côté ou de l'autre de la verticale. Le bras de l'axe inférieur étant vertical, et celui de l'axe supérieur horizontal, ce dernier sera soulevé par la tonne montante, et lorsque dans ce mouvement le marteau aura dépassé la position verticale, il retombera brusquement en relevant le bras supérieur dans la position verticale, et, par suite de la liaison qui existe entre les deux axes, le bras inférieur prendra une position horizontale; la tonne en descendant viendra abaisser ce bras et ramener le mécanisme dans sa position première, où il sera maintenu par le marteau. On obtient ainsi un mouvement alternatif circulaire de 90°, que l'on emploie pour manœuvrer le robinet du tuyau d'alimentation.

On emploie souvent cette machine hydraulique dans les usines à fer, pour élever, sur la plate-forme du gueulard, le combustible et le minerai. Le câble qui porte le plateau à élever les charges passe sur une poulie de renvoi, et vient s'enrouler sur la roue du treuil, dont l'arbre porte la corde qui soutient la tonne motrice; il va sans dire que les rayons de l'arbre et de la poulie du treuil doivent être en raison directe des espaces à parcourir par la tonne et le plateau, et le rapport du poids de l'eau dépensée à celui du corps élevé, devra être en raison inverse de ces mêmes quantités; ainsi, par exemple, si l'on doit élever les charges à 15 mèt., et que l'on dispose d'une chute de 10 mèt., il faudra que le rapport entre les rayons de l'arbre et de la poulie du treuil soit : : 10 : 15 ou : : 2 : 3, et, en admettant que 25 p. 100 de l'effet de moteur soient absorbés par les frottements, il faudra dépenser $\frac{100}{75} \cdot \frac{3}{2} \cdot 100 = 200$ litres d'eau pour élever, au gueulard, une charge de 100 kilog. On trouve aussi, sur quelques mines, en Angleterre, des machines analogues servant soit à l'extraction des minerais ou de la houille, soit à l'épuisement des eaux au moyen de *bennes*. La tonne motrice est placée dans un compartiment du puits d'extraction ou dans un puits voisin; elle reçoit l'eau de la surface et se vide dans la galerie d'écoulement (voyez MINES).

BALANCIER HYDRAULIQUE. On appelle ainsi une machine dont on a souvent varié les dispositions de détail, mais qui se compose en principe de deux vases oscillant autour d'un balancier, et d'un système de soupapes qui fait que ces vases reçoivent alternativement l'eau au commencement de leur course, et se vident quand ils sont descendus. Il en résulte un mouvement alternatif qui peut être utilisé.

Ces machines à mouvement alternatif peu régulier sont trop évidemment inférieures, pour utiliser la force motrice de l'eau, aux roues hydrauliques, aux turbines, etc., pour qu'on puisse les considérer comme des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machines industrielles. Nous ne pensons pas qu'il en existe aujourd'hui, et nous ne pouvons que les citer.

BALANCIER. A l'article MONNAIE, nous décrivons le balancier mû à bras qui y est habituellement employé pour le monnayage, car le problème de faire mouvoir, autrement qu'à bras d'homme, les balanciers propres à découper, à emboutir, à estamper, etc., n'avait pu, jusque dans ces derniers temps, être résolu. Dans les ateliers de construction les plus complets, tandis que toutes les machines-outils sont mues par la machine à vapeur, d'une manière si économique et si précieuse par la puissance qu'on peut leur appliquer, on voit encore des balanciers mus à force de bras; aussi les a-t-on remplacés, dans quelques cas où cela était possible, par d'autres machines, telles que les découpoirs et machines à percer à excentrique.

C'était surtout dans les ateliers où se frappent les monnaies, opération pour laquelle le balancier, agissant par percussion, est l'outil par excellence, que l'on pouvait, il y a quelques années, juger de la grande importance de la solution du problème de faire mouvoir mécaniquement les balanciers, en voyant dans des ateliers de premier ordre, tels que celui de la Monnaie de Paris, le grand nombre de manœuvres employés à tirer sur les cordons.

Les Anglais, qui comprennent si bien l'utilité de remplacer le travail inintelligent de l'homme par un moteur naturel, avaient essayé de résoudre le problème, et depuis longtemps Bolton et Watt avaient fait mouvoir par une machine à vapeur les balanciers de la Monnaie de Londres. Toutefois, la solution coûteuse et compliquée à laquelle ils étaient arrivés ne fut nulle part imitée sur le continent, et la presse monétaire, dont l'invention fut surtout inspirée par la recherche de la solution du problème dont nous parlons, est venue se substituer aux balanciers pour la fabrication des monnaies, dans les ateliers placés dans les grands centres, où les réparations sont faciles, mais pour la frappe des médailles d'un grand relief et des articles divers qui varient chaque jour, l'ancien balancier est toujours resté en usage.

Si la question de mouvoir mécaniquement le balancier a perdu un peu de son intérêt au point de vue des monnaies, par suite de l'adoption de la presse monétaire, il n'en est pas de même pour l'industrie, qui a vu se multiplier le balancier, qu'aucune autre machine-outil ne saurait remplacer dans une foule de cas, qui se prête avec une facilité bien précieuse à toutes les variations voulues dans la course, l'intensité du choc, etc. Il y avait donc toujours un grand progrès à réaliser; c'est ce qu'a fait M. Chéret, mécanicien à Paris.

Si l'on passe en revue les conditions à remplir pour mettre un balancier en communication avec une machine motrice, on se rend facilement compte des difficultés qui s'opposent à l'emploi des transmissions usitées dans les cas ordinaires. L'arrêt brusque du balancier, et le mouvement de translation dans la direction de l'axe de la vis, forment les deux obstacles qui ne peuvent être surmontés que par des dispositions toutes particulières. C'était par l'intermédiaire de tringles et varlets tirés par des pistons, mus dans des corps de pompe dans lesquels la vapeur faisait le vide, que Bolton et Watt cherchèrent une solution coûteuse et compliquée du problème. On peut ajouter qu'elle est imparfaite, et que, si elle suffit pour le monnayage des souverains d'or, elle ne pourrait donner de bons résultats pour frapper des médailles de grand module et même notre pièce de 5 francs en argent.

La disposition présentée par M. Chéret est, au contraire, complète, simple et peu coûteuse; elle constitue un moyen direct et parfaitement satisfaisant de transmission de mouvement. On peut le considérer comme de la nature des organes agissant par frottement, dont il a les avantages; comme les cônes de friction, il est propre à réunir et à désunir deux parties de mécanisme, suivant les variations de la résistance, et, comme dans les engrenages par frottement, les parties en communication permettent le mouvement de descente du balancier. De la sorte, les conditions spéciales à remplir se trouvent satisfaites; c'est, au reste, ce que montrera bien la description du mécanisme.

M. Chéret remplace les boules qui garnissent habituellement les extrémités de la verge du balancier par un volant circulaire en fonte (la couronne pesait 43¼ kilog. dans celui sur lequel nous avons fait quelques expériences), dont il garnit la circonférence d'un cuir épais (fig. 189 bis). Un axe placé à angle droit avec la vis, et qui reçoit un mouvement de rotation de la machine à vapeur, porte deux plateaux pouvant glisser dans le sens de la longueur, de manière à pouvoir venir en contact avec le volant et, par suite, l'entraîner dans un sens ou en sens contraire, suivant que ce sera le plateau de droite ou le plateau de gauche qui viendra en contact avec le volant. Le mouvement pour frapper est donné au moyen d'un levier mû par une pédale pressée par le pied de l'ouvrier qui travaille au balancier, ce qui lui permet de faire varier à volonté la pression au contact du volant et de l'un des plateaux. Un contre-poids fait cesser le contact dès qu'on n'agit plus sur la pédale, et applique l'autre plateau contre le volant; celui-ci est ainsi relevé et maintenu en l'air.

Il m'a semblé que la facilité avec laquelle le mécanisme dont je viens de donner une idée permettait de varier les conditions de travail du balancier devait rendre facile et profitable une étude expérimentale à l'aide de tracés produits directement par les pièces en mouvement : elle m'a fourni quelques résultats assez curieux, et surtout a bien montré avec quelle perfection fonctionnait le mécanisme dont je cherchais à analyser les effets.

A cet effet, on a adapté à la boîte coulante portée par l'extrémité de la vis, un crayon qui traçait sur un petit cylindre en bois garni d'un papier et mis en mouvement par un barillet. Comptant, ce qui était facile avec un compteur à pointage de Bréguet, le temps total du mouvement du volant, on avait, avec assez d'exactitude, la mesure des abscisses (qui représentaient le temps) des courbes tracées sur le cylindre, dont les ordonnées représentaient l'espace parcouru verticalement par l'axe de la vis. Il était donc facile d'obtenir, en chaque instant, la vitesse de cet axe et, par suite, la vitesse angulaire du volant, de mesurer notamment la force vive qu'il possédait au moment du choc.

Ceci établi, donnons quelques résultats des expériences :

L'axe mis en mouvement par la machine à vapeur faisait, dans nos expériences, 190 tours en 70″, soit 2,70 par seconde. Le plateau moteur porté par cet axe, dont le diamètre est de 0,64, avait donc la même vitesse angulaire, et les vitesses à ses circonférences de rayons 0,20 et 0,267 (ceux à considérer dans l'expérience spéciale dont nous donnerons plus loin les chiffres), étaient de 3m,39 et 4m,78.

Le volant monté sur la tête de la vis du balancier est en fonte, et sa section est de 10 centimètres sur 10 centimètres. Il part du repos pour arriver à produire un choc avec une vitesse accélérée. La loi de variation de cette vitesse est dans un rapport facile à déterminer avec celle de la descente de la vis, qui est représentée par des courbes tracées sur l'appareil à rotation. Ainsi, dans l'expérience 5, dans laquelle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous avons frappé sur du cuivre rouge et dans laquelle l'ouvrier qui pesait sur la pédale exerçait une pression bien moindre que s'il s'était agi de frapper sur un métal plus dur, nous trouvons, pour la progression des ordonnées Δs de l'espace parcouru, mesurée sur une même génératrice voisine du point de départ, les valeurs ci-après, jusqu'au moment où commence l'enfoncement dans le métal :

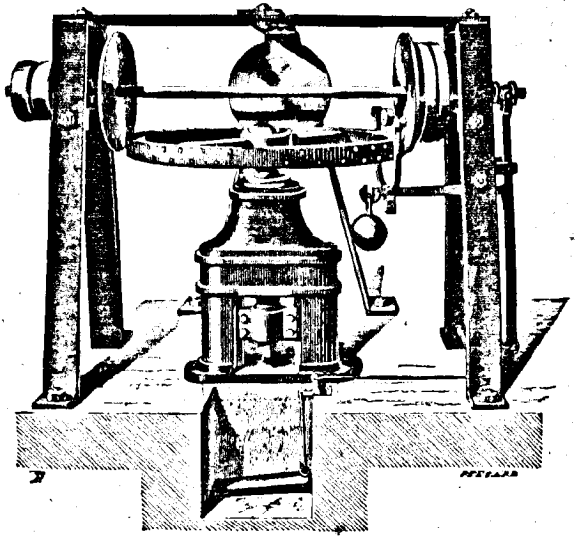


Fig. 189 bis.

	Δs	v	$r\omega$
1. . .	0,0013. . .	0,0002. . .	0,131
2. . .	0,0024. . .	0,0024. . .	0,262
3. . .	0,004 . . .	0,0066. . .	0,432
4. . .	0,0067. . .	0,0144. . .	0,725
5. . .	0,0090. . .	0,015 . . .	0,984
6. . .	0,011 . . .	0,0188. . .	1,200
7. . .	0,0123. . .	0,020 . . .	1,312
8. . .	0,0463. . .	0,027 . . .	1,774
	0,0630		

La courbe faisant 7 révolutions complètes, et le temps total étant de 4″,25, y compris le temps perdu de la vis et la durée de l'enfoncement, qui correspondent à 0,75 de révolution, chaque tour que l'on peut prendre pour l'élément Δt du temps, est effectué sensiblement en $\frac{4'',25-0,75}{7} = \frac{3,50}{7} = 0,6$ de seconde. D'où les vitesses v en 1″ consignées dans la seconde colonne du tableau ci-dessus.

Le rapport entre les vitesses en ligne droite de la vis et les vitesses circulaires du volant, qu'il s'agissait d'obtenir expérimentalement, se déduit des dimensions relatives des éléments du balancier. Dans celui sur lequel on opérait, le pas de vis était de $0^m,105$, et le volant avait $2^m,30$ de diamètre extérieur, soit $2^m,20$ pris au centre de la couronne circulaire. On avait donc un tour, soit une vitesse de $\pi \times 2^m,20$ pour 0,105, de déplacement de la vis, c'est-à-dire que ces vitesses étaient dans le rapport de $\frac{\pi \times 2.20}{0,105} = 65,6$ à 1. En multipliant donc par 65,6 les nombres précédemment trouvés, on a les vitesses du volant rapportées dans la 3e colonne, qui passent rapidement, d'un peu plus de 1 décimètre par seconde dans le voisinage du point de départ, à près de 2 mètres au moment du choc.

Enfin ces vitesses permettent de calculer la force vive que possède le volant au moment du choc, c'est-à-dire le travail emmagasiné qui va être détruit, et qui, dans le cas actuel, le volant pesant 434 et la verge transversale 113 kil., poids comprenant un anneau autour de l'axe, s'élève à 76 k. m., c'est-à-dire à l'action de plus de 5 hommes travaillant au balancier, leur action étant évaluée habituellement à 15 k. pour chaque coup.

Pourtant, dans l'expérience rapportée ici, l'ouvrier pressait peu sur la pédale pour donner peu de vitesse, vu qu'il s'agissait seulement de produire un enfoncement dans du cuivre rouge. Dans une autre expérience, faite pendant qu'on frappait une médaille sur un métal très-dur, la vitesse maximum s'est élevée à 3 mètres, et la force vive a été presque double de la précédente.

La durée de l'enfoncement dans une plaque de cuivre de 6 millimètres d'épaisseur, pour la réduire à $2^{mm},7$ sur une surface de 427 millimètres, a été de 0,15 de seconde, et la courbe décrite pendant cet enfoncement est sensiblement rectiligne. La disposition du mécanisme que nous décrivons peut permettre des recherches de physique moléculaire, relativement aux lois d'écrasement des corps malléables, question peu connue et d'un haut intérêt. Le diagramme indiquant une ligne droite, montre que la résistance à l'écrasement est une quantité constante, que le métal s'*écoule* sans opposer une résistance croissante, et que l'accroissement de densité résultant de l'écrouissage est une quantité limitée, qui ne s'étend pas loin, dépendant de la nature de chaque corps. Pour ce qui est du balancier, je dirai qu'on peut obtenir par ce tracé la vitesse vers la fin de l'enfoncement, et, par suite, le travail consommé pour la résistance élastique du balancier, celui qui se dissipe en vibrations, partie très-considérable du travail moteur dont il n'a pas été tenu un compte suffisant dans les études faites jusqu'ici sur ce genre d'outils ; ce qui conduisait à des conséquences fausses d'accroissement indéfini, avec la diminution de l'écrasement, de la pression susceptible de produire le même effet que le choc. Cette conséquence erronée disparaît, et la théorie du balancier devient très-claire, en faisant, pour un travail effectué dans les conditions normales, la division du travail moteur en trois parties : le travail résistant du métal frappé, les résistances du frottement de la vis le long de ses filets et sur son extrémité, enfin la résistance élastique des côtés de la cage du balancier, division clairement manifestée par les effets calorifiques qui ne peuvent appartenir qu'à la première partie, qui, seule, répond à des déplacements moléculaires permanents. (Voir ce calcul dans les *Annales du Conservatoire*).

Nous dirons un mot des effets calorifiques extrêmement remarquables qui apparaissent dans ces ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

périences. Pour des médailles frappées sur du métal très-dur, de faible épaisseur, l'échauffement était nul, comme les déplacements moléculaires extrêmement minimes, tandis qu'il était déjà très-notable sur des plaques de cuivre rouge de 6 millimètres d'épaisseur, lorsqu'une fraction bien plus grande du travail total était consommée par l'écrasement du métal. Il y a là un cas très-remarquable de transformation de travail chaleur.

Pour en revenir au mécanisme inventé par M. Chéret, nous en avons plus haut montré toute la puissance, bien constatée par la pratique de l'industrie, puisqu'on peut à volonté, en variant simplement la pression sur la pédale, lui donner la même puissance que s'il était mû par dix hommes et plus, c'est-à-dire se rapprocher à volonté de la limite que la solidité du balancier peut permettre d'atteindre sans danger de rupture; aussi M. Barre se loue-t-il beaucoup de l'avoir adopté pour la fabrication des coins de monnaies en acier. Nous n'avons pas besoin d'insister sur sa simplicité, qui permet de varier à volonté les courses sans rien changer au mécanisme; enfin son prix d'établissement est très-modéré, bien que l'économie qu'il procure soit considérable.

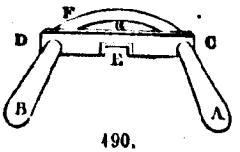
Le seul soin que doive prendre l'ouvrier, non au point de vue de son travail, mais pour ne pas consommer inutilement de force motrice, est de ne pas presser trop brusquement, au départ, sur la pédale agissant sur un levier qui double la pression. En effet, dans l'exemple cité, le plateau moteur, ayant une vitesse considérable au moment où le volant part avec une vitesse minime, agirait comme frein si la pression était trop forte; mais bientôt la différence des vitesses du plateau et du volant diminue assez pour que la différence des chemins parcourus, cause du frottement (cuir sur fonte à sec égal à 0,30 de la pression), soit peu considérable, et, par suite aussi, le travail consommé par ce frottement. Le désir de faire beaucoup produire à l'outil fait peut-être trop oublier la recommandation de l'inventeur, que nous répétons ici, et cela surtout parce que, la machine à vapeur faisant toujours fonctionner la transmission, rien ne manifeste l'inutile consommation de travail, qu'il est toujours facile d'éviter.

On voit de quelle importance est l'ingénieuse invention de M. Chéret, qui nous paraît avoir rendu un service réel à l'industrie en général, et surtout à l'industrie parisienne, qui fait un usage si multiplié du balancier. Rien de plus aisé que de lui adjoindre une main-poseur et de faire mouvoir automatiquement ce balancier comme la presse monétaire; on en fait ainsi un appareil très-satisfaisant pour la frappe des monnaies.

CH. LABOULAYE.

BALEINE (*angl.* whalebone, *all.* fischbein). Nom donné aux fanons de la baleine; ces fanons sont méplats et tiennent à ce cétacé la place des dents qui lui manquent complétement. La longueur du fanon maximum est généralement adoptée par les baleiniers pour désigner la taille de l'animal qu'ils viennent de capturer. La plus grande longueur jusqu'ici observée est de 5 mèt.; mais elle en dépasse rarement 4. La largeur à la racine est de 0m,25 à 0m,30, et l'épaisseur moyenne de 0m,015 à 0m,018. On nettoie les fanons et on les ramollit avant de les couper, en les faisant digérer pendant 1 heure 1/2 à 2 heures dans de l'eau bouillante. La baleine nous arrive du Groënland en paquets, de 10 à 12 fanons, tantôt entiers, tantôt ayant déjà subi une subdivision qui les rend plus portatifs. En cet état elle se vend de 120 à 375 fr. les 100 kilog.

Après avoir scié les fanons de longueur, on les ramollit dans l'eau chaude, on les fixe dans un étau de menuisier, et on les débite en baguettes, dans le sens des fibres, à l'aide d'un outil représenté fig. 190. Cet outil se compose d'une plaque de fer CD, munie de poignées A, B, dans laquelle est pratiquée une entaille directrice E, et d'un couteau F à lame circulaire, dont le tranchant est parallèle au bord supérieur de l'entaille E, et qui est fixé sur la plaque CD à une hauteur variable, suivant l'épaisseur à donner aux baguettes.



190.

La force et la légèreté de la baleine, jointes à la grande élasticité qu'elle présente, la font employer dans beaucoup d'industries, notamment pour la confection des parapluies et des ombrelles, des corsets, des chapeaux de femmes, etc. Lorsqu'on la chauffe dans un bain de sable, ou dans un bain de vapeur ou d'eau, elle se ramollit et peut alors se travailler, comme la corne et l'écaille, en tabatières, pommes de cannes, etc... On en polit la surface avec un morceau de feutre, sur lequel on place une bouillie faite avec de l'eau et de la pierre ponce finement pulvérisée; enfin l'on donne le dernier fini avec de la chaux éteinte à l'air libre et tamisée.

BALLES (*art militaire*). Projectile en plomb lancé par une arme à feu portative. On emploie le plomb pour faire les balles, parce qu'il est facilement fusible, très pesant, mou et facile à manipuler. Le procédé ordinaire de fabrication bien connu consiste à couler le plomb fondu dans un moule formé de deux parties assemblées à charnière, et portant chacune un vide hémisphérique; nous ferons seulement remarquer que, presque toujours, par suite du retrait qui résulte du refroidissement par l'extérieur, il se forme dans l'intérieur même de la masse de plomb une ou plusieurs cavités, dont on peut reconnaître l'existence en coupant la balle en plusieurs sens, et qui altèrent la justesse du tir. On a remédié tout dernièrement avec succès à cet inconvénient, à Berlin, en fondant les balles elliptiques, puis les comprimant au BALANCIER dans un moule qui leur donne la forme sphérique, et fait disparaître les cavités signalées ci-dessus. On tente aujourd'hui en Angleterre de fabriquer les balles mécaniquement, c'est-à-dire par étirage et estampage. On arriverait à un résultat également satisfaisant en fondant les balles sous une forte pression, au lieu de les couler simplement. On obtiendrait alors les mêmes résultats que ceux obtenus pour la FONDERIE EN CARACTÈRES dans des conditions semblables.

BANC-A-TIRER, *tréfilerie* (*angl.* wire-drawing, *all.* draht-ziehen). Le banc-à-tirer est une machine qui sert à étirer les métaux en les forçant à passer à travers des ouvertures de dimensions invariables, et qui forment alors la section du corps contraint à s'allonger. Il se compose donc essentiellement : 1° d'une partie fixe construite avec une matière aussi résistante et aussi dure que possible, appelée *filière*, laquelle est percée de trous correspondants à la forme qu'on veut obtenir; 2° d'un moyen de saisir le corps dont on a fait passer l'extrémité préalablement amincie au travers du trou, ce qui constitue la pince; 3° d'un moyen d'exercer une traction suffisante sur cette pince pour forcer le corps à traverser la filière.

Reprenons, en partant de la dernière, les diverses parties qui constituent le banc-à-tirer, et cherchons à indiquer les divers perfectionnements qu'a subis cette machine pour arriver à l'état où elle est aujourd'hui. La traction ne s'opérait dans les premiers bancs-à-tirer, et dans ceux qu'emploient encore les bijoutiers pour tirer des fils métalliques de faibles dimensions, qu'au moyen d'un moulinet adapté sur un axe sur lequel vient s'enrouler une forte bande de cuir fixée à l'extrémité de la pince.

Ce système de banc-à-tirer, dans lequel l'action de la force est irrégulière, et qui ne peut servir que pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des tractions peu considérables, est généralement remplacé par le banc à engrenages représenté par la fig. 191.

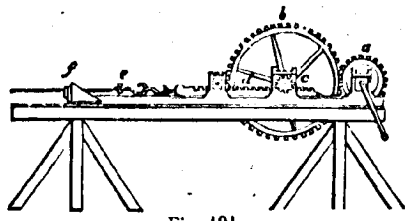


Fig. 191.

L'ouvrier agissant sur une manivelle exerce une traction puissante au moyen d'un pignon et d'une crémaillère. Par suite du mouvement régulier qui en résulte, les produits deviennent plus uniformes, en même temps que la puissance de l'outil est accrue.

On a cependant encore perfectionné le système que nous venons de décrire, en supprimant la crémaillère, dont l'action n'était pas régulière, et causait des efforts variables avec les positions respectives de ses dents et de celles du pignon. On l'a remplacée par une chaîne sans fin, une chaîne de Galle à laquelle on peut donner autant de résistance qu'on le désire, en augmentant le nombre et les épaisseurs des plaques qui la composent, et qui vient s'articuler sur deux roues dentées placées, l'une près de la filière, l'autre sur l'axe de la roue dentée mise en mouvement par l'engrenage. On peut voir, à l'article MONNAIE, la figure d'un banc à tirer de ce genre employé avantageusement dans la fabrication des monnaies, pour donner une grande régularité aux bandes sortant du laminoir.

Pinces. Nous ne nous attacherons pas à donner ici les diverses formes de pinces qui peuvent être employées; nous nous contenterons seulement de décrire une forme encore peu usitée et qui a été reconnue être parfaite, vu que le fil ne l'abandonne jamais, même sous les efforts les plus grands, par la raison que la force avec laquelle elle serre le fil augmente avec la traction. C'est une pince à coulant (fig. 192-193), composée de deux moitiés de cônes réunies par un ressort. A la chaîne sans fin est ajustée une plaque dans laquelle est percé un trou conique. Il est bien clair que, quand on y entrera la pince entre les mâchoires de laquelle on aura placé l'extrémité du corps à étirer, l'effort de traction la fera serrer avec une force croissante avec la traction, telle que la séparation ne pourra plus avoir lieu.

Fig. 192.

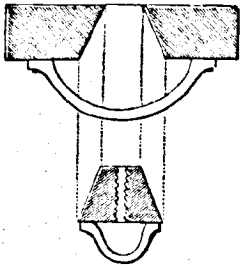


Fig. 193.

Filières. Il y a deux genres de filières, la filière simple et celle dite filière mécanique:

1° *La filière simple,* employée dans les tréfileries, se compose d'une plaque d'acier trempé (fig. 194), dans laquelle ont été percés des trous de forme déterminée et de grandeurs croissantes, de manière à réduire successivement le diamètre des fils, pour les amener peu à peu à la dimension voulue. On comprend quelle fatigue et quelle pression doit résulter sur les trous de la filière du refoulement du métal soumis à l'étirage. Aussi la fabrication de bonnes filières, dont la déformation ne soit pas trop rapide, est-elle d'une très-grande difficulté. Les meilleures se font avec une plaque de bon acier nerveux, formant étoffe entre deux plaques de

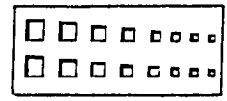


Fig. 194.

fer. Fabriquée de la sorte, la filière peut se redresser quand elle se voile à la trempe. Les trous sont percés au moyen de poinçons coniques de dimensions croissantes qui refoulent le métal sur les parois du trou et en augmentent la résistance latérale.

Les filières françaises sont très-estimées en Angleterre et jugées meilleures que celles qu'on y fabrique, à un point tel que, pendant les guerres de l'empire, les filières françaises se vendaient en Angleterre leur poids en argent.

Quelquefois, quand il est nécessaire d'obtenir des longueurs considérables de fil métallique, d'un diamètre parfaitement régulier, on a recours à une plaque garnie d'agates, de rubis ou autres pierres extrêmement dures et dont la résistance est très-grande. Voy. FILIÈRE.

A travers un rubis percé d'un trou de $0^{mm},08$, on a tiré des fils d'argent formant une longueur de plus de 200 kilom., dont la section est restée absolument la même, ce dont on s'est assuré, tant par des mesures micrométriques, qu'en pesant des portions de fil d'égale longueur. Dans une filière d'acier, au contraire, le diamètre d'un trou est tellement agrandi par le tirage de 25,000 mèt. de fil de laiton, qu'il ne peut plus servir pour donner la même grosseur *commerciale.*

2° *Filière mécanique* ou mieux *composée.* La filière mécanique a fait entrer le banc dans l'atelier du mécanicien; elle consiste dans un ensemble de parties mobiles qui s'assemblent en laissant entre elles, fermé de toutes parts, le vide qui doit servir à l'étirage. Les figures 195-196

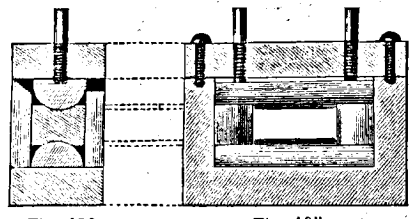


Fig. 196. Fig. 195.

font facilement comprendre la disposition des pièces. Les deux coussinets verticaux sont des prismes ajustés à tenons dans une rainure pratiquée dans le côté vertical du châssis et terminés par une surface cylindrique du côté du vide. Les coussinets horizontaux sont formés de deux surfaces cylindriques concaves qui s'emboîtent dans les coussinets verticaux, terminés pareillement du côté du vide par une surface cylindrique. Le tout est pressé par deux fortes vis qui rendent l'assemblage inébranlable.

Il est clair, d'après cette disposition:

Qu'avec des séries de coussinets horizontaux on pourra obtenir des sections de fil de toute largeur et de toute épaisseur;

Que l'outil peut se réparer sur la pierre à l'huile, quand, malgré une forte trempe, il s'est formé une dépression par la fatigue de l'étirage, condition essentielle d'un bon outil.

La forme des coussinets horizontaux est assez en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BANC-A-TIRER.

ıyeuse à exécuter ; la plupart du temps, surtout quand sont de peu d'épaisseur, on se dispense de faire les ces concaves, on les fait seulement plates, en ayant in de ne tremper fortement que leur partie antérieure, serrage des vis y incruste suffisamment les coussinets rticaux pour éviter tout dérangement.

Disons maintenant quelques mots de la manière mployer le banc-à-tirer.

Le fil métallique étant forcé de passer dans un trou ne section moindre que la sienne, s'allonge en raison erse du carré des diamètres ; ainsi, en passant dans trou de diamètre moitié du sien, il doit nécessaire- nt quadrupler de longueur (sauf bien entendu l'é uissement du métal, qui résulte de la pression à uelle il se trouve soumis).

Pour que l'étirage marche bien, il faut.

1° Éviter toute action de grippement entre le métal la filière, qui détruirait bientôt celle-ci. Pour cela on aisse ou mieux encore on enduit de cire le corps que n étire.

2° La vitesse doit être peu considérable surtout pour premières passes, dans lesquelles, à cause de l'irré larité primitive du fil, l'effort est très considérable, et urrait dépasser la résistance due à la ténacité du métal, l'action était comparable à un choc. Les fils de fer de laiton de 7 à 8 millim. de diamètre supportent une esse de 0m,50 par seconde ; ceux de 1/2 millim. une esse de 4 mèt. Les fils d'argent et de cuivre plus fins ıvent être étirés encore plus rapidement.

3° Il faut après chaque passage, ou au moins après petit nombre de passages successifs à la filière, re re le fil qui est devenu aigre par suite de l'écrouisse nt qu'il a subi, et qui serait incapable de supporter un rage ultérieur, si, par un recuit préalable, on ne lui ıdait sa douceur et sa ductilité premières. De plus, parties qui primitivement étaient plus épaisses que reste, font nécessairement naître des bosses corres- ndant aux parties où le métal plus comprimé a pu re céder quelque peu la filière, et garder assez de sort pour se gonfler à la sortie du trou plus que les rties voisines. Ce n'est que par des passes, correspon nt à un faible serrage, qu'on donne au fil bien recuit, 'il est possible de les faire disparaître.

4° Ne jamais donner des passes trop fortes capables désagréger le métal et d'en détruire le nerf quand ême on ne le casse pas.

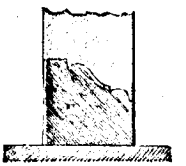
Le banc-à-tirer, tel que nous venons de le décrire, certes un outil fort ingénieux, et dont l'emploi n'est ıs limité à la tréfilerie proprement dite, à la fabrica- n des fils de fer et de laiton. M. Vende et son ve, M. Roger, en ont varié l'emploi à l'infini, par tirage de fils de formes très variées, la fabrication tubes, de prismes creux obtenus en faisant passer le ps dans la filière, autour d'un mandrin, qui a la me que doit avoir l'intérieur du tube ; mais néan- ins ces produits étaient nécessairement limités par forme des filières à des fils formant des surfaces con- ues, sans arêtes ni saillies.

C'est à M. Roger, habile mécanicien, dont j'ai cité s travaux persévérants, que l'on doit d'avoir ouvert ıe voie toute nouvelle pour obtenir d'une manière ex- êmement avantageuse, au moyen du banc-à-tirer, des oduits qu'il serait coûteux et difficile d'obtenir par ucun autre procédé. On a pu voir, à l'exposition de 839 et à celle de 1844, les produits vraiment merveil- ux de cette manière d'opérer. Des entablements dori- es, des ciselures de tout genre, du fil pour pignons, longues bandes rainées et fouillées en tous sens ser- ant à la construction des BATTANTS-BROCHEURS, ont juste titre excité l'admiration.

Disons quelques mots de ce procédé.

Au lieu d'employer seulement le banc-à-tirer à l'éti age du métal, M. Roger a eu l'idée de s'en servir aussi pour le couper. Pour cela, après avoir donné au corps, par la filière ordinaire, une forme rectangulaire, enve- loppe de la forme définitive qu'on veut obtenir, M. Roger le fait passer dans une espèce de filière dans laquelle un des coussinets, et quelquefois les deux, sont taillés sui- vant le profil qu'on veut obtenir.

Ce couteau est mobile de manière à pouvoir descendre et monter au moyen d'une vis, et à enlever le métal peu à peu comme le fait le couteau d'une machine à raboter. Le corps rectangulaire supporté par une partie plane ne peut changer de position, et la rainure ou le profil qu'il s'agit d'obtenir se trouve découpé avec une pureté extrême.



497.

Nous donnons ici (fig. 497) le dessin d'un de ces couteaux, qui fera bien comprendre la manière d'opérer, et tous les mécaniciens apprécieront facile- ment les grands avan- tages d'un pareil pro- cédé.

Nous terminerons en disant quelques mots des phénomènes qui ré- sultent de l'action de l'étirage.

La pression des parois des trous de la filière s'exer çant à la surface du corps, les molécules de cette partie devront prendre plutôt la forme filamenteuse qui résulte de l'action à laquelle elles sont soumises, que les molé- cules placées plus près de l'axe, et s'incliner davantage sur celui-ci. Il en résulte ce singulier phénomène que, quelquefois (surtout dans l'étirage de l'acier fondu, lequel présente une difficulté extrême), le corps étiré se divise en petits cônes ou en petits gobelets superposés, ce qui montre bien le mouvement qu'ont pris les molécules.

En général l'acier perd toujours un peu de sa résis- tance par son passage à la filière, quelque soin qu'on y apporte, mais les corps très malléables, le fer, le laiton y gagnent un accroissement de résistance par suite de l'écrouissage qu'ils y éprouvent.

On peut obtenir au banc-à-tirer des fils d'une finesse extrême. Le docteur Wollaston a fait des fils de platine pour les croisements des lunettes astronomiques de 0mm,005 de diamètre ; il en a même obtenu de 0mm,00125. Il serait impossible de travailler un semblable fil, de le tirer sans le rompre, comme aussi de percer des trous réguliers d'un diamètre microscopique. Pour les obtenir, il a renfermé un fil de platine dans un fil d'argent dix fois plus gros, puis a étiré le tout. Les deux métaux, en s'allongeant, conservent sensiblement le même diamètre proportionnel, et quand le fil obtenu est aussi délié qu'il est possible de l'obtenir, on sépare le fil de platine, dix fois plus fin, en dissolvant l'argent par l'acide nitrique, qui laisse le fil de platine intact.

M. Becquerel a obtenu, par un procédé analogue, des fils d'acier extrêmement fins, en se servant de mer- cure pour dissoudre l'argent.

Nous avons cru nécessaire d'entrer dans quelques dé- tails peu connus sur le banc-à-tirer, parce que cet outil offre des ressources qui ne sont pas encore suffisamment utilisées. Le seul défaut qu'on puisse lui reprocher, qui paraît inhérent à sa nature, et qu'il semble bien difficile d'éviter, consiste en ce que les pièces étirées se cour- bent toujours, en quittant la filière, par suite des refou- lements inégaux du métal dans ses diverses parties. Il faut les redresser, ce à quoi on parvient, soit en les frap- pant avec un maillet de bois, après les avoir placées sur des supports éloignés, la partie concave en dessous, soit en les pressant entre des surfaces planes pendant le recuit.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BANC-A-EMBOUTIR. Un outil nouveau de l'espèce du banc-à-tirer a été inventé dans ces derniers temps par un habile fabricant, M. Palmer, pour augmenter les ressources que lui procure ce dernier instrument. C'est en quelque sorte un banc-à-repousser. Disons en quoi il consiste, nous indiquerons ensuite ses applications spéciales. Si l'on emboutit au balancier, à l'aide d'un poinçon et de matières successives de profondeur croissantes, on sait qu'on arrivera à produire avec un disque de métal (dont l'épaisseur sera en rapport avec la force du balancier) un tube fermé, en forme de dé à coudre, et cela sans aucune déchirure, si les matrices successives diffèrent suffisamment peu, de telle sorte que l'action pour recourber, replier le métal ne dépasse jamais la limite d'élasticité.

C'est ce commencement de tube que M. Palmer s'est proposé d'allonger avec toute la régularité du travail du banc-à-tirer et avec cet avantage, pour certaines applications, de le conserver fermé à une extrémité.

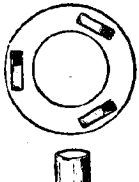
Pour y parvenir, il monte le dé obtenu au balancier sur un mandrin en acier de la dimension que doit avoir l'intérieur du tube. C'est ce mandrin qui est poussé dans des lunettes successives qui produisent l'allongement et le polissage du tube. Il y parvient à l'aide d'une machine, consistant en une forte vis horizontale (dans laquelle s'assemble le mandrin), mise en mouvement par une série d'engrenages et finalement par une manivelle

On voit que ce banc-à-repousser permet de créer des produits tout nouveaux. Nous citerons des tubes en fer étamé pour le moulage des bougies et chandelles et des boutcilles en métal sans soudure. Ce dernier et curieux produit est fait à l'aide d'un cylindre fermé, obtenu comme nous venons de le dire, et dont la partie qui doit former le goulot est successivement refoulée dans des lunettes qui décroissent très lentement.

Tubes-cordes. Nous citerons encore un curieux produit qui a été obtenu à l'aide du banc-à-tirer; nous voulons parler des tubes à filets héliçoïdes dit tubes-cordes, inventés par M. Groult, mécanicien à Paris.

Pour obtenir des cannelures héliçoïdales, il faut donner un mouvement de rotation à la filière. Ainsi tandis que l'extrémité du tube est entraînée par la chaîne ou crémaillère de tirage, parallèlement à elle-même la partie qui est dans la filière se tord en s'étirant.

Fig. 198.



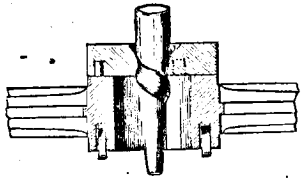


Fig. 199.

Le mouvement de rotation est donné à la filière par un système de roues dentées dont l'une est fixée sur cette filière, et la mobilité de celle-ci sur sa semelle fixe est assurée par l'interposition de trois galets en acier trempé.

Les fig. 198 et 199 montrent comment est construite la filière qui vient s'adapter sur le devant du banc à-tirer, et comment elle est ajustée par le moyen d'une roue dentée (dont deux bras seulement sont représentés sur la figure), pour permettre de lui imprimer un mouvement de rotation en même temps que la pince de la filière reçoit un mouvement de translation. C'est du rapport de ces deux mouvements que résulte l'inclinaison des filets héliçoïdaux. CH. LABOULAYE.

BARATTE. De tous les ustensiles d'une laiterie à beurre, la baratte est, sans contredit, le plus important. Elle exerce sur la qualité des produits et sur l'ensemble de la marche des opérations une influence si bien sentie, que chaque année beaucoup de sociétés d'agriculture décernent des prix aux meilleurs instruments de cette espèce soumis à leur approbation.

Le lait se compose, comme on sait, de caséine, de beurre, d'une matière sucrée, de quelques sels minéraux et d'eau. Le beurre se trouve dans le lait sous forme de globules enveloppés d'une pellicule albumineuse très mince. Ces globules, un peu plus légers que le liquide où ils nagent, se réunissent, pour former la crème, à la surface du lait, abandonné à lui-même à une température convenable.

Le lait frais ou la crème, vivement agité ou *battu*, comme on dit, à une température comprise entre 10 et 17 degrés, éprouve une série de transformations dont la théorie n'est pas encore bien connue : les pellicules qui enveloppent les globules de matière grasse se déchirent, et ceux-ci, en s'agglutinant les uns aux autres, forment des masses de beurre plus ou moins considérables. On va décrire les principaux appareils employés pour effectuer l'opération du *battage*, et quelques autres ustensiles employés dans la fabrication du beurre. Ces renseignements compléteront ce qui a été dit sur la construction de la laiterie (AGRICULTURE, chap. V), et les articles BEURRE, FROMAGE et LAIT de ce Dictionnaire.

En Normandie et dans les grandes laiteries du Gloucestershire, on emploie généralement une baratte (fig. 1) formée d'un tonneau cerclé en fer et monté sur

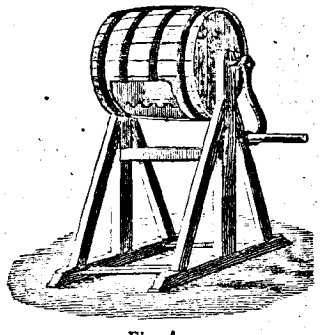


Fig. 1

un axe horizontal, auquel est adaptée la manivelle qui sert à mettre la machine en mouvement. On introduit la crème par une ouverture pratiquée dans l'une des douves, et facile à fermer par un tampon retenu par un loquet. L'intérieur du tonneau est garni, comme le montre l'arrachement que présente le dessin, d'une série de barres transversales fixes et échancrées. La crème, pendant le mouvement du tonneau, tombe de l'une de ces barres sur l'autre, et se trouve ainsi parfaitement agitée et mêlée avec l'air. Ces barattes ont depuis 50 jusqu'à plus de 150 litres de capacité, et coûtent de 40 à 120 fr

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans les petites fermes ou dans les ménages, on se sert presque exclusivement en France de la baratte à piston (fig. 2), dont tout le monde connaît l'usage. L'arrachement ménagé dans le dessin laisse apercevoir la forme du piston batteur, simple disque de bois percé d'un grand nombre de trous et fixé perpendiculairement à l'extrémité du manche à l'aide duquel on le manœuvre. Le couvercle de la baratte s'enlève facilement pour introduire la crème, laver et enlever le beurre. Le mouvement alternatif du piston, qui doit être aussi régulier que possible, exige de la part de la batteuse une assez grande habitude.

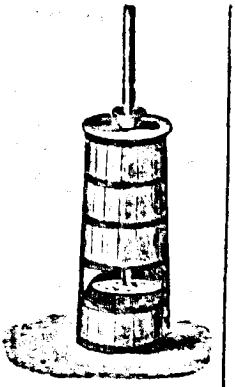


Fig. 2.

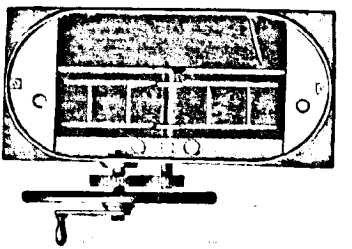
Dans certains pays où l'on bat le lait frais, ou bien dans des laiteries fort importantes, on emploie des barattes fondées sur le principe de celle que l'on vient de décrire, mais d'une capacité de 200 à 300 litres. Le piston est alors mis en mouvement par une espèce de brimbale, qui reçoit elle-même son mouvement d'un moteur quelconque.

La baratte, dite écossaise, de Drummont, dont quelques agriculteurs anglais semblent faire grand cas, appartient encore à la classe des barattes à piston. Elle se compose d'une cuve en bois, de forme ovale, partagée en deux compartiments par une cloison verticale percée de trous à sa partie inférieure et à sa partie supérieure. Un piston percé de trous se meut librement dans chaque compartiment. Les tiges de ces deux pistons sont réunies, par des courroies, à une poulie animée d'un mouvement circulaire alternatif, de manière que l'un des pistons s'élève quand l'autre s'abaisse, et réciproquement. Il résulte de ce double mouvement que la crème se trouve rejetée tour à tour d'un compartiment dans l'autre et très vivement agitée. La poulie qui commande les pistons reçoit d'ailleurs son mouvement d'une manivelle montée sur un petit volant que l'on tourne à la main. Le beurre se fait très vite dans cette baratte ; elle coûte, en Angleterre, 45 fr. pour 9 litres, et 100 fr. pour 50 litres.

La baratte à tonneau et la baratte à piston, dont on a donné ci-dessus les figures, sont les plus fréquemment employées. Mais il existe un grand nombre d'autres barattes, parmi lesquelles nous signalerons les suivantes, qui semblent les plus dignes de fixer l'attention.

La baratte dite de Rowan (fig. 3 et 4) se compose d'une cuve cylindrique ovale partagée en deux compartiments, dans le sens de sa longueur, par une cloison verticale que l'on aperçoit dans le plan de l'appareil. Cette cloison laisse à chacune de ses extrémités un certain espace libre qui permet au liquide de passer facilement d'un compartiment dans l'autre. Le batteur occupe une partie de l'un des compartiments ; il est mis en mouvement par un pignon commandé par une roue dentée montée sur l'arbre du petit volant, auquel on imprime à la main un mouvement de rotation régulier. Le liquide, entraîné et chassé par le mouvement du batteur, passe rapidement d'un compartiment à l'autre, avec un mouvement circulatoire analogue à celui que l'on observe dans les piles à chiffon des papeteries. Les extrémités de la cuve et une partie du compartiment du batteur sont garnies de couvercles qui s'opposent à la projection de la crème. Ces couvercles sont percés de trous garnis de bouchons mobiles, qui se lèvent pour laisser entrer ou sortir l'air comprimé par le refoulement ou l'appel du liquide. Le compartiment libre

Fig. 3



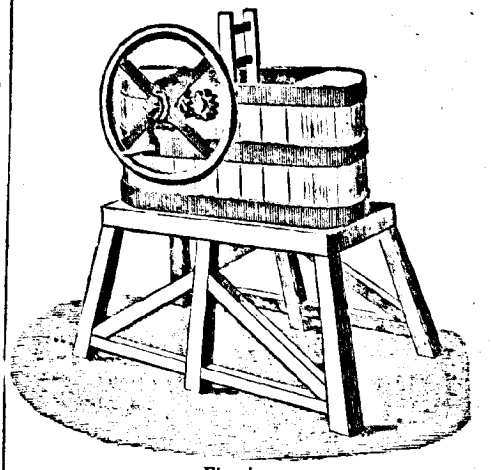


Fig. 4.

de la cuve est garni à sa partie supérieure par une petite cloison, que l'on aperçoit sur le plan, au-dessous de laquelle passe le liquide en mouvement, mais qui arrête le beurre, que sa légèreté spécifique tend à réunir à la surface.

Pendant l'hiver, on peut remplacer la cloison verticale en bois de la baratte par un vase plat en étain, rempli d'eau chaude, pour amener la masse à la température la plus favorable à la formation du beurre. On construit des barattes de Rowan de 40 à 80 litres de capacité. Leur prix varie de 25 à 100 fr.

La baratte dite de Sussex (fig. 5) se compose d'un cylindre d'étain, de fer-blanc, ou même de zinc, fixé

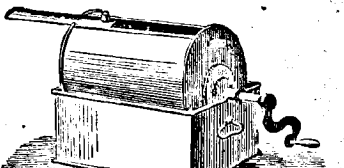


Fig. 5.

sur des tasseaux qui lui permettent de rester horizontal. On introduit le lait ou la crème par la porte à cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BARATTE.

lisse que montre le dessin. L'axe du cylindre est occupé par l'axe du batteur, que l'on met en mouvement à l'aide d'une manivelle. Ce batteur est formé de deux ou de quatre lames plates et échancrées fixées à l'axe, ou bien par des tiges d'étain parallèles à l'axe, et plus ou moins rapprochées de la circonférence. Le faible volume de cette baratte permet de la placer dans un vase rectangulaire en fer-blanc, où l'on entretient de l'eau à la température la plus convenable pour le battage.

La baratte de M. Lavoisy, brevetée à Paris et mentionnée honorablement par le jury de l'exposition universelle de Londres, ne diffère de celle que l'on vient de décrire que par l'emploi d'un engrenage qui augmente la vitesse de rotation du batteur.

On donne aux barattes en métal dont nous parlons de $0^m,25$ à $0^m,45$ de longueur, sur $0^m,16$ à $0^m,32$ de diamètre. Elles ne peuvent convenir, par conséquent, qu'aux usages domestiques ou dans de très petites exploitations ; elles valent de 25 à 80 fr.

La baratte flamande et la baratte des Vosges sont formées, comme la précédente, d'un vase cylindrique fixe dans lequel tourne un batteur à axe horizontal. Dans la première, le batteur est formé de quatre tiges cylindriques parallèles à l'axe ; le batteur de la baratte des Vosges, au contraire, se compose de huit ailes planes percées de trous et fixées à l'axe. Ces deux barattes sont en bois et atteignent d'assez grandes proportions. Mais leur nettoyage, surtout celui de la baratte des Vosges, est assez difficile.

La baratte, dite américaine, de MM. Anthony et Emmerson, diffère notablement de toutes les précédentes. Le lait est renfermé dans une caisse en bois de forme cubique, traversée, à peu près au milieu de sa hauteur, par un arbre horizontal, au moyen duquel on peut imprimer un mouvement de rotation à un batteur d'une construction toute particulière. Ce batteur



Fig. 6.

(fig. 6) n'est autre chose qu'un cadre rectangulaire partagé en un plus ou moins grand nombre de cases par de petites cloisons fixées au cadre lui-même et au grand diaphragme, qui le partage en deux dans le sens de la plus grande dimension. Ce batteur agite parfaitement la crème, et surtout force une grande quantité d'air à la traverser et à se mélanger avec elle. Le beurre se fait très vite dans cet appareil, mais il ne paraît pas qu'il convienne de lui donner plus de 40 à 50 litres de capacité.

Dans un assez grand nombre de barattes, et notamment dans les petites barattes de table en cristal dont l'idée est attribuée au célèbre Wegdwood, le batteur est formé d'un arbre vertical garni d'ailes, auquel on imprime, par différents mécanismes, un mouvement rapide de rotation. Cette disposition ne donne un battage suffisamment énergique que dans des vases de très petite dimension ; pour la rendre applicable à de plus grands appareils, on a eu l'idée de placer dans l'intérieur des barattes des espèces d'ailes fixes, entre lesquelles passent les ailes du batteur. Cet artifice permet d'obtenir un très bon battage, quelles que soient les dimensions des appareils employés. Les barattes construites par M. Clyburn sont fondées sur ce principe ; ce sont les plus grands appareils de cette espèce que nous ayons eu l'occasion de rencontrer ; ils sont parfaitement convenables pour les laiteries des exploitations importantes ou des associations, et paraissent, à ce titre, mériter ici une mention toute particulière.

La baratte de M. Clyburn (fig. 7) se compose d'un tonneau légèrement conique et solidement cerclé, de près de 400 litres de capacité, dans lequel se meut un axe vertical en bois *h h*, garni de deux séries de tiges placées dans des plans perpendiculaires. Aux parois du tonneau sont fixées quatre séries de tiges semblables, formant contre-batteur et disposées de manière que le batteur puisse passer dans les espaces vides qu'elles laissent entre elles. L'arrachement ménagé dans le bas du tonneau permet d'apercevoir la disposition du batteur et du contre-batteur dont on vient de parler. La machine est mise en mouvement par une force mécanique. L'application des moteurs aux barattes à beurre présente le double avantage d'épargner à l'homme un travail pénible et d'imprimer à la machine une régularité de marche qui paraît très favorable à la qualité des produits. Le mouvement est transmis au batteur par la roue d'angle *c* montée sur l'arbre de la poulie *a*, sur laquelle s'enroule la courroie motrice. On arrête le batteur au moyen du levier *b* qui peut, à volonté, faire passer la courroie de la poulie *a* sur la poulie folle placée à côté. Le batteur doit faire environ 100 tours par minute.

Lorsque le battage est terminé, on enlève la clavette *g* qui réunit l'arbre en bois du batteur à l'axe de la roue d'angle, et on soulève celui-ci à l'aide de la vis *d* et du levier *e f*. On peut alors enlever le couvercle *m m*, puis le batteur et nettoyer l'intérieur de la baratte. Le robinet qui est au bas du tonneau sert à l'écoulement du lait de beurre et des eaux de lavage.

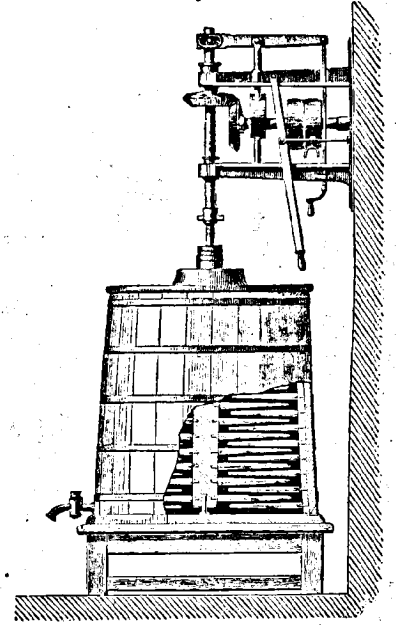


Fig. 7.

On a proposé et on emploie dans quelques pays plusieurs espèces de barattes différentes de celles que nous avons décrites, telles sont par exemple les barattes à balancoires, etc ; mais ces appareils sont ou trop im-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parfaits ou trop peu répandus pour qu'il soit utile de s'en occuper.

Outre la baratte on rencontre encore parmi les ustensiles nécessaires à la laiterie des pilons et des rouleaux pour tasser et saler le beurre, des moules, des tamis, des spatules, etc.; mais ces différents instruments sont trop simples ou trop connus pour mériter une description particulière.

Les vases employés pour recueillir et conserver le lait sont en métal ou en terre. Ces derniers sont généralement préférables, parce que les métaux, quelque soin que l'on en prenne, sont toujours sujets à s'oxyder. On commence à employer, pour déposer le lait et recueillir la crème, des terrines en verre blanc ou coloré; ces vases sont de beaucoup préférables à tous les autres, et il résulte de quelques expériences déjà faites en grand que leur casse n'est pas plus considérable que celle des vases de terre. En Allemagne des terrines en verre vert, de 0m,40 de diamètre, coûtent environ 0f,80 pièce. En Angleterre de semblables terrines en verre blanc reviennent à près de 2 francs. Il est à désirer que l'emploi de terrines en verre se répande dans nos laiteries. H. M.

BAROMÈTRE. Voy. *Complément*.

BARYTE, oxyde d'un des métaux alcalino-terreux, le *Baryum*. On l'obtient aisément en dissolvant le carbonate de baryte natif (withérite) dans l'acide nitrique, et décomposant ensuite par la chaleur, le nitrate ainsi formé, dans un creuset de platine couvert, que l'on porte au rouge vif. C'est une substance d'un blanc terreux, difficilement fusible, qui a un goût âcre et caustique, corrode la langue et toute matière animale; elle est vénéneuse, même en très-faible quantité, et a une puissante réaction alcaline. Sa densité est de 4,0. Elle s'échauffe considérablement lorsqu'on l'arrose avec une petite quantité d'eau et se délite en une poudre blanche, fine, qui est de l'hydrate de baryte, renfermant 10,5 p. 100 d'eau, et qui se dissout dans dix fois son poids d'eau. Cette dissolution laisse déposer, par refroidissement, une abondante quantité de cristaux d'hydrate de baryte; mais elle retient toujours un vingtième de son poids de baryte, et porte alors le nom d'eau de baryte. Les cristaux ci-dessus contiennent 60,5 p. 100 d'eau; mais ils en perdent 50 parties par la dessiccation. L'hydrate qui reste se fond au rouge, sans perdre d'eau.

La baryte se reconnaît à la propriété qu'elle possède de former avec l'acide sulfurique un composé insoluble dans l'eau et dans les acides, propriété qui est très-usitée dans les arts chimiques et dans les laboratoires, pour constater la présence de l'acide sulfurique et en déterminer la quantité.

Le sulfate de baryte est blanc, très-pesant, assez commun dans le règne minéral, et fort souvent mélangé dans une proportion considérable avec le blanc de céruse (carbonate de plomb); on le reconnaît en dissolvant celui-ci dans de l'acide nitrique étendu, qui dissout le plomb et laisse le sulfate de baryte en résidu.

Industrie de la Baryte. — Depuis la découverte de la Baryte par Scheele, en 1774, ses précieuses propriétés ont été peu à peu révélées par les travaux d'un grand nombre de chimistes.

Conformément à la marche ordinaire de l'histoire de la chimie, dit fort bien M. Hofmann (Rapport sur l'Exposition de 1862), l'industrie a commencé, dans ces dernières années, à recueillir ce que la science avait semé, et la baryte et ses composés, cessant de figurer uniquement comme de simples produits de laboratoire, sont, d'année en année, plus recherchés dans les fabriques.

Applications des composés barytiques. — La baryte caustique possède la propriété précieuse d'absorber l'oxygène de l'air à une chaleur rouge sombre et de le dégager de nouveau sous l'influence d'une température plus élevée. Si l'on savait profiter de cette propriété pour fournir aux arts industriels de l'oxygène à bon marché, une puissante impulsion serait donnée aux moyens de produire des températures très-élevées et par suite à l'élaboration des matières les plus réfractaires. Cette source d'oxygène indiquée dans le principe par Thénard, et sur laquelle, plus récemment M. Boussingault a attiré l'attention, est demeurée jusqu'ici sans application pratique, en raison de la diminution qui se produit, après quelques répétitions de cette opération, dans le pouvoir que possède la baryte d'absorber le gaz et de le dégager alternativement. Comme il est probable que cette diminution est plutôt due à une modification de l'état physique qu'à une altération chimique de la baryte, on arrivera sans doute à remédier au mal, et l'opération deviendra alors parfaite.

Un procédé peu coûteux pour produire la baryte caustique et son dérivé, le peroxyde de barium, conduirait probablement (entre autres applications) à la fabrication en grand de l'eau oxygénée, du peroxide d'hydrogène, composé qui, par ses puissantes qualités oxydantes et décolorantes, deviendrait un auxiliaire précieux dans beaucoup d'opérations industrielles, mais dont le prix actuel s'oppose à son emploi, même dans les laboratoires.

On peut dire que l'on approche déjà de ce but, non par la décomposition par la chaleur de l'azotate de baryte, procédé de laboratoire, mais par le procédé de M. Kulhman, consistant à traiter une dissolution concentrée de chlorure de barium (produit sans frais en absorbant l'acide chlorhydrique qui se dégage des fours à soude au moyen du carbonate de baryte naturel. Voy. *Arts insalubres*, n° 5, *Complément*) par une lessive de soude également concentrée. Une double décomposition se produit alors, et l'hydrate de baryte se dépose en cristaux feuilletés. MM. Dubrunfaut et Le Play ont montré aussi que la baryte caustique s'obtenait en chauffant le carbonate de baryte mélangé de charbon au rouge vif, que la réaction donne de la baryte et de l'oxyde de carbone.

La baryte caustique à bon marché, pourrait permettre de caustifier les sulfates alcalins aussi promptement que la même transformation s'opère aujourd'hui, à l'aide de la chaux, sur les carbonates alcalins. Bien plus, dans beaucoup d'opérations, une solution de baryte caustique serait sans doute assez alcaline pour remplacer les lessives caustiques ordinaires, soit sodiques, soit potassiques.

Blanc fixe. — Parmi les applications déjà réalisées, des composés barytiques, il faut citer surtout l'emploi du sulfate de baryte natif ou artificiel pour la peinture en blanc et les papiers peints. M. Kulhman de Lille a monté une fabrication de ce *blanc fixe*, qui peut s'élever à deux tonnes par jour.

BASSIN DE RADOUB,— *système Clark, établi près des docks Victoria, à Blackwall.*— La nécessité de faire passer au bassin les vaisseaux en fer à hélice, presque à chaque voyage, rend insuffisants les bassins existants dans presque tous les ports. Un nouveau système paraît remédier à ces inconvénients, nous en emprunterons la description à l'excellent rapport sur les travaux publics représentés à l'Exposition de 1862, dû à M. Bomart, inspecteur général des ponts et chaussées.

L'ordre d'idées, dit-il, d'après lequel ont été établis ces bassins de radoub, semble pouvoir se résumer ainsi : couler préalablement, sur des traverses disposées à cet effet, un chaland ou ponton construit *ad hoc;* amener au-dessus du chaland échoué le navire à réparer; soulever mécaniquement, au moyen de presses hydrauliques, les traverses, le chaland et le navire calé sur le chaland; remettre à flot, par une simple fermeture de bondes, le chaland qui se sera vidé pen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dant son ascension; emmener le chaland portant le navire dans quelque bassin à faible tirant d'eau, le long de quais ou d'embarcadères, à proximité des dépôts des matériaux de réparation; restaurer le navire sur le chaland lui-même; et, quand le travail est terminé, remettre le navire à flot, en repassant par les mêmes opérations en ordre inverse.

l'ar cet ensemble de combinaisons, on s'est proposé de satisfaire au service de radoub le plus actif, avec un seul appareil élévatoire, moyennant la construction d'un plus ou moins grand nombre de chalands, selon les besoins; ce qui devait avoir le plus grand avantage de ne point augmenter les dépenses d'établissement des ouvrages proportionnellement à l'accroissement d'activité du service, chaque chaland additionnel, dont le coût est relativement minime, devant équivaloir, dans ce système, à la création additionnelle d'un bassin de radoub.

Voici comment M. Edwin Clark a réalisé, à Blackwall, ces très-ingénieuses combinaisons (fig. 498).

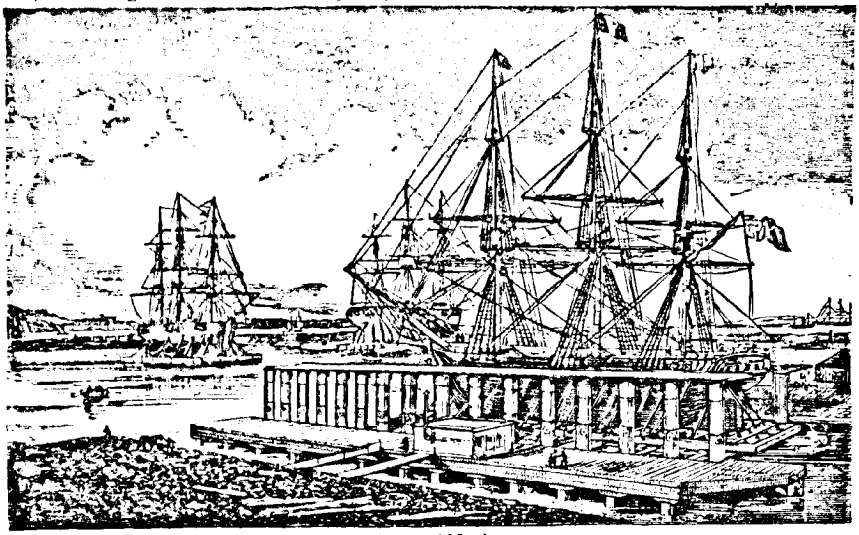


Fig. 498.

Deux rangées parallèles de colonnes comprennent entre elles l'espace dans lequel doit être reçu le navire. Chaque rangée contient seize colonnes. D'une rangée à l'autre, d'axe en axe, l'espacement est de 18m,91; dans la même rangée, la distance d'une colonne à la suivante est de 6m,10. Les colonnes sont en fonte; elles ont 1m,525 de diamètre et 18m,30 de hauteur, y compris 3m,70 de fiche. Chacune d'elles renferme une presse hydraulique. Le cylindre de cette presse a son sommet au niveau du bassin. Son piston, qui a 0,254 de diamètre et 7m,625 de course, se meut avec jeu dans le cylindre; il est guidé, dans ses mouvements de montée et de descente, par un serrage en cuir qui fait office de boite à étoupe au sommet du cylindre, et par un joug en fer forgé qu'il porte à sa tête. Ce joug glisse dans deux rainures ménagées dans la colonne suivant le plan d'axe de la rangée, et ouvertes depuis le sommet du cylindre jusqu'au sommet de la colonne. A ce joug est suspendue, au moyen de deux tirants, une des extrémités d'une traverse formée de deux poutres jumelées, dont l'autre extrémité est suspendue de la même manière au joug de la colonne placée en face, dans l'autre rangée. Chaque presse est alimentée par un petit tuyau aboutissant un peu au-dessous du serrage. Les tuyaux des trente-deux presses viennent se réunir dans une cabine vitrée, d'où un contre-maître surveille et dirige les détails de la marche de l'appareil. Ils y aboutissent à un clavier de robinets qu'on ne fait en général agir que par groupes, mais qui peuvent agir chacun isolément quand il y a lieu. Au delà, ils ne forment plus que trois groupes, correspondant à trois récipients distincts, lesquels alimentent, l'un, les huit couples de colonnes d'amont, et chacun des deux autres, les huit colonnes de droite ou les huit colonnes de gauche restant à l'aval. L'eau est fournie à ces trois récipients par quatre pompes que met en mouvement une machine à vapeur de 50 chevaux.

Les choses étant disposées ainsi, on conçoit sans peine comment l'opération s'effectue. Dans l'état de repos, tous les pistons des presses sont au bas de leur course, et les traverses sont descendues sur le radier, à 8m,40 de profondeur. On amène entre les colonnes un chaland de dimensions appropriées à l'échantillon du navire à réparer, et portant à demeure les chantiers et coins en bois destinés à supporter et caler le navire. On place ce chaland, et on l'échoue en ouvrant les bondes de son fond. Le navire est ensuite introduit et amarré dans la position convenable au-dessus du chaland. On ouvre alors les robinets correspondant aux presses qui doivent agir, eu égard aux dimensions du chaland, et on met en jeu la machine à vapeur. Dès que le navire commence à porter sur le chaland, on opère, en agissant sur des chaînes disposées *ad hoc*, le serrage des coins qui le calent. Le contre-maître, qui, en faisant intervenir dans une proportion relative convenable les trois groupes distincts de tuyaux alimentaires, peut modifier à volonté l'inclinaison longitudinale et l'inclinaison transversale du chaland, règle la marche de l'ascension de tout le système de manière à maintenir toujours le chaland et le navire dans les conditions désirables. L'action des presses se continue jusqu'à ce que le fond du chaland sorte de l'eau; alors le chaland se trouve vide :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on ferme les robinets, et on laisse descendre les pistons des presses. Le chaland, remis à flot, s'éloigne, emportant le navire; et l'appareil élévatoire se trouve en situation de recommencer, pour quelque autre navire, la même opération.

Généralement, une opération de mise en chantier demande, en tout, de deux à trois heures. Dans les conditions que comporte le service actuel du dock, toutes les manœuvres qui viennent d'être décrites, appliquées à un navire ordinaire, s'effectuent avec une merveilleuse facilité.

Tout le système élévatoire pris isolément, — c'est-à-dire les colonnes, les traverses, les presses, les pompes, les machines à vapeur, y compris les travaux d'établissement de ces diverses parties du système, les fondations, le radier, les perrés, les planchers d'approche, le bâtiment de la machine, la cabine, etc., mais non compris les chalands ni aucune des dépendances extérieures en terrains, bassins, etc., — a coûté 26,000 livres sterling, soit 650,000 francs. Le prix des chalands a varié, suivant les dimensions, depuis 75,000 fr. jusqu'à 260,000 francs.

Ce système très-remarquable laisse évidemment à désirer au point de vue des réparations, des dépenses d'entretien qu'il doit exiger. C'est en tenant compte de cet élément qu'il doit être comparé aux constructions, destinées au même but, dont il nous reste à parler.

Formes de radoub. — *Docks flottants.* Les formes de radoub en maçonnerie, le plus souvent employées, sont d'une durée indéfinie, si elles ne se prêtent pas à un service aussi actif que peut le faire le système moins durable qui vient d'être décrit. Lorsqu'elles sont capables de recevoir les plus grands navires, et telles qu'on les construit dans les ports militaires, elles constituent un important travail de construction et coûtent, selon les difficultés que l'on rencontre dans les fondations, de 2,500,000 francs à 3 millions, y compris les puissants appareils d'épuisement dont on les munit et le bateau-porte. Mais lorsqu'on construit un groupe de formes, certaines dépenses, et notamment celles relatives aux machines d'épuisement, ne se répètent pas; c'est ainsi que, à Cherbourg, où d'ailleurs les fondations ont pu s'asseoir sur le granit, la dépense, faite pour le groupe des quatre formes nord, n'a pas atteint la somme de 8 millions.

Les docks flottants qui constituent la troisième solution du même problème conviennent pour les localités où les ressources nécessaires aux travaux de maçonnerie font défaut, ou dans lesquelles la nature des fonds présenterait des difficultés particulières. Ils consistent essentiellement en de grands caissons en tôle, le plus souvent consolidés par une charpente intérieure en cornières. Le navire à réparer pénètre dans l'intérieur du dock qu'on a fait immerger en le remplissant en partie d'eau, par une porte qui s'abat et s'ouvre à volonté; puis la porte replacée et le navire bien appuyé, des pompes d'épuisement relèvent le dock et permettent de procéder aux réparations et nettoyages de la coque.

La forme sèche constitue un appareil complet qui n'a besoin d'aucun accessoire; il suffit que l'on trouve à ses abords le tirant d'eau nécessaire pour faire flotter le navire. Pour le dock flottant, il faut un emplacement complétement abrité, une fosse dans laquelle il y ait une hauteur d'eau suffisante pour que le fond du dock puisse être convenablement abaissé, et, par suite, l'introduction dans un port d'un dock flottant nécessite des travaux importants dont le prix doit être ajouté à celui du dock lui-même. Enfin, la forme en maçonnerie est un ouvrage d'une durée séculaire qui, convenablement exécuté avec des matériaux, des ciments de bonne qualité, fondé sur un terrain solide, ne donne lieu qu'à de faibles dépenses d'entretien; le dock flottant, s'il est construit en fer, et à plus forte raison s'il est construit en bois, n'a qu'une durée limitée, et exige pour son entretien des dépenses considérables. Il en est de même du système Clark; le prix de l'appareil élévateur est relativement peu élevé, mais son installation nécessite des travaux accessoires qui augmentent considérablement les dépenses.

En somme, bien qu'elles exigent l'immobilisation immédiate d'un capital plus considérable, les formes en maçonnerie paraissent préférées, au moins en Europe, aussi bien dans les ports de commerce que dans les ports de guerre, à tout ce qui a été imaginé pour les remplacer, malgré la nécessité où l'on s'est trouvé de les multiplier depuis l'adoption des navires en fer, dont la coque exige des nettoyages incessants.

Nous dirons un mot des portes de ces grands ouvrages, qui en constituent une part importante. Bien que les types de portes busquées en bois, semblables à celles des écluses des canaux, soient restés une solution très-convenable, au point de vue de la facilité d'emploi que présentent les grandes pièces de sapin dont elles sont essentiellement composées, les ingénieurs tendent à substituer le fer au bois dans la construction des portes d'écluse. Les portes busquées en tôle sont formées d'entretoises reliées par des cloisons verticales pour répartir les pressions, et revêtues d'un doublage à l'amont et à l'aval; elles constituent donc des caisses creuses qui servent à lester convenablement la porte et permettent ainsi d'annihiler les effets de la pesanteur ou de la sous-pression; l'étanchéité de la fermeture est d'ailleurs obtenue par des fourrures en bois s'appliquant contre le busc et les chardonnets.

La facilité que présente la tôle pour former de grands caissons étanches a même conduit, dans certains cas, à substituer aux portes busquées un panneau unique formé d'une caisse en tôle qu'un lestage convenable permet de faire flotter au moment de la manœuvre, et de faire tourner autour de gros pitons fixés dans les bajoyers, et qui n'ont plus qu'à guider la rotation. Le dessus de la porte est utilisé comme pont pour les piétons et même pour les voitures.

BASSORINE. On appelle ainsi le principe constituant d'une espèce de gomme qui vient de *Bassora*, de la gomme adragante et de quelques gommes-résines.

BATEAU. La construction des bateaux de forme analogue à celle des navires, des bateaux à quille est semblable à celle des navires, et pour ce sujet nous renverrons à l'article CONSTRUCTION DES NAVIRES; nous ne donnerons ici que quelques détails sur les bateaux employés sur les rivières.

Ces bateaux sont des bateaux plats, pouvant porter un chargement considérable avec un faible tirant d'eau. Les grands bateaux normands qui remontent la Seine jusqu'à Paris ont de 40 à 50 mètres de longueur, sur sept, huit et même neuf de largeur et deux de profondeur. Ceux qui traversent les canaux, qui viennent de la Haute-Loire par exemple, sont moins longs et surtout bien plus étroits. Dans leur construction, le choix des courbes qui supportent le fond et le bordage, est la chose importante. On choisit des bois coudés naturellement et surtout des embranchements afin que la courbe ait un talon bien marqué. Le coude de la courbe n'est jamais absolument d'équerre: on se sert du feu, de l'eau, et quelquefois des deux moyens combinés, pour les amener à la cambrure nécessaire qui n'est pas tout à fait l'équerre, mais qui en approche. Le fond du bateau n'est pas soutenu seulement par la prolongation des courbes qui n'atteignent pas le second bord; on met entre elles des lambourdes qui traversent toute la largeur moins $0^m,27$ de chaque côté. Les courbes soutiennent le bordage, après lequel elles sont assujetties au moyen de chevilles; elles tiennent aussi par les mêmes moyens après le fond et dans cette partie les chevilles se mettent par dedans, les pointes saillantes en dessous.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR (*anglais*, steam-boat, *allemand*, dampfschiff). Le progrès industriel le plus remarquable de notre époque est, sans contredit, l'application de la machine à vapeur à la locomotion sur la terre et sur l'eau. Ce sont là de ces découvertes réellement providentielles, destinées à changer la face du globe et à faire faire un pas immense à l'humanité tout entière, en facilitant d'une manière inespérée les rapports entre les diverses nations.

A l'article CHEMIN DE FER, nous traitons avec détail de la locomotion à vapeur sur terre; ici, nous allons nous occuper du bateau à vapeur, qui utilise si admirablement les fleuves, les rivières qui sillonnent en tous sens les continents, pour la célérité des communications, du transport des personnes et des marchandises, et surtout vient soustraire le commerce maritime aux caprices des vents.

Déjà en 1693, Papin, le véritable inventeur de la machine à vapeur à piston (Voy. MACHINE A VAPEUR), proposait d'employer une double machine atmosphérique à mouvoir des roues à palettes, pour faire avancer les bateaux auxquels elles seraient fixées. Il paraît même avoir tenté la construction d'un bateau qui fut mis en pièces par les bateliers du Weser.

Le premier qui appliqua cette idée est le marquis de Jouffroy, qui construisit, en 1780, un bateau à vapeur de 46 mètres de longueur qui fut essayé sur la Saône. Le moteur consistait en une machine atmosphérique qui faisait mouvoir des espèces de volets, placés latéralement, s'ouvrant pour repousser l'eau et faire avancer le bateau, puis se refermant pour venir reprendre leur position primitive. Dans un essai subséquent il remplaça les volets ci-dessus par des roues à aubes, qu'on avait déjà essayé, sans succès, de substituer aux rames pour la navigation ordinaire; mais ce fut toujours avec peine que l'on parvint à faire marcher le bateau, sans pouvoir jamais atteindre une vitesse un peu considérable. La machine à vapeur atmosphérique était trop imparfaite, l'art du constructeur trop peu avancé, pour qu'on pût obtenir des résultats importants.

De 1785 à 1801 divers essais de navigation à vapeur furent tentés soit en Angleterre, soit en Amérique, où des grands fleuves appelaient en quelque sorte ce moyen de navigation, mais toujours sans succès; la non-réussite provenait toujours surtout de ce que les machines n'avaient pas assez de puissance; elles suffisaient à peine pour imprimer une faible vitesse au bateau sur une eau calme, mais étaient incapables de lui faire refouler le moindre courant.

En 1798, Livingston, ancien consul des États-Unis à Paris, et alors résidant à New-York, obtint des résultats plus importants avec des bateaux naviguant sur les fleuves, et obtint de l'État de New-York le privilége exclusif de la navigation à vapeur sur les eaux de l'État, pour vingt années, à la condition que ses bateaux fussent animés d'une vitesse de 4 milles à l'heure; mais quoique ses navires naviguassent avec quelque utilité, il ne put réaliser la condition qui lui était imposée.

Pendant ce temps, Watt avait inventé la machine à vapeur à double effet, et avait créé, pour ainsi dire en même temps, la science du constructeur de machines. Aussi lorsque l'Américain Fulton, après avoir construit un premier bateau sur la Seine, dont les résultats, bien qu'imparfaits, lui firent néanmoins comprendre que la vitesse n'était limitée que par la faiblesse des machines qu'on employait, reprenant ses travaux en Amérique avec l'aide de Livington, fit construire à New-York, en 1807, un bateau de grandes dimensions, et en demanda à Watt la machine de vingt chevaux-vapeur, il obtint des résultats incontestés, accomplissant régulièrement le trajet de New-York à Albany (120 milles) dans l'espace de 30 heures en allant et 32 en revenant, ce qui remplissait à peu près les conditions du privilége de Livingston. De ce jour, la navigation à vapeur était créée, et on entrait dans la série des perfectionnements si nombreux qui y ont été apportés depuis, et qui se succèdent encore avec tant de rapidité chaque jour.

La France qui n'avait pas compris la question de la navigation à vapeur, dont le souverain Napoléon 1er traitait Fulton, dit-on, de charlatan, ne vit pas de bateaux à vapeur avant 1820, et les débuts en furent bien modestes.

Dès 1811 un premier bateau avait été mis en service en Angleterre sur la Clyde, et avait été bientôt suivi de plusieurs autres.

Tandis que la navigation à vapeur se développait et prenait chaque jour plus d'importance sur les rivières et surtout sur les grands fleuves d'Amérique, où elle rendait d'immenses services, on se préoccupait beaucoup en Angleterre et en France de l'employer pour les navires de guerre et les traversées maritimes. Les résultats obtenus en France avaient été des plus médiocres jusqu'à ce que l'administration de la marine se décidât, en 1829, à faire acquisition en Angleterre de machines marines construites par Fawcet et Preston de Liverpool. Ces machines, de 160 chevaux nominaux, furent placées sur le *Sphinx*, bâtiment étudié spécialement pour les recevoir, par l'habile ingénieur de la marine Hubert; elles imprimèrent au navire une vitesse de 8 nœuds à 8 nœuds et demi en eau calme. Ce résultat parut considérable, et était très-supérieur à ceux obtenus précédemment, aussi la machine du *Sphinx* devint le type des constructions nouvelles; elle n'était autre que la machine de Watt dont les organes avaient été groupés en raison des conditions spéciales auxquelles il fallait satisfaire pour l'employer à la navigation. Nous allons la décrire ci-après.

Nous diviserons cet article en trois parties, dans lesquelles nous traiterons successivement:

1° *Du bateau et de sa forme. — De la résistance qui s'oppose au mouvement.*

2° *Du bateau à roues.*

3° *Du bateau à hélice.*

Je dois faire observer ici que le lecteur doit se reporter à l'article MACHINE A VAPEUR pour ce qui se rapporte à la machine, et qu'un autre travail est consacré dans le *Complément* de cet ouvrage à une étude du BATEAU A VAPEUR, faite au point de vue spécial des transatlantiques, de la navigation à vapeur à grande vitesse.

§ I. FORME DU BATEAU. La forme extérieure d'un bateau est déterminée par la condition d'offrir le moins de résistance possible. Malheureusement la théorie de la résistance des fluides est encore trop obscure, pour que la science ait pu déterminer d'une manière satisfaisante la forme du solide de moindre résistance, celle qui permettrait le mieux au liquide de s'écarter devant le corps flottant. (Voyez RÉSISTANCE DES FLUIDES.) Les nombreux résultats de la pratique peuvent seuls guider les constructeurs. Il est néanmoins des principes fondamentaux sur lesquels reposent les principaux résultats obtenus, qui permettent de se rendre compte d'une manière générale des formes adoptées.

Rapport de la longueur à la largeur. La résistance qu'éprouve un bateau à se mouvoir dépend surtout de la section du maître-couple (la plus grande section immergée du bateau), et varie peu avec la longueur. Il y a donc avantage à allonger beaucoup un bateau, puisque pour une même charge l'enfoncement, et par suite le maître-couple, sera moindre. On n'est limité que par la nécessité de conserver au bateau une solidité suffisante, surtout à la mer, où des bateaux en bois trop allongés se sont arqués et brisés par le milieu. D'ailleurs, comme dans ce cas on doit pouvoir employer la voile, en cas de mise

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hors d'état de service des machines, on ne peut adopter une forme trop différente de celle des navires à voiles.

Pour ceux-ci, le rapport de la longueur à la largeur, mesurée à la flottaison, est de 3 1/2 à 3 3/4; pour les bateaux à vapeur marins, il est de 6 à 8; pour les bateaux de rivière ce rapport est encore plus grand, et n'est souvent limité que par la possibilité de tourner dans toutes les parties de la rivière. On fait aussi généralement les bateaux de rivière à fond plat, afin de diminuer le tirant d'eau et de pouvoir naviguer pendant les basses eaux.

Pour la navigation maritime surtout de grands allongements n'étaient pas sans danger. Les extrémités, n'ayant qu'un déplacement insuffisant pour leur poids, devant être soutenues par le milieu du navire, il fallut donner à la construction une grande raideur verticale. On ne pouvait y parvenir avec le bois, et, à peine mis à l'eau, les bâtiments se déformaient, s'arquaient par le plongement de leurs extrémités.

Heureusement l'industrie du fer s'était rapidement perfectionnée. On était arrivé à laminer de longues, de larges et d'épaisses tôles, des cornières, des fers à T simples et doubles de grandes dimensions.

Les expériences et les études des nombreux ingénieurs qui avaient dû demander à l'emploi du fer des solutions que ne pouvaient leur fournir les anciennes méthodes de construction ne furent pas perdues pour le constructeur maritime. Il trouvait toutes créées des sections de barres laminées pour faire les membres, les barrots, tout inventés des formes, des procédés d'attache des différents fers entre eux, de nombreux ouvriers déjà exercés à assembler des pièces de fer suivant des formes fort différentes de celles de la chaudronnerie.

Aussi ne se borna-t-on pas à introduire sur une plus grande échelle le fer dans les constructions en bois. Ce métal qui servait déjà, en faibles échantillons, à faire des bateaux légers pour la navigation fluviale, forma bientôt seul les coques entières des bâtiments de mer, puis les mâts et les principaux cordages.

Les navires prirent alors des proportions jusqu'à ce moment inconnues. Sans parler du colossal « Great Eastern, » dû surtout à l'inventive audace de Brunel fils, en utilisant les principes de la construction tubulaire, des bâtiments ayant des longueurs de 120 à 130 mètres, égales à dix et onze fois leur largeur, sont devenus de construction courante.

Avant du bateau. C'est sur l'avant du bateau que se produisent les résistances directes; c'est aussi sur sa forme qu'ont principalement porté les recherches des constructeurs.

Le bateau à vapeur étant destiné à marcher avec de grandes vitesses, la proue doit en être effilée, afin que le prisme d'eau qui se trouve déplacé à chaque instant tende à être écarté latéralement au lieu d'être refoulé, et que sa résistance diminue par l'écartement produit par cette action latérale. (Voy. RÉSISTANCE DES FLUIDES.)

L'avant est terminé par une pièce saillante appelée *taille-mer*, à laquelle viennent se raccorder les courbes du bateau. (Voy. CONSTRUCTION DES NAVIRES.)

Ce que nous venons de dire de l'avant fait aisément comprendre toute l'importance de la bonne construction de cette partie du bateau. Après avoir été construit longtemps très-incliné sur l'eau, le taille-mer a été construit verticalement par les Américains et aujourd'hui on tend à le faire rentrant. Dans le même ordre d'idées, un éperon saillant a été plusieurs fois essayé avec succès, au point de vue de la vitesse, mais ne peut prendre une grande longueur sans rendre les évolutions difficiles. On a essayé aussi de placer une hélice à l'avant, sur de petites embarcations; elle produit également l'effet de vaincre l'inertie du liquide avant la rencontre des grandes masses du bateau. Enfin, nous nous sommes demandé s'il n'était pas possible de diminuer cette partie si importante de la résistance totale, par une disposition propre à diminuer la densité du fluide, auquel la résistance est évidemment proportionnelle. On nous permettra de rapporter ici cette invention que nous avons publiée dans une brochure parue en 1843, dont nous extrayons la description suivante :

Système proposé. Le système que nous proposons consiste dans l'installation, à bord d'un bateau à vapeur, d'une machine soufflante (celle à piston est la plus avantageuse, vu surtout l'extrême facilité qu'on a de la faire mouvoir par la machine à vapeur) qui chassera de l'air dans l'eau au moyen d'un tuyau placé à la partie inférieure de l'avant. Ce tuyau sera percé à sa partie supérieure d'un grand nombre de petits orifices, par lesquels l'air arrivant dans l'eau en petits filets, rendus discontinus par la progression du bateau et le mouvement de l'eau, formera dans la masse une multitude de globules. L'eau enfin serait ainsi amenée à l'état d'un liquide en ébullition, et formerait un mélange d'une densité d'autant moindre, que la quantité d'air lancé serait plus grande (fig. 1).

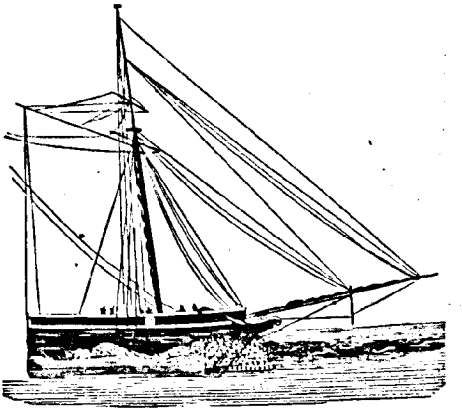


Fig. 1.

Il paraît facile de constituer à cette espèce d'état mixte la partie du liquide, fraction assez faible du volume déplacé, qui forme le remous antérieur et qui est choquée avec le plus de vitesse par la partie la plus avancée de l'avant, sans produire d'autre effet nuisible, que d'élever d'une manière insignifiante le niveau du liquide en cette partie, car la majeure partie de l'eau, remplacée par l'air, dans cette action de bouillonnement, s'écartera latéralement.

Ce système nous paraît devoir diminuer la résistance.

1° Parce que le travail consommé par le bateau pour écarter les filets fluides sera diminué de la quantité qui serait nécessaire pour écarter le volume correspondant à la partie de l'air qui se dégagera pendant la durée de cette action d'écartement. Ce sera le même effet que si une partie du liquide à écarter était supprimée.

2° Parce que la quantité de mouvement imprimée au fluide compris dans le remous sera considérablement diminuée.

Cet effet, correspondant à la masse en mouvement, est proportionnel à la densité; or, le volume restant le même et la densité de l'air étant presque nulle, relativement à celle de l'eau, la perte de forces vives

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sera donc diminuée de toute la quantité qu'eût absorbée le volume d'eau remplacé par un volume d'air.

3° En ce que le choc qui a lieu à la rencontre du fluide en repos par le corps en mouvement, et qui croît rapidement avec la vitesse, absorbera une moindre quantité de travail, en transmettra moins au liquide, parce que: outre l'effet indiqué ci-dessus, par l'interposition de l'espèce de coussin élastique que formera le mélange d'eau et d'air, le choc aura lieu entre corps élastiques, au lieu d'avoir lieu entre des corps privés d'élasticité, et cela d'autant plus que l'air, s'élevant le long des faces inclinées de l'avant qu'il rencontre, s'accumulera à l'endroit du contact du bateau et de l'eau.

Nous pensons donc être fondés à conclure de ce qui précède, que le mouvement d'un bateau rencontrant ce nouveau fluide élastique, composé d'eau et d'air d'une densité bien moindre que celle de l'eau, sera produit avec une moindre dépense de force motrice, ou bien en augmentant celle-ci et en appliquant une partie à l'établissement du système proposé, qu'on fera *croître la vitesse* résultant des systèmes de locomotion déjà employés, et auxquels son effet viendrait s'ajouter.

Mais il faudrait savoir jusqu'à quel point il est avantageux d'utiliser ainsi partie de la force motrice. Or, pour cela, il faudrait calculer d'une part la force nécessaire pour l'insufflation de l'air, et de l'autre, l'effet produit en proportion du volume lancé et de la position de l'eau qu'il remplace par rapport au bateau. Malheureusement, il nous paraît impossible, dans l'état actuel de la science, de pouvoir se rendre un compte quelque peu approché de ce dernier effet. Il faudrait recourir à quelques expériences préparatoires.

Nous pensons cependant que, dût la proportion d'effet utile de ce système être moins considérable qu'on peut l'espérer, il doit permettre, par son application plus ou moins étendue, de dépasser la limite du maximum de vitesse qu'il a été possible d'obtenir jusqu'à ce jour. Cette limite, résultant bien plus de la diminution rapide de la proportion d'effet utile de l'appareil moteur quand on augmente sa vitesse, que de la difficulté d'accroître la force motrice, il deviendra souvent plus avantageux d'employer le nouveau système que l'ancien pour obtenir les derniers accroissements de vitesse.

En effet, à mesure que la vitesse augmente, la proportion d'effet utile diminue rapidement pour l'appareil d'impulsion; elle doit augmenter pour l'insufflation d'air, car la dépense croissant comme l'épaisseur de fluide rencontrée, c'est-à-dire comme la vitesse, l'effet utile ou la diminution de résistance correspondant au choc ou à la communication de forces vives doit croître comme le carré de celle-ci.

Il paraît donc que le succès commercial de ce système est possible pour les cas où il importe d'obtenir, avant tout, de *grandes vitesses*.

Flancs et arrière du bateau. L'eau déplacée par l'avant du bateau ne pouvant passer instantanément à l'arrière, et le vide qui se produit en cette partie par suite de la progression, ne pouvant être instantanément comblé par le liquide environnant, à cause de son inertie, il en résulte un accroissement de pression à l'avant et une diminution à l'arrière, relativement à la pression statique, effets qui tous deux accroissent la résistance. Il importe donc de faciliter autant qu'il est possible, par la construction du bateau, le passage du fluide de l'avant à l'arrière; c'est pour cela, autant que pour la stabilité du bateau, qu'on en construit les murailles verticales, sans renflement inutile dans le sens de la longueur. La poupe effilée, à flancs très-évidés, a des formes très-étudiées par les constructeurs et variant en raison des vitesses, pour diminuer autant que possible la non-pression. Ces formes doivent permettre un retour rapide de l'eau vers la direction du sillage; aussi on a vu la vitesse d'un navire réduite de près de moitié, par l'application d'un bordage supplémentaire sur les surfaces de la poupe. On voit combien la science d'observation du constructeur a un champ étendu pour profiter des meilleures dispositions que l'expérience a fait reconnaître. Ces effets, peu sensibles pour de faibles vitesses, ne sont pas à négliger quand elles deviennent considérables, les résistances de tout genre, dans les liquides, croissant proportionnellement au carré de la vitesse, comme les forces vives possédées par ceux-ci.

Stabilité. Nous revenons sur plusieurs des questions relatives aux formes des navires comme sur celle de la construction des navires, dans des articles spéciaux; toutefois, nous entrerons ici dans quelques considérations relativement à la stabilité, non-seulement au point de vue de la sécurité, le poids considérable des machines à vapeur placées au fond du navire rendant le chargement du bateau à vapeur plus convenablement disposé que celui du navire à voiles, mais au point de vue des oscillations qui rendent les traversées maritimes si fatigantes, question qui se relie à celle de la communication des forces vives du liquide aux corps flottants, que nous avons traitée à l'article BATEAU A VAPEUR du *Complément*.

C'est un résultat d'expérience que, pour un même navire, la durée moyenne des oscillations de roulis est sensiblement la même, quel que soit l'état de la mer et la grosseur des lames.

L'oscillation d'un navire est pendulaire, ce qui paraît évident *à priori*; elle dépend de ses formes et de son armement, de son arrimage. L'axe de rotation n'est pas unique pour les diverses inclinaisons du navire, mais il se déplace peu. De là résulte que l'amplitude du roulis atteint son maximum quand il y a concordance, synchronisme entre l'oscillation de la vague et le roulis naturel du bâtiment; ce qui explique comment, selon l'état de la mer, tel bâtiment, comparé à tel autre, a des roulis, tantôt plus, tantôt moins étendus.

Bouguer avait déjà fait cette observation et écrivait dans son *Traité de la manœuvre des vaisseaux*: « Il n'y a pas ordinairement un accord parfait entre le choc des vagues et les balancements du navire; cela est cause que les vagues qui succèdent aux premières troublent les balancements que celles-ci avaient excités, et que les oscillations deviennent irrégulières et moins grandes. Mais le navire peut passer dans d'autres mers ou naviguer dans des temps où l'intervalle entre le choc des vagues sera différent. » C'est dire que tout navire peut rencontrer des jours d'amples roulis suivant les temps, les mers et la direction de la route.

M. Dupuy de Lôme a proposé une curieuse application de ces principes aux traversées de la Manche. La mer, resserrée dans le Pas-de-Calais, n'a que des vagues courtes dont les durées d'oscillation sont comprises dans des limites assez resserrées, comme on l'a bien constaté. Si au lieu des petits navires actuels qui semblent établis pour avoir le maximum de roulis, on employait des navires profonds, ayant des oscillations bien plus lentes, le roulis serait minime et les passagers auraient l'avantage d'échapper presque complétement au mal de mer, qui rend ces traversées souvent si désagréables pour les personnes bien portantes, si douloureuses pour les valétudinaires. Malheureusement ces navires exigent l'établissement de ports à grande profondeur d'eau sur les côtes sablonneuses de France, ce qui retarde cette intéressante amélioration.

§ II. BATEAU A VAPEUR A ROUES. — *De la machine à vapeur.* — *1. Machines à balancier.* Les premières machines à vapeur que l'on plaça sur les bateaux ne pouvaient être autres que celles que Watt venait d'apprendre à construire. La suppression du volant, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ût encombré la cale du navire, fit adopter, pour avoir
n mouvement uniforme, deux machines distinctes,
l'égale force et accouplées sur deux manivelles calées
à angle droit sur l'arbre des roues.

La machine se trouvant entourée d'eau de toutes parts, la pompe et la bâche à eau froide étaient devenues une grande solidité, une parfaite liaison de toutes les parties qui en assurent la solidité, un balancement des pièces principales, cause de sécurité contre les avaries.

Le dessin (fig. 2) représente la machine des anciens navires de 450 chevaux de la marine de l'État.

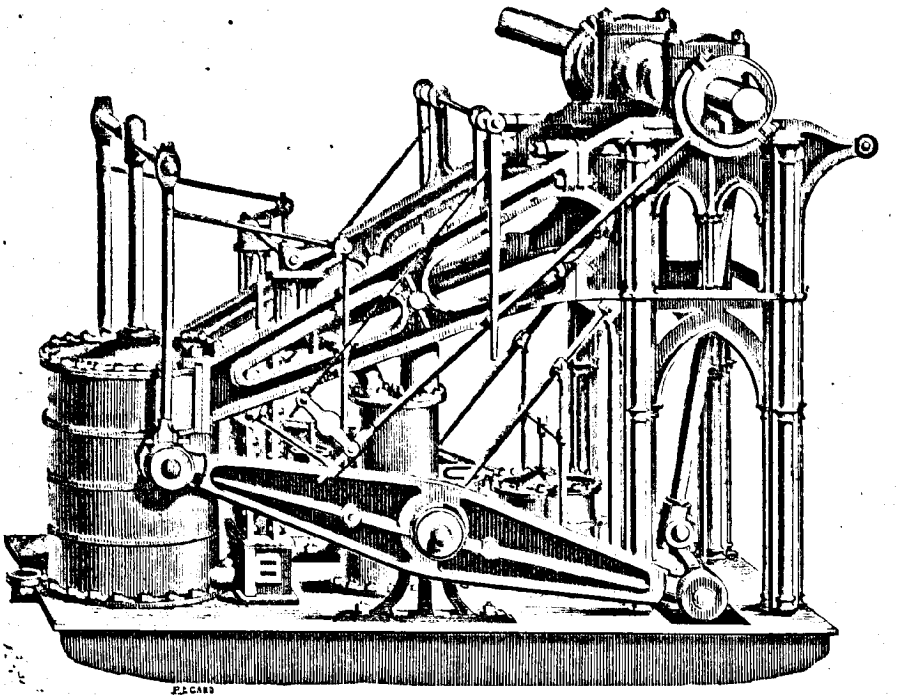


Fig. 2.

nutiles ; dès lors, le coffre qui formait la base de la machine de Watt a pu être supprimé et remplacé par une plaque de fonte, dite plaque de fondation, sur laquelle s'assemblent le cylindre, le condenseur, la pompe à air et les supports de l'arbre.

La position de l'arbre des roues étant déterminée par le diamètre de celles-ci, il eût fallu placer le balancier au haut d'un échafaudage pour avoir une longueur de bielle suffisante, si on n'avait trouvé le moyen, en le partageant en deux flasques latérales au bâtis, de le placer à la partie inférieure en conservant une longueur de bielle convenable.

Le bâti a toujours une partie inclinée, à cause de l'élévation de l'arbre des roues; le condenseur placé vers la gauche repose sur la plaque de fondation et sa tige de piston est mue par le grand balancier.

Tel fut le système de machines le plus généralement adopté pour les grands navires à roues. Des différences de peu d'importance se remarquent dans le grand nombre de machines construites dans ce système, mais, comme le disait le savant ingénieur de la marine Hubert, de Rochefort : Cette uniformité dans les détails principaux n'est pas le résultat d'une aveugle routine, ainsi qu'on pourrait le supposer, mais le résultat d'un grand nombre d'expériences dirigées par l'intérêt particulier, dans le but de trouver les moyens mécaniques qui conviennent le mieux au service de la mer.

Le principal avantage de ces machines consiste dans La machine à balancier n'a été abandonnée par la marine militaire que depuis que l'hélice à mouvement rapide a remplacé les roues.

2. *Machines oscillantes.* La légèreté de ces machines les a fait adopter avec succès d'abord pour la navigation des rivières à faible tirant d'eau, d'autant plus que Cavé, leur principal promoteur, y employait la vapeur à une pression assez élevée, ce qui était admissible pour la navigation sur les rivières, mais était considéré comme inacceptable pour les chaudières marines alimentées à l'eau de mer. Toutefois, Penn, le célèbre constructeur de Greenwich, s'illustra par la construction de machines oscillantes de grande puissance. La fig. 3 représente cette machine disposée pour être appliquée à mouvoir l'hélice, lorsqu'à l'origine on cherchait à tort à ne pas changer la machine, quand on changeait le propulseur, mais évidemment elle est mieux disposée pour employer l'arbre moteur à faire tourner des roues à aubes, ce qui a été le but de sa combinaison. Les machines oscillantes présentent plus de simplicité que les machines à balancier, la tige du piston actionnant directement l'arbre des roues; elles travaillent d'ailleurs dans les conditions de celles de Watt, longtemps considérées comme seules admissibles à la mer, c'est-à-dire à basse pression. Placées directement au-dessous de l'arbre, et par suite n'ayant pas besoin de longs bâtis, ces machines offrent l'avantage d'être moins lourdes et moins chères que les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machines à balancier. Par suite de leur faible largeur, ces machines ne participent que très-peu à la déformation qu'un bateau finit toujours par éprouver.

tail à l'article MACHINES A VAPEUR, et l'on a pu tenter sur les bateaux à vapeur l'application de tous les systèmes de machines; mais les précédentes jouent seules un rôle

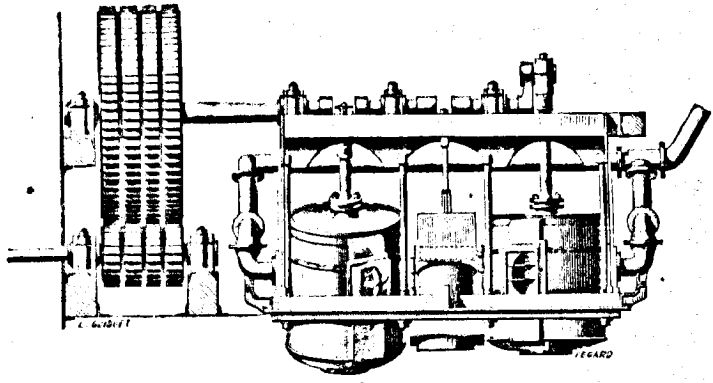


Fig. 3.

3. *Autres machines.* La solution que fournissait la machine oscillante d'avoir une longueur de bielle suffisante, avec des cylindres placés sous l'arbre des roues, n'est pas la seule qui ait été appliquée. Pour de très-grands navires on a pu trouver dans le creux la hauteur suffisante pour établir des machines à connexion directe, verticales ou inclinées, actionnant l'arbre des roues; mais, en outre, plusieurs systèmes ont permis, autrement que par l'emploi du balancier reporté au bas de la machine, d'éloigner le point d'attache de la bielle, et par suite de lui donner assez de longueur pour éviter les vibrations. Nous citerons comme exemple le système à deux cylindres de Maudslay, actionnant simultanément un T à la base duquel la bielle est adaptée (fig. 4).

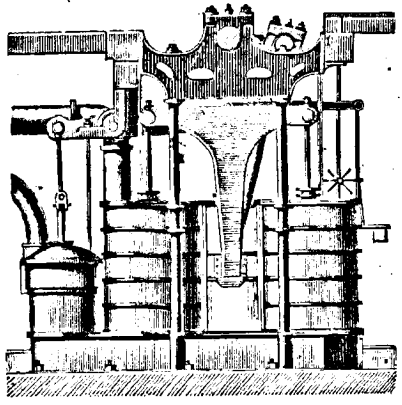


Fig. 4.

Nous ne parlerons pas des machines horizontales, qui ont servi à Bourdon (du Creuzot) pour établir des moteurs puissants et légers sur les longs bateaux du Rhône, de machines à clocher ou à bielle en cadre, etc., qui ont été employées dans quelques cas particuliers et par quelques constructeurs; toutes ces machines sont étudiées en détail à l'article MACHINES A VAPEUR.

important dans la construction des bateaux à vapeur, au moins pour ceux employés sur mer.

Chaudières. Les types de chaudières employées pour les machines fixes ont tous été appliqués sur les bateaux, mais en étant plus ou moins modifiés en raison de l'impossibilité de les entourer de lourdes constructions en briques pour éviter les pertes par rayonnement; cette condition rend les chaudières à foyer intérieur vraiment seules admissibles, les autres exposant toujours le bateau à de grands dangers d'incendie. Aussi les chaudières à tombeau et les chaudières à bouilleurs n'ont été que rarement employées.

En partant de cette condition et avec la nécessité de multiplier les surfaces de chauffe et la puissance des appareils évaporatoires, sans atteindre des dimensions énormes, on a été conduit à combiner le système de chaudières dites à galeries. Ce sont de grandes chaudières carrées, dans lesquelles la flamme et la fumée circulent dans des galeries verticales pratiquées dans leur intérieur, entre des cloisons renfermant des lames d'eau entre deux tôles. Ces appareils, dont les figures 5 et 6 représentent un exemple; qui, bien étu-

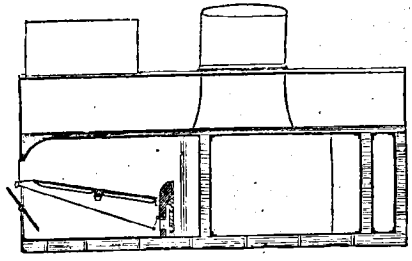


Fig. 5.

diés, utilisent convenablement la chaleur, ont des surfaces de chauffe étendues, sont coûteux, d'un nettoyage et d'un entretien difficiles, et surtout ont l'inconvénient de se déformer aisément. On ne remédie qu'incomplétement à ce défaut par des armatures intérieures, et ils ne sauraient être employés que pour des machines à basse pression. La grande Compagnie Péninsulaire et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Orientale a longtemps maintenu sur ses bateaux ce système de chaudières, toutefois on a, en général, considéré comme plus avantageux et plus économique d'employer, pour multiplier les surfaces de chauffe, la disposition qui

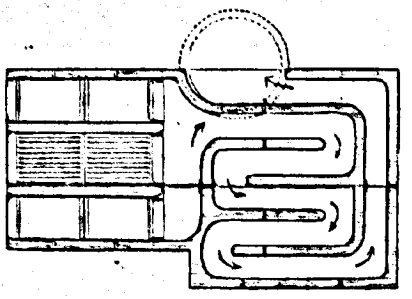


Fig. 6.

a si bien réussi pour la chaudière des locomotives, c'est-à-dire les tubes assemblés entre deux plaques. A cause de l'abondance des incrustations avec l'eau de mer, ces tubes ne sont appliqués qu'à la partie supérieure de la chaudière pour obtenir un retour de flamme très-efficace. Nous n'avons pas à entrer ici dans plus de détails sur cette chaudière, qui a été décrite dans l'étude si complète de la question qui forme l'article CHAUDIÈRE A VAPEUR.

De la pression. La machine à basse pression de Watt, d'un mouvement si doux, dont les masses sont si bien équilibrées, qui reçoit la vapeur de chaudières dont la résistance peut être presque nulle, est évidemment un appareil à vapeur donnant le maximum de sécurité; et jusqu'à la transformation causée par l'adoption de l'hélice, les tentatives faites pour la remplacer substituaient bien des défauts à l'inconvénient de son poids très-élevé. C'était par l'emploi de longues détentes, et par suite d'une pression plus élevée qu'on pouvait accroître la puissance; c'était toujours l'abondance des INCRUSTATIONS qui y faisait renoncer pour les machines marines. Les dépôts salins considérables auxquels l'eau de mer donne lieu rendent dangereuse une combustion aussi vive que celle qui a lieu sous des chaudières produisant de la vapeur à haute pression. Il en est de même du mouvement de roulis du navire qui projette l'eau contre les parties de chaudières qui se sont fortement échauffées par l'abaissement du niveau. Enfin la pompe à saumure devant enlever, pour modérer les incrustations, moitié du liquide injecté, les pertes de chaleur deviennent, de ce chef, considérables. Il ne saurait cependant être douteux qu'on ne puisse à la rigueur employer des machines à moyenne pression de 2 à 3 atmosphères. C'est ce qui s'est fait plusieurs fois; mais il ne saurait être douteux non plus qu'on ne doive repousser l'emploi de machines à haute pression et sans condensation; l'idée de leur emploi semble absurde pour un bateau qui se meut au milieu de l'eau, et par suite quand l'eau d'injection est fournie abondamment et pour ainsi dire sans dépense.

Bien entendu que ces observations ne s'appliquent pas aux bateaux de rivière, ni même à ceux qui sur mer n'ont à faire que de courts trajets et pour lesquels une grande vitesse est la grande condition de succès, mais à ceux qui sont destinés à fournir de grands trajets par mer, en évitant toute cause de réparations. La basse pression conviendra toujours mieux aux seconds, mais non aux premiers. Quelques bateaux de rivière, mus par des machines à haute pression, les *Dorades* de Cavé sur la Seine, par exemple, ont obtenu de grandes vitesses, limitées évidemment par l'imperfection du propulseur, comme nous le dirons plus loin, et qui l'eussent été bien plus tôt s'il s'était agi de bateaux employant des machines pesantes, à basse pression.

De la détente et de l'avance du tiroir. L'expérience a prouvé qu'en ne laissant entrer la vapeur dans le cylindre que pendant une partie de la course du piston, pour profiter de la détente, on obtenait non-seulement une économie de combustible et une diminution dans les dimensions de l'appareil évaporatoire, mais encore le même effet utile, entre certaines limites, que si on avait introduit la vapeur pendant toute la course du piston. Nous avons donné à AVANCE DU TIROIR un extrait du mémoire dans lequel M. l'ingénieur Reech a établi que le maximum de la puissance ne correspond pas au cas où la vapeur afflue pendant la totalité de la course du piston, mais à celui où la détente commence aux 0,854 de la course; en sorte qu'on obtient ainsi une augmentation de puissance, d'une manière absolue, pendant qu'on réduit la dépense de vapeur et par suite celle du combustible de 1/7.

La cause de cette particularité gît dans la longueur du temps qui est physiquement nécessaire pour que le vide puisse s'effectuer convenablement devant le piston, au commencement de chaque course nouvelle, et qui exige que l'évacuation de la vapeur au condenseur soit commencée avant la fin de chaque course du piston. Ce n'est même que par suite de cette condition et afin de pouvoir y satisfaire que l'on doit établir comme règle générale de ne jamais admettre la vapeur dans un cylindre au delà des $\frac{4}{5}$ de la course, et exceptionnellement au plus jusqu'aux $\frac{5}{6}$.

Lorsqu'on voudra économiser le combustible, il faudra utiliser la force expansive de la vapeur déjà avant les $\frac{4}{5}$ de la course; alors la puissance absolue que l'on obtiendra dans une machine donnée décroîtra en même temps que la dépense de vapeur ou de combustible; mais le rapport de la puissance à la dépense ira en croissant jusqu'à une certaine limite qui n'est pas parfaitement connue. On est fondé à croire qu'on aura les résultats suivants :

FRACTIONS DE LA COURSE pendant laquelle la vapeur afflue dans le cylindre.	DÉPENSE de vapeur et de combustible.	PUISSANCE obtenue.
1,000	1,171	0,82
0,975	1,142	0,85
0,854	1,000	1,00
0,800	0,930	0,98
0,750	0,870	0,97
0,500	0,580	0,81

Maudslay, dans ses machines, n'introduisait la vapeur dans le cylindre que pendant les $\frac{7}{10}$ de la course; il profitait ainsi de tous les avantages énoncés ci-dessus, et obtenait une grande économie de vapeur pour une diminution insignifiante de la puissance de la machine.

La détente s'obtient en général, dans les machines des bateaux à roues dont nous parlons ici, par le *recouvrement du tiroir* auquel on donne une longueur plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grande que l'orifice d'introduction de la vapeur. *L'avance du tiroir*, au contraire, prépare la condensation en ouvrant la communication avec le condenseur un peu avant que le piston ne soit arrivé à l'extrémité de sa course, comme il a été expliqué aux articles AVANCE DU TIROIR et DÉTENTE.

Le réglement du tiroir, par la bonne disposition des pièces qui le font mouvoir et qui déterminent la durée de la détente et le moment de la condensation, est ici, comme pour toutes les machines à vapeur, la partie la plus importante du montage.

On voit que, dans la pratique, la détente se réduisait à peu de chose dans les anciennes machines marines. En présence des grands résultats qu'indique la théorie et de ceux obtenus par la machine fixe, il était clair que c'était dans la voie de l'utilisation des longues détentes, nécessitant des hautes pressions, que les perfectionnements devaient être obtenus, ce qui a eu lieu, comme nous le verrons plus loin, pour les navires à hélice. (Voy. MACHINE A VAPEUR, *Théorie*.)

Du condenseur. Le condenseur des machines des bateaux à vapeur est le même que celui des machines fixes. On a cependant essayé déjà, pour les bateaux à roues, le système de condensation par contact de la vapeur avec de grandes surfaces métalliques refroidies, dans le but d'éviter l'emploi de l'eau de mer. Les incrustations qui s'opposent à l'emploi d'une pression un peu élevée à la mer seraient évitées radicalement par l'emploi des condenseurs à surface, supprimant l'alimentation à l'eau de mer.

Haal, qui le premier a tenté la combinaison du condenseur à surface, disposait son condenseur sous forme de longs tubes enroulés (de plusieurs milles de longueur pour de puissantes machines), recevant la vapeur à condenser à l'intérieur et plongés dans l'eau enlevée à mesure de l'échauffement par la partie supérieure. Il pensait avoir reconnu qu'une surface condensante de $4^{m},68$ était suffisante par force de cheval. Un laborieux inventeur, M. Sauvage, a établi un petit condenseur de ce genre, dans lequel une surface de $0^{m},50$ était suffisante par force de cheval, en faisant marcher l'eau condensante en sens inverse de la vapeur renfermée dans un tube placé à l'intérieur de celui qui contenait l'eau.

Il n'y aurait rien à désirer de mieux que ce système, s'il fonctionnait toujours, après quelque temps de service, comme lors de la mise en train. Malheureusement les dépôts que l'eau de mer fait sur les tuyaux, et aussi la graisse qui tapisse leur intérieur et qui provient de la vaporisation de celle qui a servi à lubrifier le piston de la machine, font que le contact entre la vapeur et l'eau n'est plus seulement gêné par un passage à travers des corps métalliques bons conducteurs de la chaleur, mais encore à travers des substances qui la conduisent fort mal et qui s'opposent à une rapide condensation.

En pratique, le système de Haal, fort bien accueilli par l'amirauté anglaise, a été abandonné pour les bateaux à roues, après bien des essais qui paraissaient concluants, et les appareils de condensation à surface, déjà établis, supprimés. Les avantages de tout genre que permettait d'obtenir l'emploi de la haute pression à la mer ont fait revenir au condenseur de Haal, pour les machines à hélice, comme nous le verrons plus loin, l'alimentation à l'eau pure étant la première condition de leur emploi. Les efforts des constructeurs ont surmonté les difficultés pratiques qui s'opposaient à l'adoption d'un progrès dont la théorie démontrait l'importance capitale.

Réservoir de vapeur. Les chaudières ne renferment jamais de l'eau que dans une partie de leur capacité, le reste forme réservoir de vapeur. Il y a avantage à ce que le volume de cette partie soit considérable, la tension de la vapeur fournie aux cylindres est plus régulière, et elle se dépouille mieux de l'eau à l'état vésiculaire qu'elle entraîne mécaniquement en se dégageant du liquide en ébullition. Plusieurs constructeurs ont surmonté avec succès leurs chaudières de vastes réservoirs pour obtenir cette purification de la vapeur; ces capacités additionnelles sont jusqu'ici le seul remède applicable à certains appareils évaporatoires d'un volume trop faible, relativement à la machine, et qui présentent le grave inconvénient que la vapeur entraîne de l'eau jusque dans les cylindres.

Des conduits de vapeur. Il importe beaucoup que les conduits n'offrent pas d'étranglements qui gênent le passage de la vapeur, et ne rendent pas, par exemple, comme cela a lieu dans quelques machines, la pression dans le cylindre moindre que la pression dans la chaudière. Il faut partir des dimensions adoptées dans les machines bien construites pour fixer les dimensions de ces conduits, et il n'y a pas d'inconvénient à les faire plutôt trop grands, tandis qu'il est très-nuisible de leur donner des dimensions insuffisantes.

Des dépôts salins. Nous ne reviendrons pas ici sur les dépôts salins et les incrustations, questions traitées en détail dans des articles spéciaux. (Voy. INCRUSTATIONS, *Dictionnaire* et *Complément*.)

Foyer, cheminée. La cheminée des bateaux à vapeur ne pouvant être fort élevée, le tirage n'est jamais très-fort, d'autant plus que la nécessité de la construire en tôle vient encore diminuer l'action des gaz échauffés. On ne peut donc obliger la flamme à faire autant de circuits autour de la chaudière que dans le cas d'une machine fixe. Le foyer est par suite toujours grand pour utiliser le pouvoir rayonnant du combustible. L'insuffisance du tirage est un défaut grave; nous avons analysé au *Complément* les divers systèmes qui peuvent être employés pour y remédier.

Vapeur surchauffée. On a employé, avec quelque succès, une partie de la chaleur perdue à surchauffer la vapeur, ce qui la sèche et augmente son volume, source d'économie notable pour des machines sans détente, dont les cylindres ne sont pas entourés d'enveloppes de vapeur. (Voy. SURCHAUFFE, *Complément*.)

Nous donnerons comme exemple de disposition l'appareil surchauffeur du *Fontenoy* (figures 7 et 8), qui

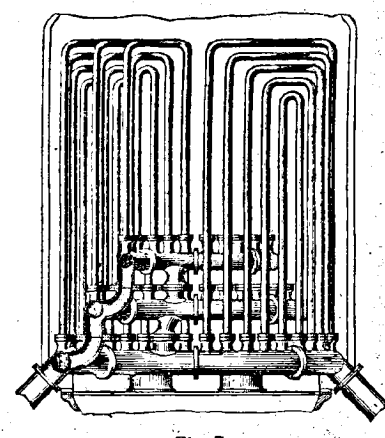


Fig. 7.

a donné de bons résultats. Il est placé à la base de la cheminée et se compose de trois tores en fonte de fer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

divisés chacun en quatre segments égaux. Ces tores, de diamètres différents, sont placés les uns au-dessus des autres sur le même axe et dans des plans parallèles, convenablement éloignés les uns des autres pour laisser passer la fumée. Ils sont reliés entre eux par des tubulures qui leur servent mutuellement de supports. Le premier, qui a pour diamètre intérieur le diamètre de la cheminée, est supporté par une large bride placée à la base de cette cheminée. La série des segments opposés et placés dans le sens transversal du

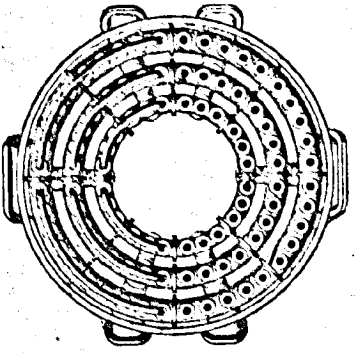


Fig. 8.

bâtiment reçoit directement la vapeur des chaudières des deux bords. Les deux autres séries des segments opposés et placés dans le sens longitudinal portent la vapeur aux cylindres. Les segments d'entrée communiquent avec ceux de sortie au moyen de tubes-syphons en fer au nombre de quarante-huit, qui s'ajustent sur les tubulures que présentent les tores. Ils montent à une hauteur de trois mètres dans la cheminée, dont le diamètre, dans cette partie, est convenablement augmenté.

Des papillons sont placés dans les tuyaux, qui permettent de se servir à volonté de l'appareil. Ces papillons servent aussi, dans le cas de la marche avec de la vapeur surchauffée, à établir à volonté, et dans les proportions que l'on veut, le mélange de la vapeur surchauffée avec la vapeur saturée. Au delà de 200 degrés, le mélange est indispensable si l'on veut ménager les garnitures et éviter des accidents trop fréquents, qui font redouter des praticiens ce genre d'appareils; un thermomètre placé sur la boîte de distribution des tiroirs donne les indications nécessaires à cet effet.

De la puissance nominale et de la puissance effective des machines. — C'est au moyen de l'indicateur de Watt que l'on évalue la puissance réelle des machines sur le piston de celles-ci, ce qui ne peut avoir lieu par la mesure des effets produits par les machines des bateaux comme pour les autres machines à vapeur. Nous n'avons pas à faire ici une étude spéciale de ce mode d'expérimentation décrit ailleurs. Mais on a conservé dans la pratique l'habitude de donner une évaluation *nominale* des machines marines en appliquant les règles de Watt, c'est-à-dire en supposant de la vapeur à basse pression et une faible vitesse du piston. Elle n'est pas, pour certaines machines modernes, le tiers de la puissance réelle, mais cette mesure n'en donne pas moins une indication des dimensions générales de la machine d'un bateau à vapeur.

Nous entrerons dans quelques détails à ce sujet.

La puissance nominale, d'après la règle anglaise, déduite de la pratique de Watt pour ses machines à basse pression, a pour expression le produit de la pression par unité de surface exercée sur le piston, multipliée par la surface de ce piston, multipliée encore par la vitesse de cet organe, et divisée par 33000 (toutes les mesures étant prises en unités anglaises). Dans cette expression, on prend invariablement, pour pression dans les cylindres, la pression de régime des machines de Watt, c'est-à-dire 7 livres par pouce carré; quant à la vitesse du piston, elle est prise arbitrairement, d'après les conditions débattues entre le fournisseur et la partie prenante, mais toujours très-inférieure à celle qui résulterait de l'allure ordinaire de la machine.

L'expression française de la puissance nominale est donnée par une formule algébrique qui n'est que la traduction de l'expression anglaise, en admettant implicitement que la pression utile dans les cylindres soit égale à 7 livres, mais en laissant à la vitesse du piston sa valeur réelle; dès lors on voit comment des machines identiques paraîtront donner, dans les deux pays, des résultats très-différents.

Ainsi, par exemple, les machines de Penn qui figuraient à l'exposition de 1867 étaient, d'après la règle anglaise, de 350 chevaux; or, le diamètre effectif des pistons était de $1^m,60$, leur course de $0^m,915$, et le nombre des tours normal de 90 par minute; leur puissance nominale, d'après la formule française $\left(2 \times \frac{D^2 C N}{0,59}\right)$, serait: $2 \times \frac{(1,60)^2 \times 0,915 \times 90}{0,59} = 712$ chevaux, et en admettant que la puissance indiquée soit, comme on l'affirmait, de 2,100 chevaux de 75 kilogrammètres, on voit qu'elle réaliserait *six fois* la puissance nominale évaluée par la méthode anglaise, tandis qu'elle ne donnerait que *trois fois* cette puissance calculée par la méthode française.

Ce mode de comparaison est donc essentiellement vicieux lorsqu'il est transporté d'un pays à l'autre, et, pour le rendre admissible, il faudrait avant tout qu'il y eût entente sur une définition commune de la puissance nominale. Ce n'est plus qu'une expression conventionnelle se rapportant aux volumes des cylindres et par suite aux dimensions générales des machines.

C'est ainsi que le *Lafayette*, ancien transatlantique français, de 950 chevaux de force nominale, a, d'après les renseignements donnés par M. Gaudry à la Société des ingénieurs civils, développé sur les pistons une force de 3,296 chevaux-vapeur.

Travail des machines marines. Le même ingénieur a fait entre un semblable navire et une locomotive Engerth une comparaison curieuse, sinon très-exacte, que je reproduirai ici.

Comme la locomotive, la machine marine doit avoir son poids réparti sur une surface donnée; la solidarité doit exister entre le mécanisme et la chaudière; les actions perturbatrices, les conditions d'équilibre, de stabilité et de répartition symétrique des poids, d'abaissement du centre de gravité sont les mêmes de part et d'autre.

Les sérieuses différences se bornent à la continuité du service de la machine marine, à la violence formidable des contre-coups qu'elle ressent dans les gros temps, à la chaleur intense qui est rayonnée dans la chambre du moteur, et surtout à l'emploi de l'eau salée, qui rend dangereuses les chaudières à évaporation rapide et à haute pression.

Ceci posé, il est intéressant de comparer une grande machine marine, comme celle du *Lafayette*, avec une locomotive; l'Engerth peut être choisie pour point de comparaison, car sa vitesse de 25 kilom. à l'heure est précisément celle du *Lafayette*, et de plus c'est une très-puissante machine à vapeur, dont la force effective peut être évaluée à 564 chevaux d'après les éléments d'appréciation connus.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quant à la force effective de 3,296 chevaux qui a été relevée à l'indicateur sur les pistons du *Lafayette*, il faut évidemment en déduire le travail consommé dans la machine elle-même par les résistances passives et par la perte d'effet utile du propulseur.

D'après divers ingénieurs de la marine consultés par M. Gaudry, la réduction totale dépasse sûrement le quart de la force indiquée sur les pistons, en sorte que le travail utile employé à la propulsion du *Lafayette* dans l'essai précité resterait égal au plus à 2,472 chevaux. Tel serait le travail effectif à comparer avec les 504 chevaux de la machine Engerth.

M. Gaudry n'entend nullement considérer ces évaluations comme des résultats mathématiques. Ce sont des à peu près, des approximations grossières; mais elles permettent quelques comparaisons intéressantes faute de données exactes qui se feront peut-être longtemps attendre à cause de la difficulté de les recueillir. M. Gaudry dresse à cet effet entre la locomotive Engerth et la machine marine du *Lafayette* le tableau comparatif suivant:

DÉSIGNATION.	Engerth.	Lafayette.
Puissance effective.....	564ch	2472ch
Charge totale transportée....	650tx	4872tx
Vitesse à l'heure.....	25k	25k
Tonnes-kilomètre par heure..	16,250	121,800
Par cheval effectif.....	30tk	50tk
Combustible brûlé par heure.	500k	4836k
Par cheval effectif.....	0k,88	1k,91
Par tonnes-kilomètre à l'heure	0k,0307	0k,0397

Si ces données ne sont pas une évaluation précise de la valeur des machines considérées, elles n'en offrent pas moins de l'intérêt comme première approximation de phénomènes complexes.

Des organes de propulsion. Le premier moyen qui se présenta à l'esprit des inventeurs qui cherchaient à appliquer la machine à vapeur à la navigation, fut de faire mouvoir par la machine des rames analogues à celles employées par les rameurs. Les volets articulés du marquis de Jouffroy étaient l'application de cette idée. On a aussi essayé plusieurs fois, et Achille de Jouffroy, fils de l'inventeur des bateaux à vapeur, a encore proposé l'emploi de palmes articulées, auxquelles on imprimerait un mouvement de va-et-vient; ces palmes se composent de parties mobiles, afin que la résistance que le fluide oppose à leur mouvement soit très-grande pour déterminer l'impulsion du bateau et très-faible dans l'autre sens. On voit qu'il s'agit d'imiter l'appareil nageur des palmipèdes, qui se meuvent sur l'eau avec tant d'aisance par l'effet de la force motrice renfermée en eux, ce qui faisait dire à Buffon que le cygne était le plus beau modèle que la nature nous ait offert pour l'art de la navigation. Cela n'est pas absolument vrai, c'est en volant dans l'air que le cygne sauvage montre toute la perfection de ses formes, tandis qu'il s'avance assez lentement sur l'eau. Ce sont plutôt les nageoires et la queue des poissons rapides qui pourraient être pris pour modèles, mais leur immersion complète établit entre les poissons et les corps flottants à la surface du liquide une différence considérable.

Quoi qu'il en soit, si les divers appareils à action intermittente peuvent paraître convenables théoriquement, si même on peut admettre que l'action intermittente puisse permettre de mieux utiliser la force motrice que ne le font des appareils presque continus, dont les parties rencontrent l'eau déjà ébranlée par le mouvement des parties antérieurement immergées; cependant, l'expérience a clairement démontré qu'il fallait renoncer aux appareils de ce genre pour les bateaux à vapeur. Tout appareil à mouvement discontinu doit être rejeté quand il est possible de le remplacer par un appareil à mouvement continu; celui-ci seul peut recevoir une grande quantité de travail sans ces variations dans des forces en jeu, qui à la longue détruisent les machines motrices les plus solides. Les roues à aubes jouissent de cette grande régularité, à laquelle concourt leur mouvement rotatoire qui les fait agir en guise de volants. L'hélice, dont nous parlerons plus loin, tournant plus rapidement, possède aussi, et à un plus haut degré encore, cet avantage.

Des roues à aubes. Les roues à aubes ordinaires garnies à leur circonférence d'un certain nombre de bordages en bois appelés pales ou aubes, sont fixées invariablement à l'arbre coudé mû par la bielle de la machine à vapeur; cet arbre leur transmet le mouvement de rotation imprimé par la machine. Ces aubes sont maintenues par des boulons à crochet ou à écrou qui les lient aux rayons des roues de la manière la plus solide; et leur disposition est telle, que leur surface impulsive est dirigée vers le centre des roues ou en diverge généralement très-peu. Il en résulte que chaque aube n'agit dans la direction la plus avantageuse pour faire avancer le bateau qu'au point le plus bas de sa révolution; c'est dans cette position seulement qu'elle peut utiliser la totalité de son action dans la direction de la résistance à vaincre. Dans les autres positions, une partie de l'effort imprimé à l'aube est inutilement employé à frapper sur l'eau ou à la projeter en arrière, efforts nuisibles qui croissent avec la vitesse des roues à aubes.

Si les roues agissaient à la manière des roues de locomotives sur les rails de chemin de fer, la vitesse V du bâtiment serait égale à la vitesse U mesurée au bord extérieur des pales; mais le liquide cédant à leur action, cette égalité ne saurait avoir lieu, V sera toujours inférieur à U, et la quantité $\frac{U-V}{V} = r$ est ce qu'on appelle le *recul* de la roue; sa valeur dépend à la fois du mode d'action de la roue et de la résistance du bâtiment; mais sur un même navire ou sur des bâtiments ayant même résistance, elle représente le degré de perfection mécanique de la roue. On a pu s'en servir pour étudier les roues à aubes et obtenir quelques indications sur l'influence exercée par leurs divers éléments sur leur rendement.

Les éléments susceptibles de modification dans une roue à aubes dont le diamètre est déterminé par la grandeur du navire, les dimensions et la vitesse par la puissance de la machine, sont: la surface des pales, l'angle sous lequel elles pénètrent dans l'eau, leur espacement et enfin leur immersion.

Il a été reconnu qu'il y avait avantage, en principe, à augmenter la surface immergée b^2 des pales, relativement à la surface résistante B^2 du maître-couple.

Mais on atteint rapidement les limites que ne peuvent dépasser la longueur et la hauteur des pales. Lorsque la longueur des pales est exagérée, leur saillie sur la muraille devient considérable, la charpente des roues manque de rigidité, et en même temps, les supports de l'arbre extérieur deviennent d'un établissement très-difficile: cette saillie est d'ailleurs plus ou moins prononcée suivant la grandeur des bâtiments; mais elle ne dépasse guère 3 mètres dans les anciennes frégates de 450.

La hauteur des pales est limitée par d'autres conditions; les vitesses linéaires des différents points d'une même pale sont variables avec leur distance au centre; si donc la pale recevait trop de hauteur, il arriverait généralement que la vitesse linéaire, à sa partie supé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

ire, serait inférieure à celle du bâtiment, et que dans position verticale, loin de pouvoir communiquer à u une force impulsive, ce serait cette partie de la e qui serait frappée à sa face antérieure par l'eau ıente et opposerait nécessairement une certaine stance à la marche. Pour que la roue fonctionne a, il est nécessaire que les vitesses linéaires sur toute hauteur de la pale restent supérieures à la vitesse bâtiment, ce qui exige qu'elles aient peu de hauteur ıs le sens du rayon, et qu'elles soient plongées d'une ez grande quantité au-dessous du plan de flottaison. Si on appelle φ l'angle d'incidence de la pale sur l'eau . 9), U sa vitesse linéaire en A, et V la vitesse du bâtiment, qui sera V sin φ perpendiculairement à la pale, la pression sur l'élément en A sera proportionnelle au carré de la vitesse, à (U — V sin φ)².

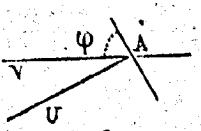


Fig. 9.

Pour φ = 0 cette pression est à son maximum; elle est à son minimum ur φ = 90°, c'est-à-dire lorsque la pale est ver- ıle. La pression maximum a lieu à l'entrée de la pale ns l'eau, où elle éprouve un véritable choc, cause ne consommation de travail considérable; cet effet minue ensuite progressivement jusqu'à la position rticale, pour reprendre des valeurs croissantes jusqu'à sortie, où se produit encore une consommation inu- e de forces vives par la projection, dans le sens ver- al, d'une partie du liquide sur lequel agit la pale. Ces nditions sont évidemment contraires à celles d'un n travail; il serait à souhaiter que la pression initiale t nulle pour croître progressivement jusqu'à la posi- on moyenne et diminuer ensuite pour devenir égale à ro à l'instant de la sortie. Ce résultat ne saurait être otenu avec les roues à pales ordinaires, mais on réduit tte imperfection inévitable en donnant une valeur otable à l'angle φ, dont l'accroissement répond à une duction relative de l'immersion.

Cette immersion est la plus convenable quand l'aube rticale plonge au-dessous du niveau de l'eau de 8 à 0 centimètres. Il est évident que si les roues plon- eaient jusqu'à l'axe, l'effet de chaque pale, à son entrée t à sa sortie, serait complétement nul pour la marche u bateau; il importerait donc que l'immersion des ubes restât constante malgré les variations de tirant 'eau du bateau résultant de son chargement variable. On y est parvenu en simplifiant les moyens d'assem- lage des aubes avec la roue, de telle sorte qu'il de- ient possible de démonter avec rapidité la partie infé- ieure de l'aube (que l'on forme de trois parties) pour a remonter au-dessus de la partie supérieure, quand le irant d'eau du navire augmente, et inversement, quand l diminue.

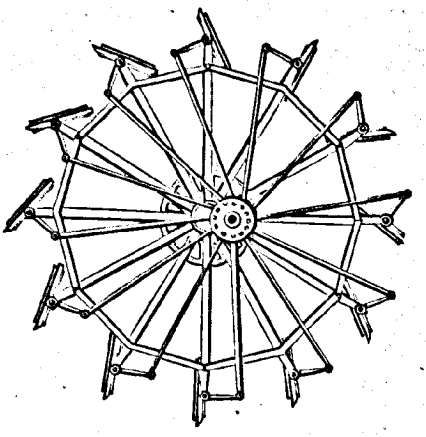
Ce système est obligatoire pour les navires à vapeur qui ne possédant que des ressources insuffisantes de charbon pour faire une longue traversée entièrement à la va- peur, devant profiter des vents favorables pour marcher à la voile, éprouvent alors une résistance nuisible par suite de la présence des roues à aubes, résistance que l'on annule en les démontant. On a employé aussi dans ce cas un système d'embrayage qui permet de rendre à volonté les roues *folles*, ou indépendantes de l'axe, ce qui exige des pièces d'un poids considérable pour de grands navires.

Systèmes divers de roues à aubes. Pour corriger le défaut des roues à aubes, d'entrer et de sortir de l'eau sous des inclinaisons nuisibles; de consommer une grande quantité de travail, croissant comme le carré de la vitesse, à choquer, projeter l'eau, on a employé plusieurs systèmes qui consistent à rendre les aubes mobiles autour d'un axe horizontal, de manière à leur faire prendre une position verticale à leur entrée dans l'eau et à leur sortie, par l'action d'une tige qui dirige leur inclinaison.

Système Carré. Dans ce système l'axe horizontal de chaque pale porte une manivelle du côté de la muraille du bateau. Ces manivelles sont articulées à des bras qui vont se réunir au collier d'un excentrique monté sur l'arbre des roues et adhérent à la muraille, de telle sorte que ces bras redressent la palette à l'entrée et à la sortie de l'eau, et que dans la position la plus basse les aubes entrent et sortent dans une position verticale. Ce système médiocrement résistant a été surtout appliqué à des bateaux de rivières.

Aubes mobiles. On s'est arrêté au système suivant, plus convenable pour les roues de grande dimension.

L'arbre (*fig.* 10) porte un moyeu assemblé avec les


Fig. 10.

axes des pales des roues. Les manivelles des pales les saisissent au milieu de leur longueur, et les bras sont articulés avec un disque tournant sur l'extrémité d'une coudée fixée solidement aux élongis extérieurs des tambours, à l'endroit même où le prolongement de l'arbre viendrait aboutir. Ce disque est fixé au bras d'une des pales qui, rigide, détermine l'inclinaison de la pale correspondante, et par suite celle, à peu près semblable, de toutes les autres.

La hauteur des aubes mobiles n'étant pas aussi limitée que celle des aubes ordinaires, on les fait presque carrées, ce qui diminue la saillie des tambours.

Ces systèmes sont abandonnés pour les grandes traversées à cause des chances de rupture qui compensent en grande partie, pour les grands navires qui ont besoin de roues extrêmement solides, les avantages qu'ils paraissent offrir.

Roues à aubes, dites roues cycloïdales. Nous ne parlerons pas de quantité de systèmes qui ont été imaginés et qui ne fonctionnent qu'avec des complications de mécanisme très-grandes, mais seulement du suivant.

Pour éviter les pertes de forces qu'entraînent les mécanismes qui font pivoter les aubes, M. Gallevoy a eu l'heureuse idée de diviser la largeur de chaque pale en cinq bandes étroites, placées en échelons les unes derrière les autres. Quand les cinq portions de la pale sont dans l'eau, elles la frappent comme si leur surface totale était continue; mais à mesure qu'elles s'approchent de leur émergence, les intervalles qui les séparent permettent à l'eau de s'écouler entre elles au lieu d'être soulevée. L'expérience n'a pas été favorable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à ce système, perfectionné par M. Field, qui donna aux échelons une disposition plus convenable et une largeur croissante à mesure qu'ils se rapprochaient de l'axe. Dans les bâtiments munis de ces roues, on a généralement réduit à deux ou à trois au plus les parties composant les aubes, dont l'action était en réalité moindre que celle d'aubes pleines de même surface.

Ces roues étaient dites *cycloïdales*, parce que les parties composant l'aube étaient disposées suivant un arc de cycloïde, de telle sorte qu'elles entraient successivement dans l'eau, à la même place, afin d'éviter le choc à l'entrée produit par les aubes ordinaires. On ne peut disconvenir que la conception de ces aubes était extrêmement ingénieuse; malheureusement l'expérience a prouvé, comme nous l'avons dit, qu'elles étaient peu avantageuses; ce qui provient surtout de ce que les parties successives de l'aube ne trouvent plus la même résistance dans l'eau, agitée par l'entrée de la première partie, que dans le liquide en repos, et que s'il en résulte une diminution de chocs, il en résulte aussi une diminution de résistance considérable.

Travail utile des roues à aubes. M. d'Aubuisson, dans son *Traité d'hydraulique*, rapporte une expérience de Poncelet pour déterminer un nombre représentant le coefficient par lequel il faut multiplier l'action d'une palette verticale (qui était dans cette expérience d'une largeur inusitée), déduite de la théorie du choc de l'eau, pour en déduire l'action totale des aubes. On a trouvé 2,80; or, comme il a en général 3 aubes agissant en chaque instant (1 1/2 de chaque côté), on voit que la résistance utile est presque égale au travail dépensé. Nous pensons que cette valeur est trop grande, déterminée à petite vitesse; Séguin dit avoir constaté que la force utilisée par les palettes, pour des roues de bateau, est à celle perdue dans le rapport de 4,13 à 4,26 pour un bateau très-bien construit, à petite vitesse, c'est-à-dire que la perte est comprise entre 1/4 et 1/3.

Position des roues à aubes. Pour que le bateau gouverne bien, on place les roues à aubes un peu en avant du centre de gravité. Quelquefois les deux roues ont été remplacées par une roue unique placée, soit à l'arrière, soit au milieu du bateau, divisé en deux bateaux accolés. Ces dispositions qui peuvent offrir quelques avantages dans des cas particuliers, tels que la navigation des canaux, n'ont pas d'importance au point de vue de la grande navigation.

Vitesse des roues à aubes. La vitesse des roues à aubes doit être plus grande que celle du bateau qu'elles font mouvoir, puisque, se mouvant avec celui-ci, elles n'agissent qu'avec la différence des deux vitesses. Il y aura d'autant moins de chocs et de pertes de forces que cette vitesse sera moindre, mais aussi le travail de la machine diminuera en même temps. L'expérience a démontré que la vitesse la plus convenable, celle qui correspond à la moindre perte de forces, pour un bon travail du moteur, est celle qui est mesurée par 4 au centre de l'aube, celle du bateau étant 3; c'est-à-dire plus grande de 1/4 que celle du bateau, la vitesse du bord intérieur de l'aube ne dépassant alors que très-peu celle du bateau. Cette proportion est dépassée dans les bateaux se mouvant à grande vitesse, pour lesquels on économise peu la force motrice.

Obliquité des aubes. Pour éviter les frottements et les communications de vitesse en arrière de l'eau projetée par les aubes à la partie postérieure de la carène, on monte les palettes un peu obliquement, de manière à écarter l'eau projetée. Cette précaution ne s'emploie guère que sur les eaux tranquilles des rivières et serait d'un faible avantage à la mer.

Rapport de la dépense de forces aux accroissements de vitesse du bateau. Les résistances inutiles à l'entrée et à la sortie des pales de l'eau rendent les roues à aubes un appareil défectueux, d'autant plus que la vitesse est plus grande. Barlow a fait des expériences sur des bateaux mus avec une grande vitesse, et a cherché quelle est la diminution de dépense de travail, qu'on peut évaluer approximativement par la dépense de combustible, qu'on pouvait obtenir par une diminution de vitesse.

Il a reconnu que les derniers accroissements de vitesse coûtaient fort cher, et cela, moins par l'augmentation de résistance de l'eau, que parce que l'effet utile des roues à aubes n'augmente que très-lentement avec la vitesse, en exigeant un grand accroissement de travail moteur, tandis que la machine à vapeur à basse pression fonctionne alors dans des conditions moins avantageuses par suite de la trop grande vitesse du piston.

Une expérience a donné, pour une réduction de 1/24 dans la vitesse, une diminution correspondante de 1/6 sur le combustible dépensé.

Une autre expérience a donné, pour une réduction de 1/4 dans la vitesse, une réduction de moitié dans la dépense en combustible.

On doit donc en conclure que les dernières portions de la vitesse sont produites dans les bateaux à vapeur dans des conditions très-désavantageuses, et que si l'on possédait un autre moyen quelconque d'utiliser la force pour aider au mouvement, il y a presque certitude qu'il serait avantageux de l'employer pour les 1 ou 2 derniers dixièmes du travail des machines, qui ne produisent guère qu'un 30e à un 20e de la vitesse.

C'est cette observation qui nous avait fait attacher de l'importance au perfectionnement dont nous avons parlé plus haut. C'est sur elle que repose en grande partie la supériorité du navire à hélices sur le navire à roues et l'abandon de celui-ci.

Rapport entre la force et le tonnage. La proportion entre la puissance et le tonnage des bâtiments à vapeur varie de 2 à 4 tonneaux par force de cheval; elle dépend de l'emploi du bâtiment et de la longueur de la traversée. La première proportion est celle des bateaux de rivière, la dernière celle des vapeurs transatlantiques. Une forte puissance sur les petits navires procure une grande vitesse; mais ils ne peuvent alors se charger que d'une faible quantité de charbon, au plus suffisante pour les alimenter pendant quelques jours, tandis que les grands navires doivent en emmagasiner une proportion beaucoup plus grande, qui les mette à même de parcourir de grandes distances.

La capacité d'un navire croissant comme le cube de ses dimensions, tandis que la résistance croît comme le carré de ces mêmes longueurs, puisqu'elle est sensiblement proportionnelle au maître-couple, on voit qu'il y a avantage à construire d'énormes bâtiments pour les longues traversées, le chargement et les approvisionnements en charbon augmentant avec leur grandeur, et leur vitesse croissant en même temps que leur approvisionnement de combustible.

§ III. BATEAU A HÉLICE. Les roues à aubes, qui suffisent parfaitement pour la navigation des rivières, offrent beaucoup d'inconvénients dans la navigation maritime. Le roulis du navire fait sans cesse immerger une des roues en élevant l'autre, ce qui cause des à-coups continuels, et des variations très-nuisibles à la machine et au bateau; l'action n'ayant plus lieu que sur une roue, on est obligé de diminuer l'entrée de la vapeur, et par suite le travail de la machine, dans les moments où il serait souvent le plus nécessaire de l'augmenter. Enfin les tambours des roues offrent prise au vent, et rendent le bateau mauvais voilier.

Au point de vue militaire, les roues complétement exposées aux coups des boulets rendent le bateau à vapeur de nulle valeur pour une lutte d'artillerie. On conçoit, d'après cela, combien il était intéressant de trouver un propulseur à action continue, condition indis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

ensable pour le bon rendement de la machine motrice, ui agit toujours sous l'eau, qui permit de placer les achines au-dessous de la flottaison, sans rien changer la forme extérieure du navire, et sans prendre la place un seul canon; aussi, l'emploi des propulseurs im-ergés a-t-il été le point de départ d'une transformation mplète des marines de guerre.

C'est au capitaine du génie *Delisle*, dont l'esprit in-entif a été bien connu dans l'armée, et dont nous cite-ns encore une ingénieuse invention à l'article PONT-EVIS, que doit revenir l'honneur d'avoir montré la va-ur de ce propulseur. Reprenant une voie indiquée héoriquement bien des fois par Paucton et autres

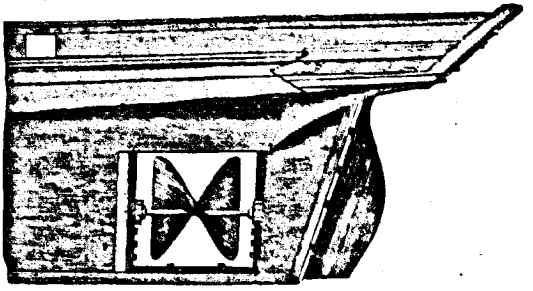


Fig. 11.

nteurs, il proposa, dès 1823, au ministre de la ma-ine un système bien étudié que nous avons expéri-enté bien longtemps après, quand les Anglais, mieux visés que nous, l'eurent fait passer dans la pra-ique. M. *Sauvage*, autre Français, avait bien compris l'importance de cette idée, qu'il espera perfectionner par un mode particulier de construction de l'hélice; mais, malgré tous ses efforts, il ne put jamais réa-liser d'essais sur une échelle suffisante pour prouver l'excellence de son système.

Hélices. Les vis propulsives, de quelque manière qu'elles soient construites, tirent leur pouvoir propulsif de faces hélicoïdales fixées sur un axe parallèle à la quille du bateau, par rapport à laquelle elles constituent une succession de plans inclinés; de sorte qu'en faisant tourner l'axe avec une certaine vitesse, il en résulte un effet de pression sur l'eau, lequel, par réaction, tendra à faire avancer le bateau. L'eau n'offrant pas une résis-tance absolue, il s'ensuit qu'une partie de la force dé-pensée ne servira qu'à déplacer les molécules fluides et à les faire glisser les unes sur les autres, effet qui d'ail-leurs se produit également plus ou moins dans tous les autres systèmes de propulsion; c'est à diminuer cette perte par différentes modifications de la vis, que se sont surtout appliqués les divers constructeurs dont nous allons parler, et l'expérience a bien vite fait reconnaître que la grande vitesse de rotation de l'hélice était la pre-mière condition d'un rendement avantageux, l'eau résistant d'autant mieux par son inertie que cette vi-tesse est plus grande. (Voy. HÉLICE, *Complément.*)

Système Sauvage ou *Smith.* Ce système, appliqué pour la première fois par Smith à un petit navire appelé l'*Archimède*, dont la fig. 11 représente l'arrière, était com-posé de deux segments hélicoïdaux formant ensemble un tour entier, dont l'angle milieu d'inclinaison était d'environ 45°. Ces hélices reposaient sur l'arbre mo-teur, qui en formait l'axe. Les dimensions de la vis adoptée par Smith, après avoir essayé plusieurs mo-dèles différents, étaient : longueur 2m,44, diamètre 1m,75. Un accident arrivé à son hélice lui prouva qu'il y avait avantage à ne pas employer un pas complet.

La machine de l'*Archimède* était disposée de telle sorte que l'axe mis en mouvement était dirigé suivant la grande longueur du bateau, c'est-à-dire que les deux machines étaient placées dans ce sens et non pas en travers du bateau. Cet axe horizontal portait une grande roue d'engrenage qui faisait tourner une petite roue dentée montée sur l'axe de l'hélice prolongé. Par un embrayage, cet axe et par suite l'hélice pouvaient être séparés de la machine, et tourner librement quand on voulait faire marcher le navire à la voile seu-lement.

Cet engrenage, nécessaire avec des machines à allure lente, à cause de la grande vitesse qu'il faut donner à la vis, causait un bruit très-désagréable. Dans la plupart des machines modernes, on est parvenu à supprimer les engrenages, en adoptant des dispositions qui reviennent à employer l'action directe de la vapeur à haute pression, à imiter la disposition des locomotives, comme nous allons le voir ci-après.

Le bateau appelé d'abord *le Napoléon*, puis *le Corse*, construit par notre habile construc-teur M. Normand, du Havre, a donné le pre-mier des résultats remarquables. Après avoir fait varier les dimensions de l'hélice, sa for-me, le nombre des ailes, et surtout aug-menté sa vitesse de rotation, on a obtenu avec la machine seule, en temps calme, une vitesse de 10 nœuds à l'heure, et avec l'aide des voiles jusqu'à 13 nœuds 1/2.

Nous donnons ici (fig. 12) l'hélice à 3 ailes du *Napo-léon* de M. Normand. Aujourd'hui on emploie plus fré-quemment l'hélice à deux ailes (fig. 13). Elle seule peut être remon-tée sur le pont par un puits de petite dimen-sion, qui n'altère pas trop la solidité des parties arrière du na-vire, ce qui, au reste, se fait assez rarement aujourd'hui.

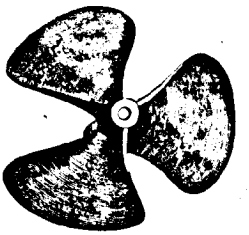


Fig. 12.

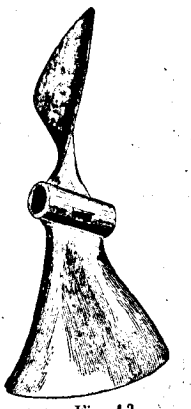


Fig. 13.

Nous ne parlerons pas de beaucoup de dispositions qu'a fait naître le succès de l'hélice immergée à grande vitesse, et qui se réduisent en gé-néral à des disposi-tions de plans incli-nés qui ne parais-sent pas pouvoir sou-tenir la comparaison avec les surfaces con-tinues de l'hélice. Nous nous bornerons à par-ler de deux systèmes qui n'offrent aujour-d'hui d'intérêt qu'au point de vue histori-que, celui de Rennie et celui de Delisle ou Ericson.

Les parties de la surface héliçoïdale qui se rapprochent de l'axe ne pouvant avoir que peu d'effet et seu-lement à des vitesses très-grandes, pour faire avancer le navire, on a pu sacrifier cette partie. C'est d après

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette considération que sont établis les deux systèmes dont nous avons à parler.

Système Rennie. Rennie, qui a eu l'honneur de comprendre le premier les avantages du système de propulsion que Smith expérimentait sur un petit modèle, et qui osa construire l'*Archimède*, a proposé de remplacer l'hélice par une vis spirale formée par l'enroulement d'un plan incliné autour d'un cône. Son but était d'augmenter graduellement le pas du filet, de sorte que, lorsque l'eau avait acquis toute la vitesse que la partie antérieure de la vis peut lui donner, elle continuait à recevoir une nouvelle impulsion. Le but de l'inventeur a été surtout d'imiter les queues des poissons qui nagent le plus vite, par l'action de cet organe qu'ils développent à volonté (fig. 14), et auquel ils impriment un mouvement de rotation partielle, de godille, dont se rapproche celui de l'hélice.

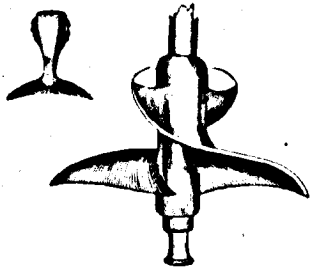


Fig. 14.

Système Delisle ou Ericson. Dans ce système, les parties voisines du centre sont entièrement supprimées, d'après les raisons énoncées ci-dessus, et les palettes héliçoïdales placées à la surface d'un tambour. Les fig. 15 et 16 représentent la disposition de ces segments, qui sont au nombre de 6, et forment dans leur ensemble un tour presque entier de la vis. L'angle du milieu est de 45°.

Fig. 15.

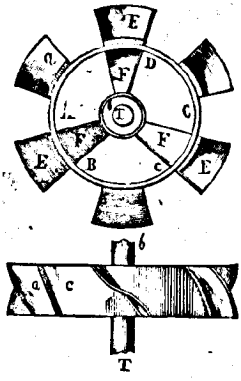


Fig. 16.

Ce système, qui offrait l'avantage de fonctionner avec des machines à petite vitesse de piston, les seules employées jadis, ne donna pas les résultats qu'on espérait, et pour la flotte militaire n'offrait pas l'avantage immense d'un propulseur immergé. Dans un cas cependant, il semble conserver ses avantages, pour l'application de la vapeur sur les canaux, car il occasionne peu de remous, et paraît avoir donné, dans ce cas, quelques résultats avantageux en Amérique. Il n'a pas réussi sur nos canaux à faible section.

Des expériences nombreuses et des recherches théoriques analogues à celles données à l'article HÉLICE permettent d'établir ce propulseur dans des conditions convenables pour une construction donnée.

Supériorité de l'hélice sur les roues. Les avantages évidents de l'hélice, au point de vue de la navigation maritime, ne paraissaient pas d'abord aussi assurés à celui de l'utilisation du travail moteur, et sa substitution aux roues à aubes a été quelque temps controversée. On admettait comme incontestable la supériorité des roues pour naviguer vent debout, cas dans lequel des puissances modérées ne font plus avancer le navire, l'hélice ne faisant plus que faire tourbillonner toujours la même masse d'eau. C'était, en effet, ce que les premières constructions, faites en employant les machines des bateaux à roues, semblèrent indiquer, et on ne croyait pas jamais pouvoir obtenir d'aussi grandes vitesses avec l'hélice qu'avec les roues. Mais bientôt l'emploi de machines plus puissantes fit reconnaître la possibilité d'obtenir des résultats supérieurs, c'est-à-dire que le maximum était plus reculé pour les hélices que pour les roues à aubes. Tandis que pour les bateaux à roues une augmentation considérable de travail, à partir d'une vitesse modérée, ne procure, ainsi qu'il a été dit plus haut, qu'un accroissement peu notable de vitesse, le choc à l'entrée des pales dans l'eau entraînant des pertes énormes, l'hélice toujours immergée a un effet utile d'autant meilleur que, sa vitesse étant plus grande, l'eau résiste mieux par son inertie. Là est la cause de la supériorité de l'hélice sur les roues, et elle est telle que malgré la trépidation désagréable qui résulte de sa grande vitesse de rotation et des variations d'action du moteur, qui fait conserver les roues pour quelques traversées dans les eaux tranquilles, les bateaux à roues disparaissent partout devant les bateaux à hélice.

Machines des navires à hélice. Les machines marines étaient parvenues à un haut degré de perfection lorsqu'on appliqua l'hélice à la navigation. Elles étaient devenues plus légères, et l'adoption de la moyenne pression, malgré les difficultés inhérentes à son emploi avec l'eau salée, et la grande quantité d'eau déjà amenée à la température d'évaporation, qu'il fallait rejeter à la mer par les pompes à saumure pour limiter les incrustations, permettait d'obtenir pour un tonnage donné une puissance motrice considérable, et d'imprimer de grandes vitesses au piston moteur, condition essentielle des nouvelles constructions.

Au début, on ne voulut pas renoncer aux machines qui résumaient dans leur ensemble les résultats acquis par l'expérience et la science des constructeurs, et on employa des machines semblables à celles des bateaux à roues pour mouvoir rapidement les hélices au moyen de roues d'engrenages. Nous avons donné figure 3 la disposition d'une puissante machine oscillante de Penn pour mouvoir un arbre d'hélice. Le *Napoléon*, vaisseau de premier ordre ainsi construit, ayant des machines de 900 chevaux de force nominale, actionnant une hélice, fut reconnu une magnifique construction. Les deux cylindres horizontaux de ses machines étaient fixés chacun sur une plaque de fondation distincte qui portait aussi le condenseur et la pompe à air, et formait une masse très-résistante servant de support aux guides ainsi qu'à l'arbre de couche et à l'arbre de l'hélice. Dans ces machines, les principaux organes, tels que l'arbre, la bielle, le piston moteur et le piston de la pompe à air conservaient des vitesses modérées, mais les grands engrenages absorbaient une importante quantité du travail par frottement, exposaient à des ruptures de dents, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

surtout pour de puissantes machines marines, prenaient des proportions considérables, devenaient lourds et encombrants.

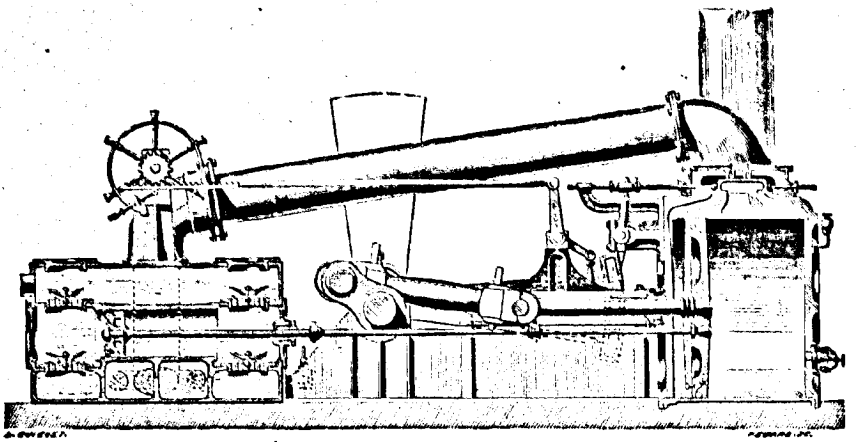


Fig. 17.

En employant une grande vitesse de piston, on a pu abandonner les anciennes machines, si solides, si bien équilibrées, mais si lourdes, pour arriver naturellement, pour ainsi dire, aux machines à action directe qui rappellent le type des locomotives. La machine à connexion directe, qui en est la simple application, fig. 16, a, en général, une bielle trop courte, cause d'échauffement et d'usure. En inclinant les cylindres et attachant la bielle à la tige extérieure du piston, Cavé avait obtenu une longueur suffisante dans les machines du *Chaptal*. Dans un modèle souvent adopté dérivé de cette disposition, on reporte l'attache de la bielle à l'aide d'une double tige du piston, pour laisser passer l'arbre, sur une glissière placée à l'autre bord. C'est le système qui a été longtemps le plus généralement adopté pour la marine militaire. On en voit les dispositions dans les figures qui représentent la machine du *Solferino*, exécutée sur les plans de M. Dupuy de Lôme, et dont nous avons donné la description. (Voy. BATEAU A VAPEUR, *Complément.*)

Machines à fourreau. Une solution que le talent des constructeurs a rendue de plus en plus satisfaisante est celle si simple adoptée par Penn et fils. Dérivant de la machine oscillante qui a donné d'excellents résultats pour les bateaux à roues, la machine à fourreau (fig. 17) consiste à faire toujours partir la bielle du piston, avec lequel son extrémité est assemblée à articulation, et à cet effet à la faire osciller dans un fourreau faisant corps avec le piston. La possibilité de bien exécuter une garniture métallique autour du fourreau a fait disparaître les difficultés que pouvait présenter ce système ; son défaut d'offrir de grandes surfaces de refroidissement ne paraît pas balancer les avantages de simplicité et de légèreté des appareils. La grande vitesse donnée au piston, que dans la pratique il faut obtenir aussi considérable que possible avec des machines puissantes, et qu'on n'atteint pas avec des systèmes plus lourds, fait que la consommation de chaleur, due à ce refroidissement, n'est pas très-grande relativement à la quantité de chaleur utilisée.

Machine Compound. Tous les progrès se sont réunis autour de la machine Compound, dérivée de la machine de Woolf à 2 cylindres pour obtenir de grandes détentes, qui a procuré une économie de combustible permettant d'étendre singulièrement le domaine du bateau à vapeur, de l'employer pour des transports de marchandises, pour lesquels il avait été jugé jusque-là beaucoup trop coûteux.

Nous emprunterons à un intéressant Mémoire d'un ingénieur anglais, M. Bramwell, quelques détails au sujet de cette construction appelée à faire disparaître tous les autres systèmes.

On repoussa longtemps, en Angleterre, l'idée d'employer à la mer de hautes pressions. On citait de fréquents exemples d'explosions de chaudières sur le Mississipi, et à Londres même, sur la Tamise, deux explosions de chaudières de bateaux à vapeur vinrent, en 1838, confirmer des appréhensions, sans qu'on voulût examiner si elles étaient construites dans les conditions voulues pour résister à de hautes pressions.

Une autre difficulté était le dépôt des sels dans les chaudières. Déjà, en 1838, Hall construisit les machines du *Wilberforce*, navire faisant le service entre

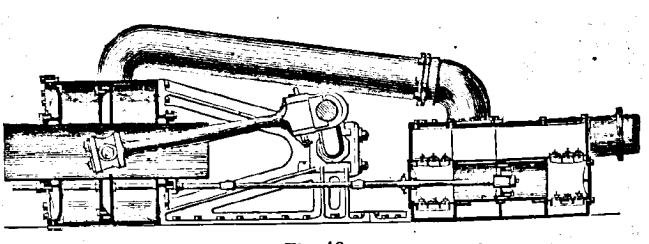


Fig. 18.

Londres et Hull, et y appliqua le système de condensation par surface. Malgré des résultats satisfaisants, le public et les constructeurs de machines marines n'en persistèrent pas moins à considérer la condensation par surface comme impossible, et il fut par suite admis comme certain qu'on ne pouvait employer des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pressions élevées avec l'eau de mer, parce que les dépôts et les entraînements d'eau seraient tels que les machines ne pourraient pas fonctionner et les chaudières seraient brûlées.

La nécessité de construire des machines puissantes, à grande vitesse de piston, pour agir par action directe sur l'hélice et ne pas trop augmenter les poids des machines, conduisit toutefois à accroître les pressions, qui s'élevèrent de 1k,30 (en 1835) à 2k,13 et 2k,80, pressions que les constructeurs de machines ont gardées longtemps. Les chaudières, conservant la forme extérieure des anciennes chaudières à carneaux, contenaient des tubes à l'intérieur et étaient suffisamment étayées pour supporter avec toute sécurité les pressions auxquelles on les faisait travailler. Seulement, dans les chaudières tubulaires, les dépôts de sels devinrent plus graves, les espaces étant plus resserrés, moins accessibles, et si les incrustations venaient à prendre une certaine épaisseur, la consommation devenait exagérée et la chaudière compromise, en même temps que la vitesse du navire diminuait faute d'une production suffisante de vapeur.

Les ingénieurs furent ainsi conduits à revenir à la condensation par surface, et l'appareil de Hall du *Wilberforce*, mis de nouveau à l'essai, fut trouvé très-utile. Son emploi ne fut pas sans rencontrer quelques difficultés, notamment pour ce qui regarde l'usure des chaudières causée par la plus grande pureté de l'eau, les surfaces métalliques étant plus sujettes à se corroder et à donner des fuites; mais on a surmonté toutes ces difficultés, notamment celle dont il vient d'être question, et cela tout simplement en alimentant la chaudière à l'eau de mer, jusqu'à ce qu'il se soit formé un dépôt suffisant pour protéger les tôles et les tubes.

Un des premiers cas où l'on ressuscita la condensation par surface se rencontra sur les bateaux faisant le service de Bristol aux ports du pays de Galles. Ces bateaux avaient, vers 1850, des machines à demi-haute pression, c'est-à-dire travaillant à 3k,14 et 3k,85 et sans condensation; mais comme les eaux de l'Avon, du canal de Bristol et des rivières du pays de Galles, qui sont périodiquement douces et salées en même temps que vaseuses, étaient très-mauvaises pour l'alimentation des chaudières, il fallut trouver un remède. Après avoir tenté de charger sur le bateau des réservoirs d'eau douce, on employa des condenseurs à surface très-simples, autour desquels la circulation de l'eau se faisait par la marche même du bateau, au moyen d'ouvertures percées dans le bordé du bateau.

Lorsqu'il s'agit d'obtenir le vide et non pas seulement de l'eau douce, l'eau froide doit, en effet, circuler en sens inverse de la vapeur et avec une vitesse suffisante. L'emploi des pompes centrifuges puissantes a été, à ce point de vue, un élément important du succès des condenseurs à surface, élément essentiel de la machine marine à haute pression.

Grâce à ce point de départ, les demandes incessantes des armateurs pour effectuer économiquement de grandes traversées semblèrent pouvoir être satisfaites, et les grands ateliers de construction se livrèrent aux recherches qui ont conduit à réduire de moitié les consommations de combustible, comparativement à celles des meilleures machines employées auparavant.

Dès 1856, MM. Randolph et Elder construisirent, pour le *Pacific Steam Navigation Company*, deux navires à roues, le *Valparaiso* et l'*Inca*, portant des machines à pression élevée (3k,14 absolu) et adoptèrent pour les machines marines le système permettant de longues détentes, dont la théorie et la pratique des machines fixes démontraient les avantages, consistant à détendre dans des cylindres séparés, reprirent la tradition de la machine Woolf à deux cylindres. Cette machine était restée préférée dans quelques pays industriels où le combustible était cher et la régularité de sa marche fort appréciée. Edwards et Saulnier à Paris, Cazalis et Cordier à Saint-Quentin, Windsor, Powell et Scott à Rouen, entre autres mécaniciens, n'en construisaient pas d'autres, et Grouvelle ne se lassait pas de répéter, dans son *Guide du Chauffeur*, dès 1830, que les machines deWoolf brûlaient *trois ou quatre fois moins de houille* que les machines de Watt à basse pression. Des machines à deux cylindres étaient construites en assez grand nombre en Angleterre pour les usines, par Hall, de Dartford, Hick, de Bolton, Easton et Amos, etc. Elles firent un grand progrès par l'emploi de l'arrangement dû à Mac-Naught, qui, séparant le premier les deux cylindres réunis de la machine de Woolf, construisit la modification qui s'applique merveilleusement à la marine et qui a été appelée *Compound*. Il attela le cylindre à haute pression au balancier, du côté de la manivelle, disposition qui fut appliquée à d'anciennes machines à condensation. Il y avait bien alors une certaine perte causée par la longueur des passages entre les deux cylindres, mais cette solution n'en était pas moins bonne pour améliorer une machine existante sans la surcharger.

Revenons à l'application du système aux machines marines. La réussite des premières machines fournies par Randolph et Elder, pour la navigation sur le Pacifique, où le charbon était à un prix extrêmement élevé, fut si complète, que tous les autres navires de la Compagnie furent renvoyés en Angleterre pour recevoir des machines à double cylindre et des chaudières à haute pression.

La Compagnie Péninsulaire et Orientale voulut réaliser le même progrès; mais elle eut le tort d'adopter un système de machine de Woolf, en apparence simple et bien disposé pour l'emploi assigné, consistant à placer les deux cylindres l'un au-dessus de l'autre, avec une tige commune aux deux pistons. Pratiquement, il devint impossible de rendre étanche le passage de la tige du piston entre le cylindre à basse et à haute pression, immergé dans la vapeur, et les fuites, avec la pression de la vapeur d'un côté et le vide de l'autre (cas qui se présente pendant la moitié de chaque tour) faisaient passer au condenseur une quantité énorme de vapeur qui n'avait produit aucun travail. Il fallut changer plusieurs machines de ce genre qui avaient été construites par Humphrys et Tennant, et malgré les motifs évidents de cet échec, il retarda pendant quelque temps les progrès des machines à double cylindre.

En France, dès 1860, M. Normand fils a réalisé sur le bateau *le Furet*, faisant les traversées de Rouen au Havre, le progrès dont nous parlons. La machine de ce bateau était une machine oscillante de Penn à deux cylindres. Il a pu, sans diminuer la vitesse du bateau, supprimer l'alimentation de l'un d'eux, dont il a augmenté le diamètre en la faisant fonctionner comme cylindre de détente d'une machine de Woolf. La vapeur d'échappement du premier cylindre n'y arrivait qu'après avoir parcouru dans toute sa longueur un tuyau de conduite placé dans la chaudière même et obtenant ainsi un réchauffement qui augmentait la contre-pression du piston du petit cylindre, mais aussi la pression utile du grand, utilement par suite, vu le rapport des surfaces des deux pistons.

En présence des économies obtenues par la machine Compound, le mouvement de transformation est bientôt devenu irrésistible, et d'excellentes machines, de construction récente, ont été mises à la ferraille pour être remplacées par les nouvelles machines et des chaudières à pression plus élevée. Dans beaucoup de cas, en même temps qu'on a changé les machines, on a accru la capacité du navire en le rallongeant par le milieu de 20 à 30 mètres; le navire devient alors capable de porter beaucoup plus; dans plusieurs cas, on

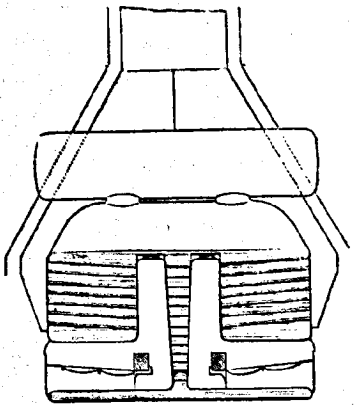
EFERUS - Recherche & Classification numérique

a ainsi augmenté de plus de mille tonneaux la capacité primitive. Il est résulté, en général, de cette transformation, qu'on peut transporter plus de poids à la même vitesse qu'auparavant, avec une consommation de combustible de moins des deux tiers, peu supérieure à la moitié.

Précisons les détails de ces constructions, dont le point de départ est l'emploi de l'eau douce, permettant la production de la vapeur à haute pression à la mer et l'adoption des mouvements rapides du piston et de longues détentes pour la bonne utilisation de la vapeur, avec des machines à action directe. Nous parlons plus loin de celle à pilon, la plus employée se combinant bien avec la position forcée de l'hélice, dans le fond du navire.

Chaudières. La construction des chaudières marines, pouvant résister, avec toute sécurité, aux pressions élevées, est un point capital. Une disposition de chaudières à haute pression (5 à 6 kil.) qui se rencontre très-fréquemment aujourd'hui est celle représentée fig. 19 et 20. Elle est formée par une enveloppe cylindrique et des faces planes ; trois foyers cylindriques intérieurs donnant dans une boîte à feu verticale que les tubes rattachent au devant de la chaudière ; les parois planes des deux boîtes à feu sont entretoisées entre elles et les ciels sont maintenus par des armatures.

Fig. 19.



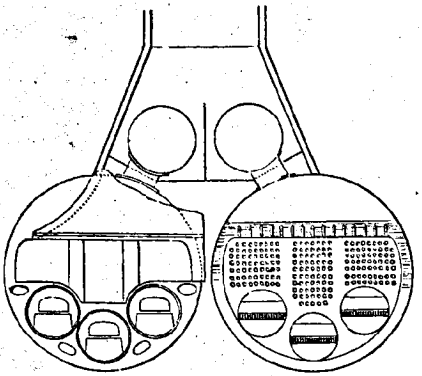


Fig. 20.

BATEAU A VAPEUR.

Les faces planes des fonds des chaudières sont réunies entre elles par des tirants. Les chaudières de la figure ont 4 mètres de diamètre et 5m,50 de long. Les tôles ont 22 millimètres et sont assemblées à double rang de rivets. Les tubes sont en fer, de 2 mètres de longueur, 0,09 de diamètre ; il y en a 434 par chaudière ; les foyers ont 1 mètre de diamètre et les grilles 1m,83 de longueur. La surface de chauffe des foyers et boîtes à feu est de 53 mètres carrés, celle des tubes 235 mètres carrés ; total 288 mètres carrés, la surface de la grille étant de 10 mètres carrés.

Il y a deux chaudières avec une seule cheminée ; dans la base de la cheminée sont deux gros réservoirs de vapeur qui permettent une légère surchauffe qui sèche bien la vapeur. Les chaudières à haute pression donnent lieu, à volume égal de chaudières et pour un même travail, à l'entraînement d'une moindre quantité d'eau que celles à basse pression, par suite de ce que le volume de vapeur est bien moindre.

Les pressions de 5 à 6 kil. permettant des détentes utiles de 8 à 10 fois le volume primitif, ont été reconnues les plus élevées qu'il soit utile d'employer à la mer, dans cette pondération des avantages et des inconvénients qui a conduit au meilleur type de bateau à hélice obtenu jusqu'ici.

Machines Compound. Il existe deux grandes classes de machines Compound : les machines où les cylindres travaillent ensemble ou en sens inverse, et celles, plus employées actuellement, où les cylindres travaillent sur des manivelles à angle droit, pour obtenir plus de régularité dans les efforts tangentiels.

Le premier type de machines, qui est celui de Hornblower et de Woolf, présente des avantages pour la distribution de la vapeur, parce que les mouvements des pistons se correspondent, de telle sorte que la vapeur qui sort du petit cylindre passe directement dans le grand. Mais à moins qu'on ne se contente pas d'un seul appareil (ce qui d'ailleurs a été fait plusieurs fois sans inconvénient), on est obligé d'avoir deux systèmes complets travaillant sur des manivelles calées à angle droit.

Dans l'autre classe des machines Compound, les deux cylindres commandent chacun une manivelle, et les deux manivelles sont à 90°.

Le grand cylindre ne commence à ouvrir à l'admission que lorsque le petit cylindre est au milieu de sa course ; on emploie par conséquent un réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. La pression dans ce réservoir croît vers le milieu de la course, parce que le volume total est réduit lors du retour du petit piston ; mais comme la capacité du réservoir est notable, trois ou quatre fois le volume du petit cylindre, la variation de pression ne dépassera pas 0k,25. La communication entre le réservoir et le cylindre à basse pression est fermée à peu près à moitié course. Les fig. 21 et 22 donnent les coupes verticales et horizontales des cylindres et des tiroirs.

L'action de la vapeur dans ce genre de machine a lieu souvent comme il suit : au commencement de la course du petit piston, il y a, d'un côté de ce piston, une pression de 5 kil. par centimètre carré, au-dessous de 1k,73, la pression du réservoir intermédiaire. A la moitié de la course, l'admission cesse ; elle commence au grand cylindre qui reçoit la vapeur du réservoir, le grand piston ayant derrière lui le vide du condenseur. La pression du réservoir s'élève bien un peu au-dessus de 1k,73, lors du retour du petit piston, mais cet accroissement de pression ne se fait pas sentir au grand cylindre. L'admission cesse au grand cylindre à moitié course, alors que le petit est à fin de course, et la vapeur achève de se détendre jusqu'à 0,70 avant de passer au condenseur.

Cette disposition de machine, composée de deux cy-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lindres, un grand et un petit, agissant chacun sur une manivelle calée à 90° de sa voisine, a le grand avantage de ne donner lieu à aucune complication et de ne pas tenir plus de place qu'une machine ordinaire; la différence est surtout dans le grand diamètre des cylindres à basse pression.

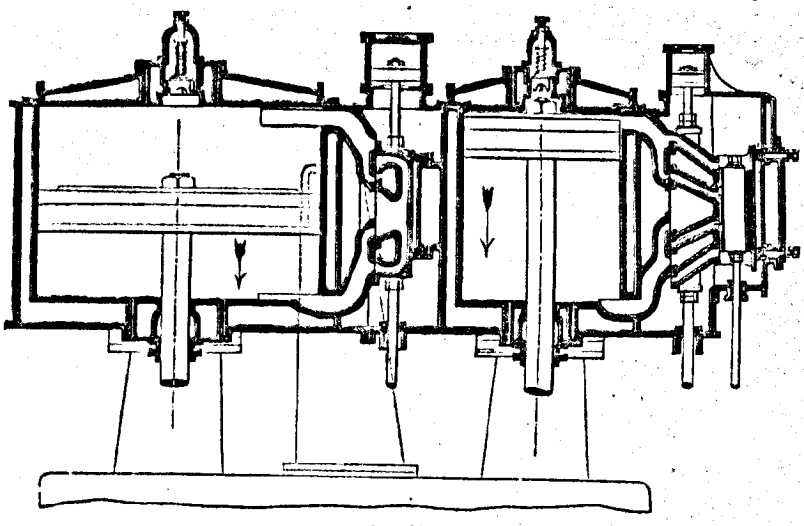


Fig. 21.

Théorie de la machine Compound. La détente obtenue dans le petit cylindre depuis la pression initiale jusqu'à celle du réservoir intermédiaire et dans le grand cylindre depuis la pression du réservoir jusqu'à celle du condenseur, est évidemment complète, et le travail exactement le même que celui qui se produirait dans une machine à un seul cylindre qui aurait une course de piston suffisante, dans lequel un même poids de vapeur passerait de la même pression initiale à la même pression finale. Il en est de même, comme on le démontre facilement, dans la machine de Woolf.

Il n'y a donc pas de différence quant au travail total dans les deux dispositions, avec ou sans réservoir intermédiaire (permettant un réchauffement trop rarement utilisé), ce dernier donnant une rotation plus uniforme; seulement ce travail ne se partage plus de la même manière entre les deux cylindres. Dans le dernier cas, le travail du petit cylindre est moindre que celui du petit cylindre de la machine de Woolf, parce que la contre-pression y est sensiblement constante et égale au maximum de la contre-pression dans le système de Woolf.

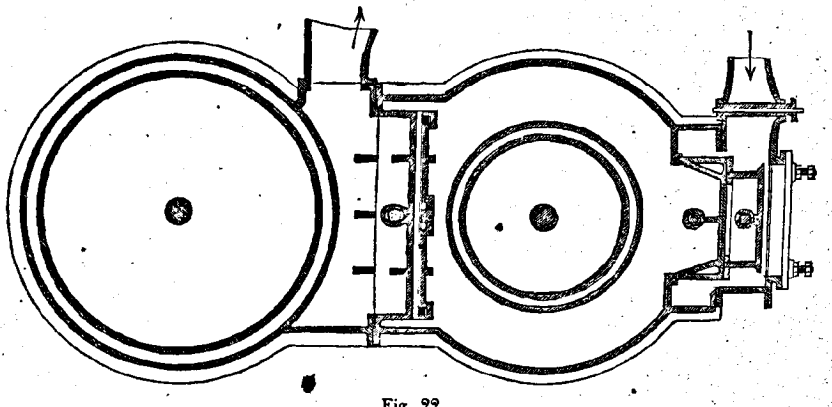


Fig. 22.

Il y a également une remarque à faire, c'est que dans cette dernière machine la différence des températures extrêmes, au petit cylindre, y est plus grande que dans la machine à réservoir intermédiaire.

Dans la machine Compound, des expansions considérables ne peuvent avoir lieu qu'autant que l'admission est coupée de bonne heure dans chaque cylindre; ainsi, pour une expansion totale de 10 volumes, il faut que la détente ait lieu à 1/5 dans un cylindre et à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

1/2 dans l'autre, ou à $\frac{1}{3,16}$ dans chaque cylindre, si la détente est égale; or, on sait que les distributions ordinaires ne se prêtent pas facilement à de faibles introductions.

Généralement on met une détente fixe assez prolongée au grand cylindre, et on munit le petit d'un appareil de détente variable, pour réduire l'admission autant qu'on le désire.

Effets des parois. Un avantage des machines à deux cylindres, c'est que la différence des températures extrêmes dans chaque cylindre est moindre et que par suite la condensation intérieure est beaucoup diminuée.

Voyons d'abord comment les choses se passent lors de l'arrivée de la vapeur dans un cylindre de machine, comme l'explique fort bien M. Mallet.

Les courbes d'indicateur montrent que dans les machines, même sans enveloppe, les pressions, loin de tomber au-dessous de celles qu'indique la loi de Mariotte, restent au-dessus, ce qui est dû à ce que le poids de vapeur est bien plus grand que celui calculé d'après la capacité du cylindre à l'admission. C'est pour cela que bien des expérimentateurs, l'amiral Paris entre autres, ont été forcés de reconnaître, à leur grand étonnement, qu'une même machine dépense souvent moins à pression pleine qu'à grande détente.

D'où vient le supplément de vapeur qui apparaît lors du fonctionnement à détente? Évidemment de la vaporisation, pendant la période d'expansion, de l'eau contenue dans le cylindre, par suite de l'abaissement de pression et aux dépens de la chaleur du métal qui se refroidit rapidement, ce qui explique précisément l'arrivée de cette eau de la chaudière. En effet, la vapeur, lors de l'admission, rencontrant des surfaces à basse température, se condense pour ramener le métal à une température plus élevée; ainsi, pour réchauffer 25 kil. de métal de 10 degrés, il faudra $25 \times 10 \times 0,15$, c'est-à-dire 32 unités de chaleur qui correspondent à la condensation de 62 grammes de vapeur. Il y aura donc, dès le commencement de la course, une certaine quantité d'eau adhérente aux parois; c'est cette eau qui, dès que la pression commence à baisser après la fermeture de l'admission, se vaporise en absorbant la chaleur des parois du cylindre et du piston, et après avoir effectué un travail insignifiant, à basse pression, est renvoyée au condenseur, et une nouvelle quantité de chaleur inutilement dépensée sera fournie à nouveau lors d'une nouvelle arrivée de vapeur. (Voy. MACHINE A VAPEUR, *Complément.*)

L'élévation de température des parois du cylindre par la condensation de la vapeur n'a pas lieu instantanément, pas plus probablement que la vaporisation pendant la détente; le temps joue un rôle dans les phénomènes. Aussi, dans les machines à mouvements lents, la perte de chaleur par la cause qui nous occupe est-elle beaucoup plus grande que dans les machines à mouvement rapide; c'est ce que la pratique confirme.

Enveloppes. Le rôle des enveloppes consiste à maintenir la température égale dans le cylindre, à éviter des condensations intérieures, surtout à l'admission. Elles sont par suite indispensables pour les machines à détente, et il y a très-grand bénéfice à augmenter autant que possible leur action. C'est surtout pour de longues détentes dans des cylindres de grand diamètre, que cela est nécessaire et que la disposition d'enveloppes à circulation de vapeur que nous avons indiquée peut produire de précieux effets. (Voir MACHINE A VAPEUR.)

Les substances isolantes, les gaz chauds, avec leur faible capacité, ne peuvent remplacer la vapeur et sa puissance d'échauffement par sa condensation.

Jusqu'à ce jour, au moins, et malgré l'efficacité réelle des enveloppes de vapeur ordinaires, il y a toujours au cylindre une certaine formation d'eau pendant la détente, condensation proportionnelle à la différence des températures auxquelles est soumis le cylindre.

Dans les machines à deux cylindres, surtout dans celles à réservoir intermédiaire, cette différence de température est réduite pour chaque cylindre; si on suppose une pression de 5 atmosphères, correspondant à 152°, une pression intermédiaire de 2, correspondant à 120°, et une pression finale de 0,50, correspondant à 81°, la différence au premier cylindre sera de 32°, au second cylindre de 39°, tandis qu'avec un seul cylindre la différence eût été de 71. Dans ce cas même, la condensation à l'admission si coûteuse serait plus grande que ne l'indique la différence de température indiquée ci-dessus, la longue durée de la communication d'un côté avec le condenseur froid étant la cause principale du refroidissement.

L'eau contenue dans la vapeur à la sortie du premier cylindre se dépose en grande partie dans le réservoir intermédiaire. Une surchauffe intermédiaire permet de vaporiser cette eau; des réservoirs cylindriques doubles, remplis de vapeur venant de la chaudière, séparés par des tuyaux hélicoïdaux, comme ceux des enveloppes à circulation, que parcourrait la vapeur passant d'un cylindre à l'autre, serait sûrement une bonne disposition pour atteindre ce but.

Condenseur à surface. Nous décrirons un condenseur à surface à tubes horizontaux d'un bon service, pour montrer les détails de la construction. Les tubes sont en cuivre, de 18 millimètres de diamètre, de 1 à 2 millimètres d'épaisseur, séparés par des intervalles de 9 millimètres. Ils sont fixés sur des plaques tubulaires en bronze et de diverses manières par les constructeurs; il est probable que de toutes ces dispositions la meilleure ou la plus simple est encore le presse-étoupe primitif de Hall, entre lequel passent leurs extrémités. Dans l'exemple dont il s'agit, les tubes sont divisés en trois groupes par des cloisons horizontales dans les chambres à eau des extrémités; l'eau réfrigérante envoyée dans la pompe à eau de circulation passe d'abord dans le groupe intérieur des tubes, puis dans le second, et enfin dans le dernier. La vapeur qui arrive des cylindres entre par le haut du condenseur et sort par le bas, rencontrant d'abord l'eau la plus chaude, puis la plus froide, conformément à la loi du déplacement. Les tubes ont des longueurs variables de $1^m,80$ à $4^m,50$; lorsqu'ils sont longs, on les supporte par des diaphragmes intermédiaires pour prévenir les vibrations. Le condenseur dont il s'agit a 1,725 tubes de 4 mètres, donnant une surface totale de 420 mètres carrés et un volume de 12 mètres cubes.

La grande capacité du condenseur, par rapport au volume du cylindre à vapeur, est une condition essentielle du bon travail de la machine, de l'abaissement rapide de la pression à l'ouverture du tiroir.

Dans d'autres dispositions, les tubes sont verticaux, l'eau circule de bas en haut sans cloisons séparatoires. Le vide qu'on obtient avec ces conditions est de $0^m,63$ à $0^m,72$.

On peut admettre pratiquement que 1 mètre de surface de condenseur enlève 2,500 calories par heure, la température de l'eau, à la sortie, étant d'environ 35°. Ce résultat est bien inférieur à celui que donnerait une application complète de la méthode de déplacement qui permettrait d'enlever facilement 5,000 calories.

La graisse diminue la conductibilité; le vide baisse de 3 à 6 centimètres environ, au bout d'un voyage aller et retour, en Amérique, d'un transatlantique.

Une pompe à clapets montée sur la machine, ou mieux une pompe rotative mue par une machine accessoire, est nécessaire pour faire circuler rapidement, à travers les tubes, environ 10 litres d'eau par kilogramme de vapeur à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

condenser. Ce dernier système permet de rester toujours dans de bonnes conditions; dans le premier, le vide est moins bon quand la vitesse diminue. Elle consomme 2 à 2 ½ pour 100 du travail de la machine proprement dite.

Pour le poids nous donnerons l'exemple suivant : surface condensante 475 mètres carrés, d'un poids de 40,000 kil., environ 50 kil. par mètre de surface condensante, y compris 8 kil. pour l'eau contenue dans les tubes; c'est 5 pour 100 du poids de la machine.

Machine à pilon. Nous n'avons pas parlé jusqu'ici de la disposition des cylindres de la machine Compound, de la forme de la machine. Si l'on remarque la position de l'arbre de l'hélice, nécessairement placé très-bas, là où la place manque dans le navire, et aussi les dimensions énormes qu'on a soin de lui donner pour éviter toute détérioration par des poussées très-grandes, toute torsion par des coups de mer, on en conclura que la machine doit être groupée en hauteur, rendue solidaire autant que possible de l'arbre de l'hélice, et non placée sur des bâtis étendus indépendants de celle-ci. Ces conditions sont remplies pour les grands navires du commerce, pour lesquels la machine ne doit pas être nécessairement au-dessous de la flottaison, comme pour les navires de guerre (ce qui fait adopter les cylindres horizontaux dans ce cas), par la machine à pilon ou des dérivées de celle-ci, et les deux cylindres à vapeur de la machine Compound se prêtent parfaitement à cette disposition. Dans la machine à pilon proprement dite, les cylindres sont placés verticalement au-dessus de l'arbre et maintenus assez élevés pour conserver aux bielles la longueur nécessaire. Cette disposition présente l'avantage, que toute la machine repose sur un bâti assez étroit qui peut rester à l'abri des déformations du bâtiment, se rattacher bien à l'arbre de l'hélice, et on revient tout à fait aux dispositions de la locomotive pour obtenir des vitesses de 50 à 60 tours par minute au moins, nécessaires pour le bon fonctionnement de l'hélice. La hauteur n'est pas une gêne pour les navires à grand creux, le haut de la machine remplit les claires-voies habituellement pratiquées pour donner de l'air aux navires; elle n'est donc pas une cause d'encombrement.

C'est avec ces machines qu'on a pu accumuler, sur des transatlantiques, des machines donnant jusqu'à 3,000 chevaux effectifs sur des navires de 3 à 4,000 tonnes, pouvant, outre de nombreux passagers, transporter un fret considérable, et obtenir des vitesses réelles de 12 à 14 nœuds, en dépensant moins de combustible qu'avec les anciennes donnant 8 à 9 nœuds.

Du mécanisme de l'hélice. L'emploi de l'hélice offre diverses difficultés qui n'ont été levées que successivement et même incomplétement en quelques parties. Nous indiquerons ici les principaux systèmes adoptés pour satisfaire aux exigences de la pratique.

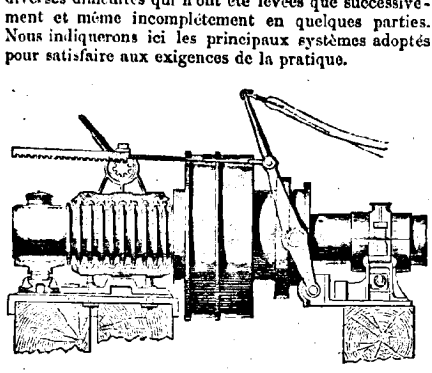


Fig. 23.

Pour éviter les causes de rupture qui pourraient résulter de quelque déformation du navire, un fort joint universel réunit la partie de l'arbre portant l'hélice à la partie de celui-ci actionnée directement par la bielle.

La transmission au corps flottant du travail moteur de l'hélice, sans usure des matériaux en contact, offrait des difficultés d'autant plus qu'il fallait en même temps disposer un embrayage d'un effet sûr pour rendre l'hélice libre si on peut naviguer à la voile. La figure 23 représente un système d'embrayage à grande surface et un coussinet de butée de l'arbre de l'hélice qui a bien réussi. Ce dernier est composé de rainures multiples, recevant un nombre égal de collets de l'arbre, moyen qui permet d'accroître à volonté l'étendue de la surface de butée.

Hélice en porte à faux. L'installation la plus simple des hélices fixes consiste à faire poser directement l'arbre de l'hélice sur le tube d'étambot.

C'est en Angleterre que ce système a été exécuté en premier lieu, et l'on s'est contenté d'ajuster aussi exactement que possible l'arbre sur le tube d'étambot lui-même, en donnant de grandes étendues aux surfaces en contact, et en augmentant les épaisseurs de matières de manière à prévenir l'usure ou les effets qui pourraient en être la conséquence; mais, à l'origine, les résultats obtenus de la sorte ont été peu satisfaisants, les surfaces en contact ont toujours subi des altérations rapides et profondes.

Penn eut alors l'idée de garnir le tube d'étambot dans toute la partie en contact avec l'arbre, avec des lattes de gaïac dirigées dans le sens des génératrices, et présentant leurs fibres longitudinales à l'action du frottement. Cette installation, exécutée sur l'*Himalaya*, qui fit un service très-actif pendant la guerre de Crimée, donna les meilleurs résultats, et l'on put constater que ni les surfaces de l'arbre, ni les lattes de gaïac n'avaient éprouvé d'usure sensible.

Les lattes qui garnissent le tube laissent entre elles des interstices longitudinaux qui forment autant de petits canaux constamment remplis d'eau qui baigne les surfaces métalliques et prévient les échauffements ; en outre, le frottement du métal poli sur le gaïac, et surtout le gaïc imbibé d'eau est fort doux, et c'est à ces deux causes réunies que l'on doit attribuer les bons résultats obtenus.

Hélices amovibles. Les hélices amovibles diffèrent des hélices fixes en ce qu'elles sont supportées par un cadre en bronze, maintenu et guidé par les étambots, et qu'elles doivent pouvoir être séparées à volonté de l'arbre moteur, lorsqu'il est nécessaire de les remonter hors de l'eau.

Pour établir la jonction du propulseur avec l'arbre moteur, on emploie le plus souvent le système d'*emmanchement* dit à T.

Dans ce système (fig. 24), le moyeu de l'hélice est ajusté sur un petit arbre en bronze *a b*, dont les collets sont supportés par deux bielles de suspension réunies à la partie supérieure par une traverse de forme simple *d e*. Les têtes de ces bielles sont en deux pièces, afin de permettre l'introduction de l'arbre, leurs chapes sont réunies aux montants par le moyen d'un boulon transversal: lorsque l'hélice est en place, elles s'engagent dans des supports ou bénitiers chevillés aux étambots, et qui les fixent dans des positions convenables.

L'arbre *a b* présente une traverse en croisillon *c*, qui s'engage dans une mortaise pratiquée dans un manchon cylindrique claveté à demeure sur l'extrémité de l'arbre moteur; ce dernier repose sur le bouf du tube qui l'emboîte exactement, le manchon repose également, par tout son pourtour, sur la surface cylindrique qui l'entoure, et appuie, par sa face plane, sur la surface verticale de l'armature d'étambot, qui reçoit aussi directement la poussée de l'hélice.

Pour relever l'hélice, on la place dans une direction verticale, en agissant sur le vireur ordinaire, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'assujettit dans cette position au moyen d'un verrou *e f*, fixé à la traverse supérieure, et en frappant sur la traverse *de* un appareil de palans quelconque,

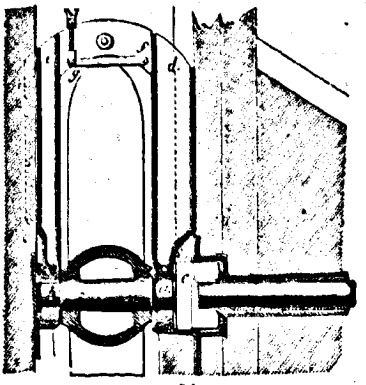


Fig. 24.

tout le système peut être remonté hors de l'eau; l'opération inverse pour la remettre en prise s'exécute également avec la plus grande facilité; l'hélice étant maintenue par son verrou, la mortaise du tenon est placée verticalement, on laisse descendre le cadre à sa place, on dégage le verrou et le vireur, et la machine est prête à fonctionner.

Flotte à hélice. La supériorité du navire de guerre à hélice sur le bateau à vapeur à roues et le navire à voiles est telle, comme batterie d'artillerie, que ces derniers ne peuvent penser à affronter son feu, comme on l'a vu à la guerre de Crimée. Mais presque aussitôt un nouveau progrès est venu rendre presque inutiles ces beaux navires pour la guerre maritime.

Navires cuirassés. Un nouvel élément d'importance capitale s'est produit dans la marine militaire. Nous voulons parler des navires cuirassés recouverts de plaques de fer de 12 à 25 centimètres d'épaisseur, appuyées sur un fort matelas de bois, que les projectiles des bouches à feu ordinaires ne peuvent traverser.

Proposé vers 1834, par le général Paixhans, l'emploi du fer pour accroître les ressources de la défense, en présentant aux projectiles de l'artillerie une substance suffisamment résistante, fut considéré comme inadmissible à cause de l'énormité des dépenses auxquelles il entraînait. Mais depuis cette époque, les développements qu'a reçus l'industrie du fer, par suite de la construction des chemins de fer et surtout l'accroissement considérable de la richesse publique ont conduit à entrer dans cette voie, et lors de la guerre de Crimée, des canonnières blindées, construites par les ordres directs de l'Empereur, sont venues affronter avec succès des fortifications établies à terre. Loin de s'arrêter dans cette voie, on construit aujourd'hui des bâtiments de grandes dimensions, recouverts de plaques de fer pesant, avec les accessoires, près d'un tonneau par mètre carré, et en totalité près d'un million de kilogrammes, et l'on n'a pas craint de leur faire effectuer de longues traversées.

Si un corps flottant de grandes dimensions est éminemment propre à transporter des poids considérables, et si par suite l'idée d'accroître dans une très-grande proportion, par une cuirasse de fer, la puissance des batteries que représentent les plus grands navires de la marine militaire, est parfaitement juste, il n'est pas douteux toutefois qu'on ne les rende ainsi bien lourds, que les masses dont on les charge n'accroissent les difficultés de la navigation lointaine. Sans doute lorsqu'ils sortent du port où ils ont été construits, lorsque la machine fonctionne dans la perfection, que la chaudière fournit des pressions élevées, on obtient de belles vitesses, grâce à la grande puissance des machines; mais en sera-t-il longtemps de même? quelques mois de navigation fatigueront bientôt ces coûteuses constructions, et en tout cas le poids énorme de la carapace ne permet pas d'embarquer des approvisionnements de charbon qui étendent au loin leur sphère d'action.

Ainsi donc, en tant que bâtiments naviguants et non en tant que défense des côtes (cas pour lesquels ils offrent des ressources très-grandes), nous ne croyons pas qu'on doive aller au delà de ce qui a été fait, sous peine de rendre ces navires impropres aux longues navigations. C'est ainsi que des bateaux à fleur d'eau, avec canons cachés dans des tourelles tournantes, sombrent nécessairement par le mauvais temps, comme le fameux *Monitor* du capitaine Ericson, et le *Captain* du capitaine Coles. La résistance des cuirasses conduit à la recherche d'une artillerie capable de les traverser, problème intéressant, mais qui jusqu'à présent paraît laisser une certaine supériorité à la défense sur l'attaque, malgré les progrès de l'artillerie, vu qu'on n'a pu y parvenir qu'à l'aide de pièces d'un poids énorme, d'un maniement toujours difficile à bord d'un navire.

Avenir de la navigation a vapeur. Fera-t-on dans l'avenir des progrès semblables à ceux déjà obtenus? peut-on espérer des améliorations comparables, réduire encore de moitié, par exemple, dans un autre intervalle de quelques années, la consommation du combustible? On doit compter sur un progrès probable et important, mais qui ne sera pas obtenu en transformant radicalement le mécanisme, qui est arrivé à une forme *scientifiquement* très-satisfaisante, après de nombreux travaux dus à l'adoption de l'hélice, pour satisfaire aux besoins de la navigation.

Dans l'opinion des ingénieurs les plus expérimentés, c'est du côté de l'appareil de vaporisation que doivent être cherchés aujourd'hui de nouveaux progrès, tant pour obtenir plus de vapeur d'un poids donné de combustible que pour décharger les chauffeurs d'un travail horriblement pénible et qui devient tout à fait insoutenable dans les pays chauds. Les routes à suivre pour opérer ce nouveau progrès sont :

1° L'emploi du tirage forcé (Voy. *Complément*);

2° La conversion totale ou partielle du combustible en gaz combustibles pour diminuer le nombre des foyers et mieux utiliser la chaleur. La grande difficulté est de ne pas brûler les chaudières par des langues de feu; la question est attaquée et sera sans doute résolue à l'aide de chambres de combustion placées devant la chaudière, et par l'emploi de plaques en terre préservant les parties les plus exposées.

Systèmes divers. En terminant cet article, nous citerons pour mémoire :

1° Le *système Bernouilly*, essayé plusieurs fois, et qui consiste à élever sur le bateau, à projeter contre lui, à l'aide de pompes ou d'appareils à rotation, des masses d'eau pour les laisser sortir en arrière et faire avancer le bateau par la réaction qui en résulte. On n'a toujours eu pour une dépense de travail considérable qu'un effet utile assez faible, comme il était facile de le prévoir d'avance.

2° Le *système Pelletan*, dans lequel on refoule mécaniquement par l'arrière l'eau entrée par l'avant dans un tuyau traversant le bateau. Les expériences ont condamné ce système d'une grande simplicité apparente, qui exigerait une très-grande vitesse du piston, pour que l'inertie de l'eau fournît un point d'appui suffisant pour déterminer le mouvement, et dans lequel les causes de perte de travail et de résistances nuisibles sont nombreuses.

Ch. Laboulaye.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU DE SAUVETAGE (*angl.* Life-boat). La difficulté de porter secours aux naufragés, pendant une tempête, réside surtout dans la difficulté de construire une embarcation aussi stable que possible, gouvernant bien et surtout insubmersible, propriété qui constitue le caractère propre de ce bateau; c'est dans l'emploi de caisses à air qu'on a trouvé la solution de cette dernière partie du problème. En 1790, un constructeur anglais, Greathead produisit un bateau insubmersible, doué d'excellentes qualités nautiques, qui servit de modèle pour la construction d'un grand nombre d'embarcations. Mais ces bateaux ne se vidaient pas et ne se redressaient pas spontanément. On ne s'est occupé de ces deux propriétés capitales pour les bateaux de sauvetage que beaucoup plus tard, alors qu'un concours fut ouvert, à la suite de la formation en Angleterre des premières sociétés de sauvetage pour la confection d'un type de bateau. C'est par la réunion de tous les efforts qu'a été ainsi créé le *life-boat* de la grande société anglaise, qui a été adopté par les sociétés qui se sont formées sur le continent à l'imitation de cette utile institution.

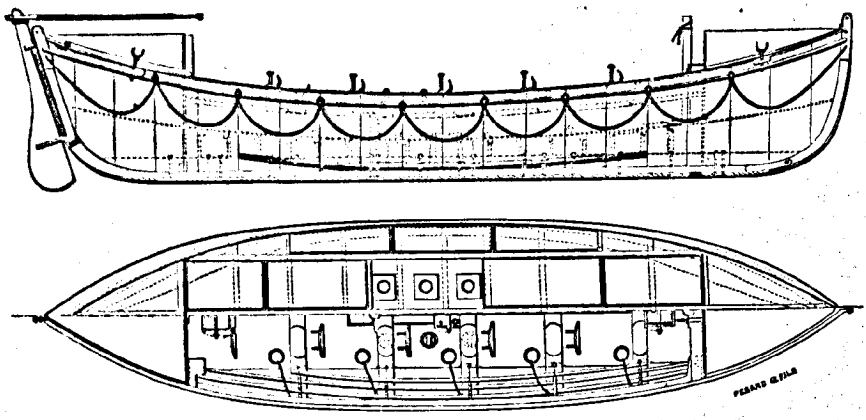


Fig. 1 et 2.

Ce bateau est pointu aux deux extrémités, un peu plus fin de l'arrière que de l'avant, et sans différence du tirant d'eau. La figure 1 le représente en plan, la figure 2 est l'élévation et la figure 3 la coupe transversale. L'arrière et l'avant, fortement relevés, sont protégés par des tambours en dos d'âne. Les dimensions principales sont: 9m,78 de longueur de tête en tête au plat-bord; 2m,24 de largeur hors bordée au milieu; 0m,91 du plat-bord au-dessus de la quille; au milieu, 1m,65 à l'étrave et 1m,60 à l'étambot. Le poids total de la coque avec les caisses à air est de 2,140 kilogrammes. La quille est en chêne d'un seul morceau; une fausse quille en fer forgé pesant 300 kilogrammes double le dessous de la première sur toute la longueur. La coque est formée par deux couches en bois d'acajou superposées et croisées à 45°; ces couches ont ensemble une épaisseur de 16 centimètres et sont séparées par une toile imprégnée de glu marine. Le tirant d'eau avec les objets d'armement et douze hommes d'équipage est de 0m,45; avec une surcharge supplémentaire de 975 kil. représentant quinze hommes, de 0m,52. Le pont court de bout en bout; son élévation aux extrémités tend à ramener l'eau embarquée vers le centre, où elle trouve issue par six tubes en cuivre. Ces tubes ont leur orifice supérieur au niveau du pont, ils sont fermés par des soupapes automotrices. Une pompe à main sert à vider l'eau qui peut pénétrer dans la cale. Les caisses à air sont au nombre de vingt-huit: deux formées à l'avant et à l'arrière par la coque, les tambours et les cloisons verticales; quatorze dans la cale et douze sous le pont. Les tambours sont recouverts d'une toile imprégnée de glu marine et, par-dessous, de plaques de liége que l'on imbibe d'huile de lin bouillie. Les autres caisses en bois et couvertes en toile s'adaptent aux formes de l'embarcation suivant la place qu'elles occupent.

La propriété du redressement spontané est obtenue au moyen de la fausse quille lourde en fer et des coffres à air de l'avant et de l'arrière. Lorsque le canot est chaviré, il porte sur les deux coffres, dont la forme en dos d'âne est une cause d'instabilité. Dans cette situation, le centre de gravité est très-élevé au-dessus du plan de flottaison; le canot se trouve dès lors en équilibre instable, le plus léger mouvement du flot, même en

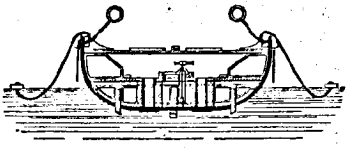


Fig. 3.

la mer la plus calme, détruit l'équilibre; l'embarcation se retourne vivement alors et reprend son assiette ordinaire. Dans ces circonstances, qu'on ne peut absolument éviter, malgré la grande stabilité d'une construction étudiée par les constructeurs et les marins les plus expérimentés, en naviguant sur des brisants, en accostant un navire par des mers furieuses, les sauveteurs, soutenus par des ceintures de sauvetage, s'accrochant aux amarres qu'entraîne le bateau, remontent à bord et reprennent leur œuvre de dévouement.

La bonne construction de ces bateaux, leurs qualités nautiques qui les font résister admirablement aux mers les plus furieuses, en inspirant confiance aux meilleurs marins des stations où les sociétés de secours aux naufragés les tiennent installés sur leurs chariots, tout prêts à être traînés à la mer, permettent de sauver, tous les ans, plusieurs milliers de navigateurs en danger.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATTANT-BROCHEUR. Le battant-brocheur est une des dernières et des plus remarquables inventions au moyen desquelles la fabrique de Lyon conserve, malgré l'activité de la concurrence étrangère, une supériorité incontestée. C'est à M. Meynier, habile fabricant de Lyon, un de ces praticiens expérimentés qui font la grandeur de notre industrie des soies, qu'est due l'invention du battant-brocheur que nous allons décrire, de l'appareil qui a fait une véritable révolution dans le tissage de certaines étoffes brochées. Si plusieurs inventeurs avaient essayé avant lui de résoudre le même problème, c'est à lui que revient l'honneur d'y être parvenu par un procédé simple et pratique.

Dans la fabrication des étoffes brochées, châles, etc., on sait que le dessin s'obtient en faisant passer le fil

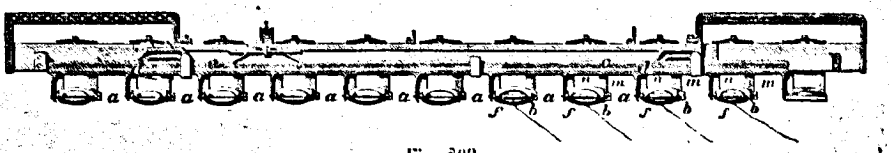


Fig. 209.

destiné à le former sur certains fils de la chaîne, et en dessous de tous les autres (voyez TISSAGE.). Il en résulte que pour une petite partie du fil utilisée, tout ce qui passe en dessous de la trame est perdu, et que le plus souvent, le poids de l'étoffe devenant trop considérable, ou les longs fils de l'envers trop gênants, il faut couper toutes les parties du fil du broché qui formait l'envers, ce qui présente le grand inconvénient que les fils du dessin ne sont plus retenus que par le serrage des fils entre lesquels passent les extrémités perpendiculaires à l'étoffe, adhérence qui est souvent insuffisante, surtout pour la soie qui ne se feutre pas; de sorte que, quelques fils mal serrés s'échappant par l'usage, l'étoffe est bientôt hors de service.

C'est pour remédier à ces inconvénients qu'a été inventé le battant-brocheur qui remplit admirablement le but qu'on s'était proposé. C'est avec son aide que se brochent aujourd'hui presque toutes les étoffes de soie portant des bouquets ou dessins séparés. Il est fort employé pour faciliter le tissage des cachemires français, et surtout dans les essais de fabrication, par moyens mécaniques, du cachemire façon de l'Inde (voyez CACHEMIRE). C'est l'avenir que lui avait prédit, dans le rapport de l'exposition de 1839, l'habile M. Deneirousse, qui, après avoir tenté, à plusieurs reprises, la solution du problème, a reconnu dans le battant-brocheur des dispositions qui permettent de lever la plupart des difficultés qui l'avaient arrêté. C'est là une conquête importante dont se rapproche, de plus en plus chaque jour, l'industrie française.

Passons à la description du battant-brocheur, et faisons remarquer, ce que du reste la multiplicité des navettes va rendre bien sensible, que les fils correspondant à un même fil de la trame peuvent être de couleur différente, ce qui ne peut avoir lieu aux brochés produits au lancé, et que tous les bouquets peuvent être de couleurs différentes. C'est donc non-seulement le broché au lancé que remplace le battant-brocheur, mais encore celui qu'on obtenait par une espèce de broderie en passant à la main, sur les fils levés par la Jacquart, de petits espoulins portant des soies de couleur différente. Dans ce cas le battant fait non-seulement à meilleur marché, mais beaucoup mieux que la main, parce que la tension du fil passé autour de la trame étant mesurée par un ressort, et par suite parfaitement constante, la jonction du broché et de l'étoffe n'offre jamais les éraillures qui résultent du travail à la main selon qu'on a plus ou moins serré le fil.

Soient *a*, *a*, les intervalles correspondant aux places de l'étoffe dans lesquels se trouvent les brochés, des bouquets par exemple; *b*, *b*, des navettes portées sur des porte-navettes *f*, *f*, soutenus par une tige formant fourche et dont le pied glisse sur une barre rectangulaire qu'il entoure. Ces navettes ou espoulins sont chargés de soies de diverses couleurs. Ces petits espoulins renferment intérieurement des ressorts à boudins qui rendent le fil quand le système est revenu à sa première position et que la traction de la bobine qui a fait dévider le fil a cessé; *c*, *d*, sont des tringles d'acier se mouvant sur le corps du bâti et portant des dents saillantes pour agir sur des portes-navettes. Les dents *m*, *m*..., sont terminées par de petites palettes, les dents *n*, *n*..., de la barre *d* sont pointues et légèrement recourbées. Elles sont destinées à entrer à l'intérieur de la navette de manière à pouvoir la pousser par l'oreille qu'elle porte, et qui est destinée à soutenir l'espoulin.

Ceci décrit, il est facile de concevoir le jeu du battant-brocheur.

La Jacquart ayant fait lever tous les fils de la chaîne correspondant à un fil de la trame, devant figurer une ligne du broché, l'ouvrier pousse au moyen de la manette toutes les navettes, qui se placent au-dessous de ces fils par l'effet de la tringle *c*. Les navettes *b*, *b*..., s'avancent sur leurs supports; elles doivent arriver sur les supports voisins, sans cesser jamais d'être guidées, les intervalles étant un peu moindres que les navettes. Or, en continuant de pousser la manette, la barre *c* s'élève par l'effet d'un plan incliné, pour ne pas rencontrer les fils de la chaîne et abandonne les navettes, tandis qu'un crochet adapté à la manette rencontrant la barre *d*, fait abaisser celle-ci, et les dents *n*, *n*..., continuant le mouvement font passer entièrement les navettes sur le support voisin. On abaisse alors les fils de la chaîne et les navettes sont ramenées par un mouvement inverse à leur première position.

Cet appareil fonctionne avec la plus parfaite régularité; les navettes n'étant jamais libres ne peuvent jamais tomber, inconvénient qu'offraient quelques inventions antérieures. Les fils du tissu n'éprouvent aucune pression autre que dans le tissage ordinaire. Le battant étant double et le mouvement pouvant être direct ou rétrograde, on peut faire passer une quelconque des quatre navettes voisines des fils levés, à son choix, ce qui permet de varier les couleurs. Le changement des navettes, et par suite des couleurs se fait avec la plus grande facilité, les supports pouvant tourner et laisser échapper les navettes quand on fait effort sur les ressorts qui les maintiennent dans une position parallèle au corps du châssis. P...

BATTEUR D'OR, D'ARGENT ET DE CUIVRE. Les procédés que l'on suit pour réduire, par le battage, ces trois métaux en feuilles d'une ténuité extrême étant les mêmes, nous nous contenterons ici de décrire en détail l'art du *batteur d'or*.

La ductilité de l'or étant notablement altérée par l'alliage d'une très-petite quantité de métaux étrangers, il importe d'employer de l'or aussi fin que possible, que l'on fond avec un peu de borax et que l'on coule ensuite, en général, en lingots de 20 millim. de côté. Ces lingots sont réduits sous le marteau à une épaisseur de 4 millim., puis étirés au laminoir en rubans de 1/30 de millimètre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'épaisseur, en ayant soin d'adoucir le métal, pendant toute cette série d'opérations, par un nombre suffisant de recuits intermédiaires.

On coupe ces rubans en *quartiers* de 25 à 30^{mm} de côté, que l'on superpose au nombre de 150, en les séparant chacun par carré de vélin de 0^{m},10 à 0^{m},12 de côté, en ayant soin de placer en dessus et en dessous du paquet 20 feuilles de vélin sans interposition de feuilles d'or. Cet assemblage se nomme le *premier coucher*; et les feuilles de vélin vides, qui servent à amortir l'action des coups de marteau sur les premiers quartiers, portent le nom d'*emplures*. Le coucher se couvre de deux fourreaux en fort parchemin, ouverts par les deux bouts et que l'on place l'un sur l'autre à angle droit, de telle sorte que, quoique isolément chacun des fourreaux soit ouvert par les deux bouts, réunis, ils couvrent néanmoins partout le coucher. Le battage s'exécute sur un bloc de marbre poli de 0^{m},25 de côté, enveloppé sur ses quatre faces verticales, de planches débordant de 0^{m},10 trois de ces mêmes faces, tandis que la quatrième reste un peu au-dessous du niveau supérieur du bloc, et porte une peau solidement cloué que l'ouvrier s'attache par l'autre bout en guise de tablier, et dans laquelle il reçoit les *bavures* du travail. On bat le premier coucher en le retournant de temps à autre, et allant du centre à la circonférence, avec un marteau à manche très court, du poids de 6^{k},80 à 7^{k},25 et à panne circulaire légèrement convexe de 0^{m},12 à 0^{m},13 de diamètre. Il est nécessaire de *défourrer* de temps à autre le coucher pour examiner l'état des quartiers, qui ne s'étendent jamais tous également; les uns n'occupent qu'une partie de l'étendue des feuilles de vélin; les autres les remplissent en entier; d'autres enfin débordent. On enlève les derniers, et si l'on veut les avant-derniers, et on continue le battage jusqu'à ce que tous les quartiers restants aient atteint les dimensions des feuilles de vélin qui les séparent; cela fait, la première partie de l'opération est terminée.

Les quartiers du premier coucher sont partagés, à l'aide d'un couteau émoussé par le bout, en quatre parties égales, que l'on réunit pour en former un second coucher, tout à fait analogue au premier, et qui n'en diffère qu'en ce que l'on remplace, par de la BAUDRUCHE, les feuilles de vélin que l'on intercalait précédemment entre les quartiers. Le battage s'exécute à l'aide d'un marteau plus léger, qui ne pèse que 4^{k},50, et est terminé lorsque les nouveaux quartiers commencent à désaffleurer les outils.

On pose alors un à un chacun des quartiers sur un coussin en cuir, et on les divise en quatre parties égales, à l'aide de deux couteaux en croix très affilés fixés à une planchette; enfin, ces nouveaux quartiers sont encore réunis pour former un troisième et dernier coucher, que l'on bat comme précédemment; de sorte qu'en définitive, l'or s'est étendu sur une surface 256 fois plus grande, et chaque feuille n'a plus que $\frac{1}{766}$ de millimètre d'épaisseur, ce qui est encore bien au-dessus de l'épaisseur minimum que l'on peut obtenir par le battage; mais on préfère s'arrêter à ce point parce que, d'une part le travail subséquent exigerait un soin extrême de la part de l'ouvrier, et donnerait lieu à un déchet considérable, tandis que, d'un autre côté, des feuilles plus minces fourniraient une dorure moins solide et beaucoup plus difficile à appliquer, inconvénients qui seraient loin d'être compensés par la faible économie que l'on réaliserait sur la matière première.

Il ne reste plus qu'à couper les feuilles d'or en quatre et à les placer dans les *quarterons*, petits livrets dont le papier, de couleur rouge-orangé, donne un plus beau reflet à la feuille d'or, et qu'on a eu soin de frotter préalablement avec un peu de terre bolaire de même couleur afin de prévenir toute adhérence de la part du métal. Chaque quarteron contient ordinairement 25 feuilles d'or; quand ils sont tous remplis on les assemble par douzaines, que l'on presse fortement entre deux petites planches de bois dur de même dimension, et à l'aide d'un morceau de linge nommé *frottoir*, on enlève tout ce qui excède les bords des livrets.

En France, on amène seulement l'or au laminoir à l'épaisseur de 1^{mm} environ, puis on le découpe en quartiers de 27^{mm} de large sur 40^{mm} de longueur; on assemble ces quartiers par paquets de 24, que l'on bat sur une enclume en fer jusqu'à ce qu'ils soient réduits à l'épaisseur d'une feuille de papier, et qu'ils aient atteint les dimensions d'un carré de 60^{mm} environ de côté. On prend ensuite 56 des feuilles ainsi battues pour former avec des feuilles doubles de vélin, un *premier coucher*, que l'on bat comme il a été dit ci-dessus. Lorsque les feuilles d'or désaffleurent les outils, on les retire et on les coupe en quatre, ce qui forme de nouveaux quartiers que l'on assemble au nombre de 112 pour former un *second coucher*; ce coucher battu donne de nouvelles feuilles, qui, coupées en quatre, servent à faire un nouvel assemblage dans lequel les feuilles de vélin intercalées sont remplacées par des feuilles de baudruche, et qui porte le nom de *chaudret*. Les feuilles du chaudret, après le battage, sont encore coupées en quatre et assemblées au nombre de 800 pour former une *moule*. Les feuilles de la moule sont enfin placées dans les *quarterons*, comme il est dit plus haut. En résumé, l'or s'est étendu sur une surface 832 fois plus grande, de sorte qu'il est réduit définitivement à une épaisseur de $\frac{1}{800}$ de millimètre environ. Les feuilles défectueuses, ou *bactréoles* que l'on obtient, servent, avec les rognures, à faire l'*or en coquilles*.

Les feuilles de vélin ou de baudruche sont recouvertes d'une couche de sulfate de chaux (gypse) calciné, réduit en poudre fine, et que l'on y étend au moyen d'une patte de lièvre; le sulfate de chaux est appelé par les ouvriers *brun*, et l'opération se dit : *passer au brun*.

La baudruche préparée par les boyandiers, a besoin, pour servir au travail du batteur d'or, d'être dégraissée; ce que les ouvriers appellent *suer*. Ordinairement on place, à cet effet, les feuilles de baudruche entre des feuilles de papier non collé, et on bat le tout à coups de marteau. Il serait certainement préférable de saupoudrer chaque feuille de baudruche, de craie réduite en poudre impalpable, et d'en former un paquet que l'on comprimerait à une chaleur modérée; la craie absorberait toute la graisse, beaucoup mieux que ne le fait le papier buvard dans le procédé actuel. Quand la membrane a été bien dégraissée, on y passe une couche d'une liqueur composée de : colle de poisson, 90 p.; poivre blanc, 30; clous de girofle, 15; cannelle, 15; muscade, 15; fleur de muscade, 12. On concasse le tout, et l'on fait macérer dans cinq litres de vin blanc ou dans un litre d'eau-de-vie pendant cinq à six jours; on fait bouillir ensuite pendant six heures, et, après avoir passé la liqueur au travers d'un linge, on en imprègne une éponge avec laquelle on donne à chaud deux couches aux feuilles de baudruche, en laissant sécher entre chacune, et on les presse ensuite.

Les feuilles de parchemin et de baudruche deviennent par l'usage très dures et très cassantes. On leur rend leur flexibilité première en les plaçant une à une entre des feuilles de papier blanc que l'on mouille avec du vinaigre ou du vin blanc, et que l'on réunit en paquets que l'on recouvre de planches surchargées de poids. Au bout de 3 à 4 heures, on retire ces paquets, on les place entre des *emplures* de parchemin de 0^{m},30 de côté et on les bat pendant une journée entière.

Comme les feuilles de baudruche dégraissée sont très hygrométriques et attirent l'humidité de l'air, il est nécessaire de les dessécher chaque fois que l'on veut s'en servir, ce qui se fait en en réunissant un certain nom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bre dans une presse dont la plaque inférieure a été chauffée. U...

Battage mécanique. M. Favrel, batteur d'or, a inventé une machine à battre et à réduire tous les métaux en feuilles. Cette machine frappe régulièrement, et sa disposition est telle que le renvoi du marteau est utilisé pour le relever sans secousse, et donner ainsi le même mouvement que le bras. Le marteau frappe ainsi sur la moule (cahier de baudruches, dans laquelle est renfermé l'or). Cette moule est mise en mouvement sur un bloc de marbre au moyen d'un châssis en cuivre, dans lequel elle est enchâssée, et vient présenter successivement sous le marteau les diverses parties où il est nécessaire de battre suivant la grandeur du carré d'or placé dans la moule; au moyen de leviers, les coups sont distribués suivant la surface du métal; ils sont éloignés ou rapprochés les uns des autres, soit dans un sens, soit dans un autre, à volonté et avec plus de régularité que ne le ferait la main. Cette moule reçoit en outre, par un mouvement spécial, et ainsi que le ferait la main de l'ouvrier, une impulsion de rotation au moyen d'une chaîne enroulée sur une roue dont le ressort est continuellement tendu. Tous ces divers mouvements de la moule sont calculés d'une telle façon, qu'ils s'opèrent pendant l'ascension du marteau.

Le succès pratique n'a pas récompensé les efforts de M. Favrel qui viennent d'être décrits. L'emploi de petits marteaux à vapeur que l'ouvrier meut à volonté est venu offrir une solution préférable, en débarrassant l'ouvrier de toute fatigue matérielle. Le marteau-pilon a été amené ainsi à constituer un outil d'un maniement extrêmement commode, tout en utilisant l'expérience de l'ouvrier pour étendre l'or sans déchirure, qui répond à une multitude de conditions de détails d'une réalisation mécanique presque impossible.

L'atelier de M. Favrel est resté un modèle pour l'ensemble et l'organisation de son outillage. Citons entre autres systèmes préparatoires : les presses qui existent dans ses ateliers, et qui sont chauffées par la vapeur, et qui sont un véritable progrès pour la préparation des baudruches dans lesquels on bat l'or.

BAUDRUCHE (Voyez BOYAUDERIE).

BAUMES (*angl.* balsams, *all.* balsame). Combinaisons naturelles de résines et d'huiles volatiles et souvent d'acide benzoïque. Les baumes sont solides, visqueux ou plus ou moins fluides suivant que l'un ou l'autre des éléments ci-dessus y domine. Leur couleur ordinairement assez foncée, varie du jaune-brunâtre au brun-noirâtre. Leur odeur est due en partie à l'huile volatile qu'ils renferment et quelquefois à de l'acide benzoïque; exposés pendant longtemps à l'air libre, ils durcissent et prennent une apparence résinoïde en perdant leur odeur, par suite de la dispersion dans l'atmosphère de leur huile volatile. Ils se mêlent en général en toutes proportions avec l'alcool, l'éther, les huiles grasses et volatiles, et sont insolubles dans l'eau; par la simple distillation on ne peut séparer qu'une faible partie de l'huile volatile qu'ils renferment; pour en obtenir la totalité il faut les distiller avec de l'eau; opération que l'on pratique en grand sur la TÉRÉBENTHINE pour en extraire l'huile essentielle de térébenthine. Tous les baumes s'écoulent soit naturellement, soit par des incisions pratiquées à cet effet, de certains arbres. Nous les diviserons en deux classes suivant qu'ils renferment ou non de l'acide benzoïque.

BAUMES RENFERMANT DE L'ACIDE BENZOÏQUE.

a. BENJOIN (voyez ce mot).

b. Baume du Pérou. S'obtient, soit au moyen d'incisions pratiquées sur le *myroxylon peruiferum* qui croît au Pérou et au Mexique, soit en évaporant la décoction des feuilles et de l'écorce de cet arbre. Celui obtenu par le premier procédé est très rare et est livré au commerce dans des coques de noix de coco, ce qui lui a fait donner le nom de *baume en coque;* il est brunâtre, légèrement translucide, présente la consistance de la térébenthine épaissie, et a une odeur très agréable qui rappelle celle de la vanille; il renferme sur 100 parties, 12 d'acide benzoïque, 8 de résine et seulement des traces d'huile volatile. Le baume du Pérou obtenu par le second procédé est transparent, rouge-brunâtre foncé, a une consistance sirupeuse, un goût très amer et une odeur beaucoup plus forte que le précédent; d'après *Stolze* il renferme sur 100 parties : 69 d'huile volatile, 20,7 d'une résine peu soluble dans l'alcool, 6,4 d'acide benzoïque, 0,6 de matière extractive et 0,9 d'eau.

Par suite de son prix élevé le baume du Pérou est souvent falsifié avec du baume de copahu, de l'huile de térébenthine et de l'huile d'olive, et cette falsification est assez difficile à reconnaître excepté pour l'huile de térébenthine qui, lorsqu'elle est en quantité un peu considérable, se décèle par son odeur. Ordinairement on l'essaie en recherchant quelle est la quantité de carbonate de soude que l'acide benzoïque qu'il renferme peut saturer; on admet dans cet essai que l'acide renfermé dans 100 parties en poids de baume du Pérou pur, peut saturer 75 parties de carbonate de soude cristallisé. Le baume du Pérou, par suite de son odeur agréable et qui rappelle la vanille, la remplace souvent dans la fabrication du chocolat et de certaines liqueurs; il entre dans un grand nombre de parfums, dans la confection des cires à cacheter superfines, etc... Dissous dans quatre fois son poids d'alcool et étendu sur du taffetas déjà recouvert d'une couche de colle de poisson, il constitue le *taffetas d'Angleterre.*

c. Storax. On en distingue deux sortes : l'AMBRE LIQUIDE (voyez ce mot), qui découle du *liquid amber styraciflua*, et le storax ordinaire qui provient du *styrax officinalis*, arbre très voisin de celui qui donne le benjoin. Il est brun-noirâtre, opaque, mou et poisseux, lorsqu'il n'est pas desséché. Dans cet état il est susceptible de se casser, quoique difficilement; sa cassure est matte et grenue; on le falsifie très souvent avec de la sciure de bois; cette fraude se reconnaît en le traitant par l'alcool : la sciure reste sans se dissoudre. On le falsifie encore avec de la colophane qui le rend plus sec : cette fraude n'est pas facile à reconnaître. On le reçoit quelquefois enveloppé dans des feuilles de roseaux; il porte alors le nom de *storax calamite.*

d. Styrax liquide. Souvent confondu, quoiqu'à tort, avec l'ambre liquide; il provient de l'*altingia excelsa* qui croît aux Indes Orientales.

e. Baume de tolu. Découle d'entailles artificielles pratiquées sur le *myroxylon toluiferum*, qui croît dans l'Amérique du sud. Frais il est assez fluide et jaune clair; au contact de l'air il s'épaissit, se fonce en couleur, et finit par se transformer en une masse cassante qui a entièrement perdu son odeur primitive qui était due à de l'acide benzoïque. Il remplace le baume du Pérou dans beaucoup de cas et est d'un prix moins élevé. On le dit pectoral, et il est la base d'un sirop et de pastilles très usités qui portent son nom.

f. Vernis chinois. Les Chinois recouvrent un grand nombre d'objets d'art avec un vernis d'une beauté remarquable, qui surpasse, par son éclat et sa dureté, tous nos vernis artificiels. Ce vernis est un baume naturel qui s'écoule par incision de l'*augia sinensis* (en chinois *tsi—chu*) qui croît en Chine, en Cochinchine et dans le royaume de Siam. D'après Macaire-Prinsep, ce baume est jaune-brunâtre, possède une odeur aromatique particulière, une saveur forte et quelque peu astringente, a la consistance de la térébenthine épaisse, et présente quelque analogie avec les baumes de la Mecque et de copahu. Il constitue un vernis magnifique, qui s'étend très également avec une grande facilité et qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sèche très-vite. Il se mélange aisément avec les couleurs; se dissout à peine à froid dans l'alcool, mais très-rapidement à la température de l'ébullition. L'éther et l'huile essentielle de térébenthine le dissolvent même à froid. Distillé avec de l'eau, on en sépare une huile volatile, l'eau dissout de l'acide benzoïque, et on obtient pour résidu une matière résineuse très-solide.

BAUMES SANS ACIDE BENZOÏQUE.

a. TÉRÉBENTHINE (voyez ce mot).

b. *Baume de copahu.* S'écoule par incision du *copaifera officinalis*, qui croît dans les Antilles et au Brésil. Au moment où on l'obtient, il est très-fluide, incolore, mais il s'épaissit un peu avec le temps et prend une couleur jaunâtre. Son odeur sans être agréable est aromatique, sa saveur chaude et persistante. Sa pesanteur spécifique est de 0,95. Il est très-soluble dans l'alcool absolu. L'huile essentielle qu'il renferme et dont la proportion varie suivant l'âge de l'arbre qui la produit, est composée d'hydrogène et de carbone seulement, et d'après Durand, dissout le caoutchouc. Comme il est très-employé en médecine, il est souvent falsifié, surtout par un mélange de térébenthine ou d'huiles grasses : la térébenthine se reconnaît à son odeur; les huiles grasses, en agitant le baume de copahu avec une certaine quantité d'ammoniaque liquide; lorsque le baume est pur, on obtient une dissolution limpide, tandis que lorsqu'il est mélangé d'une certaine quantité d'huile grasse, on obtient une émulsion laiteuse.

c. *Baume de la Mecque (opobalsam, baume de Judée)*, provient de l'*amyris opobalsamum*, qui croît en Arabie et en Égypte. Il est ordinairement renfermé dans de petits flacons en plomb doré à l'extérieur; il est blanc-jaunâtre, fluide, plus léger que l'eau, soluble en totalité dans l'éther et les huiles essentielles, et partiellement dans l'alcool; son odeur assez agréable et pénétrante se rapproche de celle de la térébenthine mélangée d'essence de citron; sa saveur est amère, âcre et astringente. Il est très-difficile de s'en procurer; les Orientaux le regardent comme fortifiant et en ont singulièrement exagéré les vertus. Le Grand-Seigneur en comprend presque toujours dans les cadeaux qu'il adresse aux différents souverains.

d. *Vernis japonais.* Provient du *rhus vernix*, arbre particulier au Japon, et fournit une laque très-belle dite *laque du Japon*, mais qui est encore bien inférieure à celle de la Chine.

BÉLIER HYDRAULIQUE. Machine hydraulique inventée en 1797 par Mongolfier, auquel nous devons la découverte des aérostats. Cette machine n'est pas moins remarquable par la nouveauté du principe sur lequel elle repose, que par l'effet qu'elle produit, et qui est supérieur à celui que donnent, sans exception, toutes les autres machines hydrauliques; malheureusement elle doit avoir de faibles dimensions, car à mesure que celles-ci augmentent, les violentes vibrations qui résultent du jeu même de l'appareil font perdre à la puissance motrice une partie de son effet, et amènent une destruction de plus en plus rapide des assemblages des tuyaux et des diverses pièces, ainsi que de leurs supports. C'est par ce motif, à cause des réparations fréquentes qu'elle exige, que cette machine n'est pas devenue d'un usage plus général.

Dans le bélier hydraulique, c'est le choc de l'eau contre elle-même qui l'élève (fig. 210). Un tuyau amène l'eau motrice, avec une vitesse dépendante de la hauteur de chute; c'est le *corps du bélier*. L'eau s'écoulerait par l'extrémité de ce tuyau, s'il n'y avait pas d'obstacle; mais vers cette extrémité du tuyau, on ajoute diverses pièces qui forment la *tête du bélier*; B est une soupape dont la densité est double environ de celle de l'eau; l'eau peut la soulever par sa vitesse et l'appliquer contre l'ouverture qui se trouve alors exactement fermée; on l'appelle *soupape d'arrêt*. Quand la soupape est fermée, l'eau passe par le conduit et s'élève dans une cloche C, d'où elle passe, par le clapet E, dit *soupape d'ascension*, dans un grand vase en fonte F pour gagner le tuyau d'ascension. Là, elle s'arrêterait lorsqu'elle serait parvenue à la hauteur du niveau supérieur de la chute, s'il n'y avait pas une force motrice capable de la pousser plus haut. Mais l'eau qui arrive de la source, après avoir acquis une vitesse suffisante par son écoulement naturel, fermant avec choc la soupape d'arrêt, qu'elle colle contre les parois de l'ouverture, et soulevant la soupape d'ascension, s'élève dans le tuyau d'ascension à une hauteur qui dépend du rapport entre les diamètres respectifs des tuyaux, ainsi que de la vitesse que peut prendre l'eau

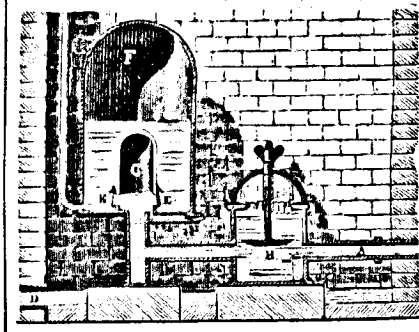


Fig. 210.

motrice en traversant le corps du bélier, de la force vive qu'elle possède. Lorsque cette vitesse se trouve suffisamment diminuée par suite de l'augmentation de résistance provenant de la diminution de l'orifice d'écoulement, de l'augmentation de frottement et de la pression due à la colonne d'eau ascendante, laquelle est supérieure à la hauteur motrice, la soupape E se ferme, puis la soupape B retombe et s'ouvre; l'écoulement naturel recommence, la vitesse s'accélère promptement, la soupape B est de nouveau soulevée, et les phénomènes ci-dessus se reproduisent; l'ensemble de tous les effets qui se succèdent dans l'intervalle de deux périodes consécutives, est ce que l'on nomme le *coup du bélier*. On détermine par des essais la proportion des pièces, surtout le jeu qu'il faut donner à la soupape B pour obtenir le plus grand effet possible. On remplace souvent, et avec avantage, les soupapes plates par des soupapes à boulets creux d'un poids convenable et retenues par des muselières.

On rend le jeu du bélier hydraulique continu, en adaptant à la base du tuyau élévatoire un réservoir d'air (qui est ici la cloche C) où il se comprime et réagit sur le liquide par son élasticité. Cet air étant en partie entraîné mécaniquement par l'eau élevée, on le remplace au fur et à mesure au moyen d'une petite soupape, d'un reniflard, qui s'ouvre du dehors en dedans et qui est placée au-dessous de la soupape E; lorsque cette dernière se ferme il s'opère une réaction dans la colonne liquide, par suite de l'arrêt qui en résulte, laquelle occasionne, pendant quelques instants, un mouvement rétrograde de l'eau et une véritable aspiration dans le corps du bélier, qui ouvre la soupape et fait entrer une certaine quantité d'air qui s'introduit dans le réservoir au coup de bélier suivant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BÉLIER HYDRAULIQUE.

Le bélier, tel que nous venons de le décrire, était resté jusqu'ici un appareil plutôt curieux qu'utile, ou au moins le nombre des applications en était fort limité. Une heureuse invention vient de montrer que la cause principale de son mauvais service était surtout due aux irrégularités de la rentrée de l'air, souvent entraîné par l'eau, dans la cloche régulatrice. C'est surtout avec un mode d'empêcher cet effet, c'est grâce à ce perfectionnement, que le bélier devient au moins pour les petites forces, la première des machines élévatoires, le rendement en eau élevée dépassant dans quelques cas 75 p. 100. Nous allons dire comment on est parvenu à ce résultat.

Bélier hydraulique de M. Bollée. — C'est un ingénieur mécanicien du Mans, M. Bollée, qui ayant à construire assez souvent des béliers hydrauliques, a réalisé les perfectionnements dont il vient d'être parlé, a imaginé d'heureuses combinaisons qui réduisent à peu de chose les inconvénients inhérents à son mode de fonctionnement.

Les points principaux par lesquels le bélier de M. Bollée diffère de ceux qui ont été construits précédemment sont :

1° La pompe à air qui remplace l'ancien reniflard.

2° Le clapet dit à plongeur au lieu du clapet plat ordinairement employé.

3° Le balancier qui permet de compenser à volonté l'excès de poids du clapet, par rapport à la charge d'eau sous laquelle la machine doit fonctionner.

4° La forme du corps du bélier, qui est disposé de manière à conserver à l'écoulement une grande sortie au moment de la fermeture du clapet, et qui permet à l'eau d'arriver jusqu'au tuyau d'ascension dans les meilleures conditions d'effet utile.

Nous allons décrire successivement ces divers éléments en suivant M. Tresca qui a publié dans les *Annales du Conservatoire* (juillet 1864), une intéressante série d'expériences faites sur cette machine.

Pompe à air. — Dans les anciens béliers, le réservoir d'air dont l'élasticité est tout à fait nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil, était alimenté à l'aide d'un reniflard, d'une petite soupape placée à la partie inférieure de la cloche, dont l'effet était rarement suffisant. Lorsque le bélier était plongé dans l'eau, on ne pouvait pas même en assurer le fonctionnement en mettant, par un tube spécial, le reniflard en communication avec l'air extérieur. Le tube était bientôt rempli d'eau, et dès lors le reniflard ne fonctionnait plus.

La pompe que M. Bollée a substituée à cet agencement insuffisant fonctionne aussi par le jeu même du bélier, mais son action est parfaitement assurée par le jeu d'un piston d'eau. A l'amont du clapet d'arrêt il installe une colonne verticale creuse, dont le sommet doit toujours être au-dessus des plus hautes eaux. L'eau entre librement dans cette colonne; mais au moment de la réaction elle s'abaisse d'une certaine quantité, et l'espace qu'elle abandonne est aussitôt rempli par une petite quantité d'air entrant, à quelque distance du sommet, par un orifice latéral à ce destiné. Lorsque le clapet de retenue se ferme, l'eau est refoulée dans cette colonne supplémentaire, elle refoule l'air emprisonné par une soupape et injecte cet air au moyen d'un tube oblique dans l'espace compris entre les deux clapets du bélier, une seconde petite soupape est disposée à l'endroit de l'introduction pour empêcher que l'effet contraire puisse se produire.

Il résulte de cette disposition que la colonne supplémentaire se charge d'air pendant le décollement et pendant toute la durée de l'ouverture du clapet d'arrêt, et que cet air est ensuite comprimé dans le tuyau de communication pendant toute la durée de la fermeture de ce clapet. Au moment où ce clapet s'ouvre à nouveau pour laisser écouler les eaux motrices, cet air, n'étant plus retenu par la pression se détend et vient se loger sous la soupape d'élévation au moment où il n'y a plus de charge en ce point.

La forme courbe donnée à la partie du corps de bélier dans laquelle l'air est ainsi introduit, ne permet pas à cet air de s'échapper autrement que par la soupape de refoulement.

La certitude de l'action de cet appareil a une importance considérable dans la question, en ce que rien n'empêche désormais de placer le corps du bélier au-dessous du niveau des plus basses eaux, ce qui permet d'utiliser constamment dans toute leur hauteur les chutes les plus minimes, ce qui est le plus souvent le cas de la pratique. Le coussin d'air formant ressort élastique par l'intermédiaire duquel la colonne liquide, brusquement arrêtée dans son écoulement, vient agir sur la soupape, est utile pour déterminer le mouvement de celle-ci et de la colonne d'air qui lui est superposée, sans consommation inutile de forces vives, et contribue à la bonté du rendement.

Soupape à plongeur. — La difficulté de maintenir en bon état la soupape d'évacuation des béliers a été, sans aucun doute, la raison dominante de l'abandon trop général de cette utile machine. M. Bollée s'est attaché à trouver le moyen d'amortir les chocs, et le clapet auquel il donne le nom de clapet à plongeur satisfait bien à cette condition, puisque d'une part le bruit causé par le choc est sensiblement diminué et que d'autre part l'expérience prouve que quelques-uns de ces clapets fonctionnent continuellement depuis sept ans, sans avoir nécessité la moindre réparation.

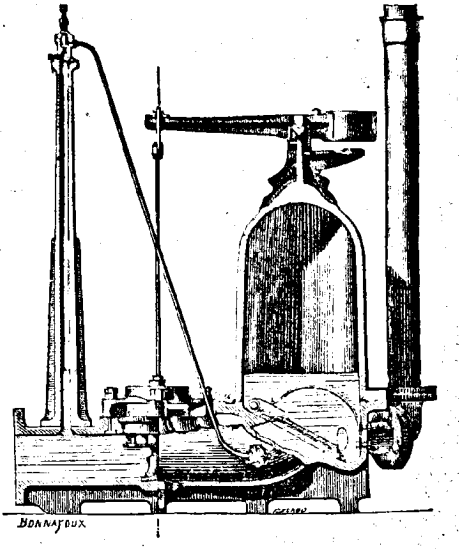


Fig. 210 *bis*.

Au lieu de frapper directement contre le siége métallique, la couronne circulaire qui doit fermer le clapet de M. Bollée entre dans une rainure ou sorte de gorge, d'où l'eau doit être expulsée pendant que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la fermeture s'accomplit. La résistance de cette eau s'oppose nécessairement à la brusque fermeture, et, comme pendant que cet effet a lieu, l'eau continue à affluer dans la cage du clapet par les fenêtres placées à la partie inférieure et qui ne sont fermées qu'à la fin de la course, l'eau affluente agit sur celle de la rainure au moment où la fermeture va se terminer. C'est ainsi, et par cette double cause, que le choc qui se produirait dans les conditions ordinaires est atténué dans une très-grande proportion.

Balancier compensateur. — Dans les béliers de petite dimension on peut toujours donner au clapet, sans en exagérer le poids, les dimensions convenables pour qu'il puisse résister au choc. Il n'en est pas de même pour les soupapes de grandes dimensions : elles seraient trop lourdes si elles étaient assez résistantes, et la disposition du balancier compensateur a pour objet de ne rien sacrifier de cette résistance, et d'équilibrer l'excès de poids auquel elle conduit par une masse plus ou moins pesante, placée sur un levier horizontal à l'extrémité opposée à celle à laquelle la soupape est suspendue par sa tige.

M. Bollée a profité de la présence de ce levier pour aider, au moyen de l'action d'un ressort, au décollement de la soupape. Ce ressort est une simple lame d'acier qui se tend légèrement au moment où la soupape se ferme, et qui est dès-lors tout préparé à la repousser au moment où le coup de bélier a cessé, de sorte que ce même balancier qui aide à la fermeture de la soupape, en assure aussi plus rapidement l'ouverture. La soupape ainsi déchargée de son levier, peut être modifiée par l'addition de poids de manière à satisfaire le mieux possible aux conditions spéciales de chaque chute motrice.

Soupape de refoulement. — La soupape de refoulement est articulée à charnière, de manière à plaquer facilement contre le siége incliné sur lequel elle doit reposer; on peut au besoin aider à sa fermeture par l'action d'un ressort que l'on serre plus ou moins au moyen d'une vis manœuvrée du dehors.

Lorsque la hauteur de refoulement est très-grande par rapport à la chute, il est important que la soupape se ferme très-rapidement, et l'expérience montre que la charge seule du tuyau de refoulement n'agit pas toujours assez rapidement pour obtenir ce résultat. Si la soupape n'est pas fermée au moment où la réaction s'opère, l'eau de la colonne peut être ramenée dans le corps même du bélier par suite de la résistance qu'opposent à la fermeture de la soupape les premières parcelles d'eau entraînée.

C'est pour cela que M. Bollée s'est donné le moyen de régler, au moyen d'une vis, l'action du ressort, destiné à ajouter son action à celle de la pesanteur pour déterminer plus rapidement la fermeture de la soupape de refoulement.

Nous allons montrer combien ces divers perfectionnements de détail ont assuré, en même temps que la durée du bélier, l'excellence de son rendement, faisant observer que c'est une machine à la fois motrice et opératrice, et que par suite son coefficient de rendement répond aux deux coefficients des systèmes employés le plus souvent. Qu'ainsi une excellente roue hydraulique rendant 80 pour 100 d'effet utile, conduisant de très-bonnes pompes rendant 75 pour 100 d'effet utile, on n'aura, somme toute, en eau élevée que $0,75 \times 0,80 = 0,600$ d'effet utile, c'est-à-dire moins que ne donne souvent le bélier, comme on va le voir dans plusieurs expériences faites au Conservatoire, par M. Tresca, sur un bélier de M. Bollée.

Le clapet plat a fourni des rendements variant de 0,825 à 0,433, mais l'intensité des chocs a prouvé que le constructeur avait eu grande raison d'y renoncer. En faisant tracer les circonstances du mouvement du clapet sur un papier en mouvement, comme l'avait déjà fait Etoylvein, on trouve un arrêt brusque et des ressauts, tandis que le clapet plongeur donne une courbe très-arrondie qui montre bien l'efficacité du bourrelet d'eau contenu dans la rainure destinée à amortir le choc.

Avec ce clapet on a trouvé un rendement de 0,653 pour la chute de 1m,56, qui a diminué rapidement pour des chutes plus faibles. Pour une chute de 0m,70 il était tombé à 0,438, mais il est remonté à 0,585 en allégeant beaucoup le clapet au moyen du balancier.

Ces résultats sont certes dignes d'une grande attention, et il ne faut pas oublier qu'ils sont obtenus avec un appareil entièrement automatique, n'exigeant pour ainsi dire ni surveillance, ni entretien d'aucun genre, et par suite tout particulièrement avantageux.

Il est probable que, grâce à ces perfectionnements, le bélier hydraulique qui était assez rarement adopté jusqu'ici dans les circonstances même où il paraissait le mieux indiqué, sera souvent adopté avec profit et que nous verrons cette ingénieuse machine, retrouver la faveur dont elle jouissait lors de son invention. On osa alors établir des béliers sur des proportions assez considérables pour que l'intensité des chocs de la soupape, d'un poids nécessairement alors assez grand, rendît la longue durée de cette soupape (qu'il fallut souvent remplacer par un boulet fermant moins bien) et celle de la maçonnerie qui le supporte, fort douteuse.

Un des plus grands béliers hydrauliques en activité est celui établi par M. *Delcassan*, à *Sentis*, dans la blanchisserie de M. *Turquet* : le corps du bélier a 0m,203 de diamètre intérieur et 8 mètres de long; l'eau fournie par la source a un volume de 1087 litres par minute, sous une chute de 0m,976, ce qui équivaut à 1945 litres élevés à un mètre ou 1/2 cheval-vapeur à très-peu près. Or, le bélier élève 268 litres d'eau par minute à 4m,55 de hauteur, ce qui revient à 1224 litres élevés à 1 mètre; l'effet utile est donc 1214 : 1945 ou 0,63 environ.

Théorie du bélier hydraulique — Un mot en terminant sur ce qu'elle présente de nouveau et de capital. Je veux parler du principe de l'indestructibilité du travail qui guidait Mongolfier dans sa découverte. Elever de l'eau, par sa propre chute, à une plus grande hauteur que celle d'où elle est tombée, semble à première vue, une chose impossible, et à la nouvelle de l'invention de Montgolfier, Bossut déclara qu'elle n'était pas possible. C'était de la part de cet académicien une de ces erreurs fréquemment commises, quand la notion de travail était encore obscure, que les travaux qui datent de ce siècle, n'avaient pas établi que c'était la seule unité complète, la seule dont il fallait tenir compte en mécanique pour être certain de ne pas commettre d'erreur, que la vitesse, la hauteur de chute, la masse, le poids d'un corps, etc., pris isolément, n'étaient qu'un des facteurs de la quantité qu'il fallait envisager dans son ensemble, et qu'en les considérant isolément, on pouvait rarement conclure à coup sûr.

Montgolfier en jugeant que le travail de la chute d'eau ne pouvait être anéanti par la fermeture de la soupape qui permettait à l'eau de s'écouler, a donc fait bien plus que d'inventer un ingénieux appareil; il a donné un exemple usuel de l'application d'une vérité qui, ainsi solidement établie, devait s'affirmer plus tard avec une grande netteté et une grande précision.

De nos jours, nous voyons reposer sur cette vérité une des plus importantes théories, une de celles qui devant transformer la théorie des sciences physiques fera le plus d'honneur à notre époque, à savoir la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

théorie mécanique de la chaleur, dont la base la plus solide sans contredit est le principe de l'indestructibilité du travail. C'est parce qu'on voit dans nombre de cas le travail disparaître et simultanément apparaître une quantité de chaleur, qu'on a dû conclure qu'il y avait là une simple transformation, une métamorphose, que le travail et la chaleur étaient homogènes.

Nous aurons à revenir souvent sur ce sujet, mais il était intéressant de montrer la vérité, en apparence bien éloignée, qui était en germe dans l'idée de génie sur laquelle repose l'invention de Montgolfier.

BENJOIN (*angl.* benzoin, *all.* benzoe), résine qui s'écoule naturellement, ou, par des incisions pratiquées à cet effet, du *styrax benjoin*, arbre qui croît à Java, à Sumatra et dans le royaume de Siam ; elle ne tarde pas à se solidifier au contact de l'air et devient dure et cassante. On trouve le benjoin, dans le commerce, en morceaux de forme irrégulière, formés de noyaux amygdaloïdes blanchâtres empâtés dans une masse brun jaunâtre ; sa cassure est conchoïde et présente un éclat gras ; son odeur est agréable et rappelle celle de la vanille ; sa densité varie de 1,063 à 1,092. Le benjoin se fond à une douce chaleur, et il se sublime alors de l'acide benzoïque que l'on peut aisément condenser sous la forme de longues aiguilles. On le sépare plus complétement par voie humide. Stolze recommande le procédé suivant : on dissout le benjoin dans le triple de son poids d'alcool à 75 centièmes, on neutralise l'acide benzoïque contenu dans la liqueur en y versant graduellement une dissolution alcoolique de carbonate de soude, qui se prépare avec 1 partie de carbonate de soude cristallisé, 3 p. d'alcool et 8 p. d'eau ; enfin, après avoir étendu la liqueur d'une quantité d'eau égale au double du poids du benjoin qu'elle renferme, on en sépare l'alcool par distillation. Les eaux mères qui restent dans la cornue renferment une matière résineuse surnageante que l'on écume, et du benzoate de soude que l'on décompose par l'acide sulfurique versé goutte à goutte, qui précipite l'acide benzoïque, lequel est peu soluble. On obtient par ce procédé 18 parties d'acide benzoïque pour 100 de benjoin employé.

Unverdorben a reconnu que le benjoin contient, outre l'acide benzoïque et une petite quantité d'huile volatile, trois espèces différentes de résines, qui n'ont jusqu'ici trouvé aucun emploi dans les arts.

Le benjoin est particulièrement employé dans la parfumerie ; sa dissolution alcoolique étendue d'eau constitue le *lait virginal*. On le fait entrer dans la composition de différents vernis dont on se sert pour recouvrir des tabatières, des cannes et d'autres objets, qui exhalent alors une faible odeur de vanille lorsqu'ils sont échauffés par le contact de la main. Enfin, en Angleterre, on en incorpore une certaine quantité dans l'encaustique que l'on applique sur les carreaux des appartements.

BÉTON (*angl.* concrete, *all.* grundpflaster), nom donné à une masse compacte formée d'un mélange de cailloux, de sable et de chaux, qui sert à asseoir les fondations des édifices. Les proportions les plus convenables à employer sont, suivant Lemble, de 80 parties de cailloux ayant chacun un volume de 60 à 80 centim. cubes, de 40 p. de sable fin de rivière et de 10 p. de bonne chaux, ordinairement hydraulique, que l'on gâche ensemble avec une quantité d'eau suffisante immédiatement avant de s'en servir. On l'applique par couches de 0m,20 à 0m,25 d'épaisseur, que l'on laisse sécher chacune sur place avant d'appliquer la suivante. (Voy. MORTIER.)

BEURRE (*angl.* et *all.* butter). Le LAIT est une émulsion composée du *petit-lait* ou *sérum* de *fromage* ou *caséum*, et d'une matière grasse, la *butyrine*, qui constitue le principe du beurre. Lorsqu'on l'abandonne à lui-même à une température de 15 à 20° pendant un temps assez long, il se sépare en deux parties : l'inférieure, ou lait caillé, qui renferme la presque totalité du petit-lait et du fromage ; et la supérieure, ou *crème*, qui renferme la majeure partie du beurre contenu primitivement dans le lait. On conçoit que la séparation de la crème sera d'autant plus complète, que la coagulation du lait sera plus lente ; il faut donc que la température de la laiterie soit maintenue à un degré déterminé (10 à 12°) et aussi uniforme que possible. On satisfait à cette condition en la plaçant dans des caves. Chaque jour on enlève la crème qui s'est formée à la surface des pots et on la met de côté ; la séparation complète n'a lieu qu'après un temps qui varie suivant la saison. Quatre à cinq jours suffisent en été, tandis qu'il en faut souvent le double en hiver.

La crème renferme les mêmes éléments que le beurre, mais dans des proportions très différentes ; la matière grasse y prédomine beaucoup. Lorsqu'elle est vieille, le fromage qu'elle renferme encore est entièrement coagulé, les molécules butyreuses isolées, et elles se réunissent aisément en une seule masse par le battage (voyez BARATTE), tandis que lorsqu'on opère sur une crème fraîche, les parties constituantes sont encore trop intimement unies, et il faut que, par un battage plus prolongé, on y détermine la même altération qu'elle subirait plus tard en la laissant exposée à l'air. Aussi une crème de 24 heures exigera, pour donner son beurre, quatre fois plus de temps que celle qui aura huit jours ; c'est un fait bien constaté par l'expérience.

Le goût du beurre est différent avec les localités et les saisons ; sa couleur varie du jaune foncé au blanc mat. Quoique l'on ne puisse en rien préjuger de la qualité par la couleur, beaucoup de personnes regardent les beurres les plus colorés comme étant les meilleurs, aussi leur donne-t-on souvent artificiellement cette couleur en mêlant avec la crème, avant le battage, du suc de carottes, de la fleur de souci, de la graine d'asperge ou de l'orcanette.

Au sortir de la baratte, on *délaite* le beurre en le malaxant dans un vase rempli d'eau fraîche avec le dos d'une grande cuillère en bois ; plus on apporte de soin dans cette opération, plus le beurre se conserve longtemps. On y ajoute souvent en même temps un peu de sel, comme dans les beurres fins qui nous viennent de la Bretagne, et on obtient un beurre demi-sel qui se conserve plus longtemps frais que les beurres ordinaires. Le beurre frais ne peut se conserver longtemps, parce qu'il renferme encore un peu de matière caséeuse qui s'altère rapidement. Pour le conserver, il faut le saler ou le fondre.

Pour saler le beurre on le malaxe avec du sel aussi sec que possible et grossièrement pulvérisé ; on incorpore ainsi dans le beurre de 6 à 12 p. 100 de son poids de sel, suivant qu'il doit être consommé sur les lieux ou envoyé au loin ; on l'introduit ensuite dans des pots de grès où on le tasse fortement jusque près de l'ouverture, on recouvre le beurre avec un premier linge fin sur lequel on place une couche de sel de 2 à 3 centimètres d'épaisseur ; enfin on recouvre le tout avec une toile plus forte qu'on fixe avec une corde. En Écosse, il paraîtrait, d'après le docteur Anderson, que l'on salerait généralement le beurre en le malaxant avec 6 à 8 p. 100 de son poids, d'un mélange composé de 1 partie de sucre, 1 p. de nitre et 2 p. de sel ordinaire. Il assure que par ce procédé le beurre se conserve plus longtemps, et que sa couleur, sa consistance, son odeur et sa saveur, sont de beaucoup supérieures à celles du beurre salé ordinaire.

Le beurre fondu se prépare en fondant le beurre à feu nu à une douce chaleur, l'entretenant liquide pendant quelque temps, y ajoutant un peu de sel, l'écumant de temps à autre, et enfin le coulant dans des pots en grès

EFERUS - Recherche & Classification numérique

destinés à le conserver. On le dépouille ainsi de la majeure partie de son humidité, et une partie de la matière caséeuse qu'il renferme à l'état de mélange se sépare et se dépose au fond du vase dans lequel s'opère la fusion; on enlève donc ainsi au beurre une partie des éléments putrescibles qu'il renferme, mais cette séparation est loin d'être complète, parce qu'on ne maintient pas assez longtemps le beurre en liquéfaction. Ainsi chauffé à feu nu, il s'altérera, quelque précaution qu'on puisse prendre; il serait donc bien plus avantageux, comme du reste l'expérience l'a démontré, de le fondre au *bain-marie*. Une température de 36° centigrades suffit pour faire entrer le beurre en pleine liquéfaction; arrivé à ce point, on peut sans inconvénient le maintenir fondu autant de temps que l'on veut; le départ se fait complétement. On décante ensuite, on sale convenablement, et l'on coule au travers d'un linge fin. Le beurre, ainsi préparé et renfermé dans des vases bien bouchés, se conserve presque indéfiniment.

On pourrait fabriquer avec le beurre du savon d'excellente qualité; c'est un des corps gras qui offrent le plus d'avantages sous ce rapport; ce savon absorbe une quantité d'eau considérable sans cesser d'être solide. D'après Pelletier, 3 kil. de beurre rance dessalé ont donné 11 kil. de savon très-blanc, qui, après deux mois de séjour à l'air, ne pesait plus que 7 kil.

BEZOARD. Nom donné à certaines concrétions trouvées dans l'estomac des animaux, et auxquelles on attribuait autrefois une foule de propriétés et de vertus imaginaires. Elles n'intéressent actuellement que la chimie pathologique.

BIELLE. Le système composé d'une bielle et d'une manivelle, c'est-à-dire d'une barre assemblée par un boulon (appelé *bouton* de la manivelle) avec un rayon d'un cercle calé sur un axe de rotation et de l'autre extrémité assemblée semblablement avec une pièce mobile, constitue l'organe mécanique le plus convenable pour transformer un mouvement circulaire continu en un mouvement rectiligne ou circulaire alternatif, ou inversement.

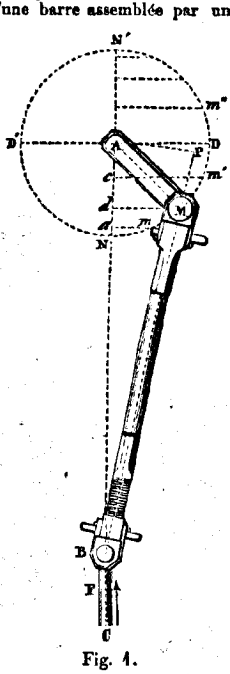


Fig. 1.

1° *Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif ou inversement.* Soit la pièce BC (fig. 1), dont le mouvement est alternatif, la tige BM, la bielle, est articulée en B avec cette pièce et à son extrémité opposée M, l'est également à un bras ou manivelle MA calée sur un arbre de rotation. La pièce à mouvement alternatif est toujours maintenue par des guides, de manière que l'axe de l'articulation de cette pièce avec la bielle reste dans un plan passant par l'axe de rotation de la manivelle, ou, au moins, s'écartant assez peu de ce plan pour que le point B puisse être regardé comme se mouvant sur une ligne droite invariable BA, autrement la révolution complète deviendrait bientôt impossible, comme nous le verrons plus loin.

Cherchons à analyser le mouvement produit; à cet effet traçons le diamètre DD' perpendiculaire à la droite AB, et divisons les quarts de circonférence ND, DN' en un même nombre de parties égales, N*m*, *m*M, M*m'*... etc.; enfin, menons par les points de division *m*, M, *m'*... etc. des perpendiculaires *ma*, M*d*, *m'c*... etc. au diamètre NN'.

Dans l'une de ses courses, le point M partant de la position N, décrit NDN', l'une des deux demi-circonférences. Pour déterminer la position B' du point B, qui correspond à une position quelconque *m* du point M, il suffit de couper la droite NBC par un arc de cercle décrit de *m* comme centre avec un rayon égal à la longueur MB de la bielle, et l'on peut s'assurer ainsi qu'à des arcs égaux N*n*, *m*M, M*m'*... correspondent des déplacements inégaux de la pièce BC, déplacements qui diffèrent peu d'ailleurs des projections N*a*, *ad*, *d'*... de ces arcs et d'autant moins que le rapport $\frac{AM}{MB}$ est plus petit. Lorsque le mouvement de la manivelle est uniforme, celui de la pièce BC est uniformément périodique, conditions avantageuses qu'il faut réaliser autant que possible: ces observations s'appliquent évidemment à la course rétrograde de BC. La longueur de chacune de ces courses est nécessairement égale au diamètre NN' de la circonférence décrite par le point M.

A l'origine de la première et à celle de la seconde, la manivelle AM et la bielle MB se trouvent sur le prolongement de la direction BC de la force F appliquée au point B, de sorte que cette force ne peut produire que des pressions nuisibles, et que, quand elle constitue l'action motrice, le mouvement de la machine s'arrêterait si l'inertie des pièces rotatives ne faisait franchir au point M les positions N et N' que l'on nomme *points morts*. En outre, à partir de l'origine de chaque course, le bras du levier AP de la composante de la force F qui est transmise par la bielle, bras de levier dont la longueur est d'abord nulle, augmente jusqu'au moment où AM se trouve perpendiculaire à MB, puis il diminue.

Construisons maintenant, ainsi qu'il a été dit, la courbe représentative du mouvement. Divisons la circonférence en parties égales, vingt par exemple, par les points de division comme centres, avec une longueur égale à celle de la bielle, traçons des arcs de cercle venant rencontrer la direction de la tige, on aura toutes les positions de l'extrémité de celle-ci pour les positions successives du bouton; nous aurons ainsi la figure 2, obtenue dans le cas

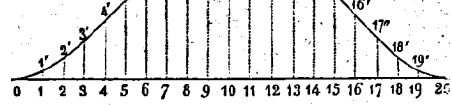


Fig. 2.

d'une bielle supposée très-longue par rapport à la manivelle, en prenant les chemins parcourus par le bouton comme abscisses et les chemins parcourus par la tige comme ordonnées. Cette courbe fait bien voir comment s'effectuent les mouvements.

Dans le cas le plus fréquent de la pratique, celui où par l'effet d'un volant sur l'arbre de rotation le mouvement circulaire est sensiblement uniforme, les arcs décrits par le bouton ou les abscisses de la courbe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont proportionnels au temps; d'où il résulte que l'inclinaison des tangentes à cette courbe, le rapport de l'espace parcouru au temps employé à le parcourir, pour un intervalle infiniment petit, donnera la vitesse de la tige en un instant quelconque. Elle est nulle, on le voit, aux points morts (aux points 0 et 10) où la tangente est horizontale, condition très-favorable, vu le changement de sens du mouvement qui a lieu en ces points.

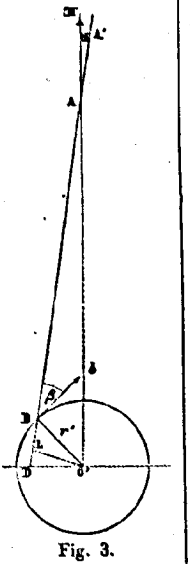


Fig. 3.

On peut facilement déterminer les vitesses en menant (fig. 3) la ligne O'D perpendiculaire à la tige à mouvement rectiligne; le rapport des deux vitesses est égal à celui de O'D à r', rayon de la manivelle, comme nous le démontrerons plus loin. On peut donc construire aisément la courbe des vitesses. On voit ainsi que, pour une bielle courte, la vitesse de l'extrémité de la bielle n'est pas symétrique par rapport au milieu de la courbe. Telle est la courbe OBA (fig. 4) qui se rapporte au cas d'une bielle dont la longueur serait égale à cinq fois celle du rayon de la manivelle. On a pris pour coordonnées : 1° dans le sens OA, les longueurs des chemins parcourus par le bouton de la tige mobile; 2° dans le sens perpendiculaire, les vi-

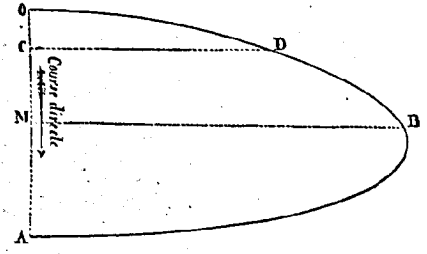


Fig. 4.

tesses telles que CD de ce mobile correspondantes au chemin OC, dans l'hypothèse, par exemple, où la manivelle ferait un demi-tour par seconde.

Si on suppose la bielle infinie, restant toujours parallèle à elle-même, les chemins parcourus par l'extrémité de la bielle sont toujours égaux au sinus verse (1 — cosinus) de l'arc θ que décrit le bouton de la manivelle, mesuré à partir d'un des points morts.

Représentation du travail de la bielle. Dans ce dernier cas, et avec une assez grande approximation quand la longueur de la bielle est égale à huit ou dix fois celle de la manivelle, on peut également tracer les courbes qui représentent, à une certaine échelle, le travail engendré par l'action d'une force F constante, agissant à l'aide de la bielle sur le bouton de la manivelle. En effet le point d'application de cette force parcourant le petit arc s de la circonférence, son travail est $F \times s$ projeté sur la direction de F, c'est-à-dire $F s \times \sin. \theta$, θ étant évidemment égal au complément de l'angle fait par la bielle, supposée toujours

parallèle à elle-même, avec la tangente au point considéré. Le travail élémentaire correspondant à l'arc s sera donc représenté à une certaine échelle par le petit trapèze qui a cet arc de rayon 1 pour base, et pour côté les valeurs de sin. θ; et par suite le travail total transmis par la bielle à la manivelle sera représenté par l'aire entière comprise entre la circonférence développée et la courbe dont les ordonnées sont déterminées par les valeurs successives du sinus.

Le produit F sin. θ est nul quand la perpendiculaire abaissée de l'axe de rotation sur la bielle est égale à zéro; car alors $\theta = 0$, ce qui correspond aux points 1, 11, 21 (voir plus loin la fig. 7 réunie avec la fig. 8); en ces points la bielle ne produit aucun travail. Ce passage par zéro, lors du changement de sens du mouvement, est ce qui fait la grande valeur de cet organe de machine. Le maximum a lieu pour sin. $\theta = 1$ ou $\theta = 90°$, c'est-à-dire dans la figure aux diamètres verticaux correspondants aux points 6 et 16; enfin la symétrie des figures montre que les deux courbes et chacune de leurs moitiés sont égales de part et d'autre.

Calcul de ce travail. Le travail développé par la puissance F dans une demi-révolution, pendant laquelle le chemin parcouru, estimé suivant la direction de la force, est $2r$, est égal à celui que la résistance constante Q, agissant sur une circonférence de rayon R, consomme pendant une demi-révolution; on aura donc, pour un tour entier et une oscillation complète, $4 Fr = 2\pi QR$. Si donc on construit un rectangle dont la base soit toujours 2π et la hauteur $QR = \frac{4Fr}{2\pi}$, la surface de ce rectangle représentera le travail total développé par la résistance et sera égal à celle que circonscrit la courbe. Les points de rencontre du côté supérieur de ce rectangle avec la courbe correspondront aux points pour lesquels le travail élémentaire de la puissance et celui de la résistance sont égaux (1).

La partie de la courbe que cette droite laisse au-dessous d'elle et les parties du rectangle non comprises dans la courbe représentent les excédants successifs du travail moteur et du travail résistant.

La figure montre combien la transmission du travail comme le mouvement se régularisent avec le système de manivelles multiples et à angles droits, décrit à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, puisque le travail de la seconde manivelle serait représenté par une courbe semblable à la première, partant de la division 6 et allant à la division 16.

2° *Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif.* La combinaison d'une bielle et d'une manivelle est surtout employée pour cette transformation (fig. 5), qui peut être considérée comme comprenant le cas précédent, le mouvement rectiligne ayant lieu sur un arc de cercle de rayon infini, et celui répondant à un arc de cercle de très-grand rayon étant très-voisin d'un mouvement rectiligne. Il suffit, pour réaliser la combinaison dont nous parlons, d'assembler

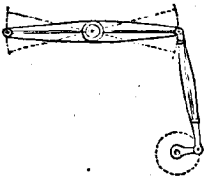


Fig. 5.

1. Nous supposons ici qu'il s'agit d'une manivelle à double effet, c'est-à-dire que l'effort constant de la bielle change de sens à chaque demi-révolution. Si l'effort était toujours de même sens, comme cela a lieu pour la pesanteur, le travail serait évidemment nul pour une révolution complète; enfin, si la manivelle n'agissait que pendant une demi-révolution, la résistance qui, agissant constamment sur une circonférence du rayon R, produirait le même travail sera donnée par l'équation $2 Fr = 2\pi QR$.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la bielle par un boulon, de l'articuler à l'extrémité d'un balancier assujetti à tourner autour d'un tourillon, Tous les avantages que nous avons reconnus appartenir au système composé d'une bielle et d'une manivelle, dans le cas précédent, se retrouvent dans celui-ci ; il offre de plus l'avantage que les frottements des tourillons du balancier sont minimes, tandis que ceux d'une tige glissant entre des guides sont considérables.

Vitesses. Les vitesses relatives du bouton de la manivelle et de l'articulation de l'extrémité du balancier (identique au point de vue cinématique à une grande manivelle), se déterminent à l'aide de la théorie des centres instantanés de rotation. Le mouvement du point A (fig. 6)

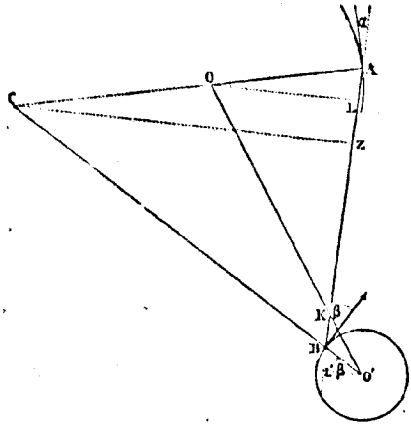


Fig. 6.

a lieu perpendiculairement à OA, celui de B perpendiculairement à O'B ; donc le centre instantané de rotation sera à la rencontre de ces deux lignes en C ; les vitesses des points A et B seront proportionnelles à CA et CB. Or, on a par les triangles semblables, formés par les perpendiculaires sur la bielle

$$CZ : CA :: OL : r$$
$$CZ : CB :: O'L' : r'$$

ou ω, ω', étant les vitesses angulaires, r, r' les rayons, les distances des points d'attache aux centres de rotation,

$$\frac{CA}{CB} = \frac{r\,\omega}{r'\omega'} = \frac{r\,O'L'}{r'\,OL} \qquad (1)$$

et, en faisant disparaître les facteurs communs r et r',

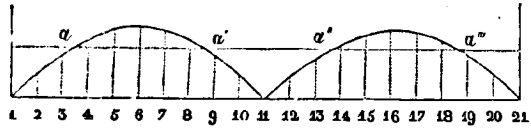


Fig. 7.

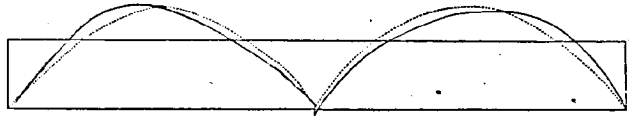


Fig. 8.

la relation :

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{O'L'}{OL} = \frac{O'K}{OK'}$$

d'après la similitude des triangles OLK, O'L'K'.

D'où ce très-remarquable théorème. ***Les vitesses angulaires sont en raison inverse des longueurs déterminées en chaque instant sur la ligne des centres par l'intersection de la bielle***, relation fondamentale d'une grande simplicité.

Si l'un des guides du mouvement des organes dont dépendent les points A et B appartient au système plan, si le point A doit suivre une ligne droite, le centre instantané de rotation est transporté à l'infini, r et OL deviennent en même temps infinis et par conséquent égaux ; si donc on élève (voir plus haut, fig. 3) la perpendiculaire O'D sur AO', parallèle au rayon du centre instantané de rotation passant en A, V et V_1 étant les deux vitesses, l'équation (1) devient :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{O'D}{r'}.$$

Travail de la bielle. Si l'on suppose que la bielle est assez longue pour pouvoir être considérée comme d'une longueur infinie, comme restant toujours parallèle à elle-même, ce que nous avons dit précédemment, relativement au travail moteur, s'applique à ce cas. Toutefois (et c'est le cas le plus habituel de la pratique, si ce n'est quand on fait usage de l'excentrique circulaire) on ne peut admettre les résultats fournis par cette hypothèse quand la longueur de la bielle est au-dessous de cinq à six fois celle de la manivelle. On peut encore, dans ce cas, construire graphiquement les courbes dont l'aire donne le travail produit, la figure 6 donnant la facilité de calculer les deux forces qui agissent autour du centre instantané de rotation C, et qui sont dans les rapports de CA à CZ. Alors la direction de la bielle ne passe pas par l'axe de rotation quand le bouton de la manivelle passe par le point le plus bas de sa course, et le moment de l'effort (le produit qu'il faut multiplier par l'angle au centre pour avoir le travail élémentaire) n'est pas nul. Jusqu'à cette position, l'effort agit dans le sens du chemin décrit par le bouton ; mais au delà de cette position jusqu'à celle où le bras du levier est nul, cet effort tend à faire rétrograder le bouton de la manivelle qui ne persévère dans son mouvement qu'en vertu de l'inertie du volant. Le moment est par conséquent négatif et ne devient positif que quand le bras du levier, étant devenu nul, la force change de direction. Par conséquent, dans cette courte période, le travail doit être porté en-dessous de la ligne des abscisses, comme on le voit sur la figure. Un effet semblable se produit à la fin de l'autre période.

Il résulte de là contrariété dans le mouvement, refoulement du bouton sur la bielle, et réciproquement ; et c'est ce qui contribue, en partie, à produire la vibration toujours nuisible de la bielle. Ce défaut est d'autant plus sensible que la bielle est plus courte.

Il résulte aussi de l'obliquité de la bielle que, dans la première moitié de la demi-révolution descendante du bouton de la manivelle, les bras de levier de la puissance sont plus grands que ceux que donne la supposition d'une bielle infinie, tandis que c'est le contraire dans la seconde moitié ; l'inverse se produit dans la demi-révolution ascendante. Les excès du travail moteur sur le travail résistant, et *vice versâ*, cessent d'être égaux, aux diverses périodes, et les courbes ne sont plus symétriques. C'est ce qui se voit bien sur la figure 8 qui représente le travail d'une bielle ayant cinq fois la longueur de la manivelle et que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous avons rapproché de la figure 7 qui se rapporte à une bielle restant toujours parallèle à elle-même.

Système Girard. Ce cas particulier de la transformation du mouvement circulaire alternatif en circulaire continu est une disposition particulière du système composé d'un balancier, d'une bielle et d'une manivelle.

On trace habituellement l'axe du balancier, dans sa position moyenne, à peu près perpendiculaire à la direction de la bielle. Dans cette disposition, une double oscillation du balancier fait faire à la manivelle assemblée à l'extrémité de la bielle un tour complet, et dans les deux positions moyennes de son mouvement, le bras de la manivelle est parallèle à la position moyenne du balancier.

Il est facile de voir que si, pour une même distance des deux axes, on diminue la bielle, les deux parties de la circonférence, décrite par la manivelle entre les points morts, cessent d'être à peu près égales.

Si enfin on donne à la bielle une longueur telle que dans sa position moyenne le balancier se trouve en ligne droite avec elle, l'inertie aidant, le volant monté sur l'axe de la manivelle fera un tour complet par chaque oscillation simple du balancier.

Ainsi, sur la figure 9, le balancier passant par la position OA et OH, la bielle passe de AC à AG. Elle passe ensuite de HG en BD, pendant la seconde partie de la demi-oscillation. L'inertie aidant, lorsque le balancier revient de OB en OA, le point D, qui peut se diriger également vers G et vers C, se dirige vers ce dernier point, pour arriver encore en G lorsque B est en H. En une oscillation complète, un aller et un retour, le chemin parcouru est donc CGD + DCGDC = 2 tours complets

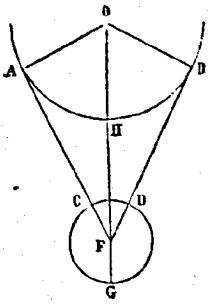


Fig. 9.

Cet appareil serait défectueux pour des forces considérables. La manivelle, en montant au-dessus du point D, en sens inverse de l'action des forces qui agissent suivant la bielle, imprime à celle-ci un mouvement de vibration produit par le refoulement, comme nous l'avons vu dans le cas de l'emploi des bielles courtes.

Ce dispositif est curieux, et peut trouver quelques applications dans les machines légères, mais ne peut fournir de bons résultats dans celles où des résistances importantes sont en jeu, dans les locomotives notamment, où l'auteur avait espéré le voir appliqué et où il importerait beaucoup de multiplier les tours des roues pour un même nombre de coups de piston, sans engrenages, à l'aide de simples articulations d'un effet certain.

Frottement de la bielle. Le travail du frottement de la bielle se compose de deux parties: celui qui se produit sur le bouton de la manivelle et celui qui se produit sur l'articulation de la bielle avec le balancier ou avec la tige guidée en ligne droite.

Le frottement sur le bouton de la manivelle est égale à $2\pi rfP$ pour chaque tour, $2\pi r$ étant la circonférence du bouton, P l'effort, f le coefficient du frottement. Celui qui se produit à l'extrémité du balancier se calculera de même, ce système ne différant pas du précédent pour une fraction de tour; ainsi le balancier décrivant un angle α, le frottement pour une double oscillation sera $2\pi rPf\frac{\alpha}{180^\circ} = \pi rPf\frac{\alpha}{90^\circ}$.

On voit que ces frottements sont très-peu considérables, les valeurs de r étant elles-mêmes petites, ce qui fait bien comprendre l'emploi si fréquent de ce système dans les machines.

Si la bielle produit un mouvement rectiligne, le frottement qui se produit à son articulation avec la barre guidée en ligne droite ne parcourt que l'arc du même nombre de degrés que celui dont le double rayon de la manivelle est la corde et la bielle le rayon, mesuré sur la circonférence qui a pour rayon celui de l'articulation. Il est donc encore très-petit, mais il est accompagné d'un autre vis-à-vis duquel il est négligeable, celui qui s'exerce le long de la tige maintenue dans des guides-plans; ce frottement, qui croît avec l'obliquité des poussées, peut devenir très-grand si la bielle est courte.

Excentrique circulaire. Dans tout ce que nous avons dit au sujet de la manivelle et de la bielle, nous n'avons rien supposé quant à la grandeur du bouton de la manivelle; il peut donc être quelconque, et la vitesse du mouvement transmis ne changera pas, pourvu que la distance des centres de la manivelle et du bouton reste la même.

Si le rayon du bouton grandit jusqu'à être plus grand que cette distance des centres, le mouvement ne changera encore aucunement; seulement la disposition de l'assemblage ne peut plus être celle exposée précédemment. La bielle, qui prend souvent la forme d'une double tringle, est terminée par un collier qui entoure la circonférence d'un cercle tournant autour d'un point autre que son centre (fig. 10). C'est le sys-

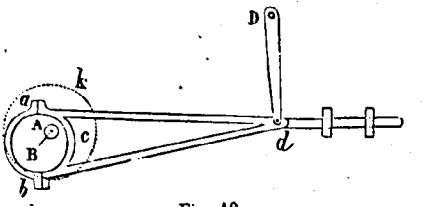


Fig. 10.

tème appelé *excentrique circulaire*, qui, comme nous venons de le voir, n'est qu'un cas particulier de la bielle, et donne absolument les mêmes vitesses qu'une bielle de longueur infinie, restant toujours parallèle à elle-même.

Frottement des excentriques circulaires. L'expression du frottement est toujours la même que dans le cas de la manivelle; seulement le rayon de l'excentrique remplaçant le rayon du bouton, le frottement devient très-grand et peut devenir supérieur au travail entier de la force motrice.

En effet, pour un tour, le travail du frottement sera $2\pi Rf F$; celui de la force résistante agissant dans la direction de la bielle sera $2rF$ (r distance des deux centres). Le rapport de ces deux quantités sera:

$$\frac{2\pi RfF}{2FR} = \frac{\pi Rf}{r}.$$

Or, comme $\pi = 3{,}14$, on voit qu'il ne faut pas que R, toujours supérieur à r, soit avec lui dans un rapport bien grand pour que cette expression approche de l'unité, bien que f soit fractionnaire et assez petit.

Mouvement intermittent. On emploie encore la bielle pour produire un mouvement intermittent en la terminant par une rainure qui produit un repos en raison du temps nécessaire pour qu'une de ses extré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mités rencontre le bouton déplacé par l'autre extrémité (fig. 11).

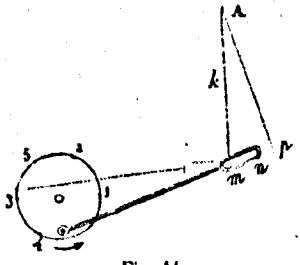


Fig. 11.

Autres mouvements. Les deux cas que nous venons d'examiner sont ceux du plus fréquent usage de l'organe que nous étudions dans les machines modernes, surtout depuis que Watt, l'empruntant au rouet de la fileuse, l'a appliqué à la machine à vapeur. La bielle se rencontre encore dans nombre de mécanismes, par exemple pour transmettre le mouvement circulaire alternatif à distance, comme on le voit dans les mouvements de sonnette. Quelquefois elle sert à transmettre des mouvements circulaires continus, dans des conditions toutes spéciales. Voyons à quelles conditions la bielle doit satisfaire pour être utilisée dans les divers cas.

C'est du rapport existant entre la distance des centres, les longueurs des manivelles ou les rayons des circonférences que décrivent les boutons des manivelles, et enfin la longueur de la bielle, que dépend la possibilité d'employer la bielle à transmettre un mouvement circulaire continu, un mouvement circulaire alternatif ou à transformer un mouvement circulaire continu en circulaire alternatif.

Soit d la distance des centres, r, r' les rayons des manivelles, l la longueur de la bielle.

Si les deux circonférences des rayons r, r' sont extérieures l'une à l'autre, il est évident que si

$$l = d + r + r',$$

aucun mouvement ne peut avoir lieu, la bielle est trop longue. Si $l = d + r - r'$, le mouvement commence, mais ne peut fournir deux rotations complètes. Si une circonférence est plus grande que l'autre, le mouvement sera alternatif sur la grande, à moins que l'on n'ait $r = r'$ et $l = d$, cas de transmission de mouvement circulaire que nous allons examiner. Enfin, si l était plus petit que $d - r - r'$, la bielle ne pourrait réunir les deux circonférences ; mais elle pourra transmettre un mouvement circulaire alternatif si elle est un peu plus longue, et l'amplitude de ce mouvement sera en raison de cet excédant.

Si les deux circonférences se coupent, des relations de longueur analogues donnent les genres de mouvements possibles. Nous renverrons à notre *Traité de Cinématique* pour la discussion de ces dispositions peu employées.

3° *Mouvement circulaire continu en circulaire continu.* La bielle peut servir avec avantage à transmettre un mouvement circulaire continu entre des roues extérieures l'une à l'autre, à la condition, si les deux mouvements sont de même sens, que les deux bras de manivelle, auxquels la bielle est assemblée, soient égaux et la longueur de celle-ci égale à la ligne des centres. Dans la communication dont il s'agit ici une seule difficulté se présente. Elle consiste en ce que, lorsque l'une des manivelles arrive au point mort, l'autre y arrive également, et, par suite, il y a instabilité, c'est-à-dire qu'à moins que

l'inertie des pièces en mouvement ne soit en jeu et qu'une résistance intervienne pour empêcher le changement, comme (fig. 12) dans le cas bien connu des

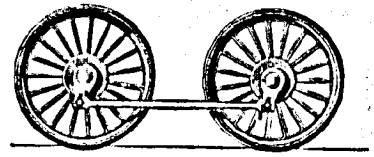


Fig. 12.

roues couplées des locomotives, il n'y a pas de raison pour que le mouvement ne devienne pas rétrograde, au lieu de continuer dans le même sens.

La disposition, ordinairement employée pour éviter cet inconvénient, est représentée dans la figure 13. Elle consiste à employer deux systèmes de bras à angle droit sur chaque axe et deux bielles d'égale longueur. De la sorte les quatre manivelles n'étant plus en même temps au point mort, l'inconvénient dont nous avons parlé ne peut plus exister.

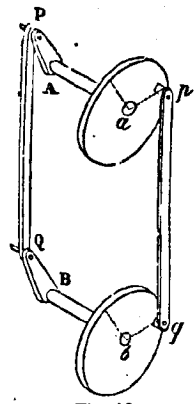


Fig. 13.

Si, au lieu d'être parallèle à la ligne des centres, la bielle coupe celle-ci, le mouvement circulaire continu peut encore être obtenu au moyen de deux manivelles égales réunies par une bielle de longueur égale à la distance des axes, les manivelles tournant en sens inverse l'une de l'autre ; les vitesses sont alors dans un rapport variable, la bielle venant rencontrer la ligne des centres en des points variables. Etablissons la loi de ce mouvement.

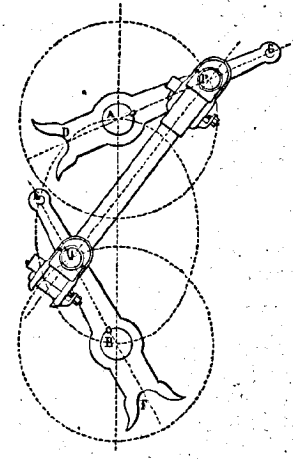


Fig. 14.

AP, BQ étant ces deux manivelles (figure 14), PQ

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

la bielle; lorsqu'elle arrive sur la ligne des centres, on peut assurer la continuation du mouvement en sens contraire des deux manivelles, quand il n'y a pas d'action d'inertie assurant la rotation dans un sens convenable, en terminant une extrémité de chacune d'elles par un fuseau cylindrique, et le prolongement de l'autre extrémité par un creux, de telle sorte qu'il en résulte une dent d'engrenage en prise seulement lorsque la bielle est parallèle à la ligne des centres, condition qui fixe la longueur de la somme des deux appendices.

Le rapport des vitesses dans cette organe est exactement celui qui résulterait de l'emploi de deux roues elliptiques égales, l'ellipse primitive ayant pour grand axe la distance des centres, et pour excentricité la moitié de la longueur des manivelles.

En effet, en traçant la figure géométrique représentant deux ellipses tangentes (fig. 15), S et H étant les

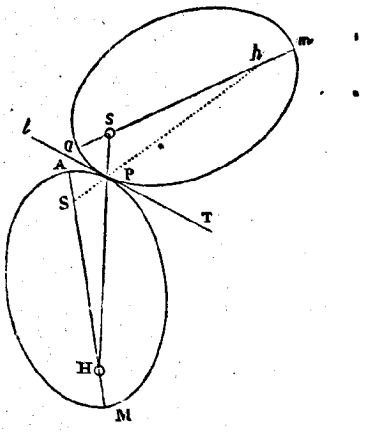


Fig. 15.

axes de rotation, on voit que, SH, *sh*, étant les distances des centres, foyers des deux ellipses, $Sh = sH$, à cause de la symétrie parfaite autour de la tangente qui résulte de la nature de l'ellipse, c'est-à-dire que la longueur de la ligne qui joint les foyers mobiles est toujours égale à la distance des centres, et par suite constante. Si donc cette ligne devient la bielle, et si l'on établit deux manivelles de longueur égale à l'écartement des foyers, on aura nécessairement le même mouvement qu'avec deux ellipses, dont le grand axe serait égal à la distance des centres, et l'excentricité, la demi-distance des foyers, $e = \sqrt{a^2 - b^2}$, a et b étant les deux demi-grands axes, égale à la moitié de la longueur des manivelles.

La variation des vitesses s'étendra donc de AH à aS ou de $a + e$ à $a - e$,

et, inversement, donnant un maximum et un minimum, et le rapport s'obtiendra en chaque instant avec facilité, en relevant le point d'intersection de la ligne des centres avec la bielle, dont les deux parties seront toujours les deux rayons vecteurs menés des deux foyers au point commun aux deux ellipses.

4° *Mouvements circulaires alternatifs en circulaires alternatifs.* Toutes les fois que la bielle est trop courte, relativement à la distance des centres, pour qu'une révolution complète soit possible, elle ne peut plus servir qu'à la transmission de mouvements circulaires alternatifs. Elle est ainsi employée fréquemment dans les mécanismes dits systèmes articulés, qui se rapprochent, à la seule exception de la fixité absolue des axes de rotation, des système articulés qui entrent dans la charpente osseuse des corps vivants.

La théorie de ce cas particulier ne diffère évidemment pas de celle qui a été donnée ci-dessus; le rapport des vitesses en chaque instant est le même, que le mouvement de rotation se continue ou ne se continue pas suivant un arc plus ou moins long, à partir du point considéré.

Combinaison des bielles. Bien que d'un usage fréquent dans la pratique, les combinaisons de bielles ont été l'objet de peu d'études théoriques. Elles seraient cependant utiles, car il s'agit de mouvements doués de propriétés particulières résultant des lois du mouvement de ces systèmes. Nous le montrerons par l'étude des trois problèmes suivants que nous reproduirons d'après Willis.

Obtenir avec des bielles un mouvement dont la vitesse décroisse rapidement. A, B, D sont les centres de révolution respectifs de trois balanciers A*a*, D*d* et *b*BC (fig. 16). Ces bras sont liés par les bielles *ab* et C*d*, qui complètent la transmission du mouvement de A*a* à D*d*.

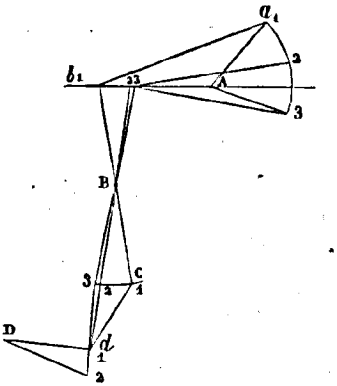


Fig. 16.

Soit l'amplitude du mouvement A*a* limitée à l'arc de cercle 1, 2, 3, partagez cet arc en deux parties égales et placez *b* A, ligne tangente au petit arc de cercle décrit par *b*, de telle sorte qu'elle coupe en deux parties égales l'angle 2 A 3, décrit par *a* en passant de 2 à 3. On sait que le mouvement du bras B*b* mû par la bielle *ab*, variera comme le sinus verse de l'angle compris entre les lignes A*a* et *b*A, A*a* remplissant le rôle d'une manivelle; donc le mouvement de *b* pendant que *a* passe de 1 à 2, sera beaucoup plus grand que celui qu'il reçoit pendant le passage du même point de 2 à 3. Les positions successives de ce mouvement sont, au reste, marquées sur la figure.

En pratique, le second mouvement est si faible que cette combinaison peut être employée même quand le bras B*b* doit rester en repos pendant la seconde partie 2, 3 du mouvement de A*a*.

Si on dispose le bras D*d* par rapport à BC, de telle sorte que la tangente à l'arc décrit par *d* coupe en parties égales le petit angle 2 B 3 décrit par C, pendant son passage de la seconde position 2 à la troisième 3, le mouvement que D*d* recevra de A*a* pendant la seconde période sera encore considérablement plus petit que le petit mouvement de B*b*. Ce mécanisme est employé dans la harpe d'Érard.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Multiplier les oscillations du mouvement alternatif en multipliant les bielles et les leviers. Si une manivelle ordinaire Aa (fig. 17) est réunie par une bielle *ab*

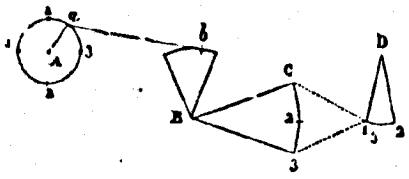


Fig. 17.

avec un levier tournant autour du centre B, chaque révolution de la manivelle produit une double oscillation du levier B*b*, et par suite aussi du levier coudé BC monté sur le même axe.

Soit un autre levier D2 joint par une bielle au levier BC, dans une position telle que la tangente à l'arc décrit par l'extrémité de D2 divise en deux parties égales l'angle décrit par BC. Les chiffres 1, 2, 3, marqués sur la circonférence décrite par la manivelle et sur les arcs décrits par BC et par D2, indiquent les positions correspondantes des pièces. Le mouvement de BC, de B_1 à B_2, dans une seule direction, produit une oscillation double complète de D2 entre les positions D 1, 3 et D2, et réciproquement, comme on le voit dans la figure; une double oscillation de BC ou un tour de la manivelle produit donc deux doubles oscillations complètes de D2. Si un autre levier était assemblé à D2, de la même manière que celui-ci est réuni à BC, une révolution de la manivelle produirait quatre doubles oscillations du dernier levier, et pour un train de *n* axes, chaque révolution de la manivelle produirait 2^{n-2} doubles oscillations complètes d'un levier.

C'est cette disposition que M. Saladin a appliquée avec succès aux métiers à tisser mécaniques pour produire deux coups du battant par chaque tour de manivelle, ou au moins la disposition sensiblement équivalente que représente la figure 18 dans laquelle la bielle

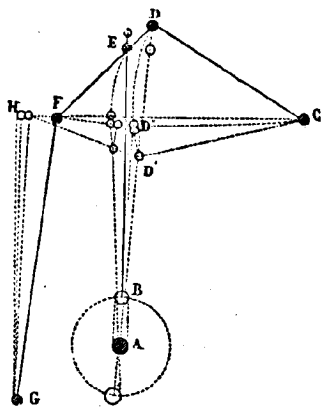


Fig. 18.

BE, mue par la manivelle AB, fait passer le levier CD au-dessus et au-dessous de l'horizontale, de telle sorte qu'à l'extrémité de chaque oscillation simple de CD et pour chaque demi-tour de la manivelle AB, GF a accompli une double oscillation et est revenu à sa position initiale.

Production d'un mouvements alternatif intermittent par des leviers et des bielles. A est le centre de rotation d'une manivelle qui par le moyen d'une bielle 2, 2 fait osciller le levier B*b* entre les positions B*b*1 et B*b*3 (fig. 19).

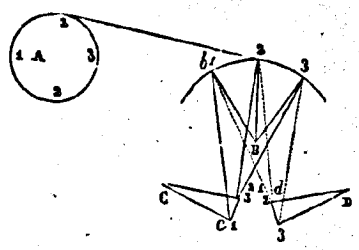


Fig. 19.

L'extrémité *b* de ce levier est assemblée non-seulement à la bielle 2, 2, mais encore aux deux autres bielles *bc* et *bd*. La bielle *bc* est réunie avec un levier Cc, dont le centre de mouvement est en C, tel que la tangente au cercle qu'il décrit à son extrémité passe par B et coupe en deux parties égales l'angle 2 B 3. Par suite, comme précédemment, quand *b* se meut de 1 à 2, Cc se meut de *c* 1 à *c* 2/3; mais quand *b* se meut de 2 à 3, Cc reste sensiblement dans la position Cc 2/3. D'un autre côté, la bielle *bd* est tracée comme la précédente; la tangente à l'arc que décrit le point *d* passe par B et coupe en deux parties l'angle 1B2; par suite, quand *b* passe de 1 à 2, D*d* reste dans la position D*d* 1/2, mais quand *b* passe de 2 à 3, D*d* passe de D*d* 1/2 à D3.

L'effet de cet arrangement est que, quand la manivelle tourne, les leviers Cc et D*d* oscillent avec des intervalles de repos, l'un se mouvant quand l'autre est immobile, et *vice versâ*, ce qui peut être indiqué par le tableau suivant pour un tour complet de manivelle:

La manivelle se meut.	de 1 à 2, *Cc* s'élève, *Dd* reste en repos;
	de 2 à 3, *Cc* est en repos, *Dd* s'abaisse;
	de 3 à 2, *Cc* est en repos, *Dd* s'élève;
	de 2 à 1, *Cc* s'abaisse, *Dd* est en repos.

Une représentation graphique est excellente pour faire sentir les périodes de ces mouvements.

Soit B*b* l'axe vertical de la courbe qui représente le mouvement du levier B*b*; Cc et D*d* les axes des courbes qui représentent les mouvements qui ont lieu en même temps des leviers Cc et D*d*.

Portons sur l'axe B*b* une longueur égale à celle de la demi-circonférence du cercle décrit par la manivelle divisée en douze angles égaux (fig. 20); supposons que la manivelle se meut uniformément, et par les points de division menons des perpendiculaires proportionnelles aux espaces ou arcs décrits par les extrémités des leviers respectifs. Ainsi les abscisses de la courbe B*b* sont proportionnelles aux distances de l'extrémité *b* de B*b* à la position initiale B*b*1. Ces longueurs seront facilement obtenues en traçant la figure précédente à une grande échelle, pour diverses positions des leviers.

On voit que l'oscillation de B*b* est convertie en Cc en deux doubles oscillations, l'une qui s'étend de 2 à 10 qui est grande, et l'autre de 10 à 2 qui est petite, et peut être considérée comme se confondant avec un état de repos. Les oscillations de D*d* sont semblables, mais la grande oscillation correspond à la petite de B*b*, et *vice versâ*.

On peut encore réduire, si l'on veut, les petites oscillations, en attachant (comme plus haut) un nouveau levier à chacun des leviers Cc, D*d* du présent système. La courbe Ee représente le mouvement de ce levier en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le supposant attaché à *Dd*; on voit que la petite oscillation disparaît alors, et que la courbe se réduit en par-

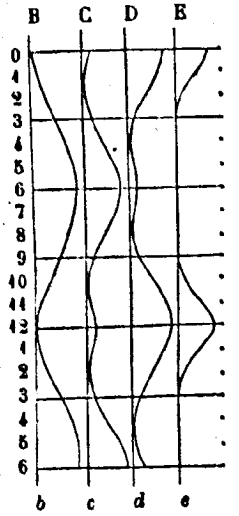


Fig. 20.

tie à une ligne droite qui se confond avec l'axe des ordonnées.

Les exemples ci-dessus indiquent les ressources que l'on peut retirer des combinaisons de leviers réunis par des bielles. Il faut observer que les pertes de temps provenant de l'élasticité de longues tiges les rendent applicables seulement lorsqu'il n'y a pas en jeu des forces trop grandes.

BIÈRE (*ang.* Beer, *all.* Bier). On donne le nom de bière à l'infusion fermentée d'orge germée, conservée et parfumée avec du houblon; mais on a étendu cette qualification à plusieurs autres boissons de qualité inférieure, telles que : la bière de sapin, la bière de genièvre, la bière de sarrasin, de mélasse, qui toutes consistent en une liqueur sucrée, ayant éprouvé une fermentation vineuse plus ou moins avancée, et parfumée avec des substances particulières.

Les anciens connaissaient la bière, et les Romains lui donnaient le nom approprié de *cervisia*, comme étant le produit des blés, don de Cérès. La plus célèbre liqueur de ce genre dans l'antiquité était la boisson pélusienne, ainsi appelée de la ville où elle était préparée, près d'une des bouches du Nil. Aristote parle de l'enivrement causé par la bière; et Théophraste la nomme très justement *le vin d'orge*. On peut aussi conclure du récit des historiens, que des boissons analogues à notre bière étaient en usage parmi les Gaulois, les Germains et presque chez tous les peuples de notre zone tempérée; et qu'elles ont toujours été le breuvage le plus répandu dans les pays où le vin n'était pas un produit abondant de l'agriculture.

De nos jours, l'usage de la bière est extrêmement répandu surtout en Angleterre, en Belgique, en Allemagne et en France; on a calculé que dans la seule ville de Londres on en produisait plus de 300 millions de litres chaque année!

Pour plus de clarté, nous divisons ce que nous avons à dire, sur l'art du brasseur, en cinq parties qui sont:

I. Des matières premières qui entrent dans la composition de la bière;

II. De la préparation du malt, ou changement que l'orge subit avant de servir dans le brassage;

III. Brassage proprement dit, ou formation du moût sucré, et infusion du houblon;

IV. Fermentation du moût;

V. Collage, maturité et conservation de la bière.

I. *Des matières premières.* Les matières premières se rangent dans deux classes bien distinctes; les unes sont destinées à fournir la substance sucrée, et par suite, la partie alcoolique de la liqueur; les autres lui donnent une saveur particulière, forte et amère, et servent à sa conservation.

Toutes les céréales pourraient être rangées dans la première classe, puisqu'elles contiennent toutes de l'amidon qui peut être transformé en sucre : c'est ainsi que l'on emploie, dans quelques circonstances, le froment, le maïs, le riz, etc.; mais l'orge, très-employée en Europe, produit la bière la plus parfaite et donne en outre des résultats économiques.

Il existe deux espèces d'orge : l'*hordeum vulgare*, ou orge commune à deux rangs, et l'*hordeum hexastichum*, ou orge à six rangs. La première est employée en Angleterre, où on en fait une énorme consommation; en France, on emploie indifféremment l'une ou l'autre qualité. La grosseur des grains d'orge et la constance de leurs dimensions sont des conditions importantes de la régularité si essentielle dans les opérations ultérieures qu'ils doivent subir, et d'ailleurs c'est en général la conséquence d'une bonne culture. Les bons grains sont durs, pleins, farineux et blancs à l'intérieur; mouillés pendant quelques minutes et remués, ils ne doivent pas développer d'odeur désagréable. Les plus pesants, à mesure égale, sont en général les meilleurs; enfin, agités et trempés dans l'eau, ils doivent presque tous tomber au fond du liquide. Avec toutes ces qualités, l'orge doit en outre, et par-dessus tout, posséder la qualité germinative, condition essentielle de la transformation de la fécule en matière sucrée.

Une des meilleures preuves de la bonne qualité de l'orge est encore l'augmentation du volume que le grain acquiert lorsqu'il est plongé dans l'eau, pendant un temps suffisant; ainsi, d'après le docteur Ure :

		Orge mouillée.
100	mesures d'orge ordinaire (hordeum vulgare) produisent.	124 mesures.
100	— d'orge à 6 rangs d'Écosse. .	121 —
100	— id —	118 —
100	— D'orge qualité supérieure de Suffolk.	183 —
100	— D'orge à 6 rangs d'Écosse, qualité très-inférieure.	109 —

On voit quelles différences marquées existent entre le produit d'une mauvaise qualité d'orge et celui d'une excellente qualité; cette circonstance indique si bien le produit probable de l'orge germée, en bière, qu'elle est soigneusement prise en considération, en Angleterre, par les commis de l'impôt, qui établissent la base de ce dernier sur cette augmentation de volume.

En France, où l'administration permet aux brasseurs d'employer d'autres matières sucrées que celles qui proviennent de l'orge, il est évident que cette augmentation de volume serait une base tout à fait illusoire.

En Angleterre, on compte en moyenne que 100 kilogr. de bonne orge pèsent, après le mouillage, près de 146 kilogrammes; la meilleure prenant toujours le plus d'eau. Pour bien faire comprendre le rôle important que joue l'orge dans la préparation de la bière, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails sur la composition de cette céréale et sur les modifications qu'elle peut subir, lorsqu'elle est exposée à certaines influences.

L'orge est composée d'amidon, de gluten, d'une pe-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tite quantité de glucose et de dextrine, d'albumine d'une matière grasse, de son, d'eau et de quelques sels terreux en très faible proportion. Ce qu'il nous importe surtout de considérer ici, c'est l'amidon ; toutes les autres matières, et en particulier le gluten et l'albumine, ont très probablement une certaine influence sur la qualité de la bière, influence qui n'est pas très connue, mais qui n'en est pas moins réelle, puisque, avec la fécule ou même l'amidon seuls, il est impossible de préparer de la bière de qualité même ordinaire ; quoiqu'il en soit, c'est l'amidon qui doit fournir la partie sucrée, et par suite l'alcool contenu dans la liqueur. Pour que l'amidon de l'orge puisse se changer en substance sucrée, il faut développer dans les grains de cette céréale une substance, la DIASTASE, qui possède à un très haut degré la propriété de rendre soluble l'amidon en le transformant en dextrine, puis en sucre. Ce principe naturel, découvert par MM. Payen et Persoz, se développe pendant la germination des céréales, des pommes de terre ; il rend soluble l'amidon qu'elles renferment, et lui permet ainsi d'alimenter les jeunes tiges de la plante. C'est donc en faisant germer l'orge, et en arrêtant la germination au moment convenable, et que nous indiquerons plus tard, que le brasseur parvient à se procurer la matière sucrée nécessaire à la préparation de la bière.

L'orge et les quelques céréales que l'on emploie quelquefois, ne sont pas les seules matières premières dont on fait usage pour obtenir la partie alcoolique de la bière. En France surtout, on emploie aussi, et trop fréquemment peut-être, des matières sucrées, telles que les mélasses, sucre de fécule et glucose, etc. L'emploi de ces substances produit évidemment des résultats économiques ; mais d'un autre côté si l'on en abuse, la qualité de la bière en souffre nécessairement.

La loi interdit formellement, en Angleterre, l'emploi des substances sucrées, autres que celles qui proviennent des céréales ; cela découle évidemment du mode de perception de l'impôt qui est employé dans ce pays, et qui a pour base, comme nous l'avons déjà dit, l'augmentation de volume, que l'orge éprouve par le mouillage.

Dans la seconde classe des matières premières, se rangent, nous le répétons, les substances destinées à conserver et à parfumer la bière. La plus estimée, et même la seule employée aujourd'hui, est le houblon.

Le HOUBLON (*humulus lupulus*) est une plante grimpante à racines vivaces, qui appartient à la famille des *urticées* ; ce sont les fleurs femelles de la plante, ou cônes de houblon, qui sont recueillies et employées dans la préparation de la bière.

La partie utile du houblon est une substance jaune, pulvérulente, très aromatique qui revêt les écailles des cônes, et qui forme au moins le huitième de leur poids. Cette sécrétion pulvérulente peut facilement se recueillir, il suffit pour cela de sécher à une douce température les folioles du houblon puis de les remuer au-dessus d'un tamis de crin ; la poudre séparée des matières étrangères traverse les mailles. MM. Payen et Chevalier qui l'ont analysée l'ont trouvée composée de :

Huile essentielle ;
Résine ;
Au moins une matière azotée ;
Une substance amère ;
Idem, gommeuse.

Ils y ont en outre trouvé des traces d'acétate d'ammoniaque, de soufre, de silice, de chlorure de calcium, de sulfate et de malate de potasse, de phosphate et de carbonate de chaux, enfin d'oxyde de fer.

En procédant à la séparation de cette sécrétion jaune, par le procédé que nous avons indiqué plus haut, MM. Payen et Chevalier ont trouvé les résultats suivants en traitant divers houblons :

Espèces de houblon.	*Sécrétion jaune.*
Houblon de Poperingue (Belgique). .	18,00 p. 100
— d'Amérique vieux. . . .	16,90 "
— de Bourges.	16,00 "
— de l'Etang de Crécy. . .	12,00 "
— de Busignies.	11,50 "
— des Vosges.	11,00 "
— d'Angleterre vieux. . .	10,00 "
— de Lunéville.	10,00 "
— de Liége.	9,00 "
— d'Aloste (Belgique). . .	8,00 "
— de Spalte (Allemagne). . .	8,00 "
— de Toul (Meurthe). . . .	8,00 "

Ce tableau fait voir combien peut varier la qualité des houblons que l'on trouve dans le commerce, et de quel intérêt il est pour le fabricant de s'assurer de cette qualité avant de faire des achats de cette matière première qui est toujours à un prix élevé. On remarquera en outre que les houblons de France sont peu riches en matière utile, cela tient aux procédés d'emballage qui sont généralement moins perfectionnés qu'en Angleterre et qu'en Amérique ; et qui cependant ont une très grande influence sur la conservation des propriétés du houblon. Par des procédés qu'il n'entre pas dans notre cadre de décrire ici, MM. Payen et Chevalier sont parvenus à extraire de la sécrétion jaune une substance qu'ils ont appelée lupuline, et à laquelle ils attribuent la plupart des propriétés du houblon ; cette matière amère et aromatique, lorsqu'elle est chauffée, est très soluble dans l'alcool ; l'eau en dissout 5 p. 100 de son poids, ce qui explique comment on parvient à l'incorporer dans la bière, au reste l'huile essentielle qui accompagne la lupuline joue très probablement aussi un certain rôle dans la conservation de la bière.

Aussitôt après la récolte du houblon, tous les soins doivent se porter sur la dessiccation et l'emballage des folioles ; on se contente généralement d'étendre les cônes dans de vastes greniers où on les retourne chaque jour avec un ratenu, jusqu'à ce qu'ils aient atteint le degré convenable de siccité ; en Alsace où l'on s'occupe activement de la culture de houblon, on rend cette dessiccation plus rapide en exposant le houblon sur des cadres garnis de treillages en cordes, et distants les uns des autres de 33 centimètres. Ces procédés de dessiccation à l'air libre ont l'inconvénient d'exiger beaucoup de temps et d'être soumis aux influences atmosphériques ; lorsque l'air est humide la dessiccation peut se prolonger, et pendant tout ce temps le houblon perd nécessairement de ses propriétés. — On obtiendrait des résultats meilleurs et beaucoup plus réguliers, en opérant la dessiccation à une douce température dans une étuve à courant d'air chaud ; on pourrait employer à cet effet des tourailles ordinaires (voyez plus loin, même article) ou bien les étuves perfectionnées que l'on emploie dans d'autres fabrications ; dans tous les cas, la température ne devra jamais s'élever au-dessus de 30° centigrades. Cette question a beaucoup occupé en Angleterre les producteurs de houblon, plusieurs appareils ont été imaginés qui paraissent devoir donner de très bons résultats. Il faut encore avoir la précaution, lorsque la dessiccation a été produite dans une étuve, de laisser le houblon séjourner quelques jours dans un grenier, afin qu'il reprenne à l'atmosphère une très petite quantité d'eau, qui est destinée à l'assouplir et à l'empêcher de se briser et de se réduire en poussière lorsqu'on l'emballe.

L'emballage des cônes de houblon desséchés est une des opérations qui influent le plus sur la conservation plus ou moins longue de cette matière première ; on doit même lui attribuer la cause des énormes différences qui existent entre la valeur des houblons anglais et ceux de France après quelques années de garde. Les premier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conservent pendant très longtemps une grande partie de leurs propriétés; les seconds au contraire ont généralement perdu presque toute leur valeur au bout de 3 ou 4 années au plus.

En France on se contente le plus souvent d'emballer le houblon en le foulant avec les pieds dans des sacs; sous cette légère pression il reste de nombreux interstices, à travers lesquels l'air peut circuler librement; il entraîne peu à peu l'huile essentielle, l'oxygène et plusieurs autres principes dont il détruit les propriétés.

En Angleterre, au contraire, après avoir bien tassé le houblon dans de forts sacs tendus dans des formes, on le soumet à l'action énergique d'une presse hydraulique; dans cette opération, les cônes sont tellement pressés les uns contre les autres que l'air et l'humidité n'y pénètrent qu'avec la plus grande difficulté. Malgré toutes ces précautions le houblon perd toujours de sa valeur en vieillissant; mais il la perd d'autant moins rapidement que l'emballage a mieux été fait.

Les meilleurs houblons ont une couleur jaune d'or, de grands cônes et une odeur agréable; lorsqu'on les frotte entre les mains, ils y laissent des traces jaunes très odoriférantes sans aucune parcelle de la plante; on peut du reste s'assurer directement de la proportion de la sécrétion jaune, au moyen du procédé que nous avons indiqué plus haut.

En Angleterre, les houblons les plus beaux, les plus pâles et les plus parfumés, sont emballés dans des sacs de beau canevas, qu'on appelle pochos et qui, remplis, pèsent environ 76 kilogr.; ils sont destinés aux brasseurs d'ale. Les houblons, de couleur foncée et à parfum très fort, sont emballés dans des sacs d'un tissu grossier et qui peuvent contenir environ 152 kilogr.; ils sont vendus aux brasseurs de bière forte et de porter. Dans ce pays, les plus beaux houblons croissent dans les environs de Canterbury; ceux de Worcester ont un agréable et doux parfum très estimé par beaucoup de buveurs d'ale.

Le houblon étant un produit d'une assez grande valeur, on a cherché à diverses reprises à remplacer sa substance amère au moyen de la décoction d'autres substances. Les huiles essentielles tirées des écorces d'arbres résineux, les décoctions du buis, de la gentiane, etc., ont été tour à tour essayées. Quelques-unes de ces matières sont vénéneuses, les autres tout en remplaçant l'amertume du houblon ne suppléent pas à son parfum; on peut donc dire que leur emploi est condamnable, surtout lorsque la question d'argent est la seule raison qui détermine le brasseur à les employer.

II. *Préparation du malt.*— Le maltage est l'opération qui doit, par le développement de la diastase, amener le grain à un état tel qu'il puisse se dissoudre dans l'eau et donner une liqueur sucrée et propre à la fermentation. En France, le brasseur prépare lui-même son malt; mais en Angleterre, où la bière se fabrique sur une échelle immense, le maltage est une industrie tout à fait séparée, qui s'exerce généralement loin des villes, et dans les pays riches en céréales.

La préparation du malt comprend 4 opérations successives :

1° Le mouillage destiné à ramollir le grain et à le rendre ainsi propre à la germination.

2° La germination qui doit développer la diastase.

3° La dessiccation de l'orge germée dans les tourailles, opération qui a pour but d'arrêter la germination et de conserver le grain.

4° Enfin le broyage ou concassage de l'orge desséchée.

1° Le *mouillage* se fait dans de grandes citernes en bois ou en pierre que l'on remplit d'eau jusqu'à une certaine hauteur, et dans lesquelles on verse l'orge en quantité telle qu'elle soit toujours recouverte d'une couche de 1 à 2 décimètres d'eau. Après avoir bien remué avec des rateaux en bois, on laisse reposer; le bon grain qui est plus lourd que l'eau, gagne le fond, le mauvais surnage; on doit l'enlever avec une écumoire, parce qu'il altérerait la qualité du malt et pourrait contribuer à donner un mauvais goût à la bière; sa proportion s'élève rarement à plus de 2 p. 100 de la totalité de l'orge.

Durant le mouillage le grain s'imbibe d'eau; lorsqu'il est de bonne qualité il en prend à peu près la moitié de son poids, et son volume augmente environ d'un cinquième.

A la longue l'eau acquiert une teinte jaunâtre et une odeur de paille par la dissolution de quelques matières; dans un temps chaud, et lorsqu'elle s'est chargée de ces substances solubles, elle ne tarderait pas à provoquer une fermentation très nuisible à la qualité de l'orge, si on n'avait le soin de la renouveler au moins une ou deux fois pendant la durée du mouillage. Dans tous les cas, ce changement d'eau doit se faire toutes les fois qu'on s'aperçoit que le liquide acquiert un goût acidulé. L'eau se retire de la cuve, au moyen d'un robinet placé près du fond; un torchon de paille placé à l'orifice empêche que le grain ne soit entraîné par l'eau.

La durée du mouillage dépend de la température extérieure, elle est plus courte dans les temps chauds que dans les temps froids; elle est plus grande pour l'orge nouvelle que pour la vieille orge qui s'imbibe rapidement. Selon ces circonstances la durée varie de 40 à 60 heures.

Le mouillage a pour but de préparer le grain à la germination, de la même manière que l'humidité de la terre prépare et active l'accroissement de la radicule et de la plumule du grain que l'on a semé.

Un mouillage trop prolongé serait préjudiciable, parce qu'il altérerait la radicule, enlèverait au grain une partie de sa puissance de végétation, et causerait en définitive une perte de matière.

On reconnaît que le ramollissement est suffisant, lorsque le grain bien enflé partout, peut être aisément transpercé avec une aiguille. L'épreuve suivante est aussi considérée comme bonne. Lorsque l'orge, pressée entre le pouce et les doigts, continue à rester entière dans son enveloppe, c'est qu'elle n'est pas suffisamment trempée; mais si au contraire sa farine s'épanche sur les doigts, elle est arrivée au point convenable. Quand la substance exsude sous la forme d'un jus laiteux, le mouillage a été trop longtemps prolongé et l'orge a perdu une partie de ses propriétés.

Lorsque l'orge est suffisamment gonflée, on la lave par une dernière aspersion d'eau froide, que l'on fait écouler de suite; cette eau entraîne une matière visqueuse qui se développe surtout lorsque la température extérieure est élevée. On laisse alors égoutter le grain pendant 8 ou 10 heures, puis on le retire par une large trappe adaptée sur le fond de la cuve.

2° *Germination.* L'orge extraite de la cuve *mouilloire* est immédiatement disposée en couches de 30 à 40 centimètres d'épaisseur, et on la laisse à cet état pendant 24 heures. C'est à ce moment que le grain a acquis son plus grand volume, et c'est aussi à cette période du travail que les commis de l'impôt, en Angleterre, le jaugent. Le *germoir* est une grande pièce, dont le sol doit être construit en matériaux imperméables; un dallage en larges pierres ou en briques, à joints parfaitement cimentés, convient très bien; une couche de mastic bitumineux peut encore être employée avec succès pour former ce sol. Le germoir doit être autant que possible à l'abri des changements de température, il convient donc, si faire se peut, de le disposer au-dessous du niveau du sol.

Peu de temps après que l'orge a été étendue en couche de 30 à 40 centimètres sur le sol du germoir, la température s'élève peu à peu dans l'intérieur du tas, tandis qu'il s'en exhale une odeur agréable de fruit; si

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans ce moment on plonge la main dans le tas, non sen-.ement elle est impressionnée par la chaleur; mais encore elle est humectée, quoiqu'à l'extérieur de la couche l'orge paraisse sèche; à cet état de transpiration, la germination commence, et aussitôt que chaque grain laisse apparaître une protubérance blanchâtre, on s'empresse de défaire le tas et de disposer l'orge en couches plus minces; tout le talent de l'ouvrier malteur consiste alors à modérer la germination qui tend à marcher avec une grande rapidité, et surtout à la rendre aussi uniforme que possible; il faut qu'à la fin du travail tous les grains se trouvent à peu près dans le même état; si cela n'était pas on pourrait éprouver des déchets considérables. Le malteur obtient cette régularité en variant l'épaisseur de la couche, qu'il rend de plus en plus faible, jusqu'à ce qu'elle n'ait plus à la fin que 10 centimètres, et en retournant l'orge de temps en temps, afin que tous les grains occupent tantôt le centre, tantôt la surface de la couche, lorsque celle-ci n'a plus que 10 centim., on doit pelleter, en été surtout, 2 et même 3 fois par jour; les ouvriers qui procèdent à ce travail marchent pieds nus, ou chaussés de larges sandales en bois, afin d'éviter d'écraser ou de meurtrir les grains.

La protubérance blanchâtre qui apparaît quelque temps après que l'orge a été mise en tas de 0m,40, est produite par la radicule qui sort immédiatement du grain, et qui est le premier indice de la germination; cette radicule se sépare bientôt en trois ou plusieurs radicules qui croissent rapidement. Vingt-quatre heures environ après l'apparition de la radicule, la gemmule perce au même point; mais au lieu de se développer à cette extrémité, elle s'engage sous la cosse et se dirige vers l'extrémité opposée où elle ne tarderait pas à percer et à s'épanouir sous la forme d'une feuille verte, si on n'arrêtait pas à temps la germination.

L'expérience a prouvé que la plus forte proportion de diastase était formée au moment où la gemmule, après avoir parcouru toute la longueur du grain, est prête à en sortir et à se transformer en tigellule; si on dépassait cette limite extrême, comme la tigellule se nourrit aux dépens de la partie utile du grain, on risquerait d'avoir un déchet très considérable.

De peur de dépasser cette limite, il est même convenable d'arrêter la germination au moment où la gemmule est arrivée à peu près aux deux tiers de la longueur du grain; à cet instant, la quantité de diastase développée, quoique plus faible que dans le premier cas, est encore plus que suffisante pour transformer en sucre ce qui reste d'amidon dans l'orge germée. Nous verrons plus loin comment on parvient à arrêter brusquement la germination au moment voulu.

Pour que la germination réussisse bien, il ne suffit pas de prendre toutes les précautions que nous avons indiquées, il faut encore que la température extérieure ne soit ni trop élevée, parce qu'on ne serait pas maître de modérer la puissance de végétation; ni trop basse, parce qu'alors la germination serait au contraire extrêmement lente. Le printemps et l'automne sont donc les saisons les plus favorables à la préparation du malt; du reste, nous le répétons, on peut en partie suppléer aux différences que présentent les saisons, en ayant des germoirs qui soient à l'abri des influences atmosphériques, et surtout des changements de température.

La durée de la germination dépend donc nécessairement de la position du germoir et de la température extérieure; elle varie dans des limites assez éloignées; en France elle dure en moyenne 10 à 12 jours, en Angleterre 14 à 15 jours, et en Ecosse, où la température est plus basse, 18 à 21 jours sont quelquefois nécessaires.

Durant la germination un changement remarquable a eu lieu dans la composition du grain; le gluten a presque entièrement disparu; il est probable qu'il a passé dans les radicules, qui sont en effet très azotées; d'un autre côté, la petite proportion de diastase qui s'est développée a transformé près de la moitié de l'amidon du grain en sucre ou en dextrine; le reste de l'amidon étant plus tard placé dans de bonnes conditions d'hydratation et de température, est saccharifié par la diastase; du reste l'intérieur du grain est d'une grande blancheur, et sa substance est devenue si friable qu'elle se réduit en farine lorsqu'on le presse entre les doigts.

Ajoutons que, comme dans toute végétation, pendant la germination de l'orge, il y a de l'oxygène absorbé et il se dégage de l'acide carbonique; c'est à ces réactions qu'est due évidemment la chaleur qui se développe à l'intérieur des couches.

3° *De la dessiccation.* Aussitôt que l'on reconnaît que la germination est arrivée aux limites convenables, il faut l'arrêter sur-le-champ, en enlevant toute l'humidité du grain et en tuant le germe par une température assez élevée; cette température qui s'obtient dans des appareils que l'on nomme *touraille*, a encore pour résultat, en desséchant complétement le grain, de permettre de conserver le malt pendant plusieurs mois sans altération sensible. Pour obtenir ce résultat, l'orge germée est élevée dans un grenier bien aéré, et placé immédiatement au-dessus du germoir; là, on l'étend en couche de 1 décimètre d'épaisseur et on l'abandonne à elle-même pendant quelques heures, jusqu'à ce qu'elle ne mouille plus les mains au toucher; elle peut alors être portée sur l'aire de la touraille. Les appareils que l'on a employés pour dessécher l'orge sont nombreux, et dans ces derniers temps surtout, on s'est appliqué à rendre cette dessiccation rapide et méthodique, sans toutefois altérer le grain en aucune manière. Avant de décrire ces appareils, donnons en quelques mots les principes généraux sur lesquels ils doivent s'appuyer.

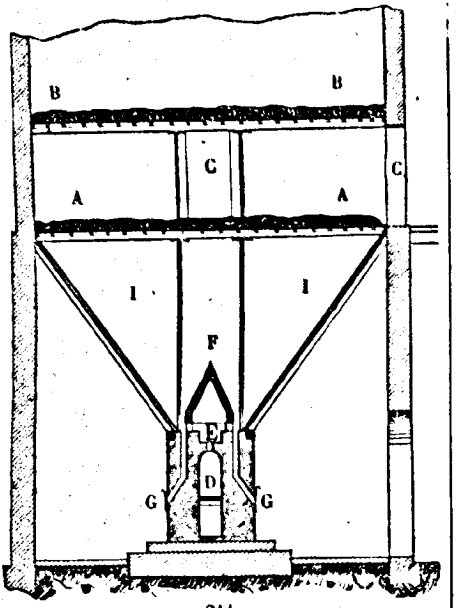
Au moment où l'on commence la dessiccation, l'orge retient encore beaucoup d'eau; il ne faut donc pas élever de suite sa température au-dessus de 50°, car l'amidon que contient encore le grain formerait un empois qui, se durcissant par la chaleur, résisterait plus tard à l'action dissolvante de la diastase. Lorsque la plus grande partie de l'eau est évaporée, on peut alors pousser la température jusqu'à 80 et même 85° centigrades; mais dans aucun cas on ne devra atteindre 100°, car à cette température la diastase serait détruite, et par conséquent l'orge ne conviendrait plus à la préparation de la bière; elle ne pourrait plus servir qu'à la colorer. Ajoutons que pendant tout le temps de la dessiccation, l'orge doit être fréquemment retournée, afin que toutes ses parties se trouvent successivement dans les mêmes conditions de température.

La touraille la plus simple, la plus ancienne, et peut-être aussi la plus défectueuse, est celle qui est encore généralement en usage à Paris; elle se compose ordinairement d'une plate-forme carrée, qui peut avoir de 4 à 7 mètres de côté, selon l'importance de la fabrication, et qui est formée de plaques en tôle percées d'un grand nombre d'orifices, ou mieux de toiles métalliques qui laissent traverser plus uniformément la chaleur; les unes ou les autres sont supportées sur des barres de fer qui vont s'engager dans les parois qui environnent cette plate-forme. Ce plancher métallique est à la base d'une pyramide rectangulaire renversée, au sommet tronqué de laquelle se trouve le foyer; la distance du foyer à la plate-forme, ou si l'on aime mieux, la hauteur de la pyramide, est de 4 à 6 mètres à peu près. Le foyer est recouvert d'une voûte, qui s'échauffant à une température rouge produit l'effet utile de brûler la fumée que développe la combustion. Cette voûte est percée d'orifices par lesquels s'échappent les produits de la combustion, et elle est d'ailleurs recouverte d'une espèce de toit en briques qui est destiné à empêcher que les radicules qui passent à travers les orifices de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plate-forme ne tombent sur la voûte et dans le feu, et n'y produisent de la fumée.

Voici au reste la description de cet appareil dessiné fig. 211 : A A, est la plate-forme en tôle percée, ou en



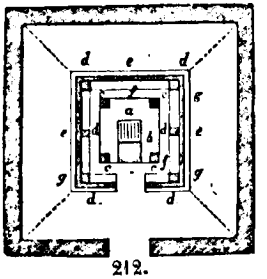
211.

toile métallique; B B, est une seconde plate-forme semblable à la première, dont nous indiquerons l'usage plus loin, et qui d'ailleurs n'existe pas ordinairement dans les tourailles. C, porte qui permet d'entrer sur la plate-forme et d'y disposer le grain en couche de 6 à 7 centimètres; D, foyer de la touraille; E, voûte en briques réfractaires et percée de trous qui recouvre le foyer; F, toit en briques qui surmonte la voûte et qui rejette de chaque côté les radicules; G, conduits latéraux qui reçoivent les radicules et les rejettent au dehors; ces conduits permettent en outre à l'air extérieur de s'introduire dans l'espace vide I I, et de s'y mêler avec les produits de la combustion du foyer, qui s'y rendent aussi au sortir de la voûte. On comprend qu'en augmentant ou en diminuant à volonté l'introduction de l'air, au moyen de petits registres, disposés à l'orifice extérieur du canal G, on peut ainsi faire varier la température de l'air qui doit traverser la plate-forme A. L'espace II, est donc ménagé à dessein, pour qu'il se forme un mélange des produits de la combustion et de l'air extérieur; ce mélange traverse ensuite la toile métallique et la couche d'orge, et entraîne l'eau à l'état de vapeur; une cheminée qui surmonte la touraille est destinée à évacuer l'air humide qui est sans cesse renouvelé.

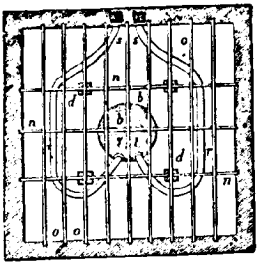
Cette touraille présente plusieurs inconvénients; le plus grave provient du contact direct des produits de la combustion avec l'orge; contact qui doit nécessairement contribuer à donner un mauvais goût au malt. Pour diminuer autant que possible cet inconvénient, on est obligé de brûler des combustibles donnant peu de fumée, comme la houille de Fresne, et les bois de hêtre, de charme ou d'orme, dans quelques localités. D'un autre côté, la dessiccation de l'orge n'étant pas méthodique dans cet appareil, on est obligé de surveiller avec soin la conduite du feu, afin que la température de l'air très-faible dans le commencement de la dessiccation, augmente graduellement jusqu'à la fin.

Dans quelques localités, on a voulu remédier à ce dernier inconvénient en ajoutant à la touraille une deuxième plate-forme BB (voyez la fig. 211), au-dessus de la première, et semblable à celle-ci. Les deux plates-formes sont couvertes de grains, et l'air chaud après avoir traversé la première couche passe encore au travers de la deuxième, et se saturant davantage d'eau en vapeur est mieux utilisé; outre cette cause d'économie, on obtient une dessiccation plus méthodique et plus graduée. En effet, le plancher supérieur reçoit toujours le grain plus humide, et sa dessiccation commence tandis que celle de la couche inférieure finit. On risque beaucoup moins de détériorer le grain par une élévation accidentellement trop forte de température, puisque le grain le plus chauffé est celui qui contient le moins d'eau. Pour faire passer le malt de l'étage supérieur à l'étage inférieur, il suffit d'ouvrir une trappe, par laquelle on laisse tomber le grain.

En Angleterre, on a évité de mettre en contact direct les produits de la combustion avec le malt, on employant l'appareil ci-dessous, dont nous allons donner la description.



212.

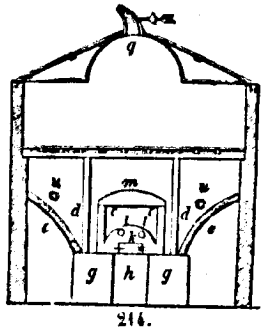


213.

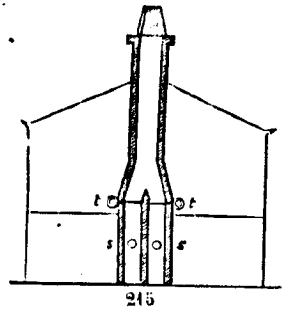
Les fig. 212, 213, 214 et 215, représentent différentes coupes de la touraille. La fig. 212 est une coupe horizontale, prise à quelque distance du sol; la fig. 213 est une coupe horizontale prise au-dessus du plancher; la figure 214 est une section verticale; enfin la figure 215 est une section verticale passant par la cheminée où se rendent les produits de la combustion. Dans ces quatre figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets. Au centre de la touraille se trouve une cloche en fonte *H*, supportée sur un mur en briques; au-dessous de la cloche est placée la grille *a*, et au-dessous de celle-ci le cendrier *h*. La porte *k* permet d'introduire le combustible dans le foyer; la fumée et les produits de la combustion, au lieu de se rendre, comme dans les tourailles ordinaires, dans l'espace vide ménagé au-dessous des planchers, sont dirigés dans deux tubes semblables *r*, *r* (fig. 213), et *u*, *u* (fig. 214), qui circulent dans cet espace. Au-dessus de la cloche se trouve un petit toit *m*, supporté par les piliers *c*, *c*, *c*, *c*, qui empêche les radicules de tomber sur cette cloche et de produire de la fumée. *d*, *d*, *d*, *d* sont 4 piliers en briques qui servent de supports aux barres de fer sur lesquelles reposent les plaques de tôle ou la toile métallique. *e*, *e*, sont les quatre parois arc-boutées, qui isolent l'espace libre réservé entre le foyer et la plate-forme. On comprend maintenant que cet appareil anglais consiste simplement à chauffer l'air qui doit traverser la couche d'orge, au contact des tuyaux en fonte *r*, *u*, dans lesquels circule la fumée; celle-ci n'a aucune communication avec cet air, et elle se rend dans une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cheminée *s s* (voyez fig. 215), qui la lance dans l'atmosphère; il est évident que dans cet appareil on peut brûler tous les combustibles, même ceux qui donnent beaucoup de fumée, et que la qualité de l'orge ne peut pas en souffrir. Un reproche cependant doit être fait à cette disposition; il est évident en effet que dans le faible parcours, indiqué par la longueur des tuyaux, la fumée ne peut communiquer qu'une faible partie de sa chaleur; la dépense en combustible est donc plus considérable qu'avec les anciens appareils. En France, où cette dépense doit être prise en plus grande considération qu'en Angleterre, puisque le combustible y est beaucoup plus cher, on a modifié très heureusement l'appareil anglais en produisant l'air chaud, à part, dans un bon calorifère, puis en l'envoyant sous le plancher de la touraille. M. Chaussenot, qui s'est occupé avec succès de cette question, a établi de cette manière plusieurs tourailles qui donnent de bons résultats.



214.



215

Une autre disposition, que l'on emploie surtout pour préparer le *malt pâle*, consiste à remplacer les tubes où circulent les produits de la combustion par des tubes à vapeur ou à courant d'air chaud que l'on dispose en zig-zag, au-dessous de la plate-forme; en adoptant ce chauffage on est toujours certain que la température de l'air ne s'élèvera pas trop haut.

Dans toutes les tourailles que nous avons décrites, il est nécessaire, pour activer la dessiccation et pour la rendre uniforme, de retourner plusieurs fois l'orge pendant le courant de l'opération. La durée de la dessiccation varie évidemment suivant les appareils; elle est beaucoup plus prompte lorsque la dessiccation se fait méthodiquement, puisqu'on ne risque jamais d'altérer le grain au commencement de l'opération. Dans les tourailles ordinaires elle dure ordinairement près de 48 heures. Quant à la température maximum elle varie suivant la nature du malt que l'on veut obtenir; en Angleterre on en prépare 3 sortes bien distinctes, auxquelles on a donné des noms particuliers : 1° le malt pâle est produit lorsque la plus haute température à laquelle il ait été soumis ne dépasse pas 40° centigr.; 2° le malt jaune ambré est produit à une température maximum de 50° centigr.; 3° le malt brun est obtenu à une température beaucoup plus haute et qui dépasse certainement 100°, puisqu'il y a caramélisation. Enfin, dans quelques circonstances, on prépare un malt noir obtenu à une haute température, que l'on travaille à part, et qui est employé par le brasseur de porter pour colorer sa bière lorsqu'elle n'a pas la teinte convenable.

Pendant la dessiccation de l'orge, les radicules de l'orge deviennent fragiles et se séparent du grain avec la plus grande facilité; une partie passe à travers la toile métallique de la touraille, comme nous l'avons déjà indiqué; on débarrasse l'orge du reste, en la faisant passer dans un tarare ordinaire.

Cent parties d'orge de bonne qualité, convenablement maltée, puis séchée, doivent donner 80 parties à peu près de malt; le grain cru, séché avant la germination, ne perd que 12 p. 100 de son poids; c'est donc en définitive 8 parties seulement, ou 8 p. 100 de l'orge crue qui forment le déchet dans la préparation du malt. Voici comment on peut répartir cette perte sur les différentes opérations :

1 1/2 p. 100, dissous par le mouillage.
3 p. 100, perte de la germination et du touraillage.
3 p. 100, radicules enlevées, soit par la dessiccation, soit par le passage au tarare.
1/2 p. 100 de grain gâté.

Au contraire, le volume d'un bon malt doit excéder celui de l'orge dont il provient d'environ 8 à 9 p. 100.

La bonne préparation du malt a la plus grande influence sur la quantité et la qualité des produits; tous les soins du malteur doivent donc se réunir pour obtenir un mouillage suffisant, une germination ni trop incomplète, ce qui rendrait difficile l'opération de brassage, ni trop avancée, ce qui détruirait une partie du principe saccharin, et donnerait un mauvais goût à la bière; enfin une dessiccation fondée sur les principes que nous avons énoncés.

Voici au reste à quels caractères on reconnaîtra qu'un malt est bien préparé :

Le grain est arrondi et plein, il s'ouvre facilement sous la dent, il a une saveur sucrée, une odeur agréable, sa couleur est blanche intérieurement et jaunâtre à l'extérieur; lorsqu'on le frotte le long d'une table de chêne, perpendiculairement aux fibres, il laisse une raie blanche, semblable à la craie; il nage sur l'eau, tandis que l'orge non maltée se précipite au fond; enfin, comme preuve décisive, on peut essayer la faculté dissolvante du malt sur de la fécule.

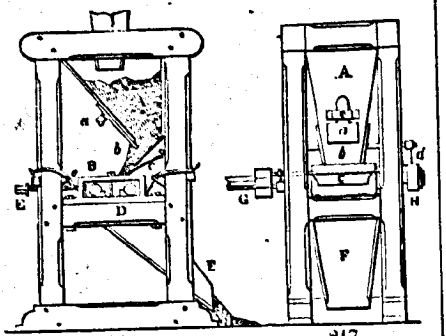
5 parties seulement d'excellent malt dans 400 parties d'eau peuvent dissoudre jusqu'à 100 parties de fécule, en ayant le soin d'agiter sans cesse le mélange et d'entretenir au bain-marie une température de 65 à 80° centigrades.

4° Broyage et concassage du malt. Avant de broyer le malt, on enlève les radicules, et on nettoie le grain, en le faisant passer dans un tarare à crible; en sortant de ce tarare, le malt est prêt à être broyé.

En apparence, rien de plus simple que cette opération; cependant elle nécessite des précautions sans lesquelles les opérations suivantes deviendraient très difficiles, sinon impossibles. Ainsi le malt ne doit pas être réduit en poudre, sans cela, lors du brassage, il se prendrait en une masse qu'il serait très difficile de délayer et de dissoudre dans l'eau; au contraire, en le concassant simplement, l'eau pénètre dans les interstices que laissent entre elles toutes les parcelles du grain, et son action est beaucoup plus active. Pour obtenir ce résultat, sans produire de folle-farine, quel que soit d'ailleurs l'appareil employé, il est nécessaire de laisser absorber, au malt récemment préparé, un peu d'humidité à l'air, soit environ 4 centièmes de son poids; lorsque le grain n'a pas absorbé spontanément cette quantité d'eau, on y supplée ainsi : on l'étend en couche de 15 centimètres d'épaisseur, sur laquelle on verse, à l'aide d'un arrosoir à trous multipliés, une pluie fine; on le retourne de manière à mélanger le mieux possible les parties humectées et celles qui n'ont pas été atteintes par l'eau; on le relève en tas, et après 3 heures pendant lesquelles il se pénètre de cette humidité, il est prêt à passer au moulin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Différents appareils sont employés pour concasser le malt; en France on fait usage presque exclusivement des moulins ordinaires, à meules horizontales; seulement, pour ne pas réduire le grain en farine, on a soin de soulever un peu l'anille, de manière à ce que les meules soient suffisamment écartées. Quelquefois on emploie des appareils analogues aux moulins à café, montés sur de grandes dimensions; enfin, à Londres, on fait habituellement usage de cylindres en fer entre lesquels le grain est concassé à la grosseur voulue, puisque leur disposition permet de rapprocher plus ou moins leurs axes. Ce dernier appareil étant le moins connu en France, nous allons en donner la description. Les fig. 216 et 217 présentent les vues de face et de côté de ces deux cylindres; dans ces deux figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.



216. 217.

I, canal en bois qui amène le grain de l'étage supérieur, où il se rend en sortant du tarare; il le déverse dans la trémie conique A, que l'on maintient toujours remplie de grain, et qui sert à alimenter les deux cylindres en fonte, parfaitement cylindriques, B et D, dont les axes en fer, parallèles, sont supportés à leurs extrémités sur des coussinets en cuivre; les coussinets du cylindre B sont mobiles dans une rainure, et des vis E permettent de les rapprocher ou de les éloigner plus ou moins et à volonté des coussinets du cylindre D, suivant que l'on veut que les cylindres soient eux-mêmes plus ou moins rapprochés, et que par conséquent le grain soit broyé plus ou moins grossièrement. G, arbre moteur recevant le mouvement soit d'une machine à vapeur, soit d'un manége, et qui est relié à l'axe de l'un des cylindres au moyen d'un manchon. H, roues d'engrenages (on n'en peut voir qu'une sur la figure) placées sur les axes des 2 cylindres, et qui permettent de transmettre le mouvement à l'autre cylindre. F, plan incliné sur lequel tombe le malt concassé qui va former un monceau sur le plan inférieur, ou, ce qui vaut mieux, que l'on reçoit dans des sacs ou dans des tonneaux d'une contenance déterminée. *a*, coulisse en bois maintenue par une vis, et qui sert à augmenter ou à diminuer à volonté l'ouverture inférieure de la trémie A. *b*, orifice par lequel sort le grain pour se rendre entre les deux cylindres. *c*, levier en fer qui imprime à la paroi qui forme le fond de la trémie des secousses incessantes ayant pour but d'obliger le malt à sortir de la trémie pour se rendre entre les deux cylindres. *e*, *e*, lames de fer s'appuyant au moyen de contre-poids contre les cylindres; elles sont destinées à nettoyer ces derniers en enlevant le malt que la pression y aurait pu faire adhérer.

Le volume du malt écrasé est environ un cinquième plus grand que celui des grains entiers.

Lorsque la chose est possible, il est bon de laisser reposer quelques jours le malt broyé avant de s'en servir pour la préparation de la bière; pendant ce temps, comme il est très hygrométrique, il attire avec force l'humidité de l'air, et il devient par cela même beaucoup plus facile à traiter dans l'opération subséquente du brassage.

III. *Du brassage.*—C'est de cette opération que paraissent être dérivés les mots brasseur, brasserie, brasser, brassin, etc.; on la nomma ainsi parce qu'elle se faisait autrefois à force de bras, comme cela se pratique encore en France, en Allemagne, et dans plusieurs localités de la Belgique et même de l'Angleterre; dans ce dernier pays, l'importance de la fabrication et surtout la cherté de la main-d'œuvre, comparées avec le prix du combustible, ont fait généralement adopter des appareils plus ou moins compliqués, mus par des machines à vapeur, pour démêler l'orge dans l'eau.

Le brassage a pour but non seulement de dissoudre le sucre et la dextrine contenus dans le malt, mais encore de convertir en glucose toute la matière amilacée qui reste encore dans le grain. Ce travail a lieu dans des appareils que nous décrivons plus loin; pour le moment nous allons indiquer la théorie de cette opération, fort obscure autrefois, et qui aujourd'hui est parfaitement compréhensible, grâces aux récentes découvertes de la diastase et de son action sur les matières amilacées.

La petite proportion de diastase qui s'est développée pendant la germination, et qui ne s'élève pas en moyenne à plus de 5 millièmes du poids du malt, est cependant suffisante pour transformer en sucre de raisin ou glucose, tout l'amidon qu'il renferme encore; en effet ce principe végétal, quoique dépourvu de toute réaction acide ou alcaline, exerce sur cette substance une action si énergique que M. Payen l'a trouvée capable de transformer 2000 fois son poids de fécule en sucre, lorsqu'elle est parfaitement pure. La proportion qui se trouve dans le malt est donc plus que suffisante, et cela est tellement vrai que la dissolution du malt, obtenue dans de bonnes conditions, peut encore transformer en dextrine ou en sucre une grande quantité de fécule de pommes de terre.

Mais, pour que l'on puisse obtenir ces résultats si remarquables, il est nécessaire de faire réagir la diastase dans des conditions de température données, et en présence d'une quantité d'eau suffisante.

M. Payen a reconnu que la température la plus convenable variait entre les limites de 70° à 75°; à une plus basse température, la transformation de l'amidon a bien encore lieu, mais elle devient d'autant plus lente qu'on s'éloigne plus de 70°; si l'on dépassait au contraire le maximum de 75°, on altérerait profondément la diastase et elle pourrait perdre en partie, et même complétement, son action sur l'amidon. Quant à la proportion d'eau à employer, plus on en met et plus aussi l'action de la diastase est prompte et facile; on doit donc toujours faire agir sur le malt toute la quantité d'eau qui doit se trouver dans la bière, quoique cette manière d'opérer augmente les frais que nécessite l'élévation des moûts que l'on obtient.

Les conditions très importantes que nous venons d'indiquer ne sont pas les seules dont on doive tenir compte; ainsi si l'on faisait arriver sur le malt de l'eau immédiatement à 70° ou 75°, le brassage serait fort difficile, si ce n'est impossible, l'amidon formerait un empois qu'on aurait la plus grande peine à dissoudre; il est donc nécessaire de commencer à hydrater le malt avec une certaine quantité d'eau portée à une température qui ne doit jamais dépasser 60°.

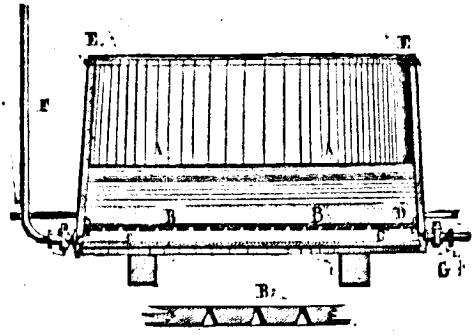
Enfin, puisque la diastase ne réagit sur le grain qu'en présence d'une grande quantité d'eau, il faut mettre le plus possible le malt en présence de cette dernière, en brassant le mélange à force de bras, ou au moyen d'agitateurs convenablement disposés.

Ces principes posés, il sera facile de comprendre les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diverses opérations du brassage, dans lesquelles ils doivent toujours être pris pour guides certains.

L'appareil (fig. 218) que l'on emploie *pour brasser*, se compose ordinairement d'une cuve AA, dite *cuve-matière*, légèrement conique, d'un diamètre plus ou moins grand, suivant l'importance de la fabrication, et munie d'un double fond B, percé de trous, maintenu à 5 ou 6 centimètres du fond véritable C. La hauteur de la cuve, quel que soit d'ailleurs son diamètre, est d'environ 1m,70.



218.

Le double fond B est supporté par une espèce de corniche circulaire D, en bois, qui permet de laisser quelques centimètres de jeu entre les douves de la cuve et les bords du faux fond, pour que les dilatations et les retraits de ce dernier se fassent librement. Trois ou quatre tasseaux D empêchent le faux fond de remonter et de se déplacer. Pour éviter que les trous de ce faux fond ne s'engorgent facilement, on les fait coniques, le grand diamètre tourné vers le bas, comme l'indique du reste la fig. 218. Un couvercle E, formé d'un châssis en bois recouvert d'une toile, peut, à volonté, être posé sur la cuve et doit la fermer le mieux possible, afin d'empêcher les déperditions de chaleur. En Angleterre, la cuve que nous venons de décrire est presque toujours munie d'un agitateur très solide, et dont on a varié la disposition d'une foule de manières; celui qui paraît devoir remplir le mieux le but que l'on s'est proposé, savoir d'agiter le mélange d'eau et de malt, pour opérer la dissolution de celui-ci, se compose : 1° d'un agitateur qui remue le mélange circulairement, en tournant autour d'un axe central, et qui d'ailleurs est armé de crochets en fer destinés à labourer le malt; 2° de tourniquets placés sur les bras du premier agitateur, et qui, au moyen d'engrenages, tournent sur eux-mêmes, tout en accomplissant leur mouvement circulaire autour de la cuve avec les bras qui les supportent. (Nous donnerons le dessin d'une cuve analogue, à la fin de cet article, en parlant de la disposition générale d'une brasserie anglaise). Quel que soit d'ailleurs l'appareil employé, l'opération du brassage est toujours la même; le malt broyé est placé en couche de 30 à 40 centimètres sur le faux fond; on l'égalise bien au moyen d'un râble en bois, puis on fait arriver l'eau nécessaire à sa dissolution entre les deux fonds, et au moyen d'un tube F (voyez la fig. 218). Ce tube F communique avec une chaudière en cuivre, placée à un étage supérieur, dans laquelle on chauffe l'eau nécessaire à la dissolution du malt, et qui sert ensuite à obtenir la décoction du houblon dans le moût. La dimension de cette chaudière est proportionnée à l'importance de la brasserie; en général elle doit être au moins assez grande pour faire la coction du moût obtenu dans un brassage; c'est-à-dire que pour 1 hectolitre de malt traité, elle doit à peu près contenir 220 litres : la cuve doit être au moins un tiers plus grande. La quantité d'eau que l'on emploie à diverses reprises, comme nous le verrons plus bas, pour obtenir le complet épuisement du malt, varie évidemment suivant le plus ou moins de force que l'on veut donner à la bière; cependant on peut calculer cette quantité sur les bases suivantes qui ont été déterminées par l'expérience.

La *drèche* ou le marc du malt épuisé, qui sert à former la petite bière, retient toujours environ 150 litres d'eau par 3 hectolitres de malt employé; pendant la coction et le refroidissement, il s'évapore à peu près 180 litres d'eau pour la même quantité de malt. En total on éprouve donc une perte d'eau de 330 litres pour 3 hectolitres, soit 110 par hectolitre de malt. On doit donc ajouter cette quantité d'eau à celle que l'on aura calculé être nécessaire pour obtenir une bière d'une densité donnée.

Voici maintenant comme on opère en supposant que l'on traite 38 hectolitres de malt, et que l'on emploie en tout 10,800 litres d'eau, pour obtenir à peu près 6800 litres de bière. Aussitôt que l'eau a atteint dans la chaudière la température de 65° en été, et de 75° en hiver, on en fait arriver 2700 litres entre les deux fonds de la cuve de brassage, sur le faux fond de laquelle on a disposé d'avance les 38 hectolitres de malt. La pression force l'eau de traverser le faux fond par les nombreux orifices dont il est criblé, puis peu à peu elle soulève le malt que l'on brasse fortement à bras d'homme ou au moyen de l'agitateur mécanique; après une demi-heure à trois quarts d'heure le malt est pénétré d'eau bien uniformément, et l'eau qui est restée dans la chaudière a eu le temps d'arriver à une température voisine de l'ébullition, 90° à 92° par exemple. On en fait arriver à peu près 2000 litres entre les deux fonds de la cuve, de telle sorte que le mélange de cette eau avec celle qui a servi à gonfler le malt possède une moyenne de 70°, température très favorable, comme nous l'avons vu, aux réactions de la diastase. On renouvelle l'agitation, jusqu'à ce que le tout ait acquis une consistance également fluide; on saupoudre alors la surface du liquide de malt fin de manière à concentrer la chaleur, et par la même raison, on couvre avec soin la cuve et on laisse reposer pendant 1 heure 1/2 à 2 heures. Au bout de ce temps, on ouvre le robinet de vidange G, placé entre les deux fonds, on sépare les premières portions troubles que l'on reverse sur le malt, puis le liquide clair est reçu dans un réservoir appelé *cuve réverdoire*, d'où il est monté au fur et à mesure dans un bac supérieur, au moyen d'une pompe ordinaire, d'une pompe à chapelets, ou mieux encore au moyen d'un *monte-jus à vapeur*. Dans cette circonstance les clapets des pompes ordinaires présentent l'inconvénient d'être souvent mis hors de service, par l'interposition de corps étrangers en suspension dans le moût. Le réservoir supérieur qui reçoit ce dernier est disposé de manière à pouvoir alimenter à volonté les chaudières de coction. On retire du premier brassin 3000 litres de moût; le surplus de l'eau est retenu par le malt.

On introduit alors et toujours de la même manière 3400 litres d'eau à une température de 90° dans la cuve, et de manière à ce que la température dans celle ci se rapproche toujours des limites 70 à 75°; on brasse de nouveau, on recouvre la cuve, on laisse reposer pendant 1 heure ou 2; on soutire au clair par le tuyau G, le moût se rend dans la cuve réverdoire, on l'élève dans le réservoir supérieur, où il se mélange avec le moût du premier *brassin;* ce moût de deux brassins est versé dans la chaudière qui a servi à chauffer l'eau, aussitôt que le restant de celle-ci est amené dans la cuve-ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lière pour un troisième brassage. Cette troisième quantité d'eau s'élève à 2700 litres, elle doit être presque bouillante, parce qu'il ne s'agit plus que d'épuiser autant que possible le résidu des deux premiers brassages; après avoir bien agité, on laisse reposer une heure, on soutire au clair, on élève ce moût et on le reçoit dans une chaudière à part; il sert soit à préparer de la petite bière très faible, ou bien on le réserve pour s'en servir comme d'eau pure dans un nouveau brassage.

Il ne reste plus dans la cuve-matière que la pellicule ligneuse qui enveloppait le grain, les débris des gemmules, une partie de l'albumine coagulée, quelques sels insolubles; le tout retient une partie du liquide légèrement sucré, qui provient du dernier brassage.

Ce résidu est très recherché dans les villes pour la nourriture des vaches et autres bestiaux.

Les 38 hectolitres de malt que l'on a employé dans l'opération que nous venons de décrire, fournissent, d'après l'expérience, chacun, à peu près 13 kilogr. de matière sucrée ou mucilagineuse, soit en total 494 kil., répartis dans les 10,800 litres d'eau que l'on a employés pour les 3 brassages; ces quantités ne donnent en définitive que 68 hectolitres de bière ordinaire; le surplus de l'eau reste dans le résidu du malt, sert à préparer la petite bière, ou bien est perdu par l'évaporation, dans les proportions qui ont été indiquées plus haut. Il est bien entendu que les proportions que nous avons indiquées ci-dessus varient nécessairement suivant la nature des bières, suivant qu'elles doivent contenir plus ou moins d'alcool.

IV. *Cuisson de la bière.*—La cuisson de la bière a principalement pour but d'obtenir dans le moût obtenu par l'opération du brassage, une infusion de houblon qui, en lui cédant ses principes solubles, rend sa conservation facile et lui communique une saveur amère et fortement odoriférante; mais outre ce résultat principal il en est d'autres moins importants, et cependant dignes de remarque: ainsi l'ébullition concentre le moût, transforme en sucre la plus grande partie de la dextrine qu'il renferme; enfin elle coagule la matière albumineuse extraite du grain, ou la précipite au moyen du tannin des houblons; le reste de l'ébullition peut donc avoir une certaine influence, non seulement sur l'épuisement plus ou moins grand du houblon, mais encore sur la facile clarification de la bière, ainsi que sur la quantité d'alcool qu'elle peut renfermer; cette dernière circonstance s'explique facilement, puisque le moût devient d'autant plus riche en sucre qu'il contient moins d'eau, et que l'ébullition, par conséquent, à été plus longtemps prolongée. Il ne faudrait cependant pas conclure de ce qui vient d'être dit, que l'ébullition doive être prolongée pendant un temps considérable; cette méthode a été reconnue tout à fait défectueuse par l'expérience, et le raisonnement en explique facilement la cause. En effet, nous avons vu que les huiles essentielles du houblon étaient plus ou moins volatiles; il est donc nécessaire, si l'on ne veut pas perdre une partie de l'arôme, d'opérer la décoction du houblon dans un espace de temps aussi court que possible, d'autant plus qu'on économise ainsi une grande partie du combustible. Cette longue ébullition, qui est encore en usage dans quelques pays, en Belgique, par exemple, avait pour effet d'obtenir des moûts plus forts par leur concentration dans la chaudière; il est bien plus rationnel de toujours proportionner d'avance la quantité d'eau chaude que l'on emploie dans le brassage, à la force de la bière que l'on veut obtenir. En employant du malt bien fabriqué, en le brassant aux températures les plus favorables, et en prenant d'ailleurs toutes les précautions nécessaires, un fabricant habile peut toujours parvenir à faire de la bière aussi forte que possible, sans avoir besoin de recourir à une longue évaporation. Ce résultat est encore plus facile à réaliser par l'emploi de matières sucrées, telles que mélasse, sirop de fécule, etc., qui peuvent être ajoutées dans la chaudière de cuite jusqu'à complément de la richesse saccharine; nous reviendrons, au reste, sur l'emploi de ces substances à la fin de l'article. En Angleterre et en Belgique, où les matières sucrées sont prohibées dans la fabrication de la bière, le brassage énergique au moyen des machines que nous décrirons plus loin, permet d'obtenir des moûts assez concentrés.

Dans quelques brasseries bien conduites, deux à quatre heures d'ébullition sont jugées suffisantes pour épuiser le houblon; quelle que soit d'ailleurs cette durée, l'ébullition doit évidemment être plus longue pour la forte bière, qui exige plus de houblon que la bière faible. D'ailleurs, on reconnaît que l'opération a bien réussi, lorsque les flocons albumineux se précipitent facilement et laissent surnager une liqueur claire et liquide. Quelquefois cette clarification spontanée ne réussit pas très bien, par la raison que l'albumine a été congulée d'avance par une trop haute température, lors du brassage. On remédie, dans quelques localités, à cet inconvénient en ajoutant dans la chaudière de cuisson, soit des pieds de veau qui produisent de la gélatine, soit un peu de colle de poisson; il paraît même que cette addition présente encore l'avantage de donner de *la bouche* à la bière.

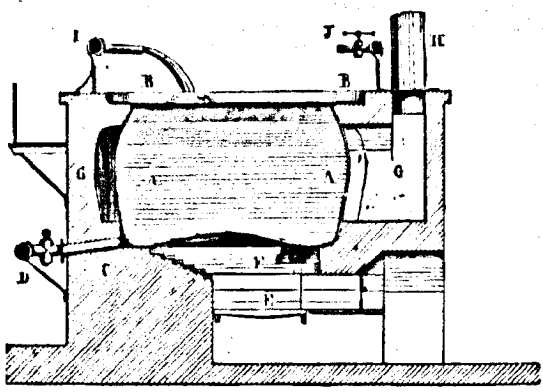
Le houblon est ajouté dans le moût au moment où celui-ci est prêt à bouillir; il est convenable de le projeter dans la chaudière en masses considérables, parce qu'en l'ajoutant par petites portions on serait obligé de le séparer avec effort et on perdant de la sécrétion jaune. On doit aussi le laisser surnager quelque temps sur la surface du moût bouillant, afin que la vapeur puisse le pénétrer, ouvrir ses pores, et faciliter ainsi son infusion; on doit alors le faire plonger au moyen de fourches en bois. Dans la plupart des brasseries d'Angleterre, il est d'usage de faire bouillir les houblons avec une partie seulement du moût, puis ensuite de mélanger la décoction avec le restant.

La quantité de houblon qui doit être ajoutée au moût varie selon la force de la bière, la durée de sa conservation, la richesse du produit employé, et la chaleur du climat dans lequel on a le projet d'expédier la bière.

En France, où l'on ne fabrique pas de bière très forte, on emploie à peu près 450 à 500 grammes de houblon par hectolitre de malt brassé, pour la *bière double* ordinaire, et en obtenant un deuxième produit en *petite bière;* on ajoute encore 80 grammes de houblon inférieur en qualité, dans le moût destiné à la fabrication de cette bière. En Angleterre, les quantités de houblon employées sont plus considérables. Pour la bière forte, très aromatique et parfaitement claire, on prend à peu près 700 grammes de houblon par hectolitre de malt; pour les très fortes espèces d'ale et de porter, on emploie de 1 kilogr. à 1k,30 de bon houblon.

Les chaudières que l'on emploie pour la cuisson de la bière, ou plutôt la coction du houblon, varient de forme suivant les localités; à Paris, ce sont généralement de grands réservoirs en cuivre à section rectangulaire, ayant à peu près 2m à 2m,50 de profondeur; elles ne sont pas recouvertes, de manière que la surface du liquide est librement exposée à l'action de l'air. La fig. 219 donne le détail d'une de ces chaudières. A, chaudière proprement dite; son fond est bombé intérieurement, de manière à mieux recevoir l'action du feu, ses parois se rapprochent à leur partie supérieure, de manière à former une section beaucoup plus petite qu'au milieu de la hauteur; cette disposition est adoptée afin que le houblon reste submergé le plus possible. La chaudière est surmontée d'une large cuvette BB, sur laquelle viennent s'épanouir les bouillonnements. C'est le robinet de vidange de la chaudière; D, tuyau

EFERUS - Recherche & Classification numérique



219.

général qui reçoit le contenu de toutes les chaudières, et qui le conduit, soit dans les cuves de brassage, lorsque c'est de l'eau chaude, soit dans le bac à repos, lorsque c'est la décoction de houblon ; E, foyer ; F, orifice qui conduit la fumée dans les carneaux ; G, G, carneaux dans lesquels circulent, autour de la chaudière, les produits de la combustion; H, cheminée ; J, registre destiné à augmenter ou à diminuer à volonté le tirage.

Ces chaudières à air libre ont un grave inconvénient, elles permettent à une partie de l'arôme du houblon de se dissiper dans l'atmosphère; et d'ailleurs, elles répandent dans les ateliers une vapeur abondante qui nuit à la conservation des charpentes. En Angleterre, par ces raisons, on a depuis longtemps substitué aux chaudières à air libre des chaudières hermétiquement fermées, et disposées de manière à recueillir l'huile essentielle que la vapeur entraîne toujours ; en indiquant la disposition générale des brasseries anglaises, nous donnerons la description d'un appareil semblable qui paraît donner de bons résultats. Dans une brasserie de Louvain, parfaitement disposée, on fait usage d'une chaudière cylindrique, chauffée à la vapeur, munie d'un agitateur, et dans laquelle on maintient le liquide à une température voisine de l'ébullition, sans permettre que les vapeurs s'échappent de la chaudière. Voici (fig. 220) le détail de cet appareil : A A, chaudière dans laquelle on obtient la décoction du houblon ; B B, arbre en fer, portant de distance en distance des bras C, C, reliés par des traverses, et destinés à renouveler les surfaces du houblon et du liquide ; D, D, coussinets qui supportent l'arbre horizontal B B ; E, soupape de vidange de la chaudière ; F, soupape de sûreté qui laisse échapper la vapeur, lorsque la température trop élevée augmente la pression dans l'intérieur de la chaudière : G, trou d'homme, servant à charger la chaudière et à la nettoyer en cas de besoin, etc. ; H, botte à étoupes que traverse l'arbre de l'agitateur ; I, roue d'engrenage montée sur l'axe de l'agitateur, et qui sert à lui imprimer le mouvement de rotation ; K K, double fond de la chaudière, dans lequel on fait arriver la vapeur destinée à chauffer la bière ; il est fortement consolidé au moyen de nombreux supports boulonnés, qui le relient avec la paroi de la chaudière et qui maintiennent son écartement ; L, tube qui amène la vapeur dans le double fond ; M, robinet qui sert à chasser l'air du double fond, lorsqu'on commence à y faire arriver la vapeur.

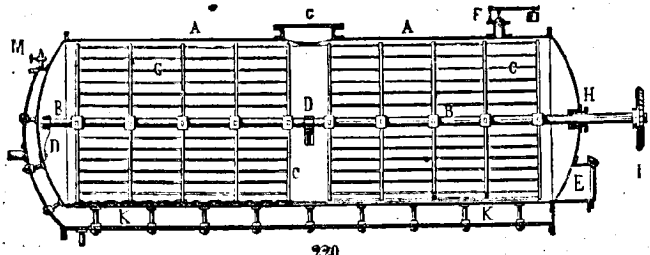
La fig. 221 est une coupe perpendiculaire à l'axe de la chaudière ; dans cette figure, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets que dans la figure précédente ; on y remarquera surtout, le support D qui sert à supporter le coussinet B du milieu.

Les chaudières de coction, chauffées à la vapeur, présentent d'assez grands avantages sur les chaudières chauffées à feu nu. 1° On n'a besoin que d'un seul foyer pour toute la brasserie ; 2° on peut arrêter à volonté et instantanément le chauffage, en fermant simplement un robinet ; 3° on risque moins de dépasser la température voulue, dans des chaudières fermées, et on évite, par conséquent, la coloration de la bière ; ce dernier avantage est surtout important dans la préparation de la bière blanche.

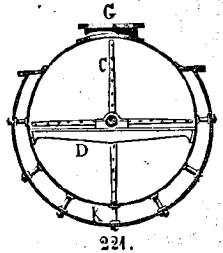
On a essayé de former des extraits de houblon, que l'on voulait ajouter à la bière, au lieu du houblon lui-même ; sur une grande échelle, cette méthode n'a pas d'avantages pratiques, et cela se conçoit ; l'extraction de l'huile essentielle est parfaitement accomplie pendant la coction, et sans aucuns frais de combustible, puisqu'on serait toujours obligé de chauffer le moût pour coaguler l'albumine ; et d'ailleurs, le houblon agit très avantageusement en clarifiant la bière.

Il est probable, en outre, que l'extrait de houblon serait très difficile à conserver.

3° Aussitôt que la coction du houblon est terminée, on soutire tout le contenu de la chaudière (liquide et houblon) dans un grand bac appelé, à Londres, baquet à houblon, et à Paris, bac à repos ; dans lequel on sépare la bière des folioles épuisées. En France, le bac à repos est une grande caisse rectangulaire ayant seulement



220.



221.

0m,50 à 0m,60 de profondeur ; il est divisé en deux parties par un clayonnage serré qui occupe la hauteur du bac, et à travers lequel la bière est obligée de passer, en laissant dans le premier compartiment la plus grande partie du houblon. Après une ou deux heures de repos, le liquide clair qui a passé à travers le clayonnage peut être décanté, et passer aux bacs rafraîchissoirs, ou au réfrigérant. On emploie pour cette décantation des robinets de construction particulière, et qui ont pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

but d'évacuer toujours les couches supérieures du liquide; c'est-à-dire les plus limpides, quelle que soit d'ailleurs la hauteur du niveau. Tantôt c'est un robinet dont la clef est percée de plusieurs ouvertures disposées en hélice, de manière à ce qu'il ne puisse jamais s'en rencontrer deux sur la même ligne perpendiculaire; on comprend donc qu'en amenant successivement toutes ces ouvertures, vis-à-vis d'une rainure générale pratiquée sur toute la hauteur de la boîte enveloppante, on puisse soutirer toujours les couches les plus élevées, en supposant toutefois qu'on commence par mettre d'abord en communication avec la rainure, l'ouverture la plus supérieure, et ainsi de suite. Tantôt on emploie un bourrelet circulaire, ou flotteur en fer-blanc, sous lequel un cercle en canevas métallique adhérent est attaché à un entonnoir de toile formant soufflet, et terminé par un large tube qui sort sous le bac à repos, où le robinet est adapté. Dès qu'on ouvre celui-ci, le liquide près de la superficie s'introduit par la bande de canevas métallique dans l'entonnoir, qui s'abaisse progressivement avec le flotteur en suivant le niveau du moût.

Ces bacs sont construits en planches de sapin du Nord, très épaisses et solidement boulonnées; avant de se servir des bacs neufs, on doit y passer de l'eau bouillante à plusieurs reprises, afin d'enlever à la surface les principes solubles du bois, qui donneraient un goût particulier à la bière, et de faire produire au bois tout l'effet de gonflement qui peut résulter des actions réunies de l'humidité et de la chaleur.

Dans l'usage habituel des bacs, il faut avoir le plus grand soin de les laver et de les échauder, de peur que le moût de bière, adhérant à leurs parois, ne s'y aigrisse, ou ne prenne un goût putride qui pourrait occasionner la détérioration d'un brassin versé ultérieurement.

En Angleterre, et dans quelques brasseries belges, on remplace ces bacs à repos par de grands réservoirs en fonte, peu profonds et munis d'un faux fond formé de plaques percées de très petits trous, à travers lesquels filtre la bière.

4° En sortant des bacs à repos, la bière se trouve encore à une très haute température qui varie entre 70 et 80°; il est donc indispensable d'abaisser cette température jusqu'à près de 15° avant de la faire passer dans les cuves de fermentation. Ce refroidissement s'obtient de deux manières, soit en exposant simplement la bière à l'air libre, soit en profitant, pour obtenir rapidement cet abaissement de température, de la grande capacité calorifique de l'eau froide.

Le premier procédé est aussi le plus ancien et le seul même qui soit encore employé en Angleterre et dans beaucoup de localités; dans ce cas on emploie des bacs d'une très grande superficie remplaçant les différents planchers d'un bâtiment exposé à tous les vents; ces bacs n'ont guère que 15 à 20 centim. au plus de profondeur (voyez plus loin la description d'une brasserie anglaise). Le rapide refroidissement de la bière dépend évidemment de plusieurs circonstances, savoir: de l'étendue de la surface, de la basse température et de la sécheresse de l'atmosphère, des vents plus ou moins violents qui règnent, enfin de l'exposition et de la construction des bâtiments. Le renouvellement de l'air au-dessus des bacs, par l'emploi d'un ventilateur, peut être employé avec un grand avantage; les bacs eux-mêmes doivent être disposés de manière à ce que leur surface soit librement exposée au vent dominant de l'endroit. Dans quelques localités le toit qui recouvre les bacs est mobile, et on peut l'enlever de manière à ce que le moût soit promptement exposé, dans une nuit sereine, à l'aspect du ciel; dans cette circonstance, comme on le sait, le refroidissement est extrêmement rapide. L'abaissement de température est surtout très prompt lorsque l'état de l'atmosphère permet une grande évaporation du liquide; aussi le moût se refroidit-il très vite au printemps et dans l'automne, lorsque l'air est généralement sec, et même plus vite que dans l'hiver, quand l'air froid est chargé d'humidité. En été, la nuit est le seul moment favorable au refroidissement. En raison de l'évaporation produite par l'abaissement de température, le volume des moûts est sensiblement réduit. Ainsi, si la température était supposée être de 98° au commencement, et si elle est à la fin de 18°, on trouve que la quantité d'eau qui doit être évaporée, pour produire cet abaissement de température, est égale au huitième du volume total

La durée du refroidissement, bien conduit, s'élève à 6 ou 7 heures dans un temps favorable, et est de 12 à 15 heures dans des circonstances moins bonnes. Plus cette durée est courte, et mieux cela vaut, parce que, par suite de la grande surface que le moût présente à l'air, il absorbe promptement l'oxygène, passe à la fermentation acéteuse, et se recouvre de taches de moisissures, inconvénient auquel une mauvaise bière est particulièrement exposée.

Pendant que la bière se refroidit dans les bacs, elle laisse déposer un léger sédiment qui consiste principalement en flocons fins et congulés d'albumine combinée avec du tannin, et surtout en empois qui n'a pas été transformé en sucre; on voit donc que ce repos forcé est une heureuse circonstance qui facilite singulièrement la clarification de la bière; c'est un avantage que ne présente pas la nouvelle méthode que nous allons indiquer, et qui de son côté a aussi ses avantages.

Les réfrigérants à eau froide que l'on a imaginés, pour remplacer l'action longue, incertaine et variable de l'air, sont nombreux; nous les passerons en revue dans un article spécial (voyez RÉFRIGÉRANT). Disons seulement ici, qu'en principe, la bière en couches minces y est refroidie par le contact de l'eau dont elle n'est séparée que par une mince paroi métallique. La bière va dans un sens, l'eau se meut dans le sens contraire, en sorte que l'eau rencontre un liquide de plus en plus chaud à mesure que sa température à elle-même s'élève, et *vice versâ*. C'est ordinairement de l'eau de puits que l'on emploie et qui marque à peu près toujours la même température en hiver ou en été.

Le refroidissement est beaucoup plus rapide dans ces réfrigérants que dans les bacs, mais ils présentent l'inconvénient déjà cité, savoir que la bière n'a pas le temps de déposer; d'un autre côté les bacs ont aussi de graves inconvénients, surtout dans les pays chauds, à cause de l'altération du moût que l'on ne peut pas toujours prévenir, de la dépense qu'exige leur immense étendue, etc., etc.

Quelques brasseurs des plus distingués de Londres regardent comme le meilleur mode de refroidissement celui qui participe des deux précédents; ainsi ils exposent, quelques heures seulement, le moût chaud dans les bacs, puis, quand le dépôt est opéré et que la température ne s'élève plus qu'à 40°, ils font passer la bière dans un réfrigérant à eau froide. Ce système est établi dans la brasserie, dont nous donnerons la description complète à la fin de cet article.

La température du moût, au moment où il doit être envoyé dans les cuves *guilloires*, doit différer non seulement suivant les saisons, mais encore suivant les différentes qualités de bière. Pour les bières fortes et de garde, on veut que la fermentation s'opère lentement; la température pendant la fermentation doit donc être plus basse; si l'on se propose de préparer une boisson qui soit bonne à boire au bout de quelques jours, comme la bière de Paris, il faut activer la fermentation, et, à cet effet, que la température des moûts de diverses bières varie pendant les diverses saisons. Le tableau suivant indique à peu près ces différentes températures:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MOIS	LONDRES.			PARIS.	
	Ale.	Porter.	Bière forte.	Bière double.	Petite bière.
Janvier et février. . .	45	44	49	21	20
Mars et avril.	42	43	47	20	19
Mai et juin.	44	42	46	48	17
Juillet et août.	LE PLUS BAS POSSIBLE		45	45	14
Septembre et octobre.	43	45	47	19	18
Novembre et décembre.	44	46	48	20	19

Quand le moût a acquis les degrés de température que le tableau indique, on le fait immédiatement passer dans les cuves *guilloires* ou de fermentation.

4° *De la fermentation du moût.* Cette fermentation a pour but de transformer en alcool une partie du sucre que contient le moût; les principes qui doivent guider dans cette opération importante sont les mêmes que dans tout autre fermentation alcoolique (voyez le mot FERMENTATION). Ainsi l'atelier doit être à l'abri des changements brusques de température; on doit opérer d'abord sur de grandes masses, parce que la fermentation est plus constante et plus régulière, et que d'ailleurs la température extérieure a moins d'influence. Il est de la plus haute importance, et c'est là le point capital, de pouvoir au besoin régler la température du moût, pendant la fermentation; c'est pour mieux atteindre ce but que, dans quelques brasseries de Londres, on fait serpenter dans la cuve guilloire un tuyau dans lequel on peut faire passer de l'eau chaude ou de l'eau froide, suivant que l'on veut activer ou ralentir la fermentation; dans d'autres fabriques où cette disposition n'est pas adoptée, on refroidit l'atelier en été, en suspendant des toiles grossières mouillées aux fenêtres, et en hiver on le réchauffe, au moyen d'un petit calorifère. Du reste il est nécessaire que la conversion du sucre en alcool ne soit pas complète, parce que la bière qui ne contient pas de sucre non décomposé, ne tarde pas à s'aigrir; l'alcool formé aide d'ailleurs beaucoup à prévenir cette transformation complète, en s'opposant, lorsqu'il est en grande proportion, à l'action ultérieure du ferment.

La fermentation se fait ordinairement en deux opérations, la première a lieu dans la cuve *guilloire*, et la seconde dans des tonneaux beaucoup plus petits où il est plus facile de modérer la température qui s'élève considérablement pendant la fermentation.

Dans les brasseries de Londres, les cuves guilloires ont des dimensions considérables, elles contiennent habituellement de 200 à 250 mille litres; à Paris, où la production est bien moins grande, ces dimensions sont très restreintes, et une cuve de 50,000 litres est très rare. Le moût qu'on y introduit ne doit jamais la remplir qu'aux deux tiers, l'espace vide qui reste au-dessus du liquide est destiné à la mousse volumineuse, dite *chapeau*, qui se forme pendant la fermentation tumultueuse.

Aussitôt que la quantité de moût suffisante est arrivée dans la cuve, on y mélange la dose de levure qui doit provoquer et activer la fermentation.

La levure que l'on emploie doit provenir d'une bière de même sorte, préparée dans une opération précédente; on la mélange d'avance avec une certaine quantité de moût, on laisse dans un lieu chaud jusqu'à ce qu'il y ait commencement de fermentation, on la verse dans la cuve et on remue vigoureusement de manière à la répartir dans la masse entière du liquide.

La quantité de levure employée dépend évidemment de la température extérieure, de la force et de la qualité du moût; le tableau suivant indique les proportions de levure que l'on emploie ordinairement.

BIÈRE.

SAISONS.	LONDRES.			PARIS.	
	Petite bière.	Bière forte.	Ale.	Petite bière.	Bière double.
Hiver. . . .	0,0020	0,0018	0,0015	0,0025	0,0035
Printemps et Automne.	0,0015	0,0012	0,0010	0,0022	0,0030
Été.	0,0010	0,0010	0,0005	0,0018	0,0020

On doit surtout éviter un excès de levure qui provoquerait une fermentation trop violente et qui serait terminée avant le terme convenable.

Aussitôt après l'addition de la levure on ferme la cuve avec un couvercle en bois, garni de nattes de paille; cette précaution est indispensable, afin de maintenir à l'intérieur une température uniforme, et pour éviter l'accès de l'air qui aurait pour résultat l'altération spontanée, acide ou putride, de la superficie de l'écume produite.

Six ou huit heures après que la levure a été ajoutée, la fermentation doit déjà être très active, une écume blanche et laiteuse apparaît d'abord au centre, puis s'étend graduellement sur toute la surface du liquide; mais elle continue toujours à être plus haute au milieu, et son élévation augmente sans cesse avec les progrès de la fermentation. La couleur de cette écume, d'abord d'un jaune pâle, change graduellement jusqu'à un brun brillant, résultat qui est probablement dû à son oxydation par l'air. Pendant tout ce temps, il y a un dégagement continuel d'acide carbonique dont l'abondance est proportionnelle à la quantité de sucre converti en alcool et à la rapidité de l'opération. D'un autre côté la température du liquide augmente jusqu'à ce que la fermentation soit à son plus haut point d'activité; le maximum de température varie suivant la qualité des bières; avec l'ale qui est la boisson qui contient le plus de matière sucrée, elle s'élève quelquefois jusqu'à 37°; pour le porter elle ne va pas au-delà de 21 à 22° centigr., et elle est encore plus faible pour les bières moins fortes, comme celles qui se préparent à Paris.

Lorsque durant l'opération on s'aperçoit que la fermentation se ralentit trop, on peut l'exciter en ajoutant une nouvelle proportion de levure fraîche que l'on disémine bien dans la masse du liquide; mais ce moyen doit être employé le moins souvent possible, parce qu'il excite plus tard une fermentation trop active, et peut communiquer à la bière une saveur rance de levure. Quelques brasseurs recommandent, lorsque la fermentation est parvenue à sa dernière période, d'ajouter environ 3 kilogr. de blé ou de farine de fèves par 4000 litres de bière (lorsque cette dernière est déjà transvasée dans les petites cuves). On délaie cette farine dans de la bière, et on la répand uniformément dans le moût fermenté; cette addition donne bientôt lieu à un dégagement abondant d'acide carbonique qui entraîne la levure à la surface du liquide.

Quelquefois on laisse terminer la fermentation dans les cuves guilloires; mais bien plus fréquemment elle s'achève dans des vases beaucoup plus petits, où il est bien plus facile de régler ses progrès rapides.

En Angleterre, le transvasement se fait dans des tonnes placées debout sur des chantiers en bois, et contenant environ de 4 à 5000 litres; ces vases sont tous placés sur la même horizontale, et leur niveau supérieur se trouve un peu au-dessous de la cuve guilloire; on peut donc tous les remplir d'un seul coup au moyen de tubes convenablement disposés; le fond supérieur de ces tonnes est percé d'une large ouverture par laquelle peut s'échapper la levure, qu'une auge déverse dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ane conduite générale. On comprend donc qu'en maintenant toujours les tonnes complétement remplies, la levure puisse être séparée au fur et à mesure de sa production; on obtient ce résultat par une disposition ingénieuse que nous indiquerons plus loin (voyez la disposition générale d'un atelier de fermentation à Londres et les détails qui s'y rapportent). La bière est laissée dans ces *bottes d'épuration* ou *stillions*, comme on les appelle en Angleterre, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus d'écume; c'est alors qu'on la transporte dans les *cuves de maturation*.

Lorsque le mode d'épurage, par *les stillions*, n'est pas employé en Angleterre, on enlève avec le plus grand soin, au moyen d'une écumoire, et après que la fermentation apparente est terminée, toute la levure qui se trouve à la surface du liquide, puis on transvase également dans les cuves de maturation; mais, nous le répétons, ce procédé a des inconvénients et il est peu en usage.

A Paris, les tonneaux dans lesquels se termine la fermentation ont une contenance de 100 à 200 litres, on les remplit complétement, on les range côte à côte sur les traverses d'un bâti en bois sous lequel règne une rigole générale qui est destinée à recevoir la levure de tous les *quarts;* ces derniers sont un peu inclinés de manière que l'écume volumineuse qui se forme, se dégage facilement par la bonde. Lorsqu'il ne se produit plus de levure, on redresse les quarts, on finit de les remplir et on les laisse reposer pendant dix ou douze heures; pendant ce temps se forme *le bougner*, c'est-à-dire une mousse très légère et volumineuse, qui est le résultat d'un mouvement léger de fermentation.

La plus ou moins grande rapidité avec laquelle les moûts sont mis en fermentation, a une influence remarquable sur la qualité de la bière, particulièrement en ce qui concerne sa conservation ultérieure. Lorsque l'action est trop violente, une partie de la levure se disperse à travers la liqueur, et il est très difficile de l'en séparer complétement; dans ce cas, la bière ne perd pas seulement une partie de sa saveur agréable et de sa limpidité; mais encore elle est susceptible de se gâter et de passer à l'aigre par les causes les plus légères. En résumé, on peut dire, que plus la fermentation est lente, régulièrement progressive et moins interrompue, et plus aussi le produit obtenu est meilleur.

La quantité de levure de bière obtenue, pendant la fermentation, est cinq ou six fois plus considérable que celle qui a été employée pour la déterminer; elle se compose de deux parties, l'une qui se maintient au sommet du liquide, et qui forme la levure écumeuse, l'autre plus lourde se précipite au fond de la cuve guilloire. La levure en excès, lavée, puis fortement comprimée dans des sacs en toile, est vendue en gros à des *levuriers*, qui la livrent en détail aux boulangers, fabricants de liqueurs alcooliques, etc. A Paris, cette levure est très recherchée, et on en fait une grande consommation.

V. *Collage, maturité et conservation de la bière.* — Les bières faibles que l'on prépare à Paris, s'expédient chez le consommateur, immédiatement après que la fermentation est terminée; on bouche les quarts au moyen de bondes qu'on lute avec de la terre glaise; mais cette bière que l'on a obtenue par une fermentation très-rapide, contient en suspension des matières étrangères qui la rendent trouble, et que l'on doit enlever par une clarification instantanée; cela est nécessaire parce que ces bières légères ne peuvent guère se conserver plus de six semaines. Cette clarification se fait généralement chez le consommateur; elle est basée sur l'emploi de la colle de poisson, que l'on prépare à cet effet, de la manière suivante. Après l'avoir humectée, on l'écrase sous le marteau afin d'en rompre les fibres et de favoriser la divisibilité de cette substance organisée; puis on la met tremper dans de l'eau fraîche pendant douze à vingt-quatre heures, en renouvelant l'eau deux ou trois fois en hiver, et quatre ou cinq fois en été. On la malaxe ensuite fortement avec dix fois son poids de vieille bière tournée à l'acide, qui facilite sa division en la gonflant; on étend ensuite la gelée transparente avec une bière légère que l'on prépare quelquefois exprès, dans les grands établissements; on passe le tout à travers un tamis très fin, en crin, qui retient les grumeaux et les parties qui ne sont pas assez divisées; on facilite le tamisage au moyen du frottement produit avec une brosse ronde en crin. Pour conserver cette préparation quinze jours en été et un mois en hiver, on ajoute quelquefois 5 p. 100 du volume de la gelée, en eau-de-vie commune.

Pour opérer la clarification, on mêle cette colle, avec son volume de bière ordinaire, on la verse dans les barils, et on agite vivement pendant une minute, de manière à faire un mélange parfait, on laisse déposer pendant deux ou trois jours, au bout desquels on tire ordinairement en bouteilles. La proportion de colle employée est à peu près de 4 à 8 décilitres par hectolitre de bière, suivant la difficulté de l'épuration.

La colle de poisson agit ici mécaniquement, étant très divisée et gonflée, elle forme dans la bière un vaste réseau membraneux, organisé, qui, contracté par l'action de la levure se resserre et entraîne dans sa précipitation ce dernier corps et toutes les autres matières non dissoutes; le liquide surnageant reste d'une limpidité parfaite, lorsque l'opération a bien réussi. Cette action mécanique de la colle de poisson est tellement vraie, qu'on ne peut pas obtenir le même effet de la gélatine ordinaire, qui a tout à fait la même composition; mais qui n'est pas organisée comme elle.

Après l'épuration de la bière, le sucre non décomposé qu'elle renferme encore suffit ordinairement pour donner lieu dans le liquide à la production de cinq à six fois son volume d'acide carbonique, qui, retenu en dissolution par la fermeture hermétique des bouteilles, produit quatre ou cinq atmosphères de pression, et donne lieu à une sorte d'explosion lorsqu'on débouche ces vases, ainsi qu'à une écume très volumineuse. Enfin, un peu de substance gommeuse qui reste indécomposée dans cette bière, lui donne une légère viscosité et rend ainsi la mousse quelques instants persistante; elle suffit encore pour humecter la langue et le palais d'une manière spéciale, ce que les consommateurs expriment en disant que la bière a de la bouche; propriétés qu'on ne retrouve plus dans la bière faite exclusivement avec du sucre ou du sirop de fécule.

Dans la préparation des bières fortes qui doivent se garder longtemps, comme le porter qui se prépare à Londres, on ne suit pas la même marche que nous venons d'indiquer. Au sortir des *stillions*, ou cuves d'épuration, la bière est pompée dans *les cuves de réserve;* là il s'établit une fermentation très lente que l'on continue pendant une période considérable, et qui allait autrefois jusqu'à 18 mois. Pendant tout ce temps, la plus grande partie du sucre qui restait se change en alcool, et la bière augmente de force spiritueuse. Un autre résultat important de ce long repos, c'est la clarification spontanée qui se produit et qui rend inutile l'emploi de la colle de poisson.

Le cellier qui renferme les tonnes de garde doit être au-dessous du sol, à l'abri des changements de température, des vibrations des voitures, et en général de tout ce qui pourrait entraver la tranquille fermentation de la bière.

Il y a près de trente à quarante ans, la coutume des brasseurs de porter de Londres était d'en garder d'immenses provisions pendant 18 mois à 2 ans, dans le but d'améliorer sa qualité. Les cuves de garde avaient communément une capacité de 800,000 à 1,000,000 de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

litres; on cite particulièrement un de ces immenses réservoirs qui contenait près de 3,000,000 de litres; pendant cette longue période, une lente fermentation transformait la plus grande partie de la substance sucrée en alcool et en acide carbonique, le porter devenait fin et prenait un bouquet apprécié des connaisseurs.

Depuis quelques années, le goût des consommateurs a amené une révolution sous ce rapport, par suite de la diminution dans la consommation du porter. L'ale, au contraire, est devenue la boisson en vogue, et la plupart des autres bières analogues que l'on prépare sont enivrantes au bout de 15 jours de fabrication; 6 semaines de garde sont pour ces boissons une longue période.

Ale de Preston. L'ale de Preston-Pans passe à juste titre pour l'une des meilleures qui se fasse en Europe; cela tient aux soins minutieux et tout particuliers que l'on apporte dans les différentes opérations du brassage, et au choix que le fabricant fait des meilleures matières premières.

Cette boisson est très peu colorée; elle est chargée à fortes doses de matières sucrées; elle est caractérisée d'ailleurs par une saveur douce et balsamique; l'amertume du houblon y est si bien combinée avec la saveur du liquide sucré et alcoolique, qu'elle ne prédomine pas, comme cela a lieu dans la plupart des autres bières.

La basse température à laquelle le brasseur écossais opère la fermentation du moût, afin d'obtenir une boisson ayant tous les caractères que nous venons d'indiquer, restreint son travail aux mois froids de l'année, il ne produit pas pendant les mois de chaleur; il est d'ailleurs très délicat sur le choix de son malt et de son houblon : le premier est obtenu avec la meilleure orge anglaise, le dernier provient de Farnham ou de l'est du comté de Kent. La quantité de houblon employé excède rarement 2 kilog. pour 3 hectol. de malt. La levure ajoutée pour déterminer la fermentation, est soigneusement examinée, et mesurée dans la proportion de 4 litres 1/2 pour 1,000 litres de moût.

La conduite de la fermentation est surtout particulière; le moût ne doit avoir que 10° centigrades, lorsqu'il arrive dans la cuve guilloire, et cette température augmente peu à peu, jusqu'à 19° seulement; elle retombe ensuite jusqu'à la fin de la fermentation.

Voici un tableau qui indique en chiffres la marche de la fermentation pendant tout le temps qu'elle dure habituellement en Écosse.

		Températures.		Kilogrammes.
Mars 24.	*Mise du moût en tonne à* 10° *centig.*			18
» 25	—	11°,0	—	18,5
» 28	—	13°,0	—	17,5
» 30	—	15°,5	—	15,3
Avril 1	—	16°,5	—	14,5
» 4	—	18°,0	—	13
» 5	—	19°,0	—	11,25
» 6	—	19°,5	—	10,35
» 7	—	19°,5	—	9
» 8	—	19°,0	—	8
» 9	—	19°,0	—	6,7
» 10	—	17°,5	—	6

Les nombres en kilogrammes contenus dans la seconde colonne représentent le poids de la matière sucrée gommeuse et albumineuse, enfin de l'extrait solide contenu dans à peu près 164 litres de liquide.

A Paris, on prépare depuis quelques années de la bière blanche analogue à l'ale, et on facilite beaucoup cette préparation, en ajoutant au malt du sirop de fécule, qui donne une liqueur sucrée à peu près aussi économique que le malt seul, et qui, dans l'usage, ne présente aucune des nombreuses chances d'altération auxquelles est soumis ce dernier.

Le sirop de fécule, que l'on doit employer de préférence, est celui qui a été préparé au moyen de la diastase (voyez SUCRE DE FÉCULE), il a un goût bien supérieur au sucre préparé par l'acide sulfurique; ce dernier présente toujours une saveur urineuse qui est due à la présence d'un peu de chaux; dans quelques brasseries, lorsque le moût destiné à la préparation de la bière blanche n'est pas suffisamment incolore, on le passe sur un filtre à noir animal qui le décolore. L'emploi de ce filtre est obligatoire, lorsque le brasseur prépare lui-même son sirop de fécule. Il en est de même lorsqu'on fait usage de mélasses.

Dans quelques pays, on emploie aussi, pour remplacer une partie de l'orge, les racines qui fournissent assez abondamment un jus sucré, telles sont les carottes, les betteraves, etc., ou même directement celles qui peuvent ne donner ce sucre que par une transformation de leur fécule; c'est ainsi que l'on fait quelquefois usage des pommes de terre. Ce dernier procédé est pratiqué sur une échelle considérable, dans plusieurs brasseries de Strasbourg, pour la préparation d'une bière assez renommée; voici comment on opère : les pommes de terre sont écrasées, puis mêlées avec au moins un dixième de leur poids de malt d'orge, non pas concassé, comme cela a lieu ordinairement, mais très finement broyé; on ajoute une quantité d'eau chaude suffisante, et on maintient le mélange à une température de 70° centig. pendant 4 heures; au bout de ce temps, la transformation en dextrine et en sucre a eu lieu; on soutire le liquide, on lave le résidu; le moût est ensuite chauffé avec le houblon, et les épurations se suivent comme dans la fabrication habituelle.

Nous avons dit au commencement de cet article, que le maïs ou blé de Turquie était aussi employé à la préparation de la bière; son emploi présente cependant un inconvénient qu'il importe de signaler : sa germination est plus difficile à diriger que celle du blé, à cause de la rapidité et de la vigueur avec lesquelles poussent les radicules et la plumule.

Le mode le plus convenable de déterminer la germination consiste à couvrir les grains de fumier, dans un jardin ou dans un champ, et de les laisser là jusqu'à ce que la surface de la couche soit couverte des pousses vertes de la plante; on enlève immédiatement le grain germé, on le lave et on l'expose au four.

Pour compléter l'article bière, nous allons donner quelques chiffres sur la composition de quelques bières, et sur la quantité des matières qui entrent dans leur confection.

M. Richardson a donné le tableau suivant de densité des différentes espèces de bières, et de la quantité d'extrait sec qu'elles renferment.

BIÈRES.	NOMBRE des kilogram. de matière sèche, contenue dans 163 litres.	PESANTEUR spécifique.
Ale de Burton, 1re qual	18,00 à 19,35	1,111 à 1,120
— 2e qual.	15,75 à 18,00	1,097 à 1,111
— 3e qual.	12,60 à 14,25	1,077 à 1,092
Ale commune, 1re qual.	11,25 à 12,15	1,070 à 1,073
— 2e qual.	9,45	1,058
Porter, espèce commune	8,10	1,030
Porter double.	9,00	1,055
— brun fort. . . .	10,35	1,064
— meill. brun fort.	11,70	1,072
Petite bière commune.	2,70	1,014
Bonne bière de table. .	5,4 à 6,3	1,033 à 1,039

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Voici d'après l'ouvrage de M. Dumas, les recettes des différentes bières :.

Porter (bière de table).

Malt	Pâle.	20	hectol.
	Ambré.	17	
	Brun.	9	
Houblon.		60	kilogr.
Levure fraîche.		37	
Sel marin.		2	

Produit : 68 hectolitres de bière, plus une certaine proportion de bière faible.

Porter de garde (pour l'exportation).

Malt	12 hectol. malt pâle d'Hereford.	
	8 — ambré jaune de King stown.	
	8 — brun foncé —	
	45 kilogr. houblon du comté de Kent.	
	45 — levure fraîche.	
	25 — sel marin.	

Produit : 30 hectolitres de bière forte et de longue conservation, plus de la bière faible provenant des lavages.

Ale de garde.

Malt pâle du Herefordshire.	40	hectol
Houblon du comté de Kent (de très bonne qualité et très aromatique). . . .	50	kilogr.
Sel.	2	

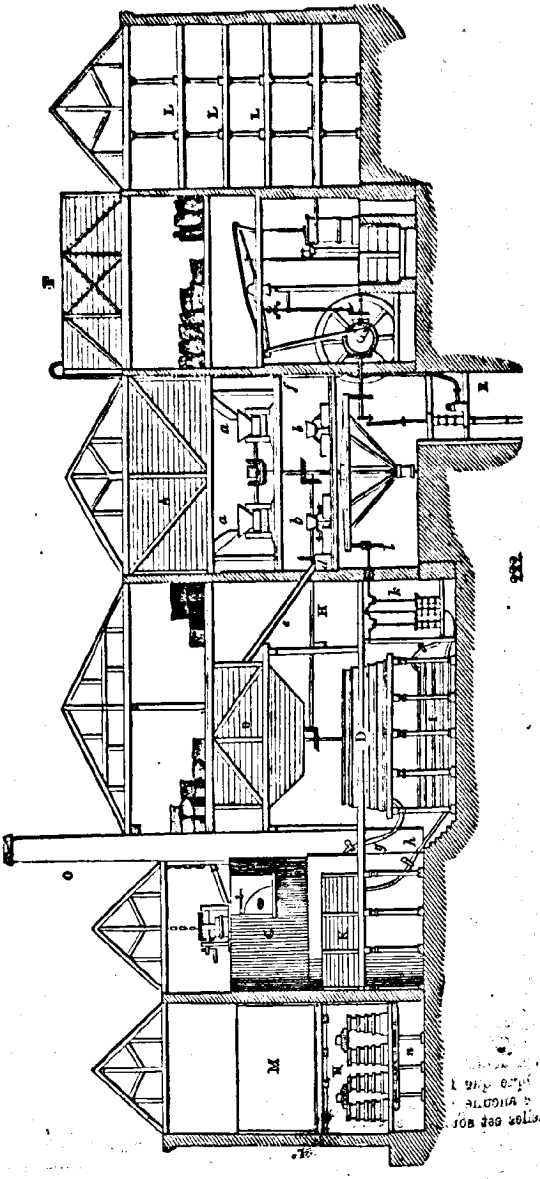
Produit : 50 hectol. d'ale, plus, comme toujours, de la petite bière.

Disposition générale d'une grande brasserie anglaise de porter, avec le détail des machines et ustensiles qui y sont employés. La fig. 222 représente ci-contre la disposition générale des appareils d'une brasserie montée sur une grande échelle. On doit observer que pour réunir dans un très-petit cadre toutes les opérations de la brasserie, on a, en conservant toutefois leur arrangement réciproque, été obligé de réduire beaucoup les dimensions, en longueur et en largeur, des bâtiments.

Le malt nécessaire à la fabrication est acheté tout préparé aux malteurs. On le conserve, jusqu'à l'emploi, dans de vastes greniers bien aérés, et qui occupent habituellement la partie supérieure des bâtiments; on n'en a représenté qu'un en A, fig. 222. Immédiatement au-dessous de ces greniers en *a*, *a*, se trouvent les cylindres écraseurs, que nous avons déjà représentés fig. 216 et 217. Sur le plancher situé au-dessous de ces rouleaux se trouvent des moulins à meules horizontales *b*, *b*, que l'on emploie quelquefois pour broyer le grain, au lieu de le concasser, en le passant entre les rouleaux *a*, *a*.

Lorsque le malt est broyé, il est placé dans une caisse *d*, placée à peu de distance des moulins. De cette caisse, il est élevé par l'action d'une vis en spirale (dont on voit le détail plus loin, fig. 226), renfermée dans le cylindre en bois indiqué par la lettre *e* dans un grand réservoir de réserve B, dans lequel on le garde jusqu'au moment où on doit en disposer. Comme on le remarquera dans la figure, cette caisse B est située immédiatement au-dessus de la cuve à brasser D, dans laquelle on fait à volonté descendre le malt, lorsqu'on veut en extraire les parties solubles.

L'eau pour le service de la brasserie est tirée d'un puits E, que l'on voit dans le moulin à droite, par une pompe fonctionnant par une transmission de mouvement de la machine à vapeur; le tuyau *f* de cette pompe élève cette eau dans un très grand réservoir ou bac à eau F, placé au sommet du bâtiment, de manière à pouvoir alimenter toutes les parties de l'usine. Des tuyaux de fonte partent de cette citerne, se rendent à la chaudière G, où a lieu la coction de la bière avec le houblon, ainsi que dans tous les endroits où l'on peut



EFERUS - Recherche & Classification numérique

avoir besoin d'eau froide pour nettoyer et laver les vaisseaux, etc.

La chaudière G, dont on verra plus loin les détails dans la fig. 228, peut être remplie à volonté d'eau froide, en tournant simplement la clef d'un robinet.

Le tuyau *g*, adapté au fond de cette chaudière, sert à conduire l'eau chaude entre les deux fonds de la cuve à brasser D, où elle dissout le malt, comme nous l'avons dit précédemment. A l'instant où l'on vient de tirer l'eau de la chaudière, on doit en remettre de nouvelle, de manière à ce qu'elle ne soit jamais laissée vide un instant; si on ne prenait pas cette précaution, la chaleur du foyer détruirait promptement le fond de la chaudière.

Pendant le brassage, qui a lieu dans la cuve D, le malt est agité par un appareil particulier, fixé sur un arbre vertical placé au centre de la cuve, et qui reçoit le mouvement de l'arbre de couche H par l'intermédiaire d'engrenages coniques. On verra les détails de la cuve et de l'appareil agitateur dans la fig. 227.

Lorsque le brassage est achevé et que le repos a été suffisant, on soutire le moût provenant de l'opération, et on le reçoit dans la cuve réverdoire I, placée immédiatement au-dessous de la cuve D; là il ne reste que le moins longtemps possible, et on s'empresse de l'élever au moyen de la pompe à trois corps *k*, dans une bassine placée sur le sommet de la chaudière C, et qui remplace avantageusement le réservoir dont nous avons parlé dans la description générale des opérations du brassage (voyez plus loin la fig. 228). Le moût reste dans cette bassine jusqu'à ce que l'eau chaude destinée au brassage suivant soit enlevée de la chaudière C; pendant ce temps sa température s'élève toujours un peu. Aussitôt que la chaudière C est vide, on y fait passer le contenu de la bassine, qui elle-même reçoit le nouveau brassin qui est également monté au moyen des pompes *k*.

C'est ainsi que les divers moûts se succèdent les uns aux autres dans les différents vases, avec la plus grande régularité, de sorte qu'il n'y a aucune perte de temps, et que chaque partie de l'appareil se trouve constamment employée. Lorsque la cuisson du moût et la décoction du houblon ont été suffisamment prolongées, on vide tout le contenu de la chaudière par un large robinet, dans un bac K, placé immédiatement au-dessous, et dont les dimensions sont suffisantes pour recevoir tout le liquide d'une opération; ce vase remplit le même but que le bac à repos dont nous avons parlé, seulement la séparation du moût et du houblon se fait d'une manière différente que dans ce dernier; en effet, le bac K est muni d'un faux fond formé de plaques de fonte, perforées d'une infinité de petits orifices, à travers lesquels le moût s'égoutte, sans que le houblon puisse les traverser. Le moût filtré est tiré du double fond du bac à repos, au moyen du tube *h*, par la pompe *k*, qui l'élève dans les nombreux réfrigérants L, L, L, disposés dans un bâtiment spécial. Comme on le voit, la pompe *k* est disposée, au moyen de tuyaux de communication et de robinets, de manière à ce qu'elle puisse servir à tous les besoins de la fabrique, si ce n'est à celui d'élever l'eau froide du puits. Les réfrigérants L, L, L, sont des bacs présentant une très-grande surface et disposés les uns au-dessus des autres de manière à former les différents étages, assez rapprochés d'un bâtiment; ces bacs ont très-peu de profondeur, 2 à 3 décimètres au plus, afin qu'ils présentent à l'action réfrigérante de l'air le plus de surface possible. Pour que le refroidissement de la bière soit encore plus rapide, on a soin de garnir les parois du bâtiment au moyen de nombreuses persiennes, de manière à ce que les courants d'air soient admis le plus librement possible.

Lorsque le moût est suffisamment refroidi pour être soumis à la première fermentation, il est conduit par des tuyaux qui partent du fond des divers réfrigérants, dans deux grandes cuves guilloires M, dont on ne voit qu'une seule dans la figure, et dont la capacité est suffisante pour contenir toute la bière brassée dans un jour.

Lorsque la fermentation tumultueuse a eu lieu, la bière est soutirée dans la cuve guilloire M, et elle est conduite dans les petits vases de fermentation ou vaisseaux à purifier N, dont il y a un très-grand nombre dans la brasserie. Ces tonneaux, placés verticalement, sont disposés quatre par quatre; et à chacun des quatre, un bec commun reçoit la levûre qui se renouvelle à la surface de la bière, et la conduit dans des auges générales *n* placées au-dessous. La bière reste dans ces vaisseaux à clarifier jusqu'à ce que la fermentation apparente par la mousse soit complète, et elle est mise ensuite dans les cuves de réserve, qui sont des réservoirs d'une immense grandeur, où on la conserve jusqu'à ce qu'on en ait besoin, puis finalement elle est mise dans des barils que l'on expédie au dehors. Ces cuves de réserve ne sont pas représentées dans la figure; elles sont de forme conique, de diamètre variable, suivant la contenance qu'on veut leur donner, et elles ont en général de 4 mètres 50 à 6 mètres de profondeur.

La machine à vapeur qui met en mouvement différents appareils de la brasserie se voit sur la droite de la figure; sur l'axe du volant est une roue conique qui donne le mouvement à une roue semblable placée sur un arbre qui transmet ce mouvement à l'engrenage d'un manége, ainsi qu'à la pompe à eau. La roue du manége commande à tous les pignons des moulins *b*, *b*, et aussi à l'axe horizontal qui fait marcher les pompes *k*. Les cylindres *a*, *a*, sont mus par une roue d'angle fixée sur l'extrémité supérieure de l'axe du manége, que l'on a prolongé à cet effet. L'arbre de couche H reçoit le mouvement de cet axe, et le transmet à l'agitateur mécanique disposé dans la cuve à brasser.

Outre tous ces appareils, la machine à vapeur peut également, à volonté, faire mouvoir un tire-sac, qui n'est pas représenté dans la figure, et qui est destiné à hisser les sacs de malt, de la cour de la brasserie, dans le grenier A, où on en décharge le contenu.

Le manége qui sert d'intermédiaire entre la machine à vapeur et les différents appareils de l'usine a été disposé de cette manière afin qu'on ne soit pas arrêté, dans le cas, très-rare du reste, où la machine à vapeur se dérangerait; il suffit alors de remplacer cette dernière par des chevaux que l'on attelle au manége.

Nous reviendrons ici sur quelques principes de fabrication et indiquerons des progrès importants accomplis dans l'industrie de la brasserie pour obtenir des produits de qualité supérieure et moins altérables.

Saccharification. On doit distinguer deux méthodes de brassage.

La première, que l'on désigne sous le nom de méthode par infusion, est employée, à l'exclusion de toute autre, par la brasserie anglaise; c'est à son aide que s'obtiennent l'ale, le porter, le stout, etc. L'ancienne brasserie française l'employait aussi, et on la trouve, aujourd'hui encore, en usage à Lyon, dans le Nord, etc. Elle consiste à faire infuser le malt moulu dans l'eau préalablement échauffée, et comprend, en général, deux trempes ou infusions successives.

Pour la mettre en pratique, on *brasse*, c'est-à-dire on agite vivement dans la *cuve-matière* le malt moulu et déjà délayé à l'eau froide, avec de l'eau préalablement chauffée à un degré tel que la température du mélange tout entier puisse, pendant une heure ou deux, se maintenir vers 52 ou 55 degrés centigrades, quelquefois, comme en Angleterre, vers 60 ou 65 degrés. Brassé autrefois à l'aide de fourches ou fourquets, aujourd'hui au moyen d'agitateurs mécaniques, au contact de cette eau, le malt se transforme rapidement, la diastase se dissout, l'amidon se gonfle, devient attaquable, et le moût sucré se produit. Bientôt l'action est terminée, le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moût est écoulé hors de la cuve, et le résidu que celui-ci contient, la *drèche*, est recouvert d'une nouvelle quantité d'eau presque bouillante, qui en élève la température à 70° environ, et à l'aide de laquelle on procède à une nouvelle infusion dont le produit s'en va rejoindre le moût que la première a fourni.

Toute différente est la deuxième méthode.

Celle-ci, qu'habituellement on désigne sous le nom de méthode par décoction, consiste à faire cuire le malt, partiellement au moins, avec le moût auquel il donne naissance. Là, les trempes sont plus nombreuses que dans la première méthode; on en compte trois, quatre et même jusqu'à cinq; le brassage est commencé à plus basse température, et enfin (c'est là ce qui caractérise la méthode, ce qui lui donne son nom), les affusions successives sont faites, non pas au moyen d'eau neuve préalablement échauffée, mais au moyen du moût lui-même, qui, par portions successives, est conduit dans une chaudière spéciale où, trouble, mélangé à la drèche, il est porté rapidement à l'ébullition, et devient ainsi le liquide réchauffeur qui doit achever la saccharification.

Cette méthode est la plus répandue aujourd'hui; les brasseurs de l'Allemagne, de l'Autriche n'en emploient pas d'autres, et nos grandes brasseries françaises l'ont généralement adoptée.

Quoi qu'il en soit, le moût, au sortir de la cuve-matière, emporte entièrement transformées en produits nouveaux, et la matière amylacée et les substances protéiques que le grain de l'orge renfermait à l'origine. Dans ce moût on chercherait en vain de l'amidon, mais on y trouve du sucre, de la dextrine et enfin des matières azotées solubles.

Fermentation. La fermentation, la partie la plus délicate de la fabrication, qui transforme le sucre en alcool et en acide carbonique, peut s'accomplir dans deux conditions tout à fait différentes et qui conduisent à des résultats également fort différents. On peut faire fermenter à la température ordinaire, à 15, 18 et même à 20 degrés; ou bien faire fermenter à une température très-basse, à 4 ou 5 degrés au-dessus de zéro; c'est la fermentation haute et la fermentation basse. La première est employée, le plus souvent, pour la fabrication des bières anglaises; la seconde pour celle des bières allemandes, autrichiennes et pour la plupart de celles qu'on fabrique en France aujourd'hui.

Lorsque le moût est refroidi, on l'entonne, c'est-à-dire qu'on l'introduit dans les cuves où sa fermentation doit s'accomplir. Tantôt, comme en Angleterre, lorsqu'on opère par fermentation haute, les cuves sont d'immenses capacités; tantôt, comme en Autriche, et lorsqu'on opère par fermentation basse, ce sont des vases de bien moindre dimension, en bois également, et qui rarement contiennent plus de 30 à 35 hectolitres. Là le moût refroidi, à 14 degrés dans le premier cas, à 2 ou 3 degrés dans le second, est mis en levain par l'addition d'une quantité déterminée de levûre provenant d'une opération précédente.

Bientôt la fermentation se déclare, et la température de la masse s'élève. Dans le premier cas le brasseur ne s'en occupe pas, mais dans le second il combat cet échauffement, car si la température s'élève seulement à 10 ou 12 degrés, la bière sera dépourvue des qualités que la fermentation à froid lui assure. Aussi a-t-il soin de refroidir constamment le moût en fermentation, soit au moyen de serpentins qui y seront noyés, et à travers lesquels il fera circuler continuement un courant d'eau glacée, soit au moyen de nacelles, de *nageurs* remplis de glace, et qui, librement portés par le liquide, constamment déplacés par les courants que crée le dégagement du gaz acide carbonique, en maintiennent régulièrement toutes les parties à une température de 5 ou 6 degrés tout au plus.

C'est pour maintenir la basse température des caves dans les pays surtout où la récolte de quantités considérables de glace n'est pas facile, que l'on essaye avec persévérance les machines à produire du froid par la compression de l'air, sans passer par la fabrication inutile de la glace.

Trois ou quatre jours, si l'on opère à la température ordinaire, quinze ou vingt jours, si l'on opère par refroidissement, sont nécessaires pour achever la fermentation principale; au bout de ce temps, la bière sera faite; cependant elle ne saurait être, dès ce moment, livrée au consommateur. D'une part, en effet, elle est trouble; de l'autre, la transformation du sucre en alcool n'est pas complète.

Pour l'éclaircir, comme pour terminer cette transformation, on abandonne la bière, soutirée avec soin et mise dans des tonnes de maturation aussi claire que possible, dans des caves dont la fraîcheur naturelle suffit lorsqu'il s'agit de bières produites par fermentation haute et destinées à une consommation prochaine, mais qu'il est nécessaire de maintenir, au moyen de masses énormes de glace, à la température de 1 ou 2 degrés, lorsqu'il s'agit de bières obtenues par la fermentation basse, et surtout de bières de garde. C'est dans ces caves que la bière, se perfectionnant peu à peu, attend le moment où elle doit être livrée à la consommation.

Nous donnons plus loin un curieux passage d'un ouvrage de Liebig sur ce mode de fermentation finale, qui a fait la juste réputation des bières de Bavière.

Nous indiquerons enfin un essai qui a été fait pour rendre gazeuses des bières de garde, consistant à introduire dans le liquide de l'acide carbonique, à l'aide d'un appareil de fabrication des eaux gazeuses, qui permet de le préparer si facilement et à si bas prix. La fermentation incomplète n'est plus alors une condition de production de bières mousseuses, lorsqu'elles sont réclamées par le consommateur.

Observations de Pasteur. Les travaux de Pasteur ont donné la raison des méthodes de la brasserie et conduisent à leur amélioration. Il a montré que toutes les fermentations ont pour cause première le développement vital d'organismes dont le microscope lui a permis de suivre les évolutions. C'est grâce à ces petits organismes que se produisent ici l'alcool et l'acide carbonique, là l'acide lactique, ailleurs l'acide butyrique, dans certaines circonstances enfin ces matières encore peu connues qui altèrent la saveur primitive du produit fermenté, qui rendent le vin amer, qui le font tourner, qui aigrissent la bière, etc.

Et comme, ainsi qu'il l'a nettement établi, ces divers ferments ont les uns et les autres des conditions de vitalité spéciales, comme l'un meurt là précisément où l'autre vit, la science, en réalité, offre à l'industrie des boissons fermentées le moyen d'obtenir avec les mêmes matières premières des produits différents comme goût, comme parfum; le moyen, en un mot, de diriger la fermentation à son gré en la plaçant dans les conditions précises qui conviennent au développement vital de tel ou tel organisme, en évitant la présence de ferments nuisibles à la qualité des produits.

Appliquées avec méthode à l'industrie de la brasserie, les conséquences qui découlent de ces travaux ont permis d'expliquer la supériorité des bières obtenues à basse température et ont montré l'importance de n'employer que des ferments sains, non altérés. La plus grande propreté, la fabrication dans un air pur sont des conditions essentielles pour obtenir des produits de bonne qualité.

Appareil des brasseries anglaises. Nous croyons utile de décrire ici quelques-uns des appareils perfectionnés que l'on emploie dans les brasseries anglaises, et qui présenteront quelque intérêt parce qu'ils sont très-peu connus en France. Dans ce dernier pays l'importance

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bien moins grande des brasseries oblige de n'employer que des appareils simples et peu coûteux.

Moulin anglais de MM. Pontifex et C^ie^. Cet appareil (fig. 224) consiste en une paire de cylindres concasseurs.

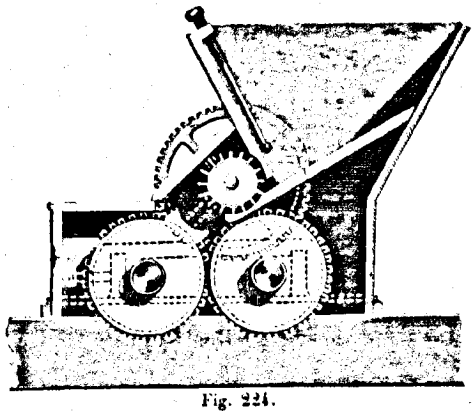


Fig. 224.

Une trémie en bois, munie d'une glissière pour régler la sortie du malt, un cylindre d'alimentation et deux rolls concasseurs en fonte, en composent les parties les plus essentielles. Les cylindres concasseurs peuvent être plus ou moins rapprochés. Une excellente invention est celle de la construction du cylindre alimentaire, dont l'arbre porte en saillie des lames de tôle qui prennent le malt à sa sortie de la trémie, et l'amènent jusqu'entre les rolls. Il en résulte une distribution égale et uniforme du grain entre les cylindres écraseurs, et ce n'est pas là un avantage à dédaigner, puisque cette distribution égale assure à la fois la régularité du travail et le bon service de l'appareil

Moulin à malt de la brasserie Alsopp. Nous donnons encore (fig. 225) le dessin du concasseur à malt

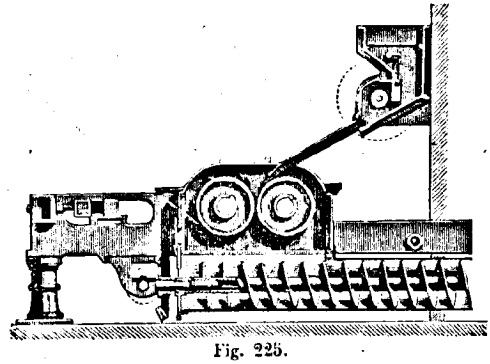


Fig. 225.

employé dans l'établissement Alsopp, un des plus renommés de la Grande-Bretagne, dans lequel on doit remarquer, dans le but d'économiser la main-d'œuvre, l'emploi de la vis d'Archimède pour déplacer le malt à mesure de son écrasement.

On établit très-convenablement aujourd'hui des cylindres qui peuvent écraser 8 à 12 hectolitres à l'heure, et qui ne consomment pas plus de 2 à 3 chevaux de force de vapeur. Des cylindres *bien établis* et *bien construits* sont toujours préférables aux meules horizontales pour la division du grain destiné à faire la bière.

S'il s'agissait d'alcoolisation proprement dite, on devrait préférer les meules et la division en farine, puisque, dans ce cas, le but principal serait le rendement alcoolique et non pas la préparation d'une

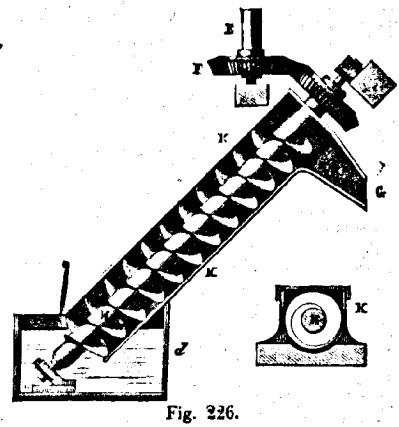


Fig. 226.

boisson fermentée, devant présenter des propriétés particulières.

Vis élévatoire. La figure 226 est une vis d'Archimède au moyen de laquelle le malt broyé peut être élevé ou conduit d'une partie de la brasserie à l'autre. K est la boîte inclinée dans laquelle tourne la vis H; *d*, auge dans laquelle on place le malt que la vis d'Archimède doit élever; E, arbre moteur sur lequel est fixé le pignon F, qui commande la roue d'angle placée sur l'axe de la vis d'Archimède; G, bec par où sort le malt élevé. Des machines, semblables à celles que nous venons de décrire, sont employées dans les diverses parties de la brasserie, partout en un mot où il y a du malt à déplacer.

Cuve à brasser. La figure 227 représente une cuve à brasser, ou, comme le disent les Anglais, à démêler: *aa* est la cuve proprement dite; elle est construite avec des douves de bois, épaisses et reliées ensemble par de nombreux cercles en fer; elle est du reste munie d'un double fond percé de trous, tout à fait comme celle que nous avons déjà décrite et qui est employée en France. Ce qu'il y a de remarquable dans cette cuve, c'est le moyen que l'on a employé pour agiter le malt dans l'eau de dissolution: *b* est un arbre placé au centre de la cuve, et qui est supporté sur une crapaudine; cet arbre *b* reçoit le mouvement d'une roue d'angle *u*, adaptée à son extrémité supérieure, et qui elle-même est commandée par le pignon d'angle *t*. Sur le même arbre *b* sont adaptés deux bras en fonte *c*, *c*, qui supportent, entre des collets, un second arbre plus petit *d*. Ce dernier est muni sur les quatre côtés de bras ou palettes *e*, *e*, qui sont destinées à remuer le mélange liquide en le forçant continuellement non-seulement à tournoyer, mais encore à s'élever du bas en haut; ce dernier effet, très important, est obtenu naturellement par la direction inclinée que l'on a donnée aux palettes *e*, *e*. L'arbre *d* reçoit le mouvement de la roue d'engrenage *x* placée à son extrémité, et celle-ci est elle-même commandée par l'engrenage *w*. L'engrenage *w* n'est pas fixe sur l'arbre central *b*; il est monté sur un canon *o* qui peut tourner librement sur lui: en effet, on remarquera que l'arbre *b* paraît avoir un plus grand diamètre au-dessous de la roue *w* qu'au-dessous du pignon *u*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On voit donc de suite qu'on peut ainsi communiquer deux mouvements de rotation à l'arbre *d* : l'un dépendant de l'arbre *b*, et qui le forcera de faire le tour de la cuve en un temps égal à celui que met l'arbre *b* à faire une révolution ; l'autre, au contraire, indépendant, comme nous venons de le dire, et qui force l'arbre *d*

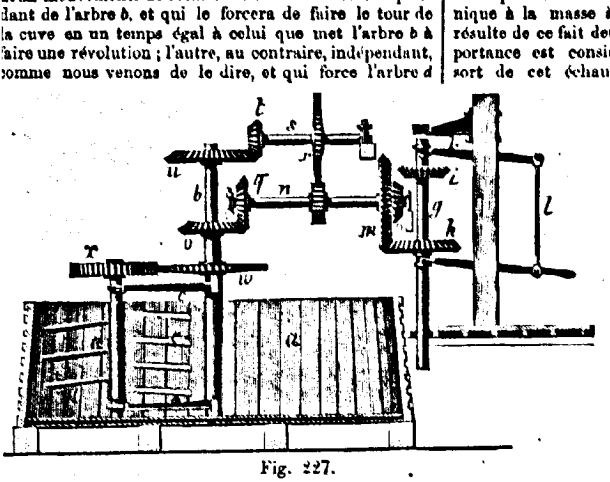


Fig. 227.

et les palettes *e* à tourner rapidement sur eux-mêmes, tout en se mouvant par un mouvement planétaire autour de l'axe *o*. Indiquons la transmission de ces deux mouvements.

g est l'arbre moteur mis en mouvement par la machine à vapeur ; *h* et *i* sont deux roues coniques placées sur cet arbre, et qui transmettent le mouvement à l'arbre horizontal *nn*, par l'intermédiaire des engrenages *m* et *o*. Lorsqu'on veut que l'agitateur marche lentement, on engrène *h* avec *m* ; lorsque, au contraire, on veut que le brassage soit rapide et énergique, sur la fin de l'opération, par exemple, on engrène *i* avec la petite roue d'angle *o*. On obtient à volonté ce changement de vitesse au moyen du bras de levier *l*, qui, d'un seul coup, élève ou abaisse le manchon mobile *g* sur lequel sont fixées les roues *i* et *h*. L'arbre *n* transmet le mouvement à l'agitateur *d* par l'intermédiaire des roues d'engrenage *q*, *o*, *w* et *x* ; et à l'arbre *b* par l'intermédiaire des roues *p*, *r*, *t* et *u*. On voit dans la figure que les diamètres de toutes ces roues sont calculés de manière à ce que le mouvement général autour de la cuve soit lent, tandis que le mouvement giratoire de l'agitateur *d* est au contraire très rapide relativement. L'axe *d* fait dix-sept à dix-huit révolutions dans le même espace de temps qu'il fait le tour de la cuve.

Chaudières. Nous avons vu, en parlant de la cuisson de la bière, qu'il était très important d'employer des chaudières hermétiquement fermées, soit parce que la décoction du houblon se fait mieux, soit parce qu'on perd moins d'huile essentielle. Voici une chaudière employée dans les brasseries anglaises et qui paraît donner d'excellents résultats.

La figure 228 est une section verticale par un plan passant par l'axe de la chaudière. C'est une chaudière chauffée à feu nu, il est vrai ; mais elle est close, munie d'un agitateur mécanique que l'on fait mouvoir par une poulie et une manivelle. Cet agitateur porte à son extrémité inférieure des bras en fer, auxquels sont adaptées des chaînes, dont la fonction est de racler le fond de la chaudière et empêcher les matières de dépôt et le houblon de s'y attacher et de brûler ; on peut, d'ailleurs, le relever par le moyen d'un petit treuil et le faire fonctionner à différentes hauteurs. Cette chaudière offre une particularité intéressante : la partie supérieure de l'appareil sert de fond à une bassine ouverte destinée à faire l'effet d'une espèce de *chauffe-moût*.

Cette bassine étant remplie de liquide, la chaleur de celui qui est en ébullition dans la chaudière se communique à la masse à travers les parois, en sorte qu'il résulte de ce fait deux avantages marqués, dont l'importance est considérable. Outre l'économie qui ressort de cet échauffement pour la calorification du moût, la liqueur se trouve portée à un degré de température tel, qu'elle échappe plus aisément aux causes d'altération, qui sont d'autant plus actives que la température des liqueurs s'abaisse au-dessous de + 50 degrés ; d'autre part des tubes obliques, partant du sommet de la chaudière et formant la seule issue possible aux vapeurs, se dirigent vers le fond de cette bassine et y portent la vapeur du moût en ébullition ainsi que l'huile essentielle du houblon qui s'y trouve ainsi retenue.

La seule observation grave que l'on puisse faire contre cette chaudière se rapporte à son mode de chauffage, lequel a lieu par l'action directe du feu nu. Personne ne conteste aujourd'hui les inconvénients de l'application immédiate de la chaleur lorsqu'il s'agit de matières facilement altérables. Que l'ébullition soit utile et même nécessaire aux moûts de la bière, la

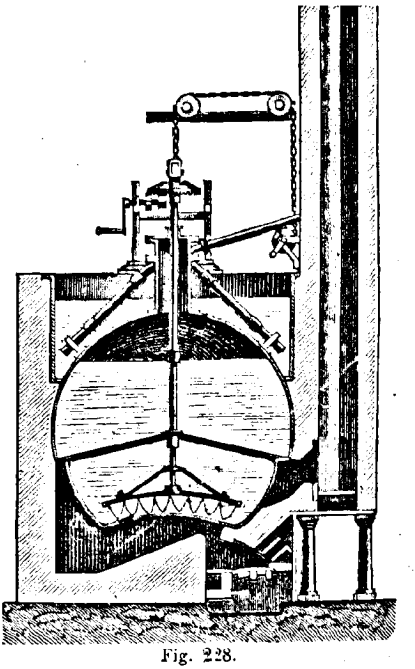


Fig. 228.

chose n'est pas douteuse ; mais que l'on s'expose à *brûler* les matières qui se déposent sur le fond et les parois des chaudières ; que l'on *caramélise* une partie du glucose de ces moûts, c'est une faute. C'est au chauffage à la vapeur qu'il convient d'avoir recours, dans des cas semblables, lorsque des difficultés insurmontables ou des circonstances particulières ne viennent pas en interdire l'emploi.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cure de fermentation. En Angleterre, la fermentation active s'opère dans des cuves d'une capacité plus ou moins grande, où le liquide subit entièrement cette première phase de l'action du ferment. Mais comme, dans la marche ordinaire, la bière entonnée dans des fûts laisse échapper la levûre par la bonde, et que ce fait constitue un commencement utile de purification, les brasseurs anglais ont grand soin d'enlever le chapeau qui se forme à la superficie du liquide, afin d'éliminer ainsi l'excès de ferment et celui, surtout, qui peut avoir éprouvé un certain contact avec l'air atmosphérique. On a même imaginé des appareils destinés à produire automatiquement cette séparation de la levûre. La figure 229 représente une disposition de ce

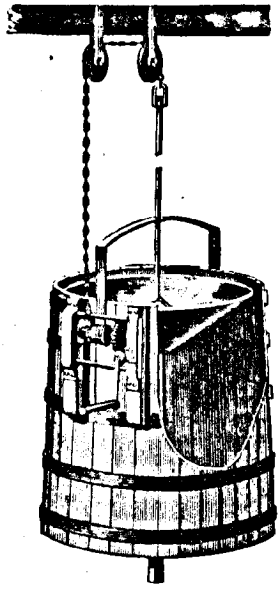


Fig. 229.

genre, exécutée par la maison Pontifex, de Londres, fort convenable pour produire une séparation à peu près automatique de la levûre dans les stillions. Son parachute est une espèce d'entonnoir renversé ou de cône à sommet inférieur, dans lequel la levûre descend à mesure de sa production, pour être dirigée ensuite vers un récipient par un tube conducteur.

Robinets. La figure 230 est un robinet que l'on adapte sur les parois des grandes cuves où l'on conserve la bière préparée; il sert à soutirer de temps en temps une petite quantité de cette dernière pour s'assurer de sa qualité.

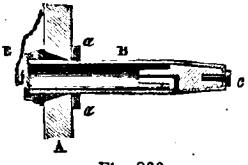


Fig. 230.

A représente une partie de la paroi de la grande cuve de réserve; B est un tube en cuivre que l'on fait pénétrer dans l'intérieur de la cuve, par un orifice pratiqué à l'avance; un collet qui s'appuie sur la paroi extérieure empêche ce cylindre d'entrer complétement dans la cuve, et un écrou *a*, que l'on serre contre la paroi intérieure, le fixe très solidement. Du reste, on a soin d'interposer entre le bois et les surfaces métalliques des rondelles de drap ou de cuir qui préviennent les fuites. L'extrémité du cylindre B est légèrement conique, et c'est dans cette partie que se trouve le noyau du robinet qui peut tourner dedans, à surfaces rodées; la petite vis c maintient ce noyau, qui se trouve percé, comme l'indique la figure, d'un petit canal à angle droit, dont la branche verticale correspond avec un orifice percé sur l'arête inférieure du cylindre B. Dans cette position, il est évident que la bière contenue dans la cuve pourra s'échapper par l'orifice; mais si l'on vient à tourner d'une demi-révolution le noyau, les orifices ne se trouveront plus en regard, et l'écoulement cessera immédiatement. Voici maintenant comment on fait tourner ce noyau. D (figure 231) représente la coupe longitudinale de la clef qui sert à accomplir ce mouvement, c'est-à-dire à fermer et à ouvrir ce robinet; après

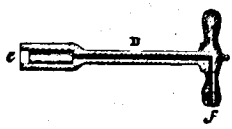


Fig. 231.

avoir enlevé l'obturateur E, on introduit l'extrémité de la clef dans le tube B, l'orifice *e* enveloppe l'extrémité du noyau, de manière qu'en tournant la clef on fait aussi tourner le noyau. La clef est percée dans toute sa longueur d'un petit canal qui, après avoir tourné à angle droit, vient aboutir en *f* à l'une des extrémités de la poignée; on s'arrange de manière à ce que le robinet soit ouvert lorsque le manche occupe une position verticale, et que, par conséquent, l'orifice *f* est tourné contre terre; on reçoit alors la bière qui s'écoule de cet orifice dans un verre ou dans un vase quelconque.

Cette disposition assez ingénieuse est adoptée, parce qu'il arrive quelquefois qu'un grand cercle en fer, se cassant, tombe le long des parois de la cuve et pourrait briser tous les robinets faisant saillie; si cet accident arrivait pendant la nuit, une grande quantité de bière pourrait être perdue avant que l'on en ait rien découvert. Le robinet que nous venons de décrire fait à peine saillie sur la paroi extérieure des foudres, il est donc à l'abri de cet inconvénient.

Emploi de la drèche. Nous empruntons au traité complet de la fabrication de la bière qui fait partie du grand ouvrage de M. Basset, GUIDE DU FABRICANT D'ALCOOLS ET DU DISTILLATEUR, une étude fort intéressante sur le meilleur emploi possible de la drèche, du résidu capital du travail de la brasserie.

La drèche à l'état ordinaire constitue une des nourritures les plus avantageuses pour le bétail, sous la condition rigoureuse, bien entendu, qu'on ne la leur donne que saine et en bon état de conservation.

En effet, cette matière comparée au foin de prairie, sous le rapport de l'azote seulement, renferme 0,71 d'azote pour 100, avec 79,875 d'eau, tandis que le foin, à 11 pour 100 d'eau seulement, n'en contient que 1,15. Si nous ramenons la drèche à ce degré d'hydratation, nous trouvons qu'elle renferme 5,166 d'azote pour 100 parties, en sorte que, au même degré de dessiccation que celui du foin ordinaire, 100 kilogrammes de drèche vaudront 450 kilogrammes de foin sous le rapport alimentaire et pour l'azote seulement, en faisant abstraction de la proportion considérable de fécule, dont le rôle est cependant d'une très-haute importance.

A l'état ordinaire, avec 79,875 d'eau, 100 kilogrammes de drèche ne représentent que 64k,87 de foin à 1,15 d'azote et pour 100 d'eau. Ainsi la ration de drèche humide, répondant à 12k,500 de foin, sera de 20 kilogrammes environ, tandis que, si elle était amenée à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

11 pour 100 d'eau seulement, il n'en faudrait que 2k,78 pour représenter 12k,5 de foin ordinaire.

Et encore, il convient de répéter que nous laissons de côté la richesse de la drèche en amidon, richesse bien supérieure à celle du foin et dont il faut tenir compte, puisque l'amidon et les féculents doivent être placés au premier rang des aliments calorifiques ou respiratoires. Si l'azote, si la matière azotée est la substance réparatrice du muscle, la source de la viande, la matière hydrocarbonée, est le principal aliment de la combustion animale et la source de la chaleur intime; elle fournit les éléments de la matière grasse et, lorsqu'elle est introduite en proportion suffisante dans l'économie, lorsque, d'ailleurs, l'animal ne supporte pas l'influence de causes de déperdition trop actives et qu'il est en chair, elle détermine l'approvisionnement, l'accumulation de la graisse dans les tissus. La drèche est donc un aliment excellent sous les deux rapports de la production de la viande et celle de la graisse.

Nous réservons cependant quelques observations auxquelles il convient de prêter une attention sérieuse, lorsqu'on veut tirer tout le parti possible d'un régime alimentaire donné. Nous les exposons succinctement.

Sans nous occuper ici de ce que doit savoir tout bon éleveur au sujet des rations d'entretien, de réparation ou d'engraissement et d'augmentation, nous pensons qu'il doit être fait une grande différence dans l'alimentation des animaux, selon qu'ils sont arrivés au terme de leur croissance ou non, selon qu'ils sont maigres ou en chair, qu'ils sont arrivés au gras ou qu'ils sont dans une période moins avancée de l'augmentation progressive. Il nous semble résulter des principes de la physiologie, confirmés par l'expérience, que l'animal *fabrique moins de graisse*, lorsqu'il n'est pas arrivé à tout son développement osseux ou musculaire; lorsque ce développement est atteint, la production de la graisse prend, au contraire, l'avance sur tout le reste et elle doit être regardée comme le complément de l'accroissement.

Pendant qu'un animal s'accroît, pendant qu'il franchit la distance qui le sépare de son entier développement musculaire, jusqu'à ce qu'il soit arrivé à ce qu'on appelle la *mise en chair*, il n'a donc besoin d'aliments calorifiques et engraissants qu'à titre d'aliments respiratoires. C'est dire que, dans cette période, ces aliments doivent lui être donnés avec une certaine parcimonie, tandis que les aliments plastiques, réparateurs, producteurs de la chair, du muscle, ainsi que les aliments propres à augmenter le développement de l'ossature, doivent lui être administrés largement, non-seulement pour remplacer la dépense due à l'exercice des fonctions ou causée par le travail, mais encore pour produire l'accumulation, l'augmentation de la matière musculaire.

Dans cette période, les aliments azotés sont les plus essentiels. Nous admettons, sans doute, que toutes les conditions d'une bonne hygiène sont accomplies, que toutes les questions de masse alimentaire, d'aération, de travail, d'exercice, de propreté, de repos, etc., ont été soigneusement prévues et calculées, et nous ne parlons que du but spécial de l'alimentation.

Il n'est pas moins évident que, lorsque l'animal est en chair, lorsqu'il est arrivé à son développement osseux et musculaire, il convient de l'empêcher de *perdre* et de commencer à lui faire produire de la graisse. Dans cette période mixte, il faut que les aliments soient assez riches en matières plastiques pour que la chair augmente encore et qu'il n'y ait pas de déperdition musculaire; il faut qu'ils contiennent assez de matières hydrocarbonées pour pourvoir aux besoins de la calorification et, de plus, pour présenter l'excédant nécessaire à la production du tissu adipeux.

Dans cette seconde période, il faudra donc que la base de l'alimentation repose sur une proportion bien comprise d'aliments azotés et d'aliments hydrocarbonés pour parvenir au double but que l'on se propose d'atteindre. Dans aucun cas de l'élevage et de l'engraissement la drèche de brasserie n'est mieux indiquée, et c'est l'aliment le plus parfait que l'on puisse donner aux animaux en chair, que l'on veut faire passer au gras. Elle contient en effet la matière azotée et la fécule dans les proportions les plus heureuses pour les deux objets dont nous venons de parler, et c'est alors le véritable temps de son maximum d'emploi.

La troisième période doit conduire l'animal du *gras* au *fin gras*. Il ne doit rien perdre de sa chair, au contraire; mais il faut que la graisse pénètre partout, dans les interstices des muscles. Après ce qui précède, il est à peine nécessaire de dire que l'alimentation de cette période doit être surtout hydrocarbonée, et que les matières féculentes doivent en faire la base capitale.

La drèche pourra donc être employée dans ce troisième temps, pourvu que son action soit complétée par une addition suffisante de farineux et de féculents. Les légumineuses, les pommes de terre, les grains entiers, le tout après cuisson préalable, les matières grasses et les tourteaux fourniront facilement un complément utile et, dans un espace de temps très-court, le résultat cherché sera atteint, si l'on a suivi les principes que nous venons d'exposer.

Ainsi, l'alimentation de la première période sera essentiellement composée de fourrages et de matières azotées. La drèche pourra en faire utilement partie pour un quart de la ration journalière. Dans la seconde période, la drèche sera employée presque exclusivement, et l'on n'y ajoutera des fourrages ou même des matières moins nutritives que dans la proportion nécessaire pour faire masse. Les féculents proprement dits seront joints à la drèche pour l'accomplissement de la troisième période.

Bière de Munich. Nous terminerons cet article en décrivant ce qu'offre de particulièrement remarquable la fabrication de la bière fort estimée qui se prépare en Bavière, d'après Liebig qui donne dans l'introduction à son Traité de Chimie organique des détails curieux sur ce sujet.

Disons auparavant que les bières passent facilement *à l'aigre*, à une température peu élevée, pour peu qu'elles soient soumises au contact de l'air. C'est dans les bières *jeunes* que la production d'acide acétique s'effectue le plus rapidement, et c'est dans les bières riches en alcool qu'elle a lieu le plus abondamment. Les bières de garde, qui contiennent une quantité considérable d'acide lactique, sont moins exposées à devenir aigres, mais ce qui importe surtout pour éviter cet effet, c'est la disparition des ferments, qui se produit par la méthode bavaroise.

« Les bières d'Angleterre, de France, et la plupart de celles d'Allemagne, s'aigrissent peu à peu au contact de l'air. Cet inconvénient ne se rencontre pas dans les bières de Bavière, que l'on peut conserver à volonté dans des futailles pleines ou à demi vides, sans qu'elles s'altèrent. Il faut attribuer une qualité si précieuse au procédé particulier dont on fait usage pour faire fermenter le moût, procédé qu'on appelle *fermentation avec dépôt* (en allemand, *untergachrung*), et qui a résolu un des plus beaux problèmes de la théorie.

« Le moût de bière est, en proportion, bien plus riche en gluten soluble qu'en sucre. Lorsqu'on le met en fermentation d'après le procédé ordinaire, il s'en sépare une grande quantité de levûre à l'état d'une écume épaisse, à laquelle s'attachent des bulles d'acide carbonique qui se dégagent, et qui, la rendant spécifiquement plus légère, la soulèvent vers la surface liquide. Ce phénomène s'explique facilement. En effet, puisque, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'intérieur du liquide, à côté des particules de sucre qui se décomposent, il se trouve des particules de gluten qui s'oxydent en même temps, et enveloppent pour ainsi dire les premières, il est naturel que l'acide carbonique du sucre et le ferment insoluble provenant du gluten se produisent simultanément et adhèrent l'un à l'autre. Or, lorsque la métamorphose du sucre est achevée, il reste encore une grande quantité de gluten en dissolution dans la liqueur fermentée, et ce gluten, en vertu de la tendance qu'il présente à s'approprier l'oxygène et à se décomposer, provoque aussi la transformation de l'alcool en acide acétique; si on l'éloignait entièrement, ainsi que toutes les matières capables de s'oxyder, la bière perdrait par là la propriété de s'aigrir. Ce sont précisément ces conditions que l'on remplit dans le procédé suivi en Bavière.

« Dans ce pays, on met le moût houblonné en fermentation dans des bacs découverts, ayant une grande superficie et disposés dans des endroits frais, dont la température ne dépasse guère 8 à 10° C. L'opération dure de trois à quatre semaines; l'acide carbonique se dégage, non pas en bulles volumineuses, éclatant à la surface du liquide, mais en vésicules très petites, comme celles d'une eau minérale, ou d'une liqueur qui est saturée d'acide carbonique, et sur lequel on diminue la pression. De cette manière, la surface du liquide est continuellement en contact avec l'oxygène de l'air, elle se couvre à peine d'écume, et tout le ferment se dépose au fond des vaisseaux, sous la forme d'un limon très visqueux, qui porte le nom de *lie* (en allemand, *unterhefe*).

« Dans la tendance du gluten soluble à absorber l'oxygène, et dans l'accès libre de l'air, on a toutes les conditions nécessaires à son érémacausie, c'est-à-dire à sa combustion lente (1).

« Or, on sait que la présence de l'oxygène et du gluten soluble sont également les conditions de l'acétification de l'alcool; mais ce ne sont pas les seules, il faut en outre l'influence d'une température tant soit peu élevée, pour que l'alcool éprouve cette combustion lente. Ainsi, en excluant l'intervention de la chaleur, on entrave la combustion de l'alcool, et le gluten seul se combine avec l'oxygène de l'air. Pendant l'oxydation du gluten, l'alcool se trouve à côté de lui, dans le même état que le gluten à côté de l'acide sulfureux dans les vins soufrés. L'oxygène, qui, dans les vins non soufrés, se serait combiné avec le gluten et l'alcool en même temps, ne s'empare ni de l'un ni de l'autre dans les vins qui ont été soumis au soufrage; mais il se combine avec l'acide sulfureux, pour le convertir en acide sulfurique.

« L'action à laquelle on a donné le nom de *fermentation avec dépôt*, n'est donc autre chose qu'une métamorphose simultanée de putréfaction et de combustion lente; le sucre et la lie s'y putréfient, et le gluten soluble s'y oxyde, non pas aux dépens de l'oxygène de l'eau ou du sucre, mais aux dépens de l'oxygène de l'air, et se sépare à l'état insoluble.

« Ni la richesse en alcool, ni le houblon, ni l'un et l'autre réunis, n'empêchent la bière de s'aigrir. En Angleterre on parvient, en sacrifiant les intérêts d'un capital immense, à préserver de l'acidification les bonnes sortes d'ale et de porter, en les laissant séjourner pendant plusieurs années dans des fûts énormes bien clos, dont le dessus est couvert de sable, et qui sont entièrement remplis. Ce procédé est identique avec le traitement que l'on fait subir aux vins pour qu'ils *déposent*. Il s'établit alors un léger courant d'air à travers les pores du bois; mais la quantité de matières azotées contenues dans le liquide est tellement grande par rapport à celle de l'oxygène qui se trouve en présence, que ce dernier ne peut pas agir sur l'alcool. Cependant la bière qui a été ainsi préparée ne se conserve pas plus de deux mois dans des futailles plus petites, où l'air a de l'accès.

« Faire en sorte que la fermentation du moût de bière s'accomplisse à une température basse, qui empêche l'acétification de l'alcool, et que toutes les matières azotées s'en séparent parfaitement, par l'intermédiaire de l'oxygène de l'air et non pas aux dépens des éléments du sucre, voilà le secret des brasseurs de Bavière. C'est au mois de mars et d'octobre seulement que se fabrique la bière dans ce pays. » KNAB.

BIJOUTERIE D'ACIER. Ce genre de bijouterie qui comprend diverses pièces servant à l'habillement et à la parure, emprunte à la fois ses procédés de fabrication, partie à la bijouterie des métaux précieux, partie à la coutellerie fine. C'est le poli que l'acier peut acquérir après la trempe qui le fait employer pour des parures, qui sont aujourd'hui passées de mode; il faut bien avouer que l'éclat en est difficilement comparable à celui des bijoux dorés, en même temps que la dureté de la matière employée en rend le travail plus coûteux; la durée est en réalité plus grande, mais cet avantage est sans importance pour des objets exposés aux variations perpétuelles de la mode. On doit cependant bien regretter ce changement relativement à nos habiles fabricants qui étaient parvenus, à grands frais, à obtenir des résultats de fabrication vraiment merveilleux.

La matière première que l'on emploie est, soit du fer malléable dont on acière la surface par une trempe en paquet, soit de l'acier qu'on adoucit avant le travail en le maintenant au rouge au milieu de limaille de fer, afin de désaciérer la surface, et qu'on durcit ensuite par cémentation quand on a obtenu la forme désirée.

La matière se travaille soit à l'aide de matrices soit avec des laminoirs portant en creux l'empreinte des reliefs qu'on veut obtenir. Les petits objets découpés en tôle de fer ou d'acier sont toujours amenés à leur forme par un estampage opéré au moyen de matrices d'acier trempé. (Voyez ESTAMPAGE).

Les ouvrages préparés au découpoir sont ébarbés, puis terminés à la lime et souvent à la meule qui peut agir sur l'acier, même après la trempe. La meule est surtout employée pour les pointes de diamant, et les diverses pièces qui doivent être taillées comme les pierres précieuses pour acquérir le plus de brillant possible.

Il va sans dire que les diverses soudures entre les pièces déjà façonnées, sont obtenues par la brasure. L'opération est la même que dans les divers travaux où on emploie le fer. C'est le laiton qui sert d'intermédiaire.

Les assemblages à rivets qui sont aussi fréquemment employés pour réunir les diverses pièces n'offrent rien de particulier.

Quand l'objet est terminé on le trempe le plus souvent en paquet (voyez TREMPE), puisqu'on a désaciéré l'acier ou employé du fer malléable.

On procède enfin au poli afin d'obtenir le brillant qui est la condition essentielle de cette fabrication. Il faut employer pour cela des matières assez dures pour attaquer l'acier et assez fines pour ne le pas rayer. On emploie en général l'émeri et on termine avec le rouge d'Angleterre. Pour toutes les pièces saillantes c'est au moyen de meules de bois et d'étain qu'on fait agir ces substances, par un travail semblable à celui du lapidaire; on agit dans les parties creuses en les frottant avec des brosses rudes enduites d'émeri.

On a remplacé avec assez de succès dans quelques cas le polissage à la main, toujours fort coûteux, par un polissage mécanique semblable à celui employé pour

(1) (Liebig donne le nom d'érécamausie (all. *verwesung*) aux phénomènes de combinaison lente que les matières éprouvent sous l'influence de l'air. A cette classe de décomposition qui sont des combustions lentes appartiennent: la transformation du bois en terreau, la nitrification, etc.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

es aiguilles. On introduit les petits objets à polir dans
n cylindre creux mis en mouvement par un moteur
uelconque et rempli de poudre d'émeri et de grès,
royés à l'eau et réduits en pâte molle. l'ar une rotation
rolongée et peu rapide de trois ou quatre fois vingt-
uatre heures, les objets ont pris un assez beau poli,
u'on termine en les passant après les avoir lavés, dans
n autre cylindre renfermant du rouge d'Angleterre.

BIJOUTERIE EN FONTE DE FER. On connaît
ous le nom de bijoux en fonte de Berlin les bijoux ob-
nus simplement par le moulage de la fonte de fer. Les
rocédés employés n'ont rien de particulier, mais il
'est que peu d'habiles fondeurs capables d'obtenir des
ièces d'une netteté parfaite et offrant des arêtes de
ême vivacité que celles du modèle. Le succès dépend
'une infinité de soins et de précautions qu'il est impos-
ible de décrire. Les moules sont faits en sable de Fon-
nay-aux-Roses, comme tous ceux employés pour le
oulage de la fonte à Paris. On y mélange $\frac{1}{8}$ de char-
on. Quelques fondeurs établissent leurs moules en terre.

L'épaisseur du métal devant être peu considérable, il
aut pour obtenir une grande pureté, chauffer d'avance
moule et surtout couler le métal à une température
ort élevée.

La France n'a rien à envier aujourd'hui à l'Angleterre
même à la Prusse, où cette fabrication a pris nais-
ance et a été portée à un haut degré de perfection.
'art de la fonderie en France a au moins égalé celui
aucun autre pays, et nos habiles fabricants en con-
aissent aujourd'hui toutes les ressources. (Voyez FON-
ERIE DE FER.)

BIJOUTIER-JOAILLIER (art du). Se divise en deux
rties bien distinctes, l'art du *bijoutier en fin* et celui
bijoutier en faux. Le premier travaille l'or et l'ar-
ent, les pierres précieuses en tout genre; le second
mploie le chrysocale, sorte de laiton, qu'il dore ou
'gente, les pierres factices, qui se rapprochent par leur
lat, sinon par leur dureté, de celui des pierres pré-
euses. Cet art, surtout le second, pour lequel la ma-
ère première employée est de peu de valeur, mais
rend sous les doigts d'habiles artistes les formes les
lus gracieuses, est devenu en France la base d'une
nmense industrie, dans laquelle nous ne reconnaissons
as de rivaux. (Voyez ORFÉVRERIE.)

Traitant dans des articles spéciaux de la *taille des
ierres fines* (voyez LAPIDAIRE) et de la composition
es pierres fausses et émaux (voyez VERRE), il nous reste
passer successivement en revue : 1° le métal et les
ivers alliages employés; 2° les moyens d'obtenir la
orme voulue par moulage, laminage, étirage, estam-
age et gravure; 3° la soudure des parties entre elles;
le montage des pierres par sertissement; 5° la co-
ration au moyen des émaux, des vernis: mise en cou-
ur.

I. *Métaux employés.*—L'éclat métallique le plus inal-
rable est la condition première de tout bijou; l'or et
argent sont donc par excellence les deux métaux em-
oyés de toute antiquité pour la fabrication des bijoux,
ils ne peuvent être remplacés qu'autant qu'on par-
ient, comme dans la fausse bijouterie, à donner à du
iton l'apparence de l'or ou de l'argent, en le recouvrant
'une couche mince de ces derniers métaux. Les der-
ières lois prescrivent trois titres légaux pour les ou-
rages d'or, et deux pour les ouvrages d'argent. Savoir,
our l'or :

1er titre. — 920 millièmes ou 22 karats 1/32 et 1/2 l'unité divisée en 24 karats).
2e titre. — 840 millièmes ou 20 karats 5/32 et 1/2.
3e titre. — 750 millièmes ou 18 karats.
Pour l'argent :
1er titre. — 950 millièmes
2e titre. — 800 millièmes

La tolérance est de 3 millièmes pour l'or et 5 millièmes pour l'argent.

Le titre des alliages employés, vérifié à la Monnaie par les procédés que nous décrirons au mot ESSAIS, est indiqué sur les objets fabriqués au moyen d'un poinçon particulier à chaque titre.

II. *Moyens d'obtenir les formes volumes.* — 1° *Moulage.* Le moulage des objets un peu volumineux est un MOULAGE en sable dont nous n'avons pas à nous occuper ici. Nous donnerons seulement, d'après M. Boué, à l'ouvrage duquel nous renverrons les personnes qui veulent étudier l'art de la bijouterie dans ses détails, le moulage dans des os de sèche, lequel convient surtout pour les petits objets.

La première partie de l'opération consiste à dresser, par le frottement, sur une pierre bien plane, la partie tendre de l'os; la partie extérieure est formée d'une espèce d'écaille brune plus dure. Si les objets qu'on se propose de mouler sont des bas-reliefs, il suffira de les enfoncer dans l'os au moyen d'une pression suffisante. En tournant ensuite l'os sens dessus dessous, le modèle s'en détache par son propre poids. On forme le jet avec un couteau, en ayant soin d'en faire l'ouverture très évasée, afin de faciliter l'introduction de la matière, puis on dessèche l'os au-dessus d'une lampe; on le recouvre ainsi, en outre, d'une légère couche de noir de fumée, qui offre l'avantage de boucher tous les interstices de l'os sans rien enlever à la finesse des empreintes. L'os ainsi préparé est renversé sur une espèce de brique bien plane, faite avec de la terre à creusets, et qui, en raison de son emploi, porte le nom de *contre-os*. Après avoir légèrement chauffé l'os et le contre-os, on les réunit à l'aide d'une paire de pincettes, dont on appuie le haut, au moment de la coulée, sur le bord d'une terrine placée dans le foyer où la fonte a lieu, et qui doit être à moitié pleine d'eau, afin que l'on puisse facilement recueillir, sans déchet et sans perte de temps, les jets de matière. Les os de sèche servent encore à couler de petits objets en ronde-bosse quand l'épaisseur de ceux-ci ne dépasse pas le double de celle de la partie molle de l'os, qui est la seule propre à recevoir des empreintes. Pour parvenir à mouler de pareils sujets, il suffit de dresser, comme il a été dit plus haut, deux os de même grandeur, de placer entre eux les modèles que l'on veut reproduire, et de les presser jusqu'à ce qu'ils se touchent. Par l'effet de cette pression le modèle s'incruste dans les deux os, et lorsque ceux-ci sont joints, on perce, à l'aide d'une pointe d'acier, en dehors de l'objet moulé et avant de le retirer, trois ou quatre trous qui traversent les os de part en part, et qui, après l'enlèvement du modèle, servent de points de repère pour réunir, au moyen de chevilles, dans leur première position les deux parties du moule. Cela fait, on sépare les os pour en retirer les modèles; on forme le jet dans les deux parties; on les échauffe modérément, et on les réunit au moyen de chevilles; après quoi, on procède à la coulée comme il a déjà été dit. »

Le moulage est, surtout de nos jours, bien moins employé dans la bijouterie que l'estampage; comme il donne des pièces pleines, il ne peut produire que des bijoux lourds et coûteux.

2° *Laminage.* — *Étirage.* Les parties des bijoux formées de parties linéaires, de plaques, fils, etc., s'obtiennent au moyen du LAMINOIR ou du BANC A TIRER (voyez ces mots). On appelle *grainti* les plaqués passés à un laminoir à rouleau gravé qui y imprime des grains ou des losanges de formes variées.

3° *Estampage.* — Les métaux employés en bijouterie jouissant d'un grande malléabilité, prennent avec la plus grande facilité des formes variées, au moyen de l'estampage. Nous renvoyons à l'article ORFÉVRERIE la description des procédés employés, ainsi que celle des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résultats merveilleux auxquels on est parvenu pour diminuer les frais considérables qu'entraîne la fabrication des coins et matrices d'acier.

Quant à ce travail analogue à celui de l'estampage, qui se fait à la main, à cette espèce de sculpture au marteau souvent pratiquée par de véritables artistes et qui constitue en grande partie la base de l'orfévrerie, il ne saurait être décrit à cause de sa simplicité, tout dépendant ici de l'adresse de l'ouvrier qu'il faut voir à l'œuvre pour bien comprendre la manière dont il s'y prend.

3° *Gravure*. La GRAVURE vient souvent orner les faces des bijoux. On a employé de nouveau, dans ces dernières années, avec grand succès sur l'argent, les NIELLES, espèce de gravure chimique.

III. *Soudures des parties entre elles pour les réunir*. — Quand les diverses parties d'un bijou sont amenées à la forme voulue, on les réunit par soudure; en laissant de côté le petit nombre d'assemblages par charnières, agrafes, etc., pour les parties qui doivent pouvoir s'ouvrir et se fermer au besoin, et qui n'offrent rien de particulier.

Les alliages employés pour les soudures, et qui doivent satisfaire aux conditions générales que nous avons établies à l'article ALLIAGES, doivent être faits à des titres déterminés. C'est la cause d'altération la plus grave, des bijoux fins dits bijoux fourrés, que l'on fait par la réunion de pièces au titre et poinçonnées, au moyen de soudures de titre inférieur, qui en augmentent beaucoup le poids.

Les proportions des alliages qui constituent les soudures d'or et d'argent, dit M. Boué, sont indiquées par le nom même que l'on donne à chacune d'elles, puisque ce nom indique la proportion du métal ou des métaux étrangers qui entrent dans la composition du tout. Dans la bijouterie fine on ne fait guère usage que de trois sortes de soudures, soit en or soit en argent. Les soudures d'or sont connues sous le nom de soudures au *quart*, au *tiers*, au *deux*; les soudures d'argent au *six*, au *quart*, au *tiers*.

Soudure de l'or.

Soudure au quart	= 3	parties d'or;	1	partie d'alliage.
— au tiers	= 2	—	1	—
— au deux	= 1	—	1	—

L'alliage est formé de 2/3 d'argent fin, et 1/3 de cuivre, excepté la soudure au deux, dont l'alliage doit être composé moitié argent, moitié cuivre.

Soudure de l'argent.

Soudure au six,	—	argent 5;	cuivre jaune 1.
— au quart,	—	argent 3;	cuivre jaune 1.
— au tiers,	—	argent 2;	cuivre jaune 1.

La soudure doit avoir été fondue plusieurs fois avant d'être employée, afin qu'elle soit bien homogène; on la réduit en lames minces au laminoir, et on la gratte avant d'en faire usage afin d'éviter que des corps étrangers en se fixant à sa surface ne nuisent à sa fusibilité.

Pour souder une pièce, on réunit les parties à souder, au moyen d'un fil de fer, après avoir déposé des paillettes de soudure dans les assemblages. On garnit de borax en poudre toutes les parties à souder; puis, dirigeant sur celle-ci le dard d'un chalumeau, on opère la fusion de la soudure, et par suite l'assemblage des pièces. (Le borax en fondant, prévient toute oxydation, et opère un décapage qui facilite la réunion). Quand la soudure a coulé, on enlève l'excédant à la lime et on en efface les traces par le polissage.

Quand il doit y avoir plusieurs soudures successives dans une même pièce, il faut avoir soin d'employer pour les premières celles du titre le plus élevé, en employant successivement celles de titres inférieurs, qui, étant plus fusibles que les premières, n'exigeront pas pour leur emploi une température suffisante pour fondre celles-ci.

IV. *Montage des pierres par sertissement*.—Pour monter une pierre on forme ce qu'on appelle un *chaton*, au moyen d'un fil d'argent pour les diamants et pierres blanches, d'or pour toutes les pierres de couleur, auquel on donne le contour de la pierre et qu'on soude à une petite plaque d'argent ou d'or rondue sphérique au moyen d'un poinçon et d'une étampe de cette forme. Cette dernière porte le nom de dé à emboutir.

La pierre entrée dans le chaton y est maintenue par un serrage exercé sur le fil, dont les angles sont rapprochés par pression.

Pour un objet composé, après avoir disposé les pierres dans de la cire, de manière à obtenir la forme désirée, on prend une plaque de métal de largeur convenable sur laquelle on pratique des trous un peu plus petits que les pierres; puis, repliant un peu la matière à l'intérieur des trous on fait entrer la pierre et on finit le serti, soit en formant un chaton pour le soutenir, soit par la simple application d'un fil qui se soude à la plaque.

V. *Mise en couleur*.—Avant d'aviver la couleur propre des bijoux ou d'y appliquer des couleurs étrangères, il faut polir les pièces de manière à faire disparaître tous les traits et empreintes des premières opérations.

On adoucit les surfaces en les frottant avec des pierres ponces d'abord d'un grain assez gros, puis avec un mélange de pierre ponce pulvérisée et d'huile d'olive; enfin avec du tripoli d'une finesse extrême. On emploie aussi souvent le rouge d'Angleterre en poudre très fine, et amené à l'état de pâte avec de l'eau-de-vie ou de l'alcool.

La couleur des bijoux; surtout ceux qui ne sont qu'au titre de 750 millièmes n'est pas celle de l'or pur, et est loin d'en avoir l'éclat. On l'obtient au moyen d'une opération dite *mise en couleur*, qui consiste à les faire passer dans des liquides qui exercent une action corrosive sur les alliages de la surface et laissent à nu une couche d'or fin. On prépare beaucoup de couleurs à bijoux différentes; nous ne citerons que la composition de la suivante :

Sel marin et alun parties égales, nitre 2 parties. On fait bouillir dans une dissolution de ces substances la pièce. Voy. ORFÉVRERIE. BIJOUTERIE.

BISMUTH (*angl.* bismuth, *all.* wismuth). Les Grecs et les Romains ne connaissaient pas ce métal, il ne paraît avoir été découvert qu'au moyen âge, dans l'Erzgebirge, chaîne de montagnes qui sépare la Saxe de la Bohême; Agricola est le premier qui en ait fait mention, dans son traité publié en 1546.

Le bismuth a une couleur blanc-gris un peu rougeâtre et une texture extrêmement lamelleuse; il n'a ni saveur ni odeur. Lorsqu'il est parfaitement pur, il jouit d'une certaine ductilité; mais dans l'état où on le trouve dans le commerce, il est cassant, ce qu'il doit à une petite quantité de soufre et d'arsenic qu'il renferme; en le fondant, puis le laissant refroidir et le coulant dès qu'il commence à se solidifier, on en sépare le soufre à l'état de sulfure de bismuth qui s'est solidifié le premier; on achève de le purifier en le fondant avec $\frac{1}{10}$ de son poids de nitre, qui oxyde tout l'arsenic et les métaux étrangers, ainsi qu'une petite quantité de bismuth. Il est très difficile d'en séparer l'argent; à cet effet, il faut le soumettre à la coupellation, pulvériser la coupelle, puis la fondre avec 2 p. de flux noir et 1 p. de borax vitreux, et traiter encore une fois de la même manière le bismuth obtenu. La pesanteur spécifique du bismuth fondu est de 9,83, et peut s'élever à 9,8827 lorsqu'on l'écrouit avec précaution sous le marteau. Le bismuth est de tous les métaux connus celui qui cristallise avec la plus grande facilité; lorsqu'on en fond une certaine quantité dans un vase, qu'ensuite on le laisse refroidir aussi longtemps que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

possible, puis qu'aussitôt qu'il s'est formé une croûte solide à la surface du bain, on la perce sur le bord avec une tige de fer portée au rouge, et qu'on décante alors le métal non solidifié, on obtient, à l'intérieur du vase, de magnifiques cristaux cubiques de bismuth, groupés en trémies, qui offrent souvent les irisations les plus brillantes, résultat d'une oxydation superficielle pendant le refroidissement. Le bismuth fond à 249° C. Il est très volatil, pas assez cependant pour qu'on puisse le distiller. Il se dilate, entre 0 et 100°, de $\frac{1}{110}$ de sa longueur primitive.

Nous avons déjà parlé des propriétés des alliages de bismuth à l'article ALLIAGES, et il est à regretter que le prix élevé de ce métal en rende l'emploi si restreint. L'alliage fusible de Newton, composé de 8 p. de bismuth, 5 p. de plomb et 3 p. d'étain fond à 94° 1/2. L'alliage fusible de Rose, composé de 2 p. de bismuth, 1 p. de plomb et 1 p. d'étain, fond à 93° 3/4. L'alliage composé de 5 p. de bismuth, 3 p. de plomb et 2 p. d'étain, est encore plus fusible; il fond à 91° 2/3. Ces alliages sont employés pour former des rondelles fusibles à des températures déterminées, en élevant, s'il est nécessaire, le degré de fusibilité en y ajoutant du plomb en quantité convenable.

Les fabrications que nous étudions aux articles FONDERIE EN CARACTÈRES, POLYTYPIE, GRAVURE, sont possibles avec les alliages ci-dessus comme avec ceux habituellement employés, et ont de plus cet avantage que pour une même ténacité de l'alliage le point de fusibilité est beaucoup abaissé. Malheureusement le prix du bismuth est trop élevé pour un fréquent emploi.

On connaît deux oxydes de bismuth. Le bismuth ne s'altère pas à l'air sec; il se recouvre à l'air humide d'une pellicule d'un brun rougeâtre, que l'on regarde comme un sous-oxyde. Il brûle au rouge avec une flamme bleuâtre, en répandant des vapeurs jaunes d'oxyde. Il se dissout dans l'acide nitrique et l'eau régale, ainsi que dans l'acide sulfurique concentré et bouillant.

L'*oxyde de bismuth* est jaune et fond au rouge en un verre opaque d'un brun foncé. Il renferme sur 100 parties, 89,87 de bismuth et 10,13 d'oxygène. On le prépare en oxydant à l'air le bismuth fondu, ainsi qu'en calcinant l'hydrate ou le nitrate de bismuth. On obtient l'hydrate en précipitant par l'ammoniaque en excès un sel soluble de bismuth.

Le *peroxyde de bismuth* est de couleur puce foncée; il est peu stable, et a la plus grande analogie avec l'oxyde puce de plomb. Il se compose de 85,5 de bismuth et de 14,5 d'oxygène, pour 100. On le prépare aisément en faisant bouillir de l'oxyde hydraté avec un chlorite alcalin en dissolution.

L'oxyde de bismuth seul donne des sels; ces sels sont incolores lorsque l'acide l'est également; ils sont très peu solubles; ceux qui sont solubles sont décomposés par l'eau, qui les transforme en sous-sels insolubles et en sels très acides solubles.

En dissolvant le bismuth dans l'acide nitrique et étendant d'une grande quantité d'eau, on obtient un précipité blanc et pulvérulent d'un sous-nitrate tout à fait insoluble, qui porte le nom de *magistère de bismuth*, et qui est employé dans la médecine.

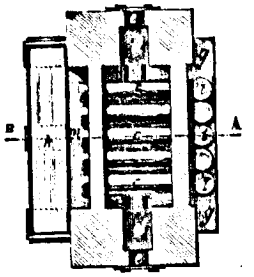
En versant du nitrate de bismuth dans une dissolution très étendue de sel marin, il se précipite un oxychlorure blanc de neige, qui porte le nom de *blanc de fard*, d'après l'usage auquel on l'emploie. Les femmes qui en font un usage habituel pour se farder les joues, courent le risque, lorsque par hasard elles se trouvent dans un endroit où il se dégage de l'hydrogène sulfurique, comme, par exemple, dans les établissements d'eaux minérales sulfureuses, d'en revenir les joues teintes en brun et même en noir, et ces taches ne s'en vont qu'avec la peau au bout d'un temps assez long.

Les deux seuls minerais de bismuth que l'on rencontre en quantité un peu notable sont le bismuth sulfuré et le bismuth natif.

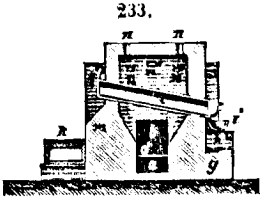
Le *bismuth sulfuré* est d'un gris de plomb éclatant, lamelleux ou rayonné, aigre, tendre et tachant le papier. Il est fusible à la simple flamme d'une bougie.

Le *bismuth natif*, plus abondant que le précédent, est en masses lamellaires ou cristallisé en petits cubes. Il fond à la flamme d'une bougie. C'est le seul minerai dont on retire le métal. On ne le rencontre en quantité assez considérable, pour donner lieu à une exploitation, que dans l'Erzgebirge saxon, aux environs de *Schneeberg*. Il est ordinairement associé à des minerais de cobalt qui en renferment moyennement 6 1/2 p. 100.

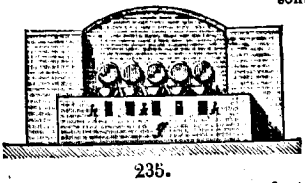
Le traitement métallurgique est très simple, et consiste à soumettre à la liquation le minerai trié et concassé en morceaux de la grosseur d'une noisette. Le fourneau de liquation employé à *Schneeberg* est représenté fig. 233, 234 et 235. La fig. 233 est le plan du fourneau; la fig. 234 est une coupe verticale suivant AB, fig. 233; et enfin la fig. 235 est une élévation antérieure du fourneau. *a*, est le cendrier; *b*, la chauffe; *c*, *c*,... les cinq tubes de liquation; *d*, la grille en briques, sur laquelle on charge le bois qui sert de combustible par les portes *e*, *e*. Les tubes de liquation sont en fonte; ils ont 1m,40 de long sur 0m,28 de diamètre, et sont inclinés de 1/5e environ pour favoriser la séparation du métal; ils sont fermés, à leur partie antérieure, par une plaque en argile *f*, percée d'un trou par lequel s'écoule le bismuth; *g*, mur antérieur du fourneau perce d'ouvertures *h*,.. correspondantes à chaque cendrier; *i*,.. creusets en fonte dans lesquels tombe le métal fondu, et qu'on entretient à une température convenable au moyen de charbons placés dans un petit foyer inférieur; lorsqu'on a recueilli dans les creusets une quantité de bismuth suffisante, on le coule, dans un moule en fonte, en lingots de 19 à 20 kilogr. On charge à la fois dans chaque tube 25 kilog. de minerai, de manière à le remplir sur la moitié de sa hauteur et les trois quarts de sa longueur; on ferme ensuite les tubes au moyen des plaques de tôle *l*,.. et on pousse le feu que l'on règle au moyen des ouvreaux *n*, *n*..; au bout de 10 minutes, le bismuth commence à couler goutte à goutte dans les creusets *i*,.. qui renferment un peu de poussière de charbon, qui sert à réduire l'oxyde qui tend à se former par le contact du métal fondu et de l'air. Lorsque la liquation se ralentit, on remue les matières dans les tubes à l'aide d'une tige en fer, et enfin lorsqu'il ne se sépare plus de



233.



234.


235.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bismuth, ce qui a ordinairement lieu au bout d'une demi-heure, l'opération est terminée; on retire les résidus (en *all.* graupen) avec un râble en fer, on les fait tomber sur le mur incliné *m*, et de là dans une caisse en bois *k* remplie d'eau, où ils se refroidissent, et on procède à une nouvelle charge. On passe par 24 heures, dans un fourneau comme celui que nous venons de décrire, 3,000 kilog. environ de minerai, et on en retire de 200 à 215 kilog. de bismuth.

Les résidus de ce traitement sont cobaltifères, et servent concurremment avec les autres minerais de cobalt, trop peu riches en bismuth pour être soumis directement à la liquation, à la préparation du verre de cobalt (voyez COBALT). Dans cette fabrication, le bismuth ne se combine ni avec le smalt ni avec les speiss; il se sépare de ces produits, et par suite de sa plus grande densité, il se trouve mélangé mécaniquement à la partie inférieure des derniers speiss que l'on obtient, d'où on peut le séparer en les concassant et les traitant par liquation dans le fourneau ci-dessus.

Tout le bismuth livré au commerce nous vient de l'Erzgebirge saxon; *Schneeberg* en produit annuellement environ 4,000 kilog.; *Johann-Georgenstadt* et les usines à cobalt de la Saxe, 5 à 600 kilog.; en tout 4,500 à 4,600 kilogr. Son prix varie de 10 fr. à 4 fr. le kilogr.

P. DEBETTE.

BISTRE. Couleur brune qui s'emploie de la même manière que la sépia et l'encre de Chine. On la prépare avec de la suie de bois; celle qui provient du hêtre est la meilleure. Après avoir pulvérisé la suie, on la passe au tamis de soie, ensuite on la lave d'abord à l'eau froide, puis à l'eau chaude, pour dissoudre les sels solubles qu'elle renferme. On retire ensuite de la suie lavée, par lévigation et décantation, une pâte très fine, que l'on mêle avec un peu d'eau gommée et qu'on verse dans des moules où on la laisse sécher. On obtient ainsi du bistre en pains qui sont livrés au commerce. Le bistre ne sert que comme couleur à l'eau, et n'est jamais employé comme couleur à l'huile.

BITUME OU ASPHALTE (*angl.* asphaltum, *all.* asphalt). Substance minérale, noire ou brune, composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, comme les corps organiques. Par sa couleur et sa cassure, il a de l'analogie avec de la poix, ce qui lui a quelquefois fait donner le nom de poix minérale. Sa densité est d'environ 1,16. Il fond à la température de l'eau bouillante, s'allume aisément, et brûle avec vivacité en répandant une épaisse fumée. Soumis à la distillation sèche, il donne une huile bitumineuse particulière, très peu d'eau, une petite quantité de gaz combustibles, des traces d'ammoniaque, et laisse environ un tiers de son poids de charbon, qui incinéré donne des cendres contenant de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer, de l'oxyde de manganèse, et quelquefois un peu de chaux. Selon John, en traitant successivement l'asphalte par divers dissolvants, on peut le séparer en trois éléments distincts. L'eau ne dissout rien; l'alcool anhydre dissout une résine jaune formant les 0,05 du poids de l'asphalte, également soluble dans l'éther. En traitant le résidu insoluble dans l'alcool par l'éther, on dissout une résine brun-noirâtre que forme les 0,70 du poids de l'asphalte, et que l'on peut obtenir en évaporant sa dissolution éthérée; cette résine se dissout aisément dans les huiles volatiles et dans l'huile de pétrole. Le résidu insoluble dans l'éther se dissout aisément dans l'huile de térébenthine et dans celle de pétrole. La potasse caustique dissout une quantité notable d'asphalte; mais le carbonate de potasse n'a pas sur lui d'action sensible.

L'asphalte entre dans la composition des ciments hydrauliques et dans celle des vernis noirs, appelés vernis du Japon, qui servent à couvrir les boîtes à thé, etc... On prépare un vernis pareil, très beau, en dissolvant 12 p. de succin fondu, 2 p. de résine et 2 p. d'asphalte dans 6 p. d'huile siccative de graine de lin, à laquelle on a ajouté 12 p. d'huile de térébenthine.

Il y a une espèce de bitume qu'on trouve à *Aniches* (département du Nord), qui est noir, très fusible et mou. Il brûle avec flamme. L'alcool, l'éther et l'huile de térébenthine en extraient une substance grasse qui peut être saponifiée avec les alcalis.

Le bitume de *Murindó*, près Choco (Colombie), est noir-brunâtre, mou, à cassure terreuse. Il a une saveur acide, brûle avec une odeur de vanille, et l'on dit qu'il contient une grande quantité d'acide benzoïque. Il paraît être le résultat de la décomposition d'arbres qui contenaient du benjoin.

L'asphalte se rencontre en immense quantité à la surface du *Lac asphaltique*, ou *mer Morte* (Judée), dont les flots le rejettent sur le rivage; c'est de cette localité que vient la plus grande partie du bitume que l'on trouve dans le commerce.

Le gisement d'asphalte le plus remarquable qui existe au monde, est sans contredit la plaine ou le bassin, dit *Lac de poix*, qui en est rempli dans l'île de la *Trinité* (Antilles). Ce bassin, situé sur le point culminant de l'île, exhale une odeur extrêmement forte qui se fait encore sentir à une distance de plus de 16 kilomètres. Au premier aspect on dirait un lac rempli d'eau; mais de plus près, on croit voir une surface de verre. Lorsque, pendant l'été, le soleil vient à darder en plein dessus, cette surface se liquéfie sur quelques centimètres d'épaisseur. Le lac est à peu près circulaire, et a environ 5 kilomètres de tour; sa profondeur n'a pu être déterminée. On rencontre généralement le bitume dans les couches calcaires argileuses et sablonneuses, ainsi que dans les terrains volcaniques.

Le pétrole est une sorte de bitume liquide que l'on rencontre fréquemment sur les eaux qui surgissent au pied des volcans; la mer en est même couverte en tout temps, près des îles volcaniques du cap Vert. M. Breislack a observé une source de pétrole qui s'élève du fond de la mer, au sud du pied du Vésuve. (Voy. PÉTROLE.)

Depuis plusieurs années on emploie en France avec le plus grand succès, pour couvrir les toits et les terrasses, faire des trottoirs, enduire les bassins et réservoirs d'eau, un mastic bitumineux que l'on prépare principalement avec les bitumes de *Lobsann* (Bas-Rhin), de *Seyssel* (Ain) et de *Puy-de-la-Poix* (Puy-de-Dôme). On trouve dans les localités sus-nommées, près du gisement de bitume proprement dit, un calcaire poreux imprégné de bitume que l'on exploite à part, et que l'on laisse sécher; on le pulvérise ensuite, et on le met dans une grande chaudière en fer, placée sur le feu, dans laquelle on ajoute, lorsque le calcaire est chaud, $\frac{1}{5}$ de son poids de bitume préalablement fondu, puis on brasse le tout ensemble jusqu'à ce que le mélange soit bien intime; on puise alors le mastic bitumineux ainsi préparé, avec une cuillère en tôle, et on le coule dans des moules rectangulaires, formés de pièces mobiles en tôle, s'assemblant à clavettes et intérieurement recouvertes d'un enduit d'argile destiné à prévenir l'adhérence du mastic. On démonte les moules après le refroidissement, et on retire le mastic en pains rectangulaires qui sont livrés en cet état au commerce, et qui ont ordinairement 0m,50 de long sur 0m,33 de large et 0m,11 d'épaisseur.

Pour employer ce mastic à la confection des trottoirs, on le fond de nouveau et on y ajoute autant de sable que possible, de manière à former une bouillie épaisse que l'on coule par petites portions d'un mètre carré, au plus, de superficie, sur un lit de sable de 1 ou 2 cent. d'épaisseur, encadré provisoirement par des règles en bois dont la hauteur sert à régler l'épaisseur de la couche de bitume; on tamise ensuite par dessus du sable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de moyenne grosseur, obtenu en séparant à la claie le plus fin, et on pilonne le tout pendant que le bitume est encore chaud, avec des planchettes carrées armées d'un long manche, qui sert à les manœuvrer.

Ainsi que l'a indiqué le premier un ingénieur des ponts et chaussées, M. de Coulaine, l'asphalte naturel et en roche peut immédiatement servir à l'exécution des chaussées empierrées et trouve là une application du plus haut intérêt pour la propreté des grandes villes. Voici quel est le procédé suivi par la Société du Val-de-Travers. On commence par recouvrir les chaussées d'une couche de béton ayant plus de 15 centimètres d'épaisseur; puis on pose deux règles de 6 centimètres d'épaisseur, qui ont la courbure prescrite pour la chaussée, et qui sont espacées entre elles d'environ 1 mètre. On chauffe alors l'asphalte naturel du Val-de-Travers pulvérisé, qui est un carbonate de chaux imprégné de 6 p. 100 de bitume qui se trouve en bancs puissants dans le terrain jurassique, et quand il commence à se ramollir par l'action de la chaleur, on le répand entre les deux règles. On le comprime ensuite d'une manière graduée à l'aide de rouleaux de poids différents. Après cette opération, il entre 128 kilogrammes d'asphalte dans chaque couche ayant un mètre carré de surface et 0m,06 d'épaisseur. Des chaussées empierrées en asphalte ont été faites à Paris dans plusieurs endroits, notamment dans les rues Bergère, de la Banque, des Petits-Champs, etc., à Paris. Elles présentent un sol compacte, uniforme, solide, qui résiste bien à l'usure, excellent pendant les temps froids surtout, car les grandes chaleurs augmentent la traction des véhicules; elles donnent moins de boue et beaucoup moins de poussière que les chaussées empierrées ordinaires; leurs frais d'entretien paraissent devoir être modérés, vu la facilité des réparations.

L. F....

BLANC DE BALEINE. Substance grasse qu'on retire d'une matière grasse et fluide renfermée principalement dans la tête de certaines espèces de baleines appartenant au genre *cachalot*, telles que les *physeter macrocephalus*, *tursio*, *microps* et *orthodon*, ainsi que du *delphinus edentulus*. On filtre cette graisse fluide dans de grands sacs; il passe au travers de l'huile de baleine qui est d'excellente qualité pour l'éclairage et qui, bien purifiée, est d'un emploi très avantageux pour le graissage des machines délicates, telles que les mouvements d'horlogerie, etc., à cause de son extrême fluidité et de son peu d'action sur les métaux. Le résidu qui reste dans les sacs est fortement comprimé à chaud (voyez BOUGIE STÉARIQUE et PRESSE HYDRAULIQUE), à l'aide d'une presse hydraulique horizontale. On fait digérer ensuite à chaud les gâteaux obtenus, avec une dissolution peu concentrée de potasse, qui décompose les matières animales étrangères et colorantes qui se trouvaient mélangées avec le blanc de baleine, et qui donne lieu à la formation d'écumes savonneuses et noirâtres, qui viennent à la surface du bain et que l'on enlève à l'aide d'une écumoire. On continue cette opération jusqu'à ce que le liquide soit parfaitement limpide, puis on lave à l'eau bouillante et on transvase dans des cristallisoirs, où on obtient, par le refroidissement, ces pains d'une blancheur parfaite que l'on trouve dans le commerce.

Le blanc de baleine ainsi purifié se présente en masses inodores, cristallines et translucides, dont la pesanteur spécifique est de 0,943; il fond à 49° et brûle avec une flamme très éclatante; 100 parties d'alcool ayant une densité de 0,821, en dissolvent 3 parties 1/2; il est encore plus soluble dans l'éther sulfurique. Ainsi obtenu, il renferme encore une faible quantité d'huile de baleine dont on le sépare en le traitant par de l'alcool absolu bouillant; il se dépose par le refroidissement en aiguilles cristallines que l'on exprime entre des feuilles de papier non collé et que l'on traite de même à plusieurs reprises. On obtient de cette manière du blanc de baleine parfaitement pur, auquel M. Chevreul a donné le nom de *cétine*, que l'on peut distiller sans altération dans un courant d'acide carbonique, et qui renferme 5,478 d'oxygène, 81,660 de carbone et 12,882 d'hydrogène.

Le blanc de baleine ne se saponifie que difficilement avec les alcalis, en se transformant en *éthal* et en acides margarique et oléique. C'est cette propriété qu'il possède de n'être point facilement attaquable par les alcalis, qui sert, comme nous l'avons vu, de base à son épuration.

Le blanc de baleine est, pour certains pays, l'objet d'un commerce important. L'Amérique envoie annuellement, à la pêche du cachalot, 450 navires environ, qui rapportent 135,000 barils d'huile, dont on retire à peu près 750,000 kilogr. de blanc de baleine; cette industrie occupe 4 à 5,000 personnes, et donne lieu à un mouvement de fonds de près de 30 à 35,000,000 de francs; en Angleterre, cette pêche occupe 80 à 90 navires, qui rapportent annuellement 3,500,000 à 4,000,000 kilogr. d'huile, dont on retire 350 à 400,000 kilogr. de blanc de baleine; cette industrie occupe environ 3,000 personnes, et donne lieu à un mouvement de fonds de 16 à 18,000,000 de francs. En France, cette industrie est peu développée; nos baleiniers se bornent à la chasse des baleines proprement dites, et nous sommes obligés de tirer de l'étranger de l'huile de cachalot et même du blanc de baleine tout pressé, pour alimenter nos fabriques de bougies diaphanes. L'importation annuelle de ce produit est d'environ 150,000 kilogr.

BLANC D'ESPAGNE. Argile blanche, très fine, purifiée par lavage, moulée en pains après dépôt et séchée à l'air.

BLANC DE MEUDON. On appelle ainsi de la craie, du carbonate de chaux très pur. On le prépare, pour Paris, à Bougival, en lavant la craie avec soin après un broyage et laissant déposer. On le retire par décantation et on le moule en pains que l'on fait sécher à l'air.

BLANC DE PLOMB ou CÉRUSE. Nous décrivons en détail cette fabrication à l'article CÉRUSE.

BLANC DE ZINC ET COULEURS A BASE DE ZINC. Jusqu'à ces derniers temps la plupart des couleurs employées dans la peinture artistique, la peinture en bâtiments, la fabrication des papiers peints, etc., offraient tant sous le rapport de leur durée que sous celui de leur fabrication et de leur emploi les plus graves inconvénients. Les unes à base de plomb, telles que le blanc d'argent, la céruse, les jaunes de chrôme, le minium et la mine-orange, les verts obtenus par un mélange de jaune et de bleu, occasionnent chez les ouvriers des fabriques et parmi les peintres ces terribles maladies connues sous le nom de *maladies saturnines* (vulgairement coliques de plomb, coliques de peintre) qui les déciment d'une manière lente, mais assurée; les autres à base de cuivre et d'arsenic, telles que les verts de gris, de Schéele et de Schweinfurth, sont non moins vénéneuses; enfin, les unes et les autres s'altèrent avec une effrayante rapidité sous l'action des émanations sulfureuses, ammoniacales et autres qui abondent surtout dans l'intérieur des villes et des habitations, ainsi que sous l'influence de la lumière et des agents atmosphériques. En outre, on ne peut habiter immédiatement un appartement peint avec des couleurs à base de plomb, cuivre ou arsenic, ou même tapissé avec des papiers peints, dans la fabrication desquels entrent ces couleurs, sans s'exposer à des maladies ou des empoisonnements, dont on ne sait où chercher l'origine et qui ont malheureusement eu plus d'une fois une déplorable fin.

Déjà à la fin du siècle dernier le célèbre Guyton de Morveau, vivement préoccupé du sort des nombreuses victimes dues à la fabrication et à l'emploi de peintures aussi insalubres qu'altérables, avait préconisé et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

patronné le remplacement du blanc de plomb dans la peinture par l'oxyde blanc de zinc, qui lui avait été indiqué par Courtois, manufacturier à Dijon; il fut arrêté, d'un côté, par l'imperfection de ses procédés de fabrication qui, jointe aux prix relativement élevés du zinc à cette époque, ne lui permirent pas de livrer le blanc de zinc au commerce à des prix assez bas pour faire renoncer à l'emploi de la céruse; d'un autre côté, parce qu'il n'était pas initié à l'art de la peinture, et que, ne connaissant pas la routine du métier, il était à chaque instant exposé à faire fausse route dans la pratique, ce qui arrive presque toujours quand la science ne s'associe pas aux praticiens pour appliquer et développer ses découvertes; et enfin par l'absence d'un siccatif non plombeux inaltérable qui vînt donner à l'oxyde de zinc le degré de siccité qu'il ne possède pas par lui-même.

En effet, la plupart des couleurs à l'huile exigent, pour sécher, que la substance oléagineuse ait été préparée avec un siccatif; le siccatif généralement employé est de l'oxyde ou de l'acétate de plomb que l'on fait dissoudre à chaud dans de l'huile de lin; or, à quoi servirait d'avoir exclu le plomb des couleurs qui en renferment, s'il devait y rentrer par l'addition du siccatif? La solution ne pouvait être complète qu'autant que l'on aurait découvert un siccatif inaltérable et inoffensif comme les couleurs elles-mêmes destinées à remplacer celles à base de plomb, cuivre et arsenic, bien que le blanc et les couleurs à base de zinc sèchent parfaitement par l'addition d'huile lithargirée.

Dans ces derniers temps et dans le but de supprimer l'emploi des huiles siccatives, on a proposé comme un perfectionnement de rendre les couleurs elles-mêmes siccatives, en les mélangeant avant de les livrer au commerce avec un *siccatif sec*, fabriqué à peu près comme les huiles siccatives ordinaires, avec cette différence qu'au lieu d'huile on se servait de térébenthine ou de résine. Parmi ces siccatifs, les uns à base de plomb présentent l'inconvénient de rendre altérables des couleurs inaltérables par elles-mêmes, et autant vaudrait avoir recours à l'huile lithargirée qui donne absolument les mêmes résultats et plus simplement; les autres à base de peroxydes métalliques, comme les peroxydes de manganèse, de fer, etc., rentrent évidemment dans les brevets dont nous parlerons plus loin.

Depuis Guyton de Morveau la solution des questions importantes que nous venons d'aborder n'avait fait aucun pas, lorsqu'après plusieurs années de laborieuses recherches un peintre en bâtiments, M. Leclaire, parvint à trouver une solution complète de la question :

1° Par l'invention de procédés de fabrication qui lui permirent de livrer du blanc de zinc aux mêmes prix que la céruse;

2° Par la préparation d'une série de couleurs jaunes et vertes, inoffensives et inaltérables, pouvant remplacer avec avantage toutes les couleurs à base de plomb, cuivre et arsenic;

3° Par la découverte d'un siccatif dans lequel il n'entre pas de plomb.

Ces diverses découvertes garanties par des brevets sont actuellement exploitées par une société.

En ayant suivi le développement depuis leur origine jusqu'au moment de la formation de la société, je crois devoir prévenir que les nombreux brevets pris depuis lors sur le même objet rentrent tous dans les brevets primitifs et sont susceptibles d'être poursuivis en contrefaçon. Une seule série de procédés de fabrication se trouvait en dehors de ces brevets. Après avoir hésité longtemps, je me suis décidé à m'en assurer la propriété par un brevet. J'indiquerai en quelques mots, dans le courant de cet article, les principes de ces procédés qui me paraissent destinés à compléter la révolution commencée par M. Leclaire, en réduisant notablement, comme me l'ont démontré des essais faits sur une grande échelle, les frais de la fabrication montée par ce dernier et actuellement entre les mains de la Société anonyme du Blanc de Zinc.

De la fabrication et de l'emploi du blanc de zinc. Jusqu'ici le blanc de zinc ne se prépare guère qu'avec le métal. Les appareils de fabrication employés par M. Leclaire sont analogues soit aux fours servant à la fabrication du zinc métallique (voir ZINC), soit aux fours montés pour la fabrication du gaz d'éclairage (voir ÉCLAIRAGE). Lorsque les moufles ou cornues placées dans ces fours sont arrivées à une température très élevée, on y charge une certaine quantité de zinc en lingots; le métal fond rapidement, distille, et les vapeurs métalliques qui se dégagent par l'orifice des cornues y sont brûlées par le moyen d'un courant d'air, déterminé par l'appel d'une cheminée ou d'un ventilateur placé à l'extrémité des appareils de récolte.

En général, on adopte une disposition spéciale qui permet d'isoler à volonté les cornues les unes des autres, afin que le service de chacune d'elles soit complétement indépendant, et qu'on puisse charger le métal, enlever les résidus et crasses, et même remplacer les cornues cassées, sans arrêter le travail dans les autres cornues. A cet effet on place devant l'orifice de chaque cornue ou de chaque groupe de cornues une *guérite* dont le croquis ci-joint (fig. 1) fera comprendre la disposition la plus usitée : *a*, four analogue au four silésien (voyez ZINC); *a'*, l'une des embrasures de cornues; *d*, cheminée de cette embrasure; — lorsqu'il s'échappe des fumées blanches et épaisses par cette cheminée, on est averti que la cornue ou l'une des cornues placées dans cette embrasure vient de se casser et qu'il faut immédiatement la remplacer; *bc*, cornue dans laquelle on charge le métal; *g*, guérite placée devant l'orifice *c* de la cornue : cette guérite est fermée antérieurement par une porte *l* et son fond est formé également par un tablier *h' f* que l'on peut relever dans la position *h f*, au moyen de la chaînette *m m'*, sans ouvrir la porte *l l*. Lorsque l'on veut charger la cornue, en enlever le résidu ou la remplacer, on ferme le tablier, en l'amenant dans la position *h' f*, puis on ouvre la porte *l l* et on peut entrer dans la guérite, si ses dimensions le permettent, ou au moins pénétrer jusqu'à la cornue; l'opération terminée on ferme la porte *l l* et on relève le tablier dans la position *h f*.

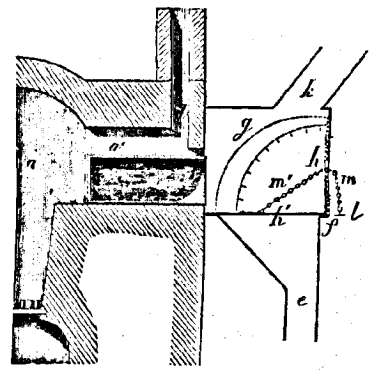


Fig. 1.

Les vapeurs métalliques sont brûlées à leur arrivée dans la guérite par de l'air qui y est amené par l'appel des chambres de récolte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il se manifeste ici un phénomène analogue à celui que l'on observe dans la fabrication du zinc métallique. Dans les usines à zinc, en effet, le métal se condense déjà à l'état liquide avant d'être sorti du massif du fourneau, et se rassemble à la jonction de la cornue et de l'allonge *(fours belges)*; ici une partie du métal qui distille se condense également à l'orifice des cornues qu'il finirait par obstruer, si on ne prenait le soin de nettoyer très fréquemment cet orifice, soit à la main, soit à l'aide de grattoirs mécaniques. Les crasses et résidus tombent et se rendent dans la trémie *e* d'où on les enlève de temps à autre.

Le courant d'air chargé de blanc de zinc est conduit par le tuyau *k* dans d'immenses chambres en maçonnerie où le blanc se dépose. Pour diminuer le nombre des chambres nécessaires pour opérer la précipitation du blanc, on y place ordinairement des châssis garnis de toile qu'il faut secouer de temps à autre pour prévenir leur obstruction. Chacune de ces toiles arrête non-seulement une partie des flocons de blanc entraînés par le courant d'air, mais encore elle tend à faciliter le dépôt des particules qui la traversent, en détruisant les effets fâcheux produits par les étranglements qui servent de communication d'une chambre à l'autre. Ce dernier effet, auquel on n'a jusqu'ici attribué aucune importance, peut être obtenu sans toiles et devrait même conduire à disposer celles-ci d'une manière toute différente de ce qui se fait actuellement.

On enlève le blanc déposé dans les chambres de récolte, sans arrêter la fabrication, au moyen de trémies placées à leur partie inférieure.

Nous venons de parler de la fabrication du blanc de zinc au moyen du zinc métallique. Dans certains cas il peut y avoir avantage à le tirer directement des minerais et matières zinciféres; il suffit pour cela d'opérer comme s'il s'agissait d'en retirer du zinc métallique (voyez ZINC), à cela près qu'au lieu de condenser les vapeurs métalliques, on les brûlerait par un courant d'air, comme nous l'avons dit plus haut.

Lorsque l'on essaye de fabriquer le blanc de zinc, en laissant le bain métallique directement exposé à la flamme d'un foyer, d'une part, les fumées et les cendres entraînées altèrent la blancheur du produit, en diminuent le prix, et peuvent même le rendre invendable; et, d'autre part, le blanc formé s'accumule en majeure partie dans l'appareil de fabrication, s'oppose en l'obstruant à l'oxydation complète des vapeurs métalliques, et arrête bientôt l'opération. Nous avons rendu ce procédé industriellement applicable en employant des gaz combustibles qui brûlent complétement sans résidus, cendres ou fumées, et qui chassés, ainsi que l'air qui sert à les brûler, par une machine soufflante, font sortir de l'appareil de fabrication la totalité du blanc de zinc qui s'est formé dans son intérieur. Un seul appareil de ce genre, de faibles dimensions, peut suffire à une production considérable et très économique de blanc de zinc.

Dans quelques cas nous avons employé la vapeur d'eau à une haute température pour agir sur le zinc en vapeur ou ses sels; enfin, nous avons également utilisé l'action combinée du chlorure de sodium ou sel marin et de l'air ou de la vapeur d'eau, sur les sulfates et sulfures de zinc, pour obtenir, d'une part, du sulfate de soude, et, de l'autre, de l'oxyde de zinc; dans ce dernier procédé, on peut disposer les appareils de manière à recueillir le chlore ou l'acide hydrochlorique qui se dégage des appareils. Lorsque l'opération est conduite de manière à obtenir un dégagement de chlore, il convient d'utiliser ce gaz pour la fabrication du chlorure de chaux.

Le blanc de zinc à l'état floconneux présente souvent une teinte un peu jaunâtre ou un peu verdâtre suivant la qualité des zincs qui ont servi à le fabriquer. Ainsi les vieux zincs renferment toujours de la soudure, et beaucoup de zincs du commerce proviennent de minerais cadmifères, et par suite le blanc obtenu peut renfermer quelques traces d'oxydes métalliques colorés tels que l'oxyde de fer et surtout l'oxyde de cadmium; du reste cette proportion est tellement faible que le mélange avec un corps liquide la fait disparaître; ainsi tel échantillon très sensiblement coloré, mouillé avec de l'eau pure, puis moulé en pain et séché, n'offre plus la moindre teinte.

En résumé, on trouve actuellement dans le commerce deux qualités de blanc de zinc; l'une dite *blanc de neige*, préparée avec les zincs les plus purs, remplace le *blanc d'argent*; l'autre dite *blanc de zinc* remplace les céruses de première qualité.

Nous avons déjà dit que le blanc de zinc et les couleurs qui en dérivent s'employaient à l'huile pure et mélangée d'essence, à la colle, au vernis à l'esprit de vin, au vernis à l'essence et au vernis gras, etc., soit pour la peinture artistique, soit dans la peinture en bâtiments. On s'en sert également :

Dans la fabrication des papiers peints;

En parfumerie, pour préparer un blanc de fard coloré par du carmin, tout à fait inoffensif et qui au moins n'expose pas au ridicule les personnes qui, en faisant usage, vont visiter des établissements d'eaux minérales sulfureuses;

Pour préparer soit seul, soit mélangé avec un peu de gris de zinc, le mastic dont on se sert pour faire les joints des chaudières et machines à vapeur;

Pour la fabrication des papiers lissés et des cartes dites *de porcelaine*, préparées autrefois au blanc de plomb; il est vrai que l'on a déjà remplacé le blanc de plomb par le carbonate de baryte qui n'offre pas les mêmes inconvénients; mais ce dernier foisonnant beaucoup moins que le blanc de zinc, celui-ci est encore d'un emploi plus économique.

Enfin tout le monde a pu admirer à la dernière exposition les magnifiques cristaux à base de zinc fabriqués à la cristallerie de Clichy. Si ces essais ne sont pas encore passés à l'état de fabrication courante, cela ne tient qu'au prix encore relativement trop élevé du blanc de zinc, et si, comme me l'a affirmé M. Maës, l'habile directeur de cette cristallerie, les qualités inférieures de blanc de zinc, que l'on peut avoir au prix de 55 francs les 100 kilogrammes, lui donnent encore de plus beaux cristaux que le minium, ce que la pureté relative des deux oxydes vient confirmer, nul doute que, dans un avenir très prochain, la fabrication des cristaux n'offre un immense débouché aux fabriques de blanc de zinc.

Il est à remarquer ici que l'oxyde de zinc étant infusible se combine avec beaucoup de difficulté avec la silice et qu'il fournit un silicate très peu fusible; pour obtenir un cristal assez fusible pour être travaillé, on est obligé d'ajouter une certaine proportion d'acide borique, qui facilite en même temps la combinaison; le cristal obtenu est alors non plus un silicate, mais un boro-silicate, et est beaucoup plus dur et plus brillant que les cristaux à base de plomb.

Avant de quitter le blanc de zinc, nous croyons utile de donner quelques indications sur la manière de l'employer dans la peinture à l'huile en bâtiments. La peinture prête à être employée se prépare ordinairement avec parties égales en poids de blanc de zinc d'une part, et d'un mélange d'huile de lin ou d'huile blanche, d'essence et de siccatif d'autre part; toutefois, lorsque la surface à recouvrir est très absorbante, comme le plâtre neuf, on augmente la proportion du mélange oléagineux jusqu'à arriver dans le cas précité à obtenir quatre kilogrammes de peinture avec un kilogramme de blanc de zinc.

La proportion d'essence qui, dans les premières cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ches, est portée jusqu'à la moitié du mélange, n'est plus admise que pour un quart dans les dernières, sauf dans les peintures sur bois où elle va au contraire en augmentant jusqu'à en former à la fin les deux tiers.

La proportion de siccatif à employer est toujours plus forte pour les premières couches, moindre en été qu'en hiver, plus faible avec les huiles anciennes qu'avec celles nouvellement fabriquées et dépasse rarement 5 à 6 p. 100 du poids de l'huile employée.

En général le blanc de zinc se délaye très-facilement dans le mélange d'huile et d'essence ; cependant quelquefois, au lieu de le délayer à l'état sec, on le réduit préalablement en pâte ferme en y incorporant 25 p. 100 environ d'huile, soit au rouleau, soit au moyen de machines analogues à celles employées pour broyer les couleurs (voyez BROYAGE).

On a prétendu et beaucoup de personnes croient encore que le blanc de zinc couvre moins que la céruse : c'est un fait inexact ; toutefois il est à remarquer que le blanc de zinc couvre d'une manière très-différente suivant la manière dont il a été préparé. Ainsi le blanc de zinc floconneux dit *blanc de trémie*, qu'il ait ou non été pressé à sec, se délaye facilement dans l'huile sans broyage préalable, et en revanche couvre moins que toutes les autres variétés de blanc de zinc. Le blanc de zinc lavé, ou le blanc obtenu en mouillant le blanc de trémie, le moulant en pains et le faisant sécher à l'étuve, est plus long à broyer, mais aussi couvre beaucoup mieux. En outre le mouillage fait disparaître la teinte jaunâtre ou verdâtre du blanc ordinaire, et lui donne l'aspect mat des pains de céruse. Ce mode de livraison au commerce avait donc, outre l'avantage de fournir un produit couvrant mieux, celui de ne pas changer les habitudes reçues ; c'était là un point capital lorsqu'il s'agit de faire adopter un produit nouveau, et nous regrettons que la Société du Blanc de zinc ait suivi une voie toute contraire.

Enfin, le blanc de zinc fortement calciné couvre encore plus que le blanc lavé ; mais cette calcination entraîne une augmentation de frais. Le broyage devient aussi plus long.

En résumé, on peut, soit par l'action de l'eau, soit par celle de la chaleur, condenser le blanc de zinc, de manière à augmenter très-notablement la faculté qu'il a de couvrir et à obtenir par exemple à deux couches, avec le blanc ainsi préparé, les mêmes résultats qui exigent trois couches avec le blanc de trémie.

Couleurs diverses. On a fait, en introduisant le blanc de zinc dans la peinture en bâtiments, l'essai de quelques couleurs nouvelles.

Gris de zinc. La couleur connue sous le nom de gris de zinc ne fait point l'objet d'une fabrication spéciale ; ce n'est autre chose que le zinc imparfaitement oxydé qui se dépose à l'état pulvérulent dans les allonges des cornues des usines à zinc. On pourrait la fabriquer directement ; mais l'emploi de cette couleur, tenté avec ardeur, est une erreur en peinture, vu que l'on peut obtenir un produit similaire couvrant beaucoup plus, bien plus économique à l'emploi, quoique paraissant un peu plus coûteux, et de qualité bien supérieure, par des mélanges de blanc de zinc et de noir de fumée ou d'autres couleurs. Tout au plus convient-il d'employer le gris de zinc comme peinture galvanique pour préserver le fer et la fonte de la rouille, et encore cette supériorité ne nous paraît pas démontrée.

Jaunes de zinc. En prenant une solution de bi-chromate de potasse et la faisant bouillir avec 40 p. 100 environ de son poids d'oxyde de zinc, le sel acide se décompose ; on obtient un précipité d'un chromate de zinc d'une couleur bouton d'or et il reste dans la dissolution du chromate de potasse, lequel, à son tour, mélangé, après décantation, avec du sulfate de zinc, donne un précipité un nouveau chromate de zinc, nuance citron.

Avec les jaunes ci-dessus, le blanc de zinc et le sulfure rouge-orangé d'antimoine préparé par voie humide, on prépare par des mélanges convenables toutes les nuances désirables de jaune.

Verts de zinc. Les verts de zinc sont de deux espèces : les uns s'obtiennent par un mélange mécanique des jaunes à base de zinc précipités et de bleu de Prusse ; les autres sont obtenus par la combinaison par voie sèche des oxydes de zinc et de cobalt. Pour que la teinte du composé soit bien uniforme, il faut que le mélange préalable à la calcination soit bien complet, et à cet effet que l'un au moins des deux oxydes métalliques soit à l'état de sel soluble. Ordinairement on le fait en délayant l'oxyde de zinc dans une solution de sulfate de cobalt.

Siccatif non plombeux. Le siccatif se prépare en faisant cuire pendant quatre à huit heures ensemble de l'huile de lin, déjà épurée et cuite, avec 5 pour 100 de son poids de peroxyde de manganèse du commerce concassé, en ayant soin d'agiter le mélange ; on suspend ensuite le feu, on laisse refroidir et on tire au clair. Cette huile, mêlée dans la proportion de 3 à 5 p. 100 dans les couleurs à base de zinc ou autres non siccatives par elles-mêmes, les fait parfaitement sécher. Il est à remarquer que le manganèse, qui est resté à l'air après avoir servi, a une propriété siccative beaucoup plus prononcée que le manganèse neuf, de sorte que la consommation en est très-peu considérable.

On peut solidifier ce siccatif manganésé en le saponifiant incomplétement avec de la chaux.

F. DEBETTE.

BLANCHIMENT (*ang.* Bleaching; *all.* Bleichen). — On donne le nom de blanchiment à l'opération qui a pour but d'enlever aux différentes matières textiles, coton, lin, chanvre, laine et soie, qu'elles soient à l'état de fibres, d'écheveaux ou de tissus, les matières étrangères qui les colorent naturellement ou accidentellement, et qui les feraient exclure de leurs emplois dans les usages domestiques, ou s'opposeraient aux succès des manipulations variées auxquelles elles doivent être soumises pour recevoir la teinture ou l'impression.

Il ne suffit pas, en effet, pour que les fibres, les écheveaux ou les tissus soient acceptés par les diverses industries qui les emploient comme matières premières, ou par le commerce qui les livre au consommateur, que ces substances soient dépourvues de leurs couleurs propres, quand ces couleurs sont regardées comme nuisibles ; il faut encore qu'elles soient dépouillées des substances grasses qu'elles contiennent naturellement et des matières étrangères que le filateur ou le tisserand ont ajoutées pour faciliter leur travail.

On n'obtient ces résultats d'une manière complète qu'autant qu'on connaît les circonstances particulières dans lesquelles les fibres textiles conservent leurs qualités premières, finesse, éclat, souplesse, élasticité, résistance ; il faut rejeter l'emploi de tous les agents qui feraient disparaître ces qualités et ne faire usage que de ceux qui pourront enlever les matières étrangères, soit indirectement en les détruisant ou les modifiant, soit directement en les dissolvant.

En comparant les propriétés des matières gommeuses, grasses, résineuses, en rapprochant les caractères chimiques des fibres textiles d'origine végétale et d'origine animale, on ne tarde pas à s'apercevoir que la laine et la soie, solubles dans les alcalis, ne peuvent être soumises aux mêmes traitements que le coton, le lin et le chanvre. Nous trouvons encore, à l'endroit de l'action du chlore sur ces matières, que l'emploi des agents décolorants convenables pour les fibres d'origine végétale ne convient pas au blanchiment des étoffes de laine et de soie. Nous devrons donc distin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

guer deux méthodes générales de blanchiment en ayant égard à la nature, à l'origine de la matière textile.

Toute la théorie de l'opération du blanchiment est comprise dans l'exposé qui précède. On procède par des moyens variables dans la pratique, mais dont le but est le même : éloigner par des réactifs convenables en nature et en énergie les matières gommeuses, grasses, résineuses et colorantes qui souillent la fibre. Suivant la nature de la fibre, ces matières sont variables; les procédés varient aussi. Le choix des moyens ne saurait être étudié dans cet article d'une manière trop spéciale; mais croyant devoir de suite passer au détail des différentes opérations, nous distinguerons les fibres de matière végétale et les fibres d'origine animale. La théorie reçoit la plus nette explication au sujet des premières. Nous nous étendrons davantage à leur propos.

Lorsque Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore et qu'il en fit l'application au blanchiment des étoffes, on crut que le dernier mot était dit sur cette importante question; mais de nouvelles expériences ont profondément modifié la première théorie, en ajoutant aux procédés anciens, économie et sécurité. Toutes les opérations du blanchiment reposent aujourd'hui sur des principes certains, qui forment un corps de doctrine.

Ces principes peuvent être résumés en quelques mots, si l'on comprend bien les opérations dont se compose le blanchiment lui-même. Et, pour les bien saisir, il est indispensable de définir nettement au point de vue chimique le fil ou le tissu formé par les fibres d'origine végétale ou animale.

La matière ligneuse des tissus de coton, de lin, de chanvre, la matière filamenteuse de la laine et de la soie sont loin d'être pures; elles renferment :

1° Une matière colorante, colorable ou colorée, plus ou moins préservée de l'action des agents décolorants par les matières étrangères auxquelles elle est associée;

2° Une matière résineuse naturelle à la fibre, insoluble dans l'eau, difficilement soluble dans les alcalis et qui protége la matière colorante contre l'action des agents chimiques qui doivent la dissoudre ou la détruire;

3° Des matières grasses inhérentes à la fibre ou provenant de l'action du filage et du tissage; elles sont surtout déposées à la surface des fils; ces corps gras peuvent provenir ou des métiers à filer, ou des métiers à tisser; ce sont encore des savons dont on fait usage pour diminuer le frottement pendant le tissage;

4° Une substance neutre, fécule, farine ou colle forte suivant que, pendant l'encollage de la chaîne on s'est servi de l'une ou l'autre de ces substances; on rejette aujourd'hui presque partout l'emploi de la farine, qui donne, par la fermentation putride du gluten qu'elle contient, du carbonate d'ammoniaque dont la présence transforme la graisse en substances nouvelles, capables de faire adhérer les matières colorantes, et très-difficiles à faire disparaître dans les opérations subséquentes du blanchiment. On y trouve encore quelquefois, surtout à présent, de la glycérine qui permet aux ouvriers de fabriquer des tissus légers, mousselines et autres, même dans les lieux secs;

5° Des matières salines inorganiques, les unes inhérentes à la fibre, les autres provenant de l'eau dont on a fait usage, d'autres enfin empruntées aux principes dont on s'est servi pour la préparation du parement de la chaîne.

S'il était permis de faire abstraction de toutes les matières étrangères que nous venons d'indiquer, comme grasses, résineuses, neutres et salines, on pourrait définir une étoffe quelconque comme formée par la fibre textile et la matière colorante. Le problème du blanchiment serait excessivement simple et parfaitement défini; il suffirait, en effet, d'enlever directement, ou de modifier d'abord, pour l'enlever ensuite, le principe colorant qui donne à la fibre sa couleur propre; on mettrait de la sorte en liberté la matière textile pure avec les propriétés que le consommateur réclame. Nous n'aurions qu'à rechercher les moyens les plus propres à produire la *décoloration de la fibre*.

Mais les matières étrangères grasses et résineuses ajoutent aux difficultés, car elles s'opposent à la décoloration en préservant la fibre; il est donc indispensable de commencer le blanchiment par le *dégraissage* de l'étoffe.

Nous distinguerons ainsi dans le blanchiment deux sortes d'opérations bien distinctes, le dégraissage et la décoloration, et comme les fibres sont colorées sous une certaine épaisseur, comme la matière grasse et résineuse est associée de la manière la plus intime à la matière colorante, un premier dégraissage, n'agissant que sur l'épiderme de la fibre, ne permet aux premières méthodes de décoloration d'enlever que la couche correspondante de matière colorée. On est forcé de répéter un certain nombre de fois les opérations successives de dégraissage et de décoloration pour obtenir un blanc parfait. On devrait sans doute y parvenir en augmentant l'énergie des agents chimiques employés; mais ce serait assurément au détriment de l'étoffe qui pourrait perdre de ses qualités physiques. Il est beaucoup plus prudent d'opérer par élimination successive de matières grasses, résineuses, féculentes et colorées.

DÉGRAISSAGE DES TISSUS. Nous aurons à considérer dans le dégraissage deux séries d'opérations distinctes, les unes chimiques, les autres mécaniques, complétant nécessairement les premières.

Quelles sont les opérations chimiques? Quel est leur but?

Quelles sont les opérations mécaniques? Que doivent-elles produire?

A. Dans les opérations chimiques, les tissus ou les fils écrus sont soumis à l'action :

1° D'une ou deux lessives alcalines dans le but de transformer en savons solubles les corps gras ou résineux adhérents à la fibre;

2° D'un bain acidulé soit par l'acide sulfurique, soit par l'acide chlorhydrique, dans le but de décomposer les savons alcalins formés pendant la première opération et de mettre les corps gras en liberté;

3° D'un ou de plusieurs lavages au carbonate de soude pour opérer la dissolution des acides gras mis en liberté dans l'opération précédente;

4° D'un ou plusieurs lavages à l'eau pure pour enlever par voie de dissolution tous les principes solubles formés pendant les trempages dans les bains acides ou alcalins, dont les emplois se sont succédé.

Les savons peuvent être alcalins ou terreux. Autrefois les savons à base de potasse ou de soude étaient à la mode; on les obtenait avec des lessives à base de soude ou de potasse : on les a remplacés avantageusement par des lessives faites au moyen du lait de chaux, lorsqu'on traite les lins ou les chanvres.

Le rôle des savons calcaires dans le blanchiment paraît avoir été signalé pour la première fois par M. Prince et Dana; la chaux est plus avantageuse que les alcalis caustiques; elle oxyde très-bien la matière colorante et la rend ainsi plus propre à la décoloration proprement dite; elle saponifie les résines mieux et plus facilement que la potasse et que la soude; enfin elle exerce sur la résistance des tissus une action beaucoup moins désorganisatrice, si l'on a le soin de n'opérer qu'à l'abri du contact de l'air; enfin, les alcalis ne contractent les fibres d'une manière suffisante pour s'opposer à la formation du duvet que si leur état de concentration est capable d'attaquer la fibre elle-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même : on n'a pas à craindre cet effet désastreux avec la chaux, lorsqu'on a déterminé le degré de concentration le plus convenable et la température la plus propice pour une action prompte et sans dangers. Telles sont les opérations chimiques auxquelles on soumet les différentes fibres en fils ou en tissus pour les dégraisser.

On comprend que ces diverses opérations exigent l'emploi d'appareils spéciaux variables dans leurs dimensions, dans leur énergie avec la qualité de la fibre, avec la finesse des fils ou des étoffes.

Si l'on examine la nature des liquides dont l'action se succède dans leur contact avec les matières à dégraisser, on peut se convaincre qu'il faut séparer pour opérer avec économie, après chaque passage, les résidus provenant du traitement et l'excès du réactif. C'est par des rinçages répétés et successifs qu'on régularise l'action.

Le dégorgeage des pièces lessivées et les passages en bains acides dont nous venons d'indiquer les effets utiles exigent pour produire tout leur effet l'emploi de moyens mécaniques que nous pouvons définir et décrire.

Le dégommage et les passages à l'acide s'obtiennent par l'immersion des pièces réunies en paquets, ou les unes à la suite des autres dans de grandes cuves enfoncées en terre; le maniement des pièces est facilité par un tourniquet, mû par une manivelle ou par un engrenage mis en rapport avec la force motrice de l'établissement. On remplace l'eau qui s'échappe et celle qu'entraînent les pièces; on remonte le liquide en ajoutant de l'acide pour remplacer celui que la chaux et le savon calcaire ont nécessairement saturé.

De là donc plusieurs sortes d'appareils dont les fonctions sont distinctes. On les classe ainsi :

1° Appareils à lessiver; 3° Appareils à dégorger;
2° Appareils à tremper; 4° Appareils à essorer.

Pour conserver à cet article un ordre méthodique, nous devons en séparer l'étude.

§ 1er. *Appareils à lessiver.* — Le lessivage est une des opérations les plus importantes du blanchiment; il s'exécute par un grand nombre de procédés qui se groupent autour des deux types que nous allons décrire. Il comporte différentes matières de nature et de concentration variables agissant comme lessives spéciales.

Pour exemples, nous les considérerons comme agents de blanchiment pour les fibres d'origine végétale.

1° *Ancien procédé.* On fait tremper les tissus dans une lessive alcaline, on les lave, puis on les empile régulièrement dans un grand cuvier en bois. On porte la lessive alcaline caustique à la température de 40° environ, dans une chaudière d'une capacité suffisante, puis on la laisse couler, par un robinet, dans le cuvier, jusqu'à ce que les tissus en soient entièrement recouverts; on laisse reposer pendant quelque temps, puis on soutire par une bonde inférieure la lessive dans un chaudron en fonte placé au-dessous, d'où on l'élève au moyen d'une pompe dans la chaudière supérieure. On élève la température dans celle-ci, on fait couler la lessive sur le linge, etc., et on continue ainsi à répéter cette série d'opérations, en augmentant à chaque fois la température de la lessive, jusqu'à ce que celle-ci soit entièrement saturée des matières grasses ou colorantes qu'elle enlève aux tissus, ce que l'on reconnaît, à ce qu'elle a perdu en grande partie sa causticité, pris une odeur extrêmement nauséabonde et acquis une coloration de plus en plus foncée.

Il convient d'élever ainsi graduellement la température des lessives pour obtenir de bons résultats; en versant tout d'abord sur les tissus une lessive bouillante, on augmenterait l'adhérence des matières colorantes ou résineuses au lieu de les enlever.

Lorsque la lessive s'est saturée des matières qui salissaient les tissus, on la fait écouler au dehors comme impropre à un nouveau lessivage, ou bien, chez quelques blanchisseurs, on l'ajoute en partie dans la fermentation du parou. Si l'on portait le linge encore chaud, au sortir du cuvier, à la rpue à laver, une partie de la matière colorante dissoute dans la lessive dont il est imprégné, se précipiterait de nouveau sur les fibres du coton et s'y fixerait; aussi faut-il après l'écoulement de la lessive faire arriver à plusieurs reprises de l'eau chaude sur le linge, laisser reposer à chaque fois pendant quelque temps avant de soutirer, jusqu'à ce que l'eau sorte claire et presque incolore; c'est alors seulement qu'on retire le linge du cuvier et qu'on le lave soit au battoir à main, soit dans la roue à laver.

2° *Nouveau procédé.* Ce procédé, dû à John Laurie de Glascow, et que l'on peut modifier de beaucoup de manières, consiste en principe, en ce que la lessive tombe continuellement du cuvier dans une chaudière placée au-dessous, d'où elle s'élève de nouveau et vient se déverser à la surface du linge soit au moyen d'une pompe, soit par la pression même de la vapeur qui se développe dans la chaudière; cette disposition donne lieu à une circulation continue.

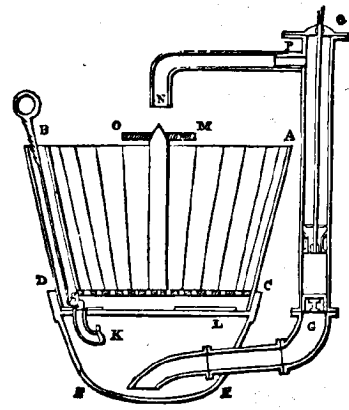


Fig. 237.

La *fig.* 240 représente la coupe de l'un de ces appareils : ABCD est le cuvier de bois dans lequel on empile le linge et dont le fond est à jour. Il s'emboîte dans la chaudière en fonte CDEF, qui reçoit directement l'action du feu. La lessive tombe du cuvier sur le fond plein L, et de là dans la chaudière par le tuyau *g*K, portant en *g* un registre que l'on manœuvre à l'aide du levier *g*B, et qui sert à régler la vitesse d'écoulement de la lessive du cuvier dans la chaudière; ce tuyau est en outre muni en K d'une soupape s'ouvrant du cuvier dans la chaudière; il permet la descente de la lessive, mais il s'oppose au passage de la vapeur en sens contraire; on élève la lessive de la chaudière, à l'aide d'une pompe GG, qui la verse par le tuyau NP sur la plaque métallique MO, qui sert à la répartir uniformément sur la surface du linge. Lorsque la température de la lessive est suffisamment élevée dans la chaudière, on cesse de faire aller la pompe, et la pression de la vapeur qui occupe la partie supérieure de la chaudière suffit à la fois à faire monter la lessive dans le tuyau G, à soulever les clapets de la pompe immobile, et enfin à déterminer une circulation continue.

Cet appareil fonctionne avec une efficacité et une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

régularité remarquables; il n'exige presque aucune main-d'œuvre, et l'expérience a prouvé qu'il réalise une économie qui peut s'élever jusqu'à 25 p. 100 de l'alcali employé.

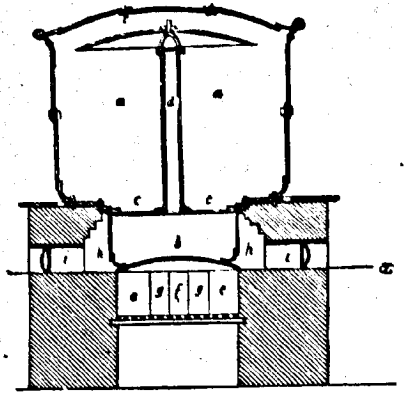


Fig. 238.

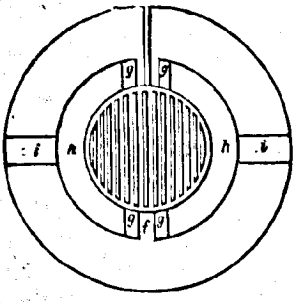


Fig. 239.

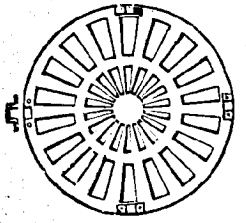


Fig. 240.

Les *fig.* 238, 239 et 240 représentent une modification plus récente de l'appareil de Laurie. La *fig.* 238 en est une coupe verticale et la *fig.* 239 une coupe horizontale suivant la ligne *x* de la *fig.* 238 : *a*, *a*, cuvier en tôle rivée ou en bois dont le fond en fonte *c*, *c*, représenté en plan *fig.* 240, porte le tube d'ascension *d* (qui devrait, dans la *fig.* 238, descendre presque jusqu'au fond de la chaudière *b*), par lequel la lessive s'élève de la chaudière *b*, par la pression de la vapeur et s'épanouit sur une cuvette en tôle renversée, d'où elle tombe en plein sur la surface du linge. *e*, grille circulaire en fonte; *f*, murs en briques dans l'un desquels est encastré le tuyau de fonte qui sert à faire écouler la lessive; *g*, *g*, rampants conduisant la flamme dans les carneaux *h*, *h*, qui circulent autour de la chaudière *b*, et de là dans la cheminée par deux conduits qui ne sont pas figurés. Les ouvreaux *i*, *i*, ordinairement fermés par des plaques de fonte, servent à nettoyer au besoin les carneaux *h*, *h*. On enveloppe souvent le cuvier *a*, *a*, d'une chemise en bois, et dans l'entre-deux on tasse de la sciure de bois, afin d'éviter autant que possible toute déperdition de chaleur.

Le lessivage sur une grande échelle se fait au moyen d'appareils fixes; il y a tout avantage à les employer lorsqu'on opère sur 300 kilos à la fois; on donne alors au cuvier environ 1m,40 de diamètre; on le fait en bois; son couvercle a 1m,50; le fond est en fonte pour les cuviers d'une contenance de 500 kilos; leur diamètre est plus grand, la construction la même, le couvercle a 2m,00; enfin les grands cuviers de 900 kilog. ont 2m,10, ils sont entièrement en fonte; généralement on les accouple deux à deux sur la même chaudière à circulation comme l'indique la *fig.* 241.

Une chaudière concentrique A, à circulation, est placée dans un fourneau en briques, bâti dans une fosse ou sous-sol d'au moins 1m,50 de profondeur. Les carneaux conduisent la fumée dans un tuyau central B, qui donne sa chaleur à des réservoirs à eau chaude C; la circulation s'établit par les conduits D et E, qui correspondent aux leviers F et G.

En récapitulant les divers systèmes d'appareils à lessive, on trouve qu'on peut les classer en deux grands groupes : les uns à chauffage direct soit à feu nu, soit à la vapeur; les autres à circulation, soit intermittente, soit continue.

Pour les appareils chauffés à la vapeur, on adopte des dispositions qui permettent de les ramener à deux types distincts : dans les uns le générateur est séparé du cuvier, dans l'autre il se confond avec lui.

Nous avons donné deux types des exemples les plus anciens; ils ont été modifiés les uns et les autres par quelques constructeurs.

Ainsi on peut disposer le cuvier en communication avec un bouilleur isolé dans lequel la lessive se chauffe en dehors du cuvier; mais cette disposition basée sur le même principe que l'appareil Widmer dans lequel la lessive se déversait sur le linge au moyen d'un tuyau central surchargé d'une pomme d'arrosoir, présente quelques inconvénients résultant du mélange d'air que contient le réservoir et qui presse sur la colonne de manière à faire arriver le liquide avant qu'il ait atteint la température à laquelle il agit le plus convenablement.

Cependant ces inconvénients disparaissent en faisant usage d'un robinet placé sur le tuyau d'ascension si l'on a placé la soupape sur le tuyau de retour. Lorsque le robinet est fermé, elle se lève et laisse échapper l'air atmosphérique contenu dans le bouilleur; on ouvre le robinet lorsque l'air est dégagé. Le liquide bouillant alors sous une pression de plusieurs atmosphères, monte par le tube pour circuler sur les tissus.

Cet inconvénient n'existe pas non plus avec l'appareil Duvoir : deux soupapes placées, l'une dans le bouilleur, l'autre dans le tube de retour, sont en rapport avec des flotteurs et amènent périodiquement la quantité de liquide voulue pour agir d'une manière continue.

Si l'on suppose un cuvier placé près d'un bouilleur de telle sorte que les deux appareils communiquent ensemble par deux tubes mettant en communication l'un les parties supérieures, l'autre les parties inférieures, on pourra se faire l'idée d'une circulation continue, lorsque la chaudière est pleine : le liquide le plus chaud s'élève à la partie supérieure, se déverse par un tuyau sur le linge placé dans le cuvier, et s'y refroidit; la lessive fait alors retour dans la chaudière par la partie inférieure et se réchauffe de nouveau.

Chez M. Dollfus Mieg de Mulhouse, on peut lessiver à la fois 500 pièces de jaconas en 24 à 36 heures. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inconvénients qui résultent de ce système peuvent être évités avec beaucoup de soin; il faut veiller à ce que les tissus soient régulièrement placés dans le cuvier; sans cette précaution, il s'établit des courants et le lessivage est irrégulier.

En sortant des appareils à lessiver, les pièces sont dégorgées, puis on leur donne une deuxième lessive dans les mêmes cuves. Le résidu de cette deuxième lessive est employé dans les établissements bien installés pour préparer la première lessive. On utilise ainsi tous les alcalis que le liquide contient.

mouvés au moyen d'une grue, quelquefois agités par écheveaux isolés. Les étoffes sont réunies en paquets ou assemblées en boyaux, agitées à la main ou manœuvrées par un tourniquet et des cylindres de tension.

Les cuves sont en bois, en pierres ou en briques, si l'on agit à froid; quelquefois il faut les faire en plomb.

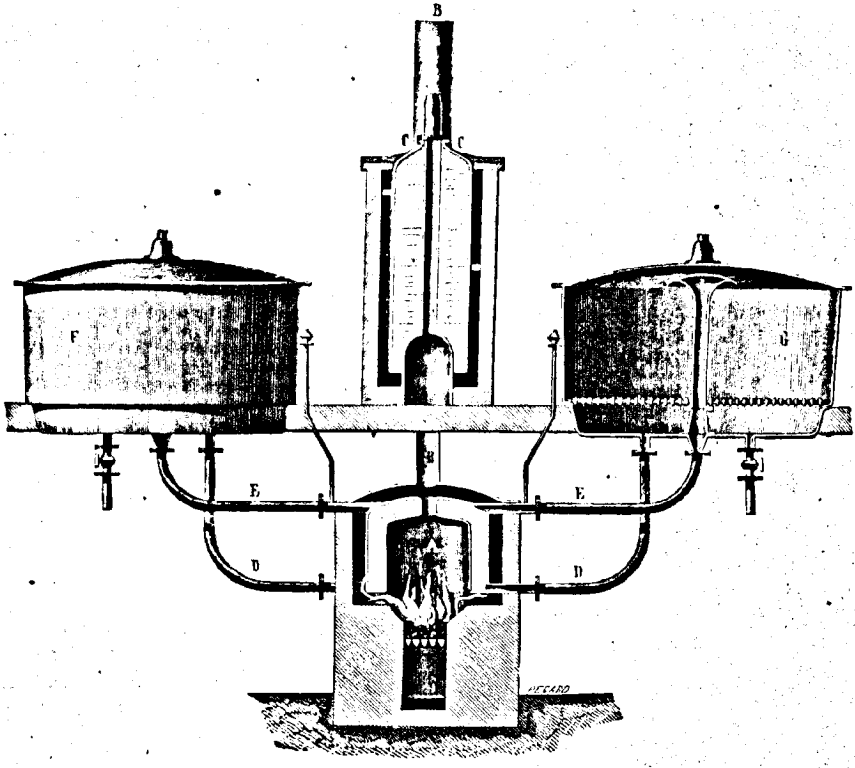


Fig. 261.

§ 2°. *Appareils à tremper.* — Les appareils dont on se sert pour faire tremper les fibres à l'état de flocons, de fils en écheveaux ou de tissus, varient suivant l'instant de l'opération et suivant la nature du liquide dans lequel elles doivent être immergées.

Quand on commence l'opération, surtout pour les tissus de laine, on humecte en arrosant avec de l'eau pour laisser le tissu s'imbiber uniformément: il est ensuite déposé dans une cave ou tout autre lieu très-humide. Lorsque l'air, qui baignait la fibre, a été dégagé par l'eau conduite par capillarité jusqu'au centre de l'étoffe, et qu'il est complétement chassé, la fibre est plongée dans le liquide à l'action duquel on doit avoir recours.

La forme des cuves où se fait le trempage est variable : tantôt ce sont des bassins circulaires; d'autres fois des cuviers cylindriques élevés sur des tréteaux ou enterrés à fleur du sol. Les pièces, écheveaux ou flocons sont placées dans des filets mus à la main ou quand le liquide employé corrode ces matières. Pour faire agir l'acide sulfurique, on se sert de bassins en plomb.

On opère à froid dans l'industrie. M. Persoz propose d'opérer à des températures comprises entre 70 et 80 degrés. Il y aurait économie, quoique avec une dépense de combustible. En effet, à cette température, les savons calcaires sont mieux attaqués par l'acide qui dissout en même temps une partie des acides gras et de la matière colorante déjà modifiée. On opérerait cette chauffe, soit à feu nu dans une cuve en plomb, soit dans une cuve en bois chauffée par la vapeur et contenant une double cuve en plomb.

§ 3°. *Appareils à dégorger.* — Les opérations mécaniques complètent les opérations chimiques; elles tendent à faire disparaître les matières solubles dont l'étoffe est imbibée, tout aussi bien que les matières insolubles répandues soit à la surface, soit dans les pores des tissus.

Ces opérations mécaniques ont pour but le *dégorgeage* des tissus et l'*essorage*. Dégorger un tissu, c'est lui faire quitter tous les éléments étrangers dont il est souillé, que ces éléments soient solubles ou non; esso-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rer un tissu, c'est lui faire perdre la plus grande quantité du liquide qui le mouille. Ces deux phases du travail exigent l'emploi d'efforts mécaniques assez considérables, variables, au reste, avec la finesse du tissu et la nature de la matière textile dont il est formé.

La fibre textile retient, en effet, avec une grande force les matières qui s'y trouvent adhérentes. A moins d'opérer une sorte de filtration, en se servant de l'étoffe comme filtre, on ne parviendrait que très-imparfaitement à dépouiller le tissu des matières solubles qu'il renferme : encore faudrait-il un temps considérable et des masses de liquide. Il est indispensable de comprimer plus ou moins et à plusieurs reprises les pores du tissu, pour en exprimer tout le liquide retenu par capillarité; à force d'immersions et de déplacements successifs, toutes les matières solubles sont expulsées. Quant aux matières insolubles, elles ne se détachent que par des frottements répétés, et ce n'est que par l'action postérieure de l'eau qu'elles peuvent disparaître, ou projetées à distance sous l'influence de chocs, ou suspendues dans l'eau qui s'écoule par son propre poids. Dans tous les cas, l'eau devient un agent de première nécessité pour dégorger et nettoyer les étoffes.

Les divers appareils employés pour dégorger et nettoyer les tissus agissent par compression : tantôt les linges sont battus, tantôt ils sont comprimés par leur chute contre des parois résistantes, tantôt ils reçoivent un choc violent par l'eau qui tombe avec force; ces diverses méthodes de comprimer sont quelquefois réunies dans un même appareil. Quoi qu'il en soit, les divers systèmes employés par l'industrie se ramènent à des types définis. Nous allons les passer en revue : les plus simples sont ceux dont l'action se rapproche du battage à la main. En général, ils fonctionnent comme le font les batteuses de linge dans les pratiques du savonnage. Pendant longtemps les paquets à dégorger étaient étendus sur un pont en bois et des manœuvres les battaient avec des battes ou des fléaux pendant que d'autres les retournaient en les aspergeant d'eau. Le battage se fait en eau vive autant que possible. Cette méthode dispendieuse en main-d'œuvre n'est pas possible dans une grande industrie. On l'a remplacée par d'autres plus économiques. Au premier rang, nous citerons les batteuses figurées ci-contre employées en Écosse; elles agissent ou comme *pilons*, ou comme *foulon*.

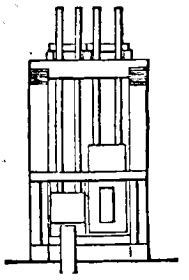


Fig. 242.

Les pilons (fig. 242) sont mus par des arbres à cames; on en connaît la disposition générale; ils expriment convenablement.

Les foulons agissent de la même manière; la figure 243 en donne une disposition particulière.

A, A, sont les marteaux portés sur des tourillons en fer B et soulevés par l'arbre à cames C, 24 à 30 fois par minute; ils viennent battre le linge placé dans l'angle D, où l'on fait arriver un courant d'eau continu.

Les opinions sont encore partagées sur le mérite des *foulons*. Quelques praticiens prétendent que les tissus sont incomplétement dégorgés; d'autres trouvent qu'ils sont endommagés par une action trop brutale, mais il est certain que, lorsqu'on sait donner aux têtes de foulons et aux auges une configuration convenable, on évite tous ces inconvénients et le foulon reste une machine très-avantageuse. La seule précaution à prendre consiste à diriger l'étoffe de telle sorte qu'elle ne se trouve pas engagée dans l'auge entre les cames et le foulon.

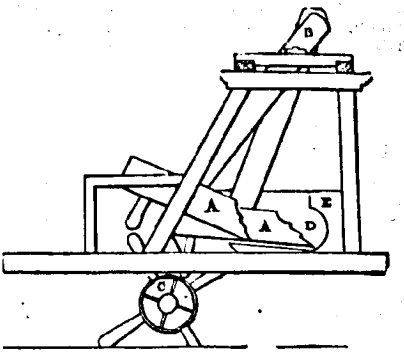


Fig. 243.

Le *plateau-battoir* n'est qu'une modification du foulon ordinaire. Dans cette machine le linge, placé sur un plateau tournant, est constamment arrosé par un jet d'eau lancé sur un point donné avec une grande force. Le plateau tourne, et présente successivement chaque point de sa circonférence à l'action d'un battoir mû par un arbre à cames.

Pour le dégorgeage des pièces de calicot, il est convenable d'engager les pièces à la suite les unes des autres sur des cylindres, comme on l'a fait à Wesserling d'abord, puis dans toutes les blanchisseries. Les pièces circulent sur un cylindre en plongeant dans le liquide dont l'action doit éloigner les réactifs qui ont agi. Une série de battes mobiles faisant fonction de marteaux, mues par un arbre à cames battent les tissus par une surface courbe épousant la forme du cylindre A, comme le fait voir la fig. 244. Avant le choc, le tissu est soumis à l'action d'un autre cylindre com-

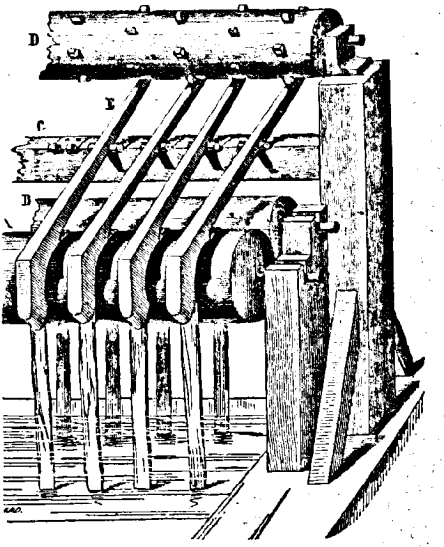


Fig. 244.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

presseur B que des contre-poids convenablement disposés rendent plus ou moins lourd et font serrer avec plus ou moins de force. Un arbre à cames D met en mouvement les battes E mobiles autour de tourillons fixés à demeure sur un même bâti C.

Le *clapeau* fonctionne en partie comme les machines précédentes, en partie comme les cylindres compresseurs ; c'est un outil précieux, mais à la condition de ne pas l'employer au nettoyage des tissus fins et délicats.

Deux rouleaux agissent l'un sur l'autre ; le rouleau supérieur est cylindrique ; le rouleau inférieur présente des cannelures arrondies ; il est fixe et reçoit un mouvement de rotation autour de son axe qui est horizontal ; entre les deux rouleaux est placée l'étoffe engagée par une ficelle et dirigée non pas dans un plan normal à la direction du cylindre, mais formant spirale ; toutes les étoffes sont cousues les unes à la suite des autres ; elles reçoivent la pression du cylindre supérieur dont les tourillons sont chargés d'un poids convenable, et qui fait sortir l'eau d'imbibition.

A, A, jumelles entre lesquelles se meuvent les deux rouleaux, l'un B uni, l'autre C cannelé. (Fig. 245.)

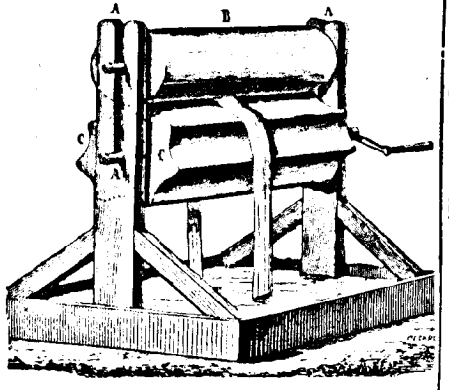


Fig. 245.

Lorsqu'on veut éviter les déchirures, au lieu de diriger le tissu en spirale sur un seul cylindre, on a trois ou quatre clapeaux placés parallèlement, et l'étoffe s'engage du premier dans le second, du second dans le troisième, et du troisième dans le dernier. Le tissu sortant d'un clapeau plonge dans le bain et se relève de là pour subir l'action du second clapeau. On place ces appareils dans une situation respective telle que le tissu suit une direction inverse de celle de l'eau qui dégorge. Ordinairement, on donne aux cylindres 0m,20 à 0m,25 de diamètre et 1m,50 à 4 mètre de longueur.

Veut-on traiter des étoffes très-délicates, telles que mousselines brochées ou non, jaconas, etc., etc.; le cylindre inférieur cannelé se trouve remplacé par un cylindre uni.

On obtient un lavage continu, économique, lorsque les cylindres compresseurs se succèdent parallèlement et on n'a pas à redouter de déchirures; les tissus circulent dans un même plan et plongent dans une série de bâches ou dans la même bâche, conduits par des rouleaux de tension placés au fond de chaque compartiment; on peut comprendre sans figure cette disposition; elle est très-répandue dans le Lancastershire; elle procure un travail rapide, correct, et n'exige que peu d'eau.

On se sert en Normandie d'un *clapeau* dit à *lanières;* c'est un clapeau à cylindres unis portant une série de lanières en gutta-percha ou en cuir, qui, montées sur un arbre faisant 800 à 1000 tours par minute, frappent sur les pièces au moment de leur passage sur le rouleau inférieur.

On fait depuis environ trente à quarante ans un très-grand usage d'un appareil particulier auquel on donne le nom de *roue à laver*. Cette machine agit en comprimant le tissu, alternativement mouillée, par la projection qu'on lui fait subir contre des parois inclinées et résistantes. Le linge est comprimé par le choc du tapon qu'il forme contre les parois du tambour qui le contient.

La roue à laver (angl. *wash* ou *dash-wheel*), maintenant employée dans tous les bons ateliers de blanchissage, est représentée en élévation antérieure et postérieure fig. 246 et en plan fig. 247 : a, a, roue à

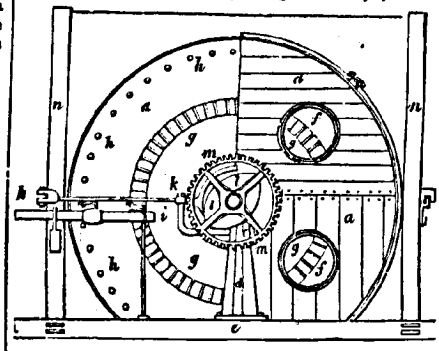


Fig. 246.

laver, divisée par des cloisons en quatre compartiments isolés, et montée sur l'axe b, b, tournant dans les coussinets c, c, qui reposent sur les poteaux en fonte d, d, fixés sur de fortes semelles e, e, reliées entre elles par des poutres transversales assemblées à tenon et mortaise; f, f, ouvertures circulaires correspondant à chaque compartiment, pratiquées sur la joue postérieure de la roue; g, g, grille annulaire en laiton placée sur la joue antérieure à travers laquelle l'eau est introduite en jets dans l'intérieur de la roue; h, h, orifices circulaires par lesquels l'eau qui a servi au lavage s'écoule hors de la roue lorsque le compartiment correspondant passe au point le plus bas de sa

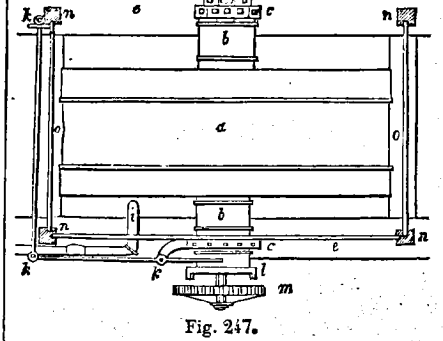


Fig. 247.

course; i, tuyau par lequel l'eau est projetée dans la roue, et qui est muni d'un robinet que l'on manœuvre à l'aide d'un système de leviers k qui font en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même temps embrayer ou débrayer la roue à laver au moyen d'une fourchette qui fait avancer ou reculer la griffe ou manchon d'embrayage *l*; *m*, roue d'engrenage établissant la communication avec le moteur hydraulique ou à vapeur; *n*, *n*, montants en bois qui supportent les cloisons *o*, *o*, qui servent à empêcher l'eau de rejaillir au-dessus de la roue, par l'effet de la force centrifuge.

Les roues à laver ont ordinairement 1m,75 à 2m,00 de diamètre intérieur, sur 0m,75 de largeur, et il faut une force de deux chevaux pour les mettre en mouvement.

Une ouverture de 40 à 35 centimètres sert à introduire et à relever les pièces. Les quatre compartiments ont chacun leur ouverture; 12 à 15 minutes suffisent pour nettoyer convenablement une pièce de mousseline. Mais le résultat de la machine dépend du mouvement qu'elle reçoit du moteur; si le mouvement est trop lent les pièces glissent le long des parois, il n'y a ni choc ni pression; si le mouvement est trop accéléré, la force centrifuge absorbe l'effet du poids des pièces. L'expérience a démontré qu'il fallait 20 à 25 tours par minute : le meilleur moteur qui lui convient est une machine à vapeur.

On peut laver deux pièces de calicot de 11 mètres de long chacune à la fois, dans chaque compartiment, en 6 ou 10 minutes, ce qui fait 600 pièces environ, par roue et par journée de 13 heures de travail.

Au sortir de la roue à laver, l'eau est exprimée entre les cylindres comprimeurs (*angl.* squeezers) qui seront décrits plus loin.

Si nous cherchons à résumer ce qui précède, nous voyons que le lavage est lent; il exige beaucoup d'eau; pour ceux-là, une grande dépense est nécessaire pour réaliser un lavage parfait sur une échelle un peu considérable relativement au travail produit; ces appareils deviennent donc coûteux.

Quelques systèmes, enfin, exigent une place considérable, sont bruyants, demandent à être solidement installés : de là, dépense d'établissement. D'autres, au contraire, n'exigeant que peu de dépenses premières, ne peuvent être employés qu'au dégorgeage des étoffes légères; ils seraient complétement impropres au nettoyage des tissus grossiers.

L'expérience journalière a prouvé que le *clapeau* se prête au dégorgeage des pièces grossières avec le moins de temps et le moins de force; si l'on ne dispose que de peu d'eau, les *batteries de Wesserling* sont préférables; mais elles ne permettent pas de laver à la fois un grand nombre de tissus. Le *plateau-battoir* n'exige que peu de force, il nettoie bien, mais il demande beaucoup de temps. Le *pilon* ou le *foulon* ne doit être employé qu'au lavage des pièces qui ne craignent pas des contractions considérables. Le *dash-wheel* est très-utile pour dégorger les étoffes fines et légères.

Lorsque les machines dont on fait usage pour le dégorgeage n'éloignent pas en même temps qu'elles la renouvellent l'eau d'imbibition des tissus, il faut après chaque immersion essorer l'étoffe. La méthode la plus simple consiste à la tordre à la cheville. On peut essorer par d'autres moyens sur lesquels nous reviendrons en parlant des étoffes teintes auxquelles il faut, pour les livrer aux marchands, enlever toute l'eau qu'elles contiennent (voyez ESSORER). On préfère donc généralement les appareils qui mouillent, immergent et compriment successivement, pour le dégorgeage des tissus à blanchir; l'essorage proprement dit ne s'exécute plus que sur des pièces terminées.

On peut aussi faire usage du *tringuet*, mais comme moyen de rinçage. Cet appareil très-utile est figuré ci-contre.

Deux montants A, A, portent un axe B (fig. 248) auquel sont fixées, sur une même surface cylindrique, des tringlettes D au nombre de six. Le mouvement de rotation qu'on imprime au système à l'aide d'une manivelle C fait circuler les fils ou les tissus dans un cuvier plein d'eau dans lequel ils se dégorgent. Quelquefois on étend l'étoffe qui se trouve en large sur le trinquet.

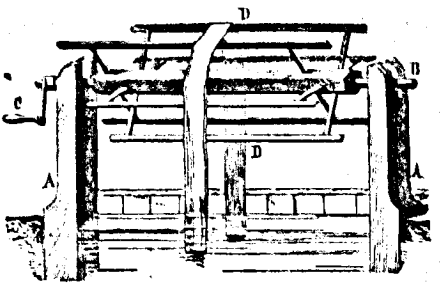


Fig. 248.

§ 4°. *Appareils à essorer et apprêter.* — Avant de livrer en vente les pièces de coton ainsi blanchies, il est encore nécessaire de leur faire subir quelques préparations que nous allons décrire : si ce sont des fils, on les tord par *pantes* ou paquets d'échevaux au moyen de l'*espart* ou de la *machine à tordre;* on fait encore usage dans beaucoup d'établissements de l'*hydroextracteur* ou *diable*. Si ce sont des étoffes, on commence par enlever les plis contractés par le mouvement dans la roue à laver, ainsi que la plus grande quantité de l'eau dont elles sont imprégnées entre des rouleaux de com-

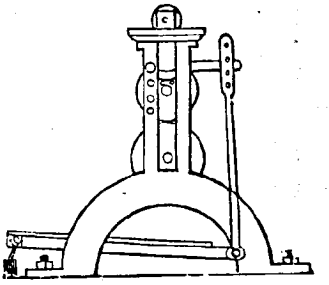


Fig. 249.

pression (*angl.* squeezers), représentés figures 249 et 250, entre lesquels on les passe par deux à la fois, dans le sens de leur longueur. Ces rouleaux sont ordinairement en bois de bouleau; le rouleau inférieur reçoit seul le mouvement d'une machine à vapeur ou d'une roue hydraulique, et un embrayage visible dans la figure 250, permet de le mettre en activité et de l'arrêter à volonté; un système de leviers pressant d'une part les coussinets du rouleau supérieur, porte à son autre extrémité un contrepoids (fig. 249), dont la pesanteur règle la pres-

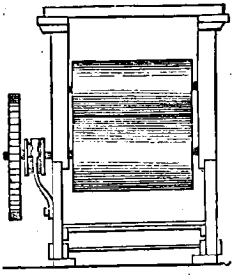


Fig. 250.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion qui s'exerce au contact des deux rouleaux. Le rouleau inférieur fait environ 25 tours par minute, et pendant ce temps, on peut passer sous les rouleaux trois pièces de toile cousues bout à bout, et formant en tout une longueur de 75 à 80 mètres.

Au sortir des rouleaux de compression, on porte les pièces de coton, cousues bout à bout, sur une brouette dont le fond est percé à jour, à la *machine à calandrer* ou CALANDRE (voyez ce mot), qui est destinée à les lisser et à les étendre.

L'emploi d'amidon serait trop coûteux pour l'apprêt des calicots communs pour chemises, on le remplace par un empois que l'on prépare ainsi qu'il suit : on délaie 1 kilog. de farine dans 10 litres d'eau, et on laisse exposé pendant 24 heures dans un endroit chaud; il se développe alors une fermentation acide qui détermine la dissolution du gluten; au bout de ce temps, on lave par décantation avec un peu d'eau l'amidon qui a gagné le fond du vase, et on le passe au travers d'un tamis très-fin; on en obtient une bouillie claire et laiteuse qui, soumise à l'ébullition, donne un empois très-convenable pour l'apprêt, et qui, sans être tout à fait aussi blanc que l'empois fait avec l'amidon du commerce, ne communique aucune teinte grisâtre aux tissus. Avant de s'en servir, on le délaie avec une quantité d'eau suffisante, et on y ajoute une petite quantité de dissolution d'indigo pour lui donner une légère teinte bleuâtre.

On empèse le calicot au moyen de la *machine à empeser*, représentée en élévation fig. 251, elle se com-

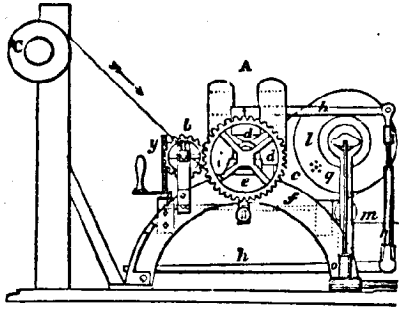


Fig. 251.

pose ordinairement de deux parties : la *machine à empeser* (fig. 251), et la *machine à sécher* (fig. 252).

avec la roue dentée *c*, montée sur l'arbre du rouleau inférieur *d*, *h*, *h*, *h*, leviers articulés entre eux, portant à leur extrémité inférieure un contre-poids servant à régler la pression qui s'exerce au contact des deux rouleaux en laiton *d*, *d*; *e* cuve à apprêt, portée sur des boulons *g*, fixés au châssis *f*, qui permettent de la soulever ou de l'abaisser, suivant que l'on veut que le rouleau inférieur *d* plonge plus ou moins dans l'apprêt; enfin un rouleau de laiton *i* force le calicot, venant du rouleau C, à plonger dans la cuve *e*.

Au sortir de la machine à empeser, le calicot passe successivement sur les 5 tambours sécheurs creux en cuivre *l*, *l*,... chauffés à la vapeur, montés sur le bâti en fonte *k*, *k*, et sur les 10 rouleaux en cuivre plein *m*, *m*..; puis vient passer entre deux rouleaux de pression D, en tout semblables aux rouleaux *d*, *d*, et dont l'inférieur reçoit le mouvement de la manivelle *a*, par le moyen d'un système de poulies et de courroies; ces deux cylindres déterminent la circulation du calicot sur les cylindres sécheurs, et le déposent ensuite sur une table ou sur le plancher. La vapeur arrivant par le tuyau *n*, *n*, s'introduit dans les cylindres sécheurs *l* suivant leurs axes, qui sont creux et tournent dans des boîtes à étoupes (*angl.* stuffen-box), par les tubes latéraux *o*, *o*..., et s'échappe de l'autre côté par un système de tuyaux tout à fait analogues; *q*, *q*, sont des soupapes s'ouvrant du dehors en dedans, qui servent à admettre l'air dans l'intérieur des cylindres sécheurs lorsque l'on cesse d'y faire arriver un courant de vapeur, ou même seulement lorsque la quantité de celle-ci diminue, afin de prévenir la déformation qui résulterait de la pression atmosphérique extérieure qui ne se trouverait plus équilibrée.

Quelquefois, au lieu d'employer l'appareil sécheur que nous venons de décrire, on sèche les calicots, à leur sortie de la machine à empeser, dans une étuve sèche, dont on élève graduellement la température jusqu'à 43° centigr. Enfin on termine par un nouveau calandrage, qui leur donne le lustre et le lissage nécessaires; dans cette opération, on place en avant des cylindres une brosse cylindrique, animée d'un mouvement rapide de rotation, qui plonge en partie dans une cuve pleine d'eau, qu'elle entraîne en tournant et projette en pluie fine sur le calicot, de manière à l'humecter légèrement avant son passage entre les cylindres. Il ne reste plus, avant de les renvoyer aux fabricants dans un état propre à la vente, qu'à plier avec soin les pièces, y appliquer la marque du fabricant, et les comprimer à la presse hydraulique, en interposant entre chaque pièce une feuille de carton satiné et de distance en distance une plaque de fer pour assurer l'uniformité de la pression.

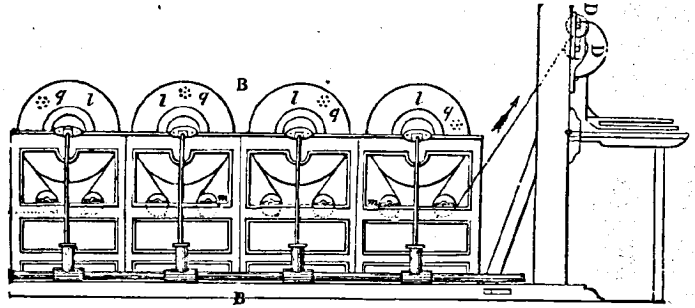


Fig. 252.

Le mouvement a lieu, soit à bras d'hommes, soit au moyen de toute autre force motrice, agissant sur la manivelle *a*, dont l'axe porte un pignon *b* qui engrène

Quoique l'ensemble du blanchiment et de l'apprêt des tissus de coton ne réclame pas moins de 25 opérations successives, dont plusieurs exigent l'emploi de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machines coûteuses, le blanchisseur ne reçoit que 1 fr. environ par pièce de 22 mètres.

L'apprêt des lainages et des soies diffère beaucoup de l'apprêt que nous venons d'étudier en le considérant comme applicable aux tissus de lin ou de coton. C'est à l'aide de la presse qu'on fait disparaître les plis que les mousselines-laines ont pris pendant le blanchiment. Les tissus pure laine ont d'abord été séchés sur des tambours, après qu'on les a humectés légèrement comme dans l'opération du repassage.

Les soieries, généralement blanchies en fils, sont tissées avec la plus grande propreté. Les tissus, foulards et autres sont *satinés* et *pliés* par des machines spéciales; les étoffes plus fortes peuvent être *moirées* au moyen de cylindres qui écrasent par places irrégulières les fils cylindriques et font naître les jeux de lumière qu'on désigne sous le nom de *moirage*.

Décoloration des tissus — Les opérations que nous venons d'exposer ont pour but d'éloigner toutes les matières gommeuses, grasses, résineuses, sucrées, mais elles ne détruisent pas la coloration de la fibre, elles préparent la décoloration proprement dite; cette dernière s'effectue par le concours d'agents qui modifient la couleur, la transformant quant à ses propriétés, sans altérer la fibre ligneuse.

Beaucoup de teintures sont exposées au pré, lorsqu'elles ont été savonnées. Cette exposition, qui a pour but d'aviver la nuance en détruisant les couleurs accidentelles, tout en respectant la couleur plus solide qu'on veut obtenir, trouve sa théorie dans celle même du blanchiment que nous étudions. Nous entrerons donc dans quelques détails sur la décoloration proprement dite.

A. De tous les agents que l'expérience a démontrés capables de décolorer les tissus ou de détruire les couleurs végétales ou animales, accidentelles ou posées avec intention sur une étoffe donnée (nous prenons le cas le plus général), l'air est le plus anciennement connu. On sait, en effet, qu'une toile exposée successivement à l'action de l'air et des lessives alcalines finit par se blanchir; on sait, du reste, encore que beaucoup d'étoffes teintes exposées à l'air se décolorent, en perdant complétement quelquefois toute leur matière colorante.

La matière colorée qu'on veut faire disparaître dans le blanchiment n'existe qu'en très-petite quantité; l'air peut la détruire, mais il faut, pour transformer cette matière insoluble dans l'eau, dans les alcalis, dans les acides, en substance soluble dans ces agents, le concours de plusieurs circonstances sans lesquelles la modification ne saurait avoir lieu. Il est indispensable de réunir l'insolation, c'est-à-dire l'influence des rayons solaires et l'influence de l'humidité. On démontre, en effet, qu'une toile écrue placée dans un flacon bouché, sous l'influence de l'humidité, ne se décolore pas sans radiation solaire; elle ne se décolore pas davantage dans les conditions inverses, c'est-à-dire sous l'influence des rayons solaires sans humidité. Dans l'obscurité, la coloration persiste; il faut donc savoir réunir tout à la fois de l'air, c'est-à-dire de l'oxygène, du soleil et de la vapeur d'eau.

Quel est le rôle de ces divers agents? Quelle influence exerce l'oxygène?

L'oxygène agit évidemment comme matière oxydante, brûlant la matière colorée: il enlève ensuite une certaine quantité d'hydrogène qu'il transforme en eau. L'eau formée dans ce cas ne rendrait-elle pas inutile l'influence de l'humidité? L'eau dès lors ne jouerait-elle qu'un rôle secondaire purement physique, celui d'aider à l'action chimique? L'eau dissolvant l'oxygène ne permettrait-elle pas ainsi l'introduction de cet élément dans la fibre elle-même d'une manière plus intime, plus immédiate que ne le ferait l'air complétement sec?

Les rayons lumineux déterminent d'une manière évidente l'action chimique qui s'accomplit, qu'on admette l'oxydation pure et simple de la matière colorante, qu'on admette, au contraire, l'élimination d'une certaine quantité d'hydrogène sous forme d'eau. A plus forte raison cette influence est-elle hors de doute, lorsqu'on suppose réunies ces deux réactions successives ou simultanées. L'expérience prouve, en effet, que l'étoffe étendue sur le pré, à l'époque à laquelle la végétation est luxuriante, par un temps clair, une température élevée, un soleil ardent, par de fortes rosées, la décoloration marche promptement. Si le temps est obscur, l'air sec, si la rosée manque, la décoloration ne progresse pas.

Pratiquement, l'opération peut être régularisée; si l'humidité fait défaut, on arrose; à cet effet, toutes les prairies réservées pour l'étendage dans les blanchisseries ou les teintureries sont irriguées, c'est-à-dire traversées de petits canaux dans lesquels on puise l'eau par le moyen d'écopes, pour la rejeter en forme de pluie sur les pièces étendues. Mais si le soleil est caché, il faut attendre, car alors l'oxygène actif manque également. On sait, d'après les belles expériences de T. de Saussure, confirmées par les recherches beaucoup plus récentes de M. Boussingault, que la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes (décomposition de laquelle résulte l'assimilation du carbone avec dégagement d'oxygène) n'a lieu qu'en présence de la radiation solaire. L'oxygène mis en liberté dans cet acte important de la végétation, encore doué des propriétés énergiques qu'il contracte à l'état naissant, en quelque sorte *ozonisé*, se dissout dans l'eau ou dans la vapeur d'eau contenue dans l'air, et vient agir énergiquement sur la matière qui colore les toiles.

On altère donc ainsi par l'étendage au pré la première couche de l'épiderme des fibres; on lessive de nouveau pour mettre à nu la partie subjacente, et, par une nouvelle exposition à l'air, on altère plus profondément la partie colorée. Ces diverses opérations se répètent jusqu'à décoloration complète.

La décoloration est maintenue par une dernière opération qu'on désigne sous le nom de *vitriolage*. Pour conserver le blanc parfait que les pièces ont acquis sur le pré, les blanchisseurs les lavent et les dégorgent dans un bain d'acide sulfurique étendu, marquant au plus 1 degré. Ce passage aux acides était tellement reconnu comme nécessaire pour éliminer toute trace de matière décolorée, susceptible de se recolorer à la longue, que même anciennement on passait les toiles blanchies dans un bain de lait aigri. On sait que par la fermentation du lait il se développe un acide particulier qu'on nomme *acide lactique*.

On a beaucoup amélioré le procédé de décoloration par l'air, par le seul fait de la séparation des deux opérations du blanchiment. Le dégraissage, au moyen des lessives à la chaux, des lavages acides et du lessivage aux alcalis, a mis à nu la matière colorante qui cède avec plus de promptitude à l'action de l'oxygène, sous l'influence de la radiation solaire; il convient surtout de l'employer au printemps, époque à laquelle la végétation est beaucoup plus active; d'ailleurs à cette époque les travaux des fabriques d'indiennes sont naturellement ralentis.

On connaît actuellement les conditions principales dans lesquelles se produit l'*ozone*, l'un des agents oxydants les plus énergiques. La production économique de cet air en dissolution peut devenir le fait le plus important dans les opérations du blanchiment ou de l'avivage; provoquer des recherches sur les moyens d'arriver à des préparations propres à l'emploi de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'ozone sur une grande échelle dans la fabrication des toiles peintes, c'est donc poser un problème dont la solution peut être prochaine; c'est ouvrir une voie nouvelle, féconde en grands résultats.

B. Depuis 1785, époque à laquelle Berthollet découvrit les propriétés décolorantes du chlore, l'emploi de cet agent a fait une concurrence sérieuse au premier procédé, surtout en raison de la possibilité de l'appliquer en toute saison. Mais le rôle du chlore n'est devenu parfaitement efficace que lorsqu'on l'a fait réagir sur des tissus préalablement dégraissés et lorsqu'on a remplacé le chlore à l'état de liberté par le chlore à l'état de chlorure décolorant.

Berthollet, trompé par la fausse composition qu'il assignait au chlore avec ses contemporains, assimilait à l'action de l'air l'action de l'*acide muriatique oxygéné*; il ajoutait, toutefois, que l'oxygène s'y trouvait condensé sous un poids considérable, et qu'il avait alors une plus grande énergie que lorsqu'on le prenait dans l'air. Cette interprétation fut immédiatement en défaut lorsqu'on établit la véritable nature du chlore et qu'on démontra qu'il devait être classé parmi les corps simples. Sa puissante énergie pour l'hydrogène fit admettre que son action était directe et qu'il décolorait en enlevant à l'état d'acide chlorhydrique une portion de l'hydrogène, transformant ainsi la matière colorante en un principe nouveau soluble dans les lessives alcalines.

Des expériences nombreuses, dirigées en vue de l'étude du chlore sur les matières colorantes, ont mis hors de doute que le principe d'une action directe est trop absolu. Certaines matières colorantes, en effet, immédiatement attaquées par le chlore humide, et sous l'influence de la lumière diffuse, résistent, au contraire, quand elles sont en contact avec le chlore sec et sous l'influence de la radiation solaire. Avec le concours des rayons du soleil, l'altération est profonde, elle se manifeste par la formation de l'acide chlorhydrique et la substitution dans la molécule colorée primitivement du chlore à l'hydrogène éliminé. L'eau semble donc intervenir dans la réaction, et l'affinité du chlore pour l'hydrogène a pour résultat de mettre en liberté de l'oxygène qui devient l'élément réellement actif. Le chlore agit ainsi d'une manière indirecte; cette réaction est conforme à ce que nous savons du rôle de l'eau pendant le contact du chlore et des acides sulfureux, arsénieux et phosphoreux qui se transforment en acides sulfurique, arsénique et phosphorique. Le chlore, en dégageant de l'oxygène à l'état naissant, se comporterait exactement comme l'air, et mieux encore, comme les parties vertes des plantes dans le blanchiment au pré. Dans les deux méthodes, il est difficile d'ailleurs de réduire l'action de l'oxygène à l'oxydation simple; il peut y avoir élimination simultanée d'une portion d'hydrogène sous forme d'eau.

Quoi qu'il en soit de l'explication qu'on adopte pour fixer le rôle du chlore, son action est acquise à la science et à l'industrie. Nous n'insisterons pas sur les méthodes à l'aide desquelles on le prépare; on les a données à l'article CHLORE. Nous ferons remarquer seulement qu'il y a beaucoup plus d'avantage à l'employer à l'état liquide qu'à l'état gazeux, et que, de tous les corps chlorés, le chlorure de chaux est celui qui maintenant est le plus répandu, celui qui présente l'emploi le plus avantageux. Nous renverrons le lecteur à l'article CHLORURE DÉCOLORANT, mais nous ajouterons ici que le chlorure de chaux n'est pas décolorant par lui-même; tant qu'il reste à l'abri du contact de l'air, il ne fait subir aux matières colorantes que des modifications insensibles; sous l'influence de l'air ou d'un acide la décoloration s'effectue. L'air contient de l'acide carbonique sous l'influence duquel le chlorure de chaux se décompose en acide hypochloreux $2(ClCaO) = ClO\,CaO + ClCa$, ou en chlore $ClCaO = Cl + CaO$, suivant qu'on interprète la réaction dans un sens ou dans l'autre. Dans tous les cas, l'action ne se développe avec énergie qu'en présence d'un acide.

Pour hâter l'action décolorante, il faut donc ajouter au chlorure de chaux un auxiliaire indispensable, tantôt l'air qui n'agit qu'avec lenteur, tantôt ou l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique qui agissent plus rapidement, tantôt enfin l'acide carbonique, quelle que soit la source à laquelle on préfère l'emprunter.

En supposant un dégagement de chlore, ce sel agit comme nous l'avons dit plus haut. En supposant un dégagement d'acide hypochloreux, l'action décolorante se produirait en vertu de la propriété caractéristique de cet acide d'être par lui-même un oxydant énergique, abandonnant son oxygène à la façon de l'eau oxygénée.

L'action du chlore lui-même pourrait être rapprochée de celle de l'acide hypochloreux; mais il faudrait, par des expériences directes, démontrer que la fibre ligneuse jouit, comme la potasse et la soude en dissolution étendue, de la propriété de transformer le chlore en acide hypochloreux; rien jusqu'à ce jour ne vient le prouver.

Quoi qu'il en soit, il ne faut pas perdre de vue, pour comprendre toutes les précautions dont on doit s'entourer, qu'une dissolution froide de chlorure de chaux concentrée agit avec assez d'énergie pour détruire la fibre elle-même, et qu'une dissolution bouillante la désorganise encore beaucoup plus rapidement. A la longue, une étoffe mal lavée se désorganise et tombe en poussière.

Nous trouvons dans la pratique, pour la période de la décoloration comme dans celle du dégraissage, la réunion des procédés mécaniques. Les procédés chimiques qui ont pour but de soumettre les objets à décolorer (fils ou tissus) à l'action des principes actifs, sont nécessairement suivis d'opérations mécaniques dont le but est d'éliminer les produits qui résultent de l'action des premiers, et du dégorgeage ou nettoyage des écheveaux et pièces après leur décoloration incomplète ou parfaite. Ces dernières opérations s'exécutent dans les appareils que nous avons déjà mentionnés en parlant du dégraissage.

Lorsqu'on s'est procuré la dissolution de chlorure de chaux bien claire et dépouillée par le repos de toute substance étrangère, on procède au titrage de cette dissolution, on l'étend assez pour qu'elle décolore une ou deux fois son volume de dissolution d'indigo.

On obtient la décoloration par deux méthodes essentiellement opposées : tantôt en opérant au moyen de dissolutions étendues qui n'agissent que lentement, tantôt en dissolutions concentrées qui agissent beaucoup plus rapidement. Ces deux procédés ont des avantages différents. Le premier ne présente aucun danger pour l'étoffe, mais il opère avec lenteur; il est sans inconvénients pour les ouvriers; dans la seconde méthode, il y a danger pour l'étoffe, inconvénients pour les ouvriers si les soins viennent à manquer; mais il y a possibilité de traiter rapidement des masses considérables. On pourrait opérer avec les mêmes avantages en faisant usage de solutions étendues portées à des températures voisines de 60 à 70 degrés. Les pièces seraient facilement imbibées et dépouillées de l'air contenu dans les pores.

a. Lorsqu'on fait usage des dissolutions étendues, on opère la décoloration dans des appareils variables.

Tantôt on fait usage de cuves pouvant contenir de 400 à 500 pièces de calicot, les pièces sont pliées en paquets; on imbibe les pièces avec la dissolution de chlorure de chaux contenue dans une première cuve, on les expose à l'air pour que la réaction se fasse, non-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seulement sur la surface du tissu, mais même à l'intérieur des fibres, puis on les plonge dans une seconde cuve qui contient de l'acide affaibli. Le chlorure de chaux liquide qui mouille le tissu se décompose, et la matière colorante, en contact avec le chlore à l'état naissant ou l'acide hypochloreux mis en liberté, se trouve en partie détruite. On retire ces pièces pour les dégorger.

Tantôt les pièces sont placées dans un cuvier à lessive dans lequel on fait circuler la dissolution de chlorure de chaux; cette méthode a l'inconvénient de ne conduire qu'à des résultats incomplets; car il se forme des courants auxquels correspond une décoloration trop avancée, c'est-à-dire l'altération des tissus. Les points qui font obstacle à la circulation régulière ne sont que peu décolorés.

Tantôt les étoffes engagées sur des rouleaux presseurs passent en y plongeant quelque temps dans des bains de chlorure de chaux; l'action de l'air et l'action de la batte produisent un dégagement uniforme et très-lent, trop faible pour compromettre la résistance des tissus.

Tantôt on fait tremper les pièces quinze à la fois dans une fosse carrée surmontée d'un tourniquet sur lequel on les place après une immersion de 30 à 40 minutes. On les enroule pour les transporter sur le tourniquet lui-même au-dessus d'un bain dans lequel on les déroule après qu'elles ont été égouttées, de façon que les eaux d'égouttage retournent au bain de chlorure de chaux.

Tantôt enfin les pièces, au lieu de séjourner dans le bain, s'y plongent en passant successivement autour d'un tourniquet qui les fait mouvoir et renouvelle ainsi les points de contact; à la sortie des trois cuves juxtaposées dans lesquelles passent les mêmes pièces, elles sont comprimées entre deux rouleaux presseurs qui rejettent l'eau d'imbibition; deux caniveaux les ramènent dans les cuves.

Là, comme toujours, les tissus passés au chlorure de chaux sont immergés dans un bain acide qui met en liberté l'agent utile dans la décoloration.

b. Lorsque la dissolution de chlorure de chaux est concentrée, le séjour des pièces dans le bain deviendrait dangereux pour la sécurité de l'étoffe; on ne fait donc que les y faire passer d'une manière égale, en les immergeant et les exprimant à chaque passage. On les passe enfin dans un bain acide pour décomposer le chlorure de chaux. Il est convenable alors, pour ne pas incommoder les ouvriers, de mettre au-dessus de la bâche qui contient l'acide, une hotte dont le but est de conduire au dehors les vapeurs dégagées au contact de l'acide et du chlorure de chaux.

Quel que soit l'état de concentration du chlorure employé, les pièces doivent être dégorgées avec le plus grand soin, et, dans tous les cas, le blanchiment terminé par un passage dans une lessive qui a pour but d'entraîner la matière colorante modifiée sous l'influence du chlore. Après cette deuxième lessive, on lave les pièces, et s'il faut pour les besoins de la teinture un blanchiment parfait, on recommence la série d'opérations dans l'ordre que nous venons d'indiquer.

Ce n'est que lorsque les pièces sont arrivées au degré de blanchiment voulu qu'on les soumet à l'opération du vitriolage. L'acide enlève la résine qui résiste aux alcalis et qui se colorerait plus tard par le contact de l'air; cette résine accompagne la fibre et ne la quitte que sous l'influence des acides; ce dernier traitement a de plus pour effet de dissoudre les oxydes de fer ou d'alumine accidentellement déposés sur les tissus, et dont la présence se manifesterait après la teinture par des maculatures et des taches irrégulières.

Ce bain, généralement composé d'acide sulfurique étendu, se donne de deux manières :

α. Lorsqu'on n'a pas à sa disposition de générateur de vapeur.

β. Lorsqu'on a sous la main une chaudière pouvant au besoin chauffer les bains. Dans tous les cas, il convient de laisser déposer le sulfate de plomb que l'acide concentré du commerce contient toujours et qui se dépose quand on étend d'eau l'acide concentré. Il est indispensable, lorsque les étoffes ont passé deux ou trois tours dans le bain acide, de laver les étoffes à grande eau, puis de les dégorger complétement afin d'éloigner jusqu'aux dernières traces d'acides qui, se concentrant par la dessiccation, pourraient avoir pour effet de détruire la résistance de l'étoffe.

C. Aux matières que nous venons d'étudier, il convient d'ajouter, dans des cas spéciaux, un dernier élément; c'est l'acide sulfureux dont les avantages sont incontestables pour blanchir les tissus de laine ou les fils de soie.

L'action du chlore sur les fibres d'origine animale étant toujours accompagnée d'une désorganisation profonde et d'une coloration jaune plus ou moins intense, on ne peut songer en faire usage pour le blanchiment des tissus autres que ceux qui proviennent du tissage des fibres du coton, du lin et du chanvre. On est forcé d'avoir recours à de nouveaux agents, et l'usage a conservé l'emploi de l'acide sulfureux.

La réaction est ici d'une tout autre nature que celle qui prend naissance dans le contact du chlore avec la matière colorante; dans le dernier cas, la matière ayant changé de propriétés est éliminée sous forme soluble; dans le cas de l'action de l'acide sulfureux, il semble qu'il n'y ait rien qu'une combinaison de l'acide avec la matière colorée qui se fixe au tissu sans élimination et sous forme incolore. Ce phénomène rentre dans la classe de ceux observés par M. Chevreul dans l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'hématine, et par M. Kulmann dans l'action de l'acide sulfureux sur les matières colorées d'origine végétale.

L'acide sulfureux, employé depuis une époque dont on ne peut préciser la date, est en usage presque partout pour blanchir les étoffes et les fils de laine; on l'obtient par la combustion du soufre dans les chambres qu'on nomme *soufroirs* (voyez ACIDE SULFUREUX, 3e volume). On opère tantôt avec l'acide sulfureux gazeux, tantôt avec l'acide sulfureux liquide. Nous ne décrirons ici ni la préparation de l'acide sulfureux gazeux, ni les appareils dans lesquels les laines sont mises à blanchir; mais nous indiquerons la possibilité de se servir d'acide liquide ou d'acide combiné. O'Reilly depuis fort longtemps a fait voir qu'en soumettant des étoffes à l'action d'un liquide contenant de l'acide sulfureux liquide, on obtient un blanchiment beaucoup plus complet que par l'acide gazeux. Il suffit de 4 heures d'immersion dans un liquide disposé dans des appareils analogues à ceux dont on fait usage dans le blanchiment par le chlore liquide ou combiné pour obtenir une décoloration satisfaisante.

M. Persoz indique comme procédé très-économique pour la préparation de l'acide sulfureux le moyen suivant : on calcine dans des cylindres de fonte un mélange de sulfate de fer et de fleur de soufre. La formule $3\,(SO^3)\,Fe^2O^3 + 5\,S = 6\,(SO^2) + 2\,(FeS)$ rend compte de la réaction. On chauffe à peine au rouge.

On dispose l'appareil comme pour la fabrication de l'acide nitrique, mais on charge d'abord une portion du sulfate de fer dans la partie antérieure de l'appareil, puis le mélange de soufre et de sulfate, en sorte que le soufre en vapeur rencontre d'abord du sulfate de fer chaud qu'il décompose avec facilité. On conduit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le gaz qui se dégage dans un tonneau laveur rempli de paille ou de mousse humectée; il se rend de là dans une caisse munie d'un agitateur ou d'une cascade chimique comme pour la dissolution du chlore. En opérant sur 1500 grammes de sulfate de fer supposé pur et sur 1000 grammes de soufre, on obtiendrait 340 litres de gaz acide sulfureux sous la pression de 0m,76 et à la température de 0°. Or, comme l'eau dissout à la température ordinaire 43 fois son volume d'acide sulfureux, on obtiendrait avec ces doses 79 litres d'eau saturée.

Je suis surpris qu'on n'ait pas encore introduit dans l'industrie l'emploi de l'acide sulfureux combiné comme on le fait pour le chlore; les appareils appliqués dans les deux cas seraient les mêmes, et par l'exposition à l'air des tissus imbibés de sulfite alcalin on pourrait obtenir une décoloration convenable. Sans doute cette innovation conduirait à quelques tâtonnements pour fixer la densité du liquide et connaître la force de l'acide à mettre en contact avec le tissu chargé de sulfite, dans le cas où l'acide carbonique de l'air serait insuffisant ou d'une énergie trop faible pour agir promptement à la température ordinaire; il faudrait encore se prémunir contre la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique par condensation dans les pores du tissu, transformation qui compromettrait la solidité de l'étoffe; la présence d'une base dans le sel primitivement employé mettrait facilement de côté cette cause de destruction.

Nous pensons devoir faire connaître ici un appareil très-simple, employé par M. Kopp pour faire absorber l'acide sulfureux par une dissolution de polysulfure de calcium dans la fabrication du vermillon d'antimoine. Le gaz sulfureux est produit ou par la combustion du soufre brut, ou par la calcination des pyrites, ou par le grillage de sulfure d'antimoine (*fig.* 253.).

tuyau I du liquide légèrement acide qu'elle renferme : quand on juge à propos de remplir directement d'eau pure la cuve A, on débouche l'orifice K : le tampon L permet de remplacer le liquide combiné dans la cuve A'. Un cône métallique M, dans lequel on place quelques charbons ardents, active le tirage du tuyau d'appel N qui doit aspirer l'acide sulfureux, les roues à palettes F tournent dans le même sens; elles sont commandées par le même moteur; des roues d'engrenage de différent diamètre règlent une fois pour toutes la vitesse de rotation convenable pour une absorption régulière.

Les laines et les soies ne subissent pas le vitriolage, mais on ne les livre pas encore au consommateur.

Lorsque les laines, par des immersions répétées dans des bains convenables, sont suffisamment dégraissées et décolorées, on les passe dans un bain spécial dit d'*azurage* pour rehausser le ton, et surtout pour faire disparaître dans les tissus de *chaîne-coton* la nuance jaune que conserve le lainage.

On a fait emploi pendant longtemps, pour remplir ce but, de sulfate de cuivre, ou de toute autre préparation bleue ayant pour base l'oxyde de cuivre. Mais on y a bientôt renoncé devant les accidents graves auxquels cet azurage donnait lieu toutes les fois que les laines étaient teintes et fixées par la vapeur. On doit à M. Chevreul cette observation importante, que sous l'influence de la vapeur d'eau et d'une température élevée, le soufre dont nous avons constaté la présence dans la fibre même qui constitue la laine se porte sur les oxydes en présence desquels il se trouve, et lorsque les sulfures qui résultent de cette combinaison sont colorés, la laine prend une teinte colorée, uniforme si l'oxyde est régulièrement réparti, sous forme de tache si l'oxyde est irrégulièrement déposé. Telle est la cause assignée par M. Chevreul, en 1837,

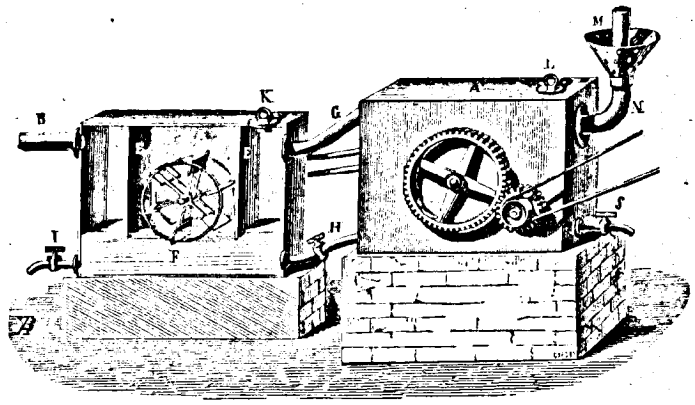


Fig. 253.

Une série de cuves disposées en étages A, A' sont en communication par un tuyau B avec l'appareil producteur du gaz sulfureux; une cloison E existe dans chaque cuve; elle force le gaz acide sulfureux à descendre pour se trouver au contact de la dissolution et de la pluie liquide produite par le mouvement de rotation d'une roue à palette F; la cloison E' force le gaz à redescendre encore avant de se rendre dans la cuve A' qui absorbe les portions qui ne se sont pas dissoutes; elles y pénètrent par un tuyau *b*; un robinet H permet d'écouler le liquide contenu dans la cuve A' dans la cuve A, lorsqu'elle a été vidée par le

à des taches qui s'étaient manifestées sur des laines soumises blanches à la vaporisation, et devenues colorées par l'opération. Cet illustre savant avait reconnu que ces étoffes s'étaient trouvées accidentellement, pendant le travail, en contact avec des sels de cuivre, d'antimoine, d'étain, de plomb, avant leur passage à la vapeur, et que, sous l'influence de l'agent, il y avait eu production d'un sulfure coloré. La couleur brune que la laine prend, quand on la plonge dans un mélange d'acétate d'alumine et d'acétate de plomb, a la même origine; on évite ces inconvénients en se servant, pour azurer, de carmin ou d'acétate

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'indigo qu'on ajoute en proportion variable avec le goût du commerçant.

Nous terminerons ce chapitre en faisant remarquer que l'industrie manque encore d'une bonne méthode, qui réduise la matière colorante et qui l'expulse. Les laines d'apparence blanche tiennent cette qualité bien plus de celle de la matière que de l'effet du blanchiment; il serait intéressant de trouver une marche rationnelle qui supprimât l'azurage complémentaire avec lequel on imite un faux blanc.

PRATIQUE DU BLANCHIMENT. Maintenant que nous connaissons, au titre le plus général, la théorie du blanchiment des matières textiles d'origine quelconque, les appareils dont on fait usage, et l'ordre dans lequel on fait les opérations successives qui composent l'ensemble de l'art du blanchisseur, nous résumerons, au point de vue des dosages des bains, la série des opérations auxquelles on soumet les étoffes de coton, de lin ou de chanvre, de laine ou de soie.

Blanchiment des tissus de lin et de chanvre. — Les méthodes que nous venons de décrire, très-simples, rationnelles, actives dans le cas du blanchiment des tissus de coton, sont bien moins efficaces quand on les applique au blanchiment des tissus de fils de lin et de chanvre. La matière colorante est en plus grande quantité dans ces dernières, elle est plus résistante, et les matières grasses et résineuses ne cèdent pas aussi facilement à l'action des agents dont on ne saurait augmenter l'énergie sans compromettre la solidité de l'étoffe: Il faut donc répéter successivement les opérations que nous avons indiquées; pour les fils de lin, on va jusqu'à faire subir à la pièce quatre lessives à la chaux, en les faisant suivre, pour l'opération du dégraissage, d'autant de lavages à l'acide, puis au carbonate alcalin.

Le lin perd presque 1/3 de son poids par le blanchiment, tandis que les fils de coton en perdent au plus 1/20. Sa couleur naturelle est d'un gris blond pâle, mais elle se fonce pendant le *rouissage*, opération destinée à faciliter la séparation entre les filaments textiles et la partie ligneuse du lin; aussi le lin préparé sans rouissage est-il beaucoup plus pâle que le lin roui, et en le lavant à l'eau de savon seulement on peut le blanchir presque complétement.

La substance qui colore le lin en gris verdâtre est insoluble dans l'eau bouillante, les acides et les alcalis; mais elle devient soluble dans les lessives alcalines ordinaires ou caustiques, après une longue exposition à l'air qui la résinifie. Le chanvre est sous ce rapport tout à fait analogue au lin.

Les étoffes de lin et de chanvre sont donc celles auxquelles on applique le plus généralement la décoloration par l'étendage au pré. Nous supposerons ici que nous voulions traiter pour la blanchir la toile commune écrue.

Le dégraissage s'opère au moyen des opérations suivantes, savoir :

1° Un premier dégommage à l'eau tiède;

2° Un second dégommage dans les mêmes conditions;

3° Un lessivage à chaud dans une dissolution de savon vert;

4° Une lessive de 4 heures dans un mélange de chaux vive et de sel de soude qui forme une lessive caustique.

La décoloration s'exécute au moyen d'opérations subséquentes, savoir :

5° Une première exposition au pré, pendant 2 ou 3 jours, suivant la saison ou l'état de l'atmosphère;

6° Une seconde lessive de 3 heures;

7° Un nettoyage et un dégorgeage;

8° Une nouvelle exposition au pré de 4 à 5 jours;

9° Une troisième lessive de 4 heures;

10° Un nettoyage et un dégorgeage;

11° Une troisième exposition au pré, de 4 à 5 jours, selon l'état de l'atmosphère;

12° Un dernier passage aux acides.

On peut recommencer les passages en lessive et l'exposition au pré, si les pièces n'ont pas le blanc qu'on désire.

Les chiffres qui suivent permettent de se faire une idée des frais occasionnés par cette méthode.

Pour composer la lessive, d'après des renseignements fournis à M. Persoz par MM. Kœchlin frères, on prend :

45 kilog. de potasse des Vosges;
20 kilog. de chaux;
35 kilog. de chlorure de sodium;
1200 kilog. d'eau.

On porte à l'ébullition pendant une heure; on laisse déposer; on décante, et on ajoute à la dissolution limpide 7 fois son volume d'eau claire. Ces quantités de matières servent pour une lessive propre à 300 pièces. On répète cette même dépense à chaque lessive qu'on fait subir aux matières à décolorer.

On peut combiner la décoloration sur le pré par l'action de la lumière avec l'emploi du chlorure décolorant. Nous en donnerons un exemple, et nous nous contenterons d'indiquer la série des opérations suivies dans une des meilleures blanchisseries de toiles de lin, en faisant remarquer une fois pour toutes que les lavages à l'eau s'y font avec beaucoup de soin au moyen des appareils que nous avons décrits, et que l'exposition sur le pré dure de 4 à 8 jours suivant les circonstances.

Si l'on suppose 360 pièces de toiles de 32 mètres de longueur chacune, primitivement dégorgées dans l'eau, mises en digestion avec de la lessive alcaline ayant déjà servi, lavées de nouveau, et pesant chacune 4k,60, en tout 1601 kil., on devra :

1°	Lessiver avec	27k	de potasse, laver et expos. s. le pré	
2°	—	36	—	—
3°	—	40 ,50	—	—
4°	—	36	—	—
5°	—	36	—	—
6°	—	24 ,50	—	—
7°	—	31 ,50	—	—
8°	—	31 ,50	—	—

9° Immerger pendant 12 heures dans un bain d'acide sulfurique étendu, et laver.

10° Lessiver avec 22k,50 de potasse perlasse, laver, et exposer sur le pré.

11° Immerger pendant 12 heures dans un bain de chlorure de potasse ou de chaux et laver.

12° Lessiver avec 13k,50 de potasse perlasse, laver, et exposer sur le pré.

13° Passer dans un bain d'acide sulfurique étendu, et laver.

14° Passer au savon noir, lavage.

15° Apprêter.

16° Sécher.

Les pièces qui ne sont pas suffisamment blanchies sont traitées de nouveau par une série de bains de chlorures décolorants et d'acide sulfurique étendu, jusqu'à ce qu'elles aient acquis une blancheur suffisante.

Quelque soin qu'on ait apporté dans la pratique des différentes opérations que nous venons de décrire, il est urgent de reconnaître l'état des toiles blanchies lorsqu'elles sont destinées à la teinture, soit qu'on veuille préparer des teintes unies, soit qu'on veuille les transformer en tissus imprimés; à cet effet, on soumet à des épreuves convenables des morceaux d'étoffes prélevés au hasard sur l'une des pièces faisant partie d'une série soumise à la succession des opérations du blanchiment.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si le blanchiment n'avait pas fait disparaître toutes les parties grasses, en passant l'étoffe, par exemple, dans une cuve d'indigo, la couleur ne prendrait pas également sur toutes les parties; si l'on imprimait en outre, les parties grasses fixeraient la couleur, ce qui formerait des taches, diminuant la valeur de la teinture. Si l'on cherchait à produire des dessins sur fond blanc, ces taches maculeraient la partie blanche; dans le cas où le fabricant voudrait ensuite enlever ces taches, il s'exposerait à l'inconvénient de détruire la solidité de la pièce.

Pour s'assurer de l'état dans lequel se trouvent les pièces blanchies, on en prélève un échantillon qu'on coud à la suite des pièces *mordancées* qui passent dans un bain de garance. Nous verrons plus loin que le mordançage a pour but de fixer la garance qui, par elle-même, ne contracte aucune adhérence avec la fibre végétale. La pièce, en passant dans le bain de garance, devra se colorer d'autant moins que le blanchiment aura reçu le plus de perfection, c'est-à-dire qu'on aura détruit le plus matières étrangères à la fibre. Dans tous les cas, la coloration devra se présenter unie et sans maculatures.

Ce mode d'épreuve ne révèle pas toujours les accidents qui peuvent survenir, lorsqu'on imprime des tissus blanchis. Certaines natures de graisse ou de résine ont par elles-mêmes si peu d'affinité pour la matière colorante de la garance, qu'elles n'en fixent que des quantités insignifiantes, tandis qu'au contraire, par l'intermédiaire de certains sels d'alumine ou de fer, il y a fixation d'une coloration assez sensible. Avec de semblables toiles, on court le risque de voir apparaître une coloration rose prononcée, soit unie, soit sous forme de taches, lorsque par suite de l'opération du *bousage* elles auront été mises en contact avec l'excédant de sel à base d'alumine ou de fer que le bain de bouse a redissous, et lorsque ces taches auront fixé l'une ou l'autre de ces bases.

Il convient donc, pour n'être pas surpris au milieu d'une opération, de répéter l'essai du garançage d'un échantillon sur un nouvel échantillon préalablement passé dans un bain de bouse : si le morceau d'étoffe ne se colore pas à cette double épreuve, ou si la teinte est légère et très-uniforme, on en conclut que l'échantillon est complétement débarrassé de matières étrangères à la fibre; on peut conclure que toutes les pièces en essai sont de bonne qualité.

On consomme en tout 310k,50 de potasse, ce qui fait au plus 0k,90 par pièce de 32 mètres de longueur.

Blanchiment des tissus de coton. — Nous appliquerons au blanchiment du calicot les observations que nous venons de poser. Les pièces de calicot écru reçoivent pour être dégraissées :

1° Un premier lessivage à la chaux de 20 à 24 heures; on prend pour faire la lessive 30 kilogrammes de chaux, pour 1000 pièces de calicot 3/4, qu'on fait dissoudre pour économiser la chaux dans le résidu de l'opération n° 3;

2° Un lavage et un dégorgeage;

3° Un second lessivage à la chaux, de même durée que le premier et de même composition, mais fait avec de l'eau pure;

4° Un lavage et un dégorgeage;

5° Une immersion dans l'acide sulfurique tiède à 1°,48;

6° Un lavage et un dégorgeage;

7° Un lessivage au carbonate de soude; la lessive est faite avec le résidu de la lessive n° 12, à laquelle on ajoute 1 kilog. de carbonate de soude par 100 mètres de calicot 3/4;

8° Un lavage et un dégorgeage.

La décoloration s'effectue pour le même nombre de pièces en leur faisant subir :

9° Une immersion de quelques heures dans une solution de chlorure de chaux qui ne marque pas à l'aréomètre, et qui, saturée par un acide, dégage à peine de chlore;

10° Une immersion dans un bain acidifié par l'acide chlorhydrique à 2° Baumé;

11° Un lavage et un dégorgeage;

12° Un second lessivage au carbonate de soude pendant 24 heures. On ajoute 4 kilog. 5 de carbonate de soude à la quantité d'eau nécessaire au lessivage de 1000 mètres de calicot;

13° Un lessivage et un dégorgeage;

14° Une seconde immersion dans le chlorure de chaux semblable à l'opération n° 9;

15° Une immersion dans l'acide chlorhydrique à 2° Baumé;

16° Un lavage et un dégorgeage parfaits.

D'après les chiffres produits par M. Persoz, le montant approximatif de la dépense nécessaire au blanchiment de 10,000 mètres de calicot se balance par :

60 kilogrammes de chaux.		1 fr.
55 —	de sel de soude. . .	37 fr.
55 —	de chlorure de chaux.	16 fr.
Acide.		10 fr.
Main-d'œuvre et frais généraux. . .		150 fr.
		214 fr.

Soit 1 fr. 07 par pièce de 50 mètres. Les frais de main-d'œuvre diminueraient beaucoup si la fabrication était exercée sur une plus grande échelle.

Ce procédé permet de remplacer les alcalis caustiques par leurs carbonates. Il n'en résulte pas d'inconvénients; car les carbonates alcalins dissolvent aussi bien les corps gras à l'état libre et jouissent de plus de l'avantage de décomposer par double décomposition les savons calcaires en formant des savons alcalins et du carbonate de chaux. Dans l'origine de ce procédé, les résultats satisfaisants étaient obtenus même en l'absence de toute décomposition, par les acides des savons calcaires résultant du lessivage à la chaux.

Dans ce même procédé, l'acide qui sert à décomposer le chlorure de chaux est l'acide chlorhydrique et non l'acide sulfurique. Non-seulement, il y a formation de chlorure de calcium qui, déliquescent, entretient une humidité plus uniforme dans toutes les parties de la pièce, mais il y a dégagement d'une quantité plus considérable de chlore dans le cas où le sel contient du chlorate de chaux. Il est donc rationnel de préférer une méthode comme celle que nous venons de décrire, car elle apporte économie au double point de vue de la main-d'œuvre et des matières premières. Cette considération acquiert un grand poids par suite des baisses de prix qui conduisent forcément le fabricant à diminuer incessamment le chiffre des frais occasionnés par les opérations du blanchiment. C'est même pour satisfaire à ces conditions d'économie qu'ont été disposés les systèmes dits *continus*.

Pour nous rendre compte de ces systèmes, supposons cousues à la suite les unes des autres plusieurs pièces de calicot avant ou après le lessivage; on les supporte par un nombre suffisant de cylindres qui servent aussi de rouleaux de tension; on fait mouvoir la tête des pièces en la faisant immerger successivement dans les bains convenables, acides, alcalins, de chlorure de chaux, acides, etc.; on intercale entre chaque bain des appareils à nettoyer et dégorger. Un mouvement continu permet donc de conduire l'étoffe blanchie convenablement dans les appareils à sécher. Cette méthode réunit alors à l'économie des opérations chimiques celle des opérations mécaniques qui n'est pas moins importante.

Par les procédés perfectionnés que nous venons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'exposer, on évite toute la fermentation acide qui jouait un si grand rôle dans la pratique du blanchiment des calicots, surtout anciennement. Nous allons en dire quelques mots, car elle n'est pas abandonnée partout, et quelques teinturiers l'appliquent encore à l'avivage de certaines nuances. Les points théoriques sur lesquels nous insisterons ici éclaireront plus tard quelques usages consacrés par la routine.

On laisse macérer la pièce dans une cuve avec plus ou moins d'eau tiède, et pour déterminer une certaine fermentation on ajoute une petite quantité de son. La pièce doit être complétement immergée pendant toute la durée de l'opération : soit 40 à 50 heures pendant l'été, 3 à 5 jours pendant l'hiver.

Si les pièces ne sont pas convenablement submergées, la température de la masse s'élève considérablement au centre surtout; il s'y produit une espèce de pourriture nuisible à la résistance du calicot. S'il y a trop d'eau, la fermentation se règle mal, et l'on ne parvient que très-imparfaitement à faire disparaître le gluten et les matières amylacées que contient la fibre, et dont on cherche à se défaire. Au point de vue des besoins de la teinture, cette ancienne méthode a l'inconvénient de transformer les matières, ou certaines matières résineuses fixées à l'étoffe, de telle sorte qu'en contact avec quelques principes colorants, ces résines modifiées les rendent adhérentes aux tissus. Les molécules de garance, par exemple, sont attirées avec énergie et viennent *teindre* les parties altérées; ce genre d'altération ne se produit jamais lorsque le lessivage à la chaux supprime la fermentation.

On fait à Glascow de très-beau blanc et comme les procédés dont on fait usage font connaître les précautions que l'on prend suivant la nature des tissus, nous devons les reproduire ici. Nous supposerons que l'on ait à blanchir des mousselines, des jaconas et des organdis.

On laisse fermenter les mousselines pendant 36 heures dans la lessive à la température de 35 à 60°, suivant la saison. Le lessivage subséquent, de 51 kilog. pour 112 pièces de mousseline, se fait avec 3 kilog. de potasse perlasse et 1 kilog. de savon mou dissous dans 1,635 litres d'eau, et dure 6 heures; on lave à l'eau froide, on fait subir un second lessivage de 3 heures, on lave derechef, puis on fait une immersion de 6 à 12 heures dans un bain de chlorure de chaux d'une densité de 1,025. On lave à l'eau froide, et on laisse digérer pendant une heure dans un bain d'acide sulfurique étendu, ayant une densité de 2,0175. On lave à l'eau avec soin, on donne un lessivage d'une demi-heure avec 1k,12 de potasse et 0k,90 de savon mou, on lave à l'eau pure, on fait une immersion de 6 heures dans un bain de chlorure de chaux d'une densité de 1,015, on lave à l'eau, on passe dans un bain d'acide sulfurique étendu d'une densité de 1,015, et enfin on termine par un lavage à l'eau très-soigné. Pour les tissus plus épais, on doit leur faire subir en sus un troisième lessivage, suivi d'une immersion dans le bain de chlore, puis dans l'acide sulfurique étendu.

Lorsque dans le lessivage qui suit la fermentation on remplace la potasse par de la chaux, le remplacement se fait poids pour poids, seulement l'opération ne dure qu'un quart d'heure, parce qu'un plus long séjour dans le lait de chaux altérerait le tissu.

On a adopté tout dernièrement dans l'établissement cité ci-dessus, le procédé suivant, qui fournit les blancs les plus parfaits qui arrivent sur la place de Londres.

La chaux est rarement employée dans le blanchiment des mousselines de première qualité, parce qu'on a remarqué qu'elle altérerait leur tissu, et que plus tard les couleurs ne se fixaient pas d'une manière solide sur les mousselines blanchies à la chaux. On la remplace par une lessive caustique formée en faisant bouillir, pendant une heure, dans de l'eau, des poids égaux de soude du commerce et de chaux, et décantant; on n'ajoute pas de savon à la soude, comme cela a lieu pour la potasse.

Les mousselines et les jaconas sont lavés à la fin du blanchiment dans de l'eau de source, contenant un peu de bleu d'azur, qui leur donne une teinte agréable à l'œil. Si ce sont des tissus communs, on y ajoute un peu d'empois dissous dans de l'eau bouillante. Ils sont ensuite tordus ou pressés, passés à la machine à étendre que nous avons décrite, puis enroulés sur un cylindre d'étain chauffé à la vapeur qui les sèche complétement dans l'espace d'un quart d'heure. Il ne reste plus qu'à les dérouler, à les plier et à les comprimer à la presse hydraulique, pour qu'ils soient propres à la vente. Les frais de blanchiment et d'apprêt sont payés à raison de 0f,60c à 0f,90c par pièce de 11 mètres de longueur.

L'organdi est tordu ou pressé après le dernier lavage, porté au séchoir, puis empesé avec un apprêt que l'on prépare en faisant bouillir 1k,20 d'amidon avec 20 litres d'eau, et y ajoutant ensuite 500 grammes de bleu d'azur. On le tord, on le porte quelque temps dans une étuve chauffée à 43°, où on le travaille jusqu'à ce que l'apprêt lait bien également pénétré; on l'étend ensuite dans une chambre froide, et on le porte enfin au séchoir, où on l'étire pendant le séchage dans le sens de la largeur, ce qui lui donne une sorte d'élasticité. Le blanchiment et l'apprêt réunis d'une pièce de 11 mètres d'organdi se payent de 0f,90c à 1f,50c.

Lorsque l'étoffe est en partie tissée avec des fils préalablement teints en rouge d'Andrinople, ou en bleu par l'indigo, le blanchiment, ou plutôt le blanchissage, en exige beaucoup de soin. On commence par la faire dégorger dans de l'eau de source; on fait bouillir avec précaution dans de l'eau de savon, et, après un nouveau lavage à l'eau fraîche, on les immerge dans une dissolution convenablement étendue de *chlorure de potasse*, on répète ces opérations jusqu'à ce que l'on ait obtenu un blanchissage suffisant; enfin on passe l'étoffe dans un bain d'acide sulfurique étendu qui, si l'on a opéré avec soin, avive les couleurs, et on termine par un lavage à grande eau.

Les guingamps qui sont tissés avec des fils préalablement blanchis, sont simplement débarrassés du parement ou parou par un lavage à grande eau, bouillis pendant peu de temps avec de l'eau de savon, rincés à l'eau, passés dans un bain d'acide sulfurique étendu et lavés à grande eau.

Outre les procédés de blanchiment que nous venons de décrire, on a imaginé d'imprégner les tissus d'une dissolution alcaline caustique d'une densité de 1,02, puis après les avoir laissés égoutter, de les placer sur le double fond à jouer d'une chaudière, à travers lequel on fait arriver de la vapeur d'eau, après avoir assujetti, au moyen de vis et d'écrous, le couvercle supérieur qui se ferme hermétiquement. Ce procédé a été depuis entièrement abandonné en Angleterre.

Il nous reste à parler des taches graisseuses que l'on trouve souvent sur les tissus de coton, taches qu'il est très-difficile de faire disparaître dans l'opération du blanchiment, et qui produisent un effet très-désagréable, surtout dans les étoffes teintes en rouge par la garance ou en bleu par l'indigo. Les fils de la chaîne sont souvent de mauvaise qualité, ou tellement fins, qu'ils peuvent à peine supporter la traction des lisses ou le frottement de la navette, surtout lorsque le parou en séchant est devenu roide et cassant; le tisserand cherche alors à abréger et à faciliter le travail, en les enduisant avec une matière grasse à bas prix, telle que le beurre rance ou le suif; ce dernier est surtout

EFERUS - Recherche & Classification numérique

employé comme étant le plus économique. Le tisserand fait tomber, à l'aide d'une tige de fer rougie au feu, le suif en gouttes sur la chaîne, et l'étend ensuite à l'aide d'une brosse. On conçoit aisément qu'il est impossible de le répartir ainsi d'une manière tout à fait uniforme, ce qui donne lieu à la production de ces taches qu'il est si difficile de faire disparaître complétement dans le blanchiment, et qui se manifestent d'une manière si fâcheuse dans la teinture.

Les principaux blanchisseurs d'Écosse emploient, pour enlever ces taches, le procédé suivant qui donne de très-bons résultats : on commence par flamber les tissus, ou les fait ensuite dégorger dans de l'eau de source, et on les passe sous une paire de cylindres de pression pour enlever l'eau et les impuretés dissoutes pendant le dégorgeage. Comme le flambage augmente l'adhérence des matières qui salissent les tissus, il est avantageux de faire dégorger ceux-ci pendant 30 à 40 heures, de les presser et de les sécher à l'étuve ou à l'air libre avant de les soumettre à cette opération. Après le dégorgeage, on donne quatre lessives, chacune de 10 à 12 heures, dans une dissolution alcaline caustique ayant une densité de 1,0127 à 1,0156, et on lave avec soin à l'eau froide chaque lessive. On passe ensuite les tissus, pendant 8 à 12 heures, dans un bain de chlorure de potasse, obtenu en étendant une dissolution d'une densité de 1,0625 de vingt-quatre fois son volume d'eau.

Quelques blanchisseurs ont l'habitude d'exposer les tissus sur le pré, pendant quelques jours, au sortir du bain de chlorure alcalin, et les passent ensuite dans un bain d'acide sulfurique étendu ayant une densité de 1,0254 et une température de 43° C. Pour les tissus communs, le bain acide a une densité qui varie de 1,0146 à 1,0238, et on les y laisse 5 à 6 heures. On les lave ensuite avec soin à l'eau dans la roue à laver. On donne de nouveau 4 lessives caustiques comme ci-dessus, en lavant à l'eau entre chacune. La dernière lessive se fait souvent avec de la potasse perlasse, parce que le sulfure que renferme la potasse ordinaire du commerce empêche d'obtenir un blanc aussi pur. On passe ensuite comme ci-dessus dans le bain de chlorure de potasse, on lave à l'eau, on passe au bain d'acide, on lave avec soin dans de l'eau de source ou de l'eau courante, et on fait sécher à l'air libre et à l'ombre.

Ce procédé est long et compliqué, mais c'est celui qui donne les résultats les meilleurs et les plus certains dans toutes les circonstances et dans toutes les saisons de l'année.

Nous ne quitterons pas ce sujet sans exprimer un regret, c'est qu'on ne connaisse pas encore le degré de solubilité de la matière colorante du lin ou du coton dans les lessives de diverses forces et dans les savons, depuis 60 jusqu'à 181 degrés, la température correspondant à 10 atmosphères; on ignore ainsi quelle est la température la plus favorable pour blanchir les tissus. On n'a sur ce sujet que peu de documents pratiques; les voici :

Des expériences très-soignées ont fait voir :

1° Que, sous la pression atmosphérique, une ébullition continue de deux heures, avec un lait de chaux, n'altère aucunement les tissus, pourvu qu'ils demeurent constamment recouverts d'une couche de liquide en ébullition, et qu'on les lave immédiatement après à grande eau;

2° Que les tissus n'éprouvent aucune altération par la digestion dans de l'eau pure, bouillante, sous une pression de 10 atmosphères;

3° Que l'on peut faire digérer les tissus sous une pression de 10 atmosphères, sans les altérer, dans une lessive bouillante de soude caustique dont la densité primitive serait de 1,015, jusqu'à ce que la vaporisation de l'eau ait amené cette lessive à un état de concentration double;

4° Que, sous la pression atmosphérique les tissus ne s'altèrent pas, par l'ébullition avec une lessive de soude ayant une densité de 1,070;

5° Qu'il en est de même par une immersion de 8 heures dans un bain de chlorure de chaux, susceptible de décolorer le triple de son volume de la solution d'essai d'indigo, et le traitement subséquent des tissus par un bain acide d'une densité de 1,067;

6° Enfin que les tissus ne s'altèrent pas lorsqu'on les laisse digérer, pendant l'espace de 8 heures, dans de l'acide sulfurique ou hydrochlorique étendu d'eau d'une densité de 1,035 à la température de 35°.

Si quelques praticiens font usage d'appareils à haute pression, rien ne prouve que ce soit avec avantage, puisqu'on réussit à l'ébullition à l'air libre; la science n'a pas encore démontré l'utilité de cette pratique.

Cependant *généralement* on admet :

Pour les toiles d'Alsace et les fortes toiles de Rouen. . . . . 5 atmosphères.

Pour les toiles de Rouen, jaconas, madapolams.. . . . . 4 —

Pour les articles de Saint-Quentin. 3 —

Pour les toiles et fils de lin. . . 2 à 2 1/2.

En résumé, dans nombre de bons établissements, on pratique :

1° Enlèvement du parou ou parement par une digestion de 12 heures dans l'eau froide, suivie d'un lavage à la roue à laver;

2° Ébullition avec un lait de chaux de force convenable, ou mieux, deux ébullitions très-courtes avec le lait de chaux, séparées par un lavage intermédiaire à l'eau;

3° Ébullition, de 10 à 12 heures, avec une lessive de soude renfermant 1 kil. de carbonate de soude cristallisé par 56 kil. de tissus à traiter;

4° Nouvelle ébullition dans les mêmes circonstances;

5° Exposition de 7 à 8 jours sur le pré, ou immersion, d'abord dans un bain de chlorure de chaux, puis dans de l'acide sulfurique étendu, comme il est décrit plus haut;

6° Traitement par une lessive alcaline caustique, renfermant autant et même moins de soude que les lessives 3 et 4;

7° Exposition sur le pré, ou immersion dans un bain de chlorure de chaux, puis dans l'acide sulfurique, étendu, comme pour le n° 5;

8° Lessive de soude caustique, comme le n° 6;

9° Immersion dans un bain de chlorure de chaux, puis dans l'acide sulfurique étendu;

10° Rinçage dans de l'eau chaude, ou lavage à la roue à laver.

Lorsque le nombre des cuves à chauffer à la fois dépasse 4 ou 5, il y a économie dans le chauffage par un courant de vapeur; lorsqu'il est moindre, il est plus économique d'appliquer directement le feu sous les chaudières dans lesquelles s'opère le lessivage ou le débouillage. L'emploi de la vapeur diminue le danger que l'on court, dans le chauffage à feu nu, d'attaquer les tissus; mais d'un autre côté, la vapeur en se condensant, étend les dissolutions que l'on emploie et qui deviennent alors incapables de servir au blanchiment d'une nouvelle quantité de tissus, tandis qu'au contraire ces dissolutions se concentrent par l'application directe du feu sous les chaudières; toutefois, il est à remarquer que cette dissolution n'offre aucun inconvénient dans le cas du lait de chaux. Lorsque celui-ci contient trop de chaux, ainsi que lorsqu'on le verse bouillant sur les tissus, on court risque de les endommager; aussi est-il préférable de l'introduire, par le bas, dans la cuve à lessiver. Pour une raison analogue, il faut avoir soin, à la suite d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lessive de soude caustique, si les tissus ne peuvent être portés immédiatement à la roue à laver, de les transvaser dans une cuve remplie d'eau qui les recouvre complétement.

Lorsque le bain de chlorure de chaux est trop concentré, il se forme quelquefois dans le calicot, principalement sur les bords ou les parties les plus épaisses de la pièce, de petits trous ronds très-nets, analogues à ceux qu'y produiraient des gouttes d'acide sulfurique concentré. Cela tient, indépendamment de la cause que j'ai déjà signalée plus haut, à ce qu'il se dégage de la dissolution concentrée de chlorure de chaux, par la moindre élévation de température ou par toute autre cause, des bulles de chlore gazeux qui s'attachent aux parois sur les tissus, et y restent fixées pendant un espace de temps suffisant pour corroder et détruire les parties avec lesquelles elles se trouvent en contact; ce sont évidemment les parties les plus compactes du tissu, qui retiennent les bulles gazeuses avec le plus de force, et empêchent le plus longtemps sa dissolution dans la masse liquide. On prévient cet accident en employant des dissolutions de chlorure de chaux plus étendues, et en y agitant fréquemment les tissus.

Lorsque les matières grasses qui imprégnaient le tissu n'ont pas été complétement enlevées dans les premières opérations du blanchiment, elles restent et se reconnaissent dans les étoffes blanches, parce qu'il en résulte des parties qui n'absorbent pas, comme le reste, l'humidité atmosphérique, ce qui détruit l'uniformité de la teinte, et surtout lors de la teinture, parce qu'il se forme des taches plus fortement colorées que le reste de la pièce, par suite de l'affinité qui existe entre les matières grasses et les matières colorantes. Aussi devrait-on défendre aux tisserands d'employer de la graisse pour assouplir les fils de leur chaîne, et le cas échéant, faudrait-il nettoyer les tissus très-promptement, et avant de les mettre en magasin, pour prévenir l'altération, par le contact prolongé de l'air, des matières grasses, dont il devient alors impossible de se débarrasser complétement. Il est aussi très-essentiel que la graisse soit entièrement enlevée avant de traiter le tissu par le chlore. Les blanchisseurs ne devraient également jamais garantir les tissus qu'ils livrent à l'impression avant de s'être assurés sur quelques pièces, en les humectant avec de l'eau, qu'elles ne renferment aucune tache graisseuse.

Nous terminerons cette analyse générale des principes du blanchiment, en indiquant quelques règles à suivre, résultats de l'expérience : pour les tissus imprégnés de matières grasses, il convient d'éviter l'emploi du lait de chaux pour une première lessive; on les traite d'abord par une ou plusieurs lessives de soude, vient ensuite le lait de chaux, et enfin on termine par une ou deux lessives de soude. On ne doit dans ce cas, employer l'immersion dans le chlorure de chaux, qu'à la fin du blanchissage; on fera digérer le tissu après chaque lessive, dans un bain d'acide sulfurique, pour décomposer les savons insolubles formés, et rendre solubles dans les lessives de soude subséquentes les acides gras qu'ils renferment.

On a pu voir par ce qui précède toutes les lenteurs qu'on rencontre dans les opérations courantes du blanchiment appliqué aux tissus d'origine végétale. Nous avons signalé les points encore délicats qu'il était possible d'aborder. Disons quelques mots des tentatives faites dans ces dernières années pour introduire dans la pratique de nouveaux agents.

On a fait en Prusse, dans une douzaine de fabriques, des expériences en grand sur l'emploi du verre soluble comme savon; en général, les résultats n'ont pas été satisfaisants; on nettoie bien, il est vrai, les tissus de coton par l'emploi de cette matière, mais son

action n'est pas supérieure à celle du sel de soude; elle est de beaucoup inférieure à celle du savon alcalin. Les fils et tissus traités par les silicates alcalins conservent presque toujours une dureté et une rigidité désagréables; le blanc est d'ailleurs moins pur et plus salissant; les taches sont difficiles à faire disparaître; la silice qui reste dans les fibres après le lavage fait répartir inégalement le duvet, bien qu'on ait cherché par un rinçage des plus soignés à l'éliminer complétement.

Employé pour l'avivage des couleurs garancées, cet agent n'a pas donné de meilleurs résultats. Le blanchiment des tissus de lin et de chanvre n'a pas été couronné de plus de succès. Cependant, il faut dire que le lessivage des linges grossiers de ménage réussit plutôt avec un mélange de savon et de verre soluble qu'avec le silicate alcalin sans addition.

M. Chapoteaut fils, pharmacien à Decize (Nièvre), a fait connaître qu'on opère avec facilité le lessivage au moyen d'un mélange de 4 grammes d'acétone, 20 grammes d'essence de térébenthine, et 40 grammes d'ammoniaque liquide. Si l'acétone recevait cet emploi, sa fabrication deviendrait facile par la décomposition, sous l'influence de la chaux, de l'acétate de soude obtenu par le contact du carbonate de soude avec le gaz provenant de la distillation des bois.

Blanchiment des laines et mi-laines (chaîne-coton).— Il est urgent d'abord de débarrasser la matière textile de tous les corps étrangers, gras, résineux, salins, qui peuvent la souiller. Ce n'est qu'après cette première opération qu'on peut songer à la décolorer d'une manière prompte, efficace, durable.

La laine est recouverte, comme la soie, d'un enduit particulier qui porte le nom de *suint* (*angl.* yolk); c'est une matière grasse, onctueuse, d'une odeur forte, dont il faut probablement rechercher l'origine dans la transpiration cutanée des moutons, mais qui a dû subir, par l'action des agents extérieurs, une série de modifications qui ont altéré sa constitution. Il résulte des expériences de Vauquelin et de M. Chevreul, que le suint se compose de plusieurs substances, savoir :

1° D'un savon à base de potasse, qui en constitue la majeure partie;

2° D'une quantité notable d'acétate de potasse;

3° D'une petite quantité de carbonate de potasse et d'une trace de chlorure de potassium;

4° D'un peu de chaux à l'état de combinaison non déterminée;

5° D'un acide gras particulier;

6° D'une substance animale à laquelle il doit son odeur.

Outre ces éléments constitutifs du suint, on rencontre aussi accidentellement dans la laine brute, diverses autres matières, telles que des poussières, etc.

M. Chevreul a encore extrait de la laine désuintée 17 p. 100 de matières grasses solubles dans l'alcool, divisibles par l'éther en deux principes distincts qu'on nomme l'un principe gras solide de la laine, et l'autre principe liquide de la laine. Le premier est ramollissable à 45° fusible à 60°, cristallisable; le deuxième est liquide à 15°, non cristallisable.

Le soufre est aussi partie constitutive de la laine. On en constate la présence dans la laine purifiée par l'éther et l'alcool, au moyen du carbonate de soude qui noircit ensuite par l'hydrogène sulfuré.

La proportion de suint est variable, suivant la nature de la laine; mais en général elle est plus abondante dans la plus belle. La perte, dans le désuintage, est de 45 p. 100 en poids pour les laines les plus fines, et seulement de 36 p. 100 pour les laines grossières.

Le suint, en raison de sa nature savonneuse, se dissout promptement dans l'eau, à l'exception d'un peu de matière graisseuse qui est libre, mais qui se détache

EFERUS - Recherche & Classification numérique

également et reste en suspension dans la liqueur. Il semblerait suffisant, d'après cela, de soumettre les laines à un simple lavage à l'eau courante; mais l'expérience a démontré que cette méthode ne réussit jamais aussi bien que celle généralement adoptée, et qui consiste à laisser les laines dégorger pendant quelque temps dans une petite quantité d'eau tiède ordinaire, ou mêlée d'un quart d'urine putréfiée; 15 à 20 minutes suffisent dans ce dernier cas, si l'on a eu soin de chauffer le bain à une chaleur telle que la main puisse à peine la supporter; on agite fréquemment les laines avec une perche, on les enlève au bout du temps indiqué, on les fait égoutter, et on les place ensuite dans de grandes corbeilles, afin de pouvoir les rincer complétement dans l'eau courante.

On admet généralement que l'urine putréfiée agit sur le suint par l'ammoniaque qu'elle renferme, et qui sert à saponifier l'excès de matière graisseuse qui n'est pas combinée avec la potasse. L'urine fraîche ne peut être employée parce qu'elle contient un acide libre qui en décomposant le savon que renferme le suint contrarierait l'opération du désuintage.

Si les laines sont mieux désuintées dans une petite quantité d'eau que dans l'eau courante, comme le démontre l'expérience, cela tient à la nature même du suint qui, en dissolution concentrée, agit comme un véritable savon, et contribue ainsi à enlever les particules graisseuses qui adhèrent aux filaments. On doit aussi remarquer qu'un trop long séjour de la laine dans un bain qui s'est chargé de suint, et qui renferme de l'urine putréfiée, altère sa qualité en faisant gonfler et même fendre ses filaments; on dit alors que la laine a perdu son nerf. Une chose également essentielle à observer, c'est de ne jamais travailler la laine dans le bain au point d'en déterminer le feutrage, ce qui rendrait extrêmement difficiles le cardage et le filage subséquents; à cet effet, il faut se borner à faire tourner lentement la laine dans le bain, ou à la fouler modérément sous les pieds.

L'eau bouillante pouvant altérer la laine, il est de toute nécessité de ne jamais amener la température du bain de désuintage à un point voisin de l'ébullition, ni même en réalité, au-dessus de 60° centigrades.

Quelques auteurs recommandent d'employer pour le désuintage, des bains de savon ou des lessives alcalines; mais jusqu'ici on a toujours préféré suivre l'ancienne méthode, qui est la plus économique et qui donne des résultats satisfaisants.

Lorsque le lavage est opéré, les laines qui doivent rester blanches sont traitées par l'acide sulfureux, liquide ou gazeux, comme nous l'indiquerons au mot SOUFRAGE. L'exposition sur le pré peut aussi contribuer très-efficacement au blanchiment de la laine. Quelques personnes, excitées par la cupidité, trempent les laines dans du lait de beurre ou dans de l'eau de craie avant de les livrer au commerce; par cette fraude blâmable, elles en accroissent la blancheur et en augmentent considérablement le poids.

On blanchit la laine tantôt en toison, tantôt lorsqu'elle a déjà été filée; cette dernière est toujours d'un plus beau blanc. On a remarqué que la laine de certaines parties de la toison, et particulièrement celle des aînes se blanchissait beaucoup plus difficilement que le reste.

Après le soufrage, la laine est roide et dure au toucher; on lui rend sa douceur et sa souplesse primitives par un très-léger bain de savon.

Tels sont les principes généraux qui dominent l'opération du blanchiment des laines.

Nous réunirons ici l'ensemble des opérations qui constituent le blanchiment des laines tel qu'on l'exécute aujourd'hui. Nous supposerons avec M. Chevreul qu'on ait à blanchir 100 pièces de mousseline de laine, ayant 60 mètres de longueur, soit 6,000 mètres d'étoffe :

1° Les pièces sont assemblées par mises de cinq, et cousues ensemble jusqu'à la fin des opérations. Chaque mise est enroulée sur des bobines. Les 100 pièces forment ainsi vingt mises; chaque mise est garnie aux deux bouts de deux garats en toile de 2 mètres environ, cousus solidement pour protéger les chefs de chaque extrémité de la mise;

2° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude, et 1k,75 de savon blanc, à la température de 50 degrés, dans une cuve à foulardeur, garnie de son rouleau presseur et convenablement chauffée par la vapeur;

On y fait passer la première mise trois fois de suite dans les rouleaux. Avant d'y faire passer la deuxième mise, on ajoute 500 grammes de savon bien dissous, en maintenant la température toujours à 50 degrés. On remonte de même le bain par 500 grammes de savon, pour la troisième, la quatrième et la cinquième mise; après le passage de ces cinq mises, on vide la cuve que l'on remonte à neuf pour cinq autres mises, en sorte que pour les 100 pièces on emploie 28 kilog. de carbonate de soude, et 15 kilog. de savon blanc;

3° On rince ensuite deux fois chaque mise dans un bain d'eau à 35 degrés, monté dans l'appareil à foulardeur, où l'on renouvelle l'eau pour chaque mise;

4° On monte un bain avec 7 kilog. de carbonate de soude à la température de 50 degrés centigrades; on y fait passer trois fois la première mise entre les rouleaux; avant d'y faire passer la seconde mise, on remonte le bain avec 50 grammes de carbonate de soude très-limpide, et l'on maintient la température à 50 degrés centigrades. On remonte de même le bain avec 50 grammes de carbonate de soude avant le passage de la troisième et de la quatrième mise; on remonte à neuf une nouvelle cuve pour le passage de la cinquième mise, en sorte qu'on emploie pour ces 100 pièces 36 kil. de carbonate de soude;

5° Les pièces passent ensuite au soufrage, elles restent 12 heures dans le soufroir, compris le temps nécessaire pour garnir et dégarnir la chambre; on consomme 25 kilog. de soufre;

6° Au sortir du soufroir, les pièces sont rincées dans un courant d'eau froide qu'on renouvelle continuellement;

7° On répète l'opération 4°, en ayant soin d'employer pour faire les bains nécessaires aux 100 pièces 36 kilog. de carbonate de soude;

8° On répète l'opération du soufrage avec 25 kilog. de soufre;

9° On rince encore à l'eau courante;

10° On lessive avec le carbonate de soude, en consommant 36 kilog. de carbonate de soude;

11° On soufre de nouveau, toujours avec 25 kilog. de soufre;

12° On rince enfin en eau tiède;

13° On rince en eau froide en établissant un courant.

On azure, au moyen d'un passage dans le carmin d'indigo, qu'on fixe dans la dernière opération du soufrage, lorsque les pièces sont destinées à la vente en blanc; elles peuvent d'ailleurs ne recevoir qu'un seul soufrage. Quant aux pièces destinées à la teinture en nuances claires et brillantes, il faut leur donner le dégraissage et la décoloration la plus complète, afin d'obtenir des nuances ou des impressions irréprochables. On ne doit soumettre les pièces décolorées avec l'acide sulfureux qu'à des températures peu élevées, afin de ne pas détruire par la chaleur le principe incolore qui résulte de la combinaison de l'acide sulfureux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec la matière colorante ; il se dégagerait de l'acide et la coloration apparaîtrait de nouveau.

En résumant et présentant cette opération méthodiquement, comme nous l'avons fait pour les autres tissus, on trouve :

1° *Dégraissage.* — On comprendra sans peine que les étoffes de laine ne puissent être dégraissées, c'est-à-dire débarrassées des matières circuses, graisseuses, salines et résineuses qui constituent, par leur association à la fibre textile, un tissu de laine, au moyen des méthodes que nous avons appliquées au blanchiment des tissus d'origine végétale. Les alcalis caustiques, en effet, ne dissolvent-ils pas les fibres, comme nous l'avons dit ; et la chaux ne les désorganise-t-elle pas à ce point que la fibre ainsi traitée perd toute énergie pour fixer la matière colorante? On est donc forcé d'avoir recours d'abord à l'action des cristaux de soude, et si cet agent n'est pas assez fort, on fait usage des savons qui, tantôt dégraissent en saponifiant les corps gras directement par l'alcali qu'ils renferment en excès, et tantôt agissent en se décomposant sous l'influence de l'eau, de manière à former des acides gras qui dissolvent mieux les matières résineuses, insolubles dans l'eau, tout comme elles le sont dans les carbonates alcalins.

Quant aux températures auxquelles on opère le lessivage, elles diffèrent encore notablement de celles qu'on choisit pour blanchir les toiles de coton, de lin ou de chanvre. On doit redouter une élévation de température et n'opérer qu'entre 60 et 70 degrés ; les appareils dans lesquels on lave et rince les tissus de laine sont aussi généralement différents de ceux qu'on emploie dans le dégorgeage des tissus de coton ou de lin. Presque toujours les étoffes de laine ont besoin d'être tendues en passant dans les dissolutions alcalines pour éviter les contractions qui gêneraient la teinture. On se sert de la machine à foulardor, dite encore machine à plaquer, parce que c'est elle dont on se sert pour mettre sous épaisseur uniforme les intermédiaires capables de fixer sur les tissus les matières qui par elles-mêmes ne teindraient pas (voyez IMPRESSION, 2e volume). Chaque pièce passe une fois ou deux au fond d'une auge remplie de lessive ; elle en sort ensuite pour être exprimée par deux rouleaux qui font retomber dans l'auge l'excédant de la lessive, et s'enroule sur des cylindres mobiles en bois qui se nomment *bobines*, et qui servent à transporter le tissu. Quand les pièces ont été pendant un temps suffisant en contact avec la lessive, on change les bobines de place, et, les transportant au-dessus de nouveaux bains ou d'eau pour laver, ou de carbonate de soude et de savon pour opérer un dégraissage plus complet, on les fait circuler une seconde fois ; on a soin de répéter ces opérations tant qu'on ne juge pas le dégraissage suffisamment avancé. Ce n'est qu'alors qu'on passe à la dernière phase du blanchiment, à la décoloration.

2° *Décoloration.* — Nous avons insisté plus haut sur le mérite de l'acide sulfureux dans son emploi très-ancien à la décoloration des tissus fabriqués au moyen des fibres d'origine animale, nous n'y reviendrons pas.

Blanchiment des soies. — Nous n'avons plus qu'à dire quelques mots du blanchiment des soies.

Si les procédés à l'aide desquels on blanchit ou prépare à la teinture les étoffes de coton, de lin et de chanvre, diffèrent notablement de ceux auxquels on soumet dans le même but les tissus de laine et de soie, on n'a que de faibles modifications à faire subir aux procédés qui servent au blanchiment des laines pour les approprier au blanchiment des soies. Nous les ferons connaître d'une manière sommaire. Dans cette opération, comme dans celle qui s'applique au travail des calicots, nous aurons à distinguer le dégraissage et le blanchiment, et, pour ces deux phases, des moyens mécaniques et des agents chimiques.

La soie brute ou écrue, telle qu'elle vient du cocon, est blanche ou jaune, et recouverte d'un vernis qui lui donne de la roideur et une sorte d'élasticité ; la plupart des usages auxquels on la destine exigent qu'on la dépouille de cet enduit naturel, que l'on a longtemps regardé comme une sorte de gomme ; opération qui porte le nom de *décreusage* (*angl.* scouring, *allemand* entschælen).

On a proposé un grand nombre de procédés divers pour opérer le décreusage ; mais aucun d'eux n'a pu remplacer avec avantage le procédé le plus ancien, qui consiste à traiter la soie par une eau de savon chaude, comme le constatent les intéressantes recherches de M. Roard. Le vernis qui recouvre la soie se dissout aisément dans les alcalis caustiques ou carbonatés, et même à la longue dans l'eau bouillante, mais aucun procédé ne conserve mieux le brillant et la souplesse de la soie qu'une ébullition courte et rapide dans de l'eau de savon.

La méthode la plus anciennement connue pour blanchir la soie se subdivise en trois opérations :

1° Le *dégommage*, qui consiste à préparer une dissolution bouillante de 30 p. de savon dans 100 p. d'eau de source, puis à abaisser un peu la température en ajoutant un peu d'eau froide et en retirant le feu, ou au moins en fermant toutes les issues du fourneau ; par ce moyen, le bain est tenu très-chaud, sans cependant atteindre à l'ébullition, ce qui est un point essentiel, car on s'exposerait à attaquer la soie, et non-seulement en dissoudre une portion, mais encore la priver de son lustre ; on plonge alors dans cette préparation les écheveaux de soie enfilés sur des perches ou *lissoirs* disposés horizontalement au-dessus de la chaudière ; la partie immergée dans le bain se dégorge peu à peu, le vernis et la matière colorante se dissolvent, et la soie prend la blancheur et la souplesse qui lui sont naturelles. Lorsqu'on est arrivé à ce point, on tourne les écheveaux sur les lissoirs, de manière à ce que la partie primitivement hors du bain y soit trempée à son tour ; dès que le tout est parfaitement dégommé, on retire les écheveaux du bain ; on les tord à la cheville, on les dresse, et on procède à l'opération suivante :

2° *Cuite.* On a des sacs en canevas grossiers appelés *poches*, dans chacun desquels on renferme environ 12 à 15 kilog. de soie dégommée, et on les place dans un bain semblable au précédent, mais qui renferme une moindre quantité de savon, de sorte que l'on peut sans inconvénient le porter à l'ébullition. On la soutient pendant une heure et demie, en ayant soin de remuer souvent les sacs, dans la crainte que ceux qu'on laisserait séjourner sur le fond de la chaudière ne subissent une trop forte chaleur.

La soie perd dans ces deux opérations environ 25 p. 100 de son poids.

3° Enfin la troisième et dernière opération du décreusage a pour but de donner à la soie une légère teinte qui en rende le blanc plus agréable et mieux approprié à l'usage que l'on en veut faire. Ainsi l'on distingue le blanc de Chine, qui a un léger reflet rougeâtre, le blanc azuré et le blanc de fil. Pour produire ces diverses nuances, on commence par préparer une eau de savon assez concentrée pour qu'elle devienne mousseuse par l'agitation ; on y ajoute ensuite, pour le blanc de Chine, un peu de rocou que l'on mélange avec soin dans la liqueur, et on y passe la soie à plusieurs reprises, s'il est nécessaire, jusqu'à ce qu'elle ait acquis la nuance désirée ; les autres blancs s'obtiennent en azurant plus ou moins la soie par l'addition d'une certaine quantité d'indigo fin, dans le bain de savon. Dans tous les cas, il faut, au sortir du bain,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tordre la soie et l'étendre sur des perches pour la faire sécher; on la porte ensuite au soufroir, si elle est destinée à rester blanche.

A Lyon, on ne sert pas de savon pour la troisième opération : après la *cuite*, on lave la soie, on la soufre, et on l'azure dans de l'eau de source convenablement chargée de bleu.

Quant aux soies destinées à la fabrication des blondes et des gazes, on ne peut les soumettre au décreusage ordinaire, parce qu'il est essentiel qu'elles conservent leur roideur naturelle. On choisit à cet effet les soies écrues de Chine, qui sont d'un très-beau blanc, ou les plus blanches que fournissent les autres pays; on fait tremper, on les rince dans de l'eau claire ou dans une très-légère dissolution de savon; puis on les tord, on les soufre et on les azure. Quelquefois on on réitère une seconde fois toute cette série d'opérations.

M. Roard a observé que la soie complétement décreusée, perd son moelleux et son lustre lorsqu'on la plonge de nouveau pendant quelque temps dans un bain de savon, ou même seulement dans l'eau bouillante; c'est pour cela qu'on ne peut aluner la soie décreusée à chaud, et qu'elle perd même son lustre lorsqu'on la teint en brun, couleur qui réclame l'emploi d'un bain d'eau bouillante. Pour prévenir cet accident, il faut, lorsque les soies doivent plus tard être teintes, employer d'autant moins de savon pour le décreusage que la teinte qu'elles doivent recevoir sera plus foncée.

Selon M. Roard, il faut employer 8 litres d'eau et la quantité correspondante de savon pour décreuser complétement 1 kilogr. de soie. Les soies écrues dans lesquelles le vernis qui les recouvre a déjà éprouvé quelque altération, n'acquièrent jamais une blancheur complète que par l'action de l'acide sulfureux; l'exposition sur le pré donne aussi de bons résultats, et l'on dit que les Chinois emploient ces procédés avec avantage.

On a essayé de remplacer le savon par le carbonate de soude qui agit, il est vrai, plus activement, mais ne produit jamais un blanc aussi parfait. On a aussi essayé de blanchir la soie à la vapeur, et on a pris à ce sujet, en Angleterre, un brevet dont nous rendrons compte à l'article SOIE.

Il paraît que les Chinois n'emploient pas de savon pour obtenir ces belles soies blanches qui sont importées en Europe. Michel de Grubbens, qui a résidé longtemps à Canton, a vu et pratiqué lui-même leur méthode, dont il a publié la description dans les Mémoires de l'Académie de Stockholm pour 1803: elle consiste à décreuser la soie dans un bain composé de :

25 parties d'eau de source;
6 parties de farines de blé;
5 parties de sel marin;
5 parties d'une espèce particulière de fèves blanches, plus petites encore que les fèves turques, et préalablement lavées.

Baumé a indiqué un procédé qui consiste à faire macérer pendant 48 heures la soie écrue dans un mélange d'alcool à 36° B. (ayant une densité de 0,837), et 1/32 d'acide hydrochlorique pur; au bout de ce temps elle est aussi blanche que possible, et possède un éclat et un moelleux remarquables. La perte en poids dans cette opération n'est que de 1/40, ce qui prouve que la matière colorante seule a été attaquée et dissoute. Ce procédé paraît n'être pas passé dans la pratique en grand à cause de la dépense qu'il occasionne; on pourrait retrouver une partie de l'alcool en saturant dans l'eau mère l'acide hydrochlorique avec de la craie, et soumettant ensuite à la distillation.

Si nous voulons ramener le blanchiment des soies aux principes généraux que nous avons admis au commencement de cet article, nous résumerons ici en quelques mots les opérations que nous venons de rappeler, en séparant le dégraissage et la décoloration proprement dite.

Les étoffes qu'il s'agit de blanchir ont été déjà soumises à l'opération du décreusage, ou bien elles sont écrues. Il faut, par conséquent, plus de travail dans le second cas que dans le premier.

Lorsqu'il s'agit de blanchir des soies déjà décreusées, il suffit d'immerger les tissus dans une eau courante, puis de les laver dans une lessive formée de 60 grammes de savon, et 500 grammes de son par pièce de 10 mètres environ : le son, par son acide, affaiblit l'action de l'alcali du savon, et détruit moins la soie; en sortant de ce bain, les pièces sont dégorgées à 40 degrés, lavées à l'eau froide, puis nettoyées dans les roues à laver. Dans le second cas, les opérations sont distinctes.

1° *Dégraissage.* — On immerge les pièces, après les avoir introduites dans un sac, dans une chaudière remplie d'une eau tenant en dissolution 250 grammes de savon pour 1 kilogr. de soie. Après avoir chauffé graduellement et maintenu l'ébullition pendant deux ou trois heures, on nettoie à l'eau courante. L'étoffe bien rincée reçoit un second bain semblable au premier; on la dégorge de nouveau dans la roue à laver. Lorsque le dégorgeage est complet, on termine par un passage dans l'eau contenant 15 grammes de carbonate de soude cristallisé pour chaque pièce de 10 mètres. La pièce est alors dégorgée, rincée et passée dans un bain d'acide sulfurique qui ne marque pas à l'aréomètre. On termine enfin par un dernier lavage à l'eau chaude, suivie d'un battage à l'eau courante après rinçage.

2° *Décoloration.* — Les tissus de soie blanchis de la sorte sont d'un blanc assez vif pour recevoir toutes les colorations foncées; mais quand ils sont destinés à recevoir des nuances très-légères, il convient de les exposer à l'action d'un léger soufrage. C'est là que l'emploi de l'acide sulfureux liquide est parfaitement approprié; il faut dans tous les cas, agir avec la plus grande circonspection pour ne pas altérer le tissu.

Au reste, pour les soies, les opérations du blanchiment et de la teinture s'exécutent généralement sur des fils ou des écheveaux qu'on livre ensuite aux tisserands. Le travail du blanchiment a souvent pour but de dégraisser et de décolorer entièrement la fibre; dans d'autres cas, au contraire, on veut seulement assouplir le fil; on nomme soies assouplies celles qui n'ont subi que l'action prolongée pendant une heure environ de l'eau chaude à 80 ou 90 degrés centigrades; on conserve ainsi tout le poids que la soie possède, tandis que par le décreusage ordinaire il diminue d'environ 25 p. 100. Mais le volume augmente par une sorte de gonflement de la matière fibreuse; ces soies sont réservées pour les parties non apparentes des tissus; on sait, par exemple, que dans les satins dont la chaîne est brillante, la trame est presque toujours en fil simplement assoupli. Quand la couleur le comporte, le blanchiment du fil est suivi d'un engallage; quand on engalle les soies assouplies on trouve forcément une augmentation de poids. Nous signalerons toutefois une variété de soie de Chine qui perd par l'eau seule de 15 à 20 p. 100; l'engallage ne fait donc que diminuer cette perte de poids.

Quelques observations sur le décreusage des soies peuvent trouver leur place ici : lorsque les soies ont été dévidées dans des eaux calcaires ou chargées de sels inorganiques, ces sels peuvent se fixer sur la fibre et conduire à des accidents dans les opérations subséquentes auxquelles on soumet les soies, ou pour les cuire ou pour les teindre. L'expérience prouve en effet que lorsque la soie mouillée laisse plus de 1 gramme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cendres p. 100, cette soie prend un aspect terne au décreusage et qu'elle reçoit mal la teinture.

Si l'on soupçonne avoir à traiter une soie de cette espèce, il faut commencer par la laver avant de la décreuser par un lavage à l'eau légèrement acidulée d'acide chlorhydrique, puis avec une faible dissolution alcaline. On enlève de la sorte les oxydes inorganiques qui, pendant le décreusage au savon, formeraient des savons insolubles et pénètreraient dans les fibres en leur enlevant leur éclat soyeux.

On connaît à Lyon, sous le nom de soie Tussah, une soie d'une espèce particulière, qui n'est importée que depuis 1846 et qui nous vient par voie d'Angleterre; elle est réservée pour des usages spéciaux à cause de sa résistance; elle est d'un prix plus bas que celui des soies les plus communes.

M. Guinon, de Lyon, a fait connaître en 1849 l'emploi des alcalis caustiques pour décreuser et décolorer cette soie. On plonge la soie qu'on agite pour que l'action soit uniforme dans une solution alcaline de soude caustique à 100 degrés centigrades et marquant 3 degrés à l'ardomètre. Pendant cette première opération, la matière colorante se dissout immédiatement, la soie cède environ 0,12 de son poids, sa rudesse disparaît; elle devient souple en même temps qu'elle acquiert du brillant et l'éclat soyeux. Cette immersion ne doit pas se prolonger au delà d'un quart d'heure, autrement on risquerait de voir la soie s'altérer profondément par l'action de la soude dont l'énergie est augmentée par la température à laquelle on opère. Au sortir de ce bain, on lave à l'eau et on passe en acide sulfureux; on lave, on blanchit encore en acide sulfureux, puis on lave une dernière fois. Il est évident que ces répétitions ne sont nécessaires que pour la teinture en nuances claires.

La soie n'a rien perdu de ses qualités; son affinité pour les matières colorantes n'a pas augmenté, mais en acquérant la souplesse, le brillant et l'éclat des soies ordinaires, elle est devenue propre à recevoir la teinture. On peut lui appliquer toute couleur, excepté cependant les couleurs tendres, telles que blanc, rose, bleu de ciel, paille et gris fin.

M. Petzi à Lyon donne, pour opérer le décreusage de la soie Tussah, les recettes suivantes :

On la soumet à trois reprises pendant 3 à 6 heures à l'action d'un bain formé de :

Carbonate de soude. . . .	11 kilog.
Potasse du commerce. . .	1
Potasse caustique.	51
Eau choisie.	315

après ces trois traitements, on agite la soie pendant 45 minutes dans un quatrième bain renfermant :

Potasse du commerce	11
Chlorure de chaux.	2
Eau.	315

après cette opération la soie est lavée dans de l'eau froide et immergée pendant dix minutes dans un bain composé d'acide chlorhydrique, 22 parties, et 315 litres d'eau. Pour ajouter à l'éclat, on la passe enfin dans un bain d'acide nitrique très-étendu d'eau, on rince et on passe entre des cylindres pour allonger les fibres.

Lorsqu'on fait usage d'acide sulfureux gazeux pour blanchir les soies, on doit, pour éviter l'altération des fibres, mettre dans les chambres un excès de soufre, et protéger les écheveaux suspendus sur des tringles de bois enveloppées de toile. Au sortir du soufroir, les écheveaux sont placés dans des draps de toile simplement humectés, et transportés dans une autre chambre où la marchandise est abandonnée à elle-même pendant 12 heures. L'action de l'acide sulfureux se prolonge lentement, et s'il se forme de l'acide sulfurique, il agit sur les enveloppes qui sont promptement corrodées. J'ai vu prendre à Lyon ces précautions indispensables pour conserver aux fils leur brillant et leur solidité; on les rince après le soufrage.

Nous n'aurons rien à dire de l'opération qu'on nomme séchage; on la pratique sur les pièces teintes par immersion dans un bain de teinture soit sans impression, soit après impression. Nous aurons donc à décrire les méthodes dont on fait usage, en traitant des opérations de la teinture proprement dite. (Voy. TEINTURE.) SALVÉTAT.

BLANCHISSAGE. — On donne le nom de blanchissage à l'opération bien voisine du blanchiment au moyen de laquelle on enlève aux linges salis dans les usages domestiques, les matières étrangères déposées par leur emploi.

Généralement les impuretés consistent en matières grasses, en substances colorées non fixées par les phénomènes de teintures, simplement retenues par l'évaporation des matières liquides qui les tenaient dissoutes. Le blanchissage est une opération ménagère ou bien il prend le caractère d'une grande industrie lorsqu'il s'applique aux buanderies ou au blanchissage du linge des hôpitaux ou grands établissements, tels que restaurants, hôtels, etc., etc.

Théoriquement, le blanchissage est le blanchiment sauf la période de décoloration.

Pour les opérations ménagères, le savonnage peut être suffisant : on supprime le lessivage, surtout pour les tissus qui ont été très-peu encrassés par l'usage; on se contente d'examiner le linge trempé et savonné et on traite par des réactifs spéciaux les taches particulières qu'il faut faire disparaître.

L'acide oxalique fait disparaître les taches d'encre, le cyanure de potassium enlève les taches d'argent et celles d'or. L'eau de Javel décolore la plupart des matières colorées provenant des fruits ou des boissons.

Ces procédés particuliers et minutieux ne peuvent être appliqués à l'opération en grand du blanchissage des linges des hôpitaux; ils sont remplacés par le lessivage dans des appareils de forme et de grandeur variables avec l'importance de l'opération à faire.

La théorie de ces appareils a été présentée plus haut, la méthode pratique se confond avec celle du blanchiment. Il y a toutefois de légères modifications qui feront l'objet des observations consignées dans cet article. On distingue dans le blanchissage neuf opérations principales :

1° Le *triage*, opération qui a pour but de distribuer le linge à blanchir en plusieurs tas, suivant son degré de finesse et de saleté;

2° Le *trempage*, ou première imbibition d'eau froide que l'on fait ordinairement subir au linge dans des baquets;

3° L'*essangeage*, ou lavage du linge aussi dans l'eau froide, pour enlever le plus gros de la malpropreté. Cette opération, faite presque toujours d'une manière brutale au moyen de battes en bois, est souvent nuisible au linge;

4° Le *coulage*, qui consiste à faire passer à travers le linge une dissolution alcaline de soude ou de potasse; les cendres de bois servent aussi à cet usage. Cette dissolution doit être presque à l'état d'ébullition pour que son effet soit complet. C'est là l'opération capitale du blanchissage;

5° Le *savonnage*, dont le but est d'enlever complétement les taches qui auraient résisté aux opérations précédentes;

6° Le *rinçage*, complément du savonnage pour enlever l'eau de savon;

7° L'*égouttage*, dont le nom indique assez l'objet;

8° Le *séchage*, qui doit compléter l'évaporation de l'eau contenue dans le linge;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BLANCHISSAGE.

9° Enfin le *pliage* et le *repassage*, auquel se rattache le raccommodage des accrocs faits au linge.

La plus importante de ces opérations est la quatrième; nous allons décrire en détail les appareils destinés à la faire. Les autres, sauf la huitième, étant faites manuellement, par suite de leur nature même, on ne peut rendre le travail le plus productif possible que par une bonne disposition des appareils, et en les faisant se succéder dans l'ordre des opérations afin d'éviter tout transport inutile.

Quant à l'opération du séchage, elle se fait soit à l'air libre, soit au moyen du SÉCHOIR (voir ce mot).

Le lessivage se fait au moyen de plusieurs méthodes; la plus ancienne est connue sous le nom de *coulage*.

Le coulage des lessives, tel qu'il est fait ordinairement, présente de graves inconvénients : dans ce système, on fait chauffer la lessive dans une chaudière en fonte, en tôle ou en cuivre, placée dans un massif de maçonnerie au-dessus d'un foyer alimenté par du bois ou du charbon; un robinet adapté à la partie inférieure de la chaudière sert à faire couler la lessive, arrivée à l'état d'ébullition, dans des seaux que l'on vide ensuite dans le cuvier où se trouve le linge déjà trempé. Ce cuvier, tout à fait indépendant de la chaudière, placé à un niveau supérieur, est recouvert d'une toile grossière ou *charrier* sur laquelle on place de la cendre de bois.

L'eau chaude, versée sur la cendre, s'empare peu à peu des sels solubles que celle-ci renferme et forme une dissolution alcaline qu'on nomme *lessive*, et qui n'agit comme moyen de blanchiment, que par le carbonate de potasse qu'elle contient. On forme souvent et avec avantage la lessive, en mettant avec l'eau dans la chaudière une quantité déterminée de sel de soude ou de potasse pour donner à l'eau le même degré alcalimétrique. La lessive filtre à travers la toile et tombe sur le linge, qu'elle traverse avant d'arriver au fond du cuvier. Un robinet placé en bas du cuvier lui donne issue sur un conduit en bois ou en tôle qui la verse dans la chaudière, où elle entre de nouveau en ébullition pour être reversée ensuite dans le cuvier. Quelquefois la chaudière n'est pas même munie d'un robinet, et il faut puiser la lessive à la main.

Ce système grossier présente les inconvénients suivants :

La vapeur qui se dégage de la lessive pendant le transvasement emplit la pièce destinée à ce service, obscurcit l'air, se condense sur les plafonds et sur les murs, qu'elle détériore, et occasionne une perte de chaleur, et par suite de combustible, qui devient considérable quand on opère sur une grande échelle.

Le transport et le transvasement rendent le service pénible, occupent des bras, sont l'occasion d'un écoulement d'eau qui salit le sol; nouvelle perte de chaleur.

Ensuite, quelque soin qu'apportent à leur besogne les hommes chargés du transvasement, ils versent la lessive dans le cuvier à des températures inégales, et trop souvent ils sont victimes d'accidents contre lesquels la prudence ne les défend pas toujours.

Enfin un coulage fait par ce procédé n'exige guère moins de dix à douze heures de travail.

On a donc cherché, par des procédés perfectionnés, à faire disparaître ces inconvénients; l'expérience acquise par les industriels qui s'occupent du blanchiment des tissus de lin et de coton a puissamment contribué, depuis près de vingt ans, aux progrès de la blanchisserie. Cette industrie qui, de prime abord, semble sans importance représentait il y a déjà plusieurs années un chiffre de 1 milliard 700 millions de francs (Péclet, *Traité de la chaleur*, 4re édition).

Aujourd'hui, nous pouvons rapporter à six types différents les appareils auxquels on a recours dans l'industrie pour opérer le blanchissage. Ces notions compléteront l'article blanchiment qui précède celui-ci.

On procède donc :

1° *Par coulage ordinaire.*

2° *Par affusions opérées par pression de vapeur.*

3° *Par circulation continue de la lessive.*

4° *Par vapeur.*

5° *Par l'eau de savon avec macération sans coulage.*

6° *Par affusion à des températures graduées, soit par coulage perfectionné.*

Nous avons déjà décrit les appareils au moyen desquels ces opérations se réalisent. Nous classerons ici les modifications dont nous avons déjà déterminé le but et l'influence.

1° Le lessivage ordinaire, même perfectionné, se fait ainsi qu'il a été dit plus haut.

2° Le lessivage par affusions produites par la pression de la vapeur trouve une application efficace au moyen des appareils Vidmer, Bardel, Descroizilles, Laurie, perfectionné successivement par Duvoir (1837), Guxon (1846), Gay (1848)

La forme la plus pratique semble avoir été celle de René Duvoir, qui fait disparaître la plus grande partie des obstacles au travail du blanchissage.

La fig. 254 présente une coupe longitudinale d'un appareil à lessiver établi par M. Duvoir, ainsi que de la chaudière qui l'alimente; elle est disposée de manière à montrer le mode de circulation de la lessive.

Les buanderies ordinaires renferment généralement deux de ces appareils placés l'un près de l'autre et alimentés par la même chaudière.

A est une chaudière cylindrique en cuivre dont le couvercle est maintenu exactement fermé au moyen d'une vis de pression; sur ce couvercle est disposée une soupape à flotteur, qui ne s'ouvre que quand le niveau du liquide est descendu à une certaine limite.

B est un cuvier dont les douves en bois de chêne épais sont maintenues par des cercles de fer. A une petite distance du fond de ce cuvier se trouve une grille en bois supportée par des morceaux de bois découpés en arcade, afin de ménager à la lessive un espace libre où elle puisse se réunir. C'est sur cette grille qu'on entasse le linge sale après le trempage. Un couvercle en cuivre C est attaché à une corde qui passe sur des poulies fixées au plafond, et vient s'enrouler sur l'arbre d'un treuil qui sert à élever ou à descendre le couvercle.

a a et *b b* sont les tuyaux de circulation de la lessive, le premier *a a*, traverse le fond du cuvier, s'élève au centre jusqu'à la partie supérieure, et se termine par un champignon *c*, qui projette le liquide chaud dans toutes les directions. Le second tuyau *b e*, ramène la lessive dans la chaudière. Dans ce tuyau, on a placé une petite soupape *d*, qui ne s'ouvre que quand une assez grande quantité de liquide s'est réunie au fond du cuvier. E est un espace vide, de dimensions suffisantes, ménagé dans la maçonnerie, pour la pose des tuyaux et les réparations.

F est le fourneau en briques. La construction de son foyer et des carneaux est appropriée à la nature du combustible qu'on doit brûler sur la grille. Les produits de la combustion circulent deux fois autour de la chaudière, et se rendent dans la cheminée T.

Voici quelle est la marche des opérations dans cet appareil. On met le sel de soude ou de potasse au fond du cuvier, et on y verse de l'eau jusqu'à ce que la chaudière soit remplie, et que le niveau du liquide soit arrivé à la hauteur de la grille supportant le linge. On place le linge d'une manière régulière sur la grille en bois sans trop le tasser, et on abaisse le couvercle du cuvier. On fait du feu dans le foyer et on porte le liquide à l'ébullition. La pression de la vapeur fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

monter la lessive dans le tuyau *a a* et la projette contre le champignon *c*, qui la répartit uniformément sur toute la surface du linge. La lessive traverse toute la masse et se réunit à la partie inférieure du cuvier; le niveau du liquide s'abaisse dans la chaudière A et ouvre la soupape *e*, en même temps que la pression du liquide sur le fond ouvre la soupape *d*; alors la lessive revient à la chaudière pour se chauffer de nouveau et retourner dans le cuvier. Cette circulation de la lessive bouillante s'effectue d'elle-même, et produit un lessivage prompt et parfait de toute la masse du linge.

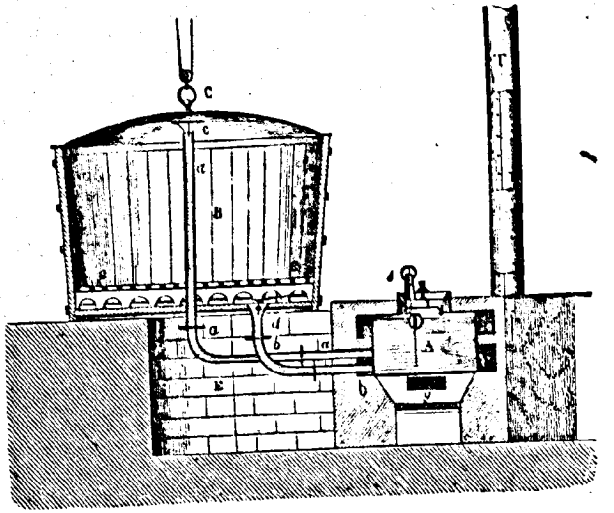


Fig 254.

Dans ce système, on le voit, les inconvénients que nous avons signalés n'existent plus. Une fois le linge placé dans le cuvier, on ferme le couvercle. Il n'y a plus qu'à faire du feu; la lessive se verse d'elle-même sur le linge aussitôt qu'elle a acquis la température nécessaire, et retourne ensuite à la chaudière. Cette circulation, ainsi rendue intermittente, empêche l'écoulement de s'établir par une seule voie, ainsi qu'il arrive presque toujours avec les appareils à jet continu. La personne qui était occupée au coulage devient inutile, puisqu'il suffit seulement d'alimenter le foyer de temps en temps. Ce coulage, fait dans des vases clos qui conservent toute la chaleur du liquide, n'exige que de quatre à six heures pour un cuvier de 2 mètres de diamètre.

Il résulte de l'emploi de ce système de l'économie sur la main-d'œuvre, sur le combustible, et, comme le linge, mieux chauffé, s'y nettoie beaucoup plus facilement, il en résulte encore de l'économie sur le savon employé et sur le temps des laveuses.

Après des expériences comparatives avec d'autres systèmes, il a été adopté par les hôpitaux civils et militaires de Paris; l'emploi journalier auquel il a été soumis a permis de constater qu'il remplit toutes les conditions désirables.

Voici sur cet appareil l'opinion de M. Payen, rapporteur du jury central de l'Exposition de 1839:

« L'ingénieux appareil de lessivage de M. René Duvoir, récemment amélioré, facilite le chargement et le déchargement alternatifs de deux cuviers servis par une seule chaudière.

« Une disposition convenable opère, avec l'échauffement graduel des lessives, des aspersions et des circulations intermittentes qui excluent les inconvénients des fausses voies de filtrage.

« Le système de lessivage de M. Duvoir est employé avec succès dans plusieurs établissements publics et blanchisseries particulières. »

Cet appareil a l'inconvénient de verser sur le linge salé de la lessive trop chaude.

3° Le lessivage par circulation continue se fait au moyen des appareils Schoppar et Hartmann, Darcet, Descroizille père, Chevalier. Il faut beaucoup de soins et de précautions pour les faire marcher régulièrement. Dépense de lessive, de combustible et de temps.

4° Le lessivage à la vapeur, préconisé par Chaptal, Cadet Devaux, Curaudeau, Charles est très-simple, mais comme le linge est macéré dans une lessive alcaline, il reçoit l'action de la vapeur et se trouve corrodé. On a dû l'abandonner dans l'hôpital Saint-Louis. Ce système a disparu avec les hommes instruits qui, séduits par la théorie, en avaient préconisé l'emploi. Les avantages que cette méthode promettait n'ont été obtenus que lorsqu'on alternait les affusions d'eau froide et de vapeur sur le linge à blanchir; il en résultait une perte notable d'alcalis et de combustible, compensant mal les avantages que j'ai déjà mentionnés.

5° Si la vapeur tend à détruire le tissu, ce qui n'est pas contesté, la lessive chauffée à des températures inférieures à 100 degrés sans coulage, est-elle capable de blanchir? Quelques praticiens l'ont pensé. Le système Sol, le système La Meillerayo étaient basés sur cette idée. Une roue à laver dans un cas, une caisse carrée dans l'autre, à l'intérieur desquelles la lessive était chauffée par un courant de vapeur produite dans une chaudière voisine, tels étaient les appareils dans lesquels on n'avait pas à craindre une surélévation de température. L'expérience a démontré que ces méthodes étaient insuffisantes. Cette sorte de bouillage ne conduit pas au lessivage effectif; il n'y a pas blanchissage dans l'acception propre du mot.

6° En matière d'industrie des changements, en apparence de peu d'importance, conduisent à de grands résultats. Cette observation est on ne peut plus fondée dans le cas qui nous occupe. Combiner dans un même système des affusions successives à des températures graduées, tel était le problème à résoudre.

Le succès des appareils Bouillon, Muller et C° donne raison aux idées théorique que je viens de résumer : Économie, rapidité, blanchissage complet, tout se trouve réuni dans ce système, qu'on peut regarder comme une combinaison heureuse de la pompe, de l'affusion spontanée et de la vapeur; mais avant de décrire ces appareils, faisons connaître quelques résultats statistiques qui doivent mettre en lumière l'efficacité du système.

Depuis 1851, les appareils et les cuviers de l'hospice de la Salpêtrière se trouvaient dans un tel état de détérioration qu'il devint nécessaire de les reconstruire. Le système Bouillon, Muller et compagnie fut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

adopté; nous extrayons les chiffres qui suivent d'un rapport fait au directeur de l'assistance publique de Paris sur la Buanderie générale, au sujet de ses productions pendant l'année 1854. Les six cuviers peuvent contenir 800 kilos de linge sec pouvant être essangés, lessivés, lavés, séchés et pliés dans la même journée; ils sont faits pour être remis en service dès le lendemain matin; le lessivage qui s'effectue dans les cuviers d'une contenance de 800 kilos dure quatre heures; on a donc dans ce même espace de temps dans 6 cuviers 4,800 de linge lessivé prêt à être lavé. Les flammes et les chaleurs perdues circulent autour de réservoirs en tôle qui donnent sans augmentation de dépense et par jour 14,000 litres d'eau à 50 ou 60°, température nécessaire pour faire de bons savonnages.

Le relevé du linge blanchi pendant 1854 porte en moyenne 8,782 pièces par jour, pesant 5,462 kil. / les 1,993,907 kil. de linge blanchis pendant l'année ont coûté ensemble, tous frais généraux compris, 130,625 francs; ce blanchissage confié à l'industrie privée aurait coûté 324,541 francs : c'est donc une économie de 190,916 francs.

A cette économie, il faut ajouter celle qui résulte du ménagement du linge et qui ne peut se traduire directement par des chiffres. Les appareils fonctionnent avec une telle régularité que les lessives ne dépassent jamais 1 degré 5 ou 2 degrés de l'aréomètre de Baumé.

Ceci posé, faisons connaître les procédés rationnels employés par MM. Bouillon, Muller et compagnie, dans les installations qu'ils ont eu l'occasion de faire pour l'industrie privée.

on peut faire varier la force de la lessive et la température à laquelle on la fait agir. Elles sont montées sur des fourneaux portatifs, et les applications qui sont faites chaque jour prouvent la généralité de leur emploi. Les unes comportent une pompe d'un système très-simple; dans les autres, la pompe est remplacée par un robinet de vidange d'où s'écoule la lessive qu'on verse sur le linge, au moyen d'un seau spécial, par un entonnoir ménagé dans le couvercle; les unes sont en tôle galvanisée, avec foyer en fonte et pompe; les autres sont en fonte et bois; leurs formes sont représentées dans les figures 255 et 256.

Un appareil, de la forme de celui représenté fig. 255, de 1m,40 de hauteur, et de 1m,03 de diamètre, à la place des couvercles, peut contenir 125 kilog. de linge; il coûte 300 francs en tôle galvanisée.

A est le cuvier, B la chaudière, C le foyer, D la pompe, E un robinet de vidange, F le couvercle, S une tige pour guider le piston, p un tuyau par lequel s'écoule la lessive. L'épanchement du liquide se fait sur la surface du linge par l'intérieur où le tuyau se recourbe et se termine par une pomme d'arrosoir.

Un appareil de la forme de celui représenté fig. 256, garni de sa pompe, contenant 125 kilog. de linge, ayant 1m,30 de hauteur sur 1m,14 de diamètre au couvercle, vaudrait 340 francs.

Les mêmes lettres que dans la figure précédente indiquent les mêmes objets : G est un entonnoir dont le couvercle est muni dans le cas où l'appareil n'a pas de pompe.

En résumant la marche de ces appareils, on voit que le linge n'est soumis à l'action de la lessive à 100 degrés qu'après avoir été successivement immergé

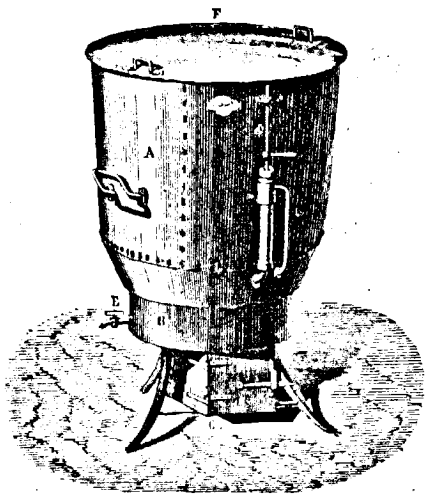


Fig. 255.

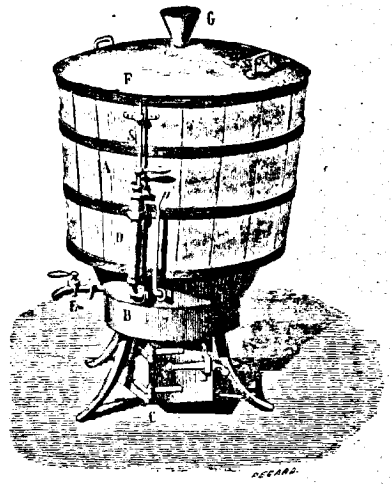


Fig. 256

Lorsqu'on ne doit opérer que sur des masses inférieures à 300 kilog., on peut faire usage de lessiveuses économiques, mobiles; ces appareils agissent par l'emploi simultané des affusions et de la vapeur; elles produisent une notable économie sur la dépense ordinaire et sur l'usure du linge; elles opèrent en 3 ou 4 heures, suivant leurs dimensions; le linge acquiert une blancheur convenable, et le chauffage se fait au bois, au charbon de terre ou au coke. On peut indistinctement employer le sel de soude, les cristaux ou la cendre; dans de la lessive d'abord à une température peu élevée, puis à des températures de plus en plus croissantes; la vapeur agit pour élever la température du linge à 100°, et maintenir cette température, mais sans qu'on ait à craindre les inconvénients de surchauffage. On réalise ensuite les avantages d'un coulage perfectionné. Le jeu de la pompe, assujettissant sans doute, n'est nécessaire que pendant la première heure; l'opération dure de 3 à 4 heures.

L'expérience a prononcé favorablement. Ainsi se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résument l'ensemble des documents officiels, documents très-nombreux que j'ai consultés sur l'emploi de ces appareils dans les hôpitaux civils et militaires, les hospices, les lavoirs et les buanderies particulières qui l'ont adopté.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont joint à leur installation propre aux blanchisseries des aides-laveuses, qui sont des auxiliaires des plus utiles. Elles servent à dégrossir, dans le savonnage, les parties les plus sales et les moins adhérentes; l'ouvrière n'a plus qu'à faire la recherche des taches et le travail intellectuel. On peut évaluer à moitié l'économie qu'elle produit dans cette seule opération. L'aide-laveuse peut servir à faire l'essangeage de linge sans savon, et le rinçage après le savonnage. Elle est indistinctement mue mécaniquement ou à bras par une action rotative ou directe; elle fait office de bac à savonner et donne place à deux ouvrières qui, après avoir utilisé l'action de la machine, peuvent visiter le linge et compléter son lavage sans aucun déplacement.

Une petite chaudière à circulation qui s'adapte à l'aide-laveuse sert à chauffer économiquement l'eau de savonnage et à la maintenir toujours à la température voulue. Le chauffage peut ainsi se faire au moyen de la vapeur ou d'une circulation d'eau. L'aide-laveuse est représentée dans la fig. 257.

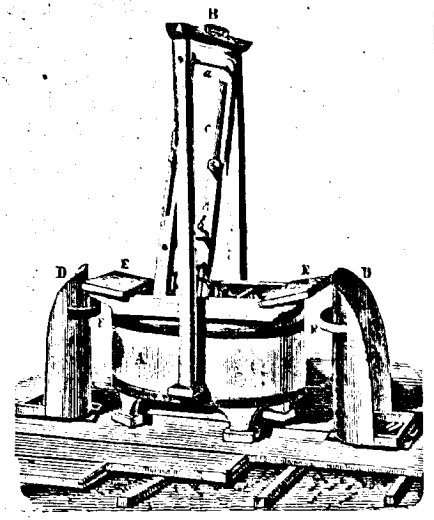


Fig. 257.

Une caisse ou bac en bois A reçoit le linge à blanchir. Un bâti B fixé sur les joues du bac permet au râteau C d'osciller autour d'un axe horizontal *a*, lorsqu'on lui donne un mouvement de va-et-vient, au moyen d'un bâton transversal *b*. Deux blanchisseuses peuvent être placées en regard l'une de l'autre dans des stalles D qui les protégent contre l'humidité, et vis-à-vis les plans inclinés E, destinés à ramener dans le bac l'eau qui s'échappe sous les coups de battoir. Le dessin laisse voir les claies verticales contre lesquelles le linge est comprimé par le râteau C.

Une aide-laveuse à bras, à mouvement direct, pouvant fournir 300 kilog. de linge par jour vaut 300 fr.; une aide-laveuse à mouvement rotatif, propre au lavage de 375 kilog. par jour, se vend 400 fr.; une aide-laveuse, propre à 400 kilog., munie de son appareil de chauffage, ne coûte que 600 fr. Les divers mécanismes que nous venons de faire connaître sont actuellement très-répandus. MM. Bouillon, Muller et compagnie qui se sont fait une spécialité très-importante, ont su rendre à l'hygiène publique un très-grand service; ils ont combattu l'expansion considérable des vapeurs qui dégradent les murs et fatiguent les gens de service, l'écoulement de l'eau sur le sol, le transvasement pénible de la lessive à des températures inégales.

Les linges blanchis, c'est-à-dire lavés, sont placés pour égoutter, ou sur des bancs fixes, ou sur des tricycles, ou sur des bancs roulants, ou bien encore sur des bâches roulantes, dont le transport est facile, sans trop grande fatigue. Les hydro-extracteurs ou essoreuses que ces ingénieurs installent avec une grande économie reposent sur le principe de la force centrifuge; on supprime ainsi la torsion qu'on fait subir au linge pour l'égoutter. Une essoreuse à bras pour femmes peut essorer par jour de 200 à 400 kilog. de linge égoutté; une essoreuse à bras, mue par des hommes, peut essorer de 1,000 à 1,400 kilog. par jour. Avec un moteur mécanique, on arrive à 1,600 kilog. par jour. Une machine de cette dernière force vaut 700 fr. d'acquisition.

Dans les ménages, les séchoirs spéciaux sont installés par MM. Bouillon, Muller et C^e^; ils consistent en caisses en fer, garnies de murs de briques, ayant latéralement d'un côté quatre ou six ouvertures fermées par des portes, qui ont toute la hauteur du séchoir; l'air est chauffé par un foyer placé à la partie inférieure; la vapeur d'eau s'échappe par une ouverture inférieure communiquant avec un tuyau d'appel. Les portes, qu'on n'ouvre que pour passer les linges à sécher, ne laissent échapper que la quantité d'air chaud correspondant à leur largeur; elles sont aussi étroites que possible. A chacune de ces portes, à la partie supérieure, correspond une tringle dans laquelle est passée une autre tringle creuse qui glisse et porte à l'intérieur de l'étuve le linge qui s'y trouve étendu. On les charge successivement l'une après l'autre.

MM. Bouillon, Muller et compagnie ont complété leurs appareils en installant d'une manière très-heureuse de petites machines pour cylindrer, calandrer et satiner le linge. Les cylindres en bois, à pression, servent à étirer, lisser et lustrer le petit linge uni; ceux en métal chauffés servent au repassage du menu linge. Les machines à calandrer donnent le lustre du neuf; les presses à satiner forment les plis après l'apprêt.

Il est inutile de s'appesantir sur ces diverses opérations qui ont la plus grande analogie avec celles que nous avons étudiées déjà relativement au blanchiment. Nous terminerons en appelant l'attention du lecteur sur les avantages qui peuvent résulter dans les petits ménages du chauffage au moyen du gaz d'éclairage.

On établit à bon compte aujourd'hui pour les usages domestiques des appareils chauffés au gaz faciles à régler et à mettre en feu pour chauffer les fers à repasser, à tuyauter, etc., etc. Dans les ateliers de repassage ces appareils, dont on se représente très-facilement la disposition, remplacent avantageusement les poêles en brique ou en fonte autrefois en usage.

SALVETAT.

BLENDE. — Sulfure de zinc naturel, genre de minerai de zinc qui se rencontre le plus fréquemment et qui est très-employé, depuis quelques années, pour la préparation de ce métal, les gisements de calamine, plus faciles à traiter, tendant à s'épuiser. Voy. ZINC.

BLÉ, pour la nomenclature des diverses espèces de blé, voyez AGRICULTURE. et pour les fabrications qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ont pour objet les céréales, voy. MOULIN, AMIDON, PAIN.

BLEU D'AZUR, verre bleu de Cobalt. Voy. COBALT.

BLEU DE MONTAGNE. — Carbonate tribasique de cuivre hydraté que l'on rencontre dans la nature sous forme de beaux cristaux bleus. Cette substance réduite en poudre est dite *cendre bleue naturelle*, et est employée dans l'impression des papiers peints. Elle est habituellement remplacée par la cendre bleue artificielle qui est un mélange de chaux et d'oxyde de cuivre hydraté. On est parvenu, paraît-il, à préparer en Angleterre un produit qui a la même composition que le bleu de montagne et qui est, comme ce dernier, bien plus stable que les cendres bleues ordinaires du commerce. Voy. CENDRES BLEUES.

BLEU THÉNARD, préparé par le chimiste dont il porte le nom en calcinant le phosphate de l'arséniate de Cobalt avec l'alumine en gelée. D'un admirable éclat, cette couleur noircit sous l'influence de la lumière.

BLEU DE PRUSSE (*angl.* prussian-blue, *all.* berliner blau), et PRUSSIATE DE POTASSE (*angl.* prussiate of potasch, *all.* blutlaugensalz). La liaison intime qui existe entre ces deux importants produits manufacturiers, nous engage à les réunir ici.

Le *prussiate jaune de potasse* se produit toutes les fois que l'on chauffe au rouge un mélange de matières organiques azotées, de potasse et de fer. Ainsi en chauffant au rouge dans une chaudière en fonte ou en fer du sang desséché, de la corne, des poils, des rognures de peau, ou d'autres matières d'une nature analogue, avec de la potasse, on obtient une masse gris foncé, qui lessivée avec de l'eau bouillante, fournit une dissolution appelée en allemand *blutlauge*, laquelle suffisamment concentrée par évaporation fournit par le refroidissement des cristaux jaunes de prussiate jaune de potasse, en tables rectangulaires.

Le prussiate jaune de potasse cristallisé se compose de :

Sesqui-cyanure de potassium.	61,93
Cyanure de fer.	25,22
Eau.	12,85
	100,00

Les cristaux sont presque transparents, très tendres et se dissolvent dans 4 parties d'eau froide et dans leur poids d'eau bouillante.

Ils ne se décomposent pas à l'air à la température ordinaire ; mais à une faible chaleur, ils perdent leur eau de cristallisation sans changer de forme, acquièrent une couleur blanchâtre et deviennent très fragiles.

Lorsque l'on fait passer un courant de chlore à travers une dissolution de prussiate jaune de potasse, jusqu'à ce qu'un essai pris dans la liqueur ne donne plus de précipité dans une dissolution d'un sel de peroxyde de fer, qu'on filtre ensuite et qu'on évapore la liqueur, ce qui se fait pour le mieux dans le vide au moyen de l'acide sulfurique, on obtient des cristaux aciculaires, rouge grenat, de *prussiate rouge de potasse* ; en les purifiant par plusieurs cristallisations successives, on peut obtenir le prussiate rouge en gros cristaux, transparents, d'un rouge rubis, jouissant d'un éclat presque métallique.

Ces cristaux sont anhydres et se composent de :

Sesqui-cyanure de potassium.	59,60
Sesqui-cyanure de fer.	40,40
	100,00

Les deux prussiates donnent lieu dans la plupart des dissolutions métalliques à des précipités de couleur caractéristique, ce qui leur donne une grande importance dans la chimie analytique pour l'analyse qualitative ; dans ce cas, le métal en dissolution se substitue à la place du potassium et il se forme un sel soluble de potasse, et un cyanure double de fer et du métal ci-dessus, ordinairement insoluble, qui se précipite. Seulement les dissolutions sur lesquelles on opère doivent être suffisamment étendues, parce que les prussiates jaune et rouge pourraient être en partie décomposés par les acides concentrés, et donner lieu à des précipités qui induiraient en erreur.

Voici le tableau de la manière dont ils se comportent avec les principales dissolutions métalliques.

SELS DE	PRUSSIATE JAUNE.	PRUSSIATE ROUGE.
Antimoine.	Précipité blanc.	Pas de précipité.
Argent.	Précipité blanc.	Précipité jaune orangé.
Bismuth.	Précipité blanc insoluble dans l'acide hydrochlorique.	Précipité jaune brun soluble dans l'acide hydrochlorique.
Cadmium.	Précipité blanc soluble dans l'acide hydrochlorique.	Précipité jaune soluble dans l'acide hydrochlorique.
Cérium.	Précipité blanc laiteux soluble dans l'acide nitrique.	Pas de précipité.
Chrôme.	Id.	»
Cobalt.	Précipité gris verdâtre.	Précipité rouge brun foncé.
Protoxyde de cuivre.	Précipité blanc.	Précipité brun.
Deutoxyde de cuivre.	Précipité brun rougeâtre.	Précipité jaune verdâtre sale.
Étain.	Précipité blanc.	Précipité blanc.
Protoxyde de fer.	Précipité blanc qui bleuit presque instantanément à l'air.	Précipité bleu foncé
Peroxyde de fer.	Précipité bleu foncé.	Pas de précipité.
Iridium.	Pas de précipité.	Id.
Manganèse.	Précipité blanc prenant toutefois une teinte rougeâtre.	Précipité gris brunâtre.
Mercure.	Précipité blanc.	Précipité jaune.
Molybdène.	Précipité brun rouge.	Précipité brun rouge.
Nickel.	Précipité jaune verdâtre.	Précipité brun jaunâtre.
Or.	Pas de précipité	»
Osmium.	Id.	»
Palladium.	Précipité gélatineux brun jaunâtre.	»

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SELS DE	PRUSSIATE JAUNE.	PRUSSIATE ROUGE.
Platine.	Pas de précipité.	Précipité brun jaune.
Plomb.	Précipité blanc.	Pas de précipité.
Rhodium.	Pas de précipité.	Id.
Tantale.	Précipité jaune.	»
Titane.	Précipité jaune cannelle qui verdit à l'air pour peu que le titane contienne du fer.	Précipité jaune brunâtre.
Tungstène.	Pas de précipité dans les dissolutions neutres.	»
Urane.	Précipité rouge brunâtre.	Précipité rouge brunâtre.
Vanadium.	Précipité jaune citron verdissant à l'air.	»
Zinc.	Précipité blanc.	Précipité jaune orangé.

Les sels d'alumine donnent avec le prussiate un précipité blanc qui ne se manifeste qu'au bout d'un certain temps ; les sels de zircone un précipité blanc, et les sels formés par les autres terres et les alcalis ne donnent lieu à aucun précipité.

De tous ces précipités celui produit par le mélange des dissolutions de peroxyde de fer et du prussiate jaune de potasse est le plus important, et est connu sous le nom de *bleu de Prusse*. Il se compose de :

Cyanure de fer.	46,07
Sesqui-cyanure de fer.	53,93
	100,00

Dans le procédé que l'on suit d'ordinaire pour la fabrication du bleu de Prusse, celui que l'on obtient a toujours une composition un peu différente de celle que nous avons indiquée, parce qu'au lieu d'employer du peroxyde de fer pur, on se sert de vitriol vert (sulfate de protoxyde), seulement en partie transformé en sulfate de peroxyde, et qui retient une quantité plus ou moins grande de sel de protoxyde. Ce dernier donne par le prussiate jaune un précipité blanc qui bleuit à l'air, en en absorbant l'oxygène, et forme un sel basique qui se distingue du bleu de Prusse véritable en ce qu'il se dissout dans de l'eau pure, en lui donnant une belle couleur bleue. On ne doit pas confondre ce sel basique avec un autre bleu, que l'on obtient en versant lentement du nitrate de peroxyde de fer dans une dissolution de prussiate de potasse que l'on agite constamment. Le précipité qui se produit alors, est en partie soluble dans l'eau pure qu'il colore en un beau bleu foncé ; si on évapore à sec la dissolution, on obtient un résidu brillant qui a l'apparence d'un vernis, est presque complétement soluble dans l'eau, et est formé d'une combinaison de bleu de Prusse neutre avec du prussiate jaune.

Le bleu de Prusse insoluble se présente en masses plus ou moins compactes dont la cassure est terne, d'un bleu foncé présentant un reflet rougeâtre, mais qui prennent par le frottement un bel éclat métallique bronzé, et qui dans leur ensemble ont beaucoup d'analogie avec l'indigo. Il est complétement insoluble dans l'eau et l'alcool, et n'est pas attaqué par les acides étendus. L'acide sulfurique concentré le transforme à froid en une masse pâteuse blanchâtre, qui, lorsqu'on l'étend d'eau, se décompose et laisse un précipité de bleu de Prusse. Chauffé avec les acides sulfurique ou nitrique concentrés, il se décompose complétement, et l'addition subséquente de l'eau ne donne plus lieu à un précipité bleu. La potasse, la soude et leurs carbonates, la baryte, la strontiane et la chaux caustiques, en décomposent le sesquicyanure de manière à en précipiter le fer à l'état de peroxyde, et à former un cyanure alcalin ou terreux qui se combine avec le cyanure de fer, pour former un sel double soluble ; si par exemple on emploie de la potasse, on reproduira du prussiate jaune ; c'est même le meilleur procédé pour obtenir ce sel à l'état de pureté. Lorsqu'on fait digérer le bleu de Prusse avec de l'oxyde rouge de mercure et de l'eau, la couleur bleue disparaît, il se forme du cyanure de mercure qui se dissout, et il reste un précipité brun clair formé de cyanure et de peroxyde de fer.

Fabrication du prussiate jaune de potasse. Elle consiste, comme nous l'avons dit, à chauffer au rouge des matières animales azotées brutes, ou déjà calcinées avec du carbonate de potasse et du fer. Ce dernier procédé a prévalu et est généralement employé, parce qu'il permet de retirer par une distillation préalable des matières animales, une quantité considérable de carbonate d'ammoniaque, que l'on peut transformer soit en sel ammoniac, soit immédiatement en ammoniaque caustique (voyez AMMONIAQUE et CHLORURES), produits qui ont une assez grande valeur, à tel point que la fabrication du bleu de Prusse n'est la plupart du temps qu'un produit secondaire des fabriques de sels ammoniacaux.

Tous les résidus de la calcination ou de la distillation des matières animales sont propres à la fabrication du prussiate de potasse, à l'exception du noir animal qui, par suite de la grande quantité de phosphate de chaux qu'il renferme, donnerait lieu par la calcination avec du carbonate de potasse, à une quantité correspondante de phosphate de potasse au lieu de bleu de Prusse. Les matières animales que l'on emploie surtout sont les sabots, rognures de cornes, sang desséché, etc. ; elles rendent environ : les sabots et rognures de cornes, 12 à 13 p. 100 de charbon animal ; le sang desséché, 10 p. 100.

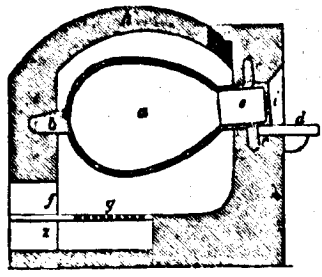
Ce charbon est finement pulvérisé et mélangé très intimement avec de la potasse perlasse de bonne qualité, aussi exempte que possible de sulfate, dans les proportions de 1 1/2 à 2 p. de charbon pour 1 p. de potasse ; on peut dissoudre la potasse dans la moindre quantité d'eau possible, ce qui offre l'avantage de séparer les sels étrangers, et surtout le sulfate, qui sont insolubles dans une dissolution très concentrée de potasse, en faire une pâte avec le charbon en poudre, puis faire sécher le tout ; de cette manière, la potasse s'introduit dans les moindres pores du charbon, et le mélange est bien plus intime que celui qu'il est possible d'obtenir par un procédé mécanique.

On chauffe ensuite le mélange dans une espèce de cornue en fonte, jusqu'à ce qu'il arrive à l'état de fusion pâteuse où on le maintient. La cornue dont on se sert est en fonte, très épaisse, de forme variable, mais qui, dans tous les cas, doit avoir une ouverture ou col assez étroit et que l'on puisse fermer aisément ; la forme la plus généralement adoptée est représentée dans la fig. 249. *a*, est la cornue en fonte de forme ovoïde, soutenue à sa partie postérieure par un tourillon *b*, et dont le col cylindrique *e*, soutenu par deux appendices *c, c*, se ferme au moyen d'une plaque *i* ; au-devant de cette ouverture se trouve la plaque de travail en fonte *d* ; *g*, est la grille sur laquelle on charge le combustible par la porte de chargement *f* ; *z*, le cendrier ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BLEU DE PRUSSE.

A, la voûte qui recouvre le fourneau ; et e, le rampant qui conduit les produits de la combustion dans la cheminée.



249.

On remplit environ à moitié la cornue avec le mélange ci-dessus, et on commence à la chauffer graduellement en chargeant du combustible sur la grille. Aussitôt que la cornue est arrivée au rouge, on en ferme le col avec la plaque *i*, et on entretient seulement le feu de manière à maintenir cette température ; de quart d'heure en quart d'heure, on enlève un instant la plaque *i*, pour brasser rapidement la masse pâteuse avec un ringard en fer. Pendant l'opération, il se dégage des gaz combustibles, qui viennent s'enflammer à la bouche de la cornue chaque fois qu'on l'ouvre. La quantité de ces gaz diminue à mesure que l'opération avance, et l'on peut regarder celle-ci comme terminée lorsque toute flamme a disparu. La première opération dure en tout environ 12 heures, y compris le temps nécessaire pour l'échauffement du fourneau et de la moufle ; les opérations suivantes, dans lesquelles on introduit le mélange dans la cornue déjà portée au rouge, ne durent que 8 heures. Un inconvénient qu'on n'a pu surmonter jusqu'ici, et qui augmente considérablement le prix du prussiate de potasse, tient à ce que le fer nécessaire à sa préparation doit être fourni par les parois mêmes de la cornue ; la fonte se dissout surtout dans la partie inférieure de la cornue et d'une manière souvent inégale, et bientôt la paroi se trouve percée d'outre en outre en certains points. On est donc obligé de donner aux parois de la cornue une épaisseur considérable, de 3 à 5 centim., et par suite, pour produire à l'intérieur une température convenable, de chauffer le fourneau au rouge vif, ce qui détériore et brûle rapidement la paroi extérieure de la cornue. On a essayé d'ajouter directement au mélange de charbon animal et de potasse, du fer très divisé en limaille ou en tournures, mais les résultats ne paraissent pas avoir répondu d'une manière satisfaisante à ce qu'on espérait. Lorsqu'il se manifeste un trou à la partie inférieure de la cornue, on lui fait faire une demi-révolution sur son axe, on bouche le trou avec un morceau de tôle que l'on lute avec du mastic de fer, et ainsi réparée, la cornue peut servir encore à une nouvelle série de fontes.

L'opération terminée, on puise la matière avec une cuillère en fer, et on la verse dans une caisse en tôle que l'on ferme ensuite, et où on la laisse refroidir ; lorsque la masse est suffisamment refroidie, on la lave à l'eau bouillante jusqu'à épuisement. Les eaux de lavage sont filtrées dans une chausse en laine, et la dissolution jaune et claire qui passe au travers du filtre est, soit employée immédiatement pour la fabrication du bleu de Prusse, soit concentrée à un degré convenable dans des chaudières en tôle, puis versée dans des cristallisoirs en bois. Le prussiate jaune que l'on obtient ainsi doit encore être purifié par une ou deux cristallisations subséquentes avant d'être livré au commerce. Par suite de la grande solubilité du prussiate de potasse, les eaux-mères en renferment encore une quantité très notable, et en outre des carbonate, phosphate et sulfate de potasse, et des chlorure, sulfure et sulfo-cyanure de potassium ; on les emploie immédiatement à la préparation d'une qualité inférieure de bleu de Prusse, ou bien, on les concentre par évaporation pour en retirer du prussiate de potasse impur.

Voici la théorie de cette fabrication.

Le charbon animal consiste essentiellement en carbone, et renferme en outre une quantité assez faible d'azote ; lorsqu'on le chauffe seul, il n'éprouve aucune altération ; mais lorsqu'on le mélange avec de la potasse et qu'on chauffe le tout au rouge, l'affinité de l'alcali pour le cyanogène détermine la formation de celui-ci au moyen de l'azote et d'une partie du carbone renfermés dans le charbon animal. Lorsque, outre la potasse, il entre du fer dans le mélange, il se forme également du cyanure de fer qui, ayant une très grande affinité pour le cyanure de potassium, se combine avec lui pour former un cyanure double qui est le prussiate de potasse. Presque toujours, surtout si l'on a arrêté l'opération un peu trop tôt, il ne se forme pas une quantité de cyanure de fer suffisante pour saturer tout le cyanure de potassium qui se trouve alors en excès dans la masse, et passe dans les eaux de lavage. Pour transformer le cyanure de potassium en excès, en cyano-ferrure de potassium ou prussiate jaune, avant de faire cristalliser la dissolution, on y verse du sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert) en dissolution, jusqu'à ce qu'il commence à se former un précipité blanc ou bleuâtre et persistant ; dans cette réaction, une partie du cyanure de potassium est décomposé, il se forme du sulfate de potasse d'une part, et de l'autre du cyanure de fer, qui se combine avec le cyanure de potassium non décomposé, pour former une nouvelle quantité de prussiate jaune.

Préparation du bleu de Prusse. Nous avons déjà donné plus haut la théorie de fabrication du bleu de Prusse ; il ne nous reste qu'à entrer à ce sujet dans quelques détails pratiques.

On distingue les bleus purs ou *bleus de Paris*, et les bleus mélangés d'alumine ou *bleus de Berlin*. Le choix des matières premières de la fabrication dépend naturellement de la beauté et du prix des objets que l'on veut fabriquer ; pour les sortes les plus fines, on emploie du prussiate de potasse, purifié par une ou plusieurs cristallisations successives ; pour les bleus communs, on se sert presque toujours de la dissolution brute de prussiate de potasse ; enfin, pour les variétés inférieures, on emploie même les eaux-mères de la fabrication du prussiate cristallisé.

Le sel de fer, presque exclusivement employé, est le sulfate de protoxyde de fer ; il ne doit pas contenir de cuivre, lequel donnerait lieu à un précipité brun rougeâtre qui altérerait sensiblement la couleur du bleu de Prusse ; on reconnaît la présence du cuivre en dissolvant un peu du sulfate à essayer dans de l'eau, aciduLant la liqueur avec de l'acide sulfurique et y plongeant une lame de fer bien décapée ; s'il y a du cuivre dans le sulfate, il sera réduit, et viendra former un enduit rouge et métallique sur la surface de la lame de fer. On peut bien purifier le sulfate cuprifère et en précipiter tout le cuivre, en le dissolvant dans l'eau et le faisant bouillir pendant quelque temps avec un peu d'acide sulfurique et de la tournure de fer ou de la vieille ferraille ; mais ce procédé ne laisse pas que d'entraîner dans des frais assez coûteux, et il vaut mieux dans tous les cas se procurer dans le commerce du sulfate de fer exempt de cuivre, ce qui n'offre pas beaucoup de difficultés. Avant d'employer ce sulfate, on le laisse exposé à l'air jusqu'à ce qu'il ait pris extérieurement une couleur brun jaunâtre. Il conviendrait peut-être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même d'employer, pour la préparation des bleus les plus fins, du nitrate de peroxyde de fer, qui fournit un bleu d'une beauté telle, que les frais qu'entraînerait son emploi seraient compensés et au delà par la qualité du produit obtenu.

La dissolution brute de prussiate de potasse, et même le prussiate purifié par une seule cristallisation, renferment encore, comme nous l'avons fait remarquer, plus ou moins de carbonate de potasse, de sorte, qu'outre le bleu de Prusse, il se précipite en même temps de l'oxyde jaune de fer qui en altère la teinte ; pour prévenir cet inconvénient, on neutralise le carbonate de potasse par de l'acide sulfurique que l'on ajoute, soit à la dissolution de prussiate de potasse, soit à celle de sulfate de fer. Dans la fabrication des bleus de Berlin communs, on neutralise le carbonate de potasse par de l'alun ; il en résulte un précipité d'alumine qui se mélange intimement avec le bleu de Prusse, et en augmente beaucoup le poids sans en diminuer notablement la teinte, lorsque la quantité n'en est pas très considérable. A cet effet, on dissout la quantité d'alun nécessaire, préalablement déterminée par expérience, dans la dissolution de sulfate de fer, puis on verse le tout peu à peu, et en ayant soin d'agiter continuellement, dans la dissolution de prussiate de potasse, ce qui donne lieu à la formation d'un précipité d'un bleu plus ou moins foncé qui ne tarde pas à se déposer. On décante le liquide surnageant, on le remplace par de l'eau pure, on agite pour mettre de nouveau le précipité en suspension, on laisse déposer de nouveau, on décante, et on continue ainsi à laver pendant longtemps par décantation, afin d'enlever les matières solubles et de foncer la couleur du bleu, comme nous l'avons expliqué au commencement de cet article, par l'absorption de l'oxygène dissous dans l'eau ; on jette ensuite le résidu du lavage sur des chausses en toile où on le laisse égoutter, on le comprime modérément, et on le divise en petits pains que l'on laisse sécher à l'ombre.

Comme le bleu de Prusse une fois desséché est difficile à réduire de nouveau à l'état d'extrême division qu'il possédait étant humide, il est souvent vendu et employé *en pâte* (c'est-à-dire non desséché), surtout pour les fabriques de papiers peints, etc.

Nous avons donné plus haut les caractères du bleu de Prusse pur ; les bleus qui contiennent l'alumine présentent par le frottement d'autant moins d'éclat cuivré qu'ils en renferment en une plus grande quantité.

Le bleu de Prusse est employé dans la peinture à l'aquarelle, mais non dans la peinture à l'huile. Pour son emploi dans la TEINTURE, voyez les articles IMPRESSION SUR ETOFFES et TEINTURE.

MM. Stéphen et Nax de Londres ont pris en Angleterre un brevet (en 1837), pour un procédé qui leur permet de dissoudre le bleu de Prusse, de sorte que l'on peut non plus seulement l'appliquer par impression, mais encore l'employer en dissolution comme la plupart des autres matières colorantes, ce qui en étend considérablement l'application.

Ce procédé consiste d'abord à faire digérer le bleu de Prusse du commerce, pendant 24 à 48 heures, avec de l'acide hydrochlorique concentré ou de l'acide sulfurique au maximum de concentration que l'on doit étendre, après le mélange, de son poids d'eau ; on lave ensuite soigneusement, avec de l'eau pure, par décantation, afin d'enlever tout l'acide, on jette sur un filtre où on termine le lavage, on dessèche le résidu, on le broie avec de l'acide oxalique, et le mélange est soluble dans l'eau.

L'insuffisance de la description du procédé dans la patente, ainsi que le manque de détails sur les quantités de matières à employer, et les précautions à suivre dans la manipulation, ont déterminé dernièrement M. Karmarsch à faire à ce sujet une série d'expériences dont voici les résultats principaux.

1° Le traitement préalable du bleu de Prusse, par les acides hydrochlorique ou sulfurique, offre l'avantage ;

a. Qu'il est nécessaire d'employer, pour rendre le bleu soluble, une beaucoup moindre quantité d'acide oxalique ;

b. Que la dissolution de bleu de Prusse peut se conserver longtemps sans déposer aucun précipité, ce qui arrive infailliblement lorsqu'on ne fait pas subir au bleu ce traitement préalable ;

c. Enfin, qu'il faut une moindre quantité d'eau pour dissoudre le bleu, ce qui permet d'obtenir une dissolution plus concentrée.

2° La quantité d'acide oxalique nécessaire pour déterminer la dissolution du bleu de Prusse est faible ; un excès de cet acide, loin d'augmenter la solubilité du bleu dans l'eau, la diminue.

3° La combinaison de bleu de Prusse et d'acide oxalique n'est pas soluble en toutes proportions dans l'eau, et lorsqu'il n'y a pas assez d'eau, une partie reste, sans se dissoudre, sous la forme de boue d'un bleu foncé.

4° Les proportions les plus convenables pour obtenir un bleu soluble en dissolution concentrée, susceptible d'être filtrée sans résidu et de se conserver longtemps sans donner lieu à aucun dépôt, sont : 8 parties de bleu de Prusse traité par l'acide sulfurique, puis bien broyé avec 1 p. d'acide oxalique, et dissous dans 256 p. d'eau. Voyez PRUSSIATE.

BLEU DE TOURNESOL. Voyez TOURNESOL.

BLEU D'INDIGO. Voyez INDIGO.

BLEU D'OUTREMER. Voyez OUTREMER.

BLEU RAIMOND. Voyez TEINTURE.

BLUTEAU ou BLUTOIR. Voyez MOULINS.

BOCARD. Voyez MÉTALLURGIE.

BOIS (*angl.* wood, *all.* holz). On désigne sous ce nom la partie ligneuse des arbres. Le bois est essentiellement composé de ligneux, mais il renferme en outre diverses substances que la sève tient, pour la plus grande partie, en suspension ou en dissolution. Ce sont surtout des matières gommeuses ou résineuses, l'extractif, et des principes colorants. Le bois se conserve indéfiniment dans l'air sec ainsi que lorsqu'il est tenu plongé dans l'eau ; mais lorsqu'il est exposé à l'influence alternative ou simultanée de l'air, de l'eau et de la lumière, il s'altère peu à peu en absorbant de l'oxygène et en produisant de l'acide carbonique ; il perd de sa cohésion et finit par se convertir en une poudre grise ou brunâtre. Le chlore blanchit le bois sans le dissoudre. L'acide nitrique bouillant et concentré le jaunit, détruit sa cohérence, et finit par le convertir en acide oxalique. L'acide hydrochlorique le noircit sans le rendre soluble. L'acide sulfurique concentré et bouillant le carbonise également ; à froid cet acide concentré et en excès le transforme en gomme, puis en étendant d'eau et faisant bouillir, la gomme se change en sucre de raisin. A chaud, une dissolution concentrée de potasse dissout le bois en formant une liqueur brune, qui renferme des acides oxalique, acétique et ulmique.

On admet en général que les bois verts renferment de 0,37 à 0,48 de liquides, suivant qu'ils sont plus ou moins compactes, et qu'après un an de coupe, ils en retiennent encore 0,20 à 0,25. Le bois est très hygrométrique ; on ne peut le dessécher complétement qu'en le réduisant en copeaux minces, puis l'exposant pendant 24 heures au moins, et jusqu'à ce qu'il commence à brunir, dans une étuve sèche, à la température de 120 à 130° centigr. Tous les bois, quels qu'ils soient, parfaitement desséchés et conservés dans une chambre sans feu pendant un an, absorbent 0,08 à 0,10 d'eau.

La plupart des bois sont plus légers que l'eau, mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur densité est très variable, selon leur essence et selon leur état de dessiccation. Cependant la matière ligneuse elle-même, indépendamment des cavités dont elle est criblée, est plus pesante que l'eau, et a une densité à peu près constante, quelle que soit la nature du bois, qui varie de 1,46 à 1,53, d'après Rumfort.

Pour trouver la pesanteur spécifique d'un bois, on en pèse un morceau sec, on le plonge ensuite dans l'eau, et lorsqu'il en est entièrement saturé, on le pèse de nouveau à l'air; enfin on le pèse plongé sous l'eau; la différence entre la deuxième et la troisième pesée est le poids de l'eau déplacée, et en divisant le résultat de la première pesée par cette différence, on aura la pesanteur spécifique cherchée. M. Marcus Bull a remarqué que ce procédé est inexact, parce que le bois se gonfle promptement dans l'eau; il préfère empêcher l'eau de le pénétrer, en enduisant les morceaux, après les avoir pesés à l'air, d'un vernis qui a exactement la même densité que l'eau, et qu'il obtient en mélangeant de la résine dont la densité est 1,079 et de la cire dont la densité est de 0,967. M. Le Play a imaginé de faire tailler les échantillons de bois, dont il voulait trouver les poids spécifiques à divers états de dessiccation, sous la forme de cylindres pesant environ 1 kilogr., qu'il desséchait très graduellement à l'étuve, en les pesant de temps en temps, et notant à chaque fois leurs dimensions, ce qui lui permettait d'en déterminer très approximativement le volume et, par suite, la densité.

L'*Annuaire du bureau des longitudes* adopte, pour pesanteur spécifique, du :

Chêne.	885	Tilleul.	604
Hêtre.	852	Cyprès.	598
Frêne.	845	Cèdre.	561
If.	807	Peuplier blanc. . .	529
Orme.	800	Sassafras.	482
Pommier.	733	Peuplier ordinaire. .	383
Sapin jaune. . . .	657	Liége.	240

Celle de l'eau étant 1.000.

Le poids du bois cordé dépend de la pesanteur spécifique, de la grosseur des morceaux, de leur forme, et surtout du soin plus ou moins grand avec lequel ils sont rangés; toutes choses égales d'ailleurs, plus les morceaux sont gros et plus le poids de la mesure est considérable. M. Marcus Bull a reconnu, par un grand nombre d'expériences, que le plus ordinairement il y a 0,56 de plein et 0,44 de vide dans le bois cordé, ce qui, à l'aide du tableau ci-dessus des pesanteurs spécifiques, permet de calculer le poids du stère des différentes essences de bois séchés à l'air. Comme le bois d'un an de coupe retient encore environ 25 p. 100 d'eau, il faudrait prendre les trois quarts des nombres obtenus pour avoir le poids du bois parfaitement sec.

I. Bois d'œuvre, que l'on façonne à l'aide des outils tranchants, etc. Les deux principales applications des bois sont la construction de tout genre, dans laquelle ils sont employés en raison de leur résistance et de leur élasticité et l'ébénisterie, la fabrication des meubles pour laquelle les belles colorations des bois sont d'un très-haut prix. Chacun sait quelles grandes différences existent entre les divers bois sous le rapport de la solidité, de la couleur, de la finesse du grain, de la dureté, de l'élasticité, etc., ce sont ces conditions, ainsi que la rareté, qui assignent à chaque espèce des applications différentes. C'est pour ce dernier motif que les modestes constructions dans chaque contrée emploient les bois qui y poussent naturellement, tandis que certains bois originaires des climats chauds, de l'Amérique principalement, en raison de la beauté de leur grain, de leurs belles teintes, des dessins que la nature y a tracés, de leur odeur, etc., sont recherchés pour la confection des meubles et d'une foule d'objets d'ornement qui sont l'objet du

travail des ébénistes. De même, le graveur sur bois n'emploie que le buis, bois dur, d'un grain très-fin et très-homogène; le luthier des bois élastiques, sonores, etc. C'est au point de vue de toutes ces applications possibles, que nous passerons en revue les diverses espèces de bois.

Pour mettre un peu d'ordre dans un travail qui s'applique à une multitude d'êtres différents, et qui exigerait un grand développement pour être en rapport avec la grande utilité des bois dans l'industrie, il faudrait pouvoir les classer d'après des principes qui permissent de prévoir les propriétés de la plupart d'entre eux d'après la connaissance de la classe à laquelle ils appartiennent, et les renseignements que peut fournir l'étude d'un individu de l'espèce.

Nous ne connaissons qu'un travail de M. Forbes, dans lequel on ait tenté de réunir l'indication des propriétés des bois à celle de la famille à laquelle ils appartiennent en botanique, ce qui doit le mieux renseigner sur leur nature intime, base de la classification naturelle admise aujourd'hui en botanique. Nous ferons de même dans ce qui suit, et si nous ne pouvons le faire qu'incomplétement, nous aurons la satisfaction d'indiquer la voie à quelque ingénieur capable de compléter un semblable travail.

Quant aux renseignements techniques sur la manière dont les principaux bois se comportent sous l'action des outils, nous en devons beaucoup à un travail d'un habile praticien, M. Paulin Désormeaux notre ancien collaborateur.

Nous dirons d'abord quelques mots des propriétés générales des bois et des questions qui se rapportent à leurs emplois.

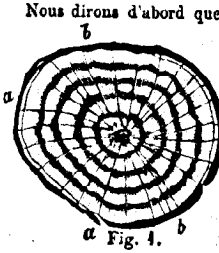
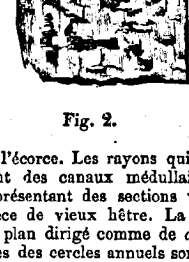
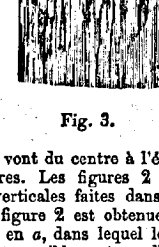


Fig. 1.

Nous avons vu (introduction) comment se produit la circulation de la sève dans les végétaux, comment leur accroissement a lieu. La contexture des bois se trouve par suite, suivant la direction des coupes, analogue à celle représentée par les figures suivantes.

La figure 1 représente une section transversale d'un jeune arbre ou d'une branche. On y voit la disposition circulaire des couches annuelles terminées par l'aubier


Fig. 2.


Fig. 3.

et l'écorce. Les rayons qui vont du centre à l'écorce sont des canaux médullaires. Les figures 2 et 3 représentant des sections verticales faites dans une pièce de vieux hêtre. La figure 2 est obtenue par un plan dirigé comme de *a* en *a*, dans lequel les fibres des cercles annuels sont sensiblement parallèles. Des veinures dans le sens vertical dues aux variations de la végétation, à la différente circulation de la sève au centre ou vers les bords, fournissent souvent des effets décoratifs dans quelques bois; quelques écarts plus larges sont formés par les bords de quelques canaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

médullaires. La figure 3 représente une coupe passant par le centre, comme de *b* en *b*. On voit que les fibres appartiennent à deux séries, qui courent à angle droit l'une sur l'autre; l'une représente les fibres qui appartiennent aux cercles annuels comme fig. 2 et l'autre les plaques qui sont formées par des rayons médullaires.

Nous parlons ici des plantes dites *exogènes*, analogues aux arbres de nos climats qui croissent par des cercles annuels, et non des plantes *endogènes*, dont le développement est inverse, dont la moelle va en diminuant avec les années. Les palmiers, les bambous sont les principaux types d'un genre de plantes qui ne fournit pas un bois ayant une consistance suffisante pour être utilisé en dehors des pays où il vient naturellement (voyez COCOTIER). Ces arbres, dont le tronc est formé de fibres presque simplement juxtaposées, ne sauraient recevoir des emplois semblables à ceux de nos arbres; dans les deux cas il faut remarquer que c'est par leur défaut de résistance à toutes les actions qui ne mettent pas seulement en jeu la résistance à la traction des fibres longitudinales que le bois est surtout imparfait. Dans un travail fort bien fait sur l'élasticité des principaux bois de charpente des Vosges, par MM. Wertheim et Chevandier, ces auteurs sont arrivés à la conclusion suivante : en moyenne, lorsqu'on prend pour unités les coefficients d'élasticité et les cohésions moyennes (à diverses hauteurs) dans le sens de l'axe, on trouve, pour les coefficients d'élasticité dans le sens du rayon et de la tangente à la circonférence extérieure, pour nos arbres, 0,165 et 0,091 et pour les cohésions, dans les deux directions, les nombres 0,163 et 0,159. Ces rapports ne varient pas sensiblement avec la hauteur dans un même arbre, ni dans des arbres de même espèce, mais bien lorsqu'on compare les diverses espèces entre elles. Je citerai encore les résultats suivants auxquels sont arrivés les deux expérimentateurs que je viens d'indiquer, en employant des méthodes vraiment scientifiques.

La cohésion augmente, dans presque tous les cas, avec la dessiccation, avec les pertes d'eau successives, et dans une proportion assez variable. Lorsque la dessiccation a été poussée artificiellement jusqu'à ne laisser que 10 p. 100 d'eau dans le bois, celui-ci devient tout à fait cassant.

Les propriétés mécaniques (Voy. RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX) augmentent d'une manière constante, et quelquefois même dans une très-forte proportion, du centre à la circonférence, pour le sapin, quel que soit son âge, pour le pin, le charme, le frêne, l'orme, l'érable, le sycomore, le tremble, l'aune et en partie pour l'acacia. Cette augmentation paraît être indépendante de l'âge dans les bois résineux, et, en général, dans l'espèce dont les couches restent toujours perméables aux liquides. Dans le vieux chêne et le vieux bouleau, les propriétés suivent une marche inverse, c'est-à-dire qu'après avoir augmenté jusqu'au tiers du rayon, elles redescendent ensuite jusqu'à la circonférence. Enfin, dans le hêtre, on trouve la marche ascendante pour un jeune arbre, et la marche décroissante pour un arbre plus âgé, ce qui semblerait indiquer que, dans les arbres dont les couches les plus anciennes s'oblitèrent pour former le bois de cœur, cette transformation modifie la marche des propriétés.

CARACTÈRES DES PRINCIPAUX BOIS.

SAULE (famille des Salicinées).— Bois blanc, léger, trop tendre et trop poreux pour être employé dans la menuiserie. Les repousses de saule sont, ainsi que les pousses d'osier, la matière première du travail du vannier, à cause de leur grande souplesse.

PEUPLIER. — Bois tendre, léger, blanchâtre, n'est guère employé que pour les ouvrages de peu de durée comme les emballages.

AULNE (famille des Bétulinées). — Bois léger, tendre, d'un blanc rouge, servant à faire des échelles, des chaises, etc., a une très-longue durée dans l'eau, donne de bons pilotis, des corps de pompes, etc. Sa loupe, de couleur fauve, relevée par des palmettes rouges et des points bruns, fournit un beau placage pour les meubles de prix, car elle n'est pas commune dans le commerce.

Poids spécifique 0,555.

BOULEAU (id.). — Bois blanc et léger, trop mou pour supporter les assemblages. Sert surtout comme bois de chauffage des fours. Les branches moyennes de cet arbre servent à faire de grands cercles pour les cuves. Le bouleau du Canada fournit un bois plus dur, plus compacte que le bouleau d'Europe. Les Russes, pour lesquels le bouleau est bien précieux, car c'est un des arbres qui résistent le mieux aux froids, en utilisent diversement les produits. De la sève ils tirent une liqueur fermentescible; l'écorce leur sert à tanner les cuirs, à fabriquer le cuir de Russie.

ÉRABLE (famille des Acéracées). — L'érable indigène n'est pas employé comme bois d'ornement, mais comme un bois ayant des qualités précieuses. L'*érable commun*, bois de couleur blanchâtre, d'un grain serré, est employé par les menuisiers qui en font des dessus de table, des manches d'outils et divers autres objets. L'*érable sycomore* est semblable au précédent, mais plus souvent ondulé, ce qui le fait rechercher par les luthiers pour la fabrication des violons et autres instruments à cordes. L'*érable à feuilles de frêne*, originaire d'Amérique, dont le bois blanc est dur, est recherché des ébénistes.

L'*érable d'Amérique*, qui vient des parties tempérées du Nouveau-Monde, est une des plus heureuses acquisitions de l'ébénisterie moderne, et bien que moins à la mode aujourd'hui que dans ces dernières années pour l'exécution de mobiliers complets, il est encore d'un fréquent emploi. On trouve dans le commerce :

L'érable moucheté, est quelquefois très-blanc, souvent un peu jaunâtre; les mouches sont formées par la substance de la maille qui s'extravase à des intervalles à peu près égaux; c'est un bois dur, coriace, assez difficile à polir et sujet à se gercer. Mais le luisant argenté de ce bois le fera toujours rechercher.

L'érable gris ondulé, est un bois léger et mou, ressemblant beaucoup au sycomore ondulé de France, sauf ce luisant dont nous venons de parler qui n'appartient qu'à l'érable américain.

La loupe d'érable argenté, est très-recherchée comme bois de placage riche. Elle prend quelquefois des couleurs variées et est alors employée pour objets de luxe de petite dimension, des coffrets par exemple.

MARRONNIER D'INDE. (*Id.*) — Bois employé par les ébénistes à cause de sa blancheur, lorsqu'il est convenablement travaillé, ce qui permet de l'employer pour une foule de petits articles de fantaisie sur lesquels on peint à l'huile des fleurs, des paysages, etc. D'une consistance médiocre, ne résiste pas à l'air.

La blancheur de ce bois qui fait son prix, tient au soin qu'il faut prendre de le priver de son eau de végétation qui jaunit rapidement. Aussi faut-il l'abattre par un temps sec et froid, et aussitôt qu'il a égoutté son eau, le refendre avec une scie à dents écartées en planches aussi minces que possible d'après l'usage qu'on en doit faire. La sève se répand alors au dehors, elle y jaunit la surface de la planche; mais aussitôt que celle-ci est sèche, le rabot enlève la couche jaune très-mince qui la recouvre et le blanc du bois paraît pour ne plus s'altérer.

Pour la résistance, ce bois doit être classé parmi les plus mauvais.

TILLEUL (famille des tiliacées).—Bois doux, soyeux, léger, d'un grain très-fin. Il est employé par les sculpteurs, parce qu'il se coupe aisément dans tous les sens.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il sert à faire des jouets d'enfants, des polissoirs, des meules à l'émeri, etc.

Il est trop mou pour faire de bons assemblages de charpenterie; il s'amincit considérablement en se desséchant.

PLATANE (famille des platanées). — Bois un peu tendre, léger, mais dont le grain est très-fin; il se coupe très-bien et est susceptible de recevoir le poli. Longtemps négligé, il est mieux apprécié aujourd'hui, et on a reconnu qu'il pouvait recevoir d'utiles applications, qu'il était très-propre à faire des assemblages, à recevoir des moulures d'une grande finesse. Employé dans le Levant pour l'ameublement, il produit très-bon effet, surtout quand il provient de vieux arbres et a quelquefois un aspect damassé très-agréable. Quand il a été refendu obliquement à son fil, il donne un veinage agréable. Une fois sec, il ne travaille plus.

Poids spécifique 0,63.

SAPIN (famille des conifères).—Uni, homogène, léger, ce bois est employé sur une grande échelle pour les constructions maritimes et la menuiserie de bâtiment, ce qu'expliquent ses qualités et l'abondance de sa production, les arbres de cette famille couvrant les montagnes élevées, les régions neigeuses où les arbres résineux peuvent seuls subsister. L'Europe centrale en reçoit une grande quantité de la Suède et de la Norwége; ce bois est d'excellente qualité.

Le sapin se rabote parfaitement; il est trop spongieux pour qu'il soit possible de le polir; on le recouvre souvent d'une peinture opaque. Sa grande élasticité le rend propre à des applications spéciales, comme ressorts, tables d'harmonie des pianos, etc. Comme tous les bois résineux, il dure longtemps, la résine empêchant l'action destructive de l'humidité. Les arbres saignés, dont on a fait écouler la résine par des incisions, ne sont pas d'aussi bonne conservation que ceux qui n'ont pas été exploités par cette méthode, dont l'intérieur est par suite plus riche en résine.

Poids spécifique 0,753 à 0,464.

MÉLÈZE (*Id.*). — Excellent pour la mâture, les grosses poutres et la charpenterie en général; il est pour ainsi dire impérissable dans l'eau. Le bois de mélèze se distingue du sapin par sa couleur rouge et ses veines foncées. Le mélèze doit avoir conservé toute sa résine.

PIN (*Id.*). — Bois blanc et léger, peu employé dans l'industrie, mais d'un grand usage dans les constructions navales. Employé pour pilotis, sa durée n'est que de 5 à 6 ans pour les parties exposées à l'air; il pourrit et se pique des vers. Quand les planches, au contraire, proviennent d'arbres très-âgés, renfermant beaucoup de résine, ce qu'on reconnaît à la couleur brune du bois, les planchers et les meubles qu'elles servent à faire ont une durée presque égale à celle des bois durs.

IF (*Id.*). — Le bois de cet arbre vert est un des plus beaux de nos contrées; sa nature sèche et résineuse assure sa durée; son grain fin, ses belles nuances, ses nœuds qui tranchent sur la couleur du fond le rendent d'un aspect d'autant plus agréable qu'il peut recevoir un poli parfait, lui-même conservé par le vernis qui lui assure pour un long temps un éclat tout particulier. Son aubier, d'un beau jaune, peut se travailler comme le bois fait. Son seul défaut est de s'effeuiller, de s'égrener facilement, les couches ayant peu d'adhérence entre elles; aussi le bois qui a le plus de prix est celui qui n'est pas *uni*, qui est dit *if noueux*.

Les ifs qui poussent dans les terrains gras, profonds, humides, sont tous ifs unis, n'offrent point d'accidents de veinage et ne sont employés qu'à des usages communs. Ceux, au contraire, qui viennent entre les rochers, sur les pentes escarpées où la terre végétale est rare, sont presque tous des ifs noueux.

CÈDRE (*Id.*).— Originaire des régions montagneuses de l'Asie, où il arrive à une taille gigantesque. Son bois est d'une grande finesse, mais trop tendre pour recevoir un beau poli. Son odeur agréable éloigne les insectes, sa durée est très-grande. Il est employé pour la fabrication des crayons de mine de plomb, pour garnir les intérieurs de commodes ou secrétaires.

CYPRÈS (*Id.*). — Comme le cèdre, était très employé des anciens. Un des bois les plus durables.

GENÉVRIER (*Id.*). Arbuste ne pouvant fournir des produits bien importants à cause de l'exiguïté des dimensions qu'il acquiert. Il est cependant recherché des tourneurs à cause de son beau veinage, de la finesse de son grain qui se prête bien au poli, et de l'odeur douce qu'il exhale, surtout pour faire de petits objets propres à conserver le souvenir des régions forestières où se rencontre le genévrier.

THUYA (*Id.*). Bois qui a beaucoup de rapport avec le sapin, mais est incomparablement plus plein et plus dur; se polit assez bien. Pour la vivacité de ses teintes, la finesse du grain, la loupe de thuya ressemble au plus bel acajou, mais son dessin la distingue; il est formé de nœuds circulaires, d'une couleur rouge-brunâtre, semés régulièrement.

Nous disons à ART INDUSTRIEL, la faveur avec laquelle la mode a adopté dès 1845 la loupe de thuya, d'une coloration charmante et d'un grain très-fin, pour la fabrication des petits meubles, grâce à la quantité de vieux arbres que nous avons trouvés en Afrique, où leur bois acquiert une beauté toute particulière, comme l'avaient déjà reconnu les Romains.

FUSAIN (Famille des célastrinées). — Petit bois roide employé pour de petits ouvrages, tels que règles divisées, fuseaux, etc., pour lesquels il remplace le buis dont il a à peu près la couleur.

Le principal emploi du fusain est pour la fabrication des crayons faits avec son charbon sec, léger et sonore, servant aux artistes pour tracer leurs premières esquisses, les traits adhérant si peu au papier que le moindre frottement les fait disparaître. Pour obtenir ce charbon sous la forme voulue, on refend le fusain en morceaux de grosseur convenable qu'on arrondit grossièrement. On fait entrer ces baguettes dans un tuyau de tôle dont on bouche les extrémités avec de l'argile, puis on le met dans le feu assez longtemps pour que la carbonisation s'opère à l'intérieur bien complétement.

ACACIA (famille des légumineuses). — Le bois d'acacia est très-recherché par les fabricants de chaises. Sa couleur tendre, jaune verdâtre, n'est point désagréable; son grain est peu serré, mais cependant assez fin pour prendre le poli. C'est un bois dur, nerveux, résistant, et quelque peu flexible. Les tourneurs en font des pilons, des mortiers, des toupies pleines et creuses. Il sèche facilement et n'est pas trop sujet à se gercer.

Les Américains en font grand emploi dans leurs constructions navales. Il s'altère difficilement au contact de l'air et de l'eau, et n'est pas attaqué par les insectes.

Poids spécifique de l'acacia vert 0,820.

LE FAUX-ÉBÉNIER (*Id.*) fournit un bois dur et de couleur brune.

LE PALISSANDRE (*Id.*).— Ce bois fort employé aujourd'hui dans l'ébénisterie, et qui n'est entré dans la consommation que depuis peu d'années, nous vient surtout du Brésil et de la Guyane hollandaise. Il est aisé de justifier cette adoption par les qualités précieuses de ce bois. Il est dur, sec, résineux, répandant une odeur suave; il se polit bien et prend bien le vernis. Il exige à ce point de vue un entretien particulier quand les meubles sont neufs, l'huile qui a servi au polissage ressortant bientôt des parties tendres et faisant gonfler le vernis. Ce n'est pas en effet comme l'ébène un bois foncé, d'une teinte uniforme; il est au contraire formé de fibres séparées par des parties plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tendres, ce qui fait des oppositions de parties noires et d'autres d'un brun fauve.

Le palissandre employé seul est trouvé quelquefois un peu sévère, bien que souvent veiné et marbré, aussi on relève quelquefois l'apparence des surfaces par des incrustations de filets de cuivre, de bois blanc tel que le marronnier.

Avec la colle-forte, la poudre fine de sciure de palissandre fait un corps dur, analogue au bois durci dont nous parlons ci-après, qui, ayant tout à fait l'apparence et la résistance du bois après le ponçage et le vernissage facilite beaucoup l'exécution d'incrustations délicates.

Ébène (famille des ébénacées et plaqueminiers). — Bois fourni par le cœur des ébéniers, arbres qui croissent en Afrique, en Amérique et surtout dans l'Inde, moyennement résistant. Il est dur, pesant, susceptible du plus beau poli. Recherché pour sa belle couleur noire qui le rend incomparable pour l'ébénisterie d'art; les incrustations d'ivoire notamment, si employées dans les meubles les plus précieux de la Renaissance y prennent un vif éclat.

Frêne (famille des jasminées).—Le premier de tous les bois pour son élasticité, qui fait d'un morceau sain de ce bois un ressort léger et peu coûteux. Il est blanc, d'un grain moyen. Il est préféré à tous les autres pour la fabrication des chaises, des échelles, des brancards de voitures, des ridelles, des rames, des leviers, etc. Le constructeur de voitures en fait un usage incessant.

La loupe de frêne est commune. Les frênes de certains pays portent tous des loupes, des excroissances qui fournissent un bois de placage estimé et quelquefois riche de dessin.

Poids spécifique 0,75.

Lilas (*Id.*).— Bois peu employé, se trouve rarement de grandes dimensions et sain dans le cœur. Il mériterait plus d'attention à cause de ses qualités, et notamment du beau poli qu'il peut prendre.

Olivier. Bois jaune, dur, compacte, exhalant une odeur qui lui est particulière. Les tabletiers en font usage comme auxiliaire du buis. Mais ce bois a le grand défaut d'être sujet à s'effeuiller, lorsque après un certain temps, l'adhérence des couches médullaires, qui séparent les couches annuelles, vient à se détruire.

Orme (famille des ulmacées). C'est le bois employé essentiellement pour le charronnage, le seul convenable pour fabriquer les moyeux des roues qui, malgré l'assemblage des rais, les nombreuses mortaises qu'ils exigent, ne se fendent pas. Il n'est pas, en effet, sujet à éclater comme le chêne, dont il a presque la résistance; il se coupe comme le hêtre dans tous les les sens, moins bien toutefois. Il résiste bien dans tous sens, même dans celui où les fibres sont coupées. Aussi convient-il spécialement pour les jantes des roues, les vis de pressoir, etc.

La couleur de l'orme varie avec l'âge : dans sa jeunesse il est blanc-jaune; plus tard, il devient rouge-brun dans le cœur; son aubier, comme dans toute espèce de bois, est inférieur au bois fait; mais il est cependant encore assez résistant.

La *loupe d'orme* et l'*orme tortillard* qui se rencontrent en grande quantité dans le commerce, ont une contexture spéciale qui leur fait trouver des applications dans l'ébénisterie. On nomme loupe d'orme ces protubérances arrondies que l'on remarque fréquemment sur les vieux ormes. L'orme tortillard prend naissance par suite de l'étêtage fréquent des ormes. La teinte rembrunie, le grain fin de ces végétations qui prennent naissance dans des conditions toutes différentes de la vie régulière de l'arbre, font bien comprendre comment on les emploie avec succès pour décoration, à l'aide du placage.

Poids spécifique 0,70.

Poirier (famille des pomacées). Le bois du poirier est pesant, serré, uni et très-égal; il forme en quelque sorte une pâte d'une très-grande finesse; on distingue à peine le sens du fil. Il se coupe également bien dans toutes les directions, aussi est-il recherché spécialement par les sculpteurs et les modeleurs. Il se teint facilement; la teinture noire le pénètre à une profondeur très-notable. Aussi le poirier teint en noir remplace-t-il aujourd'hui fréquemment l'ébène qui est bien plus cher, et, quand il a été poli et verni avec soin, l'œil le plus exercé ne peut trouver de différence. Il faut attendre qu'il soit parfaitement sec avant de l'employer, car il diminue beaucoup de volume en se desséchant.

Le poirier sauvage est plus dur que le poirier cultivé.

Pommier (*Id.*).— Bois très-résistant mais qui se rabote et se polit mal. Il se rapproche de celui du poirier auquel il est inférieur. Il sert à faire des manches d'outil, des mandrins.

Cormier. (*Id.*) Bois lourd, dur et résistant, très-sujet à se tourmenter en se desséchant; souvent attaqué par un gros ver, le même qu'on retrouve dans le poirier sauvage et dans l'alisier. C'est le bois par excellence pour la mise en fût des rabots, varlopes et tous outils agissant à l'aide de surfaces de frottement. Il est recherché pour les fortes vis des pressoirs.

Prunier (*Id.*). — C'est le plus riche en couleur de nos bois indigènes; son grain est fin et serré. Il peut prendre un poli de glace que le vernis conserve. On fait avec le prunier des petits meubles, des nécessaires, des dévidoirs, etc.

Mérisier et Cerisier (famille des rosacées). Bois semblables, toutefois le mérisier est plus compacte que le cerisier et supporte mieux l'assemblage. Le mérisier est naturellement rougeâtre; mais cette couleur est fugace et serait promptement passée si on ne la relevait par une coloration artificielle. Ce bois est recherché par les fabricants de chaises; autrefois on l'employait aussi pour d'autres meubles qui se gâtaient rapidement, car il est sujet à la vermoulure; aussi lui a-t-on substitué le noyer.

Amandier (*Id.*). — Bois trop peu employé par les menuisiers et les tourneurs, suivant M. Paulin Désormeaux. Les billes qui avoisinent le bas de l'arbre ont beaucoup de rapport avec le gayac, non-seulement sous le rapport de la couleur, mais encore parce que la section transversale est polie et luisante. Il conserve bien l'huile, lui-même en étant imprégné, ce qui le rend propre à faire des coussinets.

Alisier (*Id.*). Le plus dur de nos bois après le buis et le cormier. Il sert aux menuisiers pour faire leurs affûtages et surtout les rabots à moulures. Les tourneurs le recherchent parce que doux comme le poirier, il se travaille mieux; son grain serré et résistant se prête aux moulures les plus délicates; il garde bien le filet des vis les plus fines sans s'égrener. Il prend le plus beau poli et le vernis s'y applique avec facilité; l'acétate de fer, l'acide nitrique et autres acides concentrés le nuancent de couleurs diverses. (*Voy.* COLORATION DES BOIS.) Il est sujet à être percé par des vers de la grosse espèce.

Chêne (famille des cupulifères). — Le plus employé de tous les bois à cause de sa ténacité et de sa durée. Toutes les forêts de la France en produisent, c'est leur plus bel ornement. Pour être bon industriellement, il faut que l'arbre soit parvenu à un certain âge; le bois des coupes réglées n'est bon qu'à brûler, l'aubier y tient trop de place; il ne faut pas non plus que le chêne provienne d'arbres trop vieux, parce qu'alors il est dur, noir par le développement de l'acide gallique, gras sous le tranchant de l'outil, cassant et sujet à la vermoulure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le chêne submergé pendant deux ou trois années sous l'eau perd la sève qui est une cause d'altération et prend après sa dessiccation à l'air un grain fin. Il est alors recherché pour la belle menuiserie et constitue en effet un admirable élément de construction.

Le chêne *d'échantillon* employé pour les usages les plus ordinaires est celui qu'on a scié et débité dans la *vente* d'abattage, en longueur et en grosseur déterminées par l'usage qu'on doit en faire; il prend les noms de *membrures*, *madriers*, *cartels*, *poutres*, *solives*, *chevrons*, *fallières*, etc., selon les dimensions. Le *merrain* est un chêne moins gros, refondu au coutre en forêt et servant aux tonneliers à faire les douves des tonneaux. Quant aux planches débitées, elles portent les noms de *voliges*, *feuillets*, etc.

Le chêne appartient essentiellement à l'Europe centrale; on connaît une soixantaine d'espèces différentes qui sont loin d'avoir la même valeur. Comme pour tous les arbres, le sol a aussi une influence sensible; les terrains marécageux produisent des arbres qui grossissent rapidement, mais le grain du bois n'est pas fin; il se tourmente beaucoup et est sujet à une prompte détérioration.

Les grands travaux de sculpture sur bois du moyen âge ont généralement été exécutés en chêne, qui acquiert par le temps une belle teinte foncée. Son poids spécifique varie de 1,231 à 6,646. Le plus dense est généralement le meilleur.

L'écorce du chêne ordinaire (Quercus robur) sert pour tanner les peaux; celle du chêne liége (Quercus suber) se détache en grandes plaques épaisses qui servent à fabriquer les bouchons.

Teak. — Chêne du Malabar fort apprécié pour les constructions navales. Il est remarquable par sa solidité et son inaltérabilité; il a la propriété de ne pas jouer. Très-employé en Angleterre, il devrait l'être davantage en France. Il a le grain de l'acajou et la couleur du noyer un peu clair. Il se polit comme le chêne.

Chataignier (id.). — Bois très-recherché jadis pour la charpente des combles des grands édifices; la plupart du temps toutefois on l'a confondu avec une espèce de chêne. Il est en effet à la fois léger et résistant, peu sujet aux attaques des vers, mais il pourrit dans la maçonnerie. Il offre l'aspect du jeune chêne. Il ne peut recevoir le poli.

Les jeunes branches reçoivent un emploi spécial important, à savoir de servir pour la confection des cercles de tonneaux.

Poids spécifique 0,80.

Hêtre (famille des Amentacées). — Grand et bel arbre dont le bois est très-employé dans les arts, mais sans être admis toutefois dans la bâtisse. Il n'offre pas une résistance comparable à celle du chêne; son élasticité est minime, il casse trop net.

Le grain de ce bois, qui n'a pas de fibres apparentes, se rapproche de celui du noyer, mais ne peut se polir comme celui-ci. Ce bois homogène, peu sujet à se gercer une fois qu'il est sec, s'emploie beaucoup dans la construction des meubles. Comme il n'a pas de fil apparent, il se coupe bien dans tous les sens et fait des assemblages solides. C'est avec le hêtre que le menuisier construit les établis, les tables épaisses. Débité en feuilles minces, le hêtre sert pour la boisselleric. Les facteurs de pianos l'emploient pour les mécaniques de ces instruments qui exigent beaucoup de légèreté. En un mot, c'est le bois usuel pour une infinité de professions pour lesquelles il convient par ses propriétés spéciales et son prix peu élevé. Il est malheureusement sujet à être piqué par le même petit ver qui cause tant de ravages dans le noyer.

Acajou (famille des Térébenthacées ou Cédrelacées). — Bois originaire de Campêche et de diverses parties de l'Amérique du Sud, où il acquiert souvent une hauteur de 40 à 45 mètres et un diamètre de 1m.50. Nous avons donné à Art industriel, l'historique curieux de l'introduction de l'acajou dans l'ameublement, qui a produit une révolution dans la fabrication des meubles. Ce bois pousse rapidement, ce qui joint aux qualités précieuses qu'il possède, à sa beauté, à sa solidité, à son inaltérabilité, en fait une des matières premières les plus importantes pour les arts, l'industrie et le commerce de tous les pays civilisés. L'acajou est apporté en *billes*, c'est-à-dire en morceaux de toutes dimensions grossièrement équarris à la scie ou la hache, affectant ordinairement la forme de parallélipipèdes rectangles. On distingue pour l'emploi plusieurs variétés qui ont des valeurs très-différentes en raison des dessins différents que forment leurs veines. Je les passerai successivement en revue.

L'acajou *moucheté* a été un temps en grande faveur, il est un des bois les plus faciles à reconnaître par l'inspection extérieure des billes, ce qui, dans beaucoup de cas, offre de grandes difficultés. Avec de l'attention, on distingue sur la surface extérieure des billes des taches moins foncées que le fond, et qui paraissent picotées des vers : ces taches sont les mouches, qui seront plus foncées que le bois uni lorsque le bois sera travaillé. Ce bois fonce en vieillissant; il chatoie moins que certaines autres espèces; il est ferme, dur, d'un travail assez facile.

L'acajou *ronceux*, très-recherché. La ronce se forme dans tous les arbres dont le tronc se divise en deux ou trois branches; aussi les morceaux d'acajou ronceux se nomment-ils aussi *fourches*. Quand la fourche est composée de plusieurs branches, la ronce est sujette à être *fleurie*, qualité fort appréciée; mais alors la ronce est souvent courte et étroite; et comme la ronce large et longue est préférée, et que la fleur n'est que rare et accidentelle, on doit se défier de ces billes et donner la préférence aux fourches à deux branches égales en grosseur; il est bien plus probable que la ronce sera large et longue.

L'acheteur ne doit pas seulement veiller au dessin de l'acajou, il faut encore qu'il se préoccupe de sa couleur plus ou moins foncée. L'acajou blond est préféré, parce que l'acajou fonce toujours à l'emploi et que cette couleur est très-avantageuse pour faire ressortir la beauté de la ronce; l'acajou blond chatoie plus que l'autre.

L'acajou moiré, très-estimé pour les grands meubles, s'emploie plus souvent massif que l'acajou ronceux toujours débité en placage. La moire répond sans doute à un mode particulier de végétation; ce qui porte à le penser, c'est que parfois on trouve des parties de moiré dans le bois ronceux, sur les côtés de la ronce, car la ronce exclut la moire, et même dans le bois uni. C'est ainsi que dans nos bois indigènes nous trouvons des érables, des noyers et plus souvent des sycomores moirés, sans que les arbres qui jouissent de cet avantage appartiennent à des espèces distinctes.

L'acajou uni n'est variable que quant au grain et à la couleur.

On désigne sous le nom *d'acajou bâtard* plusieurs bois plus ou moins voisins de l'acajou, mais qui sont ternes, qui ne peuvent prendre l'éclat de l'acajou. Un examen scientifique de ces divers bois qui proviennent d'espèces voisines de l'acajou, est encore à faire.

On peut distinguer deux espèces principales : l'acajou bâtard proprement dit, bois très-lourd, d'une couleur sombre, peu veiné, dur, d'un grain fin, dans lequel se trouvent des pores longitudinaux apparents, et l'acajou femelle, plus voisin de l'acajou par le grain et un peu par la couleur, mais qui est léger et mou, cassant, peu propre à faire des assemblages. C'est un bois médiocre, bien inférieur au précédent. Ils ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'emploient tous deux que dans des parties peu apparentes des meubles.

Le *calcédrat* est très-employé par les fabricants de fauteuils, de tables et d'autres meubles pour lesquels il faut un bois fort et résistant. Il a tout l'aspect de l'acajou, il se polit très-bien; son grain est gros, apparent; on y distingue, dans le bois tranché, de larges nervures fortement teintées, qui ne sont pas dans l'acajou.

Le *courbari*, employé surtout par les facteurs de pianos, est un bois lourd et dur, agréablement veiné de raies irrégulières brunes, jaunes et fauves.

NOYER (famille des Juglandacées). — Bois indigène qui, sauf la couleur, peut rivaliser de tout point avec l'acajou. Le noyer noir d'Auvergne est un bois doux et liant, susceptible de recevoir un beau poli et d'être parfaitement verni. Ce bois offre un veinage tel qu'on le débite en placage et qu'on en fait des meubles parfois d'une grande beauté. Le noyer blanc est moins recherché en tant qu'ornement et s'emploie presque toujours massif; on en fait des coffres de voitures, des tables, des commodes, des lits, des buffets, des secrétaires; mais dans ces derniers cas on choisit celui où il se trouve des accidents de veinage. Ce bois est d'un fréquent usage; il se coupe bien dans tous les sens; il est assez résistant pour faire de bons assemblages. Son seul défaut est d'être un peu tendre et sujet à la piqûre des vers. Comme il vient de grande dimension et qu'il prend peu de retrait, il est souvent employé par les sculpteurs en bois.

La loupe de noyer, qui paraît provenir surtout des Pyrénées et d'Espagne, donne des dessins magnifiques, mais elle est assez rare.

HICKORI (id.). — Noyer blanc de l'Amérique du Nord, extrêmement remarquable par sa ténacité et son élasticité. Les Américains emploient avec succès pour une foule d'usages et notamment pour la carrosserie de jeunes branches sous des dimensions et à des poids bien moindres que ceux employés en Europe pour les pièces semblables faites avec nos bois.

BUIS (famille des Euphorbiacées). — Le plus dur et le plus compacte de nos bois. Il pousse lentement, aussi a-t-on de la peine à s'en procurer des pièces de grandes dimensions, surtout dans nos pays où il se pourrit presque toujours au centre lorsqu'il atteint une certaine grosseur, aussi en reçoit-on beaucoup des pays étrangers et notamment de l'Orient. On en distingue deux espèces : le buis vert et le buis jaune qui est le plus commum, le premier est le plus facile à travailler.

Le tourneur-tabletier préfère le buis à tout autre bois à cause de son tissu fin, serré, comparable à celui de l'ivoire; il se polit facilement, prend bien toutes les teintes qu'on veut lui donner et se vernit aisément. Les graveurs sur bois l'emploient exclusivement pour l'exécution des gravures en relief destinées à l'illustration des livres, et ces gravures faites sur bois debout montrent par leur finesse et leur résistance que le buis est formé de fibres parallèles extrêmement rapprochées les unes des autres.

La *loupe de buis*, improprement nommée *racine de buis*, car le bois de la racine diffère peu de celui de l'arbre, sert à faire des tabatières, des nécessaires, etc.

GAIAC (famille des Rutacées). — Bois remarquable par sa dureté, provient des deux Amériques et surtout de Saint-Domingue et de Bahama. Il résiste d'une manière extraordinaire aux frottements. Aussi est-il employé pour rouets de poulie, pour coussinets, etc. La structure de ce bois offre ceci de curieux que les fibres se croisent en faisant un angle de 30° avec l'axe, et si un groupe de couches annuelles se dirige vers la droite, un autre se dirige vers la gauche, sans une régularité absolue toutefois.

II. BOIS DE CHAUFFAGE. — Voyez CARBONISATION, SYLVICULTURE.

III. BOIS DE TEINTURE. Résineux ou non résineux, en bûches ou en éclisses. On ne considère comme bois de teinture que ceux dont l'infusion, riche en couleur, colore suffisamment les étoffes et d'autres substances. Les écorces et racines de certains arbres, branches et tiges de certains arbres reçoivent cet emploi.

On appelle *bois en éclisses* les bûches ou madriers débités en minces copeaux pour en extraire plus parfaitement et plus économiquement la matière colorante. Voyez EXTRAITS. On donne aussi, dans le commerce de droguerie, le nom de *bois de teinture moulus* aux minces copeaux qui tombent en poussière par le moindre effort, ainsi qu'à ceux qui sont réduits en poudre par la division mécanique.

Les bois de teinture les plus connus sont ceux du Brésil, de campêche, le santal, qui sont employés pour la teinture en rouge, et le bois jaune. Les plus estimés proviennent du Brésil, des Indes orientales, de la Jamaïque, de la Chine, de Siam, de Manille et des autres Philippines, de Gaban, d'Atrique, etc.; aussi les désigne-t-on généralement dans le commerce sous le nom des pays d'où on les tire :

Bois de Fernambouc ou de Brésil, des Indes ou de Sapan, de Bahama, de Nicaragua ou Sainte-Marthe, de Campêche, etc.

Celui de *Fernambouc* (Amérique), provenant de lieux secs et rocailleux, renferme la plus belle et la plus grande quantité de matière colorante : l'extérieur du tronc est gris ou blanchâtre, l'intérieur en est rouge ou jaune; le premier est ordinairement enlevé, et le second est connu dans le commerce sous le nom de bois de Brésil; le meilleur vient du gouvernement de Paraïbo.

Celui du *Brésil*, pour la qualité de la matière colorante, est presque égal à celui de Fernambouc; mais, d'après Bancroff, il ne contient que la moitié de la quantité de la matière colorante du bois de Fernambouc; il est d'une couleur rouge foncé, avec des veines jaunâtres très-espacées. Plus il est vieux, plus il renferme de matière colorante; on estime alors principalement celui qui est en grands morceaux. La matière colorante propre à la teinture étant déposée par la végétation et ne se développant qu'avec le temps, la teinte des jeunes troncs est tout à fait blanche; plus tard, ils passent successivement au rouge et au rouge brun.

Le *bois de Sapan* a été employé dans l'Inde orientale pour teindre en rouge dès les temps les plus reculés; il venait en Europe quelque temps avant la découverte de l'Amérique. Le meilleur est le *Sapan de Siam;* après lui viennent ceux de Lima, de Java, le bois de Sapan de Chine, l'un et l'autre de qualité moyenne; ceux de Manille et des autres Philippines, le bois de Saint-Martin et celui de Padangs sont les plus mauvais. (Voy. TEINTURE).

Le bois du *Brasiliensis cæsalpini* porte le nom de bois rouge de la Jamaïque, de Brasillet ou Bresillet de la Jamaïque, mais il est moins estimé que le bois de Brésil proprement dit. Ce bois vient principalement des îles de *Bahama;* il est pour cela souvent nommé d'après cette origine. Il nous arrive en bâtons, dépouillés d'écorce; son aubier est blanchâtre, l'intérieur d'un rouge brun parsemé de veines transversales plus foncées.

Le *Nicaragua* ou *Sainte-Marthe* est presque aussi lourd que le Fernambouc, mais il ne renferme ordinairement que 1/3 autant d'une matière colorante qui n'est ni si belle ni si durable. Cependant sa qualité est très-variable; certaines variétés ne renferment que 1/6 de la quantité de matière colorante du Fernambouc, tandis que d'autres en renferment jusqu'à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1/2. Ce bois se vend dans le commerce en bâtons foncés, gros comme le bras, très-tortueux, et remplis de trous d'un rouge pâle beaucoup plus foncé au centre qu'à la surface.

Le *Campêche* arrive en bûches, il est d'un rouge foncé qui devient noir quand on le coupe; on en fait usage pour teindre en rouge, en violet, en noir. Ce bois trempé dans l'eau donne une teinture si foncée qu'on peut s'en servir pour écrire. Voyez ENCRE.

Le *bois de Santal* est d'un beau rouge, moins foncé que le *Fernambouc;* il est dur et sec, mais s'éclatant facilement.

BOIS DURCI. — Curieuse industrie qui fournit une ressource intéressante à la fabrication si variée des articles de Paris, en permettant une reproduction à bon marché d'objets d'art, en matière suffisamment résistante, et rappelant tout à fait l'ébène sculpté. C'est sur l'extension du procédé indiqué en parlant du palissandre que repose ce procédé, qui consiste à reproduire en quelque sorte un bois artificiel en réunissant des éléments ligneux par une colle durable et résistante.

Le procédé exploité avec succès par M. Latry consiste à prendre de la sciure fine de bois dur, telle que celle que fournissent les scies à placage, à la mélanger intimement avec du sang de bœuf, puis à la mouler dans un moule en creux, en chauffant à une température convenable. Par le refroidissement la matière devient solide et résistante, son grain fin lui permet de recevoir le vernis.

La fabrication est décrite, comme il suit, dans un rapport fait par M. Chevalier à la Société d'Encouragement :

Des sciures de bois, de palissandre surtout, réduites en poudres très-fines, sont humectées avec une quantité convenable de sang mélangé d'eau, et portées dans une étuve chauffée de 50 à 60 degrés; là, elles se sèchent. C'est avec ces poussières que s'identifie l'albumine du sang. L'agglomération s'opère avec des sciures de même nature ou des sciures semblables. Le moulage est fait dans des bagues contenant des matrices en acier poli, destinées à reproduire, avec toute la finesse possible, diverses créations artistiques. Les poussières sèches sont empilées dans les moules, de manière qu'après la compression il n'y ait pas d'excès de matières premières, conséquemment de bavures.

La pression est obtenue au moyen d'une presse hydraulique d'une très-grande puissance.

Les plaques sont chauffées au gaz, de façon que la chaleur soit maintenue à un degré voulu pendant toute l'opération.

Les moules, munis de leurs bagues, se meuvent dans des rainures disposées de façon qu'ils ne puissent éprouver aucune variation.

Lorsque se produit la pression, un point d'arrêt fixe les plaques à leur distance respective; la distance est calculée de façon à recevoir un moule muni de sa bague dans chaque compartiment.

Les plaques dites de chauffe sont munies chacune d'un appareil à gaz fixé à elles, de façon à suivre le mouvement d'ascension ou de descente qu'on fait subir aux plaques, suivant la pression donnée aux diverses bagues.

Des tubes amènent le gaz de manière qu'à chaque trou corresponde un jet. Chacun des tubes est double, et une partie rentre concentriquement dans l'autre. Le tube central de cet appareil fournit, au moyen d'un ventilateur, de l'air froid venant de l'extérieur. C'est autour de ce tube aérateur que se trouve distribué le gaz destiné à chauffer les plaques à compartiment. La régularité du chauffage permet d'obtenir des moulages de la plus grande netteté. Le chauffage au gaz est assez coûteux, mais cet inconvénient est largement compensé par l'avantage qu'il offre dans le travail.

En examinant l'action exercée par l'albumine du sang sur la sciure, on en arrive à conclure qu'après que l'air a été expulsé par la pression, le mélange de sciure et d'albumine porté à une température de 170 à 200 degrés subit une fusion; il se forme alors une matière nouvelle, ressemblant au tissu ligneux, due à l'action simultanée de la résine contenue dans les sciures et de l'albumine du sang, en présence de la chaleur et de la pression.

Ce mode de reproduction à bon marché de sculpture en bois noir, imitant l'ébène, sert à faire des médaillons, des encriers, des châssis de coffrets, des reliures riches, etc.

BOLAIRE (*terre*). Nom donné à des argiles colorées par de l'oxyde de fer. Voyez ARGILE.

BOMBES. Voyez PROJECTILES.

BONNETERIE (*angl.* hosiery, *all.* strumpfweberei). La bonneterie, considérée sous son point de vue spécial, comprend tous les tissus dits *tricots*, tels que *bas, bonnets de coton, maillots, caleçons, gilets de laine, jupons, mitaines* et *gants tricotés*, etc. Tous ces tissus constituant la première classe des tissus à mailles et par suite élastiques (voy. TISSAGE) sont fabriqués au moyen d'un seul et même métier, dit *métier à tricoter*, dont la fig. 250 représente une vue en perspective.

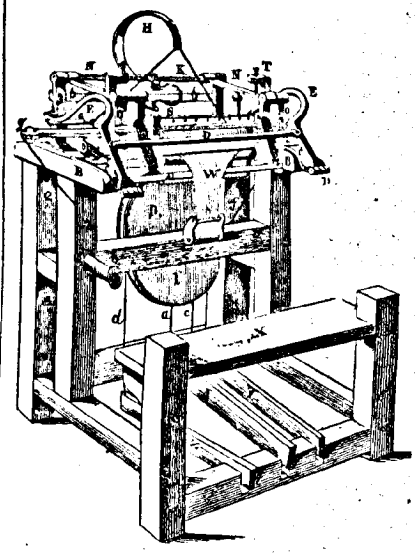


Fig. 250.

Autrefois, et cela est encore assez commun aujourd'hui dans les campagnes, les tricots se faisaient à la main au moyen de deux aiguilles; chaque mouvement faisant une *maille*. Dans le métier à tricoter, on fait autant de mailles d'un seul coup qu'il y en a de réparties sur une même ligne droite; le seul inconvénient que présente ce genre de travail, par rapport au premier, c'est qu'il ne peut donner que des surfaces planes, qu'on est ensuite obligé de relier par un remaillage spécial pour obtenir des vêtements fermés, tandis que le tricot à la main permet d'obtenir immédiatement toute espèce de forme.

Mais cet inconvénient est largement compensé par la promptitude d'exécution du métier qui donne des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produits incomparablement moins coûteux que le travail à la main. Aussi le métier à bas a-t-il été considéré, avec juste raison, comme une des inventions les plus utiles de l'industrie moderne. Bien qu'elle ne soit pas très-ancienne son auteur ne nous est pas bien connu, et diverses légendes en ont fait honneur tantôt à la France, tantôt à l'Angleterre.

La tradition la plus probable est que le métier à bas fut inventé par William Lee du comté de Nottingham vers 1589, qui apporta ces métiers en France, à Rouen, à la suggestion de Sully. Il retourna en Angleterre à cause des désordres qui suivirent la mort de Henri IV, et cette industrie fut vraiment réimportée en France par Jean Hindret en 1656.

Le métier à bas ordinaire consiste en une série d'aiguilles placées parallèlement les unes aux autres, dans un même plan horizontal, et suffisamment distancées, selon la finesse et le serré du tricot que l'on veut obtenir. Ces aiguilles sont maintenues dans cette position par une de leurs extrémités, qui est noyée dans un bâti composé d'une série de petites plaques en étain contenant chacune deux aiguilles. L'assemblage des aiguilles avec ces plaques, appelées *plombs*, s'effectue de la manière suivante :

On a un moule en fer dans lequel sont ménagées bien exactement les places des deux aiguilles; quand ces dernières sont en place dans le moule, on coule l'étain fondu et on laisse refroidir avant de retirer. Par ce moyen obtient une distance constante entre les aiguilles accouplées, et si, par suite de la juxta-position des plaques, on n'obtient pas la même distance entre deux aiguilles consécutives appartenant à deux plaques contiguës, rien n'est plus simple que de roguer dans l'étain, ou d'ajouter un petit morceau de carton ou de tôle entre elles. L'autre extrémité des aiguilles, celle qui fait le travail du métier, est recourbée comme le représente la fig. 251 ci-contre. La

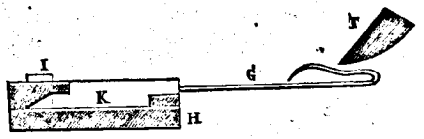


Fig. 251.

partie recourbée est assez élastique pour que son extrémité vienne s'appliquer sur le corps de l'aiguille, à l'aide d'une faible pression; en ce point où le contact a lieu dans ce cas, se trouve *le chas*, rainure capable de loger cette pointe, et la mettre ainsi dans l'impossibilité de retenir les fils sortants, comme nous verrons plus loin.

Entre les aiguilles sont intercalées des plaques ou lames verticales (fig. 252) appelées *platines*. Ces pièces, qui sont destinées à abaisser le fil entre les aiguilles pour l'opération du métier, portent chacune un bec à angle droit C, et une courbure convexe ou *ventre* V disposée au-dessous. Ces lames peuvent prendre un double mouvement, l'un de translation verticale et l'autre de translation horizontal parallèlement à elles-mêmes. Indiquons d'abord leurs fonctions : le fil à tricoter F, d'une substance quelconque, est étalé sans tension, à la main dans le métier ordinaire, suivant une ligne droite sur la rangée horizontale des aiguilles de manière à faire un angle droit avec leur direction. Un mouvement de translation vertical des platines appuie successivement les becs C sur le fil F, fig. 252 *bis*, le force par conséquent à entrer dans les espaces vides qui séparent les aiguilles dont l'ensemble se nomme la *fonture* du métier. Cette transformation du fil droit en une espèce de feston constitue le

cueillage. L'avancement, dit également *amenage*, a lieu par un mouvement de translation horizontal des platines et l'action de la partie V sur le fil, fig. 253.

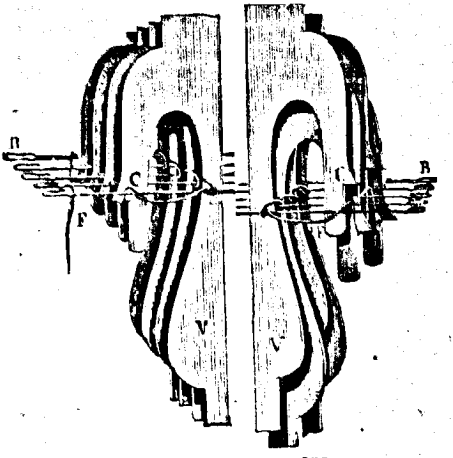


Fig. 252. Fig. 252 *bis*.

La fermeture des becs s'obtient par l'abaissement d'une règle ou presse sur les courbes B, et le dégagement du feston par-dessus les becs fermés nommé par cette raison *abattage*, fig. 253 *bis*, se produit par une continuation d'action horizontale de la part du jeu de platines.

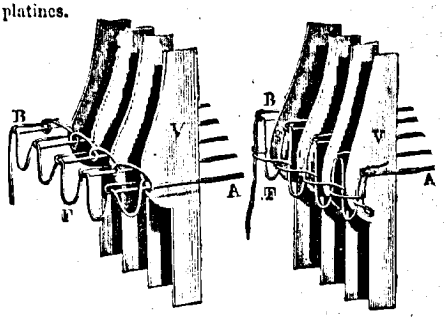


Fig. 253. Fig. 253 *bis*.

L'on remarquera que la rangée de mailles primitivement formée a passé par-dessus les becs, tandis que la nouvelle y est encore engagée. Il en résulte que le même fil a été alternativement bouclé autour de chacune de ces aiguilles fixes comme autour de celles du tricotage à la main. Après l'exécution de ces différents mouvements, nécessaires à la formation d'une rangée de mailles, l'on fait reprendre aux organes leurs positions primitives.

On distingue deux espèces de platines : les platines *fixes* et les platines *abaisseuses*.

Les platines L (fig. 254) reçoivent leur mouvement des pièces horizontales M, appelées *ondes*, avec lesquelles elles sont assemblées à charnière, et qui ont leurs axes sur *m*, *m*.

Les platines abaisseuses sont intercalées entre les platines fixes, de manière à présenter successivement une platine fixe et une platine abaisseuse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le but des deux systèmes de platines est le suivant :

Si on abattait sur le fil tendu toutes les platines à la fois, il en résulterait pour le fil une traction et un frottement sur les aiguilles et sous les crochets des platines, qui ne manqueraient pas de le faire rompre ou allonger au détriment de sa ténacité. Si au contraire on abat successivement les deux espèces de platines, fig. 252 *bis*, les premières descendant d'une quantité double, afin que les autres puissent prendre chacune à leur voisine la longueur de fil qu'il leur faut pour produire l'ondulation nécessaire, le fil ne subit qu'une traction pour la moitié du nombre des organes, est moins exposé à s'allonger. Les platines abaisseuses étant abattues, non pas simultanément, mais successivement, il n'est pas absolument nécessaire que les platines soient divisées en deux groupes, du moment où les abaisseuses sont abattues successivement, car il devient par là aussi facile d'opérer sans rompre le fil, en les abattant toutes les unes après les autres qu'en les abattant en deux fois, dont l'une successivement. Toutefois, le fil est toujours moins tiraillé par des platines espacées que par des platines rapprochées.

L'abattage des platines abaisseuses s'effectue de la manière suivante :

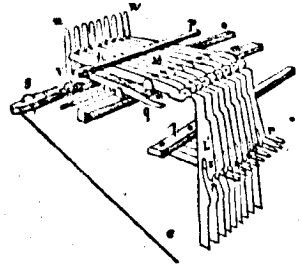


Fig. 254.

En V (fig. 254) est un curseur métallique mis en mouvement par la corde *g e*. Cette corde fait un tour complet sur la gorge de la *poulie* U, fig. 250, que mettent en mouvement les *pédales* Y et Z. *n*, *n*, sont des pièces faisant ressort sur les extrémités, de manière à les maintenir en place quand les platines abaisseuses sont levées. Comme l'indique facilement la figure, quand le curseur V avance, soit de droite à gauche, soit de gauche à droite de l'ouvrier, il soulève successivement les extrémités des ondes et abat les platines abaisseuses, qui restent dans cet état jusqu'au moment où un taquet, venant frapper sur l'extrémité *q* du levier *m*, fait baisser la barre *p p*, et avec elle les ondes M qui soulèvent les platines abaisseuses.

Cet exposé bien compris, nous allons donner la théorie de l'opération.

Théorie du métier à tricoter. Supposons un tricot commencé, et suspendu par conséquent aux aiguilles par une série de mailles. Soit ce tricot appliqué tangentiellement à la surface, formée par la série des parties rentrantes des platines; soit S S, un fil droit qu'abaissent successivement les platines abaisseuses et fixes, de la manière que nous avons décrite plus haut. Faisant avancer les aiguilles en arrière jusqu'à tant que ce fil ondulé se trouve dans les crochets (dans la fig. 255, on a donné à tort une disposition inverse au tricot R R et au fil S S). A ce moment opérons une pression sur la totalité des crochets au moyen de la *presse* F (fig. 251), puis continuons à faire avancer en arrière les aiguilles, ainsi fermées, jusqu'à tant que les crochets se trouvent passés dans les mailles du tricot déjà fait. On a ainsi obtenu une nouvelle série de mailles. En effet, lorsque nous faisons passer les crochets des aiguilles dans les

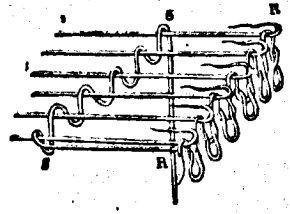


Fig. 255.

mailles du tricot, il y a à l'extrémité de ces crochets un fil ondulé qui, s'il était droit, empêcherait les mailles de sortir de ces aiguilles, mais qui ondulé pénètre dans ces mailles, qu'il laisse couler et retient près des crochets par de nouvelles mailles qu'il vient lui-même apporter.

La presse (fig. 250) est *abattue* au moyen de la pédale I, placée entre les deux pédales Y et Z; la corde *a* attachée à cette pédale correspond à la barre G, qui par l'intermédiaire des leviers à charnière E, E, dits *cages en fer*, communique le mouvement à la presse. Le ressort H, communiquant par une corde aux deux pièces P et G, a pour but de les maintenir alternativement levées; c'est-à-dire que quand la pédale I est abaissée, la pièce G est baissée et le bâti P des platines fixes est levé; tandis que, quand la pédale I est levée, la pièce G est levée et le bâti des platines fixes est baissé.

Ainsi quand les platines fixes sont abattues, les crochets sont ouverts, et quand les platines fixes sont levées, les crochets sont fermés; ce sont deux opérations distinctes que l'on est parvenu à faire avec une seule pédale.

L'avancement et le reculement des aiguilles se fait à la main au moyen des deux *battants* B.

Comme la largeur des pièces à fabriquer n'est pas constante, pour ce qu'on nomme la façon, pour tenir compte, par exemple, du mollet, du bas de la jambe et de la pointe du pied, pour les bas, par exemple, il faut produire des élargissements et des rétrécissements progressifs convenablement combinés, ce qui s'obtient par l'augmentation ou la diminution d'une boucle de chaque côté du tricot, au point où il doit être élargi ou diminué. Le nombre de rangées qui doit subir ces additions ou soustractions dépendra évidemment du volume du vêtement.

Du métier à bas. — Le métier à bas diffère des autres métiers en ce qu'il donne toujours la même grosseur, et le même nombre de mailles; il n'y a de variation possible que par le changement d'épaisseur du fil, qui fait le tissu plus serré ou plus clair. Il résulte de là que chaque métier a sa spécialité, et peut manquer comme regorger d'ouvrage suivant la mode des bonneteries du moment, ou suivant les commandes qu'on peut lui faire.

Le nombre des mailles d'un tricot, contenues dans une largeur donnée, varie beaucoup. Les tricots grossiers contiennent deux mailles par centimètre de large; les tricots fins, les plus en usage, en contiennent depuis six jusqu'à dix.

Les aiguilles sont en fer et très-faciles à fabriquer; néanmoins il faut encore bien connaître cette partie pour acquérir toute l'habileté nécessaire à leur confection, si on veut les obtenir bonnes et les vendre à bénéfice.

Pour faire les aiguilles on s'y prend de la manière suivante :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On a du fil de fer fort, fin et de qualité supérieure, incapable de se fendre ou de s'écailler par la torsion ; on le coupe en parties d'égales longueurs et en nombre suffisant, les longueurs et la finesse des aiguilles dépendant complétement de la finesse du tricot qu'elles sont destinées à faire.

On place les aiguilles ainsi préparées dans une boîte en fer-blanc, puis on remplit les interstices avec du charbon de bois; on donne une chaude qui trempe légèrement la surface et rend le fer plus élastique. Pour rendre la trempe encore plus douce, on a soin de faire refroidir la boîte dans un bain de cendres. Cela fait, on pratique une rainure sur une partie de la longueur de chaque aiguille pour recevoir la pointe pendant l'abatage; cette rainure se fait au moyen d'une machine représentée dans la fig. 257. Cette machine consiste en deux pièces de fer, A et C, assemblées à charnière au point B; la partie inférieure C est fixée à une table, et la partie supérieure A est mobile au moyen du ressort G et de la vis E, mise en mouvement par le levier D. En F est le ciseau destiné à faire la rainure dans l'aiguille placée dans un coussinet en acier trempé H. On obtient ainsi sur l'aiguille la rainure représentée dans la fig. 259.

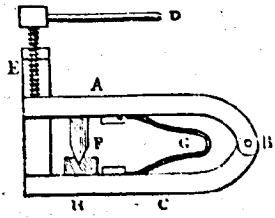
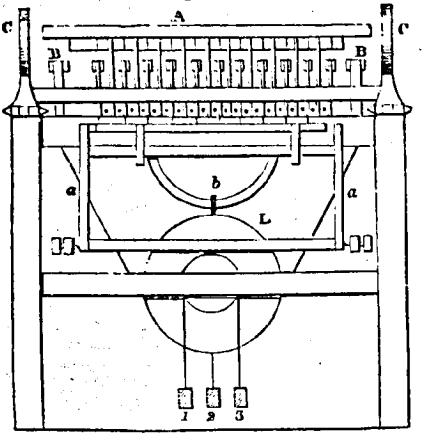


Fig. 257.

On lime ensuite l'extrémité des aiguilles, qui doit

Fig. 258.



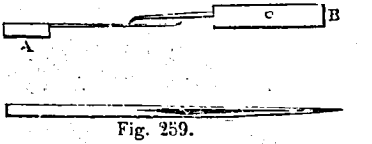


Fig. 259.

être recourbée, jusqu'à ce qu'elle offre une pointe très-aiguë et très-saine; ensuite on les courbe et leur donne la forme représentée dans la fig. 252. Enfin pour terminer, on aplatit au marteau l'autre extrémité des aiguilles, afin qu'elles ne tournent pas dans leurs plombs.

Métier pour bas à côtes. Les tricots à côtes sont presque aussi employés que les tricots ordinaires, sinon pour la totalité des tissus, du moins pour une partie; ainsi le haut des bas, le bas des caleçons, etc., sont à côtes, parce que ce genre de tricot a l'avantage de se resserrer beaucoup et d'être élastique.

En principe, le tricot à côtes ne diffère du tricot ordinaire que par la disposition des mailles, dont les unes présentent la tête en dehors et les autres en dedans. Le métier à tricots à côtes ne diffère pas beaucoup, par cette raison, du métier ordinaire, comme nous allons le voir.

Il se compose d'un métier ordinaire auquel est ajoutée une machine particulière que nous allons expliquer:

Soit (fig. 258) un métier à tricoter vu de face. A étant le bâti qui supporte les platines fixes, B celui des platines abaisseuses, et celui des cages en fer. On ajoute sur le devant le cadre *a a*, représenté par *a d* dans la fig. 260. La partie supérieure du cadre *a* est munie d'aiguilles à tricots, en tout semblables à celles du métier ordinaire ; ces aiguilles occupent les positions relatives indiquées dans la fig. 261. En *g* est une petite presse destinée à opérer l'abatage des aiguilles du cadre *a*. Ces aiguilles sont réparties par groupes de 1, 2, 3, 4, etc., suivant l'épaisseur que l'on veut donner aux côtes et la distance que l'on veut ménager entre elles. Si, par exemple, le côtelage est régulier et composé de quatre mailles d'un côté et quatre mailles de l'autre, il y a quatre aiguilles additionnelles telles que *f* devant quatre aiguilles de tricot *h*, puis un vide de quatre aiguilles *f* devant quatre autres aiguilles *h*, puis quatre aiguilles *f*, et ainsi de suite; dans ce cas le nombre des aiguilles *f* est moitié de celui des aiguilles du tricot.

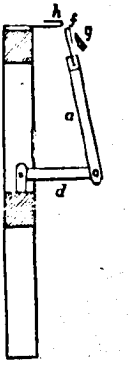


Fig. 260.

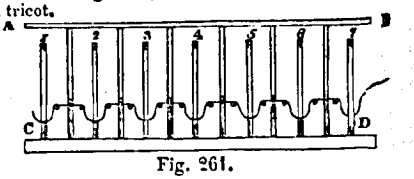


Fig. 261.

La manœuvre des aiguilles additionnelles s'effectue de la manière suivante :

Il faut retourner le sens d'un certain nombre de mailles, c'est-à-dire présenter le dos de la maille du côté opposé à celui que lui donne la machine; pour cela, il suffit de changer la position du plan des parties ondulées du fil correspondant aux côtes. A cet effet, les mailles ordinaires et les côtes se font alternativement. Quand les premières sont faites, les aiguilles à faire la côte sont soulevées entre les aiguilles à mailles ordinaires, sans qu'il soit ajouté de nouveau fil; on leur fait prendre ainsi le dernier fil des aiguilles à mailles correspondantes, puis on le fait repasser par la maille inférieure, d'où il sort pour se reporter sur l'aiguille d'où il a été enlevé. Par ce moyen on a simplement changé le sens de l'entrée de la nouvelle maille dans la maille inférieure, et par conséquent présenté le dos de la maille là où le tissu ordinaire présente l'ouverture.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BONNETERIE.

MÉTIERS CIRCULAIRES. — L'invention des métiers dits *circulaires*, destinés à faire des pièces de tricots sous la forme d'un tube ou manchon d'un diamètre plus ou moins grand et d'une longueur indéterminée, remonte à 1815 environ. On obtient sur ces métiers, par le développement des cylindres tricotés, une surface plane que l'on emploie comme un tissu quelconque, dans lequel on découpe les formes à assembler en raison de leur destination. Quoique inventé en principe vers 1815, ce système, par suite des perfectionnements qu'il a fallu y introduire, et aussi à cause de la lenteur inhérente à la propagation de toute nouveauté, n'a commencé à se faire adopter que vers 1835. La faveur dont il a joui et jouit encore repose surtout sur la possibilité d'une production particulièrement économique, restreinte aux articles à bas prix, ceux pour lesquels les formes n'ont pas besoin d'être établies par des variations dans le nombre des mailles par rangée lors de leur exécution, et aux objets qui n'ont pas de dimensions variables. La confection de la belle bonneterie reste en effet exclusivement réservée au système connu indistinctement sous les noms de métiers *droit*, *rectiligne*, de métier *français* par les uns, et *anglais* par les autres; dénominations qui indiquent des prétentions réciproques difficiles à trancher, pour le métier circulaire comme pour le métier à bas.

Depuis l'origine de l'usage des métiers circulaires, ils ont été modifiés de diverses manières, mais tous se composent des organes indispensables aux métiers droits : 1° d'une fonture ou jeu d'aiguilles disposées autour d'un plateau circulaire comme autant de rayons, au lieu d'être disposées parallèlement entre elles sur une même ligne droite; 2° d'un organe cueilleur modifié en raison de la disposition particulière des aiguilles; 3° d'un mode de pression pour fermer les becs; 4° d'un moyen pour faire cheminer les mailles pour arriver à l'*abatage*.

La dénomination de ces organes démontre que le travail du tricot circulaire réclame les mêmes éléments que la confection du tricot rectiligne exécuté sur le métier classique. Les modifications des divers métiers circulaires ont pour objet de modifier les formes des organes, de les approprier à la disposition particulière des aiguilles.

Les métiers circulaires les plus simples ne diffèrent absolument du métier droit que par le groupement circulaire des organes et leur transmission de mouvements. Les formes des aiguilles, celles des platines cueilleuses, sont à très-peu de chose près celles décrites pour le métier rectiligne. Le métier peut être mû à la main par une manivelle ou par un moteur quelconque agissant sur une poulie qui remplacerait la manivelle.

Métier circulaire à roues cueilleuses. — L'on avait eu l'idée, dès l'origine de la création du système circulaire, de supprimer entièrement les platines cueilleuses et d'y substituer une petite roue à dents disposée de telle façon que chacune de ses dents devait, par un mouvement de rotation, appuyer sur le fil étalé sur la fonture, et l'engager successivement entre les aiguilles correspondantes. Cette action forçait le fil de s'infléchir et de former le feston de la maille. L'emploi de ce moyen n'a eu d'abord que peu de succès, parce que le nombre des petites dents fixes et rapprochées placées autour de la circonférence d'un cercle simultanément en prise, ne pouvaient agir uniformément ni assez efficacement.

L'on a parfaitement obvié à cet inconvénient dans la construction des divers systèmes de roues mailleuses ou cueilleuses actuellement en usage. Le premier de ces perfectionnements qui ont ouvert une ère nouvelle aux métiers circulaires a été inventé en 1841 par M. Jacquin, de Troyes. Il repose comme tous ceux imaginés depuis sur les points principaux suivants :

1° Sur la mobilité des dents, qui peuvent rentrer et sortir de la jante pendant sa révolution.

2° Sur la propriété de ces dents de n'opérer sur la périphérie de la roue qu'un moment de leur fonctionnement et au point où leur action doit produire le cueillage.

3° De pouvoir faire varier la longueur des boucles en raison de la variation de l'amplitude de la course de la dent mobile.

Diverses dimensions et applications des métiers circulaires. — L'on exécute des métiers circulaires depuis cinq centimètres jusqu'à plus de trois mètres de diamètre de fonture. Les premiers sont plus spécialement destinés à des petits objets, à faire des bandages et autres articles pour les besoins de la chirurgie; l'on exécute sur les derniers des tissus de coton et surtout de laine destinés à faire une sorte de draperie foulée, de résistance assez médiocre, mais particulièrement élastique, et spécialement propre à certains vêtements du matin et de maison, tels que pantalons à pieds, robes de chambre, etc. Entre les deux dimensions désignées plus haut, on peut compter un grand nombre de *formats* différents, une vingtaine au moins. Le nombre de *chutes*, c'est-à-dire le nombre de répétitions des mêmes organes, tels que mailleuses, presses, pièces de reculement et d'abatage, augmente à finesses égales en raison du diamètre. Les organes constituant une chute remplissant exactement les mêmes fonctions que les doigts de l'ouvrière tricoteuse, il en résulte que plus il y a de chutes sur une machine, plus elle produira. Une petite machine sur un modèle de 0m,36 de diamètre, garnie de 1,000 à 1,100 aiguilles, munie de deux chutes seulement, peut tricoter 50 à 60 mètres carrés d'étoffe par jour, pesant de 4 à 5 kilog. Or, il y a de ces métiers dont le nombre de chutes s'élève à vingt, et dont la production est plus que décuple.

Métier rectiligne automatique à divisions multiples. — Le plus grand progrès, dont l'industrie de la bonneterie a été l'objet, dit M. Alcan (*Annales du Conservatoire*), auquel nous empruntons partie de ce qui précède, consiste dans l'exécution d'un métier rectiligne pouvant faire simultanément et automatiquement un nombre de pièces qui n'est limité que par celui des fontures, et par conséquent par la largeur du métier. Les tricots ouvrés sur ces métiers à la construction desquels ont conduit les progrès faits dans la construction et le maniement des métiers circulaires sont à formes, c'est-à-dire à *élargie* et *rétrécie*, suivant les besoins, et au moins aussi bien tissés que s'ils l'avaient été par l'ouvrier à la main le plus habile. Jusqu'ici les métiers les plus perfectionnés de ce genre sont à 6 divisions ou 6 fontures, produisant par conséquent simultanément 6 bas, avec une dépense insignifiante de force (1/10 de cheval). Un seul homme conduit facilement deux métiers qui produisent en finesse moyenne, en réduction ou jauge dite 20 fins, quatre douzaines de paires de bas ou 96 bas en 12 heures. Le même homme, en travaillant sur un métier ordinaire, n'en peut exécuter que *trois paires* pendant le même temps. La puissance productrice de l'ouvrier est par conséquent augmentée dans la proportion de 1 : 16, sans que la perfection du produit en souffre; au contraire, il y a plutôt moins de chances d'imperfection et de petites irrégularités presque inévitables dans le travail de la main qui se fatigue. L'emploi de ce métier, qui commence à se propager dans l'industrie des tissus à mailles, permet donc de faire au moins aussi bien que les meilleurs moyen en usage, d'obtenir des rendements sans précédents sous le rapport de la quantité, et explique comment les salaires ont pu être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

augmentés parallèlement à la diminution du prix de revient et du produit.

Lorsqu'on voit fonctionner un métier qui produit six bas à la fois, il paraît fort compliqué, et cependant une machine semblable n'offre pas un organe ni un élément que ne possède le métier rectiligne ordinaire, et que nous ne connaissions par conséquent d'après les descriptions précédentes. Les différences entre le nouveau métier et l'ancien consistent principalement dans l'étendue plus grande du système à plusieurs divisions, et dans les transmissions de mouvements pour automatiser toutes les parties. Pour expliquer la machine nouvelle par des dessins, il eût fallu multiplier les figures outre mesure, et revenir de nouveau sur une partie de celles qui ont été décrites. Si elles ont été convenablement comprises, elles suffiront pour se rendre compte en principe des additions et des combinaisons mécaniques qui distinguent le métier rectiligne automatique à produire plusieurs pièces à la fois du métier rectiligne ordinaire.

Supposons une vue de face du métier classique, suffisamment étendue pour que l'on puisse, au lieu d'un fil, en étaler sur la fonture six de même longueur les uns à côté des autres. Bien entendu qu'entre chaque fil il y a un espace vide pour établir une séparation convenable entre les pièces d'étoffes et le jeu du mécanisme nécessaire à chacune. C'est donc simplement un métier à fonture ordinaire interrompue de place en place. Chacune de ces fontures est munie de deux poinçons, placés chacun en regard des lisières; l'un à la lisière ou rive de droite, et l'autre du côté opposé. Ils sont destinés, à un moment donné, à se déplacer de la distance d'une maille, pour élargir ou rétrécir la pièce, suivant la direction du déplacement de ces poinçons. Le métier à 6 bas est par conséquent garni de 12 poinçons semblables qui, comme les autres organes, doivent être commandés simultanément. Un mouvement continu de la part de la poulie motrice du métier commandé à la main ou par un moteur quelconque doit donc successivement réaliser les diverses fonctions qui concourent au travail complet, et chacune d'elles doit s'exécuter six fois simultanément sur un métier à six bas. Rappelons que ces fonctions sont: 1° la distribution du fil ou alimentation du métier et le cueillage; 2° le formage et l'abatage; 3° la fermeture des becs des aiguilles par la presse; 4° abaissement intermittent des poinçons et leur mouvement de translation; 5° actions correspondantes à celle du crochetage dans les métiers ordinaires, pour ramener les organes et leur commande à leurs positions initiales après leur fonctionnement.

Certaines de ces fonctions, comme celles dont les poinçons sont chargés, se décomposent pour s'exécuter en plusieurs temps. Elles ne se réalisent, en effet, qu'à des intervalles déterminés. Il faut que les organes qui les réalisent embraient et débraient spontanément à des périodes variables du travail, et de plus, que le point d'application du poinçon se déplace suivant une certaine loi à déterminer *a priori*.

Ces conditions peuvent donner une idée de la complication du problème à résoudre, et de la précision que réclame la combinaison et l'exécution de toutes les pièces mécaniques qui concourent à la construction du métier qui les résout pratiquement. Ceux qui garnissent les beaux ateliers de M. Tailbouis, à Saint-Just, comme celui que M. Berthelot, de Troyes, faisait admirer à l'Exposition de 1862, ne paraissaient réellement rien laisser à désirer.

La conception générale du système est facile à énoncer. Il consiste dans un arbre principal sur lequel sont assemblées autant de cames que le métier doit réaliser de fonctions ou de mouvements principaux. Ces cames commandent les organes par des tiges et des leviers convenablement combinés pour établir les relations voulues.

Cette invention est la cause d'une véritable révolution dans le prix de revient des produits de l'industrie de la bonneterie, mais en concentrant la fabrication dans des grands ateliers qui peuvent seuls être munis d'un matériel coûteux, cette révolution va paralyser les travaux des ouvriers possesseurs d'un petit nombre de métiers à bas de l'ancien modèle.

La production annuelle de la bonneterie française était, en 1862, d'environ 70 millions, qu'on peut diviser ainsi :

Coton.	55 0/0
Laine.	35 —
Soie.	9 —
Lin.	1 —

La moyenne des exportations était d'environ 10 0/0 de la production. La fabrication de l'Angleterre était évaluée à la même époque à 160 millions.

BORAX. Le borax, ou borate de soude anhydre, est un composé d'acide borique et d'oxyde de sodium; lorsqu'il est cristallisé il contient en outre 5 ou 10 équivalents d'eau par équivalent de sel, suivant qu'il a été obtenu à l'état de cristaux octaédriques ou de cristaux prismatiques. Voici la composition du sel dans les trois états ci-dessous indiqués :

Borax anhydre.

1 équivalent d'acide borique. .	872	ou	69
1 équivalent de soude. . . .	390	—	31
Borax anhydre. . . .	1262	pour	100

Borax octaédrique.

1 équivalent d'acide borique.	872	ou	47,7
1 équivalent de soude. . .	390	—	21,3
5 équivalents d'eau. . . .	562,5	—	31,0
Borax octaédrique. .	1824,5	pour	100,0

Borax prismatique.

1 équivalent d'acide borique.	872	ou	36,55
1 équivalent de soude. . .	390	—	16,35
10 équivalents d'eau. . .	1125	ou	47,1
Borax prismatique. .	2387	pour	100,00

Le *borax prismatique* est un sel natif que l'on trouve abondamment dans l'Inde, en Chine, dans la Perse, dans l'île de Ceylan et dans l'Amérique du Sud; on en a même rencontré en Europe, dans le royaume de Saxe. Recueilli sur les bords de petits lacs qui le tiennent en dissolution, il était autrefois importé en grande quantité en Europe, où il était connu sous le nom de tinkal; reçu en petits cristaux, et contenant une certaine proportion de matières étrangères, on le raffinait avant de le livrer au commerce. L'industrie du raffinage, longtemps tenue secrète à Venise, puis concentrée en Hollande, fut enfin importée en France par les frères Lécuyer. Tant que le borax fut obtenu exclusivement avec le tinkal, son prix resta très élevé, il valait encore de 7 à 8 francs le kilogr. en 1815; vers cette époque commença en France la fabrication de ce sel au moyen de l'acide borique de Toscane et du carbonate de soude; ce nouveau procédé, très économique, puisque le borax se vend maintenant 2 fr. le kilogr., est aujourd'hui exclusivement employé en France et même en Angleterre; nous allons en donner la description. Quant à l'ancien procédé, qui n'était qu'une simple épuration, nous le croyons trop peu important pour l'indiquer ici. On le trouvera consigné du reste dans les anciens ouvrages de technologie.

Le procédé français consiste, nous le répétons, à traiter l'acide borique de Toscane (voyez l'article *acide* BORIQUE) par du carbonate de soude cristallisé, à la température de l'ébullition; le carbonate de soude est décomposé, il se forme du borate de soude, il y a déga-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gement d'acide carbonique, et le borax cristallise par le refroidissement de la liqueur. Au premier abord cette préparation paraît extrêmement simple, cependant elle a rencontré à l'origine des obstacles sérieux, qui provenaient de la difficulté que l'on éprouvait à obtenir des cristaux solides *et d'un très gros volume*, ainsi que le veulent encore les exigences et quelquefois les besoins du commerce. MM. Payen et Cartier écartèrent cet obstacle, et parvinrent à préparer régulièrement le borax en cristaux tenaces et volumineux en opérant la cristallisation sur de grandes masses, et en la rendant aussi lente et aussi régulière que possible. Ce premier obstacle écarté il s'en présente un second auquel on ne s'attendait pas, et que nous signalons parce qu'il montre bien comment les préjugés parviennent souvent à fausser le jugement ; en effet le commerce, habitué à trouver dans le borax de Hollande une teinte grisâtre et des cristaux à arêtes brisées par les secousses d'un long transport, ne voulut pas du nouveau produit, il fallut pour renverser ces préjugés imiter le borax de Hollande, et pour cela couronner les arêtes des cristaux en plaçant ceux-ci dans des tonneaux que l'on faisait tourner sur un axe. Aujourd'hui ces précautions ne sont plus nécessaires ; voici comment on opère.

Dans une grande cuve en bois, doublée de plomb et chauffée à la vapeur, on fait dissoudre 1200 kilogr. de carbonate de soude cristallisé dans une quantité d'eau telle qu'ajoutée avec celle produite par la condensation de la vapeur, le tout forme 2000 kilogr. Lorsque la dissolution est complète, on élève sa température à peu près à 100 degrés, puis on ajoute au liquide l'acide borique par portions de 4 à 5 kilogr. seulement à la fois ; le carbonate de soude est immédiatement décomposé, l'acide carbonique se dégage avec grande effervescence et il reste du borate de soude en dissolution ; si l'on mettait trop d'acide borique à la fois, le dégagement d'acide carbonique pourrait être assez violent pour projeter hors de la cuve une partie de la dissolution. Avec l'acide carbonique, il se dégage toujours entre autres gaz un peu d'ammoniaque qui provient de la décomposition de sels étrangers ; on pourrait le recueillir en fermant hermétiquement la cuve et en conduisant les gaz dégagés, par un tube de plomb, dans de l'acide sulfurique ; il se produirait du sulfate d'ammoniaque qui a une assez grande valeur.

Pour saturer les 1200 kilogr. de carbonate de soude cristallisé, on emploie environ 1000 kilogr. d'acide borique de Toscane, contenant à peu près 10 p. 100 de substances étrangères. Lorsque la saturation est complète, la solution doit marquer environ 21° Baumé ; on arrête alors la vapeur, et on laisse déposer le liquide pendant 10 ou 12 heures, puis on soutire la solution claire au moyen d'un robinet placé à 2 ou 3 décimètres du fond, c'est-à-dire au-dessus du dépôt.

La solution de borax est reçue dans des vases doublés de plomb, très peu profonds, 20 à 30 centimètres au plus, dans lesquels elle ne tarde pas à se refroidir et à cristalliser ; les cristaux détachés sont mis à l'égouttage sur un plan incliné. Les eaux mères passent dans une nouvelle opération, et les dépôts qui se sont formés dans la cuve de décomposition sont vidangés par une large cannelle.

Les cristaux de petite dimension, provenant de cette première cristallisation, doivent être soumis à une nouvelle opération qui consiste à les épurer et à les transformer en cristaux volumineux, tels que le commerce et l'industrie le réclament.

Raffinage du borax. Dans une cuve semblable à la précédente, et d'une grande dimension, on fait dissoudre à la fois 9000 kilogr. de borax brut ; cette dissolution s'opère à chaud, et on l'active singulièrement en plaçant le borax dans un panier en tôle élevé par une grue, et que l'on suspend au sein du liquide contenu dans la cuve. Après dissolution complète, on ajoute à la liqueur quelques centièmes de carbonate de soude. La solution bouillante doit marquer 21° à l'aréomètre de Baumé ; après un repos de une heure ou deux, on la soutire dans un grand cristallisoir doublé de plomb épais, et ayant à peu près 1m,50 de profondeur sur 2 à 3 mètres de côté. Ce cristallisoir est placé dans une pièce isolée, bien fermée, à l'abri des changements brusques de température, des chocs et ébranlements, et de toutes les causes, en un mot, qui pourraient troubler la cristallisation. Le refroidissement de la solution doit être extrêmement lent, et à cet effet, le cristallisoir doit être couvert, et environné de corps mauvais conducteurs de la chaleur. C'est en prenant toutes ces précautions, et surtout en adoptant les grands cristallisoirs que nous avons indiqués, que l'on parvient à obtenir les gros cristaux recherchés pour plusieurs applications. Suivant la température extérieure, la cristallisation doit durer de 25 à 30 jours, elle est terminée lorsque la liqueur ne marque plus que 28 à 30° de température ; à ce moment il faut enlever l'eau mère au moyen d'un siphon, puis un homme essuie vivement les arêtes des cristaux au moyen d'une éponge ; cela fait, on replace le couvercle et on laisse refroidir pendant quelques heures, afin que les cristaux surpris par le froid ne deviennent pas friables.

Les cristaux fortement adhérents aux parois du cristallisoir sont détachés au moyen d'un ciseau, et à grands coups de maillet, après leur dessiccation ; on les sépare les uns des autres avec une petite hachette, on en élimine les menus cristaux, puis on les emballe dans des caisses imitant les anciens emballages des Hollandais.

Le borax prismatique, obtenu comme nous venons de le dire, contient 47 p. 100 d'eau ; il a un goût doucâtre, il affecte les couleurs végétales comme un alcali, il est soluble dans 12 fois son poids d'eau froide et dans 2 parties d'eau bouillante. Exposé à l'air sec, il s'efleurit rapidement et perd sa transparence, il fond à une chaleur au-dessous de 100° et peut perdre toute son eau de cristallisation, il forme alors une masse spongieuse, qui par une plus haute température se fond en une masse transparente comme le cristal ; c'est le borax anhydre.

Le borax octaédrique, découvert par M. Payen, offre cela d'avantageux que cristallisé, il contient cependant moitié moins d'eau que le précédent. Il cristallise au sein d'une solution plus concentrée que celle qui produit le borax octaédrique, et dans des limites de température supérieures ; l'opération est donc la même que celle que nous venons de décrire, seulement la solution de borax brut doit marquer 30 à 32° à l'aréomètre de Baumé, et à 100° centigrades, lorsqu'on la soutire dans les grands cristallisoirs ; la cristallisation commence à 79° de température et le borax octoaédrique cesse de se former à 56°, on doit donc à ce moment enlever vivement les eaux mères qui ne donnent plus par le refroidissement que du borax prismatique.

Les cristaux de borax octaédrique adhérent fortement entre eux, ils forment des plaques peu épaisses, très dures et sonores ; à l'opposé du borax prismatique, ils s'effleurissent dans un air très humide, ou même lorsqu'on les plonge dans l'eau, ils tendent dans ces circonstances à absorber une quantité d'eau égale à celle qu'ils renferment déjà, et à passer à la composition du borax prismatique. Du reste les deux borax ont les mêmes propriétés, et agissent de la même manière dans toutes les applications, puisqu'ils commencent toujours par perdre leur eau de cristallisation.

Le borax fondu a la propriété, à une haute température, de dissoudre les oxydes métalliques et de les transformer en verres transparents et colorés, suivant leur nature ; c'est ainsi que l'oxyde de chrôme le co-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lore en vert émeraude; l'oxyde de cobalt, en un bleu intense; l'oxyde de cuivre, en vert pâle; l'oxyde de fer, en vert de bouteille ou en jaune; l'oxyde de manganèse, en violet; l'oxyde de nickel, en vert émeraude pâle. Les oxydes blancs ne le colorent pas.

Cette propriété remarquable, mise à profit dans les essais au chalumeau, est d'ailleurs la base de l'emploi principal que le borax trouve dans l'industrie. Tout le monde sait en effet que ce produit est indispensable dans quelques soudures, et pour les brasures il préserve de l'oxydation les parties que l'on veut réunir.

Depuis quelques années, on fait entrer le borax dans la composition des verres fins et des glaces, dont il facilite la bonne fabrication; d'ailleurs il est employé depuis longtemps comme fondant dans la préparation des couvertes pour porcelaine anglaise.

Dans ces dernières applications le borax, pourvu qu'il soit pur, n'a pas besoin d'être cristallisé, il serait même préférable qu'il fût anhydre; c'est à cette intention, et pour rendre en même temps la fabrication moins coûteuse, que l'on a proposé divers procédés; nous citerons entre autres celui qui consiste à épurer préalablement l'acide borique, puis à le combiner à sec avec la soude, en le mélangeant avec la proportion nécessaire de carbonate de soude cristallisé et en soumettant le mélange intime à une température convenable dans une étuve. Il paraît que dans ces circonstances la réaction se fait aussi bien qu'avec des dissolutions, et qu'on obtient du premier coup du borax spongieux très blanc et privé d'eau. Si l'acide borique arrivait pur de Toscane, nul doute que ce procédé ne fût économique; mais dans l'état actuel des choses il n'en est pas ainsi, en sorte que l'expérience peut seule prononcer pour ou contre ce nouveau mode de travail.

ACIDE BORIQUE. L'acide borique est composé de bore et d'oxygène; il peut se rencontrer ou se produire dans trois états différents. Il est formé de :

1° A l'état anhydre.

Bore.		31,19
Oxygène. . . .		68,81
		100,00

2° Hydraté, mais desséché à la température de 100°.

Acide borique.	Bore. . .	22,5	72,1
	Oxygène. .	49,6	
Eau.			27,9
			100,0

3° Cristallisé dans des dissolutions aqueuses, tel du reste qu'il se trouve dans le commerce.

Acide borique.	Bore. . .	17,58	56,38
	Oxygène. .	38,80	
Eau.			43,62
			100,00

Lorsque l'acide borique cristallisé est pur, et qu'on vient à le chauffer, il perd d'abord la moitié de son eau de cristallisation à la température de 100°; puis, à la température rouge, le reste de l'eau se dégage, il éprouve la fusion ignée, et il se transforme en un verre transparent et d'une grande limpidité; à cet état il attire fortement l'humidité et ne tarderait pas à perdre sa transparence si on ne le conservait dans des vases hermétiquement fermés.

L'acide borique est peu soluble dans l'eau; à 10°, 100 parties de ce liquide n'en dissolvent que 3 parties, et, à la température de l'ébullition, 8 parties, dont 5 se déposent par le refroidissement en petits cristaux prismatiques.

Découvert en 1702 par Homberg, cet acide s'extrayait autrefois exclusivement du borate de soude, ou tinkal (voyez l'article précédent BORAX), pour les besoins de la médecine; rien n'est plus simple que cette préparation; il suffit de dissoudre à chaud le borax et de traiter la dissolution par de l'acide sulfurique concentré; il se forme du sulfate de soude qui reste en dissolution, et l'acide borique très peu soluble se précipite en larges écailles nacrées au fur et à mesure que la liqueur se refroidit. Préparé de cette manière, l'acide borique, connu sous le nom de *sel sédatif de Homberg*, retient toujours, malgré des lavages, un peu d'acide sulfurique.

Aujourd'hui, non seulement l'acide borique ne se prépare plus avec le borax pour les besoins des arts, mais encore les lagoni de Toscane en fournissent naturellement en telle quantité, que la plus grande partie du borax, livré au commerce, se prépare, comme nous l'avons vu dans le précédent article, en combinant directement l'acide borique avec la soude.

Sous le nom de *lagoni* on désigne les localités de la Toscane où se recueille l'acide borique; ce sont de vastes bassins que l'on maintient toujours remplis d'eau, et sous lesquels viennent déboucher des petits cratères ou *soffioni*, qui dégagent continuellement des vapeurs sortant du sein de la terre; ces vapeurs entraînent avec elles une certaine quantité d'acide borique qui se dissout dans l'eau des lacs; lorsque cette dissolution est arrivée à un certain degré de concentration, il suffit, pour en extraire l'acide borique, de concentrer et de faire cristalliser la liqueur.

Dans l'extraction en grand de l'acide borique, on a superposé plusieurs vastes bassins dans lesquels aboutissent le plus grand nombre possible de soffioni, et disposés de telle manière qu'on fait arriver de l'eau pure seulement dans le bassin le plus élevé, et qu'on la fait ensuite circuler successivement dans les bassins inférieurs, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment saturée d'acide borique. Les eaux séjournent à peu près 24 heures dans chaque bassin; elles y sont agitées incessamment par les courants de vapeurs souterraines, dont la force est telle qu'elles lancent souvent l'eau des lagoni à une très grande hauteur.

Lorsque les eaux arrivées dans le bassin le plus bas y ont également séjourné 24 heures, on les soutire dans un réservoir appelé *vasque*, de 6 mètres carrés de superficie sur 1 mètre de profondeur, où la plus grande partie de la vase se dépose pendant un jour et une nuit, c'est-à-dire pendant l'intervalle que l'on met entre deux vidanges des bassins. On a toujours deux vasques placées l'une à côté de l'autre; pendant que les dépôts se forment dans l'une, l'autre sert à alimenter les chaudières d'évaporation.

Le liquide clair surnageant dans les vasques est décanté directement dans deux batteries de chacune sept chaudières en plomb, ayant 2m,90 en carré sur 0m,35 de profondeur, supportées par de forts chevrons en bois au-dessus d'une maçonnerie en gradins. Toutes les chaudières peuvent se vider successivement les unes dans les autres, la plus élevée est celle qui reçoit le liquide des vasques.

Pour évaporer la dissolution très étendue d'acide borique, on a profité de la chaleur produite par la vapeur des saffioni; cette vapeur, amenée par des galeries en pierre, s'introduit sous la dernière chaudière de chaque batterie, et sèche successivement le fond de toutes les autres.

C'est à M. Larderelle, le créateur de cette industrie perfectionnée, que l'on doit cette heureuse et économique application de la vapeur perdue à l'évaporation. Avant lui, on se servait de combustibles très chers, ce qui augmentait le prix de revient de l'acide de manière à le rendre inabordable.

La solution d'acide borique soutirée claire des vasques, marque ordinairement de 1° à 1°,5 à l'aréomètre de Baumé; on en remplit les quatre premières chaudières de chaque double batterie. Après 24 heures d'évapora-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion, la solution rapprochée à moitié de son volume primitif est transvasée à l'aide de siphons en plomb dans les deux chaudières suivantes de chaque rangée ; elle est remplacée par le produit d'une nouvelle décantation de la vasque. Vingt-quatre heures plus tard, la solution, réduite encore de moitié, c'est-à-dire amenée au quart du volume primitif, est siphonée dans chacune des dernières chaudières des deux batteries, et on y réunit les eaux mères provenant d'une cristallisation précédente.

C'est dans ces dernières chaudières que se termine la concentration, au bout de 21 heures; la solution marquant 40 à 42° Baumé, à la température de 78 à 85°, est soutirée immédiatement dans des cuviers en bois, doublés de plomb, ayant à peu près 80 centimètres de diamètre sur une profondeur de 1 mètre.

L'évaporation dure donc en tout 72 heures ; par la cristallisation, on obtient, de chaque double batterie de 7 chaudières, 90 kilogr. d'acide borique commercial. Lorsque la cristallisation est terminée, on soutire l'eau mère pour l'ajouter à une nouvelle opération et dans les dernières chaudières évaporatoires. L'acide est placé dans des paniers en osier dans lesquels il s'égoutte, puis on le porte sur le plancher d'un séchoir en briques, chauffé en-dessous par la vapeur d'un suffioni, que l'on amène par des canaux en pierre.

Jusqu'à présent, la Toscane est le seul pays qui ait fourni au commerce de l'acide borique, et c'est là un monopole qui lui est très-profitable ; il est produit par 9 fabriques, toutes fondées sur le principe que nous venons d'indiquer, par M. Larderelle; voici les noms de ces fabriques et les quantités d'acide borique qu'elles livraient il y a peu de temps encore au commerce :

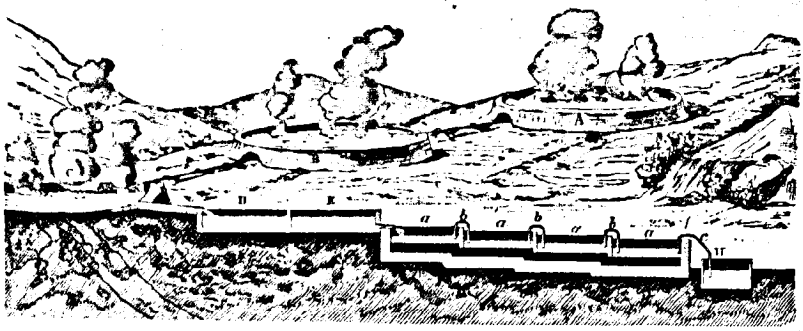
Sasso.	16,000 kilogr. par mois.
Larderello	11,000
Lervazano	9,000
Monte-Cerboli . .	8,500
Castel Nuovo . . .	8,500
Monte-Rotondo . .	7,500
San Frederigo. . .	4,000
Lustignano. . . .	3,400
Lago.	2,400
	69,300 kilogr. par mois.

Soit au total, par année, 831,600 kilogr. d'acide borique. Malheureusement, cet acide n'est pas très-pur, comme on peut en juger par le tableau suivant, que l'on doit à M. Payen, qui a visité avec détail cette curieuse industrie.

Pour 100 kilogr. d'acide borique brut, on a trouvé :

Acide borique pur et cristallisé. .	74 à 84
Sulfate d'ammoniaque.	
Id. de magnésie	
Id. de chaux.	14 à 8
Chlorure de chaux.	
Alun	
Argile, sable.	
Soufre.	2,5 à 4,25
Eau hygroscopique dégagée à 35° .	7 à 5,75
Matière organique azotée. . .	
Hydrochlorate d'ammoniaque .	2,5 à 1
Acide hydrochlorique. . . .	
Acide hydrosulfurique . . .	
	100 à 100

Comme on le voit, il existe de 16 à 26 p. 100 de matières étrangères dans l'acide borique de Toscane ; ces substances augmentent en pure perte les frais de transports et d'emballage, qui sont déjà assez considérables; on pourrait en réduire la quantité en traitant les eaux mères à part, au lieu de les remettre avec les nouvelles solutions d'acide borique.



Exploitation de l'acide borique en Toscane.

Une autre économie réalisable sur le prix de transport et d'emballage résulterait de la dessiccation de l'acide borique cristallisé, à une température de 100°. Par ce moyen, on chasserait, comme nous l'avons déjà dit, la moitié de l'eau de cristallisation, et, au lieu d'avoir seulement 56 p. 100 d'acide borique réel, on en aurait 72 p. 100.

L'acide borique sert, comme nous l'avons vu, à préparer le borate de soude; on l'emploie aussi en quantité assez considérable dans la préparation de l'émail de certaines poteries pour en accroître la fusibilité et l'éclat.

BOUCHES A FEU. (*angl.* gun, *all.* geschuz.) Les bouches à feu sont les machines employées pour lancer avec une grande vitesse des projectiles d'un poids considérable et capables, par suite, de renverser les obstacles qu'ils rencontrent, même à de grandes distances.

Nous nous occuperons, dans cet article, de la construction des bouches à feu, tant des essais anciens que des procédés nouveaux. Mais d'abord quelques mots sont nécessaires pour analyser ce qui se passe dans le tir d'une bouche à feu, afin d'en déduire les conditions auxquelles doit satisfaire sa construction.

La première chose à déterminer dans la construction d'une bouche à feu, ce sont les dimensions de l'âme ou de l'intérieur de la pièce, d'après la vitesse initiale que l'on veut imprimer au projectile. Le diamètre de celui-ci donne évidemment celui de l'âme; quant à la longueur, plus la bouche à feu sera longue, plus la détente des gaz agira longtemps, et par suite, le travail sera avan-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tageux, au moins dans des limites dont la pratique est bien éloignée.

En effet, une même vitesse initiale peut être donnée à un projectile par plusieurs bouches à feu de longueurs d'âme différentes, lorsque la charge varie, la variation de la charge pouvant compenser celle de la longueur. Or il existe certaines limites pour les poids, les longueurs et les épaisseurs qu'on ne peut dépasser sans inconvénients: ainsi, pour les très-gros calibres, on donne proportionnellement moins de longueur que pour les petits, afin de ne pas trop augmenter la quantité de métal et le poids; pour les petits calibres, on évite les âmes trop courtes, qui ne donnent ni justesse ni égalité de portée et occasionnent une grande consommation de poudre.

La table ci-dessous donne assez exactement, pour une très-bonne poudre et une bouche à feu en très-bon état, les vitesses initiales du boulet sphérique (qui constituent le travail à produire), en raison des variations des divers éléments énumérés ci-dessus.

Longueurs d'âme des pièces en nombre de longueurs de leurs boulets		6	8	10	12	14	16	18	20
Vitesses initiales pour des charges de	1/3 du poids du projectile	322m	382m	422m	450m	473m	492m	507m	518m
	1/6 —	243	287	319	344	363	378	389	396
	1/10 —	200	234	259	278	293	304	311	314

La charge et la longueur d'une bouche à feu étant déterminées, il reste à régler les épaisseurs du métal d'après la résistance de celui-ci et les tensions du fluide dans l'âme, suivant les diverses positions du projectile. C'est là le travail qu'a su faire Piobert. Les formules auxquelles il a été conduit, et pour l'établissement desquelles il est parti des expériences de Rumford sur la pression des gaz de la poudre faisant explosion dans un cylindre fermé qui en était rempli (la rupture des enveloppes a indiqué, dans ce cas, une pression de 25 000 à 30 000 atmosphères) et d'expériences qui lui sont propres sur la vitesse d'inflammation de la poudre (voyez POUDRE A CANON), permettent de calculer les dimensions de bouches à feu quelconques. C'est d'après ces considérations qu'il a pu établir les projets de plusieurs bouches à feu, en même temps que constater l'excellence des dimensions adoptées pour les anciens canons, par Gribeauval, d'après de nombreuses expériences.

I. — *Des métaux propres à la fabrication des bouches à feu.* Pour qu'un métal soit convenable pour fabriquer une bouche à feu il faut qu'il possède:

1° Une ténacité suffisante, pour que, sans exiger des dimensions énormes, il puisse résister aux pressions engendrées par l'expansion des gaz; le poids, croissant avec les dimensions, aurait bientôt atteint la limite au delà de laquelle l'arme cesserait d'être transportable, et se trouverait complétement inutile. On se trouve ainsi réduit, en ne tenant pas compte des métaux précieux, aux trois métaux ou alliages: FER, BRONZE, FONTE; en les rangeant par ordre de ténacité. Nous laissons de côté l'acier dont nous parlerons séparément plus loin.

La pression nécessaire à la rupture par centimètre carré est en atmosphères, pour les trois métaux ci-dessous:

Fer.	Bronze.	Fonte.
4200atm	2600atm	1200atm. Les densités
sont: 7,70	8,626	7,03.

2° Une dureté assez grande, pour que la pièce ne soit pas promptement détériorée par l'action intérieure des gaz, et surtout les frottements et les chocs du projectile dans l'âme de la pièce.

La dureté ne suit nullement l'ordre des ténacités: ainsi la fonte a, sous ce rapport, le premier rang; par conséquent, les chocs et les compressions qui auront lieu dans l'intérieur de l'âme ne peuvent avoir aucun effet sensible sur la fonte. Cet effet sera un peu plus considérable, quoique faible, pour le fer, et enfin, il sera très-notable, et une cause de détérioration rapide dans le cas de l'emploi du bronze. L'ordre des duretés est donc: fonte, fer, bronze.

La différence de ces effets est telle que le logement du boulet (c'est-à-dire l'impression que fait le projectile dans la bouche à feu par suite de l'échappement des gaz par le vide que le projectile laisse nécessairement à la partie supérieure, qu'on appelle le vent) dans une pièce en fonte ne dépasse pas, après un long usage, 4 ou 5 points, ce qui ne produit pas grand inconvénient; tandis qu'il est de 2 à 3 lignes, au bout de 6 à 700 coups, dans les meilleures pièces de campagne en bronze tirées à boulets sphériques roulants (c'est-à-dire sans être garnis de sabots de bois ou de carton, calottes demi-sphériques qui détruisent le vent), ce qui met celles-ci hors de service, en rendant leur tir trop incertain, outre qu'elles seraient bientôt complétement détruites par les ricochets intérieurs, si on continuait à s'en servir.

3° Un mode d'éclatement qui ne soit pas dangereux pour les soldats. En effet, si par l'usure ou l'emploi d'une charge trop forte une pièce en fer ou en bronze ne peut résister, la génératrice rectiligne, suivant laquelle s'exerce la plus grande pression, devient une ligne de rupture; celle-ci commence à l'intérieur tend à s'accroître, et à cause de la malléabilité des parois, ceux-ci cédant, la pièce s'ouvre sans donner d'éclats.

Dans une pièce en fonte, au contraire, s'il se forme une pareille fissure, soit par des causes semblables, soit par une oxydation intérieure ou un défaut du métal en un point, l'action des gaz contre les parois de la fissure fait éclater le métal qui ne saurait s'allonger, et il est projeté en éclats, comme cela arrive pour les projectiles creux; nous devons donc considérer le fer et le bronze comme satisfaisant seuls complétement à cette condition. L'inconvénient d'employer la fonte seule ne pourra être diminué qu'en choisissant la fonte de la meilleure qualité, et en lui donnant des épaisseurs bien supérieures à celles rigoureusement nécessaires, afin de diminuer les chances d'explosion.

4° Le moindre prix possible.

La valeur que représente l'artillerie d'une nation étant énorme, il y a grand avantage à avoir des pièces qui coûtent le moins possible, ou, si l'on veut, à avoir, pour la même dépense, la plus nombreuse artillerie possible. L'ordre de valeur est *fonte, fer, bronze.*

Le bronze est de beaucoup le plus cher, et la différence de prix pourrait compenser des frais de fabrication un peu compliqués, s'il s'agissait de le remplacer par la fonte et le fer.

5° Un approvisionnement qui puisse croître facilement avec les besoins.

A ce point de vue l'avantage est encore au fer et à la fonte sur le bronze.

II. — *Du métal convenable dans chaque cas.* Nous pouvons maintenant déterminer le métal qu'on doit employer pour les divers genres d'armes.

Fusils. La condition importante étant celle d'une grande légèreté pour une grande résistance, et le fer se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forgeant aisément à de petites épaisseurs, le canon d'un fusil devra évidemment être en fer.

Canons de côte. Le nombre des canons de côte étant très-grand, on ne pourrait les faire en bronze à cause de la dépense, puisqu'ils représenteraient un capital énorme; on sera donc obligé de les faire en fonte. Les inconvénients de la fonte seront ici les moindres possibles, puisque les pièces ne devant pas être transportées peuvent avoir des poids considérables. Le frettage avec des cercles d'acier, qui joue un grand rôle dans la fabrication d'Armstrong, offre de nouvelles ressources pour améliorer cette fabrication.

En Amérique, on a obtenu des pièces en fonte de très-bonne qualité en refroidissant rapidement le noyau intérieur, après la coulée, au moyen d'une circulation d'eau.

Canons de siége et de campagne. Ces canons, qui doivent être d'un déplacement facile, surtout ceux de campagne, se sont faits longtemps seulement en bronze, dont l'emploi offre toute sécurité, mais qui ne sont pas d'une durée suffisante, car ils peuvent se trouver usés au milieu d'une campagne. La difficulté d'éviter ces inconvénients est très-grande; on a proposé, à bien des reprises différentes, des canons en fonte. Les Suédois, se confiant dans l'excellence de leurs fontes de fer, et contraints par l'économie, les ont adoptés; mais ce système doit être rejeté à cause du danger d'éclatement des pièces qui, même avec trop peu d'épaisseur, sont encore trop lourdes, lorsque la mobilité fait la force de l'artillerie de campagne. On peut admettre cette solution pour l'artillerie servant à la défense des places fortes.

Le fer est le métal qui paraît remplir le mieux la plupart des conditions qu'exigent les canons de campagne. On n'est arrêté que par une difficulté de fabrication que les progrès de l'industrie feront certainement disparaître, disais-je ici dès 1845; cette prédiction est réalisée aujourd'hui.

Dans tous les musées d'artillerie on voit d'anciennes pièces, pour la plupart construites en barres de fer incomplétement réunies par des cercles. Nous allons indiquer comment les progrès de l'industrie du fer et les découvertes de la science ont rendu possible un genre de fabrication dont la difficulté dépassait autrefois les moyens de fabrication dont les ateliers disposaient.

III. — *Canons en fer.* Dans son grand ouvrage sur la fabrication des canons, Monge dit: « Que, par sa grande ténacité, le fer est sans contredit le métal qui convient le mieux à la fabrication des bouches à feu. » Il cite d'anciens essais qui ont réussi, et rapporte qu'une pièce, laissée fort longtemps sur les remparts, n'était pas oxydée profondément, et seulement aux soudures des barres rapportées dont elle était formée.

Monge est tellement partisan des pièces en fer, qu'il regrette que le temps ne lui permette pas de tenter une semblable fabrication.

Une tentative d'une fabrication de canons en fer fut faite en 1813; une compagnie, dite compagnie Étienne, proposa d'en construire. Voici comment Gassendi en décrit la fabrication.

Sur un tube formé comme un canon de fusil, c'est-à-dire formé avec une plaque assez mince, dont les bords avaient été rapprochés au marteau, on a soudé au marteau successivement des bandes de fer recouvrant ce tube, et qui amenaient le canon à la grosseur convenable. Puis on l'a alésé au calibre, et on a adapté à ce manchon une culasse en fer à vis, qu'on a soudée à sa place avec de la soudure d'argent, considérée comme la meilleure des soudures.

On fit une pièce de 8 qui avait 1 pouce 10 lignes d'épaisseur à la lumière, et 9 lignes à la naissance de la tulipe. Elle ne pesait que 529 kilogrammes. L'épaisseur était bien supérieure à celle strictement nécessaire.

Elle résista très-bien aux épreuves.

Gassendi trouve à ces pièces les inconvénients :

1° De détruire promptement les affûts par la longueur du recul, de gêner les troupes par cette longueur. Il eût donc fallu augmenter le poids de la pièce.

2° D'altérer les portées par l'oxydation continuelle de l'âme. Cet effet est probablement beaucoup exagéré, car les canons de fusil servent bien longtemps avant d'être détruits par cette cause. En tout cas, ce ne peut être un obstacle bien sérieux dans l'état actuel de la science, car il serait bien aisé d'employer quelque procédé de préservation.

3° D'affaiblir le moral du canonnier, parce qu'il craint que ces pièces n'éclatent.

Nous n'admettons pas que ces pièces puissent éclater d'une manière dangereuse, comme les pièces en fonte, étant faites avec un métal aussi ductile que l'est le fer de bonne qualité. On voit en effet, chaque jour, les canons de fusil crever, mais non éclater; il nous semble qu'en écrivant ceci Gassendi a confondu le fer fondu et le fer forgé. Il ajoute que les soudures (et surtout celle de la culasse) peuvent, pour un léger défaut, faire naître des fissures qui, en s'agrandissant, peuvent retenir le feu et causer des accidents. Il est certain que ce mode de fabriquer la culasse est vicieux; quant au forgeage du tube, il n'expose guère à un pareil inconvénient.

C'est par un procédé analogue que le problème a été résolu pour des canons se chargeant par la culasse, pour les canons Armstrong, qui ont été adoptés, avec un enthousiasme un peu exagéré, par le gouvernement britannique. Nous analyserons ici cette fabrication, qui est montée à Wolwich de manière à donner des produits qui sont des merveilles d'exécution.

Canons Armstrong. Préoccupé de l'idée de produire une rotation nécessaire pour obtenir un tir à longue portée par l'emploi de projectiles allongés (voyez BOULETS TOURNANTS, *Complément*), et aussi, et même à un trop haut degré, de celle d'obtenir un forcement absolu, ce qui ne correspond qu'à une économie de poudre de faible importance, Armstrong a adopté le chargement par la culasse, en employant un projectile cylindrique recouvert de plomb, qui, creusé par l'extrémité des rainures hélicoïdales de la pièce, les remplit complétement et produit la rotation.

La fabrication de ces canons se compose de celle de l'âme proprement dite et de celle d'une enveloppe destinée à la renforcer. L'âme en fer forgé est formée de plusieurs tronçons; chacun de ceux-ci est fait à part, avec une barre de section carrée enroulée en hélice serrée, que l'on chauffe au blanc soudant et que l'on soude au marteau-pilon.

Ce procédé, très-ancien, est celui employé depuis longtemps pour le forgeage des canons des fusils de luxe, dits à rubans. En 1847, MM. Pétin et Gaudet ont proposé un procédé analogue pour fabriquer des canons en fer forgé, et ils opèrent de même depuis longtemps pour faire des roues de wagon et de locomotive, qui ne présentent pas de joints de soudure dans les plans passant par l'axe, ni dans celui de joints plus ou moins inclinés sur la tangente à la circonférence, avec ou sans coin de soudure, comme on le faisait auparavant.

L'enroulement du fer en hélice a l'avantage de ne présenter de joints de soudure et de chances de défauts que dans des plans à peu près perpendiculaires à l'axe ou très-peu inclinés sur cet axe, ce qui atténue la probabilité d'éclatement selon des plans méridiens. On attribue à ce mode de fabrication la propriété de n'exposer le fer qu'à des efforts exercés dans le sens de la longueur de ses fibres.

Après avoir formé le nombre de manchons nécessaires pour l'âme d'un même canon, on les chauffe successivement au blanc, et on les soude l'un sur l'autre.

Armstrong, après avoir ainsi préparé l'âme de ses ca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nons sous la forme d'un cylindre, la fait tourner avec beaucoup de précision et l'enveloppe de longs anneaux ou manchons parfaitement alésés, que l'on place à chaud autour du premier et du second renfort. En se refroidissant, les anneaux se serrent contre l'âme et lui apportent un surcroît de résistance.

Le cercle du second renfort, qui correspond à l'emplacement des tourillons, est entaillé pour ménager un logement à l'anneau qui porte ces tourillons et qui est forgé à part.

Toute cette fabrication du canon est exécutée avec le plus grand soin et avec une précision remarquable; la résistance présentée par les manchons rapportés est très-grande, et le tir ne les ébranle pas comme on eût pu le croire; mais elle est très-délicate et très-dispendieuse, sans offrir les avantages que l'on peut, à beaucoup moins de frais, obtenir d'une âme en acier fondu, aujourd'hui que des aciers d'une très-grande ténacité se fabriquent couramment et à bon marché, comme nous le dirons ci-après.

La difficulté de forger la culasse n'existe pas dans le canon Armstrong, qui est fermé par un obturateur mobile introduit par une entaille verticale à la partie supérieure et maintenu par une énorme vis. Nous avons décrit ce système en détail à l'article BOULETS TOURNANTS du *Complément*. Disons, en passant, que cet obturateur en cuivre, pressé à plat sur l'extrémité du tube, n'a pas la forme convenable. Une bonne fermeture exige un long bouchon, qui ne puisse laisser passer les gaz que par un petit intervalle, ce qui diminue singulièrement leur force vive, lors de l'explosion à la surface de fermeture. Il serait facile de donner cette forme à l'obturateur Armstrong, en le complétant par un bouchon saillant placé à son centre.

Ce genre de bouches à feu n'ayant pas suffi, toutefois, pour obtenir des effets de choc extraordinaire, pour percer les cuirasses des navires, l'inventeur est revenu à des pièces à culasse fixe, et le marteau-pilon a fourni le moyen de souder aisément aux tubes une masse propre à former la culasse. Il n'en résulte pas une solution complète du problème, surtout au point de vue de la modération du prix; il reste toujours l'assemblage des manchons et surtout des tourillons, qu'on peut craindre, pour la moindre imperfection, de voir désorganisé par le tir de la pièce. De plus, la bouche à feu est toujours trop légère; elle a un recul très-gênant et détruit bientôt son affût, comme on l'a reconnu pour le canon Armstrong de campagne.

IV. *Canons en fonte et en fer.* — On a cherché plusieurs fois à profiter des propriétés du fer, qui le rendent éminemment propre à former l'âme des bouches à feu. On avait établi autrefois, à l'arsenal de Strasbourg, des canons qui étaient de véritables canons en fer, d'épaisseur insuffisante s'ils avaient été isolés. Ils étaient renfermés dans des canons en bronze portant les tourillons et ayant les formes extérieures ordinaires.

On voit qu'ainsi la liaison à l'affût est bien établie, car ce n'est réellement que dans des pièces obtenues par fusion qu'on peut espérer assembler solidement et simplement des parties en relief, comme les tourillons.

On n'a cependant pas pu employer ces canons, parce que, comme on aurait pu le prévoir, étant formés de deux métaux différents et de dilatations différentes, il s'est bientôt produit une séparation complète entre ceux-ci, de telle sorte que le bronze ne contribuait en rien à la résistance de la pièce, et que, bientôt, les battements du boulet eurent occasionné des battements de la pièce en fer, qui ôtèrent toute exactitude au tir. Ce moyen s'était cependant concilié, *à priori*, grand nombre de suffrages; car si, comme nous venons de le dire, la partie extérieure paraît convenablement formée de métal fondu, l'âme était obtenue dans les meilleures conditions avec un métal forgé possédant beaucoup de dureté et de ténacité. Mais il n'est pas possible d'éviter les différences d'élasticité, de dilatation, des deux métaux sensiblement différents; leur juxtaposition ne peut subsister, parce qu'il y a changement brusque dans les vibrations rapides produites lors du tir, en passant de l'un à l'autre, d'où résulte bientôt la dislocation. Il y a, au contraire, une foule de composés intermédiaires entre le fer et la fonte: si, par conséquent, ceux-ci se succédaient d'une manière continue, l'âme pourrait être en fer forgé, l'extérieur en fer fondu, en satisfaisant aux conditions les plus avantageuses sous tous les rapports, sans qu'on puisse rien craindre des effets d'élasticité ou de dilatation. En effet, il ne pourra jamais y avoir de séparation brusque entre deux couches, qui n'auront que des différences de composition infiniment petites. Il y aura continuité dans les différences de dilatation comme dans les variations des substances.

Les produits qui se succèdent ainsi sont: le fer, le fer aciéreux, l'acier, la fonte blanche, la fonte grise. Le fer ne contient pas de charbon, le fer aciéreux en contient des traces, l'acier, de 0,60 à 1,50 p. 100, la fonte blanche, généralement de 2 à 4 p. 100, la fonte grise, de 3 à 7. Il existe une série continue du fer forgé au fer fondu.

Voici comment on peut utiliser ces données.

Un tube en fer d'assez grande épaisseur, fermé ou non fermé, étant forgé, ce que l'emploi du marteau-pilon rend facile aujourd'hui, nous le remplirions à l'intérieur d'argile; puis nous le placerions dans une grande caisse en argile réfractaire remplie de poussier de charbon, et nous disposerions le tout dans un four à cémentation. En un mot, nous fabriquerions un véritable acier de cémentation sur la surface extérieure; et on sait qu'il est aisé de cémenter une barre de fer, en y faisant pénétrer le charbon jusqu'à une profondeur voulue. On aura ainsi, d'une manière continue, du fer à l'intérieur et de l'acier à la surface.

A l'aide d'une haute température, on pourra, dans une seconde opération, fondre la surface ou l'amener près du point de fusion, car c'est précisément ainsi que se fabrique l'acier fondu. Pour cela, établissons la pièce par deux points d'appui au centre d'une espèce de moule dont la forme se rapproche, autant que possible, de celle d'un moule de canon, d'une part, au moyen d'une barre de fer enfoncée dans l'argile placée dans l'âme, de l'autre, au moyen d'une petite tige en fer faisant partie de la pièce de fer de la culasse, et ayant les plus petites dimensions possibles. Si on couvre la pièce d'un corps vitreux parfaitement neutre et qu'on produise une très-grande chaleur, la surface en acier très-carburé se fondra. Si maintenant on fait couler dans la caisse de la fonte en fusion, obtenue dans un fourneau à réverbère communiquant, la fonte entourera la surface en fusion, et il se formera à la surface de jonction un composé intermédiaire entre l'acier et la fonte employée.

Après un long refroidissement du tout, on aura une masse d'où il sera aisé d'obtenir, vu la forme convenable donnée à la caisse et au moyen de l'alésoir et du tour, une pièce qui satisfera, ce nous semble, à toutes les conditions.

Restons-en là de la description d'un procédé que nous croyons utilisable pour l'artillerie des places. En effet, la soudure par simple immersion du fer dans la fonte a réussi dans plusieurs fabrications, est bien plus facile à obtenir que nous ne l'avons supposé ci-dessus, n'exige pas tant de complications, et c'est là une solution tellement simple et économique qu'elle vaudrait grandement la peine d'être essayée. Nous trouvons dans l'industrie une vérification incontestable de cette facilité. En effet, l'exploitation de cette nature de produits est devenue une fabrication importante sous le nom de produit mixte, entre les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mains de l'ingénieux créateur de cette industrie, M. Verdié de Firminy (Loire).

Le produit mixte s'obtient par la réunion d'un noyau en fer que l'on enveloppe d'acier fondu, dans les conditions convenables pour que le soudage entre les deux métaux soit complet. A cet effet, le fer est porté dans un four à réverbère au rouge blanc, puis placé dans une lingotière de forme convenable, qui laisse tout autour l'espace nécessaire pour que la chemise d'acier ait l'épaisseur voulue. En ayant soin de saupoudrer le noyau de fer de borax, l'union des deux métaux est parfaite, et la pièce peut être étirée et supporter sans se désunir toutes les façons ultérieures d'une pièce de forge. L'industrie des chemins de fer consomme aujourd'hui une grande quantité de ces produits, des bandages de roues notamment.

Il est aisé de reconnaître que la texture des pièces, ainsi fabriquées, passe insensiblement de celle de l'acier à celle du fer, comme si dans la zone de contact le fer du noyau s'était cémenté en partie aux dépens des molécules d'acier les plus voisines.

Le danger de cette fabrication est, par un chauffage trop prolongé, qu'il faudrait limiter au strict nécessaire et qu'il y aurait sans doute avantage à produire rapidement avec une flamme non oxydante, de changer le fer à nerf (bien moins l'acier doux) en fer à grain cristallin, bien moins résistant.

V. *Canons en bronze.* Le bronze, qui a longtemps été seul employé pour les pièces de campagne, qui offre l'avantage de ne pas éclater, aura toujours de nombreux emplois dans l'artillerie. Il semblait même qu'il n'y avait plus à chercher un nouveau métal pour les bouches à feu, depuis que Piobert avait montré qu'on pouvait diminuer considérablement l'usure qui résultait du logement du boulet, en allongeant la charge. L'inertie du projectile est vaincue par une pression suffisante dès qu'elle se produit, pression bien moindre que celle qui prend naissance en un instant quand la charge remplit exactement la chambre. La recherche de très-longues portées, c'est-à-dire l'emploi de charges très-fortes, pouvait seule conduire à employer un métal plus résistant que le bronze, pour un même poids.

Le bronze des canons est un alliage de 8 à 11 d'étain fin pour 100 de cuivre, proportions que l'expérience a fait reconnaître les meilleures. Le moulage des canons se fait en terre et non en sable. Ce dernier est plus simple et plus économique, mais le moule est trop compacte pour livrer aux gaz une facile issue, en sorte que la pièce sort du moule toute criblée de soufflures; cependant on peut réussir par ce procédé, et nous avons vu toutes les pièces en bronze, moulées en sable, à la fonderie impériale de Vienne.

Le moulage comprend deux opérations:

1° La confection du modèle;

2° Le moulage du moule ou chemise.

Le modèle de la culasse se coule en plâtre; celui du corps de la pièce est en terre; on le construit autour d'un axe en bois appelé *trousseau*, qu'on place horizontalement. On l'enveloppe de tresses de paille, qu'on recouvre ensuite de terre, de manière à atteindre les dimensions voulues, indiquées au moyen d'un *gabarit* ou planche découpée selon la section extérieure de la pièce. Les anses se moulent en cire; les tourillons faits en plâtre sont rapportés au moyen de grands clous.

Le modèle étant terminé, on l'enduit d'une couche de cendre de tanneur qui facilite plus tard sa séparation avec la chemise dont on va l'entourer.

Cette chemise est formée de terre qui est un mélange d'argile, de sable, de crottin de cheval et de brique pilée. On la forme de trois couches superposées, de 2 pouces d'épaisseur environ chacune, qu'on fait successivement sécher. La chaleur fait fondre la cire des anses qui s'écoule par des trous qu'on a ménagés et qu'on a soin de boucher. On retire ensuite les tourillons, puis le moule entier, en faisant sortir d'abord le trousseau qui est de forme conique en frappant sur son extrémité, puis les nattes et couches de terre en partant de l'intérieur. On descend cette chemise dans la fosse pour la faire sécher au moyen d'un feu de bois.

Le moule de la culasse se fait à part; on le place dans un panier de bronze, ou mieux de fer, dont le bord est garni de crochets également en fer. Ces crochets viennent se réunir, au moyen de fils de fer, avec des crochets semblables que porte l'armature en fer, au moyen de laquelle on consolide le moule du corps de la pièce, armature qui consiste dans un treillage en bandes de fer qui enveloppe la pièce suivant ses méridiens et ses parallèles.

Le moule de la culasse étant cuit avec du charbon de bois se place dans un trou au fond de la fosse, on place sur lui bien verticalement le moule de la pièce.

On remplit alors la fosse de terre bien damée et on procède au coulage.

Le bronze est fondu dans des fourneaux à réverbère contenant des quantités suffisantes de métal. La nécessité d'obtenir un titre voulu, et la facile oxydation de l'étain, obligent à forcer un peu les doses de ce métal, et surtout à faire en sorte que la flamme qui lèche le métal soit désoxydante. Au reste, pour obtenir un alliage homogène (le défaut d'homogénéité, et par suite la formation d'alliages d'étain fusibles à la température engendrée par l'explosion de la poudre est la grande difficulté de cette fabrication), on a grand soin de ne pas employer seulement des métaux neufs, mais pour la majeure partie des alliages déjà formés; nous avons exposé à l'article ALLIAGE les avantages de cette méthode.

Le compte s'établit comme il suit, en tenant compte des déchets. Pour 100 kilogr. de bouches à feu terminées, on emploie:

22,20	cuivre neuf.
3,30	étain neuf.
80,40	vieilles pièces.
116,20	débris de fabrication.
222,10	bronze total mis en fonte.

Le bronze étant bien liquide, les canaux qui doivent le conduire du fourneau aux moules, ainsi que ceux-ci, étant bien séchés, on procède à la coulée du métal. Les canons se coulent en siphon, c'est-à-dire que le canal de coulée plonge dans la partie inférieure de la pièce. Le métal en fusion arrive ainsi par ce canal dans le moule qu'il remplit tranquillement en chassant l'air devant lui. Le métal fondu n'a pas seulement la longueur de la pièce, il est plus long; d'où résulte au-dessus une masse appelée *masselotte*. Son utilité n'est pas douteuse dans la pratique. Elle a pour but, dit le savant M. Dumas: « 1° de fournir au retrait que prend le métal fluide en se solidifiant; 2° de remplacer le métal qu'absorbent les terres et celui qui est employé à remplir l'excès de capacité produit par l'élargissement graduel des moules; 3° de retarder le refroidissement dans la partie supérieure de la bouche à feu, ce qui rend le tassement du métal plus régulier; 4° de recevoir les gaz et les corps étrangers que leur légèreté spécifique force à s'élever. »

Le bronze phosphoreux renfermant un peu de phosphore, dont l'effet paraît être d'assurer une désoxydation parfaite des métaux, semble avoir donné de bons résultats comme résistance.

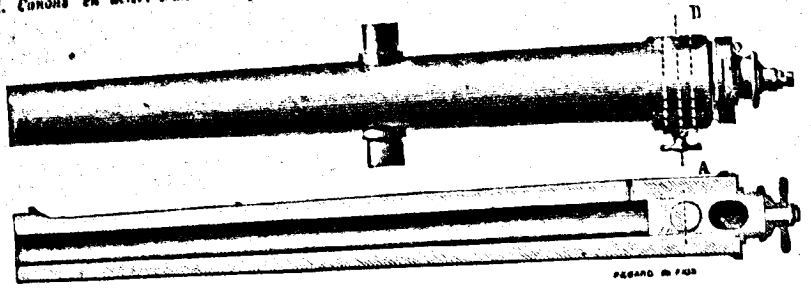
Nous avons discuté, à l'article ALLIAGES, les causes qui rendent si difficile le moulage par fusion d'un alliage métallique, de manière à obtenir un produit homogène, un composé qui soit partout le même. C'est à approcher de ce résultat que tendent toutes les méthodes que nous venons d'indiquer, c'est là la difficulté

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BOUCHES A FEU.

lle et encore incomplétement résolue de la fonte des uches à feu en bronze.

VI. *Canons en acier.* Dans ce qui précède nous pagne prussien, type dont toutes les artilleries d'Europe sont obligées de se rapprocher, comme il a fallu imiter le fusil se chargeant par la culasse à cause de la rapidité



Canon de campagne prussien.

n'avons parlé que du fer, de la fonte et du bronze, les seules substances qui, jusque dans ces dernières années, pouvaient être employées pour la fabrication des bouches à feu. Nous n'avons pas parlé de l'acier, ce corps qui a la ténacité du fer, unie à une dureté plus grande, mais qui, jusque dans ces derniers temps, était d'un prix élevé et ne s'employait que pour des pièces de faible dimension telles que les outils tranchants. Mais les progrès de la fabrication de l'acier, en apprenant à le travailler en grandes masses, à produire à plus bas prix des fers aciéreux fusibles, des aciers doux doués de moindres qualités au point de vue de la dureté après la trempe que les aciers de cémentation, mais d'une plus grande ténacité, ont conduit à la solution complète du problème qui nous occupe.

Nous avons parlé à l'article ACIER de la fabrication d'acier puddlé de Krupp qui a construit et fabriqué d'énormes bouches à feu en acier fondu et martelé à l'aide d'un puissant marteau-pilon. Toutes les conditions que nous avons indiquées pour une fabrication parfaite se trouvent ici réunies: dureté de la surface de l'âme pour éviter les logements du boulet, ténacité très-grande pour pouvoir utiliser de fortes pressions, poids convenables pour limiter le recul et la fatigue de l'affût. Les propriétés de ténacité de l'acier puddlé doux et celles du métal homogène de Bessemer, qui se rapproche tant du fer d'excellente qualité liquéfié par la chaleur, sont précisément celles qui manquaient à l'acier de qualité supérieure pour la fabrication des bouches à feu, et son travail, combiné au besoin avec les procédés de frettage pour les pièces de grande dimension, dont le martelage *à cœur* devient bien difficile et dont le métal demeure par suite toujours cassant, est venu fournir une nouvelle et excellente solution d'un problème difficile, inutilement poursuivie antérieurement.

L'acier Krupp, qui a été employé jusqu'à ce jour pour la confection des bouches à feu des canons rayés résiste d'une manière parfaite à l'usure et aux frottements. Dans des essais faits pour la constater on cite une pièce rayée de 4 belge ayant tiré plus de 6000 coups, dont les parois intérieures étaient en parfait état, ainsi que les rayures.

Il a été vérifié que la détérioration d'une pièce rayée en bronze d'un système semblable, commence après 6 ou 700 coups et qu'elle est en fort mauvais état vers 12 à 1500 coups. En outre, le bronze se comporte mal au frottement du plomb. S'il se grippe, le plomb s'attache après les rayures et les encrasse, et le résultat de ce deuxième défaut est de diminuer la précision du tir.

Nous décrirons ici le type capital, le canon de campagne prussien, type dont toutes les artilleries d'Europe sont obligées de se rapprocher, comme il a fallu imiter le fusil se chargeant par la culasse à cause de la rapidité du tir dans les deux cas. Ses dimensions permettent de réussir sa fabrication à l'aide des moyens dont disposent la plupart de nos grandes usines.

La figure représente cette bouche à feu et son système de fermeture, dû à l'officier suédois Warendorf, dit à verrou. L'obturateur cylindrique est une fermeture agissant, en raison de sa longueur, soutenant parfaitement le culot en carton de la cartouche. Il est percé transversalement de deux trous elliptiques, l'un pour l'alléger, l'autre pour recevoir le verrou. Le verrou transversal entre et sort facilement; il est terminé comme l'obturateur par une vis dans laquelle viennent s'engager un plateau avec chaînette et une poignée pour la manœuvre. Le plateau limite l'entrée et la chaînette la sortie du verrou.

L'obus est un projectile Armstrong revêtu d'une chemise en plomb ayant quatre cordons saillants, coulés au diamètre de l'âme. Les rayures en saillie du canon tracent leurs sillons dans ces cordons en plomb par l'effet de la pression des gaz de la poudre. L'obus chemine donc dans l'âme du canon à frottement très-dur et très-forcé, sans aucun battement possible contre les parois de l'arme, avec lesquelles il coïncide hermétiquement.

La supériorité des pièces se chargeant par la culasse sur celles se chargeant par la bouche repose sur plusieurs causes, qui sont: d'abord, comme pour les fusils, la plus grande rapidité du chargement, moins sensible toutefois à cause du temps perdu par suite des effets du recul; ensuite le facile emploi d'obus faisant explosion par percussion, lorsque leur pointe touche le but, projectile qu'il serait dangereux de pousser au fond de la pièce à l'aide du refouloir. L'avantage de ces obus est qu'on en vérifie facilement la portée et par suite qu'on arrive rapidement à un tir très-précis; toutefois c'est quelquefois un inconvénient qu'ils ne puissent éclater avant de rencontrer un obstacle. Enfin, surtout ces pièces permettent d'obtenir de très-grandes portées par suite de l'emploi de l'acier, métal doué d'une très-grande résistance et permettant, par suite, l'emploi de charges très-fortes, agissant sur des projectiles tournants. Le forcement absolu du métal recouvert de plomb, nous le répétons, ne se rapporte qu'à une économie de poudre de peu d'intérêt, et les projectiles à tenon pourraient parfaitement bien être employés dans ces bouches à feu.

Canons de gros calibre. Pour les canons de gros calibre, quelle que soit la qualité de l'acier (le plus doux possible), la puissance du martelage devient insuffisante, un frettage avec de forts cercles d'acier est indispensable. Les frettes sont mises à chaud, chauffées à une température constante dans un bain de plomb, et pla-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cées sur des parties tournées exactement à la même dimension. Ces frettes sont des cercles qui reportent sur leur résistance à l'extension la pression qui tendrait à faire éclater une substance cristalloïde comme la fonte. Le prix de semblables bouches à feu est très-élevé à cause des difficultés très grandes du travail.

En résumé l'acier doux, fusible comme la fonte, plus résistant et presqu'aussi doux que le fer, est un admirable métal pour la fabrication des pièces bouches à feu dont les dimensions ne sont pas énormes, auquel on ne peut reprocher que d'être d'une fabrication coûteuse à cause de sa dureté même.

VII. *Canons en fonte frettés en acier.* Le travail de fabrication des pièces en fonte est semblable à celui des pièces en bronze; l'important est d'employer d'excellentes fontes au bois, comme celles de Suède ou du Berry, et d'augmenter leur résistance en s'opposant à la rupture en éclats qui offre de grands dangers.

Les frettes en acier, employées dans ce but, ont permis d'obtenir, en fonte, des bouches à feu d'une grande puissance.

Ce fut vers 1861 que l'on essaya en France, dans un but d'économie bien entendue, de rayer les anciens canons de fonte de gros calibre et de les cercler de frettes en fer ou en acier puddlé.

Ces canons, ainsi frettés, étaient devenus des pièces très-puissantes, il est vrai, mais incapables d'abord d'entamer les plaques de blindages que l'on fabriquait, déjà alors, sur des dimensions considérables.

Le problème soulevé était donc le suivant: « Était-il possible de rendre les canons de fonte cerclée capables de supporter les plus fortes charges de l'artillerie moderne? » C'est ce qui a été réussi à la fonderie de canons de la marine.

Les minerais employés à Ruelle sont des hématites; les combustibles, du charbon de bois; chaque coulée y est essayée, analysée et classée avec soin. Le mélange employé se compose de 40 p. 100 de fonte de Ruelle, de 20 p. 100 de vieux canons, 40 p. 100 de fontes diverses donnant au mélange la texture désirée. La fusion se fait au réverbère. Le métal, fondu aussi rapidement que possible, est soustrait à l'action de la flamme et coulé très-chaud dans une poche où il se débarrasse, par le repos, des scories ou des oxydes qu'il pourrait entraîner. Les canons sont coulés creux et refroidis très-lentement.

La Suède possède une fonderie de canons renommée par l'excellence de ses produits, celle de Finspong, où l'on coule un grand nombre de pièces pour les arsenaux suédois, pour la Russie, pour la Hollande et pour d'autres pays.

M. le général Neuens, en Belgique, fit couler, en 1868, un canon en fonte du même calibre qu'un gros canon d'acier de Krupp, pour être éprouvé comparativement. Il fut cerclé de frettes en acier fondu, fabriquées à la Société John Cockeril, à Seraing. Le canon en fonte est sorti victorieux de cette épreuve.

Tandis que l'âme du canon d'acier a subi un accroissement sensible après un tir de 500 coups, et que, par suite, la fatigue des frettes allait en croissant, le canon de fonte est resté absolument intact.

Nous croyons qu'on peut conclure de l'expérience acquise qu'il n'y a pas, pour les canons de grande dimension, à sortir de la voie suivie aujourd'hui, c'est-à-dire que l'on doit continuer à les fabriquer avec des fontes de très-bonne qualité, par les meilleurs modes de coulage, et les munir de frettes puissantes en acier doux bien martelé, frettes comprimant la fonte de manière qu'elle ne puisse dépasser sa faible limite d'élasticité.

Travail mécanique des bouches à feu. Les bouches à feu étant coulées pleines (pendant longtemps on les a coulées avec un noyau, mais on ne pouvait obtenir ainsi la perfection de calibre qui résulte d'une opération mécanique), on les termine à l'extérieur au moyen du tour et de la ciselure pour les parties qui ne peuvent être tournées; à l'intérieur, à l'aide de machines à forer. Ces machines consistent en un foret (de diamètre inférieur au calibre de la pièce) qui s'enfonce dans la pièce, à laquelle on imprime un mouvement de rotation. Puis on arrive au calibre exact au moyen d'une série de forets, dont le dernier, qui est un véritable alésoir, a exactement le calibre de la pièce. Les rayures se font à l'aide de machines tout-à-fait analogues au tour à fileter les vis.

Nous n'avons pas cru nécessaire de donner de grands détails sur ces opérations; on trouvera aux articles FERCER, ALÉSOIR, TOUR A FILETER, etc., les principes qui doivent guider dans ce travail.

BOUGIES, CHANDELLES (*angl.* candles, *all.* kerzen). On distingue les chandelles de suif faites à la baguette ou moulées, les bougies de cire, les bougies de blanc de baleine et les bougies stéariques. Nous allons successivement passer en revue la fabrication de ces divers produits.

CHANDELLES DE SUIF. On emploie de préférence, pour la fabrication des chandelles, un mélange de graisse de mouton et de graisse de bœuf; cette dernière seule est trop molle et trop fusible, et les chandelles qu'on en préparerait couleraient trop facilement. D'un autre côté, la graisse de mouton seule donnerait des chandelles très-fermes et de belle apparence, mais qui donneraient moins de lumière à cause de leur faible teneur en oléine. La graisse brute, séparée autant que possible des matières étrangères, telles que le sang, etc., est d'abord hachée menu, puis fondue. Plus la graisse que l'on emploie est fraîche, mieux cela vaut, parce que les membranes qu'elle renferme entrent très-aisément en putréfaction, et lui communiquent une odeur repoussante que l'on ne peut enlever entièrement dans les opérations subséquentes. La fusion s'opère ordinairement dans des chaudières en cuivre ou en fonte, chauffées à feu nu. Il faut prendre garde d'élever trop la température, de peur que les tissus membraneux ou cellulaires, restés dans la graisse, n'éprouvent un commencement de décomposition, et ne donnent au suif une teinte brunâtre, qui serait persistante. On obtient un suif de beaucoup plus belle apparence en fondant la graisse au bain-marie; il est vrai que, par ce procédé, il reste dans les résidus une quantité notable de suif que l'on ne peut en retirer par expression, mais que l'on peut saponifier très-aisément, de manière à n'en rien perdre, lorsque la fabrique de chandelles est liée à une fabrique de savons. Aussitôt que le suif mis dans la chaudière est fondu, on y plonge une passoire, dans laquelle se rassemble le suif purifié que l'on y puise à mesure.

On purifie souvent encore le suif ainsi obtenu en le refondant avec de l'eau, puis y projetant quelques poignées de sel marin et d'alun concassé, quelquefois aussi un peu de tartre, et séparant, à l'aide d'une écumoire, les impuretés qui viennent former une écume à la surface du bain. On puise ensuite le suif purifié, et on le laisse refroidir lentement dans un panier très-serré, où il s'égoutte. Avant de l'employer à la fabrication des chandelles, on le refond à une basse température et mieux au bain-marie, et on le maintient fondu, avant de s'en servir, jusqu'à ce que toutes les parties aqueuses qu'il renferme encore soient entièrement volatilisées; sans cette précaution, on obtiendrait des chandelles qui couleraient aisément et brûleraient en pétillant.

Lefèvre recommande de purifier le suif en le fondant avec de l'acide nitrique très-étendu, qui dissout complétement les pellicules membraneuses, de sorte qu'il ne reste aucun grumeau, mais ce procédé est trop coûteux. *D'Arcet*, dans le même but, prescrit l'acide sulfurique; mais lorsqu'on fond à feu nu du suif avec de l'acide sulfurique, on court beaucoup de risques de lui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner une teinte rouge brunâtre, et d'obtenir un produit qui coule très aisément.

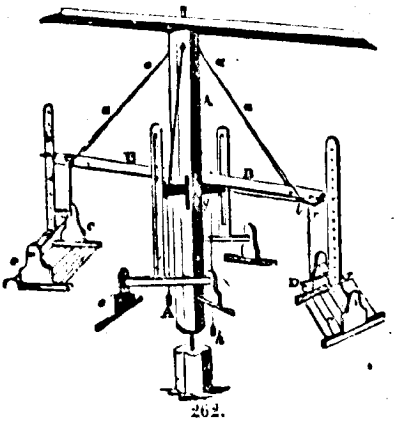
Récemment *Trischler* a recommandé le procédé suivant, dans lequel il emploie aussi l'acide sulfurique : on met dans une cuve de bois, doublée en plomb, 400 kilogr. de suif brut concassé, et on l'arrose avec un mélange de 25 kilogr. d'eau et de 1k,25 d'acide sulfurique ordinaire, puis on y fait arriver pendant 2 heures, en agitant constamment, un courant de vapeur d'eau produit par une chaudière particulière. On laisse ensuite reposer pendant une demi-heure, on enlève le suif en l'égouttant aussi bien que possible et on le transvase dans une autre cuve, puis on fait écouler les eaux acides et les résidus dans une cuve placée près de la première et à un niveau inférieur. On remet alors de nouveau le suif dans la première cuve doublée en plomb, on y ajoute le quart de son poids d'eau, et on y fait arriver un courant de vapeur d'eau. 10 minutes après que l'eau est entrée en ébullition, on ajoute, par 100 kilogr. de suif, 1 kilogr. de sel marin, et autant de potasse en dissolution, marquant 5° à l'aréomètre, qu'il est nécessaire pour neutraliser exactement l'acide libre. La réussite de l'opération dépend essentiellement de l'exactitude de la neutralisation, ce à quoi on arrive aisément en s'aidant de papier de tournesol et de curcuma ; le premier ne doit plus être rougi et le second ne doit plus passer au brun. Enfin on transvase le suif purifié dans une chaudière en plomb, chauffée extérieurement à la vapeur, et on l'y maintient fondu jusqu'à ce que toute l'eau qu'il renfermait se soit évaporée ; il est alors propre à la fabrication.

D'après l'inventeur, ce procédé s'applique avec avantage à toutes les graisses, et fournit un suif qui donne immédiatement des chandelles aussi blanches que celles obtenues avec du suif ordinaire, et qui ont subi un blanchiment de trois mois.

Quant aux mèches, elles se font en coton. Elles doivent être bien démêlées, légèrement torses et parfaitement sèches; on les coupe ordinairement de longueur, à la main.

La fabrication des *chandelles à la baguette* est théoriquement une opération très simple, qui consiste à plonger, verticalement et à plusieurs reprises, les mèches dans le suif fondu, jusqu'à ce que la chandelle ait acquis la grosseur voulue. On donne d'abord aux mèches la rigidité convenable en les trempant quelques instants dans le bain de suif, puis les étendant ou les roulant entre les mains ou sur une table. Au-dessus de la chaudière où l'on fond le suif est un châssis circulaire, suspendu à une corde passant sur une poulie fixée au plafond, et équilibré par un contre-poids qui sert à le manœuvrer; on y suspend les mèches, et en appuyant légèrement sur le châssis, on amène les mèches à plonger dans le bain de suif fondu à une température aussi basse que possible ; lorsqu'elles se sont recouvertes d'une couche ayant une épaisseur suffisante, on laisse remonter le châssis par l'effet du contre-poids, et on laisse refroidir à l'air les chandelles pendant un temps assez long, pour que, par une nouvelle immersion dans le bain, elles puissent se recouvrir d'une nouvelle couche de suif. On continue ainsi jusqu'à ce que les chandelles aient acquis la grosseur voulue.

La fig. 262 représente une disposition un peu différente adoptée à Edimbourg. Au milieu de l'atelier est placé un axe vertical A A, mobile autour de deux tourillons. Il est percé vers le milieu de sa hauteur de 6 ouvertures rectangulaires, que traversent autant de barres en bois B, B,.., mobiles chacune autour d'axes fixés dans l'arbre vertical A A; il résulte de cette disposition 12 bras, dont 4 seulement sont représentés dans la figure. A chacun de ces bras sont suspendus, par des tiges verticales, les châssis c, c,.., chacun desquels porte 6 ficelles tendues horizontalement; enfin on enfile 18 mèches sur chaque ficelle; ce qui fait 1,296 mèches pour toute la machine. Quoiqu'il semble un peu lourd, cet appareil se manœuvre aisément par un seul ouvrier, qui amène successivement les divers châssis au-dessus du bain de suif pour les y plonger. Les 12 bras étant d'égale longueur et à peu près également chargés, se tiennent naturellement dans une position horizontale; cependant, afin de prévenir toute oscillation pendant la rotation de l'appareil, les bras B, B, sont maintenus dans leur position horizontale au moyen de petites chaînes a, a, fixées par l'une de leurs extrémités à la partie supérieure de l'axe A A, et se terminant, par l'autre bout, à de petites plaques carrées en bois b, qui sont engagées dans les encoches marquées c, sur les bras B, B. Lorsqu'il devient nécessaire d'incliner les bras pour faire plonger les mèches dans le bain de suif, l'ouvrier appuyant sur le levier D, qui communique par une chaîne avec le petit levier e placé dans une rainure du bras B, chasse hors de l'entaille c, la petite pièce de bois carrée dont nous avons parlé, et rend ainsi au bras la liberté de ses mouvements. Lorsque l'ouvrier relève le châssis, la petite pièce de bois est ramenée dans l'encoche c, au moyen d'une chaîne g, qui passe sur deux poulies de renvoi fixées sur l'arbre B, et est terminée par un contre-poids h. La fabrication marche ainsi d'une manière continue, d'autant plus que le refroidissement des chandelles est considérablement accéléré pour leur déplacement continuel au milieu de l'air qui les entoure. Le nombre de révolutions que doit faire la machine dépend évidemment de la grosseur des chandelles à fabriquer et de la température qui règne dans l'atelier, lorsque cette température est modérément fraîche, il suffit de 2 heures pour préparer les mèches et fabriquer une charge de chandelles, de sorte que, dans ce cas, un seul ouvrier peut, en 12 heures de travail, fabriquer 7,776 chandelles.



262.

La fabrication des *chandelles moulées* est encore plus simple, s'il est possible, que celle des chandelles à la baguette. Les moules dont on se sert ordinairement, dits en étain, sont composés de 1 p. d'étain et de 2 p. de plomb, et sont formés de deux parties : le corps du moule, cylindre creux, poli avec soin à l'intérieur et ouvert par les deux bouts; le chapeau du moule, portant une ouverture pour laisser passer la mèche. Ces deux parties sont soudées ensemble, et présentent alors la forme d'une chandelle. 8 à 12 de ces moules, et même souvent beaucoup plus, suivant leurs dimensions, sont fixés verticalement sur la table de coulée, de manière à ce que l'extrémité ouverte de ces moules soit placée en haut et au niveau du fond d'un canal pratiqué dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

table de coulée. On introduit ensuite les mèches dans les moules au moyen d'un fil de fer recourbé en crochet, on les attache par l'un des bouts avec de petits morceaux de fils de fer qui reposent en travers sur l'orifice supérieur du moule; l'autre bout sortant à la partie inférieure par le trou qui le termine, il est facile, au moyen d'un petit coin en bois, de maintenir la mèche dans un état de tension convenable.

Alors, après avoir fixé les mèches au milieu des moules, on fait fondre le suif à une très douce chaleur, on le verse dans un vase en fer blanc muni d'une anse et d'un goulot, et l'on remplit successivement tous les moules. Si l'on coulait le suif trop chaud, outre l'inconvénient qu'il aurait de sauter, on ne pourrait retirer les chandelles des moules qu'avec beaucoup de difficulté. On attend toujours avant de couler qu'il se soit formé une légère pellicule au-dessus du suif en fusion. Aussitôt après la coulée, et avant que le suif ne se soit entièrement solidifié, on tire par les deux bouts, afin de les redresser, les mèches qui se courbent presque toujours un peu pendant la coulée. On laisse ensuite la solidification se terminer dans un endroit aussi frais que possible; on enlève l'excédant de suif à l'aide d'une spatule en bois, puis on retire des moules les bougies qui se sont détachées des parois par suite du retrait dû au refroidissement. Nombre de fabricants blanchissent leurs chandelles, en les exposant à l'action réunie de l'air et de la rosée, pendant quelque temps, avant de les mettre en paquets; cette opération devient superflue, dans les grands établissements, lorsque les chandelles sont gardées en magasin pendant quelques mois avant d'être livrées au commerce, ce qui du reste devrait toujours avoir lieu, parce qu'en vieillissant elles acquièrent une blancheur suffisante et une qualité supérieure.

L'addition d'une petite quantité de cire au suif augmente la consistance de la chandelle en la rendant d'ailleurs d'un usage plus agréable; elle porte alors le nom de *chandelle économique*. Quelquefois au lieu de fondre le suif avec la cire, on fond cette dernière substance à part et on l'introduit dans le moule à chandelles, qu'on roule horizontalement jusqu'à ce que ses parois en soient partout recouvertes. On remplit le vide à la manière ordinaire par une mèche et du suif fondu, et l'on obtient ainsi une chandelle entièrement revêtue de cire dont l'aspect est agréable et le prix peu élevé.

D'après quelques auteurs, la fécule de marron d'Inde ajoutée au suif dans des proportions convenables, donnerait une chandelle bougie qui réunirait presque toutes les qualités de la cire.

BOUGIES DE CIRE. Ces bougies sont rarement moulées, parce que la cire se détache difficilement des moules, et parce qu'il se forme très aisément des boursouflures dans l'intérieur de la bougie. Pour la fabrication des cierges, on suspend ordinairement les mèches dans une position verticale, et après avoir ramolli la cire dans de l'eau chaude, on la prend par petites portions, et on l'applique sur les mèches que l'on roule entre les mains. Pour les bougies ordinaires, on suspend les mèches à un châssis circulaire placé au-dessus d'un bain de cire, fondue dans une chaudière en cuivre étamé, et on verse successivement, à l'aide d'une cuillère, la cire fondue au sommet des mèches le long desquelles elle coule et se solidifie. Lorsque les bougies ont atteint la grosseur voulue, on les enlève et on leur donne la régularité convenable en les roulant sur une table en noyer poli, au moyen d'une planche rectangulaire également en noyer poli.

Malgré les difficultés que présente le moulage des bougies de cire, ce procédé ne doit pas être mis de côté car celles ainsi fabriquées se distinguent par l'éclat de leur surface et la régularité de leur forme.

BOUGIES DE PARAFFINE. D'une origine minérale, ces bougies ne le cèdent à aucunes autres pour leur transparence et la beauté de la lumière qu'elles fournissent. Voy. PARAFFINE.

BOUGIES DE BLANC DE BALEINE. Le blanc de baleine ou spermaceti tient le premier rang parmi les diverses matières employées à la fabrication des bougies, tant à cause de la blancheur et de la transparence qu'il possède que par la pureté et l'éclat de la lumière qu'il produit. On obtient les plus belles bougies en employant le blanc de baleine raffiné que l'on trouve dans le commerce en grosses masses parfaitement incolores, à texture cristalline et fortement lamelleuse, et nullement grasses au toucher. On trouve aussi dans le commerce une seconde sorte de spermaceti, grasse au toucher, et qui fournit des bougies d'une qualité bien inférieure, que l'on reconnaît aisément à ce qu'elles présentent moins de transparence et une moindre sécheresse au toucher.

La confection des bougies transparentes de blanc de baleine n'offre aucune difficulté, et n'exige qu'une grande pureté de la part des matières premières, parce que les moindres impuretés deviendraient visibles au milieu de la masse transparente de la bougie. Si l'on employait le blanc de baleine pur, on obtiendrait des bougies à texture lamelleuse et très cassantes; on détruit cette texture en ajoutant au blanc de baleine 3 p. 100 environ de son poids de cire; il va sans dire que l'on doit choisir à cet effet la plus belle cire qu'on puisse se procurer. Toutes les bougies de blanc de baleine se font par moulage; le blanc de baleine doit être assez chaud pour que les parties qui se sont solidifiées sur les parois des moules, lors de la coulée, se liquéfient de nouveau, de telle sorte que les moules présentent le même aspect que s'ils étaient remplis d'eau claire. On atteint très facilement la température convenable, que l'on détermine au mieux à l'aide d'un thermomètre; l'expérience a démontré que lorsque les moules n'étaient pas trop froids, une température de 60° C suffisait dans la plupart des cas. Le blanc de baleine éprouve, par le refroidissement, un retrait considérable qui produit dans chaque bougie et autour de la mèche un vide qui s'étend quelquefois jusqu'à la moitié de sa hauteur; on remplit ultérieurement ce vide en y coulant du blanc de baleine, puis on achève de laisser refroidir les bougies, on les retire des moules, et on leur donne le dernier poli, en les roulant entre les mains, avant de les mettre en paquets.

Si l'on veut obtenir des bougies colorées, on agite le blanc de baleine fondu avec une très faible quantité de matières colorantes broyées à l'huile. Les matières les plus convenables à employer sont : pour le rouge, le carmin; pour le jaune, le chrômate de plomb; et pour le bleu, le bleu de Prusse. La proportion extrêmement minime de ces substances, qu'il suffit d'ajouter à la bougie pour lui donner une teinte agréable à l'œil, n'a aucune influence sur la couleur et l'éclat de la lumière.

BOUGIES STÉARIQUES. La fabrication de ces bougies, qui a pris dans ces derniers temps une extension considérable, a commencé à Paris, et est due à MM. *Gay-Lussac* et *Chevreul*, qui prirent aussi à ce sujet un brevet en Angleterre, dès le mois de juin 1825. Les différentes opérations en usage pour la fabrication de la bougie stéarique peuvent se subdiviser comme il suit :

1° *Saponification*, qui consiste à combiner les acides gras contenus dans le suif avec de la chaux, et à éliminer ainsi la glycérine;

2° Pulvérisation des savons de chaux;

3° Décomposition des savons de chaux par de l'acide sulfurique étendu;

4° Lavage des acides stéarique, margarique et oléique rendus libres, d'abord avec de l'eau légèrement acidulée, puis à l'eau pure;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

5° Moulage et cristallisation des acides gras mis en liberté,

6° Découpage des masses cristallines;

7° Pressage à froid;

8° Pressage à chaud;

9° Épuration des acides solides, d'abord par de l'eau acidulée, puis par de l'eau pure;

10° Fonte et moulage des bougies;

11° Blanchiment des bougies;

12° Polissage, mise en paquets des bougies.

La saponification s'exécute dans une cuve en bois légèrement conique, que l'on chauffe au moyen d'un tube annulaire placé dans le fond de la cuve, et qui lance de la vapeur par une multitude d'orifices; un agitateur composé d'un axe vertical situé au milieu de la cuve et armé de bras, reçoit son mouvement d'un manége ou de tout autre moteur. La cuve est recouverte d'un couvercle fermant exactement. On y introduit d'abord le suif déjà purifié par une première fusion, puis on ajoute peu à peu, pour 100 parties pondérables de suif fondu, un lait de chaux formé de 12 parties de chaux vive éteinte dans 100 parties d'eau, en ayant soin de mettre l'agitateur en mouvement continuel. Dans les premiers moments, le suif et le lait de chaux forment ensemble une masse homogène et pâteuse, dans laquelle le suif existe encore en grande partie sans altération. Au bout de deux heures, l'eau commence à se séparer du savon calcaire, qui renferme encore une quantité fort notable de chaux libre et de suif non décomposé, et possède la consistance d'une pâte molle et graisseuse. On arrête alors ordinairement l'agitateur, mais on n'en continue pas moins l'ébullition. Le savon calcaire devient de plus en plus dur, et finit par acquérir une cassure tout à fait terreuse. On arrête alors le courant de vapeur, et on laisse reposer pendant quelques heures, la cuve étant aussi bien fermée que possible, puis on soutire le liquide surnageant qui entraîne en dissolution la glycérine, et on extrait de la cuve les stéarate, margarate et oléate de chaux sous la forme de savons très durs. La durée totale de la saponification pour 500 kilogr. de suif, est de six à huit heures.

La chaux nécessaire à la saponification des acides gras contenus dans le suif, doit être aussi caustique que possible; elle doit s'éteindre complétement sans laisser de grumeaux. Sa qualité a beaucoup d'influence sur la beauté de l'acide stéarique que l'on obtient; ainsi lorsqu'elle contient beaucoup d'oxyde de fer, une partie notable de cet oxyde passe dans le savon calcaire, se combine avec l'acide stéarique qui le retient fortement, et lui communique une teinte jaunâtre qu'il est extrêmement difficile de lui enlever économiquement; aussi faut-il toujours choisir la chaux la plus blanche et la plus pure possible. Avant d'employer le lait de chaux, on le passe au travers d'un tamis métallique très fin qui retient tous les grumeaux.

On pulvérise les savons calcaires obtenus entre des cylindres broyeurs, ou sous une meule verticale.

Les cuves à décomposition par l'acide sulfurique sont analogues aux cuves de saponification, doublées en plomb, et ont les mêmes dimensions. On y agite les savons pulvérisés avec de l'eau froide, de manière à en former une bouillie claire, puis on y ajoute 25 kilogr. d'acide sulfurique étendu préalablement de 100 litres d'eau, pour le savon calcaire provenant de la saponification de 100 kilogr. de suif. On laisse ensuite reposer le tout, souvent pendant plusieurs jours en l'agitant fréquemment; l'acide sulfurique s'empare de la chaux pour former du sulfate de chaux, et met en liberté les acides gras. On fait ensuite arriver dans la cuve un courant de vapeur d'eau, le sulfate de chaux se sépare et se précipite au fond, tandis que les acides gras se fondent et viennent surnager le liquide; on les soutire au moyen d'un robinet placé au-dessus du dépôt, dans une cuve de bois, semblable aux précédentes, chauffée à la vapeur et doublée en plomb. Dans cette cuve, les dernières traces de chaux sont enlevées au moyen d'une solution très étendue d'acide sulfurique. Une seconde chaudière, en tout semblable à la première, est destinée à opérer un deuxième lavage à l'eau pure.

Au lieu de décomposer à froid le savon calcaire, on peut effectuer cette opération à chaud, ce qui l'abrége considérablement; mais on obtient par ce procédé un produit moins pur, parce que les parties savonneuses englobées dans les acides gras fondus, s'attaquent moins complétement que lorsque toute la matière est réduite à un état très divisé. L'oxyde de fer surtout, lorsqu'il y en a dans le savon, se sépare beaucoup mieux à froid qu'à chaud.

Les trois acides gras, privés autant que possible de chaux et d'acide sulfurique, sont enfin soutirés dans des moules en ferblanc, de la contenance de 30 litres à peu près, et un peu évasés afin que le pain d'acide solidifié en sorte plus facilement.

Ces pains, dont le poids est d'environ 25 kilogr., présentent à l'œil une teinte jaune, quelquefois assez intense, et ont encore une apparence désagréable; cela tient à l'interposition d'acide oléique liquide entre les lames cristallines d'acides stéarique et margarique; on le sépare par la presse hydraulique. Avant d'y soumettre les acides gras, on les divise en fragments plus petits au moyen d'un couteau mécanique, ce qu'on peut d'ailleurs éviter en les moulant tout d'abord en plaques minces.

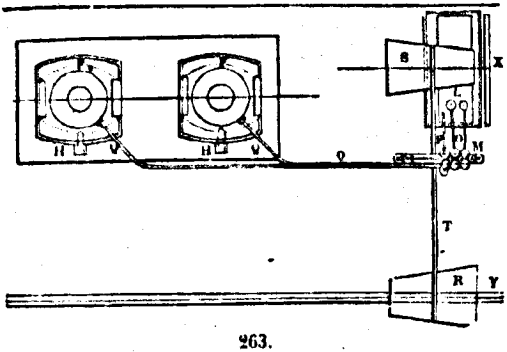
On introduit les acides gras, en couches minces, dans des sacs en forte serge, et on les soumet à froid à l'action d'une presse hydraulique verticale. Lorsqu'on a ainsi exprimé autant qu'il est possible l'acide oléique, on enlève l'acide stéarique mêlé d'acide margarique et d'un peu d'acide oléique, on les introduit dans de nouveaux sacs et on les presse à chaud, dans une presse hydraulique ordinairement horizontale et chauffée à la vapeur, où on achève ainsi de séparer la presque totalité de l'acide oléique.

La presse hydraulique employée pour exprimer à froid l'acide oléique, est représentée en plan fig. 263; la fig. 264 montre sa pompe d'injection et la fig. 265 en représente l'élévation; l'échelle est de 1/80e. Les mêmes lettres se correspondent dans les trois figures.

A, A, sont deux presses hydrauliques; B, B, leurs châssis; C, C, les cylindres; D, D, les pistons; E, E, les plateaux; F, F, les récipients où se rend l'huile exprimée, G, G, les sacs de serge remplis de la matière que l'on veut presser, et séparés les uns des autres par des plaques de tôles percées de trous; H, H, ouvertures par lesquelles on retire l'huile, I, bâche où plongent les pompes; K, châssis qui maintient les pistons des pompes; L, deux pompes, une forte et une petite, servant à injecter l'eau dans les cylindres; M, châssis soutenant trois doubles branches N, garnies chacune de deux robinets, par le moyen desquels on peut arrêter ou envoyer à volonté l'eau des deux pompes ou d'une seule, vers l'une ou l'autre presse, ou vers les deux à la fois. Au commencement du travail on ne fait usage que de la plus forte pompe, et on termine avec la petite; ces branches servent à décharger les presses quand l'opération est finie; O, deux tuyaux allant des pompes aux branches; P, tuyau par lequel l'eau retourne des cylindres à la bâche I; Q, tuyaux conduisant l'eau des pompes aux cylindres; R, tambour de transmission du mouvement (il est conique et fixé sur l'arbre principal Y); S est un tambour également conique qui met les pompes en mouvement; T, courroie en cuir qui communique le mouvement de R à S; V, fourchette ou guide suspendu à la tige c, et qui sert à mettre en mouvement la courroie T; W, W, supports du tambour S; X, poulie montée sur l'arbre du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tambour S; Y, arbre principal, mû par une machine à vapeur ou tout autre moteur; Z, poulie folle, con-



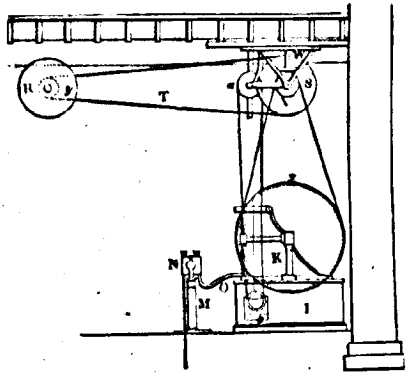
263.

duite par la poulie X; sur l'axe de S sont deux cames qui font mouvoir les pistons des deux pompes L a, est

une poulie placée à l'extrémité d'une longue vis horizontale qui porte à son extrémité une poulie *a*, sur la gorge de laquelle passe une courroie sans fin, qui vient passer sur une seconde poulie *b* portant un contre-poids, qui la maintient tendue. Suivant que l'ouvrier tire cette courroie dans un sens ou dans l'autre, il fait tourner la poulie *a*, et par suite avancer ou reculer la vis horizontale qui traverse la fourchette V, et la fait glisser à volonté sur le tambour S

Nous donnerons tous les détails de la presse hydraulique à chaud à la fin de ce paragraphe.

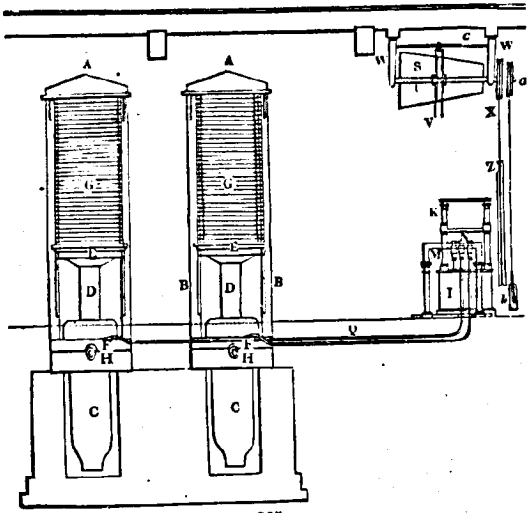
L'acide stéarique ainsi obtenu est ensuite fondu au bain-marie, puis filtré dans une chausse en laine; il ne forme plus que les 0,45 du suif employé. On le porte alors dans les cuves d'épuration, chauffées à la vapeur, où on le lave d'abord avec de l'acide sulfurique très étendu pour séparer les dernières traces de chaux, puis ensuite à l'eau pure pour enlever tout l'acide sulfurique. Il est alors propre à la fabrication des bougies.



264.

La température à laquelle le moulage des bougies stéariques doit s'effectuer, est une chose assez difficile à atteindre; est-elle trop élevée, les bougies acquièrent une texture cristalline, un aspect désagréable et beaucoup de fragilité; est-elle trop basse, le refroidissement dans les moules devient trop rapide et les bougies se fissurent aisément.

Des fabricants anglais ont combattu cette tendance à la cristallisation, en ajoutant à l'acide stéarique une certaine quantité d'arsenic; mais ce procédé est très nuisible à la santé tant des ouvriers que des consommateurs, et doit être toujours rejeté. Un moyen encore plus efficace et tout à fait inoffensif, consiste dans l'addition d'une petite quantité de cire. Cependant ce dernier procédé est lui-même employé seulement dans très peu de fabriques, parce que l'on a remarqué qu'en ayant soin d'échauffer d'abord modérément les moules, un peu au-dessous du point de fusion de l'acide stéarique, et laissant refroidir ce dernier, jusqu'à ce qu'il ait acquis une consistance pâteuse, avant de le couler, on obtenait des bougies d'acide stéarique pur tout à fait exemptes de défauts, et c'est ainsi que l'on prépare actuellement la presque totalité de celles que l'on trouve dans le commerce.



265.

On emploie des mèches tressées, disposition ingénieuse qui évite la nécessité de moucher continuellement ces bougies, car les mèches de la bougie stéarique charbonnent au moins autant que celles des chandelles. Par suite du tressage, la mèche, au fur et à mesure que la bougie se brûle, se détourne et se recourbe légèrement, de sorte que l'extrémité va se consumer dans le blanc de la flamme. Cette précaution de tresser les mèches ne suffit pas, car la faible quantité de chaux que retient toujours l'acide gras engorgerait les mèches et diminuerait leur capillarité, si on ne prenait pas la précaution de les plonger dans une dissolution d'acide borique; cet acide forme avec la chaux un borate qui se fixe dans la mèche et qui se convertit en une perle fusible qu'on voit briller à l'extrémité de la mèche après sa complète combustion.

On blanchit ces bougies par l'exposition à la lumière et à la rosée; enfin on les polit en les frottant vivement avec un morceau de drap humecté d'alcool ou d'ammoniaque, puis on les réunit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cinq par cinq pour en faire des paquets de 1/2 kilog. qu'on livre au commerce.

Revenons sur le pressage que nous avons vu être insuffisant à froid.

Pressage à chaud. — Lorsque la presse verticale paraît avoir épuisé son action, on enlève les sacs, on les vide, et on procède au pressage à chaud. Cette opération a lieu également au moyen d'une presse hydraulique puissante disposée horizontalement, comme l'indique la fig. 226. L'eau, arrivant par le tuyau R, vient dans le cylindre C agir sur la tige T, qui presse les

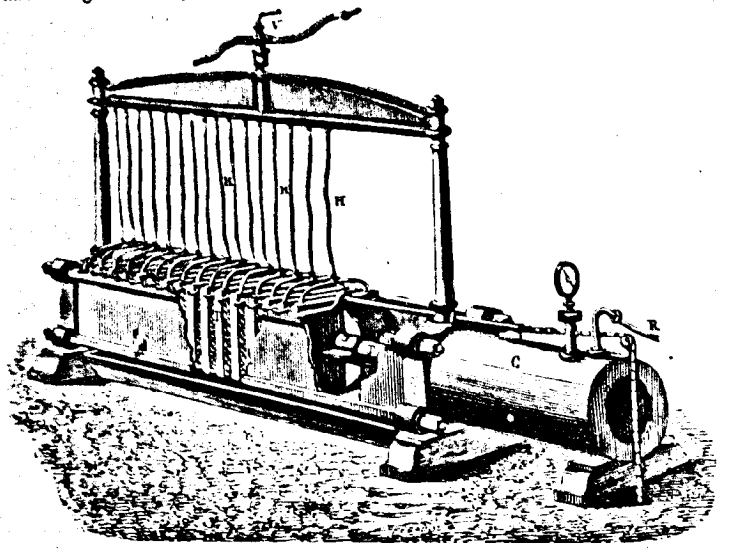


Fig. 226.

substances placées dans la bâche de la presse. Les pains fournis par le pressage à froid sont cassés aux dimensions convenables, puis placés entre deux tissus très-solides en crin, désignés sous le nom d'*étreindelles*. Celles-ci sont séparées par des plaques creuses en fonte dans lesquelles peut circuler la vapeur arrivant du générateur par le tuyau V. La communication entre le tuyau V et les plaques chauffées s'établit habituellement au moyen de tubes articulés; mais nous avons vu substituer avec avantage à ce système l'emploi de tubes en caoutchouc de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, disposés ainsi qu'on le voit en H, H. Pour faire usage de cette presse, on place, à la suite de chaque plaque P, une étreindelle; puis, lorsque la bâche se trouve remplie, on ouvre le tuyau V, de manière à échauffer les plaques. Pour y parvenir, la température doit d'abord être portée jusqu'à 70° environ; mais il faut la modérer rapidement et la laisser retomber à 40°, et même 35°; en même temps, on fait agir doucement la tige T. Une séparation plus profonde des acides se produit alors : l'acide oléique, entraînant une notable quantité d'acide stéarique, s'écoule par le fond de la bâche, et de là dans des caniveaux qui le conduisent à des réservoirs spéciaux. Lorsque l'opération est terminée, on démonte la presse, et l'on trouve dans chaque étreindelle un pain sec et dur d'acides gras qui en ont épousé la forme, et dont la surface seule est souillée par quelques traces de matière organique et d'oxyde de fer provenant des appareils. La quantité d'acides solides ainsi obtenus peut, selon M. Dumas, s'élever jusqu'à 45 p. 100 du poids du suif; mais généralement elle ne dépasse pas 40 p. 100.

Les presses à chaud offrent, dans leur forme, des différences assez notables. Ainsi, dans quelques usines, on se contente d'introduire dans la bâche des plaques pleines, et de faire arriver la vapeur par des tubes longitudinaux percés de trous et placés à la partie inférieure. La bâche est garantie contre le refroidissement par une enveloppe de briques, et l'on recouvre le tout d'un vaste feutre. D'autre fois, la bâche est, de tous côtés, munie d'un double fond dans lequel on fait circuler la vapeur; quelquefois enfin, on n'emploie en aucune façon la vapeur, et l'on plonge simplement les plaques à chaque opération dans l'eau bouillante.

L'injection de la vapeur dans les plaques creuses, et même dans les presses à plaques pleines, présente l'inconvénient grave d'être d'une conduite difficile; aussi quelques fabricants se préoccupent-ils de substituer à la vapeur l'eau chaude comme moyen d'échauffement des plaques creuses. Cette manière d'agir paraît, *a priori*, devoir offrir de grands avantages; mais il semble que jusqu'à présent on n'ait pu se rendre complétement maître du procédé.

Au sortir de la presse à chaud, l'acide oléique se rend dans de vastes réservoirs disposés dans les caves; là on l'abandonne jusqu'à ce que, par le repos et le refroidissement, il ait laissé déposer une grande partie des acides solides qu'il renferme; on l'enlève alors en laissant le dépôt, puis on le remplace par un produit récemment préparé; lorsque le dépôt paraît suffisant, on filtre sur des chausses en feutre, puis on ramène aux presses la matière solide.

Amélioration des procédés de saponification par la chaux. — La saponification par la chaux fournit des produits supérieurs en qualité à ceux qu'on obtenait par le moyen de la potasse et de la soude proposées à l'origine; elle procure une grande économie, mais le sulfate de chaux provenant de la décomposition du savon retient de fortes proportions des acides gras, et comme la quantité de chaux nécessaire pour l'opération, 14 p. 100 environ, surpasse énormément celle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que ces acides exigeraient pour former des savons neutres, 5,6 p. 100, la perte s'accroît dans cette proportion, en même temps que celle d'acide destinée à saturer la base.

Il restait donc beaucoup à faire pour perfectionner cette industrie, et c'est par la combinaison d'une pression élevée avec l'action chimique qu'on y est parvenu.

James Hall paraît être le premier qui s'occupa de vérifier l'action d'une haute température exercée concurremment avec une haute pression sur des composés dont quelques-uns sont volatils.

On comprend facilement que, par leur action simultanée, une pression moindre, une moindre proportion de base et la présence d'un savon déterminent les mêmes effets que des actions plus puissantes déterminneraient séparément.

La fig. 267 représente l'appareil employé pour ce travail. A est la chaudière dans laquelle s'opère la saponification calcaire, H la cuve qui renferme les corps gras, que l'on fait fondre à l'aide d'un jet de vapeur, F celle qui renferme le lait de chaux, G l'entonnoir qui sert à l'introduction, E le tube qui introduit la

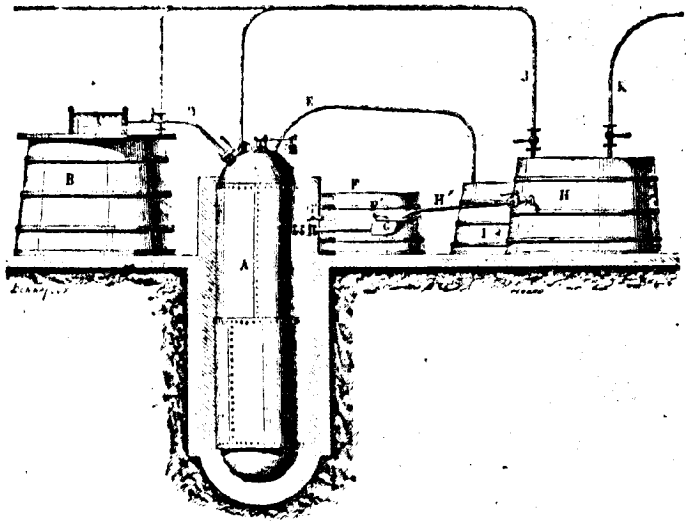


Fig. 267.

Cagniard-Latour, Faraday et postérieurement M. Berthelot, ont obtenu, par l'application de ce moyen, des résultats du plus haut intérêt que nous devons signaler.

C'est dans ces conditions qu'il a été démontré que l'*eau seule, à une pression de 10 atmosphères, peut transformer les corps gras en acides gras et en glycérine, comme le font la potasse et la soude même à la température ordinaire, la chaux à celle d'ébullition.*

Ces deux faits expliquent le mode d'action sur lequel est fondé l'important procédé que M. de Milly, le créateur de cette industrie, a rendu pratique, et dont les recherches de M. Pelouse sur l'action exercée par l'eau de savon sur les matières grasses pour les convertir en acides gras et en glycérine rendent parfaitement compte.

Dans une chaudière, où ils sont soumis à une pression de 8 atmosphères, à l'aide de la vapeur produite par un générateur, on introduit de l'eau, les matières grasses et *une proportion de chaux qui ne s'élève qu'à 2 p. 100 du poids de celle-ci, c'est-à-dire beaucoup moindre* que celle qu'exige la saturation des acides gras; la saponification est complète et s'opère chaque jour sur 6,900 kilogrammes de suif, en fournissant les résultats suivants :

Économie de temps, de main-d'œuvre, de corps gras, de combustible, de chaux, d'acide sulfurique, et production facile et économique de glycérine dont les usages se multiplient continuellement.

vapeur à la partie inférieure du mélange. L'opération est terminée en 8 heures.

Emploi du gaz sulfureux. L'utilité du gaz sulfureux, conduit dans les cuves pendant que la saponification calcaire s'y opère, pour rehausser la blancheur des produits et diminuer les déchets de la saponification des acides gras, est démontrée par l'expérience. M. Jacquelain, dans un rapport étendu à la Société d'encouragement, a fixé, d'après ses expériences, à 5 p. 100 l'économie qu'on obtient ainsi.

Fabrication par distillation. Une nouvelle industrie fort intéressante a été créée postérieurement à la saponification par les alcalis. Elle est fondée sur de nouveaux moyens d'extraire les acides gras, et s'applique à des matières impures qu'on ne pouvait traiter avantageusement par les procédés précédemment décrits. Ces matières sont notamment les graisses des eaux savonneuses, résidus des graissages et dégraissages des laines, les graisses d'os, les huiles de foie de morue, et surtout les huiles de palme et de coco que le commerce apporte en abondance des contrées orientales, etc.

Ces substances sont d'abord traitées à l'acide sulfurique, qui produit un dédoublement analogue à celui obtenu à l'aide de la saponification avec la chaux, c'est-à-dire qu'il se forme des acides doubles (acide *sulfoléique, sulfo-margarique, sulfo-stéarique*), le premier soluble dans l'eau froide, les deux derniers décomposés par ce liquide : tous trois sont décomposés par l'eau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BOUGIES.

bouillante, qui dissout l'acide sulfurique ainsi que la glycérine et laisse surnager les acides gras.

La décomposition par l'acide s'effectue dans une chaudière chauffée par la vapeur, et dans laquelle les matières sont mélangées par une agitation mécanique. L'opération dure douze à dix-huit heures. Pour 1000 kil. d'huile de palme, on emploie 450 kil. d'acide. Après un refroidissement partiel, on porte le mélange dans un récipient rempli d'eau qu'on porte à l'ébullition par un jet de vapeur. Les acides gras viennent surnager, et ce sont ces acides que l'on soumet à la distillation par un procédé particulier, c'est-à-dire en les entraînant par un courant de vapeur. A l'origine, on avait trouvé avantage à entourer la chaudière contenant les acides gras d'une espèce de bain de sable, ou dans un bain de plomb fondu. Quand la température approchait de 300°, on faisait arriver la vapeur dans le bain. Nous allons indiquer plus loin l'emploi qui a prévalu, de la vapeur surchauffée dans des appareils où elle ne peut atteindre des températures où les acides gras s'altèrent.

Nous donnerons d'abord sur la chaudière ou la cucurbite elle-même des détails indispensables pour comprendre ce qui se passe dans cette partie principale de l'appareil.

On voit les détails intérieurs de cette cucurbite indiqués par deux coupes verticales (fig. 268 et 269) suivant deux plans perpendiculaires l'un à l'autre; son petit diamètre est de 1m,53; son grand diamètre est de 2 mètres. Ce vase est formé de deux pièces en fonte : l'une inférieure, ou la chaudière, est exempte d'ajutage extérieur; la coupole, ou partie supérieure, est terminée par un col à large ouverture et bords rabattus IIII, sur lesquels se fixent, à l'aide de brides, rondelles et boulons, les bords également rabattus du

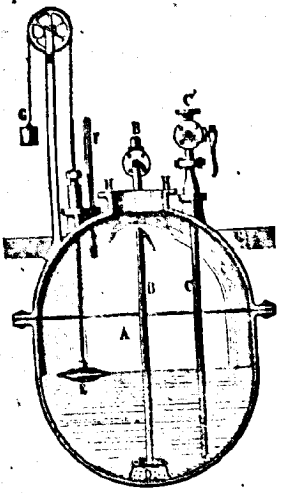


Fig. 268.

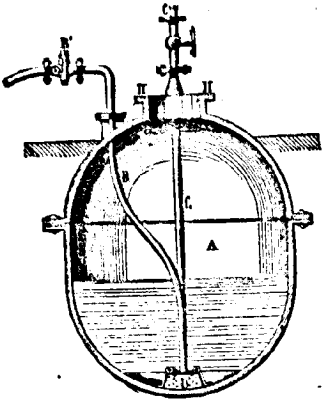


Fig. 269.

Vers la température de 300° et sous l'influence d'un courant de vapeur, la transformation des dernières portions de graisses neutres s'achève, les acides gras sont entraînés avec la vapeur et viennent se déposer dans le serpentin adapté à la chaudière.

Voici les rendements en acides gras, fournis par différentes matières traitées au moyen des procédés nouveaux ;

Résidus de graissage et dégraissage de laines.	0,50 à 0,55
Huile d'olive épaisse.	0,55 à 0,66
Huile de palme	0,70 à 0,80
Acide oléique des fabriques de bougies par saponification calcaire.	0,25 à 0,30

Les acides gras produits par ces réactions sont suivant les matières employées ou identiques avec les acides gras extraits par les alcalis, ou en diffèrent par des proportions d'oxygène ou d'hydrogène équivalentes à une certaine quantité d'eau, ce qui suffit pour expliquer les changements de propriétés physiques qui s'observent dans divers cas.

M. de Milly, le créateur de l'industrie des bougies stéariques, a encore attaché son nom à des progrès capitaux dans les procédés de distillation. Nous reproduisons ici partie de la description de ses appareils dont il a bien voulu fournir les éléments à M. Payen pour les *Annales du Conservatoire*. Nous lui emprunterons la description de l'appareil distillatoire tel qu'il est organisé dans sa fabrique que l'on peut citer comme modèle.

long col recourbé, en cuivre, indiqué sur la figure suivante. La chaudière et sa coupole sont solidement assemblées au moyen de boulons et d'écrous; ces deux parties peuvent être réparées isolément et remplacées de même lorsque l'une d'elles est détériorée. La cause principale de ces altérations et des dangers d'incendie qui peuvent en résulter a été supprimée chez M. Milly, en rendant la cucurbite tout à fait indépendante du foyer qui surchauffe la vapeur.

Sur la coupole de cette chaudière (*fig.* 268), un ajutage porte une botte à étoupes dans laquelle glisse, à frottement doux, la tige verticale du flotteur E; cette tige est soutenue à l'autre bout par une chaîne passant sur la poulie et reportant à l'extérieur les mouvements ou indications du flotteur qui sont signalés par les mouvements en sens contraire et les variations correspondantes dans la hauteur du contre-poids G.

Un thermomètre F, même figure, dont le réservoir est à l'intérieur, tandis que la tige graduée est partiellement engagée dans un ajutage spécial, montre au dehors les degrés de température qu'il importe de vérifier.

Le tube et le robinet CC servent à mettre la cucurbite en communication avec la bâche à serpentin, contenant les acides gras, lorsqu'on veut introduire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette matière grasse à distiller. Le tube à robinet extérieur B est terminé à sa partie inférieure par une capsule renversée D, percée comme une pomme d'arrosoir et fixée au fond de la chaudière; ce tube est destiné à diviser dans la cucurbite la vapeur surchauffée (de 290 à 300°), et à la forcer de sortir par un grand nombre de trous, de traverser ensuite la masse liquide, de façon à y maintenir une haute température, tout en offrant un espace sans cesse renouvelé, qui détermine la vaporisation des acides gras, les entraîne avec elle vers le col de l'alambic et les tubes réfrigérants ou condensateurs.

Il nous sera facile maintenant d'expliquer, à l'aide de la figure suivante, les relations entre la cucurbite dont nous venons de décrire les dispositions internes, et, d'une part, le serpentin disposé sous une voûte pour surchauffer la vapeur qui doit passer au travers des acides gras, d'une autre part la direction et les condensations successives de cette vapeur d'eau chargée des vapeurs d'acides gras.

La figure 270 montre la disposition générale de cet appareil distillatoire, comprenant trois parties bien distinctes isolées les unes des autres par deux gros murs de séparation, quoique les communications soient entre elles rendues à volonté parfaitement libres, ou, également à volonté, complétement interceptées. Les

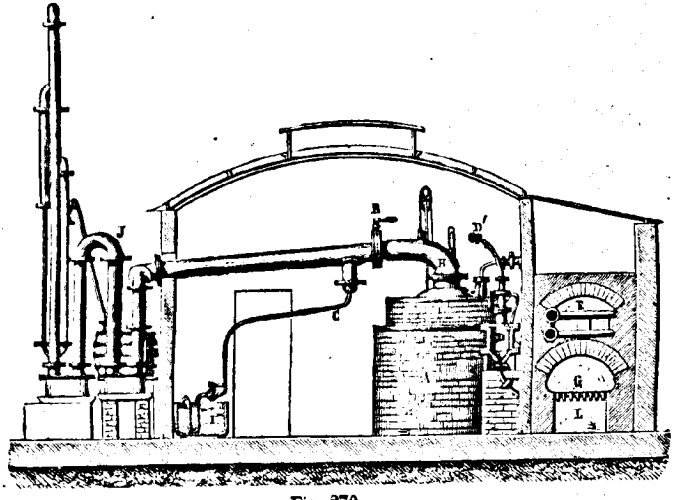


Fig. 270.

trois parties distinctes représentent : 1° le four à trois voûtes superposées EG, et le foyer; 2° la cucurbite et ses accessoires AHBCI, renfermée dans l'atelier central où se trouvent les robinets des tubes à matière grasse et à vapeurs simple et mixte; 3° le réfrigérant à air libre, entièrement au dehors des ateliers; ce réfrigérant est formé de longs tubes en cuivre recourbés en siphons; à sa suite le récipient ou citerne aux acides gras distillés placée sous un hangar.

Dans l'atelier principal, la cucurbite A, entourée de maçonnerie qui la préserve du refroidissement extérieur, est chargée, comme nous l'avons vu, de matière grasse (acidifiée, lavée, séchée à la température de 150°). On fait alors arriver par le tube D', en ouvrant le robinet spécial sur son trajet, la vapeur du générateur dans le cylindre purgeur D, où sont retenus les globules d'eau; la vapeur ainsi épurée passe dans le serpentin en fonte chauffé à 300° environ par le foyer G, dont la flamme parcourt successivement les espaces sous les voûtes GEF; à l'extrémité opposée du serpentin, la vapeur surchauffée passe par un tube engagé dans la maçonnerie aboutissant à un robinet dans l'atelier de l'appareil distillatoire; c'est en ouvrant ce robinet que l'on introduit la vapeur surchauffée dans la cucurbite, où elle se divise, par la pomme d'arrosoir, en une multitude de jets ou bulles traversant toute la matière grasse liquide et lui communiquant une température élevée à 290° environ. Ce courant multiple de vapeurs entraîne successivement les acides gras mélangés, et cela suivant l'ordre de leur volatilité (qui pour ceux de l'huile de palme est en ordre inverse du degré de solidification). Ces vapeurs grasses et aqueuses passent ensemble dans le col H de la cucurbite et son prolongement pour se rendre au réfrigérant extérieur. Sur leur trajet, les premières portions condensées de ces vapeurs rencontrent un large ajutage C par lequel le liquide s'écoule en suivant un tube qui les conduit vers une bâche I; arrivé là, le tube, comme le montre la figure, se termine en siphon renversé, ce qui permet l'écoulement du liquide dans cette bâche, sans que les vapeurs et les gaz puissent sortir. Un robinet, que l'on voit à la naissance du siphon, sert à intercepter l'issue, lorsque les premières parties condensées qui ont pu entraîner des projections sont sorties, et que dès lors il convient de séparer ces premiers produits impurs; ce qui s'écoule ensuite est dirigé dans le récipient général.

Les vapeurs engagées dans le long col H de la cucurbite se rendent au dehors de l'atelier dans un réfrigérant à l'air, formé de tubes de 20 cent. de diamètre, en cuivre, adaptés à brides sur les ajutages des bâches qui reçoivent tous les produits liquides de la condensation; ces produits s'écoulent par un tube collecteur dans le réservoir commun (placé sous un hangar clos), tandis que les gaz et vapeurs continuent de circuler en passant de bas en haut et de haut en bas alternativement, d'une branche à l'autre de chaque large siphon; l'avantage principal de cette disposition comparée avec les serpentins réfrigérants à l'eau, c'est que ceux-ci peuvent s'engorger, surtout au commencement de l'opération, si, la température de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'eau se trouvant inférieure au point de leur congélation, les acides gras qui distillent se figent dans les tubes et obstruent le passage, occasionnant une pression plus ou moins forte et des fuites avec leurs inconvénients et leurs dangers; les mêmes accidents se peuvent produire, si l'on renouvelle trop rapidement l'eau qui environne le serpentin; sans doute on parvient à éviter ces inconvénients par de simples précautions ou à l'aide d'un tube supplémentaire rectiligne, dont la température ne saurait s'abaisser au-dessous de 50°, et dont l'extrémité inférieure, plongeant dans la cuvette à trop plein, récipient des liquides condensés, ne laisse aucune issue aux vapeurs. Le réfrigérant à l'air est en tous cas préférable, puisqu'il n'oblige à aucune de ces précautions, et cependant la condensation des acides gras s'y effectue si bien que les tubes rétrécis des siphons, dans lesquels circulent les dernières portions des gaz et des vapeurs, ne donnent plus qu'un liquide aqueux en arrivant au tonneau l' indiqué dans la figure. Celui-ci sert donc de récipient au produit des dernières vapeurs condensées; quant aux gaz incondensables qui s'y rendent également, ils trouvent une libre issue par un troisième tube X, à plus large section, implanté sur le même couvercle et aboutissant à la cheminée qui dissémine dans l'atmosphère ces gaz avec la fumée.

La cucurbite de cet appareil se vide aisément, comme nous l'avons dit plus haut, en fermant la valve à papillon ouvrant la communication entre l'intérieur de la cucurbite et l'air extérieur par le tube à trois eaux habituellement abducteur des matières grasses, qui, muni alors d'une allonge, offre une issue au goudron liquide, dès qu'on laissant arriver la vapeur par le tube terminé en pomme d'arrosoir, la pression interne chasse aussitôt toute la matière fluide vers la nouvelle issue. Dans d'autres fabriques, la vidange s'effectue à l'aide d'un siphon à demeure; on peut quelquefois obtenir des acides gras distillés plus blancs en opérant cette vidange, sans attendre que le résidu soit épuisé, c'est-à-dire lorsque les 9 dixièmes ou les 95 centièmes du produit sont extraits; on laisse alors la température de la chaudière s'abaisser pendant quelques heures, puis on recharge l'alambic comme la première fois avec la matière grasse acidifiée lavée et séchée à 150 degrés. Après huit ou dix distillations semblables, on peut laisser épuiser la matière goudronneuse, puis la chasser au dehors par le siphon, à l'aide d'une injection de vapeur, enfin lorsqu'on veut nettoyer à froid la chaudière, on suspend les opérations pendant un jour, on ouvre dans cet intervalle de temps le trou d'homme en démontant le col de l'alambic et l'on effectue sans peine ce nettoyage. On a dû prendre le soin de fermer la vanne B, située sur le trajet du col de l'alambic, afin d'éviter la rentrée des gaz et vapeurs dans la cucurbite et dans l'atelier. Lorsque l'on a limité chaque distillation aux 0,9 ou 0,95 de la matière volatilisable les résidus non épuisés sont mis en réserve, et, après dix à quinze opérations, la quantité réunie est suffisante pour en faire une distillation spéciale avant de procéder au nettoyage à fond de la chaudière.

Dans l'usine de M. Wilson, la distillation des corps gras s'effectue à l'aide d'appareils semblables à celui que nous venons de décrire, mais en raison de l'importance plus considérable de la fabrication et de l'emploi des produits de l'acidification à l'exclusion de ceux de toute saponification calcaire dans cette usine, les appareils distillatoires sont beaucoup plus grands : chacun d'eux suffit pour distiller, à la fois, 6,000 kil. de matière grasse acidifiée, en sorte que les quatre appareils représentent une fabrication journalière de 24,000 kil., non compris la production de l'appareil à distiller par la vapeur seule et sans acidification préalable, appareil dont la cucurbite peut contenir également 6,000 kil. qui passent à la distillation en 24 ou 36 heures.

Les acides gras distillés sont ordinairement soumis à la cristallisation dans des augettes peu profondes en fer-blanc, comme les acides gras provenant de la saponification calcaire, puis au moyen des pressions successives à froid et à chaud, on élimine de même la plus grande partie de l'acide oléique, afin d'élever le point de fusion des acides solidifiables qui doivent être moulés en bougies.

Les bougies ainsi obtenues donnent une belle lumière et offrent les autres propriétés des bougies d'acides gras de saponification calcaire, sauf leur point de fusion qui étant moins élevé de 3 ou 4° les rend plus susceptibles de couler dans les endroits où l'air est chaud ou agité.

Moulage. Un perfectionnement récemment tenté consiste dans l'emploi fort heureux de moules en fer étamé.

Fig. 271. Fig. 272.

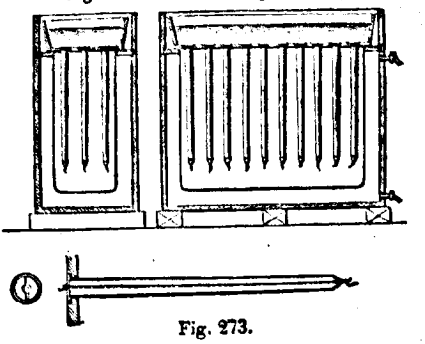


Fig. 273.

Les fig. 271 et 272 montrent la disposition de l'appareil entier qui sert à mouler, et la fig. 273, sur une plus grande échelle, comment la mèche est fixée au centre par un petit disque percé d'un trou, dans lequel elle est retenue par un nœud, tandis qu'elle est tendue et fixée par une cheville qui bouche l'orifice inférieur.

L'étain, seul métal employé jusqu'ici pour les moules, nécessite une assez grande épaisseur, qui correspond à une dépense élevée, et qui ralentit le refroidissement. Il faut ajouter à cela la difficulté, et même le danger pour les femmes exclusivement employées à ce travail, de manœuvrer et de transporter continuellement de lourdes charges, d'autant plus fatigantes à mouvoir que les ouvrières sont obligées de les tenir presque à bras tendus à la hauteur de la poitrine.

Par l'usage des moules en fer embouti, fabriqués par le procédé de M. Palmer (voyez BANC A TIRER), on obvie complétement aux divers inconvénients que nous venons de signaler. La rigidité du fer qui sert à fabriquer ces moules permet de ne leur donner qu'une épaisseur de quatre dixièmes de millimètre au maximum; les moules en étain n'ont pas moins de 3 millimètres. Les moules et porte-moules pèsent de 9 à 10 kil. à peine, au lieu de 25 à 26 kil. qui est le poids de ces ustensiles en étain.

A l'aide d'une ingénieuse machine, on a rendu continu le placement des mèches en faisant dérouler la tresse d'une bobine sur laquelle elle est enroulée. (Voir dans l'article de M. Payen la description de cette machine.)

Polissage. La fig. 274 représente une machine très-simple qui sert au polissage des bougies.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On pose les bougies, toutes dans le même sens, dans une trémie A, un rouleau cannelé B les prend une à une et, en tournant, les fait passer devant la scie circulaire C qui les coupe, puis elles tombent sur un drap de laine sans fin supporté par les petits rouleaux G G G, et qui passe sous les rouleaux H, H. En

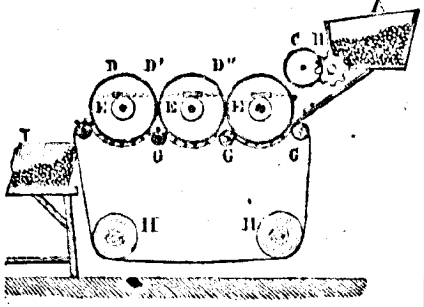


Fig. 274.

même temps que le mouvement de rotation imprimé aux rouleaux fait circuler le drap, trois autres cylindres D, D', D'', recouverts de drap, sont mus en sens contraire par les trois pignons E, E', E'', qui font tourner trois vis sans fin enfilés dans un axe commun. Les mouvements de rotation concourent à faire avancer les bougies depuis leur chute sous la scie C jusqu'au dernier rouleau G, qui les déverse dans le récipient I. Les cylindres D D' D'' sont d'ailleurs portés sur un bâti mobile et reçoivent un mouvement rapide de va-et-vient parallèlement à leur axe. On comprend facilement que par ces dispositions les bougies arrivent parfaitement lustrées dans le récipient, d'où elles sont tirées pour être empaquetées.

BOUGIES MÉDICAMENTEUSES. On donne ce nom à une sorte d'instrument cylindrique, lisse, flexible, élastique et mince, qu'on introduit dans l'urètre, le rectum ou l'œsophage, pour les ouvrir ou les dilater, en cas de resserrement, ou dans d'autres maladies. L'invention de cet instrument a été réclamée par *Aldereto*, médecin portugais, mais sa forme et ses usages ont été décrits pour la première fois par son élève *Amatus*, en 1554. Il y a des bougies pleines et des bougies creuses, il y en a qui sont faites pour corroder, d'autres pour ramolli.. Elles doivent généralement leur élasticité à l'huile de lin, épaissie par une longue ébullition, et rendue siccative par la litharge. On répand cette matière visqueuse par couches sur un cordon très fin, ou sur un ruban tubulaire de coton, de chanvre ou de soie; on roule celui-ci sur une plaque de marbre quand la matière commence à se solidifier par la dessiccation, et on achève le cylindre en le polissant.

Pickel, médecin français, a publié la recette suivante pour la composition des bougies : prenez 3 parties d'huile de lin cuite, une partie de succin, et une partie d'huile de térébenthine; fondez, mêlez bien ces ingrédients ensemble, et appliquez par couches, à trois reprises successives, sur un cordon ou un ruban de soie; mettez ces pièces ainsi recouvertes dans un four à la température de 65° centigr., laissez-les-y pendant 12 heures en ajoutant successivement 15 ou 16 nouvelles couches, jusqu'à ce que les instruments aient acquis la grosseur voulue. Polissez-les d'abord avec la pierre ponce, et donnez le douci avec du tripoli et de l'huile d'olives. Ce procédé est encore celui qui est en usage à Paris, sauf quelques légères modifications, dont la principale consiste à dissoudre dans l'huile de lin la 20e partie de son poids de caoutchouc, afin d'assurer la solidité de l'instrument. Dans ce but, il faut couper le caoutchouc en petits fragments minces, et l'ajouter graduellement à l'huile chaude; le tissu de soie doit être fin et lâche, afin que la composition puisse le pénétrer facilement. Après l'application de chaque couche, on doit faire sécher d'abord à l'étuve, et mieux à l'air libre, avant d'en ajouter une nouvelle. Ce procédé n'exige pas moins de 2 mois pour que l'opération soit complète, et pour obtenir des bougies dites *élastiques*, très résistantes et souples, qu'on puisse entortiller autour du doigt sans qu'elles se gercent ou s'écaillent. Lorsque les bougies doivent être creuses, on se sert d'un mandrin en fil de fer, garni d'un anneau à une de ses extrémités, que l'on introduit dans l'axe du cordonnet de soie. Quelques bougies sont faites avec un axe creux formé d'une feuille d'étain enroulée en tube mince. Il y a encore des bougies faites entièrement en caoutchouc; on les obtient en se servant d'éther sulfurique pour dissoudre et appliquer le caoutchouc. Il y a des bougies médicales dont la composition appartient à la pharmacie chirurgicale. La fabrication de ces diverses sortes d'instruments forme à Paris une branche d'industrie à part et qui n'est pas sans importance. MM. Febuger et Lamotte sont les fabricants les plus distingués dans cette partie.

BOULANGERIE. Voyez PAIN.

BOULETS. Voyez PROJECTILES.

BOUSAGE (*angl.* dunging, *all.* kühkothen). Le bousage est une opération importante de la fabrication des indiennes, qui succède au mordançage; il a pour but :

1° De fixer complétement le mordant par la matière albumineuse que renferme la bouse de vache, et qui se combine avec lui pour former une combinaison insoluble qui se précipite sur les fibres du tissu, et en même temps de saturer l'acide acétique qui reste du mordançage;

2° D'enlever une partie des matières employées pour épaissir le mordant;

Et 3° de dissoudre le mordant non combiné, qui n'est que mécaniquement appliqué sur les fibres du tissu, et qui lors de la teinture coulerait sur les autres parties, et donnerait lieu à des taches.

On emploie en certains cas, pour des nuances très délicates, jaunes, roses ou lilas, du son au lieu de la bouse de vache, qui leur communique souvent une légère teinte verdâtre. Du reste, la bouse de vache est bien plus économique et agit beaucoup plus efficacement que le son; comme la matière albumineuse qu'elle renferme se combine avec le mordant et se précipite sur les fibres du tissu, il s'ensuit que l'effet de la bouse de vache cesse bientôt, et qu'elle ne peut servir que pour une quantité déterminée de tissus.

Le bousage s'opère dans une caisse de 2 à 3 mèt. de profondeur, 1m,50 de large et 4 mèt. de longueur. Près du fond de cette caisse sont établis une suite de rouleaux sur lesquels le calicot passe en serpentant d'abord sur un rouleau, puis sous le suivant, et ainsi de suite, et finit par passer entre deux rouleaux de pression, placés à l'une des extrémités de la cuve, et qui lui communiquent le mouvement.

Le passage des calicots doit être aussi rapide que possible, afin que le mordant non combiné ne puisse couler sur le tissu, ce qui altérerait plus tard la netteté de l'impression et produirait des taches.

Le bain de bouse de vache se compose ordinairement de 30 kilogr. de bouse de vache, et de 1,200 à 1,500 litres d'eau, et peut servir pour le bousage de 20 à 60 pièces d'indiennes. Du reste, cela dépend entièrement de la quantité et de la qualité du mordant. On règle également la température du bain d'après la nature du mordant, ainsi que d'après celle des substances employées pour l'épaissir : ainsi, par exemple, la température du bain peut être portée à celle de l'ébullition.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

si l'on a employé de l'amidon ou de la farine, tandis que, si c'est de la gomme, elle ne doit pas dépasser 50 à 60° centigr. Il en est de même du temps que doit durer l'immersion dans le bain. Ainsi, les indiennes fortement mordancées, pour lesquelles on aura employé de l'amidon ou de la farine pour épaissir le mordant, seront repassées deux fois dans le bain de bouse de vache, en ayant soin de leur faire subir deux lavages à l'eau intermédiaires. Les mordants fortement acides sont plus difficiles à traiter que ceux qui le sont peu; on ajoute quelquefois dans ce cas un peu de craie, cependant on se règle en cela entièrement d'après la couleur que l'on doit appliquer ensuite sur le tissu.

Penot a publié à cet égard un excellent mémoire dans le Bulletin de la Société de Mulhouse (octobre 1834), et postérieurement, en mars 1835, M. *Camille Kœchlin* a inséré sur le même sujet, et dans le même Bulletin, une notice très intéressante servant de commentaire au mémoire ci-dessus. Pour pouvoir expliquer l'action de la bouse de vache, *Penot* en a fait une analyse qui lui a donné :

Eau.	69,58
Matières biliaires.	0,74
Matières sucrées.	0,93
Chlorophylle.	0,18
Matière albumineuse.	0,63
Fibres végétales.	26,39
Chlorure de sodium.	0,08
Sulfate de potasse.	0,05
Sulfate de chaux.	0,25
Phosphate de chaux.	0,46
Carbonate de chaux.	0,24
Carbonate de fer.	0,09
Silice.	0,14
Perte.	0,14
	100,00

M. *Kœchlin* attribue l'effet principal de la bouse de vache à la matière albumineuse qu'elle renferme, laquelle forme, avec l'albumine ou l'oxyde de fer, une combinaison insoluble qui se précipite sur les fibres du tissu, ce qui empêche le mordant de s'étendre et d'altérer la netteté de l'impression. En même temps la réaction légèrement alcaline de la bouse de vache neutralise l'acide acétique libre, ce que l'on peut reconnaître à ce que le bain qui a déjà servi prend une réaction légèrement acide. Lorsque cette réaction devient sensible, il faut renouveler entièrement le bain, ou y ajouter un peu de craie pour saturer l'acide qu'il renferme.

On peut remplacer la bouse de vache, dans la fabrication des indiennes, par des phosphates ou des arséniates. *Mercer* et *Blyte*, de Manchester, ont dernièrement trouvé le moyen de fabriquer économiquement, en grand, un sel propre au bousage, qui est composé de phosphates de soude et de chaux. *Kestner*, de Thann, l'a mis en circulation dans le commerce, sous le nom de *sel pour bousage*. Pour s'en servir, on le dissout dans 40 fois son poids d'eau, et on l'agite fortement pour mettre tout le phosphate de chaux en suspension dans le liquide. *Specx*, qui a analysé le sel pour bousage que l'on trouve dans le commerce, l'a trouvé composé de :

Phosphate de soude.	38,64
Phosphate de chaux.	8,00
Sulfate de magnésie.	4,10
Chlorure de sodium.	3,92
Eau.	45,00
Perte.	0,34
	100,00

Et dit qu'on peut le préparer en neutralisant l'acide phosphorique impur (renfermant de la chaux) par la soude du commerce.

BOUSSOLE. Cet instrument se compose essentiellement d'une aiguille aimantée montée sur une chape très mobile, ordinairement en agate, et renfermée dans une boîte en bois ou en cuivre, qui porte à l'intérieur un cercle divisé en cuivre ou en argent. L'emploi de cet instrument est basé sur ce fait : que l'aiguille aimantée prend en chaque lieu une direction constante, quelque position que l'on donne à la boîte de la boussole ; cette direction n'est dans la plupart des cas pas exactement celle du nord au sud ; il y a une déviation qu'on appelle *déclinaison*, qui n'est pas la même dans tous les pays, et même qui varie très lentement en chaque lieu. On est en droit de la regarder comme constante, pendant un temps assez long, dans chaque pays ; cette direction fixe est ce qu'on appelle l'*axe* ou le *méridien magnétique*. A Paris, la déclinaison est occidentale et se trouve actuellement d'environ 22°.

Les dimensions nécessairement restreintes de la boussole, ne permettent pas de lire les angles avec une approximation qui dépasse 15 minutes, ce qui serait d'ailleurs illusoire à cause de la variation diurne de la déclinaison qui, dans nos contrées, s'élève jusqu'à 15 ou 16 minutes, et empêche de s'en servir dans les opérations très exactes ; mais l'usage en est si simple et si rapide, qu'elle est très fréquemment employée dans les cas où une grande précision n'est pas nécessaire, tels que les levés de cadastre d'une faible étendue, les levés des plans de mines, etc... Pour le levé des plans à la surface, on emploie des boussoles renfermées dans une boîte carrée avec une alidade à pinnules ou une lunette, placée sur le côté ; pour le levé des plans de mines, on se sert de boussoles suspendues. La boussole dite *compas de route*, qui sert à diriger les navires sur les mers, est également munie d'un double système de suspension autour de deux axes perpendiculaires entre eux, de manière à demeurer constamment horizontale, quelles que soient les agitations du vaisseau. (V. *Complément*).

BOUTONS (MANUFACTURE DE) (*angl.* button manufacture, *all.* knopf fabrication). Pour la fabrication des boutons, on se sert de matières très différentes, telles que la corne, les os, le bois, etc., qui restent nues ou qui doivent être recouvertes de soie ou d'autres étoffes. La plus grande partie des boutons se font en métal, et sont souvent dorés ou argentés, rarement étamés.

Les boutons, qui doivent être recouverts de soie ou de toute autre étoffe, se font ordinairement en os ou en bois, et à l'aide d'un tour qui les découpe, et perce les trous qui permettent le passage du fil qui sert à les attacher au vêtement.

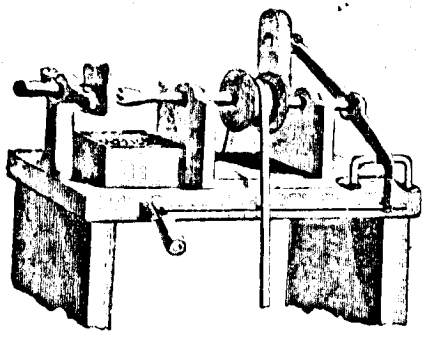
Après avoir découpé en petites planchettes, d'épaisseur convenable, à l'aide d'une scie à main, les bois les plus durs que l'on emploie pour cette fabrication, on les porte sur le tour qui les découpe et les perce. On distingue deux fabrications, suivant que le bouton doit porter deux ou quatre trous. Décrivons les deux outils qui servent dans les deux cas :

Bouton à un seul trou. L'arbre D (fig. 277) porte à l'une de ses extrémités une mèche de vilebrequin *b*, tandis que l'autre va se réunir à un levier *fe*. Le point d'appui du levier est en *e*, et l'extrémité *f* porte une tige garnie d'une poignée *g*, au moyen de laquelle on peut imprimer au levier, et par suite à l'arbre, un mouvement d'arrière en avant, et *vice versâ*. Une poulie C, sur laquelle glisse une courroie, reçoit le mouvement d'une roue de rémouleur, et le communique à l'arbre D.

La roue étant mise en mouvement, l'ouvrier applique une des rondelles de bois sur la planche *d* ; puis, saisissant la poignée *g*, il lui imprime un mouvement en avant, et rapproche en conséquence la mèche *b* de la lame dans laquelle doivent être taillés les boutons. La pointe centrale de la mèche, la plus longue des trois, fait une ouverture de part en part, tandis que les deux autres creusent un cercle qui n'inté-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

resse que la moitié de l'épaisseur de la plaque; les parties intermédiaires, tranchantes, polissent la surface du bouton. L'on soumet immédiatement la partie voisine du morceau de bois à la même opération, et l'on continue jusqu'à ce que toute sa surface soit couverte. On présente alors l'autre côté à l'action de la



277.

mèche : la pointe du milieu est placée dans les trous déjà pratiqués, et les deux pointes latérales, en creusant une seconde circonférence, séparent complétement le bouton qui tombe dans la boîte F, au moyen du mouvement de *va-et-vient* que le levier *ef* permet de donner à l'arbre du tour.

Boutons à plusieurs trous. Les trous, au nombre de quatre ordinairement, sont percés au moyen d'un *tour*, dont la fig. 278 représente la partie supérieure.

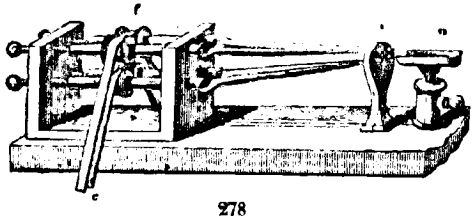
d'une épaisseur égale à celle que doit avoir le bouton; ces tranches sont ensuite découpées en petits carrés qui, par la section de leurs angles, se transforment en octogones d'une grandeur convenable; ces opérations préliminaires terminées, on soumet les pièces octogonales à la pression, dans un moule représenté fig. 279. *a a* sont les deux mors d'une pince; ils ont la forme de plaques carrées, offrant chacun six, huit ou dix coins d'acier qui portent l'empreinte du bouton qu'on veut frapper; quand la pince est fermée, ces coins correspondent d'autant plus exactement, que les deux tenons *c c*, entrant dans des mortaises pratiquées à la seconde plaque, empêchent toute déviation.

Un double manche *b b* sert à saisir l'instrument et à le transporter.

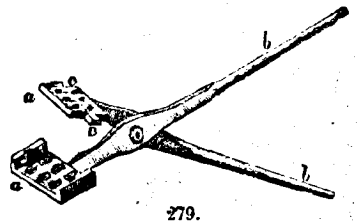
Les fragments octogones dont nous avons parlé plus haut, ayant été ramollis dans un étuve chauffée à une température de 100° et au-dessus, sont placés sur chacun des coins, la pince est alors fermée et soumise à une forte pression dans une presse à vis.

Quelques minutes suffisent pour que ces morceaux de corne prennent l'empreinte voulue; on en fait alors sauter les angles à l'aide de forts ciseaux, puis on les arrondit et on les polit avec la lime; ces boutons ont ordinairement une de leurs faces concave.

Boutons métalliques. En général les boutons métalliques, au moins les plus usités, se font en étain ou avec un mélange d'étain et de laiton. On coule les boutons d'étain dans des moules en fer ou en laiton, unis ou gravés, suivant la nature des boutons que l'on veut obtenir. On coule quelquefois en même temps l'anneau ou la queue du bouton; le plus souvent on le forme avec un fil de laiton étamé recourbé sur lui-même et introduit dans le moule; de manière à ce qu'il se trouve pris dans le métal fondu. Les boutons formés d'un mélange d'étain et de laiton, auquel on ajoute quelquefois une faible pro-



278



279.

a a a a sont quatre arbres porteurs de poulies, sur lesquelles passent les courroies *ef* qui les font mouvoir au moyen d'une roue de rémouleur.

L'une des extrémités de ces arbres porte un crochet qui s'unit, d'une manière mobile, à une tige *b*, soutenue à l'autre extrémité par un chevalet de cuivre A. Les quatre tiges *b b b b* traversent les ouvertures pratiquées au chevalet, et viennent présenter, de l'autre côté, leur extrémité libre, terminée en *vrille* ou *foret*.

Quand il s'agit de percer un bouton, on le place dans la coulisse B, puis on l'approche des vrilles, qu'on met en mouvement au moyen de la roue; en changeant le chevalet A, on obtient des trous plus ou moins rapprochés.

Les boutons qui doivent être recouverts de drap de soie, ou de toute autre étoffe, sont généralement appelés *moules de bouton*. Faits en bois, ou avec des rebuts d'os et de corne, ils ne sont percés que d'un seul trou à leur centre. La machine dont nous allons donner la description en rend la fabrication tellement simple et rapide, qu'un enfant de dix ans peut en faire de vingt à vingt-cinq à la minute.

Boutons en corne. La corne après avoir été ramollie dans l'eau bouillante est coupée en rondelles ou tranches

portion de zinc, afin de rendre le métal plus fusible et d'obtenir un moulage plus parfait, se coulent ordinairement dans des moules en sable. Pour préparer ces moules, on se sert d'un modèle formé d'une grande quantité (4 à 12 douzaines) de modèles de boutons isolés placés sur le même plan, aussi rapprochés que possible les uns des autres et réunis par de petites tiges destinées à former les jets de coulée; on imprime le modèle en sable entre deux châssis; on enlève ensuite avec précaution le châssis qui a reçu l'empreinte du dessous des boutons; on enfonce dans chaque empreinte, et à une profondeur égale à la saillie qu'on veut leur donner, les anneaux en fil de laiton; on retire le modèle, on assemble les deux châssis et on coule le métal. Après la fonte, on sépare les boutons les uns des autres, et on enlève, à l'aide d'une brosse, le sable qui adhère à leur surface; on fixe ensuite chacun de ces boutons sur le tour en les saisissant par l'anneau au moyen d'un mandrin à ressort, et on en dresse les bords à la lime, on place ensuite le bouton dans un autre mandrin, sur un autre tour, l'anneau en dehors, et l'on en dresse le dessous; enfin on le place sur un troisième tour, où on taille et on polit la partie supérieure avec un burin d'acier bien affilé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

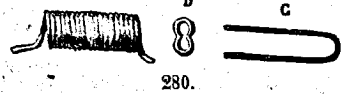
Les boutons en laiton et en cuivre doré se fabriquent comme il suit : on réduit d'abord le cuivre, le laiton ou le tombac, au laminoir, en feuilles d'une épaisseur convenable. On découpe dans ces feuilles à l'emporte-pièce des rondelles de la grosseur des boutons que l'on veut fabriquer, on recuit ces rondelles pour les adoucir, et, au sortir du four, on les frappe à l'aide de coins, qui impriment sur leur pourtour le nom du fabricant et qui leur donne une forme un peu convexe, afin qu'ils ne s'attachent pas les uns aux autres lors de la dorure. On soude ensuite les anneaux, on polit les boutons sur le tour avec un brunissoir d'hématite, et on les décape.

Il ne reste plus qu'à appliquer la dorure : à cet effet on place dans un vase en terre la quantité d'amalgame d'or nécessaire pour les dorer, et une petite quantité d'acide nitrique étendu ; puis on agite les boutons, à l'aide d'un pinceau rude, jusqu'à ce qu'ils soient uniformément recouverts d'une couche d'amalgame. Pour préparer cet amalgame, on place l'or laminé en feuilles aussi minces que possible dans un creuset de Hesse, et on le porte au rouge ; on y ajoute alors huit fois son poids de mercure, on laisse encore quelques moments sur le feu jusqu'à ce que tout l'or soit dissous, puis on le refroidit brusquement, en le coulant dans l'eau, afin de prévenir la tendance qu'il a à se grumeler lorsqu'on le laisse refroidir lentement. La dorure est naturellement d'autant plus forte que l'on a employé un amalgame plus riche et en plus grande quantité. On chasse ensuite le mercure des boutons recouverts d'amalgame, en les chauffant dans une chaudière en fer, travail très dangereux pour les ouvriers qui l'exécutent, lorsqu'on ne prend pas de grandes précautions pour les soustraire à l'action des vapeurs mercurielles. Dans la plupart des fabriques de boutons dorés, ces vapeurs passent immédiatement au sortir de la chaudière dans un large canal horizontal en tôle de fer, qui les conduit dans une haute cheminée d'appel ; disposition qui, en produisant un tirage très vif, protége très efficacement l'ouvrier, tout en permettant de recueillir la plus grande partie du mercure qui se condense dans le canal en tôle. Au sortir de la chaudière, on lave les boutons à l'eau, on les sèche et on termine en les polissant sur le tour avec un brunissoir d'hématite rouge.

Les boutons plaqués sont découpés à l'emporte-pièce dans des feuilles de cuivre plaqué, en ayant soin de placer le côté de l'argent en dessous. Les bords du coin inférieur sont relevés de telle sorte que, dans le découpage des boutons, les bords se recouvrent d'une légère pellicule d'argent. On soude après les anneaux avec de la soudure d'argent, au moyen du chalumeau. On tourne ensuite les boutons sur les bords en ayant soin de ne pas enlever d'argent ; puis on les décape sur le revers, et on les y argente légèrement en les faisant bouillir avec une dissolution de crème de tartre et de chlorure d'argent. Enfin on les termine sur le tour au brunissoir.

La confection des anneaux forme une partie importante de la fabrication des boutons, et s'exécute ordinairement comme il suit : on enroule en spirale serrée, sur le tour autour d'une tige de fer ronde, le fil métallique qui doit les former.

La spirale obtenue (fig. 280) ayant reçu un double



280.

mandrin C, est mise sur l'enclume, puis est frappée avec une sorte d'emporte-pièce, de manière à se mouler sur le mandrin et à prendre la forme D. L'emporte-pièce porte un tranchant qui marque le milieu *d* ; il est alors facile, au moyen de forts ciseaux, de couper chaque tour de spirale, qui est ainsi converti en deux anneaux parfaits de bouton.

Chaque anneau est soudé séparément au bouton, au moyen de la lampe et du chalumeau ; on emploie d'habitude la soudure d'argent.

Il nous reste à dire un mot des boutons portant des reliefs, tels que ceux pour livrées, lorsqu'on ne les fabrique par moulage et qu'ils doivent avoir un certain volume.

Pour garnir en cuivre doré ou argenté le devant du bouton déjà formé d'une plaque de métal à laquelle on a soudé un anneau, on prend une plaque mince dorée ou argentée, on en enlève au découpoir des cercles de deux ou trois millimètres plus grands que le moule ; on met celui-ci sur le tour en l'air, en l'y fixant par l'anneau qu'il porte ; et alors, avec un brunissoir que l'on pousse contre la partie du cercle mince qui excède le moule, on sertit la plaque sur ce dernier, et le bouton est fini.

Les boutons militaires et ceux pour livrée, qui doivent porter des légendes, des chiffres ou des armoiries en relief, présentent quelques différences dans leur confection. Avant d'appliquer ou de sertir sur le moule les petits cercles qui doivent les recouvrir, on les grave avec un balancier analogue à ceux qu'on emploie pour frapper la monnaie. On a deux coins qui se correspondent ; l'intérieur est gravé en creux, le supérieur est gravé en relief. La plaque ronde entre juste dans un creux circulaire, et en même temps que le balancier y imprime la gravure, il relève à angles droits le bord de la plaque, en forme de petite écuelle, dans laquelle il ne reste plus qu'à sertir le moule comme ci-dessus.

Boutons à vis. Nous ne parlerons que pour mémoire d'un genre de boutons qui a été tenté il y a quelques années, et qui consistait dans une espèce de double rondelle, dont l'une formait écrou sur la tige soudée à l'autre rondelle, tige filetée en vis. Ces boutons avaient l'avantage de s'adapter à l'étoffe sans couture ; il suffisait de percer un trou dans l'étoffe pour passer la tige et visser l'écrou. C'était à peu près le seul avantage qu'ils pussent offrir, aussi ne les rencontre-t-on plus nulle part aujourd'hui.

Boutons semi-métalliques. Une nouvelle fabrication de boutons, que nous appellerons semi-métalliques, est celle qui consiste à serrer fortement une rondelle de forte toile entre deux rondelles métalliques. La rondelle supérieure, d'un diamètre un peu plus grand que la rondelle inférieure, est sertie sur celle-ci, de telle sorte que la toile reste fortement pressée.

Les deux rondelles métalliques sont percées à leur centre, de telle sorte que le tailleur traverse avec son aiguille, coud la toile, et par suite attache le bouton à l'étoffe avec la plus grande facilité

Boutons en pâte céramique. Une curieuse industrie est née dans ces dernières années, nous voulons parler des boutons fabriqués en matières analogues à la pâte de porcelaine. Cette invention est très heureuse, car les petits boutons surtout ont une résistance au moins égale à celle des boutons en os et peuvent être obtenus à des prix bien inférieurs. C'est vers 1840 que M. Prosser, le premier inventeur, en dota l'Angleterre.

Dans le procédé *Prosser*, la pâte, formée généralement d'éléments fusibles, tels que le feldspath et le phosphate de chaux, afin de donner au bouton cuit une translucidité suffisante, était moulée tout à fait sèche. On lui donnait le liant indispensable pour le moulage et le maniement des boutons moulés, à l'aide d'un corps gras chauffé à une douce chaleur avec la pâte. La poudre préparée était moulée à l'aide de petites machines à balancier qui frappaient les boutons un à un. Après le moulage, ils étaient placés à la main sur des rondeaux en terre cuite, et encastés dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des manchons que l'on superposait dans les fours où l'on cuit la porcelaine tendre à la manière anglaise. La cuisson s'opérait, dans ces fours, à feu intermittent, de la même manière que celle des porcelaines, qu'on y plaçait en même temps.

Ces procédés ont été améliorés, et la production amenée à un degré fabuleux de bon marché par un fabricant français, M. Bapterosse. Le point de départ de ses procédés consiste en une presse pouvant monter 500 boutons à la fois.

Donnons quelques détails sur ses procédés, détails que nous empruntons au rapport fait par M. Ebelmen à la Société d'encouragement.

M. Bapterosse fabrique deux qualités de boutons : les boutons dits *agate* et les boutons *strass*.

La pâte à boutons agate est composée de feldspath lavé aux acides pour le débarrasser de l'oxyde de fer, et d'une petite proportion de phosphate de chaux. La pâte des boutons *strass* est composée de feldspath pur; une petite quantité de lait mélangée à la pâte lui donne le liant nécessaire pour qu'elle puisse se mouler après une dessiccation convenable.

Une seule presse peut, comme nous l'avons dit, mouler jusqu'à 500 boutons à la fois, et l'ouvrier qui la dirige peut frapper, en moyenne, deux ou trois coups par minute. En tombant de la presse, les boutons viennent se ranger sur une feuille de papier maintenue par un cadre rectangulaire en fer.

Les fours qui servent à la cuisson des boutons sont ronds ou rectangulaires; mais le principe de leur construction est le même. Le foyer est central, comme dans les fours à cristal. Un certain nombre d'arches se partagent l'espace à l'entour du foyer, et chacune d'elles reçoit six ou sept mouffles superposées. La flamme s'élève du foyer jusqu'à la voûte du four, pour redescendre dans chacune des arches, et en circulant tout à l'entour des mouffles jusqu'à des carneaux placés à la partie inférieure, et qui vont se réunir dans une cheminée centrale. Les fours ronds ont jusqu'à soixante mouffles.

Chacune des mouffles peut recevoir une plaque en terre réfractaire de la même dimension que la feuille de papier sur laquelle se sont rangés les boutons au sortir de la presse. Quand la plaque est rouge, l'ouvrier vient poser dessus la feuille de papier recouverte de boutons. Le papier brûle et les boutons se trouvent rangés sur la plaque de terre rouge dans la disposition symétrique qu'ils avaient au moment du moulage. Les plaques sont remises au four; elles y restent pendant dix minutes environ, temps suffisant pour la cuisson. On retire la plaque, on enlève avec un râble les boutons qui la recouvrent, et comme elle a conservé presque toute sa chaleur, elle peut servir immédiatement à une nouvelle opération.

Un four de soixante mouffles, qui peut cuire, en vingt-quatre heures, 500 masses de boutons, brûle dans le même temps environ 6,000 kilogr. de houille.

En introduisant dans la pâte des boutons différents oxydes métalliques, M. Bapterosse obtient des boutons de couleur teints dans la masse. Enfin, par impression, il obtient des boutons portant tous les dessins demandés par la consommation.

Par ces procédés perfectionnés, et malgré les déchets inévitables en opérant sur un si grand nombre de pièces à la fois, l'inventeur a pu abaisser le prix des boutons blancs de 8 fr. la masse encartée (prix de 1845) à 1 fr. 75 cent. (Voyez POTERIE, *Complément.*)

M. Salvetat a complété cette description à l'article POTERIE (*Complément*) et à l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE, en décrivant le lustre de bismuth nacré de M. Brianchon, qui, appliqué aux boutons, a donné un nouvel essor à cette industrie en conduisant à des effets vraiment merveilleux.

Les boutons bombés, munis d'une queue en anneau constituent une autre et très-importante fabrication, organisée par M. Bapterosse avec le même succès que celle des boutons à trous, et toujours en trouvant le moyen d'agir sur grand nombre à la fois; problème économique de la fabrication de ces petits objets, dont la solution a fait la base d'une puissante industrie, et de la fabrique de Briare, presque celle du monde entier. Nous décrirons ces procédés d'après M. Turgan (*Grandes usines de France*).

Leur fabrication diffère dès la presse : au lieu des tiges qui percent des trous de part en part dans la pâte, des vrilles y creusent seulement un pas de vis qui s'arrête au milieu de l'épaisseur : voilà quant à l'émail. Un bouton à queue se compose de quatre parties : d'abord l'émail, puis une petite boule de métal fusible, un petit plastron en laiton percé de deux trous dans lesquels passent les deux branches de l'anneau ouvert également en laiton. Ce plastron est découpé par une petite machine à emporte-pièce qui, du même coup enlève le petit disque et perce les trous du suivant. Les queues se fabriquent deux à deux, en enroulant un fil métallique autour de deux tiges mobiles de fil de laiton séparées par une lame de cuivre, de manière à en faire une sorte de barrette plate; on passe ensuite cette barrette entre les cannelures de deux cylindres qui forment de chaque côté une dépression. Quand deux passages ont suffisamment accusé l'étranglement, on retire la règle plate qui est au milieu, et un troisième cylindre coupe sur toute la longueur les fils enroulés; chacune des deux tringles latérales se trouve avoir autour d'elle un chapelet de quatre à six cents queues de boutons. Comme chaque tringle est surmontée par un petit renflement, en désembrochant toutes les petites sections de fil de laiton, le passage de la boule force la branche à s'écarter.

D'autres procédés peuvent également former des queues de boutons, mais celui-ci est le plus expéditif et le moins compliqué. Il s'agit maintenant d'engager dans les deux trous du plastron les deux branches écartées de l'anneau.

On n'est pas encore arrivé à effectuer mécaniquement cette introduction : elle se fait à la main, en enfonçant une à une, au moyen de petites pinces, les branches de chaque queue dans les trous du plastron et en resserrant ensuite, de manière à arrêter ce dernier dans l'étranglement qui précède l'anneau. Cette opération ne se fait pas dans les ateliers de l'usine, il faudrait trop d'ouvriers consentant à gagner trop peu pour que cela pût se faire économiquement, tandis que les bergères en gardant leurs troupeaux, les enfants inoccupés, des ménagères en veillant sur les plus petits, et même les pères de famille pendant les jours de chômage, peuvent utiliser ainsi un temps qu'ils perdaient, et, par ce travail supplémentaire, accroître leur bien-être. C'est donc dans les campagnes environnantes que se fait cette union de la queue et du plastron. Pour la plupart des boutons, ces deux pièces sont argentées dans l'usine même.

Nous avons vu comment se faisaient le bouton céramique, la queue et le plastron; il nous reste à voir comment, au moyen d'une petite boule en métal fusible, placée dans la cavité ménagée dans la boule d'émail par la vrille, on peut, en y scellant les branches de la queue, terminer le bouton. La manœuvre est basée sur la division du travail, et se fait sur de longues tables s'étendant sur l'un des côtés d'un atelier de 100 mètres de long sur 10 de large au plus; plus de cent femmes ou petites filles sont assises de chaque côté de la table sur laquelle sont placés, dans des cases, des boutons à garnir, les petites boules de métal, et enfin les queues emmanchées dans leurs plastrons. Une ouvrière, tenant en main une plaque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cuivre bronzée et percée, suivant la grandeur du bouton, de cent à trois cents trous correspondant exactement au dos du bouton, enfonce cette plaque dans le tas, puis, par un mouvement de va-et-vient, sorte de sassage, elle fait tomber un bouton dans chaque trou, et rejette les autres en inclinant sa plaque (sa main, organe analogue, qui se retrouve dans la fabrication des aiguilles, capsules, etc.); puis, la posant sur deux supports, elle passe légèrement ses doigts sur la plaque et retourne tous les boutons qui ne présentent point en l'air leur face trouée. Quand tous les boutons sont placés de la bonne manière, ce qui est fait presque instantanément, elle passe sa plaque garnie à une autre ouvrière placée à côté d'elle, qui, au moyen d'un distributeur, met un grain de métal dans chaque trou.

Pendant ce temps, une autre ouvrière a serré dans une pince en laiton, par une disposition analogue à celle d'un composteur à timbrer, les queues correspondantes au bouton, rangées à l'avance sur une autre plaque trouée suivant la division voulue; on place alors le plateau garni de boutons sur un autre également en cuivre bronzé, muni de montants dans les rainures desquels on introduit le petit appareil qui porte les queues, les tiges en l'air, et l'on donne le tout à un ouvrier assis à l'extrémité d'une table en fonte étroite et longue sous laquelle s'ouvre une série de petits becs de gaz allumés; l'aide de cet ouvrier place au bout de la table, le petit wagonnet de cuivre chargé des pièces à réunir, et qui prend son rang à la suite de ceux qui l'ont précédé. Pendant que les petits wagonnets se rapprochent peu à peu de l'ouvrier qui doit accomplir l'opération dernière, la table doucement échauffée par la combustion du gaz, communique sa chaleur au plateau, qui la transmet aux boutons dans lesquels la petite boule métallique entre en fusion.

Quand l'appareil arrive devant l'ouvrier assis au bout de la table, il n'a plus qu'à retourner et abaisser chaque composteur; les branches de la queue entrent dans le métal, et le petit plastron vient oblitérer entièrement le trou en le comprimant; tout est si bien combiné qu'aucune bavure ne déborde à l'extérieur. L'appareil est ensuite enlevé tout entier, porté sur une table et mis en presse au moyen de larges ressorts d'acier qui pressent sur les composteurs. Quand on juge le refroidissement suffisant, on lâche les ressorts et on retire du petit wagonnet le plateau rempli de ses boutons désormais achevés.

Pour vérifier les boutons, M. Bapterosse a inventé la singulière machine suivante : Un levier à genouillère, dans le genre de ceux des aiguilleurs de chemin de fer, exerce sur une tige un effort que l'on peut varier à volonté. Cette tige abaisse un plateau sur lequel sont disposés autant de crochets qu'il y a de boutons; ces derniers, restés sur leur plateau, la queue en l'air, et recouverts d'une plaque qui ne laisse passer que les queues; on retourne le tout et on l'apporte sur le plateau garni de crochets; un petit mouvement latéral enfile tous les crochets dans tous les anneaux; l'ouvrier fait alors basculer le levier. La traction, calculée pour produire environ le poids de 13 kilogrammes sur chaque bouton, fait éclater les pièces défectueuses et arrache les queues mal soudées.

Cet habile fabricant fait aujourd'hui environ 800,000 boutons de ce genre par jour de travail, émaillés, peints, beaucoup portant des cercles, brillantés, etc., par un passage supplémentaire dans les mouffles.

BOYAUDERIE. Nous ne pouvons mieux faire pour donner la description de cette industrie que d'emprunter celle qu'a donnée M. Labarraque dans le mémoire qui lui a valu le prix de la société d'encouragement et qui l'a amené à l'admirable résultat de montrer qu'on pouvait, par l'emploi du chlorure de soude, effectuer tout le travail du boyaudier en évitant la putréfaction et par suite l'épouvantable infection qui en résulte.

1. — DES BOYAUX INSUFFLÉS. L'art du boyaudier consiste à débarrasser la membrane ou tunique musculeuse des autres membranes qui constituent l'intestin. Pour y parvenir, on emploie successivement, dans la préparation des boyaux soufflés, les opérations suivantes : 1° le *dégraissage*, 2° le *retournage*, 3° la *fermentation putride*, 4° le *ratissage*, 5° le *lavage*, 6° l'*insufflation*, 7° la *dessiccation*, 8° la *désinsufflation*, 9° l'*aunage*, 10° le *soufrage*, 11° le *ployage*. Nous allons exposer dans des paragraphes séparés chaque opération, après avoir fait connaître l'atelier où se fait le premier travail.

De l'atelier. On ne peut dépeindre le sentiment pénible et le dégoût qu'on éprouve lorsqu'on entre pour la première fois dans une fabrique de boyaux insufflés. Qu'on se représente un local de 4 à 6 mètres de long, sur 4 à 5 de large et de 3 à 4 de haut, clos dans l'hiver, et les croisées ouvertes en été, entouré de vieilles futailles de la capacité de 250 litres; dans le milieu de cette enceinte, des bouts de bois descendant suffisamment pour attacher des agrafes, et quelquefois scellés au sol; à côté, des baquets plus ou moins grands, et tous ces vases, ou la plupart, contenant des intestins en pleine putréfaction; les vases incrustés, pour ainsi dire, de matières à moitié corrompues; le sol, s'il est pavé, toujours plus qu'humide par les matières fécales et le déchet des boyaux dont il est parsemé; s'il n'est point pavé, présentant plusieurs mares où de l'eau fétide séjourne, comme pour augmenter encore les causes de l'horrible puanteur qui vous environne en se répandant au loin.

Près de l'atelier, ordinairement dans le jardin, se trouve un trou de 3 mètres carrés environ, dans lequel on jette les excréments et les morceaux de boyaux rebutés. C'est surtout quand on vide ce foyer d'infection que l'odeur se développe avec violence.

Toutefois, il est nécessaire de le relater pour prouver l'influence de l'habitude sur l'homme; les ouvriers, assez nombreux, qui se livrent à ce travail ne sont pas plus souvent malades que s'ils s'occupaient de tout autre métier : ils sont imprégnés d'une odeur fade et nauséabonde, qui ne les quitte pas, même après leur toilette du dimanche, et qu'on reconnaît facilement pour peu qu'on ait fréquenté leur atelier.

1° *Dégraissage*. Après s'être procuré les boyaux grêles de bœufs et de vaches, que le boyaudier va chercher aux abattoirs deux fois par semaine, soit dans des hottes, soit dans des voitures, selon sa plus ou moins grande exploitation, il les dépose dans des tonneaux défoncés, pour les dégraisser le plus tôt possible; car l'ouvrier a observé que plus il tarde, plus le dégraissage devient difficile.

Quand il veut opérer, il met une quantité donnée de boyaux dans un baquet avec un seau d'eau; il prend un des bouts, qu'il passe sur une agrafe placée sur un morceau de bois et à 2 mètres environ de haut; il tire environ trois pieds de long du boyau avec la main droite, et de la main gauche il passe une portion d'intestin sur l'agrafe, de manière à former une sorte de nœud; cela fait, il prend la portion d'intestin qui pend, la faisant passer entre le pouce et l'index de la main gauche. De la main droite, il tient un couteau semblable à ceux dont se servent les charcutiers, et avec adresse le fait glisser sur l'intestin jusqu'auprès des doigts de la main gauche, de manière à enlever le tissu graisseux, et portion de la membrane péritonéale; ensuite la main gauche baisse en tenant toujours de la même manière l'intestin; le couteau agit comme on l'a déjà indiqué, jusqu'à ce que la portion pendante soit dégraissée. Cela opéré, de la main gauche l'ouvrier défait le nœud, tire de la main droite une seconde portion d'intestin égale à la première, et successivement arrive au dégraissage complet du boyau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chaque fois que l'ouvrier trouve une déchirure, ce qui arrive souvent, les bouchers agissant avec peu de précaution pour enlever le suif qui adhère à l'intestin, il coupe cette partie, qu'il jette dans le baquet des boyaux déjà dégraissés.

L'eau que l'on jette sur les boyaux est nécessaire, seulement pour les humecter, afin que le couteau glisse sur la membrane musculeuse sans l'entamer; s'il l'entame, le boyau est coupé en entier et forme un morceau.

La graisse tombe par terre avec partie des matières fécales; cette graisse est ensuite lavée dans des baquets, et étendue sur des claies pour la faire sécher. Fondue, elle produit des suifs communs : les boyaudiers font rarement cette dernière opération.

2° *Retournage ou imagination.* Après le dégraissage, les boyaux de bœufs sont jetés dans un cuvier à moitié plein d'eau; un des bouts est pris par la main droite de l'ouvrier; il y introduit son pouce à une profondeur d'environ 5 centimètres, et presse ledit pouce entre l'index et le médius; avec la main opposée, il fait recouvrir ces deux doigts par le boyau qu'il retourne, les plonge dans l'eau; tandis que de l'autre main il tient le boyau perpendiculaire. L'eau qui est entrée dans l'intestin au moyen de l'écartement des doigts, fait, par son poids, glisser la partie supérieure, et par un léger mouvement de la main, ainsi que par de nouvelle eau qu'on introduit de temps en temps de la manière déjà indiquée, il se trouve très promptement retourné. Alors un des bouts est jeté sur le bord de la cuve, et quand il y en a une assez grande quantité, on en forme un paquet au moyen d'une ficelle de moyenne grosseur, ayant un nœud coulant. On continue le retournage en formant de la même manière des paquets, dont chacun contient le plus ordinairement le produit de deux ventres de bœufs.

3° *Fermentation putride.* Souvent avant le retournage, faute de temps ou par négligence, les paquets de boyaux sont jetés dans des tonneaux défoncés et posés debout avec l'humidité assez abondante qu'ils retiennent, mais sans autre addition d'eau. La corde de chaque paquet pose sur le rebord supérieur du vase, dans lequel on en entasse environ les trois quarts de sa contenance; et ces paquets déjà fétides sont abandonnés pendant plus ou moins longtemps, selon la température de l'air.

En hiver, ordinairement, il faut de cinq à huit jours; en été, deux ou trois jours suffisent.

Lorsque la fermentation est assez avancée, ce que les ouvriers reconnaissent aux bulles d'air qui viennent crever à la surface, ils passent à l'opération suivante. Il arrive surtout en été que la putréfaction marche trop rapidement, et qu'ils craignent la perte de leur marchandise : alors ils jettent dans le tonneau un verre de vinaigre, qui arrête la fermentation et leur laisse le temps suffisant pour travailler les boyaux.

Avant et pendant cette fermentation, les boyaux exhalent une odeur des plus infectes.

4° *Ratissage.* Après la putréfaction vient le ratissage, qui était impossible auparavant. Pour cela, les paquets de boyaux sont jetés dans une cuve contenant les deux tiers d'eau; la ficelle qui les tient est enlevée, l'ouvrière en prend un bout de la main droite, le met dans la main gauche, l'ongle du pouce de celle-ci appuie sur l'intestin, qui est pressé sur l'index, tandis qu'elle tire de la main droite. Après en avoir tiré environ une demi-brassée, l'autre face de l'intestin est reprise pour subir la même opération; ensuite on le trempe dans l'eau; celle-ci enlève la membrane muqueuse ratissée qui reste encore à la surface, et lubrifie encore l'intestin, qui glisse d'autant mieux sous l'ongle.

Le boyau contient encore une partie de la membrane péritonéale, le couteau dans le dégraissage n'en ayant enlevé que le tiers environ.

5° *Lavage.* Quand les boyaux sont ratissés, on les jette dans des cuves pleines d'eau, qu'on change une ou deux fois par jour, en les remuant chaque fois pour les faire dégorger. On les laisse ainsi pendant deux ou trois jours, ayant soin de renouveler l'eau. Celle-ci sort, les premières fois, trouble et fétide. Les dernières eaux sont plus claires, quoique un peu colorées et toujours fétides. Ce liquide offre à sa surface une pellicule irisée avec quelques bulles, surtout les premières fois.

6° *Insufflation.* Les lavages terminés, l'ouvrier, qui a fait la première opération, c'est-à-dire le dégraissage, met sur sa poitrine une espèce de bavette en cuir, nommée *bouclier*; il implante son couteau sur le rebord du large baquet qui contient les boyaux, de manière que le tranchant de la lame se trouve en face de lui; un peloton de gros fil est placé à côté, et le bout trempe dans le baquet. Il met à sa bouche un cylindre creux de roseau ou autre de 15 à 16 centim. de long; il introduit le bout de ce cylindre à l'orifice de l'intestin, qu'il serre avec sa main gauche; il souffle en étendant le boyau avec la main droite; si le boyau n'est pas crevé dans toute sa longueur, il est adapté au bout avec une autre longueur de boyau, et l'ouvrier fait la ligature des deux bouts; il souffle la première portion, la main gauche presse près du tube, et de la main droite il entoure le boyau avec un fil, le noue, et présente au couteau le fil ainsi que le bout de boyau noué et non soufflé, il l'enlève en en laissant environ un demi-pouce de long, pour que le nœud ne glisse point; il reprend l'autre bout, le souffle à son tour, et lorsque cela est fait, l'attache avec un autre bout de boyau, qui est ensuite soufflé. Si le boyau offre un trou peu considérable, après avoir soufflé, l'ouvrier le découvre en faisant passer successivement toutes les parties du boyau déjà soufflé dans l'eau, et en les pressant un peu, le bruit que fait l'air en venant crever à la surface de ce liquide le lui fait apercevoir : alors il pince cette partie d'intestin, la double et l'entoure d'un fil, qu'il noue d'une seule main; le *bouclier*, appuyant contre le baquet, presse le fil qui fait résistance, et de cette manière on peut facilement faire le nœud; le fil est coupé en présentant le bout au couteau, et le morceau de boyau en même temps, s'il est trop long. Ensuite une ouvrière attache les bouts de fil de telle manière, que le canal intestinal est comme étranglé par plusieurs ligatures, dans sa longueur.

A mesure que les boyaux sont soufflés, et quand la surface du grand baquet est remplie, on les met dans un très grand panier d'osier pour les porter au séchoir.

Pendant cette opération, les boyaux répandent une odeur des plus infectes, qui se fait sentir au loin (le séchoir étant en plein air), et l'air qui s'échappe souvent des boyaux qu'on souffle en étant imprégné. Le même ouvrier ne peut pas souffler plus de trois jours de suite; ses mains seraient pour ainsi dire dépouillées, et sa poitrine fatiguée. Malgré l'habitude, il sent alors l'odeur qui lui prend à la gorge, cet organe recevant presque chaque fois qu'il respire le refoulement de l'air qu'il a fait entrer avec force dans le boyau, et qui en sort infect.

7° *Dessiccation.* Le panier est porté près du séchoir, qui est formé de longues perches en bois, clouées horizontalement sur des piquets en bois, de 2 mètres de haut, et scellés de loin en loin dans la terre. Les boyaux sont étendus de manière qu'ils ne se touchent point. On les laisse à l'air jusqu'à leur parfaite dessiccation, ce qui demande plus ou moins de temps, selon la saison et le nombre de ligatures, celles-ci étant plus longues à sécher, et aussi selon qu'ils sont plus ou moins bien dépouillés de la membrane muqueuse et de la graisse; en général il faut de deux à cinq jours.

Si le temps est pluvieux, on est obligé de les porter sous des hangars ou au grenier, pour éviter qu'ils ne pourrissent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si le soleil est trop ardent, on a à craindre que la dilatation de l'air qu'ils contiennent ne les fasse déchirer, alors on les met sous un hangar. Le vent peut, en les froissant les uns contre les autres, les faire trouer, et on les en garantit le mieux possible. On évite aussi la gelée avec le plus grand soin, ce dernier état de la température leur étant également nuisible.

8° *Désinsufflation*. Une fois la dessiccation opérée, les boyaux sont portés dans une pièce humide, espèce de cellier : là des ouvrières tenant dans la main droite une paire de ciseaux prennent les intestins, les percent avec la pointe de cet instrument pour chasser l'air, et coupent avec les ciseaux, le plus près possible de la ligature, la portion de boyau qui n'a pas été soufflée, et ainsi de suite à chaque point d'attache, en pressant successivement dans toute la longueur pour chasser l'air.

9° *Lavage*. Lorsqu'on a une certaine quantité de boyaux de *dessoufflés*, l'ouvrière les mesure par paquets de 15 à 20m, dont elle fait une espèce d'écheveau très large, qu'elle attache avec le bout du boyau, de manière qu'à l'endroit de la ligature celle-ci offre une sorte d'anse destinée à les enfiler dans une broche en bois. On laisse ces paquets dans le cellier pour qu'ils s'imprégnent bien d'humidité; ceci est indispensable pour la réussite de l'opération suivante.

10° *Soufrage*. Le soufroir est de diverses dimensions selon l'importance de la fabrique, je le suppose de 2 mètres de haut et de 1m,65 en tous autres sens. On met à la partie supérieure 100 paquets ou davantage de boyaux enfilés par leur anse, à un ou plusieurs bâtons, et encore très humides; s'ils ne le sont pas assez, on les asperge d'eau avec un balai, qu'on trempe de temps en temps dans ce liquide. On pose à la partie inférieure une terrine contenant environ une livre de fleur de soufre; on jette dessus des charbons allumés et on ferme la porte, sur les jointures de laquelle on applique des bandelettes de papier enduites de colle, ou plus souvent on bouche les interstices avec de la terre délayée dans l'eau. Au bout de quelques heures on ouvre la porte, et, après le temps nécessaire pour laisser dégager les vapeurs d'acide sulfureux, on retire les boyaux.

11° *Ployage*. Les boyaux soufrés sont rapportés au cellier. Étant suffisamment humides, l'ouvrier prend un des paquets, choisit le bout qui présente les ligatures les plus rapprochées, en fait plusieurs doubles de 15 à 20 centim. de long, et ensuite entortille à l'entour le restant du boyau, qu'il arrête à la fin, en faisant passer le bout sous le dernier pli. Le paquet présente la forme d'un fuseau effilé par les deux bouts.

Cela opéré, les paquets sont portés au magasin et mis dans des cases aérées qui en contiennent cinq cents. Pour les livrer au commerce, on les emballe dans des sacs qui contiennent la même quantité, et on y ajoute du poivre, du camphre, etc.

Pour donner idée de la facilité de l'emploi du chlorure de soude, et combien il est peu coûteux, nous nous contenterons de rapporter l'expérience suivante, faite devant la commission de la Société d'encouragement. Il paraît après cela inconcevable que le travail ne se fasse pas toujours d'après les procédés si simples, malgré les efforts de l'autorité municipale.

On a mis dans six seaux d'eau 1k,50 de chlorure de soude marquant 16°, et décolorant 16 parties de sulfate d'indigo, et versé ce mélange sur cent boyaux de bœuf fétides : l'odeur a été détruite instantanément, et au bout de quelques heures, le boyau a été travaillé : la muqueuse se détache très facilement, les boyaux sont superbes, et le deviennent davantage après les autres opérations. En établissant le prix de cette eau de Javelle à base de soude à 40 fr. les 50 kilogr., les frais pour cent boyaux de bœuf s'élèveront à 30 cent., et en supposant qu'on soit obligé d'élever la dose de ce chlorure de manière à en mettre 1 kilogr. pour cinquante intestins, contenance ordinaire d'une futaille, la dépense ne dépassera pas 40 cent., c'est-à-dire un peu plus du 1/3 de cent. par boyau; on doit se fixer à ces quantités et à ce dernier chlorure, qui offre évidemment les plus avantageux résultats.

II. — DES CORDES A BOYAUX. Avant de faire connaître la préparation des boyaux de moutons pour la fabrication des diverses cordes, nous allons décrire la manière de faire celle d'intestins de cheval, qui ne reçoit pour traitement préparatoire que le travail indiqué dans le premier paragraphe; ensuite nous exposerons les diverses opérations qu'on fait subir à ceux de mouton; et enfin nous ferons connaître les manipulations qu'on emploie pour chaque espèce de corde, que nous distinguerons par les noms connus des ouvriers et des commerçants. Chaque sorte fera le sujet d'un chapitre particulier : ainsi nous traiterons, outre la corde des *rémouleurs*, dite *des Lorrains*, des diverses cordes faites avec les boyaux de moutons, et qu'on nomme :

1° *Corde à raquettes.*

2° *Corde à fouets*

3° *Corde pour les chapeliers*, dite *d'archal*.

4° *Corde pour les horlogers.*

5° Et la *Corde à instruments de musique.*

Corde pour les remouleurs, dite *des Lorrains*. Les cordes des remouleurs, polisseurs, etc., se font avec des boyaux de cheval débarrassés de la membrane muqueuse par la fermentation, comme nous l'avons indiqué dans le premier paragraphe. Le boyau fétide est pris par un des bouts, dans lequel on fait entrer une boule en bois, fichée au bout d'un piquet scellé sur un établi. A la suite de cette boule sont quatre lames tranchantes : ou, pour rendre l'explication plus claire, qu'on se représente un couteau rond à quatre lames, surmonté d'une boule en bois. On tire également le boyau avec les deux mains, et au fur et à mesure il se coupe en quatre lanières égales. On prend quatre, six ou huit lanières, suivant qu'on veut faire la corde plus ou moins épaisse; on attache par un nœud particulier les lanières à un double bout de ficelle préparée exprès, et qu'on nomme *lacet;* on passe le lacet dans une cheville introduite dans un trou pratiqué sur un poteau fortement scellé. A une distance de 10 mètres, se trouve un semblable poteau avec des chevilles, sur l'une desquelles on passe les lanières. On se rapproche du premier poteau, et l'ensemble des lanières est attaché à un nouveau lacet qu'on enfile à la cheville dont nous avons déjà parlé. Les ouvriers désignent ce premier travail par le mot *ourdir*. On coupe les lanières, on les attache de la même manière que ci-dessus, si elles sont assez longues, ce qui arrive presque toujours, attendu que les bouts sont recousus par de la filandre, après les avoir coupés préalablement en biais et disposés de manière que la couture ne fasse pas épaisseur inégale; si elles sont assez longues, disons-nous, on fait une seconde longueur, jusqu'à ce qu'enfin le boyau soit tout employé. On les cheville entièrement garnies.

Sitôt l'*ourdissage* fini, l'ouvrier place convenablement le rouet, et passe dans le crochet de l'émérillon la ficelle qui tend la corde ourdie; il met un second lacet : si le rouet est suffisamment fort, il donne quelques tours à la roue par le moyen de la manivelle, et place sur une cheville la corde déjà tordue. Il agit de même sur chacune des cordes ourdies; ensuite il passe la main, en pressant convenablement, sur la corde, à partir du rouet, et coupe avec son couteau les filandres qui ne font pas corps avec la corde. Celle-ci ne diminue pas en longueur par la dessiccation, attendu que toujours elle est ramenée à la même dimension par les chevilles; mais par le tordage et la dessiccation, elle diminue beaucoup en épaisseur : après le premier tordage, elle est de la grosseur du doigt.

Quelques heures s'étant écoulées, on remet les cordes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au rouet, on les tord de nouveau. Douze ou quinze heures après, on les prend l'une après l'autre, on enfile le lacet à une cheville qu'on tourne dans la main, le rouet n'étant pas ordinairement assez solide. Ce tordage opéré, on les frotte avec une corde en crin qu'on humecte avec de l'eau et dont on fait un paquet, qui les entoure et qu'on tient entre les mains : cette opération est nommée *étricher*. Un autre tordage est fait trois heures après, et on étriche fortement encore après avoir remis les cordes à la cheville et celle ci au poteau.

Si la corde, suffisamment séchée et tordue, n'est pas bien unie, on la polit avec de la peau de chien ; mais si l'on a passé la corde de crin assez de fois, cela devient inutile. La corde est séchée tendue ; on ne la passe pas au soufre habituellement. Bien sèche, on coupe les deux bouts près du lacet, et on la ploie en rond pour la livrer au commerce.

Au moment où l'ouvrier qui fait les cordes dont nous venons de parler reçoit de l'*écarrisseur* les intestins du cheval, de l'âne ou du mulet, ils sont déjà en pleine putréfaction : en les recevant, l'ouvrier devra les laver pour les débarrasser des matières, les retourner, et les mettre macérer pendant la nuit dans un tonneau contenant deux seaux d'eau mélangée avec 1/2 kil de chlorure de soude alcalin. Cette quantité pourra servir pour quinze à vingt intestins, et n'augmentera la dépense du fabricant que de 10 centimes pour cette quantité.

Le lendemain, il décollera la muqueuse par le moyen usité, lavera les boyaux dans un grand baquet d'eau, ensuite les coupera en lanières, et en filera la corde pendant la journée et donnera le premier tors ; le lendemain, il la finira.

Si cette corde n'est pas assez sèche le lendemain, il sera toujours obligé de donner un second tordage : peu importe pour la salubrité publique, qu'il agisse ensuite plus ou moins rapidement, la fétidité étant peu considérable après le second tordage dont nous venons de parler.

Des opérations préliminaires que les intestins de moutons subissent avant la confection des cordes ordinaires. Les boyaux de mouton retirés du ventre de l'animal encore chaud, on en fait sortir les matières fécales, et du produit de chaque ventre on forme un paquet. Dans cet état, ils sont livrés au boyaudier ; quelquefois il les reçoit sans être vidés : dans ce cas, ils ne peuvent être utilisés que pour la corde à raquette, attendu que les matières séjournant dans les intestins les font fermenter, et prendre une couleur qui persiste lorsque la corde est fabriquée.

Les paquets sont apportés à la boyauderie, et là déposés dans un baquet, dénoués et passés à la main pour les mettre dans un autre baquet avec de l'eau : cette manœuvre se nomme *assir* le boyau. Les morceaux de suif qui ont pu rester sont enlevés en même temps ; ils sont peu considérables ; les petits bouts de chaque intestin sont mis sur le rebord du baquet, et ensuite noués ensemble : ceci est essentiel pour l'opération suivante. On laisse tremper le boyau pendant un ou deux jours pour pouvoir détacher les membranes péritonéale et muqueuse. L'eau est changée plusieurs fois pendant cet espace de temps.

Dès le lendemain, on prend le paquet de boyaux noués, qu'on pose sur un banc incliné, dont la partie inférieure porte sur un baquet ; on gratte avec le dos de la lame du couteau un ou plusieurs intestins. Si le boyau est assez avancé, cet instrument déchire une moitié environ de la membrane péritonéale dans la longueur de 0m,10 à 0m,12 : alors l'ouvrière prend le boyau, pince en le tirant l'autre moitié de cette membrane externe qui suit dans toute la longueur de l'intestin, c'est ce qu'on nomme la filandre ; elle est étendue sur une planche en la doublant sur elle-même, on la noue si elle casse. Cette opération se nomme *filer*. Une chose digne de remarque, c'est que si on cherche à l'enlever, en commençant par la partie la plus grosse de l'intestin, elle ne suit pas, et elle se déchire si souvent qu'à peine peut-on en retirer des morceaux de plus de 20 à 30 centimètres de longueur. Serait-ce rationnel de considérer le tube intestinal comme composé, dans toute sa longueur, du même nombre de fibres ; et si cela est vrai, comme nous le croyons, ne trouverions-nous pas l'explication du fait dans la dilatation plus grande de ces fibres sur le bout le plus large de l'intestin, tandis qu'elles sont plus rapprochées dans le côté opposé ? En pinçant la membrane péritonéale par la partie où les fibres sont plus rapprochées et tirant, ces fibres, étant plus fortes que celles qui suivent, les entraînent dans toute la longueur. Outre la force, la disposition des fibres y est pour quelque chose ; car en enlevant la péritonéale par le bout d'intestin le plus large, la portion de membrane péritonéale va toujours en diminuant de largeur jusqu'au moment où elle se rompt.

La filandre s'emploie pour coudre les boyaux, elle remplace le fil ; de plus on l'utilise pour faire la corde à raquette, comme nous le dirons plus loin.

Sitôt la filandre enlevée, les boyaux sont remis dans des baquets qu'on remplit d'eau de puits. Le lendemain, on les ratisse sur le banc incliné ; ils trempent d'un bout dans l'eau du baquet, l'autre bout est tenu de la main gauche, et de la main droite on tient un couteau dont la lame est arrondie par le dos, et pèse sur le boyau en tirant plus fort à droite. L'ouvrière tient ordinairement trois ou quatre bouts de boyaux ; on nomme cette opération *curer* le boyau. Au fur et à mesure du ratissage, la partie nettoyée est amoncelée sur le haut du banc, qui est long de 1m,33 et de 0m,30 environ de largeur. Les boyaux, tirés par la main gauche, glissent sur la planche de ce banc sans tomber sur les côtés, parce qu'on a pratiqué à son bout incliné un creux arrondi en forme de croissant.

Après cette opération, les boyaux sont mis dans l'eau, et le lendemain celle-ci est remplacée par une solution de potasse, que les ouvriers préparent comme il suit :

Un seau d'eau de fontaine de 14 ou 15 litres est mis dans une tinette ou terrine de grès, on verse dessus 125 grammes de potasse et 125 grammes de perlasse. Les ouvriers ignorent que ces deux sous-sels sont la même substance de qualité différente. La solution opérée, ils laissent déposer, et déterminent si cette eau est trop forte, par l'action qu'elle exerce sur la peau de leur main ; ils ajoutent de l'eau s'il le faut. Quand elle est au point convenable, ils en versent une quantité suffisante sur les boyaux ; on les change trois ou quatre fois de cette eau potassée, en laissant agir chaque fois quelques heures, et en passant au dé une ou deux fois, selon que l'intestin est destiné pour telle ou telle espèce de corde. La plupart des ouvriers croient plus convenable de préparer deux sortes d'eaux de potasse, la seconde avec la perlasse seule, qui, disent-ils, rend le boyau plus sec . ils ont observé que si l'on employait cette dernière solution seule, la corde est trop sèche, et se casse, disent ils, plus facilement.

L'opération de passer au dé se fait en prenant un des bouts du boyau, le pressant contre l'ongle, et employant ensuite un dé ouvert en cuivre, qui au fur et à mesure qu'on tire, ratisse sur le boyau et le débarrasse de plus en plus des corps étrangers à la membrane musculeuse. Pour la corde à instruments, par exemple, on passe au dé bien plus de fois que pour les autres cordes, comme nous l'observerons en son lieu.

Les boyaux, passés suffisamment au dé et à la potasse, sont triés, les plus gros et les plus longs pour la corde de chapelier, qui doit être sans nœuds ni coutures ; la seconde qualité pour la corde à fouet ; la plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inférieure pour la corde à raquettes. Si la quantité nécessaire présente de beaux boyaux fins et très blancs, on les met de côté pour la corde à instruments ; mais cela n'a pas toujours lieu, parce que peu d'ouvriers savent faire cette qualité.

Les autres préparations se rapportent à chaque espèce de corde, et en décrivant leur mode de fabrication nous les exposerons.

Corde à raquettes. Les boyaux de moutons de qualité inférieure, soit qu'ils aient subi les opérations par la potasse, soit qu'ils aient été bien lavés et dégorgés dans l'eau de puits seulement, sont coupés en biais, s'ils sont en plusieurs morceaux, et cousus, étant mouillés, avec de la filandre, en ayant soin de mettre un biais supérieur et l'autre inférieur, afin d'éviter que les coutures rendent la corde inégale. Cela opéré et le boyau ne faisant qu'une seule longueur, on ourdit comme nous l'avons déjà indiqué; ensuite on réunit un, deux, trois ou quatre boyaux qu'on attache à un lacet; on continue à les attacher de la même manière, en mettant chaque fois un lacet ; à la cheville opposée à ce lacet l'intestin fait deux tours pour l'empêcher de glisser. Les attaches étant terminées, l'ouvrier prend un des lacets, le met au crochet de l'émérillon du rouet; il en place même deux ou trois autres, et donne quelques tours de manivelle. Le tordage fait diminuer la corde, mais l'ouvrier la ramène en tirant par le lacet, qu'il enfile à la cheville supérieure. Quand celle-ci est garnie, il promène sa main en pressant la corde à partir du rouet, pour faire sortir l'humidité, et faire qu'elle soit tordue également dans toute sa longueur : une ou deux heures après, il les remet au rouet, et passe la corde de crin.

Après que le tordage est effectué et que la corde est convenablement *étrichée*, on la met en couleur ; et voici comment les ouvriers s'y prennent : une des chevilles qui enfilent les lacets est enlevée; la corde est ployée à l'entour, on la réunit avec la cheville opposée, et on laisse tremper la corde dans du sang de bœuf pendant quelques minutes; on la tord de nouveau jusqu'à dessiccation complète; quelquefois on la passe une seconde fois au sang de bœuf; il arrive aussi fort souvent que les boyaux sont mis en couleur avant le tordage : dans ce cas, on met les boyaux tremper dans le sang de bœuf avant l'ourdissage. La corde tordue est ensuite polie avec la corde de crin, suffisamment séchée; on coupe les bouts, et on la ploie en rond : dans cet état, elle est propre aux usages auxquels on l'a destinée.

Pour les qualités inférieures de corde à raquettes, on met un boyau seul et deux ou trois filandres, et on opère de la manière que nous avons indiquée.

Corde à fouets. Les boyaux de moutons préparés à la potasse, et mis de côté pour la corde à fouets, sont pris par l'ouvrière, les bouts coupés en biais et cousus avec de la filandre, toujours de façon que les coutures ne fassent pas épaisseur inégale. On *ourdit* la corde et on tord chaque bout séparément, car il est rare qu'on fasse de la corde à foucts à deux brins ou boyaux. On la soufre une ou deux fois. Quelquefois on la met en couleur, soit en noir, rose ou vert. Les boyaux prennent bien la teinture. Le noir se donne avec l'encre ordinaire; le rose avec l'encre rouge, que l'acide sulfureux fait virer au rose ; le vert par la couleur de cette nuance, que les marchands de couleurs vendent aux boyaudiers

Les soins pour la fabrication de ces cordes sont plus grands que pour la corde à raquettes, mais moindres que pour celle des chapeliers. Après l'avoir bien polie à la corde de crin, on la laisse sécher, on la coupe par les bouts, et on la ploie par grosses pour la livrer aux fabricants de fouets.

Corde pour les chapeliers, dite *d'arçon*. Les boyaux de moutons les plus longs, les plus gros, après avoir été passés convenablement à la potasse, sont ourdis par quatre, six, huit, dix ou douze, selon la grosseur dont on veut faire la corde, qui est ordinairement de 5 à 8 mètres de long. Pendant et après l'*ourdissage*, on place sous la longueur de la corde une caisse longue, de 0m,50 à 0m,55 de large, ayant à l'entour un rebord de quelques centimètres; elle doit être très propre, étant destinée à empêcher le boyau qui traîne de se salir : on la nomme le *rafraîchi*.

Cette corde ne doit avoir ni coutures ni nœuds; aussi l'ouvrier, en ourdissant, double les boyaux, met un lacet aux bouts réunis, qu'il place à la première cheville ; il tire les boyaux doublés, et si dans la longueur il s'en trouve qui n'arrivent pas à la seconde cheville, il prend un bout de boyau qu'il passe dans celui qui est trop court, et double le bout pour arriver à ladite cheville : s'il y en a plusieurs, il agit de la même manière; enfin il les attache à un lacet, qu'il place sur la cheville. Ce travail fini, il applique au rouet et agit comme pour les autres cordes, en *étrichant* avec le plus grand soin et à plusieurs reprises chaque fois qu'il tord de nouveau. A demi-séchées, ces cordes sont soumises deux fois à la vapeur du soufre. Après chacune de ces opérations, la corde est tendue, *étrichée*, en arrosant la corde de crin avec assez grande quantité d'eau de potasse. On la laisse sécher tendue, ensuite on la coupe et ploie comme il a été déjà dit.

Corde pour les horlogers. Cette corde à boyau doit être extrêmement mince : aussi pour la faire prend-on des intestins très petits, bien travaillés par la potasse, ou le plus souvent des boyaux coupés en deux par un couteau approprié à cet effet. C'est une espèce de lance surmontée d'une boule en plomb ou en bois. Cet outil est placé sur le bout d'un établi, et on tire avec les deux mains également le boyau, dans lequel on a introduit la boule. Le boyau mouillé se coupe assez régulièrement en deux lanières, qui tombent chacune dans une terrine. Il est inutile de dire que chaque main tire une lanière, et que les deux marchent en même temps.

Les horlogers se servent aussi de cordes de diverses grosseurs, et contenant un plus ou moins grand nombre d'intestins : on les fabrique comme les cordes à instruments dont nous allons parler, mais avec beaucoup moins de soins.

Cordes à instruments. Il est reconnu de temps immémorial que les cordes à instruments préparées en France par d'habiles ouvriers, sont aussi bonnes que celles qui nous viennent d'Italie, excepté cependant les chanterelles, que nos fabricants ne sont parvenus à faire aussi bien qu'en très petite quantité; ce qui tient à la nature des boyaux de moutons, qui à Paris proviennent de trop grands animaux. Les chanterelles nous forcent donc à être tributaires de Naples, et tous les efforts qu'on a faits jusqu'à présent pour nous affranchir de ce tribut ont été sans succès. Quand on a pu en faire quelques-unes de qualité égale, on n'y est parvenu qu'en choisissant sur une très grande quantité de boyaux, et en prenant les plus minces.

Nos fabricants ne vendent que les produits de leur industrie. Le commerce français ne fait venir d'Italie que des chanterelles, qui arrivent par paquets de trente cordes ployées dans du papier tellement huilé, qu'elles nagent pour ainsi dire dans ce liquide; et les luthiers ne peuvent se procurer les cordes que chez les marchands qui les tirent d'Italie, ou chez les fabricants. Il nous paraît évident, d'après cela, que les consommateurs ne peuvent employer (en bonnes cordes) que des chanterelles de Naples, et que toutes les autres cordes dont ils se servent sortent de nos fabriques. Cependant il est vrai de dire que les marchands, pour faire valoir leur marchandise, assurent, dans cette partie comme dans bien d'autres, que leur article vient de loin. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

musiciens peuvent bien en être dupes relativement au prix d'achat; mais ils ne le sont pas relativement à la qualité, puisqu'ils ont ce qu'on connaît jusqu'à présent de meilleur.

D'après ce que nous venons de dire, nos recherches doivent principalement se porter sur les chanterelles; il nous faut surmonter cette grande difficulté, contre laquelle tant d'artistes ont échoué; savoir, de faire à Paris des chanterelles aussi fortes, sans être plus épaisses, avec des boyaux trop gros, tandis que les Napolitains se servent des intestins de moutons beaucoup plus petits. Avant d'exposer nos tentatives, nous croyons de notre devoir d'exposer l'art du fabricant de cordes à instruments de musique.

Aux abattoirs de Paris, les boyaux grêles de moutons sont remis aux boyaudiers après avoir été débarrassés des matières fécales; on en fait des paquets dont chacun contient l'intestin d'un animal. Parvenus à l'atelier, on les met dans un baquet plein d'eau de Seine; on les dénoue, et on les fait passer dans un second baquet ou terrine d'eau fraîche, en posant le bout le plus mince de l'intestin sur le rebord. On continue ainsi jusqu'à ce que tous les boyaux soient passés. Alors on en fait un paquet, qu'on met tremper dans l'eau, et on change ce liquide dans la journée. Si la température est élevée, on essaie de les *curer* le soir même ou le lendemain : cette opération se fait comme nous l'avons indiquée en parlant des autres espèces de cordes de moutons; il faut toujours qu'elle se fasse le plus tôt possible, attendu qu'une macération trop longue diminue leur force. On se sert peu maintenant de morceaux de roseau arrondis : quelques fabricants ont conservé cette manière d'opérer; mais on va plus vite avec le dos de la lame d'un couteau, et on déchire moins souvent l'intestin. Si l'on met à l'eau courante les boyaux, au lieu de les laisser tremper dans des baquets ou terrines pleines d'eau, le *curage* peut s'effectuer bien plus promptement, et la matière est entraînée par le courant.

Ce premier ratissage opéré avec encore plus de soin que pour les autres espèces de cordes, et on se servant toujours d'eau de Seine, les boyaux sont mis dans les eaux alcalines, qu'on prépare de la manière suivante :

Dans une fontaine de grès de six voies, qu'on remplit d'eau de Seine, on met 1k,50 de potasse, on remue bien et on laisse déposer. Semblable vase également plein d'eau est placé à côté : on y ajoute 2k,50 de cendres gravelées, et on laisse ainsi déposer. Si l'on est pressé de se servir de cette solution, on y verse dessus un peu d'alun, qui la clarifie promptement par la précipitation de l'alumine, et c'est pour ce seul motif que l'alun est ajouté.

On met les boyaux ratissés dans des terrines de grès ou vernissées, de manière que chacun de ces vases en contienne près de la moitié, on les remplit de suite d'eau de potasse coupée de partie égale d'eau; on change les solutions deux fois par jour, en augmentant leur force avec la solution de cendres gravelées, et en diminuant la dose de l'eau, et cela progressivement, de manière que les dernières eaux soient les plus fortes. Les boyaux blanchissent de plus en plus et se gonflent. Après avoir laissé macérer de 3 à 5 jours, ou davantage, selon la température, on passe aux opérations suivantes.

Chaque fois qu'on change l'eau alcaline, les terrines sont placées sur une caisse de 2 mèt. environ de long, sur 0m,50 de large, ayant un rebord de 0m,10 à 0m,12; cette caisse se nomme *rafraîchi*, et est posée sur une table ou sur des appuis, toujours ayant une pente douce pour faciliter l'écoulement des eaux. Elle est de grandeur convenable pour tenir solidement les métiers sur lesquels les cordes sont étendues. On passe les boyaux dans une nouvelle terrine, et on les ratisse avec une espèce d'ongle de cuivre, qu'on met au pouce de la main gauche, il a la forme d'un dé à coudre ouvert; anciennement on se servait d'un pareil outil en fer-blanc, mais on s'est aperçu que le fer déchirait souvent le boyau. On applique l'index contre ce dé, tandis que de la main droite on tire une portion d'intestin qui est pressée entre le bord supérieur du dé et l'index. On continue de passer ainsi chaque boyau, et quand la terrine est épuisée, on verse de la solution plus forte que celle d'où les boyaux sortent, comme nous l'avons déjà dit. Cette opération est essentielle pour que le dégraissage de l'intestin soit parfait, et que les cordes soient de belle qualité.

Pendant cette opération l'on a devant la poitrine une planche nommée *plastron*, *bouclier*, etc., de 0m,40 à 0m,50 de hauteur sur 0m,25 de large; elle est armée d'une coulisse, qui permet de la faire glisser devant chaque terrine, et elle est destinée seulement à empêcher qu'on ne soit mouillé par l'eau alcaline, qui éclabousse quand on passe rapidement au dé les boyaux.

Quand on s'aperçoit que les boyaux gonflent davantage, et qu'il se présente quelques bulles à leur surface (car dans ce cas ils montent sur l'eau), il est urgent de filer la corde; autrement, on verrait tourner le boyau, ce qui arrive quelquefois, surtout en été : dans ce cas, les matières premières et le travail sont perdus. A une haute température, le dégraissage se fait plus facilement; mais il faut que l'ouvrier redouble d'attention, et que les lessives soient augmentées de force plus promptement; en hiver il marche avec plus d'ordre, et la confection de ses produits est meilleure. En général les fabricants de cordes à instruments travaillent dans des locaux frais et un peu humides.

Les boyaux en état d'être filés, on décante toute la lessive dans laquelle ils nagent, on dit alors qu'ils sont au sec. D'autres fabricants les jettent dans l'eau, les lavent bien et décantent ensuite; dans ce cas, les boyaux prennent mieux le soufre, et les cordes sont plus blanches : n'est-ce pas aux dépens de leur force?

Pour filer et terminer la corde, on prend un métier, espèce de châssis de 0m,65 de large sur 1m,65 de long; à un des côtés de la longueur, sur la traverse, sont placées à demeure un grand nombre de chevilles. Le côté opposé présente également sur la traverse un nombre double de trous faits avec une grosse vrille, de manière que quand la cheville y est placée, la corde qui la tire ne la fasse pas sortir. Les boyaux sont choisis selon leur grosseur, et les bouts placés par ordre sur le rebord de la terrine de façon à les distinguer, pour les faire servir à telle ou telle grosseur de corde. Alors on prend deux, trois bouts de boyaux, ou plus, qu'on attache à une petite cheville; elle est ensuite placée dans un des trous, et les boyaux sont portés sur la grosse cheville opposée. On fait deux tours pour les empêcher de glisser, et on vient avec les boyaux trouver le côté d'où on est parti : ils sont attachés à une autre cheville, qu'on fiche dans son trou, et l'excédant est coupé; ils sont très peu tendus, parce que la corde diminue en longueur par le tordage, et que pour la ramener au trou pour placer la cheville, on risquerait de la casser; ce qui arrive souvent. S'il y a un ou plusieurs intestins qui ne soient pas assez longs, alors on les remplace par des bouts qui le sont davantage, et on fait la ligature près de la grosse cheville, pour que la corde n'offre pas d'inégalités; car dans ce cas elle serait fausse.

Tout le *métier* étant garni comme nous venons de le dire, une ou deux petites chevilles sont mises aux crochets, si le rouet en porte plusieurs, et on donne quelques tours de roue en promenant les doigts sur la corde à partir du rouet jusqu'à la grosse cheville. On passe successivement toutes les cordes, et une fois ce premier tordage opéré, le métier est mis au soufroir avec plusieurs autres, attendu qu'on fait rarement cette opération pour un seul.

Le soufroir est établi dans un endroit humide où

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'eau ruisselle pour ainsi dire de tous les côtés; une terrine contenant de la fleur de soufre en quantité suffisante y est placée dans l'intérieur, on l'allume et on calfeutre les ouvertures; après deux ou trois heures, on ouvre le soufroir. Les métiers se trouvent dans une espèce de buée aqueuse et acide : les cordes ont conservé leur grosseur et leur humidité; on enlève les métiers les uns après les autres; ils sont placés sur le *rafraîchi* : là on entrelace une corde de crin entre chaque corde de boyau. L'ouvrier en prend ordinairement 8 ou 10 de cette manière, les frotte avec force, en promenant la corde de crin. Quand un côté du métier est ainsi frotté, ou *étriché*, on donne un second tors aux cordes et on retourne le métier pour faire subir pareille manœuvre aux cordes qu'il contient : on remet les métiers au soufroir, et, cela opéré, on les tord de nouveau pour les soufrer encore, ensuite on les laisse sécher; ce qui demande plus ou moins longtemps selon la température de l'air.

On connaît que les cordes sont assez sèches lorsqu'après avoir enlevé les petites chevilles, elles ne reviennent pas sur elles-mêmes, et qu'en les tenant droites quelques pouces au-dessous, elles restent ferme sans se pencher. Si elles possèdent ces qualités, on les huile avec de bonne huile d'olives, et enfin on les coupe près des chevilles pour les mettre en rond et en paquets. Dans cet état, elles sont propres à être livrées au commerce. Elles sont meilleures quelque temps après leur fabrication, aussi ne vend-on que les plus anciennement faites.

Pour faire la quatrième de violon, ou toute autre grosseur de corde à boyau entourée de fil métallique, on prend une longueur d'environ 4 mèt., qu'on adapte par un bout au crochet du rouet; l'autre bout est attaché à la boucle d'un émérillon tournant, lequel fait tendre la corde par le moyen d'un poids suspendu à une ficelle, qui passe sur une poulie pour venir se lier à l'émérillon. L'ouvrier prend le bout de son fil et le passe au bout de la corde près de l'émérillon. Un ouvrier tourne le rouet d'une manière égale, la corde fait tourner l'émérillon; l'ouvrier la soutient de la main gauche, et de la main droite dirige le fil métallique sur la corde, de façon à ce qu'il soit légèrement pressé et qu'il s'applique d'une manière égale. Ce travail se fait avec promptitude et avec la plus grande facilité; cependant on pourrait le rendre encore plus simple au moyen d'une mécanique qu'il nous semble facile d'établir. Pour couvrir une corde à boyau de fil métallique, *Il* faut prendre la corde non soufrée et avant d'être huilée.

Le secret des plus habiles ouvriers consiste dans leur habitude du travail, dans l'observation journalière de l'état du boyau pour lui donner la lessive plus ou moins forte, un tordage et retordage plus ou moins considérables, et d'arrêter le soufrage à point; enfin de diriger la corde dans toutes ses préparations d'une manière convenable. Ce sont autant de moyens que l'expérience donne, mais qui ne comportent pas une description.

Si l'on consulte ces ouvriers sur la fabrication des chanterelles, ils répondent : C'est une chose impossible; nous avons essayé souvent et toujours en vain; l'espèce de moutons qui se consomment à Paris ne permettra jamais de faire des chanterelles aussi fines que celles qu'on fabrique à Naples, où les boyaudiers ont les intestins des moutons du pays, qui sont très petits.

Malgré ces assurances désespérantes, nous avons cru devoir entreprendre les expériences suivantes :

Nous avons pris un morceau de véritable chanterelle de Naples, et l'avons mis tremper dans de l'eau de potasse très faible, afin de pouvoir l'analyser, vu que cette corde était très huilée. Au bout de quelques heures, elle avait gonflé, et nous sommes parvenus à séparer les trois intestins dont elle était formée; après plusieurs tentatives nous avons pu, au moyen d'un tuyau de plume, souffler un de ces morceaux de boyau, et nous avons observé qu'en effet la capacité est bien moindre que celle de l'intestin de nos moutons, et qu'il est extrêmement fin et propre. Au premier aspect, on serait presque porté à croire que c'est l'intestin de tout autre animal que le mouton. Cette sorte d'analyse mécanique a fait naître en nous une foule d'idées pour tenter divers procédés pour la fabrication des cordes à instruments, nous en relaterons la partie que nous croirons devoir intéresser les savants. Nous avons pensé surtout qu'outre la petitesse des boyaux, les Napolitains pouvaient bien aussi avoir des manipulations particulières ou des agents chimiques, au moyen desquels ils font rentrer pour ainsi dire le boyau en lui-même : nous avons cherché à les deviner ou à y suppléer.

Nous avons pris des boyaux de nos moutons et à l'époque de l'année où on tue les plus gros, c'est-à-dire en mars et avril. Après les avoir ratissés au couteau comme il a été dit, nous les avons placés dans trois terrines par égale quantité.

La première terrine a été traitée par des eaux de potasse seule, à force progressive, comme nous l'avons déjà décrit. La seconde avec de l'eau de potasse et des cendres gravelées, selon la méthode usitée. La troisième avec de la potasse unie avec d'autres sels, que nous ne nommons pas.

On a observé que les boyaux des deux premières terrines ont constamment été de plus en plus blancs, qu'ils se sont gonflés, qu'ils étaient de peu de consistance en les touchant, et qu'en passant au dé ils faisaient peu de bruit : tandis que ceux traités par la potasse combinée faisaient un bruit beaucoup plus fort pendant cette opération. Du reste ils présentaient le même aspect que ceux des autres terrines, seulement ils se tenaient plus au fond du liquide et gonflaient moins; ils étaient aussi blancs.

Les boyaux arrivés à point pour filer la corde, le métier a été garni; la corde convenablement tendue et tordue, avec une foule de minutieuses attentions peu intéressantes à décrire, peut-être utiles néanmoins pour la réussite, et que nous devons à notre première idée de souffler le boyau de la corde de Naples.

Dans cet état, le métier a été mis au soufroir, que nous avons fait construire comme suit : quatre montants en bois de chêne de la hauteur 1m,50, avec des traverses de 1m,83 de long, et 0m,65 de large. Le fond en planches bien assemblées, le haut couvert par un châssis tenu par des charnières : le tout a été enveloppé par de la toile, qui a été recouverte par du fort papier y adhérant par de la colle d'amidon. Sur un des côtés a été ménagée une petite porte, pour introduire la terrine contenant le soufre. Quand la terrine est placée, elle se trouve recouverte par une plaque en tôle de 0m,40 à 0m,50 en tous sens, et qui est placée de telle manière que la flamme du soufre vient la frapper dans son milieu à environ 0m,20 d'élévation. Elle est destinée à empêcher que la chaleur ne se porte en majeure partie sur le milieu des cordes du métier, et à faire évaporer la vapeur de soufre en même temps. Toute la vapeur d'acide sulfureux est concentrée dans cette espèce de caisse et ne peut s'échapper, le couvercle et la porte étant entourés de bandelettes de papier collé.

Au bout de quelque temps, nous avons entendu plusieurs cordes casser : cet accident n'est pas dû à la vapeur du soufre, mais bien à la chaleur trop vive.

Après deux heures d'exposition à la vapeur du soufre le métier a été retiré; les cordes avaient peu blanchi, elles avaient séché trop vite. Dans les soufroirs ordinaires, comme nous l'avons déjà observé, l'humidité est extrême, et ce non succès pour le soufrage nous prouve que dans les arts ce qui paraît le plus insignifiant, peut quelquefois n'être pas à négliger. Notre soufroir était placé au milieu d'un laboratoire sec et aéré. Dans les opérations suivantes, nous l'avons chargé d'humidité, et nous avons réussi à faire des cordes très blanches.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

drique. Cette ouverture est généralement garnie d'un ajutage en tôle de 10 à 15 centimètres de longueur, ayant pour but d'empêcher la terre de s'arracher sur les angles en sortant du tonneau.

Afin de faciliter la sortie de la terre du tonneau, l'arbre porte-lames est muni, à sa partie inférieure, d'un couteau ayant la forme d'un S. Ce couteau affecte une autre forme dans les tonneaux où la terre, au lieu de sortir sur le côté, s'échappe par un orifice pratiqué dans le fond. Il est alors à deux ou trois branches et est disposé comme une hélice de bateau, dont l'inclinaison est la même que celle des lames, et dont le pas fait suite à celui de la surface hélicoïdale que forment ces lames. Cette disposition du couteau a pour avantage de ne pas changer la direction des filets de terre, et d'exiger une force motrice moindre que le couteau du premier système qui, par sa disposition, éprouve une résistance normale à sa surface.

Le malaxeur a besoin, pour fonctionner, d'une force variant du simple au double, en raison de la nature de la terre et du nombre de tours que fait l'arbre ; il produit par jour une quantité de terre qui, dans les mêmes circonstances, varie également du simple au double. On peut toutefois dire qu'il emploie en moyenne une force de 4 chevaux et 1/2, et qu'il fournit, en moyenne aussi, 12 mètres cubes de terre malaxée par jour.

Lorsque la terre renferme des rognons très durs ou qu'elle doit être moulée presque sèche, sous une forte pression, on emploie avec avantage de lourdes meules verticales tournant autour d'un axe horizontal, une machine analogue au moulin à écraser employé dans les huileries.

FABRICATION DES BRIQUES. *Moulage à la main.* Le nombre des ouvriers nécessaires pour former un atelier varie suivant les localités. Ainsi, dans l'Artois, une *table de briques* (langage des briquetiers) se compose de six personnes : un mouleur qui est le chef de l'atelier, deux porteurs, deux pétrisseurs, batteurs ou marcheux, et un manœuvre. Dans les environs de Paris, une brigade de briquetiers est formée par quatre ouvriers: l'un pour marcher et préparer la terre; deux mouleurs, dont l'un va de temps à autre chercher la terre préparée nécessaire, et un garçon pour démouler les briques et les ranger sur l'aire.

Tout d'abord, les ouvriers commencent par préparer avec soin le terrain de la briqueterie, c'est-à-dire qu'ils dressent le sol et nivellent sa surface, en ayant soin, lorsque cela est possible, de donner une pente assez douce, mais suffisante pour que les eaux puissent s'écouler dans une fosse que l'on pratique à cet effet. L'eau ainsi recueillie sert aux travaux de la briqueterie.

Le terrain une fois bien régalé, on le divise, au moyen d'un cordeau, en bandes de 2m,50 environ de largeur, comprenant entre elles un espace de 6 mètres destiné au travail. C'est dans ces bandes que, plus tard, on disposera les briques en haies pour le séchage. Il est bon de creuser de petites rigoles autour des bandes, et de maintenir le sol de celles-ci légèrement plus élevé que le restant du terrain. Enfin, dans un coin de la briqueterie, on établit une baraque pour emmagasiner le sable et le maintenir toujours dans un état parfait de sécheresse.

C'est le brouetteur qui ratisse avec le *poussoir* (râteau) tout le terrain où l'on va travailler, y apporte du sable, qu'il étend partout où l'on déposera des briques, et dont il remplit la *minette* (baquet contenant le sable nécessaire au mouleur). C'est lui également qui apporte de l'eau dans le baquet à laver les moules qui, de même que la minette, doit se trouver à portée du mouleur.

Après que tous ces préparatifs sont faits, l'atelier commence le travail du moulage. Le brouetteur apporte sur sa brouette de la terre préparée en quantité suffisante pour mouler 80 ou 100 briques et la dépose à côté du mouleur, après quoi il la recouvre de paillassons pour l'empêcher de se dessécher.

Le mouleur saupoudre alors, avec du sable qu'il prend dans la minette, le coin de la table ainsi que les parois intérieures du moule; il plonge les mains dans le tas d'argile, en enlève une charge de 6 à 7 kilogrammes et la jette avec force dans le moule, de façon à la faire pénétrer exactement partout. Il rase ensuite le moule avec la main, en y comprimant la matière afin de ne laisser aucun vide, et enlève l'excédant de terre; puis, saisissant avec la main droite un instrument appelé *plane*, ayant des formes diverses mais équivalentes (fig. 5), il le passe sur le moule en appuyant fortement pour faire tomber ce qui déborde.

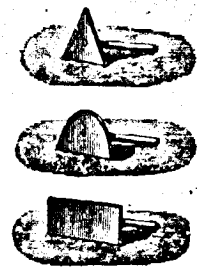


Fig. 5.

A ce moment, le porteur tire à lui le moule, le fait glisser au bord de la table et l'enlève avec les deux mains en le dressant sur le champ, afin d'empêcher que la brique tombe ou se déforme dans le trajet qu'il parcourt pour aller de la table à l'endroit où il doit la déposer. Arrivé à cet endroit, il approche le moule de terre, comme s'il voulait le poser de champ, et le renverse subitement à plat sur le sol de la haie, le long du cordeau qu'il a eu soin de tendre d'abord; puis il relève son moule vers le haut, en le faisant bien carrément pour ne pas déformer la brique, ce qui ne manquerait pas d'arriver s'il opérait obliquement. Il revient ensuite à la table avec le moule, le jette dans la minette, le saupoudre légèrement de sable et l'en frotte

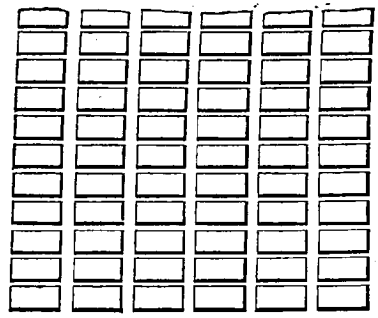


Fig. 6.

tout autour intérieurement. La fig. 6 montre comment le porteur dispose les briques sur l'aire.

Mais, tandis que le porteur a exécuté tous ces mouvements, le mouleur a eu le temps de faire une autre brique que le porteur n'a qu'à enlever, comme précédemment, pour la porter à côté de celles déjà posées le long du cordeau.

EFEERUS - Recherche & Classification numérique

Les mêmes manœuvres se répètent pendant toute la durée du moulage.

Les moules (fig. 7) dont on se sert dans le moulage

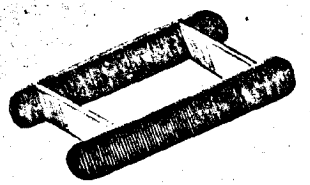


Fig. 7.

sont généralement construits en bois. Quelquefois on les double en métal pour les rendre plus solides, ou même on les établit entièrement en métal.

Dans certaines localités, les moules ont assez de longueur pour que l'on puisse y mouler deux briques à la fois. Dans ce cas, ils sont divisés en deux par une traverse.

Un bon mouleur peut, dans une journée de 12 à 13 heures, confectionner jusqu'à 10 000 briques. Il emploie pour cela 13 à 14 mètres cubes de terre préparée, pesant ensemble 16 000 à 17 000 kilogrammes.

Nous avons dit que le porteur alignait les briques à plat sur les bandes à ce destinées. Lorsque le temps est beau et que le soleil brille d'une façon régulière, il ne faut pas plus de douze heures à ces briques pour se ressuyer et acquérir une consistance suffisante pour être maniées sans se déformer. Si, au contraire, le temps est couvert et que le soleil ne se montre qu'à intervalles en dardant ses rayons avec force, comme cela arrive dans la saison des orages, la dessiccation n'a pas une marche régulière et se trouve activée : il est à craindre alors que les briques se fendent ou cassent. Pour prévenir cet accident, il est bon que le metteur en haie saupoudre les briques de sable, afin de tempérer l'action des coups de soleil un peu vifs, et de modérer l'évaporation précipitée qui en résulte. Il est même nécessaire de les recouvrir de paillassons, si l'on craint une pluie un peu forte. En un mot, le metteur en haie doit veiller à ce que la dessiccation se fasse bien régulièrement. C'est de cette régularité que dépendent en grande partie la solidité et la qualité des briques.

Lorsque les briques ont acquis une fermeté suffisante, ce dont on s'assure en regardant si, en appuyant le doigt dessus, il ne laisse aucune trace, on les *pare*, c'est-à-dire qu'on enlève avec un couteau les bavures et les saletés qui en altèrent la forme.

Pour opérer le parage, le metteur en haie se sert d'un couteau en bois. Au fur et à mesure qu'il a ébarbé une brique, il la relève sur champ sans lui faire quitter terre. Il poursuit ainsi son travail tant qu'il y a des briques à relever. Cependant, si le ciel est menaçant, il se contente de parer une centaine de briques, et il va immédiatement les ranger sur les haies. Il prend cette précaution, parce que l'expérience a démontré qu'une brique crue posée de champ, qui reçoit la pluie, se déforme plus facilement et court davantage le risque de se briser en morceaux que si elle est posée à plat.

Pour confectionner les haies, l'ouvrier transporte avec une brouette les briques ébarbées et les pose de champ les unes sur les autres, de façon qu'elles occupent le moins de place possible, tout en étant suffisamment espacées pour que l'air, en circulant entre elles, les frappe bien de tous les côtés. Les haies ne doivent pas avoir plus de 2 mètres de hauteur. On les construit plus solidement à leurs extrémités qu'au milieu, afin d'éviter qu'elles s'écroulent. En outre, lorsque l'espace le permet, on ne leur donne que quatre briques d'épaisseur. Le premier lit est formé de quatre rangées de briques dont la plus grande dimension est perpendiculaire à la ligne de front. Quant aux briques des lits supérieurs, on leur donne une direction oblique qui, pour chaque lit, est contrariée avec celle du lit immédiatement inférieur. L'arrangement se poursuit ainsi jusqu'au haut, sauf les deux ou trois dernières rangées, auxquelles on donne une disposition telle que les paillassons que l'on place, pour couvrir la haie, aient l'inclinaison d'un toit. Les briques restent ainsi en haies jusqu'au moment de la cuisson, dont nous nous occuperons plus tard.

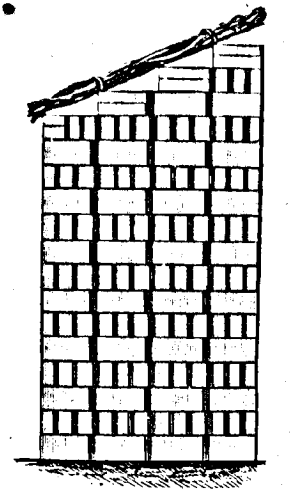


Fig. 8.

Nous représentons, dans la fig. 8, l'élévation latérale d'une haie.

Nous donnons dans la fig. 9 le modèle d'une brouette très-commode pour le transport des briques.

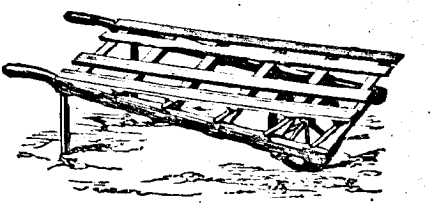


Fig. 9.

Dans les grandes fabriques on dispose de hangars couverts et ce mode de séchage offre un avantage réel. D'abord, les briques ne sont pas sujettes à recevoir des pluies plus ou moins abondantes susceptibles de les détériorer; ensuite, si l'on a soin de bien orienter les tablettes, elles ne courent pas le risque d'être frappées par des coups de soleil alternant avec un ciel nuageux. En outre, la dessiccation s'opère avec plus de régularité et plus de lenteur, ce qui, d'après l'expérience, communique aux briques une qualité meilleure. Enfin, on peut se livrer à la fabrication bien avant le temps où commence celle en plein air, puisqu'on n'a pas à redouter la gelée blanche ni les gelées tardives du printemps.

Rebattage. Lorsque les briques doivent avoir une forme parfaitement régulière, une homogénéité parfaite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et beaucoup de densité, on doit non-seulement choisir avec soin les terres, les bien malaxer, opérer sous des hangars afin d'être à l'abri des variations atmosphériques pendant le séchage, et surtout surveiller ce dernier pour qu'il se fasse d'une façon uniforme, mais de plus, avant que les briques soient arrivées à une dessiccation complète, il faut les soumettre à une opération que l'on appelle rebattage.

Le rebattage peut s'exécuter de deux façons, soit à la main, soit avec le concours de machines spéciales.

Quand on opère le rebattage à la main, il est bon de le faire en deux fois, pour éviter que les briques ne renferment dans leur intérieur des parties plus molles et plus humides que celles de l'enveloppe extérieure. Le premier rebattage se fait quand la brique commence à prendre une certaine consistance, et le deuxième, lorsqu'elle ne reçoit plus que difficilement l'empreinte du doigt.

L'ouvrier chargé du rebattage, et qu'on appelle *frappeur*, doit être adroit et soigneux, afin d'opérer vivement et de causer le moins de déchet possible.

Pour opérer le premier rebattage, cet ouvrier pose chaque brique sur un banc de 40 à 50 centimètres de haut, qu'il saupoudre de sable et sur lequel il se met à cheval; puis avec une *batte* en bois de hêtre, bien plane (fig. 10), il la frappe sur toutes ses faces, en ayant

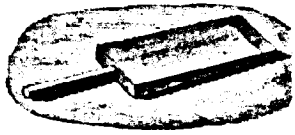


Fig. 10.

soin que chaque coup qu'il donne tombe bien d'aplomb. Il commence par frapper la brique posée de champ sur sa longueur, en la maintenant aussi perpendiculaire que possible sur le banc, d'abord d'un coup léger, puis d'un second un peu plus fort. Il retourne alors la brique sur le côté opposé et frappe de même deux coups; il la relève ensuite debout, la frappe sur l'une de ses petites faces, puis sur l'autre. Les quatre faces latérales étant ainsi rebattues, on comprend aisément que l'argile doit déborder sur les quatre arêtes de chacune des grandes faces. Le rebattage de ces faces doit s'exécuter avec plus de soin que pour les autres, de manière que les bords saillants rentrent bien sur eux-mêmes sans se déverser sur les petites faces. C'est pour arriver à ce résultat que le batteur agit avec plus de lenteur et qu'il donne au moins quatre coups de batte.

Le second rebattage s'exécute de la même manière que le premier. Seulement l'ouvrier n'a plus besoin de prendre autant de précautions, ni de saupoudrer de sable le banc sur lequel il opère, attendu que les briques étant plus sèches se déforment moins facilement et ne courent plus le risque de s'attacher au banc.

Le rebattage est une opération qui offre des avantages réels: il donne à la brique plus de densité, favorise sa dessiccation, accélère sa cuisson et contribue puissamment à lui donner une qualité supérieure.

Mais si le rebattage a ses avantages, il a aussi ses inconvénients. D'abord il occasionne une main-d'œuvre presque aussi coûteuse à elle seule que tout le reste de la fabrication, non-seulement à cause du travail en lui-même, mais encore par les déchets dont il est la source, déchets qui quelquefois peuvent devenir considérables, lorsqu'il est confié à un ouvrier inexpérimenté et manquant de soin. En second lieu, il peut altérer la forme de la brique et les rapports établis par le moule entre les trois dimensions, en allongeant les parties qui sont restées les plus molles et en n'exerçant aucune action sur les parties déjà dures. En outre, lorsqu'une brique est inégalement sèche et présente des parties plus dures occasionnées par des courants d'air trop vifs ou trop chauds, ces parties éclatent sous la batte ou s'entr'ouvrent en formant des fissures dont l'importance s'accroît à la cuisson. On obvie à ces derniers inconvénients en saisissant le moment précis où le rebattage doit être effectué.

Dans tous les modes de fabrication où l'on vise plutôt au bon marché qu'à obtenir des produits de premier choix, on se dispense habituellement du rebattage qui, du reste, devient complétement inutile lorsque les briques sont moulées au moyen de machines, parce qu'alors on obtient immédiatement une densité suffisante.

Pour activer le rebattage et diminuer les frais dont il est la source, on a imaginé diverses machines: nous décrirons ici seulement la suivante.

Elle se compose d'un moule A (fig. 11), poli intérieu-

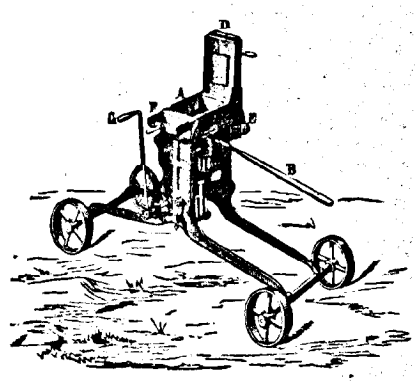


Fig. 11.

rement et fixé à la partie supérieure. Un couvercle D, mobile autour d'une charnière, muni d'une poignée et contre-balancé par un poids E, peut s'abattre sur ce moule et être maintenu solidement au moyen d'un étrier F susceptible de tourner sur des boulons. Le fond du moule glisse intérieurement de haut en bas, ou de bas en haut, et cela d'une façon très-exacte, sous l'action d'un levier B qui met en mouvement une vis, à peu près comme dans une presse d'imprimerie typographique. Un autre levier G, dit levier d'abatage, sert à faire sortir la brique du moule lorsqu'elle a été pressée, en agissant sur le fond au moyen d'un mécanisme fort simple.

Voici comment on se sert de cette machine: la brique est introduite dans le moule, puis on baisse le couvercle que l'on fixe avec l'étrier. Les choses étant dans cet état, on agit sur l'extrémité du levier B, qui exerce sur la brique une pression de 4 à 5 tonnes. On abaisse alors le levier d'abatage qui chasse la brique dont un enfant s'empare. Une fois la brique enlevée, le fond redescend de lui-même en vertu de son propre poids, tout en relevant le levier d'abatage. Il n'y a plus qu'à recommencer la même opération pour une autre brique. Un ouvrier, aidé de deux enfants, peut, avec cette machine, rebattre 2 à 3,000 briques par jour.

Moulage par machines. Quatre ouvriers, dit M. Salvetat de Sèvres, c'est-à-dire un marcheur, deux mouleurs et un petit porteur, peuvent faire en un jour sept mille briques de qualités courantes; n'en supposons que six mille, à la condition qu'elles soient bien faites.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est difficile que telle machine que l'on voudra, fît-elle cinq fois plus de briques dans le même temps, n'égale pas les frais qu'entraîneraient les vingt ouvriers supposés et même qu'elle ne les surpasse pas bientôt, pour produire dans le même temps une si grande quantité de briques. Ne faut-il pas, en effet, compter le prix considérable d'une machine qui fait tout, et, par conséquent, l'intérêt de ce capital, son entretien annuel, les réparations considérables qu'elle exige de temps à autre, les inconvénients qui résultent de son chômage, les ouvriers nécessaires pour la conduire, enfin le moteur puissant qui doit lui faire faire toutes ces opérations?

Ces réflexions sont parfaitement justes, mais l'impulsion générale qui, par tant de motifs inutiles à répéter ici, conduit dans toutes les directions à produire autant que possible par machines, fait croître aussi dans les briqueteries le nombre de celles-ci.

Nous classerons ces machines en partant de l'outil qui sert à former la brique et les rangerons en deux groupes.

Dans le premier groupe nous comprenons toutes les machines opérant par le moulage, c'est-à-dire les machines composées d'un ou de plusieurs moules recevant d'abord la terre d'un appareil spécial, et dans lesquels cette terre est comprimée.

Le second groupe se compose de machines opérant par laminage, c'est-à-dire des machines qui forcent d'abord la terre à prendre la forme d'un prisme continu, et qui ensuite découpent ce prisme en portions de dimension convenable.

Machine des briqueteries des environs de Paris. Elle se compose (fig. 12) d'un double moule garni de cui-

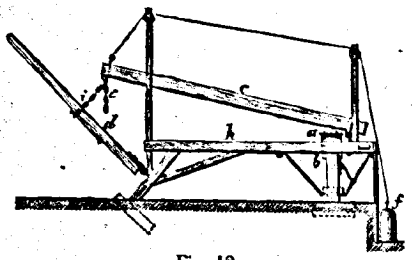


Fig. 12.

vre intérieurement, auquel une pièce *a* sert de couvercle.

Une semelle *b* forme la planche inférieure de ce moule. Un levier de moulage *c*, relié par une chaîne *e* et un collier *i* à un levier de manœuvre *d*, sert à comprimer la terre déposée dans le moule. Un contre-poids *f* a pour effet de maintenir levés les leviers, lorsqu'ils sont abandonnés à eux-mêmes. *h* est la table de moulage sur laquelle on dépose du sable.

La manœuvre de cette machine est excessivement simple.

Un aide enlève le chapeau *a*; le mouleur prend avec une pelle la quantité de terre suffisante pour remplir les deux moules et la jette dans ceux-ci. L'aide régularise au moyen d'une raclette la terre, de façon qu'elle ne dépasse pas l'orifice des moules, puis il replace le chapeau. Le mouleur agit alors sur le levier *d*, jusqu'à ce que son extrémité vienne toucher le sol; le levier *c* s'abaisse et s'appuie sur le chapeau *a*. Ceci fait, le levier *d* est abandonné à lui-même, et le tout reprend sa position première par suite de l'action du contre-poids *f*. Le manœuvre fait sortir la brique du moule, après avoir enlevé le couvercle *a*, en agissant sur une manivelle qui ne se voit pas sur la figure.

On devra régler la longueur de la chaîne de manière à obtenir une course des leviers telle que l'extrémité du levier *d* arrive à toucher le sol, quand la pression sur la terre contenue dans les moules est devenue suffisante. On devra en outre avoir soin de placer le chapeau de façon qu'il soit bien parallèle à la table, afin que les briques ne soient pas plus épaisses à un bout qu'à l'autre.

Il faut pour le service de cette machine quatre personnes: deux pour la faire fonctionner, et deux pour porter les briques. Ces quatre personnes payées ensemble 12 francs environ, dans les environs de Paris, font 3,000 briques par journée de 13 heures de travail.

Machine Carville. Pour cette machine et plusieurs autres dans lesquelles le mouvement est donné mécaniquement à des moules séparés, nous renverrons au GUIDE DU BRIQUETIER.

Machine Craven et Bradley. Nous donnerons ici cette machine parce qu'elle est assez semblable à celle qui sert à la fabrication des agglomérés sous de fortes pressions et qu'elle convient pour opérer à sec, avec des terres peu liantes.

Elle se compose en réalité de deux machines: la première est un puissant moulin à meules verticales; la seconde effectue le moulage.

Cette seconde machine est représentée figures 13 et 14; en voici la description:

La terre, amenée du moulin à meules par une chaîne à godets, tombe dans une trémie G qui, par un canal d'une forme particulière, communique avec deux tines F, F dans lesquelles tourne un arbre vertical armé de lames en spirale. Une poulie U, sur laquelle passe une courroie, reçoit le mouvement d'une machine à vapeur, et le transmet à toute la machine. Elle le communique en particulier aux arbres des tines au moyen de roues coniques que nous n'avons pas représentées dans le dessin.

Les moules, dont la capacité correspond aux dimensions des briques que l'on désire fabriquer, sont creusés dans une table en fonte A, circulaire et très-solide; ils sont disposés suivant des rayons, à égale distance du centre de la table, et également espacés. Ils sont au nombre de quatorze.

Tout autour de la table, et sur la tranche, sont établies des saillies ou cames, au nombre de quatorze: c'est-à-dire qu'il y a autant de cames que de moules. Sur ces cames *o* viennent successivement agir quatre autres cames *o'*, *o'*..., montées de la même façon sur une roue B. Cette roue B est fixée sur un arbre *v* qui, au moyen des roues d'angle *x* et *y*, reçoit un mouvement de rotation de l'arbre principal C. Grâce à ce système de cames, le plateau A peut tourner librement autour de l'arbre sur lequel il est monté, et présenter successivement tous ses moules au-dessous des tines F, F; en outre, il n'avance que de l'épaisseur d'un moule à la fois. Afin d'éviter qu'il tourne de plus d'un moule, lorsqu'une des cames *o'* appuie sur une des cames *o*, une roue à rochets *a*, montée sur l'arbre *v*, relève le bras *b* d'un encliquetage pour ne l'abandonner qu'une fois que la came *o'* a quitté la came *o*. Quand il est libre, l'encliquetage retombe et s'engage dans l'une des quatorze entailles, pratiquées à cet effet sous la table A, et venues de fonte avec elle.

Le fond des moules est formé par une plaque rectangulaire en fer, d'une assez forte épaisseur et portée par des tiges. Ces tiges sont maintenues et glissent dans des boîtes boulonnées sur la face inférieure de la table; de plus, elles se terminent par une fourchette dont chaque branche supporte l'un des tourillons d'un galet large et aciéré. Ces galets courent sur une voie circulaire en fer, et lorsque la table A tourne, les galets roulent sur des plans inclinés; de la sorte les fonds des moules peuvent monter et descendre alternativement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BRIQUES.

L'arbre principal C porte deux excentriques D, qui impriment un mouvement rectiligne-alternatif, suivant

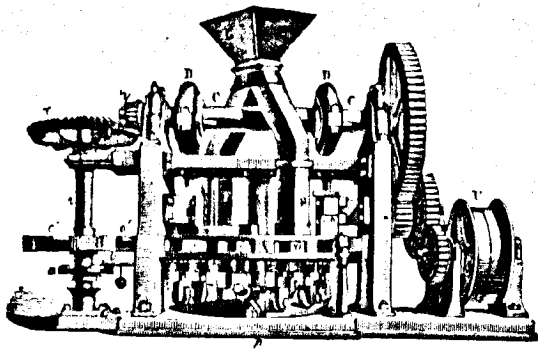


Fig. 13.

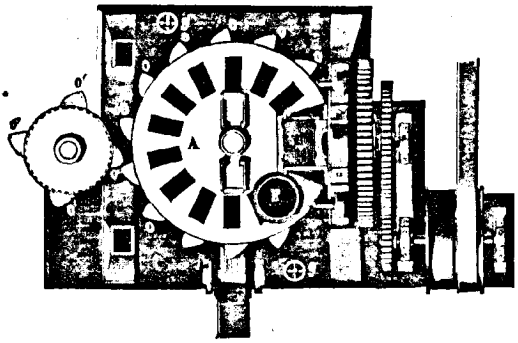


Fig. 14.

la verticale, à des tiges munies de pistons. Sur la face inférieure de ces pistons est boulonnée une pièce de fonte durcie portant deux tampons rectangulaires oblongs qui, à chaque mouvement de la table A, descendent de quelques centimètres dans les deux moules qui se présentent exactement au-dessous d'eux. Ces tampons peuvent être creux et communiquer, au moyen de tubes, avec la chaudière à vapeur.

Voici maintenant le jeu de cette machine qui, ainsi qu'on va le voir, est à double effet.

La terre, après être passée de la trémie G dans les tines F, est refoulée par le bas, à chaque mouvement de la table, dans chacun des moules placés directement au-dessous de chaque tine. A l'instant qui précède cette opération, les galets, supportant les tiges des plaques qui forment les fonds mobiles des quatre moules en question, ont atteint précisément les points les plus bas de la voie sur laquelle ils roulent ; et les moules, par cela même, ont acquis leur plus grande profondeur, et sont disposés pour recevoir la terre.

Une fois les moules remplis, la table tourne, et le premier moule vient se présenter sous le premier tampon du piston voisin, où la terre reçoit une première pression, tandis que le second moule, qui reste sous la tine, reçoit une quantité additionnelle de terre, et qu'un troisième moule est venu se présenter sous cette tine. Aussitôt le piston sorti du premier moule, la table continue son mouvement, et ce moule va se placer sous le second tampon, de façon que la masse de terre reçoive une nouvelle pression.

Il faut remarquer que la voie circulaire commence à s'élever à partir du point situé sous les tines, en sorte que les moules ont déjà diminué de capacité en arrivant sous le premier tampon, et qu'ils en ont encore diminué davantage en se présentant sous le second. Il en résulte que la pression du second tampon est beaucoup plus énergique que celle du premier ; elle suffit généralement pour chasser tout l'air et rendre la masse dure et cohérente.

La table continue à tourner, et, la voie s'élevant toujours, les plaques formant le fond des moules chassent peu à peu et complétement la brique moulée.

Une fois sortie entièrement du moule, la brique est enlevée par un ouvrier. Le plus souvent, et afin d'éviter toute négligence susceptible de provoquer des avaries dans la machine, la brique est chassée sur une courroie sans fin, qui l'emporte au moyen d'un mécanisme spécial.

Cette machine destinée à l'emploi de terre presque sèche, qu'elle moule par une pression considérable, de 40 à 50 000 kilog., est d'un maniement assez facile ; elle est, comme on le voit, à double effet ; cependant, si deux pressions sont insuffisantes, on arrête, en les embrayant, l'une des tines ainsi que l'un des pistons, et l'on fait subir à la brique

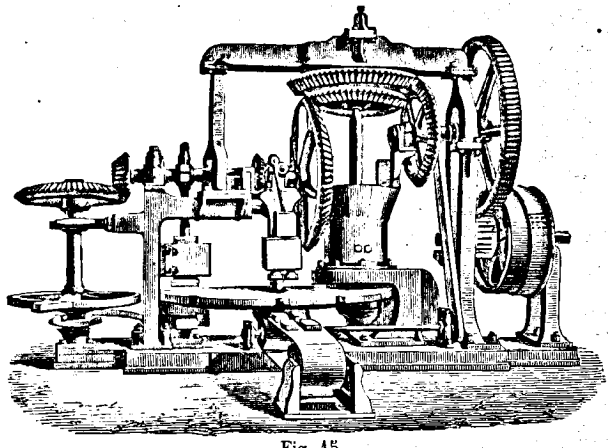


Fig. 15.

quatre pressions au lieu de deux : la machine est alors à simple effet, et les briques n'en sont que plus solides.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MM. Bradley et Craven construisent des machines à simple effet fournissant 15000 briques par jour, établies sur le même principe, et que nous représentons dans la figure 15.

Machine Clayton. La terre, après avoir été convenablement préparée, est introduite dans le malaxeur A (fig. 16), où elle est malaxée à la façon ordinaire par des couteaux implantés dans l'arbre central. Une roue h, calée sur cet arbre, engrène avec un pignon *g* qui est monté sur un arbre vertical C. A la partie inférieure

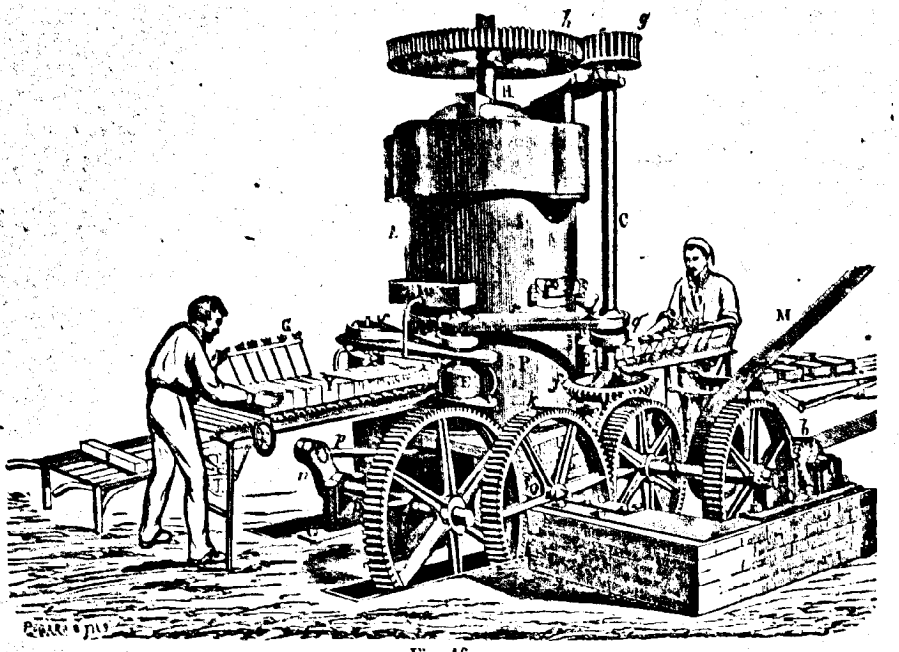


Fig. 16.

de cet arbre se trouve une roue d'angle *f* engrenant avec une autre roue d'angle *e* fixée sur un arbre horizontal B, à côté d'une roue droite *d*. L'arbre B porte, en outre, une roue *c* commandée par un pignon *b* qui est installé sur l'arbre principal. Une courroie M, venant du moteur, passe sur une poulie calée sur ce dernier arbre. C'est cette poulie qui transmet le mouvement à toute la machine.

La roue *d*, au moyen des roues et pignons *k*, *o*, *m*, met en mouvement l'arbre D, ainsi que la manivelle *n* et la bielle *p*.

Une fois dans le malaxeur, la terre est refoulée vers le bas dans une chambre P. Dans cette chambre se trouve un piston rectangulaire horizontal, mû par la bielle *p*. A l'aide de ce piston, la terre est chassée alternativement par la filière *u* et par la filière *u'*.

Afin de prévenir la déformation du prisme de terre, déformation qui, habituellement, se fait surtout sentir sur les arêtes, les filières sont pourvues, de chaque côté, d'un rouleau mobile monté sur un arbre vertical. Ce sont ces rouleaux qui constituent les limites latérales de la filière. Ils tournent sur leur axe, à mesure que la terre sort, avec une vitesse un peu supérieure à celle avec laquelle cette terre s'écoule. Une poulie *q*, fixée sur l'arbre C, transmet par les courroies *r* le mouvement aux rouleaux E', qui, à leur tour, le communiquent aux autres rouleaux par les courroies *s*.

Au sortir de la filière, les prismes argileux Y cheminent sur des systèmes de petits rouleaux mobiles.

Dans le but d'empêcher la terre d'adhérer aux rouleaux, Clayton a imaginé de placer au-dessus d'eux un petit réservoir d'eau *v* qui, au moyen de conduits, laisse échapper un petit filet d'eau qui filtre entre leur surface et une enveloppe de moleskine qui les entoure, pour exsuder ensuite d'une façon continue sur la terre sortant de la filière. De petits robinets servent à régler l'écoulement de cette eau.

Après que la terre est sortie en un long prisme, comme en Y, elle est découpée par l'action de fils en métal tendus sur un châssis G mobile sur charnières, s'abaissant et se relevant, l'écartement des fils étant en raison de l'épaisseur que l'on veut donner aux briques.

Nous avons dit que le piston est animé d'un mouvement alternatif, et que la terre sort tantôt par une filière et tantôt par l'autre. Il en résulte que l'on a le temps de couper le prisme Y, et de déposer les briques sur des brouettes, tandis que l'autre prisme est en train de se former de l'autre côté de la machine.

La machine Clayton convient pour des terres assez plastiques; elle peut fabriquer 12000 briques par journée de 10 heures, et coûte 145 livres sterling, soit 3626 fr. Nous renverrons à l'article BRIQUES CREUSES, *Complément*, pour la description de la machine Borie, et à l'article AGRICULTURE pour celles des machines Ainslie, Sclosser et autres propres à la fabrication des tuyaux de drainage, fabrication qu'exécute la machine Clayton après un simple changement de filières.

CUISSON DES BRIQUES. Lorsque les briques ont acquis le degré de dessiccation convenable, on procède à leur cuisson.

La cuisson est une des phases les plus importantes de la fabrication des briques; autrefois on ne connaissait qu'une manière de cuire les briques, qui consistait à opérer en plein air. Cette manière est encore em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BRIQUES.

ployée habituellement dans les contrées où l'on emploie la houille.

Cuisson à la volée. En Angleterre, en Belgique et dans le nord de la France, les grandes usines qui, chaque année, confectionnent plusieurs millions de briques, établissent les pieds de leurs fourneaux en maçonnerie très-solide, au moyen de briques cuites et d'argile: ces pieds servent pour tous les fourneaux.

Aussitôt que les cordeaux, déterminant les contours de massif, sont placés, les enfourneurs commencent leur travail; on leur fournit, pour le pied de four, des briques cuites et des meilleures; si l'on en employait de médiocrement cuites, le feu pourrait les faire éclater, ou bien la charge les écraser : le pied du four ne serait point solide. Ils bordent les cordeaux en arrangeant les premières briques avec soin, de façon qu'elles soient jointives et bien assises sur leur plat le long des foyers; ensuite, ils remplissent les intervalles avec un peu moins de précaution.

Toutes les briques du fourneau, depuis la première assise de ces briques cuites jusqu'au sommet, sont placées de champ, pour présenter le maximum de surface au feu, excepté celles qui se trouvent posées aux parements des foyers, aux angles des contreforts, et quelquefois aux parements du corps carré. Toutes celles de l'intérieur n'ont d'autre ordre entre elles que d'être toujours alternativement croisées à angle droit d'un lit à l'autre.

Lorsque toute la base du fourneau a déjà acquis la hauteur de trois briques de champ posées l'une sur l'autre, le cuiseur charge les foyers, dans toute leur longueur, des matières nécessaires pour allumer le fourneau. Il ne doit pas attendre plus tard, car le nouveau tas que l'enfourneur doit poser fera la retombée de la petite voûte des foyers, qui sera totalement fermée par le cinquième.

Lorsque l'enfourneur a recouvert le fourneau du sixième tas, le cuiseur y répand un premier lit de charbon, sur lequel l'enfourneur pose encore une septième et dernière assise de briques cuites, qui couronne et termine le pied du fourneau.

Le plus souvent, on ne se contente pas de sept lits de briques cuites : on en établit neuf.

Pendant l'enfournage, le cuiseur prépare, dans la carrière, quelques brouettées d'argile et en forme un mortier assez liquide. Chaque journée des enfourneurs se termine par crépir tout le parement du fourneau, en appliquant ce mortier contre les tas de la bordure qui ont été posés depuis le matin. Le cuiseur a soin de choisir pour ce mortier l'argile la plus maigre, ou d'y mêler suffisamment du sable. L'argile forte se gerce aussitôt qu'elle sent le feu; elle se détache et laisse les briques à découvert.

Le cuiseur suit l'avancement du travail et établit les couches successives de charbon qui doivent répartir et entretenir la chaleur dans toute la masse.

Il faut en moyenne quatre hectolitres de houille tout-venant par mille briques de dimensions ordinaires.

Le feu allumé, une combustion lente se produit dans tout le massif de briques, sans grand coup de feu, et avec une utilisation assez satisfaisante de la chaleur, les briques étant en contact avec le combustible.

Dans quelques localités et notamment à Rupelmonde, sur les bords de l'Escaut, la chemise d'argile dont on recouvre les parois du fourneau est remplacée en tout ou en partie par une enceinte en maçonnerie, qui forme alors un véritable four auquel on donne le nom de *klamp*.

Cuisson dans les fours. La cuisson des briques dans les fours offre, sur la cuisson à la volée, des avantages qui ont fait adopter ce mode de cuisson dans grand nombre de briqueteries. La cuisson s'y effectue d'une façon plus régulière, et les pertes ou déchets sont moins considérables; enfin les dépenses de combustible sont moindres.

On divise les fours en deux classes:

1° Fours intermittents;

2° Fours continus.

Fours intermittents. On entend par *four intermittent* celui qui, après chaque cuisson, doit être éteint pour permettre le déchargement.

Ces fours peuvent être découverts ou couverts, simples ou multiples.

Four découvert rectangulaire au bois. Ce four se compose d'un prisme à quatre pans enveloppé souvent d'une double muraille extérieure; l'espace entre les murs est rempli d'un corps peu conducteur, destiné à concentrer la chaleur.

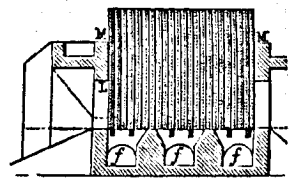


Fig. 17.

La figure 17 est une coupe longitudinale faite suivant la ligne xy de la figure 18, qui est le plan du

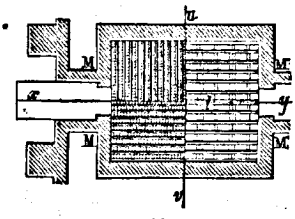


Fig. 18.

four. La figure 19 est une coupe transversale faite suivant la ligne uv du plan.

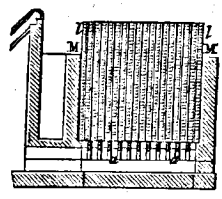


Fig. 19.

Les foyers destinés à recevoir le bois consistent en deux ou trois canaux *f, f, f* parallèles, dont les voûtes à claire-voie sont formées de neuf à douze arceaux *a* (fig. 19), laissant entre eux des espaces assez larges pour que la flamme du bois puisse aisément pénétrer dans le laboratoire.

Les briques sont introduites dans le four et placées de champ, les briques de chaque assise croisant celles de l'assise inférieure. Le tas de briques s'élève de 1 mètre environ au-dessus de l'orifice du four.

On a coutume de profiter des murs qui entourent le four pour soutenir un toit en tuile fort élevé, qui a pour but de préserver les briques de la pluie et du vent.

Comme on le voit, le four que nous venons de décrire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est des plus simples; il n'est autre chose que le klamp dont nous avons parlé à la fin du chapitre précédent, auquel on a donné des foyers fixes en place d'alandiers ménagés dans le massif même des briques à cuire.

Fours continus. Dans les fours continus, le travail, au lieu d'être intermittent comme dans les fours que nous venons de passer en revue, est continu, c'est-à-dire que le feu est toujours en activité et que les briques à cuire en subissent successivement l'action.

Les fours continus sont de deux sortes: dans les uns, le foyer chargé de combustible incandescent se déplace d'une manière continue et cuit les unes après les autres les différentes masses de briques contenues dans le four; dans les autres, au contraire, le foyer est fixe, et ce sont les charges de briques qui se présentent à tour de rôle devant le foyer.

Il est une troisième sorte de fours continus tenant à la fois des deux premières et dans laquelle le foyer est fixe ainsi que les masses à cuire; seulement ce foyer est situé au centre d'une série de chambres disposées en rond autour de lui, et il peut être mis successivement en communication avec chacune d'elles au moyen de registres.

Parmi les fours du premier système, nous citerons le four Barbier, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1855, et qui est fondé sur l'emploi d'un foyer locomobile qui porte la chaleur successivement dans chacun des laboratoires, disposés les uns à côté des autres à une même hauteur au-dessus du sol.

Nous renverrons pour sa description au GUIDE DU BRIQUETIER comme pour celle du four si intéressant de M. Deminuid dans lequel ce sont les briques qui se déplacent.

Four circulaire de M. Hoffmann. Ce four, qui figurait à l'Exposition de 1867 et qui a obtenu un grand prix, est sans contredit le four qui, à tous les points de vue, offre les plus grands avantages. Parmi ces avantages nous ne citerons que l'économie qu'il occasionne et la bonne qualité des produits qu'il livre au commerce.

Dans ce four de forme circulaire, l'air qui alimente la combustion passe d'abord sur les produits cuits en s'emparant de leur chaleur, et il vient ajouter cette quantité de chaleur à la masse de calorique développée dans le point en ignition.

Il consiste essentiellement en une galerie annulaire (fig. 20 et 21), dont les dimensions habituelles sont 3 mètres de largeur sur 2 de hauteur, et dans laquelle on pénètre par 12 portes ménagées dans le mur extérieur. Dans l'intérieur de la galerie, et au milieu de la distance qui sépare chaque porte, se trouve une coulisse dans laquelle peut s'engager un registre que l'on introduit par une fente ménagée dans la voûte. Le nombre des coulisses étant égal à celui des portes, la galerie peut être considérée comme divisée en 12 compartiments.

Dans chaque compartiment, et auprès de la coulisse, se trouve, un peu en contre-bas, un canal ou rampant aboutissant dans une seconde galerie circulaire dite chambre à fumée et concentrique à la première. Cette chambre communique par quatre autres canaux à la cheminée qui se trouve au centre de tout le système. En outre, afin de pouvoir interrompre la communication entre cette chambre et chacun des compartiments, MM. Hoffmann et Light ont disposé dans cette chambre 12 cloches qui, se manœuvrant du dehors, peuvent obstruer tel ou tel rampant.

Voyons maintenant comment fonctionne ce four.

Nous supposons le registre placé à un endroit quelconque: d'un côté de ce registre, la cloche qui recouvre le conduit de fumée le plus voisin est levée, toutes les autres étant baissées; de l'autre côté les deux portes extérieures les plus rapprochées sont ouvertes, toutes les autres étant fermées; le feu est en activité dans le compartiment opposé au registre; les briques cuites sont situées entre ce compartiment et les portes ouvertes, et les briques à cuire se trouvent entre ce même compartiment et le registre.

L'air appelé par la cheminée entre dans le four par

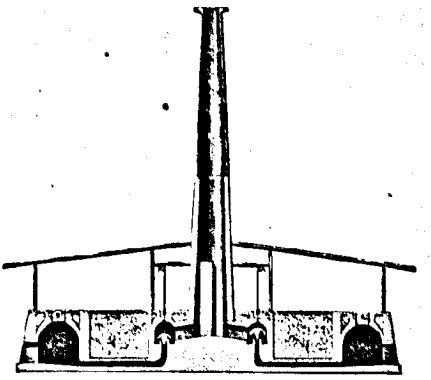


Fig. 20.

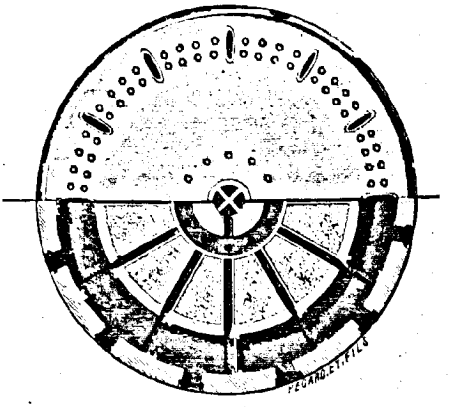


Fig. 21.

les deux portes ouvertes, circule à travers les briques cuites en s'emparant de leur chaleur, arrive au lieu de combustion à une température élevée, active cette combustion, entraîne les gaz qu'elle produit, passe avec ces gaz entre les briques crues qu'ils échauffent *graduellement*, et s'échappe avec ces mêmes gaz dans la cheminée par le rampant ouvert.

Il résulte de ce mécanisme de circulation de l'air et des gaz que les briques cuites, c'est-à-dire celles comprises entre les portes ouvertes et le lieu de la combustion, se refroidissent insensiblement et d'une façon continue, tandis qu'au contraire les briques crues qui sont situées entre le point en ignition et le registre s'échauffent progressivement jusqu'à atteindre la température de cuisson.

Lorsque les briques placées dans le compartiment soumis à l'action directe du feu sont complétement cuites, on fait avancer le feu dans le compartiment voisin; on enlève le registre d'où il était pour le placer dans la rainure suivante. On ajoute ainsi un compartiment nouveau à la série, celui que l'on a chargé de briques à cuire pendant le temps que le feu agissait avant d'être déplacé; on ferme la porte extérieure de ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Jusqu'ici nous sommes, à très peu de chose près, arrivés à résoudre le problème que nous nous étions proposé; savoir, de faire avec de gros boyaux de petites cordes. Celles que nous avons obtenues contiennent trois intestins, et sont infiniment moins grosses que par le procédé usité jusqu'à ce jour : elles ne sont pourtant pas aussi fines que celles de Naples; malgré cela, nous trouvons en elles un motif qui nous encourage à tenter de nouvelles expériences. Nous sommes intimement convaincus qu'en choisissant les intestins des petites espèces de moutons qu'on tue à Paris, nous parviendrons à obtenir des chanterelles au moins aussi bonnes que celles de Naples, et qui conserveront mieux la note.

Une des cordes de notre premier essai a été remise à un musicien, il a dit : C'est une petite seconde que vous me donnez, elle ne pourra servir de chanterelle; mais lui ayant assuré qu'au violon elle monterait au ton convenable avec facilité, il l'a placée à l'instrument, et il a observé en effet que cette corde, tendue pour la première fois baissait moins vite de ton, une fois arrivée au diapazon de l'Opéra. Sur notre prière, et encore après l'avoir maniée entre ses mains humides, il l'a tendue de manière à arriver à quatre tons au-dessus du diapazon : alors elle a cassé. La partie restante, remontée sur l'instrument, a été tendue à un ton de moins, c'est-à-dire à trois tons au-dessus du diapazon de l'Opéra; arrivée là, elle a cassé : l'humidité ou la sueur des mains influe donc sur la ténacité des cordes. Une corde a été placée sur le violon, et montée rapidement au diapazon de l'Opéra; l'artiste a exécuté un assez long morceau, la corde a baissé de deux sixièmes de ton. Il nous a assuré qu'une chanterelle de Naples neuve aurait baissé bien davantage. Le violon étant accordé a été déposé dans un appartement clos, et examiné deux jours après il a trouvé que la corde avait baissé d'un demi-ton. Le temps était sec lorsque le violon a été accordé; le lendemain il a plu assez abondamment; le jour de l'examen, l'air était chargé de plus d'humidité que deux jours avant; vingt-quatre heures après cet examen, l'instrument a été examiné de nouveau et la trop grosse chanterelle s'est trouvée juste. Voy. CORDES D'INSTRUMENTS.

Les intestins de chien et de chat ne présentent rien de remarquable dans leur préparation particulière, pour en faire des cordes. Celui de chat n'a guère qu'une longueur de $1^m,50$ à 2^m, il est d'inégale grosseur. Aussi, en ayant fait une corde avec un seul boyau, un bout se trouve assez mince pour faire chanterelle, et l'autre moitié peut servir de seconde. La corde est très cassante et très sèche. En faisant la corde avec deux boyaux, de façon à mettre un gros bout avec un mince, on l'obtient égale, mais elle est trop grosse.

L'intestin du chien est un peu plus égal; il a une longueur d'environ 5 mètres, du moins ceux que nous nous sommes procurés; nous en avons fait des cordes à deux et trois boyaux, elles paraissent solides et nous croyons qu'elles doivent être justes.

Nous nous sommes procuré aux abattoirs les boyaux de trente moutons, dont nous n'avons pu connaître le poids : environ les deux tiers étaient moyens, les autres assez gros; nous les avons traités de trois manières différentes, avec des modifications de détail que l'étude nous a suggérées, et ces expériences ont été faites avec le soin dont nous pouvons être capables; elles peuvent être exécutées par un ouvrier soigneux; en obtiendra les mêmes résultats, et toujours avec succès. Tous ces boyaux n'ont fourni que des chanterelles, la plus grande partie aussi fines que celles de Naples.

Nous avons aussi traité des intestins de moutons qui nous sont parvenus d'Avranches, département du Calvados, et du département des Ardennes : ils étaient très bien conservés au moyen de la saumure, après les avoir laissés dégorger dans l'eau pendant deux jours, en renouvelant matin et soir ce liquide; nous leur avons fait subir les autres opérations et nous en avons fait des cordes très fines, mais qui sont ternes, sèches, et qui se cassent très facilement : on ne peut point, d'après cela, espérer de faire des cordes à instruments avec des boyaux qui auront été salés.

BOYAUDERIE.

Nous croyons superflu de donner plus de détails sur nos expériences. Nous nous bornerons donc à donner le tableau du poids que nos chanterelles peuvent porter sans se casser, en prenant une chanterelle de Naples de même dimension, pour juger comparativement leurs forces; et ce tableau prouvera jusqu'à quel point nous avons réussi.

Force comparative de nos chanterelles avec celles de Naples.

Hauteur du mercure dans le baromètre : $0^m,755$.
Hygromètre de Saussure : 77 degrés d'humidité.
Thermomètre de Réaumur : 12 degrés et demi.

DÉTAIL des CORDES.	POIDS qu'ont porté, avant de casser, nos Cordes.	POIDS qu'ont porté, avant de casser, celles de Naples.	OBSERVATIONS.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	—	$13^k,031$	Les poids ont été mis sur le plateau sans secousse, et avant de voir casser la corde; il s'est écoulé cinq minutes trente secondes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	$14^k,844$	—	Les poids ont été mis doucement; il s'est écoulé, depuis le premier poids jusqu'au moment où la corde a cassé, sept minutes quinze secondes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	$12^k,719$	—	Trop soufrée. Elle a supporté les poids cinq minutes.
3 intestins entrant au n° 3 de la filière.	$14^k,250$	—	Non soufrée.
2 intestins entrant au n° 4 de la filière.	$9^k,031$	$9^k,062$	Peu soufrée. Elle est de même grosseur que celle qui, avant de casser, a monté au violon, comme chanterelle, quatre tons au-dessus du diapazon de l'Opéra.
3 intestins entrant au n° 4 de la filière.	$16^k,375$	—	
3 intestins entrant au n° 5 de la filière.	$19^k,000$	—	Peu soufrée.

Nota. On a pris, dans toutes les expériences, même longueur de corde, c'est-à-dire $0^m,55$; les nœuds faits au plateau et à la corde supérieure, il s'est trouvé dans toutes les expériences $0^m,37$ à partir des nœuds. Le plateau pesait 4 kil., et fait partie des poids que nous rapportons.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si l'on veut examiner les cordes à instruments, il faudra, suivant nous, à finesse égale et au même nombre d'intestins, mettre la corde sur l'instrument, savoir combien de tours il faudra donner à la cheville pour arriver au diapason de l'Opéra. On se servira alors de l'instrument, ou on laissera la corde tendue pendant un temps donné ; on examinera la qualité du son, et on notera de combien la corde a baissé. On la mettra au ton, et on laissera ensuite l'instrument pour l'examiner de nouveau un ou plusieurs jours après. Pendant cet espace de temps, les variations de l'atmosphère devront être notées.

Ensuite ou avant il faut examiner, sur une longueur donnée, quelle est celle des cordes de même dimension qui porte le plus de poids avant de casser : car celle qui porte davantage sera celle qui monte le plus haut ; et si elle monte, par exemple, un ou deux tons de plus, nécessairement étant fixée au ton juste, elle résistera plus facilement et plus longtemps sous l'archet.

La corde la meilleure et qui doit faire le plus long usage, est celle qui change le moins d'aspect quand on la monte sur l'instrument : celles qui se ternissent et perdent leur transparence ne doivent pas résister. Les musiciens, s'ils y ont fait attention, doivent avoir observé ce fait.

La corde qui arrivera le plus vite au ton, qui variera moins, et qui aura le son le plus plein, le plus sonore, et qui pour ainsi dire fera la cloche, sera la meilleure. Il faut que le son ne soit ni maigre, ni criard, ni faux.

Peut-être les musiciens ont-ils d'autres moyens pour apprécier la bonté des cordes ; mais ceux qui viennent d'être indiqués paraissent essentiels.

III. — BAUDRUCHE. Pour compléter la description de l'art du boyaudier, il ne nous reste qu'à faire connaître la manière de préparer la baudruche dont se servent les batteurs d'or.

Les bouchers, boyaudiers et charcutiers entendent par le mot *baudruche* l'intestin cœcum du bœuf ou du mouton ; mais ce mot ne doit être consacré que pour la double membrane que les batteurs d'or emploient de temps immémorial. Elle est retirée du cœcum du bœuf, et les seuls charcutiers font cette opération. On ne peut jamais la retirer entière, le tiers environ de cette pellicule se trouvant faire partie commune avec le suif, dont on ne peut la débarrasser sans qu'elle se déchire.

Une fois que l'ouvrier a décollé la portion de membrane péritonéale qui entoure la partie fermée du cœcum, il la tire, et elle suit de la longueur de 0m,60 à 0m,80. Elle revient sur elle-même, on la met à sécher. Étant sèche, elle ressemble à une ficelle. L'ouvrier qui prépare la baudruche prend cette membrane desséchée, la met tremper dans une solution de potasse très faible. Suffisamment humectée, il la place sur une planche pour la ratisser avec le couteau. Quand ces pellicules sont bien propres et suffisamment dégorgées dans l'eau, il les étend sur une espèce de châssis en bois de 1m à 1m,20 de long sur 0m,27 de large ; il est formé de deux montants assemblés par deux traverses : ces quatre morceaux de bois offrent dans leur longueur une rainure de 5 à 8 millimètres de large.

Pour étendre cette membrane, l'ouvrier la prend dans ses mains et place sur le haut du châssis un des bouts, ayant soin que la partie de cette membrane qui était extérieure étant sur l'intestin de l'animal, soit la portion qui s'applique sur le châssis ; il la tire en tous sens et la fait adhérer sur le bord dudit châssis ; une fois cela fait, il prend une autre membrane, qu'il applique sur celle qui est déjà tendue, ayant soin de laisser à l'extérieur ce qu'il nomme la *fleur du boyau*, c'est-à-dire plaçant les deux membranes, de façon que les parties qui adhéraient à la membrane musculeuse se trouvent l'une contre l'autre. De cette manière, elles se collent parfaitement et ne font qu'un seul corps.

Ces deux membranes sèchent promptement, excepté les extrémités, qui sont collées sur les traverses du châssis. Quand le tout est bien sec, l'ouvrier coupe la baudruche avec un bon couteau et en suivant la rainure dont nous avons parlé.

Les bandes de baudruches sont ensuite livrées à un autre ouvrier pour les recouvrir de ce qu'on nomme le *fond*, leur donner le dernier apprêt et les couper de grandeur convenable.

Quand l'ouvrier veut terminer la baudruche, il prend chaque bande, les colle sur un châssis comme celui dont nous avons parlé, mais qui ne porte point de rainures, il enduit de colle les bords de ce châssis et y place la bande de baudruche. Une fois sèche, cette membrane est lavée avec une dissolution contenant, par litre d'eau, 15 à 20 grammes d'alun, et on laisse encore sécher ; ensuite on enduit la baudruche, au moyen d'une éponge, d'une solution concentrée de colle de poisson faite avec du vin blanc, dans lequel on a fait macérer des substances âcres et aromatiques, telles que girofle, muscade, gingembre, camphre, etc. Ces derniers ingrédients sont ajoutés pour empêcher les insectes d'attaquer la baudruche : suffisamment enduite de ce que les ouvriers nomment le *fond*, on la recouvre d'une couche de blanc d'œufs. La baudruche est ensuite coupée en morceaux carrés de 0m,13 de côté. On les soumet à la presse pour les aplatir ; on les met en tas ou livrets, et on les livre au batteur d'or.

Ce dernier travail se rapproche beaucoup de celui de la préparation du taffetas d'Angleterre.

IV. — CRIN A PÊCHER. Le crin à pêcher n'est pas le produit de l'art du boyaudier. Nous croyons, sans pouvoir l'affirmer, que cette substance provient du ver à soie. Nous pensons qu'elle est retirée des cocons les plus beaux, lesquels sont réservés pour la propagation de l'espèce. Quand le papillon s'est fait jour, ces cocons sont pris et jetés dans une chaudière pleine d'eau bien chaude, on prend une foule de brins avec un balai de bruyère ; ils s'agglutinent et ne suivent au rouet que très peu, en raison du trou dont le cocon est percé ; on soufre ces brins pour les blanchir, et on les met en paquets. La matière animale résineuse qui entoure ce fil le rend imperméable à l'eau.

Quelques personnes croient que le crin à pêcher se fait en prenant le ver à soie, le brisant en deux, tirant en sens inverse, et tenant chaque moitié d'une main ; ce qui lui a mérité le nom que les marchands lui donnent, de boyau de ver à soie.

Selon M. *Regnart*, le fil connu dans le commerce sous les dénominations de fil de Valence, de crin marin, de fil de boyau de ver à soie, etc., se prépare comme il suit : Lorsque le ver à soie est sur le point de filer, on le plonge dans le vinaigre ; après une macération de 24 heures, on l'en retire et on lui rompt la tête. Un fil se présente ; en tirant sur la tête, ce fil s'allonge et se déploie sous la forme que vous lui connaissez. On expose ce fil à l'air pendant quelques heures, tendu entre deux petits bâtons ; il prend alors une grande consistance. Si on rompt la tête au ver à soie avant de le faire macérer dans le vinaigre, le fil suit, mais en offrant l'image d'un mucus qui ne prend pas de consistance.

BRASER (*angl.* brazing, *all.* messing lœthung). C'est souder ensemble les bords des pièces de fer, de cuivre, de laiton, etc., avec un alliage composé de laiton et de zinc, auquel on ajoute quelquefois un peu d'étain ou d'argent. Les surfaces qui doivent être ainsi soudées doivent être limées très proprement, et n'être souillées ni par le contact des doigts, ni de toute autre manière. On humecte ordinairement l'alliage en copeaux et presque pulvérulent, avec une pâte formée de borax en poudre et d'eau ; on applique le mélange dans cet état, on le fait sécher, et on chauffe ensuite le tout à la chaleur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nécessaire pour fondre l'alliage et opérer la réunion des parties. Quelques ouvriers recouvrent d'un lut d'argile les parties qui doivent être soudées, mais d'autres préfèrent les laisser à découvert, afin de voir quand la soudure coule librement et qu'elle a pénétré dans les joints.

Le borax sert à dissoudre les oxydes formés et à décaper les parties qui doivent être réunies ensemble.

On brase souvent le fer sans métal intermédiaire, en donnant une chaude suante aux parties à réunir, y projetant un peu de sable qui fond et forme un silicate qui dissout l'oxyde formé, et forgeant ensuite les deux pièces réunies; le silicate ferreux est expulsé sous la forme de scories, et les parties bien décapées qu'il recouvrait se soudent ensemble.

BRASSERIE (*angl.* brew-house, *all.* brauerei). Voyez BIÈRE.

BRETELLES (*ang.* braces, *all.* hosenträger). On les fait avec des ressorts élastiques à boudin, en fil de laiton ou de fer, assemblés parallèlement entre deux bandes d'étoffes fronées, pour donner libre jeu à l'élasticité des ressorts; on en attache les bouts à des lanières de peau qui portent les boutonnières. Pour froncer l'étoffe qui recouvre la bretelle, on commence par étendre suffisamment les ressorts; on coud l'étoffe en dessus et en dessous par des points qui les séparent les uns des autres; et quand ensuite on rend aux élastiques leur liberté, l'étoffe suit les réductions des ressorts et se plisse d'elle-même, parce que les bouts en sont arrêtés sur les lanières de peau des boutonnières. On fait de la même manière des jarretières élastiques.

MM. Rattier et Guibal ont imaginé de filer le caoutchouc et d'en composer d'excellents élastiques qui sont d'un beaucoup meilleur service que les ressorts à boudin. (Voyez CAOUTCHOUC).

BREVET D'INVENTION. Nous donnerons ici le texte de la loi qui établit la nature du privilége que la société actuelle accorde aux inventeurs. Cette loi, intéressant au plus haut point toutes les personnes qui s'occupent d'industrie, est susceptible de bien des améliorations. Nous traiterons dans le précis d'Économie Industrielle qui termine cet ouvrage, la question capitale pour l'industrie, du rôle des brevets d'invention dans l'organisation industrielle, de leur validité, et surtout de l'importance des réformes que nécessite l'organisation des tribunaux industriels chargés de les faire respecter.

LOI SUR LES BREVETS D'INVENTION.

TITRE 1er. DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 1er. Toute nouvelle découverte ou invention, dans tous les genres d'industrie, confère à son auteur, sous les conditions et pour le temps ci-après déterminés, le droit exclusif d'exploiter à son profit ladite découverte ou invention.

Ce droit est constaté par des titres délivrés par le gouvernement, sous le nom de brevets d'invention.

Art. 2. Seront considérées comme inventions ou découvertes nouvelles :

L'invention de nouveaux produits industriels.

L'invention de nouveaux moyens ou l'application nouvelle de moyens connus, pour l'obtention d'un résultat ou d'un produit industriel.

Art. 3. Ne sont pas susceptibles d'être brevetés :

1° Les compositions pharmaceutiques ou remèdes de toute espèce, lesdits objets demeurant soumis aux lois et règlements spéciaux sur la matière, et notamment au décret du 18 août 1810, relatif aux remèdes secrets;

2° Les plans et combinaisons de crédit ou de finances.

Art. 4. La durée des brevets sera de cinq, dix ou quinze années.

Chaque brevet donnera lieu au payement d'une taxe qui est fixée ainsi qu'il suit, savoir :

Cinq cents francs pour un brevet de cinq ans;

Mille francs pour un brevet de dix ans;

Quinze cents francs pour un brevet de quinze ans.

Cette taxe sera payée par annuités de cent francs, sous peine de déchéance si le breveté laisse écouler un terme sans l'acquitter

TITRE II. DES FORMALITÉS RELATIVES A LA DÉLIVRANCE DES BREVETS.

Section I. Des demandes de brevets. — Art. 5. Quiconque voudra prendre un brevet d'invention devra déposer, sous cachet, au secrétariat de la préfecture, dans le département où il est domicilié, ou dans tout autre département en y élisant domicile :

1° Sa demande au ministre de l'agriculture et du commerce;

2° Une description de la découverte, invention ou application faisant l'objet du brevet demandé;

3° Les dessins ou échantillons qui seraient nécessaires pour l'intelligence de la description;

Et 4° un bordereau des pièces déposées.

Art. 6. La demande sera limitée à un seul objet principal, avec les objets de détail qui le constituent, et les applications qui auront été indiquées.

Elle mentionnera la durée que les demandeurs entendent assigner à leur brevet dans les limites fixées par l'art. 4, et ne contiendra ni restrictions, ni conditions, ni réserves.

Elle indiquera un titre renfermant la désignation sommaire et précise de l'objet de l'invention.

La description ne pourra être écrite en langue étrangère. Elle devra être sans altération ni surcharges. Les mots rayés comme nuls seront comptés et constatés, les pages et les renvois paraphés. Elle ne devra contenir aucune dénomination de poids ou de mesures autres que celles qui sont portées au tableau annexé à la loi du 4 juillet 1837.

Les dessins seront tracés à l'encre et d'après une échelle métrique.

Un duplicata de la description et des dessins sera joint à la demande.

Toutes les pièces seront signées par le demandeur ou par un mandataire dont le pouvoir restera annexé à la demande.

Art. 7. Aucun dépôt ne sera reçu que sur la production d'un récépissé constatant le versement d'une somme de cent francs, à valoir sur le montant de la taxe du brevet.

Un procès-verbal, dressé sans frais par le secrétaire général de la préfecture, sur un registre à ce destiné, et signé par le demandeur, constatera chaque dépôt, en énonçant le jour et l'heure de la remise des pièces.

Une expédition dudit procès-verbal sera remise au déposant, moyennant le remboursement des frais de timbre.

Art. 8. La durée du brevet courra du jour du dépôt prescrit par l'art. 5.

Section II. De la délivrance des brevets. — Art. 9. Aussitôt après l'enregistrement des demandes, et dans les cinq jours de la date du dépôt, les préfets transmettront les pièces, sous le cachet de l'inventeur, au ministre de l'agriculture et du commerce, en y joignant une copie certifiée du procès-verbal de dépôt, le récépissé constatant le versement de la taxe, et, s'il y a lieu, le pouvoir mentionné dans l'art. 6.

Art. 10. A l'arrivée des pièces au ministère de l'agriculture et du commerce, il sera procédé à l'ouverture, à l'enregistrement des demandes et à l'expédition des brevets, dans l'ordre de la réception desdites demandes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Art. 11. Les brevets dont la demande aura été régulièrement formée seront délivrés, sans examen préalable, aux risques et périls des demandeurs, et sans garantie, soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit de la fidélité ou de l'exactitude de la description.

Un arrêté du ministre, constatant la régularité de la demande, sera délivré au demandeur, et constituera le brevet d'invention.

A cet arrêté sera joint le duplicata certifié de la description et des dessins, mentionné dans l'art. 6, après que la conformité avec l'expédition originale en aura été reconnue et établie au besoin.

La première expédition des brevets sera délivrée sans frais.

Toute expédition ultérieure, demandée par le breveté ou ses ayants cause, donnera lieu au payement d'une taxe de vingt-cinq francs.

Les frais de dessin, s'il y a lieu, demeureront à la charge de l'impétrant.

Art. 12. Toute demande dans laquelle n'auraient pas été observées les formalités prescrites par les n. 2 et 3 de l'art. 5, et par l'art. 6, sera rejetée. La moitié de la somme versée restera acquise au trésor, mais il sera tenu compte de la totalité de cette somme au demandeur s'il reproduit sa demande dans un délai de trois mois, à compter de la date de la notification du rejet de sa requête.

Art. 13. Lorsque, par application de l'art. 3, il n'y aura pas lieu à délivrer un brevet, la taxe sera restituée.

Art. 14. Une ordonnance royale, insérée au *Bulletin des Lois*, proclamera, tous les trois mois, les brevets délivrés.

Art. 15. La durée des brevets ne pourra être prolongée que par une loi.

Section III. Des certificats d'addition. — Art. 16. Le breveté ou les ayants droit au brevet auront, pendant toute la durée du brevet, le droit d'apporter à l'invention des changements, perfectionnements ou additions, en remplissant, pour le dépôt de la demande, les formalités déterminées par les art. 5, 6 et 7.

Ces changements, perfectionnements ou additions seront constatés par des certificats délivrés dans la même forme que le brevet principal, et qui produiront, à partir des dates respectives des demandes et de leur expédition, les mêmes effets que ledit brevet principal, avec lequel ils prendront fin.

Chaque demande de certificat d'addition donnera lieu au payement d'une taxe de vingt francs.

Les certificats d'addition, pris par un des ayants droit, profiteront à tous les autres.

Art. 17. Tout breveté qui, pour un changement, perfectionnement ou addition, voudra prendre un brevet principal de cinq, dix ou quinze années, au lieu d'un certificat d'addition expirant avec le brevet primitif, devra remplir les formalités prescrites par les art. 5, 6 et 7, et acquitter la taxe mentionnée par l'art. 4.

Art. 18. Nul autre que le breveté ou ses ayants droit, agissant comme il est dit ci-dessus, ne pourra, pendant une année, prendre valablement un brevet pour un changement, perfectionnement ou addition à l'invention qui fait l'objet du brevet primitif.

Néanmoins, toute personne qui voudra prendre un brevet pour changement, addition ou perfectionnement à une découverte déjà brevetée, pourra, dans le cours de ladite année, former une demande qui sera transmise, et restera déposée sous cachet, au ministère de l'agriculture et du commerce.

L'année expirée, le cachet sera brisé et le brevet délivré.

Toutefois le breveté principal aura la préférence pour les changements, perfectionnements et additions pour lesquels il aurait lui-même, pendant l'année, demandé un certificat d'addition ou un brevet.

Art. 19. Quiconque aura pris un brevet pour une découverte, invention ou application se rattachant à l'objet d'un autre brevet, n'aura aucun droit d'exploiter l'invention déjà brevetée, et réciproquement le titulaire du brevet primitif ne pourra exploiter l'invention objet du nouveau brevet.

Section IV. De la transmission de la cession des brevets. — Art. 20. Tout breveté pourra céder la totalité ou partie de la propriété de son brevet.

La cession totale ou partielle d'un brevet, soit à titre gratuit, soit à titre onéreux, ne pourra être faite que par acte notarié, et après le payement de la totalité de la taxe déterminée par l'art. 4.

Aucune cession ne sera valable, à l'égard des tiers, qu'après avoir été enregistrée au secrétariat de la préfecture du département dans lequel l'acte aura été passé.

L'enregistrement des cessions et de tous autres actes emportant mutation sera fait sur la production et le dépôt d'un extrait authentique de l'acte de cession ou de mutation.

Une expédition de chaque procès-verbal d'enregistrement, accompagnée de l'extrait de l'acte ci-dessus mentionné, sera transmise, par les préfets, au ministre de l'agriculture et du commerce, dans les cinq jours de la date du procès-verbal.

Art. 21. Il sera tenu, au ministère de l'agriculture et du commerce, un registre sur lequel seront inscrites les mutations intervenues sur chaque brevet, et, tous les trois mois, une ordonnance royale proclamera, dans la forme déterminée par l'art. 14, les mutations enregistrées pendant le trimestre expiré.

Art. 22. Les cessionnaires d'un brevet, et ceux qui auront acquis d'un breveté ou de ses ayants droit la faculté d'exploiter la découverte ou l'invention, profiteront de plein droit des certificats d'addition qui seront ultérieurement délivrés au breveté ou à ses ayants droit. Réciproquement, le breveté ou ses ayants droit profiteront des certificats d'addition qui seront ultérieurement délivrés aux cessionnaires.

Tous ceux qui auront droit de profiter des certificats d'addition pourront en lever une expédition au ministère de l'agriculture et du commerce, moyennant un droit de vingt francs.

Section V. De la communication et de la publication des descriptions et dessins de brevets. — Art. 23. Les descriptions, dessins, échantillons et modèles des brevets délivrés, resteront, jusqu'à l'expiration des brevets, déposés au ministère de l'agriculture et du commerce, où ils seront communiqués, sans frais, à toute réquisition.

Toute personne pourra obtenir, à ses frais, copie desdites descriptions et dessins, suivant les formes qui seront déterminées dans le règlement rendu en exécution de l'art. 50.

Art. 24. Après le payement de la deuxième annuité, les descriptions et dessins seront publiés, soit textuellement, soit par extrait.

Il sera en outre publié, au commencement de chaque année, un catalogue contenant les titres des brevets délivrés dans le courant de l'année précédente.

Art. 25. Le recueil des descriptions et dessins et le catalogue publiés en exécution de l'article précédent seront déposés au ministère de l'agriculture et du commerce, et au secrétariat de la préfecture de chaque département, où ils pourront être consultés sans frais.

Art. 26. A l'expiration des brevets, les originaux des descriptions et dessins seront déposés au Conservatoire royal des arts et métiers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BREVET D'INVENTION.

TITRE III. DES DROITS DES ÉTRANGERS.

Art. 27. Les étrangers pourront obtenir en France des brevets d'invention.

Art. 28. Les formalités et conditions déterminées par la présente loi seront applicables aux brevets demandés ou délivrés en exécution de l'article précédent.

Art. 29. L'auteur d'une invention ou découverte déjà brevetée à l'étranger pourra obtenir un brevet en France; mais la durée de ce brevet ne pourra excéder celle des brevets antérieurement pris à l'étranger.

TITRE IV. DES NULLITÉS ET DÉCHÉANCES, ET DES ACTIONS Y RELATIVES.

Section I. Des nullités et déchéances. — Art. 30. Seront nuls, et de nul effet, les brevets délivrés dans les cas suivants, savoir :

1° Si la découverte, invention ou application n'est pas nouvelle;

2° Si la découverte, invention ou application n'est pas, aux termes de l'art. 3, susceptible d'être brevetée;

3° Si les brevets portent sur des principes, méthodes, systèmes, découvertes et conceptions théoriques ou purement scientifiques, dont on n'a pas indiqué les applications industrielles;

4° Si la découverte, invention ou application est reconnue contraire à l'ordre ou à la sûreté publique, aux bonnes mœurs ou aux lois du royaume, sans préjudice, dans ce cas et dans celui du paragraphe précédent, des peines qui pourraient être encourues pour la fabrication ou le débit d'objets prohibés;

5° Si le titre sous lequel le brevet a été demandé indique frauduleusement un objet autre que le véritable objet de l'invention;

6° Si la description jointe au brevet n'est pas suffisante pour l'exécution de l'invention, ou si elle n'indique pas, d'une manière complète et loyale, les véritables moyens de l'inventeur;

7° Si le brevet a été obtenu contrairement aux dispositions de l'art. 18.

Seront également nuls, et de nul effet, les certificats comprenant des changements, perfectionnements ou additions qui ne se rattacheraient pas au brevet principal.

Art. 31. Ne sera pas réputée nouvelle toute découverte, invention ou application qui, en France ou à l'étranger, et antérieurement à la date du dépôt de la demande, aura reçu une publicité suffisante pour pouvoir être exécutée.

Art. 32. Sera déchu de tous ses droits :

1° Le breveté qui n'aura pas acquitté son annuité avant le commencement de chacune des années de la durée de son brevet;

2° Le breveté qui n'aura pas mis en exploitation sa découverte ou invention en France, dans le délai de deux ans, à dater du jour de la signature du brevet, ou qui aura cessé de l'exploiter pendant deux années consécutives, à moins que, dans l'un ou dans l'autre cas, il ne justifie des causes de son inaction;

3° Le breveté qui aura introduit en France des objets fabriqués en pays étranger et semblables à ceux qui sont garantis par son brevet.

Sont exceptés des dispositions du présent paragraphe, les modèles de machines dont le ministre de l'agriculture et du commerce pourra autoriser l'introduction dans le cas prévu par l'art. 29.

Art. 33. Quiconque, dans des enseignes, annonces, prospectus, affiches, marques ou estampilles, prendra la qualité de breveté sans posséder un brevet délivré conformément aux lois, ou après l'expiration d'un brevet antérieur; ou qui, étant breveté, mentionnera sa qualité de breveté ou son brevet sans y ajouter ces mots, *sans garantie du gouvernement*, sera puni d'une amende de cinquante francs à mille francs.

En cas de récidive, l'amende pourra être portée au double.

Section II. Des actions en nullité et en déchéance. — Art. 34. L'action en nullité et l'action en déchéance pourront être exercées par toute personne y ayant intérêt.

Ces actions, ainsi que toutes contestations relatives à la propriété des brevets, seront portées devant les tribunaux civils de première instance.

Art. 35. Si la demande est dirigée en même temps contre le titulaire du brevet et contre un ou plusieurs cessionnaires partiels, elle sera portée devant le tribunal du domicile du titulaire du brevet.

Art. 36. L'affaire sera instruite et jugée dans la forme prescrite pour les matières sommaires, par les art. 405 et suiv. du Code de procédure civile. Elle sera communiquée au procureur du roi.

Art. 37. Dans toute instance tendant à faire prononcer la nullité ou la déchéance d'un brevet, le ministère public pourra se rendre partie intervenante et prendre des réquisitions pour faire prononcer la nullité ou la déchéance absolue du brevet.

Il pourra même se pourvoir directement par action principale pour faire prononcer la nullité, dans les cas prévus aux n^os^ 2°, 4° et 5° de l'art. 30.

Art. 38. Dans les cas prévus par l'art. 37, tous les ayants droit au brevet dont les titres auront été enregistrés au ministère de l'agriculture et du commerce, conformément de l'article 21, devront être mis en cause.

Art. 39. Lorsque la nullité ou la déchéance absolue d'un brevet aura été prononcée par jugement ou arrêt ayant acquis force de chose jugée, il en sera donné avis au ministre de l'agriculture et du commerce, et la nullité ou la déchéance sera publiée dans la forme déterminée par l'art. 14 pour la proclamation des brevets.

TITRE V. DE LA CONTREFAÇON, DES POURSUITES DES PEINES.

Art. 40. Toute atteinte portée aux droits du breveté, soit par la fabrication de produits, soit par l'emploi de moyens faisant l'objet de son brevet, constitue le délit de contrefaçon.

Ce délit sera puni d'une amende de cent à deux mille francs.

Art. 41. Ceux qui auront sciemment recélé, vendu ou exposé en vente, ou introduit sur le territoire français, un ou plusieurs objets contrefaits, seront punis des mêmes peines que les contrefacteurs.

Art. 42. Les peines établies par la présente loi ne pourront être cumulées.

La peine la plus forte sera seule prononcée pour tous les faits antérieurs au premier acte de poursuite.

Art. 43. Dans le cas de récidive, il sera prononcé, outre l'amende portée aux art. 40 et 41, un emprisonnement d'un mois à six mois.

Il y a récidive, lorsqu'il a été rendu contre le prévenu, dans les cinq années antérieures, une première condamnation pour un des délits prévus par la présente loi.

Un emprisonnement d'un mois à six mois pourra aussi être prononcé, si le contrefacteur est un ouvrier ou un employé ayant travaillé dans les ateliers ou dans l'établissement du breveté, ou si le contrefacteur, s'étant associé avec un ouvrier ou un employé du breveté, a eu connaissance, par ce dernier, des procédés décrits au brevet.

Dans ce dernier cas, l'ouvrier ou l'employé pourra être poursuivi comme complice.

Art. 44. L'art. 463 du Code pénal pourra être appliqué aux délits prévus par les dispositions qui précèdent.

Art. 45. L'action correctionnelle pour l'application

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des peines ci-dessus, ne pourra être exercée par le ministère que sur la plainte de la partie lésée.

Art. 46. Le tribunal correctionnel, saisi d'une action pour délit de contrefaçon, statuera sur les exceptions qui seraient tirées par le prévenu, soit de la nullité ou de la déchéance du brevet, soit des questions relatives à la propriété dudit brevet.

Art. 47. Les propriétaires de brevets pourront, en vertu d'une ordonnance du président du tribunal de première instance, faire procéder, par tous huissiers, à la désignation et description détaillées, avec ou sans saisie, des objets prétendus contrefaits.

L'ordonnance sera rendue sur simple requête, et sur la représentation du brevet; elle contiendra, s'il y a lieu, la nomination d'un expert pour aider l'huissier dans sa description.

Lorsqu'il y aura lieu à la saisie, ladite ordonnance pourra imposer au requérant un cautionnement qu'il sera tenu de consigner avant d'y procéder.

Le cautionnement sera toujours imposé à l'étranger breveté qui requerra la saisie.

Il sera laissé copie au détenteur des objets décrits ou saisis, tant de l'ordonnance que de l'acte constatant le dépôt du cautionnement, le cas échéant; le tout, à peine de nullité et de dommages-intérêts contre l'huissier.

Art. 48. A défaut par le requérant de s'être pourvu soit par la voie civile, soit par la voie correctionnelle, dans le délai de huitaine, outre un jour par trois myriamètres de distance, entre le lieu où se trouvent les objets saisis et décrits, et le domicile du contrefacteur, recéleur, introducteur ou débitant, la saisie ou description sera nulle de plein droit, sans préjudice des dommages-intérêts qui pourront être réclamés, s'il y a lieu, dans la forme prescrite par l'art. 36.

Art. 49. La confiscation des objets reconnus contrefaits, et, le cas échéant, celle des instruments ou ustensiles destinés spécialement à leur fabrication, seront, même en cas d'acquittement, prononcées contre le contrefacteur, le recéleur, l'introducteur ou le débitant.

Les objets confisqués seront remis au propriétaire du brevet, sans préjudice de plus amples dommages-intérêts et de l'affiche du jugement, s'il y a lieu.

BRIQUE (*anglais*, brick; *allem.*, ziegel). Les briques sont des matériaux de construction en terre cuite, ayant en général la forme de parallélipipèdes. Les unes, destinées aux constructions ordinaires, et qui se fabriquent en quantités énormes dans certains pays, privés de pierres et où le combustible abonde, sont faites avec des argiles plus ou moins sableuses et des marnes argileuses, calcaires ou limoneuses; les autres sont plus ou moins réfractaires et destinées à la construction des fours.

Nous ne reviendrons pas sur la classification des argiles donnée très-complètement à l'article ARGILE, ni sur leur composition chimique, donnée à l'article ARGILE du *Complément*.

EXPLOITATION DES ARGILES. Les argiles peuvent être exploitées de deux manières:

1° A ciel ouvert; 2° à ciel couvert, c'est-à-dire souterrainement en galerie.

On exploite à ciel ouvert lorsque le banc d'argile se présente par affleurement, ou bien lorsque, le banc étant peu profondément situé, il est facile de le mettre à découvert sans beaucoup de frais.

Ce mode d'exploitation est excessivement simple et

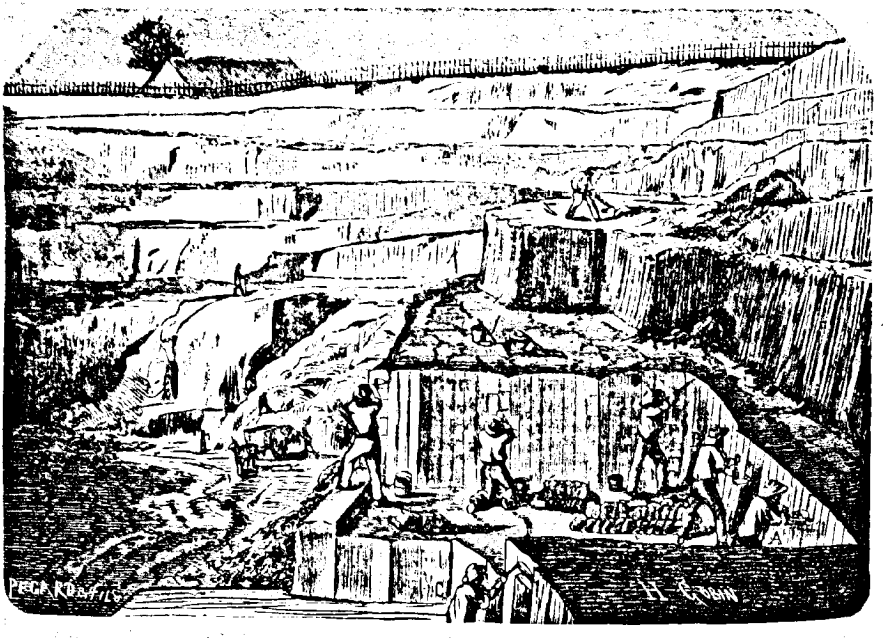


Fig. 1.

s'exécute de la façon suivante: on commence par enlever la terre végétale, ainsi que les autres couches de terrain qui peuvent recouvrir le banc d'argile; puis on attaque ce banc en procédant par gradins, comme le fait voir la figure 1. On extrait l'argile sous forme de pains cubiques, en se servant, à cet effet, de deux outils spéciaux, que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous représentons dans la fig. 2. Ces deux outils sont identiques de forme; mais l'un est pourvu d'un manche plus court que celui de l'autre.

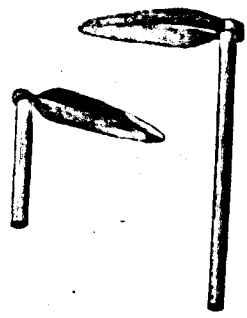


Fig. 2.

L'outil à manche court sert à l'ouvrier pour faire dans le gradin qu'il exploite des incisions verticales et horizontales d'une certaine profondeur, destinées à limiter le contour des pains. Dans la fig. 1, l'ouvrier A est en train de faire des incisions verticales, tandis que l'ouvrier B pratique des entailles horizontales.

Quand il a exécuté un certain nombre de ces incisions, l'ouvrier prend l'outil à long manche, et, ainsi que le fait l'ouvrier C (fig. 1), il l'introduit dans la masse argileuse, de façon à entailler le gradin parallèlement à sa face verticale, et à $0^m,15$ environ de cette face. Grâce aux incisions précédemment faites, l'argile se détache alors par pains que l'ouvrier place en tas à côté de lui.

Il importe de remarquer que l'ouvrier doit avoir à côté de lui un seau rempli d'eau, dans lequel il plonge *très-fréquemment* la lame de son outil, afin de faciliter ses opérations. L'outil le plus tranchant ne fournirait aucun résultat, si l'on ne prenait soin de le mouiller presque à chaque effort qu'on lui imprime. C'est une des conséquences de la plasticité des argiles.

Lorsqu'on a découvert par le sondage un banc d'argile situé à une profondeur trop considérable pour être mis à découvert, il faut alors creuser un puits et procéder par galeries. On est obligé d'avoir recours à ce même moyen quand le banc, bien que peu profondément situé, est recouvert de matières difficiles à extraire, de roches ou pierres dures.

On opère alors absolument comme pour les mines, par puits et galeries, bien entendu pour des petites profondeurs seulement.

Transport des terres. Quand on se propose de fabriquer les briques en plein air, on s'établit sur l'endroit même où l'on exploite l'argile. Le transport est alors très-simple et peu coûteux.

Il n'en est plus de même lorsque l'on fabrique à couvert ou en usine. Si la minière d'argile est très-proche de la briqueterie, on effectue le transport dans des brouettes. Si la minière est, au contraire, un peu éloignée, on a recours, si cela est possible, à de petits wagons roulant sur des chemins de fer.

Nous avons donné, à la fin de l'article CHEMINS DE FER, la description de petits chemins de fer d'usine applicables à ces exploitations.

Fabrication des pâtes. Les terres à briques communes varient dans chaque localité. Lorsqu'elles sont trop argileuses, elles sont sujettes à se déformer et à se fendiller par la dessiccation et la cuisson. On y remédie en les *dégraissant* par des matières sableuses ou calcaires. Lorsque, au contraire, elles n'ont pas assez de liant, on leur donne cette qualité par un mélange de marne ou de chaux, et rarement d'argile plastique. Les mélanges, ainsi formés, sont assez facilement fusibles, et, par contre, les briques qu'ils servent à fabriquer ne peuvent être que peu cuites, et sont par suite poreuses et friables. Dans quelques fabriques, et surtout en Angleterre, on ajoute assez de chaux dans les pâtes, soit à l'état de marne calcaire, soit à tout autre état, pour augmenter leur fusibilité, à tel point que les briques subissent, par la cuisson, un commencement de vitrification; en outre, lorsqu'on le peut, on incorpore dans la pâte une certaine proportion d'escarbilles ou cendres de houille qui agissent non-seulement comme matière dégraissante pour empêcher la déformation et le retrait pendant la cuisson, mais surtout facilitent considérablement la régularité de la cuisson en augmentant la conductibilité pour la chaleur de la pâte. On remarque, en effet, que les briques ainsi fabriquées sont plus compactes, plus sonores, et résistent beaucoup mieux que les autres à l'action des agents atmosphériques.

Les terres argileuses renferment toujours des grains de calcaire, des petites pierres siliceuses, des fragments de pyrites; de là résulte presque toujours la nécessité de préparer les terres.

Hivernement des terres. C'est une ancienne coutume de laisser les argiles exposées pendant plusieurs mois aux intempéries des saisons. A toute époque, les fabricants ont extrait pendant l'automne les terres qu'ils destinaient aux produits de choix.

L'hiver, en passant sur ces terres, développe leur ductilité. La pluie, la gelée, le dégel, font éclater les noyaux qu'elles renferment, et divisent la masse jusque dans ses parties les plus intérieures, surtout si l'on a le soin de la retourner fréquemment avec une pelle. L'expérience a démontré que, plus une argile est extraite longtemps avant d'être manipulée, plus les qualités utiles s'y développent. Dans quelques localités, on exploite les argiles plusieurs années avant de les façonner.

On a remarqué que les terres, quelle que soit leur nature, abreuvées d'humidité, réunies en masses assez volumineuses pour que l'action de l'air ne s'étende pas jusque vers leur centre, prennent une couleur d'abord grisâtre, puis ensuite entièrement noirâtre; elles répandent une odeur prononcée d'hydrogène sulfuré. Elles conservent ces deux propriétés tant qu'elles contiennent de l'eau et tant qu'elles sont abritées du contact de l'air par une écorce assez épaisse. Cette coloration de la masse, résultat d'une sorte de pourriture, est d'autant plus prononcée que les eaux dont elle est imprégnée se trouvent être moins pures. La coloration noire disparaît à l'air; il se dégage de l'acide carbonique, qui contribue encore à la division de la masse.

Taillage. Lorsque les terres n'ont pas été hivernées, elles sont composées de parties inégalement humides, et n'ayant pas quelquefois la même composition. Le trempage (dont nous parlerons plus loin) se fait alors difficilement et d'une façon irrégulière; il s'exécute avec bien moins de rapidité que si la masse était réduite en fragments petits et de dimensions semblables.

Habituellement, on emploie à Paris pour l'amener à cet état, une tailleuse qui ressemble beaucoup à un coupe-racines (voyez INSTRUMENTS D'AGRICULTURE). Elle se compose d'un plateau vertical monté sur un axe horizontal auquel est adaptée une roue qui engrène avec un pignon fixé sur l'arbre qui reçoit le mouvement. La terre à tailler est jetée dans une rigole en bois dont l'inclinaison est telle que le glissement puisse aisément s'opérer, et que cette terre vienne buter contre le plateau.

Le plateau est pourvu de six lames qui taillent la terre. Au-dessous du plateau se trouve la fosse de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trempage où tombe la terre taillée. Afin de faciliter le glissement de la terre dans la rigole, on la mouille par un petit jet d'eau qui s'échappe d'un robinet situé à côté du plateau.

Trempage. Il est bien rare que les argiles contiennent la quantité d'eau suffisante et nécessaire pour en faire une pâte se prêtant à un travail facile. On est alors forcé de leur ajouter de l'eau, de les *tremper*.

Le trempage doit s'effectuer après que les terres ont été soumises à la première série d'opérations, c'est-à-dire après qu'elles ont été divisées en fragments, soit à la pelle, soit à la tailleuse, soit aux cylindres broyeurs. Pour tremper les terres, on se sert habituellement de fosses creusées dans le sol et garnies de planches. L'argile est déposée dans ces fosses sur une épaisseur qui ne doit pas dépasser 0m,50 environ, et recouverte d'eau. Quand l'eau est absorbée, on en ajoute une quantité nouvelle. On doit avoir soin de remuer la masse de temps en temps.

Le trempage est une opération dont on ne peut pas se dispenser, lorsque les briques doivent être fabriquées à la main.

Corroyage. Le corroyage est, sans contredit, l'opération la plus importante dans la fabrication des briques, tuiles, tuyaux de drainage, etc. Cette importance est mise en relief par une expérience faite autrefois par Gallon, lieutenant-colonel du génie. Gallon fabriqua deux briques avec la même terre. Seulement, la brique n° 1 fut confectionnée avec une pâte qui avait été corroyée deux fois, tandis que la brique n° 2 le fut avec une pâte qui n'avait été corroyée qu'une seule fois. Ces deux briques furent cuites dans les mêmes conditions, puis établies chacune sur un support qui les soutenait par leur milieu et de champ. La brique n° 1 ne rompit que sous une charge de 64k,236, répartie également à chaque bout, tandis que la brique n° 2 rompit sous une charge de 34k,266 répartie aussi également à chaque bout. Cette expérience est plus éloquente que tout ce que l'on pourrait dire.

Autrefois, le corroyage s'effectuait partout avec les pieds. Aujourd'hui, on emploie des machines dans la plupart des fabriques, pour pétrir la terre. Nous allons décrire les plus usitées.

Nous parlerons d'abord des cylindres broyeurs.

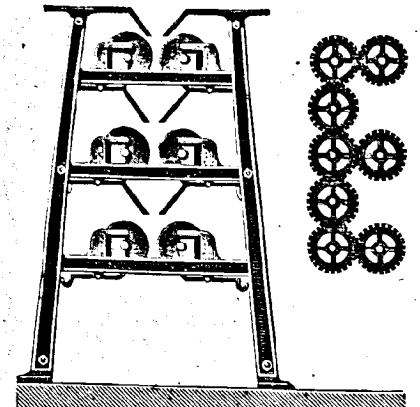


Fig. 3.

La figure 3 représente une machine munie de trois paires de cylindres, qui, dans le Staffordshire, sert à écraser la marne que l'on emploie.

Lorsque l'on soumet une terre à l'action des cylindres, pour y détruire les pierres qu'elle renferme, il est préférable qu'elle soit sèche. Si c'est pour la corroyer, il faut d'abord lui faire subir le trempage.

Le mode de corroyage le plus employé est celui obtenu au moyen de *tonneau malaxeur*.

Il existe diverses sortes de tonneaux malaxeurs (voy. MORTIER). Nous allons décrire celui qui fournit les meilleurs résultats. Il se compose essentiellement d'une boîte cylindrique A (fig. 4), en bois, tôle ou fonte, de

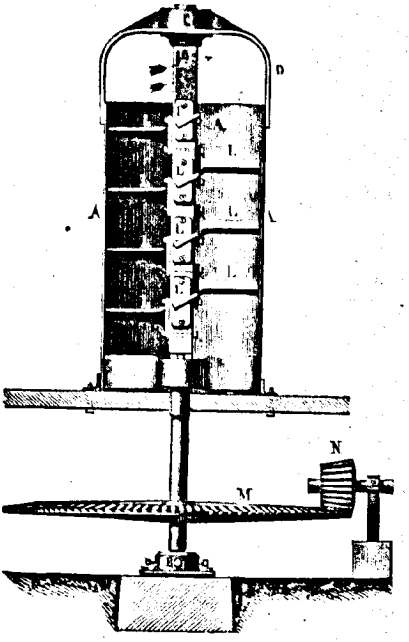


Fig. 4.

0m,50 à 0m,80 de diamètre intérieur, placée verticalement et ouverte à sa partie supérieure. Au milieu de ce tonneau tourne un gros arbre en fer B, également vertical, reposant par sa partie inférieure, et après avoir traversé le fond du tonneau, dans une crapaudine E, et maintenu à sa partie supérieure dans un collet C supporté par un arc D ou par une traverse horizontale. Cet arbre est garni, dans toute sa hauteur, de lames qui servent à diviser et triturer la matière. Ces lames qui, dans quelques appareils, sont disposées horizontalement, sont, dans la machine que nous décrivons, fixées obliquement, c'est-à-dire que, tout en étant perpendiculaires à l'axe, elles sont inclinées de façon à former dans leur ensemble une espèce de surface héliçoïdale.

La terre est apportée des fosses de trempage au moyen de brouettes ou de wagonnets, puis introduite dans le tonneau malaxeur par fractions, et alternativement avec les matières modificatrices (sable, escarbilles, etc.). Un robinet, placé au-dessus du tonneau, fournit l'eau qu'il est nécessaire d'ajouter à la pâte lorsqu'elle est trop ferme. Par suite de l'inclinaison des lames, et grâce au sens de la rotation de l'arbre qui les porte, la terre descend verticalement et est chassée vers le fond, où elle tend naturellement à sortir par une ouverture pratiquée dans les parois de la boîte cylin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

compartiment et l'on ouvre son conduit de fumée après avoir fermé celui du compartiment qui formait auparavant la fin de la série; enfin on ouvre la porte extérieure du compartiment qui formait le commencement de la série et qui est assez refroidi pour qu'on en puisse enlever les briques. Quant aux ouvertures servant à l'introduction du registre, on les ferme parfaitement avec un couvercle (fig. 22) qu'on lute avec de la terre grasse.



Fig. 22.

On voit, par ce que nous venons de dire, qu'il y a toujours deux compartiments dont les portes sont ouvertes. Dans l'un, celui qui est à côté du registre, on opère le chargement; dans l'autre, on effectue le déchargement.



Fig. 23.

Le combustible se charge dans le four par des trous circulaires ménagés dans la voûte du four, très-rapprochés les uns des autres, et susceptibles d'être fermés hermétiquement au moyen de couvercles (fig. 23) munis d'un verre qui permet de contrôler le feu dans tous les points du canal.

Dans le four, les briques doivent être disposées de façon à ménager trois petites galeries de 0m,35 de hauteur sur 0m,25 de largeur; elles sont ensuite empilées comme dans les fours ordinaires; seulement, sous chaque ouverture de chargement, on pratique dans la masse des briques une cheminée verticale dans laquelle on dispose quelques briques en croix, à deux ou trois hauteurs différentes, de façon à empêcher le charbon de tomber jusqu'au fond de la cheminée et de s'y accumuler au point d'intercepter l'arrivée de l'air.

Sur les trous par lesquels on doit charger, on place des trémies remplies de combustible, dont celui-ci s'échappe pour tomber sur les briques déjà chauffées au rouge par le passage des gaz chauds. Les charges se font par petites quantités, deux ou trois kilogrammes à la fois, et à intervalles très-rapprochés. Si une cheminée se bouche, ce qui arrive quelquefois, on cesse le chargement, la chaleur des cheminées voisines est suffisante, et cet accident est sans inconvénient.

L'avancement du feu se fait graduellement par le contact des gaz chauds et on ne charge le combustible qu'au milieu des briques déjà rouges. La marche peut être accélérée ou retardée, voire même temporairement arrêtée sans qu'il en résulte de dommages.

Le registre qui peut être en tôle mince, puisqu'il est placé dans la partie la plus froide du canal, se manœuvre au moyen d'un léger échafaudage qui se trouve sur le four et qui peut se transporter d'un endroit à l'autre.

Les fours Hoffmann présentent ce grand avantage de pouvoir utiliser les combustibles menus et de qualité inférieure qui, dans d'autres fours, ne pourraient être employés. En outre, il n'y a pas lieu de craindre l'accumulation des cendres dans les cheminées: elles sont toujours éparpillées par le fort courant d'air qui circule à travers la masse.

Quand, dans un four de 12 compartiments, le travail s'effectue d'une façon régulière, on doit avancer d'un compartiment toutes les vingt-quatre heures: d'où il résulte que les briques restent douze jours dans le four.

Les dimensions des fours de M. Hoffmann sont très-variables. Ainsi, il est des fours qui n'ont que huit compartiments, tandis qu'il en est qui en ont douze. En outre, il existe des fours qui n'ont qu'une capacité de huit à neuf mètres cubes par compartiment, quand on en trouve qui, tels que ceux de M. Drasché de Vienne, ont quatre-vingts mètres cubes par compartiment. Les plus grands sont les plus avantageux. La raison en est

bien simple; car pour un grand four le volume de la maçonnerie est proportionnellement moindre, et le nombre des chauffeurs est le même que pour un petit. Dans tous les cas, la section du canal annulaire est dépendante des dimensions du four, mais elle ne dépasse jamais trois mètres.

Nous avons dit que la cheminée est située au centre du four; mais elle peut être construite en dehors: dans ce cas, on la relie par un canal à la chambre où aboutissent les rampants de tirage.

La forme du four est indifférente: elle peut être circulaire ou elliptique. Cette dernière forme est quelquefois préférable, lorsqu'on ne dispose pas d'un grand emplacement.

Dans le tableau suivant, nous donnons en volume la quantité approximative de matériaux nécessaires pour la construction d'un four, cheminée comprise, et cela en raison du nombre de briques qui peuvent être cuites en une journée.

Nombre de briques cuites par jour dans le four.	6000	10000	20000
Maçonnerie.....	400mc	500	700
Sable.....	125mc	170	230
Fer et fonte.....	3000kil	3700	5000

On peut, d'après les chiffres donnés dans ce tableau, évaluer approximativement les dépenses nécessaires pour la construction d'un four. A Paris, le prix de façon, pour un mètre cube de maçonnerie, briques et moellons ensemble, varie de 10 à 12 francs.

La quantité de combustible consommé varie nécessairement avec la qualité de celui-ci et la plus ou moins grande facilité avec laquelle les terres cuisent. Dans un four construit en Allemagne pendant l'année 1862 et travaillant régulièrement, on a brûlé, depuis la fin de mars jusqu'en novembre, 40 quintaux métriques de houille de bonne qualité par 27,000 à 28,000 briques de grand format. Dans un autre four fonctionnant à la briqueterie des buttes Chaumont (Paris), on ne dépense pas plus de 100 kilog. de houille par 1,000 briques.

Caractères d'une bonne brique. Le caractère principal des briques bien cuites, et celui auquel on les reconnaît, est le son clair qu'elles rendent lorsqu'on les frappe. Lorsqu'au contraire elles rendent un son fêlé, elles ne sont pas suffisamment cuites, et sont alors ordinairement gélives, c'est-à-dire qu'elles ne résistent pas à la gelée, qui les fait fendiller et tomber par morceaux.

Briques légères. Ces briques, qui surnagent sur l'eau, étaient connues des anciens, car Pline rapporte qu'on en fabriquait de pareilles à Colento, en Espagne, et à Pitane, en Etolie. Le procédé s'en perdit pendant l'invasion des Barbares, et ne fut retrouvé que plus tard, par Fabbroni, qui découvrit aux environs de Castel del Piano, près Sienne, une sorte de magnésite très-légère, poreuse et réfractaire, composée de: silice, 55; magnésie, 15; eau, 14; alumine, 12; chaux, 3, et oxyde de fer, 1, qui, mélangée avec 1/20 d'argile, donne des briques plus légères que l'eau, et qui, avec des dimensions de 0m,19 de long, 0m,12 de large et 0m,05 d'épaisseur, ne pèsent chacune que 0k,45, tandis qu'une brique commune des mêmes dimensions pèse 2k,70. On peut aussi employer, à cet effet, beaucoup de tufs siliceux qui, mêlés avec 1/25 d'argile grasse, donnent les mêmes résultats. Les briques légères, ainsi obtenues, offrent plus de résistance sous le même poids que les briques communes, et s'approprient par suite à la construction des cloisons et des voûtes; elles sont beaucoup moins conductrices de la chaleur que les briques communes; ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on peut porter au rouge vif l'extrémité de l'une de ces briques, sans que l'autre bout s'échauffe d'une manière notable.

BRIQUET, nom donné à tout appareil destiné à produire du feu. Outre le *briquet ordinaire*, qui se compose d'une pierre à fusil et d'un morceau d'acier qui sert à battre la pierre et à en faire jaillir des étincelles, que l'on reçoit sur un morceau d'amadou, nous mentionnerons les suivants :

Le *briquet pneumatique*, servant plutôt comme appareil de physique, pour démontrer la production de la chaleur par la compression de l'air, que comme briquet. Il consiste en un tube de verre cylindrique très-fort, garni d'une armature en cuivre à son extrémité inférieure qui est fermée ; il s'y meut à frottement un piston plein, muni d'une tige servant à le manœuvrer et portant en dessous une cavité où l'on peut fixer un morceau d'amadou. Lorsque l'on comprime brusquement l'air renfermé dans le cylindre en verre à l'aide du piston, de manière à le réduire à une très-petite partie de son volume primitif, il se dégage une quantité de chaleur suffisante pour enflammer l'amadou.

Le *briquet à gaz hydrogène*. Ce briquet, très-ingénieux, est formé d'un réservoir à gaz hydrogène, fermé à sa partie supérieure, qui plonge, par sa partie inférieure, dans un bocal renfermant de l'acide sulfurique étendu, dont le niveau s'élève plus ou moins dans le réservoir, selon que ce dernier renferme moins ou plus de gaz. A une certaine hauteur est suspendu, par un fil de cuivre ou de laiton, un morceau de zinc, qui, lorsque l'acide monte dans le réservoir, se trouve y plonger, et donne lieu à un dégagement gazeux qui répare les pertes du réservoir et augmente le volume et la tension du gaz qu'il renferme, de manière à ramener le bain d'acide au-dessous de son niveau, et alors tout dégagement gazeux cesse. On voit donc que, par ce moyen, le réservoir est toujours rempli de gaz hydrogène, qui se renouvelle au besoin par le jeu même de l'appareil. A la partie supérieure du réservoir est un tube effilé muni d'un robinet, qui permet de donner issue à volonté au gaz. Si maintenant on dispose, en avant du jet d'hydrogène, du platine en éponge, sur lequel il arrive, le platine s'échauffe rapidement, rougit, puis enflamme le jet de gaz. On explique ce phénomène par une condensation considérable d'oxygène venant de l'air atmosphérique et d'hydrogène (700 fois environ son volume), qui s'opère à la surface du métal et qui favorise leur combinaison respective, par suite de laquelle il se dégage une quantité de chaleur suffisante pour faire rougir le platine et enflammer le jet d'hydrogène.

Le *briquet phosphorique*, dont l'usage était autrefois très-répandu, se fabrique de plusieurs manières. Le plus ordinairement, on fait liquéfier, à une chaleur très-douce, un peu de phosphore dans un petit flacon de métal long et étroit ; lorsque le phosphore est en fusion, on plonge dans le flacon une petite tige de fer rougie au feu ; le phosphore s'enflamme ; on agite pendant quelques instants, et lorsque la couleur est devenue bien rouge, on retire la tige et l'on bouche le flacon, puis on laisse refroidir. Il ne reste plus qu'à fixer le flacon dans un étui de fer-blanc, disposé de manière à pouvoir contenir en même temps quelques allumettes ordinaires et bien soufrées. Pour faire usage de ce briquet, on introduit une allumette dans le flacon, on lui imprime un mouvement de torsion en appuyant sur le phosphore, dont on détache ainsi quelques parcelles, et on la retire ; l'inflammation a lieu aussitôt et se communique au soufre.

Souvent on projette, dans le flacon renfermant du phosphore que l'on vient d'enflammer, une certaine quantité de magnésie calcinée, qu'on agite ensuite à l'aide d'une tige de fer ; on cesse d'agiter quand la masse est devenue pulvérulente, on bouche et on laisse refroidir. On rend ainsi la division du phosphore beaucoup plus grande, ce qui augmente considérablement son inflammabilité.

Quelquefois on introduit, dans un tube en plomb ou en cristal, fermé par un bout, un bâton de phosphore que l'on y tasse, soit par compression, soit, ce qui est préférable, en le fondant sous l'eau. Les briquets ainsi préparés durent plus longtemps que les autres, parce que le phosphore n'est pas divisé ; mais aussi ils sont moins inflammables. Pour s'en servir, on frotte la surface du phosphore assez fortement, pour que l'allumette en détache quelques portions qui se fixent au soufre ; pour en déterminer l'inflammation, il faut frotter l'extrémité de l'allumette phosphorée sur un corps un peu rugueux, tel que le liége, le feutre, etc. ; le faible dégagement de chaleur qui se produit alors suffit pour faire prendre feu au phosphore et le communiquer au soufre.

BRIQUETTES. Pour utiliser le menu du charbon de terre, on le mélange avec une bouillie claire d'argile grasse ou *terre glaise*, de manière à former une pâte très-épaisse et qui ait assez de consistance pour pouvoir se mouler en briquettes, que l'on fait sécher à l'air.

En façonnant une pareille pâte d'escarbilles, de coke, en forme de bûches, on obtient les *bûches économiques*, employées quelquefois pour former la partie postérieure des feux de cheminées au bois.

L'emploi du GOUDRON au lieu d'argile a permis d'améliorer beaucoup cette fabrication.

BRODERIE. Les peuples de l'antiquité savaient broder les étoffes, et varier les couleurs, soit au moyen de l'aiguille, soit en ajoutant sur un fond uni des fils de différentes teintes, de l'or, des pierreries, soit en faisant entrer ces fils teints dans le tissu des étoffes, lorsqu'on les ourdissait.

Il suffit, pour s'en convaincre, de lire quelques chapitres de la Bible, dans lesquels Moïse parle du modèle du tabernacle et du voile fait de fin lin retors, de pourpre, d'écarlate, de cramoisi, d'*ouvrages de broderie* recouverts d'or et de pierreries (*Exode*, chap. 26, v. 1, 31 ; chap. 39, v. 2, 3, 5, 8, etc.).

Du reste, ce n'est pas seulement chez les Hébreux que l'art de travailler en broderie était en usage. Cette invention était généralement connue de plusieurs autres peuples de l'Asie. Homère, décrivant l'occupation d'Hélène à Troie, dit que cette princesse brodait un long voile de pourpre, et traçait les nombreux combats que supportaient pour elle les valeureux Grecs (*Iliade*, livre III, v. 125). Il cite encore Andromaque qui, retirée dans son riche palais, s'occupait à former un tissu, ample vêtement de pourpre sur lequel sa main *brodait* (*Iliade*, livre XXII, v. 340).

Homère parle de la ceinture d'or de Calypso (*Odyssée*, livre V, v. 232) et de celle de Circé (*Odyssée*, livre X, v. 543) ; mais nous ferons remarquer, à cette occasion, qu'aucun auteur n'a indiqué l'emploi des fils d'argent pour la broderie. Pline lui-même, qui indique longuement l'emploi qu'on faisait de l'or dans les habillements (livre XXIII, sect. 19), et de l'argent pour divers ornements, ne dit pas un mot des *fils d'argent coupés*.

Dans ces temps reculés, le travail de la broderie l'emportait sur la peinture proprement dite par la vérité de l'imitation. Ce qui le prouve, c'est le témoignage d'Ovide, dans sa fable de Minerve et d'Arachné. Tout leur talent, dit-il, consistait à donner les jours et les clairs avec la laine. Du reste, notre opinion est encore appuyée par le témoignage de plusieurs auteurs modernes qui considèrent comme peinture toute espèce de procédé qui consiste à assembler en nuances des couleurs. On lit, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, une dissertation fort intéressante sur les diverses espèces

EFFIPUS Recherche & Classification numérique

de peinture, parmi lesquelles l'auteur cite : la broderie ou tapisserie travaillée à l'aiguille ou au métier, et celle qui se fait sur des étoffes de soie blanche, et sur des toiles de coton en y employant des teintures qui pénétraient les étoffes.

Quant à la pratique de la tapisserie tissée à la navette, il est certain qu'on la travaillait primitivement debout, sur le métier monté perpendiculairement. Homère (Odyssée, livre I, v. 31) et Virgile (Géorgiques, livre I, v. 294) déposent de cet ancien usage, les fils de laine étaient tendus de haut en bas perpendiculairement, comme ils le sont aujourd'hui dans la *haute lisse* (voyez TAPISSERIE), avec cette différence cependant que les lisses n'étaient point arrêtées par le bas sur un cylindre. Sénèque nous apprend qu'on les assujettissait par le moyen d'une pièce de bois à laquelle on attachait des poids très pesants (Epic., 90).

Les Egyptiens furent les premiers, selon Pline, qui changèrent l'ancienne méthode qui était incommode et qui introduisirent l'usage de travailler assis, comme le font aujourd'hui les artistes-ouvriers des manufactures royales des Gobelins, de Beauvais et d'Aubusson, etc., et depuis longtemps nos tisserands et nos drapiers.

De nos jours, M. Jubinal a publié un livre intitulé Recherches sur l'origine et l'usage des tapisseries, et il cite plusieurs passages de la Bible, qui prouvent l'antique usage des étoffes richement brodées à la main et offrant des figures diverses. L'usage, ajoute-t-il, de ce genre de travail était en effet plus ancien que celui des étoffes tissées au métier, et les premières tapisseries consistèrent certainement en broderies à l'aiguille tracées sur le canevas.

Mais nous croyons devoir faire remarquer ici que le canevas lui-même n'a pu être façonné qu'à l'aide de l'aiguille ou de la navette, et avec des fils tendus sur un métier à l'instar des tapisseries des Gobelins ; dès lors le canevas n'était à proprement parler qu'une *broderie*, ou *étoffe tissée, tissure en broderie*, dénomination générique par laquelle les auteurs de l'antiquité désignaient indifféremment toutes les étoffes façonnées sur un métier, soit à l'aiguille, soit avec un fuseau servant de navette.

M. Jubinal rapporte aussi, d'après Pline (Histoire naturelle, livre XIII, ch. 48), que, lorsque les habits étaient usés, les anciens s'en servaient comme de trame pour couvrir l'étoffe de broderie, ce qui donnait au tissu une nouvelle durée. A cet effet les tissus étaient découpés suivant les contours d'un dessin, puis appliqués, couchés et cousus sur un fond uni d'une couleur différente, fréquemment sur les bords d'une étoffe, d'un vêtement ; et c'est à cause de cette pratique qu'Ovide et Horace appellent les robes que les matrones de Rome portaient comme ornement : robes brodées ou bordées d'une frange de pourpre (Ovide, Ars amat., livre I, 32 ; livre II, 600. Horace, Satir., 1, 2, 3).

Chez les Romains, une simple bordure ou broderie en couleur, placée sur le vêtement, exprimait la dignité, le sexe, l'âge et le deuil ; et cette pratique existe même aujourd'hui dans certaines localités du pays de Bade, où les femmes de la campagne se distinguent par des vêtements bordés ou brodés avec des couleurs différentes, suivant le culte religieux qu'elles professent.

Des diverses sortes de broderie. La première classe de broderie comprend la broderie blanche, ainsi appelée parce qu'on l'exécute sur toute espèce d'étoffe blanche avec du coton blanc, plat, mouliné ou retors, du cordonnet, de la gance, etc. Ce genre de broderie comprend :

1° La *broderie de feston*, qui consiste ordinairement à broder et à découper la bordure de l'étoffe sans qu'elle s'effile, en suivant les contours d'un dessin à dents, tracé nécessairement soit sur un papier, soit sur l'étoffe elle-même. On emploie aussi les broderies de feston dans le corps de l'étoffe elle-même sans la découper. Ce dessin prend alors des formes et des noms différents : feston droit, uni, ondé, à crête de coq, à feuilles, bourré, plein, d'application, à picot, à imitation de dentelles, à jour et à découpage, etc. ;

2° *Broderie en reprise*, sur étoffes claires, dont les contours et les nervures du dessin sont faits *à points de reprise*, et les milieux ou pleins sont ensuite remplis de ces mêmes points ;

3° *Broderie au plumetis*, sur tissus souples et serrés, mousseline, laine, jaconas, madapolam, batiste, etc., que l'on produit par un point horizontal embrassant autant d'étoffe en dessus qu'en dessous ;

4° *Broderie de dentelle*, sur tulle, fausse blonde, gaze, et autres étoffes façonnées à l'aide du métier à la JACQUART, qui se font en imitation des dentelles et des blondes, par des points à fils tirés dans l'étoffe, soit avec des applications diverses.

La deuxième classe comprend *la broderie de couleur*, qui se divise elle-même en plusieurs genres, savoir :

1° La *broderie appliquée*, dont les figures sont relevées et arrondies par le coton ou le vélin, que l'on met dessous pour les soutenir, et que l'on colle ou que l'on coud ;

2° La *broderie en couchure ou au lancé*, celle dont la ganse, le lacet, ou la passementerie, sont couchés sur le dessin, et cousus avec de la soie de même couleur par des points piqués, coulés ou de surjet.

3° *La broderie d'application*, lorsque le drap, le velours ou tout autre tissu a été découpé suivant la forme du dessin ; puis couché, collé ou cousu sur l'étoffe avec du fil ou de la soie ;

4° *La broderie au passé*, qui s'exécute comme la broderie au plumetis et paraît uniforme des deux côtés de l'étoffe ; cette broderie est appelée plate, lorsque les figures sont plates et mises sans couchures, paillettes, ou autres ornements ;

5° *La broderie au passé épargné*, celle qui présente une surface plate et irrégulière à l'envers ;

6° *La broderie en guipure*, qui est un mélange de broderie appliquée en couchure, et d'application, et qui se fait en or, argent, clinquant et bouillons d'or ou d'argent de plusieurs façons ; on y ajoute aussi de la nacre, des plumes, des perles, des pierreries, etc.

Le plus ordinairement, les diverses broderies prennent les noms des matières qu'on emploie : broderie en laine, en soie, lacet, cordonnet, peluche, chenille, plumes, gaufrures, cheveux, crins, paillettes et lamés d'or, d'argent et d'ivoire, balcine, cannetille, perles, paillo, nacre, pierreries, découpures et applications de draps ou de velours, etc.

On dit *broderies par méplats ou à teintes plates*, lorsque les fils ou d'autres matières colorées sont employés par juxtà-position seulement ; *broderies nuancées*, lorsque la brodeuse cherche complétement à représenter la nature en suivant le modèle ou l'objet naturel lui-même, afin d'en imiter toutes les nuances.

On dit aussi : *broderie au crochet, au métier, au tambour*, du nom des outils et ustensiles qui servent à cette fabrication. On peut comprendre dans le nombre des broderies celles qui consistent à former des fleurs sur toutes sortes de tissus avec des rubans dits faveurs, ou des gazes diversement colorées. Voilà, du reste, la manière de procéder : Après avoir arrêté le ruban sur le tissu par un point, on replace l'aiguille beaucoup plus loin, ce qui fait froncer l'étoffe qui se trouve ainsi arrêtée en formant un bouillon ; et on recommence jusqu'à parfaite confection de la fleur.

Points de broderie. Les points de broderie sont au nombre de deux :

1° Celui dit *de passé*, qui embrasse l'étoffe, soit en hauteur, soit en largeur, autant en dessus qu'en dessous, et qui n'a pour toute variation que des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nœuds dits *points d'armes*, qui font les étamines, et remplissent quelques fleurs.

2° Celui *de chaînette* qui se fait à l'aiguille ou avec un crochet, en tirant en dessus le fil ou cordonnet à broder, de sorte qu'il forme une longue boucle ; puis en renfonçant le crochet ou l'aiguille au milieu de cette boucle, on ramène ensuite une nouvelle boucle.

Du reste, il suffit de voir faire ces deux points une ou deux fois, pour pouvoir les exécuter sans maître.

On distingue encore *la broderie sur canevas* qui comprend la broderie à velours en relief, et les différents points pour marquer le linge et pour faire de petits ouvrages en perles de verre.

La broderie sur canevas est appelée plus communément *broderie en tapisserie*, ou seulement *tapisserie de point*, à cause des points dont elle est formée, lesquels combinés et arrangés diversement représentent les figures que l'on veut, et prennent aussi différentes dénominations suivant les pays d'où ils viennent, où ils se font : *Points de Berlin, de France, de Hongrie, d'Angleterre ;* et à la manière dont ils sont faits sur le canevas : *Points de croix de chevalier ; petit point, gros point, point des Gobelins*, que nous avons ainsi nommé parce que la tapisserie faite avec ce point imite très bien la texture de la tapisserie, tissée à l'instar des Gobelins.

Broderie en tapisserie. Les éléments de la tapisserie sont au nombre de cinq, savoir :

1° Le dessin que la brodeuse veut imiter ;

2° Les fils de laine ou de soie teints diversement et convenablement assortis ;

3° Le canevas plus ou moins régulier, dont les fils enlacés carrément reçoivent et dirigent le point ;

4° Le métier sur lequel on tend convenablement le canevas ;

5° L'aiguille à large tête et à pointe émoussée qui sert à passer librement les fils colorés à travers les carreaux ou mailles des canevas.

C'est avec les fils colorés qu'on reproduit un objet quelconque sur le canevas, et l'art consiste à le reproduire sans peine, dans un état de perfection désirable : or, il faut que l'artiste brodeuse ait sans cesse sous les yeux un dessin de l'objet ou l'objet naturel lui-même qu'elle veut imiter.

Les dessins sont de plusieurs espèces composés par des dessinateurs spéciaux.

Les uns sont gravés, imprimés et coloriés sur un *papier canevas*, de manière que les traits et les couleurs remplissent exactement les carreaux qui répondent chacun à un point de tapisserie.

Les autres sont tracés sur le canevas lui-même, au trait, avec ou sans ombres coloriées ; dans ce dernier cas, la brodeuse travaille à l'imitation du coloriste, c'est-à-dire, en plaçant les fils colorés suivant son goût et la nature des objets ; et le dessin lui indique les endroits qu'elle doit mettre dans l'ombre et ceux qu'elle doit éclairer.

La tapisserie elle-même qu'on achète toute faite, sert très souvent de modèle, qu'on imite alors sur la partie correspondante du canevas ; ce qui se fait en comptant successivement avec une épingle, les points de telle ou telle nuance du modèle, et les carreaux du canevas, qui doivent les recevoir ; mais cette manière de faire la tapisserie dite *à points comptés ou à points de compte*, demande plus de temps et plus de soins que la *tapisserie dessinée*, ainsi nommée, parce qu'elle est faite sur *le dessin tracé ou imprimé* sur le canevas.

Tels sont les dessins habituellement employés aujourd'hui ; mais ces dessins sont souvent insuffisants pour le but qu'on se propose, et surtout d'un prix d'achat fort élevé. C'est donc pour obvier à ces deux inconvénients que nous proposons une nouvelle *méthode* pour composer et reproduire facilement et économiquement des dessins de tapisserie, sans l'intermédiaire d'un dessinateur dont les services sont toujours fort coûteux (voyez DESSIN INDUSTRIEL).

Il existe encore un autre genre de dessins de broderies, que nous avons proposé il y a six ans, particulièrement pour la fabrication de la tapisserie à l'instar des Gobelins (voyez TAPISSERIE).

On choisit des dessins lithographiés ou gravés et coloriés par les procédés ordinaires, puis on applique et on colle dessus, avec de la cire molle, une feuille de *papier-canevas*, rendue transparente par le vernis, et dont le numéro, c'est-à-dire le nombre des carreaux, comptés sur une mesure de longueur de 27 millim., déterminent la dimension du dessin que l'on veut exécuter sur un morceau de canevas d'un numéro donné.

Ensuite on copie le dessin vu à travers le *papier-canevas transparent*, dont les carreaux indiquent le nombre des points et les couleurs qu'il faut employer.

Ce procédé, du reste, a été exploité avec succès par deux habiles brodeuses en tapisserie, qui avaient pris chacune un brevet d'invention depuis longtemps expiré ; mais nous l'avons répété dès le premier jour : les deux brevets sont nuls conformément à la loi, parce que l'invention ou l'application du procédé n'est pas nouvelle.

Quant aux règles de l'art pour faire sûrement de beaux dessins en tapisserie, nous les donnerons à l'article DESSINS COLORIÉS. Cependant nous devons dire, de suite, que le goût, l'habitude et le plus ou le moins de connaissance qu'on a du dessin et du contraste simultané des couleurs (voy. *Contraste des* COULEURS), guideront encore mieux que tout ce qu'on pourrait dire.

Mais il est des règles matérielles que nous allons indiquer ici pour bien faire les points de tapisserie, c'est-à-dire pour les exécuter d'une manière complète et économique. Ainsi, il faut toujours exécuter le point en couvrant le bon fil de la chaîne qui existe sur le fil de la trame, et en ayant soin de piquer d'abord l'aiguille de dessous en dessus puis de dessus en dessous, et ainsi de suite.

On compte sur le canevas, pour l'exécution du petit point, soit 1 carreau pour 1 point du dessin.

Pour l'exécution du gros-point, soit 2 carreaux en tous sens pour 1 point du dessin.

Pour l'exécution du point des Gobelins, soit 2 carreaux pris sur la largeur, et 1 carreau sur la hauteur, pour 1 point du dessin.

Broderie en velours. La broderie en velours ou veloutée à plat ou en relief a été inventée en 1805 par *Delorme*. Elle se fait en laine, en soie, ou en coton, sur toutes sortes de tissus, pour habillements et pour meubles.

Le procédé consiste à former sur l'étoffe, nécessairement dessinée, avec une aiguille, par le moyen d'un moule rond ou tranchant, des boucles ou points de chaînette en laine, ou en soie, ou en coton, que l'on coupe ensuite avec des ciseaux pour former, soit le velours, soit des reliefs.

Ces boucles se font de deux manières, à points simples et à points doubles : le premier point se fait en passant le fil à broder dans l'étoffe et sur le moule ; pour le point double, on ajoute à chaque boucle un second point arrière ; ce second point est plus solide que le premier, parce que son poil ne peut être arraché.

Parlons maintenant *des métiers à broder*.

Le meilleur *métier à broder*, ou plutôt le plus facile à manier, est, sans contredit, celui qui est construit sur les principes du métier de tisserand, moins le peigne et le battant, avec un système de plusieurs crochets ou de pinces en fer, fixés sur les *jumelles* ou *traverses* du métier, et servant à tendre le canevas sur les deux côtés opposés ; cependant ce métier, qui était déjà connu il y a plus de cent ans, est peu ou point en usage aujourd'hui, à cause de son prix de construction, qui est

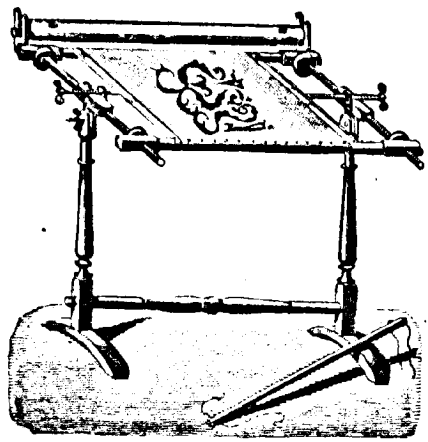
EFERUS - Recherche & Classification numérique

BRODERIE.

trop élevé. Aussi les ouvrières brodeuses préfèrent-elles généralement les métiers à vis ou à latte, qui se vendent à meilleur marché, et qui sont d'ailleurs plus faciles à loger et à transporter. Toutefois on monte et démonte l'étoffe sur le *métier à latte*, plus facilement et plus promptement que sur le *métier à vis*; mais on la tend souvent beaucoup trop ou trop peu, et on a beaucoup de peine et de fatigue. Avec le *métier à vis*, au contraire, on tend l'étoffe aussi peu qu'on veut, sans peine et sans fatigue: sous ce dernier rapport, du moins, le métier à vis est bien préférable au métier à latte.

Au résumé, tous les métiers actuellement en usage ont tous le grave inconvénient d'obliger la brodeuse à coudre les deux largeurs du canevas sur les galons cloués sur les deux rouleaux, à enrouler ensuite le canevas en le pressant, et à le tendre sur les côtés, au moyen de ficelles qui le tiraillent et le déchirent toujours. Nous indiquerons donc ici les additions ou perfectionnements que l'expérience et la pratique de la broderie nous ont suggérés, afin de faire cesser tous les inconvénients que présentent les métiers déjà connus. Nous avertirons cependant le lecteur qu'un fabricant de Paris a le droit exclusif d'exploiter à son profit ces perfectionnements pour lesquels *un brevet d'invention* nous a été délivré le 19 juin 1844.

Les perfectionnements comprennent plusieurs parties, qui s'adaptent également à tous les métiers à broder.



306

Ainsi, le périmètre des deux rouleaux ou *ensouples* présente au-dessus une surface plate de 1 centimètre de largeur, sur laquelle sont plantées des *pointes émoussées* et destinées à accrocher les deux largeurs du canevas, ce qui dispense de les coudre sur des galons. Ensuite on recouvre les pointes avec une tringle en bois dite *de recouvrement*, taillée en *demi rond*, et portant dans toute sa longueur une fente ou rainure d'une largeur égale à la grosseur des pointes; les pointes du rouleau de derrière sont recouvertes aussi par une tringle dont la face en dessus est taillée en plan incliné. Les deux tringles sont attachées par leurs extrémités sur les deux rouleaux, à l'aide de deux cordons, pour éviter tout déplacement.

Les deux vis en fer à triples filets, dont les écrous en cuivre sont fixés à demeure sur le milieu des deux vis ou *traverses du métier*, servent à tendre le canevas sur les deux côtés opposés, quand on tourne les deux boutons qui y sont adaptés. A cet effet, chaque vis porte à son extrémité une platine en cuivre, tournant sur son milieu, et dont les bouts sont coudés en équerre et troués. La platine reçoit et supporte une tringle en fer, qui est fixée sur le canevas avec quatre aiguilles à broder, plus ou moins distantes l'une de l'autre.

Le rouleau en bois tourné, qui est placé sur l'*ensouple* de derrière, est destiné à enrouler le canevas brodé ou le modèle à exécuter. Ce rouleau est formé de deux segments ou portions de cylindre joints par leurs extrémités au moyen de deux vis à bois à tête plate, et entre lesquels on engage et *pince* le canevas ou le modèle. L'*axe de droite* du rouleau est en fer rond, et tourne librement dans une platine ou *fourchette* fixée à vis sur l'ensouple; l'*axe de gauche*, qui est à vis, forme pivot; il est fixe dans un écrou, lequel est engagé dans la fourchette de droite, et mobile à volonté de bas en haut, et réciproquement, de haut en bas, suivant la grosseur ou l'épaisseur du canevas ou du modèle enroulé. C'est à l'aide de cette vis qu'on fait reculer à volonté le rouleau de gauche à droite ou de droite à gauche, en tournant le bouton qui y est adapté.

Résumons les avantages que présente le métier à broder ainsi perfectionné.

Avec ce métier d'un prix d'achat aussi bas qu'on peut le désirer, la brodeuse n'a pas l'embarras de coudre les deux largeurs du canevas sur les galons qui sont ainsi supprimés, et de les enrouler ensuite sur les ensouples; elle roule seulement le canevas sur lui-même, sans le presser, jusqu'à ce qu'il n'en reste que la grandeur que peut embrasser commodément la main; elle fixe plus promptement et plus facilement le canevas en l'accrochant sur les pointes; enfin le surplus des canevas est attaché et suspendu au-dehors des ensouples de manière qu'on puisse le voir et le couper au besoin.

La brodeuse peut travailler sur le métier sans gêne, sans fatigue, et sans que son bras quitte la position verticale; et, en effet, elle peut tendre le canevas sur une longueur aussi petite que possible; ce qui lui évite de tendre le bras.

Ce métier, enfin, présente plusieurs avantages incontestables:

1° De dispenser d'enrouler et de presser la broderie faite sur les ensouples, méthode qui aplatit et écrase toujours les points, le relief des figures, et qui fait goder le canevas ou l'étoffe qui n'a pas encore été brodée;

2° De dispenser d'étendre sur le canevas un modèle qu'on froisse sans cesse en travaillant, et qui est très souvent altéré ou perdu après avoir été copié;

3° De laisser voir la tapisserie faite, afin d'en imiter toutes les nuances;

4° De permettre de confectionner une grande longueur de broderie en tapisserie sans enlever les rouleaux, et sans avoir l'embarras de tendre le canevas sur les côtés au moyen de ficelles ou de crochets qui tiraillent et déchirent les mailles du canevas.

De plus, à l'aide de ce métier, on peut compter les carreaux ou points colorés du modèle, sans peine et sans tâtonnement, avec une précision et une rapidité que la brodeuse la plus habile ne pourrait atteindre par les procédés ordinaires. Il suffit, pour cela, de placer une règle dite *guide de compte* (1) sur la tringle de recouvrement de derrière, de manière à ce que les divisions de cette règle, espacées convenablement, correspondent avec les divisions numérotées sur le modèle de dix en dix carreaux ou points.

(1) Cette règle se compose d'un ruban étroit en soie ou en coton sur lequel glissent librement des curseurs en cuivre gratté très mince de 5 millim. de largeur au plus, et numérotés de dix en dix.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'on place ensuite à angle droit, sur le canevas lui-même, deux autres guides de compte semblables, dont les divisions sont espacées, suivant le numéro du canevas; mais le compte des carreaux du canevas est arrêté nécessairement de dix en dix par un fil coloré lacé sur le canevas, ou simplement par un fil en reprise à la main, cela fait il est facile de fixer de suite, sur le canevas, un point déterminé du dessin, comme s'il s'agissait de trouver un produit quelconque dans la table de multiplication de Pythagore.

Disons aussi que ce métier tel qu'il est construit n'est pas applicable à la broderie des grands ouvrages sur mousseline, gaze ou autres étoffes légères en soie ou coton; car les pointes trouerraient et déchireraient peut-être ces tissus. Cependant on pourrait s'en servir au besoin en supprimant les pointes et en comprimant suffisamment les deux largeurs du tissu sur les ensouples, dont les faces plates seraient recouvertes de papier de verre, par des tringles de bois fort, dont les faces en contact avec l'étoffe seraient légèrement convexes sur le milieu et recouvertes aussi de papier de verre.

Il y a encore un métier à broder assez incommode, du reste, et qui est généralement employé par les brodeuses sur gaze, mousseline, et autres étoffes légères de grandes dimensions; nous voulons parler du *tambour*. C'est un instrument de forme circulaire fait avec du bois d'éclisses, et recouvert d'une lisière de drap ou de flanelle. On tend l'étoffe dessus comme une peau de tambour par le moyen d'une courroie et d'une boucle, ou d'un ou de plusieurs cerceaux recouverts d'une lisière de drap, qui s'emboîtent les uns dans les autres; de là le nom de *tambour* qu'on a donné à ce métier, qui est plutôt un outil qu'un métier proprement dit.

Enfin nous terminerons par la description du *métier mécanique* à broder, inventé par M. Josué Heilmann, de Mulhouse; métier qui présente des combinaisons fort ingénieuses sans doute, mais qui n'offre pas encore toute la perfection désirable dans les produits manufacturés. Du reste, le battant-brocheur inventé par MM. Godemart et Meynier, de Lyon, remplit le même but d'une manière encore plus heureuse et surtout plus économique pour la fabrication des tissus recherchés par les consommateurs. Voyez BATTANT-BROCHEUR.

ROUGET DE LISLE.

MACHINE A BRODER *de M. Josué Heilmann, de Mulhouse.* La machine à broder de M. Heilmann est sans contredit, de toutes les machines de l'exposition de 1834, celle qui a obtenu au plus haut degré la faveur du public : soit qu'elle fût en repos, soit qu'elle fût en mouvement, on était sûr de la trouver environnée d'une foule de curieux, les uns portant leur attention sur les broderies qu'elle avait exécutées, les autres essayant d'en suivre tous les mouvements et d'en deviner le mécanisme; on ne se lassait pas de voir, dans un petit espace, 130 aiguilles brodeuses occupées chacune à copier le même dessin et accomplissant leur tâche avec une régularité parfaite; un seul homme suffisait à mettre en action toutes ces aiguilles, et l'on était surtout émerveillé de voir avec quelle exactitude chacune d'elles venait d'elle-même piquer l'étoffe au point précis où elle aurait été conduite par la main la plus exercée.

On peut dire que M. Heilmann a résolu, dans la construction de sa machine, un problème tellement compliqué et tellement délicat, que de très habiles mécaniciens n'auraient sans doute pas osé se le proposer; mais il n'y a pas seulement dans cette invention une grande difficulté vaincue, il y a de plus une utilité réelle et déjà constatée : en France, en Allemagne, en Suisse et en Angleterre, plusieurs fabricants ont senti l'avantage qu'ils en pouvaient tirer; on compte, dès à présent, six machines à Lyon qui travaillent sans relâche, on en compte quatre en Saxe, quinze à Saint-Gall, et douze ou quinze, je crois, à Manchester, et dans d'autres villes de l'Ecosse et de l'Angleterre.

On conçoit aisément qu'un mécanisme qui répète en même temps cent trente fois le même dessin en broderie, ne doive pas être d'une exécution facile, surtout quand il le répète avec toute l'exactitude que ce genre de travail exige pour être très parfait. Cependant la maison Kœchlin de Mulhouse, construit ces machines avec une solidité et une précision qui semblent ne rien laisser à désirer; elle a été imitée à Manchester, où l'on a construit sur les modèles qu'elle avait envoyés, mais il ne paraît pas qu'elle ait été surpassée.

Le prix d'une machine portant 130 aiguilles et par conséquent 260 pinces est de 5,000 francs, et l'on estime qu'elle fait journellement l'ouvrage de vingt brodeuses fort habiles, travaillant sur le métier ordinaire; elle n'exige cependant pour être mise en action pendant toute la journée, qu'un seul ouvrier et deux jeunes filles. L'ouvrier doit être exercé à ce genre de travail, car il remplit à la fois des fonctions nombreuses : d'une main, il suit le dessin avec la pointe du pantographe; de l'autre, il tourne une manivelle pour planter et tirer toutes les aiguilles qui sont tenues dans des pinces, et portées par des chariots qui s'approchent et s'éloignent en roulant sur des chemins de fer; enfin, au moyen de deux pédales sur lesquelles il appuie alternativement d'un pied et de l'autre, il ouvre les 130 pinces du premier chariot qui doivent donner les aiguilles après les avoir plantées dans l'étoffe, et il ferme du même coup les 130 pinces du second chariot, qui doivent les recevoir et les tirer de l'autre côté pour les ramener ensuite. Les jeunes filles n'ont autre chose à faire qu'à changer les aiguilles quand les aiguillées sont finies, et à surveiller les pinces pour qu'aucune aiguille ne s'en échappe.

Nous allons essayer de faire comprendre tous les détails de cette machine, parce qu'elle n'est pas moins remarquable par l'heureuse disposition des parties qui la composent que par les effets qu'elle produit. Nous décrirons successivement :

1° *La disposition du bâti*,
2° *La disposition de l'étoffe*;
3° *La disposition des chariots*;
4° *La disposition des pinces*;

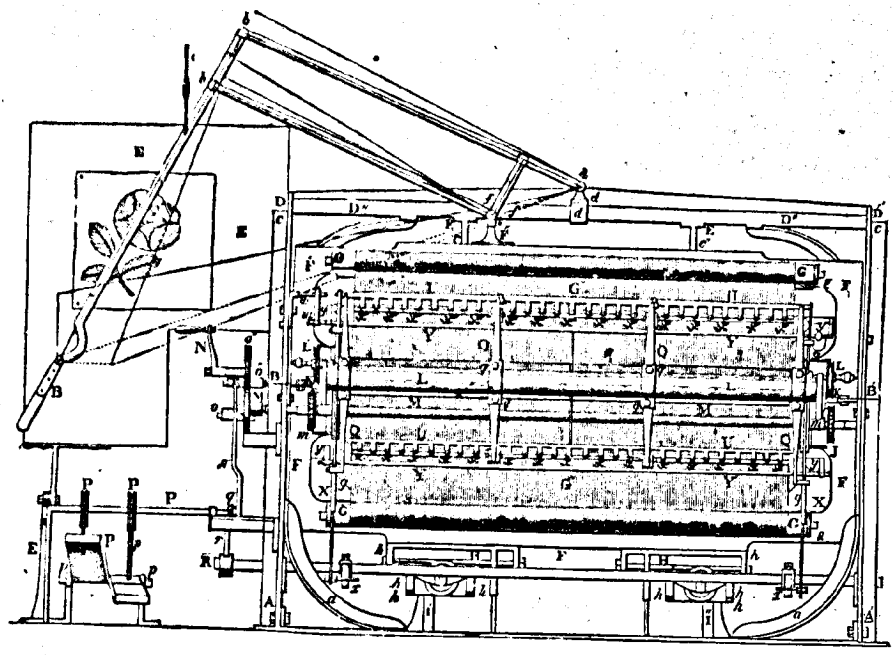
I. — *Disposition du bâti.* Le bâti est en fonte de fer; il doit être solidement assemblé et établi sur un sol assez ferme pour n'éprouver aucun ébranlement sensible, soit par le mouvement de la machine elle-même, soit par le déplacement des ouvrières qui vont d'une pince à l'autre pour changer ou rajuster les aiguilles. La fig. 307 en présente une élévation prise de face. Le bout du bâti forme deux rectangles égaux A B B A, A B B A, symétriquement placés, l'un à droite, l'autre à gauche, et réunis au milieu par un troisième rectangle plus étroit et plus élevé, A D C A. Cet assemblage des trois rectangles est coulé d'une seule pièce. *a*, sont six pieds qui portent chacun un trou destiné à recevoir une vis calante, par laquelle ils reposent sur le sol. L'autre bout du bâti est en tout pareil au premier; nous en désignerons les parties analogues par les mêmes lettres avec un accent : ainsi, A' B' B' A', A' B' B' A', seront les deux rectangles symétriques du second bout du bâti; A' D' C' A', sera le rectangle du milieu analogue à A D C A, et *a'* représentera les 6 pieds correspondants à ceux *a*. Entre chaque pied *a* et son correspondant *a'*, il y a une traverse en fonte A", dont on voit la forme et l'assemblage dans la figure. Ainsi, à leur partie inférieure, les deux bouts du bâti sont assemblés par six traverses pareilles à la traverse A"; en outre, aux deux extrémités de chacune de ces traverses, il y a des arcs-boutants *a"*, destinés à consolider le système; on voit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BRODERIE.

deux de ces arcs-boutants sur la figure : à leur partie supérieure, les deux bouts du bâti sont réunis par une seule traverse D" qui a la forme d'une gouttière, et qui se trouve boulonnée aux angles correspondants D et D'.

Telle est la disposition légère et solide du bâti qui porte tout le mécanisme de la machine à broder ; il était placée avec une précision suffisante pour venir présenter successivement, vis-à-vis de la pointe de l'aiguille, tous les points par lesquels l'aiguille doit passer pour exécuter la fleur ou le dessin qui se trouve sur le métier. La disposition de l'étoffe et le mécanisme au moyen duquel elle est déplacée de la quantité voulue, après chaque passage de l'aiguille, sont donc d'une



307.

nécessaire d'en prendre une idée exacte afin de mieux comprendre comment les autres pièces fixes sont soutenues à leur tour, et comment les pièces mobiles, qui sont ici très nombreuses, peuvent exécuter leurs mouvements avec une parfaite régularité.

La longueur de la machine dépend du nombre de pinces que l'on veut faire travailler. Le modèle qui était à l'exposition portait 260 pinces, et avait deux mètres et demi de longueur ; mais, le cadre de nos planches ne nous ayant pas permis de représenter une machine aussi longue, nous l'avons réduite à n'avoir que 120 pinces ; d'où il résulte seulement que nos traverses A" et D", au lieu d'avoir deux mètres et demi, n'ont pas tout à fait deux mètres : du reste, tout le mécanisme et toutes les autres dimensions n'ont éprouvé aucun changement.

La largeur du bâti doit être la même pour toutes les machines, qu'elles soient longues ou courtes, car c'est cette largeur qui détermine la longueur du fil que l'on peut mettre après les aiguilles, et il y a toujours de l'avantage à lui donner, comme nous l'avons fait, toute la largeur adoptée par M. Heilmann, c'est-à-dire un peu plus de deux mètres, en sorte que les aiguilles puissent porter un fil d'un mètre de longueur.

II. — *Disposition de l'étoffe.* Nous avons déjà fait remarquer que les pinces qui portent les aiguilles se présentent toujours au même point, et que par conséquent les aiguilles ne feraient que passer et repasser indéfiniment par le même trou, si l'étoffe n'était de grande importance, et nous allons essayer de les expliquer en détail.

L'étoffe est portée sur un grand châssis rectangulaire dont les quatre côtés sont visibles dans la figure, savoir : les deux verticaux en F, F ; et les deux côtés horizontaux, le supérieur et l'inférieur, en F', F'.

On voit aussi, dans la figure, deux longs rouleaux en bois G, G, dont les extrémités, munies de tourillons en fer, sont portées sur les côtés F du châssis de manière à pouvoir tourner sur eux-mêmes. Ces deux rouleaux forment un *système d'ensouples* sur lesquelles le ruban, l'étoffe ou, en général, le canevas destiné à recevoir la broderie, peut être enroulé et tendu verticalement au degré convenable, car chacune de ces ensouples porte à l'une de ses extrémités une petite roue à rochet *g*, *g* ; les dents de l'une de ces roues étant inclinées en sens contraire des dents de l'autre, il en résulte qu'en soulevant, par exemple, le cliquet de la roue supérieure et en tournant l'ensouple dans un sens, le canevas tire l'ensouple inférieure et tend à la faire tourner, tandis que le cliquet de sa roue à rochet la retient, et l'étoffe G" se tend de plus en plus : le même effet serait produit en tournant l'ensouple inférieure après avoir soulevé son cliquet. Quand on veut faire passer de l'étoffe de l'une des ensouples sur l'autre, il suffit de soulever à la fois les deux cliquets et de tourner dans le sens convenable l'ensouple sur laquelle on veut enrouler l'étoffe, puis de laisser retomber le cliquet de l'autre en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

souple lorsqu'il ne s'agit plus que de donner la tension.

Outre ce système des ensouples inférieures, il y a un second système de deux ensouples supérieures qui a le même but et qui est disposé exactement de la même manière ; mais il se voit moins complétement dans la figure, où il est en partie caché par d'autres pièces

On conçoit que l'un de ces systèmes présente l'étoffe aux aiguilles supérieures, et l'autre aux aiguilles inférieures : comme les deux ensouples d'un même système n'ont pas leur axe dans le même plan vertical, le plan de l'étoffe G'' serait lui-même incliné et viendrait se présenter obliquement aux aiguilles, si l'on n'avait soin de le redresser et de le ramener au milieu du cadre, au moyen d'une forte règle en bois fixée comme les rouleaux sur les deux côtés verticaux du châssis.

Enfin, l'étoffe doit recevoir aussi une tension latérale dans les deux sens opposés, et, pour la lui donner sans craindre de la déchirer, on commence par coudre sur ses bords de petits rubans de laiton, et ensuite on attache à ces rubans des ficelles g'', qui les tirent latéralement et qui viennent se fixer aux côtés F du châssis.

Il reste à voir maintenant par quel ingénieux moyen le châssis peut être déplacé dans toutes les directions sans sortir toutefois du plan vertical dans lequel il a été primitivement ajusté, et comment l'étoffe qui est fixée sur lui et par conséquent forcée de suivre tous ses mouvements peut venir présenter vis-à-vis de chaque aiguille les points successifs qui doivent être piqués et traversés par le fil.

M. Heilmann, pour obtenir cet effet, a employé le pantographe dont se servent les dessinateurs pour réduire ou pour amplifier dans des proportions déterminées les dessins de toute espèce. Tout le monde connaît les principes sur lesquels repose la théorie de cet instrument, et nous nous contenterons de les rappeler en peu de mots : $bb'fb''$, représente un parallélogramme dont les quatre angles b, b', f, b'', sont à charnière et articulés de telle sorte qu'ils puissent devenir à volonté très aigus ou très obtus, les côtés conservant toujours exactement la même longueur ; les côtés bb' et bb'' son prolongés, l'un jusqu'au point d, l'autre jusqu'au point B, et ces points B et d sont choisis sous la condition que, dans l'une des positions du parallélogramme, la ligne Bd qui les joint passe par le point f; cette condition peut être remplie d'une infinité de manières, puisque, la position du parallélogramme restant la même, on voit que si l'on voulait porter le point d plus loin du point b', il suffirait de rapprocher convenablement le point B du point b'', ou *vice versâ* ; mais, une fois que l'on a choisi la distance $b'd$, il est évident que la distance b''B en est une conséquence nécessaire. Or, le principe sur lequel repose la construction du pantographe est celui-ci : il suffit que les trois points d, f et B, soient en ligne droite dans une seule des positions du parallélogramme pour qu'ils restent toujours en ligne droite dans toutes les positions qu'il sera possible de lui donner.

Ce principe étant admis, supposons que l'on déplace le point B, dans un sens quelconque, en faisant tourner tout le système autour du point d; imaginons, par exemple, que le point B vienne en B' : alors, en joignant d à B', il est évident que le point f sera venu se placer quelque part sur cette ligne d B', en f' par exemple, puisqu'il tombe toujours sur la ligne droite qui joint le point d à la position quelconque que peut prendre le point B', et la ligne ff' sera parallèle à BB'.

Si le côté bb'' a été fait égal à la sixième partie de bB, ff' sera aussi $\frac{1}{6}$ de BB', c'est-à-dire qu'en général les contours décrits par le point f seront exactement la sixième partie des contours décrits par le point B.

Cette proportion est celle que M. Heilmann a adoptée. Il a pris en outre, $b'd = b'f$, d'où il résulte : $bc = bd$.

Cela posé, il est facile de comprendre le rôle que joue le pantographe dans la machine à broder.

Pour obtenir plus de précision et plus de solidité, les côtés du pantographe sont assemblés de telle sorte que le milieu de leur épaisseur se trouve exactement dans le plan vertical de l'étoffe, et que les axes des charnières soient bien perpendiculaires à ce plan, dans lequel, par conséquent, tous les déplacements s'accomplissent. On arrive à ce résultat en fixant à la grande traverse supérieure D'', une pièce coudée d, ayant une saillie convenable et sur laquelle s'adapte à son tour la pièce d' qui reçoit à charnière l'extrémité du côté bd; cette pièce d' se fixe sur d'' par un boulon, mais elle porte un trou allongé, et, avant de serrer l'écrou, on la fait avancer ou reculer jusqu'à ce que le point d'appui se trouve exactement dans le plan de l'étoffe. Cette condition étant remplie, il ne s'agit plus que d'attacher le châssis à l'angle f du parallélogramme, ce qui se fait au moyen de la pièce F''.

Il est clair maintenant que, si l'ouvrier brodeur prend en main le manche B'' et fait mouvoir le pantographe d'une manière quelconque, le point f décrira une figure semblable à celle décrite par le point B et 6 fois plus petite ; mais comme le point f ne peut pas se mouvoir sans que le châssis et tout ce qu'il porte ne se meuve avec lui, si le châssis est bien maintenu de toutes parts et forcé de se mouvoir dans le même plan, chacun de ses points et de ceux qui sont fixément liés avec lui parcourra exactement le même chemin que le point f. Ainsi, dans le mouvement du pantographe, chaque point de l'étoffe décrit une figure égale à celle que décrit le point f, et par conséquent semblable à celle que décrit le point B et six fois plus petite. Il suffit donc de donner à l'ouvrier brodeur qui tient le manche B'' un dessin six fois plus grand que celui qui doit être exécuté par la machine et de lui donner en même temps un moyen sûr et facile de parcourir avec le point B tous les contours de ce dessin : pour cela on adapte en B, et perpendiculairement au plan du parallélogramme, un petit style terminé par une pointe V, et l'on dispose le dessin sur un tableau vertical E, parallèle au plan de l'étoffe et du parallélogramme et reculé seulement de la longueur du style ; ce tableau est porté par une tige en fer, fixée elle-même sur un pied en fonte E', qui sert encore à d'autres usages, comme nous le verrons plus loin ; le châssis chargé de ses ensouples et de son étoffe forme un ensemble assez lourd, et l'on conçoit que s'il est nécessaire, comme nous l'avons dit, de le diriger pour qu'il ne sorte pas de son plan, il est nécessaire aussi de l'alléger pour que le brodeur puisse promener la pointe du pantographe sur le tableau sans effort et sans incertitude dans ses mouvements.

M. Heilmann a rempli ces conditions de la manière suivante :

1. Une corde c, attachée au côté bB du pantographe, va passer sur une poulie de renvoi et porte à son extrémité un poids que l'ouvrier peut graduer à volonté : ce poids équilibre le pantographe et tend à soulever un peu le châssis ;

2° Le côté supérieur F' du châssis porte deux règles saillantes : elles ont l'une et l'autre une fente longitudinale et horizontale dans laquelle peut glisser avec un léger frottement la cheville c'', qui sert ainsi de guide pour maintenir dans son plan toute la partie supérieure du châssis, car les chevilles c'' sont fixées à la grande traverse D'' ; on comprend que la longueur de la fente que porte chacune des règles E'' doit être égale à l'amplitude du mouvement latéral que le châssis peut prendre ;

3° Le côté inférieur du châssis porte deux tringles horizontales H, H, attachées chacune par deux pat-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BRODERIE.

tes *h*, *h*, un peu recourbées à gauche : chacune de ces tringles est engagée dans la gorge d'une poulie, dont la chape de forme ovale est portée par deux couteaux triangulaires sur les deux branches d'un levier fourchu ; les deux leviers doivent être solidaires l'un de l'autre, afin que les deux côtés du châssis soient également soulevés ; c'est pourquoi on les unit par un arbre, dont les deux extrémités sont portées par des pieds en fonte ; un contre-poids qui glisse sur la queue des leviers et qui peut être éloigné ou rapproché de la ligne des points d'appui, permet d'exercer sur le châssis une pression de bas en haut qui se gradue à volonté, et qui, sans empêcher le châssis de se mouvoir dans tous les sens, l'empêche cependant de sortir du plan primitif pour lequel le pantographe a été réglé ; la longueur des tringles doit être égale à l'amplitude du mouvement latéral du châssis, et les bras des leviers fourchus doivent être assez longs pour que l'arc qu'ils font décrire aux couteaux de la chape de la poulie se confonde sensiblement avec une ligne droite dans la plus grande excursion de haut en bas ou de bas en haut que puisse faire le châssis ;

4° Enfin, deux guides I, I', portés sur des pieds en fonte, présentent des fentes verticales dans lesquelles reste engagé le côté inférieur F' du châssis.

III. — *Disposition des chariots.* Avant de décrire l'arrangement et le jeu des pinces qui portent des aiguilles, nous essaierons de bien faire comprendre la disposition et le mouvement des deux chariots qui portent ces pinces et tout leur mécanisme.

Ces chariots tout à fait pareils, sont disposés l'un à droite et l'autre à gauche du châssis, nous désignerons par les mêmes lettres les pièces qui les composent.

Chacun d'eux exécute ses mouvements sur un chemin de fer composé de deux règles bien dressées et ajustées horizontalement, l'une à l'un des bouts de la machine et l'autre au bout opposé. L'une de ces règles se voit à sa place en K, les deux portions saillantes *k*, *k*, viennent se poser et se boulonner sur deux consoles boulonnées elles mêmes contre les deux montants verticaux AC et AB du bâti : l'une de ces consoles se voit à gauche ; la console correspondante de l'autre règle se voit pareillement à droite, contre le montant A'B'. Le chariot lui-même se compose seulement d'un long cylindre creux en fonte L, portant à chacune de ses extrémités un système de deux galets à gorge L' qui roulent sur les règles K ; les galets L' sont montés sur une pièce *l'*, fourchue aux deux bouts pour recevoir les axes des galets, et la pièce *l'* est elle-même boulonnée sur une pièce ou appendice *l* fondu avec le cylindre L.

Cet assemblage, qui, à proprement parler, constitue le chariot, se trouve donc en équilibre parfaitement stable sur les règles K, et l'on conçoit qu'il puisse avec la plus grande facilité s'éloigner ou s'approcher de l'étoffe pour planter ou tirer les aiguilles.

Mais, pour n'être pas obligé d'employer une personne à produire ces mouvements alternatifs du chariot, M. Heilmann y adapte un mécanisme au moyen duquel l'ouvrier brodeur qui mène le pantographe peut de sa place, sans se déranger, conduire lui-même les chariots et régler à volonté l'étendue de leur course et la rapidité de leurs mouvements. Ce mécanisme pourra paraître au premier abord un peu compliqué ; mais, en réalité, il est simple, très ingénieux, et, ce qui est un point essentiel, il est solide et fonctionne avec une précision remarquable. Nous allons essayer d'en faire comprendre la disposition.

Une poulie J est adaptée contre le montant de droite AB du bâti, au moyen de deux pièces J' et J" : une poulie pareille est adaptée à l'autre bout du bâti contre le montant correspondant A'B' ; dans la figure on les a supprimées pour laisser voir les roues *m*, *m*, sur lesquelles elles se projetteraient. A la hauteur des poulies J est ajusté un axe en fer M" soutenu par des coussinets qui sont fixés contre les grands montants AC et A'C' du bâti ; cet axe porte vers ses extrémités, mais en dedans du bâti, deux roues dentées *m* ; son extrémité de gauche se prolonge au dehors du bâti pour porter encore une roue dentée M. Sur la poulie J et sur la roue dentée correspondante *m* passe une chaîne sans fin : la partie de cette chaîne qui doit parcourir la circonférence de la roue *m* est une chaîne de Vaucanson ; l'autre, qui doit parcourir la circonférence de la poulie J, est une simple courroie, les deux extrémités de la chaîne, prise dans son ensemble, viennent se fixer sur une pièce qui est portée par l'extrémité d'un boulon fixé lui-même dans la pièce *l* de l'extrémité de l'arbre L ; ce même boulon porte encore un galet qui court sous la règle K.

Il résulte de cette disposition qu'en faisant tourner l'axe M" ou la roue M dans un sens, on forcera le chariot à se rapprocher de l'étoffe, et qu'il s'éloignera, au contraire, en faisant tourner la roue M dans le sens opposé.

Le chariot de gauche, mû par la roue M', est disposé exactement comme le chariot de droite, que nous venons de décrire.

Quand l'un des chariots s'est avancé pour piquer les aiguilles dans l'étoffe, l'autre est là pour les recevoir, il les pince, les tire, fait sa course en s'écartant pour allonger l'aiguillée et serrer le point, puis il revient et rapporte les aiguilles pour les piquer à son tour ; pendant son mouvement, le premier chariot est resté en place pour l'attendre ; ainsi, les deux chariots font successivement une allée et un retour, et jamais ils ne se meuvent ensemble.

Pour remplir cette condition, M. Heilmann a disposé sur la pièce O, fixée sur les deux montants AC et AD du bâti, un levier coudé *n o n' n"* mobile autour du point *o* ; le coude *n'* porte une roue dentée O', et l'extrémité *n"* une roue dentée O" ; les quatre roues M, M', O' et O", ont une même denture et un même diamètre ; les deux roues O' et O" sont fixes l'une par rapport à l'autre, en sorte qu'il suffit de tourner la manivelle N pour faire tourner la roue O" et par conséquent la roue O' : quand le levier *no* est vertical, la roue O' ne touche ni la roue M ni la roue M', mais, si on l'incline d'un côté ou de l'autre, on fait engrener la roue O' successivement avec la roue M ou avec la roue M'. De sorte qu'on produira l'effet désiré en tournant alternativement la manivelle N dans un sens et dans l'autre.

Cependant, l'ouvrier brodeur ayant ses deux mains occupées, l'une au pantographe et l'autre à la manivelle, il ne lui reste que ses pieds pour agir sur le levier *no*, et, comme il a encore bien d'autres choses à faire, M. Heilmann a adapté devant lui un système de deux pédales, au moyen desquelles il exécute avec ses pieds une série d'opérations non moins délicates que celles qu'il exécute avec ses mains.

Pour le moment, nous n'allons considérer ces pédales que comme un moyen de mettre en mouvement, à point nommé, le levier *no*.

Les pédales P sont mobiles autour de l'axe *p*, et portent des cordes *p'* enroulées en sens contraire sur les poulies P' ; ces poulies sont fixées sur un arbre mobile P", soutenu d'un côté dans le support E' et de l'autre dans une pièce attachée aux deux grands montants du bâti A C et A D, l'arbre P" porte à son extrémité une pièce dentée sur une portion de son contour (nous verrons plus loin à quoi servent ces dents, mais pour l'instant, nous n'avons à considérer que sa partie non dentée) ; on voit qu'elle est armée d'une cheville qui vient s'engager dans l'extrémité fourchue du levier *no* : alors, il est évident qu'en baissant la pédale P, qui est maintenant relevée, la partie supérieure de l'arbre P" tournera de gauche à droite, et le levier *no* s'inclinera pour apporter la roue O' sur la roue M', mais, en même temps, la pédale qui est maintenant baissée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se relèvera, parce que sa corde sera forcée de s'enrouler sur sa poulie autant que l'autre corde se déroulera, de telle sorte que l'appareil sera tout prêt pour agir en sens contraire quand il le faudra.

IV. *Disposition des pinces.* L'arbre L' porte de distance en distance, à peu près de demi-mètre en demi mètre, des appendices q, q, qui sont venus à la fonte avec lui ; c'est contre ces appendices que viennent se fixer, par deux boulons, les branches courbes Q qui sont destinées à porter tout le mécanisme des pinces ; une règle en fer, formant un prisme triangulaire bien dressé, s'étend entre deux branches consécutives Q, Q, et elle se trouve fixée contre chacune de ces branches au moyen d'une oreille dans laquelle passe un boulon qui traverse l'épaisseur de la branche, mais, au lieu d'un simple trou, l'oreille porte une fente qui permet de l'avancer ou de la reculer. On arrive donc aisément à mettre à la suite l'une de l'autre, en ligne bien droite, les trois règles qui doivent se trouver dans les trois intervalles des branches Q ; chacune d'elles est même un peu prolongée au-delà de ses deux oreilles, afin que l'assemblage étant fait, les trois règles consécutives semblent ne former qu'un seul prisme triangulaire s'étendant d'un bout à l'autre du chariot. Ce prisme est destiné à recevoir et à porter toutes les pinces qui se trouvent dans une rangée.

Lorsqu'une pince est ouverte et qu'une moitié de l'aiguille vient s'y engager, elle se trouve logée dans une rainure angulaire qui a moins de profondeur que l'aiguille n'a d'épaisseur, et, quand la pince se ferme, la mâchoire supérieure vient la presser dans la rainure ; ainsi, l'aiguille est parfaitement tenue, bien qu'elle ne soit prise que par trois points de son contour.

Supposons maintenant que toutes les pinces soient montées et ajustées à une distance convenable sur la règle prismatique S pour former la rangée supérieure du chariot de droite, comme on le voit dans la figure, et essayons d'expliquer par quel mécanisme l'ouvrier brodeur parvient à ouvrir à la fois toutes les pinces de cette rangée lorsqu'elles doivent donner les aiguilles à celles du chariot opposé après les avoir plantées dans l'étoffe.

Il y a pour cela un axe méplat en fer U qui peut tourner sur lui-même et qui s'étend d'un bout à l'autre du chariot. Cet axe est porté par des espèces de fourchettes *u* qui se boulonnent à l'extrémité des branches Q, et il y est arrêté par une goupille ; l'axe est rond dans les parties par lesquelles il repose dans les fourchettes, et celles-ci sont à une hauteur telle, que, quand sa portion plate est tournée en dessous, elle ne fait que toucher les queues de toutes les mâchoires supérieures des pinces, sans les presser, en sorte que celles-ci restent fermées : mais, quand on le tourne un peu sur lui-même, il appuie sur les queues de ces pinces, et les ouvre en forçant l'élasticité de leurs ressorts.

Il faut donc donner à l'ouvrier brodeur le moyen de faire tourner à propos l'axe U, soit pour ouvrir les pinces, soit pour les fermer, car elles se fermeront d'elles-mêmes par l'effet des ressorts aussitôt qu'on aura ramené la portion méplate en dessous.

Pour produire cet effet, M. Heilmann adapte aux deux extrémités de l'axe U, deux secteurs dentés x, x; chacun de ces secteurs engrène sans cesse avec une règle verticale X qui peut glisser contre la branche Q, où elle est maintenue par des brides, et la règle X porte elle-même à sa partie inférieure une cheville horizontale x', perpendiculaire à son plan ; c'est au moyen de ces chevilles que l'on imprime le mouvement à la règle X, au secteur x, et par conséquent à l'axe U, pour ouvrir et fermer les pinces.

Mais, pour voir comment l'ouvrier brodeur fait cette opération avec ses pieds, reportons-nous au système des pédales P.

BRODERIE.

Nous avons déjà indiqué que l'arbre P'', qui est mis en mouvement par ces pédales, porte à son extrémité de droite une pièce destinée à faire jouer le levier *no* ; cette pièce est dentée dans les deux tiers de sa circonférence et fait l'office de pignon ; par sa partie dentée elle engrène avec un secteur *r* monté à l'extrémité de l'arbre R, qui peut tourner sur lui-même et qui se trouve supporté par des coussinets fixés au milieu des traverses horizontales et inférieures du bâti. L'axe R porte en même temps deux branches Z, Z, mises en croix sur lui et terminées par des couples de fourchettes correspondant à chacun des chariots ; elles sont destinées à recevoir les chevilles x' des règles à crémaillères X, et il est très facile d'en comprendre le jeu. En effet, supposons que l'ouvrier brodeur rappelle le chariot de droite en tournant la manivelle N : alors le chariot revient, il engage les chevilles x' dans les fourchettes, il plante dans l'étoffe la moitié saillante des aiguilles qu'il porte, et ces moitiés pénètrent dans les pinces du chariot de gauche qui sont ouvertes pour les recevoir ; il faut donc en ce moment fermer les pinces de gauche pour qu'elles prennent les aiguilles et ouvrir celles de droite pour qu'elles les donnent. C'est ce que l'ouvrier fait avec son pied, d'un seul et même coup : il presse sur la pédale qui est levée pour tirer la corde qui la porte : alors le mouvement de rotation qui en résulte dans la poulie correspondante se communique à l'arbre P'', au pignon *p''*, au secteur *r*, à l'arbre R, et simultanément aux deux branches Z, Z, dont les extrémités se relèvent et emportent les chevilles x' dans leur mouvement ascensionnel ; par conséquent les règles à crémaillère X remontent en glissant dans leurs coulisses, font tourner les secteurs x et l'arbre méplat U, qui exerce en tournant une pression sur la queue de toutes les mâchoires supérieures des pinces, qu'il ouvre toutes à l'instant ; par le même mouvement des branches Z, Z, les fourchettes qui les terminent à gauche, descendent, entraînent les chevilles des règles à crémaillère X du chariot de gauche, font tourner les secteurs correspondants et l'arbre méplat sur lequel ils sont montés pour amener son côté plat sur les queues des mâchoires supérieures des pinces, et toutes les pinces de ce côté se ferment par l'effet de leurs ressorts. Voilà comment, du même coup, l'ouvrier ferme les pinces de gauche et ouvre celles de droite, qui resteront ouvertes jusqu'à l'instant où elles auront reçu les aiguilles après le retour du chariot de gauche. Le même mouvement de pédale qui a produit ce double effet a aussi changé la position du levier *no* et amené la roue O' sur la roue M' ; en sorte que l'ouvrier n'a plus qu'à tourner la manivelle N pour donner le mouvement au chariot de gauche, qui tire les aiguilles et serre le point.

Les fils sont tendus à mesure que le chariot s'éloigne, mais, cette tension n'offrant aucune élasticité, il en pourrait résulter des inconvénients, que M. Heilmann a prévenus en adaptant aux chariots un mécanisme au moyen duquel tous les fils sont pressés en même temps par un poids qui se règle à volonté ; c'est ce qui nous reste à expliquer.

On voit dans la figure, un peu au-dessous de la règle prismatique qui porte les pinces, un arbre Y qui va d'un bout à l'autre du chariot et qui même le dépasse un peu à chaque bout ; cet arbre est porté par des pièces *y* qui sont fixées sur les branches Q et dans lesquelles il peut tourner ; à son extrémité de gauche, il porte deux barrettes *y'* et *w*, et à son extrémité de droite une seule barrette *y'*, et un contre-poids *y''*, que l'on ne voit pas dans la figure ; les extrémités des deux barrettes *y'* sont jointes par un fil de fer un peu gros et très droit. Quand le chariot approche de l'étoffe et avant que le fil de fer ne puisse la toucher, la barrette *w* vient rencontrer une cheville *w'*, qui s'appuie contre elle et qui la relève de plus en plus ; les barrettes *y'*, *y'* et le fil de fer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont relevés en même temps : au contraire, quand le chariot, en partant de cette position, s'éloigne de l'étoffe, la barrette w glisse en descendant sur la cheville e', puis s'échappe à une certaine distance, et alors le contre poids y'' fait tomber les barrettes y' et rabat le fil de fer qui les joint sur tous les fils qui portent les aiguilles.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons considéré que la rangée supérieure des pinces et des aiguilles, pour simplifier les raisonnements; mais, en jetant les yeux sur la figure on voit, sur le chariot de droite et sur celui de gauche, une rangée inférieure de pinces et d'aiguilles qui se trouve montée, à l'extrémité inférieure des branches Q, exactement comme les rangées d'en haut; le mécanisme qui ouvre et qui ferme les pinces est aussi le même et agit en même temps, puisqu'il y a pour cette rangée un arbre méplat, un secteur denté, et une crémaillère correspondante dans les règles glissantes X, X. Les fils sont aussi pressés par un système tout à fait semblable à celui qui est désigné en haut par les lettres Y, y, y', w et w'.

V.— *Remarques sur le jeu de la machine.* La grandeur des dessins que la machine peut exécuter n'est pas seulement limitée par l'étendue des mouvements que l'on peut donner au châssis qui porte l'étoffe, elle l'est encore par le nombre des aiguilles que l'on peut faire travailler, car, toutes les aiguilles exécutant le même dessin et sur la même ligne horizontale, il est évident que leur distance doit être un peu plus grande que la largeur du dessin, sans quoi le mouvement du châssis amènerait devant une aiguille une portion de l'étoffe qui aurait été brodée par une autre aiguille et chacune d'elles achèverait son ouvrage sur l'ouvrage de sa voisine.

Si l'on voulait, par conséquent, travailler avec 130 aiguilles, ce qui fait 65 en haut et 65 en bas, et que chaque dessin brodé dût avoir, par exemple, 2 décimètres de largeur horizontale, on voit que la distance de deux aiguilles voisines devrait être alors plus grande que 2 décimètres, et il faudrait une machine ayant plus de 65 fois 2 décimètres, ou plus de 13 mètres de longueur : mais la disposition du mécanisme ne permet pas de donner à la machine une aussi grande longueur, et jusqu'à présent on s'est arrêté à 2 mètres et demi environ pour la partie travaillante : or, pour loger dans cet espace 130 aiguilles, c'est-à-dire 65 en haut et 65 en bas, il faut les mettre à la distance de 4 centimètres; tel est donc le *maximum* des broderies que l'on peut exécuter.

Pour atteindre à des largeurs plus grandes, il faut diminuer le nombre des aiguilles et les espacer davantage : il faudrait, par exemple, les réduire à moitié et les mettre à une distance double, si l'on voulait faire des dessins de 8 centimètres.

Mais, en diminuant ainsi le nombre des aiguilles, on diminue les avantages de la machine, puisqu'il faut autant de temps à l'ouvrier pour mener un chariot de 50 aiguilles que pour mener celui de 130, c'est à-dire pour faire 50 points en broderie large que pour en faire 130 en broderie étroite.

Cependant, si la machine a l'inconvénient d'être un peu limitée dans le sens de la largeur, elle a l'avantage de n'avoir aucune limite dans le sens de la longueur ou de la hauteur; elle peut, par exemple, broder à la fois 130 rubans aussi longs que l'on voudra : il suffit, en effet, de disposer ces rubans sur les deux systèmes d'ensouples et de broder d'abord toute la hauteur que le mouvement vertical du châssis peut permettre; alors l'ouvrier brodeur marque d'un signe ou d'un repère le point auquel il s'est arrêté sur le tableau, puis il arrête un instant la machine pour enrouler sur l'une des ensouples la partie brodée et ramener devant les aiguilles la partie suivante; il fait remonter ou descendre la pointe du pantographe suivant qu'il a terminé en haut ou en bas, et fait remonter ou descendre de la même manière le dessin qu'il suit sur le tableau, et, avec un peu d'adresse, il a bientôt retrouvé son repère pour continuer le travail.

On conçoit que l'ouvrier brodeur ne doit pas suivre avec le pantographe la trace du dessin qui est sur le tableau, mais qu'il doit arrêter la pointe de cet instrument sur le point du dessin par lequel doit entrer l'aiguille, la reporter, et l'arrêter de nouveau sur le point par lequel l'aiguille doit ressortir, ou rentrer en revenant de l'autre côté et ainsi de suite.

Pour faciliter cette espèce de lecture, le dessin qui est sur le tableau est composé de lignes droites terminées par les points d'entrée et de retour de l'aiguille, de telle sorte que l'ouvrier a sans cesse sous les yeux la série des lignes brisées qu'il doit suivre avec la pointe du pantographe, et que, s'il lui arrive de quitter cette route un instant sans avoir laissé de repère pour marquer le point où il était arrivé, il est obligé de regarder sur le métier ce qui est déjà fait et de retrouver par cette comparaison le point où il doit reprendre son ouvrage pour ne pas faire de lacune et pour ne pas répéter deux fois la même chose.

BROME. Corps simple, que l'on rencontre en petite quantité dans quelques eaux minérales, dans les plantes marines, etc. Il est liquide à la température ordinaire, rouge-brun, et exhale une odeur forte et désagréable analogue à celle du chlore caustique; appliqué sur la peau il la colore en jaune foncé et la corrode; il est très vénéneux. Sa densité est de 2,966; il bout à 47° C, et se solidifie à 25°, en donnant une masse d'un gris de plomb presque métallique. Il a peu d'affinité pour l'oxygène avec lequel il forme l'acide bromique, composé peu stable. Avec l'hydrogène il forme un acide énergique, l'acide hydrobromique. Il est peu soluble dans l'eau, mais il l'est beaucoup dans l'alcool et surtout l'éther. A cause de sa rareté, il a été jusqu'ici peu employé dans les arts, mais on le regarde comme possédant à un haut degré la propriété de résoudre les tumeurs scrofuleuses et glandulaires; aussi prescrit-on aux personnes affectées de ces maladies, l'usage tant externe qu'interne des eaux qui en contiennent.

Le brome a été découvert en 1826, par M. Balard, dans les eaux-mères des marais salins, à l'état de bromure de magnésium. Pour l'en retirer, on ajoute de la chaux qui déplace la magnésie, on filtre, on précipite la chaux à l'état de sulfate en ajoutant du sulfate de soude; on filtre; la liqueur ne renferme plus que du bromure, un peu d'iodure et du chlorure de sodium; on sépare la presque totalité de ce dernier sel par cristallisation, en concentrant la liqueur; enfin, on distille dans une cornue en verre avec du peroxyde de manganèse et de l'acide sulfurique; le brome se dégage le premier, et on arrête la distillation dès que l'on voit s'élever des vapeurs d'iode dans la cornue.

BRONZAGE. C'est l'art de donner à des objets de bois, de plâtre, etc., une surface telle qu'ils aient l'apparence du bronze; ce terme exprime quelquefois aussi l'art de recouvrir d'un enduit métallique quelconque, des objets qui ne le sont pas. Ces objets doivent être d'abord, partout recouverts d'une couche uniforme de colle ou de vernis, et lorsque cette couche est sur le point de sécher, on les saupoudre, à l'aide d'un petit sachet, avec la poudre à bronzer que l'on prépare avec des feuilles d'étain, d'or, de l'or mussif (voyez ÉTAIN) ou du cuivre métallique précipité par une lame de fer; on frotte ensuite la surface avec un linge humide. On peut mêler d'avance la poudre à bronzer avec de l'huile siccative, et puis appliquer le mélange avec une brosse; quelquefois encore on mélange le cuivre en poudre, la limaille de laiton, ou l'or mussif avec une certaine proportion de cendres d'os pulvérisés, et on en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fait l'application par l'un ou l'autre des procédés ci-dessus.

On se sert d'un mélange de ces poudres avec de la gomme arabique et de l'eau pour donner au papier ou au bois, l'apparence du bronze ; on doit ensuite en brunir la surface. On emploie de cette manière, soit seule, soit mêlée avec de la cendre d'os pulvérisés, de la poudre de cuivre précipitée d'une solution de nitrate de cuivre, au moyen de plaques de fer décapées, on lave ensuite le précipité et on fait sécher. On termine le bronzage en passant une couche de vernis à l'esprit de vin.

Pour recouvrir les statuettes et autres objets moulés en plâtre, d'un enduit vert très durable qui imite le bronze antique et qui protége beaucoup mieux le plâtre, contre l'action des agents atmosphériques, que le vernis à l'huile de lin ordinaire ; on prépare d'abord un savon avec de l'huile de lin et une lessive de soude caustique, on ajoute ensuite une dissolution concentrée de sel marin, et on fait évaporer jusqu'à ce que le savon vienne nager en petits grains à la surface. On filtre alors à travers une chausse en toile ; on dissout le savon obtenu dans l'eau bouillante, et on passe à travers un linge. D'un autre côté on dissout dans de l'eau chaude quatre parties de sulfate de cuivre et une partie de sulfate de fer, puis on verse la liqueur dans la dissolution de savon, lentement et en agitant constamment, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Ce précipité est un mélange de savon ferrugineux et cuivreux, c'est-à-dire d'oléates de fer et de cuivre ; le premier étant rouge-brunâtre, et le second vert, leur mélange présente la teinte vert-brunâtre du bronze antique. On le recueille sur un filtre, on le fait bouillir quelques instants, dans une chaudière de cuivre, avec une partie de la dissolution vitriolique ci-dessus (renfermant un mélange de sulfates de fer et de cuivre), on décante, et on met de l'eau chaude ; enfin, après une courte ébullition, on décante de nouveau, on lave le précipité à l'eau froide, on le passe dans un linge, on essuie, et on le dessèche le plus possible.

On fait cuire 1 kilogr. d'huile de lin pure avec 250 gram. de litharge finement pulvérisée, on passe à travers un linge et on laisse déposer à l'étuve ; l'huile se clarifie mieux. On fond ensuite ensemble, dans un vase de faïence, sur un feu très doux, et mieux au bain marie : Huile de lin cuite, 300 gram. ; savon de fer et de cuivre, 160 gram. ; cire blanche pure, 100 gram. ; et on tient le mélange fondu, jusqu'à ce que toute l'humidité se soit dégagée. On fait alors chauffer les plâtres dans un étuve jusqu'à 90°C. environ, et on y applique au pinceau le mélange fondu. On répète, au besoin, cette opération, et on termine en remettant à l'étuve, pendant quelques instants pour qu'il ne reste pas de couleur à la surface.

Lorsque le travail est fait avec soin, et surtout lorsqu'on observe bien la température convenable, le mélange pénètre uniformément le plâtre et le recouvre d'un enduit extrêmement mince, sans en altérer en rien les contours les plus délicats. Au bout de plusieurs jours, lorsque le plâtre n'a plus d'odeur, on en frotte légèrement la surface avec un tampon de coton, et on bronze les parties saillantes avec un peu d'or mussif. Les petites pièces, peuvent être simplement plongées dans le mélange fondu, égouttées, puis exposées devant le feu jusqu'à ce que la composition ait entièrement pénétré dans le plâtre.

On argente quelquefois les figurines de plâtre, en les frottant avec un amalgame composé de parties égales de mercure, de bismuth et d'étain, puis les recouvrant d'une couche de vernis. On leur donne une couleur gris de plomb métallique en les frottant avec de la plombagine porphyrisée. En plongeant des statuettes ou autres objets en fonte bien décapés dans une dissolution de sulfate de cuivre, à laquelle on ajoute un peu d'acide sulfurique, la fonte se recouvre d'une pellicule métallique de cuivre rouge, que l'on peut ensuite brunir.

Sous le nom de *bronzage du cuivre*, on comprend une opération particulière, qui consiste à produire à la surface de ce métal une pellicule extrêmement mince d'oxydule, qui lui donne une teinte matte brun rougeâtre, très agréable à l'œil. Les monnaies et médailles se laissent très bien bronzer de la manière qui suit : On dissout 2 parties de vert de gris et 1 partie de sel ammoniac dans du vinaigre ; on fait bouillir la dissolution, on l'écume, et on l'étend d'eau, jusqu'à ce qu'elle n'ait plus qu'une saveur faiblement métallique et qu'il ne se forme plus de précipité blanchâtre en ajoutant l'eau. On la fait alors bouillir de nouveau dans un vase en faïence ou en porcelaine, puis on la verse bouillante dans un autre vase où l'on a mis les médailles bien décapées et que l'on met sur le feu. Aussitôt que les médailles ont atteint la teinte désirée, on les retire et on les lave immédiatement avec soin à l'eau pure. Si dans le but d'obtenir un bronzage très solide, on laissait trop longtemps les médailles sur le feu dans le bain acide, il se formerait bientôt une couche d'oxydule assez épaisse pour se séparer aisément par plaques, du cuivre métallique, tandis que dans un bronzage bien exécuté, l'enduit d'oxydule est tellement adhérent au métal qu'on ne peut pas même le séparer en râclant. Ce n'est que par expérience que l'on devient à même d'apprécier le moment précis où l'on doit retirer les médailles du bain ; il est très important que ce dernier ne soit pas trop concentré, car alors, l'oxydule formé a d'autant moins d'adhérence, et d'un autre côté, il se dépose sur les médailles une poudre blanchâtre qui verdit à l'air, et altère la beauté du bronzage.

On peut aussi recouvrir le cuivre d'un enduit brun de sulfure, en le plongeant dans une dissolution de sulfure de potassium, mais cet enduit n'a ni beauté ni durée.

Les Chinois bronzent le cuivre, en pulvérisant et mélangeant 2 parties de vert de gris, 2 p. de cinabre, 5 p. de sel ammoniac, 5 p. d'alun, et 2 p. de bec et de foie de canard ; puis en formant avec du vinaigre une pâte, qu'ils répandent sur le cuivre bien décapé, ils l'exposent un instant sur le feu, laissent refroidir, essuient et recommencent cette opération autant de fois qu'il est nécessaire pour obtenir la teinte désirée. En ajoutant au mélange du sulfate de cuivre, on obtient une teinte plus brune, et plus jaune par l'addition du borax. Le cuivre ainsi traité prend une belle apparence, et une telle durée, qu'il ne perd rien de sa beauté par l'action de l'air et de la pluie.

Le *bronzage des canons de fusil* et autres objets en fer se fait par un grand nombre de procédés : tantôt on les expose à l'action de l'acide hydrochlorique en vapeur, tantôt on les traite par de l'eau régale très étendue. Le plus souvent on échauffe légèrement le canon et on le frotte vivement avec un mélange d'huile d'olives et de *beurre d'antimoine* (chlorure d'antimoine fondu), dont on renouvelle l'action à plusieurs reprises. Quelquefois on frotte ensuite avec un linge imbibé d'eau seconde. Enfin, on lave avec soin le canon avec de l'eau pure, on l'essuie et on le sèche, et enfin on le polit avec un brunissoir d'acier, ou bien, on le frotte avec de la cire blanche, ou on le recouvre d'un vernis formé en dissolvant dans l'esprit de vin, 16 parties de gomme laque et 3 parties de sang-dragon.

D'après *Storch*, on obtient une liqueur à bronzer le fer très convenable en dissolvant dans 8 p. d'eau distillées, 2 p. de sulfate de cuivre cristallisé, et 1 p. d'éther sulfurique dans lequel on a dissous du chlorure de fer.

BRONZE (*angl.* brass, *all.* bronze). Alliage formé de cuivre et d'étain, auquel on ajoute quelquefois un peu de zinc et de plomb. Cet alliage est beaucoup plus dur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que le cuivre; il était employé chez les anciens pour faire des épées, des haches, etc., avant que la manière de travailler le fer fût généralement répandue. L'art de fondre des statues de bronze remonte à la plus haute antiquité, mais il n'a reçu un certain degré de perfection qu'environ 700 ans avant J.-C. Ce fut à Theodoros et à Rœcus, de Samos, que l'on dut ce premier progrès; c'est à eux que Pline attribue l'invention de l'art de modeler. Les anciens avaient bien remarqué, qu'en alliant le cuivre avec l'étain, on obtenait un métal plus fusible, que la fonte devenait par cela même plus facile, et que les statues étaient plus dures et plus durables; néanmoins celles-ci se trouvaient fréquemment de cuivre presque pur, parce qu'ils ne possédaient aucun moyen de déterminer les proportions de leurs alliages, et que, par leur manière de conduire le feu, le cuivre s'affinait pendant la fusion, ainsi que cela arrive encore quelquefois de nos jours à des fondeurs sans expérience. Ce fut pendant le règne d'Alexandre que les fonderies de bronze acquirent leur plus grand développement. A cette époque le célèbre Lysippe parvint, par de nouveaux procédés de moulage et de fusion, à des résultats remarquables que nous a transmis l'histoire. Bientôt après on coula d'énormes colosses en bronze, aussi élevés que des tours, et dont l'île de Rhodes seule ne possédait pas moins d'une centaine. Le consul romain Mutionus trouva 3,000 statues de bronze à Athènes, 3,000 à Rhodes, autant à Olympie et à Delphes, quoique dans cette dernière ville on en eût déjà enlevé un grand nombre.

Pour de pareilles statues, l'alliage doit être assez fusible pour couler promptement dans toutes les parties du moule, quelque délicates qu'elles soient; il doit être dur, afin de pouvoir résister aux chocs que les statues peuvent recevoir par accident; il doit être à l'épreuve de l'influence des saisons et de nature à pouvoir acquérir à l'extérieur, avec le temps, cette teinte verdâtre ou *patine*, qu'on admire tant dans les bronzes antiques. La composition chimique de l'alliage qui fait le bronze est donc un objet de la première importance.

Les frères *Keller*, fondeurs célèbres du temps de Louis XV, dont les chefs-d'œuvre sont si connus, dirigeaient toute leur attention sur ce point, auquel on attache si peu d'importance aujourd'hui. La statue de Desaix, sur la place Dauphine, et la colonne de la place Vendôme sont des exemples de tout ce qu'on peut faire de plus mauvais dans ce genre de travaux, par la combinaison des alliages dont ils sont formés. En analysant séparément des échantillons pris dans les bas-reliefs du piédestal de cette colonne, dans le fût, et au chapiteau, on a trouvé que le premier ne contenait que 6 parties p. 100 d'alliage de cuivre, le second encore moins, et le troisième seulement 0,21 p. 100; ce qui démontre clairement que le fondeur n'a pas su prévenir l'oxydation de l'étain et son passage progressif dans les scories, pendant la fusion du bronze, et qu'à mesure que la quantité d'étain diminuait dans ce dernier, ce qui le rendait moins fusible et moins propre au moulage, il l'employait pour les parties supérieures de la colonne, où, vu l'élévation, les défauts de fonte devenaient moins sensibles.

Les canons que le gouvernement avait fournis pour la fonte du monument contenaient :

Cuivre.	89,360
Étain.	10,040
Plomb.	0,102
Argent, zinc, fer et perte. . . .	0,498
	100,000

Le moulage de la plupart des bas-reliefs a été si mal exécuté, que les ciseleurs, employés pour en réparer les fautes, n'enlevèrent pas moins de 70,000 kilogr. de

bronze qui leur furent abandonnés, outre une somme de 300,000 fr. qu'ils reçurent pour leur travail.

Les statues qui ont été coulées par les frères Keller, à Versailles, ont donné à l'analyse :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	Moyenne
Cuivre. . .	94,30	91,68	91,22	91,40
Etain. . .	4,00	2,32	1,78	1,70
Zinc. . .	0,09	4,93	5,57	5,53
Plomb . .	1,61	1,07	1,43	1,37
	100,00	100,00	100,00	100,00

L'analyse du bronze de la statue de Louis XV, dont la densité était de 8,482, a donné pour sa composition :

Cuivre.	82,45
Zinc.	10,30
Etain.	4,10
Plomb.	3,15
	100,00

L'alliage le plus convenable pour les médailles de bronze qu'on doit frapper ensuite, se compose de 8 à 12 parties d'étain, et de 92 à 88 parties de cuivre, ou en moyenne de 1 d'étain pour 9 de cuivre. Si on y ajoute 2 ou 3 p. 100 de zinc, l'alliage prend alors une *patine* plus belle. L'alliage des frères Keller est célèbre à cet égard. La médaille doit être frappée au balancier à trois ou quatre reprises, en l'adoucissant chaque fois, en la chauffant au rouge, puis en la trempant dans l'eau froide.

Le bronze ou métal des cloches est composé, sur 100 parties, de 78 de cuivre et de 22 d'étain. Il présente un beau grain compacte, est très fusible et très sonore. Les autres métaux qu'on y ajoute quelquefois sont plutôt préjudiciables qu'avantageux, et ne servent qu'à augmenter les profits des fondeurs. Il y a des cloches anglaises qui contiennent 80 de cuivre, 10,1 d'étain, 5,6 de zinc, et 4,3 de plomb; ce dernier métal, surtout, lorsqu'il est en aussi grande quantité, se sépare souvent en parties presque pures, qui détruisent l'uniformité de l'alliage.

Les *tam-tams*, ou cymbales de bronze, inventés par les Chinois, sont forgés au marteau, très minces, et s'appellent aussi *gongs-gongs*, du mot chinois *tshoung*, qui signifie cloche. Klaproth a démontré qu'ils ne sont composés que de cuivre et d'étain, dans les proportions de 78 de cuivre et de 22 d'étain. Leur densité est de 8,845. Lorsque cet alliage vient d'être coulé, il est aussi fragile que du verre, mais en le plongeant à la chaleur rouge-cerise dans de l'eau froide; et en le mettant entre deux disques de fer pour empêcher qu'il ne se déforme, il devient ductile et malléable. Au moyen de ce procédé découvert par feu M. d'*Arcet*, on peut rendre ductiles tous les objets en bronze, ce qui est très important, par exemple, pour les mortiers en bronze qui présentent des avantages sous le rapport de la dureté, mais qui avaient l'inconvénient assez grave d'être cassants sur leurs bords; comme cette partie est plus mince, plus sujette à casser, et qu'il est d'ailleurs inutile qu'elle présente la même dureté que le fond, on remédie à tous les inconvénients, en *trempant* dans l'eau cette partie seulement.

Les armes offensives de bronze (airain) des anciens variaient dans leur composition; les épées étaient formées de 87,5 de cuivre, et de 12,5 d'étain; les ressorts des balistes, de 97 de cuivre, et de 3 d'étain.

Le *métal des canons* se compose d'environ 90 à 94 de cuivre, et de 10 ou de 9 parties d'étain. D'après les expériences de Papacino-d'Antony, faites à Turin en 1770, il paraît que l'alliage le plus convenable pour les gros canons est de 12 à 14 parties d'étain sur 100 de cuivre; mais le comte Lamartillière a conclu de ses expériences, faites à Douai en 1786, qu'on ne doit jamais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

employer moins de 8, ni plus de 11 parties d'étain sur 100 parties de bronze.

Bronze pour la dorure. Cette qualité de bronze doit se fondre facilement, devenir très fluide, prendre parfaitement la forme du moule, et posséder en outre un certain degré de compacité, qui diminue la quantité d'or nécessaire pour obtenir la teinte voulue. L'alliage de cuivre et de zinc seulement a une consistance trop pâteuse. Il est susceptible d'absorber trop d'amalgame et sujet à se crevasser en se refroidissant; enfin il est ou trop dur ou trop tendre pour le ciseleur ou le tourneur. Si l'on augmente la quantité de zinc pour rendre le métal plus dur, il perd cette couleur jaune qui convient au doreur. Une composition quaternaire de cuivre, de zinc, d'étain et de plomb, est préférable pour ces sortes d'ornements en bronze, et les proportions suivantes sont probablement les plus convenables, car elles réunissent la texture serrée du grain aux autres qualités requises : cuivre, 82; zinc, 13; étain, 3 ou 4; plomb, 1, 5 ou 3. Dans l'alliage qui contient plus de plomb, la ténacité se trouve diminuée et la densité augmentée, ce qui est préférable pour des pièces de petites dimensions. Un autre alliage qu'on dit n'exiger, pour être doré, que les deux tiers de la quantité ordinaire d'or, se compose ainsi qu'il suit : cuivre, 82,257; zinc, 17,481; étain, 0,238; plomb, 0,024.

On donne la couleur du bronze antique aux figures et autres objets faits de ces alliages, par les procédés suivants : on fait dissoudre 4 parties de sel ammoniac et 1 p. de bioxalate de potasse dans 118 p. de vinaigre incolore, on trempe un pinceau dans cette dissolution, et, après l'avoir légèrement exprimé entre les doigts, on le passe également sur la surface bien décapée de l'objet, qu'on a le soin de chauffer légèrement, soit au soleil, soit dans un fourneau. L'on répète l'opération jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance désirée.

Un procédé quelque peu différent du précédent, consiste à dissoudre 1 partie de sel ammoniac, 3 p. de crème de tartre et 6 p. de sel marin, dans 12 p. d'eau bouillante, à laquelle on ajoute ensuite 8 p. d'une dissolution de nitrate de cuivre ayant une densité de 1,160, puis passant à plusieurs reprises le mélange sur la pièce à bronzer, en laissant reposer entre chaque fois quelque temps dans un endroit humide. On ne tarde pas à obtenir ainsi un enduit vert et durable, dont la beauté augmente encore avec le temps. Plus on met de sel marin dans le mélange, plus la teinte verte obtenue tire sur le jaune; moins on en met, plus elle tire sur le bleu. Plus on ajoute de sel ammoniac, plus l'opération marche vite; mais ce procédé n'est pas à recommander, parce que plus la patine est longue à se produire, plus elle est belle et solide.

Le fondeur en bronze doit faire fondre ses métaux rapidement, afin de prévenir les pertes d'étain, de zinc et de plomb qui résultent de leur oxydation. On emploie ordinairement pour la fonte, des fourneaux à réverbère à sole elliptique. Les fondeurs de cloches font usage de fourneaux circulaires sans cheminées, dont la voûte est simplement percée d'ouvertures qui donnent issue à la fumée et déterminent un tirage suffisant, parce que leur alliage, étant plus fusible, n'exige pas une chaleur aussi intense. Toutefois, ils trouveraient aussi leur avantage à employer le mode de fusion le plus rapide. La surface des métaux fondus doit être recouverte avec du menu de houille ou de coke, et lorsqu'on ajoute le zinc, on doit le pousser adroitement au fond du cuivre fondu. On ne doit verser dans les moules qu'après avoir brassé la masse fondue, de manière à en bien mélanger les divers éléments. En général, on doit ajouter en dernier les métaux qui s'altèrent le plus facilement au feu, comme l'étain. Le refroidissement doit être aussi prompt que possible dans les moules, afin d'empêcher que les métaux ne se séparent entre eux dans l'ordre de leur densité, ce qui est un inconvénient dont ils sont très susceptibles. On a reconnu qu'il était avantageux d'ajouter au bronze une petite quantité de fer sous la forme d'une feuille de fer-blanc, pour augmenter sa dureté et sa ténacité.

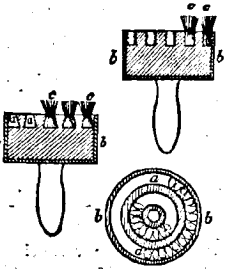
Une partie d'étain et deux parties de cuivre (à peu près un atome d'étain et quatre de cuivre), constituent le métal ordinaire des miroirs des télescopes à réflexion, lequel est, de tous les alliages de cuivre et d'étain, le plus blanc, le plus brillant, le plus dur et le plus cassant. Celui formé de 1 partie d'étain et de 10 de cuivre (ou à peu près 1 atome du premier et 18 atomes du second), est le plus tenace de toute la série de ces alliages.

Lorsque les ornements en bronze destinés à la dorure ont été coulés, on les met ordinairement sur des charbons incandescents jusqu'à ce qu'ils aient acquis la température du rouge obscur, et on les expose alors pendant quelque temps à l'air. Leur surface se trouve délivrée par ce moyen de toute matière grasse; une certaine portion de zinc s'en sépare, et l'alliage prend alors une couleur de cuivre plus prononcée, ce qui le rend apte à recevoir la dorure. La teinte noire que le feu communique quelquefois aux pièces s'enlève au moyen d'un lavage fait avec un acide affaibli. On peut très bien les décaper au moyen de l'acide nitrique à la densité de 1,324, auquel on ajoute une petite quantité de sel commun et de suie; toutefois, cette dernière substance est d'une utilité douteuse. Après cela on doit bien laver à l'eau pure, et sécher avec de la sciure de bois ou un linge propre. (BRONZES D'ART. Voy. *Compl.*)

BROSSES (*angl.* brushes, *all.* bürsten). Les brosses à peinture se font en serrant fortement, avec un fil de fer ou une cordelette, des bottes de crin au bout d'un manche en bois. On coupe ensuite de niveau les crins aux deux bouts, et l'on enduit à chaud d'un mélange de cire et de résine le haut de la botte.

Les brosses ordinaires se font avec des soies de sanglier et de porc. La *patte* est un morceau de bois plus ou moins épais, percé de part en part au foret, de trous ronds, égaux, disposés en quinconce et convenablement espacés. On passe dans un de ces trous une ficelle doublée en boucle dans laquelle on engage, par son milieu, un faisceau de poils d'à peu près la même longueur, et l'on tire la ficelle pour forcer le faisceau à se doubler en entrant dans le trou et à se plier en ses deux moitiés. On passe ensuite la même ficelle en boucle dans le trou suivant, pour saisir un autre faisceau de poils, et ainsi de suite; la ficelle reste ainsi engagée dans tous les plis des faisceaux. On coule par dessus la patte de la colle-forte chaude et liquide, ou quelquefois du goudron, afin de maintenir le tout solidement. Enfin, l'on coupe avec des ciseaux appelés *forces*, tous les bouts des poils pour les niveler parallèlement à la patte. Celle-ci est ordinairement en hêtre, en noyer ou en tout autre bois dur, et pour les brosses à habits, recouverte d'une feuille de placage.

309.



308 310.

Quand on fait la patte en os ou en ivoire, on remplace la ficelle par un fil de laiton. C'est ainsi que sont construites les brosses à dents et à mains, les brosses de blaireau pour la barbe, etc.

M. *Mason* a pris en 1830, en Angleterre, un brevet pour un nouveau procédé pour faire les faisceaux de poils sur la patte, qui consiste à pratiquer dans celle-ci,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au lieu de trous isolés, des rainures *a*, *a*, en queue d'aronde (fig. 308 et 310), dans lesquelles on juxta-pose les faisceaux de poils *c*, *c*, préalablement plongés par le bout dans de la colle forte, ou de la poix, qu'on presse à mesure avec les doigts ou de toute autre manière, pour leur faire prendre une forme ovale (fig. 310), de telle sorte qu'ils s'élargissent par le bas et remplissent la rainure où ils se trouvent (fig. 309), et s'y trouvent solidement fixés. Le même effet est obtenu avec des rainures cylindriques (fig. 309) dentelées, de manière à retenir avec force les faisceaux de poils.

Il est clair que ces assemblages par collage ne s'appliquent pas à des brosses servant avec de l'eau; ce procédé peut encore être employé pour maintenir des files de poils entre deux réglettes.

BROU DE NOIX (*angl.* walnut husks ou peels). Est employé en France, par les teinturiers, pour donner plus de fixité à certaines couleurs sombres.

BROYAGE. Le broyage se confond le plus souvent avec la pulvérisation ou au moins avec la réduction en particules menues d'un corps d'un volume notable. Nous parlerons en terminant d'une opération assez différente à laquelle s'applique le même mot.

Deux articles importants sont déjà consacrés à des industries ayant pour objet direct le broyage: le premier est celui relatif à la préparation des minerais qui fait partie de l'article MÉTALLURGIE, et qui se rapporte au concassage des pierres et gangues siliceuses qui accompagnent les minerais et au classement des fragments par ordre de grosseur et de densité; le second se rapporte à la mouture du blé, à la conversion du blé en farine au moyen des meules horizontales des MOULINS. Nous nous garderons de répéter ici ces deux études, mais nous croyons utile de présenter ici quelques considérations générales sur l'industrie du broyage et de décrire les procédés industriels autres que ceux qui se rapportent aux industries qui viennent d'être rappelées.

L'art de broyer constitue, dans son ensemble, dans ses moyens de travail, et dans la diversité des matières employées, une industrie qui exige de la part de celui qui l'exploite, de justes notions sur les propriétés et les qualités des diverses matières soumises au broiement, sur les conditions du meilleur choix des instruments de travail, et sur la meilleure manière d'agir sur les corps, suivant le but qu'on se propose.

Il est bon nombre de principes généraux sur lesquels les constructeurs et les fabricants les plus éclairés ne sont évidemment point d'accord entre eux, car il existe nombre de systèmes et de doctrines de broiement les plus différents et les plus opposés; de là cette foule de machines plus ou moins ingénieuses, différentes bien que combinées pour atteindre un même but, qui prennent des noms analogues à l'objet qu'on se propose: machines à moudre les plantes alimentaires, à décortiquer, concasser, pulvériser et couper les graines sèches et grasses, à piler, à écraser les corps durs et résistants, à broyer les écorces à tan, le plâtre, les épices, les couleurs, les émaux, etc.

Nous croyons donc faire une chose bonne et utile d'indiquer ici, sinon les propriétés physico-chimiques des matières dont l'étude appartient exclusivement à la science, au moins les principes généraux qui peuvent éclairer la pratique par de justes notions sur la condition du meilleur mode de broiement, suivant le but qu'on se propose, et eu égard à la nature de la matière à travailler.

Nous comprenons sous le titre de *principes généraux* ce qui se rapporte aux éléments suivants à considérer dans toute opération de broyage.

1° *Les caractères généraux des matières.*

2° *La ténacité des matières brutes*, c'est-à-dire la résistance que ces matières opposent à la rupture, à la pulvérisation.

3° *Le genre de travail mécanique convenable pour briser, écraser, piler, concasser et pulvériser les diverses matières.*

4° *Le classement*, suivant leur grosseur, des fragments.

5° *Les précautions à prendre et les défauts à éviter dans le broiement de certains corps*, eu égard à l'économie publique et à l'hygiène.

I. — *Caractères généraux des corps.* Les corps susceptibles d'être broyés et réduits en poussière fine sont ceux qui sont solides à la température ordinaire, et qui ont une dureté sensible. Ces corps sont des produits naturels ou des produits d'opérations mécaniques ou chimiques : de là plusieurs catégories de matières que l'on rencontre dans la pratique de l'industrie, susceptibles d'être broyées et pulvérisées d'une manière quelconque.

1re catégorie. Substances minérales dures et très-résistantes: métaux cassants et leurs composés métalliques, émeri, émaux, etc.

2e catégorie. Substances terreuses dures, et en général peu résistantes: verre, pierre, marbre, craie, gypse, plâtre, talc, etc.

3e catégorie. Substances végétales servant à la pharmacie, aux arts et à l'industre. Dures, plus ou moins résistantes: noix vomique, fève de Saint-Ignace, etc.; indigo, charbon de bois, curcuma, sumac, noix de galle, café, cacao, poivre, piment, etc. Filandreuses : salsepareille, écorce de chêne, rhubarbe, iris, etc. Molles, oléagineuses, résineuses: gomme adragante, etc.; moutarde, graines de lin, de colza, etc.; ambre, benjoin, copal, etc.

4e catégorie. Substances végétales alimentaires: céréales, fruits et légumes secs, riz, noix, amandes, etc.

5e catégorie. Substances animales. Dures : écailles d'huitres, ivoire, écaille, charbon animal, noir, etc. Élastiques: cochenille, gélatine, etc.

Nous renvoyons, pour la connaissance complète des matières, aux divers articles de ce dictionnaire, et aux ouvrages de physique, minéralogie, de chimie et de pharmacie.

II. — *De la ténacité et de la résistance des corps au broiement.* En traitant de l'élasticité (Voy. RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX), nous avons remarqué que lorsque la limite d'élasticité était dépassée, les molécules d'un corps se déplaçaient, et alors se présentent deux ordres de phénomènes. Si l'adhésion des molécules persiste, si le corps est ductile, malléable, le corps s'allonge en fils, en plaques, si la pression est suffisante, en raison de la forme de l'outil qui exerce la pression. Si le contraire a lieu, si le corps est cristallin, trempé, alors il se brise en fragments, est broyé, et comme il a été dit à l'article SOLIDES, *Complément*, le travail consommé pour la pulvérisation est en rapport avec la nature intime du corps dur et son état de cristallisation, et en raison directe de sa constitution. Ainsi, le verre se brise avec une plus grande facilité que les matières pierreuses, comme le marbre, la porcelaine. Les corps peu élastiques, comme la craie, les grès tendres, les gypses, l'albâtre, le plâtre, etc., dont les molécules constituantes peuvent être facilement ébranlées et désunies, sont plutôt *écrasés*, *aplatis* par l'effort que *brisés*.

Il faut, dans la pratique, faire attention à une multitude de circonstances qui modifient les résultats des opérations.

Ces circonstances sont principalement:

1° *La masse du corps à broyer;* car, plus elle est considérable, plus la résistance du corps est grande.

2° *La manière dont le corps est appuyé;* en effet le corps se brise d'autant plus facilement qu'il est soutenu moins directement, que la pression n'est pas transmise inutilement aux supports.

3° *La forme du corps.* Un corps rond est plus résistant que s'il avait la forme rectangulaire qu'on pourrait lui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner en le coupant et en l'aplatissant, et sa résistance augmente avec sa grosseur ou son épaisseur.

4° *L'influence de l'arrangement des particules du corps.* Un corps composé de molécules lamellaires, parallèles, et appliquées les unes sur les autres, offre moins de résistance que lorsqu'il est composé de petites lames entremêlées, de fibres droites ou courbes, divergentes ou entrelacées.

Les corps très-peu celluleux, très-filandreux, présentent aussi une assez grande résistance; et en général le corps dont la structure présente des agrégations granulaires est peu résistant, et sa résistance diminue encore suivant la grosseur, l'inégalité de ses molécules et leur degré d'écartement.

5° *Influence de la température.* La température, en diminuant la dureté du corps, augmente sa ductilité et rend, en général, plus difficile son broiement. Le verre, la cire à cacheter, les résines sont des exemples que nous avons sans cesse sous les yeux. Plusieurs, au contraire, deviennent alors plus faciles à briser, lorsqu'on élève leur température à un certain point; tels sont certains alliages métalliques.

Les argiles et les terres à poteries, les pierres dures, comme le silex, le tripoli, le quarz, sont plus faciles à briser et à pulvériser, lorsqu'ils ont été chauffés au rouge, et refroidis brusquement dans l'eau froide. Cette trempe a pour résultat d'*étonner* les corps pierreux, c'est-à-dire de les briser intérieurement, de diminuer l'adhérence de leurs molécules.

Nous ne parlons pas des corps qui sont susceptibles de se décomposer en partie par la chaleur, qui s'enflent ou se carbonisent et qui deviennent dès lors plus ou moins friables. C'est par ce moyen qu'on réduit en poudre les vieux cuirs et autres substances tenaces analogues, pour en fabriquer des engrais.

L'humidité produit aussi sur certains corps le même effet que la chaleur sur d'autres : ainsi la terre glaise, la gomme arabique et la chaux vive, humectées d'eau, sont plus tenaces et plus résistantes. On utilise même cette propriété pour obtenir des poudres très-fines de diverses matières dures, et voici comment : on broie la matière plus ou moins ténue, sous une molette ou sous une meule tournant circulairement, avec de l'eau gommée, ou de la dextrine humectée d'eau. L'eau gommée a pour double effet de diviser les molécules et de les retenir pendant longtemps sous l'instrument de broyage, de sorte qu'on peut pousser l'écrasement jusqu'à la dernière limite.

III. — *Du genre de travail mécanique convenable pour briser, écraser, piler, concasser et pulvériser les divers corps.* Les deux grandes classes d'appareils employés pour effectuer le broyage sont : ceux qui agissent par choc et ceux qui agissent par pression.

1° *Outils agissant par chocs.* Nous citerons en première ligne, suivant l'ordre chronologique de l'invention, le marteau proprement dit, qui servit sans doute aux premiers hommes pour *briser* les pierres, *écraser* les grains, et qui sert encore aujourd'hui pour *battre les métaux*, l'or, l'argent, le platine, le cuivre, etc. (voyez BATTEUR D'OR), et les étendre en feuilles très-minces, afin de les réduire ensuite plus facilement en poudre fine par le frottement d'une meule ou d'une molette, en fonte dure ou en acier. La surface du marteau, ou toute autre masse contondante, qui agit perpendiculairement à la plus grande dimension du corps, doit être convexe.

Pilons. Les pilons, qui prennent le nom de bocards quand ils sont destinés à broyer, concasser grossièrement des corps durs comme les minerais et les pierres (voyez MÉTALLURGIE), armés à leur base de masses prismatiques en fonte de fer blanche; les pilons que l'on construit en bronze, sous la forme de poires arrondies par le bas, quand il s'agit de corps moins résistants, constituent, dit Poncelet, un genre d'outils, de machines, antérieur à 1435; l'on s'en servait à cette époque à Nuremberg pour pulvériser, sous forme de pâte humide, les composants de la poudre de guerre : les pilons eux-mêmes, surmontés de longs manches verticaux en bois, en bronze, en fer ou en fonte, rangés parallèlement ou dans un même plan, maintenus entre des guides ou prisons horizontales, et munis, à une certaine hauteur, de mentonnets en saillie, étaient alternativement soulevés au moyen de cames également saillantes, distribuées régulièrement en hélices sur le pourtour extérieur d'un gros arbre horizontal, tournant presque toujours, directement ou sans engrenage intermédiaire, au moyen d'une grande roue hydraulique verticale. Ces machines, si simples et si ingénieuses, n'ont reçu, depuis l'époque où Belidor les décrivait, vers 1720, dans sa précieuse *Architecture hydraulique*, que de bien faibles modifications ou perfectionnements mécaniques, parmi lesquels il suffira de citer les plus importants.

A l'époque dont il s'agit, on donnait aux cames des formes assez arbitraires, notamment dans les moulins à poudre, où, afin d'éviter les causes d'explosion, elles étaient construites en lames de bois droites, simplement arrondies au bout, implantées perpendiculairement sur les arbres horizontaux du moulin, que menait une grande roue dentée en hérisson conduisant, de part et d'autre, des lanternes extrêmes également en bois. Ces arbres ayant une certaine grosseur, et les cames ainsi que les mentonnets présentant de fortes saillies pour accroître la hauteur des levées, le choc se faisait avec une assez grande vitesse, et le soulèvement avec un frottement d'autant plus appréciable qu'il agissait au bout d'un long bras de levier, tout en donnant lieu à des gênes, à des pressions et frottements de glissement analogues sur les appuis latéraux, prisons ou guides des manches de pilons. Cet état de choses dure peut-être encore dans quelques-unes de nos anciennes poudreries de guerre; mais dans les bocards et autres moulins à pilons de l'industrie, où l'on n'a pas d'explosion à craindre, on s'est enfin décidé à remplacer ces levées droites par des cames courbes en fer ou revêtues de lames de fer, tracées, d'après les règles de Rœmer et Delahire, suivant la développante du cercle, qui a la propriété non-seulement de faire agir la puissance dans des conditions rigoureuses d'uniformité, mais aussi en un même point du mentonnet, dans une direction constamment verticale. Or cela a permis plus tard de rapprocher les pilons de l'arbre à cames, et de les faire soulever par leur axe confondu avec la verticale du centre de gravité : cette disposition, un peu plus assujettissante, puisqu'elle oblige à fendre le manche des pilons en leur milieu (fig. 1), pour le passage des cames, a, en revanche, l'avantage d'annuler, pour ainsi dire, les frottements sur les prisons, qu'on avait autrefois tâché de réduire, dans ces machines aussi bien que dans celles à engrenage par lanternes, en se servant de mentonnets et de fuseaux roulants, dont l'usé inégal offrait, comme pour les galets de friction sphériques, coniques, etc., si fort préconisés dans ces derniers temps, des inconvénients dont on ne tarda guère à s'apercevoir.

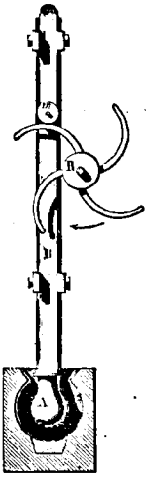


Fig. 1.

L'ancien moulin à pilons n'en était pas moins une machine admirable sous le rapport de la distribution,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la répartition régulière de l'action motrice autour des arbres à cames, dont il importe, en effet, de rendre le mouvement aussi uniforme que possible, quand le premier moteur est par lui-même doué de ce genre de mouvement, comme le sont notamment les différentes roues hydrauliques. Néanmoins, à cause des ébranlements, des grandes pertes de force vive résultant de l'acte même du choc qui se produit doublement dans les anciennes machines à cames et pilons, on doit considérer ces machines et leurs analogues comme peu avantageuses en elles-mêmes, et les réserver expressément, ainsi qu'on le fait de nos jours, pour les seules circonstances où il est absolument indispensable d'agir sur les corps par une action vive, brusque ou en quelque sorte instantanée; ce qui est notamment le cas des machines à concasser, plus ou moins grossièrement, les pierres et les minerais, machines dans lesquelles on a vainement cherché jusqu'ici à remplacer les pilons par des systèmes à action continue ou rotative, dont l'énergie est difficilement mise en rapport avec la nature dure et cassante de ces matières.

C'est aussi par insuffisance de moyens assez puissants, sans doute, et pour favoriser le rapprochement, l'action moléculaire des parties, peut-être même, dans quelques cas, par erreur de principes, que nos ancêtres employaient les moulins à pilon pour écraser des matières pulvérulentes, telles que le charbon, le soufre et le salpêtre, ou, en garnissant de couteaux la base du pilon, de matières aussi tendres, aussi volatiles que le tan et les substances végétales similaires, au risque d'y mettre le feu par le choc ou de détruire la santé des ouvriers par les émanations poussiéreuses.

Tonneau. On produit, pour des substances peu résistantes, le broyage dans un tambour pulvérisateur tournant, renfermant des gobilles de bronze; tel est celui employé dans nos poudreries de guerre pour triturer le soufre en bâtons, dans lequel les poussières les plus ténues sont entraînées au travers de conduits par un courant d'air qui va les déposer dans des cases horizontales placées, à la suite les unes des autres, au milieu d'une chambre close, où ces poussières se trouvent naturellement rangées par ordre de finesse, à peu près comme dans le van ou tarare ventilateur des cultivateurs? Je ferai observer que l'on employait, d'après le procédé de M. Champy père, des tambours à gobilles fermés pour pulvériser le charbon dans les poudreries longtemps avant 1800, et que M. Davillier, à Wesserling, doit être considéré comme le premier qui l'ait appliqué, en France, au broyage de l'indigo, pour l'impression des toiles peintes, il est vrai, à l'état humide et en substituant des boulets de fonte aux gobilles de bronze, dans une tonne elle-même en fonte. Nous avons donné à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES la disposition que l'on donne aujourd'hui à cet appareil, réduit à une rigole horizontale, dans laquelle se meuvent les boulets sur la pâte à triturer.

Concasseur Carr. Au lieu de produire un choc par le poids d'un corps pesant, comme avec les pilons, on utilise dans cet ingénieux et puissant appareil, pour opérer par chocs, la vitesse de rotation (fig. 2). Il se compose de barreaux de fer engagés solidement entre deux plateaux, de manière à former des cages cylindriques. Deux ou trois de ces cages étant montées l'une dans l'autre et disposées de manière à recevoir de rapides mouvements de rotation, en sens contraires les uns des autres, au moyen de poulies agissant soit sur l'arbre, soit sur des canons qui l'enveloppent, on voit que des matières projetées au centre par l'ouverture qui y est réservée seront projetées en traversant les premiers barreaux, par l'action de ceux-ci, et broyées par leur choc contre les barreaux de la cage suivante.

La rapide production de cet appareil et l'économie de travail moteur qui résultent du mouvement circulaire continu en font un instrument précieux de l'industrie moderne, et précisément à cause de sa valeur on a été

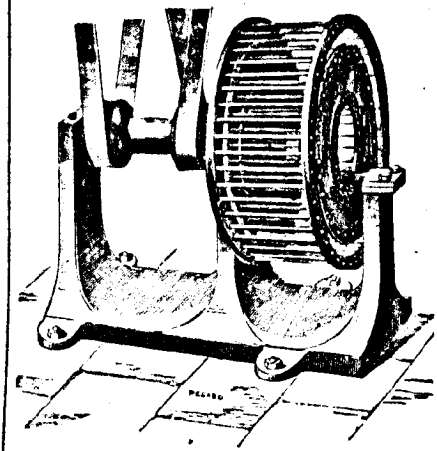


Fig. 2.

disposé à l'appliquer dans des circonstances où il ne convient pas. Comme il a été dit à l'article ENGRAIS, il est précieux pour malaxer, pulvériser le superphosphate de chaux dans les fabriques d'engrais, et en général toutes les matières d'un certain poids et d'un certain volume, qui par suite sont projetées avec force contre les barreaux. Mais il ne convient pas pour des grains légers, élastiques. C'est ainsi que des moulins à blé, construits à Glascow sur une grande échelle, ont bien pu faire de la farine au moyen de grands concasseurs Carr, mus dispendieusement à grande vitesse, mais ont dû cesser leur travail, ne pouvant obtenir les qualités que donne le double effet du concassage par choc et d'écrasement par entraînement circulaire et roulement, produit par la rotation et l'oscillation de la meule du moulin à blé. Il y avait concassage et non mouture.

2. *Appareils agissant par pression.* On *écrase et brise* à bras les corps peu résistants, placés sur un plan horizontal, par l'action d'un cylindre plus ou moins lourd qui roule sur eux, en leur présentant successivement les différents points de sa surface; mais cette action, qui est beaucoup moins considérable que celle produite par le pilon ou par le marteau, n'est employée utilement et économiquement que pour *comprimer* et *aplatir* certaines matières sans les déchirer. On emploie cependant ce moyen depuis un temps immémorial pour broyer le chocolat, sur une pierre horizontale ou concave, au moyen d'un rouleau auquel on imprime un mouvement de *va* et *vient* horizontal parallèle à la pierre.

Concasseur américain. La construction moderne, en apprenant à calculer les résistances et à emmagasiner dans un volant une grande quantité de travail, a permis de résoudre le problème de concasser des corps très-durs par simple pression entre deux plans. Tel est le concasseur américain dont nous avons montré l'emploi pour la préparation des minerais (fig. 3). Une courte manivelle, mue par un arbre muni d'un lourd volant, fait osciller une forte plaque de fonte en redressant des articulations qui la poussent et qu'un ressort ramène. Cette plaque presse contre une paroi fixe les pierres placées dans l'espèce d'entonnoir formé par une partie fixe du bâti et la plaque mobile. Des mouvements alter-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

natifs de peu d'étendue assurent la descente des fragments, et un emmagasinement suffisant de forces vives par le volant assure un concassage rapide et énergique.

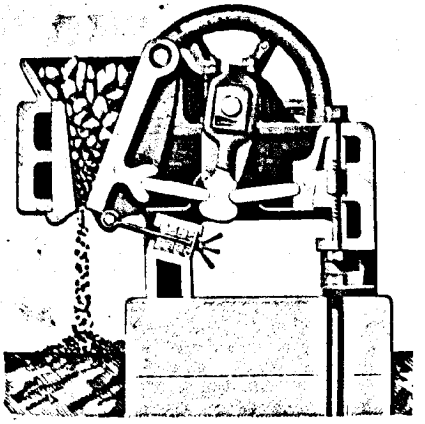


Fig. 3.

Moulins broyeurs. Les moulins à farine à meule horizontale tournante et oscillante sont surtout concasseurs et travaillent tout autrement que les moulins écraseurs, les seuls dont nous ayons à parler ici et qui travaillent si bien d'une manière tout autre que les appareils de cette nature, n'ont jamais pu faire le travail des moulins à blé. Les meules horizontales pesantes, non oscillantes, qui sont employées pour affiner des corps déjà broyés, les pâtes de porcelaine par exemple (Voy. POTERIES), les couleurs, sont des appareils de porphyrisation, genre d'opération dont nous parlerons à la fin de cet article.

Meules verticales. C'est là l'outil domestique, répondant à un genre de machines usitées depuis les Égyptiens et les Romains pour écraser certains matériaux de construction, à savoir l'emploi de lourdes meules de grès ou de granit, coniques ou cylindriques, unies ou cannelées, tournant debout et circulairement sur un autre cône ou sur une plate-forme en pierre dure. Ce même système sert dans les campagnes à écraser les fruits à cidre et les graines oléagineuses. (Voy. HUILE.) C'est surtout dans les poudreries et les huileries mécaniques qu'on rencontre les meules debout et cylindriques, formant un appareil dans lequel la pression due au poids de la meule et le froissement dû à la différence des chemins parcourus par les divers points de son pourtour sont à la fois utilisés, et les seuls perfectionnements qu'elles aient reçus consistent dans une exécution plus exacte de toutes les parties, dans l'addition des râcloirs et surtout dans l'accouplement de deux meules très-voisines, de part et d'autre, d'un même arbre vertical.

La fig. 4 montre une disposition de meules en fonte, à biseau, employées avec succès pour broyer les os et substances cassantes de nature analogue, servant à la fabrication des engrais. Les deux roues tournent dans une auge circulaire dont le fond est formé de barreaux semblables à ceux d'une grille de fourneau. La poudre de la matière soumise au broyage s'échappe, à travers la grille, aussitôt qu'elle se produit et ne peut empâter le reste de la matière.

J'indiquerai ici une curieuse fabrication, qui s'obtient au moyen de meules pesantes, celle d'un produit qu'aucun autre procédé ne permettrait d'obtenir, surtout à aussi bon marché, à savoir celle des billes.

BILLES. La fabrication de ces petites sphères de pierre, qui servent de jouets aux enfants et se vendent

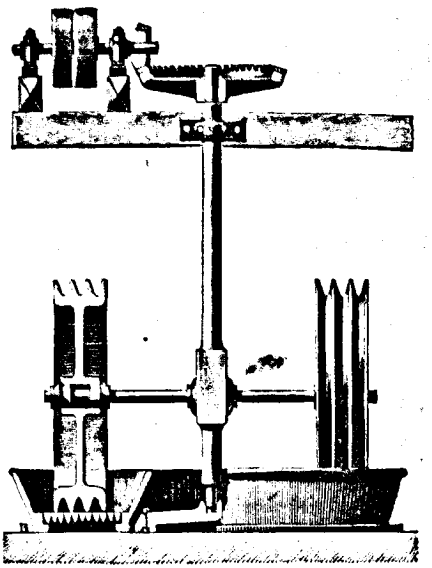


Fig. 4.

à si bas prix, est assez curieuse. Elles viennent principalement d'Oberstein, en Allemagne, où se trouvent des carrières d'agate et de nombreux moulins à polir, servant à la fabrication de divers articles en pierres dures.

Pour les billes de marbre, on emploie une pierre calcaire très-dure, que l'on divise d'abord à coups de marteau en petits cubes presque réguliers. On met 100 ou 200 de ces petits cubes dans une sorte de petit moulin composé d'une meule dormante plate en pierre, sur laquelle sont creusés de nombreux sillons concentriques. Par dessus, on dispose un lourd bloc cylindrique de même diamètre, en chêne ou de quelque autre bois dur, qui est porté par les petits cubes, et que l'on fait tourner dessus en faisant passer un courant d'eau sur la meule dormante. Il suffit de quinze minutes pour terminer les billes, les angles des cubes étant détruits par le roulement et la forme sphérique se créant et se régularisant par le mouvement d'entraînement de la meule. Avec trois paires de meules de ce genre, un établissement peut produire 60,000 billes par semaine.

Pour les billes d'agate, on réduit les pierres en petits morceaux et on les arrondit habilement avec un marteau. On achève ensuite de les régulariser en les usant sur une grande meule en pierre.

Cônes roulants. On diminue la résistance de frottement et on limite l'action à celle d'écrasement produite par le seul poids de l'appareil mobile, en remplaçant la meule verticale par un cône à axe horizontal, tournant sur une surface conique tangente, ayant même sommet que le cône mobile. Tout le monde a vu des appareils pour le malaxage du chocolat fondés sur cette disposition.

Cylindres cannelés, Des cylindres parallèles, agissant comme ceux des laminoirs, sont évidemment très-convenables pour broyer des corps moyennement durs, en produisant beaucoup et rapidement. Nous en avons donné un exemple en traitant de l'extraction de l'étain. La seule difficulté pour le bon fonctionnement est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'assurer l'engagement de la matière à travailler, surtout quand les dimensions des morceaux sont irrégulières, et, en effet, à surfaces lisses ils ne servent guère qu'à affiner des corps déjà réduits en poudre, comme nous le verrons plus loin. On y parvient en cannelant les cylindres, en les munissant de saillies qui augmentent beaucoup l'intervalle entre lequel ils s'engagent, et les saisissent, les broient en se rapprochant. Tel est le broyeur d'os représenté fig. 5.

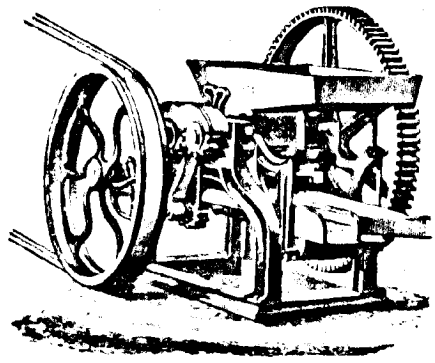


Fig. 5.

Dans quelques cas, on emploie des cylindres cannelés superposés, les plus gros, garnis de plus fortes cannelures, étant placés à la partie supérieure, recevant en premier la matière à broyer, ce qui assure l'écrasement de fragments de grande dimension.

Moulins à noix. En remplaçant les cylindres par des cônes, et faisant tourner le plus petit de ces cônes dans l'intérieur du plus grand, on arrive à la disposition d'un des appareils les plus employés pour le broyage, et qui rendent le plus de services, dit *moulin à noix*. C'est de cette espèce que sont les petits appareils domestiques, les moulins à café, à poivre; et aussi les grands moulins à plâtre, etc..

Pour que l'action du brisement soit énergique, les deux cônes sont entaillés de rainures opposées dont la largeur va en décroissant du haut vers le bas, en raison de la nature de la substance à broyer; la largeur des rainures facilitant l'engagement des matières lorsqu'elles viennent à se rencontrer par la rotation d'un cône intérieur et leurs bords formant ciseau pour les couper. Cette dernière action rend le moulin à noix particulièrement précieux pour le broyage des substances filamenteuses.

Les largeurs et profondeurs décroissantes du haut vers le bas, des rainures; les formes des tranchants, comme les dimensions et les vitesses les plus convenables, doivent être calculées, dans chaque cas, en raison de la matière à travailler.

IV. *Classement des matières broyées.* Les divers procédés de broyage qui viennent d'être décrits nécessitent, si les fragments doivent être classés par grosseurs, une opération ultérieure dont la bluterie des moulins à farine est le type. La gaze qui y est employée n'est autre qu'un tamis circulaire très-fin laissant passer la farine et retenant le son.

C'est, en effet, sur l'emploi de tamis perforés de trous de diamètres convenables ou sur une disposition équivalente que repose ce genre de classement, la trépidation imprimée par des cames étant la condition de fonctionnement des tamisoirs plats.

Il faut, en principe, deux tamis pour obtenir une grosseur, un numéro déterminé. Le premier ne laisse passer que les fragments du diamètre voulu, qui est celui des trous, ou plus petit; le second, dont les trous sont sensiblement moindres que le diamètre voulu, sépare tout ce qui est trop petit. Le résidu récolté sur le tamis est au numéro voulu.

Avec un nombre suffisant de tamis à trous décroissants et en repassant dans l'appareil de broyage tout ce qui ne passe pas dans le premier tamis, on peut classer toute la matière broyée dans une série de numéros.

Pour les poudres très-fines, on a recours soit à un courant d'air qui les transporte plus ou moins loin, en raison de leur finesse, soit à l'agitation dans l'eau où elles se déposent dans des temps croissant avec leur finesse. Nous avons rencontré, en traitant de diverses industries, ces manières d'opérer.

Pulvérisation des bois de teinture. Pour bien comprendre les avantages des machines à triturer les bois de teinture, il faut se rappeler quelques-uns des principes de l'art du teinturier, principes qui ont été si habilement établis par Chevreul, l'un de nos illustres savants français. Certes, nous ne pouvons mieux faire que de citer ses propres paroles:

« Plusieurs matières colorantes propres à la teinture étant déposées par la végétation sur les parties ligneuses, et ces parties insolubles dans l'eau pouvant avoir une ténacité très-forte, il en résulte que, si un bois de teinture n'est pas divisé suffisamment, l'eau dans laquelle on le mettra, afin de préparer un bain colorant, ne pourra agir que très-difficilement sur la matière qu'elle doit dissoudre, pour la céder ensuite à l'étoffe qu'on veut teindre. Dès lors, si l'on veut enlever à la partie ligneuse toute la matière tinctoriale, on se trouvera dans la nécessité de prolonger beaucoup l'action du liquide. On voit donc qu'une division mécanique, qui a pour effet de donner à la matière soluble la plus grande surface possible, est extrêmement favorable aux opérations de teinture par l'économie qu'elle apporte dans la durée de la main-d'œuvre et dans la dépense du combustible, car c'est presque toujours à chaud qu'on traite les bois de teinture. »

Longtemps on a écrasé des bois avec des pilons, disjoint les fibres sous des meules, souvent en altérant les matières colorantes. On a trouvé plus avantageux de diviser le bois à l'aide d'instruments tranchants.

On doit à Vallery une machine fort ingénieuse qui effectue cette division avec une grande perfection et que nous avons décrite ailleurs dans tous ses détails (Voyez EXTRAITS).

Les bois triturés par ce procédé fournissent plus complétement et plus promptement leur matière colorante, qui se trouve par cela même moins altérée; il y a donc économie de temps et de matière pour le teinturier, et amélioration dans la qualité du produit.

Cette extrême division, à laquelle est parvenu M. Vallery, a permis d'employer, dans la teinture, certains bois qui jusqu'alors n'avaient pu l'être en raison de la difficulté d'en extraire la matière colorante. C'est ainsi qu'aujourd'hui on consomme une immense quantité de bois de *santal*, resté jusqu'à ce jour sans usage.

Quelques teinturiers prétendent au contraire que les poudres de M. Vallery offrent de graves inconvénients: qu'elles s'attachent et se fixent aux tissus, de sorte qu'il est difficile, quelquefois même impossible de les enlever par les procédés mécaniques ordinaires. Le fait est vrai lorsqu'on opère sur certaines étoffes de laine avec certains mordants et un excès de poudre, afin de monter la couleur, mais les cas sont rares; et d'ailleurs les industriels habiles ne doivent plus s'effrayer de pareils accidents, faciles à prévoir ou à réparer, quand le savoir et l'adresse viennent à leur secours.

Du reste ces accidents se reproduisent encore plus souvent avec les bois triturés par les procédés ordinai-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

res, particulièrement avec les bois réduits en poudre par des appareils de pression. Cela se conçoit d'autant plus facilement que ces poudres, composées de fragments aplatis irrégulièrement, allongés, fibreux, et très-inégaux dans leur grosseur, *s'enchevêtrent* dans la laine et *brillent* avec elle par l'action de la chaleur du bain de teinture, et par l'affinité chimique elle-même.

Dans une autre manière d'opérer, les bois sont réduits en minces copeaux à l'aide de mécaniques circulaires, qui agissent à la manière d'une varlope; ils n'ont peut-être pas les mêmes inconvénients que les poudres fines, mais il en faut un poids plus grand de ceux-ci que des poudres pour porter les étoffes au même ton de couleur.

Chevreul fait remarquer avec justesse que, si l'on ne doit se servir des poudres de Vallery que longtemps après leur préparation, il faut les soustraire au contact de la lumière et de l'atmosphère, parce qu'elles s'altéreraient bien plus vite, à cause de leur division même, par l'action simultanée de ces agents, que les bois non divisés.

. V. *Des précautions à prendre et des défauts à éviter dans le broiement de certaines matières, eu égard à l'économie publique et à l'hygiène.* Afin de prévenir l'action délétère des poussières de substances dangereuses, qui compromet au plus haut degré la santé des ouvriers, et de rendre impossible toute volatilisation de poudres, telles que celles provenant de la pulvérisation du blanc de plomb, du jaune de chrôme, du vermillon, du vert-de-gris, qui pourraient occasionner la mort; il faut trigation des derniers groupes de molécules, de la disposition de celles-ci sous les formes les plus propres à bien couvrir les surfaces, lorsque le peintre les appliquera avec son pinceau.

Cylindres broyeurs. Au lieu de ce travail coûteux et difficile, on se contente le plus souvent, pour la peinture en bâtiments, de celui des cylindres polis, tel que ceux que représentent les fig. 6 et 7, en tenant compte toutefois de cette observation, que toute machine cylindrique, agissant par le frottement continuel et périodique, produit toujours une matière composée de lames parallèles susceptibles de contracter entre elles une adhérence plus ou moins forte, suivant qu'elles sont plus minces, plus égales et plus homogènes, après avoir été triturées plus longtemps. C'est pour améliorer le sable des fonderies que les fondeurs en fer le compriment ainsi entre des cylindres. Cet effet est déjà un défaut à éviter pour les chocolats (les cylindres servent presque toujours à écraser et comprimer les mélanges du cacao et du sucre), mais surtout pour les couleurs fines préparées pour la peinture, les encres d'imprimerie qui ne doivent manifester qu'une faible résistance qui permette toujours d'isoler et de séparer facilement leurs molécules.

Les cylindres ou laminoirs en granit et en fonte sont utiles pour mélanger avec facilité et économie de travail surtout, l'eau ou l'huile avec les couleurs déjà broyées, séchées et tamisées en poudre fine. Il faut employer préférablement les cylindres en granit, en porphyre ou en pierre lithographique très-durs; et, en effet, le blanc de céruse, broyé avec un cylindre en fer, jaunit au bout d'un certain temps. Le bleu de Prusse, trituré par le même moyen, verdit, les ocres piquent la

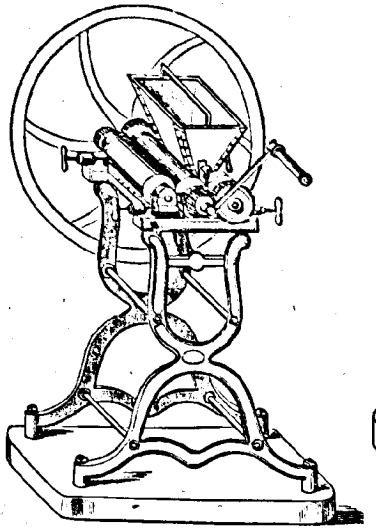


Fig. 6.

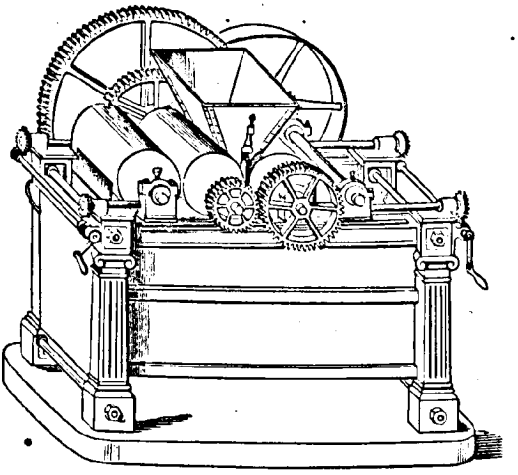


Fig. 7.

turer les corps vénéneux et nuisibles à la santé dans un moulin ou dans un bocard dit *volatilisateur*, lequel bien renfermé dans une enveloppe hermétique, sera établi dans un bâtiment bien aéré, construit selon les règles de l'art et de l'hygiène, et soumis à l'action d'un ventilateur.

BROYAGE OU PORPHYRISATION. On donne encore le nom de broyage à l'opération dont le type est le travail des couleurs à l'huile sur un marbre à l'aide de la molette, d'une pierre dure et pesante mue circulairement à la main. Il ne s'agit plus là de concassage de matières dures, mais de leur affinage, de la désagrégfonte et mettent les cylindres hors de service; le chocolat contracte une odeur ferrugineuse; la vanille perd son parfum, quand le broyage est trop prolongé.

Dans les anciennes machines cylindriques, les paliers supportant les cylindres étaient fixés par des boulons contre une plate-bande du bâti; ces paliers s'éloignaient et se rapprochaient par une vis à double filet et à écrou, qu'il fallait tourner à l'aide d'une clef (fig. 6); ces machines exigeaient beaucoup de temps pour être réglées, même imparfaitement. Pour obvier à cet inconvénient, M. Hermann a rendu dans les machines à trois cylindres (fig. 7) le palier du milieu fixe, les deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autres glissent dans des coulisses et se rapprochent ou s'éloignent simultanément par des vis commandées par une vis sans fin, de manière que, tout en tournant la manivelle de la main droite, on peut régler en même temps l'écartement des cylindres de la main gauche.

Mais, nous le répétons, les lamineirs ne sont réellement utiles et efficaces que pour mélanger les couleurs avec de l'eau ou de l'huile. Il faut, pour obtenir une grande finesse, les broyer ensuite à la molette, agissant par le frottement circulaire et alternatif, afin d'opérer tout à la fois *le mélange intime* de la matière colorante avec le liquide, et de la diviser en particules extrêmement fines, plus arrondies, et par conséquent moins adhérentes entre elles.

Molettes. Les cylindres ne peuvent donner des couleurs aussi finement broyées que le travail à la main, mais il est coûteux et ne s'emploie que pour les couleurs fines. Comme machine produisant mécaniquement le travail de la molette, l'oncelet cite la machine que M. Lemoine, de Paris, destinait spécialement à broyer les couleurs à l'état humide ; elle consiste dans un couple de meules horizontales en pierres dures et pleines, tournant respectivement, l'une inférieure, la plus grande, sur un arbre à pivot vertical, l'autre supérieure, la plus petite de moitié environ, autour d'un arbre parallèle excentrique par rapport au précédent, lié à une potence supérieure à bascule munie d'une surcharge, dont il reçoit, ainsi que sa meule ou molette inférieure, un mouvement alternatif d'élévation ou d'abaissement, qui permet à celle-ci de quitter et reprendre la pâte à des intervalles réguliers, puis de s'en détacher définitivement, après un nombre de révolutions réglé, pour chaque matière, d'après une expérience préalable, et que limite un mécanisme de comptage à sonnerie, pour indiquer l'instant où le jeu de la molette doit s'arrêter et être remplacé par la chute d'une racle servant à ramasser la couleur, etc.

Dans cette même machine, que conduisent des chaînes sans fin imaginées par l'auteur, M. Lemoine s'est évidemment proposé d'imiter le travail manuel de l'ouvrier conduisant si péniblement la molette sur la table de marbre ou de porphyre; mais une telle imitation, toujours difficile, d'une réussite rarement avantageuse ou économique, amène bien souvent avec elle des complications dans le mécanisme. Toutefois, d'après la déclaration du rapporteur de la Société d'encouragement chargé d'apprécier le mérite industriel du moulin de M. Lemoine, cette manière de broyer les couleurs offrirait un avantage équivalant à la moitié ou aux deux tiers environ du travail d'un homme exercé et tour à tour appliqué à l'ancienne molette à la main ou à la manivelle de la nouvelle machine. L'originalité même de son principe, qui a de l'analogie avec celui dont on se sert notamment pour le dressage des glaces, me conduit à faire remarquer que les points en contact des deux meules à surfaces planes décrivant dans leur mouvement relatif horizontal de véritables épicycloïdes, il devrait être possible, à la rigueur, et sans trop modifier les effets, de fixer la meule inférieure qui sert de table à broyer, en obligeant l'axe vertical de l'autre à tourner autour d'un second arbre vertical, également fixe, tout en accomplissant des révolutions plus ou moins rapides autour de sa propre direction; ce qui me paraît d'une réalisation mécanique facile et avantageuse pour tous les cas où la meule inférieure, la table qui porte la matière ou la pièce à travailler, offrirait de très-grandes dimensions, un poids capable d'user promptement la crapaudine qui en supporte le pivot, etc.

Les couleurs de peinture sur porcelaine sont aujourd'hui broyées entre des plateaux en verre par des machines qui répondent au programme ci-dessus.

BRUNISSOIR. Instrument servant à brunir. On nomme ainsi un dernier poli qu'on donne aux surfaces d'or et d'argent, à l'aide du brunissoir, instrument en acier ou en pierre dure qui opère, en écrasant par pression les inégalités ou aspérités qui sont sur les surfaces travaillées.

Lorsqu'il s'agit de brunir une surface, on étend sur celle-ci une dissolution de savon noir dans très-peu d'eau, pour faciliter le glissement, et on frotte avec le brunissoir sur l'endroit humecté, qui ne tarde pas à prendre un poli noir, en comparaison du mat qui l'environne. Cet effet est dû à ce que les rayons lumineux cessent d'être divergents, comme ils l'étaient sur le mat.

On comprend aussi sous le nom de *brunissoirs* les pierres à brunir à l'usage des doreurs sur bois, des relieurs, des porcelainiers, les pierres à lisser et les molettes des lisseurs d'étoffes, de papiers peints, de cartes à jouer, etc. (Voy. PAPIERS PEINTS, CARTES A JOUER, IMPRESSION SUR ÉTOFFES.)

Les brunissoirs et les molettes sont des instruments essentiels à différentes branches de l'industrie et considérés comme tellement essentiels qu'on a vu souvent des ouvriers estimer 50, 60 francs et au-delà, des brunissoirs que leurs pères avaient payés 2 et 3 fr., comme des broyeurs refuseraient 50 ou 60 francs de molettes payées 5 à 6 francs, mais dont ils ont apprécié la qualité par une longue pratique.

Leur fabrication est d'une haute importance pour nos diverses industries qui ne peuvent se passer de brunissoirs, et qui ont souvent beaucoup de peine à se procurer les différentes formes qui leur sont nécessaires pour leurs opérations.

Ainsi:

1° Les bijoutiers, les orfèvres, les doreurs sur métaux se servent de huit formes, ou forces de brunissoirs en pied de biche, d'agate, de silex ou de sanguine, d'hématite rouge (voyez ORFÈVRERIE);

2° Les doreurs sur bois ont quatre formes de brunissoirs d'agate, jaspe et silex; savoir la pierre à gorge, la pierre à bande, la pierre moyenne, et la pierre à meule (voyez DORURE SUR BOIS;

3° Les relieurs et doreurs sur tranche emploient trois formes de brunissoirs à dent, la forte, la moyenne et la petite;

4° Les porcelainiers ont quatre brunissoirs d'agate et de silex en pied de biche pour dégrossir, et quatre d'hématite pour finir;

5° Les lisseurs emploient plusieurs molettes d'agate et de silex de diverses dimensions;

6° Le brunissoir des doreurs sur cuir est un caillou dur et poli, monté sur un manche de bois.

Les brunissoirs en acier à l'usage des orfèvres, serruriers, couteliers, graveurs, horlogers et de la plupart des ouvriers en or, en argent, en cuivre, en fer et en acier sont courbés ou droits, arrondis ou en pointe pour s'approprier aux saillies ou creux de la pièce.

Le brunissoir du graveur est une lame d'acier qui est amincie pour entrer dans les manches à poignée qui servent à le tenir; la partie du milieu est arrondie du côté convexe et aussi un peu courbe; la partie arrondie doit être bien polie, et l'outil trempé dur.

On se sert de ce brunissoir pour donner le dernier poli aux planches de cuivre, en les frottant et en ayant soin de mettre de l'huile pour les lubrifier.

Les brunissoirs en usage dans l'horlogerie sont de diverses formes et grandeurs, ils sont tous d'acier fondu, trempé dur et bien poli: les uns sont taillés en limes à feuille de sauge, d'autres comme des limes ordinaires; les premiers servent à brunir des vis, des pièces de cuivre, les autres servent pour des pièces plates. Les horlogers en ont aussi de petits de cette dernière espèce, pour brunir les pivots; ils les appellent brunissoirs à pivots.

Les brunissoirs habituellement employés pour le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

brunissage de la poterie d'étain sont en acier. Les uns pour brunir la vaisselle, les autres pour la poterie, et les derniers pour ce qui est réparé à la main; on les repasse sur la potée d'étain, et on les mouille à l'eau de savon.

Le brunissage de la coutellerie s'exécute à l'aide de brunissoirs à main et de brunissoirs à étau; ils sont tous d'acier fin trempé et bien poli.

Les premiers n'ont rien de particulier, mais les brunissoirs à étau sont formés et montés d'une manière toute différente; sur une longue pièce de bois prise horizontalement dans l'étau, est posée une autre pièce aussi longue, mais en forme d'arc dont la concavité est tournée en bas. Ces deux pièces sont réunies à une de leurs extrémités par le moyen d'un piton et d'un crochet qui permettent à la pièce de dessus de se mouvoir librement autour de ce point comme centre. Cette pièce courbe porte vers le milieu de sa concavité le brunissoir, qu'on rend plus ou moins saillant par le plus ou moins de longueur qu'on peut donner à son pied. La pièce de bois mobile à l'extrémité opposée au crochet est armée d'un manche qui sert à la manœuvrer comme un levier. Cette disposition permet d'appuyer avec plus de force le brunissoir sur la pièce à brunir, qui est posée sur le morceau de bois fixe. On donne au brunissoir, soit la forme du fer d'un marteau à tête arrondie et polie, pour brunir les pièces planes et convexes, soit la forme de deux cônes opposés par leur sommet et à bases arrondies, pour brunir les pièces concaves et les surfaces annulaires.

Détails sur les procédés de fabrication des brunissoirs en pierres dures. 1° Après avoir fait choix des écailles de silex qu'on distingue par leur beauté, l'homogénéité de la pâte, leur couleur et leur translucidité, qualité à laquelle les doreurs tiennent particulièrement, on dessine sur l'écaille, à l'aide d'un patron de cuivre, la forme du brunissoir; 2° on ébauche avec le marteau, opération délicate qui se fait rapidement, mais qui demande beaucoup d'adresse, et un tour de main qu'on n'acquiert que par une longue pratique; 3° à l'aide de différentes meules, on les dégrossit, puis on les adoucit, et enfin on les termine en leur donnant le dernier poli.

L'agate étant plus dure que le silex pyromaque, quelques personnes ont pensé que les brunissoirs et les molettes d'agate devaient être préférés à ceux de silex; mais l'expérience, le premier de tous les maîtres, disait Bernard de Palissy, qui était le premier praticien de sa fabrique, l'expérience a prouvé la supériorité des brunissoirs à silex sur ceux d'agate; c'est par les mêmes raisons que les pierres à fusil de silex sont supérieures à celles d'agate à cause de leur plus grande résistance, parce que les silex sont moins cassants et moins sujets à éclater par le plus léger choc en porte à faux, et qu'enfin l'agate est trop coulante.

Le travail des matières siliceuses dures se fait très-avantageusement au moyen de scieries mécaniques convenablement disposées.

BURIN. Outil servant à graver qui se compose simplement d'un petit barreau carré d'acier affûté par une de ses diagonales, de telle sorte que la face usée soit un losange, et emmanché dans un manche en bois. Les burins doivent être faits avec le meilleur acier possible, lors même qu'ils ne sont destinés qu'à travailler le bois, sauf alors à leur donner une trempe moins dure; mais leur usage le plus habituel étant de couper le cuivre et même l'acier, ils doivent être généralement trempés durs. Le burin *grain d'orge*, moins employé et plus cassant que le burin *carré*, est taillé plus ou moins obliquement, de manière à présenter un losange beaucoup plus allongé, dont la pointe est *très-friande* et sujette à casser. Ce burin sert à faire des tailles fines et profondes, tandis que le burin carré les fait plus larges et moins creuses. Le graveur a encore d'autres burins; car ce nom s'applique à toute une série de petits outils, tels que échoppes, burins elliptiques formant ogive du côté de la pointe, etc. Le graveur sur bois fait plus particulièrement usage du burin losange, et des *burins échoppes*, qu'il nomme *langue de chat*.

On emploie aussi des burins carrés, ronds, elliptiques, et de formes très-variées pour tourner le fer et l'acier; dans ce cas, on emploie plus souvent le côté que la pointe même.

Il semblerait, à voir un burin, que rien n'est plus facile que de le rendre pointu et coupant, et cependant cette opération est extrêmement difficile à bien exécuter. Communément, l'inclinaison du biseau d'un burin doit être de 40°, et ce biseau doit être parfaitement droit, tant dans le sens de la longue diagonale du losange, que dans celui de la plus courte diagonale qui la croise à angle droit.

C

CABESTAN (*angl.* capstan, *all.* spille, ankerwinde). Le cabestan est un treuil vertical qui se manœuvre au moyen de barres horizontales, qui permettent aux hommes qui le manœuvrent d'agir sans retirer et remettre les barres comme pour le treuil.

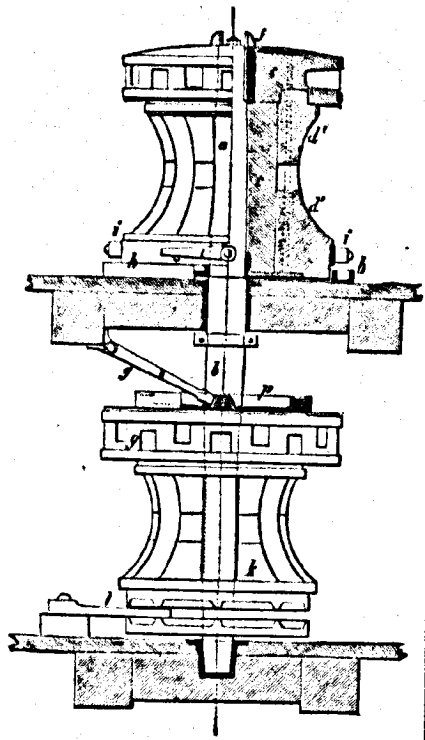
Un des emplois les plus importants du cabestan est celui qu'on en fait à bord des navires pour *dérader*, c'est-à-dire pour détacher l'ancre du fond dans lequel elle est fixée.

Cabestan pour câbles en chanvre. L'axe en fer du cabestan (*a b*, fig. 317), nommé *la mèche*, traverse le pont de la deuxième batterie dans un massif ou *étambrai* disposé à cet effet, et repose par son extrémité inférieure sur une *crapaudine*, ajustée dans une carlingue supportée par les baux de la batterie basse. Dans chaque batterie, la mèche en fer reçoit une *mèche en bois c*, renforcée par des taquets et entremises *d*, *d'*, qui constituent par leur ensemble *la cloche* du cabestan; enfin le cabestan lui-même est complété par le *chapeau g*, consistant en un disque en bois, ajusté à tenon sur la mèche et ses taquets et solidement chevillé avec ces différentes pièces; il est percé, à son pourtour, d'ouvertures rectangulaires dans lesquelles on introduit les leviers horizontaux ou *barres* qui reçoivent l'effort des hommes.

La mèche en fer, disposée comme nous venons de l'indiquer, porte donc deux cabestans, situés dans deux batteries différentes; la cloche inférieure est clavetée à demeure, mais la cloche supérieure est *folle*, et n'est que suspendue sur la mèche par une crapaudine fixée au chapeau; des clavettes longitudinales *f*, ajustées dans des mortaises pratiquées moitié par moitié dans la mèche et dans la crapaudine, permettent à volonté de fixer la cloche à cette mèche, ou de la rendre indé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pendante, suivant qu'on les met en place ou qu'on les retire. Dans le premier cas, on peut réunir sur un seul



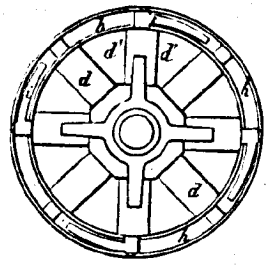


Fig. 317.

des cabestans, sur celui de la batterie basse, par exemple, l'effort des hommes agissant à la fois sur les deux cloches; dans le second cas, au contraire, les deux cabestans sont indépendants et peuvent être employés simultanément à des manœuvres différentes.

Les cloches reçoivent une forme évasée vers le haut et vers le bas, dans le but de faciliter l'opération qui consiste à ramener vers la partie centrale les tours de cordages garnis au cabestan, lorsqu'ils sont arrivés aux extrémités de la cloche, ou, suivant l'expression consacrée, lorsqu'il y a lieu de *choquer;* quelquefois l'inclinaison des surfaces est assez prononcée pour que cette manœuvre s'opère, d'un mouvement continu, et

simplement par les effets combinés de la tension et du frottement que le cordage éprouve sur la cloche; lorsque cette condition est remplie, le cabestan est dit à *choc continu*.

Le cabestan de la batterie basse est spécialement affecté à la manœuvre des câbles, mais ceux-ci sont trop gros et trop roides pour pouvoir y être enroulés directement, et l'effort de traction leur est transmis par l'intermédiaire d'un cordage de moyenne grosseur nommé *la tournevire*. La tournevire est garnie au cabestan et amarrée sur le câble, à l'aide de garcettes, tout le long de la portion qui s'étend depuis l'écubier jusqu'au grand panneau, par lequel il pénètre dans la cale; la liaison du câble et de la tournevire étant ainsi établie, on vire au cabestan, et à mesure que le câble est entraîné, des hommes détachent les garcettes qui se présentent au panneau, tandis que d'autres en attachent de nouvelles sur le brin libre de la tournevire, que l'on ramène constamment à l'écubier. La tournevire est confectionnée en chanvre de premier choix, en sorte qu'à section égale elle présenterait une résistance supérieure à celle d'un câble ordinaire; en outre, n'étant jamais mouillée, elle n'est pas exposée aux causes d'altération que subit le câble; c'est pourquoi malgré son diamètre réduit, elle peut suffire à rentrer celui-ci, alors même qu'il est quelquefois chargé à la limite de ce qu'il peut supporter.

Pour soulager les hommes qui virent au cabestan, et leur permettre de se reposer sans attendre que l'on ait bossé les câbles, les cabestans sont munis de *linguets* qui les empêchent de dévirer; ceux du cabestan supérieur sont fixés à la base de la cloche (fig. 317 *i*) et tombent par leur propre poids dans une couronne creuse *h*, ou *saucier*, fixée sur le pont, et présentant de distance en distance des arrêts saillants qui n'opposent aucun obstacle lorsque l'on tourne dans une certaine direction, mais qui, dans la direction contraire, arc-boutent les linguets et rendent tout mouvement impossible; les linguets du cabestan de la batterie basse *g* sont articulés sur les baux du pont supérieur, et agissent sur un saucier *p*, boulonné sur le chapeau.

Cabestans à couronne, pour câbles-chaînes. — Primitivement les câbles en chaînes ont été manœuvrés comme les câbles en chanvre, à l'aide de la tournevire; mais on n'a pas tardé à se dispenser de cet intermédiaire en adoptant les *couronnes à empreintes*, imaginées par M. Barbotin, officier de vaisseau; cet appareil consiste, ainsi que l'indique son nom, en une couronne en fonte *k* (fig. 318) adaptée à la partie inférieure de la cloche du cabestan, et dont le pourtour présente l'empreinte d'un nombre exact de maillons, ordinairement 8; la chaîne convenablement dirigée s'emboîte et engrène avec cette couronne, et se trouve entraînée avec elle dans son mouvement de rotation. Lorsque l'on vire au cabestan, les maillons engagés dans les empreintes viendraient bientôt rencontrer ceux qui s'enroulent, et le fonctionnement du cabestan se trouverait entravé; pour éviter cet embarras, on engage dans la cannelure horizontale de la couronne deux espèces de couteaux *l. l.* (fig. 318), nommés les *désengreneurs*, qui repoussent les maillons engagés, après une demi-révolution à peu près et les font retomber sur le pont. Après avoir quitté la couronne, les chaînes doivent redescendre dans la cale par une ouverture percée dans le pont, du même bord que leur écubier, et par conséquent du même bord que le brin qui s'enroule au cabestan; mais le brin qui se déroule se trouve naturellement reporté du bord opposé, et pour le ramener à la position voulue, on se sert de rouleaux en fonte *m, m, m*, dont les axes verticaux sont fixés sur le pont, et qui lui font décrire le circuit nécessaire pour revenir au manchon de descente.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le système des cabestans avec couronne à empreinte est exclusivement employé dans notre marine

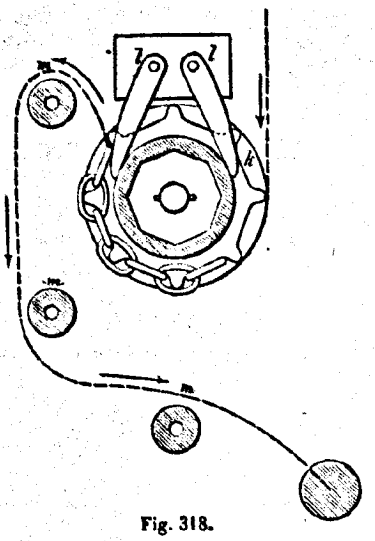


Fig. 318.

militaire; on le considère, en général, comme très-satisfaisant, mais il exige que les chaînes soient *régulières*; cette condition est remplie depuis longtemps pour celles fabriquées à la Chaussade, et en outre les maillons extrêmes et les manilles de jonction sont combinés de manière à s'accorder avec les empreintes; cependant cette concordance n'a lieu que si le maillon de jonction sans étai se présente horizontalement; lorsque l'on placera la chaîne sur la couronne, on devra donc veiller à lui donner cette direction, mais pour obtenir ce résultat, on n'aura pas besoin d'aller chercher un maillon de jonction, ce qui pourrait quelquefois être assez difficile, et il suffira de placer verticalement sur la couronne un maillon marqué sur l'étai d'un *repère pyramidal*; des repères semblables sont placés sur les maillons de 8 en 8, en sorte que l'on n'a jamais de peine à en trouver un et à le présenter convenablement sur la couronne. Faute de cette précaution, la chaîne serait exposée à décapeler, et il pourrait en résulter de sérieux accidents.

Cabestans à gorge pour chaînes irrégulières. — En Angleterre, on ne fait pas usage de la couronne Barbotin, les chaînes ne sont pas *régulières* et ne sauraient fonctionner avec cet appareil; on manœuvre les câbles avec la tournevire, ou l'on emploie des cabestans, munis à la partie inférieure d'une sorte de poulie à gorge très-creuse (fig. 319), présentant de distance en distance quelques cannelures saillantes; les chaînes qui s'y engagent sont coincées entre ses faces obliques, et le frottement, ainsi que la résistance des arrêts saillants suffisent pour les entraîner.

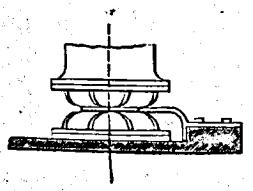


Fig. 319.

Ce système convient à des chaînes irrégulières, et peut même fonctionner avec des calibres très-différents; cependant il ne présente pas autant de sécurité que la couronne Barbotin, qui commence d'ailleurs à être employée également en Angleterre.

Cabestans multiples. — Pour les bâtiments de fort tonnage, armés commercialement, comme les paquebots ou les grands transports à hélice de la marine militaire, l'équipage ne serait pas assez nombreux pour le service des deux cloches d'un cabestan ordinaire, car leurs ancres sont de la plus forte dimension. On emploie alors des cabestans à une seule cloche munis de mécanismes à engrenage propres à multiplier l'effort produit par les hommes; il a été imaginé un grand nombre de ces mécanismes; le plus simple, quoique déjà assez ancien, est celui du capitaine Philippe, de la marine anglaise, il a été appliqué en France sur les paquebots transatlantiques construits en 1840, et, plus récemment, à quelques variantes près, sur les transports à hélices; nous le représentons dans la figure ci-jointe (fig. 320). La couronne à empreinte est fixée à la cloche, qui est *folle* sur la mèche, celle-ci est à long pivot, et maintenue en direction par son passage dans l'étambrai *a*, et par son ajustement avec une crapaudine *b*, encastrée dans le pont inférieur; le chapeau est fixé à la mèche au moyen de clavettes mobiles *f f*; la mèche porte un pignon *c* de rayon *r*, engrenant avec trois roues *d*, *d*, *d*, du même rayon *r*, dont les axes sont fixés sur le pont, et qui engrènent

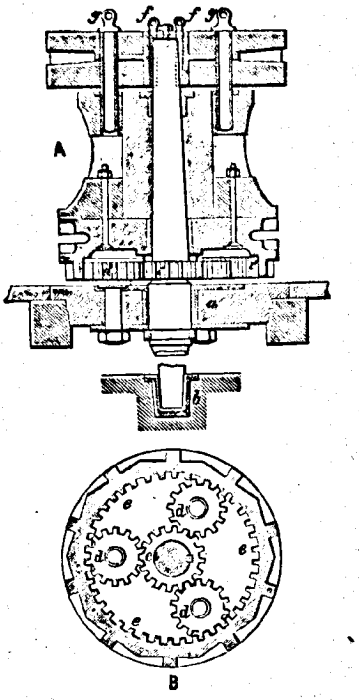


Fig. 320.

elles-mêmes avec une roue dentée intérieurement *e*, de rayon *R*, formée par un rebord de la couronne à empreinte, qui recouvre et renferme tout ce mécanisme.

Pour un tour complet de la mèche, l'angle décrit par la cloche est égal à la circonférence entière divisée par rapport $\frac{R}{r}$, et l'effort des hommes est multiplié par le même rapport.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque l'on n'a pas besoin de développer une grande puissance, on réunit le chapeau à la cloche à l'aide de boulons de jonction *g g* ; on enlève les clavettes *f f*, et le cabestan agit à la manière ordinaire, en tournant autour de la mèche, avec cette différence cependant que celle-ci reçoit un mouvement de rotation spécial qui lui est transmis par les engrenages.

Des guindeaux. — Dans les bâtiments de commerce de 3 à 600 tonneaux, on préfère les *guindeaux* aux cabestans. Les guindeaux sont des treuils sous leur forme primitive, disposés horizontalement à l'avant du navire; les câbles ou les chaînes y sont enroulés à plusieurs reprises, et les hommes les manœuvrent au moyen de barres implantées perpendiculairement à leur axe. Leur encombrement est peu considérable; ils laissent le pont entièrement dégagé, et les hommes y développent beaucoup plus de travail que sur le cabestan. Sur les grands bâtiments, on fait beaucoup usage de *guindeaux-pompes*, dans lesquels la transmission de mouvement a été perfectionnée avec un soin tout particulier; les barres ordinaires sont remplacées par une brimballe, articulée au sommet du bitton qui forme le point d'appui des linguets : cette brimballe agit, par l'intermédiaire de deux bielles, sur des encliquetages à rochets, qui communiquent finalement au guindeau le mouvement de rotation : dans ce système, les leviers s'équilibrent, et les hommes n'ont à dépenser aucun travail pour les ramener à leur position initiale.

Sur les bâtiments à vapeur, on commence à faire usage de guindeaux mécaniques, ou plutôt de treuils à engrenages, mis en mouvement par deux petites machines à vapeur spéciales, conjuguées sur des manivelles à angle droit, et alimentées par les chaudières du moteur principal; ces appareils sont d'un grand soulagement pour l'équipage toutes les fois que les feux sont allumés; mais ils ne dispensent pas de l'établissement des cabestans ou des guindeaux ordinaires, qui doivent servir lorsque l'appareil moteur n'est pas sous vapeur.

CABLES ET CORDES (*fabrication des*) (*angl.* rope-machines, *all.* kettentaue und seil fabrication). La fabrication des cordes se divise en deux parties : *filer* et *commettre*. La première opération a pour objet de réunir les fibres filamenteuses, aussi également que possible, en les faisant adhérer par une torsion suffisante, pour que les fibres rompent plutôt que de glisser les unes sur les autres. Le *fil de caret* ainsi préparé a donc la même résistance que si les fibres étaient de toute la longueur du fil. Le commettage consiste dans la réunion des fils de caret, pour en former les cordes et câbles ayant une résistance convenable pour l'emploi auquel on les destine.

I. *Filature.* Les procédés mécaniques de filature pour les fils destinés à former les tissus, que nous indiquerons à l'article FILATURE du lin et du chanvre, ou au moins des procédés analogues pourraient sans doute s'appliquer à la filature du fil de caret. Des recherches faites en Écosse, par M. Buchanan, paraissant avoir eu du succès, néanmoins nous n'avons pas eu connaissance qu'il en soit résulté une exploitation sérieuse, pas plus que du brevet qui avait été pris en France par M. C. Demarçay, pour l'exploitation de ces procédés. C'est qu'outre les difficultés qu'on rencontre à obtenir des fils aussi lisses que ceux que procure le travail à la main, et à employer les fibres dans toute leur longueur, la façon qu'il s'agit ici de donner au chanvre n'est pas d'assez grande valeur pour pouvoir permettre des frais de transport considérables, et ce ne serait pourtant que par une fabrication importante qu'on pourrait recouvrer l'intérêt de machines coûteuses. Jusqu'à ce jour, et longtemps encore probablement, la fabrication du fil de caret se fera manuellement par les procédés bien simples que nous allons décrire. Il n'en est pas de même du commettage pour lequel les machines ont été adoptées avec avantage, plutôt cependant pour obtenir des produits plus parfaits que par raison d'économie.

Les outils nécessaires au cordier consistent : en un rouet faisant tourner plusieurs crochets coudés; en râteliers destinés à supporter le fil pour l'empêcher de tomber à terre; enfin, en dévidoirs ou *tourets* servant à enrouler le fil quand il est fabriqué.

Le cordier s'étant mis autour de la ceinture une quantité convenable de chanvre bien peigné ou *filasse*, en accroche l'extrémité à un crochet que le rouet met en mouvement; puis marchant en arrière il cède de la main droite la quantité de chanvre suffisante, qui se tord par l'action du rouet; tandis que de la main gauche, il serre ce fil, un peu en avant, au moyen d'une lisière de drap dite *paumelle*. Le tortillement étant arrêté par cette pression, il étend la filasse entre ses deux mains et ne fait glisser la main gauche qu'à mesure qu'il l'a disposée convenablement.

Les fileurs réunissent successivement leurs fils à l'extrémité des fils des ouvriers voisins, au moyen des bouts non tordus et continuent ainsi jusqu'à ce que le touret sur lequel on enroule ces fils soit rempli. On le porte alors au magasin.

Un bon fileur peut faire dans sa journée 30 à 35 kilogr. de fil de caret. Le déchet ne doit pas dépasser 4 p. 100 pour les chanvres de bonne qualité, ni 10 p. 100 sur ceux de qualité inférieure. C'est le plus souvent sur les fils que se fait l'opération de goudronnage nécessaire pour les préserver de l'action destructive de l'humidité, quand ils doivent être employés dans la marine. Cette opération s'exécute pour le mieux en faisant passer le fil d'un touret sur un autre en le forçant, par le moyen d'un rouleau de pression, à traverser une chaudière remplie de goudron chaud. Pour que le fil n'en prenne pas trop, on le fait tourner en hélice, à sa sortie de la chaudière, sur une corde de crin inclinée, et renfermée dans un tube chauffé par le passage de la vapeur provenant du bain marie qui sert à chauffer le goudron. De cette manière l'excédant de ce dernier retourne à la chaudière.

Quelquefois on fait passer le fil à la sortie de la chaudière à travers une espèce de pince chargée d'un poids, qui enlève le goudron excédant.

On a trouvé avantage à débarrasser le goudron de tout principe soluble en le faisant chauffer avec de l'eau avant de l'employer, et de tout principe acide en le chauffant jusqu'à ce qu'il prenne la consistance de la poix et lui rendant sa fusibilité par l'addition de substances grasses, telles que le suif, ou des huiles animales.

Les cordes goudronnées offrent un peu moins de résistance que les cordes blanches, mais durent plus longtemps. Le goudronnage par fils est bien préférable à celui du câble entier, puisque l'eau pénètre bientôt ce dernier, qui n'est recouvert de goudron qu'à la surface. On se contente néanmoins de cette opération pour les cordages servant aux manœuvres dormantes.

II. *Commettage des fils.* Les fils de caret étant fabriqués, il faut les commettre, c'est-à-dire les tordre ensemble pour obtenir les cordes et cordages. Ces derniers seront d'autant plus réguliers et par suite offriront d'autant plus de résistance que les fils de caret employés seront plus fins, mais l'économie oblige à en employer de diverses grosseurs, habituellement de trois numéros dans les arsenaux de la marine.

Une observation assez importante c'est qu'il est bon de garder les fils de caret quelque temps en magasin avant de les commettre; les fibres longtemps tordues ne tendent plus que très faiblement à se redresser.

Décrivons d'abord le commettage de deux fils, ou de la ficelle, qui se fait aussi quelquefois à trois fils. Le procédé est le même que pour les gros cordages, mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CABLES ET CORDES.

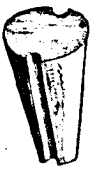
pour ceux-ci nous décrirons les procédés mécaniques du capitaine Huddart (de la marine anglaise), adoptés dans les arsenaux anglais et avec quelques légères modifications dans les arsenaux français.

Le cordier dévidant le fil des tourets et le plaçant sur les chevalets, va l'attacher à un poteau situé à une distance égale à la longueur qu'il veut donner à la ficelle. Il en place un second parallèlement au premier, ou mieux, c'est le même fil qu'il passe sur un crochet ou une petite poulie que porte le poteau de manière que le second fil n'est que le prolongement du premier, ce qui permet de donner plus facilement une égale longueur aux deux fils. Il prend ensuite les fils à leur point de réunion au poteau et les accroche à un *émérillon*. Celui-ci (fig. 321) se compose d'un crochet, dont l'axe tourne librement dans une douille, laquelle porte un anneau qu'on attache à un chariot, qui peut avancer ou reculer, et qu'on charge plus ou moins de pierres, suivant qu'on veut obtenir un commettage plus ou moins dur. Pour les forts cordages on établit un peu en avant des tourets le *chantier à commettre*. Celui-ci se compose de pièces de bois solidement fixées dans le sol, destinées à porter des manivelles, à l'extrémité desquelles on adapte les extrémités des fils à commettre. Pour la ficelle le rouet du cordier suffit parfaitement.

321.

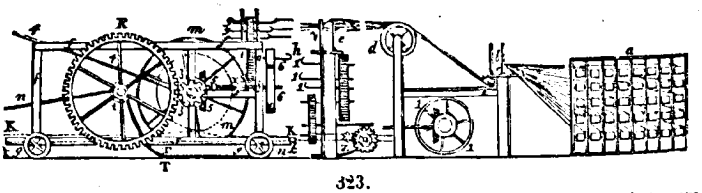


Il est clair qu'en faisant tourner le rouet, les deux fils s'enrouleront l'un autour de l'autre, de manière à produire une corde. Pour que cet enroulement soit régulier le cordier se sert du *toupin* (fig. 322). C'est un morceau de bois en forme de cône tronqué de grosseur proportionnée à la corde qu'on veut faire; il est sillonné de rainures en nombre égal à celui des fils qu'il s'agit de commettre.



322.

Le toupin étant placé près de l'émérillon, on fait tourner le rouet. Chacun des fils se tord également puisqu'ils sont parfaitement égaux en grosseur. Quand la torsion est suffisante, l'ouvrier éloigne le toupin de l'émérillon et le fait glisser entre les fils jusqu'auprès du rouet. Les fils se réunissent en roulant l'un sur l'autre et forment une corde qui ne tend plus à se détordre par son élasticité, comme le fait le fil de caret abandonné à lui-même.



323.

Ceci demande à être bien compris. Nous empruntons à M. Boitard (*Manuel du cordier*) le passage suivant qui fait parfaitement apprécier pourquoi il en est ainsi.

« Pendant que le toupin était contre l'émérillon, les deux fils ont été tors chacun en particulier, et ont acquis chacun un certain degré de force élastique qui tend à les détordre ou à les faire tourner dans un sens opposé à celui dans lequel ils avaient été tortillés, dès qu'on leur en aura donné la liberté, ce qui se fait sentir par l'effort que le toupin fait pour tourner dans la main du cordier. Aussitôt que le cordier aura écarté le toupin de l'émérillon, la partie du premier fil qui se trouve entre le toupin et l'émérillon, étant en liberté, tendra par la force élastique qu'elle a acquise par le tortillement, à tourner dans un sens opposé à ce tortillement; c'est-à-dire, que si les fils ont été tors de droite à gauche, la partie du premier fil comprise entre le toupin et l'émérillon, qui sera en liberté, tendra à tourner de gauche à droite, et elle tournera effectivement en ce sens par la seule élasticité, en faisant tourner avec elle le crochet de l'émérillon. De même, le second fil ayant été tors de droite à gauche, la partie de ce fil comprise entre le toupin et l'émérillon tendra aussi à se détortiller, et à tourner de gauche à droite, et effectivement, elle tournera dans ce sens, et fera tourner le crochet mobile de l'émérillon.

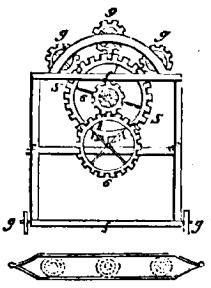
« Il en résulte, que les deux fils, tournant dans le même sens, s'ils n'étaient pas réunis, et qu'ils fussent attachés à deux émérillons séparés, ne feraient que se détordre. Mais, comme ils sont attachés au même crochet, et qu'ils ne peuvent pas tourner autour d'un même axe sans se rouler l'un sur l'autre, les deux fils, par leur seule élasticité et par l'effort qu'ils font pour se détordre, se roulent l'un sur l'autre, mais dans un sens opposé à celui dans lequel ils avaient été tortillés séparément, de sorte que la ficelle ou le bitord se trouve entortillé dans un sens opposé à celui des fils qui le composent.

« On voit : 1° que la portion des fils qui est entre le toupin et la roue, perdrait tout son tortillement, si le cordier n'avait pas soin de faire tourner la roue à mesure qu'il en approche le toupin; 2° qu'une corde ainsi commise reste sans perdre son tortillement.

« Le tortillement des fils augmente nécessairement leur élasticité, et l'effet qui résulte de cette élasticité est de détordre les fils, parce que les fibres, ainsi que nous l'avons dit, font ressort et s'efforcent de reprendre leur première position. Cet effet ne peut s'opérer sans que les fils se roulent les uns sur les autres, c'est-à-dire sans qu'ils se commettent, sans qu'ils forment une corde; mais comme le tortillement des fils diminue à proportion que la pièce se commet, et qu'il faut plus de force pour tordre beaucoup deux fils l'un sur l'autre, que pour les tordre peu; il s'ensuit que la puissance d'élasticité des fils diminue, que la résistance, qui est l'effort qu'il faut pour rouler les fils l'un sur l'autre, augmente; quand cette résistance est égale à la force d'élasticité, tout reste en équilibre. »

Il va sans dire que le fil se raccourcit pendant le commettage, c'est pour cela que l'émérillon est, soit tenu à la main quand on fait de la ficelle, soit attaché à une partie qui peut se mouvoir par de plus grosses cordes. C'est par cette diminution de longueur qu'on évalue le degré de torsion. Elle ne doit pas dépasser le quart de la longueur. Une torsion trop forte mettant les fibres du chanvre dans un état de torsion exagéré, les rend susceptibles de se rompre avec

324.



325.

326.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

CABLES ET CORDES.

la plus grande facilité. On appelle *aussière* le cordage fait de plusieurs fils commis et tordus ensemble; l'assemblage de deux brins s'appelle *bitord*, de trois, *merlin*. Le commettage de plusieurs aussières forme le *grelin*, qui prend le nom de *câble* quand il est de forte dimension.

Passons maintenant à la description de la machine à commettre du capitaine Huddart, qui a permis de fabriquer des cordages bien plus parfaits et bien plus réguliers que ceux obtenus par les anciennes méthodes.

Machine pour la fabrication des aussières. La fig. 323 est l'élévation longitudinale de cette machine et du dévidoir placé en tête de la corderie. La fig. 324 est une élévation de face du chariot. La fig. 325 représente le guide-fils, plateau percé de trous servant à guider les fils avant leur entrée dans la pince. La fig. 326 donne une élévation de face et une élévation latérale de la pince qui comprime la corde.

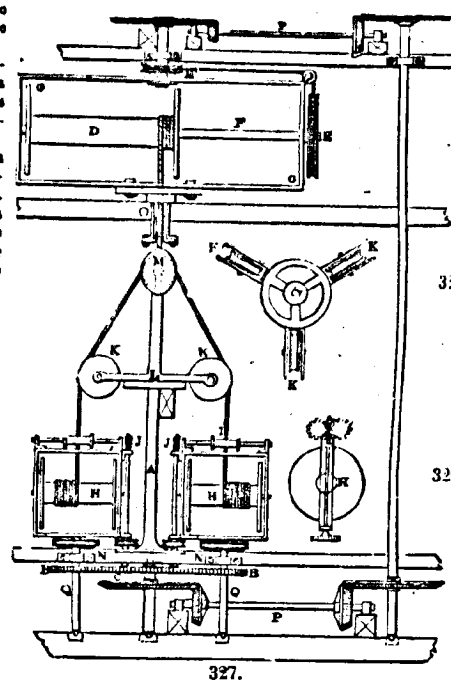
a, est un châssis sur lequel reposent les bobines qui portent les fils. Ceux-ci traversent un guide-fils *b*; *c*, est un petit rouleau sous lequel passent les fils de caret; de là ils passent sur la poulie *d*, puis à travers un autre guide-fils *e*, et se réunissent dans la pince *s*, tandis qu'ils s'enroulent et se tordent par l'action du chariot; les mouvements du rouleau et de la poulie sont disposés de manière à faire varier la vitesse d'arrivée du fil.

Le chariot est porté sur un chemin de fer; *ff*, est le châssis du chariot; *g*, *g*, de petites roues sur lesquelles il est porté; *k k*, une corde sans fin s'étendant d'une extrémité à l'autre du chemin de fer, et mue par une machine à vapeur; *m m*, est une roue assemblée à une poulie sur laquelle passe la corde sans fin, qui met le chariot en mouvement.

Vers l'axe de *m m*, sont deux roues dentées 3, 3, folles sur leurs axes, mais que l'on peut en rendre solidaires au moyen de clefs. L'une fait tourner les fils dans un sens, l'autre dans le sens opposé. *4 4*, est un levier qui sert à mouvoir les clefs dont nous venons de parler; 55, est une roue d'angle qui reçoit son mouvement des deux roues, et le communique dans un sens ou dans l'autre aux deux roues dentées 6, 6, au moyen de l'arbre *x*. On peut remplacer ces roues à volonté par deux autres de diamètres différents de manière à faire varier la vitesse de torsion. La roue supérieure met en mouvement l'axe *o*, sur lequel est monté la roue S, qui met en mouvement les pignons *g*, *g*, *g*, auxquels les fils sont attachés. Nous avons déjà vu comment le mouvement de la roue 3 se communiquait au chariot, le long du chemin de fer, par l'enroulement d'une corde autour d'un tambour monté sur le même axe. Le mécanisme représenté en Z, composé d'un rouleau portant une roue dentée et d'un pignon, sert à tendre la corde au degré convenable. Quand, par le mouvement du chariot, on a tordu les fils au degré voulu, et qu'on les a étirés à la longueur désirée, on les coupe, et on les attache aux crochets *1*, *1*, *1*, puis on fait agir l'autre roue 3, et on les tord par les deux bouts. On réunit alors les extrémités au grand crochet *h*, on place le toupin et on termine la corde par les procédés ordinaires.

Machines à commettre les cordages C'est surtout dans le commettage des forts cordages, des gros câbles que l'emploi des machines est avantageux. Nous allons donner la description de la machine la plus perfectionnée qui ait été adoptée pour ce genre de travail.

Elle est représentée dans les fig. 327, 328 et 329. A est une forte colonne verticale en fer, supportée par les poutres horizontales N, N, et portant à sa partie supérieure le toupin à 3 rainures M. H, H, H, sont de grandes bobines autour desquelles sont enroulés les torons élémentaires; ils sont emportés par la rotation de celles-ci en passant toujours sur les poulies K, K, K,



327.

328

329

qui les guident, et de là sur le toupin. Enfin ils passent à travers le tube O, pour s'enrouler ensuite sur la bobine D. Les bobines H, H, H, tournent sur leurs axes Q, Q, Q, qui portent des roues dentées B, B, B, engrenant avec une roue centrale C. De cette manière, chaque toron est tordu au point convenable, tandis que le cordage est tordu en sens inverse pour le commettage par la rotation de la bobine D, qui a lieu en sens inverse autour de l'axe passant par O E.

Le dévidoir D se meut pour enrouler le cordage au moyen d'une courroie passant sur les deux poulies E, E.

La fig. 328 représente l'anneau portant les 3 poulies conductrices K, K, K, qui font entre elles des angles de 120°. La fig. 329 est une vue de profil de la bobine H, représentant les vis sans fin J, J, J, qu'on voit fig. 327, et qui agissent sur 2 petites roues dentées placées sur les extrémités de deux rouleaux I, I, qu'elles font tourner. L'axe de ces vis est mis en mouvement par des poulies et des courroies placées à la partie inférieure. Au lieu de courroies on peut employer des roues dentées pour éviter tout glissement.

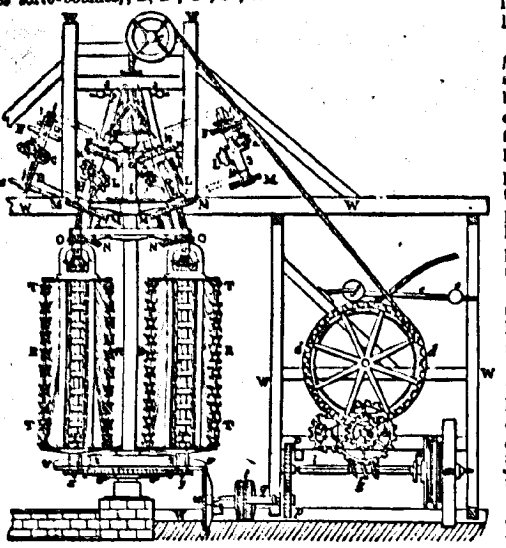
M. *William Norwell*, de Newcastle, a pris en 1833 un brevet pour une machine représentée dans la fig. 330, qui a pour but de faire en une seule opération le commettage des torons et celui des cordages. Nous allons en donner une description succincte, bien que sa complication nous paraisse en rendre les résultats moins certains que ceux des machines que nous venons de décrire. Elle est du reste fondée sur les mêmes principes.

Les fils du caret sont enroulés sur des bobines montées sur des axes, qu'on dispose ainsi que le représente la figure. 3 tubes ou plus reçoivent les torons autour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CABLES ET CORDES.

des toupins a, a (ces torons se forment par la rotation des sorte-bobines); B, B^1, B^2, B^3, sont des vues de la



330.

disposition des parties de la machine après le commettage des torons.

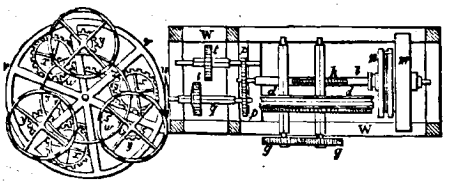
Des rouleaux portant des roues dentées ou des courroies, comme on le voit en B, empêchent le toron de glisser, et font qu'il fait corps avec le tube à travers lequel il passe. Ces tubes servent à donner une égale tension aux torons, au moyen des roues F, G, H, mues par l'axe, et qui égalisent le mouvement et la tension du toron.

M, M, sont des roues qui peuvent être changées à volonté, et qui servent à donner au toron une tension initiale convenable.

Le toupin qui sert au commettage du cordage est en métal et de deux pièces, les torons passant à l'intérieur, il ne peut passer de partie irrégulière. Sous cette pression, la corde est lissée en même temps qu'étirée par la bobine d'envidage, ce qui assure la résistance des cordes ainsi fabriquées.

Nous avons décrit les différences principales de cette machine avec celle précédemment décrite. Il est inutile de la décrire plus en détail, l'examen de sa figure la faisant aisément comprendre. Nous nous contenterons d'indiquer la modification qu'on doit y apporter pour tordre les cordes en sens inverse, ce qui est quelquefois désirable :

On remplace la roue v qui imprime le mouvement à la partie inférieure, par le système représenté fig. 331.



331.

Le pignon d'angle u entraîne la roue v, qui porte les tambours R, R, et les met en mouvement; w est une roue immobile placée au centre, et le mouvement deviendra rétrograde par l'introduction des roues auxiliaires x, x, qui agiront sur les roues y, y, solidaires avec les tambours.

III. — *Des substances qui peuvent servir à fabriquer les cordes.* Il est clair que toutes les substances filamenteuses peuvent servir à fabriquer des cordes, et que la résistance sera en proportion de la force et de l'élasticité des filaments. Le *phormium tenax*, l'*aloès*, les filaments de coco, le coton, etc., ont été employés et peuvent être avantageuses pour certains pays et certains usages, mais pour nos pays, où la culture du chanvre réussit si bien, l'étude de ces divers matériaux est sans importance. Les procédés de fabrication resteraient au reste tout à fait les mêmes.

Nous devons seulement citer le lin comme susceptible d'être employé avec avantage pour la fabrication de cordes très fines d'une grande résistance.

CABLES PLATS. La roideur des cordes étant une résistance passive fort importante quand la corde doit être enroulée sur des tambours, on emploie avec avantage, dans ce cas, des câbles plats, c'est-à-dire formés d'aussières juxtà-posées et cousues ensemble par du fil retors.

On peut voir dans le Dictionnaire de l'Industrie la description du mécanisme employé pour percer, avec une régularité parfaite, les trous qui doivent livrer passage aux fils.

CABLES EN FIL DE FER. L'usage du fil de fer pour la fabrication des cordages et des câbles date déjà de plusieurs années, mais la difficulté de la fabrication ayant obligé les auteurs des premiers essais à employer des fils de fer soumis préalablement au recuit, opération qui diminue de $\frac{1}{3}$ au moins la ténacité des fils, les résultats ne furent pas complétement satisfaisants, et l'on éprouva même, dans quelques mines, des ruptures de câbles.

Peu de temps après, on parvint à se servir de fil de fer non recuit; les câbles ne furent plus exposés aux ruptures, firent un service de plus longue durée, et se trouvèrent, à résistance égale, être d'un poids beaucoup moindre que ceux de chanvre; aussi l'usage s'en est-il déjà propagé dans un grand nombre de houillères et de mines allemandes.

On a, en outre, trouvé depuis le moyen de diminuer la roideur de ces câbles, en plaçant, à leur centre, une *âme de chanvre goudronné* qui les rend presque aussi flexibles que ceux de chanvre et les préserve de l'oxydation à l'intérieur. Cette dernière modification a été, en France, l'objet d'un brevet d'importation, délivré à MM. *Végni* et compagnie, rue Grange-aux-Belles, et mis à exécution dans l'usine de Toutes-Voics, appartenant à MM. *Colliau* et compagnie, passage des Petites-Écuries, à Paris.

Ces câbles, exécutés par des procédés mécaniques, sont à la fois solides et réguliers, et peuvent être établis en fils de fer beaucoup plus gros que ceux dont on s'était servi jusqu'à présent, ce qui les rend beaucoup moins sujets à l'oxydation. Leur force étant au moins trois fois plus grande que celle des câbles en chanvre, tandis que leur prix au kilogramme est à peu près égal, il en résulte, sur le prix d'achat, une économie considérable, augmentée encore par leur plus longue durée et par la valeur qu'ils conservent lorsqu'ils sont usés.

Ces cordes, avec ou sans âme en chanvre, ont été l'objet de plusieurs expériences publiées en Angleterre, et nous pouvons citer, en premier lieu, des résultats d'épreuves faites par ordre de l'amirauté sur des cordages qui, destinés aux manœuvres dormantes des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bâtiments et n'ayant pas besoin d'être très flexibles, n'étaient vraisemblablement composés que de fil de fer.

1° Un cordage de 3m,660 de longueur, d'aussières en fer, ayant 0m,069 de circonférence, s'est allongé de 0m,106, et s'est cassé sous une charge de 9,325 kilogr.

2° Un morceau de câble pour estrope, de 0m,034 de circonférence, a été rompu par un poids de 3,633 kilogr. Un autre morceau de câble semblable, dont la circonférence était de 0m,076, n'a cédé qu'à la force de 15,854 kilogr. On a ensuite noué et épissé de différentes manières plusieurs morceaux, et reconnu que, sous ce rapport, l'emploi des cordages en fil de fer ne pouvait donner lieu à aucune objection.

L'amirauté a fait dresser le tableau suivant qui résulte d'expériences faites à l'arsenal de Wolwich.

Charge de rupture,	nature du cordage.	Circonférence.
8,120 kil.	fil de fer.	0m,054
	chanvre.	0m,127
24,360	fil de fer.	0m,102
	chanvre.	0m,254
54,810	fil de fer.	0m,152
	chanvre.	0m,384

Cette table ne s'applique qu'aux câbles pour estrope, destinés aux manœuvres dormantes des bâtiments, et qui doivent être d'un quart plus forts que les aussières.

Depuis M. *Smith* a trouvé, par expérience, que les manœuvres d'un navire, lorsqu'elles sont en fil de fer et possèdent la même force, n'occupent que le tiers de l'espace réclamé par les cordes de chanvre, pèsent moitié moins, et ne coûtent que les deux tiers du prix de ces dernières. Il a reconnu ensuite que 1 mètre de corde de chanvre ayant 0m,076 de circonférence, absorbe environ 0l,120 d'eau, et se raccourcit de 0m,043. L'ensemble des cordages d'un vaisseau de premier rang atteint approximativement une longueur de 54,870 mèt., et doit, par conséquent, éprouver un raccourcissement total de plus de 700 mèt., dû à l'absorption de près de 6,600 litres d'eau, qui nuit beaucoup à la conservation des agrès. Il a fait aussi observer que les manœuvres étant moins pesantes, lorsque les cordages sont en fer, le vaisseau tire moins d'eau, est plus stable, et réclame moins de lest. Le premier navire qui ait été ainsi gréé, *le Marshall*, a conservé pendant sept ans les mêmes cordages dont l'état a été trouvé alors presque aussi bon que quand le bâtiment avait été équipé. La légèreté de ces cordages en eût rendu l'emploi plus fréquent si on n'avait redouté des ruptures brusques plus à craindre qu'avec des câbles en chanvre.

Ce système convient surtout aux navires à vapeur, dont les cordages sont exposés à l'action des charbons enflammés qui peuvent sortir de la cheminée.

MM. *Calliau* et comp. ont fourni au chemin de fer de Saint-Étienne à Roanne un câble en fil de fer, d'un seul bout et de 900 mèt. de longueur, qui fonctionne à la satisfaction de la compagnie.

Il est à remarquer que la machine qui a fabriqué cet immense câble, et qui aurait pu le confectionner avec une longueur beaucoup plus grande, est également propre à la fabrication des cordages en chanvre et n'occupe pas un espace de plus de 8 à 9 mèt. en carré. Cette ingénieuse invention est donc d'une haute portée pour l'art de la corderie, puisque, si elle était universellement adoptée, elle dispenserait les fabricants et l'administration de la marine, de la construction fort dispendieuse de vastes bâtiments, en permettant de donner une autre destination à ceux qui existent déjà. L'emploi de cette machine assure d'ailleurs une grande régularité dans la fabrication, en sorte que le fil n'est jamais fatigué par la torsion, ce qui en conserve toute la force.

MM *Calliau* et comp. ont soumis les câbles qu'ils fabriquent à des expériences dont nous mettons les principaux résultats sous les yeux de nos lecteurs, en les prévenant que la force indiquée pour l'emploi a été calculée au sixième seulement de la tension d'épreuve.

Câbles pour tous les usages.

Numéro de grosseur.	Diamètre approximatif.	Poids approximatif du mètre.	Force à l'emploi.
1	30 millim.	2 kil.	3,000 kil.
2	28 —	2,50	2,750 —
3	26 —	2,00	2,500 —
4	24 —	1,60	2,250 —
5	22 —	1,40	2,000 —
6	20 —	1,20	1,750 —
7	18 —	1,00	1,500 —
8	16 —	0,80	1,250 —
9	14 —	0,70	1,000 —
10	12 —	0,60	750 —

Câbles pour les mines.

Numéro de grosseur.	Diamètre approximatif.	Poids approximatif du mètre.	Force à l'emploi.
31	26 millim.	2 kil.	2,500 kil.
32	24 —	1,65	2,250 —
33	20 —	1,20	1,750 —
34	18 —	1,00	1,500 —
35	16 —	0,75	1,000 —

CABLES EN FER (*angl.* cables, *all.* kettentaue). Ces câbles, employés dans la marine pour tenir les vaisseaux au mouillage, tendent chaque jour à remplacer de plus en plus complétement les anciens câbles en chanvre autrefois en usage. Ils ont l'avantage d'offrir une beaucoup plus grande durée; en outre, lorsqu'un vaisseau est amarré au moyen d'un câble en chanvre, ce dernier, dont la densité est peu supérieure à celle de l'eau, se trouve tendu presqu'en ligne droite, et par suite, s'il arrive qu'un coup de vent subit ou une violente lame d'eau vienne se ruer sur le vaisseau, le câble, n'offrant aucune élasticité, il en résultera un choc qui pourra endommager l'ancre, et en déformer ou même en briser le bras ou la patte; un câble en fer, au contraire, formera dans l'eau, par suite de la grande densité du métal qui le compose, une chaînette dont la flèche sera considérable, et par conséquent formera une liaison élastique entre l'ancre et le vaisseau, laquelle amortira le contre-coup qui résulte de toute impulsion brusque que peut recevoir le navire.

La première idée de l'emploi des câbles en fer dans la marine est due à M. *Slater*, qui prit à ce sujet, en 1808, un brevet qui expira faute de fonds pour l'exploiter en grand. Le premier qui employa ces câbles fut le capitaine *Brown*, qui s'en servit sur *la Pénélope* en 1811. Leur usage s'est depuis répandu de plus en plus; leur forme a aussi été modifiée, et on a aujourd'hui adopté partout le mode de construction inventé par M. Brunton, qui prit à ce sujet des brevets d'invention en Angleterre et en France; mais comme il ne mit pas son brevet à exécution, dans ce dernier pays, dans le délai de deux ans fixé par la loi, il est rentré dans le domaine public.

La première condition pour fabriquer de bons câbles en fer est naturellement d'employer du fer fort doux d'excellente qualité, et ensuite de le travailler de manière à ce que l'effort qu'il doit supporter s'exerce dans le sens même des fibres. On peut déterminer, par les considérations qui suivent, la forme la plus convenable à donner aux mailles dont l'assemblage forme le câble : si l'on a une maille annulaire AB, fig 332 et qu'on y applique en C et D deux forces agissant en sens contraires, suffisantes pour l'étirer et lui faire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prendre la forme indiquée fig. 333, la résistance de la maille se trouvera considérablement affaiblie par suite du changement moléculaire forcé qui résultera du changement de forme. Ainsi la partie M N de l'anneau se redressant, le métal sera refoulé à l'intérieur de l'anneau, tandis que le contraire aura précisément lieu aux points E et F. On doit donc rejeter la forme circulaire pour les mailles. Si on introduit dans la maille un étai G, qui empêche les deux points A, B, de se rapprocher, cette circonstance change singulièrement les résultats. La maille, tirée comme tout à l'heure, prend la forme quadrilatère qu'on voit fig. 334;

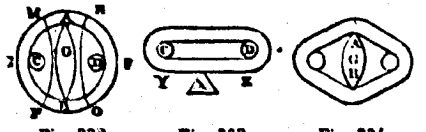


Fig. 332. Fig. 333. Fig. 334.

elle offre plus de résistance à la déformation que dans le premier cas, mais par la seule raison qu'elle peut encore se déformer, elle perd de sa force et ne saurait être admise dans des constructions qui exigent une résistance excessive. On ne peut non plus employer des mailles de la forme représentée fig. 333, parce qu'elles auraient trop peu de jeu entre elles, ce qui rendrait la manœuvre des câbles plus difficile, et qu'en outre une maille de cette forme, soumise par hasard à une tension transversale contre un obstacle X, se courberait pour prendre la forme indiquée fig. 335, qu'il y eût ou non un étai au milieu, la résistance transversale serait minime, ce qui tendrait à détruire en partie la cohésion des fibres métalliques et à déterminer leur rupture subséquente sous de faibles efforts.

En rejetant toutes ces formes vicieuses, nous sommes naturellement amenés à la forme adoptée par M. Brunton et représentée fig. 337. Cette maille a un étai en fonte à bout large; elle offre en tous sens une



Fig. 335. Fig. 336. Fig. 337.

grande résistance à tout changement de forme; et, grâce à l'étai (fig. 336), les maillons ne peuvent s'embrouiller, se rassembler en paquets.

Quand on a commencé à employer les câbles en fer, on s'est préoccupé avec raison de leur durée. On sait avec quelle rapidité le fer est oxydé par un séjour prolongé dans l'eau de mer, et il était à craindre que les chaînes n'y fussent promptement détruites; mais l'expérience a bientôt démontré que la détérioration des chaînes était beaucoup moins rapide qu'on ne le craignait, pourvu toutefois qu'elles fussent fabriquées avec des fers de bonne qualité. Les chaînes s'usent néanmoins avec le temps, par l'action combinée de l'oxydation et du frottement des parties en contact, et leur force diminue en conséquence de cette usure; mais en tout cas, elles conservent une résistance proportionnelle à leur section réduite, et l'on sait sur quoi l'on peut compter, tandis qu'avec un câble en chanvre, un peu ancien de date, on ne connaissait jamais la résistance dont il était susceptible. La durée des câbles en chaînes peut d'ailleurs être prolongée en ayant soin de les enduire de coltar toutes les fois que l'oxydation s'y manifeste d'une manière sensible.

Dimensions réglementaires des différentes parties des chaînes pour la marine militaire française. — Les dimensions des maillons, ainsi que de toutes les parties des chaînes, ont été fixées, en 1837, par une décision ministérielle à laquelle on n'a pas cessé de se conformer depuis cette époque. Les chaînes sont exécutées avec du fer au bois d'une qualité supérieure, fabriqué spécialement pour cet usage, et aucune d'elles n'est mise en service avant d'avoir été essayée à la presse hydraulique. Les maillons sont de longueur constante, avec une tolérance de 1/40 en plus ou en moins, mais huit maillons étendus en ligne droite doivent présenter une longueur exactement constante. Pour parer aux circonstances d'appareillages forcés, dans lesquels les câbles en chanvre étaient coupés à coups de haches, les chaînes sont fractionnées par bouts de 30 mètres, réunis par des manilles d'assemblage avec boulon de jonction transversal; c'est en chassant ce boulon que l'on opère au besoin la section de la chaîne. Pour que le boulon se dégage sans difficulté, il faut qu'il entre librement dans l'ouverture de la manille et il est nécessaire de l'y maintenir en place par une goupille qui doit, elle aussi, être facile à retirer. Il a fallu plusieurs tâtonnements pour arriver à la disposition la meilleure de cette goupille : une décision récente du 4 avril 1859 a adopté définitivement une goupille conique en acier étamé, maintenue en place par un petit bouchon en plomb matté dans une ouverture tronc conique, pratiquée à la partie supérieure de l'ouverture qu'elle traverse.

Les maillons qui terminent chaque bout de chaîne et qui s'ajustent avec la manille, ont des formes et des dimensions un peu différentes de celles des maillons ordinaires; celui qui reçoit le boulon de jonction est sans étai; quant à l'autre, il en est pourvu.

Les dimensions de toutes les parties des chaînes sont déterminées en fonction du calibre ou du diamètre du fer; nous nous bornerons à donner ici les dimensions principales que l'on a besoin de connaître pour construire les différents organes employés à la manœuvre des chaînes.

Maillons ordinaires.	Diamètre du fer	1,00
	Long. intérieure du maillon.	3,85
	Largeur	1,75
Manille	Diamètre du fer	1,10
	Longueur intérieure	3,10
	Largeur	1,25
Boulon de jonction.	Grand diamètre	1,32
	Petit diamètre	1,04
Maillon de jonction, sans étai	Diamètre du fer	1 + 6m/m
	Longueur intérieure	5,19
	Largeur	1,96
Maillon de jonction, avec étai	Diamètre du fer	1 + 4m/m
	Longueur intérieure	4,11
	Largeur	1,42

Il est utile de connaître le poids et l'encombrement de l'unité de longueur d'une chaîne; nous l'inscrivons au tableau suivant :

Calibre des chaînes en millimètr.	54	52	48	46	38	34	32
Poids de 100 mètres kilogr.	6,576	5,863	5,043	4,700	3,187	2,592	2,379
Volume de 100 mètres. mc	2,500	2,338	2,033	1,888	1,366	1,100	0,960

On calcule encore assez commodément le volume du câble-chaîne, en se servant des coefficients établis par des expériences directes, d'où il résulte que le volume de la soute qui le contient est donné par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produit de son poids P, exprimé en tonneaux, multiplié par 0,43, quand la chaîne est arrimée avec soin et par 0,45 quand elle ne l'est pas.

En Angleterre, le calibre des chaînes est déterminé par la formule suivante :

$$d = 3{,}2\sqrt[3]{D}$$

dans laquelle d est le diamètre du fer en millimètre, et D le déplacement en mètres cubes. Elle est applicable aux bâtiments de nouveau modèle, et les résultats qu'elle fournit s'accordent sensiblement avec les prescriptions du règlement adopté en France.

Fabrication des câbles en fer par le procédé Brunton. On choisit du fer rond de la meilleure qualité possible et de grosseur proportionnée à la force du câble que l'on veut fabriquer; on le porte au rouge dans un fourneau à réverbère, puis on le coupe à la cisaille en bouts égaux, de longueur convenable, terminés par des biseaux parallèles pour le croisement et l'amorce de la soudure; ces bouts de barre encore rouges sont portés rapidement sous une machine qui les courbe et leur donne la forme que doivent avoir les mailles.

La *fig.* 340 donne le plan de la machine à courber le fer en mailles de forme elliptique. Elle est représentée au moment où une maille vient d'être ployée dessus; A est un mandrin elliptique en fonte; il se fixe sur le haut d'un poteau en bois B, solidement maintenu en terre; C, mâchoire d'étau qu'une vis à filet carré serre contre le mandrin A. E E, coulisses rectangulaires passant par le centre du noyau du mandrin, dans lesquelles glissent librement les tasseaux F, fixés au levier horizontal en fer G, qui a 2 mètres de long, et qui porte en H une poulie ou galet en acier, qu'on peut faire changer de place suivant le diamètre des mailles. On conçoit aisément qu'il faut un mandrin différent pour chaque sorte de mailles.

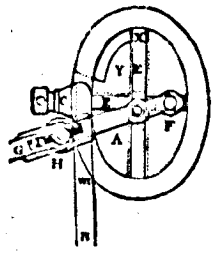


Fig. 340.

Le morceau de fer *mn* destiné à faire une maille étant coupé, on l'apporte pendant qu'il est encore rouge à la machine ci-dessus; on le saisit avec la mâchoire d'étau C, par un des bouts, en tournant le biseau oblique en dessus; on fait tourner le levier G, dont chacun des points décrira une ellipse dont la différence des axes sera égale à la distance des tasseaux F, de sorte que le galet H forcera successivement *mn* à s'appliquer dans la rainure elliptique du mandrin, et que finalement les deux biseaux qui doivent être soudés seront vis-à-vis l'un de l'autre. La longueur du petit diamètre de l'ellipse doit toujours excéder un peu celle de l'étai, afin de rendre libre et facile le placement de celui-ci.

On réunit ensuite les mailles entre elles, puis on les soude successivement dans des feux de forge ordinaires convenablement outillés.

Enfin, on place les étais et on donne la dernière forme aux mailles au moyen de la machine représentée *fig.* 341 : Cette machine consiste en une forte pièce de fonte A, ayant la forme d'une équerre dont une des branches est posée horizontalement et fixée sur un massif par le moyen de boulons; l'autre branche, composée de deux joues laissant entre elles un espace de 0m,05, s'élève verticalement; ces deux joues sont réunies par le haut et en arrière de leur plan par une traverse B; deux poupées à lunettes C, placées à

droite et à gauche des joues, soutiennent un mandrin D, qui représente et tient lieu de la maille suivante; l'étai est placé convenablement entre l'étampe et la contre-étampe F, F, fixées l'une à la pièce A, l'autre au levier E de 2 mètres de long. On a de ces

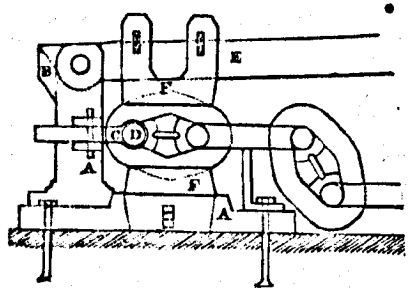


Fig. 341.

étampes, ainsi que des poupées à lunettes C, de rechange, pour chaque grosseur de mailles.

Les mailles ployées, comme nous l'avons dit, sont apportées aux forgerons pour les souder et y mettre l'étai, deux opérations qui se font d'une seule chaude. Aussitôt que la soudure est terminée, et pendant que le fer est encore rouge, on place verticalement la maille entre les étampes F, comme l'indique la figure; un ouvrier introduit alors dans les poupées à lunettes le mandrin D, et présente ensuite l'étai avec une tenaille, tandis qu'un autre ouvrier abat fortement dessus le levier E. Cette compression mécanique fait d'abord parfaitement joindre les côtés de la maille entre les bouts concaves de l'étai; et ensuite le refroidissement du fer augmente encore cette compression.

Chaque maille étant faite avec le même soin, on est sûr de la solidité du câble; néanmoins on ne les livre qu'après les avoir essayées avec une forte PRESSE HYDRAULIQUE horizontale; sur un banc à tirer, construit à cet effet.

Forces comparées des câbles de fer et de chanvre.

CABLES EN FER.	CABLES EN CHANVRE.	SUPPORTENT
Diamètre du fer qui forme les mailles en millimètres.	Diamètre en millimètres.	en kilogrammes.
21,34	65,55	12188
25,40	80,30	18282
28,45	89,90	26407
31,50	97,50	32501
33,03	105,70	35548
34,55	115,95	38595
38,10	129,05	44689
41.15	137,25	52814
44,25	148,30	60939
47,30	160,60	71095
50,40	186,00	81252

Résistance des chaînes. Il serait imprudent de vouloir faire supporter à des câbles en chanvre des tensions plus fortes que celles qui sont indiquées dans le tableau ci-dessus, dressé d'après des expériences faites par Brunton; mais les câbles en fer sont susceptibles d'en supporter plus du double avant de rompre. Cependant on ne doit pas les exposer à une tension plus forte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est pour cette raison qu'un câble préparé pour telle force de navire ne doit jamais être employé pour un navire d'un tonnage supérieur.

Ce que nous venons de dire, établit suffisamment la grande supériorité des câbles en fer sur ceux en chanvre; outre leur qualité bien précieuse de résister aux efforts latéraux aussi bien que dans le sens de la longueur, nous citerons, comme exemple des services qu'ils peuvent rendre, le vaisseau anglais *le Henri*, qui, envoyé en Espagne chargé de munitions de guerre, pendant la guerre de la Péninsule, fut surpris sur la côte nord d'Espagne, par un ouragan terrible et forcé de chercher asile dans la baie de Biscaye, sur un fond semé d'écueils, au milieu desquels il jeta l'ancre; il était pourvu, heureusement pour lui, d'un câble à la Brunton, de 440 mètres de longueur, qui tint bon pendant les trois jours que dura la tempête. On remarqua plus tard que les anneaux intérieurs du câble s'étaient polis dans tous les sens par le frottement sur les rochers. Évidemment, dans cette circonstance, tout câble en chanvre eût été rapidement coupé.

CACAO (voyez CHOCOLAT).

CACHEMIRE (*châles de*). Nous sommes redevables à l'Orient de plusieurs de nos plus brillantes industries manufacturières, et parmi les plus heureux emprunts que nous lui ayons faits, la fabrication des châles peut être placée en première ligne. Avant la campagne d'Égypte, le châle-cachemire n'était connu chez nous que de quelques privilégiés qui avaient entretenu des relations avec l'Inde : il fut révélé au monde commercial par l'envoi que fit à Paris, d'un châle oriental, le général en chef de l'armée d'Égypte. La sensation qu'il produisit fut immense; la nouveauté du travail, la douceur de la matière, l'harmonie des couleurs, l'étrangeté même du dessin furent l'objet de l'admiration générale. Un de ces hommes qui savent deviner et préparer l'avenir d'une industrie, M. Bellanger, conçut de suite tout ce que l'imitation d'un si beau produit pouvait offrir de développement au travail, et de prospérité pour son pays. Il se mit à l'œuvre avec ardeur, s'appliqua avec une activité infatigable à décomposer le tissu oriental, et parvint à créer, par le procédé même employé dans l'Inde, un châle parfaitement semblable à son modèle. Et pourtant, métiers, matière, ouvriers, tout lui manquait; la machine de l'immortel Jacquart n'existait pas encore. M. Bellanger eut le mérite de faire monter le premier métier à la tire; il inventa un harnais à grandes coulisses, et composa son armure en établissant la lisse de rabat et de liage. Le châle-cachemire français fut donc créé, et il faut se reporter à cette époque pour se faire une idée du mouvement industriel qui se manifesta tout d'un coup. La filature de la laine ne fut point sourde à l'appel qui lui était fait; bientôt, elle put livrer à 34 et 36 fr. une qualité qui s'était payée jusque-là 72 et 80 fr. le kilogr.

Accordons ici un juste tribut d'éloges à M. Ternaux, dont le nom se rattache aux découvertes les plus utiles, et qui contribua puissamment au développement et au progrès de cette nouvelle industrie. Il importa de l'étranger la matière même du cachemire, qui consiste dans le duvet cotonneux qui entoure la racine du poil de la chèvre du Thibet. Cette précieuse matière vient en Europe par la voie de Casan, capitale d'un gouvernement de l'empire russe, sur les bords du Volga. Elle est naturellement grise, mais elle se blanchit aisément au soleil. Son prix, dans ces dernières années, était de 17 fr. le kilogr. La perte dans le nettoyage, le cardage et le filage, est d'environ un tiers de son poids. Il est des cachemires fabriqués en France dont les fils sont du n° 430 pour la chaîne, et du n° 228 pour la trame.

M. Ternaux fit venir à grands frais des chèvres du Thibet; il essaya de les acclimater et de les propager sur notre sol. Si ses efforts ne furent pas couronnés d'un plein succès, le commerce et la France entière ne lui en tinrent pas moins compte, et la reconnaissance publique donna aux nouveaux châles le nom de châles Ternaux, sous lequel ils ont été longtemps connus.

Dès 1784, un fabricant de Paris avait formé, à Bohain et à Fresnoy, des établissements pour le travail des gazes de soie. C'est dans ce pays que la fabrication vint d'abord recruter ses ouvriers, et elle s'étendit bientôt dans le département du Nord, de l'Ain et du Pas-de-Calais. Il nous est impossible de constater le nombre immense de bras que Paris, que Lyon, que Nimes, et d'autres villes encore, occupent aujourd'hui dans cette branche d'industrie; car l'usage du châle est universel en France, et depuis la grande dame jusqu'à la grisette, il est le complément obligé de toute toilette féminine. Pour répondre à un besoin si général et offrir à toutes les fortunes les moyens de le satisfaire, nos fabriques se sont évertuées à employer de mille manières les duvets indiens, la laine, la soie, le coton, à varier les nuances et les formes du dessin, à rechercher toutes les combinaisons possibles du tissage. Puis, l'impression est venue, avec l'enluminage de ses brillantes couleurs, offrir aux fortunes modestes une imitation séduisante et économique des genres les plus riches.

Ce n'est pas qu'on ne puisse réussir complétement dans l'imitation du travail indien : mais c'est la question économique qui reste encore à résoudre. Les châles de l'Inde, en effet, sont fabriqués par des procédés extrêmement lents et coûteux. En ne considérant que la nature du travail, une distinction se présente de suite à faire entre le châle fait au fuseau, à la manière indienne, dit *époulind*, et le châle broché au lancé, tel qu'on le fabrique en France. Cette distinction, du reste, est plutôt théorique que pratique; le procédé oriental ne constitue pas une fabrication régulière chez nous. Chaque fabricant a fait sa pièce d'épreuve, mais il ne continue pas.

Dans les deux modes de fabrication, on monte la chaîne de la pièce, ainsi que cela se pratique généralement pour le métier à la Jacquart. Le tissage en imitation s'exécute avec autant de navettes qu'il y a de couleurs dans le dessin. Les navettes sont passées à travers la chaîne, dans l'ordre convenable. Tous ces fils n'étant introduits que par intervalles dans la trame, lorsque la composition du modèle l'exige, ils restent flottants sur le dos de la pièce, et sont ensuite coupés, ce qui n'altère en rien la qualité du tissu, le foutrage empêchant les fils de s'échapper. Mais il y a une perte considérable d'étoffe, laquelle est toute employée dans les tapis.

Le tissage en imitation des véritables cachemires diffère du précédent. Les fils destinés à former la trame sont non seulement égaux en nombre à celui des couleurs du modèle; mais, en outre, il y a autant de petites navettes (semblables à celles dont se servent les brodeuses), remplies de ces fils, qu'il doit y avoir de couleurs répétées dans la largeur de la pièce; on conçoit sans peine que ce nombre soit très considérable, quand le modèle est un peu compliqué ou chargé de couleurs. Chacune de ces navettes passe seulement à travers la partie de la fleur sur laquelle la couleur de son fil doit paraître, et elle revient ensuite sur elle-même après avoir traversé le fil de la navette contiguë. De cet entrelacement réciproque de tous les fils des navettes, il résulte que, quoique la trame soit composée d'un grand nombre de fils différents, ils n'en constituent pas moins une ligne continue dans toute la largeur du tissu sur lequel le battant agit de la manière ordinaire. Ce qu'il y a de plus difficile dans la fabrication des cachemires, c'est d'éviter la confusion des navettes et de ne pas frapper le battant avant que toutes n'aient rempli leurs fonctions. Une femme et deux aides suffisent pour la fabrication de châles de 1m,20 à 1m,50 de large, lesquels deman-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dent environ cent jours de travail. (Pour la construction du métier à la Jacquart, voyez TISSAGE.)

Dans le procédé oriental, toutes les figures en relief sont faites avec un mince fuseau, sans la navette employée dans le tissage européen. La fleur et son fond s'exécutent avec le fuseau au moyen d'un entrelacement qui les rend en quelque sorte indépendants de la chaîne. Dans l'imitation des châles orientaux, qui se fait à Lyon, la fleur est unie à la chaîne par la trame qui traverse la pièce, ce qui épargne beaucoup de travail, mais ne laisse pas d'augmenter un peu le prix des châles. D'ailleurs, le fabricant indien lui-même, malgré toutes les conditions de bon marché dans lesquelles il est placé, sous les rapports de la main d'œuvre et de la matière, ne travaille pas avec moins de dépense de temps et d'argent que nous.

Un châle long, à grandes palmes, à larges bordures, de première qualité, et recherché dans le commerce, peut s'établir dans l'Inde sur le pied suivant :

Une paire de châles longs, montée sur douze métiers, peut être confectionnée dans l'espace de six à sept mois. Dans le corps d'une paire de châles longs semblables l'un à l'autre pour le dessin et les couleurs, il y a vingt coutures ou rentrayures. Les nœuds de rattachement pour le rentrayage des diverses pièces de rapport dont se compose cette paire de châles sont alors placés sur l'endroit et l'envers du tissu.

Pour établir un châle long, unique, c'est-à-dire sans pair et sans aucune rentrayure, sur deux métiers ou dans deux ateliers, il faut que la chaîne et les fils soient d'une qualité très supérieure à ce qu'on emploie dans la confection des châles ordinaires, et que les dessins et le mélange des couleurs soient, en tout point, d'une rare perfection. Dans ces conditions, un châle long, sans couture, exigerait un travail de trois années ; mais, pendant cet intervalle, il y aurait à craindre pour la chaîne en laine, l'évent, l'altération des couleurs et la piqûre des vers, circonstances qui ne permettent guère d'opérer le tissage. Le prix d'un châle de qualité marchande, fabriqué sur douze métiers, et qui demande six à sept mois de travail, varie entre 1,200 et 2,000 roupies, monnaie courante de Cachemire, c'est-à-dire entre 2,400 et 4,000 fr. environ. Dans le milieu d'un châle unique, c'est-à-dire sans pair, il y a toujours deux coutures, c'est l'affaire des rentrayeurs qui font ce travail d'assemblage avec une telle perfection qu'il est impossible de s'en apercevoir. Dans ces conditions, un châle long exigerait un travail de douze mois complets.

Un carré à palmes, fond uni, à large bordure ou encadrement, s'établit sur quatre métiers, selon l'antique usage. Pour exécuter un semblable carré sur un seul métier, il faudrait à peu près onze mois entiers de travail. D'après cela, on peut conclure qu'il n'y a d'avenir chez nous pour le châle *épouliné*, qu'autant qu'on parviendra, à l'aide de la mécanique, à simplifier le travail, comme par exemple, à passer plusieurs *époulins* ou fuseaux à la fois. Et cette espérance, nous pouvons la concevoir en présence des résultats déjà obtenus par quelques-unes de nos nouvelles machines. (Voyez BATTANT-BROCHEUR.)

Mais jusqu'à présent, les châles de fabrique française ne peuvent être considérés que comme tissés et brochés au lancé, et prenant en considération la matière employée, nous les diviserons en :

Châles de Paris ;
Châles de Lyon ;
Châles de Nîmes.

La fabrique de Paris exploite trois sortes de châles, genre et imitation de cachemire. 1° le cachemire pur, dont la chaîne et toutes les matières tissées et lancées sont en duvet de cachemire. La majeure partie sont carrés et ont 1m,80 à 1m,95 de côté ; leur prix varie de 220 à 500 francs. Le nombre des couleurs employées est rarement au-dessous de 8 ; il est d'ordinaire de 10 à 11, et il s'élève quelquefois jusqu'à 14 et 15. Les châles longs en cachemire pur doivent avoir de 1m,50 à 1m,60 de large sur 3m,60 à 3m,80 de long, et leur prix varie entre 300 et 700 francs.

2° Le châle indou cachemire, qui se fabrique avec les mêmes matières que le cachemire pur, à l'exception de la chaîne qui est en soie de fantaisie. Afin d'obtenir encore une réduction sur le prix de revient, on économise une ou deux couleurs, et l'on peut alors vendre ce châle au prix de 180 à 220 francs.

3° Le châle indou laine, dont la chaîne est la même que celle de l'indou cachemire, mais dont la trame et le lancé sont en laine plus ou moins fine. C'est l'article de la plus grande consommation du châle parisien, et on peut l'évaluer annuellement à la somme de 12 ou 13 millions. La fabrique de Lyon abandonne à Paris le cachemire pur, mais elle lui dispute avec succès l'exploitation du cachemire indou pure laine. Elle emploie dans le tramé et le lancé une laine fine et douce qui rivalise, pour la souplesse du toucher, avec le cachemire. Mais l'article le plus important de la fabrique de Lyon est le châle thibet. Ce châle se fabrique avec un mélange de laine et de bourre de soie ; il se conforme, pour les dessins et les qualités, aux exigences de la consommation, soit intérieure, soit extérieure, et peut descendre à la portée des plus petites fortunes.

Au-dessous du châle thibet, arrive le châle tissé, chaîne et trame en bourre de soie, long ou carré. Ce châle a été longtemps l'unique objet de la fabrication lyonnaise ; aujourd'hui cet article est bien réduit, et il est presque entièrement remplacé par le châle thibet.

Lyon fabrique, en outre, une grande variété de châles fantaisie carrés pour l'été, en cachemire, en laine douce, en thibet, en laine, en soie damasquinée, et en soie pure de différentes étoffes et armures qu'il serait trop long d'énumérer en détail. On compte à Lyon environ quatre mille métiers de châles occupant chacun trois personnes ; tous ne battent pas constamment ; un quart à peu près éprouve un chômage obligé par le changement d'articles, le montage et autres causes. Le châle broché de Lyon, qui, jusqu'à ces dernières années, ne s'exportait que pour l'Allemagne, la Russie, la Hollande et l'Angleterre, vient de trouver, par la modicité de ses prix, un immense débouché dans l'Amérique du Nord, surtout depuis 1838 : tout fait espérer qu'il s'accroîtra encore.

La fabrique de Nîmes met toute son industrie à imiter les dispositions en vogue à Paris et à Lyon, et aucune ne paraît avoir mieux rempli le problème économique, car elle trouve à l'étranger un débouché considérable de ses produits.

Mentionnons encore la fabrique de Reims qui, la première, a monté ses châles sur des chaînes simples, ce qui lui a permis d'en réduire considérablement les prix.

Aujourd'hui le filateur de laine produit mieux et à meilleur marché ; le teinturier est devenu plus sûr de ses procédés et plus exact dans ses nuances, le fabricant, le contre-maître, l'ouvrier lui-même ont acquis, par une plus longue pratique, une intelligence plus profonde des procédés de fabrication et des ressources que peut offrir la machine à la Jacquart à l'aide d'ingénieuses combinaisons ; aussi l'industrie des châles se perfectionne-t-elle chaque jour, et tout fait présager que bientôt elle n'aura plus rien à envier à l'Orient.

CADENAS. Voyez SERRURERIE.

CADMIUM (*angl.* et *all.* cadmium). Métal découvert en 1817 par Stromeyer, dans les minerais de zinc de la haute Silésie, qui en renferment 1, 2, et même quelquefois, quoique très rarement, jusqu'à 10 pour 100. On reconnaît aisément sa présence dans un minerai de zinc, par un essai au chalumeau, à l'auréole rougeâtre d'oxyde

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cadmium qui se dépose sur le charbon, tandis que cette auréole est d'un beau blanc si le minerai ne renferme que du zinc.

Le cadmium a beaucoup d'analogie avec l'étain, dont il présente la couleur et l'éclat. Il est assez mou, un peu plus dur cependant que l'étain, est susceptible de prendre un très beau poli, et laisse sur le papier des traces gris de plomb ; il se laisse aisément limer, ciseler et plier ; dans ce dernier cas, il fait entendre un cri particulier qui rappelle celui de l'étain. Il est assez ductible, et peut être étiré en fils assez fins, ainsi que réduit sous le marteau en feuilles d'une très grande ténuité. Fondu, sa densité est de 8,604 ; écroui sous le marteau, elle est de 8,6944. Il fond, selon Daniell, à 360°, et se volatilise peu au-dessus ; il est par conséquent beaucoup plus volatil que le zinc.

Le cadmium s'altère peu à la température ordinaire dans l'air, même humide ; il se recouvre seulement à la longue d'une mince pellicule grisâtre d'oxyde, qui forme vernis à la surface et préserve presque entièrement l'intérieur de toute altération subséquente. Chauffé au contact de l'air, un peu au-dessus de son point de fusion, il s'enflamme et brûle aussi facilement que le zinc, en produisant une fumée épaisse inodore d'un brun jaunâtre. Il se dissout aisément dans les acides nitrique, sulfurique et hydrochlorique, quoique moins rapidement que le zinc, en donnant de même lieu avec les deux derniers à un dégagement de gaz hydrogène.

Le cadmium ne forme qu'un seul oxyde, qui s'obtient soit en chauffant le métal au contact de l'air soit en calcinant le nitrate ou le carbonate de cadmium. Il est d'un brun jaunâtre plus ou moins clair, suivant les circonstances dans lesquelles il a été obtenu ; il n'est ni fusible ni volatil ; le charbon et un grand nombre de métaux, entre autres le zinc, le réduisent au-dessous du rouge avec la plus grande facilité. C'est une base assez énergique. Il se compose de 87,45 de cadmium et de 12,55 d'oxygène pour 100. Il forme un hydrate blanc, qu'on obtient en précipitant un sel soluble de cadmium par une dissolution de potasse ou de soude caustique.

Les sels de cadmium sont incolores, leur saveur est acerbe et métallique ; ils sont en général solubles et cristallisables. L'hydrogène sulfuré et les hydrosulfates alcalins en précipitent du sulfure de cadmium d'un jaune rouge très beau et très éclatant, employé dans la peinture. Parmi les autres sels nous ne citerons que le sulfate, qui est employé en médecine dans les maladies des yeux pour faire disparaître les taies.

Pour retirer le cadmium des minerais ou autres produits qui le renferment, on les grille s'ils contiennent du soufre, et on dissout ensuite dans l'acide sulfurique ou hydrochlorique, puis dans la dissolution rendue fortement acide, on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré qui précipite, à l'état de sulfure, le cadmium un peu de zinc, et le cuivre s'il y en a dans la dissolution. On redissout les sulfures dans l'eau régale, on précipite les métaux par du carbonate de potasse ou de soude, et on fait digérer le précipité avec du carbonate d'ammoniaque, qui redissout tout le cuivre et le zinc ; on lave ensuite d'abord avec de l'eau chargée de carbonate d'ammoniaque, puis avec de l'eau pure ; on calcine le dépôt ; enfin on réduit l'oxyde en le mélangeant avec du noir de fumée et le chauffant avec ménagement.

On peut aussi précipiter le cadmium de la dissolution, par une lame de zinc ou de fer ; mais il est toujours nécessaire de le redissoudre et de le purifier, comme nous l'avons dit, pour l'avoir tout à fait exempt de cuivre et de zinc.

Depuis quelque temps on retire environ 500 kilos de cadmium dans les grandes usines à zinc de la haute Silésie, de la manière suivante :

On a remarqué que dans le traitement du minerai de zinc par le procédé suivi en Silésie (voyez ZINC), le cadmium plus volatil que le zinc se dégage complétement pendant les quatre premières heures de la distillation, s'oxyde à la sortie de l'allonge, et forme un oxyde brun jaunâtre qui se trouve mêlé à l'oxyde blanc de zinc qui se forme toujours dans le travail des mouffles, surtout au commencement de l'opération. On recueille donc les oxydes formés pendant ce temps, en choisissant de préférence les parties brunâtres, et on les mélange avec 1/3 de leur poids d'escarbilles de coke, et on les introduit dans une mouffle semblable à celles employées pour la distillation du zinc, mais que l'on place dans les fours servant au grillage de la calamine, chauffés par les flammes perdues, où par conséquent la température est moins élevée que dans les fours de distillation proprements dits. Cette mouffle se termine par une allonge extérieure conique et légèrement inclinée, en tôle, qui se trouve constamment refroidie par le courant d'air extérieur, de sorte que le zinc qui distille, se condense et se prend en gouttelettes qui adhèrent à la partie supérieure de l'allonge, tandis que le cadmium plus volatil, s'oxyde et se dépose sous forme d'une poudre jaunâtre à sa partie inférieure. Comme le cadmium est très volatil, on fait en sorte qu'il ne puisse être entraîné à l'état de vapeur, en adaptant à l'extrémité de l'allonge de tôle un bouchon en bois, dans l'axe duquel on a seulement percé une petite ouverture pour permettre aux gaz de s'échapper. Chaque charge ne dure que douze heures. Il va sans dire qu'on fait tomber l'oxyde de cadmium qui se dépose à la partie inférieure de l'allonge, et que l'on détache les gouttelettes de zinc collées à la partie supérieure, toutes les fois que cela est nécessaire. Enfin on réduit l'oxyde de cadmium ainsi obtenu dans une cornue cylindrique en fonte munie d'une allonge en tôle, en le mélangeant avec du charbon de bois pulvérisé, et chauffant la cornue à une chaleur modérée, ce qui se fait en l'introduisant dans la cheminée qui surmonte le four de grillage. La température à laquelle on opère est assez basse, et l'allonge suffisamment refroidie par le courant d'air extérieur, pour que le cadmium s'y condense et coule en gouttelettes au dehors. On le refond avec un peu de résine et on le coule en petites barres cylindriques dans des moules en sable. Ce cadmium se vend au profit du maître fondeur qui a dirigé l'opération, et il se paye quelquefois jusqu'à 70 francs le kilogramme. Ainsi obtenu le cadmium renferme encore une faible proportion de zinc, que l'on peut séparer par voie humide, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Si ce n'était sa rareté et son prix élevé, le cadmium pourrait aisément remplacer l'étain dans la plupart de ses applications.

P. DEBETTE.

CAFÉ (*angl.* coffee, *all.* kaffee). L'arbre qui produit le café, le *coffea arabica*, appartient à la famille des rubiacées, et est originaire de la haute Égypte et de l'Arabie-Heureuse ; il y atteint 5 à 6 mèt. de hauteur ; les feuilles ont de la ressemblance avec celles du laurier, mais elles sont moins sèches et moins épaisses. De petits bouquets de fleurs blanches, semblables à celles du jasmin, naissent à l'insertion des feuilles ; elles se fanent très vite, et sont remplacées par des fruits qui ressemblent assez aux cerises, et qui contiennent un mucilage jaune glaireux renfermant deux grains de café, qui, dans leur état naturel, sont accolés suivant leur face plate et enveloppés d'une seule et même pellicule, de manière à présenter la forme d'un sphéroïde un peu allongé.

Ce ne fut que vers la fin du XV^e^ siècle que l'on commença à cultiver le café en Arabie. La chronique attribue la découverte du café, comme breuvage, au supérieur d'un monastère, qui, voulant empêcher les moines de s'endormir pendant les offices de nuit, leur fit prendre

EFERUS - Recherche &Classification numérique

une infusion de café, sur le rapport de bergers qui prétendaient que leurs troupeaux étaient plus vifs et plus éveillés lorsqu'ils avaient brouté des fruits de cette plante. L'usage du café se répandit rapidement, quoiqu'il rencontrât beaucoup d'opposition de la part du gouvernement turc. Sous le règne d'Amurath III, le mufti fit fermer par une loi tous les cafés, et cette même loi fut remise en vigueur pendant la minorité de Mahomet IV. Ce ne fut qu'en 1554, sous le grand Soliman, que l'usage du café devint permis à Constantinople, et plus d'un siècle s'écoula encore avant qu'il fût connu en France et en Angleterre. L'aga Soliman en introduisit l'usage à Paris, et en 1672 un Arménien établit le premier café à la foire de Saint-Germain

A mesure que l'usage du café se répandit, toutes les puissances qui possédaient des colonies sous les tropiques cherchèrent à y transplanter et acclimater l'arbre à café. Les Hollandais furent les premiers qui transplantèrent cette plante de Moka à Batavia, et de là à Amsterdam; en 1714 les magistrats de cette dernière ville envoyèrent à Louis XIV un plant de café qui fut placé au Jardin-des-Plantes, et duquel sont provenues toutes les plantations de la Martinique.

Le principal centre de production du café est encore l'Arabie-Heureuse, surtout aux environs d'Aden et de Moka. On le cultive sur des collines qui l'abritent en partie contre la chaleur des rayons solaires. On le récolte en étendant des draps sous les arbres, puis secouant ceux-ci. On laisse ensuite sécher les fruits au soleil, sur des nattes, puis on les passe sous un rouleau très pesant pour briser l'enveloppe qui recouvre les grains de café, que l'on sépare ensuite par le vannage. On sèche encore ces grains au soleil avant de les mettre en magasin.

Le café le plus estimé est celui de *Moka*; il est en grains presque jaunes, petits et arrondis, et possède un goût et un parfum plus agréables que tout autre. Viennent ensuite les cafés de la *Martinique* et de l'île *Bourbon*; le premier est en grains plus gros et plus allongés que ceux du café moka; ces grains sont arrondis à leur extrémité, ont une couleur verdâtre, et conservent presque toujours une pellicule grise-argentée, qui tombe lorsqu'on les torréfie; le café Bourbon se rapproche davantage du moka, dont il provient plus directement. Le café de Saint-Domingue est effilé en pointe aux deux bouts, et est beaucoup moins estimé que les deux précédents.

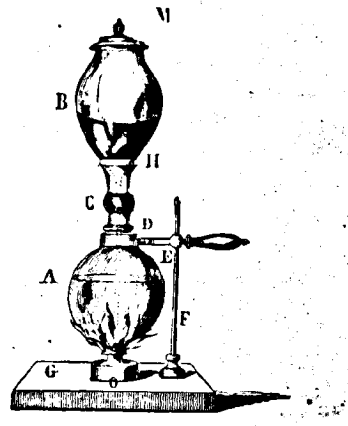
Malgré les travaux d'un grand nombre de chimistes, nous ne possédons que peu de documents certains sur la vraie composition chimique du café, et nous sommes encore assez éloignés de savoir à quels principes on peut attribuer son action sur l'économie animale. En 1820, Runge a découvert, dans la solution aqueuse du café, une substance cristalline, à laquelle il a donné le nom de *caféine*, mais qui ne paraît jouer qu'un rôle tout à fait secondaire dans les propriétés de l'infusion du café. Pour préparer la caféine, on traite le café vert ou torréfié par l'eau bouillante, on précipite la dissolution par l'acétate de plomb, on filtre, on sépare l'excès de plomb en faisant passer dans la liqueur un courant d'hydrogène sulfuré, on filtre, et on fait cristalliser par évaporation. La caféine ainsi obtenue est un corps très indifférent, qui est identique ou au moins isomère avec la *théine*, découverte dans le thé, et est une des substances végétales les plus azotées; elle renferme : carbone 8 at., hydrogène 10 at., oxygène 2 at., et azote 4 at.

Le café vert est une substance dure, cornée et élastique, qu'il serait fort difficile de pulvériser sans une torréfaction préalable. Non seulement cette opération remplit parfaitement son but sous ce rapport, mais elle a en outre l'avantage de développer l'arôme, ou, comme on dit, le *bouquet* du café. Le grain bien torréfié doit avoir une teinte chocolat bien égale; ce point est facile à reconnaître pour celui qui a quelque habitude de cette opération; il n'a même pas besoin de voir le café, l'odeur lui suffit; il est atteint lorsque le parfum se développe, et que toute l'atmosphère environnante s'en trouve embaumée; par une torréfaction trop prolongée, il se produit de l'huile empyreumatique et amère, qui donne au café un goût détestable; si l'on donne dans l'excès contraire, la verdeur du grain s'y conserve et masque en partie le bouquet qui ne se manifeste qu'à une température plus élevée Un café bien conservé perd, par un bon grillage, 16 à 20 p. 100; au-delà, il a été trop fortement torréfié.

Il convient de garder le café torréfié dans des boîtes exactement closes, à l'abri de l'humidité, et de ne le broyer qu'au moment de l'employer; autrement il s'évente, et son bouquet se dissipe

Pour broyer le café, on se sert de moulins qui portent une noix tranchante, qui permettent d'obtenir une poudre égale et à grains que l'on gradue à volonté en faisant varier la position de la noix au moyen d'une vis.

Parmi les nombreux appareils employés pour préparer l'infusion du café, nous mentionnerons seulement la cafetière la plus élégante, la plus commode, et en même temps celle qui remplit le mieux le but qu'on se propose d'obtenir de ne rien perdre de l'arôme, et en agissant à une température qui atteint à peine 100° d'éviter la dissolution de produits âcres et empyreumatiques.



346.

Cette cafetière se compose: d'un ballon en verre A, supporté par une fourchette D, qui se fixe sur la tringle F, faisant corps avec le pied ou plateau G, au moyen de la vis de pression E; c'est dans le ballon A qu'on introduit l'eau destinée à faire l'infusion de café; on y réunit ensuite le ballon B, terminé à sa partie inférieure par un bouchon C; le ballon B porte en H un filtre sur lequel on verse le café en poudre en enlevant le couvercle M; au-dessous de ce filtre est un entonnoir très plat, qui se termine par un tube en cristal qui traverse le bouchon C, et qui, lorsque l'appareil est monté comme la figure l'indique, vient déboucher tout près du fond du ballon A; ce dernier renfermant une quantité d'eau suffisante, on la porte en peu de temps à l'ébullition en allumant la lampe à esprit-de-vin O; dès que le liquide bout, la vapeur qui occupe la partie supérieure du ballon A acquiert une tension suffisante pour faire remonter l'eau bouillante du ballon A, par le tube de cristal dans le ballon B, en traversant le filtre et soulevant le café situé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dessous, ce qui le met dans une agitation continuelle, et augmente la rapidité et l'uniformité de l'infusion. Lorsqu'on éteint la lampe à esprit-de-vin, la tension de la vapeur diminuant dans le ballon, l'infusion repasse à travers le filtre, et retombe parfaitement claire, par le tube en cristal, dans le ballon A; on enlève alors le vase B, on le remplace par un syphon en cristal, et on verse le café dans les tasses par la pression de la vapeur.

CAGNARDELLE. Voyez MACHINES SOUFFLANTES.

CALAMINE (*angl.* calamine, *all.* gallmei). Minerai de zinc carbonaté. Voyez ZINC.

CALANDRE (*angl.* calender, *all.* kalender). Nom donné à une machine qui sert à lisser et lustrer les tissus, et particulièrement les étoffes de coton. Cette machine se compose de deux ou plusieurs laminoirs qui se touchent, et dont la pression respective est réglée par des poids convenables, de manière à lisser et même lustrer l'étoffe qui les traverse. La calandre sert soit à donner le dernier apprêt aux tissus avant de les mettre en vente, soit à donner à leur surface l'uniformité et la consistance nécessaires à l'impression. Le degré de consistance et de lissage à produire varient suivant le but que l'on veut atteindre. Les tissus de coton blancs, qui doivent être imprimés, doivent être très fortement comprimés au calandrage, parce que la beauté et la netteté de l'impression dépendent de l'égalité et de la finesse du lissage antérieur; aussi, dans beaucoup de fabriques, passe-t-on toujours les tissus à la calandre, à deux reprises différentes, avant de les livrer à l'impression. Les tissus, au contraire, qui ont déjà été teints dans la cuve à garance ou de toute autre manière, et sur lesquels on doit imprimer encore d'autres couleurs, doivent subir un calandrage beaucoup plus faible, parce que les contours de la première impression ayant un peu varié par le lavage, etc., l'imprimeur doit tirer l'étoffe tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, pour faire coïncider ces contours avec ceux de la forme qui sert à l'impression suivante, ce qui ne pourrait avoir lieu si le tissu avait acquis trop de corps par le calandrage. Enfin, dans le calandrage qui sert à donner le dernier apprêt aux indiennes, la pression doit être moins considérable que dans les cas que nous avons énumérés, et dépend tant de la nature même du tissu que du lustre qu'on veut lui donner.

Une calandre se compose de 2, 3, 4 ou 5 cylindres horizontaux, de $1^m,25$ environ de table, dont les coussinets sont échelonnés les uns au-dessus des autres, dans deux fortes coulisses verticales en fonte. Lorsqu'il y a, par exemple, 3 cylindres, l'étoffe passant d'abord entre le premier et le second, puis entre le second et le troisième, éprouve un double calandrage. Ordinairement les calandres à 5 cylindres servent à calandrer à la fois deux pièces d'étoffe qui passent elles-mêmes chacune deux fois entre les cylindres. Il y a toujours au moins un des cylindres en métal, soit en bronze, soit en fonte; ce cylindre, extérieurement tourné et parfaitement poli, est creux et est échauffé soit par une plaque de fer rouge qu'on y introduit à l'intérieur, soit, ce qui est bien préférable, en y faisant passer un courant de vapeur, comme on le pratique pour les cylindres de la machine à apprêter (voy. cette machine, article BLANCHIMENT). On donne à ces cylindres une épaisseur de 4 à 5 centim., afin qu'ils présentent la rigidité nécessaire et qu'ils concentrent dans leur masse une certaine quantité de chaleur. Les autres cylindres sont faits en carton de la manière qui suit : l'axe est une forte barre de fer carrée; on fixe à peu de distance de l'une des extrémités un disque en fonte, de diamètre un peu moindre que celui que doit avoir le cylindre, percé de quatre ou six trous également espacés, dans lesquels on introduit de longs boulons de fer parallèles à l'axe, munis à l'un des bouts d'une tête et à l'autre d'un écrou; on découpe ensuite un grand nombre de disques en carton épais et fort, ayant un diamètre plus grand de 5 à 6 centim. que celui à donner au cylindre, et on les perce d'une ouverture carrée pour laisser passer l'axe au centre, et de quatre à six ouvertures équidistantes pour laisser passer les boulons; on les enfile ensuite sur l'axe et les boulons, jusqu'à ce qu'on arrive presque à l'extrémité de ces derniers; on met par-dessus un second disque en fonte semblable au premier; on adapte les écrous aux boulons et on les serre autant que possible; on dessèche le cylindre ainsi obtenu dans une étuve à une forte chaleur; les disques de carton se retirent; on resserre de nouveau les écrous, et enfin on dresse et on termine le cylindre sur le tour; le carton ainsi comprimé offre une masse d'une dureté étonnante, qui prend parfaitement le poli, et qui émousse si rapidement l'acier, qu'il faut deux remouleurs pour affûter les outils qu'emploie dans le même temps un tourneur. Un cylindre de $0^m,50$ de diamètre doit faire au plus quarante tours par minute, et l'on doit se servir d'outils très petits qui n'enlèvent que fort peu de matière à la fois. On peut employer avec avantage, pour donner le dernier fini, des burins en diamant qui n'enlèvent qu'extrêmement peu de matière à la fois, mais qui ne s'émoussent point.

On avait d'abord essayé d'employer des cylindres en bois massif, mais on dut y renoncer parce qu'ils se déformaient et se gerçaient rapidement. On a imaginé depuis peu en Angleterre de prendre des planures de bois de sapin, de les dessécher fortement à l'étuve, puis de les comprimer aussi fortement que possible, au moyen d'une puissante presse hydraulique, dans un moule cylindrique en fonte, de manière à en former des disques de 6 à 7 centim. d'épaisseur. Ces disques sont enfilés sur un axe carré en fer et pressé d'abord entre deux disques en bois massif, puis entre deux disques en fonte, comme ci-dessus. On obtient ainsi des cylindres très durables, qui se laissent dresser beaucoup plus facilement sur le tour, et qui reviennent à un prix bien moins élevé que les cylindres en carton.

Lorsque la calandre n'a que deux cylindres, l'un deux est ordinairement métallique et l'autre en carton; rarement ils sont tous les deux en carton. Le plus souvent on emploie trois cylindres, dont l'intermédiaire est métallique et les deux autres en carton; quelquefois cependant c'est le contraire. Lorsqu'il y a quatre cylindres, il y a, en allant de haut en bas, un cylindre en carton, un cylindre métallique, et enfin deux cylindres en carton entre lesquels l'étoffe passe d'abord. Lorsqu'on emploie cinq cylindres, les 4^{e}, 3^{e} et 5^{e} sont en carton, et les 2^{e} et 4^{e} sont métalliques.

Les cylindres sont mis en mouvement au moyen de courroies sans fin ou de roues dentées. Le plus souvent le cylindre métallique communique seul directement avec la force motrice, et les autres cylindres se meuvent seulement en vertu de leur pression respective, de sorte que leur vitesse à la circonférence se trouve la même (elle est d'environ $0^m,50$ par seconde), et le lissage de l'étoffe n'a lieu que par la compression qu'elle éprouve en passant entre les cylindres. Lorsqu'au contraire, on communique au moyen de roues d'engrenages des vitesses à la circonférence différentes à deux cylindres consécutifs, de telle sorte que la surface du cylindre en métal soit supérieure à celle du cylindre en papier, il y aura glissement du cylindre métallique sur l'étoffe, ce qui en augmentera considérablement le lustre, aussi nomme-t-on souvent les calandres ainsi disposées, *calandres à lustrer*. On donne à l'étoffe un moiré particulier en l'aspergeant d'eau, immédiatement avant son passage entre les cylindres; on augmente la beauté de ce moiré, en communiquant à l'étoffe, pendant son passage entre les cylindres, un léger mouvement de va-et-vient dans le sens de sa largeur, au moyen d'un mécanisme particulier. Pour obtenir à la calandre un lissage complétement mat, on emploie deux cylindres dont le

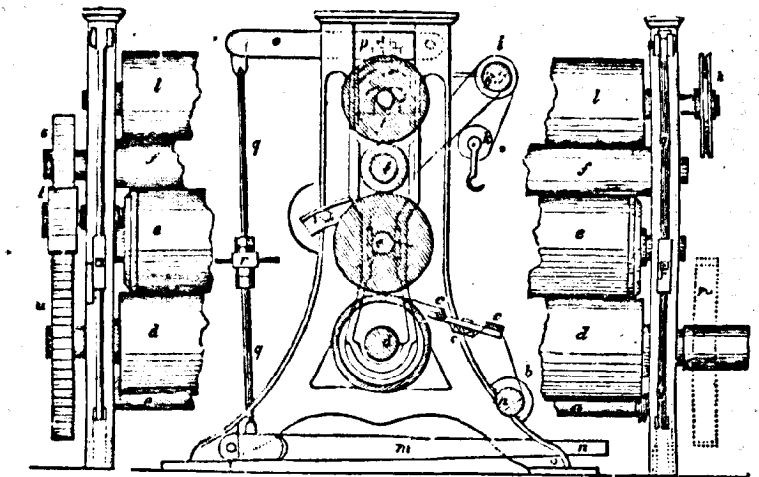
EFERUS - Recherche & Classification numérique

supérieur à coussinets mobiles presse sur l'inférieur par l'action de son propre poids, et au besoin, de poids additionnels ; après avoir passé entre les cylindres, l'étoffe s'enroule sur le cylindre supérieur, de sorte que la compression au lieu de s'exercer entre deux surfaces dures et polies, s'exerce entre une surface de ce genre et une surface élastique et peu dure.

La fig. 347 représente une coupe transversale, et les fig. 346 et 348 une élévation de la calandre habituellement employée en Angleterre : on enroule d'abord l'étoffe sur le cylindre en bois *a*, sur l'axe duquel est montée une poulie *b*, qui porte un contre-poids servant à régler la tension de l'étoffe ; celle-ci passe ensuite sur les barres *c*, *c*, qui servent à l'étendre, puis entre le cylindre creux en fonte *d*, et le cylindre en papier *e*, chacun de 0m,40 de diamètre ; elle repasse ensuite entre le cylindre en papier *e*, et le cylindre plein en fonte *f*, de 0m,20 de diamètre, et vient enfin s'enrouler sur le cylindre en bois *g* ; ce dernier est mis en mouvement par une courroie sans fin qui passe sur les gorges des poulies *h* (fig. 348) et *i* (fig. 347) ; le rouleau de pression *k*, sert à donner la tension convenable à l'étoffe. *l*, est un cylindre de pression, en bois de platane, de 0m,35 de diamètre, qui sert à répartir uniformément la pression sur les cylindres de la calandre. Celle-ci est produite par des poids suspendus en *n*, à l'extrémité d'un système de tiges et leviers articulés *m*, *q*, *o*, s'appuyant en *p* sur les coussinets du cylindre de pression *l* ; les deux pièces *q*, *q*, sont jointes au manchon *r* au moyen d'écrous, se vissant les uns à gauche, les autres à droite, de sorte que l'on augmente ou que l'on diminue la pression exercée par le cylindre *l*, en tournant dans un sens ou dans l'autre le manchon *r*, ce qui diminue ou augmente la longueur de la tige *q q*. En tournant suffisamment le manchon, on peut séparer les bouts de tige *q*, *q*, et enlever s'il est nécessaire le cylindre de pression *l*.

On communique le mouvement aux cylindres, avec une vitesse plus ou moins différente à la surface, au moyen des roues d'engrenage *s*, *t*, *u*, (fig. 346) ; la roue *u* a 69 dents, la roue *s* en a 20, et la roue *t* en a 33, 32 ou 20 suivant la différence de vitesse que l'on veut obtenir ; l'axe de la roue intermédiaire *t*, que l'on peut changer à volonté, est mobile dans deux coulisses *v*, où on le fixe d'une manière convenable ; la force motrice est appliquée directement sur l'axe de la roue *u*. Si l'on veut opérer avec l'action de la chaleur on introduit des barres de fer rouges dans le cylindre creux en fonte *d*, ou mieux on y fait passer un courant de vapeur d'eau.

On dispose les calandres d'une infinité d'autres manières que celle que nous venons de décrire. La disposition qui paraît la plus parfaite est celle inventée par *Karl Dalfuss*, et qui est employée dans les meilleures fabriques d'indiennes de l'Alsace (voyez pour la description complète de cette calandre, le n° 18 du Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse). On passe deux pièces d'étoffe à la fois dans cette calandre ; celles-ci s'enroulent ensuite sur un rouleau, ou sont pliées au sortir de la machine, au moyen d'un mécanisme très ingénieux que nous décrirons au mot PLIAGE *des étoffes*. Enfin une disposition très simple s'oppose complétement à ce que, par accident, en présentant l'étoffe, les doigts de l'ouvrier ne puissent être pris et écrasés entre les cylindres.



346 347. 348.

CALCAIRE (voyez CARBONATE DE CHAUX).

CALCÉDOINE (voyez QUARTZ).

CALCINATION. Autrefois, *calciner* signifiait changer en chaux, c'est-à-dire oxyder une substance métallique par le contact de l'air ; mais aujourd'hui l'acception de ce mot a totalement changé. L'opération que l'on appelle maintenant *calcination* a pour objet, soit de séparer d'une substance minérale ou organique une substance volatile quelconque, par l'effet seul de la chaleur et sans le concours de l'air, soit de lui faire éprouver des changements brusques de température, pour la rendre plus fragile, soit enfin de lui donner plus de cohésion, et de la rendre moins facilement attaquable par les agents atmosphériques et chimiques.

On calcine, pour en séparer l'eau, les hydrates de fer, de zinc, et tous les minerais à gangue argileuse ; pour en séparer l'acide carbonique, les carbonates de chaux, de fer, de zinc ; pour en séparer à la fois l'eau et l'acide carbonique, les carbonates hydratés de fer, de zinc (voyez MÉTALLURGIE, CHAUX, FER, ZINC, etc.) ; pour en séparer une portion du soufre et de l'arsenic, plusieurs sulfures et arsénio-sulfures ; mais dans ce cas il y a presque toujours fusion ; enfin, on calcine pour expulser le bitume, etc., les bois, houilles et autres combustibles minéraux (voyez CARBONISATION). On calcine pour les étonner et les rendre fragiles, le quartz et toutes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les pierres très-dures (voyez POTERIE, VERRERIE); dans ce cas, après les avoir fait chauffer jusqu'au blanc, on les *étonne* en les projetant brusquement dans une grande masse d'eau froide. On calcine, pour leur faire prendre de la cohésion et leur assurer une durée pour ainsi dire indéfinie, les argiles (voyez BRIQUE, POTERIE).

Quant aux appareils de calcination, ils varient suivant le résultat à obtenir et la nature de la matière que l'on traite; aussi en renvoyons-nous la description aux articles spéciaux.

CALCULER (MACHINES À) (ang., *calculating machine*; all., *rechnung maschine*). La possibilité d'exécuter des calculs à l'aide de mouvements mécaniques a été entrevue, pour la première fois, par le génie de Blaise Pascal. C'est à l'âge de dix-neuf ans qu'il conçut sa machine arithmétique, ayant vu que les rouages des roues d'engrenage pouvaient représenter des nombres, et les passages de dents en un point indiquer le nombre de ces dents. Cette conception mériterait d'illustrer seule ce grand esprit, célèbre à tant de titres, bien plus toutefois que la machine même qui, malgré les efforts de plusieurs géomètres et mécaniciens, de Leibnitz notamment, n'a jamais pu réaliser qu'un compteur additionnant les nombres inscrits les uns à la suite des autres. Nous chercherons à en donner une idée, d'après la description donnée par Diderot dans l'Encyclopédie et la figure 348, empruntée au même ouvrage.

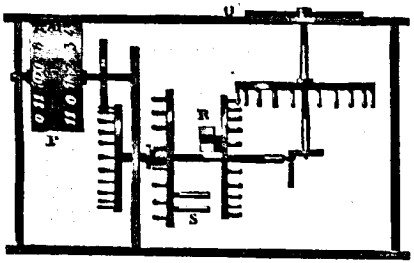


Fig. 348.

Machine arithmétique de Pascal. La base de la machine est la pièce dite *sautoir*, au moyen de laquelle la roue des dizaines tourne d'une dent lorsque la roue des unités a fait un tour entier. Les dispositions plus simples de griffes, d'ergots saillants des compteurs modernes ôtent tout intérêt à l'étude de cet organe compliqué que représente la figure 348. La plaque de cuivre qui forme la face antérieure de la machine porte une rangée de cercles mobiles QQ servant à écrire les nombres, et les résultats sont fournis par les chiffres placés à la partie antérieure des cylindres PP', placés d'équerre avec les premiers. La fourchette R accroche les chevilles S et passe entre elles par suite de son tracé, elle fait avancer la roue qui les porte d'une division par chaque tour de la première du mouvement circulaire des deux pièces. C'est bien un organe de compteur.

La seconde idée fort ingénieuse, que l'on doit remarquer dans cette machine, c'est d'avoir ramené la soustraction à l'addition, en graduant doublement les cylindres du résultat, tant suivant la suite naturelle des nombres, qu'en rétrogradant en sens inverse de leur mouvement; la seconde ligne, ainsi tracée, étant située sur une ligne différente de celle servant pour l'addition, au-dessous de celle-ci. Ainsi, sur le barillet représentant les unités des livres, sont tracées les deux rangées :

0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
9, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Il est évident que le chiffre supérieur, retranché de 9, donnera celui qui lui correspond dans la rangée inférieure, et de même pour toute espèce d'opération. Pour les deniers, par exemple, on écrira :

0, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.
11, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

L'emploi de cette graduation va devenir clair par l'explication du fonctionnement de la machine, pour laquelle nous rendons la parole à Diderot.

Usage de la machine arithmétique pour l'addition. Commencez par couvrir de la bande mobile la rangée supérieure d'ouvertures où se lisent les chiffres gravés sur les cylindres P, P'; mettez ensuite les roues de la rangée inférieure à zéro. Soient les sommes à ajouter en livres, sous et deniers (les dentures des roues étant taillées dans le rapport voulu) :

69	7	8
584	15	6
342	12	9

Prenez le conducteur; portez sa pointe dans la huitième denture du cercle Q, le plus à la droite; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que l'arrêt vous empêche d'avancer.

Passez à la roue des sous ou au cercle Q, qui suit immédiatement celui sur lequel vous avez opéré en allant de la droite à la gauche; portez la pointe du conducteur dans la septième denture, à compter depuis la potence; faites tourner ce cercle jusqu'à ce que la potence S vous arrête; passez aux livres, aux dizaines, et faites la même opération sur leur cercle Q.

En vous y prenant ainsi, votre première somme sera évidemment écrite : opérez sur la seconde, précisément comme vous avez fait sur la première, sans vous embarrasser des chiffres qui se présentent aux ouvertures, puis sur la troisième. Après votre troisième opération, remarquez les chiffres qui paraîtront aux ouvertures des cylindres; ils marqueront la somme totale de vos trois sommes partielles.

Démonstration. Il est évident que, si vous faites tourner le cercle Q des deniers de huit parties, vous aurez 8 à l'ouverture correspondante à ce cercle; il est encore évident que, si vous faites tourner le même cercle de six autres parties, comme il est divisé en douze, c'est la même chose que si vous l'aviez fait tourner de douze parties, plus deux; mais, en le faisant tourner de douze, vous auriez remis à zéro le barillet des deniers correspondant à ce cercle des deniers, puisqu'il eût fait un tour exact sur lui-même : mais il n'a pu faire un tour sur lui-même que le second barillet, ou celui des sous, n'ait tourné d'un vingtième, et, par conséquent, mis le chiffre 1 à l'ouverture des sous. Mais le chiffre des deniers n'a pu rester à zéro; car ce n'est pas seulement de douze parties que vous l'avez fait tourner, mais de douze parties plus deux. Vous avez donc fait en sus comme si le barillet des deniers, étant à zéro, celui des sous à 1, vous eussiez fait tourner le cercle Q des deniers de deux dentures; mais, en faisant tourner le cercle Q des deniers de deux dentures, on met le barillet des deniers à 2, ou ce barillet présente 2 à son ouverture. Donc, le barillet des deniers offrira 2 à son ouverture, et celui des sous 1; mais 8 deniers et 6 deniers font 14 deniers, ou un sou, plus 2 deniers, ce qu'il fallait en effet ajouter, et ce que la machine a donné. La démonstration sera la même pour tout le reste de l'opération.

Exemple de la soustraction. Commencez par baisser la bande sur la ligne d'ouvertures inférieures; écrivez la plus grande somme sur les ouvertures de la ligne supérieure, comme nous l'avons prescrit pour l'addition par le moyen du conducteur; faites l'addition de la somme à soustraire, ou de la plus petite avec la plus grande, comme nous l'avons prescrit à l'exemple de l'addition; cette addition faite, la soustraction le sera aussi. Les chiffres qui paraîtront aux ouvertures mar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

queront la différence des deux sommes ou l'excès de la grande sur la petite, ce que l'on cherchait.

Soit	9,121	9	2
dont il faut soustraire	8,989	16	11

Si vous exécutez ce que nous avons prescrit, vous trouverez, aux ouvertures, 131 9 3.

Démonstration. Quand j'écris le nombre 9,121 l. 9 s. 2 d., pour faire paraître 2 à l'ouverture des deniers, je suis obligé de faire passer avec le directeur onze dentures du cercle Q des deniers ; car il y a, à la rangée supérieure du barillet des deniers, onze termes, depuis 0 jusqu'à 2 : si à ce 2 j'ajoute encore 11, je tomberai sur 3 ; car il faut encore que je fasse faire onze dentures au cercle Q : or comptant 11, depuis 2, on tombe sur 3. La démonstration est la même pour le reste. Mais remarquez que le barillet des deniers n'a pu tourner de 22, sans que le barillet des sous n'ait tourné d'un vingtième ou de douze deniers. Mais comme, à la rangée d'en haut, les chiffres vont en rétrogradant dans le sens que les barillets tournent ; à chaque tour du barillet des deniers, les chiffres du barillet des sous diminuent d'une unité, c'est-à-dire que l'emprunt que l'on fait sur un barillet est acquitté sur l'autre, ou que la soustraction s'exécute comme à l'ordinaire.

Exemple de la multiplication. Revenez aux ouvertures inférieures ; faites remonter la bande sur les ouvertures supérieures ; mettez toutes les roues à zéro, par le moyen du conducteur, comme nous l'avons dit plus haut. Ou le multiplicateur n'a qu'un caractère, ou il en a plusieurs ; s'il n'a qu'un caractère, on écrit, comme pour l'addition, autant de fois le multiplicande qu'il y a d'unités dans ce chiffre du multiplicateur : ainsi, la somme 1,245 étant à multiplier par 3, j'écris ou pose trois fois cette somme à l'aide de mes roues et des cercles Q, après la dernière fois, il paraît aux ouvertures 3,735, qui est en effet le produit de 1,245 par 3.

Si le multiplicateur a plusieurs caractères, il faut multiplier tous les chiffres du multiplicande par chacun de ceux du multiplicateur, les écrire de la même manière que pour l'addition ; mais il faut observer, au second multiplicateur, de prendre pour première roue celle des dizaines.

La multiplication n'étant qu'une espèce d'addition, et cette règle se faisant évidemment ici par voie d'addition, l'opération n'a pas besoin de démonstration.

Exemple de division. Pour faire la division, il faut se servir des ouvertures supérieures ; faites donc descendre la bande sur les inférieures ; mettez à zéro toutes les roues fixées sur cette bande, et qu'on appelle *roues de quotient* ; faites paraître aux ouvertures votre nombre à diviser, et opérez comme nous allons dire.

Soit la somme 65 à diviser par 5 ; vous dites : en 6, 5 y est, et vous ferez tourner votre roue comme si vous vouliez additionner 5 et 6 ; cela fait, les chiffres des roues supérieures allant toujours en rétrogradant, il est évident qu'il ne paraîtra plus que 1 à l'ouverture où il paraissait 6 ; car, dans 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 1 est le cinquième terme après 6.

Mais le diviseur 5 n'est plus dans 1 ; marquez donc 1 sur la roue des quotients, qui répond à l'ouverture des dizaines ; passez ensuite à l'ouverture des unités, ôtez-en 5 autant de fois qu'il sera possible, en ajoutant 5 au caractère qui paraît à travers cette ouverture, jusqu'à ce qu'il vienne à cette ouverture ou zéro ou un nombre plus petit que 5, et qu'il n'y ait que des zéros aux ouvertures qui précèdent ; à chaque addition, faites passer l'aiguille de la roue des quotients, qui est au-dessous de l'ouverture des unités, du chiffre 1 sur le chiffre 2, sur le chiffre 3 ; en un mot, sur un chiffre qui ait autant d'unités que vous ferez de soustractions : ici, après avoir ôté trois fois 5 du chiffre qui paraissait à l'ouverture des unités, il est venu zéro ; donc 5 est 13 fois en 65.

Il faut observer ici qu'en ôtant une fois 5 du chiffre qui paraît aux unités, il vient tout de suite zéro à cette ouverture ; mais que, pour cela, l'opération n'est pas achevée, parce qu'il reste une unité à l'ouverture des dizaines, qui fait, avec le zéro qui suit, 10, qu'il faut épuiser ; or, il est évident que, 5 ôté deux fois de 10, il ne restera plus rien, c'est-à-dire que, pour exhaustion totale, ou pour avoir zéro à toutes les ouvertures, il faut encore soustraire 5 deux fois.

Il ne faut pas oublier que la soustraction se fait exactement comme l'addition, et que la seule différence qu'il y ait, c'est que l'une se fait sur les nombres d'en bas et l'autre sur les nombres d'en haut.

Mais, si le diviseur a plusieurs caractères, voici comment on opérera : soit 9,989 à diviser par 124 ; on ôtera 1 de 9, chiffre qui paraît à l'ouverture des mille, 2 du chiffre qui paraît à l'ouverture des centaines, 4 du chiffre qui paraît à l'ouverture des dizaines, et l'on mettra l'aiguille des cercles du quotient, qui répond à l'ouverture des dizaines, sur le chiffre 1. Si le diviseur 124 peut s'ôter encore une fois de ce qui paraîtra, après la première soustraction, aux ouvertures des mille, des centaines et des dizaines, on l'ôtera et on tournera l'aiguille du même cercle du quotient sur 2, et on continuera jusqu'à l'exhaustion la plus complète qu'il sera possible ; pour cet effet, il faudra réitérer ici la soustraction huit fois sur les trois mêmes ouvertures ; l'aiguille du cercle du quotient, qui répond aux dizaines, sera donc sur 8 et il ne se trouvera plus aux ouvertures que 69, qui ne peut plus se diviser par 124 ; on mettra donc l'aiguille du cercle du quotient, qui répond à l'ouverture des unités, sur 9, ce qui marquera que, 124 ôté 80 fois de 9,989, il reste ensuite 69.

Nous en resterons là de cette description ; nous répéterons seulement qu'on ne saurait évidemment pas dire que cette machine fait autre chose que l'addition, et, grâce à une graduation convenable, la soustraction ; nous donnerons plus loin la description de machines faisant réellement la multiplication, grâce à un organe spécial.

Nous décrirons maintenant la machine du docteur Roth, qui, bien plus simple que celle de Pascal, donne les mêmes résultats et peut être considérée comme une simplification de cette machine.

Machine à calculer, addition et soustraction, du docteur Roth. Cette ingénieuse machine consiste en une boîte longue et étroite, dont la surface supérieure est recouverte d'une plaque sur laquelle on a gravé des chiffres. A l'une des extrémités de la boîte est placé un style à pointe mobile destiné à *écrire* les nombres. La plaque est divisée en huit cadrans ou anneaux demi-circulaires ; les six premiers, en allant de gauche à droite, servent à poser les nombres depuis les centaines de mille jusqu'à l'unité ; les deux derniers sont consacrés aux fractions décimales du nombre à écrire. Autour de chaque cadran sont gravées deux séries de 10 chiffres de 0 à 10 ; les *noirs* servent pour l'addition, les *rouges* pour la soustraction, et dans les entailles demi-circulaires existent des dents dont les intervalles correspondent aux chiffres. Au-dessous des cadrans règnent deux rangées de trous destinés à présenter sur une ligne horizontale le nombre que l'on pose ; nous leur donnerons le nom de tableau. Le tableau rouge supérieur est destiné à la soustraction ; le tableau noir inférieur, à l'addition.

Lorsqu'on veut faire une addition et poser un nombre quelconque, on commence par ramener tous les trous ronds à zéro, puis on dégage le style placé à l'extrémité de la boîte ; on en enfonce verticalement la pointe dans l'entaille au cran correspondant au chiffre que l'on veut poser, et on conduit ce cran de *droite à gauche* jusqu'à l'extrémité du cadran ; le chiffre se produit aussitôt dans le trou placé immédiatement au-dessous du cadran sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lequel on a opéré; on procède ensuite de la même manière, jusqu'au dernier, pour les chiffres suivants du nombre à poser, en observant que, s'il se rencontre un zéro, il n'y a pas à le marquer.

Supposons que l'on veuille écrire le nombre 1,630 *francs* 23 *centimes*; on placera le style dans le cran correspondant au chiffre 1 noir sur le cadran des *mille*, et on amènera les dents jusqu'à l'extrémité gauche; on écrira de même le chiffre 6 sur le cadran des *cent*, 3 sur celui des *dizaines*, et rien sur celui des *unités*, puisque le chiffre des unités est zéro; puis aux cadrans des fractions, 2 sur celui des *décimes*, et 3 sur celui des *centimes*; on aura, pour résultat de cette opération, le nombre. . . . . 1630,23, écrit au tableau noir; si on veut ajouter à ce nombre celui de 29837,55, par exemple, on opérera comme pour le premier nombre et la somme. . . . . 31467,78 se trouvera écrite au tableau noir. On peut, de cette manière, ajouter à un premier nombre tous ceux que l'on veut jusqu'à un million, et toujours l'addition exacte se fait à mesure que l'on écrit. Il est indifférent d'écrire les nombres en commençant par la gauche ou par la droite; seulement, le premier procédé est le plus commode.

Le mécanisme de cette ingénieuse machine est tellement simple que nous espérons le faire aisément comprendre sans figures. Les dents qui saillissent dans chaque entaille demi-circulaire appartiennent à une roue à rochet concentrique, à laquelle un cliquet permet seulement de se mouvoir de droite à gauche. Ces roues portent sur deux circonférences concentriques, et écrits en noir et en rouge, la série double des chiffres 0, 1, 2... 9, 0, 1, 2... 9, écrits les uns dans un sens, les autres dans l'autre, comme cela a lieu pour les deux séries simples gravées sur le pourtour des entailles circulaires. Les trous ronds des deux tableaux sont respectivement pratiqués au-dessus de ces deux circonférences. Il est alors évident que l'une de ces roues étant disposée de telle sorte qu'il y ait 0 au tableau noir, si l'on amène avec le style le cran 5 au cran 0, le chiffre 5 viendra remplacer le 0 dans le tableau noir; si l'on amène de nouveau le cran 2 au cran 0, la roue avancera de deux dents, et le chiffre $7 = 5 + 2$ remplacera le 5 au tableau noir. L'axe de chacune des roues à rochets porte une double came, contre laquelle vient appuyer, par le moyen d'un ressort, une saillie pratiquée sur l'un des bras d'un levier coudé, dont l'autre bras porte lui-même un ressort ou cliquet qui, à chaque demi-tour de la roue, fait sauter une des dents de la roue à rochet de gauche, de telle sorte que, lorsque la somme des unités, successivement écrites sur un cadran, atteint une dizaine, ce cliquet fait sauter une dent ou un chiffre du cadran de gauche. On conçoit donc que les additions se fassent comme nous l'avons indiqué, et que le nombre des cadrans et des roues à rochet détermine la grandeur des nombres sur lesquels on peut opérer

Lorsque, ayant terminé une addition, on veut en commencer une autre, il faut commencer par ramener tous les trous ronds du tableau noir à zéro: pour cela, on attire d'abord à soi le bouton de cuivre placé à l'extrémité gauche de la boîte, lequel termine une tige cachée dans l'intérieur; par ce mouvement, la tige est dégagée d'un crochet qui la retient; on la fait alors sortir doucement et horizontalement, en tirant le bouton jusqu'à ce que l'on sente de la résistance, et, par ce moyen, on amène au tableau une succession de 9 représentant 99,999 francs 99 centimes. Si, après avoir repoussé la tige dans l'intérieur jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau saisie par le crochet (précaution indispensable), on ajoute 1 centime, on obtient instantanément des zéros sur toute la ligne, et on peut dès lors commencer une nouvelle addition. Ce dernier mécanisme est aussi simple que les précédents; l'axe de chaque roue à rochet porte une seconde double came qui offre à peu près la forme d'un rhombe ou losange allongé et à faces légèrement évidées. La tige dont nous venons de parler pénètre jusqu'au milieu environ de la boîte, et est liée par deux boulons à une autre tige parallèle à la longueur de la boîte, portant huit mentonnets qui, lorsque la première tige est saisie par le crochet, se trouvent à la droite et un peu au-dessus de la ligne des axes de chacune des doubles cames ci-dessus, dont ils traversent le plan, et qu'ils ne peuvent pas alors toucher; mais, lorsqu'on dégage la première tige et qu'on la tire de droite à gauche, les boulons, qui joignent les tiges, glissent dans deux anneaux ou guides à peu près demi-circulaires, de telle sorte que tous les points de la seconde tige, et par suite les huit mentonnets qu'elle porte, décrivent des courbes égales et parallèles, pour venir se placer de l'autre côté de chaque roue à rochet dans une position symétrique. Quelle que soit alors la position de chaque double came, si elle n'est pas dans celle qui correspond au 9 sur le tableau noir, l'une des cames simples qui la composent se trouvera au-dessus de la ligne droite qui passe par les positions primitives des mentonnets, et sera entraînée par le mentonnet de droite, qui la ramènera dans la position voulue. Il est indifférent que le mentonnet touche l'une ou l'autre des cames de la double came, puisque chacune des moitiés de la roue à rochet porte les mêmes chiffres, dans le même ordre, en allant toujours dans le même sens.

Ces divers mécanismes étant bien compris, il est facile de voir comment il faudra s'y prendre pour faire une soustraction, en remarquant que les chiffres rouges sont écrits sous les chiffres noirs, en sens inverse, c'est-à-dire de droite à gauche, de telle sorte que la somme d'un quelconque des chiffres noirs et du chiffre rouge placé en regard au-dessous, soit sur l'un des cadrans, soit sur l'une des roues à rochet, est toujours égale à 9. A cet effet, on mettra, avant de commencer l'opération, tous les chiffres du tableau noir à 0; les chiffres rouges seront alors à 9; on écrira le nombre le plus grand avec les chiffres rouges; on écrira ensuite le plus petit nombre avec les chiffres noirs, et on lira la différence sur le tableau rouge. Pour éviter toute confusion, il sera convenable de mettre à 0, sur le tableau rouge, tous les cadrans non employés pour écrire le plus grand nombre avec les chiffres rouges.

Usage des machines à addition. Les machines arithmétiques pouvant servir à effectuer des additions semblent peu susceptibles de rencontrer des applications d'un ordre élevé, d'effectuer le calcul des valeurs des fonctions, des équations. Il n'en est pas ainsi, et les curieux travaux de Babbage (voyez *Complément*, CALCULER) ont fait voir comment les séries fort complexes aboutissant à des différences 3^{es}, 4^{es}..., n^{mes} constantes, on pouvait, par simple voie d'additions successives, construire des tables dont le calcul est fort laborieux. La voie ouverte par le savant géomètre anglais peut conduire à une solution curieuse du problème, mais, n'y parvenant que par un moyen détourné, elle ne fournit pas de conséquences théoriques intéressantes comme celles auxquelles on arrive par la solution directe analysée dans l'article que nous venons d'indiquer.

Arithmomètre Thomas. L'organe principal de cette machine que nous représentons, en principe (fig. 349), qui fait sa supériorité incontestable sur les machines à calculer antérieures, et qu'on peut appeler l'organe de la multiplication, consiste dans un *cylindre cannelé* partiellement, que nous décrirons avant tout. La surface de chacun de ces cylindres, portés par chaque axe répondant à un chiffre du multiplicande, est couverte par neuf *arêtes saillantes* placées les unes contre les autres comme les dents d'un engrenage cylindrique. Ces arêtes ont des longueurs proportionnelles aux nom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bres 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. La première occupe toute la longueur du cylindre, et la dernière n'en est que la neuvième partie. Un arbre à section rectangulaire, parallèle au cylindre cannelé, porte un pignon à dix

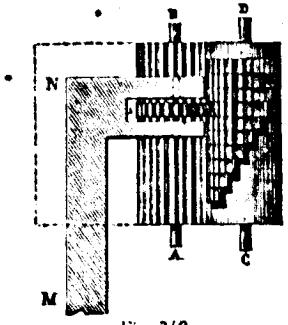


Fig. 349.

dents engrenant avec celui-ci, et mobile le long de cet arbre de manière à faire tourner par chaque tour 1, 2. . . 9 dents, suivant sa position.

Ceci compris, revenons à la description de l'arithmomètre (fig. 350).

La boîte contenant le cylindre, l'arbre parallèle et le *pignon mobile*, est fermée par une table horizontale en cuivre dans laquelle on a pratiqué, exactement au-dessus de l'arbre, une *coulisse* A parallèle au cylindre. Sur le bord de cette coulisse, qui a même longueur que le cylindre, on a tracé dix divisions à égales distances et marquées des nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Un *index*, qui glisse dans la coulisse et qui est lié au pignon mobile, le fait marcher le long de l'arbre. Supposons, axe commun, sont maintenus par un pont au-dessous d'une *tablette* en cuivre qui est de niveau avec la table des coulisses. Dans cette tablette, il y a une petite ouverture circulaire ou *fenêtre du cadran* par laquelle on voit passer, à partir de zéro, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, quand le cadran fait un tour entier.

Maintenant, concevons que l'index soit placé sur le n° 3 de la coulisse et que le cylindre fasse un tour entier ; les trois arêtes 1, 2, 3 du cylindre poussent trois dents du pignon mobile. Le pignon fixe, qui a même arbre que le pignon mobile, avance également de trois dents. La couronne, entraînée à son tour par le pignon fixe, marche aussi de trois dents, et le cadran fait trois pas. On voit arriver à la petite fenêtre du cadran les chiffres 1 et 2, puis le chiffre 3, qui remplace le zéro qui s'y trouvait d'abord.

A côté du cylindre que nous venons de décrire avec tous ses accessoires, et qui correspond aux unités, on a placé parallèlement à gauche des cylindres semblables pour les dizaines, les centaines, etc. La tablette porte, indépendamment des cadrans correspondants à chaque cylindre, d'autres cadrans sur la gauche en nombre au moins égal, afin de pouvoir exécuter les opérations qui conduisent à un grand nombre de chiffres.

Le moteur de la machine est une manivelle N que l'on tourne toujours de gauche à droite, et qui, au moyen d'un arbre de couche, fait tourner à la fois tous les cylindres cannelés de droite à gauche. Ceux-ci, par leurs arêtes saillantes, poussent les pignons mobiles, et les font toujours tourner de gauche à droite.

Pour transporter dans les fenêtres des cadrans un nombre donné 75, on pousse l'index du premier cylindre de droite ou des unités sur le numéro 5 de la coulisse; on fait de même monter l'index des dizaines sur le numéro 7. Le nombre 75 est alors écrit sur les coulisses avec deux index, et un tour de manivelle le transporte dans les fenêtres des deux premiers cadrans de

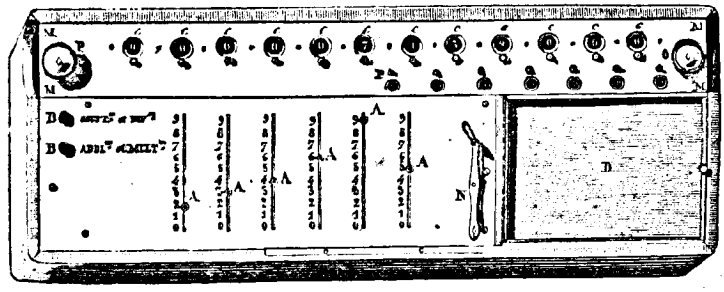


Fig. 350.

par exemple, que l'on pousse l'index sur le numéro 3 de la coulisse, le pignon qui le suit arrive vis-à-vis le commencement de l'arête saillante 3 du cylindre. Si le cylindre fait un tour entier, trois dents du pignon seront poussées par les trois arêtes saillantes 1, 2, 3, les seules qui puissent alors atteindre ce pignon, puisque les autres arêtes ne commencent qu'au-dessus du n° 3 de la coulisse.

L'arbre qui sert d'axe au pignon mobile porte à son extrémité, prolongée dans une autre boîte, un pignon fixe vertical à dix dents, qui engrène par sa partie supérieure dans une *couronne* ou roue d'angle horizontale à dix dents. L'axe vertical de cette couronne est aussi l'axe d'un *cadran horizontal* sur le contour duquel on a marqué, dans dix cases, les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. La couronne, le cadran qui est par-dessus, et leur

droite (fig. 350).

Addition. On écrit un nombre avec les index ; on fait un tour de manivelle, et il est transporté dans les fenêtres où se trouvaient d'abord des zéros. On transporte de même un deuxième nombre, qui s'ajoute au premier, puis un troisième et ainsi de suite. La somme de tous ces nombres est alors écrite dans les fenêtres des cadrans.

Quand la somme de deux chiffres qui s'ajoutent sur un même cadran surpasse 9, les unités se trouvent dans la fenêtre de ce cadran, et la dizaine ou la *retenue* passe sur le cadran de gauche. Voici comment s'opère ce passage: quand le zéro qui suit 9 arrive à la petite fenêtre, une *came* en acier, placée sous le disque du cadran vis-à-vis zéro, presse et fait tourner le bras d'un levier coudé; une cheville ou *doigt*, qui tourne de droite à gauche,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'engage dans les dents du pignon fixe des dizaines, le fait avancer d'un pas, et l'on voit le chiffre 1 à la fenêtre du cadran des dizaines. Pendant que les chiffres de 1 à 9 traversent la fenêtre du cadran des unités, qui tourne de droite à gauche, le support du doigt se déplace progressivement au moyen d'un plan incliné circulaire. Le bras du levier tourne en même temps en sens contraire, revient à sa première position, où il est de nouveau pressé par la came, lorsque le zéro reparaît dans la petite fenêtre. Un ressort presse l'autre bout du levier coudé, qui ne peut, en conséquence, tourner que par l'action de la came ou par le jeu du plan incliné.

Soustraction. Quand le grand nombre est transporté dans les fenêtres des cadrans et le petit nombre écrit avec les index, la soustraction s'opère par un tour de manivelle. Mais alors les cadrans, au lieu de tourner de droite à gauche dans l'ordre croissant 1, 2, 3, etc., comme pour l'addition, doivent tourner de gauche à droite dans l'ordre inverse des chiffres. Ce changement s'obtient au moyen d'un second pignon fixe sur chaque arbre. Ce second pignon vertical atteint la couronne horizontale dans un point diamétralement opposé au point où engrène le pignon pour l'addition. La couronne, poussée en sens contraire, fait tourner le cadran dans l'ordre inverse des chiffres. A l'aide d'un bouton indicateur amené sur les mots addition et multiplication, ou sur les mots soustraction et division, on est sûr de faire embrayer dans la couronne horizontale, d'un côté, le pignon pour l'addition, et de l'autre le pignon opposé pour la soustraction, en tournant toujours la manivelle de gauche à droite.

Multiplication. On écrit le multiplicande avec les index. Par un nombre de tours égal aux unités du multiplicateur, le multiplicande s'ajoute à lui-même autant de fois qu'il y a d'unités dans le multiplicateur, et le produit partiel se trouve dans les chiffres apparents des cadrans. Alors on fait glisser à la main, vers la droite, la tablette des cadrans, de manière que le cadran des dizaines prenne la place des unités, corresponde à celui des unités. Avec autant de tours de manivelle qu'il y a de dizaines dans le multiplicateur, le second produit partiel, qui se compose de dizaines, se forme et s'ajoute au premier produit partiel, mais en commençant par les dizaines. Pour chaque autre chiffre du multiplicateur, on continue d'avancer les cadrans d'un rang vers la droite, puis de tourner la manivelle pour former et ajouter les produits partiels correspondants. Le produit total, composé de la somme des produits partiels, pour tous les chiffres du multiplicateur, se trouve enfin dans les fenêtres des cadrans.

Division. On amène l'indicateur sur le mot division pour faire embrayer dans la couronne le pignon vertical, qui pousse chaque cadran, dans l'ordre inverse des chiffres, comme pour la soustraction. Après avoir écrit le dividende pour les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on voit quelle est la tranche de chiffres du dividende qu'il faut prendre sur sa gauche pour contenir le diviseur, et l'on fait glisser la tablette des cadrans de gauche à droite, de manière que le chiffre de droite de cette tranche réponde aux unités du diviseur. On tourne la manivelle jusqu'à ce que la tranche soit réduite, dans les fenêtres, à un nombre plus petit que le diviseur ; le nombre de tours est précisément le premier chiffre de gauche du quotient. Le reste de la tranche et le chiffre suivant du dividende forment une seconde tranche ; on fait rentrer d'un rang la tablette des cadrans pour que le nouveau chiffre de droite se trouve vis-à-vis des unités du diviseur. Alors le nombre de tours de la manivelle donne le second chiffre du quotient, et ainsi de suite. On continue de la même manière pour obtenir les autres chiffres du quotient. On doit écrire à part les chiffres du quotient, parce qu'il n'en reste pas de trace dans la machine. Quand la division ne se fait pas exactement, le reste se trouve dans les fenêtres des cadrans.

En résumé, l'arithmomètre effectue immédiatement l'addition et la soustraction. Quand deux nombres sont inscrits dans les fenêtres des cadrans et sur les coulisses avec les index, la somme ou la différence des nombres se trouve dans les fenêtres des cadrans après un tour de manivelle. Dans la multiplication et la division, quand on a écrit seulement le multiplicande avec les index, ou bien le dividende dans les fenêtres des cadrans et le diviseur avec les index, on doit faire autant d'opérations partielles qu'il y a de chiffres dans le multiplicateur ou le quotient, et, après chacune de ces opérations, il faut encore effectuer à la main le déplacement des cadrans. C'est par ce concours facile de l'opérateur, par le déplacement des ordres d'unités que l'inventeur est parvenu à construire une machine très-simple, très-commode, permettant d'exécuter avec promptitude les calculs les plus ordinaires de l'arithmétique.

Nous renverrons les lecteurs désireux de connaître les détails de la construction de cette ingénieuse machine à un rapport fait par M. Benoît à la Société d'encouragement (1851). Nous ajouterons seulement à ce qui précède quelques détails sur l'application que l'on peut en faire pour exécuter mécaniquement des calculs fort compliqués, ainsi que l'a montré M. Hirn.

L'arithmomètre, dit M. Hirn, est l'instrument des calculs étendus, rapides et *tout à fait rigoureux* ; son exactitude et sa rapidité dans les calculs de nombres qui ont jusqu'à vingt-quatre figures au produit, au moyen de la machine qui n'admet que six figures au facteur, en font un appareil précis et incomparable dont se servira un jour l'astronome tout comme le comptable d'un bureau quelconque.

Ainsi, lorsqu'on emploie l'arithmomètre à des multiplications, à des divisions, à des extractions de racines carrées de nombres dont les figures ne dépassent pas ce que comporte l'instrument (5, 6, 8, 10 aux facteurs pour l'instrument de 5, 6, 8, 10 coulisses), le résultat s'obtient immédiatement avec un bénéfice de temps de dix-neuf vingtièmes sur le calculateur le plus exercé. A côté de cet avantage s'en place un autre qui lui est supérieur : c'est l'exactitude. Les fautes accidentelles et bien rares qui s'y produisent sont aperçues au tour même de manivelle qui y donne lieu.

Disons comment, pour en tirer tout le parti possible, M. Hirn étend la portée de l'instrument autant qu'il le comporte. Supposons, dans ce qui va suivre, qu'on se serve d'un arithmomètre de six chiffres ou figures, et qu'on soit parfaitement au courant de l'usage de l'arithmomètre, en ce qui concerne les quatre règles : les instructions publiées à ce sujet par M. Thomas, et accompagnant toujours l'arithmomètre, sont suffisamment claires dans ce sens. Nous prendrons pour exemple une multiplication.

Multiplication de nombres formés de plus de figures que n'en porte l'arithmomètre. — Supposons de suite le cas extrême, où l'on ait à faire une multiplication de deux nombres de douze figures chacun, comme, par exemple :

$$986523469728 \times 658976528973$$

Ces deux nombres peuvent s'écrire sous la forme

$$(986523000000 + 469728) \times (658976000000 + 528973).$$

La multiplication peut donc se décomposer ainsi :

$$(986523 \times 658976)\,000000000000\ \text{I} + 986523 \times 528973)\,000000\ \text{II} + (658976 \times 469728)\,000000\ \text{III} + (469728 \times 528973)\ \text{IV}.$$

Et, dès ce moment, l'opération est possible sur l'arithmomètre de six chiffres. On exécute les quatre multi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plications isolément, sans s'occuper des zéros. En les transcrivant sur le papier, on les superpose en ajoutant douze zéros à I, six zéros à II et III, et laissant IV tel quel ; mais, en commençant par la droite, il vient ainsi :

650094980448000000000000	I
52484403087900000000	II
309539478728000000	III
248473429344	IV
650095844834757880429344	

Ainsi, en définitive, sur un arithmomètre quelconque, il est possible toujours de faire rapidement une multiplication de nombres ayant le double de figures que n'en porte la machine.

Nous ne donnerons pas les autres méthodes de calcul indiquées par le savant ingénieur; nous nous contenterons de rapporter ici ses conclusions.

Il faut certes de l'exercice et de l'habitude pour exécuter rapidement des opérations successives compliquées, et qui peuvent comprendre des sommes ou des différences de produits, de divisions, de puissances, etc.; bien moins cependant qu'on ne le penserait à première vue, et je ne crains point de me tromper en disant que huit jours de pratique suffisent pour mettre un calculateur un peu intelligent à l'abri de toute chance d'erreur.

Il ne sera pas difficile à un calculateur habile de trouver d'autres opérations nombreuses auxquelles se prête l'arithmomètre. Je dirai seulement, pour terminer, que l'emploi d'un instrument de 40 chiffres aux facteurs, qui se prête au calcul des logarithmes à 40 figures, deviendra un jour, pour les astronomes, par exemple, un moyen de sauver 11 heures de travail laborieux sur 12.

Machine à calculer de Maurel et Jayet, dite ARITMAUREL. L'arithmomètre Thomas, inventé dès 1820, était oublié, quand la machine dont nous parlons fut présentée, en 1849, à l'Académie des sciences. Elle impressionna vivement l'opinion publique, et ce ne fut que la constatation tardive de la ressemblance de son organe principal avec celui de l'arithmomètre, qui la refroidit un peu. Ajoutons qu'elle n'est pas passée dans la pratique, que sa construction ne s'est pas multipliée à cause, croyons-nous, de la complication qu'apportait au mécanisme le non-déplacement de partie de l'appareil. Le rapport de M. Binet, excellente étude sur les machines à calculer, mérite d'être conservé; nous en extrayons ce qui suit.

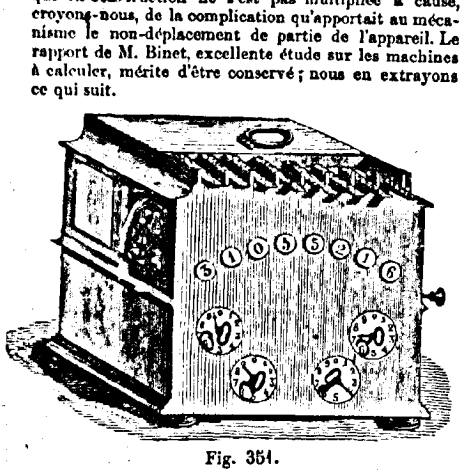


Fig. 351.

Le volume de l'instrument (fig. 351) n'est pas très-différent de celui de Pascal; sa structure, plus complexe repose également sur la possibilité de représenter tous les nombres entiers à l'aide de disques circulaires portant chacun les dix chiffres : 0, 1, 2, 3, ... 9 : l'un de ces disques présente, à une première ouverture ou fenêtre, le chiffre des unités simples ; un second disque, portant aussi les chiffres 0, 1, 2, 3, . . . , 9, amène, à une ouverture placée à gauche de la première, le chiffre des dizaines; à la troisième fenêtre se présente le chiffre des centaines, fourni par un troisième disque, et ainsi des autres. Dans la machine de Pascal, ce sont des cylindres convexes qui portent les chiffres des unités, des dizaines, etc. La plupart des machines à faire des additions ou soustractions, etc., ont emprunté ce dispositif; mais leurs différences essentielles résident dans la manière de faire mouvoir les disques ou les cylindres, dans la rapidité et la justesse des mouvements, et dans la simplicité des impulsions que le calculateur imprimera aux pièces de l'instrument, pour commander le déplacement de celles qui doivent écrire le résultat d'une opération.

Le mérite et la célérité de l'instrument de MM. Maurel et Jayet se révèlent surtout dans la multiplication et dans la division de nombres d'une certaine grandeur. Ainsi, par exemple, les deux nombres 2749 et 3937 multipliés entre eux ont donné, en moins de vingt secondes, le produit 10,877,783. Pour former ce produit, il a fallu écrire avec les échelles, en tirant les règles placées à la partie supérieure de l'instrument, le multiplicande 2749; il a fallu mouvoir les quatre aiguilles des cadrans : la première a parcouru sept divisions d'un cadran, et ce mouvement est déterminé par le chiffre 7 des unités du multiplicateur; la deuxième se mouvra de cinq divisions, parce que 5 est le chiffre des dizaines; la troisième se mouvra de neuf divisions à cause du chiffre 9 des centaines, et enfin la quatrième sera mue de trois divisions d'un dernier cadran. Le nombre des aiguilles à mouvoir est toujours le nombre des chiffres du multiplicateur. L'instrument en expérience exige que les deux facteurs n'admettent pas à la fois plus de quatre chiffres, c'est-à-dire que ces nombres soient au-dessous de dix mille; ou bien que, l'un étant de cinq chiffres, l'autre n'en ait que trois, ou moins; et en général que le nombre des chiffres des deux facteurs réunis n'excède pas huit, pour que la machine vous donne sur-le-champ le produit qui sera au-dessous de cent millions. On voit, au reste, quel parti on pourrait tirer de l'instrument pour obtenir des produits de nombres supérieurs: on formerait alors des produits partiels, qui seraient à ajouter l'un à l'autre par les procédés ordinaires, en ayant égard à l'ordre des unités décimales de ces produits partiels; l'instrument fournirait très-brièvement les produits partiels à ajouter. Il dispenserait toujours le calculateur de ce qu'il y a de fatigant lorsqu'il s'agit de multiplier de grands nombres.

Dans la règle la plus compliquée de l'arithmétique, dans la division, la machine de MM. Maurel et Jayet exécute rapidement la soustraction répétée du diviseur placé sur les échelles, du dividende placé dans les lucarnes (ce qui s'opère en l'écrivant sur les échelles et le multipliant par 1, ce qui le fait immédiatement paraître aux lucarnes); elle opère immédiatement sur tout dividende moindre que cent millions, qui serait à diviser par un entier au-dessus de dix mille, en sorte que le quotient n'ait pas plus de quatre chiffres. Chaque cadran donne (nous y revenons plus loin) le chiffre du quotient par une simple rotation en arrière. Ainsi le diviseur, moindre que le dividende, pourra être de plus de dix millions; le quotient ne comportera alors qu'un seul chiffre et s'obtiendra dans un instant, ainsi que le résidu de la division. Si le diviseur est au-dessous de dix millions, le quotient aura ou deux, ou trois, ou quatre chiffres qui seront fournis dans un temps fort court ainsi que le reste de la division; la machine aura encore épargné au calculateur le travail de mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moire, et l'aura dispensé de toute écriture à la plume. Si le diviseur était un nombre au-dessous de dix mille, et que le dividende eût huit chiffres, la machine ne donnerait pas le quotient complet : elle fournirait d'abord les quatre premières figures à gauche du quotient ; par une seconde division, plus simple que la précédente, on obtiendrait le chiffre des unités.

La rapidité des opérations de la multiplication et de la division s'étend nécessairement au calcul du quatrième terme d'une proportion : quelques secondes donnent le résultat si le produit des moyens est au-dessous de cent millions, et que le diviseur soit dans les limites prescrites.

Composition de la machine. Donner une idée de la machine de MM. Maurel et Jayet sans avoir sous les yeux le mémoire descriptif, sans une multitude de planches, n'est pas chose facile. Nous nous contenterons d'en indiquer les principes fondamentaux :

Supposons que nous ayons à faire une multiplication, l'opération principale en vue de laquelle la machine a été construite, et dont toutes les autres se déduisent.

On commencera, comme nous l'avons dit plus haut, par écrire un facteur sur les règles placées à la partie supérieure de la machine, c'est-à-dire qu'on les tirera jusqu'à ce que le chiffre tracé sur l'échelle et à indiquer affleure la partie verticale voisine. Cette opération de traction fait avancer, par l'intermédiaire de griffes, quatre petits pignons, un pour chaque chiffre, quatre pour une machine permettant quatre chiffres au multiplicande. Chaque pignon glisse sur l'axe sur lequel il est enfilé, suivant un carré, d'un nombre d'épaisseurs égal au nombre de divisions égales dont on a fait avancer les règles, égal au nombre d'unités de chaque ordre. Or, ces épaisseurs sont précisément celles de roues dentées, solidaires avec des cylindres que font tourner les chiffres des multiplicateurs.

Ces roues dentées sont d'un nombre de dents tel qu'elles forment une série dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4 . . . . , 9 (ou n'ont que ce nombre de dents et ne garnissent que partie de la circonférence, et alors le mécanisme est disposé pour faire effectuer un tour entier aux cylindres pour chaque avancement d'une division d'aiguille), de telle sorte que, pouvant engrener avec les petits pignons de quatre dents dont nous venons de parler, et qui marchent toujours d'une dent pour une dent de la roue si l'échelle est sur la division 1, de deux dents pour la division 2, de trois dents pour la division 3, et ainsi de suite ; c'est-à-dire qu'à l'aide de ce curieux organe, le produit du chiffre du multiplicande par le chiffre du multiplicateur, la somme des produits du chiffre du premier par les unités successives du second est immédiatement obtenue.

Si l'on a bien compris ce que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire la description donnée plus haut de la roue à multiplication, on pourra saisir la disposition fondamentale de la machine de MM. Maurel et Jayet.

En effet, en tournant une aiguille d'un des cadrans qui correspondent à l'un des chiffres du multiplicateur, on tourne l'axe des cylindres montés sur le même axe que cette aiguille en nombre égal au nombre de chiffres du multiplicateur, c'est-à-dire, s'il a trois ou quatre chiffres, trois ou quatre cylindres. Les pignons différents qui engrènent avec chaque cylindre, et dont nous venons de parler, tournent donc d'un nombre de dents proportionnel au nombre d'unités, de dizaines, de centaines, etc., du produit.

Le problème se réduit à ajouter ces différents produits enregistrés sur chaque axe des pignons des dizaines, des centaines. Cette opération se fait à l'aide d'un système de cylindres dentés mis en rapport avec les pignons, dont la base antérieure porte les chiffres sur un cadran, qui montre le chiffre du produit à la partie supérieure. Ils agissent comme dans un compteur, c'est-à-dire qu'un arrêt, placé sur un point de la roue (au point zéro quand on commence une opération), fait avancer d'une dent la roue de l'unité supérieure, lorsque le nombre d'unités qu'elle doit marquer atteint 10, lorsqu'elle a fait un tour complet.

Reprenons maintenant la multiplication, et voyons comment les choses se passent :

Soit à multiplier 3 650 par 324. 3 650 étant écrit sur les règles, et les cadrans multiplicateurs étant encore tous au 0, la galerie des produits marque 0 également ; puis, quand on met la main à l'aiguille des unités pour la reporter sur le 4, on la fait nécessairement passer devant les chiffres 1, 2 et 3 ; or, si on opère lentement, et que l'on porte les yeux sur la galerie, on voit successivement apparaître d'abord 3650, puis son produit par 2, puis par 3, puis par 4. De même, si l'on agit sur le cadran des dizaines, on voit que le passage de son aiguille sur les unités de seconde espèce détermine dans la galerie les apparitions successives de nouveaux produits, lesquels se composent du premier produit partiel obtenu par le jeu du premier cadran, plus le multiplicande multiplié successivement par 10, par 20, et ainsi de suite pour les cadrans des centaines et des mille, s'il y en a.

En réalité, la machine arithmétique de MM. Maurel et Jayet procède, pour faire une multiplication, par une voie moins directe encore que la nôtre ; car elle forme successivement autant de produits partiels qu'il y a d'unités comprises dans la somme des valeurs absolues de tous les chiffres du multiplicateur, et elle additionne tous ces produits au fur et à mesure qu'ils se forment. Mais comme la génération de ces produits s'accomplit, à cause de la légèreté des organes, avec une vitesse excessive, il en résulte que l'opération mécanique, plus compliquée dans son ensemble, s'effectue en réalité plus rapidement que celle à laquelle le temps nécessaire à la succession de nos idées assigne une durée plus longue.

L'analyse du procédé arithmétique adopté par les auteurs de la machine en question pour la multiplication va nous servir à comprendre comment cette même machine est immédiatement propre à opérer la division, l'addition et la soustraction. Il nous suffira d'ajouter que, la multiplication une fois faite, on peut la défaire, en faisant rétrograder les aiguilles du multiplicateur vers le zéro. Il arrive alors que le produit obtenu se réduit peu à peu par la soustraction successive de tous les produits partiels dont il s'était formé, et qu'il s'annule en même temps que le nombre indiqué aux cadrans multiplicateurs. Or, un produit étant donné et inscrit à la galerie, et l'un de ses facteurs aussi inscrit aux échelles du multiplicande, l'autre facteur étant inconnu, et les aiguilles au zéro sur tous les cadrans multiplicateurs, on peut utiliser la propriété qu'a la machine de marcher en arrière ; on sollicite les aiguilles à rétrograder sur leurs cadrans, on voit en même temps s'évanouir le nombre proposé comme dividende, et l'on est averti de la fin de l'opération par une résistance opposée par la machine elle-même. Les aiguilles, ayant ainsi rétrogradé jusqu'à la manifestation d'un obstacle intérieur, s'arrêtent à des numéros dont l'ensemble compose précisément le quotient cherché. Si la division n'est pas possible exactement, le reste demeure en évidence à la galerie des produits. Il va sans dire que le mouvement rétrograde indicateur du quotient doit s'évaluer sur des chiffres disposés dans le sens où s'opère ce mouvement lui-même.

Quant à l'addition et à la soustraction, rien de plus simple. Comme nous avons dit, la multiplication est ramenée à une série d'additions et de multiplications par 10, par 100, par 1,000 ; que, de même, la division n'est qu'une série de soustractions et de divisions par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

10, par 100, par 1,000. Si donc on veut additionner plusieurs nombres ensemble, il suffira de les inscrire successivement aux échelles du multiplicande et de les faire passer et s'accumuler à la galerie des produits en les multipliant par 1. Pour la soustraction, on inscrit le plus fort des deux nombres à la galerie des produits, le nombre à soustraire aux échelles du multiplicande, et on le soustrait une fois en faisant rétrograder d'un cran l'aiguille du cadran affectée aux unités du multiplicateur; le reste apparaît à la galerie des produits.

Observations sur les machines numériques. Si l'on réfléchit un instant comment il se fait que la machine précédente résolve le problème de la construction des machines propres à effectuer les quatre règles de l'arithmétique, on reconnaîtra facilement que cela résulte de ce que les rapports des chemins parcourus par les pièces qui se conduisent par engrènement, et par suite d'une manière certaine, sont exprimés par des fonctions de la nature de celles qu'il s'agit d'obtenir, spécialement la fonction *produit*. L'organe spécial et bien intéressant pour la cinématique, que nous avons décrit, est équivalent à une série de pignons et de roues dentées. On comprend aisément qu'il serait impossible de représenter d'autres fonctions, d'autres séries de nombres par machines du genre de celles dont nous parlons, que celles qui expriment les relations de mouvement des pièces qui engrènent.

On peut se demander si la machine, dont nous venons de parler, épuise tous les résultats possibles en ce genre. Il le paraît à première vue, puisqu'elle réussit parce qu'elle peut réaliser la fonction *produit*, à laquelle peut se joindre la fonction *somme*.

Cependant, il est une fonction complexe qui n'a pas été encore utilisée, c'est la fonction *puissance*. On sait, en effet, qu'un système employant des pignons montés chacun sur même axe qu'une roue, de roues dentées égales de ω dents engrenant avec k pignons égaux entre eux, fournit la relation entre les vitesses du premier et du dernier axe $\left(\frac{\omega}{p}\right)^k$ (Voir ROUES DENTÉES). On pourrait donc construire une machine fournissant les puissances successives d'un nombre déterminé, s'il était possible de disposer un système de roues et de pignons tels que le rapport $\frac{\omega}{p}$ pût varier en faisant varier la composition du système de roues, ce qui conduirait à une machine très-curieuse. En un mot, il ne paraît pas complétement impossible de tirer parti de cette fonction, pour obtenir des puissances, pour construire rapidement les valeurs successives d'une équation, pour une valeur de x (voir *Introduction*), et construire ainsi, par suite, la courbe qui permettrait d'obtenir les racines de l'équation.

Toutefois, en cherchant à préciser les conditions auxquelles il faudrait satisfaire dans la construction de cette dernière machine, on reconnaît qu'il faudrait une complication très-grande pour embrasser une étendue de puissances un peu considérable, et, par suite, pour obtenir des avantages assez minimes, bien moindres certainement que ceux de la machine dont nous venons de parler, surtout au point de vue de l'utilité pratique.

Machines graphiques. Les limites du problème des machines à calculer, considéré dans toute sa généralité, qui semblent fixées par la nature même des roues dentées, et la complication des mécanismes qui résultent de leur multiplicité, se reculent considérablement, surtout quant aux déductions théoriques, quand on considère les roulettes, les ingénieux appareils dits PLANIMÈTRES, si ingénieusement combinés pour la mesure des surfaces rapportées sur un plan et que, pour ce motif, nous nommons machines graphiques. Par leur nature essentielle, puisqu'elles permettent de mesurer des aires, ce sont des machines à multiplier, à obtenir le produit xy, ou mieux l'intégrale $\int x dy$ que représente la surface à évaluer limitée par des courbes rapportées à des coordonnées x et y. Comparativement aux roues dentées, les roulettes représentent les rouages d'un nombre quelconque de dents, et les résultats limités par le nombre des roues dentées se trouvent acquis pour un système qui en représente un nombre indéfini, qui est, par suite, un organe nouveau permettant d'effectuer la multiplication et l'addition immédiate des produits, d'atteindre, par cela même, au moins théoriquement des solutions inattaquables avant l'invention de ces nouveaux mécanismes. M. Stamm a montré (*Complément*, CALCULER) comment il fallait les combiner pour obtenir des puissances quelconques, résolvant ainsi, théoriquement, le problème de la construction de la machine à équation, bien plus étendu que celui que l'on se propose habituellement quand on parle de machines à calculer.

Nous donnerons ici une solution pratique d'un genre de calcul fort long et qui se rencontre fréquemment, dans l'art de l'ingénieur surtout, obtenue par M. Lalanne, en combinant le PLANIMÈTRE avec la règle logarithmique.

Nous ne reproduirons pas ici la description du planimètre, auquel nous consacrons un article spécial que l'on doit lire en même temps que celui-ci. Nous dirons seulement que le planimètre ici employé est le planimètre à cône portant une roulette qui tourne avec lui. Les mouvements perpendiculaires à l'axe du cône sont enregistrés par la rotation de cette roulette, et ceux parallèles, par son déplacement transversal, c'est-à-dire par différence des rayons du cône avec lesquels elle engrène dans chaque position. De là résulte l'indication sur un cadran de la valeur des produits à évaluer. Pour la démonstration de l'exactitude de ce mode d'opération, voir l'article PLANIMÈTRE.

Avant de passer à la description de la combinaison dont nous voulons parler, nous donnerons la description de l'ingénieux et utile instrument dit règle à calcul.

RÈGLE A ÉCHELLE LOGARITHMIQUE. *Règle à calcul* (*angl.* sliding rule). La plus usitée des machines à calculer est la règle à calcul, qui se compose de deux règles dont l'une, plus étroite, peut glisser dans une coulisse pratiquée sur l'autre; elles portent toutes les deux une série de divisions numérotées, et espacées à partir du zéro, proportionnellement aux logarithmes des chiffres correspondants; c'est en réalité une table logarithmique d'une grande simplicité.

Pour s'en servir, par exemple pour opérer la multiplication de 5 par 7, il suffit d'ajouter à la suite de la longueur, qui sur une des règles porte le chiffre 5, celle qui, sur l'autre, porte le chiffre 7, en plaçant l'extrémité de la règle mobile au point 5 de la règle fixe; et le produit sera le nombre 35 qui, sur cette dernière, correspond à la somme des logarithmes des deux nombres. La division se fait de même par une simple soustraction. Rien n'est plus ingénieux et moins compliqué que cette opération, et on est réellement surpris de la promptitude avec laquelle on fait par ce moyen les calculs les plus longs et les plus difficiles, sinon avec une grande précision (à cause de la petitesse des divisions), au moins avec une approximation bien souvent suffisante dans la pratique. Avec une grande habitude de l'emploi de la règle à calcul, et en aidant au résultat de la lecture par le calcul mental, servant à déterminer le dernier chiffre, l'ordre des unités les plus élevées du résultat, etc., quelques ingénieurs font aisément sur le terrain tous les calculs dont ils ont besoin.

Le principe du fonctionnement de la règle à calcul,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le glissement d'une règle sur une autre, n'est autre chose qu'un moyen bien simple de mettre l'une au bout de partie de l'autre, d'additionner ou de soustraire des longueurs qui, divisées logarithmiquement, reportent aux résultats d'opérations effectuées sur des logarithmes, c'est-à-dire à des multiplications ou des divisions. On conçoit aisément qu'on puisse avec des règles analogues résoudre des triangles rectilignes et sphériques, extraire des racines de tous les degrés, estimer les volumes des corps d'après leur poids, ou réciproquement, etc. Pour les instructions pratiques, nous renverrons aux divers ouvrages publiés sur cette règle.

La figure 352 représente la règle à calcul.

Sur la face postérieure de la règle on inscrit ordinairement les données les plus utiles dans le cours des expériences.

sur les côtés de sa coulisse; des index de saillies inégales, attachés à la base du chariot, les uns à droite de la règle en 1', et les autres à gauche en 1", servent à lire sur chacune de ces échelles. Celui de ces index qui marque sur le bord à droite de la règle mobile fait partie d'un vernier.

Il est clair qu'au moyen de ces règles on pourra obtenir les produits de la forme $Pp + P'p' \ldots$ en prenant des longueurs 2P, 2P'... p, p' sur les règles. Mais si l'on imagine, dit M. Lalanne, que la distance p soit comptée sur la règle transversale, non plus à partir d'un point quelconque de cette règle, mais bien à partir d'un point tel que, l'index du mouvement transversal y étant placé, la roue inférieure du compteur porterait en son milieu sur le sommet réel du cône, une seule opération suffira pour obtenir le produit Pp. Car, dans la pre-



Fig. 352.

On a construit des règles formées de cylindres concentriques gradués qui offrent l'avantage de présenter, sous des dimensions restreintes, les ressources d'une règle droite d'un mètre de long. Un curseur rend l'emploi de l'instrument plus sûr.

On a souvent fait avec succès, surtout en Angleterre, des règles propres à des opérations spéciales, à abréger

mière position du compteur, la roue inférieure étant placée sur une section circulaire qui se réduit à un point, le mouvement longitudinal donnerait une indication nulle; le mouvement longitudinal du cône, lorsque l'index transversal aura été placé à la distance p du point pris pour origine sur la règle transversale, indiquera donc exactement le produit Pp. Réciproquement,

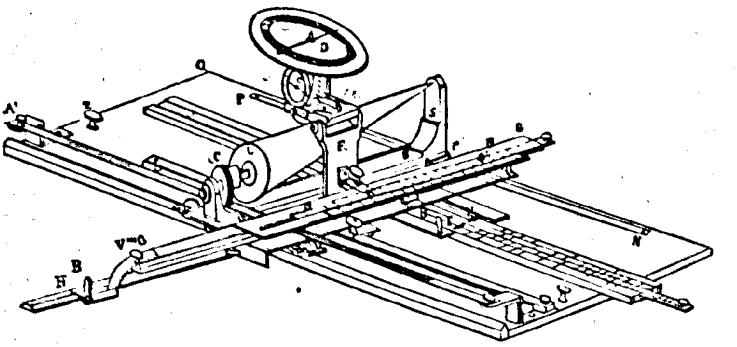


Fig. 353.

des calculs qui se répètent fréquemment, par l'introduction, dans la graduation, de constantes usuellement employées.

Arithmoplanimètre. La figure 353 représente un planimètre à cône muni des deux règles à calcul, longitudinales et transversales, que M. Lalanne ajoute au planimètre, pour calculer certaines formules.

La réglette transversale G' est mobile le long d'une rainure parallèle à la génératrice horizontale L du cône pratiquée dans l'épaisseur d'une plaque G, laquelle est fixée au chariot, parallèlement au plan du plateau. Deux index fixés à l'avant-corps F du compteur, et dont le premier fait partie d'un vernier, servent à placer ce compteur sur un point déterminé de la réglette ou de sa coulisse.

Une deuxième règle est mobile dans une coulisse parallèlement au mouvement du chariot. Différentes échelles sont gravées sur les deux bords de la règle et

étant donnés le produit Pp et l'un des facteurs p, il suffira de placer l'index transversal à la distance p du point pris pour origine et de chercher sur quelle longueur on doit faire marcher le cône pour que le compteur marque le produit Pp. Cette longueur sera le quotient cherché.

Une chose très-remarquable dans cette machine, c'est que, bien que le compteur n'enregistre que des multiplications, elle se prête pourtant avec la plus grande facilité à l'addition de ces mêmes quantités, c'est-à-dire au calcul des formules de la forme $Pp \pm P'p' \ldots$ Il suffit pour cela de soulever un peu le disque du compteur; l'espèce d'engrenage n'aura plus lieu, et, l'index étant reporté de p en p', les secondes indications viendront s'ajouter aux premières.

Mais puisque la machine donne immédiatement le résultat d'expressions de la forme $Pp \pm P'p' \ldots$, il en résulte qu'à l'aide des échelles logarithmiques tracées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur les règles et sur le limbe circulaire, on obtiendra, sans plus de difficultés, les résultats compris dans la formule :

$$\text{Log. } x = m \log. a \pm n \log b \pm p \log c \pm \ldots$$

C'est-à-dire qu'on pourra calculer mécaniquement, pour ainsi dire, une expression de la forme :

$$x = \frac{a'^{m'} b'^{n'} c'^{d'} \ldots}{a^m b^n c^d \ldots}$$

CALEBASSE. Dans les fonderies de peu d'importance, où le moulage constitue le travail le plus important de l'atelier, et lorsqu'on n'a besoin que de faibles quantités de fonte, et par intervalles irréguliers, on se

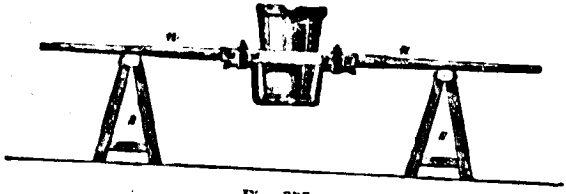


Fig. 355.

sert, à Paris, pour refondre la fonte, de creusets en terre de Picardie ou en graphite, chauffés dans des fourneaux à vent ou des fourneaux à courant d'air forcé. Ce procédé est très-coûteux, tant par suite du prix et de la casse des creusets que par l'énorme consommation relative de combustible, et en outre exige l'emploi de plusieurs creusets, si l'on a besoin d'une quantité de fonte qui dépasse 50 ou 75 kilogrammes. Dans ce cas, il est bien préférable sous tous les rapports d'employer le système de fonderie dit à la calebasse, qui, d'après Réaumur, était déjà employé en France au commencement du dernier siècle, qui est encore actuellement très-répandu en Belgique, et qui cependant paraît être tout à fait inconnu de nos fondeurs.

Les dimensions des calebasses sont très-variables; dans les unes, dont se servent les calebassiers ambulants, on ne fond que quelques kilogrammes de métal; dans les autres, établies à demeure, on peut liquéfier à la fois jusqu'à 500 kilogrammes de fonte. Nous ne décrirons que ces dernières, dont les autres sont un diminutif.

Dans une calebasse fixe, on distingue le fourneau, dont les parties essentielles sont le creuset ou *calebasse* et la cuve ou *tour du feu*, la soufflerie et la cheminée.

La calebasse *c* (fig. 355) est une sorte de poche en tôle forte intérieurement revêtue d'argile ; le tour du feu *t* (fig. 356) est une portion de cylindre en tôle forte également torchée avec de l'argile, et munie de deux oreilles, *o*, *o*, dans lesquelles on engage une barre de fer pour le manœuvrer.

On élève le fourneau le long d'un mur *m*, sous une hotte *h*, en plaçant d'abord la calebasse *c* avec le support *nn* qui sert à l'enlever lorsque la fusion est terminée ; on la recouvre avec le tour du feu *t*, que l'on accole au mur *m* (fig. 357), de manière à fermer complétement le cylindre. L'assemblage de la calebasse et du tour du feu, ainsi que la jonction de ce dernier avec le mur, se font avec de la terre argileuse; enfin on entoure d'argile tout l'intérieur du fourneau, de manière à lui donner une forme à peu près semblable à celle du fond d'un cubilot. Pour conserver la chaleur, on enterre la calebasse et la partie inférieure du tour du feu dans le sable maintenu ordinairement sur chaque côté par un petit mur en briques *x*. Des crochets *z*, *z*, fixés dans le mur *m*, servent à soutenir au-dessus du feu, afin de

les chauffer, les pochettes *p*, *p*, au moyen desquelles la fonte est versée dans les moules.

La tuyère *f* ne fait pas saillie, elle traverse le mur *m* et reçoit le vent soit d'un soufflet en cuir *q*, soit d'un ventilateur à bras. Lorsque l'on fond au coke ou au charbon de bois, la tuyère est presque horizontale et rase le bord supérieur de la calebasse; lorsqu'au contraire on fond avec de la houille point trop collante, on lui donne une inclinaison assez forte, afin d'avoir une chaleur suffisante dans la calebasse. La conduite du

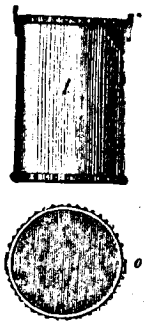


Fig. 356.

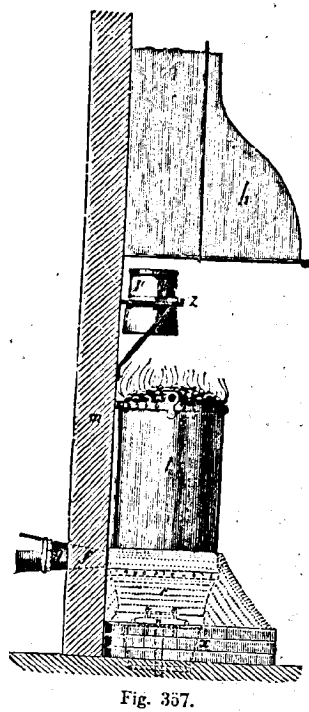


Fig. 357.

feu se fait à peu près comme pour un petit cubilot; tantôt on charge en une seule fois par-dessus le combustible toute la fonte à refondre; tantôt, et le plus souvent, on l'introduit à plusieurs reprises en l'alternant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec des charges de charbon. Lorsque la fusion est complète, ce que le fondeur a reconnu en sondant le fourneau avec un petit ringard, on déblaie le sable, on arrête le vent, on enlève le tour du feu, on retire le coke avec un râteau et on l'éteint avec de l'eau, puis saisissant la calebasse pleine de fonte par son support *nn*, on la place sur deux tréteaux *s*, *s* (fig. 355), et on verse le métal dans les pochettes *p*, *p*, au moyen desquelles il est coulé dans les moules.

On peut aisément fondre à la calebasse jusqu'à 50 à 100 kilogr. de fonte à l'heure; dans les calebasses au coke, on consomme de 35 à 45 kilogr. de coke pour refondre 100 kilogr. de fonte, et dans les calebasses à la houille, la consommation est de 50 à 60 kilogr. de houille par 100 kilogr. de fonte. Le déchet sur la fonte est de 5 à 10 p. 100, comme dans les cubilots. F. D.

CALORIE (TRAVAIL MÉCANIQUE D'UNE). On appelle calorie l'unité de chaleur, la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilog. d'eau d'un degré centigrade. Le rapport de l'unité de chaleur à la quantité de travail mécanique et l'analyse de la manière dont la chaleur produit un travail, forment les éléments qui peuvent permettre la solution des problèmes qu'offre le bon emploi de la chaleur.

Or la chaleur est la source de force la plus générale et la plus importante; c'est elle qui, par la vaporisation, est la cause des chutes d'eau; c'est elle, si on voulait aller plus loin, qui est la cause du travail de l'homme, dont la respiration est une véritable combustion. Mais, bornons-nous à la chaleur produite par la combustion dans les foyers, en ayant soin de la considérer en elle-même et de ne pas la confondre avec les excipients qui servent à l'utiliser, vapeur d'eau, d'alcool, etc., etc.

Il est important, non-seulement de faire cette distinction élémentaire, mais encore de mettre hors de doute un principe trop souvent oublié dans la théorie de la machine à vapeur, sans lequel elle est impossible, principe qui paraît presque évident; c'est que le travail d'une unité de chaleur, d'une calorie, a un maximum de travail théorique, comme un poids d'eau qui tombe d'une certaine hauteur. On ne saurait admettre, en effet, qu'une quantité limitée de chaleur pût dans aucune circonstance produire un travail infini, ce serait admettre un effet qui ne fût pas en rapport avec la cause qui le produit. C'est ce qui va paraître encore plus clair en étudiant la manière dont la chaleur produit du travail.

M. Poncelet établit ces principes fondamentaux de l'emploi de la chaleur par une induction très satisfaisante. (La théorie du calorique étant admise.)

Il démontre d'abord qu'un gaz comprimé développe un même travail de quelque manière qu'il se détende, pourvu que ce soit d'une même fraction de son volume. Ainsi, s'il se détend dans deux corps de pompe fermés par des pistons différents A, *a*; *e*, E, étant les chemins parcourus; le travail sera dans les deux cas p A e, p *a* E, la pression p étant supposée constante pour un mouvement très petit; or les quantités A e, *a* E représentant le volume dont le gaz s'est détendu, quantités égales par hypothèse, le travail est donc le même.

Ceci admis, le calorique pouvant, dans tous ses effets, être considéré comme un fluide sans inertie ni pesanteur, d'une élasticité parfaite, produisant des dilatations quand il s'accumule, des contractions quand il diminue; on doit lui appliquer à fortiori le principe posé pour la détente des gaz, ce qui revient à dire :

« Qu'une certaine quantité de chaleur introduite dans un corps ou soustraite de ce corps doit faire naître, contre des résistances directement opposées à son action, des quantités de travail absolues qui sont toujours les mêmes ou indépendantes de la nature des corps, mais dont une certaine partie est, dans les liquides et les solides, employée à contre-balancer la force d'agrégation des molécules. »

On peut établir avec plus de certitude et sans se baser sur une conception idéale de la nature intime du calorique, ce principe établi pour la première fois au moyen de considérations différentes, en 1824, dans un opuscule remarquable de M. S. Carnot, ancien élève de l'École polytechnique. Nous allons résumer les considérations consignées dans cette brochure intitulée *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, ce qui nous permettra d'établir les meilleurs moyens d'utiliser le travail engendré par la chaleur.

1° *Le travail est produit, non par une consommation absolue de calorique, mais par le passage de celui-ci d'un corps chaud à un corps froid.* En considérant la machine à vapeur, il est facile de se rendre compte que c'est ainsi que la force se produit. En effet, le calorique développé dans le foyer par l'effet de la combustion traverse les parois de la chaudière et vient donner naissance à de la vapeur en s'y incorporant en quelque sorte. Celle-ci l'entraînant avec elle la porte dans le cylindre où elle agit, et de là dans le condenseur dont l'eau froide s'emparant du calorique développé dans la combustion produit le vide. Il ne suffit donc pas pour produire une puissance motrice d'obtenir de la chaleur, il faut en même temps disposer d'un corps froid. Ainsi la condensation qui est aussi cause de travail n'a lieu que par la présence de l'eau froide qui sert à condenser la vapeur. On ne peut rejeter celle-ci simplement dans l'atmosphère, comme on le fait dans certaines machines à vapeur à haute pression, qu'autant que la température extérieure est telle que l'eau reste à l'état liquide par l'effet de la pression atmosphérique, température nécessairement moindre que celle de la vapeur; autrement il n'y aurait pas d'eau liquide et par suite pas de machines à vapeur, l'action du foyer serait alors nulle sur de la vapeur qui serait à la même température que les produits de la combustion.

Quelle que soit la température propre à un système de corps isolé, il n'y peut évidemment naître aucun mouvement tant que la température d'une partie du système ne varie pas. Mais si elle vient à varier, nous reconnaissons comme la loi la plus certaine de la physique la variation du volume des corps, leur dilatation par l'effet de l'élévation de température. C'est ce phénomène si général qui conduit à considérer les corps comme composés de molécules qui tendent à se réunir sous l'action des forces d'attraction moléculaire et à s'éloigner par l'effet de la chaleur. Pour chaque température donnée correspondant à un état de dilatation déterminé, il s'établit un équilibre entre les forces moléculaires et le calorique.

La dilatation est l'effet nécessaire de la chaleur; tout l'effet du calorique est produit sous cette forme dans les gaz permanents pour lesquels les forces d'attraction de molécule à molécule sont nulles; l'effet du calorique sert en partie à équilibrer les forces d'attraction moléculaires dans les solides et les liquides, suivant une loi qui est indiquée par les variations des coefficients de dilatation et de chaleur spécifiques des corps.

Pour les solides et liquides, lorsque le corps revient à sa température primitive, en supposant la rotation complète, les forces de cohésion restituant en sens inverse la force qui leur faisait équilibre en partie, la restriction indiquée par M. Poncelet pour les forces moléculaires, vraie quand on ne considère que partie de cette rotation, paraît inutile.

On peut, en tous cas, établir comme parfaitement évidente cette seconde loi.

2° *Partout où il y a différence de température, il y a production de force motrice.* En effet, tous les corps sont susceptibles de changements de volume, de contractions et de dilatations successives par les alternatives de chaleur et de froid, tous sont capables de vaincre dans leurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

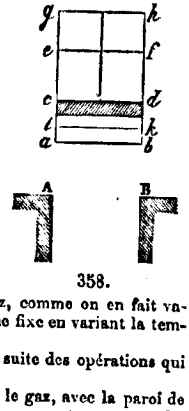
changements de volume certaines résistances et de développer ainsi une certaine puissance motrice. Le chemin parcouru, la dilatation en raison de la température, et l'effort que le corps échauffé exercerait contre des obstacles qui s'opposeraient à la dilatation, tels sont les deux facteurs du travail mécanique produit par la chaleur communiqué à un corps. Ainsi un corps solide, une barre métallique alternativement chauffée et refroidie, augmente ou diminue de longueur et peut mouvoir des corps placés à ses extrémités. Un liquide alternativement chauffé et refroidi peut vaincre les obstacles plus ou moins grands opposés à sa dilatation. Un fluide aériforme produira dans les mêmes conditions des mouvements de grande étendue. Tous ces changements supposent des alternatives de chaleur et de froid, c'est-à-dire la disposition d'un corps chaud pour transmettre la chaleur à un corps froid.

Puisque le passage de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid est une source de travail par la dilatation qui en résulte, tout passage de chaleur qui ne sera pas accompagné de dilatation utilisée, tout passage direct de la source de chaleur au réfrigérant diminuera d'autant l'utilisation de partie du *maximum théorique* du travail de la chaleur, et le travail utile n'en sera qu'une fraction d'autant moindre.

On peut donc établir comme base fondamentale du bon emploi de la chaleur, *qu'il ne se fasse dans les corps employés pour réaliser la puissance qu'elle engendre aucun changement de température qui ne corresponde à un changement utilisé de volume.*

Ceci va devenir très clair en employant la chaleur sur un gaz parfait, de telle sorte que toute la puissance de la chaleur soit évidemment utilisée.

Soit A (fig. 358) une source de chaleur, un corps toujours maintenu à une température T, comme la chaudière d'une machine à vapeur; B, un corps maintenu toujours, à une température T' moindre que T; *abcd* un cylindre renfermant un gaz à l'aide d'un piston mobile. On sait que si on comprime ce gaz, sa température s'élève; si au contraire on le dilate, la température s'abaisse. Quelles que soient les lois suivant lesquelles s'opère ce phénomène, on pourra, à l'aide de compressions et de dilatations, faire



358.

varier la température d'un gaz, comme on en fait varier la pression pour un volume fixe en variant la température.

Cela posé, figurons-nous la suite des opérations qui vont être décrites.

1° Contact du corps A avec le gaz, avec la paroi de la capacité *abcd*, que nous supposons transmettre facilement le calorique. Le gaz prend la température du corps A.

2° Le piston s'élève graduellement et vient prendre la position *ef*. Le contact a toujours lieu entre le corps A et le gaz, qui se trouve ainsi maintenu à une température constante pendant la raréfaction. Le corps A fournit le calorique nécessaire pour maintenir la constance de température.

3° Le corps A est éloigné et le gaz ne se trouve plus en contact avec aucun corps capable de lui fournir du calorique; le piston continue cependant à se mouvoir, et passe de la position *ef* à la position *gh*. Le gaz se raréfie sans recevoir de calorique, et sa température s'abaisse. Imaginons que cette augmentation de volume soit suffisante pour que la température du gaz devienne égale à celle du corps B; à ce moment le piston s'arrête et occupe la position *gh*.

4° Le gaz est mis en contact avec le corps B; le piston est, par la moindre compression, ramené de la position *gh* à la position *cd*, et reste cependant à une température constante, à cause de son contact avec le corps B, auquel il cède son calorique.

5° Le corps B est écarté, et l'on comprime le gaz, qui, se trouve alors isolé, sa température s'élève. La compression est continuée jusqu'à ce qu'il ait pris la température du corps A. Le piston passe alors de la position *cd* à la position *lk*.

6° Le gaz est remis en contact avec le corps A; le piston retourne de la position *lk* à la position *ef*; la température demeure invariable.

7° La période décrite sous le n° 3 se renouvelle, puis successivement les périodes 4, 5, 6, — 3, 4, 5, 6, et ainsi de suite.

Dans ces diverses opérations, le piston éprouve un effort plus ou moins grand de la part du gaz renfermé dans le cylindre; la force élastique de ce gaz varie, sans qu'il y ait jamais contact entre les corps de température différente, tant à cause des changements de volume que des changements de température; mais l'on doit remarquer qu'à volume égal, c'est-à-dire pour des positions semblables du piston, la température se trouve plus élevée pendant les mouvements de dilatation que pendant les mouvements de compression. Pendant les premiers, la force élastique du gaz est donc plus grande, et par conséquent la quantité de travail produit par les mouvements de dilatation est plus considérable que celle consommée pour produire les mouvements de compression. Ainsi, l'on obtiendra un excédant de puissance motrice dont on pourra disposer pour des usages quelconques. Un gaz nous a donc servi à constituer une machine à feu; nous l'avons même employé de la manière la plus avantageuse possible, car il ne s'est fait aucun rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique.

Toutes les opérations ci-dessus décrites peuvent être exécutées dans un sens et un ordre inverses.

Imaginons qu'après la sixième période, c'est-à-dire le piston étant arrivé à la position *ef*, on le fasse revenir à la position *lk*, et qu'en même temps on maintienne le gaz en contact avec le corps A; le calorique fourni par ce corps pendant la sixième période retournera à sa source, c'est-à-dire au corps A, et les choses se trouveront dans l'état où elles étaient à la fin de la période cinquième. Si maintenant on écarte le corps A et que l'on fasse mouvoir le piston de *lk* en *cd*, la température de l'air décroîtra d'autant de degrés qu'elle s'est accrue pendant la période cinquième, et deviendra celle du corps B. L'on peut continuer une série d'opérations inverses de celles que nous avons d'abord décrites, c'est-à-dire porter le piston en *gh*, le gaz étant en contact avec B, etc. Il suffit de se placer dans les mêmes circonstances et d'exécuter dans chaque période un mouvement de dilatation au lieu d'un mouvement de compression, et réciproquement.

Le résultat des premières opérations avait été la production d'une certaine quantité de travail et le transport du calorique du corps A au corps B, du corps le plus chaud au corps le plus froid; le résultat des opérations inverses (pendant lesquelles les pressions résistantes sont les mêmes que les pressions motrices dans les premières) est la consommation du travail produit et le retour du calorique du corps B au corps A, du corps le plus froid au corps le plus chaud; de sorte que ces deux séries d'opérations s'annullent, se neutralisent en quelque sorte l'une l'autre.

M. Clapeyron a eu l'heureuse idée de représenter par des courbes les opérations ci-dessus décrites, ce qui fait apprécier les effets produits à première vue. Soit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

A'B' (fig. 359) une ordonnée représentant la pression lorsque le piston est en *ik*, le gaz se dilatant à température constante et les volumes successifs étant représentés par les abscisses, $A'_1 B'_1$ sera la pression en *ef*, et l'aire $A'A'_1 B'B'_1$ le travail produit. Le piston

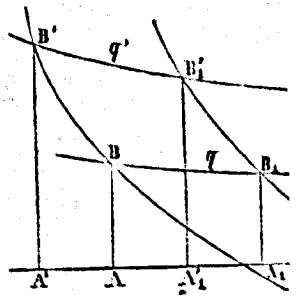


Fig. 359.

passant de *ef* à *gh* sans que le gaz reçoive de chaleur, quand il se refroidit rapidement, la courbe $B'_1 B_1$ répondant aux pressions successives, est plus inclinée que la précédente sur l'axe de *x*, et $A'_1 B'_1 B_1 A_1$ est le travail produit pendant cette période. Les périodes de compression à température constante et à température croissante, ou le travail résistant, sont de même représentées par les aires $B_1 A_1 BA$ et $BAB'A'$. L'excédant de la somme des premières sur celle des secondes, dû à l'augmentation de pression résultant de l'accroissement de température, ou le travail mécanique engendré par la chaleur, est donc représenté par l'aire du rectangle curviligne $BB'B_1 B'_1$. En opérant à l'inverse, comme il a été dit, on trouvera que le même rectangle représentera le travail consommé pour effectuer le passage d'une même quantité de chaleur du corps froid au corps chaud.

Nous pouvons maintenant nous poser la question suivante :

3° *La puissance motrice d'une même quantité de chaleur est-elle constante ou varie-t-elle avec l'excipient employé pour l'utiliser?* On peut démontrer qu'elle est constante. En effet, la quantité de chaleur qui produit la dilatation d'un corps, engendrant une certaine quantité de travail (nous supposons nulle pour cette démonstration l'action moléculaire qui, comme nous l'avons dit, cause une consommation que restitue le refroidissement, nous supposons qu'on agit sur un gaz parfait), réciproquement cette même quantité de travail exercée en sens inverse pour comprimer le corps devra à son tour produire le dégagement de la première quantité de chaleur.

Si donc, pour une même quantité de chaleur, un corps A donnait un travail mécanique supérieur à tout autre B, par une série d'opérations analogues à celles que nous avons décrites, l'emploi de ce travail mécanique produit par le corps A, employé par des opérations inverses à comprimer cet autre corps B, devrait fournir une quantité de chaleur supérieure à celle qui a produit le travail initial, et capable par suite d'engendrer en étant communiquée au premier corps A, une quantité de travail supérieure à celle qu'a exigée la compression; c'est-à-dire d'engendrer en répétant la même opération une source indéfinie de chaleur et de force par l'utilisation des excédants successifs, et cela sans consommation d'aucun agent. On en arrive ainsi au mouvement perpétuel, à un effet sans cause, ce qui est absurde. On ne doit donc pas chercher à faire varier l'excipient dans l'espoir d'un bénéfice de travail, mais chercher seulement à utiliser le mieux possible le travail du calorique.

On doit donc poser comme loi générale :

La puissance motrice de la chaleur est en principe indépendante des agents mis en œuvre, et a un maximum théorique pour l'unité de chaleur.

Mais de même que la puissance théorique d'une chute d'eau ne peut être réalisée pratiquement, de même la puissance théorique de la chaleur ne peut être communiquée entièrement à un récepteur. On en approchera d'autant plus que l'on disposera le récepteur de telle manière qu'il ne s'y fasse aucun changement de température qui ne corresponde à un changement de volume *utilisé*, ou, ce qui est la même chose autrement exprimée, qu'il n'y ait jamais de contact entre des corps de températures sensiblement différentes.

L'important principe que nous avons cherché à établir ci-dessus, d'après M. S. Carnot, relativement au travail de la chaleur, peut, ce nous semble, être sinon vérifié aujourd'hui par les résultats des données expérimentales que fournit la physique actuelle, au moins être rendu tellement probable qu'on ne doive pas hésiter à l'admettre; ce qui nous paraît d'autant plus nécessaire que nous croyons que c'est en partant de ce principe qu'on parviendra à établir la véritable théorie des machines à feu.

Ce même principe du maximum de l'action de la chaleur offre de plus l'utilité d'écarter tous les inutiles et coûteux essais répétés encore chaque jour, pour remplacer la vapeur d'eau par les vapeurs d'alcool, d'éther, l'acide carbonique liquéfié, le chloroforme, etc., et de faire disparaître toutes les chimères fondées sur l'emploi de la vapeur d'eau à très-haute pression, dont les expériences de Perkins ont déjà démontré pratiquement l'inutilité. (Voyez GAZ, *machine à*.)

La vérification de la loi établie ci-dessus consisterait à évaluer le travail produit à l'aide de tous les corps par une même quantité de chaleur, en opérant théoriquement, sans perte aucune, en évaluant les effets internes comme les effets externes, et à trouver que cette quantité est constante. Ce calcul ne peut être fait d'une manière tout à fait satisfaisante : il faudrait, pour y parvenir, des expériences spéciales et nous ne saurions donner ici que des indications qui nous paraissent assez probantes toutefois.

Nous commencerons par les gaz, ce qui est le cas le plus simple :

1° *Gaz*. La loi la plus curieuse que l'on connaisse sur les relations qui existent entre les actions mécaniques auxquelles on soumet les gaz et les effets calorifiques est celle obtenue par Dulong, dans ses belles recherches sur les chaleurs spécifiques des gaz et qui s'énonce ainsi : 1° des volumes égaux de tous les gaz (qui suivent la loi de Mariotte) pris à la même pression et à la même température, dégagent ou absorbent la même quantité de chaleur quand ils sont comprimés ou dilatés d'une même fraction de leur volume; 2° les variations de température qui en résultent sont en raison inverse de leur chaleur spécifique à volume constant.

Cette loi à laquelle le physicien éminent, dont nous venons de rappeler le nom était arrivé, est une conséquence nécessaire de la notion de relation intime entre la quantité de travail et la quantité de chaleur qui apparaît ou disparaît simultanément. Il en est de même d'une expérience due à Gay-Lussac que nous devons également consigner ici.

Il a reconnu que quand un gaz passe d'un ballon dans un autre de même capacité, mais vide, le ballon dont sort le gaz se refroidit, pendant que celui dans lequel il entre s'échauffe exactement du même nombre de degrés. Cette expérience remarquable montre l'égalité des deux effets calorifiques produits, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux actions mécaniques égales, inverses l'une de l'autre.

Le moyen d'employer la chaleur, à l'aide des gaz, de la manière la plus avantageuse, consiste dans le système d'opérations que nous avons décrit. Le grand volume que les gaz occupent sous un poids donné rend leur emploi dans la pratique bien inférieur à celui de la vapeur d'eau que la chaudière fournit comprimée. Il faudrait presque nécessairement, pour se servir de la chaleur des gaz à actionner des machines, commencer par les comprimer à l'aide d'une pompe à air sous une pression élevée, ce qui occasionnerait des pertes très-grandes de travail.

Cherchons à évaluer la valeur théorique du travail fourni par l'action de la chaleur sur l'air.

Soit 1 kilogramme d'air à 1°, occupant 0,77 de mètre cube, à la pression 0m,76 ou 10,330 kil. par mètre carré; si on l'échauffe d'un degré, il se dilatera, à pression constante, de 0,00367 de son volume, et le travail produit par cette dilatation sera :

$$0{,}00367 \times 0{,}77 \times 10330 = 29{,}49 \text{ kilogr. mét.}$$

Ce travail est en réalité celui engendré par la différence $c - c'$ des chaleurs spécifiques du gaz à pression constante et à volume constant, car après avoir chauffé d'un degré un gaz sous volume constant, il faut évidemment lui communiquer une quantité de chaleur égale à cette différence pour qu'il se dilate sous pression constante, en produisant le travail ci-dessus indiqué. La question proposée serait donc résolue si on connaissait la valeur $c - c'$, mais elle n'a pu être encore obtenue par les expérimentateurs les plus habiles. Regnault a donné pour l'une de ces capacités la valeur 0,237, mais l'autre ne nous est pas connue.

Plusieurs auteurs ont employé, pour lever cette difficulté, la valeur $\frac{c}{c'}$ déduite de la formule de Laplace pour la vitesse du son, dont l'exactitude est contestable comme celle de la détermination expérimentale de cette vitesse. Cette valeur est voisine de celle déduite des expériences de Clément Desormes, que Regnault a démontré être de peu de précision (1,38). La valeur 1,42 satisfaisant mieux à la formule a été trouvée aussi, et conduit à un nombre égal à 420, ou 430 pour le nombre maximum de kilogrammètres que peut produire une calorie, mais cette détermination est d'assez minime valeur et ne saurait prendre place dans la science sans vérification ultérieure.

(Nous nous gardons de parler dans tout ceci de la théorie mécanique de la chaleur, à laquelle nous avons consacré de nombreux articles dans le *Complément*, parce que ces pages ont été écrites avant sa création, et qu'il est bon de réfléchir à la nécessité d'un maximum de travail que peut produire une calorie, avant d'arriver à la notion de l'équivalent mécanique de la chaleur. Les lignes ci-après indiquent les recherches qui se poursuivaient alors pour l'établir et qui étaient encore peu connues.)

M. Joule, de Manchester, a fait un grand nombre d'expériences pour déterminer la quantité dont nous parlons, autrement qu'à l'aide du travail des gaz; il s'est proposé de déterminer la quantité de travail nécessaire pour échauffer l'eau de 1°, évidemment inspiré par l'expérience bien connue de Davy, qui fondait de la glace en faisant frotter des morceaux de glace l'un sur l'autre. D'un grand nombre d'expériences qui consistent à faire tourner un agitateur dans l'eau, à l'aide d'un poids connu descendant d'une hauteur facilement mesurable, et à mesurer l'accroissement de température produit dans le liquide, le rapport entre le travail mécanique dépensé et la quantité de chaleur produite, il a déduit des nombres variant de 413 à 420.

Ainsi, dans des expériences faites à des températures qui passaient de 32 à 33° Farenheit, il fallait 772 livres-pieds pour élever 1 kil. d'eau d'un degré. Or 32° correspond à zéro du thermomètre centigrade et 33 à 0,56; ainsi il avait fallu pour échauffer l'eau de 1°,

$$772 : 0{,}56 :: x : 1 \; . \; x = \frac{772}{56} \times 100 = 1378 \text{ liv. pieds ou}$$

en mesures françaises une calorie pour 413 kil. mét.

Comme une grande partie du travail mécanique dépensé dans ces expériences peut ne produire aucune augmentation de température, le mouvement communiqué à la masse d'eau étant un phénomène en partie mécanique et ne produisant pas de chaleur sensible, la relation inverse n'est pas certaine; il n'est pas prouvé par cette expérience qu'une calorie puisse produire 413 kilogrammètres.

2° *Corps solides.* Rappelons d'abord que les solides ayant une force de cohésion que le calorique diminue, avant de produire un effet sensible, une partie du travail engendré est annulée par cette cause, mais cette quantité est restituée lorsque, par le refroidissement, le corps revient à son état primitif.

La physique ne fournit pas les données suffisantes pour calculer les effets dus à la dilatation des solides. On a mesuré seulement l'étendue des dilatations, mais non l'effort qu'elles peuvent produire. Chacun connaît l'application faite par Molard pour redresser les murs du Conservatoire, exemple qui, ainsi que nombre de faits, prouve que la force ainsi engendrée est considérable, si le chemin parcouru est petit.

Les faibles mouvements, produits par la dilatation des corps solides, rendent leur usage presque impossible pour l'établissement de machines pouvant les utiliser. Il faudrait employer des mécanismes compliqués, des pièces d'une grande dimension pour transmettre des pressions énormes, etc. Le seul système qui n'a guère été essayé que dans des appareils régulateurs, qu'on peut considérer comme employé à produire une pression et une traction, consiste à faire dilater et refroidir successivement une barre de métal liée avec la résistance, moyen trop imparfait pour que nous ayons à nous y arrêter. (V. RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE.)

Revenons à la détermination théorique du travail produit par la chaleur servant à dilater un corps solide, et voyons si elle nous fournit quelques résultats tendant à vérifier, ou au moins à rendre extrêmement probable le principe que nous avons établi par des considérations théoriques.

Nous ne nous occuperons que des corps sur lesquels la chaleur agit sans causer d'altération, des métaux, par exemple, et non des bois, des pierres, etc., que la chaleur décompose.

Lorsqu'une certaine quantité de chaleur vient à agir sur un corps solide, à une certaine température, elle équilibre partie de la force de cohésion qui réunit les molécules, et devient sensible par une dilatation. Cette partie seulement produit un effet mécanique; puis, par le refroidissement, la force de cohésion rapproche les molécules. Les lois de ces actions, de ces détentes successives, dépendent de la nature des forces moléculaires, variant avec l'écartement des molécules.

Il paraît impossible d'étudier théoriquement des questions aussi complexes; peut-être expérimentalement pourrait-on arriver à constater la valeur du travail mécanique produit pour une même quantité de chaleur communiquée à des corps solides différents, et en déduire quelques données précieuses. Toutefois, de semblables expériences offriraient de grandes difficultés.

Mais il est une température où le travail mécanique produit par la chaleur communiquée à un corps a une valeur plus facilement assignable. Nous voulons parler

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la liquéfaction d'un corps par communication de la chaleur latente nécessaire, la chaleur sensible restant la même à l'état solide et à l'état liquide.

Puisque la température ne change pas pendant la liquéfaction, tout le travail de la chaleur est utilisé, et la quantité de chaleur que nous savons mesurer, et qu'on appelle chaleur latente, produit le travail de séparer et désunir les molécules qui adhéraient fortement ensemble.

Si le principe que nous avons établi est exact, le même travail sera produit pour chaque métal pour une même quantité de chaleur latente. Le rapport du travail produit par la désunion des molécules à la chaleur latente nécessaire pour la produire sera une quantité constante pour les divers métaux.

M. Person, professeur à l'Académie de Besançon, est parvenu aux déterminations qui nous sont nécessaires, et cela d'une manière très satisfaisante, en se servant des expériences sur l'élasticité faites par M. Wertheim. Nous empruntons ce qui suit au mémoire qu'il a publié sur ce sujet dans les *Annales de chimie et de physique*.

« J'ai pensé, dit-il, que le travail pour séparer les molécules devait être dans une relation simple avec le travail nécessaire pour les écarter d'une certaine quantité. Déjà si l'on jette un coup d'œil sur le tableau des coefficients d'élasticité que M. Wertheim a donné dans les *Annales de chimie et de physique*, on reconnaît que les chaleurs latentes de fusion sont à très peu près proportionnelles à ces coefficients. Par exemple, il faut deux fois autant de chaleur pour fondre le zinc que pour fondre l'étain; or le tableau montre que le coefficient d'élasticité du zinc est double de celui de l'étain. Ainsi un métal qui exige un effort double pour le même allongement demande aussi une chaleur double pour se fondre. Le rapport est encore plus remarquable pour le plomb; c'est un métal qui offre très peu de résistance : avec un effort cinq fois plus petit on l'allonge autant que le zinc. Eh bien! il se trouve aussi que la chaleur nécessaire pour le fondre est cinq fois plus petite que celle qu'il faut pour le zinc. On retrouve encore la proportionnalité entre le zinc et le bismuth, quand on a soin de prendre le zinc cristallisé par un refroidissement lent, parce qu'alors sa constitution se rapproche de celle du bismuth.

« Ainsi donc, en désignant par q, q' les coefficients d'élasticité de deux métaux, par l, l' leurs chaleurs latentes de fusion, on a, au moins approximativement,

$$\frac{q}{q'} = \frac{l}{l'}.$$

« Le tableau, placé en tête de la colonne suivante, fera juger du degré d'approximation. Comme l'état physique des métaux a une grande influence sur leur coefficient d'élasticité, on a pris le rapport pour des états physiques aussi identiques que possible; c'est-à-dire qu'on a comparé les métaux coulés avec les métaux coulés, les métaux recuits avec les métaux recuits, et ainsi de suite. »

Cherchons maintenant pourquoi la proportionnalité n'est qu'approchée. Le coefficient d'élasticité est le poids qui doublerait la longueur d'une tige d'un millimètre de section, en supposant que l'allongement restât proportionnel à la traction. Il résulte de cette définition que, dans la mesure des coefficients d'élasticité, l'on ne compare pas des poids égaux comme dans la mesure des chaleurs latentes; dès lors il n'est pas étonnant que la proportionnalité n'existe pas rigoureusement. Le poids d'une même longueur, la densité, doivent évidemment jouer un rôle dans cette détermination. M. Pierson a proposé la formule suivante, pour la fonction de l'élasticité et des densités proportionnelles au travail produit (p, p' étant les poids spécifiques des substances considérées) :

Comparaison des coefficients d'élasticité et des chaleurs latentes de fusion.

DÉSIGNATION DU MÉTAL.	RAPPORT $q:q'$ d'après les vibrations transversales	RAPPORT $q:q'$ d'après l'allongement	MOYENNE.	RAPPORT $l:l'$
Zinc ordinaire étiré. .	2,09	»	2,17	1,97
Étain ordinaire étiré. .	2,11			
Zinc ordinaire recuit.	2,00	»		
Étain ordinaire coulé.	2,31			
Zinc ordinaire recuit.	4,32	5,09	4,80	5,23
Plomb recuit.	5,20			
Zinc pur coulé. . . .	4,69			
Plomb pur coulé. . . .	4,75			
Etain ordinaire étiré.	2,20	»	2,20	2,65
Plomb étiré.	2,33			
Étain ordinaire coulé.	2,33			
Plomb coulé.	2,10			
Zinc bien cristallisé. .	2,28	»	2,28	2,22
Bismuth coulé. . . .				

$$\frac{q}{q'}\left[\frac{1+\frac{2}{\sqrt{p}}}{1+\frac{2}{\sqrt{p'}}}\right] = \frac{l}{l'}. \qquad (A)$$

Elle signifie que les chaleurs latentes de fusion sont dans le rapport des coefficients d'élasticité augmentés d'une certaine quantité qui dépend de la densité.

Voici maintenant des vérifications de la formule. En comparant le zinc au plomb, nous avons en $\frac{q}{q'} = 4,80$; la correction actuelle, d'après les densités, revient à ajouter le dixième de cette valeur, ce qui donne 5,28; or on a $\frac{l}{l'} = 5,23$; ainsi l'accord est parfait.

Pour l'étain et le plomb, on a eu :

$$\frac{q}{q'} = 2,20, \text{ et } \frac{l}{l'} = 2,65;$$

la différence était assez considérable. Mais maintenant, la correction étant faite, il vient 2,42, et la différence avec 2,65 n'est pas d'un dixième.

Pour le zinc et l'étain, sans correction, la différence n'est pas non plus d'un dixième; mais aussi il n'y a pas de correction à faire, puisque les densités sont les mêmes.

Pour le bismuth, comparé au zinc cristallisé, la correction tendrait à altérer l'égalité des rapports; cela peut tenir à l'état de cristallisation.

La relation que nous venons de trouver pour les métaux se vérifie aussi pour les alliages. Ainsi, pour l'alliage de d'Arcet, M. Wertheim a trouvé $q' = 2626$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'après les vibrations transversales; pour le zinc ordinaire recuit, il a eu, d'après ces mêmes vibrations, $q = 9644$, d'où $\frac{q}{q'} = 3,67$. La densité de l'alliage de d'Arcet étant 9,8 il vient :

$$\frac{q}{q'}\left[\frac{1+\frac{2}{\sqrt{p}}}{1+\frac{2}{\sqrt{p'}}}\right] = 3,92.$$

Maintenant la totalité de la chaleur, qui devient latente quand on fond l'alliage, est 7,64; pour le zinc, c'est 25,13; on a donc $\frac{l}{l'} = 3,68$, ce qui diffère bien peu de 3,92.

La formule (A) se vérifiant d'une manière satisfaisante, on peut s'en servir pour calculer la chaleur latente de fusion des différents métaux. On trouve ainsi environ 38 calories pour le platine, et 60 pour le fer, en prenant le zinc pour terme de comparaison. Le fer, qui est le métal le plus résistant, serait aussi celui qui demanderait le plus de chaleur pour se fondre.

Ainsi nous pouvons considérer que la loi que nous avons établie théoriquement, à savoir que le travail produit par l'unité de chaleur était le même pour tous les corps, se trouve vérifiée d'une manière très satisfaisante pour les corps solides.

3° *Liquides*. La force motrice des liquides pourrait théoriquement s'utiliser comme pour les solides. On peut supposer le liquide à échauffer renfermé dans un vase portant sur sa surface des pistons que mettent en mouvement les accroissements de volume du liquide. La faible dilatation des liquides, la difficulté de ne pas perdre la presque totalité de travail de la chaleur par suite de la dilatation de l'enveloppe, rendent impossible l'exécution d'un semblable système.

Nous n'avons aucune donnée pour calculer théoriquement le travail de la chaleur agissant sur un liquide. En effet, le travail produit, en considérant pour simplifier le cube égal à l'unité de volume, est égal $p\delta$ dans chaque sens, p étant l'effort moyen produit, δ la dilatation linéaire pour un échauffement de 1°, et $3p\delta$ est le travail total; la quantité de chaleur absorbée est cd, c étant la chaleur spécifique pour l'unité de poids, et d la densité ou le poids pour l'unité de volume. Le travail pour l'unité de chaleur est donc $\frac{3p\delta}{cd}$, quantité constante si la loi énoncée est vraie, et qui fournit un lien précieux entre les dilatations et les chaleurs spécifiques, quand on considère les actions physiques au point de vue du travail produit, point de vue trop souvent négligé.

Nous n'avons pas d'évaluations des efforts p, qui peuvent être produits par la dilatation des liquides, et qui par suite puissent nous fournir la vérification cherchée. L'étude des compressibilités des liquides qui paraîtraient pouvoir offrir quelque point de comparaison analogue à celui que les coefficients d'élasticité fournissent pour les solides, ne conduit à aucun résultat. Les liquides résistent à la compression, comme le fait un tas de sable, par inertie et nullement comme le feraient des molécules écartées par la chaleur. La preuve est que la compression ne fait pas dégager des quantités de chaleur appréciables.

Chaleur latente des liquides. Nous pouvons suivre en partie le travail du calorique, dans le cas où il est absorbé pour produire de la vapeur et vaincre la pression atmosphérique. La dépense de chaleur latente qui sert à gazéifier un liquide est sensiblement proportionnelle au travail produit par le passage à l'état gazeux. Il semble, en effet, que cette même résistance à surmonter dans des circonstances semblables doit exiger sensiblement la même quantité de chaleur.

Soit 1 kilog. d'un liquide quelconque, dont δ est la densité, occupant par suite un volume égal à $\frac{1}{\delta \times 1000}$ en mètres cubes. Si ce corps se réduit en vapeur, en occupant un volume égal à m fois son volume à zéro, ou $\frac{m}{\delta \times 1000}$ mèt. c., le volume produit sera égal au volume produit $\frac{m-1}{\delta \times 1000}$, multiplié par la pression atmosphérique égale à 10330 sur le mètre carré.

d étant la quantité de chaleur rendue latente par la vaporisation du liquide.

$$T = \frac{(m-1)\times 10330}{d \times \delta \times 1000} \text{ pour une calorie.}$$

Eau. Pour l'eau :

$$m = 1700;\ \delta = 1;\ c = 1;\ \alpha = 100;\ d = 550$$

d'où $T = \frac{(1700-1)\,10330}{550\times 1000} = 31,8$ kilogram. mèt.

Alcool. Pour l'alcool qui bout à 78°,40, on a :

$$m = 520;\ \delta = 0,8;\ d = 207$$

d'où $T = \frac{(520-1)\,10330}{0,8\times 207\times 1000} = 32,7$ kilogr. mèt.

Éther. Pour l'éther qui bout à 37°,8 :

$$m = 318;\ \delta = 0,71;\ cd = 96,8$$

d'où $T = \frac{(218-1)\times 10330}{0,71\times 96,8\times 1000} = 32$ kilogram. mèt

On peut donc dire que sensiblement les quantités de travail, ou ce qui est la même chose pour une même pression, les volumes produits sont proportionnels aux chaleurs latentes. Il semble donc que l'on retrouve la même loi que précédemment, que le travail produit par une calorie est le même pour les divers liquides, comme nous l'avons vu ci-dessus pour la fusion des solides.

Mais il faut remarquer que les chiffres ci-dessus ne représentent le travail d'une calorie que relativement à la résistance constante qu'oppose la pression atmosphérique, que le travail d'action directe; il reste, pour obtenir tout l'effet qui peut être produit, à utiliser le travail de la détente des vapeurs, qui en se dilatant jusqu'à liquéfaction pourraient fournir de la chaleur utilisable; c'est la question que nous allons traiter, et qui se trouve résolue en même temps que la première.

DES VAPEURS. *Vapeur d'eau*. Le travail par action directe d'un kil. de vapeur, renfermant, d'après Watt, 650 calories à toutes les températures (ce qu'on peut admettre pour un calcul d'approximation) quelle que soit la pression, doit être constant, et ne varier que peu avec la pression initiale. Les volumes de la vapeur saturée aux diverses pressions n'ont pas encore été déterminés avec grande précision, mais ils sont en effet à peu près en raison inverse des pressions. Quant au travail de la détente, comme c'est une des lois les plus certaines de la physique qu'un gaz ne peut se dilater, augmenter de volume sans absorber de la chaleur, il s'ensuit que par l'effet de la détente, la vapeur sera plus que saturée; il se produira une condensation de partie de la vapeur, dont la chaleur latente de vaporisation viendra réchauffer le reste de la vapeur, lui conserverait la même température.

On voit d'après cela que connaissant la chaleur spécifique de la vapeur d'eau et la quantité de chaleur qu'elle absorbe en variant de volume, on peut déter-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

miner la quantité de vapeur qui aura été condensée et dont la chaleur latente a empêché la température de la vapeur de s'abaisser. Si donc on remarque que cette quantité de vapeur, en se liquéfiant, diminue la pression en raison du volume qu'elle occupait, et qu'elle l'augmente en raison de la chaleur latente dégagée par sa condensation, on voit qu'il est erroné de calculer le travail de la vapeur comme s'il n'y avait pas de refroidissement. Cette observation forme le point de départ de la transformation de la théorie de la machine à vapeur sur laquelle nous reviendrons.

Vapeurs diverses. — Si nous comparons, en ayant égard à l'observation précédente, les vapeurs d'alcool, d'éther, à celle de l'eau aux diverses pressions, nous en conclurons que les volumes (et par suite l'action directe) étant proportionnels aux chaleurs latentes, il en sera de même du travail de détente qui complète l'utilisation de la chaleur, puisqu'une même quantité de travail correspond toujours à la condensation d'un égal volume produit par une égale quantité de chaleur appliquée à la vaporisation de ces liquides, et que les chaleurs spécifiques des vapeurs que nous considérons diffèrent peu.

Les phénomènes se passent sans doute exactement de la même manière pour tous les corps liquides, peut-être cependant en est-il autrement et la loi de diminution des pressions différente, comme le travail de l'action directe, mais les variations seront alors de sens opposé, et le travail par calorie sûrement le même.

Résumé. En résumant ce qui précède : d'après les résultats directs de la physique expérimentale et les chiffres qu'elle fournit dans les circonstances les plus variées, sans idée préconçue sur la nature de la chaleur, nous pouvons considérer comme bien établis les principes suivants, qui sont fondamentaux pour la théorie des machines à vapeur et des machines à feu en général :

1° Le travail que peut produire l'unité de chaleur, la calorie, a un maximum théorique tout comme un poids qui descend d'une certaine hauteur en obéissant à la gravité;

2° Le principe fondamental du bon emploi de la chaleur est de faire que les changements de température produisent toujours des changements de volume utilisés.

CH. LABOULAYE.

CALORIFÈRE. Voyez CHAUFFAGE.

CAMBRAI (toile de) (*ang.* cambric, *all.* kammertuch), toile de coton fine.

CAMELOT (*ang.* camlet, *all.* kamlott), étoffe satinée qui se fabrique avec du fil retors.

CAMPHRE (*ang.* camphor, *all.* campher). Le camphre est un produit naturel très-abondant dans la famille des laurinées et dans celle des labiées; il provient principalement du *laurus camphora*, arbre originaire du Japon. Pour l'obtenir, les Japonais coupent et fondent le bois des tiges et des racines en petits morceaux, qu'ils placent dans un filet qu'ils suspendent dans un alambic dont la cucurbite est en fer et le chapiteau en terre cuite. Ils y versent de l'eau et replacent le chapiteau après l'avoir garni de chaumes de riz sur lesquels le camphre vient se condenser. Le camphre brut ainsi obtenu est en petits grains agglomérés et salis par une matière brune et huileuse. Son odeur est si caractéristique qu'il n'y a aucune difficulté pour le reconnaître. Il faut choisir celui qui est le plus sec et le moins sale. Il est expédié brut en Europe où on le raffine.

Pour raffiner le camphre on le mélange aussi intimement que possible avec 0,02 de son poids de chaux vive, puis on introduit le mélange dans un matras à fond plat, que l'on remplit au tiers, que l'on bouche avec des étoupes et que l'on enterre dans un bain de sable jusqu'à la naissance du col. On chauffe assez rapidement pour opérer la fusion totale du camphre, et éviter ainsi un boursoufflement qui salirait le vase qui le renferme. Aussitôt que le camphre est fondu, on découvre toute la partie vide du matras, et l'on diminue le feu de manière à n'obtenir qu'un faible bouillonnement que l'on soutient jusqu'à l'entière volatilisation du camphre; ce qui dure de huit à douze heures, selon la quantité sur laquelle on opère.

En ajoutant au mélange à sublimer de 100 parties de camphre brut et de 2 p. de chaux vive, 2 p. de noir animal pulvérisé, on décolore plus complétement le camphre et on obtient un produit plus blanc.

Le camphre raffiné est solide, blanc, fortement translucide, ayant un goût et une odeur caractéristiques, et sa densité est de 0,995 à 0,996. Il est tendre, rayé par l'ongle, et très-flexible; cependant on le réduit aisément en poudre en le broyant avec quelques gouttes d'alcool; il fond à 175° et bout à 204°; il est très-peu soluble dans l'eau et l'est beaucoup au contraire dans l'alcool et l'éther; 100 p. d'alcool ayant une densité de 0,806 en dissolvent 120 p.; l'eau le précipite de cette dissolution à l'état pulvérulent; approché d'un corps en ignition, il brûle avec flamme sans laisser de résidu. D'après Liebig, le camphre est formé, pour 100, de 79,20 de carbone, 10,36 d'hydrogène et 10,36 d'oxygène, ce qui correspond à la formule $C^{20}H^{16}O^2$ avec la notation de Berzelius, ou $C^{10}H^{16}O$ avec la notation moderne de la chimie organique.

Si l'on gratte un morceau de camphre avec un instrument tranchant au-dessus d'un vase contenant de l'eau, dont la surface n'est salie par aucun corps, on observe un phénomène extrêmement curieux : les particules du camphre qui viennent à toucher l'eau se meuvent en tournant sur elles-mêmes, quelquefois avec une extrême rapidité. Ce mouvement giratoire paraît dû à la forme des grattures qui, étant courbées, ont une extrémité mouillée, tandis que l'autre est émergée, et à l'évaporation rapide du camphre dont la vapeur, en s'échappant, trouve dans l'air la résistance nécessaire pour les faire mouvoir.

Le camphre doit être conservé dans des vases bien bouchés et dans un lieu froid, à cause de son extrême volatilité. C'est à cette propriété que se rattache surtout la vertu du camphre, de s'opposer à la décomposition des corps avec lesquels il est mélangé et autour desquels il produit une atmosphère odorante qui remplace l'air et fait périr la plupart des organismes primitifs.

On l'a quelquefois falsifié avec du *camphre artificiel*, que l'on obtient en faisant arriver un courant d'acide hydrochlorique gazeux dans de l'huile essentielle de térébenthine placée dans un mélange réfrigérant. La fraude peut se reconnaître en faisant passer le camphre en vapeur à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge; cette vapeur est décomposée et, en cas de fraude, donne naissance à de l'acide hydrochlorique qui, recueilli dans l'eau, se reconnaît au précipité blanc floconneux qu'il donne par le nitrate d'argent.

CANAL (*angl.* et *all.* canal). Pour qu'une voie navigable satisfasse convenablement aux besoins du commerce, elle doit remplir autant que possible les conditions suivantes :

1° La circulation dans les deux sens doit exiger le minimum de dépense;

2° Elle doit être libre constamment, ou du moins n'être formée que pendant des périodes dont on peut fixer à l'avance le commencement et la fin;

3° La durée des voyages doit pouvoir être calculée avec précision, et sur toute la route doivent être disposés des lieux de stationnement, des ports de charge et de décharge, des entrepôts, etc., etc.;

4° La navigation doit être, autant que possible,

FEERUS - Recherche & Classification numérique

CANAL.

exempte de toutes causes de risques, écueils, passages dangereux, qui compromettent la sûreté des embarcations et la vie des hommes ;

5° La profondeur du cours d'eau doit être, sur tous les points, assez grande pour que les bateaux puissent être fortement chargés, et assez constante pour ne pas descendre au-dessous d'un minimum connu.

Les cours d'eau, dans leur état naturel, sont loin de satisfaire à ce programme. Si leur courant offre aux marchandises qui descendent un moyen de transport très économique, il est pour celles qui remontent un obstacle qu'on ne peut vaincre qu'à grands frais. Ils sont sujets à des débordements, des débâcles, des sécheresses, dépendant de la variation des saisons, et qui échappent à toute prévision. Enfin les dispositions des lits, des rives, des courants, des ponts qui traversent les cours d'eau, des usines qui les bordent, créent une foule de dangers auxquels toute l'habileté des mariniers ne peut pas toujours parer.

On a pu par d'importants travaux exécutés sur quelques rivières, telles que l'Oise, la Sambre, la Somme, faire disparaître la plus grande partie de ces inconvénients ; mais sur nos grands fleuves, sur les rivières à fond mobile, les dépenses seraient tellement considérables, et les chances d'atteindre un résultat complet si précaires, qu'on a dû y renoncer pour un moyen plus économique et plus sûr, qui consiste à creuser une rivière artificielle à côté du cours d'eau naturel ; c'est ce qu'on appelle un canal latéral. Nous citerons comme exemples le canal latéral à la Marne, le canal latéral à la Garonne, le canal latéral à la Loire, etc., etc.

D'un autre côté, afin de faciliter le commerce intérieur et même international, il était important d'établir des communications par eau entre différentes rivières, pour que sans transbordement on pût faire passer les marchandises d'un bassin dans un autre ; mais les différents bassins étant séparés par des contre-forts et des chaînes de montagnes souvent fort élevés, il est généralement impossible de franchir de niveau le seuil qui les sépare ; il faut s'élever d'une des rivières jusqu'à un point culminant, duquel on redescend dans l'autre.

Cette voie artificielle et à double pente porte le nom de canal à point de partage.

Tels sont : le canal de la Marne au Rhin, destiné à relier ce dernier fleuve au bassin de la Seine ; les canaux d'Orléans et de Briare, qui réunissent la Seine à la Loire ; le canal du Midi, qui mène de la Méditerranée à la Garonne ; le canal du Rhône au Rhin, de l'Aisne à la Marne, etc

L'économie de ce système consiste à rassembler, sur le point culminant qu'on veut franchir, une quantité d'eau assez considérable pour alimenter deux canaux, qui se dirigent, chacun de leur côté, vers les rivières à réunir ; ce point, qui sert, pour ainsi dire, de source commune aux deux canaux, s'appelle le point de partage.

Comme il y a presque toujours une très grande différence de niveau entre le point de partage et la rivière à rejoindre, il est évident que, si on était obligé de donner aux canaux de jonction une pente continue, celle-ci serait tellement forte, qu'il deviendrait impossible aux bateaux de la remonter et même de la descendre sans danger. On conçoit, de même, qu'un canal latéral, qui prend l'eau à une rivière pour la lui rendre plus bas, devrait avoir une pente à peu près égale à la pente moyenne de celle-ci. Le problème d'une navigation commode et facile en tous sens ne serait donc pas résolu, dans ces deux cas, sans une invention moderne, qui est l'origine de tous les progrès de la navigation artificielle de nos jours, et qu'on appelle l'écluse à sas, machine destinée à élever, sans danger et presque sans dépense, un bateau à une hauteur verticale de plusieurs mètres.

Grâce à ce procédé, un canal latéral, ou chacune des branches d'un canal à point de partage pourra se composer d'une suite de portions horizontales ou d'une faible pente, séparées par des chutes, qu'on franchira ou qu'on descendra au moyen des écluses.

Chaque partie de canal comprise entre deux écluses s'appelle bief ; chaque écluse correspond à deux biefs. Le plus élevé s'appelle bief d'amont ou supérieur, et l'autre, bief d'aval ou inférieur.

L'écluse à sas, dont on fait remonter l'invention à Léonard de Vinci, réduite à son expression théorique, est un compartiment vide dont la superficie est au moins égale à celle d'un bateau, et dont le fond est au niveau du plafond du bief inférieur. Cet espace vide ou sas est isolé des deux biefs par deux portes, qui peuvent, en s'ouvrant, laisser un bateau le traverser. Il communique de plus avec ceux-ci par des ouvertures, qu'on peut fermer séparément à son gré au moyen de vannes.

Supposons qu'on veuille faire monter un bateau du bief inférieur dans le bief supérieur, on ferme toute communication du sas avec le bief supérieur, on ouvre les portes d'aval et on fait entrer le bateau dans le sas ; puis, après avoir isolé celui-ci du bief inférieur en refermant les portes, on ouvre le conduit répondant au bief supérieur ; l'eau de ce dernier pénètre dans le sas, qu'elle tend à remplir, et soulève le bateau jusqu'à ce qu'il soit arrivé au niveau du bief d'amont, dans lequel il pénètre sans difficulté lorsqu'on a ouvert la deuxième porte.

Pour opérer la descente, on suit la marche inverse : on ferme la vanne et la porte d'aval, et on ouvre au contraire la vanne et la porte supérieures ; le bateau peut être amené dans le sas, dont l'eau s'est mise au niveau du bief qu'il occupe, les portes et la vanne d'amont sont fermées à leur tour, et on ouvre la vanne d'aval par laquelle l'eau du sas s'écoule dans le bief inférieur. Elle descend bientôt au niveau de celui-ci en entraînant le bateau avec elle ; il n'y a plus alors qu'à ouvrir la porte d'aval, pour qu'il puisse sortir de l'écluse.

Ces manœuvres, dont l'explication paraît compliquée, quoique leur exécution soit très simple, ne durent pas plus de dix minutes dans une écluse bien établie.

Nous allons examiner succinctement les bases d'après lesquelles on trace les canaux et les différents ouvrages que leur construction exige.

TRACÉ DES CANAUX.

Emplacement du point de partage. Le premier problème à résoudre, dans l'étude d'un canal, est la recherche de l'emplacement favorable pour l'établissement du bief de partage. Ce point doit satisfaire à la double condition, de permettre d'y recueillir les eaux nécessaires pour l'alimentation du canal, et de faire monter le moins possible les bateaux pour passer d'une vallée à l'autre.

Généralement ces conditions sont la conséquence l'une de l'autre, car les moyens d'alimentation provenant de l'aménagement des eaux supérieures au bief de partage, plus celui-ci sera abaissé, plus grande sera la quantité de ces eaux qu'on pourra rassembler. On doit donc chercher d'abord à reconnaître quelles sont les parties les plus basses du faîte qui sépare les deux vallées. A l'inspection d'une bonne carte, on trouvera les divers points minimum d'un faîte dans les circonstances suivantes :

1° Quand deux thalwegs secondaires partent de la chaîne à traverser en deux points opposés ;

2° Quand deux thalwegs, après avoir été parallèles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et dirigés dans le même sens, divergent en sens opposé ;

3° Quand deux thalwegs parallèles ont leurs pentes inverses.

Ces faits résultant de la théorie et des observations.

Les branches du canal seront établies dans les deux thalwegs secondaires, et la crête étroite de la chaîne, qui doit être ouverte pour les réunir, sera percée par une tranchée ou par un souterrain. Cela dépend de la hauteur à laquelle il faut abaisser le plan du bief de partage pour les eaux d'une alimentation suffisante. On a observé que dans le premier cas que nous avons considéré, il faut presque toujours ouvrir un souterrain, tandis que dans les deux autres les parties supérieures de la chaîne que l'on traverse fournissent, en général, des eaux plus élevées que le point bas par lequel le canal est dirigé ; on peut donc assez relever le bief de partage pour traverser le faîte au moyen d'une simple tranchée.

D'ailleurs, la direction d'un canal par les points minimum est modifiée par les considérations de la dépense, de la bonne ou mauvaise position des branches descendantes, des relations commerciales, etc. ; il y a même des canaux à point de partage, tels que le canal de la Seine à la Loire, celui de la Meuse au Rhin, de la Sensée, qui ont été projetés et tracés par des considérations tout à fait étrangères au maximum des faîtes.

Quel que soit du reste le choix du point de partage, il doit toujours satisfaire à la condition d'alimenter, pendant la saison navigable, les deux branches qui s'y rattachent, ou du moins une partie de chacune d'elles ; car, comme ces branches descendent rapidement, elles peuvent recevoir des eaux plus basses que celles du point de départ, et il arrive un bief, pour l'usage duquel on n'a plus besoin de recourir aux ressources des biefs supérieurs.

Consommation d'eau du point de partage. La dépense d'eau du point de partage est due à cinq causes différentes :

1° L'évaporation dans le bief supérieur et ceux qu'il alimente ;

2° Les filtrations dans ce même parcours ;

3° Les pertes d'eau par les portes d'écluses ;

4° Le remplissage des écluses pour la navigation ;

5° Le remplissage du canal après la mise à sec, nécessitée par les réparations annuelles.

1° *Évaporation.* L'évaporation varie avec la température et les différentes circonstances atmosphériques ; on l'estime, en moyenne, à une tranche d'eau de 0m,004 par vingt-quatre heures. On ne peut pas déduire de l'évaporation annuelle l'eau provenant de la pluie, attendu que celle-ci n'arrive qu'aux périodes où l'évaporation est minimum, et qu'elle ne rend rien pendant les beaux jours où celle-là est plus grande.

Il serait mieux d'avoir un tableau comparatif, dressé par semaine et pendant plusieurs années, de l'eau tombée et de celle évaporée dans le lieu qu'on considère, et de prendre pour base de son calcul la différence constatée dans les semaines les plus défavorables.

2° *Filtrations.* Les filtrations varient avec la nature du sol dans lequel le canal est ouvert ; elles sont toujours très abondantes au moment où la navigation commence, mais elles diminuent ensuite chaque année.

On adopte généralement une perte pour vingt-quatre heures de 0m,08 de hauteur sur la surface totale ; mais ce chiffre est entièrement hypothétique.

On a trouvé au canal du Centre, depuis longtemps en navigation, que les pertes par évaporation et filtration sont de 350 mètres cubes par jour et par kilomètre dans les terrains sablonneux, et de 490 mètres cubes dans les terrains argileux.

3° *Pertes par les portes.* Les pertes par les portes des écluses dépendent de la bonne ou mauvaise exécution, et de l'état d'entretien de celles-ci. Elles peuvent varier de 200 à 1,200 mètres cubes par vingt-quatre heures. Cette perte n'est à compter qu'une fois sur chaque versant.

4° *Remplissage des écluses.* La dépense due à la traversée du point de partage par un bateau est facile à évaluer :

Appelons E le prisme compris par les parois du sas, entre les plans d'eau des biefs inférieurs et supérieurs, et V le volume d'eau déplacé par le bateau.

Quand celui-ci se présente pour remonter à l'écluse, on l'introduit dans le sas par les portes d'aval qu'on ferme ensuite. Après avoir ouvert les vannes supérieures, on introduit dans le sas un prisme d'eau précisément égal à E, puis on ouvre les portes d'amont, et on amène dans le bief supérieur le bateau, qui est remplacé, dans le sas, par un volume d'eau égal à V. Le bief supérieur perd donc, pour la montée d'un bateau, un volume égal à E, V.

Pour descendre, au contraire, le sas étant rempli d'un volume d'eau égal à E, on y introduit le bateau, qui fait refluer dans le bief un volume égal à V, puis on ferme la communication de ce bief avec le sas. Ce bief a donc perdu pour un bateau descendant une quantité d'eau égale à E — V.

Pour la traversée tout entière, la perte totale sera donc E + V + E — V = 2E, sauf le cas où le bateau aurait augmenté ou diminué sa charge dans le parcours, ce qui diminuerait ou augmenterait la dépense de la différence entre le volume d'eau qu'il déplaçait primitivement et le volume modifié par le transbordement. Ce calcul est fait d'ailleurs dans l'hypothèse que les dimensions de toutes les écluses sont égales ; dans le cas contraire, E devrait représenter pour chaque branche le volume du plus grand sas. Il y a donc intérêt pour l'économie d'eau à ce que toutes les écluses aient autant que possible des chutes égales.

Sur quelques canaux on a placé des écluses contiguës, dites accolées ; cette disposition exige une grande dépense d'eau pour les bateaux remontants. En se rendant compte de leur jeu, on voit en effet que si n représente le nombre des écluses accolées, un bateau qui remonte dépense E × n + V ; celui qui descend ne dépense d'ailleurs que E — V. On fera donc bien, tant pour l'économie de l'eau que pour l'économie de temps dans la marche des bateaux, d'éviter d'accoler les écluses.

Quand deux bateaux se rencontrent à une écluse, en commençant par faire monter celui d'aval et en faisant passer l'autre après, on peut ne perdre qu'une éclusée pour ce double mouvement ; mais ce cas se présente rarement.

En résumé, quand on peut prévoir le mouvement de la navigation, on peut se rendre compte avec assez de précision de la dépense d'eau qu'il occasionnera.

5° *Remplissage du canal après les chômages.* L'eau nécessaire pour remplir les biefs après leur mise à sec serait facile à calculer, si le sol était imperméable ; mais il s'est ordinairement desséché, fendillé, et il absorbe beaucoup plus que le volume nécessaire au remplissage, par suite des pertes dues à l'imbibition et aux infiltrations.

Procédés d'alimentation. Les ressources destinées à faire face à toutes ces dépenses doivent être aménagées au point de partage : elles consistent dans les ruisseaux et les sources qui prennent naissance au-dessus du niveau du bief. Comme d'ordinaire ces cours d'eau à pentes rapides ne viennent pas converger sur le point qu'on a choisi, on est obligé d'aller les chercher au moyen de rigoles qui dérivent tout ou partie de leur produit.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Rigoles. La pente de ces rigoles doit être telle que la vitesse de l'eau soit au moins de 0m,20 ou 0m,36 par seconde, pour que les herbes et autres obstacles n'arrêtent pas son écoulement. On a intérêt à diminuer leur longueur, même au prix de dépenses plus grandes, pour atténuer les pertes dues à l'évaporation et aux infiltrations, ainsi que les chances d'ensablements provenant des terres entraînées par les orages sur les flancs des coteaux généralement abrupts où elles sont assises; quelquefois même on s'est vu obligé de les recouvrir d'une voûte.

Nécessité des réservoirs. Malheureusement les produits des sources et des ruisseaux sont loin d'être constants. Ainsi, dans certaines années, le débit des grandes eaux a été trouvé:

Au canal du Centre, huit fois plus fort que celui des basses eaux;

Au canal de Bourgogne, trente fois;

Au canal du Berry, cinq fois.

Et l'étiage coïncide d'ordinaire avec l'été, période où la navigation est la plus importante, et où les dépenses des biefs sont les plus grandes. Il faut donc mettre en réserve les eaux surabondantes d'hiver, pour les ajouter aux eaux insuffisantes d'été, et par conséquent si le bief de partage n'est pas assez vaste pour se servir à lui-même de réservoir, il faut en établir un.

Réservoir. Un réservoir s'obtient en barrant une vallée au moyen d'une digue en terre ou en maçonnerie, traversée par un ou plusieurs aqueducs qui conduisent à volonté les eaux dans une rigole communiquant au bief de partage. Ces digues retiennent toutes les crues et les produits des pluies qui arrivent dans la vallée, et forment un vaste étang d'où l'on est libre de tirer les eaux dont on a besoin, lorsque le service de la navigation l'exige.

Pour l'emplacement d'un réservoir, on choisit un vallon qui corresponde à un versant d'une grande étendue et à un ruisseau et des sources assez abondantes, et qui ait en un point de sa surface une portion resserrée, où la digue puisse s'établir aux moindres frais. Il faut qu'en amont de la digue le fond du vallon ait peu de pente, que cet espace presque horizontal soit suivi au contraire d'une pente plus forte, et que les parois latérales se redressent le plus abruptes possible, afin que la capacité du réservoir soit assez considérable par rapport à sa superficie.

Par l'observation des volumes annuels des pluies, par le jaugeage des sources et des ruisseaux, on peut se rendre compte de la quantité d'eau qu'il sera possible d'amener au réservoir, et déterminer la hauteur qu'il faudra donner à la digue.

Dans certaines localités, on peut compter, comme ressource d'alimentation des biefs, les puits artésiens, et même les machines à vapeur qui élèvent les eaux inférieures jusqu'au niveau du point de partage. Les Anglais et les Belges ont fait de ce dernier procédé un fréquent usage. Le choix entre ces divers moyens est une question de dépense.

Tracé des branches descendantes. La direction générale des branches est déterminée par des considérations souvent indépendantes des questions d'art, telles que l'obligation de desservir des centres commerciaux existants, de déboucher à des points de la rivière déterminés, etc., qui sont en dehors de notre cadre. Quand cette direction est arrêtée, le problème à résoudre consiste à joindre les points de passage obligés par un tracé qui réunisse à la fois l'économie de dépense d'établissement et d'entretien, la plus grande facilité de circulation, les chances les plus probables d'alimentation.

On doit éviter les terrains de roches d'une difficile extraction, et dont les fentes sont toujours des causes de perte d'eau, les terrains de gravier perméable, et, pour les grandes tranchées, ceux d'argile fluide ou de schistes boueux.

Comme d'ordinaire le sol vers le pied des coteaux est formé de bonnes terres végétales, c'est là qu'il faudra chercher à s'établir, en se tenant toutefois en dehors de la zône d'inondation des cours d'eau parallèles, et en s'élevant assez pour donner une facile issue sous le canal aux ruisseaux provenant des vallées latérales, et pour établir les écluses sans faire des fouilles trop profondes à leurs abords.

Les écluses devront être ménagées de façon que leurs chutes soient à peu près égales, et que les biefs qui les séparent ne soient pas trop courts; car, dans ce dernier cas, leur niveau baisserait considérablement, par suite du passage d'un petit nombre de bateaux, et il faudrait le rétablir à chaque instant en empruntant de l'eau aux biefs supérieurs.

L'axe en plan ne doit pas présenter de coudes brusques, et les courbes doivent être d'un rayon proportionné à la longueur des bateaux destinés à fréquenter le canal, afin que ceux-ci puissent y tourner sans se heurter aux berges; il doit offrir aux abords des écluses des alignements droits qui aient au moins une largeur de 150 mètres de part et d'autre.

Enfin, on cherchera à le disposer de manière que le cube des déblais égale, autant que possible, celui des remblais.

Ces observations sur le tracé s'appliquent aussi bien à un canal latéral qu'aux branches d'un canal à point de partage.

OUVRAGES D'ART DES CANAUX.

Écluses. Une écluse peut être considérée comme composée de trois parties: 1° la tête d'amont; 2° le sas; 3° la tête d'aval (voir les fig. 1, 2 et 3).

1° La tête d'amont comprend: les musoirs *a* avec murs en retour *b*, les rainures des poutrelles *c*, les chardonnets *d*, les enclaves des portes *f*, les chambres des portes *ff*, le busc *g*, le garde radier *s*, et souvent le mur de chute *v*;

2° Le sas se compose des bajoyers *h* et du radier *k*;

3° La tête d'aval comprend les épaulements de fuite *o*, les rainures des poutrelles *m*, les chardonnets *p*, les enclaves *r*, la chambre des portes d'aval *rr*, le busc *q*, et l'arrière-radier *t*.

Les musoirs n'ont besoin d'être séparés que de la distance nécessaire pour laisser passer les bateaux avec un peu de jeu, environ 10 centimètres de chaque côté; ainsi, pour les bateaux de 5 mètres, de 7 mètres, etc., l'intervalle sera 5m,20, 7m,20, etc. La largeur du sas est généralement la même; cependant on lui a donné quelquefois une capacité suffisante pour contenir en même temps plusieurs bateaux, et dans ce cas, au lieu de le limiter latéralement par des murs verticaux, on l'a compris entre deux berges, taillées à 45 degrés et revêtues de perrés. Cette disposition a l'inconvénient de perdre, pour un bateau seul, beaucoup plus d'eau et de temps que pour plusieurs; on ne l'adopte donc que pour des circonstances exceptionnelles. Quant à la longueur du sas, elle est établie d'après la dimension des bateaux qui doivent fréquenter le canal.

On termine d'ordinaire le parement intérieur des bajoyers suivant une ligne verticale; cependant les Anglais adoptent souvent la ligne courbe. Le parement du côté des terres peut s'élever avec des retraites, avec des talus, verticalement, ou même en surplomb sur les terres; parfois on le consolide avec des contre-forts.

On doit calculer son épaisseur en le regardant comme destiné, lorsque le sas est vide, à supporter la pression des terres extérieures, celles-ci étant supposées délayées. Généralement cette épaisseur est 0m,40 de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hauteur; on a fait varier cependant ce rapport, dans plusieurs exemples, de 0m,30 à 0m,50.

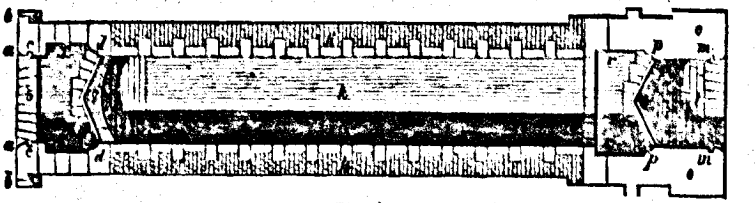


Fig. 1.

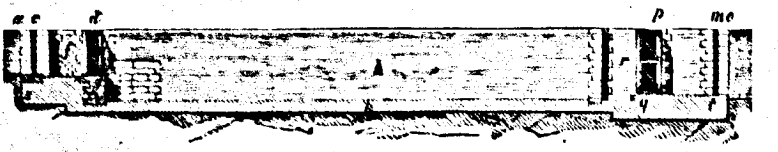


Fig. 2.

Cette épaisseur doit être au moins la même le long de l'enclave des portes et des musoirs d'amont et d'aval.

La fermeture à chaque tête se compose de deux vantaux susceptibles de tourner chacun autour d'un axe vertical placé le long du chardonnet. Lorsque la porte est fermée, les deux vantaux s'arc-boutent l'un contre l'autre; ils sont appuyés à la partie inférieure contre le busc, portion du radier en saillie sur le reste de 0m,25 à 0m,30, et limitée par une ligne brisée formant, avec la ligne menée d'un chardonnet à l'autre, un triangle dont la hauteur varie entre le 1/7e et le 1/5e de la largeur de l'écluse.



Fig. 3.

Lorsque la porte est ouverte, chaque vantail vient se loger dans l'enclave, qui est refouillée à cet effet d'une quantité égale à l'épaisseur de la porte, plus un jeu de 10 centimètres.

Lorsqu'il y a un mur de chute, le dessus du busc d'amont est au niveau du fond du bief supérieur, et le dessus du busc d'aval est au niveau du fond du bief inférieur; le mur est destiné à racheter cette différence de hauteur. On le termine par une face cylindrique du côté du sas.

Lorsqu'on n'exécute pas de mur de chute, le dessus des deux buscs est au niveau du fond du bief inférieur, et la différence de hauteur est rachetée par une pente établie dans le plafond du bief supérieur jusqu'au garde-radier de la chambre des portes d'amont. Les deux portes doivent avoir alors la même hauteur pour l'amont et pour l'aval.

Chaque disposition a ses avantages et ses inconvénients.

Les rainures ouvertes dans les musoirs, larges de 20 à 40 centimètres en amont et en aval, sont destinées à recevoir des poutrelles pour former bâtardeau lorsqu'on veut faire des réparations à sec dans l'intérieur de l'écluse.

L'épaisseur du radier doit être calculée de manière à faire équilibre aux sous-pressions dues aux sources adjacentes, ou à la différence de hauteur de l'eau dans les deux biefs.

On exécute ordinairement en maçonnerie de pierres de taille les têtes, les musoirs, le couronnement, les enclaves, les chardonnets, les buscs, une portion du radier au pied du mur de chute, les arrière-radiers et les garde-radiers. Tous les autres parements peuvent être faits en moellons ou en briques.

Les buscs doivent être en pierres dures et appareillés en voûte. D'ordinaire on entaille leur arête pour y loger des pièces de bois de 0m,20 à 0m,25 d'équarrissage, qu'on nomme heurtoirs, et contre lesquelles les portes s'appuient. On appareille aussi en clavaux les deux chaînes de pierres de taille qui forment tête de radier en amont et en aval.

Portes d'écluse. On exécute les portes des écluses: 1° en bois, avec des ferrures pour les consolider; 2° en fonte, fer et tôle; 3° en fonte, bois, fer et tôle; 4° en fonte.

Le cadre de chaque vantail d'une porte en bois se compose de deux poteaux verticaux nommés, l'un poteau tourillon, l'autre poteau busqué, réunis par deux entre-toises horizontales. Le poteau tourillon est arrondi suivant la même courbure que le chardonnet sur lequel il s'appuie; le poteau busqué est taillé en biseau sur la face extrême, afin que les deux vantaux s'appuient en busquent l'un contre l'autre suivant cette même face.

Le tourillon porte du bas sur une crapaudine et est maintenu du haut par un collier scellé solidement dans le bajoyer.

Les vides laissés par cette charpente sont recouverts par des madriers cloués sur la face d'amont. L'entretoise inférieure et l'about du poteau busqué ne descendent pas jusqu'au radier de la chambre des portes; ils en sont éloignés de 0m,05 ou 0m,06, afin que pour un léger abaissement du vantail il n'y ait pas de frottement contre la surface de ce radier. L'entre-toise supérieure est quelquefois posée à la hauteur du couronnement du radier; d'autres fois elle s'élève à environ 0m,80 au-dessus de ce couronnement et se prolonge par un balancier, chargé à son extrémité de manière à faire contre-poids au vantail.

L'espacement des entre-toises intermédiaires et leur équarrissage se calculent en tenant compte de la pression variable que doit subir la porte à différentes hauteurs.

Le jeu des assemblages de cette charpente tend à faire baisser le poteau busqué; pour s'opposer à ce mouvement, on relie les poteaux et les entre-toises par une pièce inclinée, nommée bracon, qui part du pied du poteau tourillon, embrasse les entre-toises intermédiaires et s'assemble dans la face inférieure de l'entre-toise supérieure, près de son point de jonction avec le poteau busqué.

On peut suppléer à l'emploi de cette pièce, ou ajouter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à son action, au moyen d'une écharpe en fer, fixée d'un bout en haut du poteau tourillon, et de l'autre au pied du poteau busqué; cette écharpe est garnie d'une mouffle à coins qui permettrait de relever la porte si elle avait baissé.

Les assemblages des poteaux avec les entre-toises, qui se font par tenons et mortaises, sont consolidés par des étriers ou des équerres en fer.

On a fait au canal du Nivernais des portes d'écluses dont le poteau tourillon est en fonte creuse avec une âme en bois à l'intérieur; le poteau busqué est formé d'une bande de fer encastrée dans un poteau en bois; enfin les entre-toises sont en fonte, et le revêtement est formé de feuilles de tôle reliées entre elles par des rivets.

On a exécuté à l'écluse de Marly des portes dont chaque ventail a 7 mètres de hauteur et 6m,91 de largeur. Leur charpente se compose d'un poteau tourillon en fonte, d'un poteau busqué en bois renforcé par de la tôle, et de huit entre-toises en bois et fer, également espacées.

Chaque entre-toise est formée d'une pièce de bois de 0m,18 d'épaisseur, dont les faces, inférieure et supérieure, sont recouvertes d'une lame de tôle, rendue solidaire avec le bois au moyen d'un grand nombre de boulons à écrous.

Cette carcasse est revêtue de feuilles de tôle de 0m,005 d'épaisseur.

On a fait au canal Saint-Denis des portes totalement en fonte; mais ce système présente beaucoup de dangers, parce que la fonte éclate facilement sous des chocs violents, comme ceux auxquels sont exposés les ventaux de la part des bateaux qui se meuvent dans les écluses.

Les portes se manœuvrent par différents procédés, soit au moyen des balanciers formant le prolongement de l'entre-toise supérieure, soit par des cordages et des bielles attachés à la partie supérieure du poteau busqué et mus par des cabestans, soit par des crémaillères ou des arcs en fonte dentés, attachés à l'entre-toise supérieure, et mus par un pignon à axe vertical établi sur la tablette du bajoyer.

Introduction de l'eau dans les sas. Pour faire entrer l'eau dans les sas et pour l'en faire sortir, sans ouvrir les portes, on se sert d'aqueducs ou tambours pratiqués dans l'épaisseur des bajoyers, et qui communiquent du sas dans le bief d'amont ou d'aval. Ces aqueducs débouchent ordinairement dans la face d'un bajoyer; l'eau qui en sort frappe les bateaux latéralement et les pousse contre le bajoyer opposé. Pour éviter cet inconvénient, on a cherché à faire arriver l'eau de bas en haut, en donnant aux aqueducs la forme de syphons; mais les syphons exigent des appareils compliqués, obligent à descendre plus bas la fondation du mur de chute, et il est presque impossible de les réparer sans démolir celui-ci.

Les orifices des aqueducs et syphons sont fermés par des vannes, qu'on hausse et qu'on baisse lorsqu'on veut ouvrir ou intercepter la communication.

On remplace aujourd'hui ces appareils par des ventelles placées à la partie inférieure des portes. A cet effet, on ménage, dans le ventail, une ouverture fermée par une vanne, que l'on élève ou abaisse au moyen d'une tige qui s'élève au-dessus de la porte et qui est saisie par un engrenage ou un levier. Les meilleures vannes sont celles en fonte, glissant sur des coulisseaux en fer.

Prise d'eau. Un canal latéral prend ordinairement sa source dans la rivière qu'il côtoie, soit par une communication directe, soit par une dérivation faite de la rivière, à un point situé en amont.

La prise d'eau exige des études approfondies, pour donner toutes les facilités désirables dans la manœuvre des bateaux, pour que la sortie en rivière ou l'entrée en canal soient également commodes à toutes les hauteurs d'eau navigables, pour avoir toujours à l'entrée une profondeur suffisante. Une prise d'eau doit être insubmersible dans les crues, afin d'éviter les dégradations que causeraient l'épanchement des grandes eaux et les envasements de la dérivation par le dépôt des troubles. A cet effet on ferme d'ordinaire l'entrée du canal par des portes de garde, qui se relient à deux levées longitudinales, dont la crête est supérieure au niveau des inondations.

Entrée en rivière ou en mer. Un canal, à la fin de son parcours, rentre en rivière ou débouche séparément dans des eaux où celle-ci aboutit, tels que mers ou lacs. Dans chacun de ces cas, il faut le diriger de l'amont sur l'aval, pour faciliter les mouvements d'entrée et de sortie des bateaux et éviter les atterrissements; il faut se réserver les moyens de faire des chasses pour nettoyer l'embouchure; enfin il faut tracer le dernier bief assez long et assez large, pour qu'un grand nombre de bateaux puissent s'y garer et y stationner sans nuire à la circulation journalière.

Si l'on a lieu de craindre que les crues de la rivière ou les mouvements de la marée ne s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau permanent des eaux dans le dernier bief, il est souvent avantageux de le rendre insubmersible par des portes spéciales de flot, opposées à l'action momentanée des crues ou à l'action périodique de la mer.

Introduction des eaux d'alimentation. Dans le parcours d'un canal, surtout s'il est d'une grande étendue, l'eau introduite par la dérivation ou le bief de partage serait tout à fait insuffisante pour maintenir constamment le niveau de tous les biefs à la même hauteur, et restituer les pertes provenant de l'évaporation, des infiltrations, des éclusées, etc.; aussi doit-on toujours se réserver des moyens d'échelonner, sur différents points du parcours, des prises d'eau accessoires.

Il serait évidemment impossible de les demander à la rivière, dont le niveau est constamment plus bas que celui du canal: on les obtient par des dérivations faites dans les cours d'eau secondaires, qui viennent se jeter dans cette rivière le plus souvent avec de fortes pentes, ou bien par des rigoles, communiquant avec des réservoirs établis dans des vallées latérales.

L'eau provenant des rigoles alimentaires est introduite dans le canal par un aqueduc de prise d'eau qui passe sous la digue, et dont le radier est au niveau du plafond du bief. On ménage, dans les culées de l'aqueduc, des coulisses pour recevoir une vanne, qu'on peut fermer pour arrêter l'introduction de l'eau, lorsque l'alimentation ordinaire est suffisante et à l'époque des crues de l'affluent, afin que le canal ne soit pas submergé ou même envahi par des eaux troubles.

Cette vanne a encore un autre but, c'est de permettre de réparer la rigole, tout en maintenant dans le canal les eaux à la hauteur voulue; on peut, en effet, une fois la vanne fermée, vider la rigole au moyen d'un déversoir de fond ménagé en un point de son parcours, et qui, dans les circonstances ordinaires, se trouve clos par une ventelle glissant entre deux coulisseaux.

Déversoirs de fond et de superficie. Comme dans un bief il peut arriver assez d'eau pour élever son niveau au-dessus du niveau normal, on établit à travers les digues des déversoirs de superficie, par lesquels le trop-plein s'épanche à l'extérieur, et, pour pourvoir au cas où il est indispensable de vider un bief, soit dans le but de faire des réparations aux ouvrages, soit afin de sauver un bateau échoué, on place dans l'étendue du bief un ou plusieurs déversoirs de fond fermés par des vannes.

Un même ouvrage peut d'ailleurs remplir les deux buts. Un aqueduc traverse la digue et a son radier au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

niveau du plafond du canal. Les deux piédroits sont garnis, à l'aval, de rainures dans lesquelles on glisse des poutrelles, dont la partie supérieure affleure le niveau du bief. Quand les poutrelles sont posées, on a un déversoir de superficie; quand elles sont enlevées, on a un déversoir de fond.

Il est plus important qu'on ne pourrait le supposer d'éviter que le plan d'eau supérieur ne s'élève au delà de ces limites; car il arrive presque toujours que les digues sont percées, un peu au-dessus du niveau ordinaire, par une multitude de trous creusés par les rats et les taupes. Si l'eau venait à surmonter ces trous, elle s'y écoulerait, les agrandirait, et ne tarderait pas à dégrader et même à rompre la digue.

Profil en travers d'un canal. La largeur d'un canal se calcule d'ordinaire sur celle des bateaux qui sont destinés à le fréquenter. On s'arrange toujours, excepté dans les points de sujétion particuliers, pour que deux bateaux puissent se croiser; ainsi on donne 10 mètres de largeur au plafond, aux canaux dont les écluses ont 5m,20 de passage, 12 mètres à ceux dont les écluses ont 6m,50, 15 mètres pour les écluses de 7m,50 à 8 mètres.

Les talus de la cuvette sont dressés suivant une inclinaison de 1m,5 à 2 mètres, ou même 2m,5 de base pour 1 de hauteur, suivant que le terrain est plus ou moins résistant; du reste, cette pente ne reste pas permanente, le battillage des eaux, le frottement des bateaux pleins ou vides, l'ont bientôt dégradée et transformée en un profil courbe, s'approchant de la verticale dans le haut et de l'horizontale dans le bas. Pour prévenir cet effet on a employé divers moyens : on a revêtu les talus de perrés, de clayonnages, de bordages retenus par des piquets; mais ces procédés sont dispendieux d'établissement et d'entretien. Ailleurs on a établi, un peu au-dessous du niveau de l'eau, de petites banquettes qu'on a plantées d'iris, de glaïeuls, de roseaux, destinés à rompre l'action de l'eau et à retenir les terres; mais ce moyen est insuffisant.

Sur les points où l'établissement d'un canal offre de grandes difficultés, comme dans les tranchées profondes, sur les remblais élevés, dans la traversée des villages, il peut y avoir économie à réduire la largeur du canal à celle nécessaire pour un bateau; mais dans ce cas il faut ménager, soit aux extrémités de la partie rétrécie, soit dans cet intervalle même, des gares où les bateaux puissent se croiser.

Dans la traversée des villes, aux ports d'embarquement et de décharge, il est presque toujours indispensable de supprimer les talus et de soutenir les berges par des maçonneries, soit en pierres sèches, soit avec mortier.

Les bateaux peuvent accoster ces quais, et les manœuvres de charge et de décharge sont rendues bien plus faciles.

La profondeur qu'on donne à un canal doit être telle qu'elle laisse une lame d'eau d'environ 0m,40 d'épaisseur sous les bateaux à charge complète; cette limite n'a pas été atteinte dans tous les canaux, mais elle a un double avantage : elle rend les curages moins fréquents, et le premier dépôt vaseux, qui remplit l'excès de profondeur, peut être conservé comme un bon corroi contre les filtrations du fond.

Le chemin de halage doit être placé le plus près possible du canal, pour que le tirage se fasse à peu près horizontalement dans le sens de la marche du bateau, et assez élevé au-dessus du plan d'eau pour que les petites vagues ne viennent pas le surmonter. Cette hauteur varie ordinairement de 0m,40 à 0m,80, et dépend de l'exposition aux vents régnants, de la profondeur et de la largeur du canal.

La largeur de la banquette dépend du mode de halage employé. Pour des hommes, 1m,50 à 2 mètres suffisent; mais pour des chevaux, il est nécessaire de lui donner au moins 3 mètres; on a été jusqu'à 6 mètres quand le terrain n'était pas cher.

Plusieurs canaux en France ont un chemin de halage de chaque côté. Quelque coûteuse que soit cette disposition, elle est quelquefois indispensable. Dans les grands vents, qui poussent le bateau contre la rive d'où on le tire, le halage deviendrait impossible, si on ne pouvait faire passer les chevaux d'une rive sur l'autre.

Là où il n'y a qu'un seul chemin de halage, on établit de l'autre côté une petite banquette de 1 mètre à 1m,50, appelée *marche-pied*.

Au delà du chemin de halage et à la limite des propriétés riveraines, on établit des contre fossés destinés à recevoir, soit les eaux folles provenant des terrains voisins, soit les eaux d'infiltration du canal lui-même; les pentes de ces contre-fossés permettent d'évacuer ces eaux dans les ruisseaux voisins, ou même de les amener dans le bief inférieur, après qu'elles se sont purifiées des sables et des terres qu'elles charrient.

Enfin, quand un canal longe un cours d'eau, il est toujours indispensable de le mettre à l'abri des crues au moyen d'une contre-digue dont les talus, du côté de la rivière, sont préservés des érosions, des chocs de glace et de corps flottants, par des revêtissages solides.

Traversée des affluents. Un canal étant toujours placé sur le flanc d'un coteau, coupe tous les affluents du cours d'eau qui occupe le fond de la vallée. Il faut alors se décider à recevoir ces affluents dans le canal, ou leur donner un libre cours sous la cuvette. Dans les canaux le plus anciennement construits, on a adopté le premier parti, dans le but, soit d'augmenter les moyens d'alimentation, soit d'éviter la dépense de nombreux ouvrages d'art; mais on a toujours eu lieu de s'en repentir. En effet, ces affluents sont presque constamment chargés de troubles, qui se déposent dans le lit du canal et l'envasent; de plus, ils sont toujours sujets à des crues subites qui peuvent en fort peu de temps hausser le niveau du bief, jusqu'à le faire déborder et rompre les digues.

Il vaut donc mieux, toutes les fois que cela est possible, et sans craindre la dépense, adopter le dernier parti.

Si le ruisseau est très faible, on le dérive dans le contre-fossé; si celui-ci n'a pas d'écoulement, on donne passage aux eaux au moyen d'une simple buse en bois, ou, ce qui vaut mieux, d'un tuyau en fonte. Le dessus de celui-ci peut arraser le fond de la cuvette, de sorte qu'on peut l'établir partout où le canal est élevé à une faible hauteur au-dessus du terrain naturel.

Aqueducs. Si le ruisseau a plus d'importance, il faut établir un aqueduc spécial sous les berges et la cuvette. Le débouché doit être calculé, non pas sur l'état moyen des eaux, mais sur le débit des crues de l'affluent. En tout cas, comme il est important de pénétrer sous la voûte pour la visiter et la réparer, on ne doit guère lui donner moins de 0m,60 de largeur sur 1m,40 de hauteur.

Quand l'aqueduc est des plus faibles dimensions, on termine les têtes par des rampants qui affleurent le talus extérieur des digues; s'il est plus considérable, on termine la voûte à l'aplomb de l'arête extérieure du chemin de halage et on soutient les terres par deux murs en ailes. Parfois, pour économiser la dépense, on rétrécit la voie d'eau à la largeur d'un bateau.

Ce procédé n'est évidemment applicable que dans le cas où le fond du lit du ruisseau est placé à une profondeur assez considérable au-dessous de la cuvette; mais lorsque le niveau du ruisseau est très rapproché du niveau du canal, et qu'il est impossible de le dériver, pour aller chercher un point de passage plus propice,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CANAL.

on est réduit à le faire passer sous le canal par un aqueduc en siphon.

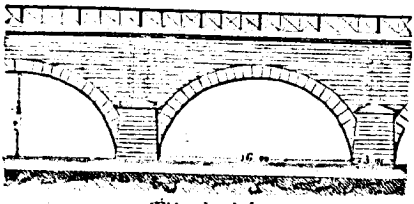
Siphons. Ce genre d'ouvrage présente de grands inconvénients, et ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des affluents de peu d'importance. On ne peut le visiter, le curer et le réparer, qu'en détournant ou retenant momentanément le ruisseau et en épuisant l'eau qui reste dans la partie coudée. Quand le cours d'eau charrie des sables ou des graviers, ils engorgent souvent la branche horizontale, parce qu'ils ne peuvent pas être entraînés, par la force ascensionnelle de l'eau, vers la bouche d'aval ; enfin s'il survient un orage pendant que le bief est à sec, la voûte, privée de sa surcharge, soumise à une sous-pression considérable, qui s'exerce en sens inverse de son mode de résistance normale, est soulevée et l'ouvrage est à refaire. Pour prévenir ce dernier inconvénient, on peut remplacer la voûte en maçonnerie par un demi-cylindre en fonte boulonné dans les piédroits, au moyen de longs tirants en fer pénétrant jusqu'aux fondations, et retenus ainsi en place par le poids total des maçonneries. Ce procédé a été appliqué au passage du Grand-Morin, sous le canal de Meaux à Chalifert. Les têtes étant noyées aux époques des inondations, l'aqueduc fonctionne alors par syphonnement ; les demi-cylindres ont 2m,50 de diamètre.

Si un affluent a des crues abondantes, un aqueduc à syphon, suffisant pour les débiter, serait le plus souvent un ouvrage si considérable et si chanceux, qu'il vaut mieux modifier le projet du tracé du bief et le déplacer, pour trouver le moyen de faire un aqueduc ordinaire ou un pont-canal.

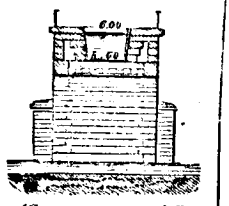
Ponts-canaux. Ces ouvrages s'exécutent pour la traversée des cours d'eau importants, et même des rivières qui occupent le fond de la vallée, lorsqu'il s'agit de faire passer le canal d'un versant sur le versant opposé. Ils se composent d'un pont ordinaire, sur lequel on établit une cuvette propre à contenir les eaux.

Les plus grands ponts-canaux que nous ayons actuellement en France sont établis sur l'Allier, au Guétin, et sur la Loire, à Digoin.

Le pont sur l'Allier (fig. 4 et 5) a une longueur totale de 405 mètres sur une largeur de 9m,50 : il se compose de dix-huit arches de 16 mètres d'ouverture et 7 mètres de flèche ; il est terminé par trois écluses à sas accolées sur la culée gauche. Il a coûté 1 millions.



(Élévation.) 4.



(Coupe en travers.) 5.

Le pont-canal de Digoin présente onze arches de même dimension. Il a aussi la même largeur, et sa longueur est de 247 mètres. Une seule écluse est accolée à sa culée. Il n'a coûté que 1,200,000 fr.

Les voûtes, les piles et culées d'un pont-canal sont établies sur le même principe que celles des ponts ordinaires, en tenant seulement compte d'une charge bien supérieure à celle que supportent ces derniers ouvrages.

On réduit naturellement la section de la cuvette à celle qui est nécessaire pour le passage d'un seul bateau ; cependant on doit lui donner une largeur un peu plus grande qu'aux écluses, afin de laisser plus de passage pour l'eau qui doit se déplacer le long du bateau pour aller de l'avant à l'arrière, et dont la résistance ralentirait considérablement le mouvement. Ainsi, à Digoin, pour des écluses de 5m,20, on a donné à la cuvette 6 mètres de largeur en gueule et 5m,60 au fond, et on regrette de n'avoir pas accru ces dimensions. Il est nécessaire, en effet, sur un canal très fréquenté que les bateaux puissent franchir rapidement un pont, parce qu'il y a toujours une ou plusieurs écluses à l'aval, et qu'un bateau descendant, qui doit remplacer dans le sas le bateau montant, est forcé d'attendre, pour s'engager, que ce dernier ait franchi les écluses et le pont.

La largeur entre les têtes doit comprendre, outre le lit du canal, l'épaisseur des parapets ou garde-corps et les banquettes du halage. La largeur de celles-ci varie de 1m,30 à 1m,90.

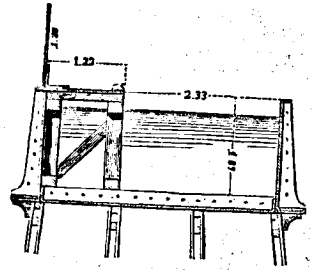
Une des qualités les plus importantes et les plus difficiles à réaliser pour une cuvette, c'est l'imperméabilité. Les filtrations, en effet, outre les pertes d'eau qu'elles produisent, dégradent les maçonneries et exigent de fréquentes réparations. Les dilatations et les contractions résultant des variations de température, et auxquelles les mortiers et les pierres elles-mêmes sont sujets, ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants des maçonneries et des bétons, quelque bien exécutés qu'ils soient. Il faut recourir à une substance douée d'une certaine élasticité, comme le bitume. L'essai fait de cet emploi, au Guetin, a bien réussi.

On a revêtu le fond et les bords de la cuvette avec des dalles de lave de Volvic, et par-dessus on a appliqué deux couches d'enduit en bitume, donnant ensemble 0m,01 d'épaisseur, et dont la supérieure était placée à joints croisés sur la première. Les parois sont d'ailleurs soigneusement garanties du frottement et du choc des bateaux par une lisse en charpente.

On peut ainsi employer, pour faire la cuvette, d'autres matériaux que la maçonnerie ; on en a exécuté en bois, en fonte et en tôle.

Les cuvettes en bois durent peu et sont d'un entretien coûteux ; aussi a-t-on complétement renoncé à leur usage. Celles en tôle et en fonte, au contraire, n'exigent pas d'entretien, restent bien étanches, et n'ont d'autre inconvénient que le haut prix de leur établissement.

En Angleterre, où le fer et la fonte sont à meilleur marché qu'en France, on a fait des ponts-aqueducs avec voûte en pierre et cuvette en fonte, d'autres avec des arcs et une cuvette en fonte.



6.

La cuvette du pont-canal de Cisilty (fig. 6), soutenue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur quatre arcs, est composée de plaques de fer fondu de 0m,02 d'épaisseur, dont les bords sont retournés d'équerre et assemblés avec des boulons à écrous très rapprochés. Pour rendre les joints étanches, on y a interposé du cuir graissé. La banquette de halage est intérieure à la cuvette et repose sur son fond au moyen de poteaux espacés. Il résulte de cette dernière disposition un jeu libre des eaux, en dehors de la voie des bateaux, qui doit faciliter beaucoup la marche de ceux-ci.

On en a exécuté un en France, d'après les mêmes dispositions, sur la haute Seine, en aval de Troyes.

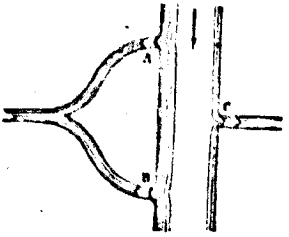
D'après des expériences récentes faites en Angleterre sur une grande échelle, il est très probable qu'à l'avenir les ponts-canaux pourront être exécutés en tôle avec une grande économie. Un tube formé de lames de tôle assemblées à rivets, comme dans les chaudières à vapeur, supporte sur une grande portée de très fortes charges sans fléchir et se déformer. Deux tubes parallèles de cette espèce, formant en même temps banquette de halage, pourraient supporter une cuvette en tôle comprise entre eux et dans laquelle passeraient les eaux de navigation. Nous n'insisterons pas sur cette disposition, qui n'a pas encore été exécutée; nous ferons seulement observer, qu'en supprimant les voûtes, elle permettrait de descendre plus bas le plafond de la cuvette, de diminuer la hauteur des piles et culées, de supprimer au moins une écluse à la sortie du pont-canal, et enfin d'offrir aux eaux que l'on traverse un débouché plus considérable lors des crues. Il y aurait donc dans les dépenses accessoires de fortes économies, qui compenseraient bien le haut prix de la tôle, et on obtiendrait une cuvette bien étanche qui n'exigerait presque aucuns frais d'entretien.

Aux points où la cuvette d'un pont-canal vient rejoindre les remblais de grande hauteur, qui font d'ordinaire suite à cet ouvrage, les terres, quelque bien damées qu'elles soient, n'adhèrent pas à la maçonnerie, et, par suite du tassement, il se forme entre elles et les remblais un passage pour l'eau; aussi plusieurs ponts-aqueducs ont montré d'abondantes filtrations aux culées, lors de la première mise en eau du canal, et chez plusieurs elles ont persisté, malgré l'emploi de nombreux procédés d'étanchement. Pour prévenir ce défaut, il est d'usage de former le remblai contre la culée, sur 0m,50 à 0m,60 d'épaisseur, d'un mortier maigre (1 chaux, 7 sable) bien battu contre les maçonneries. Il adhère à la culée et se lie aussi aux corrois de glaise, qu'on ajoute pour assurer l'imperméabilité.

Traversée dans le lit des rivières. Quelquefois, pour éviter les dépenses de construction d'un pont-aqueduc, et lorsque l'alimentation de chacune des branches du canal, situées sur les deux versants de la vallée, est assurée par des ressources qui lui sont propres, on se décide à effectuer la traversée en lit de rivière. Nous donnerons, comme exemple, la traversée de la Loire par le canal latéral, et celle de la rivière d'Orb par le canal du Midi. On fait descendre chaque branche du canal jusqu'au niveau du cours d'eau au moyen d'une série d'écluses, par lesquelles un bateau descendant d'un côté, après avoir traversé la rivière, remonte dans l'autre branche.

Les seules difficultés qu'on ait à vaincre sont celles qui dépendent du régime même de la rivière, dans le lit de laquelle on est presque toujours obligé de faire des ouvrages dispendieux, tels qu'épis, estacades, barrages, digues submersibles, pour amortir le courant, maintenir une profondeur d'eau minimum dans la ligne que suivent les bateaux et alléger la marche de ceux-ci, afin qu'ils puissent venir sans danger embecqueter les écluses d'entrée et de sortie.

Quand la rivière a un courant assez fort pour que les bateaux, qui ne sont pas construits pour une navigation fluviale, éprouvent une grande difficulté à le remonter ou à le traverser directement, on peut bifurquer le dernier bief d'une des branches (fig. 7), celui de la rive droite par exemple, de manière à fournir deux entrées en rivière, situées l'une A en amont, l'autre B en aval de l'écluse C de sortie de la branche de la rive gauche. Un bateau, pour passer de gauche à droite, entre par l'écluse A dans le courant qui le conduit à l'écluse C et pour passer de droite à gauche, il entre en rivière par l'écluse C et descend à l'écluse B.



7.

Un passage en rivière, outre qu'il est toujours difficultueux comme manœuvre et dangereux pour la sûreté des bateaux, a de plus le notable inconvénient de suspendre la navigation lors des crues, qui ne permettent pas aux embarcations de s'engager dans le courant, et noient les écluses d'entrée et de sortie.

Passage des torrents dans le canal. Il est arrivé qu'un canal a rencontré à niveau le lit d'un torrent, qui reste à sec pendant la plus grande partie de l'année, et ne fournit des eaux abondantes que pendant quelques heures, aux périodes des orages et des fontes de neige. On s'est décidé à faire passer ce courant accidentel à travers les berges et le lit du canal, en suspendant la navigation dans la durée de son passage; mais, pour éviter l'inondation du bief et les dépôts des matières charriées, il était nécessaire de fermer au torrent l'accès de la cuvette. Voici le procédé ingénieux qu'on a appliqué au canal du Midi pour le passage du torrent du Libron : on emploie une espèce de barque rectangulaire, que, pendant les crues du Libron, l'on échoue sur le canal dans la direction du torrent. Les parois de cette barque, transversales à l'axe du torrent, sont à charnières et se rabattent dans le plan de son lit, tandis que les parois longitudinales restent debout et barrent le canal. Dans cette situation, le bateau forme une espèce de cuvette, dans laquelle le Libron s'écoule, sans communication aucune avec le bief. Après la crue passée, on relève les parois rabattues, on remet la barque à flot et on la remise dans une gare latérale.

Digues des réservoirs. Les digues peuvent être établies suivant trois systèmes :

1° Remblais seuls; 2° murs et remblais; 3° mur seul.

Digues en terre. On donne aux digues en terre au moins 6 mètres d'épaisseur au sommet; la crête de ce remblai doit être tenue à une hauteur minimum de 1m,50 au-dessus du niveau que l'eau doit atteindre dans le réservoir; il faut de plus couronner cette crête d'un pavé fait avec soin et la garnir d'un parapet. Souvent même on sera obligé d'augmenter ces dimensions pour empêcher les vagues de franchir la digue; car l'intensité de celles-ci sous l'action des vents violents dépend de l'orientation du vallon, de l'étendue de la surface de l'étang et de sa profondeur; on a observé au réservoir de Chazilly, qui a 1500 mètres de longueur et 20 mètres de profondeur d'eau, des vagues de 3 mètres de hauteur; on en a reconnu de 2 mètres au réservoir de Cercey, qui a une forme circulaire de 900 mètres de diamètre et une profondeur de 10 mètres. On comprend aisément l'importance qu'il y a à ne pas laisser franchir le couronnement par les vagues; celles-ci en effet auraient promptement raviné les talus extérieurs du remblai et créé des brèches, qui pourraient entraîner la ruine de l'ouvrage tout entier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'inclinaison à donner aux talus des digues dépend nécessairement de la nature des terres employées à leur exécution ; elle a varié dans les divers cas de 1 1/4 à 3 de base pour 1 de hauteur; quelques ingénieurs ont donné plus de base aux talus intérieurs qu'aux talus extérieurs; d'autres ont fait le contraire. Les parements des remblais tendant toujours à prendre un profil concave, plus raide vers le haut et plus doux vers le bas, on a proposé de donner de suite aux talus extérieurs une forme analogue, en composant le profil comme il suit : la partie supérieure aurait 1 1/2 de base pour 1 de hauteur; puis on disposerait une banquette horizontale suivie d'un second talus à 2 de base, enfin une deuxième banquette suivie d'un talus à 3 de base. Cette disposition serait surtout applicable aux remblais en terres argileuses glissantes, d'une hauteur assez considérable.

L'établissement de ces remblais exige des soins minutieux; on doit chercher à les former avec des terres grasses, à la fois argileuses et sablonneuses. Quand on ne peut pas disposer d'une quantité suffisante de celles-ci pour en faire le corps du remblai, on se borne à établir, dans le milieu du massif, un noyau argilo-sablonneux, qu'on enracine profondément dans le terrain naturel du fond et des côtés du vallon.

Les terres doivent être damées, par couches de 8 à 10 centimètres au plus, avec des battes dont la surface soit entaillée en creux, de manière à laisser des reliefs qui unissent la couche actuelle avec la suivante; il est bon aussi avant de travailler une couche de l'arroser avec du lait de chaux, qui donne au remblai une grande consistance; enfin le travail doit être mené assez lentement pour ne pas donner lieu à des tassements par masses, propres à déterminer des fissures qui ne se ferment jamais complétement.

Le parement intérieur doit être revêtu d'un perré posé par assises réglées ou à joints incertains ou même d'un simple enrochement, destinés à préserver la surface mouillée des corrosions, dues aux vagues et aux divers mouvements de l'eau, quand elle hausse ou baisse dans le réservoir. Cependant des expériences récentes et des accidents consécutifs, survenus à des digues du canal du Centre qu'on avait successivement surélevées, ont démontré que ces revêtements étaient insuffisants pour des profondeurs d'eau considérables ; on a essayé de revêtir ce talus avec de petits murs à gradins et indépendants les uns des autres.

Voici le profil qui a parfaitement réussi à M. l'ingénieur Vallée dans la réparation de la digue de l'étang Berthaud, rompue en 1829. A mesure que l'on relevait la digue, on construisait les ouvrages défensifs des talus d'amont. Les ouvrages consistent en une suite de petits murs à gradins, espacés de 1m,32 les uns des autres, construits en bonne maçonnerie hydraulique avec des moellons posés par assises horizontales. Les murs échelonnés, suivant l'inclinaison des talus, sont reliés entre eux, du sommet de l'un au pied de l'autre, par des bermes présentant une pente de 0m,40 sur 1m,72 de longueur et recouvertes de maçonnerie de béton sur 10 à 12 centimètres d'épaisseur. Le sommet des murs est exécuté en moellons posés de champ.

Digues mixtes. Les principaux exemples de digues de cette nature se trouvent au bassin de Saint-Ferréol, où la charge d'eau est de 31m,35, et à celui de Couson, où la charge est de 30 mètres.

Le premier se compose d'une digue en terre, de 140 mètres de largeur à la base, soutenue et consolidée par deux murs extrêmes. Un troisième mur est construit à peu près au milieu de la digue. Les terres dont les talus sont très-doux arrivent à l'aval au niveau du sommet du mur central, et à l'amont, seulement à 9m,40 en contre-bas de ce même niveau, de sorte que, lorsque les eaux sont basses dans le bassin, la partie supérieure de ce mur, sur une hauteur d'un peu plus de 9 mètres, supporte sans contre-poids le massif de terre qui est derrière lui.

L'épaisseur des murs extrêmes doit s'établir suivant les mêmes règles que les épaisseurs des murs de soutènement, en faisant entrer toutefois, pour le mur d'amont, cette considération que les terres qu'il a à supporter, après la vidange du bassin, sont complétement imbibées d'eau. Quant au mur central, son épaisseur doit être calculée sur la surcharge qu'il reçoit du massif d'aval, cette épaisseur devant être bien suffisante pour assurer l'imperméabilité, seule fonction sérieuse qu'il paraisse destiné à remplir.

La digue de Couson est établie sur le même modèle, sauf quelques variantes dans les dimensions.

Ce système paraît devoir être le moins économique de tous, car l'ensemble des maçonneries qu'il exige représente un cube au moins égal à celui qui serait nécessaire pour faire un mur unique; les remblais sont donc une dépense en excédant; aussi l'a-t-on abandonné et ne le retrouve-t-on plus que dans les barrages des anciens réservoirs.

Digues en maçonnerie. Celles-ci consistent soit dans un simple mur dont les parements sont en ligne droite ou profilés par retraites successives, soit dans un mur soutenu par des contre-forts, aussi en maçonnerie. On doit se proposer dans sa construction : 1° de bien enraciner les fondations et les flancs dans le sol, de manière qu'aucune filtration ne puisse s'établir en dessous ou à côté; 2° de lui donner une épaisseur qui suffise pour résister à la poussée du liquide; 3° de rendre la maçonnerie parfaitement pleine et imperméable.

La première condition exige que le terrain sur lequel on fonde et celui des deux coteaux soient fermes et compactes ; pour s'opposer aux infiltrations sous les murs, on dispose, sous l'amont et l'aval des fondations, des enracinements en maçonnerie ou en béton, de 1 mètre à 1m,50 de profondeur, sur une largeur qui peut aller jusqu'à 3 mètres, et qui règnent tout le long du mur. L'étude attentive du terrain est d'une très-grande importance pour le succès, car on a vu des terrains qu'il fallait entamer au pic et à la mine, pour creuser ces fondations, devenir perméables sous une grande pression d'eau.

Pour trouver l'épaisseur, supposée égale sur toute la hauteur du mur, qui peut faire équilibre à la poussée des eaux du réservoir, Navier donne deux formules théoriques :

L'une $E = 0{,}59\, h \sqrt{\frac{\text{densité de l'eau}}{\text{densité de la maçonnerie}}}$ pour la résistance au renversement;

L'autre $E' = \frac{h}{2F} \times \frac{\text{densité de l'eau}}{\text{densité de la maçonnerie}}$ pour la résistance au glissement.

h étant la hauteur totale depuis la base des fondations; F étant le rapport du frottement à la pression eu égard à la résistance du terrain en aval des fondations;

Dans les cas les plus défavorables, ces formules deviennent :

$$E = 0{,}41 \times h$$
$$E' = 0{,}50 \times h.$$

Il ne faut cependant les considérer que comme des minima, au-dessous desquels on ne doit pas descendre dans la pratique, car, au réservoir de Grosbois (canal de Bourgogne), où l'épaisseur est égale à 4,65 de l'épaisseur théorique, nécessaire pour résister à la poussée, des lézardes se sont prononcées avant que les eaux fussent arrivées à la hauteur définitive.

Le mur du réservoir de Bosméléac (canal de Nantes à Brest) dont les parements sont, l'un incliné, l'autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vertical, supporte une charge de 11m,30 avec une épaisseur moyenne d'environ 7m,00. On peut le regarder comme présentant un cube minimum de maçonnerie.

Le mur du réservoir de Vioreau, dont les deux parois sont verticales, supporte une charge de 10 mètres d'eau avec une épaisseur de 8 mètres; il y a évidemment trop de maçonnerie. On se tiendra dans de bonnes limites, en cherchant l'épaisseur donnée par les formules précédentes, dans lesquelles on aura substitué les valeurs, qui se rapportent au cas que l'on considère, et en doublant la dimension ainsi déterminée.

La longueur du mur est aussi une considération, qui peut modifier les conditions d'établissement d'un réservoir. Les maçonneries jouissent d'une certaine élasticité, qui, pour être très faible sur un mètre linéaire, n'en devient pas moins sensible sur une grande longueur; elles peuvent donc subir, sous la charge, une flexion à laquelle on a essayé de s'opposer, en établissant, de distance en distance, des contre-forts assez puissants pour qu'on puisse les considérer comme aussi fixes que les enracinements dans les coteaux. Le mur total est ainsi divisé théoriquement en une série de murs partiels, d'une étendue bien moindre, et sur lesquels par conséquent la tendance à la flexion se trouve diminuée dans une énorme proportion. Cette théorie de la flexion n'est pas admise par tous les ingénieurs.

Pour que les maçonneries soient bien étanches, il faut éviter tous tassements inégaux, et par conséquent n'employer que des matériaux de dimensions et de natures homogènes, n'accepter que des mortiers éminemment hydrauliques, et apporter à l'exécution du travail les soins les plus minutieux dans les moindres détails; parfois on a interposé, dans les massifs, des cloisons imperméables; ainsi au réservoir de Vioreau, une tranche de béton, de 2 mètres d'épaisseur, sépare le corps du barrage en deux parties égales; le mur du milieu du réservoir de Couson a reçu intérieurement un corroi de terre glaise, de 1 mètre d'épaisseur. Du reste on n'a pas encore rencontré de mur absolument imperméable sous une pression d'eau considérable, surtout dans les premiers temps où le réservoir se remplit; toujours il se forme quelques suintements plus ou moins énergiques qui parfois persistent, parfois finissent par disparaître avec le temps.

Choix du système de digue. Lorsqu'il s'agit de choisir, dans un cas particulier, le système de digue à employer, on doit se déterminer par les considérations suivantes :

1° Les fondations des murs exigeant des terrains d'une grande résistance, tandis que les digues en terre, qui ont un empâtement considérable, peuvent être assises sur presque tous les terrains, il faudra préférer celles-ci, lorsque des sondages auront fait reconnaître un sous-sol d'une faible résistance.

2° Les conditions d'imperméabilité, de bonnes soudures avec le terrain naturel dans le fond et sur les côtés du vallon, de résistance à l'action du temps et des dégradations latentes, paraissent être en faveur des digues en bonnes terres.

3° Pour supporter une grande profondeur d'eau, pour résister à l'action des vagues et des variations fréquentes de niveau du réservoir, aux chances de déversement par-dessus la crête, les murs ont incontestablement l'avantage.

Enfin dans tous les cas où les considérations précédentes laisseraient le constructeur en suspens, il se déciderait par la comparaison de la dépense, dont les éléments sont évidemment variables avec les dispositions spéciales à chaque localité.

Prise d'eau des réservoirs. On tire l'eau des réservoirs par le moyen d'aqueducs fermés par des vannes, ou par des tuyaux de conduite fermés par des robinets. L'aqueduc est unique et par conséquent placé à la partie inférieure de la digue, ou bien on en établit plusieurs à divers étages; cette dernière disposition a pour avantage de rendre la manœuvre des vannes bien plus facile; en effet, dans le premier cas, la vanne unique doit être manœuvrée sous la charge totale due à la hauteur de l'eau du réservoir; dans le second cas au contraire, comme on n'ouvre la seconde vanne que lorsque l'eau est descendue au niveau de la première, cette seconde vanne n'a plus à supporter qu'une charge, correspondant à la différence de hauteur de deux orifices, et ainsi des autres.

L'eau, à l'issue de ces aqueducs, est reçue, soit dans des tranchées tracées à différentes hauteurs sur les flancs des coteaux et communiquant avec la rigole principale, comme au bassin de Lampy, soit dans un puits unique pratiqué dans le massif du barrage et débouchant dans la rigole, comme aux réservoirs de Grosbois et de Chazilly.

Un aqueduc doit pouvoir être visité et réparé; aussi lui donne-t-on au moins 0m,80 de largeur et 1m,30 de hauteur dans tout son parcours, sauf à l'aplomb de la crête intérieure de la digue, où l'ouverture est rétrécie de manière à ne laisser à l'eau qu'un passage rectangulaire de 0m,40 à 0m,50 de côté. C'est contre les bords de cet orifice que glisse la vanne, dont la tige traverse un puits vertical en maçonnerie élevé jusqu'au sommet de la digue, d'où on manœuvre cette vanne, soit avec un levier, soit avec une vis.

Quand un aqueduc traverse une digue en terre, il faut le fonder solidement, et pour rompre les filtrations entre les terres et la maçonnerie, l'entourer en tous sens, de 10 en 10 mètres au moins, d'espèces de contre-forts en saillie, qui brisent les lignes droites qu'offriraient les parements dans le sens de la longueur.

Au réservoir de Saint-Féréol, on a ajouté aux aqueducs trois tuyaux scellés dans le mur du milieu, qui sont garnis en amont d'une grille, et terminés en aval par des robinets de 0m,20 de diamètre. Ces robinets, quand ils sont ouverts, ont, par suite de la pression de l'eau qui leur arrive, une grande tendance à se soulever, et on les maintient par une vis de pression, qui pèse sur leur tête.

Cette disposition a été imitée au réservoir de Couson.

Déversoirs. Pour débiter le trop plein des eaux provenant des cours d'eau qui alimentent le réservoir, ou des orages et des fontes de neige, on ménage un déversoir de superficie, que des conditions d'économie et de solidité font toujours accoler au fleuve de la vallée; il débouche dans une rigole qui communique avec le thalweg, ou quelquefois, comme à l'étang de Torcy, il forme une série de cascades, propres à rompre la vitesse des eaux avant leur arrivée dans le fond du vallon; on a soin de recevoir chaque chute dans une espèce de bassin ayant au moins 1 mètre de profondeur, afin que l'eau qui y est contenue forme un matelas qui préserve le radier contre les effets de la lame qui tombe verticalement d'une assez grande hauteur.

Comme les ruisseaux, qui débouchent dans l'étang, charrient à l'époque des crues, il est bon, pour éviter les dépôts dans le bassin, d'établir des dérivations qui permettent de conduire directement ces ruisseaux, lors de leurs troubles, au déversoir de superficie sans qu'ils traversent l'étang.

Enfin, une bonde de fond est indispensable pour vider entièrement le réservoir, lorsqu'on veut le curer ou faire quelques réparations au pied des digues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CAPACITÉS DE QUELQUES RÉSERVOIRS.

CANAL	RÉSERVOIRS	NATURE de la digue.	HAUTEUR d'eau maximum.	CAPACITÉ.
			m.	m. c.
Du Midi.	De Saint-Féréol. . . .	Terre et murs. . . .	31,35	6,374,000
—	De Lampy.	Mur.	15,65	1,672,000
De Givors.	De Conson.	Terre et murs. . . .	30,00	2,000,100
De Bourgogne.	De Grosbois.	Mur.	21,00	8,586,000
—	De Chasilly.	Mur.	22,00	5,327,000
—	De Cercey.	Terre.	12,00	3,740,000
De Nantes à Brest. . . .	De Vioreau.	Mur.	10,00	7,497,000
D'Ille et Rance.	Du Boulet.	Terre.	6,70	6,000,000
Du Centre.	De Torcy.	Terre et revêt. maçonnés	11,00	2,380,000
De Briare.	De la Grande-Rue. . .	Terre.	8,10	5,400,000

Souterrains. Toutes les fois qu'on aurait à ouvrir des tranchées trop considérables, surtout dans des terrains où les talus se tiendraient difficilement, on les remplace par des souterrains. On ne peut pas assigner *à priori* la hauteur à laquelle on doit se limiter pour les tranchées; cependant on est dans l'usage d'étudier les frais d'un souterrain, lorsqu'elles devraient avoir de 18 à 20 mètres de profondeur; on se décide alors pour le procédé le plus économique.

Le halage peut s'y faire de différentes manières, soit en établissant une ou deux banquettes latérales de 1m à 1m,30 de largeur, sur lesquelles passent les haleurs, soit au moyen d'une lisse en fer, établie le long des murs et sur laquelle les mariniers prennent leur point d'appui pour faire avancer les bateaux; il y a même des canaux où deux hommes, placés sur le dos dans le bateau, agissent avec leurs pieds contre les parois du souterrain.

Comme les dépenses et les difficultés d'exécution de ces ouvrages croissent bien plus vite que les largeurs de débouchés, on ne leur donne d'ordinaire que la largeur suffisante pour le passage d'un bateau, en y ajoutant un jeu de 1m à 1m,30 pour permettre à l'eau déplacée de s'écouler; on peut, dans le même but, augmenter la profondeur, ce qui fait croître notablement la section du liquide, sans influer d'une manière importante sur la dépense d'établissement.

La coupe en travers d'un souterrain présente deux piédroits verticaux, ou légèrement courbés, surmontés d'une voûte en plein cintre, en ellipse ou en ogive; dans les mauvais terrains, les bases des piédroits se trouvent contrebuttées l'une contre l'autre par une voûte renversée d'une faible flèche, formant le fond de la cuvette. Les banquettes de halage sont établies le long des piédroits, elles sont en maçonnerie pleine, ou supportées sur des arcades évidées en dessous, ou soutenues en encorbellement.

L'épaisseur à donner à la voûte d'un souterrain varie avec la portée de cette voûte et la nature du sol qu'elle est appelée à soutenir; plusieurs roches, par exemple, ne font que s'altérer à la surface par le contact de l'air et les alternatives d'humidité et de sécheresse; il suffit, pour prévenir les accidents, de les revêtir d'un parement en maçonnerie de 0m,20 à 0m,30 d'épaisseur au plus. Si on a à supporter des marnes, des argiles, des sables, etc., l'épaisseur à la clef peut aller jusqu'à 0m,70 pour les petites sections et 1 mètre pour les grandes.

L'exécution des souterrains présente toujours de sérieuses difficultés, qu'on ne peut résoudre qu'à prix d'argent; leur prix de revient n'est guère moindre que 4,000 fr., et s'élève parfois à 3,500 fr. le mètre courant, pour des largeurs de 8 à 10 mètres.

Renseignements historiques et statistiques. Les Égyptiens sont les premiers qui aient établi des canaux comme voies de communication, et encore la plupart de ces travaux avaient surtout pour but d'employer la surabondance des eaux du Nil à l'irrigation des terres desséchées par le soleil brûlant de l'Égypte. Les plus importants de ces canaux étaient le grand canal qui réunissait au Nil Alexandrie et le lac Maréotis, et le canal de l'isthme de Suez. Ces grands travaux, faute d'entretien, ne permettaient plus la circulation des barques de pêcheurs à la fin du siècle dernier, lorsqu'à l'époque de l'expédition de l'Égypte les ingénieurs français rétablirent le canal d'Alexandrie.

Dans l'antiquité nous voyons Alexandre le Grand projeter l'ouverture de l'isthme de Corinthe. Rome creuse le canal des marais pontins et exécute les *émissaires* pour assurer le niveau de plusieurs lacs en Italie; un des *émissaires* exécuté avec le plus de célérité fut celui qui devait abaisser le niveau du lac Albano près de Véies; un autre ouvrage analogue, mais bien plus important, fut exécuté sous le règne de Claude : il avait pour but d'opérer le desséchement complet du lac Fucin. Trente mille hommes furent pendant dix ans employés à ces travaux, et Claude, séduit par l'idée de faire dessécher complétement le lac à sa parole, causa la ruine des travaux qu'il avait fait exécuter : après une fête magnifique donnée sur le lac pour l'inauguration, les digues qui le séparaient de l'émissaire furent ouvertes, et les eaux s'y précipitèrent avec une telle furie, qu'une partie des travaux furent renversés; ils n'ont jamais été repris. Sous les empereurs beaucoup de canaux sont ouverts auprès des bouches du Pô. Ils projettent d'établir un canal de la Saône à la Moselle, qui devait ainsi réunir la Méditerranée à l'Océan. Charlemagne fait commencer un canal qui doit réunir le Rhin au Danube; il veut ainsi réunir les extrémités de son vaste empire; mais il est forcé d'abandonner ce projet à cause des difficultés qu'il présente.

Deux ingénieurs italiens imaginent les écluses à sas dans les premières années du XVe siècle. Bientôt cette importante innovation est appliquée dans les Etats de Venise, en Hollande, etc. Elle est importée en France par Léonard de Vinci au commencement du XVI siècle. C'est seulement alors qu'on tire toute l'application possible de cette écluse et qu'on commence à comprendre qu'outre la sécurité qu'elle offre aux bateaux elle permet la navigation avec une réduction considérable dans la dépense d'eau. Bientôt surgissent des projets de toutes parts; on veut réunir l'Océan à la Méditerranée; *Adam de Craponne* fait le projet d'union du Rhône à la Loire, et exécute un canal d'irrigation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de vingt lieues de longueur dans les plaines desséchées de la Provence. De 1605 à 1610, le canal de Briare, qui unissait Paris à la Loire, est exécuté par *Boutereue et Guyon*; celui du Languedoc, concédé à Pierre Paul *Riquet* de Bourepos, et dont les difficultés étaient considérables, est terminé en vingt-quatre ans; commencé en 1666 il est livré à la navigation en 1684; et avant la fin du siècle divers canaux réunissent ce canal au Rhône, et une seconde communication est pratiquée entre la Loire et la Seine. Le grand Vauban exécute en France de nouveaux canaux et indique les moyens de joindre la Saône à la Loire et la Loire à la Vilaine.

Les travaux de canalisation continuèrent en France jusqu'à la révolution; alors ils furent forcément suspendus. Mais Napoléon les reprit activement, et bientôt furent livrés à la navigation les canaux de Sedan, de Saint Quentin, de Mons à Condé. D'autres, commencés alors, ont été exécutés depuis. En 1821 et 1822, des lois autorisent les emprunts nécessaires pour terminer les canaux du Rhône au Rhin, de la Somme, de Bourgogne, du Nivernais, du Berry, de Nantes à Brest, d'Ille-et-Rance, du Blavet, d'Arles à Bouc. Enfin on ouvrit encore de nouvelles voies de communication qui aujourd'hui sont complétement terminées, et qui comptent en France 14,500 kilom. de développement.

On a de plus canalisé en France un certain nombre de rivières, au moyen de barrages éclusés et d'autres travaux exécutés dans leur lit; cette navigation fluviale, qui vient s'ajouter à celle des canaux, présente un développement d'au moins 8,000 kilomètres.

Jusqu'au milieu du dix-huitième siècle les Anglais étaient restés bien en arrière de la France pour la navigation intérieure; mais depuis lors leur activité s'est portée de ce côté et ils ont doté leur pays de nombreux canaux, qui ont beaucoup ajouté à la richesse nationale.

Avant eux et avant nous, les Hollandais, dont le sol bas et humide s'y prêtait parfaitement, avaient sillonné leur territoire de canaux, dont plusieurs avaient une profondeur suffisante pour recevoir des bâtiments de mer.

Sauf le canal qui relie le Rhin au Danube, et quelques canaux en Suède, il n'existe pas, dans les pays de l'Europe, situés à l'est et au midi de la France et de la Hollande, de ligne de navigation artificielle qui mérite d'être citée.

En Amérique, aux États-Unis et dans une partie du Canada, la navigation intérieure a un très grand développement, et on évalue à 8,000 le nombre de kilomètres actuellement achevés de canaux de navigation.

En comparant à la population de chaque pays la longueur totale des canaux exécutés, en France, en Angleterre et aux Etats-Unis, on trouve les rapports suivants :

La France à 125 kilomètres de canaux par million d'habitants, tandis que l'Angleterre (Ecosse et Irlande comprises) en compte 464 kilomètres, et les États-Unis 333 kilomètres pour le même nombre de têtes.

Du reste, dans chacun de ces pays, la répartition sur la surface est fort inégale; chez nous le nord et le nord-est, aux États-Unis le nord, et en Angleterre le sud sont plus richement dotés de ces voies de communication que le reste de ces contrées.

La dépense d'établissement des canaux est, comme on le conçoit, très variable. En France, un ensemble de dix lignes comprenant les trois canaux de Bretagne, le canal de Bourgogne, ceux du Rhône au Rhin, d'Arles à Bouc, latéral à la Loire, du Berry, du Nivernais et du Centre, formant une longueur de 1,970 kilomètres, a coûté 270 millions, ce qui donne, par kilomètre, une moyenne de 137,000 fr. On a calculé qu'une somme de 40 millions sera nécessaire pour les achever complétement, ce qui portera à 157,000 fr. le prix moyen de revient du kilomètre.

Parmi eux le canal de Bourgogne, complétement achevé, aura coûté 253,000 fr. par kilomètre, tandis que celui du Rhône au Rhin n'aura exigé que 90,000 fr., et celui du Berry que 80,000 fr.; il est vrai que ce dernier est à petite section.

On estime que le canal latéral à la Garonne aura coûté, après son achèvement, sur une longueur de 204 kilomètres, 65 millions, ou 319,000 fr. par kilomètre.

Il faut qu'un canal donne au commerce de bien précieux avantages, pour qu'on se décide à de pareilles dépenses. En effet, sur un canal, le déplacement d'un très lourd fardeau n'exige que peu de force; deux hommes et un cheval suffisent pour mettre en mouvement un bateau chargé.

Les frais de traction par roulage ordinaire sur une bonne route macadamisée s'élèvent, en moyenne, à 20 centimes par tonne et par kilomètre; tandis que sur un canal en bon état ces mêmes frais ne s'élèvent qu'à 1 centime et demi.

Ainsi, en admettant qu'il n'y ait aucun péage sur le canal, comme cela existe sur les routes, une tonne de marchandise parcourrait treize fois plus de chemin pour le même prix. Aussi un canal dépossède-t-il toujours le roulage pour les marchandises lourdes et encombrantes qui n'ont pas besoin de vitesse. La lutte avec un chemin de fer est beaucoup plus inégale, parce que les frais de traction sur celui-ci ne s'élèvent guère qu'à 5 ou 6 centimes par tonne et par kilomètre, et qu'il présente des conditions de rapidité, de régularité et d'exploitation unitaire que la batellerie n'a pas pu atteindre jusqu'ici.

Le remorquage à la vapeur est malheureusement impossible sur les canaux parce que les vagues, soulevées par les roues et par un bateau rapidement lancé, dégradent les berges très promptement; et d'ailleurs l'obligation de stationner pendant un temps assez long à chaque écluse ferait perdre la plus grande partie du bénéfice de vitesse gagné dans le parcours des biefs.

Sur la plupart des canaux, on exige un péage dont le revenu est destiné à couvrir les frais d'administration et d'entretien, plus l'intérêt et l'amortissement du capital dépensé pour la construction. Ce péage est souvent fort élevé, surtout en Angleterre et en Amérique, où il dépasse d'ordinaire le fret proprement dit. Dans le premier de ces pays, avant l'établissement des chemins de fer, les canaux étaient autorisés à percevoir jusqu'à 0m,39 par tonne et par kilomètre; mais, depuis la venue de ces dangereux concurrents, ils ont été obligés de réduire ces tarifs considérablement, et cette réduction ne s'est arrêtée que lorsqu'ils se furent mis d'accord avec eux, après une lutte désastreuse. Ainsi pouvait-on citer alors tel canal dont le revenu était égal au capital de construction.

Aux États-Unis, le canal Érié perçoit 6 centimes pour la marchandise; d'autres grandes lignes prennent 9, 11 et même 14 centimes. Ce prix est dépassé sur les lignes de faible longueur; au canal de la Delaware à la Chesapeak, il s'élève à 19 centimes, et au petit canal de Louisville, à 53 centimes. En France, sur le canal du Midi, où un service accéléré de Toulouse à Beaucaire parcourt, en 118 heures, environ 360 kilomètres de longueur, le fret ne revient qu'à 4 cent., et le péage est de 8 cent.; on doit le réduire à 6 cent. lors de la mise en eau du canal latéral à la Garonne.

Le canal de Briare avait autrefois un tarif de 12 à 14 cent.; mais depuis l'établissement du chemin de fer d'Orléans, il l'a baissé de telle sorte que les objets sont partagés en cinq classes, qui sont taxées à 5, 4, 3, 2, 1 1/2 cent.

Les péages perçus dans les années 1847, 1848, 1849.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CANAL.

sur les principaux canaux administrés par l'Etat ont été en moyenne :

	cent.
Canal de Bourgogne.	3,009
Canal du Rhône au Rhin. . . .	4,282
Canal latéral à la Loire. . . .	4,766
Canal du Centre.	4,434
Canal du Nivernais.	4,950
Canal du Berry.	4,660
Canal d'Arles à Bouc.	4,945
Canal de Nantes à Brest.	4,366

Ce qui donne, en moyenne générale, 4^e^, 846 par tonne et par kilomètre ; mais les résultats ne sont nullement rémunérateurs.

CANEVAS.

Ainsi la recette des dix canaux qui forment ensemble une ligne de navigation de 1,970 kilomètres, n'a produit dans la période de six années, comprise entre le 31 décembre 1844 et le 1^er^ janvier 1851, que 25,297,327 fr. ; les frais d'administration et d'entretien ont été de 21,921,852 fr., l'excédant n'a donc été que de 3,375,475 fr. pour six ans, ou 562,579 fr. par an, c'est seulement 1/5 p. 100 du capital de 270 millions, qu'a coûté leur établissement. La spéculation serait donc mauvaise, si le mouvement commercial et la richesse produite dans le pays par les débouchés ouverts ne venaient couvrir, pour l'Etat, au-delà des avances qu'il a faites. On estime, en effet, la circulation à plus de 100,000 tonnes par an, parcourant le réseau tout entier.

PRINCIPAUX CANAUX FRANÇAIS.

NOM DU CANAL.	COMMUNICATION établie de	BASSINS réunis ou parcourus	NOMBRE d'écluses.	PENTES totales.	LARGEUR des écluses.	LONGUEURS totales.
				m.	m.	m.
Latéral à l'Aisne. . . .	l'Aisne à l'Aisne. . . .	la Seine.	8	17,30	5,20	51,500
De l'Aisne à la Marne[1].	l'Aisne à la Marne. . .	la Seine.	24	64,35	5,20	58,200
Des Ardennes[2].	la Meuse à l'Aisne. . . .	la Meuse et la Seine. . .	45	123,38	5,20	93,567
Du Berry[3].	la Loire à la Loire. . . .	Loire-Inférieure et Sup	115	248,63	2,70	320,183
De Bourgogne[4].	l'Yonne à la Saône. . . .	la Seine et le Rhône. . .	191	199,37	5,20	242,044
De Briare[5].	la Loire au canal de Loing	la Loire et la Seine. . .	40	117,00	4,60	55,155
Du Centre[6].	la Loire à la Saône. . .	la Loire et le Rhône. . .	81	209,07	5,20	116,859
Latéral à la Garonne. .	can. du Midi à la Garonne	la Garonne.	56	82,30	6,00	193,387
D'Ille et Rance[7]. . .	la Vilaine à la Rance. .	la Vilaine et la Rance. .	48	104,52	4,71	84,797
Du Loing[8].	canal de Briare à la Seine.	la Loire et la Seine. . .	21	39,44	5,00	44,539
Latéral à la Loire. . .	canal du Centre à celui de Briare.	la Loire.	42	107,03	5,20	197,049
Latéral à la Marne. . .	la Marne à la Marne. . .	la Seine.	11	26,90	5,20	63,510
De la Marne au Rhin[9].	canal latéral de la Marne au Rhin.	la Seine, la Meuse et le Rhin.	180	171,04	5,20	315,013
Du Midi[10].	la Garonne à l'étang de Thau.	la Garonne et la Méditerranée.	99	252,00	5,80 à 6,00	240,983
De Nantes à Brest[11]. .	la Loire à la rade de Brest.	la Loire, la Vilaine, le Blavet, l'Aulne. . . .	235	348,94	4,70	367,241
Du Nivernais[12]. . . .	la Loire à l'Yonne. . .	la Loire et la Seine. . .	111	240,39	5,20	174,616
D'Orléans[13].	la Loire au canal du Loing	la Loire et la Seine. . .	28	71,60	4,70	73,305
Du Rhône au Rhin[14]. .	la Saône à la riv. d'Ille.	le Rhône et le Rhin. . .	172	374,11	5,20	321,933
De Roanne à Digoin. . .	la Loire à la Loire. . . .	la Loire.	42	36,85	6,20	55,072
De Saint-Quentin[15]. .	l'Escaut à la Seine. . .	l'Esc., la Somme, la Seine	35	79,05	5,20	93,360

[1] Un point de partage. — [2] *Idem*. — [3] *Id*. — [4] *Id*. — [5] *Id*. — [6] *Id*. — [7] *Id*. — [8] *Id*. — [9] Deux points de partage. — [10] Un point de partage. — [11] Trois points de partage. — [12] Un point de partage. — [13] *Id*. — [14] *Id*. — [15] Deux points de partage.

Pour les canaux à point de partage, la pente totale se compose de la somme des pentes ascendantes et descendantes.

DÉGLIN.

CANEVAS. On appelle ainsi une sorte de grosse toile à jour, de chanvre, de lin ou de coton, dont les fils enlacés carrément reçoivent et dirigent le point de la broderie en tapisserie,

Pour obtenir le meilleur canevas possible, on emploie généralement des fils de coton blanchis et doublés en 3, 4 et 5 brins. On les encolle et apprête à la main sur des *moulins ou dévidoirs ordinaires*, afin de leur donner *le lustre et la fermeté*. La méthode ordinaire d'apprêter les fils avant le tissage exige beaucoup de temps et une foule de soins minutieux, que les fabricants de canevas pourraient éviter sûrement en employant les procédés et machines à apprêter les *gazes*, *organdis*, etc.

Lorsque les carreaux du canevas sont irréguliers, ce qui arrive toujours lorsque *les duites sont mal frappées*, les fils qui le constituent ne sont pas parallèles et uniformes; dans ce cas, les contours du dessin exécuté d'après un modèle donné sont altérés, et souvent le canevas lui-même n'est pas suffisamment *garni* ou rempli par les points de tapisserie. On dit alors que la tapisserie est *mal piquée*, pour dire que les points ne sont pas uniformes et réguliers ; toutefois l'artiste brodeuse la plus habile ne saurait donner une belle apparence à une tapisserie faite sur un canevas irrégulier.

Depuis plusieurs années on fait usage d'un canevas particulier, principalement pour la tapisserie *au gros-point*. Ce canevas, dit *canevas Pénélope*, est tissé comme la toile ordinaire, avec cette différence qu'on fait lever à la fois deux fils de chaîne passés dans la même dent du peigne, et qu'on frappe et tasse deux fils de trame d'un seul coup de battant.

Un nouveau genre de canevas ou plutôt de tapisserie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en partie exécutée se rencontre aujourd'hui dans le commerce, nous voulons parler du canevas dit Jacquart, qui porte le fond tissé et le dessin réservé, ou inversement.

Application. Le canevas Jacquart, exécuté suivant les deux modes spécifiés plus haut, remplace avec un grand avantage les canevas désunis pour l'exécution de la tapisserie que les dames brodent à la main, et satisfait à leurs exigences, soit qu'elles désirent broder un dessin, sans avoir l'embarras d'exécuter le fond qui se trouve ainsi fait par avance, soit qu'elles veuillent un fond seulement et s'épargner les difficultés et le travail du dessin, qui s'exécute plus économiquement par ce procédé de tissage.

Enfin cette tapisserie, exécutée complétement sur canevas, présente dans son aspect optique quelque similitude avec les tissus pour tentures, mais elle la surpasse par la multiplicité des couleurs que l'on peut employer.

A notre tour, nous proposerions la fabrication d'un canevas pour la tapisserie, dite *au point des Gobelins*, lequel serait fait avec deux fils de chaîne dans chaque dent du peigne, comme le canevas l'enélope, et tissé comme la toile ordinaire, de manière cependant à former des mailles ou vides plus allongés, dans le sens de la largeur de l'étoffe. ROUGET DE LISLE.

CANNE A SUCRE. Voyez SUCRE.

CANNELLE (*angl.* cinnamon, *all.* zimmt). On appelle ainsi le liber du *laurus cinnamomum*, arbre qui croît à Java, Sumatra, Ceylan et dans les îles Moluques, et qui atteint une hauteur de 6 à 7 mètres. On l'obtient, en coupant les branches de l'arbre, au bout de leur troisième année, enlevant d'abord la couche corticale extérieure avec un couteau à deux tranchants, puis fendant longitudinalement le liber, et le dépouillant d'une seule pièce. On le laisse ensuite sécher au soleil, où il se roule sur lui-même, puis on le met en paquets de 10 à 15 kilogr. que l'on livre au commerce.

La cannelle de bonne qualité est presque aussi mince que du papier; elle possède une saveur aromatique très agréable, qui ne brûle pas la langue, et qui laisse dans la bouche un arrière goût doucereux. Les petits fragments que l'on ne peut livrer au commerce, sont distillés à Ceylan avec de l'eau et servent à préparer l'essence de cannelle.

CANNETILLE. On nomme ainsi un fil de métal très délié que l'on enroule en spirale sur une broche cylindrique, absolument comme s'il s'agissait de faire un *ressort à boudin*. On retire la broche, et la cannetille est ensuite employée à divers usages, particulièrement à faire des *paillettes*, qui servent surtout dans la broderie d'or et d'argent; à cet effet, on coupe chaque tour de spire, et on l'aplatit au marteau, de manière à ce que chacun des brins de fil de métal prenne la forme d'un petit disque fendu par le côté et percé au centre.

CANONS. Voyez ARMES A FEU, BRONZE, BOUCHES A FEU et *Complément* CANONS RAYÉS, BOULETS.

CAOUTCHOUC, GOMME ÉLASTIQUE (*angl.* caoutchouc, indian-rubber, *all.* knutschuk, federharz). Le caoutchouc, qu'on désigne aussi sous le nom de gomme élastique, est renfermé dans le suc laiteux de plusieurs végétaux, et particulièrement dans celui du *siphonia cahucha* ou *hevea guianensis*, du *jatropha elastica*, du *castilleja elastica*, du *cecropia pellata*, etc. La presque totalité du caoutchouc livré au commerce est extraite du premier de ces arbres qui croît dans l'Amérique du Sud et dans l'île de Java.

Le caoutchouc que l'on trouve dans le commerce est ordinairement sous la forme de poires lisses ou tatouées de divers dessins, et généralement de couleur brune. Pour obtenir ces poires, on forme des moules piriformes en terre, et après avoir appliqué une première couche de suc sur le moule desséché, on la fait sécher en l'exposant au soleil, ou le plus souvent au-dessus d'un feu dont la fumée noircit le caoutchouc; on applique ensuite une seconde couche de suc, une troisième, et ainsi de suite; on les fait sécher de la même manière que la première. Quand la couche de caoutchouc est suffisamment épaisse, on jette la poire dans de l'eau pour ramollir la terre, que l'on fait sortir par une ouverture ménagée au haut de la poire. Le caoutchouc ainsi obtenu est coloré en noir par de la fumée, et contient en outre toutes les matières étrangères qui existaient dans le suc. Le caoutchouc se rencontre aussi dans le commerce en plaques épaisses ou en cylindres de couleur blanche, jaune ou brune. Depuis quelques années, on envoie de temps en temps le suc lui-même en Europe, dans des flacons complétement remplis et bien bouchés.

Le suc tel qu'il nous arrive est jaune grisâtre pâle, et offre la consistance de la crème; sa pesanteur spécifique est de 1,012; appliqué en couches minces sur un corps solide, il se solidifie promptement en une membrane de caoutchouc élastique brun jaunâtre, tenace et flexible, dont le poids forme les 0,45 de celui du suc. Quand on chauffe ce suc jusqu'à 100°, le caoutchouc se coagule de suite, et vient nager à la surface de la liqueur, entraîné par l'albumine qui, en se coagulant, entraîne le caoutchouc naturellement tenu en suspension sous forme émulsive dans le suc employé. L'alcool versé dans le suc coagule de même le caoutchouc; on peut l'étendre d'eau sans qu'il se coagule, et sans qu'il en soit altéré. Une fois mis en masse, le caoutchouc ne peut malheureusement être ramené par aucun moyen économique à l'état émulsif. On verra plus loin combien son emploi en deviendrait plus facile et plus sûr.

D'après *Berzélius*, pour obtenir le caoutchouc pur, on mêle le suc avec quatre fois son volume d'eau, et on place ce mélange dans un vase dont le fond est muni d'une ouverture. Au bout de vingt-quatre heures, le caoutchouc s'est rassemblé sous forme d'une crème à la surface de la liqueur; on soutire celle-ci; on mêle le résidu avec une nouvelle quantité d'eau que l'on soutire également quand elle s'est éclaircie, et on répète ce traitement jusqu'à ce que l'eau ne dissolve plus rien. Mais comme le caoutchouc se maintient en suspension dans l'eau pure, sans se réunir à sa surface, il est nécessaire d'ajouter à l'eau de lavage un peu de sel marin ou d'acide hydrochlorique, qu'on enlève ensuite facilement par quelques lavages à l'eau pure. Ainsi préparé, le caoutchouc est très divisé et d'un blanc de lait; pour lui donner de la cohérence, il suffit de le débarrasser de l'eau qu'il renferme, soit par évaporation, soit en le plaçant sur des corps absorbants tels que du papier joseph, du plâtre, etc.

D'après MM. Faraday et Ure, le caoutchouc se compose sur 100 p. de 87,2 de carbone et 12,8 d'hydrogène. Sa densité est de 0,925; elle n'augmente pas d'une manière permanente par une forte pression. Exposé à une basse température, il devient dur et difficile à employer, mais il ne devient jamais cassant. Quand on élève ensuite sa température, il reprend sa souplesse et son élasticité primitive. Par un long repos, il perd beaucoup de sa flexibilité, même à la température ordinaire. Lorsqu'il a été ramolli par l'action de la chaleur, on peut le refroidir fortement sans qu'il durcisse de suite, mais il acquiert néanmoins peu à peu de la dureté.

Par une longue ébullition avec de l'eau, il se ramollit, se gonfle, et devient plus facile à dissoudre dans l'éther et dans les huiles; mais, à l'air, il ne tarde pas à reprendre sa consistance et son volume primitifs. Il est entièrement insoluble dans l'alcool. Il se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dissout complétement dans l'éther pur, en formant une dissolution incolore. Quand on opère sur le caoutchouc noir et impur du commerce, l'éther laisse un résidu de suie et de matières albumineuses et minérales. La dissolution éthérée de caoutchouc est précipitée par l'alcool, ce qui donne le meilleur procédé connu pour obtenir du caoutchouc sous la forme d'émulsion lactescente. En évaporant cette dissolution éthérée, on obtient pour résidu le caoutchouc avec ses propriétés primitives. Le caoutchouc se gonfle jusqu'à occuper trente fois son volume primitif dans l'huile de pétrole rectifiée; il s'y dissout en partie à l'aide de l'ébullition; il se dissout aussi assez facilement, à l'aide de la chaleur, dans les huiles empyreumatiques rectifiées, qu'on obtient par la distillation du charbon de terre ou par celle du goudron de bois; après l'évaporation de ces dissolutions, le caoutchouc conserve longtemps la propriété adhésive et abandonne difficilement les dernières portions de pétrole ou d'huile empyreumatique, ce qui le rend poisseux et lui communique une odeur désagréable; on peut le dessécher promptement en l'exposant dans un courant de vapeur d'eau. Le caoutchouc se dissout dans les huiles grasses et volatiles; il y perd son élasticité qu'il ne recouvre pas par la dessiccation; cette propriété a servi de base à la préparation des tissus rendus imperméables par le caoutchouc, comme nous le verrons plus loin.

Soumis à l'action de la chaleur, le caoutchouc fond un peu au-dessus de 120°, en répandant une odeur forte et particulière, et se convertit en une masse gluante et visqueuse, d'un brun foncé, qui se maintient dans cet état, après le refroidissement, pendant des années entières; mais lorsqu'on l'expose à l'air sous forme de pellicules minces, il finit par se dessécher, ce qui n'a lieu toutefois qu'après un temps très long; aussi le caoutchouc fondu peut-il remplacer avec succès les corps gras employés pour graisser les robinets. Chauffé à une température suffisamment élevée, au contact de l'air, le caoutchouc répand une fumée piquante, puis s'enflamme et brûle avec une flamme claire et fuligineuse.

Le caoutchouc n'est pas attaqué par le chlore, l'acide sulfureux, l'acide hydrochlorique, l'ammoniaque, l'acide fluosilicique, et les dissolutions alcalines caustiques et concentrées; l'acide nitrique fumant et l'acide sulfurique n'ont également sur lui aucune action à froid, mais ils le décomposent lentement à l'aide de la chaleur.

Le caoutchouc importé pour la première fois d'Amérique, au commencement du dix-huitième siècle, eut longtemps un emploi très borné; peu à peu ses applications se sont étendues et développées, et maintenant il forme l'objet d'un commerce assez considérable.

Le caoutchouc sert à effacer les traces de crayon et à adoucir le papier; il entre dans la composition de quelques vernis, de colles, de mastics, après avoir été fondu et uni soit à la chaux, soit à la chaux et au minium. Son inaltérabilité en présence des réactifs chimiques l'ont rendu précieux et même indispensable dans les laboratoires; on en fait des tubes flexibles imperméables aux gaz et qui servent surtout à relier les tubes en verre dans les analyses. Ces tubes se font en découpant une bande de caoutchouc, l'amollissant dans l'eau chaude, et soudant ensuite par pression les deux bords après les avoir rafraîchis avec un instrument bien tranchant. En chirurgie, le caoutchouc sert à préparer quelques instruments qui exigent de la souplesse et de la flexibilité. Enfin, l'application la plus nouvelle et la plus importante du caoutchouc, sur laquelle nous donnerons à la fin de cet article des détails aussi complets que les dimensions de notre ouvrage nous le permettent, est celle qui consiste à rendre les vêtements imperméables, et à confectionner une foule d'objets de toilette qui demandent une certaine élasticité.

Comme dans la plupart des applications du caoutchouc, il est très commode de l'obtenir en feuilles, et que d'un autre côté il faut chercher à tirer le parti le plus avantageux possible du caoutchouc défectueux qui forme la plus grande partie de celui que nous recevons aujourd'hui, on le traite par le procédé suivant inventé en 1837, par Nickel : (Voy. *Compl.* art. CAOUTCHOUC.)

Quand les poires sont très dures, on les ramollit à l'eau bouillante, dans une chaudière chauffée à la vapeur; ces poires ramollies ainsi que celles qui sont naturellement assez molles, sont ensuite laminées entre deux cylindres en fonte. On a soin de faire continuellement couler sur les deux cylindres un filet d'eau chaude qui ramollit le caoutchouc, et qui rend le laminage plus facile; après trois à quatre passages successifs, le caoutchouc a pris la forme de longues plaques feutrées que l'on fait dessécher à une douce température. On traite de même tous les déchets de la fabrication précédente. Lorsque les lames sont bien desséchées, on en introduit à peu près 25^k dans une espèce de pétrin de très petite dimension, entièrement établi en fer et en fonte avec une grande solidité, et dans lequel on fait continuellement arriver un courant d'eau chaude. Ce pétrin est cylindrique, et muni d'un arbre en fer armé de bras également en fer, qui broient et pétrissent le caoutchouc. On se fera une idée de l'énergique broyage que ce dernier subit, lorsqu'on saura qu'il ne faut pas moins de deux à trois chevaux de force pour traiter la faible quantité de 25^k que l'on charge à la fois dans le pétrin, et que cette opération dure trois heures entières. Au sortir du pétrin, le caoutchouc, qui s'est converti en une masse molle et homogène, est immédiatement placé dans un moule en fonte à parois très épaisses, que l'on place ainsi chargé sur le plateau d'une presse hydraulique. Au fur et à mesure que ce plateau monte, un cylindre plein, en fonte, fixé à l'entablement de la presse, pénètre dans le moule qu'il remplit presque exactement et comprime le caoutchouc avec une force énorme; les moules ont au plus 0^m,20 de diamètre, et l'on emploie des presses extrêmement puissantes. Lorsque le caoutchouc est suffisamment comprimé on fait redescendre le plateau de la presse, on enlève le moule, et l'on maintient le caoutchouc à l'épaisseur réduite, en le comprimant au moyen d'une vis en bois, jusqu'au moment où l'on veut le découper. Lorsqu'on veut obtenir des feuilles de caoutchouc, le moule que l'on emploie est carré, et les dimensions sont déterminées par celles des plaques que l'on veut avoir; le découpage des pains ainsi obtenus se fait au moyen d'un couteau placé horizontalement qui est constamment humecté par un filet d'eau, et qui est animé d'un mouvement de va-et-vient extrêmement rapide; le pain de caoutchouc s'avance au fur et à mesure que le couteau pénètre et à chaque fois qu'une feuille est séparée; il va reprendre sa place primitive en remontant d'une hauteur égale à l'épaisseur de la feuille.

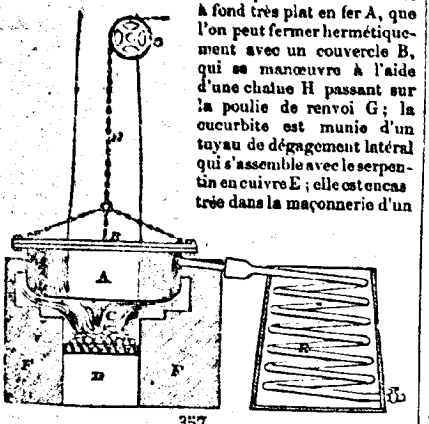
La question la plus importante de l'application du caoutchouc, qui consiste à en préparer des dissolutions qui sèchent vite, et qui laissent alors ce corps dans son état primitif, est encore loin d'être résolue économiquement d'une manière complète. Le meilleur dissolvant du caoutchouc serait sans contredit l'éther sulfurique, si son prix élevé n'empêchait de l'employer en grand. L'huile essentielle obtenue par la distillation du goudron de houille, ne peut être employée à la dissolution du caoutchouc, qu'après avoir été rectifiée à plusieurs reprises; comme la partie la plus volatile est seule employée, et qu'on n'en obtient qu'une proportion assez faible, cette huile revient, en définitive, à un prix fort élevé. Aujourd'hui c'est l'huile essentielle de térébenthine bien rectifiée qui obtient la préférence. Pour préparer le caoutchouc, on le coupe en petits fragments que l'on ramollit dans de l'eau bouillante, on les met ensuite à digérer dans une terrine en terre cuite avec trois à dix

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parties d'essence de térébenthine rectifiée (suivant la consistance de la bouillie que l'on veut obtenir), on ferme hermétiquement le vase et on laisse reposer pendant plusieurs jours jusqu'à ce que le caoutchouc se soit entièrement transformé en une sorte de masse visqueuse, que l'on broie d'abord dans un mortier ou de toute autre manière, puis que l'on passe au travers d'un crible métallique très fin, afin d'obtenir une bouillie homogène.

Le défaut de tous les enduits ainsi obtenus est de rester pendant très longtemps poisseux à la surface. *Bensinet* a découvert un procédé très efficace pour remédier à ce défaut, et qui consiste à préparer comme ci-dessus une bouillie claire avec une partie de caoutchouc et onze parties d'essence de térébenthine, puis à y ajouter environ une demi-partie d'une dissolution concentrée de sulfure de potassium dans de l'eau chaude, et à mélanger bien exactement le tout ensemble. On obtient ainsi une émulsion jaunâtre qui en se desséchant laisse un enduit de caoutchouc parfaitement élastique et nullement poisseux, à la surface duquel se sépare le sulfure alcalin que l'on peut enlever par le lavage. Ce procédé n'est pas encore connu, et nous ne sachons pas qu'il soit employé ou seulement décrit nulle part; nous nous estimerions heureux de l'avoir fait connaître, si cela pouvait engager quelques-uns de nos fabricants à en faire l'essai, et à profiter les premiers d'une découverte qui paraît avoir beaucoup d'avenir.

Enfin Barnard, de Greenwich, en cherchant à imprégner de caoutchouc des câbles et des cordages, découvrit que l'un des meilleurs dissolvants de ce corps est l'huile volatile rectifiée, qu'il donne à la distillation sèche. Il prit à ce sujet, en 1833, un brevet en Angleterre. L'appareil dont il se servait est représenté fig. 357; il se compose d'une cucurbite à fond très plat en fer A, que l'on peut fermer hermétiquement avec un couvercle B, qui se manœuvre à l'aide d'une chaîne H passant sur la poulie de renvoi G; la cucurbite est munie d'un tuyau de dégagement latéral qui s'assemble avec le serpentin en cuivre E; elle est encastrée dans la maçonnerie d'un



357.

fourneau FF, dont la grille est en D. On charge le caoutchouc coupé en fragments, puis on élève peu à peu la température jusqu'à 315° centigrades; on observe celle-ci à l'aide d'un thermomètre qui traverse le couvercle B; lorsque l'on a atteint cette température, l'opération est terminée et il ne reste plus dans la cucurbite qu'un résidu charbonneux tout à fait insignifiant. On rectifie ensuite l'huile brune obtenue en la distillant avec de l'eau. L'huile ainsi purifiée dissout bien le caoutchouc, ainsi que presque toutes les résines et même le copal, ce qui permettrait de l'employer avec avantage dans la préparation de nombre de vernis, si son prix élevé ne venait y mettre, industriellement parlant, un obstacle jusqu'ici insurmontable.

Tissus imperméables. Ces tissus sont simples ou doubles. Les tissus simples imperméables se préparent en enduisant l'étoffe d'une couche de caoutchouc liquide, ou dissous par l'un des procédés que nous avons indiqués, et laissant sécher. Les tissus doubles séparés par une couche imperméable de caoutchouc sont plus difficiles à préparer. Il paraît que M. Besson fabriquait ces sortes de tissus dès 1793; M. Champion s'en occupa également en 1811; ces premiers essais furent peu considérables. MM. Rattier et Guibal en important cette industrie d'Angleterre, où ils avaient acquis leurs procédés de fabrication de M. Makintosh, de Glascow, lui ont fait faire de grands progrès. Ils emploient l'enduit de caoutchouc à l'état de consistance pâteuse, afin qu'il ne puisse pas traverser les étoffes et en salir l'intérieur. Un cylindre règle l'épaisseur de la couche, et aussitôt que celle-ci a été appliquée, la seconde étoffe est passée dessus, et un second cylindre comprimeur la fait adhérer tout en égalisant encore l'enduit dont l'excès déborde de chaque côté des tissus. Une dessiccation lente et un apprêt convenable terminent la préparation des étoffes doubles imperméables qui servent à faire des paletots, des manteaux, etc., des matelas, et des coussins que l'on gonfle en y insufflant de l'air.

L'inconvénient le plus grave que présentent les vêtements rendus imperméables par un enduit de caoutchouc, est d'empêcher la transpiration de s'échapper au dehors; pour peu que celle-ci soit un peu forte, tous les habits de dessous seront trempés de sueur. C'est là un défaut très grave, qui nuira certainement à l'emploi de ces tissus et finira par leur faire préférer tout *enduit* HYDROFUGE qui n'aura pas le même inconvénient.

Tissus élastiques en caoutchouc. C'est à Vienne qu'on a, dit-on, fabriqué pour la première fois des tissus en caoutchouc, mais cette fabrication était d'une importance presque nulle, et ce n'est qu'après que MM. Rattier et Guibal l'eurent importée en France et amenée au point de perfection où elle est aujourd'hui, qu'elle a pris surtout dans ces dernières années un développement considérable.

Dans l'origine, on se procurait le fil de caoutchouc en découpant les poires à la main avec des ciseaux; un seul homme pouvait produire par jour, ainsi, de 90 à 100 mètres de fil. On coupait d'abord la poire en spirale, puis on divisait chaque bande obtenue en deux ou plusieurs fils plus fins. Pour obtenir ces derniers, MM. Rattier et Guibal imaginèrent de détacher les différentes couches qui forment les poires, et de les découper après, comme nous l'avons dit plus haut. On parvint ensuite à obtenir les fils les plus fins, en ramollissant les poires dans l'eau bouillante, les gonflant à l'aide d'une pompe de compression, puis les laissant reposer en cet état pendant plusieurs jours dans un lieu aussi froid que possible; le caoutchouc ne revient plus alors sur lui-même et se laisse découper aisément en fils très minces. Plus tard on remplaça le procédé coûteux du découpage à la main, par l'action de machines à diviser, aussi simples qu'ingénieuses. Mais on fait alors subir aux poires de caoutchouc un traitement préalable, qui consiste à les transformer en disques d'une épaisseur parfaitement régulière. A cet effet, on enlève le goulot, qui est peu propre à cette fabrication, et on coupe la poire en deux parties égales, que l'on soumet à l'action énergique des plateaux d'une presse, après avoir eu soin de la ramollir préalablement dans l'eau bouillante.

Deux machines différentes sont ensuite employées pour transformer le disque de caoutchouc en fils fins. L'une le découpe en un ruban très mince, d'une largeur égale à l'épaisseur du disque; l'autre divise ce ruban en plusieurs bandes parallèles.

Nous empruntons la description de cette machine dite couteau circulaire à M. Girard :

Ce couteau se compose d'une lame circulaire L, montée sur un arbre fixe, et tournant avec une grande

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapidité (1,500 à 2,000 tours par minute), et d'un chariot G sur lequel est monté un petit arbre vertical e pivotant sur lui-même. — L'on fixe par son centre le disque de caoutchouc D sur l'arbre vertical, dont la base est garnie de pointes servant à maintenir le caoutchouc et à l'empêcher de tourner autour de cet arbre qui, en pivotant, entraîne le disque, et vient en présenter la circonférence au tranchant du couteau; le chariot sur lequel il est monté avance d'une certaine distance à chacune de ses révolutions, et donne ainsi une épaisseur voulue et constante au ruban de caoutchouc, découpé suivant une ligne en spirale, qui serait tracée sur le disque de caoutchouc de la circonférence au centre : un certain agencement fait que l'arbre sur lequel est enfilé le caoutchouc augmente progressivement sa vitesse rotative, de façon que la partie du caoutchouc à couper (fig. 360) se présente toujours

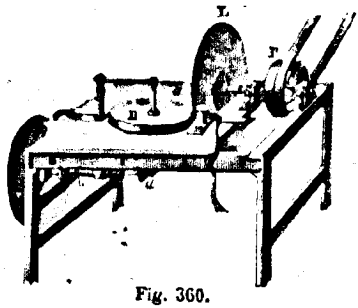
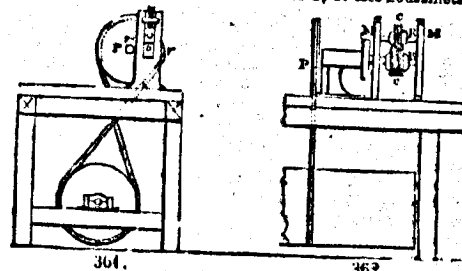


Fig. 360.

avec la même vitesse au contact du couteau. En effet, si la circonférence première du disque est 30, il faudra que, quand cette circonférence aura été réduite à 10, par exemple, la vitesse de l'arbre soit trois fois plus grande pour que le débit et le travail du couteau soit le même. — Le couteau est arrosé constamment par un filet d'eau pour éviter l'échauffement et l'adhérence de la gomme.

Le caoutchouc obtenu en ruban, comme nous venons de l'indiquer, est divisé en fils d'égale épaisseur, au moyen de deux jeux de lames s'emboîtant les unes dans les autres, comme les trousses de fenderies dans les forges; ces lames sont enfilées sur deux petits arbres parallèles, de façon que la première lame de l'arbre du bas vient passer entre la première et la seconde du haut, la seconde du haut vient entre la première et la seconde du bas, et ainsi de suite; on met habituellement 7 à 8 lames sur chaque arbre. — Ces lames, faisant l'office de cisailles, ne sont pas aiguës à leur circonférence; elles présentent deux angles vifs d'équerre; en faisant tourner sur eux-mêmes les deux arbres garnis de leurs lames, les angles vifs de celles du haut viennent frotter contre ceux de celles du bas, et l'on conçoit que le ruban de caoutchouc, dont l'ouvrier coupeur présente l'extrémité sur son plat à cette petite fenderie, se trouve coupé en autant d'endroits qu'il y a de points de rencontre d'un angle d'une lame supérieure et inférieure, et par conséquent en autant de fils qu'il y a de lames; le mouvement rotatif entraîne le ruban fendu de l'autre côté du petit appareil; un enfant prend et tire légèrement ces fils vers lui, et facilite ainsi le travail de l'outil.

Cette machine représentée fig. 361 et 362 se compose de deux axes parallèles C, C, sur lesquels on enfile les tailants à découper le caoutchouc, en les séparant par des rondelles d'une épaisseur un peu plus grande, et serrant l'ensemble de chaque trousse au moyen des épaulements R, R, montés à vis sur les axes C, C. Les coussinets de



361. 362.

ces deux axes sont fixés dans des coulisses pratiquées dans les montants verticaux, de telle sorte qu'on puisse les éloigner ou les rapprocher à volonté l'un de l'autre au moyen de vis. L'axe inférieur C porte une roue r qui engrène avec le pignon r', d'un diamètre trois fois moindre, monté sur l'axe du tambour P, mis en mouvement par l'intermédiaire d'une courroie sans fin.

Avant que les fils obtenus, comme il vient d'être dit, puissent servir au tissage des étoffes, il est indispensable de leur faire perdre leur élasticité qui rendrait presque impossible tout travail ultérieur. A cet effet on les reçoit immédiatement au sortir de la fenderie dans des vases pleins d'eau chaude; puis on les ramollit dans l'eau chaude, et on les étire du quintuple au décuple de leur longueur primitive, en les enroulant sur un dévidoir qu'un ouvrier fait tourner rapidement, tandis qu'un autre ouvrier, placé près du vase d'eau chaude, file le caoutchouc en le maintenant tendu. On place ensuite les dévidoirs dans une chambre dont la température est maintenue aussi basse que possible; au bout de quelques jours on peut dévider les fils, sans que pour cela ils reprennent leur forme primitive; ils possèdent alors une roideur suffisante pour le tissage subséquent.

Le plus souvent on enveloppe le fil de caoutchouc ainsi obtenu, au moyen d'un *métier à* LACETS, de 6 à 7 fils, qui l'entourent entièrement, et qui servent surtout à le protéger contre les dents du peigne dans le tissage. Le petit cordonnet que l'on obtient de cette manière est employé à tisser les bretelles élastiques. Dernièrement on a imaginé d'employer pour le tissage un métier à la Jacquart, en y considérant le fil de caoutchouc nu comme un fil ordinaire, si ce n'est qu'on prend soin de le masquer complétement dans l'étoffe fabriquée; cette disposition a l'avantage de supprimer complétement l'emploi des métiers à lacets, et permet en outre de broder sur le tissu des fleurs et autres ornements.

Les longues lanières tissées que l'on obtient ainsi sont sans élasticité; on leur rend cette propriété en passant sur le tissu un fer convenablement chauffé; le caoutchouc tend à l'instant même à reprendre sa forme primitive, et par suite, l'étoffe diminue de près d'un tiers en longueur.

CAOUTCHOUC VOLCANISÉ. Les tissus et objets fabriqués en caoutchouc doivent, pour jouir de toutes les propriétés requises, posséder une élasticité qui ne s'altère pas par l'usage, ni surtout par les variations de température. Ce résultat précieux a été obtenu par la volcanisation du caoutchouc, nom donné à sa combinaison avec une petite quantité de soufre. On peut se servir du caoutchouc ainsi préparé, depuis les contrées les plus chaudes du globe, où le caoutchouc normal trop amolli, trop extensible et trop adhésif, était sans application, jusque dans les pays septentrionaux où le froid annulait les propriétés du caoutchouc ordinaire.

Pour montrer l'élasticité, en quelque sorte inaltérable,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du caoutchouc volcanisé, on peut faire l'expérience d'en placer une rondelle sur une petite pièce de monnaie qu'elle recouvre exactement. Après l'avoir distendue considérablement on la replace sur le disque et l'on voit facilement que la dimension n'en a été nullement altérée.

C'est en opérant à chaud que M. Hancok (de Birmingham) est parvenu le premier à opérer la sulfuration; mais on opère aujourd'hui à froid avec plus d'avantage, par un procédé dont nous empruntons la description à M. Payen.

Ce procédé a surtout cela d'avantageux qu'il peut s'appliquer aux objets tout façonnés, et qu'il ne laisse qu'une légère odeur aux produits, tandis que la volcanisation directe par le soufre leur communique une odeur assez forte et désagréable.

Voici en quoi consiste cette méthode qui a été inventée par MM. Parkes (de Birmingham) :

On plonge les articles fabriqués en caoutchouc, bien propres et bien secs, dans une solution contenant 2,5 de chlorure de soufre pour 100 de sulfure de carbone; après une minute d'immersion on les retire, on fait évaporer le sulfure de carbone et les traces d'acide chlorhydrique formé, à l'aide d'un courant d'air, dans une étuve chauffée de 20 à 25 degrés.

Quand les objets sont secs on les replonge une minute et demie dans la solution, on les retire pour les faire sécher comme la première fois, puis on les lave dans une solution alcaline et enfin dans de l'eau pure.

Dans ces immersions, des feuilles de caoutchouc ayant de 2 à 4 millimètres d'épaisseur retiennent 12 à 15 centièmes de soufre.

Si l'on volcanisait des feuilles plus minces, on augmenterait la dose de chlorure de soufre, et l'on diminuerait la durée de l'immersion; il faudrait, au contraire, diminuer la dose de chlorure et augmenter la durée de l'immersion pour sulfurer des feuilles plus épaisses, afin d'éviter que la superficie n'absorbât trop de soufre.

En tous cas, il faut éviter de laisser trop longtemps les objets immergés dans un excès de liquide, car une trop forte proportion de soufre les rend durs, cassants, dépourvus de ductilité et d'élasticité.

Le caoutchouc volcanisé est déjà un produit fréquemment utilisé dans l'industrie. Nous citerons, en terminant, parmi les applications curieuses et nouvelles du caoutchouc volcanisé, son emploi pour former des ressorts servant à la fermeture des portes, l'usage de rondelles pour interposer entre les brides des tuyaux, de tubes pour conduire à des becs portatifs, et pouvant se déplacer, le gaz qui part d'une conduite principale; enfin, et cet emploi doit donner lieu à une consommation importante, des rondelles très épaisses, au nombre de dix ou vingt, pour amortir les chocs des wagons de chemins de fer. C'est un des plus heureux emplois que l'on pût faire de ces ressorts inaltérables et dont l'action se multiplie autant qu'on le désire par la superposition de plaques. (Voy. *Complément.*)

CAPILLARITE. On appelle phénomène de capillarité les effets de l'attraction qu'exercent les molécules fluides les unes sur les autres, et sur les corps solides qui les touchent, phénomènes surtout sensibles dans les tubes d'un diamètre très petit ou capillaire.

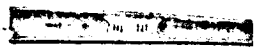
Si l'on considère une lame plongée dans un liquide, il y aura attraction entre les molécules de la lame et celle du fluide. Si cette action est supérieure à l'attraction des molécules fluides entre elles, la lame sera mouillée, et la surface du liquide terminée vers elle par un ménisque concave. Si elle est moindre, elle ne sera pas mouillée, il y aura dépression sur les bords, et la surface liquide sera terminée par un ménisque convexe.

Cette action devient bien plus sensible dans un tub capillaire. L'action qui produit le ménisque produit alors une élévation ou une dépression de niveau.

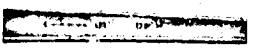
Une goutte d'eau jetée sur du verre, mouillant celui-ci, s'y étendra; une goutte de mercure restera au contraire terminée par des surfaces arrondies, parce qu'il ne mouille pas le verre.

Une petite colonne *m m* (fig. 363 et 364) se précipite vers le sommet d'un cône dans lequel elle glisse ou vers sa base, suivant qu'elle est terminée par deux surfaces concaves ou par deux surfaces convexes; et dans les deux cas on peut la retenir dans une position fixe en inclinant convenablement l'axe du cône dans un sens ou dans l'autre.

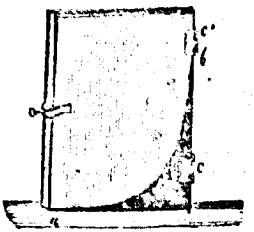
363.



364.



Entre deux lames formant un angle très aigu, et mouillées par le liquide, ce dernier prendra la courbure représentée par la figure 365, qui est une hyperbole.



Une lame suspendue dans un liquide ou un corps flottant à sa surface ne prend aucun mouvement, quelles que soient les dispositions des deux faces.

365.

Deux lames verticales et parallèles, mouillées par le liquide, mises en présence, n'éprouvent non plus aucune action, ni aucun mouvement, tant qu'elles sont assez éloignées l'une de l'autre pour que les courbures des liquides soulevés soient séparées par un espace plan; mais dès qu'on les approche assez pour que ce plan disparaisse et que les courbures se croisent, le liquide monte entre les deux lames, et elles se précipitent pour se joindre et se presser l'une contre l'autre, ce qui prouve que le liquide soulevé exerce une pression horizontale moindre que s'il était à la même hauteur dans un vase large.

Si les deux lames sont parallèles et ne sont point mouillées par le liquide, il n'y a aucun mouvement tant que leur distance est assez grande pour que les courbures du liquide déprimé soient séparées par une surface plane. Dès qu'on les approche assez pour que celle-ci disparaisse, le liquide baisse entre elles et malgré que sa pression soit plus grande que dans le cas où il serait dans un vase large, comme sa hauteur est moindre que celle du liquide extérieur, les deux lames s'approchent encore.

Lorsque l'une des deux lames est mouillée et que l'autre ne l'est pas, comme, par exemple, pour l'eau ce qui a lieu quand l'une des lames est en ivoire et l'autre en talc, et qu'on les approche tant que le liquide conserve entre elles une forme infléchie, elles tendent à s'écarter; si on les approche forcément, il peut arriver ou que l'inflexion se conserve et que les lames se repoussent toujours, ou qu'elle se change en une courbure sans inflexion et alors les lames s'attirent.

Deux corps flottants qui se mouillent, comme des balles de liége ou de bois sur l'eau, des balles d'étain sur du mercure, s'approchent dès que leur distance est assez petite pour que les courbures du liquide se croisent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Deux balles qui ne se mouillent pas, comme des balles de cire ou de liége enfumé sur l'eau, ou de fer sur le mercure, s'approchent aussi dans les mêmes circonstances.

Enfin deux balles dont l'une se mouille et l'autre ne se mouille pas, se comportent comme les plans dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire se repoussent.

Les cylindres, et en général tous les corps flottants, éprouvent par la même cause des mouvements plus ou moins rapides lorsqu'ils s'approchent les uns des autres, ou lorsqu'ils approchent des parois contre lesquelles les surfaces liquides se courbent toujours, soit par ascension, soit par dépression.

Les phénomènes capillaires se présentent à chaque instant dans la nature et dans les arts. Les corps poreux, comme le sucre, les pierres à filtrer, le papier à filtre, les mèches de coton, etc., peuvent être assimilés à des corps formés de tubes plus ou moins fins, plus ou moins réguliers. Quand on les plonge dans un liquide susceptible de les mouiller, ils l'élèvent chacun à une hauteur qui dépend de la disposition de leurs interstices et qui en général est considérable. C'est ainsi que l'eau s'élève de la partie la plus basse d'une masse de terre à la partie la plus élevée; que l'eau s'élève dans un tube rempli de cendres tassées, dans un morceau de sucre, etc.; que l'esprit-de-vin, l'huile, le suif, la cire fondue, s'élèvent dans les mèches des lampes, des chandelles et des bougies; que l'eau s'élève dans les végétaux.

Pour bien sentir la puissance de cette action et toute son importance dans les applications industrielles, il faut remarquer que l'eau, par exemple, qui s'élève de 30 millimètres dans un tube d'un millimètre de diamètre, s'élèverait de 300 millimètres dans un tube de $\frac{1}{10}$ de millimètre; de 3,000 millimètres ou 3 mètres, dans un tube de $\frac{1}{100}$ de millimètre; et de 30,000 millimètres ou 30 mètres dans un tube de $\frac{1}{1000}$ de millimètre de diamètre. Or $\frac{1}{1000}$ de millimètre est une distance sensible, et il y a indubitablement dans la nature des canaux de fibres creuses dont le diamètre est plus petit encore. (Voy. *Complément*, CAPILLARITÉ.)

CAPSULES FULMINANTES. La fabrication des capsules fulminantes est devenue une industrie importante depuis que l'ancien fusil à silex a été abandonné. Cette industrie, dans ses procédés actuels, est toute française; nous décrirons cette fabrication mécanique telle qu'elle a été inventée par M. Tardy, capitaine d'artillerie.

Le cuivre d'abord découpé en bandes, laminé d'épaisseur convenable, recuit et décapé, est porté aux machines qui doivent former les alvéoles, machines mues par la vapeur. Là, les bandes de cuivre sont fournies par des rouleaux à un découpoir qui, suivant la forme des poinçons, produit avec une très grande rapidité soit des disques, soit des étoiles (selon que les capsules doivent être fendues ou offrir une surface continue), puis ces disques ou ces étoiles sont poussés par un levier coudé que fait avancer le découpoir en remontant contre une matrice convenable, et là par l'action de nouveaux poinçons (qui font, bien entendu, partie de la même machine que les premiers), ils sont emboutis sous la forme demandée, c'est-à-dire sous celle d'un dé uni ou cannelé, ou bien sous celle d'un petit chapeau. Chaque mouvement de la machine produit deux ou trois capsules, car elle est armée d'un nombre égal de poinçons et matrices.

Les capsules, après l'opération du sassage, qui détruit les rébarbes produites par le découpoir, sont portées à l'atelier de charge. Là, des ouvrières, les prenant par poignées, les jettent sur une main, formée de deux lames de fer superposées, à une petite distance l'une de l'autre, et assemblées à charnière. La lame supérieure est percée régulièrement d'un grand nombre de petits trous du diamètre extérieur des capsules. Sur la lame inférieure, et en regard de chaque trou, est gravée la marque du fabricant; nous verrons bientôt quand par une pression celle-ci vient s'imprimer sur la capsule. Cet appareil s'appelle une main. L'ouvrière, agitant cette main d'une certaine manière, secoue sur elle les capsules, dont le centre de gravité et plus près du fond que de l'orifice, ce qui les fait redresser et tomber dans les trous de la main. Si quelques-unes sont retournées, ce qui arrive rarement, si quelques trous ne sont pas garnis, la dissymétrie qui en résulte frappe nécessairement l'œil de l'ouvrier, qui remet tout en ordre.

Cette main, ainsi garnie de capsules, est glissée sous une trémie contenant la poudre fulminante. Le fond de cette trémie est formé de trois pièces superposées, dont celle du milieu, qui est en ivoire, est mobile. Toutes trois sont percées de trous en nombre égal à celui de la main, ceux de dessous se continuent par de petits tubes qui entrent dans les capsules elles-mêmes.

Dans une certaine position de la pièce du milieu, appelée *tiroir*, ses trous sont en face de ceux du fond supérieur, et ne communiquent pas avec ceux du fond inférieur; de sorte que la poudre fulminante, descendant par son propre poids, remplit les trous du tiroir. Un petit mouvement imprimé à celui-ci supprime sa communication avec les trous supérieurs et l'établit avec les trous inférieurs, à travers lesquels la poudre tombe dans les capsules. C'est surtout dans le mouvement du tiroir qu'existe le danger. Il suffit de l'écrasement, dans certaines conditions, du plus petit grain de poudre fulminante (fulminate d'argent) pour déterminer l'explosion de tout ce que contient la trémie, dans laquelle les besoins d'un travail régulier exigent qu'il s'en trouve toujours une quantité notable. C'est là surtout que la disposition adoptée par la maison Goupillat est avantageuse. Elle consiste dans un bouclier en forte tôle qui sépare les ouvriers du distributeur de la poudre fulminante, et qui a pour mission de détourner l'explosion, quand elle a lieu, vers une fenêtre très légère, qui, n'offrant qu'une très faible résistance, rend ces explosions terribles sans danger pour les ouvriers. La main contenant les capsules est glissée à travers une ouverture pratiquée dans le bouclier.

Après le mouvement du tiroir, qui a garni les capsules de poudre, on retire la main de dessus la trémie, et elle arrive à l'ouvrier chargé de comprimer la poudre pour la retenir dans les capsules. Celui-ci place sur la main une plaque en fer armée de petits poinçons, en nombre égal à celui des trous de cette main, et qui pénètrent dans les capsules jusqu'à la poudre; puis il introduit le tout entre deux cylindres ou portions de cylindres excentriques, dont le mouvement de rotation, imprimé par une manivelle ou un levier, comprime la poudre au fond des capsules et estampe en même temps sur le fond de celle-ci la marque du fabricant. C'est un phénomène remarquable que cette pression considérable ne produise que de rares explosions, pour lesquelles il faut nécessairement des conditions qui l'assimilent à un choc. L'explosion de quelques capsules dans une main ne produit aucune espèce de danger. Les capsules voisines sont seulement noircies à l'extérieur et sont mises à part pour être vendues à plus bas prix que les autres. Les capsules terminées sont jetées hors de la main par le soulèvement de la partie supérieure de cette pièce, puis rapidement comptées dans un autre atelier au moyen de mains analogues, dont le nombre de trous est connu, mises dans des boîtes de carton et livrées au commerce

CARBONATES. L'acide carbonique, l'un des acides les plus faibles, se combine cependant avec facilité avec les bases et oxydes métalliques, et donne alors naissance à un grand nombre de composés importants. Les carbonates sont ordinairement des sels neu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tres, quelquefois aussi basiques ou acides. Il n'y a que trois carbonates solubles, ce sont ceux d'ammoniaque de potasse et de soude; les bi-carbonates des mêmes bases sont solubles, mais moins que les précédents. Quelques carbonates insolubles (celui de chaux par exemple) se dissolvent dans l'eau saturée d'acide carbonique; mais lorsqu'on expose cette dissolution à l'air, l'acide carbonique se dégage et les carbonates se précipitent complétement; c'est à ce phénomène que l'on doit attribuer les incrustations que déposent nombre d'eaux minérales.

Tous les carbonates à l'exception de ceux de baryte, de potasse et de soude, sont décomposés par la chaleur rouge; les bi-carbonates solubles se transforment en carbonates neutres à la température de l'ébullition de l'eau. Un seul carbonate est volatil, c'est celui d'ammoniaque. Tous les carbonates sans exception sont décomposés au rouge par le charbon, en donnant, soit un métal, soit un oxyde. La vapeur d'eau les décompose également au rouge en formant des oxydes. Ils sont décomposés par presque tous les acides minéraux, et l'acide carbonique se dégage complétement, quelquefois avec effervescence (carbonate de chaux); on le reconnaît, à ce qu'en le faisant arriver dans de l'eau de chaux filtrée, il y détermine un précipité blanc soluble dans les acides avec effervescence.

Comme presque tous les carbonates sont insolubles, on peut les préparer par voie de double décomposition. Ils se trouvent en grande quantité dans la nature, et nous parlerons de chacun d'eux en particulier, au nom du métal auquel il correspond, de sorte qu'il ne nous en reste ici que fort peu à passer en revue.

CARBONATE D'AMMONIAQUE (*angl.* carbonate of ammonia, *all.* kohlensaures ammoniak). On connaît trois combinaisons différentes de l'acide carbonique avec l'ammoniaque : le carbonate neutre, le sesqui-carbonate et le bi-carbonate d'ammoniaque. Le premier est très peu stable, se décompose par l'action de la chaleur, ainsi que par la dissolution dans l'eau, et ne se trouve point dans le commerce. Le bi-carbonate d'ammoniaque s'obtient en saturant d'acide carbonique une dissolution de sesqui-carbonate, et a été employé dans ces derniers temps pour la fabrication en grand du bi-carbonate de soude (voyez SOUDE). Il est décomposé par la chaleur en sesqui-carbonate d'ammoniaque et en acide carbonique.

Le carbonate d'ammoniaque que l'on trouve dans le commerce est le sesqui-carbonate, qui se compose de :

Acide carbonique. . . .	55,4	. . .	3 at.
Ammoniaque.	29,0	. . .	2 at.
Eau.	15,6	. . .	2 at.
	100,0		

On le prépare ordinairement par voie double de décomposition en chauffant au rouge vif, dans une cornue en fonte munie d'une allonge, un mélange de craie (chaux carbonatée) et de sel ammoniac (hydrochlorate d'ammoniaque), il se forme du chlorure de calcium qui reste dans la cornue, et du carbonate neutre d'ammoniaque qui se décompose en sesqui-carbonate, qui vient se condenser sous la forme d'une masse blanche fibreuse dans l'allonge, et en gaz ammoniac qui se dégage et se perd; on pourrait le recueillir en le faisant arriver dans un grand récipient constamment rempli par de l'air chargé d'acide carbonique en traversant un foyer de charbon. Le carbonate d'ammoniaque ainsi obtenu est rarement assez pur et assez compacte pour être immédiatement livré au commerce; on le purifie par sublimation, de la même manière que le sel ammoniac (voyez CHLORURES). On l'obtient ainsi sous la forme de gâteaux blancs translucides, à texture fibreuse, et qui exhalent une forte odeur ammoniacale. On doit le conserver dans des vases bien fermés, car à l'air libre, le quart de l'ammoniaque qu'il renferme se dégage peu à peu, de sorte qu'il a alors perdu toute odeur et s'est transformé en bi-carbonate. Il est soluble dans le double de son poids d'eau froide; lorsqu'on porte cette dissolution à l'ébullition, le carbonate d'ammoniaque se volatilise complétement en donnant lieu à un vif bouillonnement, et à la fin il ne reste que de l'eau pure.

Le carbonate d'ammoniaque est employé en médecine, et dans les analyses chimiques; on s'en sert aussi dans la pâtisserie pour obtenir des pâtes très poreuses.

Dans la distillation sèche des matières animales, il produit une grande quantité de carbonate d'ammoniaque, mais ainsi obtenu il est très impur, et ne peut servir qu'à préparer du sulfate ou de l'hydrochlorate d'ammoniaque et même de l'ammoniaque caustique.

CARBONATE DE BARYTE (*witherite*). Ce sel n'a guère été rencontré jusqu'ici que dans quelques localités en Angleterre; s'il était plus commun il pourrait, au lieu du sulfate de baryte, être mélangé au carbonate de plomb auquel il ressemble beaucoup plus par ses propriétés physiques et chimiques.

CARBONATE DE CHAUX. Ce sel est neutre, insoluble dans l'eau, et se rencontre en quantité tellement considérable à la surface du globe qu'on peut estimer qu'environ la moitié de l'écorce terrestre, et peut-être davantage, sont formés de substances calcaires. On le reconnaît aisément à ce qu'il est assez facile à rayer et qu'il se dissout avec effervescence dans les acides. Lorsqu'on le chauffe au rouge blanc, il est entièrement décomposé et il reste de la chaux caustique; mais s'il est soumis en même temps à une très forte pression il peut se fondre, sans se décomposer, et produit un marbre artificiel. On a essayé d'utiliser en grand cette propriété; mais on a reconnu qu'elle ne pouvait donner lieu à aucune application industrielle.

Le carbonate de chaux présente un grand nombre de variétés; nous examinerons successivement les plus importantes :

1° *Chaux carbonatée spathique* (spath d'Islande). Caractérisée par trois *clivages* faciles qui conduisent à un rhomboèdres aigu dont l'angle est de 105°. Elle cristallise en rhomboèdres plus ou moins allongés, quelquefois même presque cubiques, en dodécaèdres à triangles scalènes dits métastatiques, et enfin en prismes à six faces avec ou sans pointement. Pure, elle est parfaitement incolore et transparente, et présente le phénomène de la double réfraction, propriété sur laquelle est fondée la construction de la *lunette de Rochon*, qui permet d'apprécier la distance d'un objet quand on connaît ses dimensions, et réciproquement. La pesanteur spécifique de la chaux carbonatée est de 2,7. Chauffée au rouge blanc elle laisse un résidu de 46 p. 100 de chaux vive.

2° *Chaux carbonatée fibreuse*. Lorsque l'eau de pluie, qui renferme toujours une faible quantité d'acide carbonique libre, tombe sur des roches calcaires, elle dissout une petite quantité de carbonate de chaux qu'elle dépose ensuite sous la forme de concrétions, dans l'intérieur des grottes ou cavités, où elle s'évapore goutte à goutte. Lorsque ces concrétions se forment à la voûte des grottes, elles ont une texture rayonnée et portent plus particulièrement le nom de *stalactites*; lorsqu'elles se déposent sur le sol de ces mêmes grottes ou sur une surface plane, elles ont une texture rubannée, dans un sens, et fibreuse dans le sens perpendiculaire; on les désigne alors sous le nom de *stalagmites*. Lorsque celles-ci sont zonées de jaune plus ou moins rougeâtre, et présentent une dureté suffisante pour prendre un beau poli, on leur donne le nom d'*albâtre oriental*.

Les dépôts calcaires que fournissent en abondance certaines eaux minérales gazeuses sont de même nature; les sources les plus célèbres en ce genre sont : le *sprudel* à *Carlsbad*, qui fournit le sprudelstein, calcaire dur et richement zoné qui est d'une finesse extrême et sert à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faire beaucoup de petits objets d'ornement; les eaux incrustantes de *San Filippo* en Toscane (voyez ALBATRE); et celle de *Saint-Allyre* en Auvergne, dont chacun a pu voir les beaux produits à l'exposition de 1844.

Les *tufs calcaires* sont aussi à proprement parler des dépôts analogues; ils sont très poreux, celluleux, souvent criblés de cavités tubulaires et rudes au toucher; leur dureté est inférieure à celles des calcaires ordinaires, et leur couleur est d'un gris plus ou moins jaunâtre.

Les tufs calcaires se rencontrent souvent en grandes masses dans les pays calcaires, et sont alors employés comme pierres à bâtir. La ville de *Pesth*, en Italie, est entièrement bâtie avec un tuf calcaire, criblé de cavités tubulaires. La ville de *Tivoli* près Rome, et beaucoup de monuments romains, sont également bâtis avec un tuf calcaire qui porte le nom de *travertin*. Les tufs calcaires acquièrent une certaine dureté en séchant à l'air, et résistent très bien à l'action destructive des agents atmosphériques.

3° MARBRE (voyez ce mot).

4° *Calcaire compacte*. A cassure conchoïde ou esquilleuse. On en voit de toutes les couleurs, cependant il est ordinairement d'un gris plus ou moins pâle. Lorsqu'il est bigarré d'une manière agréable à la vue et qu'il prend un beau poli, on lui donne aussi improprement le nom de marbre. Très fréquemment il empâte un grand nombre de coquilles à l'état spathique, et prend alors le nom de *marbre coquiller*. Le calcaire compacte se trouve dans la nature à l'état de couches sédimentaires. Quelquefois il est en couches de peu d'épaisseur, d'un grain très fin et parfaitement compacte, comme le *calcaire lithographique* de *Solenhofen* en Bavière. D'autres fois il est plus ou moins grossier et caverneux, comme le calcaire caverneux dit *rauhkalk*, de la formation du *zechstein* (voyez GÉOLOGIE), et le *calcaire grossier* des environs de Paris.

Le calcaire fétide ou *stinkstein*, est un calcaire compacte coloré en brun jaunâtre par du bitume, qui lui communique l'odeur qui le caractérise; à l'exception du bitume qu'il renferme il est ordinairement très pur et par suite très propre à la fabrication des chaux grasses.

5° *Calcaire oolithique*. Est formé par la réunion de petits globules calcaires accolés, de la grosseur d'une tête d'épingle; lorsque la grosseur de ces globules atteint celle des petits pois, il prend le nom de *calcaire pisolitique*; il renferme ordinairement une proportion plus ou moins grande d'oxyde de fer hydraté qui le colore en jaune ou en brun. Ce calcaire forme dans certains terrains des couches puissantes et jouit d'une dureté suffisante, pour être employé comme pierre à bâtir; mais il est presque toujours trop impur pour servir à la fabrication de la chaux.

Calcaire marneux. Diffère du calcaire pur en ce qu'il renferme jusqu'à 40 p. 100 d'argile intimement mélangée. Il est assez compacte, mais sa cassure est plutôt terreuse qu'esquilleuse. On le reconnaît aisément à la proportion du résidu d'argile qu'il laisse lorsqu'on le dissout dans l'acide acétique ou hydrochlorique. Il se délite par l'action du froid et de la gelée, et ne peut par conséquent être employé comme pierre à bâtir; il forme le passage des calcaires purs aux marnes argileuses; nous avons parlé de son emploi dans l'amendement des terres à l'article ARGILE; nous parlerons de son application dans la fabrication des MORTIERS HYDRAULIQUES à ce mot.

6° CRAIE (voyez ce mot).

Le calcaire compacte constitue des couches stratifiées considérables de l'écorce terrestre; après lui, sous le rapport de son abondance, vient la craie. Le marbre, proprement dit, se rencontre seulement çà et là, à l'état de masses provenant d'un changement métamorphique de couches calcaires par voie ignée, dont les causes sont presque toujours faciles à assigner dans chaque cas particulier. Les tufs calcaires ne se trouvent également que dans des localités circonscrites. Enfin, le calcaire spathique ne se rencontre qu'en veines ou filons, tapissant surtout l'intérieur des druses.

CARBONATE DOUBLE DE CHAUX ET DE MAGNÉSIE, DOLOMIE (*angl.* magnesian limestone, *all.* bitter kalk). La dolomie se compose de :

Carbonate de chaux. . . .	55	. . .	1 at.
Carbonate de magnésie. .	45	. . .	1 at.
	100		

Sa densité est de 2,7 à 2,8; on la trouve quelquefois cristallisée en rhomboèdres; le plus souvent elle est amorphe plus ou moins grenue et rude au toucher, blanche ou jaunâtre. On la distingue de la chaux carbonatée, en ce qu'elle se dissout beaucoup plus lentement dans l'acide hydrochlorique étendu, et presque sans effervescence, et en ce que, après calcination, elle ne se délite pas à l'air libre.

La dolomie, que l'on doit considérer comme une roche métamorphique, constitue des masses d'une étendue considérables dans certaines localités, surtout en Angleterre, dans le Sunderland. L'épaisseur de cette formation y est variable, et atteint vers la limite sud une épaisseur de plus de 100 mètres. Dans quelques pays on emploie la dolomie comme pierre de construction; nous citerons comme exemple la belle cathédrale gothique de York, entièrement construite en dolomie. C'est la dolomie qui forme ces montagnes abruptes et déchiquetées, à arêtes vives, dites aiguilles, que l'on rencontre dans les Alpes et qui excitent à un si haut degré l'admiration des voyageurs.

CARBONATE DE MAGNÉSIE. On trouve dans la nature le carbonate neutre qui sert en le dissolvant dans l'acide sulfurique à préparer le sulfate de magnésie ou sel d'epsom. En précipitant ce dernier dissous dans l'eau, par un carbonate alcalin, à la température de l'ébullition de l'eau, on obtient le carbonate du commerce, dit *magnésie blanche*, sous la forme d'un précipité blanc très léger, qui est un sous-carbonate hydraté. On peut aussi le préparer en décomposant à chaud les eaux mères de la fabrication du sel par un carbonate alcalin. Si l'on opérait à froid, le précipité serait grenu, plus compacte et plus lourd, et ne présenterait nullement l'apparence que réclame le commerce. La magnésie blanche est très employée en médecine, surtout comme contre-poison dans les empoisonnements par les acides minéraux.

CARBONATE DE POTASSE. Voyez POTASSE.

CARBONATE DE SOUDE. Voyez SOUDE. P. D.

CARBONE (*angl.* carbon, *all.* kohlenstoff). Le carbone ne se trouve dans la nature à l'état de pureté que dans le DIAMANT, mais il forme la presque totalité du résidu que l'on obtient par la calcination en vase clos des matières végétales ou animales (voy. CHARBON DE BOIS, CHARBON ANIMAL, NOIR DE FUMÉE, etc.). Il se trouve aussi dans le sein de la terre, plus ou moins impur, à l'état de GRAPHITE, ANTHRACITE, HOUILLE et LIGNITE. Le carbone, dans les divers états où il se présente, est fixe et complétement infusible aux températures les plus élevées que nous puissions produire mais lorsqu'on le chauffe dans l'air ou l'oxygène, il s'en flamme et se convertit en acide carbonique. Il se combine également avec le soufre au rouge, et forme alors un liquide très volatil et d'une odeur caractéristique, le *sulfure de carbone*, que l'on prépare en faisant passer du soufre en vapeurs sur du charbon porté au rouge, dans un tube de porcelaine. Il décompose également l'eau au rouge, en donnant de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, et de l'hydrogène carboné. Il est attaqué par voie sèche par les alcalis caustiques, dont il décompose l'eau d'hydratation, et forme des carbonates; il décompose également à l'aide de la chaleur tous les acides, à l'exception des acides

EFERUS - Recherche & Classification numérique

borique et silicique. Enfin il réduit la plupart des oxydes métalliques, et ramène les autres au minimum d'oxydation. Il est absolument insoluble dans l'eau, et tous les réactifs chimiques connus; cependant on peut le mettre en suspension, sous la forme de particules extrêmement fines, de manière à former des encres indélébiles (ENCRE DE CHINE, ENCRE *indélébile* de M. Braconnot). Le carbone forme avec l'oxygène deux combinaisons importantes, l'*oxyde de carbone* et *l'acide* CARBONIQUE (voyez ce mot).

Oxyde de carbone. L'oxyde de carbone est un gaz permanent sans couleur ni odeur, presque insoluble dans l'eau, sans action sur les couleurs végétales, et inaltérable par la chaleur et l'électricité; sa densité est de 0,967, il renferme la moitié de son volume d'oxygène et se compose de :

Carbone. . . .	42,9	. . . .	1 at.	CO
Oxygène. . . .	57,1	. . . .	1 at.	
	100,0			

Ce gaz se combine directement avec le chlore gazeux sec, sous l'action des rayons solaires en formant un composé gazeux et acide qui a reçu le nom d'acide chlorocarbonique CO Cl^2, qui correspond à l'acide carbonique C O^2 dans lequel on aurait remplacé un des atomes d'oxygène par 2 atomes de chlore. L'oxyde de carbone se combine également avec l'oxygène, soit à la température rouge, soit sous l'influence de l'étincelle électrique, sans changer de volume et en donnant de l'acide carbonique. Il s'enflamme aussi au contact de l'air et d'une bougie allumée, et brûle alors avec une flamme bleuâtre, en se transformant en acide carbonique. L'oxyde de carbone est irrespirable et beaucoup plus délétère que l'acide carbonique.

En décomposant à chaud le sel d'oseille (bi-oxalate de potasse) par l'acide sulfurique concentré, il se dégage un mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique. En absorbant ce dernier par une dissolution de potasse, on obtient de l'oxyde de carbone pur. On peut aussi préparer ce gaz en faisant passer lentement de l'acide carbonique à travers un long tube de porcelaine rempli de charbon et chauffé au rouge sur toute sa longueur.

Ce gaz se produit en quantité considérable dans les fourneaux à courant d'air forcé, et en général dans tous les appareils où une quantité d'air limitée se trouve en contact pendant un certain temps avec un excès de charbon porté à la température rouge; les produits gazeux qui se dégagent ont un pouvoir calorifique considérable, et depuis plusieurs années ont été employés avec avantage, brûlés par une certaine quantité d'air chaud, dans beaucoup de circonstances où l'on était obligé jusqu'alors de se servir de combustibles choisis et coûteux. Nous parlerons plus loin de ces belles applications et des recherches de MM. *Faber du Faur* et *Ebelmen*, aux articles COMBUSTIBLES, FER, etc.

ACIDE CARBONIQUE (*angl.* carbonic acid, *all.* kohlensæure). L'acide carbonique est un corps gazeux aux températures ordinaires et incolore; sa densité est de 1,5245; il éteint instantanément les corps en combustion, et est impropre à la respiration; aussi respiré en assez grande quantité il cause l'asphyxie et même la mort; il est cependant beaucoup moins délétère que le gaz oxyde de carbone. L'eau froide en absorbe à peu près son volume à la pression ordinaire; mais en augmentant la pression on lui en fait dissoudre un volume qui croît proportionnellement à la pression; ainsi sous la pression de trois atmosphères, l'eau en prend trois fois son volume; l'eau ainsi obtenue mousse lorsqu'on la verse à l'air libre dans un verre et possède une saveur aigrelette, agréable et rafraîchissante (voyez EAUX GAZEUSES); elle rougit faiblement le papier bleu de tournesol et lui communique seulement une teinte rouge lie de vin, parce que l'acide carbonique est un acide très faible.

L'acide carbonique est un gaz coercible; à 0° et sous une pression de 36 atmosphères, il passe à l'état liquide; l'appareil le plus commode pour obtenir de grandes quantités d'acide carbonique liquide est celui de *Thilorier*, on le prépare alors dans un fort cylindre en fonte par la réaction de l'acide sulfurique sur le bicarbonate de soude, et on le fait arriver à l'aide de tubes en plomb d'un très petit diamètre dans un réservoir également en fonte, placé dans un mélange réfrigérant où il se solidifie. Une fois, en faisant cette préparation dans un des cours publics de la capitale, l'appareil éclata sous l'énorme pression intérieure à laquelle il était soumis, et les deux préparateurs furent blessés si grièvement que l'un d'eux ne survécut que 24 heures à ses blessures. On aurait évité cet accident en faisant ces appareils en bronze au lieu de fonte. M. Thilorier observa dans ses expériences ce singulier phénomène : qu'en laissant échapper dans l'air l'acide carbonique liquide, sous la pression énorme à laquelle il est soumis dans l'appareil, par un tuyau très étroit, recouvert d'une coupe métallique percée à jour, il arrivait que le froid extraordinaire (il est de près de 100° au-dessous de zéro), produit par l'évaporation instantanée d'une partie de l'acide carbonique liquide qui s'échappait, suffisait pour solidifier l'autre partie d'acide sous la forme d'une neige parfaitement blanche qui se déposait sur la coupe métallique, et qui ne se volatilisait ensuite qu'assez lentement à l'air libre; en mélangeant cette neige avec de l'éther, on obtient le mélange le plus réfrigérant que l'on connaisse, qui placé sur du mercure le solidifie presque instantanément. (V. *Complément*, LIQUÉFACTION DES GAZ.)

On prépare l'acide carbonique pur en traitant, dans un matras, de la craie, ou mieux du marbre de Carrare pulvérisé, par de l'acide hydrochlorique étendu, faisant passer le gaz à travers un flacon laveur, renfermant un peu d'eau, puis le recueillant enfin sur le mercure.

L'acide carbonique se forme en quantité considérable dans la fermentation vineuse ou alcoolique; si l'on renferme dans des bouteilles bien ficelées les liquides que l'on prépare par fermentation avant que celle-ci soit entièrement terminée, le dégagement d'acide carbonique continue dans les bouteilles, et y produit une pression de plusieurs atmosphères, à l'aide de laquelle il se dissout en quantité considérable dans le liquide auquel il communique alors la propriété de mousser, exemple : bière, vins mousseux. Il en est de même dans la fabrication du pain, la fermentation qui se produit par le mélange de la pâte avec le levain ou la levure de bière, détermine le dégagement d'une certaine quantité d'acide carbonique qui fait lever la pâte, et permet d'obtenir un pain léger et poreux. Il se produit des quantités considérables d'acide carbonique lors de la combustion du bois, du charbon et des autres matières combustibles; ce procédé est même quelquefois employé pour le préparer en grand (voyez CÉRUSE).

L'acide carbonique se trouve dans la nature, dans les eaux minérales gazeuses, comme celles de Seltz, de Vichy, etc. Aux environs de ces sources on rencontre souvent des dégagements de ce gaz qui s'échappent par des fissures du sol, et si ce dégagement a lieu dans des cavités où l'air ne se renouvelle que difficilement, il se rassemble à la partie inférieure et peut causer l'asphyxie; telle est la fameuse grotte du Chien à Pausilippe, près de Pouzzoles, où un homme peut entrer debout sans crainte, mais dans laquelle les chiens sont asphyxiés. On utilise, près de Bonn, ces dégagements naturels d'acide carbonique pour fabriquer de la céruse; en France près de Vichy, on s'en sert pour obtenir du bicarbonate de soude. Ce gaz se rassemble souvent dans les puits et dans certaines mines en quantité assez considérable pour asphyxier les personnes qui s'y aventureraient im-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prudemment sans précaution ; nous citerons, comme exemple, les mines de plomb argentifère de *Pont-Gibaud* (Puy-de-Dôme), où il se dégage des quantités considérables de ce gaz.

L'air atmosphérique renferme environ 1/1000e de son volume d'acide carbonique, qui, dilué à ce point, n'a aucune influence nuisible sur la respiration des hommes et des animaux, et semble même nécessaire à la végétation. Mais lorsque la proportion de ce gaz contenue dans l'air s'élève au-dessus de 15 p. 100, ce dernier devient incapable d'entretenir la respiration et la combustion.

L'acide carbonique est composé de :

Carbone. . . .	27,17. . . .	1 at.	CO^2
Oxygène. . . .	72,83. . . .	2 at.	
	100,00		

Il renferme un volume d'oxygène égal au sien. Lorsqu'on le fait passer sur un excès de charbon porté au rouge, il double le volume en se transformant en oxyde de carbone.

CARBONISATION (*angl.* charring, *all.* verkohlung). Les substances qui en industrie portent le nom de combustibles sont de deux sortes : les combustibles végétaux, BOIS, et les combustibles minéraux, ANTHRACITE, HOUILLE, LIGNITE et TOURBE. On les emploie selon leur nature et selon l'effet que l'on se propose d'obtenir, soit à l'état cru, soit plus ou moins carbonisés. La carbonisation consiste à soumettre les combustibles à une distillation sèche, qui leur fait perdre une portion plus ou moins grande des matières volatiles qu'ils renferment. Pour que l'on puisse carboniser un combustible, il faut qu'il renferme une quantité suffisante de matières volatiles à expulser, pour qu'il puisse acquérir des propriétés nouvelles qui indemnisent des frais de cette opération; il faut aussi que le résidu de la carbonisation présente une certaine cohérence qui permette de l'employer. Ces deux conditions ne se rencontrent que dans les *bois*, les *houilles* et les *tourbes*, qui sont les seuls combustibles que l'on emploie carbonisés ; les produits de leur carbonisation portent le nom de *charbon de bois*, de *coke* et de *charbon de tourbe*, et leur préparation fera le sujet d'autant de paragraphes séparés.

I. — CARBONISATION DU BOIS (*angl.* charring of wood, *all.* kohlenbrennen, kœhlerei). Toutes les méthodes au moyen desquelles on opère la transformation du bois en charbon peuvent se diviser en trois classes : dans la carbonisation en vases clos, le bois à carboniser est placé dans une enveloppe ordinairement métallique et chauffée extérieurement ; dans la seconde classe, la chaleur nécessaire à la carbonisation est également produite à l'extérieur par un ou plusieurs foyers particuliers, mais ensuite les produits gazeux qui s'échappent de ces foyers sont introduits dans la masse du combustible à carboniser et opèrent sa distillation ; enfin, dans la dernière classe, viennent se ranger tous les procédés dans lesquels on laisse arriver, au milieu de la masse du bois à carboniser, une quantité d'air limitée, de manière à brûler une partie du combustible pour distiller l'autre; ces derniers procédés se subdivisent eux-mêmes en deux catégories, suivant que l'on se propose ou non de recueillir les parties volatiles de la distillation.

Le procédé de *carbonisation en vase clos* a déjà été décrit à l'article *acide* ACÉTIQUE. Il permet de recueillir ou d'utiliser tous les produits de la distillation, puisque l'on condense ceux-ci et qu'on en retire du goudron, des huiles empyreumatiques, de l'acide acétique, de l'esprit de bois, et que l'on se sert des gaz non condensés pour produire dans le foyer une grande partie de la chaleur consommée dans la carbonisation. Mais dans la plupart des cas, la complication des appareils, qui rend leur établissement assez coûteux et leur déplacement impossible, le peu de débouché ou de valeur des produits obtenus, et par-dessus tout la moindre densité du charbon produit, ont empêché ce procédé de prendre beaucoup d'extension. Le rendement en charbon est ordinairement plus fort que par tout autre procédé lorsque l'opération n'est pas conduite trop rapidement, mais il est moins dense et beaucoup plus inflammable que celui obtenu autrement, et possède aussi un moindre pouvoir calorifique. Son inflammabilité le fait rechercher pour la fabrication de la poudre.

Avant de juger ce procédé et ceux que nous décrirons ci-après, il convient d'examiner les phénomènes qui se passent dans l'acte de la carbonisation du bois.

Chacun des principes organiques immédiats qui entrent dans la composition du bois, éprouve, à un certain degré de température, une altération qui donne naissance à un produit pyrogéné fixe, à un produit pyrogéné volatil, et à un dégagement de gaz provenant de la combustion d'une partie du carbone et de l'hydrogène par l'oxygène contenu dans le bois. Pour chaque température, il s'établit un certain équilibre; à une température plus élevée, l'équilibre est détruit de nouveau, et il se forme de nouveaux produits pyrogénés, les uns fixes, les autres volatils, jusqu'à ce qu'enfin il ne reste plus que du charbon pur. Si on opère à une température bien graduée et maintenue constante pendant un temps suffisant, chacune de ces modifications dans l'état des composés organiques pourra avoir lieu jusqu'au centre du morceau de bois, de façon à produire un nouveau composé homogène, sans qu'il y ait réaction entre les produits de la distillation qui viennent du centre du morceau sur les produits fixes qui se trouvent à la surface.

La carbonisation en vases clos, au contraire, comme elle a lieu actuellement, est conduite beaucoup trop rapidement sous le rapport du rendement en charbon. Le combustible étant placé dans un milieu entretenu à une température très élevée, il arrivera que les couches extérieures du bois atteindront un état d'altération très avancé lorsque le centre sera encore à l'état naturel, de sorte que les produits de la distillation venant du centre du bois pourront réagir sur le charbon déjà formé à la surface, lequel se trouve maintenu par le rayonnement des parois de l'enveloppe à une température élevée, et en dissoudre une partie en donnant lieu à des gaz hydrogène, acide carbonique et oxyde de carbone. Du reste, le peu de conductibilité pour la chaleur du bois et du charbon qui n'a pas été soumis à une très forte calcination, ainsi que la nature même de l'appareil employé dans lequel la chaleur est appliquée extérieurement, ne permettent pas d'arriver à graduer la distillation dans toutes les parties du combustible, de manière à éviter toute dissolution du charbon formé à la surface par les produits de la distillation intérieure. Sous ce rapport, le *procédé de M. Schwartz*, essayé en Suède, et qui rentre dans la seconde classe que nous avons établie, est de beaucoup préférable.

Le fourneau de M. *Schwartz*, construit à *Brefven* (Suède), consiste en un berceau gothique fermé à ses deux extrémités par des murs verticaux, perpendiculaires à son axe. Le sol intérieur est incliné vers le cintre, et présente en son milieu des rigoles qui servent à faciliter l'écoulement du goudron dans des tuyaux en fonte de fer. A chaque extrémité du fourneau il y a deux foyers sur lesquels passe l'air athmosphérique avant d'entrer dans l'appareil ; la voûte de ces foyers est disposée de manière à rabattre la flamme, de telle sorte que l'air se dépouille complétement de son oxygène dans son passage à travers les foyers. L'une des extrémités présente deux ouvertures en son milieu placées l'une au-dessus de l'autre, et deux autres pratiquées dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux angles inférieurs ; elles servent toutes quatre à introduire le bois, et ensuite à retirer le charbon. La fumée sort par des tuyaux de fonte placés au niveau du sol, au milieu des longs côtés ; de là, elle est conduite par d'autres tuyaux de fonte dans des condenseurs en bois destinés à recevoir les produits liquides ; après quoi, elle s'échappe par la cheminée.

Les murs sont faits en sable et en argile ; il ne doit pas s'y trouver de chaux, parce qu'elle serait attaquée par l'acide qui se dégage pendant l'opération. La voûte du fourneau se fend souvent ; on bouche avec soin toutes les ouvertures qui s'y forment, soit pendant la carbonisation même, soit après le refroidissement de l'appareil.

On fait le chargement, en y introduisant d'abord les plus grosses bûches, que l'on arrange suivant la longueur du fourneau, puis on dispose au-dessus les morceaux de bois les moins gros, en les serrant autant que possible jusqu'à la voûte ; quand on approche des cheminées, on écarte le bois davantage, afin de faciliter la circulation des gaz. On emploie le menu bois pour alimenter les foyers, parce qu'il produit plus de flamme et qu'il brûle plus promptement.

Le fourneau étant rempli et bien fermé, on allume le feu ; trois ouvriers se relayant par postes de huit heures sont employés à ce travail, de manière à ce qu'il s'en trouve toujours un pour entretenir la combustion, jusqu'à ce que la fumée paraisse d'un bleu clair ; à ce signe on reconnaît que tout le bois est carbonisé, et, à cette époque, il ne s'écoule plus ni acide ni goudron. On ferme alors hermétiquement les cheminées en les murailant, et l'on bouche les tuyaux avec des tampons de bois garnis d'argile. On laisse refroidir le fourneau pendant deux jours, et on jette quelques seaux d'eau par deux petits orifices pratiqués dans la voûte, qui jusque-là avaient été tenus exactement fermés ; puis, trois ou quatre jours après, on en fait autant en débouchant momentanément l'ouverture centrale supérieure qui a servi à charger le bois dans le fourneau, qui n'est complétement refroidi que quand les tuyaux en fonte sont tout à fait froids.

Le fourneau employé par M. Schwartz, a coûté 2,900 francs, et sa capacité était de 169 mètres cubes, la moyenne des essais a donné pour la durée :

Du chargement du fourneau. . . .	2	jours.
De la carbonisation proprement dite.	2	—
Du refroidissement complet.	21	—
Total de la durée d'une carbonisation.	25	jours.

On a chargé à la fois, dans le fourneau, 127 stères de bois de sapin, et on a consommé 13 stères de bois de corde ou leur équivalent en fagots, dans les foyers, soit 1/10 du bois à carboniser. On a obtenu pour 1 stère de bois total employé :

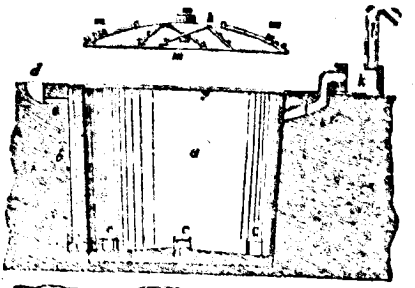
Charbon.	0,m65	ou 25 °/₀ en poids ;
Goudron.	0k, 48	
Acide pyroligneux impur.	47k, 53	correspondant à
Acétate de chaux sec. . .	3k, 65	

Le plus grand inconvénient de cette méthode de carbonisation est le temps considérable nécessaire au refroidissement complet du fourneau et du charbon.

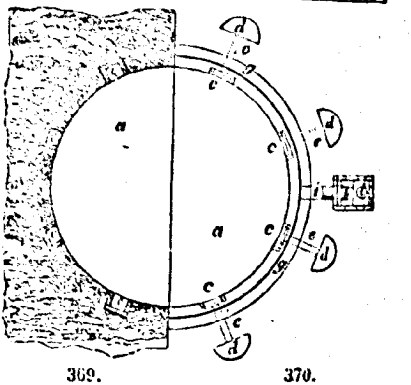
Parmi les procédés de carbonisation qui rentrent dans la troisième classe, dans lesquels une partie du combustible est employée pour opérer la distillation de l'autre partie, nous ferons deux catégories ; dans la première, nous parlerons des procédés *La Chabeaussière, Foucault* et *per descensum*, où l'on recueille une partie des produits de la distillation ; dans la seconde nous décrirons les procédés les plus employés dans l'industrie, la carbonisation par l'ancienne et la nouvelle méthode des forêts.

Les fig. 368, 369 et 370 représentent une coupe verticale, et deux coupes horizontales faites à des niveaux différents de l'appareil de carbonisation de M. de La Chabeaussière ; cet appareil se compose d'une fosse légèrement conique *a*, de 3m de profondeur, autant de diamètre au fond, et 3m,30 de diamètre au niveau du sol ; cette fosse est battue aussi fortement que possible à l'intérieur. L'air nécessaire à la combustion arrive des huit cuvettes *d*, par les séries de tuyaux *e*, *b*, *c*, à la partie inférieure de la fosse. Ces tuyaux ou évents sont en terre cuite et ont 5 à 6 centimètres de diamètre ; on peut faire varier la quantité d'air qui les traverse, en diminuant et même bouchant leurs ouvertures. Une couronne de briques forme le bord supérieur du fourneau et sert à en supporter le chapeau ; ce dernier *h* (fig. 367) est mobile, fort bombé, et formé de plaques de tôle, consolidées par un cercle de fer plat et par des bandes mises de champ qui maintiennent la surface supérieure ; au milieu du couvercle, il y a un trou, de 0m,25 de diamètre, garni d'un collet et fermé par un bouchon en fer ; quatre ouvertures semblables, mais de 0m,10 de diamètre seulement, sont percées à 0m,30 du bord du couvercle ; ce dernier se manœuvre très aisément au moyen de deux leviers en fer et de quelques rouleaux en bois de 4m de longueur ; à 0m,25 au-dessous du sol, est pratiqué un trou rempli par un tuyau de terre cuite *i*, de 0m,25 de diamètre, qui conduit les fumées qui se dégagent pendant la carbonisation, dans une caisse en briques *k*, fermée à sa partie supérieure par une plaque mobile en tôle. Une partie du goudron et un peu d'acide pyroligneux se condensent dans cette caisse et peuvent en être soutirés par un robinet placé à la partie inférieure ; les produits non condensés se rendent ensuite par le tuyau *l*, dans une série de vases de condensation disposés comme nous l'avons décrit au mot *acide* ACÉTIQUE (*vinaigre de bois*).

367. 368.



369. 370.



Après avoir fait sécher le fourneau en y faisant un

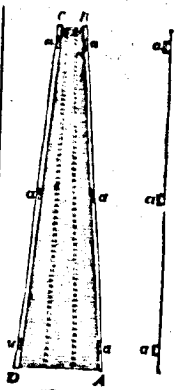
EFERUS - Recherche & Classification numérique

feu de broussailles, on y empile le bois par couches horizontales, en ménageant au centre une cheminée verticale et à la partie inférieure, des canaux horizontaux qui vont des évents à la cheminée centrale. Le fourneau étant entièrement rempli de bois, on place au-dessus le couvercle k que l'on recouvre de 5 à 10 centimètres de terre et de gazon ; on ouvre tous les soupiraux *m*, ainsi que les évents *e*, et l'on allume le bois en jetant dans la cheminée centrale du charbon enflammé ; on bouche alors l'orifice central *m* du chapeau. On laisse l'embrasement se propager ainsi pendant quelque temps, et on ne bouche les autres soupiraux *m*, que lorsqu'il commence à se dégager de l'acide pyroligneux. On dirige ensuite l'opération, suivant la nature des fumées qui se dégagent, en ouvrant plus ou moins les évents.

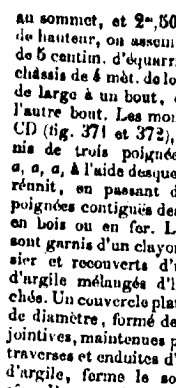
L'opération doit durer de soixante à quatre-vingts heures pour obtenir un charbon de bonne qualité. Au moyen d'une sonde que l'on introduit par les soupiraux, on peut connaître l'état de la carbonisation, soit en retirant des morceaux de bois carbonisé, soit en examinant si le tassement est égal dans toutes les parties du fourneau ; s'il ne l'est pas, on ouvre l'évent du côté où ce tassement est le moins considérable et le soupirail opposé, et bientôt l'équilibre se rétablit. Lorsque l'opération est terminée, on trouve que le bois s'est affaissé d'environ moitié de sa hauteur, non que l'épaisseur de chaque morceau de bois diminue de moitié, mais parce que tous les vides se remplissent. Quand on est assuré que la carbonisation est complète, soit par le sondage, soit par la nature et la couleur du peu de fumées qui se dégagent encore, on ouvre tous les soupiraux et évents, à l'exception de l'ouverture centrale du chapeau afin d'expulser les dernières matières volatiles qui donneraient au charbon une teinte rougeâtre, laquelle pourrait nuire à la vente. Enfin, lorsqu'on voit à travers les soupiraux la surface du tas de charbon devenir incandescente, on bouche hermétiquement et avec beaucoup de soin toutes les ouvertures du fourneau, et on laisse refroidir pendant trois ou quatre jours. Au bout de ce temps on enlève le chapeau, et on fait descendre dans le fourneau un ouvrier qui enlève à la main, et sans le briser, tout le charbon en morceaux, et ramasse ensuite avec une pelle le peu de menu charbon et de poussier qui peuvent rester au fond.

Quand le fourneau est vidé, on le recharge et on s'occupe à en vider un autre. Cinq ouvriers ont constamment suffi pour le travail des huit fourneaux dont se compose l'établissement de M. de La Chabeaussière. Le produit de ces huit fourneaux est, pour 5,000 stères de bois de chêne, pesant 12,500 quintaux métriques, carbonisés annuellement, de 16,000 hectolitres de charbon de bois, pesant 2,500 quintaux métriques, soit 20 p. 100 en poids, et de 1,000 pièces d'acide pyroligneux, pesant 2,235 quintaux métriques, ou de 19 à 20 p. 100 en poids ; cet acide rectifié a produit par pièce 13 à 14 kilogr. d'acide acétique incolore à 8° B., ou bien 19 kilogr. d'acétate de plomb cristallisé, très blanc. Les frais de construction de chaque fourneau sont d'environ 450 fr., dont 400 pour le chapeau seulement. En cas de déplacement, il n'y a de perte réelle que celle des fourneaux, dont l'entretien est presque nul, les ouvriers les réparant eux-mêmes au fur et à mesure qu'il en est besoin. On n'a point fait entrer dans cette évaluation la dépense de l'appareil de condensation pour l'acide pyroligneux, qui, une fois construit, est aisément transportable et d'une durée presque indéfinie.

Le procédé de M. *Foucault* consiste à recouvrir une meule de carbonisation ordinaire d'une seconde enveloppe ou *abri* facilement transportable, et qui permette de recueillir, dans des condenseurs appropriés, les produits accessoires de la carbonisation. Les fig. 371 à 374 donnent les détails de cet appareil. Pour former un abri de 10 mèt. de diamètre à la base, de 3m,30 de diamètre

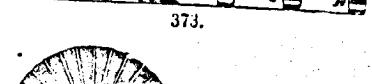


371.



372.

au sommet, et 2m,50 à 3 mèt. de hauteur, on assemble en bois de 5 centim. d'équarrissage, des châssis de 4 mèt. de long, 1 mèt. de large à un bout, et 0m,33 à l'autre bout. Les montants AB, CD (fig. 371 et 372), sont munis de trois poignées en bois *a*, *a*, *a*, à l'aide desquelles on les réunit, en passant dans deux poignées contiguës des chevilles en bois ou en fer. Les châssis sont garnis d'un clayonnage d'osier et recouverts d'un enduit d'argile mélangés d'herbe hachés. Un couvercle plat de 3m,30 de diamètre, formé de planches jointives, maintenues par quatre traverses et enduites d'un corroi d'argile, ferme le sommet du cône. Il est muni de deux trappes M, N, que l'on ouvre au commencement de l'opération pour donner issue à la vapeur d'eau qui se dégage, et que l'on ferme ensuite aussitôt qu'il commence à distiller de l'acide pyroligneux. Une troisième ouverture triangulaire P, pratiquée sur le même couvercle, reçoit un conduit RRS, formé de trois plan-

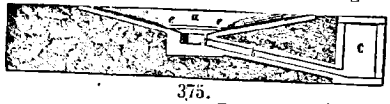


373.

374.

ches cerclées et lutées, qui amènent les produits de la distillation dans la série des tonnes de condensation F, G, H. Enfin une porte T, que l'on ouvre et ferme à volonté, permet au charbonnier de visiter son feu et de le régler.

Le procédé dit *per descensum* est employé dans les Landes, en Pologne et en Russie, pour la carbonisation des bois résineux, et ne diffère des procédés de carbonisation en forêts qu'en ce que le goudron et le brai, qui se liquéfient à la partie inférieure du tas, peuvent s'écouler et se rassembler dans une cavité pratiquée à cet effet à la base du tas qui repose sur un bâti en maçonnerie qui offre une section représentée fig. 375.



375.

a est le bâti en maçonnerie sur lequel on établit le tas de carbonisation ; *b*, la gouttière voûtée qui conduit le goudron dans le réservoir *c*, recouvert par des dalles en pierre ou en fonte *d* ; *e*, *e*, sont des dalles de même nature, assez espacées pour laisser passer le goudron, et qui servent à retenir les charbons.

Dans la plupart des cas, la difficulté et le prix élevé des transports doit faire et fait effectivement préférer aux divers procédés que nous venons de décrire, et qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exigent des constructions fixes et assez coûteuses, les procédés de carbonisation sur place, sans constructions spéciales, dans lesquels on perd tous les produits de la distillation du bois, mais qui permettent de remplacer le transport du bois par celui du charbon qui en provient, et qui n'en pèse que les 15 à 25 centièmes.

Avant d'entrer dans la description des méthodes de carbonisation en forêts, nous croyons convenable de dire quelques mots sur l'achat des bois, leur abattage, et la préparation des places de carbonisation.

Les coupes de bois s'estiment sur pied, en prenant séparément et successivement chaque arbre, chaque portion de taillis, et estimant à vue d'œil combien ils peuvent produire de bois de charbonnette, de bois de construction, de fagots, etc., on se sert aussi à cet effet de tables indiquant les moyennes des résultats donnés par les diverses essences de bois suivant leur circonférence ou leur diamètre au pied. On doit aussi avoir égard aux difficultés de l'exploitation, aux débouchés réservés pour les charrois dans la coupe et hors de la coupe, à la nature du sol de celle-ci, à celle des essences de bois dominantes, à la quantité d'arbres réservés par l'administration et aux soins à prendre pour les conserver, à la proportion dans laquelle se trouve le gros bois par rapport au taillis, etc. C'est d'après ces estimations, et la concurrence des adjudications, que se vend la coupe de bois à l'hectare et sur place. Le prix de la corde de bois (2 stères) est moyennement en France de 6 à 7 fr.; il est plus élevé en Champagne, où il y a beaucoup d'usines à fer qui se font une concurrence redoutable.

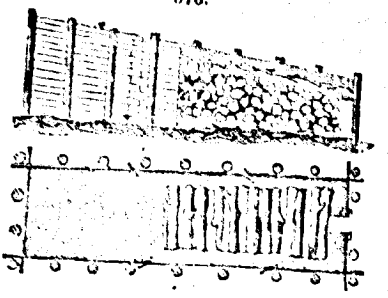
La coupe achetée, on abat le bois à la hache, quelquefois à la scie; on le débite à la scie en bûches ou billes depuis 0m,66 de long, pour la carbonisation en meules, jusqu'à 2m,50 pour la carbonisation en tas allongés, et on l'empile par cordes de 2 stères. On paye aux coupeurs de 0f,75 à 1 fr. par corde, et 0f,20 à 0f,30 aux empileurs. Tantôt on carbonise immédiatement le bois vert, tantôt on le laisse sécher à l'air pendant un certain temps, ce qui augmente l'intérêt du capital, mais ce qui est préférable sous le rapport de la quantité et de la qualité du produit obtenu.

Le choix de la place de carbonisation est une opération très délicate. On recherche autant que possible un emplacement où le charroi des cordes soit facile, où le chargement des charbons soit commode, où on ait l'eau à proximité pour les différents besoins de la carbonisation, qui enfin soit surtout à l'abri des courants d'air, sans aucune humidité et dont le sol soit sec sans être ni trop compacte, ni trop léger. Il est assez rare de trouver toutes ces conditions réunies à la fois, et c'est à l'ouvrier habile à utiliser les ressources qui lui sont données. Si le sol de la place que l'on a choisie est formé de terres légères, la combustion est souvent imparfaite, parce que l'air pénètre par la base et vient gêner le charbonnier dans la conduite de son fourneau. Si, au contraire, le sol est argileux et trop serré, il est susceptible de se durcir par la chaleur, et le goudron et les parties liquides dégagées par la distillation du bois, qui gagnent la partie inférieure du tas, y restent faute d'issue pour s'échapper, éteignent le feu surtout si l'on carbonise des bois résineux, et dans tous les cas produisent une grande quantité de *fumerons*. Il est toujours possible de remédier à ces deux inconvénients, en composant un sol artificiel convenable avec des branchages recouverts de plusieurs couches de terre grasse ou de terre légère suivant les circonstances. La couche supérieure, qui forme la *fauide* ou l'*aire de carbonisation*, se compose ordinairement d'un mélange de terre et de *fraisil*, poussier de charbon mélangé de terres calcinées qui provient des débris du charbon résultant du transport et de la mise en balle.

La méthode de carbonisation en tas rectangulaires, ou *ancienne méthode des forêts*, est surtout employée pour les bois résineux et dans les pays de montagnes, où il est difficile de trouver des abris convenables. Elle donne ordinairement un peu moins de charbon que la carbonisation en meules, mais l'opération est plus facile à conduire, et il est plus aisé d'abriter les tas qui n'ont d'évents que sur deux de leurs faces latérales, que les meules qui en ont sur tout leur pourtour.

Ces tas de forme rectangulaire, comme on le voit en plan fig. 377 et en coupe fig. 376, se placent ordinai-

376.



377.

rement sur une aire légèrement inclinée; leur largeur varie entre 2 et 3 mètres, et leur longueur est au maximum de 12 à 13 mètres. Des pieux sont enfoncés verticalement en terre, tout à l'entour de l'aire, à 0m,50 environ de distance des bûches de bois. Des planches adossées contre ces pieux servent à maintenir la couverte de fraisil qui enveloppe latéralement les faces verticales du tas. L'élévation de ce dernier va en croissant depuis la partie antérieure, où elle n'est que de 0m,60, jusqu'à l'extrémité postérieure où elle est de 5 mètres, quand le tas a sa longueur maximum de 12 à 13 mètres, de telle sorte que sa face supérieure soit un plan incliné à l'horizon de 15 à 20°, qui est également recouvert de fraisil, ou bien de terre et de gazon; on soutient le tas à sa partie postérieure, qu'on appelle la tête, par des étançons en bois. Les bûches de bois sont ordinairement placées transversalement à la longueur du tas, les plus grosses à la partie inférieure; cependant on les dispose quelquefois dans le sens même de la longueur. Le bois étant placé de manière à laisser le moins de vides possible, on applique la couche de fraisil humide qui, battu fortement, forme la couverture, et on la soutient sur les côtés par des planches retenues par les deux rangées de pieux; on les arrose pendant l'opération pour les empêcher de s'enflammer.

Le tas s'allume en plaçant des charbons enflammés avec un peu de petit bois à la partie antérieure, entre les bûches de la rangée inférieure. Aussitôt qu'on voit sortir la fumée à travers la couverte, on ferme le trou qui avait servi à allumer, et on perce dans la couverte, toujours vers le commencement du tas, trois ou quatre trous de 2 à 3 centimètres de diamètre qui servent à établir le tirage. On les laisse ouverts jusqu'à ce que la fumée noire et épaisse, qui se dégage d'abord, ait fait place à une fumée légère d'une teinte bleuâtre; on bouche alors ces trous, puis on en ouvre d'autres un peu plus loin, tant sur les côtés du tas que sur le dessus, et on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait atteint la tête du tas.

On commence à retirer des charbons lorsque la carbonisation s'étend déjà à 2 ou 3 mètres de distance, et on a déjà défait la moitié du tas lorsque la tête se trouve en pleine carbonisation. On a soin d'arroser la couverte, pendant l'opération, pour l'empêcher de trop s'échauffer, et on refroidit les charbons retirés avec de l'eau.

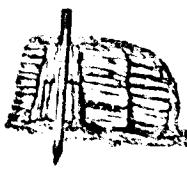
EFERUS - Recherche & Classification numérique

CARBONISATION.

On obtient moyennement, par ce procédé, de 1 stère de bois de sapin : 0$^{m.c.}$,778 de gros charbons et 0$^{m.c.}$,027 de petits charbons,

en tout 0$^{m.c.}$,795 de charbon pesant 84^{k}.

Dans le procédé de carbonisation en meules, qui constitue la *nouvelle méthode des forêts*, l'aire de carbonisation ou *fauldo* étant choisie et préparée, comme nous l'avons indiqué plus haut, les dresseurs y placent le bois, soit debout en superposant deux ou trois couches (fig. 378 et 379), soit en dressant d'abord au tour de l'axe central une petite meule en bois debout, autour de laquelle ils disposent les bûches par couches horizontales (fig. 380) en les plaçant suivant les rayons



380.



378.



379.

dirigés vers le centre. Il est essentiel de serrer le bois autant que possible, et de remplir les vides restés entre les bûches avec du petit bois ; on a également soin de placer les bois durs au centre du fourneau, et les bois tendres en dehors, aussi bien qu'à la partie supérieure de la meule où la carbonisation ne dure que peu de temps et la chaleur est moins élevée. On recouvre ensuite la meule d'une couche de 0^{m},08 à 0^{m},10 de ramilles, feuillages, mousse ou autres menus végétaux des forêts, par-dessus laquelle on place une couverte de 0^{m},05 à 0^{m},06 formée de terre mélangée de sable et d'argile, assez grasse pour adhérer à la première, mais cependant pas assez forte pour se crevasser par l'action de la chaleur. On ménage dans le dressage de la meule et sur toute sa hauteur une cheminée centrale de 0^{m},25 environ de diamètre qui sert à l'allumage, ainsi que sur tout son pourtour et à la base, des évents d'admission espacés d'environ 0^{m}.60, qui restent ouverts pendant toute la durée de la carbonisation.

Le dressage terminé, on procède à la mise en feu en jetant dans la cheminée du charbon enflammé et du menu bois. La cheminée reste ouverte pendant un certain temps, afin que tout le centre du tas puisse entrer en ignition. Cette combustion produit un vide que le charbonnier doit avoir grand soin de combler en faisant tomber le charbon déjà formé, au moyen d'une longue perche, et en remplissant constamment la cheminée avec du bois. Quand la combustion est suffisamment active à l'intérieur, on bouche la cheminée ; puis, après quelque temps, on commence à percer dans la couverture, à partir du sommet, des évents qui donnent issue aux produits de la carbonisation. La couleur et l'abondance de la fumée qui se dégagent permettent de juger de l'avancement de l'opération dans cette partie de la meule. Quand cette fumée devient d'un bleu clair, presque transparente et fort peu abondante, l'ouvrier sait que la carbonisation est achevée dans cette zône, et il perce de nouveaux évents dans un plan horizontal à 0^{m},20 ou 0^{m},30 au-dessous du niveau des précédents qui se ferment spontanément. On continue ainsi jusqu'à ce que les évents de *dégagement* soient arrivés près des évents d'*admission* de l'air percés à la base de la meule. On ferme alors tous les orifices, puis on recouvre la meule d'une couche de terre humide, que l'on arrose au besoin, et on laisse refroidir pendant vingt-quatre heures. Au bout de ce temps, on enlève la couverture et on retire les charbons que l'on étend sur le sol en lits minces. L'habileté du charbonnier consiste à régler les évents de manière à obtenir un affaissement bien régulier de la meule. Il la garantit des coups de vents ou de forts courants d'air au moyen d'abris ou de paillassons convenablement disposés.

Le diamètre ordinaire des meules de carbonisation est à la base de 4 à 6 mètres ; ces meules contiennent de 40 à 50 stères de bois. Cependant, dans certaines forêts, on carbonise le bois par meules de 12 à 14 mètres de diamètre, renfermant de 100 à 150 stères. Théoriquement, il est certain que des meules de 100 à 150 stères doivent donner un produit plus considérable en charbon que de petites meules de 40 à 50 stères ; on doit éprouver aussi une diminution notable dans les frais de main d'œuvre ; mais, d'un autre côté, la conduite de l'opération présente beaucoup plus de difficultés, et si le charbonnier n'apporte pas tous ses soins et la plus active surveillance à la carbonisation, ou s'il règne des vents violents, on obtient souvent une qualité de charbon inférieure, et même un rendement moins considérable qu'avec de petites meules.

La carbonisation d'une meule de 150 stères, y compris l'étouffage, dure moyennement douze jours pour les bois verts et tendres, et va jusqu'à seize ou dix-huit jours pour les bois verts et durs. La préparation de la faulde et le dressage des meules se paye à raison de 0^{f},30 à 0^{f},35 par corde de 2 stères de bois à carboniser. Le charbonnier est également payé à prix fait à tant par mètre cube de charbon obtenu.

Le charbon bien cuit se reconnaît à ce qu'il est dur, compacte, sonore, et à sa cassure brillante. Lorsqu'il est trop cuit, il est tendre, friable, nullement sonore, et absorbe facilement l'humidité. Enfin le charbon qui n'est pas assez cuit, ou *fumeron*, a une couleur terne, casse difficilement et brûle avec une flamme blanche en répandant de la fumée ; il vaut mieux cependant l'obtenir ainsi que trop cuit.

Les belles recherches de M. Ebelmen, sur les phénomènes qui se passent dans les diverses méthodes de carbonisation par combustion incomplète, publiées dans les Annales des Mines (1843), un des beaux travaux de cet ingénieur distingué qui a si bien analysé les phénomènes chimiques de la combustion, nous permettront de donner une théorie complète de cette opération, et par suite d'apprécier la valeur des nombreuses modifications proposées au procédé de la carbonisation en meules, dans le but d'obtenir, soit un plus fort rendement en charbon, soit un combustible moins torréfié analogue au *charbon roux*.

En comparant la composition des gaz qui se dégagent des évents pratiqués à la surface des meules de carbonisation, avec celle des gaz produits dans la carbonisation du bois en vase clos, M. Ebelmen a reconnu que :

1° L'oxygène de l'air, qui pénètre dans la meule par les évents d'admission, se change complétement en acide carbonique sans mélange d'oxyde de carbone.

2° L'oxygène de l'air se porte en entier sur le charbon déjà formé, et son action est nulle sur les produits de la distillation du bois, en sorte que celle-ci s'opère de la même manière qu'en vase clos.

Nous avons vu qu'on allumait la meule par le centre et que l'on conduisait l'opération du sommet à la base du cône. La carbonisation s'opère de haut en bas et du centre à la circonférence. L'expérience faite en démolissant une meule en partie carbonisée a montré que la surface de séparation entre le charbon formé et le bois non carbonisé est celle d'un tronc de cône renversé, ayant le même axe et la même hauteur que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

meule, et dont l'angle va constamment en augmentant à mesure que la carbonisation avance. Pour concevoir que l'oxygène de l'air se change seulement en acide carbonique, il faut nécessairement admettre que l'air ne traverse pas une épaisseur un peu considérable de charbon incandescent, et qu'ainsi sa combustion s'opère constamment à la surface de séparation entre le charbon produit et le bois non carbonisé. Le refroidissement dû à l'absorption de chaleur latente, produite par la distillation du bois, s'oppose à ce que l'acide carbonique, premier produit de la combustion, puisse se changer en oxyde de carbone, car on sait que cette transformation a besoin, pour s'effectuer, d'une température élevée. Les produits de la distillation du bois renfermant une proportion considérable de gaz peu ou point combustible, dont le calorique spécifique est trop fort pour qu'ils puissent facilement s'enflammer, on conçoit aisément que, dans la carbonisation en meules, l'oxygène de l'air se porte sur le charbon déjà formé plutôt que sur les produits de la distillation.

Il est facile du reste de concevoir comment l'air doit constamment circuler entre le charbon déjà formé et le bois non carbonisé. Cette surface de séparation correspond évidemment au maximum de vide qui existe dans la meule. Le tassement qui s'opère pendant la carbonisation est dû à l'affaissement et à la rupture du charbon qui, une fois formé n'est plus assez résistant pour supporter le poids de la partie supérieure de la meule. D'un autre côté, le bois en se carbonisant éprouve une forte contraction. On conçoit donc qu'il y ait une grande solution de continuité entre le charbon et le bois incomplétement carbonisé, mais encore assez résistant pour ne pas se briser, et que le tirage s'établisse le long de cette séparation. Nous avons vu que les évents de dégagement cessent de donner du gaz, quand la carbonisation est achevée dans la partie de la meule qui leur correspond, sans que le charbonnier soit obligé de les boucher, ce qui prouve bien que le charbon une fois formé et ayant pris son tassement n'est plus que très faiblement perméable aux gaz.

Il est clair, d'après ce qui précède, que si dans la carbonisation du bois, l'on parvenait à produire la chaleur et l'acide carbonique au moyen de combustibles ayant peu de valeur, comme du menu bois ou du menu charbon, on réaliserait ainsi une économie importante. Le procédé de M. Marcus Bull qui consiste à remplir les vides laissés dans le dressage des meules par du menu charbon ou du fraisil, est fondé sur le principe théorique que nous venons d'énoncer. Ce procédé du reste est employé avec succès depuis 1827, à l'usine d'Élend, dans la fabrication courante du charbon de bois et donne un rendement notablement plus considérable.

Tout ce que nous venons de dire de la méthode ordinaire de carbonisation en meules circulaires, s'applique également aux autres méthodes de carbonisation en tas où l'on sacrifie une partie du combustible pour distiller l'autre. Il faut toujours que l'air destiné à la combustion entre constamment dans le tas, à la séparation entre le charbon formé et le bois carbonisé, pour éviter que son oxygène ne passe en partie à l'état d'oxyde de carbone, ce qui produirait une perte sur le charbon obtenu, il est donc nécessaire d'empêcher qu'il ne reste des vides au centre de la meule. On a évité cet inconvénient par la méthode *Brune*, actuellement suivie, à peu de différences près, à l'usine d'Audincourt. Ce procédé consiste à supprimer le vide formé par la cheminée centrale, et à déterminer l'inflammation du cœur de la meule au moyen d'une plaque de tôle chauffée par dessous. On pratique au centre de la faulde un vide conique ou chaudière, qui a 1m,33 de diamètre à sa base supérieure, 0m,50 à sa partie inférieure et 0m,50 de profondeur. Les parois en sont formées par des briques. Trois conduits en briques, de 0m,12 de côté partent du fond de cette chaudière et viennent déboucher à l'air libre, en dehors de l'espace réservé pour la meule. La chaudière est remplie de menu bois et de fumerons, puis recouverte d'une plaque de tôle. On dresse la meule sur une base de 9m de diamètre, avec du bois scié en bouts de 0m,67 de largeur, et sur trois étages. Dans toute la partie qui correspond à la projection de la chaudière, on met sur le premier étage de bois une couche épaisse de terre et de fraisil, puis on dispose la meule comme à l'ordinaire en ayant soin que les vides laissés entre les bûches soient aussi petits que possible et que chaque bûche se trouve toujours dans un plan diamétral passant par l'axe de la meule. On met le feu au combustible contenu dans la chaudière. On découvre la partie supérieure de la meule et on ouvre les trous du pied. Le fraisil placé sur le premier étage sert à élargir l'espace dans lequel la combustion commence, pour se répandre ensuite dans toute la masse du bois. Quand la meule est bien en feu, on ferme les trois ouvreaux communiquant avec la chaudière, on couvre la meule et on conduit l'opération comme à l'ordinaire en perçant les évents à partir du haut. L'opération dure quatre à cinq jours et s'exécute sur 28 à 35 stères de bois. On a reconnu qu'il y a avantage à opérer sur ce volume de bois, au lieu de 450 à 480 stères qui composaient les anciennes meules d'Audincourt, et dont la carbonisation durait douze à quinze jours. Le bois était alors scié en bouts de 1m,33 de longueur.

Voici, d'après M. Ébelmen, les résultats obtenus à Audincourt dans la carbonisation faite par les trois procédés suivants, du 1er juillet au 20 octobre 1841. Le bois peut être considéré comme composé de 3/4 d'essences dures et de 1/4 d'essences tendres.

1° Ancienne méthode; meules de 450 à 480 stères. Bois scié en bouts de 1m,33 de longueur;

2° Même méthode; aire plane. Meules de 28 à 35 stères. Bois scié en bouts de 1m,67 de longueur;

3° Emploi de la chaudière en briques. Meules de 28 à 35 stères. Bois scié en bouts de 0m,67 de longueur.

Il y a, comme on le voit, un avantage considérable à employer les modifications que nous venons d'indiquer dans le travail de la carbonisation; aussi depuis 1842, ne carbonise-t-on plus à Audincourt que par le procédé des places à *chaudière*, mais on a reconnu qu'on pouvait sans inconvénient porter à 50 ou 60 stères le volume du bois à carboniser dans une opération.

L'avantage des petites meules sur les grandes consiste

INDICATION des PROCÉDÉS.	NOMBRE de stères de chaque meule	NOMBRE de meules.	STÈRES de bois consommés.	PRODUIT en hectolitres.		STÈRES DE BOIS consommés, par 100 hectol. de charbon et de braise obtenus.	PRODUIT en charbon et braise, pour 100 de bois.
				Charbon	Braise.		
1° Ancienne méthode.	450 à 480	39	6,686 3/4	23,856	570	27,38	36,52
2° Places simples. . .	28 à 35	20	669	2,555	90	25,29	39,55
3° Places à chaudière.	28 à 35	41	4,303	5,508	490	22,86	43,73

EFERUS - Recherche & Classification numérique

surtout, comme nous l'avons déjà fait remarquer, toutes choses égales d'ailleurs, dans la plus grande facilité qu'a l'ouvrier de surveiller et de conduire son fourneau. L'emploi des places à chaudière au lieu des places simples, permet d'éviter le remplissage qui doit avoir lieu à plusieurs reprises par la cheminée de la meule, pendant la première partie de l'opération. Néanmoins, il est douteux que le procédé des places à chaudière puisse être suivi en forêt, où le lieu de la carbonisation se déplace continuellement, et où, par conséquent, l'établissement d'une chaudière en briques et des conduits souterrains qui y aboutissent serait un embarras pour le charbonnier. Il paraît en outre que, dans les terres très humides, comme celles où l'argile prédomine, il est difficile d'allumer convenablement la meule au moyen du feu qu'on fait dans la chaudière.

Du charbon roux ou bois torréfié. Depuis peu d'années on emploie avec assez de succès, sous le rapport de l'économie, en combustible et en argent, dans quelques hauts-fourneaux du département des Ardennes, au lieu de charbon de bois du bois torréfié. La torréfaction s'opérait d'abord dans des vases clos chauffés extérieurement par les flammes perdues du gueulard; tel était le principe du brevet de M. *Houzeau-Muiron*, expérimenté avec quelques succès au fourneau des Bièvres. Nous avons du reste constaté qu'en Bohême on desséchait et même on torréfiait légèrement le bois, dès 1845, dans des vases clos chauffés à flamme perdue, avant de l'employer dans les verreries du pays.

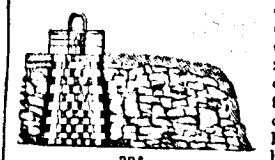
En raison de la manière dont la combustion s'opère dans l'intérieur des tas, on ne peut guère admettre, comme plusieurs personnes l'ont avancé, qu'on puisse jamais arriver à fabriquer du bois torréfié ou charbon roux, par un procédé analogue à celui de la carbonisation en meules.

Parmi tous les procédés inventés dans ces dernières années pour pratiquer dans les forêts la torréfaction du bois, celui qui donne les meilleurs résultats est le procédé de M. *Echrment*, décrit par M. Sauvage (Annales des Mines, 3me série, tome XVIII), et qui consiste à projeter au milieu de la masse du bois à torréfier les produits de la combustion de menu bois et de branchages, opérée dans un foyer en dehors de la meule au moyen d'un courant d'air forcé. M. Sauvage a calculé que la quantité d'air projeté par le ventilateur employé était cinq fois plus considérable que celle nécessaire pour la combustion du bois; les produits de cette combustion, renfermant un grand excès d'air, suivent un long canal sur lequel le bois est empilé en forme de voûte, et s'échappent ensuite de toute la surface de la meule, recouverte comme à l'ordinaire par une couche de terre et de fraisil. On cherche ici à éviter l'inflammation du bois contenu dans la meule. Il faut pour cela que le courant de gaz et d'air non brûlé qui la traverse, n'ait pas une température trop élevée. C'est le résultat auquel on arrive en augmentant beaucoup la masse d'air par rapport aux produits de la combustion. Il est évident que plus leur température sera basse, plus leur masse sera considérable, et plus il y aura d'homogénéité dans la nature du combustible obtenu. Mais on conçoit qu'on ne pourra pas atteindre ce résultat d'une manière absolue, et que le bois placé près du conduit sera toujours à un état plus avancé d'altération que dans la partie supérieure et surtout à la base de la meule.

II. — CARBONISATION DE LA HOUILLE (*angl.* cocking of pitcoal, *all.* verkokung der steinkohlen). Le coke étant beaucoup moins combustible que le charbon de bois, la carbonisation de la houille se fait beaucoup plus facilement et exige beaucoup moins de soins que la carbonisation du bois. Les méthodes employées à cet effet varient suivant que la houille est grasse ou sèche, en gros morceaux ou menue, et s'exécutent soit en plein air, soit dans des fours.

Les houilles sèches en morceaux sont ordinairement carbonisées en meules hémisphériques ou en tas prismatiques allongés. Ces deux procédés sont surtout suivis en Angleterre, et nous en emprunterons la description suivante à l'excellent ouvrage de MM. Dufrenoy et Elie de Beaumont (Voyage métallurgique en Angleterre).

Méthode du Staffordshire. Le procédé le plus généralement suivi dans le staffordshire consiste à élever, au milieu d'une aire, une petite cheminée en briques, un peu conique et ayant un grand nombre de jours. Les briques sont placées de champ; les jours sont plus grands au bas qu'à la partie supérieure. Cette cheminée (fig. 381) a environ 1m,40 de hauteur, et est surmontée d'une petite cheminée en tôle ou en fonte de 0m,30 de hauteur, munie d'un registre qui sert à régler le tirage. La houille est disposée en tas circulaires, à peu près semblables à nos meules de carbonisation pour le bois, mais moins élevés; on place les plus gros morceaux autour de la cheminée, pour former la base du tas; ensuite on ne fait pour ainsi dire que jeter le charbon, de manière à former une meule un peu plus haute que la cheminée de brique. Pour empêcher que la combustion ne soit trop rapide, on recouvre le tout de menue houille ou de menu coke, à l'exception de la partie inférieure, sur une hauteur d'environ 0m,30. On met le feu par la cheminée. A une certaine période de l'opération, on achève de couvrir le tas avec de la houille menue, et on y ménage des ouvertures, qu'on bouche et qu'on débouche à volonté, de manière à ralentir ou à accélérer l'opération. Lorsque la carbonisation est achevée, on éteint le coke avec de l'eau, qu'on verse en assez grande abondance par les trous pratiqués dans la partie supérieure des meules; cette addition d'eau désulfure en partie le coke, dans lequel le soufre paraît être en grande partie à l'état de sulfure de calcium, qui se décompose par le contact de l'eau en donnant lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré très sensible à l'odorat. Les dimensions des tas de carbonisation varient un peu, le plus souvent ils ont 4 à 5 mètres de diamètre, et contiennent à peu près 120 mètres de houille. La carbonisation proprement dite dure environ 3 jours et le refroidissement 4 jours, en tout 7 jours. On obtient de 50 à 60 p. 100 en poids de coke.



381

Méthode du sud du pays de Galles. Dans le sud du pays de Galles, on carbonise la houille en tas rectangulaires (fig. 382) de 0m,75 à 1m,00 de hauteur, de 4m,60 à 2 m. de largeur, et d'une très grande longueur qui atteint souvent 40 et 50 mètres. Les gros morceaux de houille sont placés au milieu du tas; on recouvre avec de la houille menue. Le feu est quelquefois allumé en divers points du tas; le plus souvent on le met seulement à une extrémité. A mesure que les tas deviennent complétement en feu, on achève de les couvrir avec du poussier et des cendres provenant des opérations précédentes, afin que le coke ne continue pas à brûler, par le contact de l'air; enfin on achève de l'éteindre avec de l'eau comme dans le Staffordshire.



382.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On suit dans le Yorkshire un procédé analogue à celui du pays de Galles, et qui n'en diffère qu'en ce que l'on ménage de distance en distance, environ de 2 en 2 mètres, au milieu des tas, des cheminées verticales, bâties avec les gros morceaux de houille; c'est par ces cheminées que l'on met le feu dans toute la longueur du tas.

Méthode du bassin de la Loire. Cette méthode est surtout pratiquée par des ouvriers marchands de coke, qui se placent temporairement près des divers puits des mines dont les menus ne trouvent pas d'écoulement suffisant. Elle ne s'emploie que pour les houilles grasses et menues. On peut évaluer à 170,000^{mc} la quantité de coke fabriqué annuellement par ce procédé dans le seul arrondissement de Saint-Étienne.

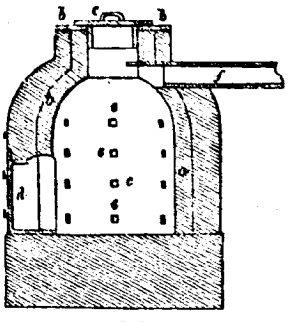
Les tas de carbonisation reçoivent une forme prismatique, à peu près comme celle des piles à boulets, si ce n'est qu'ils sont tronqués au sommet. Ils ont 15 à 20 mètres de long, et même davantage si les localités le permettent; 4 mètre de hauteur; 2^m,50 de largeur à la base inférieure, et 1^m,75 à la partie supérieure. Pour les construire, on commence par poser sur le sol le panneau en bois qui doit former une des extrémités du tas, en l'inclinant à 70° environ pour que la houille se maintienne d'elle-même lorsque l'on ôte l'entourage, et le fixant dans cette position au moyen de deux leviers en fer, que l'on enfonce en terre intérieurement. On place ensuite latéralement, en les reliant au précédent et entre eux par des crochets en fer, les panneaux qui doivent garnir les longs côtés du tas, en les soutenant de même, de distance en distance, par des leviers en fer. Lorsqu'on a construit ainsi des côtés de 3 à 4 mètres de longueur, on ferme le prisme par un panneau semblable au premier que l'on a posé; mais ce dernier panneau n'est que provisoire, on l'ôte dès que la première portion du prisme est remplie de houille, et l'on allonge de nouveau les côtés de 3 à 4 mètres.

Pour pratiquer des canaux dans l'intérieur, on a percé dans les panneaux en planches trois rangs de trous, servant à introduire autant de pieux en bois légèrement coniques. Le troisième rang correspond au premier, et les trous du second rang sont placés au milieu des intervalles qui séparent ceux des autres rangs. Le panneau qui termine l'extrémité du tas est percé de quatre trous, dont deux dans la seconde rangée; le panneau provisoire placé à l'autre bout, n'en a qu'un pratiqué au milieu de sa base inférieure; c'est par là qu'on introduit un pieu légèrement conique, parallèle aux longs côtés du tas et qui doit avoir un peu plus de 3 ou 4 mètres; il est terminé, comme tous les autres, par un anneau en fer qui sert à le retirer. Ce premier pieu étant placé, on passe par les trous des panneaux latéraux d'autres pieux qui viennent s'y appliquer perpendiculairement et de chaque côté; on place aux points de réunion de ces pieux horizontaux d'autres pieux verticaux, que l'on assujettit convenablement, et on tasse fortement dans l'intérieur, jusqu'au niveau inférieur de la seconde rangée de trous, de la houille menue préalablement humectée avec de l'eau. On introduit alors par le second rang de trous une nouvelle série de piquets horizontaux, qui, d'après la position des trous, vont rejoindre obliquement les pieux verticaux, puis on continue le remplissage. La troisième rangée de piquets est directe comme la première. La cavité prismatique étant remplie de houille bien tassée, on désassemble le tout, après avoir retiré tous les piquets avec un levier en fer que l'on passe dans leurs anneaux. A mesure que l'on défait une des extrémités, on allonge l'autre d'autant, et l'on forme ainsi une seconde enceinte égale à la première. On continue de la même manière tant que la localité le permet.

La distance des centres des ouvreaux d'un même étage ainsi ménagés dans l'intérieur des tas, est de 0^m,33; ces ouvreaux ont 0^m,10 à 0^m,12 de diamètre, à l'exception des cheminées maîtresses placées à 1 mètre d'intervalle et ayant de 0^m,18 à 0^m,20 de diamètre, dans lesquelles on jette quelques morceaux de houille embrasée pour allumer le tas. On a soin de damer la houille seulement dans le voisinage des trous, afin de rendre le coke moins lourd.

La durée de l'opération dépend de la nature de la houille, et surtout de l'état de l'atmosphère. Le tas brûle d'abord à cheminées-maîtresses découvertes pendant un jour. Après qu'elles sont bouchées, la combustion continue par les ouvreaux horizontaux et par les cheminées ordinaires, terme moyen, pendant trois à quatre jours; alors on recouvre le tas de cendres et l'on étouffe au moins pendant trois jours, ou mieux pendant huit à dix jours si la fabrication n'est pas pressée; la carbonisation dure donc de sept à quinze jours. On n'arrose le coke pour le refroidir que lorsqu'on est très pressé de l'expédier. Les houilles grasses menues traitées par ce procédé, rendent de 45 à 50 p. 100 en poids de coke. Les frais de carbonisation se payent moyennement, tout compris, de 15 à 20 cent. par 100 kilogr. de coke obtenu. Ce coke est en très gros morceaux, en forme de chou-fleur, d'un gris d'acier métallique, et de très bonne qualité.

Carbonisation dans des fours. Dans quelques localités d'Allemagne, on carbonise la houille en morceaux dans des fours dont la fig. 382 représente la coupe. La chemise intérieure *a a* de ce four est construite en briques réfractaires; il est recouvert d'une petite cheminée terminée par une couronne en fonte *b b*, et que l'on ferme au moyen d'une plaque *c* également en fonte. La porte *d* fermée par une plaque en tôle sert à retirer le coke; on charge la houille partie par cette porte, partie par la cheminée. Quatre rangées d'ouvreaux *e*, *e*, pratiquées dans les parois du fourneau, et distants les uns des autres de 0^m,40 à 0^m,50, servent à régler le tirage. Un tuyau en fonte *f*, conduit les produits de la distillation à un condenseur en bois ou en maçonnerie, dans lequel on recueille ainsi une certaine quantité de goudron. On a soin de mettre au commencement de chaque charge un lit de menu bois sur la sole du fourneau, afin de pouvoir déterminer facilement l'inflammation de la houille.



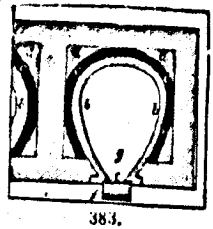
382.

La carbonisation de la houille menue qui, comme nous le verrons à l'article HOUILLE, forme une proportion considérable du produit des houillères, et qui ne peut, la plupart du temps, trouver de débouché que lorsqu'elle a été préalablement convertie en coke, se fait presque toujours en fours.

Ces fours, dont la forme est généralement circulaire ou légèrement elliptique, et à voûte très surbaissée, sont le plus souvent à une seule porte et accolés plusieurs ensemble. Les fig. 383 et 384 donnent le plan et l'élévation d'un fourneau de ce genre, employé à *Zabrze* (Haute-Silésie) pour la carbonisation de la houille menue. *a*, est un lit en pierres sèches et en sable qui supporte la sole en briques du fourneau; *b*, est la voûte en briques réfractaires, *c*, une couverte en argile damée; *d*, une seconde couverte en sable destinée à prévenir la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déperdition de la chaleur; e, porte servant à charger la houille dans le four, et à en retirer le coke que l'on fait tomber le long du plan incliné f; la fumée et la flamme s'échappent par la cheminée g, ou se rendent, par l'ouvreau h, dans une cheminée latérale qui n'est pas figurée; i est un crochet en fer, placé devant la porte e, qui sert à l'ouvrier pour appuyer son ringard en fer. Le fourneau étant suffisamment échauffé par les opérations précédentes, on charge sur la sole la houille menue que l'on y étend sur une épaisseur de 0m,15, et qui s'enflamme bientôt par suite de la chaleur qu'ont conservée les parois du four. Au bout de 6 heures la carbonisation est achevée; on retire le coke avec un rable et on l'éteint avec de l'eau. L'air nécessaire à la combustion arrive par les jours de la porte.



383.



384.

En France, la plupart des fours sont à une seule porte. La sole est circulaire ou légèrement elliptique, faiblement inclinée vers la porte, et a environ 2m,50 de diamètre; la hauteur de la voûte est à la clef de 1 mètre; elle est percée d'une cheminée de 0m,30 de diamètre qui sert à donner issue aux produits de la distillation; c'est par ces cheminées qu'on enfourne la houille; à cet effet on adosse les fours à une terrasse de plein pied avec les voûtes des fours sur laquelle on décharge les tombereaux de houille. L'air nécessaire à la combustion arrive à l'extrémité et aux deux côtés de la sole par des évents qui communiquent avec une petite galerie qui débouche sur les deux côtés du four, et est ménagée derrière la maçonnerie réfractaire. Pour nettoyer ces évents, on jette un peu d'eau dans le four en bouchant la cheminée et la porte, la vapeur qui se dégage chasse alors les cendres qui obstruaient les évents et la galerie d'arrivée de l'air. Les portes des fours se font en briques réfractaires, maintenues par un châssis en fer. La voûte et la cheminée doivent toujours être construites en briques réfractaires; on peut à la rigueur employer de bonnes briques ordinaires pour les pieds droits qui soutiennent la voûte, et la sole. La construction d'un pareil four peut moyennement être évaluée en France à 400 francs.

Au commencement d'une campagne on allume un feu de grosse houille dans le four, et l'on compte à peu près pour rien le coke qui en provient. Une seconde opération faite de la même manière est encore imparfaite; mais les suivantes faites avec du menu sont bonnes, le four étant alors suffisamment échauffé. Si l'on voulait commencer en ne brûlant presque que du menu, il faudrait 5 à 6 opérations avant d'avoir de bon coke. A mesure que l'opération avance, on diminue de plus en plus les entrées de l'air, et l'on juge que la carbonisation est achevée lorsque la fumée ayant disparu, la flamme se raccourcit et devient claire, puis légèrement bleuâtre; on peut alors défourner immédiatement si la fabrication est pressée, sinon on laisse auparavant étouffer le coke pendant quelques heures, en fermant complétement toutes les ouvertures, y compris la cheminée; toutefois cet étouffement ne doit pas être trop prolongé, pour que la chaleur de la sole puisse embraser la houille de l'opération suivante. Ordinairement cet étouffement dure 12 heures sans que le fourneau se refroidisse trop. Quand on n'étouffe pas, on est souvent obligé avec des houilles très-chaudes, comme le sont la plupart de celles du bassin de la Loire, de laisser refroidir la sole pendant plus d'une heure avant de charger, pour ne pas surprendre la houille trop brusquement. Avec diverses houilles froides du midi de la France, au contraire, on est obligé de réchauffer la sole avec du bois ou avec du gros charbon, avant de recharger le four. Il va sans dire du reste que l'on doit toujours éteindre le coke, après le défournement, en l'arrosant d'eau.

La durée de l'opération, dans le plus grand nombre de cas, n'est que de 24 heures, et alors on défourne sans étouffer; on charge alors dans chaque four de 12 à 1,500 kil. de houille menue, qui forment sur la sole une épaisseur de 0m,16 à 0m,20. Mais il est reconnu que l'on obtient un coke plus également carbonisé et de meilleure qualité en prolongeant davantage l'opération; dans ce cas on la fait durer à peu près 48 heures, y compris l'étouffage qui est d'environ 12 heures, et l'on charge en moyenne, à la fois, 2,000 kil. de houille qui forment sur la sole une couche de 0m,24 à 0m,30 d'épaisseur. Une durée plus longue présente peu d'avantage, à moins que le coke ne soit destiné à la fabrication de l'acier, par exemple, et ne convient d'ailleurs qu'aux houilles très-chaudes. Deux ouvriers et un aide peuvent surveiller huit fours à une porte.

Dans quelques localités, comme au Creusot, on emploie de grands fours rectangulaires recouverts d'une voûte cylindrique. Pour retirer le coke, on place à l'entrée des deux portes des cadres en fer ayant des dimensions un peu moindres que la section du four, on les relie entre eux par une barre de fer placée sur l'axe de la sole avant l'enfournement, et par deux autres barres que l'on introduit alors dans le four et qu'on y assujettit à l'aide de clavettes; toutes ces barres sont réunies par des chaînes, à un câble manœuvré par un manége; la sole étant légèrement inclinée, on défourne tout le coke à la fois. Ce procédé donne une économie d'environ un tiers sur la main-d'œuvre, lorsqu'on a un assez grand nombre de fours pour occuper un cheval. (Nous renverrons à l'article COKE pour ce qui se rapporte au lavage de la houille et à la fabrication du coke destiné aux locomotives. Nous avons surtout en vue, dans le présent article, la carbonisation qui se rapporte à la production du coke employé dans la fabrication du fer.)

Les houilles grasses menues du bassin de la Loire, carbonisées en fours, donnent moyennement 60 à 62 p. 100 en poids de coke. Les frais de main-d'œuvre sont payés aux entrepreneurs, terme moyen, 0f,15 par 100 kil. de coke obtenu, y compris l'entretien des outils et des fours qui absorbent le tiers de cette somme.

Quant aux procédés suivis dans les industries où l'on obtient du coke comme produit accessoire de la distillation des houilles, nous en parlerons aux articles ÉCLAIRAGE AU GAZ, GOUDRON et NOIR DE FUMÉE.

On peut utiliser les produits de la distillation de la houille, dans le procédé de carbonisation en fours, en les brûlant avec une quantité d'air froid convenable et employant la chaleur développée par cette combustion soit à la cuisson de la chaux, soit à tout autre usage.

III. CARBONISATION DE LA TOURBE. — La tourbe se carbonise de plusieurs manières : nous l'avons vu carboniser dans l'Erzgebirge en meules, de la même manière que le bois; on obtient ainsi un charbon solide, compacte et très-lourd, qui remplace à poids égal le charbon de bois dans quelques hauts fourneaux du pays. Il faut remarquer à cet égard que ce charbon ne nous a donné que 2 à 4 p. 100 de cendres, ce qui prouve que la tourbe dont il provient est une des plus pures qui existent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On carbonise souvent la tourbe dans un fourneau de même forme que celui que nous avons décrit ci-dessus fig. 382, au sujet de la carbonisation de la houille.

Enfin, on carbonise aussi la tourbe en vase clos. La fig. 385 représente la coupe d'un appareil de ce genre, employé à Crouy-sur-l'Ourcq, près de Meaux. La carbonisation s'opère dans le cylindre *a*, chauffé extérieurement par la flamme des foyers *c*, *c*, qui circule dans un carneau spiral *b b*. Pour conserver la chaleur dans ce carneau, il est entouré d'un espace annulaire *d* rempli d'air stagnant. On introduit la tourbe dans le cylindre *a*, par l'ouverture *e*, que l'on ferme ensuite par une plaque en fonte *f*, que l'on recouvre de cendres. Le carneau *b b* débouche au-dessus, et les gaz brûlés s'échappent par une ouverture pratiquée dans le couvercle mobile en fonte *g*. Les gaz provenant de la distillation de la tourbe s'échappent par le tuyau *k* et se rendent dans un réservoir où les produits liquides se condensent, puis les gaz non condensés sont ramenés sur les foyers *c*, *c*, qu'ils servent à alimenter en partie. Lorsque la carbonisation est achevée, on fait tomber la tourbe par l'ouverture *h*, en tirant le registre *i*, dans un étouffoir placé au-dessous. On carbonise à la fois 2^{mc} 1/2 de tourbe, et chaque opération dure 24 heures; on obtient de 35 à 40 p. 100 en poids de charbon de tourbe, non compris la dépense en tourbe de qualité inférieure que l'on brûle sur la chauffe, et qui est d'environ 35 p. 100.

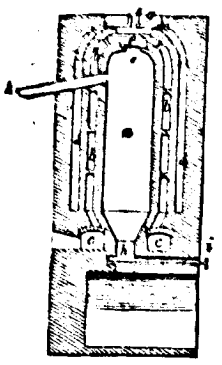


Fig. 385.

C'est dans un appareil de carbonisation analogue que l'on fabrique le charbon roux employé dans la fabrication de la poudre.

P. DEBETTE.

CARDES (*angl.* cards, *all.* kratzen). Le cardage est une opération qui a pour but de disposer parallèlement les fibres de la laine, du coton, etc., pour les rendre propres à la filature. La finesse et l'uniformité des fils, et par suite la beauté des tissus qu'ils servent à fabriquer, dépendent autant de la perfection du cardage des matières premières que du soin apporté dans les opérations subséquentes. Comme le cardage s'exécute généralement aujourd'hui d'une manière tout à fait automatique au moyen de machines, sa réussite ne dépend pour ainsi dire que de la perfection et de l'agencement du mécanisme de celles-ci. Nous décrirons en détail aux articles COTON *et* LAINE, les machines à carder, nous ne traiterons ici que de l'opérateur.

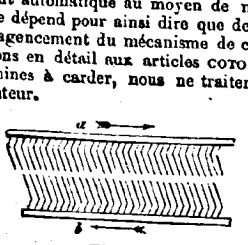


Fig. 386.

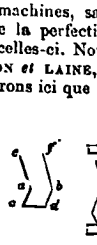


Fig. 387.

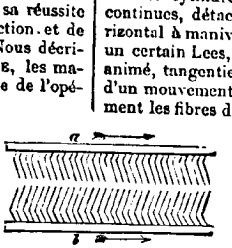


Fig. 388.

Le ruban de carde, élément de leur fabrication, se compose d'une bande de cuir tanné recouvert sur toute sa surface de dents bien régulièrement espacées, qui se font deux par deux d'un même morceau de fil de fer, et qui ont la forme indiquée en perspective fig. 387; la figure 386 représente deux cardes agissant en sens contraire, comme l'indiquent les flèches, et la figure 388 montre deux cardes agissant dans le même sens. Toutes les dents doivent être parfaitement égales en longueur, et courbées sous le même angle et à la même hauteur. Le fil de fer qui sert à les fabriquer doit être très-dur et élastique, mais non cassant. Le cuir sur lequel on *boute* les dents a environ 2 millimètres d'épaisseur, et doit présenter dans toute son étendue une épaisseur parfaitement égale, sans quoi les dents taillées exactement de la même longueur sailliraient inégalement; on consolide ces dernières en les faisant entrer en-dessous par des trous convenablement espacés, percés obliquement dans le cuir. On commence depuis quelque temps, en Angleterre, à remplacer le cuir par un fort tissu de coton enduit sur ses deux faces de caoutchouc, qui offre cet avantage : que les trous qui laissent passer les dents ne s'élargissent que très-lentement par l'usage, par suite de l'élasticité du caoutchouc, tandis que cela arrive beaucoup plus promptement avec le cuir, ce qui détermine une inclinaison inégale des dents.

On emploie des cardes d'un degré de finesse très-variable, suivant leur destination. Les plus fines renferment jusqu'à 140 dents simples ou 70 dents doubles au centimètre carré; les plus grosses, pour le coton et la laine, environ 60 dents simples ou 30 dents doubles.

Le travail des anciennes cardes à manche, dit M. Poncelet, constitue au fond le type sur lequel ont été établies les machines rotatives modernes. Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que, selon le sens parallèle du mouvement de la carde mobile sur la carde fixe, les fibres, naturellement très-courtes de la laine et du coton, sont ou étirées, dressées et distribuées complétement entre les deux cardes, ou complétement enlevées à l'une d'elles par l'autre.

En enroulant par bandes égales et parallèles des cuirs armés de pareilles cardes autour de rouleaux, de tambours horizontaux parfaitement cylindriques, ainsi que l'avait tenté, dès 1748, l'ault-Louis, et faisant tourner l'un vis-à-vis de l'autre, pour ainsi dire tangentiellement, ces cylindres, on a pu, selon l'inclinaison des dents, le sens et la différence des vitesses relatives, opérer d'une manière continue l'étirage, le redressement parallèle des fibres primitivement courbées, infléchies, entrelacées de mille manières, action consommant un travail de moins en moins grand à mesure que le parallélisme se produit; dégarnir alternativement le plus gros des cylindres pour en garnir l'autre, ou la succession des autres qui l'entourent extérieurement, et finalement produire, à l'aide d'un dernier cylindre délivreur, des nappes cylindriques continues, détachées au moyen d'un large peigne horizontal à manivelles extrêmes, attribué par les uns à un certain Lees, par les autres à Arkwright. Ce peigne animé, tangentiellement au dernier cylindre cardeur, d'un mouvement alternatif vertical, détache incessamment les fibres dans toute la longueur, pour en former ensuite des nappes continues ou de simples rubans par le passage au travers d'une sorte d'entonnoir, suivi de cylindres compresseurs, puis finalement enroulées en hélice autour d'un cylindre uni qui permet de les soumettre à des opérations ultérieures.

Ces diverses et ingénieuses opérations n'ont guère été modifiées, quant au principe, depuis l'époque de 1779, où elles enrichirent l'aïeul de sir Robert Peel, auquel fut délivrée une patente pour divers perfectionnements; elles furent aussi l'une des principales sources de la fortune d'Arkwright, en lui fournissant le point de départ de son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ingénieux système de multiplication et de mélange des rubans par doublages et étirages successifs, conception qui est devenue la base de toute filature automatique. Avant l'application de ce principe, on n'était point parvenu à produire des fils de qualités supérieures, à cause du manque d'égalité, d'homogénéité des fibres; ce qui est devenu facile en augmentant le nombre des étirages avec l'élévation du numéro du fil.

L'action de la carde, pour redresser les fibres par traction, exercée sur des fibres adhérentes entre elles et avec l'autre carde, suffit parfaitement pour les filaments courts, mais elle ne pourrait s'appliquer avec avantage aux filaments longs; elle les déchirerait, les laisserait repliés. C'est alors au PEIGNAGE qu'il faut avoir recours. Nous verrons, en parlant de la PEIGNEUSE HEILMANN (*Complément*), tous les avantages que l'on peut retirer du peignage de petites mèches successivement détachées et réunies à la masse, pour obtenir des perfectionnements que la carde seule ne permet pas de réaliser, même pour les fibres courtes.

Quoi qu'il en soit, la carde ne demeure pas moins l'outil essentiel de la filature, le moyen par excellence, dans le cas où elle est applicable, de faire entrer les fibres textiles, dans un état de préparation convenable et en quantité facile à régler, dans le courant des opérations de la filature, qui les transforme automatiquement ensuite, avec la plus grande facilité, en fils de grosseur et de torsion déterminées.

Évidemment ce n'est que la perfection et le bon marché de la fabrication les rubans de cardes, qui ont permis de tirer si grand et si utile parti de cet outil, et l'invention de la machine qui sert à les fabriquer dans ces conditions est une des bases fondamentales de la filature automatique.

La machine à bouter les cardes a été inventée en 1795 par M. Amos Whittmore des États-Unis d'Amérique, la figure 389 présente une élégante machine de cette nature qui a été admirée à l'Exposition universelle de Londres, en 1851.

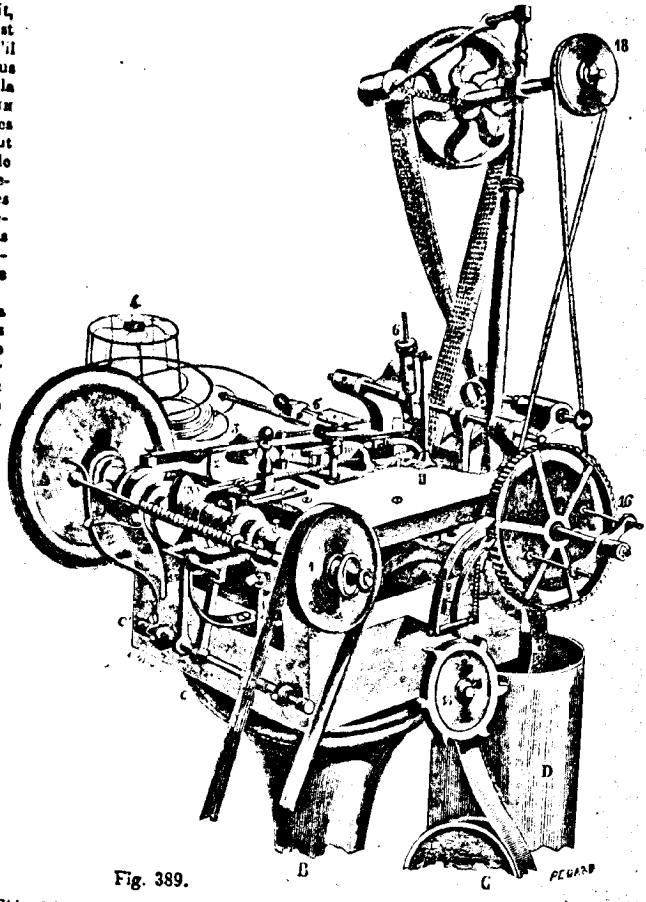


Fig. 389.

Les pièces qui se meuvent sont montées sur une base et un piédestal B en fonte, supportant une masse centrée C. Le ruban qui sert de point de départ à la fabrication de la carde se déroule d'un rouleau placé à la partie inférieure. 1 est la poulie motrice, montée à l'extrémité d'une axe garni d'excentriques qui donnent le mouvement aux diverses pièces que nous allons décrire et que des ressorts ramènent à leur place; 2 est le *stoppeur*, qui permet d'arrêter la machine lorsque le fil de fer manque sur la bobine 4, ou pour quelque autre cause; 3, les pinces qui amènent la longueur de fil convenable; 5, les couteaux qui le coupent à la longueur voulue; 6, 7, 8, pièces qui conduisent le fil aux deux doigts 9 et 10, qui le replient carrément et l'enfoncent dans les trous percés dans le ruban; 11, l'outil *perceur* qui oscille autour d'un axe horizontal; 12, le *croqueur* qui replie les dents placées dans le ruban, qui sont ainsi *boutées*, c'est-à-dire soutenues, boutées en avant; 13, came dont la forme et l'emplacement détermine le genre de la carde; 14, roue à saillies qui met en mouvement un rochet 15, qui fait mouvoir la roue 16, qui fait monter le ruban quand les dents sont placées, en raison du degré de finesse, du nombre de dents pour l'unité de surface; 17, poulie mettant en mouvement la poulie 18, qui prend la carde finie et l'envoie dans le tambour D.

Inutile de décrire les relations mutuelles de mouvement de ces divers organes, bien faciles à concevoir, ce qui n'empêche pas leur détermination exacte et la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

construction parfaite de ces élégantes machines d'être un véritable chef-d'œuvre de la mécanique moderne. Quant à la puissance et à la légèreté de ses mouvements, nous en donnerons idée en disant que ces machines placent de 2 à 300 dents par minute. Il y a dans la fabrique de M. Dyer, à Manchester, 60 machines pareilles mues par une machine à vapeur, surveillées par des jeunes filles, qui emploient chaque jour 80 à 100,000 mètres de fil de fer.

L'Exposition de 1855 montrait des machines à bouter les cardes qui produisaient encore plus rapidement que celle-ci; mais en réalité elles consistaient en plusieurs machines qui boutaient simultanément sur le même ruban. Il nous semble que l'on doit tendre à simplifier le jeu des organes, pour mettre leur fonctionnement à l'abri de tout accident, plutôt qu'à les compliquer pour atteindre une production plus rapide par la pose d'un plus grand nombre de dents à la fois; avantage que le moindre accroissement, dans les temps d'arrêt, rend bien facilement illusoire.

CARMIN (*angl.* carmine, *all.* karmin). D'après MM. Pelletier et Caventou, le carmin est un composé de la matière colorante de la cochenille, d'une matière animale qui y est également renfermée, et des éléments du sel qu'on y ajoute pour en déterminer la précipitation. Les principes sur lesquels repose la préparation du carmin sont aussi peu connus que sa composition, tant parce que l'emploi de cette couleur très chère est assez restreint et que sa fabrication est restée entre les mains d'un petit nombre de personnes, que parce que le prix élevé de la matière première a empêché la plupart des chimistes d'entreprendre une étude complète à cet égard. On connaît plusieurs recettes pour préparer le carmin, mais aucune d'elles ne suffit pour rendre certaine la réussite de ce travail délicat. Dans la préparation du carmin, comme du reste dans celle de presque toutes les couleurs, le succès dépend beaucoup de certains détails qu'on ne peut acquérir que par une longue expérience, comme par exemple de l'appréciation du moment exact où il faut arrêter l'ébullition de la décoction de cochenille, et pour lesquelles on ne peut donner aucune règle.

On trouve chez les marchands de couleurs trois sortes de carmin qui ont une valeur très différente. Les qualités inférieures sont souvent falsifiées par du vermillon (mercure sulfuré), ou de la laque carminée, combinaison de la matière colorante avec de l'alumine que l'on ajoute dans la précipitation; dans le premier cas la nuance n'a pas le même éclat; dans le second, elle est plus pâle; ces falsifications sont d'ailleurs faciles à reconnaître, en faisant digérer la matière à essayer avec de l'ammoniaque caustique; le carmin se dissout complétement, et l'on peut déterminer la proportion de vermillon ou de laque carminée en desséchant et pesant le résidu.

Carmin ordinaire. On prend :

Cochenille en poudre. . .	1000	grammes
Carbonate de potasse. . .	30	—
Alun pulvérisé.	60	—
Colle de poisson.	30	—

On fait bouillir la cochenille avec le carbonate de potasse dans une chaudière en cuivre contenant 20 litres d'eau, et au cas que l'ébullition soit trop vive, on la tempère en ajoutant un peu d'eau froide. Après quelques minutes de l'ébullition on enlève la chaudière et on la place sur une table, en l'inclinant de manière à pouvoir transvaser commodément la liqueur.

On y jette l'alun pulvérisé, et on remue le tout avec précaution; la liqueur, auparavant d'un rouge cerise foncé, change aussitôt de couleur et devient d'un rouge vif de carmin. Au bout d'un quart d'heure, la cochenille s'est complétement déposée au fond, et la liqueur est tout aussi claire que si elle avait été filtrée; on la décante alors dans une autre chaudière de même capacité, que l'on met ensuite sur le feu après y avoir ajouté de la colle de poisson préalablement dissoute dans beaucoup d'eau et passée au tamis de crin. Au moment de l'ébullition, le carmin monte à la surface sous la forme d'un coagulum, tout à fait comme dans les clarifications des liquides par le blanc d'œuf. On retire aussitôt la chaudière, on en agite le contenu avec une spatule, puis on l'abandonne à lui-même; au bout de quinze à vingt minutes le carmin s'est déposé, on décante, on fait égoutter le carmin sur un filtre en toile fine et serrée, on le lave à l'eau et on le dessèche. Si l'opération a été bien conduite, le carmin sec obtenu s'écrase facilement sous les doigts. La liqueur dont le carmin s'est précipité, est encore très fortement colorée en rouge, et peut être avantageusement employée à la préparation des laques carminées (voyez LAQUES).

D'après une ancienne recette, on prépare le carmin au moyen de l'alun seul. On fait bouillir de l'eau, on y mêle, pendant qu'elle bout la cochenille pulvérisée, on agite le tout ensemble, et on laisse bouillir pendant six minutes; on ajoute alors de l'alun concassé, on laisse bouillir encore pendant trois minutes; on retire la chaudière du feu, on filtre la décoction, et on la laisse reposer pendant trois jours dans un vase plat de porcelaine ou de faïence; le carmin se dépose sous la forme d'un sédiment rouge, on décante, on lave le sédiment et on le fait sécher à l'ombre. La liqueur décantée est encore fortement colorée en rouge, et donne par un repos subséquent une nouvelle quantité de carmin d'une qualité inférieure qu'il est préférable de précipiter par l'addition d'un peu de perchlorure d'étain. On emploie par ce procédé 580 parties d'eau de source, 16 p. de cochenille et 1 p. d'alun; on obtient 1 1/2 à 2 p. de carmin.

Carmin obtenu par le tartre. On fait bouillir 512 parties d'eau, on y ajoute 32 p. de cochenille pulvérisée, et après une courte ébullition 2 p. de crème de tartre; huit minutes après on ajoute encore 3 p. d'alun pulvérisé, on laisse bouillir quelques minutes, on retire du feu, on filtre, et on laisse comme ci-dessus déposer le carmin dans des vases plats en porcelaine ou en verre.

Carmin de MM. Alyon et Langlois. On fait bouillir 4 à 5 litres d'eau de source, on y ajoute 64 grammes de cochenille pulvérisée, puis une dissolution de 3 grammes de carbonate de soude dans 32 grammes d'eau, on continue l'ébullition pendant une demi-heure, on retire la chaudière du feu et on la laisse refroidir en la plaçant dans une position inclinée. On ajoute alors 3 grammes d'alun pulvérisé, et on agite vivement pendant vingt minutes environ pour en déterminer la dissolution; puis on transvase avec précaution la liqueur, qui doit posséder une belle couleur rouge écarlate, on y ajoute la moitié d'un blanc d'œuf délayé dans 32 grammes d'eau, et on bat le tout ensemble. On remet alors la liqueur sur le feu et on la chauffe jusqu'à ce que le carmin se coagule avec le blanc d'œuf; on la retire ensuite, et on laisse déposer le carmin pendant vingt à trente minutes. On décante la liqueur surnageante, on fait égoutter le carmin sur un filtre en toile jusqu'à ce qu'il ait atteint la consistance d'un fromage à la crème mou, on l'enlève alors avec une spatule en argent ou en ivoire, on l'étend sur une planche en bois bien unie et bien propre, on le recouvre d'une feuille de papier, et on le fait sécher à l'air libre ou dans une étuve. On retire, par ce procédé, de 32 parties de cochenille, 3 parties de carmin.

Carmin superfin de madame Cenette à Amsterdam. On fait bouillir six seaux d'eau de source, on y ajoute 1 kil. de cochenille de première qualité, pulvérisée; après deux heures d'ébullition, on y met 0k,095 de nitre raffiné, et quelques minutes après 0k,125 de sel d'oseille (bi-oxalate de potasse). On laisse encore bouillir pendant dix minutes, puis on retire la chaudière du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

feu, et on laisse reposer pendant quatre heures. La cochenille épuisée se dépose au fond et on transvase, à l'aide d'un syphon, la liqueur claire qui surnage, dans des vases plats en porcelaine, où on la laisse déposer pendant trois semaines. Au bout de ce temps, il s'est formé à la surface une pellicule de moisissure, que l'on enlève avec une baleine à l'extrémité de laquelle on attache une petite éponge; on fait ensuite écouler l'eau par un petit syphon, qu'on peut faire plonger jusqu'à la surface du carmin, parce que ce dernier forme un dépôt assez compacte. Ce carmin desséché à l'ombre est d'une beauté remarquable, et son éclat est si vif qu'il fatigue la vue.

Carmin chinois. On fait bouillir un seau d'eau de source avec 625 grammes de cochenille pulvérisée et 3 ou 4 grammes d'alun; après sept minutes d'ébullition on retire la chaudière du feu, on filtre, et on laisse reposer pendant quelque temps. On prépare, d'un autre côté, une eau régale avec 320 gr. de sel marin et 500 gr. d'eau-forte, dans laquelle on dissout par petites portions successives 120 gr. d'étain en larmes de Malacca; puis on verse cette dissolution goutte à goutte dans la décoction de cochenille, qu'on a réchauffée jusqu'à l'ébullition; le carmin ne tarde pas à se précipiter. On le décante et on le fait sécher à l'ombre, comme nous l'avons dit.

On peut améliorer le carmin ordinaire en le faisant digérer à une douce température avec de l'ammoniaque caustique, filtrant pour séparer la matière étrangère, puis précipitant le carmin, en ajoutant de l'alcool et sursaturant la liqueur par de l'acide acétique, lavant le précipité de carmin avec de l'alcool étendu d'eau, et le desséchant à l'ombre.

Le carmin est la plus belle des couleurs rouges; il est très employé, à cause de son éclat et de sa vivacité, dans la peinture en miniature, ainsi que dans la fabrication des fleurs artificielles; les confiseurs et les pharmaciens s'en servent pour colorer diverses préparations. Tantôt on le mélange simplement avec les substances à colorer, tantôt on l'emploie à l'état de teinture en le dissolvant dans l'ammoniaque caustique en excès; on laisse ensuite dissiper l'excès d'alcali, par l'évaporation spontanée, et la dissolution est propre à être employée lorsqu'elle est devenue inodore.

Pour ce qui regarde le principe colorant du carmin, voyez COCHENILLE.

CARRIÈRES. Voyez MINES.

CARTES A JOUER (*angl.* playing cards, *all.* spielkarten). Le carton employé pour la fabrication des cartes est formé de trois sortes de papiers superposés; le premier, dit papier *cartier*, recouvre le derrière de la carte; il doit être d'une couleur bien uniforme dans toutes ses parties (il est ordinairement blanc), sa pâte doit être bien égale, et ne présenter aucune tache ou autre signe qui puisse faire distinguer les cartes entre elles. Le papier intermédiaire, dit papier *main-brune*, est un papier gris bien uni et d'une teinte bien uniforme, que l'on met en double et qui sert tant à détruire la transparence du carton qu'à lui donner une certaine roideur, par suite de la propriété qu'il possède de prendre beaucoup de colle. Enfin le papier blanc, dit *papier de face*, destiné à recevoir les figures et enluminures, est un papier blanc à filigranes, que la *régie* fournit afin d'avoir une garantie contre la fraude, attendu que les cartes payent des droits considérables. Ces trois sortes de papier sont livrées en feuilles ouvertes de $0^m,405$ de long sur $0^m,314$ de large, qui forment chacune la grandeur de 24 cartes. L'impression du trait des figures se fait ordinairement avec des planches en bois; chaque fabricant a les siennes déposées dans les bureaux de la régie, où il va tirer les épreuves avec de l'encre noire ou bleue, en présence d'un préposé, sur le papier qui lui est délivré par la régie.

Vient ensuite le collage des feuilles qui doivent composer les cartes : l'ouvrier étend d'abord une feuille de papier blanc, sur une planche assez épaisse et bien dressée, dite *ais à coller*. Il prend ensuite une feuille de papier de face, l'étend sur la planche et la recouvre avec une grosse brosse, qui porte une poignée sur le dos, de colle très claire faite avec un mélange de farine, d'amidon et d'eau; il applique par dessus une feuille de papier gris, l'encolle, pose dessus une nouvelle feuille de papier gris, l'encolle encore, puis deux feuilles de papier cartier qu'il pose simplement dessus. Par ce moyen, la première de ces feuilles se colle entièrement, l'autre ne se colle que par les bords, reste ainsi pendant tout le cours de la fabrication, et ne se détache que lorsqu'on rogne les bords; elle sert à garantir la feuille collée des maculatures qui pourraient la salir soit sous la presse, soit pendant tout le cours de la fabrication. On continue ainsi, et lorsqu'on a collé un nombre suffisant de cartons, on les met en presse entre deux ais. On presse peu à peu afin de donner à la colle le temps de bien s'imbiber, et lorsque la pression est à son plus haut degré, on laisse un peu le carton se tasser; on desserre la vis, et l'on enlève ou l'on *torche* avec un pinceau doux trempé dans l'eau claire, la colle excédante que la pression a fait refluer sur les bords. On sépare ensuite les cartons avec un couteau, on les livre aux épluche-uses qui enlèvent les ordures et les aspérités qu'on peut y rencontrer, puis on les porte au séchoir ordinairement à air libre. Quand les cartons sont secs ils sont prêts à être *habillés*, c'est-à-dire enluminés.

On emploie dans l'enluminure cinq couleurs en détrempe, qui sont : le *noir*, noir de fumée délayé dans de la colle claire d'amidon ou de gélatine; le *bleu*, indigo délayé dans de la colle de gélatine; le *gris*, c'est la même couleur que le bleu, mais très peu teintée et étendue d'eau gommée; le *jaune*, décoction de graine d'Avignon avec 1/8e d'alun, ou de gomme gutte; le *rouge*, mine orange (voyez PLOMB), ou vermillon très gommé. On applique successivement ces couleurs dans l'ordre suivant, rouge, jaune, noir, bleu et gris, à l'aide de brosses dures et de patrons taillés à jour; il faut une brosse et un patron pour chaque couleur; ces patrons sont taillés pour une feuille entière et découpés, à l'aide d'un outil bien tranchant, dit *pointe à patron*, suivant les contours de la couleur qu'ils servent à appliquer, dans une feuille de papier recouverte sur chaque côté de plusieurs couches de peinture à l'huile; les patrons des points se font à l'emporte-pièce. Il faut avoir bien soin en posant les couleurs de ne pas les doubler, ainsi que de ne pas laisser entre elles des espaces blancs ou *fenêtres*; il faut mettre le noir peu épais car il est sujet à couler sous la lisse, même lorsqu'il est sec.

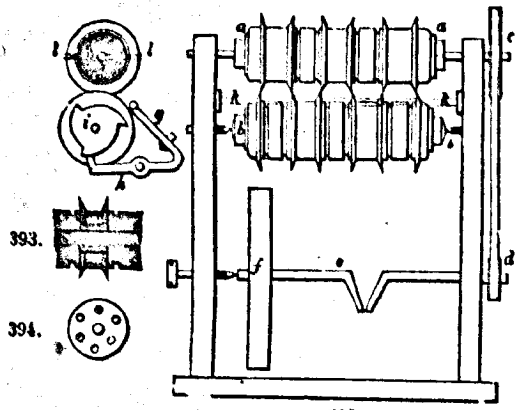
On sèche ensuite les cartons habillés sur un poêle, on les frotte sur chaque face avec un morceau de feutre enduit de savon sec, et on les lisse au moyen d'un caillou arrondi, nommé *lissoir*. On remet les cartons sous presse pour les redresser; il ne reste plus ensuite qu'à les tailler exactement de la même grandeur.

On commence par rogner les bords des cartons, ensuite on les découpe en rubans, dits *coupeaux*, qui sont juste de la largeur des cartes et en contiennent six dans leur longueur; on découpe ensuite ces rubans en cartes séparées. Le coupeur est guidé dans ces opérations d'abord par des traits imprimés qui déterminent les limites de la séparation, puis par des guides parallèles aux ciseaux qui en sont convenablement éloignés, et contre lesquels il appuie la tranche des feuilles de carton à découper.

Nous terminerons en décrivant la machine à découper les cartes, de M. Dickinson, qui est représentée fig. 392, 393 et 394. Elle se compose d'une série de cisailles circulaires montées sur les axes en fer *aa*, *bb*, sur lesquels elles sont assujetties au moyen de man-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chons en bois. Ces cisailles sont mues par l'intermédiaire d'une courroie sans fin *c d*, qui passe sur la gorge d'une poulie fixée à l'une des extrémités de l'arbre



coudé *e*, dont le mouvement est régularisé par un volant *f*. Afin d'obtenir un découpage bien net, les disques tranchants, montés sur l'axe inférieur *b b*, sont disposés deux par deux, comme on le voit, fig. 393, de telle sorte qu'il y ait entre les deux disques d'un même couple un fort ressort spiral en acier, qui les presse continuellement contre les disques correspondants montés sur l'axe *a a*. Les rondelles et les taillants, outre l'ouverture centrale, sont percés, comme on le voit, fig. 394, de six trous équidistants que traversent de longs boulons destinés à les recevoir. Enfin, après le découpage des cartes, il ne reste plus qu'à les trier, les assortir, éliminer celles qui sont défectueuses, et les mettre en paquets de 52 cartes pour le jeu entier, de 42 cartes pour le jeu d'hombre, et de 32 cartes pour le jeu de piquet.

CARTHAME (*angl.* carthamus, safflower, *all.* saffior). Nom donné aux fleurs du *carthamus tinctorius* de Linnée, qui croît dans le midi de la France, la Hongrie, l'Espagne, l'Égypte, l'Amérique du Sud et les Indes. Il en existe deux variétés, l'une à grandes, l'autre à petites fleurs; la première est principalement cultivée en Égypte et y forme un objet d'exportation d'une valeur considérable. Aussitôt après la floraison, on enlève les fleurs et on les fait sécher à l'ombre soit immédiatement, soit après les avoir pétries dans de l'eau, afin d'enlever la plus grande partie de la matière colorante jaune soluble qu'elles contiennent.

Le carthame renferme deux matières colorantes, l'une jaune, l'autre rouge, qui est seule employée dans la teinture. On enlève la matière colorante jaune qui est soluble dans l'eau, en introduisant le carthame dans un sac en toile que l'on malaxe sous l'eau, jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus rien. Le carthame de jaune rougeâtre qu'il était auparavant devient d'un rouge clair, et perd dans cette opération presque la moitié de son poids. On peut alors en extraire la matière colorante rouge qu'il renferme, et qui a reçu le nom de *carthamine*, en le traitant par une dissolution étendue de *carbonate de soude*, puis précipitant la liqueur alcaline par un acide. Le carthame ne contient que 1/2 p. 100 de carthamine.

La carthamine est une couleur d'une beauté remarquable, malheureusement elle est si altérable qu'on ne peut l'employer dans la teinture des tissus de laine et de coton; mais pour les étoffes de soie, où l'on regarde plus à la vivacité des couleurs qu'à leur inaltérabilité, on se sert beaucoup du carthame pour produire différentes nuances rouges très belles, telles que le rose, la teinte de chair, etc.

On prépare pour la teinture le bain de carthame, ainsi qu'il suit : on saupoudre 20 parties en poids de carthame bien lavé, comme nous l'avons dit ci-dessus, avec 1 p. de carbonate de soude pulvérisé et on mélange bien le tout ensemble. On place ensuite le mélange sur un tamis en toile très serrée et on le lave avec de l'eau froide, jusqu'à ce que celle-ci passe incolore. On achève d'épuiser le résidu en le retraitant de la même manière avec une faible proportion de carbonate de soude; le carthame complétement épuisé qui reste sur le tamis est coloré en jaune.

On se sert, pour décomposer la dissolution alcaline ainsi préparée et précipiter la couleur sur la soie, d'acide citrique que l'on ajoute en quantité suffisante pour faire *virer le bain* au rouge cerise. Nous renvoyons pour les précautions à prendre dans cette opération, et la manière d'obtenir les différentes nuances que cette couleur sert à préparer, à l'article TEINTURE. Nous rappellerons seulement que : les acides étendus ravivent la couleur du carthame sans la dissoudre; les carbonates alcalins la dissolvent en la jaunissant, mais l'on peut la rétablir par l'addition d'un acide; et les alcalis caustiques la détruisent.

Le prix élevé du carthame fait qu'on y ajoute souvent de l'ORSEILLE, qui devient par l'action des acides d'un rouge assez vif.

La grande sensibilité du rouge de carthame oblige d'opérer la teinture à froid et de sécher l'étoffe de soie à l'ombre.

On emploie aussi le carthame pour préparer ainsi qu'il suit une couleur extrêmement belle (rouge d'assiette), employée principalement dans la peinture des fleurs artificielles : on lave d'abord le carthame avec de l'eau froide pure ou mieux étendue de vinaigre, pour enlever entièrement la matière colorante jaune soluble. On malaxe ensuite à froid le résidu dans un poids de carbonate de soude égal au sien et 15 fois son poids d'eau de pluie. On l'exprime et on achève de le laver avec une petite quantité d'eau; la matière rouge se dissout; on passe à travers une toile serrée; on place dans la liqueur des écheveaux de coton, puis on la sature par de l'acide citrique; la matière colorante rouge se précipite à l'état d'une grande pureté sur le coton; on le sèche, on le lave, puis on le traite de nouveau par une dissolution de carbonate de soude, renfermant 5 parties d'eau en poids pour une partie de carbonate de soude cristallisé, qui redissout la matière colorante, que l'on précipite alors par une dissolution d'acide citrique : le dépôt se fait lentement; on le lave bien à l'eau froide, et on le dessèche ensuite sur des assiettes dont on l'enlève par écailles au moyen d'une pointe de couteau. Ces écailles présentent un bel éclat métallique rouge cuivré, qui les fait aisément distinguer des autres couleurs rouges.

Enfin le carthame sert à la préparation du *rouge végétal* employé pour la toilette. A cet effet on pulvérise finement du talc très blanc, que l'on mélange dans un mortier avec du *rouge d'assiette* non gommé, préparé comme il vient d'être dit. On broie ensuite le mélange avec une petite quantité de blanc de baleine, on l'humecte avec un peu d'éther sulfurique et on le met en pots. On prépare un rouge végétal de qualité inférieure en remplaçant la carthamine par du carmin.

Le carmin se distingue à ce qu'il se dissout dans l'ammoniaque en la colorant en rouge foncé, tandis que la carthamine donne une dissolution brun-jaunâtre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CARTON (*angl.* paste-boards, *all.* pappe). Voyez PAPIER.

Le carton se fabrique avec de vieux papiers que l'on humecte et que l'on fait pourrir en tas pendant dix ou quinze jours, pour détruire les matières étrangères altérables. On les désagrége en les broyant à l'eau sous des meules verticales, et on y ajoute, pour les basses qualités, de l'argile, des ocres, etc. La pâte préparée est mise en feuilles à l'aide d'une forme, pressée entre des feutres et séchée à l'air libre. On lisse ensuite la surface, par un passage au laminoir, qui augmente la densité du carton.

CARTOUCHES (*angl.* cartridge, *all.* patrone). Lors de l'invention des armes à feu, on chargeait l'arme au moyen de la poudre et de la balle qu'on y plaçait successivement. Ce fut un grand progrès, au point de vue de la rapidité du tir, que la réunion, dans une enveloppe de papier, de la poudre et de la balle.

Pour fabriquer la cartouche de l'ancien fusil de munition, on coupe diagonalement des carrés du papier destiné à faire l'enveloppe, débités dans une grande feuille de manière à avoir des morceaux ayant environ 0m,145 de hauteur, 0m,115 de largeur à un bout et 0m,089 à l'autre.

Un de ces morceaux de papier étant étendu sur une table, on le roule autour d'un mandrin cylindrique en bois dur et sec) qui a 0m,190 de long et 0m,013 de diamètre. Le bout de ce mandrin est creusé, de manière à y loger la balle. On laisse passer le papier un peu au-delà de la balle; alors, relevant le mandrin enveloppé du papier de la cartouche, on replie celui-ci par-dessus la balle, et on l'arrondit dans un trou pratiqué à cet effet dans la table. On retire le mandrin et on verse dans le cylindre de papier la charge de poudre renfermée dans une mesure de dimension convenable. Le papier est enfin replié sur la poudre, en la comprimant assez pour éviter le ballottement des grains.

C'est cette dernière partie que le soldat déchire avec ses dents avant de verser la poudre dans le canon du fusil; il entre ensuite la balle, le papier en avant, celui-ci faisant bourre en s'appliquant sur la charge.

Cartouche à broche. Lorsque l'on essaya, pour la chasse, des fusils se chargeant par la culasse, qui semblaient si commodes et qui faisaient disparaître les dangers qui accompagnent le chargement à la baguette, surtout pour le fusil à deux coups, ils présentaient un très-grave inconvénient; nous voulons parler du crachement qui se faisait au tonnerre, au point où s'ouvrait le fusil. Il semblait impossible d'éviter cet inconvénient, car l'articulation de pièces devant s'ouvrir et se fermer à la main ne pouvant jamais être assez précise pour empêcher le passage des gaz, aussi bien des personnes jugèrent que les armes se chargeant par la culasse étaient impropres à faire un bon service.

Le succès de ces armes a prouvé, non pas que ce jugement, porté sur ces armes telles qu'elles étaient à leur origine, était faux, mais qu'on a su trouver un remède au défaut signalé. Ce remède efficace a été l'invention de la cartouche à culot et à broche, permettant aussi de supprimer la cheminée du fusil Lefaucheux. Ces cartouches sont formées par un cylindre en papier fort, dont une extrémité est engagée dans une rondelle en cuivre à bords repliés, recevant dans l'intérieur un culot en carton épais, fortement comprimé. A travers ce carton, on perce un trou qui reçoit une broche en laiton qui entre dans une capsule placée à l'intérieur de la cartouche. On appréciera le mode de construction de ces cartouches par la description qui va suivre d'un système dû à M. Chaudun pour fabriquer des cartouches de ce genre plus résistantes, inusables, qui peut trouver d'utiles applications, et qui, comme la cartouche en papier, formant un tonnerre artificiel, bouchant hermétiquement l'ouverture de jonction, ne permet plus de crachement en ce point.

Cartouche Chaudun. M. Chaudun s'était proposé ce problème: Combiner, pour le cas où l'on manquerait de cartouche à culot, une cartouche dont l'enveloppe pût servir pour un grand nombre de coups de fusil, et qui pût être établie avec les approvisionnements que l'on trouve partout, avec les capsules notamment qui servent pour tous les fusils à percussion (fig. 1 et fig. 2).

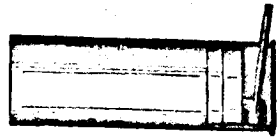


Fig. 1.



Fig. 2.

Pour obtenir ce résultat, voici comment il procède.

Dans une plaque de cuivre il découpe et obtient par emboutissage, en cinq ou six opérations successives, un tube de cuivre fermé par une extrémité, sans aucune soudure, et très-résistant lorsque l'opération est bien conduite et la matière première de bonne qualité.

Cette pièce est la base de la cartouche, c'est sur elle que vient se fixer la pièce dite le culot. Placée au fond de la cartouche et supportant la majeure portion de la pression produite par l'explosion, cette pièce doit être d'une épaisseur et d'une résistance considérables; elle doit, comme le fait le carton de la cartouche en papier, posséder une certaine élasticité pour serrer sur la broche qui la traverse et sert à déterminer l'explosion; enfin elle ne doit pas se détruire, pour que la même cartouche puisse servir un grand nombre de fois.

A cet effet on prépare deux petits godets en cuivre, par l'action d'un poinçon cylindrique, sur un petit cercle de cuivre placé dans une matrice également cylindrique. On entre l'un d'eux dans le cylindre de l'autre, après avoir interposé entre eux un disque de 3 millimètres environ d'épaisseur en métal de caractères, c'est-à-dire un métal malléable, composé en grande partie de plomb, durci par de l'antimoine, autant qu'il est nécessaire pour pouvoir le découper. Ce culot, semblement de même calibre que la cartouche, se place dans celle-ci, et le tout est soumis au balancier.

En même temps que le tout se trouve réuni par la compression, l'extrémité du poinçon vient faire naître au fond du culot une saillie pour donner de la force au passage de la broche et une cavité pour recevoir la capsule. Extérieurement, la matrice est un cylindre portant à sa partie inférieure une petite cavité circulaire dans laquelle vient se former, par la compression, un petit bourrelet qui sert à fixer exactement la cartouche dans le canon sans qu'elle puisse trop s'enfoncer. On comprend que la cartouche ne pourrait se retirer de la matrice si celle-ci n'était pas formée de deux pièces, d'une partie cylindrique et d'un fond plat.

La cartouche amenée à cet état, il suffit de percer un petit trou près du bourrelet et d'y passer une petite broche de laiton pour qu'elle soit achevée. C'est sur cette broche, reposant sur une capsule, que vient percuter le chien, simplement terminé par une partie plate.

Les chasseurs sont restés fidèles aux cartouches à culot en papier, qu'on se procure toutes faites dans le commerce; cependant il était important de les améliorer au point de vue des applications de ces cartouches aux armes de guerre. Pour le moins grave des inconvénients qu'elles présentent, pour le crachement autour de la broche, inconvénient qu'on n'est parvenu à diminuer,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour les chasseurs qui ne regardent pas à la dépense, qu'en ajustant avec soin la broche entre des surfaces métalliques, moyen coûteux et susceptible d'occasionner des ratés, on peut le corriger par un système proposé par M. Chaudun.

Au lieu de faire entrer la broche dans une capsule cylindrique ordinaire qui donne nécessairement un crachement par l'intervalle qui existe autour de la broche, qui assure son libre jeu, il fait faire un quart de tour à la capsule qu'il aplatit, qui devient une espèce de petit sac métallique, dont il comprime les lèvres. Dans cette disposition, l'explosion de la capsule a lieu à angle droit de la broche, et l'extrémité de celle-ci n'est plus dans la capacité de la capsule; celle-ci ne conduit pas les gaz très-chauds le long de la broche qui agit sur la face extérieure de la capsule. L'expérience a confirmé l'excellence des résultats obtenus; il suffit de mettre un papier sur la broche pour vérifier que le crachement est nul, tandis que, avec les divers systèmes des cartouches du commerce, il est considérable, comme le prouvent les espèces de diagrammes ainsi tracés sur le papier.

Cette disposition permet d'enflammer la poudre par la partie antérieure de la cartouche, en prolongeant en quelque sorte la capsule, en la réunissant à un petit cylindre de cuivre de longueur convenable. La flamme de l'explosion peut parcourir ainsi, sans inconvénient aucun, des longueurs bien plus grandes que celles dont il s'agit ici. Cette solution, en permettant facilement d'employer des poudres de vivacité différente dans une même charge, peut conduire à des résultats importants.

Les avantages de la disposition que nous venons de rappeler sont sensiblement obtenus par la cartouche à inflammation centrale sur laquelle nous reviendrons bientôt.

Cartouche Boxer. Le second et grave défaut de la cartouche à culot, qui s'est trouvé bien sensible quand on l'a appliqué à des armes de guerre, c'est la séparation qui se produit souvent, après l'explosion, entre le culot et le papier, qui, adhérant fortement, surtout s'il est humide, au canon encrassé, est difficile à retirer et paralyse ainsi l'arme entre les mains du soldat, au moment où il a le plus besoin de s'en servir. Le remède à ce défaut a été trouvé par un officier de l'artillerie anglaise, le colonel Boxer, par son ingénieuse invention de cartouches métalliques, qui ont reçu, en Europe et en Amérique, le nom de leur inventeur. Ces cartouches sont faites d'une feuille de cuivre, de clinquant, enroulée sur elle-même, et maintenue par une enveloppe de papier, le tout étant assujetti au culot par un tampon, et

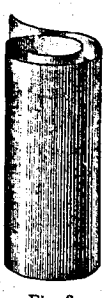


Fig. 3.



Fig. 4.

réuni aux cannelures pratiquées à la base du projectile par sertissage, par refoulement du métal sur ce dernier (fig. 3 et 4).

Ce qui fait le grand mérite de ces cartouches, c'est que le papier, collé au bord du trapèze ou rectangle de cuivre qui sert à former l'étui, permet, après l'enroulement, de maintenir, par un nouveau collage, le cylindre qui doit recevoir la poudre, hermétiquement fermé. Il offre cependant assez peu de résistance, pour se rompre au moment de l'explosion, permettant à la feuille métallique de se dilater, de s'appliquer contre les parois de l'arme lors de l'explosion et, par contre, de se contracter après celle-ci, de telle sorte que la cartouche ne peut contracter d'adhérence, et sort librement de l'arme.

Cet emploi d'une feuille de clinquant mince demande à être bien compris pour apprécier le progrès réalisé par l'invention de cette cartouche, qui n'est pas seulement, comme on pourrait le croire à première vue, plus résistante que celle à enveloppe de papier.

Cette cartouche est à inflammation centrale, disposition adoptée généralement aujourd'hui. Le milieu du culot, étant percé, reçoit l'enclume, c'est-à-dire une petite masse de cuivre, percée en son centre et évidée en arrière, qui porte la capsule et forme cheminée. Le refoulement du tampon maintient suffisamment en place cette pièce; toutefois, il y avait avantage à l'assembler plus solidement au culot, en allongeant et recourbant d'équerre sur le culot ses bords extérieurs. C'est ce qu'a fait le colonel Boxer; mais, de plus, utilisant cette disposition, il s'en est servi pour assembler avec le culot un disque de métal, qui remplace avantageusement le bourrelet produit par refoulement du métal, est plus précis de dimensions, ferme mieux le canon et ne peut se déchirer. En effet, l'expérience a prouvé que par le système usuel on fatiguait le métal, et que c'est à ce bourrelet qu'a constamment lieu la déchirure des cartouches; sa suppression a encore été un véritable progrès.

Cartouche du fusil à tabatière. Comme exemple d'une cartouche à percussion centrale, nous décrirons la cartouche de l'ancien fusil transformé, modèle 1867 (fig. 5).

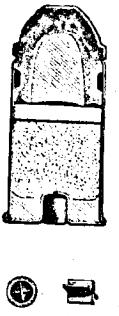


Fig. 5.

L'étui est un tube de clinquant recouvert de deux tours de fort papier, serti dans le culot. Celui-ci est en cuivre embouti; à sa partie postérieure est un bourrelet saillant qui produit l'obturation, empêche la cartouche de pénétrer trop avant dans la chambre, et permet de la retirer facilement, le coup parti. Le fond de ce culot est garni d'un bourrage de carton fortement comprimé et embouti au centre duquel se place l'amorce. Celle-ci se compose : 1° d'une *cuvette* de cuivre embouti, en forme de chapeau, sur la surface de laquelle six fentes permettent de rabattre contre le culot les intervalles formant les bords; le fond de la cuvette est arrondi et percé d'un petit trou au centre. Cette cuvette, ainsi maintenue, offre un point d'appui solide au choc du percuteur. 2° D'une *enclume* en laiton, petite tige cannelée, dont la section est en forme de croix, et qui se place dans la cuvette, de manière qu'un des bouts repose sur le fond, et que l'autre puisse être coiffé avec la capsule. 3° D'une capsule ordinaire sans rebord.

La réunion des diverses pièces est effectuée par une pression qui effectue l'emboutissage définitif du culot, l'assemblage avec celui-ci du bourrage de carton, de la cuvette et de l'étui.

Quand la capsule a reçu le choc du percuteur, la flamme glisse le long des cannelures et communique le feu à la poudre par le trou du fond de la cuvette. Une rondelle de feutre sépare la poudre de la balle. Celle-ci

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CARTOUCHE.

porte des cannelures; l'une reçoit l'extrémité recourbée du cuivre de l'étui; l'autre, la graisse, protégée des agents extérieurs par la partie de l'étui qui la recouvre.

Cette cartouche, inspirée par la précédente mal comprise, est défectueuse. Elle tient souvent dans l'arme après rupture du bourrelet. Elle n'a pas fait honneur à la commission d'artillerie qui avait rédigé le programme de sa fabrication, et qui, ne voyant dans l'emploi du métal que la solidité, l'avait augmentée par un enroulement de papier collé qui faisait disparaître sa plus précieuse qualité, son élasticité.

Cartouches américaines. Ces cartouches sont presque toutes formées d'un tube métallique muni d'un renflement ou bourrelet à sa partie postérieure. Ce tube est embouti à la machine dans un seul morceau de cuivre ou de laiton. Au bourrelet extérieur du culot correspond, à l'intérieur, une sorte de gouttière dans laquelle on introduit, à l'aide d'une machine spéciale opérant par la force centrifuge, la composition fulminante qu'on isole de la poudre par un enduit de cire ou de vernis (fig. 6). La balle est sertie avec le tube, dont la partie supérieure isole la graisse contenue dans les cannelures. Le coup parti, le tube est extrait, en général tout à fait intact, par l'action d'un tire-cartouche automatique sur le bourrelet du culot.



Fig. 6.

Ces cartouches sont dites à inflammation *périphérique* (comme celles des pistolets de salon Flobert). Le percuteur est disposé de façon à frapper le culot sur sa circonférence; en cas de raté, ce qui est rare, il suffit de faire tourner la cartouche sur elle-même dans son logement d'une certaine fraction de tour, et de presser de nouveau sur la détente, pour faire agir le percuteur sur un autre point du bourrelet mieux garni de fulminate, ce qui détermine l'inflammation.

La couche isolante de cire ou de vernis suffit pour protéger le fulminate qui ne s'avarie jamais par l'effet du voisinage de la poudre. La quantité de fulminate introduite ne doit pas être trop considérable, car il est important que son explosion, brisante de sa nature, ni celle de la poudre, ne déterminent pas la rupture du tube en un point quelconque du bourrelet; il en résulterait des fuites de gaz ou crachements qui incommoderaient ou même finiraient par blesser le tireur. Cela est d'autant plus à craindre que l'épaisseur du cuivre ne saurait être notable, puisqu'il faut que le percuteur écrase facilement le bourrelet. Ce système paraît donc peu susceptible d'être employé lorsque les charges sont fortes, par exemple, pour le service d'une arme à longue portée, qui exige une balle pesant au moins 25 grammes et une charge d'au moins 5 grammes de poudre vive, charge bien supérieure à celle des armes américaines qui emploient la cartouche dont nous venons de parler.

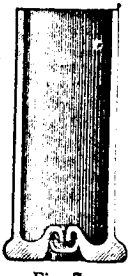


Fig. 7.

Nous citerons encore la disposition de cartouche à inflammation centrale représentée fig. 7. Le fond du culot est repoussé de manière à former à la fois un logement et une enclume pour une capsule courte qui s'applique dans le creux central; la pression du percuteur maintient cette capsule appliquée contre l'enclume, une fois le coup parti, et s'oppose aux crachements d'une manière généralement efficace.

Cartouches forme touteille. Les cartouches à culot employées pour les fortes charges prennent une longueur qui devient gênante. On est parvenu à diminuer cet inconvénient en pratiquant une chambre d'un diamètre assez fort dans la partie du canon qui reçoit la charge (fig. 8).



Fig. 8.

Cartouches entraînées avec le projectile. Les cartouches à culot, surtout amenées au dernier degré de perfectionnement dont nous venons de parler, sont susceptibles d'un excellent emploi dans les armes de guerre. Aussi des armes qui jouissent d'une juste célébrité, le Remington, le Martini par exemple (voy. ARMES À FEU), emploient ces cartouches. Elles ferment bien le canon, et, ne se détruisant pas, sortent facilement du canon, grâce au tire-cartouches qui fonctionne en ouvrant l'arme pour la charger. La perte de temps, qui correspond à l'enlèvement des débris de la cartouche qui vient d'être tirée, est tout à fait insignifiante. On a pourtant cherché à l'éviter, surtout avant le perfectionnement des cartouches métalliques, au prix de dispositions complexes, dans le fusil à aiguille prussien et le fusil Chassepot.



Fig. 9.

La cartouche du fusil prussien consiste en une balle allongée *a*, un sabot *b* ou culot de fort papier renfermant la matière fulminante, l'amorce, et, enfin, la charge de poudre *c*, le tout renfermé dans un même papier collé et replié à la partie supérieure (fig. 9).

L'aiguille doit donc traverser toute la charge de poudre pour aller percuter sur la balle qui fournit le point d'appui.

On a cherché à éviter ce supplément de course, qui entraîne des faussements de l'aiguille, dans la cartouche du fusil Chassepot, au moyen d'une disposition assez compliquée, qui rend la fabrication de la cartouche beaucoup plus délicate. Elle est représentée (fig. 10 et 11), en vue et en coupe.

Fig. 10. M



Fig. 11. N



La balle conique, du poids de 24^{g}, porte un renflement à la partie postérieure, qui se moule dans les rayures; la charge de poudre (de 5 grammes) est placée dans un papier résistant recouvert de gaze et replié au-dessus d'un petit disque en carton, sur lequel se place la balle recouverte d'un papier gris réuni solidement par un fil à celui de la cartouche. Ce dernier vient se coller sur un autre disque en carton, placé à l'extrémité de la cartouche opposée à la balle, disque percé d'un trou au centre pour recevoir la capsule à rebords. Cette capsule est maintenue par un papier collé sur le disque, et est remplie par un petit cylindre de caoutchouc, pour prévenir des accidents.

Du fait de la solidité du papier employé et faisant plusieurs tours, de la manière dont la poudre est maintenue entre deux disques, l'aiguille, en pénétrant dans la capsule, trouve une résistance suffisante pour faire partir le fulminate, qui enflammera d'autant plus sûrement la poudre que la capsule est percée à son fond de deux petits trous. Toutefois, le coup n'est évidemment pas sec, et il faut forcer la quantité et l'inflammabilité du fulminate pour éviter les ratés, ce qui est un inconvénient assez grave. On avait essayé, avec quelque suc-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cès, pour obtenir un point résistant, l'emploi d'un petit cylindre de poudre comprimée, placé au milieu de la poudre ; malheureusement, le placement en était incertain.

Il nous semble qu'il y aurait avantage, pour éviter la facile détérioration de cette cartouche dans les transports, à employer la combinaison suivante.

Elle consisterait à placer, au centre de la balle, une pointe de Paris (galvanisée au besoin dans un bain de zinc fondu), qui peut facilement être placée au centre du moule avant de verser le plomb. La tête de cette pointe, l'extrémité de la broche, dépassant le plomb de la longueur de la charge, fournirait, entre autres avantages, un point d'appui pour la percussion produisant l'inflammation de la capsule.

Nous avons donné une analyse détaillée de la fabrication des cartouches, non-seulement à cause de l'importance de cette industrie, mais parce que les armes à feu et les cartouches employées dans celles-ci formant un tout indivisible, les progrès accomplis dans la fabrication de ces dernières peuvent modifier la détermination de la meilleure arme de guerre. En principe, la fermeture par un culot, l'adaptation d'un tonnerre fermé, sont des avantages précieux pour des armes se chargeant par la culasse, dans lesquelles on emploie de fortes charges, auxquels on ne doit renoncer que pour des motifs graves, qui n'existent plus guère depuis les derniers progrès relatés ci-dessus.

CASSAVE (voyez AMIDON).

CASSIS. Fruit du *ribes nigra* Linn., qui sert à préparer le *ratafia*; à cet effet on écrase 3ᵏ de cassis, on y ajoute 4 grammes de clous de girofle, 8 grammes de cannelle, 9 litres d'eau-de-vie de vin à 18° Baumé et 2ᵏ 1/2 de sucre; on introduit le mélange dans des bouteilles que l'on bouche bien, et que l'on laisse reposer pendant quinze jours, en agitant bien la bouteille une fois par jour, pendant les huit premiers jours; on passe ensuite à travers un linge, puis on filtre la liqueur sur un filtre en papier non collé, et l'on met en bouteilles.

CASTOR (*angl.* castor, *all.* biber). Animal que l'on trouve surtout dans l'Amérique du Nord, mais que l'on rencontre aussi dans plusieurs autres localités, telles que les îles qui se trouvent dans le Rhône près de son embouchure. Sa peau est très-estimée, soit comme fourrure, soit pour la fabrication des chapeaux de feutre. On classe les peaux de castor, qui forment un article de commerce assez important, en trois classes: 1° les peaux fraîches qui proviennent de castors tués pendant l'hiver avant la mue, et qui sont regardées comme une fourrure très-précieuse parce qu'elles sont garnies de poils longs, soyeux et très-fournis; 2° les peaux sèches venant de castors tués en été, qui ont perdu une partie de leurs poils et qui sont toujours moins estimées; enfin 3° les peaux grasses, provenant de castors tués en hiver, mais qui ont déjà servi de fourrures aux sauvages pendant un certain temps et qui se sont imprégnées de sueur. Ces dernières sont surtout employées pour la fabrication des chapeaux de feutre.

CASTOREUM. Nom donné à une sécrétion renfermée dans des poches placées près des organes de la génération des castors. C'est une substance analogue au musc ; sa consistance est celle du miel, son goût est âcre et amer; son odeur forte, pénétrante, fétide et très-volatile, mais en séchant elle devient inodore; elle renferme une certaine quantité d'acide benzoïque. Pour l'obtenir, on coupe les poches du castor aussitôt après sa mort et on les fait sécher. Dans cet état le castoreum est solide, d'une couleur sombre et faiblement odorant; il se ramollit par l'action de la chaleur, et devient cassant par celle d'une basse température. Il est assez employé en médecine, surtout dans les maladies nerveuses et spasmodiques.

CENDRES BLEUES (*angl.* blue verditer, *all.* blaue asche). On donne ce nom à un produit que l'on obtient en précipitant une dissolution de sulfate de cuivre (qui provient ordinairement de l'affinage des matières d'or et d'argent) par de la chaux pure, puis triturant le précipité, lorsqu'il est presque sec, avec de la chaux afin de lui donner une couleur d'un beau bleu velouté. Cette préparation est très-délicate et ne réussit qu'entre les mains d'ouvriers expérimentés.

Les *cendres bleues en pâte* se préparent en France, comme il suit : on introduit dans un tonneau défoncé par un bout 60 litres d'une dissolution aqueuse de sulfate de cuivre chaud et marquant 35° à l'aéromètre de Baumé; on y ajoute 45 litres d'une solution bouillante de chlorure de calcium marquant 4° B.; on brasse fortement, puis on abandonne le mélange à lui-même pendant douze heures. Lorsque le sulfate de chaux s'est complétement déposé, on décante la liqueur claire, on jette le dépôt sur des filtres coniques en toile écrue et serrée où on le laisse égoutter, et on le lave à l'eau jusqu'à ce que la liqueur qui passe à travers les filtres ne marque plus que 2 à 3° au plus. Toutes les solutions obtenues produisent environ 170 litres de *liqueur verte* à 2° Baumé.

D'un autre côté on pèse 25ᵏ de chaux, que l'on délaye dans 75ᵏ d'eau; on passe la bouillie qui en résulte à travers un tamis de toile métallique en cuivre; on en prend 18 à 20ᵏ (la beauté de la couleur est en raison inverse de la quantité de chaux employée) qu'on verse dans les 170 litres de liqueur verte; on agite fortement, et on laisse déposer. On s'assure que la liqueur ne renferme presque plus de cuivre, à ce qu'en en traitant une petite portion par excès d'ammoniaque, celle-ci ne prend qu'une teinte bleuâtre très-pâle; si elle prenait une couleur d'un bleu foncé, il faudrait ajouter une plus grande quantité de bouillie de chaux pour rendre la précipitation du cuivre plus complète. On lave le précipité par décantation, puis on fait égoutter sur des filtres en toile; on obtient ainsi de 125 à 135ᵏ de *pâte verte* qui est de l'oxyde de cuivre hydraté. Les eaux de lavage sont mises de côté et servent, les premières au lavage du sulfate de chaux de l'opération précédente, les dernières au premier lavage des pâtes.

On dessèche avec précaution 10 grammes de la pâte verte pour déterminer la proportion des matières sèches; si elle en renferme par exemple 27 p. 100, on en prendra 12ᵏ (si elle en renfermait *m* p. 100, on en prendrait $\frac{27}{m}$. 12ᵏ) que l'on met dans un baquet en bois dont la capacité est de 20 litres environ en y ajoutant 1ᵏ de bouillie de chaux, on agite vivement, on ajoute au mélange 0 litre 7 d'une dissolution aqueuse de potasse perlasse du commerce, à 15° B; on agite de nouveau, et on se hâte de broyer le tout dans un moulin à couleurs. La promptitude de cette opération influe beaucoup sur la beauté du produit. On fait couler la pâte broyée dans une bouteille, on y ajoute 500 grammes de sulfate de cuivre dissous dans 3 litres d'eau et 250 grammes de sel ammoniac dissous dans 4 litres d'eau, on bouche la bouteille avec un bouchon de liége que l'on lute, et on la secoue fortement.

On peut par ce procédé remplir aisément 24 bouteilles par jour. On laisse reposer pendant 4 jours; on débouche les bouteilles et on verse le produit de 4 d'entre elles dans une futaille de 400 litres de capacité, défoncée par un bout et placée sur champ; on remplit d'eau jusqu'à quelques pouces du bord et l'on mélange bien le tout avec un râble; enfin, on lave par décantation en soutirant l'eau claire à l'aide d'une cannelle jusqu'à ce que l'eau décantée ne fasse plus virer au brun la couleur du papier jaune de curcuma. Lorsque le dépôt est suffisamment lavé, on le fait égoutter sur des filtres en toile. On obtient ainsi de 45 à 60ᵏ de pâte, qui est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vendue en cet état aux fabricants de papiers peints.

On fabrique en tout trois qualités de cendres bleues en pâte ; la première qualité ou *bleu supérfin* se prépare comme nous venons de le dire ; pour obtenir la seconde qualité ou *bleu fin*, on emploie 4 l. 1/2 de bouillie de chaux au lieu de 4 l. ; enfin, pour préparer la troisième qualité ou *bleu n° 1*, on prend 2 l. de bouillie de chaux au lieu de 4 l. et 500 grammes de sel ammoniac au lieu de 250 grammes.

Pour obtenir *les cendres bleues en pierre* de qualités correspondantes, il suffit de faire sécher les pâtes ci-dessus à l'ombre et à une douce chaleur. On prépare rarement des cendres bleues en pierre de troisième qualité.

CENDRES GRAVELÉES (voyez POTASSE).

CÉRUSE. BLANC DE PLOMB, BLANC D'ARGENT, BLANC DE CLICHY, CARBONATE DE PLOMB (*angl.* white lead, *all.* bleiweiss). Ce sel est, sans contredit, la couleur la plus en usage dans la peinture ; elle se mêle facilement à l'huile, la rend siccative, s'étend très bien sous le pinceau, et recouvre parfaitement les surfaces qu'on veut enduire : on l'emploie soit seule comme matière colorante blanche, soit avec d'autres couleurs pour leur servir d'excipient ou leur donner du corps.

Le carbonate de plomb est pulvérulent, blanc, insoluble dans l'eau, un peu soluble dans l'acide carbonique.

Le carbonate neutre de plomb est formé de l'équivalent de protoxyde de plomb P^bO pesant 112, plus un équivalent d'acide carbonique $C O^2 = 22$. Ce carbonate pèse donc 134 ; il est souvent mêlé, dans la céruse du commerce, de traces de sulfure de plomb, d'acétate tribasique, et d'hydrate de protoxyde de plomb, dans des proportions variables, formant quelquefois 12 à 18 centièmes du poids total. La chaleur le décompose en acide carbonique et en protoxyde de plomb ; chauffé longtemps, au contact de l'air, à la température de 120 à 130° degrés centigr., il se convertit en *minium* très beau ; cette variété de minium est connue, dans le commerce, sous le nom de *mine-orange*.

La Hollande a été longtemps en possession de fournir exclusivement ce produit du commerce ; mais depuis vingt à vingt-cinq ans un grand nombre de fabriques de céruse se sont successivement élevées en Angleterre, en Allemagne, en Belgique et en France.

Il existe divers procédés pour la fabrication de la céruse ; néanmoins il n'y en a guère qu'un seul qui soit généralement mis en pratique ; c'est le procédé hollandais.

On avait fortement préconisé un autre mode de fabrication qui paraissait devoir offrir de grands avantages, c'est le procédé par précipitation ou de *Clichy* ; mais malheureusement les produits qu'on obtenait ainsi ne réunissaient pas toutes les qualités qu'on exige dans une céruse de bonne qualité ; aussi a-t-il été presque partout abandonné.

En traitant de la fabrication de la céruse, nous ne pouvons en disjoindre la question de salubrité, qui a si justement ému l'opinion publique. On sait en effet que les ouvriers qui fabriquent la céruse, et les peintres qui l'emploient, sont sujets à des coliques saturnines extrêmement graves, dont les effets se prolongent et sont parfois mortels. A ces points de vue, comme à celui de la description des procédés employés, nous ne saurions mieux faire que de suivre le rapport fait à l'Institut par M. Combes.

Le procédé hollandais (nous dirons quelques mots en terminant du procédé de Clichy, sans importance aujourd'hui) consiste à exposer des lames de plomb aux réactions de l'air, de l'acide acétique, de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique, qui, aidés par une température de 36 à 60°, oxydent le métal et forment de l'acétate neutre que les progrès de l'oxydation rendent tribasique. Celui-ci est alors décomposé par l'acide carbonique, forme du carbonate de plomb, et est ramené à l'état d'acétate de plomb neutre, qui de nouveau devient tribasique à mesure que le plomb s'oxyde. Les mêmes réactions, répétées un grand nombre de fois, produisent des quantités de céruse variables suivant les circonstances. Cette fabrication comprend les opérations suivantes :

1° Fusion et coulage du plomb en lames plus ou moins épaisses, ou en grilles de forme rectangulaire allongée ;

2° Mise du plomb moulé en couches alternatives avec du fumier ou de la tannée. Le plomb est placé sur des pots contenant de l'acide acétique faible. Il reste dans les *loges* ainsi remplies pendant trente-cinq ou quarante jours quand on emploie du fumier, qui élève la température et fournit de l'acide carbonique, et pendant soixante-dix à quatre-vingt-dix jours lorsqu'on fait usage de la tannée, qui ne fournit pas comme le fumier du gaz hydro-sulfurique ;

3° On découvre successivement les lits de plomb, qui est passé en partie à l'état de carbonate, séparation de la céruse de plomb non attaquée qu'elle recouvre ; première pulvérisation et criblage de la céruse pour la séparer des lamelles de plomb ;

4° Broyage à l'eau de la céruse sous des meules ;

5° Moulage et dessiccation de la céruse broyée à l'eau ;

6° Pulvérisation et broyage à sec des pains de céruse ; blutage, mise en barils de la céruse destinée à être vendue en poudre ;

7° Pour la céruse qui est vendue en pâte avec de l'huile, la poudre obtenue du broyage des pains est mêlée, sans tamisage préalable, avec 7 à 10 p. 100 de son poids d'huile. Le mélange est opéré en vases clos par un agitateur ; il est ensuite passé entre plusieurs systèmes de cylindres horizontaux en fonte. La pâte, devenue fine et homogène, est reçue dans une cuve contenant de l'eau, d'où elle est retirée et mise en barils pour la vente.

I. La fusion du plomb, même des résidus qui ont échappé à l'action de l'acide carbonique, n'offre pas de danger sérieux, pourvu que la chaudière soit surmontée d'une hotte communiquant à une cheminée qui détermine un appel convenable.

Le plomb est fondu en lames de 1 kil. environ ; ces lames ont 60 centimètres de longueur, 10 de largeur, et quelques millimètres d'épaisseur.

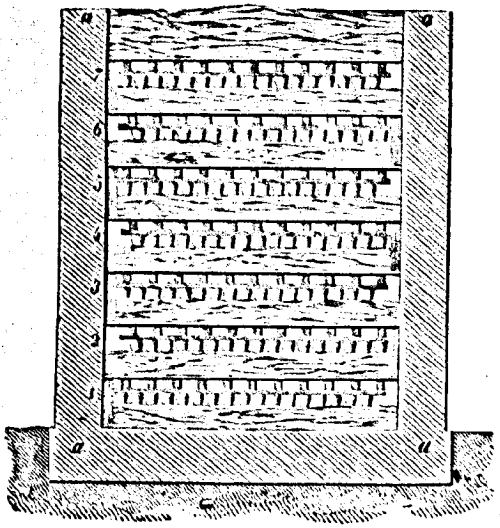
Dans une seule fabrique, celle de M. Besançon de Paris, on fond le plomb en grilles, en le versant dans des lingotières creusées de sillons qui se croisent à angle droit. On trouve ainsi l'avantage d'augmenter beaucoup les surfaces exposées à l'action de l'acide.

II. Les couches ou fosses à fumier doivent être construites en maçonnerie, à 1 mètre en contre-bas du sol. Elles ont en général 4 mètres de long, 4 de large et 6 de haut, c'est-à-dire une capacité de 96 mètres cubes. On met les uns sur les autres sept ou huit lits ainsi formés : sur un lit de 40 centimètres de fumier on place des pots au nombre de 1,200 ; on verse dans chaque pot un demi-litre de vinaigre (sauf 7 ou 8 pots, 1 ou 2 au milieu, 4 ou 6 aux quatre coins, qui sont remplis aux trois quarts de leur capacité). On place dans le pot une lame de plomb roulée sur elle-même ; cette lame est supportée par deux mentonnets ménagés à l'intérieur du pot, ce qui l'empêche de tremper dans l'acide.

Les pots placés sont recouverts de plaques de plomb ; au-dessus on place des latteaux en bois de 10 à 12 centimètres d'équarrissage, afin de maintenir un courant d'air, et on recouvre le tout par des planches sur lesquelles on construit une couche semblable à la première.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fig. 4 représente la disposition que nous venons de décrire, et l'ensemble que forme une couche complète. Il faut 30 ou 35 jours si on emploie du fumier, 45 jours si on fait usage du tan épuisé provenant des tanneries, pour que la transformation du



4.

plomb en carbonate atteigne le point désirable. On voit d'après cela qu'il faut avoir un nombre de fosses égal à ce nombre (ou multiple) pour que la division du travail soit bien établie, que les brigades d'ouvriers chargées de la construction ou du démontage des fosses fassent toujours le même travail.

Il entre dans une fosse de 9,000 à 11,000 kil. de plomb, qui produisent de 4,700 à 7,600 kil. de céruse, et laissent inattaqués 3,400 à 5,000 kil. de plomb.

La mise en couches des lames de plomb avec du fumier ou de la tannée ne peut évidemment causer aucun danger.

III. La séparation de la céruse du plomb qu'elle recouvre, la pulvérisation et le criblage, sont les parties les plus insalubres de la fabrication.

L'ouvrier détache d'abord les grosses écailles ou croûtes de céruse qui sont peu adhérentes au plomb non attaqué ; il prend dans ses mains les lames recouvertes de céruse, déroule celles qui étaient placées dans les pots, les tortille en divers sens et met à part les croûtes détachées.

Cette opération, appelée *épluchage*, où les ouvriers ont les mains constamment chargées de carbonate de plomb, n'est cependant pas la partie la plus insalubre de la fabrication, parce que la céruse se détache en écailles épaisses qui produisent peu de poussière. Les lames de plomb épluchées retiennent encore par places de la céruse, qui y adhère fortement. On plaçait autrefois pour la détacher une pile de lames sur une dalle en pierre et on frappait cette pile avec une *batte* en bois ; la céruse adhérente au plomb tombait en écailles minces ou se répandait en poussière fine dans l'air respiré par l'ouvrier. Cette opération, éminemment insalubre, est appelée le *décapage*.

Le décapage est fait aujourd'hui, dans la plupart des fabriques, par des procédés mécaniques qui exposent beaucoup moins la santé des ouvriers. Les lames couvertes de céruse adhérente sont apportées près de la machine ; l'ouvrier les prend une à une, et les pose doucement sur une toile sans fin mobile qui les amène à la tête d'un plan incliné sur lequel elles glissent ; elles arrivent à un système formé de deux paires de cylindres cannelés longitudinalement, suivis d'un crible cylindrique incliné. La céruse, détachée par l'action de deux paires de cylindres, entre lesquels passent les lames, tombe sur un tablier aboutissant à une trémie, qui recueille également ce qui passe à travers les mailles du crible cylindrique. La trémie verse son contenu dans un chariot placé dans une chambre fermée par une double porte. Les lames de plomb, arrivées à l'extrémité inférieure du crible, sont conduites par un couloir à un autre chariot enfermé dans un compartiment contigu au précédent. Toutes les parties du mécanisme sont contenues dans des coffres en bois ou des gaines qui sont fermés pendant le travail, et n'offrent alors qu'une seule ouverture, celle par où passe la toile sans fin sur laquelle on dépose les lames à *décaper*. Le chariot où a été réunie la céruse est retiré de la chambre après que le travail est terminé et que la poussière est abattue. Son contenu est réuni aux écailles résultant de l'épluchage, pour subir une pulvérisation à sec.

Cette dernière opération se fait encore, dans la plupart des fabriques, sous des meules verticales en pierre tournant dans des auges à fond horizontal. La matière broyée est prise avec une pelle et versée dans la trémie d'un crible cylindrique à treillis métallique fin, enfermé dans un coffre. La céruse en poudre passe à travers la maille et tombe au fond du coffre. Les lamelles de plomb, aplaties sous la meule, arrivent à l'extrémité du crible et sont reçues dans une case séparée. La céruse tamisée est reprise pour être délayée dans l'eau et passe sous les meules qui en achèvent la trituration.

Dans quelques fabriques des environs de Lille la pulvérisation des écailles est opérée par le moyen de plusieurs paires de cylindres horizontaux, cannelés dans le sens transversal à leur axe. La matière divisée tombe sur un ou plusieurs tamis métalliques ; la céruse en poudre qui traverse ces tamis est dirigée par des trémies ou couloirs dans un encaissement où arrive un jet d'eau divisé en plusieurs filets. Les lamelles de plomb, isolées par les tamis, tombent dans une case distincte. L'ensemble des cylindres broyeurs et des tamis occupe la hauteur d'un étage : le tout est enfermé dans un coffre en bois, surmonté d'une trémie que l'on maintient pleine d'écailles de céruse, afin de prévenir l'issue de la poussière, et que l'on peut au besoin fermer avec une trappe. Ces dispositions constituent un des perfectionnements les plus importants, sous le rapport de l'hygiène, qui aient été apportés aux anciennes méthodes de fabrication.

Depuis longtemps, au dire de M. Leplay, plusieurs fabricants anglais emploient la méthode de mouiller ainsi la céruse. Comme c'est la poussière qui, en arrivant dans les voies respiratoires et digestives, est la cause principale de l'insalubrité de la fabrication de la céruse, la méthode de travailler avec un liquide est le moyen par excellence de faire disparaître tout inconvénient.

Nous indiquons un second progrès accompli dans la même voie, dans cette même industrie, § VII.

IV. La céruse est délayée dans des cuviers avec de l'eau, de manière à former une pâte molle, que l'on fait passer successivement entre plusieurs jeux de meules horizontales qui en achèvent la trituration. Ce broyage à l'eau est absolument inoffensif. Les ouvriers ne touchent point la pâte avec les mains ; ils la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

puisent dans des vases en forme d'écopes, pour la verser dans les trémies des meules supérieures.

V. La pâte molle de céruse est versée dans des pots en terre de forme conique, que l'on expose à l'action de l'air dans un séchoir. L'eau s'évapore en grande partie. Les pains prennent de la consistance et subissent un retrait qui les détache des parois, de sorte qu'on peut les retirer des pots avec facilité. Leur dessiccation est achevée dans une étuve où circule un courant d'air chauffé.

Les parois des pots se recouvrent d'une couche adhérente de céruse que l'on enlève ordinairement par un grattage exécuté à sec avec des instruments en fer. Cette opération est faite par des enfants et des femmes; elle n'est pas exempte d'inconvénients si on laisse trop sécher la pâte. On les évite, dans quelques usines, en nettoyant les pots avec de l'eau; on les diminue dans d'autres, en mettant la céruse en pâte dans des terrines plates, où les pains, d'épaisseur moindre et plus régulière, produisent, en un temps et un espace donnés, une plus grande quantité de céruse sèche.

VI. La plus grande partie de la céruse en pains doit être soumise à un nouveau broyage, suivi d'un blutage, pour être livrée au commerce. Cette seconde pulvérisation est encore exécutée aujourd'hui, dans beaucoup d'établissements, au moyen de meules verticales en pierre, tournant dans des auges à fond horizontal de même nature que les meules. La céruse broyée est versée, avec une pelle, dans la trémie d'un blutoir cylindrique en soie, renfermé dans un coffre, au fond duquel se dépose la matière en poudre fine. Celle qui n'a point traversé le tamis tombe dans une case, où elle est reprise pour être repassée sous la meule. La céruse en poudre retirée du coffre, après que la poussière est abattue, est mise dans des barils où elle est tassée, soit par une sorte de pilonnage, soit en agitant les barils.

La pulvérisation, le blutage à sec et la mise en barils de la céruse en poudre, par ces procédés, sont des opérations évidemment fort insalubres à cause de la poussière qui se répand dans les ateliers.

M. Lefebvre de Lille, un des principaux fabricants de céruse, a modifié ce mode de faire. Au lieu de meules verticales fonctionnant à l'air libre, il emploie des meules horizontales en marbre blanc qui sont enfermées dans un tambour métallique parfaitement clos. La meule inférieure est dormante; la meule supérieure fait deux cent soixante-seize tours par minute. A la partie la plus élevée est une espèce de *moulin à noix* qui divise la céruse avant qu'elle n'arrive à la meule.

La céruse réduite en poudre est rejetée par la force centrifuge vers le pourtour des meules; de là elle se rend dans un blutoir renfermé dans une armoire à doubles portes et tombe, à l'état de poudre, dans un wagon à roulettes qui peut recevoir 1,200 kil. On ne retire ce wagon, qui glisse sur un petit chemin de fer, que quand la poussière est abattue.

VII. Le progrès le plus important de tous ceux qui ont été accomplis dans la fabrication de la céruse consiste dans la coutume qui tend à se généraliser, de la livrer mélangée avec 7 ou 8 pour 100 d'huile. Diminution des inconvénients des dernières opérations, qui s'accomplissent entièrement dans des coffres fermés; disparition des dangers qui résultaient de l'embarillage, du concassage et de l'empâtage par l'ouvrier peintre, tels sont les principaux et heureux résultats de cet usage, aussi heureux pour la salubrité qu'avantageux au point de vue commercial.

Il suffit, pour cette opération, d'une machine à mélanger l'huile et la céruse, d'une espèce de *pétrin mécanique*. L'huile est mélangée avec la céruse par l'action de bras adaptés à un arbre. La pâte obtenue est ensuite passée entre des cylindres broyeurs au nombre de trois, qui l'amènent à un état convenable.

Procédé de Clichy. M. Roard avait monté à Clichy, d'après les indications de M. Thénard, une importante fabrique de céruse. Comme nous l'avons dit, le procédé qui y était suivi est à peu près abandonné aujourd'hui malgré d'importants perfectionnements, et notamment la production très économique de l'acide carbonique par l'emploi d'un four à chaux. M. Payen explique l'infériorité de cette céruse par les conditions de sa production. Prenant naissance à froid dans des solutions étendues, graduellement affaiblies, la céruse de Clichy est formée de lamelles irrégulières moins divisées, dont la superposition offre moins d'opacité que les particules plus fines de la céruse préparée par le procédé hollandais. Aussi cette dernière couvre-t-elle mieux, et par suite est-elle toujours préférée.

Ce qui paraît confirmer cette manière de voir, c'est qu'on est, assure-t-on, parvenu à obtenir des céruses ayant toutes les qualités désirables en faisant agir à chaud l'acide carbonique sur l'acétate tribasique concentré, simple modification du procédé de Clichy, que nous allons décrire.

On préparait ce sous-acétate de plomb en faisant dissoudre la litharge dans l'acide acétique concentré provenant de la distillation du bois. La dissolution était versée dans de grands bassins en bois doublés de cuivre étamé, dans lesquels l'acide carbonique était refoulé au moyen d'une vis d'Archimède. Ce gaz s'obtenait au moyen de la combustion du charbon de bois ou du coke.

Après un certain temps on décantait le liquide, et le résidu bien lavé était mis en pots et desséché.

C'est d'une fabrication de cette nature, organisée par M. Pallu, que le jury de 1855 a constaté les bons résultats. Cet ingénieur a parfaitement établi comment, sous le rapport des propriétés physiques et de la composition chimique, la céruse obtenue par le procédé de Clichy n'est pas identique à elle-même, aux différentes époques de la précipitation : celle qui se produit en premier lieu, c'est-à-dire lorsque la solution est *concentrée* et *tribasique*, par conséquent *dense*, est lourde, opaque, possède des propriétés couvrantes analogues à celles du blanc de plomb préparé par le procédé hollandais; la céruse qui se forme à la fin de l'opération, quand la solution s'est affaiblie et s'est transformée, en très-grande partie, en un mélange d'acétate neutre et d'acétate bibasique de plomb, cette céruse est infiniment moins dense, moins opaque; elle est *neigeuse*, se tient très-longtemps en suspension dans l'eau, et jouit de propriétés couvrantes infiniment moins prononcées que le blanc de plomb ordinaire. D'où il résulte que le produit de la *précipitation totale* de l'acide tribasique n'est homogène, ni au point de vue physique, ni sous le rapport de la composition chimique, et qu'il couvre moins que la céruse obtenue par la *carbonatation* du plomb dans les fosses.

La pratique des peintres a constaté, depuis longtemps, ce défaut, qui a constitué d'ailleurs jusqu'ici la céruse obtenue par précipitation dans des conditions d'infériorité marquée par rapport au blanc de plomb produit par le procédé hollandais. L'avantage immense que présente, au point de vue de la salubrité, l'exécution d'une méthode dans laquelle l'ouvrier ne manie pas la céruse, et dans laquelle il ne se produit pas de poussière métallique, a déterminé M. Pallu à la modifier. Il a obvié à l'inconvénient signalé, en restituant de l'oxyde de plomb à la solution, au fur et à mesure qu'elle en perd à l'état d'*hydrocarbonate*. Il a atteint ce but en imprimant aux solutions un mouvement de circulation continue. En effet, dans l'usine de MM. de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Launay et Bruson, les solutions passent, par un courant continu, dos cuves dans lesquelles elles se saturent d'oxyde de plomb, vers les cuves où elles sont soumises à l'action de l'acide carbonique; de celles-ci, elles retournent à leur point de départ, en déposant, dans des cuves intermédiaires, la céruse qui s'est formée. De cette façon, du nouvel oxyde de plomb remplace continuellement celui que l'acide carbonique gazeux enlève aux solutions, qui conservent ainsi leur *densité initiale* et *leur composition chimique*.

On comprend aisément que, par cette méthode, on doit être maître de produire un blanc de plomb homogène, tant par ses propriétés physiques que par sa composition chimique. On conçoit aussi qu'en faisant varier la *densité du liquide* et *sa température*, comme l'a proposé le premier M. Dumas, on devra obtenir des céruses plus ou moins denses, plus ou moins opaques. MM. de Launay et Bruson, profitant de cette faculté, préparent du blanc de plomb dense et du blanc de plomb léger. Les échantillons de *céruse lourde en pain* et de *céruse légère en cube* qu'ils avaient exposés, avaient été produits pour démontrer l'étendue de la limite dans laquelle on peut faire varier la densité de ce produit, en changeant la nature de la solution, mais en maintenant la constance de sa composition pendant tout le temps de la précipitation.

Sauf dans la fabrication dont nous venons de parler, le procédé de Clichy est tout à fait abandonné, et nous croyons même que les propriétaires de la manufacture de Clichy ont été obligés d'y renoncer, et de le remplacer par le procédé hollandais.

La variété de céruse connue sous le nom de *blanc d'argent* ou *blanc de Krems*, s'obtient en choisissant les écailles les plus blanches et les plus compactes, qu'on soumet à un broyage plus long et plus soigné. Les pains sont de forme carrée.

Le carbonate de plomb qu'on rencontre dans le commerce est rarement pur. Il contient très-souvent du sulfate de baryte ou du sulfate de plomb, et même quelquefois de la craie. On reconnaît la craie par les acides azotique ou acétique qui dissolvent à la fois cette substance, et le carbonate de plomb lui-même. On précipite de la dissolution tout le plomb au moyen d'un sulfure alcalin, et enfin on précipite la chaux par un oxalate. Le sulfate de plomb et celui de baryte ne se dissolvent pas dans les acides : il est donc facile d'en reconnaître la présence et d'en constater la quantité. P. M.

CHAGRIN (*angl.* shagreen, *all.* chagrain). Sorte de cuir dont l'aspect diffère essentiellement des cuirs ordinaires. Sa surface est recouverte d'une foule d'aspérités très-serrées et cornées qui la rendent rude au toucher. Sa couleur est ordinairement noire. Le propre de la fabrication de la peau de chagrin consiste à faire naître à sa surface les grains cornés qui la distinguent. A cet effet, on choisit d'abord un cuir de cheval, d'âne ou de chameau, dont on enlève la partie inférieure du dos, de la naissance de la queue au milieu de l'échine, qui présente seule les qualités nécessaires à la fabrication. On la ramollit dans l'eau et l'on l'écharne complétement; on la tend ensuite autant que possible sur un châssis, que l'on met horizontalement à terre le côté du poil en dessus; on la couvre alors d'une couche de grains du *chenopodium album*, qui sont très-durs, noirs et brillants, puis on les y fait pénétrer en piétinant dessus; on fait ensuite sécher la peau. On détache les grains qui se sont incrustés dans le cuir en le secouant et le battant, et il ne reste plus dans le cuir tendu que les cavités qu'ils y ont produites par pression. A l'aide d'un instrument tranchant, on enlève alors la surface de la peau, jusque près du niveau du fond de ces cavités. On fait ensuite digérer le cuir, d'abord dans de l'eau, puis dans une faible lessive de carbonate de soude. Les parties précédemment comprimées se gonflent, et donnent naissance aux aspérités qui caractérisent la peau de chagrin.

Cette opération se fait aujourd'hui dans les grandes fabriques par compression directe du cuir entre des surfaces de grain convenable.

Pour colorer en noir le cuir ainsi préparé, on le saupoudre encore humide de NOIX DE GALLE pulvérisée, et lorsque sa surface s'est suffisamment imprégnée de tannin, on la rend noire en l'imbibant de sulfate de fer. Pour lui donner une couleur bleue, on en imprègne la surface à plusieurs reprises avec un mélange d'indigo, de chaux, de soude et de miel. Le rouge s'obtient avec un mélange de kermès et d'alun. Le vert se donne en imbibant le cuir d'une dissolution de sel ammoniac, le saupoudrant avec de la limaille de cuivre et le roulant sur lui-même; il se forme un sous-chlorure vert de cuivre qui s'imprègne dans la surface. Enfin, pour préparer de la peau de chagrin blanche, on passe sur la peau une dissolution d'alun, puis une bouillie de farine de blé de Turquie, que l'on enlève en lavant avec une nouvelle dissolution d'alun, et on frotte ensuite le cuir avec du suif; on en enlève après l'excédant en lavant à l'eau chaude, et on fait sécher.

CHAINE (*angl.* chain, *all.* kette). On distingue trois espèces de chaînes en fer, dont la fabrication et les usages sont très-différents : 1° les chaînes plates à mailles régulières et non soudées, flexibles seulement dans deux sens opposés, employées au lieu de courroies ou de cordes, pour la communication du mouvement dans les machines; 2° les chaînes ordinaires à mailles soudées, qui remplacent les cordes et câbles en chanvre, dans les grues, chèvres, cabestans, mouffles, etc.; 3° les chaînes à mailles étançonnées, pour le service de la marine (voyez CABLES EN FER).

L'invention des chaînes de la première espèce, formées de trapèzes accrochés les uns aux autres par des crochets qui les terminent (Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE), est due à notre célèbre mécanicien Vaucanson; mais nous ferons observer que les *chaînes à la Vaucanson*, qui engendrent plus de frottement que les courroies, ne sont pas admissibles quand il y a à vaincre une certaine résistance, parce que leurs mailles n'étant pas soudées, ne sont pas capables de supporter, sans s'ouvrir, un effort un peu considérable; de plus, dans les machines de fatigue telles que les bancs à tirer, le frottement qui a lieu incessamment à chaque articulation use les mailles et les allonge, de sorte que la denture des tambours, qui est invariable, n'étant plus exactement en rapport avec l'espacement des mailles, l'engrenement devient défectueux et même impossible au bout de très-peu de temps.

On fait d'autres chaînes à mailles non soudées, mais qui s'assemblent avec des goupilles rivées ou des boulons; telles sont : les chaînes des barillets des montres, les chaînes sans fin des machines à draguer, des norias, des chapelets, celles des bancs à tirer, etc., et enfin celles de M. *Galle* (voy. MÉCANIQUE), employées avec succès dans les mines pour l'extraction des minerais.

Les chaînes à mailles soudées se font en enroulant autour d'un mandrin, d'un diamètre égal à celui de l'intérieur de l'anneau, une tringle de fer rond d'excellente qualité et de grosseur convenable, préalablement chauffée au rouge. En coupant ensuite obliquement chacune des spires, on obtient autant d'anneaux ronds prêts à être soudés et sensiblement égaux.

La soudure se fait comme à l'ordinaire sur un petit feu de forge, et sur la pointe arrondie d'une bigorne. Le forgeur, après avoir passé l'anneau à souder dans l'anneau précédemment soudé, rapproche l'un de l'autre les deux bouts coupés obliquement et les soude en une seule chaude. Il donne en même temps à la maille

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la forme ovale en allongée qu'elle doit conserver.

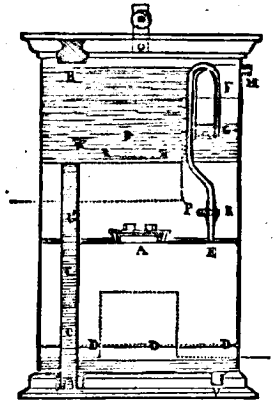
On doit essayer les chaînes en leur faisant supporter un effort au moins double de celui qui doit constituer leur charge habituelle.

CHALEUR. Nombre d'articles de ce dictionnaire sont consacrés à l'analyse des phénomènes de la chaleur. Nous avons résumé dans l'introduction les principaux résultats des travaux des physiciens, et dans le complément les progrès de la théorie mécanique de la chaleur.

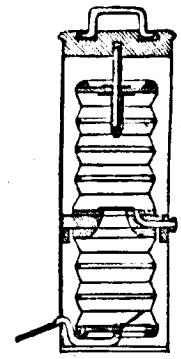
CHALUMEAU (*angl.* blowpipe, *all.* lothrohr). Jusqu'à ces dernières années la lampe à souder appelée chalumeau était un instrument d'une construction très grossière. Une flamme d'huile ou de graisse alimentée au moyen d'une mèche plus ou moins grossière, plus ou moins massive, et dans laquelle on insufflait de l'air à pleins poumons à l'aide d'un tube recourbé, tel était cet instrument si répandu dans les ateliers et dans les laboratoires. Aujourd'hui d'ingénieuses et importantes modifications étant à peu près généralement adoptées, nous allons décrire deux de ces instruments les plus perfectionnés. Tous deux sont de l'invention du comte É. Desbassayns de Richemont dont le nom était déjà connu en chimie.

Le *chalumeau aérhydrique*, brûlant un mélange d'hydrogène et d'air et donnant une flamme intense et vive aussi mobile que peut l'être un crayon qu'on tient à la main, est employé pour la soudure du platine par l'or, pour la brasure du cuivre et surtout pour la soudure *autogène* du plomb, sans aucun alliage d'étain. Il est fort usité pour cette dernière application dans les fabriques d'acide sulfurique et autres produits chimiques.

L'appareil dit de sept litres, dont on se sert le plus généralement, se compose d'un producteur de gaz, d'un soufflet et d'un double robinet à potence sur lequel se raccordent des tubes de caoutchouc et une tige de cuivre formant chalumeau. Le producteur destiné à fournir de l'hydrogène par la décomposition de l'eau au moyen du zinc (ou du fer) et de l'acide sulfurique, est représenté dans la fig. 395. Il est construit sur le principe de la lampe de Gay-Lussac. Ainsi on remplit de rognures de zinc toute la capacité inférieure par la bouche A qu'on referme hermétiquement. On verse en B dans la capacité supérieure un mélange d'acide sulfurique et d'eau à 20° Baumé. Le mélange descendant par le tuyau C C C, remonte dans la partie inférieure jusqu'à ce que l'air qui s'y est introduit en mettant le zinc et qui se comprime ne trouvant aucune issue pour s'échapper, fasse équilibre à la colonne de liquide. Comme le zinc repose sur un double fond D D, placé précisément à la hauteur que doit atteindre le liquide retenu par l'air comprimé, il arrive que le zinc reste d'abord préservé de tout contact avec le mélange acidulé. Dans cet état le producteur est ce qu'on appelle *chargé*. Veut-on faire fonctionner l'appareil et produire du gaz, on ouvre le robinet R (et ceux qui pourraient lui correspondre plus loin) de manière à donner issue à l'air comprimé. En même temps que l'air s'échappe, le liquide monte, se met en contact avec le zinc et le gaz hydrogène se dégage. En un instant l'appareil est complétement purgé d'air. Le gaz passant par E, — (le robinet R étant ouvert,) sort en G dans le flacon de sûreté F où il traverse une légère couche d'eau introduite préalablement par l'ouverture H, au moyen d'un petit entonnoir. Nous verrons plus loin comment ce gaz est brûlé. Veut-on arrêter la production du gaz, on referme le robinet R, le gaz qui continue à se développer pendant quelques instants par suite du contact du zinc avec le liquide, se comprime ne trouvant plus d'issue, pèse sur le liquide qui remonte par le tuyau C C C dans la partie supérieure, jusqu'à ce que son niveau dans la partie inférieure soit au-dessous du double fond D D. Dès lors il n'y a plus de contact entre le liquide et le zinc et par conséquent plus de dégagement de gaz. S'agit-il de remettre l'appareil en fonction, on rouvre le robinet R, le gaz comprimé s'échappe, le liquide remonte, atteint le zinc et reproduit du gaz en proportion et au fur et à mesure du besoin.



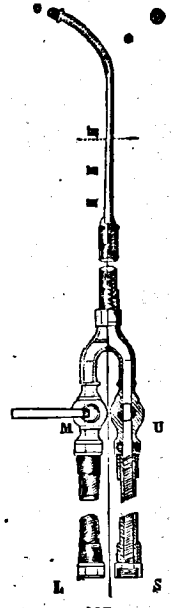
395.



396.

La fig. 396 représente le soufflet qui, mis en mouvement au moyen d'une pédale, fournit l'air nécessaire.

Que maintenant on raccorde l'extrémité L du tube de caoutchouc sur l'ouverture H du producteur et l'extrémité S sur la prise d'air P, et l'appareil (fig. 397) est prêt à fonctionner. L'ouvrier prend alors à la main la tige de cuivre N N N, il ouvre le robinet R et entr'ouvre le robinet correspondant M, le gaz qui s'échappe par l'extrémité d'un gland percé en O, étant allumé, donne d'abord une flamme molle et rougeâtre; le soudeur entr'ouvre également le robinet à air U, jusqu'à ce que la flamme devienne vive, prenne une teinte bleuâtre et s'allonge sous la forme d'un pinceau effilé.



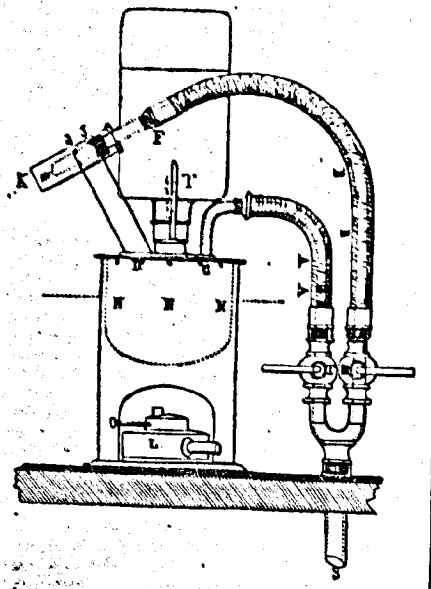
397.

On conçoit que l'ouvrier tient ainsi à la main, au bout de la tige de cuivre raccordée sur un long tube de caoutchouc, un véritable *outil de feu*. Des appareils, construits pour la marine royale, ont pu brûler plusieurs centaines de litres de gaz et d'air à la minute, soit par une seule ouverture, en un seul jet de flamme, soit par une quantité d'ouvertures rapprochées les unes des autres sur une pomme d'arrosoir. On peut se faire une idée de la puissance d'un pareil instrument de feu, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sous un petit volume peut toujours être appliqué sur place et dans toutes les positions possibles. Quand il s'agit de souder deux lanières de plomb, le dard de flamme en réunit les bords en une seule masse homogène par une fusion instantanée et limitée au point seul que l'on veut fondre. Nous aurons occasion de reparler plus loin, à l'article SOUDURE, des divers emplois de la flamme aérhydrique au travail du plomb, du cuivre, du zinc et du platine.

Le *chalumeau à vapeurs combustibles* (fig. 398), brûlant des vapeurs d'essence de térébenthine chauffée, remplace l'ancien chalumeau à huile dans les ateliers si nombreux d'orfèvres, bijoutiers, fabricants de bronze, dentistes, émailleurs, etc. Un flacon de verre, à niveau constant, alimente d'essence de térébenthine une petite chaudière en cuivre sous laquelle brûle une lampe à esprit de vin L. Un thermomètre T, plongeant dans l'essence, indique la température convenable pour opérer. Un soufflet fournit en S, de l'air dans les deux tubes de caoutchouc AA et BB. En ouvrant le premier robinet R, l'air entre dans la chaudière en C au-dessus du niveau de l'essence NNN, pour en ressortir en D, entraînant avec lui des vapeurs d'essence qui viennent s'allumer en K. La flamme est d'abord molle et blanchâtre. Le second robinet r amène par le tube BB, que termine la tuyère ou chalumeau JJ, un courant d'air forcé qui, s'injectant dans l'intérieur de la flamme, la rend bleuâtre et vive, et lui donne la forme d'un dard plus ou moins épanoui. Elle est alors parfaitement propre à être employée à la soudure des métaux précieux et au travail du verre.



398.

On peut affirmer qu'au moyen de l'un ou l'autre des deux chalumeaux que nous venons de décrire, le chalumeau *aérhydrique* ou le chalumeau à *vapeurs combustibles*, il n'est pas de difficultés dans l'art de souder qui ne disparaissent entièrement. Outre l'économie, qui est considérable relativement aux moyens anciennement employés, pour la soudure du plomb notamment et pour le travail de la bijouterie ; ces instruments réunissent les meilleures conditions connues de propreté et de salubrité pour les ateliers. Aussi leur usage s'est-il promptement répandu partout où on a eu occasion de les connaître, et il est probable qu'il en sera ainsi d'un procédé analogue dû au même inventeur et dont nous parlerons à l'article *fer à* SOUDER. DELBRUCK.

CHANDELLE (*angl.* talglicht, *all.* kerzen). Voyez BOUGIE.

CHANVRE (*angl.* hemp, *all.* hanf). Plante textile annuelle, dans laquelle les fleurs mâles et femelles se trouvent sur des individus séparés. La tige des pieds femelles est plus forte et plus élevée que celle du chanvre mâle (elle atteint souvent 2 et 3 mètres de hauteur), et donne une matière textile plus grossière et moins estimée. Le chanvre mûr perd en séchant à l'air de 40 à 60 p. 100 de son poids. Séché à l'air, le chanvre mâle renferme moyennement 26 p. 100 de chanvre teillé, et le chanvre femelle seulement 16 à 22 p. 100. Le chanvre teillé séché à l'air ne renferme que 60 à 65 p. 100 de filaments textiles, le reste se compose de matières étrangères solubles dans les lessives alcalines ; de sorte que 100 p. de chanvre vert ne donnent que 5 à 8 p. de filaments textiles. Ces filaments sont spécifiquement plus lourds, plus grossiers et plus résistants que ceux du lin, et s'en distinguent lorsqu'ils n'ont pas été blanchis par leur teinte jaunâtre.

La travail du chanvre est tout à fait analogue à celui du LIN (voyez ce mot).

CHAPEAUX (FABRICATION DES) (*angl.* hat manufacture, *all.* hut macherei). L'origine des chapeaux paraît ne pas remonter au-delà du douzième siècle et servait primitivement de signe distinctif au clergé ; ce ne fut que deux siècles plus tard que leur usage devint général parmi les laïques.

CHAPEAUX DE FEUTRE. Les matières premières employées dans la fabrication des *chapeaux de feutre*, sont les poils de castor, de lièvre, de lapin, etc. Pour les feutres grossiers on se sert de laines d'agneau et de chameau. Le feutrage repose sur cette propriété qu'ont les poils de former, au moyen d'une légère agitation et de la pression, un tissu naturel tellement solide qu'on ne peut plus le diviser sans déchirement : c'est ce tissu qu'on appelle *feutre*.

Tous les poils ne sont pas naturellement susceptibles d'être feutrés ; les poils de castor, de loutre, de lièvre et de lapin, sont dans ce cas, tandis que la laine possède cette propriété au plus haut degré ; aussi quelle que soit la qualité du feutre que l'on veut obtenir, est-on toujours obligé d'ajouter une certaine quantité de laine d'agneau ou de vigogne, pour former la trame et donner de la solidité à l'étoffe ; quant aux autres poils, on leur communique la propriété feutrante au moyen d'une opération particulière qu'on nomme *sécrétage*.

On commence par nettoyer ou *dégaler* les peaux au moyen du *carrelet*, petite carde très fine qu'on promène sur le poil ; puis on frappe à la baguette jusqu'à ce qu'il n'en sorte plus de poussière. Cela fait, on *ébarbe*, c'est-à-dire qu'au moyen de ciseaux on coupe la *jarre* ou poil plus long qui dépasse le duvet, au niveau de celui-ci. L'ébarrage étant terminé, on soumet les peaux au travail du sécrétage qui rend les poils aptes à mieux se tortiller et à se trouver dans la meilleure condition possible, pour pouvoir se feutrer ou s'accrocher les uns aux autres. Ce travail consiste à prendre une brosse de sanglier, à la tremper dans une solution étendue de nitrate de mercure, et à frotter avec force cette brosse sur toute la surface du poil jusqu'à ce qu'il soit imbibé au moins jusqu'aux deux tiers de sa longueur. Cette solution, qui n'est pas toujours la même chez tous les fabricants, se prépare ordinairement en dissolvant 8 parties de mercure dans 64 parties d'eau forte, y ajoutant 4 parties d'arsenic blanc et 2 à 3 parties de sublimé corrosif, puis l'étendant de trois fois son volume d'eau de pluie.

EFEROS - Recherche & Classification numérique

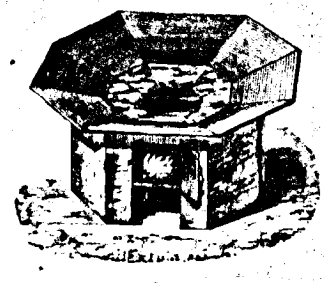
Les peaux étant bien également et suffisamment mouillées, on les réunit par paires, poils contre poils, et on les porte à l'étuve où on les sèche le plus rapidement possible. On mouille ensuite ces peaux du côté de la chair avec une éponge imbibée d'eau de chaux fort étendue, ou les accole deux à deux du côté mouillé, on les empile en tas que l'on charge de pierres, et on laisse reposer en cet état pendant douze à vingt heures. La peau étant alors assouplie, on arrache le poil ou on le coupe avec un couteau tranchant très vif, ce qui se fait souvent sur les peaux de castor et de lapin, afin de laisser dans la peau la bulbe des poils.

Tous les poils coupés sont mis à part suivant leurs variétés. Les poils de castor sont les plus estimés pour la fabrication des chapeaux fins ; vient ensuite le lièvre, où l'on distingue plusieurs qualités de poils : celui du dos, qui est le meilleur, puis celui de la gorge, et enfin celui du ventre. Le lapin sert à la chapellerie commune. Enfin, pour faciliter le feutrage on ajoute toujours, comme nous l'avons dit, une certaine quantité de laine d'agneau, de chameau ou de vigogne. En général, pour les chapeaux les plus fins, on forme la chaîne ou fond du feutre avec un 1/4 de laine de vigogne rouge, à laquelle on ajoute ensuite 3/4 de poil de castor, ou pour en tenir lieu, autant en poil d'arête de lièvre ; si l'on diminue les proportions de ce dernier, ou qu'on y substitue du poil de chameau ou du poil de lapin, et en outre que l'on remplace la vigogne par de la laine plus grossière, le feutre perdra de plus en plus de sa finesse.

Les laines et poils étant pesés, on leur donne deux ou trois tours de cardes pour les bien diviser, puis on les passe à l'*arçonneur* ; cet ouvrier doit son nom à l'*arçon*, instrument composé d'un arc fixé au plancher par son milieu, et dont les extrémités sont réunies par une corde fortement tendue, que l'on peut faire vibrer au moyen d'un fuseau ou *corde* terminée par un bouton. Les poils, placés en tas sur une claie d'osier très serrée, sont traversés par cette corde, qui, mise en vibration, les agite et les mélange intimement. Lorsque le mélange est fait on *rogue* l'étoffe, c'est-à-dire, qu'au moyen d'un brusque arçonnage, les poils, enlevés à une certaine hauteur, retombent sur la claie dans un grand état de raréfaction ; on vogue encore une seconde fois afin de former une couche égale de poils, et l'on procède au *bastissage* ou premier degré de feutrage.

La quantité de poils nécessaire à la confection d'un chapeau, est divisée en plusieurs lots ou *capades*. En en supposant deux, ce qui est le cas le plus ordinaire, voici comment on agit : on humecte la *feutrière*, forte toile que l'on étend sur une table, et on y place la première capade, on applique dessus une feuille de papier mouillé, puis la seconde capade, et on replie la feutrière. Alors on plie et replie dans tous les sens, on humecte de temps en temps, pour empêcher l'adhérence du poil à la toile, et on continue jusqu'à ce que les deux capades, déjà assez consistantes pour ne point s'étendre, soient pourtant encore assez molles pour être réunies en un seul feutre par l'opération suivante, qui consiste à les remettre en feutrière, à les unir par les bordures au moyen de *marches* et *remarches* successives, et à en former une sorte de cône creux que l'on a soin d'ouvrir fréquemment pour *décrocher* et changer les plis. On entretient la moiteur et la souplesse au moyen d'aspersions fréquemment répétées. Des feuilles de papier interposées empêchent l'adhérence là où elle ne doit point avoir lieu, et lorsqu'il se présente des endroits faibles, on les fortifie avec une pièce *d'étoupage* ou morceau d'une capade destiné à cet usage.

La pièce suffisamment feutrée, et ayant déjà la forme d'un bonnet, est portée à la *foule* dont le travail la rend plus étoffée et plus ferme. La *foule* représentée en perspective fig. 399, est un atelier composé de huit bancs inclinés B, C, rangés autour d'une chaudière A, remplie d'eau acidulée par de l'acide sulfurique ou du tartre et maintenue à une température d'environ 80° C. Chaque ouvrier y plonge son feutre qu'il retire presque aussitôt,



399.

le place sur son banc où il s'égoutte, le presse d'abord avec un roulcau de bois, l'arrose d'eau froide, puis continue pendant deux à quatre heures à le presser on fouler en tous sens, tantôt en dessus, tantôt en dessous, premièrement avec les mains nues, puis vers la fin de l'opération avec les mains garnies de *manicles* ou semelles de cuir ; c'est à ce moment aussi qu'il commence à brosser l'étoffe, ce qui enlève le jarre et lui donne du lustre.

Le feutre étant foulé, on le dresse en le plaçant sur une forme dont on le force à prendre le contour en le pressant fortement avec les mains, et en ramenant toujours l'étoffe du centre à la circonférence ; opération que l'on facilite en maintenant l'étoffe bien mouillée d'eau chaude. On forme les bords en attachant l'étoffe sur le bas de la forme avec une forte ficelle, en relevant les bords avec soin, et les tirant en long et en large. On laisse sécher le chapeau, puis on le polit à la pierre ponce, ensuite avec de la peau de chien, et quand il est bien uni on lui donne quelques coups d'un carrelet très doux, enfin on l'ajarre en arrachant avec des pinces les jarres qui paraissent au-dessus du feutre ; en cet état on le porte à l'atelier de teinture. Le bain qui sert à la teinture, se prépare avec 1,000 parties d'eau, 25 parties de bois de campêche, 2 de gomme du pays, et 4 de noix de galle concassée ; on fait bouillir pendant 2 heures et demie en agitant de temps en temps le mélange, et on ajoute 7 parties de vert-de-gris et 12 parties de sulfate de fer. Aussitôt après, on dispose les chapeaux dans le bain, par couches, en plaçant la première sur la tête, la seconde sur la forme, etc. ; on couvre le tout avec des planches que l'on charge de poids. Au bout d'une heure et demie les chapeaux ont reçu la première *chaude* ; on les retire, on les égoutte et on les expose à l'air pour faire passer le fer au maximum d'oxydation : c'est ce qu'on appelle donner *l'évent*. On donne ainsi aux chapeaux trois chaudes et trois évents, et l'on a soin d'ajouter à la dernière 3 parties de vert-de-gris et 4 parties de sulfate de fer, dans le bain. Pour abréger l'opération on se sert en Angleterre de nitrate de fer, et en France d'acétate ou de pyrolignite de fer. Enfin le teinturier fait bouillir les chapeaux dans de l'eau de source, pour les dégorger, les étire pour effacer les plis, relève les poils à l'aide du carrelet, et fait sécher à l'étuve ; puis il brosse à sec, lustre en brossant de nouveau à l'eau froide, remet à l'étuve pendant une heure, et livre enfin à l'apprêteur.

L'apprêt est composé de gomme arabique ou d'un mélange de colle-forte et de gomme du pays. Le chapeau est placé dans le trou d'une table et ne pose que par les bords. L'ouvrier trempe une brosse dans l'apprêt, en imprègne la surface inférieure du bord sans atteindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jusqu'au tour, et expose la partie imprégnée d'apprêt à l'action de la vapeur d'eau développée au moyen d'aspersions sur un bassin de fer poli, recouvert d'une toile et placé sur un fourneau. La vapeur fait pénétrer l'apprêt dans l'intérieur. On fait ensuite sécher à l'air libre, et le travail est terminé.

Revenons avec quelques détails sur les opérations de la chapellerie, en nous servant des renseignements spéciaux que nous devons à l'obligeance d'un des fabricants les plus habiles de Paris.

Les poils employés le plus généralement en chapellerie sont le castor, le rat musqué, le rat gondin, le lièvre, le lapin, le chameau, le cachemire, le poil de veau.

Le castor est le poil le plus fin employé en chapellerie, il est aussi le plus cher; sa valeur est de 80 à 450 fr. la livre anglaise qui équivaut à 14 onces ou 434 gram. (il nous vient de Londres, qui le reçoit du Canada). Les poils les plus estimés en castor sont ceux dont le pied est argenté ou rosé très clair; la pointe est généralement foncée, mais au tondage elle tombe et laisse voir la nuance du pied. Quant à la préparation que l'on fait subir au poil de castor, afin de pouvoir l'employer elle consiste à le dégraisser complétement et à le scutfler, c'est-à-dire qu'au moyen d'un ventilateur on débarrasse le poil de tout le gros poil dur ou jarre qui s'y trouve mêlé.

Le rat musqué est moins estimé et n'est pas si cher que le castor; son usage en chapellerie est plus ou moins restreint selon que la mode en exige l'emploi; il donne une teinte d'un bleu argenté. Le pied du poil est presque blanc et même tout à fait blanc dans les qualités supérieures et la pointe bleutée. On coupe cette pointe lorsqu'on désire une nuance claire; on la laisse, au contraire, lorsqu'on veut une nuance bleutée.

Le rat gondin est d'un usage encore moins répandu en chapellerie. Sa nuance est brune; on n'en met guère que dans les chapeaux ras de poil, afin de donner ou une nuance brune ou de la douceur au chapeau.

Nous n'avons pas parlé de la loutre ainsi que de quelques autres espèces de fourrures que la mode n'a pas fait encore employer en chapellerie, mais qui pourraient l'être si elles étaient préparées pour cela. Au reste, tous les poils dont nous venons de donner le détail ne constituent pas le corps du chapeau, ils ne servent qu'en *dorure*, à former l'extérieur.

Le poil de lièvre nous vient de Saxe et de Russie, en paquets pesant chacun 1 kilogramme. Ces paquets contiennent une certaine quantité de peaux ou petits paquets de poil, dans la position qu'ils avaient lorsqu'ils tenaient à la peau de l'animal. Ces poils sont coupés à la main, par un ouvrier, le plus près possible du pied.

Avant de couper le poil, de le séparer de la peau de l'animal, on le dégage de toute la poussière, qu'il peut contenir, au moyen d'un carrelet, et en le baguettant; ensuite on coupe le jarre (poil raide et dur qui ne peut se travailler) à la hauteur du poil; lorsque les peaux sont ébarbées on les secrète par le moyen suivant :

Pour 7 parties de mercure on prend 25 parties d'acide sulfurique; on fait dissoudre à une chaleur convenable, dans une cornue en verre, sur un feu ardent. Lorsque la fusion est opérée, on ajoute une plus ou moins grande quantité d'eau, et avec une brosse on imbibe le poil à la moitié de sa longueur. On fait ensuite sécher les peaux dans une étuve, et lorsque le poil est sec, on le coupe comme nous l'avons indiqué.

Le secrétage a pour but de provoquer dans un poil une torsion, une crispation qui le rend plus facile à feutrer, et à faire qu'un entrelacement soit produit par le foulage. Sans cette opération, il ne pourrait subir le travail de la chapellerie.

On range le poil par qualités, car tout ce qui fait partie du dos de l'animal est plus fin, et tout ce qui s'approche du ventre est plus commun.

Le prix d'un kilogramme de poil de lièvre varie de 35 à 20 fr. selon les qualités. Le poil de lièvre de France est aussi employé en chapellerie, mais il est plus court et est d'un moins grand usage pour le chapeau dit flamand que pour les chapeaux gris ras d'été, ou ceux qu'on teint en noir et qui imitent le drap.

Le poil de lapin est aussi d'un très grand usage en chapellerie; il se prépare de la même manière que le poil de lièvre, et on est aussi obligé de le secréter pour rendre son travail facile.

Il y a plusieurs qualités de poil de lapin, selon la nuance du poil de l'animal; les plus recherchés sont ceux de lapin blanc et jaune; avec ces deux nuances on fait divers chapeaux de fantaisie, blancs et nankins. Il y a également une préférence accordée au lapin de garenne, en ce que le poil est plus fourni et feutre plus aisément; aussi en met-on toujours une certaine quantité avec le lapin domestique afin d'aider au travail de ce dernier.

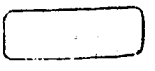
Quant au poil de chameau, son usage est à peu près nul dans les villes qui fabriquent la chapellerie fine; il n'y a que les petites localités qui font les chapeaux pour la campagne qui emploient ce genre de poil; il en est de même des poils de veau.

Fabrication. Pour donner un aperçu de la manière de fabriquer un chapeau, ainsi que des différentes matières qui la composent, nous commençons par le genre le plus fin, les *castors gris* fabriqués avec des poils de castor appliqués sur une carcasse composée avec des poils de lièvre et de lapin.

On fait avec un long archet appelé arçon le mélange des différents genres de poils qui composent la carcasse du castor. On bat le poil en faisant vibrer la corde de cet archet, le poil vole et se mêle. Lorsqu'on voit qu'il est assez battu, on partage en trois parties ce tas de poil; on fait voler le tiers du poil de manière à former une figure conique appelée en chapellerie une *pièce*, qui ressemble à la fig. 400; on prend ensuite le second tiers du poil; on fait une



400.



401.

figure absolument semblable; ensuite avec le dernier tas de poil on forme une bande de cette forme (*fig.* 401) qui doit avoir un peu plus de la largeur du bas du cône. Elle sert à mettre en bas de ce cône, qui doit devenir le bord du chapeau et qui par conséquent doit être beaucoup plus fort que le reste. Les pièces assemblées par l'ouvrier forment ce qu'on appelle le bastissage. Ce bastissage doit être naturellement deux, trois et quatre fois plus grand que le chapeau, et c'est lorsque le bastissage est fini qu'on le foule, et qu'à force de le rouler dans tous les sens en trempant dans l'eau bouillante étendue d'acide sulfurique, le feutrage le réduit à la grandeur voulue. Quand la carcasse a la taille convenable, on lui applique un apprêt imperméable et on la laisse sécher, puis on pose le castor dessus; ce castor a été au préalable arçonné et disposé en feuilles, ayant aussi la forme conique de la carcasse; on les applique l'un sur l'autre par le moyen suivant:

On a un fourneau sur lequel est une plaque en fonte; quelques fabricants emploient une plaque en cuivre chauffée par la vapeur. Sur cette plaque on met une couverte qu'on imbibe d'eau acidulée; on pose cette carcasse sur la couverte; on applique le castor

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur cette carcasse, et en roulant et mouillant la couverte on force le castor à prendre pied dans la carcasse. Quand l'ouvrier voit que le castor est pris suffisamment il met quatre ou six de ces carcasses (qu'on appelle en chapellerie des *fonds*) dans une grande couverture en laine, et pendant quatre ou six heures il roule ces carcasses ou fonds dans cette couverte en trempant dans l'eau bouillante acidulée. Lorsque l'ouvrier juge que le travail est suffisant, c'est-à-dire que le poil de castor est adhérent au fond, il dresse ce chapeau-castor sur un cône afin qu'il ne plisse pas. On fait sécher, et ensuite avec un peigne ou démêloir, on peigne le poil, on le fait lever, et on le tond à la longueur que l'on désire. Ensuite le fouleur reprend ces chapeaux, et d'une forme conique qu'ils avaient il leur donne celle qu'on leur destine, c'est-à-dire cylindrique et terminée par un fond plat. Il faut donc qu'il élargisse le sommet du cône de manière à l'amener à la largeur du volume de la forme à l'aide de parties cylindriques et de coins en bois, et ce qui déborde de la forme il le retrousse et en fait le bord.

Le genre le plus cher après le castor gris est le castor brossé ou flamand. On prend pour ce genre de chapeau un mélange qui varie suivant l'idée du fabricant, et qui consiste en poil de lièvre de Saxe, de lièvre de Russie et de lièvre de France. Le poil de lièvre de Saxe est moins long que celui de Russie, il forme donc la partie velue; le russe, qui est plus long, forme chaîne en même temps qu'il fournit son poil, et le lièvre de France, qui est plus court, fait serrer le tissu. On bat bien ces trois sortes de poils, on les partage en trois parts comme pour la fabrication du fond, on en fait un bastissage et ensuite on le foule. La différence est pour ce genre de fabrication, qu'après avoir donné une certaine force au foutre en le foulant longtemps, on le brosse en tous sens. Cette brosse amène le poil qui doit faire le velu du chapeau, en même temps qu'elle serre la chaîne. Après un travail qui dure de trois à quatre heures à la foule, l'ouvrier laisse le castor brossé dans sa forme conique, le fait sécher, et ensuite tire au carrelet le poil qui est catté par l'eau. Comme il y a une quantité de jarre ou poil grossier, mêlé à celui qui sort du castor, qui ne prend pas la teinture, on le fait arracher par une ouvrière éjarreuse. Lorsque l'éjarrage est fait, on refoule un peu le chapeau, on lave bien le poil, on le brosse et on le dresse. Lorsque le chapeau est dressé on le fait sécher, on dégage de nouveau le poil avec un carrelet et ensuite on l'apprête. Lorsque l'apprêt est sec on met le chapeau en teinture.

L'apprêt dans lequel la gomme laque entre pour une forte part est imperméable, s'amollit à l'eau chaude et redevient ferme en séchant.

Les autres genres de feutres sont les gris unis et les casimirs ou chapeaux noirs imitant le drap. Leur composition varie suivant la nuance qu'on veut obtenir pour les gris : ainsi le poil de lapin s'emploie pour le gris; celui de lièvre, plus clair, s'emploie pour les qualités fines et de nuances tendres; celui de lapin blanc pour les chapeaux blancs.

Le mérite de l'ouvrier chapelier consiste donc dans la manière habile dont il forme les pièces qui composent le chapeau et les dimensions du bastissage, qui varient suivant le genre de matières qu'il a à travailler, et le genre de forme auquel on destine le chapeau qu'il fait. Le mérite du fabricant consiste dans le mélange des matières. Il doit avoir soin de ne mettre ensemble que des matières qui soutiennent le même travail.

On a importé depuis quelque temps à Paris une machine très remarquable inventée en Amérique, qui forme le bastissage d'une seule pièce. Par le moyen d'un courant d'air, le poil se trouve chassé sur un cône creux dans lequel l'air est aspiré. L'Exposition de 1855 a permis d'apprécier cette ingénieuse machine, et de bien comprendre les principes sur lesquels elle repose.

La suspension dans l'air est le moyen par excellence de séparer des poils extrêmement légers et de les répartir convenablement; nous représentons (fig. 402) l'*arçon*, l'outil curieux employé seul jusqu'à ce jour dont nous avons expliqué le maniement plus haut.

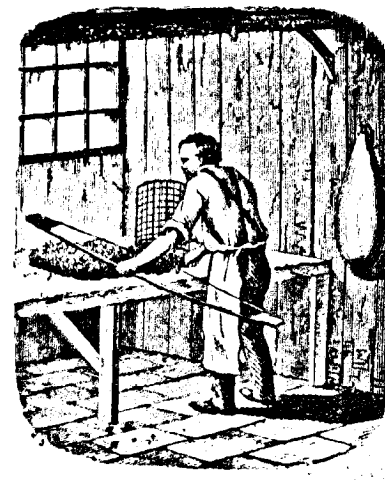


Fig. 402.

La machine américaine opère d'une manière semblable, seulement ce n'est plus à l'aide d'une corde à boyau, mais par la ventilation, qui met les poils en mouvement, qu'elle opère, et cela avec une rapidité (peut-être trop grande, car elle entraîne quelques déchets de duvets fins) telle, qu'elle donne en trois minutes la galette ou le bastissage à une consistance très-convenable.

Voici en quoi consiste le bastissage : un cône en cuivre rouge, percé de trous serrés et de très-petit diamètre, est mis, par sa base, en communication avec un orifice qui se relie lui-même au tube d'appel d'un aspirateur à force centrifuge. Le cône, animé d'un mouvement de rotation assez lent, est placé en regard d'une trémie à section trapézoïdale; le poil est livré sur une toile sans fin qui, tournant autour de deux ensouples, forme un tablier mobile. Après avoir été comme laminé d'abord, entraîné entre deux brosses tournant en sens inverse l'une de l'autre, le poil est introduit dans le corps de la trémie. Il obéit alors, en se divisant, à l'appel produit sur la colonne d'air qui remplit la trémie.

En effet, l'air extérieur appelé par l'action de l'aspirateur se répand à travers le réseau des vides pratiqués sur le cône, et le poil vient se précipiter sur la paroi du cône, contre laquelle il est appliqué énergiquement, en même temps que ses éléments s'enchevêtrent mutuellement. Après trois minutes environ, la quantité de poil voulue pour une galette s'est déposée sur le cône, avec une épaisseur décroissante du sommet à la base; la régularisation, dans les proportions voulues pour obtenir cette épaisseur variée, est facile à obtenir par la dimension des trous qui livrent passage à l'air. Une toile imprégnée d'eau chaude acidulée est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jetée ensuite autour de la nappe conique, et, après une immersion complète dans l'eau chaude du cône muni encore de la galette formée, il devient facile d'enlever celle-ci afin de la porter au foulage.

La figure 403 représente la machine ci-dessus décrite. Les poils, placés bien également sur la toile sans fin T, sont entraînés par un cylindre garni de brosses disposées suivant sa longueur; la rotation les lance dans un conduit A, où ils sont soumis à l'action d'un courant d'air, qui les met en suspension et les entraîne vers l'orifice allongé qui termine ce conduit. En face de cette fente est la cloche en cuivre A, qui recouvre le cylindre tournant B le tout placé dans le socle P dans l'intérieur duquel on fait le vide. Le tout est recouvert d'un linge mouillé, et les épaisseurs de poils déposés à diverses hauteurs sont déterminées par un ouvrier qui, avec une règle, ferme telle ou telle partie de la fente A qui leur donne passage.

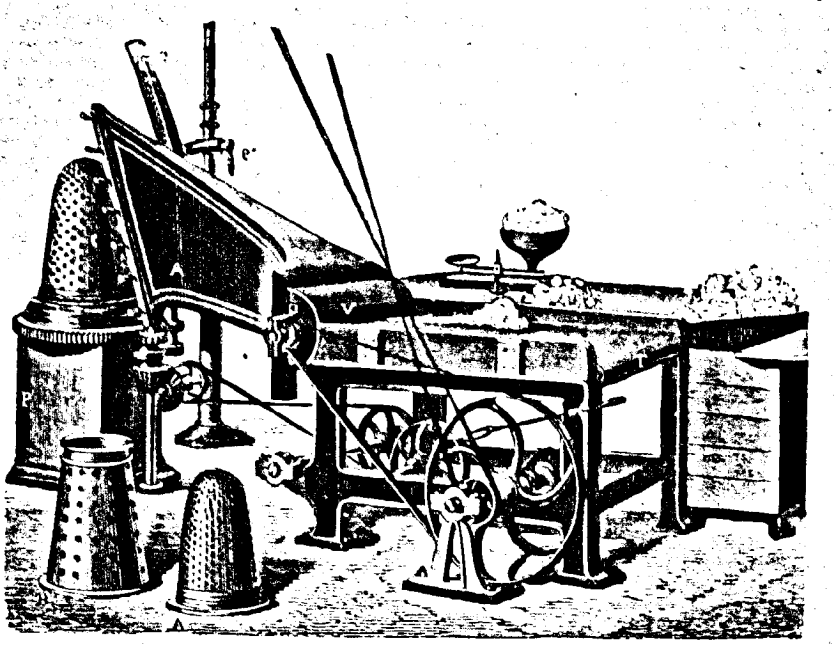


Fig. 403.

Le tissu très-léger ainsi obtenu est *assuré*, c'est-à-dire qu'on augmente sa solidité en lui faisant subir le feutrage à la main, que nous avons décrit. Le feutrage est terminé à l'aide de la machine à feutrer.

Elle repose en principe sur la combinaison d'une pression et d'une friction simultanées, l'une et l'autre pouvant être réglées et variées à volonté. L'appareil ou l'organe feutreur se compose de deux rangées de rouleaux jointifs et superposés, chaque rouleau de l'étage supérieur étant logé dans l'espèce de canal à parois cylindriques convexes, formé par deux rouleaux contigus de l'étage inférieur. Tous les rouleaux de ce deuxième étage, de même que ceux de la rangée inférieure, sont animés d'un double mouvement de rotation et de translation longitudinale alternative, les rouleaux de l'étage supérieur tournant, d'ailleurs, en sens inverse de ceux qui sont au-dessous. On comprend que les galettes, livrées à l'arrière, cheminent de l'arrière à l'avant, soumises, entre les deux rangées de rouleaux, à une pression longitudinale, aussi énergique qu'on la peut vouloir, et à des efforts de friction latérale double et inverse, chacun d'eux s'exerçant sur une face de tissu. Une bassine supérieure, remplie d'eau acidulée, est munie de robinets disposés pour verser l'eau en lame mince et large pendant toute la durée du travail; une caisse, placée au-dessous des rouleaux, et dans laquelle ceux-ci plongeraient au besoin, reçoit le liquide fourni par la bassine supérieure.

Il est à peine besoin de dire que l'eau acidulée, chauffée par la vapeur, peut être livrée à une température très-élevée, bien supérieure à celle que la main peut supporter, et que cette condition est éminemment favorable au feutrage.

Si l'on compare tout cet ensemble aux dispositions de feutreuses mécaniques décrites à l'article LAINE, on comprendra combien celles-ci sont supérieures. Il fallait arriver à ce degré de perfection, car la qualité du produit dépend tellement de la perfection des façons, que le travail à la main des bons ouvriers donne des produits supérieurs à ceux obtenus avec cette ingénieuse machine, qui n'a pu passer aussi complétement dans la pratique courante que la première.

Le feutre est terminé par son passage à la ponce, au dressage et aux apprêts. Nous traiterons plus loin de ces dernières opérations; nous parlerons seulement ici du ponçage; pour ces diverses opérations, on place le chapeau sur des formes auxquelles il est utile d'imprimer un mouvement par quelque mécanisme semblable à celui décrit plus loin (fig. 404).

Pour le ponçage, des formes verticales, animées d'un mouvement rapide de rotation, reçoivent le chapeau, et, pendant qu'elles tournent, l'ouvrier appuie sur le feutre la ponce qui doit le polir. Le ponçage des bords se fait en plaçant le chapeau dans une forme creuse et en les rabattant sur une partie plate qui se trouve autour de la cavité.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAPEAUX.

CHAPEAUX DE SOIE. Nous n'avons guère qu'à mentionner la fabrication du chapeau de soie, qui donne lieu à une production deux fois plus importante que celle du feutre, mais dont la description devient très-simple après les détails donnés ci-dessus.

Les chapeaux de soie sont généralement formés de carcasses ou galettes trempées dans l'apprêt imperméable, faites en poil de lapin et une petite quantité de coton. On les arçonne, les bastit et les foule d'après les mêmes principes que les autres chapeaux. Lorsque la carcasse est faite, on la trempe dans l'apprêt imperméable ; on lui donne la forme que doit avoir le chapeau de soie, et ensuite on fait sécher cette galette sur forme. On la lisse avec un fer presque rouge, afin de griller les poils qui se lèvent, et afin d'en faire une surface unie. Quand la galette est lissée, on y met une couche de colle de peau qu'on fait sécher ; par-dessus, on remet une couche de vernis qu'on fait sécher également. On prend alors une coiffe de peluche qui est cousue suivant une ligne oblique ; on colle cette peluche, on la passe au fer, on la mouille, on la repasse plusieurs fois, et, lorsque le chapeau a le brillant suffisant, on le met en tournure et on le garnit. Les fabricants font ce travail eux-mêmes pour l'exportation. Les chapeliers de province et de Paris les prennent sans garnitures et leur donnent la forme qui convient à la physionomie de l'acheteur.

On remplace quelquefois, pour les produits communs, le feutre par une carcasse en toile apprêtée, c'est-à-dire formée de 2 à 3 toiles superposées, passées dans la gomme laque. On ne peut obtenir ainsi des produits qui aient la souplesse et la légèreté de ceux en feutre ; mais la cherté du poil de lapin tend à faire développer de plus en plus cette fabrication.

Nous la décrirons en détail.

La galette se compose de trois parties : la partie cylindrique, le fond et les bords. La première se fait en entourant une forme cylindrique d'un morceau de toile apprêtée dont on réunit les bords en les collant l'un à l'autre. Sur le fond de cette forme, on applique un disque circulaire que l'on colle au premier morceau de toile. Pour les bords, on se sert de toiles plus fortes superposées, et l'on façonne avec elles un anneau plat qui présente, sur sa circonférence intérieure, une saillie sur laquelle on colle le reste de la galette. Pour la recouvrir, on prend une espèce de coiffe en peluche de soie, représentant la forme du chapeau, et fendue suivant une ligne oblique ; on l'applique sur la galette placée sur la forme, et on la force à en épouser les contours par la pression d'un fer chaud ; la chaleur du fer fond la gomme laque qui se trouve sur la galette, et qui, par le refroidissement, les réunit parfaitement.

Parlons encore d'une industrie qui n'est pas sans importance à Paris : nous voulons parler de celle des chapeaux refaits. Ce sont les vieux chapeaux que les marchands d'habits ramassent et revendent à des fabricants spéciaux qui enlèvent la peluche de la carcasse, la dégraissent, mettent la carcasse sur des formes de mode, remettent des peluches neuves, et livrent au commerce des chapeaux qui ont belle apparence, mais qui, au bout de peu de temps, rougissent. Malgré cet inconvénient, il s'en fait une quantité assez considérable pour occuper près de la moitié des ouvriers chapeliers.

Nous donnerons, en terminant, la machine qui sert à dresser les chapeaux. Bien que la machine, généralement employée dans les ateliers parisiens, se borne, le plus souvent, à la disposition représentée en A, figure 405, au mouvement d'un axe horizontal sur lequel s'adapte le chapeau afin de le soumettre à l'action du fer, il n'est pas sans intérêt de voir les dispositions additionnelles à l'aide desquelles on peut la compléter.

Fig. 405.

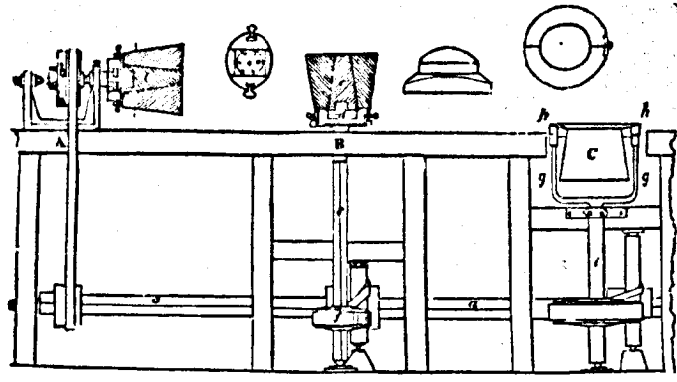


Fig. 404.

La fig. 404 est une élévation de cette machine. Trois systèmes, A, B, C, mus par l'arbre *a a*, servent à repasser les diverses parties du chapeau. A et B, qui servent pour le fond et la partie cylindrique, font vingt révolutions par minute ; C, employé pour les bords, n'en fait que dix. Les formes se composent, tantôt d'une pièce unique, tantôt de plusieurs pièces rondes extérieurement, réunies par un collier et des vis de serrage.

CHAPEAUX MÉCANIQUES. Depuis quelques années, une fabrication nouvelle est venue prendre place dans la chapellerie parisienne, et a reçu, un moment, des développements de quelque importance ; nous voulons parler des chapeaux mécaniques ou chapeaux pliants, qui offrent l'avantage de ne tenir que fort peu de place, lorsqu'ils sont fermés, quand le fond vient s'appliquer sur les bords. Cet avantage a fait rechercher ces chapeaux pour les voyages et pour les réunions nombreuses, et si leur aspect peu agréable les fait peu apprécier aujourd'hui à la ville, cependant il en est toujours fabriqué une certaine quantité.

Ces chapeaux sont toujours essentiellement composés d'un bord en feutre, sur lequel est assemblé un petit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cercle en acier portant trois ou quatre montants verticaux, qui supportent, par leur extrémité supérieure, un second cercle, également en acier, destiné à soutenir le fond du chapeau. Cette carcasse métallique est entourée d'une étoffe de laine noire, et garnie, à l'intérieur, d'une coiffe en soie.

Ce chapeau ne plie que par l'effet d'articulations placées au milieu des montants verticaux. Le premier inventeur, Gibus, avait disposé ces articulations d'une manière analogue à celle des couteaux qui se ferment, c'est-à-dire que la partie supérieure, en s'ouvrant, venait reposer sur un talon pratiqué en arrière de l'axe de rotation adapté à la partie inférieure.

Cette disposition offrait ceci de gênant, qu'il fallait secouer le chapeau pour l'ouvrir, et le presser par le milieu pour le fermer. Aussi ne rencontre-t-on plus ce système dans le commerce qu'avec un perfectionnement dû à M. Dufresne, chapelier, et qui consiste en un ressort à boudin attaché à l'axe de la branche inférieure, d'une part, et, de l'autre, à un prolongement d'équerre, à une espèce de manivelle adaptée à la branche supérieure. Le chapeau acquiert ainsi beaucoup de solidité soit pour rester ouvert, soit pour rester fermé, et, pour l'ouvrir, il suffit de déterminer le mouvement en éloignant le fond du bord; à partir d'un certain point (correspondant au point mort de la manivelle), le mouvement continue et le chapeau s'ouvre seul.

CHAPEAUX DE PAILLE. La fabrication des chapeaux de paille se divise en trois opérations tout à fait distinctes: 1° la préparation des pailles; 2° la confection des tresses; et 3° la réunion de ces tresses au moyen de la couture; ces deux dernières opérations se font à la main et n'offrent rien de particulier. La meilleure paille est celle obtenue en Toscane du froment d'été. On sème ce froment très-serré, sur des collines exposées au midi, dans un sol léger, sablonneux, travaillé avec soin, comme dans la culture maraîchère. Chaque hectare reçoit 10 hectolitres de semence, répandus bien uniformément. On obtient ainsi une végétation serrée qui force les tiges à rester minces et allongées. La récolte est faite en vert, lorsque les épis sont en partie développés et que les grains ont acquis une consistance laiteuse; on arrache avec précaution les pieds avec leurs racines, et on les étale pendant trois ou quatre jours sur le sol afin de les dessécher. On en forme ensuite des bottes, qu'on laisse à terre pendant trois ou quatre semaines, jusqu'à complète dessiccation. On les délie alors et on étend les tiges sur un pré, en ayant soin de les retourner de temps en temps, afin de les blanchir par l'action simultanée de la rosée et des rayons solaires; on sépare ensuite les racines en brisant les tiges au-dessus du nœud inférieur, et on achève de blanchir les tiges en les soufrant soit immédiatement, soit après les avoir soumises à l'action d'un courant de vapeur d'eau. Voici comment on opère le soufrage : on prend une caisse ouverte par les deux fonds, que l'on place à 0m,15 environ au-dessus du sol; à 0m,15 du bord supérieur, on pose un grillage sur lequel on étend les pailles, préalablement mouillées, par lits successifs se croisant respectivement à angle droit, puis on introduit sous une caisse un réchaud plein de charbons enflammés, et recouvert d'une plaque sur laquelle on met des morceaux de soufre; on place ensuite sur la caisse un couvercle qui ferme bien hermétiquement, on applique des lisières de drap sur toutes les jointures, et on abandonne l'appareil à lui-même pendant 3 à 4 heures. Il faut prendre garde que la combustion du soufre ne devienne trop violente, car la paille se couvrirait de taches noires que l'on ne pourrait plus faire disparaître. On retire alors les pailles blanchies, que l'on étend pendant une nuit sur le pré, afin de leur donner la souplesse nécessaire, puis on les fend avec un instrument qui se compose d'une pointe armée, vers sa tête, de plusieurs tranchants équidistants, dont le nombre est égal à celui des lanières que l'on veut obtenir; cette pointe entre dans l'intérieur de la paille et sert à diriger l'instrument. Le plus souvent, on emploie ces pailles sans les fendre, et on les trouve, dans le commerce, entières et avec leurs épis.

La fabrication toscane constitue réellement une industrie perfectionnée qui n'a rien de comparable soit pour les matières premières, soit pour les produits obtenus, avec les chapeaux grossiers qu'on fait de temps immémorial, en France, dans diverses contrées : l'Est, le Dauphiné, l'Auvergne, les Pyrénées, etc. Son imitation, installée en Suisse, dans le canton d'*Argovie*, a parfaitement réussi; et maintenant cette fabrication est, dans ce canton, une industrie prospère exportant, chaque année, des chapeaux pour plusieurs millions de francs. Ces chapeaux, en général, en paille de seigle, sont plus fins et moins solides que ceux en paille de froment de Toscane, et sont d'un prix moins élevé.

Les Anglais ont, avec des pailles moins fines, monté une fabrication de quelque importance.

Il serait vivement à désirer qu'on pût développer en France une semblable industrie. La valeur des chapeaux de paille consiste, en grande partie, en main-d'œuvre, pour des femmes restant dans leur ménage, condition précieuse à laquelle satisfont trop peu de fabrications.

APPRÊT DES CHAPEAUX DE PAILLE. M. Ludy a inventé pour l'apprêt des chapeaux de paille, pour leur donner la forme et le brillant qui en fait la valeur, une ingénieuse machine, reposant sur une curieuse application de la pression hydraulique.

Elle se compose d'une forme creuse en bronze, qui reçoit, dans son intérieur, le chapeau enduit d'un apprêt. Cette forme est chauffée par un bain de sable; le chapeau, placé dedans, reçoit une boule en caoutchouc assemblée à la partie inférieure d'une plaque de fonte, qui vient s'assembler solidement par un système de leviers tournant horizontalement, qui serrent sur des plans inclinés, avec le cylindre en fonte qui porte la forme. Tout étant ainsi disposé et le caoutchouc étant plein d'eau, on voit que, si on vient mettre celle-ci en communication soit avec un corps de pompe, soit avec un réservoir de vapeur, il s'exerce une pression hydraulique considérable transmise par le caoutchouc, en s'étendant, et qui n'écrase aucune partie saillante. En une ou deux minutes, l'apprêt, la mise en forme du chapeau de paille sont exécutés avec une rare perfection.

C'est ce procédé qui a été le point de départ du système complet et si remarquable que nous avons décrit en détail à l'article APPRÊT du *Complément*, et qui a toujours dans la chapellerie sa principale application.

PANAMA. On donne ce nom à une nouvelle espèce de chapeaux d'été, d'une souplesse et d'une légèreté infiniment plus grandes que tout ce qui avait été fabriqué antérieurement. C'est du Pérou et de l'Équateur que proviennent ces chapeaux, qui sont fabriqués par les habitants de la montagne.

La matière première de ces chapeaux est une plante-arbuste appartenant à l'espèce palmier et au genre latanier, appelée dans le pays *bombonaxa*, très-commune dans le Pérou.

Les feuilles du bombonaxa, pour être propres à ouvrer, sont cueillies, comme la paille de Toscane, avant leur entière maturité, et l'on a soin d'enlever les nervures trop saillantes. Au moyen d'un instrument armé de deux aiguilles, que l'on rapproche ou que l'on éloigne l'une de l'autre, selon le degré de finesse de la paille que l'on veut obtenir, on découpe la feuille en bandes longitudinales que l'on fait sécher et blanchir à l'air et par l'action du soufre. Le travail du tissage s'effectue en partant du centre pour arriver jusqu'aux bords.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAPELET HYDRAULIQUE. Cette machine qui sert à élever l'eau se compose d'une chaîne sans fin, faite de maillons de cuivre articulés, portant des disques en cuir fort, qu'on fait circuler à l'aide de deux tambours dont l'un est plongé dans l'eau. Ces disques passant successivement dans un tuyau vertical ou incliné dont le bas plonge dans l'eau, et qui a le même calibre que les disques, élèvent l'eau de la même manière qu'un piston de pompe ordinaire. Le produit de cette machine est égal à la surface d'un disque multipliée par la vitesse qu'on imprime à la chaîne; la résistance est proportionnelle à la hauteur d'élévation de l'eau.

CHARBON ANIMAL. Voyez NOIR ANIMAL.

CHARBON DE BOIS (*angl.* charcoal, *all.* holzkohle). Voyez CARBONISATION et COMBUSTIBLES.

CHARBON DE TERRE. Voyez ANTHRACITE, HOUILLE.

CHARBON DE TOURBE. Voyez CARBONISATION et COMBUSTIBLES.

CHARDON A FOULON (*angl.* teasel, *all.* kardendistel). Plante qui croît dans la Normandie et le midi de la France, et qui appartient à la famille des chardons. Chaque plante donne moyennement 10 à 15 têtes; celles-ci sont employées pour lainer les draps avant de les tondre; les plus estimées viennent des environs d'Avignon.

CHARRUE. Voyez INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.

CHAUDIÈRE A VAPEUR (*Administration*). Les machines et chaudières à vapeur ont successivement été soumises à diverses mesures de sûreté par ordonnance des 29 octobre 1823, 7 mai 1828, 22 septembre 1829, 25 mars 1830 et 22 juillet 1829.

Avant 1823, on ne comptait en France qu'un petit nombre de ces appareils qui se sont beaucoup multipliés depuis.

Le décret du 15 octobre 1810 et l'ordonnance du 14 janvier 1815, relatifs aux établissements insalubres ou incommodes, ne s'étaient occupés des machines à vapeur, qu'ils désignaient sous le nom de pompes à feu, que par rapport aux inconvénients de la fumée pour le voisinage.

L'ordonnance du 29 octobre 1823 prescrivit plusieurs conditions de sûreté; mais elle ne concernait que les machines à haute pression, celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur dépasse deux atmosphères.

Les ordonnances des 7 mai 1828 et 23 septembre 1829 déterminèrent des règles pour les épreuves, et y assujettirent toutes les chaudières à haute pression, ainsi que les tubes bouilleurs, et les cylindres et enveloppes de cylindres des machines.

L'ordonnance du 25 mars 1830 s'occupa spécialement des chaudières à basse pression, où la tension de la vapeur ne dépasse pas deux atmosphères au plus; elle leur appliqua quelques-unes des dispositions déjà prescrites pour la haute pression, mais en les exemptant des épreuves et de toute condition d'emplacement.

Enfin, l'ordonnance du 22 juillet 1839 a fixé des règles pour les épreuves des chaudières des machines locomotives employées sur les chemins de fer.

Les règlements faits ainsi à différentes reprises manquaient d'unité et présentaient diverses lacunes. En outre, le temps et l'expérience ont fait reconnaître que parmi les précautions exigées, il en était quelques-unes que l'on pouvait rendre moins rigoureuses et même supprimer entièrement; d'autres, au contraire, qu'il convenait d'étendre ou de compléter, de manière à concilier à la fois les intérêts de l'industrie et ceux de la sûreté publique. Il était donc nécessaire de faire un nouveau règlement à l'effet de coordonner toutes les dispositions à prescrire aujourd'hui en cette matière, d'après les renseignements donnés par la pratique et la théorie.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

Ce travail a été fait pour les machines et chaudières à vapeur employées sur terre, par l'ordonnance du 22 mai 1843; et pour les bateaux à vapeur, par celle du 23 mai de la même année. L'importance du sujet nous avait fait donner ici le texte de ces deux ordonnances dans les précédentes éditions. Mais, par un décret du 25 janvier 1865, la première de ces ordonnances a encore été modifiée dans un sens plus libéral, et les entraves de l'industrie heureusement diminuées. Par suite, nous remplacerons tout ce qui se rapporte aux chaudières et aux autorisations, par ce décret, le seul qui soit à consulter aujourd'hui par les industriels. Nous ferons voir dans quel esprit il a été conçu en reproduisant ici un extrait du rapport du ministre du commerce et des travaux publics.

La vapeur est aujourd'hui, dit-il, l'agent presque universel de l'industrie. A l'exception des usines établies sur des cours d'eau, il n'y en a en quelque sorte pas une seule qui n'ait la vapeur pour force motrice, et, en dehors des établissements industriels proprement dits, nous la retrouvons donnant le mouvement aux vaisseaux de guerre et de commerce, ainsi qu'aux locomotives des chemins de fer. Chaque jour augmente le nombre des machines à vapeur existant en France. En 1850, il y en avait 6,832; en 1863, le nombre s'en élevait à 22,546, représentant une force de 647,890 chevaux-vapeur, ou de 4,854,670 chevaux de trait, ou encore de 12,976,690 hommes de peine, c'est-à-dire supérieure à celle de tous les hommes en état de travailler qui existent dans le pays.

La vapeur est donc, ainsi qu'on l'a dit si justement, une puissance de premier ordre; mais on doit reconnaître que c'est une puissance qui a ses dangers, et qu'on ne doit en faire usage qu'avec de certaines précautions, dont l'oubli peut occasionner les plus funestes conséquences.

L'on s'explique donc qu'à l'époque où la machine à vapeur était encore peu connue, et le nombre des hommes en état de la conduire peu considérable, l'on ait assujetti l'emploi de ces machines à des prescriptions nombreuses et sévères, de nature à prévenir les accidents : c'est ainsi que, dès l'année 1810, elle a été rangée parmi les établissements insalubres et incommodes; c'est ainsi que plus tard, et sous l'impression d'accidents qui avaient coûté la vie à un grand nombre de personnes, ont été successivement rendues, en 1823, en 1828, 1829 et 1830, diverses ordonnances déterminant les mesures de sûreté auxquelles devaient être subordonné l'emploi de la vapeur, et, en dernier lieu, l'ordonnance du 22 mai 1843, qui régit encore aujourd'hui la matière, et qui a constitué un véritable progrès sur les règlements antérieurs.

Mais le temps a marché; l'industrie de la construction des machines a fait les plus remarquables progrès; la vapeur s'applique aujourd'hui dans une foule de circonstances où l'on ne supposait pas qu'elle dût jamais trouver sa place. Les appareils destinés à la recevoir se transforment de mille manières, en raison des usages variés auxquels ils sont destinés; les matériaux eux-mêmes dont les appareils sont formés se fabriquent de nos jours dans des conditions de qualité et de prix auxquelles on n'avait pas encore atteint; enfin les ouvriers propres à la conduite des machines sont plus expérimentés et plus nombreux; de là résulte que l'administration, pour suivre l'industrie dans ses progrès, a dû, usant de la faculté que le règlement lui-même lui conférait, accorder certaines dérogations aux conditions de sûreté que ce règlement prescrivait.

Mais ces concessions limitées et partielles étaient devenues insuffisantes, et chaque jour révélait l'utilité de modifications essentielles dans les règlements actuels; ces modifications ont été mises à l'étude; l'ad-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ministration a ouvert sur toute la surface de l'Empire une vaste enquête; les ingénieurs chargés de la surveillance, les préfets, les constructeurs, les industriels ont été consultés. Les résultats de cette enquête ont été analysés et discutés avec le soin le plus scrupuleux par la commission centrale des machines à vapeur, instituée près du ministère des travaux publics. A la suite de délibérations approfondies, cette commission a proposé le règlement ci-après qui dégage l'industrie d'entraves devenues inutiles.

Décret du 25 janvier 1865.

Art. 1er. Sont soumises aux formalités et aux mesures prescrites par le présent décret, les chaudières fermées destinées à produire la vapeur, autres que celles qui sont placées à bord des bateaux.

TITRE PREMIER.

DISPOSITIONS RELATIVES A LA FABRICATION, A LA VENTE ET A L'USAGE DES CHAUDIÈRES FERMÉES DESTINÉES A PRODUIRE LA VAPEUR.

Art. 2. Aucune chaudière neuve ou ayant déjà servi ne peut être livrée par celui qui l'a construite, réparée ou vendue, qu'après avoir subi l'épreuve prescrite ci-après.

Cette épreuve est faite chez le constructeur ou chez le vendeur, sur sa demande, sous la direction des ingénieurs des mines ou, à leur défaut, des ingénieurs des ponts et chaussées ou des agents sous leurs ordres.

Les épreuves des chaudières venant de l'étranger sont faites, avant la mise en service, au lieu désigné par le destinataire dans sa demande.

Art. 3. L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression effective double de celle qui ne doit pas être dépassée dans le service, toutes les fois que celle-ci est comprise entre un demi-kilogramme et 6 kilogrammes par centimètre carré inclusivement.

La surcharge d'épreuve est constante et égale à un demi-kilogramme par centimètre carré pour les pressions inférieures, et à 6 kilogrammes par centimètre carré pour les pressions supérieures aux limites ci-dessus.

L'épreuve est faite par pression hydraulique.

La pression est maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de toutes les parties de la chaudière.

Art. 4. Après qu'une chaudière ou partie de chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un timbre indiquant en kilogrammes par centimètre carré la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser. Les timbres sont placés de manière à être toujours apparents après la mise en place de la chaudière.

Ils sont poinçonnés par l'agent chargé d'assister à l'épreuve.

Art. 5. Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler avant que sa pression effective atteigne ou tout au moins dès qu'elle atteint la limite maximum indiquée par le timbre dont il est fait mention à l'article précédent.

Chacune des soupapes offre une section suffisante pour maintenir à elle seule, quelle que soit l'activité du feu, la vapeur dans la chaudière à un degré de pression qui n'excède dans aucun cas la limite ci-dessus.

Le constructeur est libre de répartir, s'il le préfère, la section totale d'écoulement nécessaire des deux soupapes réglementaires entre un plus grand nombre de soupapes.

Art. 6. Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état, placé en vue du chauffeur, disposé et gradué de manière à indiquer la pression effective de la vapeur dans la chaudière. Une ligne très-apparente marque sur l'échelle le point que l'index ne doit pas dépasser.

Un seul manomètre peut servir pour plusieurs chaudières ayant un réservoir de vapeur commun.

Art. 7. Toute chaudière est munie d'un appareil d'alimentation d'une puissance suffisante et d'un effet certain.

Art. 8. Le niveau que l'eau doit avoir habituellement dans chaque chaudière doit dépasser d'un décimètre au moins la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

Ce niveau est indiqué par une ligne tracée d'une manière très-apparente sur les parties extérieures de la chaudière et sur le parement du fourneau.

La prescription énoncée au paragraphe 1er du présent article ne s'applique point :

1° Aux surchauffeurs de vapeur distincts de la chaudière;

2° A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité, telles que la partie supérieure des plaques tubulaires des boîtes à fumée dans les chaudières des locomotives, ou encore telles que les tubes ou parties de cheminées qui traversent le réservoir de vapeur, en envoyant directement à la cheminée principale les produits de la combustion;

3° Aux générateurs dits à production de vapeur instantanée, et à tous autres qui contiennent une trop petite quantité d'eau pour qu'une rupture puisse être dangereuse.

Le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics peut, en outre, sur le rapport des ingénieurs et l'avis du préfet, accorder dispense de ladite prescription dans le cas où, à raison, soit de la forme ou de la faible dimension des générateurs, soit de la position spéciale des pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut pas avoir d'inconvénients.

Art. 9. Chaque chaudière est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre et placés en vue du chauffeur.

L'un de ces deux indicateurs est un tube en verre disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

TITRE II.

DISPOSITIONS RELATIVES A L'ÉTABLISSEMENT DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PLACÉES A DEMEURE.

Art. 10. Les chaudières à vapeur destinées à être employées à demeure ne peuvent être établies qu'après une déclaration au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte.

Art. 11. La déclaration fait connaître :

1° Le nom et le domicile du vendeur des chaudières ou leur origine;

2° La commune et le lieu précis où elles sont établies;

3° Leur forme, leur capacité et leur surface de chauffe;

4° Le numéro du timbre exprimant en kilogrammes par centimètre carré la pression effective maximum sous laquelle elles doivent fonctionner;

5° Enfin, le genre d'industrie et l'usage auxquels elles sont destinées.

Art. 12. Les chaudières sont distinguées en trois catégories.

Cette classification est basée sur la capacité de la chaudière et sur la tension de la vapeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On exprime en mètres cubes la capacité de la chaudière avec ses tubes bouilleurs ou réchauffeurs, mais sans y comprendre les surchauffeurs de vapeur ; on multiplie ce nombre par le numéro du timbre augmenté d'une unité. Les chaudières sont de la première catégorie quand le produit est plus grand que quinze ; dans la deuxième, si ce même produit surpasse cinq et n'excède pas quinze ; dans la troisième, s'il n'excède pas cinq.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et si elles ont entre elles une communication quelconque, directe ou indirecte, on prend, pour former le produit comme il vient d'être dit, la somme des capacités de ces chaudières.

Art. 43. Les chaudières comprises dans la première catégorie doivent être établies en dehors de toute maison et de tout atelier surmonté d'étages.

N'est point considérée comme un étage au-dessus de l'emplacement d'une chaudière une construction légère, dans laquelle les matières ne sont l'objet d'aucune élaboration nécessitant la présence d'employés ou ouvriers travaillant à poste fixe.

Dans ce cas, le local ainsi utilisé est séparé des ateliers contigus par un mur ne présentant que les passages nécessaires pour le service.

Art. 44. Il est interdit de placer une chaudière de première catégorie à moins de 3 mètres de distance du mur d'une maison d'habitation appartenant à des tiers.

Si la distance de la chaudière à la maison est plus grande que 3 mètres et moindre que 10 mètres, la chaudière doit être généralement installée de façon que son axe longitudinal prolongé ne rencontre pas le mur de ladite maison, ou que, s'il le rencontre, l'angle compris entre cet axe et le plan du mur soit inférieur au sixième d'un angle droit.

Dans le cas où la chaudière n'est pas installée dans les conditions ci-dessus, la maison doit être garantie par un mur de défense.

Ce mur, en bonne et solide maçonnerie, a 1 mètre au moins d'épaisseur en couronne. Il est distinct du parement du fourneau de la chaudière et du mur de la maison voisine, et est séparé de chacun d'eux par un intervalle libre de 0m,30 de largeur au moins.

Sa hauteur dépasse de 1 mètre la partie la plus élevée du corps de la chaudière, quand il est à une distance de celle-ci comprise entre 0m,30 et 3 mètres. Si la distance est plus grande que 3 mètres, l'excédant de hauteur est augmenté en proportion de la distance, sans toutefois excéder 20 mètres.

Enfin, la situation et la longueur du mur sont combinées de manière à couvrir la maison voisine dans toutes les parties qui se trouvent à la fois au-dessous de la crête dudit mur, d'après la hauteur fixée ci dessus, et à une distance moindre que 10 mètres d'un point quelconque de la chaudière.

L'établissement d'une chaudière de première catégorie à la distance de 10 mètres ou plus des maisons d'habitation n'est assujetti à aucune condition particulière.

Les distances de 3 mètres et de 10 mètres fixées ci-dessus sont réduites respectivement à 1m,50 et 5 mètres, lorsque la chaudière est enterrée de façon que la partie supérieure de la dite chaudière se trouve à 1 mètre au moins en contre-bas du sol, du côté de la maison voisine.

Art. 45. Les chaudières comprises dans la deuxième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur de tout atelier, pourvu que l'atelier ne fasse pas partie d'une maison habitée par des personnes autres que le manufacturier, sa famille et ses employés, ouvriers et serviteurs.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

Art. 46. Les chaudières de troisième catégorie peuvent être établies dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison habitée par des tiers.

Art. 47. Les fourneaux des chaudières comprises dans la deuxième et la troisième catégorie sont entièrement séparés des maisons d'habitation appartenant à des tiers ; l'espace vide est de 1 mètre pour les chaudières de la deuxième catégorie, et de 0m,50 pour les chaudières de la troisième.

Art. 48. Les conditions d'emplacement établies par les articles 44 et 47 ci-dessus cessent d'être obligatoires, lorsque les tiers intéressés renoncent à s'en prévaloir.

Art. 49. Le foyer des chaudières de toute catégorie doit brûler sa fumée.

Un délai de six mois est accordé pour l'exécution de la disposition qui précède aux propriétaires de chaudières auxquels l'obligation de brûler leur fumée n'a point été imposée par l'acte d'autorisation.

Art. 20. Si, postérieurement à l'établissement d'une chaudière, un terrain contigu vient à être affecté à la construction d'une maison d'habitation, le propriétaire de ladite maison a le droit d'exiger l'exécution des mesures prescrites par les art. 44 et 47 ci-dessus, comme si la maison eût été construite avant l'établissement de la chaudière.

Art. 21. Indépendamment des mesures générales de sûreté prescrites au titre 1er de la déclaration prévue par les art. 40 et 44 du titre II, les chaudières à vapeur fonctionnant dans l'intérieur des mines sont soumises aux conditions spéciales fixées par les lois et règlements concernant l'exploitation des mines.

TITRE III.

DISPOSITIONS RELATIVES AUX CHAUDIÈRES DES MACHINES LOCOMOBILES ET LOCOMOTIVES.

Art. 22. Sont considérées comme locomobiles les machines à vapeur qui peuvent être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner sur un point donné, et ne sont effectivement employées que d'une manière temporaire à chaque station.

Art. 23. Les chaudières des machines locomobiles sont soumises aux mêmes épreuves et munies des mêmes appareils de sûreté que les générateurs établis à demeure ; toutefois, elles peuvent n'avoir qu'un seul tube indicateur du niveau de l'eau en verre. Elles portent en outre une plaque sur laquelle sont gravés, en lettres très-apparentes, le nom du propriétaire, son domicile et un numéro d'ordre, si le propriétaire en possède plusieurs.

Elles sont l'objet d'une déclaration adressée au préfet du département où est le domicile du propriétaire de la machine.

Art. 24. Aucune locomobile ne peut être employée sur une propriété particulière à moins de 5 mètres de tout bâtiment d'habitation et de tout amas découvert de matières inflammables appartenant à des tiers, sans le consentement formel de ceux-ci.

Le fonctionnement des locomobiles sur la voie publique est régi par les règlements de police locaux.

Art. 25. Les machines à vapeur locomotives sont celles qui, sur terre, travaillent en même temps qu'elles se déplacent par leur propre force.

Art. 26. Les dispositions de l'art. 23 sont applicables aux chaudières des machines locomotives.

Art. 27. La circulation des locomotives sur les chemins de fer a lieu dans les conditions déterminées par des règlements d'administration publique.

Un règlement spécial fixera, s'il y a lieu, les con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ditions relatives à la circulation des locomotives sur les routes autres que les chemins de fer.

TITRE IV.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 28. Les ingénieurs des mines, ou à leur défaut les ingénieurs des ponts et chaussées, ainsi que les agents sous leurs ordres commissionnés à cet effet, sont chargés, sous la direction des préfets et avec le concours des autorités locales, de la surveillance relative à l'exécution des mesures prescrites par le présent décret.

Art. 29. Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées conformément à la loi du 21 juillet 1856, sans préjudice de la responsabilité civile que les contrevenants peuvent encourir aux termes des art. 1382 et suivants du Code Napoléon.

Art. 30. En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures graves, le propriétaire ou le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement l'autorité chargée de la police locale et l'ingénieur chargé de la surveillance.

L'autorité chargée de la police locale se transporte sur les lieux et dresse un procès-verbal qui est transmis au préfet et au procureur impérial.

L'ingénieur chargé de la surveillance se rend également sur les lieux dans le plus bref délai, pour visiter les chaudières, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident. Il adresse sur le tout un rapport au préfet et un procès-verbal au procureur impérial.

En cas d'explosion, les constructions ne doivent point être réparées et les fragments de la chaudière rompue ne doivent point être déplacés ou dénaturés avant la clôture du procès-verbal de l'ingénieur.

Art. 31. Les chaudières qui dépendent des services spéciaux de l'État sont surveillées par les fonctionnaires et agents de ces services.

Leur établissement reste assujetti à la déclaration prévue par l'art. 10 et à toutes les conditions d'emplacement et autres qui peuvent intéresser les tiers.

Art. 32. Les conditions d'emplacement prescrites pour les chaudières à demeure par le présent décret ne sont point applicables aux chaudières pour l'établissement desquelles il aura été satisfait à l'ordonnance royale du 22 mai 1843.

Art. 33. Les attributions conférées aux préfets des départements par le présent décret sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue de son ressort.

Art. 34. L'ordonnance royale du 22 mai 1843, relative aux machines et chaudières à vapeur autres que celles qui sont placées sur des bateaux, est rapportée.

Ordonnance du 23 mai 1843, relative aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières.

Art. 1er. La construction et l'emploi des bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières sont assujettis aux dispositions suivantes.

TITRE PREMIER.

DES PERMIS DE NAVIGATION.

SECTION I. — FORMALITÉS PRÉLIMINAIRES.

Art. 2. Aucun bateau à vapeur ne pourra naviguer sur les fleuves et rivières sans un permis de navigation.

Art. 3. Toute demande en permis de navigation sera adressée, par le propriétaire du bateau, au préfet du département où se trouvera le point de départ.

Art. 4. Dans sa demande, le propriétaire fera connaître :

1° Le nom du bateau ;

2° Ses principales dimensions, son tirant d'eau à vide, et sa charge maximum, exprimée en tonneaux de 1,000 kilogr.

3° La force de l'appareil moteur, exprimée en chevaux (le cheval-vapeur étant la force capable d'élever un poids de 75 kil. à 1 mètre de hauteur dans une seconde de temps) ;

4° La pression, évaluée en nombre d'atmosphères, sous laquelle cet appareil fonctionnera ;

5° La forme de la chaudière ;

6° Le service auquel le bateau sera destiné ; les points de départ, de stationnement et d'arrivée ;

7° Le nombre maximum des passagers qui pourront être reçus dans le bateau.

Un dessin géométrique de la chaudière sera joint à la demande.

Cette demande sera renvoyée par le préfet à la commission de surveillance instituée dans le département, conformément à l'article 70 de la présente ordonnance.

SECTION II. — DES VISITES ET DES ESSAIS DES BATEAUX A VAPEUR.

Art. 5. La commission de surveillance visitera le bateau à vapeur à l'effet de s'assurer :

1° S'il est construit avec solidité et si l'on a pris toutes les précautions requises pour le cas où il serait destiné à un service de passagers ;

2° Si l'appareil moteur a été soumis aux épreuves voulues, et s'il est pourvu des moyens de sûreté prescrits par la présente ordonnance ;

3° Si la chaudière, en raison de sa forme, du mode de jonction de ses diverses parties, de la nature des matériaux avec lesquels elle est construite, ne présente aucune cause particulière de danger ;

4° Si on a pris toutes les précautions nécessaires pour prévenir les chances d'incendies.

Art. 6. Après la visite, la commission assistera à un essai du bateau à vapeur. Elle vérifiera si l'appareil moteur a une force suffisante pour le service auquel ce bateau sera destiné, et elle constatera :

1° La hauteur des eaux lors de l'essai ;

2° Le tirant d'eau du bateau ;

3° La vitesse du bateau en montant et en descendant ;

4° Les divers degrés de tension de la vapeur, dans l'appareil moteur, pendant la marche du bateau.

Art. 7. La commission dressera un procès-verbal de la visite et de l'essai qu'elle aura faits du bateau à vapeur, et adressera ce procès-verbal au préfet du département.

Art. 8. Si la commission est d'avis que le permis de navigation peut être accordé, elle proposera les conditions auxquelles ce permis pourra être délivré.

Dans le cas contraire, elle exposera les motifs pour lesquels elle jugera qu'il est convenable de surseoir à la délivrance du permis, ou même de le refuser.

SECTION III. — DÉLIVRANCE DU PERMIS DE NAVIGATION.

Art. 9. Si après avoir reçu le procès-verbal de la commission de surveillance, le préfet reconnaît que le propriétaire du bateau à vapeur a satisfait à toutes les conditions exigées, il délivrera le permis de navigation. Ce permis ne sera valable que pour un an.

Art. 10. Dans le permis de navigation seront énoncés :

1° Le nom du bateau et du propriétaire ;

2° La hauteur de la ligne de flottaison, rapportée à des points de repère invariablement établis à l'avant, à l'arrière et au milieu du bateau ;

3° Le service auquel le bateau est destiné ; les points de départ, de stationnement et d'arrivée ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

4° Le nombre maximum des passagers qui pourront être reçus à bord ;

5° La tension maximum de la vapeur, exprimée en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, sous laquelle l'appareil moteur pourra fonctionner ;

6° Les numéros des timbres dont les chaudières, tubes bouilleurs, cylindres et enveloppes des cylindres auront été frappés, ainsi qu'il est prescrit à l'article 26.

7° Le diamètre des soupapes de sûreté et leur charge telle qu'elle aura été réglée conformément aux articles 29 et 30.

Art. 11. Le préfet prescrira dans le permis toutes les mesures d'ordre et de police locale nécessaires. Il transmettra copie de son arrêté aux préfets des autres départements traversés par la ligne de navigation, lesquels prescriront les dispositions du même genre à observer dans ces départements ; le tout sans préjudice de l'exécution des lois et règlements concernant la navigation dans la circonscription des arrondissements maritimes.

Art. 12. Si le préfet reconnaît, d'après le procès-verbal dressé par la commission de surveillance, qu'il y a lieu de surseoir à la délivrance du permis, ou même de le refuser, il notifiera sa décision au propriétaire du bateau, sauf recours devant notre ministre des travaux publics.

Art. 13. A chaque renouvellement du permis de navigation, la commission de surveillance sera consultée, comme il est dit ci-dessus.

SECTION IV. — DES AUTORISATIONS PROVISOIRES DE NAVIGATION.

Art. 14. Si le bateau a été muni de son appareil moteur et mis en état de naviguer dans un département autre que celui où il doit entrer en service, le propriétaire devra obtenir du préfet du premier de ces départements une autorisation provisoire de navigation, pour faire arriver le bateau au lieu de sa destination. La commission de surveillance sera consultée sur sa demande.

Art. 15. L'autorisation provisoire ne dispensera pas le propriétaire du bateau de l'obligation d'obtenir un permis définitif de navigation, lorsque le bateau sera arrivé au lieu de sa destination.

SECTION V. — DISPOSITION TRANSITOIRE.

Art. 16. Il est accordé aux détenteurs actuels de permis de navigation un délai de trois mois, à dater de la publication de la présente ordonnance, pour se conformer aux dispositions qui précèdent, et demander un nouveau permis, qui leur sera délivré, s'il y a lieu, par l'autorité compétente. Passé ce délai, les anciens permis de navigation seront considérés comme non avenus.

TITRE II.

DES MACHINES A VAPEUR SERVANT DE MOTEUR AUX BATEAUX.

SECTION I^re^. DISPOSITIONS RELATIVES A LA FABRICATION ET AU COMMERCE DES MACHINES EMPLOYÉES SUR LES BATEAUX.

Art. 17. Aucune machine à vapeur, destinée à un service de navigation, ne pourra être livrée par un fabricant, si elle n'a subi les épreuves ci-après.

Art. 18. Les épreuves seront faites à la fabrique, par ordre du préfet, sur la déclaration du fabricant.

Art. 19. Les machines venant de l'étranger devront être pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines d'origine française, et subir les mêmes épreuves. Ces épreuves seront faites au lieu désigné par le destinataire dans la déclaration qu'il devra faire à l'importation.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

SECTION II. — ÉPREUVES DES CHAUDIÈRES ET DES AUTRES PIÈCES CONTENANT LA VAPEUR.

Art. 20. Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et les réservoirs à vapeur, les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en fonte de ces cylindres, ne pourront, sauf l'exception portée à l'article 28, être établis à bord des bateaux sans avoir été préalablement soumis par les ingénieurs des mines, ou, à leur défaut, par les ingénieurs des ponts et chaussées, à une épreuve opérée à l'aide d'une pompe de pression.

L'usage des chaudières et des tubes bouilleurs en fonte est prohibé dans les bateaux à vapeur.

Art. 21. La pression d'épreuve prescrite par l'article précédent sera *triple* de la pression effective, ou, autrement, de la plus grande tension que la vapeur pourra avoir dans les chaudières, leurs tubes bouilleurs et autres pièces contenant la vapeur, diminuée de la pression extérieure de l'atmosphère.

Art. 22. On procédera aux épreuves en chargeant les soupapes de sûreté des chaudières de poids proportionnels à la pression effective, et déterminés suivant la règle indiquée en l'article 31.

A l'égard des autres pièces, la charge d'épreuve sera appliquée sur la soupape de la pompe de pression.

Art. 23. L'épaisseur des parois des chaudières cylindriques, en tôle ou en cuivre laminé, sera réglée conformément à la table n° 1, annexée à la présente ordonnance.

L'épaisseur de celles de ces chaudières qui, par leurs dimensions et par la pression de la vapeur, ne se trouveraient pas comprises dans la table, sera déterminée d'après la règle énoncée à la suite de ladite table ; toutefois cette épaisseur ne pourra dépasser 15 millimètres.

Les épaisseurs de la tôle devront être augmentées s'il s'agit de chaudières formées, en partie ou en totalité, de faces planes ou bien de conduits intérieurs, cylindriques ou autres, traversant l'eau ou la vapeur, et servant soit de foyers, soit à la circulation de la flamme. Ces chaudières et conduits devront de plus être, suivant les cas, renforcés par des armatures suffisantes.

Art. 24. Après qu'il aura été constaté que les parois des chaudières ont les épaisseurs voulues, et après l'épreuve, on appliquera aux chaudières, à leurs tubes bouilleurs et aux réservoirs à vapeur, aux cylindres en fonte des machines à vapeur et aux enveloppes en fonte de ces cylindres, des timbres indiquant, en nombre d'atmosphères, le degré de tension intérieure que la vapeur ne devra pas dépasser. Ces timbres seront placés de manière qu'ils soient toujours apparents.

Art. 25. L'épreuve sera renouvelée après l'installation de la machine dans le bateau ; 1° si le propriétaire la réclame ; 2° s'il y a eu pendant le transport, ou lors de la mise en place, quelques avaries ; 3° s'il a été fait à la chaudière des modifications ou réparations quelconques depuis la première épreuve ; 4° si la commission de surveillance le juge utile.

Art. 26. Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et autres pièces contenant la vapeur, devront être éprouvés de nouveau toutes les fois qu'il sera jugé nécessaire par les commissions de surveillance.

Quand il aura été fait aux chaudières et autres pièces des changements ou réparations notables, les propriétaires des bateaux à vapeur seront tenus d'en donner connaissance au préfet. Il sera nécessairement procédé dans ce cas, à de nouvelles épreuves.

Art. 27. L'appareil et la main d'œuvre nécessaires pour les épreuves seront fournis par les propriétaires des machines et chaudières à vapeur.

Art. 28. Les chaudières qui auront des faces planes seront dispensées de l'épreuve mais sous la condition

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que la force élastique ou la tension de la vapeur, ne devra pas s'élever dans l'intérieur de ces chaudières, à plus d'une *atmosphère et demie*.

SECTION III. — DES APPAREILS DE SURETÉ DONT LES CHAUDIÈRES A VAPEUR DOIVENT ÊTRE MUNIES.

§ I^er^. — DES SOUPAPES DE SURETÉ.

Art. 29. Il sera adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté. Ces soupapes seront placées vers chaque extrémité de la chaudière, et à la plus grande distance possible l'une de l'autre.

Le diamètre des orifices de ces soupapes sera réglé d'après la surface de chauffe de la chaudière et la tension de la vapeur dans son intérieur, conformément à la table n° 2 annexée à la présente ordonnance.

Art. 30. Chaque soupape sera chargée d'un poids unique, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier.

Chaque poids recevra l'empreinte d'un poinçon apposé par la commission de surveillance. Les leviers seront également poinçonnés, s'il en est fait usage. La quotité du poids et la longueur du levier seront énoncées dans le permis de navigation.

Art. 31. La charge maximum de chaque soupape de sûreté sera déterminée en multipliant 1^k^,033 par le nombre d'atmosphères mesurant la pression effective, et par le nombre de centimètres carrés mesurant l'orifice de la soupape.

La largeur de la surface annulaire de recouvrement ne devra pas dépasser la trentième partie du diamètre de la surface circulaire exposée directement à la pression de la vapeur, et cette largeur dans aucun cas ne devra excéder 2 millimètres.

Art. 32. Il sera de plus adapté à la partie supérieure des chaudières à faces planes, dont il est fait mention à l'article 28, une soupape atmosphérique, c'est-à-dire ouvrant du dehors en dedans.

§ II. — *Des manomètres.*

Art. 33. Chaque chaudière sera munie d'un manomètre à mercure, gradué en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, de manière à faire connaître immédiatement la pression de la vapeur dans la chaudière.

Le tuyau qui amènera la vapeur au manomètre sera adapté directement sur la chaudière, et non sur le tuyau de prise de vapeur ou sur tout autre tuyau dans lequel la vapeur serait en mouvement.

Le manomètre sera placé en vue du chauffeur.

Art. 34. On fera usage du manomètre à air libre, c'est-à-dire ouvert à sa partie supérieure toutes les fois que la pression effective de la vapeur ne dépassera pas deux atmosphères.

Art. 35. On tracera sur l'échelle de chaque manomètre, d'une manière très apparente, une ligne qui répondra au numéro de cette échelle que le mercure ne devra pas habituellement dépasser.

§ III. — *De l'alimentation et des indicateurs de niveau de l'eau dans les chaudières.*

Art. 36. Chaque chaudière sera munie d'une pompe alimentaire bien construite et en bon état d'entretien.

Indépendamment de cette pompe, mise en mouvement par la machine motrice du bateau, chaque chaudière sera pourvue d'une autre pompe pouvant fonctionner, soit à l'aide d'une machine particulière, soit à bras d'homme, et destinée à alimenter la chaudière, s'il en est besoin, lorsque la machine motrice du bateau ne fonctionnera pas.

Art. 37. Le niveau que l'on doit avoir habituellement dans la chaudière sera indiqué, à l'extérieur, par une ligne tracée d'une manière très apparente sur le corps de la chaudière, ou sur le parement du fourneau.

Cette ligne sera d'un décimètre au moins au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

Art. 38. Il sera adapté à chaque chaudière, 1° deux tubes indicateurs en verre, qui seront placés un à chaque côté de la face antérieure de la chaudière; 2° l'un des deux appareils suivants, savoir : un flotteur d'une mobilité suffisante; des robinets indicateurs, convenablement placés à des niveaux différents. Les appareils indicateurs seront, dans tous les cas, disposés de manière à être en vue du chauffeur.

SECTION IV. — DES CHAUDIÈRES MULTIPLES.

Art. 39. Si plusieurs chaudières sont établies dans un bateau, elles ne pourront être mises en communication que par les parties toujours occupées par la vapeur, et cette communication sera disposée de manière que les chaudières puissent, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres.

SECTION V. — DE L'EMPLACEMENT DES APPAREILS MOTEURS.

Art. 40. L'emplacement des appareils moteurs devra être assez grand pour qu'on puisse facilement faire le service des chaudières et visiter toutes les parties des appareils.

Cet emplacement sera séparé des salles des passagers par des cloisons en planches, très solidement construites et entièrement revêtues d'une doublure en feuilles de tôle, à recouvrement, d'un millimètre d'épaisseur au moins.

TITRE III.

DE L'INSTALLATION DES BATEAUX A VAPEUR, DES AGRÈS, APPAREAUX ET DES ÉQUIPAGES.

Art. 41. Le pont de chaque bateau devra être garni de garde-corps d'une hauteur suffisante pour la sûreté des passagers.

Toutes les ouvertures pratiquées au-dessus des machines et des chaudières, qui ne sont pas habituellement fermées par un panneau plein, seront munies d'un grillage en fer ou en bois.

Art. 42. De chaque côté du bateau il y aura un escalier d'embarquement (en bois ou en fer), avec une rampe ou une corde à nœuds solidement fixée.

Art. 43. Les tambours qui, de chaque côté du bateau, enveloppent les roues motrices, seront munies d'une défense en fer, descendant assez près de la surface de l'eau pour empêcher les embarcations de s'engager dans les palettes des roues.

Art. 44. Lorsque la cheminée sera mobile, et qu'elle ne se trouvera pas disposée de manière à être en équilibre sur son axe de rotation dans toutes les positions il sera établi, sur le pont du bateau, un support suffisamment élevé, pour arrêter la cheminée en cas de chute et prévenir tout accident.

Art. 45. La ligne de flottaison indiquant le maximum du chargement, sera tracée d'une manière apparente sur le pourtour entier de la carène, d'après les points de repère déterminés par le permis de navigation.

Art. 46. Le nom du bateau sera inscrit en gros caractères sur chacun de ses côtés.

Art. 47. Il y aura dans chaque bateau :

1° Deux ancres, au moins, pouvant être jetées immédiatement;

2° Un canot à la traîne ou suspendu à des palans, de manière à pouvoir être, au besoin, mis immédiatement à l'eau; les dimensions de ce canot seront déterminées par le préfet, d'après l'avis de la commission de surveillance;

3° Une bouée de sauvetage en liége, suspendue sous l'arrière;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

4° Une hache en bon état, à portée du timonier,

5° Une cloche pour donner les avertissements nécessaires ;

6° Une boîte fumigatoire, pour administrer des secours aux asphyxiés ;

7° Des manomètres de rechange, ainsi que des tubes indicateurs de rechange.

Art. 48. Si le bateau est exposé accidentellement à être poussé à la mer, il sera muni des cartes et des instruments nautiques nécessaires à cette navigation.

Art. 49. Indépendamment du capitaine, maître ou timonier, et des matelots ou mariniers formant l'équipage, il y aura à bord de chaque bateau un mécanicien et autant de chauffeurs que le besoin de l'appareil moteur l'exigera.

Art. 50. Nul ne pourra être employé en qualité de capitaine ou de mécanicien, s'il ne produit des certificats de capacité, délivrés dans les formes qui seront déterminées par notre ministre des travaux publics.

TITRE IV.

MESURES DIVERSES CONCERNANT LE SERVICE DES BATEAUX A VAPEUR.

SECTION I^re^. — STATIONNEMENT, DÉPART ET MOUILLAGE DES BATEAUX.

Art. 51. Dans toutes les localités où cela sera possible, il sera assigné aux bateaux à vapeur un lieu de stationnement distinct de celui des autres bateaux.

Art. 52. Lorsque la disposition des lieux le permettra, il pourra être accordé à chaque entreprise de bateau à vapeur un emplacement particulier et dont elle aura la jouissance exclusive, à charge par elle d'y faire, à ses frais, les ouvrages nécessaires pour faciliter l'embarquement et le débarquement des voyageurs et des marchandises.

Cette autorisation, toujours révocable, sera accordée par le préfet, qui en déterminera les conditions.

Art. 53. En cas de concurrence entre deux ou plusieurs entreprises, les heures de départ seront réglées par le préfet, de manière à éviter les accidents qui peuvent résulter de la rivalité.

Art. 54. Pour chaque localité, un arrêté du préfet déterminera les conditions de solidité et de stabilité des batelets destinés au service d'embarquement et de débarquement des passagers, le nombre des personnes que ces batelets pourront recevoir, et le nombre des mariniers nécessaires pour les conduire.

Le maire de la commune délivrera le permis de service, après s'être préalablement assuré que les batelets sont conformes aux dispositions de sûreté prescrites, et que les mariniers remplissent les conditions exigées par l'art. 47 de la loi du 6 frimaire an VII.

Art. 55. Sur les points où le service des batelets serait dangereux, les préfets pourront en interdire l'usage.

Art. 56. Aucun bateau à vapeur ne quittera le point de départ et les lieux de stationnement pendant la nuit, ni en temps de brouillard, de glace ou de débordements, à moins d'une permission spéciale délivrée par l'autorité chargée de la police locale.

Art. 57. Les préfets prescriront les dispositions nécessaires pour éviter, dans chaque localité, les accidents qui pourraient avoir lieu au départ et à l'arrivée des bateaux.

SECTION II. — MARCHE ET MANŒUVRE DES BATEAUX.

Art. 58. Si deux bateaux à vapeur marchant en sens inverse viennent à se rencontrer, le bateau descendant ralentira son mouvement, et chaque bateau serrera le chenal de navigation à sa droite. Si les dimensions de ce chenal sont telles qu'il ne reste pas entre les parties les plus saillantes des bateaux un intervalle libre de quatre mètres au moins, le bateau qui remonte s'arrêtera, et attendra, pour reprendre sa route, que celui qui descend ait doublé le passage. Dans les rivières à marées, le bateau qui vient avec le flot est censé descendre.

Si la rencontre a lieu entre deux bateaux à vapeur marchant dans la même direction, celui qui sera en avant serrera le chenal de navigation à sa droite; celui qui sera en arrière serrera ce chenal à sa gauche.

Si les dimensions du chenal ne permettent pas le passage des deux bateaux, le bateau qui se trouvera en arrière ralentira son mouvement, et attendra que la passe soit franchie pour reprendre toute sa vitesse.

Des arrêtés des préfets désigneront les passes dans lesquelles il est interdit aux bateaux à vapeur de se croiser ou de se dépasser, et détermineront, relativement à des points facilement déterminables, les limites de chacune de ces passes.

Art. 59. Les préfets détermineront également les précautions à prendre à l'approche des ponts, pertuis et autres ouvrages d'art, tant pour la sûreté des passagers que pour la conservation de ces ouvrages.

Art. 60. Les capitaines des bateaux à vapeur ne feront aucune manœuvre dans le but d'entraver ou de retarder la marche des autres bateaux à vapeur, ou de toute autre embarcation. Ils diminueront la vitesse de leurs bateaux, ou même ils les feront arrêter, toutes les fois que la continuation de la marche de ces bateaux pourrait donner lieu à des accidents.

Art. 61. Tout bateau à vapeur naviguant pendant la nuit tiendra constamment allumés deux fanaux placés, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Ces deux fanaux seront à *verres blancs* lorsque le bateau descendra, et à *verres rouges* lorsqu'il remontera.

En cas de brouillard, le capitaine fera tinter continuellement la cloche du bateau pour éviter les abordages.

Art. 62. Les capitaines des bateaux à vapeur pourront, sauf le cas prévu par l'art. 55, prendre ou déposer en route des voyageurs ou des marchandises, qui seront transportés dans des batelets; mais ils devront faire arrêter l'appareil moteur du bateau, afin que les batelets puissent accoster sans danger. Ces batelets, avant d'aborder, seront amarrés au bateau à vapeur, et celui-ci ne devra continuer sa navigation que lorsqu'ils auront été poussés au large.

Art. 63. Les capitaines rendront compte à l'autorité chargée de la police locale, des faits qui pourront intéresser la sûreté de la police locale.

SECTION III. — CONDUITE DU FEU ET DES APPAREILS MOTEURS.

Art. 64. Le mécanicien, sous l'autorité du capitaine, présidera à la mise en feu avant le départ; il entretiendra toutes les parties de l'appareil moteur; il s'assurera qu'elles fonctionnent bien, et que les chauffeurs sont en état de bien faire leur service. Pendant le voyage, il dirigera les chauffeurs, et s'occupera constamment de la conduite de la machine.

Art. 65. Il sera tenu, à bord de chaque bateau, un registre dont toutes les pages devront être cotées et paraphées par le maire de la commune où est situé le siége de l'entreprise, et sur lequel le mécanicien inscrira d'heure en heure :

1° La hauteur des manomètres ;

2° La hauteur d'eau dans la chaudière, relativement à la *ligne d'eau* ;

3° Le lieu où se trouvera le bateau.

A la fin de chaque voyage, le mécanicien signera ces indications, dont il certifiera l'exactitude.

Art. 66. Il est défendu aux propriétaires de bateaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à vapeur et à leurs agents, de faire fonctionner les appareils moteurs sous une pression supérieure à la pression déterminée dans le permis de navigation, et de rien faire qui puisse détruire ou diminuer l'efficacité des moyens de sûreté dont ces appareils seront pourvus.

SECTION IV. — DISPOSITIONS RELATIVES AUX PASSAGERS.

Art. 67. Il est interdit de laisser aucun passager s'introduire dans l'emplacement de l'appareil moteur.

Art. 68. Indépendamment du registre du mécanicien, il sera ouvert dans chaque bateau à vapeur un autre registre, dont toutes les pages seront, comme il est dit article 65, cotées et paraphées, et sur lequel les passagers auront la faculté de consigner leurs observations, ou ce qui pourrait concerner le départ, la marche et la manœuvre du bateau, les avaries ou accidents quelconques, et la conduite de l'équipage : ces observations devront être signées par les passagers qui les auront faites. Le capitaine pourra également consigner sur ce registre les observations qu'il jugerait convenables, ainsi que tous les faits qu'il lui paraîtrait important de faire attester par les passagers.

Art. 69. Dans chaque salle où se tiennent les passagers, il sera affiché une copie du permis de navigation et un tableau indiquant :

1° La durée moyenne des voyages, tant en montant qu'en descendant, et en ayant égard à la hauteur des eaux ;

2° La durée des stationnements ;

3° Le nombre maximum des passagers ;

4° La faculté qu'ils ont de consigner leurs observations sur le registre ouvert à cet effet ;

5° Le tarif des places.

TITRE V.

DE LA SURVEILLANCE ADMINISTRATIVE DES BATEAUX A VAPEUR.

Art. 70. Dans les départements où existeront des bateaux à vapeur, les préfets institueront une ou plusieurs commissions de surveillance.

Les ingénieurs des mines et les ingénieurs des ponts et chaussées feront nécessairement partie de ces commissions.

Art. 71. Les commissions de surveillance, indépendamment des fonctions qui leur sont attribuées par les articles 5, 6, 7, 8 et 14 ci-dessus, visiteront les bateaux au moins tous les trois mois, et chaque fois que le préfet le jugera convenable.

Les membres de ces commissions pourront, en outre, faire individuellement des visites plus fréquentes.

Art. 72. La commission de surveillance s'assurera, dans ses visites, que les mesures prescrites par la présente ordonnance et par le permis de navigation sont exécutées.

Elle constatera l'état de l'appareil moteur et celui du bateau ; elle se fera représenter le registre tenu par le mécanicien, et le registre destiné à recevoir les observations des passagers.

Art. 73. La commission adressera au préfet le procès-verbal de chacune de ses visites. Dans ce procès-verbal, elle consignera ses propositions sur les mesures à prendre si l'appareil moteur ou le bateau ne présente plus de garanties suffisantes de sûreté.

Art. 74. Sur les propositions de la commission de surveillance, le préfet ordonnera, s'il y a lieu, la réparation ou le remplacement de toutes les pièces de l'appareil moteur ou du bateau dont un plus long usage présenterait des dangers. Il pourra suspendre le permis de navigation jusqu'à l'entière exécution de ces mesures.

Art. 75. Dans les cas où, par suite d'inexécution des dispositions de la présente ordonnance, la sûreté publique serait compromise, le préfet suspendra et, au besoin, révoquera le permis de navigation.

Art. 76. Les maires, adjoints ou commissaires de police, les officiers de port ou inspecteurs de la navigation, exerceront une surveillance de police journalière sur les bateaux à vapeur, tant aux points de départ et d'arrivée qu'aux lieux de stationnement intermédiaires.

Art. 77. Les propriétaires des bateaux à vapeur seront tenus de recevoir à bord et de transporter gratuitement les inspecteurs de la navigation, gardes de rivières ou autres agents, qui seraient chargés spécialement de la police et de la surveillance de ces bateaux.

Art. 78. S'il était survenu des avaries de nature à compromettre la sûreté de la navigation, l'autorité chargée de la police locale pourra suspendre la marche du bateau ; elle devra sur-le-champ en informer le préfet.

En cas d'accident, elle se transportera immédiatement sur les lieux, et le procès-verbal qu'elle dressera de sa visite sera transmis au préfet, et, s'il y a lieu, au procureur du roi.

La commission de surveillance se rendra aussi sur les lieux sans délai, pour visiter les appareils moteurs, en constater l'état, et rechercher la cause de l'accident : elle adressera, sur le tout, un rapport au préfet.

TITRE VI.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Art. 79. Les machines et les chaudières à vapeur, employées à un usage quelconque sur les bateaux stationnaires, sont soumises à toutes les conditions de sûreté prescrites par la présente ordonnance.

Art. 80. Si, à raison du mode particulier de constructions de certaines machines ou chaudières à vapeur, l'application, à ces machines ou chaudières, d'une partie des mesures de sûreté prescrites par la présente ordonnance devenait inutile, le préfet, sur le rapport de la commission de surveillance, déterminera les conditions sous lesquelles ces appareils seront autorisés. Dans ce cas, les permis de navigation ne seront délivrés par le préfet que lorsqu'ils auront reçu l'approbation du ministre des travaux publics.

Art. 81. Les propriétaires de bateaux à vapeur seront tenus d'adapter aux machines et chaudières employées dans ces bateaux les appareils de sûreté qui pourraient être découverts par la suite, et qui seraient prescrits par des règlements d'administration publique.

Art. 82. Il sera publié par notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics, une instruction sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines et des chaudières à vapeur établies sur des bateaux.

Cette instruction devra être affichée à demeure dans l'emplacement où se trouvent ces machines et chaudières.

Art. 83. La navigation et la surveillance des bateaux à vapeur de l'État sur les fleuves et rivières sont régies par des dispositions spéciales.

Art. 84. Les attributions données aux préfets des départements par la présente ordonnance seront exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, de Meudon et de Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

Art. 85. Les ordonnances royales des 2 avril 1823 et 25 mai 1828, concernant les bateaux à vapeur et les machines et les chaudières à vapeur employées sur les bateaux à vapeur, sont rapportées.

Art. 86. Notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics est chargé de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée au Bulletin des Lois.

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

TABLE N° I. — *Table des épaisseurs à donner aux chaudières à vapeur cylindriques en tôle ou en cuivre laminé* (1).

Diamètre des chaudières	NUMÉROS DES TIMBRES exprimant les tensions de la vapeur.						
	3 atmosph.	4 atmosph.	5 atmosph.	6 atmosph.	8 atmosph.	9 atmosph.	10 atmosph.
mètres.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
0,50	3,90	4,80	5,70	6,60	7,50	8,40	9,30
0,55	3,99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93
0,60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
0,65	4,17	5,34	6,51	7,68	8,85	10,02	11,19
0,70	4,26	5,52	6,78	8,04	9,30	10,56	11,82
0,75	4,35	5,70	7,05	8,40	9,75	11,10	12,45
0,80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,20	11,64	13,08
0,85	4,53	6,06	7,59	9,12	10,65	12,18	13,71
0,90	4,62	6,24	7,86	9,48	11,10	12,72	14,34
0,95	4,71	6,42	8,13	9,84	11,55	13,26	14,97
1,00	4,80	6,60	8,40	10,20	12,00	13,80	15,60

CHAUDIÈRE A VAPEUR (industrie). Les chaudières à vapeur (*angl.* boilers, *all.* dampf kessoln) servent à produire de la vapeur d'eau à une tension plus ou moins élevée que l'on utilise, soit comme force motrice dans les machines à vapeur, soit comme moyen d'échauffement dans les ateliers de teinture, etc. On les construit en fonte, en cuivre laminé ou en tôle de fer.

L'usage des chaudières en fonte est défendu sur les bateaux, et actuellement on n'en construit plus guère devant fonctionner sur terre : leur prix étant peu inférieur à celui des chaudières en tôle, par suite de l'épaisseur plus grande qu'on est obligé de leur donner, et leur emploi étant beaucoup plus dangereux et occasionnant une dépense en combustible plus considérable.

Comme d'après les règlements, on est obligé de donner aux chaudières en cuivre laminé une épaisseur égale à celle qu'elles devraient avoir si elles étaient en tôle de fer, leur prix est beaucoup plus élevé, et elles ne sont généralement employées que dans le cas où les seules eaux d'alimentation que l'on peut se procurer sont très corrosives, et détruiraient rapidement les chaudières en tôle.

La tôle de fer est presque exclusivement employée pour la fabrication des chaudières, par suite de sa plus grande ténacité et de son prix peu élevé.

TABLE N° II. — *Table pour régler les diamètres à donner aux orifices des soupapes de sûreté* (2).

SURFACE de chauffe des CHAUDIÈRES.	NUMÉROS DES TIMBRES INDIQUANT LES TENSIONS DE LA VAPEUR.										
	1 1/2 atmosph.	2 atmosph.	2 1/2 atmosph.	3 atmosph.	3 1/2 atmosph.	4 atmosph.	4 1/2 atmosph.	5 atmosph.	5 1/2 atmosph.	6 atmosph.
mètres carrés	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.
1	2,493	2,063	1,799	1,616	1,479	1,372	1,286	1,214	1,152	1,100
2	3,525	2,918	2,544	2,286	2,092	1,941	1,818	1,716	1,630	1,555
3	4,317	3,573	3,116	2,799	2,563	2,377	2,227	2,102	1,996	1,905
4	4,985	4,126	3,598	3,232	2,959	2,745	2,572	2,427	2,305	2,200
5	5,574	4,613	4,023	3,614	3,308	3,069	2,875	2,714	2,578	2,459
6	6,106	5,054	4,407	3,958	3,624	3,362	3,149	2,973	2,823	2,694
7	6,595	5,458	4,760	4,276	3,914	3,631	3,402	3,211	3,045	2,910
8	7,050	5,835	5,089	4,571	4,185	3,882	3,637	3,433	3,260	3,111
9	7,478	6,189	5,398	4,848	4,438	4,117	3,857	3,641	3,458	3,299
10	7,882	6,524	5,690	5,110	4,679	4,340	4,066	3,838	3,645	3,478
11	8,267	6,843	5,967	5,360	4,907	4,552	4,265	4,025	3,823	3,648
12	8,635	7,147	6,233	5,598	5,125	4,754	4,454	4,204	3,993	3,810
13	8,987	7,439	6,487	5,827	5,334	4,949	4,636	4,376	4,156	3,965
14	9,325	7,720	6,732	6,047	5,536	5,138	4,814	4,541	4,312	4,124
15	9,654	7,990	6,968	6,259	5,730	5,316	4,980	4,701	4,464	4,259
16	9,970	8,253	7,197	6,464	5,918	5,490	5,143	4,854	4,610	4,399
17	10,277	8,506	7,418	6,663	6,100	5,659	5,302	5,004	4,752	4,534
18	10,575	8,753	7,633	6,844	6,277	5,823	5,455	5,149	4,890	4,666
19	10,865	8,993	7,842	7,044	6,449	5,982	5,605	5,290	5,024	4,794
20	11,147	9,227	8,046	7,227	6,616	6,138	5,750	5,428	5,154	4,918
21	11,423	9,454	8,245	7,389	6,780	6,289	5,892	5,561	5,282	5,040
22	11,694	9,677	8,439	7,580	6,939	6,437	6,031	5,692	5,406	5,158
23	11,954	9,894	8,629	7,750	7,095	6,582	6,167	5,820	5,527	5,274
24	12,214	10,107	8,814	7,917	7,248	6,723	6,299	5,845	5,646	5,388
25	12,463	10,316	8,996	8,080	7,397	6,862	6,429	6,069	5,763	5,499
26	12,710	10,520	9,174	8,240	7,544	6,998	6,556	6,188	5,877	5,608
27	12,952	10,720	9,349	8,397	7,776	7,132	6,681	6,306	5,989	5,715
28	13,190	10,917	9,520	8,551	7,828	7,262	6,804	6,422	6,099	5,819
29	13,423	11,110	9,689	8,703	7,967	7,391	6,924	6,535	6,207	5,922
30	13,653	11,300	9,855	8,851	8,103	7,517	7,043	6,648	6,313	6,024

(1) Pour obtenir l'épaisseur que l'on doit donner aux chaudières, il faut multiplier le diamètre de la chaudière, exprimé en mètres et fractions décimales de mètre, par la pression effective de la vapeur, exprimée en atmosphères, et par le nombre fixe 18 ; prendre la dixième partie du produit ainsi obtenu et y ajouter le nombre fixe 5. Le résultat exprimera en millimètres et en fractions décimales de millimètre, l'épaisseur cherchée.

(2) Pour déterminer les diamètres des soupapes de sûreté, il faut diviser la surface de chauffe de la chaudière, exprimée en mètres carrés, par le nombre qui indique la tension maximum de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères, préalablement diminué du nombre 0,412 ; prendre la racine carrée du quotient ainsi obtenu, et la multiplier par 2,6 : le résultat exprimera, en centimètres et fractions décimales de centimètre, le diamètre cherché.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La résistance, qui est la première condition à laquelle doivent satisfaire les générateurs, résulte et du choix du métal et des formes, comme des dimensions de ceux-ci. Ce sont là les éléments de leur étude, à l'un des deux points de vue auquel on doit les considérer. En effet, les générateurs de vapeur, qui nous fournissent le moyen de transformer en travail mécanique la chaleur que nous produisons à l'aide de la houille, qui s'extrait des entrailles de la terre, ou du bois qui en couvre la surface, doivent être étudiés au point de vue mécanique de leur résistance aux pressions et au point de vue physique. C'est ce dernier, tout spécial aux chaudières, qui nous occupera surtout dans cette étude. Terminons d'abord ce qui se rapporte au premier, pour apprécier les éléments sur lesquels reposent les tables réglementaires qui précèdent.

La forme et les dimensions d'une chaudière étant déterminées pour obtenir un bon chauffage, on découpe les feuilles de tôle en parties de grandeur convenable, et on les assemble au moyen de rivets appliqués à chaud, comme nous le décrivons à l'article CHAUDRONNERIE.

L'épaisseur à donner aux parois de la chaudière varie avec sa forme, ses dimensions, la ténacité du metal employé et la *pression effective* de la vapeur, c'est-à-dire l'excès de la pression intérieure de la vapeur sur la pression atmosphérique extérieure. Prenons d'abord une chaudière cylindrique, et cherchons la force qui tend à déterminer la rupture suivant une des génératrices. Soit P la pression effective sur l'élément de surface et qui lui est normale ; la chaudière formant un ensemble que l'on doit regarder comme rigide et invariable de forme, la force qui tendra à déterminer la rupture de la chaudière, suivant le plan GG' (fig. 406), sera égale, pour un élément de surface s incliné d'un angle α sur ce plan, à P s cos. α ou P multiplié par la projection de l'élément s sur ce plan ; et la somme de toutes ces composantes sera P × D, D étant le diamètre de la chaudière ; soit e l'épaisseur de la tôle, et t la résistance à la rupture de l'unité, il faudra que l'on ait $et > PD$, d'où $e > \frac{PD}{t}$ pour qu'il n'y ait pas rupture.

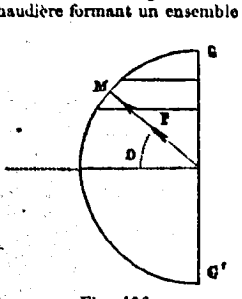


Fig. 406.

Si e est l'épaisseur de la tôle en millimètres ; d, le diamètre de la chaudière ; n, la pression intérieure de la vapeur exprimée en atmosphères ; n — 1 sera la pression effective, et les règlements d'administration prescrivent de déterminer e par la formule :

$$e = 1{,}8d\,(n-1) + 3,$$

établie en réduisant à 3 kilogrammes par millimètre la résistance du fer, qu'on peut charger en toute sécurité, mais à froid, d'un poids de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Lorsque les chaudières offrent des parois planes, ces parois, se bombant facilement, doivent présenter une résistance plus grande que dans le cas des chaudières cylindriques terminées par des calottes sphériques ; on doit alors donner à la tôle qui les compose une épaisseur plus considérable, et la renforcer, en outre, par des armatures suffisantes, des tirants en fer qui s'opposent aux déformations. Si ces chaudières sont employées à basse pression, c'est-à-dire si la tension intérieure de la vapeur ne doit pas y dépasser une atmosphère et demie, ces chaudières sont exemptées de l'épreuve à la pompe de pression exigée par les règlements ; mais elles doivent être munies de soupapes dites atmosphériques parce qu'elles s'ouvrent de dehors en dedans pour laisser rentrer l'air dans l'intérieur, et prévenir toute déformation par la pression atmosphérique extérieure, lorsque, par suite du refroidissement de la chaudière, la tension de la vapeur finit par y devenir presque nulle.

Avant leur mise en activité, et toutes les fois que leur état ou de nouvelles réparations le rendent nécessaire, les chaudières sont éprouvées sous une pression triple de celle qu'elles doivent supporter ; cette épreuve se fait comme il est indiqué dans la section II du titre II des ordonnances des 22 et 23 mai 1843 ; et lorsque la tôle a l'épaisseur voulue par les règlements, et que la chaudière est bien construite, cette pression d'épreuve n'est que le quart, au plus, de celle qui déterminerait la rupture.

Passons à l'étude physique ; et d'abord décrivons d'une manière générale les principaux types de chaudières.

L'élément principal à considérer dans une chaudière, c'est l'étendue de la surface qui se trouve en contact avec les produits de la combustion du combustible chargé sur la grille. Les produits de la combustion se dépouilleront d'autant mieux de la chaleur qu'ils renferment, et par suite l'effet utile du combustible sera d'autant plus élevé, que la surface de chauffe sera plus grande par rapport à la quantité de combustible consommé dans l'unité de temps. On augmente cette surface en faisant passer la flamme et la fumée dans des conduits ou *carneaux*, qui tantôt circulent autour de la chaudière, tantôt traversent la masse d'eau qu'elle renferme. Le foyer est ordinairement placé au-dessous de la chaudière, pour utiliser la chaleur de rayonnement, d'autant mieux que cette action dure plus longtemps, que la combustion n'est pas très-rapide ; mais comme la quantité d'eau vaporisée par heure et par mètre carré varie avec l'intensité du feu, les dimensions de la chaudière doivent être alors d'autant plus grandes pour produire une même quantité de vapeur Ordinairement, on vaporise de 30 à 40 kil. d'eau par mètre carré de surface de chauffe et par heure ; mais, dans certaines circonstances, quand le feu est très-intense, comme c'est le cas pour les chaudières tubulaires des locomotives, où l'on détermine un tirage artificiel très-actif, en faisant arriver un courant de vapeur dans la cheminée, cette quantité peut aller à 400 kilogrammes et même au delà. Dans d'autres chaudières, au contraire, où l'on regarde surtout à l'économie de combustible, cette quantité n'est que 15 à 20 kil. et même quelquefois moindre. L'emplacement dont on peut disposer influe aussi beaucoup sur la forme et les dimensions des chaudières. Il en est de même de la condition qui leur est imposée dans les bateaux à vapeur et les locomotives, de posséder, sous un faible volume, une grande puissance de vaporisation.

C'est en se basant sur les réultats d'expériences qu'on détermine les dimensions à donner à chaque chaudière, connaissant la quantité de vapeur à produire.

Les principales formes de chaudières sont les suivantes :

La chaudière de Newcomen à fond hémisphérique, dont la concavité est tournée vers le foyer, que nous citerons seulement. Elle est complétement abandonnée.

Chaudière de Watt ou *chaudière à tombeau*. Cette chaudière, dont les fig. 416 et 417 représentent une coupe longitudinale et une section transversale, a une forme prismatique et est terminée par deux fonds plats. Elle est généralement employée pour produire de la vapeur à de basses pressions. Le foyer est extérieur et la flamme circule dans des carneaux également extérieurs ; quelquefois, cependant, on voit de ces chaudières avec des carneaux intérieurs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chaudière cylindrique à bouilleurs. — La fig. 418 représente la section transversale, et la fig. 419 la coupe longitudinale d'une chaudière de cette espèce. L'usage en est très-répandu en France pour produire de la vapeur à haute pression. La flamme lèche d'abord les *bouilleurs*, placés près du combustible, à une distance quel les chaudières sont encastrées; à cet effet ils portent des tubulures assemblées au moyen d'un manchon et liées souvent par du *mastic de fer*. Ce mastic, quoiqu'il puisse résister à la pression d'épreuve, ne doit pas être regardé comme établissant entre les deux pièces réunies une jonction suffisamment solide pour

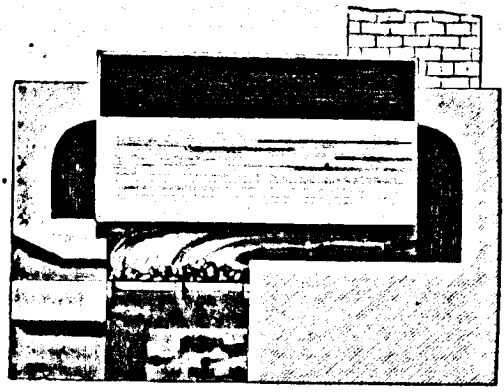


Fig. 416.

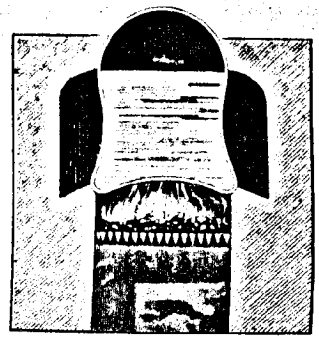


Fig. 417.

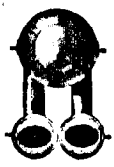


Fig. 418.

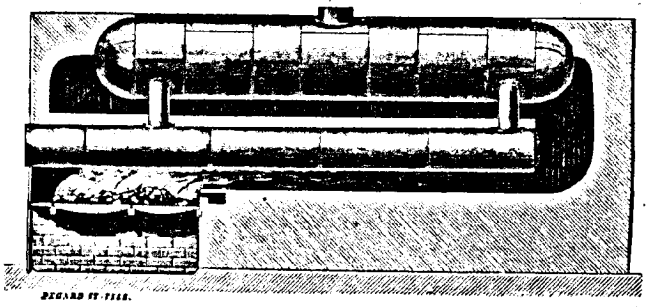


Fig. 419.

bien moindre que celle qu'on pourrait admettre pour une chaudière cylindrique d'un fort diamètre, sans mettre obstacle à l'activité de la combustion; puis les produits de la combustion circulent autour du corps de la chaudière dans des carneaux extérieurs. Les bouilleurs communiquent avec la chaudière par un ou deux tuyaux verticaux; il serait dangereux, dans beaucoup de circonstances, et surtout sur les bateaux à vapeur, de n'établir la communication entre le corps de la chaudière et chaque bouilleur que par une seule tubulure, parce qu'alors il pourrait arriver que, par suite des oscillations du bateau, de la vapeur ne se logeât à l'une des extrémités des bouilleurs, qui, n'étant plus alors en contact avec l'eau, pourrait rougir et déterminer par suite, lorsque l'eau y reviendrait, un dégagement considérable de vapeur susceptible de produire une explosion. Les bouilleurs s'usant beaucoup plus rapidement que le corps des chaudières, doivent être assemblés de manière à pouvoir se démonter facilement sans détruire le massif de maçonnerie dans lequel les chaudières sont encastrées; à cet effet ils portent des tubulures assemblées au moyen d'un manchon et liées souvent par du *mastic de fer*. Ce mastic, quoiqu'il puisse résister à la pression d'épreuve, ne doit pas être regardé comme établissant entre les deux pièces réunies une jonction suffisamment solide pour résister indéfiniment à la pression de la vapeur. Il a d'abord l'inconvénient d'attaquer le fer sur lequel il est appliqué; c'est pourquoi on ne doit en faire usage que pour des tubulures épaisses en fonte de fer, et non pour des tubulures en tôle. Il est en outre cassant, et son adhérence, qui est fort énergique, peut être détruite accidentellement par le déplacement de la chaudière, par un choc, ou par un mouvement brusque de dilatation. Il est donc indispensable, quand on s'en sert, que les pièces assemblées soient, en outre, réunies par des armatures en fer suffisamment fortes pour prévenir, à elles seules, la disjonction, dans le cas même où l'adhérence due au mastic serait entièrement détruite.

On donne aux chaudières cylindriques une longueur qui est 3 à 4, et quelquefois même jusqu'à 10 fois leur diamètre; ce dernier ne doit pas dépasser 1 mètre. Au delà il est préférable d'employer plusieurs chaudières. Voici les dimensions généralement adoptées pour ces chaudières, d'après la force nominale en *chevaux-vapeur* des machines qu'elles doivent alimenter.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

FORCE NOMINATIVE.	Corps de la chaudière.		Bouilleurs.	
	Longueur.	Diamètre.	Longueur.	Diamètre.
ch. vap.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
2	1,65	0,66	1,75	0,28
4	2,10	0,70	2,20	0,30
6	2,45	0,75	2,60	0,35
8	2,80	0,80	2,95	0,38
10	3,25	0,80	3,40	0,35
15	5,00	0,80	5,15	0,44
20	6,80	0,85	7,00	0,50
25	8,50	0,85	8,65	0,50
30	9,20	4,00	9,50	0,60
40	10,00	1,10	10,30	0,60

Avec ces chaudières on vaporise ordinairement de 5 à 7 kil. d'eau par kilogramme de houille

Chaudières à tubes. Bien souvent dans les chaudières à bouilleurs le corps de la chaudière est trop court pour refroidir suffisamment les produits de la combustion. De semblables chaudières produisent de grandes quantités de vapeur, mais elles ont le grave défaut de ne pas être économiques. On cherche à y remédier, en imitant pour les chaudières fixes le système qui a été appliqué avec succès aux LOCOMOTIVES, c'est-à-dire l'emploi de tubes de fumée permettant d'accroître dans de très-grandes proportions les surfaces de chauffe. Aujourd'hui c'est en général le corps cylindrique que l'on fait traverser par des tubes, comme le montre la fig. 407. On a varié de bien des manières ce genre de construction, en plaçant les tubes plus ou moins loin du foyer, et donnant des formes un peu compliquées à ce genre de chaudières, qui donnent des résultats satisfaisants, mais qui sont coûteuses d'achat et surtout d'entretien.

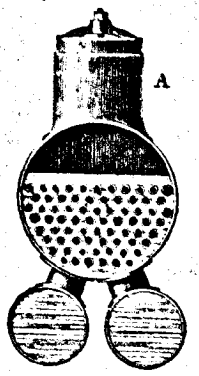


Fig. 407.

FOURNEAUX. Les fourneaux dans lesquels se produit la combustion qui fournit la chaleur génératrice de la vapeur doivent être disposés pour empêcher la déperdition de la chaleur à l'extérieur, pour qu'elle passe dans l'eau, aussi complétement que possible, doivent être construits à l'aide de substances conduisant mal la chaleur, et susceptibles de résister à de hautes températures. Comme chacun sait, et sauf dans quelques cas spéciaux sur lesquels nous reviendrons, les fourneaux se construisent en briques; l'intérieur du foyer et le carneau qui le suit doivent toujours être en briques réfractaires liées entre elles par de la terre à briques; pour le reste du fourneau on peut employer des briques ordinaires réunies par du mortier à sable siliceux.

Il est bon d'élever les maçonneries à la hauteur des tubulures qui portent les différents appareils de niveau, de sûreté, etc., afin de diminuer la perte de chaleur par le rayonnement de la partie supérieure de la chaudière. La voûte qui sépare les bouilleurs du corps cylindrique doit passer au-dessus de ceux-ci ou toucher au plus la partie supérieure.

La dilatation des briques et l'absence presque complète de liaison entre elles produisent dans les fourneaux des mouvements qui ne sont point accompagnés de retrait lors du refroidissement et qui, à la longue, déforment complétement les maçonneries. Pour prévenir la prompte détérioration des fourneaux, on les consolide souvent, à l'extérieur, avec des barres de fer, qu'on désigne sous le nom d'*armatures*, et qui ont pour objet de s'opposer aux dislocations qui tendent à se produire.

On distingue trois parties distinctes dans un fourneau : 1° le foyer et la grille sur laquelle on brûle le combustible ; 2° les carneaux, qui conduisent les gaz chauds autour de la chaudière; 3° la cheminée qui reçoit l'air, en partie refroidi, mais encore assez chaud et, par conséquent, assez léger pour établir un courant ascensionnel de vitesse suffisante, et appeler dans le foyer, à travers la grille et le combustible, une colonne d'air froid qui en entretient la combustion. La quantité de combustible qui peut brûler en une heure sur la grille dépend évidemment de la quantité d'air qui la traverse et, par conséquent, de la section, de la hauteur de la cheminée, de la vitesse du courant d'air qui la traverse.

Dimensions relatives des diverses parties des fourneaux. L'orifice d'accès de l'air, le cendrier, doit avoir une section au moins égale à celle de la cheminée, pour être certain qu'il n'y a aucun ralentissement du mouvement de l'air possible de son fait. Il n'y a aucun inconvénient à la faire beaucoup trop grande, surtout si la prise d'air est extérieure et si l'air n'arrive dans le foyer qu'après avoir parcouru un long canal.

Des grilles. Les grilles sont formées de barres de fer ou de fonte, plus étroites du bas que du haut, placées parallèlement. Leur épaisseur et leur écartement sont déterminés par une plus grande largeur de leurs extrémités. Pour les grands foyers, on donne généralement aux barreaux une largeur de 3 centimètres, et on laisse entre eux un intervalle d'environ 1 centimètre; il est avantageux de diminuer l'écartement des barreaux quand on brûle des menus de houille.

Dans le plus grand nombre des foyers, l'intervalle entre les barreaux est à peu près le quart de la surface de la grille, et la surface totale répond à peu près à une consommation de 1 kilog. de houille par décimètre carré et par heure. Cependant, il y a des foyers dont les grilles sont beaucoup plus grandes, et d'autres où elles sont beaucoup plus petites ; les limites extrêmes correspondent à des consommations, par heure, de $0^k,2$ à $1^k,5$ par décimètre carré. La nature du combustible et la grosseur des morceaux expliquent en partie ces variations ; mais leur cause principale réside dans l'adoption par le constructeur du système de combustion lente ou de combustion vive, comme le montre fort bien Grouvelle dans les lignes suivantes que nous lui empruntons.

Réduction de la grille. Si l'on diminue de moitié la surface de la grille et son passage libre, le courant d'air, comme il arrive à un courant d'eau gêné par un obstacle, sollicité par le même appel de la cheminée, prendra, pour traverser la grille, une vitesse presque double, et, en définitive, il passera toujours à peu près la même quantité d'air à travers la grille, sauf la réduction due à la résistance des passages rétrécis, par suite, en traversant en quantité égale, mais avec une plus grande vitesse, une quantité de combustible moindre, il opérera sur ce point une combustion beaucoup plus intense. La température du foyer s'élèvera beaucoup ; mais la même quantité de combustible sera toujours brûlée, dans le même temps, par la même quantité d'air.

Augmentation de la grille. Si, au contraire, on emploie avec les mêmes carneaux et la même cheminée une grille double en surface, la quantité d'air qui la traversera en une heure ne sera pas changée. Mais elle traversera une section de grille double avec une vitesse

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

moitié moindre et en quantité moitié moindre en chaque point. L'air, rencontrant la même couche de houille, produira une combustion lente et une température beaucoup moins élevée; mais il y aura encore sur la grille, dans le même temps, à peu près la même quantité de houille brûlée parce qu'il y passera la même quantité d'air.

Il arrive pourtant quelquefois que l'on dépasse les limites pour lesquelles ce qui précède est vrai, et l'on rencontre quelquefois des grilles trop petites pour brûler la quantité voulue de combustible, soit à cause de dimensions par trop petites, soit parce que le tirage par la cheminée est trop faible pour vaincre l'excès de résistance dû aux passages trop étroits des barreaux et à une trop grande accumulation de combustible. Il y a avantage alors à augmenter la grille.

Du foyer proprement dit. L'espace qui est au-dessus de la grille doit avoir une étendue suffisante pour contenir le combustible et permettre à la flamme de se développer. L'intervalle qui sépare le combustible de la grille et de la chaudière n'est pas arbitraire; si la chaudière était trop rapprochée, comme elle est à une température beaucoup moins élevée que la flamme, elle l'éteindrait et, par suite, on aurait une mauvaise combustion; si, au contraire, elle était trop éloignée, elle ne recevrait pas toute la chaleur qu'elle peut recevoir par rayonnement, et les gaz de la combustion conserveraient une température trop élevée.

On a reconnu par expérience, suivant Péclet, que, pour les foyers à houille, il faut mettre entre la grille et la chaudière ou le fond des bouilleurs une distance de 30 à 35 centimètres, et de 40 pour les très-grands foyers. Cette distance doit être de 70 à 75 centimètres dans les foyers à bois, et de 60 environ dans ceux où l'on brûle du coke; dans ces deux cas, l'épaisseur du combustible est beaucoup plus grande.

Carneaux. Dans la plupart des chaudières fixes, l'air brûlé parcourt d'abord toute la partie inférieure de la chaudière, et fait ensuite le tour complet de sa partie latérale. On donne ordinairement aux carneaux qui reçoivent les produits de la combustion et chauffent la paroi de la chaudière dans la partie qui renferme de l'eau, car s'il n'y avait que de la vapeur elle rougirait, la section de la cheminée à son sommet, en évitant de les faire trop larges, car alors le courant n'aurait lieu qu'à leur partie supérieure et on perdrait une grande partie de la surface de chauffe indirecte. Souvent alors tous les produits de la combustion tendent à passer par un seul carneau, celui qui offre le moins de résistance. Il est utile, à l'aide d'une brique ou d'un registre, de rétablir l'égale division de la fumée entre les deux carneaux. Disons aussi qu'il importe que la section des carneaux soit partout la même pour éviter les remous et les résistances qui résultent des étranglements.

Voici comment M. Grouvelle calcule l'effet des carneaux pour la plupart des cas. Supposons que la température moyenne du courant d'air qui traverse les carneaux soit de 580°. Celle du foyer où la combustion est active est de 2,000° environ. La température de la vapeur à trois atmosphères, comme on l'emploie ordinairement dans les machines à moyenne pression, est de 138. Ainsi la différence de température du foyer et de l'eau de la chaudière est de 1862°, et la différence entre la fumée à la sortie des carneaux et l'eau de la chaudière est seulement de 362°, ou cinq fois moins grande. Or, la quantité de chaleur qui passe à travers une surface donnée est à peu près proportionnelle à la différence de température des deux milieux: le produit de chaque mètre carré de chaudière dans les carneaux ne peut être supérieur au cinquième de celui obtenu par l'action directe du feu: et, en outre, comme la surface des carneaux est verticale, tandis que la surface directe est horizontale, que d'ailleurs le rayonnement disperse un tiers de la chaleur totale dégagée par le combustible, le produit d'un mètre de carneaux doit être un septième ou un huitième du produit d'un mètre de surface directe.

Ainsi, si, moyennement, 1 mètre carré de surface directe donne 40 à 45 kil. de vapeur par heure, 1 mètre carré de chauffe indirecte donnera 6,50 de vapeur. Ce chiffre ne doit pas beaucoup s'écarter de la vérité; il est faible pour des combustibles à longue flamme et des chaudières trop courtes, lorsque la flamme arrive dans les carneaux; mais il s'agit alors de chaudières mal proportionnées dont la surface de chauffe directe est insuffisante ou dont on force la production de vapeur.

COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CHAUDIÈRES. Nous avons indiqué les principaux types de chaudière avant de les comparer; il faut maintenant passer à cette étude si importante pour les manufacturiers, afin d'indiquer les avantages que l'on doit retirer de l'établissement de la chaudière la plus convenable, et ne pas donner la préférence, comme on le fait trop souvent, à la plus économique d'achat, consommant quelquefois moitié en plus de combustible que la première, pour alimenter une même machine.

Cette étude capitale a été commencée dans plusieurs ouvrages, pour quelques cas particuliers, mais dans aucun d'une manière aussi satisfaisante que dans le bulletin de la Société industrielle de Mulhouse, dans l'excellent rapport fait sur un prix proposé par cette Société, par MM. Dubied et Burnat. Nous passerons ici en revue les procédés d'expérimentation et reproduirons les calculs de ces ingénieurs en cherchant à les compléter en quelques points; nous donnerons ainsi la mesure de chaque élément à considérer et indiquerons la manière d'opérer aux ingénieurs qui voudraient utilement multiplier de semblables recherches pour les divers systèmes de chaudières, ce qui n'a été fait dans l'excellent travail dont nous parlons que pour trois types principaux, comme nous le dirons ci-après.

Nature de la houille. La première condition est de déterminer la nature de la houille, qui varie considérablement d'un puits et surtout d'une mine à une autre. La déduction des parties schisteuses et terreuses est surtout importante à faire, et c'est ce qui permet de faire assez exactement la pesée des cendres en tenant compte des escarbilles ou charbon non brûlé qui s'y rencontrent. Dans les expériences dont il s'agit, on employait de la houille de Ronchamp dont la composition était la suivante:

Carbone combustible industriellement	73,10	Parties combustibles ou volatiles	86,20
Carbone, ou escarbilles non brûlées sur les grilles	5,40		
Hydrogène	4,55		
Oxygène	4,79		
Azote	1,00		
Eau hygrométrique	0,36	Scories et cendres	13,80
Scories et cendres	13,80		
	100,00		100,00

La houille de Ronchamp donne, par sa distillation, environ 250 litres de gaz par kilogramme, et laisse, comme résidu, un coke de qualité médiocre.

Puissance calorifique déduite de l'analyse chimique. En ne tenant pas compte de la chaleur de dissociation des hydrocarbures qui se trouvent tout formés dans la houille, quantité relativement peu importante, on peut déduire la puissance calorifique d'une houille, du carbone réellement brûlé et de l'hydrogène, en excès sur l'oxygène, répondant à l'état d'eau, qu'elle renferme. Partant donc des chiffres 8080 et 34462 pour les puissances calorifiques du carbone et de l'hydrogène (voy. COMBUSTION et PRODUCTION DE LA CHALEUR), nous trouvons que le nombre d'unités de chaleur produit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par chaque kilogramme de la houille de Ronchamp s'élève à :

Carbone. . . . . $0^k,731 \times 8080 = 5906$ cal.

Hydr. $(0,0455 - \frac{0,0179}{8}), 0,043 \times 34462 = 1481$ cal.

7387 cal.

Nous retranchons de ce chiffre la chaleur totale contenue à 0° dans $0^k,4108$ de vapeur d'eau que renferment les produits de la combustion, quantité évaluée ci-après, à raison de 602,5 unités par kilogramme d'eau

$0,410 \times 602,5 = ... 247$ cal.

Reste. . . . . 7140 cal.

Nous avons admis, pour simplifier tous les calculs qui vont suivre, qu'un kilogramme de vapeur contenait à toutes les pressions 650 calories. La chaleur spécifique de la chaleur d'eau étant égale à 0,475, on en déduit pour la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur à zéro, $(650 - 100) \times 0,475 = 602,5$.

Du calcul ci-dessus il résulte que le maximum théorique de vaporisation de cette houille, au lieu d'être $\frac{8080}{650} = 12,4$ kilog. d'eau n'est que $\frac{7140}{650} = 10,98$, un peu moins de 11 kil. d'eau.

Mesure du tirage. Nous appelons ainsi la quantité d'air admise par le foyer pour chaque kilogramme de houille brûlée. Pour la mesurer exactement, il faut employer un anémomètre (voy. VENTILATION) placé, non près du cendrier, mais dans un ajutage à demeure aboutissant sous le cendrier. Voici la disposition indiquée pour une expérience. Un tuyau vertical en zinc, de 0m,500 de diamètre, aboutissait d'une part sous la grille de la chaudière (de côté pour ne pas gêner le chargement), de l'autre dans l'atmosphère. Dans sa partie verticale, ce tube renfermait l'anémomètre, que l'on pouvait consulter à volonté et sans établir la communication avec l'atmosphère, au moyen d'une porte vitrée latérale. Un cône suspendu à une corde pouvant fermer le tuyau; plus ou moins rapproché de l'ouverture, il permettait de faire varier les quantités d'air et assurait le parallélisme des veines fluides qui se rendent au cendrier.

La quantité d'air qui entre sous un foyer, même lorsqu'il est alimenté d'une manière bien constante pour produire un travail bien uniforme (ce qui est rarement le cas), varie trop, d'un instant à l'autre, pour qu'il convienne de faire autrement que de déterminer directement la quantité totale d'air entré dans la journée, au moyen d'un appareil totalisateur enregistrant les vitesses de l'air à chaque instant.

Pour établir la vitesse moyenne de l'air dans le tuyau, lorsqu'on a observé le nombre de tours de l'axe des ailettes de l'appareil, il faut connaître le temps durant lequel celui-ci a fonctionné. On note donc le moment où la chaudière a été mise en feu, celui où le travail étant achevé, on a fermé définitivement le registre, et on déduit le temps consacré aux nettoyages. Il serait utile d'ajouter les entrées d'air qui ont lieu lors du chargement, pendant lequel l'anémomètre s'arrête, tandis que l'air s'engouffre dans le foyer par la porte.

Chaleur enlevée par les gaz et volume d'air nécessaire à la combustion. On trouve facilement qu'il faut 7m,637 d'air pour brûler théoriquement un kilogramme de houille Ronchamp, savoir :

Pour brûler $0^k,734$ de carbone à raison de 8mc,300 par kilogramme = ... 6,050

(L'acide carbonique étant formé de 27,27 de carbone et 72,73 d'oxygène, 1 kil. de carbone exige 72,73 : 27,27 = $2^k,667$ d'oxygène pour passer à l'état d'acide carbonique. L'air renfermant en poids 23,10 d'oxygène et 76,90 d'azote, $2^k,667$ d'oxygène répondent à $2^k,667 \times \frac{76,9}{23,1} = 8,09$ d'azote, soit $10^k,758$ d'air, et $\frac{10,75}{4,29} = 8mc,3$).

Pour brûler 0,043 d'hydrogène à raison de 26mc,300 par kilogramme = ... 1,131

(L'eau étant formée de 11,1 d'hydrogène et de 88,9 d'oxygène, 1 kil. d'oxygène exige pour sa combustion 88,9 : 11,1 = 8^k, d'oxygène, qui, pris dans l'air, répondent à $25^k,9$ d'azote et 25,9 + 8 ou $\frac{33,9}{4,29} = 26,3$).

7,181mc

En admettant que la combustion soit complète au moyen de l'introduction de 7mc,181 d'air par kilogramme de houille, et que l'on ne trouve dans la fumée ni oxyde ni carbone (qui est quelquefois en quantité notable comme nous le dirons), ni hydrogènes carbonés non brûlés ou décomposés en carbone et hydrogène, mais seulement de l'acide carbonique, de l'azote et de la vapeur d'eau sans oxygène libre, les produits volatils de la combustion seront composés comme suit en poids :

Produits de *la combustion du carbone*. $0^k,731$

Acide carbonique produit par la combustion de $0^k,734$ carbone = $0,731 \times 3^k,67$. . . . . $2^k,688$

Azote accompagnant les $2^k,67$ d'oxygène brûlant un kilogramme de carbone

$= 0,731 \times (2,67 \times \frac{77}{23}) = ... 6,327$

Produits de la *combustion de l'hydrogène. Vapeur* d'eau produite à raison de 9 kil. par kilogr. d'hydrogène brûlé, $0,043 \times 9$. . . . 0,387

Azote accompagnant les 8 kil. d'oxygène brûlant un kilogramme d'hydrogène,

$0,043 \times 8 \times \frac{76}{23} . . . . . 1,150$

Azote libre. 0,010

Eau totale contenue dans la houille avant la combustion. 0,023

Total du poids des produits volatils résultant de la combustion d'un kilogramme de houille Ronchamp, avec 7mc,181 d'air (volume théorique). . . . . $10^k,785$

En réunissant en une seule somme tous les chiffres relatifs à un même produit volatil, et en multipliant le poids de chaque gaz par sa chaleur spécifique, on obtiendra, en faisant la somme des produits, le nombre d'unités de chaleur contenues dans l'air brûlé pour chaque degré de température.

Produits volatils.	Capacité spécifique.	Produit en calories.
Acide carbonique.	$2^k,688 \times 0,216$	= 0,581 calories
Azote.	$7,687 \times 0,244$	= 1,875 »
Vapeur d'eau. . . .	$0,410 \times 0,475$	= 0,195 »
	$10^k,785$ kil.	2,651 calories

Peut-on admettre, même lorsque la combustion est incomplète, lorsqu'il passe dans la cheminée de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène libres, que les gaz chauds entraînent 2,651 calories par degré de température ?

L'air introduit restant le même, les produits volatils de la combustion pèseront toujours $10^k,785$ pour le volume théorique d'air; leur composition seule aura changé. On aura de l'oxyde de carbone et de l'oxygène dont le poids équivaudra à celui de l'acide carbonique qui résulterait d'une combustion plus complète du charbon avec le même volume d'air. La chaleur spécifique de ces deux gaz étant de 0,218 et 0,248, tandis, que celle de l'acide carbonique est de 0,216, il n'y a pas de différence sensible dans le nombre d'unités de chaleur entraînées dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les deux cas par l'acide carbonique, ou par le même poids d'oxygène et d'oxyde de carbone.

Par sa combinaison avec 8 kil. d'oxygène, chaque kilogramme d'hydrogène contenu dans la houille produit 9 kil. de vapeur d'eau. Cette vapeur contient pour chaque degré de température $9 \times 0{,}475$, soit 4,275 calories. Si la combustion n'a pas lieu et si les deux gaz se rendent non combinés dans la cheminée,

Le kilogramme d'hydrogène contiendra.	$1 \times 3{,}404$	= 3,40 unités
Les 8 kilog. d'oxygène contiendront.	$8 \times 0{,}22$	= 1,76 »
	Total. . .	5,16 unités

au lieu de 4,275. Différence 0,885 pour chaque kilogramme d'hydrogène brûlé. Par kilogramme de houille, la différence n'est que de $0{,}043 \times 0{,}885 = 0{,}038$, c'est-à-dire complétement insignifiante. Ce chiffre est d'ailleurs un maximum qu'on ne pourrait admettre qu'au cas où l'hydrogène tout entier échapperait à la combustion.

Nous sommes donc fondés à admettre que, lorsque l'on introduit sous la grille $7^{m}{,}484$ d'air pour chaque kilogramme de houille Ronchamp, les produits volatils entraînent sensiblement avec eux dans la cheminée 2,651 calories par degré de température, lors même que la combustion n'est pas complète.

Cela posé, on pourra, dans le cas où le volume d'air introduit dépassera le chiffre théorique, ou lui sera même un peu inférieur, se rendre compte de la chaleur totale emmenée dans la cheminée. Il suffit d'estimer le nombre d'unités de chaleur emportées dans la cheminée par degré et par chaque mètre cube d'air introduit en sus du volume théorique, de multiplier ce chiffre par le nombre de mètres cubes d'air en excès et d'y ajouter 2,651. La somme représentera le nombre d'unités de chaleur contenues dans les produits de la combustion par chaque degré de température.

Or, chaque mètre cube d'air introduit en sus pèse $1^{k}{,}299$ et emporte par conséquent par degré :

$$1{,}299 \times 0{,}237 = 0{,}308 \text{ calories.}$$

Mesure de la houille. Une observation à faire sur ce point, c'est qu'à l'inscription des quantités de houille, il est bon aussi d'ajouter celle du nombre des charges, qui n'est pas sans influence sur le rendement.

Mesure de l'eau d'alimentation. Le jaugeage exact de l'eau introduite dans l'appareil d'évaporation est un des points les plus importants des expériences sur les chaudières à vapeur. Il suffit d'employer un compteur à eau dont les indications soient rigoureuses, ce à quoi on peut toujours arriver, en recevant l'eau passant par le compteur dans des récipients de capacité connue, en opérant dans des conditions voisines de celle des expériences.

La hauteur de l'eau dans la chaudière doit être prise chaque matin avant l'allumage et le soir à la fin de chaque journée, autrement les résultats pourraient être faussés par des fuites.

Température de la combustion. Dimensions de la grille. Au point où la combustion s'effectue, la température est toujours celle qui répond à la température du corps, et qui, pour le charbon, approche de 2,000° (voy. COMBUSTION). Mais si ce point est isolé, et voisin de corps plus froids, la dilatation des gaz brûlés et le rayonnement, surtout sur un corps froid placé au milieu de la flamme comme un générateur de vapeur, font baisser rapidement cette température; il se fait un équilibre jusqu'au point où l'activité de la combustion est égale à l'action du refroidissement. C'est ce qui constitue la combustion vive et la combustion lente, les variations du rouge sombre (700°) au blanc vif du charbon (1500°) près de la grille, variations qui se produisent en raison des proportions du fourneau dont la marche peut s'analyser d'après la règle ci-après posée par Grouvelle. « La cheminée et les carneaux déterminent par leurs dimensions la quantité de combustible qui est brûlée (une insufflation d'air fixe directement la quantité de celui-ci). Les dimensions de la grille augmentent ou diminuent l'activité et la température de la combustion. » Si l'on observe de plus que la dissociation de l'acide carbonique ne se produit que vers 1200°, on en déduira que ce n'est que pour une combustion très-vive et une grande épaisseur de combustible sur la grille, empêchant le refroidissement rapide du charbon soumis au courant d'air, que la conversion d'acide carbonique en oxyde de carbone se produit. (Voy. DISSOCIATION.)

La couleur de la combustion sur la grille suffit en général pour déterminer dans quel cas se trouve le fourneau observé; il serait utile toutefois d'être fixé par une observation spéciale. Nous ne connaissons pas de recherche dans cette voie et recommanderons l'analyse des gaz pour y rechercher de l'oxyde de carbone, s'il n'a dû être brûlé par un excès d'air et une expérimentation directe analogue à celle dont nous allons parler.

Détermination de la température de la fumée. Pour mesurer cette température, on suspend dans les carneaux un cylindre en fer d'un poids de 2 à 3 kilogrammes; on le laisse plonger dans le courant un temps suffisamment long, puis on le sort et on le plonge dans un vase en tôle d'une capacité de 25 à 30 litres. On agite convenablement l'eau; puis, lorsque le cylindre en fer est refroidi, on prend la température de l'eau et on calcule, au moyen de la formule suivante, la température de la fumée : $x = \dfrac{(M + P'c)(t - t')}{Pc'} + t'$, t représentant la température initiale de l'eau, t' sa température finale, M le poids de l'eau, P' celui du vase et de son agitateur, P celui du cylindre en fer et c la chaleur spécifique du fer à la température ordinaire et c' la valeur moyenne de cette chaleur spécifique entre x et t.

Le poids du vase étant connu, on a $M + P'c$. La température de l'eau et du vase a augmenté de $t' - t$ degrés, ils ont donc absorbé $(M + P'c)(t' - t)$ calories. La température du fer s'est abaissée de x à t'°, ce fer a donc perdu une quantité de chaleur égale à $Pc'(x - t')$. Or

$$(M + P'c)(t' - t) = Pc'(x - t'),$$

d'où la formule ci-dessus.

Détermination de l'eau vésiculaire entraînée avec la vapeur. Les moyens d'effectuer cette détermination sont malheureusement fort délicats pour un genre d'expériences qu'il faudrait pouvoir multiplier dans les ateliers, et notamment pour constater l'imperfection de chaudières à combustion très-vive et à petit réservoir de vapeur, pour lesquelles cet entraînement d'eau est considérable. Nous dirons comment opère M. Hirn, en partant de ce principe que, lors de la condensation de la vapeur formée, l'eau entraînée à l'état vésiculaire ne dégage pas de chaleur latente.

Son appareil consiste en un vase cylindrique en tôle, muni d'un couvercle par lequel pénètre un tuyau en cuivre portant une très-petite ouverture à son extrémité inférieure. Sur la partie latérale du tuyau de la vapeur qu'on veut essayer, il faut adapter un robinet fermant parfaitement, portant à son extrémité libre un petit tuyau en cuivre coudé, de manière à regarder en bas, percé à son extrémité d'une très-petite ouverture ($0^{m}{,}001$ de diamètre environ), que l'on réunit, pour chaque expérience, au tube de l'appareil, au moyen d'une bride. Une rondelle de caoutchouc vulcanisée sert à rendre la jonction hermétique. Le réservoir en tôle doit être posé sur un trépied en bois ayant la hauteur convenable, de manière que le tube mobile plonge à fond lorsqu'il est fixé au coude du robinet.

Pour faire une expérience, on remplit d'eau froide (à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au décimètre près) le réservoir en tôle ; on adapte le couvercle, après y avoir placé l'agitateur, et on introduit le tuyau de cuivre. On pèse alors tout l'appareil, on joint les deux tubes, on prend la température de l'eau au moyen d'un thermomètre traversant le couvercle. On ouvre le robinet ; et, pendant que la vapeur afflue, on remue, à l'aide de l'agitateur, et on observe le thermomètre. Lorsque celui-ci s'est élevé d'une trentaine de degrés, on ferme le robinet et l'on continue d'agiter l'eau, en observant le thermomètre jusqu'à ce qu'il devienne stationnaire, puis on sépare la bride et on pèse le thermomètre avec tous ses accessoires.

Il est évident que l'expérience ne doit être faite que quand le générateur travaille à son régime régulier et normal, car la proportion d'eau entraînée varie avec la dépense de vapeur. Elle est presque nulle si cette dépense est faible.

Si nous nommons P le poids initial, comprenant le poids de l'eau et celui de l'appareil traduit en eau, et P' le poids final de l'appareil, il est bien clair que $P' - P = d$ sera le poids de l'eau et de la vapeur ajoutés. Désignons par i la température initiale, par f la température finale de l'eau, et par p le poids de l'eau entraînée que nous cherchons, nous aurons l'égalité suivante entre la chaleur apportée et celle qui se trouve dans l'appareil :

$$(d-p)(606+0{,}305\,(T-f)) + p\,(T-f) = P\,(f-i),$$

$$\text{d'où } p = \frac{(d\,(606{,}5+0{,}305\,(T-f)) - P\,(f-i)}{606{,}5-0{,}695\,(T-f)},$$

formule dans laquelle T représente la température de la vapeur, donnée par les tables, lorsqu'on connaît la pression de la chaudière.

Le rapport de p à d donne la proportion d'eau entraînée pour 100.

Il est clair que cette détermination, fort délicate, dépend : 1° de la précision des pesées pour lesquelles convient un hydrostat (espèce de grand aréomètre) pouvant peser 30 kil. à un gramme près ; 2° de l'observation de i et de f pour laquelle un thermomètre divisé en dixièmes de degré est indispensable.

Pour arriver à des résultats satisfaisants, il faut que la température f soit à fort peu près d'autant de degrés en excès, sur celle de l'appartement où l'on opère, que la température i était au-dessous de cette même température. On évite ainsi une correction fort difficile à faire.

Il en est encore une autre que l'on ne peut négliger. Lorsque la vapeur cesse d'affluer, l'appareil se refroidit, et la valeur observée pour f est trop faible. Ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de compter le temps avec une montre à secondes, à partir du moment de la fermeture du robinet ; on note l'instant où le thermomètre est devenu stationnaire, puis on laisse écouler le même intervalle de temps, en agitant l'eau sans cesse, et l'on observe de nouveau. Je suppose qu'au bout de deux minutes le thermomètre, devenu fixe, ait marqué 45°, et qu'au bout de deux autres minutes il tombe à 44°,8. Le refroidissement par minute peut être regardé comme constant et de 0°,1 ; il faut donc ajouter 0°,2 à 45 pour avoir la vraie valeur de f.

ÉQUATION D'UNE CHAUDIÈRE. La solution complète d'un problème de physique doit conduire à une équation dans laquelle entrent tous ses éléments. Pour un générateur de vapeur, elle se réduit à poser que la quantité de chaleur produite (égale au poids de houille pure Q, diminué du poids des cendres, multiplié par 8 000) est égale à la chaleur contenue dans le poids V de vapeur formée ou à $(606{,}5+0{,}305\,T)\,V$, plus à la quantité de chaleur emportée par le poids de la fumée F ou $2{,}165\,t\,F$, plus enfin la chaleur perdue par rayonnement R, ou dispersion par cause quelconque, on

$$Q \times 8\,000 = (606{,}5+0{,}305\,T)\,E + 2{,}165\,t\,F + R.$$

Avec des expériences, pour déterminer les éléments de cette équation pour les divers systèmes de chaudières, on connaîtrait celles-ci parfaitement ; malheureusement, on en possède bien peu de complètes. Toutefois, le second terme, celui qui répond à la quantité de vapeur formée, le plus important, et qu'il s'agit de rendre un maximum, se trouve assez bien connu pour la plupart des systèmes, pour que leur comparaison soit possible, sans danger d'erreur grave.

Passons en revue les divers termes de l'équation, afin de résumer les principes sur lesquels reposent les combinaisons diverses que l'on rencontre dans les ateliers.

1° *Valeur de Q.* La combustion d'une quantité de houille déterminée dans le fourneau, dans l'unité de temps, est le point de départ de l'emploi industriel de tout appareil à vapeur. En général le choix du combustible est fixé par la position de l'usine, qui doit employer celui qui lui revient au meilleur marché. La seule question du ressort de l'ingénieur est de déterminer ce qu'il peut produire en raison de sa composition, du carbone et de l'hydrogène qu'il contient, ainsi que nous l'avons dit plus haut, et le but à atteindre est que cette combustion s'effectue le plus utilement possible pour la production de la vapeur. Deux conditions sont à remplir à cet effet : transmission de chaleur par surfaces de formes et d'étendue convenables, et bonne combustion en rapport avec ces surfaces, sans production d'oxyde de carbone qui ne soit pas brûlé sous le générateur.

La transmission de la chaleur se faisant en raison : 1° de la distance du feu et de la surface à chauffer ; 2° de l'étendue des surfaces ; 3° de la différence des températures, donne la raison des dispositions que nous allons passer en revue : des bouilleurs placés au milieu de la flamme, du volume des grandes chaudières et de la multiplication des tubes destinés à augmenter ces surfaces, des moyens propres à assurer la circulation de l'eau, pour faire avancer l'eau froide des parties les moins chaudes des réchauffeurs vers les plus chaudes, etc., questions que nous allons étudier en traitant des principaux systèmes de chaudières.

La combustion, sans production d'oxyde de carbone, exige une température modérée sur la grille, mais, de plus, le combustible y demeurant un temps plus long que si elle était plus vive, le rayonnement transmet au corps chauffé, de ce fait, bien plus de chaleur dans le premier cas que dans le second ; c'est le caractère propre à la combustion lente comparée à la combustion vive.

2° *Valeur de E.* La seule observation sur la valeur E, qu'il s'agit de rendre un maximum, en rendant minima les autres termes qui entrent dans le second membre de l'équation, est d'éviter l'entraînement de l'eau, qui, dans les expériences, est souvent confondue avec de l'eau vaporisée ; ce qui ne s'obtient que par de grands réservoirs de vapeur, dans lesquels elle demeure assez de temps pour que l'eau entraînée par l'ébullition ait le temps de s'en séparer, ou par des appareils de surchauffage de vapeur, dont l'effet principal est de vaporiser l'eau entraînée (voy. SURCHAUFFE, *Complément*).

3° *Valeur de Ft.* On peut diminuer la valeur de cette expression en agissant soit sur t, soit sur F.

Le moyen de diminuer la température des gaz abandonnés dans la cheminée consiste dans l'emploi des réchauffeurs, très-heureuse disposition au moyen de laquelle on n'alimente plus la chaudière qu'avec de l'eau amenée à 100°, en utilisant une chaleur autrefois perdue et qui peut s'élever au septième de la chaleur qu'entraîne la vapeur.

Pour diminuer F, il faut se rapprocher du volume d'air théorique nécessaire à la combustion, et ne pas admettre un volume au moins double, qui était considéré, et l'est encore par trop de personnes, comme nécessaire, à cause de la diminution de la fumée qui sort par la chemi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

née, fumée dont les masses noires ne répondent qu'à une très-minime fraction du combustible. C'est un fait bien constaté par les expériences de MM. Dubied et Burnat. Nous citerons ici le texte de leur mémoire.

« La quantité d'air qui convient au maximum de rendement n'est pas, pour nos chaudières à bouilleurs, celle qui a été admise jusqu'ici. Nos chiffres diffèrent complétement, à cet égard, de ceux que l'on peut trouver dans les ouvrages spéciaux. Ainsi nous avons trouvé qu'il convenait de brûler la houille de Ronchamp avec 7 à 8 mètres cubes d'air seulement sous nos chaudières à bouilleurs du type le plus généralement adopté.

« Péclet paraît avoir, le premier, pour une houille de composition moyenne, indiqué un chiffre qui a été répété depuis lors bien souvent, et, dans la plupart des cas, sans nouvelles expériences. Le savant professeur avait analysé des gaz pris à l'issue de cheminées de chaudières; il avait reconnu que la moitié de la quantité d'air qui traverse le foyer n'avait pas été altérée : c'est en partant de ce fait qu'il a déduit par le calcul les 16 et même 18 mètres cubes auxquels il arrive comme étant nécessaires à la combustion d'un kilogramme de houille de composition moyenne. Mais ce procédé ne peut être considéré comme rationnel ; rien ne prouve, en effet, que les chaudières expérimentées fussent dans de bonnes conditions. Le chiffre de 7 à 8 mètres cubes, que nous avons trouvé être le plus convenable pour nos chaudières à bouilleurs, est remarquable, si on le rapproche de celui que nous avons déduit de l'analyse de la houille de Ronchamp, qui nous a conduits à un volume de 7m,181.

« En résumé, il résulte de nos expériences que, lorsque le tirage est même médiocrement énergique, le volume d'air qui circule autour de la chaudière est trop considérable pour pouvoir être convenablement refroidi, et que ce fait donne lieu à une perte bien plus considérable que celle qu'amène une combustion imparfaite.

« Ceci est la condamnation de nombre d'appareils fumivores. Appliqués à une chaudière quelconque, sans modification dans la surface de chauffe ou dans la quantité de houille brûlée sur la grille, les dispositions, qui se réduisent à augmenter l'alimentation de l'air, sont vicieuses, étant d'ailleurs bien démontré que l'économie qui résulte du seul fait de la combustion de la fumée est réellement minime. »

4° *Valeur de R.* Comme dispositions propres à rendre les pertes par rayonnement et communication de chaleur les moindres qu'il est possible, on doit citer les massifs de briques pour les fourneaux, les enveloppes pour les parties découvertes, et surtout les foyers intérieurs, qui ne sont admissibles que pour de très-grandes chaudières ou quand on emploie des courants d'air forcé, autrement les produits de la combustion étant trop refroidis, la combustion languit, le tirage devenant défectueux,

Parmi les pertes de chaleur qu'on peut éviter, on doit citer celles dues aux rentrées d'air à travers la maçonnerie du fourneau, surtout quand celle-ci s'est dégradée. Les infiltrations d'air se produisent fréquemment par les bouchons des regards disposés pour permettre les réparations, et l'on ne saurait apporter trop d'attention à les visiter souvent et à les regarnir au besoin avec de la terre à four employée en très-petite épaisseur; tous les joints épais se fendillent, et les quantités d'air qu'ils laissent passer sont considérables.

Mais c'est surtout par rayonnement que se produit le refroidissement, et principalement par celui de la partie supérieure du générateur, pour laquelle d'ailleurs les règlements n'admettent pas l'existence d'un briquetage, qui, en cas d'explosion, pourrait, par la projection des matériaux, augmenter les dangers. On emploie avec avantage, pour protéger ces surfaces, le calorifuge plastique de M. Pimont, de Rouen, composé de terre argileuse, de poils d'animaux et de farine de colza, qui est d'un bon emploi. Le calorifuge plastique, lisons-nous dans un rapport des ingénieurs de la marine, adhère parfaitement aux surfaces sur lesquelles il est appliqué; la surface est lisse et polie ; elle est recouverte d'une couche de peinture et de vernis. Une épaisseur de 6 centimètres suffit pour arrêter presque complétement le rayonnement de la chaleur. Le mode d'application est très-simple: on mouille le plastique sec de manière à lui donner la consistance d'un mortier ; on l'applique sur les surfaces à recouvrir, par couches très-légères d'abord, et ensuite plus épaisses, jusqu'à 6 centimètres, en interposant au milieu de la masse des lattes de bois mince de un demi-centimètre à 1 centimètre.

Les étoffes feutrées, la paille, le chanvre en cordes peu serrées peuvent être employés dans le même but. C'est surtout pour les tuyaux de vapeur que ces soins doivent être pris avec le plus grand soin; car, à surface découverte, ils constituent de véritables appareils de déperdition de chaleur, comme on le voit à l'article CHAUFFAGE.

Nous passerons maintenant à l'étude des principaux systèmes de chaudières, aux renseignements qui sont les plus précieux pour les industriels qui ont presque constamment à se préoccuper de l'établissement ou de l'entretien de générateurs à vapeur.

Nous laisserons de côté les chaudières à plat fond, concave ou convexe, qui conviennent pour les appareils d'évaporation, mais non pour des appareils qui doivent résister à des pressions un peu élevées, comme celles qu'on emploie généralement aujourd'hui.

Chaudières cylindriques. Les chaudières cylindriques, à extrémités hémisphériques, peuvent, comme nous l'avons dit plus haut, résister à des pressions considérables avec une épaisseur de tôle faible et un diamètre relativement petit, l'accroissement de la longueur permettant d'atteindre un volume considérable sans augmenter le diamètre. Il est évident que le minimum d'épaisseur réglementaire, calculé largement pour résister à la pression intérieure, doit être strictement observé, la transmission de la chaleur à travers les parois se faisant d'autant mieux que celles-ci sont plus minces.

L'action du foyer sur le cylindre du générateur occasionne quelquefois des coups de feu, un gonflement de la tôle, pour peu que la qualité de celle-ci laisse à désirer ou surtout que l'alimentation ait été insuffisante, que le niveau de l'eau ait trop baissé. Aussi, pour les grands générateurs, emploie-t-on généralement les bouilleurs qui reçoivent l'action la plus vive du feu, et qui, au besoin, peuvent être facilement remplacés.

Chaudières à bouilleurs. La fig. 408 représente la chaudière de Wesserling, dont MM. Dubied et Burnat ont vérifié la production. Ces chaudières sont timbrées à 5 atmosphères ; elles ont deux bouilleurs et sont accompagnées de réchauffeurs formés par des tubes placés horizontalement sous la chaudière. Au sortir du foyer, la flamme lèche le dessous des bouilleurs, puis, après avoir fait le tour du corps cylindrique, elle descend dans le réchauffeur, composé de quatre rangées superposées, formées chacune par six tubes en fonte placés à côté les uns des autres. Ces tuyaux ont 0m,100 de diamètre intérieur, et 0m,120 extérieurement. Ils sont préalablement essayés à une pression de 15 atmosphères. Les brides d'assemblage sont dressées avec soin, et les joints faits au mastic noir. L'air chaud marche en sens inverse de l'eau d'alimentation, qui est introduite à la fois dans les six tuyaux à la partie inférieure du réchauffeur. Il est dirigé dans sa marche par des cloisons horizontales formées au moyen de plaques juxtaposées et reposant sur les tuyaux. On peut les enlever pour la facilité des réparations et nettoyages.

Les grilles ont une grande surface, plus de deux mè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

tres carrés. Les barreaux sont très-minces : leur largeur n'est que de 15 millimètres : ils sont espacés de 5 à 6 millimètres. La surface de l'admission de l'air est donc de 0m,60.

La surface de chauffe des bouilleurs et de la chaudière est de 15m,40; celle du réchauffeur, de 18 mètres. La combustion est lente, mais dans de bonnes conditions économiques. Les flammes s'élèvent verticalement ; elles atteignent rarement les bouilleurs, distants de 0,550 de la grille. La flamme n'étant pas trop vite refroidie, la combustion est bien complète, et on brûle ainsi environ 100 kil. par heure.

Les carneaux n'ont, nulle part, moins de 0m,40. La cheminée a 28 mètres, sa section inférieure 2m,25, la supérieure 0m,64; la vitesse moyenne de la fumée, depuis la grille jusqu'au faîte de la cheminée, est de 0m,746 par seconde.

Les tubulures des bouilleurs, par une disposition spéciale, sont prolongées dans l'intérieur de la chaudière, par un ajutage dépassant de 0m,10 le niveau de l'eau et surmonté d'un chapeau, ce qui facilite le dégagement de la vapeur et diminue l'entraînement de l'eau. Chaque bouilleur est alimenté par trois tubes traversant les tubulures.

On est disposé à multiplier les tubulures pour faciliter le dégagement de la vapeur; on en avait placé trois dans la chaudière dont nous parlons ; mais bientôt les fuites sont apparues, les dilatations de la chaudière et du bouilleur, si différemment chauffés, ne pouvant être semblables. On n'a conservé pour plusieurs générateurs qu'une seule tubulure, puis en dernier lieu on a partagé chaque bouilleur en deux parties ayant chacune une tubulure; mais, en général, on en conserve deux, assez voisines, placées sur la même feuille de tôle pour éviter des déchirements. La production de vapeur étant très-abondante à la partie antérieure, près du foyer, la vapeur sort par la première tubulure, et l'eau rentre par la seconde. Les tubes indiqués ci-dessus ont pour but de parer à la difficulté de la circulation, en sens contraire, de l'eau et de la vapeur.

Les résultats moyens de deux séries d'expériences ont fourni 7,75 et 8,55 d'eau vaporisée par kilogramme de houille Ronchamp d'assez bonne qualité; le réchauffeur portait l'eau de 7° à 97 et 106°; l'économie procurée par le réchauffeur était 13,72 et 15,41 0,0. L'air introduit était d'environ 15 mètres par kilogramme de houille et la fumée peu intense.

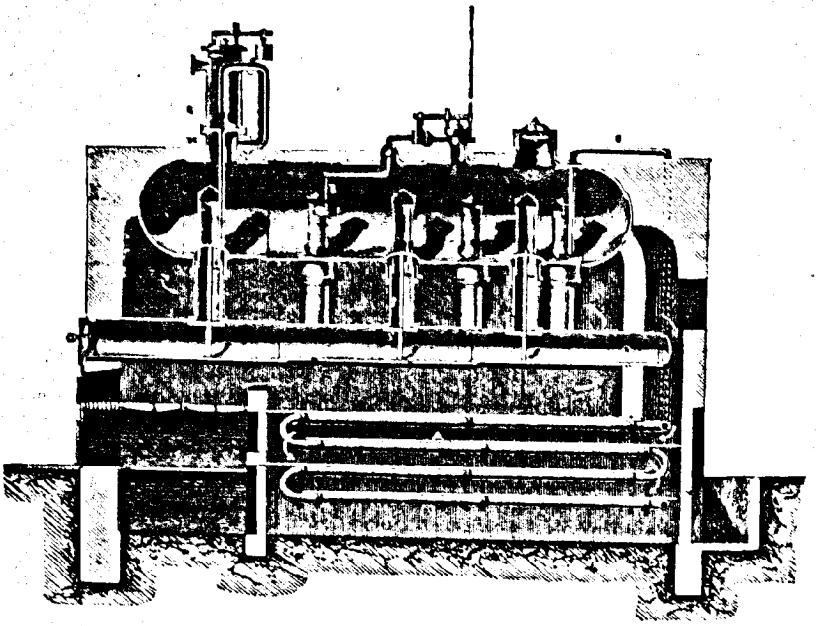


Fig. 408.

Ces chaudières sont donc excellentes, et nous allons voir que l'emploi des dispositions complexes les mieux imaginées n'a pu conduire à des résultats supérieurs à ceux que fournissent celles-ci.

Comme dans ce genre de chaudières, si appréciées dans les usines, toute la fatigue, toutes les réparations se rapportent aux bouilleurs qui sont continuellement soumis à l'action du feu le plus ardent, nous donnerons quelques détails sur les précautions à prendre pour la partie délicate de leur placement, pour leur masticage.

Les bouilleurs ne doivent jamais être assemblés par rivets avec le corps de la chaudière, parce que, pour les remplacer, il faudrait couper les rivets, ce qui exposerait à déchirer les tôles. On doit employer les brides à vis, comme on le voit en S (fig. 408), et un masticage de fonte le long d'un collet. Le mastic de fonte, formé de proportions un peu variables, selon les ateliers, de tournure de fonte, de fleur de soufre et de sel ammoniac (1000 fonte, 20 soufre, 10 ammoniac (Cail); 1000 fonte, 40 soufre, 40 ammoniac (Marine)), prend en séchant une extrême dureté quand il est bien employé. Il faut avoir soin de donner à l'espace destiné au masticage une largeur de 12 ou 15 millimètres environ, afin de pouvoir y entrer facilement les burins quand on voudra démonter le bouilleur, et de faire agir sur lui un acide sans ronger les bords. Le mastic doit être employé par petites parties, et fortement chassé avec un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mattoir de fer, jusqu'à ce que l'intervalle soit entièrement rempli. On le laisse alors sécher trois ou quatre jours avant de remplir la chaudière.

Chaudière Farcot. — Les chaudières de ce constructeur (fig. 409) consistent dans un cylindre en tôle de



Fig. 409.

8 à 10 mètres de longueur et de 1 mètre de diamètre. Les bouilleurs, ou plutôt les réchauffeurs, de 0m,60 de diamètre, ne sont pas attachés à la chaudière, mais placés au nombre de deux, le plus souvent, rarement de trois ou quatre, à côté de la chaudière, et au-dessus l'un de l'autre. Ces bouilleurs sont réunis de l'un à l'autre par deux culottes longues et un peu flexibles placées à l'une et à l'autre extrémité du bouilleur. Le bouilleur supérieur communique avec la chaudière par un tuyau en fonte de 10 ou 12 centimètres de diamètre, par lequel la vapeur produite dans les bouilleurs se réunit à celle de la chaudière; le bouilleur inférieur reçoit à une de ses extrémités l'eau d'alimentation froide envoyée par la pompe alimentaire. Cette eau passe d'un bouilleur dans un autre, en les parcourant dans toute leur longueur, et arrive enfin dans la chaudière par le tuyau qui part du bouilleur supérieur, et qui va plonger dans l'eau de la chaudière où il porte l'eau d'alimentation fortement chauffée, et, en même temps, la vapeur produite.

Le principe du système est de donner une surface de chauffe indirecte considérable et égale à celle des chaudières de Cornouailles, d'employer de très-grandes grilles, et une combustion lente; enfin, un courant descendant de fumée, qui passe d'un bouilleur à l'autre en sens contraire du mouvement de l'eau d'alimentation.

Comme dans les chaudières de Cornouailles, la surface de chauffe est de 2 mètres carrés par cheval et au minimum de 1m,80. La grille a deux décimètres carrés par kilogramme de houille à brûler. Toutes les parties de la chaudière et de ses tuyaux exposés à l'air sont ici, comme dans les machines de Cornouailles, enveloppées avec les plus grands soins. Les parois des fourneaux sont très épaisses; les carneaux ont, de plus, une section considérable, qui permet à la fumée d'y marcher très-lentement; on entretient sur la grille un feu qui dort, et qu'on alimente par petites quantités et quand la pression commence à baisser dans les chaudières; comme le registre est presque fermé et les carneaux de très-grand

section, la fumée les parcourt avec la plus grande lenteur et en descendant en sens contraire de l'eau d'alimentation, ce qui la dépouille d'une portion considérable de sa chaleur.

Pour éviter le refroidissement profond que les fourneaux et les générateurs éprouvent pendant la nuit par le passage continu d'un courant d'air froid appelé par la cheminée, malgré le meilleur registre, le cendrier est clos hermétiquement, au moyen d'une porte intérieure fermant sur une partie dressée à la machine à raboter, et par deux loquets manœuvrés du dehors. Ce tampon est mis en place à l'instant où on arrête l'emploi de la vapeur; aussi, dans une expérience, après douze heures d'arrêt, la pression n'est-elle tombée que de deux atmosphères sur cinq.

Dans ces conditions, les chaudières Farcot produisent 7k,20 de vapeur par kilog. de houille, et même 8 kilog. avec de la gaillette de première qualité.

Chaudières tubulaires. Le désir de diminuer le volume des chaudières et surtout d'augmenter les surfaces de chauffe fait combiner fréquemment des chaudières tubulaires, non-seulement pour les BATEAUX A VAPEUR et les LOCOMOTIVES pour lesquels ils sont de nécessité absolue, mais encore pour les machines fixes. Elles ont cependant un défaut capital qui doit les faire repousser dans bien des cas, défaut auquel, malgré bien des inventions, on n'est pas parvenu à remédier pratiquement jusqu'ici, nous voulons parler des dépôts qui se forment autour des tubes, des incrustations qui s'y attachent, alors que le nettoyage de ces tubes est rendu presque impossible par leur rapprochement et par la difficulté d'accès dans l'intérieur de l'appareil.

Plusieurs constructeurs ont proposé une disposition du foyer amovible, système propre à séparer facilement le foyer et les tubes, du corps de la chaudière et, par suite, à rendre le nettoyage facile. De semblables dispositions sont toujours bien compliquées pour de grands appareils, mais peuvent être très-utiles dans quelques cas spéciaux, pour les locomobiles par exemple.

Si toutefois ces chaudières offraient des économies notables de combustible, il y aurait à se préoccuper beaucoup des moyens propres à en rendre l'emploi moins gênant, mais les expériences de Mulhouse ont montré qu'il n'en était rien, et cela devait résulter nécessairement de la possibilité de donner aux chaudières à bouilleurs, munies de réchauffeurs, tout le développement de surface de chauffe suffisant pour refroidir la fumée autant qu'il est possible de le faire utilement, lorsque leurs dimensions sont suffisantes pour que la combustion y soit modérée. Nous donnerons ici le résumé de ces expériences pour deux chaudières tubulaires, parce qu'elles sont parfaitement comparables à celles faites sur la chaudière à bouilleurs.

Chaudière à tubes verticaux de M. Zambaux. Cette chaudière (fig. 410) se compose: 1° d'un foyer ou boîte à feu cylindrique établie à la partie inférieure, et ayant pour ciel une plaque tubulaire d'où part un faisceau de 216 tubes verticaux en laiton, de 48mm de diamètre intérieur sur 2m,50 de longueur totale; 2° d'un corps cylindrique, entouré de corps non conducteurs, qui enveloppe le foyer et les tubes, assez écarté de ces derniers, et qui se termine à la plaque tubulaire supérieure; 3° d'une boîte à fumée établie à la partie supérieure et surmontée par la cheminée.

La prise de vapeur est pratiquée dans le haut du corps cylindrique, à 0m,700 environ au-dessus du niveau de l'eau, qui est à 1 mètre en contre-bas de la plaque tubulaire supérieure. Pour éviter l'entraînement de l'eau, autour des tubes, est placée une chemise en tôle galvanisée I, I, qui s'élève jusqu'à 0m,10 en contre-bas de la plaque tubulaire supérieure. Un capuchon cylindrique K, K, un peu plus large que la chemise, est rivé à la plaque tubulaire supérieure, et à une hauteur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suffisante pour que sa partie inférieure plonge dans

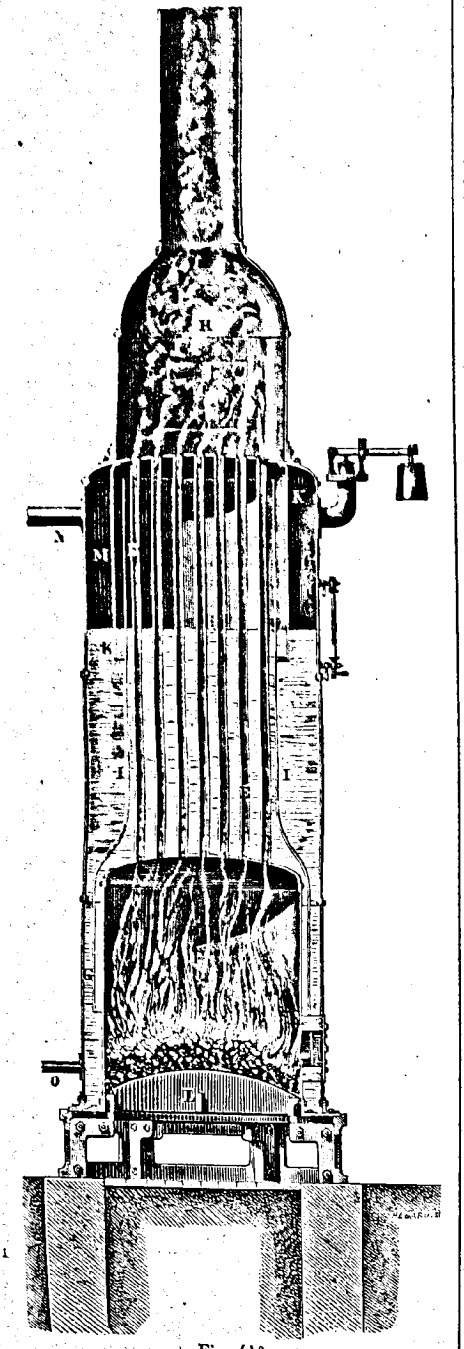


Fig. 410.

l'eau. Il est percé dans toute sa hauteur, du côté opposé

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

au tuyau de prise de vapeur, de trous de 40mm de d
mètre.

Voici, d'après le constructeur, comment fonctio
l'appareil. La vapeur produite par le foyer et les tu
forme, avec l'eau contenue dans l'intérieur de la c
mise, une masse aquo-vaporeuse d'un poids spécifi
moindre que l'eau extérieure, qui n'est pas en cont
avec les surfaces de chauffe. Par suite de cette di
rence de densité, l'eau intérieure mêlée à la vapeur
cessamment formée s'élève jusqu'au sommet des tu
et les empêche d'atteindre une température qui po
rait les altérer. Le mélange, en arrivant au sommet
la chaudière, rencontre le capuchon qui l'oblige à ch
ger brusquement de direction. L'eau se sépare alors
la vapeur, redescend dans l'intervalle de la cheminé
du capuchon le long de leurs parois, tandis que ce
dernière traverse les trous pratiqués dans le capuch
se rend dans le réservoir et de là dans le tuyau de c
duite.

L'eau froide est introduite dans la chaudière à
partie inférieure, elle s'élève à mesure qu'elle s'échau
en laissant déposer le carbonate de chaux dissous d
l'eau, par suite du dégagement de l'acide carbonique. M
il ne peut en être de même pour le sulfate de chaux
se rencontre dans bien des eaux et qui viendrait
cruster les tubes. Cette chaudière ne pourrait servir a
des eaux de cette nature.

L'appareil essayé, qui avait 89 mètres carrés de s
face de chauffe, n'a évaporé pendant les essais
8 à 10 kilog. par mètre carré et par heure, soit 8,
litres en 12 heures. Il eût certainement suffi à
évaporation plus considérable. Voici les résultats
essais.

En 12h,06 de marche de la machine à vapeur, 1
de la chaudière, à la pression de 4atm,27, pour une
chine de 43,18 chevaux-vapeur, on a brûlé 1,089
pour évaporer 8834 kil. d'eau, soit 7k,68 par kil.
houille.

La quantité d'air par kilogramme de houille re
dans le foyer n'a été que de 7mc,23.

Petites chaudières. L'essai précédent est fort intér
sant parce qu'il se rapporte à un genre de chaudièr
qui est très-multiplié, celui des générateurs serv
pour les machines de petits ateliers, de la force
2, 3, 4 chevaux-vapeur. Trop petites pour qu'on pui
les construire avec des étendues de surface de cha
suffisantes ; devant, avant tout, être livrées à bon m
ché, au moins serait-il désirable que la production
la vapeur s'y fît dans des conditions un peu passab
la machine à vapeur qu'elles desservent étant e
même établie dans les mêmes conditions de grande é
nomie, c'est-à-dire utilisant assez mal la vapeur p
duite.

Les meilleurs systèmes du genre d'appareils d
nous parlons n'ont pu être construits avec des tu
verticaux multipliés, à cause des incrustations; on
borne en général à l'emploi d'un tube central conid
et de grande dimension. Mais pour que les produ
de la combustion ne passent pas de suite dans la c
minée, diverses combinaisons ont été employées p
produire des remous dans les gaz et les appliquer
les parois. La meilleure consiste dans l'emploi d'un
plusieurs bouilleurs transversaux sur lesquels les p
duits de la combustion viennent frapper en les entr
rant.

Dans une étude sur les meilleurs systèmes de cha
dières nous ne pouvons indiquer celles pour lesquel
on s'écarte sciemment, par économie de prix d'établ
sement, des conditions du maximum. C'est par l'exp
rience des ateliers qu'un fabricant peut alors, à chaq
moment, acquérir la moins mauvaise machine de
genre que construit un mécanicien expérimenté, ce
qui se rapproche le plus des conditions normales.

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

Disons toutefois que les dispositions propres à assurer la circulation de l'eau sont surtout importantes pour ces appareils, dans lesquels une combustion très-vive est la conséquence forcée de leurs petites dimensions et, par suite, où il importe beaucoup que la fumée rencontre toujours des surfaces les plus froides qu'il est possible. C'est une condition parfaitement satisfaite au moyen des tubes Field, qui fournissent sous un très-petit volume une très-grande étendue de surface de chauffe directe très-rapprochée du combustible incandescent.

Chaudière Field. Nous montrerons le mode d'action de ces tubes en décrivant la chaudière combinée par l'inventeur pour obtenir, par suite d'une circulation extrêmement rapide, une vaporisation de l'eau en couches très-minces, en quelque sorte instantanée.

L'appareil (fig. 411) se compose d'une chaudière

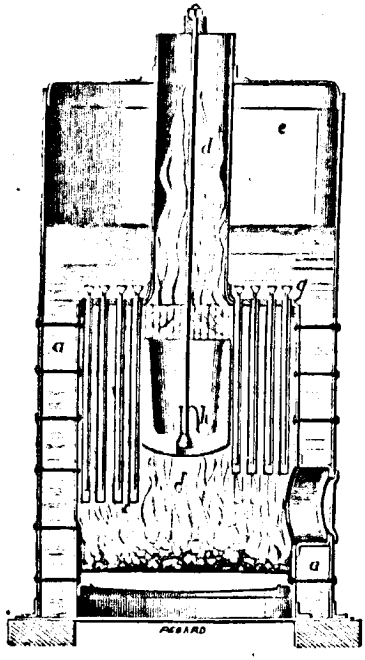


Fig. 411.

verticale de forme cylindrique, à l'intérieur de laquelle se trouve un foyer entouré d'eau. Le ciel du foyer est percé de trous assez rapprochés et légèrement coniques, où l'on introduit un certain nombre de tubes en fer ou en cuivre, d'une longueur telle qu'ils restent suspendus à une certaine hauteur au-dessus de la grille dans le foyer, ces tubes étant bouchés par le bas. Avec un mandrin d'acier également conique, sur lequel on frappe à coups de marteau, on élargit ensuite l'entrée de chaque tube, déjà rendue un peu conique à l'avance, et on les force à s'incruster, s'emboutir et se river dans la tôle du foyer.

Dans ces premiers tubes, on en descend d'autres ouverts aux deux extrémités et de diamètre moitié plus faible (leur épaisseur est insignifiante), s'arrêtant à quelques centimètres du fond des premiers ; leur extrémité est évasée en entonnoir, et ils sont suspendus librement dans les premiers, chacun par deux petites ailettes qui agissent comme les couteaux d'une balance, et les arrêtent au niveau voulu pour que les petits entonnoirs soient de quelques centimètres au-dessus des orifices de ces premiers tubes. Cette disposition, mieux entendue que celle assez semblable qui avait déjà été proposée par Perkins, maintient entre les deux tubes un espace annulaire où l'eau peut passer librement en dépassant le plus petit d'une certaine hauteur, suivant la capacité de l'appareil. Lorsqu'on allume le feu, voici ce qui se produit :

Une rapide circulation de l'eau dans tous ces tubes résulte de l'échauffement ; elle est assez active pour empêcher complétement la formation de dépôts calcaires et produire, de ce chef, une économie notable de combustible.

Le mouvement du liquide est d'ailleurs produit par des circonstances physiques très-simples. Aussitôt que la chaleur vient frapper les parois du tube extérieur, l'eau contenue dans l'espace annulaire s'échauffe, se dilate et devient plus légère qu'auparavant, tandis que la colonne d'eau contenue dans le tube intérieur conserve sa température, sa densité et partant son poids. L'équilibre hydrostatique est donc rompu ; la colonne intérieure chasse la colonne extérieure, prend sa place, subit bientôt la même action qu'elle, et cède à son tour à la pression d'une nouvelle colonne intérieure qui la rejette dans la chaudière où elle viendra bientôt la suivre sous l'influence de la même cause (différence de densité entre deux colonnes liquides, de même longueur et de même nature, mais de températures différentes).

Mais bientôt, l'eau de la chaudière ayant atteint la température de l'ébullition, la vapeur commence à se produire, et alors la vitesse de la circulation augmente singulièrement.

En effet, au lieu d'être mise en mouvement par la différence de pression entre deux colonnes liquides communiquant entre elles et ne différant que par quelques degrés de température, l'eau se meut sous l'influence d'une différence de pression infiniment plus grande, puisque les deux colonnes ne sont pas de même nature. La colonne intérieure ne contient toujours que de l'eau chaude, tandis que la colonne extérieure contient à la fois de l'eau et des bulles de vapeur en si grand nombre, que leur volume est plus de deux fois celui de l'eau. Dans ces conditions, la vitesse de l'eau dans des tubes de $1^m,20$ de longueur (dimension le plus en usage) est d'environ 4 mètres par seconde et assez forte pour amener à la surface du liquide de la grenaille de plomb mise préalablement au fond de quelques tubes. Toute l'eau (2,500 lit.) d'une chaudière de 80 chevaux, construite sur ce principe, traverse les tubes, comme on a pu le constater, en quelques secondes.

Il importe que les tubes soient soumis à l'action directe du feu et entourés par la flamme. C'est dans ce but que, dans la chaudière représentée figure 411, la pièce massive h empêche les produits de la combustion de se rendre directement dans la cheminée, les contraint à tourner à travers tout le faisceau de tubes, avant d'arriver dans celle-ci.

Nous avons donné, en parlant des pompes à incendie à vapeur, les résultats remarquables obtenus, grâce à l'adoption de ce genre de chaudières, pour obtenir très-rapidement de grandes quantités de vapeur. Celles construites par MM. Merryweather frères, à Londres, pour de semblables pompes (voyez POMPES), ne pèsent que 1730 kilogr., y compris la chaudière pleine d'eau, et la machine produit un travail de 25 chevaux.

Le temps nécessaire pour obtenir une pression de 6 atmosphères 1/2 est, d'après l'expérience, de 10 minutes, à partir de l'allumage du feu.

On voit que les tubes de Field constituent une disposition vraiment remarquable pour obtenir de puis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sants appareils de vaporisation d'un poids minime, et fournissent un précieux moyen d'améliorer, en y étant adaptés, les petites chaudières dont les surfaces de chauffe sont insuffisantes.

Chaudière Molinos et Pronier, tubulaire avec insufflation d'air. Ce générateur se compose d'une boîte à feu analogue à celle d'une locomotive, mais dont la grille est séparée de la plaque tubulaire par un mur en briques formant autel. Le corps cylindrique placé à la partie inférieure derrière ce mur est complétement rempli de tubes en fer, de 2m,60 de longueur sur 40mm de diamètre intérieur. La chambre de vapeur est placée au-dessus de la boîte à feu, de manière que le corps cylindrique soit toujours maintenu plein d'eau. Elle est formée par un cylindre en tôle avec lequel viennent se raccorder normalement les parois de la boîte à feu. La distance verticale entre la grille et le dessous de la porte du foyer est de 0m,30 environ, épaisseur de la houille que l'on charge sur la grille. Pendant la marche le cendrier est hermétiquement fermé. Les parois latérales du foyer sont percées chacune d'une double rangée de tubes formant entretoises et sur les orifices extérieurs desquels se meut un registre au moyen duquel on peut régler à volonté l'ouverture des tubes. Les extrémités de ces tubes-entretoises sont enfermées dans des boîtes appliquées contre les parois extérieures de la chaudière, et dans lesquelles on envoie de l'air, au moyen d'un ventilateur F, par les tuyaux C. Un autre tuyau E introduit sous la grille l'air soufflé par le ventilateur. Les gaz à la sortie des tubes se réunissent dans une boîte à fumée et se rendent par un tuyau dans une cheminée, qui ne sert qu'à leur dégagement et qui peut, par conséquent, n'avoir qu'une faible hauteur. Les inventeurs, tout en cherchant à tirer le meilleur parti du combustible, ont encore voulu éviter la production de la fumée maintenant proscrite des capitales. Voici comment ils ont atteint ce but.

L'air chassé sous une couche épaisse de combustible la traverse en se brûlant complétement et en se transformant en oxyde de carbone et en acide carbonique. L'oxyde de carbone et les hydrogènes carbonés, produits par la distillation de la houille, rencontrent les veines d'air qui sortent des tubes-entretoises un peu au-dessus de la couche de combustible et qui les traversent dans toute leur masse. Ces gaz brûlent dans un parcours relativement court et s'éteignent dans la capacité placée derrière l'autel, où le mélange avec l'air s'est complété, en sorte qu'il ne pénètre dans les tubes aucune flamme pouvant devenir fuligineuse par leur refroidissement. Aussi cet appareil est-il à peu près fumivore, la fumée n'étant noire que le temps du chargement; mais ce résultat n'est obtenu qu'en insufflant un excès d'air notable.

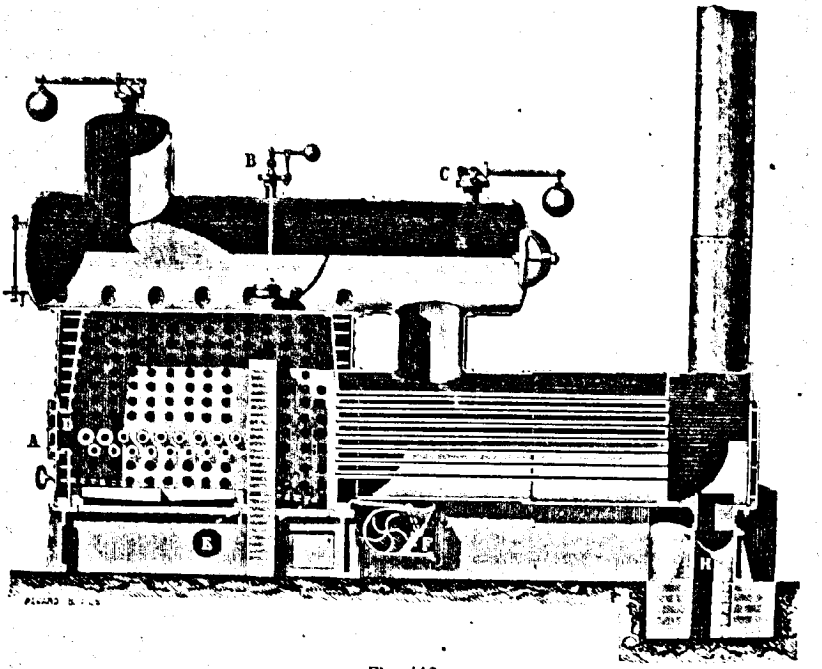


Fig. 412.

On voit que ce système se rapproche de l'appareil Beaufumé, décrit à l'article COMBUSTION, qu'il est fondé, comme celui-ci, sur la production et l'utilisation des gaz combustibles, et l'imitation des dispositions qui ont bien réussi dans les locomotives.

On peut se demander s'il n'y aurait pas une disposition plus simple à employer pour résoudre le problème; mais le mode de conversion de la houille en gaz combustible S, qui a si bien réussi pour les chauffages à haute température, réussit moins bien pour le chauffage des chaudières, les gaz s'éteignant facilement au contact des parois froides, quand on emploie les appareils les plus convenables pour cette conversion, les fours Siemens.

On peut brûler dans cet appareil, de 50 mètres de surface de chauffe ou 50 chevaux, 100 kil. à l'heure par mètre de grille.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le ventilateur consomme de 20 à 60 kilogrammètres par seconde, selon que les valves de sortie sont closes ou complétement ouvertes.

Voici les résultats moyens des essais :

La machine alimentée (de 45 chevaux-vapeur, la même pour les diverses chaudières) ayant marché 12h,02 et la chaudière 12h,54, la pression moyenne de la vapeur à la chaudière étant de 4atm,70, on a brûlé 1198 kilos de houille, et chaque kilogramme a vaporisé 7k,73 d'eau.

Résumé. Nous pouvons déduire des résultats des épreuves des deux systèmes précédents, tous deux, et surtout le dernier, inspirés par l'exemple des locomotives, qu'il n'y a pas lieu d'imiter, pour les machines fixes, les dispositions qui ont réussi pour des appareils mobiles. La nécessité d'avoir des appareils d'un poids modéré, dans lesquels se produisît une rapide vaporisation, qui eussent de grandes surfaces de chauffe sous un faible volume, a conduit à des appareils extrêmement remarquables, mais qui ne doivent pas être préférés aux appareils à bouilleurs. Ce n'est pas seulement parce qu'ils sont coûteux, d'entretien surtout, d'un nettoyage souvent presque impossible, que nous arrivons à cette conclusion ; c'est principalement parce qu'ils ne sont pas plus économiques en tant que producteurs de vapeur. Dans des conditions analogues, deux excellentes chaudières tubulaires ont vaporisé 7,75 et 7,66 kil. d'eau par kil. de houille, et la chaudière à bouilleurs avec réchauffeurs de Vesserling, 8 kilog. et 8k,50 d'eau par kilogramme de houille de Ronchamp. ce qui, sûrement, eût conduit à plus de 9 kil. avec de la bonne houille de Mons.

Chaudières à foyers intérieurs. Les systèmes précédemment étudiés ont emprunté aux locomotives, où il est de nécessité absolue, le système de foyers intérieurs ; celui-ci était depuis longtemps appliqué aux grandes chaudières de Cornwall, qui ont donné d'excellents résultats souvent constatés. Toutefois l'expérience a montré que ce système n'était pas supérieur à celui des foyers en briques, surtout dès qu'on abandonne les grandes dimensions, et, dans notre pays, partout où le poids des fourneaux en briques n'en interdit pas l'emploi, on a adopté et on emploie les chaudières métalliques enveloppées de foyers et de carneaux en briques. Il doit en être nécessairement ainsi avec nos réglements qui contraignent à donner à la paroi extérieure une épaisseur trop considérable, pour une partie qui ne reçoit pas l'action du foyer.

Avec l'avantage d'éviter des pertes de chaleur par rayonnement extérieur, ces chaudières ont des défauts assez graves ; ainsi il est évident que la principale surface de chauffe d'un générateur doit être exposée à l'action directe et verticale du feu, et c'est là que la majeure partie de l'effet utile se produit. Or, le diamètre extérieur que l'on peut donner à une chaudière étant limité, et ne pouvant guère dépasser 1m,30 ou 1m,50, le diamètre du cylindre intérieur qui contient le foyer, et par conséquent la surface exposée directement, ne peuvent être que fort réduits. De plus, cette surface, au lieu d'être placée tout entière à peu près horizontalement au-dessus du foyer, l'enveloppe latéralement, dans une grande partie de son développement, et ne reçoit, par conséquent, son action que d'une manière indirecte et désavantageuse. Il n'y a que la moitié supérieure du cylindre qui puisse être considérée comme surface de chauffe ; toute la partie inférieure, placée au-dessous des grilles, chauffe mal et est couverte immédiatement de cendres et de suie. Pour compenser ces inconvénients, on est obligé de multiplier les circulations à travers l'eau, et alors le rapport entre la surface directe et la surface indirecte est très-peu avantageux.

Ces dispositions ont d'autres défauts encore. On a reconnu, en effet, que la combustion souffrait toujours du contact d'une surface métallique sans cesse refroidie extérieurement par de l'eau.

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

En Angleterre, et surtout dans le Cornouailles, on a donné des diamètres énormes aux chaudières et à leurs tubes intérieurs, en tête desquels se trouve placé un foyer de très-grande dimension. Avec le principe de brûler à basse température, et en multipliant autant qu'on le fait la surface de chauffe, on arrive à avoir ainsi un très-bon emploi du combustible, avec des appareils qui ne peuvent toutefois être employés que pour des pressions peu élevées.

La figure 413 représente la chaudière de Cornwall,

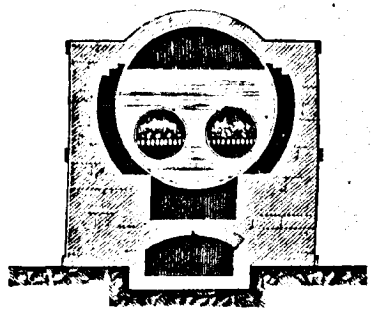


Fig. 413.

à deux foyers, telle que l'établit Fairbairn. Elle consiste en un cylindre de 1m,50 à 2 mètres de diamètre, avec deux tubes intérieurs, contenant chacun un foyer. Elle présente une grande surface de chauffe, et les tubes, qui sont rivés aux deux fonds plats de la chaudière, augmentent considérablement la résistance de ces faces. Dans nos habitudes françaises, la surface de chauffe de ces chaudières nous paraît faible ; mais avec la grandeur très-considérable des grilles et la combustion lente, elles donnent d'excellents résultats.

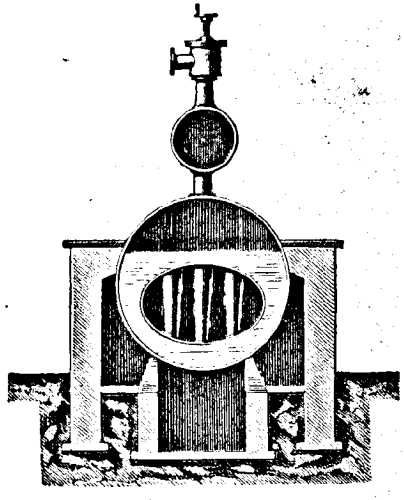


Fig. 414.

Un perfectionnement important apporté à ces chaudières est celui dû à M. Galloway, représenté fig. 414 ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il a disposé, à l'extrémité du tube central, des tubes presque verticaux, qui forment bouilleurs, sur lesquels la colonne des produits de la combustion vient se briser, ce qui augmente d'une manière très-notable la vaporisation. Cette disposition a été appliquée à un grand nombre de chaudières en Angleterre.

Expériences de Wickstead sur les chaudières de Cornwall à foyers intérieurs. Ces expériences, souvent citées, qu'il ne faut pas considérer comme tout à fait comparables à celles rapportées ci-dessus, pour lesquelles, notamment, on a dû faire usage d'excellente houille anglaise, ont été faites sur de puissantes chaudières, de 8 mètres de longueur, ayant des grandes grilles et des surfaces de chauffe très-considérables; aussi le combustible y est-il fort bien utilisé.

Les résultats généraux observés sont les suivants :

Kilogrammes brûlés par metre carré de surface de grille et par heure	44,76
Kilogrammes de charbon par mètre carré de surface de chauffe et par heure	4,04
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	8,68
Eau vaporisée par kilogramme de combustible .	8,35

Chaudières à circulation. Nous devons parler maintenant des chaudières à circulation, dont les inventeurs varient à l'infini les dispositions. En principe, il y a évidemment avantage à appliquer à l'échauffement de l'eau le principe de déplacement qui donne de si beaux résultats dans l'épuisement des matériaux renfermant une substance soluble, à faire marcher l'eau en sens contraire de la propagation de la chaleur ; les dispositions des réchauffeurs servant à chauffer l'eau d'alimentation, comme nombre d'appareils industriels, reposent sur ce principe. Mais, quand il s'agit de vaporisation et non d'échauffement de l'eau, on peut généralement considérer les conditions théoriques comme satisfaites quand les dispositions de l'appareil permettent le facile dégagement de la vapeur formée, surtout dans les parties les plus voisines du foyer, là où la vaporisation est la plus considérable, puisque, du fait de celle-ci, la température ne s'y élève guère au-dessus de 100° pour des pressions de 2 à 3 atmosphères. C'est ce qui explique l'insuccès de bien des systèmes de chaudières, tentés dans la voie que nous indiquons; toutefois, ces essais n'ont pas été sans utilité.

Pour fractionner les colonnes d'eau, on a été conduit à employer des tubes en fer, à faire usage de chaudières tubulaires très-différentes de celles dont il a été parlé ci-dessus, dans lesquelles l'eau est renfermée dans l'intérieur des tubes chauffés extérieurement. Perkins avait montré déjà que l'emploi des tubes en fer de petit diamètre, dont la résistance est très-grande, était très-convenable pour produire de la vapeur à très-haute pression, et l'industrie produit aujourd'hui ces tubes à bon marché. Il y a là un nouvel élément de construction qui permet de poursuivre deux importants résultats.

Le premier est, en plaçant dans le foyer un grand développement de tubes en fer, dans lesquels on fait circuler l'eau, d'obtenir des chaudières produisant en très-peu de temps de la vapeur sous pression, grâce à l'étendue de la surface directe de chauffe, avantage très-grand surtout pour la marine militaire.

Le second, bien plus important, est de remédier aux dangers des explosions, qui semblaient inhérents à l'emploi des générateurs de vapeur. Des tubes en fer malléable, de petit diamètre, peuvent tout au plus s'ouvrir et laisser sortir de l'eau chaude, mais ne sauraient donner lieu à des explosions foudroyantes. C'est ce qu'a prouvé M. Séguier, en soumettant à des causes d'accidents de ce genre sa chaudière à circulation d'eau dans des tubes inclinés. La projection d'eau chaude peut même être évitée avec des chaudières ne contenant pas d'eau. Nous avons donné à l'article CHAUDIÈRE A VAPEUR du *Complément* la description de l'appareil le plus remarquable de ce genre, de la chaudière Belleville. Nous n'y reviendrons pas ici. Nous dirons seulement que ces appareils ne sont pas économiques, n'étant pas établis dans les conditions de la meilleure utilisation de la chaleur, ce qui explique pourquoi l'industrie ne les a pas adoptés, sauf dans des circonstances particulières.

Chaudières de bateaux à vapeur. Pour compléter cette étude des générateurs employés dans l'industrie, nous rapporterons ici les données principales de la construction des chaudières des bateaux à vapeur et de l'appareil de vaporisation des locomotives, à la description desquels des articles spéciaux sont d'ailleurs consacrés.

A l'origine de la navigation à vapeur, on employa les mêmes générateurs que pour les machines fixes : mais bientôt leur emploi dans des conditions toutes spéciales conduisit à les modifier. Longtemps on a employé des chaudières à foyer intérieur et à galeries rectangulaires, dont on a varié les dispositions. Dans ces appareils, la fumée et l'air parcourent, à la sortie du foyer, une suite de carneaux rectangulaires en tôle, dans lesquels ils abandonnent leur chaleur à l'eau de la chaudière.

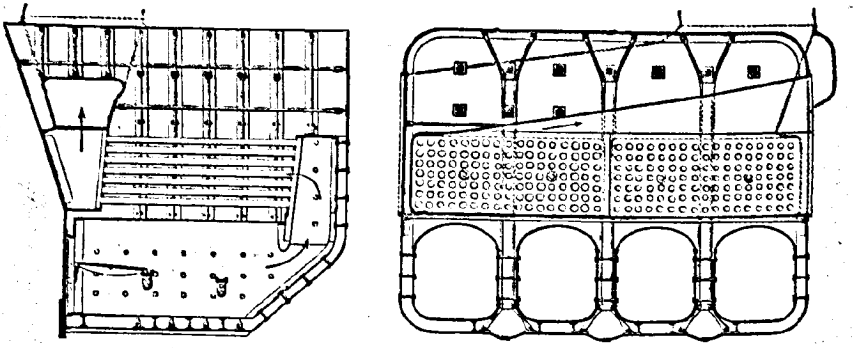


Fig. 415.

Les chaudières généralement adoptées aujourd'hui sont des générateurs tubulaires dans lesquels la flamme et les gaz se rendent au fond de la chaudière, pour revenir en avant de la cheminée par un grand nombre de tubes. La grille inclinée est formée de deux rangs de barreaux, et les boîtes à fumée sont séparées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre elles par des lames d'eau, qui augmentent la surface de chauffe (fig. 415).

L'appareil de vaporisation, dans les grands bateaux à vapeur, se compose d'un certain nombre de corps de chaudières placés les uns à côté des autres. En France, aujourd'hui, chaque corps de chaudière est calculé pour une production de vapeur correspondant à une puissance de 400 chevaux environ. La largeur des grilles est de 0m,80, et leur longueur d'environ 2 mètres.

Les tubes en fer ou en laiton ont 0m,075 à 0m,085 de diamètre et 1m,50 à 2 mètres de longueur.

La question des incrustations, si capitale à la mer, a été traitée dans des articles spéciaux; nous n'y reviendrons pas ici, nous contentant d'observer que les recherches des constructeurs sont tournées vers l'amélioration des condenseurs à surface qui, permettant d'alimenter à l'eau pure, conduisent à la possibilité de l'emploi des hautes pressions à la mer, et, par suite, à l'établissement de générateurs qui se rapprocheront beaucoup de ceux des locomotives.

Résultats d'expériences. Tous les progrès de la construction ont tendu à augmenter les surfaces de chauffe, et le service des appareils de la marine militaire peut se résumer dans les chiffres suivants :

Rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille	22
Combustible brûlé par mètre carré de surface de grille	50 à 70k
Combustible brûlé par mètre carré de surface de chauffe	3 à 4
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	25
Combustible brûlé par mètre carré de section des tubes	400
Combustible brûlé par mètre carré de section de cheminées	650

Ce sont à peu près les mêmes allures que celles des chaudières à bouilleurs.

Chaudières des locomotives. L'article LOCOMOTIVE donne l'historique de l'invention et des perfectionnements qu'a reçus cette machine qui se confond, pour une bien grande partie, avec celle de l'appareil évaporatoire, par suite d'un tirage très-énergique, qui en est l'âme; car c'est l'invention des moyens propres à produire rapidement une vaporisation considérable qui a permis la création de la puissante locomotive à grande vitesse. Nous n'y reviendrons pas ici; mais nous reproduirons encore les renseignements ci-après qui résument les publications faites relativement aux dimensions de l'appareil de vaporisation des principaux types de locomotives.

Toutes ces chaudières sont tubulaires, à un seul faisceau de tubes, conduisant directement à la cheminée; on peut les caractériser par les indications suivantes :

Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille	75
Combustible brûlé par mètre carré de surface de grille	280 kil.
Combustible brûlé par mètre carré de surface de chauffe	4
Eau vaporisée par mètre carré de surface de chauffe	35
Eau vaporisée (et entraînée) par kilogramme de combustible	8k,50

Quant aux relations entre la dépense de combustible et la canalisation de la fumée, elle se trouve définie comme il suit :

Combustible brûlé par heure et par mètre carré de section de cheminée	2500 kil.
Combustible brûlé par heure et par mètre carré de section de tubes	4750

Le fonctionnement des machines locomotives est surtout remarquable par la rapidité des courants gazeux, engendrés par la puissance de l'échappement de la vapeur, et il ne donne une bonne utilisation de la chaleur développée qu'à la faveur d'une surface de chauffe très-grande par rapport à la surface de la grille.

Nous avons rapporté à l'article TIRAGE les expériences qui permettent d'évaluer les effets de la vapeur employée pour produire une véritable insufflation. M. Siemens a démontré l'avantage qu'il y avait, au point de vue de l'économie de la vapeur, à imiter les dispositions de l'injecteur, c'est-à-dire à faire arriver la vapeur par un conduit central, entouré par l'air affluent qui l'accompagne et prend la même vitesse que la vapeur, sans produire de remous, cause principale de résistances dans les mouvements de l'air. Il a pu, à l'aide de cette disposition, améliorer son four à gaz combustibles. Une petite quantité de vapeur, projetée ainsi sur le combustible, active la combustion et accroît utilement la pression intérieure de l'appareil.

ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES. — L'alimentation d'eau se fait ordinairement d'une manière continue au moyen d'une pompe alimentaire mise en mouvement par la machine que dessert la chaudière. Il est indispensable que, quelque élevée que puisse être accidentellement l'intensité du feu, la quantité d'eau fournie à la chaudière soit toujours suffisante; en conséquence, on calcule les dimensions de la pompe alimentaire, de telle sorte qu'elle amène un volume d'eau double de celui vaporisé dans le même temps. Soit B la surface du piston de la pompe alimentaire supposée à simple effet, h sa course, et n le nombre de coups de piston par minute; soit, d'un autre côté, S la surface de chauffe de la chaudière, et e la quantité d'eau vaporisée par minute sur l'unité de surface; on aura, entre n, h et B, la relation $nBh = 2Se$, qui servira à les déterminer. La quantité d'eau admise dans la chaudière est réglée par des mécanismes mis en jeu au moyen de flotteurs, ou par un robinet qui est à la disposition du chauffeur. L'excès d'eau amenée retourne à la bâche.

Lorsque le jeu de la pompe alimentaire est intermittent, le chauffeur ou mécanicien peut, à volonté, l'empêcher de fonctionner, soit en décrochant la tige du piston, soit en relevant le clapet d'aspiration, ou en fermant un robinet adapté au tuyau d'aspiration. Il ne doit pas négliger de faire jouer la pompe dès le moment où le niveau de l'eau, dans la chaudière, est descendu à la hauteur de la ligne d'eau tracée à l'extérieur. Il peut d'ailleurs profiter, pour alimenter la chaudière, des instants où la tension de la vapeur, accusée par le manomètre, est un peu plus élevée qu'à l'ordinaire.

L'alimentation continue est préférable, sous le rapport de la sécurité; le tuyau de décharge d'une pompe à jet continu peut même être disposé de manière à faire apercevoir les dérangements qui seraient survenus à cette pompe.

Dans les machines locomotives, quand on n'emploie pas l'INJECTEUR, l'alimentation des chaudières est toujours intermittente. Des robinets d'épreuve, adaptés aux tuyaux alimentaires, permettent aux mécaniciens de vérifier si les pompes ne sont pas dérangées et foulent de l'eau dans les chaudières.

La fig. 424 représente un appareil d'alimentation continue: l est le piston de la pompe alimentaire tt; u, u une soupape s'ouvrant de bas en haut, placée dans le tuyau d'aspiration ce, et une autre soupape s'ouvrant dans le même sens et laissant passer l'eau aspirée, dans la chaudière, par le tuyau d'alimentation ff; un robinet a, convenablement disposé, sert à régler l'alimentation. Un autre robinet f sert à fermer le tube de communication avec la chaudière toutes les fois que l'on veut visiter les soupapes u, u. Au lieu de fermer l'ouverture h par une plaque maintenue par une vis de pression, il convient mieux de disposer cette plaque comme une soupape de sûreté, en la maintenant par un levier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

t, portant un poids *k*. Sans cette précaution, si le chauffeur tourne la clef du robinet *f*, sans avoir fermé préa-

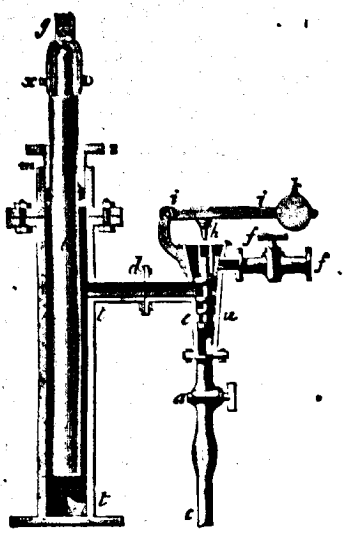


Fig. 424.

lablement le robinet d'aspiration *a*, l'eau refoulée par le mouvement du piston, ne trouvant aucune issue pour s'échapper, résiste comme un corps solide; et les tiges qui font mouvoir le piston sont nécessairement pliées ou brisées.

On emploie souvent, pour régler l'alimentation, dans les chaudières à haute pression, l'appareil représenté fig. 425, qui est mû par le flotteur É, fixé à l'une des

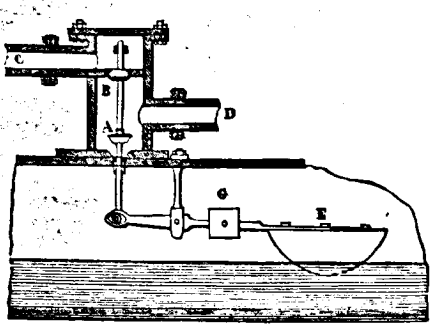


Fig. 425.

extrémités d'un levier G; D est le tuyau de communication avec la pompe alimentaire; lorsque le flotteur s'élève, le levier qu'il porte ferme le clapet A, et ouvre le clapet B, de sorte que l'eau d'alimentation repasse dans la bâche par le tube de décharge C.

Les chaudières à vapeur destinées au chauffage des habitations ou à d'autres usages, et qui ne sont pas jointes à des machines, sont alimentées par des *retours d'eau* ou des appareils appropriés à la nature des opérations que l'on exécute à l'aide de la vapeur.

La fig. 426 représente un de ces appareils à quatre robinets. Lorsque l'on veut le mettre en jeu on ouvre les deux robinets 1 et 3 pour remplir de vapeur d'eau

le réservoir R et donner écoulement à l'air qu'il renferme. On ferme ensuite ces robinets, on ouvre 2, qui

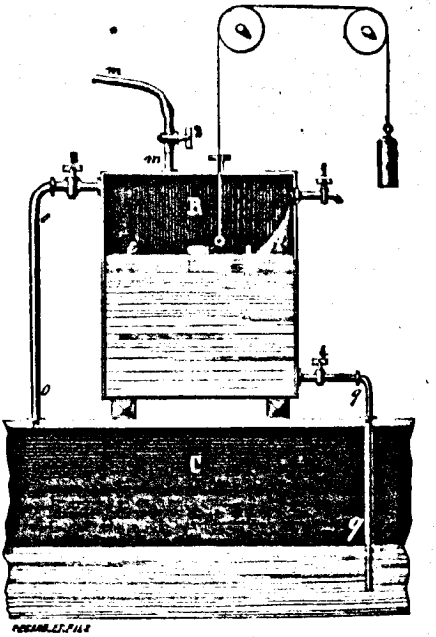


Fig. 426.

communique avec la source d'alimentation : le réservoir se remplit d'eau. On ferme alors le robinet 2, et on ouvre 3 et 4; l'eau se trouvant alors pressée en dessus et en dessous par la pression intérieure de la vapeur, s'écoule par son propre poids dans la chaudière C, à travers le tuyau *q q*. Un flotteur à contre-poids sert à indiquer le niveau de l'eau dans le réservoir R.

Dans les chaudières où la tension de la vapeur est très-peu élevée, on emploie quelquefois, au lieu de retour d'eau, un appareil d'alimentation dit *colonne d'eau*, qui peut servir en même temps de soupape de sûreté, et fournir une issue à la vapeur dans le cas où les soupapes ayant été surchargées, la tension dépasserait la limite de force élastique pour laquelle la chaudière a été construite. On fixe sur la chaudière un tube vertical CD (fig. 427), qui pénètre dans son intérieur, et plonge de 0m,10 environ au-dessous du niveau moyen de l'eau. Ce tube s'élève à une hauteur plus ou moins grande, selon le degré de la pression sous laquelle la chaudière doit fonctionner; ainsi, pour une pression maximum de 4/2 atmosphère, à l'intérieur, la hauteur totale du tube, à partir du niveau de l'eau, doit être égale à 5m. L'extrémité supérieure de ce tube est terminée par un évasement qui porte le nom de cuvette et auquel aboutissent deux conduits *t* et *t'*. L'un sert à amener dans la cuvette l'eau qui est continuellement fournie par le réservoir d'alimentation ou la pompe alimentaire; l'autre sert à donner écoulement à l'excès d'eau amenée. Un flotteur MN, suspendu à un fil métallique qui passe au travers d'une boîte à étoupes et vient s'attacher à l'extrémité d'un petit levier *a* B, fixé sur le bord de la cuvette, ouvre ou ferme, suivant qu'il descend ou qu'il monte, la soupape *m* qui permet à l'eau d'alimentation de s'introduire dans la chaudière.

Dans le cas où le jeu de la pompe alimentaire se se-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rait dérangé, et où la quantité fournie par cette pompe ne serait plus suffisante, aussitôt que le niveau se sera abaissé dans la chaudière, au-dessous du tube vertical, la vapeur s'échappera par ce tube, ce qui avertira le

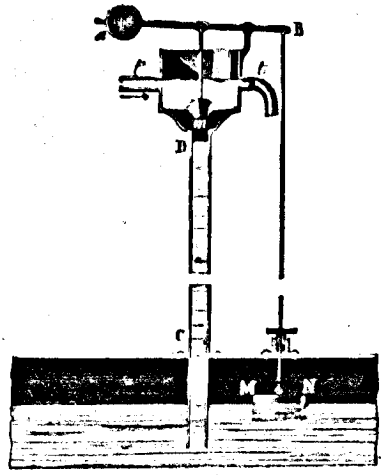


Fig. 427.

chauffeur de l'abaissement du niveau, avant que l'eau ait baissé suffisamment pour que les parois chauffées aient pu rougir et qu'il y ait danger d'explosion. D'un autre côté, lorsque la tension de la vapeur s'élève au-dessus de celle correspondant à la hauteur du tube CD, l'eau de la chaudière sera refoulée dans la cuvette, et s'échappera par le tuyau de décharge *t* en répandant des vapeurs dans la chambre de la chaudière; en même temps, le niveau baissera jusqu'à ce qu'il soit descendu au-dessous de l'extrémité du tube, qui donnera alors issue à la vapeur.

Réservoir et prise de vapeur. La vapeur d'eau entraîne toujours mécaniquement une quantité considérable d'eau, à l'état vésiculaire, dont la proportion est quelquefois de 20 à 30 p. 100 de son poids. C'est surtout en donnant une grande dimension au réservoir de vapeur, à la capacité dans laquelle on emmagasine celle déjà formée, qu'on donne à l'eau entraînée le temps de se déposer; outre que celle-ci se trouve en moindre quantité, par ce motif, les variations de pression étant peu sensibles, on évite les ébullitions tumultueuses qui se produisent par des diminutions notables de pression, et qui donnent lieu aux grands entraînements d'eau. Il n'est pas besoin de remarquer que cette régularité de pression importe, au plus haut degré, au bon fonctionnement de la machine à vapeur. On cherche, en outre, à diminuer cet entraînement mécanique en éloignant autant que possible la prise de vapeur de la surface de l'eau en ébullition, et en la plaçant dans un dôme placé au-dessus de l'arête culminante de la chaudière, et faisant corps avec elle. On a soin aussi de prendre la vapeur dans ce réservoir, par un tuyau terminé par un entonnoir vertical dont l'ouverture est tournée vers le haut. Il est essentiel d'empêcher, autant que possible, le refroidissement de la vapeur dans le tuyau qui la conduit à la machine, ce qui en ferait passer une portion plus ou moins grande à l'état vésiculaire; à cet effet, dans les locomotives, on dispose ce tuyau de manière à ce qu'il traverse l'espace occupé par la vapeur dans l'intérieur de la chaudière, pour se rendre dans la boîte à fumée, sans se trouver en contact avec l'air extérieur. On a trouvé avantage à chauffer les

tuyaux de conduite de vapeur au moyen de la chaleur perdue des produits de la combustion, qui se rendent des carneaux à la cheminée, et qui possèdent encore une température de 200 à 300°, et même plus. Par ce moyen, on fait passer à l'état de vapeur l'eau entraînée à l'état vésiculaire (voy. SURCHAUFFE).

APPAREILS DE SURETÉ. Les chaudières à vapeur doivent, en vertu des ordonnances des 22 et 23 mai 1843, être pourvues des appareils de sûreté suivants :

1° *Soupapes de sûreté.* Il doit être adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté, une vers chaque extrémité de la chaudière. *s* désignant la surface totale de chauffe de la chaudière en mètres carrés, et *n* étant le numéro du timbre qui exprime en atmosphères la tension de la vapeur, le diamètre *d*, exprimé en centimètres, que doit avoir chacune des soupapes de sûreté, est donné par la formule :

$$d = 2{,}6\sqrt{\frac{s}{n-0{,}412}}$$

L'expérience a fait voir qu'une seule soupape, dont l'orifice avait un diamètre déterminé par la formule empirique précédente, suffisait pour débiter toute la vapeur qui pourrait se former dans la chaudière, à la tension de *n* atmosphères, sous l'influence du feu le plus actif. Ainsi, quand une chaudière sera munie de deux soupapes ayant les dimensions prescrites et fonctionnant bien, on n'aura point à craindre que la tension de la vapeur dépasse la limite assignée, sauf peut-être le cas où l'eau, par suite d'un défaut d'alimentation, viendrait à atteindre des parois rouges.

Chaque soupape doit être chargée d'un poids unique, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier; la quotité du poids et la longueur du levier doivent être réglées de manière à ce que, le poids étant placé à l'extrémité du levier, la soupape soit chargée de 1k,033 par centimètre carré de surface de l'orifice et par atmosphère de pression effective.

La figure 428 représente la coupe verticale d'une soupape de sûreté. Le disque mobile et la tête de la tubulure sur laquelle il s'applique sont en bronze; le prolongement de la tubulure qui s'adapte à la chaudière est en fonte; le levier et les autres pièces sont en fer forgé; le disque est ordinairement guidé, soit par une lanterne venue à la fonte en-dessous de ce disque, et qui pénètre dans la tubulure, soit par trois ou quatre ailettes dont les plans se croisent suivant l'axe perpendiculaire au plan du disque, et dont les bords touchent le contour cylindrique intérieur de la tubulure. Les ailettes sont préférables à la lanterne, parce que celle-ci obstrue en partie le passage de la vapeur, et qu'elle paraît plus sujette à s'engager dans la tubulure. La face inférieure du disque est fouillée sur le tour. Par suite de cette construction, le disque ne peut faire *bouchon* dans la tubulure, et ouvre, dès qu'il se soulève, une issue aussi libre que possible à la vapeur. La tige-guide qui est venue à la fonte avec le disque de la soupape est tournée avec lui, afin que son axe soit exactement perpendiculaire au plan du disque et passe par son centre; elle se termine, à sa partie supérieure, par une surface conique à pointe émoussée, sur laquelle presse le levier. Ce levier tourne autour du boulon ou goupille dont l'axe doit être situé exactement dans le

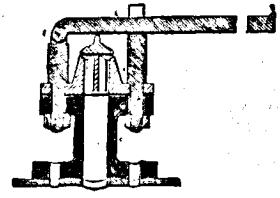


Fig. 428.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

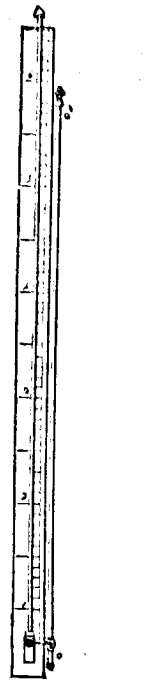
prolongement du plan tangent au sommet de la tige du disque de la soupape reposant sur son siége. Au moment où celui-ci commence à se soulever, les points du levier, sur lesquels s'appuie la tige, décrivent des arcs de cercle verticaux; il n'y a pas glissement des surfaces en contact l'une sur l'autre, et, par conséquent, aucun frottement ne tend à incliner le disque de la soupape d'un côté ou de l'autre, et à faire frotter les ailettes contre le contour de la tubulure. Le levier L L' est guidé dans une seconde fourchette K, pour prévenir les mouvements dans le sens horizontal; il se termine à son extrémité libre par une saillie S, destinée à retenir le poids qui y est suspendu.

Les soupapes des chaudières des machines locomotives sont pressées par des ressorts dont le mécanicien peut à volonté augmenter ou diminuer la tension; une échelle divisée indique les charges ou tensions correspondantes aux diverses longueurs du ressort; les manomètres ou thermomanomètres, dont ces chaudières sont pourvues, offrent un moyen facile de vérifier la graduation.

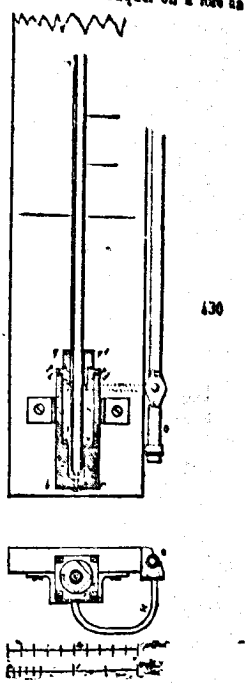
2° *Manomètres.* L'expérience a fait voir que les manomètres à air comprimé sont tellement sujets à se détériorer, que la plupart des appareils de ce genre, adaptés aux chaudières de machines à vapeur, ne donnent plus, au bout de fort peu de temps, des indications exactes. C'est pourquoi les dernières ordonnances prescrivent l'usage de manomètres à air libre pour toutes les chaudières timbrées à 5 atmosphères et au-dessous. Elles permettent de remplacer, pour les chaudières de machines locomobiles et locomotives, le manomètre à air libre par un manomètre fermé ou un thermomanomètre, et n'exigent le manomètre à air libre dans les chaudières établies sur des bateaux que pour des pressions inférieures à 2 atmosphères.

La cause principale qui met hors de service, en très peu de temps, les manomètres fermés, consiste en ce que l'oxygène de l'air confiné dans la partie supérieure du tube est absorbé par le mercure, en donnant lieu à de l'oxyde de mercure qui se dissout dans le mercure métallique; il en résulte d'abord que la graduation de l'instrument est faussée, et, ensuite, que les pellicules de mercure oxydé s'attachent à la paroi du tube en verre qu'elles salissent au point qu'on n'aperçoit plus l'extrémité de la colonne mercurielle. Il est facile de construire des manomètres fermés qui soient exempts de ces inconvénients. Il suffit, pour cela, d'introduire dans la chambre manométrique de l'azote que l'on obtient, en faisant passer de l'air dans un tube en verre à travers de la tournure de cuivre métallique chauffée au rouge, ce qui le prive complétement de son oxygène.

La fig. 429 représente à l'échelle de 1/50 un manomètre à air libre, à cuvette et à tube en verre, pouvant accuser des pressions qui vont jusqu'à 6 atmosphères 1/2. La fig. 430 est une section de la cuvette et du tube par un plan vertical passant par l'axe de la cuvette, à l'échelle de 1/5. La fig. 431 est une section, à la même échelle, du manomètre et de la monture par le plan horizontal XY de la fig. 430. La cuvette *a b c d* est en fer forgé; elle est formée d'un prisme de fer à base carrée de 0m,06 de côté, et de 0m,17 de hauteur. On a foré, suivant l'axe du prisme, la cavité cylindrique N, de 0m,04 de diamètre et de 0m,106 de profondeur; et au fond de celle-ci, toujours suivant l'axe du prisme, la cavité cylindrique d'un diamètre moindre *m n*, dans laquelle doit pénétrer l'extrémité du tube en verre TT'. Cette cuvette est fermée à sa partie supérieure par une plaque en fer carrée *p p'*, formant bouchon, et fixée aux quatre angles, sur les bords de la cuvette, par les vis *v, v, v, v*. La pression de ces vis ferme hermétiquement, au moyen d'un peu de mastic au minium interposé entre les surfaces de contact de la plaque et des bords supérieurs de la cuvette. L'ouverture cylindrique ménagée suivant l'axe de la plaque *pp*, est taraudée en forme d'écrou et remplie par le bouchon en fer et à vis *qq'*, suivant l'axe duquel on a foré un



429.



430

431.

trou cylindrique d'un diamètre un peu supérieur au diamètre extérieur du tube en verre. Vers le bas, ce trou se rétrécit de manière à ne plus laisser que très peu de jeu entre lui et le contour extérieur du tube, afin que le mastic avec lequel on scellera le tube en verre dans la cavité cylindrique percée à travers le bouchon *qq'*, soit retenu par les bords tranchants de cette cavité.

Un trou S, est percé à travers une des parois verticales de la cuvette, immédiatement au-dessous du bouchon rentrant *qq'*; à ce trou est adapté, au moyen d'une bride *r r*, et de deux vis *u, u*, un petit tuyau *x x*, courbé dans un plan horizontal, qui met la cuvette en communication, par sa partie supérieure, avec un tube en fer creux *o o*, de 0m,015 de diamètre intérieur, fixé sur le côté du madrier de sapin sur lequel l'instrument est monté. Le tube en fer creux *o o*, se prolonge de quelques centimètres en dessous du tuyau courbe *x x*; là il est fermé par un bouchon à vis et en fer; il a une hauteur verticale de 4m; il est fermé également en haut par un bouchon à vis; immédiatement au-dessous de ce bouchon, il est percé latéralement d'un trou autour duquel est la bride à laquelle vient s'adapter l'extrémité du tuyau de communication avec l'intérieur de la chaudière.

Le tube TT' est en cristal; il doit avoir environ 0m,003 de diamètre intérieur et de 0m,009 à 0m,010 de diamètre extérieur; sa longueur dépend du maximum de la pression que le manomètre doit mesurer.

Cet instrument doit être rempli de mercure et monté sur place. Le madrier de sapin auquel sont attachés la cuvette en fer et le tube en fer creux *o o'*, est fixé par des crampons contre un mur vertical. Le tube en verre étant enlevé, on verse d'abord dans la cuvette, par le trou percé dans le bouchon à vis *q q'*, la quantité de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDIÈRE A VAPEUR

mercure convenable, laquelle dépend du diamètre intérieur du tube en cristal et de sa longueur ; il faut que, lorsque le mercure s'élèvera dans le tube jusqu'au point qu'il ne devra pas dépasser, le niveau du mercure dans la cuvette recouvre d'un demi-centimètre au moins les bords supérieurs de la cavité rétrécie *n n*. Soit N N', la surface de niveau du mercure versé ainsi dans la cuvette. Après avoir introduit le mercure, on met en place le tube en cristal ; pour cela, on l'enfonce à travers le bouchon *gg'*, jusqu'à ce que son extrémité inférieure arrive à 4 ou 5^mm du fond de la cavité *n n*. On fixe le tube au madrier par quelques brides légères, placées de mètre en mètre, par exemple, en ayant soin d'interposer un peu de coton entre le tube et le madrier, et de serrer les brides assez peu pour que le tube puisse glisser entre ces brides, dans le sens de sa longueur. On lute ensuite le tube au bouchon *gg'*, en ayant soin, pendant cette opération, d'échauffer ce dernier en le serrant entre les branches d'une pince ou tenaille de maréchal, préalablement chauffée au rouge sombre.

Le tube de verre étant scellé, on attend que la cuvette et le mastic soient refroidis ; on ôte le bouchon à vis qui ferme le tube en fer O, à son extrémité supérieure, et l'on remplit complétement ce tube avec de l'eau, qui, passant par le petit tuyau de communication *ax'*, se répand aussi dans la cuvette au-dessus du mercure, puis on remet en place le bouchon de fermeture du tube O O' ; la pression de la colonne d'eau fait monter le mercure, dans le tube de cristal jusqu'à une hauteur déterminée qui est le point de départ de l'échelle du manomètre et est marquée du chiffre 1 (une atmosphère). A partir de ce point on divise le madrier, sur sa hauteur, en parties égales, dont chacune représente 1/10 d'atmosphère. L'intervalle de deux divisions doit être égal à 76^mm divisés par l'unité augmentée du rapport du carré du diamètre intérieur du tube en cristal au carré du diamètre de la cuvette. Il faut que les longueurs du tube en verre et du madrier divisé soient suffisantes pour que le manomètre puisse mesurer des pressions supérieures d'une atmosphère ou d'une atmosphère et demie à celle que la vapeur ne devra pas dépasser dans la chaudière.

Le *thermomanomètre* est un thermomètre à mercure construit de manière à accuser des températures qui vont jusqu'à 200° centigrades environ, et dont la tige est divisée en atmosphères et fractions décimales d'atmosphère, d'après les relations connues de la vapeur d'eau à son maximum de densité et les températures correspondantes, qui sont données par la table ci-jointe, résultat d'expériences faites avec le plus grand soin, par MM. Dulong et Arago. Voy. MANOMÈTRE.

La boule du thermomanomètre ne doit pas être plongée dans la vapeur de la chaudière, attendu que la pression fausserait les indications thermométriques. Elle est renfermée dans un tube métallique fermé par le bas et rentrant dans la chaudière, aux parois de laquelle il est fixé par une bride, au moyen de vis et d'écrous ; on remplit l'espace restant entre la boule et les parois du tube métallique avec de la limaille de cuivre, ou tout autre corps bon conducteur du calorique.

3° *Indicateurs du niveau de l'eau et flotteur d'alarme.* Les indicateurs les plus simples sont des robinets placés les uns au-dessus, les autres au-dessous, et enfin un dernier à la hauteur même du niveau moyen que doit avoir l'eau dans la chaudière. Le chauffeur ouvre de temps en temps et successivement ces robinets, et juge de la hauteur du niveau de l'eau, selon qu'ils laissent échapper un jet d'eau ou de vapeur. Le bouillonnement de l'eau rend quelquefois incertaines les indications de cet appareil, qui du reste ne dispenserait pas dans les chaudières établies à bord des bateaux de l'établissement de tubes indicateurs. Ces *tubes indicateurs* sont en verre, placés verticalement et mastiqués dans deux tubes en cuivre qui se recourbent horizontalement, et viennent se fixer

Table des forces élastiques de la vapeur d'eau, à son maximum de densité, et des températures correspondantes de 1 à 24 atmosphères.

FORCE élastique de la vapeur, en prenant la pression de l'atmosphère pour unité	HAUTEUR de la colonne de mercure (à 0°) qui mesure la force élastique de la vapeur	TEMPÉRATURE correspondante exprimée en degrés du thermomètre centigrade à mercure
atmosphères	mètres	degrés
1	0,76	100,00
1 1/2	1,14	112,20
2	1,52	121,40
2 1/2	1,90	128,80
3	2,28	135,10
3 1/2	2,66	140,60
4	3,04	145,10
4 1/2	3,42	149,06
5	3,80	153,08
5 1/2	4,18	156,80
6	4,56	160,20
6 1/2	4,94	163,48
7	5,32	166,50
7 1/2	5,70	169,37
8	6,08	172,10
9	6,84	177,10
10	7,60	184,60
11	8,36	186,03
12	9,12	190,00
13	9,88	193,70
14	10,64	197,19
15	11,40	200,48
16	12,16	203,60
17	12,92	206,57
18	13,68	209,40
19	14,44	212,10
20	15,20	214,70
21	15,96	217,20
22	16,72	219,90
23	17,48	221,90
24	18,24	224,20

contre la chaudière, de manière à ce que le tube indicateur soit en communication par l'une de ses extrémités avec la vapeur, et par l'autre avec l'eau. Les tubulures qui portent les tubes indicateurs en verre doivent être munies de robinets qui permettent de nettoyer ces tubes, et de prévenir l'écoulement de la vapeur et de l'eau, en cas de rupture accidentelle du tube. Dans les chaudières établies sur les bateaux, il doit y avoir deux tubes indicateurs, un sur chaque côté du foyer, de manière à ce que leur comparaison simultanée puisse indiquer au chauffeur la position du niveau de l'eau dans la chaudière, quelle que soit l'inclinaison du navire.

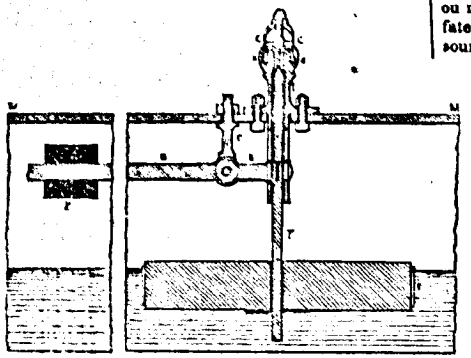
Les *flotteurs* se composent ordinairement d'une pierre, habituellement cerclée en fer, qui est équilibrée presque en totalité par un contre-poids convenable, de manière à plonger en partie dans l'eau de la chaudière et à s'élever ou s'abaisser en même temps que le niveau de l'eau. Tantôt ce flotteur porte une tige qui sort de la chaudière, et qui se meut en regard d'une échelle fixe qui indique la hauteur du niveau de l'eau, tantôt le flotteur est suspendu à un fil de cuivre qui traverse une boîte à étoupes, et vient passer sur une poulie extérieure sur laquelle il est tendu par un contre-poids ; l'axe de cette poulie porte alors sur une aiguille qui se meut sur un cadran et indique la position du flotteur. (V. *Complément.*)

Toute chaudière doit être pourvue de l'un des appareils décrits ci-dessus, et, en outre, d'un *flotteur d'a-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDIÈRE A VAPEUR.

larme destiné à avertir, par un bruit aigu, un chauffeur qui aurait négligé d'entretenir la chaudière convenablement remplie d'eau. On a construit des flotteurs d'alarme de formes très diverses : ils consistent tous en un flotteur qui fait mouvoir, au moment où la surface de l'eau s'abaisse dans la chaudière jusqu'au niveau des carneaux, un petit orifice par lequel la vapeur jaillit sur les bords d'un timbre ou d'une lame métallique vibrante, dont le bruit très aigu ne peut manquer d'être entendu par le chauffeur. Nous décrirons, comme exemple, le flotteur d'alarme que la commission centrale des machines à vapeur a fait exécuter pour ses expériences, et qui peut être employé, quelle que soit la tension de la vapeur. La fig. 432 représente la section



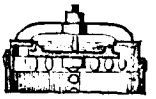
432.

verticale de ce flotteur. L M, est la paroi supérieure de la chaudière, sur laquelle on fixe, à l'aide de vis, le bout de tuyau en cuivre I, qui est terminé par un appareil semblable au sifflet des chaudières de machines locomotives. Une pierre F F', ou tout autre corps d'un poids spécifique supérieur à celui de l'eau, est suspendue à la tige verticale T, dont l'extrémité supérieure ferme le petit canal *o;* la pierre F F' est équilibrée en partie par le contre-poids P et le balancier B B' ; celui-ci porte par un couteau sur les branches de la fourchette, qui termine le support S fixé à la chaudière. Le contre-poids P est mobile le long du balancier B ; on le fixe par une vis de pression en un point tel qu'il puisse soutenir la pierre F F', lorsque celle-ci est plongée dans l'eau jusqu'aux 3/4 ou aux 5/6 de son épaisseur verticale. La longueur de la tige T étant d'ailleurs déterminée de manière à ce que les 3/4 ou les 5/6 de la pierre soient au-dessous du plan d'eau normal dans la chaudière, quand l'extrémité supérieure de la tige forme le petit canal *o*, si le niveau de l'eau vient alors à baisser, le poids de la pierre F F' devient prépondérant, la tige T s'abaisse et démasque l'orifice *o;* la vapeur se répand par plusieurs trous, tels que *b b*, dans l'espace annulaire *a a*, d'où elle sort par la fente circulaire et très étroite *m n*, qui la dirige sur les bords du timbre ou petite cloche renversée C C. Le poids de la pierre F F', lorsqu'elle est émergée par suite de l'abaissement du niveau de l'eau, doit l'emporter sur le contre-poids P, et, en outre, surmonter la pression effective de la vapeur sur l'orifice *o ;* il faut donc donner à cet orifice un diamètre très petit, surtout lorsque la pression effective de la vapeur doit être considérable, afin de ne pas être obligé de donner à la pierre F F' des dimensions trop grandes, qui pourraient être gênantes.

Pour les chaudières dans lesquelles la pression effective de la vapeur ne dépasse pas 1/2 atmosphère, on peut se dispenser de l'emploi d'un flotteur, et placer simplement le sifflet d'alarme sur l'orifice supérieur d'un tuyau vertical de 0m,04 à 0m,05 de diamètre intérieur ouvert par le bas, qui traverserait le dôme de la chaudière et s'enfoncerait jusqu'au niveau au-dessous duquel la surface de l'eau ne devrait pas descendre. Sa longueur serait suffisante pour que la colonne d'eau, élevée dans son intérieur et comptée à partir du niveau normal de l'eau, fît équilibre à la pression effective que la vapeur ne devrait pas dépasser. Ce tuyau pourrait en même temps servir à l'alimentation, comme nous l'avons dit plus haut.

Dépôts qui se forment dans l'intérieur des chaudières. Les eaux dont on se sert pour alimenter les chaudières contiennent toujours en dissolution une quantité plus ou moins grande de sels terreux, ordinairement du sulfate de chaux, et quelquefois, lorsqu'elles n'ont pas été soumises à un échauffement préalable, du carbonate de chaux, qui se déposent par l'effet de la concentration contre les parois de la chaudière et y forment une croûte terreuse plus ou moins dure, dont l'épaisseur va sans cesse en augmentant, et qui, si on ne l'enlevait pas, occasionnerait une prompte destruction des parois. Pour troubler la cristallisation du sulfate de chaux et obtenir un dépôt boueux qui n'adhère pas à la chaudière, on y introduit de temps en temps une petite quantité d'argile bien lavée et très fine ou de pommes de terre. Dans ce dernier cas, il paraît que tout l'amidon renfermé dans les pommes de terre se convertit rapidement en dextrine ; car l'iode n'en fait plus reconnaître la présence dans l'eau de la chaudière au bout d'un temps très court.

On vide la chaudière tous les huit ou quinze jours, selon les circonstances, pour enlever l'eau vaseuse qui en occupe le fond, par un robinet placé dans le bas, en ayant soin d'éteindre le feu immédiatement auparavant; l'eau en sortant avec vitesse, par suite de la pression de la vapeur, entraîne la plus grande partie des dépôts. On enlève alors la plaque qui ferme le *trou d'homme* dans les chaudières sans bouilleurs, et le tampon à vis (fig. 433) qui ferme la tubulure en fonte qui termine l'une des extrémités des bouilleurs, s'il y en a, et on les balaie pendant que le foyer est encore chaud : le tartre qui s'est déposé éprouve alors une véritable cuisson, en remplissant ensuite la chaudière ou les bouilleurs d'eau froide, et les maintenant pleins pendant quelques jours (ce qui peut se faire toutes les fois qu'il y a deux chaudières marchant alternativement), le sulfate de chaux se gonfle en absorbant de l'eau, et se dissout en partie; il perd de son adhérence, et s'enlève facilement en grandes plaques sous le choc des outils. Lorsque le chômage doit être très court, on projette de l'eau froide dans les bouilleurs lorsqu'ils sont encore chauds, afin de fissurer le tartre que l'on enlève aussitôt. Il est à remarquer que ces dépôts durs se forment, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup plus facilement dans les chaudières à basse pression, par suite même de la lenteur d'évaporation qui permet mieux au sulfate de chaux de cristalliser que dans celles à haute pression. Dans ces dernières, on peut souvent éviter un nettoyage complet, en introduisant une quantité suffisante de fécule ou d'argile et vidant régulièrement ces dépôts pendant que la chaudière est en pression. C'est un procédé analogue, mais continu, celui des *pompes à saumure de Maudslay*, qui est employé dans les chaudières des BATEAUX A VAPEUR alimentées avec de l'eau de mer, et qui a pour but d'éviter le dépôt de sel marin qui s'y formerait



433.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

infailliblement par suite de la concentration de l'eau de mer. (Voy. INCRUSTATION).

Dépôts qui se forment dans les carneaux ou conduits de fumée. Les carneaux s'obstruent par la suie qui s'attache à leurs parois, et par les cendres entraînées par le tirage; il est rare qu'ils n'aient pas besoin d'être nettoyés tous les deux ou trois mois, ou même plus souvent.

Une mauvaise combustion produit beaucoup de fumée, et par conséquent beaucoup de suie qui s'attache aux parois des chaudières et des carneaux. Nous parlerons à l'article FUMÉE des moyens de la prévenir. La quantité de cendres entraînées est d'autant plus grande jusqu'à une certaine limite que le tirage est plus actif, mais lorsqu'il devient très énergique, comme dans les chaudières tubulaires des locomotives, il n'est plus nécessaire de ramoner les tubes intérieurs; cet avantage est bien compensé, il est vrai, par l'usure extrêmement prompte des parois que les escarbilles de coke frottent avec une grande rapidité, au point de les user entièrement en un ou deux ans.

Emploi des eaux corrosives pour l'alimentation des chaudières. Les règlements administratifs exigent que, dans le cas de l'alimentation au moyen d'eaux corrosives, les propriétés corrosives de ces eaux soient neutralisées par une distillation préalable, ou par tout autre moyen reconnu efficace, toutes les fois que la pression effective de la vapeur dans la chaudière dépassera 1/2 atmosphère.

La plupart des eaux corrosives sont des eaux extraites des mines ou carrières par les machines d'épuisement et dont une partie sert à l'alimentation des chaudières de ces machines; elles ne contiennent pas d'acides libres et renferment en général d'après les recherches de M. Le Châtelier :

Des sulfates { d'alumine, de peroxyde de fer, de protoxyde de fer de chaux, de magnésie, de potasse et de soude

Des chlorures alcalins,

Et de la silice gélatineuse.

Les sulfates doivent leur formation à la décomposition des matières pyriteuses par l'action simultanée de l'air et de l'eau, qui donne naissance à des sulfates métalliques et à de l'acide sulfurique à l'état naissant qui réagit énergiquement sur les éléments des roches voisines. Nous avons recueilli nous-même en Bohême, sur l'affleurement d'un petit filon de pyrites qui traversait le calcaire de transition des environs de Prague, de très beaux cristaux de gypse, qui devait évidemment sa formation à la décomposition spontanée des pyrites, et à la réaction de l'acide sulfurique formé sur la roche calcaire. Il est à remarquer qu'en général dans ces eaux, le fer qui s'y trouve à l'état de sulfate de protoxyde passe par le contact prolongé de l'air à l'état de sous-sulfate de peroxyde et se précipite, ce qui n'aurait pas lieu si elles n'étaient pas chimiquement neutres. Les recherches de M. Le Châtelier ont montré que les eaux concentrées dans les chaudières ne renferment plus ni *alumine*, ni *peroxyde de fer*, et qu'elles sont chargées de sulfate de protoxyde de fer qui, dans certains cas, n'existait pas dans l'eau d'alimentation. Il en résulte donc qu'en présence du fer métallique qui forme les parois de la chaudière, les sulfates d'alumine et de peroxyde de fer sont décomposés en oxydes qui se précipitent (dans quelques cas il paraîtrait se former des sous-sulfates insolubles), et en acide sulfurique libre qui dissout une quantité correspondante de fer aux dépens des parois de la chaudière, en formant du sulfate de protoxyde de fer. Lorsqu'en outre on alimente avec de l'eau froide qui tient toujours en dissolution une certaine quantité d'oxygène, ce dernier réagit sur le sulfate de protoxyde de fer, et donne lieu à la précipitation d'une proportion correspondante de peroxyde de fer et à la dissolution d'une nouvelle quantité de fer métallique par l'acide sulfurique qui a déjà réagi. On évite ce dernier effet en alimentant avec de l'eau de condensation, ou en chauffant longtemps et fortement l'eau dans une bâche avant de l'introduire dans la chaudière. Les mêmes phénomènes ont lieu dans les chaudières en cuivre laminé, s'il entre du fer dans leur composition.

La destruction des chaudières par l'action des eaux corrosives, indépendamment des dépenses considérables et des pertes de temps qu'elle occasionne, n'ayant pas lieu d'une manière uniforme dans toutes les parties, est une source d'accidents très graves. Le plus souvent, il est vrai, lorsque la tôle n'a pas assez d'épaisseur pour offrir une résistance suffisante, il se fait une petite fente, et la fuite qui se déclare annonce qu'il faut réparer la chaudière; mais il peut arriver que la chaudière soit corrodée de telle façon, qu'une ou plusieurs fentes se fassent à la fois sur une grande longueur, et que le reste de la tôle n'offrant plus assez de résistance, il y ait rupture de la chaudière avec projection de ses parties, sous une tension de la vapeur qui ne serait pas supérieure à la charge des soupapes de sûreté.

Il est facile de voir, en se reportant aux réactions qui ont lieu dans les chaudières, que l'on peut toujours les préserver de l'action corrosive des eaux d'alimentation en neutralisant complétement ces eaux. Cependant, lorsque sur une mine ou sur une carrière dont les eaux seront corrosives, il y aura possibilité, même en faisant une dépense notable de force, d'aller emprunter à une rivière, à un étang, ou même à des puits, des eaux douces exemptes de sels de peroxyde de fer, d'alumine et de sulfate de chaux, on devra toujours se décider à faire les frais d'installation et la consommation de force nécessaire. De même, toutes les fois que l'eau de la mine sera dans toutes les saisons assez abondante pour la condensation, il conviendra d'employer un condenseur fermé, dans lequel la vapeur sera condensée et reprise par la pompe alimentaire pour être renvoyée à la chaudière, quelque complication qu'il doive en résulter par l'installation de grands réservoirs destinés à contenir l'eau servant à la condensation, et de citernes devant recueillir l'eau de pluie nécessaire pour réparer les pertes d'eau et de vapeur. Dans les autres cas, on pourra employer des chaudières de cuivre dans le cas où les eaux formeront peu de dépôts. On met souvent dans ces chaudières une certaine quantité de ferraille, sur laquelle les eaux réagissent de préférence, et qui par conséquent préserve le cuivre; mais, en général, il sera plus économique de se servir de chaudières de tôle, en ayant soin de neutraliser l'action corrosive des eaux. A cet effet, ce qu'il y a de plus économique, est d'introduire dans la chaudière une certaine proportion de craie bien lavée et exempte de sable; cette substance décompose facilement à la température de l'ébullition les sulfates de peroxyde de fer et d'alumine dont elle précipite les bases en formant du sulfate de chaux; en outre, lors de l'ébullition elle se tient en suspension dans l'eau et ne peut rester adhérente aux parois des chaudières et bouilleurs; il est aussi probable que le précipité qui se forme lors de l'emploi de la craie tend à troubler la cristallisation du sulfate de chaux et à donner des dépôts moins tenaces. On emploie également le zinc métallique, qui agit tout à fait de la même manière, seulement il donne lieu à une dépense un peu plus considérable.

Des explosions. Des expériences faites par le comité de Philadelphie, il résulte que la ténacité de la tôle croît de 1/6 à peu près, de 0 à 205° C; mais qu'au-delà elle décroît rapidement, de telle sorte qu'à 715° ou au rouge,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle n'est plus que les 0,30 de la ténacité à zéro. Il y aura donc danger d'explosion toutes les fois qu'une partie des parois d'une chaudière pourra être portée au rouge, ce qui arrivera toutes les fois que l'extérieur étant en contact avec la flamme, l'intérieur le sera avec de la vapeur seulement, par suite d'une alimentation d'eau insuffisante ou d'une mauvaise forme de chaudière. Si alors, par suite de la tension qu'acquiert la vapeur, une soupape vient à s'ouvrir, l'eau de la chaudière éprouve un bouillonnement et est projetée sur les parois rougies, ce qui peut donner lieu à un dégagement subit et trop considérable de vapeur, qui ne pouvant sortir immédiatement par les soupapes de sûreté, quelles que soient leurs dimensions, détermine un excès de pression qui fait rompre la chaudière dans les points portés au rouge où la ténacité est considérablement diminuée. D'ailleurs il est à remarquer qu'il ne sort pas seulement de la vapeur par la soupape, il y a en même temps une très grande proportion d'eau, entraînée à l'état vésiculaire, qui emporte beaucoup moins de chaleur que la vapeur. L'expérience montre que le manomètre monte lorsque l'on ouvre la soupape, et même il y a d'autant plus de chances d'explosion, dans le cas précité, que les soupapes sont plus grandes. Ces phénomènes sont faciles à expliquer : la température intérieure étant supérieure à 100° et la pression de plusieurs atmosphères, lorsqu'une soupape vient à s'ouvrir, la pression diminue d'abord subitement, et une grande partie de l'eau se réduit par suite instantanément en vapeur, tandis que la force vive qu'acquiert par cela même l'eau qui ne s'est pas vaporisée peut être suffisante pour rompre la chaudière, si l'espace intérieur est assez considérable. Si par suite de l'emploi d'eaux corrosives, ou toute autre cause, la ténacité des parois n'offre plus en certains points une résistance convenable, et qu'il se forme une fente ou issue à la vapeur, dans une chaudière à haute pression, il s'ensuivra une explosion par suite de laquelle les parties de la chaudière pourront être projetées à des distances considérables, comme cela est arrivé à Avrillé, près d'Angers, le 27 avril 1839.

La formation de dépôts terreux adhérents aux chaudières est aussi une cause d'explosion ; on conçoit en effet que lorsque ces dépôts ont acquis une certaine épaisseur, la tôle qu'ils recouvrent peut rougir, et par suite faire fendiller ces dépôts et mettre en contact avec l'eau, des parois métalliques portées au rouge.

Enfin, on conçoit qu'une surcharge des soupapes de sûreté, ou une mauvaise construction des chaudières puisse donner également lieu à des explosions. Il est rare cependant, dans ce dernier cas, que l'épreuve à la pompe de pression exigée par les règlements ne fasse pas découvrir les vices de construction.

Nous terminerons enfin cet article par quelques règles *générales que l'on doit suivre dans l'installation des chaudières à vapeur et la conduite du feu.*

On doit toujours disposer les chaudières eu égard au local dont on dispose, de manière à ce qu'elles offrent le moins d'inconvénients possible pour le voisinage. Comme en cas d'explosion, c'est ordinairement dans la direction de l'axe de la chaudière que les fragments sont lancés avec le plus de violence par l'action de la vapeur, on doit, autant que faire se peut, disposer cet axe parallèlement aux murs des habitations ou à la voie publique.

La hauteur minimum des cheminées de chaudières à vapeur est déterminée dans les villes, d'après les localités, de manière à atténuer autant que possible les inconvénients de la fumée pour le voisinage. Toutes choses égales d'ailleurs, il vaut mieux augmenter la section des cheminées que leur hauteur, tant sous le rapport économique que sous celui du tirage. Les cheminées en tôle, quoique beaucoup moins coûteuses à établir que celles en briques, s'usent très rapidement et sont quelquefois emportées par les coups de vent ; en définitive, leur emploi n'est pas à recommander.

On donne ordinairement aux cheminées une section égale à la somme des vides qui existent entre les barreaux de la grille, et qui forment environ le tiers de la surface totale de celle-ci. La section totale de la cheminée est ordinairement 1/25 à 1/30 et la surface totale de la grille 1/8 à 1/10 de la surface de chauffe de la chaudière.

Lorsqu'au lieu de houille grasse pour alimenter le feu, on emploie des houilles sèches, de l'anthracite, de la tourbe ou du bois, on augmente l'épaisseur de la couche de combustible chargé sur la grille, et on place celle-ci à une plus grande distance, en contre-bas de la chaudière ; on diminue en même temps de 1/3 l'espacement des barreaux.

Lors de la mise en feu, le chauffeur commencera par ouvrir le registre de la cheminée ; il ouvrira ensuite les portes du foyer, tisera, découvrira le feu, et chargera du combustible frais sur la grille. Le feu doit être conduit d'une manière égale, afin d'éviter une augmentation de chaleur trop brusque, ou un refroidissement trop rapide. Dans l'un et l'autre cas, les parties de la chaudière exposées à l'action du feu éprouveraient des dilatations inégales, qui pourraient occasionner des déchirures ou des fuites d'eau entre les feuilles de tôle assemblées par des rivets. La mise en feu ne doit donc pas être poussée avec trop de rapidité, surtout quand le foyer a été tout à fait refroidi. Quand le feu est arrivé au degré d'activité convenable, on doit charger le combustible sur la grille à des intervalles réguliers et par quantités à peu près égales.

Si la chaudière, par suite d'une interruption momentanée du travail ou de toute autre cause, doit cesser de fournir de la vapeur, le chauffeur fermera d'abord le registre de la cheminée, et ouvrira immédiatement après les portes du foyer. Si l'interruption se prolonge, il devra, en outre, retirer le combustible de dessous la grille. Si, malgré ces précautions, la tension de la vapeur augmente au point de faire lever les soupapes de sûreté, il soulèvera un peu l'une d'elles, et la maintiendra dans cette position pour donner à la vapeur une libre issue, jusqu'à ce que le mercure soit descendu dans le manomètre, au-dessous du niveau où il se tient habituellement. Un chauffeur qui, dans ces circonstances, calerait ou surchargerait les soupapes pour les empêcher de s'ouvrir, exposerait la chaudière à une explosion, dont il en serait la première victime, comme on en a eu plusieurs exemples.

Lorsque l'heure approche où le jeu de la machine doit être définitivement suspendu, le chauffeur diminuera d'avance les charges de combustible, de façon à maintenir seulement la vapeur au degré de tension strictement nécessaire, et à atteindre la fin de la journée avec une petite quantité de combustible sur la grille. Au moment de la suspension du travail, il couvrira les derniers restes du combustible avec des cendres, fermera ensuite le registre de la cheminée et les portes du foyer, et ne quittera la chaudière qu'après s'être assuré que la pression de la vapeur amenée par le manomètre continue à diminuer.

Comme il est de la plus haute importance que le niveau de l'eau soit maintenu, dans la chaudière à une hauteur à peu près constante, et toujours supérieure aux conduits ou carneaux de la flamme et de la fumée, le chauffeur devra examiner très fréquemment les indicateurs du niveau de l'eau, s'assurer de leur bon état, et régler, d'après leurs indications, le jeu de l'appareil alimentaire. Un dérangement qui serait survenu dans cet appareil se manifestera aux yeux d'un chauffeur attentif, bien avant qu'il ait pu donner lieu à un accident. Ce dérangement reconnu, le chauffeur doit remettre l'appareil en ordre, en arrêtant, au besoin, le jeu de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machine; en agissant autrement il mettrait la chaudière en danger. Si, malgré toutes les précautions ci-dessus, le chauffeur, trompé par des appareils indicateurs, qui seraient défectueux à son insu, venait à reconnaître que l'eau est descendue accidentellement dans la chaudière au-dessous du niveau supérieur des carneaux, il devrait immédiatement fermer le registre de la cheminée et ouvrir les portes du foyer, afin de ralentir l'activité de la combustion et faire tomber la flamme; il se garderait bien de soulever les soupapes de sûreté et maintiendrait les portes du foyer ouvertes, jusqu'à ce que le jeu de l'appareil alimentaire eût fait remonter l'eau dans la chaudière à son niveau habituel, tracé sur le parement extérieur du fourneau, et qui doit être au moins d'un décimètre au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée. P. DEBETTE.

CHAUDRONNERIE. La chaudronnerie est l'art de confectionner les vases métalliques destinés au chauffage des corps, ou pour mieux dire on comprend sous le nom de chaudronnerie le travail de tous les métaux en feuilles, soit qu'il s'applique à la confection de vases divers dont a besoin la grande industrie ou l'économie domestique, soit à la confection d'une foule de produits que l'on fabrique avantageusement en employant des feuilles métalliques et surtout la tôle de fer. On peut diviser les procédés employés en trois classes :

1° Ceux où la forme est donnée par estampage au balancier et matrices successives. Ce sont ces procédés d'emboutissage qui servent exclusivement à la fabrication des ustensiles en FER BATTU (voyez ce mot), et dans nombre d'industries; nous en traitons dans divers articles (voyez notamment BANC A TIRER). Dans ce dernier article, le banc à repousser de M. Palmer qui y est décrit constitue essentiellement un mode d'emboutissage sans choc, mais sauf cette différence est de même nature que les procédés que nous rangeons dans cette division.

2° Ceux qui ont pour base le travail au marteau, à l'aide d'outils simples et peu nombreux, et où les pièces sont réunies par soudure. Telle est la chaudronnerie de cuivre qui sert à la confection de presque tous les ustensiles de cuisine. Nous l'appellerons la *petite chaudronnerie;*

3° Ceux qui ont pour cachet la réunion des pièces par rivets et qui s'appliquent surtout à la confection des chaudières à vapeur, fabriquées en général en forte tôle. Ils constituent les procédés de la *grosse chaudronnerie,*

PETITE CHAUDRONNERIE. Le cuivre rouge, qui est le plus souvent employé, est un métal très bon conducteur de la chaleur. Il est trop mou quand il n'a pas été écroui par un martelage, par un battage en froid sur une enclume; cette condition est remplie tout naturellement par le travail, puisque c'est en profitant de la malléabilité du cuivre qu'on lui donne par le martelage les formes voulues.

L'opération la plus difficile du chaudronnier, celle dans laquelle excellent quelques habiles ouvriers, est l'opération de la *retreinte* ou du *retreint*. Elle a pour but de façonner avec le marteau une plaque de cuivre, de manière à lui faire prendre une forme concave sans soudure. On *emboutit* d'abord la plaque en frappant au milieu, sur un tas, avec un marteau à tête ronde. Quand le métal a pris de la dureté, on le *recuit* en le faisant rougir au feu, puis on laisse refroidir. On réitère cette opération autant de fois qu'il est nécessaire. Lorsque la plaque a été suffisamment emboutie par ce travail, on pose la partie concave sur une bigorne ronde et l'on frappe en dehors, afin d'étendre le cuivre en ménageant toujours les bords.

Il faut éviter de laisser tomber le marteau plusieurs fois sur la même place; il vaut mieux, à chaque coup de marteau, faire tourner tant soit peu le vaisseau. En laissant tomber le marteau trop souvent à la même place, on risque de la voir bomber en travaillant la place suivante, parce que le cuivre sera devenu trop dur, aura perdu toute malléabilité. A chaque tour on doit obtenir une surface bien planée, bien unie, ce qui a lieu seulement quand tous les coups de marteau ont porté bien également; sinon, au second tour, cette surface se déformera. C'est le seul moyen d'éviter les plis, les déchirures du cuivre, qu'on s'efforce, quand il y a lieu, de cacher à l'aide de la soudure, ce qui ne donne jamais qu'une pièce défectueuse et sans valeur.

Bien que par la retreinte on puisse faire en cuivre rouge (ou en autres métaux malléables, car le procédé est le même pour la fabrication de bien des pièces d'ORFÉVRERIE) des pièces de formes assez compliquées, cependant il est plus simple et plus économique d'assembler diverses parties par soudure.

Pour l'opérer, on découpe les bords qu'on veut joindre en tenons et mortaises, avec le soin convenable pour qu'après avoir soudé ces bords l'épaisseur soit partout de même. Ensuite on joint les bords et on les lie pour les maintenir momentanément ensemble; on couvre les joints avec du borax mouillé et l'on dispose du côté intérieur les grains de soudure. On expose à un coup de feu, la soudure fond et coule dans les interstices. La pièce est alors aussi solide que si on l'avait retreinte. C'est en opérant comme nous venons de le dire qu'on rapporte un fond circulaire sur une partie cylindrique, opération qu'il faut répéter pour la fabrication de presque tous les vases culinaires.

Nous avons supposé dans ce qui précède qu'il s'agissait d'appliquer la soudure forté, qui permet de forger les pièces soudées comme si elles étaient d'un seul morceau. Cette soudure est ordinairement formée de huit parties de laiton et une partie de zinc. Voici comment on la prépare : on fait fondre le laiton dans un creuset et l'on y jette le zinc chauffé; on agite le mélange et on le verse sur un balai de bouleau qu'on tient au-dessus d'un vase d'eau. Cette soudure en grenaille est fusible et très malléable.

On peut augmenter la proportion de cuivre qui entre dans cette soudure; elle devient d'autant plus forte et moins fusible. On peut aller jusqu'à 16 parties de cuivre pour 1 partie de zinc.

Pour les soudures qui ne nécessitent pas une grande résistance on se contente de la soudure tendre, c'est-à-dire de la soudure ordinaire des plombiers, composée de plomb et d'étain, dont on fait varier les proportions en raison de l'ouvrage à exécuter. Les bords à réunir, préalablement décapés et étamés, sont réunis et la soudure appliquée très rapidement à l'aide d'un soudoir. Le travail est le même que celui des ferblantiers, qui réunissent les pièces grâce à la facile adhésion de la soudure avec l'étain qui recouvre la surface du fer-blanc.

Nous ne dirons rien ici de la grosse chaudronnerie de cuivre, qui emploie des outils plus puissants que le marteau mû à la main; nous en traitons à la fin de l'article GROSSE CHAUDRONNERIE, qui va suivre. Nous ajouterons seulement un détail au sujet de la fabrication des tubes de locomotives, dont nous donnons plus loin la description. Elle se rapporte à la manière de disposer la soudure sur une longueur aussi grande que celle d'un tube de locomotive.

On prend une petite gouttière demi-ronde, de 15 millimètres de diamètre environ et de la longueur du tube à souder; on la remplit rase de soudure forte préalablement baignée dans de l'eau. Cela fait, on recouvre cette soudure d'une couche de borax en poudre, puis on introduit la gouttière dans le tube, de manière que son milieu corresponde à la ligne de réunion des bords.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand la gouttière est introduite on la retourne, et ce qu'elle contenait se dépose sur les faces à réunir, le borax en dessous et la soudure en dessus.

Il ne reste plus qu'à porter le tuyau dans un feu de forge et à le faire avancer progressivement à mesure que la soudure fond.

On fabrique depuis quelque temps avec assez de succès des tubes en cuivre jaune, non soudés, d'une seule pièce. Ces tubes, excellents quand le travail a été conduit avec assez de soin pour que le métal ne soit pas déchiré, se fabriquent directement avec des bancs-à-tirer très puissants, en partant d'une masse de laiton fondue d'une assez grande longueur et percée en son centre suivant le sens de la longueur.

Nous nous trouvons encore ramenés de la chaudronnerie à l'emboutissage, et en effet la chaudronnerie n'est en réalité, comme nous l'avons dit en commençant, que l'emploi du marteau pour utiliser la ductilité, la malléabilité des métaux.

On voit par ce qui précède que la simplicité des moyens de fabrication rend bien compte de ce fait que la petite chaudronnerie s'exerce dans de petits ateliers, où le plus souvent la vente au détail et la fabrication sont réunies dans les mêmes mains. Cela n'empêche pas le travail de l'artisan de pouvoir quelquefois être extrêmement remarquable; ses procédés sont exactement ceux avec lesquels des artistes orfévres ont exécuté des chefs-d'œuvre en *repoussé*. L.

GROSSE CHAUDRONNARIE. Passons maintenant à la grosse chaudronnerie, à celle qui traite de la fabrication de ces puissants appareils sans lesquels seraient impossibles les merveilleux développements de la grande industrie et la création des gigantesques appareils à vapeur, dont la puissance croît à mesure que les moyens de les produire se perfectionnent.

La grande chaudronnerie, celle dont nous avons à parler, s'exerce principalement sur le fer, le cuivre, le platine et le plomb : ces deux derniers métaux ne sont cependant pas employés d'une manière générale, l'un à cause de l'élévation de son prix, l'autre en raison de son peu de résistance. Les chaudières ou vases de platine ne servent que dans la préparation de certains produits chimiques; la confection des chambres ou réservoirs de plomb employés dans des cas analogues ne constitue pas une industrie spéciale : c'est donc au sujet du platine, et aux divers articles relatifs aux préparations chimiques, que nous nous occuperons de la disposition et de la fabrication des grands récipients en platine ou en plomb.

Notre but est de traiter spécialement ici de la chaudronnerie de fer, ou en d'autres termes de l'emploi de la tôle principalement en ce qui est relatif à la construction des chaudières à vapeur; nous parlerons ensuite de la chaudronnerie de cuivre.

La première condition à remplir pour faire de bons ouvrages en tôle, c'est d'employer des matières premières qui satisfassent le mieux possible aux usages auxquels on les destine. Il ne suffit cependant pas que la tôle soit de nature à résister aux efforts qu'elle aura à supporter dans l'objet fabriqué, qu'une chaudière à vapeur, par exemple, ne se déchire pas par l'action de la pression à laquelle elle sera soumise; il faut, surtout et avant toutes choses, que la matière supporte sans altération toutes les opérations qu'elle a à subir pour être mise en œuvre.

Les tôles doivent se traiter facilement à chaud, et surtout ne pas être cassantes à froid; il faut qu'elles soient à la fois tenaces et flexibles. — Les fers forts et durs conviennent, en général, pour les tôles fortes ou moyennes, tandis que les tôles minces réclament l'emploi des fers les plus doux. En France, ces dernières se font presque toujours en fers affinés au charbon de bois; pour les autres, on emploie indifféremment des fers puddlés ou affinés; mais les seconds sont toujours préférés par les fabricants de chaudronnerie et se vendent à un prix plus élevé.

Les tôles minces et les tôles moyennes de petites dimensions se font généralement sans corroyage; les grandes tôles et les tôles épaisses ne peuvent au contraire être fabriquées qu'en fer corroyé, c'est-à-dire qu'elles sont composées de plusieurs pièces affinées séparément et réunies par des soudures.

Les tôles, même celles qui sont composées de fer d'excellente qualité, puisent une grande partie de leurs défauts dans les imperfections de ce dernier mode de fabrication. Les tôles *mal soudées* se rencontrent très fréquemment dans le commerce, et c'est assurément l'un des vices qui nuisent le plus à leur emploi : non seulement elles ne présentent pas à l'usage toute la résistance que l'on est en droit d'attendre de leur épaisseur, mais elles supportent même fort mal les épreuves de leur mise en œuvre. Un fabricant de chaudronnerie doit donc s'attacher par dessus tout à avoir des tôles parfaitement soudées : la bonté de son travail, l'économie de sa fabrication et la belle apparence de ses produits dépendent en grande partie de l'existence de cette qualité dans les matières qu'il emploie.

Nous n'attachons pas une importance aussi grande à la distinction que l'on établit entre les *tôles puddlées* et celles en *fer affiné*. La différence de qualité qui existe entre ces deux genres de produits est cependant un fait que nous ne voulons pas nier; mais s'il subsiste, la cause doit évidemment en être plutôt attribuée à l'imperfection des procédés de fabrication qu'à la supériorité de l'un des moyens d'affinage sur l'autre : cette supériorité pourrait certainement être contre-balancée par le traitement ultérieur du métal, et l'on doit reconnaître que l'industrie du fer fait chaque jour de grands progrès dans cette voie.

Les tôles sont livrées au commerce en feuilles rectangulaires de dimensions très variables, et fort souvent au-dessous des besoins des grandes constructions de chaudières, bateaux, etc. Le travail de la chaudronnerie pourrait être souvent simplifié si les forges livraient aux ateliers des produits mieux appropriés aux exigences de la construction : ce fait tient en grande partie à l'imperfection et à la faiblesse des appareils de fabrication employés dans les usines à fer : elles ont évidemment un progrès à faire sous ce rapport, et nous hésitons d'autant moins à leur en signaler l'urgence que nous avons la conviction qu'elles y trouveraient une nouvelle source de bénéfices.

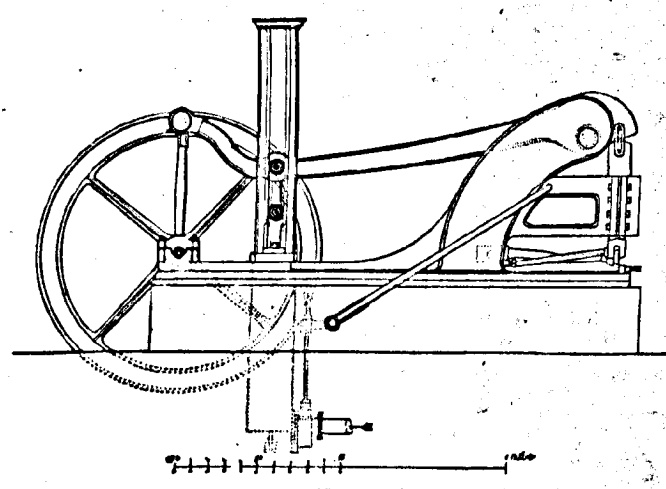
Les différentes observations que nous venons de présenter sur la qualité des tôles et sur leurs dimensions, tendent à prouver que cette fabrication n'est pas aujourd'hui très avancée : elle demande à être perfectionnée pour satisfaire d'une manière plus complète aux exigences si variées de la construction des machines.

Les ouvrages de chaudronnerie étant composés de feuilles de tôle assemblées entre elles par des rivets, ces feuilles doivent être coupées, percées, courbées et clouées de manière à prendre des dimensions et des formes en harmonie avec la position qu'on leur destine dans l'appareil dont elles font partie. Jusqu'à ces derniers temps, et avant le grand développement que la construction des chaudières à vapeur et des bateaux en fer a imprimé aux travaux de la chaudronnerie, ces opérations s'exécutaient avec des outils fort imparfaits, et tout à fait au-dessous des progrès de la mécanique. Il n'en est plus de même aujourd'hui; grâce aux efforts de quelques fabricants éclairés, cette industrie se perfectionne chaque jour; les outils mécaniques viennent peu à peu remplacer le travail manuel des ouvriers, et la perfection des produits est la conséquence immédiate de cette lente et difficile transformation des méthodes de travail.

L'art de la chaudronnerie n'était pas il y a quelques

EFERUS - Recherche & Classification numérique

années beaucoup plus avancé en Angleterre qu'en France ; depuis cette époque nous avons fait de grands progrès, et les outils de quelques-uns de nos fabricants nous paraissent même supérieurs à ceux de leurs concurrents anglais : M. *Lemaître*, fabricant de chaudières à la Chapelle-Saint-Denis, auquel nous devons la communication des différents outils dont nous allons donner la description, et auquel nous sommes heureux de pouvoir témoigner ici toute notre gratitude pour l'extrême obligeance avec laquelle il nous a accueilli, est un de ceux qui ont pris le plus à cœur la substitution du travail mécanique au travail manuel, et la bonté de ses produits, est une preuve évidente de la perfection des appareils qu'il a imaginés, et de la commodité de leur emploi. Tous les outils de M. Lemaître sont basés sur le principe de l'*emploi direct de la pression de la vapeur*. Ce principe que M. Cavé a le premier appliqué à la mise en mouvement des machines à percer et à cisailler, présente de grands avantages dans tous les outils à travail intermittent, surtout lorsque les pièces soumises à leur action sont difficiles à manier, et doivent lui être présentées dans certaines positions qui varient à chaque instant suivant la nature du travail. Dans une machine à percer, par exemple, il est évident que l'outil ne doit agir que lorsque le poinçon se trouve parfaitement au-dessus du point marqué sur la tôle; il faut donc que l'ouvrier ait le temps de placer convenablement sa pièce : c'est ce qui a lieu avec un appareil à action directe, tandis qu'avec un mouvement continu, il lui serait souvent difficile de faire arriver la tôle sous le poinçon, juste au moment où le coup va être donné.



434.

L'emploi de l'action directe de la vapeur reçoit d'ailleurs chaque jour de nouvelles applications, et celle qui en a été faite par M. Bourdon du Creuzot, au soulèvement des marteaux, est une nouvelle preuve des bons effets que l'on peut en obtenir.

L'ordre généralement suivi par le fabricant de chaudronnerie dans la série de ses opérations est le suivant :

1° Faire le tracé de l'appareil qu'il veut construire, et déterminer la véritable grandeur de toutes les pièces qui doivent y figurer;

2° Découper ses feuilles d'après les épreuves ou les patrons qu'il a établis;

3° Percer ces mêmes feuilles suivant les indications tracées sur la pièce.

4° Donner aux feuilles la forme qu'elles doivent affecter dans l'appareil : dans certains cas, le cintrage s'exécute avant le percement des traces de rivets;

5° Assembler les différentes feuilles et les clouer avec les rivets préparés à l'avance;

6° Enfin, garnir l'appareil de tous ses accessoires, en fonte, fer ou cuivre; le soumettre aux épreuves de la réception; vernir les tôles, etc.

Nous n'avons point à entrer ici dans le détail du *tracé des épures* : ce genre de travail s'exécute sur un plancher convenablement disposé et ne présente de difficultés qu'en ce qui concerne l'arrangement des feuilles de tôle; il faut chercher à les disposer avec symétrie, tâcher d'avoir le moindre déchet possible, placer convenablement les lignes de rivets, et s'attacher aussi à éviter la multiplicité des modèles ou patrons. Il est impossible d'indiquer à cet égard une méthode générale; la manière de procéder dépend non seulement de la forme de l'appareil, mais encore et surtout de la dimension des tôles dont on dispose, de la nature des outils que l'on emploie; en un mot le talent de l'opérateur consiste à rendre le travail aussi facile et aussi économique que possible, et chacun suit à cet égard les inspirations de son intelligence ou les données de sa propre expérience.

Quand les patrons sont déterminés, on en reporte le tracé sur les feuilles, qu'on livre alors aux *cisailleurs* chargés de les découper. Nous donnons ici (fig. 434) le croquis de la cisaille employée pour cet objet.

Cette machine se compose comme il suit :

1° Une semelle en fonte portant un support recourbé à l'avant, et présentant en ce point la forme d'une fourchette traversée par un axe; à l'avant de la semelle se trouve la lame fixe de la cisaille; à l'arrière est un cylindre à vapeur;

2° Un levier engagé par son extrémité antérieure entre les deux branches du support est susceptible de se mouvoir autour de l'axe qui le traverse et le maintient; à la tête du levier se rattache, par deux chapes, une forte tige en fer se mouvant verticalement entre des guides fixés au bâti et portant à son extrémité inférieure la seconde lame de la cisaille. Lorsque la tête du levier descend, elle appuie sur la tige, et fait descendre la lame qui tranche la pièce de tôle qu'on lui présente.

Le levier est rattaché à sa partie postérieure, d'abord à la tige du piston du cylindre à vapeur, puis à une manivelle forgée avec un arbre horizontal portant un petit volant et se mouvant sur des paliers venus à la semelle du bâti;

3° Le cylindre à vapeur est à simple effet; il est facile de voir qu'en introduisant la vapeur sous le piston, ce dernier se soulève, enlève la partie postérieure du levier, fait baisser la tête et descendre la lame supérieure de la cisaille; la manivelle ne sert ici qu'à limiter la course du piston;

4° L'accessoire indispensable de cet appareil est une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

table en fonte située à la hauteur du bâti sur laquelle on fixe les feuilles à rogner. Cette table est portée sur un cadre à glissière et peut, au moyen d'une crémaillère qui engrène avec un pignon dont l'arbre est muni d'une petite manivelle, se mouvoir horizontalement et parallèlement aux lames de la cisaille. C'est par ce moyen que l'on présente successivement à l'action de l'outil les parties qui doivent être tranchées.

Quand les feuilles doivent être coupées circulairement, on fixe la feuille sur la table par une extrémité seulement, et on rattache l'autre bord à un système de petits leviers dont l'action combinée avec le mouvement rectiligne de la table, tend à faire décrire à la pièce un mouvement circulaire en harmonie avec la forme de la courbe, suivant laquelle elle doit être cisaillée.

Le mode d'attache de la lame supérieure avec la tige verticale présente, dans la figure ci-dessus, une disposition particulière, mais elle n'a pas donné les résultats satisfaisants que l'on en attendait, et elle a été abandonnée. La lame doit être simplement fixée avec la plus grande solidité possible à l'extrémité de la tige; c'est le seul moyen d'obtenir un travail parfaitement régulier.

Quand les feuilles sont découpées, on trace la place que doivent occuper les rivets; en général, les trous sont percés à un diamètre double de l'épaisseur de la tôle et espacés les uns des autres d'une quantité égale à trois fois leur diamètre. On laisse entre l'axe du trou et l'arête supérieure du chanfrein, que présente la feuille de tôle à son extrémité, une distance égale à une fois et demie l'épaisseur du rivet. Le chanfrein qu'on laisse sur l'extrémité visible de chaque feuille donne aux objets fabriqués une meilleure apparence. Il suffit, pour cisailler en chanfrein, de donner à la lame fixe la forme d'un plan incliné, et de présenter les tôles parallèlement à cette face.

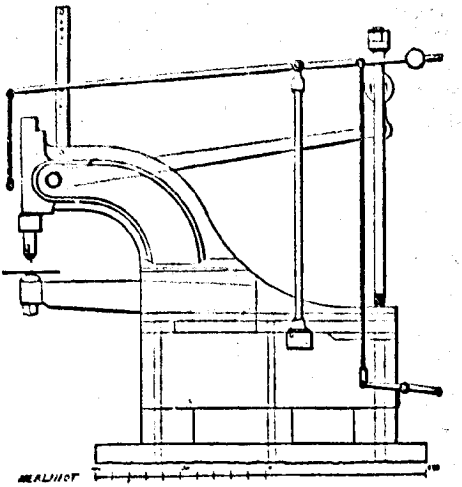
Les trous que l'on perce dans la tôle sont quelquefois tout à fait cylindriques, mais il vaut mieux leur donner une *forme conique*, de telle sorte que le rivet mis en place présente la forme de deux troncs de cône adossés par leur petite base, qui doit se trouver à la ligne de jonction des deux feuilles. Cette forme concourt, avec les deux têtes du rivet, à assurer le serrage des deux pièces, et permet au rivet de produire encore son effet, alors même que ces têtes auraient été enlevées.

Pour percer des trous légèrement coniques, il suffit d'ailleurs que la matrice, sur laquelle est placée la feuille, présente un diamètre un peu plus fort que le poinçon qui perce le trou. Le fer enlevé présente alors la forme d'un tronc de cône qui laisse dans la feuille un vide de même forme.

Les machines à percer sont disposées de la même manière que la cisaille dont nous avons donné la description. La lame inférieure est remplacée par une matrice, et la lame supérieure par un poinçon; seulement on se dispense de limiter la course du piston au moyen d'une manivelle, parce qu'elle est naturellement déterminée par la longueur du poinçon, dont l'embase supérieure vient buter contre les bords du trou quand ce dernier est percé.

Les feuilles de tôle sont d'ailleurs portées sur un chariot mobile, absolument comme pour le cisaillage.

D'après cette disposition, on conçoit que le peu de place qui existe entre l'axe du poinçon et le bâti de l'appareil ne permet de percer des trous que sur le bord des feuilles, et il se présente des cas dans lesquels il faut procéder différemment. L'outil dont nous donnons un croquis (fig. 435) a pour but de satisfaire à ces nécessités. La matrice fixée à l'extrémité d'une pièce rigide, est située à 0m,65 du bâti, de sorte que l'on peut engager la feuille de tôle de 0m,65 sous l'appareil, et percer des trous à cette distance du bord; ce but n'est cependant pas le motif principal de la forme que l'on a adoptée; elle l'a surtout été en vue de percer des tôles déjà cintrées que l'on présente à la machine suivant l'axe de leur courbure.



435.

Supposons, par exemple, qu'après avoir percé les trous de rivets sur l'un des bords d'une feuille, cette feuille soit pliée pour en faire rejoindre les deux extrémités, dont l'une n'est pas encore percée: on engagera ce cylindre sur le porte-matrice et on pourra en donnant une longueur suffisante au poinçon, percer les trous du bord intérieur à travers ceux du bord extérieur.

La disposition de l'outil est évidemment d'une grande utilité, car, en pliant la tôle pour en faire un cylindre après avoir percé les deux lignes de trous parallèles, il est difficile, avec quelque soin que l'on opère, que tous ces trous se retrouvent après le pliage parfaitement au droit les uns des autres; il faut donc les ramener par force au fur et à mesure que l'on opère la rivure, au moyen d'un mandrin conique en acier que l'on enfonce à coups de marteau dans les deux trous qui doivent se correspondre, et qui, en étirant la tôle d'un côté, en la comprimant de l'autre, finit par opérer la correspondance des deux ouvertures.

Cette manière d'opérer, qui d'ailleurs est la plus générale, a évidemment des inconvénients que tout le monde peut facilement apprécier, et il est préférable, sous tous les rapports, de percer la seconde ligne de trous après le pliage et à travers les trous existants. De cette manière, leur parfaite coïncidence est toute naturelle; et l'importante opération de la rivure ne s'en opère qu'avec plus de facilité et de précision.

La longueur du porte-matrice n'est pas suffisante dans cette machine pour satisfaire à tous les cas de la pratique, puisqu'il n'a que 0m,65; mais on trouvera dans la machine à river, dont nous allons bientôt parler, une disposition supplémentaire qui permet de la faire fonctionner comme machine à percer, pouvant opérer sur des pièces de plus de 2m,50 de longueur.

Le *cintrage des feuilles de tôle*, qui ne sont pas employées droites, dépend tout à fait de la nature des courbes qu'elles doivent affecter. Quand elles sont irrégulières, on coule des formes en fonte sur lesquelles on applique la tôle à chaud en la battant au marteau.

C'est par un procédé analogue que l'on emboutit les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDRONNERIE.

calottes sphériques qui terminent les chaudières cylindriques ; cette opération demande à être exécutée avec beaucoup de précaution, parce qu'elle a presque toujours pour résultat de produire des pièces d'inégale épaisseur, attendu que la matière se refoule du centre à la circonférence. Il existe des *machines à emboutir*, mais en général elles sont peu employées, et ce travail s'exécute presque toujours à la main. Les machines de ce genre, que nous avons vues en Angleterre, se composent :

1° D'une matrice concave en fonte, fixée entre deux montants en fonte, reliés à leur partie supérieure par une traverse horizontale de même nature.

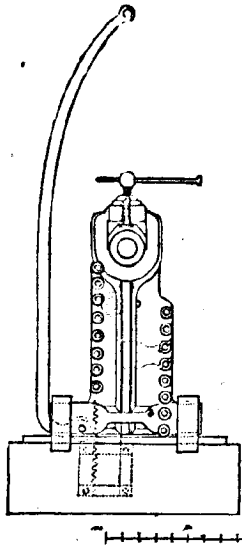
2° La traverse supérieure, ou chapeau, est traversée par une forte vis en fer portant à son extrémité inférieure un mandrin en fonte ou en fer d'une forme convexe semblable à celle de la matrice.

Cette vis pouvant être mise en mouvement au moyen d'une machine, on présente la feuille de tôle convenablement chauffée entre la matrice et le mandrin, on fait descendre ce dernier, et la tôle est obligée de se courber suivant la forme affectée par la matrice.

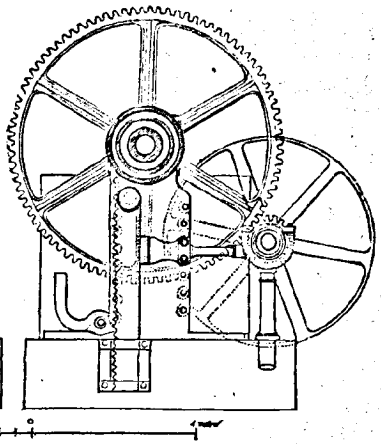
Ces mêmes machines servent également à donner aux pièces de tôle toutes les formes réclamées par les besoins de la construction ; pour cintrer des tôles à chaudières cylindriques, par exemple, on conçoit qu'il suffit de donner à la matrice la forme d'un demi-cylindre creux, tandis que le mandrin est disposé de manière à s'y emboîter exactement. Au lieu de courber les tôles dans des formes concaves, il est préférable, suivant beaucoup de praticiens, de les plier sur des formes convexes, ou en d'autres termes de les *refreindre* ; en opérant ainsi, on peut conserver à la feuille une épaisseur uniforme sur tous les points, et on altère beaucoup moins la texture du métal. Ce procédé est d'ailleurs très fréquemment employé dans la chaudronnerie.

Dans toutes ces opérations, il est indispensable que la tôle soit convenablement chauffée avant d'être soumise à l'action mécanique qui doit modifier sa forme ; ce réchauffage se pratique dans des espèces de fours dormants chauffés à la houille, et doit être d'autant plus énergique que l'on opère sur des tôles plus épaisses ou de moindre qualité ; les tôles très douces peuvent en effet se travailler à un faible degré de chaleur, tandis que les autres ne peuvent être traitées qu'au rouge cerise, sous peine de les voir se gercer et se fendre, ce qui les met hors d'emploi.

Nous donnons ici (fig. 436 et 437) le croquis de la *machine à cintrer*, employée chez M. Lemaître ; elle fonctionne parfaitement bien ; les tôles que l'on soumet à son action sont chauffées au four, quand elles sont épaisses ; lorsqu'elles sont minces, on les échauffe légèrement dans une boîte en fonte où l'on fait arriver un jet de vapeur.



436.



437.

Cette machine se compose comme il suit :

1° Deux bâtis en fonte portant des paliers dans lesquels se meuvent les tourillons du cylindre, sur lequel doivent s'enrouler les feuilles de tôle. L'un de ces bâtis sert en même temps de point d'appui aux engrenages qui communiquent le mouvement à l'appareil.

2° Un cylindre en fonte un peu plus long que les feuilles à courber, et d'un diamètre égal à celui du cercle suivant lequel elles doivent être pliées.

3° Une barre de fer rectangulaire placée sous le cylindre, et rattachée à ses extrémités par deux chapes qui la rendent solidaire de la première pièce. C'est entre cette barre et le cylindre que l'on engage les feuilles, et qu'on les fixe solidement au moyen des chapes à coins et à vis que nous venons de mentionner.

4° Un autre cylindre en fonte parallèle au premier est soutenu un peu à l'arrière, au moyen de deux crémaillères verticales situées près des bâtis.

Ces crémaillères sont susceptibles de se mouvoir verticalement au moyen d'un levier denté qui se manœuvre à la main ; cette disposition sert à rapprocher ou à écarter à volonté le cylindre inférieur du cylindre mobile dans les différentes périodes de l'opération ; voici d'ailleurs comment on procède.

La feuille de tôle est enlevée par son milieu au moyen d'une potence, et le bord en est engagé entre le cylindre plieur et la barre de fer inférieure, en ayant soin de le placer bien parallèlement à l'axe de la machine. On serre alors les chapes avec force, et on fixe solidement la feuille de tôle entre le cylindre et la barre. Au moyen des leviers dentés qui agissent sur les supports du rouleau, on relève ce dernier de manière à l'appuyer fortement sous la feuille pour le forcer à se coller contre le cylindre. On fixe les leviers pour qu'ils ne se dérangent plus, et on donne le mouvement à la machine : la tôle, entraînée par le mouvement du cylindre et constamment serrée contre sa circonférence par l'action du rouleau, s'applique parfaitement contre sa surface, en prend exactement la forme et la conserve.

Quand l'autre bord de la feuille, par suite du mouvement du cylindre, a échappé le rouleau, on arrête la machine, on baisse le rouleau, on desserre les chapes et la barre qu'elles maintiennent ; puis on en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ève la pièce et l'on procède à une nouvelle opération.

On voit qu'avec cette machine, la tôle prend exactement la forme du cylindre sur lequel elle s'applique, et que par conséquent il faut changer ce cylindre suivant la courbure que l'on veut donner aux feuilles. Il existe d'autres machines à cintrer composées de trois cylindres parallèles et disposés de telle sorte, qu'en réglant convenablement leur écartement respectif, on peut obtenir des courbures de rayons variés, mais l'expérience a prouvé que le résultat de leur travail n'est jamais aussi bon que celui de l'appareil que nous avons décrit. En effet, c'est toujours par tâtonnements que l'on règle l'écartement relatif des trois cylindres, et il est fort rare que l'on arrive à produire exactement le diamètre voulu ; toutefois, et entre les mains d'ouvriers qui s'en servent continuellement, ces machines peuvent encore donner de bons produits, et on les emploie assez fréquemment ; mais il est certain que leur action ne peut jamais être aussi sûre et aussi régulière que celle qui résulte de l'emploi d'un cylindre d'une courbure précisément égale à celle que l'on veut donner à la tôle.

Les différentes opérations dont nous venons de nous occuper sont celles qui précèdent l'*assemblage des tôles* entre elles, ou avec d'autres pièces de fonte ou de fer. Ces pièces supplémentaires sont employées dans tous les cas où il serait trop difficile de donner à la tôle elle même les formes auxquelles on est obligé de se conformer ; jamais, par exemple, on ne coude les tôles à angle droit, parce qu'elles perdraient de leur solidité ; les feuilles sont assemblées, dans ce cas, sur des fers d'angles ou *fers à cornières*, que l'on fabrique spécialement pour cet objet dans les forges à laminoirs.

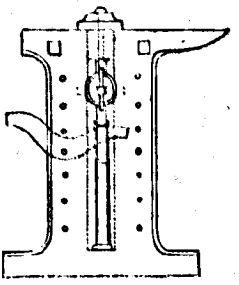
De même, quand il s'agit de donner de la rigidité à de grandes surfaces, on assemble de distance en distance les feuilles de tôle sur des fers dont la section présente la forme d'un T, ou sur *deux fers à cornières* accolés sur l'une de leurs faces, ce qui produit le même effet.

Tous les assemblages de chaudronnerie s'exécutent, comme nous l'avons déjà dit, au moyen de rivets ou clous à deux têtes posés à chaud, et dont le refroidissement opère sur les pièces à réunir un serrage excessivement énergique. Les *rivets* doivent être faits en fer doux et nerveux se travaillant bien à chaud et non cassant à froid : ils se fabriquent comme les clous, mais on emploie avec avantage le petit appareil suivant :

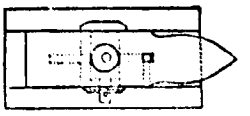
Cet appareil (fig. 438, 439, 440) se compose d'une masse en fonte de 0m,60 à 0m,70 de hauteur, évidé dans le milieu et présentant à sa partie supérieure la forme d'une enclume ordinaire, tandis que l'extrémité inférieure se termine par un empâtement qui repose sur une chabotte en bois. Le vide ménagé au milieu de la masse est occupé : 1° par la clouière dans laquelle on engage la tringle en fer qui forme le rivet ; 2° par une tige en fer appuyée par sa base sur le socle de l'enclume, et portant à son extrémité supérieure une douille au fond de laquelle vient s'appuyer le bout du rivet ; 3° par un levier qui prend son point d'appui sur l'enclume même, et dont une extrémité est engagée dans une fourchette disposée sur le milieu de la tringle.

On voit facilement qu'après avoir forgé la tête du rivet, il suffit d'appuyer sur le levier pour soulever la tringle, et par conséquent pour faire sortir le rivet de la clouière : cette disposition accélère beaucoup le travail.

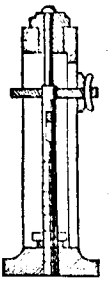
On change la clouière et la tringle à douille suivant le diamètre et la longueur des rivets que l'on fabrique : cet outil convient également au forgeage des boulons de diverses longueurs ; il suffit d'avoir une douille d'une longueur suffisante, les trous ménagés sur les deux faces de l'enclume permettant de placer le levier à la hauteur voulue par la longueur du boulon.



438.



439.



440.

La disposition de cet appareil rend la fabrication des rivets très régulière et très rapide ; cependant on peut aussi les faire par un *procédé mécanique*, et nous croyons devoir donner à la page suivante (figure 444) le croquis de la machine que M. Lemaître emploie pour cet objet.

Cette machine est disposée dans le genre des machines à percer et fonctionne de la même manière. Sur le bâti de la machine on a disposé une pièce de fonte circulaire, mobile autour de son axe et portant à sa circonférence une série de matrices que l'on peut faire passer successivement sous la bouterolle engagée dans la partie mobile de l'appareil : cette auge en fonte est remplie d'eau afin qu'elle ne s'échauffe pas trop vite.

Le jeu de cette machine est facile à concevoir : après avoir placé le rivet dont on veut faire la tête dans une des matrices, on l'amène sous l'outil que l'on fait agir immédiatement et qui d'un seul coup forme la tête du rivet : pendant ce temps on a placé d'autres rivets dans les matrices et on les amène successivement sous l'outil, tandis qu'au moyen du levier disposé sous le bâti, les rivets déjà terminés sortent immédiatement de leur forme.

Cet appareil peut, comme on le voit, fonctionner avec une grande rapidité, et donner des produits d'une forme parfaitement régulière.

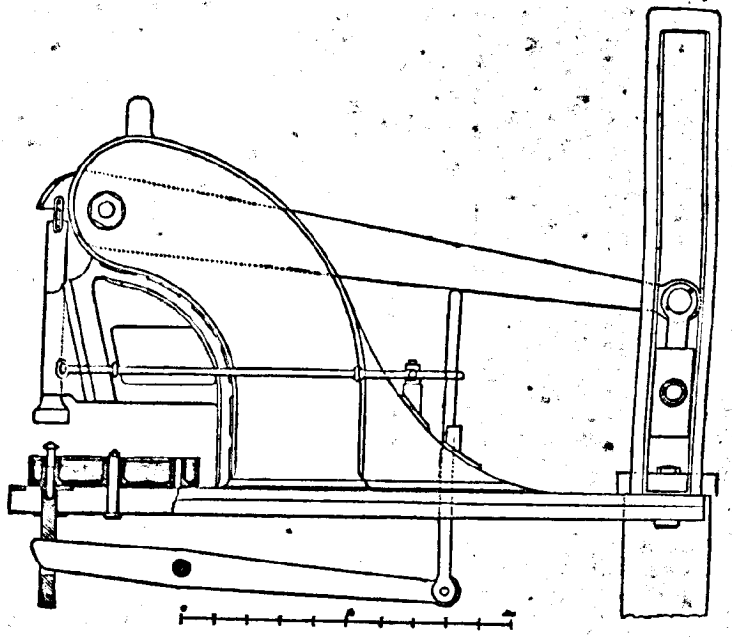
Les différentes opérations que nous venons de mentionner, telles que le cisaillage et le cintrage des pièces, le percement des trous et la fabrication des rivets exercent évidemment une grande influence sur le résultat définitif du travail ; mais l'assemblage des pièces et la pose des rivets est assurément celle qui exige le plus de soin et qui demande à être exécutée avec le plus de perfection, puisque c'est de là que dépend essentiellement la solidité et la beauté des ouvrages. Autrefois, et aujourd'hui encore dans un grand nombre d'ateliers, l'*rivure des tôles* se fait à bras d'homme, mais on a réussi à faire des machines qui exécutent ce travail avec beaucoup de célérité et avec un grand avantage sur l'ancienne méthode. Nous donnons à la page suivante (figure 442) le croquis d'une de ces machines.

Cette machine fonctionne comme tous les appareils employés par M. Lemaître par l'action directe de la vapeur, et ce système déjà si heureusement imaginé pour les cisailles et les machines à percer, convient mieux

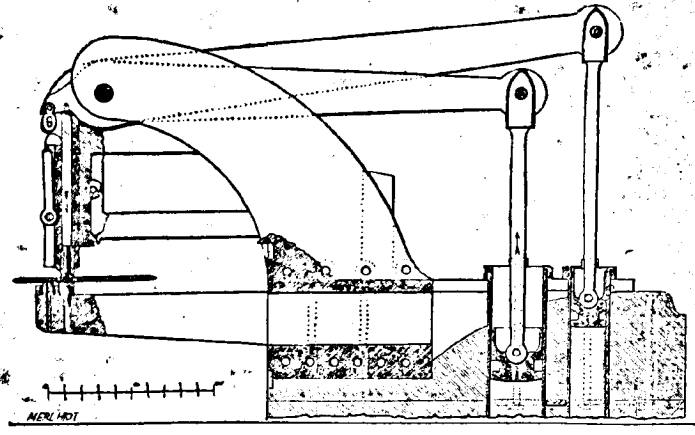
EFERUS - Recherche & Classification numérique

encore au rivage, parce que cette dernière opération doit être exécutée avec la plus entière perfection. Il faut que le rivet ne soit frappé qu'au moment où les pièces, souvent lourdes et embarrassantes que l'on a à manier, se trouvent dans une situation parfaitement convenable,

La grande différence qui distingue la machine de M. Lemaître de toutes celles que nous avons eu l'occasion d'examiner, provient de sa double action qui consiste à ne faire la tête du rivet, que lorsque déjà les deux feuilles de tôle à réunir ont été fortement comprimées l'une



441



442.

et ce n'est qu'avec la plus grande difficulté que l'on obtiendrait ce résultat si l'on employait des appareils fonctionnant d'une manière régulière et continue, dans lesquels l'outil serait poussé par une manivelle ou un excentrique fixé sur un arbre de rotation

contre l'autre. Il est évident, en effet, que le rivet sera d'autant mieux appliqué que les tôles seront mieux serrées l'une contre l'autre, et leur serrage direct et préalable est bien plus énergique que celui qui se fait indirectement par la tête du rivet : l'expérience a d'ailleurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parfaitement confirmé les prévisions si rationnelles de M. Lemaître, et nous nous sommes assurés par nous-même que les rivets placés sans serrage préalable de la tôle rendaient moins de fer dans la tête que ceux que l'on appliquait en se servant de la double action de la machine. Le moindre volume de la tête du rivet, dans le premier cas, indique positivement que le corps du rivet conserve un peu plus de longueur et que par conséquent les deux tôles sont soumises à une juxta-position moins intime. Ce mode de rivure joint à la forme conique des trous, dont nous avons déjà parlé, produit un travail excellent, et dont on peut parfaitement juger en coupant les deux feuilles de tôle par le milieu du rivet : les trois pièces de métal (les deux feuilles et le rivet), s'appliquent si bien les unes contre les autres, que l'on ne saisit pas sans peine leurs lignes de séparation respectives.

Pour qu'on puisse comparer le mode d'opérer qu'il a adopté avec la fabrication ordinaire, nous décrirons l'ancienne machine de Fairbain toujours fort employée. Elle consiste essentiellement en une came ou excentrique, montée sur l'arbre mis en mouvement par un moteur de puissance suffisante; cette came soulève l'extrémité d'un fort levier qui vient appuyer sur l'extrémité du rivet, dont la tête appuie contre une borne inébranlable et vient l'y écraser. La pièce soutenue en l'air à l'aide d'un palan est mue à bras, pour venir présenter successivement les divers rivets à l'action du levier.

Disons aussi que, surtout pour la construction des ponts en tôle qui a donné lieu à des travaux de chaudronnerie d'une extrême importance, M. Gouin a inventé une machine à forets multiples, tournant par un même moteur, à peu près comme les bobines d'un banc à broches, pour accélérer le perçage, en effectuant une file de 20 ou 30 trous à la fois à l'aide d'outils coupants; ce qui ne fausse pas la tôle comme une opération de poinçonnage, et rend par suite la rivure bien plus résistante, l'application des surfaces bien plus complète.

La machine à river de M. Lemaître (fig. 442) se compose d'un bâti à supports courbes, dans la semelle duquel est solidement emmanché l'arbre en fer qui porte la bouterolle fixe sur laquelle se place la tête inférieure du rivet. La fourchette du support reçoit un clou qui sert d'axe de rotation à deux leviers distincts correspondant chacun à un cylindre à vapeur. L'un de ces leviers fait agir le mandrin qui serre les deux tôles, l'autre porte la bouterolle mobile qui fait ensuite la tête du rivet.

Lorsque la machine travaille comme machine à percer, on adapte au maudrin du premier levier un poinçon qui correspond à une matrice placée à l'extrémité de l'arbre en fer.

En supposant que l'on veuille river un corps de chaudière ou de bouilleur, on commence par l'emmancher sur l'arbre qui porte la bouterolle en le soutenant par son extrémité au moyen d'une grue ou d'un palan; un enfant apporte le rivet convenablement chauffé, l'introduit avec sa tenaille dans l'intérieur de la chaudière que l'on soulève un peu, de manière à pouvoir placer le rivet de dedans en dehors dans le trou qui lui est destiné, puis on donne un ou deux coups de vapeur pour le premier levier, pour serrer les tôles, et enfin on fait agir le levier qui porte la bouterolle pour faire la tête du rivet. Cette opération s'exécute avec une grande rapidité : deux hommes et un enfant qui chauffe et présente les rivets, suffisent au service de la machine.

D'après la disposition de cet appareil, il est clair que l'on ne peut pas y river des pièces d'une longueur plus grande que le double de celle de l'arbre qui porte la bouterolle fixe; que de plus, si ce sont des corps cylindriques que l'on assemble, il faut que leur diamètre soit assez grand pour que l'on puisse venir placer le rivet dans l'intérieur du cylindre : cette dernière nécessité limite évidemment l'emploi de cette machine. Pour assembler des cylindres d'une plus grande longueur et d'un faible diamètre, il faudrait : 1° que le support fût beaucoup plus long; 2° que le rivet se plaçât de dehors en dedans et que la machine exécutât la tête intérieure.

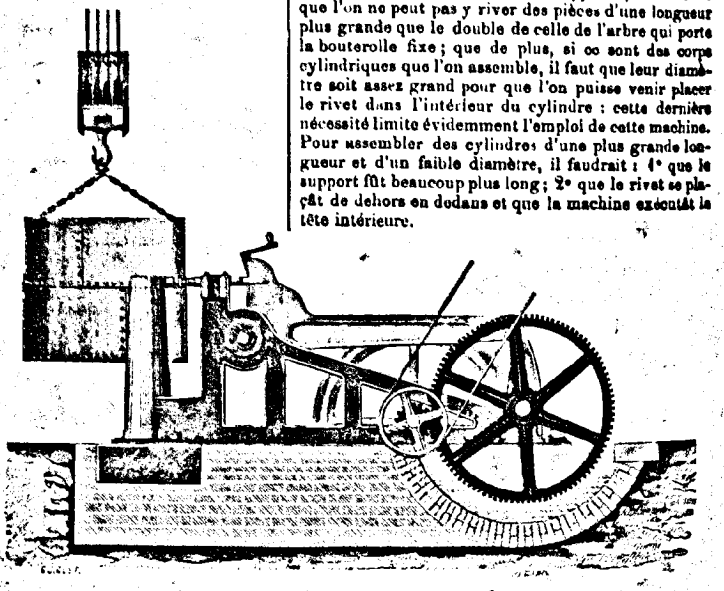


Fig. 443.

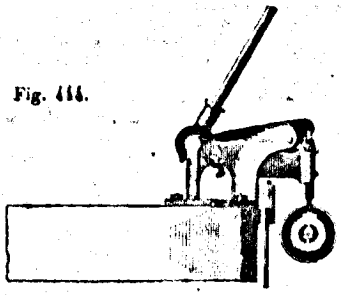
Ce problème présentait évidemment de grandes difficultés, mais il a été résolu avec un grand succès par l'habile mécanicien dont nous avons déjà parlé, et il est parvenu à river avec sa machine des tubes cylindriques de 0,25 à 0,30 de diamètre et de 7 à 8 mètres de long : nous allons essayer de donner une idée des ingénieuses dispositions qu'il a imaginées.

La pièce principale (fig. 444, 444 *bis*, 444 *ter*) est un tuyau conique en fonte fixé horizontalement par son extrémité la plus large sur un massif, et présentant une longueur d'environ 3m,60 à 4m,00 en porte à faux. Le tube est percé perpendiculairement à son axe vers le sommet du cône et reçoit en ce point une bouterolle en acier qui s'appuie sur deux coins placés dans l'intérieur du tube; l'un de ces coins fait suite à une tige en fer qui passe dans l'intérieur de la pièce et se termine, à l'autre extrémité (côté du massif), par une crémaillère qui engrène avec un levier denté. En relevant ou en abaissant le levier, on fait donc descendre ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

monter la bouterolle. Si l'on imagine maintenant qu'au-dessus de cette bouterolle, on ait disposé à l'extrémité d'une tige verticale une autre bouterolle dont l'axe correspond exactement à celui de la première, et qui

Fig. 414.



soit susceptible de se mouvoir suivant ce même axe, au moyen d'un levier convenablement disposé, on aura

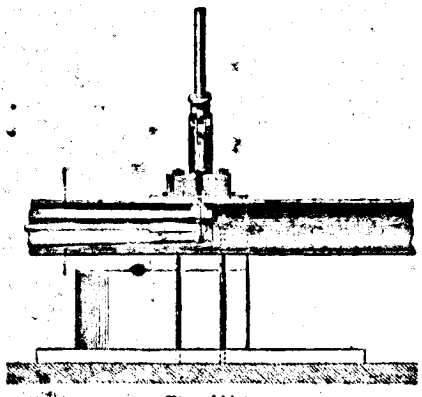


Fig. 414 *bis*.

une idée à peu près complète de l'ensemble de l'appareil. Quant à la manière de le faire fonctionner, elle

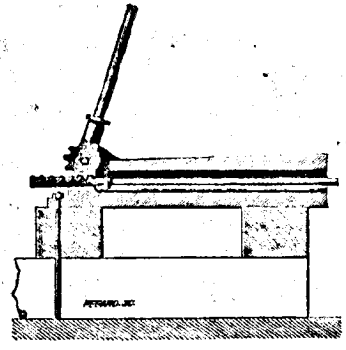


Fig. 414 *ter*.

est fort simple : on emmanche le tube à river sur le tuyau de fonte, en le tenant suspendu par une chaîne dont l'extrémité s'attache à un chariot mobile, et on amène le trou à remplir au droit de deux bouterolles ;

un enfant place le rivet de dehors en dedans, et l'on fait aussitôt agir la bouterolle supérieure sur la tête déjà faite, de sorte que l'extrémité inférieure du rivet pénètre dans le vide où doit se mouvoir la bouterolle inférieure. Celle-ci est à son tour subitement relevée par l'action du levier qui agit sur le coin qui la porte, et la tête intérieure du rivet se trouve immédiatement formée.

Au moyen de cet ingénieux appareil, qui fonctionne d'ailleurs avec une extrême régularité, on exécute dans le même temps et avec le même nombre d'ouvriers environ quatre fois autant de travail que par les procédés ordinaires.

On conçoit que ces différentes machines ne peuvent être employées que pour l'assemblage partiel des feuilles de tôle, et qu'un grand appareil ne peut pas être entièrement terminé de cette manière ; mais c'est déjà beaucoup que d'avoir pu diminuer de moitié, ou des trois quarts, le travail manuel, et de n'y recourir que pour l'assemblage définitif des différentes parties entre elles.

Pour river au marteau, le rivet est introduit dans le trou qu'il doit occuper par l'intérieur du corps de la chaudière, et maintenu dans cette position au moyen d'un levier en fer dont l'extrémité serre la tête intérieure du rivet, tandis que deux hommes placés en dehors forment à coups de marteau sa tête extérieure. Cette dernière opération se fait généralement avec des marteaux ordinaires que les deux riveurs font fonctionner avec la plus grande rapidité possible ; mais M. Lemaître exécute aujourd'hui toutes ses rivures à la bouterolle.

Le principal ouvrier commence seulement à former la tête du rivet en quelques coups, puis il y applique la bouterolle sur laquelle son frappeur frappe à coups de masse. L'opération se fait ainsi avec beaucoup de rapidité, et les têtes de rivet présentent une régularité de forme que l'on n'obtient que fort difficilement par l'ancienne méthode.

Travail du cuivre. Le travail du cuivre a pris dans ces dernières années un assez grand développement par suite des nombreux appareils que l'on exécute pour les sucreries indigènes ou exotiques ; mais son prix élevé réduira toujours ses usages aux cas où la tôle de fer ne peut pas lui être substituée.

La chaudronnerie de cuivre présente beaucoup moins de difficultés que celle de fer, parce que la ductilité de ce métal permet de le travailler sans peine à la température ordinaire. On conçoit d'ailleurs que tous les outils et appareils que nous avons décrits pour la tôle de fer s'appliquent parfaitement au traitement des feuilles de cuivre.

Le cuivre s'emploie généralement à l'état de *feuilles laminées* ; dans quelques cas seulement on se sert de *plaques coulées* que l'on traite ensuite au marteau pour resserrer la matière et lui donner du corps. Les fonds de chaudière sont travaillés au martinet dans les usines à cuivre, et seulement achevés dans les ateliers.

Toutes les pièces sont généralement travaillées au marteau à main, sur la bigorne ou le tas, et l'on conçoit facilement la lenteur de cette manière de procéder. MM. Cail et Cie, dont la chaudronnerie est exécutée avec une perfection qui ne laisse rien à désirer, ont adopté l'emploi d'un appareil fort simple pour substituer l'action mécanique au travail manuel dans ce genre d'opérations. Il consiste en un marteau-pilon à tête d'acier, soulevé par l'action d'une came placée sur un arbre qui reçoit son mouvement d'une machine à vapeur ; son poids est d'environ 60 à 90 kilogr., sa levée de 0m,24 à 0m,30 ; l'enclume est également en acier et présente une superficie de 60 à 80 centimètres carrés. C'est sous cet appareil, auquel on a donné le nom de *marteau-planeur*, que l'on traite aujourd'hui les fonds de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaudières et toutes les feuilles dont on veut augmenter la ténacité par le martelage. On obtient par ce procédé aussi simple qu'économique des produits, qui, à épaisseur égale, présentent une solidité beaucoup plus grande que ceux qui résultaient de l'ancien travail.

Les *assemblages par soudures* ou *brasages*, sont beaucoup plus employés dans la chaudronnerie de cuivre que dans celle de fer; tous les tuyaux entre autres sont confectionnés par cette méthode. Pour préparer les tuyaux, on commence par découper des feuilles de cuivre d'une largeur égale à la circonférence développée du tuyau, puis on les chanfreine sur les bords qui doivent être réunis.

On emploie pour *chanfreiner* les feuilles de cuivre, un appareil dont le principal agent est une râpe circulaire de 0m,20 à 0m,25 de diamètre, faisant 300 à 400 tours par minute, à l'action de laquelle on soumet le bord des feuilles qui sont conduites avec un mouvement assez lent, également déterminé par la machine. Quand les bandes de cuivre sont chanfreinées, elles sont repliées sur elles-mêmes au moyen d'un mandrin en fer que l'on engage avec la bande dans une filière placée sur un BANC-A-TIRER. On obtient ainsi des diamètres fort exacts que l'on peut encore régulariser après la soudure par un autre passage à la filière.

L'outillage de la chaudronnerie de cuivre est beaucoup plus simple que celui de la chaudrot aerie de fer, ce fait résulte, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, de la grande facilité avec laquelle ce métal se laisse traiter. Quoi qu'il en soit, il est évident qu'un grand nombre d'opérations qui se font aujourd'hui à force d'adresse et d'habitude de la part des ouvriers pourraient être exécutées plus économiquement et avec plus de précision en employant des machines.

Nous terminerons cet article en présentant quelques indications sur l'outillage des ateliers de chaudronnerie.

Ces ateliers doivent comprendre :

1° Des forges maréchales pour la préparation des rivets et de toutes les pièces travaillées qui doivent entrer dans la confection des appareils; chaque forge doit être pourvue des outils relatifs à sa destination spéciale, enclumes, matrices, mandrins, etc., etc.;

2° Des machines à cisailler et à percer en grand nombre;

3° Une ou deux machines à cintrer avec un four à réchauffer les tôles;

4° Quelques petits tours, une machine à tarauder, plusieurs machines à percer la fonte et le fer.

Tous ces appareils peuvent être réunis dans le même atelier, en plaçant toutes les forges d'un côté et les machines de l'autre;

5° Si l'on travaillait aussi le cuivre, il faudrait ajouter à ces machines, un marteau-planeur, une machine à chanfreiner, un banc-à-tirer; enfin il faudrait réserver une place pour les opérations d'étamages, de soudures, brasages, etc.;

6° Les machines à river desservies par des grues et par un petit four à chauffer les rivets sont mieux placées dans les chantiers de montage que dans l'atelier proprement dit. Ce chantier doit être couvert, présenter beaucoup de place, et être pourvu de grandes grues pour le maniement des pièces, de petites forges mobiles pour le chauffage des rivets, etc., etc.

Nous nous sommes contentés d'indiquer ici les principaux outils, ceux qui occupent beaucoup de place ou qui sont mus par un agent mécanique; mais on emploie un grand nombre d'outils à main dans la description et l'énumération desquels nous n'avons pas dû nous engager.

Qu'il nous soit d'ailleurs permis de terminer cet article par une observation : c'est que la grande chaudronnerie a pris aujourd'hui un tel développement qu'il nous serait impossible d'en présenter une description complète sans entrer dans des détails trop étendus, nous espérons que notre travail, complété d'ailleurs par d'autres articles de cet ouvrage, permettra d'apprécier l'intéressante industrie dont nous venons de parler, et la valeur des procédés qui permettent d'assurer une bonne fabrication.

A. BARRAULT.

CHAUFFAGE (*angl.* warming, *all.* heitzung). L'objet de cet article est le *chauffage domestique*, le chauffage des habitations particulières et des édifices publics : nous laissons les applications manufacturières de la chaleur à des articles spéciaux, CHAUDIÈRE A VAPEUR, ÉVAPORATION, SÉCHOIRS, etc., et aux industries qui emploient ces procédés.

Pendant des siècles, on brûla dans les pays chauds un combustible sans fumée dans des brasiers placés au milieu des salles, et dans les pays tempérés, du bois dans de vastes cheminées ouvertes. Ce chauffage fit cependant dans le nord des progrès remarquables par la construction des poêles, et plus tard, l'introduction de la houille en Angleterre et en Belgique, lui donna une impulsion nouvelle, mais c'est surtout depuis cinquante ans, que les travaux de Rumfort, Curaudeau, Désarnod, et depuis, de Tredgold, d'Arcet, Péclet, et d'un grand nombre d'ingénieurs français et anglais, lui ont donné le plus haut développement en y appliquant la méthode et les principes de la science.

Dans cette question, le but est simple : utiliser le plus complétement et le plus économiquement possible la chaleur dégagée, en brûlant les combustibles proprement dits, pour l'appliquer au chauffage des habitations.

Mais les applications particulières à chaque système de localités et de besoins, sont très multipliées, et les formes des appareils livrées à l'imagination des constructeurs, sont infinies.

Toutes pourtant se classent sous un certain nombre de types.

Nous ne pouvons pas mieux faire que d'adopter la classification de M. Péclet, auquel nous avons beaucoup emprunté pour cet article.

1° Chauffage direct par la combustion.

2° Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible. — Cheminées.

3° Poêles.

4° Cheminées-poêles.

5° Calorifères à air chaud.

6° Chauffage de l'air par la vapeur.

7° Chauffage de l'air par l'eau chaude à basse pression.

8° Chauffage de l'air par l'eau chaude à haute pression.

9° Chauffage par l'eau et la vapeur combinées.

10° Chauffage des édifices publics.

Avant d'aborder ces questions, ce serait le lieu de poser les principes généraux du chauffage et d'en déduire des règles pour employer les principaux procédés dans leurs conditions les plus favorables, pour choisir ainsi le procédé qui convient à chaque circonstance; mais les principes pratiques seront donnés avec les applications, et la comparaison pratique des divers systèmes d'appareils se trouvera plus utilement placée après l'appréciation de leurs qualités et de leurs défauts.

I. — CHAUFFAGE DIRECT PAR LA COMBUSTION.

Ce procédé qui consiste à brûler un combustible dans un vase, ou sur une aire placée au milieu d'une salle, était seul employé par les anciens; il l'est encore en Espagne, en Italie, et dans l'Amérique du sud, où l'ont porté les Espagnols, et aussi par tous les peuples sauvages. Le gaz acide carbonique et l'oxyde de carbone, jetés au milieu d'une salle habitée, quand le combustible est sans fumée, comme le charbon de bois des brazeros espagnols, les huiles empyreumatiques et l'acide acétique déga-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gés de plus par le bois, sont désagréables et dangereux pour l'économie animale, et peuvent dans de certains cas occasionner la mort.

Ces accidents n'arrivent cependant jamais dans les pays chauds, où l'usage des brazeros est général : là, en effet, ils servent à chauffer légèrement de vastes salles pendant la moins bonne saison. Les croisées et fenêtres ne sont pour ainsi dire jamais fermées, et la quantité de charbon ainsi brûlée à feu découvert, est excessivement faible.

Quant aux huttes des sauvages, où le feu plus actif, qui sert à se chauffer et à cuire les aliments, se fait au milieu de la salle, et au dessous d'un trou percé au toit, il se produit là un courant ascendant qui force l'air à affluer de tous côtés de la circonférence au centre, par les portes et les fissures des murs en terre, de sorte que les individus qui sont assis sur la terre, ou couchés autour du feu, se trouvent enveloppés dans un courant d'air pur et garantis de l'acide carbonique.

L'emploi de la combustion directe pour se chauffer, serait bien plus dangereux dans les pays civilisés et froids; là tout doit être disposé pour des appareils qui emportent au dehors la fumée et les gaz brûlés, car les portes et fenêtres sont bien jointes et toujours fermées avec soin. Du reste ce procédé, employé il y a vingt ans encore dans quelques industries, est remplacé complétement par des poêles ou des calorifères. J'en ai cependant encore trouvé récemment un exemple remarquable dans le séchage des *crins frisés*, où pourtant rien ne s'oppose à sa suppression immédiate.

II. — Cheminées.

La France et l'Angleterre sont presque entièrement chauffées par des foyers ouverts, chargés d'un combustible qui n'échauffe la salle que par son rayonnement. Ce mode de chauffage est éminemment agréable, puisqu'il permet de voir le feu et de se chauffer à volonté les pieds, et c'est là sans doute une des causes qui font conserver en Angleterre ces foyers ouverts à la houille, de préférence aux poêles, parce que dans un climat humide et avec des pluies fréquentes, il y a un grand avantage à trouver, à l'arrivée, un foyer ouvert pour s'y sécher les pieds.

Les autres avantages de ces foyers sont de tenir les pieds chauds, et de conserver le reste du corps à une température moindre, condition nécessaire d'un bon travail et d'une bonne santé, qui manque dans les bureaux des administrations publiques où le chauffage s'opère par les bouches de chaleur d'un calorifère; car alors les employés ne peuvent pas travailler dans des salles au-dessous de 19 à 20°, et ils y puisent des douleurs de tête : ce qui n'a pas lieu avec des cheminées.

Par ce procédé, l'air des salles habitées est aussi puissamment renouvelé, et par conséquent toujours salubre; car une cheminée ouverte agit comme un foyer d'appel, où le combustible n'a pas seulement pour effet de chauffer la salle, comme dans les poêles, et d'emporter dans le tuyau de cheminée la quantité d'air indispensable à sa combustion, mais encore un excédant d'air considérable qui, par la disposition du foyer, s'écoule librement à l'entour du combustible, par l'ouverture extérieure, ouverte pour livrer passage à la chaleur rayonnante.

Ces avantages cependant sont compensés par des inconvénients graves.

La chaleur rayonnante n'est pour le bois que 25 et pour la houille et le coke que 55 p. 100 de la chaleur totale dégagée par le combustible brûlé, et la meilleure cheminée ouverte n'en utilise que 1/4. Ainsi avec le bois, une cheminée ouverte n'utilise que 6 p. 100 environ de la chaleur totale donnée par le combustible, et 13 p. 100 avec le coke et la houille; ce chauffage est donc le plus coûteux de tous, aussi on ne l'emploie que dans les maisons aisées, ou avec du combustible à bon marché.

Un second inconvénient vient encore ajouter à cet excès de dépense : le grand courant d'air qui passe constamment par une cheminée ouverte, et qui, dans les mieux construites s'élève au minimum à 60 mètres cubes par kilogr. de bois brûlé, exige l'introduction dans la salle à chauffer d'un égal volume d'air, soit par des ventouses disposées à cet effet dans le coffre de la cheminée, sous sa plaque de fondation, ou dans les angles opposés de la salle, soit par les joints des portes et des fenêtres. Ce courant d'air froid rayonnant de tous les points accessibles de la circonférence pour se diriger vers le foyer, refroidit tout sur son passage, et emporte ainsi dans la cheminée une nouvelle portion de la chaleur dégagée par le combustible.

Il est d'ailleurs très désagréable de se trouver plongé sans cesse dans un courant d'air froid, qui gèle toutes les parties postérieures du corps, pendant que la partie antérieure est brûlée par l'action directe du foyer.

Le but des bons constructeurs a donc été, pour conserver la gaieté du feu et la salubrité de l'air :

1° De disposer les foyers de manière à renvoyer dans la salle la plus grande proportion possible de chaleur rayonnante;

2° De réduire à son minimum la quantité d'air appelé par la cheminée pour une quantité de combustible donné,

3° De fournir au lieu d'air froid à la salle de l'air préalablement chauffé, pour la ventilation et l'alimentation de la cheminée;

4° Enfin d'utiliser pour chauffer la salle même une partie de la chaleur emportée par la flamme et la fumée du combustible, et l'air chaud qu'elles entraînent avec elles.

Depuis les travaux si remarquables de Rumford, sur les formes et les proportions des foyers ouverts, bien des essais de tout genre ont été tentés pour résoudre la première question, et l'on est presque toujours rentré dans les principes qu'il a posés.

Ramener le feu en avant pour réduire la profondeur du foyer, et augmenter le champ circulaire de dégagement du calorique rayonnant, en inclinant au-dehors, évasant les deux parois, et les construisant en matériaux blancs et polis, comme la faïence ou la brique vernissée, ce qui augmente leur pouvoir réfléchissant.

Sur la seconde question on a, comme Rumford, étranglé la partie inférieure du tuyau de cheminée à l'endroit où la fumée du foyer y pénètre, et on y a placé un registre à coulisses pour régler à volonté l'affluence de l'air, en proportion du feu que l'on fait, et aussi pour la fermer complétement, et s'opposer au refroidissement de la chambre après l'extinction du feu.

Quant au troisième point, on l'atteint très bien en chauffant par des poêles ou des calorifères les pièces contiguës à la salle à chauffer, et celles où elle s'ouvre, comme les escaliers, corridors, antichambres, de sorte qu'au lieu de puiser de l'air froid à l'extérieur, elle prend de l'air chaud dans les salles voisines au moyen de larges bouches réservées dans les murs sur des points opposés à la cheminée.

On obtient alors tous les avantages d'un feu découvert et d'une bonne ventilation, en conservant une douce température dans toute l'étendue de la pièce; c'est ainsi que sont chauffés les bureaux des chefs de service à l'Hôtel-de-Ville, par des cheminées ouvertes et des bouches grillagées puisant l'air chaud dans un corridor, auquel il est fourni par des calorifères.

Souvent aussi on amène directement l'air chaud des conduits et bouches de calorifères dans la chambre à cheminée; il faut alors donner de grandes dimensions aux tuyaux et bouches d'arrivée, pour que la cheminée ne manque pas d'air, et ne soit pas forcée d'en prendre à l'extérieur ou exposée à fumer, et pour que cet air n'arrive pas à une température trop élevée dont on pour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rait souffrir ; la température d'arrivée la plus convenable est de 45 à 50°, pour compenser les pertes des murs et du vitrage, et maintenir la salle à 16 ou 18°.

Les dispositions que nous venons d'indiquer exigent des calorifères ou de grands poêles extérieurs ; mais on trouve dans la solution de la quatrième question, posée plus haut, le moyen de satisfaire pleinement à la troisième, sans dépense de combustible.

Il s'agit d'employer la chaleur perdue de la fumée, et de l'air emporté chaud dans la cheminée à chauffer de l'air frais et pur pris à l'extérieur, que l'on introduit ensuite dans la chambre pour alimenter le tirage de la cheminée ; c'est un système parfait qui conserve toutes ses qualités, et corrige ses défauts les uns par les autres.

Avant de donner la description de quelques-unes des meilleures cheminées qui puissent servir de modèle dans chaque système, nous indiquerons les proportions à adopter pour leur construction.

Pour introduire dans une pièce l'air nécessaire à la cheminée, il faut y établir des ventouses bien proportionnées et placées de manière à ventiler complétement la salle, c'est à-dire près du sol, et à des points opposés à la cheminée, pour que toute la masse d'air soit renouvelée, ce qui s'opère complétement en vertu du courant montant et descendant qui existe toujours dans une pièce échauffée ; il faut aussi se garder de compter sur les joints des portes et des fenêtres, moyen tout à fait insuffisant et qui expose à des courants désagréables, tandis que ceux des ventouses, larges et garnis de grillages à mailles fines, ou des vasistas placés aux fenêtres, donnent des courants beaucoup moins sensibles.

En tous cas, il faut leur donner en somme une ouverture égale au passage libre de la cheminée à son entrée.

Il en est de même pour les bouches d'air chaud, quand elles viennent d'un corridor ou d'un poêle, mais quand elles viennent d'un calorifère éloigné, il est difficile de leur donner de pareilles dimensions par la difficulté de faire passer de gros tuyaux dans les murs ; il faut alors leur donner seulement la plus grande section possible.

Nous avons dit que la cheminée doit avoir seulement la section nécessaire pour brûler son combustible, sans être trop rapidement engorgée de suie, et l'expérience prouve que pour du bois, un tuyau cylindrique de 22 à 25 centimètres suffit toujours dans les grandes pièces, comme les salons, où il se réunit à la fois un grand nombre de personnes, et où une ventilation puissante est nécessaire ; on donne 16 à 18 décimètres carrés de section à ces conduits, c'est-à-dire environ 0,80 sur 0,22 au moins. Règle générale, dans des constructions de ce genre, comme dans tous les appareils de chauffage industriel, les dimensions doivent toujours, en plaçant au bas de la cheminée un registre régulateur, être plutôt trop grandes que trop petites, l'on peut ainsi au besoin disposer d'une puissance un peu plus grande ; les cheminées auront donc plutôt 1 ou 2 centimètres de plus que de moins en diamètre.

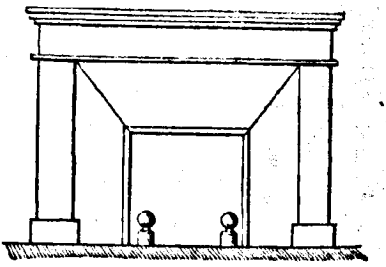
Il faut éviter de placer deux foyers différents sur une seule cheminée ; l'un des deux inévitablement plus puissant, plus favorablement placé gêne l'autre, le fait fumer ou en empêche entièrement le tirage.

Dans des vieilles cheminées très larges, il faut, et on peut sans inconvénients graves, monter une languette de 3 ou 4 mètres de hauteur, et de 4 1/2 ou 5 décimètres carrés de section pour le foyer le plus élevé, afin que chaque foyer ait ainsi sa cheminée, ou mieux encore donner au foyer un tuyau métallique de 22 à 25 centimètres de diamètre, montant à 3 ou 4 mètres dans la cheminée commune ; avec cette disposition, chaque foyer favorisera par sa chaleur le tirage de l'autre, sans lui nuire jamais.

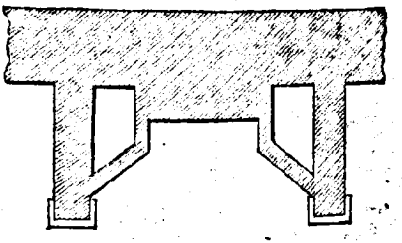
Enfin quand le coffre de la cheminée est plus grand que les sections minimum indiquées plus haut, et qu'on l'étrangle par le bas pour diminuer le volume d'air écoulé, et surtout pour contraindre cet air à traverser autant que possible le combustible, et à prendre une vitesse plus grande qui s'oppose puissamment à la rentrée de la fumée, il faut avoir soin aussi de réduire la sortie supérieure des tuyaux en la ramenant à peu près à la section du bas, et rendre ainsi à cet air une vitesse suffisante pour chasser devant lui l'air extérieur et résister à la pression des vents, et aux courants d'air chauds formés par l'action du soleil, conditions d'une haute importance, et sur lesquelles nous reviendrons en parlant des moyens de prévenir la fumée dans les appartements.

Une courte description des principaux systèmes de cheminées servira d'application et d'exemple aux principes qui précèdent.

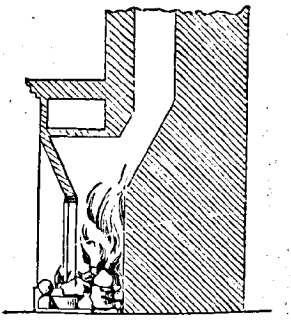
Les larges dimensions des anciennes cheminées et de leurs conduits sont proverbiales ; Rumford les a heureusement modifiées en diminuant la profondeur du foyer, et remplissant les deux côtés par des parois obliques et



445.



446.



447

abaissant le tablier auquel même il ajusta en avant un registre, comme on le voit dans les fig. 445, 446 et 447, faciles à comprendre. Les meilleures cheminées connues aujourd'hui sont celles de *Lhomond*, employées si fréquemment : celles à *foyer mobile* et celles de Millet pour les

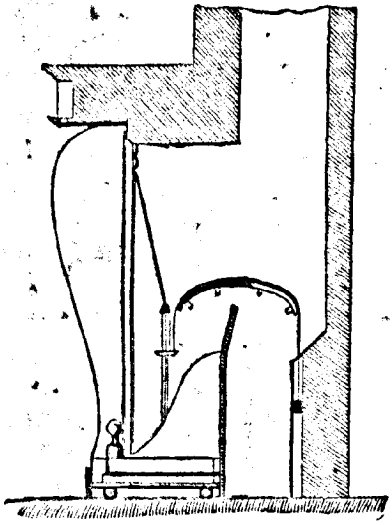
EFERUS - Recherche & Classification numérique

cheminées qui ne chauffent pas l'air nécessaire à leur alimentation; enfin les cheminées à houille de l'Angleterre et de la Belgique, qui peuvent être si avantageusement employées en France pour brûler du coke, et même avec quelques légers changements de l'anthracite.

La cheminée de Lhomond a beaucoup de rapports de forme avec celle de Rumford : les parois inclinées sont formées de tablettes de stuc; mais la partie occupée par le foyer est plus profonde, et elle est fermée entièrement par un cadre de cuivre à coulisse, dans lequel monte et descend un tablier également en cuivre, qui sert, soit à fermer complétement la cheminée, soit à augmenter le tirage et à allumer le feu, en abaissant le tablier pour que l'air se précipite avec une grande vitesse sur le combustible.

Ce sont des cheminées très bonnes, mais qui brûlent beaucoup de bois.

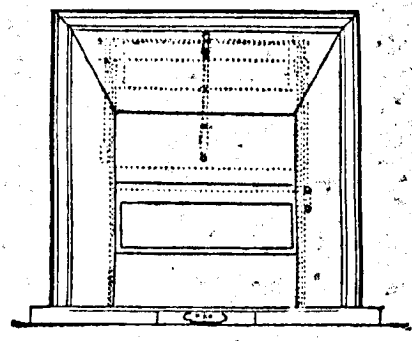
La cheminée à foyer mobile (fig. 448) consiste par



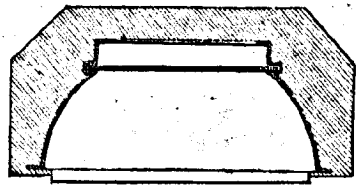
448

ticulièrement en un foyer de fonte, encaissé de trois côtés et porté sur des galets qui permettent, soit de le rentrer dans la cheminée, et de baisser par devant un tablier, qui ouvre en même temps l'ouverture de sortie de la fumée pour allumer et activer le feu; soit au contraire de sortir fortement ce foyer en avant de la cheminée quand le feu est bien pris, condition qui donne un bon emploi du combustible. Les réparations à faire aux galets nuisent à ces cheminées d'ailleurs excellentes.

Les cheminées de Millet ont pour pensée fondamentale de régler l'ouverture d'entrée de l'air sur le foyer au moyen d'un registre ou tablier, comme nous l'avons déjà vu pour d'autres cheminées, et en même temps le passage de la fumée à travers le tuyau dans lequel elle s'élève. Dans son meilleur système de cheminée (fig. 449, 450 et 451), il établit au bas de la cheminée un coffre en fonte qui se ferme à volonté sur le devant par un tablier à coulisses, ayant pour l'échappement de la fumée deux ouvertures : l'une à la partie supérieure, large et étroite, et l'autre à la partie postérieure, et un peu au-dessus du combustible; la première est toujours ouverte et ne peut suffire qu'au minimum d'échappement de la fumée avec de petits feux, la seconde est fermée d'une trappe manœuvrée par un levier.

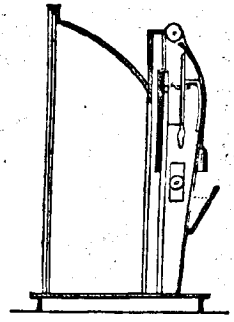


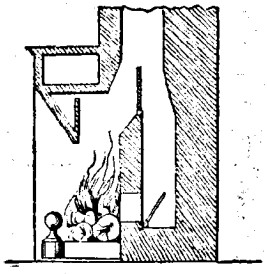
449.



450.

451.





452

elle sert à compléter le passage nécessaire à la fumée quand le feu est plus intense.

Ces cheminées sont assez économiques.

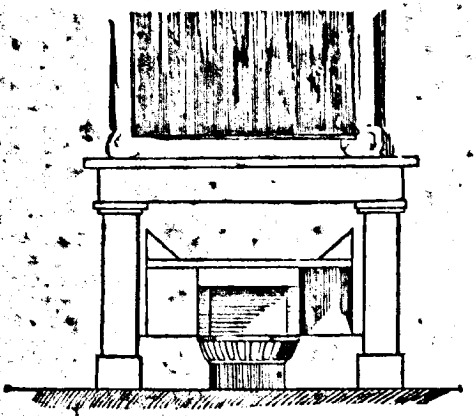
Nous traçons fig. 452 une cheminée très simple donnée par M. Péclet, et qui répond aux mêmes conditions que celles de Millet.

Enfin les cheminées à houille employées dans toute l'Angleterre et qui commencent à se répandre en France pour brûler du coke, consistent en une grille ouverte par devant et par dessous, entièrement libre, au-dessus et aux deux côtés de laquelle sont de petits autels, sur lesquels on pose des vases à chauffer; un peu au-dessus du foyer et légèrement en ar-

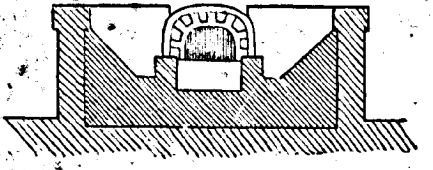
EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUFFAGE.

rière, est une ouverture de la largeur du foyer sur 0,25 au plus de hauteur, afin d'avoir un tirage très vif. De sorte que la grille et le feu se trouvent presque entièrement dans la salle même; tout le fond et les parois de la cheminée sont en fonte; le prix de ces appareils, fort élégants et toujours propres, est très bas. Il est



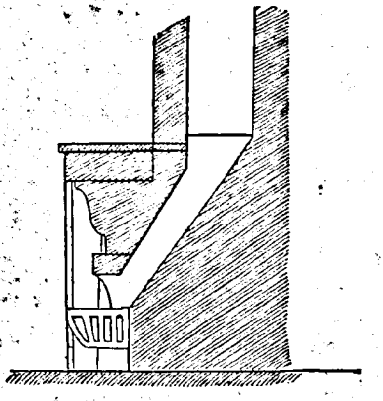
453



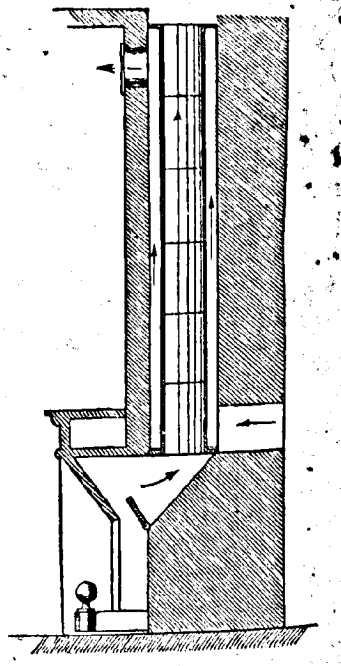
454.

très-facile d'en installer d'analogues dans toutes nos cheminées actuelles, en posant une grille de fonte sur deux petits massifs latéraux en briques, et en fermant complétement la cheminée par derrière, sauf une ouverture de fumée semblable à celles des cheminées anglaises. Ces cheminées, où l'on brûle du coke, sont facilement nettoyées au moyen d'une corde et d'un fagot. Les fig. 453, 454 et 455 représentant une cheminée ainsi organisée qui servira en même temps à faire comprendre les cheminées anglaises dont elles donnent la copie à peu près exacte, sauf l'emploi de la brique au lieu de fonte (V. *Compl.*, CHAUFFAGE AU GAZ.

Enfin il est bien des manières de disposer les cheminées pour chauffer l'air destiné à les alimenter. Quelquefois on installe au-dessus du feu et derrière le tablier, des tuyaux de tôle ou de fonte, dans lesquels on introduit de l'air pris à l'extérieur, au moyen d'un tuyau vertical placé dans les parois du foyer; cet air, après avoir été chauffé, sort aux côtés de la cheminée par une large bouche de 0,16 ou 0,20 de diamètre, et où on peut placer un vase rempli d'eau, pour donner à l'air l'humidité dont il a besoin, et le rendre tout à fait salubre. Tantôt on fait passer cet air dans un coffre de fonte qui enveloppe le foyer, tantôt on le chauffe dans un tuyau de fonte qui monte au milieu du tuyau de fumée, et le verse dans la salle à chauffer au niveau du plafond.



455.



456.

La fig. 456 est un des modes les plus simples d'arrangement. Au lieu d'air, on fait au contraire passer la fumée au sortir du foyer dans un tuyau de fonte, autour duquel on jette l'air froid extérieur, pour le chauffer et le faire sortir dans la salle par une bouche placée au plafond. Enfin, d'autres appareils sont disposés comme de véritables calorifères, qui portent leur foyer, leur appareil de chauffage d'air, et leurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bouches, qui s'installent tout montés dans la cheminée même, et versent leur air dans la salle par une large bouche à grillage métallique réservée au-dessus du tablier et au-dessous de la tablette de la cheminée.

Il nous reste maintenant à examiner les causes qui font fumer les cheminées et les moyens d'y remédier.

La fumée, c'est-à-dire un mélange d'air non brûlé, d'acide carbonique, et de divers produits carbonés, chauffés à un certain nombre de degrés au-dessus de la température extérieure, s'élève dans un tuyau de cheminée, en vertu de sa densité, inférieure à celle de l'atmosphère par la température que lui a communiquée le combustible.

Dans un fourneau d'usine, l'air traversant la grille est brûlé à moitié, et comme il n'en passe que 16 à 20 mètres cubes, chauffés à 350 ou 400° par kilogr. de houille, ou 8 ou 10 mètres cubes pour 1 kilogr. de bois, et que, dans les cheminées d'appartements, il en passe plus de 60 mètres cubes par kilogr. de bois; il en résulte que la température de cet air est très modérée, et en moyenne de 40 à 50°, et que, par conséquent, la vitesse ascendante est également faible.

Dans ces conditions, il suffit de circonstances extérieures peu puissantes pour agir sur cette colonne, arrêter tout mouvement ascendant, la faire refluer dans la salle où le tuyau débouche par en bas, et où se fait le feu.

Ces causes sont toujours, ou un obstacle qui s'établit et gêne la sortie de la fumée par le haut de la cheminée, et la force à refluer par le bas dans la salle; ou une action inférieure plus énergique que la puissance motrice de la fumée, et qui vient par en bas arrêter le mouvement de la colonne montante en faisant le vide dans la chambre, et qui, par conséquent, y fait redescendre la fumée, qui a perdu sa force ascensionnelle par un refroidissement trop considérable quand elle passe en trop petite quantité dans un large tuyau.

Parmi les premières de ces causes est l'action des vents qui, quelquefois, par leur vitesse, coupent la fumée à sa sortie de la cheminée, et ferment celle-ci comme avec un obturateur; ils refoulent alors la fumée en dedans, quand leur direction est un peu inclinée vers la terre.

Dans tous les cas, pour éviter que la fumée ainsi refoulée par les vents ne redescende dans la salle, il faut :

1° Rétrécir au degré exactement nécessaire l'issue de la fumée, et la faire sortir par des buses un peu coniques qui dépassent la cheminée pour qu'elle reprenne là une vitesse qui lui permette de résister à l'action des vents. Il faut aussi la garantir de l'entrée des vents par un chapeau composé de deux feuilles inclinées l'une sur l'autre; on peut enfin installer sur ces cheminées les appareils les plus simples et les plus efficaces : soit les capuchons tournants, avec une girouette, qui jettent toujours la fumée du côté opposé au vent et dans sa direction, condition qui favorise la sortie de la fumée; soit la bascule chinoise que le vent fait retomber, de manière à fermer la cheminée du côté où il vient, et à l'ouvrir du côté opposé; soit un simple écran en tôle placé du côté du vent le plus fréquemment régnant, c'est-à-dire en France du côté de l'ouest et du sud-ouest; soit des capuchons fixes en tôle qui couvrent le tuyau en descendant en contre-bas de son ouverture, et peuvent être disposés de vingt manières; soit un tuyau de tôle assez élevé et couronné de chapeaux de diverses formes, toutes destinées à empêcher l'action du vent sur le courant de fumée.

Disons en passant que toutes les dispositions compliquées inventées par les fumistes n'ont aucun résultat de plus : les plus simples sont les meilleures. L'action du soleil est encore une grande cause de fumée pour les cheminées, par les courants d'air chaud montants et d'air frais descendants qu'il développe sur les toits. Le seul remède est dans les appareils que nous venons d'indiquer contre le vent, ou le surhaussement de la cheminée.

Le soleil a une autre manière d'agir sur les cheminées pour les faire fumer; nous y reviendrons plus loin. Parmi les causes qui font fumer les cheminées, en gênant par le haut la sortie de la fumée, il faut placer la rencontre de deux courants de fumée dans un seul coffre; presque toujours il y a un courant plus puissant ou plus favorablement placé que l'autre, qui domine, et lui ferme le passage en forçant la fumée à redescendre d'un autre côté. Si un seul des foyers est allumé, la cheminée construite pour deux foyers se trouve trop grande pour un seul; la fumée se mêle alors au courant d'air froid avec une température et une vitesse très faibles. Elle cède à la moindre influence et rentre dans les appartements; souvent même se trouvant presque refroidie, et ayant acquis par conséquent, en vertu de l'acide carbonique qu'elle contient, une densité supérieure à celle de l'air atmosphérique, elle redescend dans les tuyaux non échauffés et va se répandre dans les appartements voisins où l'on ne fait pas de feu. La séparation de la cheminée en plusieurs tuyaux par des languettes est le seul remède dans ce cas.

Un tuyau de cheminée trop court est encore une cause de fumée, parce que la puissance ascensionnelle du courant de fumée est trop faible. On y remédie en plaçant un long tuyau en tôle sur le sommet de la cheminée.

Les causes principales qui font fumer les cheminées, en agissant sur leur partie inférieure, sont d'abord, et dans le plus grand nombre de cas, l'insuffisance de l'arrivée de l'air dans la salle, pour répondre à l'appel de la cheminée, parce que lorsque les portes et fenêtres sont bien fermées et les ventouses trop petites, l'appel n'étant pas satisfait, aspire l'air de la chambre, et y produit un vide qui y fait rentrer la fumée par les angles de la cheminée, où le courant ascendant est le plus faible. Le même effet est produit par l'action des cheminées plus puissantes allumées dans des salles voisines, et qui, manquant d'air pour s'alimenter, aspirent par les portes et les joints des portes l'air de la salle dont nous parlons, et y font rentrer la fumée. Cet effet se produit quelquefois de bien loin dans un appartement, à travers plusieurs pièces successives. Enfin le même effet a encore lieu par le tirage d'une cage d'escalier voisine de la salle chauffée par la cheminée, et qui, en vertu de son large diamètre et de sa hauteur, surtout si elle est chauffée par un poêle ou un calorifère, et même sans être chauffée, produit l'effet d'une puissante cheminée d'appel, où il s'établit un courant ascendant si fort qu'il agit sur toutes les salles contiguës, et va chercher au loin l'air de ces salles pour satisfaire à son tirage, ce qui y fait rentrer la fumée de la cheminée; c'est là une cause de fumée bien commune et souvent méconnue.

Dans tous les cas de ce genre, il faut, quand une cheminée fume dans une salle, chercher d'abord par expérience quelle en est la cause, afin d'y porter remède.

Pour cela, quand le feu est allumé, on ferme toutes les portes et fenêtres, et avec une bougie allumée que l'on présente aux joints des fenêtres et de la porte, en entrebâillant même légèrement les portes pour y présenter la bougie, on reconnaît, par la direction de la flamme, la direction des courants d'air. Si les courants viennent tous du dehors au-dedans de la chambre, et qu'en ouvrant légèrement une fenêtre ou une porte, la cheminée ne fume plus, il est évident que les ouvertures d'arrivée d'air sont trop petites; il faut alors, ou les augmenter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUFFAGE.

ou établir d'autres bouches d'air froid, ou mieux d'air chaud comme nous l'avons dit.

Si c'est au contraire par une des portes que le courant sorte de la salle en expérience, on suit ce courant avec la bougie de salle en salle, et de porte en porte, pour savoir si c'est une autre cheminée ou une cage d'escalier qui aspire l'air de cette salle.

Dans ce cas-là, il faut fournir encore par des bouches plus puissantes à la salle susdite, et en même temps à l'autre salle, ou à la cage d'escalier, la quantité d'air dont chacune d'elles a besoin, pour satisfaire à son appel, et en même temps garnir avec soin de bourrelets les joints des portes intermédiaires, afin que cette action ne puisse plus se transmettre.

Il est toujours facile de reconnaître ainsi la cause de la fumée.

Le soleil, dans le milieu de la journée, a encore une action très puissante pour faire fumer les cheminées.

Je suppose qu'une des salles chauffées soit exposée au midi, et ses fenêtres percées dans un grand mur; ce mur, surtout s'il est blanchi, recevant en plein les rayons du soleil, s'échauffe; il s'établit un puissant courant d'air ascendant qui fait appel sur toutes les fenêtres adjacentes, et qui, si l'on entr'ouvre une de ces fenêtres, ou que les joints soient mal fermés, l'air le vide dans la chambre et par conséquent y appelle la fumée. Si cette salle n'a pas assez d'air pour sa cheminée, il faut lui en donner alors largement, en le prenant autant que possible au nord, puis laisser les fenêtres du midi fermées pendant les heures du soleil, et ouvrir des communications avec le côté du nord.

Quelquefois, enfin, l'embouchure inférieure de la cheminée est trop large, et comme les courants de fumée, dans un foyer de ce genre, sont toujours assez faibles, ils ne peuvent pas occuper toute la section d'une large entrée; l'air froid afflue autour du courant chaud, et il se produit des remous qui font redescendre la fumée plus lourde que la colonne atmosphérique, parce qu'elle est refroidie, et la ramènent ainsi dans la chambre par un double courant.

Le rétrécissement de cette entrée peut corriger sans peine ce défaut.

Telles sont les principales causes de fumée et les remèdes à y apporter; je répète, en terminant, qu'il faut toujours étudier les circonstances locales une bougie allumée à la main, pour bien savoir ce qui se passe, avant de vouloir chercher des remèdes au mal. C'est ainsi au reste que doivent se traiter toutes les questions de ventilation.

III. — POÊLES.

Un poêle est un appareil de chauffage clos, placé dans la masse d'air d'une salle à échauffer, où l'on renferme le combustible, et dont les gaz, produits de la combustion, sont évacués au dehors par un tuyau, soit apparent dans la salle, soit caché dans un mur ou sous le sol.

Tantôt la chaleur, dégagée par le combustible, passe directement dans la salle à travers l'enveloppe simple du poêle et son tuyau de fumée, tantôt l'air de la salle est chauffé par le rayonnement du foyer à travers son enveloppe, et en même temps en circulant à l'intérieur du poêle dans des conduits et passages aérifères qui multiplient les surfaces de chauffe.

Ce mode de chauffage est le plus simple et le plus économique, car la presque totalité de la chaleur dégagée est utilisée dans la salle, et on peut refroidir la fumée jusqu'à 100° avant de la laisser échapper au dehors.

Ces avantages sont compensés par des inconvénients.

Quand les salles sont longues, on n'obtient de chauffage complet que sur un point. C'est de plus un moyen de chauffage moins salubre que les cheminées ouvertes; la ventilation est presque supprimée, ainsi dans les poêles allemands et suédois, et dans ceux de beaucoup de salles à manger de France, où la bouche se trouve en dehors de la salle, elle l'est entièrement; en même temps les poêles ne laissent pas jouir de la vue du feu comme les cheminées ouvertes, et souvent, quand ils sont en métal, en fonte ou en tôle, ils donnent une odeur désagréable et malsaine. Leur plus grand défaut est, en chauffant fortement l'air d'une salle, non pas de le dessécher, comme on le dit souvent à tort, mais, en élevant sa température, d'accroître considérablement sa puissance absorbante pour l'eau, puissance qui se satisfait aux dépens de tous les corps humides qu'il enveloppe, et notamment des organes extérieurs et des poumons des personnes avec lesquelles il est en contact, d'où il résulte toujours un grand malaise, des maux de tête, etc. On évite cet inconvénient en donnant artificiellement à l'air, à mesure qu'il s'échauffe, toute l'eau dont il a besoin pour le ramener à un degré de saturation convenable, et ne plus affecter péniblement les organes.

Sur les poêles des petits ménages, on place un vase plein d'eau, que leur chaleur réduit peu à peu en vapeur. Avec les poêles à système, comme ceux des salles à manger, qui y versent de l'air chaud, il faut placer dans le récipient supérieur d'air chaud, dit *repos de chaleur*, un vase plat, où on renouvelle tous les jours l'eau, en en réglant convenablement la quantité.

Les poêles proprement dits sont construits en différentes matières.

Avec les poêles simples en terre cuite vernissée ou non, l'échauffement est plus lent, mais le refroidissement est plus lent aussi, et jamais l'air extérieur ne se trouve altéré, ni chauffé trop fortement; ce sont des poêles commodes et agréables; seulement ils se gercent, se fendent et se détruisent assez facilement, et on ne peut y brûler que du bois. En effet, quand on y brûle de la houille, ou du coke, la température de la combustion est si élevée qu'elle brise rapidement leur enveloppe de terre cuite.

Il faut dans ce dernier cas garnir le foyer en briques réfractaires, en y ajoutant une petite grille de fer ou de fonte, et ménager l'intensité du feu.

Les poêles à système sont en partie construits en briques ou en terre cuite, ils reçoivent très bien les foyers à la houille ou au coke, parce que les épaisseurs et cloisons successives de terre qui enveloppent le foyer, ne transmettent à l'enveloppe extérieure qu'une chaleur modérée et égale dont la terre vernissée ne souffre pas.

Les poêles en tôle et encore plus ceux en fonte ayant avec ce mode de chauffage, un pouvoir d'absorption, et d'émission beaucoup plus grand que ceux en terre cuite, utilisent mieux le combustible avec moins de surface de chauffe; ils refroidissent plus complétement la fumée, et sont beaucoup plus solides et plus durables que ceux de terre cuite; ils sont plus économiques et d'un service meilleur, sauf les inconvénients de l'odeur et de l'altération de l'air.

Ces poêles, auxquels on donne sans difficulté et à très peu de frais les formes les plus commodes pour les besoins à la fois du chauffage et de la cuisson des aliments, et qui se fabriquent aujourd'hui par milliers dans nos forges, au plus bas prix, se sont répandus dans tous les petits ménages, où ils rendent d'immenses services.

On en rencontre tous les jours chez les marchands de fonte de plus ou moins heureusement disposés. Beaucoup de poêles destinés aux maisons bourgeoises, aux magasins ou aux bureaux, sont d'une construction beaucoup plus compliquée. En terre cuite ou en métal, ils sont toujours composés d'un foyer destiné à utiliser plus ou moins bien la chaleur rayonnante en la transmettant à travers les parois à une partie de l'air de la salle, ou à de l'air extérieur, que l'on y verse chaud,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et d'un développement de surface de chauffe en contact d'un côté avec la fumée qui sort du foyer, et de l'autre avec de l'air frais.

Les principes fondamentaux de ces poêles, et aussi de tout calorifère, sont :

1° De donner la plus grande surface de chauffe possible en conservant la plus grande simplicité de formes et d'ajustements, et d'avoir des conduits de fumée peu nombreux et verticaux pour ne pas altérer le tirage ;

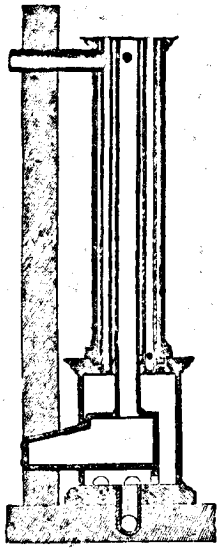
2° De faire passer sur cette surface de chauffe, en sens contraire du mouvement de la fumée qui doit d'abord monter, puis ensuite redescendre verticalement, un courant rapide d'air frais que l'on obtient en donnant beaucoup de hauteur et peu de largeur aux conduits d'air ;

3° De donner un degré d'humidité suffisant à l'air chauffé par le poêle, en plaçant un vase plein d'eau, soit sur le poêle, soit dans les conduits d'air chaud, à raison de 1 litre ou de 1 litre 1/2 environ pour une salle de 75 à 80 mètres cubes de capacité ;

4° De compter en pratique environ 1 mètre carré de surface de chauffe en fonte ou en tôle, bien qu'avec de la fonte la surface ait besoin d'être beaucoup moindre, pour chaque 100 mètres cubes de capacité de la salle à chauffer.

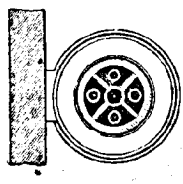
En général la presque totalité des poêles établis par les constructeurs les plus en réputation, sont inutilement compliqués, et ne présentent pas à beaucoup près les meilleures conditions d'emploi du combustible et de service. Disons quelques mots des principaux systèmes de poêles simples à foyer unique chauffant directement l'air de la salle, comme ceux en faïence, en tôle ou en fonte, auxquels leur simplicité et leur prix assurent des usages très nombreux.

457.



Un grand nombre sont disposés pour le service culinaire. Dans les départements du nord de la France, en Belgique et en Allemagne, on les construit en très grand nombre, presque tous en tôle ; ils sont composés d'un foyer conique à la houille, dont la flamme passe dans un tuyau méplat, percé de trous munis de tampons mobiles, et sur lesquels s'opère la cuisson de tous les mets ; sous ce tuyau se trouve souvent un four.

Ben des petits poêles en fonte destinés au service des ménages, se composent d'un foyer, au-dessus ou en arrière duquel une ou deux ouvertures fermées par des tampons mobiles reçoivent à volonté des marmites de fonte ; vers l'un ou l'autre des côtés se trouve une étuve.



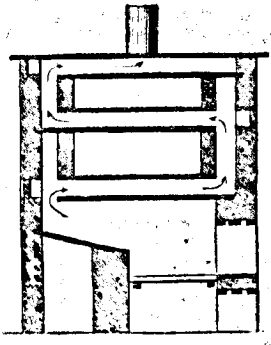
458.

Les poêles suédois et russes, sont entièrement en briques ou en terre cuite, la fumée y circule dans plusieurs conduits verticaux, et la chaleur se transmet aux pièces à chauffer à travers les parois en terre. Ces poêles, chauffés lentement, conservent très longtemps leur chaleur, sans que l'on y fasse du feu qu'une fois par vingt-quatre heures, et deux ou trois fois au plus.

Les poêles à système de nos salles à manger, sont construits avec une enveloppe de briques et un foyer entouré de tuyaux de fonte qui reçoivent par leur partie inférieure l'air amené de l'extérieur, le chauffent et le rejettent dans la salle, par des bouches de chaleur placées aux côtés d'un réservoir supérieur d'air chaud.

Ces bouches et les entrées d'air au bas sont toujours beaucoup trop petites.

M. d'Arcet a prouvé qu'à un poêle de salle à manger ordinaire, il fallait donner une grande bouche grillagée de 0m25 sur 0m,32 au moins, et des arrivées d'air semblables pour ne pas laisser la température de l'air s'élever trop haut. On place derrière le grillage une boîte à eau que l'on alimente régulièrement tous les jours. Les fig. 457 et 458 représentent un poêle à foyer métallique, et avec une enveloppe de fonte, dont la disposition est bonne et très favorable au tirage. La fumée, après être montée verticalement dans un tuyau central en fonte, redescend et remonte deux fois de suite dans quatre tuyaux également de fonte.

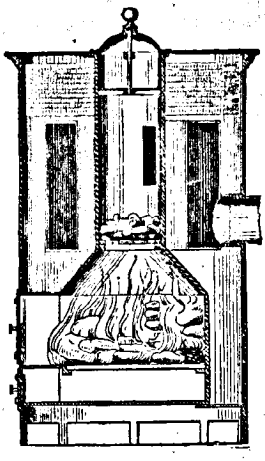


459.

La fig. 459 est une disposition très simple pour un poêle d'hôpital, qui se construit ainsi avec de la brique et quelques plaques de fonte minces, chauffées par la fumée et sur lesquelles on pose les tisanes à tenir chaudes.

Les poêles métalliques avec circulation d'air chaud sont employés très fréquemment en Allemagne.

On en construit beaucoup à Paris avec de doubles enveloppes et de diverses espèces, que nous donnons ci-après. Celui de M. Chevallier, représenté figure 460, serait certainement avec quelques modifications, un des meilleurs que l'on fasse aujourd'hui. C'est un foyer métallique, dont la fumée, après avoir parcouru des car-



460.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

neaux concentriques passe dans le tuyau de fumée, tandis que l'air chauffé passe abondamment par de larges ouvertures grillagées.

Les figures 461 et 461 *bis* représentent un poêle-calorifère de M. René Duvoir, poêle d'une disposition assez simple, dans lequel l'air circule facilement, se renouvelle avec rapidité, et sort par toute la circonférence grillagée du poêle.

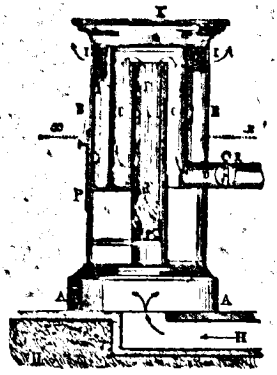


Fig. 461.

M. Péclet a proposé de construire des poêles contenant de l'eau, chauffés par un foyer intérieur et un tuyau de circulation; on obtiendrait ainsi une température régulière, mais avec le danger des fuites d'eau que pourraient amener les dilatations et contractions du métal.

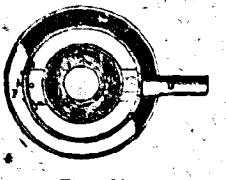


Fig. 461 *bis*.

Aux États-Unis, on a réussi à construire d'excellents poêles destinés à brûler de l'anthracite, dont le principe consiste en un foyer étroit et complétement enveloppé de briques réfractaires, pour maintenir la combustion à une température assez élevée, sans laquelle l'anthracite ne peut pas brûler, et à ne donner au combustible qu'une très-faible quantité d'air à la fois, pour que la combustion dure un temps très-long.

Calorifères Joly. — Nous compléterons en un point la description des poêles-calorifères donnée par M. Grouvelle, en faisant connaître un système qui offre les avantages du poêle américain dont nous venons de parler, de réduire beaucoup les frais de surveillance et d'être d'un bon emploi, grâce à une excellente utilisation de la chaleur rayonnante. Ses effets permettent d'expliquer certains résultats d'apparence paradoxale qui se présentent dans diverses circonstances.

Le calorifère dont nous parlons est un poêle à coke, dont les dispositions principales sont peu différentes de tout poêle à coke bien disposé, tel que celui décrit à l'article CHAUFFAGE du Complément du Dictionnaire, et qui consiste dans un foyer métallique fermé par un couvercle à sa partie supérieure, et qui, rempli de combustible, chauffe l'air qui circule autour de lui. L'addition capitale, qui a été apportée, est d'avoir enveloppé le cylindre rempli de coke, fermé à la partie supérieure, d'un cylindre en tôle également fermé par un couvercle en tôle. De la sorte, une couche d'air stagnant enveloppe toujours le foyer, et par suite il n'y a plus de ces émanations désagréables, d'odeur *d'air brûlé*, d'air desséché, résultant de l'incandescence de la cloche du foyer, du contact de l'air et des poussières qu'il entraîne avec ces parois rougies.

L'amélioration obtenue par l'adoption de cette disposition est importante; mais elle a surtout conduit à un résultat remarquable au point de vue de l'économie de combustible, que je vais analyser.

L'enveloppe du foyer empêchant les refroidissements rapides que peuvent produire des courants d'air froid, le coke disposé en haute colonne y brûle facilement, et bientôt, par la communication de chaleur de proche en

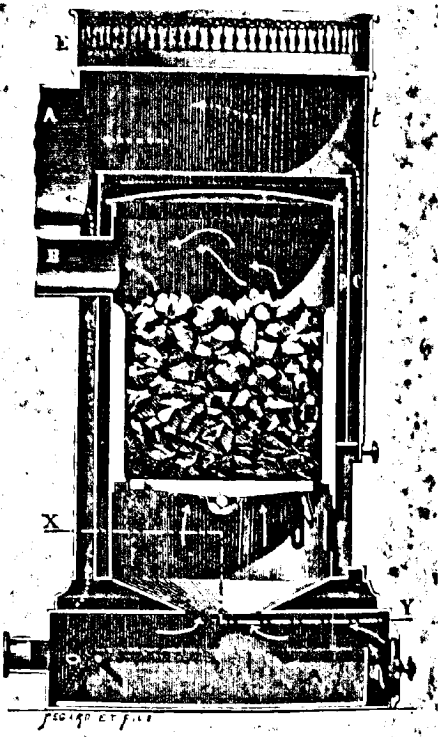


Fig. 462.

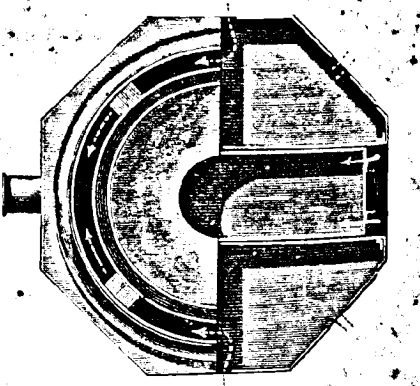


Fig. 462 *bis*.

proche, toute la masse devient incandescente. Si alors on ferme la porte du foyer, du cendrier, et même en grande partie la clé du tuyau, la combustion se prolonge très-longtemps, et, sans nouveau chargement, le calorifère dégage pendant 8 ou 10 heures des quantités de chaleur considérables. La continuation de la combustion du coke enflammé, dans les conditions où il est placé, par l'effet du petit courant d'air qui filtre à tra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vers les joints, se comprend facilement; mais pourquoi résulte-t-il économie de combustible de cette combustion lente? Théoriquement, la quantité de chaleur dégagée par une masse de corps combustible, que celle-ci soit consumée en 1 heure ou en 10 heures, est la même; mais si dans l'appareil où se fait la combustion on utilise surtout le rayonnement du combustible, pour chauffer de l'air à une température assez peu élevée, il y a très-grand avantage à faire agir celui-ci pendant 10 heures plutôt que pendant une heure, bien que dans ce dernier cas la vivacité de la combustion soit plus grande.

L'élément capital sur lequel nous insistons ici, et dont on ne tient pas compte habituellement, peut rendre compte des résultats curieux obtenus dans divers cas et qui semblaient mystérieux, ceux, par exemple, constatés dans le chauffage des fours aérothermes de MM. Mouchot et Grouvelle, pour la cuisson du pain. (Voy. PAIN.)

La combustion lente est la plus avantageuse lorsque le rayonnement est surtout utilisé; c'est au contraire la plus rapide qui est la plus commode, lorsque l'appareil utilise surtout la chaleur emportée par les gaz de la combustion, qui y sont refroidis, et qu'il s'agit par suite d'amener à la température la plus élevée qu'il est possible. En permettant de brûler le combustible à une température peu élevée, par suite en évitant les pertes dues à l'échauffement considérable d'un excès d'air qui traverse le plus souvent les foyers, un appareil convenable permet d'obtenir, par suite de la longue durée du feu, une bonne utilisation de combustible.

Ces deux conditions ont été remplies avec succès dans l'appareil dont nous parlons et dont les figures 462 et 462 *bis* font facilement comprendre la disposition. A est le cylindre rempli de coke (ou mieux encore d'anthracite) qui s'allume en faisant à la surface supérieure un feu de copeaux et de petit bois et replaçant le couvercle; D l'enveloppe en tôle fermée par un couvercle, et entourée par une seconde enveloppe C formant colonne ascendante, si on veut envoyer de l'air chaud dans d'autres pièces, en même temps que le rayonnement chauffe la pièce où se trouve l'appareil; H tuyau qui enlève les produits de la combustion, G ouverture fermée à coulisse pour visiter la grille, K cendrier.

Il faut aussi remarquer qu'au lieu d'atteindre 2000°, limite de la dissociation de l'acide carbonique, ce qui fait naître de l'oxyde de carbone lors de la combustion vive du coke sur une grande épaisseur, dans le cas actuel, la température n'atteignant pas 1000°, cet effet n'a plus lieu.

IV. — CHEMINÉES-POÊLES.

Les *cheminées-poêles* sont des appareils métalliques placés au milieu de la salle à chauffer, ou quelquefois dans les coffres des cheminées, disposés comme des poêles pour brûler du combustible et chauffer l'air de la salle, mais ayant une large bouche fermée par une trappe verticale à crémaillère ou à contre-poids, qui, baissée, en fait un poêle, et ouverte, une cheminée. Ce sont des appareils propres et agréables, qui tiennent lieu de poêles ou de cheminées.

Celui qui est appelé *cheminée à la prussienne* consiste en un coffre carré, en tôle, ouvert par devant au moyen d'une trappe en tôle, conduite par deux chaînes s'enroulant sur un treuil manœuvré au dehors par une manivelle.

Les cheminées au coke, décrites à l'article Chauffage du Complément, et celles connues sous le nom de système Mousseron, rentrent dans la classe de celles dont nous parlons ici, et se ramènent en principe à la réunion des moyens d'utiliser autant que possible la chaleur produite dans une cheminée pour chauffer l'air.

La figure 463 représente l'appareil Mousseron. On voit que le combustible est complétement isolé du mur par une chambre de chaleur dans laquelle l'air s'échauffe. Le foyer métallique est de forme arrondie et

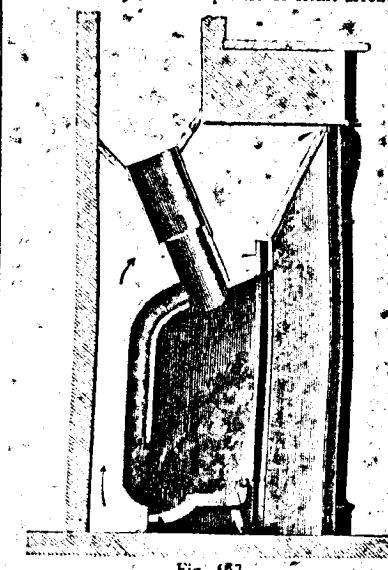


Fig. 463.

par conséquent favorable à la radiation. Un rideau à la partie supérieure de la cheminée, une prise d'air extérieur, des bouches latérales d'air chaud complètent cet appareil apprécié pour le chauffage à la houille.

V. — CALORIFÈRES.

Nous avons défini les *calorifères* des appareils dans lesquels un foyer, avec une enveloppe et des surfaces de transmission, échauffe de l'air pris à l'extérieur pour l'envoyer dans une ou plusieurs salles plus ou moins éloignées; à la différence des *poêles* qui sont placés dans les salles mêmes à chauffer.

En vertu de sa moindre densité, l'air chaud tend toujours à monter, et on éprouve des pertes graves à le faire redescendre, et même à le faire courir horizontalement dans de grandes longueurs. Il y a donc nécessité, avec un calorifère, pour le bon service des conduits de distribution d'air chaud, de donner à cet air chaud une direction constamment ascendante, et par conséquent de placer le calorifère au-dessous du niveau des salles à chauffer. Dans les maisons d'habitation on le place dans les caves.

En conséquence, l'éloignement du calorifère des salles à chauffer exige que ses enveloppes extérieures soient épaisses, et construites de manière à perdre très-peu de chaleur, c'est-à-dire qu'elles soient isolées des murs par des vides que l'on réserve dans les parois du calorifère. Tout le travail de chauffage des surfaces et de leur refroidissement doit donc s'opérer à l'intérieur d'une enveloppe épaisse en maçonnerie, qui l'isole entièrement du contact de l'air extérieur, tandis que pour utiliser le mieux possible le combustible, il faut au contraire que tout l'appareil intérieur soit construit en métal; les parties qui reçoivent le premier coup de feu en fonte, et le reste en tôle.

Une autre condition importante est de prendre des formes simples, faciles à exécuter, à démonter, et à reposer, en cas de réparation, faciles surtout à visiter et à nettoyer. C'est une conditition sur laquelle j'insiste, parce que la plupart des constructeurs ont cherché un bon chauffage et un refroidissement complet de la fumée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

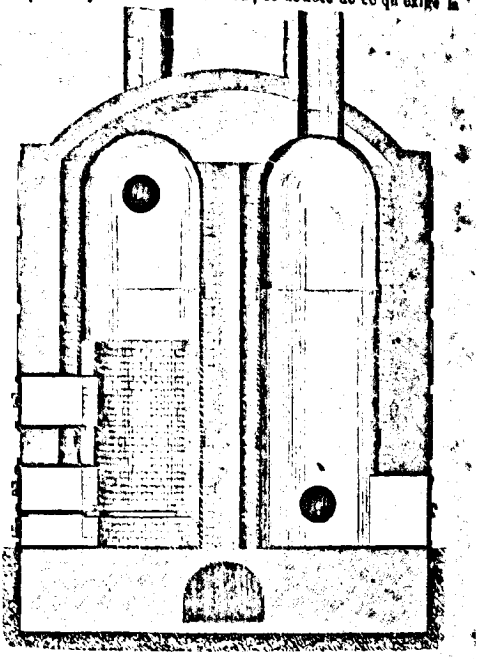
dans des complications de formes et de dispositions qui sont nuisibles; c'est que d'abord ils ont voulu à toute force, surtout les fumistes, se donner une disposition particulière à eux, qu'ils puissent faire breveter comme enseigne, et vanter bien haut par dessus toutes les autres.

Ils sont ensuite partis de ce principe erroné, qu'il faut refroidir la fumée *le plus complétement possible* en la brisant dans tous les sens et la gênant de toutes manières, sans savoir que le premier principe d'un bon foyer est un bon tirage, et qu'un bon foyer est la base d'un calorifère; si le tirage est mauvais, la combustion languit, et il se dégage une suie abondante et du noir de fumée, les tuyaux s'engorgent en peu de jours, cessent de chauffer; enfin surtout, la fumée tend à passer par tous les joints des tuyaux et appareils dans les espaces occupés par l'air chaud, ce qui la fait arriver dans les appartements. Bon tirage, favorisé par le passage de la flamme dans une colonne verticale à la sortie du foyer, simplicité de dispositions et de formes, refroidissement de la fumée qui ne descende pas au-dessous de 300°, et surface de chauffe suffisante pour obtenir ce refroidissement, voilà les conditions fondamentales d'un calorifère : il y a de plus deux dispositions spéciales à adopter qui contribuent puissamment au résultat demandé : l'une est que la fumée passe dans les tuyaux métalliques, et l'air à chauffer à l'entour, au lieu de pousser l'air dans les tuyaux et de les envelopper de fumée, car dans ce second cas toute la chaleur rayonnante traverse ce courant d'air, presque sans l'échauffer, pour se réfléchir sur la surface opposée du tuyau même de chauffage, ce qui réduit considérablement la surface du chauffe, tandis que, dans le premier cas, la chaleur rayonnante passe entièrement dans l'enveloppe extérieure qui devient ainsi *surface travaillante*, et chauffe puissamment l'air; l'autre condition est que la fumée après avoir monté verticalement pour assurer un bon tirage à l'appareil, redescende successivement dans les appareils en sens contraire de l'air frais qui trouve ainsi des surfaces plus chaudes à mesure qu'il s'élève en température.

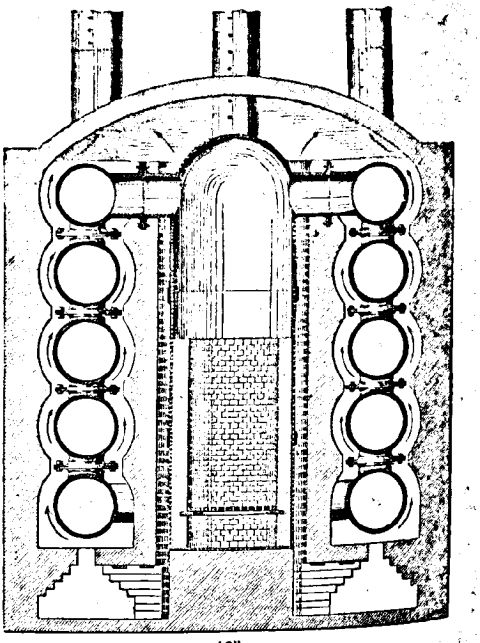
Un point à observer dans les calorifères destinés aux maisons particulières est de donner aux surfaces qui reçoivent d'abord le coup de feu du foyer, assez de grandeur pour qu'elles ne rougissent que légèrement, et que l'air qui passe sur elles ne puisse pas contracter une mauvaise odeur, bien connue de la plupart des personnes qui emploient des calorifères; il faut en même temps donner de grandes issues à l'air chaud pour que le calorifère puisse débiter beaucoup d'air, et que celui-ci n'ait pas le temps de s'échauffer fortement; on assure ainsi la salubrité des lieux chauffés et on obtient un meilleur refroidissement de la fumée; enfin il faut ne jamais oublier de placer dans le réservoir d'air chaud un vase plein d'eau, qui donne à l'air toute la vapeur d'eau qui lui est nécessaire et le ramène à un degré hygrométrique convenable, pour qu'il soit complétement salubre.

Dans de bons calorifères l'effet utile peut s'élever jusqu'à 75 p. 100 de la puissance calorifique totale du combustible; mais, en faisant des projets de calorifères, il est prudent de ne calculer que 50 à 55 p. 100; ainsi un kilogramme de houille sera compté comme donnant un effet utile de 3,000 calories environ.

Nous verrons plus loin, en parlant du chauffage des établissements publics, qu'en pratique, 100 mètres cubes de logement habité exigent dans les grands froids, pour être maintenus à 16 ou 18°, 14 à 1600 calories par heure. Il faut compter en combustible brûlé, en y ajoutant les pertes du calorifère et des tuyaux de distribution, le double de ce qu'exige la



464.



465

EFERUS - Recherche & Classification numérique

salle même, c'est-à-dire que pour une salle de 100 mètres cubes, il faut dégager 3,000 calories, et brûler ainsi 1 kilogr. de houille par heure. Quant aux proportions de l'appareil, il faut 2 mètres carrés de surface de chauffe pour 1 kilogr. de houille et pour 2 kilogr. de bois à brûler par heure, et 2 décimètres carrés de section des tuyaux de fumée, avec 5 décimètres carrés de grille pour la même quantité.

La quantité d'eau à donner à l'air par jour peut être évaluée pour une salle de 100^{m} à 1 1/2 ou 2 litres.

Pour ainsi les bases de construction des bons calorifères, c'est éviter la nécessité de donner la description d'un grand nombre d'entre eux, et de discuter leurs qualités et leurs défauts; c'est fournir à chacun les éléments nécessaires, pour juger les appareils proposés, et ramener par conséquent les constructeurs dans la bonne route.

Après ces principes généraux, nous parlerons brièvement de quelques calorifères principaux, et nous donnerons la description plus détaillée de celui que nous avons construit, et que nous croyons reposer sur les bases posées plus haut.

L'un des meilleurs et plus simples calorifères est celui monté par M. René Duvoir dans diverses manufactures, fig. 464 et 465, et qui consiste en un foyer placé au bas d'un cylindre de fonte; la flamme et la fumée s'en élèvent et redescendent par deux séries de tuyaux de fonte, ouverts par les deux bouts pour la facilité du nettoyage, et remontent ensuite dans un cylindre de fonte pour atteindre la cheminée. Tout l'appareil est enveloppé dans un coffre en briques. L'air pris à l'extérieur passe dans le coffre en briques autour du foyer et des tuyaux de chauffage, pour se dégager en haut par de larges ouvertures.

Calorifère Gurney. M. Gurney, qui s'est occupé avec succès du chauffage de grands édifices en Angleterre, a adopté et fait réussir un système de calorifères réduits

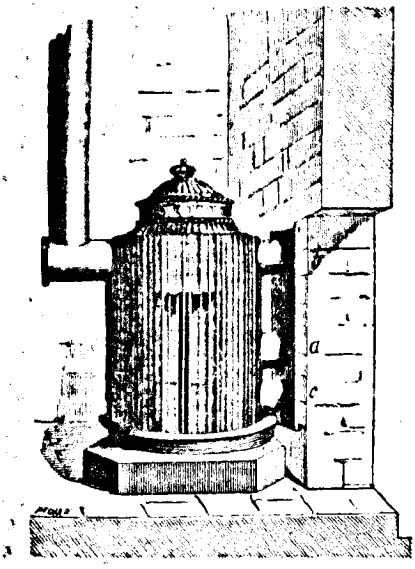


Fig. 466.

en quelque sorte à la cloche en fonte des calorifères précédents, modifiée d'une manière très-heureuse.

Il a imaginé de la munir d'ailettes nombreuses qui augmentent beaucoup la surface de chauffe de l'air, la rendent cinq ou six fois plus grande et en même temps empêchent, par la conductibilité du métal, la fonte de rougir facilement. La fig. 466 représente cet appareil, qui a tous les avantages des poêles en fonte, de chauffer rapidement, et dont les inconvénients ont été fort diminués, notamment en mettant de l'eau dans le bac réservé au pied pour éviter la trop grande sécheresse de l'air et limiter la température. En plaçant le poêle dont nous venons de parler dans une chambre en briques munie d'entrées et de sorties d'air convenables, on obtient un calorifère aussi puissant que l'on veut, en donnant à l'appareil de chauffage des dimensions appropriées. Nombre d'églises sont chauffées par des calorifères de ce genre.

Leur défaut est évidemment que les produits de la combustion sont envoyés trop directement dans la cheminée, aussi a-t-on utilisé les tuyaux de fumée dans la chambre à air, mais en général d'une manière insuffisante pour ne pas altérer le caractère de simplicité du système.

Calorifère Grouvelle. Les fig. 468 et 469 représentent le calorifère que nous avons construit, et dans lequel le foyer, recouvert d'une grande cloche de fonte, jette directement la flamme dans un tuyau vertical en fonte, qui la distribue à deux rangées de tuyaux descendants en tôle, en bas desquels les deux séries de tuyaux se réunissent en un seul, pour remonter et se rendre dans la cheminée.

Une cloison en briques sépare l'air frais qui vient s'échauffer sur la cloche et son tuyau montant, de celui qui passe en sens contraire de la fumée sur les tuyaux descendants; les deux parties d'air se réunissent en haut dans la chambre à air, pour prendre une température uniforme, et se rendre par les tuyaux de distribution dans les salles à chauffer. Un canal de prise d'air extérieur amène par deux conduits une partie de l'air frais, aux deux côtés de la cloche, sous une enveloppe en briques, tandis qu'une autre partie de l'air est versée directement sur les tuyaux de descente de fumée.

Au moyen d'ouvertures réservées aux parois du calorifère pour les réparations, il est facile de régler convenablement les diverses prises d'air frais. Les tuyaux, ayant tous des bouchons à l'extérieur, sont très-faciles à visiter et à nettoyer, et, quoiqu'ils ne puissent pas s'altérer, ils seraient très-faciles à changer. Les flèches simples indiquent le courant de fumée; celles doubles, les courants d'air *froid* et *chaud*.

Une boîte à eau placée près du réservoir d'air chaud en assure la salubrité; la température de l'air s'y règle aisément à un degré très-modéré.

Nous avons appliqué avec grand succès ces calorifères aux étuves à fécule, et à toutes celles qui exigent une haute température, au moyen d'une disposition particulière tout à fait nouvelle. Par le moyen des conduits de ventilation et d'appel de l'étuve à fécule, quand on veut monter la température à 60 ou 75°, comme cela est nécessaire dans cette industrie et dans le séchage des crins, dans celui des farines de légumes, etc., on fait à volonté passer de nouveau l'air déjà chaud de l'étuve dans le calorifère, et on transforme ainsi notre calorifère et notre étuve en un appareil aérotherme à circulation. Les résultats sont tels, qu'on peut porter en une demi-heure la température d'une étuve de 60° à 105° et plus, dispositions qui pourront trouver d'utiles applications dans l'impression des tissus et dans d'autres industries.

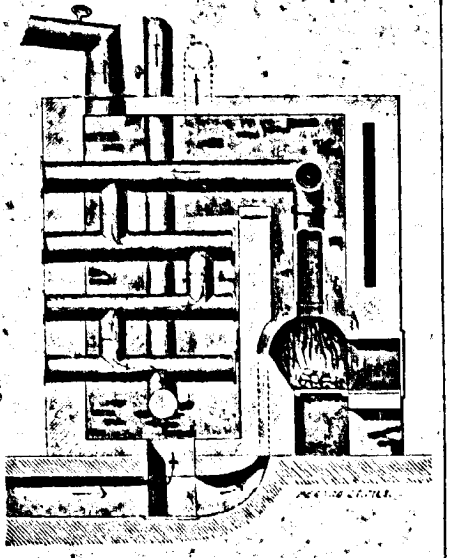
Pour les usages industriels, blanchisseries, séchoirs de tout genre, féculeries, etc., le système de calorifères à air chaud, dont nous parlons ici, est de tout point satisfaisant. Il permet de chauffer rapidement, et au besoin à de hautes températures, des masses d'air extrêmement considérables, qui parviennent aisément dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUFFAGE.

les salles à chauffer, en général de grandes dimensions et peu nombreuses, et les parcourent en décrivant le chemin le plus convenable et qui est déterminé par les orifices d'entrée et de sortie de l'air, et les cloisons que l'on peut placer sur sa voûte au besoin.

Fig. 468.



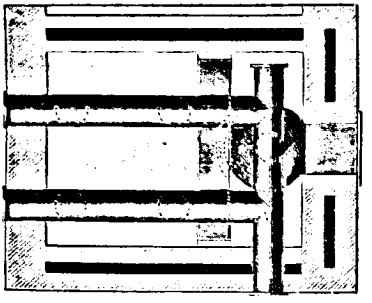


Fig. 469.

Dans quelques circonstances, on peut employer un ventilateur pour envoyer l'air à de grandes distances et accélérer encore son passage à travers les tuyaux pour en augmenter la quantité et empêcher que sa température ne dépasse une limite voulue.

Il n'y a pas à s'occuper, pour ces applications, des inconvénients indiqués plus haut pour le chauffage des édifices à l'aide des caloriféres à air chaud, et qui leur ont fait souvent préférer pour les appartements, et surtout les édifices publics, le chauffage à l'eau chaude dont nous traitons ci-après. Nous dirons seulement qu'ils sont difficiles à éviter complétement, sans quelques modifications importantes de ces appareils, pour les combustions vives, pour lesquelles il faudrait trouver une disposition permettant d'augmenter les parties en briques, dans le voisinage du feu, sans tomber dans l'inconvénient de la fumée par l'insuffisance des ajustements, des emboîtements des tuyaux; pour les combustions lentes nous avons vu comme il y avait été remédié par la disposition employée dans le calorifère Joly.

Après avoir indiqué les points les plus saillants, relatifs à l'établissement des caloriféres, il faut dire quelques mots d'une question assez importante, d'un problème dont la solution est souvent assez difficile, la distribution de l'air chauffé par les caloriféres.

On place toujours les caloriféres à des niveaux inférieurs à celui des salles que l'on veut chauffer. Si l'on était obligé de les installer au niveau du plancher d'une salle, il faudrait les établir de manière à faire circuler l'air même de la salle dans le calorifère, sauf les parties renouvelées par l'appel et la ventilation, en perçant dans la salle même la prise d'air au bas, et les bouches d'air chaud au sommet du calorifère, où il faudrait avoir un appel assez puissant pour faire redescendre l'air chaud dans le calorifère. La position des caloriféres à un niveau inférieur à celui des salles est de beaucoup préférable.

Pour obtenir une égalité convenable de température dans l'air chauffé, il faut avoir au-dessus du calorifère un réservoir d'air chaud, soit formé de l'enveloppe même, soit d'un coffre en tôle isolé de l'enveloppe de briques. C'est de ce réservoir que partent les tuyaux de distribution, qui doivent y être engagés avec des raccordements coniques et des coudes très-arrondis, pour éviter des contractions, des résistances et des ralentissements dangereux; car l'air, ayant une température modérée et une vitesse ascensionnelle faible, une action contraire très-legère suffit pour diminuer sa vitesse et même l'annuler.

Les embranchements de départ des principaux points partiront tous, autant que possible, du réservoir même d'air chaud, pour qu'ils ne se gênent pas réciproquement, et que, branchés l'un sur l'autre, deux tuyaux ne se servent pas réciproquement d'obturateur, ou au moins le plus fort au plus faible. Chaque embranchement de départ aura aussi une clef qui fermera exactement, pour intercepter ou pour régler le débit de chaque tuyau. Il est important, en effet, quand on ne veut pas envoyer de l'air chaud à une salle, de fermer complétement le tuyau à son départ; car de ce défaut de soin résulteraient des pertes considérables de chaleur. Les dimensions des tuyaux doivent être grandes; il ne faut pas compter plus de 0m,50 de vitesse moyenne, pour l'air qui y passe, les coudes et étranglements des clefs compensés.

La plus grande difficulté est de passer de gros tuyaux dans les murs, surtout si ce sont des murs préexistants au calorifère; car, quand la distribution d'un calorifère s'établit en même temps que la construction d'un bâtiment, il est plus facile de disposer convenablement, avec de bonnes sections, les passages d'air chaud.

Les tuyaux de tôle galvanisée, seront logés dans l'épaisseur des murs, isolés avec soin de la maçonnerie par des vides d'air, fermés de tous côtés, afin d'éviter le refroidissement rapide qu'une grande masse de maçonnerie fait éprouver à une surface métallique mince, et à l'air, dont la capacité pour la chaleur est si faible.

Tous les tuyaux marcheront toujours en montant, à partir du calorifère, jusqu'au point où ils s'élèveront dans les murs pour atteindre les bouches, en s'arrondissant dans tous les coudes; les bouches seront larges et maillées avec du fil de cuivre très-fin, à grandes mailles de 5 millimètres au moins de côté.

Les meilleures bouches sont celles à coulisses, parce qu'elles permettent de régler à volonté l'écoulement de l'air chaud, ce qui est difficile avec les bouches à charnières.

Quand les tuyaux devront avoir des embranchements

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour envoyer de l'air chaud à plusieurs pièces placées sur une même direction, on fera partir les embranchements de culottes, prises de loin et coniques, avec clefs d'arrêt. On donnera au tuyau commun à deux bouches, des dimensions qui seront la somme de celles des tuyaux, particls.

Quant aux longues lignes horizontales de tuyaux, il n'en faut pas admettre : l'air chaud y rencontre trop de frottements et trop peu de différence de niveau pour pouvoir y monter avec quelque vitesse, et la petite quantité qui passe alors arrive aux bouches complétement refroidie. Il faut dans ce cas-là établir deux calorifères séparés sous des parties de bâtiment trop éloignées.

Pour avoir une bonne distribution, il ne reste plus qu'une condition à remplir, c'est de s'assurer que dans toutes les salles où l'on envoie de l'air chaud il y aura un moyen d'appel. Sans appel, ou sans un moyen d'évacuation de l'air de la salle, pour qu'il puisse être remplacé par l'air chaud, celui-ci ne peut pas arriver et les bouches ne fonctionnent pas. Un appel peut être donné dans les salles où il y a une cheminée, par cette cheminée, quand on y fait du feu, et même sans feu, en laissant la trappe qui la ferme légèrement ouverte; par une cage d'escalier contigue, que l'on met en communication avec la salle à chauffer au moyen d'une bouche intermédiaire grillagée, et placée dans le mur de séparation. Enfin, pour les salles à manger, antichambres, etc., en plaçant au plafond, ou près du plafond, une bouche grillagée qui communique, par un conduit de 15 à 16 centimètres de diamètre, à un tuyau de tôle montant de 2 mètres dans la cheminée de la cuisine, ou une cheminée constamment chauffée. On obtient ainsi un puissant appel, sans lequel il n'y a pas de chauffage à air chaud possible. Des vasistas aux carreaux les plus élevés d'une fenêtre donneront aussi un appel, mais moins sûr et moins bon.

Enfin, quand il est question de chauffer simultanément plusieurs étages avec un seul calorifère, c'est une question difficile, très difficile souvent dans certaines localités, parce que, inévitablement, les étages supérieurs ayant des colonnes d'air chacune plus haute et de beaucoup plus de vitesse, commandent les étages inférieurs et aspirent tout l'air du calorifère, sans rien laisser passer au rez-de-chaussée; nous en avons vu de nombreux exemples. Pour éviter ce défaut, il faut partager par une cloison la chambre à air en autant de capacités séparées qu'il y a d'étages à chauffer, ou même de fractions d'étages, et en faire partir des tuyaux distincts; c'est l'étude des localités qui doit guider dans la disposition du calorifère et des tuyaux à adopter dans toutes les questions de ce genre.

VI. — CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR.

Les appareils de chauffage dont nous avons parlé sont simples, et quoiqu'ils présentent des difficultés de combinaison, et qu'ils soient trop rarement basés sur les principes de la science, ils sont cependant chaque jour construits par les fumistes, parmi lesquels il n'en est pas un qui ne croie devoir inventer son calorifère, son poêle et sa cheminée.

Il en est autrement pour les *chauffages à vapeur*; le prix élevé de leur installation, la difficulté des détails à combiner, les ont laissés jusqu'à présent à un très petit nombre d'ingénieurs, et bien peu ont eu occasion d'en construire sur une grande échelle.

C'est un avantage que nous avons dû aux conseils de M. d'Arcet, qui, avec diverses commissions de l'Académie des sciences, a présidé à l'établissement des grands chauffages de la Bourse et de l'Institut; cette expérience ne doit pas être perdue.

Les appareils à vapeur sont employés tous les jours au chauffage des ateliers, et c'est de là qu'ils ont pénétré dans les édifices publics et particuliers, en prenant des formes plus riches et plus compliquées, mais sans changer leur caractère fondamental, qui se constitue :

D'un appareil à produire la vapeur ou *générateur*;

De tuyaux de distribution et de transport. Enfin de récipients à grandes surfaces extérieures, destinés à condenser la vapeur et à transmettre au dehors, à travers leur enveloppe, la chaleur dégagée dans cette condensation.

On sait en effet que l'eau, quand elle se réduit en vapeur, absorbe et rend latente une quantité considérable de chaleur, et que la vapeur en se condensant rend à peu près 500 calories par kilogramme, qui peuvent être utilisées à divers usages.

En vertu de cette propriété, la vapeur est un puissant moyen de transmission de chaleur qui peut porter au loin, sous un très petit volume, et diviser sur tous les points, la quantité considérable de chaleur demandée sur chacun de ces points; faculté précieuse que ne possède aucun autre procédé de chauffage, dont on tire le plus grand parti dans les arts, et que nous avons appliquée dans toute l'étendue du principe fondamental aux chauffages des édifices publics.

Tout ce qui concerne les générateurs a été développé dans l'article CHAUDIÈRE A VAPEUR, car ces appareils sont partout les mêmes, que la vapeur produite soit destinée au chauffage de l'air, à celui de l'eau, ou à l'alimentation des machines à vapeur.

Les générateurs destinés au chauffage sont ordinairement établis à basse pression, et fonctionnent avec une pression qui dépasse au plus de 25 centimètres de mercure la pression atmosphérique. Au premier moment de la mise en activité, on est obligé de monter à quelques centimètres de plus, pour chasser l'air des appareils et porter rapidement la vapeur aux points les plus éloignés du système; mais aussitôt après, on réduit la pression au degré nécessaire pour le service : car il y a toujours avantage et économie à produire la vapeur à la plus basse température possible, quand il n'y a pas un intérêt spécial à l'employer à haute pression.

Dans les manufactures, l'on emploie souvent au chauffage des ateliers la vapeur produite à haute pression, mais utilisée d'abord directement et détendue dans le cylindre d'une machine à vapeur de manière à la faire travailler deux fois.

La matière et la forme des générateurs employés pour le chauffage peuvent varier, bien que l'on emploie aujourd'hui presque exclusivement les générateurs en tôle et à bouilleurs. Nous avons placé deux chaudières, l'une en tôle, l'autre en cuivre, à fonds plats, dites à tombeau, au palais de l'Institut; et depuis douze ans, on n'a reconnu d'autre différence de service entre elles qu'une légère adhérence des dépôts dans celle de tôle, tandis qu'ils sont complétement en boue dans celle de cuivre; la dépense de combustible est la même pendant le travail, et aucune des deux n'a éprouvé la moindre détérioration; mais comme elles restent pendant cinq mois d'été inoccupées, il se produit alors une légère oxydation extérieure à la chaudière de tôle, ce qui n'a pas lieu à celle de cuivre.

Les tuyaux de distribution qui portent la vapeur à des distances quelquefois de plusieurs centaines de mètres doivent remplir deux conditions :

1° Avoir un diamètre largement nécessaire pour conduire la vapeur à la plus grande distance sans donner un excès de pression notable au générateur. Car il en est de la vapeur comme de l'eau, plus les tuyaux de conduite sont longs et plus la résistance passive opposée au mouvement est grande; afin de n'être pas obligé de vaincre les résistances par des excès de pression considérables, comme on surmonte celles des conduites d'eau par un surhaussement dans la charge, il faut, à quantité de vapeur égale, augmenter le diamètre des tuyaux avec leur longueur. Sous ce rapport, l'augmentation du dia-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mètre ne peut nuire en rien; mais elle en augmente la surface de refroidissement qui n'est pas une surface de chauffe utile, et qui, évidemment, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre pour envelopper les tuyaux et s'opposer à leur refroidissement, donne lieu à des condensations nuisibles, et par conséquent à des pertes de chaleur et d'argent.

On utilise cependant quelquefois à un chauffage la chaleur dépensée à travers la surface des tuyaux de distribution; mais alors, ou les tuyaux perdent leur caractère de simples tuyaux de conduite, pour devenir appareils de chauffage, ou il n'y a pas grand avantage à confondre deux services différents; et l'on s'expose à divers inconvénients, par exemple, à celui de produire dans les tuyaux de distribution des condensations qui gênent le mouvement de la vapeur, et en diminuent la tension et la vitesse.

Dans l'industrie, chaque appareil doit avoir son service spécial et unique, et être employé à des travaux différents; il est rare qu'il remplisse bien deux conditions à la fois, il devient alors moins bon pour chacune d'elles. L'indépendance des opérations est une grande condition de succès.

Entre les deux extrêmes que j'ai signalés il est des proportions que la pratique a enseignées et que la théorie a confirmées en les résumant en règles générales.

En Angleterre, dans les chauffages à *basse pression*, les tuyaux sont avec raison d'un gros diamètre; au palais de l'Institut, ils ont 0m,11 de passage intérieur, et aussi la vapeur arrive-t-elle en quelques instants aux points les plus éloignés, sous une très faible pression.

Il ne faut donc pas prendre pour des générateurs de dix à douze chevaux des diamètres moindres. Lorsque pour une raison indépendante du chauffage, le générateur fonctionne à deux atmosphères, ou au-dessus, le diamètre sera sans inconvénient diminué de beaucoup; alors on adoptera la règle pratique suivante qui nous sert toujours :

Le diamètre intérieur du tuyau doit être égal à un minimum de 35 millimètres, augmenté de 4 1/2 millimètre par force de cheval du générateur employé, ou de la vapeur qui doit passer par ce tuyau.

Si le générateur à dix chevaux de force, ou qu'au moins une quantité de vapeur égale à dix chevaux, c'est-à-dire à peu près de 200 à 250k à l'heure, ait à traverser ce tuyau, il aura un diamètre de 35+45 ou 50 millimètres, pour trente chevaux, 35+45 ou 80 millimètres.

On calculera de même les embranchements partiels, en ne descendant pas au-dessous de 20 à 30 millimètres, à moins de quantités de vapeur excessivement faibles et au-dessous d'un cheval.

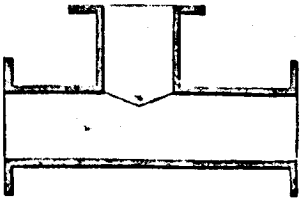
Les proportions réglées par la formule de M. Péclet, sont un peu moins fortes que celles-ci, et elles donnent rigoureusement les diamètres en raison de la longueur des tuyaux et de la pression de la vapeur; mais avec une méthode pratique comme celle-ci, et en général dans tout appareil exécuté, il est nécessaire de se tenir au-dessus des dimensions exactement suffisantes, ne fût-ce que pour prévoir les accroissements possibles de service.

Les tuyaux de distribution de vapeur sont exposés quelquefois à avoir des fuites, presque exclusivement aux *branchements* partiels tourmentés par les dilatations contraires des tuyaux longitudinaux et du branchement. Ces branchements sont des pièces de cuivre emboîtées et bien rivées, il faut alors leur donner beaucoup de force et d'empâtement; et les clouer quand ils ont un fort diamètre.

Nous avons employés avec un plein succès dans les grands chauffages, pour éviter les accidents, des branchements en fonte ou en cuivre fondu (fig. 470).

Les tuyaux de distribution doivent toujours être faciles à visiter et à réparer,

On évite des condensations considérables de vapeur en enveloppant ces tuyaux de lisière de drap, de poil de



470.

vache ou de tresses de foin, recouvertes d'un enduit de plâtre; car les placer dans de doubles tuyaux et dans une enveloppe d'air stagnant, ce serait s'enlever tout moyen de visite. Quand un tuyau à vapeur passe dans un plancher, il faut le placer dans un caniveau que l'on recouvre d'une trappe mobile.

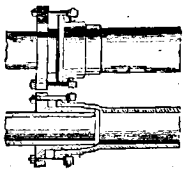
Les tuyaux de distribution sont en fonte quand ils ont un gros diamètre, en fer étiré ou en cuivre quand ils sont plus petits. Dans les petits diamètres, les tuyaux en fer étiré ne coûtent pas moins cher que ceux en cuivre; ils ont l'avantage de n'avoir guère de fuites, mais si on veut les changer pour modifier les dispositions des appareils, comme cela a lieu si fréquemment dans les ateliers, on en perd presque complétement la valeur.

Ceux de cuivre, au contraire, conservent toujours leur valeur, peuvent être changés à volonté, et employés ensuite ailleurs avec peu de perte.

Les tuyaux de fonte, doivent être tournés sur une saillie de trois centimètres de largeur qui reçoit le mastic, et solidement boulonnés; les joints à emboîtements sont exposés, par suite des dilatations et contractions alternatives des colonnes, à être ébranlés ou à donner des fuites.

Les tuyaux de fer étiré sont filetés aux deux bouts, vissés bout à bout dans de petits manchons taraudés; c'est un excellent accouplement, il a seulement l'inconvénient de ne pas permettre de démonter facilement une colonne de tuyaux, puisqu'il faut reculer une partie de cette colonne pour sortir le tuyau de son manchon.

Les tuyaux de cuivre sont brasés à la soudure forte; jamais on ne doit admettre la soudure d'étain, que la chaleur de la vapeur ramollit et brise aux moindres vibrations. On les assemble, soit par des brides dites à la *moulfarine*, consistant en deux demi mâchoires creusées en cône intérieurement, qui, rapprochées l'une de l'autre au moyen de deux vis, serrent ensemble deux collets coniques, mais d'une plus large base, que l'on a brasés au bout des deux tuyaux, et les accouplent ainsi préalablement mastiqués (c'est une excellente fermeture), soit par des écrous roulants formés d'un anneau taraudé qui se visse sur le bout fileté de l'un des tuyaux, de manière à y presser le collet de l'autre tuyau sur lequel il roule librement; enfin on les accouple le plus communément avec des brides en fer forgé, qui agissent sur les collets de cuivre assemblés, ou brasés au bout des tuyaux, et sont serrées par deux bou-



471. 472.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUFFAGE.

lons ou plus; c'est un assemblage très solide, facile à démonter, et qui a l'avantage de ne pas être perdu quand un boulon vient à s'user ou à se briser. Dans tous les joints de ces tuyaux on met une légère couche de mastic rouge, composé de céruse, de minium et d'huile de lin, avec une rondelle de carton bouillie dans l'huile, ou de plomb mince. Les tuyaux de plomb doivent être entièrement proscrits des chauffages à vapeur, comme se gonflant, et finissant par crever sous la double action de la chaleur et de la pression.

Les tuyaux de transmission, surtout ceux en cuivre, doivent être fixés solidement, pour ne pas se briser par les vibrations que la vapeur leur imprime quand elle rencontre de l'eau froide. Il faut cependant conserver toujours des moyens de dilatation suffisants, pour éviter toute rupture, et donner aux tuyaux de distribution des pentes qui laissent écouler l'eau condensée: car, lorsqu'elle reste accumulée dans des coudes ou des contre-pentes, elle ferme tout passage à la vapeur, et en la condensant brusquement, elle donne des coups si violents qu'il en résulte inévitablement des ruptures et des fuites.

Les *récipients* ou *appareils de condensation* ont pour objet, comme nous l'avons dit, de condenser intérieurement la vapeur, et de transmettre toute la chaleur ainsi dégagée à travers leur surface à l'air qui les enveloppe, pour en élever ou en soutenir la température.

Il y a donc deux points à examiner dans la question des récipients, les dimensions et la surface à leur donner par rapport au service qu'on leur demande, c'est-à-dire à la quantité d'air ou aux dimensions des salles à chauffer, et les dispositions des appareils intérieurs qui y apportent la vapeur, et en évacuent l'air et l'eau.

L'expérience prouve que la quantité de chaleur transmise à travers une surface de fonte, de tôle ou de cuivre, est dans les limites d'épaisseur que l'on donne aux appareils, à peu près indépendante de cette épaisseur.

La nature du métal, et bien plus l'état de la surface exercent une influence très grande sur les quantités de chaleur transmises; les métaux noircis et dépolis en laissent passer beaucoup plus que les métaux brillants et polis. Voici les quantités de vapeur condensées par un mètre carré de chauffe des métaux les plus employés, plongés dans de l'air à 15°, et par conséquent le nombre de calories transmises par un mètre carré en une heure.

	VAPEUR condensée	CALORIES transmises.
Fonte nue en tuyau horizontal.	1k,81	995c
Fonte noircie. . . . id. . . .	1k,70	935c
Cuivre nu. . . . . id. . . .	1k,47	808c
Cuivre noirci. . . . id. . . .	1k,70	935c
Cuivre noirci, tuyau vertical.	1k,98	1089c
Tôle neuve.	1k,80	990c
Tôle rouillée.	2k,40	1155c

Pour proportionner les surfaces dont on connaît ainsi la puissance de transmission de chaleur et par conséquent de chauffage, avec les dimensions des salles à chauffer, il est évident que l'appareil doit d'abord fournir à l'échauffement de l'air et des parois de la salle, ensuite aux pertes qui ont lieu à travers ces parois, en contact, d'un côté avec l'air chaud, et de l'autre avec l'air froid extérieur.

M. Péclet, après de belles expériences sur la question du refroidissement de l'eau à travers des enveloppes formées, avec les matériaux les plus communément employés dans la construction de nos habitations, en a fait sortir des formules très simples qui permettent de calculer avec certitude les pertes dues au refroidissement extérieur des murs et du vitrage, et par conséquent les surfaces d'appareils nécessaires pour réparer les pertes et entretenir une salle à une température donnée.

Mais tout le monde ne peut pas se servir de ces formules, et voici une règle pratique donnée par la longue expérience des ingénieurs français et anglais, soit pour les usines, soit pour les habitations, et que confirment pleinement les formules de M. Péclet : *4 mètre carré de surface, chauffée intérieurement par de la vapeur, et par conséquent les 990 calories transmises par 1k80 de vapeur condensée*, suffisent pour chauffer et entretenir à 15° une salle de proportions de murs et de fenêtres ordinaires, de 66 à 70 mètres cubes de capacité, ou un atelier de 90 à 100 mètres cubes, à moins que cet atelier n'ait besoin d'une haute température, auquel cas on donne 4 mètre carré de surface de chauffe pour 70 mètres cubes.

Il est évident que cette mesure n'est ici que la représentation d'un rapport moyen de surfaces de murs et de vitrage.

Le tableau suivant contient les résultats du chauffage des divers grands établissements en Angleterre :

DÉSIGNATION des établissements.	NATURE des tuyaux.	Capacité de l'édifice à chauffer.	Cubes en mètres chauffés par 1 m. carré de surface de tuyaux.	Température en degrés centigrades
		mèt. cub		
Filat. Houlsworth à Anderson, . . .	Fonte.	5662m	40,5	29°
Lindwood Ibiden.	id.	2494	39	21,1
Kennedy à Jonhston.	id.	7927	38	23,80
Catrine.	Fer-blanc sans enduit.	id.	56,62	»
Houlsworth à Manchester.	Fonte.	id.	54	id.
Chapelle à Port-Glascow.	id.	4699	44,3	»
Partie de la manufact. des Adelphi.	id.	4446	44	18
Filat. à Anderson.	id.	id.	62	19°,5
W. King à Ichaston.	id.	6925	57	21°
Sim à Glascow. .	Fer-blanc.	2831	38	22,20
Filature à Donn. .	id.	4954	id.	id.
Douglas et comp. .	Id. sans end.	3878	28m	22,20
Houlsworth à Jonhston.	Fonte.	2746	38	30,56
Hôtel à Jonhston.	id.	id.	56	id.

Les proportions bien constatées par l'expérience de 66 à 70 mètres cubes, quand on veut un bon chauffage, comme pour des bibliothèques, bureaux, salles de réunion, et de 90 à 100 mètres, pour des salles à chauffer modérément comme certains ateliers, sont les meilleures, et elles ont servi de base à l'établissement des appareils de la Bourse et de l'Institut, comptés à 67 mètres cubes, qui chauffent très largement. Ajoutons que la présence des ouvriers dans un atelier ordinaire, comme une filature, y élève la température de 3°.

Il sera donc facile de calculer les dimensions des appareils de chauffage, mais si l'on voulait en sus des pertes par les murs, renouveler par ventilation une partie de l'air de la salle, il faudrait une plus grande surface. C'est ce que nous apprendrons à calculer à l'article VENTILATION.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On donne à ces appareils des formes diverses. On adopte les tuyaux dans les ateliers et même dans les édifices publics, lorsque l'on peut placer les tuyaux hors de la vue, sous des tables, des planchers ou les chaufferettes, comme nous l'avons fait dans la bibliothèque de l'Institut; c'est encore la meilleure disposition, la plus solide et la plus économique.

Mais au milieu des salles habitées et décorées, un bon ingénieur se gardera de placer des appareils ou vases de grandes dimensions, et de formes désagréables, qui nuiraient à la décoration architecturale. Il donnera à ses appareils des formes qui fassent décoration. Celles de piédestaux soutenant des bustes ou des statues, par exemple, ou de consoles, sont riches, offrent une grande résistance à la pression de la vapeur, et sont faciles à obtenir avec la fonte, et bien préférables sous ce rapport à la tôle et au cuivre; c'est ce que nous avons fait pour toutes les salles de l'Institut et des Néothermes, où nous avons employé ainsi des boîtes en fonte décorées et cachées dans les planchers, pour recevoir la vapeur, et chauffer les pieds des assistants. Nous y reviendrons plus loin. Il est facile de varier à l'infini avec les dispositions des lieux et les besoins, ces formes d'appareils. Quand on envoie de la vapeur dans de longues colonnes de tuyaux, il faut en fixer un bout par des colliers solides, et laisser à l'autre extrémité toute facilité de dilatation, en les soutenant par exemple sur des supports à galets, ou mieux sur des tresses de fil de fer tordu; mais toujours il est nécessaire de leur donner des moyens de se dilater sans se briser à l'aide de compensateurs, de grandes boîtes à étoupe boulonnées, qui embrassent une partie tournée et rodée d'un des tuyaux de la colonne, et la maintiennent pressée en lui permettant de s'allonger et de se raccourcir sans laisser échapper la vapeur.

Quant à la disposition intérieure des appareils de chauffage à la vapeur, elle est simple.

Ce sont des vases métalliques creux, dans l'intérieur desquels on introduit de la vapeur qui s'y condense en eau, et s'écoule au dehors; tuyaux, piédestaux ou boîtes, le service en est le même.

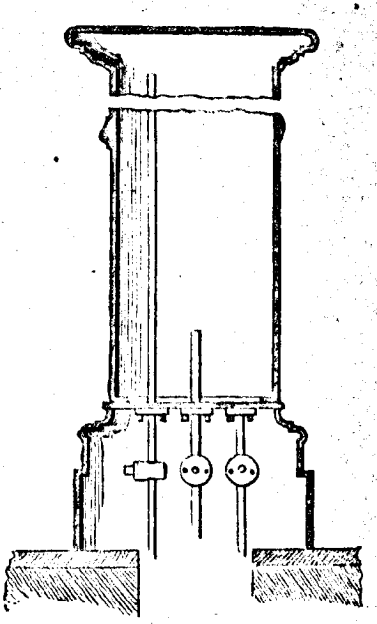
Un tuyau d'arrivée versant la vapeur assez haut pour qu'elle ne soit pas gênée par l'eau condensée.

Un tuyau d'évacuation d'eau condensée, prenant cette eau au point le plus bas de l'appareil, et un tuyau d'évacuation d'air, indispensable pour faire sortir complétement cet air au moment où la vapeur arrive: car sans cela, non seulement la vapeur n'entrerait pas, ou marcherait faiblement, mais mêlée à de l'air cette vapeur se condenserait et chaufferait mal; c'est une condition capitale pour la bonne marche des appareils. Le tuyau d'évacuation d'air dans les piédestaux part du haut de l'appareil, comme on le voit fig. 473, qui représente un piédestal chauffeur avec ses trois tuyaux, d'arrivée de vapeur et d'évacuation d'eau et d'air, tous munis de robinets pour en régler à volonté la marche; quant aux tuyaux chauffeurs, on leur donne une pente dans un sens ou dans l'autre, mais autant que possible dans le sens du courant de vapeur pour évacuer les eaux condensées, et on y ajoute ou un petit robinet ou une vis d'aérage, vis creuse et ouverte à l'intérieur du tuyau, qui, quand on la tourne quelque peu, ouvre à l'extérieur une issue à l'air; les eaux condensées dans les appareils sont, bien entendu, renvoyées dans le générateur.

Dans tout chauffage à vapeur à basse pression, il faut placer sur le tuyau, ou sur le générateur, un petit appareil, dit *Reniflard*, qui porte une soupape ouvrant du dehors au dedans, et qui laisse rentrer l'air dans les générateurs et les tuyaux, quand le feu tombe, et que le vide s'y fait, pour éviter que la pression atmosphérique extérieure ne vienne à les écraser.

Quelques observations sont nécessaires sur les tuyaux

CHAUFFAGE.



473.

de retour d'eau. Avec le chauffage à la vapeur il y a quelquefois difficulté à renvoyer directement l'eau au générateur, parce que la vapeur étant la plupart du temps introduite dans les appareils *en quantité inférieure à leur puissance maximum* de condensation, il y existe toujours un vide qui s'oppose en partie au retour de l'eau dans le générateur. Le plus sûr est de recevoir cette eau dans une bâche et de s'en servir pour alimenter la chaudière, soit au moyen d'une pompe, soit avec un appareil ordinaire de retour d'eau. On réussit cependant souvent à ramener dans le générateur l'eau condensée de l'appareil, quand il y a une pression suffisante, au moyen d'une disposition très simple, qui consiste à tourner le bout du tuyau d'alimentation en équerre sur le tuyau même, et dans la direction de l'arrière de la chaudière à l'avant, c'est-à-dire à diriger le bout du tuyau horizontalement, suivant le sens du courant de circulation d'eau, parce que autrement ce courant s'opposerait à la rentrée de l'eau. Quelquefois on perd l'eau condensée au bout des colonnes de tuyau, en y plaçant des petits tubes pliés en syphons, dont la branche extérieure est plus longue que la pression de travail de la vapeur, afin qu'elle reste toujours pleine d'eau, et laisse celle-ci s'évacuer librement sans que la vapeur puisse sortir.

Pour résumer et compléter sans trop de développements les principes de construction du chauffage à vapeur, nous allons donner une courte description de deux grands appareils que nous avons montés il y a douze ou quatorze ans, et qui ont fonctionné depuis ce temps sans interruption, et sans réparations; l'un est le chauffage à vapeur des Néothermes et l'autre celui du palais de l'Institut: tous deux à Paris (1). Le chauffage à va-

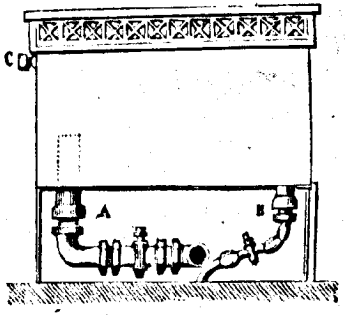
(1) Les détails complets et les plans du chauffage de l'Institut se trouvent dans le second volume des *Recueils des*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

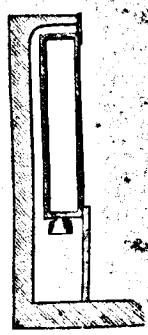
pour de la Bourse a été depuis longtemps publié dans le Bulletin de la Société d'Encouragement.

L'établissement des bains médicinaux des Néothermes, organisés largement par le docteur Boulard, outre des bains de toute espèce à eau chaude, à la vapeur, des fumigations, etc., etc., comprend des salons, salles à manger, billards, une large galerie vitrée, servant en hiver de promenade, et un nombre considérable de chambres destinées au logement des malades; l'établissement entier est chauffé par un seul générateur, à basse pression, et à fond plat, placé dans un caveau, sous le pavillon du bain. Des tuyaux portent la vapeur à toutes les salles de bains, et à tous les étages du bâtiment d'habitation.

Chacune des salles de bains est chauffée par un coffre rectangulaire en fonte, placé près d'un mur, où l'on introduit la vapeur, et d'où l'on évacue l'eau, au moyen de deux robinets placés en dessous et d'une vis d'aérage qui sert à l'échappement de l'air; le linge nécessaire aux baigneurs se chauffe sur ces vases.



474.



475.

Des logements et salons sont chauffés par d'autres vases rectangulaires aussi en fonte (fig. 474) étroits et élevés; les uns sont placés dans la chambre même debout sur un socle de marbre, qui reçoit et cache à l'intérieur leurs tuyaux et robinets, avec plateaux de marbre, et une galerie de cuivre; les autres sont logés dans le mur, dont ils forment le parement (fig. 475) avec un espace vide de 5 ou 6 centim. par derrière, ouvert en haut et en bas pour livrer passage à l'air de la salle qui s'y échauffe par un courant circulatoire. Un socle inférieur en marbre et une galerie en cuivre leur servent aussi de décoration.

La grande galerie vitrée est chauffée par trois tuyaux de fonte logés parallèlement dans un canal creusé dans le sol, et recouvert de plaques de fonte découpées de manière à pouvoir s'y promener comme sur une chaufferette à douce température.

Une boîte en fonte placée devant la porte d'entrée et qui est boulonnée aux trois tuyaux, sert à chauffer plus fortement et sécher les pieds des personnes qui arrivent, parce que la surface chauffée directement par la vapeur s'élève à 85 ou 90° au lieu de rester à 40° comme celle des plaques chauffées seulement par des tuyaux enveloppés d'air. Quatre-vingts salles différentes sont là chauffées par le même générateur.

Le chauffage du palais de l'Institut, exécuté sous la direction d'une commission de l'Académie des Sciences dont faisait partie M. d'Arcet, est donné par un seul générateur à fond plat, assisté d'un second générateur de rechange. Il envoie aussi la chaleur dans un très grand nombre de salles de commissions, salle des séances des académies, bureaux, bibliothèque, escaliers, etc. Aucune difficulté de service, aucun accident, dérangement, ou réparation n'ont interrompu sa marche depuis 1833. Cette sécurité est due aux bonnes dispositions de l'appareil et à la perfection de l'exécution.

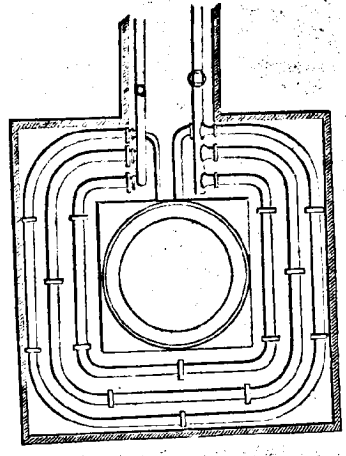
Passons en revue le chauffage des différentes salles. Au bas de l'escalier, au milieu du vestibule, se trouve logée dans le sol, une longue boîte de fonte décorée de deux mètres sur un mètre, dans laquelle on introduit de la vapeur, pour chauffer et sécher les pieds des personnes qui arrivent; l'eau et l'air sont ensemble expulsés au dehors.

Un long tuyau en fonte court dans toute la longueur du rez-de-chaussée, enveloppé dans un coffre rempli de poil de vache. Sur ce tuyau se branchent tous les tuyaux de cuivre qui vont alimenter les appareils divers. Tous ces tuyaux de distribution sont visibles et faciles à réparer au besoin, toutes les brides sont à *la mouffarine*.

Les salles de commission et les bureaux sont chauffés par des piédestaux en fonte, munis d'un tuyau d'introduction de vapeur, et de deux tuyaux, l'un à eau l'autre à air; l'eau retourne à volonté dans chacun des générateurs, ou bien dans une bâche où plonge une pompe qui la refoule dans la chaudière.

L'air évacué est conduit à travers les murs du dehors par un petit tuyau de cuivre, afin de ne pas verser dans les salles le peu d'odeur ammoniacale qui se dégage souvent quand la vapeur est en contact avec la fonte. Les piédestaux portent des bustes.

La salle d'attente est chauffée au centre par une boîte



476.

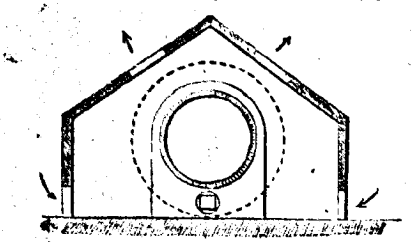
décorée (fig. 476), remplie de vapeur directe et portée ainsi à 90°, et par un jeu de tuyaux de cuivre placés

Mémoires de M. D'Arcet, publiés par M. Ph. Grouvelle (chez Mathias, 15, quai Malaquais.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autour de la première boîte, et recouverts de plaques de fonte chauffées indirectement à 40°, comme nous l'avons dit. Un autre cours de plaques de fonte, avec des ornements à jour, introduit dans cette salle l'air chaud nécessaire à sa ventilation. La salle des séances ordinaires est chauffée par quatre piédestaux tournés au dehors, et placés dans les quatre angles, et par un cours de tuyaux de cuivre placés dans une chaufferette recouverte de tôle et d'un tapis, et placée sous les tables pour recevoir les pieds des membres de l'Académie. Les bureaux du président et des secrétaires en ont également; sous cette salle, et dans un corridor, se trouve un coffre en maçonnerie où sont montés les tuyaux de fonte sur lesquels arrive l'air frais pris à l'extérieur par une trappe à coulisses; cet air chauffé est de là versé dans la salle par les chaufferettes percées d'un grand nombre de trous croissants à mesure que l'on s'éloigne du point de départ, et par des cadres en toile métallique placés sous les banquettes du public.

La Bibliothèque est chauffée par des tuyaux de fonte établis sous des chaufferettes à jour et sous les tables, de manière à recevoir les pieds des lecteurs (fig. 477).



477.

Un tuyau a été disposé, et les générateurs calculés pour porter la chaleur dans la Bibliothèque Mazarine adjacente à celle de l'Institut de France. Mais les chefs de cet établissement, à cette époque, n'ont pas cru devoir y appliquer ce moyen de chauffage.

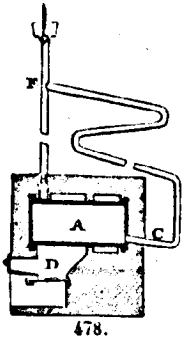
La Bibliothèque de l'Institut est donc à notre connaissance, la seule à Paris qui soit chauffée avec sécurité absolue, et de la manière la plus agréable pour les bibliothécaires et les lecteurs. Espérons que cet exemple sera bientôt adopté dans les autres bibliothèques publiques.

Nous reviendrons en traitant de la VENTILATION, sur celle de salles semblables à celles des séances des Académies.

VII et VIII. — CHAUFFAGE A CIRCULATION D'EAU CHAUDE.

Le chauffage des habitations par la simple circulation de l'eau, c'est-à-dire par le passage de l'eau chaude dans des tuyaux, est connu depuis les Romains, qui l'employaient dans les étuves et les thermes; de nos jours encore, dans quelques localités, comme à Chaudesaigues, les eaux thermales sont envoyées dans des tuyaux pour chauffer les maisons. Mais ce qu'on appelle aujourd'hui *circulation d'eau*, c'est-à-dire la disposition d'appareil qui envoie, dans une série de tuyaux, de l'eau chauffée dans une chaudière, et la ramène, par une autre série de tuyaux faisant suite aux premiers, dans cette même chaudière, de manière à opérer une rotation continue, est de l'invention de Bonnemain, qui l'appliqua à son incubation artificielle de poulets; où la condition fondamentale était un chauffage lent, modéré, parfaitement égal, et avec lequel l'air de l'étuve ne pût pas devenir trop sec.

Conçu avant 1777, ce procédé fut amené par son auteur à une telle perfection, qu'un appareil monté par Bonnemain lui-même, fonctionne encore aujourd'hui au Pecq (voir INCUBATION ARTIFICIELLE). De France, ce procédé passa en Angleterre, où il a reçu de 1830 à 1836 un immense développement, et remplacé presque partout la vapeur pour le chauffage des lieux habités. Seul ou combiné au chauffage de l'air, il a été appliqué aux édifices publics, aux maisons particulières et aux serres, par les plus habiles ingénieurs, et Perkins lui a ouvert, en 1837, une route nouvelle, en inventant la circulation d'eau à haute pression. Plusieurs ingénieurs français enfin l'ont ramené à sa terre natale; mais, il faut le dire, il a reçu une grande impulsion d'un homme, M. Léon Duvoir, qui, quoiqu'il n'ait nullement inventé les appareils que l'on lui attribue, comme nous le montrerons plus loin, n'en a pas moins su entraîner avec lui nos administrations trop lentes, leur faire monter de grands appareils de chauffage, et les amener à en regarder aujourd'hui avec raison l'installation comme un objet de première nécessité dans tous les édifices que l'on élève. Nous reviendrons plus loin sur les appareils spéciaux de ce constructeur.



478.

Si l'on suppose deux colonnes de tuyaux de même hauteur verticale, entièrement remplies d'eau, et en communication l'une avec l'autre par le bas et par le haut, de manière à former un circuit complet, comme le représente la fig. 478; si en outre les deux colonnes d'eau sont à la même température, elles seront en équilibre et resteront immobiles, quel que soit leur diamètre et leur longueur respective, en vertu des lois de l'hydrostatique.

Si maintenant on échauffe d'une manière continue une de ces colonnes d'eau, et que de l'autre on enlève à mesure à l'eau chaude passée dans le haut de la colonne d'eau froide la chaleur qu'elle avait apportée, il résultera de la différence de densité de l'eau dans les deux colonnes une circulation continue, qui déterminera le passage non interrompu de l'eau froide dans le bas de la colonne chauffée et de l'eau chaude dans le haut de la colonne froide. C'est une question de théorie hydraulique: et si on y applique les principes de calcul, on reconnaît qu'une très-légère différence de température, quand les tuyaux ont des diamètres assez grands, suffit, avec de petites hauteurs, pour produire des vitesses remarquables. Ainsi, à l'aide de la formule de Prony, qui donne la vitesse de l'eau dans une conduite d'un diamètre et d'une longueur déterminée, en raison d'une légère charge d'eau sur le réservoir supérieur, charge qui représente ici la différence de longueur des deux colonnes de même poids, mais de chaleurs et de densités inégales; à l'aide de cette formule, on trouve qu'avec une colonne d'eau de 1 mètre de hauteur, 50 mètres de longueur et 0,14 de diamètre, et une différence de température de 3 à 4°; la vitesse dans les tuyaux est de 0m,03 par seconde, ou 1m,80 par minute. En se servant donc de la première colonne ou colonne montante comme récepteur, et lui appliquant à son point le plus bas la chaleur que l'on veut distribuer, employant le reste de cette colonne comme moyen de transport de la chaleur, et la colonne descendante comme appareil émisseur, on aura un système qui recevra toujours de la chaleur dans une des colonnes et en perdra toujours par l'autre, et où, par conséquent, il se fera une circulation continue.

Au reste, le mouvement circulatoire ne s'en produirait pas moins, si au lieu d'employer exclusivement la co-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lonne ascendante comme organe de transport, elle sert en même temps d'appareil de distribution; on continuera à produire le mouvement, malgré un certain refroidissement dans la colonne montante, pourvu que le refroidissement continue aussi dans la colonne descendante, parce qu'alors la température moyenne de la première sera toujours plus élevée que celle de la seconde, condition suffisante du mouvement; la vitesse de circulation sera cependant alors moindre, parce que la différence des températures moyennes des deux colonnes sera moindre. Moins en effet il y aura de refroidissement dans la colonne montante, et plus il y en aura dans la descendante, plus aussi la vitesse sera grande.

Tout système de circulation d'eau consiste donc en un appareil de chauffage, en communication par la partie supérieure avec une série de tuyaux qui, après avoir monté jusqu'au point culminant du circuit, redescendent pour venir se brancher à la partie inférieure de l'appareil chauffeur. Si les tuyaux s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau supérieur de l'appareil chauffeur, celui ci est forcément clos, car l'eau du système entier se viderait immédiatement. Si, au contraire, la colonne de tuyaux chemine à peu près horizontalement, sans dépasser de plus de 1 mètre le niveau de la chaudière, comme dans les serres, celle-ci peut être découverte librement, et n'en formera pas moins un circuit complet dont la hauteur sera la distance verticale entre le point où le tuyau rentre dans la chaudière, et le point culminant de la colonne.

La vitesse que l'on obtient, surtout avec des hauteurs de 10, 15 et 20 mètres, permet d'envoyer ainsi des quantités considérables de chaleur sur les points à chauffer. Ainsi, à travail égal, l'augmentation dans la hauteur de la colonne permet d'en diminuer le diamètre, et on peut toujours proportionner les appareils aux besoins du service, si importants qu'ils soient. Or, comme l'eau chaude renferme une quantité considérable de chaleur, et qu'elle peut communiquer la chaleur nécessaire à un volume d'air 3,200 fois plus grand, ce procédé de chauffage devient un instrument très puissant et de beaucoup supérieur, comme moyen de transport et de distribution de chaleur, à l'air chaud, mais sous ce rapport inférieur, quoi qu'on en ait dit, à la vapeur; ce que nous prouverons en parlant *du chauffage par l'eau et la vapeur*.

Ainsi la circulation d'eau simple est le meilleur procédé de répartition de chaleur, dans des limites de distances qui ne dépassent pas 75 mètres de chaque côté, et un nombre d'étages ou de salles modéré; mais les précieuses qualités qui ressortent des principes généraux déjà posés, sont :

Une simplicité remarquable de construction et de conduite, car il faut seulement un feu plus ou moins égal, tel que celui qu'on entretient dans un calorifère à air chaud, ou dans un poêle, sans avoir besoin de s'occuper des appareils supérieurs. Pas d'alimentation, de surveillance, ni de nettoyage; une régularité extrême dans le chauffage, sans que la négligence, l'oubli du chauffeur, même pendant plusieurs heures, puissent arrêter tout le service; puisqu'il s'opère simplement alors un abaissement proportionnel général et très peu sensible dans la température de la circulation, une répartition très égale de la chaleur sur de grandes longueurs (car avec des circulations de 100 mètres, la différence de température d'une extrémité à l'autre ne dépasse souvent pas 4 ou 5°), que l'on compense facilement par une augmentation progressive de surface de chauffe.

L'extrême facilité avec laquelle on peut modérer le chauffage (propriété qu'aucun autre système n'offre au même degré) et le régler suivant les besoins du moment, par la seule conduite du feu.

L'abaissement de la température moyenne de la circulation est presque sans limites, jusqu'au degré de la température ambiante : car si léger que soit l'excès de température dans une partie de la colonne, il y produit une rupture d'équilibre et un mouvement. C'est une qualité précieuse, et que ne possède aucun autre système de chauffage : ni la vapeur qui exige toujours un chauffage maximum, ni l'air chaud qui se refroidit complétement dans les tuyaux de conduite et le passage des murs, comme nous le montrerons, quand sa température ne dépasse que de quelques degrés la température extérieure.

Enfin le refroidissement des appareils, avec la vapeur, est presque instantané; il est très rapide avec l'air chaud. Avec la circulation qui fait mouvoir dans un seul circuit des masses d'eau considérables et chauffées à un haut degré, renfermant par conséquent de grandes quantités de chaleur, ce refroidissement est très lent : puisque toutes les portions du liquide chauffeur contenues dans le système, viennent successivement au moyen de la circulation qui se ralentit par degrés, passer dans les appareils refroidisseurs pour y perdre à chaque passage une légère portion de leur chaleur. On emploie donc avec grand succès ce mode de chauffage dans les serres, où il faut une chaleur réglée et parfaitement égale, et où aucune autre disposition ne peut remplir les conditions rigoureuses du problème, dans les prisons, dans les édifices publics destinés à de grandes réunions, surtout quand on peut faire circuler des tuyaux sous le sol ou sous un amphithéâtre, partout il donne des résultats également avantageux, même en employant la disposition adoptée généralement en Angleterre, de chauffer de l'air par une circulation d'eau, pour le distribuer ensuite dans les salles à chauffer, sans qu'il puisse se trouver jamais altéré, ni chauffé au-dessus de 50 à 60°. Les surfaces chauffantes sont le plus souvent alors des boîtes plates en fonte dans lesquelles l'eau circule, et entre lesquelles l'air vient s'échauffer.

Les appareils de circulation peuvent être divisés en deux classes, ceux à basse et ceux à haute pression.

Les premiers sont ouverts librement à l'air, avec des colonnes d'eau et des charges sur l'appareil chauffeur qui ne dépassent pas une atmosphère.

Les seconds sont fermés entièrement avec de grandes hauteurs de colonne, et quelquefois des soupapes de sûreté, pour en régler la pression; d'autres fois, comme ceux de Perkins, ils sont clos hermétiquement par des vis taraudées.

Circulation à basse pression. Dans ces appareils, où les vitesses et les hauteurs de colonnes ne sont pas considérables, voir plus loin fig. 481, il faut des tuyaux d'un diamètre plus gros, de 0m,11 à 0m,15 par exemple. Leur surface, au reste, devra toujours être en rapport avec les dimensions des salles à chauffer.

Pour calculer ces surfaces, nous prendrons pour point de départ les bases données plus haut pour le chauffage à vapeur. Nous avons dit que, pour entretenir à 15 ou 16° centigrades, pendant les plus grands froids, une salle de 70 mètres cubes, ou un atelier de 100 mètres, il fallait une surface de fonte de 1 mètre carré chauffée à la vapeur, condensant 1k,80 de vapeur, et laissant passer à l'extérieur 990 calories par heure.

Pour estimer la surface de chauffage d'eau nécessaire pour donner ces 990 calories, on peut admettre sans erreur grave, suivant la loi de Newton, que les quantités de chaleur dégagées par une même surface sont dans le rapport direct des différences entre les températures intérieures et extérieures, bien qu'en réalité la quantité de calories émise par une surface, augmente plus rapidement que la différence des températures.

Ainsi, avec de la vapeur à 100° dans l'intérieur du tuyau, et de l'air à 15° à l'extérieur, la différence de

EFERUS.- Recherche & Classification numérique

température est de 85°. Avec de l'eau au maximum à 80°, par exemple, et de l'air à 15°, la différence étant seulement de 65°, la surface de tuyaux de fonte nécessaire pour donner 990 calories sera de 1m.c,30. Avec des tuyaux de cuivre, on compterait 1m.c,50.

En pratique, il vaut mieux donner toujours aux appareils une surface un peu plus considérable, et il faut compter 1m.c,50 à 1m.c,75 de surface à l'eau, comme l'équivalent de 1 mètre de surface à la vapeur, ou 35 à 40 mètres cubes de salle ordinaire et de maison d'habitation pour 1 mètre carré de fonte chauffée par circulation d'air.

Cette surface sera donnée, soit en récipients de chaleur ou poêles d'eau, si on peut les placer dans les lieux à chauffer, soit en surface de tuyaux, soit en appareils de chauffage d'air, si on est obligé de mettre les surfaces de chauffe hors des salles. Mais il faut alors ou disposer les conduits pour faire circuler l'air même de la salle sur les tuyaux, ce qui est à peu près l'équivalent de l'établissement de l'appareil au milieu de la salle, ou si, au contraire, on est forcé d'envoyer dans la salle l'air extérieur, chauffé comme dans un calorifère, pour compenser la perte de chaleur due au renouvellement de l'air pris à — 12°, par exemple à l'extérieur, et évacué à + 15°, il faudra ajouter cette perte aux 990 calories nécessaires pour 70 mètres cubes.

Il faut donc, pour chauffer une salle de 70 mètres cubes :

1° Surface à raison de 1 mèt. car. pour 40 mètres.	1 mèt. car. 75
2° Pour chauffer de 45° l'air, en supposant qu'il entre dans la salle à 60°, soit 45° de différence utile, soit 70 mètres cubes d'air qui emporteront 650 calories par heure, et qui exigeront par conséquent en surface de chauffe excédante.	1 mèt. car. 00
Soit en tout, pour 70 mètres. . .	2 mèt. car. 75

ou 2 fois 1/2 la surface nécessaire au chauffage à vapeur, quand cette surface ne chauffe qu'indirectement la salle, et 1 fois 3/4 quand la surface est directe.

Il faudra donc toujours, à moins de nécessité absolue, placer les appareils chauffeurs dans les salles mêmes à chauffer. On voit qu'il y a là une économie considérable dans les surfaces nécessaires, et par conséquent dans les frais d'établissement et dans ceux de chauffage. En parlant spécialement des serres, nous donnerons les proportions à y employer.

Les poêles d'eau (voir fig. 481) s'interposent sans difficulté dans une circulation comme en faisant partie, sous la seule condition de faire arriver l'eau par en haut, et de l'évacuer par en bas, les tuyaux de circulation se trouvent ainsi interrompus, et le poêle forme une portion des tuyaux de circulation. En donnant à la colonne montante une assez grande puissance motrice, que l'on calcule aisément, on peut faire remonter diverses fractions de la colonne descendante, de manière à aller passer dans les poêles d'eau, après avoir couru sous le plancher qui les porte.

Les tuyaux et appareils chauffeurs s'établissent en fonte, en tôle ou en cuivre. En fonte, ils sont plus solides et plus sûrs, et prennent mieux des formes décoratives : la quantité de chaleur émise est aussi un peu plus considérable. La tôle n'est guère employée pour les tuyaux, mais bien pour les vases chauffeurs, qui sont plus faciles à construire sous de grandes dimensions, avec moins de poids et moins de dépense qu'avec la fonte, et, s'il y arrivait des accidents, qui ne peuvent avoir lieu qu'avec les chauffages à haute pression, l'appareil se déchirerait simplement, sans explosion, mais la résistance à la pression et aux accidents imprévus est beaucoup moins grande. En cuivre ils coûtent plus cher qu'en tôle, se conservent mieux, durent plus, mais sont moins résistants encore aux pressions, surtout extérieures.

Cependant nous verrons plus loin que, sous forme de tuyaux, le cuivre mince s'emploie avec avantage pour les circulations d'eau à basse pression, dans les serres et ailleurs, en soudant ensemble les tuyaux à l'étain.

Les tuyaux de communication, qui portent seulement l'eau aux récipients ou poêles d'eau, ne doivent pas avoir un diamètre aussi grand que s'ils servaient de tuyaux de chauffage, surtout s'il y a un peu de hauteur; il suffira de 0m,08 de diamètre avec 4 ou 5 mètres de pression. Tous ces tuyaux, ceux de circulation et de chauffage seront, bien entendu, posés et soutenus de manière à pouvoir se dilater et se raccourcir sans résistance aucune, car ils seraient immédiatement brisés. S'ils sont horizontaux et d'un gros diamètre, on les portera sur des galets, ou sur des supports en tresses de fil de fer, avec tous les soins indiqués dans la pose des tuyaux de vapeur.

Les joints, si les tuyaux sont en cuivre, sont soudés à l'étain, avec de longs emboîtements, quand une fuite ne présente pas de danger, comme dans une serre, et que ces tuyaux sont à découvert, et faciles à réparer, en ayant cependant la précaution d'établir de place en place une bride en fer boulonnée pour faciliter les démontages.

Quelquefois, quand on voudra toute sécurité, les tuyaux de cuivre seront brides et boulonnés.

Les tuyaux de fonte seront emboîtés et mastiqués au mastic de fonte, comme ceux de conduites de gaz ou d'eau, assemblage très solide, mais moins cependant que les collets boulonnés, dont nous avons parlé plus haut.

C'est toujours là, dans un grand appareil destiné à un édifice public, la disposition la plus simple et la plus sûre. On peut remplir ensuite les joints à l'extérieur de mastic, de limaille de fonte. Si ces tuyaux ne devaient servir qu'au transport de la chaleur et non à un chauffage, il faudrait les envelopper comme nous l'avons dit plus haut.

Quant aux appareils de chauffage, il faut avant tout qu'ils aient assez de surface de chauffe pour recevoir largement toute la chaleur nécessaire aux divers appareils distributeurs du système, parer à toutes les pertes de transmissions et autres pertes pour lesquelles il faut ajouter 25 p. 100 au moins à la somme totale des besoins de l'appareil. On pourra compter sur une absorption de 14 à 15,000 calories au minimum par chaque mètre carré de surface de chauffe de chaudière convenablement disposée.

Les formes peuvent et doivent varier avec les localités, les dimensions des appareils et le système adopté.

Dans une serre, avec un petit chauffage à circulation, la chaudière pourra avoir la forme des chaudières de teinture circulaires avec un couvercle mobile en cuivre. Quand il y aura nécessité de fermer la chaudière complétement avec une pression modérée, on lui donnera la forme de celles dites en tombeau, très avantageuses pour la construction du fourneau. (Voir, fig. 479 et 480, la chaudière des serres de l'école de pharmacie.)

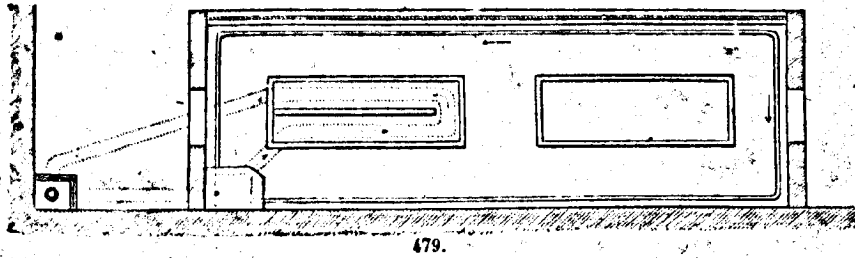
D'habiles constructeurs de chauffage de serres emploient des formes compliquées, qui multiplient les surfaces de chauffe, mais qui nous paraissent moins avantageuses que des dispositions plus simples. Les chaudières de chauffage de bain, avec un foyer intérieur et un gros serpentin ascendant, nous paraîtraient excellentes pour des circulations d'eau, même de grandes dimensions.

Quand enfin ces appareils seront de grandes dimensions, et devront travailler avec pression, on prendra des générateurs cylindriques, avec ou sans foyer intérieur, capables de résister à des pressions beaucoup

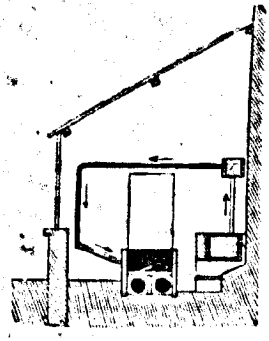
EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus grandes. M. Léon Duvoir, comme on le verra, a adopté des formes de chaudières qui ont les plus grands inconvénients, sans avoir, à notre avis, aucun avantage particulier.

La capacité de ces chaudières doit évidemment être en rapport avec les dimensions des appareils; elle



479.



480.

peut varier dans de grandes limites, sans inconvénient fondamental; mais en modifiant seulement quelques-unes des conditions de l'appareil. Si, par exemple, on adopte des appareils chauffeurs de grande capacité, on n'aura pendant la nuit qu'un refroidissement très lent, puisqu'il y aura là un grand réservoir de chaleur accumulée, mais aussi le matin on sera beaucoup plus longtemps à chauffer. C'est là un défaut grave, surtout dans les serres, où l'on a besoin quelquefois, lors d'une gelée subite, de chauffer en une demi-heure, sous peine de voir périr toutes les plantes.

Dans un édifice public, il vaut toujours mieux avoir d'assez grandes masses d'eau accumulées dans les appareils distributeurs que dans ceux de chauffage.

La capacité de ces appareils peut varier depuis 15 jusqu'à 30 p. 100 du cube total des appareils distributeurs: mais il faut, qu'en calculant la vitesse de la circulation dans l'appareil, il y ait toujours assez d'eau dans la chaudière, pour que sa température ne s'élève pas au-dessus du degré maximum réglé, et que par conséquent la chaleur développée par le combustible, soit utilisée aussi bien que possible.

Les fourneaux se construisent d'après les règles ordinaires, comme nous les avons données dans le chapitre premier de *Guide du chauffeur de machines à vapeur*, pour tous les fourneaux employés dans les industries. Règle générale, il faut aussi les calculer de manière à leur donner un léger excès de puissance sur les appareils d'absorption et d'émission.

En veillant soigneusement à la stricte observation des dimensions et des conseils pratiques que nous avons donnés, on calculera facilement le quantité de combustible à brûler par heure pour suffire au chauffage demandé, en faisant la somme du nombre de calories nécessaires de tout le système, y compris les pertes, et se rappelant qu'avec un fourneau bien construit, 1 kilogr. de houille ou de coke transmet à la chaudière de 3,200 à 4,000 calories, en moyenne 3,500; 1 kilogr. de bois, 1,520 calories; et 1 kilogr. de tourbe, de 12 à 1,400, suivant sa qualité.

Ces appareils chauffeurs seront disposés avec les précautions nécessaires, pour que jamais les charpentes ou menuiseries de l'édifice à chauffer ne puissent être incendiées. On place en général ces appareils chauffeurs dans les caves, et là il n'y a aucun danger; mais quelquefois leur fumée est utilisée pour chauffer de l'air, pour obtenir une ventilation, ou pour chauffer des plaques de fonte placées dans le sol du rez-de-chaussée, et alors on peut leur faire traverser des planchers, ce qu'on doit faire dans des enchevêtrures, larges et garnies solidement de briques et de terre.

Si l'on établissait une circulation complète dans des appareils métalliques, hermétiquement clos, il est évident que l'eau, en s'échauffant et se dilatant, viendrait à rompre ces appareils qui, enveloppés d'air froid, se dilatent moins que l'eau. Pour éviter ce danger, et en même temps livrer passage à l'air, qui s'échappe toujours de l'eau nouvellement mise dans l'appareil, ou qui s'y introduit par quelque joint inférieur, et qui, si on le laissait s'accumuler dans les coudes supérieurs de la circulation, l'arrêterait complétement, on a soin d'établir, au point culminant de tout chauffage à circulation, un réservoir de niveau et de remplissage communiquant directement avec la colonne montante, et que l'eau de ce système ne remplit qu'à moitié, de manière à lui laisser de la place pour se dilater quand elle s'échauffe sans rien briser.

Ce réservoir, appelé vase d'expansion, est ouvert quand l'appareil est à basse pression, fermé et boulonné, mais muni d'une soupape de sûreté réglée à une certaine charge, quand ce système est à haute pression, comme celui de M. Léon Duvoir. Il sert aussi à évacuer l'air de l'appareil.

Dans la circulation des serres à chaudières découvertes, où les tuyaux qui dépassent le niveau supérieur de la chaudière sont complétement fermés, on installe au point culminant de chaque circulation une petite pompe à air, que l'on fait jouer une ou deux fois par jour pour enlever l'air qui s'accumule sur ce point.

Un phénomène remarquable, et qui avait été déjà découvert par Bonnemain, c'est que si dans une circulation complète, on établit à la suite d'une seule colonne ascendante plusieurs colonnes descendantes, la circulation de l'eau s'opère avec la plus grande égalité dans toutes, sans qu'il soit nécessaire de les régler ensemble par des robinets; les appareils d'éclosions de poulets, de Bonnemain, sont établis sur ce principe, et il n'est aucun besoin en pareil cas de donner à la colonne montante unique, une section égale à la somme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des sections des colonnes descendantes. La vitesse augmente alors proportionnellement dans la colonne montante.

Ce phénomène d'égalité de répartition d'eau dans plusieurs tuyaux descendants, se représente aussi dans les tuyaux de fumée des calorifères, bifurqués et descendants. Il est dû à la diminution de pression qui résulte de la moindre densité de l'air traversant de haut en bas un premier tuyau, d'où résulte le passage simultané de la fumée par les autres tuyaux.

On emploie, pour régler ou arrêter les circulations, suivant leur diamètre, des robinets ou des valves coniques, conduits par des vis à une manivelle, ou enfin dans les chaudières ouvertes des serres, des obturateurs ou bouchons de bois coniques revêtus de toile, qui viennent fermer l'ouverture du tuyau par le bas, et sont manœuvrés du haut par une fourchette à deux branches et une vis serrant sur le haut du tuyau même.

Circulation à haute pression. Les principes de la circulation à haute pression sont les mêmes que ceux déjà développés, si ce n'est qu'au lieu de fonctionner à des températures inférieures ou égales à l'eau bouillante, elle travaille sous des pressions de plusieurs atmosphères, et par conséquent à une température bien supérieure à 100°.

Nous rangeons dans cette classe deux systèmes principaux, celui de M. Léon Duvoir et celui de Perkins. Le premier porte ses appareils jusqu'à cinq atmosphères. Le chauffage monté à la Chambre des Pairs exerce cette pression sur l'appareil chauffeur. Le second travaille à des pressions qu'on ne peut pas évaluer, puisqu'il n'y a aucun instrument ni moyen de mesure, qui peuvent s'élever à 15 et 20 atmosphères et plus, la température n'étant pas inférieure à 200° degrés.

Il y a à l'emploi de ces hautes pressions quelques avantages de construction; les surfaces de chauffe et les sections des tuyaux sont plus petites, les passages des murs plus faciles, et la différence de température, entre la colonne de départ et celle de retour, étant plus grande, les vitesses sont plus considérables, ce qui permet d'élever l'air que l'on chauffe sur l'appareil à un degré plus haut qu'avec l'appareil à basse pression. Mais à côté de ces qualités, il y a des défauts spéciaux qui nuisent au système : le principal est, surtout dans les appareils de chauffage et dans les poêles de M. Duvoir, un danger d'explosion réel et profond. Dans les appareils de Perkins, composés uniquement de tuyaux de fer étiré, de 25 millimètres de diamètre, essayés à une pression de plus de 100 atmosphères, réunis par des assemblages très solides,, ne contenant que des quantités d'eau très faibles, le danger est presque nul, tandis qu'avec de grands poêles, souvent en fonte, et surtout des appareils chauffeurs à cloches, munis de foyers intérieurs, combinés de manière à éprouver des pressions du dehors au dedans, c'est-à-dire les plus désavantageuses pour la résistance des matériaux, avec des appareils ainsi chargés de 5 atmosphères de pression, il y a toujours danger d'explosion et d'épanchement subit d'une grande masse d'eau à 140°; car s'il survenait seulement une fissure, par des différences de dilatation ou un joint défait à un des appareils, l'eau du système se viderait par là en se répandant partout en vapeur brûlante, et l'accident serait d'autant plus grave que, dans les installations de M. Duvoir, il y a un grand nombre de poêles en communication directe l'un avec l'autre, et que formant un seul conduit ils s'épancheraient tous à la fois par la même fuite. Ces appareils sont essayés sans doute à une pression réglée et bien supérieure à celle sous laquelle ils fonctionnent habituellement; mais l'essai de tous les générateurs n'empêche pas de temps en temps des accidents très graves, sans que l'on puisse souvent s'en expliquer les causes. Puis ces appareils résistent bien quand ils sont neufs, mais au service ils s'altèrent; les tôles se brûlent ou s'oxydent, les masticages se délitent, et une série d'accidents, tous imprévus, viennent à éclater. Il n'y a sécurité complète qu'en réduisant le plus possible la pression, et donnant aux appareils les formes les plus solides.

Un autre défaut du système de chauffage de M. Léon Duvoir, c'est de placer des vases énormes au centre des galeries et des salles qu'ils encombrent, et où ils nuisent à la décoration, et au style de l'architecture; c'est les exposer évidemment à être rejetés plus tard par les réclamations de l'art.

M. Léon Duvoir a donné comme étant de lui, trois objets, dont les deux derniers n'ont rien de nouveau. Des appareils de chauffage qui sont composés d'une cloche en fonte à double enveloppe, pleine d'eau, ayant à l'intérieur un foyer, surmonté d'un cylindre creux aussi rempli d'eau. La flamme et la fumée, au sortir du foyer, passent quelquefois dans un calorifère ordinaire, en fonte, qui envoie son air chaud dans une partie des salles à chauffer. D'autres fois la fumée chauffe, en circulant, des conduits où passe de l'air extérieur, et dans lesquels descendent aussi les tuyaux de retour d'eau de l'appareil. Ces dispositions, très compliquées, ne présentent aucun avantage. La forme de la chaudière offre peu de résistance à la pression et peu de surface de chauffe. Le calorifère à air chaud ne peut avoir aucun but, si la surface de la chaudière est suffisante pour refroidir convenablement la fumée. On doit employer les formes les plus simples, employées partout, qui sont en définitive les seules bonnes formes de chaudières, coûtent le moins à établir, sont calculées pour résister mieux aux pressions et être les plus faciles à nettoyer et à réparer.

Un second procédé de M. Duvoir est le chauffage de l'air extérieur sur les tuyaux de circulation d'eau chaude. Cette disposition d'un heureux et fréquent usage, était employée dans bien des endroits, en Angleterre, longtemps avant la prise du brevet de M. Duvoir, et notamment dans la galerie de l'Institution des ingénieurs civils à Londres.

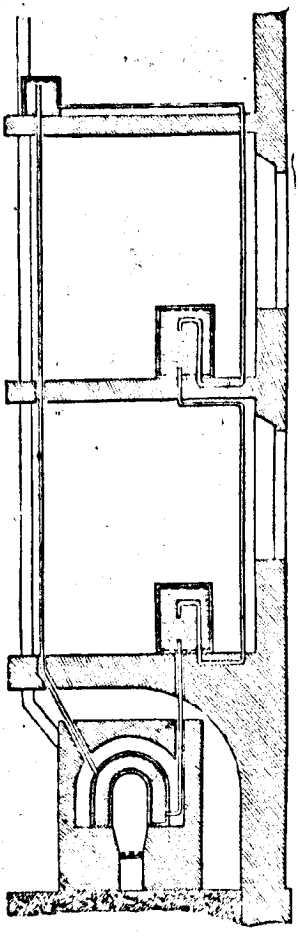
La troisième disposition de M. Léon Duvoir, et celle-ci forme la base de tous ses appareils, est un système de *poêles à eau*, placés dans la salle même, à différents étages superposés et chauffés en les faisant traverser par une seule circulation d'eau dont ces poêles font partie intégrante.

Pour rendre à chacun ce qui lui appartient, nous dirons que ces poêles d'eau, avec leurs doubles capacités concentriques remplies d'eau, et entre lesquelles vient passer l'air que l'on veut chauffer, recevant l'eau par un tuyau qui descend du *vase d'expansion* placé à un étage supérieur et qui passe dans les murs et sous les planchers, et envoyant cette eau par un tuyau semblable à un poêle pareil placé à l'étage inférieur, et de là au bas de la chaudière, nous dirons que le système entier de M. Duvoir, tel qu'il le construit, même avec son *poêle d'eau* et son *vase d'expansion*, et toutes ses dispositions, ont été publiés, décrits et tracés en 1834, cinq ans avant son brevet, dans le *London journal of arts and manufactures*, comme un brevet pris en Angleterre le 20 août 1829. Deux frères, MM. Henry Cruger Price, de Bristol, et Charles Fox Price, serruriers, sont les inventeurs mêmes du nom de poêle-d'eau, *waterstove*, et c'est à eux qu'en revient l'honneur. La chaudière seule a été changée par M. Duvoir. MM. Price, habiles praticiens, comme le prouve la création d'un semblable d'appareils que l'on a depuis lors si peu modifié, avaient choisi la forme ordinaire de générateur employé dans les ateliers, comme la plus simple et la plus avantageuse à l'application du feu. M. Duvoir a donc opéré là une addition défectueuse par son système de chaudière.

En somme, nous donnons une simple description des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

appareils de M. Duvoir, pour les faire comprendre, n'en ayant pas les détails complets.



481.

L'appareil (fig. 481) se compose d'une chaudière en fonte et en tôle, à foyer intérieur, ainsi que nous l'avons décrit, d'un tuyau de large diamètre en fonte, montant directement dans le comble du bâtiment à chauffer, et muni de compensateurs, pour éviter toute rupture par suite de dilatations; au sommet de cette colonne, un vase d'expansion et de niveau d'eau, est ouvert librement quand on veut travailler sans autre pression que celle de la colonne d'eau ascendante qui pèse sur la chaudière ainsi fermée : et muni d'une soupape de sûreté ou d'un manomètre à air libre, quand on veut forcer ou monter la pression et la température de l'eau au-dessus de la simple pression atmosphérique, ce que M. Duvoir fait toujours dans ses grands chauffages.

Un tuyau latéral sert dans les appareils sans pression à conduire la vapeur d'eau qui se forme sous la grille du fourneau, et guide le chauffeur dans la conduite de son feu, et de l'appareil qui ne doit jamais donner de vapeur puisqu'il ne s'en forme que quand l'eau entre en ébullition.

Un vase ou un tuyau placé aussi sur le vase d'expansion sert à y introduire l'eau nécessaire pour maintenir l'appareil plein, soit à la main, soit avec une pompe.

Du vase d'expansion partent des tuyaux de distribution d'un petit diamètre, et préservés soigneusement de tout refroidissement, en nombre plus ou moins considérable suivant les besoins du système et qui vont se rendre, en passant sous les planchers, dans les poêles d'eau placés aux différents étages, poêles où ils pénètrent par le bas en montant presque jusqu'à leur partie supérieure pour s'y ouvrir et s'y terminer. Un autre tuyau, ou plutôt la suite du tuyau de circulation, branché au bas du même poêle, passe sous le plancher et va chauffer un ou deux poêles placés aux étages inférieurs, disposés exactement comme le précédent, et d'où le tuyau de retour d'eau se rend dans le bas de la chaudière, en chauffant sur son chemin de l'air extérieur versé dans les salles du rez-de-chaussée.

Les vitesses données par les hautes colonnes d'expansion, et les différences assez grandes de température qui résultent d'aussi longues circulations de retour dans des appareils d'émission à grandes surfaces, tandis que la colonne montante est soigneusement préservée du refroidissement, ces vitesses, disons-nous, sont assez grandes pour vaincre les résistances données par les tuyaux de retour qui montent dans chacun des poêles successifs que traverse le courant.

Ces poêles formés de récipients pleins d'eau, tantôt avec des tuyaux intérieurs à air, tantôt avec des enveloppes concentriques, sont tantôt placés dans la salle même, tantôt recouverts de doubles enveloppes en tôle ou en fonte, qui chauffent directement ou par circulation l'air de la salle, ou l'air extérieur qui doit être versé à l'intérieur.

Des appareils à peu près semblables ont été établis dans différents lieux, par M. Duvoir.

Il faut le dire toutefois, pour être juste, M. Léon Duvoir, malgré les défauts graves qu'il n'a pas su éviter ou corriger, a tiré un grand parti de ces appareils, qui ne sont pas, comme nous l'avons dit, aussi originaux que beaucoup de personnes l'ont cru, mais il en a fait d'importantes applications.

En traitant de la ventilation nous parlerons d'une disposition qu'on lui avait également attribuée, et qui avait été employée depuis plus d'un siècle, *la ventilation par le foyer des fourneaux*.

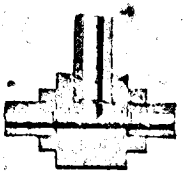
Dans la construction d'appareils de ce genre la pensée principale doit toujours être de réduire le plus possible la pression, d'isoler les appareils de chauffage, dont la dépendance est toujours un défaut; de disposer les tuyaux de manière à éviter toute rupture par dilatation; de choisir des modes d'assemblages comme aussi des formes d'appareils solides, simples, et faciles à réparer, de donner partout un libre dégagement à l'air, qui, s'il s'amassait dans des tuyaux ou des coudes, arrêterait la circulation; de compter toujours largement les surfaces de chauffe aussi bien des appareils de distribution que de la chaudière : en un mot, au lieu de chercher du nouveau dans des formes et des dispositions inusitées, compliquées, il faut prendre autant que possible les dispositions et formes justement appréciées des manufacturiers, les meilleurs juges des qualités pratiques d'un instrument.

Appareils de Perkins. Le chauffage à haute pression de Perkins, moins dangereux peut-être que celui de M. L. Duvoir, par le petit diamètre des tubes et leur faible charge d'eau, plus économique encore de surface et de place, plus facile à passer dans les murs et planchers et à loger partout, a le défaut d'avoir souvent des fuites par les joints sous ces hautes pressions, et a même causé

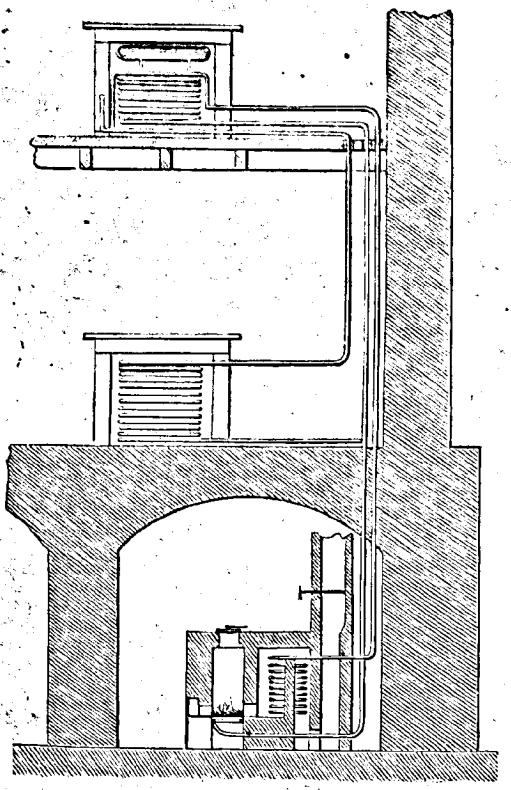
EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUFFAGE.

des incendies, en carbonisant à la longue les bois auprès desquels il passe, en vertu de la haute température à laquelle sont élevés ses tubes. Par leur disposition, il est en effet impossible d'en mesurer jamais la pression et la température. Les tubes en fer étiré de 0,025 de diamètre, qu'on y emploie, sont essayés à de très hautes pressions. Les raccords trouvés par Perkins sont admirablement combinés pour la fermeture (fig. 482), ils consistent à serrer l'un contre l'autre, au moyen d'un petit manchon taraudé, deux tuyaux dont l'un est dressé sur ce bout, et l'autre taillé en biseau, jusqu'à ce que le biseau ait pénétré dans le tube plan. Les embranchements s'exécutent par le même artifice; seulement dans ces chauffages, il y a impossibilité jusqu'à présent d'adapter de bons robinets, ou des fermetures convenables; on laisse donc circuler l'eau dans tous les appareils à la fois.



482.



483.

L'appareil entier consiste en un long tube continu et qui, aussi bien pour donner le générateur ou appareil récepteur de chaleur, que pour donner les récipients d'émission ou poêles, se replie simplement sur lui-même en hélice et multiplie ainsi les surfaces sous un petit volume. La fig. 483 en donne un exemple. Il s'agit du chauffage d'une maison à plusieurs étages; au bas de l'appareil est un fourneau en briques avec foyer, qui enveloppe une hélice ou révolution multipliée du tuyau général, pour y verser toute la chaleur nécessaire au chauffage de la maison. Le bout supérieur de l'hélice monte directement jusqu'à l'étage supérieur à chauffer; là il se replie et se roule sur lui-même, en une nouvelle hélice qui commence le tuyau de descente ou de retour, et forme un appareil chauffeur ou poêle destiné à chauffer soit l'air de la salle, soit de l'air extérieur qu'on y verse. Une enveloppe en bois, en pierre, ou en métal, recouvre cette hélice, et verse l'air dans la salle par de larges bouches grillagées; c'est ce qui forme l'équivalent du poêle d'eau.

Après avoir ainsi chauffé une salle et un étage, le tuyau général continue sa route, descend à l'étage inférieur où il forme aussi un second poêle tout semblable, et ainsi de suite à chaque étage, jusqu'à ce qu'il vienne se brancher avec l'extrémité inférieure de l'hélice logée dans le fourneau chauffeur pour compléter le cercle. Au point culminant de la circulation, sont placés deux tuyaux fermés par des vis solidement serrées. L'un sert à évacuer l'air qui se trouve toujours dans l'eau, et qui s'y loge; l'autre sert à ajouter à l'appareil une certaine quantité d'eau; ce qui est indispensable tous les quatre ou cinq jours, parce que par les joints ou au travers même du fer et des soudures, il s'opère une évaporation impossible à reconnaître, mais sensible à la diminution régulière du liquide contenu.

Quand on veut chauffer deux séries de pièces avec un même appareil, en vertu du principe de circulation simultanée dans les tubes descendants, principe qui est aussi vrai pour le chauffage Perkins que pour toutes les circulations, il suffit de faire partir du sommet de la colonne unique d'ascension deux tubes de retour dont chacun suit pour son compte, et indépendamment de l'autre, sa route particulière, en chauffant une série de pièces distinctes, et qui viennent seulement comme condition nécessaire d'une bonne marche, se brancher ensemble pour ne former qu'un seul tuyau de rentrée dans le fourneau.

Comme nous l'avons dit pour toutes les circulations employées, le tube commun à deux séries d'appareils de retour ne doit avoir que bien peu de diamètre de plus que quand il ne sert qu'à un système; souvent même dans ces petits diamètres, il a le même diamètre ou 25 millimètres en dedans. On compte en Angleterre sur 1 mètre carré de surface de tubes pour 80 mètres cubes de capacité, ce qui correspond à peu près à la surface nécessaire avec un chauffage à vapeur: ainsi si on voulait déduire de là la température moyenne de ces tubes, dans la colonne de retour, on trouverait qu'elle doit être de 100° centigr. environ; ce qui supposerait, à cause de la grande différence entre la colonne d'ascension, et celle de descente due au long développement de cette dernière, au moins 150 à 200° dans la colonne ascendante. Si, en effet, la différence de température n'était pas grande, malgré la précaution prise de ne donner jamais aux circulations plus de 150 à 200 mètres de développement, l'on n'obtiendrait pas la puissance nécessaire pour faire circuler l'eau dans des tubes d'un aussi petit diamètre, où, avec de grandes vi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tesse, les frottements deviennent énormes. Il faut avouer qu'aucune disposition d'appareil ne peut être plus simple, plus commode à disposer, plus facile à passer et à porter partout; aussi en fait-on grand usage en Angleterre, surtout dans toutes les habitations particulières, où l'établissement de grands appareils de circulation à basse pression est trop cher ou trop difficile.

IX. — CHAUFFAGE PAR L'EAU ET LA VAPEUR.

Comme nous l'avons dit, la circulation d'eau directement chauffée par un foyer a des défauts qui en rendent l'emploi, ou plus difficile, ou plus dangereux, ou moins complet.

1° Les hautes pressions que supportent les appareils quand on veut chauffer plusieurs étages avec une seule circulation, et les accidents qui peuvent en résulter.

2° La dépendance forcée des vases chauffeurs ou poêles d'eau superposés d'étage en étage, et desservis par une seule circulation, sans que l'on puisse jamais chauffer l'un sans l'autre, et l'impossibilité d'arrêter un ou plusieurs d'entre eux, ou de les régler à différents degrés de chauffage, suivant leurs besoins respectifs d'heures et de température.

3° La nécessité de restreindre dans les limites assez resserrées d'un développement de tuyaux de 200 mètres à peu près et de 60 à 80 mètres de hauteur le service multiple d'un même appareil chauffeur conduisant avec son tuyau d'ascension un certain nombre de circulations descendantes; d'où résulte la nécessité absolue de multiplier dans les grands édifices les chaudières et les foyers, et par conséquent d'encombrer les caves, et d'augmenter les soins et les frais de conduite, et encore plus de surveillance; de là résulte encore une inégalité inévitable entre divers appareils producteurs de chaleur, isolés les uns des autres, d'où multiplicité des centres de chauffage, et dépendance des appareils de répartition, ce qui est directement contraire à tous les principes d'un bon travail.

Chaque procédé de chauffage, il est vrai, a ses qualités et ses défauts, inhérents à sa nature; et le constructeur trop absolu qui prétend en employer un seul, dans toutes les circonstances possibles, se trompe gravement; à chaque cas spécial convient un procédé spécial, c'est celui qui a pour la circonstance le moins de défauts et le plus de qualités; le talent de l'ingénieur est de savoir peser toujours les considérations décisives, et appliquer chacun des procédés connus là où il convient mieux que tout autre.

Accoutumé à puiser dans les diverses industries des procédés et des ressources appliqués ensuite avec de grands résultats à d'autres travaux, nous avons remarqué que le chauffage des édifices publics manquait d'un moyen général, central et simple de production et de répartition de chaleur, qui n'eût ni les défauts que nous venons de montrer pour la circulation d'eau directe, ni ceux que nous avons déjà signalés dans le chauffage à vapeur, et qui sont : un chauffage impossible à graduer dans les températures modérées, par conséquent toujours au maximum; la difficulté de régler la température avec égalité sur une grande longueur; et enfin le refroidissement instantané de tout l'appareil au moment où l'introduction de la vapeur est suspendue.

Nous avons reconnu que ces qualités qui manquent au chauffage à vapeur, c'est-à-dire les qualités d'émission et d'égalisation de chaleur, sont positivement les plus hautes qualités de la circulation d'eau, et qu'au contraire, les qualités importantes qui manquent au chauffage à circulation, celles de transport et de distribution, se trouvent à un haut degré dans le chauffage à vapeur, le plus puissant et le plus rapide moyen de transport de chaleur qui existe.

Nous nous sommes demandé si par leur combinaison ces deux procédés ne se compléteraient pas réciproquement, et ne donneraient pas un système capable de suffire pleinement et largement aux besoins les plus compliqués des édifices publics et des habitations particulières, et nous avons trouvé dans les manufactures de toiles peintes, les blanchisseries, les teintureries, etc., le procédé complet et tout pratique que nous cherchions, c'est-à-dire la vapeur employée uniquement comme *moyen de transport*, pour chauffer de nombreux réservoirs d'eau placés à tout niveau et à toute distance, jusqu'à plus de 500 mètres si l'on veut.

Nous avons alors compris qu'en fractionnant les circulations d'eau et les poêles, par étage et par localités, et en leur envoyant la chaleur dont ils ont besoin au moyen de la vapeur sortie d'un générateur unique et central, pour un édifice entier, si grand qu'il puisse être, et si nombreux que soient les points à chauffer, nous atteindrions complétement le but, par un moyen tout nouveau dans son application particulière au chauffage des monuments publics, mais éprouvé dans l'industrie par les plus belles applications.

L'édifice pour lequel nous avons trouvé et proposé ce procédé, ne pouvait être chauffé par aucun autre dans les mêmes conditions d'unité de service général et d'indépendance des appareils particuliers, je veux parler de la prison Mazas, à Paris, qui a 1,200 cellules.

Les projets présentés en concurrence avec la circulation par la vapeur avaient aussi plus de sept appareils chauffeurs, les plus simples, nous avons fait tout le service avec un seul générateur.

Dix-huit appareils de circulation d'eau complets, mais isolés les uns des autres, et sans aucune charge d'eau, desservant chacun les dix-huit étages qui forment les six ailes de bâtiment, sont chauffés par de grands récipients qui font partie de la circulation, et au milieu desquels sont des appareils à vapeur en cuivre, qui transmettent leur chaleur à l'eau à travers leur surface; appareils munis chacun de trois tuyaux pour l'introduction de la vapeur et l'évacuation de l'eau et de l'air, comme nous les avons déjà décrits en parlant du chauffage à vapeur.

Le tuyau de la circulation, fig. 484 qui représente le principe d'une de ces circulations, part du haut du vase; l'eau est chauffée rapidement par un tuyau de vapeur qui serpente à travers l'eau et ramène cette vapeur, en partie condensée, par un tuyau de retour, puis, après avoir parcouru tout l'étage en tuyau de circulation, revient se brancher au fond du vase.

Des poêles d'eau et des circulations indépendantes sont placés dans les bureaux et dans toutes les salles de service de bâtiment d'administration, et ils sont aussi chauffés par la vapeur développée au même foyer central.

Il est donc très-facile à un seul chauffeur de conduire tous ces appareils de front, et au même degré ou chacun à son degré, puisqu'il se guide sur la pression du manomètre du générateur placé auprès de lui, sous la rotonde centrale, et sous l'œil même des inspecteurs qui stationnent dans cette rotonde au point de rayonnement de la prison.

Il est très-facile aussi de les arrêter tous ou chacun d'eux, de leur donner à volonté plus ou moins d'intensité de chauffage, par la simple manœuvre d'un robinet, de manière à supprimer complétement le chauffage dans tout étage qui ne serait pas occupé.

Les tuyaux de circulation d'eau sont placés dans des gaînes en pigeonnage dans lesquelles on introduit l'air extérieur pour le chauffer et le verser dans le bas des cellules, d'où il est emporté par les tuyaux de vidange des siéges et par des gaînes de ventilation jusqu'à une cheminée centrale, unique, de 4 mètres carrés de section, où l'appel est établi par un foyer à coke d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forme particulière, et qui reçoit aussi la fumée du générateur. On proportionne aisément ces appareils aux besoins du service. Les circulations et les poêles d'eau

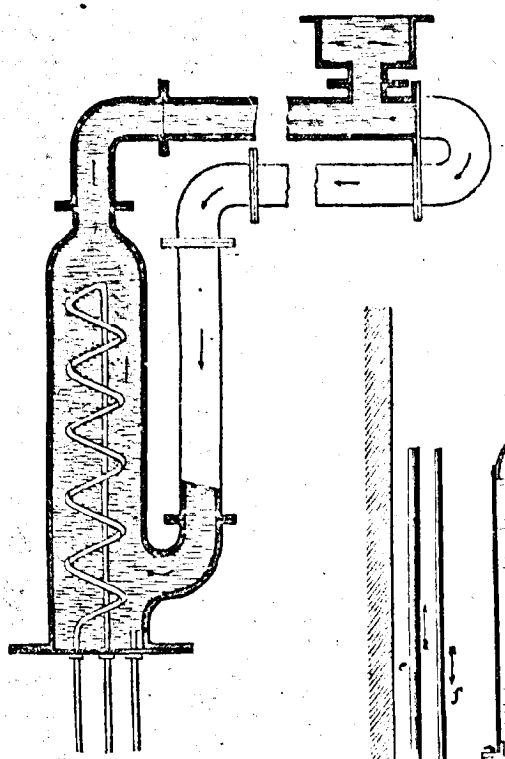


Fig. 484.

se calculent comme nous l'avons dit. Quant à la surface de tuyau de vapeur nécessaire pour chauffer chaque appareil, il suffira de savoir que 1 mètre carré de cuivre plongé dans l'eau, à 25° centigrades, condense par heure, si on expulse complétement l'air, de 100 à 150 kilogrammes de vapeur, ce qui suffit pour déterminer la surface de chauffe de chaque appareil.

Entrons dans quelques détails sur une application qui seule convient pour le chauffage de très-grands édifices, et devant être souvent imitée, offre un grand intérêt.

Le problème était le plus compliqué et le plus difficile qui ait jamais été posé : 1,220 cellules divisées en six corps de bâtiments, les corridors où elles s'ouvrent, les parloirs, les services généraux et les bâtiments de l'administration, en un mot un cube de 50,000 mètres, divisé en un nombre infini de localités différentes, à chauffer et à ventiler, sans que les appareils soient à la main des détenus et, s'il était possible, avec un foyer unique, seul moyen d'obtenir une égalité de température avec l'indépendance nécessaire entre les services, et de centraliser le travail du chauffeur pour qu'il conduise en même temps les appareils de ventilation.

Chacun des dix-huit étages, de soixante-huit cellules, a un vase chauffeur (fig. 485), d'où part une circulation d'eau en tuyaux de fonte, indépendante des autres, complétement close, et dont le tuyau supérieur se bifurque pour courir devant chaque rang de cellules de l'étage, et revenir, dans le même coffre en plâtre, ramener l'eau de circulation au bas du vase chauffeur par des tuyaux *b* et *c*. Dans l'intérieur sont placés deux serpentins à vapeur *d* qui servent à chauffer l'eau de la circulation. Le passage des tuyaux, aller et retour, dans le même coffre, a pour objet d'égaliser le chauffage des premières et des dernières cellules, en compensant l'un par l'autre ces deux tuyaux, qui sont à des températures différentes.

Chaque cellule a un appareil qui lui appartient, indépendant de tous les autres, et pris cependant sur l'appareil commun de l'étage. Cet appareil est composé de

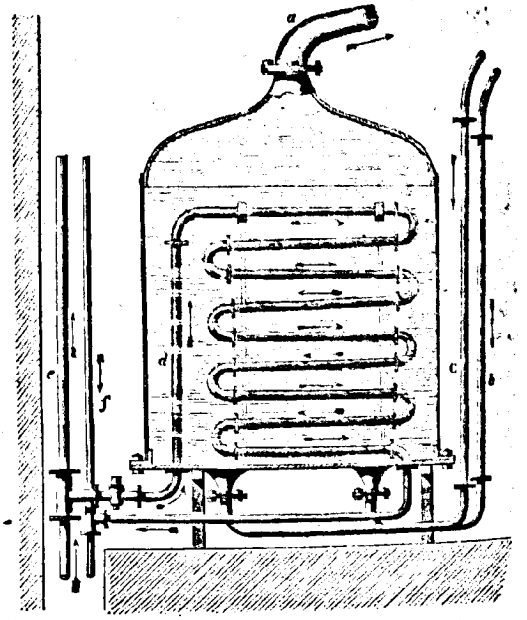


Fig. 485.

2m,33 de tuyau d'aller, et 2m,33 de tuyau de retour, qui avec 0m,081 de diamètre donnent 1m,20 de surface de chauffe par cellule, à 100° de température moyenne : il est séparé de celui de la cellule voisine par une cloison qui coupe le coffre en plâtre où courent les tuyaux.

Sur ces tuyaux vient s'échauffer, en passant, l'air pur pris dans les corridors, où il est amené de l'extérieur, déjà en partie chauffé. Cet air va ensuite porter sa chaleur dans chaque cellule en la ventilant, et y entretenir une température uniforme de 13 à 15°.

Les corridors sont facilement maintenus au même degré par la chaleur perdue des coffres de chauffage. Au point culminant de chaque circulation, un vase de trop plein reçoit le volume d'eau qui se dilate et l'air qui se dégage quand on chauffe.

Des mesures sont prises pour compenser l'effet des dilatations et pour alimenter les appareils.

Plusieurs chaudières à vapeur accouplées ensemble fonctionnant comme une seule, avec un manomètre produisent dans les caveaux placés sous le centre de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prison la vapeur nécessaire à tous les services. Cette vapeur est ensuite envoyée par un système de tuyaux *s*, aux serpentins *d* des dix-huit vases chauffeurs de circulation (fig. 485), et, de plus, à tous les poêles (fig. 486) qui chauffent les greffes, les salles de dépôt et de visite, la lingerie, etc.

L'eau condensée de tous ces appareils revient des points les plus éloignés par un système de tuyaux de retour *f*, jusque dans des appareils d'alimentation qui la renvoient dans les chaudières.

Si les ordonnances relatives aux machines à vapeur nous avaient permis de placer sous un bâtiment habité des chaudières plus grandes que celles de la troisième classe, nous aurions établi seulement trois chaudières de trente chevaux, dont une de rechange.

Nous dirons plus loin, à l'article VENTILATION, comment s'opèrent la ventilation et l'assainissement des 1,220 cellules et de l'édifice entier. Celle-ci est combinée avec les appareils de chauffage.

La dépense de houille est avec 25 mètres cubes de ventilation par cellule et par heure, et l'ouverture facultative des fenêtres pour chaque détenu, de 2,000 kil. environ par jour moyen de chauffage.

Pendant dix-huit mois, une commission spéciale a fait subir à nos appareils, la prison étant occupée en service courant, les épreuves les plus variées et les plus complètes. Ces expériences remplissent des registres et sont résumées dans un rapport, qui doit servir de modèle pour la réception de tous les édifices publics qui sont chauffés et ventilés.

La description précédente montre toutes les ressources dont permet de disposer la combinaison du chauffage par l'eau et la vapeur. Dans nombre de cas, nous le répétons, il n'en est pas d'autre acceptable. Par exemple, qu'on se demande comment chauffer un grand hôpital composé de nombreux corps de bâtiments, séparés par des cours, et des services répartis sur une grande surface. Il est évident qu'avec la circulation simple il faudrait au moins autant d'appareils chauffeurs, de foyers, etc., qu'il y aurait de bâtiments, ainsi qu'une comptabilité de combustible et une surveillance compliquées et sujettes à bien des abus.

Notre chauffage breveté, avec un seul générateur ou deux, pour couvrir les chances d'accident, travaillant chacun à leur tour et avec un seul chauffeur, fera le service de l'établissement entier, et ira chauffer jusque dans les salles les tisanes et les pieds des malades. Pour les bibliothèques publiques, les avantages de ce procédé sont plus grands encore.

Outre la nécessité de placer sous une grande bibliothèque publique, composée de nombreux bâtiments, au moins autant d'appareils à circulation d'eau directe, il faudrait toujours établir les foyers de ces appareils dans les caves, avec des approvisionnements de combustible, des lampes sans cesse allumées, des passages et services d'ouvriers, et des cheminées dans les murs : en un mot, avec tous les dangers de ces dispositions, incendie ou brisement des pièces, qui inonderaient les livres d'eau bouillante à très-haute pression de vapeur, tandis qu'avec la *circulation d'eau par la vapeur*, chaque appareil de circulation serait isolé de tous les autres, sans pression aucune, et le générateur de vapeur unique, avec sa cheminée, son foyer et son combustible, pourrait être placé loin des bâtiments de la bibliothèque, sans aucune communication avec eux que le passage des tuyaux de vapeur à travers les murs. Quelle complète et absolue sécurité on trouverait ainsi, et quels avantages dans le service, de pouvoir chauffer toujours à volonté chacune des salles par leur circulation partielle ou leur poêle d'eau.

Aucun autre procédé ne permet d'obtenir les mêmes résultats.

Nous donnerons encore un exemple intéressant d'application de ce genre de chauffage, à des magasins, bureaux, etc. Nous voulons parler du chauffage de la maison de M. B., négociant rue du Sentier, à Paris. Il est obtenu à l'aide de 35 poêles en tôle (fig. 486) her-

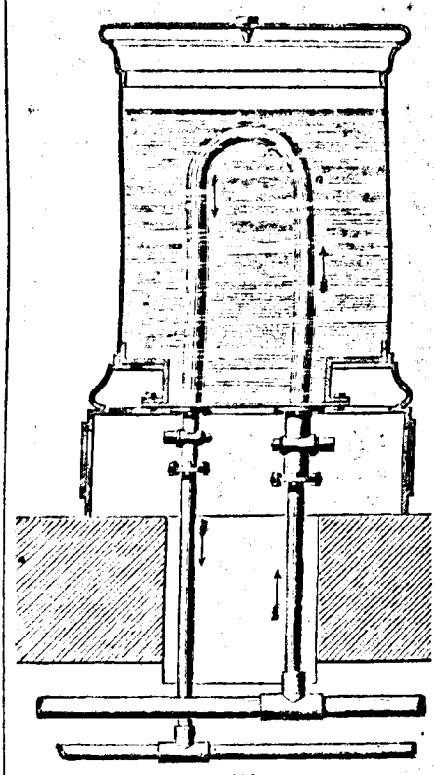


Fig. 486.

métiquement clos, remplis d'eau, qu'on ne renouvelle pas de l'hiver entier, isolés complétement et chauffés chacun par un petit serpentin où la vapeur est envoyée ou interceptée à volonté au moyen de robinets, chauffant de vastes magasins, des bureaux, des pièces d'appartement, le tout occupé par différents locataires qui payent au propriétaire les frais de chauffage avec leur loyer. Plus de 8,000 mètres cubes de capacité sont chauffés par environ 70 mètres carrés de surface de chauffe, une chaudière à vapeur de 8 chevaux consommant 50,000 kilog. de houille environ par hiver, depuis dix années et sans aucune plainte des locataires.

Le chauffeur, quand la température ne descend qu'à 1 ou 2° au-dessous de zéro, chauffe tous les poêles à eau, de manière qu'à huit heures du matin tous soient à la même température, qui est, à quelques degrés près, celle de la chaudière à vapeur.

Il commence par les salles à manger, les bureaux, etc.; puis, pendant plusieurs heures, toute la quantité de chaleur accumulée dans l'eau des récipients se répand lentement dans les salles, qu'elle entretient à la température demandée.

A trois heures après-midi, le chauffeur donne une seconde chauffe qui suffit pour la soirée, sauf quelque-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fois les appartements qu'on réchauffe encore le soir. Quand la température extérieure l'exige, on fait trois chauffes par jour.

Cet appareil se gouverne avec la plus grande facilité; et la présence de l'eau dans les poêles, en donnant moyen d'y amasser en peu de moments une grande quantité de chaleur, permet, s'il le faut, de porter ensuite toute la puissance du générateur sur d'autres récipients, et de faire ainsi un service considérable avec une chaudière à vapeur proportionnellement petite.

Avec la circulation directe, il aurait fallu au moins deux appareils chauffeurs, et on n'aurait jamais fait convenablement à la fois le service de bureaux, de magasins et d'appartements qui demandent des heures et des températures de chauffage toutes différentes

X. CHAUFFAGE DES ÉDIFICES PUBLICS, DES ÉTABLISSEMENTS PARTICULIERS ET DES SERRES.

Après avoir donné les principes et les règles de construction des quatre grands systèmes d'appareils de chauffage, nous avons à résumer leurs qualités et leurs défauts, et à en déduire les règles qui doivent présider à leurs applications; car, nous le répétons, chacun d'eux a des conditions nécessaires, qui le rendent bon dans certaines circonstances et mauvais partout ailleurs.

L'ingénieur doit être pénétré de ces qualités diverses, et d'après les bases imposées dans chaque cas particulier et les ressources qui lui sont offertes, en localité, dépense, ou en installation de service, il doit choisir le procédé qui convient le mieux dans chaque cas spécial, sans se laisser dominer par son expérience plus particulière d'un appareil, ou par des idées systématiques.

Il en est de même pour la construction des roues hydrauliques; celui qui applique un système absolu et unique à tous les cours d'eau, à toutes les chutes, et à tous les genres de travaux, tombera inévitablement dans de graves erreurs.

Comparativement au chauffage par petits appareils utilisant le rayonnement, mais demandant en général trop de surveillance, nous avons déjà dit que le chauffage par calorifère avait l'avantage de tenir peu de place, de se conduire presque sans surveillance, par l'entretien d'un feu confié à un manœuvre; enfin et surtout, d'être très-économique d'installation, puisque le chauffage d'un logement composé de sept ou huit pièces au moins par calorifère, ne coûte pas, bien monté, plus de 1,500 fr., tandis qu'avec une circulation d'eau ou un chauffage à la vapeur, il coûterait plusieurs milliers de francs; mais par compensation, le chauffage à air chaud exige de gros tuyaux dans les planchers et dans les murs, ce qui n'est souvent praticable qu'au moment de la construction des bâtiments.

De nombreuses difficultés de distribution rendent, avec l'air chaud, presque impossible aussi un bon, égal et simultané chauffage de plusieurs corps de bâtiments.

Ce procédé fournit surtout un air souvent altéré par son passage sur la fonte chauffée au rouge, ou au moins doué par son élévation de température d'une telle puissance d'absorption pour l'eau, si on n'a pas pris la précaution de lui en donner artificiellement, qu'il affecte péniblement les organes.

Le chauffage à la vapeur, rapide dans son action, réglé à volonté par le jeu d'un robinet, puissant, comme moyen de distribution sur tous les points les plus éloignés d'un cercle de 6 à 800 mètres, et ralenti ou activé partout suivant les besoins, loge ses petits tuyaux dans les plus petits passages, et transmet en un temps donné, par sa vitesse immense, des quantités de chaleur plus grandes que tout autre procédé. Mais il a le défaut de ne pouvoir pas se modérer comme le chauffage à circulation, en raison de faibles besoins extérieurs, d'exiger toujours un chauffage maximum, et de se refroidir aussi instantanément que la vapeur se condense.

Le chauffage à circulation, doué au plus haut degré des qualités de modération et de lent refroidissement, qui manquent au chauffage à vapeur, simple d'installation et de conduite, et distribuant sur 400 ou 450 mètres de longueur la chaleur qu'on lui confie, en quantités parfaitement égales, a le défaut grave de lier entre eux une partie des appareils installés, sans en permettre le fonctionnement isolé, d'exiger ainsi une multiplication fâcheuse de foyers pour échauffer des grands établissements à plusieurs ailes et à plusieurs étages, et de demander de gros tuyaux qui passent difficilement dans les murs, menaçant en même temps l'établissement d'inondations subites, comme cela est arrivé au marché de *Covent-Garden*, à Londres; ou bien si l'on veut éviter ces gros tuyaux, il réclame forcément l'emploi des hautes pressions, qui, ajoutées à la réunion des appareils superposés et à la grande hauteur de charge qui pèse sur le générateur, laissent toujours peser sur lui une crainte fondée de rupture, d'explosion ou d'inondation.

Enfin la circulation de l'eau chauffée par la vapeur réunit, comme nous l'avons dit, presque tous les avantages des autres systèmes, sans en avoir les inconvénients, et se prête à des distributions d'appareils qu'aucun autre procédé ne peut donner : puissance de distribution centrale, isolement des appareils, comme la vapeur, travail gradué à volonté, et refroidissement lent et successif comme la circulation d'eau, sans exiger de plus grandes dépenses d'installation.

Ces éléments donnés, et lorsqu'une question importante se présente, l'ingénieur doit, avant tout choix de procédé, se rendre un compte bien net des bases du problème, des conditions imposées, soit par la nature de l'établissement, soit par les nécessités du service, soit par les intentions de l'administration, ou même par les dispositons locales, si elles sont arrêtées, quelquefois même exécutées d'avance, enfin du but à atteindre, car il faut que ce chauffage se plie aux besoins du service, et non pas le service aux besoins du chauffage.

De ce travail préliminaire, s'il est bien fait, découle naturellement le choix du procédé, car il y en a toujours un qui répond mieux que tous les autres à ces besoins.

Les conditions à remplir pour une prison ne sont pas évidemment les mêmes que pour une église, une bibliothèque, un collége ou un hôpital; c'est de ces bases que doit sortir d'un seul jet l'ensemble du système de chauffage dans la tête de l'ingénieur, et nous ne saurions trop insister sur la nécessité de concevoir dans son ensemble ce système, en laissant seulement les détails à l'étude lente et laborieuse du cabinet. En effet, le système simple et complet qui sortira seul de la position du problème, se prêtera toujours sans peine aux bonnes dispositions, et satisfera à toutes les exigences.

Le plan général arrêté, vient l'étude des détails avec les lois mathématiques du calcul pour point de départ invariable, en les contrôlant et les confirmant par les résultats de l'expérience, et c'est ici, dans la fixation des dispositions d'exécution si variées, dans la manière de ployer les appareils aux localités sans nuire à leur bon travail, dans la combinaison si difficile des formes, c'est ici que toute la science, toute la puissance d'intelligence et d'imagination et la hardiesse prévoyante de l'ingénieur trouvent un large développement et les plus belles applications.

Puis enfin, quand il arrive à l'exécution, toutes les ressources de la pratique des ateliers doivent lui servir de guide constant, car rien ne serait fait si un grand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

appareil, en même temps qu'il est simple et large dans la conception du système, profondément étudié dans ses détails, n'était pas parfait dans son exécution. Un bon appareil de chauffage ne peut sortir que des meilleurs ateliers.

Nous n'avons pas à tracer ici les règles particulières de chauffage pour chaque genre d'édifice, nous ne pouvons que poser des conseils généraux, sans aborder la description de l'édifice entier chauffé et ventilé, comme nous pourrons le faire à l'article VENTILATION DES ÉDIFICES PUBLICS, car le chauffage ne se peut jamais séparer de la ventilation, et il n'y a pas de bons appareils de chauffage s'ils ne satisfont pas à cette double condition.

Outre les conditions générales de placer les appareils producteurs de chaleur sur des points à proximité, et en même temps isolés des salles à chauffer, pour que le service du combustible et des ouvriers soit hors de la portée de ces salles, de les installer, par exemple, dans les caves avec des entrées indépendantes;

Outre les mesures de sûreté à prendre, soit pour se conformer aux ordonnances ministérielles, soit pour donner pleine sécurité à toutes les craintes;

Outre les précautions de doublement de chaudières et de pièces de rechange, ordinairement prises contre tout accident;

Outre le soin de disposer les appareils, de manière à pouvoir être tous visités et démontés au besoin sans démolition ni difficultés;

Outre les précautions à prendre contre les pertes inutiles de chaleur, les fuites, etc.;

Outre les diverses mesures à adopter dans tous les appareils, il y en a de particulières à chaque localité à chauffer, et que l'expérience ou l'intelligence et l'étude des bons modèles apprendront bien vite.

Ainsi, dans un hôpital, il faut porter la chaleur dans les salles mêmes occupées par les malades, et y installer des poêles assez multipliés, et distribués dans toute la longueur et au centre de la salle et des lits, afin que les convalescents ou les malades, qui se trouvent debout, puisse s'asseoir à l'entour, et se chauffer les pieds; il faut que ces poêles soient disposés à leur partie supérieure pour tenir chauds les tisanes et les mets, et donner au besoin l'eau chaude nécessaire au service.

Il faut surtout que ces appareils versent en même temps, dans la salle chauffée à un degré modéré, tout l'air nécessaire à sa ventilation, à raison de 6 à 8 mètres cubes par heure et par lit; un puissant appel sera établi pour les lieux d'aisances placés ordinairement près des salles.

On peut donner avec avantage à une partie des appareils, surtout dans les salles de femmes, la forme de chaufferettes.

Si l'on organise un promenoir, on aura soin de placer dans le sol une série de plaques de fonte chauffées, soit à l'eau chaude, soit par la fumée des appareils même ou d'un four à coke. Tous les corridors et escaliers seront chauffés de même, et une partie du service de la cuisine, des bains de la buanderie pourra peut-être se combiner avec l'appareil de chauffage.

Dans une bibliothèque publique la chaleur pourra encore être portée directement, soit dans les salles de lecture, sous forme de tuyaux de fonte logés dans les chaufferettes sous les tables pour recevoir les pieds des lecteurs et des bibliothécaires, comme nous l'avons fait à la Bibliothèque de l'Institut, voir fig. 477, soit sous forme de poêles qui serviront de décorations et supporteront des statues ou des objets d'art. Une ventilation très-modérée, et destinée seulement à enlever toute humidité de la salle sera nécessaire.

Dans une prison cellulaire, comme on les construit aujourd'hui, les appareils doivent, au contraire, être placés hors de la portée des détenus, auxquels ils serviraient à l'instant de moyen de communication. Amener les appareils le plus près des cellules sans les y faire pénétrer, les fractionner par étage et par cellule, de manière à ne pas être forcé de chauffer une aile entière pour un petit nombre de cellules occupées; répartir la chaleur avec une parfaite égalité entre toutes les cellules; joindre à l'action de ces appareils une puissante ventilation, seule garantie donnée à la salubrité des cellules : tel est le but que nous avons cherché à atteindre dans les dispositions adoptées pour la prison Mazas, et que nous avons déjà décrites.

Dans un hôtel particulier la pensée de la décoration doit présider à tout le système. Il faut la cacher dans les murs ou sous les planchers les appareils qui sont rarement beaux à voir; s'en servir pour verser dans les salons et chambres l'air chaud nécessaire pour leur fournir toute la chaleur dont ils ont besoin, et pour satisfaire au tirage des cheminées ouvertes; enfin ne montrer les appareils que dans les vestibules, escaliers, corridors et salles à manger, où ils se placent très-bien.

Telles sont les idées principales qui s'appliquent à tous les édifices publics dont nous avons parlé. Il leur faut la circulation d'eau simple, s'ils ne sont pas considérables et que l'on puisse leur donner sans inconvénient une seule série d'appareils, et la circulation par la vapeur, dans tous les autres cas.

On applique le chauffage par calorifère aux maisons d'habitation, où on ne voudrait pas dépenser ce qui serait nécessaire pour établir des circulations d'eau, car celle-ci, comme perfection de distribution, est bien supérieure.

On sait en effet les difficultés infinies que l'on rencontre pour chauffer, par un calorifère, une maison entière, comme celles de Paris, par exemple, à cinq ou six étages et à plusieurs ailes, de manière à obtenir le chauffage en commun, que beaucoup de propriétaires veulent aujourd'hui fournir à leurs locataires. Eh bien, avec la circulation par la vapeur, on aurait, il est vrai, plus de dépenses d'établissement, mais aussi quelle perfection de service et de régularité, au moyen de poêles d'eau isolés, munis de serpentins chauffeurs, ou même avec la circulation à haute pression de Perkins.

Quant aux ateliers et bureaux des usines, ils se chauffent presque toujours par des tuyaux dans lesquels on envoie de la vapeur, et le plus souvent la vapeur perdue des machines à vapeur employées dans l'établissement. La première condition d'une bonne distribution de vapeur partant d'une machine entre diverses séries de tuyaux de chauffage, c'est un grand récipient en tôle bien solide pour résister aux impulsions données par le dégagement de la vapeur, à chaque coup de piston; récipient nécessaire pour égaliser le passage dans tous les tuyaux à la fois. De ce récipient partent tous les tuyaux de chauffage, réglés entre eux ou interceptés par de grandes valves avec des boîtes à étoupes. Un tuyau sert à conduire au dehors la vapeur, quand on ne veut pas chauffer les appareils. A la suite d'un récipient semblable, on peut, sans difficulté, placer 450 mètres de tuyaux de chauffage continus, pourvu qu'ils aient un grand diamètre de 0,13 à 0,15, où à 0,20 environ; on peut les intercepter par des poêles à vapeur, et enfin verser l'excédant de vapeur au dehors. L'on donne, bien entendu, des pentes pour écouler les eaux dans le sens du mouvement de la vapeur.

Nous avons monté un appareil de ce genre dans la belle fabrique de caoutchouc de MM. Rattier et Cie aux Thernes, où la vapeur d'une machine de 25 chevaux est complétement utilisée au chauffage d'immenses ateliers et d'une étuve.

Chauffage des serres. Il serait facile de donner ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les dispositions générales de chaque grand système d'établissement; nous en laissons le soin aux traités spéciaux; mais un article comme celui-ci ne serait pas complet si nous ne parlions pas du chauffage des serres. Il faut alors des appareils tout particuliers qui ne se déduisent pas directement des règles posées plus haut.

Il faut pour le chauffage d'une serre satisfaire aux conditions suivantes :

Une parfaite égalité de température sur toute sa longueur, un chauffage doux ou puissant à volonté, pour suffire à tous les degrés de froid de l'hiver.

Un procédé avec lequel l'air de la serre ne soit jamais assez chauffé pour absorber avidement l'humidité des plantes, ce qui a lieu souvent avec un calorifère, où l'air à injecter dans les serres peut être élevé à 50 ou 60° et devenir ainsi mortel aux plantes. Il faut une puissance d'appareils assez grande pour compenser pendant les plus grands froids le refroidissement d'une énorme surface de vitrage. Enfin un chauffage rapide pour faire face à des nécessités imprévues, et ensuite un refroidissement lent et régulier.

Il faut le dire, un seul procédé de chauffage répond à tous ces besoins, c'est la circulation d'eau. En effet, on a essayé au Jardin des Plantes d'Orléans de chauffer les serres par un calorifère qui y verse de l'air préalablement chauffé sur des pièces de fonte, élevées à la température rouge, et où des précautions sont prises pour saturer cet air d'humidité, en y injectant de la vapeur d'eau, mais il est arrivé là, comme il était déjà arrivé dans de grandes serres chauffées à Paris par le même moyen, que la négligence d'un jardinier, qui avait laissé l'appareil sans eau, a amené de désastreuses pertes de plantes desséchées et asphyxiées par l'air chaud.

Avec la circulation d'eau, les tuyaux chauffés même à 80°, mais placés au milieu de la serre, ne peuvent pas élever l'air au-dessus de 15 ou 20°, et le bassin toujours placé dans la serre, et même de l'eau mise en vapeur sur les appareils de circulation, donnent à cet air le degré d'humidité que réclament beaucoup de plantes.

La presque totalité de la surface extérieure d'une serre est en vitrage, les pertes de chaleur par les murs sont relativement peu importantes : elles doivent entrer cependant dans le calcul rigoureux d'un appareil de serre; mais avec les méthodes pratiques que nous donnons ici, on se contentera sous notre climat, pour proportionner les appareils d'une serre à ses besoins, de compter un mètre carré de surface de tuyaux de circulation pour cinq mètres carrés de vitrage, recouvert de paillassons pendant les plus grands froids, et une chaudière de 1/6 environ de la capacité totale des tuyaux. Après ces proportions d'appareils, on peut maintenir une serre à 30 ou 32° au-dessus de la température extérieure dans les plus grands froids.

Les tuyaux sont en fonte ou en cuivre; ceux de cuivre se font avec un grand succès brasés sur la longueur, et soudés à l'étain ensemble, comme nous l'avons dit; toutes les règles des appareils de circulation que nous avons données s'appliquent d'ailleurs à ceux des serres.

La description du chauffage assez complet de la serre de l'École de pharmacie de Paris, monté par nous, et dont nous avons donné le tracé fig. 479 et 480, servira d'exemple pour ce genre d'appareils.

Cette serre a 16 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; elle est fort élevée.

Une petite chaudière de cuivre à fond plat est placée dans un des angles, sur un fourneau à la houille, de construction ordinaire, dont la bouche est à l'extérieur. Du haut de la chaudière part un tuyau de cuivre de 0,13 de diamètre qui s'élève à 2m,50 au-dessus, et se termine par une cuvette ouverte; c'est la colonne montante et le vase d'expansion du système. Du côté de ce vase, et au-dessous du point où on maintient l'eau, part un tuyau également en cuivre et de même diamètre, qui, passant au-dessus de l'une des portes de la serre, va courir avec une légère pente le long du mur de face, au-dessous de la tablette de pierre qui porte le vitrage, et dans toute la longueur de la serre, porté sur de simples supports en fer, scellés, mais sans galets; là ce tuyau descend pour passer sous les marches de la seconde porte, et revient vers la chaudière, au bas de laquelle il se branche comme tuyau de retour, en suivant l'autre côté de la serre, et une bâche adossée au mur de fond. Le tuyau est aplati dans cette partie pour occuper moins de place dans le passage qu'il suit.

La fumée du combustible, après avoir chauffé le dessous de la chaudière et l'avoir enveloppée par une circulation de carneaux, peut suivre deux routes par la manœuvre de deux registres; en ouvrant la clef d'un tuyau montant légèrement au-dessus de la chaudière, on envoie la fumée très-chaude dans le tuyau de cheminée de l'appareil placé à 2 mètres de là, et hors de la serre, pour échauffer ce tuyau et déterminer le tirage.

Puis, quand le tirage est bien établi, on ferme cette clef, et en ouvrant le second registre, la fumée est forcée, avant de se rendre dans la cheminée, d'aller pardessus le sol passer dans deux tuyaux de terre cuite placés sous une bâche de plantes, qu'elle échauffe fortement, de sorte que la partie de la serre occupée par cette bâche, et séparée de l'autre par un vitrage, se trouve plus chauffée, puisqu'elle l'est par la fumée du fourneau, et par le tuyau de circulation d'eau.

On brûle par jour, en hiver, dans cet appareil, en moyenne, un demi-hectolitre de houille.

P. GROUVELLE.

CHAUX. La chaux, l'oyyde de calcium, est l'alcali fourni le plus abondamment, par la nature, à l'état de sels, de sulfate, de carbonate de chaux, qui constituent un grand nombre de terrains. Ses applications principales sont celles qui en sont faites à la construction des édifices, au chaulage des terres, surtout dans les terres froides où les réactions nécessaires à la végétation s'accomplissent mal, enfin à la préparation d'une foule de produits chimiques, pour nombre de réactions alcalines comme pour la clarification du sucre, l'épuration du gaz d'éclairage, etc.

Cuisson de la chaux. La calcination décompose le carbonate calcaire, chasse l'acide carbonique et donne la chaux vive; c'est en partant de cet état qu'elle sert à fabriquer les MORTIERS et les CIMENTS sur l'emploi desquels repose la construction des édifices de toute nature. Nous traitons d'une manière complète, à ces articles, des diverses qualités des mélanges naturels ou artificiels de la chaux et de l'argile constituant les chaux hydrauliques, dont les propriétés sont si différentes de celles des chaux pures ou chaux grasses, et surtout de la cuisson de la chaux et de la construction des fours destinés à cet usage selon les divers combustibles que l'on peut employer avantageusement dans chaque contrée.

Nous rappellerons seulement ici que, pour la bonne réussite de l'opération, l'expérience a montré que la cuisson de la chaux est extrêmement facilitée par la présence de la vapeur d'eau; aussi la cuisson marche-t-elle plus rapidement par un temps humide que par un temps sec. Il en est de même d'un courant d'air très-vif, tandis que d'un autre côté il résulte des expériences de Gay-Lussac et Faraday, que le carbonate de chaux n'est nullement décomposé par l'action de la chaleur dans une atmosphère d'acide carbonique pur : c'est pour cette raison qu'il est très-difficile de ramener la chaux carbonatée à l'état caustique, en la calcinant dans des creusets.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHEMINS DE FER (*ang.* Railway, *all.* Eisenbahn). — Pour transporter un fardeau chargé sur une voiture qui roule sur le sol naturel, il faut dépenser un effort de tirage égal au quart ou au cinquième du poids total mis en mouvement; sur une bonne route d'empierrement à l'état d'entretien ordinaire le rapport du tirage à la charge totale n'est plus que de 0,080; sur des madriers en chêne il descend à 0,022; enfin sur des rails en fer en bon état il est inférieur à 0m,005; il peut descendre jusqu'à 0m,003. Tel est le premier principe sur lequel se fonde l'usage des chemins de fer; si de plus on donne au véhicule et à la voie des dispositions propres à établir entre eux une solidarité suffisante, on peut appliquer les moteurs mécaniques aux transports à grande distance et effectuer ceux-ci avec une rapidité, une puissance et une régularité incomparables. Cette solidarité s'obtient généralement en adoptant pour les surfaces de roulement de la voie la forme d'ornières saillantes et convexes; en garnissant les roues de jantes coniques, munies de boudins saillants; en fixant les essieux à des châssis rectangulaires rigides, qui, les maintenant dans une direction sensiblement perpendiculaire à celle des rails, empêchent les roues de rencontrer ceux-ci obliquement et de les franchir, notamment à l'entrée des courbes.

I. HISTORIQUE.

Ces dispositions, qui paraissent aujourd'hui fort simples, sont le fruit d'une longue et patiente élaboration, dont l'honneur doit être principalement attribué aux forgerons et aux mineurs anglais. Leurs premières tentatives remontent au commencement du dix-septième siècle; les rails primitifs étaient en bois; on ne connut l'usage des rails en fonte qu'en 1767, aux forges de Colebrooke-Dale, et en 1776 dans les houillères des environs de Sheffield. Les découvertes de Watt (1784) eurent sur l'industrie minière et sur celle des machines une influence qui devait réagir promptement sur un mode de transport encore bien imparfait; c'est à peu près en même temps que l'on inventa les roues à boudin et les rails à champignon saillant.

En 1789, Jessop apprit à les fixer sur des dés en pierre au moyen de coussinets en fonte. En 1801, se présente la première compagnie de chemin de fer, enregistrée par acte du parlement britannique, le Surrey Iron Railway, de Wandsworth à Croydon, qui n'avait que neuf milles de longueur. Il fut suivi de beaucoup d'autres, ayant principalement pour objet de mettre les houillères en communication avec les canaux et la mer. En 1805, Nexon proposa l'emploi de barres de fer posées de champ; cette substitution était fondée sur la différence en faveur du coefficient de frottement du fer comparé à celui de la fonte, mais les barres trop minces entamaient les roues; il fallut qu'en 1820 John Birkinshaw découvrît le moyen de fabriquer les rails de toutes formes au laminoir, pour que le fer acquît la prédominance qui lui était due; la fabrication de rails de grande longueur, en fer suffisamment épais et résistant, associée à l'usage des coussinets, réalisait une innovation capitale, dont les résultats ne tardèrent pas à se produire.

En effet, dès 1821, on s'occupait des chemins de fer de Stockton à Darlington, et de Liverpool à Manchester. Le 27 septembre 1825, jour de l'ouverture de la première de ces deux lignes, est une date mémorable dans l'histoire de la civilisation; c'était le premier chemin de fer public, affecté au transport des marchandises de toute nature et des voyageurs; il avait 25 milles de longueur.

Cependant la seconde partie du problème, l'application des moteurs mécaniques à la traction, était l'objet de recherches et d'essais nombreux. En 1769, Cugnot avait fait à Paris des expériences sur l'emploi de la vapeur aux transports sur les routes ordinaires; Watt avait lui-même abordé la question dans sa patente de 1784. Il faut encore citer, parmi ces précurseurs, Richard Trevithick en 1802; Trivian, Brunton, Blenkinsop, en 1811, qui introduisirent les premières locomotives dans les houillères; mais on n'entra dans une voie pratique et rationnelle qu'en 1812, lorsque Blackett eut reconnu que l'adhérence était suffisante pour déplacer le moteur et son train, sans l'intermédiaire d'aucun organe mécanique. Georges Stephenson fit bientôt usage de cette découverte; ce n'était pourtant pas assez pour réaliser les immenses améliorations qu'on prévoyait vaguement. C'est seulement en 1829, au concours ouvert par la Compagnie du chemin de fer de Liverpool à Manchester, que se manifestèrent les perfectionnements qui ont véritablement constitué la locomotive; ils portaient sur deux points : la chaudière tubulaire, inventée en France en 1828, par M. Marc Séguin, qui aurait été trouvée en même temps par M. Booth, secrétaire général de la compagnie de Liverpool à Manchester; et l'accélération du tirage par le jet de la vapeur échappée des cylindres, due à Georges Stephenson. La machine qui représentait une conquête si importante s'appelait *the Rocket*, *la Fusée*. Elle avait été construite dans les ateliers de Robert Stephenson, fils de Georges. Elle pesait 4316 kilogrammes et remorquait en palier horizontal un poids de 12,912 kilogr., y compris son approvisionnement, à la vitesse de 22k,5 à l'heure.

Les chemins de fer Anglais entrèrent aussitôt dans une période de développement rapide. Le nombre de kilomètres décrétés était de 456 en 1829; il fut doublé en 1833; il atteignit 3,046 en 1836; 16,737 en 1846; il est aujourd'hui de près de 23,000.

En France le premier chemin de fer, celui de Saint-Étienne à Andrezieux (18k), fut concédé en 1823 à M. Beaunier, et ouvert le 1er octobre 1828; celui de Saint-Étienne à Lyon (57k), concédé en 1826 à M. Séguin, a été partiellement livré à la circulation en 1830; en 1832 on y fit les premiers essais de locomotives et de transport de voyageurs. La ligne d'Andrezieux à Roanne (67k), concédée à MM. Henry et Mallet en 1828, a été ouverte en 1834. Ces trois lignes étaient des entreprises très-hardies pour ce temps, quoique bien modestes auprès de ce qu'on a vu depuis. Malheureusement cette première impulsion resta longtemps stérile. En 1833, le gouvernement avait commencé les premières études sérieuses sur l'ensemble du réseau; on ouvrit Paris à Saint-Germain en 1837; Montpellier à Cette, Paris à Versailles (rive droite), Mulhouse à Thann, en 1839; Alais à Beaucaire, Paris à Versailles (rive gauche), et Paris à Corbeil en 1840; quelques tronçons furent encore livrés à la circulation dans plusieurs départements industriels; mais jusqu'en 1842, les concessions n'eurent pas une grande importance. La loi du 11 juin de cette année détermina la direction des principales lignes du réseau national et fixa leur système d'exécution. Une période de grande activité commença immédiatement : les lignes de Paris à Orléans et à Rouen furent ouvertes en 1843; celle de Strasbourg à Bâle, en 1844; celles d'Orléans à Tours, du Nord, en 1846. La loi du 15 juillet 1845 et l'ordonnance royale du 15 novembre 1846 fixèrent les bases de la législation des chemins de fer. Au 31 décembre 1847, 4,702 kilomètres étaient concédés et 1830 exploités; c'était peu comparativement à l'Angleterre qui avait à la même époque 18,110 kilomètres concédés et 6349 exploités; cependant la crise de 1847 et la révolution de 1848 devaient nous ralentir encore. Les travaux ne furent repris avec activité qu'en 1852. Au commencement de cette année, l'étendue des concessions était de 4969 kilomètres, et celle des lignes exploitées de 3558; dès lors le réseau n'a cessé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU DES CHEMINS DE FER DES DIVERS ÉTATS.

PARTIES DU MONDE.	ÉTATS.	SUPERFICIE. Myriamèt. carrés.	POPULATION. Habitants.	CHEMINS DE FER. Kilomètres.		PAR MILLION D'HABITANTS. Kilomètres.		PAR MYRIAMÈTRE CARRÉ. Kilomètres.		RECETTES par KILOMÈTRE.	OBSERVATIONS.
				CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.	CONCÉDÉS.	EXPLOITÉS.		
										francs.	
EUROPE.	France [1]	5,336,50	37,129,336	20,881	13,025	562,39	351,73	3,912	2,440	42,380	(1) Situation au 31 décembre 1864. — Non compris la Corse.
	Autriche [2]	6,457,34	35,019,058	7,790	5,854	222,45	167,11	1,206	0,906	33,709	(2) Y compris la Vénétie, la Hongrie, la Bohême et la Gallicie. — Situation à la fin de 1862, ainsi que pour les pays suivants, sauf l'Italie, en ce qui concerne les chemins exploités; à la fin de 1861 pour les chemins concédés, en construction ou à construire.
	Prusse	2,202,08	17,739,913	6,353	6,058	358,11	341,48	2,267	2,162	30,944	
	Bavière	760,37	4,615,748	2,106	1,922	456,33	416,46	2,770	2,530	21,737	
	Hanovre	383,53	1,843,976	880	865	477,22	469,08	2,294	2,255	23,007	
	Wurtemberg	194,50	1,785,952	600	491	335,94	274,91	3,084	2,524	27,068	
	Saxe	149,21	2,122,148	828	761	390,19	358,61	5,457	5,107	37,152	
	Autres États	922,91	6,979,828	2,047	1,905	293,30	272,96	2,219	2,064	26,423	
	Allemagne	11,669,94	70,100,623	20,604	17,856	293,89	254,69	1,765	1,530	30,227	
	Belgique	294,56	4,671,187	2,170	1,950	464,56	417,46	7,368	6,621	29,712	
	Danemark [3]	473,79	2,010,458	610	461	303,48	229,35	1,287	0,973	15,207	(3) Non compris les duchés de Holstein et de Lauenbourg, portés en Allemagne et les îles de Feroër et d'Islande.
	Espagne [4]	4,930,51	14,957,575	5,240	2,734	350,28	182,78	1,062	0,554	20,966	
	Angleterre	1,505,91	20,061,725	»	13,163	»	656,14	»	8,740	»	(4) Non compris les îles Baléares.
	Écosse	808,68	3,061,251	»	2,862	»	934,98	»	3,539	»	
	Irlande	839,42	5,764,543	»	2,572	»	446,21	»	3,065	»	
	Grande-Bretagne et Irlande [5]	3,154,01	28,887,519	22,630	18,597	783,39	643,78	7,174	5,896	40,417	(5) Non compris les îles.
	Hollande [6]	352,00	3,521,416	1,429	373	405,85	105,93	4,059	1,059	20,008	(6) Y compris le grand duché de Luxembourg et le duché de Limbourg.
	Italie [7]	3,327,21	22,476,953	7,524	2,976	334,69	132,38	2,231	0,895	26,728	
	Portugal [8]	972,30	3,578,677	723	204	202,96	57,01	0,743	0,209	9,801	(7) Y compris les États de l'Église, la Sardaigne et la Sicile.
	Russie [9]	53,382,56	66,891,493	4,407	3,496	65,88	52,26	0,082	0,065	26,062	(8) Non compris les Açores et Madère.
	Suède et Norwége	7,702,56	5,224,287	1,274	1,241	243,87	237,55	0,165	0,161	4,383	(9) Y compris la Pologne et la Finlande.
	Suisse	405,98	2,534,240	1,474	1,132	581,68	446,72	3,631	2,788	21,104	(10) Non compris les provinces Danubiennes et l'Archipel.
	Turquie d'Europe [10]	3,180,35	9,800,000	1,203	64 [11]	122,75	6,53	0,378	0,020	2,169	(11) Chemin de fer de Kustendje à Tchernavoda.
	Grèce	467,02	924,258	8	»	8,65	»	0,017	»	»	
	Autres États et Iles	3,289,05	8,323,765	»	»	»	»	»	»	»	
	Totaux et moyennes	98,471,32	280,113,529	89,108	63,632	318,11	229,05	0,904	0,647	»	
AMÉRIQUE DU NORD [12].	États-Unis	70,840,76	31,429,891	77,441	50,205	2463,99	1597,41	1,093	0,708	»	(12) Situation à la fin de 1861, pour tous les pays suivants, excepté pour les Indes Orientales.
	Canada [13]	9,534,37	2,036,065	4,446	3,748	218,36	184,03	0,466	0,393	»	
	Mexique	22,132,94	7,485,200	960	30	128,25	4,00	0,043	0,001	»	(13) Y compris le New-Brunswick.
	Costa-Rica [14]	545,94	126,750	50	16	396,80	127,00	0,091	0,029	»	(14) Chemin à rails en bois de Puntarenas à la Barranca.
	Antilles [15]	1,434,04	1,826,895	1,390	708	761,22	387,72	0,968	0,493	»	
	Honduras [16]	1,196,10	350,000	240	»	685,71	»	0,200	»	»	(15) Trinidad, Jamaïque et surtout Cuba.
	Autres États	30,975,85	4,401,199	»	»	»	»	»	»	»	(16) Chemin inter-océanique, — Porto-Cabello à Fonseca.
	Totaux et moyennes	136,660,00	47,656,000	84,527	54,707	1773,69	1147,95	0,618	0,400	»	

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AMÉRIQUE DU SUD.										
Nouvelle Grenade [17]	13,483,44	2,223,873	80	80	36,98	36,98	0,006	0,006	»	
Vénézuela [18]	11,033,25	1,564,433	100	»	63,93	»	0,009	»	»	
Guyane anglaise	1,938,00	127,695	34	34	267,71	267,71	0,017	0·017	»	
Brésil	81,045,58	7,677,800	1,006	195	131,04	25,40	0,012	0,002	»	
Pérou	13,143,61	2,500,000	419	89	167,60	35,60	0,031	0,007	»	
Chili	3,642,62	1,558,319	723	300	464,05	192,55	0,198	0,082	»	
La Plata	14,016,52	1,171,890	297	41	245,08	35,01	0,021	0,003	»	
Paraguay	568,56	1,337,439	160	143	119,75	106,72	0,281	0,251	»	
Autres États	42,763,42	3,546,551	»	»	»	»	»	»	»	
Totaux et moyennes	181,640,00	21,708,000	2,819	882	129,89	40,63	0,015	0,004	»	
AFRIQUE.										
Algérie [19]	3,902,18	2,677,973	186	50 [20]	62,48	»	0,047	»	»	
Égypte [21]	4,596,23	5,125,000	671	478	130,92	93,26	0,146	0,104	»	
Cap de Bonne-Espérance [22]	2,727,95	267,096	96	3	359,55	11,23	0,035	0,001	»	
Autres États	289,383,69	85,594,931	»	»	»	»	»	»	»	
Totaux et moyennes	300,610,00	93,665,000	953	481	10,17	5,13	0,003	0,001	»	
ASIE.										
Indes Orientales [23]	22,126,47	135,442,911	9,071	4,155	66,97	30,67	0,409	0,187	»	
Turquie d'Asie [24]	17,283,60	16,050,000	1,537	66	95,76	4,11	0,088	0,003	»	
Autres États	396,549,93	520,884,089	»	»	»	»	»	»	»	
Totaux et moyennes	435,960,00	672,387,000	10,608	4,221	15,77	6,27	0,024	0,009	»	
OCÉANIE.										
Australie	12,613,48	1,256,930	319	214	246,80	170,38	0,024	0,016	»	
Autres États	97,386,52	28,743,070	»	»	»	»	»	»	»	
Totaux et moyennes	110,000,00	30,000,000	310	214	10,33	7,13	0,003	0,002	»	
RÉCAPITULATION.										
Europe	98,471,32	280,113,529	89,108	62,632	318,11	229,05	0,904	0,647	»	
Amérique du Nord	136,660,00	47,656,000	84,527	55,707	1773,69	1147,95	0,618	0,400	»	
Amérique du Sud	181,640,00	21,708,000	2,819	882	129,89	40,63	0,015	0,004	»	
Afrique	300,610,00	93,665,000	953	481	10,17	5,13	0,003	0,001	»	
Asie	435,960,00	672,387,000	10,608	4,221	15,77	6,27	0,024	0,009	»	
Océanie	110,000,00	30,000,000	310	214	10,33	7,13	0,003	0,002	»	
Totaux et moyennes	1,263,341,32	1,145,529,529	188,325	124,137	164,40	108,35	0,148	0,098	»	

(17) Chemin de fer de Panama, ouvert en 1855.
(18) Quaira-Caracas.

(19) Non compris les concessions éventuelles pour 1211 kilomètres.
(20) Alger, Blidah.
(21) Alexandrie, le Caire, Suez, etc.
(22) Y compris Natal.

(23) Possessions anglaises. — Situation à la fin de 1863.
(24) Smyrne-Aïdin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de se développer. Les événements qui ont le plus marqué depuis cette époque, dans l'histoire des chemins de fer français, sont les fusions des compagnies, accomplies en 1855; les modifications apportées aux concessions, et la création du second réseau, en 1859; l'extension de ce nouveau réseau et les conditions plus équitables accordées par l'état aux compagnies à cette occasion, en 1863. Au 1er janvier 1865, l'étendue du réseau français est de 20380 kilomètres concédés, dont 13025 sont exploités.

Nous serions entraîné trop loin si nous entreprenions de tracer l'histoire, même abrégée, des chemins de fer en Belgique, en Allemagne et aux États-Unis, pays qui ont suivi de près la France dans ses premiers essais, et qui ont pris sur elle une avance qu'elle tend chaque jour à regagner. Les autres états ont été plus lents à entrer dans le mouvement. Nous devons nous contenter de renvoyer au tableau ci-contre, qui indique la situation générale des chemins de fer et montre qu'il n'est plus aucun pays civilisé qui n'ait compris leur importance. On a cherché dans ce tableau, emprunté pour la plus grande partie aux documents officiels, à montrer la situation de chaque état d'après les renseignements les plus récents : pour l'Europe, les renseignements remontent en général à la fin de 1862; pour le reste du monde, à la fin de 1861. Quoique les résultats inscrits ne soient pas contemporains, on a cependant présenté les totaux et moyennes qui donnent, d'une manière suffisamment approximative, une idée générale de la situation d'ensemble.

Un chemin de fer est une machine destinée au transport des hommes et des marchandises: elle se compose de trois parties intimement solidaires : la voie, les véhicules et les moteurs: dans la pratique ces trois objets ne sauraient être envisagés indépendamment les uns des autres; pour les décrire et les mieux connaître, nous devrons les étudier successivement; on verra ensuite comment ce grand appareil se construit, s'organise et fonctionne.

II. MATÉRIEL FIXE.

1° *Voie.*

Nous décrirons d'abord le système de voie le plus généralement répandu en France et en Angleterre, et nous prierons le lecteur de ne pas s'étonner si nous insistons parfois sur des détails qui paraîtront peut-être bien minutieux : rien de ce qui concerne le matériel des chemins de fer, et plus particulièrement la voie, n'est indifférent; les modifications en apparence les plus légères peuvent avoir une influence marquée sur la stabilité, la durée, le prix d'établissement et d'entretien. Chaque détail se répète des milliers de fois; chacun doit être l'objet de l'étude la plus attentive; les prévisions les plus plausibles en ce genre ont été souvent déçues par l'expérience; il n'est pas de sujet où plus d'inventions se soient produites et où le nombre des solutions vraiment pratiques soit plus limité.

Le système de voie que nous ferons connaître en premier lieu consiste dans l'emploi de rails en fer laminé, dits à double champignon symétrique; ils reposent dans des coussinets en fonte dans lesquels ils sont serrés par des coins de bois; ces coussinets eux-mêmes sont fixés par l'intermédiaire de chevillettes en fer sur des traverses en bois qui répartissent les pressions sur le sol et maintiennent l'écartement des rails : enfin tout cet ensemble est placé sur une couche de ballast, c'est-à-dire, sur un sol artificiel solide, perméable, maniable, qui le maintient dans des conditions de stabilité et de salubrité que le terrain naturel ne saurait remplir. Considérons successivement chacun des éléments de ce système, notre point de départ et notre terme de comparaison.

Rails. — Les rails sont des barres de fer encastrées ou posées sur plusieurs appuis, résistant à l'effort exercé par des charges roulant à leur partie supérieure. L'expérience, la théorie et la nécessité d'une fabrication simple et courante ont conduit à donner à leur section transversale une forme voisine de celle du double T (*fig.* 1). En général, les deux branches de ce T, ou les deux champignons sont égaux et symétriques. Le rail à simple champignon, ou à

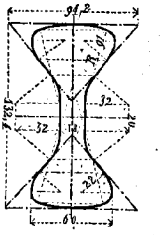


Fig. 1.



Fig. 2.

champignons non symétriques (*fig.* 2), a conservé peu de partisans. La forme symétrique du double champignon a pour objet principal de permettre de retourner le rail quand l'une de ses surfaces de roulement est usée : on s'était flatté de doubler ainsi la durée du rail; bien que cette faculté ne soit pas à dédaigner, la pratique a montré qu'on s'en était exagéré les avantages. Quand l'époque du retournement arrive, le fer est désagrégé, la nouvelle surface de roulement est creusée par l'usure au droit des coussinets; lors même que l'opération est encore possible, elle est bien moins avantageuse qu'on ne le pensait autrefois. Quoi qu'il en soit, le rail à double champignon symétrique est toujours prédominant en France et en Angleterre; il a du reste d'autres avantages sur le rail à simple champignon; la matière est répartie d'une manière plus favorable à la résistance à la flexion et au déversement; la pression sur le coussinet s'exerce sur une plus grande surface, et par conséquent le fatigue et l'use moins.

La surface de roulement des rails doit être tracée en vue de la forme des bandages des roues qui la parcourent et des phénomènes qui se produisent, suivant que la voie est en ligne droite ou en courbe. On ne peut admettre des bandages cylindriques roulant sur une surface plane, car toutes les fois que l'essieu ne serait pas parfaitement normal au rail, et à chaque instant cela se présente, même en ligne droite, il y aurait glissement, et par suite usure rapide du matériel, mouvement de lacet, accroissement de la résistance à la traction. Pour éviter ces glissements, il faut qu'en ligne droite les circonférences décrites par les points d'appui des bandages de deux roues fixées sur un même essieu aient des rayons égaux; il faut qu'en courbe ces mêmes circonférences soient des sections droites d'une surface conique, dont le sommet serait au centre de la courbe. On réalise cette double condition d'une manière approximative, mais suffisante pour la pratique, en donnant un peu de jeu aux plaques de garde, en relevant le rail extérieur dans les courbes, en terminant les bandages par une surface légèrement conique (1/20) et les rails par une surface un peu bombée. Ce bombement ne doit pas être exagéré; autrement le roulement s'exercerait à peu près toujours au même endroit et l'usure s'y manifesterait promptement : les rayons adoptés ont varié de 0m,05 à 0m,30; le plus souvent ils sont compris entre 0m,08 et 0m,14; les nouveaux rails du chemin de fer du Nord ont 0m,20. La largeur de cette surface est de 0m,050 à 0m,062.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le rail, posé dans son coussinet, est incliné sur la verticale de la même quantité que la surface des bandages sur l'horizontale, afin de faire équilibre aux efforts latéraux tendant à son renversement ou à l'arrachement des chevillettes.

La plate-forme de roulement se termine latéralement par des courbes de $0^m,008$ à $0^m,014$ de rayon qui forment les bourrelets du champignon; ces bourrelets sont réunis à l'âme par des congés qui facilitent l'opération du laminage. Le profil de ces derniers a une inclinaison assez prononcée pour offrir un point d'appui à l'encastrement dans le coussinet ainsi qu'aux éclisses, dont nous parlerons bientôt, assez faible pour ne pas affaiblir le bourrelet par un retour trop brusque.

L'épaisseur de l'âme varie de $0^m,022$ à $0^m,014$.

La hauteur du rail doit être aussi grande que le comporte la quantité de matière disponible pour sa confection : elle est ordinairement comprise entre $0^m,115$ et $0^m,134$.

Il y a un grand intérêt à faire les rails aussi longs que possible pour diminuer le nombre des joints, points faibles où les altérations se produisent plus souvent. On est limité d'un autre côté par les convenances de la fabrication, du transport et du maniement des barres. Aujourd'hui on adopte généralement la longueur de $6^m,00$; on laisse au fabricant une tolérance de $0^m,0015$ en plus ou en moins; on admet qu'une portion de la fourniture, 1/20 environ, pourra être acceptée à des longueurs moindres, celle de $5^m,96$, pour être employée dans les courbes à racheter la différence de développement des rails extérieurs et des rails intérieurs, et quelques autres échantillons pour raccords.

Le poids des moteurs et des véhicules a toujours été en croissant depuis l'origine des chemins de fer; le poids des rails ou la quantité de métal employée à leur confection par mètre linéaire a dû suivre la même progression. Ainsi, les premiers rails de Saint-Étienne à Lyon ne pesaient que 13 kilog.; ceux de Liverpool à Manchester 17 kilog.; aujourd'hui ce poids ne descend guère au-dessous de 37 kilog.; quelques chemins de fer très-fréquentés emploient même des rails beaucoup plus forts; ceux du Great Northern pèsent 40 kilog., et ceux de Londres à Brighton, 46 kilog.

Fabrication des rails. — La consolidation et l'augmentation de la durée des voies est une des questions les plus graves pour l'avenir des chemins de fer : c'est surtout du progrès de la fabrication des rails qu'on peut en attendre la solution; une discussion provoquée récemment à la Société des ingénieurs civils de Paris, par M. Flachat, en a bien fait ressortir toute l'importance. On a cité en Angleterre des voies très-fréquentées qui ne durent que de 6 à 10 ans; des voies plus fréquentées encore, comme celles de Londres au littoral, ne dépassent pas trois ou quatre ans. En France, la plupart des grandes lignes dont l'ouverture date d'une douzaine d'années en moyenne, sont entrées dans la période des renouvellements de voie; on peut évaluer à 20 millions la charge annuelle qui, de ce seul chef, pèsera dans un avenir prochain sur l'entretien de l'ensemble du réseau français.

La fabrication des rails comporte les opérations suivantes :

1° Composition des paquets : les rails doivent présenter à la fois une grande dureté à la surface de roulement, pour résister au frottement des roues, et une grande ténacité, pour supporter sans se déformer le poids des véhicules. Cette double condition amène en général à former la surface de roulement avec du fer à grain ou fer n° 2, c'est-à-dire corroyé, passé deux fois au laminoir, et à former le corps du rail avec du fer n° 1 ou nerveux. Les paquets sont donc composés d'abord de deux couvertes en fer à grain, laminées à plat; elles ont environ $0^m,16$ de large et $0^m,012$ à $0^m,014$ d'épaisseur. Le reste du paquet, est en fer nerveux brut : ce fer sort des laminoirs en deux échantillons, l'un de $0^m,084$, l'autre de $0^m,054$ de large; les barres ont la longueur du paquet, soit $0^m,80$; les deux mises voisines des couvertes sont de toute longueur; on tolère des bouts dans les autres mises, pourvu qu'ils soient affranchis à une extrémité et qu'ils aient au moins $0^m,10$. On a soin de croiser les joints dans les deux sens.

Ce mode de composition des paquets met en présence deux qualités de fer très-différentes; leur température de soudure n'est pas la même; aussi arrive-t-il souvent qu'elles s'unissent mal; les rails périssent principalement par exfoliation et dessoudure de la couverte. On a fait des tentatives pour fabriquer les rails avec une seule qualité de fer, notamment avec le fer puddlé n° 1, et plusieurs usines de l'Allemagne y ont réussi; ce succès paraît dû aux propriétés des minerais.

Le triage des fers doit être fait avec les soins les plus minutieux; les barres doivent être classées et placées dans le paquet de manière à établir une transition aussi bien graduée que possible dans le passage du fer à grain au fer nerveux : c'est la précaution la plus essentielle pour obtenir une bonne fabrication;

2° Chauffage au rouge blanc dans un four à réverbère;

3° Laminage, quelquefois précédé d'un soudage au marteau-pilon; dans ce cas un second chauffage est nécessaire;

4° Dressement et dégauchissement des rails.

5° Coupage des bouts à la scie circulaire.

On tolère sur le poids une différence d'un centième sur une fourniture entière et de un deux-centième par rail.

Avant d'être adressés au destinataire, les rails sont reçus, examinés un à un avec soin par les agents des chemins de fer, et soumis, par échantillons, à diverses épreuves. Ainsi, les rails de l'Est, pesant $37^k,50$ le mètre courant, sont posés sur deux appuis écartés de $1^m,25$ et chargés en leur milieu d'un poids de 10000 k.; après l'enlèvement de cette charge, ils ne doivent conserver aucune flèche. Ils doivent encore résister au choc d'un mouton de 200 kil. tombant de 4 mètres de hauteur. Si plus du dixième d'une série ne résiste pas à ces épreuves, elle est rebutée tout entière.

Ces essais ne suffisent pas pour faire apprécier les défauts de soudure qui ne se manifestent qu'avec le temps; les compagnies exigent une garantie, dont le Nord et l'Est ont fixé la durée à trois ans. On est d'une sévérité extrême pour la réception définitive à l'expiration du délai de garantie; un dixième de chaque fourniture est affecté à ces expériences sur les parties les plus fréquentées de la ligne; les moindres altérations sont une cause de rebut. Grâce à ces conditions, les rails fournis au chemin du Nord, d'après son nouveau cahier de charges, par certaines usines, qui présentaient au début de 10 à 12 p. 100 de rebut, n'en donnent plus aujourd'hui que 0,6 p. 100.

L'attention générale est aujourd'hui éveillée sur l'important problème de la fabrication : il est permis d'espérer que les récents progrès accomplis dans la métallurgie du fer et de l'acier trouveront ici une de leurs plus vastes applications; déjà de nombreux essais ont été faits : 1° par l'introduction de lames d'acier dans les paquets; 2° en soumettant la surface des rails à la cémentation dans un four spécial; 3° par le coulage d'une mise en acier sur la surface des rails préalablement réchauffés; 4° par l'emploi de l'acier puddlé, du métal Bessemer et de l'acier fondu. Le haut prix de ces divers produits et les inégalités de fabrication de quelques-uns ont restreint leur emploi à de certains points très-fatigués, tels que les changements et croi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sements de voie; cependant ils tendent à se répandre de plus en plus; la compagnie d'Orléans renouvelle la voie de la rampe d'Étampes entièrement en rails Bessemer; tout porte à espérer que le perfectionnement des moyens de fabrication amènera une baisse de prix, qui aura les conséquences les plus favorables pour la conservation et la consolidation des voies. Déjà l'on obtient des rails en acier pour 44f50 fr. les 100 kilog.; ce prix est inférieur à celui des premiers rails en fer; ne fût-ce que par analogie, on peut donc entrevoir avec confiance le commencement d'une période de progrès et de baisse de prix dans la fabrication de l'acier.

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

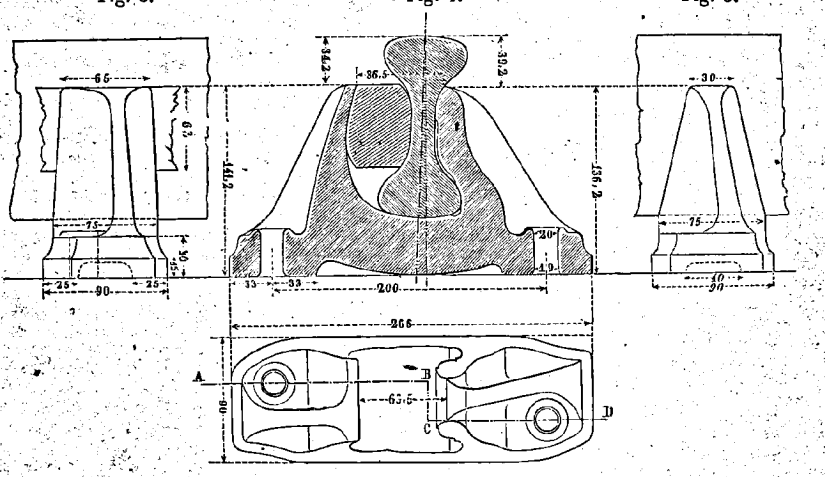


Fig. 6.

Coussinets. — Les coussinets sont des supports en fonte qui servent d'intermédiaire entre le rail et la traverse : il en existe une infinité de modèles (*fig.* 3 *et* 5; élévations latérales; *fig.* 4 *et* 6, plan et coupe suivant ABCD d'un coussinet intermédiaire); ils présentent trois parties principales, savoir :

1° Une semelle reposant directement sur la traverse, à laquelle elle est fixée par deux chevillettes en fer; ces chevillettes sont placées en diagonale, de manière à ne pas attaquer les mêmes fibres ligneuses et à éviter, autant que possible, de favoriser la tendance du bois à se fendre. La semelle doit avoir des dimensions suffisantes pour bien répartir la pression sur la traverse et opposer au déversement une résistance convenable; elle peut être évidée, pour diminuer le poids du métal, si les traverses sont en bois dur;

2° Les deux joues; l'une, intérieure à la voie, est en contact avec le rail, le maintient dans sa position régulière, l'axe incliné de un vingtième sur la verticale, normalement à la surface conique des bandages des roues, en le soutenant au-dessous du champignon supérieur, tandis qu'il repose sur la semelle par sa plate-forme inférieure; l'autre joue offre le point d'appui nécessaire pour serrer énergiquement le rail dans le coussinet au moyen d'un coin en bois. Sur quelques lignes, la surface intérieure de cette joue est cylindrique; plus souvent ses génératrices sont légèrement inclinées par rapport au rail; le sens de cette inclinaison détermine celui dans lequel le coussinet doit être placé; en effet les rails sont entraînés par le passage des trains dans le sens de la marche; en se déplaçant, ils tendent à serrer ou à desserrer les coins, suivant le sens du coinçage, qui doit par conséquent être le même que celui du mouvement. Il suivrait de là que dans les chemins à deux voies, où le mouvement a lieu continuellement dans le même sens sur chaque voie, il faudrait deux modèles de coussinet : on évite cet inconvénient en donnant l'inclinaison convenable, ou l'entrée, sur les deux faces du coussinet. Les joues sont soutenues de chaque côté par des nervures qui les réunissent à la semelle.

Les coussinets de joint sont plus larges que les coussinets intermédiaires; ils n'ont pas d'entrée.

Les coussinets sont en fonte grise, ordinairement de première fusion, à grain serré et tenace. On exige que cette fonte résiste à un effort de traction de 13 k. par millimètre carré; on stipule en outre dans les cahiers des charges des épreuves de pression et de choc; l'on fixe à une année le délai de garantie.

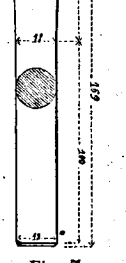


Fig. 7.

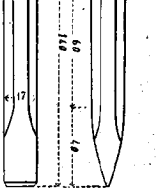


Fig. 8.

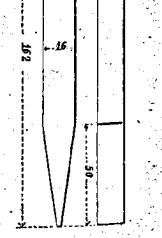


Fig. 9.

Les coussinets de joint pèsent de 11 à 14 kil.; les coussinets intermédiaires de 9 à 10 kil.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHEMINS DE FER.

Chevillettes. — Les chevillettes (*fig.* 7 *et* 8) sont ordinairement à tête sphérique; leur tige est ronde ou octogonale : cette seconde forme exige moins de précision dans le percement du trou, et offre plus de garanties de solidité. La partie de la chevillette qui pénètre dans le bois est prismatique; la partie engagée dans le coussinet est légèrement conique. La chevillette se termine par un tranchant ou par un tronc de cône; dans le premier cas, il y a plus de chances de fendre la traverse; dans le second, le trou doit être plus profond.

Les chevillettes ont de $0^m,016$ à $0^m,018$ de diamètre; de $0^m,148$ à $0^m,169$ de longueur; elles pèsent de $0^k,35$ à $0^k,36$.

Elles sont en fer doux et nerveux; les têtes sont refoulées sur la tige. On les essaie en les enfonçant de la moitié de leur longueur dans un bloc de chêne; on doit pouvoir les plier sous une inclinaison de 45°, et les ramener à leur forme primitive sans qu'elles éprouvent aucune altération.

On a essayé de remplacer les chevillettes par des vis à bois ou par des boulons; la dépense est beaucoup plus élevée; les vis tiennent mieux et altèrent moins le bois; leur usage se répand; les boulons sont difficiles à serrer et à entretenir. Les essais de chevilles en bois n'ont résisté à aucune expérience un peu prolongée.

Coins. — On donne aux coins une forme légèrement conique (1/30 environ) pour faciliter le serrage; ils soutiennent le rail sur la plus grande hauteur possible en s'appuyant sur les champignons supérieurs et inférieurs. Ils ont $0^m,25$ de long sur $0^m,06$ à $0^m,07$ de large; ceux de joint sont un peu plus longs.

Les coins sont ordinairement en bois de chêne bien sec; on débite ce bois à la hache pour s'assurer qu'il est bien de droit fil; on donne la forme voulue au moyen d'une machine, dont l'agent essentiel est une paire de roues, animées d'une grande vitesse; sur leurs circonférences sont montées des lames de rabot convenablement disposées, entre lesquelles passent les coins à finir.

Traverses. — Les traverses doivent avoir des dimensions suffisantes pour bien répartir les pressions sur le ballast, s'opposer à tout mouvement de translation de la voie, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal, résister aux variations atmosphériques et aux ébranlements produits par le passage des trains, sans fléchir, sans se fendre ni se gercer, et cependant rester facilement maniables. Leur longueur varie de $2^m,50$ à $2^m,70$; leur épaisseur de 0,14 à 0,17; leur largeur de $0^m,24$ à $0^m,22$; les traverses de joint ont environ $0^m,36$ de large. C'est une économie très-mal entendue d'employer des traverses trop faibles.

Les meilleures traverses sont en chêne équarri, sans aubier; on emploie aussi le hêtre préparé au sulfate de cuivre; on peut alors laisser au bois la forme demi-ronde, parce que l'aubier est la partie la mieux imprégnée de la substance conservatrice; on prépare encore, soit par le sulfate de cuivre, soit par la créosote, le pin et le sapin (procédés Boucherie, Bethell, Légé et Fleury, etc); mais les chevillettes tiennent mieux dans le chêne; cette essence doit toujours être préférée quand son prix n'est pas trop élevé. On a observé que les traverses préparées au sulfate de cuivre se détérioraient au contact du fer; il faut avoir soin de goudronner les entailles pour obvier à cette cause de dégradation.

Ballast. — Le ballast est un sol artificiel qui a pour objet de protéger les traverses contre les influences atmosphériques et d'assurer la stabilité de la voie. On peut y employer les substances qui ne conservent pas l'eau, ne sont pas susceptibles d'être désagrégées ou de changer de volume par l'effet de la gelée et de l'humidité, supportent le bourrage et sont propres à répartir les pressions sur de larges surfaces. Le sable, quand il n'est pas trop fin, le gravier, les galets, la pierre cassée, les scories de forge, les briques cassées, ont été utilisés avec plus ou moins d'avantage; on a rarement le choix entre ces divers matériaux; mais on ne doit pas oublier que la bonne qualité du ballast est aussi essentielle pour le bon établissement de la voie que pour sa durée.

Le ballast a $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur; la largeur des accotements est réglée par la condition d'offrir une résistance convenable au déplacement transversal de la voie, sans créer d'obstacle à l'écoulement des eaux; elle est ordinairement de $1^m,15$ en couronne.

La mise en œuvre des éléments que nous venons d'étudier comprend deux opérations principales, le sabotage et la pose.

Sabotage; largeur de la voie. — Le sabotage a pour objet de fixer les coussinets sur les traverses; cette opération suppose résolue une première et importante question, celle de la largeur de la voie. Quand Georges Stephenson construisit le chemin de fer de Liverpool à Manchester, il adopta la largeur de $1^m,435$ entre les bords intérieurs des rails; cette largeur a été presque universellement acceptée à peu de chose près; on l'a portée à $1^m,440$, puis à $1^m,450$.

Il serait superflu de revenir sur les discussions qui ont eu lieu en Angleterre et sur le continent, dans la première période de l'existence des chemins de fer, sur la question de la largeur des voies. Si la lutte est apaisée entre les deux écoles de Stephenson et de Brunel, qui personnifiaient chacun des systèmes, l'expérience comparative se poursuit néanmoins en Angleterre, où la plupart des chemins de fer de la région occidentale présentent une largeur de $2^m,13$. Ce qui en ressort le plus clairement, c'est la nécessité, pour éviter des complications infinies de service et de construction, d'adopter, dans un grand réseau, une largeur uniforme; tout au plus peut-on aujourd'hui formuler le regret que, sur le continent, on n'ait pas au début augmenté de $0^m,30$ ou $0^m,40$ la largeur admise. Dans leur isolement naturel, les chemins de fer irlandais ont pu adopter la voie de $1^m,60$; les chemins espagnols sont construits à $1^m,70$; les chemins russes à $1^m,523$; les chemins de l'Inde Anglaise à $1^m,678$. Les chemins de fer badois primitivement construits à la largeur de $1^m,60$, ont été ramenés à la largeur normale de $1^m,450$.

L'opération du sabotage doit être exécutée avec une précision mathématique. On emploie un gabarit composé de deux bouts de rail de $0^m,25$ de longueur fixés aux extrémités d'une barre de fer transversale dans la position adoptée pour le profil normal de la voie; on y fixe les deux coussinets à poser au moyen de coins; on présente le gabarit ainsi armé sur la traverse, et l'on pratique à l'herminette l'entaille des coussinets, de manière que la semelle repose parfaitement sur le bois bien purgé d'aubier dans tous les sens; on perce les trous des chevillettes en se servant des trous des coussinets pour guider la tarière; on enfonce les chevillettes à la masse; on desserre les coins et on enlève le gabarit. On a soin de repérer de temps en temps le gabarit avec une jauge conservée sur le chantier.

Pose de la voie. — Avant d'entrer dans les détails de la pose, il faut être fixé sur les conditions de cette opération. Les traverses sont placées perpendiculairement aux rails. Leur espacement est variable; en effet, quand un train parcourt la voie, on observe que les diverses portions des rails résistent à la flexion dans des conditions bien différentes. Les parties intermédiaires sont ordinairement chargées de part et d'autre de la traverse et peuvent être considérées comme encastrées; les parties comprises entre les joints et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traverses voisines ne sont pas dans le même cas; le passage d'une roue sur ces parties tend à faire basculer la traverse de joint d'abord dans un sens, puis dans l'autre, quand la roue a dépassé le joint; cette action répétée incessamment, est cause que ces parties de la voie sont les plus sujettes aux dégradations et l'objet des soins continuels des agents de l'entretien. Pour obtenir autant que possible une résistance aux joints égale à celle que présentent les autres portions du rail, on a diminué la portée des parties voisines. Pour les rails de 6 mètres, supportés par six traverses, on peut adopter deux portées extrêmes de 0m,75 et quatre portées intermédiaires de 1m,15. Nous verrons plus loin comment on est parvenu à diminuer ces inconvénients des joints au moyen des éclisses.

On laisse entre les rails consécutifs un intervalle qui varie entre 0m,003 et 0m,004 suivant la température ambiante, au moment de la pose, pour que les dilatations dues aux variations atmosphériques puissent se produire sans danger.

Dans les courbes, le développement des rails intérieurs offre une longueur moindre que celui des rails extérieurs; une certaine proportion de rails plus courts, ayant 5m,96 au lieu de 6 mètres, est réservée à cet effet dans les fournitures; on les intercale dans la file intérieure à des intervalles égaux plus ou moins rapprochés, suivant le rayon de la courbe, et on répartit la petite irrégularité qui en résulte sur les joints de manière à la rendre insensible.

Il y a d'autres précautions à prendre dans les courbes; c'est là que les chances de déraillement sont les plus grandes; les boudins des roues se présentent, non plus parallèlement au rail, mais sous un angle plus ou moins aigu avec son rebord intérieur, et tendent sans cesse à le franchir. La force centrifuge tend à chasser les véhicules à l'extérieur avec une intensité proportionnelle à leur masse, au carré de leur vitesse et en raison inverse du rayon de la courbe. Pour annuler son action, il faudrait que la surface plane de roulement tangente aux deux rails fût normale à la résultante de la pesanteur et de la force centrifuge; on réalise cette condition par deux moyens : le jeu de la voie et la forme conique donnée à la surface de roulement des bandages permettent au véhicule poussé transversalement en dehors de s'élever sur la surface bombée du rail extérieur et de s'abaisser sur celle du rail intérieur; mais cela ne suffirait pas; il faut de plus poser le premier rail avec une légère surélévation par rapport à l'autre; il est facile d'en calculer la hauteur pour la vitesse maximum qu'atteignent les trains; elle est par exemple de 0m,072 pour une vitesse de 70 kilomètres à l'heure, dans une courbe de 800 mètres de rayon.

Dans les courbes de très-petit rayon, il est nécessaire de donner une plus grande largeur à la voie, car la largeur réelle se trouve réduite à la distance comprise entre le rail intérieur et la corde passant par les points de contact des boudins des roues avec le rail extérieur. Cet élargissement se calcule de manière à laisser le même jeu que dans la voie rectiligne; ce jeu est d'autant plus utile qu'il permet aux roues de se déplacer latéralement jusqu'à ce que le contact se soit établi sur des circonférences telles que leur différence de longueur compense la différence des chemins à parcourir sur les rails extérieur et intérieur.

Éclisses. — Si on laisse de côté les tentatives qui n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt historique, les rails en fonte, en ventre de poisson, les voies posées sur dés en pierre, les fers méplats vissés sur longrines des premiers chemins américains, etc., on peut dire que le système précédent a été le plus répandu depuis l'origine des chemins de fer; il comporte d'ailleurs une variété infinie dans les formes et dans les proportions. Une seule modification capitale a été introduite : l'application des éclisses à la consolidation des joints. Les éclisses (*fig.* 10) sont des lames de fer jumelles placées de chaque côté de l'âme des rails, s'appuyant sur les champignons hauts et bas, serrées avec

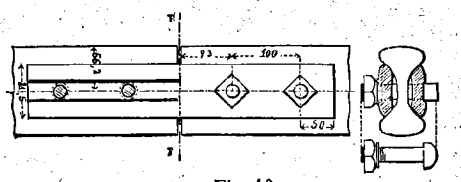


Fig. 10.

trois ou quatre boulons; elles sont analogues, comme leur nom l'indique, à l'appareil employé en chirurgie pour guérir les fractures. A cause de la difficulté de les loger dans les coussinets ordinaires, on les place entre deux traverses; le joint se trouve en porte-à-faux. Les écartements des traverses sont modifiés; avec des rails de 6 mètres, le porte-à-faux du joint est ordinairement de 0m,60, les autres portées sont de 1m,08; répartition plus favorable à la solidité de la voie que celle indiquée plus haut. De plus le mouvement de bascule des traverses de joint est supprimé.

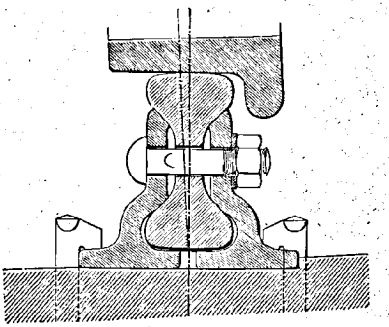


Fig. 11.

On fait aussi usage avec succès de coussinets éclisses en fer laminé, qui font disparaître toutes les objections que peut soulever le système des joints en porte-à-faux. (Chemins de fer de l'Ouest, *fig.* 11.)

Divers systèmes de voies. — Bien des tentatives ont été faites pour remplacer ou pour améliorer le système

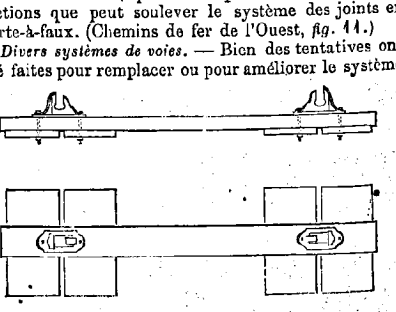


Fig. 12.

de voies que nous venons de décrire; elles peuvent se ramener à un petit nombre de types.

Système Pouillet. — Le système Pouillet (*fig.* 12) a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

été appliqué à la construction du chemin de fer de ceinture autour de Paris, et essayé sur toutes les lignes françaises. La traverse est formée d'un madrier de 2m,10 de longueur; 0m,06 d'épaisseur, et 0,16 à 0,20 de largeur. Ces traverses reposent par leurs extrémités sur des tables de pression carrées, en bois, de 0m,05 d'épaisseur et 0m,60 de côté, généralement composées de deux bouts de madrier juxtaposés. Les tables sont réunies aux extrémités de la traverse par des boulons qui servent en même temps à y fixer les coussinets. Les bois sont équarris à vive arête et enduits d'un vernis composé de goudron, de poix résine et de térébenthine.

Les traverses Pouillet donnent une voie très-douce, dont l'entretien est peut-être un peu moins coûteux que l'entretien ordinaire; malgré des qualités incontestables, expérimentées sur une grande échelle, depuis quinze ans, ce système n'a cependant pas manifesté des avantages assez marqués pour obtenir la préférence sur la voie ordinaire.

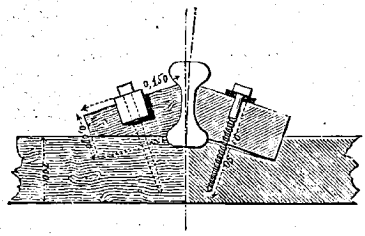


Fig. 13.

Système Barberot. — Parmi les essais ayant pour objet la suppression des coussinets, ceux de M. Barberot méritent d'être cités des premiers (*fig.* 13). Son procédé consiste à poser le rail directement sur la traverse, en le soutenant de part et d'autre par deux cales en bois de bout de 0m,15 de long, sur 0m,10 d'équarrissage. Ces cales sont découpées suivant le profil du rail, du côté où elles le joignent, et de l'autre elles sont arc-boutées dans une entaille pratiquée sur le dessus de la traverse. On les serre plus ou moins au moyen d'un tirefond, traversant une bride en fer, qui saisit leur partie supérieure et pénètre dans l'intérieur de la traverse.

Ce système offre une économie notable de premier établissement; on a dû y renoncer pour les joints; il s'applique avec les éclisses en porte à faux. Il est expérimenté sur une grande échelle par plusieurs compagnies, et il aurait peut-être pris une grande extension, si les avantages qu'on lui attribue ne se trouvaient réunis à ceux d'une simplicité beaucoup plus grande dans les rails à patin que nous allons maintenant décrire.

Rail à patin. — Le rail à patin est connu aussi sous les noms de rail Américain et de rail Vignole. Il diffère du rail à double champignon en ce que le champignon inférieur est remplacé par un empatement analogue à celui des fers en T renversé; son poids par mètre courant est le même, mais le métal dans sa partie inférieure se trouve réparti d'une manière bien plus convenable; en outre, comme ce rail n'a aucune prétention au retournement, on peut employer dans le patin du fer nerveux, qui offre une beaucoup plus grande résistance à l'extension, et réserver le fer cristallin pour la surface de roulement seule : on augmente ainsi la force du rail dans une proportion remarquable. Dans les épreuves de réception du chemin de fer du Nord, le rail Vignole de 37 kilogr., posé sur deux appuis espacés de 1m,10, supporte, sans se rompre le choc d'un mouton de 300 kilogr., tombant de 2m,25 à 2m,50 de hauteur, tandis que le rail à double champignon symétrique de même poids casse à la hauteur de 1m,25, ainsi que le rail Vignole lui-même, quand on retourne le patin en haut.

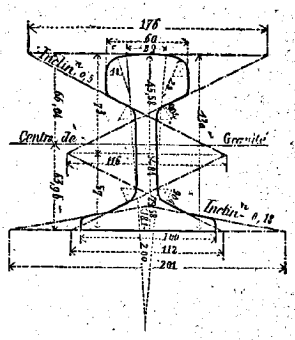


Fig. 14.

Quand les traverses sont en chêne de bonne qualité, le rail à patin repose directement sur elles, et il est fixé sur chacune par deux crampons en fer (*fig.* 9), dont la tête est munie de deux petites oreilles saillantes qui permettent d'arracher le crampon quand on veut changer un rail. Pour empêcher le déplacement longitudinal des rails, les crampons sont logés, au moins de distance en distance, dans de petites entailles pratiquées sur le bord des patins. On peut aussi employer des tirefonds, qui s'enlèvent plus facilement que les crampons.

Quand les traverses sont en bois tendre, on interpose au-dessous du patin une plaque de fer qui répartit la pression sur une plus grande surface; cette plaque est traversée par les crampons; elle contribue à empêcher le déplacement longitudinal des rails, à rendre les diverses parties de la voie solidaires et à empêcher son élargissement. Plusieurs ingénieurs conseillent d'employer toujours ces plaques dans les courbes parcourues à grande vitesse au moins aux joints et au milieu des rails.

M. Desbrière propose dans le même but une disposition beaucoup plus simple et qui paraît répondre à toutes les nécessités de la pratique : c'est une bague en fonte, logée dans une entaille de la traverse faite par la même tarière spéciale qui a creusé le trou du crampon.

On attribue au rail à patin les avantages suivants :

1° Résistance plus grande à poids égal par suite de la meilleure répartition de la matière signalée plus haut.

2° Composition de la voie et sabotage plus simple, meilleur éclissage;

3° Economie de frais de premier établissement de 4 à 5000 fr. par kilomètre, par suite de la suppression des coussinets et des coins; moins de ballast au-dessus du plan de pose des traverses; ce dernier avantage peut être contesté au point de vue de la conservation des bois;

4° Économie d'entretien correspondant aux suppressions précédentes; progrès de la sécurité dû à la simplification; plus de ruptures de coussinets, plus de coins desserrés, ni surtout de ces déplacements longitudinaux des rails, qui ont amené quelquefois des accidents désastreux (Fampoux);

5° Efforts mieux répartis sur la traverse par suite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la plus grande étendue des surfaces de contact; moindre tendance au déversement de celle-ci.

Les rails à patin sont adoptés sur la presque universalité des chemins allemands. L'usage des traverses en bois tendre a paru jusqu'ici s'opposer à leur emploi en Angleterre. En France, la compagnie du Nord, après de nombreuses expériences, a décidé qu'il en serait fait exclusivement usage sur les voies de son réseau. Cette préférence nous paraît parfaitement motivée et destinée à trouver de nombreux imitateurs. La lecture des divers documents publiés sur ce sujet dans les *Annales des ponts et chaussées* et dans les *Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de Paris* est de nature à répandre cette conviction; on trouvera, en même temps, dans ces publications, l'exposé des progrès importants accomplis dans la fabrication des rails, depuis quelques années, et principalement dus aux efforts persévérants des ingénieurs de la compagnie du Nord.

rectement sur le ballast, reliés deux à deux par une entretoise en fer. La voie du chemin de fer d'Alexandrie au Caire (système Greave) (*fig.* 18) diffère de la précédente en ce que le plateau des coussinets présente la forme d'une cloche; la voie offre plus de stabilité;

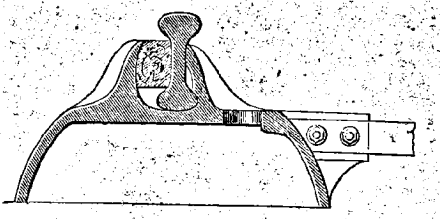


Fig. 18.

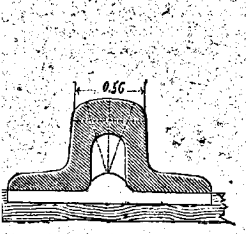


Fig. 15.

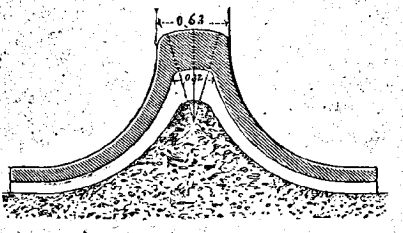


Fig. 16.

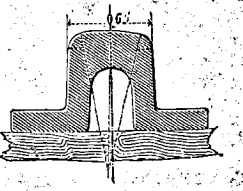


Fig. 17.

Rails Brunel. — Le rail à patin a été quelquefois posé sur des longrines ou supports continus en bois, mais c'est surtout avec le rail en U renversé, connu sous le nom de rail Brunel, ou bridge rail (*fig.* 15 *et* 16) que le système des longrines a reçu de grandes applications (Great Western, Auteuil, Midi, Baden, Hollande, etc). Soutenus sur toute leur longueur, les rails peuvent être beaucoup plus légers; ils pèsent de 20 à 27 kil.; ils sont fixés sur les longrines par des boulons, des crampons ou des vis à bois.

Les inconvénients des voies sur longrines sont nombreux; les joints sont imparfaits; la voie se plie mal aux exigences des courbes; la solidarité de toutes ses parties la rend difficile à relever quand le ballast vient à tasser; la continuité des longrines gêne l'écoulement de l'eau; la fabrication du rail est difficile; il ne se prête pas à l'établissement commode des voies provisoires ni des voies pour les terrassements et le ballast. Aussi les applications de ce système de voie se trouvent de jour en jour plus limitées à un petit nombre de cas exceptionnels, tels que le passage de certains ponts métalliques sous lesquels on dispose d'une très-faible hauteur, ou quand les points d'appui ne se prêtent pas à l'usage commode des traverses, comme sur les plaques tournantes, chariots, etc.

Voies entièrement métalliques. — Dès l'origine des chemins de fer, la question des traverses, dont la quantité est énorme et la durée très-limitée, a été l'un des principaux objets de préoccupation : il a paru à beaucoup de personnes que l'emploi d'une voie entièrement métallique résoudrait une difficulté très-grande sous tous les climats, mais d'une importance majeure dans les pays où le bois manque, et dans ceux où il ne se conserve pas. De nombreux systèmes ont été proposés.

M. Henry a employé des plateaux-coussinets, c'est-à-dire des coussinets à base très-large, reposant dequelquefois cette cloche est allongée et porte deux coussinets. D'autres inventeurs proposent des formes qui se rapprochent des longrines; les rails suspendus entre deux cours d'éclisses en forme de cornières dont les ailes horizontales reportent la pression sur le ballast (système Mazilier), des traverses en tôle ou en fer à nervures avec divers moyens pour y fixer les rails (systèmes Falliès et Cholet, système Desbrière). Aucun de ces essais n'a encore pris une grande extension; l'augmentation des frais de premier établissement ne paraît pas en général compensée par la diminution des frais d'entretien.

De toutes ces tentatives, la plus originale et la plus hardie est celle du rail Barlow (*fig.* 16); ce rail, dont le profil est celui du bridge-rail amplifié, constitue à lui seul, avec quelques tringles d'écartement et les selles de joint, tout le système de la voie; il pèse 80 kilog. par mètre courant. Après des essais nombreux et importants, en Angleterre et en France (Midi), on y a aujourd'hui renoncé. On lui reproche la difficulté de fabrication, une destruction rapide, une stabilité insuffisante, qui active sa détérioration.

2° *Accessoires de la voie.*

On peut faire passer les véhicules d'une voie sur une autre de trois manières : par les changements de voie, par les plaques tournantes, par les chariots roulants. Le premier appareil permet seul d'exécuter cette manœuvre sans décomposition des trains.

Changements de voie. — On distingue deux parties dans un changement de voie : 1° celle où les deux voies viennent en contact, c'est le changement de voie proprement dit; 2° celle où les deux rails adjacents à l'entre-voie se rencontrent, ou le croisement.

Il y a trois espèces de changements de voie, savoir : à rails mobiles, à contre-rails mobiles, à aiguilles.

1° Le changement de voie à rails mobiles (*fig.* 19)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est le plus simple et le plus ancien : il est encore employé sur les voies provisoires; il n'exige presque aucune modification au matériel courant; il suffit pour l'établir de rendre les deux premiers rails de la voie raccordée mobiles autour de chevilles placées aux premiers joints de cette voie et de réunir les extrémités de ces mêmes rails par une entretoise articulée de manière qu'ils restent parallèles dans toutes leurs positions. Au moyen d'une tringle de transmission et d'un levier de manœuvre placé à distance, on fait décrire aux extrémités de ces deux rails des arcs égaux; l'amplitude de ces arcs est réglée de manière que les extrémités des rails mobiles se présentent à volonté vis-à-vis celles des rails de l'une ou de l'autre des deux voies qu'il s'agit de raccorder.

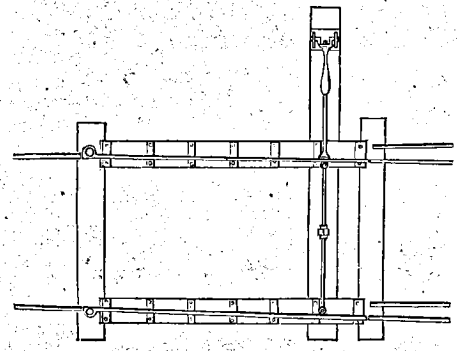


Fig. 19.

Ce système est abandonné dans l'exploitation, à cause des dangers qu'il présente. En effet, si les rails mobiles ne sont pas convenablement placés, le déraillement est infaillible pour tout train marchant vers la voie raccordée.

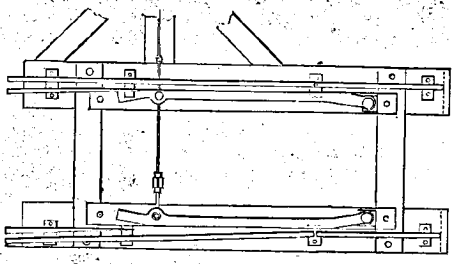


Fig. 20.

2° Dans le changement de voie à contre-rails mobiles (*fig.* 20), toutes les parties de la voie proprement dite sont fixes; un vide est ménagé aux points de contact des rails de la voie incidente avec la voie raccordée pour le passage des boudins des roues. Vis-à-vis les deux premiers rails de cette dernière voie se trouvent intérieurement placés deux contre-rails; ils sont mobiles autour de chevilles verticales placées à l'opposé des points de raccordement, réunis entre eux par une entretoise articulée, et manœuvrés, comme dans le système précédent, au moyen d'un levier extérieur. Suivant que le contre-rail s'applique sur l'une ou sur l'autre des pointes fixes, il oblige les boudins des roues, du côté où il s'appuie, à s'engager entre la pointe fixe et le rail extérieur, et dirige ainsi le train tout entier du côté voulu.

Ce système présente bien moins de dangers que le précédent; lors même que le contre-rail est mal placé, les roues peuvent le franchir, parce que son extrémité est taillée en plan incliné, et elles retombent sur la voie raccordée; mais il en résulte des secousses pénibles pour les voyageurs, fatigantes pour le matériel, non sans péril quand les trains sont lancés à grande vitesse; c'est ce qui a fait aussi renoncer au changement de voie à contre-rails mobiles.

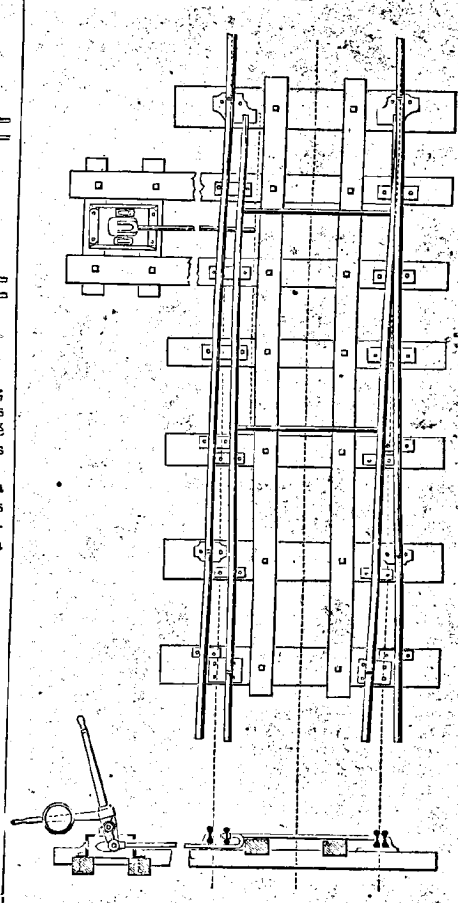


Fig. 21.

3° Les changements de voie à aiguilles mobiles (*fig.* 21) sont aujourd'hui universellement adoptés. Ils n'offrent aucun des dangers de déraillement que nous venons de signaler. Dans ce système, les rails extérieurs des deux voies à raccorder sont fixes et continus. Les deux files de rails intérieurs se terminent par des aiguilles, c'est-à-dire par des rails mobiles dans un plan horizontal, autour du dernier joint, ou talon, comme centre, amincis à leur extrémité et taillés de manière à s'appliquer exactement sur les rails extérieurs, dits rails contre-aiguilles, et à former un raccordement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHEMINS DE FER.

continu. Ce serait sortir de notre cadre que d'entreprendre l'historique complet des perfectionnements apportés à diverses reprises à ce système, et la description détaillée de toutes les pièces, coussinets spéciaux, entretoises, leviers de manœuvre, châssis, etc., qui les composent. Nous devons renvoyer le lecteur aux collections lithographiées des compagnies, aux ouvrages spéciaux, et notamment à la notice publiée dernièrement par M. Richoux. Il nous suffira de dire qu'on a employé successivement :

1° Les changements à une seule aiguille mobile, avec rail contre-aiguille entaillé et contre-rail vis-à-vis, de Stephenson ;

2° Les changements à deux aiguilles mobiles inégales avec rails contre-aiguilles entaillés et contre-rail du côté de la petite aiguille ;

3° Les changements du système Wild, dont les pointes se dissimulent sous les rails contre-aiguilles ; ces pointes sont rabotées de manière à présenter en creux le gabarit du rail et à épouser exactement la gorge du contre-aiguille ; afin de donner plus de force à la pointe, le rail dans lequel on l'a taillée est coudé légèrement à partir de son milieu. Cette disposition protége mieux les pointes, qui ne sont plus exposées au choc direct des roues ; elle supprime les encoches, parties faibles, occasionnant des secousses dangereuses ; elle amène la suppression du contre-rail qui avait pour objet, dans les systèmes précédents, de pousser les roues vers le rail contre-petite aiguille, en un point où l'écartement de la voie dépasse la largeur normale, où les secousses produites par les encoches créent une chance de déraillement, et d'assurer la portée des bandages. On s'était cru obligé d'adopter des aiguilles inégales, malgré ces inconvénients, dans la crainte que par une manœuvre incomplète les roues d'un même vagon ne vinssent à s'engager à la fois sur des voies différentes ; il fallait donc deux modèles d'aiguilles, pour raccordement à droite et pour raccordement à gauche ;

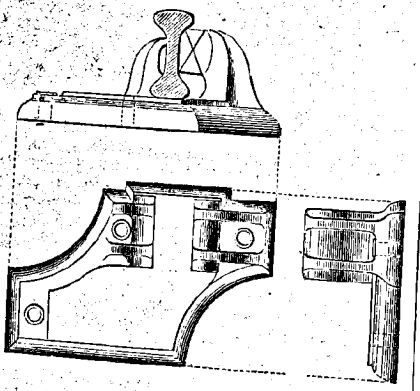


Fig. 22.

4° Grâce aux soins apportés aujourd'hui à la construction et à l'entretien des changements de voie, on a pu supprimer cette complication ; on ne fait plus que des aiguilles égales et symétriques, offrant partout le même écartement normal de la voie (1m,45), et permettant d'aller indifféremment à droite ou à gauche. La figure placée en tête de ce paragraphe représente un appareil construit suivant ces dernières données : nous y ajoutons les dessins de quelques-uns des coussinets d'aiguille, savoir :

Le coussinet de pointe, avec sa plateforme sur laquelle glisse la pointe de l'aiguille (*fig.* 22) ;

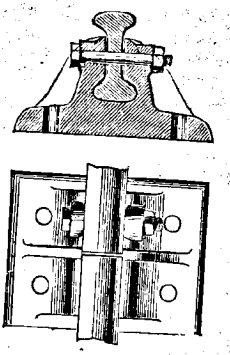


Fig 23.

Le coussinet de talon (*fig.* 23), avec le mode d'attache de l'aiguille ; on y laisse un jeu suffisant pour le déplacement angulaire du talon ;

Un coussinet intermédiaire (*fig.* 24), avec plateforme de glissement pour l'aiguille ; il n'a qu'une seule joue, sur laquelle le rail contre-aiguille est appliqué et maintenu par un boulon.

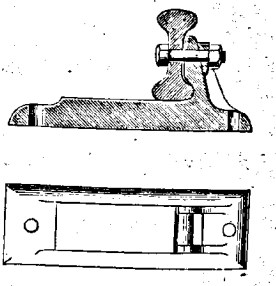


Fig. 24.

Sur les chantiers les divers modèles de coussinets spéciaux sont désignés par des numéros d'ordre.

Les changements à trois voies offrent quatre aiguilles, deux à deux, égales et symétriques ; les aiguilles appartenant à la voie du milieu sont plus courtes. Ces changements de voie ont subi successivement les mêmes améliorations que les changements à deux voies.

Les rails à patin s'appliquent très-bien à la construction des aiguilles.

Les aiguilles se manœuvrent au moyen de leviers munis de contre-poids mobiles, qui les maintiennent ouvertes, dans un sens déterminé par l'action du contre-poids, à la volonté de l'aiguilleur.

Croisement de voie. — Au point où les rails adjacents à l'entre-voie se rencontrent, et qu'on appelle le croisement (*fig.* 25), il faut ménager des coupures pour le passage des boudins des roues. La pointe formée par la rencontre des rails est le cœur du croisement : les rails qui viennent en prolongement des premiers se retournent à une petite distance de la pointe, donnée par l'épure, pour former des contre-rails qui sont parallèles à chacune des directions raccordées ; mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre la pointe du cœur et les sommets des coudes formés par ces rails se trouve un espace d'autant plus long que l'angle du croisement est plus aigu, où les roues ne seraient pas guidées et pourraient s'engager à faux, si l'on n'avait pas la précaution de placer vis-à-vis la pointe du cœur, le long des rails extérieurs, des contre-rails qui les maintiennent dans la direction convenable. Dans cet intervalle, les roues cessent d'appuyer sur le bord du rail et ne portent que par l'extrémité des bandages sur les parties coudées. Ce mode de roulement est nuisible à la conservation du matériel; pour en réduire l'influence, il convient de faire l'angle de croisement le plus ouvert possible : d'un autre côté le rayon de courbure ne saurait descendre au-dessous de certaines limites; 300 mètres est le minimum généralement adopté. Sur certains chemins de fer on admet un grand nombre de modèles de

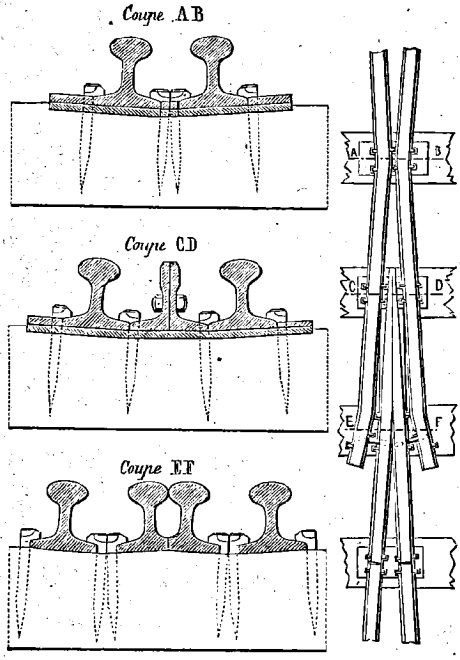


Fig. 25.

croisement pour satisfaire à toutes les combinaisons des voies dans les gares; il en résulte de grandes complications; deux modèles semblent devoir suffire : sur le chemin de fer de l'Est on s'est contenté de ceux qui présentent les angles de 5° 1/2 et 7°.

Les cœurs sont la partie de la voie dont l'usure est la plus rapide et l'entretien le plus dispendieux; on a déjà essayé bien des moyens de les fabriquer :

1° Cœurs formés de deux bouts de rail ajustés et assemblés au moyen de vis ou soudés;

2° Cœurs débités à la machine à raboter dans une masse de métal;

3° Application de l'acier fondu, du métal Bessemer, des fers cémentés par divers procédés;

4° Cœurs en fonte durcie par les procédés de M. Gruson de Magdebourg, de MM. Ransom et Sims d'Ipswich, de M. Gans d'Ofen. Ces derniers produits paraissent d'un usage économique et durable.

Traversées de voie. — Quand deux voies se coupent sous un angle plus ou moins aigu, il faut, outre deux croisements deux appareils disposés comme l'indique le croquis ci-joint (*fig.* 26), et qu'on appelle traver-

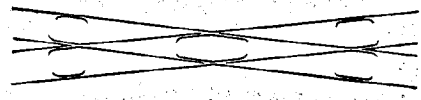


Fig. 26.

sées de voie; ils demandent aussi à être fabriqués en matériaux de choix.

Quand le coupement a lieu sous un angle droit ou à peu près, comme il arrive souvent dans les gares, l'appareil peut être simplifié; on ne modifie pas la voie principale : on établit la voie secondaire en contre-haut de 0m,03, et on entaille ses rails à la rencontre de la première, de manière que les roues qui parcourent celle-ci ne rencontrent aucun obstacle, et que les roues qui circulent sur la seconde roulent sur leur boudin en franchissant les rails de la voie principale.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont des portions de voie mobiles autour d'un axe vertical. Comme elles servent à faire passer les véhicules d'une voie sur une autre voie le plus souvent placée à angle droit sur la première, on y pose deux paires de rails normales entre elles, afin d'éviter une double manœuvre à chaque passage.

Les plaques s'exécutent en bois, en fer ou en fonte. Ce dernier métal est le plus employé; une plaque en fonte, de 4m,50 de diamètre, est représentée ci-contre par les figures 27, 28 et 29; la figure 27 donne la coupe verticale suivant BAC; la figure 28 donne le plan d'un quart de la partie supérieure; dans la portion BAC de cette figure on a supposé les rails enlevés; la figure 29 donne le plan d'un quart de la plaque en supposant le plateau mobile enlevé. Cette plaque comprend les parties suivantes :

1° Un plateau supérieur mobile, portant deux cours de rails; il est formé par le cercle de roulement et par quatre poutres placées dans la direction des rails; quatre rayons ou bras parallèles à la même direction complètent le mode de réunion de la circonférence avec le moyeu; ces diverses pièces ont en coupe la forme d'un double T. Le bord supérieur du cercle de roulement porte un valet mobile qui peut s'engager dans chacun des quatre arrêts ménagés dans le rebord supérieur de la cuve, et permet de fixer la plaque dans l'une ou l'autre des quatre positions qu'elle peut occuper.

Les intervalles entre ces pièces sont fermés par un plancher en bois ou par des plaques en fonte qui ne sont pas figurés ci-contre dans les plans;

2° Une plaque de fondation ou croisillon inférieur; elle se compose d'un moyeu et d'un cercle de roulement réunis par huit bras en forme de T renversé; le pivot, en fer, est fixé dans le moyeu avec une clavette.

Cette plaque, ainsi que le plateau supérieur, est fabriquée en deux morceaux symétriques pour faciliter la fonte et le transport;

3° Les galets interposés entre ces deux plaques pour accélérer et faciliter le mouvement sont de forme conique et disposés de manière à rester constamment

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tangents aux surfaces de roulement du plateau mobile et de la plaque de fondation. Ils sont maintenus dans leur position par des tringles, qui les réunissent à la partie centrale et s'ajustent sur une couronne mobile concentrique avec le moyeu, et par un anneau polygonal qui assure la constance de leur écartement mutuel;

4° La cuve formée de huit segments cylindriques.

Une plaque, de 4m,50 de diamètre, telle que celle figurée ci-contre, pèse 9330 kilogrammes.

Les plaques pour tourner les locomotives ont 6 m. de diamètre; il faut séparer les machines de leurs tenders pour les manœuvrer. Afin d'éviter ce découplement, on emploie, quand l'espace le permet, des plaques de 12 mètres, dont la disposition est différente de la précédente. Elles ne portent ordinairement qu'une seule voie; celle-ci repose sur deux longerons parallèles en tôle, invariablement unis par une entretoise centrale en fonte, portant pivot, et par des flasques placées aux extrémités, portant les galets par l'intermédiaire desquels s'effectue le roulement sur un rail circulaire placé au fond de l'encuvement. Ces flasques reçoivent aussi le treuil de manœuvre de ces galets.

La compagnie du Nord a fait établir depuis quelques années des plaques de 12 mètres très-simples et beaucoup plus économiques que les précédentes; elles se composent :

1° D'un grand cercle de roulement extérieur de 10m,20 de diamètre;

2° D'une plaque centrale de 4m,20, semblable aux plaques de wagons, mais sans cuve;

3° De deux chevalets ou tréteaux, roulant sur le cercle extérieur, dont les galets sont mis en mouvement par une manivelle guidée par deux hommes;

4° D'une charpente supérieure composée principalement de deux longrines portant rails, reliée à la plaque centrale et aux tréteaux extrêmes.

Ces plaques ou ponts tournants ne coûtent que 9,469 fr., tandis que les anciennes plaques coûtent 29,475 fr., y compris les fondations.

Les transmissions par galets ou couronnes dentées ont été supprimées dans quelques grandes plaques anglaises et belges. Les longerons ont une grande rigidité: la plaque est calée au repos; le point de support du pivot est très-près du niveau des rails. Pour tourner une machine on l'amène sur le plateau de manière à la placer autant que possible en équilibre sur le pivot; on décale, et la rotation s'opère avec la plus grande facilité.

Chariots roulants. — Les chariots roulants sont des portions de voie portées sur des galets, qui se déplacent parallèlement à elles-mêmes en roulant sur des rails perpendiculaires à la voie principale. Ces derniers rails sont logés dans une fosse, qui présente à la fois un obstacle et un danger; aussi tous les perfectionnements ont-ils principalement pour objet de réduire ou de supprimer les fosses. Celles-ci ne sont admissibles que dans les remises et les ateliers, où l'usage des chariots réalise une grande économie sur celui des plaques. On emploie très-avantageusement de grands chariots pour locomotive et tender mis en mouvement par une machine à vapeur.

Pour les chariots à wagons, on peut réduire la profondeur des fosses à 0m,20 en suspendant les longerons aux essieux. C'est encore trop dans les gares; un tel obstacle est inadmissible en travers des voies principales. Parmi les dispositions proposées pour supprimer les fosses, il faut citer les suivantes :

1° Chariot hydraulique (Bristol, Saint-Germain); ce chariot roule sur une traversée de voie à niveau; il porte une bâche pleine d'eau et une presse hydraulique, agissant sur les essieux, au moyen de laquelle on peut soulever les wagons et les transporter d'une voie sur une autre;

2° Chariot de la gare de Lyon, à Paris : la voie transversale est composée de trois rails; six galets portent un cadre en fonte sur les rebords duquel sont montés des rails plats correspondant à ceux des voies principales et placés à 0m,04 seulement au-dessus d'eux. Les rails extrêmes de la voie principale sont

Fig. 27.

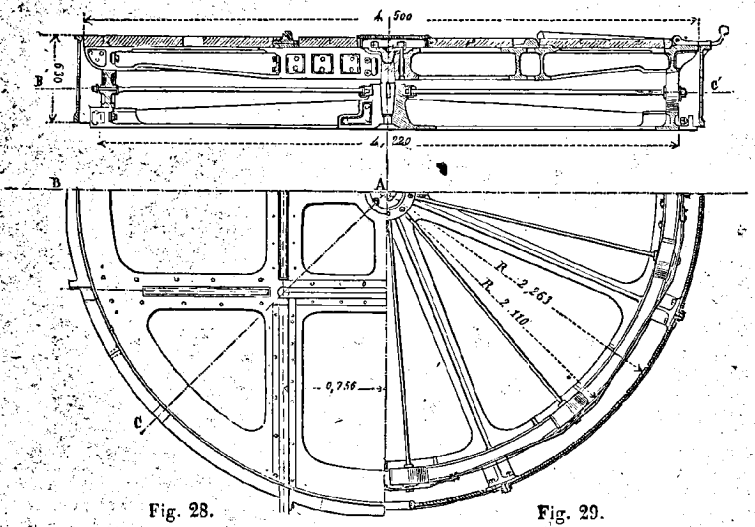


Fig. 28. Fig. 29.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mobiles dans un plan vertical, autour du dernier joint comme centre; au moyen d'excentriques on peut soulever leur extrémité à la hauteur des rails du chariot, et faire avancer les wagons sur ce plan légèrement incliné;

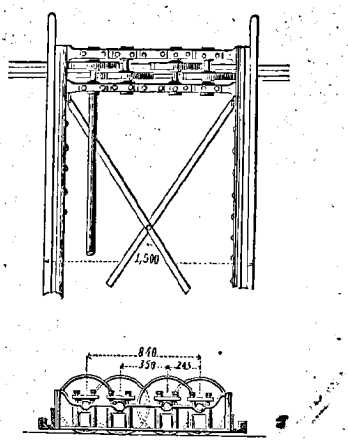


Fig. 30.

3° Chariot de Dunn (*fig.* 30); il a beaucoup d'analogie avec le précédent; les rails plats sont raccordés avec ceux de la voie principale au moyen de plans inclinés fixés contre les petits côtés du cadre par l'intermédiaire de charnières verticales à joints hélicoïdaux; on les place dans le prolongement des premiers, en les faisant tourner de 180°, quand on veut se servir du chariot;

4° On a supprimé les plans inclinés mobiles et terminé les plates-bandes du chariot par une arête en biseau; il reste une légère saillie; mais avec un petit effort les hommes d'équipe parviennent facilement à placer le wagon sur le chariot (Est);

5° On a encore perfectionné le chariot de Dunn en plaçant à côté des rails un contre-rail en pente avec rebord saillant sur lequel les roues du wagon s'élèvent en portant sur leurs boudins (Ouest). Ces contre-rails peuvent être écartés dans les parties de voie où les wagons passent sans faire usage du chariot.

III. Terrassements et travaux d'art.

Pour recevoir la voie ferrée telle que nous venons de la décrire, il faut modifier la superficie du sol naturel par des travaux de même nature que ceux des autres voies de communication; mais par leur importance, leur hardiesse et leurs grandes dimensions, les terrassements et les travaux d'art des chemins de fer dépassent tout ce qu'on avait vu jusqu'à nos jours. L'art des constructions a réalisé depuis trente ans, sous cette impulsion, des progrès tels qu'aucune autre époque n'en présente de semblables. Les procédés relatifs à l'exécution, à la consolidation et à l'entretien des grands terrassements, à la construction des ponts, viaducs, murs de soutènement, tunnels, etc., sont exposés dans d'autres parties de cet ouvrage; nous nous bornerons ici à l'énumération de quelques particularités spéciales aux chemins de fer.

La première question à résoudre avant de commencer l'étude de ces travaux de premier établissement est celle du profil en travers type qu'il convient d'adopter. Pour les chemins à deux voies, ce profil présente les divisions suivantes :

Une entre-voie, dont les derniers cahiers de charge fixent la largeur entre les axes des rails à. . .	2,06
Deux voies ayant chacune 1m,51 entre les axes des rails.	3,02
Deux accotements ayant au moins 1 mètre en couronne, et ordinairement 1m,16..	2,32
Talus des accotements, ensemble..	1,50
Banquettes aux pieds des accotements, ensemble	1,00
Total.	9,88

La largeur des accotements est d'autant plus grande que le terrain est moins solide et le ballast plus coulant. Sur les remblais, on l'étend quelquefois jusqu'à 1m,50; dans les tranchées, à la largeur précédente vient s'ajouter celle des fossés, qui est calculée en raison de la quantité d'eau à débiter (*fig.* 31). On détermine ensuite l'inclinaison des talus de déblai et de remblai suivant la nature des terres. Dans les grandes tranchées, on peut réduire le cube de déblai en contenant le ballast latéralement par des murettes en pierres sèches, qui économisent les largeurs occupées par les deux talus d'accotements.

Le passage des faîtes et des vallées profondes a donné lieu à des travaux de terrassement remarquables par leur caractère grandiose et par les puissants moyens d'action qu'on a dû appliquer. On peut citer entre autres la tranchée de Tring, sur le chemin de Birmingham, cubant 1,100,000 mètres; celle de Gadelbach (Ulm à Augsbourg), de 1,000,000 mètres; celle de Tabatsofen, de 860,000 mètres; celle de la Loupe (Paris à Rennes), de 646,000 mètres.

Les remblais à talus peréyé et profilé suivant la courbe d'égale résistance offrent une combinaison ingénieuse qui permet d'économiser un cube de terre considérable dans les ravins profonds (chemin Saxo-Bavarois, St-Étienne à Roanne). On doit s'attendre à des tassements très-sensibles des grands remblais et prendre toutes les précautions convenables pour en prévenir les conséquences.

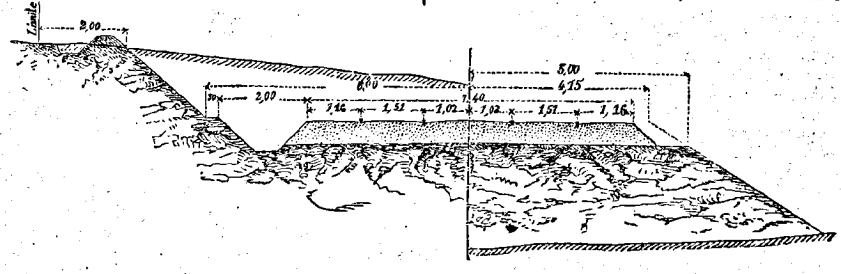


Fig. 31.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il y a deux classes d'ouvrages d'art courants : les uns sont destinés au passage des routes; les autres à franchir les cours d'eau.

Passage des chemins. — Dans la première classe, il faut distinguer encore les passages de la voie de fer en dessus, les passages en dessous et les passages à niveau des chemins et routes de terre.

Les passages en dessus des routes, nommés aussi viaducs ou ponts sous rails, doivent avoir, entre les piédroits, une largeur au moins égale à 8 mètres pour les routes impériales, 7 mètres pour les routes départementales, 5 mètres pour les chemins vicinaux de grande communication, et 4 mètres pour les autres. La largeur entre parapets est de 8 mètres. La hauteur sous clef doit être au moins de 5 mètres, au-dessus de la chaussée pour les ouvrages en pierres et de $4^{m},30$ pour ceux dont le tablier est en bois ou en métal. Quand la différence de niveau est considérable entre le rail et la route, il y a lieu de se demander s'il convient de faire un pont en plein-cintre d'une grande longueur et d'une hauteur sous clef minimum, avec une épaisseur de voûte proportionnée à la hauteur du remblai, ou bien s'il est préférable de faire un pont d'une faible longueur mais d'une grande hauteur, et avec de grands murs en aile ou en retour; on est généralement conduit à préférer la première solution.

Quand la hauteur manque absolument, on fait un pont à tablier métallique horizontal; on emploie des rails Brunel logés entre deux poutres jumelles, sur une longrine en bois encastrée entre ces poutres.

Les passages de la voie de fer en dessous des routes, ponts ou viaducs sur rails, doivent offrir entre les parapets les mêmes largeurs que les précédents entre leurs piédroits. Les culées doivent être écartées de 8 mètres au moins, et la distance verticale au-dessus du rail extérieur de chaque voie doit être au moins de $4^{m},80$. On compte parmi les types principaux de passages en dessous :

1° Les ponts en maçonnerie, en plein-cintre ou surbaissés, à une ou à trois arches, avec murs en retour;

2° Les ponts en arc de cercle à culée noyée dans les talus de déblai, qui dégagent bien la vue, avantage précieux, surtout dans les tranchées courbes et aux abords des gares;

3° Les ponts à tablier métallique ou en bois, applicables quand la différence de hauteur est faible;

4° Les divers modèles de passerelles pour piétons.

Passages à niveau. — Les passages à niveau comprennent :

1° Une chaussée pavée avec contre-rails, ayant pour objet d'éviter toute saillie gênante pour la circulation des voitures, de protéger les rails, et de maintenir libre une rainure pour le passage des boudins des roues des wagons;

2° Deux barrières qui peuvent être disposées d'après divers modèles. Quand ces barrières sont à vantaux tournants, on se demande si elles doivent s'ouvrir sur la voie ou à l'opposé. Dans le premier cas, le poste du garde étant à l'intérieur, sa manœuvre est plus prompte et plus facile : plusieurs voitures se pressant pour attendre l'ouverture du passage, on n'est pas obligé de les faire reculer pour déplacer les vantaux. Ces raisons font généralement adopter cette disposition; mais les barrières doivent avoir leurs pivots assez éloignés pour n'être pas exposées, si on les a laissées ouvertes par inadvertance, à être brisées par les trains. C'est une condition qu'on ne peut pas toujours remplir, faute d'espace, dans les villes, par exemple; on emploie alors des barrières roulant parallèlement aux rails et aux clôtures;

3° Des maisons pour les gardes accompagnent presque tous les passages à niveau. Ces maisons, de 6 mètres de large sur 9 mètres de long, contiennent ordinairement un rez-de-chaussée composé d'une cuisine, d'une chambre et d'une cage d'escalier, et un petit étage divisé en deux pièces. Elles coûtent 4 à 5,000 fr. Leurs ouvertures doivent être dirigées de manière que de l'intérieur on découvre la voie et ses abords. La porte est protégée par une lisse extérieure; par l'effet de cet obstacle, on ne peut sortir qu'en marchant dans un sens parallèle aux trains qui parcourent la voie la plus voisine : cette disposition empêche qu'un garde en retard, sortant brusquement de sa maison pour gagner son poste, ne soit surpris et tué au passage d'un train, genre d'accident malheureusement très-fréquent, malgré toutes les précautions.

Sur les chemins peu fréquentés, les passages à niveau sont gardés par les femmes des cantonniers; ils restent ordinairement fermés et ne sont ouverts qu'à la requête des conducteurs de voitures. A côté des barrières on place de petites portes automobiles, disposées de manière à laisser passer les piétons, mais infranchissables pour les bestiaux.

Les barrières très-fréquentées sont habituellement ouvertes dans l'intervalle des trains; un ou même plusieurs gardes y veillent en permanence.

Les passages à niveau sont une source d'accidents. Il faut surtout les éviter à l'extrémité des tranchées et des souterrains courbes. Ils doivent être l'objet d'une surveillance attentive.

La rencontre des routes par les voies de fer fait naître diverses questions, concernant la suppression de quelques chemins et leur réunion à d'autres par des chemins latéraux, le détournement et la rectification de quelques autres, pour éviter la rencontre du chemin de fer sous un angle trop aigu. Ces questions sont résolues après des enquêtes préalables, où les intéressés sont entendus. Les cahiers des charges prescrivent d'ailleurs des pentes minimum de $0^{m},03$ par mètre pour les raccordements des routes impériales, et de $0^{m},05$ pour ceux des chemins ruraux. Le croisement à niveau des chemins de fer et des routes ne doit pas s'effectuer sous un angle moindre que 45°.

Passage des cours d'eau. — Les ouvrages sur les cours d'eau sont des aqueducs, ponceaux, syphons, ponts, dont les dispositions et les dimensions dépendent de l'importance du cours d'eau et de sa hauteur relativement au chemin de fer.

Ouvrages exceptionnels. — Au passage des grandes rivières et des vallées profondes, on rencontre des travaux d'art exceptionnels. Quand la profondeur à franchir est considérable, il y a lieu de choisir entre un remblai et un viaduc : le choix est ordinairement fixé par la comparaison des prix de revient. La dépense d'un viaduc est à peu près proportionnelle à sa surface en élévation; celle d'un remblai augmente rapidement avec la hauteur, non-seulement à cause de l'accroissement du cube des terrassements, mais aussi à cause de l'élargissement de la base, qui nécessite l'occupation d'une plus grande surface de terrain. C'est ainsi qu'à l'intérieur des villes de Londres et de Paris on a été conduit à établir les chemins de fer sur des viaducs de faible hauteur, pour éviter de plus grandes acquisitions de terrains très-coûteux, tandis qu'en Allemagne, sur le chemin de Lindau à Augsbourg, on a trouvé avantageux d'établir, pour la traversée de la vallée de Reutershofen, près Rotenbach, un remblai de 53 mètres de hauteur : il a 584 mètres de long; sa base occupe 279 mètres de largeur maximum et son volume est de 2,200,000 mètres cubes.

Les grands viaducs s'établissent soit en maçonnerie, soit en métal. Dans la première catégorie on cite : En Allemagne le viaduc de Goltschthal, de 80^{m} de hauteur au maximum, et de 578^{m} de longueur.

En Angleterre, ceux de Durham, composé de quatre arches, dont une 49^{m} d'ouverture, de Langollen.

En France, le viaduc du Val-Fleury (Ouest), de 34^{m}

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de hauteur, avec des fondations presque aussi profondes ensevelies dans un banc de glaise; celui de Nogent-sur-Marne, avec quatre arches en plein cintre de 50m d'ouverture; celui de Chaumont, haut de 50m et long de 600m; ceux du Gouet et de Morlaix, de 60 et de 58m de hauteur.

Parmi les grands ouvrages métalliques, on remarque : en Allemagne, les ponts de Cologne, Mayence, Coblentz, Dirschau, Marienbourg; en Angleterre, les ponts de Newcastle, de Saltash avec ses deux travées de 138m,60 de portée : de Conway, de 122m; de Menai à deux travées de 140m; le viaduc de Crumlin à piles métalliques; en France, les ponts de Tarascon, de Kehl, de Bordeaux; en Suisse, les viaducs de l'Aar, de la Sitter, et surtout celui de Fribourg de 76m de hauteur, avec piles métalliques.

Le problème de l'application des ponts suspendus aux chemins de fer a été abordé aux États-Unis, avec une hardiesse extrême. Le pont du Niagara donne passage à un chemin de fer et à une route superposés, avec une portée de 246m, et à 74m de hauteur au-dessus de la rivière. Des essais ont été faits en Autriche sur une échelle beaucoup plus restreinte.

Tunnels. — Les tunnels des chemins de fer ne donnent pas lieu à d'autres précautions spéciales que de ménager l'écoulement des eaux naturelles, de conserver une partie des puits de service pour la ventilation et l'échappement de la fumée, et de pratiquer tous les 50 ou 60m des niches, pour offrir un abri aux cantonniers. On trace ces tunnels, autant que possible, en ligne droite et on y évite les fortes rampes, car l'humidité y règne; la vapeur se condense sur les rails, et fait patiner les machines.

Les tunnels les plus remarquables sont ceux de la Nerthe (Avignon à Marseille), de 4638m de longueur; de Blaizy (Paris à Lyon), de 4100m; du Credo (Lyon, Genève), de 3949m.

Le tunnel du Mont Cenis, un des plus beaux travaux du siècle, a 12,708 mètres de longueur.

IV. Gares et stations.

On classe ordinairement les gares d'après quatre ou cinq types, déterminés par l'importance des localités, et l'on s'y conforme autant que le permettent les dispositions topographiques du terrain. On distingue encore les gares extrêmes, intermédiaires, de banlieue, d'embranchement ou de bifurcation, de transbordement, maritimes, etc. Dans toute gare de quelque importance on rencontre trois divisions, affectées respectivement au service des voyageurs, des marchandises et du matériel roulant. Il est évident qu'il doit exister une liaison intime entre les dispositions des voies et celles des bâtiments des gares; nous parlerons d'abord des premières.

Les voies reçoivent les dénominations suivantes, en raison de leur destination :

1° Voies principales, réservées au parcours habituel et régulier des trains; on distingue la voie de départ et la voie d'arrivée, ou la voie montante et la voie descendante;

2° Voies de garage, où se placent les trains de marchandises, ou ceux de voyageurs, pour laisser les voies principales libres aux trains plus rapides;

3° Voies de service des machines, par lesquelles les locomotives se rendent de leur dépôt en tête des trains qu'elles doivent conduire, et de la gare au dépôt, quand leur service est terminé; elles y stationnent en attendant l'heure du départ, ou circulent pour alimenter leurs chaudières; l'injecteur Giffard rendra cette dernière manœuvre inutile;

4° Voies de formation et de décomposition des trains, près des remises à wagons ou dans les gares à marchandises, souvent confondues avec les voies de garage dans les stations de peu d'importance.

5° Voies de remisage des wagons, dans les remises et dans les gares où il est important d'avoir sous la main une réserve de véhicules en cas d'affluence imprévue;

6° Voies de service ou de dégagement des trains, utiles surtout dans les gares extrêmes de banlieue, où il faut faire passer rapidement et sans les décomposer les trains du quai d'arrivée au quai de départ, lorsque la gare n'est pas disposée de manière que les mêmes quais puissent jouer alternativement ce rôle;

7° Voies de passage et traversées pour aller d'une voie à l'autre, soit par les changements, soit par les plaques;

8° Voies de chargement et de déchargement des marchandises, chevaux, bestiaux, voitures, chaises de poste.

Les règles suivantes s'appliquent à la position relative de ces diverses catégories de voies.

Les convois doivent toujours partir par la même voie et arriver par la même voie; on déroge rarement à ce principe, ailleurs que dans les gares de banlieue où les trains partent à de faibles intervalles.

Les changements (sur les chemins à deux voies) doivent être placés de manière que les trains qui marchent sur une même voie dans une direction constante, ne rencontrent jamais les aiguilles par la pointe. Cette règle ne souffre guère d'exception qu'aux bifurcations des embranchements; les trains de marchandises doivent même entrer dans leurs gares en décrivant, par une série de va et vient, une figure, qui rappelle celle de la lettre N, et non directement; il s'est produit plusieurs fois des collisions terribles entre trains de voyageurs et trains de marchandises, à l'origine de gares à entrée directe. Au chemin de fer du Nord, on exécute en ce moment, près de la gare de Paris, un grand ensemble de travaux, qui ont pour objet de supprimer les traversées à niveau des voies des divers embranchements; elles sont remplacées par des passages en dessus et en dessous très-biais, avec pente et contre-pente aux abords; la compagnie n'a pas reculé devant cette dépense très-élevée, mais qui fera disparaître toute éventualité de collision, sur des points où la fréquence et la rapidité des trains en multipliaient les chances.

Les voies ainsi que les bâtiments doivent former des groupes tout à fait distincts, suivant leur affectation au service des voyageurs, des marchandises, des wagons ou des locomotives.

Les groupes des voies et des bâtiments doivent être disposés de manière à créer le moins possible d'obstacles à la vue, surtout sur les voies principales.

On doit éviter de multiplier les changements, les plaques tournantes et les traversées sans nécessité absolue, autant pour l'économie des frais de premier établissement que pour la sécurité du service.

Les points dangereux, où les trains peuvent se rencontrer, doivent être protégés par des signaux à distance.

Bâtiments. — Le groupe des bâtiments et constructions affecté au service des voyageurs et messageries, dit aussi de la grande vitesse, comprend deux divisions. Dans les grandes gares extrêmes, on doit y trouver les parties suivantes, du côté du départ :

1° Une cour de départ, avec descente de voiture à couvert, latrines et urinoirs;

2° Un grand vestibule ou salle de pas perdus, avec bureau de distribution de billets pour les voyageurs, bureaux des correspondances, buvette, débit de tabac, librairie;

3° Salle et bureaux de bagages;

4° Salle et bureaux des messageries;

5° Salle et bureau des bagages laissés en dépôt;

6° Salles d'attente, salons des dames;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

7° Bureaux du télégraphe, du chef et des sous-chefs de gare, de leurs employés ;

8° Corps de garde des hommes d'équipe, conducteurs des trains, gardes, etc.

9° Lampisterie ;

10° Chaufferettes ;

11° Urinoirs et latrines sur la voie.

Du côté de l'arrivée :

1° Salle de distribution des bagages ;

2° Salle d'attente des voyageurs ayant des bagages ;

3° Bureaux de messageries ;

4° Bureaux d'octroi et de douane ;

5° Vestibule de sortie ;

6° Cour d'arrivée avec abri pour monter en voiture, remises des omnibus et voitures publiques ; latrines et urinoirs ;

7° Latrines et urinoirs sur la voie.

On place suivant les dispositions locales, du côté de l'arrivée ou du côté du départ :

Un petit atelier de réparations du matériel roulant ; les bureaux du médecin, des commissaires de police et de surveillance administrative, de la poste aux lettres, le buffet et ses dépendances, quelquefois un hôtel, suivant une coutume Anglaise trop dédaignée sur le continent ;

Le bureau des réclamations, le dépôt des objets perdus ;

Les bureaux d'administration, les logements des employés, les archives.

On dispose en dehors de la gare, et à proximité, des quais, pour l'embarquement et le débarquement des voitures et chaises de poste. On y joint, s'il y a lieu, dans les grandes villes, des bâtiments disposés à la manière des halles à marchandises pour le service des denrées alimentaires à destination des marchés, qui voyagent à grande vitesse.

Suivant l'importance des gares, on modifie ce programme en supprimant certaines parties et en faisant varier les dimensions des autres.

La bonne disposition des gares exerce une influence considérable sur l'économie et la marche de l'exploitation. On est aujourd'hui généralement d'accord sur les principes suivants :

Les bâtiments doivent être placés parallèlement aux voies ; cette disposition permet de donner issue à un grand nombre de voyageurs à la fois, abrége la distance à parcourir des salles aux wagons, et facilite l'agrandissement des bâtiments si le développement du trafic l'exige.

Les salles de bagages et de messageries se placent en avant des salles de voyageurs, pour abréger le transport des colis aux fourgons, ordinairement placés en tête des trains. Cette partie du service appelle une attention spéciale ; les bagages sont signalés comme une des causes les plus fréquentes de retards.

Les voies de départ et d'arrivée doivent être accompagnées de trottoirs couverts ; dans les grandes gares l'abri s'étend sur les voies ; cette précaution rend le service moins pénible et ménage le matériel en stationnement.

Les trottoirs doivent être abaissés au niveau des marche-pieds ; ils doivent avoir une grande largeur, au moins 4 ou 5 mètres.

En Angleterre, les bâtiments des stations ont beaucoup moins d'étendue qu'en France ; les salles d'attente sont à l'état rudimentaire, mais les trottoirs sont plus larges et toujours accessibles, comme la voie publique ; les villes n'ont pas d'octroi ; les bagages sont distribués sur les quais d'arrivée ; il n'existe pas de bâtiments de ce côté ; le quai est bordé, à l'opposé de la voie, par une chaussée, sur laquelle stationnent les voitures qui attendent les voyageurs pour les transporter à leur domicile. On conçoit quelle réduction dans l'étendue, comme dans la dépense des stations, résulte de la suppression des salles d'attente et du service de visite des bagages à l'arrivée, quelle économie de temps, quelles simplifications produit cette entente tacite entre le voyageur et l'exploitant : c'est que le public Anglais se considère comme majeur ; il se croit doué d'un discernement suffisant pour marcher seul et sans lisières ; il ne recule en aucun cas devant la part de responsabilité individuelle que lui imposent ses droits et ses devoirs.

Les halles et les quais sont les constructions essentielles des gares à marchandises ; elles doivent être établies parallèlement aux voies principales ; on peut faire alors beaucoup de manœuvres avec de petites locomotives, construites pour ce service spécial ; quand les quais sont perpendiculaires aux voies, il faut tourner tous les wagons sur les plaques et il en résulte des frais énormes.

Les halles offrent à peu près partout la même disposition générale, une plate-forme à hauteur du plancher du wagon, bordée d'un côté par une voie, de l'autre par une chaussée pavée, de manière que les wagons et les voitures se chargent et se déchargent facilement à couvert.

Dans les gares d'une grande importance, il y a des emplacements spéciaux affectés aux services des expéditions et des arrivages et à certaines classes de marchandises, houilles, pierres, cotons, céréales, bestiaux, etc. Les pentes en travers des quais à bestiaux doivent être dirigées vers la voie ou en sens inverse, suivant qu'ils sont destinés à l'embarquement ou au débarquement des animaux.

On trouve encore dans ces gares des bureaux, pour l'enregistrement et la délivrance des marchandises, des écuries et remises pour le camionage, des logements d'employés, corps de garde et abris pour les hommes d'équipe, des locaux pour la douane et l'octroi, des magasins et dépôts.

Dans les ports de mer, les voies s'étendent le long des bassins ; les marchandises peuvent être échangées directement entre le wagon et le navire, souvent même les magasins et les halles sont contigus au quai ; la liaison la plus intime est établie entre la voie de fer et la voie maritime. Tout le monde a entendu parler des belles dispositions que présentent à cet égard les ports et les docks anglais ; ces combinaisons ingénieuses réalisent d'immenses facilités pour le commerce de nos voisins. En France, les ports de Marseille et du Havre offrent seuls quelque chose d'analogue.

Les parties de gare affectées au service du matériel roulant comprennent :

1° Les remises à wagons, placées dans le voisinage de la gare des voyageurs, desservies par des chariots roulants ; on y annexe quelquefois de petits ateliers pour l'entretien ;

2° Les remises à locomotives, dont il existe trois types principaux, rectangulaires, polygonales ou en fer à cheval. Les rotondes sont préférables parce qu'il est plus facile de dégager les machines ; cependant depuis qu'on installe des chariots à vapeur dans les remises rectangulaires, beaucoup d'ingénieurs reviennent à ce type plus simple ; les bâtiments comprennent ordinairement des bureaux et logements pour le chef de dépôt et ses employés, des corps de garde et dortoirs pour les mécaniciens, un petit magasin ;

3° Les dépôts de houille, et de coke, avec quais pour chargement des tenders ;

4° Les bâtiments et appareils affectés au service de l'alimentation d'eau, sur lesquels nous reviendrons plus loin ;

5° Les ateliers de construction et de réparation du matériel, dont la description même abrégée nous entraînerait beaucoup trop loin ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

6° Les magasins généraux.

On rencontre dans les gares, indépendamment du petit matériel affecté aux services de la voie et de l'exploitation, à l'éclairage, au chauffage, à la chronométrie, aux signaux, etc., un grand nombre d'appareils dont il est bon de donner au moins une nomenclature abrégée :

Bascules mobiles et fixes, pour le pesage des marchandises, bagages, wagons et machines;

Heurtoirs fixes à l'extrémité des voies sans issue; heurtoirs mobiles, à l'entrée et à la sortie des voies de garage et d'évitement pour empêcher les wagons en stationnement d'être poussés par le vent sur les voies principales;

Grues à pivot, fixes et roulantes, ordinairement mues à bras, quelquefois par la vapeur, quelquefois par la pression hydraulique; à la gare du Great Western, à Londres, toutes les manœuvres des grues, et même celles des plaques, se font par moteurs hydrauliques dont l'eau alimentaire est mise en pression par un accumulateur de sir William Armstrong;

Grues Arnoux et ses congénères, employées spécialement au transbordement des voitures dites maringotes, des pierres, charbons en sac, pièces de mécanique très-lourdes, etc.;

Monte-charges (hoists, jiggers, etc., des docks anglais), employés dans certaines gares pour transporter les fardeaux ou même les wagons tout chargés, d'un niveau à un autre;

Drops, machines destinées dans les ports anglais au déchargement de la houille des wagons dans les navires;

Fosses à piquer le feu sur lesquelles se tiennent les machines en stationnement, et qui permettent de nettoyer les grilles et de pénétrer assez commodément sous la locomotive pour visiter et graisser le mécanisme; elles doivent être éclairées la nuit pour éviter les accidents;

Gabarits pour régler les dimensions des chargements, de manière à franchir sans encombre les ouvrages les plus étroits de la ligne;

Pompes à incendie.

Alimentation.

Les appareils destinés au renouvellement de l'eau des locomotives méritent une plus longue mention. Ces appareils placés près des voies et des fosses à piquer s'appellent grues hydrauliques. Ils sont en communication par des tuyaux souterrains avec des réservoirs d'eau. Le problème de l'alimentation des gares est un cas particulier de celui de la conduite et de la distribution des eaux; il n'offre que la condition spéciale d'alimenter les machines en eau de bonne qualité, avec certitude et rapidité. Dans ce but les réservoirs, ordinairement construits en tôle, quelquefois en fonte, de forme cylindrique, sont ordinairement élevés sur un support en maçonnerie de 5 à 6 mètres de hauteur; leur capacité varie suivant l'importance du service entre 40 et 250 mètres cubes; ils sont pourvus d'un tuyau d'amenée en communication avec les machines alimentaires, d'un tuyau de trop plein, d'un tuyau de distribution et d'un indicateur de niveau. Dans les climats froids, pour empêcher la congélation, on les couvre et on les entoure d'une enveloppe en charpente; on ajoute même un poêle dont le tuyau traverse la masse liquide.

Les grues hydrauliques ordinaires se composent souvent d'une simple colonne en fonte, munie à sa tête d'une manche en toile, dont on pose l'extrémité sur le tender pour le remplir; à la base se trouve une soupape, manœuvrée par une vis pour éviter les coups de bélier; elle est ordinairement disposée de manière qu'en fermant la communication avec le tuyau d'alimentation la colonne se vide. Cette précaution évite les accidents que pourrait occasionner la congélation de l'eau dans la colonne en hiver; elle ne dispense pas d'entourer, pendant cette saison, la base de l'appareil de paille et de fumier, pour protéger les soupapes contre le froid; quelquefois même on y place un petit poêle.

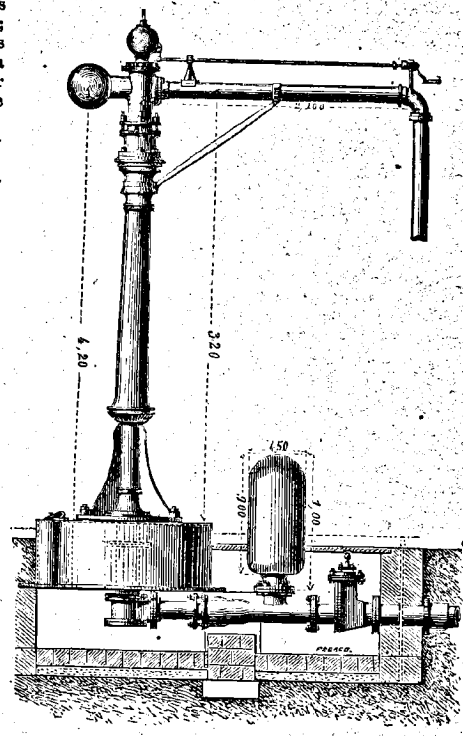


Fig. 32.

La grue hydraulique représentée ci-contre (*fig.* 32) est pourvue d'un branchement horizontal et d'une tige à manivelle, qui permet d'ouvrir et de fermer la soupape d'écoulement, sans descendre du tender. On remarque aussi dans cette figure le réservoir plein d'air, qui fait ressort et prévient l'effet destructeur des coups de bélier, au moment de la fermeture des soupapes.

On reproche aux grues ordinaires de ne pas remplir les tenders avec assez de rapidité, inconvénient grave dans les stations desservies par les trains express. Pour satisfaire à cette nécessité, on a quelquefois placé les réservoirs aux extrémités des quais; on alimente alors par des tuyaux articulés, branchés directement sur leur fond. Ces appareils gênent la vue et occupent un espace utile aux abords des stations. On leur a substitué des grues réservoirs, entièrement métalliques, dont la capacité correspond à celle d'un tender : il y en a deux types principaux; les grues du Nord sont montées sur une large colonne en fonte contenant un poêle; les grues de l'Ouest sont montées sur une colonne beaucoup plus mince et bien moins incommode pour la vue et pour la circulation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les points d'alimentation sont répartis sur une ligne, suivant la nature du profil et du trafic : ils sont espacés moyennement de 30 kilomètres. Sur un chemin à fortes rampes, ils sont plus rapprochés; au Semmering, leur distance est de 18 kilomètres. Les machines à voyageurs peuvent parcourir 80 à 100 kilomètres sans renouveler leur eau.

On a cherché à supprimer une partie des arrêts pour l'alimentation qui sont une cause forcée de retard des trains express : on emploie pour cela sur le chemin de Chester à Holyhead une disposition ingénieuse, qui permet d'alimenter en marche; la voie est creusée entre les rails, sur une longueur en palier d'environ un kilomètre, en forme de bassin; un tuyau mobile est fixé au tender; on l'abaisse de manière à faire plonger son orifice dans l'eau, dont ce bassin est pourvu, pendant que le train continue sa marche; le liquide, refoulé dans le tuyau, s'élève et remplit le tender; grâce à cette combinaison, l'arrêt est évité; l'on peut diminuer les dimensions exagérées des tenders, qu'on a été conduit à employer sur certaines lignes, telles que le London and North Western, où la charge d'eau est de 10 à 12 mètres cubes.

En Allemagne, on diminue beaucoup la consommation d'eau par l'appareil de condensation de M. Kirchweger, adapté aux locomotives. Un tuyau de $0^m,10$ de diamètre met en communication le tuyau d'échappement de la vapeur à sa sortie des cylindres avec le tender; il aboutit dans la caisse à eau à une partie verticale recourbée, terminée par une calotte et percée de trous, qui est placée horizontalement à la partie inférieure de cette caisse. Un clapet à portée du mécanicien permet de régler le dégagement de la vapeur entre le tender et les tuyaux d'échappement. Suivant M. Dubocq, cet appareil amène rapidement l'eau du tender à une température voisine de l'ébullition, et réalise une économie de 20 p. 100 d'eau et de 6 à 8 p. 100 de combustible : sur le chemin de Basse-Silésie et Marche, les locomotives des express, qui en sont pourvues, franchissent jusqu'à 130 kilomètres sans renouveler leur eau.

V. Matériel roulant.

Les machines locomotives font l'objet d'un article spécial dans cet ouvrage; nous ne parlerons donc ici que des voitures à voyageurs et des wagons à marchandises.

Les véhicules des chemins de fer se composent de deux parties principales, le châssis ou train, et la caisse.

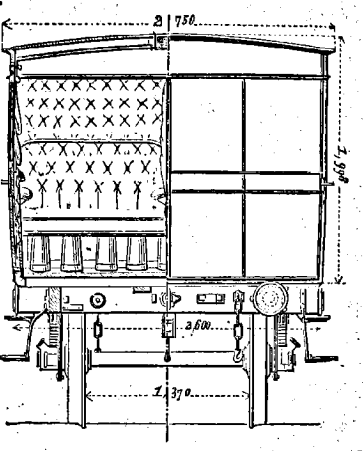


Fig. 33.

Le train comprend :

Les roues ;

Les essieux solidaires avec les roues;

Les boîtes à graisse, reposant sur les fusées des essieux et portant le châssis par l'intermédiaire des ressorts;

Les plaques de garde fixées sur les longerons du châssis qui maintiennent les essieux parallèles à la distance voulue;

Les ressorts fixés sur les boîtes à graisse;

Le cadre en bois qui forme le châssis proprement dit et supporte la caisse;

L'attelage; les freins.

Roues.— On emploie un grand nombre de systèmes différents de roues, parmi lesquels il faut citer les suivants :

1° Les roues en fonte sont encore en usage en Amérique, même pour les trains de voyageurs. En Allemagne et en Suisse elles sont très-répandues; le principal centre de fabrication est à Ofen, chez M. Gans. Le boudin, ainsi que la surface de roulement, sont

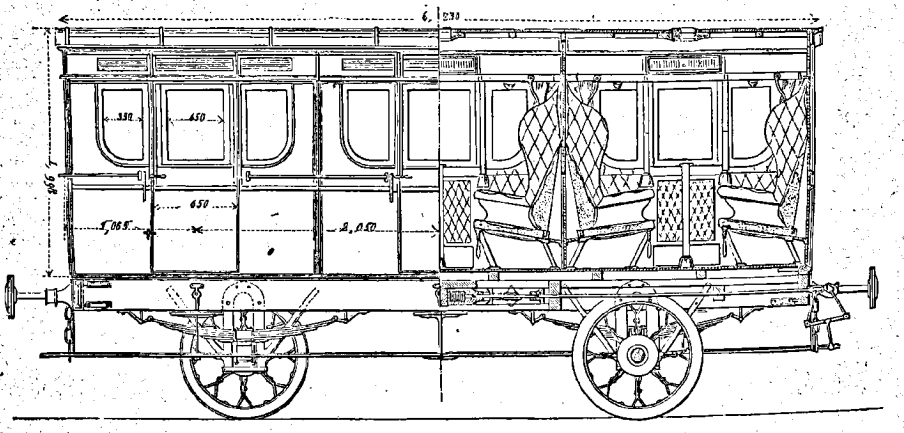


Fig. 34.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

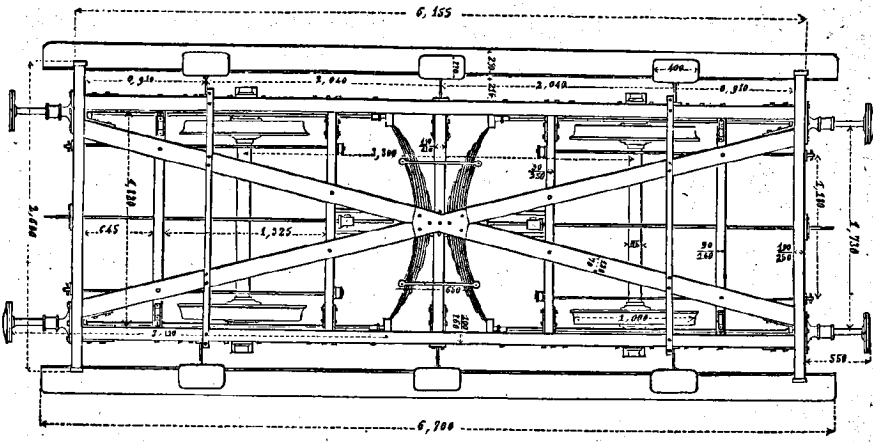


Fig. 35.

coulés en coquille et venus de fonte avec le reste de la roue, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de bandage distinct; la fonte est blanche et durcie sur 0m,008 d'épaisseur : ces roues parcourent 96,000 à 129,000 kilomètres sans que leurs cercles soient usés; les roues de 0m,95 de diamètre pèsent 280 kilog.; elles coûtent 150 fr. Celles de 0m,74 pèsent 190 kilog. et coûtent 88 fr.

Les roues, entièrement en fonte, ne s'emploient en France que sur les chantiers de terrassements et de mines; cependant plusieurs compagnies essaient les roues Gans.

2° En général la fonte n'entre dans la composition des roues que pour la formation des moyeux, qui sont coulés sur les bouts convergents des rais et frettés en fer. Ces rais peuvent être en fers creux cylindriques, ou en fers à nervures scellés sur un faux bandage; ou bien on leur donne la forme de T égaux, dont les branches transversales sont courbées de manière que leur ensemble forme un cercle concentrique au bandage, on rapporte une mise de soudure à chaque contact de ces branches. Souvent aussi on fait usage de pièces en fer méplat repliées sur un mandrin de manière à former des secteurs polygonaux ou triangulaires contigus.

3° On fait encore les moyeux au moyen de mises rapportées à l'extrémité des rais, que l'on soude ensemble. Ce procédé est plus coûteux, mais plus durable et plus sûr; il est employé pour les roues motrices des locomotives.

On garnit souvent les roues de plaques en tôle mince, pour empêcher les rais en tournant d'imprimer à l'air un mouvement de tourbillonnement qui soulève une poussière gênante pour les voyageurs et nuisible à la conservation du matériel.

4° Les roues pleines peuvent se former de secteurs en bois, emmanchés d'une part sur un moyeu et de l'autre sur un faux bandage, munis tous deux de rebords saillants pour les enchâsser.

5° Les roues pleines en fer, fabriquées au marteau-pilon et par étampage, sont encore peu répandues.

Bandages. — Les fers méplats des rais peuvent être rivés directement sur le bandage, ou bien l'on interpose un cercle intermédiaire ou faux bandage, qui empêche le disloquement des rais quand on enlève un bandage usé pour le remplacer.

La surface de roulement du bandage est conique pour permettre le changement du rayon de roulement dans les courbes; l'inclinaison des arêtes est de 1/20; la largeur du bandage est de 0m,13. La surface de roulement est terminée extérieurement par une surface conique dont l'inclinaison est de 3/20. Cette augmentation de l'inclinaison a pour effet de faciliter le passage dans les courbes de très-petit rayon et de prolonger la durée du bandage; en s'usant, celui-ci tend à se creuser en forme de gorge; ses oscillations sur le rail refoulent le métal vers l'extérieur, et la surface se rapproche de l'inclinaison primitive.

L'entretien des bandages est une des plus lourdes charges du matériel roulant; l'attention des ingénieurs est constamment appelée sur les moyens d'augmenter leur parcours.

M. Flachat cite les résultats suivants :

ESPÈCE DES BANDAGES.	DÉSIGNATION DU MÉTAL.	PARCOURS total d'un bandage.	PARCOURS correspondant à 1mm de diminution d'épaisseur.
		kilomètres.	kilomètres.
Voitures et wagons	Fer (Petin Gaudet)	180.000	5,000 à 7,000
Tenders	Fer (Dietrich)	126.000	4,920
Support des machines	Fer id.	75,000	3,000
Id. id.	Acier (Krupp)	275,000	9,000 à 11,000
Roues motrices indépendantes	Fer	85,000	2,500 à 3,400
Id. de 2m,10 à 1m,80	Acier (Krupp)	200,000	8,000
Roues motrices couplées	Fer	70.000	1,500 à 2,800
Id. de 1m,75 à 1m,53	Acier (Krupp)	150,000	4,500 à 6,000
Roues motrices couplées	Fer	60.500	2,420
Id. par 3 et 4 essieux	Acier (Krupp)	120,000	4,800

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La diminution d'épaisseur des bandages est due à l'usure d'une part et de l'autre à la reprise par le tour des parties non usées afin de régulariser la surface de roulement. C'est ainsi que dans certains ateliers on compte par rafraîchissage de roues motrices une épaisseur perdue de 0m,011, savoir :

0m,007 de creux ;
0m,003 de faux rond ;
0m,004 de matière reprise sur l'endroit le plus creusé par l'usure.

0m,011.

L'épaisseur des bandages de wagons neufs et tournés entrant en service est de 0m,058 ; ils subissent en moyenne quatre retournages avant d'être mis au rebut et sont retirés du service avec une épaisseur de 0m,025, ce qui correspond à une diminution de 0m,0067 par retournage, dont 0m,004 d'usure ; on peut admettre pour les roues des wagons de 10 tonnes une diminution moyenne de 0m,003 à 0m,004 par an, ce qui donnerait à un bandage une durée moyenne de huit à onze ans.

Il existe un rapport intime entre les questions qui intéressent la forme, la dureté, la durée, la charge et la résistance des bandages et les questions de même nature relatives aux rails ; il y a une action réciproque de l'un à l'autre de ces organes ; on ne saurait modifier ce qui concerne l'un d'eux sans se rendre compte des conséquences qui en résulteront pour l'autre. Il est probable que les progrès de la fabrication de l'acier n'auront pas moins d'influence sur la qualité des bandages que sur celle des rails.



Les bandages sont fabriqués au laminoir, cintrés et soudés au moyen d'une mise prismatique. On emploie aussi les bandages sans soudure de MM. Petin et Gaudet.

Les bandages sont posés à chaud sur la roue, de manière qu'en se refroidissant ils la pressent très-fortement sur tout son contour ; ils sont ensuite fixés au moyen de vis, de boulons ou de rivets.

Essieux. — Les essieux sont des barres en fer forgé, dans lesquelles on distingue :

1° Deux fusées placées aux extrémités, sur lesquelles portent les charges supérieures par l'intermédiaire des boîtes à graisse ;

2° Deux portées munies de rainures de calage, sur lesquelles les roues sont fixées d'une manière invariable par leur moyeu, et calées à la presse hydraulique ;

3° Deux parties tronconiques dont les petites bases sont raccordées par une portion centrale cylindrique.

Contrairement à ce qui se pratique pour les voitures ordinaires, la charge des voitures de chemin de fer porte sur les essieux en dehors des roues. On a été conduit à cette combinaison par les raisons suivantes : les ruptures d'essieux sont dues bien moins à l'excès des charges qu'à des modifications dans la constitution moléculaire du métal amenées par l'usage et par le temps ; ces ruptures ont lieu généralement près des moyeux et non au milieu ; c'est donc à ces points faibles qu'il faut donner le plus fort diamètre, et pour ne pas ménager d'avance des sections de rupture, les raccordements se font par des congés d'un aussi grand rayon que possible ; d'après cela, si la charge porte en dehors, on réalisera plusieurs avantages importants : en cas de rupture de l'essieu, la roue sera encore liée au châssis par la boîte à graisse et le ressort ; le déraillement sera possible, mais non infaillible ; la caisse sera soutenue, tandis qu'avec les roues extérieures, elle tomberait forcément sur la voie ; le frottement des coussinets aura lieu sur la surface des fusées dont on peut diminuer le diamètre sans inconvénient ; autrement il se produirait sur le diamètre maximum de l'essieu, ce qui accroîtrait la résistance à la traction ; enfin la visite et l'entretien des boîtes à graisse sont beaucoup plus faciles.

La rupture des essieux peut entraîner les accidents les plus graves ; aussi leur fabrication est-elle entourée des soins les plus minutieux ; on leur donne aujourd'hui des dimensions bien plus considérables qu'autrefois ; leur rupture est devenue extrêmement rare.

Boîtes à graisse. — Les roues décrivant jusqu'à 200 tours par minute, et au delà, les fusées ont besoin d'être constamment lubrifiées ; sans cela elles s'échaufferaient et se briseraient promptement ; les boîtes à graisse remplissent cette fonction en même temps qu'elles servent d'intermédiaire entre les roues et le châssis. Les inventeurs se sont montrés si féconds sur ce sujet qu'il serait impossible de faire la simple énumération des systèmes proposés. En général, les boîtes à graisse comprennent les éléments suivants :

1° Le corps de la boîte, en fonte, de forme à peu près prismatique, portant latéralement deux rainures dans lesquelles se logent les plaques de garde et contenant à l'intérieur une cavité pour la graisse ou l'huile ; un couvercle en tôle, assemblé à charnière, permet de renouveler l'approvisionnement de la matière lubrifiante, et protége celle-ci contre la poussière.

2° Le coussinet, en bronze ordinairement (82 cuivre, 12 étain), percé de canaux et muni sur sa face concave, en contact avec la fusée, de rainures en pattes d'araignée, par lesquelles la graisse est répandue aussi uniformément que possible sur toute la surface frottante.

3° Le fond de la boîte, en fonte, pourvu d'une cavité qui reçoit la graisse fondue.

4° Quatre boulons à bride, qui servent à la fois à réunir le fond et le corps de la boîte et à fixer les ressorts.

Les graisses employées sur les chemins de fer sont composées de matières grasses plus ou moins fluides, telles que les huiles de palme et de résine, saponifiées partiellement par l'addition d'une petite quantité de soude. Les proportions du mélange varient suivant les saisons, pour que la matière lubrifiante présente toujours le degré de fluidité convenable. Depuis quelques années les compagnies ont fait des essais pour remplacer la graisse par l'huile.

Les nombreuses combinaisons proposées pour les boîtes à graisse ou à huile peuvent se ramener aux principaux types suivants :

1° Boîtes à réservoir supérieur, dans lesquelles la matière lubrifiante est portée sur la fusée par une mèche faisant office de syphon.

2° Boîtes à réservoir inférieur, où l'huile est portée à la fusée d'un grand nombre de manières différentes, soit par des rouleaux cylindriques en fer blanc tangents à la fusée et flottant à la surface du liquide ; soit par des tampons, mèches ou brosses, maintenus en contact avec la fusée par des leviers à contrepoids ou des ressorts à boudin.

3° Boîtes à fusée immergente, plongeant constamment par sa partie inférieure dans le réservoir, ou noyée dans une masse d'étoupe ou d'éponge imbibée et bourrée dans la boîte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut encore citer les essais d'appareils à rouleaux métalliques interposés entre la fusée et la boîte, afin de transformer le frottement de glissement sur le coussinet en frottement de roulement. L'application en est restée limitée à un petit nombre de cas particuliers, tels que le chariot de Dunn.

Ressorts. — Les ressorts sont fixés par leur milieu au-dessus des boîtes à graisse et par leurs extrémités aux longerons du châssis; il y a divers modes de suspension :

1° Par simple contact; les lames s'infléchissent à leurs extrémités et supportent le longeron par l'intermédiaire d'une petite semelle en fonte;

2° Par le moyen de menottes ou maillons en cuir ou en fer, fixés, d'une part, au ressort dont l'extrémité est recourbée en conséquence; d'autre part, à une pièce spéciale adhérente au châssis;

3° Pour les voitures à grande vitesse, on se réserve la faculté de régler la tension au moyen d'un boulon auquel la menotte est suspendue.

Les dimensions et les formes qu'il convient de donner aux ressorts ont été déterminées par des calculs et des expériences exposés dans un mémoire de M. Phillips, inséré aux *Annales des mines* (1852).

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont un des organes les plus essentiels des véhicules, puisqu'elles maintiennent l'écartement des essieux et transmettent aux roues le mouvement d'entraînement du châssis. Elles sont en forte tôle ou en fer forgé, et reliées l'une à l'autre sous chaque longeron par une tringle d'écartement.

On leur laisse un jeu de quelques millimètres dans les rainures des boîtes à graisse, afin de permettre, dans une certaine mesure, la convergence des essieux dans les courbes.

Châssis. — Les trois dispositions de châssis indiquées ci-après, et surtout la première, sont les plus usitées :

1° Châssis Anglais, composés de deux longerons ou brancards et de deux traverses extrêmes, avec croix de Saint-André et trois traverses intermédiaires qui servent de point d'appui aux ressorts de choc et de traction. Les assemblages sont à tenon et mortaise, consolidés par des boulons, harpons et équerres en fer. Les plaques de garde sont intérieures au longeron, de manière que la boîte à graisse et l'essieu s'assemblent au-dessous de lui;

2° Châssis Belges, composés de deux brancards posés et boulonnés sur quatre traverses. Le fond des caisses est formé de deux cadres indépendants qui reposent sur les brancards. Chacun de ces cadres sert à guider respectivement les appareils de choc et de traction d'avant et d'arrière. Les plaques de garde relient les traverses; c'est sur celles-ci que sont fixés les ressorts, au moyen de menottes.

Ce châssis a l'avantage d'abaisser le centre de gravité du véhicule, mais il n'est pas contreventé, la charge y est mal répartie et l'attelage est dans une mauvaise position; on paraît y avoir renoncé généralement;

3° Châssis Américains; ils appartiennent à un système de matériel tout différent de celui auquel nous sommes accoutumés en France, et disposé principalement pour parcourir des courbes de petit rayon. Ces châssis sont très-petits; les essieux sont très-rapprochés; les caisses, au contraire, sont très-longues; elles reposent à chacune de leurs extrémités sur un châssis complet où elles s'assemblent avec des chevilles ouvrières. Ce système n'est applicable qu'à des chemins à petite vitesse; les essieux, étant très-voisins, peuvent prendre une obliquité sensible sur les rails; ils fatiguent beaucoup plus et l'on déraille plus facilement.

La position des roues est un des points essentiels à prendre en considération dans la construction des voitures; si les essieux sont très-écartés, leur direction constante et normale aux rails est d'autant mieux assurée, le mouvement de lacet est d'autant moins sensible; mais, d'un autre côté, le passage dans les courbes devient plus difficile et plus dangereux; les points d'appui des longerons étant plus éloignés, ceux-ci doivent avoir des dimensions plus fortes. L'écartement des essieux est habituellement compris entre 3m,75 et 4m,45.

Les châssis à trois essieux permettent de transporter des caisses beaucoup plus longues; ils ont perdu les avantages qu'on leur attribuait au point de vue de la sécurité, en cas de rupture d'essieux, depuis qu'on fait ceux-ci assez forts pour éviter tout accident de cette nature. Ils ne semblent réellement utiles que sur les lignes à grandes courbes, à petite vitesse, à moins qu'on ne leur applique des dispositions particulières, qui permettent le déplacement des essieux dans le sens transversal par rapport à la voie.

Attelage. — Les trains se composent d'un nombre de voitures plus ou moins considérable qu'il faut pouvoir séparer et lier entre elles avec rapidité et avec une sécurité complète.

Le mode d'attelage le plus simple, encore employé sur les chantiers de terrassements et dans les mines, se compose de simples chaînes fixées à l'un des wagons et accrochées à l'autre. La mise en marche d'un

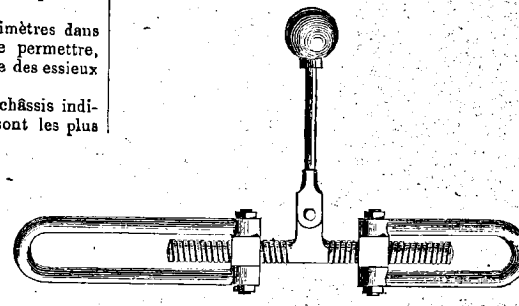


Fig. 36.

train attelé de cette manière est facile, parce que tous les véhicules sont entraînés successivement, mais les secousses et les chocs sont insupportables pour les voyageurs et ruineux pour le matériel.

Si, au contraire, tous les wagons sont liés par des barres rigides, la machine doit entraîner tout le train à la fois; le démarrage devient souvent très-difficile, et, en marche, les chocs se transmettent sans amortissement à toute la masse du train.

Le mode d'attelage aujourd'hui généralement employé lève la plupart de ces difficultés; la barre d'attelage (fig. 36) est composée de trois parties : deux étriers bouclés, ou lanternes, et une tige à manivelle dont les extrémités sont filetées en sens opposés, et s'engagent dans des écrous ménagés dans les boucles : cet appareil se passe dans les crochets soudés aux extrémités des tiges de traction. En tournant les vis, on peut amener au contact les tampons des wagons. Les chocs sont amortis; en même temps la transmission successive de l'effort de traction est assurée grâce aux dispositions suivantes (fig. 35).

La tige de traction pénètre dans le milieu de la traverse extrême du châssis et aboutit au milieu d'un ressort dit ressort de traction.

D'autre part, tous les châssis sont pourvus en avant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHEMINS DE FER.

et en arrière de tampons de choc, placés en regard les uns des autres; les tampons des voitures de voyageurs sont formés d'un disque en fer, recouvert en bois et monté sur une tige dont l'extrémité s'appuie sur un ressort, dit ressort de choc. Les tampons, situés aux extrémités d'une même diagonale du châssis, sont terminés par des surfaces de même nature, planes ou sphériques; il en résulte que le contact de deux tampons a toujours lieu dans le voisinage de l'axe de la tige de choc et que celle-ci risque moins d'être faussée par des efforts obliques.

Les ressorts de choc et de traction peuvent être disposés de différentes façons; la plus simple consiste à n'avoir qu'un seul ressort remplissant la double fonction, pour chaque moitié d'un wagon.

L'attelage des wagons à marchandises est plus simple; les ressorts de traction sont plus petits et appliqués sur les traverses extrêmes; il n'y a pas de ressorts de choc, mais une disposition spéciale des tampons en tient lieu; ceux-ci sont formés d'une cuvette cylindrique C en fonte fixée au châssis et d'un cylindre creux c, également en fonte, entrant à frottement doux dans cette cuvette; les chocs sont amortis par une série de rondelles en caoutchouc R, séparées les unes des autres par d'autres rondelles en fer ou en cuivre r.

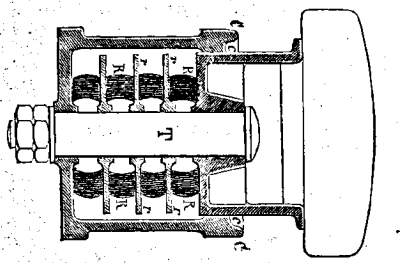


Fig. 37.

On se prémunit encore contre la rupture des tiges que pourraient amener des secousses trop brusques en interposant dans leur longueur des rondelles en caoutchouc. Cette substance a été proposée pour remplacer l'acier des ressorts, mais on s'est borné à des essais.

De part et d'autre de la barre d'attelage se trouvent fixées les chaînes de sûreté; leur usage est prescrit par les règlements pour remplacer la barre en cas de rupture, et pour soutenir la caisse au-dessus de la voie, si un essieu venait à se rompre.

Différents systèmes d'attelage permettent de détacher instantanément tout ou partie d'un train. Cette manœuvre peut être utile dans certains cas, dans les gares, sur les chantiers, dans les usines : mais il ne faut lui attribuer, en cas d'accident, aucune efficacité; tout appareil qui n'est pas d'un usage de chaque instant et susceptible d'être manœuvré en quelque sorte instinctivement par les agents, est plus nuisible qu'utile en pareil cas; tant les choses se passent d'une manière brusque et soudaine, tant la présence d'esprit nécessaire est rare.

Sur l'ancien chemin de Saint-Étienne, cette manœuvre se faisait couramment dans les gares; le premier wagon portait deux anneaux superposés entre lesquels venait s'engager un anneau correspondant porté par la locomotive. Ces trois anneaux étaient traversés par l'extrémité recourbée d'un levier fixé au châssis du wagon et maintenue relevée par un ressort; en agissant sur le levier par un excentrique, on dégageait l'anneau de la locomotive, qui se trouvait immédiatement séparée du train.

Dans la méthode de déchargement des déblais de terrassements, dite Anglaise, on doit dételer instantanément le cheval qui remorque les wagons chargés de terre, au moment où l'on approche du point de déchargement; on emploie pour cela un crochet (*fig.* 38) dont la pointe est maintenue baissée par un anneau mobile attaché au dernier maillon de la chaîne d'attelage; en déplaçant cet anneau au moyen d'une ficelle que le conducteur tient en main, le crochet se relève et le cheval est délivré. Cet appareil a été appliqué au chemin de Rouen.

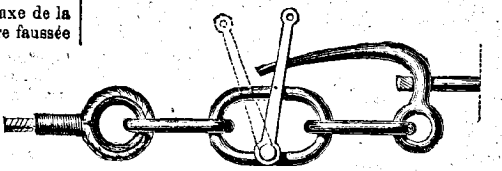


Fig. 38.

On emploie cette manœuvre en Angleterre pour dégager les locomotives en arrivant en gare, et pour éviter l'intervention de la machine de réserve, ou l'obligation de tourner la locomotive sur les plaques extrêmes de la gare. Après s'être séparée de son train, la machine accélère sa marche et s'engage, par des aiguilles en pointe, sur la voie de dégagement qui la conduit à son dépôt; le train continue sa route jusqu'en gare avec sa vitesse acquise. Il faut qu'on ait le temps de refaire les aiguilles pour la voie principale dans le court espace qui sépare le passage de la locomotive et l'arrivée du train au changement de voie. Cette manœuvre exige beaucoup d'adresse et un accord parfait entre les mécaniciens, les aiguilleurs et les garde-freins.

Freins. — M. Perdonnet compte environ trois mille systèmes de freins proposés depuis une vingtaine d'années : on a souvent signalé l'abus de ce nombre prodigieux de soi-disant inventions, toutes plus ou moins brevetées, plus ou moins patronnées par des industriels qui ont fait une spécialité de ce genre de spéculations; les chemins de fer souffrent plus qu'aucune autre industrie de cet état de choses; les moindres modifications au matériel deviennent l'objet de poursuites judiciaires, et la loi, détournée de son but protecteur, crée de véritables entraves au progrès. Les systèmes suivants sont les plus usuels :

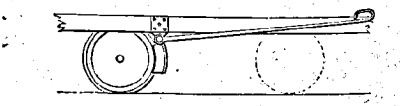


Fig. 39.

1° Frein de gare (*fig.* 39); il comprend un patin en fer, sur lequel est fixé le sabot en bois qui doit s'appuyer sur la roue : cet organe est commun à tous les freins du même genre; le charme, le hêtre, le peuplier blanc sont les bois les plus propres à cet usage. La manœuvre a lieu au moyen d'un levier coudé à deux branches très-inégales, dont la grande branche est habituellement soutenue dans des encoches en fer fixées sur le châssis; et la petite est formée par le patin lui-même. Ce frein agit très-promptement, mais le serrage n'est pas assez énergique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° Frein de Saint-Germain (*fig.* 40); il se compose de deux sabots qui pressent à la fois sur les deux roues et dont les patins sont articulés sur le longeron; il agit

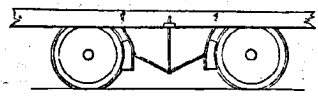


Fig. 40.

au moyen d'une tige, dont l'extrémité inférieure est liée aux patins par deux bielles symétriques et dont l'extrémité supérieure se termine par une vis à manivelle, manœuvrée par un garde-frein. Ce système a l'inconvénient de tendre à écarter les roues et à détruire le parallélisme des essieux : les sabots serrent inégalement quand la charge est irrégulièrement répartie.

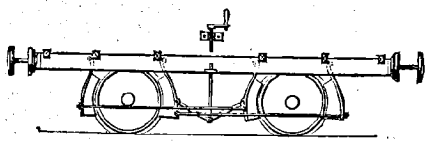


Fig. 41.

3° La disposition du frein de Versailles (rive gauche) (*fig.* 41) a pour objet de supprimer cet inconvénient; chaque roue est munie de deux sabots; ceux intérieurs sont manœuvrés comme ci-dessus : ceux extérieurs se serrent au moyen de tiges de connexion fixées aux patins des premiers.

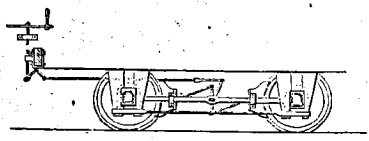


Fig. 42.

4° Frein de Rouen (*fig.* 42); les bielles sont montées, d'une part, sur les sabots, de l'autre, sur une manivelle double, fixée elle-même sur un axe parallèle aux essieux; cet axe repose sur deux entretoises qui maintiennent les essieux à l'écartement voulu, et servent de guides aux sabots; il est manœuvré par une manivelle spéciale à laquelle le mouvement est transmis par une série de renvois et de bielles. Pour obvier à l'inégalité d'usure des sabots, les trous des articulations sont ovalisés. Ce frein est d'un bon usage, mais il est plus lourd et plus cher que les précédents et on ne peut retirer les roues sans le démonter.

5° Beaucoup d'ingénieurs préfèrent encore le frein de Saint-Germain, surtout depuis qu'on l'a perfectionné en lui ajoutant une série d'articulations qui rendent son action indépendante des inégalités de la charge;

6° Citons encore le frein Stilmant, en expérience sur l'Est; il se compose de deux sabots en fer, maintenus à distance invariable entre eux par une tringle rigide : le serrage s'opère au moyen d'un coin en fer qui s'abaisse entre l'un des sabots et la roue voisine, et détermine en même temps l'action du second sabot.

Quel que soit le mode employé, il faut se réserver le moyen de régler le jeu de l'appareil à mesure que s'usent les sabots.

On reproche à la plupart des systèmes de freins d'agir trop lentement; si le mécanicien aperçoit un obstacle sur la voie, il faut, en effet, un temps notable pour faire le signal au sifflet, et serrer les vis, moyen de transmission énergique, mais peu rapide. M. Alexandre Lindner applique au matériel de la Société autrichienne une disposition très-simple et assez répandue en Allemagne, depuis 1857; son but immédiat est de limiter le desserrage de la vis, qui va ordinairement bien au delà de ce qui est strictement nécessaire, d'où résulte une perte de temps au moment de la manœuvre (*fig.* 43).

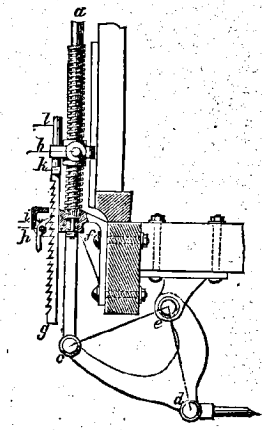


Fig. 43.

La vis *a* n'a qu'un mouvement de rotation, et l'écrou *b* n'a qu'un mouvement de translation; ce mouvement est transmis au frein par deux bielles parallèles commandant directement l'équerre *ced* fixée sur la traversine. L'écrou est traversé librement par le sommet d'une petite tige à crémaillère et s'y meut entre deux taquets *l* et *k*; cette crémaillère ne peut s'abaisser au-dessous d'un niveau déterminé par un cliquet *h* pressé contre elle par un petit ressort *i*; le taquet inférieur limite l'abaissement de l'écrou; il correspond au desserrage; le taquet supérieur correspond au mouvement de serrage; sa distance au taquet inférieur est assez grande pour qu'il ne soit atteint par l'écrou que lorsque les sabots ont acquis un certain degré d'usure; alors la crémaillère est remontée par l'écrou du nombre de crans justement nécessaire pour que le frein agisse avec efficacité. On conçoit facilement comment cet appareil, une fois réglé, fonctionne jusqu'à usure complète des sabots, sans avoir besoin d'aucune intervention étrangère. Cinq tours suffisent pour le desserrer.

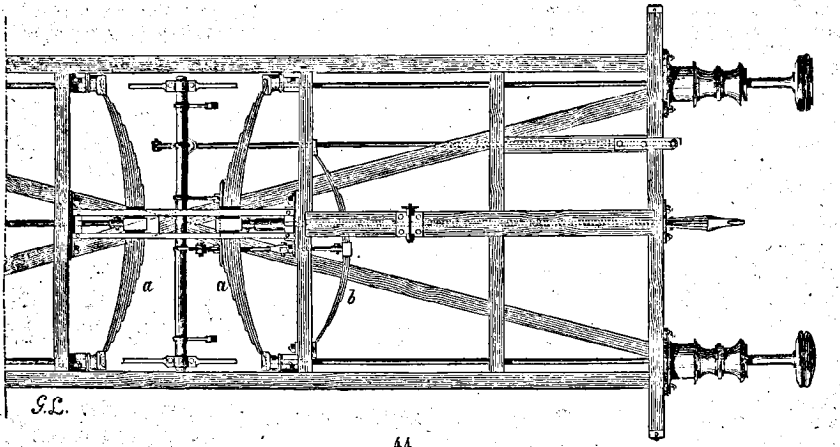
Il ne faut pas songer d'ailleurs à réaliser l'arrêt instantané d'un train : ce remède serait pis que le mal; on a calculé qu'à la vitesse de 60 kilomètres, l'arrêt subit produirait le même effet que si le train était lancé d'une hauteur de 14 mètres, soit d'un quatrième étage sur le sol. Beaucoup d'inventeurs se sont préoccupés, tout en la graduant, d'accroître et d'accélérer cette action des freins; on doit citer parmi les combinaisons les plus dignes d'attention :

1° Le frein Laignel, employé sur le plan incliné de Liége, sur les locomotives des chemins de Turin à Gênes et de Culoz au mont Cenis; les freins ordinaires arrêtent le mouvement de rotation des roues, et transforment leur frottement de roulement sur les rails en frottement de glissement; il en résulte une usure rapide et inégale des bandages, qui rend à la lon-

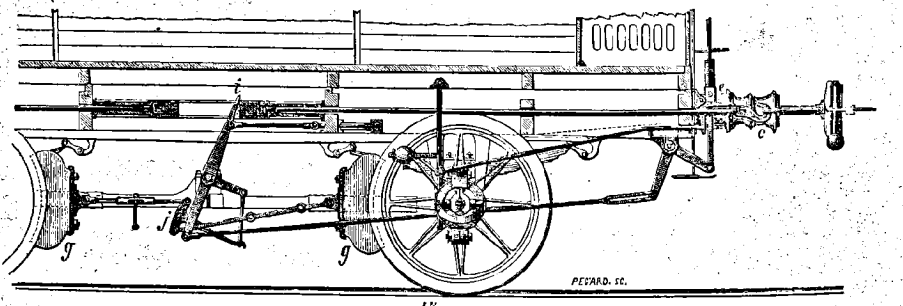
EFERUS - Recherche & Classification numérique

gue les secousses des wagons très-fortes et très-fatigantes, et se traduit en frais d'entretien considérables. M. Laignel a évité ces inconvénients en faisant agir le frottement de glissement sur un organe spécial, un patin en bois, qu'on descend sur le rail avec des vis, et qui laisse les roues complétement en dehors de l'action du frein ;

2° Le système de M. Bricogne a l'avantage de mettre les freins en état d'agir instantanément, et dispense le garde-frein d'avoir à faire les sept à huit tours de manivelle, qui prennent un temps considérable, avant que le frein soit serré. L'intermédiaire adopté est



44.



45.

un contre-poids qu'on abandonne à lui-même en pressant la détente d'un déclic; le desserrage se fait au moyen d'un volant à manivelle qui ramène le contre-poids à sa position la plus élevée, et remet le déclic en place.

On reproche à cet appareil son prix élevé et l'espace qu'il occupe;

3° Nous ne citons que pour mémoire les freins automoteurs américains et allemands.

Le frein de M. Guérin est aujourd'hui assez répandu sur les chemins français; nous en donnons ici une description détaillée qui ne fait du reste que reproduire celle insérée dans la précédente édition de cet ouvrage, d'après un rapport de M. Combes.

Le système de M. Guérin n'est applicable qu'aux voitures pourvues de ressorts de choc et de traction, comme le sont toutes celles qui entrent dans la composition des trains de voyageurs et même beaucoup de wagons à marchandises. On sait, par la description précédente, que les voitures de ce genre entrant dans la composition d'un train, sont liées les unes aux autres par deux étriers ou anneaux allongés qui réunissent les barres d'attelage de deux wagons consécutifs et peuvent être rapprochés l'un de l'autre, au moyen d'une tige en fer filetée en vis à ses deux extrémités. On rapproche les extrémités lorsque l'on compose le train, de manière à amener au contact les tampons que l'on appelle *tampons de choc*. Le plus ordinairement, la barre d'attelage placée sous le wagon et suivant son axe est fixée, par son extrémité postérieure, au milieu d'un ressort à lames courbé en un arc de cercle d'un grand rayon, dont la corde est à peu près égale à la largeur de la voiture mesurée intérieurement aux pièces longitudinales du châssis rectangulaire qui la supporte (fig. 44 et 45). Les tampons *de choc* sont fixés à l'extrémité de fortes tiges en fer rond dont les extrémités postérieures viennent s'appuyer sur les deux extrémités de l'arc formé par ce même ressort, qui est à la fois ressort de traction et ressort de choc. Lorsque le train s'avance, tiré par la machine locomotive, les pressions mutuelles des tampons de choc sont nécessairement moindres que la traction exercée par les barres d'attelage; les tampons cessent même souvent d'être en contact. Il en résulte que le train s'allonge et que les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives s'avancent parallèlement à eux-mêmes, sous ces voitures, du côté des traverses extrêmes du châssis

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre lesquelles se trouve le double étrier d'attelage. Si, au contraire, on fait reculer le train par l'action de la machine locomotive, les pressions mutuelles des tampons de choc deviendront plus grandes que la traction exercée par les barres d'attelage; le train se raccourcira; les ressorts de choc et de traction de deux voitures consécutives reculeront parallèlement à eux-mêmes sous ces voitures, en s'éloignant des traverses extrêmes des châssis en regard, jusqu'à ce que les milieux de ces ressorts viennent s'appuyer sur une traverse fixe encadrée dans ces châssis et qui limite leur excursion. Le même effet se produira lorsque, le train étant en marche, le mécanicien supprimera la vapeur et serrera le frein du tender. La vitesse de la locomotive et du tender diminuera par la force retardatrice du frottement, et ces masses retardées réagiront sur la voiture qui suit le tender, celle-ci sur la suivante, et ainsi de suite jusqu'à la dernière.

Plusieurs ingénieurs et mécaniciens ont déjà tenté de mettre à profit le mouvement de *recul* des ressorts de choc et de traction pour agir, par l'intermédiaire de leviers et d'un arbre de couche, sur les sabots des freins et mettre ceux-ci en prise avec les roues; rien n'est, en effet, plus simple et plus facile à réaliser. Mais la difficulté était d'imaginer des dispositions telles, que la *condensation* du train serrât les freins quand on voudrait arrêter un train en marche, et qu'elle n'eût aucun effet quand on voudrait faire reculer un train, ce qu'il est indispensable de faire, dans beaucoup de cas, soit pour des manœuvres de gares, soit pour revenir à une station que l'on a dépassée, etc. Ce serait trop allonger cet exposé que de rappeler les divers moyens inventés pour atteindre ce but, dont quelques-uns, très-simples, très-ingénieux, méritent certainement à leurs auteurs la reconnaissance publique, quoiqu'ils n'aient pas eu de succès dans la pratique. Voici celui que M. Guérin a imaginé et qui diffère essentiellement de tous ceux que l'on avait tentés avant lui.

Lorsque le wagon est au repos, les tiges des tampons sont tout à fait en dehors, le ressort le plus rapproché de la traverse antérieure du châssis est libre, la barre d'attelage fixée, par son extrémité postérieure, au milieu de ce ressort qui doit agir sur le frein, est saillante en avant de cette traverse sur une grande longueur. A la suite du crochet qui la termine antérieurement sont ménagés un renflement et une embase. Derrière celle-ci tombe une patte ou cliquet, mobile autour d'un axe horizontal fixé sur le devant de la traverse du châssis, et qui s'oppose à ce que la barre d'attelage puisse s'enfoncer sous le wagon et, par conséquent, à ce que le ressort de traction puisse reculer et agir sur le levier du frein. Le train, une fois composé, pourra donc reculer librement sous l'action de la locomotive, ou le wagon isolé sous l'impulsion des hommes d'équipe qui le pousseraient par les tampons de choc.

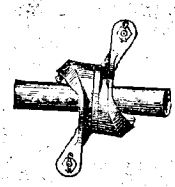


Fig. 46.

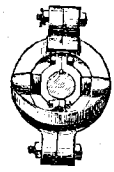


Fig. 47.

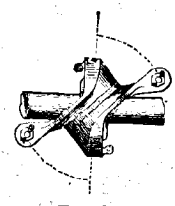


Fig. 48.

Cependant la patte ou cliquet qui s'oppose à l'enfoncement de la barre d'attelage se lève et dégage celle-ci par le seul effet de la marche du train en avant à une vitesse de 4 à 5 kilomètres par heure. Ce résultat est obtenu de la manière suivante : (*fig.* 46, 47 *et* 48) sur le milieu de l'essieu de la voiture, au-dessus duquel passe la barre d'attelage, est fixé un corps ayant la forme d'une sorte d'anneau mobile autour d'un axe perpendiculaire à l'essieu et solidaire avec lui. Lorsque le wagon est au repos, l'anneau est couché sur l'essieu par l'action d'un ressort à boudin qui entoure l'axe dont je viens de parler. L'essieu venant à prendre un mouvement de rotation, la force centrifuge tend à redresser l'anneau et à le ramener dans un plan perpendiculaire à l'essieu. Dès que le mouvement de rotation est assez rapide pour que l'action de la force centrifuge surpasse l'action en sens inverse du ressort, le redressement a lieu. Or la patte ou cliquet d'arrêt porte une branche en retour d'équerre, appliquée contre la face antérieure de la traverse et qui est poussée par une petite tige reliée par un boulon à une barre de fer mobile autour d'un axe horizontal, fixée au châssis et qui pend sous le wagon. L'action d'un contre-poids amène cette barre à presser l'anneau fixé sur l'essieu. Quand l'anneau est couché, elle est maintenue à une distance de l'essieu mesurée par le rayon extérieur de l'anneau; mais lorsqu'il est redressé, la barre vient s'engager dans un sillon qui est ménagé sur tout son contour, dans son épaisseur; l'effet du relèvement est donc de diminuer la distance de la barre à l'essieu, et ce rapprochement persiste tant que l'anneau est relevé. Le reste se devine aisément : le changement de position de la barre, déterminé par le relèvement de l'anneau, a eu pour résultat de relever la patte ou cliquet qui empêchait l'enfoncement de la barre d'attelage, et les choses restent en cet état, tant que la roue continue à tourner assez vite pour que l'anneau reste relevé. Le ressort peut donc céder à l'action des tiges des tampons de choc, et opérer, dans son mouvement de recul, le serrage du frein. Ainsi les freins agissent bien spontanément, sous l'action de forces retardatrices, créées en tête du train en marche par la suppression de la vapeur et le serrage du frein du tender; mais ils n'agissent pas lorsque le train, partant de l'état de repos, est poussé en arrière par la locomotive ou toute autre force appliquée aux tampons du choc.

Il fallait encore, pour que l'appareil fût applicable, remplir deux conditions : la première, que les freins ne fussent pas serrés par les seules réactions qui ont lieu entre les voitures du train, lorsque la vitesse est ralentie accidentellement ou par la volonté du mécanicien qui, néanmoins, ne veut pas arriver à l'arrêt complet; la seconde, que les freins, une fois serrés, s'écartassent spontanément et sûrement des jantes des roues, aussitôt que le train est arrêté. M. Guérin satisfait à l'une et à l'autre par l'addition d'un contre-ressort curviligne et à lames d'une force beaucoup moindre que le ressort de choc, appuyé, par ses extrémités, sur une traverse placée dans le châssis de la voiture, en avant de celui-ci et relié à lui par une tige en fer; la force de ce contre-ressort a été déterminée par le tâtonnement. Dans les expériences variées qui ont eu lieu sur les lignes de Paris à Orléans et de Paris à Corbeil, par une commission nommée par le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, le contre-ressort adapté par M. Guérin aux voitures de la compagnie d'Orléans a toujours suffi pour prévenir toute action intempestive des freins automoteurs, lors des ralentissements de vitesse des trains en marche et pour déterminer la *dilatation* spontanée du train après l'arrêt complet, mais seulement après l'arrêt.

Les commissaires, d'accord avec les ingénieurs attachés à l'exploitation du chemin de fer d'Orléans, ont reconnu que le système de freins automoteurs de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Guérin est d'un usage sûr, facile, exempt de complications et d'inconvénients.

Toutefois, la nécessité de ne jamais placer les wagons à frein à l'extrémité des convois, où leur action serait nulle; les soins nécessaires pour la conservation en bon état des appareils, et leur prix d'achat ont suffi pour en limiter la propagation. Preuve nouvelle de l'extrême simplicité nécessaire dans le matériel des grandes exploitations de chemins de fer.

4° La Compagnie de l'Est poursuit en ce moment des expériences sur un appareil à manœuvre électrique dû à M. Achard, qui met les freins entièrement à la disposition du mécanicien.

Caisses. — Si les dispositions principales des châssis peuvent se ramener à un petit nombre de types, celles des caisses présentent une variété infinie, en raison des mille usages divers du commerce et du public appelé à s'en servir. Il faut donc se borner ici à un petit nombre de renseignements généraux.

Les caisses sont entièrement distinctes des châssis; elles sont simplement posées et fixées sur ceux-ci par des équerres en fer qui se correspondent et sont réunies par des boulons.

Matériel à voyageurs.—La construction de nos caisses à voyageurs diffère peu en principe de celle des anciennes diligences; les bâtis sont seulement beaucoup plus forts; les assemblages sont à tenon et mortaise, et consolidés par des équerres, fixées par des vis à bois. Cette partie du service du matériel comprend une foule de détails qui sont du ressort de la carrosserie ordinaire; les questions du chauffage, de la ventilation et de l'éclairage des voitures intéressent à un haut degré le bien-être des voyageurs, et sont l'objet de recherches constantes; nous avons craint d'être entraîné en les exposant dans de trop longues digressions, et nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux.

A mesure que la vitesse et la masse des transports sur les chemins de fer ont augmenté, on a été conduit à établir un rapport de plus en plus élevé entre le poids mort et le poids utile transporté; ce rapport était d'abord 1/2 pour les wagons de marchandises; grâce à l'emploi plus général et à la meilleure qualité du fer, il est aujourd'hui 2/5 environ. Voici quelques chiffres relatifs au matériel des voyageurs de diverses classes :

DÉSIGNATION.	1re classe.	2e classe.	3e classe.
Nombre de compartiments.....	3	4	5
Longueur des caisses..... mèt.	6,56	7,00	7,34
Largeur des caisses..... id.	2,75	2,75	2,75
Écartement des essieux.... id.	3,60	3,60	3,60
Longueur des ressorts de suspension développés.....	2,00	1,40	1,40
Poids d'une voiture vide... kil.	6,500	6,400	6,200
Nombre de voyageurs.....	24	40	50
Rapport du poids mort au poids utile	3,61	2,13	1,65
Poids mort par voyageur... kil.	271	160	124
Prix d'une voiture..... fr..	10,100	7,700	5,200
Prix par voyageur..... fr..	421	192	104

Le matériel à voyageurs des chemins Américains, imité sur quelques chemins suisses et allemands, est établi sur des principes tout différents du matériel Anglais et français. Les caisses ont jusqu'à 18 mètres de long et même plus; elles sont portées sur deux trains de quatre roues chacun, à essieux très-rapprochés. La caisse ne comprend qu'un seul compartiment; il n'y a qu'une classe de voyageurs. Aux extrémités de la voiture sont de petites plateformes, servant de vestibules, auxquelles on accède de l'extérieur par des marchepieds; elles sont abritées par un auvent. La porte d'entrée est au milieu de la paroi transversale du wagon; elle correspond à un passage ménagé au milieu de la voiture, entre les banquettes; de petits ponts jetés entre les wagons permettent de circuler d'un bout à l'autre du train. Les banquettes sont transversales; le dossier est mobile, de manière qu'on peut s'asseoir à volonté tourné vers l'avant ou vers l'arrière. Un poêle est au milieu de la voiture.

Ce matériel, très-préconisé par quelques personnes, est sujet à bien des critiques. A cause du peu d'écartement des essieux, il est plus exposé au déraillement, plus dangereux quand la vitesse s'accroît; cette facilité de circuler, agréable pendant quelques instants, ne tarde pas à devenir, dans un voyage un peu prolongé, une cause de fatigue par le mouvement perpétuel qu'elle occasionne autour du voyageur, dans cet étroit espace. Il n'y a que deux issues, placées aux extrémités de la voiture, et elle peut contenir jusqu'à 80 personnes; l'entrée, la sortie et le classement des voyageurs sont lents; en cas d'accident, d'incendie, il est impossible de faire sortir rapidement tout le monde; les voitures ne peuvent tourner sur les plaques que par une manœuvre compliquée et le service des gares est plus pénible.

Matériel à marchandises. — Il est encore plus varié que le matériel à voyageurs. On y comprend entre autres :

Les wagons couverts, avec panneaux mobiles et portes à charnières, ou mieux à roulettes, pouvant aussi servir au transport des chevaux et des bestiaux;

Les wagons plats à bords fixes, peu saillants, qui peuvent même quelquefois se rabattre, recouverts d'une bâche, si la nature de la marchandise l'exige;

Les divers modèles de wagons à bestiaux, porcs, moutons, chevaux de luxe;

Les wagons à lait, à bois, à houille, à coke, à terrassements, à ballast, les trucs à diligence, à chaise de poste, etc.

On fait entrer dans une catégorie à part les wagons de la poste, les wagons de luxe, ceux des trains impériaux, dont l'ensemble constitue un appartement complet, mis par quelques compagnies à la disposition du souverain, quand il voyage.

Du mouvement de lacet. — Le mouvement de lacet est un mouvement d'oscillations latérales, fréquentes et saccadées, bien connu de la plupart de ceux qui voyagent en chemin de fer, mais heureusement beaucoup plus rare depuis qu'on en a mieux apprécié les causes. Il peut être attribué à la voie, si les rails sont mal posés, d'une mauvaise forme, surtout si la surface de roulement est plane, de manière que les bandages portent tantôt sur l'arête extérieure, tantôt sur l'arête intérieure, et que le rayon de roulement varie à chaque instant; si la voie n'a pas assez de jeu, chaque oscillation se termine par un choc des boudins contre les rails qui rend les secousses encore plus sensibles.

Le mouvement de lacet peut être attribué aux véhicules, si les essieux ne sont pas parallèles, si les diamètres des roues sont inégaux, les bandages usés et creux; l'amplitude des oscillations peut être augmentée par l'élévation du centre de gravité au-dessus de la voie, l'excès de largeur et de longueur du matériel, la mauvaise répartition des points d'appui sur les voies, la mauvaise disposition des ressorts de suspension, le défaut de rigidité des attelages; le règlement insuf-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fisant des contre-poids des roues motrices des machines.

Ces causes diverses n'agissent les unes sur les autres que pour accroître les inconvénients du mouvement de lacet. Il importe pour l'éviter de donner aux rails un bombement convenable, et aux bandages une conicité suffisante, d'apporter le plus grand soin à la construction et à l'entretien de la voie et du matériel, de mettre les paires de roues sur le tour par couples appartenant au même véhicule, de serrer les attelages dans les trains.

VI. Études et tracés.

Après avoir étudié les éléments de ce grand organisme qui constitue un chemin de fer, il faut connaître les principes d'après lesquels on en fera l'emploi en déterminant d'abord le tracé sur le terrain. Les considérations qui interviennent dans cette opération sont très-variées, politiques, stratégiques, administratives, commerciales, financières, techniques; tel tracé, excellent à un point de vue, peut être inadmissible à tous les autres. Le problème n'est susceptible d'une solution unique et indiscutable que dans des circonstances bien rares; il faut balancer tous les intérêts en présence, souvent contradictoires, et prononcer dans le sens de l'intérêt général, entendu dans son acception la plus large et la plus élevée. En France, les projets de chemins de fer sont étudiés au point de vue politique, commercial et financier, par la commission consultative des chemins de fer, par le Conseil d'État, le Corps législatif; au point de vue stratégique, par le comité du génie et la commission des travaux mixtes; au point de vue technique, par le corps des ponts et chaussées; au point de vue de la spéculation, par les compagnies concessionnaires. Le ministre des Travaux publics prononce en dernier ressort, en se conformant aux prescriptions posées dans les lois de concession.

1° *Considérations générales.*

Les chemins de fer continuent l'œuvre de civilisation commencée dans l'antiquité et renouvelée au moyen âge par la navigation maritime, poursuivie et fécondée depuis trois siècles par la création des routes, chemins et canaux; mais ils lui ont imprimé une impulsion sans pareille. Par leur moyen, la vitesse des transports est quadruplée; un réseau de chemins de fer agit donc sur un territoire donné, ainsi que l'a fait remarquer M. Michel Chevalier, comme si ce territoire était réduit en surface en raison du carré des distances, c'est-à-dire, dix à vingt fois moins grand. Il en résulte des facilités nouvelles et incomparables pour les relations entre les citoyens, pour l'échange des idées et des richesses, pour s'entendre, se concerter, s'éclairer, rendre plus intime la communauté des intérêts, des sympathies et des opinions entre les membres d'une même société, ainsi que pour multiplier les relations de peuple à peuple, pour abolir les préjugés et les haines entre les nations comme entre les classes de citoyens.

L'histoire contemporaine nous offre déjà quelques résultats bien dignes d'attention de cette révolution pacifique, quoique rapide et profonde. Les gouvernements d'origine récente, les empires composés de races disparates et répandues sur des territoires mal délimités, ont compris les premiers l'importance politique des chemins de fer et le secours qu'on en pouvait tirer pour la fusion d'éléments le plus souvent séparés bien moins par leur position géographique, que par leurs origines, leurs traditions, leurs préjugés et leurs mœurs.

C'est ainsi que la Belgique, à peine maîtresse de son indépendance, sut attirer sur elle l'attention et l'estime universelle en devançant toutes les nations européennes dans la conception et dans l'exécution d'un réseau national. Cette détermination hardie (1834), accomplie avec persévérance, a créé le plus solide fondement de la nationalité Belge.

Les périls que suscitent continuellement à l'Autriche les vices de sa constitution hétérogène, lui ont fait une nécessité de précéder les autres nations Allemandes dans la même voie. L'une de ses premières préoccupations a été de relier sa capitale avec les frontières de la Pologne et de l'Italie, tandis qu'elle s'est longtemps refusée à permettre la jonction de Milan à Turin. Si c'était par un pressentiment superstitieux, les événements l'ont justifié; la soudure était à peine opérée sur l'Adda lorsque la Lombardie a été affranchie.

Les chemins de fer Allemands ont puissamment contribué à consolider le Zolverein et à en développer les avantages.

La Prusse a suivi de près l'Autriche; le roi Frédéric Guillaume III a légué par testament 3,500,000 f. pour l'exécution du chemin de Berlin au Rhin, destiné à réunir deux parties du royaume, fort étrangères l'une à l'autre par leur passé, non moins que par leur situation, et qui se trouvaient placées sous l'autorité du même souverain par des causes tout à fait indépendantes de leurs intérêts directs.

Le roi de Hollande a montré une initiative non moins éclairée en faisant exécuter à ses frais, risques et périls, afin de ranimer le commerce d'Amsterdam menacé par Anvers, le chemin de cette ville au Rhin, ajourné par les États généraux.

Le gouvernement Sarde s'est créé une grande influence et une popularité méritée, par la hardiesse avec laquelle il s'est engagé dans l'entreprise des chemins de fer, notamment dans celle de Turin à Gênes, l'une des plus difficiles du continent, et dans celle du mont Cenis. Depuis 1859, le gouvernement Italien, malgré des embarras sans nombre, a déployé la plus grande activité pour l'exécution de son réseau, comprenant bien qu'il y trouverait le plus puissant de tous les instruments pour l'unification des provinces de la péninsule.

L'Espagne et la Russie, pourvues l'une et l'autre de si grandes richesses naturelles, sont enfin entrées dans la carrière; elles regagneront rapidement le temps perdu. Il semble, en effet, que les voies de communication perfectionnées doivent avoir des conséquences d'autant plus marquées qu'elles desservent des pays plus neufs et plus arriérés; les capitaux et les hommes des pays plus avancés s'y portent avec ardeur et ne tardent pas à mettre en valeur les richesses enfouies et stériles. C'est ainsi que les chemins de fer ont été un des grands leviers de la colonisation aux États-Unis; ceux-ci leur doivent en grande partie le développement prodigieux de leur population.

Le chemin de fer de Suez et celui de Panama ont déjà introduit une immense révolution dans les relations entre les continents. Il ne faut aujourd'hui que six heures pour traverser l'isthme américain. Il y a peu d'années le même trajet réclamait dix-sept jours à travers mille fatigues et mille dangers.

De tels changements ne s'accomplissent pas sans troubler des habitudes séculaires, sans modifier profondément l'importance relative des places d'entrepôt et des grands marchés, sans amener des plaintes bruyantes, quelque fois justifiées. Les objections économiques soulevées par l'établissement des chemins de fer sont les mêmes que celles opposées autrefois aux machines; elles nous montrent l'éternelle lutte du producteur et du consommateur, qui finit toujours par se décider en faveur de ce dernier. Sans doute, des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

industries concurrentes ont dû disparaître; un trouble profond a été apporté dans les pratiques des divers systèmes de transport; mais d'abord ce changement ne s'est pas opéré en un jour; chacun a eu le temps d'en prévoir les conséquences et de se prémunir; il y a plus, pour la plupart de ces industries, il ne s'est opéré qu'un déplacement dans le sens de leurs transactions; sous l'aiguillon de la concurrence elles ont réalisé des progrès considérables dans leurs procédés; elles ont souvent soutenu victorieusement la lutte et le chiffre total de leurs affaires, bien loin de s'amoindrir, s'est augmenté.

En France, les documents officiels répondent catégoriquement à ces objections surannées. On pouvait croire que la circulation, sur les routes impériales, aurait diminué, car ces routes desservent les directions principales suivant lesquelles les chemins de fer ont été tracés. Il n'en a rien été : la circulation moyenne était de 244 colliers en 1852; en 1857, elle s'élevait à 246 colliers; elle est de 237 en 1864; elle n'a donc pas sensiblement varié; ce chiffre rapporté à la longueur totale de 37,352 kilomètres des routes impériales, et à l'année entière, représente environ 3200 millions de colliers, ou environ 1600 millions de tonnes utiles transportées à 1 kilomètre.

Le trafic de la navigation intérieure, dont le développement total, rivières et canaux, est de 11,250 kil., était en 1850 de 1,722,000,000 de tonnes transportées à 1 kilom., correspondant à un transport moyen de 195,000 tonnes parcourant la longueur totale. En 1862, ce chiffre est de 2,360,000,000 tonnes kilomètres, soit plus de 200,000 tonnes à distance entière.

Dans la même période, le trafic des chemins de fer s'est élevé de 353,000,000 tonnes kilom. à près de 4,000,000,000. Puisqu'il n'y a pas eu diminution, bien loin de là, sur le mouvement des routes et canaux, il n'y a aucune exagération à affirmer que ce trafic énorme, qui dépasse à lui seul celui des routes impériales et des voies navigables réunies, a été entièrement et réellement créé par les chemins de fer. Il donne un premier aperçu de leur part dans le développement de la richesse publique, et cet aperçu est fort au-dessous de la vérité, car on n'a pas tenu compte du développement contemporain de la circulation des routes départementales, des chemins vicinaux et de la navigation maritime.

Les marchandises sont transportées par chemin de fer à un prix moyen inférieur à 0 fr. 07 c. par tonne kilom. Le prix de transport sur les routes est de 0 fr. 20 c., sans compter les frais d'entretien et d'amortissement, supportés par l'impôt. Si les transports par chemin de fer étaient exécutés par terre, la différence représenterait plus de 520,000,000 fr. On peut admettre, sur le transport des voyageurs, une différence égale, sinon plus forte, en y faisant entrer l'économie de temps et de frais accessoires. Le pays, pour effectuer par terre la nouvelle masse de transports intérieurs devenue nécessaire, aurait à débourser plus d'un milliard en sus, soit la moitié du budget. On s'explique dès lors, suivant la juste observation de M. Flachat, comment de 1846 à 1863, le commerce extérieur de la France s'est élevé de 2,413 à 6,100 millions de francs.

On en conviendra volontiers, d'ailleurs, les réformes introduites offrent un grand caractère de simplification, et, parmi les industries et les intermédiaires sacrifiés, il en est de fort peu recommandables; plusieurs étaient le fléau des voyageurs et du commerce, sans parler du brigandage, encore florissant dans certaines parties de l'Europe, auquel les chemins de fer porteront certainement un coup mortel.

Le nouveau système de transports a donc laissé vivre et se développer le personnel des anciennes industries, mais en l'obligeant à se déplacer, à modifier ses habitudes et à perfectionner ses procédés; en même temps, il a créé un personnel nouveau, qui compte aujourd'hui en France plus de 100,000 individus, plié à des habitudes d'ordre, de discipline, de hiérarchie, chez lequel un contact journalier avec les merveilles de la grande industrie développe l'intelligence, le sentiment du devoir et de la responsabilité personnelle, et dont l'avenir est assuré par des institutions prévoyantes. Pour commander cette armée industrielle, un grand nombre d'hommes distingués, arrachés à une oisiveté ou à des agitations également stériles, ont appliqué leurs facultés à l'étude des questions économiques, administratives, commerciales, financières, techniques : car les chemins de fer ne sont pas seulement, comme les rivières de Pascal, des chemins qui marchent et portent où l'on veut aller, ils sont aussi, comme l'a dit un éminent administrateur, des chemins qui pensent et agissent. Pour alimenter cette immense machine, pour diminuer la part de frais généraux énormes dans les prix de revient, il faut s'appliquer sans relâche à développer la circulation, aller au-devant des consommateurs, découvrir les sources du trafic, lui chercher de nouveaux débouchés. Ce n'est pas là une des moindres causes de l'influence des chemins de fer sur l'accroissement de l'activité générale et sur le progrès des connaissances économiques. D'un autre côté, pour rassembler les capitaux nécessaires à l'exécution de ces opérations gigantesques, les questions de finances et de crédit ont dû être approfondies, une quantité de combinaisons nouvelles ont été découvertes, mises à la portée du grand nombre, et ont répandu, avec le bien-être, des notions plus exactes sur la production, la distribution et la circulation des richesses.

En dehors de ce personnel immédiat, la construction et l'exploitation des chemins de fer ont offert un travail assuré, largement rémunérateur, à d'innombrables ouvriers. D'importants ateliers ont été créés; l'art des constructions a réalisé des progrès étonnants, une classe nouvelle d'ingénieurs et d'entrepreneurs habiles s'est formée. Après avoir achevé la plus grande partie du réseau français, ils vont au delà de nos frontières porter le tribut de leur expérience et de leur activité, exercer un nouveau genre de propagande dont personne ne peut contester le caractère légitime et bienfaisant.

Dans cette transformation générale des habitudes du travail, un fait grave, une tendance funeste se sont produits : nous ne saurions passer sous silence le reproche très-sérieux adressé aux chemins de fer, de dépeupler les campagnes au profit des villes. Ce reproche est immérité; en se portant là où elles trouvent des salaires plus élevés, une demande assurée de main-d'œuvre, un grand marché toujours ouvert, les populations des campagnes obéissent à une loi naturelle et à une inclination irrésistible. C'est aux classes élevées et dirigeantes, qui ont les premières donné l'exemple, en allant dépenser dans les villes les revenus des champs, que remonte la responsabilité de ce mal social : c'est à leur suite et à leur imitation que les paysans abandonnent leurs clochers : c'est à elles qu'il appartient d'y pourvoir; de nombreux indices témoignent que les chemins de fer offriront le remède le plus efficace à ces funestes tendances : ils ramèneront dans les campagnes l'intelligence, les lumières et les capitaux; ils combleront l'abîme ouvert entre les propriétaires et les cultivateurs, et replaceront l'industrie agricole si délaissée au rang qui lui appartient légitimement.

A ces manifestations de la puissance civilisatrice des chemins de fer, nous pourrions ajouter bien d'autres citations : la facilité avec laquelle se constituen

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aujourd'hui les concours industriels, agricoles, artistiques, les expositions provinciales, nationales, universelles, les congrès scientifiques, la réforme postale, que les anciens moyens de transport n'auraient certainement pas permis de réaliser; la télégraphie électrique, auxiliaire indispensable de l'exploitation; l'établissement à la campagne des maisons d'éducation en remplacement de ces prisons étroites et malsaines, qu'on décore du nom de colléges dans nos villes; la même mesure applicable aux hospices, aux maisons de retraite, ou de santé, sans rupture des relations de famille ou d'amitié; la création et le développement d'une quantité d'industries parmi lesquelles tiennent le premier rang les industries métallurgiques, si essentielles à la prospérité d'une grande nation; l'érection de monuments d'une forme et d'une destination nouvelles; l'introduction du fer et des métaux dans les édifices, dans des proportions inconnues, bien propre à fournir à notre architecture moderne des effets pleins d'originalité, de hardiesse et de grandeur, et les éléments d'une régénération dont elle a grand besoin; les améliorations exécutées dans nombre de cités pour faciliter l'accès des gares; le retour devenu impossible de ces affreuses disettes, qui désolaient périodiquement l'ancien régime; enfin, ne faut-il pas voir le symbole d'une profonde transformation sociale dans ces trains énormes emportant vers des destinations lointaines, avec une rapidité et une commodité pareilles, les hommes des conditions les plus diverses?

L'état lui-même retire de la création des chemins de fer des avantages directs, inappréciables; la transmission des ordres, le transport des agents, des dépêches, de la force publique s'exécutent avec une précision, une rapidité et une économie sans égales: leur intervention bien entendue est de nature à imprimer une activité toute nouvelle à l'expédition des affaires, à supprimer quantité de formalités inutiles, à développer la spontanéité d'action du pouvoir central, qui devra être compensée tôt ou tard par plus d'indépendance et d'initiative pour les administrations locales. Les fréquentes entrevues des souverains qui règlent directement, sans l'intervention compliquée des chancelleries, de graves intérêts internationaux, ne sont-elles pas un des exemples les plus frappants de la simplification apportée par les voies de fer dans le fonctionnement des rouages politiques?

L'accroissement des revenus indirects produit par le développement de la circulation et de la consommation n'est pas le seul profit matériel que l'état retire des chemins de fer: des charges nombreuses leur sont imposées soit sous forme d'impôts, impôt du dixième sur le prix de transport des voyageurs et des marchandises, décimes, contributions foncières et patentes, timbres, impôts sur les valeurs mobilières, contrôle; soit sous forme de services plus ou moins gratuits et d'économies réalisées sur les transports des postes, de la guerre et de la marine, des militaires, des administrations des tabacs, des télégraphes, des prisons, etc. En France, on estime aujourd'hui à près de 80 millions l'ensemble des avantages que l'Etat retire, sous ces deux formes, des chemins de fer, et à 110 millions le chiffre qu'ils pourront atteindre quand les 20,380 kilomètres du réseau seront achevés.

Ces considérations générales doivent évidemment dominer toutes les autres dans les décisions à prendre au sujet des tracés; elles déterminent les directions principales, l'importance relative des lignes et l'ordre de priorité à établir dans l'exécution d'un grand réseau, mais elles sont insuffisantes pour en arrêter complétement les bases. Si nous cherchons à en déduire quelques principes, nous observerons que si les chemins de fer développent la richesse, là, où en existent les germes plus ou moins latents, ils ne la créent pas; il y a donc lieu d'étudier d'abord ces sources de leur prospérité future, manifestées par les courants de relations antérieurement établies. On a été ainsi conduit pour les lignes internationales à relier d'abord les capitales; pour les autres, à réunir les grandes villes à la capitale, et puis entre elles, en raison de leur importance et de leurs relations antérieures; et à suivre autant que possible les directions adoptées librement par le commerce; il n'y a pas lieu d'attacher une importance exagérée à la réunion des points extrêmes par la ligne la plus courte; il faut se préoccuper bien davantage de desservir les points intermédiaires aussi complétement, aussi commodément que possible; c'est une question d'équité, de bonne politique, car on doit éviter de déposséder inutilement les localités d'avantages antérieurement acquis, et de multiplier sans nécessité absolue les maux qu'entraine forcément après elle toute grande innovation; c'est aussi une question d'intérêt bien entendu, car aucune source de trafic n'est à négliger, et l'expérience a démontré que le parcours partiel, c'est-à-dire à petite distance, entre les petites localités, était la source la plus assurée des bénéfices des chemins de fer.

2° *Considérations militaires.*

L'établissement de relations plus faciles et plus fréquentes entre les peuples ne peut manquer de faire évanouir bien des haines et bien des préjugés: on se connaîtra mieux et on s'estimera davantage: on comprendra que chaque nation a ici-bas son rôle providentiel, que la diversité et l'inégalité des aptitudes et des conditions est aussi nécessaire à l'ordre général, entre les peuples qu'entre les individus: appréciant plus justement les bienfaits de la paix et les maux de la guerre, on aura plus rarement recours aux armes et la réconciliation sera plus aisée. Telle nous paraît être l'une des plus importantes conséquences qu'on puisse espérer de ces nouvelles voies de communication; mais trop d'événements récents ont prouvé que l'heure de la paix perpétuelle n'est pas encore sonnée; les gouvernements, jaloux de leurs devoirs et de leur indépendance, ont dû songer dès l'origine à faire profiter des progrès réalisés dans le système des transports, l'art de la guerre dont le secret consiste à savoir concentrer dans un moment donné de grandes masses d'hommes et de matériel sur un point déterminé.

Comme instrument stratégique, les chemins de fer doivent répondre à des conditions différentes suivant qu'ils sont destinés à l'attaque ou à la défense. L'avantage de l'attaque est dans sa force de concentration, dans la faculté de se porter en masse et inopinément sur un point déterminé, avantage ordinairement réservé au premier prêt à entrer en campagne, qui se donne ainsi le choix des moyens d'agression. Le chemin de fer stratégique, pour répondre aux conditions de la guerre offensive, semble donc devoir être dirigé de la base d'opération de l'agresseur à la frontière ennemie par la voie la plus directe et normalement à cette frontière.

Le désavantage de la défense vient au contraire de l'incertitude sur le point menacé, de la difficulté de s'y porter et de s'y concentrer à temps. On peut espérer que les chemins de fer contribueront à rétablir l'équilibre entre l'attaque et la défense, et seront ainsi pour les peuples un nouveau moyen de maintenir leur indépendance et leur intégrité. La tactique des guerres du premier empire consistait à atteindre les armées ennemies et à les battre isolément avant qu'elles eussent le temps de se réunir; elle deviendra beaucoup moins aisée; on pourra dégarnir avec moins d'inquiétude les frontières les moins menacées; partout sera présente la volonté dirigeante, partout se fera sentir l'action cen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trale; les places d'armes et de dépôt établies à l'intérieur seront à l'abri des insultes; la sphère d'action des places fortes sera augmentée dans de certaines zones, surtout en seconde ligne, pour la protection des frontières. D'un autre côté, les chemins offensifs perdront leur efficacité en approchant du théâtre des événements, parce qu'ils seront plus facilement détruits; sur un territoire envahi, cette précaution sera certainement prise, et l'agresseur n'en pourra plus tirer aucun parti; les lignes défensives, au contraire, seront de plus en plus concentrées et profitables. Mais pour que les chemins de fer rendent de tels services, il faut qu'ils soient protégés par des obstacles suffisants contre les attaques de l'ennemi et que les distances à franchir soient assez grandes.

Les moyens de défense de la France, par exemple, se trouvent considérablement augmentés par le réseau qui circule au milieu des places de notre frontière; les chemins qui relient à des distances variables les voies convergeant vers la capitale, forment une série de lignes concentriques autour de Paris, dont le chemin de ceinture est la dernière et la plus complète expression; elles abordent les routes d'invasion sur plusieurs points au passage des vallées qui forment nos lignes de défense naturelles; elles permettraient de rendre bien précaire la marche et surtout la retraite d'une armée dirigée sur Paris. Ainsi s'ajoutera une force nouvelle à l'œuvre de Vauban et de Louis XIV; ainsi sera déçue la funeste prévoyance des coalisés de 1815, qui en nous enlevant Philippeville, Marienbourg, Sarrelouis, Landau, Huningue, la Savoie, pensaient se réserver des brèches toujours ouvertes à travers nos frontières : ces prévisions haineuses étaient déjà déjouées par l'entreprise patriotique des fortifications de Paris et de Lyon, par celles plus modestes et non moins utiles accomplies à Soissons, Marsal, Toul, Bitche et Belfort, et plus récemment par l'annexion de la Savoie et de Nice; la création des chemins de fer achève d'en annuler complétement la portée.

Les chemins de fer fourniront encore un nouvel élément d'action à nos armées navales en permettant de transporter les équipages d'un port à l'autre et même d'une mer à l'autre; ils feront disparaître dans une certaine proportion les inconvénients de notre infériorité numérique en rétablissant l'équilibre qui fait défaut entre notre matériel et notre personnel naval. Les chemins du littoral compenseront pour la défense les progrès que la vapeur a fait faire aux moyens d'agression maritime.

Sur les champs de bataille, les voies exposées aux coups de l'artillerie ne peuvent être utilisées comme moyen de transport; mais les modifications qu'elles apportent à la topographie naturelle, créent des abris ou des obstacles qui peuvent jouer un rôle important dans une action.

Aux abords des places fortes, les tracés seront appréciés par les ingénieurs militaires; ils ne doivent fournir aucun abri à l'assiégeant; on préfère les lignes qui peuvent être enfilées par le feu de la place à celles qui sont battues transversalement; on évite les tranchées qui pourraient donner écoulement aux eaux d'inondation et tout ouvrage difficile à détruire et propre à faciliter l'attaque. Dans une grande place, un chemin de fer intérieur, tel que le chemin de ceinture autour de Paris, peut être d'une grande utilité pour l'armement et la défense. On a vu, en 1854, les Anglais devant Sébastopol, établir des rails entre leur camp et le port de Balaclava pour assurer leurs approvisionnements.

Les guerres de Hongrie, de Crimée et d'Italie ont déjà mis en évidence l'importance stratégique des chemins de fer; on nous permettra de rappeler ici quelques renseignements, empruntés à un mémoire de M. Charié Marsaine, touchant la plus grande expérience de ce genre qui ait encore été tentée, celle de 1859. L'invasion du Piémont par les Autrichiens a eu lieu le 29 avril; à la fin de mai, 220,000 Français occupaient la Lombardie. Dans un espace de 86 jours, du 20 avril au 15 juillet, le mouvement total, réduit aux lignes de sortie par Culoz, Grenoble, Aix, Marseille et Toulon, a compris 229,398 hommes, 36,657 chevaux et le matériel de l'armée; ce mouvement a été effectué en partie par les trains ordinaires, en partie par 447 trains spéciaux; ces derniers ont transporté approximativement :

185,000 hommes avec armes et bagages à 85k	15,300 t.
33,000 chevaux avec selles et paquetages, à 500k par cheval..	16,500
4,500 voitures d'artillerie ou des équipages, à 1,800k par voiture.. . . .	8,100
40 trains de matériel et munitions, à 90,000k par train.	3,600
Total.	43,500

Soit en moyenne 97 tonnes par train.

La vitesse a varié de 24 à 30 kil. et ces immenses transports n'ont occasionné aucun accident.

Sur la ligne de Paris à Lyon seulement, dans cette période de 86 jours, il y a eu 2,636 trains, dont 302 trains spéciaux : 127 trains ordinaires, dont 32 de marchandises, ont été supprimés; le mouvement par jour a été en moyenne de 3,5 trains spéciaux,

27,1 — ordinaires.

Ensemble, 30,6

Soit par heure, 1,28 train.

Si l'on rapproche de ces résultats les considérations suivantes, on reconnaîtra qu'ils sont encore loin de donner l'idée de ce qu'on pourrait faire dans un cas d'extrême urgence, en rassemblant le matériel des diverses compagnies en lançant les trains sur les deux voies dans le même sens, en concentrant en un mot tous les moyens sur une même direction. La compagnie de Lyon a employé en moyenne 548 wagons par jour; or, elle en possédait à elle seule à cette époque 6,632. La vitesse de certains trains atteignait 35 kilomètres. Quelques convois ont compté 48 véhicules; ils portaient jusqu'à 105 tonnes en hommes, chevaux et matériel, jusqu'à 123 et 147 tonnes pour l'artillerie; les nouvelles locomotives du Nord permettraient de faire aujourd'hui bien davantage. La journée la plus chargée a été celle du 25 avril; elle a présenté un mouvement de 30 trains, dont 13 trains ordinaires et 17 trains spéciaux. Ces derniers ont transporté 12,148 hommes et 655 chevaux, indépendamment des transports effectués par les 13 trains du service ordinaire.

Les résultats les plus remarquables ont été obtenus dans les dix derniers jours d'avril; dans cet intervalle le mouvement des trains spéciaux sur la ligne de Paris à la Méditerranée a été de 75,995 hommes et 4,469 chevaux. Si l'on cherche à se rendre compte du temps qu'il aurait fallu pour faire franchir une distance de 800 kilom. environ à cette masse de troupes, en la supposant divisée en autant de colonnes que l'auraient permis les routes convergentes et en tenant compte des délais nécessaires pour éviter les encombrements aux gîtes d'étape, et pour assurer les subsistances et les transports sur essieux, on trouve qu'il n'aurait pas fallu moins de deux mois. Si l'on réfléchit que le bénéfice de cette célérité, six fois plus grande, est acquis sans fatigue, sans maladies, sans traînards, sans usure de l'armement, de l'équipement ni du matériel, sans aucun embarras pour les subsistances et sans imposer aux localités traversées la moindre charge, on aura une idée des services que les chemins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de fer ont rendus en 1859, et de ceux plus grands encore que l'on peut en attendre dans des éventualités auxquelles une grande nation doit toujours être préparée.

Les chemins de fer jouent un rôle important dans la guerre désastreuse qui désole l'Amérique du nord; ils ont contribué à donner une physionomie nouvelle à beaucoup d'incidents militaires; ils ont motivé ces incursions rapides de masses de cavalerie, ces *raids* audacieux, ayant pour objet la destruction des ponts ou du matériel accumulé dans les stations sur les derrières de l'ennemi; mais une obscurité trop grande règne encore sur ces événements lointains pour qu'on puisse en tirer aucune conclusion.

Nous nous plaisons à terminer ces considérations déjà trop longues et trop étrangères au caractère pacifique de notre sujet, en revenant sur la remarque placée en tête de ce paragraphe, en exprimant de nouveau la confiance que les chemins de fer ne manqueront pas à leur mission civilisatrice, et rendront les guerres plus rares et plus courtes dans l'ancien comme dans le nouveau monde.

3° *Considérations commerciales et industrielles.*

De même que les différentes armes qui composent une armée ont chacune son objet, sa tactique, ses propriétés caractéristiques, les différents systèmes de voies de communication présentent au commerce et à l'industrie des aptitudes spéciales, qui répondent de la manière la plus diverse à leurs besoins.

Parmi les éléments de la comparaison à établir entre les voies de communication, plusieurs peuvent se traduire en chiffres et se résumer dans le tableau suivant :

ÉLÉMENTS DE COMPARAISON.			ROUTES.	NAVIGATION.	CHEMINS DE FER.
Rapport de l'effort de traction au poids total mis en mouvement	Routes. d'empierrement.	à l'état d'entretien ordinaire	0,080	»	»
		parfaitement entretenues	0,033	»	»
	pavées.	au pas	0,030	»	»
		au trot	0,070	»	»
	Canaux. Grande section.	Vitesse faible	»	0,001	»
		— double	»	0,004	»
		— quadruple	»	0,016	»
	Petite section.	— faible	»	0,0057	»
		— double	»	0,0066	»
		— quadruple	»	0,0305	»
	Chemins de fer.	Vitesse de 32 kilomètres à l'heure	»	»	0,005
		— 48 —	»	»	0,010
Vitesse moyenne; kilomètres parcourus en une heure		Voyageurs	10 à 16	10 à 20	35 à 72
		Marchandises	3 à 4	2 à 8	15 à 30
Tarifs moyens		Voyageurs. francs.	0,10 à 0,12	0.03 à 0,05	0,05 à 0,07
		Marchandises id.	0,20	0,03 à 0,05	0,0673
Frais de premier établissement (par kilomètre)		Routes impériales id.	15,000	»	»
		— id.	»	200,000	400,000
Frais d'entretien annuels par kilomètre		id.	500	1,000	10,000
Longueurs en kilomètres.	Routes impériales à l'état d'entretien au 1er janvier 1864		37,352	»	»
	Routes départementales		48,200	»	»
	Chemins vicin. de grande communication	constr. de 1837 à 1862	66,000	»	»
		à construire	14,500	»	»
	d'intérêt collectif	construits	38,000	»	»
		à construire	36,000	»	»
	d'intérêt commun	construits	116,000	»	»
		à construire	267,000	»	»
	Navigation. Rivières		»	6,500	»
	Canaux		»	4,750	»
	Total		»	11,250	»
	Chemins de fer concédés au 1er janvier 1865		»	»	20,380
	exploités		»	»	13,025
Nombre de tonnes transportées à 1 kilomètre.	Routes impériales en 1857		1,600,000,000	»	»
	Navigation et chemins de fer en 1862		»	2,360,000,000	4,000,000,000
Fréquentation diurne	Trains		»	»	21
	Voyageurs		»	»	743
	Tonnes de marchandises utiles		117	575	1,011
	Colliers		237	»	»

Les routes ordinaires, grâce à la multiplicité des usages auxquels elles s'appliquent, à la variété et à l'extrême division des véhicules, luttent victorieusement avec les chemins de fer pour les petites distances, lors même qu'elles leur sont parallèles; elles pénètrent à l'intérieur des villes et villages, à la porte des usines; desservent tous les points intermédiaires et se prêtent aux configurations du sol les plus accidentées; leurs frais de premier établissement sont relativement peu élevés; la délivrance des colis peut avoir lieu sans transbordement ni factage. Elles conservent donc toute leur importance pour les usages les plus ordinaires de la vie, et lorsqu'elles sont perpendiculaires aux chemins de fer, elles deviennent leurs plus précieux auxiliaires.

Les canaux et rivières navigables offrent une réduction considérable des frais de traction, par suite de la faible résistance opposée au mouvement des véhicules dans un milieu liquide. Le rapport entre le poids utile transporté sur les bateaux et le poids mort est très-favorable à l'économie des transports; les voies navigables sont accessibles à tous comme les routes : mais ces avantages sont balancés par de nombreux inconvénients : l'économie des frais de traction n'est acquise qu'au prix d'une lenteur extrême, parce que la résistance croit comme la carré de la vitesse; le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

temps perdu au passage des écluses, les chômages occasionnés par les glaces, par les sécheresses et par les réparations annuelles ajoutent encore à l'incertitude des arrivages, aux difficultés de la surveillance des équipages, aux chances de fraude et d'avarie; des capitaux considérables restent immobilisés sous forme de marchandises en route, frais de magasinage, approvisionnements, risques et assurances; les dépenses de construction sont considérables. Les canaux ne peuvent pénétrer partout, car il faut leur assurer un approvisionnement d'eau suffisant, qu'on rencontre seulement dans des conditions topographiques spéciales; l'établissement des contre-pentes est impossible sur un même versant d'un bassin hydrographique; l'obligation de suivre toutes les sinuosités des vallées, rend le parcours généralement du quart ou du tiers plus long que celui des chemins de fer, et diminue d'autant le bénéfice sur la traction. Ces inconvénients éloignent des canaux les voyageurs, les marchandises précieuses ou fragiles, les denrées alimentaires fraîches; leur usage se trouve restreint aux produits encombrants et de bas prix. Cependant, si les chemins de fer leur ont créé une concurrence redoutable, les canaux, et surtout les rivières soutiennent la lutte; l'ensemble de leur trafic se développe, comme on l'a vu ci-dessus. Une navigation intérieure, librement, complétement et largement organisée est le contrepoids indispensable du monopole des grandes compagnies de chemins de fer. La France a encore beaucoup à faire pour supprimer les obstacles qui séparent en tronçons insuffisants les diverses branches de son réseau navigable, et pour mettre sa batellerie en mesure de lutter partout dans des conditions équivalentes.

La continuité, la régularité, la vitesse et l'économie des transports par chemins de fer, répondent à la plupart des objections que l'on adresse aux routes et aux voies navigables; mais les dépenses de premier établissement sont énormes; l'élévation des frais généraux et des frais de traction occasionnés par l'emploi de moteurs puissants ne peut être compensée que par leur répartition sur un trafic considérable, et l'on est généralement d'accord qu'aucun chemin de fer ne pourrait fonctionner dans des conditions avantageuses avec un mouvement inférieur à 80,000 tonnes kilométriques.

RENSEIGNEMENTS sur les MOUVEMENTS DES RECETTES ET DU TRAFIC.		RÉSULTATS POUR LES ANNÉES 1841.	1854.	1862.	RÉSULTATS PROPORTIONNELS. 1841.	1854.	1862.
Résultats généraux.							
Longueur	totale au 31 décembre kil.	569	4,660	11,102	1	8,2	
	moyenne pendant l'année kil.	517	4,348	105,22	1	8,4	
Recette brute.	Voyageurs fr..	7,882,160	83,707,721	159,781,977			
	Accessoires de la grande vitesse. fr..	317,935	15,520,937	37,983,177			
	Marchandises fr..	4,652,262	91,587,661	274,030,502			
	Divers fr..	432,458	8,129,839	10,099,850			
	Totale fr..	13,289,107	201,946,158	481,896,506	1	15,8	37
Produit net fr..		4,674,037	114,855,105	259,722,596	1	24,5	56
Nombre de voyageurs	à toute distance	6,378,666	28,070,458	66,467,523	1	4,5	10
	à un kilomètre	112,602,286	1,375,440,419	2,853,769,358	1	12,3	25
Nombre de tonnes	à toute distance	1,059,793	8,864,501	27,297,366	1	8,4	27
	à un kilomètre	38,768,850	1,143,188,098	3,884,392,848	1	29,4	102
Proportion °/ sur la recette totale.	Voyageurs	59,32	41,46	33,10		»	
	Accessoires de la grande vitesse	2,39	9,18	7,90		»	
	Marchandises	35,01	42,92	56,90		»	
	Accessoires de la petite vitesse	0,03	2,40			»	
	Grande vitesse, ensemble	61,71	50,64	41,00		»	
	Petite vitesse, Id.	35,04	45,32	56,90		»	
	Recettes diverses	3,25	4,04	2,10		»	
Résultats kilométriques.							
Recette brute totale fr..		25,704	46,445	45,799	1	1,8	1,8
Produit net fr..		9,040	26,415	24,684	1	2,9	2,7
Documents divers.							
Nombre de voyageurs à la distance entière,	pendant l'année	217,800	316,339	271,219	1	1,5	1,2
	par jour (fréquentation diurne)	597	867	743			
Nombre de tonnes à la distance entière,	pendant l'année	74,988	262,922	369,168	1	3,5	5,4
	par jour (frequentation diurne)	205	720	1011			
Nombre de trains à la distance entière,	pendant l'année	4,950	7,198	7734	1	1,5	1,5
	par jour (fréquentation diurne)	14	20	21			
Produit moyen	d'un voyageur fr..	1,17	2,98	2,44	1	2,5	2,5
	d'une tonne de marchandises. fr..	4,38	9,79	10,03	1	2,2	2,3
Parcours moyen	d'un voyageur kil.	17,65	49,00	43	1	2,8	2,4
	d'une tonne kil.	36,58	128,96	142	1	3,6	3,9
Tarif moyen perçu par kilom.	par voyageur fr..	0,07	0,061	0,0559	1	0,87	0,79
	par tonne de marchandises... fr..	0,12	0,076	0,0673	1	0,63	0,56
Rapport °/o de la dépense à la recette fr..		65	43	46	1	0,7	0,7
Produit °/o	du capital dépensé fr..	3,11	6,58	»	1	2,1	
	des dépenses des Compagnies fr..	3,11	9,00	»	1	2,9	

EFERUS • Recherche & Classification numérique

Nous empruntons aux documents statistiques recueillis par le Ministère des travaux publics et par les compagnies quelques renseignements, pour faire ressortir les diverses circonstances qui influent sur le développement des voies de fer au point de vue industriel et commercial.

Le tableau de la page précédente place en regard les résultats de trois exercices suffisamment éloignés l'un de l'autre pour mettre en évidence quelques-unes des tendances principales dans les mouvements du trafic et de la recette.

Il est à peine nécessaire de faire observer que ces renseignements n'offrent que des résultats moyens; ils ne doivent être acceptés qu'avec les réserves comportées par l'emploi des moyennes et par l'usage des données statistiques en général; d'une ligne à l'autre, d'une section à une autre, les recettes, la nature et la répartition du trafic, les frais d'exploitation varient non-seulement suivant les tarifs et les circonstances locales, mais encore suivant les saisons; ainsi le trafic a généralement beaucoup plus d'activité de Mai à Octobre que dans les autres mois; les voyageurs de grand parcours sont moins nombreux les dimanches et jours de fête; le contraire a lieu pour les petits parcours aux environs des grandes villes; la pluie et le beau temps sont une autre cause de variation pour les lignes de banlieue; enfin l'influence du vendredi est officiellement constatée.

Le tableau ci-dessus donne encore lieu aux observations suivantes : dans l'ensemble des recettes, la part afférente aux marchandises est devenue la plus forte : elle tend constamment à s'accroître.

Ce fait est général : sur l'ensemble des chemins de fer de la Grande-Bretagne, en 1856, la recette s'est élevée à 284 millions sur les services des voyageurs, et 295 sur les services de marchandises; en 1862, la recette monte aux sommes ci-dessous :

Voyageurs.. .	347 799 625 fr.	47.76 0/0
Marchandises.	380 414 325	52.24
Total. . ..	728 213 950	100.00

En Allemagne, la différence est encore plus grande en faveur des marchandises, qui représentent près des deux tiers de la recette totale.

Le mouvement kilométrique tend à augmenter dans une proportion plus forte que la recette; en d'autres termes, les tarifs moyens perçus tendent à s'abaisser; la diminution est beaucoup plus sensible pour les marchandises que pour les voyageurs dans la première période de 1841 à 1854.

L'extension du réseau a contribué pendant un certain temps à l'accroissement des recettes kilométriques, mais à un moment donné cet accroissement a dû s'arrêter, par suite de l'ouverture des lignes secondaires; le tableau suivant le démontre avec plus de détails :

EXERCICES.	RÉSEAU moyen exploité.	PRODUIT kilométrique.	EXERCICES.	RÉSEAU moyen exploité.	PRODUIT kilométrique.
	kilomèt.	francs.		kilomètres	francs.
1852	3 694	35 712	1858	8 100	41 330
1853	3 978	41 712	1859	8 851	43 908
1854	4 348	45 663	1860	9 271	43 975
1855	4 800	51 317	1861	10 090	48 038
1856	5 392	48 048	1862	10 522	45 799
1857	6 804	45 259	1863	11 518	43 190
			1864	12 347	42 380

L'action des grands centres est mise en évidence par les comptes de plusieurs compagnies, qui séparent les résultats obtenus sur chaque partie de leur réseau. Ainsi sur le Nord, pendant que la section de Paris à Amiens produit 150,000f par kilomètre, celle d'Amiens à la frontière ne produit plus que 83,000 fr.; celle de Lille à Calais et Dunkerque 26,000 fr.; Paris à Lyon produit 83,000 fr.; Dijon à Besançon 18,000.

En 1854, le nombre des billets de voyageurs délivrés aux gares de Paris dépassait 24 p. 100 du nombre total des billets délivrés sur l'ensemble du réseau; la recette de Paris représentait plus de 34 p. 100 de la recette totale; plus de 68 p. 100 en tenant compte des retours.

Les accessoires de la grande vitesse comprennent les bagages, chiens, chevaux, voitures, finances, messageries, lait, marée, gibier, fruits et légumes, denrées alimentaires, etc. La recette qu'ils produisent suit le mouvement général de la recette totale dont elle représente 7 à 12 p. 100.

Quelques résultats relatifs au service des voyageurs sont présentés avec plus de détail dans le résumé suivant :

NATURE DES RENSEIGNEMENTS.	VOYAGEURS A PRIX COMPLET.				VOYAGEURS A PRIX RÉDUIT.			ENSEMBLE GÉNÉRAL.
	1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.	ENSEMBLE.	TRAINS de PLAISIR.	MILITAIRES et INDIGENTS.	ENSEMBLE.	
Proportion 0/0 du nombre de voyageurs.	11	40	49	100	»	»	»	
— sur l'ensemble des lignes.	»	»	»	95	»	»	5	100
— —	»	»	»	»	49	51	100	
— sur les lignes de banlieue.	15,5	86,5	»	100	»	»	»	
— sur les autres lignes.....	10	24	66	100	»	»	»	
Parcours moyen d'un voyageur.....	82	34	47	54	»	»	94	49
Nombre moyen de voyageurs ramenés à la distance entière par jour.....	149	229	369	747	»	»	48	867
Recette kilométrique des voyageurs.....	»	»	»	»	»	»	»	19,252f
Proportion 0/0 sur la recette totale.....	»	»	»	»	»	»	»	41
— sur les recettes de voyageurs.	»	»	»	97	»	»	3	100
— —	29	28	43	100	36	64	100	
Produit moyen par voyageur.....	8f 45	2f 18	2f 56	3f 04	»	»	2f 17	2f 98
Tarif moyen perçu par kilomètre.....	9c 67	7c 10	4c 47	6c 32	»	»	2c 52	6c 06

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces renseignements remontent à l'exercice 1854 : ils font ressortir l'importance du parcours partiel et des bas tarifs; le parcours moyen d'un voyageur n'est que de 49 kilomètres; il s'est abaissé à 43 en 1862; la 3e classe forme 0,43 des recettes des voyageurs. L'influence de la circulation locale a été mise en évidence par M. Minard, il y a déjà longtemps; il a fait remarquer, citant de nombreux exemples à l'appui, que le rapport du parcours partiel à la circulation générale avait varié sur les chemins Français entre 0,65 (Paris à Versailles, rive droite) et 0,92 (Paris à Mouscron), tandis que le rapport du nombre des voyageurs du parcours partiel au nombre total variait de 0,73 à 0,99. La circulation locale, très-importante pour les petites lignes l'est encore plus pour les grandes.

La répartition des marchandises suivant leur nature a eu lieu conformément aux chiffres ci-dessous en 1862:

NATURE DES MARCHANDISES.	CLASSES.	TONNAGE TRANSPORTÉ.	PROPORTION de chaque nature DE MARCHANDISES pour 100.
Houille et coke	4e	8.772.107	32
Matériaux de construction	3e et 4e	3.491.890	13
Fontes, fers et métaux	2e	2.827.647	10
Céréales et farines	2e	2.409.400	8
Vins, vinaigres, esprits	1re et 2e	1.984.628	7
Denrées alimentaires, épiceries	1re et 2e	1.213.665	4
Engrais et amendements	4e	336.753	1
Autres marchandises	»	6.258.276	25
Total	»	27.297.366	100

Contrairement aux idées qui dominaient autrefois, ce tableau montre que les chemins de fer s'adaptent parfaitement au transport des marchandises encombrantes et chaque jour apporte de nouvelles preuves à l'appui de cette assertion.

L'influence de Paris est encore plus sensible ici que pour les voyageurs; on estimait, en 1854, que, sur 100 tonnes transportées par les chemins de fer, 20 étaient en destination de Paris, et 13 expédiées de cette ville.

Les marchandises jouent un rôle d'autant plus important dans le tableau proportionnel du tonnage et des recettes qu'elles sont soumises à des tarifs moins élevés.

Le tableau placé en tête de la page suivante résume les renseignements relatifs au mouvement du matériel et à la dépense d'exploitation. L'unité de moyen de transport pour le service de l'exploitation est le train. La dépense occasionnée par le parcours d'un train sur un kilomètre peut, avec une approximation suffisante ici, être regardée comme constante, dans certaines limites habituelles, quels que soient le nombre des véhicules et leur chargement : c'est donc un terme de comparaison commode, pour se rendre compte des résultats économiques et financiers d'une exploitation. Il faut remarquer, toutefois, qu'une différence de plus en plus sensible tend à s'établir entre le prix de revient des trains de voyageurs et des trains de marchandises depuis que se répand pour ces derniers l'usage des machines spéciales d'une grande puissance.

Ce tableau donnera lieu aux remarques suivantes. Il existe un rapport frappant entre le nombre de trains par jour, le chiffre de la fréquentation diurne, d'une part, et d'autre part, l'importance et les frais d'établissement du matériel roulant, le nombre des agents et la dépense de l'exploitation.

Sur les lignes principales, la fréquentation diurne, le chargement moyen des trains, leur vitesse moyenne, l'effet utile du matériel tendent à augmenter, tandis que la dépense par kilomètre parcouru par un train tend à diminuer.

La fréquentation diurne, comme le nombre des voyageurs, varie beaucoup d'une section à l'autre; elle est beaucoup plus considérable aux abords de Paris; ainsi sur le chemin de fer du Nord, il y a quelques années, elle n'était que de 13 trains de Lille à Dunkerque; elle atteignait 55 près de Paris.

Tandis que la dépense kilométrique d'un train reste à peu près fixe, la recette au contraire dépend uniquement du chargement et des tarifs; le rapport de la dépense à la recette s'abaisse ou s'élève en même temps que le produit moyen d'un train. Les lignes sur lesquelles la fréquentation diurne est la plus forte sont généralement celles qui donnent le plus faible rapport de la dépense à la recette. Ce rapport varie de 40 à 50 p. 100, mais il est extrêmement variable d'une section à l'autre; c'est ainsi que sur le chemin du Nord, que nous avons déjà cité, le rapport est de 32 p. 100 entre Paris et Amiens, 35 p. 100 entre Paris et la frontière, 50 p. 100 entre Lille, Dunkerque et Calais, 55 p. 100 entre Amiens et Boulogne.

Le chargement moyen des trains, en matériel et en trafic, s'écarte notablement du chargement complet, même sur les lignes les plus favorisées. Dans les trains de voyageurs, le rapport du nombre des places occupées au nombre des places offertes est de 0,33; et sur certaines lignes il atteint 0,47. La charge moyenne utile d'un train de marchandises est de 80 tonnes; elle pourrait dépasser 400. Cette différence élève considérablement le rapport du poids mort au poids utile, qui serait de 6 en moyenne pour les voitures de voyageurs, et de 2 pour les wagons de marchandises.

On a calculé qu'une recette d'environ 12 francs par kilomètre pourrait être obtenue également :

Par un train de 900 militaires au quart du tarif;
Par un train express de 100 voyageurs;
Par un train-omnibus de 200 voyageurs;
Par un train mixte de 100 voyageurs et de 70 tonnes;
Par un train de marchandises de 150 tonnes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RENSEIGNEMENTS relatifs au mouvement DU MATÉRIEL ET A L'EXPLOITATION.			VOYAGEURS.	MARCHANDISES.	DIVERS.	ENSEMBLES.
Longueur moyenne exploitée en 1862.... kilomèt.			»	»	»	10.522
1° MOUVEMENT.						
Nombre des trains.		Voyageurs et marchandises.....	546.750	456.901	»	»
		Mixtes (voyageurs et marchandises).	»	»	128.500	»
		Ensemble.....	»	»	»	1.132.151
		Ballast et service.....	»	»	107.114	
		Total.....	»	»	»	1.239.265
Parcours kilométrique	des trains.	Voyageurs et marchandises. kil	37.423.913	33.837.453	»	»
		Mixtes.....	»	»	8.588.524	»
		Ensemble.....	»	»	»	79.849.890
		Ballast et service.....	»	»	1.534.141	
		Total.....	»	»	»	81.384.031
	des véhicules.	Voitures et wagons. Trains homogènes.	352.252.089	1.020.351.529	»	
		Trains mixtes.....	»	»	105.716.416	1.503.572.636
		Service et ballast..	»	»	25.252.872	
		Machines locomotives. Spéciales.....	22.850.137	36.342.679	»	
		Mixtes.....	»	»	30.335.178	91.830.101
		Service et ballast.	»	»	2.302.107	
Situation du matériel roulant.	Voitures.	1re classe et de luxe.....	1.666	»	»	
		2e classe et mixtes.....	2.965	»	»	8.069
		3e classe.....	3.438	»	»	
		diverses pour la grande vitesse.....	»	»	3.473	
	Wagons de marchandises, ballast et service.		»	82.461	»	94.003
	Total des voitures et wagons de toute nature.		»	»	»	
	Locomotives.	à voyageurs et mixtes.....	1.907	»	»	3.655
		à marchandises et de gare...	»	1.748	»	
Nombre de trains ramenés à la distance entière.....			»	»	»	7.734
Nombre moyen de trains par jour sur l'ensemble du réseau.....			»	»	»	9.395
Fréquentation diurne ou nombre de trains par jour ramenés à la distance entière.....			»	»	»	21
Composition moyenne d'un train. (*Exercice* 1854.)		Voitures de voyageurs...	6.8	»	»	
		— de services.....	»	»	2,2	
		Wagons de marchandises...	»	25 à 30	»	
Nombre maximum de véhicules qui peuvent entrer dans la composition d'un train.....			24	60 à 80	»	
Nombre moyen de voyageurs ou de tonnes contenus dans un train.....			62	110	»	
Poids brut remorqué par un train à chargement complet.		Express..... tonnes.	100	»	»	
		Omnibus..... id...	200	»	»	
		Marchandises.. id...	»	400	»	
Parcours moyen annuel. Exercice 1854.		Locomotives (1862)..... kilomètres.	27.479	22.664	»	25.176
		Voitures à voyageurs (15,000 à 35,000 k)..... kilomètres.	29.975	»	»	
		Voitures diverses de grande vitesse..	»	»	21.018	
		Wagons (maximum Orléans 21,511 k).	»	13.656	»	
2° DÉPENSES.						
Dépenses annuelles d'exploitation.		Pour le réseau entier.... fr.	»	»	»	222.473.910
		Par kilomètre..... fr.	»	»	»	21.115
		Par kilomètre parcouru par un train..... fr.	»	»	»	2,73
Recettes par kilomètre et par train.		Marchandises et voyageurs seuls..... fr.	3.47	7.40	»	
		Accessoires..... fr.	0.82	0.35	»	
		Ensemble..... fr.	4.29	7.75	»	5,92

Dans ces divers cas, le rapport de la dépense à la recette descendrait entre 0,20 et 0,25.

Du produit net; des tarifs.—Le produit net est égal à la différence entre la recette brute et la dépense de l'exploitation. Le but constant des compagnies est d'accroître le produit net, en augmentant la recette et en diminuant la dépense; le but non moins constant du public consommateur est d'avoir un service sûr, rapide et confortable, c'est-à-dire coûteux, et de le payer le moins cher possible; dans quelle mesure ces aspirations contradictoires sont-elles conciliables?

S'il n'était pas démontré que le mouvement général d'une voie de communication augmente avec la facilité et le bas prix des transports, le maximum de produit net s'obtiendrait en appliquant les tarifs maximum et en réduisant le nombre des trains au strict nécessaire; mais il n'en est point ainsi; le trafic augmente avec l'abaissement des tarifs et avec la fréquence des trains;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la dépense d'exploitation augmente aussi, mais bien moins rapidement; c'est par une combinaison judicieuse de ces trois éléments que les compagnies cherchent le maximum du produit net. C'est principalement par l'abaissement des tarifs qu'elles sollicitent les marchandises et par la fréquence des voyages qu'elles cherchent à attirer les personnes.

Ces considérations expliquent comment il existe un écart aussi considérable entre le chargement moyen d'un train et son chargement complet. En effet, il n'y a pas de ligne, si faible que soit le trafic, exploitée à moins de quatre trains par jour, c'est-à-dire, offrant, matin et soir, un départ dans chaque sens. Pour peu qu'une certaine activité se développe, huit trains sont établis; dès lors les facilités de communication deviennent si grandes qu'il n'y aurait intérêt à les augmenter que par suite d'un accroissement considérable du trafic. Par les mêmes raisons, le produit net est généralement d'autant plus considérable que la fréquentation diurne en trains est plus grande, et que le rapport de la dépense à la recette est plus faible. Ainsi en même temps que le trafic se développait, comme le montre le tableau précédent, les tarifs moyens perçus et les prix de revient moyens suivaient une marche contraire. Le tableau qui suit montre à cet égard l'influence de l'accroissement du trafic : les chiffres relatifs aux prix de revient sont empruntés aux documents statistiques publiés en 1856 par le Ministère des travaux publics ; le calcul en est fort difficile à établir; il est douteux qu'on puisse l'obtenir avec exactitude pour les exercices suivants, à cause de la multiplication des trains mixtes principalement :

NATURE DES TRAINS.	TARIF MOYEN.		PRIX DE REVIENT	
	Voyageur.	Tonne.	Voyageur.	Tonne.
Trains de plaisir.	c.	c.	c.	c.
Nord... 1850	0,9	»	»	»
Havre.. 1850	1,1	»	»	»
Trains ordinaires.				
Havre.. 1851	6,9	9,7	3,2	4,5
— 1853	6,6	8,2	2,8	3,5
— 1854	6,1	7,6	2,6	3,3
Orléans. 1854	5,7	»	»	»
Nord... 1854	»	6,7	»	»
Lyon... 1854	»	»	2,0	2,4
Trains militaires	1,4	»	»	»
Train de voyageurs contenant plus de 600 personnes..	»	»	0,5	»
Train de marchandises contenant plus de 250 tonnes.	»	»	»	1,2
Ensemble. Exercice 1862.	5,6	6,7		
Ensemble. Lyon 1863....	5,6	6,2		

La dépense des transports se décompose en plusieurs fractions, suivant le mode d'exécution des voies de communication; ces fractions sont les suivantes :

1° *L'intérêt du capital de construction;* ce capital peut être avancé par l'état, les départements ou les communes, sans aucune garantie de remboursement, ni d'intérêt, comme pour les routes; il peut aussi être formé au moyen d'emprunts; l'amortissement et le payement de l'intérêt dû aux prêteurs sont alors assurés par la perception d'un péage; c'est la combinaison appliquée aux canaux en 1821. Les chemins de fer sont ordinairement concédés à des compagnies de capitalistes, pour un temps déterminé; l'état leur accorde le droit de percevoir des péages destinés à couvrir l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, qu'elles ont avancé en tout ou en partie;

2° *Les frais d'entretien;* ils sont supportés par l'impôt sur les routes; sur les chemins de fer et les voies navigables, ils sont remboursés par une seconde fraction du péage; ils comprennent les frais généraux d'administration, de surveillance, de contrôle, de police, d'éclairage, de chauffage, l'entretien des bâtiments, stations et ouvrages d'art, une partie des frais d'entretien de la voie, et représentent une dépense annuelle sensiblement fixe;

3° *Les frais aux stations*, enregistrement, chargement, formation des trains et manœuvres; ils constituent une troisième catégorie de dépenses proportionnées au nombre des voyageurs et des marchandises expédiées, mais indépendantes de l'étendue des trajets;

4° *Les frais de route;* sur les voies de terre et les voies navigables, ils sont à la charge du public qui exécute les transports avec une liberté complète. Sur les chemins de fer Français, les compagnies sont tenues de les opérer à leurs frais, risques et périls, à toute réquisition, et elles sont indemnisées par les taxes. Ces frais comprennent le service d'entretien, d'alimentation et de conduite des locomotives et des wagons et la portion des frais d'entretien de la voie correspondante à l'usure produite par la circulation des trains; ils sont proportionnés au parcours.

Dans les tarifs officiels qui règlent ces taxes rémunératrices, on n'a considéré que deux parties : 1° un péage correspondant aux frais généraux; 2° une taxe proprement dite, correspondante aux frais de route. Ces tarifs sont réglés conformément aux cahiers des charges annexés aux conventions du 11 juin 1859 et modifiés le 1er mai 1863.

TARIF PAR KILOMÈTRE.	PRIX de péage.	PRIX de transport	PRIX Total.
GRANDE VITESSE.			
Voyageurs : 1re classe. par tête.	0,067	0,033	0 010
— 2e — —	0,050	0,025	0,075
— 3e — —	0.037	0,018	0,055
Marchandises..... p.tonne.	0,20	0,16	0,36
PETITE VITESSE.			
Gros bétail..... par tête.	0,07	0,03	0,01
Veaux et porcs..... —	0,025	0,015	0,04
Moutons..... —	0,010	0,010	0,02
Marchand. : 1re classe. —	0,09	0,07	0,16
— 2e — —	0.08	0,06	0,14
— 3e — —	0,06	0,04	0,10
4e classe. de 0 à 100 kil., sans que la taxe puisse dépasser 5 fr..	0,045	0,035	0,08
4e classe. de 100 à 300 kil., sans que la taxe puisse dépasser 12 fr. 90 c.....	0,03	0,02	0,05
4e classe. Au-delà de 300 kil.....	0,025	0,015	0,04

Ces tarifs ne représentent que d'une manière empirique et vague la réalité des faits. Il est impossible de résumer, dans une formule simple et uniforme, la multiplicité des circonstances qui influent sur la détermination des prix de revient et des taxes, sur la proportion des recettes et des dépenses. On doit se borner à constater les résultats généraux obtenus dans les exploitations bien dirigées. Ainsi, sur les chemins de fer Français, on peut évaluer approximativement à 0f,28 par voyageur et à 1f,20 par tonne de marchandise l'ensemble des dépenses aux stations; les frais de route s'élèvent à 1f,50 par kilomètre parcouru par un train;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les frais généraux sont de 0',40 par voyageur ou par tonne enregistrée.

C'est seulement par le jeu libre et infiniment varié des tarifs, par le mécanisme des tarifs différentiels, que l'exploitation des chemins de fer peut se mettre en rapport intime avec les besoins du commerce et de l'industrie; quoique de part et d'autre on ait souvent abusé de ce principe et méconnu sa portée, la mobilité des tarifs est aussi nécessaire au public qu'aux compagnies concessionnaires; c'est ce que nous essayerons de faire voir.

Tarifs différentiels. — Les tarifs différentiels se présentent sous des formes très-variées et particulièrement sous les suivantes :

Tarifs différentiels proprement dits, accordant des réductions de prix à raison de l'étendue des parcours; le prix à payer par kilomètre diminue quand le nombre des kilomètres parcourus augmente;

Tarifs de détournement, quand le prix des transports entre deux localités, non desservies directement par le chemin de fer, se trouve réduit à ce qu'il serait si une voie directe existait entre elles;

Tarifs internationaux ou de transit, réglant les conditions de transport des marchandises qui traversent le territoire, sans entrer dans la consommation nationale;

Tarifs spéciaux, accordant des réductions à certaines marchandises en raison de leur nature particulière;

Traités particuliers ou conventions stipulant des remises aux expéditeurs, à la condition : 1° de renoncer au bénéfice des délais obligatoires d'expédition et de remise consacrés par le cahier des charges; 2° d'affranchir la compagnie de toute responsabilité en cas d'avarie, déchet de route, etc.; 3° de fournir un tonnage minimum déterminé, et de payer l'équivalent de ce tonnage, transporté ou non;

Abonnements en faveur des industriels qui s'engagent à livrer la totalité de leurs expéditions au chemin de fer et renoncent à toute autre voie de transport.

L'usage des tarifs différentiels est justifié par la loi, qui l'a consacré formellement dans les cahiers des charges, par l'exemple de l'état, et par la pratique constante du commerce et de toutes les industries, notamment de la navigation et du roulage. Cependant ils sont journellement attaqués avec violence; il faut distinguer dans le bruit qui s'est fait autour de cette question, les plaintes naturelles des industries menacées par la concurrence des chemins de fer ou simplement troublées dans leurs habitudes séculaires par une grande révolution économique, et les récriminations inspirées par des motifs moins avouables. On a même réclamé, au nom du principe de l'égalité, si exploité, l'uniformité et la proportionnalité constante des taxes; il ne sera pas inutile de démontrer que cette mesure serait aussi funeste au bien public qu'aux exploitants, que l'usage des tarifs différentiels est fondé sur les raisons les plus légitimes, les plus naturelles et parfaitement d'accord avec les principes les plus élémentaires des échanges.

Le prix des transports n'est pas plus susceptible d'être fixé arbitrairement et déterminé par règlement de l'autorité que celui de tout autre objet de consommation; il obéit aux mêmes lois, il résulte des frais de production, de l'offre et de la demande, éléments essentiellement mobiles et variables. Sans doute, le législateur en confiant à des compagnies le monopole de l'exploitation, a pu légitimement fixer des maximum, mais, par le seul entraînement de leur intérêt propre, ces compagnies sont conduites à rester au-dessous des limites légales dans leurs relations avec le commerce. L'exemple de l'Angleterre montre bien ce qu'il y a

d'illusoire dans la fixation de ces maximum. La législation anglaise admet pour chacun le droit de circuler sur les chemins de fer; un grand nombre d'industriels usent de cette faculté; ils ont leur matériel à eux et exécutent eux-mêmes leurs transports, particulièrement dans les districts houillers, ne payant aux compagnies de chemins de fer qu'un droit de passage. Les compagnies anglaises ne sont donc pas obligées d'opérer les transports réclamés par le public : elles ont des tarifs officiels, mais elles conservent la faculté de percevoir des frais accessoires illimités, qui augmentent de beaucoup les taxes fixées par les bills de concession et les rendent à vrai dire illusoires. Si des expéditeurs réclament, elles répondent qu'elles ne sont pas tenues de transporter leurs marchandises et elles s'y refusent, en mettant seulement leur voie à la disposition des réclamants; ceux-ci se résignent le plus souvent et payent, car la loi stipule formellement que les compagnies sont autorisées à percevoir un prix supérieur au tarif légal quand l'expéditeur y consent.

Un pareil système semble mettre le public entièrement à la merci des compagnies, d'autant plus qu'aucune prescription légale ne fixe de délai pour le transport et la livraison des marchandises, ne limite la faculté de modifier les tarifs, sans même en avertir l'autorité supérieure, ni celle de conclure des traités particuliers; la tolérance s'étend jusqu'aux arrangements des compagnies de chemins de fer, soit entre elles, soit avec les canaux. La liberté la plus entière règne dans les transactions entre expéditeur et transporteur, comme entre acheteur et vendeur dans toute autre industrie, comme entre l'armateur et le négociant dans les ports; le prix du fret par mer n'est pas plus mobile que par voie de fer : le prix moyen des transports est-il pour cela plus élevé? Nullement; il ressort à 0 f. 065 par tonne et par kilomètre, à peu près comme en France.

C'est que mille raisons, inhérentes à leur nature même, se réunissent pour obliger les chemins de fer, dans l'intérêt du développement de leurs revenus, à une réduction considérable des prix officiels, et par une merveilleuse harmonie, leur font une loi impérieuse de concourir à toutes les mesures propres à faire progresser le commerce, l'industrie et l'agriculture dans l'étendue territoriale tributaire de leur réseau. Ce n'est pas par désintéressement patriotique que les compagnies sont tenues d'agir ainsi, c'est par le motif beaucoup plus solide de leur intérêt manifeste; elles l'ont quelquefois méconnu, il est vrai, mais averties par la diminution de leurs profits, elles ont dû revenir à des pratiques plus libérales. En effet, par l'analyse des revenus, on a constaté la part considérable des frais généraux dans le prix de revient des transports par voies de fer : il y a donc un bien plus grand intérêt à pousser à l'accroissement de circulation qu'à l'élévation des tarifs; si, par exemple, les frais généraux sont de 30,000 fr. pour un mouvement de 100,000 tonnes, chaque tonne sera de ce chef grevée de 0 fr. 30 c.; avec une circulation décuple, chaque tonne ne sera plus grevée que de 0 fr. 03 c.

La faculté de transporter à bon marché croît donc en raison du tonnage; d'un autre côté le mouvement des marchandises se développe en proportion des facilités et du bon marché des transports; il y a double intérêt pour les compagnies à baisser les tarifs dans la mesure du possible.

En dehors des frais de chargement et de déchargement, les marchandises occasionnent, comme on l'a vu plus haut, aux gares de départ et d'arrivée des dépenses tout à fait indépendantes du parcours, frais de manutention, d'écritures, d'abri, d'éclairage, etc. Ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frais sont très-variables, suivant la nature de la marchandise, et d'une station à l'autre; ils sont évalués en moyenne à 1 fr. 20 c. par tonne. Ils auront d'autant moins d'influence sur le prix de revient que la distance parcourue sera plus grande.

Les frais de manutention sont d'autant plus élevés que le service des départs et des arrivages est moins régulier : on est obligé de prendre un personnel supplémentaire et provisoire, d'avoir des magasins inoccupés pendant une partie de l'année; tout cela se traduit en dépenses qui doivent retomber sur l'expéditeur accidentel; il est équitable et naturel d'assurer un traitement plus favorable à celui qui s'engage à fournir régulièrement un transport déterminé, surtout si ce transport a lieu par trains ou par wagons complets, et s'il assure des retours. Cette considération justifie pleinement les traités particuliers.

La manière dont le trafic est réparti sur la ligne et la nécessité de tirer tout le fruit possible de la puissance des moteurs donnent lieu à d'autres abaissements de taxes. Le transport des voyageurs dans son ensemble se répartit presque également dans les deux sens, mais il n'en est pas de même des marchandises. Les frais de traction sont à peu près indépendants du chargement des trains; si, par exemple, on paye par kilomètre 1 fr. 50 c. pour la traction d'un train de 100 tonnes, entre deux stations, le prix de revient sera seulement de 0 fr. 015 par tonne, lorsque le train fait ses deux trajets, aller et retour, à charge complète; mais il sera double, soit 0 fr. 030, si l'un des trajets a lieu à vide; plus généralement, le prix de traction, dans le sens le plus chargé, s'accroît de toute la dépense des retours à vide, dans une mesure variable suivant la proportion des chargements dans les deux sens. De là, des études, des recherches pour découvrir de nouveaux produits à transporter et leur créer des débouchés : la considération des distances devient tout à fait secondaire; il ne s'agit plus de savoir quel prix ces produits doivent payer, mais quel prix le consommateur peut les payer; il est encore plus avantageux de ne demander pour le transport que la différence entre ce dernier prix et le prix de la marchandise rendue à la gare de départ que de revenir à vide. C'est ainsi que les plâtres de Paris se transportent à des distances considérables suivant une échelle de tarifs qui décroît en raison inverse des distances depuis 0 fr. 06 c. jusqu'à 0 fr. 015 par kilomètre. On a créé de cette manière un mouvement qui dépasse 200,000 tonnes. Il en est de même pour la chaux, pour les amendements et engrais. En même temps la certitude des retours rend le chemin de fer accessible, dans le sens du mouvement principal, à d'autres marchandises exclues auparavant par l'élévation des tarifs; et par ce double effet d'action et de réaction, la prospérité des industries locales et celle du chemin de fer sont également stimulées.

Il est évident que l'adoption d'un tarif moyen uniforme ne remplirait plus l'objet qu'on se propose; il supprimerait les transports des matières premières encombrantes les plus utiles à l'agriculture et à l'industrie, en enlevant aux chemins de fer les moyens de régulariser la charge de leurs trains et d'organiser une exploitation économique; il romprait en même temps la solidarité qui tend à s'établir entre l'intérêt du public et celui des Compagnies.

Ces notions tireraient un nouveau degré de clarté d'un mode de démonstration géométrique employé par M. Dupuit, inspecteur général des ponts et chaussées, dans les études qu'il a publiées en 1844 et en 1849 sur l'*utilité publique et les péages*. Ce genre de preuve conserve toute sa valeur, même en économie politique, quand il s'agit de quantités susceptibles de mesure, comme dans le cas présent : avec une base erronée, les méthodes mathématiques peuvent conduire à des résultats d'autant plus faux qu'on raisonne mieux; mais, quand le point de départ est sûr, on peut s'abandonner avec confiance à ce mécanisme qui dispense de longs discours. Nous essaierons d'y recourir.

On peut prendre pour mesure de l'utilité d'un objet de consommation le sacrifice maximum que le consommateur serait disposé à faire pour se procurer cet objet, ou le prix qui le déterminerait à s'en passer.

Ce sacrifice ou ce prix est entièrement distinct du prix courant ou vénal qu'on est obligé de payer pour se procurer l'objet désiré, et il est variable pour chaque consommateur.

Le nombre des objets consommés, d'une même nature, ou celui des consommateurs, est d'autant plus grand que le prix de vente est plus faible : il y a entre ces deux quantités variables une relation qui est la loi de la consommation; cette loi peut être représentée par une courbe, qu'on appellerait la courbe de la consommation et dont la considération rendra extrêmement clair l'exposé de ce phénomène économique. Supposons en effet que l'on porte sur l'axe des abscisses des longueurs proportionnelles aux prix des objets consommés, par exemple, les divers prix qu'on pourrait demander à un voyageur transporté à 1 kilomètre de distance, s'il s'agit de chemins de fer; à chaque prix offert correspondra un nombre de voyageurs d'autant plus grand que ce prix sera plus faible; prenons pour ordonnées le nombre des voyageurs correspondant à chacun de ces prix, nous aurons une courbe de consommation affectant une forme telle que celle indiquée ci-contre, *fig.* 49. Soit OP le prix de transport, le produit brut sera égal à OP × MP, et représenté graphiquement par le rectangle OPMQ;

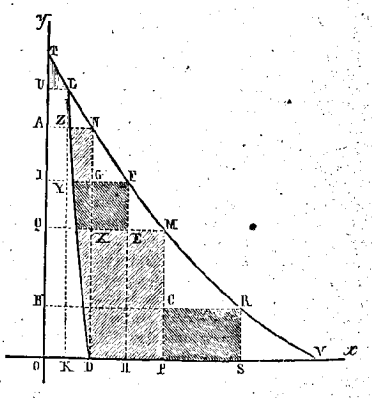


Fig. 49.

Si OD est le prix de revient, le rectangle ODXQ représente la dépense brute de l'exploitation; la différence de ces deux rectangles XDMP est le produit net. Si l'on ne demandait au public que le prix OD il se présenterait un nombre plus grand de voyageurs ND, mais le produit net serait nul; si, au contraire, on augmente le prix demandé, le nombre des voyageurs ira en diminuant. Il y aura un prix pour lequel le rectangle XDMP sera maximum, et on pourra le déterminer en égalant à zéro la dérivée du produit $xy - y \times OD$, si on connaît l'équation de la courbe. On conçoit qu'au moyen de documents statistiques, on puisse calculer par interpolation cette équation, pour un exercice donné, chercher le prix auquel corres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pondrait le produit net maximum, et en le comparant avec le prix moyen perçu en réalité, apprécier dans une certaine mesure les résultats donnés par une exploitation industrielle.

Si nous considérons un prix quelconque OS supérieur à OP, ce prix se partage en trois parties, savoir : OD, prix de revient; DP, bénéfice du producteur; PS, somme dont bénéficie le consommateur qui pourrait payer OS et qui ne paie que OP.

La superficie TOV se partage aussi en trois parties : 1° QMT, utilité perdue par ceux qui ne peuvent consommer parce qu'ils ne peuvent ou ne veulent pas payer au delà du prix OP; 2° OPMQ, utilité perçue par le producteur ou produit brut, divisé en dépense brute et produit net; 3° MPV, utilité restant aux consommateurs, déduction faite du prix vénal : la superficie totale représente toute l'utilité possible du service rendu.

Ces diverses parties prennent des proportions très-variables aux dépens les unes des autres, d'après la manière dont varie le prix. Les considérations précédentes supposent la détermination d'un seul prix OP; si le producteur découvre, dans le nombre MP des consommateurs qui payaient le prix OP, un certain nombre PC de consommateurs disposés à payer un prix supérieur OS, il est parfaitement légitime de leur demander ce prix, pourvu qu'il soit librement offert et librement accepté, sans fraude ni violence; et il suffira peut-être d'un motif très-futile pour détacher ces PC consommateurs du groupe restant MC; quelque préjugé mondain, tel que ceux qui motivent les prix des places au théâtre, aux courses, etc.; par ce seul fait le produit net se trouvera augmenté de tout le rectangle PSRC.

Il pourra y avoir autant et plus d'avantage pour le producteur à demander un prix OH, inférieur au prix OP, qui rendrait la consommation accessible à FE consommateurs nouveaux, et augmenterait le produit net du rectangle XEFG; de plus, l'utilité produite serait augmentée de toute la superficie QIFM, et l'utilité perdue réduite à IFT.

Au-dessous du prix de revient OD, il y aurait perte pour le producteur; mais en supposant ce prix invariable jusqu'ici, nous avons fait une hypothèse inexacte dans la plupart des cas et en particulier dans le cas des chemins de fer; le prix de revient est une fonction du nombre des consommateurs qui décroît quand ce nombre augmente; la loi de sa décroissance peut être représentée par une courbe telle que DYZL, et à chacun des abaissements de prix mentionnés tout à l'heure correspondra non-seulement l'accroissement de produit net représenté par les rectangles énoncés ci-dessus, mais encore un accroissement représenté par la surface comprise entre le côté du rectangle le plus voisin de l'axe des ordonnées et la portion correspondante de la courbe DYZL. Pour le prix OD cet accroissement sera YZNG, et il y aura avantage à établir des tarifs encore inférieurs à OD.

En résumé, le produit net maximum serait réalisé si le producteur obtenait de chaque consommateur le prix auquel celui-ci évalue à son point de vue particulier le service rendu, et il serait représenté par la surface DVL; les frais de production seraient ODLU, et l'utilité perdue TUL serait réduite au minimum.

De ces considérations résultent encore les conséquences suivantes, qui sembleront peut-être un peu paradoxales à quelques personnes, mais qui n'en sont pas moins rigoureusement vraies. Étant admis que l'offre du consommateur n'est déterminée que par des motifs avouables par la plus stricte probité et que la liberté des transactions est complète, aucune raison n'interdit au producteur d'augmenter le prix qu'il demande au delà de certaines limites d'une manière plus impérieuse que son intérêt personnel.

Les maximums fixés par les tarifs officiels ne profitent qu'aux riches, car au delà du prix OS, par exemple, l'utilité restante RSV ne profite qu'à ceux qui peuvent payer plus que le prix OS.

Il serait beaucoup plus rationnel que le triangle RSV entrât dans le profit net du producteur, et vînt en compensation d'un abaissement de tarif favorable aux petits consommateurs.

Il y a autant et il peut y avoir beaucoup plus d'intérêt pour le producteur à baisser les tarifs qu'à les augmenter; le produit net des bas tarifs applicables à un très-grand nombre de consommateurs étant d'ordinaire beaucoup plus élevé que celui des hauts tarifs qui ne sont acceptés que par un petit nombre.

On pourrait croire, au premier abord, que l'État, en mettant de côté tout point de vue fiscal, exploiterait dans des conditions beaucoup plus avantageuses pour le public. Mais trop d'expériences ont démontré à quel point l'État, dépourvu du stimulant de l'intérêt personnel et de la liberté d'allures nécessaire, est impropre à toute opération de trafic : l'industrie privée seule sait développer ce tact du négociant, indispensable pour l'exploitation commerciale des chemins de fer, deviner les prix correspondant à l'importance que chaque consommateur attache au service rendu, trouver le juste rapport des profits et des dépenses, provoquer tous les progrès techniques propres à diminuer le prix de revient et découvrir les combinaisons de taxes graduées les plus favorables au producteur et à la masse des consommateurs. On ne saurait admettre en effet que des compagnies, intéressées à un si haut degré au développement de la prospérité publique sur leur réseau, rassurées sur l'avenir par le terme éloigné de leurs concessions, compromettent bénévolement leur considération et leur fortune en imposant au commerce qui les alimente des conditions déraisonnables et ruineuses. Quelques-unes de ces spéculations malavisées, fondées sur l'emploi des hauts tarifs, ont été faites; l'expérience n'a pas tardé à éclairer les exploitants sur leurs véritables intérêts. L'histoire des chemins de fer anglais a encore été sous ce rapport d'autant plus instructive qu'une plus grande latitude était laissée aux compagnies.

Quoique le nombre des wagons de retour qui circulent à vide ait beaucoup diminué depuis quelques années, il représente 16 à 28 p. 100 du mouvement total des véhicules de la petite vitesse; il reste donc encore un travail improductif considérable à mettre en valeur; c'est là le grand et véritable intérêt des compagnies, comme du public, et ce résultat ne peut être atteint que par la création de nouveaux transports, par l'abaissement calculé de certains tarifs, et non par la fixité et l'uniformité. C'est là la plus sûre garantie de ce que réserve l'avenir.

Ces considérations nous semblent suffisantes pour justifier l'usage des tarifs différentiels sous toutes les formes; elles nous dispensent de discuter longuement les reproches puérils de troubler l'ordre géographique naturel et de s'emparer des transports de la navigation. Les chemins de fer peuvent avouer hautement ces tendances; on dit qu'ils suppriment les distances; si la métaphore est exagérée, elle offre cependant un certain degré de vérité; certaines localités, certaines industries jouissaient d'un monopole naturel, résultant du voisinage des grands centres de consommation; les chemins de fer les ont mis en concurrence avec des centres de production plus éloignés, qui ne pouvaient autrefois atteindre le marché que dans des conditions bien inférieures, quand ils pouvaient y arriver; les jardiniers de la Provence et de l'Algérie entrent en lutte avec ceux de la banlieue de Paris sur le carreau des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

halles ; le commerce d'entrepôt et de commission, intermédiaire obligé de l'ancien système de transports, est ruiné dans les localités intermédiaires, qui s'étaient habituées à prélever tribut sur tout ce qui traversait leurs murs; le prix des denrées augmente sur les lieux de production dès que les nouveaux débouchés deviennent accessibles; de là des récriminations amères et bruyantes; elles sont naturelles; il est dans la loi du progrès de faire des victimes; il est d'une bonne politique, il est du devoir des gouvernements d'adoucir des transitions pénibles et de compenser par tous les avantages possibles le trouble apporté dans des jouissances acquises légitimement; mais serait-ce une raison pour s'arrêter et hésiter dans une voie favorable à l'intérêt général, lorsqu'il n'y a que déplacement et non anéantissement de la richesse publique? Qui profite de la suppression des obstacles physiques, des faux frais, sinon le public? Si les voies navigables étaient hors d'état de supporter la concurrence des chemins de fer, ce qui n'est pas, faudrait-il obliger les consommateurs à payer plus cher les transports dans l'intérêt d'une industrie impuissante? Si les tarifs internationaux inquiètent certains industriels, faut-il priver au bénéfice de l'étranger nos voies de communication de toute nature, nos ports, nos négociants, nos marins, des profits que répand dans le pays le passage des marchandises en transit?

Concluons que l'industrie des chemins de fer, comme toutes les autres, ne saurait produire les avantages qu'on est en droit d'en attendre, si la plus grande liberté d'action ne lui était laissée. Le système réglementaire étroit et rigoureux réclamé par quelques personnes serait aussi funeste au public qu'aux compagnies.

Ces développements étaient nécessaires pour bien comprendre la nature et l'influence des chemins de fer, dans un de leurs modes d'action les plus essentiels; mais ils nous ont éloigné de notre objet; revenons donc aux tracés, et cherchons quelles lumières peuvent donner sur leur détermination les études faites au point de vue commercial.

Il y a lieu de considérer ici les faits, suivant qu'ils intéressent le commerce extérieur, le transit et le commerce intérieur. Les considérations tirées des besoins du commerce extérieur ne peuvent agir que sur la détermination des points extrêmes des lignes et sur leur classement. Il en est de même du transit; on croyait autrefois que ce genre de commerce n'était pas assez important pour entrer en compte, mais grâce aux chemins de fer, il s'est élevé depuis 1842 d'un tonnage de 34,000 t., et d'une valeur de 200,000,000 de francs à 207,873 t. et 632,000,000 de francs en 1863. Comme ce mouvement a lieu principalement entre l'Angleterre et la Belgique, d'une part, la Suisse et l'Allemagne, de l'autre; les distances parcourues sont grandes et le tonnage kilométrique très-élevé; le trafic résultant est loin d'être négligeable.

Quoi qu'il en soit, c'est au commerce intérieur qu'il appartient d'agir plus spécialement sur la détermination des tracés; l'influence reconnue des parcours partiels, la nécessité d'alimenter l'exploitation par un tonnage suffisant, tout concourt d'ordinaire à corroborer les conclusions de nos considérations générales, et conduit à placer de préférence les chemins de fer dans la direction des courants de relations commerciales, précédemment établis dans les vallées industrielles, malgré la cherté des terrains et des travaux, malgré la concurrence des voies navigables; tout conlégèrement déviés, propres à desservir autant que possible toutes les localités intermédiaires, et à développer le parcours partiel, sur les tracés qui affectent de raccourcir la distance entre les points extrêmes.

4° *Considérations techniques.*

Nous l'avons déjà fait remarquer, un chemin de fer est une machine; pour apprécier les avantages relatifs des divers tracés qu'on peut proposer entre deux points donnés, il faut établir l'équation du travail de cette machine pour chaque projet aussi exactement que le permettent les données du problème. Il faut faire d'abord une analyse complète du travail des forces qui interviennent dans le mouvement des véhicules. Considérons en premier lieu les résistances au mouvement des wagons.

Résistances en ligne droite et de niveau. — Dans ce cas le plus simple, les résistances proviennent : 1° Du frottement des fusées dans les boîtes à graisse; 2° du frottement de roulement des bandages sur les rails; 3° du déplacement de l'air; 4° des inégalités de la voie, de l'état hygrométrique de la surface des rails, et parfois du vent, de la neige, du verglas, etc.

Frottement des fusées. — Le travail dû au frottement des fusées dans les coussinets des boîtes à graisse est proportionnel : 1° au poids P du wagon et de sa charge, diminué du poids des roues et de leurs essieux; 2° au diamètre de la fusée d;

3° En raison inverse du diamètre de la roue D;

4° Proportionnel à un coefficient de frottement f, qui dans un état moyen des fusées est égal à 0,050, et qui dans des circonstances exceptionnelles avec un graissage continu et parfait descend à 0,047.

Ce travail a donc pour expression pour le parcours de l'unité de longueur

$$fP\,\frac{d}{D} = 0{,}00375\ P,$$

en supposant $d = 0^m{,}075$, $D = 1^m{,}00$.

Il y a intérêt à faire les fusées aussi petites que possible, mais on a reconnu que la surface du coussinet devait être telle que la pression par centimètre carré ne dépassât pas 7 kil., pour que le graissage se fît dans de bonnes conditions.

Frottement de roulement. — Le travail dû au frottement de roulement des bandages sur les rails est égal au millième du poids total, c'est-à-dire, du poids précédent P, augmenté du poids des roues et des essieux p; il a pour expression $0{,}001\ (P + p)$.

Résistance de l'air. — Le travail produit par la résistance de l'air est ordinairement considéré comme proportionnel à la projection A de la surface antérieure du convoi sur un plan normal à sa direction, au carré de la vitesse V et à un coefficient constant; il a pour expression $0{,}005064\ A\,V^2$, suivant M. de Pambour.

Du vent. — Les résistances accessoires ne sont pas susceptibles d'être soumises au calcul; leur influence peut être cependant considérable; le vent, suivant son intensité ou sa direction, peut exercer une action très-marquée sur la marche des convois. Entre Arles et Marseille, dans les plaines de La Crau, les trains éprouvent souvent des retards uniquement causés par le vent. Le 27 février 1860 deux trains ont été renversés presque simultanément, entre Narbonne et Perpignan, par le mistral; le même accident s'est renouvelé à la station de Leucate, le 19 janvier 1863 : les wagons étaient vides, il est vrai; mais leur chute n'en suppose pas moins une pression d'environ 160 kilogrammes par mètre carré.

De la neige. — La neige est le plus sérieux obstacle que rencontre l'exploitation, surtout lorsqu'elle tombe en tourmente; elle couvre la voie, s'accumule dans les tranchées et barre entièrement le passage. Cet obstacle n'est cependant pas aussi redoutable qu'on pourrait se l'imaginer d'abord. L'expérience fait connaître les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tranchées les plus exposées à l'encombrement; on peut les abriter par des cavaliers, par des plantations faites du côté du vent. Pour dégager les rails, on emploie sur les chemins de fer Allemands et sur les chemins de l'Est et du Nord Français des charrues à versoir, ou des rateaux composés de tubes creux, dans lesquels circule de la vapeur; ces appareils conduits par une locomotive déblayent bien la neige quand elle est sèche et quand son épaisseur ne dépasse pas 0m,80. Dans les pays de montagnes on se met à l'abri des avalanches par des galeries couvertes dont la toiture est inclinée suivant un angle inférieur à celui du plan de glissement des neiges.

Influence des rampes. — Si α est l'angle d'inclinaison du tracé sur l'horizontale, le travail résistant produit par la pesanteur sur la rampe aura pour expression $(P+p)\sin\alpha$, et dans les termes calculés précédemment P et p devront être multipliés par $\cos\alpha$: mais dans les limites admissibles sur les chemins de fer $\cos\alpha$ est sensiblement égal à 1, et $\sin\alpha$ à $\operatorname{tg}\alpha$: on peut donc admettre pour le travail de la pesanteur $\pm(P+p)\operatorname{tg}\alpha$, suivant que le chemin est en rampe ou en pente, et ne rien changer aux termes précédemment calculés.

Influence des courbes.— La résistance que les courbes opposent à la traction est due à des causes diverses :

1° Les roues étant égales et fixées invariablement aux essieux, parcourent chacune dans une courbe de rayon ρ des chemins inégaux sur les rails; il y a donc à chaque instant frottement de glissement, en avant, pour la roue extérieure, en arrière, pour la roue intérieure : le travail dû à ce frottement est proportionnel à la largeur de la voie, que nous appellerons $2a$, et en raison inverse du rayon de la courbe; en admettant pour le coefficient de frottement 0,16, ce travail évalué pour les quatre roues aura pour expression

$$0{,}16\ (P+p)\ \frac{a}{\rho};$$

2° Les essieux sont parallèles entre eux; il en résulte qu'ils ne peuvent pas être exactement normaux à la courbe et que les roues tendent à marcher non pas suivant la tangente, mais suivant une corde; il faut donc à chaque instant qu'elles soient ramenées vers le centre de la courbe; il en résulte un nouveau glissement parallèlement au rayon. Le frottement occasionné par ce glissement normal, combiné avec le précédent, donne lieu à une résistance proportionnelle à la projection horizontale de la distance du centre de figure du wagon au point de contact de la roue avec le rail et en raison inverse du rayon de la courbe : en appelant b le demi-écartement des essieux, on aura pour expression du travail dû à la fixité des roues sur les essieux et au parallélisme des essieux

$$0{,}16(P+p)\ \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho};$$

3° L'action de la force centrifuge tend à presser le boudin des roues contre le rail extérieur avec une intensité proportionnelle au carré de la vitesse, et en raison inverse du rayon; il en résulte un nouveau travail résistant, dont l'expression sera en appelant h la saillie des boudins sur les bandages et f' le coefficient de frottement

$$f'\left(\frac{P+p}{g}\right)\frac{V^2}{\rho}\ \frac{\sqrt{Dh+h^2}}{\frac{1}{2}D};$$

En définitive, on aura pour le travail T, par wagon et par unité de longueur parcourue, évalué en kilogrammètres, ou pour l'effort de traction, évalué en kilogrammes, l'expression

$$T = 0{,}05\ \frac{Pd}{D} + (P+p)\left[0{,}001 + \operatorname{tg}\alpha + \frac{0{,}16\sqrt{a^2+b^2}}{\rho} + f'\frac{V^2}{\rho g}\ \frac{\sqrt{Dh+h^2}}{\frac{1}{2}D}\right] + 0{,}005064\,AV^2$$

ou en introduisant les valeurs données précédemment, prenant $P+p$ pour P dans le premier terme, et réduisant

$$T = (P+p)\left[0{,}00475 + \operatorname{tg}\alpha + \frac{1}{\rho}\left(0{,}16\sqrt{a^2+b^2} + \frac{2f'V^2}{g}\sqrt{h+h^2}\right)\right] + 0{,}005064\,AV^2$$

Cette formule appelle l'attention sur plusieurs points importants.

Il y a intérêt à diminuer le poids du matériel roulant; nous avons déjà dit dans quelles limites cela se peut faire; il est avantageux de diminuer la vitesse, et les trains de marchandises doivent marcher aussi lentement que le comportent les exigences du service.

Le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de travail d'autant plus sensible que le rayon des courbes est plus petit et la vitesse plus grande. L'usure réciproque des bandages et des rails est encore un des graves inconvénients des petites courbes en exploitation.

Sur les lignes de premier ordre, en France, le rayon des courbes est ordinairement de 800 à 1000 mètres; sur les lignes secondaires on l'abaisse à 300 mètres; sur les lignes allemandes exploitées avec le matériel Américain, ce rayon a été réduit à 180 mètres, mais la vitesse ne dépasse pas 30 kilomètres.

On intercale ordinairement un alignement droit de 100 mètres entre deux courbes consécutives lorsque leurs courbures sont dirigées en sens contraires.

On sait que dans la pratique les résistances dues aux courbes sont diminuées par la forme conique des bandages, par le jeu laissé entre les plaques de garde et les boîtes à graisses, par la flexibilité des menotes, interposées entre les extrémités des ressorts de suspension et les châssis, par le relèvement du rail extérieur. On a vu aussi précédemment que lorsque le rayon est très-petit, on facilite encore le passage en augmentant légèrement l'écartement des rails.

Quelque minutieuse que soit une analyse comme la précédente, les praticiens ne sauraient s'en contenter. On a essayé de la contrôler et de la compléter par l'expérience. Les essais de MM. Gouin et Lechatelier ont montré que la résistance totale était de

3 à 4k,5 par tonne brute aux vitesses de 25 à 40k par h.
4,5 à 8,5.. . . . . Id. . . . . 40 à 60 —
12 à 15.. . . . . Id. . . . . 60 à 100 —

M. C. Polonceau avait commencé une série très-intéressante d'expériences pour mettre en évidence l'influence de tous les éléments qui peuvent agir sur la traction; sa mort en a malheureusement interrompu le cours. Nous empruntons à l'exposé qui en a été donné par M. Perdonnet, les résultats suivants, en faisant observer qu'ils s'appliquent seulement à des vitesses de 15 à 35 kilomètres, et à des trains de marchandises ou mixtes pesant de 166 à 317 tonnes.

1° L'effort de traction par tonne brute remorquée en palier et en alignement a été de 3k,20;

2° Il y a augmentation d'effort de 0k,90 par chaque millimètre de rampe en plus de 0 à 0m,016; c'est-à-dire, que pour une rampe de 0,016 l'effort est de $3^k,20 + 16 \times 0,90 = 17^k,60$;

3° Par chaque 100 mètres de diminution dans le rayon des courbes, de 1500 à 300 mètres, il y a un accroissement d'effort qui varie régulièrement de 0k,05, accroissement entre 1500 et 1400 mètres, à 0k,60, accroissement entre 400 et 300 mètres; au delà de 1500 mètres l'influence de la courbure est insensible.

M. Wyndham Harding a publié une formule assez simple et dont on fait fréquemment usage : Il étant le poids du train en tonnes, l'effort de traction T' par tonne brute remorquée sera donné par l'expression suivante:

$$T' = 2{,}72 + 0{,}094\,V + 0{,}00484\ \frac{AV^2}{11} + 1000\ \operatorname{tg}\alpha.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans laquelle le premier terme représente les frottements des wagons; le second la résistance due aux inégalités de la voie; le troisième, l'effet du milieu atmosphérique; le quatrième, celui de l'inclinaison; les notations conservent leur signification précédente.

Nous venons de calculer les résistances dues au mouvement des wagons; pour achever de poser l'équation du travail de la locomotion, il faut considérer le moteur et ajouter les résistances qui lui sont propres à celles du convoi remorqué. On exprimera ensuite que le travail résistant est égal au travail moteur produit par la vapeur sur les pistons. Ces résistances comprennent celles de la machine considérée comme véhicule, le frottement des pièces du mécanisme, et le frottement additionnel dû à l'action de la vapeur sur les tiroirs et les pistons.

Les résistances de la machine considérée comme véhicule peuvent être calculées par les méthodes indiquées ci-dessus, pour les wagons.

Les résistances du mécanisme ne peuvent être évaluées que par l'expérience; cette recherche, ainsi que celle du travail moteur, appartient à la théorie des locomotives que nous n'avons pas à exposer ici : nous nous contenterons de rappeler les règles pratiques données par M. Lechatelier, d'où l'on peut déduire les dimensions et les éléments principaux des machines.

Les dimensions des cylindres doivent être telles que l'effort moyen de traction exercé au pourtour des roues motrices soit égal à la résistance totale qu'éprouve le train, machine et tender compris.

Cette résistance peut être calculée au moyen de la formule empirique de Harding, dans laquelle on fera entrer le poids du moteur et de son tender : on ajoutera 25 ou 20 p. 100 à la valeur trouvée, suivant qu'on s'occupera d'un train de voyageurs ou de marchandises, afin de tenir compte des résistances additionnelles dues au frottement du mécanisme et à l'action des roues motrices.

D'un autre côté, soient :

q la pression moyenne utile de la vapeur par centimètre carré (4^k,64 pour une chaudière timbrée à sept atmosphères);

δ le diamètre des pistons en centimètres;

l leur course en centimètres;

Δ le diamètre des roues motrices également en centimètres;

Π le poids total du convoi, machine et tender compris.

L'effort moyen utile exercé par la vapeur sur le pourtour des roues motrices sera

$$\frac{q\,\delta^2\,l}{\Delta} = 1{,}20\ T'\ \Pi;$$

de cette formule on tirera $\delta^2 l$; en multipliant par 4π, on aura le volume de vapeur à la pression q dépensé à chaque tour des roues motrices.

Pour éviter de fatiguer le mécanisme par une trop grande rapidité d'oscillations, le nombre de tours des roues motrices ne doit pas dépasser 3 par seconde : on aura donc le volume de vapeur à dépenser par seconde pour obtenir une vitesse déterminée : on en déduira la surface de chauffe nécessaire pour engendrer ce volume, les dimensions des foyers et chaudières, la consommation de combustible, etc.

Enfin, il faut encore que le poids servant à l'adhérence, supporté par les roues motrices, soit suffisant pour entraîner le convoi; soit Π'' ce poids, soit β le coefficient d'adhérence, il faut qu'on ait

$$\beta\Pi'' = 1{,}20\ T'\Pi'.$$

On admet généralement que $\beta = 1/6$; donc, en multipliant par 6 l'effort de traction calculé précédemment, on aura la charge que doivent porter les roues motrices; si cette charge est comprise entre 12 et 20 tonnes on couplera deux paires de roues; si elle dépasse 20 tonnes, on couplera trois paires de roues.

Pour les vitesses de 25 kilomètres et au-dessus, on fait souvent usage, pour calculer l'effort de traction, de la formule empirique très simple

$$T' = \frac{1}{5}\,V.$$

Comparaison des tracés. — On comprendra facilement maintenant comment on peut établir une comparaison entre divers tracés : les éléments de cette comparaison sont les suivants :

1° *Les dépenses d'établissement;* on pourra être conduit à préférer un tracé avec fortes rampes et courbes de petit rayon à un tracé moins incliné, par une grande diminution des dépenses de construction en faveur du premier : les fortes rampes réduiront la longueur totale du trajet; les petites courbes contourneront les obstacles et feront éviter de grands ouvrages d'art;

2° *Les recettes;* d'après le système des tarifs, elles sont proportionnelles à la distance; cette considération serait tout en faveur du tracé le moins incliné et le plus long, s'il ne fallait faire entrer en balance les frais d'exploitation, l'amortissement du capital de construction, et l'obstacle qu'apporte au développement du trafic toute augmentation dans les dépenses de transport;

3° *L'effort de traction* à développer sur chacun des tracés; pour le déterminer, on se rendra compte de la composition et du poids d'un train, machine et tender compris, et on calculera l'effort de traction d'après les données précédentes. On cherchera ensuite, parmi les nombreux types connus, une machine capable de produire cet effort, présentant une surface de chauffe assez grande pour le maintenir aux vitesses exigées par le service et un poids d'adhérence suffisant pour que la résistance au glissement au point de contact des roues motrices avec les rails ne permette pas le patinage;

4° *L'importance des transports* à effectuer : connaissant la recette kilométrique prévue par les études préliminaires sur le commerce local, on peut apprécier d'après les données statistiques : 1° le produit moyen de l'unité de transport, c'est-à-dire d'un voyageur ou d'une tonne de marchandise, transportés à 1 kilomètre; c'est 6c,4 pour un voyageur, et 7c pour une tonne; soit en moyenne 6c,7, en supposant le nombre des voyageurs égal au nombre des tonnes transportées; 2° le nombre des unités kilométriques correspondant à la recette kilométrique; 3° le poids brut correspondant à l'unité kilométrique, soit 633 kil. pour un voyageur, et 2050 kil. pour une tonne de marchandises, en moyenne, d'après l'hypothèse précédente 1341 kil.; 4° le poids brut total transporté correspondant au revenu kilométrique; 5° le nombre des trains nécessaires pour desservir ce trafic.

Il faut dans cette appréciation tenir compte du mouvement probable dans chaque sens.

6° *Les dépenses d'exploitation;* elles présentent des éléments variables avec le tracé, suivant qu'il est en plaine ou en montagne, et d'autres indépendants de ces considérations; parmi les premiers figurent la consommation du combustible, l'entretien et le graissage des machines, l'usure des freins, le personnel pour les manœuvrer, l'entretien et la surveillance de la voie, les machines de renfort; une part de l'intérêt du capital résultant de la différence de vitesse et de la différence de longueur des parcours comparés : parmi les seconds, on compte les frais d'administration centrale, de mouvement, le personnel des mécaniciens et chauffeurs, et des dépôts, en dehors des renforts, l'entretien et le graissage des voitures, et les frais de traction autres que ceux énoncés ci-dessus.

On trouve dans les tableaux précédents, qui accom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pagnent les considérations relatives au trafic, et dans ceux qui suivent, à l'article des frais de premier établissement, d'administration et d'exploitation, des indications qui donnent le moyen de se faire une idée des éléments de comparaison dans les cas ordinaires que nous venons d'énumérer.

Ces éléments étant déterminés avec le degré de certitude que comporte ce genre d'appréciations, on mettra en regard pour chaque tracé : d'une part, *l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, et les dépenses d'exploitation;* d'autre part, *la recette totale* proportionnelle à la longueur kilométrique; la différence donnera le *produit net* et permettra de distinguer le tracé le plus avantageux, à ce point de vue.

Une partie des éléments qui entrent dans le prix de revient kilométrique sont fixes et sensiblement indépendants du trafic; si le trafic augmente, la part de ces frais généraux devient de plus en plus faible, le prix de revient total diminue, et le produit net augmente d'autant; les avantages d'un tracé accidenté et peu coûteux, mais d'une exploitation onéreuse, iront donc en diminuant à mesure qu'on se trouvera en présence d'un trafic plus considérable; il pourra être sage, si l'on prévoit un développement suffisant des transactions, d'accepter hardiment un tracé rendu très-dispendieux par de longs tunnels, par de grands ouvrages d'art, mais d'une exploitation plus facile. On devra, d'après cette observation, se montrer beaucoup moins exigeant pour le tracé des embranchements que pour celui des lignes principales.

De la répartition des rampes sur un tracé.—Ce sujet donne lieu à quelques observations très-importantes.

Les pentes variées, même faibles, sont peu favorables au bon emploi des locomotives; car si les pentes et les rampes ne se succèdent pas de manière que les secondes puissent être remontées avec la vitesse acquise sur les premières, on ne peut remorquer que la charge compatible avec la rampe maximum.

On a proposé autrefois un système de répartition basé sur ce principe, c'est-à-dire, offrant une combinaison telle que les convois lancés sur les pentes franchissent les rampes avec leur vitesse acquise; cette manœuvre serait très-fatigante pour le matériel, de plus le moindre obstacle rencontré sur une rampe empêcherait de parvenir au sommet.

Si l'on est obligé d'adopter des pentes variées, il faut les concentrer sur une section déterminée du tracé, entre deux dépôts; on affecte à cette section des moteurs spéciaux; ou bien on s'arrange de manière que l'effort varie du simple au double, et la traction s'opère en double attelage, c'est-à-dire par deux machines.

Il faut tenir compte du sens dans lequel se présentent les charges maximum; il est avantageux que l'effort soit le même dans les deux sens, eu égard à la différence des chargements en remonte et en descente.

Une station n'est pas convenablement placée au pied d'une forte rampe; les trains montants abordant la rampe sans vitesse acquise éprouvent de la difficulté à se mettre en marche; l'action des freins sur les trains descendants est très-nuisible au matériel roulant et à la voie. Si au contraire la station est au sommet de la rampe, cela peut donner lieu à certains accidents; les wagons en stationnement sur les voies de garage peuvent être chassés par le vent et s'échapper sur la rampe à la rencontre des trains; on se prémunit au moyen de taquets d'arrêts, placés sur les voies de garage, mais on peut oublier de les fermer.

Les rampes sont plus nuisibles dans les souterrains; l'humidité qui règne sous leurs voûtes rend le patinage plus fréquent et plus dangereux.

Les fortes pentes ne sont pas aussi dangereuses à la descente qu'on pourrait se le figurer; avec la vapeur renversée, on peut arrêter les trains sur les pentes de 0m,040; à la vitesse de 70 à 80 kilomètres, la résistance de l'air devient suffisante pour que les convois livrés à eux-mêmes ne dépassent plus cette vitesse.

Il ne faut pas se dissimuler d'ailleurs que l'emploi des fortes rampes constitue une lourde charge et une grande difficulté pour l'exploitation, surtout quand elles coïncident avec des courbes de petit rayon. Ces difficultés sont plus graves pour le service des marchandises que pour celui des voyageurs. On ne saurait poser de limite précise; il y a vingt ans, on ne croyait pas pouvoir dépasser 0m,005; chaque jour apporte un progrès qui recule cette limite; on ne doit accepter qu'à la dernière extrémité des rampes de 0,025; cependant on exploite sur des rampes de 0m,035, et même de 0,056.

Le tableau suivant donnera une idée de la répartition moyenne des pentes et des courbes sur nos diverses lignes à la fin de 1862 :

DÉSIGNATION.	PROPORTION POUR 100 en moyenne.		
	Ancien réseau.	Nouveau réseau.	Ensemble.
PLAN.			
Alignements	65.6	64.3	64.9
Courbes de 500m de rayon et au-dessus	33.9	33.3	33.9
Courbes de moins de 500m de rayon	0.5	3.8	1.8
Total	100.0	100.0	100.0
PROFIL.			
Paliers	23.4	21.2	22.6
Pentes de 0m,005 et au-dessous.	63.5	45.5	57.1
— de plus de 0m,005	13.1	33.2	20.3
Total	100.0	100.0	100.0

Les maximum de déclivité sont de 0m,022 pour le réseau de Lyon, et même de 0m,0265 sur l'embranchement de la Joliette, à Marseille; de 0m,0179 sur l'Ouest, qui comprend aussi la rampe de Saint-Germain de 0,035; de 0m,016 sur Orléans; de 0m,015 sur le Midi; de 0m,012 sur l'Est; et de 0m,0075 sur le Nord.

Ce qui précède suffit pour faire apprécier comment on peut arriver à une détermination motivée dans le choix à faire entre plusieurs tracés et entre plusieurs systèmes de traction. Quelques exemples montreront comment le problème a été résolu dans des circonstances très-diverses et souvent difficiles.

Exemples de quelques systèmes de traction. — Les compagnies ont donc pu admettre des modes d'exploitation très-variés suivant le profil du chemin, le climat et la nature du trafic.

1° *Sur le chemin de fer d'Orléans*, les règles suivies pour déterminer la charge normale des machines sont déduites de nombreuses expériences dynamométriques et de formules dans lesquelles entrent les divers éléments énumérés ci-dessus. Pour chaque type de machine, des courbes font connaître la charge correspondante aux diverses inclinaisons et aux vitesses comprises entre 15 et 30 kilom.; d'autres courbes donnent une autre valeur de la charge en raison de l'adhérence, en admettant que par un beau temps cette charge est 1/10 du poids total.

Sur la ligne de Montluçon à Moulins, la plus accidentée du réseau, qui présente des inclinaisons de 0m,010 à 0,015 et des courbes nombreuses dont le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rayon minimum est de 300 mètres; la traction est faite par des machines appartenant à deux types différents, à tenders isolés, ayant les unes trois, les autres quatre essieux couplés; leur vitesse normale est de 20 kilom., et sur rampe, de 15; elles présentent les conditions d'établissement suivantes :

DÉSIGNATION.	MACHINES à 3 essieux couplés.	MACHINES à 4 essieux couplés.
Diamètre des cylindres...	0m,450	0m,500
Course des pistons.....	0m,650	0m,650
Diamètre des roues.....	1m,160	1m,160
Surface de chauffe.....	140mc,486	206mc,837
Poids en service de la machine..	36t,3	44t,2
— — du tender.....	18t,0	18t,0
Poids remorqué.....	216t	254t

2° *Sur le chemin de fer de Lyon*, les vitesses et les charges sont réglées d'après les principes suivants : l'inclinaison étant variable dans une même section, pour utiliser le travail des machines d'une manière aussi constante que possible, on admet que la vitesse doit varier en raison inverse de l'inclinaison des rampes. En tenant compte d'ailleurs des courbes, on suppose pour chaque section un profil fictif d'inclinaison uniforme; quand la section comprend des rampes très-différentes, on la divise en plusieurs parties, et l'on modifie la composition des trains de l'une à l'autre, ou bien on admet une charge constante minimum. Ainsi entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne, on a formé deux sections; la traction est faite par des machines du type Grand-Central à trois essieux couplés pesant 37 tonnes, avec tender isolé pesant 20 tonnes; ces machines remorquent sur la première section inclinée à 0m,0125, 220 tonnes, et sur la seconde inclinée à 0,022, 122 tonnes, c'est-à-dire à peu près la moitié. En hiver, les charges sont réduites de 20 p. 100.

Sur cette ligne la traction se faisait autrefois d'une façon très-désavantageuse, au moyen de chevaux; M. Verpilleux réussit à exécuter ce service avec des locomotives, malgré les difficultés du tracé et la faiblesse des rails; son système consistait à placer sous le tender une paire de cylindres, avec un mécanisme complet, agissant sur les roues et utilisant son adhérence; un tuyau flexible amenait la vapeur à ces cylindres.

Les deux types de machines du Grand-Central sont aussi employés pour remorquer des trains de 107 tonnes et 148 tonnes, à la vitesse de 15 kilom., sur la ligne de Dôle à Neufchatel, qui présente une rampe de 0,020 sur 18 kilom., entre Mouchard et Pontarlier et une autre de 0,016 à 0,020 sur 25 kilom., entre Auvernier et Boveresse.

3° *Sur le réseau de l'Est*, les sections sont partagées en quatre classes. On emploie pour les fortes rampes les machines du Creusot à trois essieux couplés pesant 32 tonnes, qui peuvent remorquer 280 tonnes, et le type Engerth modifié, à 4 essieux couplés et tender isolé, pesant 45 tonnes.

4° *Le chemin de fer de Turin à Gênes* a été terminé en 1853, dans des conditions exceptionnelles. Le passage des Apennins présente, entre Busalla et Ponte-Decimo, un tunnel de 3,300 mètres de long, en pente de 0,0287, auquel succèdent une pente de 0,035 sur 2500 mètres de longueur, et deux pentes, l'une de 0,0281, et l'autre de 0m,0208; le rayon des courbes atteint 400 mètres; ces obstacles sont accumulés sur une distance de 9k,400, qui rachète une hauteur de 271 mètres. La traction est faite au moyen de machines tenders accouplées dos à dos, pesant garnies 27 tonnes chacune. Elles remorquent des trains de 70 à 90 tonnes; elles ont deux essieux couplés et 72mc,15 de surface de chauffe; elles brûlent 38k,29 de coke par kilomètre parcouru, et le coke, à Gênes, coûte 75 fr. la tonne. Voici comment M. Couche formulait, en 1858, le résultat probable de ce mode de traction :

La dépense kilométrique de la voie deux ou trois fois plus grande que sur des rampes modérées ne dépassant pas 0,010;

Les dépenses d'entretien des machines, non compris le renouvellement, environ triplées, si on les rapporte au kilomètre de train, et dès lors presque décuplées, si on les rapporte à la tonne remorquée, le poids des trains étant réduit de plus des deux tiers quand on passe de l'inclinaison 0,010 à 0,030;

Une consommation de combustible que la seule participation du moteur grève d'un excédant de 60 p. 100, en admettant qu'elle soit simplement proportionnelle au poids brut élevé. Le moteur représente, en effet, 70 p. 100 du poids remorqué au lieu de 12 p. 100 sur une rampe de 0,010; mais la part spécifique du moteur est en réalité bien plus grande par suite des résistances qui lui sont propres.

5° Vers la même époque, *le passage du Semmering*, sur la ligne de Vienne à Trieste, appelait l'attention des ingénieurs sur les nouvelles machines dues à M. Engerth. Sur une distance de 41 kilomètres, entre Gloggnitz et Murzzuschlag, ce tracé présente des inclinaisons variables qui atteignent, sur d'assez grandes longueurs, de 0m,020 à 0m,038, et des courbes dont le rayon descend à 190 mètres. M. Engerth s'était proposé d'obtenir un générateur d'une grande puissance, qui devait par suite avoir une grande longueur, installé sur un véhicule se prêtant par sa flexibilité, au parcours des courbes, et en même temps, de faire servir à l'adhérence le poids entier des machines et de leurs tenders. On a été obligé de renoncer aux engrenages par le moyen desquels il établissait la solidarité nécessaire entre les roues motrices et les roues du tender, mais ses machines modifiées en couplant 4 essieux très-rapprochés n'en ont pas moins constitué un nouveau type de machines à marchandises d'une très-grande puissance. Les nouvelles locomotives du Semmering, pesant 66 tonnes, en utilisent 46 pour l'adhérence; à la vitesse de 15 kilomètres, elles remorquent des trains de voyageurs de 15 wagons ou 175 tonnes de marchandises : cette charge peut être réduite à 25 p. 100 par le mauvais temps. Les trains arrivant de Vienne comptent environ 350 tonnes brutes et sont généralement divisés en deux pour franchir la montagne. La dépense de traction qui était de 2 fr. 85 c. par kilomètre en 1860, était descendue à 2 fr. 16 c., en 1863; elle était en moyenne de 1 fr. 89 sur les autres sections de la ligne. La dépense d'entretien de la voie était de 10,719 fr. au Semmering, au lieu de 4,000 fr. sur les autres sections.

6° C'est aussi en 1854, que M. Elliet, ingénieur de *la ligne de Richmond à l'Ohio* (*Virginie*), a livré à la circulation le passage connu sous le nom de Blueridge top track, qui n'a pas encore été surpassé, à notre connaissance, comme hardiesse de tracé. Ce passage présente sur la longueur de 3,428 mètres de son versant Ouest une pente moyenne de 0m,0422, atteignant le maximum de 0,0533, et des courbes de 90 mètres de rayon; du côté de l'Est, sur une longueur de 4,215 mètres, la pente moyenne est de 0m,049, et la pente maximum de 0m,056; il y a une courbe de 71m,37 de rayon. Les locomotives, construites par M. Baldwin, de Philadelphie, sont montées sur six roues couplées, de 1m,067 de diamètre; les essieux extrêmes sont écartés de 2m,85. La machine pèse garnie 25 tonnes. Elle remorque un poids brut de 40

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à 43 tonnes, à la vitesse de 12 kilom. en montant, et de 9 à 10 en descendant.

7° Depuis lors d'autres solutions ont été produites. M. Beugniot a construit pour le passage des Apennins, entre Bologne et Pistoia, des machines qu'il appelle *locomotives de montagne*, et qui présentent des innovations très-remarquables. Elles sont à huit roues couplées; cependant elles passent dans les courbes de 100 mètres de rayon; elles peuvent remorquer 160 t. à la vitesse de 16 kilom. sur une rampe de 0,025 et 675 tonnes sur une rampe de 0,005. Nous ne saurions en donner la description sans sortir de notre cadre. Nous devons de même nous borner à citer les deux nouveaux types du Nord, parmi les appareils appelés à réaliser les plus grands avantages sous le rapport de l'économie et de la puissance : l'une de ces machines, modifiée par M. Beugniot, a circulé sur une rampe de 0,025, en courbe de 80 mètres, en remorquant un train.

8° Citons encore un exemple tout récent; il est bien propre à montrer que du moment que l'on admet la nécessité d'une double traction, il convient d'adopter la rampe qui l'utilise le plus complétement et que, dans les parties accidentées, le tracé doit être établi en vue du moteur à employer.

Le chemin de fer de Roanne à Lyon par Tarrare remonte la vallée de Rhin avec des pentes de 0 à 13 millimètres. Après la station de Tarrare, des pentes de 0,016 et 0,018 deviennent nécessaires pour atteindre le tunnel de Sauvages, dont la longueur serait de 5 kilomètres. Le profil du côté de Lyon présente une succession de pentes analogue.

On prévoit que les trains seront organisés sur cette ligne de façon qu'une machine sera suffisamment forte pour gravir des rampes de 13 millimètres et atteindre Tarrare. Mais à partir de là, pour ne pas diviser les trains, on prendra une machine de renfort. Dans ces conditions, on peut se demander à quelle rampe limite il faut s'arrêter avant d'entrer en souterrain, de manière à avoir un tunnel minimum.

Sur une rampe de $0^m,013$ une machine à trois essieux couplés, pesant avec son tender 50 tonnes et ayant 33 tonnes de poids adhérent, peut remorquer 200 tonnes à la vitesse de 35 kilomètres à l'heure. En effet, en employant la formule $T' = \frac{1}{5} V + 1000 tg\alpha$, on aura $(200+50)(13+7) = 5000$ soit environ $\frac{1}{7}$ du poids adhérent. Si on emploie une seconde machine sur la rampe x, la formule devient $300 (x+7) = 10000$, d'où $x = 26$. Il est donc rationnel d'établir le tracé en rampe de $0^m,026$ à partir de Tarrare; cela réduit le tunnel de 5 kilomètres à 3; on économise près de 4 millions et le travail est abrégé de trois ans.

9° Enfin on trouvera plus loin l'indication de quelques-uns des systèmes proposés ou essayés pour résoudre le problème des courbes et des rampes, par divers inventeurs, systèmes dont quelques-uns ont reçu la sanction de l'expérience et peuvent être admis dans des circonstances exceptionnelles.

Nous avons tenu dans ce paragraphe à nous borner aux systèmes les plus usuels.

5° *Considérations financières.*

L'étude des questions financières qui se rattachent aux entreprises de chemins de fer nous conduirait à des développements disproportionnés avec l'espace dont nous pouvons disposer ici; nous devons renoncer à les exposer à un autre point de vue que celui des dépenses de premier établissement; il est inutile de faire ressortir les liens intimes de ce sujet avec celui que nous venons de parcourir dans le paragraphe précédent, et l'utilité des éclaircissements qui suivent pour apprécier les éléments de la comparaison entre divers tracés.

Frais de premier établissement, par kilomètre. — Une bonne classification des dépenses est le premier point de départ de toute estimation des frais de premier établissement.

Les détails suivants empruntés pour la plupart aux documents statistiques publiés en 1856 par l'administration Française, et complétés par quelques renseignements plus récents donneront une idée de l'importance relative des diverses natures de dépense.

On se rappellera que ces renseignements se rapportent à des moyennes kilométriques, et que les chiffres indiqués ne sauraient avoir une valeur absolue.

1° *Frais généraux.* — Ils comprennent les frais d'étude; les frais d'administration avant la concession, qui s'élèvent très-haut dans certains pays, en Angleterre, par exemple; les dépenses de l'administration centrale en personnel, matériel, publicité, voyages, etc.; les appointements des ingénieurs et de leurs agents, et leurs frais divers; les frais judiciaires, secours et indemnités, service médical, etc. Ils représentent de 3 à 7 p. 100 de la dépense totale.

Les frais d'étude proprement dits coûtent pour un avant-projet de 100 à 200 fr.; les études définitives de 1,400 à 2,100 fr. par kilomètre.

On comprend aussi d'ordinaire parmi les frais généraux l'intérêt des actions et obligations payé sur le capital pendant la construction, et les intérêts pour versements anticipés, en déduisant les intérêts perçus sur le placement des fonds. Cette dépense dépasse rarement 5 p. 100 du capital.

2° *Acquisition des terrains.* — Les 4,063 kilomètres exploités en 1853 occupaient, pour deux voies, en moyenne $3^h,4$ par kilomètre, entre les limites de $1^h.6$ et $5^h.2$ (Paris à Lyon), savoir :

Voie ou largeur en couronne.	$0^h.9$	26 p. 100.
Stations, ateliers, cours, voies d'évitement.	0 .3	9 —
Talus, fossés, banquettes, perrés.	1 .7	50 —
Déviations de chemins et cours d'eau, hors clôtures. .	0 .4	12 —
Terrains pouvant être revendus.	0 .1	3 —
Totaux. . .	3 .4	100

Ainsi de toute la superficie occupée par les chemins de fer 0,15 étaient en dehors des clôtures, et 0,85 seulement étaient réellement utilisés par la voie et les gares.

Bien que les stations n'entrent que pour 0,09 dans la superficie totale, leur part dans la dépense d'acquisition des terrains est bien plus considérable, surtout pour les gares principales, situées au milieu des grandes villes. Voici quelques renseignements sur les terrains des stations :

Nord.	Gare de voyageurs, à Paris.	$7^h.90$	$41^h.90$
	Ateliers de La Chapelle. . .	$14^h.00$	
	Gare de marchandises. . . .	20. 80	
Est.	Gare des voyageurs, à Paris.	5. 60	$40^h.10$
	Ateliers de La Villette . . .	14. 50	
	Gare des marchand. et voies.	20. 00	
Ouest	Gare des voyageurs à Paris.	12, 50	$45^h.29$
	Ateliers de Batignolles . . .	12, 68	
	Gares à marchandises. . . .	28, 71	
Grandes gares intermédiaires		8 à 12^h	
Stations d'embranchement		6 à 7	
— de banlieue.		0,10 à 0,40	
Gares intermédiaires 1re classe. . .		3 à 6.5	
— 2e —		2,5	
— 3e —		1.5 à 2	
— 4e —		0,5 à 1	

En France, dans des conditions moyennes, la dépense d'acquisition des terrains est de 30,000 fr. par kilomètre, à raison de 9,000 environ par hectare : mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette dépense est susceptible de variations énormes, comme le montrent les exemples suivants :

Nord	par kil.	47,000f
Est	—	54,000
Paris au Havre	—	72,000
— à Lyon	—	80,000
— à Orléans	—	69,000
— à Saint-Germain	—	406,000
— à Versailles, rive droite	—	83,000
— à Versailles, rive gauche	—	477,000
— à Vincennes	—	225,000
Andrézieux à Roanne	—	48,000

L'hectare s'est payé 830,000 fr. à Paris, 91,000 fr. à La Chapelle, 190,000 fr. à La Villette.

Ce genre de dépenses n'est pas moins variable d'un pays à l'autre : en Angleterre, l'hectare se paie moyennement de 15 à 20,000 fr.; en Allemagne ce prix serait exceptionnel et la moyenne varie de 2 à 4,000 fr.; en Amérique les terrains sont très-souvent cédés gratuitement.

Les acquisitions de terrain sont l'élément de la dépense le plus incertain et le plus difficile à évaluer d'avance. On pourrait en citer de nombreuses preuves. Le terrain occupé à la barrière du Maine par l'ancienne gare de Versailles (rive gauche) avait été évalué 177,000 fr., il a été porté par le jury à 3,016,000 fr.; les projets du gouvernement avaient estimé à 1,500,000 fr. les frais de même nature entre Paris et Orléans ; ils se sont élevés à 8,491,000 fr.

Les prétentions des propriétaires et la faiblesse des jurys sont arrivés à un tel degré, qu'elles créent un véritable obstacle à l'extension du réseau. Il ne paraît pas exister d'autre moyen de revenir à une application raisonnable de la loi d'expropriation, que de mettre à la charge des départements et des communes intéressés le surplus des indemnités allouées par le jury, au delà d'une certaine somme réglée par une estimation préalable, faite de concert entre les représentants des localités et l'administration.

La crainte de faire peser directement sur leurs concitoyens des charges exagérées encouragerait probablement les membres des jurys d'expropriation à montrer plus de réserve et d'équité.

3° *Terrassements.* — Dans des conditions moyennes, pour deux voies, la dépense est de 67,424 fr. par kilomètre, y compris les travaux de consolidation : elle a varié de 35,082 fr. (3e section de Paris à Strasbourg) à 106,601 fr. (Tours à Nantes). On peut citer encore les renseignements suivants :

DÉSIGNATION DES LIGNES.	DÉPENSE par kilomètre.	PRIX du mètre cube transports compris.	NOMBRE de mètres cubes par mètre courant.	OBSERVATIONS.
	fr.	fr.	mèt. cub.	
Chemins belges	9,000	0 76	12.60	»
Saint-Quentin	32,000	1 39	23.00	»
Rouen	30,000	1 60	25.50	»
Tours à Poitiers	99,000	2 05	»	Distance 4000 mètres.
Quelques chemins anglais	130,000	2 61	»	Rochers.
Paris à Mulhouse	40,000	»	»	»
Paris à Orléans	»	1 50	33.00	»
Nimes à Montpellier	»	1 45	»	»
Versailles (Rive gauche)	»	»	72.00	»
La Loupe au Mans et à la limite de la Mayenne.	47,830	1 19	38.73	
Saint-Germain-des-Fossés à Roanne	109,000	2 10	52.00	*Annales des Ponts et Chaussées.*
Poitiers à La Rochelle	59,067	1 93	30.64	
Tours au Mans	51,330	1 37	37.34	
Nantes à Saint-Nazaire	69,416	2 28	30.48	
Savenay à Lorient	63,502	1 92	31.23	
Lorient à Châteaulin	75,726	2 06	36.00	Rapport de M. Morandière.
Auray à Napoléonville (une voie)	37,661	2 01	17.79	

La difficulté d'une reconnaissance exacte du terrain dans les tranchées profondes jette un peu d'incertitude sur les évaluations des terrassements.

Pour une ligne à une voie, on peut diminuer de 1/5 la dépense des terrassemens.

4° *Ouvrages d'art courants.* — Dans des conditions moyennes la dépense est de 21,966 fr., variant de 12,691 fr. (3e section de Paris à Strasbourg), à 28,881 fr. (Centre). Cette dépense entrerait environ pour 25 p. 100, dans l'ensemble des frais relatifs aux terrassements et ouvrages d'art.

5° *Ouvrages exceptionnels.* — On comprend sous cette dénomination les grands ponts, ayant plus de 20 mètres de distance entre les culées, dont le prix par mètre courant peut varier de 1,000 à 10,000 fr.; les viaducs sous rails d'une hauteur moyenne de 10 mètres au moins, dont le prix par mètre courant peut s'élever de 1,000 à 5,000 fr.; les souterrains dont le prix par mètre courant peut varier de 400 à 2,300 fr. Ici les chances d'erreurs dans les évaluations proviennent de la difficulté de se rendre parfaitement compte à l'avance des travaux de fondation et du renchérissement qui peut survenir dans la main-d'œuvre locale, par suite d'une demande inaccoutumée; ce renchérissement varie de 10 à 20 p. 100.

Ce genre de dépenses n'est pas susceptible d'une répartition kilométrique; il forme une catégorie à part; on ne peut établir ses appréciations que par une étude détaillée de chaque ouvrage. On trouvera toutefois dans le tableau de la page suivante quelques exemples qui pourront servir de terme de comparaison.

Des documents officiels, publiés récemment sur les conditions techniques d'établissement du réseau Français, nous permettent d'ajouter les renseignements suivants; ils se rapportent à la situation au 31 Décembre 1862 et à un développement de 11099 kilomètres exploités.

PASSAGES pour ROUTES ET CHEMINS.	NOMBRE total.	NOMBRE par kilomètre.	Proportion p. 100.
Passages sous rails	5,089	0,46	35
— à niveau	6,971	0,63	48
— sur rails	2,391	0,21	17
Ensemble	14,451	1,30	100

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DÉSIGNATION DES LIGNES.	LONGUEUR des ouvrages.	DÉPENSE D'ÉTABLISSEMENT totale.	DÉPENSE D'ÉTABLISSEMENT par mètre courant	OBSERVATIONS.
1° *Ponts de plus de 20m de longueur entre les culées.*		mètres.	francs.	francs.	
Bouchemaine	Angers à Nantes	155	780,000	5,032	Sur le Maine.
Sur le Cher	Tours. Bordeaux	162	380,000	2,346	
Roanne	Bourbonnais	217	1,108,103	5,106	Sur la Loire; maçonnerie,
Nevers	Id.	324	1,560,892	4,853	Id. 8 arches en fonte.
Le Plessis-lez-Tours	Tours au Mans	402	1,478,000	3,677	Id. maçonnerie.
Le Mée	Paris à Lyon	130	1,276,500	9,819	Sur la Seine; 3 arc. en fonte de 40m d'ouverture,
Bercy	Ceinture	188	2,236,905	11,867	Id. maçonnerie; voie de fer et de terre.
Asnières	Paris. Saint-Germain.	160	1,247,378	7,766	Id. tôle; quatre voies.
Kehl	Est	233	7,528,000	32,376	Sur le Rhin; métallique; 2 ponts tournants.
Tarascon	Tarascon à Nîmes	490	6,397,348	13,056	Sur le Rhône, 7 arches en fonte.
Barbentane	Avignon. Marseille.	490	3,632,823	7,414	Sur la Durance; 21 arches en maçonnerie de 21 m. d'ouv.
Bordeaux	Midi	500	2,828,200	5,656	Sur la Garonne; tôle et fer; fondations par air comprimé.
Langon	Id.	207	1,302,000	6,720	Id. tôle.
Moissac	Id.	307	2,572,250	8,384	Sur le Tarn; tôle.
527 grands ponts	Diverses	41,597	151,425,119	3,640	Documents officiels publiés en 1865.

2° *Viaducs de plus de 20m de hauteur moyenne.*					Hauteur maxima.	Superficie en élévation.	Prix par mètre carré en élévation.	
Fribourg	Lausanne à Berne	396	2,400,000	6,060	76	20513	117f	Piles et tablier métalliq.
Gouët	Rennes à Brest	228	1,453,500	»	57	»	»	Maçonnerie,
Morlaix	Id.	284	»	»	60	»	117	Id.
Busseau d'Ahun	Montluçon. Limoges.	339	»	4,291	56.50	11914	122	Piles et tablier métalliq.
La Cère	Id.	208	773,000	2,506	55.30	10039	77	Id. (1 voie).
Foller et Bersac	Vierzon. Limoges	180	1,321,119	7,323	50.95	6451	205	Maçonnerie.
Chaumont	Paris. Mulhouse	606	5,800,878	6,668	50	21983	245	Id.
Musinens	Lyon. Genève	158	462,500	2,934	50	3700	125	Id.
Fleury et Velars	Paris. Lyon	220	996,450	4,530	44	7920	126	Id.
Coye	Nord	330,80	900,000	2,721	40	9778	92	Id.
Boussagues	Graissessac	711	785,000	1,104	37	14220	57	Id.
Barentin	Rouen. Havre	478	2,151,000	4,500	32.85	10669	»	Id.
Lusignan	Poitiers. La Rochelle.	435	1,034,500	2,379	31.58	10880	95	Id.
Nogent-sur-Marne	Paris. Mulhouse	595	2,347,500	4,935	»	11428	205	Id.
Rives	Dauphiné	277	1,000,000	3,614	41.50	8597	116	Id.
151 viaducs	Diverses	29,419	79,194,889	2,692	»	»	158	Id.

3° *Tunnels.*					
La Nerthe	Avignon. Marseille.	4,638	10,499,311	2,263	Documents officiels publiés en 1865.
Blaisy	Paris. Lyon	4,100	7,910,000	1,929	
Le Credo	Lyon. Genève	3,949	6,463,404	1,640	
Rilly	Épernay. Rheims	3,450	2,534,617	735	
Hebertot	Honfleur	2,900	2,769,078	955	
Marnay	Paris. Mulhouse	200	617,724	3,089	
Surjoux	Lyon. Genève	152	427,151	2,810	Argiles et sables verts.
Chalifert	Paris. Strasbourg	168	408,032	2,422	Marnes aquifères.
Souterrains de moins de 500m	Diverses	5,661	7,245,403	1,280	Enquête de 1856.
Souterrains de 500 à 1000m	Id.	3,404	4,630,903	1,375	Id.
Souterrains de plus de 1000m	Id.	20,280	32,511,544	1,557	Id.
306 souterrains	Id.	147,372	202,061,945	1,371	Documents officiels publiés en 1865.

La longueur moyenne d'un grand pont est de 79 mètres; le prix moyen par mètre courant est de 3,640 fr.; l'ouverture moyenne d'une arche est d'environ 14 mètres correspondant à une dépense de 50,746 fr., et de 440 fr. par mètre superficiel de voie. Sur les 527 grands ponts mentionnés ci-dessus, 339 sont en maçonnerie, 122 en métal, 19 en bois, 17 d'un système mixte.

L'espacement moyen des passages pour routes et chemins est de 768 mètres.

Les diverses catégories d'ouvrages d'art donnent les résultats généraux qui suivent :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INDICATION DES OUVRAGES.	NOMBRE total.	NOMBRE par kilomètre.	LONGUEUR Ensemble entre les culées.	LONGUEUR par kilomètre.
1° *Ponts et viaducs sous rails*				
Ponceaux et aqueducs de moins de 5m d'ouverture..	15642	1.40	mètres. 25861	mètres. 2,33
Ponts de 5m à 20m entre les culées.....	1803	0.16	15500	1.39
Ponts de plus de 20m entre les culées.....	627	0.05	41597	3.75
Ensemble.....	17972	1.62	82959	4.47
2° *Viaducs*				
De plus de 10m de hauteur moyenne.....	151	0.01	29419	2.65
3° *Souterrains*.....	306	0.03	147372	13.28
Ensemble des grands travaux d'art.....	984	0.09	218887	19.68

La longueur moyenne d'un grand viaduc est de 194 mètres; la dépense est de 2,692 fr. par mètre courant, et de 158 fr. par mètre superficiel d'élévation.

La longueur moyenne d'un souterrain est de 482m, et la dépense de 1,371 fr. par mètre linéaire.

Nous citerons encore quelques renseignements empruntés à une récente publication de M. Morandière, relative au chemin de fer de Nantes à Brest; ils donneront une idée des dépenses de divers ouvrages courants. Le prix du mètre cube de maçonnerie était, en moyenne, dans les divers cas énumérés ci-dessous, d'environ 31 fr. Les ouvrages sont exécutés pour deux voies.

6° *Clôtures et passages à niveau.* — En principe, nos chemins de fer doivent être entièrement clos; la nécessité de cette mesure n'est pas partout également démontrée, et l'administration pourrait tolérer des exceptions, dans les montagnes, par exemple. Ces clôtures sont faites dans les pays d'herbages en barrières à trois lisses qui coûtent 0 fr. 45 c. le mètre courant, et habituellement, en treillages qui coûtent 0 fr. 75 c.; en dedans de ces défenses on plante des haies destinées à les remplacer plus tard; ces haies coûtent 0 fr. 80 le mètre courant, y compris leur entretien pendant dix ans.

INDICATION DES OUVRAGES.	OUVERTURE	HAUTEUR sous clef.	LONGUEUR moyenne entre les têtes.	DÉPENSES par OUVRAGE.
1° *Ouvrages en maçonnerie.*	mètres.	mètres.	mètres.	francs.
Pont par dessous.....	10.00	5.87	8.20	38,746
—	4.00	4.76	13.72	15,378
Ponceaux divers.....	2.60	2.71	13.29	7,503
Aqueducs divers.....	1.00	2.51	15.75	5,879
—	1.00	1.80	16.67	3,530
—	0.60	0.78	14.69	1,438
Ponts par dessus.....	16.00	5.45	4.64	12,504
—	9.70	5.30	4.50	12,121
2° *Ouvrages à poutres métalliques.*				
Ponts par dessous.....	9.80	4.40	8.10	27,359
—	4.00	4.30	8.10	13,815
—	3.00	3.12	8.10	8,023
Ponts divers par dessous.....	20.00	4.85	5.30	23,328
—	16.00	4.96	4.40	16,247
—	10.70	5.00	4.60	20,402

On peut évaluer les dépenses de clôtures, maisons de garde et passages à niveau, de la manière suivante, par kilomètre :

Clôtures, 2,300m par kilom. à 1f80 le mètre.		4140f	50,7 %
Maisons de garde,	0,64 à 5,000f l'une..	3200	39,2
Passages à niveau,	0,68 à 1,200f l'un...	816	10,1
	Totaux.....	8156	100,0

7° *Bâtiments, gares et stations, ateliers et remises.* — Ces dépenses sont au nombre de celles sur lesquelles on peut réaliser les économies les plus notables sur les lignes secondaires, où il n'y a pas de stations exceptionnelles à construire. On compte en moyenne en France 0,14 stations par kilomètre, ce qui correspond à un espacement moyen de 7 kilomètres, variant de 3 kil. (Paris à Saint-Germain), à 10 kil. (Dieppe). Sur 100 stations, 21 sont pourvues de dépôts et 40 de moyens d'alimentation.

Les stations se répartissent en classes, d'après leur importance, approximativement, de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	HORS CLASSE.	1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.	TOUTE CLASSE.
Nombre des stations (1862).....	9	186	366	987	1548
Proportion 0/0 sur le nombre total des stations....	0,6	12.0	23.6	63.8	100
Dépense moyenne sur l'ensemble d'une station....	5,000,000f	400,000f	190,000f	40,000f	»
— maximum —	»	900,000f	200,000f	60,000f	»
— minimum —	»	200,000f	80,000f	10,000f	»
Par kilomètre, proportion 0/0 sur la dépense (1853).	»	0,50	0,14	0,41	1,00
— dépense effective.....	»	6,000f	1,500f	4,400	11,000f

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On a considéré, dans ce tableau, comme stations de première classe, celles dont la recette est supérieure à 500,000 fr., et comme stations de seconde classe, celles dont la recette est comprise entre 500,000 et 100,000 fr.

8° *Mobilier des gares et stations.* — Ces dépenses comprennent le mobilier des salles d'attente et bureaux, les appareils d'éclairage, de chauffage, d'horlogerie, de pesage, de levage, etc., et l'outillage des ateliers et dépôts. En laissant de côté comme précédemment les stations hors classe, on peut admettre une dépense moyenne de 2,700 fr. pour les lignes à deux voies, et 2,400 fr. pour les lignes à une voie, comprise entre les limites de 1500 à 3,300 fr. Le mobilier des gares et stations forme environ 0,35 de cette dépense.

9° *Voie.* — Les frais d'établissement de la voie sont le ceux qu'il est possible d'évaluer avec le plus de certitude. Pour les lignes à deux voies, on peut admettre le chiffre moyen de 115,000 fr., variant entre 80,000 et 120,000 fr.; cette dépense varie avec le volume et le prix des éléments de la voie; ces prix sont très-changeant, ainsi que le montrent les renseignements suivants :

Rails.

1828.	Saint-Etienne.	50f les 100 kil.
1838.	Saint-Germain	42 —
1840.	Nord.	40 —
1846.	Est.	35 —
1852.	Metz à Thionville.	25 —
1857.	Mulhouse.	27 à 29 —
1864.	Ouest.	18 —

Coussinets.

1838.	Saint-Germain	35f les 100 kil.
1852.	Est.	16 —
1854.	*Id.*	20 —
1857.	Tours au Mans.	24 —
1856.	Nantes à S.-Nazaire.	22f,40 —
1864.	Ouest	14f,50 à 16 —

Traverses.

1856.	Metz à Sarrebruck.	75f le m. cube.
1852.	Thionville.	44 —
1858.	*Id.*	55 —
1854.	Paris.	75 —
Id.	Vesoul.	55 —
1856.	Poitiers à La Rochelle. . . .	6 fr. la pièce.

Ballast.

Saint-Germain.	2f le m. cube.
Poitiers à La Rochelle.	2,82 —
Nantes à Saint-Nazaire	3,34 —
Savenay à Lorient.	4,87 —
Lille à la frontière	10 —

On compte 0m,50 de ballast en plus par mètre courant, pour compenser le tassement et le relèvement des voies pendant les deux premières années d'exploitation.

Chevillettes.

1856.	Poitiers à La Rochelle. . . .	45f les 100 kil.
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	

Coins en bois.

1856.	Poitiers à La Rochelle . . .	0f,125 la pièce.
	Nantes à St.-Nazaire	0,110 —

Éclisses.

1857.	Tours au Mans.	38f les 100 kil.
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	37 —

Boulons d'éclisses.

1857.	Tours au Mans.	66f,50 —
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	

Sabotage.

1856.	Poitiers à La Rochelle. . . .	0f,15 le mètre.
1857.	Tours au Mans.	

Pose, comprie transports et accessoires.

1856.	Poitiers à la Rochelle. . . .	4f,00 le mètre.
1857.	Tours au Mans	3,45 —
	Nantes à Saint-Nazaire . . .	5,64 —

Le mètre courant de voie, y compris le ballastage.

1856.	Poitiers à la Rochelle. . . .	42f,60 le mètre.
1857.	Tours au Mans.	43,50 —
	Nantes à Saint-Nazaire. . . .	48,21 —

Dans la dépense totale, le ballast entre pour 14 à 20 p. 100; la pose pour 4 à 9 p. 100; les fournitures pour 74 à 82 p. 100.

On a tenu compte dans ces évaluations du développement des voies auxiliaires, qui peut atteindre environ 33 p. 100 du développement total. Dans les gares principales, ces voies offrent une longueur considérable; ainsi, au chemin de fer de l'Est, on compte :

A la gare de Paris	2,000m	49,400m
Id. de La Villette (marchandises).	12,000	
Aux ateliers *id.*	4,000	
Au dépôt *id.*	1,400	
A la gare de Nancy.		3,851
— de Strasbourg		6,882
— de Metz		4,600

Pour un chemin à simple voie, les dépenses peuvent être réduites à 62,700 fr. en moyenne.

Voici, du reste, à l'appui de ce qui précède, le décompte d'un mètre linéaire de voie en rails Vignole de 6 mètres de longueur, pesant 36 kil. le mètre linéaire, sur la ligne de Savenay à Lorient :

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	QUANTITÉ.	PRIX élémentaire.	DÉPENSE.
UNE TRAVÉE DE 6 MÈTRES :	kil.	fr.	fr.
2 rails pesant chacun 216 kil.	432,00	274,90	118,76
2 paires d'éclisses pesant ensemble.	20,00	335,40	6,71
8 boulons d'éclisse de 0k,70 chacun.	5,60	404,20	2,26
2 selles de joint de 3k,20 chacune.	6,40	340,20	2,18
82 crampons de 0k,48 chacun.	12,80	386,60	4,95
7 traverses cubant moyennement 0m,09.	7,00	6,43	45,01
Sabotage.	7,00	0,15	1,05
Ensemble pour une travée de 6 mètres.			180,92
Soit pour un mètre linéaire.			30,15
Pose des voies, transport, entretien, accessoires.			2,42
Ensemble.			32,57
Ballastage 2m,38 à 4f,87.			11,58
Total.			44,15
Changements et croisements, plaques tournantes.			2,78
Total.			46,93

10° *Accessoires de la voie.* — Ces dépenses sont ordinairement comprises entre 5,000 et 7,000 fr.; en général, elles s'élèvent à 5,700 fr. : dans ce chiffre, les plaques tournantes entrent pour 57 p. 100, les changements de voie pour 29 p. 100; les signaux fixes et l'outillage de la voie, pour 14 p. 100. Ensemble elles montent à 5 p. 100 environ des frais d'établissement de la voie.

11° *Alimentation des machines.* — Ces frais d'établissement sont très-variables; la somme de 1,000 fr.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peut être considérée comme une moyenne suffisante dans les conditions ordinaires.

12° *Télégraphie électrique.* — Un poste télégraphique vaut, tout installé, environ 720 fr.; les poteaux coûtent 150 fr. par kilomètre, et un fil avec ses accessoires 100 fr.

L'ensemble de ces dépenses peut être évalué à 470 fr. par kilomètre, en admettant que la Compagnie pose les poteaux et les fils, et à 100 fr. par chaque fil en sus du premier.

13° *Matériel roulant.* — Connaissant le nombre total des trains simples à faire circuler dans une année, on le multiplie par le nombre de kilomètres à parcourir; le produit est le nombre total de kilomètres parcourus par les machines. Or, les machines à voyageurs et les machines mixtes peuvent parcourir chacune, dans une année, de 24 à 29,000 kilomètres; les machines à marchandises de 30 à 38,000 kilomètres; les machines Crampton de 46 à 53,000 kil. On pourra donc calculer approximativement le nombre des locomotives nécessaires; et on y ajoutera les machines de gare et de réserve.

Les machines faisant environ 25,000 kilom. attelées aux trains, cela répond à 63 kil. en moyenne par jour; en service les machines font 200 kil.; il y aura donc en général deux machines au dépôt pour une sur la voie.

Le prix des locomotives a augmenté depuis quelques années avec leur poids; elles coûtaient, en 1846, 45 à 48,000 fr.; en 1854, 50 à 55,000 fr., et les machines Crampton 66,000 fr.; aujourd'hui on paie les locomotives à raison de 1,75 à 2 fr. le kilogramme, pour les types ordinaires, pesant de 26 à 30 tonnes; les tenders pesant environ 10 tonnes coûtent 0f,95 le kilogramme.

Pour déterminer le nombre des wagons, il faut chercher le parcours kilométrique annuel de l'ensemble des wagons, qui s'obtient en multipliant le parcours total des trains simples par le nombre de wagons qui composent un train moyen, et diviser ce produit par le parcours moyen annuel d'un wagon. La solution est susceptible de beaucoup moins de précision que pour les locomotives, surtout en ce qui concerne le service des marchandises. En moyenne, les wagons de voyageurs parcourent de 29 à 39,000 kil.; les wagons de 1re classe qui composent exclusivement les express, font plus de chemin que les autres; les fourgons à bagages parcourent 52 à 60,000 kilom.; les wagons à marchandises 15,000 à 28,000 kilom.; les wagons de terrassement et trucks offrent le parcours minimum.

Voici, du reste, le tableau de la composition actuelle du matériel de quelques grandes lignes :

NATURE DES VÉHICULES.		NORD.	EST.	OUEST.	MIDI.
Locomotives	à marchandises	265	264	»	111
	mixtes	»	193	»	123
	de gares	35	25	»	10
	à voyageurs	231	149	»	41
	Ensemble	531	631	481	285
Voitures des trains de voyageurs.	de luxe	7	11		23
	1re classe	227	259		118
	mixtes	61	112	1566	107
	2e classe	233	481		157
	3e classe	375	750		351
Fourgons, trucks, etc...		629	540	552	345
Wagons à marchandises, terrassements, etc.		13239	11024	7955	8625

On a déjà donné plus haut la situation du matériel pour l'ensemble du réseau.

D'après les documents statistiques, la dépense du matériel roulant pourrait être estimée à 48,000 fr. par kilomètre pour les lignes à deux voies, et à 24,000 fr. pour les lignes à une voie. Les locomotives et tenders prennent 40 à 50 p. 100 de la dépense totale; les voitures à voyageurs 16 à 18 p. 100. Cette dépense est sensiblement proportionnelle à la fréquentation diurne en trains; elle est moyennement de 2,400 fr. par train journalier.

Voici enfin le prix de diverses natures de véhicules :

DÉSIGNATION.	Caisse et châssis.	Divers.	Totaux.
Voitures de 1re classe	8620f	»	
2 paires de roues de 815 kilog. à 0f,55	»	896.50	
4 boîtes à huile à 25 fr.	»	100.00	10102
4 ressorts de suspension à 65 kil.	»	»	
2 — de traction à 80 kil.	»	»	
Ensemble 420 kil. à 0f,95	»	400.00	
3 appareils d'éclairage à 28f,50.	»	85.50	
Voitures de 2e classe	6180	1500	7680
Voitures de 3e classe	3730	1500	5230
Fourgons à bagage	2650	»	
Frein	»	500	4550
Roues, etc.	»	1400	
Wagons à bestiaux	1650	»	
Ressorts	»	200	3100
Roues, etc.	»	930	
Bénéfice	»	320	
Wagons à houille	1300	»	
Roues, ressorts.	»	1130	2700
Bénéfice, etc.	»	270	
Wagons plats, maringotes	1100	»	
Roues, ressorts.	»	1130	2450
Bénéfice, etc.	»	220	

Résumé. — Daprès les documents statistiques, on pouvait admettre, en 1856, pour les chemins de fer établis dans des conditions ordinaires, les bases suivantes d'estimation par kilomètre :

INDICATION des DÉPENSES.	LIGNES à une voie.		LIGNES à deux voies.	
	DÉPENSE.	Proportion p. °/o	DÉPENSE.	Proportion p. °/o
Frais généraux	11,399	5.0	16,486	5,0
Acquisition de terrains.	30,718	13,5	30,718	9,3
Terrassements et ouvrages d'art	75,905	33,3	89,390	27,1
Voie de fer et accessoires	65,850	28.9	120,700	36,6
Gares et dépendances.	10,000	4,4	14,000	4,2
Dépenses diverses.	10,103	4,4	10,418	3,2
Matériel roulant	24,000	10,5	48,000	14,6
Totaux	227,975	100.0	329,712	100.0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les lignes principales de France avaient coûté par kilomètre.	463,000f
En 1863, on comptait que la dépense pour l'ensemble du réseau (20,392 kil. coûtant 8,750,000,000), serait de . .	428,000
En Angleterre, on compte	530,000
En Belgique (chemins de l'État)	270,000
En Allemagne	201,000
Aux États-Unis	96,500

On doit remarquer que les estimations des dépenses peuvent être faites aujourd'hui avec beaucoup plus de précision qu'autrefois; par suite de l'expérience acquise et de la multiplicité des termes de comparaison, on n'est plus exposé aux mêmes déceptions.

VII. EXÉCUTION, ORGANISATION, EXPLOITATION, SÉCURITÉ.

1° Systèmes d'exécution des chemins de fer.

Les chemins de fer peuvent être exécutés par l'état ou par des compagnies. Le premier système tend de plus en plus à disparaître; le second est appliqué, dans son acception la plus large en Angleterre et aux États-Unis; les compagnies, concessionnaires à perpétuité, jouissent dans ces deux pays de la plus entière liberté sous tous les rapports. Les inconvénients du monopole sont balancés par la concurrence des lignes rivales. Entre les deux extrêmes, il est des termes moyens, et si la force naturelle des choses conduit à recourir aux compagnies, lors même que les résultats financiers d'une entreprise s'annoncent sous un aspect peu favorable, l'état peut stimuler l'intérêt privé en venant à son aide de diverses manières; soit en souscrivant une partie du capital comme actionnaire, soit par des subventions en argent, en travaux, en terrains (États-Unis), soit par une garantie d'intérêt, disposition qui paraît aujourd'hui généralement préférée. En compensation, et indépendamment de la surveillance que lui impose son rôle de gardien de la sécurité et des grands intérêts publics, l'état se réserve un droit de contrôle et d'intervention permanente, afin de veiller à la tenue régulière des comptes de dépenses et de recettes, dans lesquels il est partie intéressée, et d'obvier, s'il est besoin, aux abus du monopole.

Ce n'est pas ici le lieu d'énumérer les raisons nombreuses qui font donner la préférence aux compagnies; la tâche du gouvernement est assez compliquée; l'exploitation des chemins de fer, en le mettant aux prises, sur tous les points et à chaque instant, avec tous les intérêts, la rendrait singulièrement plus lourde. Sans insister davantage, nous nous bornerons à indiquer la situation présente des compagnies en France.

Les concessions françaises sont concentrées entre les mains de six compagnies principales, concessionnaires pour 99 ans : chaque groupe est divisé en deux réseaux, l'ancien et le nouveau, savoir :

DÉSIGNATION des COMPAGNIES.	ANCIEN RÉSEAU.		NOUVEAU RÉSEAU.		ENSEMBLE.		RECETTES par kilomètre.	
	Exploité.	Concédé.	Exploité.	Concédé.	Exploité.	Concédé.	Ancien réseau.	Nouveau réseau.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	francs.	francs.
Nord	1053	1096	122	513	1175	1609	67591	20878
Est	977	979	1577	2108	2494	3087	51278	24370
Ouest	900	900	782	1608	1682	2508	58534	13599
Orléans	1762	1765	1137	2446	2899	4211	43034	16124
Lyon	2008	2605	1198	3174	3206	5779	71962	30449
Midi	797	797	514	1382	1311	2179	38766	9203
Divers	258	»	»	»	258	1007	»	»
Totaux	7755	8142	5270	11231	13025	20380	55788	20868
Reste à ouvrir au 1er janvier 1865					7355		42380	

	PAR L'ÉTAT.	PAR LES COMPAGNIES.	ENSEMBLE.
Sur les 13,025 kilomètres exploités au 1er janvier 1865, il avait été dépensé	970,000,000f	5,530,000,000f	6,500,000,000f
Sur les 7,355 kilomètres restant à ouvrir, il restait à dépenser	470,790,000	2,130,000,000	2,600,790,000
Soit en totalité	1,440,790,000	7,660,000,000	9,100,790,000
Soit par kilomètre	70,700	357,800	446,500

Les relations de l'état et des compagnies sont réglées par les lois de concession de chacune d'elles, par les cahiers des charges annexés et par les conventions en date des 11 juin 1859 et 11 juin 1863. Entre autres clauses, dans ces actes sont stipulés le droit de rachat des concessions par l'état après quinze ans d'exploitation; les causes qui pourraient motiver la déchéance des compagnies; les tarifs, et les conditions de leur application; les servitudes imposées aux compagnies pour les transports militaires, de la poste, les frais de contrôle, etc.; la classification des lignes appartenant à l'ancien et au nouveau réseau; le mode de payement des subventions; la garantie pendant cinquante ans de l'intérêt et de l'amortissement à 4 p. 100, soit ensemble 4,655, du capital affecté à la construction du nouveau réseau, capital limité pour chaque groupe à des sommes déterminées, dont l'ensemble pour toutes les compagnies s'élève à 4,038,500,000 francs, représentant une annuité de 188,000,000 francs; pour l'application de cette garantie, il est établi deux comptes distincts du produit net, l'un pour l'ancien, l'autre pour le nouveau réseau; à partir d'un instant convenu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(1er janvier 1865, excepté pour l'Est 1864), toute la portion des produits nets de l'ancien réseau qui excèdera un revenu net déterminé, soit, par exemple, 29,000 fr. par kilomètre, sera appliquée concurremment avec les produits nets du nouveau réseau à couvrir l'intérêt et l'amortissement garantis par l'état, et lorsque celui-ci aura payé tout ou partie d'une annuité garantie, il en sera remboursé, à toute époque, avec les intérêts à 4 p. 100, dès que les produits nets additionnés, comme ci-dessus, dépasseront l'intérêt et l'amortissement garantis : enfin, il est stipulé qu'à partir du 1er janvier 1872, lorsque l'ensemble des produits nets de l'ancien et du nouveau réseau excédera la somme nécessaire pour représenter à la fois 6 p. 100 du capital dépensé pour la construction du nouveau réseau et 8 p. 100 du capital de l'ancien, le surplus sera partagé par moitié entre l'état et les compagnies.

On estime à environ 80,000,000 de fr. la somme que l'état devra payer en garantie d'intérêts, au moins pendant les premières années d'exploitation du nouveau réseau, quand il sera terminé. Pour 1866, on l'évalue à 31 millions.

2° *Organisation administrative et exploitation.*

Les compagnies de chemins de fer sont constituées en sociétés anonymes, administrées par des conseils irresponsables. Une assemblée générale annuelle des actionnaires nomme le conseil d'administration, et après avoir entendu le rapport du conseil et celui de la commission de comptabilité, discute, et approuve ou rejette les propositions et les comptes qui lui sont présentés.

L'exploitation est dirigée par un comité ou par un directeur unique, nommés et contrôlés par le conseil d'administration. Au-dessous de la direction se placent les trois chefs des services de l'exploitation, du matériel et de la voie.

Exploitation. — Le service de l'exploitation se divise en deux parties principales, service central et service actif. Le *service central* comprend à son tour les divisions suivantes, avec les attributions spéciales indiquées à la suite de chaque désignation :

1° *Service commercial* : l'étude et la mise à exécution de toutes les mesures intéressant le développement du trafic; relations avec le public, études relatives aux tarifs, traités de correspondance et de réexpéditions, abonnements, services internationaux; omnibus, factage, camionnage, bureaux de ville, douanes;

2° *Mouvement* : organisation du service des trains de voyageurs et de marchandises; utilisation des trains de marchandises au point de vue de la composition et de la charge utile; répartition du matériel roulant; vérification des séjours des wagons, accélération du service des trains dans les gares; établissement des comptes de parcours; exécution des mesures relatives à la sécurité des trains; personnel des trains, contrôleurs de routes; approvisionnements des stations en objets de toute nature, éclairage, chauffage, mobilier, habillement, inventaires, télégraphie;

3° *Secrétariat de l'exploitation et dépenses* : réception et dépouillement de la correspondance et des rapports journaliers; répartition des affaires aux différents services; correspondance avec les administrations publiques; expédition des ordres et règlements sur la ligne; dossiers du personnel; comptabilité des dépenses de l'exploitation; paiement; budgets;

4° *Comptabilité et contrôle des recettes* : réception et classement des billets de voyageurs et des pièces comptables envoyées chaque jour par les gares; vérification des taxes; contrôle de la perception et du versement des recettes; établissement du crédit et du débit des gares; comptes courants avec les autres compagnies et avec les administrations publiques; impôt du dixième; détaxes; statistique des transports et résumé des produits de l'exploitation; répartition des produits entre l'ancien et le nouveau réseau; vérification des opérations des gares par les inspecteurs de comptabilité attachés au service central qui se rendent à l'improviste sur les divers points du réseau;

5° *Réclamations et litiges* : colis égarés, objets trouvés, etc.

Le *service actif* est dirigé par un certain nombre d'inspecteurs principaux, à chacun desquels est affectée une portion du réseau; ils ont pour attributions spéciales, d'assurer la bonne marche des trains et la bonne répartition du matériel; de faire les propositions et de prendre les mesures relatives au choix, à la discipline et au payement du personnel des gares; de transmettre au directeur les rapports journaliers des chefs de gare avec leurs observations; de surveiller et de contrôler les services de factage, de camionnage, de correspondance; d'assurer la bonne manutention des marchandises, la régularité des expéditions, le règlement de certaines réclamations, l'accord des écritures des gares avec celles du service central; enfin, de développer le trafic par leurs relations avec le commerce et par leurs études constantes. Les inspecteurs principaux ont autorité sur tous les agents de leur inspection, en résidence ou de passage, chefs et sous-chefs de gare, conducteurs et garde-freins, surveillants, facteurs enregistrants, receveurs, hommes d'équipe, etc.

Matériel et traction. — Le service du matériel comprend tout ce qui est relatif à la traction et à l'entretien du matériel roulant; sous les ordres de l'ingénieur chef de ce service se trouvent placés les directeurs d'ateliers, leurs contre-maîtres et ouvriers de toute catégorie; les bureaux d'études; les chefs et sous-chefs de dépôt, mécaniciens, chauffeurs, visiteurs, graisseurs et hommes d'équipe.

Voie et surveillance. — Le service de la voie est chargé de tout ce qui concerne le matériel fixe; l'ingénieur chef de ce service dirige les chefs et sous-chefs de section chargés de l'entretien courant, les conducteurs de travaux, gardes-magasins, piqueurs, gardes-lignes, gardes-barrières, surveillants de nuit, poseurs, etc.

Enfin, au centre administratif, se trouvent encore le service de la *comptabilité générale*, comprenant la caisse et les titres, et le service du *secrétariat général*, auquel sont adjoints le *contentieux* et *l'économat général*.

Personnel. — D'après les documents statistiques publiés en 1856, le personnel des chemins de fer français était en moyenne de 7,9 personnes par kilomètre; ce nombre variait suivant la fréquentation diurne qui était de 18,1 trains pour l'ensemble du réseau; il était compris entre les limites de 4,1 (Montereau à Troyes; 8,3 trains par jour) et 8,6 (Nord, 22,4) en laissant de côté les lignes de banlieue.

La répartition proportionnelle était la suivante :

1° d'après la nature du service :

Administration 2 pour 100, variant de 7 (Montereau Troyes), à 1 (Nord, Lyon); *Exploitation* 37, variant de 42 (Montereau Troyes), à 31 (Est); *Traction* 31, variant de 39 (Montereau Troyes), à 28 (Lyon); *Voie* 30, variant de 35 (Est), à 26 (Orléans).

2° Suivant le montant des rétributions annuelles

Agents supérieurs 2,3 recevant en moyenne 10,000f.
Employés, mécaniciens, etc., 21,6 — 1,600
Ouvriers, manœuvres, etc., 76,1 — 740

Il y avait en moyenne 2 agents de la voie par kilomètre pour l'entretien et la surveillance; 16,4 employés par gare; 1,6 mécanicien et chauffeur par locomotive; le parcours moyen des mécaniciens était de 28,896 kilomètres par an, et celui des agents des trains de 75,000 kilomètres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut remarquer que si une proportion notable des agents inférieurs touche des appointements faibles, beaucoup d'entre eux jouissent en compensation de nombreux avantages gratuits; habillement, logement, circulation, service médical et médicaments; en outre des institutions de prévoyance ont été organisées pour assurer aux employés une retraite, pour leur fournir à des prix très-bas tous les objets nécessaires à la vie; il ne nous appartient pas de décrire, ni d'apprécier ici les diverses combinaisons adoptées sur les différentes lignes; nous nous permettrons seulement de rappeler entre autres les mesures qui avaient été prises par M. C. Polonceau, au chemin de fer d'Orléans, et qui fonctionnent encore au grand avantage du personnel. La même compagnie prélève annuellement sur son produit net une part qui s'élève en 1864 à plus de 2 millions pour être distribuée entre tous ses employés et les intéresser à la prospérité de l'entreprise.

Organisation et marche des trains. — Quelque compliquée que paraisse au premier abord l'organisation du service et de la marche des trains, on s'en rend parfaitement compte au moyen d'un tableau graphique, dans lequel les temps sont comptés comme abscisses et les distances comme ordonnées de lignes qui figurent la marche de chaque train; d'après cette convention, les inclinaisons de ces lignes sont proportionnelles aux vitesses; les arrêts sont indiqués par des lignes horizontales; en regard de l'axe des ordonnées est placé un profil en long de la ligne avec indication des pentes et rampes, stations, embranchements, etc.; au moyen de ce tableau, on peut tracer avec la plus grande facilité la marche d'un train spécial au milieu du réseau en apparence fort enchevêtré des trains ordinaires et facultatifs; ce tableau est entre les mains de tous les agents de l'exploitation et en cas de retard, la marche du train est modifiée de manière à prévoir tous les obstacles.

De la vitesse. — La vitesse des trains express est réglée sur nos principales lignes de la manière suivante :

DÉSIGNATION.	DISTANCES.	DURÉE du TRAJET.	PLEINE MARCHE. DURÉE.	PLEINE MARCHE. VITESSE.	VITESSE EFFECTIVE.	TEMPS PERDU.
	km.	h. m.	h. m.	k.	k.	h. m.
Paris à Bordeaux	581	11 35	9 30	61	50	2 25
Paris à Lyon	511	10 43	8 40	50 à 80	53	2 13
Lyon à Marseille	351	7 46	5 47			1 59
Paris à Calais	354	6 10	4 52	71 à 73	57	1 18
Paris à Strasbourg	502	10 40	8 48	58	49	2 52
Paris au Havre	228	6 5	4 33	51	38	1 32

Le temps perdu se décompose de la manière suivante:

1° Temps employé à imprimer au train la vitesse de pleine marche au départ de chaque station et à éteindre cette vitesse à chaque arrêt, 1' à 1' 1/2 pour chaque départ et chaque arrivée;

2° Remonte des rampes exceptionnelles, 30" ou 1' par kilomètre de rampe;

3° Ralentissement aux bifurcations et aiguilles en pointe, 1 à 2';

4° Arrêts aux stations, 1 à 30';

5° Contrôle à l'arrivée.

Les arrêts aux stations sont la principale cause de temps perdu; ces arrêts sont ordinairement imposés par le service de la poste ou par la nécessité de renouveler l'approvisionnement d'eau. On étudie divers moyens qui permettent de prendre et de déposer les paquets de dépêches sans arrêter les trains : on emploie sur le chemin de fer de Chester à Holyhead un système d'alimentation en pleine marche dont nous avons dit plus haut quelques mots.

Pour compenser les retards qui auraient pu se produire sur l'ensemble d'un trajet, on se réserve, autant que possible, avant l'arrivée, de grands espaces sans stations.

En Angleterre, on distingue les trains express dont la vitesse effective est d'environ 60 kilomètres, et les trains des malles qui parcourent de 60 à 71 kilomètres. Ces vitesses dépassent les nôtres, mais on les paye plus cher.

Les trains omnibus ont une vitesse moyenne de 30 kilomètres, qui varie en pleine marche de 40 à 50 kilomètres. Les arrêts aux stations, beaucoup plus multipliés, sont la principale cause de leur lenteur. Ainsi de Paris à Lyon, on compte 72 stations; le trajet dure 16h,40', et il y a 5h,33' de perte de temps.

La vitesse de marche des trains de marchandise est d'environ 25 kilomètres.

3° *De la sécurité.*

Les mesures à prendre pour éviter les accidents et assurer la marche des trains avec la sécurité la plus complète sont l'objet des préoccupations constantes des agents des chemins de fer. Ces accidents causent dans l'opinion publique une émotion bien légitime,

DÉSIGNATION.	Rapport au nombre de voyageurs transportés du nombre de voyageurs TUÉS.	Rapport au nombre de voyageurs transportés du nombre de voyageurs BLESSÉS.
Messageries impériales, anciennes diligences de 1846 à 1855	1 / 355,463	1 / 29,871
Chemins de fer français, depuis l'origine jusqu'en 1855	1 / 1,955,555	1 / 496,551
En faisant abstraction des accidents exceptionnels (Rive gauche, 1842, 52 tués; Fampoux, 1842, 60 tués), dûs à l'inexpérience au début des chemins de fer	1 / 9,317,647	»
Chemins belges en 13 ans 1/2	1 / 8,864,804	1 / 2,000,000
Chemins badois en 10 ans	1 / 17,514,977	1 / 1,154,231
Chemins prussiens	1 / 21,411,488	1 / 3,892,988

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mais les préventions qu'ils ont motivées contre les chemins de fer sont très-exagérées, comme l'a démontré l'enquête exécutée en 1855 par M. Prosper Tourneux : on peut même affirmer qu'aucun autre système de transport n'est comparable aux chemins de fer sous le rapport de la sécurité. Les chiffres du tableau ci-contre prouvent suffisamment la vérité de cette assertion :

Les moyens de prévenir les accidents résident dans un choix attentif du personnel, dans le maintien d'une discipline sévère, d'un contrôle vigilant, d'une police et d'une surveillance active de nuit et de jour, dans la simplicité, la solidité et la bonne construction du matériel fixe et roulant, et particulièrement dans la bonne disposition des aiguilles, enfin dans l'emploi de signaux divers, ayant pour objet de faire correspondre entre eux à distance les agents des divers services, d'indiquer l'état de la voie, les obstacles qui doivent arrêter les trains, leur approche, etc. Ils se divisent en plusieurs catégories : signaux télégraphiques, signaux de la voie, signaux des trains.

1° *Télégraphie.* — La télégraphie électrique est le mode de correspondance le plus sûr, le plus rapide et le plus ordinaire. Elle est le complément indispensable de l'art d'exploiter les chemins de fer; ils se doivent l'un à l'autre leurs progrès les plus décisifs, mais la télégraphie électrique constitue à elle seule une spécialité dont il ne peut être question ici que pour mémoire. Rappelons seulement l'usage constant qu'on en fait pour la bonne répartition et l'utilisation du matériel roulant, de même que pour l'exploitation des chemins à voie unique, et l'application des appareils Tyer aux lignes des environs de Londres.

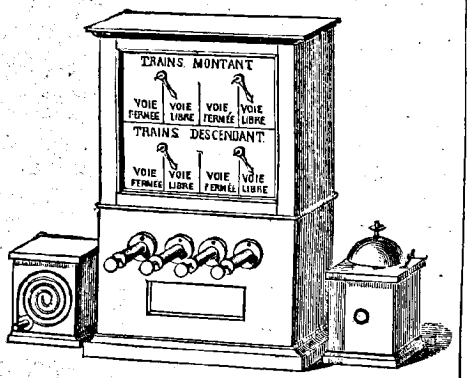


Fig. 50.

Pour obvier aux chances plus nombreuses et plus graves d'accidents que présentent la multiplicité des trains et leur grande vitesse, on partage la ligne en sections, limitées par des points plus ou moins suspects, tunnels, courbes, aiguilles ou passages à niveau; à chaque extrémité d'une section est établi un poste-signal, et aucun train n'est admis à circuler sur la section, si le poste suivant n'a fait le signal de voie libre. Ainsi de Londres à Rugby, sur une distance de 128 kilomètres, il passe 140 à 150 trains par jour dans les deux sens; il y a 42 sections de 2 à 4 kilomètres de longueur. Chaque poste communique avec ses deux voisins, de manière à pouvoir annoncer l'arrivée et le départ des trains. Tout signal reçu ne peut être changé que par le poste expéditeur. Le signal une fois fait reste en évidence jusqu'à l'expédition du signal suivant, et l'on peut s'y reporter à tout moment. Le tableau indicateur est divisé en deux parties, correspondant à chacune des voies : chaque partie est pourvue de deux aiguilles, l'une rouge et l'autre noire; l'aiguille noire indique le dernier signal reçu au poste, l'aiguille rouge le dernier signal expédié. Il n'y a que deux signaux employés, voie libre, voie fermée. A chaque instrument sont adjoints une sonnerie et un gong, correspondant l'un à la voie descendante, l'autre à la voie montante, manœuvrant en même temps que les aiguilles, et indiquant par le nombre de coups frappés la nature du train signalé, la réception des signaux, ou l'arrêt. En cas d'accident, le circuit peut être interrompu à chaque poteau télégraphique par les agents des trains; les signaux ordinaires sont d'ailleurs établis à chaque poste.

Ce système est une extension de celui employé depuis longtemps, pour empêcher les trains de s'engager sur une voie déjà occupée dans l'étendue d'un tunnel.

2° *Signaux de la voie.* — Les signaux fixes protégent à distance des points déterminés de la voie, gares, embranchements, aiguilles, d'où on peut les manœuvrer. En France, ils sont ordinairement formés par un disque rouge d'un côté, blanc de l'autre, monté sur une colonne en bois ou en fer. Suivant que ce disque présente sa face rouge normalement aux rails, ou se place parallèlement à leur direction en décrivant un angle de 90°, il indique l'arrêt ou la voie libre. La nuit, une lanterne est hissée à la hauteur du disque.

On distingue ordinairement dans un disque-signal quatre parties principales (*fig* 51) : le signal proprement dit, l'appareil de manœuvre, la transmission et le système de rappel du signal. Nous décrirons d'abord un des types les plus répandus (disque Bataille).

Le disque est fixé par son diamètre vertical sur un mât en fer traversant une colonne de fonte qui lui sert de support suivant son axe.

La lanterne est montée sur un châssis mobile glissant sur deux tringles verticales, et par ce moyen on peut la hisser ou l'amener pour la nettoyer. Il est très-important qu'elle soit indépendante du disque dont les secousses pourraient l'éteindre. Le feu est blanc; quand le signal est effacé, on le voit librement sur la ligne; quand au contraire le disque est tourné à l'arrêt, le feu ne s'aperçoit qu'à travers un verre rouge monté à cet effet sur un orifice ménagé dans la tôle. Il est essentiel qu'à la station l'on soit averti que le disque fonctionne bien; de jour on le voit généralement : pour la nuit, un autre verre coloré est attaché normalement au premier sur la face blanche du disque; de manière que, la voie étant libre, on aperçoit de la station le feu coloré, et que la voie étant fermée on aperçoit le feu blanc; ainsi le signal marque toujours une limite entre une portion de voie libre et une portion de voie fermée. Quand les disques ne peuvent être vus de la station, on place un signal répétiteur manœuvré par le même fil de transmission.

Le mât porte à sa partie inférieure une petite manivelle à l'extrémité de laquelle viennent s'attacher deux fils parallèles à la voie en prolongement l'un de l'autre : le premier aboutit à la petite branche d'un levier coudé avec contre-poids de 25 kilogr., c'est le levier de rappel; le second n'est autre que le fil de transmission qui aboutit au levier de manœuvre de la station, disposé du reste comme le premier. Les deux contre-poids agissant en sens contraire tiennent le fil toujours tendu : ils peuvent l'un et l'autre décrire un arc de 30° environ, ce qui suffit pour faire tourner le disque de 90°; l'un s'abaissant quand l'autre s'élève; mais il est nécessaire que quand la voie est libre, le contre-poids de rappel soit en l'air; en effet, il peut arriver que le fil de transmission se rompe; si la précaution que nous venons d'indiquer est prise, le disque retombe de lui-même à l'arrêt; s'il en était autrement,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le signal ne répondrait plus à l'appel de la station. Le même inconvénient se présenterait si par l'effet de l'élévation de la température le fil de transmission se dilatait assez pour que les contre-poids vinssent porter à terre; on s'est ménagé le moyen de raccourcir les fils au moyen de chaînes à crochet ou de tendeurs. Dans tout leur trajet, les fils portent sur des poulies de transmission, auxquelles on ajoute des poulies de renvoi dans les courbes et les traversées de voie.

La distance d'un disque au point à protéger dépend de la vitesse des trains, et doit être telle que le train puisse s'arrêter entre le signal et le levier de manœuvre. Autrefois la distance de 600 mètres était suffisante; aujourd'hui, on ne place pas les disques à moins de 800 mètres. Les irrégularités qui peuvent se produire par l'effet de la dilatation deviennent d'autant plus dangereuses, et l'on a cherché divers moyens de les prévenir : ces modifications au système précédent portent principalement sur le rappel et la manœuvre. Nous citerons parmi les principales, d'après une intéressante étude due à M. Clerc :

1° La manœuvre à roue, dans laquelle le fil de transmission se termine par une chaîne qui s'enroule autour d'une roue à gorge, montée sur un poteau de bois : le levier de manœuvre avec son contre-poids est mobile sur le même axe que la roue : un taquet limite sa course à la voie fermée; il se rapproche de l'horizontale à la voie ouverte, d'autant plus que le fil est moins tendu. Pour régler cette tension, on relève le levier sans changer la position de la roue; à cet effet, un certain nombre de trous égaux et équidistants sont ménagés dans la couronne de la roue; on y place une goupille qui l'arrête dans sa position; on retire le boulon qui fixait le levier sur la couronne, et on le pose sur un autre trou, de manière que le levier dépasse l'horizontale;

2° La manœuvre à chaîne de grippage se compose d'un levier coudé à bras très inégaux; le petit bras se termine par un anneau ou crochet de grippage, disposé de manière à saisir, quand on le soulève, l'un des anneaux de la chaîne de transmission qui le traverse librement. Cette chaîne est toujours tendue, mais par l'effet d'un contre-poids spécial, qui manœuvre dans un tube de fonte enterré.

Cette manœuvre dispense de régler la tension du fil; mais l'anneau de grippage est sujet à se déformer; le contre-poids s'arrête dans le tube quand il se déverse ou se remplit de glace en hiver : elle exige en un mot beaucoup de soin dans la pose et l'entretien;

3° La manœuvre d'Auteuil se compose d'un levier simple à contre-poids et d'un crochet, tous deux à position variable sur le levier; ce système est très-simple, mais n'est pas applicable au delà de 500 mètres; le contre-poids devient trop lourd pour être facilement manœuvré à la main au delà de cette distance.

Les principaux systèmes de rappel sont le contre-poids se mouvant dans un tube, comme dans la manœuvre Robert; le levier coudé à contre-poids monté sur le poteau du signal.

L'installation des signaux a encore donné lieu à beaucoup d'inventions dues entre autres à MM. Robert, Goubet, Bava, Rousseau, etc.; elles sont restées pour la plupart à l'état d'essai, ainsi que celles de MM. Limouse, Baranowski, etc., qui se sont préoccupés

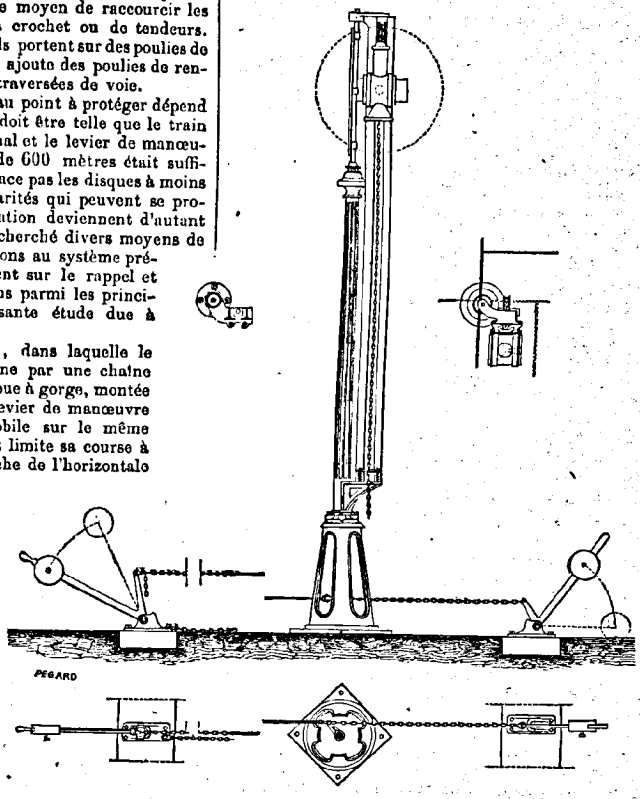


Fig. 51.

plus particulièrement de la manœuvre automatique des disques par les trains.

Il faut encore citer diverses combinaisons ayant pour objet d'accroître la confiance inspirée par les signaux et de multiplier les indications propres à augmenter la sécurité.

Afin d'être constamment renseigné sur la position du disque, on a placé près du bureau du chef de gare un trembleur électrique, en communication avec le signal, et qui sonne pendant tout le temps que celui-ci est à l'arrêt.

Sur le chemin de fer du Nord, on a fait usage en pleine ligne, pour marquer le temps écoulé depuis le passage d'un train, d'un appareil automoteur, composé d'un contre-rail et d'une pédale mise en mouvement par les boudins des roues, d'un cadran à une aiguille avec mouvement d'horlogerie à poids pouvant marcher une demi-heure, et d'un carillon marchant cinq minutes. Le déplacement du contre-rail par le passage du train a pour effet de remonter l'horloge et de ramener l'aiguille à la position initiale à partir de laquelle elle se déplace jusqu'au terme de sa course.

En Angleterre et en Allemagne, le plus ordinairement les signaux sont formés d'un mât de 10 à 15 mètres de hauteur portant à sa partie supérieure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux bras aplatis, mobiles autour d'un axe parallèle à la voie, et que l'on manœuvre d'en bas comme il est indiqué (*fig.* 52), de manière à les amener et fixer sans effort dans trois positions différentes, verticale, horizontale, et inclinée à 45°. Ces bras, qui ont parfois 1m,10 et plus de longueur, sont souvent composés d'un cadre garni de lames de persiennes, ce qui en diminue considérablement le poids et affaiblit l'action du vent.

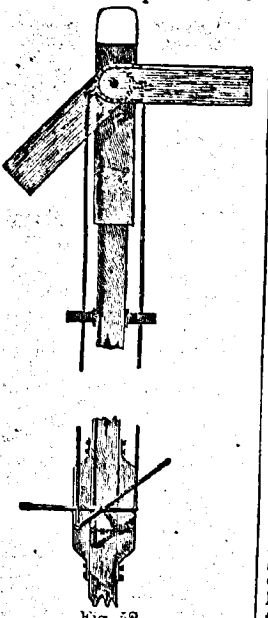


Fig. 52.

La difficulté de combiner les signaux de nuit a amené M. Treuttler à une modification très-ingénieuse de l'appareil précédent, actuellement employée sur plusieurs chemins Allemands. Dans ce télégraphe, les lames de persiennes sont remplacées par des miroirs inclinés alternativement, en sens contraire et de quantités variables, sur l'axe de rotation; une lanterne à double courant d'air placée sur le prolongement de cet axe, à une certaine distance des deux bras, lance sa lumière sur les miroirs qui sont inclinés de manière à la réfléchir parallèlement à la voie; les bras sont toujours portés par un mât de perroquet et les lanternes par les montants reliés avec le mât par des traverses. Les lanternes étant placées sur l'axe de rotation des bras, les miroirs conservent dans toutes les positions la même inclinaison sur cet axe; les bras forment, depuis la distance de 100 mètres environ jusqu'à celle de 1,000 à 1,200 mètres, à laquelle les signaux cessent d'être nettement perceptibles, deux bandes lumineuses avec lesquelles on reproduit exactement tous les signaux du jour. Les cadres qui reçoivent les miroirs sont peints en rouge et servent, aussi bien que les bras des télégraphes ordinaires, à reproduire les signaux pendant la journée. En modifiant la couleur des lanternes, on obtient des bandes lumineuses de couleurs différentes, qui sont également utilisées dans la composition des signaux.

Les appareils précédents laissent tous subsister l'objection qu'on peut ne pas s'apercevoir à temps de l'extinction d'une lanterne pendant la nuit. MM. Dufau et Hardy ont cherché à lever cette difficulté par l'emploi d'un thermoscope différentiel, composé de deux thermomètres métalliques, et placé dans la cheminée de la lanterne; par l'effet de la dilatation, quand la lanterne est allumée, les deux thermomètres viennent en contact, et forment un circuit électrique; si la lanterne s'éteint, le circuit s'interrompt et une sonnerie avertit aussitôt de l'accident. On a aussi proposé pour le même objet l'emploi d'une pile thermo-électrique.

Les signaux sur la voie se font encore au moyen de drapeaux rouges ou verts le jour, de lanternes à verres blancs, rouges et verts la nuit; la couleur rouge indiquant toujours l'arrêt, le vert le ralentissement, le blanc la voie libre. Du reste, un objet quelconque vivement agité sur la voie commande l'arrêt.

En temps de brouillard, on fait usage de pétards qui se placent sur les rails au moyen de lames de fer-blanc, et qui éclatent avec un bruit violent au passage des locomotives.

Les trains sont toujours signalés en avant par le son des cornets des gardes-lignes.

Les points de raccordement des embranchements doivent être l'objet de mesures particulières, à cause de la gravité des accidents qui peuvent s'y produire. L'appareil de M. Vignières est une des inventions les plus efficaces pour les éviter. Toutes les fois qu'un train se présente sur l'une des voies d'un embranchement, l'autre voie doit être évidemment fermée pour empêcher une collision sur les aiguilles; le système de M. Vignières consiste à établir entre les leviers de manœuvre des disques et des aiguilles une solidarité telle que ces appareils ne puissent être changés que dans un ordre déterminé; si, par exemple, une aiguille ne doit être ouverte que quand un disque est fermé, le levier de manœuvre du disque portera un verrou articulé pénétrant dans une encoche ménagée dans la tringle de manœuvre de l'aiguille, quand le disque est à la voie ouverte; pour ouvrir l'aiguille, il faudra donc fermer le disque. Réciproquement, l'aiguille en s'ouvrant arrêtera de même, au moyen d'un autre verrou articulé avec elle, tout mouvement du disque, et celui-ci ne pourra plus donner la voie ouverte, que quand l'aiguille sera de nouveau fermée.

Au chemin de fer du Nord, les bifurcations sont protégées par deux signaux; le premier est placé à grande distance, fixe et de couleur spéciale; il est destiné à prescrire le ralentissement avant d'atteindre le second signal, qui est rouge. Ce dernier doit être tourné à l'arrêt en permanence et il ne doit être ouvert que pour donner passage à un seul train à la fois.

3° *Signaux des trains.* — Les signaux des mécaniciens sont en petit nombre; ils s'exécutent avec les sifflets à vapeur montés sur la chaudière; les coups de sifflet plus ou moins nombreux, secs ou prolongés, reçoivent diverses significations ayant pour objet d'annoncer l'approche du train, de faire serrer ou desserrer les freins, d'appeler l'attention sur le train en détresse, etc.

Les lanternes et les drapeaux fixés aux trains servent de nuit ou de jour à indiquer de loin sa nature, sa longueur, s'il est ou non suivi d'un train spécial.

On s'est beaucoup préoccupé de mettre en communication entre eux les agents d'un train et même les voyageurs : l'assassinat commis, le 6 décembre 1860, sur la personne de M. le président Poinsot a fait surgir une foule de propositions qui ont été examinées par une commission spéciale; la plupart de ces projets pouvaient se ramener à un petit nombre de combinaisons; le matériel Américain, ou l'établissement de communications entre les compartiments d'une même voiture, ont été principalement mis en avant; la commission a conclu en proposant : 1° l'établissement d'ouvertures fermées par des glaces transparentes de 0m,40 de haut sur 0m,25 de large au-dessous des filets à bagages, entre les compartiments des voitures; 2° l'installation de marchepieds et de mains courantes sur toutes les voitures, pour permettre aux agents des trains ou à des contrôleurs spéciaux de parcourir toute la longueur des convois et d'exercer une surveillance efficace. Quant à la correspondance à établir entre les voyageurs et les agents, elle est subordonnée à l'organisation du contrôle de route, puisqu'il faut que l'agent puisse se rendre à l'appel du voyageur; l'abus de cette faculté pourrait amener des accidents plus graves que tous ceux qu'on croit éviter par son usage; d'ailleurs,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parmi les divers systèmes expérimentés jusqu'ici, aucun n'a donné des résultats assez satisfaisants pour être généralement accepté.

Les mécaniciens et les garde-freins sont en communication par une corde qui fait mouvoir une cloche placée sur le tender.

MM. Prudhomme et Achard poursuivent l'essai d'un système de communication électrique.

4° *Dépenses d'exploitation.*

Le tableau suivant donne la dépense d'exploitation par kilomètre pendant le dernier exercice pour l'ensemble du réseau :

INDICATION DES DÉPENSES.	DÉPENSES par kilomètre.	DÉPENSES par kilomètre et par train.	PROPORTION pour 100.
	fr.	fr.	fr.
Administration centrale..	1,080	0.14	5.13
Exploitation, mouvement, trafic.....	6,678	0.86	31.74
Traction et matériel.....	7,375	0.95	35.06
Voie et surveillance.....	4,668	0.64	22.19
Dépenses diverses,.....	1,314	0.16	5.88
Totaux.....	21,115	2.73	100.00

Les traitements et salaires des agents du mouvement et du trafic représentent en moyenne plus de 80 p. 100 des dépenses affectées à ce service, et plus de 17 p. 100 du total des dépenses d'exploitation.

Sur la dépense de traction 19 p. 100 sont affectés au personnel, 32 p. 100 au combustible, 42 p. 100 à l'entretien du matériel, 7 p. 100 à l'alimentation.

On peut estimer de la manière suivante le travail et la dépense annuelle d'une locomotive :

Parcours annuel.....	23,567 kilomètres.
Consommation de coke....	186 tonnes.
Consommation d'eau.....	1,414 —
Dépense de combustible...	7,574 francs.
Dépense d'alimentation....	374 —
Dépense d'entretien (tender compris).....	5,779 —

Pour un véhicule parcourant moyennement 16310k, la dépense d'entretien serait 194 fr.

La compagnie de l'Ouest a présenté dans son rapport à l'assemblée générale de 1864 la décomposition des dépenses de traction, qui se résume par kilomètre dans les indications qui suivent :

1° *Machines.*

Conduite, personnel des ingénieurs, bureaux, mécaniciens, etc.....	0,1608
Combustible.....	0,2712
Eau.....	0,0456
Graissage, éclairage.....	0,0256
Entretien et réparations.....	0,1913
Frais généraux.....	0,0626
Total pour les machines.....	0,7271

2° *Voitures et wagons.*

Entretien et réparation des voitures....	0,0817
— des wagons....	0,0536
Graissage des voitures et wagons.....	0,0286
Frais généraux.....	0,0449
Total pour les voitures et wagons.	0,1788
Total général.....	0,9059

On estime que les traitements et salaires entrent dans la dépense totale d'exploitation pour plus de moitié.

VIII. DIVERS SYSTÈMES DE CHEMINS DE FER

Dans l'exécution du réseau des chemins de fer, on a donné naturellement la priorité aux lignes les plus avantageuses, à la fois par le trafic sur lequel on croyait pouvoir compter et par la facilité de leur construction. Depuis longtemps on se préoccupe de trouver des combinaisons permettant de faire participer aux bienfaits de ces voies de communication les pays accidentés, pauvres et délaissés, et de franchir les barrières de montagnes qui s'élèvent entre les États. Bien des systèmes ont été essayés ou présentés, nous donnerons quelques détails sur les plus intéressants.

Système Laignel. — M. Laignel s'est proposé de diminuer la résistance au passage dans les courbes : sa voie, quand elle cesse d'être rectiligne, est disposée de manière que la roue extérieure roule sur son boudin, tandis que la roue intérieure continue à rouler comme à l'ordinaire sur son bandage. Il en résulte que le rayon des courbes et celui des roues doivent être constants.

Cette disposition a été employée avec succès sur les chemins d'usines, mais elle n'a pas reçu d'application sur les grandes lignes; ses avantages sont notablement diminués dès que les roues ne sont plus neuves; les sujétions qu'elle entraîne sont incompatibles avec les nécessités d'un grand trafic et d'un tracé long et varié.

Système Arnoux. — Le matériel créé par M. Claude Arnoux pour le passage des courbes, et perfectionné par lui avec une persévérance remarquable, est une des plus ingénieuses combinaisons mécaniques auxquelles les chemins de fer aient donné naissance. Les voitures de M. Arnoux sont composées d'un avant et d'un arrière-train (*fig.* 53). L'essieu de chaque train

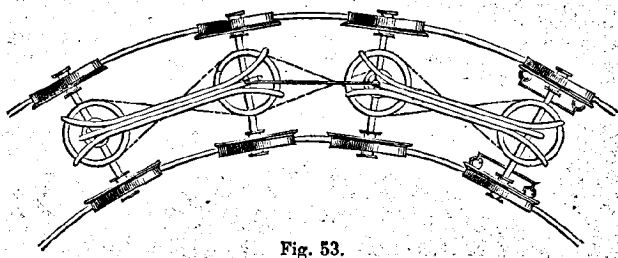


Fig. 53.

EFEARUS - Recherche & Classification numérique

est traversé par une cheville ouvrière autour de laquelle il peut tourner. Sur cet essieu est fixée une couronne ou contre-sassoire, ayant même axe que la cheville ouvrière. Les roues tournent librement sur les fusées comme dans les voitures ordinaires. Les jantes sont cylindriques. Les deux trains sont réunis par une flèche à branches, aux extrémités de laquelle sont attachés, en dessous, des plateaux ou sassoires, concentriques aux chevilles ouvrières, qui tournent à frottement doux sur les couronnes.

Des chaînes attachées sur la circonférence des couronnes de manière à se croiser sous la flèche unissent les deux essieux; par là, ils sont obligés de se mouvoir simultanément autour des chevilles ouvrières, en faisant des angles égaux et contraires avec la flèche. Ainsi, lorsque, le wagon parcourant un arc circulaire, le premier essieu sera normal à cet arc, le second sera aussi normal.

M. Arnoux fait diriger ce premier essieu, qui est celui de la locomotive, par la voie elle-même, au moyen de quatre galets, roulant sur les faces intérieures des rails, et fixés à l'extrémité de fourches portées par l'essieu (*fig.* 54).

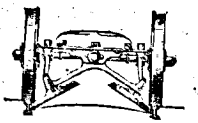


Fig. 54.

Les voitures sont liées l'une à l'autre : 1° par un timon traversé par la cheville ouvrière de l'arrière-train de la voiture précédente et par celle de l'avant-train de la voiture suivante; 2° par deux chaînes qui se croisent sous le timon, et qui sont attachées d'un bout à la circonférence de la couronne de l'avant-train de la seconde voiture, et de l'autre bout à la circonférence d'une couronne plus petite, fixée sous la flèche de la première voiture et traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train.

Ainsi, il y a trois couronnes horizontales à chaque voiture; deux de même rayon fixées aux essieux, et une plus petite faisant corps avec la flèche à l'arrière-train.

Par conséquent, la flèche de la première voiture ne peut changer de position, sans produire un changement dans la direction des essieux de la seconde voiture. En déterminant convenablement le rayon de la petite couronne, les essieux de la seconde voiture seront comme ceux de la première normaux à la courbe parcourue. En pratique, les timons étant égaux aux flèches, et les couronnes des essieux étant toutes de même rayon, les couronnes des flèches doivent avoir un rayon moitié plus petit que celles des essieux.

Il est à remarquer que la déviation des essieux a lieu simultanément sur toute la longueur du train, dès que la première voiture est entrée dans la courbe; pour atténuer cet inconvénient, il est préférable de tracer les courbes suivant des arcs paraboliques.

Depuis, M. Arnoux a réalisé une simplification remarquable en supprimant les chaînes, qui par leur fragilité inspiraient des craintes continuelles : un losange articulé (*fig.* 55), formé de quatre bielles égales, est fixé, d'une part, à l'essieu par deux bagues susceptibles de glisser sur lui; d'autre part, à la flèche, d'une manière invariable; et en troisième lieu, au timon, qu'il accompagne dans son mouvement de rotation autour de la cheville ouvrière. D'après cela, toute déviation du timon occasionne une déformation de l'appareil articulé; mais cet appareil ne cesse pas de présenter la figure d'un losange, dont l'essieu décrit une diagonale; cet essieu est donc dirigé suivant la bissectrice de l'angle formé par le timon et par la flèche, c'est-à-dire, suivant la normale à la courbe. Par cette ingénieuse combinaison les essieux ne deviennent convergents qu'au moment même où les roues atteignent la courbe, et ils cessent de l'être ou même convergent en sens contraire suivant que la voie redevient droite ou s'infléchit. Quand un convoi, guidé par les galets directeurs, est engagé dans une courbe, toutes les voitures à la suite dirigées par leurs timons en suivent successivement tous les contours.

Le matériel de M. Arnoux est employé sur le chemin de Sceaux, qui présente des courbes de 50^{m} de rayon; il a été essayé sur le chemin de fer du Nord à toutes les vitesses, et on en a obtenu des résultats satisfaisants. Mais, à côté des avantages incontestables qu'on lui reconnaît, se trouvent des inconvénients sérieux; l'attelage est plus embarrassant et plus long; sa rigidité rend le démarrage pénible; les locomotives étant seules pourvues de galets directeurs, les manœuvres des voitures isolées dans les gares sont plus difficiles; le système est plus compliqué, et de tous ces motifs résulterait certainement une exploitation moins simple et une dépense plus élevée. Les progrès réalisés dans ces derniers temps permettront sans doute d'utiliser le matériel actuel dans toutes les circonstances.

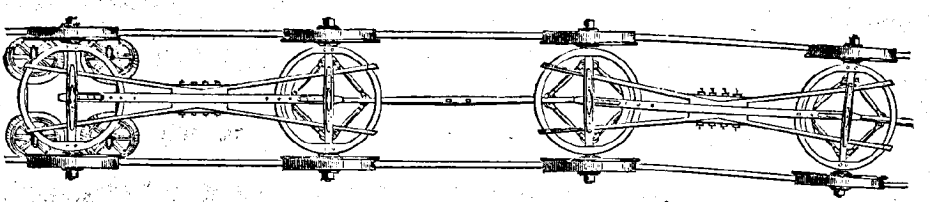


Fig. 55.

Essieux brisés, système Edmond Roy. On a vu plus haut que la dépendance des roues et des essieux est une des principales causes de la résistance au mouvement dans les courbes. M. Arnoux s'est affranchi de cette difficulté en laissant ses roues libres sur les fusées, comme dans les voitures ordinaires; mais cette disposition soulève de sérieuses objections; la position relative des roues et des essieux ne doit être exposée à aucune variation; le jeu produit par l'usure ne tarderait pas à empêcher ce but essentiel d'être atteint, dans un service très-chargé; quand les roues sont indépendantes, le point d'appui des châssis et des caisses ne peut être pris qu'en dedans des fusées; les caisses ont alors beaucoup moins de stabilité, et en cas de rupture d'un essieu la caisse tomberait forcément sur la voie. Ce sont les trois raisons principales qui ont conduit à la disposition universellement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

adoptée des roues solidaires des essieux. Afin de concilier ces conditions contradictoires on a, depuis longtemps, proposé de donner à chaque roue un essieu ou une portion d'essieu articulé distincte (mines du Hartz, de Vilback, Chesneau et Verrier, C. Polonceau, etc.), et en même temps, on a cherché à faire converger les essieux vers le centre de courbure par divers mécanismes.

Celui qui a été adopté par M. E. Roy se compose de coussinets pouvant glisser dans la boîte à graisse dans une direction oblique à l'essieu; l'angle est déterminé suivant l'écartement des essieux et la position du coussinet et de la fusée; les wagons sont à six roues; les coussinets de la paire de roues intermédiaires n'offrent rien de particulier; cette paire de roues sert de point d'appui dans les courbes pour que les essieux extrêmes, dont les coussinets présentent des angles opposés l'un à l'autre, puissent converger.

Ce système a été essayé sur une machine à marchandises du chemin de fer d'Orléans à huit roues couplées, dont les essieux extrêmes étaient écartés de 6m,40. Elle a pu passer dans des courbes de 80m de rayon avec une déviation latérale des essieux de 0m,07, en remorquant un poids de 570 tonneaux.

Nous avons déjà mentionné les résultats obtenus par M. Beugniot pour sa locomotive de montagnes; nous ne saurions, sans dépasser nos limites, insister sur un grand nombre de dispositions ingénieuses, ayant pour objet le passage dans les courbes et l'accouplement des essieux, afin d'utiliser pour l'adhérence tout ou partie du poids transporté; la plupart de ces dispositions intéressent les locomotives plus que les wagons, et par cette raison nous ne pouvons que mentionner ici les systèmes de MM Kirchweger, Lipport, Rarchaert, Waessen, Meyer, Larpent, Gouin, Pins, Fink; ce dernier vient d'être appliqué au chemin de fer d'Oravicza à Steierdorf, dans le Banat, où le tracé présente des rampes de 0m,020 et de nombreuses courbes de 114 mètres de rayon.

On trouvera dans un remarquable ouvrage de M. Flachat sur la traversée des Alpes, une quantité de renseignements précieux sur les problèmes que soulève le passage des hautes montagnes, et la description d'un tracé par le Simplon avec rampes de 0m,050 à 0m,060 et courbes de 20 mètres de rayon; la traction serait opérée par des machines présentant une surface de chauffe de 370 mètres carrés; et envoyant la vapeur à des mécanismes placés sous les wagons; le poids entier des convois serait utilisé pour l'adhérence.

Citons encore le système de lacets à rebroussement, employé en Amérique, sur la ligne de Baltimore à l'Ohio; les zigzags successifs présentent une inclinaison maximum de 0m,0556; chacun d'eux se termine par un petit palier; le train arrive sur le palier machine en tête; il passe au zigzag suivant machine en queue, et ainsi de suite.

Système Amberger, Niklès et Cassal. — Afin d'augmenter l'adhérence, sans augmenter le poids des locomotives, MM. Amberger, Niklès et Cassal ont proposé de transformer les roues motrices en un électro-aimant dont les pôles seraient placés sur le diamètre vertical. A cet effet, le bas des roues serait enveloppé par un fil d'induction en communication avec une batterie électro-motrice. Ce système a été expérimenté sur le chemin de Lyon, mais il n'a pas réussi; le fer des bandages, étant dur et fort, prend bien l'aimantation, mais il la conserve, de sorte qu'en marche, les pôles se trouvaient plutôt sur le diamètre horizontal que sur le diamètre vertical de la roue motrice.

Plans inclinés. Système funiculaire. — Les plans inclinés sont contemporains des premiers chemins de fer; dans le temps où l'on considérait comme un obstacle presque insurmontable les rampes de 0m,010 on a naturellement songé à cette solution indiquée par les éléments de la mécanique. Les plans inclinés automoteurs sont encore d'un usage journalier dans les mines: ils sont ordinairement pourvus de deux voies; au sommet de la rampe se trouve une poulie à gorge en fonte, dont le diamètre est égal à l'écartement d'axe en axe des deux voies; une seconde poulie concentrique à la première, et ordinairement venue de fonte avec elle, lui est superposée et sert à faire agir un frein à bande.

Le câble en chanvre ou en fil de fer est guidé par des poulies espacées entre les rails.

Quelquefois, au lieu d'employer deux voies sur toute la longueur de la rampe, celle-ci se divise en trois parties: la partie inférieure où il n'y a qu'une seule voie; la partie médiane, où les trains se croisent et où, par conséquent, deux voies et une entrevoie sont nécessaires; la partie supérieure, où il y a deux voies accolées, c'est-à-dire formées par trois rails parallèles pour ménager l'espace nécessaire au passage des deux brins du câble.

Les plans automoteurs peuvent aussi être disposés de part et d'autre d'un faîte à franchir (ancien plan incliné de Neulise, chemin de fer de Roanne à Andrezieux); mais, en tous cas, pour que le système fonctionne, il faut que la charge descendante l'emporte sur la charge ascendante; cette condition se réalise dans les mines où l'exploitation est dirigée en conséquence; on y a satisfait en Amérique en remontant les trains de marchandises au moyen de wagons en tôle remplis d'eau, prise à une source au sommet et vidée au pied de la rampe. Mais, le plus souvent, on emploie des machines fixes mettant en action un treuil sur lequel s'enroule le câble moteur. Les exemples en sont nombreux; le plus célèbre est encore en activité de Ans à Liége: la hauteur à franchir de 110 mètres est partagée en deux plans inclinés égaux de 1,980 mètres de longueur chacun, séparés par un palier de 330 mètres; la pente varie de 0m,014 à 0m,030. Les machines à vapeur sont placées devant le palier; elles mettent en mouvement, sur chacune des deux rampes, un câble sans fin enroulé sur une série de poulies motrices, de renvoi et de tension disposées d'une manière savante et ingénieuse, mais dont la description nous entraînerait trop loin (Voir les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1843).

Le mouvement à la descente a lieu par le simple effet de la gravité, sans intervention des câbles. Des précautions sont prises pour modérer la vitesse: les freins ordinaires seraient insuffisants en cas de rupture d'un câble. Les trains sont donc accompagnés d'un wagon-frein spécial, à six roues, chargé d'un poids considérable: entre les roues se trouvent des patins en bois qu'on peut, à volonté, lever ou abaisser au moyen de vis et de leviers, de manière à soulever le wagon et à le faire entièrement porter sur les patins; c'est le frein Laignel perfectionné: ce wagon porte en même temps des pinces d'accrochage qui saisissent le câble moteur, et par l'intermédiaire desquelles s'opère la traction.

On a reproché au plan incliné de Liége, comme à tous ceux où la machine se trouve en dehors de la voie, la complication de son système de poulies, qui se traduit en frais d'entretien et en usure de câbles, et l'éloignement du machiniste qui ne peut surveiller la voie; diverses combinaisons présentent des conditions plus favorables à certains égards.

Le tambour peut être placé au-dessus de la voie à une hauteur telle que les wagons passent dessous; il faut nécessairement deux murs pour le soutenir; les manœuvres de décrochage ont alors lieu dans un es-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pace rétréci, ce qui peut amener des accidents graves.

Le tambour peut être au-dessous de la voie, dans une fosse; ses dimensions sont alors forcément plus restreintes; le câble doit s'enrouler plusieurs fois, ce qui accélère son usure, mais les manœuvres se font avec beaucoup plus de sûreté. (Montluçon, plan incliné de 0m,20 sur 600 mètres.)

La machine peut, enfin, se trouver entre deux voies. (Hirsbach.)

Les plans inclinés ont été employés pour remplacer les écluses sur les canaux, afin de racheter des chutes considérables. (États-Unis, canal Morris; Manchester, Silésie, Elbe.)

Le *système funiculaire* a été appliqué par Robert Stephenson au chemin de Blackwall à Londres, bien que ce chemin soit de niveau, mais son exploitation présentait des obstacles auxquels on ne croyait pas que l'emploi des locomotives pût se prêter; sur une longueur de 3,600 mètres, il y avait cinq stations intermédiaires trop rapprochées pour que les machines employées à cette époque pussent se mettre en vitesse. Le service fut assuré au moyen de deux puissants moteurs fixes, établis aux deux extrémités de la ligne, et mettant en mouvement deux tambours, sur lesquels un câble, s'étendant sur toute la ligne, s'enroulait et se déroulait alternativement. Les voyageurs à destination de chacune des gares de la ligne étaient embarqués dans des wagons spéciaux pour chaque station. Ces wagons étaient liés au câble au moyen d'un crochet à pince d'une construction particulière. Le train étant en marche, chaque wagon, dont le rang dans le train avait été réglé en conséquence, se détachait un instant avant d'arriver à sa station, et il était dirigé par des aiguilles sur une voie de garage spéciale où on l'arrêtait avec les freins; il fallait donc un conducteur par wagon; ce système très-dispendieux a été remplacé par des locomotives.

Chemin de fer de la Croix-Rousse. — Le petit chemin de fer de la Croix-Rousse à Lyon est destiné à racheter une différence de hauteur de 70m existant entre la ville et son faubourg : sa longueur est de 489m,20, et sa pente uniforme par mètre, sauf les paliers des extrémités, est de 0m,1605. Les trains partent toutes les six minutes; la durée du trajet est de trois minutes; la vitesse de 2 mètres par seconde; le tarif des places est de 0f,10 en secondes, et 0f,20 en premières. Sans entrer dans de grands détails qu'on trouvera dans la publication faite par MM. Molinos et Pronier, ingénieurs de cette ligne, qu'il nous suffise de dire que les trains sont composés de trois voitures pouvant contenir chacune 108 voyageurs. Le câble s'enroule au sommet de la rampe sur un tambour mis en mouvement par une machine à vapeur placée latéralement; le train descendant, attaché à l'autre extrémité du câble, vient, par son poids, en aide à la machine. Des trucks spéciaux sont disposés pour recevoir les voitures chargées de marchandises avec leurs attelages.

Il importait principalement, avec une aussi forte rampe, de se mettre en garde contre les accidents dus à la rupture des câbles et des attelages; il fallait trouver un système de frein présentant une sécurité absolue. On s'est arrêté aux dispositions suivantes : un premier mécanisme a pour objet l'enrayage des roues; il se compose de freins à bandes qui entourent les jantes des roues, élargies intérieurement à cet effet, et en saillie sur les bandages. Chaque bande est liée par une articulation avec un levier qui porte à son extrémité un contre-poids; en faisant tomber celui-ci, les roues se trouvent complétement enrayées.

Un autre mécanisme est placé entre les roues; il se compose d'un arbre portant à ses deux extrémités deux appareils identiques qui constituent le plus énergique de tous les freins. Ces appareils comprennent deux fortes mâchoires d'étau disposées de manière à saisir le rail en se rapprochant. Les deux mâchoires sont reliées chacune avec une pièce en forme de joug portant un écrou à son centre. L'arbre est garni de deux pas de vis en sens opposés, engagés dans ces écrous, et, entre ces deux pas de vis, est montée, au-dessus et à l'aplomb du rail, une poulie à gorge conique. Voici maintenant comment cet ensemble fonctionne : dans l'état ordinaire, il est maintenu suspendu par une came; si, par suite de la rupture du câble, le ressort de traction se détend, cette came laisse retomber tout le mécanisme; la poulie à gorge embraye avec le rail à la manière de l'engrenage à coin, et en imprimant à l'arbre le mouvement de rotation qui l'anime, elle serre les écrous et les mâchoires. Tous les wagons sont munis de freins semblables solidaires entre eux, et pouvant d'ailleurs être manœuvrés du wagon de tête par un mécanisme indépendant du premier. De nombreuses expériences ont fait disparaître tous les doutes sur l'efficacité de ce frein.

Système Agudio. — M. Agudio a proposé pour les passages des Alpes un système de plan incliné, dit à locomoteur funiculaire, qui présente une grande analogie avec le mode de touage usité sur la Seine. Il emploie deux câbles : l'un, à forte section, est fixe et immobile au milieu de la voie; on l'appelle câble d'adhérence; c'est, en réalité, un câble de touage; il passe deux fois sur la gorge de deux tambours disposés sur l'axe longitudinal d'un chariot placé en queue du train, qui constitue le locomoteur funiculaire. L'autre câble est sans fin; c'est le moteur qui transmet aux tambours, par l'intermédiaire de poulies, la force de deux machines fixes placées aux deux extrémités de la rampe. L'effet étant divisé entre les deux brins du câble moteur, et transmis par des poulies dont on peut faire varier le rayon, la vitesse et la puissance, le câble moteur peut avoir des dimensions bien moindres que celles adoptées dans les plans inclinés ordinaires.

Ce câble peut aussi être remplacé par un moteur mobile qui ferait tourner les tambours.

Système de M. le baron Séguier. — Ce système a donné lieu à une étude très-complète due à M. l'ingénieur Duméry, en vue de l'application qui devait en être faite à un chemin de fer projeté entre Paris et Marly-le Roi. Il a été l'objet d'un savant rapport de M. Combes.

La progression des véhicules a lieu par l'effet de la pression de deux roues horizontales, qui serrent et laminent, pour ainsi dire, entre elles une bande de fer large et épaisse placée de champ à égale distance des deux rails. Un mouvement de rotation est imprimé aux arbres de ces deux roues par une machine à vapeur portée sur trois véhicules dont le poids total s'élève à 52,000 kilog., et dont les roues sont libres comme celles des wagons ordinaires.

On attribue à ce système les avantages suivants :

1° L'indépendance absolue des essieux et de la machine motrice, qui permet de les multiplier et de les installer de la manière la plus convenable pour la répartition des poids et le passage dans les courbes;

2° Par conséquent, possibilité de diminuer le rayon des courbes et le poids des rails;

3° L'adhérence pouvant être augmentée en quelque sorte indéfiniment, on peut franchir des rampes quelconques.

En regard de ces avantages se placent des inconvénients qui l'emportent sur eux :

1° L'économie qui résulterait de la diminution du poids des rails n'est qu'apparente; la bande centrale devrait avoir des dimensions considérables, et les difficultés de sa pose et de son entretien feraient plus que compenser la réduction du poids des rails;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHEMINS DE FER.

2° La saillie de la bande centrale est de 0m,35 au-dessus du sol ; elle doit être interrompue au droit des passages à niveau et des changements de voie ; les manœuvres de gare seraient donc impossibles sans un moteur spécial ;

3° La machine motrice est plus compliquée que la locomotive ordinaire par suite de l'adjonction des roues horizontales et des efforts concentrés sur deux arbres moteurs qu'elles ont à supporter ;

4° Pour franchir de fortes rampes, on doit chercher avant tout à diminuer le poids du moteur et de ses dépendances, tout en augmentant la puissance de traction et l'adhérence qui donne son point d'appui. Or, la machine motrice est nécessairement plus lourde à puissance égale que les locomotives ordinaires, puisqu'elle comprend en sus tout le système de roues horizontales ;

5° L'augmentation indéfinie de l'adhérence ne peut être obtenue qu'en augmentant aussi le poids des roues motrices ; en adaptant aux trains ordinaires des tuyaux de vapeur flexibles aboutissant à des appareils placés sous les véhicules, on arriverait aux mêmes résultats.

M. Fell a fait dernièrement sur le chemin de fer de Cromfort à High Peak, près Whaley Bridge, l'essai d'un système qui offre la plus grande analogie avec le précédent. Ces expériences ont eu lieu sur des rampes variant de 0m,072 à 0m,100 ; au sommet se trouvait un palier offrant quatre courbes et contre-courbes de 50 mètres de rayon sans raccordement droit ; le moteur était une machine tender à quatre roues couplées pesant 16 tonneaux 5, avec son approvisionnement ; elle agit par son adhérence, suivant le système ordinaire, mais de plus elle porte un mécanisme commandant les manivelles de deux couples de roues horizontales de 0m,406 de diamètre, qui roulent sur un rail central. Les auteurs de ce système ont proposé d'en faire l'application au passage du mont Cenis en attendant l'achèvement du grand tunnel.

Système de M. Girard. — M. Girard a proposé d'appliquer à la propulsion des convois la force vive de l'eau en mouvement. A cet effet, sous chaque voiture sont fixées symétriquement et parallèlement à l'axe longitudinal deux files superposées d'aubes courbes. Ces aubes ont la forme de surfaces demi-cylindriques à génératrices verticales ; elles sont comprises entre des bandes de fer horizontales qui en limitent la hauteur. Celles de la file supérieure sont tournées dans un sens opposé à celles de la file inférieure, afin de pouvoir marcher en avant ou en arrière.

Un tuyau souterrain est établi dans l'axe de la voie ; il est rempli d'eau maintenue à une pression calculée suivant la vitesse à imprimer au train. De distance en distance, de petits branchements, munis de soupapes et de tiroirs, viennent aboutir à deux becs disposés en sens inverse, de manière que l'eau est projetée par l'un dans la concavité des aubes de la file supérieure, ou par l'autre dans la concavité des aubes de la file inférieure ; suivant la direction de la marche. Un mécanisme automoteur, placé sur le premier wagon du train, agit sur certaines pièces extérieures et donne issue à l'eau qui vient frapper les aubes et imprime à tout le système une vitesse qu'on peut mesurer *a priori* par la théorie des roues hydrauliques. Le dernier wagon du train est muni d'un mécanisme qui ferme le passage de l'eau, au moment même où son action doit cesser.

Cette première conception permettait d'employer le matériel actuel : M. Girard a proposé une modification radicale et qui paraît destinée tout au moins à des conséquences indirectes d'une grande importance pour la mécanique pratique. Dans cette nouvelle combinaison, les rails sont remplacés par des plaques de fonte de 0m,26 de largeur, dont la face supérieure est rabotée et polie avec soin. Le train de wagon est une simple plate-forme sans essieux ni roues, un traîneau portant sur les rails par quatre patins en fonte à rebords verticaux peu saillants, ayant la même largeur que les rails et 0m,80 de longueur. Dans la partie appliquée sur le rail, ces patins présentent une série de sillons rectangulaires parallèles au périmètre de la base. L'effort nécessaire pour mettre en mouvement ce traîneau et vaincre l'adhérence et le frottement serait au moins égal à la moitié de son poids ; en introduisant sous le patin de l'eau à une pression telle que le wagon soit soulevé d'une quantité extrêmement petite, mais suffisante pour qu'une mince lame liquide s'interpose entre le rail et le patin et s'écoule constamment sur tout le contour de celui-ci, le frottement est diminué dans une si forte proportion que l'effort de traction se trouve réduit, suivant M. Girard, à un millième du poids. On peut remarquer, en passant, que cette disposition conserve toute son efficacité, quelle que soit la forme des surfaces frottantes ; appliquée aux paliers des machines de toute nature, elle permettrait de réduire dans une énorme proportion les pertes de force dues au frottement, d'atteindre des vitesses de rotation inconnues jusqu'ici dans la pratique, et de supprimer l'intervention si incommode et si coûteuse des agents lubrifiants.

L'application de ces principes aux chemins de fer soulève de graves objections, quelque ingénieuses et originales que soient les dispositions proposées par l'auteur pour lever toutes les difficultés de détail. Le volume d'eau à débiter, la pression qu'elle doit avoir, la dépense des appareils hydrauliques, tuyaux, réservoirs, machines foulantes, montent à des chiffres très-élevés. Les chances de fuite et les dérangements qui arrêteraient tout le système, les gelées qui empêcheraient complétement son action, la difficulté d'approvisionner les trains en marche d'eau portée à une haute pression pour lubrifier les rails, forment une autre série d'obstacles presque insurmontables en pratique. Quoi qu'il en soit, les expériences que M. Girard a faites à la Jonchère, sur une petite portion de voie construite dans son système, offrent le plus grand intérêt et méritent d'attirer l'attention sérieuse de quiconque s'intéresse aux progrès de la mécanique.

Chemins de fer atmosphériques. — Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici l'article relatif aux chemins de fer atmosphériques, inséré dans la précédente édition de cet ouvrage :

« La première idée d'un chemin de fer atmosphérique est due à un Anglais nommé Vallance, qui la conçut dès 1824 ; mais elle ne fut mise en exécution que beaucoup plus tard par MM. Clegg et Samuda, qui établirent un chemin de cette espèce de 2,722 mètres de longueur, en Irlande, entre Kingstown et Dalkey. Voici en quoi consiste ce système :

« Au milieu de la voie se trouve un tuyau en fonte alésé à l'intérieur, dans lequel se meut un piston qui le divise en deux parties ; si à l'aide d'une machine pneumatique on fait le vide dans l'une de ces parties, le piston se mouvra en vertu de la différence des pressions exercées sur ses deux faces et pourra entraîner dans son mouvement un poids variable, dépendant de l'étendue de sa surface et de la perfection du vide ; toute la question consiste donc à transmettre le mouvement de ce piston au convoi. La tige métallique C (*fig.* 56) fixée au premier wagon du convoi est liée à un châssis qui porte à une de ses extrémités le piston moteur, et à l'autre un contre-poids qui sert à l'équilibrer. Ce châssis porte quatre galets, qui soulèvent dans leur marche une soupape longitudinale qui donne passage à la tige métallique. La soupape longitudinale se compose

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une bande de cuir G, renforcée en dessus et en dessous par deux bandes de tôle. Après le passage de la tige C dans la rainure longitudinale, un rouleau R placé en arrière vient la fermer (*fig.* 57), et un tube N rempli de charbons incandescents liquéfie un mélange de cire et de suif qui recouvre la soupape, et en assure ainsi la fermeture parfaite.

« Le chemin de fer atmosphérique n'a pas dépassé l'état d'essai; aussi les questions de passage de niveau, des changements et croisements de voies, etc., sont loin d'être résolues d'une manière satisfaisante, et rien ne prouve qu'on puisse atteindre ce résultat.

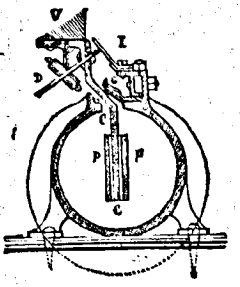


Fig. 56.

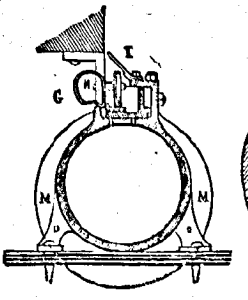


Fig. 57.

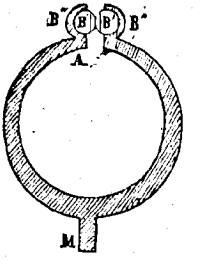


Fig. 58.

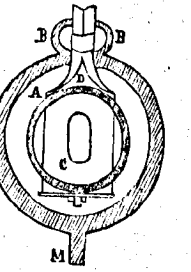


Fig. 59.

« M. Hallette avait proposé de remplacer la soupape compliquée que nous venons de décrire par deux boyaux en cuir, ou autre tissu quelconque imperméable, remplis d'air comprimé; ces deux boyaux seraient renfermés sur la plus grande partie de leur pourtour, dans deux petits tubes placés sur les deux rebords parallèles de la rainure du tube propulseur (*fig.* 58 et 59), de manière cependant à se presser par une partie de leur surface. Ces boyaux étant élastiques laisseraient aisément passer la tige métallique communiquant au convoi le mouvement du piston, et se refermeraient d'eux-mêmes immédiatement après. M. Hédiard a aussi inventé un mode de fermeture assez satisfaisant, et qui consiste en deux ressorts flexibles formant deux lèvres et serrant un cuir gras.

« Nous n'insisterons pas sur les imperfections évidentes d'un système aujourd'hui abandonné. D'un côté, les pertes par la soupape longitudinale (si difficile à conserver hermétiquement fermée sur de grandes longueurs) sont considérables, et croissent proportionnellement à la longueur du tube propulseur; de l'autre, le frottement du piston contre les parois du tube propulseur, étant un frottement de glissement, est assez considérable par suite de l'étendue des surfaces frottantes, le piston ayant un fort diamètre. Sous ce rapport, le piston adopté au chemin de fer de Paris à Saint-Germain, et que représente la *fig.* 60, est très-bien combiné. Il se compose d'un disque d'un diamètre un peu inférieur à celui du tuyau, et portant un cuir embouti pour rendre la fermeture complète. Un double piston assure toute garantie à cet égard.

Malgré cela, nous pensons qu'il ne sera pas sans intérêt de dire quelques mots sur le chemin qui se relie à celui de Paris au Pecq, et arrive au pied du château de Saint-Germain, sur la place de l'église principale et à l'entrée de la forêt. Le système atmosphérique y est établi sur une longueur de 2,500 mètres, depuis la plaine, dans le bois du Vésinet, jusqu'au plateau, dans le parterre de Saint-Germain; une différence de niveau de 51 mètres est rachetée par une pente de 1,950 mètres. Deux doubles machines à vapeur sont placées à Saint-Germain; les cylindres des machines à vapeur ont $0^m,80$ de diamètre; les pistons ont 2 mètres de course et 2 mètres de vitesse par seconde. Les pistons des cylindres pneumatiques ont $2^m,53$ de diamètre et 2 mètres de course; leur vitesse est de $0^m,40$ par seconde, et ils aspirent chacun, dans cet intervalle de temps, 2 mètres cubes d'air. Les quatre cylindres des machines à vapeur ci-dessus représentent une force de 400 chevaux-vapeur. Les chaudières occupent un vaste bâtiment et se composent de 12 corps cylindriques réunis deux à deux et avec un foyer par couple; chaque corps cylindrique a 3 mètres de long et $1^m,10$ de diamètre, et au-dessus sont des réservoirs cylindriques de vapeur de $0^m,80$ de diamètre et de $2^m,50$ de hauteur. Comme ces machines ne sont destinées à fonctionner que 3 à 4 minutes par chaque passage de train, on tient le feu constamment allumé sans trop de dépenses en fermant les registres de tirage, et, au moment voulu, on le ranime à l'aide d'un ventilateur. La consommation est d'environ 3,000 kilos de charbon par 24 heures. Deux

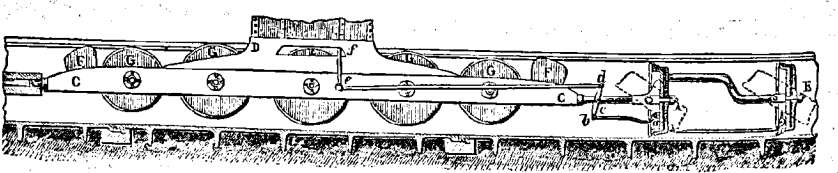


Fig. 60.

« Indiquons aussi l'avantage qu'offre ce piston, qu'il suffit de l'incliner à l'aide du levier *f e* pour que le système se meuve sans résistance, par exemple pour descendre, par la seule action de la gravité, la pente que le chemin atmosphérique a pour objet de franchir.

petites machines séparées, de la force de 25 chevaux, font le service de l'eau pour les chaudières et de la condensation pour les machines; elles font également

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la ventilation du foyer et les manœuvres de descente du train, à l'aide de cabestans pneumatiques; une autre machine placée au bas de la côte élève l'eau de la Seine pour alimenter les appareils. Ces diverses machines sont sorties de l'atelier de M. Hallette, d'Arras, et ont été construites sur les plans et sous la direction de M. Eugène Flachat. Un télégraphe électrique correspond avec le bois du Vésinet, et transmet aux machines les signaux pour leur mise en mouvement, car la puissance des machines est telle que l'on ne fait le vide qu'au moment où le train est attaché au piston. On évite ainsi un des grands inconvénients du système, les rentrées continuelles de l'air par la soupape, lorsqu'on veut préparer le vide à l'avance.

« A la rampe de Saint-Germain, le tube propulseur a 0m,63 de diamètre, pèse 500 kilos par mètre courant et coûte seul environ 200,000 fr. par kilomètre. Le prix total du chemin de fer atmosphérique s'est élevé à 1,800,000 fr. par kilomètre.

« La vitesse obtenue régulièrement depuis l'ouverture du chemin atmosphérique de Saint-Germain, qui a eu lieu le 14 avril 1847, varie, suivant la pesanteur des convois, de 32 à 70 kilomètres à l'heure. Un wagon, chargé d'un poids égal à celui de 40 voyageurs, lancé dans la gare de Saint-Germain et abandonné à lui-même, acquiert dans la descente une vitesse maximum de 77 kilomètres à l'heure, qu'il perd ensuite peu à peu jusqu'à son arrêt naturel sur la partie horizontale dans le bois du Vésinet. »

Le système atmosphérique est aujourd'hui abandonné; sur les chemins de Londres à Croydon, de Dublin à Kingstown, comme sur celui de Saint-Germain, la traction se fait par locomotives. Les frais de premier établissement sont trop considérables; la perte de force qui résulte de l'emploi de la soupape longitudinale toujours perméable à l'air est énorme et ne permet pas de compter sur un abaissement moyen de la colonne barométrique de plus de 0m,37; il n'est pas possible d'employer économiquement de puissantes machines fixes qui ne fonctionnent que pendant quelques minutes chaque jour. On n'a jamais pu songer sérieusement à en faire application ailleurs que sur quelques plans inclinés exceptionnels, et les progrès réalisés dernièrement dans la construction des locomotives rendent assez improbable qu'on y ait de nouveau recours.

Nous citerons cependant quelques-unes des tentatives faites dans le même sens, à cause de l'originalité d'invention déployée par les auteurs et pour prémunir ceux qui seraient tentés de s'engager trop avant dans une voie déjà explorée.

Locomotive à air comprimé de M. Andraud. — La machine se compose d'un réservoir d'air comprimé remplaçant la chaudière, accompagné d'un mécanisme ordinaire. Mais le volume d'air à employer serait si considérable, ou sa pression devrait être portée si haut pour permettre d'exécuter un trajet un peu long, que ce système n'a pas paru jusqu'ici susceptible d'être mis en pratique.

Système éolique. — M. Andraud est aussi l'inventeur d'un système de chemins de fer dits éoliques; entre les deux rails se trouve placé de champ un madrier longitudinal portant de chaque côté un tube flexible. Ce tube est en communication de distance en distance avec un réservoir d'air comprimé. Le premier wagon du train porte deux rouleaux verticaux susceptibles de se rapprocher, qui viennent presser de chaque côté les deux tubes flexibles montés sur le madrier. En introduisant l'air comprimé dans ces deux tubes, ils se gonflent, pressent les rouleaux et font avancer le train. Il y aurait probablement dans un pareil ensemble des pertes de force énormes; on ne connaît, d'ailleurs, aucune substance propre à confectionner économiquement et solidement les tubes flexibles du système éolique.

Système Pecqueur. — M. Pecqueur a imaginé une disposition qui ferait disparaître les inconvénients du transport de l'air comprimé; cet air serait pris dans un tuyau longeant la voie, et muni de distance en distance de tubulures à soupape mises en communication avec des tiroirs ou glissières creuses de grande dimension faisant partie des locomotives mêmes, ouvertes et fermées par un mécanisme spécial.

Le même auteur a proposé un système atmosphérique, analogue comme disposition générale à celui décrit plus haut, mais où la compression de l'air est employée de préférence à sa raréfaction.

Chemins de fer pneumatiques. — Un échantillon de ce mode de locomotion a été organisé et fonctionne depuis le 27 août 1864, près de Londres, au palais de cristal de Sydenham. Dans un tunnel de 548 mètres de long, sous lequel on a placé une voie en rampe de 0m,067, circule un wagon muni d'un écran en tôle avec bordure en étoffe, qui s'ajuste sur les parois du tunnel. Cet écran fait l'office d'un piston, et il est poussé par l'air comprimé chassé par un grand ventilateur; ce système, dû à M. Rammel, ingénieur Anglais, est une extension de celui qui a été essayé à Londres pour le transport des colis de la poste aux lettres dans des tuyaux en fonte de 0m,75 à 1m,50 de diamètre, système déjà proposé par Medhurst, en 1810, et plus tard par Vallance, Pinkus, etc.

Chemins de fer économiques. — On ne s'est pas moins préoccupé de trouver des combinaisons permettant d'établir les chemins de fer et de les exploiter à bon marché, que de les faire pénétrer dans les pays les plus accidentés; cette recherche a été l'un des objets principaux de l'enquête de 1863.

Chemins d'Écosse. — MM. Lan, Moussette et Bergeron ont recueilli des renseignements pleins d'intérêt sur un grand nombre de petites lignes exécutées en Écosse, et exploitées par des compagnies locales dans des conditions extrêmement économiques. Ces lignes, dont l'étendue est de 20 à 30 kilom. en moyenne, ont coûté de 70 à 125,000 fr. par kilom., non compris le matériel roulant, dont le prix a varié de 10 à 20,000 fr. par kilom. Le service se fait presque toujours en navette par un seul train; les stations sont placées à des passages à niveau, dont le garde, qui n'est pas même logé, est en même temps chef de gare, receveur et facteur : les expéditeurs et destinataires font eux-mêmes le chargement de leurs marchandises; la traction est faite par des machines-tenders de 18 à 20 tonneaux. Il n'y a ni service de nuit, ni éclairage, ni barrières, ni signaux dispendieux. Quelques-unes de ces petites compagnies exploitent à 45 p. 100, et donnent un bénéfice de 5 p. 100; celle de Eskbank à Peebles, par exemple, donne un produit brut de 10,000 fr. par kilomètre, et sa dépense ne s'élève qu'à 4,970 fr., répartis de la manière suivante :

Entretien de la voie.	860 fr.
Traction.	1,000
Matériel.	1,210
Trafic.	1,350
Frais généraux	550
Total.	4,970 fr.

On a remarqué avec juste raison que ces petites compagnies locales offrent de grands avantages pour la souscription du capital et la construction à bon marché; les éléments de l'entreprise peuvent être immédiatement contrôlés par les souscripteurs et suivis dans leur développement; on peut construire d'une façon plus modeste; on est exposé à moins d'exigences de la part des détenteurs des terrains, des entrepre-

EFEERUS - Recherche & Classification numérique

neurs et des fournisseurs, et, pour l'exploitation, les relations avec le public sont plus familières, plus simples et plus faciles. Le capital de beaucoup de lignes Anglaises s'est constitué de même, sur place, par l'accord spontané des industriels et des propriétaires intéressés à leur exécution; l'intérêt du capital est souvent très-bas, mais ce désavantage est amplement compensé pour les intéressés par les économies réalisées sur le transport de leurs produits et par la plus-value de leurs propriétés.

De telles combinaisons ne peuvent réussir que dans un milieu où l'esprit public, l'esprit et la liberté d'association et l'initiative individuelle sont largement développés. Si louable que soit l'entreprise des chemins de fer vicinaux du département du Bas-Rhin, elle ne présente que bien incomplétement ce caractère; c'est le commencement d'un troisième réseau ajouté à ceux qu'exploitent les grandes compagnies par l'intervention de l'administration, et non l'œuvre spontanée des influences et des intérêts locaux. Cependant, comme la marche suivie en Alsace a justement éveillé l'attention publique, comme elle est bien adaptée à notre régime intérieur, et paraît sur le point d'être imitée par d'autres départements, il faut en donner ici un aperçu rapide.

Les chemins de Strasbourg à Barr et Wasselonne, et de Haguenau à Niederbronn, ont, l'un 49k,45, l'autre 20 kilom. de longueur : le maximum des pentes est de 0m,040; le minimum de rayon des courbes de 350 mètres. Leur exécution offre une application combinée de la loi du 21 mai 1836 sur les chemins vicinaux, et de la loi du 11 juin 1842 sur les chemins de fer. Les dépenses sont réparties de la manière suivante, par kilomètre :

INDICATION DES DÉPENSES.		STRASBOURG à BARR, ETC.	HAGUENAU à NIEDERBRONN.
Construction de la voie vicinale, aux frais des communes et du département, au moyen des prestations en nature, avec des subventions librement consenties par les industries locales, et une subvention de 12,000 fr. de l'État.	Études et surveillance par le personnel des chemins vicinaux, pour mémoire	»	»
	Acquisitions de terrains	16.695f 00c	8.323f 00c
	Terrassements et ballast	16.792 00	7.732 00
	Ouvrages d'art	3.745 00	3.900 00
	Totaux	39.432 00	19.955 00
Aux frais du département	Stations	8.522 59	7.809 72
	Maisons de garde, passages à niveau, clôture des stations	1.511 44	1.060 96
	Traverses	4.202 50	4.418 99
	Poteaux et fils télégraphiques	260 17	250 01
	Totaux	14.496 70	13.539 68
Aux frais de la compagnie de l'Est	Voies de fer, compris voies de garage et injection des traverses	35.000 00	35.000 00
	Frais généraux	1.735 00	1.735 00
	Totaux	36.735 00	36.735 00
Dépense totale par kilomètre		88.663 70	70.229 68
Dépense totale pour l'ensemble des lignes		4.347.200 87	1.399 503 02
Dépense moyenne par kilomètre		82.096f 00c.	

Le matériel roulant reste en dehors de cette évaluation. L'exploitation est faite par la compagnie de l'Est, avec garantie d'intérêt par l'État, suivant les dispositions adoptées pour le second réseau.

La commission d'enquête de 1863 a terminé ses considérations sur les chemins de fer économiques par les conclusions suivantes :

1° La plus grande latitude devrait être laissée, tant à l'administration pour autoriser, qu'au concessionnaire pour construire et exploiter les chemins de fer d'intérêt local;

2° Les lignes de ce genre devant être, dans la plupart des cas, des chemins à transbordement, elles pourront et devront même différer essentiellement, tant sous le rapport de la construction que sous celui de l'exploitation, des chemins compris dans les réseaux jusqu'ici établis;

3° Dès lors les prescriptions du cahier des charges ordinaire devraient être simplifiées, en ce qui concerne ces lignes, de manière à permettre de faire varier la largeur de la voie, le poids des rails, le système de matériel roulant, les rampes et les courbes, à supprimer l'obligation des clôtures en tant que règle absolue, et à autoriser pour les bâtiments les formes les plus simples;

4° Toutefois, il serait désirable que dans chaque groupe les chemins locaux fussent construits avec la même largeur de voie, de manière à pouvoir être desservis par le même matériel roulant, mais cette uniformité ne doit pas être érigée en règle absolue;

5° A l'égard de l'exploitation de ces lignes, la réglementation administrative devrait se borner aux mesures de police indispensables à la sécurité publique;

6° Le bénéfice de la loi du 21 Mai 1836, sur les chemins vicinaux, pourrait être étendu aux chemins de fer d'intérêt local, notamment dans celles de ses dispositions qui concernent les enquêtes et les acquisitions de terrains.

Chemins de fer sur les routes. — D'autres personnes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

proposent d'utiliser les routes actuelles, dont la largeur est souvent plus que suffisante, en y plaçant des rails toutes les fois que le tracé le permet. On a de nombreux exemples de voies de fer suivant les routes et même les rues des villes; à Nantes, à Berlin, à Gênes, en Belgique, aux États-Unis; il n'en résulte pas de sérieux inconvénients; on se contente de réduire la vitesse des trains à 16 kilomètres. MM. Molinos et Pronier ont lu, en 1861, à la Société des Ingénieurs civils de Paris, un intéressant mémoire sur les moyens d'exploiter des chemins de ce genre installés sur les accotements des routes, au moyen de machines locomotives. Mais, jusqu'à ce jour, la traction par chevaux a été employée de préférence : tel est le chemin de fer de la place de la Concorde à Versailles, et celui de Rueil à Port-Marly : ils sont des imitations des chemins installés dans les rues de New-York et de plusieurs autres villes des États-Unis.

Les rails sont posés sur longrines; ils pèsent 20 kilos le mètre courant. Les longrines sont reliées par des traverses espacées de 1m,25. Le kilomètre de voie posé coûte 27,000 francs.

Les véhicules contiennent 50 voyageurs. D'après les expériences faites par M. Tresca, ils pèsent chargés environ 6,000 kilos; le rapport du tirage à la charge est de 0,007; l'effort moyen de traction de 39 kilos 45, et chaque cheval produit en moyenne 65 kilogrammètres 57 par seconde. La traction est plus pénible sur les chaussées empierrées que sur les chaussées pavées.

Chemins d'usines et de mines. — Enfin, il est une autre classe de chemins de fer plus économiques et plus modestes que les précédents, qui n'en rendent pas moins d'immenses services dans les mines, sur les chantiers, dans les usines, dans les fermes. Ces chemins sont ordinairement composés de rails en fer méplat de 0m,07 de hauteur sur 0m,014 d'épaisseur, posés de champ et maintenus par des coins de bois dans des traverses de 0m,11 d'équarrissage espacées de 0m,65. L'écartement des rails est en moyenne de 0m,50. Le poids des véhicules est de 500 à 800 kilos. Dans ces conditions le mètre courant peut être évalué de la manière suivante :

Fer.	5 f. 60
Traverses en chêne à 1 fr..	1 50
Pose, déblais, remblais.	0 60
Total.	7 70

Dans les courbes on double les traverses pour soutenir le rail extérieur et on élève ce rail de 0m,02 à 0m,03 au-dessus du rail intérieur. Ces chemins peuvent se démonter et se transporter rapidement; ils sont bien préférables aux longrines garnies de bandes de fer clouées, quoique les frais de premier établissement de celles-ci soient un peu moins élevés. Les chariots descendent seuls les pentes de 0m,006.

Les forges livrent maintenant des rails de divers échantillons et de divers profils plus avantageux que le profil méplat, et applicables à tous les besoins de l'industrie.

Ces petits chemins sont ordinairement dépourvus de changements de voie et de plaques tournantes; aux bifurcations, l'on se contente de ménager des entailles suffisantes pour le passage des boudins des roues (*fig.* 61); et en poussant le véhicule, on le dirige avec toute la précision nécessaire vers la voie qu'il doit prendre. Les plaques tournantes sont suppléées par des plaques fixes en fonte ou en tôle, au droit desquelles les rails sont interrompus; afin d'éviter les tâtonnements, ces plaques sont pourvues d'arcs saillants venus de fonte ou rivés (*fig.* 62), qui se terminent par des tangentes parallèles au rail et conduisent les chariots dans la direction voulue.

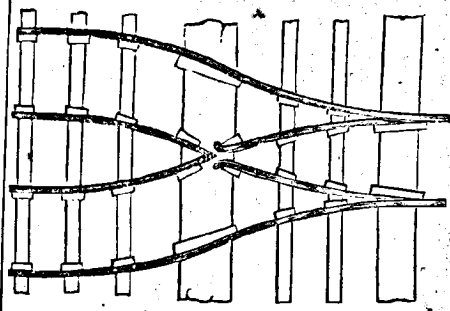


Fig. 61.

Dans les carrières des environs de Paris (Meudon, Trilport), on emploie un mode de transport qui se plie aux plus grandes inégalités du sol et de la voie, sur des terrains mobiles et imprégnés d'humidité. La voie a 0m,27 à 0m,30 de largeur; les roues sont remplacées par des rouleaux ayant la forme de deux troncs de cône juxtaposés par leur grande base (*fig.* 63 *et* 64); les chariots peuvent ainsi franchir sans dérailler des courbes de très-petit rayon et passer sur des voies impraticables avec toute autre disposition.



Fig. 62.



Fig. 63.

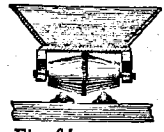


Fig. 64.

Ces chariots portent jusqu'à 600 kilogrammes.

On trouve dans quelques mines (la Grand-Croix) des chemins de fer suspendus, dits à la Palmer, dans lesquels le véhicule est soutenu par un fléau contre-coudé en fer qui reporte son centre de gravité dans la verticale du point d'appui; ce fléau est fixé à l'essieu d'une poulie roulant sur un rail suspendu et fixé à une longrine. Cette disposition est susceptible de nombreuses variétés qui ont été utilisées dans les usines et chantiers pour le transport des matériaux. (Carrières d'Angers, etc.) Voici la description donnée par M. Debette du chemin établi à Marvelay, près Épinac, par M. Delvaux.

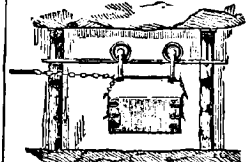


Fig. 65.

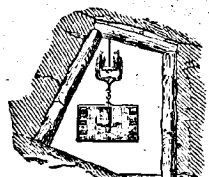


Fig. 66.

La voie (*fig.* 65 *et* 66) se compose d'une suite de longrines assemblées à leur extrémité à mi-bois et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reliées par des boulons à écrous. Cette voie est suspendue aux chapeaux des cadres de soutènement par de longs clous taraudés à l'extrémité qui doit s'engager dans le chapeau; elle est destinée à supporter quatre roues ou galets reliés deux à deux par un essieu recourbé qui passe sous la voie suspendue. Le galet est maintenu à l'extérieur par une petite clavette (*fig.* 67); chacun des essieux est lié par un boulon à écrou à une grande tringle longitudinale, à laquelle la caisse est suspendue au moyen de deux petites chaînes terminées par une ferrure en patte d'oie solidement clouée à une des parois de la caisse. Pour les traversées et changements de voie, une des longrines est entaillée à mi-bois et est renforcée dans cette partie par une bande de tôle fixée par des boulons. Une autre pièce, taillée à mi-bois de la même manière que la première, s'adapte sur celle-ci par un tenon autour duquel elle peut tourner; cette pièce se termine par un biseau qui va s'adapter, au moyen d'un petit tenon en fer, dans une autre bande de longrines appartenant à une autre voie, et constitue ainsi une véritable aiguille qui permet facilement au chariot de passer d'une voie sur l'autre. L'extrémité de la bande et la pièce tournante doivent être arrondies près du pivot à leur partie extérieure, afin de pouvoir permettre le libre mouvement des galets.



Fig. 67.

Citons encore le *chien de mine* (*fig.* 68 et 69), usité

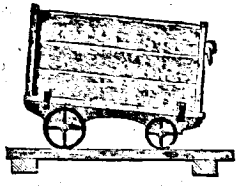


Fig. 68.

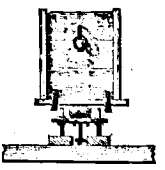


Fig. 69.

de temps immémorial dans les mines d'Allemagne pour le transport des minerais dans des galeries ordinairement étroites et tortueuses. Il consiste en une caisse prismatique à base quadrangulaire longue, haute et étroite, portée sur quatre roulettes ordinairement placées au-dessous de son fond, pour ne pas diminuer sa largeur. L'essieu des roues de devant est plus court que celui des roues de derrière, et ces deux essieux sont fixés, l'un tout près de la partie antérieure du chariot, l'autre en arrière du milieu et un peu au delà de la verticale, passant par le centre de gravité de la caisse chargée. Au milieu de l'essieu antérieur est fixée verticalement une cheville en fer qui sert à guider le chariot, ce qui est d'autant plus nécessaire que les rouleurs circulent en général sans lumière et en courant sur les voies de roulage souterraines. La voie de roulage est formée par deux lignes parallèles de solives en bois de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur et $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur au moins. Ces solives, quelquefois recouvertes de bandes de fer mince ou de plaques de fonte, sont fixées par des chevilles sur des traverses en bois posées sur le sol de la galerie ou appuyées par leurs extrémités dans des entailles faites dans les parois. Leurs faces verticales intérieures laissent entre elles un intervalle d'environ $0^m,03$, dans lequel est engagée la cheville directrice que l'on termine en général par un galet horizontal. Le rouleur se place derrière le chien et le pousse devant lui en s'appuyant sur sa partie postérieure.

Bibliographie. Les livres publiés sur les chemins de fer constituent déjà une bibliothèque spéciale très-volumineuse : nous ne saurions citer tous ceux auxquels nous avons eu recours pour préparer cette notice, mais c'est un devoir de nommer au moins les ouvrages et les auteurs auxquels nous avons fait les emprunts les plus considérables, et principalement : les *Annales des ponts et chaussées*, les *Annales des mines*, les *Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils de Paris*, les *Documents statistiques publiés en* 1856 pendant l'administration de M. le comte Dubois, l'enquête de 1862, les œuvres de MM. Bazaine, Michel Chevalier, Couche, Daru, Eugène Flachat, Perdonnet, Teisserenc, Prosper Tourneux, etc. ELPHÈGE BAUDE.

CHEMINÉE (*angl.* chimney, *all.* schornstein). La cheminée est le conduit qui donne passage aux produits de la combustion et les conduit à une hauteur convenable. Toute la chaleur produite qui n'a pas été communiquée aux corps à chauffer, se trouve dans les gaz qui parviennent dans la cheminée, et celle-ci faisant, comme on le sait, que l'air traverse rapidement le foyer où est placé le combustible, on voit qu'elle permet à une partie de la chaleur de se transformer en force vive mécanique, en force ascensionnelle. Malgré toute la simplicité qui la rend applicable en toutes circonstances, on voit que sa théorie complète du mode de construction de la cheminée peut être intéressante et difficile.

Nous ne nous occuperons ici que des règles pratiques utiles pour l'établissement des cheminées. Ce fut *Mongolfier*, le célèbre inventeur des ballons, qui s'occupa le premier de leur tirage, et reconnut qu'il était dû à la différence de température qui existait dans leur intérieur et à leur extérieur. Soit h la hauteur verticale de la cheminée, $\alpha = 0{,}00366$ la dilatation de l'air pour 1° C., t la température ambiante, et t' celle de l'air chaud qui remplit la cheminée; la hauteur que prendrait une colonne d'air, remplissant la cheminée, à la température t, en passant à la température t', étant

$h \dfrac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}$ la hauteur motrice sera

$h \dfrac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} - h = h \dfrac{\alpha (t'-t)}{1+\alpha t}$ ou approximativement, en remarquant que αt est très faible et peut être négligé, $\alpha h (t'-t)$, de sorte que la vitesse théorique du courant d'air chaud ascendant sera $v = \sqrt{2gxh(t'-t)}$. Mais la vitesse réelle est beaucoup plus faible, ce qui tient, d'une part, à ce que l'air chaud entrant dans une cheminée par la partie inférieure se refroidit graduellement à mesure qu'il s'élève, par l'effet de l'irradiation et du contact des parois, proportionnellement à la différence de sa température et de celle de l'air extérieur, et en raison inverse de la vitesse du courant et du diamètre de la cheminée; et d'autre part, à l'effet du frottement qu'éprouve la colonne d'air chaud contre les parois. MM. Girard et d'Aubuisson ont prouvé que la résistance que les tuyaux de conduite opposent au mouvement des gaz, est proportionnelle au carré de la vitesse et à la longueur des tuyaux, qu'elle croît en raison inverse des diamètres, et qu'elle varie aussi selon la nature de la matière dont ces tuyaux sont formés; elle est plus grande dans les tuyaux de terre cuite que dans ceux de tôle, et plus grande dans ces derniers que dans ceux de fonte. M. Péclet a reconnu par expérience que la même loi s'applique exactement au mouvement de l'air chaud dans les cheminées. Quoique la fonte et la tôle, étant beaucoup meilleurs conducteurs de la chaleur que la brique, occasionnent dans les courants d'air chaud un refroidissement beaucoup plus rapide, il en résulte que les cheminées à parois métalliques tirent mieux que celles en briques; cependant celles-ci, étant beaucoup plus solides et plus durables, sont généralement préférées.

La résistance due au frottement du courant d'air

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaud ascendant contre les parois étant en raison inverse de l'aire de section et proportionnelle à son périmètre, il convient de choisir pour la forme de la section intérieure celle qui, sous le même périmètre présente l'aire maximum, c'est-à-dire le cercle ; la forme la plus convenable à donner à la section intérieure des cheminées, sous le rapport du tirage, est donc la forme circulaire, et c'est maintenant celle que l'on adopte généralement pour les cheminées des chaudières à vapeur.

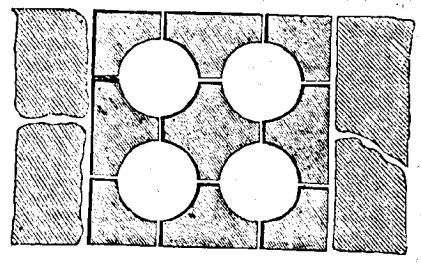
Lorsqu'on rétrécit l'orifice supérieur d'une cheminée en y adaptant un diaphragme, la dépense d'air et par conséquent le tirage diminuent, mais non pas proportionnellement à l'ouverture du diaphragme ; parce que la vitesse à l'intérieur, le long des parois, diminuant en même temps, la résistance due au frottement devient moindre, et qu'en raison de cela la vitesse d'écoulement par le diaphragme augmente ; de telle sorte que si le diamètre de la cheminée était grand par rapport au diamètre du diaphragme, la vitesse de l'air à l'orifice serait presque égale à la vitesse théorique. Quand le diaphragme est placé à la partie inférieure, les effets sont à peu près les mêmes, et la diminution de dépense est encore moindre, parce que la vitesse d'écoulement à l'orifice supérieur ne dépend que de la pression et non du diamètre, et que la dépense augmente avec celui-ci.

On voit d'après ce qui précède que l'activité du tirage peut s'obtenir soit en donnant aux cheminées une grande hauteur, soit en augmentant leur diamètre intérieur ; si l'on prend en considération le prix de la main d'œuvre et le refroidissement graduel de la colonne d'air chaud, on sera porté, toutes choses égales d'ailleurs, à donner la préférence à ce dernier procédé, qui permet en outre de diminuer la résistance due aux frottements contre les parois, en ayant soin de disposer, dans l'intérieur de la cheminée, un ou plusieurs diaphragmes d'un diamètre convenable ; il est nécessaire dans ce dernier cas que le diamètre de ces diaphragmes soit tel que l'air chaud ne s'écoule pas au dehors avec une vitesse de moins de 3 à 4^{m} par seconde, afin que le courant puisse résister à l'action des vents extérieurs et ne soit pas refoulé dans la cheminée.

Il est très difficile, pour ne pas dire impossible, dans la plupart des cas, de mesurer la température de l'air sortant, afin de pouvoir déterminer la température moyenne de l'air dans la cheminée, ainsi que de déterminer la perte de force vive due au frottement des parois ; ce qu'il y aurait de mieux à faire serait d'apprécier en bloc toutes ces résistances en comparant, dans un grand nombre de cas, la vitesse théorique de l'air donnée par la formule que nous avons établie plus haut, avec la vitesse réelle mesurée directement au moyen de l'*anémomètre de M. Combes*, que nous décrirons à l'article VENTILATION. Des mesures faites avec des instruments moins précis ont montré que la vitesse réelle n'était que 1/4 à 1/5 de la vitesse théorique.

Nous avons déjà donné dans cet ouvrage les règles pratiques qui servent à déterminer les dimensions des grilles et cheminées des CHAUDIÈRES A VAPEUR ; il est inutile d'y revenir ici. Les cheminées des maisons d'habitation ont proportionnellement une section beaucoup plus considérable, ce qui tient au mode de ramonage généralement adopté et qui ne permet pas de descendre au-dessous de certaines dimensions ; il en résulte que la vitesse de sortie de l'air étant très faible, le moindre vent rabat la fumée dans l'intérieur des cheminées et les fait fumer ; il serait très facile de parer à cet inconvénient en plaçant dans l'intérieur de chaque cheminée, un ou plusieurs diaphragmes mobiles de diamètre convenable, de manière à donner une vitesse suffisante au courant d'air chaud ; ce procédé, beaucoup plus simple que tous les appareils inventés jusqu'à ce jour par les fumistes, est d'un emploi certain, et nous sommes en droit de nous étonner qu'il n'ait encore été appliqué presque nulle part, ce qui pourrait se faire dans toutes les cheminées à peu de frais, sans changer leurs dimensions et le mode de ramonage habituel.

Ce qu'il y a de mieux pour les maisons d'habitation, sont les cheminées en briques à section intérieure cir-



510.

culaire (*fig.* 510) de M. *Gourlier ;* ces cheminées, placées dans l'intérieur des murs, n'en augmentent pas l'épaisseur et n'en diminuent pas la solidité ; elles peuvent se ramoner facilement en y promenant un fagot d'épines attaché par les deux bouts à des cordes de la longueur de la cheminée.

L'établissement des cheminées hautes et isolées, telles que celles des chaudières à vapeur, etc., se faisait autrefois à l'aide d'un échafaudage extérieur et était très coûteux. Actuellement on les construit sans aucun échafaudage, en encastrant dans la maçonnerie, à l'intérieur, des barres de fer que l'on espace de 0^{m},60, et qui forment une échelle au moyen de laquelle on s'élève aisément dans la cheminée ; cette échelle sert à la construction et aux réparations. Un bon ouvrier, aidé d'un manœuvre qui lui passe les briques et le mortier, peut élever en quelques semaines une cheminée de 43 mètres de hauteur, ayant de diamètre à la base, extérieurement, 4^{m},70, et intérieurement 0^{m},80, et au sommet, extérieurement 0^{m},70, et intérieurement 0^{m},50. Pour alléger les cheminées et pour leur donner plus de solidité, on les construit en plusieurs assises, superposées comme on le voit plus loin fig. 514 ; on comprend sans peine qu'il faille leur donner une certaine épaisseur à la base, pour qu'elles puissent résister aux coups de vent et ne pas souffrir de l'action des gaz chauds qui y affluent. Lorsqu'une pareille cheminée doit desservir plusieurs foyers, il faut que la section soit au moins égale à la somme des sections des rampants qui viennent y déboucher.

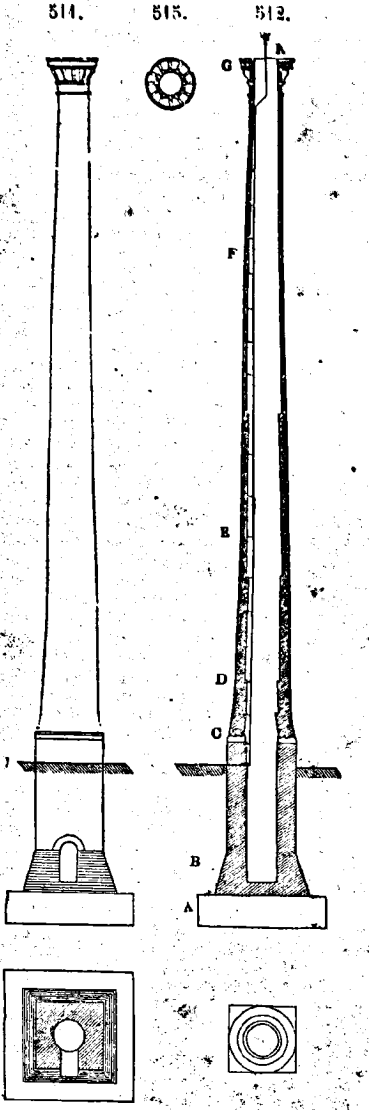
Comme lors de la mise en feu, les cheminées d'appel sont remplies d'air froid et ne produisent aucun tirage, il est nécessaire de faire au bas de la cheminée un feu très vif avec de la paille, ou toute autre matière facilement combustible. Du reste, les grandes cheminées conservent leur chaleur pendant assez de temps, pour qu'elles puissent reprendre immédiatement leur service sans échauffement préalable, après une interruption de quelques jours. Pour certaines cheminées d'appel, comme celles qui servent à la ventilation, on construit près de leur base un petit fourneau particulier, dit *fourneau d'appel*, qui sert à lancer dans la cheminée la quantité d'air chaud nécessaire pour déterminer le tirage.

Comme les hautes cheminées courent le danger d'être frappées par la foudre, il convient de les munir d'un paratonnerre dont la chaîne descend le long des parois extérieures ou intérieures et s'enfonce dans le sol comme à l'ordinaire. Il vaut toujours mieux donner aux cheminées plus de hauteur qu'il n'est nécessaire, car on peut toujours diminuer le tirage au moyen de registres convenablement placés, tandis qu'on ne peut l'augmen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ter, ce dont on a besoin dans certains cas, lorsque par exemple, en été, la température extérieure est très élevée, ce qui diminue d'autant la force motrice, et rend plus considérable la consommation en combustible, car on sait qu'une combustion vive consommant une quantité d'air moins considérable, produit un effet calorifique beaucoup plus grand qu'une combustion lente.

Comme exemple de construction d'une cheminée, nous donnerons l'une de celles construites, d'après les dessins du célèbre ingénieur Robert Stephenson, pour les chaudières des deux machines à vapeur, de la force

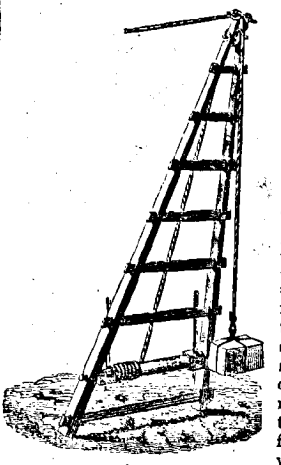


de soixante chevaux chacune, établies sur le chemin de fer de Londres à Birmingham, près de Camden, et servant à remonter les trains sur le plan incliné de Hampstead.

La fig. 511 en représente l'élévation; la fig. 512, la coupe verticale; la fig. 513, la coupe horizontale au niveau du rampant; la fig. 514, la coupe horizontale au niveau du sol; et la fig. 515 est le plan du chapiteau G qui surmonte la colonne. La fondation A de la cheminée est un massif en pierres de taille à base carrée de 7m,20 de côté et de 1m,80 de hauteur; au-dessus est un tronc de pyramide en briques ayant à la base 5m,70 de côté, supportant un prisme de 3 mètres de côté qui s'élève jusqu'au niveau du sol II. La partie inférieure de la cheminée CD, se raccorde par un arc de cercle de 35 mètres de rayon avec la partie moyenne E de la cheminée, qui a 15 mètres de haut et qui porte la partie supérieure F, ayant 18 mètres de hauteur; enfin le tout est couronné par le chapiteau G construit en pierres de taille consolidées par un anneau en fer. K est le paratonnerre.

La plus haute cheminée qui existe au monde est une cheminée construite dernièrement à Manchester, et qui a 125 mètres de hauteur, son diamètre extérieur à la base est de 7m,50, et au sommet de 2m,70; on y a employé 4,000,000 de briques.

CHÈVRE. On appelle chèvre une machine très employée dans les constructions pour élever les matériaux. Elle se compose essentiellement (fig. 1) d'un treuil dont l'axe tourne entre deux montants qui se réunissent au-dessus de lui, et qui à leur jonction portent une poulie. La corde attachée au fardeau à élever passe sur cette poulie et vient s'enrouler sur le treuil, que l'on manœuvre à l'aide de leviers. La chèvre est maintenue dans une position presque verticale à l'aide d'une corde attachée d'une part à l'extrémité supérieure, et de l'autre à un point fixe situé dans le voisinage. La chèvre n'est en réalité qu'un mode d'emploi du treuil pour élever des fardeaux suivant une verticale placée en avant de celle qui passe par l'axe du treuil. Il est bien clair que le hauban qui maintient la chèvre est tendu en raison de l'inclinaison que l'on donne à celle-ci, et que la flexion qu'éprouvent les montants suit la même loi, d'où l'on doit conclure que la chèvre doit toujours être employée à une faible inclinaison sur la verticale.

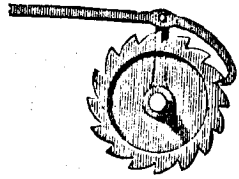


1.

L'emploi de la chèvre, disposée, par exemple, à la partie supérieure d'un édifice en construction, offre des inconvénients nombreux, tant par la nécessité de la déplacer à mesure que l'on s'élève, que par la lenteur et la gêne qu'offrent les placements et déplacements des leviers. On ne peut guère songer à compliquer notablement le mécanisme d'une machine dont la légèreté et la simplicité font le principal mérite. Nous citerons, parmi les essais tentés dans cette direction, la disposition due à M. Neveu, représentée fig. 1560, article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, qui permet de remplacer avec avantage la corde qui s'enroule autour du treuil par une chaîne en fer.

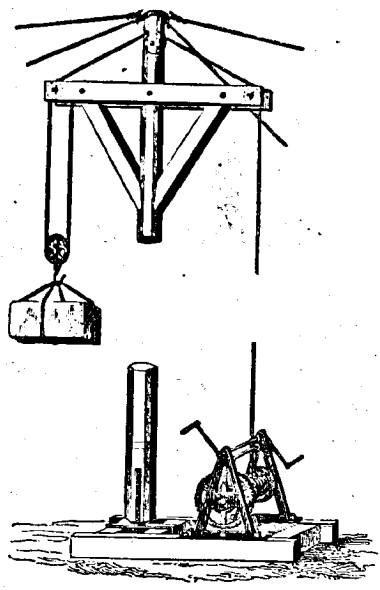
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est aussi une disposition que nous avons vu appliquer avec avantage dans l'artillerie, et qui est due à un capitaine d'ouvriers d'artillerie nommé M. Laurent, et qui a été imitée par plusieurs entrepreneurs de la capitale. Elle consiste à munir l'extrémité du treuil d'une espèce de roue à rochet (fig. 2), et à monter sur l'axe un levier tournant librement sur lui, à l'extrémité duquel est articulée une espèce de dent terminée par un long levier en fer, ou par une boîte dans laquelle s'engage l'extrémité d'un levier en bois. En soulevant l'extrémité de ce levier le rochet avance de deux ou trois dents; en l'abattant il fait tourner le treuil de l'arc correspondant à ces deux ou trois dents. On peut rendre ces mouvements alternatifs très rapides quand le poids du fardeau n'est pas trop considérable, et gagner ainsi beaucoup de temps sur la manœuvre ordinaire de la chèvre. Il va sans dire qu'un encliquelage empêche tout mouvement de recul du treuil.



2.

Depuis quelques années on emploie beaucoup à Paris, surtout pour les constructions importantes, un appareil dit *sapine* (fig. 3), dans lequel les ressources



3.

qu'offre la mécanique sont bien mieux utilisées que dans la chèvre ordinaire.

Il se compose d'un treuil à engrenages et d'un mât vertical formé d'un sapin tout entier, terminé en croix à sa partie supérieure. Ce mât s'appuie par un pivot en fer dans une crapaudine adaptée au châssis en charpente auquel le treuil est fixé; il est maintenu verticalement par quatre haubans, qu'on attache à des points fixes situés dans le voisinage. Une corde s'attache à l'un des bras de la croix, descend pour passer dans la gorge d'une poulie mobile, à la chappe de laquelle est suspendue le corps que l'on veut élever, remonte ensuite pour passer dans trois poulies fixes, et descend enfin pour s'enrouler sur le treuil. Deux manivelles placées aux deux extrémités d'un axe horizontal servent à faire tourner un pignon monté sur cet axe. Le pignon communique son mouvement à une roue dentée qui est fixée au treuil, la corde s'enroule et fait ainsi monter le fardeau. Un encliquetage est adapté à l'axe des manivelles, pour empêcher que le corps ne redescende lorsqu'on l'abandonne. On voit aisément que, d'après la disposition de cette machine, les tensions des haubans qui maintiennent l'extrémité supérieure du mât ne sont jamais très grandes.

Il est facile de donner aux roues dentées du treuil à engrenages des dimensions telles que pour le fardeau habituellement en usage, le travail des ouvriers soit dans des conditions de maximum d'effet utile. On voit aussi toute l'économie que l'on trouve, pour des constructions importantes, dans l'emploi d'un appareil qui sert sans être démonté pour la construction complète de l'édifice.

CHLORATES. Les chlorates sont des sels formés par l'*acide chlorique;* le seul d'entre eux employé dans les arts est le suivant :

CHLORATE DE POTASSE (*angl.* chlorate of potash, *all.* chlorsaures kali). C'est un sel blanc, cristallisé en lames hexagonales ou rhomboïdales, qui se dissout dans 16 p. d'eau froide et 2 1/2 p. d'eau bouillante; ces dissolutions ne sont pas précipitées par le nitrate d'argent. Soumis à l'action de la chaleur, le chlorate de potasse fond, bouillonne, produit un dégagement d'oxygène, et laisse un résidu formé d'un mélange de chlorure de potassium et d'hyper-chlorate de potasse. En chauffant plus fortement, il se dégage une nouvelle quantité d'oxygène, et il ne reste plus à la fin, dans la cornue où se fait l'opération, que du chlorure de potassium pur.

Le chlorate de potasse est assez fréquemment employé dans les laboratoires pour produire de l'oxygène et comme réactif oxydant; mêlé avec quelques matières combustibles telles que le soufre, le charbon, etc., ce sel détonne violemment par le choc; plusieurs de ces mélanges s'enflamment par le contact de l'acide sulfurique. On s'en sert pour la préparation des ALLUMETTES dites *oxygénées*, ainsi que pour celle des capsules fulminantes; dans ce dernier cas, on prépare la poudre fulminante ainsi qu'il suit : on lave à l'eau 10 parties de poudre, on mélange le résidu encore humide qui se compose de charbon et de soufre avec 5 p. 1/4 de chlorate de potasse très finement pulvérisé, et on broie le tout avec une quantité d'eau suffisante pour en former une bouillie assez liquide et bien homogène; on en introduit alors une goutte dans l'intérieur de chaque capsule et on l'y laisse sécher. Comme par la détonation de cette poudre il se dégage du chlore qui attaque fortement les pièces en fer qui composent la batterie, et que d'un autre côté il reste un résidu assez considérable de chlorure et de sulfure de potassium qui encrassent très rapidement les cheminées, on en a presque entièrement abandonné l'emploi et on l'a remplacé par la poudre fulminante de Howard (voyez FULMINATE DE MERCURE), qui est à présent généralement adoptée pour amorcer les capsules.

Le chlorate de potasse se prépare en saturant de chlore une dissolution de potasse ou de carbonate de potasse, aussi exempte que possible de sulfate. Si la dissolution de potasse était très étendue, on n'obtiendrait que peu de chlorure de potasse, tandis que quand elle est concentrée, il se produit au contraire une grande proportion de chlorate de potasse, et une quantité équivalente de chlorure de potassium (réaction que l'on peut

EFFRUS. - Recherche & Classification numérique

représenter par la formule : $12\,Cl + 6\,KO = [(Cl^3\,O^5 + KO) + 5\,Cl^3\,K)]$; ce dernier plus soluble reste dans la liqueur, tandis que le chlorate de potasse cristallise et se précipite au fur et à mesure au fond de la dissolution; comme il obstrue facilement le tube de dégagement par lequel arrive le chlore gazeux, il est nécessaire d'employer des tubes d'un grand diamètre, dans la partie inférieure desquels on fait pénétrer un tube fermé et recourbé en crochet, qui passe à travers un bouchon, et qui sert à les dégager.

Lorsque la liqueur contient un léger excès de chlore, on arrête l'opération, on fait égoutter les cristaux, et on les purifie par une seconde cristallisation en les dissolvant dans 2 1/2 à 3 fois leur poids d'eau bouillante, filtrant, puis laissant refroidir, afin d'enlever le chlorure de potassium entraîné en petite quantité dans les premiers cristaux, ainsi que la silice, dont toutes les potasses du commerce renferment toujours une quantité plus ou moins considérable à l'état de silicate, et qui est précipitée à l'état gélatineux par l'action du chlore.

Les eaux-mères évaporées donnent du chlorure de potassium.

La petite quantité de chlorate de potasse que l'on obtient par le procédé que nous venons de décrire, et qui ne s'élève guère qu'à 1/10e de celle du carbonate employé, a porté plusieurs chimistes à chercher à préparer ce sel par l'oxydation du chlorure de potassium. Voici les résultats obtenus par Liebig :

On forme avec de l'eau et du chlorure de chaux une pâte que l'on évapore à siccité, ou bien on fait passer du chlore dans un lait de chaux maintenu presque bouillant; il se produit du chlorate de chaux et du chlorure de calcium; on dissout à chaud dans l'eau, on ajoute du chlorure de potassium et on laisse refroidir; il se précipite beaucoup de cristaux de chlorate de potasse que l'on purifie par une seconde cristallisation. Si on se contentait de laisser refroidir la première liqueur, on n'obtiendrait pas tout le chlorate; il s'en dépose encore pendant 3 ou 4 jours. Avec 12 parties de chlorure de chaux de mauvaise qualité, qui laissait en se dissolvant dans l'eau 65 p. 100 de résidu, Liebig a obtenu 1 p. de chlorate de potasse cristallisé.

Le chlorate de potasse cristallisé est un sel anhydre qui renferme sur 100 parties :

Acide chlorique. .	61,50	$Cl^2\,O^5 + KO.$
Potasse.	38,50	
	100,00	

CHLORE (*angl.* chlorine, *all.* chlor). Le chlore est l'un des corps simples de la chimie; c'est un gaz jaune-verdâtre dont la densité par rapport à celle de l'air est de 2,47, et qui se liquéfie sous la pression de 4 atmosphères. Son odeur est très forte et caractéristique; il provoque la toux et peut même déterminer des accidents graves s'il est respiré en trop grande quantité : il agit alors comme corrosif très énergique. A la température et sous la pression atmosphérique, l'eau dissout environ le double de son volume de chlore gazeux : cette dissolution présente la couleur et toutes les autres propriétés du chlore. Lorsqu'on fait arriver un courant de chlore dans de l'eau placée dans un bocal entouré de neige, il se forme un hydrate de chlore solide sous la forme de flocons jaune-serin, qui se composent pour 100 de :

Chlore.	27,7 . . .	1 at.
Eau.	72,3 . . .	5 at.
	100,0	

Lorsqu'on chauffe cet hydrate, il commence à fondre à 10°, et se transforme rapidement en une solution aqueuse de chlore et en chlore gazeux qui se dégage avec effervescence.

Le chlore a une grande affinité pour l'hydrogène, et lorsque ces deux corps sont mélangés à l'état gazeux, ils se combinent avec explosion par l'approche d'un corps en ignition, l'étincelle électrique ou l'action directe des rayons solaires; il se forme alors de l'*acide* HYDRO-CHLORIQUE. De même, si l'on expose une dissolution de chlore à l'action de la lumière, l'eau se décompose peu à peu, et il se forme de l'acide hydrochlorique et de l'oxygène qui donne de l'eau oxygénée; aussi doit-on conserver les dissolutions de chlore à l'abri de la lumière dans des flacons recouverts de papier noir.

Le chlore se combine directement avec un grand nombre de corps, plusieurs même, tels que le soufre, le phosphore, l'antimoine, etc., y brûlent avec flamme. Les combinaisons binaires du chlore portent le nom de *chlorures* (voyez INTRODUCTION, CHIMIE), et jouent un rôle très important dans les arts.

Le chlore se combine également, mais seulement d'une manière indirecte, avec l'oxygène, pour donner naissance à quatre acides savoir : les acides *hypochloreux*, *chloreux*, *chlorique* et *perchlorique*. Parmi les sels formés par ces acides, nous citerons les *hypochlorites* ou CHLORURES DÉCOLORANTS et les CHLORATES, dont nous ferons l'objet d'articles séparés.

Le chlore gazeux détruit les matières colorantes, en s'emparant de l'hydrogène qu'elles renferment et pour lequel il a une grande affinité; les dissolutions aqueuses ont une énergie bien plus grande, ce qui tient à ce qu'alors, comme nous l'avons dit, il se forme, par suite de la décomposition de l'eau, de l'acide hydrochlorique et de l'eau oxygénée qui par son énergique action oxydante détruit très rapidement les matières colorantes. Le chlore agit d'une manière analogue sur la plupart des autres substances organiques; aussi est-il très employé pour détruire les miasmes morbides qui se répandent dans les hôpitaux, les amphithéâtres de dissection, etc... Il décompose complétement l'hydrogène sulfuré avec précipitation de soufre, et est par suite souvent employé pour détruire l'hydrogène sulfuré et l'hydrosulfate d'ammoniaque, qui se développent particulièrement dans les fosses d'aisance.

On prépare le chlore, soit en attaquant le peroxyde de manganèse par l'acide hydrochlorique, soit, ce qui est préférable, en chauffant modérément un mélange de 3 parties de sel marin, 2 p. de peroxyde de manganèse, 2 p. d'acide sulfurique et 2 p. d'eau; dans le premier cas il se forme du chlorure de manganèse, de l'eau et du chlore; dans le second, il se produit des sulfates de manganèse et de soude, de l'eau et du chlore, et on obtient pour la même quantité de peroxyde de manganèse une quantité double de chlore, que par le premier procédé.

CHLOROMÉTRIE (*angl.* et *all.* chlorometrie). La chlorométrie a pour but l'essai des dissolutions de chlore, et surtout des CHLORURES DÉCOLORANTS. Le plus ancien procédé chlorométrique dû à M. Gay-Lussac, consiste à chercher la quantité d'une dissolution titrée de sulfate d'indigo, que peut décolorer une quantité donnée de la dissolution de chlore ou du chlorure décolorant. On prend pour unité le pouvoir décolorant de 1 litre de chlore gazeux à 0°, et sous la pression de 0m,76 de mercure; ce volume absorbé dans son volume d'eau, sert à titrer la dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, que l'on étend d'eau jusqu'à ce que 10 parties de cette dissolution soient exactement décolorées par 1 p. en volume de chlore gazeux. Maintenant, si on cherche le volume de cette dissolution titrée d'indigo, qui sera décoloré par 1 partie en volume de la dissolution de chlore à essayer, le nombre qui exprimera ce volume, divisé par 10, indiquera le titre de la dissolution, et pour prendre un exemple, si la dissolution de chlore décolore 15 parties de la solution titrée

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

d'indigo, elle renferme 15/10 ou 1 fois 1/2 son volume de chlore.

D'après M. Gay-Lussac, 1 partie de chlorure de chaux pur dissous dans 100 p. en poids d'eau, donne une dissolution qui renferme à très peu près son volume de chlore, et qui par conséquent décolorerait 10 fois son volume de la solution d'indigo ; si donc on prend 5 gram. du chlorure à essayer et qu'on les dissolve dans 1/2 litre = 500 gram. d'eau, puis qu'on essaie cette dissolution et qu'on trouve qu'elle ne décolore que 7 fois 1/2 son volume de la solution titrée d'indigo, on en conclura que le chlorure essayé ne renferme que 75 p. 100 de chlorure de chaux pur. Les essais chlorométriques se font de la même manière que les essais alcalimétriques (voyez ALCALIMÉTRIE), et avec les mêmes appareils, ce qui nous dispense d'y revenir ici ; on s'arrête, lorsqu'en ajoutant une nouvelle portion de la solution titrée d'indigo, la couleur n'est plus entièrement détruite et passe au vert.

Au lieu d'indiquer la teneur chlorométrique en centièmes, on l'exprime souvent en dixièmes ou degrés. Ainsi dans les exemples que nous avons pris, on dirait que la dissolution de chlore était à 15°, et le chlorure de chaux à 7° 1/2.

Le principal inconvénient de ce procédé, tient à ce que la solution titrée d'indigo s'altère à la longue, de sorte qu'on ne peut avoir des résultats exacts qu'avec des solutions récemment préparées.

Depuis M. Gay-Lussac a inventé un autre procédé, qui consiste à remplacer la solution d'indigo par une dissolution d'acide arsénieux dans l'acide hydrochlorique, à laquelle on ajoute quelques gouttes de sulfate d'indigo, qui la colore en bleu ; le procédé consiste à ajouter avec une pipette la dissolution de chlorure décolorant à une quantité donnée de la solution d'acide arsénieux, jusqu'à ce que celui-ci soit complétement transformé en acide arsénique, ce que l'on reconnaît à ce que le chlore qui se dégage réagit alors sur l'indigo et en détruit la couleur. On prend pour unité le pouvoir oxydant d'un litre de chlore gazeux à 0°, sous la pression de 0m,76 de mercure, et on la suppose divisée en 100 parties. On fait ensuite une dissolution de chlore dans l'eau qui renferme son volume de chlore gazeux, au moyen de laquelle on prépare une dissolution normale d'acide arsénieux, qui sature exactement son volume de la solution de chlore ci-dessus. On peut encore, d'après M. Gay-Lussac, préparer la solution normale d'acide arsénieux en dissolvant 4gr,439 d'acide arsénieux, parfaitement pur, dans de l'acide hydrochlorique tout à fait exempt d'acide sulfureux, puis étendant d'eau, jusqu'à ce que le tout forme un volume d'un litre. Pour faire l'essai d'un chlorure, on en prend 10 grammes que l'on dissout dans 1 litre d'eau, puis on détermine combien il faut ajouter de centimètres cubes de cette dissolution à 100 centimètres cubes de la solution normale d'acide arsénieux, pour convertir complétement ce dernier en acide arsénique ; on reconnaît que l'on atteint le point de saturation, à ce que la couleur bleue due à l'indigo disparaît. Il est évident que le titre du chlorure de chaux sera en raison inverse de la quantité qu'il faudra en ajouter : si l'on doit en ajouter 100cc, le chlorure essayé sera du chlorure de chaux pur renfermant son volume de chlore gazeux, et si l'on emploie 133cc, le chlorure essayé renfermera 100 : 133 ou 75 p. 100 de chlorure de chaux pur.

On ne peut opérer inversement, c'est-à-dire chercher à saturer une quantité donnée de chlorure de chaux en dissolution, en y versant par petites portions la solution normale d'acide arsénieux, parce que l'action de l'acide hydrochlorique sur le chlorure de chaux détermine un dégagement de chlore gazeux, qui ne réagirait qu'incomplétement sur la faible proportion d'acide arsénieux en présence, ce qui n'a pas lieu par le procédé que nous avons indiqué, et dans lequel l'acide arsénieux se trouve en excès par rapport au chlore qui se dégage.

On peut encore employer d'autres procédés chlorométriques, parmi lesquels nous citerons celui du docteur Ure, fondé sur la décomposition de l'ammoniaque par le chlore et la mesure de l'azote dégagé, et celui que nous avons décrit à l'article BLANCHIMENT, basé sur la transformation du sulfate de protoxyde de fer en sulfate de peroxyde par l'action du chlore ; mais ces divers procédés sont loin de présenter l'exactitude et la commodité du dernier procédé que nous avons décrit.

CHLORURES. Les combinaisons binaires dans lesquelles le chlore est l'élément électro-négatif portent le nom de chlorures. La plupart des chlorures sont solides à la température ordinaire, cependant il y en a de liquides comme les chlorures de silicium et de titane, les perchlorures de chrôme, de manganèse et d'étain, et même de volatils comme le chlorure de bore. Aucun ne jouit de l'éclat métallique, si ce n'est le perchlorure de fer lorsqu'il a été sublimé. Leur couleur est en général la même que celle des sels ou des oxydes correspondants. Ils sont tous fusibles, et la plupart à une chaleur inférieure au rouge, les chlorures de bismuth, de zinc et d'antimoine, se liquéfient à une chaleur inférieure à 100°. Ils sont presque tous volatils et même assez fortement ; les perchlorures le sont plus que les protochlorures.

Les chlorures sont tous indécomposables par la chaleur seule, à l'exception de ceux d'or, de platine, de rhodium, d'iridium et de palladium, qui sont réduits à l'état métallique. La lumière en décompose lentement quelques-uns ; par exemple, elle noircit le chlorure d'argent en en dégageant une partie du chlore.

L'oxygène et l'air décomposent à l'aide de la chaleur les chlorures des métaux très oxydables : tels sont ceux de chrôme, de manganèse, de fer, de nickel et de cobalt ; il se dégage du chlore qui entraîne souvent avec lui une certaine quantité de chlorure en vapeurs, et le résidu est de l'oxyde pur. Les chlorures alcalins et ceux de plomb, d'argent, etc., ne s'altèrent pas par le grillage. L'hydrogène réduit tous les chlorures métalliques à une température plus ou moins élevée, à l'exception de ceux qui ont pour base des métaux alcalins ou terreux : le métal reste pur et il se dégage de l'acide hydrochlorique. Le charbon pur ne les altère pas ; mais quand il n'a pas été très fortement calciné, il agit sur eux par l'hydrogène qu'il renferme. Le soufre en vapeur en décompose un grand nombre : il se forme alors du chlorure de soufre et un sulfure métallique ; lorsqu'il n'y a pas excès de soufre, il se forme souvent des sulfo-chlorures. Les métaux se comportent avec les chlorures à peu près comme avec les oxydes et les sulfures, c'est-à-dire que les plus oxydables décomposent les chlorures des métaux moins oxydables. Le potassium et le sodium les réduisent tous.

Les chlorures sont tous solubles dans l'eau, et la plupart sont même très solubles et déliquescents, à l'exception du chlorure d'argent et des proto-chlorures de cuivre et de mercure qui sont insolubles et du chlorure de plomb qui est fort peu soluble. Quelques-uns se décomposent par le contact de l'eau, en acide hydrochlorique et en oxydes, ou en oxy-chlorures qui restent en partie dissous dans la liqueur, tels sont les chlorures de silicium, de titane, d'antimoine, de bismuth, etc. La vapeur d'eau en décompose un grand nombre à la chaleur rouge. Beaucoup de chlorures sont solubles dans l'alcool. On reconnaît les chlorures solubles au précipité blanc caillebotté, passant presque instantanément au bleu-violacé sous l'action des rayons solaires, qu'ils donnent par l'addition d'un peu de nitrate d'argent.

L'acide sulfurique anhydre n'a aucune action sur les chlorures, mais en présence de l'eau, il les décompose ; si en même temps on ajoute du peroxyde de manganèse, il se dégage du chlore, caractère distinctif des chlorures.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'acide nitrique concentré et bouillant décompose également les chlorures en donnant lieu à un dégagement de chlore, mais son action est très faible sur les chlorures insolubles ou même peu solubles. Les acides fixes, tels que l'acide silicique, décomposent au rouge tous les chlorures, en présence de la vapeur d'eau, cette propriété permettrait d'obtenir très aisément l'*acide* HYDRO-CHLORIQUE à un prix assez bas, si les fabriques de SOUDE *artificielle* n'en fournissaient pas une quantité plus que suffisante aux besoins du commerce.

Plusieurs chlorures (le protochlorure de cuivre et la deutochlorure d'or par exemple) peuvent se combiner en proportions définies, avec l'acide hydrochlorique pour former des *hydrochlorates de chlorures*, avec les oxydes correspondants pour former des *oxy-chlorures*, avec l'ammoniaque pour former des *ammonio-chlorures*, et enfin entre eux pour former des *chlorures doubles*. Les chlorures se combinent aussi, comme nous l'avons déjà fait remarquer, avec les sulfures, pour donner des *sulfo-chlorures*.

Les chlorures neutres sont formés de 2 at. de chlore et de 1 at. de métal.

On peut considérer les chlorures, quand ils sont dissous, soit comme des chlorures métalliques hydratés, soit comme des hydro-chlorates d'oxydes dans lesquels l'oxygène de la base est à l'hydrogène de l'acide dans le même rapport que dans l'eau. Comme la plupart des dissolutions reproduisent des chlorures purs par l'évaporation à sec, il est plus simple d'admettre qu'elles renferment les chlorures tous formés, plutôt que de supposer qu'elles contiennent des hydro-chlorates qui changent de nature par la dessiccation. Cependant il est certain que l'acide hydrochlorique forme des sels, puisqu'il se combine avec l'ammoniaque et avec les bases organiques.

Dans l'ancienne hypothèse, qui faisait du chlore un corps oxygéné, l'*acide muriatique oxygéné*, l'acide hydrochlorique portait le nom d'*acide muriatique*, et les chlorures étaient regardés comme des sels ordinaires ou *muriates*, nom sous lequel on les désigne encore quelquefois.

On obtient les chlorures par l'un des procédés suivants :

1° Par l'action du chlore gazeux sur les métaux ou sur leurs oxydes, purs ou mélangés de charbon, ou sur leurs sulfures;

2° Par l'action de l'acide hydro-chlorique sur les métaux ou sur leurs oxydes;

3° Par l'action de l'eau régale, contenant un excès d'acide muriatique, sur les métaux;

4° En chauffant un métal avec du perchlorure de mercure;

5° Par double décomposition;

6° En chauffant un chlorure hydraté ou un hydrochlorate avec du sel ammoniac.

Voici les principaux chlorures, nous traiterons des autres à l'article de chaque métal :

HYDROCHLORATE D'AMMONIAQUE, SEL AMMONIAC (*angl.* sal ammoniac, *all.* salmiak).

L'hydrochlorate d'ammoniaque est composé d'acide hydrochlorique et d'ammoniaque dans les proportions suivantes :

Acide hydrochlorique . .	68,39	$H^2 Cl^2$.
Ammoniaque.	31,64	
Pour.	100,00	parties de sel

supposé parfaitement pur; dans le commerce, on trouve le sel blanc sublimé qui, par sa pureté, se rapproche extrêmement de cette composition.

La forme primitive du sel ammoniac est l'octaèdre, dans quelques circonstances cependant on l'obtient cristallisé en gros cubes; ordinairement on le retire de sa dissolution concentrée, sous la forme d'agglomérations qui présentent l'aspect de feuilles de fougères. — Le sel ammoniac est volatil à une température inférieure au rouge-brun, il s'exhale en vapeurs blanches épaisses et très abondantes, faciles à condenser à une température même assez élevée; dans la fabrication, nous verrons qu'on a tiré parti de cette propriété pour épurer le sel et lui donner une forme commerciale qui facilite son transport.

L'hydrochlorate d'ammoniaque est très soluble dans l'eau; sa dissolution concentrée marque 25° à l'aréomètre de Baumé; il a une saveur analogue, mais plus piquante que celle du sel marin, et d'ailleurs, on le reconnaît facilement par le dégagement d'ammoniaque que l'on obtient lorsqu'on le traite par de la chaux humectée.

Le sel ammoniac est originaire de l'Egypte, qui avait jadis le privilége exclusif de le fournir à toute l'Europe; son nom dérive évidemment de celui du temple de Jupiter Ammon.

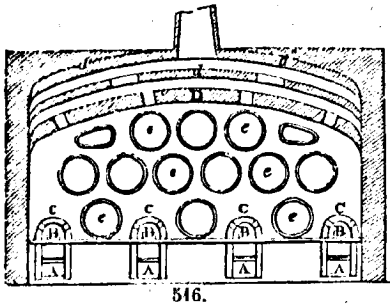
Dans ce pays le sel ammoniac se rencontre tout formé et en assez grande abondance dans l'urine et dans la fiente des chameaux; ces matières premières étaient autrefois les seules employées pour le produire. Rien n'est plus simple que cette fabrication primitive; la fiente desséchée au soleil tient lieu de combustible très rare en Egypte, et donne par sa combustion des vapeurs épaisses qui entraînent le sel ammoniac sublimé; celui-ci se dépose mélangé avec la suie sur les parois des cheminées; cette suie recueillie est livrée aux fabricants qui la subliment dans des ballons en verre enduits de terre limoneuse desséchée; le reste de l'opération est identique à ce qui est pratiqué en Europe, et que nous décrirons plus loin; ajoutons seulement, pour donner de suite une idée des perfectionnements introduits dans cette industrie, que le sel ammoniac d'Egypte se vendait autrefois en Europe 6 et 7 francs le kilogr., tandis que les fabriques françaises le livrent aujourd'hui à 2 francs le kilogr. sublimé, et à moins de 1 franc seulement cristallisé, mais très pur.

Aujourd'hui, les sels ammoniacaux se préparent en Europe, sans exception, avec des produits provenant de trois sources distinctes; mais qui ont toutes pour point de départ la décomposition des matières animales ou azotées. Ces trois matières premières sont : 1° les produits volatils condensés que développent les divers débris d'animaux, soit pendant leur fermentation spontanée, soit durant leur décomposition à une haute température. — Tout le monde sait que, dans ces circonstances, il se dégage, entre autres produits volatils, une grande quantité de carbonate, d'hydrosulfate et d'acétate d'ammoniaque, et même de l'ammoniaque libre; 2° l'urine putréfiée, provenant des vidanges des villes; à Paris, par exemple, cette matière première est d'une très grande importance, puisqu'elle donne lieu à une production annuelle de 8 à 900,000 kilogr. de sels ammoniacaux; 3° les eaux de condensation des usines à gaz, connues sous le nom d'eaux ammoniacales; déjà nous avons vu, dans l'article AMMONIAQUE, que ces eaux pouvaient donner directement de l'alcali volatil d'une grande pureté.

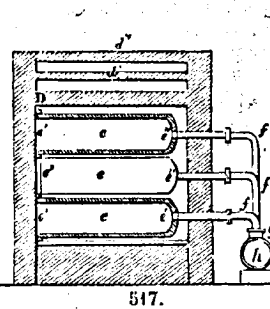
Les deux dernières matières premières, c'est-à-dire l'urine putréfiée et les eaux condensées, se rencontrent toutes prêtes à servir à la fabrication du sel ammoniac; il n'en est pas ainsi de celles de la première section, dont la préparation exige une opération préalable que nous devons décrire avant d'aller plus loin : cette opération consiste à distiller à une haute température des matières animales d'un prix peu élevé, telles que la chair de cheval desséchée, le sang, les cornes, les chiffons de laine, de soie ou de crin, etc., et dans ce cas, on obtient pour résidu un charbon propre à la préparation du *prussiate de potasse* (voyez BLEU DE PRUSSE), ou bien des os d'animaux, et on obtient alors du NOIR ANIMAL

EFERUS - Recherche & Classification numérique

destiné à la décoloration des sirops de sucre. Cette distillation s'opère dans des cornues cylindriques en fonte de 1m,80 de longueur sur 0m,70 à 0m,80 de diamètre



546.



547.

placées dans un fourneau dont les fig. 546 et 547 représentent deux coupes verticales; A, cendriers; B, foyers recouverts de voûtes en briques réfractaires C, percées chacune de 8 ouvertures pour répartir également la flamme dans l'intérieur du fourneau, qui est lui-même recouvert d'une triple voûte D, dont la première est percée de 20 évents, la seconde de 4 évents, et la troisième d'une seule ouverture, qui forme la base de la cheminée. Les cornues *c* sont fermées, à l'une de leurs extrémités, par des plaques de fonte *c'*, lutées et assujetties avec des vis; les tubes *f*, *f*, *f*, qui s'adaptent à leurs autres extrémités *c''*, *c''*, *c''*, conduisent les produits de la distillation, par le tuyau *h*, dans un condenseur. — Quelle que soit la matière animale distillée, les produits liquides que l'on obtient sont à peu près les mêmes; ils consistent en huiles empyreumatiques à odeur repoussante que l'on recueille à part, et en un liquide composé pour la plus grande partie, de sous-carbonate d'ammoniaque en dissolution, et retenant encore une certaine proportion d'huile.

C'est cette liqueur ammoniacale, marquant à peu près 8 ou 9° à l'aréomètre de Baumé, qui sert à préparer le sel ammoniac, en concurrence avec l'urine et avec les eaux de condensation du gaz d'éclairage.

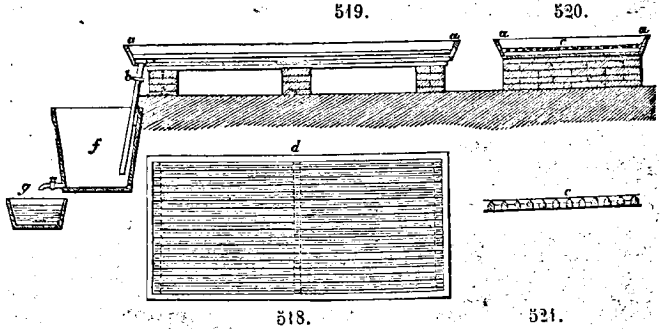
Ces trois matières premières peuvent donner du sel ammoniac par deux procédés différents; l'un consiste à saturer directement les liqueurs avec de l'acide hydrochlorique, puis à évaporer la dissolution de l'hydrochlorate jusqu'à 22° Baumé, point où la liqueur cristallise; cette évaporation se fait dans des chaudières en plomb. Ce procédé est surtout préférable, lorsque l'acide hydrochlorique est à bas prix; il a l'inconvénient, peu important du reste, d'introduire dans le sel ammoniac une certaine quantité de fer que renferme toujours l'acide du commerce et qui colore en jaune les pains de sel ammoniac. Lorsque les liqueurs ammoniacales sont très étendues, comme le sont en général les eaux de condensation du gaz, et surtout les urines, il convient pour économiser les frais de combustible, de les distiller sur de la chaux et de ne saturer par l'acide, que le produit de la distillation.

Le second procédé est plus compliqué, il consiste à produire l'hydrochlorate d'ammoniaque par double décomposition en préparant d'abord du sulfate d'ammoniaque, puis en le traitant par du sel marin ou chlorure de sodium; ces deux sels, dissous, mis en présence à la température de 100 degrés centigrades, se décomposent mutuellement et forment du sulfate de soude et de l'hydrochlorate d'ammoniaque. Ce procédé très ingénieux appliqué d'abord sans résultats économiques, en 1760, près de Charenton, par le célèbre Baumé, puis repris avec succès en 1797, par MM. Payen et Pluvinet, est encore employé dans plusieurs fabriques; il est surtout applicable aux liqueurs ammoniacales provenant de la distillation des matières animales, et dans les localités où l'acide hydrochlorique revient à un prix élevé. Voici les détails de l'ensemble de ce procédé : il se compose de trois opérations distinctes. 1° La préparation du sulfate d'ammoniaque au moyen de plâtre; 2° la décomposition du sulfate d'ammoniaque par le sel marin; 3° enfin la sublimation du sel ammoniac.

1° *Préparation du sulfate d'ammoniaque.* Dans le but d'économiser l'acide sulfurique, on décompose le sous-carbonate d'ammoniaque contenu dans les eaux provenant de la distillation des matières animales, en filtrant ces eaux sur du sulfate de chaux (plâtre) réduit en poudre grossière. Le filtre se compose d'une caisse rectangulaire en bois, doublée de plomb, et munie d'un grillage en bois disposé bien horizontalement à quelques centimètres du fond; on étend sur ce grillage une toile forte et claire, bien tendue, sur laquelle on dispose une couche de plâtre de 10 centimètres d'épaisseur; pour que la décomposition soit plus complète et que le plâtre soit mieux épuisé, on a toujours quatre filtres en marche et l'on fait successivement passer la liqueur sur tous les quatre, en ayant soin d'opérer méthodiquement, c'est-à-dire, de faire passer le liquide de plus en plus saturé sur du plâtre de plus en plus neuf. Malgré cette précaution, il reste toujours dans la liqueur un excès d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque qu'il convient de saturer avec de l'acide sulfurique en quantité suffisante pour que le liquide soit légèrement acide.

Les filtres ci-dessus sont représentés en plan, fig. 518, en coupe longitudinale, fig. 519, et en coupe transversale, fig. 520; *a*, caisse en bois doublée en plomb; *b*, tuyau de décharge en plomb; *c*, *c*, grillage en bois (*d* sur le plan) représenté en coupe à une plus grande échelle, fig. 521; sur ce grillage supporté par des tra-

519. 520.



518. 521.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

versés à quelques centimètres du fond, est tendue une toile en fort canevas, que l'on recouvre d'une couche de 0m,10 de plâtre ; *f*, réservoir doublé en plomb, et muni d'un couvercle.

2° *Décomposition du sulfate par le sel marin.* La liqueur filtrée, et saturée comme nous venons de le dire, est remontée à l'aide d'une pompe dans un réservoir supérieur qui la distribue à volonté dans des chaudières évaporatoires en plomb de 7 à 8 millimètres d'épaisseur ; le fond de ces chaudières repose, au-dessus du foyer, sur une voûte en briques qui le préserve de la réverbération directe du feu et au-dessus des carneaux qui circulent en dessous, sur des plaques en fonte.

Lorsque la liqueur est amenée dans ces chaudières au point de marquer 19 à 20 degrés à l'aréomètre de Baumé, on y ajoute peu à peu la quantité de sel marin calculée d'avance pour décomposer entièrement le sulfate d'ammoniaque, et on a soin de remuer continuellement jusqu'à ce que la dissolution soit complète. On soutire alors à l'aide d'un siphon, le liquide dans un réservoir assez profond, où les substances insolubles contenues dans le sel marin se déposent ; la liqueur déposée et soutirée au clair est remontée dans une chaudière d'évaporation, où après quelques heures d'ébullition elle laisse déposer des cristaux grenus de sulfate de soude beaucoup moins soluble que le sel ammoniac, lequel reste au contraire en dissolution.

Tant que dure la précipitation du sulfate de soude on doit agiter continuellement avec un râble en bois, surtout dans les parties de la chaudière les plus chauffées ; sans cette précaution le sel pourrait s'attacher au fond, et dans ce cas la chaudière ne tarderait pas à se fondre. Le sulfate de soude se rassemble spontanément vers les parties voisines des bords de la chaudière qui sont les moins chauffées, on le ramasse à l'aide d'une drague en cuivre, et on le jette dans des trémies placées sur le bord de la chaudière ; les eaux-mères retournent donc directement dans cette dernière.

Le sulfate de soude bien égoutté est ensuite porté dans d'autres trémies, où on le lave méthodiquement, d'abord avec des eaux de lavage d'une précédente opération, puis en définitive avec une faible proportion d'eau pure ; on en sépare ainsi la plus grande partie de l'hydrochlorate d'ammoniaque qu'il retenait. Ce sulfate égoutté et bien desséché peut être livré en cet état au commerce ou employé à la fabrication du carbonate de soude.

Lorsque la liqueur qui est restée dans la chaudière a laissé précipiter la plus grande partie du sulfate de soude qu'elle peut donner, et que d'ailleurs le sel ammoniac est assez concentré, on arrête le feu et on fait passer à l'aide d'un siphon la liqueur dans les cristallisoirs. Ces cristallisoirs sont des caisses rectangulaires, en bois, doublées de plomb de 4 à 5 millimètres d'épaisseur ; ayant à peu près 1m,50 de large, 2m à 2m,50 de long et seulement 0m,40 de profondeur. Pour la commodité du service, et l'économie de la main-d'œuvre, ces cristallisoirs sont à bascule, afin que les eaux-mères puissent s'enlever plus facilement. Après 24 ou 30 heures, suivant la température extérieure, la cristallisation est terminée, on enlève les eaux-mères, et on incline les cristallisoirs, pour achever l'égouttage des cristaux.

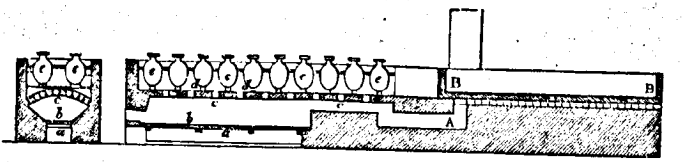
Le sel ammoniac brut bien égoutté est purifié par des lavages avec une très petite quantité d'eau ; si l'on veut obtenir un sel sublimé blanc, il est même nécessaire de redissoudre les cristaux, et de les faire cristalliser de nouveau, etc.

Le sel ammoniac brut débarrassé du sulfate de soude est ensuite parfaitement desséché, sur des plaques en fonte, sur lesquelles on l'agite à l'aide d'une pelle, en ayant soin surtout de diviser les agglomérations de cristaux ; lorsqu'il est bien sec on le ramasse, on le pulvérise dans un moulin à bras et on l'enferme immédiatement dans un lieu bien clos et à l'abri de l'humidité.

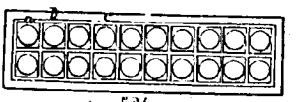
3° *Sublimation du sel ammoniac brut.* Quelque soin que l'on ait pris dans les opérations précédentes, le sel ammoniac brut que l'on obtient par le procédé que nous décrivons est toujours fortement coloré, contient des matières étrangères, et entre autres une petite quantité de sulfate, qui le rendent impropres à l'emploi direct ; il devient nécessaire de l'épurer par la sublimation.

Le fourneau de sublimation se compose, comme on le voit dans les fig. 522, 523, 524 et 525, d'une rigole A, où l'on dispose deux par deux les matras en grès *e*, dans lesquels on sublime le sel. Ces matras qui sont enduits

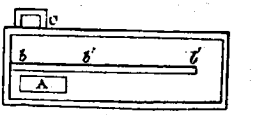
522.



523.



524.



525.

d'un lut argileux, reposent sur la voûte *c*, qui les préserve de l'action trop directe du feu *b* ; des orifices *d*, permettent à la flamme de traverser cette voûte et de venir lécher la surface extérieure des bouteilles. A 0m,40 du fond de la rigole se trouvent des plaques en fonte percées d'orifices qui permettent d'introduire les bouteilles, mais qui isolent de la flamme ou des produits de la combustion leur partie supérieure où doit se condenser le sel ammoniac, sublimé dans la partie inférieure ; à la suite du four de sublimation est placée une chaudière de concentration B B, chauffée à flammes perdues. Après avoir placé les bouteilles en grès, comme l'indique la figure, on les recouvre d'une couche de cendres qui repose sur les plaques en fonte, et qui a pour but de les préserver du contact immédiat de l'air froid. Le sel ammoniac brut en poudre fine est introduit dans les bouteilles à l'aide d'un entonnoir, on l'y tasse fortement avec un pilon en bois façonné de manière à pouvoir entrer dans la bouteille. Tout étant bien disposé, on allume le feu, et on élève très graduellement la température pour ne pas briser les vases de sublimation. La petite proportion d'eau que contient encore le sel brut se volatilise dès le commencement ; quelque temps après, le sel lui-même commence à se réduire en vapeurs ; on recouvre alors l'orifice avec un petit pot renversé qui est destiné à recueillir le sel qui aurait échappé à la condensation. Lorsque la sublimation est commencée le feu doit être conduit très régulièrement, de manière à ce que la différence de température entre le fond et le dessus des bouteilles suffise pour volatiliser le sel à la partie inférieure, et le condenser à la partie supérieure ; pour obtenir de bons résultats, l'ouvrier qui conduit le feu doit avoir une assez longue expérience. L'orifice des bouteilles s'engorge de temps en temps ; aussitôt que cela arrive on doit le déboucher, afin qu'une trop forte pression ne les fasse pas éclater ; malgré toutes les précau-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tions cet accident se reproduit de temps en temps; lorsqu'on s'en aperçoit, il faut se hâter d'enlever le vase avec des pinces, afin de ne pas perdre entièrement le sel ammoniac qu'il renferme.

Dès que la sublimation est arrivée à son terme, ce que l'on reconnaît à l'épaisseur du pain de sel ammoniac, on cesse le feu, on enlève les cendres qui recouvrent les vases; puis après quelques heures de repos, on enlève les bouteilles elles-mêmes de dessus le fourneau; le refroidissement s'opère alors rapidement et détermine de nombreuses fractures; on achève de casser les vases, afin d'enlever le pain qui est attaché à leur partie supérieure; on en détache avec une hachette les fragments de grès adhérents, et le pain est définitivement livrable au commerce.

Les pains de sel ammoniac ont environ 0m,33 de diamètre, et à peu près 9 à 10 centimètres d'épaisseur au centre; ils pèsent de 9 à 11 kilogrammes.

Le résidu qui est resté au fond des bouteilles pèse de 2 à 3 kilogr., on le pulvérise et on le fait passer dans une opération suivante; il contient toujours une certaine proportion de sulfate de soude.

Les frais de sublimation du sel ammoniac sont considérables, puisqu'ils en doublent le prix; il convient donc dans la plupart des circonstances d'employer directement l'hydrochlorate d'ammoniaque simplement cristallisé; on en fait aujourd'hui d'une grande pureté en traitant, comme nous l'avons dit, le produit de la distillation des urines ou des eaux de condensation du gaz par l'acide hydrochlorique, puis en faisant cristalliser la dissolution par évaporation; ce procédé si simple est même le seul qui puisse être appliqué à ces deux matières premières, car elles contiennent, outre le carbonate, une grande proportion d'hydrosulfate d'ammoniaque qui n'est pas décomposé par le sulfate de chaux et qui se perd en grande partie pendant la filtration.

Les deux procédés que nous venons d'indiquer ne sont pas les seuls qui aient été mis en usage, on s'est encore servi, pour saturer le liquide ammoniacal obtenu des matières animales calcinées en vases clos, des eaux-mères qui proviennent du traitement des os par l'acide hydrochlorique (voyez COLLE FORTE). Ce traitement donne lieu à un abondant précipité de carbonate et de phosphate de chaux, et d'ailleurs la présence de la gélatine dissoute dans l'acide rend les eaux-mères difficiles à cristalliser. Ce procédé, qui paraît économiser au premier abord l'acide hydrochlorique, ne présente en définitive des avantages sur les précédents que dans quelques circonstances particulières. A Bouxvillers, par exemple, où l'on obtient en même temps les eaux ammoniacales de la distillation des matières animales, et le résidu du traitement des os par l'acide hydrochlorique, et où d'ailleurs cet acide revient à un prix assez élevé; ce procédé paraît donner des résultats économiques.

Enfin il nous reste à parler d'un procédé beaucoup plus économique que les précédents. Ce procédé, dû à M. Mallet, est lié intimement à l'épuration du gaz d'éclairage, et il est appliqué dans plusieurs usines du nord de la France; voici en quoi il consiste:

Le gaz d'éclairage, tel qu'il sort des usines à gaz, n'est jamais pur; entre autres produits il renferme toujours du carbonate et de l'hydrosulfate d'ammoniaque; M. Mallet a eu l'idée de le débarrasser de ces gaz à odeur infecte en le faisant barbotter dans du chlorure de manganèse neutre; nous n'insisterons pas ici sur cette épuration qui trouvera sa place à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ. Constatons seulement que le gaz d'éclairage est complétement dépouillé des sels ammoniacaux qu'il renfermait et qui, en présence du chlorure de manganèse, se transforment en hydrochlorate d'ammoniaque, en donnant lieu à un précipité de carbonate et de sulfure de manganèse; lorsque la liqueur est complétement saturée, c'est-à-dire quand tout le chlorure de manganèse est décomposé, on vide les vases d'épuration, on laisse déposer la liqueur; on la soutire à clair et l'on obtient, de prime abord, une dissolution de sel ammoniac presque entièrement privée d'oxydes métalliques par l'acide hydrosulfurique contenu dans le gaz, et qui marque 7 à 8° à l'aréomètre de Baumé. Toute la fabrication se réduit donc à évaporer cette dissolution, puis à la faire cristalliser. On obtient ainsi un sel de bonne qualité qui est excellent pour la sublimation, et qui revient à un prix bien inférieur à celui qui résulte des autres procédés de fabrication. En effet, le chlorure de manganèse est un résidu sans emploi et extrêmement abondant, de la fabrication du chlore et de celles des chlorures décolorants; l'acide hydrochlorique qu'il contient a donc une faible valeur. L'ammoniaque ne coûte rien, puisque c'est le gaz qui l'a fourni; enfin tous les frais de fabrication sont nuls, puisqu'ils ont pour résultat très-important l'épuration du gaz; il ne reste donc plus que les frais de sublimation, qui sont proportionnellement très-peu considérables, et que l'on peut éviter quand on emploie sur place l'ammoniaque dissous dans l'eau.

Ce procédé a très-bien réussi dans les trois ou quatre usines à gaz où il a été adopté; mais on ne dispose pas de quantités suffisantes de chlorure de manganèse pour qu'il puisse être appliqué partout. Nous avons vu à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ comment on parvient, par une voie un peu différente, à extraire les grandes quantités d'ammoniaque que produit la distillation de la houille.

Le sel ammoniac est indispensable dans l'étamage du fer, du cuivre, du laiton, et surtout des ustensiles de ménage; on l'emploie encore pour précipiter le platine de ses dissolutions.

Il y a quelques autres applications peu importantes.

CHLORURE D'ANTIMOINE ou *beurre d'antimoine* (voyez ANTIMOINE); cet employé dans les arts pour *bronzer* le fer et l'acier.

CHLORURE D'ÉTAIN. Il y en a deux: le protochlorure souvent appelé *sel d'étain*, et le perchlorure ou *liqueur fumante de Libavius* (voyez ÉTAIN); le *sel d'étain* est un mordant très-employé en peinture, surtout pour fixer la couleur rouge de la cochenille; il sert également à préparer le *pourpre de Cassius* pour le peintre sur porcelaine (voyez POTERIES).

CHLORURES DE MERCURE. Il y a deux chlorures de mercure: le protochlorure, aussi nommé *calomel* ou *mercure doux*, et le bi-chlorure ou *sublimé corrosif*; ces deux sels sont d'un usage très-fréquent en médecine.

Le protochlorure de mercure est blanc, insoluble et par suite peu vénéneux, mais il s'altère peu à peu par le contact de l'air en se changeant en un mélange de mercure métallique et de deutochlorure. On le prépare soit par voie de double décomposition, en précipitant du protonitrate de mercure par du sel marin, ou en chauffant un mélange de protosulfate de mercure et de sel marin pour volatiliser le protochlorure produit, soit en triturant 4 parties de deutochlorure avec 3 parties de mercure métallique, puis chauffant le mélange jusqu'à sublimation. Il est indispensable de laver à l'eau avec soin le produit obtenu, pour en séparer la petite quantité de sublimé corrosif qu'il renferme presque toujours, lorsqu'il a été préparé par l'un des deux derniers procédés que nous venons d'indiquer.

Le deutochlorure ou sublimé corrosif est très-insoluble dans l'eau, et cristallise en aiguilles d'un blanc nacré; sa saveur est styptique et métallique, très-forte et désagréable; c'est un poison des plus violents; son antidote est l'albumine ou blanc d'œuf, délayé dans de l'eau. Il est employé dans les laboratoires, comme chlorurant énergique, et dans la teinture. On le prépare soit directement en dissolvant du mercure dans de l'eau régale et faisant cristalliser, soit par voie de double décomposi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHLORURES DÉCOLORANTS.

tion, en soumettant à la distillation un mélange de dentosulfate de mercure et de sel marin, ou bien de 2 parties de sulfate de mercure, 2 p. de sel marin et 1 p. de peroxyde de manganèse.

CHLORURE DE POTASSIUM. C'est un sel qui ressemble beaucoup pour la forme et les propriétés chimiques au sel marin ; sa saveur est salée, mais un peu amère : en se dissolvant dans l'eau il produit un abaissement remarquable de température qui peut aller, selon M. Gay-Lussac, jusqu'à 11°1/2. Il est quelquefois employé en médecine.

CHLORURE DE SODIUM. (Voyez SEL).

CHLORURES DÉCOLORANTS. Ces composés, qui ont les propriétés des dissolutions de chlore, étaient autrefois regardés comme des *chlorures d'oxydes ;* plus tard *Berzelius* les considéra comme des *chlorites ;* actuellement l'opinion la plus généralement admise consiste à les regarder comme des *hypo-chlorites*. Enfin, dernièrement, M. *Millon* a conclu de ses recherches que ces composés correspondaient à un degré supérieur d'oxydation, dans lequel l'excès d'oxygène qui constitue le peroxyde serait remplacé par une quantité équivalente de chlore, ce qui reviendrait à très peu près à l'ancienne hypothèse des chlorures d'oxydes. Quoi qu'il en soit, ces composés sont tous solubles et très peu stables ; ils sont décomposés par tous les acides minéraux et même par l'acide carbonique qui donne lieu à un dégagement de chlore ; c'est même à cette influence que l'on attribue les phénomènes du blanchiment en grand par le chlorure de chaux. On sait en effet que la dissolution de chlorure de chaux n'est pas capable d'altérer les couleurs végétales les plus fugaces, à l'abri du contact de l'air ; avec ce contact, ou plutôt à la faveur de l'acide carbonique contenu dans l'air, elle détruit, au contraire les couleurs les plus stables avec une grande rapidité. S'il y a en présence une matière organique, le chlore au lieu de se dégager réagit sur cette matière en formant de l'acide hydrochlorique qui réagit sur le chlorure restant et donne lieu à un nouveau dégagement de chlore, de sorte que l'action de la dissolution en devient beaucoup plus rapide. Souvent, ainsi que nous l'avons vu à l'article BLANCHIMENT, on rend cette action plus prompte et plus régulière en trempant d'abord l'étoffe à blanchir dans une dissolution de chlorure de chaux, la retirant, l'égouttant légèrement et l'immergeant ensuite dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique qui dégage seulement une quantité de chlore proportionnelle à la quantité de chlorure dont le tissu est resté imprégné. Il résulte de ce qui précède que pour conserver les chlorures décolorants il est nécessaire de les conserver dans des vases bien bouchés, à l'abri du contact de l'air.

Nous allons successivement décrire les principaux de ces composés.

CHLORURE DE CHAUX (*angl.* chloride oflime, *all.* chlorkalk). Le chlorure de chaux se prépare en saturant de chlore soit de l'hydrate de chaux en poudre, soit un lait de chaux.

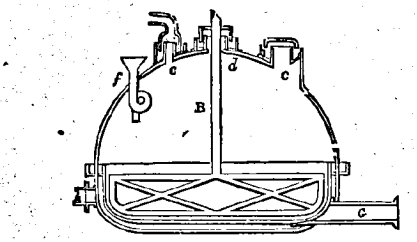
On place ordinairement la chaux éteinte en poudre par couches de 3 à 4 centim. d'épaisseur sur des planches de 0m,60 de largeur, munies de rebords et disposées en étages contre les parois d'une chambre de 2m,50 à 3m,00 de hauteur, bâtie en grès et hermétiquement fermée, dans laquelle on fait arriver du chlore préparé avec un mélange de peroxyde de manganèse, de sel marin et d'acide sulfurique au degré de concentration qu'il atteint dans les chaudières de plomb (voyez CHLORE). Les cornues qui servent à préparer le chlore sont ordinairement de forme à peu près sphérique et construites en plomb ; elles sont alors chauffées au moyen d'un courant de vapeur qui les enveloppe sur leur partie inférieure. Quelquefois la partie supérieure de la cornue est seule en plomb, tandis que la partie inférieure est en fonte et reçoit directement l'action du feu. On débarrasse ordinairement le chlore qui se dégage de la petite quantité d'acide hydrochlorique qui peut s'être formé en même temps, en le faisant passer au travers d'un flacon laveur renfermant un peu d'eau qui retient l'acide ; on le fait ensuite arriver au sommet de la chambre en maçonnerie, dans l'intérieur de laquelle il se répand uniformément en descendant peu à peu en vertu de sa grande densité qui est d'environ deux fois et demie celle de l'air. La durée totale de la saturation est d'environ quatre jours. Pour rendre facile à juger la marche de l'opération, il faut établir sur deux côtés en regard des ouvertures closes avec des vitres afin d'apercevoir la couleur de l'atmosphère. Les ouvertures qui servent à pénétrer dans la chambre sont fermées pendant l'opération par des portes mobiles, dont les bords sont garnis de lisières recouvertes de bandes de papier collé. Quand l'opération est terminée, on ventile la chambre, avant d'y pénétrer, en ouvrant deux ouvertures opposées, ou bien en la mettant en communication avec une cheminée où il y a du feu et permettant à l'air d'y pénétrer par une autre ouverture.

Souvent on ouvre la chambre tous les deux jours en la chargeant par moitié à chaque fois, ce qui rend le travail plus facile et plus régulier.

On obtient moyennement 450 kilogr. de chaux solide du commerce, de bonne qualité, pour 400 kilogr. de sel marin employé ; il est probable qu'on pourrait en obtenir jusqu'à 200 kilogr., en employant une proportion plus considérable d'acide sulfurique et de peroxyde de manganèse.

Les fig. 526 et 527 représentent un appareil du genre de celui que nous venons de décrire. La cornue dans laquelle on prépare le chlore est formée de deux parties en plomb A, B ; la partie inférieure A est entourée d'une enveloppe en fonte ; un courant de vapeur arrivant par

526



527.

le tuyau H, dans l'espace compris entre les deux fonds, sert à chauffer la cornue ; un tuyau de vidange G sert

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à évacuer les résidus de l'opération; C, ouverture par laquelle on charge le sel marin et le peroxyde de manganèse; F, tube en S servant à introduire l'acide sulfurique; D, agitateur formé d'un axe vertical mis en mouvement par une machine, et portant un châssis qui sert à maintenir constamment les parties solides en suspension; E, tube de dégagement servant à conduire le chlore dans la chambre I, divisée en quatre compartiments.

Le chlorure de chaux solide se transporte facilement et se conserve mieux, sans altération, que le chlorure liquide, à cause de l'excès de chaux qu'il renferme; mais cet excès même s'oppose à ce que l'on puisse obtenir aussi aisément par son moyen des liqueurs aussi concentrées; aussi dans les lieux de très grande consommation, comme à Mulhouse, par exemple, il est avantageux de préparer immédiatement le chlorure de chaux à l'état liquide. Voici, d'après M. Schwartz, le procédé de préparation suivi dans cette localité :

Le chlore produit dans un double rang de ballons de verre chauffés au bain de sable, est conduit de chaque côté dans une auge en grès silicieux (de Guebwiller), par des tubes qui traversent un couvercle en bois enduit de mastic résineux reposant dans une rainure pratiquée sur les bords de l'auge. Un axe qui passe dans la longueur de l'auge porte des palettes en hélice dont les bords se trouvent à 5 ou 6 centim. de celle-ci; cet axe reçoit un mouvement continu au moyen d'une manivelle placée à une de ses extrémités. Un entonnoir placé à l'extrémité opposée de l'auge, s'élevant à la hauteur du couvercle, communique avec l'auge par un tube horizontal et est destiné à l'introduction du lait de chaux; enfin une ouverture placée du côté de la manivelle sert à retirer le chlorure.

Pour que l'opération marche bien, il faut élever immédiatement la température à 50° environ et l'y maintenir tant que le gaz se dégage; on la porte ensuite rapidement à l'ébullition et on la maintient à ce point quelques instants. Il faut avoir soin d'employer un excès d'oxyde de manganèse, et de placer un vase entre les ballons et l'appareil absorbant; les vases intermédiaires servent à retenir l'acide hydrochlorique qui en se distillant empêcherait le liquide des appareils producteurs de passer dans la cuve; ils ont l'inconvénient d'augmenter la pression dans les appareils et pour atténuer cet effet, il faut que les tubes ne plongent que d'une faible quantité dans le liquide. Si cette pression devait être assez forte pour faire boursoufler, on pourrait se servir au lieu de flacons d'une petite caisse en bois de la longueur de l'un des côtés, dans laquelle on mettrait une légère couche d'eau où l'on ferait plonger les tubes de quelques millimètres seulement, une ouverture devrait y être pratiquée dans la partie la plus déclive pour retirer facilement le liquide de la caisse.

La dissolution de chlorure de chaux, mesée de chaux hydratée, se décompose à peine près de son point d'ébullition, tandis qu'elle se décompose avant 45° quand elle ne contient pas de chaux. L'agitation de la liqueur mettant sans cesse la chaux en contact avec le gaz empêche l'échauffement, et par conséquent la formation du chlorure de calcium. Aussitôt que la liqueur est saturée, il faut la retirer de l'appareil parce qu'elle s'y échauffe.

Le chlorure liquide le plus concentré marque 9°, tandis que les liqueurs les plus concentrées obtenues avec le chlorure solide ne marquent que 6°.

CHLORURE DE MAGNÉSIE. *Davy* recommande l'emploi de ce chlorure comme plus avantageux pour le blanchiment que celui du chlorure de chaux. Depuis, *Ure*, voulant vérifier l'exactitude de ce fait, fit préparer une grande quantité de ce chlorure en remplaçant dans une des chambres de saturation d'une fabrique de Glascow, la chaux éteinte par de l'hydrate de magnésie. Le chlorure obtenu jouissait d'un pouvoir décolorant très actif, mais le chlore y était retenu avec si peu de force qu'il agissait dans tous les cas aussi rapidement que s'il eût seulement été dissous dans de l'eau, ce qui, contrairement à l'opinion émise par Davy, rend tout à fait impossible l'application de ce chlorure en grand, tant au blanchiment des tissus, que dans l'impression des indiennes, pour enlever par places la couleur du fond.

CHLORURE DE POTASSE (*angl.* chloride of potash, *all.* chlorkali). Le chlorure de potasse ou *eau de Javelle*, très employé pour le blanchiment des toiles de fil, se prépare en saturant de chlore une dissolution de 7 p. de carbonate de potasse dans 100 p. d'eau; la liqueur étant très étendue, il ne se forme pas de chlorate de potasse.

CHLORURE DE SOUDE (*angl.* chloride of soda, *all.* chlornatron). Le chlorure de soude, aussi connu sous le nom d'*eau de Labarraque*, et quelquefois coloré artificiellement en rose violacé pâle, se prépare soit directement, en saturant de chlore une dissolution renfermant environ 20 p. 100 de carbonate de soude cristallisé, soit en décomposant le chlorure de chaux par le carbonate de soude; à cet effet on prend 1 kilogr. de chlorure de chaux au titre de 0,92, on le délaie dans 12 litres d'eau, on laisse déposer, on décante, on filtre et on traite le résidu par 2 litres d'eau; on mêle les liqueurs réunies avec une dissolution tiède de 2 kil. de carbonate de soude cristallisé dans 4 litres d'eau, on filtre, et on renferme la liqueur dans des flacons bien bouchés; on obtient ainsi 20 litres de chlorure de soude liquide.

Le chlorure de soude est employé dans le blanchiment du linge, ainsi que comme un moyen puissant de désinfection des objets suspects dans les maladies contagieuses

CHOC. Lorsqu'un corps en mouvement vient à rencontrer un corps en repos, il se passe une série de phénomènes que l'on désigne sous le nom de choc, au moins quand il s'agit de deux corps solides. Lorsque le corps à l'état de repos est un liquide ou un gaz, les phénomènes de pénétration ou de résistance suivent des lois particulières que nous étudions dans des articles spéciaux, nous bornant ici à l'étude du choc entre les corps solides.

On peut partager en trois époques distinctes la durée entière du choc : dans la première, les corps se compriment, se refoulent; dans la deuxième, leur déformation est devenue la plus grande possible, et ils ont nécessairement acquis la même vitesse au point où s'opère la réaction réciproque; dans la troisième, enfin, les corps reviennent vers leur position primitive et tendent de plus en plus à se séparer, en vertu de l'énergie plus ou moins grande de leur force de ressort. Les éléments du calcul des effets du choc sont la vitesse du corps en mouvement, et les masses des deux corps entre lesquels le choc a lieu. (On sait que la masse est une quantité égale au poids du corps, divisé par 9m,81). Il est bien évident que les effets d'impulsion sont en raison de cette quantité proportionnelle aux molécules matérielles qui constituent le corps.

Bien des exemples indiquent cette influence de la masse des corps. C'est ainsi que les cordonniers placent sur leurs genoux une forte pierre pour recevoir les coups de marteau dont ils frappent les semelles de souliers, et qu'il est possible de forger du fer sur une forte enclume posée sur le corps d'un homme, ou sur le plancher flexible d'un étage supérieur, sans blesser cet homme, sans endommager ce plancher. En effet, la vitesse communiquée à la pierre ou à l'enclume, et par suite au corps qui les supporte, est extrêmement faible comparativement à celle que possède le marteau; de sorte que la flexibilité, l'élasticité naturelle de ces corps, suffit pour amortir les coups sans qu'il survienne d'accidents.

On distingue deux cas différents des effets du choc :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

celui qui a lieu entre des corps non élastiques, et celui qui a lieu entre des corps parfaitement élastiques. Nous allons examiner ces deux cas, et les résultats de nos observations s'appliqueront aux divers corps de la nature, en raison de ce qu'ils se rapprocheront davantage de l'une de ces deux classes

Corps non élastiques. Lorsqu'un corps est dénué d'élasticité, ou qu'il peut perdre celle qu'il possède par suite de la grande déformation produite par le choc, la troisième période que nous avons supposé exister ne se produit plus. Les deux corps continuent à cheminer ensemble en vertu de leur vitesse acquise, sans réagir désormais l'un sur l'autre. La vitesse des deux corps réunis est absolument la même que celle qui eût été imprimée aux deux corps s'ils avaient été primitivement réunis par la force qui n'a mis originairement en mouvement que l'un des corps. Le cas que nous supposons ici arrive, par exemple, quand une balle d'argile ou de cire molle, lancée contre un corps résistant et élastique, demeure collée après ce corps, ou quand une balle dure et élastique, lancée contre un bloc de bois suspendu librement au bout d'une corde, demeure enfoncée dans l'intérieur de ce bloc.

Corps parfaitement élastiques Toutes les fois que les corps auront suffisamment de ressort pour revenir exactement à leur forme primitive, après l'instant de la plus grande compression, la force de réaction reprenant dans le débandement des corps les mêmes valeurs pour les mêmes positions relatives de ces corps, il est clair que les vitesses exprimées ou détruites seront précisément égales à celles qui l'ont été pendant la compression.

C'est ce que l'on voit au jeu de billard : quand une bille vient en choquer une autre directement, il arrive qu'elle s'arrête tout à coup dans la place même qu'occupait cette autre, tandis que celle-ci chemine avec toute la vitesse de la première. La même expérience se répète bien facilement, et d'une manière peut-être plus frappante, en *juxtaposant* plusieurs billes. Le choc direct d'une autre bille ne met en mouvement que la plus éloignée, tandis que toutes les intermédiaires restent en repos, après avoir reçu et transmis intégralement l'effet du choc. Cette expérience se répète dans tous les cours de physique à l'aide d'une série de billes d'ivoire librement suspendues à des fils de soie. En écartant la dernière bille et la laissant retomber, la bille de l'autre extrémité s'éloigne des autres par le choc; en écartant deux billes, les deux billes opposées s'éloignent des autres, et ainsi de suite.

Il faut observer que dans la pratique il n'en est pas comme dans l'exemple précédent; outre que la plupart des corps ne peuvent être considérés comme parfaitement élastiques, il arrive que le plus souvent les molécules conservent, à l'instant de la séparation, des vitesses qui constituent des mouvements vibratoires, lesquels absorbent toujours une certaine portion du mouvement primitif, et souvent une partie considérable. C'est tant à cause de cette consommation du travail moteur, qu'à cause de la destruction et des altérations des pièces et des assemblages, que le choc doit en général être évité avec le plus grand soin, toutes les fois qu'il ne forme pas, ce qui n'arrive que dans des cas rares, le meilleur mode d'agir de l'opérateur.

De la communication du mouvement par le choc. Ce qui caractérise le mode de communication dont nous parlons, c'est l'excessive petitesse de durée du choc entre des corps très résistants; ce n'est qu'en cela que cette communication de mouvement diffère de celle qui a lieu par les forces motrices ordinaires, telles que la pesanteur, etc. On ne doit pas pour cela, comme l'ont fait quelques auteurs, considérer la durée des chocs comme entièrement nulle, ce qui les a conduits bien à tort à supposer infinies les forces de réaction qui se développent pendant la compression réciproque des corps.

« Le choc produisant, dit Poncelet, dans un temps excessivement court, un travail ou un effet comparable à celui que produisent dans un temps généralement beaucoup plus long les pressions ordinaires, il y a souvent avantage, nécessité même d'employer ce mode d'action dans les arts, malgré les inconvénients qui y sont attachés (principalement la consommation d'une grande quantité de travail), car, toutes les fois que la pression ou l'effort direct dont on pourra disposer pour produire un travail mécanique sera au dessous de la résistance à vaincre, il faudra recourir au choc qui développe des pressions considérables, et toujours en rapport avec la force de réaction. »

Mais nous ferons remarquer que dans les applications de la théorie du choc, la division précédemment établie en corps qui ne réagissent pas et en corps élastiques ne se rapporte pas seulement à la nature des corps, qu'il faut pour ceux qui paraissent doués d'élasticité, observer dans chaque cas si l'effet produit par le choc n'est pas supérieur à la limite d'élasticité, car alors il se produit des déformations permanentes, des ruptures qui empêchent que le mouvement soit transmis aux molécules de proche en proche. C'est ainsi qu'une balle de plomb, lancée légèrement contre un carreau de fenêtre, est renvoyée sans qu'il se produise de rupture. Si on lui imprime à la main une plus grande vitesse, elle traversera le carreau en déterminant un grand nombre de fissures qui rayonneront autour du trou par lequel elle aura passé. Mais si la balle est lancée par une arme à feu, elle ne fera dans le carreau qu'un trou rond; le reste du carreau restera intact. Il n'aura nullement réagi, et se sera comporté, pour cette vitesse, comme un corps dénué d'élasticité.

Ici, nous ne nous occuperons que d'un emploi du choc, à savoir du battage des pilotis employés dans les fondations des ponts et ouvrages hydrauliques, battage qui s'effectue à l'aide de machines connues sous le nom de sonnettes, et qui consistent, en général, en des systèmes propres à élever à une certaine hauteur une masse pesante en fonte appelée *mouton*, qui retombe sur la tête du pilotis.

Pour utiliser le plus avantageusement possible le travail du mouton qui sert à battre les pilotis, il faut qu'il soit employé seulement à les enfoncer, du moins autant que faire se peut. On en consolide la tête par une frette en fer, et on arme la pointe d'un sabot de fer pour éviter la consommation de travail qui résulterait de l'écrasement des extrémités. Enfin, on dresse et on arrondit les côtés pour diminuer les résistances qui s'opposent à l'enfoncement.

On dispose le pieu et on l'enfonce par une action peu énergique, jusqu'à ce qu'il commence à offrir une certaine résistance; puis, par des moyens plus puissants, on le met *au refus*. Il en est ainsi quand l'enfoncement d'un pilotis de $0^m,25$ de diamètre et de 3 à 4 mètres de longueur, n'est que de 4 à 5 millimètres pour chacune des dernières volées de trente coups d'un mouton de 3 à 400 kil., tombant d'une hauteur de $1^m,30$. On peut alors, d'après les observations de Perronet, charger en toute sécurité chaque tête de pilotis jusqu'à 25,000 kilogr.

Nous ne donnerons ici que les anciens appareils dits *sonnettes*, habituellement employés dans les travaux; mais nous donnerons à l'article PILOTIS du *Complément* les sonnettes mues mécaniquement et le mouton à vapeur de *Nasmyth*, servant à enfoncer les pilotis, marchant par l'action directe de la vapeur.

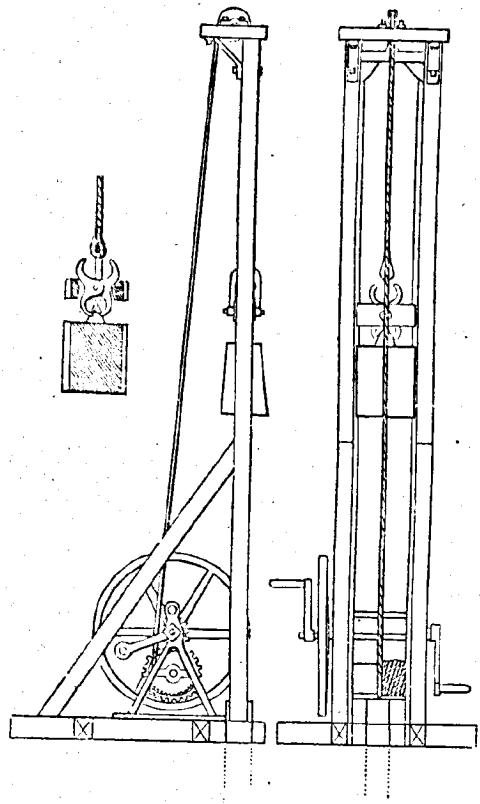
Les appareils les plus simples et les moins coûteux d'établissement, les sonnettes le plus généralement employées dans les travaux hydrauliques pour enfoncer les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pilotis sont fort simples. La *sonnette à tiraude* se compose simplement d'un mouton suspendu sur une poulie par un cordage. L'extrémité de ce cordage est attachée à un faisceau de cordes, sur chacune desquelles des hommes tirent ensemble et lèvent le mouton, qu'ils laissent retomber en lâchant tous en même temps. Cette sonnette est très simple, ce qui fait qu'elle est souvent employée, mais elle fatigue beaucoup les ouvriers. Des expériences comparatives faites entre cet outil et celui dont nous allons parler, prouvent que le travail nécessaire pour enfoncer un pieu avec ces deux outils varie dans le rapport de 153 à 34.

La *sonnette à Déclic* (fig. 528 et 529) se compose d'un

529. 528.



treuil et d'une poulie, autour de laquelle passe le cordage qui soutient le mouton. Celui-ci peut être élevé beaucoup plus haut que dans la sonnette à tiraude, et par suite agir bien plus puissamment. Le mouton est saisi par une pince (fig. 530), dont les branches croisées tendent à se rapprocher par le bas par l'effet de leur poids et d'un double ressort convenablement disposé. Le mouton étant saisi par la pince, on le fait monter au moyen d'un treuil ; quand il arrive au haut de la sonnette, les bords supérieurs de la pince rencontrent des obstacles qui les forcent à se rapprocher, et par suite celle-ci s'ouvre et laisse tomber le mouton. On redescend la pince et la manœuvre recommence. Afin d'abréger le travail, on fixe le tambour du treuil sur son axe au moyen d'une cheville; en enlevant cette cheville, le treuil se déroule et la pince tombant sur le mouton avec une certaine vitesse, ses deux mâchoires s'ouvrent et saisissent l'anneau placé à la tête du mouton. On remet la cheville ci-dessus, et l'appareil est de nouveau prêt à fonctionner. (*Voy.* PILOTIS. *Comp.*)

CHOCOLAT (*angl.* et *all.* chocolate). Le chocolat, employé depuis un temps très reculé au Mexique, fut importé en Europe pour la première fois, en 1520, par les Espagnols, qui tinrent longtemps sa fabrication secrète.

La matière première du chocolat est la fève de *cacao*, semence du cacaotier (*theobroma cacao*. — Linnée), qui croît sous les tropiques, en Amérique et dans les Indes occidentales; cet arbre, de la grosseur d'un oranger, porte des fruits rouge-jaunâtres, de la forme d'un concombre, et ayant 0m,15 de long sur 0m,07 à 0m,15 de diamètre. Ces fruits présentent dix côtes et sont remplis, à l'intérieur, d'une substance rougeâtre spongieuse, analogue à la chair des melons d'eau, qui englobe de 25 à 40 fèves de cacao disposées sur cinq rangs; ces fèves se composent d'une substance noir-rougeâtre d'un goût aromatique et agréable, quelque peu amer, renfermée dans une pellicule ou cosse rouge-noirâtre. Le fruit des cacaotiers des Indes occidentales (Berbice et Demerara) est beaucoup plus petit, et ne contient guère que de 10 à 15 fèves.

Le meilleur cacao est le *caraque*, qui nous arrive du Caraccas renfermé dans des sacs de cuir. Les fèves doivent être très grosses et très épaisses, grasses au toucher, d'un goût agréable, et recouvertes d'une poussière d'un blanc argentin, sans aucune moisissure. Les cacaos des Indes occidentales et des Antilles sont plus clairs, moins gros, et ont une saveur plus amère que le caraque.

Le cacaotier donne deux récoltes de cacao par an, chacune de 1 à 4 kil. Aussitôt que les fruits sont mûrs, ce qu'on reconnaît à leur couleur jaune-rougeâtre, on les cueille et on en sépare les fèves que l'on met dans des caves ou des fosses, où on les laisse pendant quelques jours après les avoir recouvertes de planches chargées de pierres, en ayant soin de les remuer chaque matin ; on détermine ainsi une sorte de fermentation, par suite de laquelle le cacao augmente de volume et se fonce en couleur, en perdant une partie de son amertume; on achève ensuite de le sécher au soleil avant de le livrer au commerce.

D'après Lampadius, le cacao des Indes occidentales renferme, non compris la cosse, qui forme environ 15 p. 100 du poids des fèves :

Beurre de cacao.	53,10
Matière brune albumineuse qui renferme le principe aromatique du cacao.	16,70
Amidon.	10,94
Matière gommeuse.	7,75
Fibres végétales.	0,90
Matière colorante rouge.	2,04
Eau.	8,63
	100,00

Les cosses ne renferment aucune matière grasse, mais elles donnent par une ébullition prolongée avec de l'eau un extrait coloré en brun d'un goût assez agréable, et qui, à cause de son bas prix, est assez employé dans la classe pauvre au lieu et place du chocolat. Ainsi en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Irlande, pays proverbial pour la misère de ses habitants, la consommation annuelle des cosses de cacao s'élève à plus de 300,000 kil., tandis que celle du chocolat n'atteint pas 2,000 kil.

En exprimant à chaud les fèves de cacao, on en retire de 30 à 36 p. 100 de *beurre de cacao*, corps gras, que l'on peut purifier en le faisant fondre dans de l'eau, puis laissant refroidir; il est alors blanc, a la consistance du suif et fond à 30° C. Il se distingue des autres corps gras, en ce qu'il rancit très-difficilement.

Pour fabriquer le chocolat, on commence par torréfier le cacao, sur un feu très-doux, dans des cylindres en tôle analogues à ceux que l'on emploie pour griller le café, dans le but de développer son arome, de lui enlever une partie de son amertume, et de rendre les coques fragiles. Lorsqu'on a atteint le degré de torréfaction convenable, on vide le cylindre sur une table, et lorsque le cacao est à demi refroidi, on brise les coques en passant légèrement dessus un rouleau en bois, ou en faisant passer le cacao dans une espèce de moulin concasseur, puis on le vanne, afin de séparer entièrement les coques. On réduit ensuite le cacao en pâte molle, en le pilant vivement à la main dans un mortier en fonte, que l'on a fait chauffer d'avance avec son pilon à une température de 60 à 80°, en y plaçant des charbons incandescents, et que l'on enveloppe d'une forte toile d'emballage pliée en plusieurs doubles et maintenue par une ficelle, après en avoir retiré le charbon, pour y maintenir la chaleur le plus longtemps possible. On ajoute par tiers, en continuant le broyage, le sucre, dont le poids total doit être égal à celui du cacao employé. Lorsque l'on incorpore dans le chocolat des aromates, tels que de la vanille, de la cannelle, etc., on les ajoute en même temps que le dernier tiers de sucre. Pour la cannelle, rien n'est plus facile, il suffit de la prendre de bonne qualité et en poudre très-fine; mais la vanille, qui ne peut être pulvérisée par les moyens ordinaires, exige une préparation particulière, qui consiste à la couper en fragments et à la broyer à froid avec du sucre en morceaux, qui la déchire et qui finit par la réduire en une pulpe, à laquelle on ajoute du sucre en poudre pour la diviser complétement. On emploie une cosse de vanille par 750 grammes de cacao.

Le dernier broyage pendant lequel on incorpore le sucre se fait ordinairement sur une plaque en grès, en marbre ou en fonte, préalablement chauffée à une température de 50 à 60°, à l'aide de rouleaux en fer ou en granit, tournés et animés d'un mouvement de va-et-vient qu'on leur communique à la main, ou qu'ils reçoivent d'une machine à vapeur, ou de tout autre moteur, au moyen de mécanismes faciles à imaginer. C'est au moyen d'une malaxeuse qu'on pétrit la pâte dans les grandes fabriques, qu'on chasse par pression les bulles d'air et qu'on la repousse en un long boudin dans un tuyau qui l'amène sur le plateau d'une balance, où elle tombe en tronçons d'égale longueur, auquel on donne le poids exact de 250 grammes, et qui du plateau tombent dans les moules.

Quand le mélange est bien opéré, on divise rapidement le chocolat par parties de 250 grammes, que l'on place dans des moules en fer-blanc, dont la forme est bien connue. Ces moules sont ensuite placés sur un châssis en bois que l'on incline alternativement de chaque côté, par de brusques mouvements d'un système qui constitue la tapoteuse, pour étaler le chocolat. Par le refroidissement, il prend un peu de retrait, de telle sorte qu'il se détache ordinairement de lui-même lorsqu'on retourne le moule; s'il ne se séparait pas, il faudrait légèrement forcer le moule en le tenant par les deux extrémités d'une même diagonale. Quand la pâte est trop chaude, il arrive quelquefois qu'elle adhère au moule et qu'elle se boursoufle; quand elle est trop froide, elle se moule mal et ne prend pas de brillant: il faut donc opérer à une température fixe, que l'habitude apprend à reconnaître par la consistance de la pâte, qui doit être molle sans être fluide.

De l'utilité du chocolat. — Parvenu à un certain état de civilisation, dit le savant M. Boussingault (Rapport du jury, 1862), l'homme associe fréquemment à sa nourriture des infusions de plantes qui agissent sur son organisme à la manière des boissons fermentées. Comme le vin pris à dose convenable, ces infusions favorisent la digestion, surexcitent la mémoire, exaltent l'imagination, et développent un sentiment de bien-être général, sans donner lieu à cette réaction fâcheuse qu'occasionne souvent l'usage des liqueurs alcooliques.

De même que les diverses races humaines adonnées à la culture ont eu leurs plantes alimentaires qui les ont suivies dans leur migration, de même aussi des peuples séparés par les plus grandes distances, n'ayant jamais eu de communication entre eux, ont préparé avec certains végétaux des breuvages excitants : le thé en Chine, le café en Arabie, le maté au Paraguay, le coca au Pérou, le cacao au Mexique, utilisant tantôt les feuilles, tantôt les graines de ces plantes, dont les genres botaniques n'ont pas la moindre analogie.

Cependant, malgré ces dissemblances d'origine, l'action de ces infusions sur le système nerveux, sur l'appareil digestif est la même. C'est qu'en réalité elle est déterminée par des substances de composition très-rapprochée quand elle n'est pas identique, par des alcaloïdes doués de propriété semblables. C'est la *caféine* dans le thé, le maté et le café; la *cocaïne* dans le coca; la *théobromine* dans le cacao. Ainsi, le Chinois, l'Arabe, l'Indien du Paraguay, l'Inca, l'Aztèque, étaient sous l'influence du même agent thérapeutique quand ils avaient pris leur boisson habituelle, dont l'usage est maintenant si répandu parmi les nations européennes.

Les infusions de thé, de maté, de café, de coca, ne sauraient être considérées comme des aliments, mais comme des auxiliaires de l'alimentation. Les proportions de matières fixes qu'elles contiennent sont trop faibles pour agir autrement que par leur alcaloïde. Il n'en est pas ainsi du cacao : c'est à la fois un aliment complet et un excitant énergique. Il possède la constitution de l'aliment par excellence, le lait. En effet, comme cette sécrétion, il offre la réunion de l'albumine ou *viande végétale*; de l'amidon entretenant la combustion respiratoire, et, sous ce rapport, équivalant à la lactine; des phosphates, matériaux du système osseux; et de plus, ce que le lait ne contient point, de la théobromine et un arome délicat. Torréfié, broyé, mêlé au sucre, le cacao constitue le chocolat, dont les propriétés nutritives et la saveur agréable excitèrent l'étonnement des premiers Espagnols qui envahirent le Mexique.

« Celui qui a bu du cacao, écrivait le page de Fernand Cortès, peut marcher pendant toute une journée sans prendre d'autre nourriture. »

En Europe le chocolat a pris rang parmi les substances alimentaires. En France, l'usage s'en répand de plus en plus.

En 1849, il entrait 31,328 quintaux métriques de cacao, dont 20,852 mis en consommation; en 1860, 62,834 quintaux, dont 46,610 mis en consommation.

Ainsi, la quantité de chocolat fabriqué en France, en 1860, approchait de 9 millions de kilogrammes, représentant 4 millions et demi de cacao, sorti d'une culture de 3 millions de cacaoyers, en supposant un rendement annuel de 1,5 kil. par arbre, moyenne prise entre les récoltes du littoral de Caracas et celles du Rio-Grande de la Magdalena.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

De toutes les plantes intertropicales, le caoutchouc est, sans aucun doute, la plus exigeante; il lui faut une température élevée, de l'ombrage, une atmosphère humide, une terre neuve, riche.

CHROMATES Les chrômates sont des composés assez stables formés par l'acide chrômique; il y en a de neutres, de basiques et d'acides, qui sont tous colorés en jaune ou en rouge; un certain nombre d'entre eux sont insolubles. Tous les chrômates solubles sont des poisons assez violents. Les principaux chrômates sont les suivants :

CHRÔMATE DE MERCURE. S'obtient en précipitant une dissolution de proto-nitrate de mercure par du chrômate de potasse; le précipité qui est d'un beau rouge, bien lavé et séché, sert à la préparation de l'oxyde de chrôme.

CHRÔMATE DE PLOMB (*angl.* chrom-yellow, *all.* chromgelb). Ce sel est insoluble, d'un beau jaune et s'obtient par double décomposition en versant du chrômate de potasse dans une dissolution d'acétate de plomb. Sa teinte passe du jaune-serin au jaune-orangé suivant que le chrôme employé est acide ou basique. Il est très employé en peinture.

CHRÔMATES DE POTASSE (*angl.* chromate of potash, *all.* chromsaures kali). La potasse forme avec l'acide chrômique deux sels employés dans les arts, savoir :

1° Le chrômate de potasse se prépare au moyen du chrômite de fer ou fer chromé qui est composé d'oxyde de chrôme, de peroxyde de fer, d'un peu d'alumine et de silice; on pulvérise ce minerai très finement et on le chauffe avec une certaine quantité de nitre, jusqu'au blanc naissant, dans des creusets ou même dans des fours à réverbère; on reprend ensuite par l'eau et on fait cristalliser. En introduisant de la chaux dans le mélange de minerai et de nitre, on augmente sa porosité et on facilite beaucoup la production de l'acide chromique, l'oxydation du composé chromé. Le chrômate de potasse cristallise en petits prismes transparents, d'un beau jaune. Il est très soluble dans l'eau. Du linge et du papier imbibés de ce sel et desséchés brûlent comme du papier nitré. Le sulfate de potasse cristallise facilement avec le chrômate, qui peut en renfermer jusqu'à 50 p. 100 (ce qui arrive quelquefois dans le commerce), sans en altérer la couleur. On reconnaît cette fraude en dissolvant un poids donné de chrômate cristallisé dans de l'eau, y ajoutant de l'acide tartrique et faisant même au besoin bouillir pendant quelques minutes, puis précipitant l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte par un sel soluble de baryte. On doit agir sur des dissolutions assez étendues parce que le tartrate de potasse étant peu soluble pourrait induire en erreur dans la cas de dissolutions concentrées.

2° Le bi-chrômate de potasse cristallise en larges tables rectangulaires d'un beau rouge-orangé; il est beaucoup moins soluble que le précédent dans l'eau qui n'en dissout à froid que 1/10e de son poids; on l'obtient en ajoutant une certaine quantité d'acide nitrique à une dissolution de chrômate neutre et faisant cristalliser; lorsqu'on emploie de l'acide sulfurique, le sel que l'on obtient renferme toujours une proportion plus ou moins grande de sulfate de potasse, que l'on reconnaît, comme nous l'avons dit plus haut, pour le chrômate neutre.

Ces deux chrômates servent dans la teinture.

CHRÔMATE DE SOUDE. Se prépare comme le chrômate de potasse, et est encore plus soluble. CHRÔMATE DE ZINC. Voyez BLANC DE ZINC.

CHROME (*angl.* chromium, *all.* chrom). Le chrôme est un métal découvert en 1797 par Vauquelin, très difficile à obtenir pur, et qui n'a aucune importance sous le rapport industriel; mais il en est tout autrement de plusieurs de ses combinaisons dont nous parlerons tant dans cet article qu'au mot CHRÔMATES.

Le chrôme en se combinant avec l'oxygène forme un oxyde, un acide et un composé intermédiaire de peu d'importance, que l'on regarde comme du chrômate d'oxyde de chrôme.

Le *protoxyde de chrôme* est vert, insoluble dans les acides quand il a été calciné, et au contraire très soluble lorsqu'il a été précipité à l'état d'hydrate d'une dissolution; infusible par lui-même, il fond très bien avec les fondants qu'il colore en beau vert d'émeraude; il est isomorphe avec le peroxyde de fer et se compose de 2 atomes de chrôme et 3 atomes d'oxygène; il constitue l'une des trois couleurs qui peuvent seules s'appliquer au grand feu sur la porcelaine, et est celle des trois qui donne les contours les plus nets. Voici quels sont les principaux procédés que l'on suit pour les préparer :

1° On précipite du proto-nitrate de mercure par du chrômate de potasse; le précipité lavé est du chrômate de protoxyde de mercure en poudre rouge que l'on calcine; le mercure est ramené à l'état métallique et se volatilise, tandis que l'acide chrômique se décompose, il se dégage de l'oxygène et il ne reste que de l'oxyde de chrôme pur;

2° On projette successivement par petites portions, dans un creuset en terre, chauffé au rouge, parties égales de bi-chrômate de potasse et de soufre; une partie du soufre se combine avec le potassium pour former du sulfure de potassium, tandis que l'autre s'emparant de l'oxygène de la potasse réduite, et d'une partie de celui de l'acide chrômique qui se transforme en oxyde de chrôme, donne naissance à de l'acide sulfurique qui se combine avec une partie de la potasse pour donner du sulfate de potasse; en lavant ensuite le tout, on dissout le sulfure de potassium et le sulfate de potasse, et l'on isole le protoxyde de chrôme insoluble;

3° On fait bouillir du chrômate neutre de potasse avec de l'eau et la moitié de son poids de fleur de soufre, jusqu'à ce que tout le chrôme se soit précipité à l'état d'oxyde hydraté; on le sépare du soufre en excès avec lequel il se trouve mélangé, on le dissolvant dans de l'acide sulfurique étendu, précipitant par du carbonate de potasse et calcinant le précipité;

4° On fait bouillir une dissolution de chrômate de potasse avec de l'acide hydrochlorique et de l'alcool, on obtient dans la liqueur un mélange de chlorure de potassium et de chlorure de chrôme, et selon qu'on y verse une dissolution de potasse caustique ou carbonatée, on en précipite de l'hydrate ou du carbonate de protoxyde de chrôme, qui calcinés l'un et l'autre donnent de l'oxyde pur;

5° On prépare une dissolution concentrée de chrômate de potasse, que l'on sature avec de l'acide sulfurique étendu, puis on ajoute du sel marin et de l'acide sulfurique concentré, et l'on fait bouillir; il se forme des sulfates de potasse et d'oxyde de chrôme, et il se dégage du chlore; on évapore à siccité, on reprend par l'eau, on filtre et on précipite par la potasse caustique; l'oxyde de chrôme que l'on obtient ainsi a une couleur verte teintée de bleu.

L'acide chrômique est d'un beau rouge de rubis, très soluble dans l'eau et peu stable lorsqu'il est isolé, c'est un acide très puissant, qui se compose de 10 atomes de chrôme et de 3 atomes d'oxygène, et qui forme des sels isomorphes avec les sulfates. On l'obtient en décomposant la perfluorure de chrôme par la vapeur d'eau, ou bien en décomposant le bichrômate de potasse par l'acide hydro-fluosilicique, décantant, et concentrant dans le vide.

Les sels de chrôme se distinguent en sels à base de protoxyde et en CHRÔMATES.

Les sels de protoxyde sont d'un beau vert émeraude ou de couleur améthiste foncée; ils sont précipités en gris-verdâtre par les alcalis ou leurs carbonates, ainsi que par les hydrosulfates alcalins.

Nous avons décrit les caractères des chrômates

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le seul minerai de chrôme un peu abondant est le *fer chrômé*, composé d'oxyde de chrôme, de peroxyde de fer, d'alumine et de silice. Il nous vient actuellement de Norwége. Le *spinelle* doit sa couleur rouge à une faible quantité d'acide chromique, et l'*émeraude verte* est colorée par un peu d'oxyde de chrôme.

CHRONOMÈTRE. Les ouvrages d'horlogerie désignés spécialement par le nom de *chronomètres*, sont destinés à donner une division du temps plus exacte et plus subdivisée que les instruments employés à l'usage civil. Les chronomètres sont nécessaires à la navigation, à l'astronomie, à la physique, et à toutes les observations dans lesquelles le calcul de la durée ou de l'époque des phénomènes exige une appréciation minutieuse. On peut, avec des instruments de cette espèce, évaluer la durée en dixièmes de secondes, et même à 3 ou 4 centièmes de secondes près.

Les chronomètres ou garde-temps se divisent en trois classes : 1° les horloges marines qui se placent sur les bâtiments; 2° les montres dites garde-temps que l'on porte sur soi; et 3° les horloges astronomiques à pendule, qui se placent dans les observatoires et servent à toutes les observations que les astronomes sont appelés à faire. Ces derniers instruments étant fixes, possèdent une marche bien supérieure à ceux qui sont portatifs.

Les horloges marines et les montres à longitudes s'emploient pour conserver le temps en mer, ou dans les voyages terrestres, et servent principalement à déterminer les degrés de longitude entre le méridien du lieu où se trouve le voyageur, et celui du point de départ ou de tout autre méridien convenu.

Lorsque l'on dirige sa route vers l'Orient, on a le Midi plus tôt, de la quantité de degrés réduite en temps dont on se trouve avancé dans cette direction; le contraire a lieu en marchant vers l'Occident, où le Midi arrive plus tard. Si le voyageur est muni d'un chronomètre dont la marche diurne lui soit bien connue, et se soit conservée depuis l'heure prise au point de départ au moyen d'observations astronomiques, la direction de la route vers l'Est ou vers l'Ouest n'ayant point influé sur la marche de ces instruments, il donnera toujours la mesure du temps telle qu'on la compte au point de départ (1). Le chronomètre porté vers l'Orient paraîtra donc en retard, puisqu'on y a le Midi plus tôt, et porté vers l'Occident il paraîtra en avance. La comparaison de l'heure qu'il indiquera avec celle du point de station du voyageur, connue par de nouvelles observations faites sur ce point, donnera, par la différence entre les deux temps réduite en degrés, la position du lieu en longitude, à l'égard du premier méridien, ou de celui du point de départ.

La hauteur du pôle, ou celle des astres, fera connaître facilement la latitude à l'aide des tables astronomiques.

Le voyageur pourra donc déterminer ainsi sa position dans les deux sens, à l'égard de tout autre lieu dont la longitude et la latitude sont déjà fixées.

Pour connaître en pleine mer la position d'un navire, on a longtemps employé uniquement, et l'on emploie même encore souvent, la méthode pratique de l'estime, en mesurant la vitesse du bâtiment et la direction de son mouvement par le moyen du loch et de la boussole.

Ce moyen appliqué seul devient fort incertain dans les voyages de long cours, par la déviation des courants, les variations locales de la direction de l'aiguille aimantée, l'incertitude du calcul de la vitesse surtout par certains temps, etc., ce qui expose le navigateur à se trouver sans le savoir près des côtes, des bancs ou d'autres écueils, cachés par l'obscurité des nuits, ou dans le jour par les brumes.

On fait aussi usage de moyens purement astronomiques pour connaître la longitude d'un lieu, tels que l'observation des satellites de Jupiter, le lieu de la lune, ou sa distance au soleil ou aux étoiles, les oscillations d'étoiles par la lune, les éclipses. Ces observations sont difficiles, quelques-unes même sont impraticables à bord; elles exigent toutes des calculs compliqués. L'usage des horloges marines est beaucoup plus simple. Cependant l'observation des mouvements de la lune, grâce à la précision actuelle des tables, peut être d'une grande utilité. La méthode pratique de l'estime devient aussi nécessaire pour de courts intervalles, pendant lesquels l'état du ciel ne permet pas d'observer, et l'appui mutuel de ces moyens en assure l'exactitude.

Newton indiqua le premier le secours de l'horlogerie, dont il semble avoir pressenti les progrès, comme le moyen le plus facile pour déterminer les longitudes en mer, si l'on parvenait à exécuter des instruments portatifs de ce genre assez exacts pour conserver l'heure sur le vaisseau, sans erreur de plus de deux minutes de temps après une traversée de quarante-deux jours (la différence qui résulte d'un tel écart est de 40 lieues environ pour l'équateur, et diminue à mesure que l'on est plus près du pôle). On commençait à construire à cette époque des horloges à pendule un peu régulières, mais il n'y avait pas d'instruments portatifs en état d'éprouver sans dérangement les secousses d'un voyage de terre ou de mer, et même, longtemps après cette époque, la marche des meilleures montres ou horloges à balancier, bien que placées dans un lieu fixe, était loin d'égaler celle des horloges à secondes et à pendules les plus médiocres. La grande facilité que présentait l'horlogerie pour connaître la longitude, si cet art pouvait acquérir assez de perfection, détermina des nations commerçantes à stimuler le zèle et les efforts des plus habiles artistes par des encouragements à la fois honorables et lucratifs. A force de recherches et d'expériences, on parvint à composer des horloges marines qui se firent remarquer par un commencement de succès. Souvent aussi des résultats moins heureux donnèrent lieu de craindre que pendant de longs trajets, dans des intervalles d'observations éloignées, il n'y eût dans les meilleures marches indiquées de fortes variations qui se fussent compensées sans avoir été connues; les horloges consultées dans ces moments d'écart auraient pu entraîner le navigateur dans des erreurs funestes.

On devait penser en effet que la régularité de ces instruments, dépendant particulièrement de l'application délicate de principes physiques et mécaniques fort compliqués, et de la constance dans les effets d'un mécanisme extrêmement subtil, pouvait être aisément altérée par les mouvements irréguliers du bâtiment, par le choc des vagues dans les temps orageux, les secousses de l'artillerie, la différence des climats, les grandes variations de température, etc. Il était donc peu probable que leur exactitude se soutînt constamment au milieu de tant d'obstacles et d'influences sur les métaux et sur l'huile absolument nécessaire dans les frottements de plusieurs parties; la moindre de ces

(1) Le temps se mesure par les retours réguliers d'un même phénomène. Le retour d'un même méridien terrestre vers une même étoile sert à mesurer la durée du jour sidéral. Ce même retour, à l'égard du soleil (en tenant compte des variations annuelles données par les tables d'équation pour chaque jour), mesure le jour solaire moyen ou le temps moyen. Si la direction du voyageur est toujours dans le même méridien, c'est-à-dire s'il marche bien directement d'un pôle terrestre à l'autre, les temps d'intervalle entre les retours du méridien terrestre vers le même corps céleste, corrigé par les tables, seront égaux. Mais si le voyageur dévie dans sa route et change de méridien, s'il s'avance vers l'est ou vers l'ouest, il en résultera pour lui une différence sur la durée du jour, en moins dans le premier cas, ou en plus dans le second.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

causes devrait nécessairement altérer le résultat du calcul des forces et des résistances que l'artiste avait eu tant de peine à combiner. Cependant les succès ont en quelque sorte surpassé l'espoir, et heureusement l'examen plus approfondi de toutes les difficultés, la persévérance dans de nouveaux essais, l'expérience, la découverte heureuse de principes inconnus jusqu'alors, ont enfin procuré la régularité désirée, au point de pouvoir souvent déterminer la longitude d'un navire, après plusieurs mois de traversée, à moins d'une demi-lieue sous l'équateur, et d'obtenir quelquefois des horloges marines une exactitude semblable à celle des meilleures horloges astronomiques à pendule.

Il ne suffisait pas toutefois aux besoins de notre navigation que l'on fût parvenu à rendre les horloges marines exactes et solides, il fallait encore les établir en fabrication comme les horloges et les montres ordinaires, seul moyen d'en réduire le prix, d'en faciliter, d'en multiplier l'emploi et de couvrir ainsi les frais d'établissement. Chaque ouvrage de ce genre avait toujours exigé l'étude spéciale de l'artiste le plus habile, de longs tâtonnements, enfin des soins particuliers et différents pour chaque pièce, et ne pouvait conséquemment être copié et multiplié en manufacture.

Cet avantage ne pouvait résulter que d'un concours heureux de circonstances rarement réunies; car, pour entreprendre un pareil établissement, il fallait d'abord bien connaître les règles générales de la composition de cette sorte de machines, avoir vaincu les dégoûts d'un tâtonnement sans bornes, et après avoir fourni aux frais qu'entraînent les épreuves nécessaires en tous genres pour découvrir les principes, trouver encore les moyens de pourvoir aux dépenses des instruments d'une construction et d'une justesse particulières à ce genre de travail et exigés par une fabrication en grand. On voit qu'il n'est point de sacrifices de temps et de fortune auxquels on ne doive se résigner, si l'on veut obtenir à la fois la sûreté et l'économie réclamées par la navigation; aussi ne compte-t-on qu'un petit nombre d'artistes en France qui se soient occupés avec succès de l'horlogerie marine, et ce n'est que dans ces dernières années que nous avons pu voir en établir la fabrication en manufacture.

Pénétrés de l'utilité d'une telle entreprise, ainsi que des difficultés qu'elle présente, nous avions depuis longtemps dirigé nos recherches vers ce sujet, et comme, après l'étude des principes qui lui sont particuliers, l'expérience devait surtout nous guider dans leur application, nous avons recueilli en notes, depuis plus de trente années, toutes les causes de dérangement, d'altération, de destruction quelconque, d'arrêt ou d'autres accidents que nous avons eu l'occasion d'observer dans toutes les horloges ou montres marines de divers auteurs qui nous ont été adressées. En réunissant nos efforts à ceux de nos prédécesseurs, nous sommes enfin parvenus à établir un modèle nouveau, plus régulier, de chronomètres que les navigateurs et les astronomes ont trouvés exempts des défauts dont on avait eu si souvent à se plaindre. Lorsque nous avons cru pouvoir embrasser l'ensemble des principes et de leurs résultats, nous avons cherché les moyens de rendre l'application tout à fait directe, pour que le succès ne dépendît plus d'aucun tâtonnement, que l'on fût assuré de l'obtenir sûrement, et qu'un artiste en état de faire une bonne montre à l'usage civil exécutât facilement et à coup sûr, dans un temps donné, des chronomètres réunissant toute la perfection et la sûreté permises par l'avancement de l'art. C'est dans l'espoir d'atteindre plus généralement ce but important pour la navigation et l'astronomie, c'est aussi pour l'utilité des artistes et la satisfaction des savants et des amateurs que ce sujet intéresse, que nous offrons nos réflexions et les résultats de nos travaux.

Afin d'exposer plus clairement ici l'abrégé des principes généraux de la matière que nous traitons, il nous a paru convenable, pour l'ordre des idées, de résumer les principes qui doivent guider le constructeur, travail qui pourra paraître de peu d'utilité à ceux qui ont étudié cette partie de l'horlogerie, mais qui peut être désiré par ceux qui l'auraient perdu de vue et par les amateurs.

Le système général d'un chronomètre se compose de quatre systèmes particuliers, qui sont : 1° le moteur; 2° le rouage; 3° l'échappement; 4° le régulateur.

Le régulateur est le véritable diviseur du temps. Dans les horloges marines et les montres à longitudes, c'est un corps dont l'axe est porté par deux pivots, dont toutes les parties sont en équilibre autour de son centre et susceptible de recevoir un mouvement circulaire; mais ce corps étant lié à un ressort spiral ne peut plus effectuer qu'un mouvement oscillatoire. Lorsqu'on le sort de son état de repos (ce qui arme nécessairement le ressort spiral), et qu'on l'abandonne ensuite, il fait un certain nombre d'oscillations produites par la réaction du spiral, mais dont l'étendue diminue peu à peu, et qui cesseraient bientôt par la résistance de l'air, celle des frottements des pivots et celle des molécules du ressort, si le mouvement n'était entretenu par les impulsions régulières d'un mécanisme que l'on appelle échappement.

L'échappement est un système qui répare à chaque oscillation, ou de deux en deux oscillations, la perte de mouvement du régulateur.

L'échappement est réglé dans ses fonctions par les oscillations elles-mêmes, et reçoit son action du rouage.

Le rouage, système de plusieurs roues dentées et de pignons, transmet à l'échappement la force du moteur.

Ce système prolonge l'action de la force motrice en ne la communiquant que par degrés; il indique la division du temps en heures, minutes et secondes, par des aiguilles fixées aux axes de quelques-uns de ces mobiles.

Le moteur des chronomètres portatifs est un corps élastique comprimé, dont la réaction ou la force est appliquée au rouage, qui la transmet par parties et par instants au régulateur, pour entretenir son mouvement oscillatoire.

La mesure du temps par les horloges marines et les montres à longitudes, instruments portatifs, résulte donc des oscillations d'un corps tournant sur lui-même, produites par l'élasticité d'un ressort qui est le spiral, et entretenus aussi par un moteur élastique (les ressorts contenus dans les barillets). Dans les horloges astronomiques à pendule et instruments fixes, les oscillations sont celles d'une verge métallique suspendue horizontalement; elle est supportée par une lame de ressort fixée à sa partie supérieure et porte à sa partie inférieure un poids assez lourd appelé lentille, parce qu'il en a la forme, afin d'offrir moins de résistance à l'air. Ce système, qu'on appelle un pendule, écarté une fois de la verticale et abandonné à lui-même, oscille par l'effet de la gravité. Le moteur qui entretient ces oscillations, par les systèmes intermédiaires du rouage et de l'échappement, est ordinairement un poids.

Ainsi, les principes du système régulateur dans les chronomètres et dans les régulateurs astronomiques sont l'élasticité dans les horloges marines et les autres instruments portatifs de ce genre, et la gravité dans les horloges astronomiques à pendule.

Le régulateur des instruments portatifs est formé de trois parties; les deux principales sont : 1° le balancier; 2° le ressort réglant, contourné en hélice, mais que l'on appelle communément spiral, parce que dans son origine, et même actuellement encore dans la plu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

part des montres, ces lames ont été pliées en volute dans un même plan.

Le balancier est formé de deux arcs métalliques d'un peu moins d'une demi-circonférence, fixés chacun par une de leurs extrémités aux deux points extrêmes d'une pièce d'acier faisant diamètre; le milieu de ce diamètre est le centre des deux arcs métalliques. Ce système est fixé par son centre sur un axe en acier, terminé par deux pivots disposés de manière à réduire autant que possible les frottements; il est porté sur une platine et maintenu par un pont appelé coq, fixé sur la platine. Les choses sont disposées de manière que le poids soit reporté le plus possible près de la circonférence, et que le centre de figure coïncide exactement avec le centre de gravité.

La suspension est la troisième partie du régulateur. Le ressort spiral ou ressort réglant est une lame d'acier (quelquefois d'or) pliée en hélice ou en vis (en ressort à boudin), formant plusieurs tours qui représentent un cylindre à jour, de 16 à 18 millim. de diamètre, placé concentriquement à l'axe du balancier.

Si l'on imprimait au balancier, suspendu comme il a été dit, mais sans communication avec le ressort spiral, un mouvement de rotation, on sait qu'il obéirait à ce mouvement en continuant de tourner dans le même sens, jusqu'à ce que le frottement et la résistance de l'air eussent absorbé toute la force communiquée; mais si le balancier est lié au ressort spiral, il ne peut continuer à effectuer un pareil mouvement sans faire plier et fermer les tours de lames du spiral, jusqu'à ce que la force du mouvement imprimé au balancier se trouve en équilibre avec la résistance toujours croissante de ce ressort; alors le mouvement du balancier cesse et le spiral le ramène vers le point commun de repos d'où ils étaient partis.

Ce mouvement rétrograde du balancier, dont dans les premiers degrés, devient de plus en plus rapide en raison composée de sa masse, de la forme du ressort spiral et de l'étendue de l'arc décrit, et la vitesse acquise est la plus vive lorsqu'il arrive à son point de départ, c'est-à-dire où il était en repos avant le mouvement imprimé. Le balancier dépasse donc ce point pour décrire de l'autre côté un second arc de même étendue, moins ce qui résulte de sa perte de mouvement par les frottements et les résistances qu'il éprouve dans sa marche; un second arc ne peut avoir lieu sans armer le spiral dans un sens contraire (et pour suivre le même exemple), en ouvrant alors les tours de ses lames. Lors donc que les forces opposées du balancier et du spiral se trouvent aussi en équilibre de ce côté, le mouvement du balancier cessant, le spiral le ramène encore vers le point de repos qu'il dépasse une seconde fois, par la même cause de son mouvement acquis.

Le balancier, joint au spiral, continue ainsi à effectuer plusieurs mouvements circulaires de va-et-vient, qu'on appelle oscillations; mais la perte d'une partie de son mouvement par les résistances dont nous avons parlé ci-dessus, et de plus par le frottement des molécules du spiral qui s'oppose au changement de forme de sa lame, diminuant progressivement l'étendue des arcs, ceux ci se trouveraient, comme nous l'avons dit, peu à peu réduits à zéro, sans la réparation immédiate de l'échappement. Ainsi le balancier (composé lui-même d'ailleurs de plusieurs autres parties que nous expliquerons plus loin), le spiral ou ressort réglant et la suspension, forment le premier système appelé régulateur.

Pour réparer la perte de mouvement du régulateur et maintenir l'étendue égale des oscillations, on établit près de son axe un système de pièces que l'on nomme l'échappement. Il se compose de la dernière roue dite d'échappement, d'une détente à repos, et d'un cercle d'échappement entaillé en un point de sa circonférence, lequel se trouve placé sur l'axe même du balancier. Il y a aussi tout près de ce cercle une pièce fixée sur le même axe, et appelée doigt de dégagement.

Le déplacement de la détente produit par le doigt pour dégager la roue, est proprement le rappel de la force motrice. L'action d'une dent de la roue d'échappement sur le cercle se nomme impulsion ou réparation.

On vient de voir comment la roue d'échappement, toujours sollicitée par la force motrice (lorsque celle-ci est armée), mais retenue par la détente, est tirée de son repos par le déplacement de cette même détente, opérée par le doigt de dégagement que porte l'axe du balancier, agent le plus direct et le plus propre à cette fonction par la régularité de ses retours, et que c'est alors que, par l'impulsion, la roue restitue au régulateur, déjà en mouvement, toute la force absorbée par les frottements de la suspension, par les résistances de l'air, du spiral, et même du dégagement.

Lorsqu'on aura bien saisi ces effets, rien ne paraîtra d'abord plus simple que l'action mutuelle de l'échappement sur le régulateur dans l'impulsion, et du régulateur sur l'échappement dans le rappel de la force motrice, et il semble que la vitesse, la durée des oscillations, la tension proportionnelle du spiral et sa réaction dans les diverses étendues d'arc, les résistances des frottements et autres obstacles, peuvent facilement être soumises à l'analyse. Mais il faut aussi considérer que les éléments dont nous venons de parler varient par les effets insensibles de l'usure, qui change les surfaces en contact, par l'état des huiles qui se décomposent, par les irrégularités qui restent dans la force motrice, malgré tous les soins donnés au rouage, par les effets de la température sur les dimensions du balancier, sur l'élasticité du spiral, et même sur toutes les parties du mécanisme; que les moyens par lesquels on y remédie sont soumis eux-mêmes à d'autres causes perturbatrices; qu'enfin l'expérience semble indiquer que des propriétés encore inconnues, et probablement très variables de la matière, viennent se mêler à ces effets; que toutes ces influences, quoique imperceptibles, ne sont que trop amplifiées par le nombre prodigieux des oscillations, et devraient être connues d'autant plus exactement que la régularité de chaque oscillation, et par suite la durée d'un grand nombre d'oscillations consécutives, dépendent de l'intensité des causes qui les entretiennent et de celles qui les attirent.

On sentira facilement alors qu'il est peu d'études aussi compliquées, aussi conjecturales, que celle de toutes ces combinaisons, qui échappent trop souvent à l'analyse de l'esprit le plus observateur, le plus pénétrant et le plus méthodique, malgré la régularité que procure au rouage l'emploi de machines très ingénieuses et qui donnent aux dentures une précision extraordinaire. Le peu d'imperfection qui reste inévitablement à tout ce que produit la main de l'homme, fait encore changer très sensiblement les rapports des leviers, dans les engrenages, outre les différences qui surviennent dans le glissement des courbes par les adhésions, les grippements, la présence de corpuscules étrangers, enfin par les changements de température. Il s'en suit que la force motrice transmise ne peut pas être toujours absolument la même, et que les arcs changent nécessairement d'étendue et de durée suivant les lois ordinaires du mouvement. Cependant, sans la condition rigoureuse de l'égalité absolue de durée dans les oscillations, il ne peut exister de bons garde-temps, de véritables chronomètres, et il est très probable que d'après les bases de construction qu'une longue expérience a fait adopter dans l'horlogerie civile, on ne serait jamais parvenu à exécuter des instruments de précision sans la découverte heureuse des moyens d'ob-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tenir, par les dimensions du spiral, des oscillations d'une même durée, quels que fussent les changements de leur étendue. C'est cette propriété que l'on nomme isochronisme du spiral, parce que ce ressort rend les oscillations du balancier isochrones, c'est-à-dire que les arcs grands ou petits décrits par le balancier sont exécutés dans le même temps. Le ressort réglant, qui produit les oscillations du balancier, devrait donc être par lui-même ce qu'on appelle isochrone, c'est-à-dire que sa tension dans les divers degrés devrait toujours être en rapport avec les arcs à faire parcourir au balancier; mais malgré la découverte et l'étude des proportions qui peuvent donner à ce ressort une telle propriété, on l'obtient rarement au degré convenable à cause des irrégularités de la matière, de la trempe et de la forme des tours de sa lame lorsqu'elle s'ouvre ou se resserre. On trouve rarement un spiral isochrone dans les diverses étendues d'arcs que produit la variation de la force motrice, ou sa diminution progressive causée avec le temps par l'épaississement des huiles: effets toujours à combiner avec ceux de la température sur l'élasticité des ressorts, les frottements, etc.; encore trouve-t-on qu'un spiral que l'on a rendu isochrone avec beaucoup de soin, ne l'est plus quand il a fonctionné pendant un temps plus ou moins long. Nous venons d'observer que les moindres variations dans tous ces effets produisaient à la longue des erreurs importantes par la multiplication des mêmes mouvements. On ne peut, en effet, considérer sans étonnement le peu d'altération qu'il suffit de faire éprouver à la durée de chaque oscillation pour produire l'erreur d'une seconde au bout de vingt-quatre heures. Et nous saisissons cette occasion d'en faire ici la remarque positive, pour n'être pas taxés de minutie dans l'examen des causes de variations des horloges, ou soupçonnés d'exagération dans les difficultés que nous exposons, et dans les précautions qu'exige tout ce qui concerne le régulateur.

La durée de chaque oscillation dans les horloges marines, où elles sont le moins fréquentes, est d'un quart de seconde.

Ainsi, si la durée de chaque oscillation est altérée de la 86,400e partie d'un quart de seconde, il en résultera une erreur d'une seconde dans la marche diurne de l'horloge. Cette erreur, si petite sur un jour, peut déjà, en s'accumulant pendant quelques mois, donner une erreur de plusieurs lieues en longitude. Les oscillations des montres à longitude de poche sont encore plus promptes : on fait battre à l'échappement cinq et même préférablement six oscillations par seconde, pour les rendre moins sensibles à l'agitation du porter. Ces pièces battent donc jusqu'à 518,400 oscillations en vingt-quatre heures. Si ces oscillations d'un sixième de seconde se trouvent altérées chacune dans sa courte durée d'une 86,400e partie, il y aura aussi une variation d'une seconde au bout de vingt-quatre heures, erreur que l'on pardonne à peine à un garde-temps médiocre.

Que l'on réfléchisse maintenant au pouvoir borné de l'homme, si éloigné de pouvoir produire deux effets, deux quantités matérielles qui soient mathématiquement identiques, et l'on concevra aisément combien il doit être difficile d'obtenir une régularité aussi minutieuse avec une constance suffisante d'un mécanisme si délicat, si exposé aux altérations, et combien par conséquent doit être sévère l'analyse des moindres causes de variation d'un chronomètre.

Nous avons dit que le ressort réglant doit être isochrone, c'est-à-dire qu'il doit croître en force dans le rapport des moments d'inertie du balancier, ou, en d'autres termes, qu'il doit avoir acquis en s'armant d'autant plus de force qu'il a plus de chemin à faire parcourir au balancier en le ramenant, afin que les grandes vibrations s'exécutent dans le même temp que les petites, quelque variable que soit l'étendue des arcs; mais les résultats d'une telle propriété ne se soutiennent qu'autant que dans l'échappement l'équilibre des forces et des obstacles, des frottements et des autres effets, se conserve constamment le même (1). Parmi plusieurs autres conditions, la suspension du régulateur doit donc être telle qu'il ne résulte aucune différence pour lui des changements de position que l'horloge prend toujours par l'agitation du bâtiment, malgré que l'ensemble soit suspendu à cadran comme la boussole marine. Toutes les parties du régulateur, et le spiral particulièrement dans le mouvement produit par les lames, doivent aussi être disposées de manière que leur centre commun de gravité ne cesse jamais de coïncider avec leur centre de mouvement dans tous les degrés d'arcs parcourus.

Un régulateur ainsi établi avec toutes les attentions convenables, telles que le choix des métaux, la perfection de la main-d'œuvre et les conditions que nous avons jusqu'ici développées, semblerait pouvoir déjà donner exactement la mesure du temps, si la température restait constamment la même; mais comme elle varie continuellement et souvent tout à coup, et d'une quantité de degrés considérable particulièrement dans les voyages, elle altère très sensiblement l'exactitude des fonctions du régulateur :

1° Les différences dans la température changent les dimensions du balancier, et par suite la durée des oscillations. Lorsque le balancier devient plus grand par le chaud, les oscillations sont retardées, comme lorsqu'il devient plus petit par le froid, elles sont accélérées ;

2° Elles allongent ou raccourcissent le spiral, ce qui détruit l'isochronisme dépendant d'un rapport très précis entre la longueur et la force de sa lame, et ce changement de longueur déplace encore le point de repos du spiral, à l'égard du point d'échappement, d'où résulte une différence marquée dans les effets de l'impulsion.

3° Elles changent aussi la force élastique du spiral et par conséquent les rapports de cette force avec les arcs ;

4° Elles influent encore sur la quantité de frottements de tous les pivots, sur l'état de l'huile et sur les engrenages, et enfin sur le degré d'action du moteur. Pour remédier à ces causes de variation, on a imaginé de faire varier aussi proportionnellement l'inertie du balancier, afin que les oscillations eussent toujours la même durée, malgré les changements produits par la température.

Le balancier a donc été tellement composé, que par l'effet de la chaleur, par exemple, des parties de son cercle se rapprochent du centre à proportion de l'allongement qu'elle produit sur les rayons et sur le spiral, en sorte que pour la même cause le résultat de ces trois derniers effets donnant du retard est compensé et détruit par le résultat simultané du premier qui donne une avance proportionnelle; le contraire a également lieu par le froid.

Ainsi l'on a placé des masses réglantes à l'extrémité de chacun des rayons, qui forment avec eux et avec l'arc environ la moitié du poids du balancier, et l'on a formé le cercle extérieur de parties de cercles (concentriques pour une température donnée) fixées d'un bout aux rayons, et isolées de l'autre, où elles portent des

(1) Le ressort réglant ne doit même produire des oscillations isochrones qu'en comprenant toutes les résistances et l'inertie que lui oppose le balancier. Les oscillations d'un balancier sans échappement, etc., étant rendues isochrones par les dimensions du spiral, ne le seraient plus alors que le balancier aurait à vaincre les résistances de l'échappement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

masses compensantes, le tout formant la seconde moitié du poids total du balancier. Ces parties de cercles sont composées chacune de deux lames de métaux qui diffèrent en dilatation, jointes ensemble sur toute leur longueur par les goupilles rivées et très rapprochées, ou simplement et mieux par une soudure.

Le métal le plus dilatable est en dehors ; son extension par le chaud et sa contraction par le froid font changer la courbure des parties de cercle, d'où il résulte que les masses de compensation placées à l'extrémité isolée et libre des lames sont portées vers le centre par le chaud et s'en éloignent par le froid, tandis que les masses réglantes des barettes éprouvent l'effet contraire. La proportion de ces masses entre elles, pour produire une juste compensation, se détermine par des épreuves spéciales sur les changements de température, en exposant la machine alternativement au froid et ensuite à la chaleur d'une étuve disposée pour cet objet.

Le diamètre virtuel du balancier restant ainsi le même, sa vitesse n'est point changée. La partie du retard ou de l'avance qui a pour cause la différence de longueur et d'élasticité du spiral, ainsi que les variations de la force motrice causées par la température, sont aussi comprises dans cette correction par le rapprochement ou le poids augmenté suffisamment des masses compensantes ; car leur effet doit être proportionné non-seulement à l'écart des masses réglantes, mais encore à l'ensemble des autres altérations dans le même sens qu'il s'agit de corriger, et c'est ce qu'on appelle compensation absolue.

L'accord du mouvement des lames pour que le centre de gravité du balancier composé ne cesse pas de coïncider avec son centre de mouvement, pour maintenir en un mot son équilibre et la conservation de l'isochronisme des oscillations par le spiral, dans l'étendue variable des arcs, au milieu des altérations produites sur toutes les parties du mécanisme par les différences de température, sont des perfections très difficiles à obtenir.

Il est important que les lames de compensation soient fortes et courtes, pour ne céder que le moins possible à la force centrifuge qui les fait toujours ouvrir et se fermer dans chaque oscillation. Cet effet est moins sensible au froid qu'au chaud, et dans les petits arcs que dans les grands ; il change en conséquence les degrés de vitesse du balancier, et trouble en s'y mêlant les rapports qui constituent l'isochronisme ; il doit donc être aussi apprécié en raison de son influence dans la combinaison générale (1).

Parmi toutes les causes perturbatrices qui viennent entraver le moyen si heureux et si simple dans son principe d'obtenir l'isochronisme par les proportions du ressort réglant, il faut compter encore pour beaucoup le dégagement ou rappel de la force motrice, opéré par le régulateur, et la réparation ou impulsion produite par l'échappement. Ces deux effets occupent une portion d'arc déterminée, pendant laquelle la vitesse du balancier est ralentie par la résistance de la détente et l'appui de la roue sur le repos, puis accélérée suivant les variations de la force motrice dans l'impulsion.

(1) Le balancier d'une horloge doit avoir son poids en rapport avec son diamètre, pour le nombre des vibrations données par seconde. Il n'est pas indifférent que les éléments ou facteurs du mouvement soient plus ou moins en poids qu'en vitesse. On détermine par expérience la force du spiral, le poids et le diamètre du balancier, enfin le rapport le plus convenable entre la force de mouvement de celui-ci et celle du ressort réglant, forces qui se commandent alternativement : c'est dans ce rapport que le régulateur est le moins troublé par l'agitation et les secousses accidentelles, qu'il peut vaincre le plus d'obstacles, et que l'on obtient plus de constance dans les effets.

D'ailleurs, le plus ou le moins d'activité ou d'inertie de la roue, la facilité, ou l'engourdissement des rouages par les inégalités des engrenages, de l'état des huiles, les frottements, etc., font que la dent atteint plus tôt ou plus tard la levée, et change sensiblement l'intensité de force qu'elle communique, comme aussi la résistance au dégagement.

Cette portion d'arc n'est donc point réellement isochrone. Et d'après le calcul donné plus haut du changement occasionné dans la marche totale en vingt-quatre heures par la moindre altération de la durée d'une oscillation, ou d'une partie de l'oscillation, on voit combien l'échappement peut encore troubler cette durée, quand même la partie libre des oscillations serait exactement isochrone.

Le meilleur échappement serait sans doute celui qui ne troublerait pas plus le mouvement du régulateur dans la réparation de sa force que s'il n'existait aucune communication entre eux, et dont la force réparante serait toujours égale à la perte qui la nécessite.

L'échappement est de toutes les parties d'une horloge celle qui a présenté aux artistes le plus d'espoir d'atteindre à la perfection des garde-temps, et ce qui a le plus exercé leur esprit de recherche. Aussi existe-t-il une foule d'inventions en ce genre qu'on a divisées en trois classes : les échappements à recul, ceux à repos, et les échappements libres. Cette dernière classe, la seule dont nous nous occupons ici, est exclusivement adoptée pour les montres et les horloges portatives destinées à l'observation. (Voir pour plus de détails l'article HORLOGERIE.)

Nous terminerons donc ce qui concerne les horloges marines par la remarque suivante : c'est que toutes les règles établies par l'expérience sembleraient devoir suffire pour atteindre le but, si l'on pouvait être sûr de l'homogénéité des métaux, de l'uniformité de la trempe, d'une exécution rigoureusement pure, et si les pénétrations, les jeux, le centrage, les frottements, les huiles, etc., se conservaient les mêmes avec toute la rigueur des rapports établis par la théorie ; mais, outre les variations de ces rapports, il se présente souvent d'autres causes d'anomalies qui échappent à la sagacité de l'artiste le plus expérimenté. Elles ne tendent jamais toutes dans le même sens, et elles s'entre-détruisent irrégulièrement, en laissant en résultat une différence dont l'origine compliquée ne présente aucun indice et ne permet que des conjectures, ce qui nécessite de longs tâtonnements pour arriver plus ou moins près du degré d'exactitude que l'artiste ne cesse d'ambitionner.

Les inventions les plus remarquables auxquelles sont dues les premiers succès des chronomètres sont : 1° la découverte, par M. P. Leroy, de la propriété isochrone d'un ressort d'une certaine longueur ; 2° l'emploi de métaux différemment dilatables, par Harisson, pour produire la compensation dans le pendule ; 3° l'application de ce même moyen au balancier des chronomètres portatifs, idée de P. Leroy exécutée par Arnold ; 4° le choix par Arnold de la forme du spiral en hélice (ressort à boudin), qui permet, par l'uniformité de ses tours, de trouver plus facilement l'isochronisme et de conserver mieux la coïncidence du centre de gravité avec son centre de mouvement ; 5° l'échappement libre, dont la première idée appartient à M. Dutertre, mais que P. Leroy, Arnold et Harenschaw ont beaucoup perfectionné.

Telles sont les bases de construction des instruments faits jusqu'à ce jour. Ils ne diffèrent entre eux que par quelques changements dans la situation ou la forme des pièces ; les principes sont les mêmes dans tous ; on les trouve dans divers ouvrages écrits sur ce sujet, et particulièrement dans ceux d'Harisson et de P. Leroy : ce dernier surtout les a développés d'une manière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHRONOMÈTRE.

claire et succincte. La théorie n'y est pas noyée dans une quantité d'essais, de moyens et de plans d'exécution, adoptés laissés et repris plusieurs fois, ce qui ne peut manquer de jeter dans le vague et l'incertitude, et de paralyser souvent l'esprit de recherche auquel les arts doivent leurs richesses.

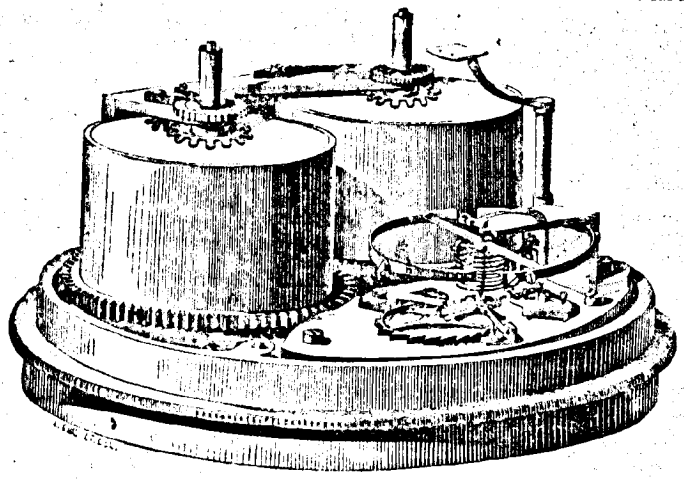


Fig. 1.

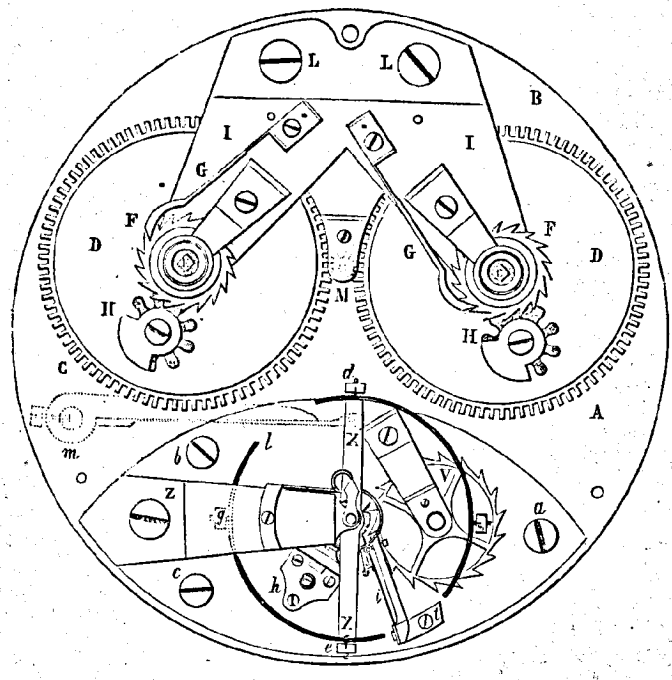


Fig. 2.

Il a parfaitement établi les vrais principes qui peuvent se résumer en peu de mots : 1° Le balancier des montres marines doit de lui-même, par sa construction propre, compenser les effets de dilatation produits par les variations de température. 2° Le ressort spiral sous l'action duquel il oscille doit être isochrone dans son essence; en d'autres termes, les oscillations de ce balancier compensateur doivent avoir une durée indépendante de l'amplitude des arcs qu'il décrit. 3° L'échappement, ce mécanisme par lequel le balancier compensateur isochrone est mis en rapport avec le rouage et le ressort moteur, doit être tel qu'il ne puisse troubler en aucune manière l'isochronisme des oscillations; en un mot, ce balancier doit osciller comme s'il était séparé de la montre.

Si l'on parvenait à réaliser mécaniquement les propriétés fondamentales du balancier des montres marines et de son ressort spiral, les imperfections du rouage, l'usure des différentes parties de la montre, n'auraient aucune influence fâcheuse sur la régularité de son mouvement, et tant qu'elle pourrait marcher, c'est-à-dire tant que la force motrice serait suffisante pour entretenir les oscillations du balancier, la marche de la montre serait parfaite, jusqu'au moment où elle s'arrêterait par suite de la faiblesse de l'impulsion donnée par l'intermédiaire de l'échappement. Dans ce système, l'ingénieux mécanisme de la fusée deviendrait inutile, et le rouage communiquerait directement avec le barillet. Telles seraient les conséquences de ces principes si l'on parvenait à réaliser en toute rigueur le balancier compensateur isochrone et l'échap-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pement libre. Mais Pierre Leroy s'est bien gardé d'en faire une application aussi radicale, et, à son exemple, les horlogers ont de bonnes raisons pour rester fidèles à la fusée (à laquelle la maison Bréguet est revenue, malgré le succès d'excellents chronomètres à double ressort, parce qu'elle a reconnu qu'avec la fusée on était plus sûr de bons résultats), et pour donner aux pivots des roues et aux engrenages de leurs chronomètres, à tous les organes accessoires, toute la perfection possible.

Une des principales raisons, c'est qu'avec le balancier tel qu'on le construit aujourd'hui, on n'est pas encore parvenu à annuler entièrement les variations de la marche qui proviennent de tous les changements de température. On arrive bien à déterminer la position des masses compensatrices sur les arcs bimétalliques du balancier, de manière que la marche diurne soit exactement la même à 0 et à 30 degrés, par exemple; mais de 0 à 15 degrés, cette marche va en s'accélérant de petites quantités; à 15 degrés elle atteint sa plus grande valeur et elle décroît de 15 à 30 degrés, en reprenant toutes les valeurs qu'elle avait entre 0 et 15 degrés. Cette propriété du balancier bimétallique, qu'une longue expérience avait déjà révélée aux fabricants de chronomètres les plus habiles, a été mise en lumière par M. Lieussou, enlevé trop tôt au corps des ingénieurs hydrographes de la marine française. (Voy. *Complément*, art. CHRONOMÈTRE.) Il a montré, en discutant les marches diurnes d'un grand nombre de chronomètres anglais et français, observés pendant une année, que tous étaient soumis à la loi énoncée plus haut. Pour combattre les irrégularités de marche qui résultent de cette défectuosité du balancier à lames bimétalliques, les artistes n'établissent pas un isochronisme parfait, comme le recommandait Pierre Leroy; ils laissent au spiral une très-légère accélération dans les petits arcs; mais s'ils parviennent par cette nouvelle erreur à détruire les effets de la première, cette compensation des deux erreurs a peu de durée, et son insuffisance ne tarde pas à se manifester. Ce défaut du balancier actuellement en usage paraît tenir au mode d'action des arcs bimétalliques, et on peut douter qu'il existât dans le premier balancier que Pierre Leroy construisit pour la montre qui remporta le prix de l'Académie, balancier pour lequel la compensation s'obtenait par le mouvement d'une certaine quantité de mercure et d'alcool contenue dans deux tubes de verre opposés, recourbés en forme de V, et fixés à l'axe d'un balancier formé d'une seule lame en acier. Le véritable moyen de corriger l'erreur en question paraît donc être de modifier la construction du balancier bimétallique, et c'est vers ce but que tendent aujourd'hui tous les efforts des fabricants de chronomètres. On peut dire que les essais se portent surtout dans la voie de compléter le balancier compensateur à arcs bimétalliques par un système accessoire, soumis à des lois différentes, et fournissant une *compensation supplémentaire*. La petitesse des organes, le peu de place et de masse dont on peut disposer pour ne pas rencontrer des défauts supérieurs à ceux auxquels on cherche à remédier, n'a pas permis de résoudre complétement ce difficile problème. Nous revenons, au reste, sur ces divers éléments, à l'article HORLOGERIE, mais au point où ils sont parvenus, les chronomètres paraissent déjà bien voisins du degré de perfection qu'il est possible d'atteindre d'un ouvrage sorti des mains de l'homme.

Pour que l'on fasse plus facilement l'application de l'article qui précède, nous plaçons ici la description sommaire d'un de nos chronomètres.

La fig. 1 présente la perspective et l'ensemble du mouvement découvert d'une de ces horloges, le cadran étant placé sur un plan horizontal. Le plan ABC (fig. 2) est une grande et forte platine, première base d'assemblage pour toutes les autres pièces. D et D sont deux barillets dentés contenant des ressorts qui se remontent par leurs axes en E et E, et restent armés au moyen des rochets F et F et des ressorts cliquets G et G; H et H sont les roues d'arrêt des remontoirs. Les deux barillets sont contenus sur la platine par le pont à deux branches I I fixé par les vis L L.

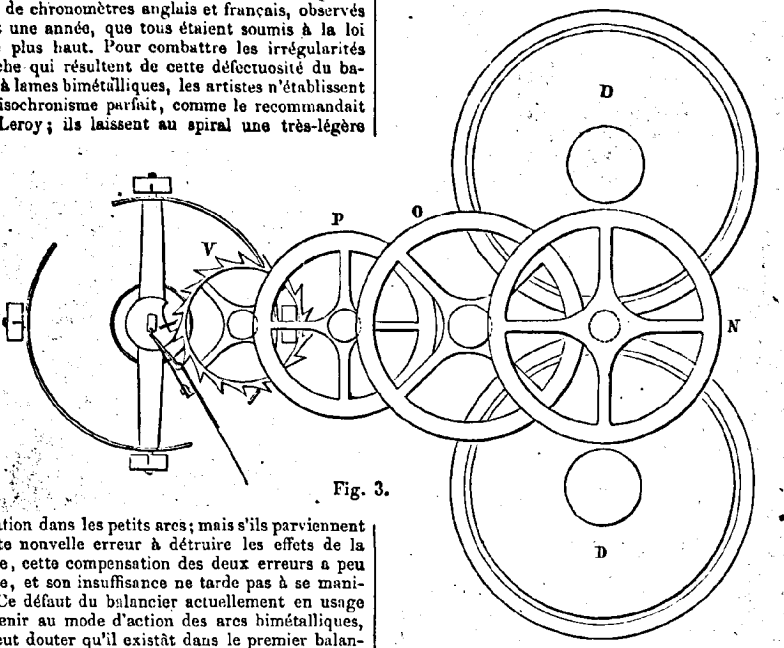


Fig. 3.

Les ressorts contenus dans les barillets font vingt tours; l'on ne se sert que des quatre tours du milieu pour cinquante heures, et comme on les remonte chaque vingt-quatre heures, il s'ensuit que deux tours seulement sont employés et donnent presque une force uniforme.

Ces barillets mènent tous deux dans le même sens le pignon M de la grande roue de minutes N. Cette roue se trouve placée sur le revers de la platine (la

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

fig. 3 donne en plan les dimensions relatives de toutes les parties du mécanisme qui constituent la minuterie), conduit le pignon et la roue O, qui mène le pignon et la roue de secondes P; ces trois roues ont d'un côté leurs pivots dans un pont placé au dessous de la platine. Les autres pivots des deux dernières roues sont dans la platine, mais la tige plus longue de la roue N a son pivot dans un petit pont placé entre les deux barillets; il est fixé sous le grand pont I, I (fig. 2).

Nous n'avons pas représenté le détail de la minuterie placée sur le chronomètre, parce qu'elle n'offre rien de particulier. Nous observerons seulement qu'un petit pont, passant au travers de la platine sans la toucher, maintient de ce même côté l'axe et le pignon de la roue d'échappement. L'axe de la roue d'échappement traversant la platine, cette roue se trouve reportée du côté du balancier et des barillets en V (fig. 2). Les deux ponts U et V de cette roue sont fixés tous les deux à une autre platine dite d'échappement *a b c* (même fig. 2), tenue par trois vis à la grande platine, mais avec un intervalle entre elles formé par trois petits plots. La roue d'échappement V agit un instant de deux en deux oscillations sur un cercle d'échappement porté par l'axe du balancier XX; celui-ci est maintenu en cage sur la platine d'échappement au moyen du pont ou du coq Z. Nous avons adopté, d'après l'expérience, une diminution très-rapide dans le diamètre et le poids des mobiles pour diminuer, autant que possible, l'inertie de ceux qui avoisinent l'échappement.

Le balancier est garni de deux masses réglantes, *d*, *e*, et de deux masses compensantes *f*, *g*; celles-ci sont portées par les deux lames circulaires de compensation, *d*, *f* et *e*, *g*, faites chacune de deux métaux différents en dilatation, le plus dilatable en dehors, et qui se courbent plus ou moins par la seule différence de la température; *h*, est un plot triangulaire garni de trois vis à caler et fixé sur la platine d'échappement par sa vis du milieu; il porte le piton attaché au bout inférieur du ressort spiral, dont l'autre bout supérieur est attaché à un bras que porte l'axe du balancier.

La fig. 4 représente les trois formes que prend le spiral pendant les mouvements du balancier lorsque son milieu est très-mince, que sa section n'est pas uniforme dans toute sa longueur. B le montre quand

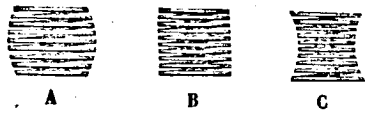


Fig. 4.

il est au repos; A, quand il fait son premier mouvement; C, quand il revient sur ses pas pour faire une seconde oscillation. (Nous renvoyons à l'article HORLOGERIE pour la théorie du spiral élucidée par les travaux de M. Philips.) La pièce *t*, *i*, *j*, fixée aussi sur la grande platine d'échappement, porte une détente à ressort *i*, *j*, qui tient en repos la roue d'échappement pendant la partie libre des oscillations du balancier. Mais celui-ci porte un doigt de dégagement qui, de deux en deux oscillations, dégage un instant cette détente, ce qui permet à une dent de la roue d'échappement d'agir sur une entaille faite à cet effet sur le bord du cercle, et de restituer ainsi au balancier le mouvement qu'il perd par diverses résistances.

La platine d'échappement portant le balancier, le spiral, son plot, la roue d'échappement et sa détente, peut-être enlevée du mouvement sans dénaturer aucune de ces pièces ni le reste de l'horloge; il suffit de desserrer et d'ôter les trois vis *a*, *b*, *c*. Une de ces vis est plus longue que les deux autres: son bout conique, quand elle est serrée, tient écarté un ressort de précaution (fig. 2), qui retombe dans les dents de la roue de secondes, lorsque l'on desserre la vis pour enlever la cage du régulateur, ce ressort empêche ainsi le rouage de courir et les accidents qui pourraient en résulter.

BRÉGUET.

CHRONOSCOPES, ou CHRONOGRAPHES. On donne ces noms à des appareils à l'aide desquels on parvient aujourd'hui à évaluer les durées excessivement courtes de phénomènes mécaniques. C'est l'électricité, dont la rapidité de transmission est extrême, qui a fourni les moyens d'obtenir des indications en divers instants peu distants, et par suite de construire des appareils extrêmement sensibles, permettant d'évaluer de très-grandes vitesses en observant les moments de passage en deux points très-peu éloignés l'un de l'autre. C'est surtout pour les recherches de balistique que de semblables appareils ont été combinés, et on doit citer comme les principaux ceux dus à M. Bréguet, au capitaine Navez, à M. Gloesener, à M. Martin de Brettes, et enfin celui dû au capitaine Schutz et à M. Lissajous. Outre l'application aux phénomènes des explosions qui ont pu seuls, à cause du culte rendu à l'artillerie, au plus puissant moyen de domination, trouver des encouragements suffisants pour défrayer de coûteux essais, il s'en trouvera bien d'autres d'un grand intérêt; ainsi, nul doute que l'étude des phénomènes du choc des corps ne progresse singulièrement lorsqu'on appliquera à leur analyse ces précieux instruments qui permettront facilement d'apprécier les durées des contacts pendant lesquels seulement peut avoir lieu la communication électrique, le passage du courant, qui, on va le voir, est la base du mode de fonctionnement de ces instruments.

Dans la plupart des chronographes, les indications sont fournies par des points qui viennent se tracer soit par une aiguille mue uniformément sur une plaque fixe, soit par une aiguille fixe sur un cylindre mû d'un mouvement uniforme. L'espacement des indications, mesuré d'après la vitesse de l'élément en mouvement, donne l'intervalle de temps écoulé, pour une distance connue, par exemple, celle qui sépare deux cibles que traverse le projectile, en rompant des fils qui donnent passage à un courant électrique, ce qui donne lieu à l'étincelle qui trace l'indication. C'est à l'aide de régulateurs qu'on assure la régularité du mouvement du cylindre pour évaluer avec exactitude de très-courts intervalles, moyen qui paraît insuffisant sans l'emploi du diapason que nous donnons plus loin.

Relativement au mode d'action de l'électricité, le mécanisme de ces appareils a été extrêmement varié: tantôt l'indication est fournie par un électro-aimant dont l'armature, en tombant, fournit elle-même une trace par l'intermédiaire d'une pointe, d'une plume ou d'un crayon; tantôt l'électricité est employée comme organe traceur à la manière des télégraphes électriques, tantôt comme organe perforateur à la manière des appareils perce-cartes, etc.

Je parlerai d'abord du chronoscope de MM. Martin de Brettes et Hardy, qui ont adopté comme régulateur le pendule conique.

L'électricité provient d'un appareil d'induction de Rumkorf. Lorsque, par une disposition semblable à celle que nous donnerons plus loin, le courant est rompu, une étincelle éclate entre la pointe d'une aiguille tournante et un plateau, un cylindre en bronze.

Le cylindre de bronze est, électriquement, dans un isolement complet du reste de l'appareil, et ne communique qu'avec le pôle N de la bobine d'induction.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'autre pôle de cette bobine communique avec le haut du pendule conique. Lors de la rupture du circuit inducteur, le courant induit formé descend par le pendule jusqu'à l'aiguille tournante, et éclate entre sa pointe et le cylindre sous forme d'une étincelle, en perçant le papier dont le cylindre est recouvert.

Cette étincelle laisse dans la bande de papier un trou noir et parfaitement net. Qu'une seconde étincelle soit produite un instant après la première, il y a formation d'un deuxième trou plus ou moins éloigné du premier, selon l'arc plus ou moins grand décrit par l'aiguille, régularisé par le pendule conique. Dès lors le mouvement de l'aiguille, conduite par le pendule, étant parfaitement uniforme, et la circonférence du cylindre étant divisée en 1000, il suffit de lire, soit avec le vernier, soit avec les microscopes pointeurs, le nombre de divisions contenues entre les deux trous des étincelles, pour avoir en millièmes de seconde le temps qui s'est écoulé entre ces deux étincelles. Si l'on veut pousser l'approximation plus loin, on subdivise les divisions du cylindre à l'aide du vernier, ou, dans le grand appareil, à l'aide des micromètres des microscopes. Mais lorsque l'on opère avec la bande de papier, qui a l'avantage de conserver les résultats, il faut avoir soin de ne pas dépasser une certaine limite, car l'étincelle peut avoir une déviation appréciable.

Pour des expériences de la plus grande précision, on supprime la bande de papier et on opère directement sur le cylindre argenté et bien poli; on arme la pointe de l'aiguille tournante d'un ressort extrêmement léger, sur lequel se trouve la pointe de platine; une petite vis règle la tension du ressort. Lorsque ce ressort est bien réglé, la vis de platine touche le cylindre, mais très-légèrement; de sorte qu'il y a étincelle lors du passage du courant induit, avec une trace noire parfaitement distincte. Dans le cas où le ressort serait trop tendu et où la pointe de platine toucherait trop fortement le cylindre, l'étincelle d'induction n'existerait pas, le courant induit passant directement par le contact de la pointe et du cylindre sans laisser de trace.

Enfin si, au contraire, le ressort trop lâche n'amenait pas la pointe de platine jusqu'au contact du cylindre, il y aurait étincelle, mais avec une trace vaporeuse et indécise.

Dans cette disposition, la pointe de platine étant enveloppée de matière isolante, et l'étincelle ne pouvant jaillir que par l'endroit de la pointe qui est en contact avec le cylindre, il n'y a aucune déviation appréciable de l'étincelle.

Les traces des étincelles s'effacent très-facilement par un léger frottement avec du drap humide.

Je chercherai maintenant à donner une idée exacte de l'appareil du capitaine Schultz, qui, construit par M. Froment, est, je crois, le plus parfait qui existe aujourd'hui.

Un rouage mis en mouvement par un poids et régularisé par un volant à ailettes, fait tourner régulièrement un cylindre de cuivre argenté à la surface, de 1 mètre de circonférence. Cette surface est enduite de noir de fumée lorsqu'il s'agit de procéder à une expérience, et recouverte de lignes sinusoïdales, tracées par un diapason placé en avant du cylindre et qui porte à une de ses branches un petit appendice élastique qui vient tracer sur sa surface. Si ce diapason est le diapason normal qui exécute 896 vibrations par seconde, on voit que si le cylindre fait un tour par seconde, chaque vibration représentera plus d'un millimètre; s'il fait n tours, plus de n millimètres; ce qui permet d'obtenir une étendue assez grande pour que l'observation de la moitié, du quart, etc. de 1/896e de seconde, soit obtenue avec une certitude absolue.

L'instrument est donc d'une extrême précision, à la condition toutefois que les courbes du diapason ne s'altèrent pas, conservent une amplitude suffisante, ne s'approchent pas trop de la circonférence médiale des vibrations, car alors celle-ci seule ne serait plus d'aucune utilité pour aider à la subdivision du temps. C'est là un danger que M. Lissajous a parfaitement fait disparaître par la disposition du diapason entretenu, c'est-à-dire auquel on restitue la force vive qu'il peut perdre. A cet effet, il dispose un long pendule qui vient, par sa partie inférieure, faire naître un contact qui détermine le jeu d'un électro-aimant qui détermine une action sur le diapason, et qui, se produisant exactement toutes les deux secondes, par exemple, éternisera son action sans que le pendule, c'est-à-dire l'appareil le plus régulier que l'on connaisse, puisse être la cause d'aucune perturbation.

Le cylindre, s'avançant par l'effet d'une vis taillée sur son axe, et recouvert de lignes qui, avec des lunettes, peuvent permettre d'apprécier facilement le 1/10000e de seconde, c'est-à-dire permettant plus de précision que ne peuvent en fournir les appareils indicateurs malgré la grande rapidité de l'électricité, disons comment opèrent ceux-ci dans les expériences de balistique.

Les cibles se composent de cadres en bois traversés par des fils métalliques parallèles, assez rapprochés pour que le projectile ne puisse les traverser sans en rompre un au moins. Un courant partant d'une bobine de Ruhmkorf vient les traverser. Un fil est-il rompu, un petit ressort, que le fil rompu tenait abaissé, vient en contact d'un fil de cuivre placé au-dessus, et fait passer dans la seconde cible le courant qui passait dans la première, et ainsi de suite pour autant de cibles successives que l'on voudra. Ce système manque quelquefois, le ressort n'agissant pas toujours assez rapidement pour mesurer des vitesses aussi considérables que celles qu'il s'agit d'apprécier.

Toutes les fois que le courant est rompu, une étincelle vient éclater à la surface du cylindre par l'effet du conducteur qui aboutit très-près, et la mesure de l'intervalle compris entre des traces successives donne le temps que le projectile a mis à parcourir le nombre de mètres compris entre deux cibles, donne par conséquent la vitesse.

La précision de ces observations a engagé M. Schlutz à se proposer un problème bien curieux et qui paraissait tout à fait inabordable, à savoir la détermination de la loi du mouvement du boulet dans une bouche à feu depuis le moment où il part du repos jusqu'à celui où il quitte la pièce, avec une vitesse de 4 à 500 mètres. On comprend aisément de quelle importance serait la solution d'une question qui n'est autre que celle de la détermination du mode d'action de la poudre, l'élément capital de la théorie des explosions. Pour y parvenir, il dispose dans les rainures que parcourent les tenons dans un canon rayé, sept ou huit broches en acier qui traversent le canon, isolées dans une gaine non conductrice. Le canon étant en communication avec un des pôles d'une pile, et les broches successivement avec l'autre, le boulet établit la communication chaque fois qu'il rencontre l'une d'elles, et on a ainsi le temps employé à parcourir chaque intervalle qui sépare deux broches, c'est-à-dire les vitesses cherchées depuis la mise en marche jusqu'à la vitesse de sortie.

Les durées nécessaires à l'établissement des contacts et des courants font que l'ingénieux expérimentateur rencontre là de très-grandes difficultés, et se trouve en face d'un problème qui dépasse peut-être la sensibilité si grande pourtant de son appareil. L'extrême rapidité de la propagation de l'électricité avait fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

penser qu'elle fournissait un moyen de fixer le temps instantanément, à des distances quelconques, mais l'expérience a montré que c'était là un instrument sans doute très-délicat, mais dont il fallait apprendre à se servir; que le temps nécessaire pour l'établissement des contacts était loin d'être nul, et par suite qu'il y avait là des causes d'erreur dans l'évaluation des temps infiniment courts.

CHRYSOCALE. Voyez LAITON.

CIDRE (*angl.* cyder, *all.* apfelwein). Le cidre est une boisson qui remplace le vin dans certains pays, particulièrement en Normandie, et qui se prépare par la fermentation du jus de pommes. Le mot cidre provient du mot latin *sicera*, dont les Romains se servaient pour désigner toutes les liqueurs fermentées autres que le vin.

Toutes les variétés de pommes viennent se ranger dans les trois classes suivantes :

1° Pommes douces ;
2° Pommes amères ;
3° Pommes acides.

Les meilleures pommes à cidre sont comprises dans la seconde classe ; elles donnent un suc plus dense, plus riche en sucre, qui se clarifie mieux et se conserve plus longtemps ; viennent ensuite les pommes douces dont le jus est plus difficile à clarifier ; les pommes acides sont les plus mauvaises. Toutes choses égales d'ailleurs, les pommes écrasées, qui donneront le jus le plus dense à l'aréomètre de Baumé, seront presque toujours celles qui contiendront le plus de sucre.

La récolte des pommes se fait en secouant chacune des branches des pommiers, et en abattant ensuite à coups de gaule les fruits peu mûrs que les secousses données aux branches n'ont pu détacher. La récolte terminée, on transporte les fruits, séparés suivant leur qualité, dans des caves où on les recouvre de paille pour les préserver du froid. L'expérience a montré que c'est à l'époque de leur plus complète maturation, un mois à six semaines après la récolte, que les pommes renferment le maximum de matières sucrées, et qu'il est le plus convenable de procéder à l'extraction du jus.

On commence par écraser les pommes, soit au moyen de pilons en bois dur, dans une auge rectangulaire en bois, soit au moyen de meules ou de cylindres ; le premier procédé est de beaucoup le plus coûteux et n'est guère employé que dans les petites exploitations, mais c'est celui qui donne le cidre le plus délicat. En Normandie, on se sert généralement du *tour à piler*, qui se compose d'une roue massive verticale en bois dur, de 1m,66 de diamètre sur 0m,16 d'épaisseur, mue par un cheval, et tournant dans une auge annulaire en pierre de 6 à 7 mètres de diamètre. Il ne convient pas d'employer une meule verticale en pierre qui déterminerait l'écrasement des pepins, et, par suite, l'expression de l'huile odorante qu'ils renferment, qui communiquerait au cidre, par son âcreté, un goût particulier très désagréable. En beaucoup d'endroits, notamment en Picardie et en Angleterre, on emploie des cylindres en bois cannelés horizontaux, susceptibles de se rapprocher ou de s'éloigner à volonté, et qui sont alimentés par une trémie placée au-dessus qu'on tient constamment remplie de pommes.

Les pommes étant écrasées, on les met tantôt immédiatement en presse, tantôt, lorsque l'on veut obtenir un cidre très coloré, on met d'abord le marc dans des cuviers où on le laisse macérer pendant un ou deux jours, en le retournant 5 à 6 fois par jour pour l'empêcher d'entrer en fermentation. Les pressoirs à cidre sont tout à fait analogues à ceux employés pour les raisins. On met le marc en presse en le jetant sur le tablier d'un pressoir garni d'une couche de paille, dont on relève l'extrémité qui déborde, de manière à former ce qu'on nomme une *huile* : c'est une couche de marc bordée sur les quatre côtés de paille relevée ; chaque huile a environ 0m,16 d'épaisseur sur 1m,33 de côté ; on en superpose un certain nombre jusqu'à ce que l'on soit arrivé à une hauteur de 1 à 1m,30 : la réunion de ces huiles forme une motte. En Angleterre, au lieu de paille pour former les huiles, on se sert de toiles de crin qui durent fort longtemps, lorsqu'on a soin de les laver après chaque opération.

On laisse égoutter sous son propre poids, pendant 24 heures, la motte ainsi montée ; le liquide qui s'écoule tombe dans un cuvier placé sous le tablier, en se filtrant à travers un panier d'osier rempli de paille ; c'est le cidre de la *mère goutte*, qui est toujours le meilleur et le plus délicat. On donne ensuite à la motte une pression graduée de plus en plus forte, jusqu'à ce qu'il ne s'écoule plus rien ; on retire alors le marc, on le délaie avec 25 p. 100 d'eau, on laisse macérer pendant 24 heures et l'on presse de nouveau, quelquefois même on repasse une troisième fois le marc au pressoir avec 35 p. 100 d'eau pour obtenir un cidre très faible, vendu aux pauvres gens.

En Normandie, on calcule que 2340 kilogr. de pommes rendent 1000 litres de gros cidre pur et 600 litres de petit cidre. Ces 1600 litres mêlés ensemble donnent encore un très bon cidre que l'on vend souvent comme du cidre pur.

Le jus des pommes retiré par le pressurage ayant été recueilli dans un grand baquet, on l'en retire à pleins seaux pour le transvaser dans des tonneaux dont l'orifice de la bonde est simplement couvert d'un linge mouillé. En peu de jours il s'établit une première fermentation, appelée fermentation tumultueuse, qui soulève le linge placé sur le trou de la bonde, et, dans son mouvement, rejette au dehors plusieurs matières fermentescibles ; peu à peu il se forme un chapeau qu'il est bon de ne pas rompre, pour empêcher l'air atmosphérique de venir frapper la surface du cidre et de le faire aigrir. Pour donner plus de qualité au cidre on facilite quelquefois cette première fermentation en remplissant un tonneau défoncé de copeaux de hêtre vert, bien lavés, sans les fouler ; puis, le fond de ce tonneau étant replacé, on y verse le moût, qui entre promptement en fermentation.

Il est fort essentiel, quand on tient à la qualité, de soutirer le cidre à la fin de la fermentation tumultueuse, et un mois après le premier soutirage. C'est alors qu'on le met dans des tonneaux de 7 à 800 litres, où il reste jusqu'à la consommation.

Quand on veut conserver le cidre à l'état doux, on le prépare, en Normandie ainsi qu'en Angleterre, d'une manière toute spéciale. Le procédé repose particulièrement sur l'interruption forcée de la fermentation du liquide. Voici, en général, comment on s'y prend en Angleterre : On prépare d'abord un moût de première qualité avec des fruits de choix, puis on l'introduit, comme à l'ordinaire, dans un tonneau. Dès qu'il a déposé, on le décante dans un autre tonneau, assez petit pour être complétement rempli, en prenant bien soin que ce transvasement ait lieu avant que la première fermentation cherche à se déclarer. Lorsque le moût est resté 16 à 18 heures dans le second fût, on approche du liquide une chandelle allumée, et si elle s'éteint, et annonce par là un commencement de fermentation, on transvase dans un troisième tonneau. Au bout de cinq à huit jours, lorsque la chandelle allumée s'éteint de nouveau, on transvase encore, et l'on répète ce transvasement toutes les fois que l'on obtient avec la chandelle allumée le même résultat, ce qui souvent arrive toutes les trois semaines.

S'il s'agit de mettre le cidre en bouteilles de manière qu'il se conserve mousseux et produise à son départ de la bouteille l'effet du vin de Champagne, on décante une seule fois le moût de pommes ou de poires avant la pre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mière apparence de fermentation, dans un tonneau à l'intérieur duquel, pour paralyser la fermentation du liquide que l'on doit y verser, on fait brûler une mèche soufrée, ou mieux, pour ne pas donner de goût étranger, un peu d'alcool enflammé contenu dans une coupe et promené en tous sens; puis, au bout de six à sept jours, avant que la moindre fermentation ne se déclare, on soutire dans des bouteilles de grès, comme étant plus solides et moins chères que celles en verre; on bouche, on ficelle le bouchon et on le recouvre ensuite de cire à bouteilles; on garde ces bouteilles dans une cave bien fraîche, et dès le second mois on peut servir ce liquide au dessert en guise de vin de Champagne.

En Normandie, après le deuxième soutirage du gros cidre de choix, on le met simplement dans des bouteilles de grès bouchées avec soin.

Le cidre préparé à la manière anglaise conserve ses propriétés et son goût agréable pendant deux ou trois ans, et peut, pendant l'hiver surtout, être transporté au loin.

D'après ce que l'on vient de voir, les cidres doivent nécessairement beaucoup varier dans leur goût et leur force. En effet, met-on peu d'eau, il en résulte ce qu'on nomme du gros cidre, boisson enivrante, propre seulement aux aubergistes, aux habitants des villes qui la coupent avec de l'eau, ou aux distillateurs, qui en retirent une assez grande quantité d'eau-de-vie (environ 6 p. 100 d'eau-de-vie à 20 ou 22°); au contraire, ajoute-t-on plus ou moins d'eau, on obtient une boisson très saine connue sous le nom de petit cidre, ou de cidre mitoyen quand il tient le milieu entre ce dernier et le premier. D'un autre côté, veut-on boire le cidre immédiatement après sa seconde fermentation, il a une saveur douce et sucrée, et est chargé d'acide carbonique, ce qui le rend malsain en même temps que peu agréable pour les palais normands, tandis que ce goût et ce piquant font alors seulement rechercher cette boisson par les étrangers. Plus tard, c'est-à-dire pendant les trois ou quatre premiers mois, la fermentation diminue peu à peu, l'acide carbonique se dégage, la matière sucrée se métamorphose en alcool, alors il devient légèrement amer, quelquefois acide et piquant, et laisse à la bouche un arrière-goût variable suivant le terroir; à cette époque il a une couleur plus ou moins ambrée, et il est ce qu'on nomme *paré*, état sous lequel les habitants des pays à cidre trouvent seulement cette boisson potable.

D'après ce qui précède on voit que c'est à tort que tous les savants ont épuisé leur science à chercher un moyen qui pût conserver la saveur sucrée aux divers cidres. Leurs améliorations n'auraient jusqu'à présent en Normandie qu'un avantage; ce serait de pouvoir retarder la fermentation tumultueuse ou de rendre la seconde fermentation plus active, ce qui est important pour les habitants des villes forcés la plupart du temps de couper leurs cidres après la première fermentation. Cette raison nous détermine à dire qu'on peut améliorer le cidre en y mêlant, après son premier soutirage, 1/10e de cidre doux n'ayant pas subi la fermentation tumultueuse, pour soutirer ensuite le tout comme à l'ordinaire. C'est après le deuxième soutirage qu'on peut transporter ce cidre surchargé de matière sucrée dans les villes, et l'y couper avec de l'eau sans crainte de le rendre plat, puisque le mélange subira une deuxième fermentation. Si l'on veut le conserver doux, on réduit par une ébullition ce moût au sixième, comme l'a fait M. Payen, et on l'amalgame au cidre après sa première fermentation, ou même simplement à du petit cidre ou à de l'eau; mais ce mélange ne fait toujours qu'un cidre sucré, estimé seulement des Parisiens, et totalement repoussé des personnes habituées à boire du cidre paré.

Outre le cidre proprement dit résultant du jus de pommes ayant subi la fermentation alcoolique, il existe une autre boisson composée seulement de jus de poires, qui se fabrique absolument de la même manière que celle provenant des pommes, et qui porte le nom de *poiré*. Cependant il est bon de faire observer que, pour faire le meilleur poiré possible, il faut piler aussitôt qu'on les a cueillies les poires fondantes, qui deviennent molles dès qu'elles sont mûres, tandis qu'il est utile de bien laisser mûrir en tas les poires qui sont âpres au palais. « Le poiré, dit M. *Girardin*, dont la fabrication n'est pas aussi étendue que celle du cidre, est accusé d'avoir une action fâcheuse sur le système nerveux. Il est moins nourrissant, plus irritant que le cidre, très capiteux lorsqu'il est vieux, et il enivre promptement ceux qui n'en font pas un usage habituel. Ce liquide a néanmoins d'excellentes qualités; c'est une boisson diurétique fort agréable lorsque sa fermentation est achevée. Plus alcoolique que le cidre, le poiré de première qualité ressemble beaucoup aux petits vins blancs de l'Anjou et de la Sologne. Mis en bouteille après une bonne préparation, il devient complétement vineux et peut alors être confondu, par les palais peu exercés, avec les vins que nous venons de citer; et même, quand il est mousseux, il prend souvent le masque des vins légers de la Champagne. Il est très propre à couper les vins blancs de médiocre qualité, qu'il rend plus forts et meilleurs. Souvent même les détaillants vendent le poiré pour du vin blanc. Malheureusement tous les poirés ne possèdent pas ces bonnes qualités, et la plupart étant faits avec des poires d'une âcreté extrême conservent un goût âcre qui les rend alors désagréables à boire. Il est à regretter que l'on apporte si peu de soins à une liqueur qui pourrait être la source d'un assez grand revenu pour les fermiers. En effet, en raison de la plus grande abondance du sucre dans les poires que dans les pommes, le jus fermenté des premières produit généralement beaucoup plus d'esprit que celui des secondes, et de bien meilleure qualité. Terme moyen, le poiré donne 1/10e de son volume d'eau-de-vie à 20 ou 22°, eau-de-vie qui peut convenir à presque tous les emplois de celle du vin. Le poiré produit en outre un vinaigre bien supérieur à celui du cidre. Enfin, les poires fournissant moitié plus de jus que les pommes, il faut conséquemment moins de poires pour avoir la même quantité de liqueur, et les poiriers ordinairement rapportent plus de fruits que les pommiers; et comme ils sont plus élevés, qu'ils soutiennent mieux leurs branches, ils nuisent beaucoup moins aux moissons que les pommiers, fleurissent et se récoltent avant eux, ce qui empêche les gelées de leur nuire autant qu'aux pommiers. d'où il résulte qu'en choisissant les meilleures variétés de poires, en les traitant avec intelligence et sans ajouter d'eau, les fermiers trouveraient des bénéfices très avantageux dans la fabrication du poiré.

Dans quelques contrées de la France on voit encore des cormiers centenaires, dont les fruits ou cormes rendent, en les traitant comme les poires et les pommes, une boisson portant le nom de *cormé*, encore plus âcre que le poiré. Aussi, dans les pays où l'on trouve de ces fruits, on les fait servir à l'amélioration des cidres qui veulent tourner au gras, plutôt que de les employer seuls. La fabrication du cormé n'ayant rien de particulier, nous ne nous y arrêterons pas; seulement, nous engagerons à ne piler ces fruits que lorsqu'ils ont molli comme les nèfles sur la paille, car la boisson qu'ils rendent est tellement âcre qu'il vaut mieux sacrifier un peu de la quantité du jus et l'obtenir aussi adouci que possible.

Les maladies des cidres les plus communes sont assurément celles qu'ils prennent tous en Normandie en vieillissant; elles tiennent à la mauvaise méthode de tirer cette boisson à la pièce au fur et à mesure des besoins, et à la mettre dans des pièces quatre fois trop grandes. Cette manière de tirer les cidres et de les lais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ser fort longtemps en vidange sur la lie fait subir à cette boisson diverses transformations nuisibles à leur qualité. D'abord elles lui font perdre peu à peu ses qualités sapides, et alors le cidre dans cet état d'altération *se tue*, c'est-à-dire noircit; maladie incurable à laquelle sont particulièrement exposés les cidres des pays froids et humides, maladie cependant que l'on corrige sensiblement par une addition de cassonade et de gomme. Bientôt à la fermentation alcoolique succède la fermentation acétouse, qui donne à cette boisson une saveur légèrement acide que l'on ne peut corriger, mais qui cependant ne la rend nullement imbuvable pour les personnes qui y sont habituées. Peu à peu la même cause, surtout quand il y a beaucoup de lie dans le tonneau, fait succéder la fermentation putride à cette acidité, d'où il résulte alors que le cidre n'est plus propre qu'à être brûlé, c'est-à-dire réduit en une eau-de-vie à laquelle un mauvais travail laisse un goût d'empyreume désagréable, qui la fait cependant rechercher dans la basse Normandie, goût du reste qu'une rectification soignée pourrait facilement faire disparaître. Enfin, une des maladies les plus communes, et qui passe souvent encore à la fermentation putride, est le *graissage*, qui semble avoir la plus grande analogie avec la maladie des vins portant le même nom. On peut, pour les deux liquides, employer des moyens de guérison semblables. Ainsi, des additions de 3 litres d'alcool, ou de 7 onces de cachou ou de sucre, ou de 14 à 21 litres de poires concassées par pièce de 7 à 800 litres, rétablissent quelquefois le cidre qui tourne au gras.

Les tourteaux qui résultent du pressurage des marcs de pommes sont conservés dans des fosses d'où on les extrait à mesure du besoin pour la nourriture des porcs pendant l'hiver; ceux de poires et de cormes sont coupés en briques, séchés à l'air et employés comme combustible.

CIMENT, LUT, MASTIC (*angl.* cement, lute, *all.* kitt). On peut diviser les ciments en deux sortes: ceux qui sont préalablement dissous ou réduits à l'état pâteux par l'addition d'eau, d'alcool ou d'huile, et ceux qui s'appliquent fondus par l'action de la chaleur.

Le *ciment diamant* qui sert à recoller la porcelaine, les verres, etc., et qui se vend encore à un prix exorbitant, se prépare en faisant ramollir de la colle de poisson dans de l'eau, puis la dissolvant dans de l'esprit de vin et la mêlant avec un peu de gomme-résine ammoniaque ou de galbanum et de résine-mastic, dissous préalablement dans la moindre quantité possible d'esprit de vin; on obtient ainsi une masse pâteuse que l'on chauffe légèrement, afin de la liquéfier, avant de l'appliquer, et que l'on conserve dans une bouteille bien bouchée avec un bouchon de liége et non avec un bouchon à l'émeri qu'on ne pourrait peut-être plus enlever. Les joailliers arméniens emploient ce ciment, en Turquie, pour fixer des pierres gemmes sur les coupes et autres vases de même nature.

La gomme laque dissoute dans l'alcool ou dans une solution de borax forme un très-bon ciment. Le blanc d'œuf seul ou mieux mélangé avec de la chaux vive finement pulvérisée forme un ciment qui se solidifie très-vite, mais qui résiste mal à l'action de l'humidité; le dernier est très-résistant et est surtout employé pour recoller le marbre, l'albâtre, etc.; les chaudronniers en cuivre se servent du même ciment pour mastiquer les jointures de leurs appareils, seulement au lieu de blanc d'œuf ils emploient le sang de bœuf qui agit de la même manière par l'albumine qu'il renferme. Un ciment analogue est celui que l'on obtient en écrasant du fromage fait avec du lait écrémé, le faisant bouillir avec de l'eau jusqu'à ce qu'il ait acquis la consistance d'une bouillie, puis l'incorporant sur une table en marbre, à l'aide d'une molette, avec de la chaux vive finement pulvérisée; il sert au raccommodage de la faïence cassée, et doit être appliqué à chaud.

Pour recoller les objets en grès, on se sert du ciment suivant qui résiste parfaitement à l'action des agents atmosphériques : on mêle 20 parties de sable de rivière bien blanc et sec, 2 p. de litharge finement pulvérisée et 1 p. de chaux vive en poudre, avec assez d'huile de lin ordinaire ou mieux d'huile de lin siccative, pour que le tout ne soit qu'humecté sans former une masse pâteuse; on enduit d'abord les parties à recoller d'huile de lin au moyen d'un pinceau; ce ciment finit au bout de quelques semaines par acquérir une dureté et une adhérence supérieures à celles du grès; il en vient même au point de donner des étincelles sous le briquet. Lorsqu'on remplace la chaux vive par 10 p. de calcaire en poudre, on obtient le *ciment-mastic* qui remplace actuellement dans beaucoup d'endroits le ciment romain pour couvrir les terrasses, etc., et que l'on emploie aussi fréquemment pour mouler des statues qui présentent sur celles en plâtre le grand avantage de ne pas s'altérer à l'air libre par l'action des agents atmosphériques.

Le *mastic de fer*, employé pour relier entre elles des pièces en fer ou en fonte, se forme en mélangeant ensemble de 50 à 100 p. de limaille de fer avec 1 p. de sel ammoniac en poudre. Pour s'en servir on humecte le mélange et pour calfeutrer les joints on le chasse avec un ciseau émoussé sur la tête duquel on frappe à coups de marteau. On y ajoutait autrefois un peu de fleur de soufre, mais on y a presque partout renoncé, depuis que l'on a reconnu qu'avec cette addition il corrodait fortement le fer.

CIMENTS AUX OXYCHLORURES. Sorel a reconnu que les combinaisons des chlorures avec les oxydes formaient des ciments doués de propriétés remarquables.

Ciment à base de zinc. On obtient ce ciment en délayant de l'oxyde de zinc dans du chlorure liquide de la même base, ou dans un autre chlorure isomorphe au chlorure de zinc, par exemple du proto-chlorure de fer, de manganèse, de nickel, de cobalt, etc. Le ciment est d'autant plus dur que le chlorure est plus concentré et l'oxyde de zinc plus lourd, lavé ou calciné. On retarde la prise en ajoutant 2 ou 3 pour 100 de sel ammoniac ou de borax. Il peut être coulé dans des moules en plâtre et prend la dureté du marbre. L'application la plus intéressante qu'en ait tentée l'inventeur est celle de son emploi, comme peinture en bâtiments, en remplacement de la peinture à l'huile.

Pour obtenir cette peinture, on délaye avec de l'eau et un peu de colle de l'oxyde de zinc pur ou coloré, et l'on applique cette peinture comme les peintures ordinaires à la colle, et, quand on a donné le nombre de couches voulu et que la dernière couche est sèche, on passe dessus, au moyen d'une brosse, un peu de chlorure de zinc à 25 ou 30 degrés de Beaumé. Cette peinture est dure, sans odeur, elle sèche à l'instant; malheureusement elle n'a pas l'élasticité et l'adhérence de la peinture à l'huile.

Ciment à base de magnésium. On obtient un ciment analogue au précédent en remplaçant le zinc par le magnésium.

La fabrication de ce ciment d'oxychlorure de magnésium est très-simple : elle consiste à gâcher de la magnésie avec du chlorure de magnésium d'une densité qui varie, suivant l'emploi que l'on veut faire du ciment, de 15 à 30° de l'aéromètre de Beaumé. Le ciment devient d'autant plus dur que le chlorure est plus concentré; mais, d'un autre côté, il résiste d'autant mieux à l'eau que le chlorure est plus étendu. L'addition de certaines matières dans le liquide modifie notablement les propriétés du ciment magnésien; par exemple, 1 de chaux vive ou 2 de carbonate de magnésie pour 100 de chlorure à 25° augmentent l'hydraulicité du ciment. On donne aussi une dureté plus grande à ce ciment en saturant le chlorure de magnésium avec du chlorure de baryum ou bien avec du sulfate de magnésie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Observons d'ailleurs que Sorel ajoutait toujours à la magnésie des matières inertes, soit en poudre, soit en grains; elles ont pour effet de diminuer considérablement le prix de revient du ciment sans nuire à sa qualité. Ces matières sont principalement du sulfate de baryte, du sulfate de chaux cru, du marbre, des calcaires employés comme pierres à bâtir, du sable de rivière ou de mer, du granite, etc. On peut, sans inconvénient, ajouter à la magnésie 30 et même 40 fois son poids de ces matières et obtenir cependant des blocs plus durs que la plupart des calcaires tendres servant aux constructions de Paris.

Voici quel serait le prix de revient des matières premières dans le ciment magnésien propre à bâtir, contenant 1 trentième de magnésie ou plus exactement à 1/33,8, en ayant égard au poids du chlorure :

		les 100 kil.	
Magnésie.	1k » à	30 fr. .	1 20
Calcaire en poudre fine. . . .	24 » à	2,6 . .	0 08
Sable de rivière.	92 » à	0,25 . .	0 23
Chlorure de magnésie à 25°.	11 50 à	7 . .	1 02
Total.	131k 50 coûtent.	.	2 53

En évaluant le poids du mètre cube à 2,300 kilogrammes, on a environ 43 fr. pour le prix du mètre cube de ciment magnésien à 1/33,8 de magnésie.

On pourrait encore diminuer notablement la proportion de magnésie et même la réduire à 1/50.

Voici, du reste, les résultats obtenus au Conservatoire des Arts et Métiers dans une série d'essais que M. Tresca a faits sur ce nouveau ciment. Les échantillons moulés en cube contenaient une proportion variable de magnésie; ils avaient été mélangés de sable de rivière et de calcaire en poudre. Dans le n° 1, il y avait environ 1/50 de sable de mer, et le n° 2 ne renfermait pas moins de 75 pour 100 de calcaire en fragments.

PROPORTION de MAGNÉSIE.	PRESSIONS PAR CENTIMÈTRE CARRÉ correspondant pour les cubes	
	Aux premières fissures.	A l'écrasement.
1/50	63 kil.	88 kil.
1/42	61	109
1/30	167	180
1/20	271	271
1/10	237	318

On voit que la résistance à l'écrasement ou la force portante de ce ciment augmente avec la proportion de magnésie. Il suffit d'ailleurs que cette proportion soit de 1 dixième pour que la force portante devienne égale à celle des pierres calcaires de qualité supérieure.

Pour que les applications de ce ciment deviennent considérables, il faut que la magnésie puisse être fabriquée à un prix peu élevé, et de plus en quantité suffisante pour permettre son emploi sur une vaste échelle dans les constructions. Malheureusement, jusqu'à présent, on ne connaît qu'un très-petit nombre de gisements dans lesquels le carbonate de magnésie soit pur et facilement exploitable. On le trouve cependant près de Wartha, dans la Silésie prussienne, en Grèce et aussi au Canada. Le carbonate de magnésie qui a servi pour les essais desquels nous parlons provenait d'une île de la Grèce; il a l'avantage d'être très-pur, et son prix, rendu à Paris, ne dépasse pas 12 fr. le quintal. Mais les eaux-mères des marais salants fourniront peut-être un jour une mine pour ainsi dire inépuisable de magnésie, et c'est à elle que l'industrie nouvelle compte s'adresser.

Sorel proposait de décomposer les eaux-mères, qui sont en grande partie du chlorure de magnésium, au moyen de la chaux vive; d'où il résulterait du chlorure de calcium et de la magnésie hydratée qu'il faudrait calciner. Il conviendrait d'employer les eaux-mères à 20° Beaumé, et moins d'un équivalent de chaux pour un équivalent de chlorure, afin qu'il ne restât pas de chaux indécomposée et que l'eau-mère contînt encore du chlorure de magnésium. Par ce procédé, outre la magnésie, on aurait pour résidu du chlorure de calcium contenant une certaine quantité de chlorure de magnésium avec d'autres sels. Sorel proposait d'utiliser directement un pareil résidu en y ajoutant un peu de magnésie et certaines matières en poudre, telles que de la craie ou de l'hydrate de chaux; il obtenait ainsi un liquide donnant un badigeon qui est très-adhérent et qui durcit la surface des pierres tendres et des plâtres.

Outre l'application du nouveau ciment magnésien à la confection des pierres factices, on peut l'employer pour beaucoup de produits qu'il serait impossible de fabriquer avec les autres ciments; d'autant, qu'il soit pur ou mélangé avec des matières convenables, telles que du sulfate de baryte ou de chaux, ou bien avec des carbonates de ces bases, qu'il se laisse mouler comme le plâtre. On s'en sert pour faire des statues, des vases décoratifs, etc.

On peut, du reste, donner au ciment magnésien les couleurs les plus vives, ce qui permet de l'employer pour confectionner des mosaïques en ciment et des marbres d'un très-bel effet décoratif.

Sorel a eu recours à un procédé très-économique pour graver le marbre qui est destiné à former des mosaïques. C'est un procédé analogue à celui de la lithographie, par lequel on transporte d'abord sur le marbre une encre grasse qui couvre toute la partie devant former le fond du dessin, et laisse au contraire à nu le dessin lui-même qui est alors gravé par l'action de l'acide. Le marbre étant ainsi préparé, on enlève l'encre grasse, ensuite on remplit les creux faits par la gravure à l'acide avec du ciment auquel on donne les teintes voulues; puis, lorsque le ciment est durci, on le polit en même temps que le marbre.

On peut, en employant ce procédé, décorer toutes sortes d'objets en marbre, tels que tables, cheminées, lambris, plafonds, carrelages.

En colorant ce ciment par l'introduction de poudres métalliques, on obtient des imitations de marbres de toutes couleurs et d'une grande dureté.

Nous ajouterons qu'en introduisant dans la composition du ciment magnésien une certaine quantité de coton réduit en poudre fine, l'on obtient un produit qui imite l'ivoire. Il se laisse parfaitement travailler sur le tour; on en a de la sorte fabriqué des billes de billard ressemblant beaucoup à l'ivoire naturel, ayant la même dureté et presque la même élasticité.

En résumé le ciment d'oxychlorure de magnésium de Sorel est le plus dur et le plus blanc de tous les ciments; il réussit très-bien dans les moulages, dans les mosaïques, dans les imitations de marbres. Il permet d'agglomérer jusqu'à cinquante fois son poids de matières étrangères.

Le bas prix des matières qui le composent autorise à étudier si on pourrait installer sa fabrication sur une grande échelle dans certaines circonstances et de manière à l'employer régulièrement dans les constructions.

Ce ciment a trouvé une heureuse application dans la fabrication des meules à émeri, qui sont employées avec succès dans les machines à meuler, et rivalise avec le caoutchouc durci employé aussi pour cette fabrication, pour incorporer l'émeri dans une substance résistante.

Ciments à chaud. Parmi les ciments qui s'appliquent par fusion à chaud, nous citerons les suivants :

16 p. de craie calcinée et tamisée, triturée avec un mélange fondu de 16 p. de brai sec et de 1 p. de cire jaune.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

5 p. de colophane, 1 p. de cire jaune, 1 p. de colcothar et un peu de plâtre en poudre, fondus ensemble, donnent un ciment employé pour monter les appareils électriques.

Pour fixer des pièces métalliques sur le verre, comme cela a souvent lieu dans les appareils de physique, on se sert habituellement de cire à cacheter de bonne qualité, que l'on fond quelquefois préalablement, pour la rendre moins cassante, avec un peu de térébenthine de Venise.

On fixe les verres d'optique à polir ou à tailler avec de la poix ordinaire.

La résine-mastic est souvent employée par les joailliers pour coller des morceaux d'émail blanc ou coloré sur un fond noir, afin d'obtenir une imitation de l'agate onyx.

Pour cacheter les bouteilles on se sert d'un mélange fondu de poix noire, de brai sec et de brique pilée, ou de résine ordinaire colorée par un peu de litharge rouge ou de cinabre.

Luts. Les principaux ciments ou *luts* employés pour luter les appareils de chimie sont les suivants :

1° La farine de graine de lin malaxée avec de la colle de pâte et quelquefois un peu de suif.

2° De la limaille de fer et de l'argile, triturées avec une dissolution épaisse de gomme arabique.

3° Du papier sans colle trempé dans l'eau, puis broyé avec de la farine de blé et un peu d'argile.

4° De l'argile grasse mélangée avec de la chaux fraîchement éteinte; on y ajoutant du blanc d'œuf, on obtient le *lut d'âne*, ciment très-résistant, avec lequel on peut raccommoder la porcelaine et la faïence.

5° Du plâtre cuit broyé avec de l'empois d'amidon.

6° En triturant ensemble de la farine de graine de lin, de l'argile et du caoutchouc visqueux ainsi préparé par la fusion, on obtient un lut qui résiste très-bien à l'action des vapeurs acides.

7° Le caoutchouc fondu seul est un lut excellent pour graisser les robinets, les bouchons à l'émeri, etc., et pour prévenir toute perte; il résiste très-bien aux vapeurs acides, n'est pas attaqué par le chlore, et ne s'altère pas même à la température de l'ébullition de l'acide sulfurique.

CIMENT ROMAIN. V. MORTIER HYDRAULIQUE.

CINABRE. Voyez VERMILLON.

CIRAGE. Le cirage que l'on emploie le plus ordinairement est celui qui se sèche et se polit avec une brosse, et qui porte le nom de *cirage anglais*. Il existe une foule de recettes pour préparer ce produit dans lequel il entre toujours du noir d'ivoire ou charbon d'os, de l'acide sulfurique et une matière gommeuse ou sucrée. La recette qui donne un bon cirage, au plus bas prix possible, est celle que l'on doit préférer. En voici une qui réussit bien :

Noir d'ivoire.	2k
Mélasse.	2
Acide sulfurique à 66°. . .	0,40
Noix de Galle concassée.. .	0,12
Sulfate de fer.	0,12
Eau.	2 lit.

La mélasse étant versée dans une terrine d'une capacité de 10 litres au moins, on y délaie peu à peu le noir d'ivoire; d'autre part on fait infuser pendant une heure la noix de Galle dans 1 lit. d'eau bouillante, puis on passe à travers un linge; on dissout le sulfate de fer dans un deuxième litre d'eau, on mêle la moitié de la dissolution avec la mélasse et le noir d'ivoire; on ajoute au reste l'acide sulfurique, et on le verse ensuite peu à peu dans la terrine, en agitant continuellement. Il y a une vive effervescence, le volume de la masse augmente beaucoup, elle s'épaissit en même temps. On y ajoute enfin l'infusion de noix de Galle.

On obtient ainsi une pâte molle. Si on avait ajouté de la gomme au cirage, il aurait fini par se solidifier, parce qu'elle se combine avec l'oxyde de fer pour devenir presque insoluble. Si l'on veut avoir du cirage liquide, il faut délayer la masse obtenue dans 5 litres d'eau, bien l'agiter et la mettre rapidement en bouteille, en l'agitant toujours, afin d'éviter le dépôt qui se formerait sans cette précaution.

CIRE (*angl.* wax, *all.* wachs). La cire pure est blanche, solide à la température ordinaire; sa densité est de 0,96. Elle fond vers 63°, et elle brûle avec une flamme blanche qui répand une vive lumière. Elle est insoluble dans l'eau, très-peu soluble dans l'alcool froid, un peu plus dans l'éther; l'essence de térébenthine et les huiles grasses la dissolvent facilement à chaud. L'alcool bouillant la dissout en partie et la sépare en deux produits différents, une matière insoluble, la *myricine*, et une matière soluble, la *cérine*.

Nous avons déjà parlé de la production de la cire au mot ABEILLE; il nous reste à décrire la purification et le blanchiment qu'on lui fait subir avant de la livrer au commerce.

Après que l'on a retiré les gâteaux des ruches, on les coupe par tranches horizontales que l'on place sur des claies d'osier pour laisser écouler le miel que les alvéoles renferment; le miel que l'on obtient ainsi porte le nom de *miel vierge*. On met ensuite les fragments de gâteaux égouttés dans des sacs en toile et on les soumet à l'action de la presse; on obtient encore ainsi du miel de seconde qualité. On fond enfin les résidus restés dans les sacs dans des chaudières avec de l'eau, pour éviter de les brûler, puis on laisse refroidir lentement afin de permettre à l'eau et aux impuretés de se séparer. Quand la cire est solidifiée, on la retire des vases, et on enlève avec un couteau la partie inférieure du pain de cire, qui est fort impure et porte le nom de *pied de cire*. La cire brute ainsi obtenue est jaune, et possède une odeur de miel variable suivant la nature des plantes qui ont servi à l'alimentation des abeilles.

Avant de procéder au blanchiment de la cire, on la purifie en la fondant dans des chaudières en cuivre à double fond, chauffées au bain-marie; on la laisse reposer quelque temps pour faciliter le dépôt des impuretés, et on la fait écouler par une ouverture latérale située un peu au-dessus du fond de la chaudière. De là elle se rend dans un deuxième réservoir, où on la laisse déposer de nouveau, puis on la décante une seconde fois et on la reçoit dans un vase prismatique, percé à la partie inférieure d'une ou plusieurs ouvertures, par lesquelles la cire s'échappe et vient tomber sur un fort cylindre en bois, dont l'axe est parallèle à celui du vase et qui est en partie plongé dans l'eau; quand la cire est parvenue à sa surface, on le tourne lentement. Par ce moyen, la cire s'étale en rubans, se solidifie par l'abaissement de température causé par l'eau qui, en la mouillant, empêche les nouvelles couches de cire d'adhérer avec les premières, et l'on obtient ainsi des rubans très-minces. On renouvelle constamment l'eau de la bâche où plonge le cylindre, en y faisant arriver au fond de l'eau froide par un tube plongeur, et en laissant écouler l'eau chaude par un déversoir placé à la partie supérieure.

La cire ainsi rubannée est placée sur des châssis en toile, puis exposée à l'action alternative de la rosée et des rayons solaires. La matière colorante se détruit peu à peu, mais il est presque impossible d'opérer le blanchiment en une seule fois, à cause de l'épaisseur des rubans de cire; on refond alors celle-ci pour la rubanner de nouveau et la soumettre à un second blanchiment.

Il faut avoir soin de ne retirer la cire de dessus les châssis que lorsque le temps est très-sec, parce que par un temps humide elle conserve une teinte grisâtre et éprouve un déchet considérable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Enfin, on refond la cire une dernière fois et on la coule en petits pains, livrés au commerce sous le nom de *cire vierge*.

On a essayé, mais sans succès, de blanchir la cire au moyen du chlore et des chlorures décolorants ; elle devient alors cassante et peu propre à la combustion.

La cire jaune sert soit directement, soit combinée à la potasse, à frotter les appartements. La cire blanche est surtout employée dans la fabrication des BOUGIES ; elle forme la base du cérat et d'une foule d'autres préparations pharmaceutiques ; enfin, on s'en est quelquefois servi pour délayer les couleurs, en les appliquant à chaud dans un genre de peinture dit à l'*encaustique*.

CIRE A CACHETER (*angl.* sealing wax, *all.* siegellack). La cire à cacheter est essentiellement composée de gomme laque, à laquelle on ajoute de la térébenthine afin de la rendre plus fusible et moins cassante. Pour les cires rouges ou peu colorées, on emploie de la gomme laque aussi peu colorée que possible, tandis que pour les cires noires on peut très bien se servir de gomme laque d'un brun foncé, qui revient beaucoup meilleur marché.

Voici comment on prépare la cire à cacheter rouge superfine : on fond 4 parties de laque dans une capsule en fer placée sur un feu de charbon clair, puis on ajoute 1 p. de térébenthine de Venise et 3 p. de vermillon, en agitant continuellement. Quand la matière colorante est bien incorporée, on pèse des morceaux de 250 grammes que l'on roule sur un marbre chauffé en dessous par un réchaud, puis on les lisse sur un autre marbre avec une planche en bois dur munie de poignées, et qui porte le nom de polissoir. Quand la masse a été roulée et étirée en cylindres d'une grosseur convenable, on maintient ces cylindres entre deux réchauds ardents pour qu'ils deviennent brillants à leur surface ; on les divise en bouts d'une longueur convenable, qu'on fond ensuite à chaque extrémité au moyen d'une lampe à esprit-de-vin, et on y applique un cachet variable suivant le fabricant et la nature de la cire.

Les cires ovales ou cannelées se font dans des moules en acier poli.

La cire à cacheter fine s'aromatise quelquefois avec des baumes, tels que le benjoin, le styrax, le baume du Pérou, etc.

Les cires de différentes couleurs s'obtiennent en remplaçant le vermillon par d'autres substances colorantes, telles que le vert-de-gris, le chrômate de plomb, l'indigo, le noir de fumée, etc.

Les cires marbrées se font en mélangeant des pâtes fondues de couleurs différentes : la marbrure dépend d'un tour de main que l'on n'acquiert que par la pratique.

Les cires dorées s'obtiennent en incorporant des paillettes de mica jaune d'or dans la cire pendant qu'elle est en fusion.

Pour les cires rouges communes, on remplace le vermillon par du minium, et même quelquefois par du colcothar. On remplace aussi la gomme laque, en tout ou en partie, par un mélange de colophane et de craie ou de plâtre pulvérisé ; si l'on n'ajoutait pas de craie ou de gypse à la colophane, la cire que l'on obtiendrait serait tout à fait fragile et ne s'attacherait que faiblement au papier. On remplace quelquefois la craie ou le plâtre par du sous-chlorure de bismuth, ce qui donne une cire de meilleure qualité.

CIRE A SCELLER. La cire à sceller est une matière plastique, destinée à recevoir l'empreinte d'un cachet, qui est employée, comme son nom l'indique, pour poser des scellés.

Cette cire se fait en fondant ensemble 4 parties de cire blanche et 1 p. de térébenthine de Venise, puis ajoutant au mélange, quand il commence à s'épaissir par le refroidissement, une quantité suffisante de vermillon pour le colorer en rose pâle. On en pèse ensuite des morceaux que l'on roule en cylindres, dont le volume est ordinairement plus fort que celui des bâtons de cire à cacheter. Pour employer cette cire, on en ramollit une portion en la malaxant, on l'applique sur le papier ou le tissu qui doit la recevoir, et on la comprime fortement avec un sceau dont elle prend l'empreinte.

CIRE MINÉRALE, OZOKÉRITE. Substance essentiellement composée de paraffine, qui brûle avec une flamme très brillante, et qui se trouve en assez grande quantité dans le sein de la terre en Moldavie, près de Slanik et Zietrisika, pour que les habitants du pays la fondent et la moulent en bougies pour leur usage.

CIRE VÉGÉTALE. Plusieurs plantes, et en particulier celles de la famille des *myrica*, donnent, lorsqu'on fait bouillir leurs baies avec de l'eau, une sorte de cire quelquefois employée pour l'éclairage sur les lieux mêmes de production, mais qui n'ont aucune importance commerciale.

CISAILLES (*angl.* schears, *all.* scheere). C'est un outil qu'on emploie pour couper et diviser des barres et des feuilles de métal. On en distingue deux espèces : les cisailles droites et les cisailles circulaires.

Les *cisailles droites* se composent de deux lames droites fixées par un goujon, et pouvant s'éloigner et se rapprocher l'une de l'autre en tournant autour de ce goujon. On les établit sur des dimensions très variables, suivant l'épaisseur des feuilles qu'elles sont destinées à travailler. Elles sont mues, tantôt à la main, tantôt par un moteur ; à la main, quand on n'a que peu d'efforts à produire ; par le moteur, quand on a à couper des feuilles très épaisses, et qu'il faut aller vite.

Le mode d'action de la cisaille diffère complétement de celui des autres outils à diviser. Au moyen de la scie, du burin, on réduit toujours une portion de la matière qu'on divise en limaille ou en copeaux, et les deux morceaux obtenus ont moins de volume que le morceau total. Avec la cisaille, on ne sépare plus en deux une pièce, en en enlevant une partie, mais bien en cassant, en arrachant la matière.

Quand on ne veut que couper des tôles de cuivre ou de fer très minces, on emploie une cisaille que l'on tient dans la main gauche, tandis qu'on manie la feuille avec la droite. Les deux lames sont robustes, droites ; une des branches que l'on tient dans la main est recourbée en équerre et vient s'appuyer sur l'autre, afin d'empêcher la main d'être serrée et les lames de se croiser indéfiniment. Les parties tranchantes des lames sont en acier et soudées avec le reste de la cisaille, dont les deux branches sont en fer et réunies par une goupille rivée. Il est préférable cependant d'employer un boulon fileté à une extrémité, et disposé de manière à recevoir un écrou, on peut alors séparer les deux branches et les affûter à part. Il faut avoir soin de ne pas faire toucher les deux branches entre le trou du boulon et les deux lames, et même un peu en arrière de ce boulon, parce qu'en serrant l'écrou on rapproche les lames, on les serre l'une contre l'autre d'une quantité convenable, on ne court pas le risque de les voir s'écarter, il est plus facile de tenir la cisaille bien droite, et on coupe avec plus de facilité. Si l'acier n'est pas vif, il faut le faire revenir au jaune paille, s'il est dur, au jaune-d'or.

Quand les tôles ont un millimètre d'épaisseur, on n'emploie plus ces petites cisailles avec lesquelles on ne peut pas exercer un effort considérable ; on se sert alors de cisailles plus grosses dont la lame supérieure est fixe et se retourne verticalement pour pouvoir être placée dans un trou pratiqué dans un billot en bois, ou être serrée dans un étau. La lame inférieure est mobile, on prend avec les deux mains la branche avec laquelle elle fait corps, et on place la feuille aussi près que possible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du centre de rotation, afin d'éprouver une résistance moins considérable.

Pour couper à la main des feuilles d'épaisseur plus considérable, on se sert de cisailles établies sur un bâti à demeure, et dans lesquelles la feuille à couper se trouve placée entre le point de rotation et l'extrémité d'un long levier auquel on applique la puissance. La lame inférieure est alors immobile et placée solidement sur une pièce de bois; elle se termine par une boutcrolle à laquelle est fixée par un goujon, ou un boulon, l'extrémité du levier mobile; les couteaux ne sont plus soudés, mais ajustés et boulonnés sur les deux branches. On peut alors en avoir plusieurs paires, les affûter sans difficulté, et les remplacer facilement, s'ils viennent à se casser ou à s'ébrécher.

Dans le maniement de ces cisailles il faut placer la feuille le plus près possible de l'axe de rotation et faire le levier très long. Il n'est pas toujours facile de remplir la première condition parce qu'il faut pour approcher la feuille de l'axe élever beaucoup le levier, le couteau supérieur est alors très incliné et la feuille tend à glisser sur le couteau inférieur; une trop grande longueur de levier rend en outre la manœuvre gênante, aussi ces cisailles sont elles le plus souvent très pénibles à manier, et le moteur doit agir par bonds et secousses, ce qui est très fatigant. Nous croyons qu'on les perfectionnerait beaucoup en plaçant le levier sur un autre axe que le couteau mobile, et en y fixant une petite roue dentée qu'on ferait agir sur une roue beaucoup plus grande fixée sur ce couteau mobile. Par ce moyen il faudrait, il est vrai, faire parcourir à l'extrémité du levier un chemin beaucoup plus considérable pour abaisser la lame d'une même quantité, mais on déploierait un effort beaucoup moindre. Dans la disposition ordinaire l'extrémité du levier se meut à peine, aussi l'effort excède-t-il de beaucoup celui que peut produire sans fatigue un homme de force moyenne.

On emploie généralement dans les ateliers des cisailles mécaniques; l'arbre de commande de quelque manière qu'il soit mû, porte d'ordinaire un volant et un pignon qui engrène avec une roue plus grande fixée sur un second arbre.

Un excentrique ou une manivelle à bouton, placé sur cet arbre, soulève un levier auquel le couteau est fixé quelquefois directement. D'autres fois, ce levier fait descendre un cylindre auquel est attaché le couteau supérieur. La machine peut alors servir de découpoir; à cet effet on enlève les deux couteaux, on fixe au cylindre un poinçon d'acier qui, en pénétrant dans le métal, y fait un trou en enlevant un morceau qui a exactement même forme que lui. Voy. RIVURE.

Le volant sert à régulariser la marche de la machine pendant que les ciseaux ne coupent pas, il accumule la puissance que lui transmet le moteur, et pendant que le métal est attaqué il contribue puissamment à sa division en empêchant en outre toute la secousse de se transmettre au manœuvre qui tourne à la manivelle. De cette manière l'homme produit un travail continu bien moins pénible qu'un travail intermittent pendant lequel il faut faire un grand déploiement de force motrice.

Quelquefois les cisailles sont mues par une petite machine à vapeur spéciale; elles sont alors très simples de construction, on les fait fonctionner comme on le veut, on peut mettre entre deux coups l'intervalle convenable et faire marcher la machine plus ou moins vite.

Les *cisailles circulaires* sont composées de deux disques en fonte auxquels s'appliquent des tranchants circulaires en acier, tournant simultanément en sens inverse, et placés de manière à se toucher et à se croiser légèrement. On les emploie surtout pour les métaux en feuilles; elles ont l'avantage de couper en ligne courbe. Les deux disques, en tournant, attirent le métal quand il est mince; s'il est trop épais et que les diamètres soient faibles ils glissent sur la feuille et ne la coupent plus; il faudrait employer alors des disques très grands. Un moyen très simple pour couper des plaques épaisses avec de petits disques, consiste à faire à la lime, avant la trempe, sur la partie arrondie, une denture peu profonde qui, sans nuire à la solidité du tranchant, donne aux cisailles la propriété de s'emparer de la planche de tôle à découper, sans qu'il soit nécessaire d'exercer sur elle la moindre pression.

Les deux disques sont portés sur deux arbres en fer liés entre eux au moyen d'un engrenage; on communique le mouvement à l'un d'eux par une poulie et une courroie, ou par un pignon placé sur un arbre à manivelles. Une vis placée à l'extrémité d'un des arbres fait appuyer les deux disques l'un contre l'autre. DUBIED.

CISEAU (*angl.* chisel, *all.* meissel). Le ciseau est un outil plat, ayant un seul biseau au bout. Les petits ciseaux se font entièrement en acier, ceux de plus grandes dimensions sont faits partie en fer, partie en acier. Les longs côtés du ciseau peuvent être droits; cependant l'usage est de les faire un peu inclinés, et de manière à ce que l'outil devienne insensiblement plus large par le bout du taillant que par la partie qui avoisine le collet : on nomme ainsi une partie évidée plus épaisse que le restant de l'outil, et, assez ordinairement renforcée par une arête; c'est cette partie qui supporte l'embase, qui elle-même supporte la soie, partie qui entre dans le manche. Le biseau du tranchant doit être de 30 à 35°, et par conséquent la trempe, qui du reste varie avec la nature de l'acier employé, ne doit pas être trop dure : si l'on a employé de l'acier fondu, on le fera revenir gorge de pigeon ou même tout à fait bleu. La face du ciseau opposée au biseau ou *planche*, doit être parfaitement plane et même doit recevoir un commencement de poli; le tranchant de l'outil en est d'autant plus vif.

CISELEUR. On donne ce nom à l'artiste qui sculpte les métaux et produit ces bronzes élégants qui servent de supports aux mouvements des pendules, ces riches candélabres, ces coupes ornées, ces encriers façonnés, et autres objets analogues d'utilité et de luxe, qui parent les appartements du riche. C'est aussi le ciseleur qui fait ces guirlandes de feuillage, ces fils d'or ou de perles, ces arabesques, ces rinceaux, qui servent à garnir les meubles précieux; en un mot, le ciseleur produit sur les métaux, mais le plus ordinairement sur le cuivre, tout ce que le sculpteur fait en marbre, en pierre ou en bois. L'art du ciseleur est pour ainsi dire confiné dans un quartier de Paris : ailleurs, en France, il n'y a pas de ciseleurs; hors France il y a des ciseleurs, mais qui n'approchent pas des artistes français. On doit s'étonner qu'aussi peu de célébrité se répande sur des hommes d'un mérite aussi transcendant, et que nous n'ayons pas de noms illustres à citer; mais l'étonnement cessera lorsqu'on saura que l'industrie a tellement divisé le travail dans cette partie des beaux arts, qu'un bel objet n'est plus l'œuvre d'un homme, mais l'œuvre d'une agrégation d'hommes; de là, perfection, bas prix; mais aussi plus de renommées colossales. Celui qui vous vend un beau bronze, dont il est propriétaire, sur lequel il les droits d'artiste, qui poursuivrait avec acharnement un contrefacteur, celui-là assez souvent n'a pas même mis la main à l'œuvre. Voici comment l'entrepreneur, l'homme qui a quelque renom, établit un bronze Supposons qu'il s'agisse d'un candélabre, il demandera au dessinateur un sujet nouveau; le dessinateur s'il s'agit d'une composition dans laquelle un personnage porte des tyrses, des feuillages, et soit monté sur un socle, divisera son travail en trois parties : Le dessinateur de figures fera le personnage, ou les personnages; le dessinateur d'ornement fera les feuillages, le dessinateur d'architecture fera le socle. Le dessin remis à l'entre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

preneur, il fera venir le mouleur ou le sculpteur; si c'est le mouleur qui doit travailler, il composera, d'après le dessin, ses parties en cire rouge, il fera des coupes, et pourra encore diviser son travail entre des hommes habitués à faire, les uns de la figure, les autres l'ornement, les autres l'architecture. Le mouleur produira un candélabre en cire semblable au dessin; avec la cire, on obtiendra un creux et avec ce creux un modèle en plâtre. Si l'on appelle de suite le sculpteur, et c'est maintenant la marche la plus généralement suivie, il exécutera immédiatement son modèle en plâtre dur. C'est peut-être cet artiste inconnu, et qui habite quelquefois un grenier, qui est le père du chef-d'œuvre qui va éclore; c'est sur son travail que s'établit la propriété de l'entrepreneur. Le candélabre sort de ses mains en une infinité de pièces séparées, qui pourront toutes se réunir pour former un ensemble gracieux. Ici c'est un bras, là une guirlande, ici une tête penchée, etc., etc. C'est dans cet état que cette pièce complexe est remise au fondeur; et une série d'opérations très délicates, très minutieuses, commence : il faut trouver les pièces de dépouille, garnir les noirs (c'est-à-dire les creux plus larges au fond qu'à l'extérieur), mettre en sable, etc., etc. Lorsque les pièces sont coulées et réparées, elles sont assemblées par le monteur, alors commence l'ouvrage du ciseleur, qui consiste à raviver les angles à sabler ou à fouiller les fonds; il a pour guide le plâtre sculpté qui a servi à fondre. Le ciseleur travaille les pièces séparément; lorsque cette facilité ne peut avoir lieu, il travaille sur l'ensemble; il pose ses pièces à l'aide d'un ciment composé de résine, de cire et de brique broyée, et réduite en poudre fine, sur un appareil nommé *boulet*, qui lui donne la facilité d'incliner son ouvrage de tous les côtés, et c'est à l'aide de petits fermoirs en acier nommés *ciselets*, de petits ciseaux, de ritloirs, de mattoirs et autres instruments sur lesquels il frappe avec le marteau, qu'il répare les fautes du fondeur. Plus le fondeur est adroit, moins il reste à faire au ciseleur; mais qu'on ne croie pas qu'il pourrait se faire qu'on trouvât un fondeur tellement adroit qu'il fût possible de se passer de ciseleur. Si ce cas se rencontrait, il y aurait encore profit, dans la majeure partie des cas, à employer le ciseau; car alors les dépenses qui seraient occasionnées par les préparations pour parvenir à ce degré de perfection couvriraient et au-delà les frais de la ciselure. Il vaut bien mieux avoir une fonte, *bon courant*, à prix modéré, qu'on fait ensuite retoucher et fouiller au ciselet, et puis la dorure ou le vernis prennent mieux sur l'ouvrage ciselé. Assez souvent c'est sur le premier cuivre qu'on surmoule les objets destinés à la vente; quand on doit peu mouler on se contente du plâtre. Comme on le voit, un grand nombre de mains différentes concourent à l'établissement d'un modèle : dessinateurs, modeleurs, sculpteurs, fondeurs, réparateurs, monteur, tourneur, ciseleur, doreur-vernisseur. Le grand art du ciseleur c'est de connaître les premiers talents parmi tous ces artistes et de les employer. Dans cette partie, comme dans bien d'autres, la réputation dépend de circonstances indépendantes de l'art; les mêmes ouvriers travaillent pour tous les établissements de la capitale; on fait mieux ou moins bien, selon le prix. Voilà pourquoi on ne citera jamais de grands noms parmi les ciseleurs, comme parmi les peintres et les sculpteurs.

On nomme aussi *ciseleurs* des artistes qui travaillent sur le cuivre creux et qui lui donnent toutes les formes en relief en le repoussant par derrière avec des buttoirs, des mattoirs, des repoussoirs, et autres petits outils sur lesquels ils frappent avec le marteau en appuyant l'ouvrage sur des tas, des enclumes, des bigornes, et autres supports différemment contournés. Dans le cours de cette opération délicate, on fait recuire le cuivre toutes les fois que cela est nécessaire. Ce travail [illegible] analogue à celui des orfèvres. Il y avait en ce genre des bustes à l'exposition des produits de l'industrie de 1834, présentés par un chaudronnier, passé maître en son art; mais ces travaux, ainsi que ceux qui s'obtiennent maintenant par l'estampe, et par les procédés nouvellement introduits d'Angleterre, s'éloignent tout à fait de l'art du ciseleur proprement dit, et ne doivent point trouver place dans cet article, encore bien que le mot *ciseleur* y ait été attaché faute d'une autre expression plus convenable.

ACIDE CITRIQUE (*angl.* citric acid, *all.* citronensaure). Pour préparer l'acide citrique, on exprime le jus de citron et on le laisse fermenter; les matières qui rendaient la liqueur visqueuse se séparent et viennent former à la surface des pellicules vertes que l'on enlève; on sature ensuite la liqueur claire avec de la chaux éteinte en poudre, il se précipite du citrate de chaux insoluble que l'on recueille sur un filtre et que l'on lave avec de l'eau; on décompose à chaud ce citrate par un léger excès d'acide sulfurique étendu de six fois son poids d'eau, à raison de 49 p. d'acide sulfurique à 66° pour 20 p. de chaux employée pour la saturation de l'acide citrique. Au bout de 6 à 12 heures au plus tout le citrate est décomposé, on décante pour séparer le sulfate de chaux que l'on jette ensuite sur un filtre en toile où on le lave avec un peu d'eau. On évapore la liqueur claire à feu nu, dans des chaudières en plomb, jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 1,13, on la transvase dans une autre chaudière, chauffée au bain-marie ou à la vapeur, où l'on continue l'evaporation jusqu'à ce qu'elle prenne un aspect sirupeux et qu'elle vienne à se recouvrir d'une légère pellicule; on doit aussitôt faire évacuer la vapeur ou l'eau du bain-marie, et décanter la liqueur dans un cristallisoir. Les cristaux d'acide citrique ainsi obtenus ne sont pas assez purs; il faut les redissoudre dans une petite quantité d'eau, laisser déposer, décanter, évaporer de nouveau et faire cristalliser.

L'acide citrique est très soluble dans l'eau surtout à chaud : 100 p. d'eau bouillante en dissolvent 133 p.; sa composition est représentée par la formule $C^{12}\,H^{10}\,O^{11} + 3H^2\,O$, et les sels qu'il donne sont des sels tribasiques, exemple : le citrate de chaux, $C^{12}\,H^{10}\,O^{11} + 3CaO$.

On a essayé, mais sans succès, dans les pays à citrons, tels que la Sicile, de fabriquer en grand du citrate de chaux pour alimenter les besoins du commerce; cela tient à ce que l'on n'a pas pu dessécher convenablement ce citrate de manière à ce qu'il pût se conserver, sans altération pendant le temps du transport.

L'acide citrique sert à former de la limonade artificielle en le dissolvant dans de l'eau, puis y ajoutant du sucre et une très petite quantité d'huile essentielle de citron, mais son principal emploi est dans la teinture, où il sert à fixer le rose de carthame.

L'acide citrique est quelquefois frauds avec de l'acide tartrique; pour reconnaître cette falsification, on le dissout dans une faible quantité d'eau et on ajoute quelques gouttes d'une dissolution de potasse qui donne lieu à un précipité de crème de tartre (bi-tartre de potasse).

CIVETTE (*angl.* civet, *all.* zibeth). Substance dont l'odeur se rapproche du musc et qui est contenue dans un sac placé entre les jambes de derrière de deux petits quadrupèdes, le *viverra-civetta* et le *viverra-zibetha*, dont l'un est originaire de l'Afrique et l'autre de l'Asie; on les élève avec soin surtout en Abyssinie. Cette matière sort en partie du sac où elle est sécretée, par les mouvements mêmes de l'animal, surtout quand on l'irrite, et est alors recueillie avec soin par les nègres. On l'emploie dans la parfumerie.

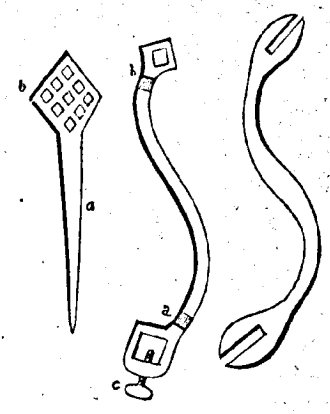
CLEF (*mécanique*) (*angl.* key, *all.* schlüssel). Ce mot s'applique, dans les arts, à une infinité d'objets différents, et souvent absolument dissemblables entre eux,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il s'applique à beaucoup d'organes mécaniques nouveaux qui, n'ayant pas encore de nom, reçoivent celui de *clefs* : ce qui est une nouvelle preuve de la sécheresse, de la pauvreté de notre langage technique. Nous ne suivrons donc pas ce mot dans tous ses emplois, dont es principaux sont *clef*. Cet instrument en fer que nous connaissons tous, et qui sert à faire mouvoir les pênes d'une serrure, que nous aurons l'occasion d'examiner au mot *serrure* ou *serrurier*, et qui embrasse une telle variété de sujets, qu'à lui seul il nécessiterait un travail très long et très intéressant; puis viendront *les clefs de poutre* et autres, connues dans la charpenterie; les *clefs de voûte* qui terminent les voussures; les *clefs des instruments de musique*, etc., etc. La plupart de ces acceptions de ce mot unique *clef*, seront successivement passées en revue dans le cours de cet ouvrage, lorsque l'ordre alphabétique amènera les mots qui concernent les diverses parties de l'industrie ou de la science où le mot clef est représentatif d'objets se rattachant à ces parties : pour cet instant, nous ne nous occuperons que de l'emploi de ce mot dans la mécanique, et notre tâche sera longue et difficile; car ici, encore, le mot clef s'applique à une multitude d'objets de formes n'offrant aucune analogie entre elles, et destinées à l'obtention d'effets n'ayant aucun rapport entre eux.

La première clef que la mécanique nous offre est un instrument qui agit en effet par un mouvement giratoire, comme le font les clefs qui ouvrent et ferment les serrures, et qui à l'extérieur affecte à peu près la même forme, moins le panneton, et sert à faire tirer une tige carrée ou triangulaire. Telles sont les clefs de montre, de pendule, de certaines cannelles, et autres qui servent à faire tourner sur leur axe des arbres, ou des noix, supportant soit des roues à rochets, soit des cylindres, soit tous autres agents mécaniques. Ces clefs se divisent en deux classes, forées ou non forées. Les forées sont ou carrées ou triangulaires, ou méplates, ou rondes avec une échancrure recevant un étoquiau posé sur l'arbre. Les non forées sont carrées, triangulaires ou méplates, on les introduit dans des trous de forme appropriée pratiqués sur le bout des arbres. Le levier qui sert à faire tourner ces clefs est un anneau, si elles sont de petite dimension, si elles sont fortes et que l'emploi des deux mains soit nécessaire pour les faire mouvoir, le levier est une barre en travers, en T; nous n'avons rien de particulier à mentionner ici sur toutes ces clefs, leur description se trouve dans tous les ouvrages de technologie.

Viennent ensuite d'autres instruments qui portent également ce nom de *clef*, et qui servent à serrer et à desserrer les écrous, et même les vis lorsqu'elles sont trop grosses pour être mues par les tournevis ordinaires; nous devons entrer à cet égard dans quelques explications, parce que quelques formes nouvelles et avantageuses ne sont pas encore généralement répandues dans les ateliers. Les fig. 532 à 547 donneront une idée de la majeure partie de ces clefs qui reçoivent divers noms selon leur destination. La fig. 532 se nomme *clef à carrés;* c'est tout simplement une plaque d'acier, carrée, terminée par une soie *a*, arrondie et rendue presque pointue, afin que l'extrémité de cette soie puisse être employée à faire tourner les vis à têtes rondes, percées transversalement d'un ou de deux trous, comme on le fait maintenant pour les vis de lit. La partie aplatie *b*, qui doit toujours conserver une certaine épaisseur, est percée de plusieurs trous carrés de grandeurs diverses, afin d'étendre la portée de la clef; c'est dans ces trous que l'on introduit la tête carrée des vis, en choisissant le trou dans lequel cette tête carrée entre à pression la plus exacte possible; dans ce cas, c'est là soie *a* qui sert de levier pour faire tourner la vis. Cette clef est connue de tout le monde, il est inutile de nous étendre davantage sur ce qui la concerne. A la trempe on doit la faire revenir bleue, et même si l'acier est vif, bleu-clair : cette dernière observation est applicable à toutes les clefs qui doivent jouir d'une certaine élasticité, et que la lime doit pouvoir entamer, lorsque l'ajustement aux têtes des vis l'exige.



532. 533. 534.

La fig. 533 représente une autre clef à carrés destinée au même usage; mais pour de plus fortes vis, elle sert aussi à faire tourner les écrous des essieux des voitures. Comme elle est d'ordinaire de forte dimension on la fait tout simplement en fer. On lui fait un double coude en *a* et en *b*, afin que les carrés puissent être introduits dans l'intérieur des frettes, ou boîtes, qui garnissent la partie antérieure des moyeux et dans lesquelles l'écrou est noyé. Ces clefs peuvent être forgées droites, mais la courbure en S est souvent utile, dans les cas où des pièces avoisinantes s'opposeraient à ce que la clef fît un tour entier. On fait cette clef double, en pratiquant à chaque bout un carré d'une grandeur différente, et même quelquefois, lorsque la clef n'est pas destinée aux voitures, on ajoute une vis de pression *c* sur l'une des faces du grand ou du petit carré afin de pouvoir serrer des vis dont la tête serait méplate, ou dont le carré serait trop petit et tournerait dans le carré de la clef.

La fig. 534 est la clef pour les vis à tête plate, ou *vis à main* : elle doit être faite en acier, et en S; une des fentes des extrémités doit être plus ouverte que l'autre par les raisons que nous avons données plus haut en parlant de la différence de grandeur des carrés de la première clef

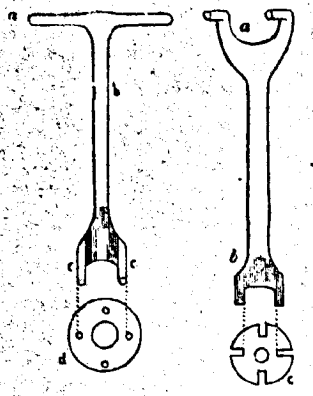
La fig. 535-536 est la grosse clef à goujons, toute en fer. *a* est le levier, *b* la tige qu'on fait longue suivant le besoin, lorsque l'écrou à atteindre se trouve situé au fond d'un creux quelconque, d'un puisard par exemple. *c*, *c*, sont les goujons correspondant aux deux trous de l'écrou rond *d*. On fait souvent des écrous ronds, encore bien qu'ils ne soient pas destinés à entrer dans une encastrure, afin qu'il ne soit pas possible de les tourner autrement qu'avec la clef à ce destinée. L'entre-deux des goujons doit être arrondi en gouge afin que la vis, si elle dépasse l'écrou, ne soit pas rencontrée par la clef.

La fig. 537-538 est encore une clef à goujons, mais qui ne se place pas perpendiculairement à l'écrou comme la précédente; mais bien se pose à plat, la partie excédante de la vis passant dans l'échancrure circulaire *a* sans y toucher Cette clef sert à tourner les écrous faits comme celui *d*; elle est généralement beaucoup moins forte que la précédente, et doit nécessairement être faite en acier, sans cela les goujons n'auraient point assez de force. On peut utiliser l'extrémité de cette clef en lui donnant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la forme de la clef à goujons droits, à cette différence près, que les goujons seront remplacés par deux tenons qui seront ajustés dans deux encoches rectangles faites

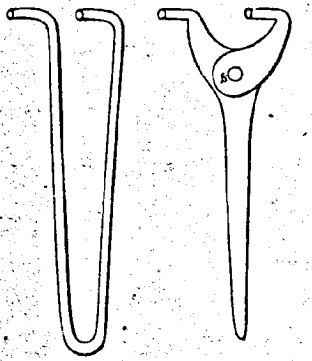
535. 537.



536. 538.

avec la lime à refendre sur le champ de l'écrou, cette manière épargne la peine de forer deux trous et est adoptée dans beaucoup de circonstances, les trous de l'écrou *d* pouvant se remplir d'ordures, ou de limaille, et formant obstacle à l'introduction des goujons, tandis que les coupures de l'écrou *c*, qu'on peut multiplier tout autour, sont facilement nettoyées et offrent toujours un accès facile à la clef.

La fig. 539 est la clef à goujons en pincette, on la fait avec un fil d'acier de calibre avec les deux trous de l'écrou *d*. La flexibilité des branches permet d'ouvrir ou de fermer la clef pour la rendre propre à faire virer des écrous dont les trous sont à écartements différents.

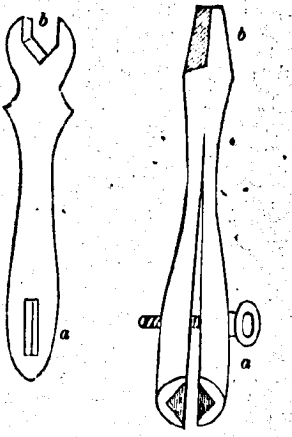


539. 540.

La fig. 540 est une autre clef à goujons, formée de deux branches réunies par une goupille *a*, formant brisure et pouvant, comme la précédente, servir pour des écrous, dont les trous seraient plus ou moins rapprochés.

La fig. 541 sert, en *a*, à tourner les vis à tête plate, et, en *b*, à serrer ou desserrer les écrous hexagones ou octogones selon la forme que l'on donne à l'ouverture *b*.

La fig. 542 est une clef fendue, flexible, qui embrasse les têtes carrées des vis et les écrous, par les angles diagonalement opposés. Une vis de pression *a*, maintient l'écartement et opère le rapprochement des deux parties. Cette clef peut être munie d'un levier en travers adhé-



541. 542.

rent, ou bien le haut peut être terminé en un carré *b*, qu'on introduira dans un vilebrequin, si la clef est de moyenne force, ou bien dans l'œil d'un tourne-à-gauche à deux bras, si elle est de grande dimension.

Toutes ces clefs plus ou moins connues et plusieurs autres encore dont nous nous abstenons de parler pour arriver plus tôt à l'objet qui doit particulièrement nous intéresser, n'ont pu encore satisfaire à tous les besoins, et l'on a dû chercher un autre moyen plus usuel, et surtout plus généralement applicable, et c'est la *clef anglaise* qui est venue satisfaire à toutes ces exigences.

Mais cette clef, avant d'arriver au degré de perfection où elle est maintenant parvenue, a passé par beaucoup d'épreuves; comme elle est un objet de première nécessité dans beaucoup de professions, qu'il s'en vend une quantité considérable, et que l'acheteur sait qu'il doit y mettre un bon prix, l'instrument étant assez compliqué, les fabricants ne se sont pas arrêtés à la forme première qu'elle a d'abord reçue, et d'améliorations en améliorations ils sont arrivés à un degré très satisfaisant de perfection. Il serait assurément très intéressant pour nos lecteurs de suivre pas à pas l'historique de cette découverte, et de leur faire voir quelle énorme différence existe entre nos clefs actuelles et les premières qui ont été offertes à l'industrie, et qui furent accueillies alors avec tant d'empressement. Mais nous ne saurions faire cette revue sans l'emploi d'une suite de figures très compliquées, et sans donner à cet article des proportions autres que celles que son importance comporte; nous passerons donc sous silence les divers brevets obtenus, et nous donnerons de suite la description de la clef nouvelle telle que le temps et l'expérience l'ont faite, en faisant apprécier l'importance des perfectionnements qu'elle a reçus.

Les principaux reproches qu'on faisait aux clefs dites anglaises étaient d'abord la longueur du temps à dépenser lorsqu'il s'agissait de changer la capacité de la clef: en d'autres termes, lorsqu'il s'agissait de saisir un petit écrou lorsque la clef était très-ouverte, ou lorsqu'il s'agissait d'en saisir un grand, quand la clef était fermée. Pour l'ouvrir ou pour la fermer il fallait faire faire autant de tours au manche que la vis de rappel avait de pas; car c'était cette vis qui réglait la marche de la mâchoire mobile. On lui reprochait aussi, avec raison,

EEERUS - Recherche & Classification numérique

que la vis de rappel était très dure à tourner, la main n'ayant que la grosseur du manche pour levier, et cette vis de rappel assez souvent renfermée dans l'intérieur du manche ne pouvant être facilement lubrifiée par les corps gras, et ne pouvant être nettoyée lorsqu'elle était encrassée sans qu'on fût obligé de démonter l'instrument; ce qui était une besogne longue qu'il était impossible d'entreprendre quand le besoin pressant forçait d'avoir recours à la clef. Indépendamment de ces deux difficultés qu'on pouvait surmonter en y sacrifiant du temps, ou en donnant des formes diverses à la clef, il restait un vice radical de construction que rien ne pouvait faire disparaître, et qui rendait la *clef anglaise* un instrument imparfait. Ce vice, c'était la mobilité de la mâchoire supérieure; il résultait de cette conformation que plus l'écrou à saisir était grand et plus, par conséquent, il devait être dur à tourner; plus l'instrument s'affaiblissait, sans que la longueur du levier en fût augmentée. Aussi ces outils, toujours assez chers, étaient-ils promptement faussés et mis hors de service. C'était donc vers les moyens de parer à ces graves inconvénients d'un outil utile, tellement indispensable que, malgré tous ses défauts, il s'en faisait une très grande consommation, que devaient tendre les efforts des constructeurs. Le modèle que nous allons faire connaître est exempt de tous ces reproches, par la suite il se perfectionnera encore, en devenant plus robuste, au moyen de quelques changements, ou additions faites qui existent déjà dans l'intention de l'auteur.

La fig. 543 représente la clef vue de profil, la fig. 544 la fait voir par devant, la fig. 545 par derrière.

A dans les trois figures est le corps de la clef, fait d'un seul morceau d'acier si la clef est petite, d'un seul morceau de fer si elle est grande; dans ce dernier cas, on acière les mordaches comme cela a lieu dans les clefs ordinaires.

B est la mâchoire mobile.

C est un talon dépendant du corps *a* dans lequel est vissée, à demeure, la vis dont il va être parlé.

d est une vis à gros pas, ou à pas double et même triple, engagée près de la tête dans le talon C, et reçue par son extrémité opposée dans un trou non débouché, pratiqué dans le talon de la mâchoire supérieure A, faisant partie du corps de l'instrument.

E, F, écrous cursifs, coulant librement sur la vis *d*, faits à huit pans sur leur champ, entaillés à cannelures pour donner prise facile aux doigts.

Fig. 546, la mâchoire *b*, mobile, vue à part, en plan; on y remarquera l'étranglement ou élégissement *b'* et le trou *b''* dont l'usage sera indiqué plus bas.

Fig. 547, la même mâchoire *b*, vue dans sa position lorsqu'elle est en place. les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.

Cette mâchoire est faite aussi en acier, taillée en lime dans la partie antérieure. L'étranglement *b' b'* entre à frottement doux, mais cependant senti, dans la coulisse *a'*, visible seulement dans la fig. 544. Les quatre épaulements de l'étranglement doivent frotter sur le champ antérieur et le champ postérieur du corps *a*, dressés à l'effet de recevoir ces épaulements qui doivent effleurer sur le nu de la pièce.

Le trou *b''* n'est point taraudé : il est uni en dedans, et d'un diamètre tel que la vis *d* y passe librement; mais sans ballottements. Pour compenser la perte de force que l'étranglement *b'* causerait à cette mâchoire, on donne à cette partie, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 544, une plus grande hauteur, au moyen de quoi cette pièce, qui se présente d'ailleurs de champ à l'action de la pression, ne peut aucunement fléchir sous les efforts qu'elle est appelée à supporter.

Lorsqu'on envisage l'instrument dans son ensemble, on croit apercevoir de grandes difficultés dans la mise en place de la mâchoire mobile dans la fente verticale

Mais un forgeron habile lève cette difficulté par le moyen employé pour faire le nœud si bien ajusté des pinces plates. L'étranglement de la mâchoire mobile étant bien dressé au fond et sur ses épaulements, on ouvre les deux joues de la coulisse *a'*, convenablement chauffées, on met la mâchoire en place, et, immédiatement, on redresse la coulisse, à petits coups. Quant à la mise en place de la vis immobile *d*, elle offre encore moins de difficultés. Lorsque le talon C est foré, on passe par le trou un foret long qui va faire un avant-trou profond de 5 à 6 millimètres, plus ou moins, selon la force de l'instrument dans le revers du talon de la mâchoire A. Puis on taraude le premier trou, et on engage dans ce trou formant écrou le bout de la vis *d*. Aussitôt que ce bout de la vis a dépassé l'écrou dans lequel elle doit entrer avec beaucoup de peine, on enfile sur la vis l'écrou cursif E; on continue à visser et l'on fait passer la vis dans le trou *b''*, puis lorsqu'il est dépassé, on fait couler sur la vis le second écrou cursif F; enfin, en continuant toujours à visser, on fait parvenir le bout de la vis *d*, où l'on a réservé un petit trou sans filets, dans l'avant-trou pratiqué dans le revers du talon de la mâchoire A. La vis alors est en place. Si elle n'était pas entrée avec beaucoup de peine, et que l'on pût appréhender que l'effort des écrous cursifs pût la dévisser, on l'arrêterait avec une goupille placée à travers le bout engagé dans l'avant-trou, ou avec une petite vis à tête fraisée appuyant sur le talon inférieur; car il faut que cette vis reste immobile une fois placée.

Fig. 543.

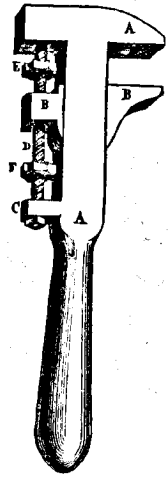
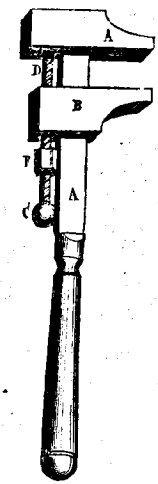


Fig. 545.



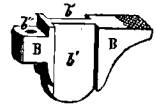


Fig. 544.

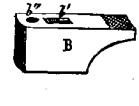


Fig. 546.

Comme on le voit, les difficultés d'exécution et de mise en place des pièces ne sont pas aussi grandes qu'on pourrait se l'imaginer à la première inspection; nous n'avons plus qu'à indiquer comment l'instrument fonctionne.

Les mâchoires étant placées comme elles sont représentées figure 543, ne pourraient pincer qu'un petit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

écrou. Supposons qu'il s'agisse d'en prendre un dont le côté serait bien plus grand. On donnera un coup de main sec et rapide sur le cursif E, qui descendra rapidement jusqu'à ce qu'il soit arrêté par le talon inférieur. La mâchoire mobile B, n'étant plus alors soutenue, descendra d'elle-même, ou du moins faiblement sollicitée, et tout d'un coup jusqu'à sa nouvelle position, et l'on pourra de suite se mettre à dévisser le gros écrou. Si l'on veut de suite en saisir un petit, la clef retirée et renversée, la mâchoire B, d'elle-même, ou du moins faiblement sollicitée, et tout d'un coup, viendra rejoindre la mâchoire A, et pour la fixer à ce point on n'aura qu'à faire remonter le cursif E, qui sera un point d'appui suffisant pour les pressions ordinaires.

S'il s'agissait d'un gros écrou, ou d'un écrou quelconque rouillé sur sa vis, et tellement résistant que l'on pût appréhender de fausser la clef, on ferait descendre le second cursif, qui venant appuyer sur le talon de la mâchoire B, concourrait à le fortifier et à prévenir tout ébranlement.

Ainsi donc, tous les inconvénients qui se rencontraient dans les anciennes clefs n'existent plus dans celle-ci; l'ouverture et la fermeture sont rapides, et, pour ainsi dire, instantanées; elles se font sans effort. La vis ne peut s'encrasser, puisqu'elle est située à l'extérieur, et peut toujours être promptement et facilement nettoyée, enfin, la mâchoire supérieure ne s'allongeant plus, le levier est toujours de la même largeur et ne s'affaiblit nullement. La clef méplate, attaquant la résistance de champ, est plus robuste sous beaucoup moins de volume, et pèse proportionnellement beaucoup moins que les autres clefs, dont la lourdeur est encore un défaut. Nous avons donné dans notre dessin à cette clef des proportions un peu massives, afin qu'il fût plus facile à comprendre. Dans l'exécution, on fera le manche plus long, afin d'augmenter la force du levier.

On a fait subir à ce système plusieurs changements plus ou moins avantageux; nous pensons que l'exposition de l'idée mère sera suffisante. Nous représenterons toutefois (fig. 545 et 546) la disposition qui a été, dans la pratique, préférée à la précédente. C'est toujours bien le même système, jouissant des mêmes avantages, mais qui a été trouvé plus commode à exécuter, la mâchoire mobile étant ajustée à carré sur la tige, ce qui peut se faire facilement avec précision, et en laissant autant de résistance à l'extérieur qu'on le désire.

Quant aux clefs d'arrêt et autres, nous en donnerons la description lorsque cela sera nécessaire, en décrivant les machines-outils, dans lesquelles elles sont parties intégrantes. PAULIN DESORMEAUX.

Nous donnerons encore ici une clef inventée en Amérique, par M. S. Mersick de Springfield (Massasuchets), pour serrer et détourner les boulons, écrous, et autres corps cylindriques. La fig. 547 en montre une

Fig. 547.

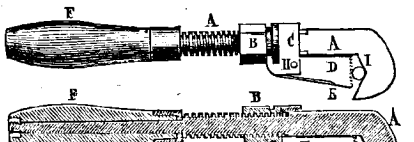


Fig. 547 *bis*.

élévation prise de côté, et la fig. 547 *bis* en est la coupe verticale. A est le corps de la clef, B l'écrou ajusté sur la vis filetée sur A, C la glissière glissant à frottement doux sur A et assemblée avec l'écrou par un collier porté par l'extrémité de celui-ci, et une rainure correspondante pratiquée à l'extrémité de la glissière; D est la *mâchoire de serrage* assemblée avec C, comme on le voit en H; E est un ressort qui presse D sur A; F est le manche. L'extrémité de la pièce D est dentelée pour ne pas glisser quand on serre une partie cylindrique.

CLINOMÈTRE. Le clinomètre est une espèce de niveau d'eau destiné à mesurer en mer l'inclinaison de la quille des vaisseaux. Cette inclinaison, dont dépendent les tirants d'eau relatifs à l'avant et à l'arrière du navire, a la plus grande influence sur la vitesse de la marche de celui-ci, et ayant une fois déterminé l'inclinaison la plus favorable à la marche, il importe de la conserver autant que possible dans toutes les circonstances.

Le clinomètre se compose d'un tube horizontal à chaque extrémité duquel s'élève un tube vertical. On met assez de mercure dans les tubes pour occuper une partie des tubes verticaux qui sont en communication entre eux par le tube horizontal. Au milieu du tube horizontal est placé un robinet qui étrangle le passage du mercure, ou bien l'intercepte tout à fait quand on n'a pas besoin du clinomètre.

La différence de niveau du mercure dans les tubes verticaux, le tube horizontal ayant été placé parallèle à la quille, donnera le moyen d'avoir la différence de tirant d'eau. Dans chaque tube vertical, un flotteur suit les oscillations du mercure, et au moyen d'une crémaillère communique son mouvement à une aiguille qui indique l'angle que fait la quille avec la ligne de flottaison.

La longueur à la flottaison d'un navire étant donnée, et l'angle de la quille avec la flottaison étant connu, la différence de tirant d'eau sera donnée par la formule L tang φ; L étant la longueur à la flottaison, et φ l'angle lu sur le clinomètre.

On dressera alors une table où les valeurs de L tang φ seront à côté des valeurs de φ, variant de deux en deux minutes ou de cinq en cinq minutes, dont le calcul est facile.

CLINQUANT (*angl.* orichalch, *all.* flittergold). Le *clinquant* est une plaque mince ou feuille de métal qu'on met sous les pierres; son effet est d'augmenter le brillant ou le jeu des pierres; ou bien, pour parler plus généralement, il sert à fortifier la couleur des pierres naturelles ou artificielles en leur donnant une teinte plus foncée.

On peut faire du clinquant en cuivre ou en étain; on a quelquefois employé de l'argent mêlé avec de l'or, suivant les besoins; mais on peut se dispenser de l'un et de l'autre, parce que le cuivre produit le même effet.

Quand on veut avoir du clinquant coloré, c'est du cuivre qui convient le mieux; voici comment on peut le préparer pour cela :

Prenez des plaques de cuivre battues à une juste épaisseur; faites-les passer entre deux cylindres d'acier fin, très-serrés, et réduisez-les en lames aussi minces que possible, polissez-les avec du blanc très-fin jusqu'à ce qu'elles brillent le plus qu'il est possible; dans cet état elles seront prêtes à recevoir la couleur.

Il faut blanchir le clinquant dans le cas où la couleur jaune ou orange nuirait à l'effet, comme cela arrive pour le violet ou le rouge cramoisi; voici comment se fait cette opération :

Prenez une petite quantité d'argent, et la faites dissoudre dans l'eau forte; ensuite mettez des morceaux de cuivre dans la solution, et précipitez l'argent; cela fait, il faut enlever le liquide, ajouter de l'eau fraîche pour enlever tout ce qui pourrait en rester; après quoi faites sécher l'argent et le broyez avec un poids égal de crème de tartre et de sel marin, jusqu'à ce que le tout soit réduit en poudre très-fine; après avoir légèrement humecté le clinquant avec ce mélange, frottez-le avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le doigt ou un morceau de chiffon jusqu'à ce qu'il ait la blancheur désirée; si ce moyen ne suffit pas, il faut rafraîchir le poli.

On ne se sert de feuilles d'étain que dans le cas des pierres sans couleurs, et on les lamine au moyen des mêmes cylindres; mais elles n'ont pas besoin d'être polies davantage.

La manière de préparer le clinquant pour donner aux pierres sans couleurs le plus d'éclat et d'effet, est de donner à la surface un poli tel qu'il fasse l'effet d'un miroir, effet que le vif-argent seul peut rendre parfait, étant appliqué comme on l'applique aux miroirs. Voici le meilleur moyen d'exécution :

Prenez des feuilles d'étain, préparées comme pour argenter les glaces, et coupez-les en petits morceaux de grandeur convenable, pour couvrir la surface des pierres que l'on veut enchâsser; mettez-en trois l'une sur l'autre, et, après avoir humecté le dedans de l'orbite avec de l'eau de gomme et l'avoir laissé sécher pour qu'elle reste encore un peu gluante, introduisez-y les trois morceaux des feuilles placées l'une sur l'autre, et adaptez-les sur la surface aussi également que possible; cela fait, chauffez l'orbite, et le remplissez de vif-argent que vous y laisserez pendant trois ou quatre minutes, et que vous verserez ensuite très doucement; puis il faudra placer la pierre dans l'orbite et l'y fixer, ayant soin qu'elle entre assez librement pour ne pas enlever l'étain et le vif-argent. Il faut que la monture joigne étroitement la pierre, afin que l'étain et le vif-argent dont l'orbite est revêtu ne puissent pas se détacher.

L'éclat des pierres montées de cette manière dure plus longtemps que lorsqu'elles sont montées suivant la manière ordinaire, parce que, la cavité de l'orbite qui les enveloppe étant bien remplie, l'humidité si nuisible à la durée des pierres n'y pénètre pas.

Cette espèce de clinquant donne de l'éclat au verre ou aux autres matières diaphanes qui n'en ont pas par elles-mêmes; mais aux pierres ou aux pâtes qui en ont un peu, elle leur donne un feu des plus brillants.

Il y a deux moyens de colorer le clinquant : l'un en donnant à la surface du cuivre la couleur voulue en faisant usage de fumée, l'autre en la peignant avec quelque substance colorante.

On peut délayer les couleurs destinées à peindre le clinquant dans l'huile, dans de l'eau rendue visqueuse par la gomme arabique, ou dans du vernis. L'huile convient mieux quand on veut des couleurs foncées, parce que certains *fards* y deviennent transparents, comme la laque et le bleu de Prusse; le jaune et le vert s'étendent mieux dans le vernis; le vert de gris distillé donne le plus beau vert qu'il soit possible; mais il est sujet à perdre sa couleur et à noircir avec l'huile : ordinairement cependant toutes les couleurs peuvent être fixées avec de la colle de poisson, sans beaucoup de peine, de la même manière que les couleurs au vernis qu'on emploie pour la miniature.

Pour le rouge imitant le rubis, on emploie un peu de laque mêlée dans de la colle de poisson, ou du vernis, avec du carmin si le verre ou la pâte est d'un cramoisi foncé tirant sur le violet; mais si le verre tire sur l'écarlate ou l'orange, on peut se contenter de ne mettre dans l'huile que de la laque bien brillante qui ne soit pas violette.

Pour le rouge grenat, on peut employer le sang-dragon dissous dans du vernis; et pour le grenat couleur vinaigre, la laque orange délayée avec du vernis est excellente.

Pour l'améthyste, de la laque avec un peu de bleu de Prusse employés à l'huile, et étendus légèrement sur le clinquant, font un effet parfait.

Pour le bleu, quand on veut qu'il soit foncé ou bien qu'il joue l'effet du saphir, on mêle du bleu de Prusse, qui ne soit pas trop foncé, dans de l'huile, et l'on en étend sur le clinquant une couche plus ou moins légère suivant que l'on veut avoir une couleur plus claire ou plus foncée.

Pour l'aigue-marine, du vert-de-gris ordinaire, avec un peu de bleu de Prusse délayé dans du vernis.

Quand c'est un gros jaune que l'on veut, on peut colorer le clinquant avec un *vernis jaune*, préparé comme pour autre chose; pour les topazes plus légères en couleur, le brunissage et le clinquant lui-même seront assez forts sans y rien ajouter.

Pour le gros vert, il faut employer les cristaux de vert-de-gris délayés dans du vernis; mais pour imiter l'émeraude, il faut y ajouter un peu de vernis jaune, pour en faire un vert plus clair et ayant moins d'analogie avec le bleu.

Avec du verre blanc, ou une pâte transparente, même sans clinquant, on peut imiter très bien, et presque sans frais, les pierreries de couleur claire, telle que l'améthyse, la topaze, le grenat couleur vinaigre et l'aigue-marine; le moyen consiste à délayer les couleurs dont il est question avec de la térébenthine et du mastic, et à peindre avec ce mélange la châsse dans laquelle on veut mettre la fausse pierre, toutefois après avoir chauffé préalablement l'orbite et la pierre elle-même; dans ce cas, il faudrait placer la pierre de suite, et refermer sur elle l'orbite qui la contient, avant que la peinture se refroidisse et se durcisse. La laque orange dont il a été parlé plus haut fut inventée exprès pour cela; elle fait un très bel effet; la couleur qu'elle donne est celle du grenat-vinaigre, qu'elle rend avec une vérité étonnante. Les couleurs que nous avons signalées comme devant être employées à l'huile doivent être extrêmement bien broyées dans de l'huile de térébenthine, et délayées avec de la vieille huile de noix ou de pavots, ou bien avec de l'huile grasse, si on peut lui donner le temps de sécher; cette huile, mêlée avec de l'esprit de térébenthine, acquiert d'elle-même un beau poli.

CLOCHE. Voyez FONDERIE DE CUIVRE.

CLOCHE DE PLONGEUR (*angl.* diving bell, *all.* taucherglocke). Cette cloche, employée soit pour retirer du fond de la mer des corps qui y sont plongés, soit pour faire des constructions submergées, consiste en un vase ouvert par le bas et fermé par toutes les autres parts, dans lequel on peut descendre sans danger des hommes au fond de l'eau.

La cloche de plongeur, telle qu'elle a été perfectionnée par Rennie, et telle qu'elle est actuellement employée en Angleterre, a la forme d'un parallélipipède, ou à peu près. Sa hauteur extérieurement est de $1^m,855$, intérieurement de $1^m,72$, et sa largeur de $1^m,38$. Les dimensions du bas de la cloche sont un peu plus grandes que celles de la partie supérieure. Pour éviter de la lester, on la coule d'un seul jet, en fonte de fer, de sorte que son poids est suffisant pour la submerger, même pleine d'air, et qu'elle est assez épaisse pour qu'on ne craigne pas qu'il s'y forme de fissures, même par suite d'un accident.

Au sommet de la cloche est pratiquée une ouverture communiquant avec l'intérieur par plusieurs trous également circulaires, fermés par autant de soupapes en cuir s'ouvrant de haut en bas. Un fort tuyau de cuir vissé sur l'ouverture extérieure s'élève jusqu'à la pompe foulante placée sur l'échafaud ou le bâtiment qui manœuvre la cloche; celle-ci est suspendue à de fortes chaînes engagées dans des anneaux fondus avec le corps de la cloche, et attachées à la maîtresse, qui supporte le tout.

12 ouvertures circulaires, disposées autour de la face supérieure, sont garnies de lentilles d'un verre très-épais, solidement fixées par des écrous et mastiquées, et servent à distribuer la lumière dans l'intérieur de la cloche. Celle-ci peut aisément renfermer deux person-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nes assises sur des sièges convenablement placés. Le poids de tout l'appareil est d'environ 4,000 kil.

La pompe foulante qui fournit l'air est ordinairement manœuvrée par 4 hommes. L'expérience a prouvé qu'un homme consomme en 24 heures 800 lit. d'oxygène, ou 3,800 lit. d'air sous la pression atmosphérique; mais dans un air plus condensé, comme l'est celui de la cloche de plongeur, la dilatation des poumons est à peu près la même que sous la pression ordinaire, et par conséquent la quantité d'air vicié dans le même temps est plus considérable; d'un autre côté, pour que l'air de la cloche n'ait aucune influence fâcheuse sur la santé des ouvriers, il faut qu'il renferme au plus 4 à 5 p. 100 d'air vicié; de sorte qu'en résumé, la machine soufflante devra renouveler de 4 à 5 mètres cubes d'air par heure et par homme. L'air vicié par la respiration étant plus chaud et par conséquent plus léger que l'air frais, se maintient au haut de la cloche, d'où on l'expulse par un robinet.

Le cabestan qui porte la cloche est mobile sur 2 chemins de fer superposés, et placés à angle droit, qui permettent de faire mouvoir la cloche horizontalement dans tous les sens.

Les signaux sont communiqués le plus souvent par les plongeurs, aux personnes qui manœuvrent la cloche, au moyen de coups de marteau frappés contre les parois de celle-ci, et n'en exigent généralement qu'un petit nombre.

Lorsque l'eau est limpide, la lumière est très grande sous la cloche; l'expérience a fait voir que l'action calorifique des rayons solaires n'est nullement détruite par leur passage à travers l'eau, comme le montre l'exemple suivant : Un plongeur descendu à 17 mètres sous l'eau, vit tout à coup la cloche se remplir de fumée; il reconnut bientôt que son bonnet, placé au foyer d'une des lentilles, avait pris feu par la concentration des rayons solaires.

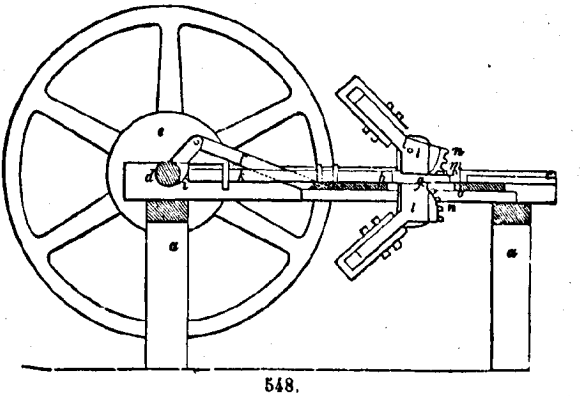
A mesure que la cloche s'enfonce sous l'eau et que la pression de l'air y devient plus considérable, les plongeurs ressentent dans les oreilles une douleur assez vive, qu'ils font disparaître en opérant dans la bouche, celle-ci et les narines étant bouchées, un mouvement de déglutition, ou en avalant leur salive. Par ce moyen, on détermine l'ouverture des trompes d'Eustache, l'air se met en équilibre dans les oreilles, en produisant une petite explosion, et la douleur cesse sur-le-champ. Elle cesse de même, mais moins rapidement, si l'on arrête la descente de la cloche. (Voy. PLONGEUR. *Compl.*)

CLOUS (*angl.* nails, *all.* nægel). Les clous se font ordinairement en fer et se distinguent, 1° en clous forgés; 2° en clous fabriqués à la mécanique; 3° en clous d'épingle ou pointes; 4° en clous découpés et façonnés à froid; et 5° en clous fondus.

1° *Clous forgés.* Les clous se forgent avec du fer en verge de bonne qualité. Chaque ouvrier a toujours plusieurs baguettes à chauffer, dans un petit feu de forge à la houille, pendant qu'il en travaille une. Laissant chauffer à blanc, il forge et soude d'abord la pointe, étire la tige, puis coupe au tranchet une longueur suffisante pour faire un clou, sans le séparer entièrement de la baguette dont il se sert pour le placer dans le trou de la *clouière* ou *cloutière*, et rabat et façonne la tête du clou, qu'il fait ensuite sauter pour en recommencer un autre. La clouière est garnie en dessus d'une table d'acier, afin qu'elle ne soit point sujette à se déformer et afin de dresser le dessous de la tête des clous; en outre son épaisseur totale doit être moindre que la longueur du clou, pour que la pointe de celui-ci dépasse toujours un peu en dessous.

Un bon cloutier fait ordinairement 1 et même 2 clous par chaude, c'est-à-dire 12, 15 et même 20 clous par minute, suivant le numéro.

On a imaginé de remplacer dans nombre de fabrique



548.

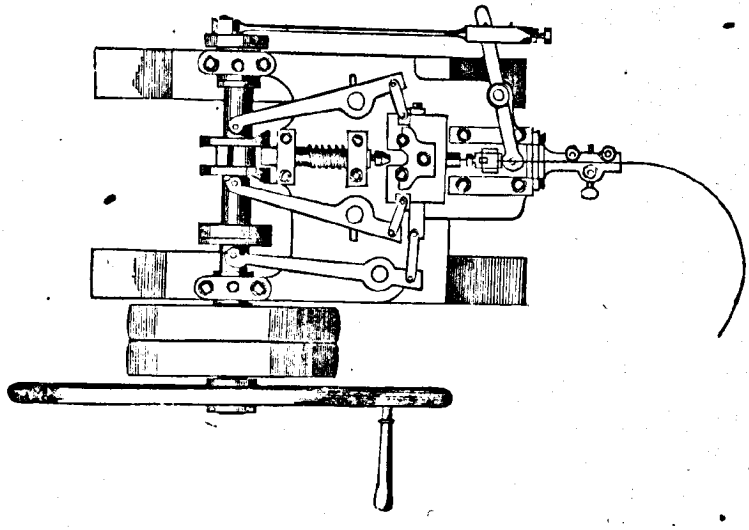
le travail du forgeage à la main par des opérations mécaniques; la fig. 548 qui représente bien qu'incomplétement la machine à faire les clous de Hancorne, nous permettra de donner une idée des mécanismes qu'on emploie à cet effet. *a a*, est un bâti qui porte des glissoires destinées à maintenir une pièce *b b*, qui reçoit de la roue *e*, un mouvement horizontal de va-et-vient, par l'intermédiaire de l'arbre coudé *d*, et de la bielle *f*. Un peu avant que la pièce *b b* soit à l'extrémité de sa course en avant, on lui présente une vergette de fer de grosseur convenable préalablement chauffée au rouge-blanc; deux mâchoires mues par des excentriques et placées sur *b b*, qui ne sont pas indiquées sur la figure, saisissent le bout de la vergette au bout de leur course et l'entraînent ensuite dans leur mouvement en arrière; deux ciseaux également mus par des excentriques coupent alors obliquement un bout de fer *g*, d'une longueur suffisante pour faire un clou; deux secteurs *l*, *l*, terminés par des spirales portant sur leurs rebords extérieurs des dents *n n*, engrenant avec des crémaillères *m*, fixées sur la pièce *b b*, tournent à mesure que celle-ci recule, et viennent étirer la pointe *g* en lui donnant la forme d'un coin, par suite de leur forme spirale qui fait varier leur écartement. D'un autre côté l'arbre *d*, porte un excentrique *i*, qui venant presser sur la pièce *k* qui porte le coin *h*, forme la tête du clou par refoulement; de sorte que lorsque *b b* est arrivé à l'extrémité de sa course en arrière, le clou est terminé, les mâchoires qui l'avaient saisi sont ouvertes par les excentriques qui les mettent en mouvement, et le clou est rejeté hors de la machine.

3° *Pointes.* On fait les pointes avec du fil de fer; le travail se compose de trois opérations : 1° couper à la cisaille les fils métalliques par bouts égaux de 0m,30 environ; 2° *appointir* les fils sur une meule en bois de 2m de diamètre sur 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur, recouverte d'une virole en acier dont la surface convexe est tournée et taillée en lime, puis les couper à la cisaille en bouts d'une longueur convenable; 3° former la tête; à cet effet, l'ouvrier a une espèce d'étau fermant à vis, ou avec un levier, qu'il fait manœuvrer avec un de ses pieds; dans lequel étau saisissant successivement chaque clou du côté de la tête, et laissant dépasser au-dessus de la mâchoire une quantité de fil de fer suffisante, il forme la tête d'un seul coup de marteau, qu'il fait tomber dessus à l'aide de l'autre pied.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les pointes se fabriquent maintenant beaucoup à la mécanique.

La fig. 549 représente la machine à fabriquer les



549.

pointes de Paris, mise à l'exposition de 1844 par M. Frey, qui a exécuté grand nombre de fois ce modèle dont l'usage a démontré l'excellence. La figure fait aisément comprendre comment le fil de fer avançant à chaque tour de la manivelle d'une longueur constante, la tête est façonnée par refoulement, et la pointe formée par deux couteaux mus par deux excentriques qui coupent le fil de fer sous un angle aigu.

La fabrication par machines, et par suite à très bas prix, des pointes de Paris en a rendu la consommation énorme. Elles ont généralement remplacé les clous faits à chaud de petites dimensions. Leur régularité et leur forme ronde permet en outre de les enfoncer plus facilement et avec bien moins de danger de faire éclater le bois.

4° *Clous découpés dans de la tôle de fer.* Pour fabriquer ces clous on emploie de la tôle douce d'épaisseur convenable, que l'on découpe d'abord par bandes parallèles d'une largeur égale à la longueur que doivent avoir les clous, dans une direction normale à la nervure du fer. Ces dernières étant ensuite découpées en petits coins qui ont alternativement leur tête de côté et d'autre, forment les clous dont on exécute la tête, comme celle des pointes, en saisissant successivement chaque clou dans un étau, et laissant tomber dessus un marteau dont le poids est tel, qu'il puisse la former d'un seul coup.

Enfin on met ces clous avec du gravier et du grès pilé, dans des tonneaux à polir auxquels on imprime pendant quelques heures un mouvement de rotation, afin d'émousser un peu les aspérités les plus saillantes, qu'a occasionnées le découpage; mais on se garde bien de les faire entièrement disparaître; elles sont une des causes qui les font tenir beaucoup plus fortement dans le bois que les clous forgés, et les rend, par conséquent, préférables dans beaucoup de cas. Il faut, lorsqu'on les enfonce, avoir soin d'en placer le tranchant suivant le fil du bois.

5° *Clous fondus.* Les clous en fonte de fer ne se sont pas répandus en France; la fonte y est trop chère pour qu'on ait pu l'employer avec économie à cette fabrication. Il n'en est pas de même en Angleterre, où l'on a trouvé le moyen de faire des clous en fonte étamée tellement doucé, que ces clous se replcient en tous sensans se rompre. Voy. FONTE MALLÉABLE.)

COBALT (*angl.* cobalt, *all.* kobalt). Le cobalt a été obtenu, pour la première fois, à l'état métallique par Brandt en 1733. On l'obtient en chauffant l'oxyde au blanc dans un creuset brasqué, ou en le réduisant au rouge par le gaz hydrogène, ou bien en le chauffant jusqu'au rouge vif avec du sel ammoniac en excès; dans ce dernier cas il se forme d'abord un chlorure double, qui bout au rouge en laissant dégager du sel ammoniac, puis il s'épaissit peu à peu, et finit par se transformer en une éponge de cobalt métallique pur Il est d'un gris blanc comme le platine, ductile, malléable et susceptible de recevoir un beau poli. Sa densité est de 8,6. Il est attirable à l'aimant mais moins que le fer. Dans un creuset brasqué il fond un peu plus difficilement que le fer; il est fixe. Le cobalt fondu ne s'altère pas dans l'air sec à la température ordinaire, mais au contact de l'air humide il se recouvre peu à peu d'une rouille noire qui est de l'hydrate de peroxyde.

Le cobalt décompose l'eau pure au rouge, mais beaucoup moins rapidement que le fer. Il la décompose aussi à la température ordinaire, en présence des acides sulfurique et hydro-chlorique. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent très promptement; les acides végétaux ne le dissolvent qu'à la longue, et seulement lorsqu'il y a contact de l'air. Le cobalt chauffé au contact du carbone en absorbe une petite quantité; il se combine avec facilité directement avec le chlore, le soufre, le phosphore et l'arsenic; enfin, il est susceptible de s'allier à un grand nombre de métaux, et de produire beaucoup d'alliages ductibles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'oxygène se combine en 4 proportions avec le cobalt pour former : 1° du protoxyde; 2° du peroxyde; 3° du deutoxyde, et 4° de l'acide cobaltique.

Les *oxydes de cobalt* sont facilement réduits par l'hydrogène, le carbone, le soufre, le phosphore, l'arsenic, etc.; avec le borax et le sel de phosphore, ils donnent au chalumeau des verres transparents d'un beau bleu; il ne faut qu'une petite quantité d'oxyde pour produire une coloration très-sensible.

Le *protoxyde de cobalt* est d'un gris assez foncé, ayant quelquefois un léger éclat métallique. Son hydrate est d'un bleu de lavande, et devient spontanément ou par l'ébullition d'un rose pâle; il se dissout dans l'ammoniaque et son carbonate en les colorant en rouge. L'oxyde de cobalt se combine par *voie sèche* avec les alcalis, en formant des composés bleus que l'eau détruit complétement. Il se combine également avec plusieurs bases, telles que la magnésie, l'alumine et l'oxyde de zinc. On prépare ces composés en chauffant les bases après les avoir arrosées avec une dissolution de nitrate de cobalt. Le composé magnésien est rose, le composé alumineux est d'un beau bleu-d'outre-mer, et le composé zincifère est d'un assez beau vert : on l'appelle *vert de Rinmann*. Le protoxyde de cobalt est composé de :

Cobalt . .	78,7	} CoO
Oxygène. .	21,3	
	100,0	

On le prépare en calcinant le nitrate de cobalt et laissant refroidir dans le creuset couvert. Son hydrate s'obtient en précipitant par la potasse caustique le nitrate ou tout autre sel de cobalt soluble.

Le *peroxyde de cobalt* est noir, son hydrate est brun; il ne forme pas de sels; sa composition est représentée par la formule Co^2O^3.

On ne connaît le *deutoxyde de cobalt* qu'à l'état d'hydrate d'un vert-olive sale, qui ne forme pas de sels; par l'action des acides étendus il se décompose en protoxyde qui se dissout, et en peroxyde qui se précipite; il paraît être analogue à l'oxyde de fer magnétique, et avoir pour formule $CoO + Co^2O^3$.

L'*acide cobaltique* ne forme que des sels très peu stables, qui se décomposent spontanément au contact de l'air, et n'a pas encore été isolé. M. Gmelin a trouvé que sa formule était CoO^3.

Tous les *sels de cobalt* sont à base de protoxyde; desséchés ou calcinés, ils sont roses, lilas ou bleus; dissous dans l'eau, ils la colorent en rose fleur de pêcher passant au rouge grenat. Les alcalis caustiques précipitent complétement le cobalt de ses dissolutions; le précipité d'abord bleu de lavande, devient violet-rougeâtre par l'ébullition. Les carbonates alcalins les précipitent en rose; l'ammoniaque et son carbonate, en excès, redissolvent le précipité et se colorent en rouge. Les phosphates alcalins y donnent un précipité bleu, et les arséniates un précipité rose fleur de pêcher; l'hydrogène sulfuré ne les trouble pas, mais les hydro-sulfates les précipitent en noir.

Parmi les sels de cobalt nous citerons seulement : le *chlorure* qui, desséché par l'évaporation à sec de ses dissolutions, est bleu et très-soluble dans l'eau, qu'il colore en rose; il est même déliquescent lorsqu'il renferme un peu de chlorure de fer ou de nickel; c'est par suite de ces propriétés que, lorsqu'il est impur et en dissolution très-étendue, il constitue ce qu'on appelle *encre de sympathie*. L'*arséniate* qui, récemment précipité, est d'un très-beau rose fleur de pêcher; sa couleur ne change pas par la dessiccation, et il la conserve même quelquefois après calcination; mais, le plus souvent, il devient violet ou lilas; il est insoluble dans l'eau et soluble dans les acides; le charbon le réduit aisément en arséniure. Le *phosphate* qui, récemment précipité, est gélatineux et d'un bleu violacé; desséché à l'air, il est d'un beau bleu; calciné, il perd beaucoup d'eau et devient d'un noir violacé; le charbon le réduit complétement même par cémentation. En mélangeant bien intimement 1 p. de phosphate de cobalt humide, obtenu en précipitant par le phosphate de soude une dissolution de nitrate de cobalt, avec 8 p. d'alumine en gelée, faisant dessécher à l'étuve et calcinant ensuite au rouge cerise pendant une demi-heure dans un creuset couvert, puis pulvérisant aussi fin que possible la masse calcinée, on obtient la belle couleur connue sous le nom de *bleu Thénard* ou *bleu de cobalt*.

Les minerais de cobalt se réduisent à deux, savoir :

Le *cobalt arsenical* d'un gris d'acier pur, composé de cobalt, d'arsenic, avec un peu de soufre, de fer et de nickel, renferme environ 20 p. 100 de cobalt; il cristallise en cubes simples ou modifiés. C'est le plus abondant des minerais de cobalt et par suite le plus employé pour la fabrication du smalt. On le trouve à Schneeberg et Annaberg en Saxe, à Riechelsdorf et Bieber en Hesse.

Le *cobalt gris* ou arsénio-sulfure de cobalt, d'un gris clair teinté de rouge, a un éclat fortement métallique et cristallise en cubes ou en octaèdres; on le trouve surtout à Tunaberg et Skuterud en Suède; il est essentiellement composé de cobalt, de soufre et d'arsenic, et renferme en outre une faible quantité de fer et de nickel; il contient 33 à 34 p. 100 de cobalt.

On trouve quelquefois à la surface des minerais de cobalt, du cobalt oxydé noir ou brun, provenant à ce qu'il paraît de leur altération. Le cobalt arsenical donne aussi naissance, par son altération, à du cobalt arséniaté facile à reconnaître par sa couleur passant d'un beau rose fleur de pêcher au rouge cramoisi.

On peut employer plusieurs procédés pour retirer de l'oxyde de cobalt pur de ses minerais; nous recommanderons le suivant, indiqué par Wœhler, comme étant le plus économique et permettant de séparer facilement l'arsenic. On mélange le minerai cru avec le triple de son poids de carbonate de potasse et autant de soufre en poudre, et on projette le tout, successivement et par petites parties, dans un creuset préalablement chauffé au rouge. On concasse ensuite grossièrement la masse fondue et on l'épuise par l'eau bouillante. Il se dissout du sulfure double d'arsenic et de potassium, et il reste une poudre noire cristalline composée de sulfure de cobalt avec un peu de sulfure de fer et de nickel; on dissout cette poudre dans de l'acide sulfurique, auquel on ajoute un peu d'acide nitrique, puis on fait bouillir la dissolution avec un excès de nitrate de potasse qui précipite le fer à l'état de sous-sulfate insoluble, que l'on sépare ensuite par filtration. On précipite alors le cobalt et le nickel à l'état de carbonate, en versant une dissolution de carbonate de potasse dans la liqueur filtrée, on filtre, on fait digérer le précipité avec de l'acide oxalique, qui transforme les carbonates en oxalates de cobalt et de nickel insolubles, et qui, s'il reste du fer, forme de l'oxalate de peroxyde de fer soluble que l'on sépare par un nouveau lavage. On dissout ensuite les oxalates de cobalt et de nickel dans l'ammoniaque, on étend d'eau la dissolution, et on l'expose à l'air libre dans un vase ouvert. Lorsque tout l'excès d'ammoniaque s'est dégagé, l'oxalate double de nickel et d'ammoniaque se précipite sous la forme d'un précipité vert, tandis que le cobalt reste dans la dissolution, qu'il colore en rose; on l'en précipite aisément en faisant bouillir celle-ci avec du carbonate de potasse.

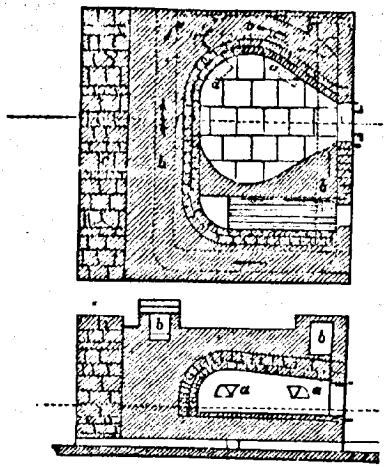
Le principal emploi du cobalt est la préparation du *smalt*, verre bleu que l'on prépare en fondant ensemble du minerai de cobalt grillé ou sable quarzeux et de la potasse; l'*azur* est du smalt réduit à l'état de poudre impalpable.

Les fig. 550 et 551 représentent le plan et la coupe du fourneau à réverbère employé pour le grillage des minerais de cobalt; la grille est latérale, et la flamme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sort du côté opposé et se rend dans le canal *b*, *b*, et de là dans les chambres de condensation, où l'acide arsé-

550.



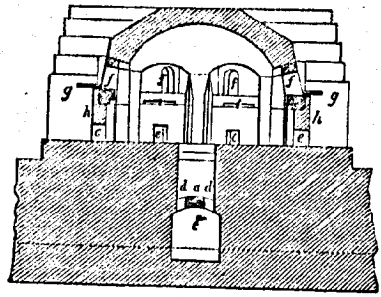
551.

nieux se dépose, et d'où on le retire de temps à autre au moyen de portes ménagées à cet effet. Il importe que le grillage ne soit pas complet, parce qu'alors le fer et le nickel passeraient dans le smalt et lui donneraient une teinte verdâtre, tandis que lorsqu'il reste dans le minerai grillé une certaine quantité de soufre et d'arsenic, il se forme, lors de la fusion de ce minerai, un arséniosulfure de nickel et de fer, qui sépare complétement ces métaux, et se réunit en culot au fond des creusets où s'opère la fusion; ce produit porte le nom de *speiss*. D'un autre côté, il faut que le grillage soit poussé suffisamment loin, sans quoi une partie du cobalt passerait dans le speiss.

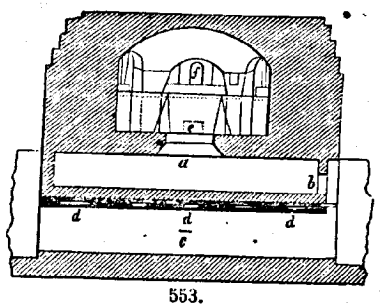
On étend le minerai pulvérisé, en couche de 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, sur la sole du four de grillage, et on renouvelle de temps à autre les surfaces avec un ringard, jusqu'à ce que le grillage soit arrivé à un point convenable.

On mélange alors intimement le minerai grillé et tamisé, avec du sable quarzeux très pur, en les passant ensemble entre les meules. Le mélange mécanique ainsi obtenu porte le nom de *safre*; celui-ci est mélangé avec une proportion convenable de carbonate de potasse frittée, et fondu dans des pots d'argile placés dans un four, analogue aux fours de verrerie, représenté en coupe transversale fig. 552 et en coupe longitudinale fig. 553. Ce four est à sole circulaire et couvert d'une voûte surbaissée; on charge le combustible (qui est du bois) sur la grille en briques *d d*, par la porte *b*; *c*, est le cendrier; la flamme pénètre dans le four par l'ouverture *a*, ménagée au milieu de la sole, puis se rend par les rampants *i*, *i* (fig. 552), dans des fours à flammes perdues qui servent à étonner le sable quarzeux et à fritter la potasse; les ouvertures *h*, *h*, qui sont murées pendant le travail servent à introduire dans le four les pots où se fait la fusion; ceux-ci, au nombre de 6 à 8, sont disposés circulairement sur la banquette du four, et s'élèvent presque jusqu'à la hauteur des ouvreaux *f*, *f*, en avant desquels sont des plaques de fonte *g*, *g*, à la partie inférieure de ces pots sont pratiquées des ouvertures, que l'on ferme pendant le travail, par des plaques de même nature, lutées avec de l'argile, et par lesquelles on fait écouler, après un certain nombre d'opérations, le speiss qui s'est rassemblé au fond des

pots, quand la fusion est terminée, et que l'on a puisé tout le smalt. Ces ouvertures sont placées en regard des portes murées *e*, *e*, qui servent à les débucher.



552.



553.

La fusion est facile et ordinairement terminée au bout de huit heures; on puise alors le smalt avec des poches en tôle intérieurement enduites d'argile, et on le verse dans de l'eau froide pour l'étonner et faciliter sa pulvérisation ultérieure.

Le verre bleu ainsi obtenu est d'abord pulvérisé sous des bocards à sec, puis broyé à l'eau entre des meules de granite horizontales, analogues à celles des moulins à blé. On classe ensuite successivement par lévigation l'azur obtenu, d'après son degré de ténuité, en : *gros bleu* (*all.* streublau), qui est, soit livré ainsi au commerce, soit repassé entre les meules; *couleur* (*all.* farbe), obtenu après une heure de repos; *eschel*, dépôt suivant très fin, mélange de parties quarzeuses venant des meules; et en *boues* (*all.* sumpfeschel), dernier dépôt très impur qui se forme dans de grands réservoirs où on laisse l'eau jusqu'à ce qu'elle soit tout à fait clarifiée: ces boues sont repassées dans la fonte pour smalt. Les fabriques de cobalt distinguent ces divers produits par les lettres suivantes : K, minerai de cobalt cru, FK, FFK, minerai riche, très riche; S, minerai grillé, OS, MS, FS, FFS, minerai grillé ordinaire, moyen, riche, très riche; C, couleur, OC, MC, FC, FFC, FFFC, FFFFC, les diverses qualités de couleur; E, eschel, et OE, ME, FE, FFE, FFFE, FFFFE les différentes variétés ou nuances de couleur.

Les speiss qui se réunissent au fond des pots, renferment moyennement environ 50 p. 100 de nickel, 40 d'arsenic et 10 de soufre, de fer, de cobalt et de cuivre, et quelquefois des traces d'antimoine; autrefois sans valeur, ils sont actuellement très recherchés pour la préparation du nickel.

On conçoit aisément que la proportion de quarz et de potasse à ajouter aux minerais de cobalt dans la préparation du smalt, dépend de leur teneur en cobalt et de l'intensité de la couleur que l'on veut obtenir; d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autre côté le degré de grillage dépend également de la proportion des métaux étrangers et de l'état sous lequel ils se trouvent dans le minerai : ainsi, certains minerais pauvres en cobalt et riches en autres oxydes métalliques doivent être fondus crus, avec d'autres minerais riches également crus, qui leur fournissent une quantité de soufre et d'arsenic suffisante pour faire passer tous les métaux étrangers dans le speiss. On obtient ces diverses données par un essai en petit qui consiste à mélanger 1 partie du minerai de cobalt cru, partiellement grillé, et totalement grillé, avec 3, 6, 9 et 12 p. d'un mélange de 2 p. de sable quarzeux blanc et de 1 p. de carbonate de potasse fondu ; puis fondant les douze mélanges ainsi obtenus, dans de petits creusets couverts, presqu'à la température des essais de fer. On juge ensuite à la couleur du verre quel est le mélange le plus convenable à employer. Ce mode d'essai est surtout usité pour les minerais de cobalt argentifères de l'Erzgebirge. L'argent passe dans le speiss qui est soumis à l'amalgamation, dont les boues sont ensuite traitées pour nickel.

Nous terminerons cet article en indiquant une manière très simple employée en Allemagne pour préparer l'oxyde de cobalt pour la peinture sur porcelaine : On grille le minerai de cobalt aussi complétement que possible, on réduit le minerai grillé en bouillie épaisse avec de l'acide sulfurique, on introduit le tout dans un creuset en terre où on laisse digérer, pendant un certain temps, à 200 ou 300° ; enfin on évapore à siccité, on chauffe jusqu'au rouge, et on maintient cette température pendant une heure. Après le refroidissement, on pulvérise la masse et on la traite par l'eau bouillante ; on filtre on étend d'eau froide, on acidule la liqueur avec un peu d'acide sulfurique ; puis on précipite, en agitant constamment, par une dissolution de carbonate de soude, en s'arrêtant aussitôt que la liqueur a perdu toute réaction acide, et que le précipité au lieu d'être jaunâtre devient rose ; tout le fer s'est alors précipité à l'état de sous-arséniate en entraînant l'arsenic avec lui, et il ne reste dans la liqueur filtrée que du sulfate de cobalt qui la colore en rose ; d'un autre côté, on fond ensemble 10 parties de potasse du commerce, 15 parties de sable quarzeux et 1 partie de poussier de charbon ; on pulvérise la masse fondue, on dissout dans l'eau bouillante, on décante et on obtient une dissolution de silicate de potasse dont on se sert pour précipiter la dissolution de sulfate de cobalt obtenue comme il a été dit ci-dessus ; il se forme du sulfate de potasse soluble et il se précipite un mélange intime de silice gélatineuse et d'oxyde de cobalt, qui entraîne un peu de silicate de potasse. Ce précipité a une couleur brun-sale, mais appliqué sur la porcelaine, il prend, lors de la cuisson, une très belle couleur bleue.

La production du smalt est annuellement d'environ :

Suède et Norwège.	2000 à	2500[kil]
Saxe.	5000 à	6000
Prusse	3000 à	3500
Hesse électorale (Schwarzenfels).	3500 à	4000
	13500 à	16000[kil]

P. DEBETTE.

COCHENILLE (*angl.* cochineal, *all.* kochenille). La cochenille, *coccus cacti*, est un insecte dont la femelle renferme une forte proportion d'une matière colorante rouge, extrêmement belle. On l'a longtemps prise pour une semence végétale ; c'est Lœwenhœk qui fit voir que c'était un animal. On l'a découverte au Mexique, en 1518, où elle vit sur le cactier nopal (*cactus opuntia*). On en distingue deux sortes, la cochenille sauvage ou *cochenille sylvestre*, que l'on recueille dans les forêts, et la *cochenille mestèque*, élevée dans des *nopaleries* ou plantations artificielles de cactiers. La première est la plus petite et recouverte d'un duvet cotonneux, qui augmente son poids et, par suite, diminue naturellement en proportion sa teneur en matière colorante, en même temps que sa valeur commerciale. Ce duvet sert à protéger l'insecte contre l'intempérie des saisons, de sorte qu'il n'exige aucun soin. Élevée dans des plantations artificielles, la cochenille acquiert une grosseur presque double de la précédente, et perd le duvet cotonneux qui la recouvrait et qui se trouve remplacé par une poussière grisâtre qui en augmente à peine sensiblement le poids.

La cochenille femelle est ovoïde, légèrement aplatie en dessous ; son corps est couvert d'anneaux toujours visibles, peu nombreux ; entre les deux premières paires de pattes elle porte un suçoir avec lequel elle se fixe sur les cactiers, où elle est ensuite fécondée par le mâle ; alors son corps se développe, s'arrondit, et elle finit par produire un grand nombre d'œufs d'où naissent autant de nouveaux insectes, si l'on n'a pas soin de la recueillir avant cette époque ; enfin elle meurt, et se dessèche sur la place où elle a vécu. Le mâle est plus petit que la femelle ; il n'a point de suçoir et porte deux ailes bien développées au moyen desquelles il vole pour chercher les femelles, qui n'en ont point, et les féconder.

Quand les cochenilles fécondées sont prêtes à pondre, on les recueille en râclant légèrement la surface des cactiers avec un couteau mousse, pour les faire tomber dans un vase où on les reçoit, en ayant soin d'en laisser quelques-unes sur chaque arbre pour la reproduction.

On fait périr les cochenilles soit en les trempant dans l'eau bouillante, soit dans une étuve, soit enfin sur des plaques métalliques chauffées en dessous ; l'immersion dans l'eau bouillante enlève une partie de la couleur qui reste en partie extérieurement fixée à la cochenille, et lui donne une teinte rougeâtre ; la dessiccation à l'étuve n'apporte aucun changement apparent dans la cochenille qui est alors dite *jaspée* ou *argentée*, et qui est d'autant plus estimée qu'elle est plus grosse, plus régulière, et recouverte d'un enduit gris-argentin plus pur ; la dessiccation sur des plaques métalliques chauffées en dessous détermine la fusion de la poudre grisâtre qui recouvrait la cochenille et qui paraît être une substance céreuse, de sorte que l'insecte présente une couleur brun-noirâtre, ce qui lui a fait donner le nom de *cochenille noire ;* elle est moins estimée que la cochenille argentée, mais elle a une valeur supérieure à la cochenille rouge.

La cochenille bien desséchée peut se conserver extrêmement longtemps sans s'altérer ; ainsi *Hellot* a reconnu, par expérience, que les cochenilles conservées depuis 130 ans, avaient exactement le même pouvoir colorant que des cochenilles nouvellement cueillies.

La cochenille a été particulièrement étudiée par MM. Pelletier et Caventou, qui ont donné au principe colorant qu'elle renferme le nom de *carmine*, et qu'ils ont obtenu : en épuisant la cochenille par l'éther ; traitant à plusieurs reprises le résidu par l'alcool bouillant ; laissant refroidir ; traitant le dépôt qui se forme par de l'alcool pur, puis y ajoutant un volume égal au sien d'éther sulfurique également pur ; il se produit un dépôt de carmine.

La carmine ainsi obtenue est rouge-pourpre, fond vers 50°, et brûle sans dégager de l'ammoniaque, ce qui prouve que la matière colorante de la cochenille appartient aux composés non azotés. Elle est très-soluble dans l'eau, et une très-faible quantité en suffit pour colorer en rose une grande masse d'eau. Elle est également soluble dans l'alcool, quoique moins que dans l'eau, et, au contraire, insoluble dans l'éther. Les acides ne la précipitent pas de sa dissolution aqueuse, lorsqu'elle est pure ; mais, dans le cas où cette dissolution renferme encore une partie des autres matières animales renfermées dans la cochenille, le tout est précipité.

L'alumine a beaucoup d'affinité pour la matière co-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lorante de la cochenille ; ainsi si l'on met dans une dissolution aqueuse de carmine, de l'alumine en gelée récemment précipitée et encore humide, la liqueur devient incolore ; lorsque l'on a opéré à froid, l'alumine prend une belle couleur rouge de carmin ; mais si l'on échauffe la dissolution, le précipité passe au rouge-cramoisi, et même au violet si l'on chauffe jusqu'à l'ébullition. Une solution d'alun ne donne lieu à aucun précipité ; elle fait seulement passer la couleur du rouge de carmin au rouge-pourpre. Voyez CARMIN.

Le proto-chlorure d'étain ou *sel d'étain* donne naissance à un précipité d'un violet très riche, qui passe au rouge cramoisi quand la dissolution d'étain renferme beaucoup d'acide libre. Le per-chlorure d'étain ne forme aucun précipité, mais il fait passer la couleur de la dissolution au rouge-écarlate. Quand après l'addition du per-chlorure d'étain, on mélange la liqueur avec de l'hydrate d'alumine récemment précipité, celui-ci se combine avec la matière colorante pour former une laque carminée d'un rouge-écarlate, qui ne change même pas par l'ébullition.

La cochenille est sans contredit la plus belle des matières colorantes rouges employées dans la teinture, et s'applique surtout sur la laine. Pour cela, on mordance celle-ci avec un mélange de per-chlorure d'étain et de crème de tartre, puis on la teint avec une décoction de cochenille. On ne doit pas ajouter d'alun, qui ferait passer la couleur au rouge-cramoisi. Afin de séparer plus complétement de la cochenille la matière colorante, ainsi que la matière animale qu'elle renferme, et qui paraît jouer un rôle essentiel dans la fixation de la carmine sur la laine, on peut ajouter une petite quantité de cendres gravelées dans la préparation de la décoction de cochenille, mais il faut alors augmenter la proportion de la crème de tartre employée dans le mordançage, de manière à conserver au bain l'acidité nécessaire pour obtenir une vive couleur écarlate.

Pour teindre avec la cochenille en rouge-cramoisi, on ajoute au bain un peu d'alun, ou on fait bouillir dans une dissolution d'alun la laine, préalablement teinte en rouge écarlate.

D'après M. de Humboldt, on a importé de l'Amérique du Sud en Europe, depuis 1736, pour une valeur de 15 à 16,000,000 de francs de cochenille. Le prix actuel de la cochenille, sur la place de Londres, est d'environ 13 francs le kilogr.

La découverte de la fuchsine et des couleurs si belles et si durables extraites des hydro-carbures de la houille tend à diminuer la valeur de la cochenille.

COCOTIER (cocos nucifera). — La grande variété d'usages auxquels est appliqué cet arbre du genre palmier par les habitants des nombreuses contrées où il croît, et la valeur commerciale de quelques-uns des produits qu'il donne, rendent l'étude du cocotier très-intéressante. Cet arbre se rencontre dans les parties tropicales du globe, principalement dans le voisinage de la mer ; sans souffrir de l'eau salée, il prend racine sur les récifs et les bancs de sable aussitôt qu'ils émergent de l'Océan. Son principal domaine paraît être entre l'équateur et le 25° parallèle de latitude ; il pousse à diverses hauteurs inférieures à 1,000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. On trouve quelquefois cet arbre occupant des régions étendues à l'exclusion de tout autre. Toute la côte du Brésil, depuis la rivière de San-Francisco jusqu'à la barre de Mamanguape, sur une distance de 280 milles, en est presque entièrement couverte.

Le cocotier s'élève comme une mince colonne à la hauteur de 20 à 30 mètres. Le diamètre de sa tige est de 0,30 à 0,50. Son tronc est mou et fibreux, et porte sur sa hauteur des anneaux créés par la chute des feuilles qui a lieu deux fois par an. Environ 11 ou 12 feuilles, chacune de 4 à 5 mètres de long, forment le bouquet du sommet. Les fleurs sortent d'une grande gaîne pointue. Dans les saisons humides, le cocotier fleurit toutes les cinq ou six semaines, de sorte qu'il porte à la fois des fleurs nouvelles et des fruits mûrs en même temps. Les cocos sont au nombre de 5 ou 15 dans chaque grappe, et dans de bons sols, un arbre peut produire de 8 à 12 grappes par an.

Passons en revue les divers produits qui proviennent des cocotiers et les emplois qu'ils reçoivent.

Les racines de cocotier sont mâchées par quelques peuplades au lieu de noix *d'aréca*. Les Brésiliens font des paniers avec les petites racines. L'écorce ligneuse ou enveloppe du tronc sert pour la construction des huttes. Vers la base du tronc, le bois est remarquable par sa dureté et peut prendre un poli qui lui donne l'apparence de l'agate. La base de la feuille séchée forme un réseau employé à Ceylan pour filtrer le jus savoureux qui est extrait de la gaîne des fleurs de l'arbre. Il sert aussi à fabriquer un vêtement durable appelé *gunny*. Les jeunes pousses et les bourgeons sont à l'occasion mangés par les Européens aussi bien que par les naturels. Quand ils sont bouillis, ils sont tendres et remplacent fort bien les choux. Les Ceylanais les conservent dans le vinaigre et les mangent comme des cornichons. L'arbre meurt quand cette partie est lui enlevée.

Quelques peuplades couvrent leurs maisons avec les feuilles ; dans ce but, ils divisent la portion ligneuse centrale de la feuille suivant sa longueur ; les moitiés sont repliées et entrelacées, c'est dans cet état qu'elles sont employées pour couvertures, pour abriter les jeunes plantes des rayons brûlants du soleil, pour clôtures, pour former le plafond des chambres et pour faire des vases servant à porter les fruits, le poisson, etc. A l'exception de la charpente, les maisons, murs et toits, sont faites avec les feuilles du cocotier.

Les seaux faits de feuilles entières sont assez solides pour tirer l'eau des puits. Les feuilles qui ne sont pas tout à fait mûres sont d'une belle couleur jaune et ont un grain fin qui les fait ressembler à du beau cuir ou à du satin ; elle servent à décorer les appartements.

Pour voyager de nuit, on se sert de torches formées avec les feuilles du cocotier ; la feuille doit être bien serrée autour de la nervure pour que la combustion ne soit pas trop rapide. De semblables torches sont d'un usage constant pour écarter les bêtes féroces, particulièrement les éléphants, des champs cultivés.

Le cocotier et spécialement ses feuilles fournissent une grande quantité de potasse par leur incinération, alcali qui est employé pour le blanchissage. L'extrémité de la feuille, après avoir été préparé, sert à faire des espèces de brosses convenables pour divers emplois. Les gaînes ou les enveloppes fibreuses des fleurs sont souvent employées comme torches. Après avoir macéré dans l'eau, cette partie de l'arbre fournit aussi un cordage assez solide.

La fleur et le fruit du cocotier fournissent nombre de produits utiles. Par une manipulation particulière, la fleur fournit abondamment un riche jus sucré, d'où l'on extrait soit du sucre, soit une liqueur alcoolique. A cet effet, un ouvrier que l'on nomme « le tireur de toddy » monte sur l'arbre, coupe la pointe de la spadix et fait une solide ligature autour du tronc. Il frappe alors l'arbre avec un bâton, ce qui paraît déterminer l'écoulement de la séve par la partie blessée. Cette opération est répétée plusieurs fois, une petite portion de la spadix étant coupée chaque fois. Le jus commence bientôt à couler par la partie coupée de la fleur, et est recueilli avec soin dans un petit vase de terre suspendu à la gaîne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une fleur bien portante peut donner chaque jour de 2 à 4 pintes anglaises de jus doux ou *suri*, et certaines fleurs continuent à donner du jus pendant quatre à cinq semaines. Il y a souvent deux gaînes sur un même arbre fournissant en même temps un jus qui exposé à l'air fermente de suite, et forme la liqueur enivrante appelée *toddy*. Par distillation, ce jus fournit environ 1/8 d'arrak, de même force que la bonne eau-de-vie. Les marins qui appartiennent à la flotte royale anglaise dans les mers de l'Inde, consomment cette liqueur au lieu de rhum. En faisant passer le jus à la fermentation acétique, on obtient un excellent vinaigre, qui est employé pour confire une grande variété de végétaux. Le suri constitue la levûre habituellement employée par les boulangers de Ceylan.

L'on extraire du sucre (*jageri* ou *saggari* dont nous avons fait *saggre*, sucre) du suri, au lieu d'alcool, il faut prendre grand soin d'éviter la fermentation. Le pot dans lequel le jus est reçu est vidé deux ou trois fois en 24 heures, bien nettoyé et séché chaque fois; une petite quantité de chaux est placée au fond. Le jus est filtré à travers le réseau qui forme la base de la feuille, puis il est bouilli doucement dans un vase de poterie jusqu'à ce qu'il commence à être légèrement coloré et visqueux. Pendant qu'il est encore chaud et demi-fluide, il est versé dans des moitiés d'écailles de noix de coco, et bientôt il devient solide. Il faut neuf litres de jus environ pour un kilog. de sucre. Le jagery contient à la fois du sucre cristallisable et de la mélasse, que l'on sépare par des opérations subséquentes. Le sucre brut est habituellement en petits pains de la forme des vaisseaux dans lesquels il a été refroidi. Il a la couleur chocolat foncé, et on voit, en le brisant, de nombreux cristaux brillants de sucre. Dans la langue malaise, le jagery est appelé *goola* ou *goora itan*, sucre noir ou douceur noire. Le jagery vaut environ 40 cent. le kilog.

Le jagery mêlé intimement avec de la chaux forme un excellent ciment qui résiste à l'humidité et aux grandes chaleurs. Il prend un très-beau poli. Les murs sont préparés pour recevoir cet enduit en les mouillant avec une infusion concentrée de gousses de cocos avant la maturité, et le même liquide est employé pour mêler et délayer les matériaux. A Madras et dans d'autres parties de l'Inde, les façades des maisons sont recouvertes avec ce ciment. Il est aussi employé pour couvrir le sol des chambres, recouvrir des colonnes, etc. Ce genre de dallage est quelquefois coloré, de manière à ressembler au plus beau marbre.

Quand la fleur n'a pas été détruite, les noix de coco lui succèdent, noix qui reçoivent un grand nombre d'emplois utiles. Les noix de coco fraîches forment un article de nourriture important pour les naturels. Tant que le fruit n'est pas mûr, l'écaille est garnie d'une matière pulpeuse pendant que le centre est rempli d'un liquide aqueux. Ce liquide est d'abord astringent et un peu acide; le fruit mûrissant, il devient plus doux et rappelle le petit-lait par la couleur et le goût. Quand on le boit avant que le soleil soit très-haut, il est plus froid que l'atmosphère et constitue une boisson agréable. Les indigènes, surtout quand ils voyagent, ont soin d'avoir quelques fruits non mûrs; ils en boivent l'eau et mangent la partie pulpeuse ou l'amande. Avec quelques repas de cette espèce, ils travaillent du matin au soir, sans prendre aucune autre espèce de nourriture. Chez les Malais, des singes sont dressés à aller cueillir sur les arbres les cocos dont on a besoin. Les naturels des côtes de quelques îles de la côte équinoxiale, se procurant ainsi bien aisément leur nourriture, sont peu sensibles aux motifs qui poussent ordinairement les hommes au travail. Ils sont plutôt palmivores que granivores, et l'homme qui possède douze cocotiers n'éprouve nul besoin de travailler.

L'enveloppe ou le péricarpe fibreux de la noix est employé pour polir les meubles et nettoyer les parquets, etc. Les oiseaux qui construisent des nids suspendus emploient communément cette substance. Mais son usage principal est de fabriquer la filasse dite *coir*, et dans ce but la noix ne doit pas être complétement mûre. Pour ôter l'enveloppe, on fixe en terre une barre de fer ou un morceau de bois dur, taillé en pointe; la noix est pressée sur celle-ci qui s'engage entre les fibres et sépare l'écorce de l'écaille. En opérant ainsi, un homme peut dépouiller mille noix par jour. Le *coir* est préparé en trempant l'écorce plusieurs mois dans l'eau, puis la battant sur une pierre avec une massue de bois. Sur la côte d'Amérique, quand il n'y a pas d'eau courante, le fabricant de *coir* fait des trous dans le sable et l'enterre avant de le battre. Il est ensuite froissé dans les mains, jusqu'à ce que les matières interstitielles soient complétement séparées de la portion fibreuse de l'écorce; on imite les opérations auxquelles donne lieu la préparation des filaments de chanvre dans nos contrées. L'écorce de quarante noix fournit environ 3 kil. de *coir*. La dernière opération est le filage des fibres en fils de caret, qui servent à fabriquer des cordages de toute grosseur. Le *coir* est remarquablement léger et très-convenable pour les cordages de gros diamètre. On dit que l'eau de mer leur est bonne plutôt que nuisible, et quand le cordage est bien préparé, il se plie facilement, est doux, solide et élastique, très-convenable pour les manœuvres courantes, mais, à cause de sa contractilité, moins propre aux manœuvres dormantes. Le docteur Roxburg a trouvé que la résistance comparative d'un cordage de chanvre et d'un cordage de *coir* est, quand ils sont gros, dans le rapport de 108 à 87, et quand ils sont petits, de 65 à 60. Le *coir* est très-employé dans l'Inde au lieu de crin, pour garnir les matelas, les coussins, les selles, etc. On s'en sert encore pour faire des balais et des brosses servant au lavage des maisons.

Le noyau du fruit mûr ressemble à une amande et est le *pain* de nombreuses populations. Par une légère pression, il donne un fluide blanc semblable au lait, et employé comme celui-ci avec le thé, etc. Un autre succédané du lait est obtenu en râpant l'amande et mêlant les râpures avec un peu du liquide contenu dans la noix et filtrant. Dans les Barbades, on fait des poudings avec des noix de coco, et pressée avec du miel et du sucre, l'amande est employée pour faire des conserves. La noix mûre est d'ailleurs employée à Ceylan pour fournir un liquide oléagineux usité pour préparer la sauce *curry*.

Mais le produit capital de l'amande est l'*huile* qui est extraite soit par décoction, soit par pression. Dans le premier procédé, l'amande fraîche est râpée finement, les râpures sont lavées à l'eau, qui devient laiteuse, et l'infusion fournit une huile limpide. Si l'émulsion est exposée une nuit, elle se sépare spontanément en une couche huileuse et une portion aqueuse; la partie huileuse est purifiée par une courte ébullition. Pour séparer l'huile, l'opérateur, qui est généralement une femme, place la paume de sa main gauche sur la surface du liquide; une portion de l'huile adhère à la main et passe dans un vase à l'aide d'une brosse maniée de la main droite. L'huile obtenue ainsi, n'a guère plus de couleur que l'eau, et quand elle a été nouvellement préparée, n'a aucune odeur désagréable, ce qui a lieu aussitôt qu'elle est restée quelques jours exposée à l'air. 32 noix fournissent 1k,50 d'huile pure. Pour préparer de grandes quantités d'huile, on a recours à la compression. On brise d'abord l'écaille avec un couteau courbe, opération effectuée généralement en un seul coup. La partie aqueuse de l'amande est enlevée, en l'exposant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelques jours au soleil, période pendant laquelle il se développe une odeur de rancidité. L'huile est extraite en écrasant l'amande dans un moulin grossier, mis en mouvement par de jeunes bœufs; à Colombo on emploie à cet effet la puissance de la vapeur. Le résidu, après l'extraction de l'huile, sert à la nourriture des cochons, des poules, etc.

De grandes quantités de cocos sont apportés en Angleterre des Indes occidentales. Les capitaines de navires les emploient au lieu de coins de bois pour remplir les intervalles entre les tonneaux et autres colis dont se compose leur cargaison. De la sorte, le fret des cocos ajoute peu de chose à leur coût original.

A Ceylan, cette huile sert pour l'éclairage. Les naturels la brûlent dans un fragment de l'écaille, à l'aide d'une mèche de coton. On en fait des torches à Siam en séchant la fiente d'éléphant, en la pénétrant d'huile de coco et entourant la masse avec de longues feuilles sèches, réunies par des liens de bambou. Les naturels se servent de l'huile pour oindre leurs corps. Elle est employée au lieu d'huile d'olive pour la préparation d'emplâtres et pour faire l'onguent mercuriel, le mercure se divisant, *s'éteignant*, dit-on, mieux dans cette huile que dans aucune autre huile végétale. Fondue avec de la résine, elle forme une substance employée pour goudronner les joints des bateaux et des navires, et pour protéger les bouchons des bouteilles de vin et de bière contre les déprédations des fourmis.

L'huile de coco est un article d'importation qui tend à se développer chaque jour, étant recherchée en Europe par l'industrie de la savonnerie et de la fabrication des produits stéariques. Elle donne un excellent savon, dont malheureusement l'emploi est restreint par suite de l'odeur persistante qu'il laisse aux mains.

En plaçant cette huile butyreuse blanc-jaunâtre dans des sacs en canevas très-serré, et la soumettant à la température la plus basse possible, 10 à 12° C., à l'action d'une presse hydraulique, on la sépare en stéarine solide, que l'on traite comme la stéarine ordinaire pour en faire des bougies, et en oléine que l'on purifie en la mélangeant avec 1 à 2 p. 100 d'acide sulfurique concentré, que l'on étend de six fois son poids d'eau, agitant bien le tout dans une sorte de baratte, transvasant et laissant déposer; l'acide se rassemble peu à peu au fond, tandis qu'il se forme à la surface une écume que l'on enlève soigneusement avec une écumoire; au bout de deux ou trois jours l'huile est tout à fait clarifiée, on décante, et on passe à travers une chausse en laine très-serrée; elle est alors propre à être employée comme huile de lampe.

Les bougies faites avec la stéarine obtenue par simple pression donnent une lumière très-brillante.

Les écailles des cocos sont travaillées pour chapelets, pour vases à boire et pour divers autres usages domestiques. Quelquefois les naturels les polissent et y sculptent des figures en relief. On les rencontre employées en Angleterre comme sucriers, et dans l'Amérique du Sud les dames boivent le thé placé dans des coupes de coco très-ornées, en l'aspirant avec un tube d'argent.

COKE. — Le coke, le résidu de la distillation de la houille, dont les produits volatils donnent le gaz d'éclairage, les goudrons, etc., est un combustible précieux. Nous verrons à l'article FER comment il est employé bien préférablement à la houille, à cause de l'absence de vapeurs sulfureuses; cette propriété ainsi que l'absence de fumée le rend également précieux dans les appareils de l'économie domestique, et assure un débouché au coke léger des usines à gaz, combustible excellent à cause de sa lente et par suite économique combustion, dans de simples réchauds d'une profondeur un peu grande. Aussi est-il employé davantage chaque jour dans les cuisines et dans les petits calorifères.

Le coke dur avait son principal débouché dans le service des chemins de fer, et on peut s'en faire une idée par ce fait, que la dépense en coke brûlé dans les locomotives formait du huitième au quart de la dépense d'exploitation totale de nos chemins de fer français.

L'emploi de la houille crue, à cause de l'économie qu'elle procure et malgré les inconvénients de la fumée, qu'atténue seulement, dans la pratique, l'emploi d'appareils fumivores plus ou moins parfaits, maniés avec plus ou moins d'attention, a diminué l'importance de la fabrication du coke dur, qui a toutefois encore un emploi plus que suffisant pour que sa fabrication constitue une importante industrie.

La qualité du coke employé dans les locomotives exerce sur la marche des trains une influence telle que, pour assurer la régularité du service, il est souvent préférable d'y mettre un prix très élevé; c'est ce que font quelques chemins de fer français en achetant des cokes anglais, bien qu'ils puissent se procurer des cokes de France et de Belgique à des prix bien inférieurs.

Il est également de la plus haute importance dans toutes les industries métallurgiques, et notamment dans la fabrication de la fonte et du fer, pour assurer la régularité de l'allure des appareils, l'uniformité et la pureté des produits, de se servir de combustibles très purs. L'importance de la question nous engage à compléter ce que nous avons dit à l'article CARBONISATION, par l'exposé des derniers perfectionnements récemment adoptés.

Depuis 1848, la fabrication du coke a fait de grands progrès dans le nord de la France et en Belgique, grâce aux études faites par la compagnie du chemin de fer du Nord et au mode qu'elle a adopté pour les réceptions des fournitures de coke qu'elle consomme, en fixant le prix du coke pour une teneur déterminée de cendres de 5 à 7 p. 100, suivant la veine de charbon d'où il provient, faisant une retenue d'un franc par chaque centième de cendres en sus, et accordant une gratification de cinquante centimes à un franc par chaque centième de cendres en dessous de la teneur indiquée dans le marché, et indiqué par un essai contradictoire fait sur un échantillon pris sur la livraison, de manière à en représenter autant que possible la teneur moyenne.

En Angleterre, la plupart des veines de houille servant à la fabrication présentent un toit et un mur très solides; elles ne renferment pas de lits de schistes friables intercalés; de sorte qu'on peut en abattre le charbon sans y mêler une quantité notable de matières étrangères, et obtenir, soit avec le fin, soit avec le tout-venant, un coke d'excellente qualité.

En France et en Belgique, au contraire, très fréquemment le toit ou le mur sont mauvais, ou bien le charbon renferme des veines de schistes tantôt plus dures, tantôt plus friables que la houille. Au sortir de la mine, le charbon est employé comme tel sous le nom de *tout-venant*, ou classé en trois parties au moyen de deux grilles ou claies placées en cascade, savoir; en *gailleterie*, *gaillette* ou gros morceaux, ayant plus de 0m,03 de côté; en *gailletin*, morceaux ayant 0m,008 à 0m,03 de côté; et en *fin* ou menu, ayant moins de 0m,008 de côté; il reste quelquefois dans la gailleterie des pierres ou morceaux de schistes que l'on enlève facilement; le gailletin renferme ordinairement beaucoup de petites pierres, dont une partie seulement peut être enlevée dans un triage en grand; enfin presque toutes les parties schisteuses, terreuses et friables se rassemblent dans le fin.

Le résultat d'un grand nombre d'essais faits par M. de Marsilly, ingénieur des mines, sur les veines de

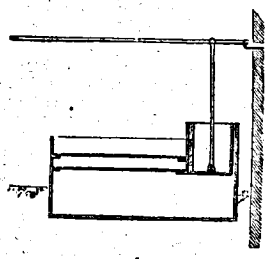
EFERUS - Recherche & Classification numérique

charbons à coke des bassins de Mons et de Valenciennes, a montré que les cokes fabriqués avec la gailleterie avaient constamment à très peu près la même qualité et ne tenaient que 6 à 7 p. 100 de cendres; que les cokes fabriqués avec du gailletin avaient une teneur en cendres de 7 à 11 p. 100, et n'étaient pas d'un bon emploi sur les locomotives; enfin que *tout-venant* donnait des cokes de qualité intermédiaire et constamment variables. Ces faits résultent de ce que les schistes qui altèrent la pureté de la houille sont plus friables qu'elle ne l'est elle-même, et se réduisent en poussière plus fine. Il est donc naturel qu'ils se concentrent dans le fin.

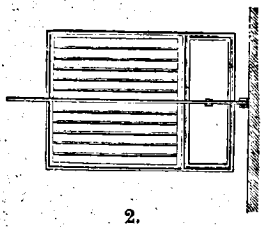
Il résulte de ce qui précède que, pour obtenir du coke de bonne qualité, il faut n'employer pour sa fabrication que de la houille triée et en morceaux assez gros dits *gailleterie*, ou bien purifier préalablement le *gailletin* et le *fin*, en en séparant, par une préparation mécanique spéciale, les impuretés qui s'y sont concentrées, de manière à les amener au degré de *propreté* que présente la *gaillette*. A cet effet, on les soumet à un lavage analogue à ceux employés dans la préparation mécanique des minerais métalliques.

Ce procédé de purification a été appliqué il y a déjà longtemps aux charbons pyriteux des Vosges, mais il n'a pris un certain développement que depuis quelques années. En 1840, M. Baetmadoux l'employait dans l'Allier, aux mines de Bert; postérieurement, il était introduit dans les bassins de Commentry, de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier, et enfin il est appliqué dans les bassins de Mons et de Valenciennes depuis la fin de 1848.

Le lavage se fait ordinairement sur un crible à piston de grande dimension, représenté en coupe et en plan (fig. 1 et 2), et consistant en une caisse rectan-



1.



2.

gulaire en bois, divisée en deux compartiments inégaux par une cloison *a a* qui ne descend pas jusqu'au fond de la caisse, en sorte qu'ils communiquent ensemble par le bas; dans le plus grand est une grille *b*, sur laquelle on jette le charbon; dans le plus petit se meut un piston en bois *c*; l'appareil est rempli d'eau jusqu'au dessus du charbon; le piston *b*, en descendant, lorsqu'on fait une pesée sur la bringuebale *d*, refoule l'eau sous la grille *b*; elle soulève les charbons et les schistes, et se retire quand le piston remonte. Les schistes étant plus denses que le charbon sont soulevés moins haut, à volume égal, que ne l'est celui-ci, et tombent plus vite au fond quand l'eau se retire. Il en résulte qu'après quelques coups de piston les schistes sont rassemblés sur la grille et le charbon purifié est à la partie supérieure; pour en faciliter l'enlèvement, on place, à $0^m,12$ environ au-dessus de la première grille *b*, une seconde grille *f f*, dont les barreaux ont $0^m,10$ d'espacement; par cette disposition, la pelle de l'ouvrier glisse sur les barreaux, ne prend que le charbon lavé et ne touche point aux schistes, qui s'accumulent entre les deux grilles. Quand ils viennent à s'élever jusqu'à la grille supérieure *f f*, on la retire pour les enlever; on la replace ensuite, et l'opération continue. De temps en temps on remet de l'eau dans la caisse au moyen de robinets convenablement disposés.

On donne généralement au compartiment des grilles $1^m,20$ à $1^m,30$ de largeur sur autant de hauteur et $1^m,50$ à 1^m60 de longueur; le compartiment du piston a même largeur et même hauteur; mais sa longueur, mesurée suivant l'axe longitudinal de l'appareil, n'a que $0^m,40$ à $0^m,50$, de sorte que l'aire du piston n'est pas tout à fait le tiers de celle des grilles.

On charge ordinairement à la fois, dans cet appareil, un hectolitre de charbon *tout-venant*, dont on a retiré les gros morceaux. Lorsque l'appareil de lavage est placé à portée de la fosse et des fours à coke, et que le charbon n'a qu'un faible transport à subir, trois ouvriers peuvent laver, en une journée de douze heures, 150 à 200 hectolitres de houille. La consommation en eau est d'environ six mètres cubes par douze heures, soit 30 à 40 p. 100 (environ un tiers) du charbon à laver, en volume.

La grille étant chargée, deux des ouvriers font mouvoir le piston, tandis que le troisième étale et remue le charbon sur la grille; quand l'opération est terminée, ce dernier charge le charbon lavé dans une brouette, que le premier ouvrier va décharger près des fours à coke, pendant que le second amène le tout-venant à laver.

Le nombre de coups de piston varie avec la proprété naturelle de la houille à laver; en moyenne, on ne donne pas moins de quinze à vingt coups de piston, et encore le lavage n'est jamais bien complet.

Les ouvriers sont payés à la tâche, à raison de trois à quatre centimes par hectolitre de houille à laver.

D'après M. de Marsilly, dans le bassin de Mons 100 hectolitres de tout-venant donnent en moyenne au lavage :

Houille lavée.	89 hectol.
Schistes stériles.	2 —
Déchet qui traverse la grille et renferme 75 à 80 p. 100 de charbon pur.	9 hectol.

Ce déchet est presque de nulle valeur et s'écoule difficilement sur place au prix de 20 cent. l'hectolitre.

Les frais de lavage varient de 10 à 20 cent., et sont en moyenne de 13 cent. par hectolitre de houille lavée (le prix de l'hectolitre de tout-venant sur la fosse est de 80 cent. environ). Or, la différence entre le prix de la gaillette et celui du tout-venant étant toujours supérieure à 50 cent., il est évident que le lavage du charbon, quand bien même il ne serait pas destiné à la fabrication du coke, présente sous le rapport économique et industriel de très grands avantages.

En résumé, le lavage tel qu'il vient d'être décrit enlève 4 à 5 p. 100 des matières pierreuses ou schisteuses qui se concentraient dans le coke, y laisse encore 1 à 2 p. 100 de matières étrangères susceptibles d'en être

EFEDUS - Recherche & Classification numérique

séparées par une préparation mécanique plus soignée, et augmente le prix de la tonne de coke d'environ 2 fr. 20 c.

L'utilité du lavage des charbons résulte encore, le plus souvent, de ce fait que leur prix sur les lieux de consommation se trouve sensiblement grevé par le transport des matières inertes qui l'obstruent, lesquelles, en moyenne, entrent dans une proportion de 5 ou 6 p. 100. Le charbon de Mons, qui au rivage de Jemmapes se vend 90 cent. le quintal, revient, rendu à Paris, chez le marchand en détail, à 2 fr. 85 c.; il y a donc 1 fr. 95 c. pour frais de transport et droits d'entrée, qui se rapportent aussi bien aux pierres dont le charbon est mélangé qu'au charbon lui-même. Si le lavage diminue de 6 p. 100 le rendement en cendres du charbon, 94 quintaux de charbon lavé équivaudront à 100 quintaux de charbon non lavé, ce qui donnera sur le transport une économie de 11 fr. 70 c., soit 24 c. par quintal; or, le lavage coûte à peine ce prix actuellement. Avec les perfectionnements dont il est susceptible, on pourra descendre au-dessous; ainsi, en lavant le charbon, non-seulement on aurait des produits de qualité supérieure, mais encore on les obtiendrait à meilleur marché.

Les grilles que l'on emploie généralement sont en osier ou en fil de fer, espacées de 0m,004 ou plus, ou enfin en tôles de fer, cuivre ou zinc, percées de trous de 0m,004 à 0m,004. Quand les trous ont plus de 4 à 5 millimètres de diamètre, le fer et le zinc sont préférables parce qu'ils coûtent moins cher; mais si l'on veut avoir des trous très fins, de 1 millimètre de diamètre par exemple, le cuivre vaut mieux, parce qu'il présente plus de solidité; on ne peut percer de trous aussi fins dans des tôles de fer qu'autant qu'elles sont très minces, tandis qu'on peut en percer dans des feuilles de cuivre assez épaisses pour résister aux pressions qu'elles doivent supporter dans les circonstances ordinaires du lavage.

Si l'on avait préalablement le soin avant de charger le tout-venant sur la grille du lavoir d'en séparer la poussière en le classant en même temps en plusieurs catégories de grosseurs, en opérant soit à sec, soit dans l'eau, au moyen de grilles appropriées ou d'appareils classificateurs analogues à ceux décrits à l'article MÉTALLURGIE, on pourrait employer pour le lavage du charbon au crible des grilles beaucoup plus fines sans craindre l'obstruction des mailles ou des trous par les poussières, la main-d'œuvre totale serait réduite d'environ un quart et le déchet d'un tiers, de sorte qu'en résumé le prix de la tonne de mille kilog. de coke ne serait augmenté par le lavage que de 1 fr. 50 c. au lieu de 2 fr. 20 c.

On lave aussi la houille, sur certains charbonnages, dans des appareils analogues aux caisses allemandes (voir MÉTALLURGIE) servant pour le débourbage des minerais de fer et de plomb, divisées en trois ou quatre compartiments par des cloisons. Ordinairement ces caisses ont de 0m,70 à 0m,80 de large, 0m,40 à 0m,60 de profondeur, et 1m,50 à 3 mètres de long. En tête du premier compartiment se trouve un conduit qui communique avec un réservoir rempli d'eau et qui se ferme à volonté au moyen d'une petite vanne. A l'autre extrémité de la caisse se trouve un autre conduit fermé par une cloison en osier tressé très serré, qui laisse passer l'eau et retient le charbon. La vanne étant suffisamment levée, un ouvrier jette la houille à la pelle, par petites quantités à la fois, à la tête de la caisse; le courant l'entraîne, les schistes et les morceaux de charbon les plus gros se déposent dans le premier compartiment; les pierres les plus légères arrivent jusque dans le second compartiment. Le troisième et le quatrième compartiment renferment le charbon purifié; c'est dans ce dernier que se dépose le charbon le plus fin; la poussière est entraînée par le courant à travers la claie en osier et se dépose dans de grands bassins placés à la suite.

Il y a deux ouvriers par lavoir : le premier règle l'introduction de l'eau, jette le charbon par pelletées et le remue de temps à autre pour faciliter l'entraînement des parties les moins lourdes; lorsque le second compartiment est trop plein, il ramène en avant dans le premier ce qui se trouve à la surface. Le second ouvrier enlève le charbon lavé des deux derniers compartiments et le dépose en tas près du lavoir. Des brouettes amènent la houille au lavoir et l'emmènent quand elle est lavée.

Quand les schistes sont accumulés en assez grande quantité dans les deux premiers compartiments, on les retire et on les soumet à un second lavage, soit dans les mêmes lavoirs, soit dans des cribles à piston analogues à ceux précédemment décrits.

Les caisses allemandes dépensent dix à douze parties d'eau pour une partie de charbon lavé, et les frais de main-d'œuvre paraissent être un peu plus élevés que pour les cribles à piston. Ces derniers sont donc en général préférables, surtout s'ils sont établis avec soin et si l'on sépare préalablement les poussières.

Dans certains cas, et lorsque la houille est très friable, la question du lavage des poussières peut acquérir beaucoup d'importance. On ne s'en est pas préoccupé jusqu'à ce jour; mais, vu le bas prix de ces poussières (20 centimes au plus par hectolitre), il est évident que l'on en viendra bientôt à leur faire subir une préparation mécanique plus soignée, soit sur des tables à secousses, soit au moyen des autres appareils employés sur les exploitations métalliques pour le lavage des schlamms, afin de retirer une partie des 60 ou 80 centièmes du charbon pur qu'elles renferment.

La matière première de la fabrication du coke, la gaillette ou la houille lavée étant obtenue comme il vient d'être dit, il ne nous reste plus qu'à parler de la carbonisation même, sur laquelle il nous semble nécessaire d'entrer dans des détails de procédés et de chiffres qui puissent servir de guides positifs pour l'établissement de fours à coke. L'expérience de chaque jour et les nombreuses constructions auxquelles ont donné lieu les exploitations si nombreuses de chemins de fer, permettent de fournir des renseignements certains à cet égard.

Nous rappellerons que les conditions essentielles des cokes que l'on fabrique aujourd'hui en quantités si considérables pour le service des chemins de fer, pour les fonderies et en général pour toutes les combustions à vent forcé, lorsqu'il s'agit d'obtenir des températures élevées, sont, avec la pureté dont nous venons de parler, la dureté et la densité. Ainsi le coke qui sort des cornues qui servent à la distillation de la houille dans l'ÉCLAIRAGE AU GAZ, tout à fait impropre pour le cas qui nous occupe, tandis que son boursouflement le rend très précieux pour les usages domestiques, en ce que sa combustion dans des appareils imparfaits, à faible tirage, devient possible. Si, au lieu de répandre la houille en couche mince, on empêche le boursouflement par une grande épaisseur, on aura des systèmes qui se rapprocheront des fours à coke, mais qui donneront des produits inférieurs, de telle sorte que l'on perd le bénéfice apparent qui résulterait de ce que le gaz serait recueilli.

Cela est si vrai que dans un système disposé au seul point de vue de la qualité du coke, mais qui se rapproche du précédent, dans les fours à coke à voûte cylindrique et à sole chauffée en dessous par la combustion des gaz produits par la distillation de la houille, l'expérience a démontré que, en général, le coke produit est moins propre au service des chemins de fer que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

celui obtenu dans les fours ordinaires dits *fours plats* à sole non chauffée en dessous, et que le rendement en coke était un peu plus faible ; aussi ne parlerons-nous que des fours plats.

Les *petits fours plats*, ou fours à une porte, coûtent, dans le Nord, de 500 à 800 francs à construire ; les grands fours plats de 1,500 à 2,000 francs.

Les petits fours à une porte employés dans le Nord ont une sole elliptique ayant ordinairement 3 mètres de longueur sur 2m,50 de largeur, et la voûte à la clef est à 1m,25 au-dessus de la sole.

Les charges varient avec la durée de la carbonisation ; elles sont de 27,30 ou 32 hectolitres de charbon, présentant une épaisseur sur la sole de 0m,46, 0m,51 ou 0m,54, suivant que l'opération doit durer vingt-quatre, trente-six ou quarante-huit heures

Les cokes de quarante-huit heures sont les meilleurs pour le service des chemins de fer ; ceux fabriqués en moins de temps sont moins durs, moins denses et donnent plus de déchet, c'est-à-dire une plus forte proportion de menu coke.

Les *grands fours plats* ont une sole ovale, présentant aux extrémités du grand axe deux portes par lesquelles s'effectuent le chargement et le déchargement. La sole a de 5m,50 à 6 mètres de long sur 2m,50 à 2m,75 de large, et la hauteur maximum de la voûte au-dessus de la sole est de 1m,25 à 1m,50 ; les charges sont de 40, 70, 80 ou 100 hectolitres, représentant une épaisseur variable de 0m,37 à 0m,80, suivant que la cuisson doit durer vingt-quatre, quarante-huit, soixante douze ou quatre-vingt-seize heures. Le coke le plus dense, le mieux cuit et celui qui fournit le moins de déchet est celui de quatre-vingt-seize heures.

En résumé, pour les houilles du bassin de Mons, la durée de la cuisson la plus convenable pour le coke destiné au service des chemins de fer est de quarante-huit heures, pour la fabrication dans les petits fours plats, et de quatre-vingt-seize heures dans les grands fours.

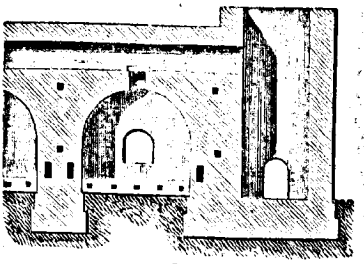
Dans les grands fours que nous venons de décrire, pour une cuisson en quatre-vingt-seize heures, les parois du four sont obscures lors du chargement. Quelquefois même on laisse le four se refroidir une heure ou deux quand il est vide ; la quantité considérable de houille qu'on y introduit le refroidit encore. La chaleur s'est emmagasinée dans la voûte ; la sole n'est point chauffée par dessous et est devenue presque froide. Peu à peu la masse s'échauffe de haut en bas par le rayonnement de la voûte et les gaz commencent à se dégager ; ce n'est qu'au bout d'une heure et demie environ qu'ils s'enflamment ; le dégagement des gaz a lieu lentement, par couches horizontales, en descendant de haut en bas ; quand il arrive aux couches inférieures, les couches supérieures sont en partie déjà transformées en coke ; elles ont pris de la cohésion, et les fissures qu'elles présentent livrent passage aux gaz sans qu'ils causent de boursouflement ; au bout de quarante-huit à soixante heures, le dégagement de gaz a cessé et on ferme hermétiquement toutes les issues. La température qui, vers le milieu de l'opération, s'était élevée grâce à une introduction d'air considérable, descend considérablement ; le coke est presque noir lorsqu'on le retire et il suffit de très peu d'eau pour l'éteindre.

Les frais de carbonisation s'élèvent en moyenne en Belgique, dans les grands fours ci-dessus, à 2 fr. 50 c. par tonne de coke.

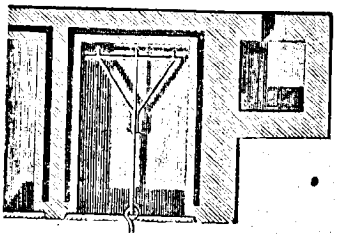
Les fours à coke qui alimentent le chemin de fer de Rouen sont de grands fours plats, dont la sole a 3m,50 de diamètre et la voûte 1m,10 de hauteur maximum au-dessus de la sole. On y charge de 4,000 a 4,500 kilogr. de houille, formant une épaisseur de 0m,55 à 0m,60, et la cuisson y dure soixante-neuf heures. Les frais de fabrication sont évalués à 2 fr. 60 c. par 1,000 kilogr. de coke. Le déchargement s'opère avec de grandes pelles en fer que l'on passe sous la sole au-dessous du coke, de manière à le soulever sans le briser.

Le seul reproche qu'on puisse faire à ces fours est d'exiger pour 2,000 fr. environ d'armatures par four, ce qui en porte le prix à environ 4,000 fr.

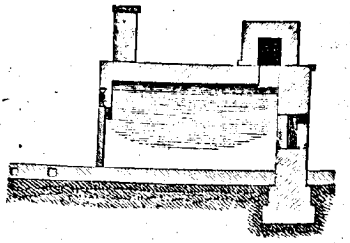
A Boulogne-sur-Mer enfin, on se sert de fours (fig. 3, 4 et 5) dont la construction est très simple : la sole est à peu près rectangulaire et a environ 2m de large sur 4m de long ; du fond à l'entrée elle présente un évasement de 12 à 15 centimètres destiné à faciliter le déchargement du coke. La voûte, en plein cintre, est parallèle au grand axe de la sole et à 1m,75 environ de hauteur à la clef. Le chargement de la houille se



3.



4.



5.

fait à la pelle par une petite porte de derrière, le déchargement par une grande ouverture placée sur le devant, qu'on bouche au moyen d'un petit mur en briques réfractaires, et qu'on démolit au moment de décharger.

Ces fours sont construits d'une manière très remarquable. Au-dessus des fondations s'élèvent deux voûtes en plein cintre sur lesquelles repose la sole. Des conduits pratiqués dans l'épaisseur des pieds-droits établissent une communication entre l'air extérieur de ces voûtes et de petites cheminées qui surmontent chaque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

four. Celles-ci restent bouchées pendant toute la durée de la cuisson; on les ouvre seulement à la fin, pour établir un courant d'air chaud et rapide qui enlève toutes les vapeurs qui se sont dégagées. Grâce à ces dispositions, le massif reste parfaitement sec, et, quoiqu'il n'y ait aucune armature et que tout soit en briques, ces fours ne présentent aucune fissure, aucune marque de détérioration soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, et n'ont eu besoin d'aucune réparation depuis qu'ils sont construits. Il est vrai qu'ils ont été construits avec des matériaux réfractaires de premier choix. Ces fours sont réunis par groupes de douze. Il y a une cheminée commune pour chaque groupe; un conduit général amène les flammes et les gaz à la cheminée; mais, au moyen d'un registre, on peut intercepter en totalité ou en partie toute communication entre chaque four et le conduit général.

Avant de procéder au chargement, on place au fond du four une forte traverse en fer à laquelle est fixée par le milieu une barre d'attache en fer qui vient se coucher sur le grand axe de la sole; on charge ensuite 4,000 à 4,500 kilogr. de houille et on ferme la porte de derrière; déjà la porte de devant est en partie reconstruite, sauf une grande ouverture laissée pour l'introduction de l'air, le carreau qui fermait l'issue de la voûte par où s'échappent les gaz est retiré tout à fait. Ce chargement, fait par deux ouvriers, dure une heure et demie; ce n'est qu'une ou deux heures après que les gaz commencent à s'allumer. Peu à peu on diminue la quantité d'air introduit en lutant successivement toutes les fentes et ouvertures; au bout de vingt-quatre heures, elles sont presque entièrement bouchées; elles sont entièrement lutées avant quarante-huit heures, ainsi que l'issue même qui servait à l'échappement des gaz; le coke se refroidit en continuant à durcir, et on défourne ordinairement après soixante-douze heures et quelquefois seulement après quatre-vingt-seize heures.

A cet effet, on démolit la partie supérieure de la porte de devant, ainsi que la porte de derrière, par laquelle on introduit un tuyau qui sert à verser une petite quantité d'eau sur les parties de coke les plus chaudes. On achève alors de démolir l'embrasure antérieure, et, à l'aide d'un treuil et d'une chaîne en fer que l'on accroche au T en fer dont nous avons parlé plus haut, on retire tout le coke d'une seule pièce en dehors du four en le faisant glisser sur une plate-forme inclinée.

La principale modification dont ces fours paraissent susceptibles serait de charger la houille par une ouverture ménagée à la voûte, comme cela a généralement lieu dans les fours cylindriques ordinaires, ce qui faciliterait cette opération et produirait une certaine économie de main-d'œuvre.

En résumé, une cuisson lente, jointe à une charge très forte, est le moyen d'obtenir du coke très dur et très dense, quelle que soit la nature de la houille; aussi tend-on tous les jours à augmenter les dimensions des fours et le poids de la charge : en Angleterre, on se sert actuellement, sur certains chemins de fer, de fours dont la sole a une surface de 9 mètres carrés et où la charge de 100 hectolitres, soit 8,000 kilogrammes de houille, forme une épaisseur de $1^{m},25$; la cuisson s'y fait en quatre-vingt-seize heures.

Réciproquement, avec les mêmes houilles et avec les mêmes fours, en faisant des charges moins fortes, donnant beaucoup d'air et élevant par suite la température de manière à effectuer la cuisson en quarante-huit, vingt-quatre et même douze heures, on obtient des cokes de plus en plus légers et friables, suivant l'usage auquel on les destine. P. DEBETTE.

COLCOTHAR, ROUGE D'ANGLETERRE (*angl.* colcothar, *all.* kolcothar). Oxyde rouge de fer, obtenu comme résidu de la distillation du sulfate de peroxyde de fer, dans les fabriques d'acide sulfurique fumant, ou préparé simplement par la calcination du sulfate de fer. Il est en poussière rouge-brunâtre sans éclat; on le réduit par porphyrisation et lévigation en poudre extrêmement ténue employée pour polir. En chauffant dans un creuset 100 parties de sulfate de fer et 42 de sel marin, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'acide hydrochlorique, et reprenant par l'eau bouillante pour dissoudre le sulfate de soude, on obtient un résidu d'oxyde de fer en paillettes très éclatantes d'un gris d'acier rougeâtre qui, réduit en poussière très ténue, donne une excellente poudre à polir.

Le rouge le plus fin s'obtient en précipitant une dissolution de sulfate de fer, ramené à l'état de sel de peroxyde par l'ébullition avec de l'acide nitrique, par une solution de carbonate de soude; le précipité est du sous-sulfate de peroxyde de fer, que l'on lave avec soin, que l'on dessèche, que l'on porphyrise, et que l'on chauffe ensuite au rouge dans une capsule plate jusqu'à ce qu'il prenne une teinte d'un rouge brun foncé.

Le rouge d'Angleterre sert à polir l'acier, l'or et les glaces; celui destiné à polir l'or doit être très faiblement calciné, afin de conserver un certain degré de mollesse, tandis que celui employé pour donner le poli à l'acier doit avoir été très fortement calciné, afin de posséder la plus grande dureté possible. Plus la calcination a été poussée loin, plus la dureté est grande, et plus aussi la couleur se fonce et tire sur le violet.

COLLE A BOUCHE. La colle à bouche est une matière gélatineuse, sèche, que l'on emploie à froid pour coller le papier sur les planches à dessiner, ou pour réunir plusieurs feuilles de papier les unes à la suite des autres. On la prépare en faisant macérer dans une petite quantité d'eau de la colle de Flandre de belle qualité, puis chauffant pour opérer la dissolution de la colle, ajoutant alors 10 p. 100 de son poids de sucre blanc en poudre, continuant à chauffer jusqu'à ce que la masse soit devenue transparente et homogène, retirant du feu et aromatisant avec de l'essence de citron lorsqu'elle est prête à se figer par le refroidissement, puis la coulant dans des moules de forme rectangulaire.

Lorsque la colle est entièrement figée et qu'elle a acquis la forme d'une gelée très-consistante, on la détache du moule, en renversant ce dernier sur un plan horizontal bien dressé, et on la découpe en feuilles de 6 millimètres au moins d'épaisseur, en allant de haut en bas, au moyen d'un fil de cuivre très mince, tendu horizontalement à la partie inférieure d'un assemblage de trois pièces de bois formant un cadre rectangulaire, dont le fil métallique occupe le quatrième côté; ce cadre se meut à coulisse dans une autre cadre n'ayant aussi que trois côtés assemblés d'une manière très solide. Le fil de cuivre glisse en dehors du deuxième cadre, et peut être amené à toutes les hauteurs désirables en levant ou abaissant le cadre qui le porte dans la coulisse du second cadre, qui doit être appuyé sur le plan horizontal; il suffit alors de l'y promener de manière à ce que le fil rencontre la colle, pour que celle-ci soit coupée régulièrement, si l'on a soin de tenir le premier cadre toujours vertical ou de l'incliner d'une quantité toujours égale.

Lorsque la colle est coupée en feuilles horizontales, on divise celles-ci en long et en travers pour obtenir des morceaux de grandeur convenable, que l'on fait ensuite sécher d'abord à l'air libre, puis dans une étuve, sur des plaques de fer-blanc légèrement amalgamées à la surface avec du mercure, pour que la colle ne puisse s'y attacher.

Pour employer la colle à bouche, on la ramollit dans la bouche en l'imprégnant d'une petite quantité de salive, puis on la pose entre les parties que l'on veut col-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ler, et que l'on en enduit en lui donnant un mouvement de va-et-vient; il suffit ensuite de frotter rapidement ces parties avec un corps dur et lisse, pour qu'elles adhèrent fortement; entre le frottoir et le papier que l'on veut coller, il faut placer une bande de papier commun pour empêcher que le premier ne soit lissé ou déchiré.

COLLE DE PATE (*angl.* paste, *all.* kleister). La colle de pâte se fait avec de l'eau et de la farine; celle de blé n'est employée que lorsqu'elle est avariée ou à très bas prix; on préfère celle de seigle qui coûte moins cher et ne se dessèche pas autant. Pour la préparer, on délaie d'abord la farine avec très peu d'eau, afin qu'il ne se forme pas de grumeaux, puis on en ajoute assez pour former une espèce de bouillie très claire; on chauffe alors en ayant soin d'agiter continuellement pour que la farine ne se dépose pas, et pour qu'elle ne puisse brûler; la masse s'épaissit quand elle a acquis une température de 70 à 75°, et l'opération est terminée après quelques bouillons. On réussit mieux à préparer cette colle quand on achève de délayer la farine avec de l'eau bouillante : elle s'épaissit rapidement, il faut la laisser moins longtemps sur le feu, on risque moins de la brûler, et elle coûte moins de main d'œuvre. Dans tous les cas, il y a avantage à la préparer au bain-marie.

La colle de pâte est employée pour le collage du papier de tenture, celui des affiches, pour le cartonnage, etc.; en général, elle ne peut servir que pour le papier.

COLLE DE POISSON, ICHTHYOCOLLE (*angl.* isinglass, *all.* hausenblase). La colle de poisson, telle qu'on la trouve dans le commerce, se compose de membranes jaunâtres demi-transparentes, très peu colorées, et roulées sur elles-mêmes en forme de fuseaux allongés, n'ayant tout au plus qu'un centimètre de diamètre vers le milieu de leur longueur qui est de 5 à 8 centim.; cette espèce de cordon est pliée circulairement, et chacune de ses extrémités est repliée en sens contraire de la grande courbure et dans le même plan, disposition qui rappelle la forme d'une lyre.

La colle de poisson de bonne qualité est tout à fait inaltérable à l'air sec; elle a une saveur fade, à peine sensible; elle se gonfle et se ramollit dans l'eau froide; si on porte ensuite l'eau à l'ébullition, elle se dissout, et par le refroidissement on obtient une gelée incolore demi-transparente, soluble dans les acides faibles, mais qui est précipitée de cette dissolution par les alcalis. C'est de la gélatine presque pure, et si elle n'est pas cassante comme la colle-forte, cela tient à sa texture fibreuse et élastique qui n'a pas été détruite par l'action de la chaleur; elle est d'autant plus estimée que sa couleur est plus pâle.

La colle de poisson se prépare avec les vessies natatoires de quelques espèces d'esturgeons, et particulièrement de l'*accipenser huso* que l'on pêche sur les côtes de la mer Caspienne et dans tous les fleuves qui s'y jettent. Dans ces pays, et particulièrement à Astracan, on trempe d'abord ces vessies dans de l'eau, on enlève soigneusement la membrane extérieure et le sang qui y est attaché, on les met dans des sacs en chanvre que l'on comprime, on les ramollit entre les mains et on les roule en cordons auxquels on donne ensuite la forme d'une lyre. Enfin on les étend au soleil, sur des ficelles, pour les faire sécher, et on les blanchit quelquefois en les soufrant.

Dans quelques districts de la Moldavie, on emploie à la fabrication de la colle de poisson non seulement les vessies natatoires, mais encore la peau, l'estomac et les intestins des esturgeons, que l'on coupe en petits morceaux que l'on lave à l'eau froide, et que l'on fait ensuite bouillir avec de l'eau jusqu'à dissolution presque complète; par le refroidissement, on obtient une gelée consistante que l'on divise en feuilles minces que l'on fait ensuite sécher, et que l'on trouve dans le commerce soit à cet état, soit roulées en lyre; dans tous les cas, le produit ainsi obtenu a une valeur commerciale très inférieure à celle de la véritable colle de poisson préparée comme nous l'avons dit.

Les vessies natatoires de la morue et de plusieurs autres poissons servent aussi à préparer une colle de poisson factice que l'on trouve dans le commerce, mais qui est généralement très peu soluble dans l'eau bouillante, et par conséquent de très mauvaise qualité.

Les propriétés de la colle de poisson sont les mêmes que celles de la gélatine pure et son emploi est très répandu; on s'en sert pour le collage des vins, des liqueurs; sa texture organique permet de l'employer pour le collage de la bière, où il ne se trouve pas de tannin pour précipiter la gélatine et où les colles de gélatine ordinaires ne peuvent la remplacer. 4 parties de colle de poisson dissoutes dans 100 p. d'eau donnent une gelée claire très employée dans l'art culinaire; mêlée avec une dissolution de gomme, elle sert à l'apprêt des rubans et d'autres soieries. Les fabricants de perles artificielles l'emploient pour fixer la dissolution d'écailles d'ablettes dans l'ammoniaque, dans les globules de verre creux qui constituent ces perles. Les Turcs fixent leurs pierres précieuses au moyen d'une dissolution alcoolique d'un mélange de colle de poisson et de gomme ammoniaque, combinaison qu'ils emploient aussi pour raccommoder la porcelaine et les verres cassés.

La colle de poisson sert à la fabrication du TAFFETAS D'ANGLETERRE; on l'emploie pour fabriquer des vitres de navires que l'on recouvre d'un vernis transparent et inaltérable à l'air humide, et qui sont d'un très bon usage.

COLLE-FORTE, COLLE DE GÉLATINE (*angl.* glue, *all.* leim). Depuis un temps immémorial, on prépare la colle-forte avec des rognures de peaux et des matières animales molles. M. Darcet a fait voir que les os convenablement traités peuvent donner de la colle-forte qui ne le cède en rien à la colle obtenue par les anciens procédés qui sont le plus généralement employés. Mais le procédé qui consiste à traiter les os par l'acide hydrochlorique peut seul donner de pareils résultats; quant à l'autre, où les os sont soumis en vases clos à l'action de l'eau ou de la vapeur à haute pression, la haute température dont on fait usage pour l'extraction de la gélatine, altère nécessairement celle-ci; le produit obtenu n'a pas la même qualité collante et est toujours plus ou moins soluble dans l'eau.

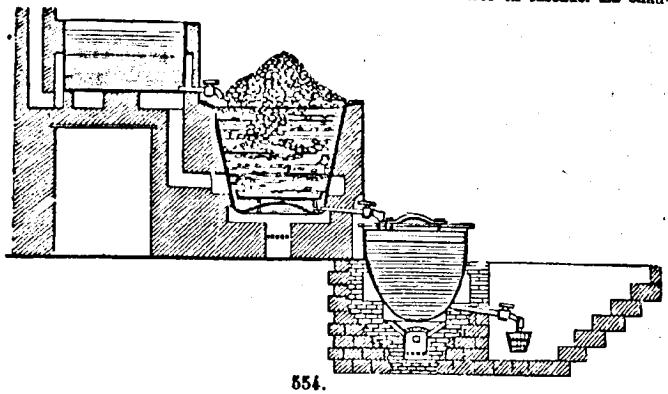
Les matières animales molles qui peuvent donner de la colle-forte sont très nombreuses; les plus employés sont : les débris et rognures de peaux non tannées, les tendons, les intestins, et même les muscles de tous les animaux; en un mot toutes les subsistances animales qui donnent de la gélatine par une simple ébullition avec de l'eau.

Voici, d'après le savant M. *Dumas*, le rendement en colle fabriquée de quelques-unes de ces *colles-matières* :

Débris de peaux provenant de la mégisserie, et dépouillées de graisses et de parties charnues. . . .	0,44 à 0,46
Épiderme des peaux provenant de la préparation de la buffleterie. .	0,30 environ
Rognures des cuirs de l'Amérique du Sud.	0,56 à 0,60
Gros tendons de bœufs, avec portions de muscles, etc.	0,35
Rognures de parcheminerie. . .	0,62
Rognures de tannerie.	0,38 à 0,42
Têtes de veaux provenant des tanneries.	0,44 à 0,48
Peaux de lièvre et de lapin épilées.	0,54

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Toutes les fois que les colles-matières fraîches ne sont pas employées de suite à la préparation de la colle-forte; il faut, pour en prévenir l'altération, les faire macérer pendant deux à trois semaines dans un lait de chaux que l'on renouvelle plusieurs fois; puis les égoutter et les faire sécher en plein air, en les retournant plusieurs fois par jour à l'aide d'une fourche; et les emballant enfin pour les expédier aux fabricants de colle. L'eau de chaux sert à dissoudre le sang et quelques parties molles; elle attaque l'épiderme et prédispose le tissu à se transformer plus rapidement en gélatine.



554.

Avant d'employer ces colles-matières, on les immerge de nouveau dans un lait de chaux faible, qui les débarrasse encore de quelques matières animales solubles. Lorsqu'elles sont bien gonflées et pénétrées, on les rince à l'eau, à plusieurs reprises, pour leur enlever l'excès de chaux, puis on les étend sur des dalles en pierre, ou mieux sur des claies, et on les retourne de temps en temps, afin de carbonater la chaux libre qui pourrait altérer la gélatine au moment de l'extraction.

Les colles-matières ainsi préparées sont portées immédiatement dans la chaudière d'extraction; celle-ci est en cuivre ou en fer; elle est placée directement au-dessus du foyer, et son fond, bombé intérieurement pour résister à l'action du feu, et muni à sa partie la plus déclive, d'un robinet qui sert à soutirer la solution gélatineuse. Elle est munie d'un double fond percé de trous et facile à enlever, qui sert à empêcher le contact immédiat des matières avec le fond de la chaudière.

Les colles-matières étant portées dans la chaudière, qu'on remplit comble, on y introduit de l'eau jusqu'aux 2/3 de sa hauteur; si l'eau est déjà chaude, l'opération n'en marche que plus vite et il en résulte une économie sur le combustible; aussi, utilise-t-on, dans quelques usines, les produits de la combustion, qui s'échappent des carneaux de la chaudière, pour chauffer à flammes perdues une seconde chaudière remplie d'eau et assez élevée, pour qu'on puisse la vider entièrement dans la première. Tout étant disposé, on allume le feu sous la chaudière d'extraction. Dès que l'ébullition commence à se faire sentir, les matières s'affaissent peu à peu, le liquide augmente de volume et finit par les submerger entièrement. Il convient alors de renouveler les surfaces de temps en temps en agitant les matières avec une spatule en bois. On soutire même par le robinet du fond de la chaudière une partie de la dissolution qu'on reverse sur la surface. On termine ensuite l'opération soit en fractionnant les produits de la dissolution de manière à ce qu'ils restent le moins longtemps possible sur le feu, soit en ajoutant, en une seule fois, toute la quantité d'eau nécessaire pour dissoudre la gélatine, et prolongeant la cuite des matières jusqu'à ce qu'elles soient presque entièrement fondues. Le premier procédé donne les produits les plus tenaces, et de la meilleure qualité, comme la colle de Flandre; l'autre donne des produits d'assez belle apparence, telle que celle de Givet, et les colles façon anglaise, mais de moindre qualité, parce que la gélatine qui a été extraite dans les premières heures de l'opération reste exposée jusqu'à la fin, à la température de l'ébullition et s'altère inévitablement.

Lorsqu'on opère par la méthode des produits fractionnés, on emploie l'appareil représenté (fig. 554), qui se compose de trois chaudières en cascade. La chaudière inférieure est un bain-marie servant à la clarification de la colle, la chaudière intermédiaire, également chauffée par un foyer particulier, sert à l'extraction de la colle; enfin, la chaudière supérieure chauffée, à flammes perdues, sert à échauffer l'eau d'alimentation. Dès que la dissolution gélatineuse est assez concentrée pour se prendre en gelée consistante par le refroidissement, ce dont on s'assure par un essai, on arrête le feu, on laisse reposer pendant 1/4 d'heure, puis on soutire doucement par le robinet du fond dans la chaudière inférieure chauffée d'avance au bain-marie à 100°, où on laisse la colle déposer pendant 4 à 5 heures, avant de la soutirer pour la mouler. Pendant que le dépôt se fait on remplit de nouveau la chaudière d'extraction d'eau chaude contenue dans la chaudière supérieure, et on continue l'ébullition jusqu'à ce que l'on ait obtenu une seconde solution gélatineuse assez concentrée pour se figer par refroidissement. Enfin, on répète une troisième fois l'opération; mais comme le liquide que l'on obtient n'est plus assez dense pour se prendre en masse, on le concentre par l'addition des rognures de colle d'une opération précédente. Lorsque cela ne suffit pas, on évapore vivement la solution. Quant aux résidus, on les retire immédiatement de la chaudière, on les exprime encore chauds et l'on réunit le liquide qui s'en écoule à celui de la troisième cuite. Enfin, lorsque cette dernière solution est assez concentrée, on la clarifie en y ajoutant peu à peu 1/500 d'alun en poudre en agitant vivement, et laissant déposer pendant 4 à 5 heures avant de soutirer.

Les trois cuites successives donnent évidemment des colles de qualités différentes; cependant, les colles des deux dernières cuites sont encore supérieures à celles de Givet. Pour préparer les colles de Givet, on ajoute de suite dans la chaudière d'extraction une quantité d'eau suffisante, pour que la solution de la presque totalité de la gélatine contenue dans la colle-matière atteigne, après la cuisson, un degré de concentration suffisant pour se prendre en masse par le refroidissement. On écume la matière graisseuse mêlée de chaux, qui se sépare pendant l'ébullition; on soutire avec précaution le liquide dans la chaudière inférieure, aussitôt que la cuisson est terminée. On clarifie la solution, en y ajoutant 1/650 de son poids d'alun en poudre, on maintient pendant une heure à l'ébullition, puis on retire le feu, on couvre la chaudière et on laisse reposer le liquide chaud pendant quelques heures, avant de le soutirer dans les moules.

Les moules dans lesquels on reçoit la solution gélatineuse sont ordinairement en bois de sapin, rectangulaires, et ont une forme légèrement pyramidale pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'on puisse facilement en détacher le contenu. Ces moules doivent être maintenus très propres, afin de ne pas altérer la qualité de la colle. On les remplit à ras, à l'aide d'un large entonnoir à fond plat dans l'intérieur duquel on met un petit tamis pour réunir les impuretés de la colle que l'ouvrier verse avec un seau. Les moules sont placés sur un dallage en pierre légèrement incliné vers une cuvette, de manière à pouvoir recueillir la gélatine tombée à côté. L'atelier dans lequel ils sont placés doit être maintenu à une température aussi basse que possible, afin que la colle se prenne plus rapidement en gelée, ce qui a ordinairement lieu au bout de 12 à 18 heures ; on monte ensuite les moules dans les étages supérieurs, disposés en séchoirs à air libre; on détache les pains de gélatine des moules au moyen d'une grande lame de couteau trempée dans l'eau, et on les renverse sur une table mouillée d'avance avec une éponge. On divise alors les pains en feuilles horizontales au moyen d'un fil de cuivre tendu sur un châssis, et guidé par des règles entaillées à des distances égales à l'épaisseur d'une feuille de colle; on divise ensuite de la même manière ces premières feuilles en long et en travers, selon les dimensions en surfaces que l'on veut donner aux feuilles de colle. On dispose ensuite ces feuilles sur des filets tendus sur des châssis que l'on place les uns au-dessus des autres à 8 ou 10 centimètres de distance, en les faisant glisser sur des tasseaux en bois, fixés sur des montants verticaux. Pour rendre l'action de l'air plus égale, on a soin de retourner la colle 2 ou 3 fois par jour.

Là dessiccation de la colle-forte est une des parties les plus délicates de la fabrication. La température extérieure, l'état de l'atmosphère influent singulièrement sur le produit, surtout pendant les premiers jours. Une température trop élevée ramollit la colle qui passe à travers les mailles, et adhère si fortement aux cordes qu'on est obligé de tremper les filets dans l'eau bouillante pour la retirer. La gelée en condensant l'eau interposée fait fendiller les feuilles, et, dans ce cas, on est presque toujours obligé de refondre la colle. Un orage, l'état électrique de l'atmosphère, suffisent pour faire tourner toute une portée de colle, même celle qui se trouve depuis 2 à 3 jours sur les filets, auquel cas, il y a une perte énorme. Un brouillard, même très léger, si on le laisse s'introduire dans le séchoir, pique la colle, lui ôte de sa valeur, et oblige même souvent à la refondre en totalité ou en partie. Un vent sec et chaud dessèche trop rapidement la colle, et la fait fendiller partout, par suite du retrait qu'elle éprouve. Il faut donc, autant que possible, éviter de travailler par les grandes chaleurs et pendant les grands froids : les saisons les plus favorables sont le printemps et l'automne.

En sortant du séchoir à air libre, la colle conserve encore trop de souplesse pour être livrée au commerce; on achève sa dessiccation dans une étuve. Enfin, on la lustre en plongeant une à une les feuilles sèches dans un baquet plein d'eau chaude, les frottant vivement avec une brosse humide, et les plaçant au fur et à mesure sur une claie qui est portée à l'étuve; quelques heures suffisent pour chasser l'eau dont les tablettes ont été mouillées, et on peut alors les mettre en tonneaux et les expédier au loin.

Lorsqu'on veut préparer la colle au moyen des os, on peut employer l'action des acides ou celle de la vapeur, comme nous le décrirons plus en détail à l'article GÉLATINE.

Le premier procédé employé pour la première fois en grand, en 1812, par M. d'Arcet, consiste à traiter les os par de l'acide hydro-chlorique très étendu, qui dissout complétement les sels calcaires (carbonate et phosphate de chaux) qu'ils renferment, et laisse pour résidu le tissu cellulaire qui, tout en conservant la forme primitive de l'os, est devenu transparent et flexible, et que l'on lave avec soin à l'eau froide pour enlever les dernières traces d'acide; pour plus de sûreté, on les fait même ordinairement macérer pendant plusieurs jours dans un lait de chaux ou dans une faible solution de carbonate de soude. Les os doivent être préalablement dégraissés en les coupant par morceaux et les faisant bouillir avec de l'eau, enlevant la graisse qui se rassemble à la surface, puis les faisant égoutter. Avant de préparer de la colle-forte avec les os ramollis, il est nécessaire de les faire sécher complétement et de les emmagasiner jusqu'à l'époque la plus convenable à cette fabrication; sans cela les produits obtenus seraient de moindre qualité, ce qui paraît tenir à la nécessité de laisser à la chaux, que retiennent toujours les os ramollis, le temps de se carbonater. A Bouxvilliers, pour convertir en colle-forte les matières desséchées, on les fait bouillir dans des chaudières en cuivre ou mieux en tôle et même en fonte, à l'air libre, à trois reprises différentes, pour que l'épuisement soit plus complet et la dissolution plus concentrée, par la méthode des produits fractionnés que nous avons déjà décrite. La colle-forte ainsi obtenue est d'excellente qualité, et est même supérieure aux colles extraites des peaux d'animaux. On compte en grand qu'on dépense un poids d'acide hydro-chlorique égal à celui des os, et que l'on obtient 22 à 23 p. 100 de colle lorsqu'on a traité des cornillons ou des os de la tête et du crâne, et 14 à 15 p. 100 pour les autres os. Dans les mêmes circonstances le procédé à la vapeur à haute pression qui nous reste à décrire, ne donne que 10 à 15 p. 100 de colle-forte d'assez mauvaise qualité; malgré cette grande différence, il est le plus généralement employé, ce qui tient d'une part à ce que les fabricants de soude peuvent seuls avoir l'acide hydro-chlorique à bas prix, et de l'autre à ce que les os que l'on obtient en résidu par le dernier procédé peuvent encore servir à la préparation du noir animal.

Ce procédé, inventé par M. d'Arcet en 1817, consiste à exposer à l'action de la vapeur d'eau à la température maximum de 106°, produite dans un générateur isolé, les os concassés et renfermés dans un cylindre en toile métallique placé dans l'intérieur d'un cylindre en fonte hermétiquement fermé, dans lequel on règle l'arrivée de la vapeur du générateur au moyen d'un robinet qui permet de modérer la température et de faire varier à volonté la durée de l'opération. La vapeur que l'on fait arriver dans les cylindres pénètre les os, expulse la graisse, puis détermine la transformation du tissu cellulaire en gélatine. Celle-ci se dissout immédiatement dans la vapeur condensée et s'écoule au fur et à mesure dans la partie inférieure du cylindre, d'où on la soutire par un robinet. On évapore ensuite rapidement à une température aussi basse que possible, dans des chaudières plates, la solution gélatineuse, jusqu'à ce qu'elle ait atteint un degré de concentration suffisant pour le prendre en masse consistante, on la laisse déposer et on la moule comme à l'ordinaire. Voy. GÉLATINE.

Les colles bien fabriquées sont peu ou point colorées, assez claires, à cassure conchoïde, les bords des feuilles sont un peu ondulés; plongées dans l'eau froide elles se gonflent beaucoup sans se dissoudre; on ne peut guère les obtenir que par la méthode des produits fractionnés. Celles obtenues par l'autre méthode sont toujours moins tenaces et plus ou moins solubles dans l'eau. Elles sont quelquefois si mal fabriquées, qu'elles attirent fortement l'humidité de l'air. La colle dite de Paris ou des chapeliers en est un exemple frappant.

D'après M. Dumas, on peut résumer le classement des colles du commerce de la manière suivante, qui rattache étroitement leurs qualités à leurs provenances :

1° *Colles-fortes obtenues au moyen des os traités par les acides.* Ce sont les meilleures colles; la grenetine et les colles de Rouen et de Bouxvillers en donnent une idée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COLORATION DES BOIS.

2° *Colles-fortes provenant de peaux d'animaux sauvages.* Elles sont très bonnes et renferment les bonnes colles de Hollande, de Flandre, la colle anglaise, la colle de Givet, etc.

3° *Colles-fortes provenant de peaux d'animaux domestiques.* Elles sont très faibles; les colles d'Alsace, d'Allemagne et de Paris appartiennent à cette catégorie.

4° *Colles-fortes obtenues des os traités par la vapeur.* Ce sont les plus mauvaises, et elles se dissolvent toutes plus ou moins dans l'eau froide.

Les emplois de la colle-forte sont trop connus pour qu'il nous soit nécessaire de nous y arrêter ici; les qualités supérieures remplacent avec économie la colle de poisson dans la plupart de ses applications.

COLORATION ET CONSERVATION DES BOIS. Les bois se conservent très longtemps lorsqu'ils ont été abattus dans la saison favorable, lorsque après l'abattage ils ont été mis dans des lieux ni trop secs ni trop humides, et dans des conditions telles, que l'évaporation de la sève et de l'eau qu'ils contiennent a pu se faire lentement et entièrement; enfin, lorsque, après avoir été séchés, ils sont gardés avant comme après leur mise en œuvre dans des endroits où ils ne se trouvent exposés ni à une trop grande sécheresse ni à l'humidité. Nous allons examiner l'une après l'autre chacune de ces propositions.

L'abattage. Plus un bois sera près de l'époque où il aura acquis toute la plénitude de sa force, et passé laquelle il commence à dépérir, plus il sera fort et de garde s'il est abattu dans ce moment. Nous ne saurions déterminer pour chaque essence de bois quelle est cette époque, il y a tant d'espèces diverses! et, dans chaque espèce, le climat, le sol, la position, ont des influences si marquées! Nous devons donc renoncer à entrer dans une exploration des individus et des détails, qui ne pourrait être convenablement placée que dans une monographie. Nous dirons seulement que, en général, l'âge des arbres peut être estimé *extérieurement* par leur simple inspection. Si l'écorce est saine et égale dans toutes ses parties, si les feuilles venues de bonne heure au printemps, ne tombent que très tard en automne, si ces feuilles sont abondantes jusque dans les rameaux les plus élevés, si les branches qui sortent du tronc sont rondes, lisses et droites, on peut conjecturer que l'arbre est dans toute sa force, en ayant égard toutefois à la grosseur du tronc, à l'âge de l'arbre, et aux enseignements de l'expérience en cette matière; car, l'âge d'un orme, n'est pas l'âge d'un chêne; celui d'un chêne, n'est pas l'âge d'un peuplier, et ainsi de suite. L'inspection de l'*intérieur* peut aussi, et plus sûrement peut-être, servir de guide pour l'appréciation du moment opportun de l'abattage; mais il ne faut pas qu'il s'agisse seulement d'un individu, car une fois mis à bas, il serait trop tard pour s'instruire, il faut qu'on ait à s'assurer si une coupe entière peut être faite. Dans ce cas on expérimente sur un sujet, pour s'assurer de l'état des autres. Quand un arbre est abattu et scié transversalement près de la souche, on examine le grain du bois: s'il a peu d'aubier, si le cœur est sain, si les couches annuelles concentriques sont bien visibles et si le tissu ligneux est bien égal, on peut conclure que l'arbre est arrivé à toute sa croissance, et on le peut d'autant mieux, que, dans nos climats, les couches concentriques sont un indice à peu près assuré de l'âge de l'arbre; or en comptant ces couches on aura le nombre des années de l'individu, et en s'en rapportant à l'âge que l'expérience accorde à chaque espèce, on aura une connaissance suffisamment approximative.

En comptant les couches concentriques inscrites dans le cœur de l'arbre, il ne faut faire cas que de celles qui sont bien distancées entre elles. Souvent, lorsque la sève d'automne a été abondante, il s'est formé une couche médullaire étroite, quelquefois partielle et presque adhérente à la ligne principale, dans le calcul les deux couches ne doivent compter que pour une année, et comme quelques couches sont toujours perdues près de l'écorce dans l'extrême aubier, on peut toujours ajouter quatre ou cinq ans au nombre donné par les couches. Comme une, deux ou trois années de plus ou de moins importent peu dans ce cas, on aura donc toujours une connaissance assez complète de l'âge de l'arbre.

L'abattage doit-il être fait en hiver, en été, en automne ou au printemps? Chaque pays a son opinion; chaque siècle a eu la sienne. La science ne nous dit rien à cet égard; tant de livres ont été faits pour ou contre telle ou telle opinion, que nous estimons qu'il est impossible de rien déterminer d'absolu, de général, en cette importante partie, et que le plus sûr est peut-être de consulter les anciens de la localité, les ouvriers, les bûcherons. Les avis varieront sans doute avec les localités; mais cette variation dans les idées ne devra pas toujours être considérée comme une preuve de l'erreur, mais comme une preuve que les localités, les climats différents, peuvent apporter des modifications dans une même essence de bois. Sans faire part à nos lecteurs de toutes les observations physiologiques qui ont été faites à ce sujet, nous leur dirons seulement que l'opinion de l'abattage en hiver est celle qui a réuni le plus grand nombre d'approbateurs.

Le bois écorcé un an avant l'abattage devient très dur; son aubier acquiert les mêmes propriétés que le bois fait, ce qui augmente d'un sixième environ, pour certaines essences, le produit réel de l'arbre. On remarque aussi que ce bois écorcé, qu'on nomme *pelard* dans les ventes, est plus lourd, plus dur, que le bois sous écorce, et qu'il est moins sujet à être attaqué par les vers; mais nous devons dire qu'il est bien plus sujet à se fendiller, et qu'il se gerce quelquefois à ce point qu'il n'est plus bon qu'au chauffage.

Nous avons personnellement essayé une autre méthode; nous avons étêté plusieurs arbres à l'endroit de la bifurcation des premières branches, et laissé encore un an ce bois sur pied, et non privé de son écorce; nous avons réussi à avoir d'excellent bois très compacte, très dur, peu ou point sujet à la fente: mais ceci n'est qu'une expérience individuelle, faite seulement sur des arbres fruitiers, et non encore sanctionnée par une longue expérience. Cependant, le succès obtenu nous engage à la consigner ici, afin qu'entrée dans le domaine de l'exploitation publique, elle puisse être répétée, suivie, étendue.

On fera bien, toujours après avoir abattu des arbres, de les ébrancher, de couper de très près le chevelu des racines, et dans cet état de les immerger dans un courant d'eau douce; mais de telle sorte que l'arbre ne soit plongé que jusqu'à la moitié ou même au tiers de la hauteur du tronc, et placé dans une position verticale, ou inclinée sur le bord du talus du fossé. Si les arbres ont été abattus aux approches du printemps, on verra quelques pousses de feuilles lorsque la chaleur de l'atmosphère se fera sentir. Ces feuilles, et même les brindelles qui pourraient croître, seraient un indice qu'on aurait bien opéré. Cette végétation limitée prouve que l'arbre pompe l'eau par les racines coupées, et qu'il se fait à l'intérieur un travail de végétation. Si on laisse les arbres dans cet état pendant l'été, ils ne se fendront pas. Et à l'automne, lorsqu'on les retirera de l'eau et qu'on les abritera contre les rayons du soleil et les atteintes de la pluie, ils sécheront lentement; une grande partie de la sève, qui est essentiellement fermentescible, ce qui est toujours cause de l'échauffement des bois et de la dégénérescence hâtive qui s'y fait remarquer, aura été chassée par l'eau aspirée par les racines, une autre partie se sera dispersée, car la sève est soluble dans l'eau froide. Par ce moyen, d'une exécution très facile, les bois seront d'un bon usage, seront bien moins sujets

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à la fente et à la vermoulure ; les gros vers l'attaqueront moins, et ils pourront être conservés jusqu'au printemps suivant, époque où il sera convenable de les écorcer, par les motifs qui seront exprimés plus bas.

Il faut faire bien attention que ce procédé que nous indiquons, et dont l'idée nous a été donnée par les belles expériances de M. *Boucherie*, dont nous dirons quelques mots plus bas, diffère entièrement de l'immersion totale qu'on avait l'habitude de faire dans certaines contrées dans les courants d'eau douce. Les bois ainsi plongés étaient envahis de tous côtés par l'eau qui tendait à les pénétrer par les deux bouts, et comme l'effort était le même de chaque côté, l'eau ne pouvait s'introduire dans les pores, la sève s'y trouvait emprisonnée, elle s'y coagulait, s'y corrompait, et occasionnait la corruption du bois, au lieu que dans la position que nous indiquons, la majeure partie de l'arbre étant hors de l'eau, la capillarité du bois et l'absorption de l'air font monter l'eau, qui, quelquefois, lorsqu'il s'agit de bois poreux et lorsque les arbres sont inclinés entre 30 et 40 degrés, exsude par la section des branches.

Séchage. Dès que l'arbre est couché par terre, il convient de l'exhausser au-dessus du sol, quelle que soit la nature de ce sol, en le faisant porter soit sur des chantiers, soit, à leur défaut, sur des pierres. Quelques personnes suivent une marche diamétralement opposée : ils laissent les bois sur terre, les couvrent en partie de sable, s'il s'en trouve à leur portée, ou, à défaut de l'ensablement, amassent la terre et laissent croître les herbes autour du bois ; ils prétendent en agissant de la sorte conserver au bois une fraîcheur qui l'empêche de sécher trop promptement et de se fendiller ; mais en évitant de faire gercer le bois, ils le font s'échauffer, ce qui est un inconvénient bien plus grave, car l'échauffement altère profondément le bois, le dénature, le prive de son ressort, de son liant, de sa fermeté. Il est donc préférable de risquer l'invasion de quelques fissures, et encore en agissant avec prudence on parviendra, dans la majorité des cas, à les éviter.

Les bois couchés horizontalement sur des chantiers, espacés les uns des autres, si on leur a conservé l'écorce, juxta-posés, si ce sont des pelards, ne devront pas être laissés découverts, car les alternatives de la pluie et de la sécheresse, de la rosée et du hâle, de la fraîcheur de la nuit et de la chaleur du jour, leur seraient contraires, et seraient des causes déterminantes de gerce et de fente. Si donc on ne doit faire qu'une assise, il sera prudent de couvrir ces bois de planches ou de joncs, et d'englaiser les pelards ; mais ordinairement on empile les bois, et cette méthode est préférable. Ainsi donc, après avoir fait une assise, dont les brins seront espacés d'un décimètre pour le moins, on mettra une seconde assise croisant la première, et ainsi de suite jusqu'à l'entière élévation de la pile, qu'on terminera par une espèce de toit incliné, en planches, comme le font les menuisiers dans leurs chantiers. Les bois ainsi placés resteront une année à sécher. L'année suivante la dessiccation principale sera faite. Le bois n'a jamais de retrait que sur son diamètre, sa longueur reste en partie invariable ; et comme l'écorce n'est pas aussi sujette que le bois au retrait, il arrivera que son adhérence au bois sera détruite et qu'elle s'enlèvera aisément. On fera donc bien de défaire la pile, d'enlever toutes les écorces qui ne sont plus adhérentes, d'écorcer grossièrement et jusqu'au liber seulement, les bois qui n'auront pas quitté leur écorce, et de refaire la pile en mettant en bas les bois du haut, *et vice versâ*, en ayant soin, cette fois, de ne laisser aucun espace entre les morceaux qui devront se toucher ; car ces bois, privés de l'écorce, seront bien plus sujets à se fendre lorsqu'ils seront saisis par le hâle ou chauffés par les rayons du soleil. On les recouvrira de la même manière. En agissant ainsi, on conservera mieux le bois que par tout autre moyen.

Le conseil que nous donnons d'écorcer les arbres la seconde année, n'a d'autre but que de prévenir l'envahissement des vers, qui sont à craindre surtout pour les bois fruitiers, les bois résineux ; les conifères y sont bien moins assujettis, et on pourra, à leur égard, se dispenser de l'écorcement. Voici ce qui a lieu pour les arbres sujets à l'attaque des vers : les œufs sont déposés à l'automne dans l'écorce des bois empilés, ils éclosent au printemps ; le ver, jeune encore, se nourrit de l'écorce et du liber qu'elle recouvre ; il parcourt de la sorte le bois en tous sens, jusqu'à ce que, parvenu à un certain degré de force, il puisse attaquer le bois lui-même et s'y introduire. Il y cause de grands ravages, car la poussière qu'il laisse après lui s'empare avidement de l'humidité de l'atmosphère et la porte dans le cœur du bois ; des myriades d'autres vers éclosent dans cette poussière qui fermente facilement, et les vers deviennent de la sorte l'un des agents les plus destructeurs. Lorsque les arbres sont écorcés, les œufs qui peuvent être déposés sur le bois nu ne sont jamais à craindre ; car, s'ils éclosent, le ver meurt infailliblement d'inanition sur cette substance dure et lisse, qu'il ne peut attaquer encore, privé qu'il est d'ailleurs du point d'appui que lui prête l'écorce.

Mais comme la dessiccation est bien plus prompte sur les bouts tranchés des arbres empilés, et que l'effet de cette dessiccation est de rétrécir le diamètre de ces bouts en fermant les canaux capillaires, par lesquels l'humidité encore contenue dans le corps de l'arbre se peut évaporer, que cette humidité est cause de fermentation et de pourriture en tenant la sève qui est enfermée dans les canaux nutritifs dans un état liquide qui s'oppose à la coagulation, il convient de scier un peu les bouts de la longueur de deux ou trois centimètres, un peu plus, un peu moins, selon que la dessiccation est plus avancée, afin que les pores étant de nouveau ouverts par cette ablation, l'humidité puisse continuer à se frayer un passage au dehors et que la sève puisse se concréter entièrement.

Lorsqu'il ne s'agit pas de grandes exploitations commerciales, mais seulement de la provision d'un atelier ou d'un ouvrier, on fera bien de rentrer les bois nouvellement abattus et sans écorce sous un hangard, en laissant quelques mois durant la racine, ou la culasse, plongée dans une auge de pierre, ou simplement un baquet rempli d'eau, qu'on aura soin d'alimenter au fur et à mesure qu'elle sera absorbée, les bois étant tenus presque debout appuyés contre les murs. Au bout de quelques mois on cessera d'y mettre de l'eau, et les bois, ainsi maintenus dans une position verticale et à l'ombre, sécheront assez lentement pour ne point se fendre.

Quant à la dessiccation au feu ou à la vapeur, l'expérience n'a pas parlé en sa faveur. Indépendamment de ce qu'elle altère souvent les qualités des bois, en les rendant cassants, en détruisant la coloration naturelle et en nuisant au poli, elle les rend très hygrométriques, qualité qui les fait s'emparer avidement de l'humidité de l'air, et qui les gonfle ou favorise la gerce dans les temps de grande sécheresse. D'ailleurs, les moyens d'exécution que nécessite cette opération ne sont pas à la portée de tout le monde, et l'industrie ne retire jamais qu'un médiocre avantage des moyens compliqués.

Dès que les bois sont suffisamment secs, il est sage de les faire de suite débiter dans des proportions un peu plus étendues que celles réclamées par les usages auxquels ils sont destinés, parce qu'alors s'opère l'entière et définitive dessiccation : si ce sont des planches, on a soin de les entasser l'une sur l'autre en piles, afin que leur propre poids les empêche de se *gondoler*, de se *tourmenter* ; le plus de bois qu'on a laissé aux morceaux sert à dégauchir et à ramener les pièces à leurs proportions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exactes. Des bois ainsi préparés sont d'un très bon usage; ils ne *travaillent* plus.

Nous nous sommes à dessein renfermés dans les généralités. Assurément tous les bois ne se comportent point de même pendant le temps de la dessiccation; l'orme, le hêtre et certains arbres fruitiers peuvent être traités avec moins de ménagements; mais il en est d'autres aussi pour lesquels il faudra redoubler d'attention; on conçoit qu'il faudrait passer en revue chaque espèce de bois, et cette revue nous entraînerait beaucoup trop loin; les préceptes généraux que nous avons énoncés, appliqués avec sagacité et prudence, suffiront dans la presque totalité des cas. Nous allons maintenant nous occuper de la coloration de ces mêmes bois.

Coloration. Les bois chers, les bois exotiques ont rarement besoin d'être colorés artificiellement; leurs riches nuances sont un présent de la nature, et ce n'est guère que pour imiter ces nuances sur nos bois indigènes que nos ouvriers ont recours aux couleurs factices. Nous n'entendons nullement parler dans cet article des peintures opaques, quelle que soit la couleur employée pour enduire les bois, surtout ceux qui sont exposés dehors aux intempéries des saisons, et dont on les recouvre plus dans un intérêt de conservation, que dans l'intention de les embellir. Cet art est compris dans celui du peintre en bâtiments, dont les brosses recouvrent indifféremment le bois, le fer, le plâtre. Ce que nous entendons par coloration des bois c'est l'art d'ajouter des tons plus vifs à la teinte naturelle de ces bois, tout en conservant les caprices de leur veinage, de telle sorte que le connaisseur puisse toujours dire, malgré notre coloration : voilà du frêne, voici de l'orme, de l'érable, etc.

On connaît deux modes de teintures qui n'ont point chacun un nom distinct, mais qui n'en sont pas moins des choses absolument différentes. Le premier et le plus anciennement connu, le moins intéressant de nos jours, est celui qui consiste à donner à certains bois une teinte uniforme, verte, bleue, rose, rouge, jaune, et autres. Les bois ainsi teints servaient dans la marqueterie, dans l'ébénisterie du temps; on produisait par la découpure des pièces, leur placage, leur agencement symétrique, l'opposition des teintes, des effets fort piquants, des rayures agréables, des dessins variés qui n'étaient certes pas dépourvus d'agrément, et qui exigeaient de l'ouvrier chargé de leur exécution beaucoup de goût et d'habileté. La mode, cette souveraine absolue et capricieuse, n'a plus voulu les découpures coloriées : il a fallu subir sa loi; mais comme elle est sujette à varier, à retourner en arrière, à reprendre ce qu'elle a proscrit, nous devons dire par quels moyens on donne aux bois ces teintes plates qui faisaient l'ornement des meubles de nos pères. Déjà maintenant on en est revenu à la mosaïque riche, aux découpures; on n'emploie encore que les bois blancs ou foncés, dans leur couleur naturelle, l'ivoire, la nacre, l'écaille, la baleine, le cuivre, l'argent. On fait mieux et plus beau qu'on ne faisait jadis; mais aussi le prix est plus élevé, et si ce goût persiste, il faudra bien en revenir aux bois teints pour satisfaire aux demandes des consommateurs peu fortunés.

Les bois, si l'on en excepte les bois tendres et poreux, et le poirier cultivé, ne sont jamais entièrement pénétrés par la couleur, lorsqu'ils sont débités en morceaux d'une certaine épaisseur. Avant de les teindre, on doit donc les réduire en planches de l'épaisseur d'un fort placage, c'est-à-dire de deux millimètres environ. Amenés à cette épaisseur restreinte, les bois prenant la couleur en dessus et en dessous en seront facilement traversés, et la teinte n'en sera pas variable, si le rabot ou le grattoir en enlève plus dans un endroit que dans l'autre, comme cela a lieu lorsque le bois n'est que superficiellement coloré.

COLORATION DES BOIS.

On doit concevoir que les bois blancs sont seuls susceptibles de recevoir les couleurs tendres, telles que le rose clair, le bleu-ciel, le jaune, le vert-pomme; ainsi donc, les bois à choisir, dans ce cas, seront l'érable et ses variétés, sycomore, platane et le mûrier. Le houx est rare, on le réserve pour le blanc uni; le peuplier, le marronnier d'Inde sont trop mous; ils prennent cependant bien la teinture ainsi que le bouleau; mais ils sont rarement employés, si ce n'est le marronnier qui s'emploie blanc et dans son état naturel. L'aulne, le frêne, le noyer blanc, le cerisier, le hêtre, certains pommiers, l'alisier jeune et autres bois blanchâtres prendront bien des teintes plus foncées, telles que le rouge, l'orangé, le vert, le bleu; enfin l'orme, le cormier, le noyer d'Auvergne, le prunier, le buis, et autres bois prendront bien des teintes encore plus foncées; quant au noir, il peut être employé sur toute espèce de bois.

On trouve dans tous les ouvrages qu'on a faits sur l'ébénisterie une foule de recettes pour la teinture des bois; ces recettes mises en exécution avec attention et discernement donnent généralement toutes d'assez bons résultats; chaque ouvrier en adopte une qu'il vante à l'exclusion des autres; mais très souvent l'excellence de sa recette n'est due qu'à l'usage journalier qu'il en fait, or on finit par bien faire ce qu'on fait souvent et longtemps. Ne pouvant rapporter ici toutes ces recettes, qui ne sont d'ailleurs plus guère employées, nous nous contenterons d'en donner une seule pour chacune des principales teintes.

Avant de teindre les bois, il faut les soumettre à une opération préparatoire, qui consiste à les tremper dans une dissolution d'alun, ou bien dans un bain d'eau de chaux. Certaines couleurs cependant sont assez pénétrantes pour qu'il soit permis de se dispenser de cette préparation. Lorsqu'ensuite il s'agit de teindre, il y a deux manières d'opérer : la cuve, et le pinceau ou l'éponge. Si les bois ont peu de volume, on les met baigner dans la cuve, ils prennent alors plus facilement la teinture; mais s'ils sont trop grands pour pouvoir entrer dans une cuve, on a recours au pinceau ou à l'éponge : quand les bois sont dans la cuve, il ne faut pas trop pousser le feu, il faut que le bain soit chaud, mais non pas absolument bouillant. Si on teint avec l'éponge ou le pinceau, la couleur doit être tenue plus chaude, parce qu'appliquée sur le bois elle se refroidit toujours assez promptement. Certaines teintures se font à froid, alors on laisse le bois tremper jusqu'à ce qu'il soit entièrement pénétré.

Couleur rouge. C'est la plus usitée; on la fait avec le *rocou;* on le coupe par morceaux qu'on met dissoudre dans l'eau bouillante, et l'on donne plus ou moins de couches de cette teinture, selon que l'on veut que la couleur soit plus ou moins foncée; le rocou donne une couleur rouge-orangée qui imite fort bien les couleurs naturelles. *La garance* contient deux matières colorantes : l'une blonde, très soluble à l'eau, l'autre beaucoup moins soluble, qui est d'un beau rouge. La garance ne doit point être portée jusqu'à l'ébullition, car à ce degré de chaleur sa couleur s'altère. Avant de teindre avec la garance, il faut faire tremper le bois pendant quelque temps, une heure ou deux, dans un bain d'acétate d'alumine, et on prépare la solution de garance en mettant un hectogramme de cette racine pulvérisée par litre d'eau, plus ou moins, selon que l'on veut foncer la couleur. On peut, pour rendre la teinture encore plus éclatante, y ajouter un peu d'étain dissous dans l'acide nitrique, avec les précautions qu'on doit prendre en faisant cette dissolution; mais cette addition n'est pas d'une nécessité absolue et la couleur est suffisamment belle sans étain. *L'orcanette* fournit une teinture très agréable et d'un facile emploi; on en met dans de l'huile de lin chauffée modérément, et lorsque l'huile est bien rouge on l'étend sur ce bois. On en met plusieurs couches si l'on veut une couleur plus foncée, on frotte en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suite avec de la ponce broyée, et l'on sèche au tripoli rouge avant de vernir. *La terre de Sienne*, broyée avec l'huile de lin à froid, et ensuite délayée dans une plus grande quantité d'huile, s'emploie comme l'orcanette et donne les mêmes résultats. *L'orseille* est soluble dans l'eau qu'elle teint en rouge violet; mais en acidulant l'infusion, on la ramène au rouge vif, il ne faut que chauffer modérément. Un peu de dissolution d'étain rend la couleur belle et brillante; pour employer cette couleur, il faut que le bois ait été préalablement aluné. *Le bois de campêche*, dans la proportion d'un hectogr. environ, réduit en poudre, par chaque litre d'eau, donne par l'ébullition une couleur rouge d'un *œil* particulier; les bois doivent infuser dans cette teinture plus ou moins longtemps, selon que l'on veut donner plus ou moins d'intensité à la couleur. *Le bois de Brésil* est préférable au campêche. On le fait bouillir à l'état de râpure, ou réduit en copeaux, pendant 2 heures environ, dans de l'eau mise dans la proportion de : bois, 1, eau, 10; plus ou moins, suivant l'intensité de couleur qu'on veut obtenir. On doit préférer les eaux de puits à l'eau de rivière, et si l'on ne peut avoir que de cette dernière, il est bon d'y ajouter un peu de nitre. La teinte devient pourpre si on y mêle du bois de campêche, et lorsque le bois est teint et qu'il est sec en le mouillant légèrement avec de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre de la potasse perlasse, dans la proportion de 4 gram. par litre d'eau; on attendra que cette solution ait produit son effet avant d'en mettre une seconde, car ce ne sera qu'après l'inspection de l'effet produit par la première couche qu'on pourra juger s'il est nécessaire d'en mettre une seconde. Pour que la teinte devienne plus claire, tirant sur le *rose*, on fera entrer dans la décoction du bois de Brésil, de l'ammoniaque ou de la potasse perlasse, et on laissera le tout infuser 48 heures et même plus, puis on tirera au clair et on fera chauffer jusqu'à ébullition; on l'étendra alors toute chaude sur bois, ou, lorsque cela sera praticable, on plongera le bois dans cette préparation. Lorsque le bois est teint, et avant qu'il soit sec, on le mouille avec une eau alunée. On adoucira, ou l'on foncera la teinte, selon qu'on augmentera ou qu'on diminuera les doses de potasse perlasse, d'ammoniaque ou d'alun. Le bois de Brésil peut servir plusieurs fois avant que toute sa matière colorante soit épuisée. Un bain préparé d'avance, et conservé quinze jours ou un mois, couvert et dans un lieu frais, n'en produira que de plus belles teintures. La décoction du bois de Brésil sans alun produit un rouge-jaune qui n'est pas sans un certain attrait. *Le bois de Fernambouc* produit à peu près le même effet, et se comporte pour ses préparations comme le bois de Brésil. On emploie encore le bois de Brésil en mettant les pièces à teindre dans un bain de vinaigre pendant 24 heures, ou en humectant plusieurs fois ces pièces avec une éponge pleine de vinaigre. On jette ensuite dans le vinaigre de la râpure de bois de Brésil, jusqu'à ce que la teinte soit arrivée au point voulu; on ajoute de l'alun et on fait bouillir. La potasse et la soude agissent sur le bois de Brésil; elles foncent sa couleur : les acides jaunissent la décoction, et on se sert souvent de cette faculté pour rendre au bois de Brésil, qui aurait passé au clair, toute l'intensité de sa couleur. La chaux employée avec prudence produit le même effet; elle fonce la couleur, et cette couleur ainsi ramenée est bien plus durable. Les autres matières qui servent à teindre les bois en rouge, sont *la chaux*, pour le merisier, le cerisier, le guignier; on en fait un lait très épais dans lequel on met tremper les pièces, ou on étend ce lait avec l'éponge ou la brosse; la *gomme adragante;* on la fait dissoudre dans l'essence de térébenthine; on plonge le bois dans la solution et l'on fait chauffer doucement. Après une heure ou une heure et demie l'essence est évaporée; on laisse le bois jusqu'au lendemain sans y toucher, et avant de le polir, on le frotte avec un peu d'alcool pour enlever la gomme qui aurait pu rester en excès.

Nous passons sous silence tous les procédés pour imiter la couleur de l'acajou; ce bois est maintenant tellement baissé de prix que la connaissance de ces procédés est à peu près inutile. Ce n'est pas tant la couleur qui plaît dans l'acajou, c'est le ronceé, le fleuri, et surtout son admirable chatoyement qu'aucune couleur ne peut rendre, que l'art ne peut produire, et d'ailleurs la mode de l'acajou tend à disparaître petit à petit. Nous passerons donc aux autres couleurs.

La teinture *bleue* se fait soit avec le *tournesol*, soit avec *l'indigo*, soit avec le *bois de campêche*, soit avec une dissolution de *cuivre rouge* dans l'acide nitrique. Pour préparer le *tournesol*, on éteint une poignée de chaux dans un litre d'eau, puis on ajoute dans cette eau 2 hectogr. de tournesol; on fait bouillir une heure environ, on immerge les bois dans cette préparation, ou on les frotte à l'éponge ou à la brosse, si l'immersion n'est pas praticable. Quant à *l'indigo*, on le broie le plus fin possible, on expose à une chaleur douce, au soleil. On met l'indigo peu à peu, jusqu'à consistance de bouillie, on malaxe et on soumet le vaisseau qui contient la couleur à une chaleur d'eau bouillante pendant 2 ou 3 heures; on retire du feu, et lorsque le mélange est refroidi, on ajoute autant de potasse bien sèche qu'il y a d'indigo (1/8 de la quantité d'acide sulfurique), on mêle bien cette potasse et on laisse reposer 24 heures. Dans cet état, elle serait beaucoup trop foncée, aussi pour l'employer est-on obligé de l'étendre d'eau, afin de l'amener à la nuance voulue. Cette teinture ne pénètre le bois que fort lentement, aussi devra-t-on laisser le bois soumis longtemps à son action. La teinture par le *bois de campêche* est également très lente dans son action, il faut laisser les bois plusieurs jours dans le bain pour qu'ils en soient pénétrés. On met 2 hectogr., ou 2 hectogram. 1/2 de râpure de bois par litre d'eau, avec un peu d'oxyde de cuivre, et on laisse bouillir le tout pendant une heure environ. La *dissolution de cuivre* se fait de deux manières, et, selon qu'on a opéré, on a une teinture verte ou une teinture bleue. On met de l'acide nitrique pur dans un vase, et on jette dedans par très-petites pincées de la limaille de cuivre rouge; lorsque l'ébullition est commencée, on éteint avec de l'eau. Le cuivre finit par se dissoudre dans cet acide étendu. On peut aussi étendre d'abord l'acide, puis y mettre le cuivre. Dans tous les cas, il est bon d'agir en plein air, car il se dégage des vapeurs abondantes. Quand la dissolution s'est faite avec une forte effervescence, on ajoute l'eau nécessaire pour ramener à la teinte qu'on veut produire. En général une eau très peu teintée suffit pour colorer très foncé; on ne doit pas craindre d'étendre la dissolution.

La teinture en *jaune* se fait soit avec la *gaude*, soit avec la *graine d'Avignon*, soit avec le *curcuma*, et aussi avec chacune des substances dont les noms suivent : le *bois jaune*, le *fustel*, le *quercitron*, la *gomme gutte*, le *rocou*. On fait simplement une décoction d'une ou plusieurs de ces substances, et l'on met infuser dans cette décoction les bois qu'on veut teindre. On donne du ton à la couleur produite par la gaude en mettant dans le bain un peu de soude ou d'oxyde de cuivre; dans la décoction de bois jaune, il faut mettre un peu de colle forte, ou même simplement des rognures de peau de gants. Quant au rocou, on le fait bouillir pendant un quart d'heure avec une quantité égale de bonne potasse. On obtient aussi la couleur jaune avec la gomme-gutte dissoute dans l'essence de térébenthine, surtout si on opère sur le platane; le curcuma se prépare avec l'alcool, on en met 60 gr. dans un litre d'esprit; on rendra ce jaune orangé en ajoutant à la dissolution un peu de sang-dragon. Nous ne donnons pas l'historique de ces substances qu'on trouve toutes préparées dans le com-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COLORATION DES BOIS.

merce ; on variera l'intensité des teintes en les combinant entre elles.

La couleur verte se fait avec l'oxyde de cuivre, dont nous avons parlé, ou avec le vert-de-gris concret. Dans ce dernier cas, on le broie très fin, on le met dissoudre dans du vinaigre de bois très fort ; on y ajoute 60 gr. de sulfate de fer, et l'on fait bouillir le tout un quart d'heure, dans 2 litres d'eau. Les ébénistes font ordinairement leur teinture verte en teignant d'abord en bleu, et en ajoutant ensuite un lavage d'épine-vinette, ou bien en remplaçant l'épine-vinette par la gaude, dont on met plus ou moins, selon que l'on veut que le vert soit plus ou moins foncé.

Le violet s'obtient par une décoction de bois de campêche dans laquelle on mêle de l'alun, ou en teignant d'abord le bois rouge clair, et le plongeant ensuite dans un bain de tournesol ou d'autre bleu clair.

Toutes les fois que cela sera possible, il faudra préférer le bain froid au bain chaud, les couleurs sont plus belles ; mais beaucoup de préparations exigent un bain chaud ; on fera donc bien, toutes les fois que deux moyens se présenteront, l'un à chaud, l'autre à froid, de choisir ce dernier.

Teinture noire. Noix de galle concassée, en poids, 15 parties; bois d'Inde, 4 p.; vert-de-gris, 2 p.; sulfate de fer, 1 p., qu'on fait bouillir ensemble dans une quantité suffisante d'eau. On connaît plus de quarante recettes pour la teinture en noir, celle-ci peut suffire. Si le bois n'était pas assez noir après une première couche, on en mettrait une seconde, et même une troisième, si cela était nécessaire.

Nous nous contenterons de ce qui précède. Cette méthode de teindre ainsi les bois ne produit pas des effets aussi agréables que la seconde méthode, dont nous allons nous occuper.

Il ne s'agit plus maintenant de colorer le bois avec des matières colorantes ; mais seulement de faire ressortir ou de varier les couleurs naturelles, à l'aide d'acides incolores, ou très faiblement colorés, par le fer ou par le cuivre. Dans cette autre méthode, le bois n'est plus uniformément teinté : ce sont les accidents de son veinage qui font naître les accidents de couleur, qui laissent ici des clairs où la teinte de bois apparaît nue, pour faire contraste avec des teintes foncées produites seulement par un changement de direction dans la fibre ligneuse. Aussi tous les bois ne seront pas indifféremment appelés à être embellis par cette méthode, il faudra faire un choix intelligent, non seulement des espèces de bois, mais encore des individus dans chaque espèce, et dans chaque individu, de telle ou telle partie. Le hêtre, le noyer, le peuplier, et en général tous les bois unis seront impropres à être embellis par ce moyen, qui n'est applicable qu'aux loupes, qu'aux racines, qu'aux endroits où les fourches des mères branches amènent des épanchements de la sève, des déviations de la fibre ligneuse, des contournements, des entrelacements. Les bois les mieux appropriés sont : le frêne, l'orme, l'aulne, l'érable, le sycomore, le châtaignier, le buis, l'if, certaines parties des chênes centenaires, quelques fruitiers. Ici nous n'avons plus besoin de grands vases, de feu, de chaudières, de grands appareils, mais seulement de petites bouteilles ; car les principes que nous emploierons désormais sont très actifs, et il n'en faudra que des quantités très minimes pour produire beaucoup d'effet. Ces principes seront du vinaigre et de l'eau forte : le vinaigre pour faire l'acétate de fer, l'acide nitrique pour faire des solutions de cuivre. Les effets que nous obtiendrons seront produits par cette faculté que tous les bois possèdent d'être fort peu perméables lorsqu'ils présentent le fil, d'être au contraire très spongieux, lorsqu'ils présentent leur bout. Toutes les fois que dans un bois quelconque, dressé au rabot ou autrement, il se rencontrera des surfaces où le fil soit alternativement uni ou tranché, on sera sûr d'obtenir des effets de couleur et de lumière très variés ; l'acide ne pouvant s'introduire et produire son effet que dans les places où il trouve le bois tranché, et pénétrant d'autant plus que les fibres seront tranchées, c'est-à-dire dans une position se rapprochant plus ou moins de la perpendiculaire au fil uni. Il n'est donc point nécessaire d'essayer le bois à l'avance ; à la première inspection, un œil exercé reconnaîtra si un bois est propre ou non à être soumis à l'action des acides.

On prépare l'acétate de fer à plusieurs degrés de saturation, et voici comment il faut faire : on prend de la boue de meule de taillandier, la plus fraîche possible ; celle qui se trouve au fond de l'eau est préférable ; celle desséchée, et par conséquent jaunie par la rouille, n'aurait plus la même vertu, ou ne serait propre qu'à produire des teintes qui ne sont pas celles dont nous devons d'abord nous occuper. La bonne boue de meule doit être verte, cendrée ; on la fera bien égoutter, puis on la mettra dans une jatte ou petite terrine, au tiers de sa capacité, et l'on versera dessus du fort vinaigre, de manière à ce qu'il recouvre la boue de meule d'un ou 2 centimètres ; on laissera ce mélange sans l'agiter. L'ébullition plus ou moins hâtive, selon la force du vinaigre, aura lieu et se manifestera par une écume verdâtre qui recouvrira le vinaigre ; on décantera avec soin ce vinaigre qu'on mettra dans une fiole qu'on bouchera soigneusement. Cette préparation, notée n° 1, servira sur certains bois à colorer en vert. On versera de nouveau du vinaigre dans la terrine, en même qualité, on pourra malaxer un peu la boue de meule et on laissera le mélange plus longtemps, toute une nuit, et le lendemain on décantera le vinaigre qu'on versera dans une autre fiole, cotée n° 2. Cette seconde préparation donnera dans l'emploi une teinte plus foncée que la première et colorera en brun. Enfin on pourra remettre encore du vinaigre sur la même boue de meule, en y joignant un peu de sel de cuisine et aussi un peu d'acide nitrique. Cette fois on abandonnera la terrine sur une fenêtre, ou dans un grenier, en ayant soin seulement de la couvrir d'une planche pour que la poussière ne se mêle pas au vinaigre ; on laissera le tout sécher. Quand on découvrira la terrine, on trouvera les parois et la boue de meule couvertes de croûtes jaune-rouge, qu'on détachera des parois, et on versera de nouveau du vinaigre qu'on laissera réduire un peu, puis on décantera dans une 3e fiole, cotée n° 3 : cette troisième liqueur servira à donner des tons très bruns, roux foncés, qu'on avivera encore en répandant sur les jours une légère décoction de bois d'Inde, lorsqu'il s'agira de loupes de buis.

Quant à l'oxyde de cuivre, il se prépare comme nous l'avons dit plus haut ; mais dans le cas qui nous occupe, il doit être encore plus étendu d'eau, de manière à ce que la dissolution soit à peine colorée, en vert ou en bleu.

Avec les trois fioles dont nous venons de parler, on variera les teintes jusqu'à l'infini, soit en les mêlant entre elles dans des proportions diverses, soit en amortissant leur action avec de l'eau ou du vinaigre ; il ne faut que trois fioles d'acétate, contenant chacune 3 ou 4 décilitres, pour suffire à un grand atelier pendant plus d'une année, tant il en faut mettre peu pour produire beaucoup d'effet : moins les teintes seront foncées plus elles seront belles. Cette teinture entre assez profondément dans le bois pour qu'on puisse le poncer et le polir après qu'elle a été déposée ; elle s'applique toujours à froid, et ces effets seront différents entre eux, non seulement suivant les essences de bois, mais encore sur une même espèce, selon qu'il y a plus ou moins longtemps que le bois est abattu. Il ne nous reste plus maintenant qu'à jeter un coup d'œil rapide sur les belles expériences de M. *Boucherie*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On a toujours pensé que l'on parviendrait à rendre les bois inaltérables, si l'on pouvait faire pénétrer dans leurs pores certaines substances dont l'effet serait de combattre les causes de détérioration qui hâtent plus ou moins leur décomposition. Pour obvier à l'inconvénient des vers, on voulait les saturer de sels ou de composés métalliques ; pour s'opposer à la gerce on s'efforçait de leur faire absorber de l'huile ou des résines, etc., etc., pour les dégager de la sève et des autres parties extractives sujettes à la fermentation on les plongeait dans l'eau ; mais on n'arrivait jamais qu'à des résultats très peu satisfaisants, parce qu'une idée très simple n'était encore venue à personne. Cette idée, M. Boucherie l'a conçue; rien de plus vulgaire cependant : *Faire entrer par un bout et sortir par l'autre.* Quand on voulait faire entrer dans le bois du sel marin on plongeait le bois dans l'eau de mer. Qu'arrivait-il ? l'eau faisait effort par les deux bouts, mais il ne s'établissait pas de courant, l'eau n'entrait pas, et la sève loin d'être chassée, restait emprisonnée dans le bois, et ne se dissolvait que petit à petit, et après un temps si long que le bois lui-même était altéré par son séjour dans l'eau prolongé bien au-delà de ce qu'il aurait fallu. Cette idée de faire passer un liquide quelconque à travers le bois, comme à travers un tuyau, n'est même pas venue de suite au docteur à qui nous le devons. C'est en anatomiste qu'il a d'abord opéré, c'est sur la nature vivante qu'il a fait ses premiers et heureux essais. Il a fait opérer à des arbres sur pied, des liquides divers introduits dans le tronc, et ses liquides se sont répandus dans tous les canaux, et sont montés jusqu'aux derniers rameaux, jusque dans les feuilles, et ont pu déposer dans les fibres du bois les parties colorantes auxquelles elles servaient de véhicule. Mais notre mission n'est pas de suivre pas à pas l'historique de cette belle découverte, nos lecteurs connaissent les rapports faits aux académies et aux sociétés savantes ; ils ont vu des échantillons admirablement bien colorés exposés à tous les regards dans les solennités de l'industrie nationale ; nous devons seulement nous livrer à l'appréciation de ces faits, pour ce qui concerne l'objet qui nous occupe, la *conservation* et la *coloration* des bois.

Relativement à la *conservation*, si on avait un peu exagéré les résultats à l'origine, ils n'en sont pas moins certains et démontrés par la pratique des chemins de fer, de l'administration des télégraphes, et pour travaux particulier. Voy. article INJECTION du *Complément*.

Quant à la prompte dessiccation qui permet d'employer le bois très-peu de temps après l'abatage sans qu'il se gondole ou se tourmente, c'est un fait qui semble acquis, et qui est de la plus haute importance.

Relativement à la *coloration*, la question est résolue, le temps ici n'a que faire ; la lumière pourra bien affaiblir certaines teintes ; mais d'autres résisteront, et aucun doute n'est permis sur la réussite. Cette méthode permet de faire ce qu'on n'avait jamais fait, et de faire mieux ce qu'on faisait. Il ne reste plus qu'à multiplier les essais : c'est ce que nous avons cru devoir faire, et nous invitons les personnes qui seront à même d'en faire autant de travailler aussi de leur côté ; à force de tenter sur des substances diverses, en suivant la route ouverte par M. Boucherie, on arrivera infailliblement à trouver de belles et bonnes choses. Le principe sera certainement fécondé, la base étant solide. l'édifice ne peut manquer de s'élever.

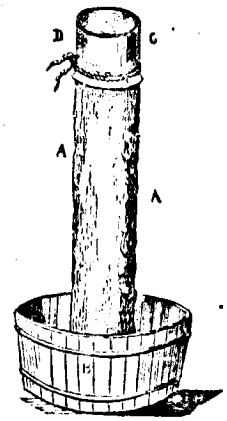
Mais comme un simple particulier possède rarement ces grands moyens d'actions dont les établissements publics peuvent disposer, comme il serait possible qu'un ami du progrès désirât répéter les expériences, plutôt dans l'intention de se rendre utile aux industriels en agrandissant le cercle de leurs connaissances et de leurs ressources, que dans celle de faire par lui-même et à son profit l'application des procédés que le hasard aura pu lui faire rencontrer ; nous devons simplifier sa besogne en lui faisant part des moyens que nous avons employés pour faire passer les liquides à travers les bois, et aussi lui dire à quelles préparations nous avons eu recours, afin qu'il ne perde pas un temps précieux à essayer de nouveau, ce que nous avons inutilement essayé. Nous n'avons encore fait que peu de choses ; mais la connaissance de ce peu que nous avons fait pourra être utile.

Nous devons prévenir d'abord le lecteur que nous n'avons eu la possibilité d'agir que sur des bois d'un diamètre restreint (2 décimètres à 2 décimètres 1/2), et abattus six ou huit mois avant nos essais. L'inspection des loupes fera reconnaître que ces sortes de bois sont impropres à être soumis aux expériences. Dans les loupes, le fil est tellement contrarié, mêlé, qu'il n'est guère possible d'imaginer que le liquide puisse en suivre les sinuosités ; et, cela fût-il possible, on ne pourrait encore se flatter de réussir, puisque le fil revient presque toujours sur ses pas, et ramènerait très souvent le liquide à la surface de départ. D'ailleurs, ces extravasements de sève, ces superfétations ligneuses qu'on nomme loupes, forment un bois très serré, et d'une nature toute différente que le bois de l'arbre sur lequel elles végètent. On ne devra opérer que sur des bois à fil direct, ou à peu près direct. Le chêne se présente d'abord ; mais, si l'on en excepte le chêne des Vosges, dit *chêne de Hollande*, dont le grain est serré, le chêne n'est pas un bois d'un emploi commode en ébénisterie et au tour. Fût-il agréablement coloré, son grain grossier, ses pores ouverts et apparents, son fil chanvreux, ne le feraient jamais beaucoup rechercher; le hêtre, le noyer, et surtout le noyer blanc, semblent attendre la couleur pour devenir des bois précieux ; il en est de même de l'alisier, le meilleur de tous les bois de tour, de l'érable, du platane, qui se travaillent si bien au rabot ; et qui deviendront des bois recherchés si on peut leur donner artificiellement ce que la nature leur a refusé : la couleur. C'est donc sur ces bois, et quelques autres semblables, que doivent être dirigés les efforts des expérimentateurs.

On prendra un rondin bien sain, d'un bois nouvellement abattu, scié carrément, par les deux bouts, et autant que possible encore recouvert de son écorce ; on le posera dans une position verticale et on enroulera autour de l'un de ses bouts une large bande de cuir qui devra faire au moins deux fois le tour du rondin ; pour que cette bande s'applique bien parfaitement sur l'écorce du bois, qui n'offre pas toujours un cercle régulier, on aura soin de la mouiller à l'avance, afin de la rendre très souple ; puis, avec une bonne corde, on la serrera fortement sur le bois de manière à produire un étranglement. Si on a bien serré la corde, sur la peau, elle adhérera tellement à l'écorce que l'eau ne pourra passer entre cette bande et le bois. Si quelque irrégularité dans l'écorce laissait un passage à l'eau, on boucherait cette issue, soit avec de l'argile grasse, soit avec de la cire, soit avec une cheville de bois ajustée. Toute la partie de la bande de cuir qui dépassera le bois formera une espèce de gobelet, dont le bois debout formera le fond. On posera alors ce rondin, soit dans une auge en pierre, soit dans un baquet, ou tout autre vase pouvant contenir l'eau et supporter le poids de l'arbre, dans une situation verticale ou à peu près, puis on remplira d'eau le gobelet formé par l'excédant de la bande de cuir. Une figure fera de suite comprendre ce que notre description pourrait avoir d'obscur. Soit A (fig. 555), le morceau de bois dont on veut extraire la sève ; on pourra le mettre debout contre un mur dans une cour, à l'ombre, et, si l'on ne tient pas à examiner les liquides qui en seront extraits, le faire reposer sur le sol

EFERUS - Recherche & Classification numérique

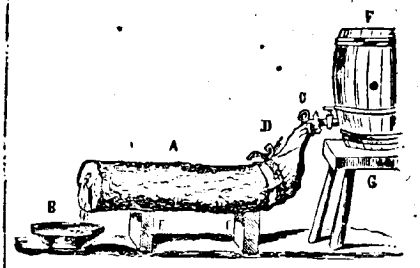
même; mais si l'on tient à conserver ces mêmes liquides, soit pour en faire l'analyse, soit pour les faire passer une seconde fois, on placera sous ce bois A, une terrine, ou une auge en pierre, ou même simplement, comme nous l'avons représenté dans la figure 555, en B, un baquet dans lequel les liquides seront conservés; en C, on voit la bande de cuir, amincie par un bout, afin qu'elle ferme bien, serrée fortement par la corde D. Les choses ainsi disposées on remplira d'eau l'excipient C,



555.

et au fur et à mesure que cette eau descendra dans le bois, on remplira l'espace vide. Cette eau pesant sur la sève la chassera devant elle, et on la trouvera répandue dans le baquet; assez ordinairement, c'est un liquide épais, verdâtre, glutineux. Quand toute la sève est expulsée, l'eau apparaît pure et limpide; on la laisse couler entièrement, puis on verse dans l'excipient la liqueur dont on veut que le bois soit pénétré. Si on opère seulement dans la vue de *conserver* le bois, on le saturera d'huile, ou de gommes et de résines dissoutes, soit dans l'alcool, soit dans les huiles essentielles; de solution de pyrolignite de fer, etc., selon le degré de foi qu'on pourra avoir dans ces moyens de conservation. Comme nous ne sommes pas, par nous-mêmes, très persuadés encore que ces moyens soient aptes à conserver le bois, nous nous garderons bien d'influencer en rien l'opinion des expérimentateurs. Notre but est tout simplement de leur indiquer la marche à suivre, ou, pour être plus conséquents, la marche que nous avons suivie. Si *la coloration* est le but qu'on se propose d'atteindre, on versera les mixtions aussitôt après le passage de l'eau pure et même avant qu'elle soit entièrement sortie du bois. Nous avons essayé l'indigo, le carmin, le bleu de Prusse, les terres d'Italie, etc., etc., délayées dans l'eau, nous n'avons nullement réussi, la matière colorante restait sur le bois, l'eau passait claire, le bois agissait comme un filtre. Le vin très coloré a produit de meilleurs effets, mais pas aussi sensibles que nous l'avions espéré; il nous aurait fallu du *gros-noir*, nous n'avons pu nous en procurer. Sur l'alisier, les jus de mûres noires et de guignes, ont produit une couleur vineuse assez agréable, et nous devons dire que le bois que nous avions soumis à cette épreuve, encore bien qu'il fût encore très nouvellement abattu, ayant été moulé sur le tour, et façonné en boîtes, fermant par des couvercles à pression, ne s'est nullement déformé, et que les fermetures sont restées exactes; faits qui viendraient à l'appui de l'opinion de ceux qui pensent que l'opération contribue à la conservation des bois.

Sur d'autres rondins, nous avons remplacé la bande de cuir par une grande douille en fer, limée par le bas en couteau circulaire; quelques coups de masse, donnés sur le dessus de cette douille, suffisaient pour la faire entrer assez avant dans le bout des bois, pour qu'elle retînt l'eau et les autres liquides. Enfin, nous avons rendus coupants des bouts de canon de fusil, longs de quatre diamètres environ; et nous avons planté dans le bout supérieur d'un bois debout huit ou dix de ces tubes, que nous avons remplis jusqu'au haut, de liquides divers, ayant chacun une teinte particulière; l'effet produit a été le même, quelques-uns des liquides ont passé sans se confondre avec les autres; quelques liquides se sont confondus et ont formé les nuances appartenant à leur mélange. On peut encore, ainsi que nous l'avons expérimenté, lorsqu'on peut perdre un peu de bois, se contenter de forer le bois avec des tarières ou des mêches, plus ou moins grosses, et vider les liquides dans ces trous; ils traverseront de même toute la longueur du rondin en ligne à peu près directe.



556.

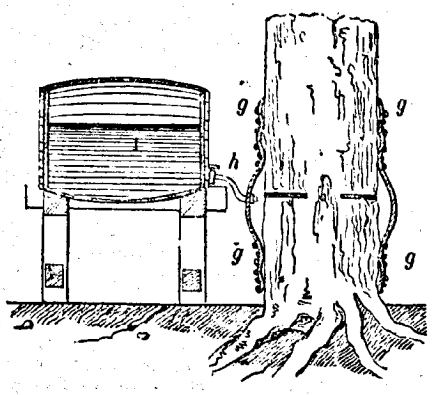
La fig. 556 représente un autre mode, qu'on pourra employer lorsque les bois seront très longs, et qu'il serait difficile de les tenir dans une position verticale. les mêmes lettres de renvoi sont appliquées aux mêmes objets. Comme on le voit, l'arbre A est courbé sur les chantiers E qu'on pourra tenir plus gros qu'ils ne sont indiqués; afin que l'arbre soit élevé plus haut et que le vase B puisse être plus profond et ait une plus grande capacité. La chausse en cuir C doit être cousue au fil poissé, comme les tuyaux des pompes à incendie, ou bien être faite en toile imperméable : elle sera solidement attachée après la cannelle du tonneau F qu'on remplira d'eau, ou des préparations qu'on voudra faire entrer dans l'arbre. Ce tonneau sera supporté par un trépied G; plus il sera élevé, plus l'eau aura de force pour pénétrer dans le bois. Il est bien entendu que le tonneau F sera découvert, afin que la pression de l'air agisse sur l'eau: ce procédé est toujours le même, mais il permet d'opérer sur une plus grande échelle.

On trouve dans la nature des bois accidentellement colorés des nuances qui, bien certainement, n'appartiennent pas à l'arbre lui-même, puisque ces nuances ne se retrouvent pas dans les autres individus de la même espèce. Il n'a fallu souvent que des clous plantés dans des ifs, soit pour attacher les cordes à tendre le linge, soit pour tout autre motif, pour teindre en violet, de grands espaces dans le bois; car il arrive presque toujours que dans ces bois, richement, mais accidentellement colorés, on retrouve des clous qui ont été plantés, l'arbre étant jeune, et que les courbes ligneuses ont ensuite recouverts et enfermés dans le cœur du bois. Il en est de même du plomb que les chasseurs lancent dans les arbres des forêts. Lorsqu'on rencontre des morceaux dans lesquels le plomb a pénétré durant la vie du sujet, on remarque une teinte toute différente dans le bois, et qui se répand bien loin de l'endroit où le plomb a été enfermé; et cet effet a lieu probablement, parce que les métaux, garantis du contact de l'air par le bois dont ils sont recouverts; mais sans cesse baignés par les courants ascendants ou descendants de la sève, subissent une espèce de digestion qui les décompose suivant un mode particulier, et que leurs molécules entraînées au loin dans les canaux médullaires y déposent leurs parties colorantes, ou du moins y occasionnent ces change-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ments de couleur qu'on ne peut guère expliquer autrement. C'est donc en employant ces métaux, en faisant pénétrer des dissolutions métalliques dans les bois, qu'on obtiendra très probablement les plus belles teintes, les couleurs les plus durables. Les couleurs que nous avons obtenues à l'aide des végétaux n'étaient pas aussi belles, étaient fugaces, devenaient ternes et grises, et étaient sensiblement altérées par le poli à l'huile. Il fallait pour qu'elles se conservassent belles un emploi immédiat, et que le vernis s'opposât à l'effet que l'air exerce sur elles. La très importante découverte de M. Boucherie amènera une heureuse révolution dans cette branche d'industrie; mais il ne faut attendre que le même homme se charge à lui seul de tout le poids des expériences et des essais; il faut que les travailleurs de toutes les classes, et de tous les degrés d'instruction lui viennent en aide, et s'efforcent par un concours actif de payer la dette de reconnaissance que le pays a contracté envers lui.

Nous avons cru devoir terminer cet article par la description du moyen employé par M. Boucherie, pour faire passer dans un arbre vivant les liquides que la vie végétative permet de faire parvenir dans toutes les par



557.

ties de l'arbre. La fig. 557 est destinée à faire comprendre ce moyen très simple.

On pratique à l'arbre deux incisions semi-circulaires de l'écorce, puis on recouvre ces incisions d'une bande en cuir ou en plomb, faisant tout le tour de l'arbre, et croisée sur elle-même par les extrémités, afin que le liquide ne puisse s'épancher. On cloue cette bande sur l'arbre par le bas: puis en appuyant sur la partie supérieure, et la refoulant, on la contraint à se replier sur elle-même et à prendre une courbure qui imite celle qu'on nomme le *centre* d'un tonneau; par ce moyen il se trouve entre l'arbre et la bande, à l'endroit de l'incision, un vide que plus tard on remplira de liquide. Cette bande est vue en coupe dans la fig. 557, et de côté *g*, *g*, *g*, *g*, aux points où se trouvent les rangées de clous enfoncés dans l'arbre qui la font adhérer parfaitement, et de manière à ce qu'il ne puisse y avoir déperdition de liquide.

Les choses ainsi préparées on approche de l'arbre un tonneau rempli de liquide I, débondé par dessus, afin que la prise d'air se fasse librement. Ce tonneau, vu en coupe dans la figure, est supporté par un châssis qui tient son niveau inférieur plus ou moins élevé au-dessus du renflement de la bande *g*, avec lequel il est mis en communication au moyen de la cannelle *h*, entrant dans un trou ménagé à l'avance dans la bande *g*, et luté de manière à ce que le liquide ne puisse s'échapper; on ouvre alors cette cannelle, et le liquide contenu dans le tonneau se répand dans l'intérieur du renflement, et environne ainsi l'arbre dans tout son pourtour. Au fur et à mesure qu'il est absorbé par l'incision circulaire, le tonneau en fournit de nouveau, et lorsque le niveau baisse dans ce tonneau, on peut y ajouter une nouvelle quantité de liquide par la bonde restée ouverte. On pourra de la sorte alimenter l'arbre jusqu'à ce qu'il ne veuille plus rien prendre. PAULIN DÉSORMEAUX.

On trouvera à l'article INJECTION du *Complément* des détails sur les diverses modifications qu'on a fait subir au procédé Boucherie.

Carbonisation des surfaces à l'aide du gaz. — Un nouveau moyen d'augmenter la durée des bois a été proposé par M. Lapparent, ingénieur de la marine. Il consiste à en carboniser les surfaces par l'action d'un jet de gaz enflammé; ce procédé est simple, applicable à toutes les essences de bois, et il est facile, en dirigeant convenablement le jet de gaz, de pénétrer dans toutes les fentes, dans toutes les fissures, de manière que l'intérieur des bois soit protégé par une couche noire, carbonisée, qui s'opposera à la fermentation, à la végétation cryptogamique et aux attaques des insectes xylophages. Il se produit, en effet, sous la première couche entièrement carbonisée une seconde couche brunâtre, torréfiée, dans laquelle la chaleur a développé des produits empyreumatiques et créosotés qui sont d'excellents agents antiseptiques.

Ce mode de conservation des bois, qui repose sur une pratique dont l'efficacité a été reconnue depuis des siècles, permet de conserver les bois qui ne peuvent s'injecter, le chêne notamment, et augmente la durée des bois injectables; car le sulfate de cuivre est partiellement entraîné par les eaux pluviales, surtout à la surface, par un phénomène semblable à celui de l'endosmose. Un grand avantage du procédé de carbonisation au gaz consiste dans la facilité avec laquelle on promène sur toute la surface à carboniser un bec de gaz, une espèce de chalumeau à tuyaux élastiques, ce qui permet d'opérer rapidement et à bon marché. Il résulte des expériences faites par M. de Lapparent, à Cherbourg: qu'on peut admettre que, dans un travail courant, la dépense ne dépasserait pas 0f,45 par mètre carré; de sorte qu'une traverse de chemin de fer, ayant les dimensions suivantes, $2{,}70 \times 0{,}43 \times 0{,}26$, présentant une surface enveloppe de 2m.c.,20, serait carbonisée pour 0f,33, soit environ 0f40, en ajoutant 20 pour 100 pour frais divers. Les expériences faites par l'amirauté anglaise, avec le gaz de l'éclairage coûtant seulement 0f,14 le mètre cube, il est vrai, ont donné un prix de revient de 0,10 par mètre carré, soit 0,22 pour carboniser une traverse des mêmes dimensions que la précédente.

En ce qui concerne l'efficacité du procédé, indépendamment des avantages tout spéciaux qu'il offre pour la marine, non-seulement pour les surfaces extérieures des constructions neuves, mais encore pour le séchage et la désinfection de l'intérieur des câles de navire, il n'est pas possible encore de donner des résultats remontant à une époque bien éloignée.

M. de Lapparent ayant placé pendant trois mois, dans une fosse à fumier, deux morceaux de bois identiques, sauf que l'un était resté dans son état naturel, tandis que l'autre avait été préparé, le premier a été trouvé presque complétement désorganisé, tandis que l'autre était à peine atteint. Il est juste d'observer que le fumier contient de l'ammoniaque, et que ce corps combiné avec le sulfate de cuivre forme le meilleur dissolvant connu de la cellulose, que par suite l'exemple choisi était éminemment défavorable au sulfate de cuivre.

En tous cas, comme les procédés par infiltration ne réussissent pas sur le bois de chêne, et que, pour cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

essence, la plus importante de toutes, il y a amélioration incontestable par l'emploi du procédé par carbonisation, son emploi ne peut qu'être fort avantageux. Pour les bois où il peut être comparé au procédé Boucherie, sa supériorité serait fort douteuse, par exemple, pour les bois tendres, tels que le sapin, le hêtre, qui poussent très-rapidement et qui se laissent parfaitement pénétrer.

Hartig, célèbre forestier allemand, a reconnu que les pieux simplement carbonisés ne se conservaient pas, alors même que la carbonisation de la partie enterrée atteignait une profondeur de 4 à 5 millimètres. Hartig ajoute que ces mêmes bois se conservent parfaitement lorsque, après la carbonisation, on les enduit de trois ou quatre couches d'une substance imperméable telle que le goudron.

Il y a deux sortes de pourriture, l'une qui procède de l'extérieur à l'intérieur et qui peut être attribuée aux germes des champignons disséminés dans l'air ou dans le sol; l'autre qui suit une marche inverse et qui tient à ce que trop souvent les bois trop âgés, ou sur le retour, comme disent les forestiers, commencent à se décomposer par le cœur qui, on le sait, est formé des couches les plus anciennes.

Pour s'opposer à la première, il faut éviter le contact de l'air, l'humidité et une température modérée. La seconde cause de pourriture ne peut être évitée qu'en portant au cœur un agent capable d'arrêter la décomposition.

On voit donc que la carbonisation superficielle ne peut s'opposer à la seconde cause de pourriture, mais qu'elle doit détruire les germes des champignons qui pourraient exister à la surface du bois, et s'opposer dans une certaine mesure à leur fixation, toutefois en ne suffisant pas pour éviter toute action de l'humidité. C'est ce qui peut expliquer la nécessité de l'enduit imperméable recommandé par Hartig.

En résumé, la carbonisation est un moyen de préparation dont les effets sont analogues à ceux qu'on peut attendre des enduits et des procédés d'immersion.

Il se caractérise par ce fait que la couche protectrice qu'il fournit est moins altérable que la peinture, et d'une continuité plus certaine pour les bois durs tels que le chêne, l'acacia, et que la couche obtenue par l'immersion dans un liquide antiseptique autre que la créosote; mais il n'est peut-être pas supérieur pour les bois tendres, bien dépouillés de leur aubier, à la créosote appliquée même par immersion.

On peut conclure que, pour les bois autres que le chêne, la carbonisation est inférieure aux procédés de pénétration intra-vasculaire tels que les procédés Boucherie, Bethell, Legé et Fleury Pironnet : 1° parce qu'elle ne saurait éviter la putréfaction des bois dont le cœur commence à se vicier; 2° qu'elle ne peut pénétrer dans les fentes profondes, enfin qu'elle exigerait une nouvelle opération pour les fentes qui viendraient à se produire après la première carbonisation; par suite qu'elle ne peut empêcher complétement les ravages des insectes, tels que tarets et termites, qui causent dans certains ports des dommages considérables aux bois de construction et aux vaisseaux. Nous rappellerons à cet égard que, dans les mers des Indes, les vaisseaux attaqués par ces tarets ne peuvent guère tenir plus d'une campagne et que sur la Charente, de Rochefort à Saintes, les termites ont envahi un grand nombre de constructions.

Ces conclusions se rapportent aux bois employés pour les chemins de fer et aux bois ordinaires de construction. Quant aux constructions navales, et au chêne qui y est surtout employé, la situation est différente, la créosote ou le sulfate de cuivre ne peut guère s'appliquer par immersion, surtout à la surface extérieure du bordé qui est dressée sur place, dont les parties les mieux préparées sont enlevées, et il est certain que la carbonisation, alors même qu'elle n'augmenterait la durée d'un vaisseau que de quatre ou cinq ans, doit rendre d'immenses services à l'État, puisqu'il n'est guère de bâtiments coûtant moins d'un million, et que pour leur donner cette augmentation de durée il ne faudra qu'une dépense relativement très-minime.

L'emploi du gaz portatif, comprimé sous une pression de 10 atmosphères, a rendu le travail de carbonisation très-pratique dans les arsenaux de la marine, et a permis son adoption générale.

COLZA. Plante oléagineuse de la famille des crucifères, cultivée en Belgique et dans le nord de la France, dont la graine donne par expression une huile principalement employée pour l'éclairage. (V. HUILES.)

COMBUSTIBLES. COMBUSTION. La *combustion*, dans le langage des chimistes de l'école de Lavoisier, consistait dans la combinaison des corps avec l'oxygène. On croyait à cette époque que ces combinaisons étaient les seules qui pussent développer de la lumière et de la chaleur, et l'on appelait *corps combustibles* les corps susceptibles de se combiner avec l'oxygène.

On a reconnu depuis que beaucoup d'actions chimiques, autres que la combinaison des corps avec l'oxygène, pouvaient produire de la chaleur et de la lumière, et que les phénomènes de combustion, tels que les envisageait Lavoisier, n'étaient qu'un cas particulier des phénomènes calorifiques qui accompagnent la combinaison.

Dans le langage ordinaire, le mot *combustibles* s'applique exclusivement à une classe de corps qu'on utilise pour produire de la chaleur ou de la lumière, en les *brûlant* par l'oxygène atmosphérique. Tous renferment beaucoup de carbone et des quantités d'hydrogène, d'oxygène et d'azote variables avec la nature du combustible.

On utilise les combustibles à l'état solide, liquide ou gazeux. Les combustibles liquides sont spécialement consacrés à *l'éclairage*. Les combustibles gazeux servent, suivant leur nature, à produire de la lumière ou de la chaleur. Ils résultent toujours d'une transformation préalable, partielle ou totale, des combustibles solides ou liquides en gaz. Nous ne nous occuperons ici que des combustibles employés pour produire de la chaleur. On trouvera à l'article ÉCLAIRAGE tout ce qui a rapport aux corps spécialement employés à la production de la lumière.

Les matières premières combustibles sont le bois, la tourbe et les divers combustibles fossiles. En soumettant ces matières à une chaleur convenable, on obtient un autre produit qui renferme beaucoup moins d'hydrogène, d'oxygène et d'azote que le combustible primitif, et qui porte, suivant la nature de ce dernier, le nom de *charbon de bois*, de *charbon de tourbe* ou *de coke*. Les procédés à l'aide desquels on obtient ces produits ont été décrits à l'article CARBONISATION.

Nous nous occuperons successivement dans cet article : 1° de l'évaluation de la chaleur produite par la combustion; 2° de la composition et des propriétés des divers combustibles; 3° de l'emploi des combustibles dans les fourneaux et de leur transformation en gaz.

I. — DE LA CHALEUR PRODUITE PAR LA COMBUSTION. On nomme *unité de chaleur* ou *calorie*, la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogr. d'eau à 0°.

On admet, bien que cela ne soit pas rigoureusement exact, que la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un poids P d'eau, du degré T au degré T' est représentée par P (T' — T). Ainsi, pour élever 7 kilogr. d'eau de 15 à 20°, il faudrait $7 \times (20 - 15)$ ou 35 unités de chaleur. Cela posé, la puissance calorifique d'un combustible sera représentée par le nombre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'unités de chaleur produites par la combustion complète de 1 kilogr. de cette matière.

Les premiers essais pour déterminer la puissance calorifique des combustibles sont dus à Rumford, Lavoisier et Laplace, et en dernier lieu MM. Despretz et Dulong, ont fait de nombreuses expériences sur cette question. Les instruments dont on se sert pour déterminer la puissance calorifique portent le nom de calorimètres. Il y en a de différentes sortes, qu'on trouve décrites dans tous les traités de physique. Le calorimètre de Lavoisier et Laplace était disposé de manière à pouvoir mesurer la quantité de glace fondue par un poids connu du combustible. Comme on sait que 1 kilogr. de glace à 0° exige 78 unités de chaleur pour produire 1 kilogr. d'eau à 0°, il est facile de connaître la chaleur dégagée par la combustion. Dans le procédé de Rumford, employé et perfectionné par MM. Despretz et Dulong, les produits de la combustion se dépouillent de toute leur chaleur en circulant dans un serpentin entouré d'une masse d'eau dont le poids est connu et dont l'échauffement thermométrique permet de mesurer la quantité de chaleur dégagée.

Lorsqu'on n'a besoin que d'une approximation, et que l'on connaît la valeur calorifique d'un premier combustible, on peut déterminer celle d'un second, en brûlant des poids égaux de ces deux combustibles dans le même foyer et en comparant les accroissements de température acquis dans les deux cas par le même poids d'eau. Mais ce mode de comparaison manque de précision, parce que deux combustibles différents, brûlés dans le même foyer, ne cèdent pas à la matière à échauffer la même fraction de la chaleur développée par leur combustion.

Plus un combustible renferme de carbone et d'hydrogène, plus sa valeur calorifique est considérable. Celle de ces deux éléments a été déterminée par plusieurs observateurs, et en dernier lieu par Dulong. Voici les nombres trouvés par cet illustre physicien pour le carbone, l'hydrogène et quelques autres gaz combustibles :

	p. 1 litre de vapeur.		p. 1 kilogr
Carbone. . . .	7calories,858	. .	7224
Hydrogène. . .	3, 430	. .	34995
Hydrogène protocarboné (gaz des marais).	9, 560	. .	11900
Hydrogène bicarboné (gaz oléfiant).	15, 300	. .	12170
Oxyde de carbone.	3, 430	. .	2500

M. Welter avait posé en principe que tous les combustibles dégageaient la même quantité absolue de chaleur lorsqu'ils se combinaient avec la même quantité d'oxygène, ou, en d'autres termes, que la chaleur dégagée était proportionnelle à la quantité d'oxygène entrée en combinaison, quelle que fût la nature du combustible; les nombres trouvés par Dulong ne s'accordent pas avec cette loi. En effet, des poids égaux de carbone et d'hydrogène prennent pour se transformer en acide carbonique et en eau des quantités d'oxygène qui sont entre elles dans le rapport exact de 1 à 3. Les chaleurs de combustion sont au contraire dans le rapport approximatif de 1 à 5. On constaterait un résultat semblable en comparant les chaleurs de combustion du carbone et de l'oxyde de carbone.

Mais si la loi de Welter est tout à fait inexacte quand on compare des combustibles très différents par leur état physique, comme le carbone et l'hydrogène, on peut la considérer comme suffisamment approchée dans le cas où les combustibles dont on veut déterminer la valeur calorifique se trouvent dans le même état physique, comme le bois, la tourbe, la houille. M. Berthier est parti de cette loi pour indiquer un moyen fort simple d'apprécier la valeur calorifique d'un combustible, sans avoir besoin d'en connaître la composition élémentaire. Voici, en quelques mots, en quoi consiste ce procédé : on mêle intimement 1 gr. de combustible à essayer avec 30 à 40 gr. de litharge; on introduit le mélange dans un creuset en terre, et on le recouvre de 20 à 30 gr. de litharge. On chauffe progressivement le creuset recouvert de son couvercle, et à la fin de l'opération, on donne un coup de feu pour fondre complétement les matières. On trouve dans le creuset refroidi, un culot de plomb recouvert d'une scorie formée par l'oxyde de plomb non réduit, les cendres du combustible et une certaine quantité de silice du creuset. On pèse le culot de plomb qui se sépare très nettement de la scorie. Dans cette opération, le combustible essayé se transforme complétement en acide carbonique et en eau, au moyen de l'oxygène de l'oxyde de plomb. Le poids du plomb est donc exactement proportionnel à la quantité d'oxygène que le combustible a prise pour sa combustion complète, et par suite, en admettant la loi de Welter, à son pouvoir calorifique. Or, on sait que le charbon pur produirait 34 fois son poids de plomb. Si donc P est le poids du culot obtenu, le pouvoir calorifique du combustible essayé sera $\frac{P}{34} \times 7224 = 212,5.\ P.$

Toutes les fois qu'un combustible renfermera de l'hydrogène et de l'oxygène dans les mêmes rapports que l'eau, son pouvoir calorifique sera déterminé par la proportion de carbone qu'il contiendra. Si l'hydrogène est en excès, on transformera une partie de l'hydrogène en eau au moyen de tout l'oxygène, et on ajoutera l'équivalent du surplus de l'hydrogène au carbone pour avoir le pouvoir calorifique. On voit que la composition élémentaire d'un combustible permet d'obtenir immédiatement son pouvoir calorifique.

Pour compléter ce qui précède sur les chaleurs de combustion, il faut ajouter que M. Despretz a trouvé exactement le même nombre pour la chaleur dégagée par la combustion du charbon dans l'air ou dans l'oxygène pur; la chaleur dégagée est donc indépendante de la pression du gaz et de la quantité d'oxygène qu'il renferme.

De la température de combustion. Nous appelons ainsi l'échauffement thermométrique maximum qu'il est possible de produire avec un combustible donné. Pour le déterminer, on procédera de la manière suivante : il est facile de trouver la quantité d'air nécessaire pour que cet air et le combustible employé se transforment réciproquement et complétement en eau, acide carbonique et azote, en partant de cette base, que 1 kilogr. de carbone exige 11k,59 d'air contenant 2k,666 d'oxygène pour se changer en acide carbonique, et que 1 kilogr. d'hydrogène en prend trois fois plus ou 34k,77 (contenant 8 kilogr. d'oxygène) pour former de l'eau. (on aura commencé par tenir compte de l'oxygène contenu dans le combustible en retenant 1 d'hydrogène pour 8 d'oxygène). On aura ainsi, pour 1 kilogr. de combustible, le poids de chacun des produits gazeux de la combustion. Or la chaleur produite par celle-ci doit se répartir entre tous les gaz de manière à les porter tous à une même température qu'on peut calculer, puisqu'on connaît la *chaleur spécifique* de chacun des gaz, ou la quantité de chaleur que prend 1 kilogr. de chacun d'eux pour s'échauffer de 1°. Le nombre ainsi obtenu, qui représente la température de combustion, varie comme on peut s'y attendre, d'un combustible à l'autre. On ne doit le considérer que comme un maximum; car nous ne savons pas ce qui peut survenir à une température aussi élevée (voy. DISSOCIATION).

Comme exemple de calcul, cherchons la valeur de combustion d'un charbon de bois de chêne de Clerval qui contient :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Hydrogène.	2,83
Carbone.	87,68
Oxygène.	6,43
Cendres.	3,06
	100,00

Pour avoir le pouvoir calorifique, il faut retrancher de 2,83 d'hydrogène, celui qui correspond à l'oxygène et qui est $\frac{6,43}{8} = 0,80$. Il reste 2,03 d'hydrogène qui équivalent à 6,40 de carbone. Le combustible équivaut donc à 93,78 de carbone pur, et son pouvoir calorifique calculé sera de 6775.

Pour avoir la température de combustion, on fera le calcul suivant :

1^k de charbon prendra pour 0^k,8768 de carbone.	10^k,10 d'air
et formera 3^k,211 d'acide carbonique.	
Les 0^k,0203 d'hydrogène prendront. .	0^k,74 d'air
et formeront 0^k,1827 d'eau, auxquels il faut ajouter les 0^k,0723 d'eau formée par l'oxygène du charbon, en tout 0^k,255 d'eau.	10^k,81 ou 8^{mc},34 d'air

Les produits de cette combustion seront donc :
3^k,211 d'acide carbonique ;
0^k,255 d'eau;
8^k,324 d'azote :
0^k,0306 de cendres.

La chaleur spécifique de l'acide carbonique étant 0,221, la quantité de chaleur nécessaire pour élever 3^k,221 de 1°, sera $3,221 \times 0,221 = 0,712$.

La chaleur spécifique de la vapeur d'eau est 0,475, le produit par $0,255 = 0,119$.

Le coefficient de l'azote est 0,273, le produit par $8^k,324 = 2,272$.

La chaleur spécifique des cendres peut être évaluée, approximativement, à 0,20, le produit par 0^k,03 sera 0,006, qui peut être négligé dans ce cas.

En ajoutant les trois nombres qui précèdent on a 3^{cal},10, qui représentent la quantité de chaleur nécessaire pour que tous les produits de la combustion d'un kilogramme de charbon s'échauffent de 1°. Or, comme la chaleur totale produite est de 6775, la température de combustion sera $\frac{6775}{3,1} = 2185$ degrés.

II. — Des divers combustibles. Les combustibles employés sont le bois et le charbon de bois, la tourbe et les différentes espèces de combustibles fossiles, le lignite, la houille et l'anthracite.

Bois. Dans l'état de vie, le bois est constitué, comme on sait, par un tissu fibreux au travers duquel circule un liquide qu'on appelle la *sève*. Examiné chimiquement, le bois est loin d'être une substance simple. En traitant le bois réduit en poudre fine, successivement par l'eau, les alcalis étendus, l'acide hydro-chlorique, l'alcool et l'éther, on en sépare des produits dont la nature et la proportion relative varient suivant l'espèce ; ainsi, par exemple, les bois dits résineux céderont à l'alcool une partie de leur poids plus considérable que les autres.

Le tissu fibreux du bois, dépouillé par l'action des dissolvants faibles des matières étrangères qu'il renfermait, et qui constitue au moins les 95 centièmes du poids du bois, est ce qu'on appelait il y a peu d'années encore le *ligneux*, et que l'on considérait comme une substance identique pour tous les bois. Mais des observations postérieures, dues à M. Payen, ont montré que le ligneux n'était pas une matière homogène, mais qu'il se composait d'une juxtà-position de cellules allongées, tapissées à l'intérieur par une matière dure et amorphe en couches plus ou moins irrégulières.

La matière qui forme les cellules a été désignée sous le nom de *cellulose* ; elle constitue le tissu de toutes les plantes des feuilles de tous les végétaux, et quand elle a été convenablement purifiée, elle présente toujours la même composition.

Elle contient :

Carbone.	43,8	
Hydrogène. . .	6,2	Ces deux éléments se trouvent dans les mêmes proportions que dans l'eau.
Oxygène. . .	50,0	
	100,0	

C'est la même composition que l'amidon.

Quant à la matière, qui forme les incrustations dans les cellules des tissus ligneux, elle paraît être formée de plusieurs principes immédiats différents; plus abondante dans le cœur que dans l'aubier des bois, elle en accroît la dureté et la densité. On la trouve aussi en plus forte proportion dans les bois désignés sous les différentes épithètes de *bruns, lourds* ou *durs*, que dans les bois appelés *blancs, légers* et *tendres*. La composition de la matière incrustante varie dans les différents bois entre 0,52 et 0,54 de carbone, 0,062 et 0,065 d'hydrogène, 0,395 et 0,408 d'oxygène. On voit qu'elle est plus riche en carbone que la cellulose, et qu'elle doit donner plus de chaleur par sa combustion, en raison du carbone et de l'hydrogène qui s'y trouve en excès sur l'oxygène ; aussi les bois durs ont-ils un pouvoir calorifique notablement plus élevé que les bois tendres. La composition de tous les bois se trouve comprise entre celle de la cellulose et celle de la matière incrustante, en se rapprochant davantage de cette dernière.

Les analyses que nous venons de rappeler se rapportent à des matières ligneuses desséchées avec soin à la température de 100° ; mais les bois, dans leur état ordinaire, sont loin d'avoir la même composition et un pouvoir calorifique aussi élevé. En effet, le bois vert, au moment où il vient d'être coupé, contient une proportion d'eau qui varie entre 38 et 45 p. 100, suivant les essences, et qu'on peut lui faire perdre par une exposition prolongée à 100° sans altérer le bois. Après avoir été exposé à l'air pendant un an, le bois retient encore, en moyenne, 25 p. 100 d'eau hygrométrique. Un bois desséché à 100°, et exposé de nouveau à l'air à la température ordinaire, lui reprend 8 à 12 p. 100 d'eau, fait analogue à celui que présentent en général les corps poreux.

Le bois simplement desséché à l'air et contenant encore 25 p. 100 d'eau, n'équivaut guère en moyenne qu'à 38 ou 40 p. 100 de carbone, et son pouvoir calorifique se trouve compris entre 2800 et 2900.

Cendres. Outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, qui constituent la partie combustible des bois, ceux-ci renferment encore des matières minérales fixes qui restent après la combustion et constituent les cendres. La proportion des cendres est en général une faible fraction du poids du bois ; elle varie du reste dans les diverses parties d'un même végétal. Ainsi les feuilles et l'écorce des bois donnent plus de cendres que les branches, et celles-ci plus que le tronc. M. Berthier a trouvé les proportions suivantes de cendres calcinées pour 1 partie de bois :

Peuplier, érable, Bourdaine, liége,	0,0020.	Tremble,	0,0060.
		Toile de fil,	0,0090.
Buis,	0,0036.	Coton blanc,	0,0400.
Chêne écorcé, fusain,	0,0040.	Ec. de chêne,	0,0420.
Frêne, aulne, sapin, Pin, noisetier, bouleau,		Acajou, Ebène,	0,0160.
Épine,	0,0050.	Fagots,	0,0220.
		Fougères,	0,0450.

Les cendres de bois se composent de sels alcalins solubles dans l'eau, et de matières insolubles. Les sels alcalins contiennent de la potasse et de la soude combinées avec les acides carbonique, sulfurique et hydrochlorique. Les matières insolubles renferment de l'acide carbonique et de l'acide phosphorique de la chaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse, et de la silice. La proportion d'acide carbonique qui reste dépend de la température à laquelle l'incinération a eu lieu, car on sait que le carbonate de chaux est décomposé à une haute température. La proportion des sels alcalins est très-variable. Pour certaines espèces, elle atteint la moitié du poids total des cendres (sapin de Norwége), tandis que, pour d'autres, elle descend jusqu'aux 8 centièmes du poids total des cendres. Il paraît également démontré que la composition des cendres n'est pas tout à fait constante pour la même essence. Les circonstances de climat, la nature du sol ont de l'influence sur la proportion et la nature des produits minéraux que la sève entraîne avec elle.

M. Berthier a fait sur la composition des cendres des diverses espèces de bois un travail très-étendu dont il a consigné les résultats dans son *Traité des essais par la voie sèche*, t. I, p. 259.

Propriétés du bois. Soumis à l'action de la chaleur, le bois commence à s'altérer vers 120°; il brunit, et à mesure que la température s'élève, il perd une fraction de plus en plus considérable de son poids. Les produits de sa distillation en vases clos sont en partie liquides, en partie gazeux. Les produits liquides se composent d'eau, d'acide acétique combiné à des huiles empyreumatiques, et de goudron, qui apparaît surtout à la fin de la distillation. Les gaz renferment de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, et peut-être de l'hydrogène carboné. Voici leur composition au commencement et à la fin de la distillation :

	Au commencement.	A la fin.
Acide carbonique.	44,9	29,2
Oxyde de carbone.	36,8	24,9
Hydrogène.	16,8	44,2
Azote et perte	1,5	1,7

Le résidu de la distillation est du charbon qui conserve la forme du bois employé. Le poids de ce charbon est très variable, suivant la manière dont la distillation a été conduite. Avec du bois ordinaire d'un an de coupe, on peut obtenir, en distillant le bois très lentement, jusqu'à 28 p. 100 de charbon. Par une distillation rapide, le même combustible n'en donnera que 12 à 13 p. 100. Cette différence tient à ce que, dans la distillation rapide, les produits de la distillation provenant du bois incomplétement carbonisé réagissent sur le charbon déjà formé, qui se trouve porté par le rayonnement des parois du vase à une température très élevée, et en entraînent une certaine quantité à l'état d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone.

Les bois durs, comme le chêne, le hêtre, le charme, ayant un tissu compacte et serré, se carbonisent toujours plus lentement que les bois tendres, et la proportion de charbon qu'ils laissent est plus considérable que celle de ces derniers ; de là vient que ceux-ci brûlent beaucoup plus vite, en donnant une plus grande quantité de flamme. Cette circonstance fait qu'on les préfère pour certains usages.

Bois torréfié, charbon roux. On emploie au lieu de charbon, dans quelques hauts fourneaux du département des Ardennes, un combustible intermédiaire entre le bois et le charbon, que l'on désigne sous le nom de *bois torréfié* ou de *charbon roux*. On prépare ce combustible en plaçant le bois dans des cylindres en fonte chauffés par la flamme perdue des hauts fourneaux, et lui faisant perdre par distillation une fraction de son poids comprise entre 30 et 50 p. 100. Le bois qui n'a perdu que 30 p. 100 est simplement desséché. On a trouvé dans l'emploi de ce combustible dans les hauts fourneaux, qu'il fallait notablement moins de bois pour obtenir 1 quintal de fonte, en le transformant en charbon roux plutôt qu'en charbon ordinaire par le procédé des forêts ; mais l'économie de combustible qui en résulte est balancée par l'augmentation du prix des transports, puisque tout le bois doit être amené à l'usine à l'état cru.

Charbon de bois. Le charbon de bois de bonne qualité est d'un noir brillant, cassant et sonore ; sa densité à l'état de poussière est à peu près double de celle de l'eau ; mais la densité apparente est beaucoup moindre en raison des pores du charbon. Marcus-Bull l'a trouvée comprise entre 0,625 et 0,845. On admet généralement que le mètre cube de charbon de bois dur pèse 210 à 230 kilogr., et celui de charbon de bois tendre de 180 à 200 kilogr.

Le charbon de bois, tel qu'on le prépare pour les besoins des arts (voyez CARBONISATION), n'est pas du carbone pur ; on peut encore lui faire perdre par une forte calcination en vases clos une partie de son poids qui varie ordinairement entre 8 et 15 p. 100. De là vient qu'il brûle, en produisant une légère flamme dans les premiers moments de sa combustion.

Voici la composition de deux variétés de charbon préparé par le procédé des forêts et desséché préalablement à 100°.

	Charbon de jeune chêne.	Charbon de tremble.
Carbone.	87,68	87,22
Hydrogène.	2,83	3,20
Oxygène.	6,43	8,72
Cendres.	3,06	0,86
	100,00	100,00
Perte par calcination en vases clos.	13,02	17,07.

Le pouvoir calorifique du charbon de bois est généralement compris entre 6500 et 7000.

Le charbon de bois possède la propriété très singulière d'absorber un grand nombre de gaz, et quelques-uns en quantité considérable, comme l'ammoniaque et l'acide hydrochlorique. Le charbon récemment fait et exposé à l'air, en absorbe huit ou dix fois son volume. Il condense également de la vapeur d'eau, ordinairement les 8 ou 10 p. 100 de son poids. La proportion de vapeur d'eau absorbée est d'autant plus considérable que le charbon a été plus fortement calciné.

Le charbon provenant des bois durs est préféré pour les usages où l'on veut obtenir une haute température. Le charbon de bois tendre est plus léger, et à volume égal, il développe moins de chaleur que l'autre, bien qu'à poids égaux il n'y ait pas de différence dans leur pouvoir calorifique. Le charbon obtenu par distillation en vase clos, est léger, friable ; il brûle facilement, mais il n'a pas la même valeur que le charbon cuit en meules, et l'expérience a prouvé qu'en l'employant, on pouvait difficilement arriver à une température très élevée nécessaire pour la plupart des opérations métallurgiques.

TOURBE. Ce combustible est le produit de l'altération qu'éprouvent, dans des lieux bas et marécageux, certaines plantes aquatiques herbacées. On la trouve surtout le long des rivières dont le cours est très lent, mais on en rencontre cependant des gisements considérables sur des plateaux élevés, dans les Vosges, le Jura, les Alpes. Elle est partout en bancs horizontaux, quelquefois fort épais, que l'on trouve très près de la surface du sol ; on y a observé beaucoup de débris, comme des poteries, des médailles, des ustensiles qui prouvent son origine toute moderne, et la continuation de sa formation à l'époque actuelle.

On peut distinguer deux variétés principales de tourbe, qui correspondent à des états de décomposition différents : 1° la tourbe compacte qui est noire ou d'un brun foncé ; on n'y distingue plus que çà et là de débris reconnaissables de végétaux ; 2° la tourbe herbacée qui est spongieuse et d'un brun clair ; elle est entièrement formée de débris reconnaissables de végétaux.

On exploite la tourbe au printemps, sous forme de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

briquettes, et on l'expose à l'air pendant l'été suivant pour la dessécher. Cette dessiccation lui fait éprouver un retrait considérable qui varie des 3/5 aux 4/5.

La pesanteur spécifique de la tourbe est très variable, en raison de son état plus ou moins avancé de décomposition, de son état de siccité, et de la proportion de cendres qu'elle renferme. Le poids du mètre cube est ordinairement compris entre 250 et 400 kilogr.

La tourbe se rapproche beaucoup, par sa composition et ses propriétés chimiques, du terreau. Elle renferme ordinairement une proportion considérable d'*ulmine*, corps qui se dissout dans les alcalis caustiques, en les colorant en brun foncé; les acides précipitent l'ulmine en flocons noirs de cette dissolution.

M. Regnault a trouvé la composition suivante à la tourbe de Vulcaire, près Abbeville, qui est dans un état d'altération très avancé. Ce combustible avait été préalablement desséché à 100°.

Hydrogène.	5,63
Carbone.	57,03
Oxygène.	29,67
Azote.	2,09
Cendres.	5,58
	100,00

En comparant cette composition à celle des matières ligneuses non altérées, on voit que le carbone a beaucoup augmenté, et que l'hydrogène se trouve en excès très sensible par rapport à l'oxygène. Le pouvoir calorifique de cette tourbe, calculé d'après l'analyse précédente, serait égal à 4540. Mais il faut observer que la tourbe perd le plus ordinairement de 15 à 30 p. 100 de son poids par dessiccation à 100°, et que la proportion des cendres est rarement aussi faible que dans la tourbe analysée. On peut admettre que le pouvoir calorifique de la tourbe de bonne qualité est compris entre 3000 et 3500.

Cendres. Les cendres que laisse la tourbe contiennent presque toujours des sels alcalins, mais en proportion beaucoup plus faible que celles du bois. Leur composition, du reste, est variable en raison de la nature du terrain qui avoisine les gites tourbeux. Dans les pays calcaires, les cendres de la tourbe se composent presque exclusivement de carbonate de chaux et d'argile, tandis qu'elles sont sableuses dans les contrées formées par des grès ou des roches primitives. Quant à la proportion totale des cendres, elle est très variable, et elle atteint quelquefois 18 à 20 p. 100.

Les cendres de tourbe traitées par les acides donnent quelquefois une odeur d'hydrogène sulfuré. On y trouve souvent du sulfate de chaux. C'est à la présence de la pyrite de fer dans les tourbes qu'il convient d'attribuer l'existence du soufre dans ces combustibles.

Les produits de la distillation de la tourbe sont assez analogues à ceux du bois, mais on y trouve en outre de l'ammoniaque. Leur odeur est beaucoup plus fétide que celle produite par le bois, et cette circonstance diminue l'emploi de la tourbe pour les usages domestiques. La proportion de charbon que laisse la tourbe à la distillation est assez variable, mais elle est presque toujours supérieure à celle que fournit le bois.

Charbon de tourbe. Le charbon que l'on fait avec la tourbe est en général tendre et friable, quand il renferme peu de matières terreuses et compactes, et dur quand il en contient beaucoup. Son poids est ordinairement supérieur à celui du charbon de bois. Il brûle facilement en produisant une légère flamme, mais sans odeur, ce qui permet de l'employer pour les usages domestiques. La proportion des cendres qu'il laisse est souvent très considérable, comme on pouvait s'y attendre d'après la composition des tourbes.

La fabrication du charbon de tourbe par des procédés économiques, a présenté jusqu'à présent d'assez grandes difficultés. Aussi, l'emploi de ce combustible est-il encore fort restreint.

COMBUSTIBLES FOSSILES. On divise ordinairement les combustibles fossiles en trois grandes classes : le *lignite*, la *houille* et l'*anthracite*. L'anthracite et la houille appartiennent, par leur gisement, aux terrains de transition et aux terrains secondaires; les lignites sont les combustibles que l'on trouve dans les terrains tertiaires.

La majeure partie des houilles se trouve exploitée dans une formation qui forme la partie supérieure des terrains de transition, et qu'on appelle pour cette raison la *grande formation carbonifère*. Dans la partie inférieure de cette formation on n'a jamais rencontré qu'un combustible très-sec, ne perdant que très-peu de son poids par la calcination, et qui porte le nom d'*anthracite*. La houille proprement dite, se trouve dans l'étage supérieur qu'on désigne généralement sous le nom de *terrain houiller*. Il y a aussi de l'anthracite dans le terrain houiller, et même dans les terrains secondaires, comme cela se voit dans les Alpes.

Tous les combustibles fossiles, depuis les lignites jusqu'à l'anthracite, sont évidemment le produit du dépôt et de l'altération de matières végétales. Dans les lignites, dont la formation se rapproche le plus de l'époque actuelle, on trouve encore des parties qui présentent des traces d'organisation végétale, et qui lient ces combustibles au bois fossile et aux tourbes, tandis que d'autres lignites ont une grande analogie, par leur aspect, avec les houilles proprement dites. Dans cette série de combustibles fossiles, il y a un passage graduel des matières ligneuses à peine altérées jusqu'aux anthracites formées presque entièrement de carbone.

J'ai réuni dans le tableau suivant (ci-après) le principaux résultats obtenus par M. Regnault, dans un beau travail sur la composition des combustibles minéraux.

Tous les combustibles dont l'analyse se trouve dans ce tableau avaient été desséchés préalablement à la température de 120°. L'anthracite et les houilles n'ont perdu ainsi qu'une quantité très peu notable d'eau hygrométrique. Il faut aussi faire remarquer que l'oxygène et l'azote ont été dosés ensemble dans les analyses précédentes. Or, il résulte d'assez nombreuses expériences que la proportion d'azote des divers combustibles minéraux est toujours à très peu près la même, et qu'elle se trouve comprise entre 1,50 et 2 p. 100; il est donc facile de faire la correction.

L'examen de ce tableau conduit aux conséquences suivantes :

On voit, comme on pouvait s'y attendre, que la proportion de charbon laissée par distillation est d'autant plus grande que le combustible renferme moins d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

La propriété collante des houilles, c'est-à-dire la faculté qu'elles ont de se ramollir et de se coller sous l'action de la chaleur, dépend surtout du rapport entre l'hydrogène et l'oxygène. Plus il y a d'hydrogène en excès sur l'oxygène, plus la houille est collante; quand la proportion d'hydrogène devient très considérable, comme dans les bitumes, il ne reste presque pas de coke à la distillation; presque tout le carbone se volatilise à l'état de carbure d'hydrogène.

Le pouvoir calorifique des combustibles désignés sous les noms d'anthracite, de houilles grasses et dures, et de houilles grasses maréchales est égal, sinon supérieur, à celui du carbone pur. A mesure qu'on se rapproche des combustibles de l'époque actuelle, le pouvoir calorifique diminue rapidement; les lignites bitumineux qui font exception à cette règle, ne se trouvent qu'en petite quantité par rapport aux autres combustibles.

Les usages auxquels on emploie les divers combustibles minéraux sont aussi en rapport avec leur composition chimique.

Les *anthracites* brûlent difficilement, avec une flamme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION des COMBUSTIBLES.	LIEUX d'où ils proviennent.	NATURE du COKE.	DENSITÉS.	COMPOSITION.				COKE laissé par calcination.	POUVOIR calorifique d'après la loi de Welter
				carbone	hydrogène	oxygène et azote	cendres		
I. Anthracite.	Pays de Galles.	pulvérulent.	1,348	92,56	3,33	2,53	1,58	89,5	7300
	Lamure.	*id.*	1,362	89,77	4,67	3,99	4,57	90,0	6800
II. Houilles grasses et dures.	Alais.	boursouflé.	1,322	89,27	4,85	4,47	1,41	77,7	7370
III. Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier (Grand-Croix).	très boursouflé.	1,298	87,45	5,14	5,63	1,78	68,5	7270
IV. Houilles grasses à longue flamme.	Lancashire (Cannelcoal).	boursouflé.	1,317	83,75	5,66	8,04	2,55	57,9	7050
	Commentry.	*id*	1,319	82,72	5,29	11,75	0,24	63,4	6730
V. Houilles sèches à longue flamme.	Blanzy.	fritté.	1,362	76,48	5,23	16,01	2,28	57,»	6230
VI. Lignite parfait (terrain tertiaire).	Dax.	pulvérulent.	1,272	70,49	5,59	18,93	4,99	49,1	5790
VII. Lignite imparfait.	Grèce.	*id.*	1,185	61,20	5,00	24,78	9,02	38,9	4830
	Usnach (bois fossile).	*id.*	1,167	56,04	5,70	36,07	2,19	»	4320
VIII. Liguite passant au bitume.	Ellbogen.	boursouflé.	1,157	73,79	7,46	13,79	4,96	27,4	6580
Asphalte.	Cuba.	*id.*	1,063	79,18	9,30	8,72	2,80	9,0	7500

faible, sans se coller ni se ramollir sous l'action de la chaleur. Plusieurs variétés de ce combustible ont la propriété de décrépiter et de se réduire en petits fragments à la première impression du feu.

L'anthracite est employée pour le chauffage des chaudières et la cuisson de la chaux. Les variétés qui ne décrépitent pas pourront être employées en outre avec avantage pour fondre les minerais de fer dans les hauts fourneaux et pour les usages domestiques.

Les *houilles grasses et dures* sont surtout estimées pour la fabrication du coke. Le produit de leur carbonisation est peu boursouflé, dense et doué d'une forte cohésion. Il est d'un bon emploi dans les opérations métallurgiques, pour la fusion des minerais de fer.

Les *houilles grasses maréchales* et les *houilles grasses à longue flamme*, sont celles qui conviennent le mieux pour la forge, et pour le chauffage des fours à réverbère à haute température. Les houilles grasses à longue flamme conviennent parfaitement pour la fabrication du gaz d'éclairage parce qu'elles fournissent beaucoup de produits gazeux chargés de carbure d'hydrogène en quantité suffisante pour assurer leur pouvoir éclairant. Le coke qu'elles produisent est très boursouflé et convient moins bien pour les applications métallurgiques que le coke compacte et dur.

Les *houilles maigres* ou les *houilles sèches à longue flamme*, donnent un coke à peine fritté, qui n'a pas du tout de consistance. Elles sont encore bonnes pour les chaudières à vapeur et pour tous les usages qui n'exigent pas une température très élevée ; mais elles conviennent peu aux opérations métallurgiques. Leur pouvoir calorifique et leur température de combustion sont déjà bien inférieurs à ceux des groupes précédents.

Les lignites servent pour les évaporations, le chauffage des chaudières, la cuisson de la chaux et des briques, le chauffage domestique; leur température de combustion est peu élevée.

Il y a encore d'autres éléments dont il est essentiel de tenir compte dans la détermination de la valeur des combustibles minéraux, ce sont :

1° *La nature et la proportion des cendres.* La nature des cendres de houille est assez peu variable. Elles sont presque toujours argileuses; on y rencontre aussi de l'oxyde de fer, du carbonate et du sulfate de chaux. La proportion des cendres que laissent les combustibles minéraux est extrêmement variable d'une couche à l'autre et même dans les différentes parties d'une même couche, mais il est rare qu'en moyenne elle soit aussi faible que celle portée sur le tableau précédent;

2° *Les pyrites de fer.* Cette matière se rencontre malheureusement, très fréquemment, dans les houilles, et nuit beaucoup à leur qualité. Elle se trouve disséminée en petits cristaux, souvent à peine visibles, entre les feuillets de la houille. Par le contact de l'air humide, la pyrite se change en sulfate en absorbant de l'oxygène, et il en résulte une expansion qui fait tomber la houille en poussière. Quand cette décomposition s'opère dans l'intérieur des mines, le dégagement de chaleur qui l'accompagne peut être tel que la houille prenne feu; on voit souvent des incendies produits par cette cause. Enfin, les houilles pyriteuses ne peuvent servir qu'à un petit nombre d'usages, parce que le soufre qu'elles renferment corrode peu à peu le fond des chaudières, les tuyaux, et qu'il altère la qualité des métaux avec lesquels le combustible est en contact.

Quand on brûle les houilles, le soufre des pyrites se dégage à l'état d'acide sulfureux, et le fer reste dans les cendres à l'état de peroxyde. Quand la houille renferme en même temps du carbonate de chaux, une partie du soufre est retenue dans les cendres à l'état de sulfate.

Disons un mot, pour terminer ce qui est relatif aux combustibles minéraux, des produits de leur distillation et de leur combustion.

Les houilles donnent à la distillation des gaz combustibles, de l'eau souvent ammoniacale, des huiles empyreumatiques, et laissent un résidu charbonneux ou *coke*. L'ammoniaque provient de l'azote du combustible, et se trouve, dans les produits de la distillation, à l'état de carbonate ou d'hydrosulfate. Quant aux huiles empyreumatiques, elles sont formées d'un grand nombre de principes immédiats différents, parmi lesquels on peut citer la *naphtaline*, qui encombre si souvent les tuyaux de conduite dans la fabrication du gaz d'éclairage.

Le gaz d'éclairage préparé avec la houille est un mélange de plusieurs gaz hydrogénés et d'oxyde de carbone tenant en dissolution des carbures d'hydrogène à l'état de vapeur. La composition des divers gaz d'éclairage et les circonstances les plus favorables à leur production, seront décrites à l'article ÉCLAIRAGE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Du coke. On appelle ainsi le produit de la carbonisation de la houille, et l'on en fait un grand usage dans les travaux métallurgiques; il est en masses poreuses comme la pierre ponce et d'autant plus dur que les cavités des pores sont moins larges; il a un éclat demi-métallique, et sa couleur est le gris de fer. L'hectolitre de coke pèse en moyenne 40 à 45 kilogr.

Il attire l'humidité de l'air, mais moins que le charbon de bois.

Le coke préparé en grand ne retient pas une quantité notable de matières volatiles combustibles; aussi son pouvoir calorifique ne diffère de celui du carbone que par la proportion des cendres qu'il renferme, et qui s'élève ordinairement jusqu'à 10 et même 15 p. 100.

La pyrite de fer contenue dans les houilles, se trouve dans le coke à l'état de proto-sulfure qu'on aperçoit difficilement, parce que sa couleur est à peu près la même que celle du coke; mais il est facile d'en reconnaître la présence par l'acide hydrochlorique, qui produit dans ce cas un dégagement d'hydrogène sulfuré.

Le coke est d'une combustibilité difficile, mais il permet d'obtenir dans les fourneaux une température très notablement supérieure à celle que produirait le charbon de bois. Nous verrons plus bas à quoi tient cette circonstance.

III. — DE L'EMPLOI DES DIVERS COMBUSTIBLES. La chaleur développée par la combustion se disperse de deux manières différentes : une partie est rayonnée par le combustible embrasé, l'autre est entraînée par les produits gazeux de la combustion. Dans certains cas, comme celui des cheminées qui servent au chauffage domestique, on n'utilise que la chaleur rayonnante.

Quand, au contraire, la combustion s'opère dans une enceinte fermée, comme dans les foyers des fours à réverbère, la chaleur dispersée par le rayonnement du combustible sert à échauffer les parois du foyer. A partir du moment où celles-ci ont atteint une température fixe, toute la chaleur développée est entraînée par les gaz qui peuvent alors s'échauffer jusqu'au degré que nous avons appelé la température de combustion, puisque la chaleur rayonnée par les parois est égale à celle rayonnée par le combustible incandescent.

M. Peclet a déterminé, au moyen d'un appareil particulier, pour chaque combustible, la fraction de la chaleur totale qui est dispersée par le rayonnement. Il est arrivé à cette conclusion, que le charbon embrasé rayonne plus que les flammes : ainsi M. Peclet admet que, pour le charbon de bois, la chaleur rayonnée est la moitié de la chaleur totale, tandis qu'elle n'est que les 2/5 pour le bois.

Les appareils dans lesquels on utilise les combustibles, ont des formes et des destinations très variées.

Dans le cas le plus simple, celui du chauffage domestique, on n'utilise souvent que la chaleur rayonnée; c'est le cas des foyers à cheminée. Quand on se sert de poêles, presque toute la chaleur développée par la combustion pourrait, à la rigueur, se transmettre à l'air de la pièce par l'intermédiaire du poêle et de la cheminée. (Voir l'article CHAUFFAGE.)

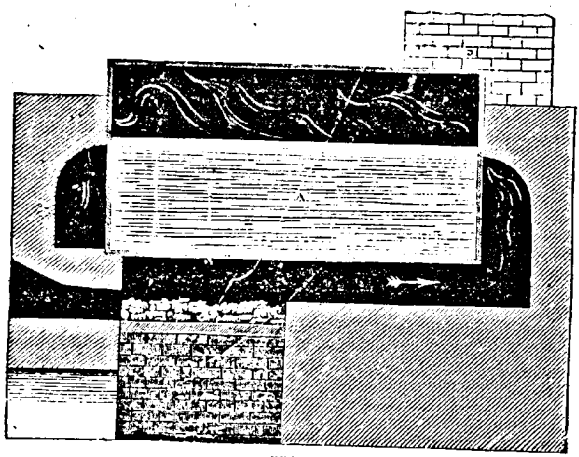
Les appareils employés dans les arts pour utiliser les combustibles peuvent se diviser en deux grandes classes : la première comprend tous ceux où la matière à échauffer n'est pas en contact direct avec le combustible. On peut y ranger les foyers qui servent à évaporer des liquides ou à chauffer des chaudières à vapeur, les fours à réverbère de forme si variée qu'on emploie dans le traitement des métaux, les fours à faïence et à porcelaine.

La seconde classe comprendra tous les appareils où la matière à échauffer est en contact direct avec le combustible. Les foyers de maréchalerie, les foyers d'affinage pour les métaux, tous les fourneaux à cuve qui servent au traitement des minerais métalliques et à la fusion des métaux, appartiennent à cette dernière classe.

On emploie généralement des combustibles à flamme dans tous les appareils de la première classe; dans ceux de la seconde, au contraire, on n'emploie guère que des combustibles carbonisés.

Je vais indiquer rapidement les circonstances principales de l'emploi des combustibles dans ces deux classes d'appareils.

Première classe. Le combustible est généralement placé sur une grille, et son épaisseur n'y dépasse pas 20 à 25 centim. L'air arrive par-dessous la grille, s'introduit à travers les barreaux, et traverse le combustible incandescent. Les produits de la combustion, après s'être dépouillés au contact avec la matière à échauffer d'une partie plus ou moins considérable de la chaleur qu'ils entraînent, sont enlevés par une cheminée placée à l'autre extrémité du foyer et qui détermine *le tirage*. (Voir CHEMINÉE.)



558.

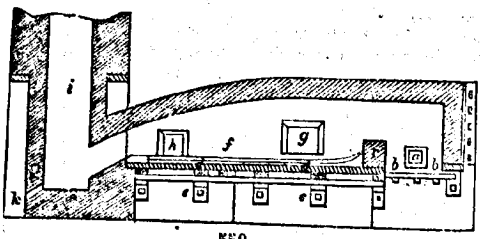
Dans les foyers de chaudière (fig. 558), on s'arrange pour que la surface de la chaudière A, en contact avec les produits de la combustion qui s'opère sur la grille C, ait un développement suffisant, afin que ceux-ci n'arrivent à la cheminée D, qu'après avoir abandonné la majeure partie de leur calorique.

L'expérience prouve que la quantité d'air qui traverse la grille, dans le cas qui nous occupe, est ordinairement le double de celle qui est nécessaire pour brûler complétement le combustible, et cependant ces foyers, dans leur construction actuelle, donnent presque constamment de la fumée; cette circonstance s'explique de la manière suivante : le carbone très divisé qui constitue la fumée résulte d'une combustion incomplète des carbures d'hydrogène dégagés par le combustible. Pour le brûler par l'oxygène atmosphérique, il est nécessaire que le mélange soit porté à une température élevée; or, à une certaine distance de la grille, la majeure partie de la chaleur produite est déjà absorbée par les chau-

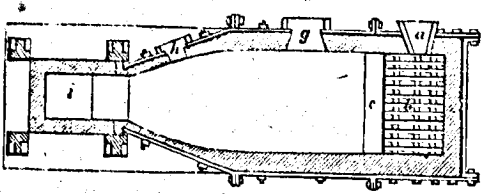
EFERUS - Recherche & Classification numérique

dières et sa température n'est plus assez élevée pour produire la combustion de la fumée.

Dans un four à réverbère (fig. 559 et 560), la grille



559.



560.

b, est séparée de la *sole f*, où se trouve la matière à échauffer par un mur en briques *c*, qu'on appelle *pont* ou *autel*. Ce pont est très élevé au-dessus de la sole, dans tous les cas où l'on craint l'oxydation de la matière qu'on échauffe, afin que le courant de gaz suive surtout la voûte du four, et que le métal ne s'échauffe que par le rayonnement de celle-ci.

L'analyse de l'air des cheminées des fours à réverbère où l'on produit une température très élevée, comme les fours à puddler et à réchauffer le fer, montre qu'il n'y a guère, en moyenne, que 7 à 8 p. 100 d'air non désoxygéné dans les produits de la combustion. Ce léger excès d'air paraît suffisant pour empêcher la formation des gaz combustibles. Un plus grand excès d'air serait nuisible, car il absorberait en pure perte pour s'échauffer une partie de la chaleur développée par la combustion, et par conséquent il abaisserait proportionnellement la température produite par celle-ci. Cette température serait un *maximum*, si le combustible et l'air se changeaient réciproquement et complétement en eau, acide carbonique et azote.

En quittant la sole du four, le courant de gaz doit posséder encore une température supérieure à celle que doivent atteindre les matières qui s'y trouvent placées. Il y a donc une grande quantité de chaleur entraînée dans la cheminée, et celle qui est réellement utilisée sur la sole des fours à réchauffer le fer ne dépasse pas 10 p. 100 de la chaleur de combustion totale. Aussi a-t-on commencé, dans quelques usines, à intercaler entre la cheminée et la sole des fours des chaudières à vapeur qui ont permis d'obtenir ainsi les 40/100es de la chaleur de combustion, sans que le tirage ait été diminué et sans que la consommation du fer se soit accrue.

Tous les combustibles peuvent être utilisés pour le chauffage des chaudières, parce qu'il n'est pas nécessaire que la température de combustion soit très élevée. Dans les fours à réverbère, les combustibles les plus avantageux sont ceux dont le pouvoir calorifique est le plus élevé, pourvu qu'ils aient la propriété de brûler avec flamme. Les bonnes houilles grasses réunissent ces deux conditions. Il faut en effet, pour que l'on puisse utiliser le combustible, que la température de combustion soit supérieure à celle qu'il est nécessaire de produire sur la sole du four. Ainsi, dans les fours à souder le fer il faut arriver au moins à 1500c. Or, il est évident qu'on arrivera d'autant plus vite à souder le fer que la différence entre cette température limite et la température que possède le courant de gaz sera plus grande. Plus la température de combustion sera élevée, plus la fraction de la chaleur utilisée sera considérable, et par conséquent, moins on consommera de *calories* pour produire l'effet cherché. On explique ainsi pourquoi il y a économie à se servir de certains combustibles de préférence à d'autres, bien que la *calorie* de celui qu'on préfère soit plus chère que la calorie de l'autre, et pourquoi un combustible donné pourra ne pas produire le résultat que l'on attend, quelle que soit la proportion qu'on en emploie, si sa température de combustion est inférieure ou seulement égale à la température cherchée.

La préférence que l'on donne aux combustibles à flamme sur les combustibles carbonisés, dans le chauffage des fours à réverbère, s'explique par cette circonstance que le mélange des gaz combustibles produits par la distillation de la houille avec l'air, ne se fait complétement que sur la sole du four. C'est donc dans cette partie de l'appareil qu'aura lieu le maximum de température. Avec un combustible qui ne renfermerait que peu de matières volatiles, le maximum se produirait à une petite distance de la grille, et la température des gaz serait déjà sensiblement abaissée à leur arrivée sur la sole.

On peut faire brûler avec flamme des combustibles fixes, comme le coke ou l'anthracite, en lançant sous la grille de la vapeur d'eau en petite proportion. Celle-ci donne, au contact du combustible incandescent de l'acide carbonique et de l'hydrogène, gaz qui ne se mêlent complétement à l'air qu'à une certaine distance, en sorte que le lieu de la combustion se trouve rapproché de la sole. L'emploi de la vapeur d'eau paraît avoir produit des résultats avantageux pour la combustion de l'anthracite sur les grilles des fours à réverbère et des foyers de chaudières.

On n'observe guère de fumée, dans les fours à réverbère à haute température, qu'au moment du chargement du combustible sur la grille, et cependant l'excès d'air est ici moins considérable que dans les cheminées des foyers de chaudières; la haute température du mélange gazeux explique cette circonstance. La matière charbonneuse qui constitue la fumée doit nécessairement disparaître, soit par l'oxygène de l'air en excès, soit par l'action de l'acide carbonique déjà existant dans le courant de gaz. Au moment où l'on charge la houille sur la grille, la distillation presque instantanée qu'éprouve tout le menu en arrivant dans un foyer très échauffé explique la présence de la fumée.

Dans le cas où il faut éviter avec grand soin que la matière à échauffer ait le contact de la fumée, on emploie un mode de combustion, dit *à flamme renversée*, qui est surtout usité dans la cuisson de la porcelaine et de la faïence.

Les fig. 561, 562, 563 et 564 représentent la coupe verticale et trois coupes horizontales d'un four destiné à la cuisson de la faïence fine, il a la forme d'une tour ronde surmontée d'une partie voûtée, et placée dans l'intérieur d'une grande hotte ou cheminée TT. Les pièces à cuire sont placées dans la tour D, qui communique avec l'extérieur par 7 foyers *a*, *a*, qu'on appelle des *allandiers*. Le combustible qui est du bois sec coupé en petites bûches est placé sur une grille disposée en *f*. L'air s'introduit ici dans le four de haut en bas, et avant d'arriver à la grille, il traverse d'abord le bois qu'on vient de charger, puis le charbon qui se trouve au-dessous. Les produits de la distillation du bois sont donc obligés de traverser, mélangés avec de l'air non brûlé, du charbon incandescent. Ils se trou-

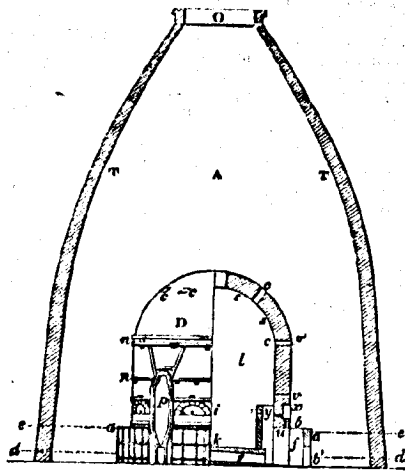
EFERUS - Recherche & Classification numérique

COMBUSTIBLES.

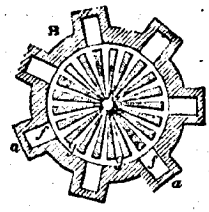
vent ainsi portés à une température très-élevée, et cette circonstance produit la combustion complète de la fumée.

Les ouvertures b', b', qu'on remarque au-dessous de la grille, ne servent qu'à enlever les cendres.

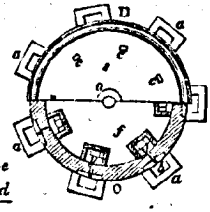
peut admettre, comme limite supérieure, qu'à 40 centimètres de distance de la tuyère, l'oxygène de l'air est complétement changé en oxyde de carbone. Ce fait devient d'une grande importance, quand on le rapproche de l'effet calorifique produit par la transformation de



562.



563.



564.

564.

2e *classe*. Dans tous les appareils qui précèdent, on cherche toujours à produire une combustion aussi complète que possible. Les produits de cette combustion sont de l'eau, de l'acide carbonique et de l'azote. L'air, n'ayant à traverser qu'une couche peu épaisse de combustible, est généralement appelé dans le foyer par le simple tirage de la cheminée. Dans tous les foyers de la seconde classe, le combustible se trouve en couche épaisse, et l'air y est presque toujours injecté, sous une certaine pression, par une machine soufflante au moyen d'un orifice particulier peu étendu, qu'on appelle la *tuyère*. La combustion s'opère ici suivant des lois particulières qui exigent quelques développements.

Quand l'air traverse une épaisseur un peu considérable de charbon, celui-ci se brûle de deux manières différentes. L'oxygène de l'air en s'introduisant dans le fourneau forme d'abord de l'acide carbonique, et ce gaz, en traversant une nouvelle couche de combustible incandescent, se transforme en oxyde de carbone en doublant de volume. On peut donc diviser en trois zones distinctes l'espace compris entre l'entrée de l'air et la sortie du gaz : 1° la zone où commence la combustion : on y trouve de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote ; l'oxygène diminue constamment à mesure qu'on s'éloigne de la tuyère, et produit un volume égal au sien d'acide carbonique ; 2° la zone où s'effectue la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, 3° enfin celle où tout l'oxygène atmosphérique est complétement changé en oxyde de carbone. Comme ce gaz ne renferme qu'un demi-volume d'oxygène, la composition de la colonne gazeuse dans cette région serait représentée par 79 volumes d'azote et 42 d'oxyde de carbone ou 65,6 du premier et 34,4 du second.

L'expérience prouve que les deux premières zones n'occupent, dans la plupart des fourneaux à courant d'air forcé, qu'un espace peu considérable, dont l'étendue varie avec la vitesse et la température de l'air, d'une part, et la nature du combustible de l'autre. Dans des hauts fourneaux à fondre les minerais de fer, on l'acide carbonique en oxyde de carbone. On déduit aisément des expériences précitées de Dulong qu'il doit y avoir dans ce cas absorption d'une grande quantité de chaleur et par conséquent un abaissement considérable dans la température de la colonne gazeuse ascendante.

En effet, d'après Dulong, 1 litre de vapeur de carbone ($1^{gr},077$) donne, en se transformant en 2 litres d'acide carbonique, 7858 calories ; ces 2 litres d'acide carbonique prendront 1 litre de vapeur de carbone ou $1^{gr},077$ pour former 4 litres d'oxyde de carbone, qui développeront, par leur combustion complète, 12520 unités de chaleur.

Voilà donc $7858 + 12520 = 20378$ calories produites par la combustion complète de 2 litres ($2^{gr},154$) de vapeur de carbone. Or, ces 2 litres de vapeur de carbone en se transformant directement en acide carbonique, n'auraient produit que 2×7858 ou 15716 calories. On en conclut nécessairement que la différence 4662 représente la quantité de chaleur rendue latente par la transformation de 2 litres d'acide carbonique en 4 litres d'oxyde de carbone.

Ainsi donc, en brûlant un combustible fixe en couche épaisse par un courant d'air forcé, on a deux effets calorifiques inverses produits par deux quantités égales de carbone. La première combustion qui donne lieu à l'acide carbonique, produit une température très élevée. La transformation de cet acide carbonique en oxyde de carbone détermine, au contraire, un abaissement considérable de température.

Ce résultat explique pourquoi, dans tous les foyer. à courant d'air forcé, le lieu du maximum de température est peu étendu. On voit aussi combien il import que l'épaisseur du combustible sur les grilles des fours à réverbère ne soit pas trop grande, puisqu'il en résulterait une formation d'oxyde de carbone et un abaissement correspondant dans la température du courant du gaz.

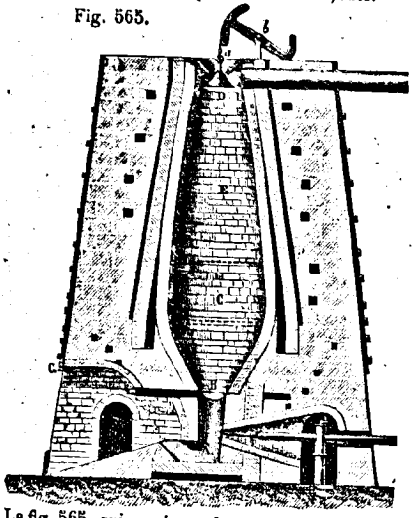
Parmi les appareils alimentés par un courant d'air forcé, les uns qui portent spécialement le nom de *foyers*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(*foyers de maréchalerie, foyers d'affinerie*), se composent d'une simple cavité qu'on appelle le *creuset*. Il y a souvent, dans la plupart de ces foyers, une épaisseur de 30 à 40 centim. de charbon au-dessus des tuyères, en sorte que les produits de la combustion renferment ordinairement une assez forte proportion d'oxyde de carbone. Quand ces foyers servent à chauffer des barres métalliques, les ouvriers savent parfaitement qu'il y a une position de la barre dans le foyer qui produit l'échauffement de celle-ci beaucoup plus rapidement que toute autre. Dans les foyers d'affinage de la fonte qui reçoivent le vent sous une pression de 0m,03 de mercure, le lieu du maximum de température est à 10 ou 12 centim. de distance du museau de la tuyère. Les gaz aspirés dans cette région du feu renferment plus d'acide carbonique que partout ailleurs.

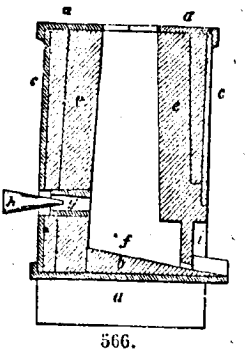
Les autres appareils à courant d'air forcé portent généralement le nom de *fourneaux à cuve*, parce qu'il y a au-dessus de la tuyère un espace vide appelé *cuve*, qui est rempli pendant le roulement du fourneau par le combustible et la matière à traiter. Ces fourneaux sont employés pour le traitement des minerais métalliques et la fusion des métaux. Il y en a un très-grand nombre d'espèces dont les dimensions et la forme varient suivant leur emploi. Tels sont les *fourneaux à manche*, les *hauts-fourneaux* à fondre les minerais de fer, les *cubilots* pour refondre la fonte.

Fig. 565.

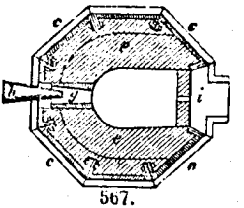


La fig. 565, qui représente la coupe d'un haut-fourneau à fer, donnera une idée générale de ces fourneaux. Le charbon et le minerai de fer sont chargés par l'ouverture supérieure, qui porte le nom de gueulard; l'air est projeté dans le fourneau par les tuyères T, au moyen de tuyaux, qui communiquent avec la machine soufflante. Il y a dans un pareil fourneau en roulement une colonne gazeuse ascendante qui s'échappe par le gueulard D, et une colonne solide descendante formée par le charbon et les minerais. En arrivant devant la tuyère, le charbon se brûle complétement; le minerai s'y fond et se sépare en deux parties, la fonte et les *laitiers*, sorte de verre formé par les éléments terreux du minerai et du fondant. La fonte et les laitiers se réunissent dans le creuset A, où ils se séparent en vertu de leur pesanteur spécifique relative, et les laitiers s'écoulent au dehors.

Les réactions qui s'opèrent dans les hauts-fourneaux se déduisent naturellement des principes qui ont été exposés plus haut. Ainsi la *zone de fusion* des minerais se trouve occuper dans le fourneau une hauteur de 30 centim. à partir de la tuyère, et l'expérience prouve que la combustion du charbon s'opère en entier dans cet intervalle, et que la limite supérieure de la zone de fusion correspond précisément au point où l'acide carbonique est complétement changé en oxyde de carbone. La chaleur sensible que conserve la colonne gazeuse, après cette réaction, se communique aux matériaux solides de la colonne descendante. Elle entraîne tous les éléments volatils du minerai et du charbon, l'acide carbonique du calcaire employé comme fondant, et les produits de la distillation du charbon, en même temps que l'oxyde de carbone, ramène l'oxyde de fer à l'état métallique.



566.



567.

La transformation complète de l'oxygène atmosphérique en oxyde de carbone n'a pas lieu dans tous les fourneaux à cuve. Ainsi, par exemple, dans les cubilots (fig. 566 et 567), on trouve que les gaz renferment encore des proportions très-considérables d'acide carbonique, bien qu'ils aient traversé une hauteur de 2 à 3 mètres de fonte et de coke. Il y a évidemment avantage à ce qu'il en soit ainsi, puisque la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone produit à la fois une consommation de charbon et une absorption de chaleur. Le maximum d'effet utile du combustible, dans le cubilot, correspondrait évidemment à la transformation de l'oxygène atmosphérique en acide carbonique seulement.

Au contraire, dans le haut-fourneau, il est nécessaire que l'acide carbonique se change complétement en oxyde de carbone, afin que le fer réduit dans la cuve puisse se carburer avant d'arriver dans la zone de fusion. Cette carburation n'aurait pas lieu dans une atmosphère chargée d'acide carbonique, et même le fer s'y oxyderait en formant de l'oxyde de carbone.

La quantité relative des combustibles fixes qu'on emploie dans les fourneaux est loin d'être proportionnelle à leur pouvoir calorifique. Ainsi, si l'on compare le coke et le charbon de bois, on trouve qu'il faut en moyenne, dans le haut-fourneau, deux fois plus de coke que de charbon de bois pour obtenir le même poids de la même nature de fonte. Dans le cubilot, on trouve, au contraire, qu'il faut trois fois plus de charbon de bois que de coke pour refondre 100 kilog. de fonte. L'expérience prouve également que dans les fourneaux à vent, tel que celui employé pour la fabrication de *l'acier fondu*, le coke est bien plus avantageux que le charbon de bois, et qu'on peut, en l'employant, obtenir 10° pyrométriques de plus qu'avec le charbon.

L'explication de ces résultats fort singuliers se déduit naturellement des notions que nous donne l'expérience sur la combustibilité relative des différentes es-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pèces de charbon. Ainsi, il paraît bien constant que le charbon de bois transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke. Partout où l'acide carbonique devra être complétement changé en oxyde de carbone, il y aura avantage à employer le charbon de bois, puisque l'étendue de la zone oxydante avec celui-ci sera, toutes choses égales d'ailleurs, bien moins considérable qu'avec le coke. Quand, au contraire, on devra transformer le moins possible d'acide carbonique en oxyde de carbone, comme dans les cubilots, les fourneaux à vent, le coke sera bien préférable au charbon de bois. Nous supposons, dans tout ce qui vient d'être dit, que la calorie du charbon de bois n'est pas plus chère que la calorie du coke, on, ce qui revient au même, nous cherchons quel est celui des deux combustibles qui permettra d'obtenir un effet donné avec la moindre dépense de *calories*, indépendamment de leur prix relatif.

On peut maintenant se demander pourquoi le charbon de bois transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke. La porosité du charbon de bois me paraît pouvoir expliquer ce fait d'une manière satisfaisante. D'après M. Mitscherlich, le diamètre moyen des pores du charbon de bois est d'environ $\frac{1}{100}$ millim. En comparant le poids du charbon sec au poids du même charbon imbibé d'eau et au diamètre des pores, M. Mitscherlich a calculé que la surface totale des cellules, dans un morceau de charbon de bois qui pesait 0gr,9565 était d'environ 8 mètres carrés. Comme les gaz peuvent pénétrer dans les pores du charbon, on voit que sous un faible volume il leur offre une surface très considérable, et que par conséquent l'action chimique peut s'effectuer tout entière dans un espace peu étendu. Le coke est loin de présenter une porosité comparable à celle du charbon de bois. Les mêmes considérations permettent d'expliquer pourquoi le charbon de bois, une fois allumé, continue à brûler à l'air libre, tandis que le coke s'y éteint très rapidement. Il ne paraît pas nécessaire, pour rendre compte des différences de combustibilité des divers charbons, d'admettre des différences dans leur nature chimique.

J'ai dit plus haut qu'on n'employait ordinairement dans les fourneaux à cuve que des combustibles carbonisés. On a proposé, il y a quelques années, de remplacer ceux-ci par des combustibles à l'état cru, et de nombreuses expériences ont été faites dans les usines à fer sur la substitution du bois au charbon dans les hauts-fourneaux. On pensait qu'on utiliserait dans le haut-fourneau toute la partie combustible que perd le bois pour se transformer en charbon. Mais l'expérience a prouvé que dans un fourneau alimenté en tout ou en partie avec du bois, celui-ci se carbonisait dans une certaine zone de l'appareil élevée bien au-dessus de la zone de combustion, en sorte que tous les produits de la distillation se dégageaient avec les gaz de la colonne ascendante. On a constaté également que cette distillation du bois produisait une absorption considérable de chaleur latente et un grand abaissement de température dans la partie du fourneau où elle s'effectuait. On en est revenu presque partout à l'emploi exclusif des combustibles carbonisés. Il convient de dire toutefois que le bois torréfié ou charbon roux est encore employé avec avantage dans quelques hauts-fourneaux des Ardennes, et la raison en est, sans doute, que le bois torréfié laisse par sa distillation dans le fourneau une plus forte proportion de charbon qu'il n'en aurait donné si on l'eût carbonisé, à l'état naturel, par la méthode ordinaire des forêts.

De la combustion des gaz. On a vu par ce qui précède que les gaz qui s'échappent à la partie supérieure des fourneaux à cuve contiennent encore beaucoup d'oxyde de carbone et d'autres gaz combustibles, tels que l'hydrogène, qui proviennent de la distillation du charbon. Il en résulte des flammes bleuâtres qui se continuent au gueulard tant que le fourneau est en roulement. On n'avait jamais songé à tirer parti de la chaleur qu'elles produisaient jusqu'en 1809, époque à laquelle M. *Aubertot*, maître de forges de la Nièvre, fit exécuter dans ses usines de nombreuses constructions pour tirer parti de la chaleur perdue de ses hauts-fourneaux et de ses feux d'affinerie. Il utilisa cette chaleur avec beaucoup de succès pour la cuisson de la chaux et des briques, pour le grillage des minerais de fer. Ses procédés furent décrits en 1814 par M. *Berthier* qui indiqua en même temps dans son mémoire plusieurs autres usages auxquels on pouvait appliquer cette source de chaleur, entre autres, *le chauffage d'une chaudière à vapeur destinée à fournir la force motrice pour la soufflerie du haut-fourneau.* Mais l'emploi des gaz combustibles des hauts-fourneaux n'a acquis dans la métallurgie une grande importance que depuis quelques années. L'on a reconnu que la chaleur développée par leur combustion était comprise entre les 2/3 et les 3/4 de la valeur calorifique du charbon introduit dans le fourneau.

Jusqu'à ces derniers temps, la combustion de ces produits gazeux s'opérait librement par l'air atmosphérique qui s'introduisait avec eux sous les chaudières ou dans les fours où leur chaleur devait être utilisée. Mais ce mode de combustion était fort imparfait, et il est facile d'en montrer la cause. Quand on brûle un combustible solide sur une grille ou dans un fourneau à cuve, l'air appelé par la cheminée ou projeté par la tuyère, s'introduit à la fois à travers tous les interstices que laisse le combustible, et l'absorption de l'oxygène de l'air est pour ainsi dire instantanée. Quand, au contraire, un volume de gaz un peu considérable se brûle à l'air libre, il n'y a combustion qu'à la surface de contact du gaz avec l'air, et il en résulte nécessairement que les flammes doivent se prolonger à une grande distance de l'orifice de sortie des gaz. Dans de pareilles conditions, il n'était pas possible d'obtenir de la combustion des gaz une température très élevée, à cause du déplacement continuel du lieu de la combustion.

M. *Faber du Faur*, directeur de l'usine royale de *Wasseralfingen* (Wurtemberg), a complétement résolu le problème de la combustion la plus avantageuse des gaz, en injectant au milieu de ceux-ci, par un grand nombre d'orifices, un courant d'air chaud et comprimé. L'air et les gaz se mélangeant presque instantanément, le lieu de la combustion se trouve invariable et à une petite distance de l'entrée de l'air et des gaz dans le four. M. Faber du Faur est parvenu à utiliser ainsi les gaz des hauts-fourneaux pour l'affinage de la fonte et même pour le soudage du fer.

Depuis la réussite des essais de M. Faber du Faur, on a monté des appareils pour le puddlage de la fonte au moyen des gaz des hauts-fourneaux dans plusieurs usines de France et de l'étranger. Les appareils de combustion ont des formes très variées, mais le principe de leur construction est identique à celui des fours de Wasseralfingen (voyez FER).

De la transformation des combustibles en gaz. La possibilité de développer de hautes températures au moyen de la combustion des gaz étant démontrée, on a dû naturellement se demander s'il ne serait pas avantageux de transformer les combustibles solides en gaz pour les employer à cet état. Des expériences faites à *Audincourt* (Doubs), en Prusse et en Autriche, ont résolu affirmativement cette question et ont prouvé qu'on pouvait utiliser ainsi, pour les usages métallurgiques, des combustibles d'un emploi nul ou peu avantageux à l'état solide.

Examinons successivement les différents moyens qu'on peut employer pour préparer des gaz combustibles.

1° *La distillation.* La distillation en vases clos ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peut pas être employée avec avantage pour produire des gaz combustibles autres que ceux destinés à l'éclairage. Tous les combustibles laissent en effet par la distillation un résidu considérable de charbon qui ne serait pas gazéifié. D'un autre côté, pour avoir un volume de gaz suffisant pour le chauffage d'un fourneau, il faudrait un grand nombre de cornues chauffées extérieurement. Le service de ces appareils exigerait l'emploi d'un combustible pour la distillation, et une main-d'œuvre considérable pour le chargement et le déchargement des cornues. Ce mode de génération des gaz est donc industriellement impraticable.

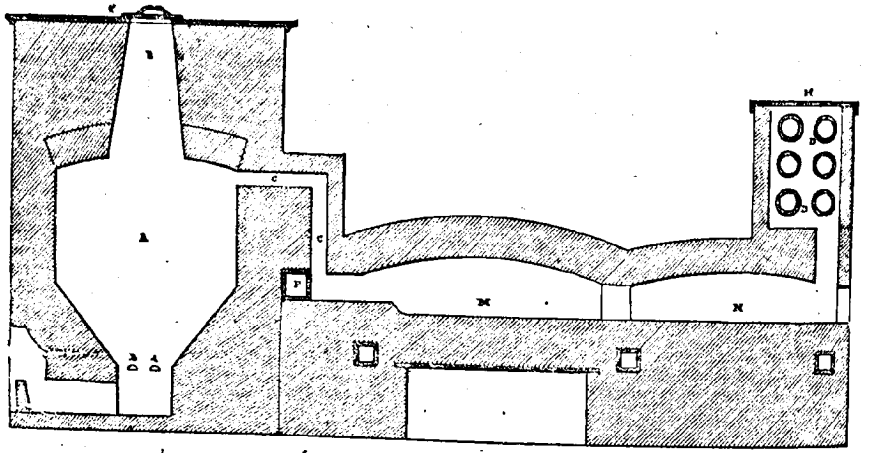
2° *L'action de la vapeur d'eau.* Supposons que l'on remplisse un cylindre en fonte avec du charbon, que ce cylindre soit porté au rouge par une source de chaleur extérieure, et qu'on le fasse traverser par un courant de vapeur d'eau fortement échauffée après sa sortie de la chaudière; la vapeur produira au contact de charbon de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, dans la proportion d'un volume d'oxyde de carbone et d'un volume d'hydrogène pour un volume de vapeur. D'après les expériences de Dulong, la combustion de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, développerait plus de chaleur que la transformation en acide carbonique du charbon solide qui leur a donné naissance. On en conclut nécessairement qu'il y a eu absorption de chaleur latente par le fait de la décomposition de la vapeur, et cette quantité de chaleur sera déterminée par un calcul semblable à celui fait plus haut. Il faudrait donc pouvoir restituer, à chaque instant, dans l'intérieur du cylindre, la chaleur rendue latente par la décomposition de la vapeur. La quantité de gaz que peut produire chaque cylindre est donc limitée par la conductibilité pour la chaleur de l'enveloppe métallique et du charbon qui en remplit l'intérieur. Elle serait d'autant plus considérable que la température de la vapeur introduite serait plus élevée.

Les expériences faites ont confirmé très nettement les déductions théoriques qui précèdent, mais elles n'ont pas résolu la question industrielle.

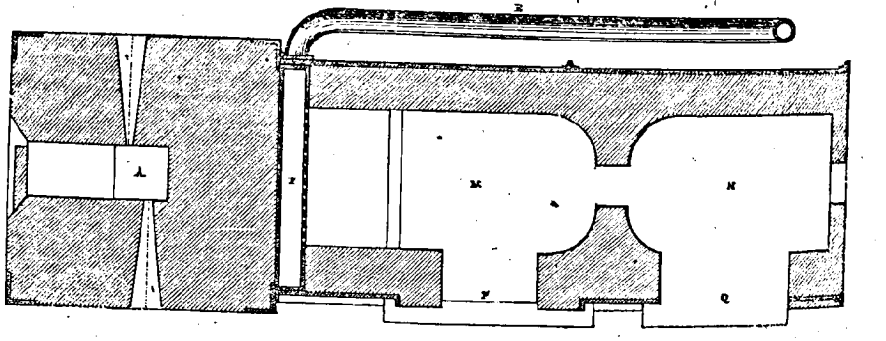
3° *L'action de l'air seul.* Lorsqu'on fait passer un courant d'air forcé à travers un combustible, en couche épaisse, contenu dans un fourneau à cuve, nous avons vu que l'oxygène de cet air se changeait complétement en oxyde de carbone. Si l'on suppose que le combustible ne renferme pas de parties volatiles et que l'air soit tout à fait sec, le gaz obtenu sera uniquement formé d'oxyde de carbone et d'azote dans la proportion de 34,4 du premier et de 65,5 du second. Avec l'air humide, on aura dans les gaz une certaine quantité d'hydrogène produite par la décomposition de la vapeur d'eau au contact du combustible incandescent. Enfin si le combustible contient encore des principes volatils, ceux-ci se dégageront par distillation avant que le charbon n'arrive dans la zône de combustion.

Les gaz produits d'après les principes que je viens d'indiquer, renferment très notablement plus de prin-

568.



569.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

COMBUSTIBLES.

cipes combustibles que les gaz des hauts-fourneaux employés pour la fabrication de la fonte, et leur combustion permet de développer, dans un four à réverbère, les températures les plus élevées dont on ait besoin dans les arts métallurgiques.

Les données théoriques qui précèdent ont servi de base à la construction et à la mise en roulement, dans les usines de la compagnie d'*Audincourt*, de fours à réverbère alimentés par des *générateurs de gaz* représentés en coupe et en plan par les fig. 568 et 569.

Le générateur de gaz A est un fourneau à cuve très large, qui reçoit l'air atmosphérique par une ou deux tuyères, *t*, *t*. On charge le combustible par l'ouverture B, qui forme la partie supérieure d'un vide conique et qui est fermée dans l'intervalle de deux charges. Les gaz arrivent dans le four à réverbère par le conduit C; l'air qui doit les brûler est projeté par la caisse à vent F, percée de deux rangées de trous, au moyen desquels la combustion des gaz s'achève dans l'espace peu étendu placé immédiatement avant la sole M du four. L'air qui produit la combustion des gaz est chauffé, avant d'arriver dans la caisse F, par son passage à travers les tuyaux D, chauffés par la chaleur perdue du four, et l'on peut facilement porter sa température à 300°. Je ne dirai rien sur la construction du four qui sert pour fabriquer des tôles soudées, puisque sa disposition doit varier avec l'usage auquel on le destine.

Le combustible qu'on emploie dans le générateur A est de la petite braise, qui se trouve principalement au cœur des meules de carbonisation, et comme résidu dans les halles à charbon. L'analyse des gaz obtenus avec ce combustible m'a donné pour leur composition :

Acide carbonique.	0,5
Oxyde de carbone.	33,3
Hydrogène.	2,8
Azote	63,4
	100,0

Résultat qui est bien d'accord avec les indications théoriques qui précèdent.

Le chargement du combustible par l'ouverture B, ne s'opère qu'à d'assez longs intervalles. On attend pour recharger le générateur que le soudage des pièces soit achevé. Si en effet on introduisait du charbon froid dans le générateur, la température des gaz qui s'en dégagerait par le rampant C s'abaisserait considérablement, et il en serait de même pour la température du four.

Il est facile d'expliquer pourquoi dans les dispositions précédentes, on a accolé le générateur au four à réverbère. Les gaz qui proviennent du passage de l'air à travers le charbon possèdent une température élevée, et qu'on peut bien évaluer en moyenne à 500 ou 600°. Si le générateur était éloigné du four, une grande partie de cette chaleur serait perdue par les conduits, et la température de combustion s'abaisserait dans le four. Avec la méthode adoptée pour le chargement du charbon, on voit que la température des gaz augmente à mesure que l'opération avance, et par conséquent la température de combustion doit s'accroître jusqu'à la fin, circonstance très favorable au succès de l'opération.

On explique de même l'avantage que l'on a à employer, pour la combustion des gaz, de l'air chaud au lieu d'air froid. Il en résulte une élévation correspondante de la température de combustion, et nous avons vu plus haut que plus la température de combustion est élevée, moins on consomme de combustible pour produire un effet déterminé. Au reste, la température produite dans le four à réverbère, représenté ci-dessus, est tellement élevée, qu'on a dû réduire la température de l'air comburant à 150°. Quand il est chauffé à 300°, il est presque impossible d'empêcher la fusion de la voûte du four après quelques jours de roulement, bien qu'elle soit formée des matériaux les plus réfractaires.

La quantité de gaz qui arrive dans le four est proportionnelle au volume d'air qui pénètre dans le générateur par les tuyères *t*. On règle la quantité d'air nécessaire pour la combustion des gaz au moyen d'un registre. Comme la combustion s'opère ici sous pression, il sort toujours une flamme par la porte F du four. On juge facilement, d'après la couleur qu'elle présente, s'il y a excès d'air ou de gaz dans le four. Une flamme bleuâtre annonce la présence de l'oxyde de carbone non brûlé, tandis qu'une flamme courte et jaunâtre indique un excès d'air. En analysant les produits de la combustion dans le four, on a reconnu qu'au moyen des apparences de la flamme, on pouvait arriver très-aisément à doser exactement l'air et les gaz, de façon à produire une combustion complète sans introduire un excès d'oxygène.

Pour que le générateur de gaz marche d'une manière continue et régulière, il faut qu'on puisse se débarrasser facilement des résidus de la combustion. En ajoutant au charbon un fondant, dont la nature et la proportion sont déterminées par la composition des cendres, on forme un laitier qui se rassemble dans le creuset et s'écoule par la partie inférieure du générateur. La régularité de la marche de ces appareils à Audincourt est très remarquable. On les laisse pendant plusieurs mois en feu sans qu'ils aient besoin de réparations.

En substituant du coke au charbon de bois dans le générateur, on obtient des gaz dont la composition est tout à fait comparable à celles des gaz de charbon, car ils renferment :

Acide carbonique.	0,7
Oxyde de carbone.	33,5
Hydrogène.	1,5
Hydrogène sulfuré.	0,2
Azote.	64,1
	100,00

Comme le coke contient 10 à 15 pour 100 de cendres argileuses, il faut ajouter un fondant qui sera du calcaire, auquel on pourra joindre une certaine quantité de scories de forges. Avec cette addition, la marche du générateur alimenté au coke est aussi régulière que dans l'alimentation avec la braise. On pourra vraisemblablement tirer parti, de cette manière, des débris de coke ou *escarbilles* qui passent à travers les grilles des fours à réverbère.

On a fait aussi quelques expériences sur l'emploi des combustibles à flamme dans des générateurs de gaz analogues à celui qui a été décrit plus haut. En l'alimentant avec du bois simplement desséché à l'air, les gaz produits se composaient de :

Acide carbonique.	7,23
Oxyde de carbone.	32,40
Hydrogène.	10,26
Azote	50,11
	100,00

Ces gaz étaient troubles et abandonnaient par leur passage à travers un long tube une proportion assez considérable de produits liquides, identiques avec ceux que fournit la distillation des bois. La proportion de ces produits liquides a été trouvée de 0gr,478 pour un litre de gaz supposé sec.

L'expérience a montré que l'oxygène de l'air projeté par la tuyère dans le générateur, se changeait complétement en oxyde de carbone avant d'arriver dans la région où le bois se distille, en sorte que celui-ci se carbonisait comme en vase clos. La température des gaz qui s'échappaient du générateur était à peine

EFERUS - Recherche & Classification numérique

supérieure à 100°, et l'on peut en conclure que la chaleur sensible qui restait à la colonne ascendante après la formation de l'oxyde de carbone, a été entièrement employée à produire la distillation du bois.

Les gaz produits avec le bois renferment près de 43 p. 100 de principes combustibles, notablement plus que les gaz de charbon, et cependant leur combustion ne donnerait pas une température aussi élevée que celle de ces derniers, si on brûlait les gaz immédiatement à leur sortie du générateur. Cela tient à la faible température de ces gaz et à la grande quantité de produits liquides qu'ils entraînent, lesquels sont formés principalement d'eau, et abaisseraient considérablement la température de combustion. Il faut ici que le générateur soit à une certaine distance des fours, et que les gaz circulent à travers des récipients d'un volume suffisant pour déterminer la condensation des vapeurs. Il faut de plus que ces gaz arrivant au four à réverbère soient réchauffés à chaleur perdue du four, comme l'air employé à la combustion des gaz. En suivant cette marche, on peut être certain que les gaz du bois donneront une température au moins égale à celle des gaz de charbon. On obtiendrait de plus, dans les condenseurs, de l'acide pyroligneux et du goudron, dont la valeur doit être prise en considération.

Pour la tourbe et les combustibles qui s'en rapprochent par leur composition, comme les lignites, il sera convenable d'opérer comme pour le bois, c'est-à-dire de condenser les produits liquides qui sont peu combustibles et de réchauffer les gaz à chaleur perdue.

En brûlant le bois, la tourbe et les lignites à l'état cru sur les grilles des fours à réverbère, on sait qu'on n'arrive pas à de très hautes températures, et leur composition en rend bien raison. En transformant au contraire ces combustibles en gaz, il est facile de les utiliser pour la production des températures les plus élevées. La séparation des produits liquides de leur distillation, l'échauffement de l'air comburant et des gaz combustibles, sont les trois conditions auxquelles il convient de satisfaire.

On emploie en Silésie la houille dans des générateurs de gaz, qui alimentent des fours de mazéage et de puddlage. En Autriche, on suit des procédés analogues pour l'emploi des lignites terreux et de mauvaise qualité. La combustion des gaz qu'ils produisent permet d'obtenir aisément la température nécessaire au puddlage de la fonte. Les générateurs employés en Autriche n'ont pas la même forme que celui décrit plus haut, mais les principes de la formation des gaz sont identiques.

Il convient d'ajouter ici que la compagnie d'Audincourt n'a pas pris de brevet d'invention pour les procédés décrits plus haut, et qui ont été établis dans ses usines à la suite d'expériences qui y avaient été exécutées aux frais de l'État. Ces procédés sont donc dans le domaine public.

4° *Emploi simultané de l'air et de la vapeur d'eau.* Si l'on injecte dans la tuyère d'un générateur, comme celui d'Audincourt, de l'air et une certaine quantité de vapeur d'eau ; on reconnaît immédiatement qu'il en résulte un grand abaissement dans la température du fourneau. L'œil de la tuyère qui était d'un blanc éblouissant quand on n'injectait que de l'air devient rouge, et les scories produites par les cendres du combustible ne fondent plus. On conçoit que l'absorption de chaleur rendue latente par la décomposition de la vapeur limite nécessairement le volume de celle-ci. En la chauffant à sa sortie de la chaudière, on pourra en introduire une quantité d'autant plus considérable que sa température sera plus élevée. Dans une expérience où le volume de l'air était cinq fois plus considérable que celui de la vapeur d'eau, et où celle-ci était portée à une température de 250°, j'ai obtenu, dans un générateur alimenté av du charbon de bois, des gaz formés de :

COMBUSTIBLES.

Acide carbonique. .	5,6
Oxyde de carbone. .	27,2
Hydrogène.	14,0
Azote.	53,2
	100,0

On voit que la vapeur d'eau s'est décomposée au co tact du charbon, de façon à produire de l'acide carb nique et de l'hydrogène, et l'acide carbonique n'a p pu se changer en oxyde de carbone par défaut de cha leur disponible dans le générateur. La température d gaz sortant du générateur ne dépassait pas 200° ; o pourra donc les conduire au loin sans perte notable d chaleur, et leur combustion pourra produire de haute températures, puisqu'ils contiennent 41 p. 100 d'hydr gène et d'oxyde de carbone. Il sera avantageux d'agi sur ces gaz comme sur ceux produits avec le bois cru c'est-à-dire de les réchauffer à la chaleur perdue du foye où ils doivent être brûlés.

L'inconvénient que présente l'emploi simultané d l'air et de la vapeur d'eau consiste dans l'empêchemen apporté par la décomposition de cette vapeur à la fusio des cendres du combustible. Cette difficulté aurait un grande importance avec des combustibles chargés d cendres, comme le coke, par exemple. Mais il me semble qu'il y aurait moyen de l'éviter, en introduisant la vapeur fortement chauffée, par un ou plusieurs orifices, situés à 30 ou 40 centimètres au-dessus des tuyères à air. La chaleur et la fusion des cendres se produiraient devant les tuyères à air, et la décomposition de la vapeur absorberait le reste de la chaleur disponible. Je ne sache pas que ce système ait encore été essayé.

Il ne serait pas convenable d'introduire de la vapeur dans des générateurs alimentés avec des combustibles à l'état cru, comme le bois ou la tourbe, puisque la chaleur disponible après la formation de l'oxyde de carbone est absorbée par les produits de la distillation.

En résumé, on voit que l'on possède des moyens faciles et économiques de transformer un combustible en un produit gazeux inflammable. Cette transformation préalable présentera-t-elle quelques avantages? C'est ce qu'il nous reste à examiner.

On peut transformer en gaz des combustibles chargés de cendres ou d'une faible valeur calorifique qui ne peuvent pas, dans l'état actuel, être utilisés avec avantage dans les opérations des arts. L'emploi du générateur de gaz a précisément pour résultat de dégager la partie combustible de la partie minérale. On a vu, d'un autre côté, qu'on pouvait condenser les produits liquides entraînés par les gaz, et développer alors par la combustion de ces derniers les températures les plus élevées dont on ait besoin dans les arts.

La substitution des gaz aux combustibles solides doit permettre de réaliser une économie sur le combustible. En effet, dans les procédés actuels le combustible est introduit froid sur la grille des fours et c'est de l'air froid qui est appelé par le tirage de la cheminée. Les combustibles gazeux ne doivent être brûlés qu'après avoir été fortement échauffés, et c'est de l'air chaud qu'on emploie pour cette combustion. On se trouve donc ici dans les circonstances les plus favorables pour obtenir une température de combustion aussi élevée que possible, et nous avons vu que plus la température de combustion était élevée, moins on consommait de combustible pour produire un effet déterminé.

Enfin un seul générateur de gaz établi sur des dimensions suffisantes peut alimenter à la fois un grand nombre de foyers. Dans les ateliers où l'on a souvent un grand nombre de foyers distincts, il serait probablement fort avantageux de remplacer les combustibles solides par les gaz. Avec une conduite générale de gaz

EFERUS - Recherche & Classification numérique

partant du générateur et communiquant par des embranchements avec chaque foyer, de façon à ce que l'ouverture d'un registre suffise pour introduire les gaz et l'air comburant en proportion plus ou moins considérable, suivant la température qu'on veut obtenir, on arriverait avec facilité à l'exécution de ce système.

La transformation des combustibles en gaz nécessite, il est vrai, une force motrice assez considérable pour l'injection de l'air dans le générateur, et ensuite dans les foyers de combustion des gaz : mais comme il n'y a pas de tirage à établir dans ceux-ci, on peut utiliser la totalité de la chaleur sensible des gaz après leur combustion et leur passage sur la sole du four, et cette quantité de chaleur perdue serait plus que suffisante dans la plupart des cas pour chauffer les gaz à brûler, l'air comburant et la chaudière à vapeur qui fournirait la force motrice pour la machine soufflante. J. EBELMEN.

L'admirable travail d'Ebelmen, qu'avait voulu faire avec tant d'empressement notre excellent camarade de l'École polytechnique pour s'associer à une publication dont il appréciait l'extrême utilité, a été reconnu unanimement comme une des plus belles études de physique appliquée. La transformation des combustibles en gaz combustibles constituait un immense progrès, dont la théorie se trouvait admirablement formulée; mais, il faut bien le dire, la disposition pratique de son générateur laissait à désirer, il fallait un nouveau progrès pour que la belle conception théorique du savant eût toute son utilité pratique.

abondante de la vapeur, et je décrirai l'appareil Beaufumé qui, adopté par la puissante maison Cail, a paru un instant appelé à un grand succès. Son prix élevé, son usure rapide et la difficulté de son nettoyage ont empêché son adoption dans l'industrie.

Appareil Beaufumé. — L'appareil Beaufumé est le générateur à gaz d'Ebelmen, construit dans des conditions qui rappellent la disposition des foyers des locomotives.

L'appareil Beaufumé consiste (fig. 569 *bis*) en un foyer avec grille, enveloppé de tous côtés d'un capacité en tôle à doubles parois remplie d'eau et qui laisse à sa partie supérieure un espace suffisant pour la vapeur développée. C'est un foyer de locomotive; ce foyer est alimenté au moyen de deux chargeoirs D, D, fermés en dessus par des portes et en dessous par des valves qui permettent l'introduction des matières à brûler sans laisser échapper au dehors les gaz chauffés au rouge; l'air destiné à brûler le combustible est lancé sous la grille par un ventilateur B que conduit un petit moteur à vapeur A de la force d'un cheval, dont la vapeur est prise habituellement sur la capacité qui enveloppe le foyer. La vapeur de la grande chaudière réunie à celle du foyer s'applique à tous les emplois ordinaires de l'industrie.

Une partie de l'air est lancée dans le foyer, une autre partie va brûler les gaz combustibles sous la grande chaudière H. Des registres règlent cette distribution.

Le combustible est chargé sur 65 centimètres de hauteur, afin que l'air poussé à travers cette masse,

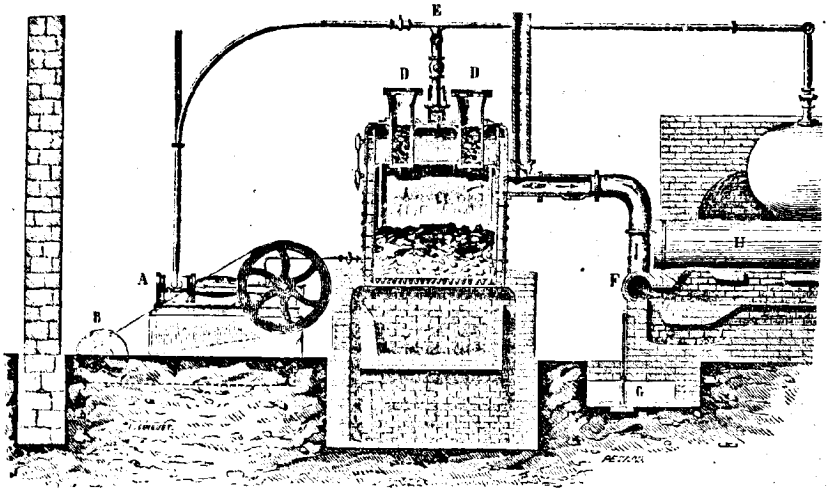


Fig. 569 *bis*.

Une des conditions les plus gênantes dans beaucoup de cas, et la cause de dépenses toujours notables, était la nécessité d'employer une machine soufflante pour alimenter le fourneau producteur de gaz combustibles. Nous allons voir comment on est parvenu à s'en dispenser dans les appareils qui fournissent la solution la plus complète du problème, dans les cas notamment où la chaleur n'est pas employée à produire de la vapeur, et où par suite la production d'un travail moteur est une cause de complication. Auparavant, toutefois, je citerai, pour le cas où il s'agit de la production

après s'être converti en acide carbonique, en brûlant la couche inférieure et la portant à la plus haute température, se transforme en oxyde de carbone en traversant les couches supérieures beaucoup moins chauffées, et dégage en se formant une quantité de chaleur employée à chauffer ce gaz même et l'enveloppe. Le cendrier est hermétiquement clos, deux larges portes rendent facile son nettoyage et celui de la grille. Deux tuyaux de cuivre de 1 centimètre de diamètre, munis chacun d'un robinet, portent à volonté une partie de la vapeur sous la grille pour faciliter son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nettoyage, et aussi pour concourir à la transformation des combustibles en gaz.

Le générateur accouplé au producteur de gaz que nous venons de décrire a la forme que chaque constructeur préfère; la chaudière à bouilleur convient très-bien.

Les gaz développés dans le foyer passent à travers un tuyau en fonte, jusque dans une caisse métallique G placée devant le fourneau et où a lieu leur mélange avec l'air chaud. Ce mélange est ensuite poussé dans deux carneaux placés immédiatement sous les bouilleurs de la chaudière, et pour ne pas brûler les bouilleurs, le plafond de ce carneau est plein dans la première portion et percé plus loin de larges ouvertures par lesquelles les gaz enflammés enveloppent et chauffent les bouilleurs. Ces gaz circulent ensuite deux fois sous le corps de la chaudière, et les produits de la combustion s'échappent au dehors par une cheminée à deux cloisons, munies chacune d'un registre, et qui marche très-bien avec 1 mètre de hauteur.

Ces produits ont encore 180 ou 200° de température avec la disposition représentée. Il serait bon de les faire circuler encore une fois autour d'un bouilleur, dans lequel on ferait passer l'eau d'alimentation, qui du reste peut être chauffée à 70° par la vapeur perdue du moteur.

La conduite de l'appareil est facile. On charge le combustible en quantités constantes et à des heures fixes, d'où résulte une grande régularité dans la production de la vapeur.

Le ventilateur a $0^m,60$ de diamètre et $0^m,30$ de largeur. Il fait de 700 à 1,000 tours, suivant la quantité de combustible à brûler par heure. En deux heures quand le foyer est froid, en une heure quand il a été chauffé la veille, la chaudière est en pression.

Les expériences de M. Grouvelle sur cet appareil, où, au total, toute la chaleur produite en deux fois n'en arrive pas moins tout entière au générateur de vapeur, l'ont conduit à établir que l'on obtenait avec cet appareil près de 10 kilog. de vapeur par kilog. de bonne houille, tandis que les bonnes chaudières ne permettent d'en obtenir habituellement que 6 ou 7 kilog.; résultat peut-être un peu exagéré, mais toujours très-beau, malheureusement compensé par l'usure rapide d'un appareil presque entièrement métallique, les dépenses et chances d'accident du ventilateur, et surtout le prix élevé du système, qui ont empêché son succès dans la pratique.

Fours Siemens.— Les fours Siemens paraissent, sauf les modifications de détail qu'ils pourront recevoir dans les diverses circonstances de leurs applications, la solution complète du problème de rendre pratique le système théoriquement formulé par Ebelmen. Plus de courant d'air forcé, plus de chauffage de l'air dans des tuyaux métalliques, c'est-à-dire suppression de tout ce qu'il y avait de gênant dans l'emploi des appareils du savant ingénieur, tels sont les résultats obtenus à l'aide des dispositions proposées par MM. Siemens; exemple intéressant des beaux résultats auxquels conduit toujours tout progrès théorique nettement formulé, qui par le concours des bons esprits qui l'apprécient, vient toujours, en peu de temps, se matérialiser sous la forme d'une disposition convenable pour l'application.

Décrivons d'abord leur régénérateur. Il consiste essentiellement en un long couloir ou une vaste chambre remplie de matières incombustibles, de briques réfractaires, par exemple, convenablement espacées et alternant par lits placés successivement à angle droit les uns sur les autres. Si on y dirige les produits de la combustion avant leur entrée dans la cheminée, les briques seront bientôt portées à une température très-élevée, surtout dans la partie la plus éloignée de la cheminée, une grande quantité de chaleur se trouvera emmagasinée et disponible pour chauffer de l'air. Si, en effet, on fait traverser cette masse par un courant d'air de direction inverse de celle des produits de la combustion, celui-ci ira en s'échauffant de manière à avoir presque la température du four même. Il suffit donc, pour obtenir le chauffage de l'air nécessaire pour brûler les gaz combustibles, d'alterner à travers la masse des briques, à des intervalles convenables, le passage des produits de la combustion et de l'air destiné à l'alimenter. Nous verrons que la disposition qui permet de réaliser cette disposition est d'une grande simplicité.

Comme MM. Siemens ont trouvé avantage à chauffer aussi les gaz produits, refroidis par la production de l'oxyde de carbone et les distillations de diverses natures, en les faisant circuler aussi dans une chambre *réticulée* en allant de la partie la plus froide vers la partie la plus chaude; pour satisfaire à toutes ces conditions de chauffage, on dispose sous la sole du four quatre régénérateurs; deux servent à chauffer isolément le gaz combustible produit dans le foyer et l'air atmosphérique qui se rendent au foyer; les deux autres sont destinés à absorber la chaleur perdue des produits de la combustion qui les traversent en se rendant à la cheminée.

Le fourneau qui sert à la production des gaz combustibles représenté dans une coupe transversale, fig. 569 *ter*, et une coupe longitudinale, fig. 569 *quater*, reçoit le combustible, qui doit y être entassé en couches épaisses, par la partie supérieure, au moyen de trémies *a* que ferment des couvercles. Il descend sur un plan incliné en briques et vient reposer sur une grille inclinée. Il s'y produit une distillation des produits gazeux si le combustible n'est pas carbonisé, et une transformation du gaz carbonique en oxyde de carbone qui conserve la température résultant de la combustion de l'acide carbonique diminuée de la chaleur qu'a coûté sa transformation en oxyde de carbone, qui sera elle-même restituée par la combustion de ce gaz dans le four qui recevra donc bien toute la chaleur que le combustible peut produire.

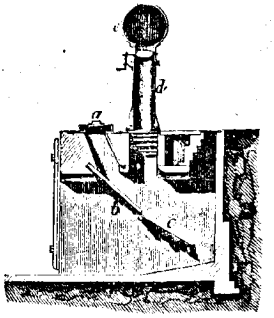


Fig. 159 *ter*.

Toute soufflerie se trouve donc supprimée et les cendres tombent à travers la grille, rafraîchie par de l'eau placée à la partie inférieure, comme dans un fourneau ordinaire; les gaz combustibles s'élèvent dans un tuyau vertical, puis suivent un long cylindre horizontal, et enfin descendent par un dernier tuyau dans les régénérateurs. Le refroidissement qui se produit dans ces tuyaux métalliques, faisant descendre les gaz dans le dernier, produit le tirage du fourneau, indépendamment de l'appel général qui détermine le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement du gaz dans les fours, à la suite desquels se trouve la grande cheminée.

Il est important au reste que tous les gaz ne soient pas appelés dans le fourneau par le tirage de la cheminée; il y a tout intérêt, au contraire, à ce que la pression de l'atmosphère soit maintenue constamment dans les carneaux qui vont des appareils producteurs au four. On évite ainsi la combustion

carneau M venant des appareils producteurs du gaz, que l'on voit sur la droite de la figure, et avec le carneau N conduisant à la cheminée, tandis que les régénérateurs D^1 et D^3 communiquent alternativement avec le carneau G qui débouche dans l'atmosphère et avec le même carneau N.

Ces communications alternantes sont réglées par les valves O et P. Dans une position déterminée des valves,

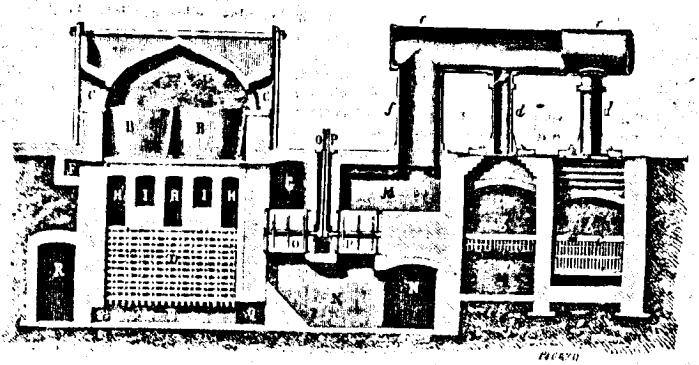


Fig. 569 quater.

particlle des gaz combustibles sous l'influence de l'air qui pénétrerait par les fissures des maçonneries. On brûle d'ailleurs les portions de carbone qui pourraient se déposer à l'intérieur des conduits, au moyen de filets d'eau ou de vapeur aqueuse qui se transforme en un mélange combustible d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

Nous prendrons pour exemple d'un appareil complet une des plus heureuses applications de ces fours, ceux montés dans les verreries dont nous allons donner une description d'ensemble; c'est peut-être le cas où le succès a été le plus complet, à cause des hautes températures nécessaires dans cette industrie.

La fig. 569 *quater* représente une coupe transversale faisant comprendre le fourneau, les régénérateurs et les appareils producteurs du gaz.

A est le four sur la banquette duquel sont les pots de verrerie B, C représente les ouvreaux destinés au travail du verre. Sous la banquette sont disposés les quatre régénérateurs D^1, D^2, D^3, D^4. Chacun d'eux est formé d'une chambre construite en briques réfractaires, près du sol de laquelle est une grille E; sur cette grille sont entassées des briques réfractaires disposées de manière à laisser entre elles de petits interstices. Ces régénérateurs sont fermés à la partie supérieure par une voûte qui supporte la banquette. Cette voûte est percée de petits trous longitudinaux qui communiquent, d'une part, avec un conduit F en relation directe avec l'air atmosphérique, et d'autre part, avec un canal G.

La communication entre la partie supérieure des quatre régénérateurs et le four A a lieu de la manière suivante: D^1 communique avec la partie antérieure à travers les carneaux H, tandis que D^3 communique par les carneaux I, de même dans la partie postérieure du four, D^2 communique avec le laboratoire par le carneau J, et le régénérateur D^1 par le carneau K. (Les carneaux J et K qu'on ne voit pas sur la figure sont semblables à ceux H et I de D^2 et D^4.)

Au-dessous des grilles, chaque régénérateur porte des ouvertures, au moyen desquelles les régénérateurs D^1 et D^3 communiquent alternativement avec le gaz combustible venant de l'appareil producteur traverse les carneaux et entre dans le régénérateur D^1 par l'ouverture Q^1; en même temps l'air atmosphérique passe du carneau G dans le régénérateur D^2 par l'ouverture Q^2. Si les régénérateurs D^1 et D^3 ont été chauffés préalablement par les produits de la combustion pendant les opérations précédentes, le courant d'air, comme celui de gaz combustible, en traversant les intervalles que les briques laissent entre elles, ne tarde pas à atteindre une température élevée.

Arrivés au sommet des régénérateurs, les deux courants sont conduits par les carneaux J, K, à l'intérieur du four; s'élevant alors entre les murs verticaux, ils se mélangent, et, à leur arrivée dans le four, ils brûlent avec une flamme intense qui se répand autour des pots de verrerie B et les échauffe. A l'autre extrémité du four, les produits chauds de la combustion descendent par les carneaux H et I dans les régénérateurs D^3 et D^4; là, traversant les piles de briques, ils abandonnent à celles-ci la plus grande partie de leur chaleur, en sortent relativement refroidis, par les ouvertures Q^3 et Q^4 pour se diriger par les valves dans le conduit N et de là dans la cheminée.

Lorsque, par suite du passage continu des produits de la combustion, les régénérateurs D^3 et D^4 ont atteint une température suffisamment élevée, on renverse, au moyen d'un levier, la position des soupapes; les gaz combustibles passent alors dans le régénérateur D^4 et l'air atmosphérique dans le régénérateur D^3; les deux courants d'air et de gaz combustibles, en traversant ces deux régénérateurs, s'échauffent considérablement, émergent dans la partie antérieure, brûlent, et les produits de leur combustion, après avoir traversé le four, s'échappent par la partie postérieure, traversant les régénérateurs D^2 et D^1 auxquels ils abandonnent la plus grande partie de leur chaleur; de telle sorte que chaque couple de régénérateurs sert alternativement à absorber la chaleur des produits de la combustion ou à rendre cette même chaleur aux courants de gaz et d'air qui doivent la produire. Un passage R est ménagé le long des régé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nérateurs et permet d'en approcher par les ouvertures S^1, S^2, S^3 et S^4.

Grâce à la disposition de la colonne horizontale et descendante en tôle *df*, il se produit un tirage *per descensum*, qu'on augmente au besoin au moyen de l'insufflateur décrit à l'article TIRAGE, et la cheminée n'ayant plus qu'une action complémentaire, il n'y a plus appel d'air par les orifices, portes, regards, fissures de la maçonnerie, etc.

La pureté des gaz produits est telle, grâce aux dépôts formés lors du refroidissement et à leur filtration, en quelque sorte, à travers les briques incandescentes, que, dans beaucoup de cas, la matière à fondre peut être placée directement sur la sole du four, qui est alors assez profonde, en supprimant toute espèce de pots ou de creusets. Cette disposition serait très-utile aux fabricants de poterie, qui utiliseraient les fours à gaz.

Aux portes de Birmingham, dans la verrerie de MM. Lloyd et Summerfield, où l'on a appliqué pour la première fois à cette industrie le four Siemens, on a pu dès 1861 comparer avec certitude sa consommation de combustible avec celle des fours ordinaires; de cette comparaison il résulte que l'ancien four consommait par semaine 35 tonnes de charbon de première qualité au prix de 13 fr. 80 la tonne, tandis que le four construit d'après le nouveau système ne consomme que 16 tonnes de menu valant seulement 5 fr. 30 la tonne.

Dans la grande verrerie de MM. Chance frères et C^e^, le fourneau régénérateur à gaz a été soumis à des essais prolongés et définitivement adopté pour la fabrication du verre, soit en feuilles soit en plateaux.

Dans quelques-uns de ces fours, les appareils producteurs peuvent contenir jusqu'à six tonnes de charbon, et la fabrication du gaz y est conduite avec la plus grande régularité. Voyons comment elle s'effectue.

Le charbon, en descendant lentement sur le plan incliné, s'échauffe et laisse dégager des produits volatils, hydrocarbures, eau, ammoniaque mélangée d'une petite quantité d'acide carbonique, exactement comme si l'opération s'effectuait dans une cornue à gaz. Il reste de 60 à 70 centièmes de carbone presque pur. Un courant lent d'air atmosphérique pénètre à travers cette masse et produit la combustion régulière des portions qui se trouvent immédiatement en contact avec la grille. Mais l'acide carbonique traverse ensuite une couche de carbone incandescent, ayant une épaisseur d'environ 1^m^,50. Il dissout alors une quantité de carbone égale à celle qu'il renferme déjà, en devenant beaucoup moins chaud, ce qui est la grande découverte d'Ebelmen, et l'oxyde de carbone se dégage avec les autres produits.

La production du gaz peut être arrêtée complétement pendant 24 heures sans déranger l'appareil; il est, après ce temps, prêt à se remettre en marche, pourvu que l'on ouvre le registre placé sur le passage du gaz au fourneau, car la masse du fourneau et la charge du combustible qu'il contient peuvent se maintenir d'elles-mêmes et pendant ce temps à la température du rouge vif. Plus l'appel est continu, et plus uniformes sont la température et la qualité des gaz combustibles.

Il est évident qu'il y a avantage à alimenter tous les fours d'une même usine, avec le gaz provenant d'un même générateur, en lui donnant les dimensions les plus considérables; il en résulte des économies très-grandes dans la conduite du feu. La division des gaz offre toutefois quelques difficultés pour chauffer également plusieurs points à la fois.

Il est facile de se rendre compte des modifications que la nature du feu peut subir suivant les besoins, lorsqu'on fait usage d'un combustible gazeux dans les conditions qui viennent d'être décrites; on peut, en faisant varier, à l'aide des registres, la proportion des gaz combustibles ou de l'air chaud, produire une flamme tantôt oxydante et tantôt réductive; on a toujours une chaleur intense, exempte de poussières, de cendres et de corps étrangers. Ainsi l'expérience démontre que l'on peut, au moyen du four régénérateur à gaz, fondre dans des pots ouverts des compositions vitreuses renfermant même une certaine quantité de plomb; cependant, alors, quand on veut obtenir les plus belles qualités de flint-glass, il est préférable d'opérer dans des pots couverts. Mais toute autre espèce de verre peut y être fondue à vase ouvert, et l'économie de combustible qu'on réalise alors n'est rien auprès des avantages que présente cette pratique au point de vue de la couleur et de la qualité générale du verre, qui n'est souillé ni de taches, ni de poussières, ni de cendres, et qui se travaille sous l'influence d'une température fort élevée.

Avec ses grandes connaissances en métallurgie, Ebelmen, remarque avec juste raison M. Salvetat, avait préconisé l'emploi des combustibles gazeux comme permettant de tirer parti de certains charbons de mauvaise qualité restés jusqu'alors sans usage. MM. Siemens justifient complétement cette prévision du savant ingénieur français dans les termes suivants:

Dans les fourneaux à régénérateurs, la nature du combustible est pour ainsi dire absolument indifférente; on peut obtenir une chaleur aussi intense avec le plus mauvais menu qu'avec la meilleure houille de Newcastle. Avec un combustible quelque mauvais qu'il soit, il n'y a de limite à la production de la chaleur que celle fixée théoriquement par la quantité d'oxygène avec laquelle peut se combiner un équivalent de carbone: il suffit de déterminer expérimentalement l'épaisseur de la couche du combustible et la vitesse d'appel de l'air à travers la grille.

On a supputé qu'une nouvelle ère de prospérité pourra s'ouvrir pour quelques districts, comme le sud du Staffordshire, où les couches épaisses de charbon sont à peu près épuisées et ne peuvent plus guère suffire que pour une consommation de quarante années, mais où l'on rencontre en abondance des couches minces d'un combustible de qualité inférieure; de plus le docteur Percy ajoute, dans sa *Métallurgie*, que dans deux houillères seulement du Staffordshire méridional, on perd chaque année 160,000 tonnes de menu dont on ne peut trouver l'emploi, et que le four Siemens permet de parfaitement utiliser. En comparant les quantités de houille marchande que l'on enlève à celle qu'on laissait à l'état de menu, autrefois abandonné sur le carreau des mines, il évalue cette dernière quantité à près de cent millions de tonnes pour l'Angleterre; on voit par ces chiffres l'énorme économie qui peut résulter pour l'industrie d'un meilleur usage du combustible minéral.

En résumé, en substituant aux tuyaux d'échauffement pour l'air, des chambres remplies de briques, véritables magasins de chaleur; en supprimant la force motrice réclamée pour l'injection d'air forcé dans la colonne de combustible solide, et la remplaçant par le refroidissement dans un syphon et le simple tirage d'une cheminée; en intervertissant à volonté dans les chambres à chaleur le sens de la circulation, MM. Siemens ont dépouillé les appareils d'Ebelmen de leur forme trop exclusivement métallurgique et rendu d'immenses services aux industries du verre et des poteries, et à toutes celles qui exigent des températures élevées. En permettant de remplacer par un excellent appareil des fourneaux qui n'utilisaient qu'une fraction minime de chaleur dégagée et en fournissant le moyen d'obtenir régulièrement de très-hautes températures par la combustion de gaz déjà très-chauds, ils ont réalisé dans la pratique un des plus grands progrès de l'industrie moderne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si on cherche à énumérer les causes de supériorité de ces appareils, on reconnaît à première vue les suivantes:

1° Possibilité d'arriver à une combustion complète avec une quantité d'air très-peu supérieure à la quantité nécessaire théoriquement;

2° Rapide combustion de gaz mélangés intimement lorsqu'ils viennent à se rencontrer;

3° Régularité absolue de chauffage, les gaz s'écoulant sous des pressions régulières.

On peut dire que la métallurgie a été transformée par l'adoption des fours Siemens, et qu'on doit en faire usage dans tous les cas où le corps à chauffer ne doit pas être mélangé avec le combustible, comme cela a lieu dans les hauts-fourneaux et les cubilots, appareils qui utilisent encore mieux le combustible; nous avons vu, par exemple à l'article ACIER, combien ils sont précieux pour le travail au four à réverbère. Les fours à réchauffer et autres des usines à fer sont de plus en plus alimentés par des fours Siemens.

Les applications d'appareils si avantageux au point de vue surtout de la grande régularité du travail, aux diverses industries, doit conduire pour les divers cas, à quelques modifications de détail, en raison du but à atteindre, comme nous l'avons indiqué à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ en décrivant l'application du four Siemens à la distillation de la houille. C'est ainsi que, pour le travail de l'acier, nous citerons la disposition du four Ponsard qui permet de supprimer les valves, l'air chaud traversant l'intérieur de briques creuses dont est formé le récupérateur et les gaz produits, comme l'air, étant envoyés directement au foyer en traversant celles-ci. L'appareil devient plus altérable, mais fonctionne convenablement.

Les recherches se portent aujourd'hui vers les moyens de combiner des dispositions convenables, pour le chauffage des chaudières à vapeur, surtout lorsque les chaudières sont multiples, comme sur les navires à vapeur. Des avantages certains, une grande régularité de chauffage et une économie notable de combustible pour des foyers aussi défectueux que ceux des chaudières marines, en résulteraient; le grand danger est de brûler les chaudières par des langues de feu. On augure bien d'essais faits avec une chambre de combustion en briques placée en avant de la chaudière, mais il y a encore là un intéressant problème à résoudre.

En résumé, les éléments du problème de l'emploi des combustibles à l'état gazeux, tant théoriques que pratiques, sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs. C'est à leur savoir et à leur expérience à trouver la solution la plus convenable dans chaque cas.

COMPENSATEURS. Voyez HORLOGERIE.

COMPTEUR. Instrument qui sert à compter le nombre de révolutions d'un axe tournant ou celui des excursions alternatives de va-et-vient d'une tige, accomplies dans un temps donné. Il se compose ordinairement d'une série de rouages analogues à ceux des montres, faisant mouvoir des aiguilles sur des cadrans gradués. Lorsqu'il s'agit d'un axe de rotation, on en communique le mouvement à l'axe principal du compteur, soit au moyen d'engrenages, soit au moyen d'un excentrique monté sur cet arbre et actionnant un cliquet qui fait sauter à chaque tour une dent d'une roue à rochet montée sur un des axes du compteur. Par la répétition de roues, disposées sur des axes parallèles, divisées en dizaines et tournant d'une dent pour un tour de la roue voisine n'agissant sur elle que par une seule dent, on fait paraître sur un cadran les unités, dizaines, centaines, etc., du nombre des tours.

La construction devient plus légère et plus élégante, en employant le mouvement de va-et-vient produit par l'excentrique pour faire marcher les aiguilles du compteur, au moyen d'un échappement à ancre ou à verge; dans ce dernier cas l'échappement ne sert qu'à laisser échapper à chaque oscillation une dent de la roue à rochet, mais alors le compteur reçoit le mouvement par un poids ou un ressort, tout à fait comme dans les horloges et les montres.

Les excursions alternatives d'une tige se comptent exactement de la même manière.

Une construction de compteur assez curieuse et convenable pour enregistrer de grands nombres de tours, consiste à monter sur l'axe tournant ou sur tout autre axe qui en reçoit un mouvement proportionnel, une vis sans fin qui engrène avec deux roues dentées de même diamètre juxtaposées. La figure montre cette disposition. D d est un axe fixe, B une roue montée sur cet axe, C une roue de même diamètre, folle sur l'arbre D d; A une vis sans fin engrenant avec les deux roues; bd une aiguille montée sur l'axe de la roue B.

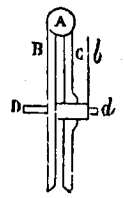


Fig. 1.

La roue folle sur l'axe a 99 dents et sa face porte un cadran qui se déplace par rapport à l'aiguille bd portée par l'axe de la seconde roue; celle-ci est divisée en 100es, a 100 dents et se meut vis-à-vis un style ou repère fixe. La vis sans fin fait sauter, pour chaque tour, une dent de chacune des deux roues, qu'elle conduit simultanément, la différence d'épaisseur des dents étant dans les limites du jeu. Avant de compter, on amène les deux aiguilles à zéro; on fait alors engrener les roues avec la vis sans fin, et lorsqu'il s'est écoulé un certain temps, on désembraie; supposons, par exemple, que le repère fixe marque 76 et l'aiguille mobile 42, la vis sans fin aura fait 4276 tours, puisque par chaque tour de la seconde roue, ou par chaque centaine de tours de la vis sans fin, la première roue aura avancé d'une dent sur la seconde.

Nous parlerons à l'article ÉCLAIRAGE AU GAZ des compteurs d'un autre genre employés pour mesurer la quantité de gaz dépensée dans un temps donné par un embranchement pris sur le tuyau principal; et à l'article JAUGEAGE des compteurs à eau propres à mesurer la quantité d'eau livrée aux divers consommateurs desservis par une conduite commune.

CONCHOIDE. (Voy. *Complément.*)

CONGELATION. Nous dirons à l'article GLACIÈRE comment on parvient à conserver pour les temps chauds la glace produite par les froids de l'hiver. C'est ainsi qu'on se procure à peu de frais les quantités énormes de glace qui se consomment dans nos pays; néanmoins le problème de produire à volonté de la glace offre de l'intérêt soit pour les pays chauds où la glace ne se produit pas, soit dans les campagnes où il n'a pas été formé de glacières. La question de la fabrication artificielle de la glace, à l'aide du travail mécanique, par un fonctionnement inverse de celui de la machine à vapeur ou de la machine à air chaud, a donné lieu à d'intéressantes recherches décrites à l'article PRODUCTION DU FROID, *Complément;* nous ne parlerons guère ici que de la seconde question, des procédés en quelque sorte domestiques, propres à donner facilement, mais un peu chèrement dans les ménages, de la glace au moyen de produits chimiques, sans recourir à des machines ou à des appareils compliqués.

Mélanges frigorifiques. Les mélanges dits frigorifiques doivent leur propriété au refroidissement que produit en général la dissolution d'un corps solide dans un liquide, parce que le premier, en passant à l'état liquide, fait passer à l'état latent une certaine portion de la chaleur sensible du mélange. Les proportions les plus convenables et les températures produites sont indiquées dans le tableau suivant:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

I. *Table des mélanges frigorifiques composés de glace, de sels chimiques et d'acides.*

1° MÉLANGES FRIGORIFIQUES EN EMPLOYANT DE LA GLACE.

MÉLANGES.		ABAISSEMENT du thermomètre.
Neige, ou glace pilée. .	2 parties.	20°
Sel marin.	1	
Neige, ou glace pilée. .	5	24°
Sel marin.	2	
Sel ammoniac.	1	
Neige, ou glace pilée. .	24	28°
Sel marin.	10	
Sel ammoniac.	5	
Nitrate de potasse. . .	5	
Neige, ou glace pilée. .	12	31°
Sel marin.	5	
Nitrate d'ammoniaque.	5	

2° MÉLANGES FRIGORIFIQUES NE RENFERMANT PAS DE GLACE.

MÉLANGES.	parties.	ABAISSEMENT du thermomètre.
Sel ammoniac.	5	de + 10°,00 à — 16°
Nitrate de potasse. . .	5	
Eau.	16	
Sel ammoniac. . . .	5	de + 10°,00 à — 16°
Nitrate de potasse. . .	5	
Sulfate de soude. . .	8	
Eau.	16	
Nitrate d'ammoniaque	1	de + 10°,00 à — 16°
Eau.	1	
Nitrate d'ammoniaque.	1	de + 10°,00 à — 19°
Carbonate de soude. . .	1	
Eau.	1	
Sulfate de soude. . . .	3	de + 00°,00 à — 19°
Acide nitrique étendu.	2	
Sulfate de soude. . . .	6	de + 10°,00 à — 23°
Sel ammoniac.	4	
Nitrate de potasse. . .	2	
Acide nitrique étendu.	4	
Sulfate de soude. . . .	6	de + 10°,00 à — 26°
Nitrate d'ammoniaque.	5	
Acide nitrique étendu.	4	
Phosphate de soude. .	9	de + 10°,00 à — 29°
Acide nitrique étendu.	4	
Sulfate de soude. . . .	8	de + 10°,00 à — 17°
Acide hydrochlorique. .	5	
Sulfate de soude. . . .	5	de + 10°,00 à — 16°,11
Acide sulfurique étendu.	4	
Neige.	3	de + 0°,00 à — 5°,00
Acide sulfurique étendu.	2	
Neige.	8	de + 0°,00 à — 2°,78
Acide hydrochlorique. .	5	
Neige.	7	de + 0°,00 à — 1°,11
Acide nitrique étendu.	4	
Neige.	4	de + 0°,00 à — 4°,44
Chlorure de calcium. .	5	
Neige.	2	de + 0°,00 à — 10°,00
Chlorure de calcium. .	3	
Neige.	3	de + 0°,00 à — 10°,56
Potasse.	4	

Les mélanges de glace et de sel marin, qui descendent beaucoup au-dessous de zéro, sont employés journellement par les glaciers pour préparer les glaces proprement dites, formées de sirops ou dissolutions qui placées à l'intérieur de vases contenant ces mélanges se solidifient rapidement.

On a souvent proposé d'employer les mélanges frigorifiques ne renfermant pas de glace pour produire celle-ci avec facilité dans les ménages, sinon très économiquement, au moins très aisément. La fig. 570 représente le congélateur Villeneuve, qui a été accueilli favorablement à l'exposition de 1844. Nous empruntons à M. Burat (Compte-rendu de l'exposition) la description de cet appareil, qui peut être utile dans un grand nombre de cas.

Le congélateur se compose :

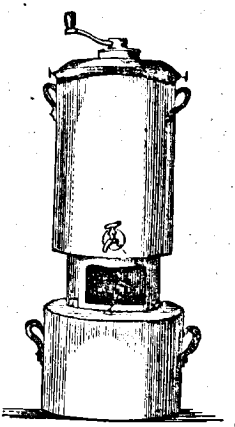
1° De quatre tubes ou vases cylindriques, s'enchâssant l'un dans l'autre et formant le corps principal de l'appareil.

Le premier et le deuxième tube sont soudés ensemble; l'intérieur du premier est rempli d'une substance non conductrice du calorique.

Le troisième adhère au deuxième par ses bords supérieurs et le ferme hermétiquement.

Le quatrième tube, ou *sabotière*, s'enchâsse librement dans le troisième, mais il est lui-même hermétiquement fermé par un couvercle auquel est fixée une petite manivelle destinée à faire tourner la sabotière. Deux pitons à vis servent à la maintenir dans le troisième tube.

2° D'un vase cylindrique placé à la partie inférieure de l'appareil et servant de *récipient* aux matières réfrigérantes qui s'échappent du troisième tube au moyen d'un conduit fermant à soupape et traversant les deux premiers tubes. Cette partie de l'appareil se dis joint, au besoin, du corps principal dans lequel il est enchâssé, en le faisant tourner comme si on voulait ôter la baïonnette d'un fusil.



570.

Un petit entonnoir soudé en haut de l'appareil et un robinet fixé au bas du corps principal traversent les deux premiers tubes, communiquent avec le troisième et servent, l'un à l'introduction du liquide à congeler, l'autre à l'écoulement de l'eau refroidie.

Deux mélanges différents peuvent être employés à opérer la congélation. Le premier se compose de trois parties de sulfate de soude et de deux parties d'acide hydrochlorique.

Le second se fait avec une partie de nitrate d'ammoniaque et une partie d'eau. Ce dernier mélange détermine moins rapidement la congélation, mais en revanche il est moins coûteux, car il peut servir de nouveau, après qu'on lui a fait perdre par évaporation la quantité d'eau qu'on lui avait ajoutée. L'opération n'offre d'ailleurs aucune difficulté. Voici en quelques mots comment il faut la conduire :

1° Enchâsser le troisième tube dans le deuxième et visser le conduit à soupape.

2° Verser dans le deuxième tube, par le petit entonnoir, l'eau à congeler, et dans la sabotière, le liquide ou les substances à congeler.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3° Introduire le mélange réfrigérant dans le troisième tube, en commençant par le sulfate de soude pour le premier réfrigérant, par l'eau pour le second.

4° Plonger la sabotière dans le troisième tube, et l'agiter vivement pour opérer la dissolution.

5° Faire écouler et renouveler le mélange à chaque période.

6° Faire écouler l'eau non congelée du deuxième tube, retirer de la sabotière la glace ou les substances congelées, et détacher du troisième tube le cylindre de glace.

7° Séparer le récipient du corps principal de l'appareil, jeter les résidus si l'on a employé le premier réfrigérant, ou les transvaser avec soin pour faire cristalliser de nouveau le nitrate d'ammoniaque si l'on s'est servi du second.

8° Laver toutes les parties de l'appareil à l'eau chaude, les essuyer fortement, puis les frotter avec du blanc d'Espagne, et les essuyer de nouveau.

CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES. La plupart des substances végétales et animales, s'altèrent plus ou moins rapidement au contact de l'air atmosphérique, surtout lorsqu'il est chaud et humide; très fréquemment la substance en se putréfiant, se désorganise et se réduit d'abord en une masse pâteuse, en répandant une odeur plus ou moins forte et désagréable, et enfin se dessèche en formant un résidu terreux et presque pulvérulent qui porte le nom de *moisissure*.

Les matières azotées, et principalement parmi celles-ci les substances animales, s'altèrent et se putréfient beaucoup plus rapidement que les matières organiques non azotées; quelques-unes de ces dernières, telles que les résines, les corps gras, les huiles volatiles, etc., ne paraissent pas susceptibles d'éprouver la fermentation putride, et préservent de toute altération les corps qui en sont suffisamment imprégnés. La putréfaction des matières azotées s'annonce par une odeur extrêmement fétide et repoussante, qui est peu ou point sensible pour les substances non azotées.

Nous parlerons des différentes fermentations, de leurs causes et de leurs produits, à l'article FERMENTATION, nous rappellerons seulement ici que la fermentation, qui n'est autre chose qu'une véritable combustion, qui transforme les éléments d'un corps organique en composés plus simples que ceux préexistants, ne se développe que dans des conditions bien déterminées qui sont ordinairement : une température de 0 à 100°, et souvent comprise entre des limites plus étroites; le contact de l'air humide. Le contact d'une matière en putréfaction excite de la façon la plus sûre et souvent la plus rapide, la putréfaction des substances animales avec lesquelles on les mélange.

Le principal produit de la fermentation est de l'acide carbonique, vient ensuite pour les matières azotées l'ammoniaque dont la formation paraît activer beaucoup la décomposition; enfin il se dégage quelquefois du gaz des marais (hydrogène proto-carboné), lorsque la putréfaction a lieu sous l'eau, et de l'hydrogène sulfuré (qui a une odeur d'œufs pourris), dans le cas de matières animales renfermant un peu de soufre.

Nous venons de dire que les conditions nécessaires pour que la fermentation s'établisse étaient l'accès de l'air, la présence de l'eau, et une température convenable; nous allons les examiner successivement.

Accès de l'air. Les substances organisées complétement soustraites au contact de l'air ou de l'oxygène, n'éprouvent point de fermentation. De la viande de boucherie introduite sous une cloche renversée sur la cuve à mercure et remplie d'acide carbonique ou d'hydrogène, se conserve des mois entiers sans acquérir la moindre odeur tandis qu'elle se putréfie rapidement dans les mêmes circonstances lorsqu'on remplit la cloche d'oxygène ou d'air atmosphérique. D'après les expériences de M. Gay-Lussac le raisin exprimé dans le vide ou dans du gaz hydrogène pur fournit un moût sucré qui se conserve sans altération, mais qui éprouve la fermentation alcoolique aussitôt qu'on introduit quelques bulles d'air sous la cloche qui le renferme.

Présence de l'eau. Les substances organiques bien desséchées se conservent sans altération dans l'air sec comme cela arrive, par exemple, pour la colle-forte, qui en solution éprouve très rapidement la fermentation putride; cependant les matières organiques peuvent se conserver à l'état humide, lorsqu'on a saturé l'eau par un sel ou du sucre, ou qu'on y a ajouté quelques-unes des substances anti-septiques dont nous parlerons plus loin. On explique l'efficacité des sels, du sucre et de l'esprit de vin, en admettant que par suite de leur affinité pour l'eau ils la retiennent à l'état de combinaison et produisent ainsi un effet analogue à la dessiccation, tandis que d'un autre côté ils coagulent l'albumine, substance très putrescible. On est encore incertain sur le rôle que joue l'eau dans la putréfaction, à savoir si elle est décomposée et donne lieu à une formation d'ammoniaque et d'acide carbonique aux dépens de l'azote et du carbone de la substance organique, ou bien si elle en active seulement la marche en jouant le rôle d'un dissolvant intermédiaire qui facilite les réactions.

Chaleur. La température a une grande influence sur les progrès de la fermentation putride, en coagulant l'albumine; la fermentation n'a pas lieu au-dessus de 100° et elle cesse au-dessous de 0°; ainsi, Pallas a découvert dans le nord de la Sibérie renfermés dans les glaces éternelles, des restes d'animaux anté-diluviens, dont l'espèce n'existe plus, parfaitement conservés et dont la chair n'avait subi aucune altération.

Les différents procédés employés pour conserver les substances organiques consistent soit à les soustraire à l'action de l'air, de l'eau et de la chaleur, soit à les imprégner de substances telles que, la plupart des huiles volatiles, comme l'essence de térébenthine, divers sels métalliques, comme le sublimé corrosif et le perchlorure de zinc, et surtout la créosote; ces substances sont dites par cette raison *anti-septiques*.

1° *Dessiccation.* C'est le procédé le plus efficace, mais dans beaucoup de circonstances il ne peut être employé. D'une part, il est très difficile d'obtenir pour les objets d'un certain volume, tels que les quartiers de viandes de boucherie, une dessiccation complète et assez rapide pour qu'il ne s'opère pas pendant la durée de l'opération une altération partielle; et, d'autre part, les substances en se desséchant se racornissent, et ne peuvent plus reprendre entièrement leur saveur et leur état primitif, même après une cuisson prolongée; enfin, la dessiccation en grand cause beaucoup de peine et d'embarras, et par suite, n'est pas toujours avantageuse sous le rapport économique. La chair découpée en tranches minces et séchée au soleil comme on le pratique dans quelques parties de l'Amérique, devient très dure, et fournit un aliment aussi peu savoureux que difficile à digérer. Un procédé bien préférable, mais aussi plus coûteux est le suivant :

On fait tremper, pendant 5 à 10 minutes, la viande à conserver découpée en morceaux du poids de 50 à 100 grammes, dans une chaudière remplie d'eau bouillante, puis on la retire et on la porte sur un treillis dans une étuve à air chaud dont la température doit être de 45 à 50° C.; on plonge ainsi successivement tous les morceaux de viande dans la même eau, qui se transforme en un consommé très concentré, auquel on ajoute s'il en est besoin, au fur et à mesure, un peu d'eau fraîche pour remplacer celle qui se perd par évaporation, et même un peu de sel et quelques épices; enfin on évapore ce consommé jusqu'à ce qu'il forme une solution gélatineuse qui se transforme rapidement en gelée par le refroidissement. Au bout de deux jours passés à l'étuve,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la viande est suffisamment desséchée, on l'en retire et on la trempe dans la gelée précédente que l'on a préalablement chauffée, puis on la reporte à l'étuve, de sorte qu'elle se trouve recouverte d'un vernis de colle de gélatine, dont on peut augmenter l'épaisseur par une seconde immersion. Ainsi préparée, la viande se conserve sans la moindre altération, dans un lieu sec, et reprend à très peu près ses propriétés primitives lors de la cuisson.

La dessiccation est surtout employée pour conserver les fruits, qui tantôt sont desséchés entiers comme les raisins, les prunes, etc., tantôt sont d'abord coupés en quartiers comme les pommes. La dessiccation a lieu suivant le climat, soit au soleil, soit dans les fours de boulangerie, soit enfin dans des étuves. Ce dernier procédé a été appliqué récemment à la conservation des betteraves préalablement coupées en rondelles à l'aide d'une machine; ce procédé permet aux fabriques de sucre de marcher toute l'année sans interruption, tandis que l'emploi des betteraves fraîches restreint à l'hiver la durée de la fabrication, et s'il donne lieu à une certaine dépense en combustible, nécessaire pour opérer la dessiccation, cet inconvénient est presque balancé par les avantages suivants : Le volume des betteraves est considérablement diminué, ce qui facilite leur transport et le rend bien plus économique; la betterave desséchée se réduit aisément en une farine qui peut être traitée avec une quantité d'eau proportionnellement bien moins considérable, de telle sorte que l'on obtient un jus sucré beaucoup plus concentré et plus pur, dont le traitement ultérieur exige beaucoup moins de combustible et donne moins de déchet.

La compression jointe à la dessication est exploitée avec un grand succès pour la conservation des légumes.

2° *Salaison.* C'est un des procédés les plus employés pour conserver les substances alimentaires; il consiste simplement à frotter la viande avec du sel et à l'en saupoudrer, puis à la disposer par lits dans une terrine et à la surcharger de poids; au bout de quelques jours, on la retire, on la place de nouveau par lits séparés par des couches de sel, dans le saloir; puis on l'arrose avec la saumure qui s'en était écoulée par la pression, qu'on concentre quelquefois d'abord jusqu'à moitié de son volume primitif. Les poissons de mer et particulièrement les harengs, sont salés avec du sel gris; après les avoir lavés, on les fait tremper pendant 24 heures dans la saumure, puis on les met en caque. On sale également le beurre, le fromage, etc., pour les conserver.

On ajoute souvent au sel marin une certaine quantité de nitre qui paraît avoir une action très efficace. Parmi les autres sels, que leur saveur ou leurs propriétés empêchent d'employer pour la conservation des substances alimentaires, nous citerons particulièrement l'alun et le sulfate d'alumine. Ce dernier, en dissolution concentrée, est très employé dans les préparations anatomiques et pour conserver les cadavres (*procédé Gannal*), en l'injectant dans la veine carotide, d'où il se répand par les ramifications du système veineux dans toutes les parties du corps.

3° *Emploi de l'esprit de vin.* Ce procédé employé dans les préparations anatomiques et la conservation des fruits, réunit à la simplicité, la faculté de conserver aux substances organiques leur forme et leur état naturel, en permettant de les observer facilement à travers le liquide transparent qui les baigne, avantage immense pour les préparations anatomiques. Malheureusement, ce moyen de conservation, parfait d'ailleurs, ne peut avoir qu'un usage très restreint pour la conservation des substances alimentaires à cause de la saveur qu'il leur communique.

4. *Emploi du sucre.* Le sucre qui, en dissolution étendue, éprouve très aisément la fermentation alcoolique, surtout en présence d'un ferment, ne s'altère nullement en dissolution très concentrée et peut alors se vir comme agent de conservation; c'est ainsi que l'confit, pour les conserver, les fruits, les racines, et grand nombre de substances végétales.

5. *Emploi du froid.* Le froid s'oppose, comme no l'avons dit, au développement de la fermentation; ain pendant l'été, on conserve facilement dans des glaci res la viande de boucherie et autres substances alimen taires; de même, en Angleterre, on emballe dans de glace les poissons, et particulièrement les truites, po les expédier des lacs de l'Écosse jusqu'à Londres.

6. *Soustraction du contact de l'air.* Dans cette catégor nous mentionnerons d'abord le procédé de *Stoeny*, q consiste à remplir un vase avec de l'eau complétemer privée d'air, par une ébullition prolongée, à jeter a fond de la limaille de fer, à y introduire la viande conserver, et à verser au-dessus de l'huile de manièr à en former à la surface une couche de 1 à 2 centim cette couche s'oppose presque entièrement à la dissolu tion de l'air dans l'eau, et la petite quantité d'oxygèn qui pourrait s'y dissoudre est absorbée par la limaille d fer; la viande se conserve ainsi pendant plusieurs moi sans altération.

Les procédés employés par le célèbre *Appert*, pour l conservation des mets déjà préparés, reposent égale ment sur le principe de la soustraction complète d contact de l'air. A cet effet, il introduit les mets tou préparés dans une boîte en fer-blanc de grandeur con venable, soude le couvercle qui porte une petite ouver ture par laquelle il achève de remplir entièrement l boîte de sauce, puis soude enfin une petite pièce de fer blanc sur cette ouverture. Il plonge ensuite ces boîte pendant 1/2 à 1 heure, suivant leur grosseur, dans u bain d'eau bouillante, afin de combiner avec les élé ments de la sauce les dernières traces d'oxygène qu pourraient rester dans les boîtes, qu'il recouvre enfin pour plus de sûreté, après leur refroidissement, d'un vernis à l'huile.

« La méthode d'Appert, dit *Liebig*, est basée sur le même principe que le procédé de la fermentation de la bière avec dépôt (voyez BIÈRE DE BAVIÈRE, art. BIÈRE). Dans cette dernière opération, on sépare, par l'intermédiaire de l'air, toutes les matières putrescibles, à une température basse, à laquelle l'alcool ne peut pas s'oxyder : en les éloignant ainsi, on diminue la tendance de la bière à s'aigrir, c'est-à-dire à subir une métamorphose ultérieure. La même chose se pratique dans la méthode d'Appert; elle consiste à mettre l'oxygène en présence des légumes ou des mets qu'il s'agit de conserver, à une température élevée, où il y a bien combustion lente, mais non putréfaction ni fermentation. Par l'éloignement de l'oxygène, après que la combustion lente est achevée, toutes les causes d'une altération ultérieure se trouvent écartées. Dans la fermentation de la bière, avec dépôt, on enlève la matière qui *éprouve* la combustion; dans la méthode d'Appert, au contraire, celle qui la *produit*. »

Appert livre au commerce une grande variété de viandes ainsi préparées qui, d'après les nombreuses expériences auxquelles leur usage journalier dans la marine a donné lieu, se conservent des années entières sans éprouver d'altération. S'il y a eu une fermentation partielle dans l'une des boîtes, on le reconnaît à la vue de l'extérieur seul, par la déformation des parois planes causée par le dégagement des gaz.

Les petits objets, comme les petits pois, les haricots, etc., sont conservés dans des bouteilles en verre que l'on ferme avec de bons bouchons, et que l'on place ensuite dans un bain d'eau salée ou de vapeur chauffé un peu au-dessus de 100°. Pour prévenir la casse des bouteilles, on emploie des chaudières munies d'un double fond percé de trous, et même on enveloppe préalablement les bouteilles dans des sacs en toile; après

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelques heures d'ébullition, on retire le feu et on laisse refroidir les bouteilles dans la chaudière; enfin on les cachète. On peut introduire les petits pois et d'autres légumes à l'état cru dans les bouteilles; cependant il est préférable de les faire d'abord bouillir dans de l'eau, ce qui diminue leur volume, de telle sorte qu'il en tient davantage dans les bouteilles et qu'il y reste d'autant moins d'air. L'ébullition du bain-marie doit durer de une à deux heures, suivant la nature des légumes.

On peut aussi conserver assez longtemps le lait par les procédés d'Appert, en en remplissant une bouteille bien propre, la bouchant avec soin, et chauffant au bain-marie pendant 3/4 d'heure environ.

La plupart des procédés employés pour la conservation des œufs consistent également à soustraire au contact de l'air l'albumine ou blanc d'œuf; la coque qui est calcaire est très poreuse et suffit seulement pour retenir le blanc d'œuf, mais l'air la traverse avec la plus grande facilité. Ordinairement on place les œufs par étages, la pointe en bas, dans une terrine, que l'on remplit ensuite d'eau de chaux; la chaux s'infiltre à travers la coque, et forme en très peu de temps avec le blanc d'œuf un *ciment* très compacte qui bouche les pores de la coque, et s'oppose très efficacement à tout accès de l'oxygène dissous dans l'eau de chaux. Quelquefois on plonge les œufs frais pendant une à deux minutes dans l'eau bouillante, de manière à coaguler, à la surface seulement, le blanc d'œuf qui forme un enduit préservateur pour la partie non coagulée, on conserve ensuite les œufs au frais dans de la sciure de bois. Il vaudrait mieux enduire les œufs ainsi préparés et encore chauds d'une dissolution épaisse de gomme mêlée avec un peu de sirop de sucre, puis les conserver dans du poussier de charbon.

7. *Emploi de substances anti-septiques.* Parmi ces substances, on doit placer en première ligne, comme nous l'avons déjà dit, la créosote, dont la présence dans la fumée, ainsi que dans l'acide pyro-ligneux, est probablement la cause qui rend si remarquable l'emploi de ces deux agents comme moyen de conservation.

La viande à fumer est d'abord frottée avec du sel, et souvent aussi avec un peu de salpêtre, puis enfumée dans une hutte destinée à cet usage. Les bois feuillus sont préférables aux bois résineux qui communiquent toujours à la chair un arrière-goût désagréable. La règle essentielle à suivre, en fumant les viandes, est de ne produire que peu de fumée à la fois, et par suite d'augmenter beaucoup la durée de l'opération. Lorsqu'on produit trop de fumée, il est impossible d'obtenir un bon résultat; l'extérieur est déjà extrêmement fumé avant que l'intérieur le soit sensiblement. A la fin de l'opération seulement, on produit, pendant un temps très court, beaucoup de fumée, afin surtout de préserver la surface constamment exposée au contact de l'air.

La viande immergée pendant quelque temps dans l'acide pyro-ligneux, puis séchée à l'air libre, se conserve tout aussi bien que la viande fumée, mais elle acquiert un goût désagréable, ce qui fait que ce procédé n'est point employé pour la conservation des substances alimentaires.

Les autres substances anti-septiques, comme le sublimé corrosif, le perchlorure d'étain et l'acide arsénieux, sont surtout employées pour la conservation des objets d'histoire naturelle et pour embaumer les cadavres. Une injection de sublimé corrosif en dissolution dans les veines, ou mieux une immersion dans cette dissolution, préserve parfaitement les cadavres de toute altération.

8. *Conservation de l'eau.* C'est un fait bien connu que l'eau conservée dans des tonneaux en bois se corrompt très facilement, ce qui paraît dû à ce qu'elle dissout peu à peu les matières extractives du bois, lesquelles une fois dissoutes ne tardent pas à entrer en putréfaction; d'après les observations de Prechtl, le sulfate de chaux contenu dans la plupart des eaux se décompose alors et donne lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré, de sorte que l'eau n'est plus du tout potable.

Les tonnes en bois ne sont donc pas propres à conserver l'eau, aussi dans la marine emploie-t-on fréquemment des barriques en fer-blanc, où elle se conserve très bien, et dans le fond desquelles on a soin de mettre quelques morceaux de fer, sur lesquels se porte en grande partie l'action de l'oxygène dissous dans l'eau; mais ce moyen est assez coûteux, parce que le fer-blanc s'attaque aisément par la rouille.

Par suite des propriétés désinfectantes du charbon, on peut conserver de l'eau pendant assez longtemps dans des tonnes en bois carbonisées à l'intérieur sur une certaine épaisseur; seulement il convient de remarquer que l'efficacité d'une couche de charbon aussi mince ne dure qu'un temps limité.

Lorsqu'il s'agit de rendre potable de l'eau déjà corrompue, le charbon est le moyen le plus efficace et le plus généralement employé; nous reviendrons à ce sujet à l'article FILTRATION. Un autre procédé consiste à ajouter une très faible quantité d'alun en poudre, qui clarifie l'eau en précipitant la plus grande partie des substances organiques dissoutes, mais qui ne peut lui enlever l'odeur qu'elle a acquise; il réussit beaucoup mieux employé comme moyen de prévenir la corruption de l'eau.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS. L'idée de l'établissement d'un lieu public où seraient conservés, et mis à la disposition de tout le monde, ayant intérêt à les consulter, des modèles d'outils, de machines, d'instruments, utiles aux manufacturiers, aux agriculteurs, aux ouvriers, fut une grande et noble idée, qui devait être féconde en heureux résultats, et donner une forte impulsion à l'industrie nationale. Elle remonte aux temps où fut fondée l'institution de l'Exposition périodique des produits de l'industrie française, qui devait servir à constater les pas en avant que l'institution du Conservatoire aurait fait faire aux arts, et aussi à ces mêmes temps qui virent naître l'École Polytechnique, institution noble et généreuse, qui a fait tant de bien et a fait jaillir tant d'éclat sur notre patrie. Après plusieurs essais, plus ou moins heureux, le Conservatoire des arts et métiers fut enfin établi dans l'ancienne abbaye Saint-Martin, dans un quartier très populeux, centre de l'active production, à la proximité de ceux qui devaient avoir le plus souvent besoin de visiter ses nombreuses collections, pour en retirer un utile enseignement. C'est sur le rapport de M. Grégoire, que la loi de prairial an VI fixa cette installation définitive.

Bientôt les modèles arrivèrent de toutes parts. Des dons particuliers, des achats faits par le gouvernement d'après les indications d'hommes d'un mérite éminent, firent des salles du Conservatoire le plus précieux musée industriel qui soit au monde; des existences entières d'hommes savants et zélés furent consacrées au développement, à la classification des richesses accumulées dans les immenses galeries de ce vaste établissement. Un ministre de l'intérieur dont le nom se retrouve toutes les fois qu'il est question de choses grandes et utiles à la nation, Chaptal, établit en ce lieu une école de filature, qui fut, dans un temps où l'art était encore si loin de ce qu'il fut depuis, un véritable bienfait pour le monde industriel. Il eût été heureux que ceux qui ont succédé à Chaptal, marchant sur ses traces, eussent successivement doté le Conservatoire d'écoles semblables pour les branches de la fabrication qui étaient arriérées chez nous. Ainsi on aurait établi une école de mécanique, à la tête de laquelle on aurait mis un habile mécanicien praticien, qui aurait appelé dans son école un professeur de théorie. On aurait pu ensuite établir une école d'horlogerie, sous la direction d'un Bréguet, etc., etc. Mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

les choses ne tournèrent pas ainsi, et l'enseignement pratique fut bientôt sacrifié à l'enseignement théorique, qui est certainement d'une haute importance, mais qui, pour les travailleurs, pour les ouvriers, est d'une utilité moins directe que le premier. Nous ne sommes pas de ceux qui affectent un superbe dédain pour l'art oratoire; nous pensons que dans beaucoup de circonstances, la parole est un grand moyen de civilisation, de propagation des bonnes idées, de perfectionnement moral; mais nous sommes obligés de convenir avec beaucoup de bons esprits, qu'on a un peu abusé de ce moyen, tout divin soit-il, et cela depuis 1814 surtout. Il fallait au Conservatoire beaucoup faire et peu parler; c'est tout le contraire qui a eu lieu depuis cette époque; ce n'est point avec des paroles seulement qu'on enseigne un art, un métier; c'est surtout par l'action, par l'exemple : cela est vrai pour les arts et métiers; cela est même vrai souvent pour les sciences : il faut des manipulations au chimiste, il faut à l'astronome des nuits passées à observer; il faut au médecin l'anatomie, la clinique. Si l'on en excepte la classe de dessin linéaire, on accorda bien peu de chose à la pratique, on donna beaucoup à la parole; on institua des chaires, confiées à des hommes sans doute très éloquents; mais l'opinion d'hommes savants a été que c'étaient des ateliers qu'il fallait plutôt instituer; parce que, disaient-ils, dans les arts et métiers, c'est faire, c'est produire, qui doit être le but; or, on ne fait pas en parlant; mais on fait en faisant. Ce n'est ni le bon vouloir, ni l'argent, il faut rendre cette justice, qui ont manqué; on a fait tout ce qu'on pouvait; mais dans ce qu'on a fait, ce qu'on devait faire n'a malheureusement pas été fait. Notre conscience nous contraint à le dire, l'excès de la parole a fait tort au Conservatoire.

Comme on augmentait sans cesse les collections de machines, de modèles d'instruments, sans qu'une haute sagacité présidât toujours infailliblement aux choix, il y eut bientôt encombrement, confusion; et sans partager le blâme déversé par des esprits chagrins, enclins à une critique trop amère, nous devons convenir que la visite de cet imposant établissement est devenue pour beaucoup de gens, ou une promenade pure et simple, dans un lieu renfermant des objets dignes d'exciter la curiosité, ou un casse-tête affreux pour celui qui veut retirer de sa visite ou d'utiles enseignements sur l'industrie en général, ou une instruction solide dans une branche spéciale. La grande majorité des modèles représentent des instruments vieillis, dépassés, abandonnés par la pratique qui marche toujours; et l'industrie nationale ne pouvant plus retirer aucun profit du temps passé à leur étude, le but de l'institution se trouvait manqué, et de toutes parts on réclama contre cet état de choses.

En 1837 ou 1838, le ministère lui-même reconnut que l'industrie nationale ne pouvait retirer aucun avantage de l'institution du Conservatoire des arts et métiers, et une commission fut autorisée de rechercher les moyens propres à *utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers*. Cette commission était composée de dix-huit personnes, portant, pour la plupart, des noms justement célèbres; mais malheureusement presque tous étaient des hommes de cabinet, des employés, des professeurs; il ne s'y trouva que peu d'hommes praticiens, deux ou trois, et encore de ces praticiens qui s'occupent plus de l'ensemble que des détails, plus de théorie que de pratique. Aussi, le résultat des travaux, consciencieux d'ailleurs, de cette commission, fut-il la création de nouvelles chaires à ajouter aux chaires déjà existantes, l'ouverture de nouveaux cours; c'était continuer, amplifier, ce qui existait avant. L'institution du Conservatoire des arts et métiers sera-t-elle par ce moyen *utilisée au profit de l'industrie nationale*? L'avenir répondra.

L'attention publique éveillée sur cette grande question proposée par le gouvernement à la commission, plusieurs mémoires, fruits de méditations particulières, furent adressés au ministre, à l'effet d'aider les honorables membres dans leur travail. Que les idées proposées dans ces mémoires fussent ou non réputées impraticables, l'intention de ceux qui les fournissaient était louable, et bien que ces travaux n'aient pu être récompensés par la satisfaction qu'auraient éprouvée les auteurs à voir leurs idées se faire jour; peut-être les lecteurs seront heureux de les retrouver ici. C'est ce qui nous a déterminé à rendre public l'un de ces mémoires. Les hommes spéciaux jugeront.

« . . . . . La question de haute importance qui vous est soumise, pour la solution de laquelle le gouvernement invoque l'appui de vos lumières et de votre expérience, peut être envisagée sous plusieurs aspects. C'est, assurément, parce que cette vérité a tout d'abord frappé les regards, que le ministre a cru devoir vous réunir en grand nombre, et qu'il a rassemblé en faisceau, dans la composition de la commission, toutes les hautes capacités dans chaque spécialité. L'industrie nationale profitera certainement des choix éclairés, et devra à votre heureuse et patriotique intervention des enseignements, des voies et moyens, qui lui imprimeront une salutaire impulsion.

« Le Conservatoire des arts et métiers ne saurait être considéré simplement comme de nobles archives dans lesquelles les nationaux, et même les étrangers, peuvent à chaque instant, pour chaque profession, venir admirer les efforts et les essais de nos pères laborieux; il doit être de plus une école de brillant enseignement industriel. La réputation méritée des professeurs, la libéralité, la puissance de leur langage porteront sans doute d'heureux fruits; et les bonnes théories, les saines doctrines industrielles se répandront parmi nos ouvriers..... D'une autre part, au moyen d'une belle publication, de planches bien gravées, des modèles choisis se répandent dans tous les lieux où l'on travaille.

« Il semble, au premier aperçu, que ces leçons, que ces publications, devaient suffire à tous les besoins de l'éducation industrielle; et, cependant, quelques personnes pensent, et le gouvernement paraît le reconnaître aussi, puisqu'il vous a réunis en commission, qu'il pourrait être ajouté encore quelque chose à ces moyens de perfectionnement.

« Un besoin se fait sentir vivement en France, c'est celui de bons ouvriers. Cette proposition paraîtra d'abord un paradoxe; mais, en l'examinant attentivement, on reconnaîtra qu'elle est juste en tous points. Les ouvriers français, il est pénible de le dire, mais nous devons avant tout dire la vérité, sont en arrière de ceux de la Belgique, de la Suisse, de l'Allemagne; nous ne parlerons pas de l'Angleterre, elle est hors ligne, sa supériorité est incontestable et incontestée. Et, pourtant, la nature a doué l'ouvrier français de qualités qu'elle a refusées à l'anglais, au belge, à l'allemand, à toutes les autres nations; elle lui a donné une imagination ardente, la facilité d'apprendre promptement, la souplesse, la soif de la gloire et de l'approbation; elle a fait, enfin, à l'ouvrier français, la plus précieuse des largesses en lui donnant, plus qu'à tout autre, ce tact, ce sentiment du bon et du convenable, que nous appelons le goût. Heureuse faculté, qui seule, jusqu'à présent, a soutenu sa réputation et l'a empêché d'être relégué dans les derniers rangs des capacités européennes. Car on trouve en France beaucoup d'ouvriers habiles, adroits; mais peu, très-peu qui soient instruits. Un ingénieur, un entrepreneur de grands travaux réalisera plus aisément ses conceptions dans les pays dont nous venons de parler que dans le centre de cette belle France qui a un renom si retentissant d'intelligence industrielle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Les écoles d'arts et métiers, si elles sont dirigées par des hommes pratiques, seront de riches pépinières de bons ouvriers, d'ouvriers instruits; mais ce n'est pas ici le cas de nous occuper du bien qu'elles pourront produire, nous devons nous appliquer seulement à faire ressortir à vos yeux quelle part importante le Conservatoire des arts et métiers peut réclamer dans l'instruction industrielle, c'est-à-dire, dans la production des bons ouvriers; éléments radicaux de toute fabrication. »

« Ainsi donc, pour que le Conservatoire des arts et métiers *puisse être utilisé au profit de l'industrie nationale*, il faut qu'il devienne une école industrielle qui dote la France de ce qui lui manque, d'ouvriers instruits, de bons ouvriers. Récapitulons ce qu'on a fait: voyons ensuite ce qui est à faire pour atteindre ce but. »

« Avant toutes choses, établissons bien clairement ce qu'on entend par un bon ouvrier. Un bon ouvrier est l'homme intelligent, instruit, rangé, qui fait vite et bien. Ainsi, deux conditions essentielles : l'une morale, l'intelligence, la science, la bonne conduite : l'autre toute physique, faire vite et bien. Qu'a fait le Conservatoire des arts et métiers pour que ces deux conditions soient remplies?

« L'*intelligence*, c'est un don particulier de la nature. Le Conservatoire des arts et métiers, non plus qu'aucune autre institution, ne pourra jamais doter de ce présent celui qui ne l'aura pas reçu de ses pères; mais, heureusement, comme nous l'avons dit, l'intelligence est chose commune en France.

« *La science*, les leçons, les cours, la parole des professeurs, l'exhibition des modèles, la publication imprimée et gravée des modèles, pourront la donner en partie.

« *La bonne conduite*, c'est aux efforts des particuliers, c'est aux bons livres, tels que ceux qui ont été publiés par M. Bergery de Metz, à donner aux ouvriers des habitudes d'ordre, à en faire des hommes rangés; cette mission ne peut être celle des professeurs du Conservatoire; ils ne font pas des sermons, mais des leçons.

« Donc, relativement à la *condition morale*, le Conservatoire, organisé comme il l'est, ne peut donner que la science, ou du moins, partie de la science.

« Quant à la *condition physique*, donner les moyens de *faire vite et bien*, le Conservatoire, organisé comme il l'est, ne paraît nullement propre à la remplir.

« Quels ont été, en effet, les moyens employés pour que ces deux conditions se trouvassent suffisamment ? Ce fut, 1° l'exposition hebdomadaire des machines employées dans toutes les parties des arts et métiers; 2° des cours de dessin de ces mêmes machines, et d'autres cours, savamment appropriés à toutes les intelligences sur les théories mécaniques, chimiques, physiques, et sur l'économie industrielle.

« Ces moyens ont-ils été suffisants pour produire de bons ouvriers, et en grand nombre? Non, ont dit les manufacturiers, les chefs d'usines, les directeurs d'ateliers : Non, a dit le gouvernement, puisqu'il a nommé une commission chargée de rechercher les moyens d'*utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers.*

« Pourquoi ces moyens ont-ils été insuffisants? La réponse pourrait être brève; mais peu claire. Il convient donc d'entrer dans les détails qu'elle comporte.

« L'exposition des modèles des machines ne peut suffire, parce qu'elle ne dit point à l'ouvrier ce qu'il importe surtout de lui dire : Quels ont été le mode, les moyens d'exécution employés pour la confection de chaque machine, combien elle a dû coûter, en combien de temps elle a dû être faite... Quand un industriel, maître, contre-maître, ou simple ouvrier, voit une machine à travers un vitrage, ou, même quand il peut tourner autour, peut-il se rendre raison de la somme de force motrice qu'il faudra dépenser pour la faire fonctionner? Peut-il se figurer quelle sera son allure? peut-il savoir quelle sera la qualité ou la quantité de ces produits? l'affirmative est bien difficile à croire. Peut-il, lorsqu'il suit la longue file des machines exposées, qui, toutes, par des moyens divers, sont destinées à remplir la même fonction, à donner les mêmes produits, discerner celle qui, seule, mérite de fixer son attention? Cela est encore bien difficile à concevoir.

« Dans ce palais de merveilles, dans ce labyrinthe de féeries, quelle que soit la précision de son indicateur, et la complaisance à toute épreuve des préposés, pourra-t-il arriver juste à la rencontre de l'objet qu'il cherche, qu'il vient chercher de très loin peut-être? En vain, fermera-t-il les yeux pour n'être point distrait à chaque instant, pour n'être point sollicité de s'arrêter à chaque pas, afin de réserver son attention entière et forte pour la spécialité qui l'amène dans le sanctuaire des arts; bien rarement il aura la chance de rencontrer cet objet désiré; ou bien, lorsqu'il l'aura rencontré, il ne pourra s'en faire qu'une idée bien imparfaite qui s'effacera de son esprit avant qu'il soit rentré chez lui.

« Par ces considérations et par bien d'autres encore qu'il serait trop long de rapporter, les salles du Conservatoire sont remplies, aux jours d'ouverture, par ce même public, *voyeur* infatigable qui remplit les salles du cabinet d'histoire naturelle, les galeries de tableaux, celles des antiques, des médailles, les bibliothèques, etc. C'est un muséum que les oisifs et les touristes ont inscrit sur leur carnet, qu'ils se croient dans l'obligation de visiter en voyant Paris. L'industriel, l'ouvrier, qui pensent y trouver des lumières, n'en rapportent que des maux de tête intenses.

« Mais la publication gravée, accompagnée d'un texte explicatif, qui reproduit les modèles principaux, n'est-elle pas une compensation à la fatigue produite par l'agglomération de ces modèles? Pour les chefs de manufacture, pour les ingénieurs; oui, sans doute : pour les ouvriers, non.

« Pour qu'un homme puisse s'instruire au moyen de la communication, écrite ou imprimée, de la pensée, il faut que ce moyen lui soit depuis longtemps familier; il faut qu'il lise sans peine, sans travail, sans que cette opération des yeux et de l'entendement le fatigue, et sans qu'elle exige de lui aucune contention d'esprit. Il faut que, dès l'enfance, ou du moins, depuis longues années, il ait fait un emploi fréquent de ce moyen de transmission, d'échange des idées. Celui dont toute la force intellectuelle est absorbée par l'action elle-même de lire, qui dépensera à l'accomplissement de cette action toute la force de son cerveau, celui-là ne retirera aucun profit de la lecture : et de même qu'une machine mal combinée absorbe toute la force motrice disponible pour être mise en mouvement et n'en transmet que peu ou point pour l'effet utile; de même, l'homme inculte, encore bien qu'il sache lire, s'il n'a pas fait de cet avantage un usage presque journalier, est incapable de rien apprendre par la lecture. C'est ce qui fait que nos ouvriers n'aiment point lire, et ne lisent point, si ce n'est des ouvrages futiles qui ne demandent aucune contention d'esprit. Une lecture sérieuse est une fatigue pour eux, et une fatigue sans résultat profitable.

« Les planches qui représentent les machines, pourraient, jusqu'à un certain point, parer à cet inconvénient : quand on met, non seulement entre les mains des ouvriers, mais même entre celles de personnes plus haut placées dans l'échelle intellectuelle un livre accompagné de figures, c'est toujours aux figures qu'on s'adresse, d'abord, pour prendre une idée sommaire de l'ouvrage; mais encore, ici, il faut un long apprentissage, une habitude, un usage fréquent, pour se livrer avec fruit à cette espèce de lecture, surtout lorsqu'il s'agit de dessins de machines : souvent l'ouvrier, dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traits déliés et compliqués d'un dessin de mécanique, ne voit que des traits confus qui fatiguent son œil sans parler à sa pensée. Les gravures valent mieux que les descriptions pour les hommes incultes, mais ne sont encore qu'un moyen bien insuffisant. C'est ce qui fait que les ouvrages, même les mieux faits, publiés pour les ouvriers n'ont jamais produit tous les résultats qu'on était en droit d'attendre : les ouvriers ne les ont point lus.

« Les cours, les leçons orales, semblent, au premier aperçu, devoir produire de meilleurs effets : ici, la pensée se transmet par un agent dont les ouvriers ont l'habitude de se servir, la parole. Toute la force de leur entendement n'est pas absorbée par une opération intermédiaire, la lecture. Elle se porte entière sur ce que dit le professeur; mais le langage des auditeurs n'est pas le même que celui du professeur qui leur parle : il est bien plus pauvre; beaucoup d'expressions sont ouïes pour la première fois ; ces auditeurs ne sont pas habitués aux longues périodes, aux inversions; la conception est lente chez eux, ils ont besoin pour comprendre des longs repos de leur dialogue, pendant lesquels leur esprit élabore les phrases perçues; et cependant, au cours, le discours du professeur s'écoule rapidement, incessamment; les idées se succèdent rapides et fugitives, et assez souvent ils n'ont pas eu le temps de bien comprendre celle qui fait la base, le point de départ de la démonstration. Comment en suivraient-ils les corollaires?.... Les leçons orales, elles-mêmes, ne produisent donc qu'un effet très limité.

« D'une autre part, les cours publics ont cet inconvénient grave, qu'ils ne s'appliquent et ne peuvent s'appliquer, en effet, qu'aux théories, qu'aux préceptes; et que, par conséquent, ils s'adressent plus spécialement à ceux qui doivent commander qu'à ceux qui doivent exécuter : ils parlent aux maîtres et non aux ouvriers, ils tendent à former des manufacturiers, des ingénieurs, des directeurs de travaux; mais nous sommes riches de ce côté : ce sont les bons ouvriers qui nous manquent, et les cours ne sont point aptes à les produire. Vainement a-t-on matérialisé l'enseignement de quelques branches, en faisant suivre la manipulation de l'expérimentation, lorsqu'elles ont été nécessaires à la démonstration, dans les cours de chimie et de physique; ces louables essais n'ont pas produit le bien qu'on en attendait. Ces cours ont servi à rectifier un peu les idées des demi-savants; ils n'ont pas élevé au rang de demi-savant celui qui ne savait rien : ils n'ont été d'aucun avantage pour l'ouvrier.

« Quant à la bibliothèque du Conservatoire, nous nous abstiendrons d'en parler, pour n'en point trop parler; nous avons établi plus haut que la lecture ne peut suffire seule à instruire les ouvriers; nous n'en dirons pas davantage à ce sujet.

« Ainsi donc, aucun des moyens employés, l'exposition des machines, les publications imprimées et gravées, les leçons orales, n'a produit l'effet désiré, la production en grand nombre des bons ouvriers.

« Il faut donc chercher ailleurs que dans ce qui a été fait jusqu'à présent les moyens d'*utiliser au profit de notre industrie l'institution du Conservatoire des arts et métiers.*

« Nous venons d'établir que ce sont les bons ouvriers qui nous manquent; mais par ce mot ouvriers, on ne doit pas entendre seulement les journaliers; l'artisan qui travaille seul, ou qui se fait aider dans son labeur par un ou plusieurs ouvriers, est dans le même cas que ces derniers : car, ce maître, c'est un ouvrier qui a ouvert boutique ou chantier, et qui paye patente. Sorti des rangs des journaliers, il n'a pas plus de savoir que les journaliers : il a seulement, lorsqu'il est plus âgé, plus d'expérience, on pourrait dire plus de routine.

« A Metz, à Paris, à Lyon, à Rouen, et dans quelques autres centres d'activité industrielle, en cherchant bien, on pourrait toutefois rencontrer peut-être, peut-être! des ouvriers intelligents, instruits; mais partout ailleurs les recherches pourront être vaines. Ce n'est pas que nous prétendions jeter du blâme sur les ouvriers des petites localités. Cette pensée est bien éloignée de notre esprit; nous savons pertinemment que dans les petites localités, on rencontre en bien plus grand nombre que dans les grandes villes des hommes de bonne moralité, grands travailleurs, très adroits, très ingénieux, et d'autant plus ingénieux, qu'ils sont contraints, réduits à leurs propres forces, d'embrasser plusieurs genres de fabrication, et de réunir en eux les talents d'ouvriers divers; mais isolés, séquestrés, pour ainsi dire, ils ne peuvent jouir des découvertes faites par les aînés de l'industrie, et prendre leur part des lumières répandues par la communication des travailleurs entre eux, ni suivre les progrès des masses, qui, de leur nature, marchent toujours en avant. Ainsi nous pouvons affirmer, sans que les ouvriers isolés en puissent prendre ombrage, que, hors les grands centres d'activité industrielle, on pourra peut-être trouver un ingénieur, un architecte, mais que les ouvriers manqueront. Les plans seront bons, mais l'exécution mauvaise, et tellement chère qu'il y aura souvent profit, lorsque cela sera possible, à faire venir de fort loin, de l'étranger même, quel que soit le coût des transports, les mécaniques, ou autres objets, qui auraient pu être confectionnés sur les lieux, si de bons ouvriers s'y fussent rencontrés. Chez nous, tout ce qui est fabrique, manufacture, usine, grand atelier, a fait des pas en avant, tandis que la boutique, le petit atelier sont restés ce qu'ils étaient il y a trente ans. Et comme il y a dix mille boutiques pour une fabrique, et comme certaines fabrications, la serrurerie, la menuiserie, la maréchalerie, l'horlogerie courante, la reliure, la ciselure, et beaucoup d'autres qui forment la majorité des fabrications resteront boutiques; c'est donc vers l'amélioration de la boutique qu'il convient de diriger tous les efforts.

« Si l'on nous demande ce qui manque à la boutique, nous répondrons : des moyens d'exécution prompte et sûre, un outillage plus parfait, des méthodes de faire vite et bien, afin que l'ouvrier, pour le même prix, augmente la somme de ses produits, afin que ces produits augmentés soient en même temps plus parfaits, afin que l'aisance et le bien-être de l'ouvrier se trouvent augmentés dans la même proportion.

« C'est l'outillage qui doit appeler d'abord toute l'attention; car le proverbe dit : *Les bons outils font la moitié de la besogne.* Or, jusqu'ici, cette partie radicale de toute fabrication manuelle a été, pour son perfectionnement, livrée à l'aveugle hasard; ce sont ordinairement les quincailliers et les marchands d'outils, qui seuls, dans leur intérêt privé qui n'a pas toujours été d'accord avec le progrès, ont fait le peu de bien qui s'est manifesté depuis une vingtaine d'années; c'est le marchand qui très souvent a fait connaître à l'ouvrier l'outil qui était le plus propre à faciliter son travail, à augmenter la masse de ses produits, et conséquemment la masse de ses profits. C'est par son admirable outillage que l'Angleterre règne sur le monde industriel : c'est par ses méthodes de faire vite et bien, et à bon marché, qu'elle écarte notre concurrence sur les marchés étrangers.

« Ces moyens d'exécution, cet outillage perfectionné, ces méthodes de faire vite et bien, est-il au pouvoir de l'institution du Conservatoire des arts et métiers de les provoquer, de les propager, de les faire connaître partout?... Nous pensons que cela lui est non seulement possible, mais facile, et si on nous demande par quels moyens, nous répondrons : Par l'établissement, dans le sein du Conservatoire des arts et métiers, de nombreux ateliers-modèles, qui seraient pour la majeure partie des métiers et professions de véritables et utiles écoles in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dustrielles, telles et plus développées encore que Chaptal ne les avait conçues.

« Les ateliers-modèles devraient être établis dans les chefs-lieux de départements. Nous avons donné en 1834, dans le n° de mai du *Journal des Connaissances utiles*, les moyens de parvenir à rendre au pays cet éminent service, nous avons évalué approximativement la dépense qu'entraînerait cet établissement ; mais nous n'avons ici à nous occuper que de l'établissement de ces ateliers au Conservatoire des arts et métiers de Paris. Ce serait de Paris que partirait l'exemple et que l'impulsion serait donnée ; les ateliers-modèles des départements seraient une répétition en petit de ceux du Conservatoire des arts et métiers.

« L'atelier-modèle, pour chacune des principales professions industrielles, serait composé le plus souvent d'une seule chambre, qui pourrait être même très restreinte en étendue ; car souvent un ouvrier n'a pour atelier qu'un très petit local, éclairé par une seule fenêtre, dans la majeure partie des cas. Dans ce lieu seraient réunis les outils, machines-outils, instruments propres à une seule et même profession, non point rangés sur des tablettes, mais mis à la portée de la main, et dans la place qui leur est le plus communément assignée dans l'arrangement d'une boutique bien tenue. Aucun de ces outils ou instruments ne sera double, aucun ne sera admis sans discernement. Il faudra qu'un jury, composé de maîtres renommés, ait déclaré que l'outil est le plus parfait des outils de même nature connus, pour qu'il obtienne l'honneur de l'admission. Cet honneur il le conservera jusqu'à ce qu'un autre outil plus parfait encore, reconnu tel par le jury, vienne le détrôner. Alors l'outil déclaré supérieur remplacera le premier qui sera enlevé de l'atelier-modèle, et porté dans une autre partie du Conservatoire destiné à devenir les archives de la profession ; car si toutes les nouveautés étaient admises, si les outils surpassés restaient dans l'atelier-modèle, il y aurait encombrement, confusion, incertitude pour le visiteur, et le but qu'on se propose d'atteindre serait manqué. A la garde, à l'entretien de chacun des ateliers serait préposé un vétéran célèbre du métier, choisi au concours par le jury des maîtres, comme le plus instruit, le meilleur sujet, le plus digne. Ce serait ce gardien qui serait chargé d'expliquer, de faire comprendre aux ouvriers de sa profession, qui viendraient chercher la lumière dans l'atelier-modèle, la supériorité des outils et procédés exposés à leurs regards.

« Il se trouvera toujours dans l'atelier-modèle une certaine quantité de matière première, afin que l'ouvrier-gardien puisse, par lui-même, ou par le visiteur, si le gardien y consent, faire fonctionner l'outil ou la machine. Une récompense honorifique ou pécuniaire serait toujours accordée à l'ouvrier qui serait assez heureux pour avoir fait admettre un perfectionnement par le jury. Son nom serait cité ; et lorsque, par la suite, les ateliers-modèles seraient institués par toute la France, l'outil agréé à Paris serait expédié à tous les ateliers-modèles des départements, qui pourraient l'adopter d'après la décision du jury, ce qui serait déjà un puissant encouragement, et pourrait dispenser l'administration de décerner une autre récompense. Dans tous les cas, les noms et adresses des auteurs seraient affichés dans l'atelier-modèle, ainsi que les prix de leurs outils perfectionnés. Par ce moyen, qui exciterait puissamment l'émulation des ouvriers, des fabricants, on aurait peu d'achats à faire ; les modèles viendraient d'eux-mêmes briguer l'honneur de l'admission... Les matières servant à la fabrication, les pierres à aiguiser, les poudres employées pour le poli, les papiers de verre, les toiles émerisées, les colles, les huiles, etc. , seraient admis dans l'atelier-modèle après avoir subi l'épreuve du concours.

« Spécifions : déterminons un atelier-modèle, pour bien faire comprendre ce qui précède. prenons au hasard, dans les trente ou quarante ateliers-modèles qui seront ouverts au Conservatoire ; supposons que nous entrons dans l'atelier du forgeron. Dans une chambre au rez-de-chaussée, nous trouverons une forge à bâti circulaire, abordable de tous côtés ; si ce mode a été jugé par le jury le mode le plus avantageux, un soufflet Rabier, si ce soufflet est toujours le meilleur connu, surmonté par le ventimètre le plus parfait ; la tuyère sera à réservoir d'eau fraîche, si cette tuyère est toujours en possession d'occuper le premier rang sous le rapport de l'inaltérabilité ; une plaque d'âtre à huit sens, si on n'a pas trouvé mieux encore ; les foyers à air échauffé de Taylor et d'Hoffmann, s'ils conservent leur supériorité ; l'étau à chaud à ouverture parallèle, les marteaux à panne centrée ; une enclume de tel ouvrier qui a remporté la médaille d'or à l'exposition des produits de l'industrie nationale ; du charbon de tel pays déclaré être le meilleur, etc., etc. ; il y aura là des fers de telle fonderie, des aciers de telle autre. Le vieux forgeron-gardien sera toujours là tout prêt à mettre le fer au feu, à démontrer l'excellence des outils et des matières employées ; il pourra permettre à ce jeune homme, qui semble douter encore, de mettre lui-même le fer au feu et de frapper sur l'enclume. Il n'y aura jamais encombrement dans cet atelier, car il n'y viendra, à coup sûr, que des forgerons, des hommes de l'état. Les oisifs, les flâneurs se répandront dans les galeries des archives ; mais, dans les ateliers-modèles, il ne se rencontrera que des hommes du métier, qui ont besoin de prendre connaissance de ce qui se fait le mieux, afin de pouvoir répéter ce mieux dans leur boutique.

« Si la nouvelle se répand parmi les menuisiers qu'il existe par le monde une machine très simple servant à percer facilement et correctement les mortaises, une mèche qui permet de percer, avec le même outil, des trous de diamètres très différents, des rabots sans coins, des guillaumes atteignant jusque dans les angles, des bouvets faisant des rainures et des languettes à queue et autres perfectionnements, la première question qu'ils font, dans leur impatience de connaître ces outils, qu'il leur serait si important de connaître, est celle-ci : Y en a-t-il au Conservatoire ? et quand on leur a répondu : Non, ils s'écrient, avec raison, dans leur dépit : A quoi sert donc le Conservatoire ?

« Un serrurier entend vanter des filières doubles, bien plus faciles à faire et fonctionnant bien mieux que les anciennes, les étaux à genoux et autres outils, il court au Conservatoire, dans l'espérance de les voir : il revient fatigué de ses longues et inutiles recherches, chagrin de sa journée perdue.

« Un tourneur a vu à l'exposition publique des produits de l'industrie nationale, un tour, un support avantageux ; il n'a pu en prendre le dessin dans la foule, dans la cohue, il se dit : Je les retrouverai au Conservatoire des arts et métiers dans l'atelier des tourneurs... ; il se trompe ; il n'y a pas un atelier de tourneur au Conservatoire. Si l'outil qu'il désire revoir et dessiner a été acquis par l'administration, ce qui n'est pas du tout certain, il sera perdu dans une foule inextricable d'outils de toute nature ; et il faudra un hasard providentiel ou un an de visites assidues et tenaces pour le retrouver.

« Un maître mécanicien dit à son ouvrier : Alèse ce tube. L'ouvrier répond : Comment faire ? — A quoi sert donc le temps que tu passes au Conservatoire ? — On y dit, répond l'ouvrier, qu'il faut aléser ; mais on n'indique pas quelle est la manière de faire cette opération.— Mais, pourtant, il me semble bien y avoir vu des alésoirs. —Assurément, notre maître ; mais avez-vous dans votre boutique une machine à vapeur de la force de vingt chevaux ? — Il n'existe donc pas un endroit où les ouvriers mécaniciens puissent apprendre à connaître les meilleurs outils de leur profession ? — Non. — On ne fait donc

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas un cours de technologie au Conservatoire? — Non. — Il serait pourtant le plus important de tous.

« Mais quand les ateliers-modèles seront établis, le maître ira voir celui de sa profession, il y enverra son ouvrier quand celui-ci lui répondra : *Je ne sais pas* : il n'y aura plus de pas et de temps perdus, plus d'incertitude, plus de fatigue. Quand le père ébéniste de Rouen, d'Amiens ou d'Orléans enverra son fils à Paris, sa recommandation la plus expresse sera d'aller au Conservatoire des arts et métiers prendre une connaissance détaillée de l'atelier d'ébénisterie, afin qu'à son retour on puisse plaquer dans sa boutique suivant les meilleures méthodes.

« Quand un ouvrier voyageur viendra dire à l'artisan de la petite ville : Vous faites mal, vous êtes en arrière; on ne fait plus ainsi à Paris. L'artisan, au lieu de se laisser induire en erreur par l'ouvrier qui vient de loin et qui veut faire le capable, lui répondra : Vous vous trompez vous-même ou vous voulez me tromper. L'atelier-modèle existe; c'est lui qui sera notre juge et nous mettra d'accord. Ce que vous dites n'existe pas à l'atelier-modèle; je l'ai vu lors de mon voyage à Paris : c'est moi qui suis dans la bonne route.

« L'atelier-modèle serait le régulateur dans chaque profession. Il exciterait une noble émulation entre les ouvriers Heureux celui qui pourrait découvrir un perfectionnement ! il saurait désormais où le porter, où trouver des juges, des appréciateurs; et si sa découverte était goûtée, si son nouveau moyen d'exécution était admis, sa réputation grandirait parmi ses confrères; sa condition serait améliorée.

« A peine Paris serait-il doté de cette utile institution, que tous les chefs-lieux de département voudraient aussi en jouir. Des amateurs riches, des ouvriers retirés fourniraient les uns le local, les autres le matériel. Chacun voudrait attacher son nom à cette noble et profitable fondation, et l'administration publique aidant, les chefs-lieux d'arrondissement eux-mêmes ne tarderaient pas à suivre l'impulsion. Par ce seul moyen, l'ouvrier du village le plus arriéré dans l'industrie pourra le dimanche, lorsqu'il se rendra à la ville, visiter l'atelier-modèle de sa profession; il trouvera là une contre-épreuve de l'atelier-modèle de Paris; il puisera, dans cette nouvelle télégraphie, les moyens de faire vite et bien; il ne sera plus exposé à errer dans la recherche du mieux, il ne perdra plus son temps, il n'usera plus ses capacités en essais infructueux, et peut-être, un jour, un perfectionnement surgira-t-il d'une petite ville inconnue pour venir briller dans l'atelier-modèle de Paris.

« Les objets qui seront surpassés, et qui, ainsi que nous l'avons dit, seront extraits de l'atelier-modèle et transportés dans les archives de la profession, y seront classés par dates, avec le nom de l'inventeur et rangés par ordre de similitude. C'est dans ces archives de l'industrie que viendra l'écrivain qui voudra faire l'histoire d'une profession quelconque. Il trouvera dans ce lieu rassemblé, sous un seul coup d'œil, tout ce qui a trait au sujet qu'il voudra traiter; il pourra suivre toutes les phases par lesquelles l'art a passé avant d'arriver à la perfection actuelle. Celui qui voudra reculer les bornes de l'art, qui ambitionnera la palme offerte par l'atelier-modèle, trouvera aussi dans ces archives les forces d'atteindre ce louable but : il y verra par quelles routes tortueuses l'art est arrivé du composé au simple : la vue des essais des autres lui servira à se garantir contre leur répétition inutile; il ne suivra pas une route déjà explorée, déjà battue; toute la force de sa conception ne s'usera pas à s'enfoncer dans des impasses; elle se réunira, dans toute sa plénitude, contre l'obstacle à vaincre, et l'obstacle sera plus souvent vaincu.

« Le Conservatoire des arts et métiers sera alors *utilisé* au profit de l'industrie nationale; nous aussi, alors nous aurons de bons ouvriers et, avec cet élément de succès, la fabrication française ne connaîtra pas de rivale... »

En dehors de ces classifications par profession, des machines, outils, instruments, déposés au Conservatoire, on ne rencontrera jamais que confusion et encombrement : la classification que la société a adoptée doit faire loi, tout autre, fût-elle plus rationnelle, doit être écartée; or, du classement des outils par profession à l'établissement des ateliers-modèles, il n'y a qu'un pas facile à faire. PAULIN DÉSORMEAUX.

(Inutile d'observer que l'intéressant travail de notre collaborateur, fait exclusivement au point de vue de l'ouvrier professionnel, ne prouve nullement que le Conservatoire ne puisse être à la fois utile aux ingénieurs, et aux fabricants comme aux ouvriers, en augmentant le domaine de la science appliquée à l'industrie.)

CONSTRUCTION DES MACHINES. Vers 1815 ou 1820, l'Angleterre possédait seule de grands ateliers de construction de machines; mais le mouvement industriel s'est rapidement propagé, et avec lui la fabrication des machines a pris une extension considérable. Aujourd'hui, l'Amérique du Nord se pose en rivale de sa mère-patrie; la Belgique a aussi organisé le travail industriel et, partant, la construction des machines, sur une échelle audacieuse.

Le rapide développement de la navigation à vapeur sur le Rhin et l'Escaut, a donné naissance à d'importants ateliers de construction en Allemagne et en Hollande.

La France, procédant avec une allure très réservée, d'abord, et trop timide peut-être, a marché lentement dans cette voie de création de grands ateliers; mais bientôt elle s'est hâtée, et à cette heure elle se présente dans la lice industrielle, forte déjà d'épreuves importantes et décisives. La filature et le tissage mécanique, importés et rapidement développés sur le sol français, ont oublié déjà le chemin du marché anglais, et demandent leurs métiers presque exclusivement aux constructeurs de Paris et de l'Alsace.

A l'aide des théories mécaniques des Poncelet, des Coriolis, des Bélanger, les moteurs hydrauliques ont été établis sur des principes ou nouveaux ou perfectionnés. Les turbines étudiées par MM. Burdin et Fourneyron, et rendues facilement calculables par MM. Bélanger, Walter et Combes, se sont propagées, enrichissant ainsi l'industrie d'un moteur à peu près nouveau, dont les dispositions, ingénieuses et commodes, simplifient dans un grand nombre de cas les transmissions de mouvement du moteur au récepteur, en utilisant le mieux possible la puissance motrice des cours d'eau.

Sous la main des constructeurs français, et avec les calculs théoriques des géomètres français, la machine à vapeur s'est enrichie de la détente variable; perfectionnement des plus ingénieux et dont les résultats économiques ont une grande importance. Les machines à vapeur anglaises, souvent irréprochables, sous le rapport de la disposition, de l'exécution et de la marche régulière, consomment beaucoup de combustible, et sont presque toujours chargées en matière. Aussi, le jour n'est pas loin où la France, pour ses usines, comme pour sa navigation fluviale et maritime, préférera les appareils de construction toute française. A l'appui de cette prévision, on peut citer : 1° les machines de 450, 220 et 160 chevaux, livrées déjà par nos constructeurs au gouvernement français; 2° les bateaux du Rhône et de la Saône; 3° les bateaux de la Loire.

Les machines locomotives, amenées à un point de perfection vraiment remarquable par les constructeurs anglais, n'ont pas tardé à occuper les ateliers français. Là encore, l'esprit français a imprimé son caractère, et l'idée de la chaudière tubulaire appartient à M. Ju-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les Séguin. Les besoins de la création des chemins de fer ont donné naissance à d'importants et remarquables établissements de constructions et de réparations, parmi lesquels il est juste de citer les ateliers de Cail, Gouin, et ceux des chemins de fer d'Orléans et de Rouen. Nos ingénieurs ont encore pris là une grande position.

Enfin les machines-outils; après avoir été longtemps l'un des éléments essentiels de la prospérité et de la supériorité anglaises, se sont multipliées en France. A l'exposition, dont le souvenir est encore tout récent, on admirait les beaux et puissants outils sortis des ateliers de MM. Schneider, Decoster, Pihet, Calla, etc. Tous ceux qui savent les relations intimes qui lient la construction des machines et l'outillage, ont dû y puiser comme nous la conviction profonde que les ateliers français sont en mesure à cette heure de lutter à armes égales, les commandes aidant, avec les ateliers anglais.

Toutefois, il faut le dire, dans cette lutte les constructeurs français se heurteront longtemps encore contre un obstacle sérieux, et les prix de revient de leurs appareils auront de la peine à se niveler avec les prix anglais et belges. Le combustible et le fer coûtent cher dans notre pays; l'Angleterre et la Belgique, au contraire, produisent et transportent ces matières premières jusqu'à pied d'œuvre à des prix tellement inférieurs aux nôtres, que le résultat de cette cause, combinée avec quelques autres, dont nous n'avons pas à nous préoccuper ici, leur permet de livrer les machines à des prix plus bas de 20 à 35 p. 100 que ceux possibles dans nos ateliers. Cela est un mal sans doute, mais dans le siècle des intérêts industriels, une grande nation ne doit pas, ce nous semble, rester volontairement tributaire de l'étranger pour ses machines, qui sont le pain de l'être industriel, non plus que pour ses céréales. Marchons donc et progressons, l'économie suivra, n'en doutons pas, et pour preuve, rappelons le fait énorme qui s'est accompli dans ces dernières quinze années. Le prix de vente des fers a diminué de 33 p. 100 environ, tandis que les matières premières qui servent à l'obtenir, ou sont restées stationnaires, ou, comme le bois, ont presque doublé de valeur.

Admettant donc comme hors discussion que la France doive construire des machines, on peut affirmer, sans crainte d'être démenti, qu'elle possède en capitaux, en intelligences, en savoir théorique et pratique, en matières premières pour leurs qualités et leur abondance, sinon pour leur prix, en personnel nombreux et exercé, tous les éléments nécessaires. On peut affirmer, et les preuves ne manqueront pas au besoin, que nos constructeurs, toutes les fois que les circonstances leur permettront de l'entreprendre, sauront reproduire, modifier, créer. Mais il importe de dire bien haut qu'une fabrication active, alimentée par des commandes importantes et nombreuses permettra seule de résoudre le double problème de faire bien et à bon marché.

Que l'administration protectrice et intelligente persiste donc dans le système éminemment fécond qui l'a déterminée à confier aux ateliers français la construction des grands appareils de 450, 220 et 160 chevaux; nos ingénieurs, nos ouvriers, nos moyens d'exécution ne lui feront pas défaut. Déjà les résultats obtenus ont dû raffermir sa confiance, et ces commandes du gouvernement, on ne saurait trop le dire, sont la condition d'existence de nos grands ateliers : seules en effet ces commandes permettent la création et le développement continu d'un outillage puissant, sans lequel rien de grand n'est possible, sans lequel enfin nos ateliers ne sauraient arriver à dire leur dernier mot en fait de prix de revient. Tout cela d'ailleurs peut se résumer en quelques paroles : Celui-là produit beaucoup à qui il est beaucoup demandé; celui-là seul arrive à bien faire à qui il est permis de faire souvent, parce que chaque œuvre nouvelle d'un être intelligent est un progrès sur son œuvre précédente; celui-là seul enfin produit à bon marché, qui peut répartir ses frais généraux sur une grande fabrication.

CONSTRUCTION DES MACHINES.

Il n'y a pas longtemps encore, on comptait clair semés en France les hommes voués à l'étude et à la pratique de la science industrielle ; ces hommes abondent aujourd'hui, et leur savoir n'est pas comme le fut longtemps, comme l'est trop encore peut-être, celui des ingénieurs et constructeurs anglais, un composé de règles ou recettes péniblement classées dans la mémoire par la pratique. Ce qu'ils savent est raisonné, déduit d'une combinaison bien entendue de la pratique et de la théorie, si fortes accouplées, si impuissantes dès qu'elles s'isolent. Disons-le en fils reconnaissant, l'école centrale a contribué pour une large part à former cette génération déjà forte et nombreuse, aujourd'hui répandue en France, en Belgique, en Suisse, en Allemagne. Les écoles d'application du gouvernement ont mis leurs études au niveau du programme de l'époque, et tous à cette heure, ingénieurs des corps royaux comme ingénieurs industriels, sont à la hauteur de leur mission.

Il nous a semblé utile de faire procéder par cet aperçu rapide, l'examen des conditions principales d'établissement et d'organisation d'un grand atelier de construction de machines.

La création d'un établissement destiné à la construction des machines, est subordonnée à des conditions de position commerciale et de débouchés, qui en modifient puissamment la constitution selon le genre spécial d'appareils que les créateurs se proposent de livrer à l'industrie. L'échelle de proportion des divers ateliers de l'établissement, leur outillage, leur organisation de détail et leur personnel, varient à l'infini. Mais nous devons dire dès à présent que les fondateurs d'un établissement de ce genre, doivent s'organiser dès le principe en vue d'une fabrication spéciale, qui seule permet d'amener successivement les prix de revient des machines créées à leur dernière limite possible. Répéter souvent les mêmes machines, avec les mêmes éléments, les mêmes organes, les mêmes formes, sera toujours, quoi qu'on fasse, l'une des conditions essentielles de prospérité.

Nous nous proposons d'indiquer les conditions d'organisation d'un établissement voué à la construction des grands appareils à vapeur, pour l'industrie manufacturière, pour la navigation fluviale et maritime, le service des chemins de fer, etc.

MM. Schneider frères au Creusot, Cavé, Derosne et Cail à Paris, Hallette à Arras, la marine royale à Indret, Mazeline au Havre, etc., ont créé et développé brillamment des établissements du genre de celui auquel nous voulons rapporter l'examen qui va suivre. Les indiquer, c'est fixer tout d'abord le point de vue auquel nous nous sommes placé.

Le travail des métaux joue le rôle le plus important dans la construction des machines ; il s'exécute *à chaud* et *à froid*. Le travail des métaux à chaud s'opère par *fusion* ou par *percussion*. Le premier mode s'applique aux métaux liquéfiables, auxquels il donne par le moulage les formes voulues. La fonte de fer, le bronze, le laiton, sont parmi les métaux liquéfiables, ceux que le constructeur de machines emploie journellement. Le travail à chaud par percussion, plus spécialement désigné sous le nom de *forgeage*, s'applique aux métaux malléables, et principalement au fer, à l'acier, au cuivre rouge. Le travail des métaux à froid, complément ordinaire et obligé du travail à chaud, a pour résultat de donner aux pièces des machines les formes exactes et les dimensions précises, , que l'imperfection des moyens dont on dispose dans le travail à chaud n'aurait pas permis d'atteindre assez rigoureusement. Par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travail à froid, plus spécialement connu sous le nom d'*ajustage*, on arrive à donner aux assemblages des parties fixes et aux articulations des pièces mobiles, la stabilité pour les premières, la précision presque mathématique pour les secondes.

Un établissement de construction sera donc la réunion, dans des conditions favorables et économiques, des ateliers divers consacrés à l'exécution des travaux que nous venons d'indiquer; chacun de ces ateliers pourvu des appareils, outils et personnel au moyen desquels ces travaux pourront être opérés avec économie, promptitude relative et précision. Les relations de ces ateliers entre eux, et le passage des pièces en voie d'exécution de l'un dans l'autre, devront être soumis à un ordre absolu, sans lequel un établissement de construction ne saurait prospérer.

ATELIER DE MOULAGE ET FONDERIE. On retrouvera à leur place, traités isolément, ces deux parties essentielles des arts mécaniques; nous nous bornerons à les résumer ici en quelques mots. Par le moulage on prend les formes ou empreintes de modèles en bois ou en métal. On y arrive, en plaçant ces modèles entre deux caisses ou *châssis*, et battant sur les surfaces du modèle des sables de consistance, de finesse et de composition variables, mais appropriées à la nature de la pièce que l'on veut reproduire. Le châssis supérieur étant ensuite soulevé, et le modèle retiré, l'ensemble des deux châssis superposés de nouveau, forme une espèce de vase qui reproduit en creux toutes les parties pleines du modèle. Dans le moule ainsi obtenu, soumis préalablement à un séchage à l'air libre ou dans une étuve, on verse le métal en fusion. La pièce solidifiée est retirée des châssis, désablée, ébarbée, burinée ensuite, c'est-à-dire débarrassée au moyen du ciseau ou *burin* des parties de métal surabondantes qui se sont infiltrées dans les vides réservés soit à dessein, soit involontairement. On obtient alors la pièce à l'état de *pièce brute de fonte*.

Les appareils dans lesquels s'opère la liquéfaction du métal sont de divers genres :

1° Le *haut-fourneau*, dans lequel la fonte est produite directement, par l'action sur le minerai de fer, du charbon et d'un courant d'air forcé.

2° Le *four à réverbère*. Dans cet appareil la fonte déposée sur une sole en briques réfractaires, est mise en fusion au moyen d'un courant de gaz enflammés dont la chaleur est réverbérée sur la sole par une voûte de forme et d'inclinaison convenables. Une grille située en avant de la sole porte la houille en combustion, et le tirage s'opère au moyen d'une cheminée de hauteur et de section déterminées, qui prend naissance à l'autre extrémité de la sole.

3° Le *cubilot* ou *fourneau à la Wilkinson*. C'est pour l'ordinaire un cylindre formé de pièces de fonte solidement reliées entre elles, revêtu intérieurement d'une chemise en briques réfractaires. Par la partie supérieure ou *gueulard* on introduit alternativement des morceaux de fonte et du coke. L'élévation de température nécessaire à la fusion du métal est obtenue par la combustion du coke, laquelle est opérée avec toute l'activité désirable au moyen d'un courant d'air lancé dans le cubilot par une ou plusieurs *buses* dépendant d'un appareil soufflant.

La réunion de ces trois espèces d'appareils, ou tout au moins des deux dernières, est indispensable à la fonderie d'un établissement important, dans laquelle une seule *coulée* peut exiger 15,000 à 20,000 kilogr. de métal liquide. Ainsi la fonderie du Creusot peut disposer pour une seule coulée de :

1° 1 haut-fourneau fournissant	3000^k	à	4000^k
2° 4 fours à réverbère —	12000	à	16000
3° 3 cubilots —	4000	à	6000
Ensemble et pour une seule coulée.	19000^k	à	26000^k

Toutefois on comprend que dans une fonderie même de cette importance, une partie seulement des appareils de liquéfaction fonctionne chaque jour.

La fonderie d'un établissement de construction important, devra pouvoir produire mensuellement 250 à 300 tonnes de pièces moulées et disposer des appareils suivants pour la fusion de la fonte :

1° 3 ou 4 grands fours à réverbère;

2° 2 ou 3 cubilots de grande dimension.

Nous ne parlons pas ici d'un haut-fourneau parce que cet appareil ne peut exister que dans des localités spécialement favorisées et exceptionnelles.

L'air pour l'alimentation des cubilots sera fourni par un ventilateur, faisant de 1500 à 2000 tours par minute, et mis en mouvement par une machine à vapeur de la puissance de 10 à 12 chevaux au plus.

La halle de fonderie pour être suffisamment vaste et commode, pour répondre à tous les besoins du moulage et du séchage successif à l'air libre des différents moules, devra occuper une superficie de 600 à 700 mètres carrés. Le transport des moules et châssis qui doivent être soulevés plusieurs fois pendant le moulage d'une pièce et dont le poids dépasse fréquemment plusieurs milliers de kilogrammes, ainsi que celui de la fonte liquide aux différents moules dans lesquels elle doit être versée s'effectuent au moyen de *grues* convenablement réparties. Les *volées* de ces grues doivent être disposées de manière à pouvoir transmettre de l'une à l'autre les vases ou *poches* dans lesquels la fonte a été reçue au sortir du fourneau de fusion, et atteindre successivement tous les points du sol de la halle.

Deux *étuves*, l'une dite *étuve à noyaux*, l'autre destinée au séchage des moules sont annexées à la fonderie; le transport des moules ou noyaux de la halle à l'étuve et réciproquement, s'effectue par un chariot roulant sur un chemin de fer établi dans la longueur de l'étuve et dont l'extrémité vient aboutir au dehors de l'étuve, à portée de la volée d'une des grues de service.

Le sol de la fonderie est composé d'une couche de 1^m,10 à 1^m,50 de sable argileux, et l'on y pratique une ou moins et le plus souvent deux fosses en maçonnerie, destinées au moulage des grands cylindres, ou des pièces qu'il importe de couler debout.

Le matériel d'une fonderie en châssis, moules, appareaux, bancs de mouleur, poches, etc., est toujours considérable, encombrant, et exige un vaste emplacement couvert ou découvert.

Le personnel d'un atelier de fonderie tel que nous l'avons supposé sera composé de 50 à 60 hommes comprenant les fondeurs et leurs aides, les mouleurs et leurs aides et les manœuvres de service.

L'organisation du travail, la répartition des moulages aux ouvriers mouleurs, le choix des fontes dont le mélange doit être modifié et approprié à la nature des pièces qui seront coulées à chaque opération, le maintien d'un ordre rigoureux et prévoyant dans toutes les parties du service, sont confiés à un contre-maître de fonderie. Les connaissances pratiques nombreuses et variées de toutes les parties de l'art de la fonderie et du moulage, rendent difficile le choix d'un tel employé, qui doit réunir à toutes ces connaissances et à une pratique consommée, un sang-froid à toute épreuve et un coup d'œil sûr au moment toujours solennel et dangereux de la coulée. A cet instant, en effet, 100 bras agissent simultanément sous la volonté d'un seul homme; une fausse manœuvre, la fonte versée dans un moule frais encore, et mille autres circonstances souvent difficiles à prévoir, peuvent ou mettre en péril la vie d'un certain nombre d'hommes, ou faire manquer une pièce dont le moulage seul a déjà absorbé des sommes importantes.

A l'atelier de moulage et de fonderie viennent se joindre comme annexes indispensables, les ateliers suivants :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° La menuiserie de modèles ;
2° Le magasin de modèles ;
3° Une petite forge de maréchal pour la réparation et l'entretien des outils de la fonderie et de ses annexes ;
4° Enfin la fonderie de cuivre.

L'atelier de menuiserie en outre des bancs de menuisier convenablement outillés, doit être muni des outils-machines que nous allons indiquer :

Un ou plusieurs *tours à pointes*, et un *tour en l'air*.

Une *scie circulaire* pour le débitage des bois.

Une *plate-forme à diviser* les modèles des roues d'engrenage.

Un renvoi de mouvement pris sur la machine à vapeur des cubilots, fera tourner les tours et la scie circulaire.

A la connaissance approfondie du travail du bois, le contre-maître de l'atelier des modèles doit joindre celle des procédés et des ressources du moulage, qui seule lui permet de disposer et d'assembler convenablement le modèle d'une pièce, composé souvent de plusieurs parties, de ménager là où elles sont nécessaires les *portées* ou saillies destinées à assigner dans le moule les places précises où viendront ultérieurement se poser les *noyaux* en terre, par lesquels seront réservés dans la pièce de fonte les vides nécessaires.

Enfin le tracé des épures en grandeur naturelle est pour l'ordinaire confié à ce contre-maître et exécuté par lui, sous la direction de l'un des ingénieurs de l'établissement.

Le magasin de modèles est un annexe important d'un établissement de construction bien ordonné. Chaque modèle après avoir servi au moulage devra y être réintégré à sa place invariable, avec son numéro d'ordre correspondant au numéro semblable d'un catalogue descriptif et détaillé. On se figurerait difficilement les bons et économiques résultats qu'un établissement de construction réalise par suite d'un classement exact et d'une conservation bien ordonnée de ses modèles.

Pour fixer les idées, nous supposons concentrés dans un même corps de bâtiment le magasin ou musée de modèles, la menuiserie, et l'aire couverte réservée pour le tracé des épures.

Enfin, pour compléter nos idées sur l'importance de la fonderie et de ses annexes dans un grand établissement, nous indiquerons sommairement les chiffres approximatifs des sommes qu'absorbe leur installation et leur construction.

4 fours à réverbère.	20,000 fr.
3 cubilots.	5,000
6 grues avec leurs appareaux. . . .	18,000
1 ventilateur, la machine motrice avec ses générateurs.	20,000
2 étuves avec leurs chariots. . . .	6,000
Une forge de maréchal et un fourneau pour fusion de cuivre.	4,000
Bâtiment de menuiserie avec son outillage et magasin des modèles. . . .	30,000
Halle de fonderie.	45,000
Matériel de tout genre, en châssis, apparaux, outils, etc.	50,000
	200,000 fr.

ATELIERS DE FORGEAGE. Les métaux malléables soumis à l'action d'une chaleur suffisamment intense et prolongée acquièrent des degrés de mollesse très-différents. Le fer, par exemple, après s'être soudé à lui-même sous l'influence de la chaleur blanche et à l'aide de la percussion, passe par degrés successifs et lents de l'état pâteux jusqu'à la consistance la plus nerveuse et la plus tenace. Sous ces différents états, l'action du marteau, combinée avec des réchauffages réitérés, fait subir au fer des modifications successives, et l'amène par degrés aux formes définitives et aux dimensions voulues ; mais dans cette combinaison du réchauffage et du forgeage, l'intelligence de l'ouvrier, son habileté de main, la sûreté de son coup d'œil ne sauraient être remplacés par des moyens mécaniques. Là, en effet, il ne s'agit point d'un travail qui doit s'accomplir pendant un temps fini, sous des conditions invariables et déterminées, mais au contraire d'un travail dont les conditions varient à chaque instant. Aussi cette partie de la construction des machines est celle qui réclame avant tout des ouvriers habiles, des bras intelligents pour activer ou suspendre à propos les forces brutales, s'il est permis de s'exprimer ainsi, des agents mécaniques, la chaleur développée dans les fours de chaufferie et la puissance vive des appareils de percussion. Là, plus que dans toute autre partie de l'art du constructeur des machines, l'économie de main-d'œuvre et de combustible, la réduction des déchets à leur limite extrême sont liés intimement et sans intermédiaire, ou contrôle possible, à la seule habileté de l'ouvrier.

CONSTRUCTION DES MACHINES.

Il convient de diviser le forgeage en deux parties distinctes : 1° le forgeage à la main ; 2° le forgeage mécanique ; et dans un établissement de l'importance que nous avons fixée à notre point de départ, ces deux parties réclament chacune un atelier distinct.

Atelier du forgeage à la main. Pour être en harmonie avec l'importance que nous avons donnée à la fonderie, l'atelier des forgerons à la main sera composé de 40 *feux*. Un feu de forge ordinaire ou *forge de maréchal*, se compose essentiellement : 1° de l'*âtre* ; 2° du *contre-cœur* ou paroi perpendiculaire à l'âtre ; 3° d'*une tuyère* en communication avec la source du vent qu'elle lance sur le foyer. La tuyère doit être placée par rapport à l'âtre de telle façon que la colonne d'air en mouvement auquel elle livre passage soit forcée de traverser toute la masse du combustible disposé sur l'âtre, mais sans frapper directement contre la pièce de fer que l'on réchauffe, et qui à cet effet a été disposée convenablement au milieu du combustible qui l'entoure. Le fer amené à la température ou à *la chaude* voulue est porté sur des *enclumes* en fonte, ou mieux en fer forgé. L'enclume, composée d'une *table* ou partie plane, et de deux *bigornes* ou portions pyramidales adossées par leur base à la table, repose par les pieds d'une espèce d'arcade sur un bloc en bois noyé en partie dans le sol, et destiné à absorber en partie les vibrations et les chocs.

Les marteaux, qui selon leur poids et la longueur du manche sont dits *marteaux à main* ou *marteaux à devant*, sont manœuvrés, le premier par le *forgeron* qui dirige le travail, les seconds par des servants ou *frappeurs*. Le fer est tenu et manœuvré au moyen de *pinces* et *tenailles* de formes et de grandeurs diverses.

A la chaude au *blanc soudant* ou *chaude suante*, à une température de 1500 à 1600 degrés, le fer est *soudé* à lui-même et *corroyé*. Par le corroyage qui consiste à souder plusieurs barres les unes sur les autres, et à étirer ensuite le paquet ainsi formé, on améliore la qualité du fer, on lui donne du *nerf*, de l'homogénéité.

A la *chaude rouge-blanc* ou *chaude grasse*, 1300 degrés environ, le fer est étiré, façonné, modifié dans ses formes ou dimensions.

A la *chaude rouge-cerise*, 900 à 1000 degrés, on corrige les défauts de la pièce obtenue à la chaude rouge-blanc, et on *pare* le fer, en arrosant légèrement sa surface pendant qu'on le bat.

Enfin *la chaude rouge-brun*, la plus faible température à laquelle il convient de forger le fer, et qui correspond à 700 degrés environ, est donnée le plus souvent à la pièce finie, pour dilater le métal et permettre aux molécules de reprendre leur état primitif. C'est l'opération du *recuit*, par laquelle on enlève à la pièce forgée *l'aigreur* qu'elle avait contractée pendant le forgeage, alors que, sur la fin de l'opération, on continue de frapper encore le fer redevenu noir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les feux de forge sont ordinairement disposés deux à deux, une seule *hotte* pour chaque couple et une seule enclume pour desservir deux feux. L'outillage et le matériel d'un feu de forge consistent en *pinces, tenailles, tranches, marteaux à main, marteaux à devant, clouières, étampes, poinçons, mandrins, chasses, matrices, bâche à eau, bâche à combustible*, etc.

Le forgeage à main s'applique avec avantage et facilité aux pièces dont le poids peut atteindre jusqu'à 150k, mais au-delà le forgeage mécanique permet seul de travailler le fer bien et économiquement. Pour le manœuvrage des pièces lourdes de l'âtre à l'enclume et réciproquement, il convient que chaque feu dispose à proximité d'une petite grue ou *potence* mobile sur son axe et dont la volée atteint jusques au-delà de l'enclume. Un banc garni d'étaux en nombre suffisant devra être établi dans cet atelier, où l'on a souvent besoin de dégrossir à la lime.

Chaque couple de deux feux occupera une équipe d'ouvriers composée ainsi :

1° 2 forgerons ;
2° 2 aides-forgerons ;
3° 3 frappeurs ;

Soit donc pour 40 feux un personnel de 140 hommes.

Une soufflerie mise en mouvement par une machine à vapeur spéciale, donne le vent à tous les feux dont l'alimentation isolée est réglée pour chaque feu par un robinet spécial ; en fixant à 16 chevaux la puissance de la machine, ou 4/10 de cheval par feu, on satisfait amplement aux besoins d'un feu de forge actif, et d'autant mieux, d'autant plus régulièrement que le nombre des feux desservis par la même machine est plus considérable.

Si nous avons insisté au commençant sur l'habileté que doivent posséder les forgerons, on conçoit à plus forte raison combien il est utile et indispensable que le contre-maître de la forge à main soit lui-même initié à l'art du forgeron. Organisation, distribution et réception du travail, choix de l'équipe à laquelle il doit confier telle ou telle sorte de pièce à exécuter, examen minutieux des pièces finies, comparaison entre le poids du fer livré aux ouvriers, et le poids des pièces finies pour reconnaître si le travail a été fait économiquement, précaution soutenue de former des ouvriers et des équipes spéciales, auxquels il confiera toujours les ouvrages de même nature, et chez lesquels se développeront toujours davantage les merveilleux résultats de l'habitude, enfin science et finesse d'observation pour arriver à fixer sûrement les prix de main-d'œuvre de chaque genre de pièces en rapport avec les difficultés réelles de l'exécution, voilà les principales attributions et les qualités qui font du bon contre-maître de forge un être pratique difficilement réalisable et dont le choix, dont la rencontre importe au plus haut point à un établissement de construction. Dans le travail de la forge, en effet, les déchets et les consommations sont éminemment variables selon l'habileté des ouvriers et la sévérité éclairée de celui qui les dirige, et c'est à cet atelier surtout qu'il convient d'appliquer le système des primes en argent aux ouvriers qui accomplissent le travail dans les conditions de plus grande économie.

Installé sur les bases et de la manière qui ont été dites, la création de l'atelier des forgerons à main, absorberait les capitaux suivants :

Chaque feu double, avec son enclume et son outillage complet, environ 3,000 fr., soit pour 20 feux doubles.	60,000 fr.
Soufflerie de 16 chevaux.	10,000
Machine motrice avec son générateur et son fourneau.	25,000
Bâtiments, bancs d'étaux, potences, conduites de vent, etc	35,000
	130,000 fr.

Atelier pour le forgeage mécanique. L'application de la vapeur à la locomotion fluviale ou maritime et à la traction sur chemins de fer, dans ses admirables et rapides développements, a rencontré comme condition première la création d'appareils mécaniques puissants pour le soudage, le forgeage et le corroyage du fer. L'emploi du fer forgé s'est substitué nécessairement à celui de la fonte dans les pièces importantes soumises à des vibrations ou des chocs fréquents et énergiques, parce que le fer forgé peut seul être employé avec sécurité dans toutes les circonstances où, malgré des vibrations énergiques, il importe d'être à l'abri d'une rupture immédiate. La texture fibreuse, le *nerf* du fer le rendent précieux alors, parce que sous un volume suffisamment limité, grâce à son élasticité, il résiste bien sans s'altérer trop profondément ; la fonte au contraire de contexture grenue, douée d'une élasticité très faible, exigerait pour résister dans les mêmes circonstances, avec une sécurité toujours moindre quoique l'on eût fait, un volume et des dimensions qu'il importe d'éviter, sous le double rapport de l'économie d'établissement et de la consommation de puissance motrice due à l'inertie des masses.

Or, jusqu'à ces dernières années, forger une pièce de fer du poids de 2,000 à 3,000 kil., avait semblé la limite du possible avec les appareils de percussion mécanique en usage ; encore même était-on réduit à multiplier les réchauffages et à composer la pièce d'une âme, ou noyau primitif que l'on augmentait jusqu'aux dimensions voulues par des *mises* successives. De là résultaient inévitablement des imperfections nombreuses, des soudures vicieuses, l'absence d'homogénéité et des déchets énormes, avec une main-d'œuvre et une consommation de combustible très coûteuses. Là, comme toujours et partout, nécessité fut mère d'industrie, et le jour où l'on se proposa de construire un appareil à vapeur de 400 à 500 chevaux, pour la navigation, il fallut forger des pièces de fer telles que les arbres des manivelles, dont le poids peut s'élever pour la pièce forgée jusqu'à 9,000 kil., et 14,000 kil. pour le paquet de fer duquel doit résulter cette pièce après les déchets de forgeage et de réchauffage.

L'habile ingénieur qui dirige à l'établissement du Creusot les constructions mécaniques, M. *Bourdon*, a eu l'honneur de créer le premier et de toutes pièces, quoique l'on ait pu dire, l'outil-machine qui a résolu complétement le problème posé, le *marteau-pilon*, à levée variable de 0m,00 à m,00, mû par application directe de la vapeur. Avec cet outil, d'une admirable simplicité, d'un manœuvrage docile et prompt, les ressources du forgeage deviennent énormes, puisque l'on travaille, soude, étire et façonne avec une facilité et une promptitude relatives très remarquables un paquet de fer, du poids de 15,000 kil., composé par la réunion de bandes ou *plates* de fer, juxta-posées.

L'atelier de forgeage mécanique de l'établissement dont nous étudions l'organisation, devra disposer des appareils de percussion suivants :

1° Un *marteau-pilon*, avec pilon du poids de 2,000 k.,
2° Un *marteau à soulèvement* pour le forgeage des pièces dont le poids dépasse 500 kil.
3° Un *martinet à bascule* pour forgeage des pièces de 100 à 500 kilogr.

Le réchauffage du fer exigera pour le service de ces trois outils, les fours de chaufferie suivants :

1° Un four à réverbère pour le service du pilon ;
2° Un four à réverbère pour le service du marteau à soulèvement ;
3° Un four à réverbère pour le service du martinet.

A la suite de chacun de ces fours seront établis des générateurs chauffés par les flammes perdues.

Le mouvement sera donné au marteau à soulèvement et au martinet par une machine à vapeur spéciale

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une grue puissante pour le pilon, et deux autres grues de force proportionnée, transportent les pièces de fer en travail, du four de chaufferie à l'outil de percussion et réciproquement. Pendant le forgeage dirigé par un maître forgeron pour chaque outil, le manœuvrage de la pièce soutenue toujours par sa grue est effectuée par des manœuvres au moyen de *tourne-à-gauche* en nombre suffisant qui embrassent la pièce, et présentent successivement ses diverses faces à l'action de l'appareil percutant. Les *lumières* ou *millards* dans les pièces qui doivent être percées à chaud sont pratiquées par percussion au moyen de *mandrins*.

Personnel pour le forgeage mécanique.	Service du pilon.	1 maître forgeron. 1 ouvrier pour le service de la vapeur. 6 à 12 manœuvres.
	Service du marteau à soulèvement.	1 maître forgeron. 4 aides forgerons ou manœuvres.
	Service du martinet	1 maître forgeron. 2 aides.
	Ensemble. . .	16 hommes.

Enfin évaluons approximativement les frais de création de cet atelier :

Marteau-pilon avec ses fondations. .	20,000 fr.
Marteau à soulèvement avec ses fondations.	15,000
Martinet à soulèvement avec ses fondations.	6,000
Machine à vapeur de 15 chevaux. . .	12,000
Trois grues.	6,000
Trois fours de chaufferie.	10,000
Générateurs avec leurs fourneaux, conduites de vapeur, etc.	12,000
Bâtiment, et outillage	9,000
	90,000 fr.

ATELIER DE CHAUDRONNERIE. La chaudronnerie de fer et de cuivre qui est une des parties les plus importantes de la construction des machines, a fait déjà dans ce Dictionnaire l'objet d'un article étendu, dans lequel les conditions des travaux divers qui constituent cet art, ses moyens d'exécutions, son outillage mécanique récemment perfectionné et développé, ont été indiqués et décrits avec une lucidité remarquable et une connaissance approfondie. Nous n'avons donc rien à y ajouter; seulement, pour rester fidèle au point de vue économique que nous nous sommes proposé, nous dirons que l'installation et l'outillage d'une chaudronnerie en rapport avec l'importance déjà donnée par nous à la fonderie et au forgeage, n'absorberait pas moins de 150,000 fr. en capitaux de création, et occuperait un nombre de 150 à 300 ouvriers, selon l'activité nécessairement variable de la fabrication. Ce nombre d'ouvriers serait dépassé et le chiffre indiqué pour les frais de création serait insuffisant, si l'établissement se trouvant à côté d'un canal ou d'une voie navigable, pouvait installer sur place la construction des coques en fer de ses paquebots.

ATELIERS POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX A FROID. Les principales opérations auxquelles on soumet les métaux à froid, ont pour but de les :

1° Couper,
2° Buriner,
3° Limer,
4° Percer,
5° Tourner
6° Forer,
7° Aléser,
8° Dresser ou planer,
9° Mortaiser,
10° Diviser et fendre,
11° Fileter et tarauder,
12° Ajuster,
13° Émoudre,
14° Rôder,
15° Polir.

Si l'on excepte le tournage, le forage, l'alésage et l'émoulage, toutes ces opérations, il y a vingt années à peine, s'exécutaient par la main de l'homme conduisant des outils appropriés à chacune d'elles. Mais l'extension rapide imprimée à la fabrication des machines et les nécessités de la concurrence ont aiguillonné l'émulation des constructeurs obligés de faire chaque jour mieux, plus vite et à meilleur marché. Successivement donc on s'est posé et on a résolu les problèmes variés de l'outillage mécanique. Ce que l'homme exécutait à prix de temps, de patience et d'adresse, en agissant d'une façon nécessairement irrégulière et peu précise, en se fatiguant et se reposant, les outils-machines l'accomplissent régulièrement, continuement, sous des conditions toujours identiques, empruntant le mouvement à un moteur dont la puissance peut être aussi grande qu'il est besoin et dont l'action est continue, exempte de fatigues et de variations. L'ouvrier n'a plus à exercer d'autre rôle que celui de surveillant pour ainsi dire, chargé de suspendre et renouveler la marche à volonté et chaque fois qu'il en est besoin. Ces divers outils-machines si ingénieux et si multipliés aujourd'hui, ou tout au moins les plus importants d'entre eux, sont décrits et représentés dans ce Dictionnaire, nous nous bornerons donc ici à indiquer brièvement les conditions essentielles des travaux qu'ils accomplissent, et le principe sur lequel chacun d'eux est fondé.

1° *Couper*. On coupe les métaux ductiles (fer, cuivre, plomb, zinc, acier non trempé, etc.) au moyen de *cisailles*. Les *cisailles droites*, très variées dans leurs formes et dispositions, se composent toujours essentiellement de deux lames droites, ou *couteaux*, dont l'un est fixé très solidement, et l'autre mobile autour d'un axe. On les manœuvre ou à la main, ou à l'aide d'un moteur mécanique par une disposition qui change le mouvement circulaire continu en circulaire alternatif. Les *cisailles circulaires* à mouvement continu, composées de deux disques en fonte sur lesquels s'assemblent des *couteaux circulaires*, tournant simultanément en sens inverse l'un de l'autre, sont employées surtout pour couper les métaux en feuilles.

A l'exception de l'acier trempé et de la fonte blanche, tous les métaux employés dans les machines peuvent se couper avec une lame circulaire dentée en scie, animée d'un mouvement de rotation suffisamment actif. Le sciage des métaux s'opère le plus souvent après un chauffage préalable, cependant il peut s'exécuter à froid pour le fer forgé, la fonte grise douce et le cuivre.

2° *Buriner*. L'opération du *burinage* ou *ciselage* se pratique à la main au moyen de *ciseaux* ou *burins*, sur lesquels on frappe à l'aide d'un marteau. La fonte de fer pour être burinée exige des ciseaux en acier fondu, que l'ouvrier tient d'une main sous un angle d'environ 45 degrés, pendant qu'il frappe de l'autre avec vivacité.

3° *Limer*. Le travail à la lime s'exécute à la main; les limes, en acier naturel ou en acier de cémentation, présentent des surfaces couvertes de *tailles* ou rayures plus ou moins profondes, entre-croisées sous un certain angle variable. Selon la forme de leur section transversale on nomme les limes *carrées*, *rondes*, *demi-rondes*, *plates*, *trois-quarts*, *tiers-point*; leur surface doit être taillée régulièrement, parallèlement, également, et présenter une légère convexité dans le sens de la longueur. Les limes servent à attaquer, user la surface des métaux, pour leur donner des formes plus exactes que celles que l'on peut atteindre à la forge. Les pièces que l'on veut limer sont maintenues entre les mâchoires d'un *étau* fixé à un *établi* ou table en bois, et pour laisser aux ouvriers la liberté de mouvement nécessaire, les étaux doivent être espacés de $1^m,30$ au moins.

4° *Percer*. On perce les métaux ou soit entamant successivement le métal au moyen d'un outil tranchant animé d'un mouvement de rotation soit par *pression*; le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSTRUCTION DES MACHINES.

premier mode applicable à tous les métaux, s'exécutant soit à la main, soit au moyen d'outils-machines, le second ne pouvant s'employer que pour les métaux ductiles et d'épaisseur très limitée. L'outil qui perce par le premier mode, soit que la main de l'homme lui imprime un mouvement circulaire alternatif, soit qu'une disposition mécanique lui communique un mouvement de rotation continue, emprunté à un moteur mécanique, est toujours une *mèche* ou *foret*, dont le bout est aplati et forme un angle obtus ; un système de bascule à contre-poids règle la pression de l'outil, et lui permet de tourner sans mordre, et par conséquent sans briser, lorsque l'obstacle dépasse une certaine limite. Les machines à percer sont de dispositions assez variées d'ailleurs.

Les mèches ou forets doivent être faits avec le meilleur acier, et trempés dur à la pointe seulement. Pour cela, on chauffe la mèche par la partie opposée, et aussitôt que la pointe atteint *la couleur paille*, on trempe dans l'eau froide. La tige du foret pendant la trempe, revient à *la couleur bleue plus ou moins foncée*, et a par conséquent moins de fragilité. Nous avons indiqué ce mode de trempe des pointes et tranchants, en chauffant l'outil par le côté opposé, parce qu'il est d'usage général pour tous les outils à pointes ou à tranchants très durs.

En perçant le fer ou l'acier, il faut arroser l'outil avec de l'huile ou de l'eau chargée de savon ; la fonte et le cuivre se percent à sec. Les mèches pour le cuivre doivent être plus minces, plus dures et à tranchant plus aigu que pour le fer. Pour percer des trous coniques on emploie ou *l'équarrissoir* ou *la fraise* ; le premier est un outil pyramidal à section carrée, le second est un cône, dont la surface est *taillée* suivant les génératrices du cône.

Pour percer par pression on emploie les machines-outils connues sous le nom de *découpoirs*. On peut voir à l'article chaudronnerie la description et la représentation de découpoirs divers, ce qui nous dispense d'insister ici davantage.

5° *Tourner*. Cette opération a pour but de donner à un solide auquel on imprime un mouvement de rotation, en enlevant successivement de la matière au moyen d'un outil tranchant, une forme telle qu'une section quelconque perpendiculaire à l'axe du mouvement de rotation soit un cercle. Toutefois on peut tourner aussi à sections elliptiques, ovoïdes, ondulées. Les opérateurs qui exécutent ces différents travaux se nomment *tours* ; ceux au moyen desquels on exécute des surfaces de révolution, ont pour principe de faire tourner les pièces autour d'un axe invariable ; ceux à l'aide desquels on obtient des surfaces à section ovales ou ondulées, font tourner les pièces autour d'axes variables ou parallèles entre eux, ou convergents. Dans les deux cas l'outil tranchant est mobile. Les tours, quelle que soit la variété de leurs dispositions et de leurs dénominations, ne forment que deux espèces distinctes : les *tours à pointes* et les *tours en l'air*. Dans les tours à pointes, la pièce à tourner est maintenue par ses deux extrémités au moyen de pointes coniques ; dans les tours en l'air, la pièce à tourner n'est maintenue qu'à l'un des bouts de son axe de rotation. Le plus souvent un tour est disposé de manière à pouvoir servir à volonté de tour à pointes, u de tour en l'air. L'outil tranchant ou *crochet* est présenté et appuyé fortement contre la pièce dont il doit entamer la surface ; dans les tours à main l'outil emmanché d'un manche suffisamment long est tenu à deux mains par l'ouvrier, pendant que l'extrémité du manche est maintenue par la pression de son épaule ; dans les tours à support mobile parallèlement à l'axe de mouvement, l'outil est embrassé et maintenu dans le support au moyen de vis de pression, et sa position d'avancement contre la pièce qu'il doit entamer plus ou moins profondément est aussi réglée par vis de pression. Les tours en l'air, ou *tours à plate-forme* portent à l'extrémité de l'arbre du tour un disque de diamètre variable et approprié à la grandeur maxima des pièces que l'on doit travailler ; ce disque est percé de mortaises, dans lesquelles on engage des *taquets* qui embrassent la pièce sur plusieurs points et la maintiennent invariablement au moyen de clavettes.

Outils de tours à métaux. Ces outils, spécialement désignés sous le nom de *crochets*, doivent être en bon acier fondu et trempés à des degrés de dureté variables. Les uns, servant à *dégrossir*, ont leur tranchant plus ou moins arrondi ; les autres, servant à *finir*, ont le tranchant droit. Pour la fonte et pour les métaux durs non ductiles, le *tranchant* est plat, avec *biseau*, d'autant moins aigu que le métal est plus dur. Pour le fer et les autres métaux ductiles, le tranchant est plus aigu et un peu plus relevé, de manière à entamer en coupant. La forme du tranchant varie d'ailleurs d'une infinité de manières.

Vitesses du tournage. Lorsqu'on tourne avec des crochets fixes, c'est-à-dire, maintenus par des supports, les vitesses à la circonférence des pièces à tourner, doivent être réglées à peu près comme il suit :

Pour fonte grise. . .	5 à 8	centimèt. par	seconde.
Fonte blanche ou truitée.	1 à 2	—	—
Fer.	9 à 12	—	—
Cuivre jaune ou laiton.	8 à 9	—	—

En dépassant trop ces limites de vitesse, non seulement ces outils se détrempent promptement, mais encore ils vibrent ou *broutent*, et l'on ne peut obtenir des surfaces unies.

Avec des crochets à main, la vitesse du tournage peut sans inconvénient être doublée ou triplée : d'abord, parce que l'outil mord d'une moindre profondeur, et ensuite parce que le plus léger mouvement de la main les dégage promptement quand ils ont mordu un peu trop fort.

6° *Forer*. C'est percer suivant son axe, une pièce pleine et de longueur assez étendue, et on nomme *forerie*, les machines qui exécutent cette opération. Dans les foreries horizontales ou verticales, la pièce à forer tourne et l'outil ou *foret*, maintenu dans la direction de l'axe n'a qu'un mouvement de progression ; sa pression est limitée au moyen d'un système de bascule à contre-poids. Lorsqu'on se propose de forer des pièces d'une certaine longueur et d'un faible diamètre comme les canons de fusil, par exemple, le foret est alors un long fleuret en acier flexible, tournant avec assez une grande rapidité, et la pièce qu'il s'agit de forer est immobile. Par suite de la pression exercée sur le foret, il s'infléchit, *il fouette*, mais néanmoins le trou est pratiqué en ligne droite, de direction bien déterminée.

7° *Aléser*. Cette opération a été déjà décrite (voyez ALÉSOIR), et nous ne voulons y rien ajouter, si ce n'est pour fixer approximativement *la vitesse des couteaux*. La vitesse du travail dans l'alésage doit être à peu près la moitié de celle du tournage, et, comme assez habituellement on n'opère dans l'alésage que sur fonte grise ou sur cuivre, on règle entre 2 et 4 centimètres par seconde la vitesse des couteaux.

8° *Dresser*, ou *planer*, ou *raboter*. Cette opération qui a pour but de rendre une surface exactement plane en enlevant par l'action d'un outil tranchant à la surface brute de la pièce en travail toutes ses aspérités, peut se faire, et s'est longtemps faite à la main au moyen du burin et de la lime. Mais pratiquée ainsi, elle est à la fois difficile, dispendieuse et limitée à des surfaces d'une très faible étendue. C'est la substitution d'un outil-machine à la main de l'homme dans cette opération qui, sans contredit, a contribué le plus puissamment aux rapides progrès faits dans la construc-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion ; aussi l'emploi de cette machine s'est rapidement propagé, et ses dispositions, ses dimensions ont été bientôt variées ou étendues. C'est vraiment chose admirable de voir avec quelle régularité, quelle précision, quelle facilité relative, une plaque de fonte de 3 à 4m de largeur sur une longueur de plusieurs mètres, est plaiée dans toute son étendue, lorsqu'on pense surtout que l'introduction en France de la première machine à raboter les métaux remonte à peine à 1834 ou 32, et que l'on se rend compte de la puissance de ce bel outil. Le principe sur lequel sont établis ces appareils, consiste à imprimer à la pièce qu'il s'agit de dresser un mouvement de translation rectiligne alternatif, pendant lequel l'outil fixé à un support, enlève sur toute la longueur de la ligne droite parcourue un copeau de métal ; les choses étant d'ailleurs tellement disposées qu'à chaque changement de sens du mouvement rectiligne dans les machines à deux crochets, ou après une allée et un retour dans celles à un seul crochet, l'outil se transporte perpendiculairement au sens du mouvement de la pièce d'une quantité déterminée. La pièce en travail est solidement fixée sur le chariot mobile au moyen de taquets boulonnés, ou de toute autre manière, et le porte-outil est disposé de façon à pouvoir régler facilement la hauteur de l'outil ou crochet en acier fondu qui entame le métal, et par suite, l'épaisseur maxima du copeau enlevé, épaisseur qui varie : 1° avec la matière de la pièce travaillée ; 2° selon les périodes du dressage, c'est-à-dire selon que l'on *dégrossit*, ou que l'on *finit*.

La marche du chariot qui porte la pièce et présente successivement tous les points à l'action de l'outil, doit être réglée de manière à se rapprocher beaucoup des limites de vitesse que nous avons indiquées pour les différentes matières, quand il a été question du tournage des métaux ; en outre, les transmissions de mouvement doivent être disposées de telle sorte que la marche se suspende d'elle-même aussitôt que l'outil éprouve une résistance anormale. Très variées de formes, de dispositions et de dimensions, les machines à raboter horizontalement, verticalement ou circulairement, remplacent presque absolument le travail à la lime et au burin, sur toutes les pièces de machines, depuis les plus grandes, jusqu'aux plus petites dimensions ; un établissement bien outillé doit posséder un assortiment de ces appareils, s'il est permis de s'exprimer ainsi.

Les machines à dresser, convenablement modifiées, peuvent servir à tracer des cannelures parallèles, plus ou moins profondes, plus ou moins rapprocheés. La *machine à canneler les cylindres* si répandue dans les ateliers consacrés à la spécialité des constructions pour filatures, ne diffère essentiellement d'une machine à dresser qu'en ceci : Sur le chariot mobile on établit deux supports à pointes ou *poupées mobiles*, dont l'axe est parallèle au mouvement du chariot ; le cylindre préalablement tourné est placé entre les deux pointes, et le crochet, fixé suivant l'axe du cylindre ou des pointes, creuse en s'abaissant successivement une cannelure par la seule translation du chariot. Une roue à rochets ou *diviseur* fait d'ailleurs tourner le cylindre après chaque passage, d'une quantité convenablement réglée et correspondante à l'espacement voulu des cannelures.

9° *Mortaiser*. Pratiquer une mortaise dans une pièce de métal c'est exécuter dans l'épaisseur de cette pièce une *ouverture*, une *rainure* ou une *échancrure* de formes et de dimensions déterminées. Les outils-machines qui accomplissent ce travail, non moins variés que les machines à dresser, dans leurs formes, dispositions et dimensions, sont établis sur un principe inverse. Le *porte-outil*, ou *curseur*, dans les machines à mortaiser a un mouvement rectiligne alternatif, et la pièce en travail est solidement fixée sur une plate-forme mobile, qui progresse d'une petite quantité déterminée, après chaque alternance complète (aller et retour) de l'outil, et dans un sens perpendiculaire, ces deux mouvements s'opérant d'ailleurs par le jeu même de la machine.

10° *Diviser et fendre*. La division exacte et régulière de la denture des roues d'engrenage, cet organe vital des machines, est de la plus haute importance ; l'exécution rigoureuse et géométrique des surfaces en contact dans le mouvement simultané de deux roues qui se conduisent, n'importe pas moins à la régularité de mouvement qu'au bon emploi de la puissance du moteur ; on a donc dû chercher à substituer à la division au compas et à la main, œuvre de tâtonnement, aux irrégularités inhérentes à ce mode d'opérer, et à la taille des dents par le burin et la lime, manœuvrés à la main, des moyens mécaniques réguliers, précis et déterminés. On y est très heureusement parvenu par l'emploi combiné de *la plate-forme à diviser*, appareil anciennement connu dans l'horlogerie, et d'un outil tranchant, *grain d'orge* ou *burin*, de forme convenable et appropriée, animé d'un mouvement de rotation continue. De cette combinaison est résulté l'outil machine connu sous le nom de *machine à diviser et fendre les engrenages*. Voici le principe sur lequel est fondée cette machine que l'on a d'ailleurs variée dans ses dispositions : un plateau circulaire ou plate-forme, porte sur des cercles concentriques les diverses divisions de circonférences dont on a le plus habituellement besoin, chaque division marquée par un trou conique. Une *alidade* mobile, terminée par une pointe à vis, s'ajuste à volonté dans l'un quelconque des trous coniques de la plate-forme et sert à fixer celle-ci pendant tout le temps nécessaire dans une position invariable. Sur l'arbre ou axe de la plate-forme on fixe et on centre invariablement la roue qu'il s'agit de diviser, et dont la position ne change qu'au fur et à mesure du besoin, par le fait du déplacement de l'alidade qui occupera successivement tous les trous d'un même cercle de la plate-forme. On comprend donc que l'on peut ainsi présenter à l'action de l'outil, des points régulièrement espacés sur un cercle qui a même centre que la plate-forme. Le *grain d'orge* en acier fondu, découpé et taillé convenablement sur une forme exacte et appropriée à la nature de la surface que l'on se propose d'exécuter, est fixé sur une bague liée elle-même à un arbre rotatif ; cet arbre ou porte-outil est supporté par une plaque mobile elle-même, convenablement guidée et reliée à un chariot mobile dont la position règle la distance à laquelle l'outil doit agir successivement par rapport au centre de la plate-forme ; une disposition spéciale permet en outre à l'outil de prendre des positions et des inclinaisons variables que l'on détermine au moyen de vis de rappel.

11° *Fileter* et *tarauder*. Il suffit de rappeler l'emploi si général et si multiplié des boulons et écrous comme moyens d'assemblage et de serrage, l'emploi des vis soit comme moyen de rappel et de pression, soit comme organe de transformation du mouvement circulaire en un autre mouvement rectiligne, pour faire comprendre combien il importe que les filets héliçoïdaux d'une vis ou d'un écrou soient exécutés avec précision. Le filetage et le taraudage à la main, pratiqués à l'aide des *filières* ou *tarauds*, donne des résultats très imparfaits, exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre, et est d'ailleurs limité à d'assez faibles dimensions des boulons ou écrous. Aussi, les machines à fileter et à tarauder existent-elles depuis assez longtemps dans les ateliers ; elles sont assez simples et reproduisent fidèlement, mais d'une manière bien plus régulière, le travail du filetage et du taraudage à la main. Les *filières* et *tarauds* sont en acier fondu ; ils s'exécutent ainsi que les vis et écrous de fortes dimensions, au moyen d'un tour particulier connu sous le nom de TOUR *à fileter et à tarauder* que l'on retrouvera décrit à sa place dans ce Dictionnaire.

12° *Ajuster*. Après que les pièces de machines ont été préparées et travaillées isolément, il faut les adapter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'une à l'autre, en assurer et en régulariser le jeu si elles doivent être mobiles, opérer leur *assemblage*, les achever dans tous les détails de forme et de dimensions que n'auraient pas réalisés complétement le travail isolé déjà exécuté sur chacune d'elles. L'ensemble de ces opérations constitue l'*ajustage*, travail essentiellement manuel, qui exige de la part de l'ouvrier *ajusteur* de l'adresse, de l'intelligence, des connaissances géométriques et pratiques. Le *marteau*, le *burin*, la *lime*, la *règle*, l'*équerre*, la *fausse équerre*, les *instruments à pointe aiguë pour tracer sur les métaux*, le *compas*, l'*étau à main*, l'*étau fixe*, le *fil à plomb* composent l'outillage de l'ajusteur, auxquels il convient de joindre les *calibres*, *patrons* ou *gabarits*, au moyen desquels on reconnaît et vérifie l'identité des formes et dimensions des pièces semblables. Les pièces ajustées sont ensuite *repérées*, c'est-à-dire pointées et marquées soit au moyen du *pointeau*, soit au moyen de lettres ou chiffres frappés, qui indiquent nettement les positions relatives des diverses pièces de la machine.

13° *Émoudre*. C'est user la surface d'un métal au moyen de *meules*. Ce travail remplace celui de la lime dans beaucoup de circonstances, avec économie de temps et d'argent; et c'est d'ailleurs le seul moyen dont on dispose pour user ou *affûter* les outils et instruments en acier trempé. Les *meules* grandes et moyennes sont en *grès*, tournées à leur circonférence et légèrement bombées. Leur vitesse à la circonférence atteint et dépasse même la limite de 7 à 8^{m} par seconde. On emploie des meules en grès tendre pour ébaucher, et pour finir des meules dures, moins mordantes. Parmi les meules les plus petites et les plus dures, il en est auxquelles on donne une vitesse de 30 ou 40^{m} à la circonférence. Les meules en grès travaillent avec injection continue d'eau sur leur surface.

On se sert assez souvent de meules en fer, en tôle, avec addition de sable fin pur et mouillé, de meules en acier travaillant à sec; mais le travail de ces dernières est très insalubre. Enfin, on voit dans beaucoup d'ateliers des *meules* ou *disques horizontaux*, tournant avec une grande vitesse et qui servent à user au moyen d'un mélange d'*émeri* et d'huile d'olive les têtes de boulons et les faces des écrous. Toutefois, on préfère, et avec raison, pour ce travail, l'emploi de machines spéciales, dites *machines à tailler les écrous*, qui ont pour principe les unes le mouvement circulaire d'une ou de plusieurs *fraises* combinées, les autres le mouvement rectiligne alternatif d'un burin.

14° *Roder*. Par cette opération on use deux surfaces destinées à glisser ultérieurement l'une sur l'autre, par un mouvement de va-et-vient plus ou moins rapide imprimé à l'une des deux surfaces fortement pressée contre l'autre, après que l'on a interposé du sable fin, ou de l'*émeri* arrosés d'eau. A mesure que les surfaces se rôdent, on emploie des matières plus fines, et on termine avec de l'émeri fin et de l'huile.

15° *Polir*. Par cette opération on use une surface jusqu'à ce qu'elle ne décèle aucune rayure en l'exposant aux jeux de la lumière; le polissage des métaux n'est en quelque sorte que la continuation de l'émoulage, en y employant des substances de plus en plus fines. Les meules pour le polissage des métaux sont faites de bois durs auxquels on donne du mordant au moyen de la pierre-ponce en poudre, de l'émeri, du *colcothar* ou rouge d'Angleterre, et de la *potée d'étain* appliquée au moyen de suif. Ainsi disposées, ces meules prennent le nom de *brunissoirs;* leur vitesse à la circonférence va jusqu'à 40^{m} par seconde. Pour achever le polissage on se sert de meules en bois dont la circonférence est garnie de buffle, avec addition de colcothar; la vitesse à la circonférence de cette sorte de meules, plus particulièrement désignées sous le nom de *polissoirs*, varie de 20 à 25^{m} par seconde. Mais il est bon d'observer que dans les machines où le poli brillant n'est pas nécessaire, et serait d'ailleurs promptement altéré, on emploie bien rarement les *polissoirs*, et on se contente de rendre les surfaces bien unies en les usant à l'émeri mêlé d'huile d'abord, puis en dernier lieu à l'émeri très fin et à sec.

Organisation et outillage des ateliers pour le travail à froid, dits *ateliers de tournerie et d'ajustage*. Les ateliers consacrés aux travaux divers que nous venons d'énumérer et de décrire sommairement, occupent dans un établissement de l'importance supposée dès l'origine de cet article, un espace considérable qui ne s'élève pas à moins de 4800 ou 2000 mètres carrés. Pour fixer les idées, et sans que la division que nous adoptons ait rien d'absolu, nous supposerons cette superficie répartie sur deux ateliers, avec rez-de-chaussée et premier étage, occupant chacun un espace rectangulaire de 46^{m},00 sur 30^{m},00.

Un chemin de fer traversera longitudinalement le rez-de-chaussée, chacun de ces deux ateliers et une machine à vapeur à moyenne pression, à condensation et à détente variable, de la puissance de 25 à 30 chevaux, donnera le mouvement aux divers appareils.

La machine motrice placée dans la partie centrale fait mouvoir une ligne principale d'arbres de couche. L'atelier, dans le sens longitudinal est séparé en trois travées au moyen de deux rangs de colonnes en fonte, qui portent à leur partie supérieure les supports de la ligne d'arbres de couche principaux. Au moyen de roues d'engrenage, poulies, tambours et courroies, le mouvement est transmis à une ligne d'arbres horizontaux qui occupent le milieu de chacune des deux travées latérales, et de là à chaque opérateur avec les vitesses convenables pour chacun. Il est indispensable pour obtenir dans l'atelier une clarté suffisante, que les murs soient percés par de vastes baies, sur les quatre faces du bâtiment. Le jeu des courroies, et le diamètre des tambours exige une hauteur de 5^{m},50 à 6^{m},50 entre le sol et les poutres du plancher. L'organisation des transmissions de mouvement, les diamètres des arbres, des tourillons, des poulies, les dimensions des courroies, etc., doivent avoir été calculés par les méthodes qui seront indiquées à l'article RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. Un renvoi de mouvement pris sur l'un des arbres de couche principaux fait tourner un arbre horizontal établi au premier étage, sur l'axe longitudinal et dans la partie supérieure de cet atelier.

Une trappe pratiquée dans le plancher qui sépare le rez-de-chaussée et le premier étage, livre passage aux pièces qui doivent être travaillées; *un palan* attaché à l'un des tirans du comble, et desservi par *un treuil* situé au rez-de-chaussée, est chargé d'élever ces pièces du wagon de transport jusqu'à l'atelier supérieur.

1er *Atelier consacré au grand ajustage*. Prenant pour modèle l'outillage d'un de nos plus grands établissements de construction, nous pensons que le premier atelier devra être pourvu, sinon dès le principe, au moins lorsqu'il sera arrivé à complète organisation, des appareils et outils-machines suivants :

1° Un grand alésoir vertical, pour aléser les cylindres de grande dimension.

2° Un alésoir horizontal, pour cylindres jusqu'à 1^{m},00 de diamètre.

3° Un alésoir horizontal, pour cylindres jusqu'à 0^{m},40 de diamètre.

4° Un petit alésoir vertical, pour aléser les lumières des roues d'engrenage et volants.

5° Un tour à plate-forme, de grandes dimensions, pour tourner les roues de locomotives, les grands couvercles de cylindre, grands pistons, etc.

6° Quatre autres tours à plate-forme de diamètres gradués.

7° Un grand tour parallèle à pointes, pour tourner les gros arbres, jusqu'à 8^{m},00 de longueur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

8° Deux ou trois tours pour la préparation des cylindres de laminoirs.

9° Une machine à diviser et tailler les grands engrenages.

10° Une grande machine à raboter, 3m,80 de course pour l'outil, 11m,00 longueur des jumelles-guides de la plate-forme mobile.

11° Une machine à percer dans les plus fortes tôles des trous de diamètre variable jusqu'à 0m,20.

12° Deux machines à percer.

13° Deux machines à fileter, pour boulons et écrous gros et moyens.

14° Une machine à tarauder, pour boulons et écrous gros et moyens.

15° Un découpoir pour percer les tôles fortes.

16° Deux meules à aiguiser.

17° Six étaux de force variable avec leur établi.

18° Une forge à main, avec feu double pour l'entretien et la réparation des outils.

19° Deux ou trois tours à main.

Enfin le bureau du contre-maître placé centralement, de manière à embrasser d'un coup d'œil l'ensemble de l'atelier.

24 chevaux, sur les 30 dont on dispose, suffiront bien à la marche non pas simultanée, mais ordinaire de ces outils, parmi lesquels quelques-uns sont alternativement en chômage.

Le premier étage de cet atelier sera pourvu des appareils suivants :

1° Trois petites machines à parer ou dresser, avec outil à mouvement vertical.

2° Deux petites machines à parer ou dresser, avec outil à mouvement horizontal.

3° Deux machines à percer.

4° Deux machines à fileter et une machine à tarauder, pour moyens et petits écrous et boulons.

5° Deux machines à tailler les têtes de boulons et les écrous.

6° Huit ou dix bancs de tour à la main.

7° Une meule horizontale.

8° Une meule à aiguiser.

9° Vingt étaux d'ajusteur avec leur outillage et leur établi.

10° Une petite forge volante pour entretien et réparation des outils.

Une puissance de 6 chevaux suffira bien à la conduite des outils-machines de cet atelier.

2° *atelier, grand et moyen ajustage.*

L'outillage de cet atelier comprendra les machines suivantes :

1° Une machine à mortaiser les pièces des plus fortes dimensions.

2° Une machine à mortaiser et dresser les faces verticales, pour pièces de dimensions moindres.

3° Un petit alésoir vertical, à grande plate-forme, pour aléser les lumières des longues pièces, telles que bielles, etc.

4° Une machine à dresser, avec outil à mouvement horizontal, course de 1m,30 pour l'outil, et de 8m,00 pour la plate-forme qui porte la pièce.

5° Une machine du même genre, avec courses moindres.

6° Une machine à diviser et tailler les moyens et petits engrenages.

7° Dix bancs de tour, tant à pointes qu'à plate-forme, avec bancs de longueurs variables depuis 11m,00 jusqu'à 3m,00.

8° Une ou deux machines à percer.

9° Deux meules à aiguiser.

10° Huit ou dix étaux d'ajusteur.

11° Une forge à main à double feu, pour réparation et entretien des outils.

Une puissance de 20 chevaux suffira pour la marche des machines en travail ordinaire.

Au premier étage seront installés :

1° Deux petites machines à parer, avec outil à mouvement vertical.

2° Deux petites machines à parer, avec outil à mouvement horizontal.

3° Une machine à fileter et une machine à tarauder.

4° Une machine à tailler les faces d'écrous et les têtes de boulons.

5° Deux machines à percer.

6° Huit ou dix tours à main.

7° Une meule à aiguiser.

8° Vingt étaux d'ajusteur.

9° Une petite forge volante.

Une puissance de 5 chevaux suffira largement à la marche de ces machines.

Deux contre-maîtres l'un au rez-de-chaussée, l'autre au premier étage conduiront le travail, de même que dans le premier atelier.

Personnel des ateliers de tournerie et d'ajustage. La plupart des travaux de ces ateliers s'exécutant à la journée, on conçoit que la surveillance des contre-maîtres y doit être continue, et qu'en outre, pour se rendre un compte exact du temps consacré à chaque pièce, un ordre et un soin rigoureux leur est indispensable. Les ouvriers conducteurs des machines chargés de régler la pression et la position de l'outil, de la mise en chantier des pièces, de l'affûtage de leurs outils, n'ont à dépenser qu'une très faible activité musculaire, mais en revanche ils doivent suivre avec une attention soutenue la marche de l'outil; le degré de perfection du travail confié à chaque machine et la durée de ce travail varient d'ailleurs dans d'assez grandes limites, selon l'habileté et les soins plus ou moins intelligents de son conducteur.

Le service de ces ateliers occuperait 100 hommes en marche ordinaire, 130 à 140 en marche complète; dans ce dernier cas, la puissance nominale du moteur n'est pas suffisante. Dans ce cas on force en vapeur, en augmentant légèrement la pression dans la chaudière; sans doute ce moyen est peu économique sous le rapport du bon emploi du combustible, mais on n'a à l'employer que rarement et exceptionnellement.

La création des ateliers de tournerie et d'ajustage, ainsi organisés et outillés, absorberait un capital considérable qui peut s'évaluer comme suit :

Construction des deux ateliers avec leurs colonnes en fonte, leurs chemins de fer de service, les appareils de transport et d'élévation. .	110,000 fr.
Moteurs, deux machines de 30 chevaux chacune. . .	48,000
Fourneaux et générateurs. .	22,000
Transmissions de mouvement avec tous leurs accessoires.	20,000
Outillage pour grand ajustage (rez-de-chaussée du premier atelier), en y comprenant les fondations et l'installation des grandes machines-outils. . . .	110,000 à 120,000
Outillage pour grand et moyen ajustage (rez-de-chaussée du deuxième atelier).	90 000 à 100,000
Outillage pour petit ajustage (premier étage des deux ateliers).	25,000 à 30,000
Ensemble. . .	450,000 fr.

Dans ces évaluations, l'outillage absorbe à lui seul plus de la moitié du chiffre total, et on le concevra

EFERUS --Recherche & Classification numérique

sans peine dès que nous aurons indiqué les prix séparés de quelques-unes des grandes machines-outils.

Ainsi la grande machine à raboter, indispensable pour la fabrication des appareils à vapeur de 500 chevaux, ne coûtera pas à elle seule, compris ses fondations, moins de. . . . . 30,000 fr.

Le grand alésoir vertical, avec ses fondations et son bâti en charpente. . . . . 25,000 à 30,000

Le grand tour parallèle. . . 15,000

Le grand tour à plate-forme. . 12,000

Rappelons d'ailleurs que l'outillage d'un grand établissement n'arrive au point où nous l'avons supposé que par un développement successif.

Atelier de montage. Tous les éléments d'une machine, après avoir été isolément travaillés, arrivent à l'atelier de montage pour y être assemblés, réunis et repérés. Là, sous la direction d'un *monteur*, toutes les pièces fixes sont assemblées provisoirement, toutes les pièces mobiles sont présentées chacune à la place qu'elles doivent occuper et reliées les unes aux autres. Le monteur s'assure que les mouvements voulus s'accomplissent rigoureusement, que tous les axes de ces mouvements divers sont bien dans la direction demandée, que les tourillons de ces axes et les articulations diverses jouent librement et régulièrement; au fur et à mesure des besoins du montage, il fait achever ou modifier l'ajustage. OEuvre de précision et de tâtonnement, le montage à l'atelier, bien fait, dirigé par un homme soigneux, instruit, intelligent, peut seul assurer le succès, la rapidité et l'économie du montage définitif et sur place.

Un atelier de montage doit être vaste, élevé, parfaitement éclairé, et pourvu suffisamment des machines qui servent au transport et à l'élévation des fardeaux. On doit prévoir le montage simultané d'un certain nombre de machines, et si, par exemple, nous supposons en train de montage :

1° Les machines d'un navire à vapeur de 200 à 500 chevaux;

2° Une machine fixe de 40 à 100 chevaux;

3° Une ou deux locomotives pour chemin de fer;

4° Un ou deux appareils pour l'industrie (soufflerie, pompes, etc.).

Éventualité qui se réalisera très fréquemment, sinon toujours dans un grand établissement de construction, la superficie de l'atelier de montage devra être de 600 à 800 mètres carrés.

Cet atelier doit laisser disponible sous entrait une grande hauteur, soit 12 à 13 mètres, complétement libre et exempt de toute colonne de support.

Pour fixer les idées, adoptons un espace rectangulaire de 45 mètres sur 16 mètres dans œuvre, traversé longitudinalement par un chemin de fer, fermé aux deux extrémités par des portes à coulisses de 6 à 7 mètres d'ouverture. Une grue à volée variable jusqu'à 4m,50, et capable d'enlever 15 tonnes, desservira une première partie de l'atelier. Une fosse de 20 mètres de longueur sur 9 mètres de largeur et 0m,70 de profondeur occupera la partie centrale du sol de l'atelier. Sur la longueur de cette fosse règneront, régulièrement espacées, 6 fortes poutres en chêne de 0m,40 d'équarrissage, solidement établies sur un sol rendu incompressible soit par une forte couche de *béton*, soit au moyen d'un grillage avec pilotis. Cette fosse sera desservie par 10 palans suspendus aux tirants des fermes du comble et régulièrement répartis, dont les câbles seront manœuvrés au moyen de 10 treuils à engrenage solidement fixés à la hauteur convenable contre les piedsdroits des larges baies ouvertes sur les deux murs latéraux.

L'outillage de cet atelier, indépendamment des apparaux déjà énumérés, se composera de :

CONSTRUCTION DES MACHINES.

1° Deux machines à percer;

2° Une machine à dresser;

3° 20 étaux d'ajusteur, avec leurs établis;

4° Une forge de maréchal.

Le mouvement sera donné aux outils ou par une petite machine à vapeur spéciale, ou par un arbre de couche en communication avec l'un des ateliers d'ajustage.

Ainsi équipé, outillé et établi l'atelier de montage coûtera 45,000 fr. environ. Son personnel en monteurs, ajusteurs, manœuvres, sera de 20 à 30 hommes.

Nous voici arrivés au terme de notre examen en ce qui concerne l'organisation des divers ateliers d'un établissement de construction; il serait d'ailleurs sans intérêt de donner un plan général d'un tel établissement, parce que les dispositions de ce plan sont toujours liées à des conditions de localité spéciales et nécessairement variables. Qu'il suffise donc d'ajouter qu'un établissement de ce genre, indépendamment des superficies occupées par les ateliers divers, doit disposer d'une très vaste surface soit pour le dépôt des approvisionnements en combustible, fontes de moulage, mouleries de rebut ou *baccages*, pièces moulées de rechange, etc., etc., soit pour le dépôt des pièces isolées, des appareils en voie de confection, enfin de bâtiments accessoires pour les magasins divers, tels que magasins à métaux et autres, etc., pour l'administration, les bureaux des ingénieurs et des agents comptables.

Pour évaluer d'une manière complète le capital de création d'un tel établissement, il faudrait donc ajouter à la somme déjà énorme de nos évaluations partielles, la valeur des terrains et celle des bâtiments accessoires dont il vient d'être question.

Rapports des divers ateliers entre eux et organisation du service des contre-maîtres. Pour que la surveillance soit active, continue, incessante dans chaque atelier, il est bon que le service de cette surveillance soit réparti entre plusieurs contre-maîtres, chacun d'eux ayant à diriger et surveiller un nombre d'hommes limité, 60 au plus, et sous les ordres lui-même d'un contre-maître général. A chaque tiers de la journée, il est pris état détaillé de l'emploi du temps de chaque ouvrier, et à la fin de la semaine le contre-maître général compose sur ces états de détail un tableau semainier qui renferme aussi concis que possible, mais complets, tous les éléments nécessaires à l'établissement du prix de revient pour la main-d'œuvre, les consommations et déchets relatifs aux diverses pièces travaillées pendant la semaine. Un contre maître général a sous ses ordres immédiats et sous sa main un commis d'écritures; le contre-maître devient donc un être double, si l'on peut s'exprimer ainsi, le premier surveillant, dirigeant, organisant, répartissant le travail, *à la tâche*, toutes les fois que la bonne exécution des pièces le permet, *à la journée*, dans le cas contraire; le second écrivant et enregistrant toutes les circonstances du travail dont il importe de conserver les traces. Cette division des plus heureuses, que nous empruntons à l'un des plus prospères parmi nos établissements de construction, assure un ordre complet et de tous les instants, à défaut duquel la prospérité est impossible, dans une fabrication dont les détails sont multipliés à l'infini, et qui comprend dans son ensemble tant d'opérations successives.

Un chemin de fer de service, avec embranchement sur chaque atelier, relie entre eux tous ces ateliers et réduit à la dernière limite les frais de transports nombreux et successifs. Enfin chaque contre-maître, sur les états de détail dressés comme il a été dit, *facture et vend les produits de son atelier* au contre-maître de l'atelier voisin, où les pièces arrivent successivement sans oubli ni confusions possibles.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En fin de compte, et après son passage aux divers ateliers, chaque pièce arrive au montage avec son prix de revient facturé et composé par l'addition des prix de revient partiels dont elle s'est grevée dans chaque période du travail.

Nous avons insisté sur ce mode administratif appliqué aux travaux divers, avec la conviction que son observation minutieuse renferme les germes les plus féconds, tandis qu'au contraire une ruine plus ou moins prochaine menace toujours un établissement où cet ordre sévère ne serait pas maintenu dans sa dernière rigueur.

ÉTUDE, COMPOSITION, CALCUL ET DESSIN DES MACHINES. Quand une machine est demandée à un établissement de construction, les conditions à remplir, les dispositions principales, etc., sont d'abord discutées entre l'industriel ou l'administration qui fait sa commande et le directeur de l'établissement, assisté de l'un de ses ingénieurs; un marché signé par les parties contractantes, accompagné d'un cahier des charges, constate les résultats de cette discussion, et dans l'intérêt de tous, il importe que cet acte, avec toutes les clauses et conditions, soit bien rédigé et très explicite. Le cahier des charges est ensuite mûrement examiné et discuté entre le gérant de l'établissement, l'ingénieur-directeur et celui des ingénieurs attachés à l'usine auquel doit être spécialement confiée l'étude et l'exécution de l'appareil demandé. Le système particulier, les dispositions générales de la machine ainsi arrêtés et convenus, l'ingénieur chargé de l'étude s'en occupe dès lors exclusivement et devient seul responsable de l'exécution, sauf les conseils qu'il croit devoir demander à l'ingénieur-directeur. Après qu'il a combiné toutes les parties de son appareil, calculé ses dimensions, arrêté les formes et les assemblages étudiés préalablement par des dessins de détail, il exécute ou fait exécuter sous ses yeux, et sous son contrôle immédiat, les dessins d'exécution. Il transmet ensuite sans intermédiaire aux contre-maîtres des divers ateliers ces dessins et croquis de détails, toujours dessinés sur une échelle suffisamment grande, minutieusement côtés, et accompagnés d'instructions écrites.

Le contre-maître devient responsable à son tour vis-à-vis de l'ingénieur dont il a reçu les dessins signés, et auquel chaque fois qu'il le juge utile, il doit demander un supplément d'instructions.

L'ingénieur préside au tracé des épures en grand, surveille la confection des modèles, suit et dirige partout et toujours la fabrication successive de toutes les pièces de sa machine, aux divers degrés d'avancement et dans les divers ateliers où elle doit passer pendant les périodes du travail. A l'aide des dessins de détail, il exécute ou fait exécuter sous sa direction des plans d'ensemble de la machine, et ces plans achevés, signés par l'ingénieur chargé de l'étude, contrôlés par l'ingénieur-directeur, viennent se classer dans le portefeuille de l'établissement, arsenal précieux pour le présent, comme pour l'avenir, dont on conçoit sans peine l'utilité et tous les avantages.

La méthode de composition et d'étude que nous venons d'exposer est suivie dans un de nos plus grands établissements; en outre des beaux résultats obtenus par cette usine qui a livré à l'industrie et à l'État de nombreux, grands et beaux appareils, dont la bonne et prompte exécution a dépendu pour une grande part de la méthode que nous venons d'indiquer, on peut dire à l'avantage de celle-ci qu'elle doit être féconde en résultats pour l'avenir d'un établissement de construction. En effet, respectant scrupuleusement le travail de chacun, elle rend impossible toute confusion d'attributions, laisse à qui de droit à côté du mérite de son œuvre, la responsabilité entière, surexcite les capacités des individus, fait grandir rapidement l'importance des intelligents et des travailleurs, et crée dans l'établissement une pépinière d'hommes précieux et spéciaux. Là, en effet, on conçoit que les bons effets de la division du travail se feront sentir rapidement, et que l'ingénieur consacré par exemple à la spécialité des locomotives, ou de tout autre genre d'appareils, doit acquérir dans cette spécialité une aptitude à laquelle ne saurait atteindre celui qui est contraint d'éparpiller, pour ainsi dire, son travail et ses méditations sur la foule des machines que l'industrie emploie et demande chaque jour.

Ajoutons enfin, pour compléter ce sujet, que l'ingénieur après avoir suivi et dirigé le montage dans l'atelier de son appareil, suit la machine jusqu'au lieu de son installation, quand l'importance de la commande le réclame, en dirige sur place le montage et l'installation, préside aux essais, en discute les résultats devant les intéressés avec tous les avantages de l'homme spécial qui possède son sujet jusque dans les plus intimes détails. Quant aux connaissances variées, approfondies, théoriques et pratiques que doit posséder l'ingénieur constructeur de machines, on conçoit ce qu'elles doivent être, si l'on récapitule la série des opérations auxquelles il est chargé de présider, et les bornes de cet article ne nous permettent pas de les passer en revue.

Nous ne pensons pas avoir besoin, en terminant, de justifier le choix que nous avons fait d'un établissement sur une vaste échelle, dans l'examen des bases de l'organisation d'une usine pour la construction des machines. On peut comprendre maintenant combien il importe à ceux qui consacrent des capitaux à une création de ce genre de viser à une spécialité, puisque l'outillage si varié et si coûteux se modifie pour chaque genre de fabrication, puisque la perfection et l'économie pour être poussées à leur dernière limite exigent une fabrication multipliée et la reproduction fréquente des mêmes modèles.

Le but de cet article aura été atteint d'ailleurs, si nous avons réussi à faire comprendre par un examen rapide et sommaire : d'une part quelle réunion de capitaux, d'intelligences et d'ordre administratif suppose et réclame la création d'un atelier de construction des machines; d'autre part, combien la prospérité d'un semblable établissement a besoin d'être soutenue et alimentée par des commandes nombreuses, qui seules, nous le répétons en terminant, permettent d'atteindre le dernier terme du problème d'une fabrication parfaite et économique. FAURE.

CONSTRUCTION DES NAVIRES. La construction des navires, l'architecture navale, est à la fois une science et un art. Comme science, elle comprend l'étude de la résistance des fluides et, par suite, la détermination des formes de moindre résistance, les lois de la stabilité, celles des dimensions des pièces, etc. Comme art, elle se confond, pour la construction des navires en bois, avec la charpente, pour la construction des navires en fer, avec les constructions en fer.

Tous les problèmes de l'architecture navale, que la science a été en général insuffisante à résoudre théoriquement, et qui exigent impérieusement les résultats de l'expérience pour chaque cas particulier, sont l'objet des travaux de l'ingénieur constructeur. La France en a compté de justement célèbres, Sané notamment, qui créa le plus beau modèle de trois-ponts, qu'on eût peut-être dû toujours imiter si la vapeur n'était venue déterminer la transformation absolue de la marine militaire.

Le meilleur résumé qui existe de cette science est, sans contredit, le traité abrégé de la construction du navire que le savant M. de Fréminville a rédigé pour le *Guide du marin;* nous lui empruntons les principes de la construction des navires, en renvoyant aux ou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSTRUCTION DES NAVIRES.

vrages de cet ingénieur les lecteurs qui auraient à faire une étude approfondie de la question.

Description sommaire de la charpente du navire. L'élément principal de la charpente des navires consiste en une série de pièces présentant quelque analogie avec les côtes d'un animal gigantesque et qui reçoivent le nom de *couples*. (La *fig.* 5 ci-après représente l'axe d'un de ces couples.) Les couples sont réunis par de fortes planches ou plutôt de véritables madriers nommés *bordages*, qui les croisent à angle droit; les bordages doivent être assez exactement joints les uns avec les autres, pour constituer avec les couples un vase parfaitement étanche.

Les couples sont formés de deux plans de charpente superposés, et composés chacun de pièces de longueur et de courbure modérées, placées bout à bout de manière à reproduire le contour voulu; les extrémités jointives des pièces de l'un des deux plans correspondent au milieu des pièces de l'autre, et les deux plans sont ensuite chevillés l'un par l'autre, de manière à former un ensemble rigide. Ce système de construction est d'ailleurs le même que celui employé par le célèbre Philibert de l'Orme, pour les toitures à grande portée; il permet d'exécuter les charpentes les plus considérables avec des matériaux de petite dimension et de faible valeur.

La face de jonction des deux plans de bois du couple reçoit le nom de *plan de gabariage*, ou de *plan du couple*. Les couples sont répartis à distance égale sur la longueur du navire, celui qui correspond à la maîtresse partie reçoit le nom de *maître-couple*; les autres sont nommés *couples avant*, ou *couples arrière*, suivant la position qu'ils occupent. Les couples consécutifs laissent, entre leurs faces latérales, des espaces libres plus ou moins considérables nommés *mailles*; cette disposition a pour but d'alléger l'ensemble de la construction, et surtout de permettre la circulation de l'air à l'intérieur de la charpente, condition indispensable à sa conservation, et faute de laquelle elle serait attaquée par la pourriture et détruite avec une rapidité que l'on aurait peine à imaginer.

Les couples sont réunis à leur partie inférieure par une longue pièce prismatique à section rectangulaire, nommée la *quille*, dont l'axe de figure est situé dans le plan diamétral, et dont les faces latérales sont parallèles à ce plan. A l'avant la quille s'assemble avec une pièce cylindrique présentant une courbure assez prononcée à la partie inférieure, nommée l'*étrave*; à

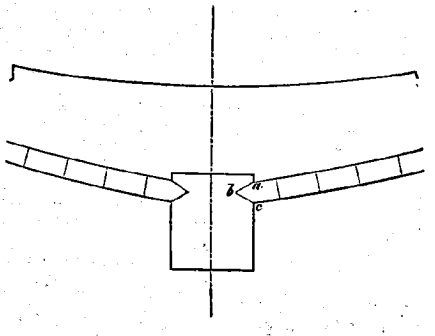


Fig. 1.

l'arrière elle reçoit l'*étambot* dirigé verticalement ou légèrement incliné sur l'arrière.

Les bordages sont simplement juxtaposés à plat joint, mais leur contact ne saurait jamais être assez exact pour s'opposer au passage de l'eau, que l'on arrête en introduisant de l'étoupe fortement comprimée dans les interstices qu'ils laissent entre eux; cette opération constitue le *calfatage*, elle est indispensable pour rendre la carène complétement étanche. Les bordages s'assemblent avec la quille, l'étrave et l'étambot dans une rainure à section triangulaire (*a*, *b*, *c*, *fig.* 4), nommée la *rablure*; ses trois arêtes qui passent respectivement par les points *a*, *b*, *c*, reçoivent cha-

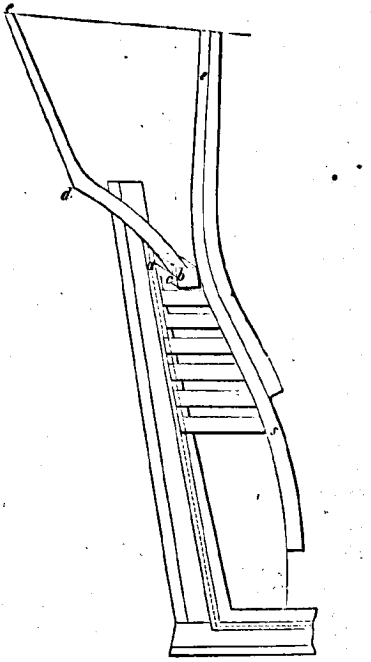


Fig. 2.

cune un nom particulier : la première est nommée indifféremment *trait supérieur*, ou *intérieur* de la rablure, ou encore *dessus de quille*; le deuxième est le *fond de rablure*; et le troisième, le trait *inférieur* ou *extérieur* de la rablure. Les rablures de l'étrave et de l'étambot forment le prolongement de celle de la quille, et leurs arêtes conservent les mêmes désignations.

Le système des couples ordinaires ne convient pas aux formes des extrémités avant et arrière, et il est nécessaire pour ces parties de recourir à d'autres dispositions; celles de l'avant sont excessivement simples, et il est inutile de s'y arrêter; quand à celles de l'arrière, elles sont un peu plus compliquées et méritent de fixer particulièrement l'attention.

La charpente de l'arrière, nommée l'*arcasse*, consiste en une série de *barres* horizontales (*fig.* 2 et 3) fixées en leur milieu sur l'étambot et ajustées par leurs extrémités sur les faces planes d'un couple *e s* dirigé obliquement par rapport au plan diamétral et nommé l'*estain*. L'arcasse, considérée isolément, forme comme une petite carène dont l'étambot serait la quille, et les barres, les couples; l'estain sert à raccorder cette charpente avec la carène. La barre la plus élevée *a b* reçoit le nom de *barre d'hourdy*, elle est comprise entre des surfaces cylindriques dont les génératrices sont horizontales et verticales et dont les directrices sont des arcs de cercle de grand rayon; elle reçoit les aboutissements d'une partie des bordages de la carène

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans une rablure d'une forme particulière, nommée *rablure de la barre d'hourdy*.

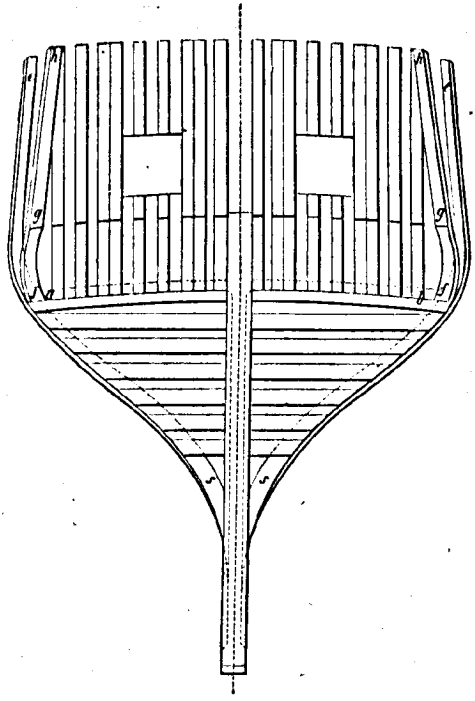


Fig. 3.

Sur la barre d'hourdy repose la charpente qui termine l'accastillage; cette charpente est composée de membrures simples parallèles au plan diamétral; à leur partie inférieure elles présentent une assez forte saillie *c d* (*fig.* 2) constituant la *voûte*, et leur partie supérieure *d e*, moins inclinée sur l'horizon, forme le *tableau de la poupe*; les portions inférieures de ces membrures sont nommées *allonges de voûte*, et les parties supérieures, *quenouillettes du tableau*. La jonction des murailles latérales avec celles de la voûte et du tableau est opérée au moyen de l'*allonge de cornière f g h* (*fig.* 3), dont les formes sont assez compliquées et qui ne présente aucune face plane.

Indépendamment du bordé extérieur, les couples sont assujettis par un revêtement intérieur composé de bordages longitudinaux désignés sous le nom de *vaigrages* ou *voigres*; ils règnent depuis la naissance des couples jusqu'à leur extrémité supérieure.

La charpente du navire composée des couples et revêtements tant extérieurs qu'intérieurs jouit d'une certaine solidité; cependant, elle ne présenterait pas la rigidité suffisante pour résister aux pressions latérales qu'elle supporte, et il est indispensable de maintenir l'écartement des murailles à l'aide de fortes pièces de bois disposées par files transversales et nommées *baux* ou *barrots* (*fig.* 4, *a b*, *c d*). Ces pièces de charpente sont ensuite réunies par un bordé longitudinal et constituent ainsi des planchers ou *ponts* qui partagent le navire en plusieurs compartiments affectés à divers usages, suivant la position qu'ils occupent : le compartiment le plus bas, situé entièrement au-dessous de l'eau, est la *cale*, il sert à emmagasiner les objets pesants et qui ne redoutent pas l'humidité; la cale est quelquefois séparée en deux, dans le sens de la hauteur, par une *plate-forme* légère sur laquelle sont placés les cordages de rechange, les voiles, etc.

Le pont *c d*, qui limite la cale à la partie supérieure, est situé au-dessous de la flottaison, il est nommé le *faux pont*, ainsi que l'étage qu'il constitue; il est affecté aux logements des officiers et d'une partie de l'équipage. Les étages qui surmontent le faux pont sont tous affectés au service de l'artillerie et reçoivent la désignation générale de *batteries*; dans les bâtiments à plusieurs batteries, la plus basse est la *première batterie*, puis viennent successivement la deuxième et la troisième. On ne construit pas de navires de guerre ayant plus de trois batteries couvertes. Le pont qui recouvre la dernière batterie est désigné sous le nom de *pont des gaillards*, il est spécialement désigné à la manœuvre des voiles; cependant on y place aussi une artillerie légère dans le système dit à *batterie barbette*, manœuvrée à l'air libre.

La muraille du bâtiment s'élève au-dessus du pont des gaillards d'une quantité dont la hauteur peut varier entre des limites très-étendues, de 0m,30 à 1m,80, par exemple; elle est construite plus légèrement que les autres parties du navire et reçoit le nom de *pavois des gaillards*; elle est terminée en hauteur par une pièce à surface courbe qui recouvre les extrémités de la membrure, et est nommée le *plat bord* (*g g*, *fig.* 4).

Tracé des plans de navires. Les plans de navires représentent la surface extérieure de la membrure au moyen de ses projections sur trois plans rectangulaires, savoir : le *longitudinal* (Voy. BATEAU A VAPEUR, *Complément*), *fig.* 3419, parallèle au plan diamétral; l'*horizontal fig.* 3420, parallèle au plan de flottaison, et le *vertical*, parallèle au plan des couples *fig.* 3421.

Pour exécuter le longitudinal, on commence par tracer une horizontale indéfinie représentant le dessus de quille; sur cette droite on mesure une longueur égale à celle de la flottaison, et, par ses extrémités, on élève des *perpendiculaires* destinées à servir de repères pour toutes les mesures de longueur qu'il y a lieu de porter ultérieurement. Ces perpendiculaires passent par les points d'intersection de la flottaison avec les fonds de rablure de l'étrave et de l'étambot, que l'on considère comme les limites de la carène; elles fixent la longueur maximum de la carène, que pour cette raison on désigne habituellement en ces termes : *longueur de perpendiculaires en perpendiculaires*. On continue le tracé en représentant les fonds de rablure de l'étrave et de l'étambot.

Les *couples* sont des plans verticaux perpendiculaires au diamétral; ils se projettent sur ce plan suivant leurs traces perpendiculaires au dessus de quille.

Les *lignes d'eau* étant des plans horizontaux, leurs projections sur le plan longitudinal sont des droites parallèles à la quille; elles sont réparties à distances égales depuis la flottaison jusqu'à la limite inférieure de la carène, qui peut être, soit le *dessus de quille*, soit le *trait inférieur de la rablure*, suivant que l'on représente la carène hors membres, ou hors bordages. Dans l'un ou l'autre cas, la *profondeur de carène* doit en effet être mesurée de la flottaison à l'une ou à l'autre de ces limites. La position de la flottaison est déterminée par sa distance à la face inférieure de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fausse quille, ou, en d'autres termes, par le *tirant d'eau*. En général, lorsqu'un navire est à flot, la quille n'est pas parallèle au plan de flottaison, et le tirant d'eau est variable avec le point de la longueur auquel il est mesuré; aussi les tirants d'eau sont-ils toujours pris aux perpendiculaires avant et arrière, et leur moyenne, ou *tirant d'eau moyen*, détermine la hauteur à laquelle est menée la flottaison *supposée parallèle à la quille*.

gréement, et enfin de l'équipage; pour les navires à vapeur, à ces divers éléments viennent s'ajouter ceux qui sont relatifs à la machine et à l'approvisionnement de combustible. Dans tous les cas, ces différentes quantités sont connues, en sorte que si le poids P' de la coque du navire l'était également, la somme P + P' représenterait le déplacement total de la carène.

Le poids de la coque varie nécessairement avec ses

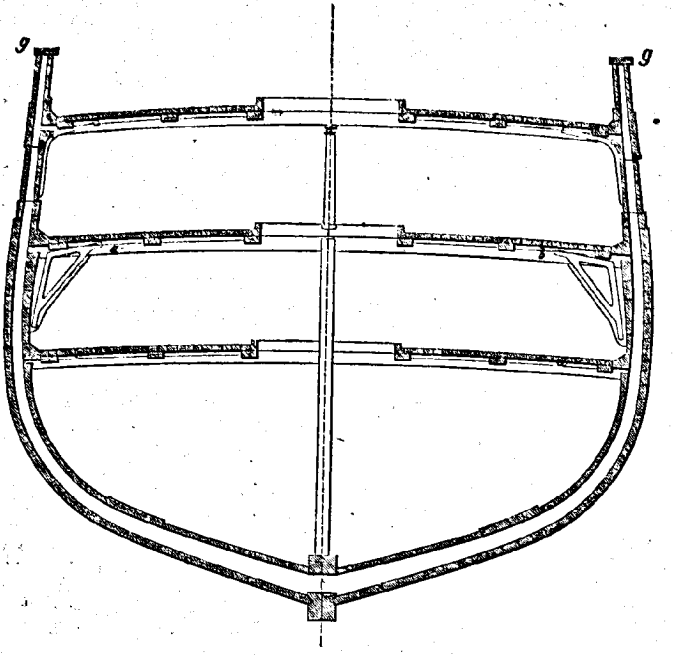


Fig. 4.

Nous n'entrerons pas ici dans plus de détails sur l'exécution des plans, qui sont une application directe des méthodes de projection.

Ils servent à guider le charpentier et sont l'œuvre de l'ingénieur qui les déduit des conditions spéciales à la construction qu'il se propose, de calculs et surtout des résultats d'expériences relatives : 1° à la *résistance des fluides*; (nous en traitons à RÉSISTANCE et à BATEAU); 2° à la *stabilité*, qui repose sur une théorie qui peut être formulée analytiquement, mais qui est trop compliquée pour que nous puissions la donner ici. Nous dirons seulement que cette dernière dépend surtout du rapport de la position de centre de gravité du navire et de celle du métacentre, du centre de gravité du volume d'eau déplacé, et enfin du moment d'inertie des masses qui composent le système flottant. (Voir le *Guide du Marin*.)

Détermination des dimensions principales de la carène. Les formes et les proportions des bâtiments de mer sont excessivement variables suivant l'usage auquel ils sont destinés. En général, le poids P du chargement est déterminé à l'avance; pour un navire de commerce, ce poids résulte principalement de celui des marchandises que l'on doit transporter; pour un navire de guerre, il résulte de l'ensemble : de l'artillerie, des munitions de guerre, des vivres, de la mâture, du

formes et avec le système de sa construction; cependant on peut admettre comme un fait d'expérience, qu'il est d'environ 0,45 à 0,48 du déplacement total pour les navires du commerce de grandes dimensions; de 0,48 à 0,50 pour les grands bâtiments de guerre, et de 0,50 à 0,55 et même à 0,60 pour les navires de petites dimensions, soit de guerre, soit de commerce.

Le chargement d'un navire étant donné, on peut donc considérer le déplacement ou le volume de la carène comme déterminé, mais il reste à faire le choix de ses dimensions principales ainsi que de ses formes, en s'attachant à satisfaire aux conditions suivantes :

Assurer une stabilité suffisante, soit au point de vue statique, soit au point de vue dynamique;

Obtenir de belles marches, soit à la voile, soit à la vapeur, en atténuant, par un affinement convenable des extrémités, les résistances directes de la carène;

Opposer une grande résistance à la dérive;

Et enfin, rendre les évolutions à la voile, et principalement le virement de bord, prompts et faciles.

Ces diverses conditions ont d'ailleurs un importance plus ou moins considérable suivant le but que l'on se propose, et il en résulte des formes de carènes très-variées, très-dissemblables, suivant que telle ou telle qualité prédominante doit être recherchée.

Si on désigne par L la longueur de la carène, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSTRUCTION DES NAVIRES.

sa largeur, et par h sa profondeur; son volume V est égal au produit des trois dimensions, ou au parallélipipède circonscrit, multiplié par un certain coefficient de réduction R, et l'on peut écrire :

$$V = R \times L \times l \times h.$$

Pareillement, la surface S du maître-couple peut être représentée par le produit $l \times h$ multiplié par un coefficient R', et l'on aura :

$$S = R' \times l \times h.$$

Enfin, le volume de la carène peut être considéré comme égal au produit de la surface S du maître-couple, par la longueur L, ou au volume du cylindre circonscrit à ce maître-couple multiplié par un troisième coefficient de réduction R'', ce qui donne :

$$V = R'' \times S \times L.$$

Ces coefficients R, R', R'' servent habituellement à apprécier l'acuité plus ou moins grande des formes, soit du maître-couple, soit de la carène.

La profondeur de carène h est la conséquence de celle des rades, des ports ou des bassins dans lesquels le navire doit entrer; mais la surface S du maître-couple et la longueur L peuvent être prises arbitrairement. En général, il y aurait avantage à prendre S petit, afin d'atténuer la résistance directe, et en prenant en même temps une longueur suffisante, on parviendrait à avoir des extrémités aiguës très-propres à diviser la masse liquide; mais en opérant de la sorte on serait conduit à des carènes très-longues et très-étroites, qui pourraient être dépourvues de stabilité, et qui, lors même qu'elle ne seraient pas sujettes à ce défaut capital, présenteraient celui d'être tellement difficiles à manœuvrer, qu'elles ne sauraient être employées utilement à la navigation maritime : la longueur n'est donc pas entièrement arbitraire, et il convient de conserver entre cette dimension et la largeur un certain rapport λ compris entre des limites consacrées par l'expérience. Ce rapport λ étant connu, on l'introduira dans les relations précédentes, et l'on en déduira les quantités S, l et L. Il est évident d'ailleurs que, le rapport λ n'étant pas fixé d'une manière absolue, on conserve une certaine latitude dans le choix de la longueur et de la largeur; dans la plupart des cas il en sera de même pour la profondeur de carène h.

Formes de maître-couple. La longueur du bâtiment étant fixée, ainsi que la surface S du maître-couple, celui-ci est susceptible de recevoir des formes très-variées, suivant qu'il se rapproche plus ou moins du rectangle circonscrit, ou, en d'autres termes, suivant la valeur assignée au coefficient R' des relations précédentes. Si la profondeur de carène doit rester invariable, les modifications apportées aux formes du maître-couple entraînent des changements correspondants dans la largeur, changements qui seront admissibles pourvu que le rapport λ reste compris entre les limites voulues. Si, au contraire, c'est la largeur qui est fixée d'une manière définitive, les modifications apportées aux formes du maître-couple entraînent des changements dans la profondeur de carène, ou dans le tirant d'eau. Les formes spéciales du maître-couple ont d'ailleurs une influence notable sur celles de la carène et sur les qualités nautiques du bâtiment, et leur choix dépendra de la nature du service auquel le navire devra être affecté.

Supposons en premier lieu que le tirant d'eau reste constant; si l'on fait usage d'un maître-couple se rapprochant beaucoup du rectangle circonscrit (fig. 5 *a*, 1), on est conduit à une flottaison étroite, et à une carène qui présente de grandes capacités vers la partie inférieure; la hauteur métacentrique est peu considérable, et le moment de stabilité doit être assez faible, à moins que par une disposition particulière du chargement, on ne parvienne à abaisser beaucoup le centre de gravité; quant aux lignes d'eau, elles présentent des contours fortement accentués.

Avec un maître-couple plus affiné (*a*, 2, fig. 5), on peut conserver des varangues plates dans les fonds en augmentant un peu la largeur, et l'on est conduit de la sorte au type adopté par le célèbre Sané, pour les vaisseaux de ligne de l'ancienne flotte à voiles; les carènes déduites de cette espèce de maître-couple ont une bonne stabilité de forme, le centre de gravité est situé à très-peu près à la hauteur de la flottaison, et sa distance au centre de carène se trouve dans les conditions convenables au point de vue de l'amplitude et de la vivacité des roulis; l'arrimage se fait aisément et dans de bonnes conditions, enfin les formes générales de la carène assurent des évolutions promptes et faciles.

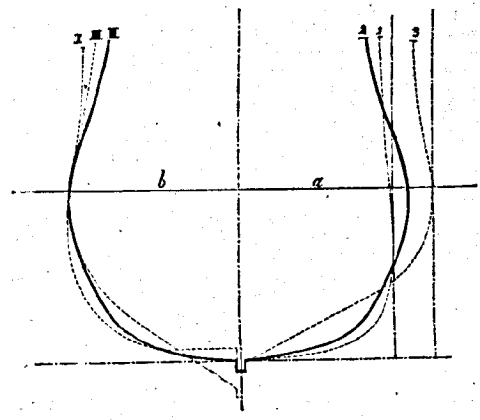


Fig. 5.

Si l'on adopte un maître-couple très-fin (*a*, 3, fig. 5), on est conduit à élargir notablement la flottaison; il en résulte une grande stabilité de forme ou une grande hauteur métacentrique, mais en même temps les poids placés dans la cale se trouvent plus rapprochés de la flottaison que dans les deux types que nous venons d'examiner, et il en résulte nécessairement une grande élévation du centre de gravité au-dessus du centre de carène; le moment de stabilité peut, il est vrai, rester très-suffisant pour équilibrer le moment de voilure, mais avec de semblables éléments, on doit redouter des roulis très-amples et très-vifs. En tout cas, les formes de la carène rendent difficile l'arrimage de la cale.

Lorsque l'on modifie les formes du maître-couple en conservant une largeur constante et en faisant varier le tirant d'eau (fig. 5, *b*, I, II, III), la hauteur métacentrique ne change pas, et les variations qu'éprouve le moment de stabilité proviennent uniquement de ceux survenus dans la position du centre de gravité; le maître-couple le plus plein donne le moindre tirant d'eau, ce qui est considéré en général comme un avantage; mais pour un navire à voiles cet avantage serait compensé par un accroissement dans la dérive. Avec un maître-couple fortement acculé, le tirant d'eau augmente et la dérive diminue; mais en même temps, par suite de la difficulté de faire l'arrimage

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les fonds, il y a exhaussement du centre de gravité, et réduction de stabilité.

D'après ces considérations, on voit que les maîtres-couples *très-pleins* conviendraient à des navires pourvus d'une surface de voilure modérée, et dans lesquels on serait maître d'exécuter l'arrimage de la manière la plus avantageuse au point de vue de la stabilité, c'est-à-dire à des *navires du commerce;* et que les maîtres-couples d'une *acuité moyenne* sont les mieux appropriés aux navires de guerre chargés d'une puissante voilure, et dans lesquels la majeure partie des poids placés à bord occupe des positions déterminées, sans laisser la faculté de modifier à volonté la hauteur du centre de gravité. Les formes *très-fines* du maître-couple sont repoussées pour les grands navires, mais elles peuvent convenir pour des bâtiments légers, n'ayant qu'un faible chargement dans les hauts, et dans lesquels on est maître d'augmenter le tirant d'eau et d'accumuler dans les fonds les poids nécessaires pour assurer leur stabilité; dans ces conditions, on on obtient de fins voiliers susceptibles des plus belles vitesses. (Voy. *Complément*, CLIPPERS.)

Nécessité des liaisons obliques. Si l'on considère un bâtiment à l'état lége, reposant sur une eau tranquille, et si on le suppose partagé, en tranches d'égale longueur et indépendantes les unes des autres, par des plans perpendiculaires au diamétral (fig. 6), chacune de ces tranches obéira individuellement à l'action des forces qui la sollicitent, c'est-à-dire de son poids et du déplacement de la portion immergée; aux extrémités avant et arrière, les poids étant notablement supérieurs aux déplacements, agissant à de grandes distances du centre, les tranches de ces parties du navire devront immerger jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli; dans la partie centrale, la poussée du liquide l'emportant sur le poids de la charpente, les tranches devront émerger. La forme primitive de la quille sera donc altérée, elle prendra une courbure plus ou moins prononcée nommée *arc*, dont la convexité sera dirigée vers la flottaison.

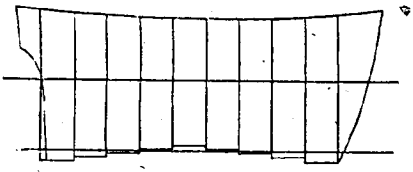


Fig. 6.

Lorsque toutes les parties du navire sont reliées entre elles comme dans les constructions ordinaires, les causes de déformation que nous venons d'indiquer ne cessent pas de subsister, et sans avoir des effets aussi complets que dans l'hypothèse où nous nous étions placés, elles produisent toujours un *arc* très-sensible. Cet arc est variable d'ailleurs avec l'état de chargement de navire; c'est au moment de la mise à l'eau, lorsque le bâtiment est complétement lége que les efforts qui tendent à le produire sont le plus considérables; aussi doit-on s'empresser de les combattre en équilibrant la poussée de la partie centrale, au moyen de lest placé soit dans la cale, soit dans les batteries; pour les vaisseaux et frégates la quantité de lest embarqué dans ce but s'élève à 5 et 600 tonneaux. A l'état d'armement complet, le déplacement est dépassé vers la partie du milieu, il est équilibré dans la partie moyenne et fortement dépassé aux extrémités; lorsque le navire est mal lié, il subit des déformations correspondantes : la quille devient concave dans la partie centrale, tandis qu'elle tombe à l'avant et à l'arrière; dans un navire solidement construit, ces déformations exceptionnelles ne sont pas sensibles, et se traduisent simplement par un arc minime. Quoi qu'il en soit, les liaisons de la charpente travaillent dans des directions variables suivant l'état du chargement et subissent des altérations successives qui vont toujours en augmentant. Dans les vaisseaux de l'ancienne flotte, lorsqu'ils étaient neufs et bien construits, l'arc s'élevait à environ 30 centim. à l'état de chargement complet; mais il augmentait rapidement, et atteignait souvent 60 centimètres après un certain temps de service.

Lorsque l'arc est fortement prononcé, il altère d'une manière fâcheuse les formes du navire, qui perd ses qualités de marche; mais en outre il entraîne la déliaison de la charpente, au point de rendre le calfatage impossible, et quand les choses en sont arrivées à cet état, le navire doit forcément être condamné. Depuis longtemps l'attention des constructeurs s'est portée sur les moyens de résister aux efforts qui tendent à arquer les bâtiments : du Hamel Dumonceau, Bouguer, Groignard, Chapman, se sont occupés de cette importante question, et, quoique à des époques différentes, l'ont considérée à peu près au même point de vue; ils ont remarqué que lorsqu'un navire prend de l'arc, les couples et les bordage croisés primitivement à angle droit, de manière à former des éléments rectangulaires, changent de direction, en sorte que ces éléments se transforment en parallélogrammes. Ils proposèrent en conséquence de combattre cette déviation angulaire en interposant dans les rectangles élémentaires, des diagonales rigides, de former comme dans la charpente des toitures, des triangles dont la forme est invariable.

Du Hamel Dumonceau et les ingénieurs de son époque réalisèrent cette condition en dirigeant le vaigrage sous une inclinaison de 45° par rapport à la membrure, dans toute la partie comprise entre les sous-bauquières de la batterie, et les vaigres d'empature. Chapman établit ses diagonales dans le plan diamétral, à l'intérieur des quadrilatères formés par les épontilles, la carlingue, et une forte hiloire renversée placée sous les baux. Bouguer emploie une disposition semblable, avec cette différence que ses diagonales sont en fer et constituent de véritables *tirants*, tandis que celles de Chapman sont en bois et travaillent par compression. En 1816, Robert Sepping, constructeur anglais, produisit également un système de charpente, basé sur les considérations que nous venons d'indiquer; il supprimait le vaigrage de la cale depuis la sous-bauquière de la batterie jusqu'à la carlingue, et le remplaçait par un réseau de porques obliques, croisant la membrure sous des angles de 45°, et consolidés en outre par des séries d'entretoises horizontales. L'ensemble de ces porques constituait comme une deuxième charpente superposée à la première, et devait sans contredit lui donner une plus grande rigidité que les revêtements intérieurs ordinaires. L'expérience démontra en effet que les bâtiments construits dans le système de Robert Sepping étaient doués d'une solidité supérieure; mais ce résultat avantageux ne doit pas être attribué uniquement à l'effet des liaisons obliques, et il provenait également de perfectionnements d'un autre ordre apportés aux différentes parties de la charpente, et parmi lesquels il convient de citer particulièrement les remplissages des fonds, dont ce constructeur fut un des premiers à faire usage.

Les remplissages des fonds ne s'opposent pas aux déformations angulaires telles que nous les avons définies tout à l'heure, mais ils n'en résistent pas moins très-efficacement à l'arc; en effet, un navire qui se déforme peut être assimilé à un corps prismatique sollicité à la flexion et dont les fibres supérieures

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSTRUCTION DE NAVIRES.

s'allongent, tandis que les fibres inférieures sont comprimées; si l'on s'oppose à l'un ou l'autre de ces effets, ou à tous les deux à la fois, on empêche soit partiellement, soit complétement la flexion de se produire. Or il est évident que les remplissages des fonds résistent énergiquement à la compression, et qu'ainsi ils contribuent pour une forte part à la réduction de l'arc. Quoi qu'il en soit, le système *diagonal* de Robert Sepping a joui en Angleterre d'une certaine faveur et il en a été fait application sur un grand nombre de bâtiments de la marine militaire; il fut introduit en France, vers 1822, par M. Boucher, ancien inspecteur général du génie maritime, qui, profitant de l'accroissement de solidité résultant de l'emploi de porques obliques, réduisait l'échantillon de la membrure de la basse carène, et parvenait ainsi à construire des vaisseaux avec des bois n'ayant que l'échantillon ordinaire des frégates. Mais ce système présentait l'inconvénient d'augmenter notablement la main-d'œuvre et était sujet à plusieurs défauts, en sorte qu'il a bientôt été abandonné.

Vaigrage oblique et lattes en fer. Actuellement on dispose le vaigrage obliquement en lui donnant la direction convenable pour qu'il travaille par compression, et on le croise par des lattes en fer plat dirigées dans le sens de la traction. Ce mode de liaison a d'abord été employé pour les bâtiments à voiles, dont les formes ne permettaient pas de le disposer d'une manière bien efficace; mais il a pris une importance capitale dans la construction des bâtiments à vapeur qui exigeaient des moyens de consolidation exceptionnels à cause de leur grande longueur et des larges ouvertures qui interrompent leur ponts.

La fig. 7 ci-jointe donne un exemple de vaigrage oblique : dans la partie supérieure des couples, la muraille est sensiblement plane, et les joints des vaigres sont dirigés suivant des *droites* inclinées à 45°; dans la portion de la carène où les courbures sont plus prononcées, ces joints sont déterminés à l'aide des lattes flexibles qui prennent la direction des lignes de plus courte distance; cette précaution est indispensable pour éviter *l'épaule* que prendraient les vaigrages, si leurs joints étaient tracés dans toute leur étendue en prolongement de la partie supérieure. La direction des lattes en fer est obtenue de la même manière; on leur donne 15 à 20 centim. de largeur sur 15 à 18 millim. d'épaisseur; ces dimensions sont d'ailleurs proportionnées à la grandeur du bâtiment.

Les lattes placées sur vaigrage ont été primitivement fixées à la charpente, au moyen de chevilles en fer, que l'on était obligé de river sur membrures, afin d'éviter leur contact avec le doublage, contact qui aurait entraîné leur prompte oxydation; cette disposition occasionne des difficultés que l'on a évitées en faisant usage de chevilles en cuivre rivées sur bordé. Ces chevilles ne subissent aucune altération et ne provoquent pas d'oxydation exceptionnelle dans les lattes qui ne sont pas baignées par l'eau de mer; en outre, elles contribuent à la tenue du bordé de la carène. Actuellement on obtient de très-bons résultats en fixant les lattes au moyen de vis à bois, à bout perdu dans la membrure.

Les lattes en fer placées par-dessus le vaigrage ne travaillent pas d'une manière complétement satisfaisante; elles résistent par extension, et par suite dans la partie inférieure de la cale, où leur courbure est assez prononcée, elles peuvent se redresser entre les points qui fixent à la coque, et laisser ainsi un certain jeu aux déformations qui tendent à se produire. Pour être dans des conditions tout à fait avantageuses à leur mode d'action, les lattes devraient être placées sur la surface extérieure de la charpente; dans ce cas la traction qu'elles éprouveraient les appliquerait de plus en plus sur la membrure sans altérer leur forme primitive. Cette disposition a été quelquefois adoptée, mais elle présente certaines difficultés; ainsi elle exige que le parage soit exécuté extérieurement sur toute la hauteur occupée par les lattes, et qui entraîne l'enlèvement de plusieurs lisses et de plusieurs rangées d'acores à la fois; pour les grands bâtiments il pourrait en résulter des déformations sensibles; pour les petits navires ce danger est moins à craindre, on peut se contenter de les acorer par les petits fonds, lorsque les revêtements intérieurs sont en place, et l'on peut alors leur appliquer des lattes extérieures, s'étendant depuis le plat bord jusqu'au bout de la varangue, ce qui est bien suffisant pour donner de bonnes liaisons. Ce système a été employé dans nos arsenaux pour plusieurs canonnières de première classe; M. Normand, constructeur au Havre, en fait également usage pour des navires de trois à six cents tonneaux.

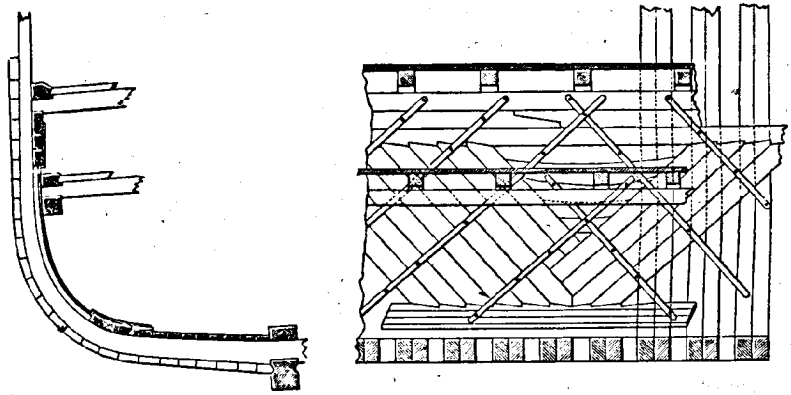


Fig. 7.

De la voilure. On détermine la voilure d'un bâtiment dans le but de lui imprimer la plus grande vitesse possible : or la force impulsive étant proportionnelle à la surface S de la voilure, et la résistance

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la carène étant de son côté proportionnelle à la surface B^2 du maître-couple, ce sera le rapport de ces deux surfaces, ou $\frac{S}{B^2}$ qui donnera une idée de la vitesse, que des voilures données imprimeront à des bâtiments de même espèce. D'un autre côté on n'est pas maître de placer sur un navire déterminé une surface de voilure arbitraire, il faut que le moment de stabilité soit assez grand pour équilibrer le moment de la voilure, sans qu'il en résulte d'inclinaisons trop considérables. Cette condition limite à la fois la surface S, et la hauteur H de son centre de gravité.

Quant à la position du centre de voilure dans le sens de la longueur, elle doit être fixée de telle manière que, les voiles majeures étant établies par un temps moyen, le bâtiment se trouve sensiblement équilibré, qu'il ne soit ni mou ni ardent, et conserve une direction constante, sans que l'on ait besoin de recourir au gouvernail, ou de modifier l'état de la voilure, ce qui, dans l'un ou l'autre cas, serait toujours nuisible à la vitesse. Ce résultat dépendra des positions relatives du centre de voilure et du *centre de résistance* de la carène; mais comme celui-ci n'est pas connu, on se contente de mesurer la distance du centre de voilure, à la verticale passant par le milieu de la flottaison, et l'on admet que pour des voilures *bien balancées*, le rapport de cette distance à la longueur totale du navire doit rester compris entre des limites déterminées. Lors donc que la surface de la voilure et son moment d'inclinaison auront été convenablement calculés, il restera à assigner à son centre de gravité la position convenable dans le sens de la longueur; à cet effet on peut faire varier la surface des voiles afférentes à chaque mât, ou plutôt faire varier la position des mâts eux-mêmes en les reportant plus de l'avant, ou plus de l'arrière, suivant les conditions à remplir. (Voyez VOILURE.)

Proportions de la voilure pour les bâtiments à voiles. Les dimensions de la voilure sont déduites de celles des mâts et des vergues, qui ont été fixées pendant longtemps, pour les bâtiments de l'ancienne flotte, par un règlement ministériel daté de 1835. D'après ce règlement, la valeur de $\frac{S}{B^2}$ était : de 30 à 33 pour les vaisseaux, de 37 à 40 pour les frégates, de 42 à 45 pour les corvettes, et s'élevait jusqu'à 63 pour les navires de rang inférieur. Les voilures considérables des petits bâtiments paraîtraient devoir leur assurer de grandes vitesses, et en effet par beau temps et sur une mer unie, ils ont une marche supérieure et peuvent servir d'éclaireurs à une armée navale; mais par grosse mer ils perdent tous leurs avantages; la résistance qu'ils éprouvent par suite du choc des lames est beaucoup plus considérable que pour les grands navires, et c'est à peine si, avec leurs voilures exagérées, ils peuvent marcher de conserve avec les vaisseaux. La distance du centre de voilure en avant du milieu est comprise entre 0,040 et 0,066 de la longueur totale de la flottaison; ces limites sont assez écartées sans doute, mais l'expérience démontre qu'elles sont convenablement en rapport avec les besoins de la manœuvre.

Voilure des bâtiments du commerce. Les bâtiments de la marine marchande étant établis pour des services très-dissemblables, il en résulte nécessairement de grandes variétés dans les proportions de leurs voilures, et il est impossible de donner aucune règle uniforme sur la manière dont elles sont déterminées; il y a lieu d'observer cependant que, pouvant rentrer à leur port expéditeur, sans fret de retour, ils doivent être susceptibles de porter leur voilure à l'état lége, ou tout au moins, en n'embarquant qu'une quantité de lest modérée; cette condition conduit à des surfaces de voilures inférieures à celles qui résulteraient de leur stabilité en pleine charge; ces surfaces réduites sont d'ailleurs moins onéreuses que les surfaces plus développées, parce qu'elles exigent un équipage moins nombreux. Suivant la pratique des constructeurs français, la surface de voilures des navires de 600 tonneaux, les plus employés pour la navigation au long cours, est mesurée à raison de $0^{m2},80$ à $0^{m2},90$ par tonneau de déplacement; ce qui revient à 27 ou 30 fois la surface du maître-couple, proportion très-modérée eu égard à la grandeur de ces navires. Pour les petits bâtiments, des raisons d'économie, conduisent à employer des voilures plus réduites encore, aussi n'ont-ils que de médiocres vitesses par tous les temps.

Dans la marine marchande américaine, la mâture a été l'objet de soins tout particuliers, tant au point de vue des vitesses du bâtiment qu'à celui de la facilité de la manœuvre. Sur les clippers de grande dimension, la surface de la voilure atteint jusqu'à 42 fois celle du maître-couple, chiffre très-élevé, si on le compare à celui que nous indiquions tout à l'heure pour les navires français; ce résultat important provient de ce que ces navires ayant plus de longueur pour une même section transversale, leur moment de stabilité reçoit, par cela même, un accroissement correspondant. Sur les transports ordinaires de la marine américaine, les surfaces de voilures restent proportionnées sensiblement de la même manière que dans nos navires du commerce.

NAVIRES EN FER.

Premiers navires en fer. La première idée des bâtiments en fer est due à l'Angleterre et remonte déjà à une époque assez reculée; M. Grautham, dans son *Traité des bâtiments en fer*, cite un écrit de 1787 dans lequel il est fait mention d'un bateau en tôle, construit par M. Wilkinson, directeur des fonderies de Bradley, et employé sur un canal à transporter les produits de son usine. L'usage de semblables bateaux n'a pas tardé à se généraliser sur les canaux; mais le premier *navire à vapeur en fer* date d'une époque beaucoup plus récente : ce fut le *Aaron Manby*, construit par MM. Horsley et C° du Straffordshire, et destiné à naviguer sur la Seine, entre Paris et Saint-Cloud; il arriva à Paris commandé par le capitaine Napier (devenu depuis le célèbre amiral Napier), et accomplit sa première traversée en juin 1822. Depuis lors les constructions en fer prirent d'abord une certaine importance, bien que limitées aux bateaux à vapeur de rivières, et ce n'est qu'en 1838 qu'il en a été fait application aux bâtiments marins. Les navires en fer se sont ensuite rapidement multipliés, surtout dans la marine à vapeur, à laquelle ils conviennent tout particulièrement, et paraissent appelés à acquérir une importance de plus en plus considérable.

Caractères propres aux bâtiments en fer. Le caractère particulier des bâtiments en fer consiste dans la disposition spéciale des revêtements extérieurs, dont les virures, au lieu d'être simplement juxtaposées et réunies par les couples, comme dans les bâtiments en bois, sont directement liées les unes aux autres le long de leurs arêtes longitudinales à l'aide de nombreux rivets. Constitué de la sorte, le bordé pourrait déterminer à lui seul les formes de la carène, si l'on voulait lui donner une épaisseur suffisante pour résister aux poussées extérieures, et la membrure ne serait pas indispensable; cependant il est nécessaire de la conserver afin d'augmenter la rigidité des murailles, et de répartir convenablement les pressions provenant soit des ponts, soit des machines qui reposent sur les fonds du navire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Poids de la coque. Dans les navires en fer on peut faire travailler utilement tous les matériaux employés, et les faire concourir à la solidité de l'ensemble de la construction. Le bordé, en quelque sorte d'une seule pièce, oppose une résistance considérable aux flexions longitudinales; les membrures sont très-résistantes, quoique d'un faible volume, et enfin les liaisons transversales s'exécutent avec la plus grande facilité : aussi les bâtiments en fer présentent-ils une rigidité inconnue dans les navires en bois, quoique leur poids de coque, comparé au déplacement, reste notablement inférieur à celui de ces derniers. Ce poids de coque lui-même varie d'ailleurs entre des limites assez étendues : il est compris entre 25 et 48 pour 100 du déplacement total, suivant l'échantillon des matériaux dont il est fait usage. Les navires les plus légers sont construits avec des tôles de faible épaisseur; ils peuvent avoir une solidité très-suffisante, pourvu qu'ils soient exécutés avec soin; mais les effets de l'oxydation y sont très-sensibles, et leur durée doit nécessairement en être affectée. Les navires plus pesants comportent des tôles plus épaisses; ils n'exigent pas une exécution aussi soignée, et résistent plus longtemps aux effets de l'oxydation. Cependant, pour obtenir de bons résultats, il n'est pas nécessaire d'exagéger l'échantillon des matériaux; il est bien préférable d'apporter un peu plus de précision dans les différents assemblages, et l'on peut alors facilement obtenir des coques très-solides, dont le poids ne dépasse pas 36 pour 100 de déplacement total. Ce poids de coque est très-faible relativement à celui des bâtiments en bois, et constituerait déjà un avantage très-marqué pour les bâtiments en fer; mais de plus, l'épaisseur du bordé étant réduite à quelques millimètres, et celle de la membrure étant également très-restreinte, il en résulte que, à déplacement égal, l'épaisseur de la muraille est beaucoup moindre, et la capacité de la cale notablement plus grande que celle d'un bâtiment en bois, et c'est là un nouvel avantage qui ne le cède pas au premier.

Avantages et inconvénients des bâtiments en fer. En résumé, les bâtiments en fer jouissent d'une très-grande solidité, que le constructeur est maître d'augmenter, en quelque sorte, à son gré; le poids de coque est moindre, et les capacités de la cale sont plus considérables que dans les navires en bois de même déplacement. Quant à leur durée, elle a d'abord été mise en question, et l'on redoutait qu'elle ne fût très-limitée par suite des effets de l'oxydation sur les tôles constamment en contact avec l'eau de mer; mais l'expérience a bientôt démontré que ces craintes étaient exagérées : l'oxydation s'opère lentement et également sur toute la surface de la tôle, et l'on peut, d'ailleurs, la prévenir, au moins en grande partie, en ayant soin de peindre au minium toutes les parties immergées de la carène, et d'entretenir cette peinture en bon état. Grâce à ces précautions, la durée des bâtiments en fer est en quelque sorte indéfinie, et des navires ayant plus de vingt ans d'existence font actuellement un excellent service, sans présenter aucun signe de détérioration ou de décrépitude : la longue durée de la coque doit donc être rangée au nombre des avantages propres aux navires en fer.

A côté de ces avantages considérables, on doit cependant signaler un défaut qui n'est pas sans gravité : ce défaut consiste dans le peu de résistance opposé par le bordé aux chocs extérieurs; ainsi les projectiles y produisent de tels dégâts que, pour cette seule raison, les navires en fer ordinaires, sont dans l'impossibilité de prendre part à un combat. Dans le cas d'un échouage sur une roche dure, les tôles du bordé éprouvent des déchirures larges et profondes, susceptibles de faire couler le navire en peu d'instants : sous ce rapport les navires en fer sont inférieurs aux navires en bois à fonds pleins, qui peuvent impunément perdre une partie de leur quille ou de leur bordé. Le seul moyen de remédier à ce grave défaut consiste à partager la cale en plusieurs compartiments par des *cloisons étanches*, s'étendant d'un bord à l'autre, dans toute la partie située au-dessous de la flottaison; ces compartiments sont indépendants, ou tout au moins ne communiquent que par des ouvertures de faibles dimensions, que l'on peut fermer à volonté, en sorte que si une voie d'eau se déclare, on est maître de la circonscrire dans le compartiment où elle s'est produite, et le bâtiment continue à naviguer sans danger jusqu'à ce qu'il ait atteint un port où l'on puisse le réparer.

Membrure, quille et carlingues. La membrure est composée de *fers d'angle* ou *cornières*, pliés et équerrés à chaud, suivant les gabarits et équerrages relevés à la manière ordinaire : les cornières étant fort longues, deux ou trois au plus suffisent pour former un couple de la plus grande dimension; on les réunit alors par des empâtures de 1 mètre à 1m,30, fortement rivées l'une sur l'autre; on peut également les faire simplement butter bout à bout, en les réunissant ensuite par des gardes ou éclisses en fer, qui jouent le même rôle que les croisements des empâtures.

Dans les fonds, les couples sont consolidés par une varangue consistant en une tôle verticale clouée sur le côté de la cornière; la hauteur de la varangue est plus ou moins considérable, suivant la grandeur du navire; mais, dans tous les cas, elle diminue progressivement, pour se réduire à rien à la naissance des façons de la carène. Dans les navires de grande dimension, la varangue est consolidée à la partie supérieure par une *cornière renversée*, placée à l'opposé de celle qui forme le couple; cette cornière est prolongée ensuite au delà de la varangue, et vient se river le long de la face verticale de la cornière du couple, en sorte que la section transversale de celui-ci affecte la forme d'un Z (*fig.* 8 *b*). Pour les petits bâtiments, la cornière renversée s'arrête à l'extrémité de la varangue, et dans la partie haute, la membrure est composée d'une cornière simple *a*.

Les varangues des couples sont exécutées dans deux systèmes différents; dans le premier elles croisent la quille à la manière ordinaire, tandis que dans le second elles sont séparées, ainsi que les couples, en deux branches égales, réunies après coup dans le plan diamétral.

Dans le premier cas (*fig.* 8, *A*) on emploie généralement des quilles pleines en fer forgé, ou composées de plusieurs épaisseurs de tôles jointives et réunies par des rivets; les couples ne font que poser sur la quille, leur jonction est opérée par les galbords pliés à peu près à angle droit, et dont un des côtés s'applique sur leur surface extérieure, et l'autre sur la face verticale de la quille. Dans ce système, les couples sont réunis en outre par des carlingues de différentes formes; la plus usitée actuellement est une *carlingue intercalaire*, *a b* (*fig.* 8, *A*), composée de plusieurs tôles verticales, intercalées à la file les unes des autres entre les varangues avec lesquelles elles sont reliées par des cornières verticales, *c d*; ces tôles dépassent les varangues à la partie supérieure, et leurs prolongements sont réunis à l'aide de deux fortes cornières longitudinales rivées l'une par l'autre, et rivées individuellement avec les cornières renversées des couples. Les carlingues intercalaires présentent une grande résistance à la compression et procurent une consolidation puissante sans empiéter sur les capacités de la cale.

Lorsque les varangues sont interrompues dans le plan diamétral, la quille, proprement dite, peut être complétement supprimée; elle est remplacée par une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSTRUCTION DE NAVIRES.

tôle dirigée dans le plan diamétral, qui joue à la fois le rôle de la quille et celui de la carlingue (*fig.* 8, B); cette tôle reçoit une hauteur au moins égale à celle des varangues qui viennent s'y fixer à l'aide de fers d'angle verticaux; des rivets placés dans ces fers

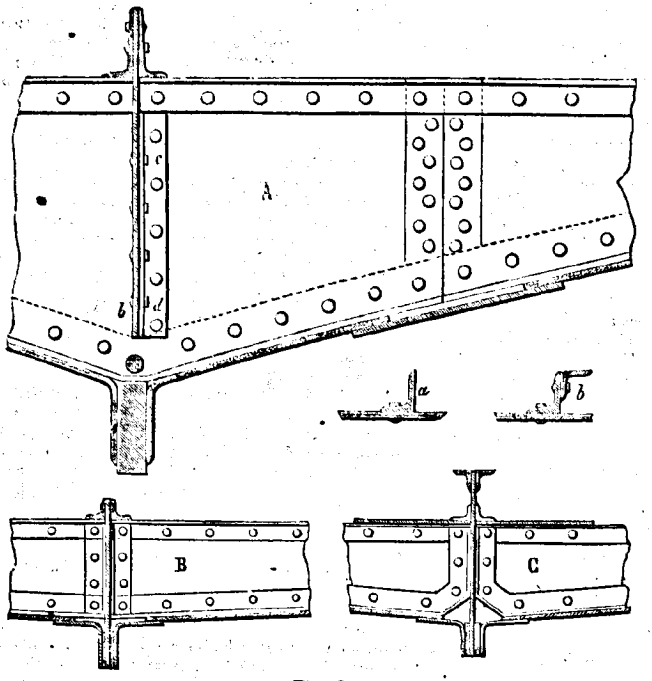


Fig. 8.

d'angle réunissent les deux moitiés de la varangue, en même temps qu'ils assujettissent et consolident la tôle centrale. Quelquefois la saillie extérieure de la quille est complétement supprimée, ce qui présente l'avantage de supprimer en même temps les galbords pliés, qui sont d'une exécution difficile et exigent des tôles d'une qualité supérieure. Le plus ordinairement, toutefois, on conserve une quille saillante formée par le prolongement de la tôle centrale, et, dans ce cas, il convient de la consolider par des tôles placées latéralement, afin qu'avec les galbords elle présente un ensemble assez rigide pour résister aux échouages. La carlingue, constituée ainsi que nous venons de l'expliquer, présente une grande hauteur et jouit d'une résistance considérable que l'on est maître, d'ailleurs, d'augmenter encore en la prolongeant au-dessus des varangues, et en la consolidant à l'aide de cornières adossées et rivées sur les couples : si ce prolongement reçoit une certaine étendue, on peut même ajouter à sa partie supérieure deux cornières renversées qui lui donnent encore un surcroît de solidité (*fig.* 59, C). Il est à remarquer que dans ce système on peut, sans inconvénient, abattre un onglet à l'angle inférieur de chaque demi-varangue, et établir ainsi une facile circulation pour les eaux de la cale, le long de la carlingue et du bordé.

Indépendamment de la carlingue centrale, on dispose souvent des carlingues latérales dans le but de consolider les fonds du navire; on en place deux de chaque bord : une à l'extrémité de la varangue, et l'autre à moitié-distance entre celle-là et le plan diamétral. Dans les petits navires, les carlingues latérales sont composées simplement de deux cornières adossées, rivées l'une sur l'autre suivant leur côté vertical, et rivées par leur côté horizontal sur les cornières renversées des couples. Dans les grands navires, ces carlingues sont dans le système *intercalaire*, tel que nous l'avons décrit pour la carlingue principale.

Des baux. La structure des baux varie avec les efforts qu'ils doivent supporter. Pour les ponts lourdement chargés, ils se composent d'une bande de tôle centrale, armée à ses arêtes supérieures et inférieures de deux cornières adossées (*fig.* 9, *a*); les cornières supérieures sont indispensables pour recevoir le bordé qui est toujours en bois et assujetti au moyen de vis mises par dessous les cornières; la tôle centrale est formée, autant que possible, d'une seule longueur; actuellement les usines métallurgiques fournissent sans difficulté des tôles préparées pour cet usage, même dans les plus fortes dimensions.

Pour les baux d'une importance moindre, on emploie très-avantageusement des fers préparés, présentant à l'arête inférieure un renflement ou boudin *b*, suffisant pour donner à cette partie la rigidité nécessaire; on se contente alors de placer deux cornières à la partie supérieure. On emploie aussi quelquefois des fers façonnés en forme de T (*c*), qui présentent par eux-mêmes les dispositions convenables pour l'établissement du bordé, et qui dispensent de tout travail d'assemblage; mais les fers de cette espèce sont toujours d'assez faibles dimensions et ne conviennent que pour de petits navires, ou en général pour des ponts peu chargés. Enfin, dans des cas exceptionnels, et pour de très-petits navires, les baux peuvent être formés par une cornière simple.

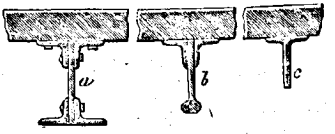


Fig. 9.

Liaison des baux avec la muraille. Lorsque l'on fait la distribution des baux, il convient de faire concorder leur écartement avec celui de la membrure, afin que le plan diamétral de chacun d'eux puisse toujours venir s'appliquer contre la face plane d'un couple. Les baux légers sont reliés à la muraille à l'aide d'une équerre en fer, rivée sur le bau lui-même et sur le couple (fig. 10, *a*); les baux à deux cornières peuvent être fixés de la même manière, cependant il est à la fois plus élégant et plus solide de remplacer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'équerre en tôle rapportée, par un élargissement pratiqué sur le bout du bau lui-même et qui remplit exactement le même objet que l'équerre qu'il remplace ; ces baux sont en outre réunis par une virure de tôle placée à plat par-dessus, et nommée *tôle gouttière*, par analogie avec les virures des gouttières des bâtiments en bois, dont elle occupe la position ; cette virure de gouttière est quelquefois prolongée entre les couples, jusqu'au bordé extérieur auquel elle est reliée par de petits bouts de cornières; d'autres fois on se contente de l'arrêter au contact des couples, avec lesquels on la relie encore à l'aide d'une cornière longitudinale, rivée sur les cornières renversées s'il en existe, ou sur de petits bouts de cornières renversées, disposés spécialement pour établir cette

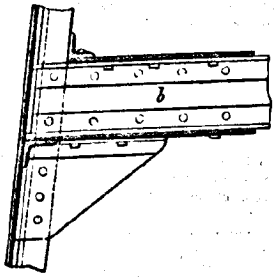


Fig. 11.

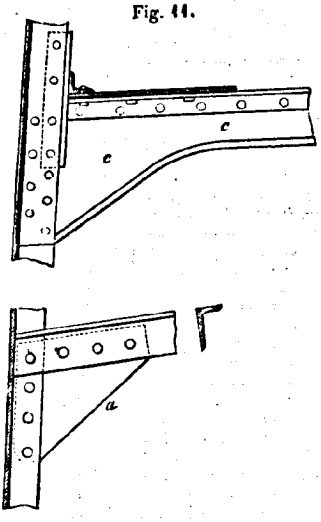


Fig. 10.

jonction (fig. 10, c). Pour les baux à quatre cornières, qui appartiennent aux ponts les plus lourdement chargés et à des navires qui fatiguent beaucoup, on multiplie les moyens de liaison ; ils sont d'abord soutenus par une tôle formant *bauquière*, régnant sur toute la longueur du navire et réunie à la muraille par des bouts de cornière; à leur partie supérieure est fixée une virure de gouttière, et enfin sous chacun d'eux est placée une équerre en tôle clouée d'une part sur la face latérale d'une couple, et de l'autre sur la tôle bauquière ou plutôt sur la face inférieure du bau, par l'intermédiaire d'un bout de cornière horizontale (fig. 11, *b*). Les baux à quatre cornières peuvent d'ailleurs être réunis à la muraille à l'aide d'un élargissement pratiqué à l'extrémité de la tôle centrale ; dans ce cas, les cornières inférieures suivent leur profil, et il serait bon que l'une d'elles formât la continuation de la cornière renversée du couple.

Il n'est pas fait usage de liaisons obliques dans les bâtiments en fer; la grande rigidité du bordé de carène les rend inutiles ; cependant, et surtout dans les grands navires, on ne néglige aucun moyen d'augmenter les liaisons longitudinales : ainsi on renforce quelquefois la muraille au moyen de ceintures intérieures réparties de distance en distance dans la partie verticale, et composées chacune d'une virure de tôle rivée sur les cornières renversées des couples, et consolidée par des cornières aux arêtes supérieures et inférieures. Dans les fonds, les efforts de flexion sont combattus par les carlingues centrales et latérales; enfin, au nombre des liaisons longitudinales on doit encore compter les tôles bauquières et les gouttières, qui résistent très-efficacement à la flexion ; quelquefois, dans le seul but d'augmenter cette résistance, on ajoute encore par-dessus les baux des bandes de tôle dirigées obliquement d'un bord à l'autre. Enfin, dans quelques grands navires, et toujours pour augmenter les résistances à la flexion, on a pris le parti de placer un bordé général en tôle, soit par-dessous les baux, soit par-dessus, sans préjudice toutefois du bordé ordinaire en bois qui est toujours conservé.

Du bordé; différentes espèces de joints. Le bordé extérieur est composé de feuilles de tôle, auxquelles on conserve le plus de longueur possible, tout en leur donnant une largeur modérée, afin qu'elles puissent suivre sans difficulté les façons de la carène; les abouts des pièces composant une même virure de bordé sont réunis deux à deux par une bande de tôle de même épaisseur, qui les recouvre l'une et l'autre de quantités égales, et rivée avec chacune d'elles par un ou deux rangs de rivets (fig. 12, *a*, *b*).

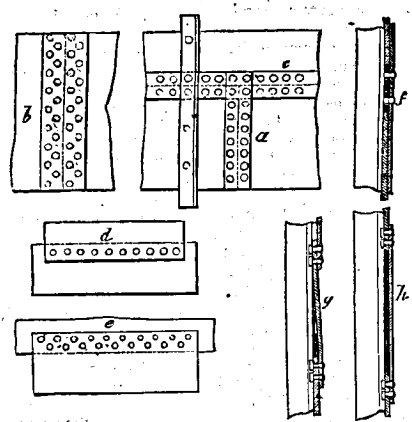


Fig. 12.

Les joints des virures consécutives sont formés de différentes manières : les tôles peuvent butter simplement arête contre arête, et dans ce cas elles sont réunies par une bande longitudinale *c*, placée intérieurement et rivée sur chacune d'elles, comme les bandes des joints verticaux. Ce système constitue le bordé à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

franc bord; il donne à l'extérieur une surface lisse et continue, mais à l'intérieur les bandes de recouvrement forment des saillies qui empêchent le bordé de porter directement sur la membrure; les bandes seules sont en contact avec les couples, et entre ceux-ci et le bordé il reste des espaces vides, égaux à une épaisseur de tôle; pour fixer convenablement le bordé à la membrure, il est nécessaire d'interposer des cales dans ces vides (fig. 12, *f*), afin que les rivets de jonction ne fassent pas gondoler les tôles.

Les joints à franc bord, lorsqu'ils sont exécutés avec soin, présentent une grande résistance à la flexion longitudinale; aussi les emploie-t-on de préférence pour la partie haute, ou pour les œuvres mortes des bâtiments en fer.

Les virures de bordé peuvent également se recouvrir mutuellement de certaines quantités, à la manière des *bordés à clins* ordinaires (fig. 12, *d, e*), et être réunies d'ailleurs par une ou deux lignes de rivets; dans ce cas le bordé ne touche la membrure que par ses arêtes extrêmes, en laissant entre elle et lui des vides de largeur variable, *g;* par suite les cales interposées doivent être effilées en forme de coins, ce qui complique nécessairement leur confection. Les joints à clin présentent moins de résistance à la flexion que les joints à franc bord, mais ils exigent une quantité de rivets moitié moindres et sont par conséquent moitié moins coûteux; on peut sans inconvénient les employer pour la carène, où les tôles travaillent peu par flexion dans le sens de leur hauteur, et ne sont pas sollicitées à glisser les unes sur les autres.

Depuis quelques années il a été apporté à la disposition des clins une légère modification, qui facilite notablement la mise en place du bordé et supprime les cales effilées qui sont toujours d'une exécution difficile; les virures de deux en deux sont appliquées directement sur la membrure, et les virures intermédiaires sont à recouvrement sur les deux virures voisines (fig. 12, *h*); ces dernières ne touchent pas la membrures, dont elles sont éloignées d'une épaisseur de tôle : il y a donc encore lieu de faire usage de cales, mais elles sont d'épaisseur uniforme, comme pour les joints à franc bord, et de plus leur nombre est moitié moindre que dans le bordé à clin ordinaire, ce qui fait une notable économie de main-d'œuvre. C'est ce système de bordé auquel on donne actuellement la préférence; il est à la fois plus simple d'exécution et plus solide que le bordé à clin ordinaire.

Du rivetage. Les rivets du bordé ne doivent faire aucune saillie sur la carène; en conséquence le trou percé dans la tôle extérieure est fraisé en tronc de cône, le rivet est introduit par l'intérieur et refoulé dans cette ouverture de manière à affleurer exactement la surface extérieure; dans les parties où les les joints s'appliquent sur la membrure, il est même nécessaire de fraiser les rivets des deux côtés, en sorte qu'ils ne présentent aucune saillie ni à l'intérieur ni à l'extérieur; dans tous les cas, ces rivets sont refoulés ou rabattus à l'aide du marteau à main, comme les rivets de chaudières.

Le diamètre et l'espacement des rivets doivent être mis en rapport avec l'épaisseur des tôles : lorsqu'ils sont trop rapprochés, le bordé se trouve découpé le long de la couture et ne présente plus aucune résistance; s'ils sont trop éloignés, la charge qu'ils supportent devient excessive, tandis que les tôles n'étant plus convenablement appliquées l'une contre l'autre, dans l'espace compris entre deux rivets consécutifs, ne forment pas un joint étanche. Quel que soit, d'ailleurs, le mode de rivetage et l'espèce de joint employé, ce dernier est toujours complété par le *mattage*, opération qui consiste à tailler le bord de la tôle en biseau et à refouler son arête extérieure entre les deux surfaces en contact; mais, lorsque les rivets sont trop écartés, le mattage se fait mal, et l'inconvénient que nous venons de signaler ne cesse pas de subsister.

Dans la pratique, le diamètre des rivets est égal au double de l'épaisseur de la tôle, et leur écartement de centre en centre est de trois diamètres au moins et de quatre au plus. Pour les joints à un seul rang de rivets, on doit maintenir l'écartement à la limite inférieure; on se tient au contraire à la limite supérieure pour les joints à deux rangées.

Lorsque les surfaces lisses ne sont pas indispensables, on ne fait pas usage de rivets à tête fraisée, mais on leur conserve des têtes saillantes façonnées au marteau à main : on peut encore, dans ce cas, former les rivures à la *bouterolle*, on plaçant sur l'extrémité saillante du rivet qu'il s'agit de rabattre une sorte d'étampe, présentant la forme qu'on veut lui donner, et en la frappant à grands coups de masse, tandis que la tête est contre-tenue du côté opposé à l'aide d'un levier ou *abattage*. Ce système de rivure est très-économique, et de plus il présente l'avantage de refouler sur lui-même le corps du rivet en lui faisant remplir très-exactement les trous percés dans les tôles, quand même ces trous n'auraient pas une forme régulière, ou ne se correspondraient pas bien exactement. Le rivetage à la bouterolle donne des joints très-solides, et souvent assez étanches pour que le mattage soit superflu; il convient parfaitement à toutes les parties intérieures de la construction, telles que varangues, cornières renversées des couples, carlingues, bauquières, baux et cloisons étanches. Il existe des machines propres à exécuter le rivetage à la bouterolle; elles donnent un très-bon travail, mais leur usage n'est commode qu'autant qu'il s'applique à des pièces facilement manœuvrables (Voy. CHAUDRONNERIE), et ne convient par conséquent que pour un bien petit nombre de celles qui font partie de la construction du navire.

CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS. Avant d'établir les lois qui président à l'effet produit par les couleurs juxtaposées, il est bon de dire un mot de ces couleurs même, au point de vue physique, sans entrer dans de longs détails sur la théorie de la lumière, étant obligé de renvoyer aux traités spéciaux les personnes qui désireraient acquérir des connaissances plus étendues. (Voy. INTRODUCTION.)

On sait que la lumière blanche n'est pas homogène, et que si on laisse tomber un faisceau de lumière solaire sur un prisme de verre, les rayons correspondant aux diverses couleurs étant inégalement réfrangibles (différemment écartés, par leur passage à travers le prisme, de leur direction primitive), viendront donner sur un écran placé derrière le prisme une image diversement colorée, renfermant toutes les couleurs dont la réunion forme la lumière blanche.

On déduit de là que la couleur d'un corps est la sensation que produisent sur l'œil les rayons lumineux répondant à cette couleur et réfléchis par ce corps, pendant que les autres sont absorbés ou dispersés.

L'aspect du spectre indique clairement des couleurs fondamentales dont l'œil a une perception plus nette que des couleurs intermédiaires, de même que l'oreille distingue un son musical correspondant à des vibrations régulières, d'un bruit confus.

Ces couleurs fondamentales sont : Le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet.

Cette division en sept couleurs sur laquelle l'on a voulu, par une assimilation forcée, faire reposer l'analogie de l'harmonie des couleurs avec l'harmonie des sons, n'est pas fondée, et en écartant comme couleurs simples celles qui résultent évidemment du mélange des deux voisines, elles se réduisent à trois : le rouge, le jaune et le bleu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONTRASTE DES COULEURS.

Le jaune est plus lumineux que le rouge, et celui-ci plus que le bleu.

La réunion de plusieurs des couleurs du spectre ne forme pas une couleur nouvelle, mais bien une autre couleur du spectre, une autre vitesse de vibration. La réunion de toutes les couleurs donne de la lumière blanche si elles sont d'origine solaire, si elles sont lumineuses; du noir, du gris, s'il s'agit de substances colorantes.

Newton a donné le moyen ci-après de trouver la couleur résultante de la réunion de plusieurs couleurs du spectre au moyen d'une règle dont on n'a pu retrouver la démonstration théorique, qui n'a sans doute jamais existé, et qui paraît reposer sur une évaluation empirique des impressions de notre œil.

Si l'on partage un cercle en sept parties correspondantes aux sept couleurs principales du spectre solaire, ces arcs de grandeurs différentes sont :

60°	— 45′	— 34″	pour le	rouge;
34	— 10	— 38	—	l'orangé;
54	— 41	— 1	—	le jaune;
60	— 45	— 34	—	le vert;
54	— 41	— 1	—	le bleu;
34	— 10	— 38	—	l'indigo;
60	— 45	— 34	—	le violet.

On détermine les centres de gravité de ces arcs, et on imagine en chacun de ces points un poids proportionnel à l'intensité de la couleur correspondante qui doit entrer comme couleur élémentaire dans la teinte que l'on veut déterminer, puis, on cherche le centre de gravité de tous ces poids. On joint ce point au centre du cercle, et prolongeant le rayon jusqu'à la circonférence, celui des sept arcs que cette ligne coupe indique la couleur de la teinte. Suivant que l'intersection sera au milieu ou près d'une des extrémités de l'arc, la teinte sera simplement de la couleur de l'arc ou tirera vers une des couleurs voisines.

De la grandeur que Newton assigne aux arcs correspondants aux couleurs dans la loi remarquable énoncée ci-dessus, on doit conclure que la division du spectre en sept couleurs n'est pas celle que donne dans la pratique la division de la lumière en éléments d'égale valeur. On s'approchera sans doute de l'égale division en divisant les couleurs qui correspondent aux plus grands arcs par des couleurs intermédiaires, formées par la réunion en plus ou moins grande proportion des couleurs entre lesquelles elles sont comprises. Elles viennent rétablir l'égalité de division, ce qui donnerait le tableau suivant pour les couleurs franches :

Rouge, — rouge-orangé, — orangé, — orangé-jaune, — jaune, — jaune-vert, — vert, — vert-bleu, — bleu, — bleu-violet ou indigo, — violet, — violet-rouge.

C'est le point de départ de la composition du tableau dans lequel M. Chevreul a déterminé en quelque sorte mathématiquement les couleurs diverses et dont nous parlerons plus loin.

Passons maintenant à l'étude du *contraste*, c'est-à-dire de la différence et de l'opposition que l'artiste établit entre les nuances, les lumières ou les couleurs d'un tableau, qui n'est beau et agréable à la vue, que quand les couleurs sont appliquées avec goût et suivant des règles fixes et bien déterminées.

Comme on n'est pas encore arrivé à une application générale, ni même à une application particulière positive de règles bien déterminées, on croit généralement dans le monde que la peinture ou le coloris proprement dit est une portion du génie et des facultés données par la nature. Tous les artistes, peintres et coloristes, répètent sans cesse qu'il n'y a point de règles fixes pour le contraste, confondant la faculté d'apprécier à l'œil, par un long exercice, l'effet du contraste des couleurs avec le phénomène lui-même. On doit dire au contraire que le mélange et l'emploi des couleurs pour imiter tel ou tel objet est astreint à une loi positive de l'art, qui apprend à voir le modèle, et à reproduire exactement toutes les modifications qu'il présente, ce que l'analyse des faits permet de plus aisément apprécier : ce sont là les deux points essentiels de la peinture représentative.

C'est M. *Chevreul* qui a découvert et publié le premier cette loi positive. Ce savant chimiste a expliqué avec une sévérité de raisonnement qui ne laisse plus rien à l'hypothèse, à la routine, tous les phénomènes dus au mélange et à la juxta-position des couleurs, pour imiter un objet déterminé.

Il a enfin démontré d'une manière rigoureuse qu'on parvient à imiter un objet coloré en le peignant autrement qu'on ne le voit. Par exemple, pour peindre deux zones contiguës qui paraissent chacune de couleur unie à l'œil, il faut faire du clair-obscur. Si le peintre produisait réellement deux zones de teinte unie, cette imitation présenterait à la vue des effets de clair-obscur. (Voy. *Complément*, ART INDUSTRIEL.)

Ainsi, suivant l'expression de M. Chevreul, le contraste simultané des couleurs est un phénomène qui se manifeste en nous toutes les fois que nous regardons en même temps deux objets différemment colorés, placés l'un à côté de l'autre. Il consiste en ce que la différence de couleur qui peut exister entre les deux objets est augmentée de telle sorte :

1° Que si l'un des objets est plus foncé que l'autre, celui-ci nous paraît plus clair et l'autre plus foncé qu'ils ne le sont réellement;

2° Que les couleurs des deux objets sont elles-mêmes modifiées dans leur nature optique; par exemple, si une feuille de papier bleu est placée à côté d'une feuille de papier jaune, ces deux feuilles loin de nous paraître tirer sur le vert, comme on pourrait le présumer, d'après ce qu'on sait de la production du vert par le mélange du bleu et du jaune, semblent prendre du *rouge*, de sorte que le bleu paraît *violet* et le jaune *orangé*.

Par conséquent, dans le contraste simultané des couleurs, la différence du clair et de l'obscur est augmentée, comme l'est la différence optique des couleurs.

Pour éviter les fausses appréciations qui résultent de la juxtaposition des couleurs, pour fournir une base pour leur définition pratique, M. Chevreul les a rangées dans une table chromatique circulaire qui sert à faire bien comprendre les définitions, et surtout à mieux connaître les couleurs et leurs modifications.

TABLE CHROMATIQUE CIRCULAIRE. Cette table est formée sur un cercle d'un diamètre arbitraire, et divisé en douze secteurs égaux. Ces secteurs représentent autant de *nuances* ou *types de couleurs* différentes modifiées chacune par une petite quantité d'une autre.

On conçoit, cependant, qu'on peut diviser le cercle en 24 ou 48 parties égales, et avoir ainsi un nombre de *nuances* double, quadruple; mais cette multitude de *nuances* serait inutile ou au moins superflue dans la pratique.

Si du centre du cercle on décrit six circonférences; on forme ainsi un cercle de noir pur, et trois zones séparées l'une de l'autre par le blanc pur, et divisées chacune en 12 parties égales.

Dans chaque partie de la zone qui limite le cercle, se trouve placée une nuance distincte qui tient le milieu entre le *clair* et *l'obscur*, ce qui veut dire que cette couleur est aussi éloignée du blanc que du noir. On peut au besoin ajouter à cette couleur, soit des quantités croissante de *blanc pur*, pour former une *dégradation* jusqu'à la lumière ou au blanc, soit une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

couleur brune calcinée, afin de la rehausser et de former une gradation jusqu'au noir.

Chaque couleur, abaissée ainsi par le blanc, ou montée par le *brun*, se nomme *ton*, et l'ensemble de ces tons constitue une *gamme* de couleur.

Nous définirons ainsi les *gammes* de couleurs, savoir :

1° Les *gammes des couleurs primitives franches*, qui comprennent les couleurs que les artistes appellent *simples*, savoir : le *rouge*, le *jaune*, le *bleu*;

2° Les *gammes des couleurs primitives franches* dites *composées* ou *complexes* qui comprennent :

L'*orangé*, produit du mélange du rouge avec du jaune;

Le *vert*, produit du jaune avec du bleu;

Le *violet*, produit du bleu avec du rouge;

Et leurs nuances intermédiaires, le *rouge-orangé*, l'*orangé-jaune*, le *jaune-vert*, le *vert-bleu*, le *bleu-violet*, le *violet-rouge*;

3° Enfin, les *gammes des couleurs* dites *rabattues*, *rompues*, *grises* ou *ternes*, qui sont le résultat du mélange des couleurs *franches* avec du *gris*, depuis le ton le plus clair jusqu'au ton le plus foncé.

Des tableaux reproduits à l'aide de la taille-douce ont fixé les tons possibles des diverses couleurs. Remarquons qu'il y a là une difficulté d'exécution, le mélange des *couleurs primitives simples* ne résultant pas du simple mélange des matières que les peintres et les teinturiers emploient comme couleur *rouge*, couleur *jaune* et couleur *bleue*. En effet, on ne connaît aucune matière qui présente réellement une couleur primitive, c'est-à-dire qui ne réfléchisse qu'une sorte de rayons colorés, soit le rouge pur, soit le jaune pur, ou le bleu pur; par suite, on ne peut parvenir à construire une table chromatique qu'en combinant certaines couleurs rouges, jaunes, bleues, brunes, et dans des proportions, quant à présent, difficiles, ou pour mieux dire, impossibles à déterminer d'une manière bien précise.

Nous sommes donc fondé à conclure que parties égales de deux couleurs mélangées ne donnent pas une gamme de couleur intermédiaire bien franche, et que parties égales de trois couleurs primitives mélangées ne donnent pas le noir pur comme les physiciens l'entendent, mais le plus souvent un gris ou une couleur terne.

On ne peut s'empêcher de reconnaître, avec M. Chevreul, que la plupart des matières colorantes *bleues*, *rouges* ou *jaunes* que nous connaissons, ne donnent par leurs mélanges binaires, que des violets, des verts, des orangés, inférieurs en éclat aux matières colorées qui sont naturellement d'un beau violet, d'un beau vert et d'un bel orangé; ce résultat s'explique facilement si l'on admet avec nous que les matières colorées qu'on mêle deux à deux, réfléchissent chacune au moins deux sortes de rayons colorés, et si l'on admet, avec les peintres et les teinturiers, que dès qu'il y a mélange de matières qui réfléchissent séparément du rouge, du jaune et du bleu, il y a production d'une certaine quantité de gris qui ternit l'éclat des matières mélangées. Enfin, il est encore certain, conformément à cette manière de voir, que les *violets*, les *verts* et les *orangés* qui résultent d'un mélange de matières colorées, sont d'autant plus brillants, que les matières mélangées étaient plus rapprochées l'une de l'autre par les couleurs respectives; par exemple, que le bleu et le rouge mélangés tiraient davantage chacun sur le violet, que le bleu et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur le vert; enfin, que le rouge et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur l'orangé. C'est par des tâtonnements qu'on peut arriver à espacer convenablement les nuances à intervalles égaux.

APPLICATION DE LA LOI DU CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS.

Dans la composition des modèles pour les tapisseries, les tapis, les châles, les impressions sur étoffes, etc., les couleurs ne sont pas nuancées ni fondues les unes dans les autres, ni modifiées par des rayons colorés provenant des objets voisins; l'exécution se réduit généralement au choix des couleurs contiguës et à l'observation des linéaments bien tracés qui les circonscrivent; mais ce choix est encore soumis à la loi du contraste simultané des couleurs.

Cette loi, une fois démontrée (pour employer le langage de son auteur), devient un moyen *à priori* d'assortir les objets colorés pour en tirer le meilleur parti possible, suivant le goût de la personne qui les assemble, d'apprécier si des yeux sont bien organisés pour voir et juger les couleurs, si des peintres ont copié exactement des objets de couleurs connues.

Nous allons donc essayer d'expliquer les règles fondamentales, d'après les divers arrangements que M. Chevreul donne comme l'expression de son goût particulier, et que nous regardons aussi comme des matériaux nécessaires et indispensables aux dessinateurs et aux fabricants de tapisseries, de tapis, d'impressions sur étoffes et de papiers peints (voyez DESSIN).

Couleurs d'intensités égales autant que possible, mises l'une à côté de l'autre, conformément aux règles du contraste simultané des couleurs.

MODIFICATIONS QU'ELLES ÉPROUVENT.

Rouge et orangé.	Tire sur le violet, moins jaune, plus foncé. Tire sur le jaune, plus clair.
Rouge et jaune.	Tire sur le violet, ou est moins jaune, plus foncé. Tire sur le vert, moins rouge, plus clair.
Rouge et vert.	Couleurs complémentaires paraissant plus brillantes.
Rouge et bleu.	Tire sur le jaune. Tire sur le vert.
Rouge et violet.	Tire sur le jaune. Tire sur l'indigo (ou bleu verdâtre).
Orangé et jaune.	Tire sur le rouge. Tire sur le vert brillant, ou est moins rouge.
Orangé et vert.	Tire sur le rouge, moins jaune, plus brillant ou moins brun. Tire sur le bleu, moins jaune.
Orangé et bleu.	Couleurs complémentaires plus brillantes (1).
Orangé et violet.	Tire sur le jaune, ou est moins brun (2). Tire sur l'indigo ou (bleu-verdâtre).

(1) Les physiciens entendent par couleurs complémentaires, celles qui, mélangées dans une certaine proportion, reproduisent la lumière blanche.

Ainsi, ils disent :

Que le rouge est complémentaire du vert, *et vice versâ*.

Que l'orange est complémentaire du bleu, *et vice versâ*.

Que le jaune est complémentaire du violet, *et vice versâ*.

Mais, d'après le langage des peintres et des teinturiers, le mélange de ces couleurs donne au contraire du gris ou du noir; et c'est dans cette dernière acception que nous entendons désigner deux couleurs complémentaires, dont les noms sont écrits sur la table aux extrémités d'un même diamètre.

(2) Pour comprendre qu'une couleur, en tirant sur une autre, devient plus foncée, ou moins brune, il est bon de rappeler que M. Chevreul classe les couleurs en deux groupes, suivant les différences qu'elles présentent quand on les considère sous le point de vue de leur éclat.

Le premier groupe comprend les couleurs lumineuses : rouge, orangé, jaune et vert.

Le deuxième groupe comprend les couleurs sombres : le bleu, le violet, qui, à hauteur égale de ton, n'ont pas l'éclat

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Jaune et vert.	Tire sur l'orangé, brillant. Tire sur le bleu, plus foncé.
Jaune et bleu.	Tire sur l'orangé. Tire sur l'indigo.
Jaune et violet.	Couleurs complémentaires plus brillantes.
Vert et bleu.	Tire sur le jaune. Tire sur l'indigo.
Vert et violet.	Tire sur le jaune. Tire sur le rouge, plus brillant
Bleu et violet.	Tire sur le vert, moins foncé. Tire sur le rouge, plus brillant.
Noir et violet.	Paraissent plus différents que s'ils étaient vus isolément.
Rouge et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus vert.
Orangé et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé Paraît plus orangé.
Jaune et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus violet.
Vert et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus rouge.
Bleu et blanc.	Paraît plus brillant. Paraît plus orangé.
Violet et blanc.	Paraît plus brillant, plus foncé. Paraît plus jaune.
Rouge et gris.	Paraît plus pur, moins orangé peut-être. Paraît plus verdâtre.
Orangé et gris.	Paraît plus pur, plus brillant, plus jaune peut-être. Paraît plus bleu.
Jaune et gris.	Paraît plus brillant, moins verdâtre. Paraît tirer sur le violâtre.
Vert et gris.	Paraît plus brillant, plus jaune peut-être. Paraît tirer sur le rougeâtre.
Bleu et gris.	Paraît plus brillant, plus verdâtre. Paraît tirer sur l'orangé.
Violet et gris.	Paraît plus franc, moins terne. Paraît tirer sur le jaune.
Rouge et noir.	Paraît plus clair ou moins brun, moins orangé. Paraît moins rouge.
Orangé et noir.	Paraît plus brillant et plus jaune, ou moins brun. Paraît moins roux ou plus bleu.
Jaune tirant sur le vert et noir.	Est plus clair, plus verdâtre peut-être(1). Est plus violâtre.
Vert et noir.	Tire faiblement sur le jaune. Paraît plus violâtre ou rougeâtre.
Bleu et noir.	Paraît plus clair, plus vert peut-être. S'éclaircit.
Violet et noir.	Est plus brillant, plus clair, plus rouge peut-être. S'éclaircit.

Première proposition. L'arrangement complémentaire est supérieur à tout autre dans l'harmonie de contraste.

des premières. Toutefois, il faut observer que les tons foncés et rabattus des gammes lumineuses peuvent, dans beaucoup de cas, être assimilés aux couleurs sombres; de même que les tons clairs du bleu et du violet, peuvent quelquefois être employés dans des assortiments de couleurs lumineuses.

(1) Il est des échantillons de jaune qui paraissent appauvris par leur juxtà-position avec le noir.

Les tons doivent être, autant que possible, à la même hauteur pour produire le plus bel effet.

L'arrangement complémentaire auquel le blanc s'associe le plus avantageusement est celui du bleu et de l'orangé ; et l'arrangement auquel il s'associe le moins heureusement est celui du jaune et du violet.

Deuxième proposition. Le rouge, le jaune et le bleu, c'est-à-dire les couleurs simples des artistes, associées deux à deux, vont mieux ensemble, comme harmonie de contraste, qu'un arrangement formé d'une de ces mêmes couleurs et d'une des couleurs binaires des artistes, dont la première peut être considérée comme un des éléments de la couleur binaire qui lui est juxtàposée.

EXEMPLES :

Rouge et jaune	vont	mieux que	rouge et orangé.
Rouge et bleu	—	—	rouge et violet.
Jaune et rouge	—	—	jaune et orangé.
Jaune et bleu	—	—	jaune et vert.
Bleu et rouge	—	—	bleu et violet.
Bleu et jaune	—	—	bleu et vert.

Troisième proposition. Les arrangements du rouge, du jaune ou du bleu, avec une des couleurs binaires des artistes, que l'on peut considérer comme contenant la première, sont d'autant meilleurs comme contraste, que la couleur simple est essentiellement plus lumineuse que la couleur binaire.

D'où il suit que dans cet arrangement il est avantageux que le ton du rouge, du jaune ou du bleu, soit au-dessous du ton de la couleur binaire.

EXEMPLES :

Rouge et violet	vont	mieux que	bleu et violet.
Jaune et orangé	—	—	rouge et orangé.
Jaune et vert	—	—	bleu et vert.

Quatrième proposition. Lorsque deux couleurs vont mal, il y a toujours avantage à les séparer par du blanc.

Dans ce cas, on conçoit qu'il y a plus d'avantage à placer les couleurs sur un fond blanc, en les isolant, qu'en les juxtà-posant.

Cinquième proposition. Le noir ne produit jamais un mauvais effet lorsqu'il est associé à deux couleurs lumineuses ; souvent même, alors, il est préférable au blanc, surtout dans l'arrangement où il sépare les couleurs l'une de l'autre.

EXEMPLES :

Le noir est préférable au blanc dans les arrangements des couleurs suivantes :

Rouge et orangé.
Rouge et jaune.
Orangé et jaune.
Orangé et vert.
Jaune et vert.

Le noir, avec tous ces arrangements binaires, produit des harmonies de contraste.

Sixième proposition. Le noir, en s'associant aux couleurs sombres, telles que le bleu et le violet, et aux tons rabattus des couleurs lumineuses, produit des harmonies d'analogues qui peuvent être d'un bon effet dans plusieurs cas.

L'harmonie d'analogue du noir, associé au bleu et au violet, est préférable à l'harmonie de contraste de l'arrangement blanc, bleu, violet, blanc, etc. ; celle-ci étant trop crue.

Septième proposition. Le noir ne s'associe point aussi heureusement à deux couleurs dont l'une est lumineuse et l'autre sombre, qu'il s'associe à deux couleurs lumineuses.

Dans le premier cas, l'association est d'autant moins agréable, que la couleur lumineuse est plus brillante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EXEMPLES

Avec tous les arrangements suivants, le noir est inférieur au blanc :

Rouge et bleu.
Rouge et violet.
Orangé et bleu.
Orangé et violet.
Jaune et bleu.
Vert et bleu.
Vert et violet.

Enfin, avec l'arrangement *jaune et violet*, s'il n'est pas inférieur au blanc, il ne produit du moins, en s'y associant, qu'un effet médiocre.

Huitième proposition. Si le gris ne produit jamais précisément un mauvais effet en s'associant à deux couleurs lumineuses, dans la plupart des cas, cependant, ses assortiments sont fades, et il est inférieur au noir et au blanc.

Parmi les arrangements de deux couleurs lumineuses, il n'y a guère que celui du rouge et de l'orangé auquel le gris s'associe plus heureusement que le blanc.

Mais il lui est inférieur, ainsi qu'au noir, dans les arrangements rouge et vert, rouge et jaune, orangé et jaune, orangé et vert, jaune et vert.

Il est encore inférieur au blanc avec le jaune et le bleu.

Neuvième proposition. Le gris, en s'associant aux couleurs sombres, telles que le bleu et le violet, et aux tons rabattus des couleurs lumineuses, produit des harmonies d'analogues qui n'ont pas la vigueur de celles du noir ; si les couleurs ne vont pas bien ensemble, il a l'avantage de les séparer l'une de l'autre.

Dixième proposition. Lorsque le gris s'associe à deux couleurs dont l'une est lumineuse et l'autre sombre, il peut être plus avantageux que le blanc, si celui-ci produit un contraste de ton trop fort ; et, d'un autre côté, il peut être plus avantageux que le noir, si celui-ci a l'inconvénient de trop augmenter la proportion des couleurs sombres.

EXEMPLES :

Le gris s'associe plus heureusement que le noir avec :

Orangé et violet.
Vert et bleu.
Vert et violet.

Onzième proposition. Si, en principe, lorsque deux couleurs vont mal ensemble, il y a avantage à les séparer par du blanc, du noir ou du gris, il est important, pour l'effet, de prendre en considération : 1° la hauteur du ton des couleurs, 2° la proportion des couleurs sombres aux couleurs lumineuses, en comprenant dans les premières les tons bruns rabattus des gammes brillantes, et dans les couleurs lumineuses, les tons clairs des gammes bleue et violette.

Prise en considération de la hauteur du ton des couleurs.

EXEMPLES :

L'effet du blanc est d'autant moins bon avec le rouge et l'orangé, que le ton de ces couleurs est plus élevé, surtout dans l'arrangement blanc, rouge, orangé, blanc, etc., l'effet du blanc étant trop cru.

Au contraire, le noir s'allie très bien avec les tons normaux des mêmes couleurs, c'est-à-dire les tons les plus élevés sans mélange de noir.

Enfin, si le gris s'associe moins bien que le noir au rouge et à l'orangé, il a l'avantage de produire un effet moins cru que celui du blanc.

Prise en considération de la proportion des couleurs sombres aux couleurs lumineuses.

Toutes les fois que les couleurs diffèrent trop, soit par l'éclat du noir ou du blanc qu'on veut y associer, l'arrangement où chacune des deux couleurs est séparée de l'autre par le noir ou par le blanc, est préférable à celui dans lequel le noir ou le blanc sépare chaque couple de couleurs.

Ainsi, l'arrangement blanc, bleu, blanc, violet, blanc, etc., est préférable à l'arrangement blanc, bleu, violet, blanc, etc., parce que la répartition du brillant et du sombre est plus égale dans le premier que dans le second ; j'ajouterai que celui-ci a quelque chose de plus symétrique relativement à la position des deux couleurs, et je ferai remarquer que le principe de la symétrie a de l'influence sur le jugement que nous portons de beaucoup de choses, dans des cas où généralement on ne le reconnaît pas.

C'est encore conformément à cela, que l'arrangement noir, rouge, noir, orangé, noir, etc., est préférable à l'arrangement noir, rouge, orangé, etc.

Ces arrangements nous paraissent suffisants pour éclairer les peintres et les fabricants sur les diverses sensations que leur vue éprouve dans le travail des couleurs, et sur les avantages qu'ils pourraient retirer d'une étude plus approfondie de la loi du contraste simultané des couleurs (voir *La loi du contraste simultané des couleurs*, par M. Chevreul, 1 vol. in-8°, 1839).

Il est aisé, d'ailleurs, de démontrer par des exemples que les couleurs juxtà-posées ou les objets matériels qui nous les représentent n'ont point d'action mutuelle, soit physique, soit chimique, mais que le changement qu'elles éprouvent dans ce cas, n'est dû, réellement, qu'à la modification qui se passe en nous lorsque nous percevons la sensation simultanée de leur principe colorant. Il suffit, pour s'en convaincre, de placer sur la couleur modifiée un carton découpé qui la laisse voir exclusivement. La vue, ramenée ainsi à l'état normal, perçoit facilement l'homogénéité de la couleur juxtà-posée et son identité avec celle qu'on a isolée.

Il nous reste maintenant à indiquer quelques applications de ces principes à l'art de la peinture, aux tapisseries du commerce, à la décoration des appartements, à l'imprimerie, à l'arrangement des fleurs d'un parterre, aux vêtements, etc. Nous pensons ne pouvoir mieux faire que de rappeler les exemples parfaitement définis dans le *Magasin pittoresque*.

Supposons qu'un peintre veuille placer dans un tableau deux teintes plates qui se touchent, l'une rouge et l'autre bleue ; à mesure qu'il peindra, il modifiera naturellement les couleurs de sa palette, parce que le phénomène du contraste se manifestera à la délicatesse de son œil exercé ; mais si ensuite un tapissier veut imiter, comme cela se pratique aux Gobelins, le tableau qu'on lui donne en modèle, et qu'il ignore la loi des contrastes, il prendra seulement deux espèces de laines, l'une bleue et l'autre rouge, et il les assortira, séparément, avec les deux couleurs du tableau ; qu'arrivera-t-il ? C'est que la laine bleue et la laine rouge, étant juxtà posées, changeront de nuances dans les zônes voisines de la ligne de contact, et que le pauvre tapissier aura beau faire et se désoler, il ne produira jamais de teintes plates à moins que le hasard (ce qui est arrivé quelquefois) ou la science ne vienne à son secours.

Si, au contraire, le peintre a juxtà-posé deux teintes plates qui alors *contrasteront*, le tapissier se donnera beaucoup de mal pour imiter par une dégradation de laines colorées, ce qu'il obtiendrait sur-le-champ avec deux laines uniformes ; et, en résultat, il obtiendra des effets exagérés.

Le tapissier doit encore s'aider de la loi des contrastes lorsqu'il assortit des étoffes aux bois de diverses sortes dont il fabrique ses meubles. Ainsi, il pèchera s'il emploie des étoffes d'un rouge-jaune, telles qu'écarlate, couleur de feu, nacarat, avec l'acajou ; car alors la couleur rouge et brillante de ce bois est totalement éteinte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et il prend l'aspect du noyer. Cependant, comme beaucoup de personnes préfèrent la couleur cramoisie à toute autre, même sur l'acajou, parce qu'elle résiste plus longtemps à l'action du soleil, on peut diminuer le mauvais effet de cet assortiment, au moyen d'une large bordure verte ou noire placée dans les parties où le cramoisi et l'acajou sont en contact; ou bien encore avec un galon de soie jaune, ou un galon d'or fixé avec des clous dorés.

M. Chevreul fait remarquer que des dessins noirs qui sont imprimés sur des fonds rouges, cramoisis ou amarantes, paraissent verts, parce que la couleur verte complémentaire du fond s'ajoute au noir. De même le noir, imprimé sur des étoffes vertes, perd toute sa vigueur. Aujourd'hui, où l'on étale sur les murs des affiches jaunes, roses, verdâtres et orangées, il n'est pas indifférent de savoir que, pour imprimer de manière à rendre le plus visible possible les caractères d'écriture sur du papier de couleur, la règle à suivre est que la couleur du fond soit complémentaire de celle de l'encre : sur papier jaune, par exemple, il faudrait une encre violette.

La loi des contrastes trouve encore de fréquentes applications dans la distribution des fleurs au milieu d'un parterre. Ainsi, l'aspect d'un jardin perd de ses charmes lorsque la vue n'est frappée que par du bleu ou par du blanc, ou qu'elle est éblouie par du jaune répandu avec profusion, ou bien encore lorsqu'une espèce de couleur présente des nuances voisines l'une de l'autre, mais différentes, ainsi que cela a lieu au printemps, en unissant la narcisse d'un jaune pâle à la doronic d'un jaune brillant; en automne, en unissant l'œillet-d'Inde à la rose-d'Inde et aux soleils.

La règle principale donnée par M. Chevreul, pour l'arrangement des fleurs, est de placer les bleues à côté des orangées, les violettes à côté des jaunes, et d'entourer les rouges et les roses de verdure ou de fleurs blanches. Ce n'est pas tout, on peut calculer les époques de l'année où fleuriront telles et telles espèces de fleurs, et disposer son parterre de manière que, dans la variété des couleurs qui apparaîtront à la floraison successive des arbustes, la loi des contrastes soit observée. En avril, le *jasmin* à fleur jaune, au feuillage vert, se trouve très bien à côté du *pêcher nain*, etc.

Il ne faut point dédaigner non plus la loi des contrastes simultanés dans les couleurs des vêtements. Un uniforme de drap de même couleur se porte moins longtemps que lorsque les couleurs sont variées. Par exemple, l'ancien pantalon bleu de l'armée, ne se mettant point l'été, conservait la vivacité de sa nuance plus longtemps que l'habit; lorsqu'on le reprenait dans l'hiver, il devait arriver, comme nous l'avons vu plus haut dans cet article, que le bleu pâli de l'habit usé pâlissait encore davantage à côté du bleu plus foncé du pantalon presque neuf, qui, à son tour se foncait encore plus. De même l'uniforme des dragons, vert et rouge, est très avantageux, en ce qu'il est composé de deux couleurs complémentaires, et que, lorsque l'habit et le pantalon ont passé un an, par exemple, dans les magasins, ils se ravivent par la juxtà position, et paraissent avoir la même fraîcheur qu'un habit vert et un pantalon rouge neufs, mais vus séparément.

Les dames savent profiter habilement de l'observation des effets du contraste. Par exemple, les voiles noirs portés sur les chapeaux verts paraissent rougeâtres; de même le rose sur la couleur de chair fait pâlir celle-ci d'une manière fort sensible; aussi sied-il généralement mieux aux brunes qu'aux blondes. Ces remarques sont importantes dans le choix des tapisseries d'un salon, ou dans celui de la couleur qui doit être appliquée au fond d'une loge dans les salles de spectacles. Chez une marchande de modes qui aura tapissé en rouge son magasin, les dames trouveront que leur visage a pâli, tandis que l'éclat de leur teint se rehaussera lorsqu'elles essaieront leurs chapeaux dans un boudoir tendu de vert. Il faut cependant, dans les différents détails de la toilette, faire grande attention aux reflets qui peuvent anéantir l'action des contrastes, et produire l'effet tout opposé. Ainsi un rideau vert bien éclairé projette autour de lui sa couleur, qui domine de beaucoup et éteint le rouge de la couleur complémentaire, à tel point que la teinte verte est la seule qui paraisse.

ROUGET DE LISLE.

COPAL (*angl.* copal, *all.* kopal). C'est l'une des résines les plus précieuses; elle provient de deux arbres, le *rhus copallinum* qui croît en Amérique, et l'*élæocarpus copalifer* originaire des Indes orientales. On trouve aussi en Guinée un troisième arbre produisant du copal; cet arbre croît sur les bords des rivières, dans le sable desquels les nègres recherchent le copal, qui s'y trouve disséminé en fragments roulés de grosseur et de couleur variables. Les morceaux de copal les plus purs sont presque incolores et transparents; généralement ils sont d'un jaune-brunâtre et même quelquefois d'un brun foncé et seulement translucides. D'après Ure, sa densité varie de 1,059 et 1,071. Sa dureté est plus grande que celle de toutes les autres résines, à l'exception du benjoin; il n'est pas rayé par l'ongle, et est par conséquent très propre à la confection des vernis; il n'a ni odeur ni saveur, et possède une cassure conchoïde. Chauffé vivement dans un matras, sur la lampe à esprit-de-vin, il commence par fondre, puis il distille une substance huileuse, tandis que le copal se fonce de plus en plus en couleur, et il reste à la fin un résidu de charbon.

Mis en digestion dans de l'alcool absolu, bouillant, le copal se gonfle et prend une consistance molle et élastique. Préalablement pulvérisé, puis séché à une douce chaleur, il se dissout dans de l'alcool à 96/100es. Il est beaucoup plus soluble dans l'éther, et la dissolution ainsi obtenue peut ensuite être étendue peu à peu d'alcool, sans que le copal se précipite. Du reste, les différentes sortes de copal se comportent envers l'éther d'une manière très différente; les unes s'y dissolvent très facilement, les autres avec la plus grande difficulté; aussi, lors de la préparation des vernis au copal, est-il bon d'essayer par l'éther chaque fragment isolé; on choisit ceux qui deviennent visqueux, en mettant de côté les autres pour la préparation des vernis gras au copal, où ils conviennent aussi bien.

L'huile de caoutchouc seule, même à la température de l'ébullition, n'a aucune action sur le copal; mais un mélange de parties égales d'huile de caoutchouc et d'alcool ayant une densité de 0,825 le dissout même à froid en donnant une liqueur limpide. Le camphre, dissous dans l'esprit-de-vin, augmente son pouvoir dissolvant à l'égard du copal. Les huiles de pétrole et de térébenthine n'ont que très peu d'action sur le copal brut. Par la fusion, le copal perd de sa dureté et prend facilement une teinte brunâtre; il devient alors beaucoup plus soluble dans tous les dissolvants.

D'après Unverdorben, le copal d'Afrique renferme cinq résines différentes, qui, isolément, ne sont d'aucun emploi dans les arts.

Le copal brut ou préalablement fondu sert à la confection des vernis. Une des meilleures recettes pour préparer le vernis de copal à l'esprit-de-vin, est la suivante due à *Bœttger* : On dissout 1 partie de camphre dans 12 p. d'éther, on y fait gonfler 4 p. de copal, puis on y ajoute 4 p. d'alcool absolu et 1/4 p. d'huile de térébenthine rectifiée.

Les vernis gras au copal se préparent en dissolvant du copal fondu dans de l'huile de lin bouillante; nous y reviendrons au mot VERNIS.

COQUE DU LEVANT (*angl.* cocculus indicus, *all.* kockelskœrner). Nom vulgaire donné aux fruits d'un arbre, le *menispermum cocculus*, qui croît sur la côte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de Malabar, à Ceylan et dans les îles voisines. Ces fruits sont brunâtres et un peu plus gros que des petits pois ; ils doivent leurs propriétés à un alcali végétal, la *piscotaxine*, dont ils renferment environ 1/50 de leur poids. On s'en sert en les jetant dans l'eau, pour plonger les poissons dans une sorte de torpeur, par suite de laquelle ils viennent à la surface et se laissent prendre aisément ; on dit que quelques brasseurs ont l'usage très blâmable de l'employer pour obtenir une bière très enivrante.

CORAIL (*angl.* coral, *all.* koralle). On donne le nom de corail aux têts calcaires de plusieurs genres de polypiers, qui affectent une forme arborescente. Ces têts sont fixés aux rochers par un pied conique placé à la base d'une tige portant plusieurs rameaux latéraux dans lesquels sont des cavités où se trouvent logés autant de polypes que l'on voit étendre leurs longs bras lorsqu'ils veulent saisir leur proie.

Les coraux rouges se pêchent dans la mer Méditerranée, surtout sur les côtes de l'Algérie, et forment à Marseille un article de commerce assez important. Huit hommes, excellents plongeurs, montent dans un canot, emportant avec eux une croix en bois à bras égaux et forts, armés chacun d'un filet très solide ; on attache un câble au point de croisement des bras, et à l'aide d'un poids placé au même point on fait descendre le tout au fond de la mer ; quatre hommes plongent en même temps et engagent les branches des coraux dans les filets ; on force alors sur le câble, et la croix en remontant arrache les coraux du fond sur lequel ils étaient fixés.

La pêche du corail est presque aussi dangereuse que celle des perles, par suite de la présence des requins ; on pourrait probablement y employer avec avantage la cloche de plongeur.

Les coraux rouges ont seuls de la valeur, et sont travaillés pour boucles d'oreilles, colliers et autres objets de parures.

CORDES. Voyez CABLES.

CORDES *pour tous les instruments de musique* (*angl.* catgut, *all.* darmseiten). La fabrication des cordes d'instruments n'est pas très ancienne en France, elle fut introduite par un ouvrier napolitain, *Nicolas Savaresse*, qui monta une fabrique à Lyon vers l'an 1766.

Les procédés de fabrication ont été longtemps considérés comme des secrets, et c'est par suite des prix que la Société d'encouragement a proposé pour le perfectionnement de cette industrie, qu'elle a pris une extension aussi grande et qu'il y a eu une amélioration dans les produits qui ont laissé de beaucoup en arrière ceux d'Italie ; néanmoins on tire encore des chanterelles de Naples, non pas parce qu'elles y sont mieux fabriquées, mais à cause de la grande quantité d'agneaux qu'on tue en Italie, et qui permet de faire des chanterelles à trois fils, tandis qu'en France on ne tue que de jeunes agneaux, et seulement pendant trois ou quatre mois de l'année.

On a longtemps attribué la supériorité des cordes de Naples aux secrets de fabrique, plus tard on l'a attribuée à la petite espèce de moutons qui permettait de faire les chanterelles à trois fils ; on pensait aussi que le climat sec et chaud y contribuait pour quelque chose ; il n'en est rien, et voici la véritable cause.

Les moutons d'Italie sont généralement très gros, les laines y sont grandes et grosses, par conséquent ont peu de valeur ; c'est pourquoi on fait peu d'élèves en castrat, parce que la laine ne saurait donner une indemnité suffisante ; tous les moutons sont donc tués dans la première année ; leurs intestins étant moins gros, il est possible de faire des chanterelles à trois fils (1).

C'est à Pâques qu'on commence à tuer les agneaux en Italie, ils sont alors trop jeunes et n'ont pas encore mangé d'herbe, les intestins n'ont pas grande consistance ; c'est pourquoi les chanterelles qui sont faites avec cette première fabrication ne valent rien, elles sont cependant très belles et d'une transparence de cristal ; mais on peut les reconnaître parce qu'elles sont un peu grumeleuses ; ce n'est qu'au mois de juin que commence la bonne fabrication des chanterelles et elle se continue jusqu'aux mois de septembre et octobre. A cette époque, les intestins devenus plus gros, les chanterelles sont aussi plus grosses, à tel point qu'il n'est plus possible d'en faire ; la fabrication cesse avant la fin de l'année pour ne reprendre qu'à Pâques suivant.

Les chanterelles qui ont été faites depuis le mois de juin jusqu'au mois de septembre sont ordinairement parfaites en qualité ; elles sont un peu moins blanches et moins transparentes que celles du printemps ; elles sont généralement assez unies et pleines, ne présentant pas un aspect grumeleux comme celles du printemps.

Les chanterelles de Naples étaient de meilleure qualité autrefois qu'elles ne le sont aujourd'hui ; cela ne dépend pas des procédés de fabrique, non plus que des intestins, mais bien de la quantité considérable de grosses cordes qui se fabriquent en France et qu'on ne tire plus d'Italie. Autrefois les fabricants d'Italie préparaient les secondes et les troisièmes de violon, ainsi que les grosses cordes de harpe, pendant les trois premiers mois, époque à laquelle les intestins étaient encore trop faibles ; et disons dès à présent, que par cela même que les intestins ne valaient rien pour faire les chanterelles, ils n'en étaient que meilleurs pour la fabrication des grosses cordes. On comprend dès lors que la fabrication des cordes de Naples avait acquis une réputation justement méritée ; mais maintenant que les grosses cordes se fabriquent en France, les fabricants d'Italie sont obligés de ne faire que des chanterelles. Nous disons qu'ils sont obligés, car ils payent les boyaux 50 fr. le 100, ce qui ne coûte en France que 3 fr., au plus 10 fr. dans quelques villes ; d'où il résulte qu'on a deux mauvaises chanterelles sur trois lorsqu'elles viennent d'Italie. et quelquefois les a-t-on même toutes mauvaises ; si on n'est pas suffisamment connu de la fabrique, ils vous vendent des cordes de la première fabrication.

Nous allons parler maintenant de la fabrication des cordes en général, et des causes qui font que l'intestin qui n'a pas la force nécessaire pour faire une bonne chanterelle, peut néanmoins donner de très bonnes secondes et troisièmes de violon, et pour bien comprendre ce fait, nous commencerons par examiner quelle est la tension que subit chaque corde sur l'instrument.

Lorsque la deuxième corde est au *la* de l'Opéra, elle éprouve une tension de 8 kilos ; la chanterelle mise à l'accord du *la* porte 7 kilos, 900, la troisième 7 kilos, 700, et enfin la quatrième 7 kilos, 750. D'après cela on voit que les cordes ne subissent pas une tension en raison de leur grosseur, car la deuxième ne porte qu'un demi kilo de plus que la chanterelle, et cependant elle a le double de masse, et la troisième, qui a encore moins de tension, a pourtant trois fois la masse de la chanterelle.

La chanterelle ayant trois fils, si les autres cordes sont faites avec les mêmes intestins, la seconde aura 5 ou 6 fils et la troisième 8 et 9, et par conséquent la seconde devra avoir deux fois la force de la chanterelle et la troisième trois fois, force qui devient superflue puisque la tension ne l'exige pas. Cet excès de force

(1) On entend par fil la grosseur d'un boyau, mais pour donner l'apparence des trois on refend quelquefois les gros boyaux en deux, afin de leur faire figurer un fil de plus. On peut reconnaître cette fraude en faisant tremper un bout de la corde dans une solution d'acide tartrique ou d'acide sulfureux ; les cordes détrempées, les boyaux se séparent et paraissent en forme de petits cylindres, ce qui n'a pas lieu s'ils ont été fendus.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'est pas un défaut pour la qualité de la résistance, mais il est nuisible à la qualité du son ; car il n'est pas suffisant qu'une corde résiste à la tension voulue, c'est sans doute sa première qualité, mais il faut aussi qu'elle soit moelleuse et qu'elle vibre convenablement pour donner des sons agréables ; ces deux qualités, résistance et pureté de son, sont donc indispensables pour avoir une bonne corde. Encore une troisième qualité, c'est la justesse des quintes pour les instruments à doigts ; nous en parlerons plus bas.

Nous venons de dire qu'une tension de 7 kilos 1/2 était suffisante pour une chanterelle ; mais si elle ne pouvait résister que tout juste à cette puissance, elle serait susceptible de casser promptement à cause des variations hygrométriques. L'expérience a démontré qu'il fallait qu'une corde pût résister presque au double de sa tension ordinaire, pour se maintenir plusieurs jours sur un instrument dont on fait usage, et on conçoit sans peine que toutes les fois qu'on met la corde en vibration elle augmente de tension. On sera donc sûr d'avoir des chanterelles de bonne qualité si elles peuvent résister à une tension de 13 kilos ; mais si elles passent ce chiffre, elles perdent alors en qualité de son. Cela se comprend facilement, car toutes les fois qu'une chanterelle sera plus résistante qu'une autre de même grosseur, c'est qu'elle aura plus de densité et elle sera plus lourde, et par conséquent sa vibration plus difficile ; c'est là ce qui rend les bonnes chanterelles si rares pour la musique vocale, car lorsqu'il s'agit de jouer la contredanse les chanterelles ne sauraient jamais être assez résistantes. Il en est de même à l'égard de la seconde et de la troisième, comme elles ne doivent pas subir une tension plus forte que celle de la chanterelle, il faut qu'elles soient fabriquées avec des boyaux moins résistants : c'est ce qui avait lieu dans les fabriques de Naples en fabriquant celles-ci dans les premiers mois de l'année. Mais en France on a une grande supériorité pour la fabrication des grosses cordes, on y tue très peu d'agneaux et seulement lorsqu'ils sont très jeunes. Une fois la Saint-Jean arrivée les agneaux payent le même droit que les moutons, et alors on cesse d'en tuer ; mais ce n'est pas la seule cause qui empêche de tuer des agneaux, vu qu'en France on fait beaucoup d'élèves en castrat, la qualité des laines permettant d'en tirer un assez bon profit ; aussi tue-t-on des moutons toute l'année en France. Les boyaux y sont généralement assez gros et permettent de fabriquer des secondes (1) à trois fils, et on obtient par là les deux qualités : la résistance et le son. La grosseur d'un intestin n'en fait pas la force ; il y a autant de résistance dans un petit que dans un gros. Cela explique pourquoi les chanterelles à trois fils sont meilleures que celles à deux, et explique encore comment les deuxièmes à trois fils sont meilleures que celles à six.

Maintenant nous parlerons de la justesse des quintes, et c'est encore là une des plus grandes difficultés de fabrique.

Ce qu'on entend par boyaux comprend les trois intestins grêles, le duodénum, le jejunum et l'ilion ; ces trois intestins n'en font qu'un, mais qui n'est pas de la même grosseur dans toute sa longueur, le petit bout est du côté du duodénum et le gros du côté de l'ilion ; d'où il résulte qu'en faisant une corde à trois fils, elle sera toujours un peu plus grosse d'un côté que de l'autre, et c'est de cette inégalité de grosseur que résultent de mauvaises quintes. Cet inconvénient n'existe pas dans les instruments qui ne sont pas doigtés, comme la harpe, aussi ces cordes sont-elles plus fa-

(1) Il y a plusieurs départements en France qui fournissent de très petits moutons, et principalement dans les environs de Lyon ; aussi dans cette ville n'y fabrique-t-on que des chanterelles à 5 fils.

ciles à fabriquer que celles de violon. En résumé, une corde doit avoir plusieurs qualités pour être parfaite.

La résistance, la qualité du son, la justesse des quintes pour les instruments doigtés, la transparence et la blancheur.

Nous allons maintenant indiquer comment on peut arriver à remplir toutes ces conditions par les moyens de fabrique.

La fabrication en France est bien supérieure à celle d'Italie, parce qu'on a cru longtemps que la supériorité de ces dernières dépendait des procédés de fabrication ; c'est pourquoi on s'est livré à de nombreuses expériences, et le plus mauvais fabricant de France aujourd'hui travaille mieux que le meilleur fabricant d'Italie, qui n'a aucun effort à faire pour obtenir de bons produits lorsqu'il est dans la saison favorable, tandis qu'en France il faut un homme très exercé, et surtout à Paris où l'on abat des moutons de tous les pays.

Les boyaux sont achetés des bouchers, et ce sont les ouvriers de la fabrique qui ouvrent eux-mêmes les moutons et retirent les boyaux tout chauds afin de les débarrasser des matières fécales. Tant que le boyau conserve la chaleur de l'animal les matières fécales sont sans action sur lui, mais une fois qu'il est froid elles réagissent sur les membranes (1), et non seulement elle les colorent plus ou moins fortement, mais encore elles les corrodent au point de n'avoir plus de résistance dans les places qui en sont imprégnées, c'est pourquoi il est de rigueur de vider les boyaux lorsqu'ils sont encore chauds ; lorsqu'ils sont vidés, l'ouvrier les met en liasse, et c'est dans cet état qu'ils sont apportés à la fabrique ; on les attache alors par paquets de 10, puis on les met tremper dans une rivière courante : 12 heures sont suffisantes. Lorsqu'on n'est pas à proximité d'une rivière, on les met tremper dans des cuviers à l'eau de puits, mais il est alors nécessaire de mettre un peu de carbonate de soude dans les eaux pour les adoucir ; la proportion est d'environ 2 gram. par litre. Après cette macération, les boyaux sont râclés sur une planche, un à un, à l'aide d'une canne faite avec du roseau ; ce râclage a pour but de séparer la membrane muqueuse et la péritoniale, séchées qu'elles sont par l'effort du râclage ; le boyau est alors réduit à 1/20e de son volume, car il ne reste que la membrane musculaire et une partie de la cellulaire. Les boyaux sont ensuite placés dans des terrines par 10, on y verse dessus environ 2 litres d'eau de potasse marquant 2° du pèse-sel (2), les boyaux sont ensuite pris un à un et passés sous le dé, de manière à extraire le restant de la membrane cellulaire, et tous les filaments qui n'auraient pas été entraînés par l'action du râclage. Dans cette opération les boyaux sont pris de gauche et passés dans une terrine à droite, qui contient également de l'eau de potasse, on répète cette opération trois fois, de 2 heures en 2 heures, et le même jour. Ces boyaux sont passés sous le dé une quatrième fois à sec. On entend par passer à sec lorsqu'on ne met pas d'eau de potasse dans la terrine de droite, puis on replace la terrine de droite à la gauche, et on repasse au dé une cinquième fois dans de l'eau de potasse marquant 3°, et enfin le lendemain et les jours suivants on continue de tirer à sec, puis à l'eau, matin et soir, ayant soin d'augmenter la force d'un degré à chaque passage jusqu'à ce qu'on ait atteint 16° du pèse-sel, ou environ 1° et 1/2 de l'aréomètre de Baumé ; les boyaux sont alors suffisamment net-

(1) Les intestins sont composés de trois membranes très distinctes, la muqueuse, la musculaire et la péritoniale, et une quatrième qui n'est pas susceptible de se séparer, et qui se désigne sous le nom de cellulaire.

(2) Le pèse-sel dont nous voulons parler est construit de la même manière que l'aréomètre de Baumé, seulement chaque degré de l'aréomètre de Baumé est divisé en 10 dans le Pèse-sel.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toyés pour être filés en cordes ; mais avant il faut les choisir, et c'est l'opération qui demande le plus de soins.

On met ensemble tous les boyaux fins susceptibles de faire des chanterelles à trois fils, ayant soin de mettre ensemble ceux qui sont inégaux de grosseur, et d'un autre côté ceux qui sont à peu près aussi gros d'un bout que de l'autre. On sépare ensuite les blancs de ceux de couleur, afin de laisser ces derniers pour faire des cordes rouges ou bleues, comme aussi on met de côté les plus gros boyaux pour être employés aux troisièmes de violon et aux grosses cordes de harpe, puis on met ces divers choix dans des terrines séparées et on les dispose au filage.

Les cordes se filent sur des métiers qui portent environ trois longueurs de violon, et l'on fait ordinairement trois cordes à la fois ; on a pour cela une roue à deux crochets.

Après avoir attaché les boyaux à une petite cheville, on la place sur un des crochets de la roue, et ensuite on passe les boyaux autour d'une cheville fixée à l'extrémité du métier, puis on coupe de longueur convenable, et après avoir fixé une petite cheville on la passe sur la deuxième broche de la roue, puis on tourne la roue environ 8 à 10 tours, et comme cette grande roue fait mouvoir les petites molettes qui reçoivent 30 fois plus de torsion que la grande roue, il en résulte que les cordes reçoivent une torsion de quelques centaines de tours.

La corde étant filée, on ôte les deux petites chevilles qu'on place dans les trous pratiqués sur le métier, et on recommence à filer une autre corde, jusqu'à ce que le métier soit entièrement garni des deux côtés.

On doit observer dans le filage, de placer les boyaux 1 gros bout et 1 petit bout. Quant au troisième fil on le choisit parmi ceux qui sont assez réguliers de grosseur ; le métier étant garni de cordes se porte à la chambre au soufre, et à la fin de la journée, lorsque le filage est terminé, on allume du soufre dans la chambre, ayant soin de mastiquer avec de la terre glaise les ouvertures de la porte. Ce soufrage a pour but de blanchir les cordes ; on emploie ordinairement la fleur de soufre, et la quantité qu'on en met à brûler n'a aucune influence sur le blanchiment. On évite d'en trop mettre par économie, attendu qu'il ne peut s'en brûler qu'en raison du volume de l'air contenu dans le soufroir ; si on en mettait trop l'excès du soufre serait liquéfié et en partie perdu. Le soufre en se brûlant se combine avec l'oxygène et donne lieu à la formation d'acide sulfureux, qui a la propriété de blanchir toutes les matières animales. La quantité de soufre qu'on peut employer est ordinairement de 25 gram. pour une chambre de 2 mètres cubes.

Lorsque les cordes ont passé la nuit on les retire du soufroir pour les faire un peu sécher, puis on les retord une deuxième fois en leur faisant subir une assez forte tension, ensuite on procède à l'étrichage ; ce travail se fait avec des cordes en crin qu'on enlace autour de chaque corde, de manière à former de petites masses d'environ 15 cordes pour chaque masse, puis l'ouvrier prend une de ces masses dans chaque main et après avoir mouillé, à l'aide d'une éponge, avec de l'eau de potasse il frotte les cordes d'un bout à l'autre environ 50 fois, mais en mouillant 2 ou 3 fois par intervalles ; ce travail a pour but de nettoyer et de dégraisser parfaitement la corde, on retire les cordes en crin, et avec une éponge on fait descendre les saletés jusque sur la tête du métier, puis on passe l'éponge mouillée sur toutes les cordes, et lorsque tout est fini on remet le métier au soufre ; le lendemain les métiers sont retirés et les cordes reçoivent encore un petit retordage, et lorsqu'elles sont parfaitement sèches on les coupe, puis on les roule une à une sur une petite forme cylindrique, et après les avoir attachées, une à une, on les met par paquets de 30, elles sont alors prêtes à livrer au commerce, mais avant on les enduit d'un peu d'huile d'olive de bonne qualité ; comme l'huile a l'inconvénient de rancir il est préférable de n'en pas mettre, néanmoins on peut empêcher l'huile de rancir en y ajoutant environ un centième de son poids d'essence de laurier.

Les chanterelles de violon ne se polissent pas ordinairement, mais toutes les autres cordes sont polies avant d'être coupées ; lorsqu'elles sont parfaitement sèches, on place le métier horizontalement sur deux tréteaux, et au moyen d'une bande de toile qu'on forme en plis, on place une corde dans chaque pli au nombre de 10 à 12, on y met un peu de pierre-ponce en poudre ou de verre pilé avec un peu d'huile d'olive, on serre le tout fortement dans la main et on frotte dans toute la longueur des cordes jusqu'à ce qu'elles soient parfaitement unies et après les avoir essuyées, on les coupe pour les ployer une à une et les mettre en paquet comme les chanterelles.

Quant aux cordes rouges ou bleues pour la harpe elles se filent de la même manière, seulement on teint les boyaux en rouge ou en bleu suivant les besoins. On choisit les plus tachés pour teindre en bleu.

Le bleu se prépare avec du tournesol de Hollande qu'on met tremper dans de l'eau de potasse portant un degré de l'aréomètre de Baumé, on filtre la couleur et on la met sur les boyaux qu'on veut teindre, ayant soin de remuer pour faire pénétrer la couleur ; il faut employer une teinte moins foncée pour les grosses cordes que pour les petites ; il faut aussi éviter d'approcher les cordes bleues du soufroir attendu qu'elles deviendraient rouges, tous les acides ayant la propriété de faire passer les couleurs végétales bleues au rouge (1) ; voilà pourquoi la plus grande partie des cordes bleues deviennent rouges, et surtout si on n'a pas soin de les isoler des cordes qui ont été soufrées.

Le rouge se prépare avec du marc de cochenille qu'on fait bouillir dans de l'eau de potasse marquant un degré de l'aréomètre de Baumé, on filtre et on teint avec les boyaux dont on veut faire les cordes rouges, ayant soin de faire une couleur d'autant plus légère que les cordes sont grosses, opération très facile en faisant la couleur très foncée ; on peut l'affaiblir à volonté avec de l'eau de potasse.

Les cordes rouges vont au soufre comme les blanches, et elles acquièrent par l'effet des acides un rouge plus vif et plus brillant.

Toutes les cordes en boyaux pour les instruments se vendent en paquets de 30, les grosses se mettent en demi-paquets de 15 ; leur prix varie suivant leur grosseur ; les prix les plus élevés sont ordinairement de 1 fr. par fil, ou pour mieux dire par grosseur de boyaux ; mais en général les bonnes chanterelles se vendent plutôt à raison de 1 fr. 50 c. par fil, tandis que les grosses cordes se livrent pour la plupart au-dessous de 1 fr., surtout en France où les troisièmes de violon s'y vendent à 4 et 5 fr. le paquet, quoique étant considérées comme ayant 8 et 9 fils, tandis qu'en Italie, les grosses cordes augmentent de valeur suivant leur nombre de fils dans la même proportion que les chanterelles.

Nous parlerons maintenant des moyens qui peuvent faire reconnaître à la vue les bonnes cordes.

Les chanterelles doivent être transparentes, parfaitement unies et assez régulières de grosseur ; elles ne doivent pas être trop blanches, car cela prouverait qu'elles ont été faites avec des agneaux trop jeunes, et lorsqu'on

(1) Lorsque les cordes bleues sont devenues rouges, on peut les ramener en les exposant à de la vapeur d'ammoniaque, opération qui peut se faire facilement dans un bocal ou dans une boîte fermée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

serre un paquet de chanterelles sous la main, elles doivent paraître élastiques et revenir promptement comme le ferait un ressort d'acier; il est possible de donner de la roideur aux cordes en employant dans leur fabrication des sels à base d'alumine, mais ces cordes se cassent lorsqu'on presse le paquet, la corde n'est pas moelleuse et ne revient pas facilement dans la même position cylindrique qu'elle avait; de plus, elle change de couleur lorsqu'on la comprime; c'est donc toujours un signe de bonne qualité lorsque les cordes ne changent pas de couleur et qu'elles reprennent de suite leur forme cylindrique.

Les grosses cordes, deuxième et troisième, doivent au contraire être très blanches, transparentes et très molles lorsqu'on comprime un paquet, mais elles ne doivent pas changer de couleur et doivent revenir promptement à leur état cylindrique; si elles présentaient trop de roideur cela indiquerait qu'elles ont été faites avec des boyaux trop résistants et dans ce cas elles auraient une mauvaise qualité de son par les raisons que nous avons expliquées plus haut.

Les cordes doivent se conserver dans des boîtes de fer-blanc qu'on ouvre le moins possible.

Les cordes recouvertes de cantine, autrement dit d'un fil de cuivre argenté, sont pour la plupart faites avec de la soie à l'intérieur; cette opération est connue de tous les passementiers; elle se fait à l'aide d'un tour à deux poupées; la corde étant tordue des deux bouts à la fois la cantine s'y place seule par l'effet de la torsion que reçoit la corde des deux côtés; ces cordes se vendent par douzaine suivant leur grosseur et leur longueur.

PH. SAVARESSE.

CORDONNET (MÉTIER A) (*angl.* braiding machine, *all.* schnurmaschine). On donne le nom de cordonnet, dit M. Christian, à une petite corde formée d'un noyau ou mèche qu'on enveloppe d'un tissu de fils croisés, et qui sert à faire des cordons de sonnettes, de rideaux, etc. C'est de cette manière aussi que sont recouverts les manches des fouets.

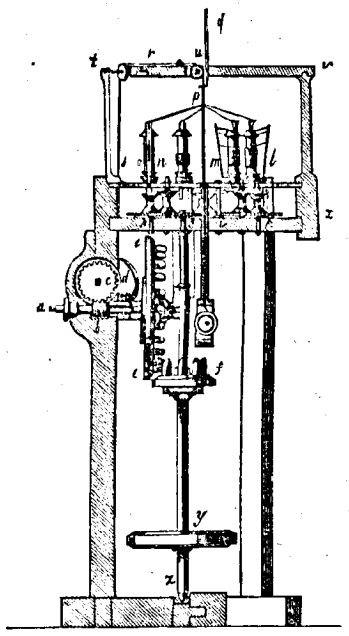
Il y a des métiers à plus ou moins de fils. Celui que nous allons décrire, et qui est représenté dans les figures 572, 573 et 574, est à huit fils, destinés à recouvrir une mèche composée de fils très souples, en nombre suffisant pour donner au cordonnet la grosseur voulue.

Le métier est monté sur un bâti dont les fig. 572 et 573 montrent le plan et l'élévation. Il est formé dans le bas de trois montants posés sur une base triangulaire, et qui supportent un plateau hexagone. Un arbre vertical en fer tourne dans une crapaudine *z*, logée dans la base du métier et dans un collet correspondant *g*, que porte la planche hexagone. Un volant régularise le mouvement qui est donné par une manivelle vissée à un arbre horizontal *a b*. Cet arbre porte à son autre extrémité une roue à mentonnets *e e*, qui engrène avec une autre roue de même forme, mais de plus petit diamètre, posée sur l'arbre vertical.

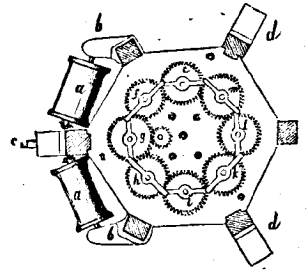
En même temps, au moyen d'une vis sans fin *b*, cet axe de la manivelle fait tourner la roue *c*. Celle-ci, au moyen de genoux de cardan, ou de joints brisés, communique son mouvement aux deux bobines de diamètres différents *a a*.

Le cordonnet, à mesure qu'il se forme, s'enroule sur l'une d'elles, ainsi qu'on le voit en *d* (fig. 572).

e, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m* sont des roues d'engrenage égales entre elles, et de nombre égal à celui des fils du métier. Elles sont rangées en cercle autour du centre de la machine, lequel est au point par où monte le cordonnet. Ces roues se communiquent successivement le mouvement qu'elles reçoivent de la roue *g*, qui le reçoit elle-même de la roue *n*, qui est à l'extrémité de l'arbre en fer vertical. Elles tournent librement sur des axes en fer, dont le bout supérieur va soutenir dans un plan parallèle à la planche *h*, *g*, *i*, *k*, les disques ovales, dont une partie est vue en plan (fig. 573).



572.



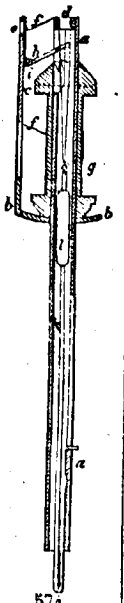
573.

Ces disques sont entre une couronne et un plateau en fonte, maintenus par des entretoises et qui sont découpés hexagonalement, de manière à laisser entre leurs contours et celui des disques un espace curviligne d'environ 13 millimètres.

n, *m*, *l*, sont les poupées au nombre de huit, qui portent et fournissent le fil destiné à former le tissu qui enveloppe la mèche qui est au centre de la machine. Ces poupées représentées sur une échelle du quart de leur grandeur naturelle (fig. 574), devant parcourir en sens inverse les espaces curvilignes dont nous venons de parler, et passer alternativement en dehors et en dedans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des disques ovales, tirent et lâchent le fil, dont la tension doit pourtant rester la même dans toutes les positions des poupées : c'est pourquoi elles sont construites d'une manière particulière. Sur une pièce de fer un peu oblongue, calibrée de manière à pouvoir parcourir librement les espaces curvilignes indiqués ci-dessus, est fixée en dessous une queue, et en dessus un tube en tôle de fer *a*, servant d'axe à une bobine *g*, qui porte le fil *f*. Dans l'intérieur de ce tube est un poids *l*, qui y monte et descend facilement, et porte à son extrémité supérieure un crochet. Le fil passe de la bobine en *f e f d*, puis par un trou de la détente *h*, vient traverser un anneau fixé au poids *l*, et de là, par le trou *d* correspondant au centre de la bobine, vient s'enrouler sur la mèche. La détente *h* qui tourne à charnières au-dessus de *i*, s'engage par l'autre extrémité dans les dents à crochet pratiquées sur le bout supérieur de la bobine, qu'elle empêche alors de tourner et de fournir du fil. Mais quand ce même fil est tiré en *f*, il soulève le poids *l*; le poids, en se soulevant, lève aussi la détente *h*; alors la bobine devient libre, et fournit du fil, qui est toujours maintenu au degré de tension nécessaire par le poids *l*.



574.

Les queues des poupées descendant en contrebas de la plaque de fonte sont engagées dans les espaces curvilignes dont nous avons parlé, et donnent aux poupées le mouvement de translation. Pour cela, le haut des axes des roues d'engrenage *e*, *f*, *g*, *h*.... est garni d'une pièce de fer qui dépasse de côté et d'autre dans deux plans différents au-dessus l'un de l'autre. Ces pièces de fer poussent les poupées dans leurs limites, et se les renvoient tour à tour, sans interruption, moitié dans un sens et moitié dans l'autre, d'où résulte le croisement des fils, et par conséquent la formation du tissu au point de leur réunion sur la mèche en *p*, autour duquel point les poupées circulent quand on vient à mettre la machine en mouvement.

Le cordonnet, ainsi fabriqué, va passer sur les poulies *u*, *u*, et s'enrouler sur une des bobines *a*, *a*, qui le tire avec une vitesse proportionnée à son diamètre et à la vitesse de la machine. Selon que le diamètre de ces bobines est plus ou moins fort, le tissu est plus ou moins serré sur la mèche.

CORNE (*angl.* et *all.* horn). La corne provient surtout des bœufs, vaches, buffles, chèvres et béliers. C'est une substance modérément dure, flexible, plus ou moins translucide, d'une couleur qui passe du blanc et du gris-jaunâtre au noir, qui se ramollit dans l'eau bouillante sans s'altérer, et qui peut alors se courber et se comprimer facilement, et même se souder sur elle-même. Ces propriétés permettent d'employer la corne à une foule d'ouvrages qui se font sur le tour, à la confection des tabatières, des peignes, etc. L'écaille de tortue possède des propriétés analogues ; on la distingue de la corne en ce qu'au lieu d'offrir une teinte uniforme, elle est couverte de taches plus ou moins colorées.

Le premier travail que l'on fait subir aux cornes consiste à les débarrasser de leur noyau intérieur, ce qui s'exécute en les faisant macérer plus ou moins long-temps dans l'eau froide, selon la saison, puis les frappant sur un morceau de bois, en les tenant par le petit bout : le noyau sort de lui-même. On coupe alors à la scie la pointe de chaque corne, ainsi que la gorge ou base, lorsque celle-ci présente quelques défectuosités ; la pointe est revendue en nature aux fabricants de pommes de cannes, de crosses de parapluies, etc. On ramollit ensuite les cornes, d'abord en les faisant macérer pendant plusieurs jours dans de l'eau froide, puis on les jetant dans une chaudière remplie d'eau bouillante, où on les laisse séjourner quelques heures. On les retire 2 par 2 de la chaudière, et on les enfile sur les deux branches d'une longue pince, au moyen de laquelle on les fait tourner rapidement au-dessus d'une flamme claire pour les chauffer bien également, et où les fend d'une extrémité à l'autre pendant qu'elles sont chaudes, avec une serpette. Les cornes une fois fendues, on saisit les bords de la fente à l'aide de pinces plates, et on les étend en les tournant de temps à autre au-dessus d'une flamme claire. On met ensuite ou presse entre des plaques de fer poli les plaques de corne, dont on a préalablement mouillé les deux bouts pour éviter leur déchirure, et on les laisse refroidir sous une pression peu considérable ; lorsqu'elles sont suffisamment refroidies, on les retire de la presse, et on les met dans l'eau froide pendant quelques instants.

Les opérations qui précèdent constituent *l'aplatissage à blanc*. En cet état la corne conserve l'apparence extérieure qu'elle possédait dans son état naturel ; elle présente encore des veines blanches et opaques mélangées aux parties plus ou moins transparentes qui la constituaient alors, et elle peut servir à la fabrication des objets dont la transparence n'est pas une condition essentielle et qu'on ne destine pas à être colorés. C'est en général la seule opération que l'on fasse subir aux cornes de buffles.

L'aplatissage à vert, qui a pour but d'augmenter la transparence de la corne, ne peut s'exécuter que sur des cornes naturellement blanches ; on essaierait en vain d'appliquer cette opération aux cornes noires, en totalité ou en partie : la corne noire restera toujours opaque. On commence par faire chauffer la corne préparée à blanc au-dessus d'un feu de charbon de bois, puis au moyen d'outils de forme convenable, on gratte et on coupe les parties noircies par la fumée du bois, on enlève les parties trop épaisses, celles qui avoisinent les gerçures, jusqu'à la profondeur où celles-ci peuvent pénétrer, ainsi que les veines noires peu profondes, on coupe les bords sur lesquels se manifeste un commencement de fente, que l'aplatissage à vert pourrait faire continuer dans l'intérieur de la feuille; enfin, en un mot, on enlève tout ce qui pourrait empêcher la transparence de se manifester. Cette opération qui porte le nom de *dolage* étant terminée, on ramollit les cornes pendant un jour ou deux dans l'eau froide, puis, pendant quelques heures, dans de l'eau chaude à une température inférieure à 100°, en ayant soin de les maintenir aplaties, soit entre des pinces, soit de tout autre manière, pour les empêcher de reprendre leur forme primitive. Au sortir de l'eau chaude, on met les cornes en presse entre des plaques de fer inégalement chauffées, c'est-à-dire que les plaques les plus chaudes sont en contact de chaque côté avec la partie intérieure de deux cornes, et les plaques les moins chaudes avec les parties extérieures. Chaque corne est préalablement imbibée, avant la mise en presse, de suif fondu ou de graisse chaude, dont on jette aussi une certaine quantité entre les plaques de fer à mesure qu'on les serre. Lorsque la presse est entièrement remplie, on la serre fortement, mais graduellement, et on laisse refroidir le tout. Après un refroidissement complet, on desserre, on retire les cornes d'entre les plaques, et on a soin de les charger de poids pendant quelque temps pour les empêcher de gauchir. Si l'on a plusieurs pressées successives à faire, on retire les cornes avant leur refroidissement complet, et on les place entre des plaques froides ou elles achèvent de se refroidir.

En cet état, la corne, dont l'extérieur est d'un brun

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sale plus ou moins foncé, a acquis une transparence qui se manifeste lorsqu'on regarde le jour au travers, et qui devient complétement visible lorsqu'elle a été grattée et polie.

Pour fabriquer la *corne à lanterne*, on choisit les cornes les plus blanches et les plus belles, notamment celles des chèvres et des béliers. On les prépare comme nous l'avons décrit ci-dessus, et on refend ensuite les plaques de corne sur leur épaisseur, en 2 ou 3 feuilles, soit au moyen d'un ciseau d'acier, sur lequel on frappe à coups de martoau, soit à l'aide d'une scie circulaire horizontale très fine, qui est animée d'un mouvement de translation également horizontal. Les cornes d'animaux très jeunes, qui n'ont que 1 à 2 millimètres d'épaisseur ne sont pas refendues.

Pour polir les feuilles refendues comme il vient d'être dit, on place successivement dans une espèce de cadre métallique, de la dimension des feuilles à polir, des plaques de cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, bien polies des deux côtés, et les feuilles de corne à polir; les deux plaques extrêmes sont beaucoup plus épaisses que les autres, et le cadre peut contenir une douzaine de feuilles ainsi disposées entre les plaques de cuivre. Le cadre ainsi chargé est placé sous une presse entre des plaques de fer chaudes, et l'on serre fortement. Au lieu d'employer des plaques chaudes, il vaut mieux mettre la presse toute chargée dans l'eau bouillante, et ensuite dans l'eau froide. On obtient ainsi des feuilles parfaitement polies, sur lesquelles il suffit de passer un peu de blanc d'Espagne avec la paume de la main ou un tampon de laine, ce qui les fait sécher promptement.

Lorsqu'on veut avoir des feuilles de dimensions plus grandes que celles données naturellement par la corne de l'animal, il faut réunir ensemble plusieurs morceaux au moyen d'une opération qui prend le nom de soudure, bien qu'il ne faille pas, comme dans la soudure ordinaire des métaux, employer de corps intermédiaires. On fait ramollir dans l'eau bouillante les feuilles de corne maintenues entre des tasseaux de bois, afin qu'elles ne se courbent point, puis on les laisse refroidir avant de desserrer les tasseaux. On taille en biseau les parties qui doivent se joindre, en se servant d'un grattoir à tranchant vif, en ayant bien soin de ne pas toucher avec les doigts ou un corps gras, les biseaux ainsi préparés, qu'on superpose l'un sur l'autre, et qu'on maintient dans cette position en les entourant avec des fils serrés les uns contre les autres, jusqu'à ce que la jonction en soit entièrement recouverte, ou mieux encore, avec des bandes de papier qu'on colle en les croisant, procédé qui présente l'avantage de ne pas laisser d'empreinte sur la corne après la soudure. La forme des pièces exigeant différentes manières de les apprêter, on laisse en général ce soin à la sagacité de l'ouvrier soudeur, qui opère ordinairement à plat; pour cette opération on emploie des pinces plates en cuivre, de dimensions convenables, que l'on fait chauffer; quant à la température qu'elles doivent avoir, l'expérience seule de l'ouvrier peut l'indiquer. Les parties à réunir par la soudure sont alors placées entre les palettes chaudes de la pince, et on les serre dans un étau. On peut aussi, lorsque les dimensions de la feuille sont considérables, se servir d'une presse et de deux plaques de cuivre convenablement échauffées. On laisse refroidir le tout, on desserre, et l'on trempe la corne dans l'eau froide. On ragrée alors la soudure avec un grattoir à tranchant bien vif, en ayant soin de ne faire mouvoir d'abord cet outil que dans le sens de la feuille dont le biseau est en dessus, jusqu'à ce qu'on ait atteint la feuille de dessous; autrement on risquerait de décoller les deux parties. Lorsqu'elles sont bien de niveau, le grattoir peut être promené en tout sens. On adoucit alors la pièce avec de la pierre-ponce bien fine, et on termine le poli avec du tripoli de Venise bien broyé et lavé.

Pour produire sur la corne des taches qui lui donnent l'apparence de l'écaille, on la mouille par places avec des dissolutions métalliques dont la nature varie suivant la couleur des taches que l'on veut produire : pour le rouge on emploie une dissolution d'or dans l'eau régale; pour le noir on emploie une dissolution de nitrate d'argent; pour le brun une dissolution chaude de nitrate de mercure; le brun se produit aussi en appliquant par places sur la corne, une bouillie composée de litharge délayée avec une solution de potasse, puis chauffant pendant quelque temps. La couleur est plus ou moins foncée suivant la proportion de l'alcali, et le temps plus ou moins long que l'on laisse la bouillie sur la corne. Une dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, ainsi qu'une décoction de bois du Brésil, de safran, ou d'épine-vinette, peuvent également donner du brun. Après l'emploi de ces matières, on fait macérer la corne pendant 12 heures, dans une dissolution concentrée d'alun et de vinaigre.

En France, en Hollande et en Autriche, les fabricants de peignes et les tourneurs de corne utilisent les rognures et tournures de corne et d'écaille, pour en fabriquer, par pression, des boutons, des tabatières, etc. A cet effet, on remplit de rognures un moule en laiton, consolidé par un châssis en fer, que l'on place sous une presse entre deux plaques de fer fortement chauffées; le moule s'échauffe peu à peu, et à mesure que les rognures qu'il renferme se ramollissent, on les comprime, en serrant graduellement la presse, jusqu'à ce qu'elles se soient complétement soudées et aient pris exactement la forme du moule; on laisse ensuite ce dernier se refroidir spontanément ou on le plonge dans l'eau froide, on sépare les deux parties du moule et on en retire les rognures, qui se sont soudées en une masse compacte. On peut traiter ainsi, soit des rognures de corne, soit des rognures d'écaille, soit enfin un mélange des deux, ce qui a l'avantage de produire une matière moins fragile que l'écaille. Les rognures de corne exigent pour se souder une température plus élevée que celle d'écaille. On doit dans ce travail, tout comme dans la soudure, avoir bien soin de ne pas toucher la corne avec les doigts ou avec un corps gras, ce qui donnerait lieu à des solutions de continuité dans la soudure des fragments.

Pour faire un anneau en corne, pour des cordons de sonnette, etc., on découpe un morceau de corne sous la forme d'un fer à cheval et à peu près avec les dimensions qu'il doit avoir. On l'échauffe pour le ramollir, et on entaille les deux extrémités avec des emporte-pièces qui leur donnent la forme des deux parties d'un assemblage à queue d'aronde, et on le laisse refroidir sous presse; on le réchauffe de nouveau pour fermer l'assemblage, et lorsque la soudure est faite avec soin, il est impossible d'en déterminer la place.

Les manches des couteaux de table et des fourchettes, ou autres pièces analogues, se forment de deux parties que l'on ramollit à l'aide de la chaleur et ou on pratique par pression au moyen de matières chauffées, dans l'une des feuillures latérales et sur l'autre des languettes correspondantes; on les réchauffe alors de nouveau et on les soude, par pression, entre deux étampes chauffées.

Les boutons de corne pour les tiroirs, qui doivent porter un axe métallique ou une vis, se font également en deux parties moulées séparément; le revers du bouton est percé d'un trou par lequel passe l'axe ou levier; cet axe se termine par un disque métallique que l'on introduit entre les deux faces du bouton, qui sont ensuite soudées comme il vient d'être dit; pour rendre la soudure plus intime, on a pratiqué dans la partie antérieure du bouton une rainure annulaire, dans laquelle s'engage une saillie correspondante ménagée sur la partie postérieure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CORNUE (*angl.* retort, *all.* retorte). On donna d'abord ce nom à des appareils distillatoires, en verre, en grès, en terre cuite, en porcelaine, en platine, en fonte ou en fer, composés d'une *panse* et d'un long col latéral recourbé. Plus tard on appliqua indistinctement ce nom à tous les appareils distillatoires, quelle que fût leur forme, comme les cornues cylindriques, prismatiques, etc., employées pour la fabrication du *vinaigre de bois*, du *noir animal*, du *gaz d'éclairage*, etc. Nous donnerons à chacun de ces articles le dessin de ces diverses cornues, et nous parlerons de leur construction en décrivant l'élaboration des matières dont elles sont composées, ce qui nous dispense d'entrer ici dans des détails qui n'y seraient pas à leur place.

COTON (FILATURE DU) (*angl.* cotton manufacture, *all.* baumwollen-spinnerei). Le coton est un filament court, un duvet végétal qui enveloppe les semences du cotonnier, appelé *gossypium* par Linnée, et placé par lui dans l'ordre *polyandria* et la classe *monadelphia*; mais appartenant à la famille des *malvacées*. Le cotonnier croît presque spontanément dans tous les pays chauds, et il est originaire de l'Inde et de l'Amérique. On compte différentes espèces de cette plante; mais les caractères de leurs produits sont fort incertains, et il n'est guère de botaniste qui puisse se reconnaître parmi les différentes sortes de coton répandues dans le commerce. D'après Linnée, il y aurait seulement cinq espèces de cotonniers; d'un autre côté, Lamarck, dans son *Encyclopédie méthodique*, en reconnaît huit, et treize sont décrites par de Candolle. Au point de vue de la culture, on divise toutes les espèces de cotonniers en deux classes principales qui sont :

Première classe : cotonniers herbacés;
Deuxième — cotonniers arbustes ou arbres.

Voici maintenant les propriétés les plus saillantes qui caractérisent ces classes :

Première classe. Le cotonnier herbacé est une plante annuelle, qui se cultive dans l'Inde, la Chine, les États-Unis et plusieurs autres pays. Il s'élève ordinairement à une hauteur de 60 à 65 cent., et a l'appa-



Fig. 575.

rence de nos roses trémières (fig. 575). Veinées de de brun et d'un vert foncé, ses feuilles se divisent chacune en cinq lobes, quant à la fleur, elle est d'un jaune pâle, avec un large pistil à cinq pétales, marqués vers le fond d'une tache pourpre. Dès que la fleur est tombée, on voit paraître une enveloppe capsulaire, supportée par cinq feuilles vertes triangulaires, dont le limbe est profondément denteló. La cosse, à peu près triangulaire, avec le bout terminé en pointe, se compose de trois compartiments et elle atteint les dimensions d'une grosse noix aveline. Lorsque la graine est parvenue à son degré de maturité, l'enveloppe ou cosse s'entr'ouvre, et trois flocons de duvet, d'un blanc de neige ou jaunâtre, sortent, comme autant de houppes, des trois compartiments renfermant les graines qui y adhèrent fortement, et ressemblent un peu, mais dans des proportions plus grandes, à des pepins de raisin.

Deuxième classe. Le cotonnier arbuste est une espèce vivace dans l'Inde, l'Égypte, qui atteint 3 à 4 mètres de hauteur; il diffère peu, pour la fleur et le fruit, du cotonnier herbacé, et il croît dans la plupart des contrées où l'on trouve ce dernier. Parmi les principales variétés du cotonnier arbuste, nous citerons le cotonnier indien, le cotonnier feuille de vigne, et le cotonnier religieux (*gossypium religiosum*) de Linnée, dont les fleurs sont blanches dans quelques variétés, auxquelles appartient probablement le coton blanc de Rome, cultivé dans le Jardin-des-Plantes de Paris. Le cotonnier arbre offre les mêmes caractères à peu près que le cotonnier arbuste, mais il s'élève beaucoup plus haut. On le trouve dans l'Inde, la Chine, l'Égypte, en Amérique et sur les côtes occidentales de l'Afrique.

Il est encore une autre espèce de cotonnier non exploité, qui peut atteindre une grande hauteur, et produit un coton soyeux et d'une blancheur éblouissante; mais la fibre de ce coton est si courte et si cassante, qu'on ne peut l'employer dans la filature. Je veux parler du cotonnier connu vulgairement sous le nom de cotonnier parasol; dont le nom latin est *bombax ceiba*.

Les filaments des différents cotons diffèrent en longueur, en flexibilité, en ténacité, en épaisseur suivant qu'ils proviennent des diverses espèces dont nous venons de parler. Deux propriétés influent surtout sur la valeur du coton en laine, ce sont la longueur et la finesse. De là, les grandes différences qu'on remarque dans le prix des cotons en laine. On en jugera par le tableau suivant qui indique les prix assignés il y a quelques années, en septembre 1858, à Liverpool, aux diverses sortes de coton :

	Prix par kilog.
Sea-Island, ou Géorgie long.	2f,50 à 6f,20
Demerara et Berbice	1f,40 à 2f,20
Fernambouc.	1f,60 à 2f,00
Égypte	1f,50 à 2f,30
Nouvelle-Orléans	0f,90 à 1f,80
Bahia.	1f,50 à 1f,60
Upland, ou Géorgie court.	1f,00 à 1f,50
Indes occidentales	1f,10 à 2f,00
Surate.	0f,85 à 1f,40
Madras	0f,80 à 1f,20
Bengale	0f,70 à 1f,10

Le géorgie long ou *sea-island* qui est récolté dans les îles et sur les côtes de l'Amérique vers Charleston et Savannah est le roi des cotons connus, tant par sa longueur et sa finesse que par sa force, sa propreté et sa blancheur argentée, brillante. Certaines variétés de ce coton valent jusqu'à 8, 10, 12 et même 14f le kilog.

Examinés avec un bon microscope, les filaments du coton ressemblent plus ou moins à un ruban que l'on tordrait sur lui-même. Dans la partie plate de ce ruban, la transparence est parfaite, et l'on remarque, de chaque côté, une lisière semblable à un ourlet. La

EEERUS - Recherche & Classification numérique

largeur de ce ruban, dans le plus fin *sea-island* ou géorgie long, est de 1/110e de millimètre. Les fibres du coton de l'Inde sont très-courtes, les prix ci-dessus sont à peu près en raison de leur longueur dans les diverses espèces.

Dans un curieux travail sur la résistance des fibres du coton, M. Heilmann a trouvé que la force nécessaire pour rompre une fibre variait de 2 à 4 gr., suivant les espèces.

Cette fibre régulière, libre, blanche, régulière, est la matière la plus parfaite à laquelle les procédés de la filature aient pu s'appliquer, aussi est-elle la première que l'on ait pu réussir à filer entièrement à l'aide de machines.

Pour récolter le coton, on a soin de cueillir les cosses au fur et à mesure qu'elles sont ouvertes, afin que le coton ne s'échappe pas de leur intérieur, et l'on enlève à la fois le coton et les graines, en laissant la cosse sur l'arbre. Il est essentiel de choisir un beau temps pour faire cette opération, car la moindre humidité qui s'introduirait dans le coton pourrait le faire noircir par la suite. Une fois le coton récolté, on le laisse exposé au soleil pendant quelques jours, afin que les graines et le coton se dessèchent et rendent plus facile l'opération qui a pour but de séparer les fibres du duvet des graines huileuses.

Culture du cotonnier. — Selon M. G. Heuzé, le cotonnier herbacé ou annuel qui végète pendant sept mois environ, a besoin pour fleurir et mûrir ses graines d'une température qui s'élève jusqu'à 45 et 48° cent. L'époque des semis varie selon les climats, en Algérie ce sont les mois de mai et de juin, et l'on récolte en octobre. La germination demande de huit à dix jours. La floraison a lieu de quatre-vingts à cent jours après les semis; et la maturité des fruits, soixante-dix ou quatre-vints jours après la floraison. La maturité est compromise si la température s'abaisse, même momentanément, au-dessous de 16 à 17°.

Le cotonnier veut un terrain fertile, profond, de consistance moyenne, médiocrement humecté, argilo-calcaire ou calcaire siliceux. Cette culture épuise le sol et exige une fumure abondante, des amendements calcaires notamment.

Les semis se font par *paquets* avec la pioche; en *lignes* dans des rayons qu'on recouvre avec le râteau; ou à *la volée*, méthode qui n'est guère pratiquée que dans la basse Égypte. Les cotonniers doivent être isolés, de façon que toute leur surface extérieure ait de l'air et du soleil. Une dizaine de jours après que les graines ont levé, on donne un premier binage que l'on répète dès que la surface de la terre s'est durcie; puis on éclaircit les plants en laissant les mieux venus et en enlevant les autres de manière à produire l'espacement convenable. Quand les boutons à fleur ont paru, on donne encore un binage que l'on répète dans certaines contrées avant l'épanouissement des fleurs. Un arrosage abondant est nécessaire, c'est assez dire que cette culture n'est possible avec avantage que dans les contrées où l'on peut établir un système d'irrigation; c'est la principale condition qui limite le nombre des points où la culture du coton est possible. C'est la pénurie des eaux dont dispose aujourd'hui l'agriculture en Algérie, qui a fait que malgré tous les encouragements la production du coton a bien de la peine à dépasser 450,000 kil. quand on évalue à 2,260 millions de kilog. la production du coton sur la surface du globe, dont les 9/10 de l'Amérique, de l'Inde et de l'Egypte. Ce dernier pays, sollicité à produire par la guerre civile d'Amérique, restera, grâce à son Nil, un pays de grande production, et l'ardeur du Fellah arabe à s'enrichir y a engendré des merveilles comparables à celles qu'avait fait admirer l'énergie du planteur du Sud des États-Unis.

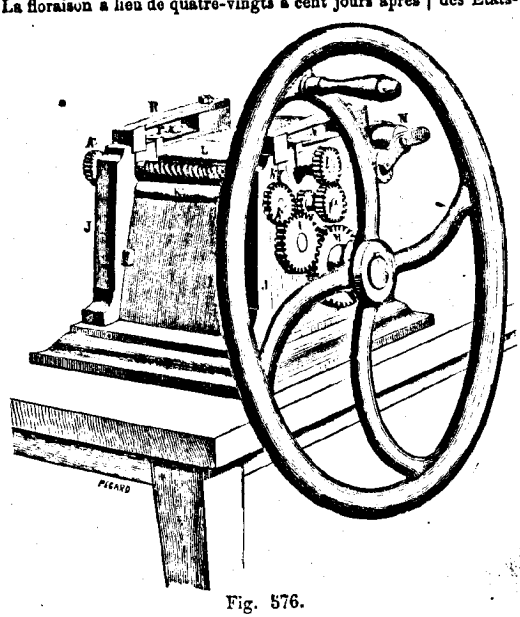


Fig. 576.

Des insectes de tout genre contrarient la culture du coton, comme de la plupart des graines qui germent dans les pays chauds et humides où les générations d'insectes se produisent avec une si effrayante fécondité; mais de plus le coton a une chenille particulière qui tous les mois donne une nouvelle génération d'insectes qui se multiplient pour vivre sur la plante.

Séparation de la graine et des filaments. — Après avoir sans doute été faite longtemps à la main de temps immémorial, cette séparation est obtenue dans toute l'Asie dont le coton nous est venu, dans les Indes et la Chine par un petit appareil appelé par les Anglais *roller-gin*, composé de deux cylindres tournant en sens contraire, suffsamment rapprochés pour attirer le coton sans laisser passer les graines entre eux. Avec son aide, un ouvrier peut préparer en moyenne dix ou quinze kil. par jour; c'est un appareil domestique. Dans les grandes plantations des États-Unis, on opère avec une machine bien plus puissante dite Saw-Gin, inventée par Élie Whitney, qui peut éplucher jusqu'à 3,000 kil. par jour en brisant quelques fibres, inconvénient qui ne compense pas les avantages de cette machine dans les grands centres de production, lorsque le coton est à son prix normal et peu élevé. Cette machine a été considérée par les Américains comme une des causes capitales du succès de l'industrie de la production du coton dans le Sud des États-Unis.

Les machines à rouleau (fig. 576) ont été beaucoup perfectionnées dans ces dernières années. La bonté des produits qu'elles fournissent et leur utilité pour propager la culture du coton dans de nouveaux pays, l'Al-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gérie et le Sénégal, par exemple, nous engage à donner la description de la machine de M. F. Durand, qui est devenue un petit ustensile propre à faire exécuter l'opération, avec une perfection rare, par les femmes et les enfants, à en faire un travail domestique, tandis que le Saw-Gin et même les machines Maccarthy à rouleaux sont essentiellement des machines d'usines, exigeant des moteurs et des installations coûteuses.

La difficulté que présentaient les machines à rouleaux d'attirer les graines en même temps que les fibres a été très-heureusement levée par l'emploi de cannelures hélicoïdales à l'un des rouleaux qui fait que la graine se dirige obliquement. C'est ce principe qui a permis de faire une machine aussi simple que la machine primitive de l'Indou et qui donne d'excellents résultats en produisant bien plus.

Pour travailler à l'aide de la petite machine de M. F. Durand (*fig.* 576), l'opérateur tourne la manivelle avec la main droite pendant qu'il présente directement avec la main gauche les touffes de coton aux cylindres égreneurs. Le rouleau supérieur cannelé en hélice a un diamètre de 13 millimètres et fait sept révolutions pour chaque tour du volant fixé sur l'arbre de la manivelle. Le rouleau inférieur est muni d'une feuille de parchemin assemblée par une de ses extrémités seulement, de telle sorte qu'enroulée par la rotation, elle est toujours entraînée et agit comme tablier pour attirer les fibres de coton. Il a 18 millimètres de diamètre et fait trois tours pendant que le supérieur en fait sept. Deux cylindres délivreurs sont placés en arrière des cylindres égreneurs contre lesquels ils sont pressés par des ressorts dont la bande peut être convenablement réglée; ils se touchent entre eux suivant une génératrice placée dans un même plan horizontal que la génératrice de contact des rouleaux. Ils ont l'un et l'autre 30 millimètres 1/2 de diamètre et font le même nombre de tours que le rouleau égreneur recouvert de parchemin.

Nous décrirons maintenant le Saw-Gin américain. La fig. 577 représente une coupe perpendiculaire à l'axe

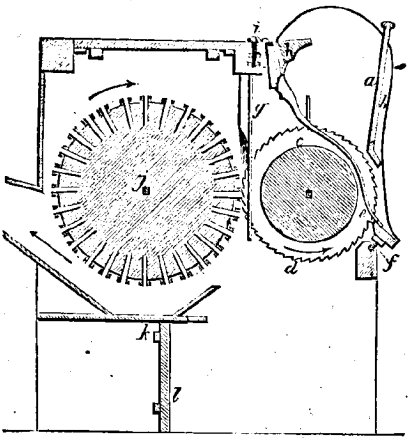


Fig. 577.

qui porte les scies qui possèdent un mouvement circulaire; il est clair que par la répétition d'éléments semblables à celui représenté en coupe, on peut faire croître à volonté la production d'un appareil de ce genre. *c* est le cylindre sur lequel sont adaptées des séries de scies *d*, *d*. Ce cylindre est d'environ 0m,24 de diamètre et tourne de manière que les dents des scies accrochent les fibres. Les scies circulaires parallèles fortement attachées à l'axe sont séparés entre elles par des barreaux *e* formant grille. Au-dessus du cylindre est une espèce de trémie, dans laquelle on jette le coton brut; ses fibres sont accrochées, tirées au travers de la grille et les graines séparées, roulent en bas de la grille inclinée pour s'échapper par l'extrémité inférieure. *f* est un cylindre brosse qui débarrasse les dents des scies des filaments de coton qui s'y sont attachés.

Quand le coton est débarrassé de toute parcelle de graine, on le soumet à une autre épuration qui consiste à le battre dans un tambour à ailettes, au centre duquel passe un courant d'air qui le purge de la poussière dont il est chargé. Puis, on le ramasse et on le porte à l'emballage, où on le convertit en ballots qu'on recouvre de toile à voile. Chaque ballot américain contient environ 470 kilogr.

DE LA FILATURE. L'art de réduire en fil les substances filamenteuses est connu de toute antiquité. Les conditions à remplir se réduisent :

1° A disposer les fibres parallèlement les unes à côté des autres;

2° A les réunir par une torsion suffisante, pour rendre le frottement des fibres les unes sur les autres assez considérable pour qu'elles rompent plutôt que de glisser.

Notions historiques. Disons d'abord quelques mots de la manière dont on est arrivé aux procédés si parfaits employés aujourd'hui, ce qui permettra de bien apprécier le but de chaque machine.

Le mode primitif de convertir le coton en fil, à l'effet d'être tissé en étoffe, consistait dans l'emploi de la quenouille et le fuseau, et ce mode est encore en usage dans l'Indoustan pour filer le coton.

La quenouille est un bâton de bois portant une poignée de coton en laine peu serrée autour de son sommet. La fileuse tient la quenouille entre le bras gauche et le corps; sa main gauche est plus rapprochée de la quenouille que la droite; les mains sont tenues à environ 5 centimètres l'une de l'autre, et tirent continuellement le coton de la quenouille, la main droite étendant et tordant autant de coton qu'il y en a entre elle et la main gauche, et en formant un fil fin qui est de nouveau tordu par un fuseau suspendu qu'on fait tourner constamment, et sur lequel le fil est ensuite enviré. Ce procédé était connu de toute antiquité; ce n'est, il paraît, que depuis le seizième siècle que le rouet est venu permettre à l'ouvrière de l'Europe de produire mieux et davantage (voy. ROUET, *Complément.*).

Il est curieux de connaître l'état de la manufacture du coton en Angleterre, au commencement du dernier siècle. La chaîne (ou les fils longitudinaux de l'étoffe) était composée de fil de lin, importé en écheveaux ou en paquets de l'Allemagne. C'était le tisserand qui l'achetait directement et la préparait pour le métier, en l'arrangeant en lignes parallèles. La trame (ou les fils transversaux de l'étoffe) était faite de coton, qui était également acheté par le tisserand.

Le coton était battu, épluché et nettoyé, et ensuite cardé ou brossé avec des brosses grossières en fil d'archal. Le cardage était fait avec des cardes à main d'environ 30 centimètres de long et de 13 de large, le cardeur en tenant une dans chaque main. Le coton, après avoir été épluché et nettoyé, était étendu sur l'une de ces cardes, et était brossé, ratissé ou peigné avec l'autre, jusqu'à ce que ses fibres fussent toutes disposées dans le même sens; il était alors enlevé en loquettes ou boudins sans consistance, d'environ 30 centimètres de long et de 2 centimètres de large. Ces loquettes étaient ensuite converties en un gros fil, de la manière suivante : après les avoir fixées par un bout à la broche d'un rouet à main, l'on tournait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec la main droite le rouet qui faisait mouvoir la broche, et en même temps l'on étirait la loquette avec la gauche en imitant le travail que nous voyons exécuter aux cordiers. Le mouvement ainsi communiqué à la loquette étirée, la torduit en spirale. Lorsqu'elle était tordue, on la renvidait sur la broche et l'on en attachait une autre qui était étirée et tordue de la même manière. On formait ainsi un gros fil continu que l'on convertissait en trame à peu près, ainsi que nous allons le dire, comme les loquettes étaient converties en fils en gros.

Une première invention capitale, attribuée généralement à *Hargraves*, et par quelques-uns à *Highs*, ce fut celle de la *Jenny*. En filant au rouet à la main, le fil en gros était tenu ferme entre l'index et le pouce de la main gauche, à 45 centim. de distance de la broche; la roue, qui au moyen d'une lanière donnait le mouvement à la broche, était ensuite tournée par la main droite; et dans le même temps, la main gauche qui tenait le fil en gros, comme on vient de le dire, était retirée en arrière d'environ 0m,45; le fil en gros était ainsi allongé en trame, la torsion nécessaire était donnée au moyen de quelques tours de la roue, et enfin la trame était renvidée sur la broche. La *Jenny* (fig. 578) exécuta ces opérations sur plusieurs fils à

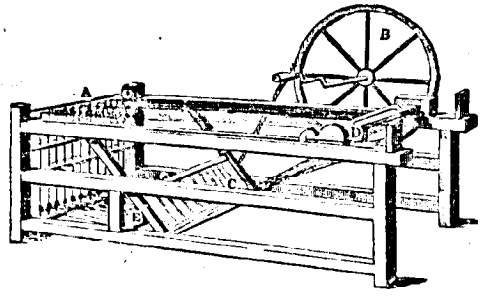


Fig. 578.

la fois en réunissant plusieurs bobines mues par une même manivelle et en produisant l'allongement de tous les fils par le mouvement d'une seule pièce.

Les fils en gros portés sur de petites broches, placées dans le cadre incliné C et maintenus par des brides en fil d'archal étaient dévidés par le mouvement de glissement du chariot D sur le bâti, D portant deux mâchoires en bois qui saisissaient les fils. Les broches placées en A tordaient le fil qui s'allongeait pendant le mouvement en arrière de D et l'enroulaient sur les bobines, pendant son mouvement en avant, par suite de la rotation communiquée à l'aide d'une manivelle tournée par l'ouvrier avec son autre main, du volant au rouleau E, et des cordes sans fin de celui-ci aux broches.

Cette machine était d'une importance capitale en ouvrant la voie aux combinaisons qui ont créée la filature automatique; mais la *Jenny* n'était applicable qu'à la filature des fils de trame, et ne donnait pas des fils assez résistants pour les fils de chaîne. C'est à Arkwright que revient l'honneur d'y être parvenu par l'invention du *Throstle* ou métier continu, dit aussi métier hydraulique, parce que la force nécessaire pour le faire agir exigeait l'emploi d'un moteur. C'est dans ce métier dont nous donnons plus loin la description, que se trouvent employés pour la première fois les cylindres-étireurs, organe tout nouveau et vraiment admirable sur lequel repose surtout la filature moderne par machines. Ces rouleaux cannelés agissant par doubles paires, la seconde possédant aux circonférences de contact une plus grande vitesse linéaire que la première, produisent l'étirage continu du fil qui passe entre eux.

De l'invention de la *Jenny* et du *Throstle*, de la combinaison des deux modes d'étirage qui sont appliqués dans ces machines, est née la *Mull-Jenny*, inventée en 1775, par *Samuel Crompton*, de Bolton-le-Moors, que nous décrirons plus loin en détail. Dans cette machine, la mèche passe entre des cylindres placés sur le derrière du métier et arrive aux broches qui sont placées en avant sur un chariot mobile. A mesure que les broches tournent, le chariot s'éloigne des cylindres, un peu plus vite qu'ils ne délivrent la mèche. La première paire de cylindres attire la mèche de la bobine; la seconde paire l'étend et l'allonge. Lorsqu'une certaine quantité de mèche a passé, les cylindres s'arrêtent et la serrent fortement, comme la pince le fait dans la *Jenny*; les broches continuent encore à tourner, et le chariot à reculer, en étendant la mèche à la finesse requise, et lui donnant la torsion nécessaire; le fil en fin est ensuite renvidé sur les broches, en faisant retourner le chariot à sa première position. Par cette extension graduelle de la mèche, elle peut être étirée beaucoup plus fine que sur la *Jenny*, que sur le métier hydraulique qui l'allonge d'une manière continue, et permet d'obtenir des numéros bien plus élevés qui ont permis la fabrication des mousselines et autres étoffes légères. Enfin le métier *Self-acting* est venu réaliser le mouvement automatique de la *Mull-Jenny*.

Passons maintenant à la description détaillée des procédés employés aujourd'hui.

1° ÉPURATION DU COTON. Le coton livré aux fabricants est sale et en masses compactes, ayant été longtemps comprimé; il est nécessaire de le nettoyer et de le démêler avec beaucoup de soin, avant de le soumettre à l'opération du cardage. On y parvient au moyen des appareils suivants:

Le *willow* a pour but d'ouvrir le coton et de faciliter sa répartition en étoupe. Avant cette machine, on employait à cet effet l'appareil, dit *panier de Normandie*. Il consistait en un cylindre incliné, à claire-voie, formé de deux disques en bois rélié par un treillage de même substance. Le coton était introduit par un orifice supérieur, et il rencontrait, en entrant dans le cylindre, des dents droites en fer dont était hérissé un arbre placé dans l'axe du cylindre, animé d'une vitesse de deux à trois cents tours par minute. Le coton se trouvait ainsi fouetté et entraîné dans la rotation des dents pendant un temps proportionnel à l'inclinaison du cylindre, par l'extrémité inférieure duquel il sortait. Cette machine avait de graves inconvénients : d'abord, elle dégageait beaucoup de poussière et de duvet, et ensuite le coton, n'éprouvant pas assez de résistance de la part du treillage pour s'y attacher, tournait avec l'arbre sans s'ouvrir d'une manière sensible.

On a donc substitué au panier de Normandie le *willow* carré, qui remplit parfaitemant le but que l'on se propose. Le plus perfectionné est celui de *Lilly*, dit *panier conique*, qui est construit comme le panier de Normandie, et aussi actif que le *willow* droit. Il a en outre l'avantage de ne pas répandre de poussière dans l'atelier et de ne présenter aucun danger dans la manipulation.

C'est ce *willow*, qui est employé de préférence en Angleterre dans les factoreries où l'on travaille les sales et grossiers cotons de l'Inde, ainsi que l'*upland* géorgie. Cette machine consiste en une toile sans fin, animée d'une petite vitesse, sur laquelle on dépose le coton, qui rencontre immédiatement deux cylindres cannelés, en fer, entre lesquels il passe; puis il entre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans une chambre conique où il est arraché par les dents d'un tambour conique qui se meut avec une vitesse de cinq à six cents tours par minute. De ces premières dents, le coton est entraîné par d'autres, fixées à la surface du cône intérieur, qui l'ouvrent et l'abandonnent petit à petit, eu égard à la force centrifuge qui tend à l'éloigner sans cesse des cylindres cannelés, par suite de la double conicité de la chambre et du tambour. Lorsque le coton a été ainsi bien ouvert et travaillé dans tous les sens, il finit par tomber sur une toile sans fin qui l'emporte dehors, en le faisant passer sous un tambour creux dont la surface se compose d'une toile métallique très-fine, au travers de laquelle un ventilateur, communiquant avec l'intérieur, produit un appel d'air qui rejette hors de la chambre toutes les impuretés qui se trouvent dans l'espace où tombe le coton ouvert. Le *willow* de Lilly peut nettoyer dans un jour 3600^{k} ou 24 balles de coton.

pliquer sur un gros cylindre tournant dont la surface est formée par une tôle percée ou une toile métallique. De là il est conduit sur une dernière table sans fin et tombe dans le récipient qui lui est destiné. Nous allons compléter ci-après cette analyse.

Batteur-éplucheur. — Le batteur-éplucheur est sensiblement la même machine que l'ouvreuse que nous venons de décrire. Ces machines sont essentiellement destinées à remplacer le travail des bras, car on a d'abord employé, pour amener le coton à l'état de division, de légèreté convenable pour les opérations suivantes, des claies en jonc sur lesquelles on étalait le coton que les hommes armés de cannes élastiques battaient à force de bras. Cette opération, qu'on pratique encore aujourd'hui pour le crin, présentait plusieurs inconvénients, et l'on dut songer à remplacer le battage à bras par l'action des machines.

Nous décrirons avec quelques détails le batteur-éplucheur pour bien faire saisir le fonctionnement de

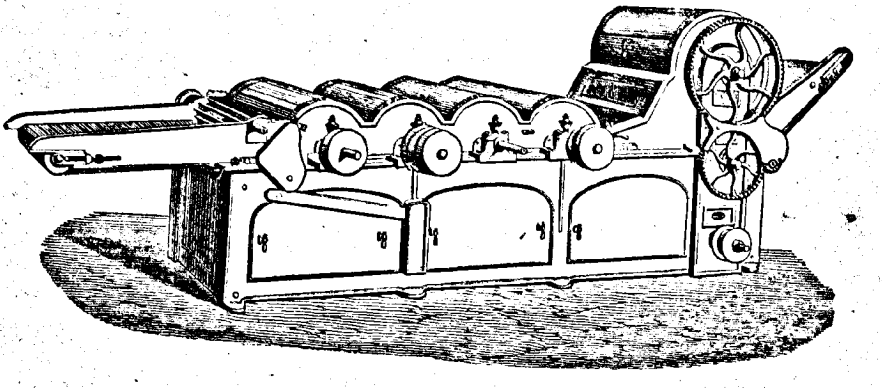


Fig. 579.

Après avoir été imparfaitement nettoyé par son passage dans le *willow*, le coton passe dans *l'ouvreuse* (*fig.* 579) et dans les batteurs qui terminent l'épuration. L'ouvreuse, qui est souvent la première machine à laquelle est soumis le coton, rétablit l'état floconneux des fibres que la longue compression dans les balles dont on a réduit le volume autant que possible, sous l'action de presses puissantes, a changé en masses compactes.

Le coton est placé sur la toile sans fin de gauche, formée de baguettes de bois réunies par des bandes de cuir que deux rouleaux, en tournant, font avancer. Par ce mouvement il vient s'engager dans les rouleaux alimenteurs, et enfin entre deux gros cylindres cannelés en fer qui tournent lentement et maintiennent le coton lorsque les frappeurs agiront sur lui.

Le frappeur placé à l'intérieur du cylindre prend différentes formes, suivant les constructeurs. Nous donnerons la suivante comme exemple. Sur l'axe sont placés trois ou quatre pièces ayant chacune trois ou quatre bras; les extrémités de ces bras supportent des lames d'acier dont la longueur égale la largeur de la machine; deux des bras plus courts que les autres portent des lames garnies de pointes d'acier. Le frappeur faisant environ 800 tours par minute, le coton maintenu par le cannelé est arraché et battu avec force, et les graines et impuretés lancés sur la grille demi-circulaire qui forme la partie inférieure; opération qui se répète deux ou trois fois.

Quant au coton, il est attiré par un courant d'air produit par l'aspiration d'un ventilateur, et vient s'appliquer sur un gros cylindre tournant dont la surface est formée par une tôle percée ou une toile métallique. De là il est conduit sur une dernière table sans fin et tombe dans le récipient qui lui est destiné. Nous allons compléter ci-après cette analyse.

Batteur-éplucheur. — Le batteur-éplucheur est sensiblement la même machine que l'ouvreuse que nous venons de décrire. Ces machines sont essentiellement destinées à remplacer le travail des bras, car on a d'abord employé, pour amener le coton à l'état de division, de légèreté convenable pour les opérations suivantes, des claies en jonc sur lesquelles on étalait le coton que les hommes armés de cannes élastiques battaient à force de bras. Cette opération, qu'on pratique encore aujourd'hui pour le crin, présentait plusieurs inconvénients, et l'on dut songer à remplacer le battage à bras par l'action des machines.

Nous décrirons avec quelques détails le batteur-éplucheur pour bien faire saisir le fonctionnement de ses divers organes, ce qui fera en même temps bien saisir le mode d'opérer du batteur-étaleur qui lui succède toujours.

La fig. 580 représente la section longitudinale d'un batteur-éplucheur. L'appareil a environ 5 mèt. 50 cent. de long, et 0^{m},915 en travers de la caisse, qui est faite en entier de fonte, doublée de planches, et forme une boîte bien close avec deux ouvertures, une pour introduire la laine de coton brute, l'autre pour reprendre la laine nettoyée. Ces portes sont fermées pendant le jeu de la machine, mais elles peuvent être ouvertes à volonté, pour en inspecter et réparer l'intérieur.

L'ouvrière pèse une quantité déterminée de coton et l'étend sur une longueur toujours la même de la toile sans fin, qui sert à l'introduction du coton; celle-ci se meut dans la direction des flèches *a*, *a*, jusqu'à l'extrémité de la partie gauche de la machine en passant et roulant continuellement autour de rouleaux *b* et *c*. Les cylindres cannelés *e*, *e*, introduisant immédiatement le coton dans la machine, sont appelés cylindres nourrisseurs. Le frappeur *f* tourne dans la direction de la flèche et sépare violemment les flocons à mesure qu'ils se présentent, de même qu'il rejette en bas toutes les particules pesantes sur la grille de fer *n*.

La laine de coton, retombant sur une seconde toile sans fin, repasse devant un second frappeur et de là se rend dans les espaces *x*, *w*, *w*, qui sont garnis dans le fond d'une grille serrée ou mieux est enroulé de suite sur des rouleaux.

FEERUS - Recherche & Classification numérique

Un ventilateur additionnel a été placé à la partie inférieure en *m*, pour aider l'action des frappeurs en soufflant le coton en avant dans l'auge oblongue *x*. L'ouverture de ce ventilateur est en *t*, et l'air entre vers son centre *q*; *u* et *v* sont les deux ouvertures au moyen desquelles on retire la laine du coton nettoyé. Le dernier van est supprimé dans quelques machines, les bras des frappeurs fournissant un courant d'air suffisant. Le premier frappeur donne environ 1280 coups de chacun de ses deux bras par minute; le second, 1300. Une machine semblable à celle que nous venons de décrire peut nettoyer facilement en un jour 272 kil. de coton. On ne saurait nier que l'introduction du ventilateur dans les batteurs n'ait sensiblement amélioré l'état sanitaire des ouvriers employés à ces opérations.

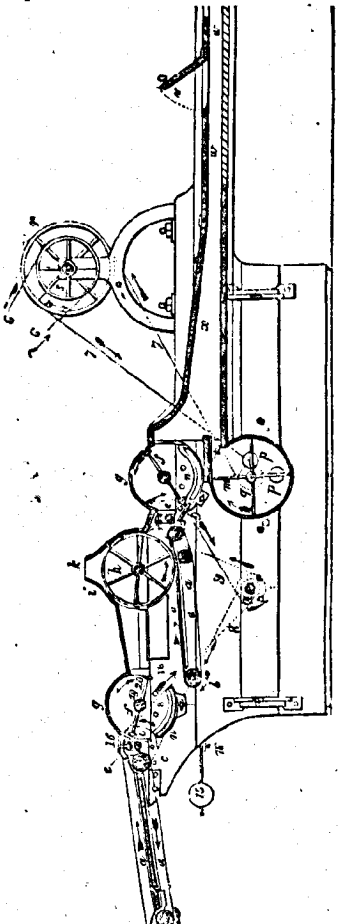


Fig. 580.

Batteur-étaleur. — Le batteur-étaleur diffère essentiellement du batteur-éplucheur ordinaire, en ce qu'au lieu de placer sur la toile sans fin une pesée, l'ouvrier y place trois des rouleaux sortis du travail du premier batteur et place les trois nappes de ces rouleaux les unes sur les autres, de manière à n'en former qu'une seule nappe. C'est le commencement des doublages propres à remédier aux inégalités qui peuvent résulter du mauvais étalage des poids égaux du coton. Le coton sortant passe entre deux cylindres en fer qui le compriment en un ruban que reçoit un rouleau placé à l'extrémité antérieure de la machine, ce qui permet de

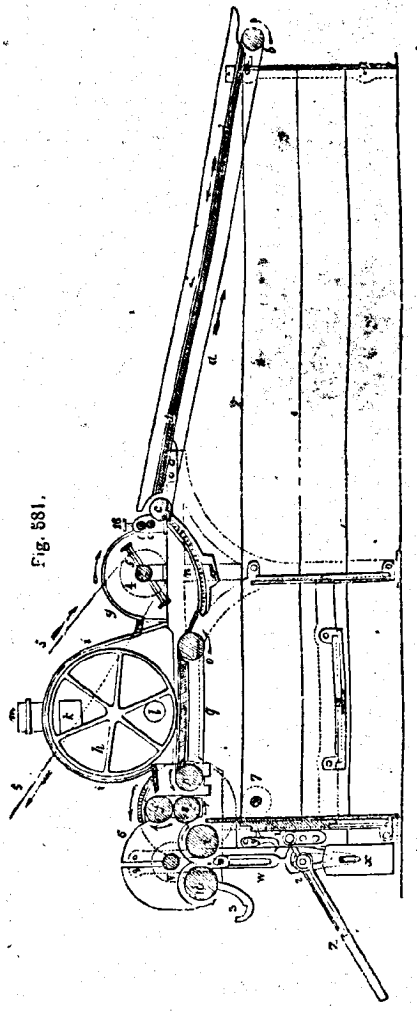


Fig. 581.

porter directement aux cardes le cylindre ainsi garni. Nous supposons que le batteur-étaleur n'est pas à table comme celui que représente la fig. 581; on emploie une semblable machine quand on commence seulement sur le batteur-étaleur la pesée et l'égale répartition du coton.

Nous entrerons dans quelques détails à cet égard. Le coton étant engagé entre les cannelés *e*, *e*, est soumis à l'action du frappeur. Une fois ouvert et aéré par celui-ci, le coton retombe sur la toile sans fin d'avant, dont la vitesse est à peu près moitié de celle de la toile d'arrière. Il passe alors sous un tambour métal-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lique, puis il arrive entre deux rouleaux en fer posés simplement l'un sur l'autre, et dont le poids suffit pour faire conserver au ruban la forme qu'il a prise sous le tambour métallique. De là, ce ruban vient s'enrouler sur un rouleau de bois, maintenu serré contre deux cylindres par des contre-poids. J'ai dit que les rouleaux alimentaires font huit tours par minute; et comme leur diamètre est de 0,038, ils donnent la valeur de huit fois leur circonférence, ou 0,955 de coton étendu sur la toile sans fin dans cet espace de temps. Sur chaque 2mm de coton, trois coups environ du bras du frappeur sont donc appliqués. Le second rouleau nourrisseur fonctionne en proportion moins vite; ainsi, pour chaque 2,4 coups du frappeur, il se présente seulement 2mm de laine de coton.

Le batteur-étaleur à table peut préparer, en douze heures, jusqu'à 1300 kil. de coton.

2° CARDAGE. Le cardage est l'opération qui suit le battage du coton. Le cardage est le premier moyen de transformation des fils tortillés irrégulièrement en fils droits et parallèles. C'est l'opération la plus importante et la plus délicate de la filature du coton. C'est d'elle que dépendent surtout la qualité et la beauté des fils, aucune des machines suivantes ne pourrait corriger les défectuosités qu'elle produirait ou laisserait passer. En sortant de la carde, le coton n'a plus besoin que d'être étiré et tordu pour former un fil.

La carde, considérée dans toute sa simplicité, se compose de deux peignes à dentures opposées et se mouvant en sens contraire, de telle façon que le fil se trouvant arrêté en son milieu par une dent du premier système, deux dents du second entraînent, de chaque côté, ses extrémités dans le sens de leur direction et les abandonnent, rendus ainsi parallèles, pour effectuer la même opération sur les fils qui suivent. La carde, décrite ainsi sommairement, n'a donc pour effet que de plier en deux tous les fils du coton, et de leur donner la même direction.

Un système de cardes consiste en un tambour de bois animé d'une vitesse assez considérable, et armé de dents crochues d'autant plus fines et plus serrées que la matière à travailler est elle-même plus délicate. Tout près de ce tambour, et à une distance que l'on détermine, comme dans les batteurs, sont deux cylindres cannelés, entre lesquels est entraîné le ruban de coton sortant du batteur-étaleur.

Emporté par les dents du tambour, le coton reste accroché à ces dernières; seulement, comme leur vitesse de rotation est assez considérable, la force centrifuge en éloigne tout ce qui n'y adhère pas immédiatement. Tangentiellement au tambour sont placées des plaques armées de dents crochues, égales à celles du tambour, mais dirigées en sens contraire. Ces plaques sont montées sur des pièces de bois, et constituent ainsi ce qu'on nomme les chapeaux de la carde; elles rencontrent le coton que la force centrifuge éloigne de la surface du gros tambour, et le peignent de la façon que nous venons de décrire.

Quelques cardes sont faites entièrement de cylindres. Le gros cylindre ou tambour est entouré d'une série de plus petits nommés hérissons. Les cardes de ce genre ne sont employées dans la filature de coton que pour préparer le coton grossier, mais sont les seules en usage pour la filature de la laine. Les cardes à cylindres, si essentielles à la continuité et à la promptitude du travail des filatures de coton, sont l'ingénieuse invention de Lewis Paul, de Northampton; mais c'est à sir Richard Arkwright que l'on doit les importantes améliorations qu'elles ont subies, et l'état de perfection où elles sont arrivées maintenant.

La carde complète se compose : 1° d'un cylindre alimentaire sur lequel est posé le rouleau de coton sorti du deuxième passage des batteurs; 2° de cylindres cannelés livrant la nappe de coton au gros cylindre armé d'aiguilles; 3° d'un petit cylindre également recouvert d'aiguilles ou dents détachant le coton du gros cylindre; 4° d'un peigne enlevant le coton du petit cylindre sur toute sa largeur, pour en former une nappe transparente; 5° d'un entonnoir réduisant cette nappe en ruban; 6° de deux rouleaux d'appel attirant à travers l'entonnoir ce ruban au dehors; 7° au-dessus du gros cylindre sont placées concentriquement seize douves ou chapeaux mobiles, lesquels sont garnis en dessous, c'est-à-dire sur le côté qui fait face au gros tambour, de plaques hérissées aussi de dents.

Le coton, enroulé sur un tambour à la sortie du batteur, régulièrement déroulé du rouleau, se trouve pincé et amené au gros cylindre par les cannelés. Les dents du cylindre s'en emparent et le dévorent peu à peu. Pour donner une idée du travail qui se fait en cet instant, et de l'extrême ténuité du coton ainsi absorbé, il suffit de savoir que — une longueur de 1 centimètre de coton livrée par le cannelé se trouve étendue sur une longueur de 3,545 centimètres. Le cannelé, en effet, ne développe que 11 centimètres en un tour, tandis que pendant ce temps le gros tambour développe 39,000 centimètres.

La vitesse, la puissance des cardes, constituent la partie capitale du travail de la filature. La pureté, la régularité de l'espèce de matière mousseuse et légère qui sort des cardes est le point de départ essentiel de toute bonne fabrication.

La fig. 582 représente une carde d'une excellente construction, que l'on peut appeler *briseuse* et *finisseuse*, ou carde double.

Les cardes simples, qui sont encore employées presque exclusivement dans la majeure partie des filatures, ont l'inconvénient d'exiger un second cardage de coton, parce que, afin de donner au ruban sortant une consistance suffisante pour l'étirage qu'elles doivent lui faire subir, elles traitent un peu trop de matière à la fois, pour que cette dernière soit douée en sortant de toutes les qualités qu'exigent les opérations subséquentes. Cependant, dans bien des filatures, il y a encore souvent deux séries de cardes, dont une grossière, appelée carde en gros, qui dispose le coton en une forte toison d'une grande épaisseur, laquelle vient s'enrouler autour d'un cylindre, et forme le ruban présenté à la seconde série de cardes, dont les dents sont plus fines de construction. Dans la fig. 582, les cylindres ont 120 centimètres de circonférence. *g* est un poids qui appuie sur l'axe du cylindre supérieur, et le fait appuyer sur le cylindre inférieur; *f*, est la grosse carde ou tambour; *g g g*, l'axe formé par le dessus plat des cardes; *h*, est le petit tambour du hérisson, que l'on a employé pour la première fois en France dans la filature d'Ourscamp. En *d*, il y a une porte qui permet au croc d'avoir accès dans l'intérieur de la machine, pour retirer les ordures qui peuvent y être tombées.

On fixe les plaques de cardes sur le côté de la caisse en fer du châssis; une rangée de fortes pointes de fer fixent les extrémités, et des clous à tête fixent les grands côtés des plaques de cardes, qui se fabriquent en bandes de 12 ou 13 centimètres de largeur. Le garnissage du gros tambour consiste de même en une série de plaques fixées de la même manière que celles des chapeaux, les unes à la suite des autres; d'où il résulte que la denture n'est pas continue, ce qui, d'ailleurs, n'est pas indispensable. Le placage du petit tambour s'effectue, au contraire, au moyen d'un seul ruban enroulé en spirale sur sa surface. Une fois les plaques des cardes fixées, il est très-important de vérifier si elles portent bien tout entières sur le bois,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

car, s'il en était autrement, certaines dents ne tarderaient pas à se relever et à occasionner des *boutons* dans le coton. Ces boutons consistent en de petits amas de coton enroulé sur lui-même, qui adhèrent au ruban par des portions de filaments libres et résistent à l'action de toutes les machines des opérations suivantes. L'aiguisage des cardes se fait en mettant leurs extrémités en contact avec un cylindre garni d'émeri et ayant un mouvement alternatif dans le sens de l'axe.

Le ruban est détaché du dernier hérisson au moyen du peigne *i*, denté en forme de scie, et qui reçoit de la tige *k* un mouvement de va-et-vient. On règle le peigne de manière à ce qu'il frise les dents du tambour sans les toucher. Les rubans spongieux de plusieurs cardes passent à travers un couloir conique *n*, puis sont comprimés entre des rouleaux, ce qui en réduit la largeur et leur donne une certaine solidité.

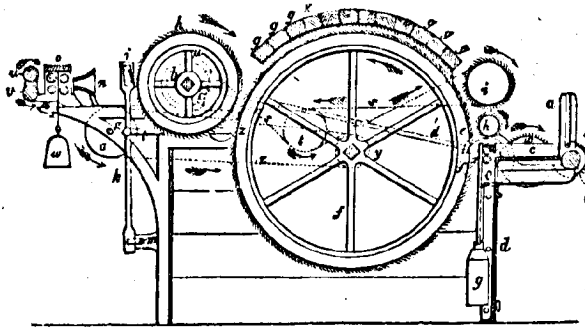


Fig. 582.

On ne saurait accorder aux cardes trop de soins et de surveillance. Les nappes enroulées qui proviennent du batteur-étaleur, et se placent derrière les cardes en gros, se déroulent rarement, sans interruption, en un ruban continu; le plus souvent elles se séparent en deux parties, dont l'une continue à avancer, tandis que l'autre reste enroulée. Il s'ensuit que, si l'on ne se hâte pas de rétablir la régularité, le ruban sortant diminue d'épaisseur dans la même proportion que celui entrant, d'où résulte une cause d'irrégularité pour le fil qui en sera formé. On obvie à cet inconvénient en plaçant derrière les cardes des ouvrières spécialement chargées du renouvellement et de la surveillance des rouleaux alimentaires.

Au moment où il entre dans les cardes, le coton contient beaucoup d'impuretés, et il en laisse inévitablement une bonne partie aux chapeaux, où elles sont projetées par la force centrifuge, pendant le peignage qu'il subit dans l'intérieur de la machine. Or, ces impuretés, si on les y laissait séjourner trop longtemps, pourraient s'accumuler en assez grande quantité pour être entraînées jusque dans le petit tambour, et s'en aller avec le coton cardé dans les machines à réunir. On évite cet inconvénient en nettoyant souvent les chapeaux. Pour cela, on les enlève l'un après l'autre, puis on les dégarnit à la main de tout le coton qui est accroché après leurs dents. Il est aussi nécessaire de nettoyer de temps en temps les tambours. Pour effectuer cette opération, on arrête le mouvement de la carde, en faisant passer la courroie sur la poulie folle; on enlève le ruban d'arrière, puis tous les chapeaux. On promène alors d'une main sur le gros tambour un râteau fait avec une vieille plaque de carde montés sur un bâton, et de l'autre main on fait tourner le tambour. Le petit tambour se nettoie de la même manière. Nous verrons bientôt comment on est parvenu à effectuer ce nettoyage automatiquement.

Dans la majeure partie des filatures, on emploie encore les cardes simples; mais, avec elles, on est toujours obligé de carder une seconde fois le coton, parce que afin de donner au ruban sortant une consistance suffisante pour l'étirage qu'elles doivent lui faire subir, on leur fait traiter un peu trop de matière à la fois pour que celle-ci possède en sortant toutes les qualités que réclament les opérations suivantes. Dans les numéros élevés, où le prix de vente laisse de la latitude, les frais notables de ce deuxième cardage se supportent aisément, et d'ailleurs il est impossible de s'en dispenser. Pour les gros numéros, bien des filateurs trouvent le moyen d'éviter le second cardage, et peuvent ainsi baisser les prix de leurs cotons filés et les écouler, malgré leur infériorité, avant ceux qui ont subi le double cardage. Grâce à la carde double qui, travaillant sur une largeur double de coton, permet d'en diminuer de moitié la vitesse d'entrée, sans que la ténacité et l'épaisseur du ruban de sortie diminuent en rien, plusieurs filateurs peuvent lutter, sinon avec avantage, du moins sans éprouver de perte sensible, avec le mode économique de fabrication dont nous venons de parler.

Débourreuse Platt.— La figure 583 donne une coupe verticale de la carde débourreuse à chapeaux mobiles exposée par MM. Platt en 1862. La partie caractéristique du mécanisme consiste dans une chaîne sans fin articulée H dont chaque anneau forme un chapeau garni de rubans de cardes. Des rouleaux-guides à encoches pour recevoir les maillons de la chaîne la font cheminer avec la lenteur voulue.

La portion inférieure de la chaîne en contact avec la circonférence supérieure du gros tambour travaille comme à l'ordinaire, pendant que la partie opposée, qui a ses dents naturellement dirigées de bas en haut, rencontre le hérisson débourreur *r* à mouvement de rotation. Une fois nettoyées, l'extrémité des aiguilles rencontre une planche à émeri, qui avive leurs pointes. Afin que ce système fonctionne avec la précision voulue, il est maintenu et dirigé de chaque côté du bâti dans des rainures ou coulisses dans lesquelles viennent s'appuyer les côtés de la chaîne dans sa marche. Des vis de réglage V sont indispensables pour rajuster les surfaces qui doivent rester en contact lorsque l'usure ou toute autre cause vient à les déranger.

A la suite des chapeaux mobiles sont placés, comme à l'ordinaire, un plus ou moins grand nombre de hérissons cardeurs *h*, *h'*, puis le dépouilleur cylindrique P, le peigne détacheur *p*, et enfin les rouleaux d'appel R, qui dirigent le ruban dans un pot tournant. Cette carde n'est ordinairement employée que comme finisseuse, lorsque la substance a été cardée à une ou deux machines briseuses à hérissons, dont les rubans ont été réunis en un plus ou moins grand nombre, soit par exemple 40 à la sortie de la première pour être soumis à la seconde. Ces doublages de rubans ont généralement lieu à des machines spéciales, qui aujourd'hui sont toutes munies d'un casse-mèche à débrayage instantané. A cet effet, chacun des rubans ou mèches, en se rendant du pot au rouleau d'appel, passe dans une petite gouttière montée sur un bras articulé convenablement équilibré; le passage de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mèche maintient l'articulation. Sa rupture permet à l'extrémité du bras articulé opposé à la gouttière de s'infléchir et d'introduire un crochet qu'il porte dans une espèce de came placée sur l'arbre d'embrayage et de disjoindre son manchon. La machine s'arrête aussitôt et la surveillante rétablit la continuité. Ces machines importantes, quoique accessoires, sont en outre munies d'un compteur, qui détermine la longueur du rouleau formé, afin que par un pesage l'on puisse dès le début se rendre compte du titre des rubans et de la régularité du travail.

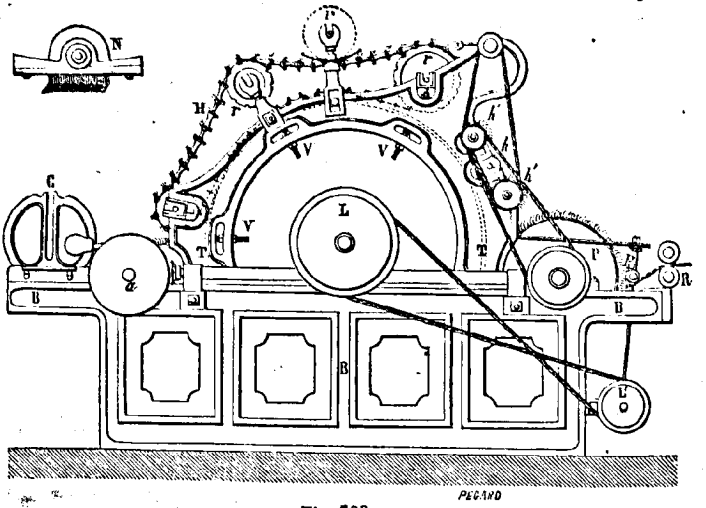


Fig. 583.

Le mode de nettoyage automatique dont il vient d'être parlé a été breveté au profit de M. Dannery de Rouen, en 1849, et fonctionne depuis lors. On peut citer encore des systèmes français actuellement en expérimentation pratique, et, entre autres, 1° celui à petits chapeaux cylindriques, à mouvement si lent de la part de ces chapeaux que c'est à peine si ce mouvement est saisissable; lorsque la partie de la circonférence de ces petits cylindres qui a travaillé a fait sa demi-révolution, elle rencontre une surface débourreuse douée d'une action de va-et-vient qui la nettoie; 2° l'ingénieux mécanisme débourreur, imaginé par M. Risler, et qui consiste à faire enlever les chapeaux et à les faire débourrer par un mécanisme Jacquard, qui sert ici comme simple transmission de mouvement.

Débourrage automatique du gros tambour.—L'on s'est principalement occupé du débourrage des chapeaux, parce qu'il doit avoir lieu d'une manière pour ainsi dire continue, que cette besogne est assujettissante et malsaine, et qu'elle a une grande importance sur le résultat. Le gros tambour s'encrasse moins et peut être débourré, en partie du moins, par un hérisson. Il suffit, pour le nettoyer complétement, de l'arrêter une ou deux fois par jour. Afin d'éviter cet arrêt et de maintenir la surface cardante de cet agent fondamental en parfait état, MM. Higgins ont combiné un mécanisme des plus simples, des plus ingénieux. Il consiste dans la disposition d'un cylindre hérisson cardeur à la circonférence inférieure du gros tambour. Ce hérisson a une double fonction, il doit agir comme travailleur et nettoyeur; à cet effet, son mouvement change alternativement de sens et de vitesse angulaire; lorsqu'elle est plus grande que celle du gros tambour, et s'effectue dans la direction voulue, le tambour se trouve entièrement débarrassé de ses fibres sur la surface en contact avec le hérisson qui est alors nettoyeur. Dans le cas contraire, lorsque la vitesse du petit cylindre est faible, c'est le gros tambour qui reprend les fibres en les travaillant. Ces changements de mouvements du hérisson sont obtenus par le déplacement automatique d'une courroie de commande, sur deux cônes disposés en sens inverse dont l'un est placé sur l'axe du hérisson.

Peignage. — La carde suffisante pour la fabrication commune et les filaments courts, mais qui, en principe, ne peut fonctionner sans accrocher des fils repliés et par suite ne peut produire du premier coup un parallélisme absolu auquel on ne peut arriver que plus ou moins complétement par de nombreux étirages ultérieurs, est remplacée avec grand avantage pour les cotons longue soie et pour obtenir des fils de qualité supérieure, par une autre machine, qui peigne successivement les deux moitiés des mèches suspendues entre deux mâchoires. Nous décrivons à l'article PEIGNEUSE (*Complément*) la machine ingénieuse à l'aide de laquelle Heilmann a réalisé cette opération, en même temps qu'il en démontrait tous les avantages.

3° ÉTIRAGE. — Le travail du banc à étirer succède à celui de la carde. La production des cardes étant très-peu considérable, le ruban qui en sort est d'une épaisseur très-petite par rapport à celui qui entre. Comme il doit servir à composer un ruban de même densité que celui dont il provient, pour passer des cardes en gros sur les cardes en fin, on est dans l'usage de placer plusieurs cardes de même espèce sur une seule ligne droite et de recevoir leurs rubans dans un même canal. Marchant les uns à côté des autres dans ce canal, ces rubans n'en font plus qu'un seul qui va s'enrouler sur une machine, dite machine à réunir, où il subit un léger étirage qui contribue à donner de la cohésion aux rubans constituants. L'étirage de la machine à réunir, comme tous les étirages de la filature en général, s'effectue au moyen de deux paires de cylindres cannelés, distants de centre en centre d'une longueur un peu plus grande que celle des fibres du coton, et dont le deuxième système est animé d'une vitesse plus grande que le premier par lequel entre le coton; enfin le ruban passe entre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux rouleaux de pression qui rapprochent les filaments les uns des autres, et va s'enrouler sur un cylindre.

Rouleaux cannelés. — Décrivons d'une manière générale le principe de l'étirage, les doigts de fer dont l'invention a créé la filature automatique.

Supposons (fig. 584) que *a* et *b* représentent la section de deux rouleaux placés l'un sur l'autre, se touchant avec une pression réglée et tournant sur leurs axes; ces rouleaux prendront le ruban floconneux qui leur sera présenté en *a*; ils l'attireront entre eux et le rendront parfaitement compacte. La longueur du ruban qui aura passé dans un temps donné sera égale à l'espace parcouru dans le même temps par un point de la circonférence du rouleau, c'est-à-dire à la circonférence d'un des rouleaux multipliée par le nombre de ses révolutions. La même chose a lieu entre les deux autres rouleaux *c* et *d*, et les troisièmes *e* et *f*. Ainsi ledit ruban sort de la troisième paire de rouleaux, tel exactement qu'il est entré en *a*, pourvu que la rapidité de rotation de tous les rouleaux soit la même; mais si la rapidité de *c* et *d* est plus grande que celle de *a* et *b*, les deux premiers rouleaux donneront plus de longueur de ruban que les derniers n'en reçoivent et n'en transmettent. La conséquence ne peut donc être autre en ces circonstances qu'un étirage ou allongement régulier du ruban dans l'intervalle qui sépare *a* et *b*, et *c* et *d*, et un redressement des filaments qui glissent les uns sur les autres, pour prendre des directions droites et parallèles. L'étirage peut de même se répéter en donnant aux rouleaux *e* et *f* une rapidité plus grande que celle de *c* et *d*. Cette augmentation de vitesse peut être produite soit en agrandissant le diamètre, soit en augmentant le nombre de tours, soit enfin des deux manières à la fois. En général, la machine à étirer est faite de telle façon que l'allongement principal a lieu entre la deuxième et la troisième paire de rouleaux, tandis qu'il n'est que peu sensible et seulement préparatoire entre la première et la seconde. Les rouleaux *a* et *b*, *c* et *d* conservent toujours vis-à-vis les uns des autres la même position, mais ils peuvent être séparés plus ou moins, avec leur entourage, de la troisième paire *e* et *f*, selon la qualité du coton.

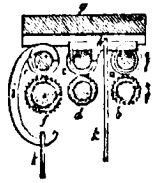


Fig. 584.

La distance du point central de *b* et *d*, ou sa ligne de contact avec le rouleau supérieur, est calculée de façon qu'elle excède la longueur des filaments de coton; ces filaments ne courent donc jamais le risque d'être déchirés par la seconde paire qui les tire lorsque la première les tient serrés. Entre *d* et *f*, où a lieu la plus grande extension, la distance doit être aussi petite que possible, afin que l'uniformité soit plus complète. Si les distances entre *d* et *f* sont très-grandes, le ruban qui passera deviendra trop mince et se cassera peut-être dans le milieu; ce qui nous prouve que plus la partie soumise à l'étirage est courte, et plus les rouleaux sont rapprochés les uns des autres, en les supposant cependant assez éloignés pour ne pas casser les fibres du coton, plus l'étirage se fait d'une manière égale.

Les rouleaux de dessous *b*, *d*, *f*, sont en fer; leurs surfaces sont formées de cannelures triangulaires parallèles à l'axe; ce qui fait qu'ils peuvent tendre et serrer davantage les filaments. Les rouleaux de dessus *a*, *c*, *e*, sont aussi de fer, mais leurs surfaces sont unies et recouvertes d'une double enveloppe, ce qui leur donne un certain degré de mollesse et d'élasticité. La première enveloppe se compose d'une toile de flanelle dont les extrémités sont cousues ou collées, et par-dessus on applique une couverture de cuir. Les rouleaux de dessus sont quelquefois appelés presseurs, parce qu'ils pressent au moyen de poids ceux qui sont dessous. Ces poids sont suspendus à de minces baguettes *k k'*, au moyen desquelles le premier opère sur le rouleau *e* seul, le dernier sur les deux rouleaux *c* et *a* simultanément. Pour cela, le premier poids est suspendu à une courbe *i*, dont l'extrémité crochue embrasse le rouleau *e*; le second a un coussinet de bronze *h*, qui appuie sur *a* et sur *c*. Cette pression force les cylindres presseurs à accompagner les cylindres cannelés dans leur rotation et empêche le coton de glisser entre eux, ce qui aurait pour conséquence de rendre l'étirage irrégulier. De plus, ces cylindres sont recouverts de chapeaux garnis intérieurement de peaux à poils courts ou de velours de laine, dont les fonctions sont d'arrêter tous les filaments de coton qui se détachent du ruban et s'enroulent sur les cylindres de pression. Afin de rendre ces chapeaux plus efficaces, on est dans l'usage de les frotter avec du blanc d'Espagne, ce qui ne laisse pas que de détériorer sensiblement la couverture de peau des cylindres. Il faut nettoyer les cylindres étireurs avec le plus grand soin. Au moins une fois par semaine, il faut les démonter pour frotter les cylindres cannelés et enlever l'huile de toutes les parties; il est aussi nécessaire de soulever, tous les jours, les chapeaux plusieurs fois, de les dégarnir de coton et de frotter les cylindres de pression.

Doublages. — L'étirage qui se produit par suite de l'augmentation de vitesse des couples de cylindres ne peut se prolonger longtemps sans que l'épaisseur du fil ne devienne tellement faible que ce dernier ne puisse plus résister et se rompe. Il faut donc prévenir cet inconvénient en doublant le coton, ce qui permet de recommencer l'étirage un nombre infini de fois. Le doublage se fait généralement de la manière suivante. On compose un banc d'étirage de six têtes, c'est-à-dire qu'il peut étirer six rubans à la fois. Chaque tête est formée de quatre à six couples de cylindres étireurs; ces quatre couples sont rapprochés deux par deux à la distance voulue par la longueur de la fibre du coton, c'est-à-dire le premier avec le second, le troisième avec le quatrième. La distance entre le deuxième et le troisième est d'environ 20 cent., afin que la manœuvre soit plus facile, et la vitesse du troisième ne dépasse que de très-peu celle du deuxième. Chaque laminoir n'étire, pour ainsi dire, que deux fois le coton qui le traverse. Les rubans sortants passent entre deux rouleaux d'appel et descendent dans un couloir qui les conduit à une machine à réunir. Les étirages sont combinés de telle sorte que la somme des rubans sortants présente la même épaisseur de ruban que chacun des rubans placés derrière. Le nombre des passages aux laminoirs est déterminé par le numéro du fil que l'on veut obtenir, numéro toujours en rapport avec la longueur des filaments du coton que l'on traite. Le doublage a, en effet, l'avantage d'influer puissamment sur l'homogénéité des fils; je veux parler de la compensation qu'il amène indubitablement entre les variations d'épaisseur qui se sont manifestées dans les rubans pendant le travail des cardes.

Un exemple fera facilement comprendre toute la valeur du procédé du doublage pour obtenir des fils parfaitement réguliers. Le premier laminoir réunit huit rubans de cardes en un seul qu'il étend et égalise, comme aussi il range les fibres constituantes en lignes parallèles. Le second et le troisième laminoir vont plus lentement; ils tirent du premier leur approvisionnement en rubans; et si l'on fait un quatrième, un cinquième un sixième étirage (ce qui a quelquefois lieu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour le filage en fin), les doublages se montent ensemble au produit $8 \times 4 \times 7 \times 6 \times 6 \times 6 = 48,384$. Dans le filage du gros fil, il suffit de trois doublages successifs, ce qui donne la réunion de 324 rubans dans le ruban final. Dans le filage en fin, le doublage des fils se monte quelquefois à soixante-dix mille fois pour parvenir à une parfaite uniformité dans le fil achevé. On peut se faire, d'après cela, une idée du rôle important du doublage dans la filature du coton.

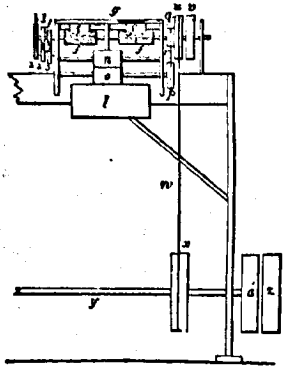


Fig. 585.

Banc d'étirage. — La forme du banc d'étirage, comme elle est vue en coupe dans la fig. 586, et par derrière dans la fig. 585, n'a besoin, après les détails ci-dessus, que de peu d'explications pour être comprise. *l*, *l*, sont les poids qui appuient sur le dessus des rouleaux, appuyant eux-mêmes sur ceux de dessous. Chaque rouleau cannelé est, ainsi que le représente le dessin au point *f*, pourvu à ses deux extrémités d'une partie mince et unie. La grosse poulie *u*, au moyen de laquelle toute la machine est mise en action, reçoit son mouvement par le moyen de la courroie *w*; *v* est la poulie folle. Les extrémités des rubans de carde, au nombre de six généralement, sont introduites sur le banc d'étirage au moyen de pots d'étain, placés en *e*, *e* (fig. 587). L'ouvrier a le plus grand soin de réunir les extrémités des rubans qui viennent à casser, après avoir arrêté la machine en glissant la courroie de communication

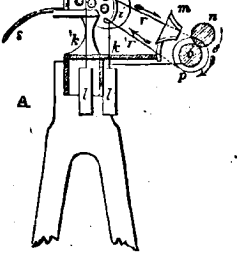


Fig. 586.

sur la poulie folle. Les rubans viennent se réunir dans un couloir *m*, et passent entre les rouleaux presseurs. On reçoit les rubans au sortir des cardes sur des rouleaux, et au sortir du banc d'étirage dans des boîtes carrées ayant un mouvement de va-et-vient.

Le produit des cardes était jadis reçu dans des cylindres de fer-blanc, et celui du dernier banc d'étirage, comme on le voit encore dans les filatures un peu anciennes, dans des lanternes tournantes (fig. 587), ingénieuse invention de Arkwright, qui était encore, il n'y a pas bien longtemps, la machine principale pour communiquer au ruban fourni par le banc d'étirage la torsion nécessaire pour lui donner quelque consistance, pour peu surtout que les préparations antérieures fussent imparfaites. Cette lanterne tournante constitue une machine assez curieuse pour que nous en expliquions le mode de fonctionnement. Le banc d'étirage, consistant en deux paires de rouleaux *a* et *b* entre lesquels le ruban est étiré; *c* sont les brosses pour nettoyer

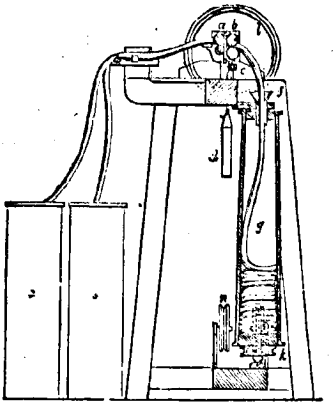


Fig. 587.

les rouleaux; *d* le poids qui donne la pression aux rouleaux cannelés. La vitesse de rotation de la surface de la seconde paire de rouleaux est 3, 4 ou 5 fois plus grande que celle de la première paire. Deux rubans étirés sont généralement réunis en un seul au moyen de cette machine, et ils viennent de deux pots *e*, *e*, fig. 587. Le ruban en sortant est étiré entre les rouleaux, comprimé en même temps, puis de là conduit dans la lanterne cylindrique ou conique *g*, terminée au sommet par le couloir *f*. Cette lanterne reçoit un mouvement de rotation qui entraîne le ruban qui vient s'y déposer, au moyen d'une corde passant sur une poulie *k*.

4° FILATURE. — *Banc à broches.* — Les opérations faites jusqu'ici sur des rubans de largeur et d'épaisseur relativement grandes, n'ont pour but que la disposition parallèle des fibres dans des rubans réguliers, sans chercher à en faire un fil.

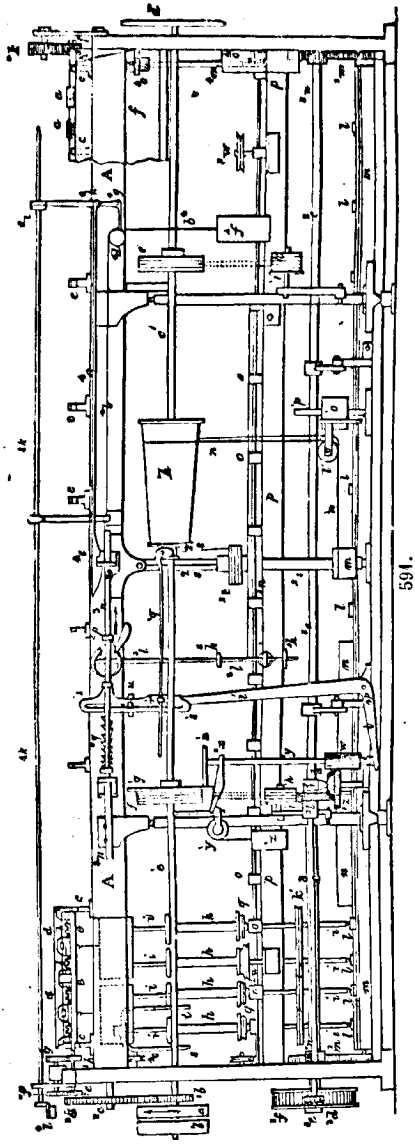
Nous arrivons maintenant aux machines qui produisent les fils, par les organes desquels passent des longueurs incomparablement plus grandes que sur les précédentes, qui forment par suite la part la plus importante du matériel des filatures.

La première est le banc à broches, qui exécute un étirage à faible torsion et un renvidage sur bobines, avec une vitesse modérée des organes renvideurs, afin d'éviter la production de trop de duvet et les ruptures fréquentes qui résulteraient des vibrations et des changements de vitesse.

La fig. 591 représente une vue prise en arrière de cette machine ingénieuse, et la fig. 592 une section de quelques parties importantes, peu visibles dans la première figure. La fig. 604 est une perspective représentant cette machine avec le dernier degré de perfection qu'elle ait reçu. C'est par le derrière de la machine que le coton est introduit entre les cylindres étireurs. Les bobines, remplies de coton, sont placées

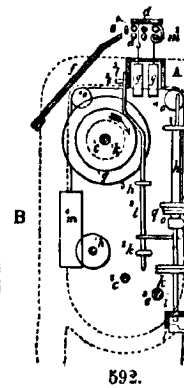
EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans des rangs parallèles, ainsi que le représente la fig. 592. Le ruban de chaque pot ou les rubans réunis de deux pots contigus sont conduits en haut, le long de la planche inclinée *f*, entre les triples paires de cylindres étireurs, employés habituellement, et dont la première paire est indiquée par *a a*. Dans la

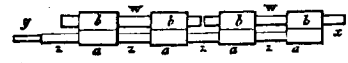


591.

fig. 591, afin de simplifier le dessin, on a omis la plupart de ces rouleaux, ainsi que les parties qui leur sont subordonnées. Lorsque les rubans ont subi le degré d'extension nécessaire, entre les cylindres, ils se dirigent vers les broches *i, i, i*, où ils sont tordus convenablement avant de s'enrouler sur les bobines *h, h, h*. Les rouleaux cannelés *a, a, a* sont faits de quatre pièces, ainsi qu'il est représenté dans la fig. 593. Quant à la broche, qui sert à répartir le coton sur la bobine en couches uniformes, elle se compose, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 594, de deux ailettes *t* et *s*, dont une creuse, et qui se font équilibre. L'axe des broches traverse l'axe des bobines dans toute sa longueur, de manière que l'on peut placer sur chacun d'eux une roue d'engrenage pour les mouvoir séparément. Les axes des broches tournent dans des crapaudines fixes de position, tandis que les bobines sont montées sur un appareil,

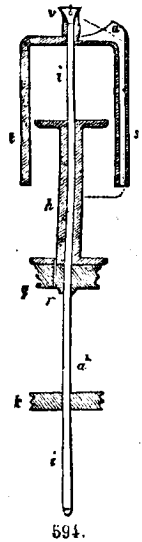


592.



593.

décrivant un mouvement rectiligne alternatif vertical, qui permet à ces dernières de présenter d'une façon régulière aux extrémités des ailettes des surfaces nouvelles à couvrir, au fur et à mesure que le coton s'enroule. On conçoit facilement maintenant que si le nombre de tours des broches, dans un temps donné, est le même que celui des bobines, les vitesses angulaires étant égales, les mêmes points des broches restent dans les mêmes plans méridiens avec les mêmes points des bobines, et l'enroulement est nul. Il est encore évident que si, les broches restant fixes, les bobines tournent, il y aura enroulement du coton sur les bobines de toute la longueur parcourue par un point quelconque de leur circonférence. Quant au coton, il n'est pas tordu, car il n'a fait que se présenter tangentiellement à la surface cylindrique de la bobine, perpendiculairement aux génératrices. Supposons maintenant que les bobines restant fixes, les broches tournent. Il y a alors d'abord enroulement du coton sur les bobines, de toute la longueur de circonférence à la bobine correspondant à la longueur angulaire parcourue par l'extrémité de l'ailette; et ensuite, torsion du ruban en fil, parce qu'en entrant par l'axe, il a tourné sur lui-même de la même quantité que les broches. Si les broches et les bobines tournent en même temps et dans le même temps, il est facile de régler leurs vitesses de rotation, de telle sorte que la quantité de coton enroulée dans un temps donné soit constante pour une même circonférence de la bobine. Mais ce n'est plus sur une circonférence donnée qu'il faut enrouler le coton, mais bien sur des circonférences dont le diamètre augmente à chaque couche dé-



594.

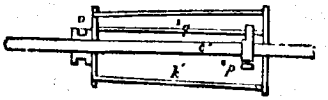
EFERUS - Recherche & Classification numérique

posée sur la bobine. Si donc il est une vitesse de rotation convenable des broches et des bobines, peu considérable pour ne pas produire trop de duvet, pour enrouler d'une quantité constante sur une circonférence déterminée, il est aussi nécessaire qu'il y ait autant de vitesses de rotations différentes, pour continuer l'enroulement, que la bobine peut supporter de couches de coton.

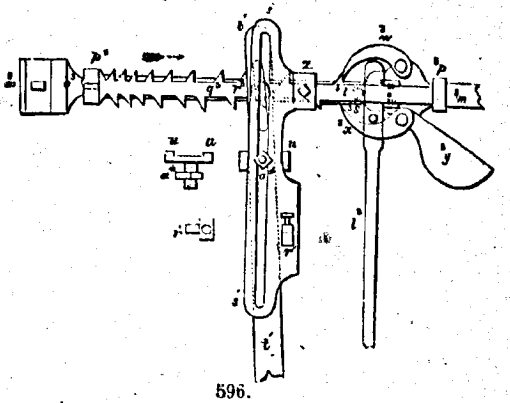
Supposons que les rouleaux d'étirage fournissent, en 10 secondes, 1m,14 de ruban, et que cette longueur reçoive 30 torsions. Les broches doivent en conséquence exécuter 30 révolutions en 10 secondes, et les bobines doivent tourner avec une telle célérité, qu'elles puissent dévider les 1m,14 en 10 secondes. La vitesse effective des bobines, dont la partie cylindrique a une circonférence de 0m,114, sera ainsi de 30 + 10 = 40 tours en 10 secondes. Lorsque par suite de l'enroulement du coton sur les bobines, celles-ci auront acquis un diamètre double de leur diamètre primitif, elles se couvriront à chaque tour d'une longueur de coton égale à 0,m228, conséquemment 1m,14 en 5 tours. Leur vitesse sera donc réduite à 30 + 5 = 35 tours en 10 secondes. En général, le nombre de révolutions que les bobines doivent faire de plus que les broches, diminue à mesure que leur diamètre s'agrandit par l'effet de l'enroulement du coton. La vitesse des bobines doit rester égale durant tout le temps de la descente ou de la montée sur la broche, et elle doit diminuer au moment où l'on change la direction de l'un ou l'autre de ces mouvements.

Les mouvements des cylindres étireurs, des broches et des bobines s'exécutent de la manière suivante. L'arbre c', fig. 591 et 592, s'étend sur toute la longueur de la machine. Il est monté sur une roue indépendante d', et mis en mouvement par une courroie de la poulie portant sur l'arbre du milieu, courroie qui fait agir la poulie a'. b' est la poulie folle sur laquelle la bande vient se placer quand le mouvement de la machine cesse. En dedans de la poulie a, mais de l'autre côté du châssis, l'arbre c' porte une roue dentée b^2 de 50 dents, laquelle au moyen de la roue c^2 intermédiaire fait agir la roue d^2 sur l'arbre prolongé à partir du cylindre cannelé le plus en arrière (fig. 591). Cette roue d^2 a habituellement 54 dents, mais elle peut être modifiée à volonté, selon que le coton doit recevoir plus ou moins de tors. Sur le même arbre, outre d^2, est fixé un pignon e^2 de 32 dents, qui agit sur une roue f^2 de 72 dents. De l'autre côté du châssis, un pignon g^2, qui a ordinairement de 24 à 28 dents, régularise l'étirage; il travaille sur une roue h^2 ayant 48 dents, et placée à l'extrémité du dernier cylindre cannelé a. L'autre extrémité du même rouleau porte un pignon i^2, pourvu de 26 dents, lequel, par le moyen de la grande roue k^2 intermédiaire, met en mouvement le pignon i'^2 de 22 dents monté sur le cylindre du milieu.

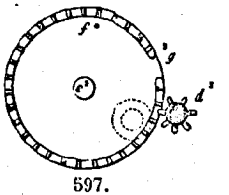
Quoique provenant de l'arbre c', le mouvement de rotation des bobines est indépendant de celui des broches, et il en diffère, car il diminue sans cesse. On parvient à ce résultat au moyen du tambour conique mobile, d'une poulie et d'un plateau de friction, dont les fig. 595 et 596 peuvent donner facilement une idée. Le plateau circulaire est monté sur l'arbre des broches, et une poulie montée sur un arbre vertical roule tangentiellement à ce tambour avec la faculté de monter et de descendre suivant la position du peigne. Il en résulte que la vitesse de rotation de cette poulie est d'autant plus grande que la distance de son point de contact au centre est plus considérable. La poulie de friction sert ainsi à régler la vitesse des crémaillères au moyen desquelles le chariot des bobines monte et descend. Le tambour, mu aussi par le peigne, présente des diamètres convenables à la rotation des bobines comme



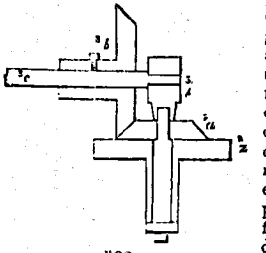
595.



596.



597.



598.

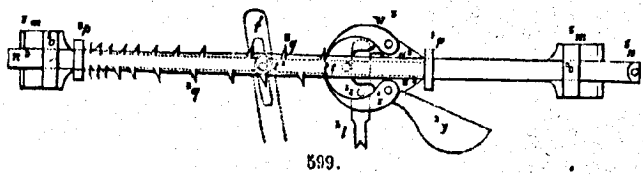
dans le banc à broches à mouvement différentiel. Comme le temps employé à déposer une couche de coton sur les bobines augmente avec le diamètre de ces dernières, il faut que la vitesse d'élévation du chariot diminue proportionnellement à ce temps. Dans la figure 597, la roue f^3, au moyen de laquelle se transmet le mouvement rectiligne vertical alternatif, est indiquée avec son pignon d^3 qui engrène alternativement en dedans et en dehors. Ainsi, par le mouvement uniforme de d^3 et de ses dépendances, la roue f^3, avec son arbre e^3, tourne alternativement de droite à gauche. La fig. 598 représente le pignon conique a^3 et ses dépendances construits sur une plus grande échelle. Les fig. 599 et 600 achèveront de faire comprendre comment le tambour conique effectue son mouvement.

Quand on connaît le diamètre des bobines vides, et combien de tours elles doivent faire dans un temps donné pour dévider la tranche fournie par les cylindres cannelés et par les broches, il est facile de trouver le diamètre que le cône doit avoir pour produire ce nombre de tours. Ce diamètre est celui de la plus grande périphérie de la base. Dans la machine que nous venons de décrire, chaque broche peut dévider en 12 heures de 0k,270 à 0k,370 de coton de la finesse de 1 1/2, mesure anglaise. Une personne peut surveiller deux métiers, réunir les fils cassés et remplacer les bobines pleines

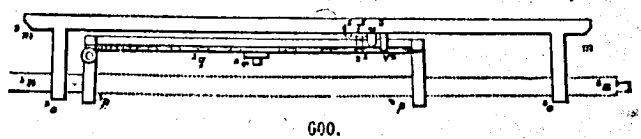
EFERUS - Recherche & Classification numérique

par des vides. Le déchet du coton consiste dans les parties provenant de la rupture des fils, et doit être reporté à la machine à battre.

Le banc à broches en fin ne diffère pas absolument de la machine précédente ou banc à broches en gros. Celle-ci reçoit les rubans sortant du dernier laminoir; celle-là sert pour les numéros à partir de cinquante. Le tors que l'on donne au coton dans les bancs à broches est d'autant moindre que la grosseur du fil est plus considérable. Il en résulte que, dans le banc à broches en gros, la vitesse des broches est infiniment moindre que dans le banc à broches en fin. C'est pourquoi, afin de produire la même longueur de coton dans le même temps, sur le premier comme sur le second, on est obligé d'imprimer aux bobines une vitesse plus grande que celle des broches. Quant au tors que l'on donne au coton, il est en moyenne de 1 tour par centimètre pour le banc à broches en gros; de 1,5 pour le banc à broches intermédiaire, et de 2 tours pour celui en fin. Du reste, le banc à broches en fin n'existe que depuis quelques années; et jusqu'à cette époque, on n'employait que le métier en gros de 164 broches environ. Ce métier recevait le coton du banc à broches en gros ou du banc à broches intermédiaire; et il avait sur le métier en fin plusieurs avantages : d'abord il coûtait moins cher, et ensuite il produisait davantage. Il est vrai de dire aussi qu'il exigeait plus de main-d'œuvre et donnait un coton moins régulier.

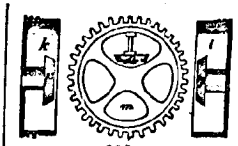


599.



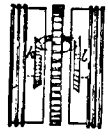
600.

tambour cylindrique est fait de deux pièces *k* et *l* et monté sur l'arbre avec une roue dentée *m*. On comprend facilement la disposition des trois parties qui

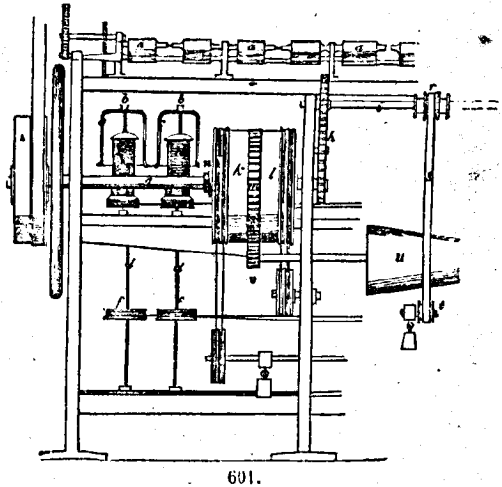


602.

composent ce tambour en jetant les yeux sur les fig. 602 et 603, où elles sont représentées séparément. Une partie du tambour est fixée avec sa poulie *l* à l'arbre *g;* mais l'autre partie avec sa poulie *k* et la roue dentée *m* glisse librement en tournant sur l'arbre *g;* et lorsque ces deux parties sont amenées en contact et retenues par un collet fixe *n*, ainsi qu'on le voit dans la fig. 601, elles forment deux poulies distinctes destinées, l'une à mettre en mouvement les broches, l'autre à faire agir les bobines. L'arbre principal *g* étant mis en mouvement, comme il a été dit plus haut, le système de roues *h*, qui en dépend, fait tourner l'arbre *i*, lequel est muni à son extrémité d'un pignon qu'on ne voit pas dans la figure, et qui met en mouvement toute la série des cylindres étireurs *aaa*. Sur l'arbre *i* est une poulie mobile *r*, portant une courroie *s*, qui vient s'enrouler en bas sur la poulie de tension *t*, tenue tendue par un poids. Cette courroie *s*, dans son mouvement de rotation, se trouve en contact avec le tambour conique *u*, et l'entraîne dans sa rotation; tandis que la poulie *r*, par un mécanisme qui n'est pas indiqué dans la figure, glisse le long de l'arbre *i*. Ce mouvement de la poulie *r* a pour but de faire passer progressivement la courroie *s* du plus petit diamètre du tambour au plus grand, afin que la vitesse de rotation diminue graduellement à mesure que les bobines s'emplissent par le dévidage des fils.



603



601.

La fig. 601 représente un banc à broches à mouvement différentiel, de l'invention de M. H. Houldsworth et tel qu'on le construit en Angleterre. *a, a, a* sont les cylindres étireurs. L'arbre principal *g*, au moyen d'un système de roues *h*, communique le mouvement à ces cylindres. Sur l'arbre *g* est monté un tambour-poulie cylindrique sur lequel passe une courroie pour faire mouvoir les broches *f* et *d*, ainsi que les bobines *e, e*. Ce

Théorie du banc à broches. — Insistons un peu sur les intéressantes questions que présente le banc à broches au point de vue théorique. Le développement que la bobine doit présenter dans l'unité de temps étant déterminé, le nombre des tours à lui imprimer doit toujours être en raison inverse de son diamètre. Ce diamètre augmentant successivement de l'épaisseur des couches de fil renvidées, c'est-à-dire du double de l'épaisseur du fil par chaque tour, il faut que la vitesse de la bobine diminue dans le rapport des rayons après et avant l'enroulement.

Pour que ces tours se déposent les uns à la suite des autres, il faut encore donner à l'axe de la bobine un mouvement vertical de va-et-vient, et puis que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vitesse de la bobine varie, la vitesse de ce mouvement rectiligne alternatif devra varier également en raison de l'épaisseur de fil enroulé.

Ces deux conditions, auxquelles il paraît si difficile de satisfaire d'une manière absolue, sont admirablement remplies à l'aide de deux organes déjà décrits, dans le banc à broches à mouvement différentiel, savoir :

1° Le cône monté sur l'axe qui communique le mouvement rectiligne alternatif aux bobines et mené par une courroie qui passe sur une poulie montée sur l'arbre moteur. Cette poulie et la courroie qui passe sur le cône glissent sur cet axe poussées par un encliquetage qui avance d'une dent à chaque alternative du mouvement de haut en bas et de bas en haut de la bobine, c'est-à-dire par chaque tour d'enroulement. La vitesse du mouvement alternatif, diminue ainsi avec l'épaisseur du fil enroulé ; il est communiqué par le mouvement d'ascension et de descente d'une crémaillère engrenant avec une roue dentée.

2° Le mouvement, variable en raison des épaisseurs de fil, de l'arbre qui porte le cône dont nous venons de parler, vient s'ajouter à celui du moteur communiqué aux broches, pour former celui des bobines à l'aide d'un système à mouvement différentiel de la nature de celui représenté fig. 8. (Voy. DIFFÉRENTIEL.)

Il est facile de voir que l'emploi de ces organes fournit une solution mathématique du problème complexe qu'il s'agissait de résoudre. Entrons dans quelques détails.

Soit V la vitesse à la circonférence des cylindres d'étirage, ou la longueur de mèche fournie dans l'unité de temps, v la vitesse de rotation de l'ailette dans le même temps, ou le nombre de tours de tors donné à la longueur de mèche V, d le diamètre de la bobine à la première couche, $1/2\,m$ le diamètre de la mèche.

Les diamètres successifs de la bobine seront :

1re	couche	d.
2e	—	$d + m$.
3e	—	$d + 2\,m$.
4e	—	$d + 3\,m$.
. . .	. . .	. . . . .
ze	—	$d + (z - 1)\,m$.

Les rapports des vitesses des étirages et de la bobine pour différents diamètres, abstraction faite du mouvement de l'ailette, doivent être égaux à :

$$\frac{V}{\pi d}, \frac{V}{\pi (d+m)}, \frac{V}{\pi (d+2m)}, \frac{V}{\pi (d+3m)}, \ldots \frac{V}{\pi (d+(z-1)m)}.$$

Mais pour avoir la vitesse réelle de la bobine, il faut ajouter ou retrancher ces différentes valeurs de la vitesse constante de l'ailette, suivant que le renvidage se fait dans un sens ou dans l'autre.

Appelant u, u', u'' .... u^z les vitesses réelles de la bobine à ses différents diamètres, on devra avoir :

$$u = v \pm \frac{V}{\pi d}, \quad u' = v \pm \frac{V}{\pi (d+m)},$$

$$u'' = v \pm \frac{V}{\pi (d+2m)} \ldots u^z = v \pm \frac{V}{\pi (d+(z-1)m)};$$

d'où l'on voit que chacune de ces valeurs se compose de la constante v plus la longueur de mèche fournie dans l'unité de temps divisé par la circonférence de la bobine ; et que ces vitesses forment entre elles une série croissante ou décroissante, suivant que la bobine marche plus vite ou plus lentement que l'ailette ; elle est décroissante dans le premier cas, et croissante dans le second.

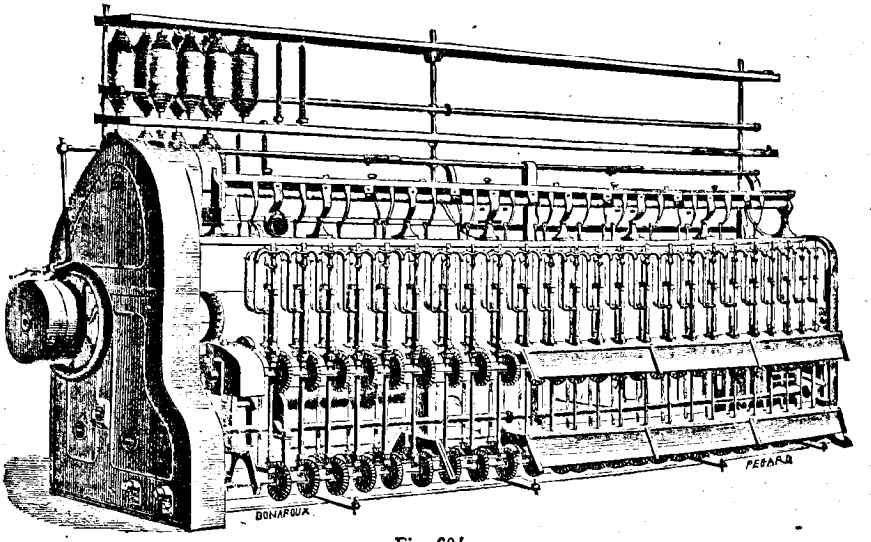


Fig. 604.

Connaissant les vitesses de rotation de la bobine, il reste à déterminer les vitesses d'ascension.

Soient b, b', b'', b'''... b^z, les différentes vitesses verticales de la bobine correspondant aux mêmes diamètres que les vitesses u, u', u''..., etc.

On sait que pour la longueur de la mèche πd fournie par les cylindres étireurs, la vitesse verticale doit être $1/2\,m$ pour le diamètre d, par conséquent on aura la proportion $\pi d : 1/2\,m = V : b$, d'où

$$b = \frac{V m}{2 \pi d}.$$

On aura de même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$$b' = \frac{Vm}{2\pi(d+m)},\quad b'' = \frac{Vm}{2\pi(d+2m)},$$
$$b''' = \frac{Vm}{2\pi(d+3m)} \ldots b^z = \frac{Vm}{2\pi(d+(z-1)m)}.$$

Mais $\frac{Vm}{2\pi}$ étant une quantité constante dans toutes ces valeurs, on a :

$$b : b' : b'' \ldots : b^z = \frac{1}{d} : \frac{1}{d+m} : \frac{1}{d+2m} \ldots \frac{1}{d+(z-1)m},$$

c'est-à-dire que les vitesses d'ascension de la bobine doivent être en raison inverse des diamètres de cette même bobine.

Il résulte de ce qui précède que si l'on fait mouvoir une roue différentielle à l'aide d'une courroie glissant sur un cône, le problème sera résolu.

En effet, soient $\frac{n}{D}$, $\frac{n}{D'}$, $\frac{n}{D''}$, etc., les rapports de vitesse des cylindres cannelés à celle des sections du cône, D, D', D''..., étant les diamètres successifs des sections du cône sur lequel marche la courroie, les vitesses réelles successives de la bobine seront :

$$u = v \pm \frac{2nV}{D},\ u' = v \pm \frac{2nV}{D'},\ u'' = v \pm \frac{2nV}{D''},\ \text{etc.}$$

Or, nous avons vu qu'on devait avoir :

$$u = v \pm \frac{V}{\pi d},\ u' = v \mp \frac{V}{\pi(d+m)},\ u'' = v \pm \frac{V}{\pi(d+2m)} \ldots;$$

d'où il suit que les diamètres successifs du cône doivent encore être proportionnels à ceux de la bobine.

La différence entre les diamètres de la bobine étant constante, celle entre les diamètres du cône le sera également, et par suite le peigne qui règle les mouvements de la courroie devra être partagé en autant de parties égales que la bobine pourra contenir de couches de coton.

Quant à la vitesse verticale de la bobine, elle est produite directement par le cône; elle est par suite proportionnelle à la vitesse de ce dernier, qui est en raison inverse de ses diamètres, par conséquent en raison inverse des diamètres de la bobine, comme cela doit avoir lieu.

Ce système ingénieux, et qui fait grand honneur à la science des constructeurs, n'est pas absolument nécessaire, et on a même essayé, sans succès toutefois, des broches qui n'exigent pas de mouvement différentiel pour l'enroulement du fil. (Voy. *Complément*, BROCHE.)

Rota-Frotteurs. — En Normandie les deux premiers bancs à broches, en gros et en moyen, sont remplacés par des *Rota-Frotteurs*. Cette machine, moins coûteuse que le banc à broches, peu applicable pour les numéros fins, rend de grands services pour les numéros ordinaires, soit en chaînes mécaniques n° 26 à 28 et au-dessus et les trames 30 à 34 que l'on file le plus dans les départements de l'ouest [1].

Cette machine se compose d'un étirage, d'un rouleau recouvert de cuir, face rugueuse en dehors, diamètre 25 centimètres, animé d'un mouvement lent, rotatoire sur son axe et de va-et-vient, dans le sens de sa longueur; d'un tablier en cuir, également face rugueuse en dehors, tendu sur deux rouleaux en cuivre qu'il recouvre, tournant, comme le rouleau qu'il supporte, sur ces deux axes, et animé d'un mouvement de va-et-vient dans le sens de la longueur. La mèche du comprimeur, après avoir été laminée dans l'étirage, est soumise à la pression du rouleau sur le tablier, s'y trouve roulée et foulée, et en ressort en mèche ronde et consistante.

Le frotteur en moyen reçoit quatre de ces mèches pour n'en faire qu'une en devant, et ces mèches, qui doivent leur régularité à ce doublage, sont placées ensuite derrière le banc à broches en fin, d'où elles sortent en n° 3, sur des bobines que l'on place derrière les métiers à filer.

5° MÉTIER EN FIN. La fig. 605 est une coupe verticale du métier continu, qui fut l'invention pri-

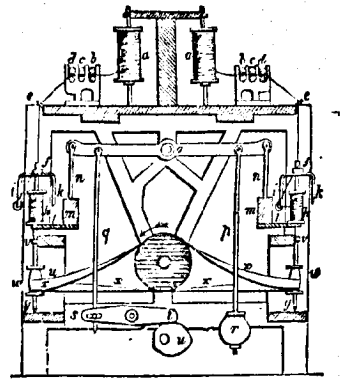


Fig. 605.

mitive de la filature de la chaîne par procédé mécanique, appelé *throstle* en anglais, dont nous avons déjà parlé au commencement de cet article. Cette machine est double, et possède de chaque côté de son chariot un rang de broches avec toutes leurs dépendances. Les bobines remplies de coton sont dressées en *a a*, sur deux rangs; *b*, *c*, *d*, sont les trois paires ordinaires de cylindres étireurs. Le mouvement de toute la machine provient de l'arbre d'un tambour horizontal qui fait tourner les broches, au moyen des courroies sans fin *x x*. Chaque broche est munie à son extrémité inférieure d'un barillet *w*, qui fait tourner une courroie particulière qui agit aussi sur le tambour *g*. Les vitesses de rotation des trois cylindres étireurs sont dans la proportion suivante : 1 : 1 1/2 : 8; et comme les diamètres sont les mêmes, c'est-à-dire de 25 mill., l'allongement du fil pendant le filage sera de 20 cent. Si, par exemple, le tour était de 4 1/2, le fil atteindrait le n° 36. La tension du fil, d'ailleurs, peut être modifiée en changeant les roues des cylindres étireurs. Supposons, en effet, que la roue à 18 dents des cylindres de derrière soit remplacée par une roue à 16 dents, l'allongement du fil ne s'élèvera plus dans ce cas qu'à 7 1/2 fois, et le numéro du fil sera de $32 = 7\ 1/2 \times 4\ 1/2$ Une jeune fille et une aide qui rattache les fils suffisent pour le service de 240 broches dans deux doubles *throstles*. Quant à la quantité de fil terminé dans une semaine de 69 heures, elle est d'environ 24 écheveaux pour chaque broche de torsion de 30, et ce fil est d'une qualité de filé très-propre aux chaînes de futaine et autres étoffes fortes, aussi bien qu'à la manufacture de bas et au fil à coudre. Le continu ne peut servir pour des fils très-fins, le fil deviendrait duveteux, se romprait souvent par suite de la grande vitesse qu'il faudrait donner à la broche qui ne peut tordre que pendant un temps égal à celui de l'étirage.

1. Le numérotage ou titrage du coton a été établi dans le système métrique ainsi qu'il suit :

Le n°	1 représente une longueur de	1,000m	pesant	500 gr.
—	2	— 2,000	—	500
—	3	— 3,000	—	500
—	10	— 10,000	—	500

et ainsi de suite.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le métier généralement adopté pour la filature en fin et surtout pour la filature du fil de trame est celui à travail intermittent, connu sous le nom de *mull-jenny*, inspiré évidemment par la *jenny*, décrite au commencement de cet article.



Fig. 606.

Le métier à travail continu, soit à broches horizontales, soit à broches verticales, quoique paraissant devoir être la conséquence des perfectionnements apportés dans la filature, se trouve, au contraire, antérieur au *mull-jenny*, qui l'a remplacé. Rien de plus simple à expliquer, car le *mull-jenny*, à nombre de broches égales, coûte moins cher d'acquisition, donne beaucoup plus de produit et exige moins de vitesse pour le tors, parce que ce dernier s'effectue non-seulement pendant la marche de la machine, mais encore quand elle est au bout de sa course. On peut voir, par la fig. 606, combien le rouet primitif à coton de l'Inde diffère de cet admirable système, dont le *waterframe* primitif d'Arkwright, représenté de face fig. 607, est, pour ainsi dire, le complément. Aussi

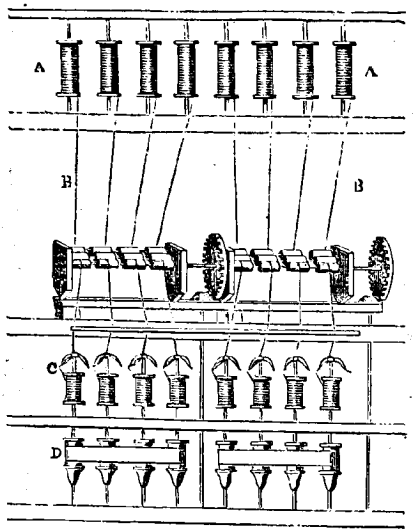


Fig. 607.

avec l'aide de ces doigts mécaniques, un ouvrier européen peut filer dans un jour plus de fils et d'une plus belle qualité, que 200 des fileurs indiens les plus diligents ne pourraient le faire avec leur appareil imparfait.

La fig. 608 est une section transversale d'un *mull-jenny*. Cette machine consiste en deux parties principales : l'une fixe, et l'autre mobile. Le châssis de la partie fixe consiste en deux montants droits, et deux ou plusieurs supports parallèles, sur lesquels est placé le rouleau-barre horizontal; *p*, *c d*, sont les trois rangs de cylindres de fer cannelés; *e*, *f*, *g*, les cylindres supérieurs couverts de cuir; *h*, les rouleaux de bois, garnis de flanelle. Les brochettes sur lesquelles sont montées les bobines contenant le coton se voient en *a*, *a*, *a*, disposées sur trois rangs, dans les intervalles *x*, *x*, *x*. Les fils provenant de ces bobines passent, avant de se diriger vers les cylindres étireurs, à travers des œillets situés aux extrémités des bras de métal *b*, puis à travers le guide *w*, et ils sont saisis par la paire de rouleaux de derrière. Le nombre de ces bobines est égal à celui des broches du *mull-jenny*, et deux fois aussi grand que le nombre des parties cannelées des cylindres, car deux fils sont traités à la fois par chaque partie cannelée.

Le chariot est formé de deux montants en fonte, et de plusieurs pièces semblables, telles que f^3, qui sont toutes attachées aux planches b^2, c^2, d^2. Ce chariot roule, au moyen de deux roues en fonte, sur le railway en fonte l^2, qui est fixé sur le plancher. Les broches (sans ailettes) sont placées verticalement sur le chariot, dans le châssis qui consiste en deux rails obliques x^2, x^2, maintenus entre eux par les barres transversales y^2, et qui peut être placé plus ou moins obliquement. c^3 sont des tambours montés sur un plan qui est à angle droit avec celui des broches. Ils ont en haut une double gorge pour laisser passer une corde, et ils communiquent aux broches le mouvement qu'ils reçoivent d'une grande roue qui n'est pas visible dans la figure. Un semblable tambour est affecté à chaque groupe de 24 broches; par conséquent un *mull* de 480 broches contient 20 tambours.

Une seule courroie ou corde sans fin, venant de la poulie k^3, donne le mouvement aux tambours c^3. Quand le chariot marche en s'éloignant des cylindres étireurs, avec une vitesse un peu plus grande que celle de la sortie du laminoir, d'où résulte un double étirage, les broches tournent et produisent le tors, sans enrouler ni dérouler le coton. Lorsque le chariot arrive au bout de sa course, il fait partir une détente, et son mouvement cesse ainsi que celui des cannelés. Le fileur, s'il trouve que la mèche n'est pas assez tordue, laisse faire plusieurs tours à la roue, puis *renvide*, c'est-à-dire ramène le chariot près des cylindres cannelés; les broches tournent et se recouvrent de coton sans le tordre. Arrivé à cette position, une autre détente rétablit les mouvements primitifs. Le premier effet s'obtient en inclinant suffisamment les broches; le second, en baissant les fils après avoir déroulé la partie de coton enroulée sur l'extrémité des broches. L'inclinaison nécessaire pour empêcher le coton, soit de s'enrouler, soit de se dérouler, quand le chariot s'éloigne des cylindres cannelés, est variable. Au premier abord, on croirait que ce plan devrait être à 45° avec celui des fils, mais, dans la pratique, il n'en est pas ainsi. Plus les fils sont fins, plus les broches sont inclinées et effilées, parce que le coton est beaucoup plus sujet à casser.

Quant à l'écartement des cylindres cannelés, il varie suivant la longueur des filaments; dans tous les cas, il est toujours le moindre possible, parce que l'on casse beaucoup. Comme la transmission du mouvement de rotation aux broches est totalement indépendante de celle du chariot et des cylindres cannelés, il en résulte que, lorsque le chariot est arrivé à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la fin de sa course, le tors peut se prolonger aussi longtemps qu'on le juge convenable.

sur les fils; le chariot revient sur lui-même, et, dans ce mouvement de rentrée, la broche renvide la longueur de fil tordue pendant sa marche; le fil de fer conduit le fil le long de la broche, comme guidé par une main invisible, et façonne la bobine peu à peu, couche par couche, spirale par spirale. Le chariot revenu à son point de départ, la baguette de fil de fer se relève, le fil remonte à la pointe de la broche, et tout remarche pour une nouvelle *aiguillée*. L'ouvrier placé devant cette énorme machine semble se reposer; la matière, docile, organisée, a travaillé seule : — rattacher de temps à autre quelques fils cassés, nettoyer son métier, remplacer par-ci par-là les bobines de banc à broches arrivées à leur fin, telles sont les uniques fonctions du fileur, si toutefois on peut continuer à donner ce nom au surveillant de ce métier. — Un homme, un jeune homme et deux enfants suffisent pour conduire deux métiers de 1,000 broches chacun.

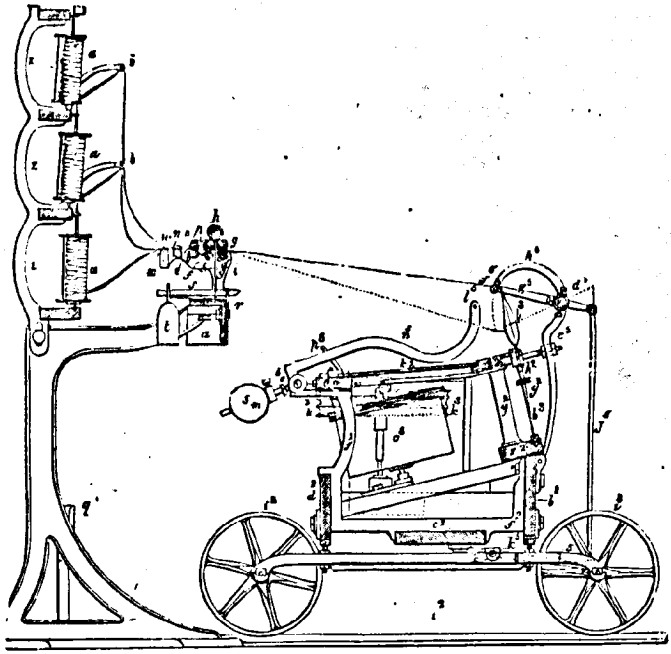


Fig. 608.

Un fileur suffit à surveiller deux *mulls* qui sont en face l'un de l'autre; le chariot de la première machine étant en train d'avancer et de filer, tandis que celui de l'autre finit sa torsion et est arrêté par le fileur.

La quantité de fil manufacturée par un *mull* dans un temps donné dépend directement du nombre de ses broches et du temps employé pour compléter chaque portée de la machine. Plusieurs autres circonstances ont une influence directe sur cette quantité, et particulièrement le degré d'habileté du fileur ainsi que la bonne organisation de la machine. On peut encore dire qu'une température de 18° C. et une atmosphère légèrement humide conviennent également aux opérations de la filature.

Self-acting. — Il restait à accomplir le progrès de faire mouvoir mécaniquement le mull-jenny, de donner à la machine l'habileté du fileur; c'était arriver à produire, presque par la seule action des forces naturelles, le fil le plus délicat. C'est ce qu'on a obtenu par l'invention du *self-acting*.

Voici comment il travaille : dès que la courroie de la transmission vient mettre en mouvement la poulie du métier, aussitôt l'étirage fonctionne; le chariot, monté sur ses roues à rainures, s'éloigne de l'étirage avec une lenteur mesurée. Pendant qu'il s'avance, les 1,000 broches dont se compose le *self-acting*, animées d'un mouvement de rotation de 6,000 tours par minute, tordent les 1,000 fils à mesure qu'ils sortent de l'étirage. Arrivé au bout de sa course, l'étirage s'arrête; les broches tournent encore quelques secondes et s'arrêtent à leur tour, comme obéissant à un signal mystérieux. Aussitôt ces broches *dévournent* de quelques tours; un fil de fer tendu sur toute la longueur du métier, au-dessus des broches, dit *baguette*, s'abaisse

La description détaillée du *self-acting* serait une œuvre laborieuse, et sa théorie, la discussion des meilleures dispositions possibles des diverses pièces qui le composent, du rôle qu'elles remplissent pour la solution du problème posé, exigerait un ouvrage entier comme celui que M. Stamm a consacré à cette machine compliquée. Nous empruntons au savant ouvrage de cet ingénieur l'indication de la disposition générale du *self-acting* de Parr Curtis, le plus répandu.

Un *self-acting* se compose essentiellement de broches, portées par un chariot d'étirage, et disposées, comme dans le mull jenny, auxquelles le mouvement est communiqué au moyen d'un mécanisme placé au milieu, qui est dit la tête du métier. C'est donc celle-ci que nous avons d'abord à étudier.

La fig. 608 bis représente en élévation latérale des éléments de la disposition générale de la tête.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En AB est la coupe générale du chariot en son milieu. Soient C *l'arbre des broches*, porteur des appareils qui commandent directement les broches; D une poulie à gorge fixe sur cet arbre, E un tambour fou appelé *barillet*; F un second tambour fou appelé *virgule*; G une poulie folle à gorge; H l'arbre de la baguette; I un ressort qui sollicite le relèvement de la baguette.

Soient K une poulie folle placée à la partie antérieure de la tête; L deux poulies folles placées à la partie postérieure; M une grande poulie à gorge fixée sur l'arbre horizontal N et appelée *volant*; O une roue d'angle fixée sur l'arbre N; P une roue d'angle commandée par la roue O et folle sur l'arbre longitudinal Q, qui commande le premier rang des cylindres, et celui-ci les deux autres par des engrenages non représentés sur la figure; R une roue solidaire de la roue P; S, T deux roues intermédiaires commandées par la roue R; U une roue commandée par la roue T, et fixée sur un arbre V parallèle au porte-cylindres; X une poulie fixée à l'arbre V; Y une poulie fixée à un arbre Z parallèle à V.

Une corde A' passant sur les poulies X et Y et s'attachant au chariot mobile par ses deux extrémités au moyen des deux tendeurs B' et C', constitue un système qui, comme au mull-jenny, s'appelle *main-douce*, parce qu'il remplace la main du fileur qui, dans ces métiers, fait mouvoir le chariot.

Une corde sans fin passant sur les poulies M, L, G, D, K, L, M relie la poulie D, et par suite l'arbre C, à la poulie M et à l'arbre N.

Soient maintenant D' un pignon fixé sur l'arbre Z; E' un secteur denté commandé par D' et tournant autour de l'axe F'; G' un levier fixé au secteur, suivant un de ses rayons, portant un arbre fileté H' qui conduit un écrou I', portant un crochet J', qui s'éloigne ou se rapproche du centre de rotation F', quand on fait tourner la manivelle K'; L' chaîne attachée au crochet J' et allant s'enrouler autour du barillet E auquel elle s'attache après un bouton par sa deuxième extrémité. On voit en M' deux espèces de fusées, dont les gorges ont la forme d'une volute faisant quatre tours et présentant des rayons croissants puis décroissants. A chacune de ces fusées qui s'appellent *scroles* ou *escargots*, s'attache, au point du plus petit rayon, une corde. — Les deux cordes et les gorges sont disposées de telle façon que l'arbre N' des scroles tournant, l'une des cordes s'enroule et l'autre se déroule,

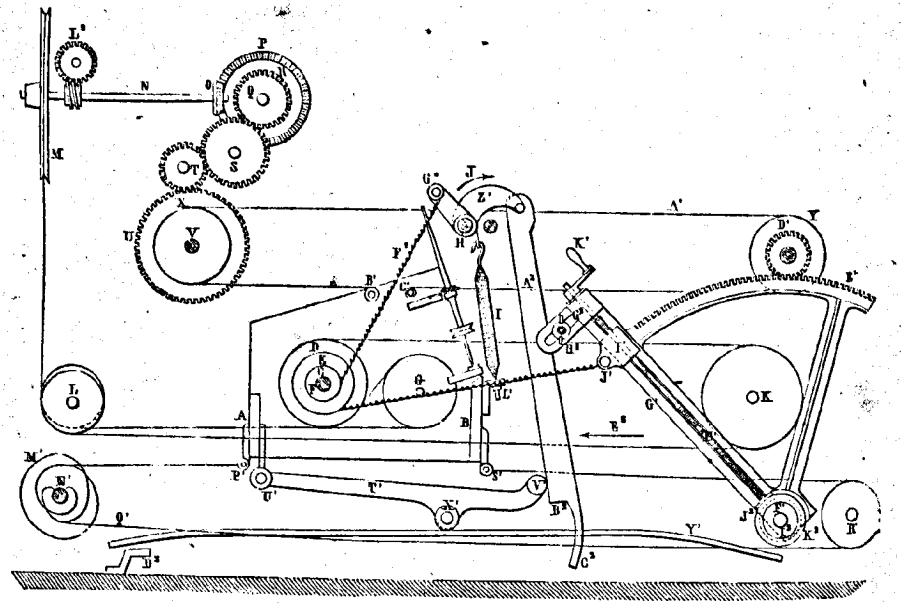


Fig. 608 *bis*.

et que les vitesses d'enroulement et de déroulement sont toujours égales quoique variables. L'une des cordes O' va s'attacher directement au chariot en un point P', après un tendeur. L'autre, Q', va d'abord passer sur une poulie folle R', puis revient s'attacher devant le chariot en un point S'. Le chariot se trouvant au bout de sa course, et par suite l'une des cordes de scroles se trouvant entièrement déroulée et l'autre entièrement enroulée, si l'arbre des scroles est mis en mouvement de rotation uniforme de manière à attirer le chariot, celui-ci revient vers le porte-cylindres avec une vitesse croissante jusqu'au milieu de sa course, et décroissante depuis ce milieu jusqu'au porte-cylindres.

T' est un levier disposé sous le chariot, s'articulant à un tourillon fixé au chariot en U', muni en avant d'un galet V', et, en dessous, d'un galet X', lequel, pendant les mouvements du chariot, roule sur une courbe Y' et le fait osciller.

Z' levier recourbé, appelé *pousse-baguette*, fixé sur la baguette et s'articulant à son extrémité à un levier à peu près vertical A^2, dont la partie inférieure porte une encoche B^2. L'extrémité inférieure C^2 de ce levier se prolonge à côté de la règle Y'. Ce levier A^2 est sollicité par un ressort dans le sens de la flèche E^2, et, dans la position où il est dans la figure, il s'appuie contre le galet V'. On l'appelle *levier de liaison*.

D^2 est un nez fixé par terre et disposé de manière à être rencontré par l'extrémité C^2 du levier de liaison avant l'arrivée du chariot au porte-cylindres.

F^2 est une chaînette dont une extrémité s'attache

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à l'extrémité d'un levier G⁶ dit *baisse-baguette*, fixé sur les baguettes, et dont l'autre extrémité s'attache en un point de la virgule F.

Fonctionnement du métier. — Ayant décrit les divers organes, nous allons pouvoir expliquer comment leurs mouvements se succèdent pour obtenir les effets voulus, le caractère essentiel de ce métier étant de produire des effets divers au moyen d'embrayages et de débrayages successifs, le mouvement ou le repos des organes dont la réunion a pour but de satisfaire aux conditions de la filature.

Pendant la première période, l'arbre N est commandé par une poulie motrice montée sur lui; le volant M transmet le mouvement par sa corde à la poulie D, et par suite à l'axe C et aux broches; la roue P' est, par un embrayage non figuré, rendue solidaire de l'arbre Q, et, par suite, les cylindres sont commandés. La roue T est engrenée avec la roue U, et, par suite, le tambour X tourne, sollicite la corde A' et fait sortir le chariot. En même temps l'arbre Z, qui tourne, commande la levée du secteur, qui, au début de la première période, se trouve avoir son levier abaissé; le barillet F est fixe, et, par un système à friction, tend à enrouler la chaîne L'; il n'en enroule évidemment que la quantité différentielle entre le mouvement du chariot et celui du point d'attache J'.

La baguette se trouve entièrement relevée, c'est-à-dire qu'elle a obéi à ses ressorts I, et qu'elle est arrêtée en ce moment contre un butoir qui limite son élévation.

La virgule est folle en ce moment, ainsi que les scroles qui ne tournent que par l'action du chariot sur leurs cordes.

Le levier de liaison est appuyé contre le galet V' et le levier de règle T' oscille sans effet.

A la fin de cette première période, c'est-à-dire lorsque le chariot arrive au bout de sa course, un système d'embrayage débraye la main-douce en séparant les roues T et U, en les dégrenant, et en même temps rend la poulie P folle sur l'arbre Q. Dès lors les cylindres et la main-douce sont arrêtés, la torsion seule continue, la *première évolution* est faite et la *deuxième période s'effectue*.

Quand une fois les broches ont fait le nombre de tours voulu pour la torsion du fil, un compteur L², monté sur l'arbre N, met une seconde fois en jeu un débrayage, qui fait que la torsion s'arrête et qui donne lieu à la rotation en sens contraire de l'arbre N, et, par suite, de la poulie M, de l'arbre D, de l'arbre C et des broches : le fil enroulé sur les broches pendant la torsion du fil se déroule et vient prendre la torsion moyenne de l'aiguillée; c'est la *seconde évolution*.

La virgule est un organe disposé de façon à être solidaire de l'arbre C, tant que celui-ci tourne en sens contraire à celui de la torsion. Il résulte de ce mouvement de détour que la virgule enroule la chaînette F², abaisse la baguette et effectue ainsi le dépointage à la troisième période. Par l'abaissement de la baguette, le levier de liaison s'élève, et lorsque son encoche B³ arrive au-dessus du galet V', il passe sur celui-ci, en vertu de la force qui le sollicite dans la direction E². En même temps, et par l'action du passage de l'encoche B², un embrayage se produit, d'où résulte le mouvement des scroles et le débrayage de l'arbre N. C'est la *troisième évolution*.

Le barillet est disposé de manière à devenir solidaire de l'arbre C toutes les fois et tant que le chariot se meut vers les porte-cylindres. Dès lors, le chariot étant, dans la quatrième période, tiré par les scroles, — et le point d'attache de la chaîne L' en J', se mouvant dans le même sens mais moins vite, — il y a déroulement de cette dernière chaîne, rotation du barillet, rotation de l'arbre C des broches. Celui-ci, tournant de nouveau dans le même sens que celui de la torsion, est alors abandonné par la virgule, qui redevient folle. Lorsque le chariot s'approche du porte-cylindres, le tourillon H³ du nez G⁵ du secteur vient presser de haut en bas la chaîne qui va au barillet, et provoque par là une accélération de vitesse rotatoire dans le barillet.

Les oscillations du levier de règle, lesquelles sont commandées par la règle, se transmettent au levier de liaison, et, par suite, à la baguette. De la loi de rotation du barillet et de la loi d'oscillation de la baguette résulte la formation d'une couche de fil sur la broche. A chaque aiguillée, la règle et le point d'attache J' se déplacent suivant une certaine loi. Le mécanisme qui fait mouvoir I est assez complexe, mais peut être compris, en le supposant analogue à l'étoile du tour de Maudslay, produisant une progression d'une fraction de pas par chaque oscillation du secteur. Le déplacement de la règle se fait dans le sens vertical, de manière à varier les altitudes des couches de la bobine; les aiguillés successives donnant lieu à la formation de couches successives et concentriques dont l'ensemble constitue une canette.

La régularité de la canette, sa solidité pour qu'elle puisse passer immédiatement dans la navette du métier à tisser, est une des parties les plus délicates de la construction, à cause de la difficulté qui résulte de la variation de diamètre de la canette et de la complexité des organes dont les mouvements influent sur sa formation; aussi a-t-on réservé l'action de la main de l'ouvrier qui peut agir sur la manivelle pour agir sur le mouvement de J'.

La quatrième période se termine quand le chariot arrive au porte-cylindres. L'extrémité C² du levier de liaison venant buter contre la pièce D² est repoussée, et dès lors le levier de liaison étant rejeté en arrière, de façon que l'encoche B² se retire de dessus le galet V', alors les ressorts I agissent et opèrent la relevée de la baguette. En même temps, un mécanisme distributeur mis en jeu par l'arrivée du chariot près du porte-cylindres donne lieu au débrayage des scroles, à la remise en train de l'arbre N, à l'embrayage de la main-douce et de l'arbre Q qui commande les cylindres. C'est la *quatrième évolution*. — Le chariot, en sortant, libère de nouveau le barillet, et la première période recommence.

Pour que le chariot soit arrêté avec douceur à la fin de la quatrième période, on dispose, derrière le porte-cylindres, des supports munis de tampons plus ou moins élastiques contre lesquels butte doucement le chariot et qu'on appelle sentinelles. Pour arrêter le chariot à la fin de la première période, il y a également des supports buttoirs; il y a également des encochements dont le but est de rendre le chariot parfaitement immobile pendant les deuxième et troisième périodes.

Les dispositions générales du métier *self-acting* qui viennent d'être analysées résument les principales qui ont été employées, et permettent d'apprécier le génie dépensé dans sa combinaison.

IMPORTANCE DE L'INDUSTRIE DU COTON. — (Rapport du jury de 1862.)

En 1859, la France a manufacturé 84,665,000 kilogrammes de coton (l'emploi de la matière première n'a pas dû varier sensiblement dans les années 1860 et 1861); l'industrie comptait en 1860 environ 6,250,000 broches de filatures, 75,000 métiers mécaniques et 198,000 métiers à bras. Le poids des produits a dû s'élever à 71,800,000 kilogrammes, et leur valeur à 504,000,000 de francs.

La part afférente à la façon manufacturière en 1860 peut être évaluée à la somme de 343,000,000 de francs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le commerce d'exportation des tissus a donné pour trois années les résultats suivants :

	1858.	1860.	1861.
	kilog.	kilog.	kilog.
Tissus écrus et blancs.	3,610,000	5,594,200	5,858,000
Tissus imprimés et teints. . . .	3,164,800	2,838,100	5,736,000
Tissus tulles. . .	41,300	51,800	48,600
Tissus divers. . .	1,860,900	1,860,800	1,853,800
	8,677,000	10,344,900	13,197,300

Comme en Angleterre, l'industrie cotonnière en France se trouve divisée en grands centres de fabrication qui ont chacun leurs produits spéciaux.

L'Alsace, région cotonnière de l'Est, dont Mulhouse est le centre, comptait en 1860 environ 1,600,000 broches de filature, 38,000 métiers mécaniques et 10,000 métiers à bras; ces derniers sont exclusivement consacrés à la fabrication des articles fins, des grandes largeurs, des tissus damassés et de couleur. Chaque jour, d'ailleurs, les procédés mécaniques tendent à se substituer au travail manuel. Le nombre des ouvriers employés dans la région de l'Est peut être évalué à 60,000 environ. La majeure partie de la production alsacienne en calicots est en 90 centimètres de large et en 60, 68 et 70 portées en chaîne; la portée étant de 40 fils, une pièce de 60 portées doit avoir 2,400 fils dans sa largeur; les 68 portées, 2,720 fils, et les 70 portées, 2,800 fils. Les sortes madapolams, les cretonnes, sont fabriquées avec divers numéros de filés; il se fait aussi, en Alsace, des croisés, brillantés, satins, piqués, damassés, pour le blanc, la teinture et l'impression.

Sainte-Marie-aux-Mines est aussi un centre important de production pour les tissus de coton pur et mélangé, mais jusqu'à présent on y compte peu de tissage mécanique; Bar-le-Duc compte environ 5,000 métiers, disséminés dans la campagne, qui produisent des cotonnettes de couleur et des articles à pantalons; Troyes fabrique de gros croisés de coton, connus sous le nom de finettes. Ces trois localités réunies peuvent être comprises dans la région industrielle de l'Est, et on peut évaluer l'importance de leur filature à 160,000 broches.

Le Nord possédait, en 1859, 1,170,704 broches de filature, dont 315,000 broches à retordre. La filature, dans cette région, ne produit guère que des numéros fins pour tulles et pour les articles de Tarare et de Saint-Quentin.

En Picardie, on peut évaluer le nombre des broches à 400,000, et Saint-Quentin et ses environs produisent en grande quantité des toiles de coton, cretonnes, percales, jaconas, nansouks, mousselines brochées pour rideaux, brillantés, piqués, devants de chemises plissés, etc. Les métiers à tisser mécaniques ne s'élevaient guère cependant dans ce rayon, en 1860, à plus de 1,100 ou 1,200, mais on peut y compter plus de 50,000 métiers à bras.

Amiens produit surtout des velours de coton; sa fabrication dans ce genre peut être évaluée à 130 ou 140,000 pièces par an, dont la valeur peut aller à 14,000,000 de fr. Amiens occupait, en 1860, pour sa fabrication de velours, de 15 à 16,000 métiers à bras et de 6 à 800 métiers mécaniques.

La Normandie est la contrée où l'industrie du coton a pris naissance en France, et où elle s'est le plus développée; elle doit compter aujourd'hui 2,500,000 broches de filature, et on peut évaluer sans exagération à 30,000 le nombre des métiers mécaniques qui produisent des tissus pour l'impression, des toiles de coton qui sont d'une grande consommation en écru, et des tissus mélangés.

Les articles connus sous le nom de rouennerie et les mouchoirs à carreaux ont été produits, jusqu'à ce jour, par le tissage à bras, et le nombre des métiers affectés à cette fabrication varie de 45 à 50,000.

Dans les départements de l'Orne et du Calvados, on compte encore de 25 à 30,000 métiers à bras employés au tissage des toiles en fils blanchis, des coutils rayés et à carreaux pour vêtements et literie, du linge de table et des satins et reps damassés pour ameublement.

Dans le centre manufacturier de Mayenne et de Laval, on ne compte guère que 40,000 broches de filature, 8,000 métiers à bras et 200 métiers mécaniques.

Chollet et ses environs possèdent 40,000 broches, Nantes 12,000 et le Beaujolais 60,000. A Roanne et dans son rayon se fabriquent de bonnes cotonnettes dont la valeur annuelle peut être estimée à 12,000,000 de francs. Tarare est le centre d'une production très-importante de mousselines claires, unies et façonnées, tarlatanes, gazes, broderies pour rideaux et pour robes; ces divers genres de fabrication occupent plus de 50,000 ouvriers et l'importance est de 25 millions par an.

Industrie anglaise. — En 1859, l'Angleterre a consommé 442,976,000 kilog. de coton; elle a produit 3,697,000,000 de mètres de tissus pesant au moins 320,000,000 de kilog., et représentant une valeur de 1,500,000,000 de fr. Sur ces 3,697,000,000 de mètres, l'exportation en a absorbé 2,343,000,000, et la consommation intérieure 1,354,000,000. Outre les tissus, la Grande-Bretagne exportait encore dans la même année 85,591,745 kil. de coton filé, 2,424,864 kilog de fil à coudre, et plus de 1,100,000 douzaines de paires de bas.

Cette énorme production n'occupait guère que 450 à 500,000 ouvriers, mais on peut estimer à quatre millions le nombre des personnes employées directement ou indirectement dans l'industrie du coton. M. Ellison, dans son *Hand-book of the cotton trade*, évalue ainsi le capital engagé dans les manufactures qui mettent en œuvre le coton dans la Grande-Bretagne :

32,000,000 broches de filature, à 29 fr.	928,000,000
325,000 métiers à tisser mécaniques à 600 fr.	195,000,000
Fabriques d'indienne, blanchisseries, teintureries	750,000,000
Capital de roulement.	800,000,000
Total, fr.	2,673,000,000

Ces chiffres, qui, en 1859, pouvaient paraître un peu exagérés, sont bien certainement au-dessous de la vérité aujourd'hui. Dès 1859, on comptait 2,600 manufactures de coton, et à cette époque le nombre des broches s'accroissait de 45,000 par semaine, ce qui faisait par année le chiffre énorme de 1,395,000 broches, c'est-à-dire plus de 3,000,000 de broches à ajouter aujourd'hui au chiffre de 1859, et l'augmentation des métiers mécaniques a toujours été proportionnée à celle des broches.

D'après les renseignements récents et positifs que nous avons obtenus de Manchester, les fabriques de coton, dans le Lancashire seul, sont maintenant au nombre de 2,884, avec 30,387,464 broches et 399,992 métiers mécaniques.

Voici, d'après le dictionnaire de Guillaumin, les chiffres qui se rapportent à 1851 et 1856; ils fournissent des comparaisons intéressantes avec ceux qui précèdent, et s'appliquent au monde entier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	1851	1856
Angleterre	277,000,000	403,000,000
France	64,000,000	84,000,000
Russie (1849)	»	39,000,000
Autriche	30,000,000	37,000,000
Zollverein	48,000,000	35,000,000
Espagne	40,000,000	»
Portugal	»	21,000,000
Belgique	40,000,000	43,000,000
Hollande	»	46,000,000
Suisse	9,000,000	14,000,000
Italie (Toscane, Naples)	»	12,000,000
Piémont	»	6,000,000
Suède, Norwége, Danemark	»	6,000,000
Turquie, Grèce, le reste de l'Europe	»	10,000,000
États-Unis	110,000,000	139,000,000
	559,0000,00	835,000,000

En 1851, la masse des cotons annuellement fabriqués en Europe et aux États-Unis représentait 485 millions de kilog. de tissus, ayant, selon M. Mimerel, une valeur moyenne de plus de 6 fr. l'un, ce qui faisait plus de 3 milliards de francs. En 1856, 750 millions de kilog. de tissus auraient atteint à 6 fr. 4 milliards 500 millions!

En 1851, M. Mimerel estimait la valeur des matières premières à 800 millions de francs, et à 300 millions le loyer des capitaux. Il restait donc 1,900 millions pour salaires de toute nature. En France, où la production des tissus de coton s'élevait à 630 millions, la part des salaires directs et indirects était, d'après lui, de 378 millions.

En 1856, on ne peut évaluer la valeur des matières premières de toutes sortes à moins de 1 milliard 400 millions de francs. A cette date de l'apogée de l'industrie, la valeur déclarée de la production totale du Royaume-Uni seul était d'environ 1 milliard 600 millions de francs, dont 958,150,000 fr. restés pour les dépenses et bénéfices des manufacturiers. En France, la production de 75 millions de kilog. de fils et tissus représentait une valeur de 728 à 788 millions de francs, dont on doit défalquer d'abord 146 millions, coût du coton.

Il est impossible de supputer la masse totale du capital engagé dans la construction des manufactures, des machines, etc. Le prix de celles consacrées à la filature flotte entre 1 milliard 200 millions et 1 milliard 500 millions de francs, le coût moyen des broches étant de 25 à 31 fr. par broche, car il y a actuellement environ 50 millions de broches en activité en Europe et en Amérique. La moitié peut-être de la somme ci-dessus a été employée pour les établissements de tissage. A tout ce capital, on doit ajouter celui engagé dans l'achat, la vente, le transport, etc., de la matière première et des produits manufacturés. Un nombre considérable de navires, quelque chose comme 2 millions de tonneaux, sont employés à importer le coton brut des diverses régions de la terre dans la Grande-Bretagne, et à réexporter les articles manufacturés de ce pays et des autres contrées.

COUDRE (MACHINE A) ET A BRODER. La grande variété de machines à coudre que présentait l'Exposition de 1855, l'étendue des applications qui en ont été faites aux États-Unis d'Amérique, celle bien moindre cependant faite en Angleterre et en France, suffisent pour démontrer l'importance croissante de cette nouvelle branche d'industrie, et nous obligent à en rechercher la nature et l'origine, de manière à pouvoir comparer, avec quelque exactitude, le mérite de ces machines. Elles seront ici divisées en quatre classes, dont la première comprend les machines où l'aiguille est passée complétement au travers de l'étoffe, comme dans la couture à main, et les trois autres, celles où l'aiguille la perce seulement en s'y enfonçant un peu. Les machines de la deuxième classe travaillent avec un fil et produisent le *point de chainette*; celles des troisième et quatrième classes travaillent avec deux fils et produisent : l'une le point spécialement nommé *point de navette*, et l'autre le *point double de chainette*.

1re CLASSE. — *Machine à coudre dont l'aiguille passe complétement au travers de l'étoffe.*

Dans les premières applications mécaniques relatives à la fabrication d'objets divers, d'abord effectuées par des outils dirigés à la main et à l'œil, nous rencontrons des tentatives de combinaison d'organes mécaniques servant à imiter le genre d'outils et de mouvements qui y sont spécialement employés. C'est seulement après une longue expérience, que les outils et les procédés reçoivent les modifications propres à leur donner le caractère automatique. Conformément à ce principe, nous trouvons que, dans la première machine à coudre patentée en France par Thomas Stone et James Henderson en 1804, *comme étant appliquée à la confection des habillements* (*Brevets d'invention*, t. VIII, p. 66), une aiguille ordinaire, saisie par des pinces et poussée au travers de l'étoffe, est reçue, tirée par une seconde paire de pinces qui la fait repasser par-dessus le bord de cette étoffe, et ainsi de suite consécutivement en produisant un *point de surjet*. Ce procédé informe, qu'il n'est pas nécessaire de décrire plus au long, semble avoir été abandonné; cependant il a été reproduit sous une autre forme, lorsque M. Sénéchal s'est fait breveter en France en 1849 (*Brevets d'invention*, t. XVI, p. 122, nouvelle collection), pour une machine à *point de surjet* qui a été exposée au Palais de Cristal en 1851, et dans laquelle on se servait encore d'une aiguille ordinaire. Dans le texte de ce brevet, on lit : *la pince qui tient l'aiguille agit absolument comme une main naturelle*. Ajoutons qu'elle travaillait plus lentement. M. Rogers, de New-York, a reçu en Amérique une patente (20 juillet 1844) pour une machine à coudre avec *le point ordinaire*, qu'il appelle une amélioration de la machine brevetée par B.-W. Beau, 14 mars 1843 (*Journal of the Franklin institute*, t. IX, p. 175, et t. XVII, p. 433). Dans ces machines, les bords accouplés des étoffes étaient gaufrés en petits plis successifs, et l'aiguille poussée continuellement à travers ces plis.

M. Greenough, en 1842, s'est fait breveter en Amérique (*Journal of the Franklin institute*, t. XI, p. 400); de même M. Phélizon, en 1850, et M. Canonge, en 1852, ont été brevetés en France, pour des machines à coudre; mais les aiguilles de ces trois constructeurs avaient l'œil au milieu et une pointe à chaque extrémité, comme celles qui avaient été précédemment employées par Heilmann, dans son admirable machine à broder, exposée à Paris en 1834.

La difficulté de travailler mécaniquement avec une aiguille ordinaire est accrue par la nécessité de la retourner après chaque passage au travers de l'étoffe, afin d'en présenter la pointe à sa surface, ainsi que par la diminution continuelle de la distance qu'elle doit parcourir à chaque passée, et par la nécessité de suspendre le travail à courts intervalles, pour renfiler l'aiguille. De ces considérations, il résulte une lenteur, une incertitude de travail et une complication de mécanisme qui ont motivé l'abandon de tous les systèmes ci-dessus.

La machine Heilmann, applicable à la broderie, est restée dans l'industrie. Conduite au pantographe, l'aiguille y est à deux pointes et l'œil au milieu, ce qui en fait éviter le retournement; la lenteur du travail et la complication du mécanisme sont compensées par le nombre des aiguilles simultanément employées. Nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avons décrit cette ingénieuse machine, qui était exposée, avec quelques modifications, par M. Houldsworth, de Manchester, consistant : 1° dans une grande simplification des pinces à aiguilles ; 2° dans de longues tringles de fer reposant sur les fils et les abaissant par leur poids ; à l'approche du chariot vers la fin de sa course, le soulèvement des tringles par la tension des fils avertit la servante de l'arrêter ; 3° dans un système de barres en bois parallèles, qui se rapprochent par suite du retour du chariot, de façon à empêcher les fils de s'embrouiller. Cette machine requiert cinq servantes, à savoir : deux occupées à tirer les chariots, une à conduire le pantographe, et deux pour enfiler le fil dans les aiguilles de rechange employées à alimenter la machine.

M. Barbe-Schmitz, à Nancy (France), exposait une nouvelle machine à broder, qui peut broder les dessins à pois, à petites fleurs, etc., sur un tissu quelconque, comme la machine d'Heilmann, dont elle diffère cependant en ce qu'elle est entièrement automatique et requiert seulement pour la servir une seule personne avec un jeune garçon qui alimente les aiguilles. Cette machine, fort compliquée et qu'il nous serait impossible de décrire, est, selon l'exposant, la seconde seulement de celles qui ont été exécutées, et, par ce motif, elle offre quelques parties peu arrêtées, quoique en état de fonctionner avec certains ménagements. Mais les combinaisons en sont fort ingénieuses, et annoncent, de la part de l'inventeur, beaucoup d'habileté dans les moyens mécaniques.

2e CLASSE. — *Machine à coudre avec un fil, produisant un point de chaînette.*

Pour éviter la difficulté du passage complet de l'aiguille en travers de l'étoffe, la seconde idée fut d'imiter un autre point, bien connu des brodeuses sous le nom de *point de chaînette*. La première application de ce principe à la machine à coudre fut brevetée sous les noms de *Thimonnier* et *Ferrand*, en France (17 juillet 1830). On y trouve aussi un brevet d'additions sous les noms de *Thimonnier* et *Magnin* (5 août 1848). L'auteur la nomme *couso-brodeur*, ou *machine à coudre, à broder et faire des cordons au point de chaînette*. En dessus de l'étoffe se trouve une aiguille à crochet, bien polie, attachée à une barre susceptible d'un mouvement de va-et-vient vertical ; en dessous de l'étoffe est une petite pièce capable de tourner concentriquement autour de l'aiguille dans sa position inférieure ; le fil de la bobine est passé au travers d'un œil de cette pièce. Lors de la descente de la barre, l'aiguille est poussée au travers de l'étoffe. La pièce inférieure dont il vient d'être parlé, tourne et enroule le fil autour de l'aiguille ; cette aiguille s'élève de suite, et, par le moyen de son crochet, entraîne avec elle le fil sous la forme d'une boucle. Le crochet de l'aiguille est de nouveau poussé au travers de cette boucle ou maille, sur un point de l'étoffe, un peu en avant de son premier passage ; puis de nouveau retiré en soulevant une seconde boucle qui aussi passe à travers la première. En continuant l'opération, il en résulte une sorte de chaîne, dont chaque maillon traverse le précédent, et qui, par cela même, unit entre elles les deux pièces de l'étoffe. Ce point de chaînette est évidemment beaucoup mieux applicable à la mécanique que celui de la première classe, précédemment décrit ; car non-seulement l'aiguille n'est pas obligée de passer complétement au travers de l'étoffe, mais le fil, au lieu d'être d'une longueur limitée, peut être fourni par une bobine d'une grandeur quelconque. Cette machine a servi évidemment de type à toutes les machines à coudre modernes, quoique sa première construction fût trop compliquée pour la pratique usuelle, et, par ce motif, son application ne reçut aucune extension en France. L'ouvrière dirige l'étoffe à la main, dans la direction voulue, comme cela a lieu aujourd'hui, et le brevet indique que la machine peut fonctionner à raison de 200 points par minute, vitesse considérablement dépassée par les machines modernes qui donneraient, dit-on, jusqu'à 800 points dans le même temps.

M. Magnin a apporté diverses simplifications et additions à la machine originale de Thimonnier, et il s'est fait, entre autres, breveter pour un mouvement ingénieux, par lequel le point de broderie peut être exécuté sans tourner l'étoffe sur la table et en lui imprimant seulement une succession de mouvements parallèlement à elle-même, tout en changeant la direction du crochet au moyen d'un mécanisme à pédale. Cette machine fonctionne à raison de 300 points à la minute par une autre pédale à roue. Dans son état actuel, il faut avouer que, comme *couseuse*, elle est trop compliquée pour lutter contre les machines américaines ; mais, comme *brodeuse*, elle produit un bon travail. Elle opère avec une grande régularité et précision, et un degré de rapprochement des points, dont la délicatesse permet de l'appliquer aux tissus les plus fins

Dans l année 1849 il a été accordé une patente américaine à MM. Charles Morey et J. Johnson, dans laquelle il paraît que l'aiguille à crochet était employée. Mais ce n'est pas la première des machines à coudre américaines, comme nous le verrons ci-après.

M. S.-A. Singer (États-Unis) a été breveté le 27 février 1854, en Amérique et en France, pour une machine à point de chaînette, dans laquelle on a rejeté l'aiguille à crochet pour y substituer l'aiguille à un œil, voisine de la pointe, comme étant plus précise dans son action ; elle avait été proposée par M. Hunt, en 1834, pour une couseuse d'un genre différent. Le point est produit en combinant l'action de l'aiguille avec celle d'un crochet marchant horizontalement au-dessous de l'étoffe. La disposition de l'ensemble est faite avec une grande habileté et connaissance pratique du mécanisme en général. Elle doit être considérée comme la meilleure des machines qui ont aujourd'hui réussi à produire le point de chaînette avec une rapidité et une sûreté d'exécution entièrement satisfaisantes pour l'usage ordinaire.

La principale objection qu'on puisse adresser à ce genre de point, est la facilité avec laquelle il peut être défilé en tirant le bout du fil du côté par où finit la chaînette, quand il est cassé par usure ou par accident. Pour éviter cette difficulté, M. Singer a ajouté à sa machine un organe qui forme un nœud à chaque huit points. On y trouve aussi une disposition parfaite pour régulariser la tension du fil, au moyen d'un ressort mû par le porte-aiguille, ainsi que les distances entre les points au moyen d'un petit mécanisme à pied de biche, servant à faire avancer l'étoffe ; elle laisse, en même temps, à l'ouvrière la liberté d'en fixer la direction à volonté, en se levant pendant que l'aiguille est engagée dans l'étoffe ; en outre, elle offre un pivot pour tourner la pièce, et une vis de rappel permet de donner au point l'étendue voulue. Pour faire de la broderie avec sa machine M. Singer y applique un second fil, disposé de manière qu'il est embrassé par la chaînette et lui donne une grande saillie ressemblant à la soutache. Selon la notice imprimée, l'inventeur de cette machine, qui peut faire de 300 à 500 points à la minute, dirige à New-York un grand atelier de construction dans lequel 150 ouvriers sont employés, et qui a déjà produit plus de 5,000 machines à coudre, et aujourd'hui de 40 à 50 par semaine.

M. Siegl, à Paris (France), présente une autre machine à point de chaînette, qui ne diffère de celle de M. Singer, qu'en ce que le crochet inférieur à va-et-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vient est rotatif autour d'un axe horizontal, pour faciliter son introduction dans la boucle du fil de l'aiguille. (Voir plus loin.)

M. Latour (France) expose une machine très-compliquée pour coudre les doublures des chaussons, dans laquelle on se sert de la machine de Thimonnier, en y ajoutant un mécanisme automoteur pour guider l'ouvrage sous l'aiguille ; but que les premiers inventeurs des machines à coudre s'étaient donné beaucoup de mal à atteindre, et que l'expérience postérieure a démontré être plus désavantageux qu'utile ; ce dont on a pu s'assurer en comparant la machine de M. Latour avec celles des autres exposants pendant qu'elles fonctionnaient.

3e CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils produisant le point de navette.*

Cette classe de machines à coudre est essentiellement américaine, et il paraît que le point qu'elle produit n'était pas, jusqu'alors, employé dans la couture à main, mais fut inventé dans le but de faciliter l'emploi des organes mécaniques, et pour éviter les inconvénients du déraillement, qui est pour ainsi dire inséparable du *point de chaînette*.

Une aiguille verticale, percée près de la pointe, est alimentée par une bobine ; l'aiguille descend, perce l'étoffe et forme, en dessous, une boucle avec le fil ; une petite navette placée en bas traverse la boucle avec un second fil par un va-et-vient horizontal ; l'aiguille se relève alors, tire avec elle son propre fil, et serre la boucle en même temps que le fil de la navette ; ce procédé est répété tout le long de la couture, et de là résulte, à l'endroit de l'étoffe, une série de points imitant le point arrière ou piqûre à la main. En dessus de l'étoffe, si c'est du lin, la couture montre le fil de navette parfaitement droit et retenu à de petits intervalles par les boucles du fil supérieur, qui cependant disparaissent lorsqu'on opère sur une étoffe de laine, où ils se logent dans l'épaisseur. Malgré les objections adressées à ce système, il est évident, par le grand nombre d'exposants de ce genre de machines à coudre, qu'il est, de tous, le plus apprécié et le plus répandu dans la pratique. En effet, les quatre principaux exposants de machines à point de chaînette, MM. Singer, Grover et Baker, Journaux le Blond et Siegl présentent, en outre de leurs constructions respectives, une machine à point de navette.

La première machine de ce genre fut inventée, en 1834, par Walter Hunt, en Amérique ; elle est aussi la première des machines à coudre américaines, devancée cependant de quatre années par la machine française de Thimonnier, précédemment décrite. Elle était munie de l'aiguille percée près de la pointe et d'une navette. Mais l'inventeur, n'ayant pas réussi dans ses efforts pour la faire fonctionner d'une manière pratique, ne se fit pas breveter, et le projet resta dans l'oubli jusqu'en 1846, époque à laquelle Élias Howe fut patenté pour une machine ayant les mêmes organes, mais si bien combinés, qu'elle a obtenu un succès prodigieux dans ce pays où la main-d'œuvre est si chère. Elle est la première véritable machine à coudre pour l'usage général, et l'origine de cette nouvelle industrie, qui a reçu un accroissement si extraordinaire dans les États-Unis, et qui commence à se répandre en Europe.

La construction de cette machine a subi des simplifications essentielles et des changements dans les dispositions des parties travaillantes et du mécanisme qui produit les mouvements relatifs ; ils ont varié selon le goût des divers cessionnaires du brevet de M. Howe, et des autres personnes qui ont tâché de l'imiter.

Dans ces catégories se trouvent les cinq machines qui suivent :

M. Seymour, à New-York (États-Unis). — Les couseuses inventées en Amérique par James Seymour, et exposées par M. Moore, propriétaire du brevet français, se distinguent par la simplicité du mécanisme et par leur bon marché. Le prix d'une couseuse Seymour est de 350 fr., et c'est pourquoi ces machines jouissent d'une faveur méritée en Amérique aussi bien qu'en France, où il en a été construit un grand nombre. Elles donnent 500 points par minute, en moyenne, et on prétend que chacune se prête également bien à tous les matériaux, tels que drap, cuir, soie, feutre et toile, ainsi qu'à l'ouatage.

M. Thomas, à Londres (Royaume-Uni), a fait l'acquisition de la patente que M. Howe avait obtenue en même temps en Amérique. M. Thomas s'est continuellement occupé du perfectionnement de sa machine, dont il se sert principalement pour la confection des corsets. Le mécanisme diffère de ceux des autres constructeurs de la machine de Howe, en ce qu'on y emploie une disposition très-simple de leviers mis en action par les rainures ondulées d'une roue plate. La construction de la navette est aussi améliorée. Quelques-uns de ces perfectionnements ont été dernièrement l'objet de patentes en Angleterre et en France.

M. Siegl, à Paris (France). — Dans toutes les machines de cette classe, lorsque le va-et-vient de la navette a lieu dans une coulisse rectiligne, il est nécessaire qu'elle s'applique avec précision sur le côté de cette coulisse qui avoisine l'aiguille, afin d'éviter que le fil ne s'engage dans leur intervalle. Une patente a été prise, en Amérique, le 29 mars 1853, par M. Thompson, pour l'emploi d'un aimant appliqué au côté extérieur de la coulisse, en vue d'assurer l'adhérence de la navette : une disposition semblable a été brevetée en France, 31 août 1854, en faveur de M. Siegl.

MM. Wheler et Wilson (États-Unis) exposent une élégante machine (patentée en Amérique, 12 novembre 1850), dans laquelle on a substitué à la navette un petit disque plat tournant, au moyen d'une roue à pédale, avec une vitesse constante dans un plan vertical. Ce disque porte, sur la plus grande partie de son contour, un bord saillant arrondi, ayant la forme d'un croissant, dont les cornes émoussées se détachent un peu du disque, afin qu'une d'elles puisse accrocher la boucle du fil que lui présente l'aiguille en descendant. La bobine circulaire et mince ressemble à celles employées dans les métiers à tulle, disposition qui permet d'y mettre cinq ou six fois autant de fil de soie que sur la bobine des navettes à coudre ordinaires. Elle repose, avec un grand jeu, au milieu du croissant, soutenue entre les disques et un petit support fixe, ce qui met la boucle, accrochée par la corne, en état de passer autour de la bobine, comme dans les métiers de Buron et de Pecqueur, à fabriquer les filets de pêche. Cette machine est, en apparence, la plus simple de toutes ; mais la plus grande précision qu'elle réclame dans son exécution en a fait élever le prix.

M. Singer (États-Unis) a exposé, avec ses machines à point de chaînette, une machine à navette à laquelle, par des additions relatives à la régularisation de la tension du fil et à l'adoucissement du va-et-vient de la navette par l'emploi d'une bielle, il a apporté une telle perfection que, selon le catalogue américain, elle peut exécuter jusqu'à 800 points à la minute, sans craindre de rompre les fils.

MM. Grover et Baker, à Boston (États-Unis). — La navette n'est pas toujours conduite dans une coulisse rectiligne ; ces messieurs, en effet, exposent, en outre de leur machine à point double de chaînette, une autre machine dans laquelle la navette est mue, en va-et-vient, suivant un arc de cercle. Les navettes des trois exposants ci-après sont à rotation continue.

M. Dard, à Troyes (France), présente une machine

EFERUS - Recherche & Classification numérique

importée d'Amérique et brevetée en France en 1850, qui se distingue particulièrement par la rotation continue de la navette dans un cercle horizontal à petit rayon; mais elle est seulement capable de faire des coutures droites, et, à cet effet, elle est pourvue d'un de ces appareils pour la direction automatique de l'étoffe que l'expérience a condamnés. Elle a d'ailleurs été remplacée nouvellement par d'autres machines plus parfaites.

M. Leduc, à Troyes (France), présente une couseuse dans laquelle une navette, ayant la forme d'un croissant, tourne dans un récipient circulaire et horizontal, qui l'embrasse : il y emploie ordinairement deux aiguilles à la fois, et par conséquent trois fils; ce qui, selon lui, produit une couture extrêmement solide. La machine diffère de toute autre en ce que la navette fonctionne en dessus de l'étoffe, et que les aiguilles, par suite, la percent de bas en haut. Bien que la construction et la disposition en soient fort ingénieuses, elle est, à cause de sa complication et de son prix élevé (1,000 francs), peu pratique.

4e CLASSE. — *Machines à coudre avec deux fils, qui produisent un double point de chaînette.*

L'une des objections que l'on peut adresser aux machines que nous venons de décrire consiste en ce que la navette est limitée dans sa grandeur par la nécessité de traverser la boucle formée par le fil de l'aiguille. Il en résulte que la bobine portée par cette navette ne peut contenir qu'une petite quantité de ce fil, de sorte que la couture est suspendue de temps en temps pour changer de bobine; les meilleurs systèmes de navette permettent néanmoins de travailler pendant deux heures consécutives, mais le point produit par ce genre de machines offre, dit-on, l'inconvénient de s'user vite et de fatiguer le linge.

MM. Grover et Baker (États-Unis), se firent patenter en Amérique (1851) pour une machine à coudre, dans laquelle l'aiguille verticale est employée comme précédemment, sauf qu'au lieu d'une navette elle est accompagnée d'une seconde aiguille de forme circulaire, animée d'un va-et-vient rotatif dans un plan horizontal, et portant, au travers de son œil extrême, le fil sortant d'une bobine qui peut être d'une grandeur quelconque, comme celle qui sert à alimenter l'aiguille verticale. Le mouvement relatif de ces deux aiguilles est si compliqué, qu'il serait impossible d'en donner une idée compréhensible sans dessins. Il en résulte un double point de chaînette dans lequel les boucles successives du fil supérieur sont traversées et embrassées par ceux que forme le fil inférieur, de manière à unir solidement les deux pièces de drap. Le point de cette machine n'est pas facile à dérailler, et quoiqu'elle forme un cordon un peu saillant par l'entrelacement des boucles, qui est spécialement fâcheux pour les toiles de lin, cependant elle présente des combinaisons très-ingénieuses. Selon le catalogue officiel des objets exposés dans la section de l'Amérique, il paraît que l'usage de cette machine est très-répandu aux États-Unis, et que la production de MM. Grover et Baker, à New-York, est d'environ 50 machines par semaine.

M. Journaux le Blond, à Paris (France), s'est fait breveter en France, le 29 avril 1854, pour une machine à coudre dans laquelle, au lieu de l'aiguille circulaire ci-dessus, il se sert d'une aiguille qui se meut horizontalement dans un plan où elle subit latéralement un déplacement parallèle à elle-même et d'où il résulte que la ligne suivie par sa pointe est un petit rectangle au milieu duquel se trouve l'aiguille verticale en descendant. Cette machine produit un point qui est identique à celui de MM. Grover et Baker; mais il est déposé sur l'étoffe, sous une forme aplatie, au lieu du cordon en relief précédemment décrit. Ses machines d'ailleurs offrent plusieurs autres dispositions ingénieuses, comme, par exemple, d'employer un morceau de verre translucide pour maintenir et faire avancer l'ouvrage, au lieu de la pièce métallique ordinaire; ce qui permet de surveiller la régularité de la couture, au fur et à mesure de son avancement. On s'y sert aussi d'un cylindre, au lieu d'une table plane, contre lequel s'appliquent certains ouvrages, tels que les manches d'habits, etc. Cette dernière et utile disposition a été mise en usage par M. Howe et d'autres personnes en Amérique, et on peut la voir dans les machines de M. Thomas.

On ne saurait terminer ce rapport sans citer pour mémoire la machine à coudre de M. Avery, qui, quoiqu'elle ne soit pas exposée, fonctionne admirablement à Paris, dans le grand atelier construit par le gouvernement pour la confection des équipements militaires, rue Rochechouart, n° 54, et dont M. Dusautoy, tailleur, est le directeur. Cet atelier, en activité depuis trois mois seulement, contient 1,142 ouvrières et 300 ouvriers. Le drap dont se composent les habillements est découpé avec une rapidité et une précision étonnantes; quatorze pièces superposées sont coupées à la fois par une lame d'acier flexible, de l'invention de M. Dusautoy, montée sur deux grands tambours, à la manière des scies sans fin de MM. Perin et Delaporte, qu'on admire dans l'Annexe. La couture s'effectue au moyen de machines mues à la vapeur, dans toutes les parties qui se prêtent à cette méthode, et ensuite les habillements sont terminés par les procédés ordinaires. Parmi les couseuses de cet établissement, celles d'Avery sont les plus estimées, comme très-simples et faciles à entretenir; on en prépare de nouvelles, et l'on en verra bientôt à peu près 50 en fonction : on y trouve aussi 30 machines de MM. Grover et Baker, et une de M. Seymour.

M. Otis Avery, de Pensylvanie, s'est fait breveter en Amérique, 19 octobre 1852, et puis en France, pour sa couseuse. Le brevet français fut acquis par le ministère de la guerre. La couseuse d'Avery fonctionne avec deux aiguilles dont les yeux sont près de la pointe et qui marchent par va-et-vient, à peu près dans le plan vertical qui contient la ligne de la couture, mais en suivant des directions obliques, l'une au-dessus, l'autre au-dessous, de manière qu'en travaillant elles se croisent entre les deux étoffes. Ces mouvements leur sont communiqués avec une simplicité admirable, par une seule came, servant aussi à diriger la pièce qui avance l'étoffe. Il en résulte un double point de chaînette, qui diffère cependant de celui des autres machines déjà décrites, en ce que la chaînette se trouve entre les deux étoffes, et que la couture, par conséquent, ne présente qu'une piqûre ordinaire à chacun des côtés extérieurs.

(M. WILLIS, *Rapport du Jury de 1855.*)

MACHINES SINGER. — Après l'étude historique très-complète de M. Willis sur l'invention des machines à coudre, nous n'avons qu'à donner la description détaillée d'une de ces machines, et d'abord nous reprendrons en quelques mots les principes du fonctionnement de ces ingénieuses machines, puis nous décrirons en détail l'une de celles qui sont le plus employées dans la pratique.

Lorsqu'une aiguille portant l'œil près de la pointe fait traverser une étoffe par un fil, celui-ci formera boucle de l'autre côté de l'étoffe quand l'aiguille se retirera jusqu'à ce qu'une traction soit exercée sur le fil. C'est ce qu'avait bien compris un ingénieux inventeur de machines à broder, M. Lesueur, dont les travaux remontent à une époque bien antérieure à celle du succès des machines à coudre, et qui partant de ce principe qu'un fil conduit par une aiguille et devenant libre, laisse une boucle dont la longueur est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

proportionnelle au chemin parcouru par l'aiguille avait fabriqué des broderies de haut relief en laine, qui adhéraient bien à l'étoffe par un effet de feutrage. Il eût inventé bien probablement la machine à coudre, s'il ne s'était contenté de cette solidité, insuffisante pour la couture et même pour les broderies sur étoffes minces, qui n'ont pas de propriétés feutrantes, qui n'adhèrent pas aux fils qui les traversent.

C'est sur la possibilité d'empêcher la boucle de se détruire après avoir été produite, en la traversant par un fil, qu'est fondé le genre de couture que donne la machine à coudre, dont l'aiguille ne saurait abandonner le mécanisme qui la porte, comme celle de l'ouvrière quitte sa main. Le mécanisme à piquer l'étoffe normalement à sa surface étant d'une grande légèreté et mû simplement à l'aide de la rotation d'un axe mis en mouvement par une pédale et une manivelle au moyen d'un excentrique de forme variable dans les diverses machines, peut produire un très-grand nombre de points à la minute; c'est cette rapidité de la production qui a fait le grand succès de la machine à coudre.

Les principaux systèmes reposent sur l'emploi heureusement imaginé en Amérique d'un autre fil porté par une petite navette qui vient traverser la boucle du fil de l'aiguille par un mouvement de va-et-vient. C'est le système Singer, exploité à Paris par M. Caillebaut,

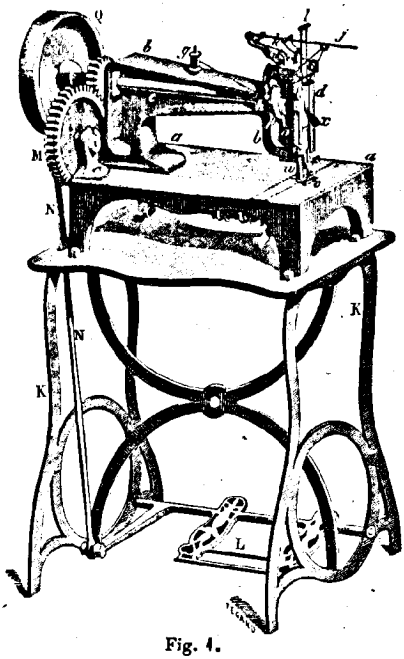


Fig. 1.

fig. 1, le plus simple de ce genre, que nous allons décrire.

L'aiguille est fixée à l'extrémité inférieure d'une pièce dite *porte-aiguille*, qui se meut le long d'une plaque verticale faisant fonction de glissière; l'œil est placé près de la pointe et reçoit le fil, qui est fourni par une bobine disposée en haut du bâti. L'aiguille s'enfonce verticalement au travers de l'étoffe, et, au moment où elle commence à remonter, le fil qu'elle ramène forme une boucle; c'est alors qu'une navette

à mouvement rectiligne horizontal traverse cette boucle et y laisse un second fil. Ensuite l'aiguille remonte tout à fait, la navette reprend sa position initiale, et les deux fils forment un croisement dont l'intersection se trouve au centre de l'étoffe, c'est-à-dire entre les deux surfaces qu'il s'agit de réunir; ce qui se traduit extérieurement par une espèce de point-arrière.

Au-dessus du porte-aiguille et au sommet de la machine est une branche métallique horizontale, fonctionnant dans une charnière d'un bout, et d'autre part terminée, à son extrémité antérieure, par un anneau que traverse le fil de la bobine supérieure avant d'entrer dans l'œil de l'aiguille. Cette branche d'arrêt est pressée par un ressort fonctionnant en dessous et passe entre deux brides : l'une, attachée au porte-aiguille, en suit tous les mouvements, et l'autre, fixe, est adaptée au haut de la glissière dans laquelle se meut le porte-aiguille. Cette disposition a pour but d'assurer au fil de l'aiguille une tension constante nécessaire au serrage du point, et de permettre à la machine de fonctionner à une grande vitesse sans craindre de le rompre.

L'entraînement de l'étoffe, d'où doit résulter la succession régulière des points, est obtenu au moyen d'une *roue d'alimentation* qui entraîne le tissu et qui, mise en mouvement par le mécanisme même qui commande l'aiguille, opère sa rotation d'une manière intermittente. Une vis de rappel permet de changer la vitesse angulaire de cette rotation, de manière à régler à volonté l'écartement des points.

Enfin, une manivelle à volant, commandée par une pédale, met en mouvement tout le système et laisse à l'ouvrier l'usage de ses mains pour faire suivre à l'étoffe les directions variées que peut nécessiter la couture.

Passons en revue quelques organes particuliers de cette machine, dont le jeu ne se comprend pas à la seule inspection de la figure.

Aiguille et porte-aiguille. — *c* est l'arbre moteur de l'aiguille fixée dans le porte-aiguille *e*. Il porte un excentrique qui abaisse, suivant la loi voulue, le porte-aiguille qu'un ressort relève. Le tracé en est fait de manière à produire quatre mouvements : descente, ascension partielle, temps de repos et ascension finale de l'aiguille. On reconnaît dans cette solution l'emploi si bien entendu des excentriques, dans lequel excellent les inventeurs américains, qui forment le caractère dominant des machines opératrices dont ils ont doué l'industrie.

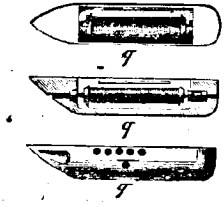


Fig. 2.

Navette. — *q*, *q*, est la navette, vue sous ses diverses faces, fig. 2, qui contient, dans un évidement intérieur, la bobine qui porte le second fil. Comme il est important qu'elle puisse être remplacée facilement lorsque son fil est épuisé, le tourillon de gauche, qui supporte l'axe autour duquel elle est mobile, porte sur un ressort en caoutchouc disposé dans le talon de la navette, en sorte qu'on n'a qu'à appuyer sur l'embase de gauche pour faire rentrer ce ressort, et le tourillon de droite se trouvant dégagé permet de sortir facilement la bobine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme il est nécessaire que le fil ait une certaine tension pour que la bobine ne se déroule pas trop vite, on en fait passer le bout dans un ou plusieurs trous pratiqués sur le bord longitudinal de la navette, et enfin, au moment où il la quitte, il est maintenu contre sa paroi au moyen d'une barrette horizontale placée intérieurement et qui lui laisse un jeu suffisant. La navette est placée sur le flanc, et son ouverture pratiquée contre la paroi de la table qui porte la rainure *n* dans laquelle descend l'aiguille; elle se meut perpendiculairement à la direction de l'arbre *c* dans une coulisse où la conduit le chasse-navette.

Ce chasse-navette *r* se meut (*fig.* 3) dans une glissière contiguë à la coulisse de la navette et chasse celle-ci tantôt de gauche à droite au moyen d'un doigt rectiligne qui pousse le talon, et tantôt de droite à gauche au moyen d'un doigt courbe qui saisit le bec.

Les choses sont combinées de telle sorte qu'au moment où la boucle a été formée par la descente de l'aiguille, la navette chassée par le talon s'introduit par le bec dans cette boucle, l'élargit de manière à y passer complétement en tirant une partie du fil non tendue qui est dans la rainure, et y déposant son fil termine sa course pendant que l'aiguille remonte et serre le point; chassée ensuite de droite à gauche par le doigt courbe du chasse-navette, elle revient à son point de départ pendant que l'aiguille traverse de nouveau l'étoffe et accomplit une partie de sa descente.

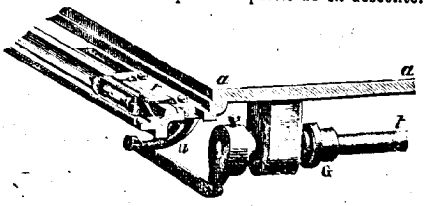


Fig. 3.

La fig. 3 est une vue de côté, prise en dessous, de la table de la machine, qui permet de voir comment se produit le mouvement de la navette.

t est l'arbre moteur, fig. 3, de la navette, placé sous la table *a* parallèlement à l'arbre *c*, et situé avec lui dans un même plan vertical.

u est un levier fixé sous le chasse-navette, auquel il transmet le mouvement de l'arbre *t* par l'intermédiaire d'une manivelle calée à l'extrémité de cet arbre.

Roue d'alimentation.—Pour que l'étoffe soit entraînée régulièrement chaque fois que l'aiguille a fait un point, on emploie un organe dit roue d'alimentation, qui placée verticalement apparaît sur partie de la table horizontale et qui porte sur partie de sa jante un rebord strié. C'est sur ce rebord que se place l'étoffe, qui y est maintenue par la pression d'un presse-étoffe à ressort *u*; grâce à cette pression et aux stries, elle chemine sans glissement avec la roue.

Le mouvement intermittent de la roue d'alimentation est obtenu au moyen d'une came montée sur l'arbre *t* qui vient agir sur une branche d'un levier qui entraîne une chape agissant sur une plaque fixée presque tangentiellement à la roue et l'entraîne par frottement plus tôt ou plus tard, selon la position d'un bouton-écrou. Un ressort ramène cette chape à sa place aussitôt que la came cesse d'agir.

Mouvements de la machine. — Les mouvements successifs des diverses parties de la machine peuvent se décomposer en sept temps, ainsi qu'il suit :

AIGUILLE. — *Quatre temps.*

1° Mouvement descendant;
2° Mouvement particl d'ascension;
3° Temps en repos;
4° Mouvement final d'ascension.

NAVETTE. — *Deux temps.*

5° Mouvement en avant;
6° Mouvement en arrière.

ROUE D'ALIMENTATION. — *Un temps.*

7° Mouvement de rotation d'un très-petit angle.

Dans le temps n° 1, l'aiguille opère complétement sa descente, traverse l'étoffe, en entraînant le fil qui se déroule de la bobine supérieure.

Pendant le temps n° 2, durant lequel l'aiguille remonte de 4 millimètres environ, la boucle se forme.

Puis le temps n° 3 a lieu, et, sitôt qu'il commence, le doigt postérieur du chasse-navette doit toucher le talon de la navette, afin qu'elle soit prête à partir pour entrer dans la boucle.

La navette accomplit alors le temps n° 5, pour passer dans la boucle.

Quand les deux tiers de sa longueur y ont passé, le mouvement ascensionnel de l'aiguille (temps n° 4) commence déjà pour opérer le serrage du point, et il est à peine terminé, que l'aiguille redescend aussitôt.

Pendant qu'elle redescend (temps n° 1), la navette revient en place (temps n° 6), et ainsi de suite.

Le temps n° 7, qui concerne la roue d'alimentation, doit commencer lorsque l'aiguille est complétement sortie du tissu, et il doit être terminé au moment où la pointe de l'aiguille va y rentrer; autrement il y aurait rupture de l'aiguille.

On a dû bien comprendre, par ce qui précède, que le fil de l'aiguille forme dans l'étoffe une série de boucles verticales, dans lesquelles viennent passer inférieurement des boucles semblables, renversées, du fil de la navette, l'intersection des deux fils venant se placer vers le milieu des deux étoffes réunies par la couture. C'est ce qu'indique le croquis de la fig. 4 qui représente, en l'amplifiant, la couture non serrée.



Fig. 4.

Avec cette machine, telle que la construit M. Caillebaut (de Paris), le nombre des points peut s'élever jusqu'à 8 ou 900 par minute.

La jacquard, adaptée à la roue d'alimentation, doit conduire à la solution de la fabrication automatique de la broderie en espaçant convenablement les points réunis par un même fil, et en employant au besoin plusieurs machines opérant simultanément. C'est là un intéressant problème à résoudre pour les nombreux constructeurs qui se sont consacrés, avec succès, dans ces dernières années, à la construction des machines à coudre, dont l'emploi croît avec une si admirable rapidité.

COUESRON, COIRON. Nom breton d'un chêne fossile, dont une espèce maintenant existante, identique, ou du moins paraissant telle, se rencontre encore en Bretagne, sur les lieux. Ce nom de couesron est donné à plusieurs essences de bois fossiles, telles que bouleau, frêne, aulne. Mais n'ayant été à même d'observer que du chêne, nous ne parlerons que de ce bois. Le couesron se trouve sur tout le littoral depuis le fond de la baie de Cancale jusque près de Saint-Malo, mais particulièrement à Mont-Dol, à Dol, dans les communes de Saint-Brolade, Cherweix, Du Vivier et autres. Cette matière qui n'est plus positivement du bois, mais qui en conserve cependant presque tous les caractères extérieurs, se trouve enfouie, soit dans les sables, maintenant solides, dits le *marais*, soit, en moins grande quantité, dans les lieux bas du *terrain* (on nomme ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le sol, plus anciennement consolidé), sur et entre les bancs de granit, maintenant fort élevés au-dessus du niveau de la mer, et au pied desquels elle venait battre, dans des temps qui ne sont pas très éloignés puisque la tradition en est demeurée parmi les habitants de ces pays. Quelquefois on le rencontre presque à fleur de terre et même souvent découvert par les courants d'eau pluviale. Les arbres sont couchés les uns près des autres, entiers avec leurs branches et leurs racines; ils sont absolument noirs, jusqu'au cœur des plus gros arbres. Les habitants s'en servent avec beaucoup d'avantage pour faire des pieux, des palissades et surtout des lattes pour les couvertures.

Le couesron est très lourd, très compacte, il se coupe difficilement parce qu'il est très dur et que sa ténacité est plus forte que celle d'aucun bois de fil connu. Nous disons bois de fil, les loupes étant une exception. Sa couleur, d'un beau noir, n'est point fugace, comme celle du chêne provenant des vieux pieux extraits des pilotis des anciennes constructions de ponts ou d'aqueducs, dont la teinte noire s'efface après quelques années lorsque le bois est ouvré et absolument sec. Le couesron garde invariablement sa couleur intense, et assurément l'industrie saurait tirer un parti très avantageux de cette matière, qu'elle pourrait se procurer à bas prix et qui est assez abondante pour suffire pendant longtemps encore à ses besoins.

Les acides nitrique, sulfurique, hydrochlorique, et l'acétate de fer très concentré n'ont eu aucune action sur la fibre ligneuse, seulement l'acide nitrique en jaunit un peu la couleur. Au feu cette matière brûle avec une flamme vive et brillante exhalant une odeur de tourbe tellement prononcée, que l'on s'abstient généralement de l'employer au chauffage. Le couesron n'est pas encore à l'état de houille; il paraît être à demi transformé. Le bois est encore liant, flexible, les couches ligneuses y sont très distinctes des couches médullaires. Il résiste à la hache et l'émousse promptement; cependant on en vient à bout. La scie le divise avec peine, parce qu'elle s'empâte; le rabot le plane, mais il faut souvent repasser le fer, la gouge du tourneur le broie, il ne vrillonne pas aisément, mais pourtant se coupe bien et nettement, il reçoit un poli admirable et le vernis prend dessus avec la plus grande facilité. Il se fend difficilement parce qu'il est très tenace, mais cependant il obéit à la force et se fend régulièrement en suivant la fibre ligneuse, comme le ferait le meilleur merrain.

Cette belle matière bien préférable à l'ébène qu'elle représente absolument à l'extérieur, a sur ce bois exotique un immense avantage; c'est sa ténacité, sa résistance, qui approche beaucoup de celle de la corne; on y passe de gros tarauds dans des trous assez rapprochés des extrémités, et les filets s'impriment jusqu'au fond sans occasionner aucune fente, effet qu'on est bien loin d'atteindre en employant l'ébène qui se fend avec la plus grande facilité. De plus le couesron est très flexible; employé pour filets dans la marqueterie, il ploierait comme la baleine, et l'emporterait sur elle par l'intensité de son noir de jais.

Il serait difficile de déterminer, dès à présent, tous les services que l'industrie pourrait retirer de cette matière; l'usage seul et le travail habituel les feraient surgir; par le peu d'essais que nous avons été à même d'en faire, et que nous nous proposons de poursuivre, nous pouvons affirmer que l'emploi du couesron serait une riche acquisition pour les ateliers d'ébénisterie, de tabletterie, de marqueterie et autres. PAULIN DESORMEAUX.

COULEURS MATÉRIELLES. Nous comprenons sous cette dénomination les couleurs toutes faites et propres à la peinture artistique et à plusieurs autres arts qui en dépendent (voy. IMPRIMERIE EN COULEURS, PAPIERS PEINTS, PEINTURE). Quant aux couleurs qui sont produites sur les objets eux-mêmes par l'action immédiate des agents chimiques ou mécaniques et de la chaleur, nous les décrirons aux articles ÉMAUX, IMPRESSIONS SUR ÉTOFFES, PEINTURE SUR VERRE, PORCELAINE, TEINTURE.

Ainsi, nous examinerons les couleurs suivant leur nature optique, et le degré de solidité ou d'utilité qu'elles peuvent offrir à la peinture artistique et industrielle; nous comprendrons dans une même série les matières colorantes identiques qui sont connues et vendues sous des dénominations différentes.

1re division. — Couleurs plus ou moins solides qu'on peut et doit employer pour produire le meilleur effet possible.

BLANC. *Blanc de Krems* ou de Kremnitz, blanc de Hollande, blanc léger, blanc d'argent, blanc de plomb pur, le plus beau et le plus propre à la peinture à l'huile et aux vernis, à la gouache, à l'imprimerie en couleurs. (1)

Blanc de céruse français, blanc de plomb mélangé de sulfate de baryte, inférieur au blanc de Krems pour la peinture artistique, et très bon pour la peinture en bâtiments, la détrempe, le blanchiment des appartements et les papiers peints.

Blanc d'Espagne proprement dit, assez bon et plus économique que la céruse pour la détrempe, le blanchiment des appartements, les papiers peints communs, et, dans certains cas, pour l'imprimerie en couleurs.

Blanc de craie et de chaux éteinte, bon pour la détrempe, le blanchiment des appartements et la peinture à la fresque.

Blanc de kaolin (argile à porcelaine), dont nous proposons l'usage pour la peinture à la détrempe et les papiers peints.

JAUNE. Gomme gutte, qui n'est bonne que pour la peinture à l'aquarelle et la gouache.

Jaune de Naples, tel qu'on le fabrique dans ce pays, est le seul jaune clair qui soit bon dans tous les genres de peinture.

Ocre jaune clair, terre jaune, terre de montagne.

Ocre jaune foncé ou obscur, ocre de rue.

ROUGE. *Minium, rouge de saturne, mine-orange.*

Carmin et laques de cochenille (voyez LAQUE). Ces couleurs sont habituellement en usage dans la peinture à la gouache, à l'aquarelle, dans la fabrication des papiers peints, des fleurs artificielles, etc., mais elles ne sont pas solides.

Vermillon ou cinabre français, couleur magnifique et bonne pour toutes les espèces de peintures, l'imprimerie et les papiers peints.

Ocre rouge naturel, oxyde de fer naturel.

Ocre ou terre rouge foncé, rouge d'Inde ou de l'Inde, brun-rouge, rouge d'Angleterre, de Prusse, de montagne, oxyde rouge de fer, obtenu par la calcination de l'ocre jaune.

Laque rouge de garance. Voyez LAQUE. Excellente couleur et bonne à tous les genres de peinture. Toutefois, est d'un prix élevé.

BLEU. *Outremer* factice, clair et foncé, excellent et très solide dans tous les genres de peintures.

Bleu de Prusse, bleu de France, bleu français, bleu in-

(1) En lieu et place du blanc d'argent et de la céruse nous conseillerons l'emploi du blanc de neige et du blanc de zinc, dont de nombreux rapports faits par les sociétés savantes et industrielles, des commissions et des architectes, ont démontré l'innocuité, l'inaltérabilité et la supériorité sur les couleurs à base de plomb. Comme complément de ces couleurs, il est indispensable d'employer les jaunes et verts à base de zinc au lieu des jaunes et verts à base de plomb, de cuivre et d'arsenic. On trouve actuellement dans le commerce toutes ces couleurs dont nous donnons la préparation au mot BLANC DE ZINC.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COULEURS MATÉRIELLES.

tense ; couleur très intense, mais sujette à verdir. On l'emploie cependant avec avantage en la mélangeant avec de l'outremer et du blanc.

BRUN. *Brun, noir de Prusse*, bleu de Prusse français calciné, terre de Sienne calcinée. Couleurs excellentes, très solides, et nécessaires pour *rehausser* ou *brunir* les couleurs dans tous les genres de peintures, les papiers peints.

NOIR. *Noir de vigne*, appelé noir d'Allemagne ou de Francfort, du nom du pays où on le fabrique.

Noirs d'os ou d'ivoire. Bons pour la peinture en bâtiments, les papiers peints et la fresque.

Noir de fumée ou de résine calcinée. Habituellement en usage pour l'imprimerie. Voyez ENCRE D'IMPRIMERIE.

Noir de café, pour la peinture artistique, excellent et très solide.

VERTS. *Terre verte de Vérone*, verdet ou vert-de-gris distillé et cristallisé ; acétate de cuivre en usage pour la peinture à la fresque.

Vert de Schweinfurth, vert métis.

Vert de Vienne ou de Brunswick, cendre verte artificielle. Cette couleur est éclatante et peu solide ; mais elle ne peut être remplacée par un autre vert aussi séduisant dans la fabrication des papiers peints, l'imprimerie en couleurs, etc.

2me *Division. — Couleurs plus ou moins superflues.*

JAUNE. Jaune de roi, jaune brillant (sulfure de cadmium).

Jaune indien, couleur végétale, très solide, mais d'un prix d'achat fort élevé.

Jaune d'antimoine.

Laque jaune de garance.

Jaune de mars, — orangé de mars, — rouge de mars, — violet de mars, qui ne sont que des oxydes de fer ou ocres artificielles, d'un prix élevé.

ROUGE. Vermillon de Chine,—vermillon de Hollande.

Laque ou rouge de Venise, qui n'est que du carmin brûlé dans une cuillère d'argent.

Laque rose de cochenille.

Laque de garance, dite de Smyrne, que l'on remplace par un mélange de laque rouge de cochenille avec du blanc.

Pourpre ou rouge de Cassius, qui n'est qu'un précipité d'or, d'ailleurs fort coûteux.

BLEU. Bleu d'outremer naturel, extrait du lapis-lazuli.

Bleu de cobalt, dit bleu Thénard.

Smalt, *couleur anglaise tirée du cobalt*. Ces couleurs sont solides, mais très coûteuses.

Indigo. Inutile. Voyez INDIGO.

Bleu minéral auquel on substitue le bleu de Prusse mélangé avec de l'outremer factice et du blanc.

BRUNS. Bruns de Van Dick, — sépia, — asphalte ou bitume de Judée, — momie qui est une espèce de bitume (voyez BITUME), terre d'ombre, — terre de Cassel,—terre d'Italie,—terre de Cologne. Ces diverses couleurs sont remplacées par le brun de Prusse et la terre de Sienne calcinée, qui valent infiniment mieux.

VERT. Vert de chrôme.

Vert de montagne, carbonate de cuivre naturel ou artificiel.

Vert de colbat, appelé aussi vert minéral, vert de Prusse.

3me *Division. — Couleurs peu solides et habituellement en usage dans la fabrication des papiers peints, marbrés, maroquinés, des fleurs artificielles, des cartes à jouer*, etc. Voyez TEINTURE.

JAUNE. Jaune de carthame.

Jaune de terra-mérita ou de curcuma, appelé aussi safran des Indes.

Jaune de safran.

Stils de grains, décoctions concentrées soit de bois jaune ou de quercitron, soit de l'écorce d'aulne ou de noix, avec un mélange de craie ou de blanc brou de Troyes.

Stil de grain jaune d'Angleterre, extrait de la garance. On lui substitue ordinairement un composé fait avec l'oxyde de plomb et la graine de Perse ou d'Avignon ; ces stils de grains, cependant, sont plus solides que ceux faits avec de la craie. On y ajoute quelquefois des fécules colorantes, de la gaude, et d'autres décoctions jaunes qui sont très peu solides.

Pierre de fiel ou jaune doré ; la plus belle est, dit-on, extraite du fiel d'anguille.

Laque jaune, dite d'Anvers, extraite soit du bois jaune, de la graine de Perse ou d'Avignon, de la garance, du quercitron, soit de la gaude, avec mélange d'alumine et de craie Voyez LAQUES.

ROUGE. Laque rouge ou rose, extraite du bois de Brésil, de Siam, de Nicaragua, etc. Voyez LAQUES.

BLEU. Cendres bleues naturelles, provenant des mines de cuivre.

VERT. Vert de Schéele, remplacé par le vert de Schweinfurth qui vaut mieux.

Vert de vessie, ainsi appelé parce qu'on est dans l'habitude de le mettre dans des vessies. Il est fait avec le fruit d'un arbrisseau qu'on nomme nerprun ou bourg-épine.

VIOLET. Laque violette ou violet végétal, provenant d'une décoction de bois de Fernambouc ou de Sainte-Marthe. Voyez LAQUES.

4me *Division. — Couleurs nuisibles à la santé, qui changent et font changer toutes celles qu'on leur associe.*

JAUNE. Jaune de chrôme orangé ou chrômate orangé de plomb

Massicot ou protoxyde de plomb.

Jaune minéral, jaune de Paris, jaune de Vérone, jaune de Turner, jaune de Kasler, (oxy-chlorure de plomb).

Jaune d'iode, ou iodure de plomb.

Jaune d'or, orpin jaune, orpiment ou sulfure d'arsenic

ROUGE. Rouge pourpre ou chrômate de mercure.

Scarlet ou deuto-iodure de mercure (couleur anglaise).

Orpin rouge ou Réalgar, combinaison de soufre et d'arsenic.

VERT. Vert anglais, vert émeraude, vert tendre, deutoarsénite de cuivre et sulfate de chaux.

D'après ces divisions, les peintres et généralement toutes les personnes qui s'occupent de peinture et des arts qui s'y rattachent, les amateurs eux-mêmes connaîtront les propriétés des couleurs qu'ils doivent employer préférablement.

Ainsi les artistes habiles et soucieux de la durée de leurs œuvres choisiront sans doute les meilleures couleurs, comprises dans la 1re division ; les artistes médiocres, peu jaloux de la conservation de leurs productions, les fabricants qui songent bien plus aux profits qu'à leur réputation et à la santé des consommateurs, ces personnes là donneront la préférence aux matières colorantes de la 3me et de la 4me division, parce qu'elles sont souvent plus séduisantes au premier coup d'œil et moins chères.

Quoi qu'il en soit, nous recommandons toujours l'emploi des matières colorantes de la 1re division, sans crainte d'essuyer les justes attaques de la critique. Du reste, nous nous sommes convaincus par la pratique et par les témoignages des savants et des artistes célèbres qu'avec ces couleurs, qui sont plus ou moins fixes et durables, on peut produire tous les effets désirables. Voyez CONTRASTE DES COULEURS.

Conséquemment à nos convictions, nous nous bornerons à expliquer ici les principes élémentaires de la fabrication des meilleures couleurs propres à tous les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COULEURS MATÉRIELLES.

geures de peinture, ainsi que les moyens de distinguer les bonnes d'avec les mauvaises.

Du reste, ce que nous avons dit précédemment, à l'article CONTRASTE, sur le choix et de l'emploi des couleurs, nous dispensera de rendre compte de toutes les raisons qui nous portent à rejeter une foule de couleurs que les peintres emploient journellement.

Nous ferons remarquer, toutefois, que beaucoup de peintres préfèrent avec raison certaines couleurs connues et préparées en Italie, en Angleterre et en Allemagne, parce qu'elles sont plus vives et plus brillantes. En effet, les marchands de couleurs de ces pays ont la louable précaution de laver avec soin et de broyer parfaitement les couleurs qu'ils débitent (voy. BROYAGE); c'est là tout le secret pour augmenter l'éclat et la transparence des couleurs. Que les marchands français imitent donc cet exemple, et leurs couleurs seront aussi belles et aussi durables que celles qui viennent de l'étranger!

BLANC. *Le blanc de Krems* ou de Kremnitz, que l'on appelle aussi blanc d'argent, blanc d'écailles, blanc léger, est un carbonate de plomb pur (voyez CÉRUSE), désigné communément sous le nom de blanc de Hollande purifié, 1re qualité. Il est vendu sous la forme de petits cubes. Après lui on distingue le blanc de Venise, qui est formé d'un mélange, à parties égales, de carbonate de plomb et de sulfate de baryte bien blanc et pulvérisé très finement.

Le blanc que l'on fabrique en Allemagne, principalement près de Hambourg, est un carbonate de plomb de 3me qualité. Il est composé d'une partie de carbonate de plomb et de 2 p. de sulfate de baryte. On le vend aussi sous la forme de petits cubes.

Enfin la 4me et dernière qualité est le produit d'un mélange de 3 p. de sulfate de baryte et d'une partie de carbonate de plomb.

Le blanc de Hollande pur est doux au toucher, sans saveur, à cassure franche; il doit en outre happer un peu la langue.

Le blanc de céruse, que l'on fabrique en France par petits pains coniques, est un carbonate de plomb (voyez CÉRUSE) préparé par des procédés peu différents de ceux pratiqués en Hollande et en Allemagne. Il contient ordinairement une certaine quantité de sulfate de baryte, produit fort innocent du reste, et qui est nécessaire pour lui donner de l'opacité; quelquefois on le falsifie avec du sulfate de plomb ou de la craie.

« On reconnaît la craie, dit M. Dumas, par l'acide nitrique ou acétique qui dissout la craie et le carbonate de plomb. On précipite de la dissolution tout le plomb au moyen d'un sulfure alcalin, et enfin on précipite la chaux par un oxalate. Le sulfate de plomb et celui de baryte ne se dissolvant pas dans les acides, il est donc facile d'en reconnaître la présence et d'en constater la quantité. »

La céruse commune pour la détrempe est toujours mélangée d'une certaine quantité d'argile blanche, soit de terre de pipe, soit de blanc d'Espagne; on la vend aussi par petits pains coniques; on lui ajoute encore une petite quantité de charbon léger ou d'indigo pour lui ôter un reflet jaunâtre désagréable à la vue. Certains marchands peu scrupuleux font le mélange avec des craies lavées et sans corps ou avec du blanc de Troyes; ils en outrent même la quantité, ce qui rend les pains plus cassants: du reste, on peut facilement reconnaître cette sophistication en versant dans la céruse mêlée de craie un acide tel que le vinaigre. Il se fait alors une effervescence, qui n'a pas lieu, lorsque le mélange est fait avec de l'argile pure.

Le blanc d'Espagne, proprement dit, est une argile blanche pure, qu'il ne faut pas confondre avec le blanc de craie, connu vulgairement sous les noms de blanc de Troyes ou de Meudon, qui est un carbonate de chaux. On le trouve sous la forme de gros pains carrés de 5 à 10 kil. et sous celle de rouleaux de 250 à 350 gr.

Blanc de Bougival, terre marneuse très fine, inférieure aux blancs d'Espagne, que l'on vend sous la forme de pains carrés pour la peinture en bâtiment. On lui substitue souvent la craie lavée, mais l'emploi le fait reconnaître.

Voici, d'après Watin, comment on le prépare:

« Quand la marne est tirée, pour la purifier et lui ôter son gravier, on la fait délayer dans l'eau claire, mise dans un vaisseau net, et on la laisse rasseoir, ce qui se fait aisément sans aucune manipulation. On jette cette première eau ordinairement jaune et sale; on lave cette marne de nouveau jusqu'à ce que l'eau devienne blanche comme du lait, alors on la transvase, et encore mieux, on la passe à grande eau par un tamis de soie; là elle dépose. On vide l'eau sans agiter le fond, et on pétrit ce dépôt; lorsqu'il est en consistance de pâte, il sèche et durcit à l'air: le plus fin se durcit en petits bâtons, et les dernières portions du lavage, toujours plus grossières, se moulent à grosses masses de 500 à 625 grammes, qu'on laisse sécher et durcir à l'air et qui servent à la peinture. C'est ainsi qu'on peut nettoyer et laver toutes les terres nécessaires à la peinture. »

Moyen indiqué par Bouvier *pour purifier le blanc de plomb ou de céruse*: « Prenez, je suppose, 500 gr. plus ou moins de beau blanc de Krems, faites-lui subir, en petites parties, un premier broyage à l'eau, sans vous attacher à ce qu'il soit très fin; vous le releverez de dessus la pierre en bouillie de l'épaisseur d'une forte crême, et vous aurez soin que les premières broyées ne sèchent point, mais qu'elles se conservent un peu liquides, pour cela vous mettez chaque relevée de couleur dans un pot neuf bien vernissé ou dans un bol de faïence ou de terre de pipe.

« Quand tout votre blanc est broyé et qu'il est en bouillie assez épaisse, versez dessus cette bouillie la valeur d'un gobelet à boire de très bon vinaigre blanc distillé, vous remuerez et brouillerez le tout toutes les heures, et cela durant une journée; vous prendrez, pour le remuer, un tuyau de pipe neuf que l'acide du vinaigre n'attaquera pas. Si votre vinaigre est bon et bien distillé, il nettoiera toutes les petites particules étrangères qui peuvent se trouver dans le blanc, en sorte qu'il ne restera plus rien qui puisse le ternir. Cette couleur, ainsi préparée, donne un blanc très parfait, mais il faut avoir soin d'en extraire tout le vinaigre par des lavages réitérés jusqu'à ce que l'eau qui surnage sur le blanc (quand on la laisse reposer) n'ait plus aucune saveur d'acidité en la portant sur la langue. Le blanc ainsi relavé à l'eau pure, au moins trois fois, est d'une qualité supérieure; employé aussi à l'eau de gomme pour peindre la gouache, il est léger, très subtil, et ne reluit point sur le papier comme il arrive au blanc de Krems qui n'a pas subi cette opération.

« Pour l'usage de la peinture à l'eau, il ne faut prendre que l'écume et la crême qui se forment dessus, après qu'on les a bien fouettées avec un petit balai de bois blanc pelé et sans écorce, comme pour battre les œufs à la neige. Ce blanc est encore excellent pour peindre la miniature; mais, pour ce dernier genre de peinture, on y mêle moitié d'alumine ou terre d'alun, ce qui le rend très léger. »

JAUNE. — *Gomme-gutte* ou *cambogium*. Gomme résineuse qui découle en suc laiteux du camboge (*cambogia gutta*, Lin.), arbre des Indes; ce suc s'épaissit au soleil, et nous vient en masses opaques, solides, très-dures, d'un jaune-orangé, fragiles, brillantes dans leurs cassures. M. Bouvier dit (dans son *Manuel de peinture*, 2e édit., p. 8) « que l'on peut dépouiller la gomme-gutte de sa gomme naturelle et en tirer un jaune très-pur et très-vif qui se réduit en poudre, et dont plusieurs peintres de paysages font usage en Suisse, soit pour l'aqua-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rolle, soit pour la gouache et pour la miniature. Il se pourrait que ce résidu, ainsi dépouillé de sa gomme, fut un beau jaune-jonquille, propre à être employé à l'huile; je l'ignore, ne l'ayant éprouvé qu'à l'eau. C'est un essai à faire, mais je suppose que ce ne peut être qu'une couleur propre à glacer, car elle n'a point de corps. »

« L'on met quelques grammes de gomme-gutte bien choisie dans un pot vernissé qui soit neuf et n'ait pas servi; l'on jette de l'eau filtrée dessus, et on la laisse fondre : chaque jour on rejette l'eau, en s'arrêtant lorsqu'on voit le sédiment jaune près de s'écouler avec l'eau jaune qu'on veut rejeter; on ajoute la nouvelle eau à la place de celle qu'on a enlevée, et assez pour qu'il y ait 10 à 12 centimètres au-dessus du jaune, on fait cette opération pendant au moins six semaines, après quoi l'on recueille le jaune qu'on fait sécher, et qui peut servir à rehausser, comme le jaune de Naples, tant il est gommé. »

La composition du véritable *jaune de Naples* n'est pas bien déterminée (voy. Mérimée, *Traité de la peinture à l'huile*, p. 110; MM. Pelouze, *Art de fabriquer les couleurs*; *Encyclopédie populaire*, 1828; Montabert, *Histoire de la peinture*, vol. IX). Selon M. Bouvier, ce jaune est le seul jaune clair qui soit bon; il est indispensable surtout aux peintres de paysages et de fleurs, et l'on en tire aussi un bon parti pour tous les autres genres de peinture; mais il ne faut jamais s'en servir pour le mélanger dans les parties éclairées des chairs, l'ocre jaune vaut infiniment mieux; d'ailleurs, outre que le jaune de Naples verdit un peu, il attaque plusieurs autres couleurs par l'effet de l'arsenic qu'il renferme, il dénature surtout le blanc et les cinabres. Il faut le broyer avec beaucoup de propreté et surtout ne jamais le relever ni le triturer avec une spatule de fer, d'acier ou de tout autre métal, ce qui le ferait verdir sur-le-champ.

Les ocres jaunes, oxydes de fer naturels, terres naturelles, friables, colorées en jaune plus ou moins foncé qui tire sur l'orangé. Les ocres ne doivent pas être obscures parce qu'alors elles contiendraient des terres bitumineuses qui les feraient noircir. Ce sont des argiles colorées par de l'oxyde de fer, et que l'on purifie au moyen de lavages réitérés, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Le broiement des résidus sableux donne toujours ou presque toujours deux espèces de jaune : on les sépare si l'on peut.

On peut encore obtenir des ocres artificielles connues sous les noms de jaune de mars, orangé-mars, rouge-mars, violet-mars, soit en faisant rouiller du fer, soit en précipitant par des alcalis des dissolutions de ce métal, par exemple, par le sous-carbonate de soude ou de potasse, par du muriate, du nitrate, de l'acétate de fer, etc.; mais, comme le dit fort bien M. Mérimée dans son *Traité de la peinture à l'huile*, « la nature nous offre des ocres si belles, qui n'exigent qu'un lavage à exécuter, que ce n'est pas guère la peine d'en faire d'artificielles. »

Le jaune de chrôme (chrômate de plomb) d'un jaune éclatant et doré qui couvre bien, et s'emploie facilement et sans danger pour la miniature et la gouache. Il ne change pas sensiblement quand il est bien délayé dans l'eau gommée, mais c'est une couleur qui ne peut servir dans la peinture à l'huile, car elle change alors, et fait changer toutes celles qu'on lui associe. Cependant M. Bouvier dit *que l'on peut s'en servir* pour les rehauts de certaines étoffes jaunes et les brillants des dorures, pourvu qu'on l'emploie pur et à sec, c'est-à-dire sur un dessous tout à fait sec, en touchant son ouvrage franchement; il change alors beaucoup moins. M. Mérimée ajoute que lorsque cette couleur est mélangée avec l'alumine elle reste brillante beaucoup plus longtemps.

On peut aussi l'employer avec succès dans l'impression des images en couleurs, pour obtenir des oran et des verts brillants, par des teintes superposées mélangées, avec le vermillon, le bleu de Prusse et l' tremer.

D'après M. Dumas, le jaune de chrôme est une co leur belle, solide, douée de toutes les qualités que peintre peut désirer, et ce savant chimiste a raison on a la précaution de broyer préalablement *le jaune chrôme* avec un vernis résineux fixe ou avec une *dis lution de cire vierge*.

ROUGE. Le *minium* ou *rouge de saturne*, appelé tort *mine-orange*, est un composé de peroxyde et protoxyde de plomb. Il est d'un rouge assez éclatan que l'on ravive encore chimiquement en faisant digér à plusieurs reprises le minium brut avec de l'acétate plomb.

La mine-orange, au contraire, se prépare en faisa calciner de la belle céruse : elle offre une teinte pl claire et plus brillante que le *minium*.

Ces deux couleurs sont souvent mélangées avec d colcothar (oxyde rouge de fer), ou de la brique pilé mais on s'en aperçoit facilement en chauffant ces cou leurs au rouge dans une cuiller de fer. Le minium de vient d'un jaune homogène s'il est pur, et la brique o le colcothar conservent leur couleur primitive. On ana lyse au besoin le minium par l'acide hydrochlorique concentré, le plomb et le fer se dissolvent, et la briqu reste. On évapore la dissolution à siccité, et on reprenc par l'alcool, qui ne dissout que le chlorure de fer. Cette couleur ne vaut rien pour la peinture à l'huile, car elle noircit beaucoup, et fait également noircir les cinabres.

Cinabre ou vermillon français (deuto-sulfure de mercure, voyez VERMILLON) d'une couleur *rouge-violet* très-vive. Il se vend en poudre très-fine et produit des teintes lumineuses en le mêlant de blanc et d'ocre jaune clair, etc.

Le cinabre est souvent falsifié par du minium, du colcothar, de la brique pilée, du sang-dragon, de l'orpin rouge ou réalgar (sulfure d'arsenic). M. Dumas dit qu'on peut reconnaître la présence des trois premières substances par la distillation. Cependant le minium réagit sur le sulfure de mercure et en décompose une partie. Le sang-dragon étant soluble dans l'alcool, on peut le séparer en faisant bouillir le cinabre avec de l'alcool. Le réalgar est plus difficile à reconnaître. On s'assure de la présence de ce corps par l'odeur de la vapeur arsenicale qui se dégage en grillant le cinabre. Pour le doser, il faut traiter le mélange au creuset par du carbonate de soude et un excès de nitre.

Le carmin de cochenille est un précipité obtenu de la teinture de cochenille par l'alun, et le nitro-muriate d'étain. (Voyez CARMIN). C'est une couleur d'un rouge-violet éclatant, mais peu solide : elle est cependant d'un usage habituel dans la peinture à l'aquarelle, à la gouache, et le lavis des plans; on s'en sert même dans les manufactures de papiers peints, de fleurs artificielles, etc.

La *laque rouge de cochenille* est formée avec le résidu du carmin précipité, par l'alumine ou terre d'alun pure ou mélangée de craie (voyez CARMIN). Cette couleur d'un cramoisi plus ou moins foncé est moins opaque que le carmin; elle se vend dans le commerce en poudre et sous la forme de tablettes ou de petits trochisques.

On falsifie ordinairement le carmin avec de la craie et du vermillon, mais on aperçoit cette falsification en dissolvant le carmin dans l'ammoniaque liquide qui a peu d'action sur le vermillon.

La belle laque rouge de garance, telle qu'on la fabrique à Berlin, à Munich et à Florence, est d'une couleur rouge-cramoisi foncé, et elle est d'une solidité bien éprouvée dans tous les genres de peinture artistique;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mais elle coûte fort cher, ce qui fait qu'on l'emploie peu ou point dans la peinture industrielle.

A Paris madame Gobert est parvenue à fabriquer en France une laque rouge de garance semblable à la plus belle laque de Florence ou de Berlin, et à un prix plus bas, quoique encore très-élevé; mais la manière d'obtenir cette belle et solide couleur n'a pas été encore rendue publique.

Aussi quelques fabricants, connaissant la juste préférence des artistes pour cette couleur, en profitent pour vendre, sous son nom, des laques d'une qualité inférieure dont l'éclat est dû seulement à la teinture de cochenille. Voici, selon M. Bourgeois, les moyens de constater si les rouges de *garance*, vendus sous ce nom dans le commerce, sont véritablement extraits de cette substance.

« L'on porphyrise à sec une quantité quelconque de rouge de garance, et pour reconnaître d'abord si cette couleur est falsifiée avec une laque de Brésil, on en jette une pincée dans un demi-verre d'eau claire et chaude; il arrive alors que l'eau reste teinte de la couleur de cette laque. Si l'on soupçonne, dans ces garances, un mélange de carmin ou de laque carminée, il suffit encore de jeter une pincée de ces rouges dans une petite quantité d'ammoniaque liquide ou de potasse caustique, auquel cas le principe colorant de la cochenille reste en dissolution dans ces alcalis. Enfin, pour constater l'état des rouges de garance et la quantité relative du principe colorant qu'ils contiennent, l'on prépare d'abord une eau acidulée, en mêlant ensemble quinze à vingt parties d'eau filtrée et une d'acide sulfurique, puis l'on prend une quantité fixe de garance porphyrisée que l'on jette dans l'eau acidulée; un verre de cette eau suffit pour 15 grammes de rouge. Dans cette expérience, l'acide se colore de la petite quantité du principe fauve qu'avait retenu le principe rouge, qui dans ce cas change lui-même de nuance en offrant celle de la garance naturelle; mais au moyen de plusieurs lavages successifs, destinés à enlever l'acide, il reprend une partie de sa couleur, que l'on achève de développer par quelques gouttes d'ammoniac. Puis enfin on lave encore, et l'on met sécher le résidu qui est le principe colorant pur de la garance, alors insoluble dans les acides, et dont la quantité, par rapport à celle de la couleur mise en expérience, peut ainsi se déterminer, de même que celle d'autres laques de garance soumises à la même vérification. »

BLEU. L'*outremer artificiel*, inventé par Guimet en 1826, est la seule couleur bleue qui réunisse toutes les qualités que les peintres recherchent, c'est-à-dire la beauté, l'intensité, la solidité que possédait l'outremer naturel, mais de plus le bon marché. Ce bleu ne s'altère jamais et n'attaque aucune autre couleur, seulement il prend souvent à leur contact une grande intensité. Les procédés et tours de main de la fabrication de l'outremer artificiel ont été longtemps tenus secrets, mais ils sont bien connus aujourd'hui, et on trouvera à l'article OUTREMER, *Complément*, un intéressant travail de M. Stass, dans lequel sont relatées toutes les conditions requises pour réussir dans la fabrication de l'outremer artificiel, une des plus intéressantes conquêtes, sans contredit, de la chimie moderne. Les prix de ce produit ont singulièrement diminué par suite de la concurrence, et les qualités de second ordre sont maintenant employées pour tous les besoins de l'économie domestique comme pour toutes les grandes applications manufacturières.

Le bleu de Prusse, quoique inférieur au bleu d'outremer sous le rapport de la fixité, ne laisse pas que d'avoir sur lui, à volume égal, l'avantage d'une bien plus grande puissance de coloration. Malheureusement tous les alcalis attaquent et font disparaître le bleu de Prusse; c'est pourquoi il faut éviter de le combiner avec des couleurs qui en contiennent, condition qui en rend l'emploi souvent fort gênant. Quoi qu'il en soit, le bleu de Prusse mêlé de blanc et d'outremer, et auquel on ajoute un peu de vermillon ou de laque, pour éviter qu'il ne pousse au vert, ce qui est son principal défaut; le bleu de Prusse ainsi modifié est une couleur très-précieuse pour la peinture à la gouache, les papiers peints, l'imprimerie en couleurs, voire même pour la peinture, parce qu'il fait des verts charmants, lorsqu'il est mêlé soit avec l'ocre jaune, soit avec le jaune de chrôme ou le jaune de Naples, etc. (voy. PRUSSIATES).

BRUN. *Le brun de Prusse, couleur de bistre*, a été inventé par M. Toffer, peintre. Il a tous les avantages réunis de l'asphalte, de la momie, de la terre de Sienne non calcinée, sans en avoir les inconvénients. On peut le faire soi-même en calcinant du bon bleu de Prusse français médiocrement obscur, mais de toute autre fabrique que de celle d'Angleterre, car avec ce dernier, préparé sans doute dans des conditions particulières, on ne peut y réussir.

Nous donnons le procédé tel qu'il est décrit et a été pratiqué par Bouvier (*Manuel de la peinture*, 2e édition, page 190):

Mettez sur un feu assez vif une cuillère de fer, faites-la rougir, jetez-y quelques morceaux de bleu de Prusse, de la grosseur d'une noisette à peu près; bientôt chaque morceau éclatera de lui-même, et se dégradera par écailles à mesure qu'il s'échauffera, jusqu'à devenir rouge lui-même. Retirez la cuillère du feu et faites-la refroidir; si vous la laissiez plus longtemps sur le feu vous n'auriez pas la teinte désirée. Quand vous concasserez la couleur, il s'y trouvera des parties noirâtres et d'autres brun-jaunâtres; c'est précisément ce qu'il faut. Broyez le tout ensemble, il en résultera un brun couleur de bistre ou d'asphalte fort transparent. Il est parfait pour faire une multitude de glacés ou de préparations, soit qu'on l'emploie seul, soit qu'on y mélange d'autres couleurs transparentes pour approcher davantage du ton que l'on veut obtenir.

Ce brun se marie et s'étend avec une merveilleuse facilité. Il ne couvre pas plus que l'asphalte; il est d'une solidité et d'une fixité à toute épreuve; il a le grand avantage de sécher plus promptement que toutes les autres couleurs transparentes et légères.

L'opération de brûler ne réussit pas toujours également; cela dépend des différentes qualités de bleu, et aussi du degré de chaleur qu'on donne et même de l'état de l'atmosphère. Il ne faut pas pour cela se rebuter, quoique les diverses teintes qu'on obtient soient plus rousses, plus verdâtres ou plus noirâtres qu'on ne le voudrait; ces essais ne sont pas perdus, l'on peut toujours en faire usage dans beaucoup de cas; mais comme la teinte la plus désirable est celle de l'asphalte, il n'y a qu'à recommencer, avec différents bleus et en différents temps, jusqu'à ce qu'on obtienne ce qu'on désire.

On aura attention de brûler cette couleur à feu découvert, sans quoi l'on n'obtiendrait que du noir.

Terre de Sienne naturelle (espèce d'ocre assez dure). Couleur jaune-brun foncé, mais en la calcinant, le fer se peroxyde et elle prend une couleur rouge-brun orangé. Or, c'est dans ce dernier état seulement qu'on peut et doit l'employer dans la peinture à l'huile, l'imprimerie en couleurs, encore il ne faut pas s'en servir avec le blanc, parce qu'elle tend à noircir, et que, d'ailleurs, elle ne couvre pas du tout; elle foisonne tellement aussi que, pour peu qu'on en mette dans un mélange, elle absorbe par sa couleur toutes celles qu'on lui associe.

Voici comment on la calcine:

Mettez de la terre de Sienne naturelle dans une cuillère de fer, après l'avoir rompue en morceaux dont les plus gros ne doivent guère dépasser la grosseur d'un gros pois; faites rougir le tout sur un feu vif jusqu'à ce que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la couleur elle-même soit devenue rouge vif comme la cuiller; versez-la dans une assiette propre, et l'opération sera faite.

La terre de Sienne sert essentiellement à monter ou brunir les couleurs avec lesquelles elle est mélangée.

VERT. Le *vert de Schweinfurth* est une combinaison d'arsenic et d'acétate de cuivre. Aussi, quand on pense que cette couleur est un poison violent et qu'on peut compromettre sa santé en la préparant et en l'employant, on ne devrait pas sans doute l'adopter; cependant nous ne possédons aucune couleur verte aussi vive et aussi brillante; cette couleur, d'ailleurs, est nécessaire pour composer une table chromatique, et voilà pourquoi nous décrivons sa fabrication, tout en gémissant que la chimie moderne n'ait point encore découvert une couleur aussi séduisante, plus solide et surtout moins dangereuse.

« Prenez 9 à 10 kilog. d'arsenic blanc en poudre, 44 seaux d'eau de rivière que vous faites bouillir dans un vase de cuivre. Lorsque l'eau bouillonne, jetez-y l'arsenic et faites bouillir fortement pendant trois quarts d'heure jusqu'à ce que l'arsenic soit bien fondu, versez bien vite dans le liquide environ 10 kilog. de verdet raffiné; ôtez promptement la chaudière de dessus le feu, et versez le liquide dans un tonneau en bois, puis ajoutez au mélange environ 500 grammes de potasse. Couvrez ensuite le tonneau, et au bout d'une heure ou de deux heures, versez le produit sur une toile et laissez sécher.

Pour composer un autre vert de Schweinfurth, il ne faut pas employer de potasse; seulement, enlevez promptement le mélange de dessus le feu, remuez et mettez sur toile, en ajoutant après le verdet la quantité de spath en poudre que vous voudrez. » (*Extrait d'une note remise par M. Wingens, fabricant de couleurs*).

On peut encore employer les procédés dus à MM. Braconnot et Liebig, et qui sont publiés dans le Traité de la peinture, par Mérimée. Mais le procédé donné par M. Wingens nous paraît le plus simple. (Voy. VERT ÉMERAUDE, *Complément*). ROUGET DE LISLE.

COUPEROSES. Voyez SULFATES

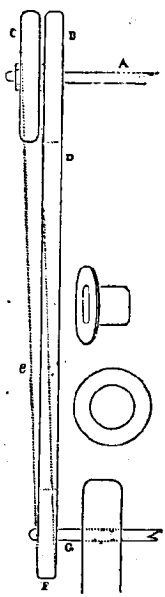
COURROIE (mécanique). Dès que dans une machine quelconque la transmission de la force du moteur aux divers agents passe une certaine limite, il convient d'employer les courroies plates, sur roues et poulies à jantes plates, légèrement convexes. Cette limite peut être ainsi déterminée. Toutes les fois qu'il s'agit d'une force inférieure à celle de deux hommes, les cordes engagées dans des poulies à gorge ronde ou angulaire doivent être préférées. Passé cette force la courroie plate paraît devoir être employée, jusqu'à ce que, arrivée à certaines limites de force et de vitesse, qui ne sont pas encore bien exactement déterminées, elle doit, elle-même, faire place aux engrenages.

On voit souvent, pour les petites machines, employer des courroies plates au lieu de cordes en chanvre ou en boyau; mais comme leur emploi est moins facile, moins usuel que celui des cordes, l'usage n'en a pas prévalu. L'épissure d'une corde sans fin est une opération promptement faite; il n'en est pas ainsi de la suture et du raccord des petites courroies; cependant elles ont l'avantage d'être plus élastiques que les cordes et moins hygrométriques. Quand la résistance à surmonter n'est pas considérable, il faut préférer les cordes engagées dans des poulies à rainures angulaires; la corde qui ne touche pas au fond est pressée dans l'angle, et est bien moins sujette à glisser sous une pression égale. Or, il est important de ne tendre les cordes et courroies que le moins possible; on dépense alors beaucoup moins de force motrice pour produire le même résultat. En général, dans le travail, le défaut dominant dans presque tous les ateliers, est l'emploi de trop grosses cordes ou de trop fortes courroies, relativement à l'effet à produire, et aussi de donner une trop grande tension à ces cordes ou courroies.

Nous n'en dirons pas davantage sur cet objet, dont l'étude sera complétée dans un autre article (voyez MECANIQUE GÉOMÉTRIQUE); notre intention est seulement de populariser et de répandre l'emploi des courroies mortes sur les poulies folles, parce qu'il y a sécurité et économie à employer ce mode.

Dans tous les ateliers où un moteur commun à plusieurs fonctions mécaniques, fait mouvoir, au moyen d'un arbre de couche isolé, ou commandant d'autres arbres, un nombre plus ou moins grand de tours, d'alézoirs, de meules; ou même lorsque le moteur, bien que consacré à un seul travail, ne peut être suspendu sur-le-champ à volonté, il faut que l'ouvrier puisse arrêter le mouvement de rotation lorsque cela lui convient, ou lorsque les besoins de la fabrication le commandent, ainsi que cela a lieu pour les tours, pour les meules d'aiguiserie, pour les cardes, etc., etc. Plusieurs moyens de suspendre ce mouvement de rotation, et de lui rendre son action à volonté, sont depuis longtemps employés. Le plus généralement adopté est celui de la poulie folle, placée ordinairement à la gauche de la poulie vive. Lorsqu'il s'agit de suspendre le travail on fait passer la courroie de la poulie vive sur la poulie folle, qui n'engrenant point sur l'arbre du tour, ou de tout autre appareil, roule librement, sans rien entraîner dans son mouvement. Pendant ce temps, le tour arrêté, on peut le réparer, y monter des pièces, faire les changements qui sont à faire, et lorsque tout est préparé et qu'il s'agit de remettre la machine en mouvement, on ramène la courroie sur la poulie vive; la poulie folle, livrée à elle-même, s'arrête, et le tour recommence à marcher.

Durant tout le temps que le mouvement du tour est suspendu, la courroie tourne toujours sur le tambour de l'arbre de couche et sur la poulie folle, ce qui n'est pas sans inconvénient, d'abord parce qu'elle s'use inutilement pendant tout le temps que dure la réparation à faire à la machine, ou l'opération quelconque qui a nécessité la suspension du mouvement, et ensuite parce qu'il est dangereux pour l'ouvrier qui fait les réparations ou changements, d'avoir toujours près de lui cette courroie en mouvement, qui peut s'emparer d'une partie du vêtement, ou même d'une main ou d'un doigt, qu'elle broie sur la poulie folle.



609 610 611

Pour parer à ces divers inconvénients, on a imaginé de supprimer les poulies folles, placées à la gauche des poulies vives, et de les remplacer par une roue folle placée sur un mandrin adhérant à la roue vive montée sur l'arbre de couche. Par ce simple changement, lorsqu'on fait passer la courroie de la roue vive sur la roue folle, le mouvement cesse aussitôt, la courroie ne marche plus et le tour s'arrête, comme dans le premier cas; mais cette courroie morte ne présente plus aucun danger, et la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

courroie ne s'usera plus, en se déplaçant inutilement.

Les fig. 609, 610 et 611, feront de suite comprendre cette explication : fig. 609, A, l'arbre de couche ; — B, la roue vive ; — C, la roue folle ; — D, la courroie ; — *e*, lignes ponctuées indiquant la courroie lorsqu'elle est passée sur la roue folle ; — F, la poulie ; — G, l'arbre du tour. — Fig. 610, le mandrin en fer sur lequel tourne la roue folle. — Fig. 611, disque en fer ou en cuivre placé entre les deux roues.

Une ingénieuse disposition due à M. Herland, dite *monte-courroie*, est venue rendre facile le placement de la courroie qu'on laisse reposer sur l'arbre, sur la poulie motrice supérieure par l'action d'un plan incliné enroulé en spirale. Une griffe vient amener la courroie à la position convenable. F. D.

COURS D'EAU. L'importance des cours d'eau en tant que voies de transport n'a pas besoin d'être énoncée ; tout ce que nous avons dit à l'article *canal* s'applique également aux cours d'eau naturels, avec cette différence toutefois que le courant doit être compté comme une résistance à la remonte et une impulsion à la descente ; que dans ce cas, comme dit *Pascal*, les *rivières sont des chemins qui marchent*.

L'utilisation des cours d'eau pour les irrigations, d'une si grande importance pour la création des pâturages, surtout dans les pays méridionaux doit principalement être étudiée au point de vue de l'agriculture ; les travaux de dérivation, les manœuvres d'eau ont la plus grande analogie avec ceux des canaux de navigation et n'en diffèrent le plus souvent qu'en ce que la condition à remplir n'étant plus de laisser passer des bateaux, mais bien de fournir un passage à un volume d'eau voulu, les sections des canaux d'irrigation sont en général bien moindres que celles des canaux de navigation.

Au point de vue mécanique, les cours d'eau ont un autre genre d'utilité d'une extrême importance, celui d'être d'immenses réservoirs de force motrice. Quant à la manière de les utiliser, nous prendrons pour exemple une des dispositions prises par le grand Vauban, dans une de nos places de guerre (et il a fait des travaux analogues dans la plupart des places fortes qu'il a fortifiées), non seulement pour augmenter la valeur des fortifications qu'il élevait en rendant possibles des inondations artificielles, mais encore pour assurer la mouture des grains en temps de siége, et la prospérité de l'industrie des habitants en temps de paix.

Nous empruntons des éléments de cet exemple à M. Poncelet.

La Moselle, à Metz, fournit même dans les plus grandes sécheresses, au moins 10^{mc} par seconde, pesant 10,000 kilogr. La vitesse de ce fleuve est moyennement de $0^m,80$ par seconde ; le travail de cette masse d'eau représenté (comme on sait) par $\frac{MV^2}{2}$ serait donc $\frac{10,000}{2 \times g} \times 0,8^2 = 326$ kilogrammètres ($g = 9,81$), ou en divisant par 75, 4 1/2 chevaux-vapeur environ ; travail théorique peu important dont on pourrait tirer parti, au moins en grande partie au moyen d'organes convenables, de roues de moulin par exemple.

Mais si on force les eaux à s'élever au-dessus de leur niveau naturel, comme on l'a fait à Metz, on pourra les utiliser en profitant de la chute mesurée à partir du niveau supérieur de ce barrage, pour les faire agir par leur poids ou de toute autre manière. A Metz, le barrage fait élever ce niveau de $2^m,50$, le travail disponible correspondant aux 10^{mc}, celui qu'ils pourront fournir par leur descente de cette hauteur sera égal au poids multiplié par la hauteur $10,000^k \times 2^m,5 = 25,000^{km} = 333$ 1/2 chevaux-vapeur, quantité près de soixante-dix-sept fois plus grande que celle qu'on obtiendrait en utilisant seulement la vitesse de l'eau.

Cet exemple fait clairement comprendre la nécessité des barrages pour utiliser les cours d'eau.

La hauteur de ces barrages est limitée : 1° par les niveaux entre lesquels est limitée la concession dont on dispose et qui ne permet pas de passer la limite du niveau inférieur de l'usine située en amont ; 2° la difficulté de construire et d'entretenir des berges artificielles qui ne rendent pas marécageux les terrains voisins du cours d'eau, par suite des infiltrations ; 3° la diminution qui pourrait résulter de la production des sources qui alimentent le cours d'eau, si les eaux ne pouvaient s'écouler avec une pente suffisante.

Les barrages s'appliquent avec le plus grand avantage aux petits cours d'eau, et également bien, comme nous venons de le voir, aux grands cours d'eau, qui, n'ayant pas une vitesse trop considérable, permettent sans de trop grandes dépenses l'établissement de barrages et constructions diverses en lit de rivière. Il est inconcevable sous ce rapport qu'on n'ait songé que dans ces dernières années à utiliser l'immense force motrice fournie par les eaux de la Seine (qui n'a que 0,60 à 0,65 de vitesse moyenne), passant à travers une ville si importante, comme ville de fabrique, que Paris, et où la force motrice, par suite de l'éloignement des mines de houille, a tant de valeur.

Utilisation de la force motrice des eaux de la Seine. Pour employer la force motrice des eaux de la Seine, il faudrait par un barrage les forcer à remonter à un niveau supérieur à leur hauteur naturelle. La position de ce barrage est clairement indiquée à la fin de la longue ligne de quais qui bordent la rivière des deux côtés pendant son passage à travers la ville, et dont elle ne peut atteindre le niveau dans les plus grandes crues. On peut admettre qu'un barrage de 2^m, qui ne fera pas gonfler les eaux dans la partie supérieure à la ville de 1^m, est largement admissible. Le conseil des ponts et chaussées, chargé de la réception des études faites pour le projet d'établissement d'un canal de Rouen à Paris, avait adopté divers barrages proposés en lit de rivière de 2^m de hauteur au-dessus de l'étiage comme ne pouvant présenter d'inconvénients ; il admettait (voir l'ouvrage de M. Flachat), qu'avec des crues de 4^m le regonflement à l'amont ne serait que 0,44 réduits à 0,25 dans les crues de 6 à 8^m. Disons de suite que l'écoulement qui aura lieu par les canaux latéraux dont nous allons parler, rendrait encore moindre cette différence de niveau.

A l'étiage, la Seine débite environ 150^{mc} par seconde (la moyenne des basses eaux est 111^{mc}) ; à la hauteur moyenne donnée par M. Arago (Annuaire de 1834) le débit est de 246^{mc}. Le travail correspondant à ce volume d'eau élevé de 2^m est donc $150,000 \times 2 = 300,000$ kilogrammètres $= 4000$ chevaux-vapeur. Il serait de 6570 chevaux pour le débit moyen de 246^{mc}.

Avec des appareils perfectionnés utilisant 75 p. 100 de la force théorique, la force utilisée serait de 3000 chevaux-vapeur, c'est-à-dire au prix de 500 fr. par force de cheval, prix bien inférieur à celui auquel elle revient quand on l'obtient au moyen d'une machine à vapeur à Paris, cette force perdue vaudrait donc 1,500,000 fr. de loyer annuel.

Nous ne pouvons prétendre donner dans cet aperçu une étude complète de cette intéressante question, nous avons seulement voulu prouver son importance et établir les conditions auxquelles il paraît facile de satisfaire. Ajoutons seulement qu'à l'extrémité de Paris, à l'endroit où devait être établi le barrage, s'étend la vaste plaine de Grenelle, dans laquelle se trouvent déjà beaucoup de fabriques ; qu'il serait facile d'y creuser un lit artificiel dans lequel refluerait les eaux de la Seine qui rejoindraient le bras principal en aval du barrage par des canaux transversaux recevant les roues hydrauliques ou turbines destinées à utiliser la force motrice. Ces organes devraient être disposés de telle sorte qu'ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dussent, lors des crues de la Seine, utiliser toute la force motrice fournie par l'augmentation du volume d'eau pour compenser la diminution de la chute; enfin, dans les crues extraordinaires des canaux transversaux devraient être disposés pour compenser amplement la réduction de section résultant du barrage.

L'important résultat de rendre disponible à Paris une force motrice considérable, à un prix modéré, en quantité presque égale au travail des machines à vapeur actuellement existantes est un de ces immenses progrès qu'une administration municipale éclairée ne doit pas tarder longtemps à réaliser. Les exemples abondent de toutes parts pour prouver les avantages et la possibilité de l'exécution d'un pareil travail.

Disons encore ce qui est presque évident en soi, qu'une semblable disposition ne change rien à la navigation puisque les mêmes quantités d'eau passent toujours en lit de rivière, et qu'il suffit qu'un sas d'écluse soit placé dans le barrage, pour faire passer les bateaux d'un côté à l'autre.

Projet d'Arago. Arago, auquel revient l'honneur d'avoir appelé le premier l'attention sur cette question, avait proposé au conseil municipal d'organiser une abondante distribution d'eau dans Paris, au moyen de pompes mises en mouvement par des turbines placées au Pont-Neuf. C'est à la suite de cette étude qu'on a fait du petit bras de la Seine un sas de navigation.

Il nous semble que le savant secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences avait pris, contre son habitude, la question d'un point de vue trop spécial. Certes, c'est quelque chose que de doter la ville de Paris d'une abondante distribution d'eau et de compléter ainsi les beaux travaux que M. Girard et la municipalité de Paris, sous l'administration de M. de Chabrol, ont accompli en amenant à Paris pour cet emploi les eaux de l'Ourcq; mais est-il besoin pour cela d'une force motrice de 3000 chevaux? N'y a-t-il pas là de quoi faire plus que de distribuer de l'eau plus abondamment dans quelques quartiers; ne peut-on encore singulièrement aider au développement de la production industrielle de la capitale.

Ne connaissant pas les projets rédigés pour l'établissement des turbines au Pont-Neuf, nous ne ferons pas d'observation à ce sujet; nous ne doutons pas que la science de MM. Arago et Fourneyron n'eût triomphé des difficultés de la question, mais à première vue elles paraissent énormes. Dans un endroit où le lit de la rivière est rétréci par de nombreuses piles, disposer des turbines, des pompes, des barrages de diverses natures, etc., paraît une entreprise bien audacieuse, quand on pense aux crues énormes de la Seine et à la rapidité que prennent alors ses eaux. CH. LABOULAYE.

COUSSINETS. Ce sont dans les machines les pièces sur lesquelles s'appuient les tourillons d'arbres animés d'un mouvement circulaire continu, ou circulaire alternatif, pièces qui doivent être disposées de manière à embrasser exactement ces tourillons, et à pouvoir se rapprocher les unes des autres, pour remédier au jeu que produit nécessairement l'usé qui résulte des frottements. Ce sont donc des boîtes à frottement, d'ordinaire en deux pièces, quelquefois composées de trois, quatre, ou d'un plus grand nombre de parties, et que l'on graisse continuellement pour diminuer la résistance et pour empêcher le *grippement*, juxtà-position intime du tourillon et du coussinet, dont l'effet infaillible est d'amener la prompte destruction des surfaces en contact.

Les coussinets sont toujours par paire; il ne faut donc pas les confondre avec les *bagues*, pièces de métal continues qui entourent un tourillon cylindrique et qui ne permettent pas de remédier à l'usé, avec les *collets* qui sont coniques intérieurement, où tourne un tourillon conique et à l'usé desquels on remédie en faisant marcher ce collet ou l'arbre parallèlement à l'axe de rotation; enfin avec les *crapaudines*, espèces de gobelets dans le fond desquels on place un *grain* ou disque d'acier, et qui sont destinés à soutenir par son extrémité un arbre vertical, dont la partie inférieure porte alors le nom de pivot.

Les tourillons sont toujours en fer ou en fonte. On a essayé différentes matières pour les coussinets. D'ordinaire ils sont moins durs que les tourillons, et ce sont eux par conséquent qui supportent tout l'usé résultant du frottement. On les remplace facilement quand ils sont diminués par l'usage, et comme l'arbre se conserve de diamètre, on peut faire d'avance les coussinets de rechange pour lesquels on prévoit un usé rapide.

On emploie souvent pour les coussinets un métal fusible composé d'*étain*, de *plomb*, d'*antimoine* ou de *zinc*. En général, les compositions dans lesquelles entre le plomb font avec l'huile beaucoup de cambouis; le métal à coussinets des marchands fait beaucoup de boue pour les grandes pressions, il corrode sans que le rond souffre, mais quand l'arbre avance en même temps qu'il tourne, il s'use avec beaucoup plus de rapidité.

Le métal le plus généralement employé pour les coussinets est le bronze, alliage composé en moyenne de 20 p. 100 d'étain et de 80 p. 100 de cuivre; il contient quelquefois un peu de zinc; c'est un métal dur et cassant qui résiste bien au frottement, mais qu'on doit avoir soin de graisser continuellement. Sans cette précaution, il s'échauffe rapidement et grippe. C'est l'intermédiaire entre le métal des canons, qui contient 10 p. 100 d'étain, et le métal des cloches qui en contient 25, et qui peut aussi fournir de forts bons coussinets. La composition du bronze à coussinets varie suivant les divers ateliers, mais ne s'éloigne pas beaucoup des proportions que nous avons indiquées; il se fond facilement, se travaille mieux que le fer au burin, mais moins bien à la lime, qui glisse dessus et ne l'attaque que quand elle est neuve et qu'elle n'a pas encore limé du fer.

On fait aussi d'excellents coussinets en fonte grise; cette matière conserve bien l'huile, coûte beaucoup moins cher que le bronze, ne s'échauffe pas aussi facilement et s'use à peine, elle convient également pour les tourillons en fer et les tourillons en fonte.

Les coussinets en *gayac*, en *amandier* sont d'un prix peu élevé, conservent très bien les corps lubréfiants, ne grippent pas, mais chose remarquable, ils attaquent sensiblement le fer, aussi ne doit-on les employer que pour des mouvements continus de rotation; si on les employait pour des mouvements alternatifs, on ovaliserait les tourillons. On les emploie souvent pour supporter les arbres de roues hydrauliques. Le cormier, bois très dur, d'un tissu serré et uniforme, est aussi très bon pour coussinets.

Quelquefois on emploie une composition d'étain, d'antimoine et de zinc qu'on fond autour de l'arbre une fois qu'on l'a mis en place, on est alors dispensé d'un grand travail d'ajustage, et on obtient des coussinets très durs, s'attaquant peu, que l'on a pas besoin d'aléser; ils ne sont pas disposés d'ordinaire de manière à pouvoir être resserrés, et on les remplace quand ils prennent trop de jeu.

On peut aussi employer pour coussinets des matières plus dures que les tourillons eux-mêmes. Ces coussinets sont de très longue durée, conservent bien les graisses et usent peu les arbres; ils sont d'ordinaire en *acier* ou en *fonte blanche*. Le principal obstacle à leur emploi est la difficulté de leur construction; l'acier surtout se dérange à la trempe, et il est difficile de faire coïncider exactement le coussinet avec le tourillon. On doit rejeter un coussinet d'acier lorsqu'après la trempe il présente la moindre fissure, la moindre

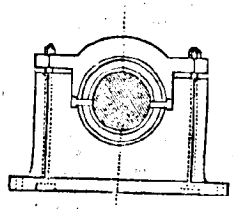
EFERUS - Recherche & Classification numérique

crique, parce que ce serait pour l'arbre une cause de détérioration très rapide.

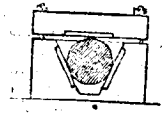
Les coussinets en fonte blanche ne présentent pas cet inconvénient, mais leur dureté les rend très difficiles à travailler, ils sont inattaquables à la lime; une fois mis en place, on ne peut pas les retoucher, si le tourillon ne coïncide pas exactement avec eux. Quand la machine marche, le tourillon s'use jusqu'à ce qu'il se soit incrusté dans le coussinet, tandis que lorsque l'on emploie le bronze l'arbre reste intact, et c'est le coussinet qui s'use et prend la forme convenable.

Ces diverses considérations font rejeter l'acier et la fonte blanche de la fabrication des coussinets. On devra cependant les employer toutes les fois que cela sera possible, l'usé produit par le frottement des tourillons sur les coussinets étant d'ordinaire fort peu de chose, quand les diverses pièces sont bien ajustées et que les coussinets sont graissés avec soin. Du reste, nous avons vu souvent le graissage être opéré par la machine elle-même, au moyen d'un petit système très simple qui, tous les 5 ou 6 tours de l'arbre, faisait tomber d'un réservoir supérieur une ou deux gouttes d'huile dans le coussinet.

Quand le tourillon exerce successivement une pression sur tous les points du coussinet, ce qui arrive toutes les fois que les forces appliquées à l'arbre ne sont pas continuellement appliquées dans le même sens (cas qui se présente dans les mouvements alternatifs, et même dans beaucoup de mouvements circulaires continus), le coussinet s'use sur toute la circonférence et ne tend plus à s'ovaliser, mais alors a devenir un cercle d'un diamètre plus grand. Le mode de serrage indiqué dans la fig. 612 n'est plus suffisant, puisque, comme nous l'avons dit, il ne remédie à l'usé que dans un sens. On est obligé alors d'avoir recours à trois coussinets qui sont placés autour de l'arbre, dont on peut les rapprocher par des vis de rappel; la disposition devient compliquée et exige beaucoup plus d'ajustage. Il est cependant des cas où il faut y avoir recours. On emploie aussi quelquefois soit des tourillons et des collets coniques, ce qui n'est applicable que pour des arbres de faible diamètre, soit des coussinets formés de plaques d'acier trempé (fig. 613), disposition vicieuse parce qu'elle ne conserve pas la graisse.



612.



613.

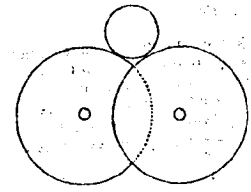
On pratique d'ordinaire, pour le graissage des coussinets, un trou dans le chapeau à la suite d'un petit godet venu de fonte avec ce chapeau; ce trou se prolonge dans le coussinet, et de sa partie inférieure partent deux ou quatre *pattes d'araignées*, espèces de rigoles en diagonale, pratiquées au burin dans la partie intérieure du coussinet et qui, constamment remplies de l'huile qui arrive du petit godet, la distribuent également sur toute la surface du tourillon. On remplit le petit godet d'huile une ou deux fois par jour.

Les coussinets doivent être ajustés très exactement sur le chapeau et sur le corps du support; ils ne doivent éprouver aucun ballottement. On fait souvent leur partie extérieure en prisme à base carrée, et on pratique dans le corps du support une partie creuse exactement pareille; mais quand les coussinets sont gros, on perd beaucoup de bronze dans les angles. On les fait alors hexagonaux ou octogonaux, mais toutes ces formes sont difficiles et longues à exécuter, surtout quand on ne possède pas de machines à raboter pour abréger le travail et qu'il faut faire tout au burin et à la lime.

Il est beaucoup plus simple de faire les coussinets cylindriques à l'extérieur, on alèse alors le trou du support. Le coussinet se fond d'une seule pièce, on l'alèse intérieurement, puis on place à ses deux extrémités des pièces de bois sur lesquelles on détermine exactement le centre du trou, qu'on marque avec un coup de pointeau; on place alors la pièce sur le tour en faisant entrer les pointes dans les centres ainsi déterminés, et on tourne la partie extérieure au milieu de laquelle on a eu soin de ménager, en la fondant, une partie circulaire rentrante, qu'il n'est pas nécessaire de tourner et dans laquelle sont placés deux petits pitons cylindriques saillants, venus de fonte avec le coussinet, et qu'on arrondit à la lime; on perce ensuite à la main dans le corps et dans le chapeau du support deux trous du diamètre des petits pitons situés, ainsi que ces derniers, bien vis-à-vis l'un de l'autre, et dans lesquels ces pitons s'ajustent quand le coussinet est en place. De cette manière, le coussinet ne peut pas tourner dans la partie alésée du support; on le sépare alors en deux soit à la scie, soit au hédane, on lime les surfaces coupées et on met en place les deux parties en intercalant entre elles des cales en bois. Ce procédé est de tous ceux qu'on emploie pour ajuster un coussinet dans un support, le plus simple et le plus expéditif.

On a employé quelquefois des coussinets à galets; le tourillon, au lieu de porter directement sur une partie alésée sur laquelle il éprouve un frottement de glissement ou frottement direct, est supporté par deux ou trois galets sur lesquels il ne glisse pas, mais qu'il fait tourner sur eux-mêmes. Le frottement de glissement n'a lieu que sur les axes des galets, au pourtour du tourillon, il n'y a qu'un frottement de roulement; les galets sont d'ordinaire beaucoup plus gros que le tourillon, en sorte que le chemin parcouru par les surfaces qui frottent directement les unes sur les autres est considérablement réduit; il y a donc moins de travail absorbé en pure perte par le frottement, moins d'usé, puisqu'on réduit la vitesse des surfaces frottantes et en outre une consommation moins considérable du corps gras lubréfiant.

D'ordinaire on n'emploie ces coussinets à galets que quand l'arbre pèse toujours dans le même sens, on met alors deux galets en dessous, rapprochés le plus possible afin que la pesanteur de l'arbre ne tende pas à les écarter et à fatiguer les essieux (fig. 614). D'autres



614.

fois, on ne met qu'un seul galet en-dessous et deux petits au-dessus (fig. 615); le grand galet, qui supporte la pression, tourne lentement, tandis que les petits, qui ne servent qu'à maintenir l'arbre, ont sans inconvénient un mouvement plus rapide; enfin, dans une application des coussinets à galets faite depuis peu, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelques voitures, on n'a employé qu'un seul galet, l'arbre étant maintenu par deux brides fixes dans les points où il ne porte pas.

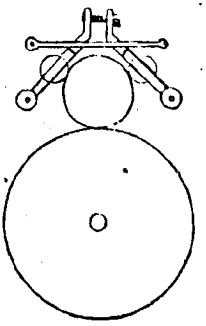


Fig. 615.

On a fait une heureuse application de la disposition indiquée fig. 614, pour supporter les cloches; on n'a employé pour soutenir leurs tourillons, qui, comme on le sait, ont un mouvement circulaire alternatif, que deux secteurs des cercles, la circonférence entière devenant inutile; on est parvenu à réduire ainsi de beaucoup l'effort nécessaire pour maintenir leur mouvement oscillatoire. La même disposition a été aussi employée pour supporter des tourillons de roues hydrauliques.

On se demande pourquoi cette disposition économique sous le point de vue de la force motrice dépensée n'est pas employée plus généralement. C'est qu'en industrie il ne faut se servir que de dispositions simples, d'une construction et d'un ajustage faciles, et qui, surtout, ne puissent jamais se déranger. Or, ce n'est pas le cas des coussinets à galets; leur disposition est compliquée : il faut trouver deux ou trois points d'appui, faire coïncider très-exactement le tourillon avec les galets, et soigner l'entretien de trois ou quatre coussinets au lieu d'un seul. D'un autre côté, si on se rend compte des frottements et du travail absorbé par les coussinets ordinaires, on verra qu'ils ne consomment qu'une fraction extrêmement faible de la puissance de la machine, et que, bien entretenus, ils peuvent avoir une durée indéfinie. Il ne faut donc pas sacrifier des avantages aussi réels, aussi positifs, à une économie que rend illusoire le moindre dérangement d'un coussinet à galets. DUBIED.

La disposition de support sans glissement faite depuis quatre cents ans à la grosse cloche de la cathédrale de Metz, est représentée fig. 616.

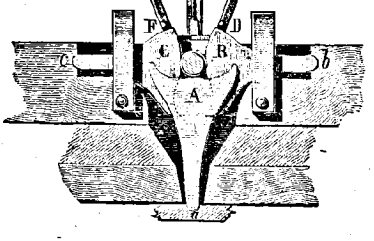


Fig. 616.

Le frottement de glissement disparaîtrait entièrement si, au lieu d'être maintenus par des tourillons, les galets étaient libres, système employé dans les travaux de construction, mais inapplicable dans une partie de machine. Une semblable disposition ne paraît pas impossible théoriquement à réaliser dans le système tour, et conduit à une solution théorique du problème, importante à consigner ici, car elle a été souvent tentée depuis le développement des chemins de fer.

Le guide du tour devant être une surface cylindrique entourant une surface semblable, son fonctionnement sera encore assuré, si, au lieu de mettre en contact les deux surfaces, on grandit d'une longueur, partout égale, l'intervalle qui les sépare et si on y place un nombre suffisant de petits cylindres ayant cette longueur pour diamètre.

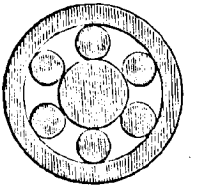


Fig. 617.

De semblables cylindres étant libres, n'étant pas guidés par des coussinets, avanceront en tournant en même temps que l'axe, et il ne se produira pas de frottement de glissement.

Cette idée théorique vraie n'a pas reçu encore d'applications pratiques importantes, par la difficulté de conserver le parallélisme des rouleaux écartés sans faire naître des résistances nuisibles, et vu l'impossibilité de les mettre en contact à cause des glissements qui se produiraient entre les rouleaux consécutifs. (Voy. ROULEAUX, *Complément.*)

COUTELLERIE (*angl.* cutlery, *all.* messerschmiedarbeit). On ne connaît pas plus l'origine de la coutellerie, dit M. Leplay dans son excellent rapport sur l'Exposition universelle de 1851, que celle de la plupart des arts utiles ayant pour objet de pourvoir aux besoins essentiels des populations. Liée vraisemblablement à la découverte de l'acier, cette origine se perd dans la nuit des temps. Au moyen âge, cet art s'était déjà constitué régulièrement dans presque toutes les villes de l'Europe, à la faveur de l'organisation méthodique qui avait été imprimée à l'industrie : les couteliers étaient alors représentés dans les corporations d'arts et métiers, et ils y occupaient ordinairement une position influente. Dès cette époque aussi, sauf pour ce qui concerne la nature et l'origine des aciers élaborés, l'art était constitué à peu près sur les mêmes bases où il subsiste encore, pour quelques spécialités restreintes, dans plusieurs villes de l'Angleterre et du continent.

Peu à peu, cependant, on reconnut qu'il y avait avantage, non pas à disséminer les ateliers à proximité des divers groupes de consommateurs, selon l'antique organisation des corporations urbaines, mais à les concentrer dans certains districts ruraux, où les ouvriers pouvaient subsister à bas prix et se trouvaient rapprochés des principales sources de matières premières, savoir : des forges produisant les aciers, des forêts ou des mines de houille fournissant le combustible, des carrières où s'exploitent les meules destinées à l'aiguisage, etc. Par suite de cette transformation, qui s'est opérée en grande partie dans le cours du dernier siècle et qui semble devoir être prochainement accomplie, les couteliers établis dans les villes se trouvent placés dans une situation fort différente de celle qu'ils y occupaient autrefois; ils ne prennent plus part à la fabrication que pour *monter* les lames, c'est-à-dire adapter les manches aux lames produites dans les fabriques, ou pour exécuter les travaux d'entretien réclamés par leur clientèle. Sauf dans quelques cas exceptionnels, qui tendent à disparaître, les couteliers de Londres, de Paris et des capitales du continent ne forgent plus que des lames de commande et ne montent même que les articles qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'écartent des modèles de fabrication courante. Il est vraisemblable qu'on n'y rencontrerait plus aujourd'hui un seul ouvrier fabriquant des ciseaux. Les couteliers des villes ne sont plus, à vrai dire, que des intermédiaires entre les producteurs et les consommateurs : les plus habiles se bornent, soit à inventer les modèles, qu'ils font ensuite exécuter dans les fabriques, soit seulement à imprimer une direction intelligente aux fabricants ruraux, en les initiant incessamment au sentiment des besoins nouveaux ou des nouvelles convenances créées par le progrès de la civilisation.

L'un des caractères distinctifs de l'activité qui se manifeste dans toutes les régions de l'Europe est la tendance qui excite chaque nation à pourvoir par sa propre industrie aux besoins principaux des populations. Le mouvement de concentration qu'on vient de signaler, en ce qui concerne la coutellerie, a donc, en général, donné naissance, dans les principaux États au moins, à un groupe de fabriques agglomérées. C'est ainsi que se sont progressivement développées, en Angleterre la fabrique de Sheffield, en Prusse celle de Solingen, en Autriche celle de Steyer, en France celles de Nogent, de Thiers et de Châtellerault, en Russie celle de Worsma, près de Nijni-Novogorod, en Suède celle d'Eskilstuna, etc. Toutefois, dès le milieu du siècle dernier, et surtout depuis le rétablissement de la paix générale, ce développement des groupes nationaux d'ateliers de coutellerie a été contre-balancé dans plusieurs États par diverses influences, au premier rang desquelles figurent la suppression graduelle des entraves commerciales, le progrès des moyens de communication, une tendance générale pour le comfort et l'uniformité de goût qui ne peut toujours être satisfaite par les fabriques éloignées de la zone manufacturière de l'Occident; enfin, et surtout, les progrès immenses réalisés sous le rapport de la qualité ou du bon marché par certaines fabriques établies dans les conditions les plus favorables. C'est ainsi, par exemple, que les fabriques de Sheffield et de Solingen ont pris un développement considérable, et sont parvenues à fournir à presque tous les peuples la majeure partie de leur approvisionnement. De leur côté, les fabriques d'Autriche et de France, tout en se tenant en mesure de suffire à la consommation intérieure, ont profité des ressources qu'elles trouvent, soit dans la richesse minérale du pays, soit dans le génie national, pour exploiter certaines branches du commerce d'exploitation, parfois même pour prendre l'initiative du progrès en ce qui concerne le goût ou la perfection du travail.

Telle est la situation générale des ateliers consacrés en Europe à l'art de la coutellerie; quelques détails d'une nature plus spéciale suffiront maintenant pour en achever le tableau.

Description de l'ensemble des procédés de fabrication.— Une série de traités spéciaux pourrait seule se prêter à la description des manipulations nombreuses et variées qu'entraîne la fabrication de chaque article de coutellerie. Il existe cependant, au milieu de cette complication et de cette diversité, des traits généraux qui caractérisent assez généralement toutes les subdivisions de l'art pour qu'on y puisse rattacher l'appréciation des éléments de succès propres aux principales fabriques de l'Europe.

La fabrication de la coutellerie implique quatre groupes principaux d'opérations, comprenant elles-mêmes beaucoup de manipulations secondaires, savoir :

Le forgeage, parfois suivi d'un travail à la lime, donnant la première forme au tranchant d'acier;

La trempe et le recuit, donnant à l'acier la dureté, qui est la qualité essentielle du tranchant;

L'émoulage, l'aiguisage et le polissage, opérations qui donnent à la lame la forme définitive, la qualité tranchante et le poli;

Enfin le montage ou l'assemblage, opérations par lesquelles on adapte aux lames les manches et les divers appendices qui constituent chaque article.

Le forgeage et le travail à la lime sont, dans la plupart des cas, des opérations manuelles dont le succès dépend surtout de la dextérité et de l'intelligence de l'ouvrier. La principale condition de succès est d'employer l'acier brut, c'est-à-dire la matière première de la fabrication, sous la forme qui simplifie le plus possible le travail du marteau : ce travail est lui-même conduit de la manière qui convient le mieux pour diminuer le travail de la lime. En général, dans la suite de manipulations qu'exécutent les couteliers, l'art consiste surtout, d'une part, à employer à chaque échelon de la fabrication une matière dont l'élaboration soit avancée autant que possible, de l'autre, à livrer le produit qui se prête mieux aux élaborations subséquentes. Cette convenance, qui se révèle dans la production de chaque article, pour une vingtaine de manipulations successives, fait éclore chaque jour, on le conçoit aisément, des combinaisons nouvelles, qui perfectionnent l'art de la coutellerie, et qui tendent incessamment à réduire le prix de ses produits. Plusieurs fabricants ingénieux de Nogent, de Solingen et de Sheffield emploient les ressources de la mécanique pour atteindre le but qu'on vient d'indiquer, et surtout pour réduire le travail manuel dans les branches de fabrication, celle des ciseaux et des couteaux fermants, par exemple, qui absorbent le plus de main-d'œuvre. Dans les méthodes ordinaires et dans tous les centres importants de fabrication, le matériel nécessaire pour le forgeage et le travail à la lime est fort simple : il comprend une petite forge alimentée par un soufflet de cuir, mû à bras d'homme; une enclume avec ses appendices, ses coquilles et ses étampes; une série de marteaux, un étau et un assortiment de limes; il peut être réuni dans la plus modeste habitation, alors même que les travaux de la forge et de la lime sont pratiqués par le même ouvrier. Jusqu'à ce jour, la première subdivision du travail de la coutellerie reste donc, en Angleterre comme sur le continent, une industrie essentiellement domestique, exercée par l'ouvrier dans son ménage avec le concours d'apprentis ou d'aides, choisis ordinairement parmi ses enfants.

Le personnel d'une forge où l'on ne fabrique que de petits objets se compose d'un seul ouvrier, qui met le soufflet en action tout en chauffant l'acier. Pour le forgeage des plus grosses pièces, et, par exemple, des lames de couteaux de table, le maître, ayant seulement à régler le feu et à chauffer la barre d'acier, est assisté pour le dégrossissage de cette pièce par un aide qui manœuvre le soufflet.

Les différences qu'on remarque d'une fabrique à l'autre, dans cette première branche du travail de la coutellerie, se rattachent surtout aux divisions plus ou moins multipliées établies dans les travaux qu'on vient de mentionner : tantôt, en effet, ceux-ci sont tous exécutés successivement par le même ouvrier, qui alors se suffit à lui-même; tantôt ils sont confiés à plusieurs ouvriers, qui, pour concourir à un but, doivent être placés sous la direction d'un fabricant. Une autre différence essentielle se trouve dans le caractère domestique ou manufacturier de la fabrication, selon que les ouvriers sont établis dans leur propre ménage ou travaillent dans de grands ateliers avec le concours de machines et de moteurs inanimés. Ainsi qu'on l'a déjà indiqué, la fabrication dans de grands ateliers, à l'aide de machines, commence seulement à prendre naissance, soit en Angleterre, soit sur le continent; la fabrication domestique est encore partout

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dominante, avec cette différence qu'en France et en Autriche les mêmes ouvriers exécutent toute la série des travaux, tandis qu'en Prusse et en Angleterre les fabricants, recherchant surtout les avantages qui dérivent de la division du travail, y font intervenir successivement des catégories distinctes d'ouvriers.

Smith de Sheffield a imaginé, en 1827, de fabriquer au laminoir des couteaux entièrement en acier. Pour faire concevoir son procédé, supposons que l'on développe les deux cylindres et qu'on les grave de telle sorte qu'ils présentent chacun sur leur pourtour, dans un plan normal à leur axe, les deux parties d'un moule de couteau y compris la lame, l'embase et la soie. Si on présente entre ces cylindres une vergette d'acier chauffée au rouge, on obtiendra après le passage une suite de couteaux placés les uns au bout des autres. On peut également graver sur les cylindres une série de moules de couteaux parallèles à leur axe, et y passer une large barre méplate d'acier que l'on y présenterait de côté; les couteaux se trouveraient alors accolés suivant leur longueur. Dans tous les cas, on sépare chaque couteau à la cisaille, et on les termine comme à l'ordinaire.

La trempe et le recuit, formant la seconde subdivision du travail de la coutellerie, sont souvent exécutés par le même ouvrier qui a fait le forgeage; parfois, au contraire, ils sont confiés à un ouvrier spécial. Ces opérations, qui ont une influence décisive sur la qualité des tranchants, ne peuvent être convenablement pratiquées que par des ouvriers intelligents.

Les objets à tremper sont d'abord chauffés au rouge plus ou moins vif, tantôt dans le même foyer qui a servi pour le forgeage, tantôt dans un foyer spécial, tantôt enfin dans divers appareils ou bains métalliques à température constante, et avec des précautions ayant pour but de conserver intacte la qualité aciéreuse à la surface de la lame. On les refroidit ensuite brusquement en les plongeant, soit dans de l'eau pure ou aiguisée de diverses substances acides ou salines, soit dans divers bains essentiellement formés de corps gras. Ces manipulations offrent une multitude de nuances qui se transmettent traditionnellement dans chaque contrée, souvent dans chaque famille, et qui se rattachent à la manière de composer le bain ou d'immerger l'objet à tremper. L'opération s'exécute ordinairement sur chaque pièce isolée; cependant pour de très-petites lames, et surtout pour les ressorts de couteaux fermants, elle a lieu souvent sur un paquet de pièces saisies dans une pince. Pour quelques articles spéciaux et dans certaines méthode de travail, la trempe, par exception, n'est donnée que lorsque l'objet a été façonné à la meule.

Les pièces trempées ont ordinairement plus de dureté qu'il ne convient pour l'usage auquel on les destine, et par cela même elles ont une aigreur et une fragilité qui les rendraient impropres à cet usage; souvent aussi il arrive que la pièce, déformée par la trempe, ne peut être redressée au marteau que si on lui rend un peu de malléabilité. On restitue à l'acier la qualité qu'il doit avoir par le *recuit*, c'est-à-dire par une opération dans laquelle on porte lentement la pièce à une température assez élevée, mais toujours inférieure au rouge naissant. Les méthodes ingénieuses employées pour régler la température du recuit varient selon les fabriques et la nature des objets; elles sont pour la plupart fondées sur l'observation des couleurs que prend la surface de l'acier quand on le chauffe à des températures graduellement croissantes: le soin qu'on apporte à cette opération aussi bien qu'à la trempe est un sûr indice de la perfection à laquelle l'art est parvenu.

L'émoulage, l'aiguisage et le polissage, qui forment le troisième groupe de manipulations, s'exécutent au moyen d'une série de meules de diverses grandeurs, auxquelles on imprime un mouvement de rotation rapide et sur la circonférence desquelles l'ouvrier presse l'objet à façonner. Dans les opérations qui ont pour objet d'entamer fortement le métal, on agit ordinairement sur ce dernier au moyen du grès quartzeux à grains fins, qui forme la matière même de la meule; dans celles, au contraire, où il faut achever la pièce dégrossie et lui donner le poli, on agit au moyen de poudres dures plus ou moins ténues appliquées sur du bois, sur des métaux mous ou sur des peaux diversement préparées, avec intervention de corps gras favorisant l'adhérence des poudres et leur action sur le métal. Dans les centres de fabrication où la coutellerie a le caractère d'une industrie domestique, ce troisième groupe d'opération s'exécute par la force de l'homme; dans ce cas, des ouvriers spéciaux, presque toujours des aveugles ou des idiots impropres à tout autre travail, impriment le mouvement aux grosses meules; souvent, au contraire, les petites meules qui servent à donner le poli sont mises en action par le pied de l'ouvrier même qui exécute l'opération principale. Dans quelques ateliers domestiques, et par exemple en France, on emploie, pour donner le mouvement aux meules, des chevaux attelés à un manége ou des chiens marchant à l'intérieur d'une roue. Dans les principaux groupes de fabriques on imprime le mouvement aux diverses catégories de meules au moyen de moteurs inanimés, l'eau ou la vapeur. L'introduction progressive de cette classe de moteurs dans cette branche du travail est une des circonstances qui ont le plus influé depuis un siècle sur la distribution géographique des ateliers; c'est à l'emploi de ces moteurs économiques, à la plus grande part dans la fabrication pour terminer la forme, attribuée au procédé de l'émoulage, économique dans les mains d'ouvriers expérimentés, qu'il faut surtout attribuer la prospérité des fabriques de Sheffield et de Solingen.

Le montage et l'assemblage terminent cette série de manipulations: tantôt, comme dans la fabrication des ciseaux, ils se réduisent à une révision du travail qui a dû être fait avant le polissage; tantôt, comme dans la fabrication des couteaux fermants et même des couteaux de table, ils comprennent des opérations multipliées et donnent lieu, en main-d'œuvre et en matières, à une dépense plus considérable que toutes les autres opérations. Le travail y est organisé, dans les diverses fabriques, sur des bases fort différentes: tantôt l'art du monteur comprend la fabrication des manches; tantôt, au contraire, cette fabrication est confiée à une série d'autres ouvriers qui pratiquent successivement sur les diverses sortes de matières premières le sciage, le travail de la râpe, le polissage, le ciselage, etc.

Les soies des couteaux sont plates ou carrées. Les soies plates sont placées dans des manches formés de deux parties et y sont fixées au moyen de plusieurs rivets qui les traversent. Les soies carrées pénètrent dans un trou percé dans le manche, qui est alors d'une seule pièce, et y sont consolidées, soit en coulant dans l'intervalle du plomb fondu, soit au moyen d'un mastic fait avec un mélange de poix noire et de brique pilée. On donne quelquefois à la soie une longueur telle qu'elle traverse tout le manche, à l'extrémité duquel on la soude à une garniture en argent ou en cuivre doré que l'on fixe sur le manche.

Quant aux matières employées pour la fabrication des manches, elles sont moins variées qu'on ne pourrait le penser au premier aperçu. Il en existe peu, en effet, qui satisfassent convenablement aux diverses conditions de beauté, de propreté, de durée et d'économie que réclament les consommateurs. Au premier rang figurent les métaux précieux et l'ivoire, puis les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cornes d'animaux et les bois denses. L'Exposition de Londres a présenté plusieurs essais intéressants de nouvelles matières, la gutta-percha par exemple ; mais ces tentatives indiquent combien est restreint le cercle dans lequel les fabricants doivent se tenir.

Le matériel nécessaire au monteur est assez compliqué; il n'exige cependant qu'un petit emplacement, et peut être mis en action en même temps que le matériel du forgeage, du limage, de la trempe et du recuit dans l'habitation même de l'ouvrier. Il comprend des fleurets et quelquefois un tour pour le perçage des manches; des meules servant à polir le manche et la garde, et à retoucher quelques parties de la lame et des ressorts; enfin, beaucoup d'outils et de matières servant à la fabrication des manches et des viroles et à leur assemblage avec la lame. Sur le continent et à Londres, le tour et les meules du monteur sont mis en mouvement par l'ouvrier lui-même, rarement par un aide; à Sheffield, grâce à une combinaison d'ateliers juxtaposés, ils reçoivent ce mouvement d'une machine à vapeur. L'introduction de petites machines-outils, d'une combinaison assez simple, pour exécuter des pièces qui doivent être toujours de même forme, a été une des causes principales du bon marché des objets de coutellerie d'un usage habituel.

L'affûtage (*angl.* grinding, *all.* vorschleifen) s'opère, comme il a été dit, sur des meules de grandeur variable, suivant la nature des objets à affûter. On emploie des meules d'un grand diamètre pour les pièces composées de faces planes, tandis qu'elles doivent être d'un très-faible diamètre pour les lames de rasoirs dont les faces sont concaves. La meule est ordinairement placée dans une cuve en tôle renfermant assez d'eau pour être toujours mouillée à sa circonférence, afin d'empêcher l'acier de s'échauffer au point de se détremper en partie.

L'affilage (*angl.* glazing, *all.* feinschleifen) se fait au moyen de meules en bois, quelquefois garnies à leur circonférence de cuir ou d'un anneau métallique formé d'un alliage d'étain et de plomb, et que l'on recouvre d'un mélange de suif et d'émeri de plus en plus fin.

Enfin, on donne le poli avec du rouge d'Angleterre ou colcothar, très-fin et fortement calciné, sur des meules en bois recouvertes de peau de buffle. La vitesse de ces meules est beaucoup moindre que celle des meules qui servent à l'affûtage et à l'affilage.

CRAIE (*angl.* chalk, *all.* kreide). Chaux carbonatée blanche, terreuse, très friable, dont la densité varie de 2, 4 à 2, 6. Elle se trouve en couches dans le terrain crétacé et renferme souvent des lits de silex en rognons. Elle renferme aussi quelquefois un peu de silice et d'oxyde de fer. Purifiée par une ou plusieurs lévigations successives, elle porte le nom de *blanc de Troyes*, *blanc de Meudon*. Ses nombreux emplois, sur lesquels nous reviendrons dans le courant de cet ouvrage, sont trop connus pour nous y arrêter ici.

CRAYONS (*angl.* pencils, *all.* bleistifte). On donne ce nom à de petites baguettes de plombagine ou graphite, que l'on renferme ordinairement dans des cylindres en bois, et qui servent à écrire et à dessiner.

Les meilleurs crayons de plombagine anglais se préparent, en débitant à la scie, en parallélipipèdes très minces, des masses de graphite très pur, préalablement chauffé en vases clos à une forte chaleur rouge. Ces crayons sont habituellement enchâssés dans des baguettes en bois de cèdre; depuis quelque temps on en taille beaucoup en petits cylindres assez courts qui se fixent dans des porte-crayons métalliques. Ces porte-crayons se composent d'un fil métallique dont l'extrémité repousse le crayon, retenu par le bout refendu du tube dont nous allons parler, qui fait ressort. Ce fil est soudé à une vis qui se termine par une baguette glissant dans un diaphragme placé dans l'intérieur du cylindre qui forme le corps du porte-crayon. Le crayon lui-même est recouvert sur la plus grande partie de sa longueur par un tube creux s'assemblant à vis sur un autre tube cylindrique qui pénètre à frottement dans le corps du porte-crayon et se termine par un écrou qui embrasse la vis dont nous avons parlé. Lorsqu'on veut écrire, on fait tourner l'une des parties du porte-crayon, l'autre restant fixe, et on fait ainsi avancer dans l'écrou la vis qui porte le fil métallique jusqu'à ce que la pointe du crayon vienne légèrement dépasser le tube qui l'enveloppe.

En 1795, notre compatriote *Conté* inventa un procédé très ingénieux pour fabriquer artificiellement des crayons de mine de plomb d'excellente qualité, lequel fut encore perfectionné par son gendre, M. *Humblot-Conté*.

Ce procédé consiste à mélanger le graphite pulvérisé, ou toute autre matière colorante convenable, avec de l'argile très pure complétement exempte de chaux et de sable; puis à chauffer le tout en vases clos à une chaleur rouge. L'argile a la propriété de se durcir, par l'action de la chaleur, en acquérant plus ou moins de compacité suivant que la température a été poussée plus ou moins loin, ce qui permet d'obtenir des crayons offrant tous les degrés de dureté et de mollesse désirables. L'argile est préparée par lévigation, puis séchée. On réduit le graphite en poudre ténue, dans un mortier en fonte, puis on le tasse dans un creuset que l'on recouvre de son couvercle et que l'on porte à une forte chaleur rouge-cerise. Cette calcination a pour but de donner au graphite beaucoup de brillant et une grande mollesse. Le mélange de l'argile et du graphite se fait ordinairement à sec. La calcination du mélange doit s'opérer à une température d'autant plus basse, qu'il y a plus d'argile et que l'on veut obtenir des crayons plus mous. Les proportions les plus employées pour les crayons communs, sont de 2 ou 3 parties de graphite pour 1 partie d'argile; en les faisant varier, on peut obtenir des crayons présentant tous les degrés de dureté et toutes les nuances de couleurs désirables, avantage immense qu'offre ce mode de fabrication sur celui des crayons anglais, pour lesquels on doit se contenter d'employer le graphite tel que nous l'offre la nature. Les crayons de mine de plomb fabriqués par le procédé Conté ont en outre l'avantage pour le dessin, tout en étant aussi noirs, de présenter à un bien plus faible degré ce reflet métalloïde qui produit un effet si désagréable à l'œil. Néanmoins on peut leur donner ce brillant, en diminuant la proportion d'argile, et en donnant une dureté suffisante aux crayons par une forte calcination.

On s'assure que le graphite est assez finement pulvérisé, en y incorporant un peu d'argile, en prenant une faible quantité que l'on sèche et que l'on calcine puis que l'on coupe avec un couteau, et examinant si la tranche présente un aspect parfaitement uniforme sans aucun point brillant; si l'on apercevait de petites paillettes de graphite, il faudrait encore continuer longtemps le broyage. Lorsque le graphite a enfin acquis un degré de ténuité suffisant, on y ajoute le reste de l'argile, et l'on incorpore le tout sur une table à molette en y ajoutant un peu d'eau, jusqu'à ce qu'on ait obtenu une bouillie claire parfaitement homogène, que l'on coule dans des moules ou rainures parallèles pratiquées dans des planches, préalablement bouillies dans de l'huile afin de détruire leur propriété hygrométrique, et que l'on recouvre ensuite avec d'autres planches en bois également bouillies dans de l'huile, que l'on serre contre les premières au moyen de machines à vis. L'air pénétrant peu à peu par les extrémités des rainures dessèche graduellement les crayons, qui se détachent à mesure des rainures par suite du retrait qu'ils éprouvent; on achève la dessicca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion à l'étuve, puis on sépare les planches, et on secoue les crayons sur une toile tendue sur un châssis.

Quelquefois on plante verticalement, sur le fond d'une caisse en tôle, une série de petites tiges en fer poli, de dimensions un peu plus fortes que celles des crayons que l'on veut obtenir, et on coule dans l'intervalle qu'elles laissent entre elles un alliage de plomb, étain, bismuth et antimoine, assez fusible. On retire ensuite les tiges de fer et on obtient ainsi une série de moules métalliques que l'on remplit avec la bouillie de graphite, puis que l'on fait sécher comme ci-dessus. Le retrait qu'éprouvent les crayons par la dessiccation permet de les retirer aisément; on les sèche ensuite à l'étuve.

Les crayons desséchés à l'étuve sont placés verticalement dans des creusets, dont on remplit ensuite les vides, en y saupoudrant du charbon pulvérisé, du sable fin ou des cendres de bois tamisées; on recouvre les creusets de leurs couvercles que l'on lute, et on les chauffe dans un fourneau, à une température déterminée par le degré de dureté que l'on veut obtenir, et que l'on règle à l'aide d'un pyromètre de Wedgwood. Cette température atteinte, on laisse les creusets se refroidir très lentement avant d'en retirer les mines.

Avant de renfermer dans des baguettes de bois, les mines destinées au tracé linéaire, on les chauffe légèrement et on les trempe dans de la cire fondue, opération qui leur donne une certaine douceur, et tend à diminuer l'usure de la pointe.

En ajoutant au mélange d'argile et de graphite, une certaine proportion de noir de fumée, on peut obtenir des crayons aussi noirs qu'on peut le désirer et qui sont surtout employés pour le dessin d'après nature.

Conté et Humblot ont découvert qu'on peut augmenter la dureté des crayons sans altérer leur qualité, en trempant les mines desséchées dans des dissolutions salines à divers degrés de concentration, puis les calcinant comme à l'ordinaire; ils recommandent de préférence le sulfate de soude.

On prépare, d'après Conté, les crayons les plus durs employés pour le dessin linéaire, avec un alliage composé de plomb, d'un peu d'antimoine et d'une très faible quantité de mercure.

Le travail de l'insertion de la mine de plomb dans un cylindre de bois est trop simple pour qu'il soit nécessaire d'en parler longuement. Il consiste à former ce cylindre de deux parties que l'on colle ensemble; dans la plus épaisse de ces parties se loge la mine de plomb, dans une rainure pratiquée en son milieu. Ce travail très simple se fait le plus souvent dans les campagnes, à un prix de revient extrêmement modique. Les laborieuses populations de la Bohême, qui produisent cette immense quantité de jouets d'enfants en bois, connus sous le nom de jouets de Nuremberg, fabriquent des quantités énormes de crayons communs. De grandes fabriques se sont montées dans ces contrées, parmi lesquelles se distingue celle si considérable de Faber.

On s'est proposé d'obtenir ce travail par procédé mécanique. Une machine montée par M. Roger, mécanicien, pour M. Desprez-Guyot, a résolu le problème complétement, et la production est rapide et économique.

Donnons-en une idée en quelques mots.

Les planches de cèdre sont refendues par des scies à l'épaisseur voulue, et d'une longueur correspondante à celle de 6 crayons. Des fraises de forme convenable enlèvent le bois sur toute la largeur de la planche, de manière à former des surfaces cylindriques. Une fraise placée de l'autre côté enlève sur les 2 planches la place que doivent occuper les mines; celles-ci, de forme circulaire, fabriquées de la longueur d'un crayon, sont répandues sur la planche au moyen d'une trémie et viennent se ranger dans les entailles. Auparavant les planches sont enduites de colle-forte destinée à les assembler, puis passent à travers une filière-presse qui les comprime. Au sortir de cette presse, les planches réunies rencontrent des couteaux qui divisent les crayons, en refendant les petites épaisseurs de bois qui les réunissent; enfin une scie n'opérant qu'à intervalles réguliers vient couper transversalement les crayons terminés à la longueur voulue.

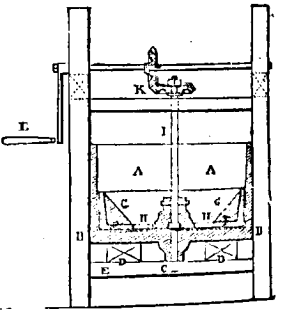
Il est aisé de comprendre qu'en répétant cette machine élémentaire un certain nombre de fois, il est facile d'obtenir à très bas prix, et par un procédé presque entièrement automatique, une production réellement illimitée.

Crayons à dessin, crayons au pastel (*angl.* crayons *all.* pastellstifte). On donne ce nom à des crayons cylindriques ou carrés, courts et tendres, diversement colorés, dont on se sert pour dessiner.

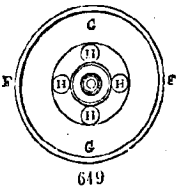
Les crayons noirs se font en mélangeant du noir de fumée très fin avec deux tiers environ d'argile, puis passant la pâte à la filière ou la comprimant dans des moules ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée; on les cuit ensuite en vase clos, sans aucune préparation préliminaire, dans ce dernier cas, et après les avoir roulés sur un drap pour les lisser, dans le premier cas.

Le fourneau dans lequel s'opère la cuisson est représenté en coupe et en élévation dans les fig. 616 et 617. La partie essentielle de ce fourneau consiste en six tubes A, A, dont le diamètre dépend du degré de conductibilité pour la chaleur du mélange dont les crayons sont composés, et dans lesquels on introduit les crayons à cuire. On place en même temps dans ces tubes des tiges de fer carrées, qui les dépassent et servent à fixer à leurs extrémités deux plaques circulaires C D, percées de trous correspondants, et traversées en outre par un axe central suspendu sur des coussinets, de telle sorte que l'on puisse faire tourner tout l'ensemble du système, comme dans les tourne-broches usités dans nos cuisines, de manière à produire une cuisson aussi égale que possible.

618



616. 617.



619

Les crayons rouges, dits de *sanguine*, se préparent en débitant à la scie la sanguine (fer oxydé-rouge compacte), si la dimension des morceaux le permet, ce qui est souvent difficile, ou en mêlant cette substance broyée à l'eau avec une certaine quantité de mucilage de gomme arabique, auquel on ajoute quelquefois un peu d'eau de savon.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les crayons blancs s'obtiennent par le sciage de morceaux de craie blanche et de bonne qualité.

Les crayons au pastel sont ordinairement cylindriques ; on les fabrique avec un mélange de terre de pipe bien fine et de matières colorantes convenables, que l'on moule et que l'on fait ensuite sécher. Les frères *Jost*, à Paris, qui sont renommés pour leurs pastels, les préparent avec un mélange de : 12 parties de terre de pipe, 12 p. de matière colorante (comme le bleu de Prusse, l'orpiment, la céruse, le vermillon, etc.) en poudre, 6 p. de gomme laque, 4 p. d'esprit-de-vin et 2 p. de térébenthine. L'argile, préalablement purifiée par lévigation et séchée, est réduite en poudre impalpable, puis mélangée avec la gomme-laque dissoute dans l'esprit-de-vin, la térébenthine et enfin la matière colorante. On remplit de ce mélange un cylindre creux en cuivre, de 5 centimètres de long sur 4 de diamètre, et fermé à l'un des bouts par une plaque percée de trous circulaires, dont le diamètre dépend de celui des crayons que l'on veut fabriquer. On chasse ensuite la pâte à travers les trous avec un piston, que l'on force à entrer dans le cylindre au moyen d'une forte presse, et on obtient ainsi des crayons passés à la filière, qu'il ne reste plus qu'à couper de longueur convenable et à sécher à une douce chaleur. Comme la qualité des crayons dépend entièrement de la finesse de leur pâte, il est très avantageux de broyer mécaniquement les couleurs et l'argile, ce qui se fait souvent au moyen du moulin représenté fig. 618 et 619 : la meule est en fonte et percée de trous H, par lesquels la couleur que l'on verse à l'état de bouillie liquide dans la cuve conique G, s'introduit au centre de la meule et sort, par l'effet de la force centrifuge, à la circonférence pour repasser de nouveau par les mêmes trous, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment broyée. L'axe I de la meule est mis en mouvement par la manivelle L, au moyen d'un système de roues d'angles K.

CRÉOSOTE. C'est le plus important des cinq composés découverts par Reichenbach dans le goudron, et il doit son nom à la propriété anti-septique extrêmement développée qu'il possède. Des autres composés : la *paraffine*, l'*eupione*, le *picamar* et le *pittacall*, la première offre seule aussi de l'intérêt. On peut extraire la créosote soit du goudron végétal, soit de l'acide pyroligneux brut. Voici comment on opère pour la retirer du goudron végétal.

On distille le goudron en commençant seulement à recueillir le produit qui passe à la distillation, lorsqu'il a atteint une réaction fortement acide, et s'arrêtant dès que le goudron a pris la consistance de la poix et qu'il commence à se former dans l'allonge des nuages blanchâtres de paraffine. Le produit recueilli se sépare en trois couches de densités différentes ; la première et la dernière sont huileuses, et la couche intermédiaire est aqueuse. On décante les deux couches supérieures avec un syphon, et la dernière sert seule à la préparation de la créosote.

On sature cette liqueur huileuse avec du carbonate de potasse, on laisse déposer, puis après avoir décanté la masse huileuse qui surnage, on la soumet à la distillation. On rejette les premiers produits qui passent à la distillation et qui sont plus légers que l'eau : ils contiennent peu de créosote ; on recueille l'huile pesante qui passe ensuite, on l'agite à plusieurs reprises avec de l'acide phosphorique étendu, pour séparer une petite quantité d'ammoniaque qu'elle renferme, puis on décante et on agite à plusieurs reprises avec de l'eau pure, en laissant reposer et décantant chaque fois, jusqu'à ce que la liqueur n'ait plus aucune réaction acide, enfin on la distille avec de l'eau et un peu d'acide sulfurique. Le produit ainsi obtenu est tout à fait incolore, et se compose de créosote renfermant encore un peu d'eupione. Pour le purifier, on y ajoute une dissolution de potasse d'une densité de 1,12, qui dissout la créosote tandis que l'eupione vient surnager à la surface, et peut être alors séparée par décantation ; on laisse ensuite reposer pendant quelque temps au contact de l'air la dissolution alcaline de créosote, qui se noircit alors par la décomposition de quelques matières étrangères qu'elle renfermait encore, puis, on sature l'alcali par de l'acide sulfurique ; on décante la créosote qui s'est séparée du sulfate de potasse et on la distille de nouveau. On répète à plusieurs reprises ce traitement successif par la potasse et l'acide sulfurique, jusqu'à ce que la créosote ne brunisse plus au contact de l'air.

Pour retirer la créosote de l'acide pyro-ligneux, on sature ce dernier à la température de 75° avec du sulfate de soude effleuri ; il se forme à la surface de l'acide une couche huileuse que l'on décante et qu'on laisse reposer quelques jours, pendant lesquels il se sépare encore un peu d'acide pyro-ligneux ; on la sature ensuite à chaud avec du carbonate de potasse, puis on la distille avec de l'eau, et on purifie la créosote impure qui passe à la distillation, comme nous l'avons dit ci-dessus, avec de l'acide phosphorique, etc...

La créosote ainsi obtenue est un liquide oléagineux, d'une saveur brûlante et amère, qui possède une odeur particulière qui se rapproche de celle de la viande fortement fumée ; sa pesanteur spécifique à 20° est de 1,037 ; elle n'a aucune réaction alcaline ou acide. Un froid de 27° au-dessous de zéro ne la congèle pas ; elle est assez volatile et bout sous la pression atmosphérique à la température de 203° ; enflammée au moyen d'une mèche de lampe, elle brûle avec une flamme fuligineuse.

En agitant à 15° de la créosote avec de l'eau, on obtient deux combinaisons de densité différente renfermant pour 1 partie de créosote, 10 et 400 p. d'eau. Elle se mélange en toutes proportions avec l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone et les huiles volatiles. Elle dissout facilement l'iode et le phosphore, ainsi que le soufre à chaud, mais par le refroidissement ce dernier se sépare à l'état cristallin. Elle forme avec les alcalis et plusieurs autres bases des combinaisons que l'on ne peut guère regarder comme de véritables sels. Elle dissout nombre de résines, toutes les huiles et beaucoup de matières colorantes, même l'indigo. Elle coagule l'albumine ; mêlée à de l'oxyde rouge de mercure, elle se convertit en une masse résineuse, tandis que le mercure est réduit à l'état métallique. Les acides sulfurique et nitrique concentrés la décomposent. Sa composition est représentée par la formule atomique $C^{28}\,H^{16}\,O^{2}$, qui correspond à deux volumes de vapeur.

La créosote est surtout remarquable par la propriété qu'elle possède de préserver complétement de la putréfaction les substances organiques. On plonge, pendant un quart d'heure environ, les substances à conserver dans une dissolution aqueuse de créosote très étendue, puis on les laisse égoutter et on les fait sécher à l'air libre. C'est sans contredit à la créosote qu'elle contient qu'on doit attribuer les propriétés anti-septiques de la fumée. On ne peut expliquer cette propriété par la coagulation de l'albumine, car celle-ci seule, et coagulée sans créosote, éprouve assez rapidement la fermentation putride. La créosote agit aussi très énergiquement sur l'économie vitale, et prise à l'intérieur elle joue le rôle d'un poison très violent. Placée sur la peau elle cause un picotement douloureux, et peut même l'altérer profondément lorsqu'elle est pure.

La créosote est très employée en médecine, surtout contre les maux de dents ; il faut avoir soin, dans ce dernier cas, de ne pas l'appliquer sur les gencives qu'elle dépouillerait au vif. Quoique ce soit un médicament précieux dans beaucoup de circonstances, ses propriétés médicales ont généralement été beaucoup trop exaltées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CRÊPE (*angl.* crape, *all.* krepp, flor). Le crêpe est un tissu particulier qui se fait avec de la soie brute non décreusée. Teint en noir il est principalement employé pour toilettes de deuil. Le crêpe blanc sert à faire des voiles. Le crêpe a été inventé à Bologne. Actuellement il se fabrique surtout à Lyon en France, et à Norwich en Angleterre.

CREUSET (*angl.* crucibles, *all.* schmelztiegel). Les creusets sont des vases généralement destinés à contenir les corps auxquels on veut faire supporter une température élevée. On fait souvent des creusets métalliques, mais ici nous ne parlerons que des creusets argileux. Les creusets se divisent, suivant l'usage auquel on les destine, en des classes assez variées. La plus distincte est celle des creusets dits de plombagine, dont la pâte contient du graphite ; ils sont très bons, en ce sens, qu'ils supportent de très hautes températures sans se fondre, qu'ils ne cassent pas au feu, et enfin qu'ils résistent à l'action de beaucoup de corps. Comme le prix de revient de ces creusets est encore assez élevé, on remplace souvent le graphite par du coke grossièrement pulvérisé (voyez ACIER).

Parmi les creusets purement argileux, il en est qu'on peut rendre imperméables, tels sont ceux de porcelaine. Ces creusets cassent facilement au feu. Il en est d'autres, et c'est le plus grand nombre, pour lesquels on ne recherche pas cette qualité ; ceux-ci sont poreux, à pâte grossière, et résistent fort bien en général au changement de température.

Les creusets poreux se laissent pénétrer par l'air, ce qui importe peu, mais ils ont le grand inconvénient de se laisser aisément traverser par tous les sels en fusion. Ainsi le nitre et le sel marin en fusion passent au travers, mais il n'en est pas de même des métaux ou des produits qui ne fondent pas au feu. Dans ces derniers cas on emploie de préférence ces creusets, puisque ce sont ceux qui supportent les plus grands coups de feu et les changements de température les plus brusques, sans être fondus ou cassés. Les célèbres *creusets de Hesse* offrent le type des creusets poreux. D'après M. Berthier ils se composent de :

Silice.	0,709
Alumine.	0,248
Oxyde de fer.	0,033
Magnésie.	traces
	0,995

On les obtient au moyen d'une argile très alumineuse que l'on trouve aux environs d'Almerode, et à laquelle on mêle beaucoup de sable quarzeux. Ils sont très réfractaires et supportent bien des changements brusques de température ; mais la forte proportion de silice qu'ils renferment, fait qu'ils s'attaquent aisément par la litharge et les autres oxydes métalliques très fusibles. D'un autre côté, leur grain très grossier rend leur emploi peu commode dans beaucoup d'opérations où l'on tient à recueillir exactement les produits. Ils sont sonores, peu épais, évasés sous la forme triangulaire par le haut, et assez solides pour supporter facilement le transport. Les petits creusets de Hesse, chauffés au rouge, peuvent être jetés dans l'eau froide sans casser.

Les creusets de Beaufay, à Paris, contiennent, d'après M. Berthier :

Silice.	0,646
Alumine.	0,344
Oxyde de fer.	0,010
	1,000

Ils sont fabriqués avec un mélange d'argile crue d'Andennes, près Namur, simplement mélangée de ciment de la même argile sans addition de sable. On les enduit avant la cuisson d'une couche mince d'argile, pure et crue, qui rend leur surface plus lisse et plus unie. Ces creusets sont surtout remarquables, en ce que leur pâte étant très dense, ils peuvent néanmoins supporter des changements brusques de température. Leur composition indique, au reste, qu'ils sont très réfractaires, et l'expérience montre qu'ils le sont même plus que ceux de Hesse. Moins riches en silice que ces derniers, ils résistent mieux à l'action corrosive de la litharge en fusion.

La pâte des creusets est toujours formée d'un mélange d'argile crue et de ciment. Quelquefois le ciment est du coke grossièrement pulvérisé ou du sable ; mais le plus ordinairement il se compose d'argile cuite au rouge, puis pulvérisée. Le mélange se fait habituellement dans les proportions de 1 partie d'argile crue pour 3 p. d'argile calcinée, et s'opère soit à l'aide d'un moulin, soit le plus souvent en le faisant marcher. Le ciment a pour but de diminuer le retrait de la pâte, et de l'empêcher de se fendre tant pendant la dessiccation et la cuisson que lorsque les creusets éprouvent des changements brusques de température, ce qui est une des propriétés des pâtes poreuses.

Les petits creusets se fabriquent par moulage, de la même manière que ceux employés à la fabrication de l'ACIER *fondu* (voyez ce mot) ; les grands creusets, au contraire, tels que ceux de *verrerie* (voyez VERRE) se fabriquent à la main avec ou sans moule. Enfin on peut aussi couler les creusets dans des moules en plâtre par le procédé indiqué par M. Cameron. Pour cela on délaie de l'argile crue dans de l'eau, de manière à former une bouillie claire qu'on passe au travers d'un tamis de soie ; on laisse déposer pendant quelques heures, on décante l'eau surnageante, on ajoute alors au résidu 7 parties de sable ou de ciment fin pour 17 d'argile. La bouillie argileuse étant ainsi préparée, on en remplit les moules de plâtre, préalablement parfaitement desséchés ; au bout d'une demi-heure on décante la portion liquide ; on laisse un peu sécher la couche qui s'est attachée au moule, puis on emplit et on décante une seconde fois, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on ait obtenu une épaisseur convenable. Si les moules sont faits de deux pièces, on les sépare pour enlever les creusets dès que ceux-ci ont pris une consistance suffisante. On fait ensuite sécher complétement les moules avant de s'en servir de nouveau. Enfin on forme quelquefois avec la pâte argileuse des cylindres pleins, qu'on fore ensuite, lorsqu'ils ont pris assez de consistance, à l'aide d'une mèche ou d'une cuillère de forme convenable.

Lorsque les creusets ont été séchés autant que possible par l'exposition à l'air, on les fait cuire dans un four à poteries ; on évite en général de les chauffer au point de vitrifier un peu leur surface, parce qu'ils deviennent alors plus cassants ; il suffit qu'ils aient pris assez de consistance pour supporter les transports quand on ne les emploie pas sur les lieux. Ils achèvent de se cuire dans l'opération même à laquelle ils sont destinés.

Les creusets compactes peuvent être réfractaires et imperméables, mais ils sont toujours sujets à se casser lorsqu'on les laisse refroidir. On les prépare soit au moyen d'un ciment très fin d'argile apyre, quand on veut qu'ils soient réfractaires, soit en se servant d'une argile un peu fusible et poussant la cuisson jusqu'au point où la terre éprouve un commencement de vitrification.

Creusets brasqués. Comme toutes les substances oxydées agissent chimiquement sur les creusets, et qu'en outre un grand nombre de métaux et de leurs composés adhèrent fortement à leurs parois et sont même susceptibles de les traverser par voie de capillarité, on a imaginé depuis longtemps de remplacer ces creusets, dans la plupart des essais docimastiques, par des creusets formés en forant une cavité dans des morceaux de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

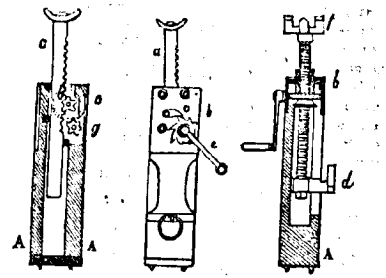
charbon bien sains qu'on plaçait dans des creusets en terre, et qui ne présentaient pas les mêmes inconvénients. La difficulté de se procurer des morceaux de charbon entièrement exempts de fissures a fait ensuite remplacer les creusets de charbon par des *creusets brasqués* ; ce sont des creusets de terre dont les parois intérieures sont garnies d'une couche de charbon. On peut les considérer comme des creusets de charbon munis extérieurement d'une enveloppe d'argile réfractaire ; ils sont solides, toujours exempts de gerçures, faciles à préparer, et ils jouissent des mêmes propriétés que les creusets de charbon massif sans en avoir les inconvénients.

Pour brasquer les creusets, on se sert de charbon de bois trié, on le pile, on le passe au tamis de soie, et l'on humecte la poussière avec de l'eau, en l'agitant avec une spatule et la pétrissant entre les doigts jusqu'à ce qu'elle ait acquis assez de consistance pour se pelotonner, sans cependant être assez humide pour adhérer à la main. On mouille le creuset à brasquer en le plongeant dans l'eau et le retirant presque aussitôt ; on y met l'épaisseur de 1 à 2 centimètres de brasque, puis on tasse très fortement cette brasque, en tenant le creuset de la main gauche, appuyé sur un sol résistant, et frappant la brasque de la main droite avec un pilon en bois, d'abord à petits coups, puis à coups redoublés, jusqu'à ce que la poudre de charbon ait acquis toute la consistance qu'elle est susceptible de prendre. Sur cette couche ainsi tassée on en met une autre, que l'on tasse de la même manière, et ainsi de suite jusqu'à ce que le creuset soit entièrement rempli, en ayant grand soin de rendre la brasque aussi dure que possible, surtout près des parois du creuset. Pour que les différentes couches de brasque adhèrent entre elles, et ne forment qu'une masse homogène, il est nécessaire de rayer en divers sens la surface de chaque couche tassée, avec la pointe d'un couteau, avant de mettre par dessus une nouvelle couche de charbon. Quand le creuset est entièrement rempli, on creuse dans la masse de brasque une cavité conique, de même forme à peu près que le creuset, avec un couteau pointu à lame mince, en commençant par le centre, puis élargissant et approfondissant successivement et symétriquement la cavité. Celle-ci étant achevée, on en polit les parois en les frottant fortement avec un tube de verre arrondi, que l'on tient bien serré dans la main droite. Cette précaution est nécessaire, pour que les grenailles métalliques qui se produisent dans les essais ne soient pas retenues par les aspérités de la brasque, et puissent se réunir en un seul culot, en obéissant librement à l'action de la pesanteur. Lorsqu'un creuset brasqué est bien préparé, les parois de la cavité sont lisses et luisantes comme si elles avaient été dressées au tour. Ordinairement, on laisse au fond des creusets 40^{mm} environ d'épaisseur de brasque et 3 à 4^{mm} sur les parois ; mais dans certains cas, comme par exemple lorsque la matière que l'on a à fondre est susceptible de s'infiltrer dans le charbon et d'agir sur les creusets de terre comme fondant, on donne à la brasque une beaucoup plus grande épaisseur, surtout sur les parois.

Lorsque les creusets brasqués sont préparés avec soin, on peut les conserver pendant longtemps avant de s'en servir, surtout si on les place dans un lieu humide et si on a soin de les couvrir.

CRIC (*angl.* jack, *all.* wagenwinde). Le cric est une machine dont on se sert pour élever des poids considérables.

Les fig. 620 et 621 représentent le cric simple ordinaire, le plus répandu ; il consiste en une pièce de bois d'environ 75 centimètres de long, sur 25 centimètres de largeur et 15 cent. d'épaisseur ; il présente dans sa longueur une entaille carrée dans laquelle est adaptée une barre de fer *a*, dentelée en forme de crémaillère, terminée par une double griffe ou croissant à son extrémité supérieure ; un petit pignon s'engage dans les dents de cette barre de fer, et est supporté par des bandes de fer qui sont solidement fixées par des vis à chaque côté de la pièce de bois. Une extrémité de l'axe du pignon sort à travers la pièce de bois, et porte une manivelle qui fait tourner le pignon, et par suite, monter et descendre la crémaillère *a*. La griffe placée au bout de la crémaillère soulève alors le poids sous lequel on l'a placée. Afin d'empêcher le poids du fardeau de faire retomber le pignon, la manivelle est retenue par un rochet adapté sur la partie extérieure du bloc de bois dans lequel est la crémaillère.



620. 621. 622.

Quand on a besoin d'une plus grande puissance que celle que peut produire ce cric ordinaire, on fait usage d'une combinaison de roues dentées, comme on le voit dans la fig. 620 : A A, est le bloc en bois, que l'on fait dans ce cas assez large pour recevoir la roue dentée *c*, qui est fixée au pignon *b*, lequel engrène dans les dents de la crémaillère.

g est un second pignon composé de 6 dents qui agissent sur la roue *b*, et l'axe de ce pignon sort par le côté du bloc de manière à ce que la manivelle puisse y être fixée. Le bloc A A, est partagé en deux ; et l'entaille pour placer la roue *g*, ainsi que le pignon *c*, est pratiquée dans une des moitiés du bloc ; l'autre moitié est unie et supporte les autres pivots de la roue et des pignons. Ces deux moitiés sont jointes ensemble par de forts liens ou frettes, attachées à l'extérieur. La crémaillère porte souvent à sa partie inférieure une griffe recourbée, qui se projette de côté par une ouverture ou une entaille pratiquée dans la moitié de la face du bloc. Cette griffe peut être placée sous une pierre posée presqu'à la surface du terrain, et qui, par conséquent, ne peut recevoir d'action de la part de la griffe, placée en haut de la crémaillère. Pour empêcher le fer de descendre quand il est chargé d'un poids, le petit rochet *o* s'engage dans ses dents, mais s'en dégage en montant ; quand il ne faut plus retenir le poids on peut le faire tourner à la main.

La fig. 622 représente un cric à vis. Le bloc de bois A A est percé dans presque toute sa hauteur, et dans une assez grande largeur pour permettre à la vis de se mouvoir en haut et en bas sans toucher. La vis passe au travers d'un écrou *b* qui est fixé dans le haut du bloc A ; en faisant tourner la vis, on la fait monter dans l'écrou, et on élève la griffe *f*. Cette griffe est fixée au haut de la vis par un collet arrondi qui permet à la vis de tourner sans faire tourner la griffe *f*. La griffe inférieure *d* est adaptée comme dans le cric précédent au bas de la vis. Quatre pointes courtes, mais solides, fixées au bas de la pièce de bois AA, servent à l'empêcher de glisser lorsqu'elle s'appuie sur un sol résistant. La vis est terminée en bas par une tige carrée sur

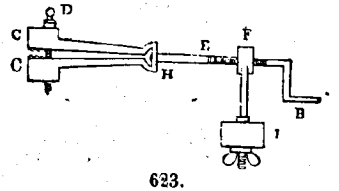
EFERUS - Recherche & Classification numérique

laquelle est montée une roue dentée qui engrène avec une vis sans fin, mue par une manivelle qui met tout le système en mouvement; la roue dentée n'étant pas calée sur l'axe carré de la vis n'en suit pas le mouvement ascendant ou descendant.

On donne aussi le nom de *cric à vis* à un appareil destiné à assujettir fortement, au moyen d'une chaîne qui les entoure, les ballots chargés sur une voiture. Deux forts écrous sont adaptés au moyen de crochets, aux chaînons extrêmes, qu'il s'agit de réunir pour serrer convenablement la chaîne sur les ballots. On fait entrer dans ces deux écrous les extrémités de deux vis, réunies par une pièce de fer carrée, qui forme ainsi le milieu de l'appareil. L'une de ces vis a son pas à droite, l'autre l'a à gauche. En faisant tourner la pièce de fer carrée, au moyen d'un petit levier dont le bout s'insère dans des trous qui y sont pratiqués, on rapproche les deux écrous l'un de l'autre, et l'on serre d'autant la chaîne qui enveloppe les ballots.

CRIN (*angl.* hair, *all.* haar). Les crins que l'on trouve dans le commerce sont plats ou frisés; ces derniers, qui sont très courts, sont tordus de manière à former une corde que l'on fait bouillir dans de l'eau, pour leur donner une forme tortillée et une certaine élasticité; on s'en sert pour bourrer des matelas, etc. Les crins longs sont tissés et servent à la fabrication des tamis, de la crinoline, à recouvrir des meubles, etc. Dans ce dernier cas on teint souvent le crin de la manière suivante : on prend 20^k de crin de la queue d'un cheval, de 0^m,60 à 0^m,70 de longueur, et on les laisse macérer pendant 12 heures dans de l'eau de chaux. On prépare une teinture de 12^k de bois de campêche, par une ébullition de 3 heures de temps; on retire le feu, on ajoute au bain 625 grammes de sulfate de fer, et après avoir agité pour effectuer le mélange, on y plonge le crin préalablement bien lavé à l'eau courante au sortir du lait de chaux. Au bout de 24 heures, l'opération est terminée.

Le métier à tisser le crin diffère des métiers ordinaires par le temple et la navette. Au lieu de temple on se sert de deux pinces à vis en fer pour tenir l'étoffe également et légèrement tendue. Ces pinces dont l'une est représentée fig. 623, consistent en deux mâchoires C, C,



623.

garnies de dents sur leur surface intérieure, que l'on serre au moyen d'une vis D. La pince est montée en H sur une vis E, qui se termine par une manivelle B et passe dans un écrou F placé à l'extrémité d'un boulon à vis qui traverse le montant latéral I du métier. Au moyen de ces deux mouvements rectangulaires, il est facile de donner aux pinces telle position que l'on désire. La chaîne du tissu se fait en fil noir, la trame seule est en crin. Pour introduire le crin entre les fils de la chaîne, on se sert d'une navette particulière, qui se compose d'une longue règle en bois de buis ou tout autre bois dur, dont la longueur est de près de 1^m, la largeur 20 à 30^{mm} et l'épaisseur 4^{mm}, et qui se termine à l'une de ses extrémités par un fuseau en acier et un crochet. L'ouvrier passe d'abord la navette entre les fils et en la retirant y laisse un crin qu'un enfant a accroché à l'extrémité de la navette. Les crins sont placés en botte près de l'enfant, dans un baquet plein d'eau, ce qui leur donne la flexibilité nécessaire Chaque fois que l'on a passé un crin, on frappe deux fois de suite le battant. La chaîne est enduite comme à l'ordinaire avec un parement d'amidon. Enfin on donne à l'étoffe de crin le lustre nécessaire par le calandrage.

CRISTAL. Voyez VERRE.

CRISTALLISATION. Quand un liquide est saturé de substances solubles, si l'on diminue la quantité du liquide soit par évaporation au moyen de la chaleur, soit par évaporation spontanée, à l'air libre comme dans les marais salants, le corps dissous se dépose, en proportion de l'eau évaporée au-delà du point de saturation, l'eau seule disparaissant à l'état de vapeur (bien entendu que nous ne parlons ici que des corps solides dissous dans l'eau).

Pendant cette action d'évaporation et surtout quand on laisse refroidir le liquide dont le point de saturation s'est élevé par l'effet de la chaleur, les corps dissous se déposent lentement et cristallisent.

C'est sur ce procédé que reposent les épurations de tous les produits chimiques de la nature des sels. Si la dissolution contient plusieurs substances inégalement solubles, celles-ci se déposant à des époques différentes seront ainsi séparées. Toutefois, les cristaux obtenus par une première cristallisation, sont toujours imprégnés des eaux-mères tant à la surface qu'entre les lamelles cristallines, indépendamment de quelques cristaux de substances plus solubles qui ont pu se déposer. En redissolvant ces cristaux dans une faible proportion d'eau pure, pour obtenir une nouvelle cristallisation, l'eau-mère très soluble et répartie dans une plus grande masse, ne pourra plus avoir d'effet sensible, et les substances plus solubles resteront dans les nouvelles eaux-mères. Par plusieurs cristallisations successives, on peut obtenir des produits parfaitement purs, bien que provenant de matériaux dans lesquels ils étaient mélangés avec un grand nombre d'autres substances.

CROISEMENT DES RACES ET DES ESPÈCES (amélioration des animaux domestiques). On appelle *croisement* l'accouplement de deux individus appartenant à des *espèces* ou à des *races* différentes. Le premier de ces croisements ne peut avoir lieu qu'entre des espèces ayant entre elles de très grandes ressemblances : ainsi on fait reproduire ensemble l'âne avec la jument, le canard de Barbarie avec la cane ordinaire, etc. Ce croisement donne naissance à des produits inféconds appelés *mulets*.

Nous nous occuperons surtout du *croisement* des races ou du *métissage*, car ces mots sont considérés comme synonymes, bien que quelques auteurs aient cru devoir réserver le mot métissage pour désigner le croisement des races ovines.

Des deux races que l'on croise, l'une est appelée *race croisante*, c'est la race *régénératrice*, celle qu'on introduit dans le pays; et l'autre, *race croisée*, race à *régénérer*, c'est celle que l'on veut améliorer. Chacune de ces deux races est dite *pur sang*, *race pure*, *animaux de pure race*, par opposition aux produits qui résultent de leur mélange et qui reçoivent les noms de *demi-sang*, de *trois quarts de sang*, selon le nombre de fois que les types sont entrés dans le croisement. Le *demi-sang* provient de deux reproducteurs pur sang : le poulain issu d'une jument normande et d'un cheval de course est un demi-sang; le *trois quarts de sang* est le fruit d'un individu *pur sang* et d'un *demi-sang* : une pouliche anglo-normande demi-sang, saillie par un étalon pur sang, donnerait un trois quarts de sang. En suivant toujours le croisement dans le même sens, on obtiendrait des *sept huitièmes*, des *quinze seizièmes de sang*, etc. Les mots *croisés*, *métis* sont souvent employés pour désigner les produits d'un croisement, d'un métissage. Quand on veut indiquer le degré de sang que contiennent les produits, on dit *premier croisé*, ou *premier métis*. *deuxième croisé* ou *deuxième métis*, etc. : le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deuxième métis ou deuxième croisé correspond au trois quarts de sang. Ces dénominations ne font connaître que le degré de croisement. On ajoute les noms des races pour indiquer la nature des produits : le demi-sang *Dishley merinos* est le produit du croisement de la race Dishley avec la race mérine.

Dans les croisements plus avancés, on répète le nom de la race qui est entrée le plus souvent dans la génération. Ainsi on dirait *métis anglo-normand trois quarts de sang anglais* pour désigner un poulain issu d'une jument anglo-normande demi-sang et d'un cheval pur sang anglais. De même, un *trois quarts de sang*, ou *deuxième croisé*, ou *deuxième métis mérinos*, est un produit qui a un quart de sang de la race indigène et trois quarts de la race mérine. Le trois quarts de sang correspond au *quarteron* mulâtre, qui n'a qu'un quart de sang de la race nègre.

Quand on a obtenu les modifications que l'on désire dans le croisement des races, il arrive qu'on fait reproduire les métis par eux-mêmes. Il faut bien distinguer les produits ainsi obtenus par l'accouplement des métis entre eux, et portés à la deuxième, à la troisième génération des produits du deuxième, du troisième croisement. On néglige trop souvent de faire cette distinction. Aussi est-il très difficile d'apprécier, d'après les narrations publiées, les résultats obtenus par les innombrables croisements qui s'opèrent en France et d'en déduire des règles capables de guider le praticien.

UTILITÉ, AVANTAGES DES CROISEMENTS. Etant admis, et bien reconnu du reste, que les qualités comme les défauts se transmettent par la génération, on comprend aisément que le croisement des races doit être d'un grand secours pour l'amélioration des animaux. Beaucoup de personnes croient même que ce moyen seul peut communiquer à nos bœufs, à nos chevaux, toutes les qualités qui distinguent les races bovines, chevalines étrangères les plus perfectionnées : on a essayé de l'appliquer dans toutes nos provinces, et pour produire toutes les améliorations qu'on aurait voulu réaliser.

D'un autre côté, rien ne paraît d'une application plus aisée que ce moyen d'amélioration, puisqu'il suffit, pour le pratiquer, de rechercher quelques bons reproducteurs et d'en croiser les animaux du pays. Sans aucune étude préparatoire, chacun a cru pouvoir y avoir recours. Souvent on a échoué; c'était inévitable.

Le croisement des races peut rendre de grands services, et son emploi n'exige pas ces connaissances variées et profondes sur les sciences naturelles que nécessite l'amélioration d'une race par le régime, par les appareillements, le dressage, etc.; mais encore est-il nécessaire de savoir dans quels cas il peut être utile et d'après quelles règles il faut le pratiquer.

Le croisement sera utile pour modifier les caractères qui ne dépendent pas directement de la nourriture ni du climat, et pour produire des améliorations qui tiennent aux formes de certaines régions ou à quelques qualités particulières : ainsi il suffit de bien diriger un croisement pendant deux, trois, quatre générations, pour relever la croupe avalée de nos chevaux communs, pour corriger le chanfrein busqué de notre race normande, pour élargir la poitrine de nos bœufs et de nos porcs, pour communiquer au chien ordinaire l'aptitude à chasser, pour adoucir la laine de nos anciennes races ovines, pour accroître les qualités lactifères de nos vaches, pour changer la couleur des cocons du ver à soie, etc.; tandis que, en ne cherchant à produire ces modifications que par le régime, par le dressage et les appareillements entre mâles et femelles de la même race, on n'obtiendrait des résultats sensibles que par des travaux séculaires et des combinaisons souvent difficiles. Et encore combien d'essais resteraient infructueux! et, dans tous les cas, combien faudrait-il de connaissances et d'active persévérance pour les mener à bonne fin!

Mais ce serait en vain qu'on compterait sur le croisement pour élever la taille, augmenter le poids des animaux. En croisant une petite race avec une race plus forte, on n'a jamais obtenu que des produits inférieurs à la race indigène pure. Les races sont toujours, par leur taille, en rapport avec les ressources alimentaires des contrées où elles se trouvent; on ne saurait les agrandir sans augmenter ces ressources. Et d'ailleurs, les produits d'un mâle de forte race avec une femelle plus petite sont souvent mal conformés, et toujours d'un entretien plus dispendieux : ils ne trouvent pas, pendant le jeune âge, un lait assez abondant dans le pis de la mère, ni plus tard, assez d'herbe dans les pâturages.

Sans un régime meilleur, il n'est donc pas possible de développer la taille des animaux. Et ce moyen seul a produit des résultats avantageux sur les chevaux comme sur les bœufs, dans le Bourbonnais et la Bretagne, comme dans la Lorraine et le Nivernais; partout enfin où on a pu le mettre en usage, soit à cause de la fécondité naturelle du sol, soit par suite de l'emploi de la chaux ou de la pratique du marnage.

Cependant la distribution d'une nourriture plus copieuse ne saurait produire de grands résultats qu'après un temps assez long, car les races anciennes ont des caractères fixes, sont difficiles à changer. Le croisement peut alors être utile pour hâter le développement du corps; mais il ne saurait être qu'un moyen secondaire : c'est quand, par des améliorations, on s'est mis à même de mieux nourrir le cheptel, qu'on peut croiser, avec avantage, une petite race par une plus grande, en ayant soin toutefois d'éviter les fortes disproportions de taille entre les deux races, ainsi que nous le recommanderons en parlant des règles du croisement.

Le croisement peut encore être utile pour détruire certaines dispositions aux maladies fort anciennes sur les animaux du pays, et quelquefois incurables par les moyens ordinaires de la médecine. Ces dispositions tiennent à la constitution, à la forme des organes, et l'influence d'un sang étranger peut seule les faire cesser.

Les éleveurs de la Normandie ont fait disparaître le cornage, jadis si commun sur leurs chevaux, en donnant à leurs juments l'étalon anglais; par des croisements bien entendus, nous pouvons combattre la fluxion périodique des yeux, si nuisible à quelques éleveurs de chevaux; détruire, dans les bêtes à cornes, la disposition à contracter des maladies graves de la poitrine; faire disparaître le tournis et les affections nerveuses qui attaquent plus particulièrement le mérinos, etc. Il suffit souvent de donner aux femelles d'une ferme des mâles de la même race, mais tirés d'une ferme placée dans d'autres conditions hygiéniques, pour prévenir le retour d'enzooties ruineuses.

Buffon, Bourgelat ont cru même que le croisement est nécessaire pour entretenir les espèces domestiques dans la plénitude de leurs qualités et même de leur santé. « On a pensé avec raison, disent-ils, que le bon et le beau « de tous les êtres animés était répandu par parcelles « sur la surface du globe, et l'on a vu que la portion « de beauté, dans chaque climat, dégénérait toujours, « à moins qu'on ne la réunît avec une autre portion « prise au loin. De là on a reconnu, chez tous les « peuples de la terre, la nécessité absolue de mêler *les « races* et de les renouveler souvent par des races « étrangères. » Faisant l'application de leur système au cheval, ils ajoutent : « Il faut venir de toute

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« nécessité au secours de la nature qui se dégraderait « à l'infini, et donner à nos cavales des étalons étran- « gers et à nos chevaux, s'il est possible, des juments « étrangères. »

En faveur de cette opinion, on invoque la dégénération des belles races domestiques qu'on importe pour améliorer les races indigènes; on invoque également l'abâtardissement de l'espèce humaine dans les contrées pauvres et isolées, où les familles peu nombreuses se reproduisent sans alliances étrangères, et l'état florissant des populations dans les localités où le commerce entretient un mélange continuel entre différents peuples.

Nous ferons d'abord remarquer que le crétinisme des populations isolées peut très bien s'expliquer par l'influence de la misère, de la consanguinité et de la disposition géologique des lieux; et ensuite que beaucoup de races domestiques s'entretiennent et s'améliorent même sans croisements, quand on leur donne les soins convenables. La conclusion pratique qui découle des faits observés, ce n'est donc pas la nécessité de croiser sans cesse les races pour les maintenir en santé, c'est de mélanger soigneusement les familles pour éviter les conséquences de la consanguinité, et de n'entreprendre des croisements que lorsqu'on est convaincu que les produits trouveront dans le pays les conditions nécessaires à leur conservation.

Pour démontrer que les espèces organisées, abandonnées à elles-mêmes, tendent toujours à dégénérer, on a rappelé aussi la nécessité où l'on est de renouveler sans cesse les semences pour certaines récoltes. C'est vrai; mais notons que les plantes dont la dégénérescence est plus rapide que celle des animaux, parce que, fixées au sol, elles sont complétement soumises aux influences climatériques, ne perdent cependant leurs qualités que si elles sont cultivées dans des circonstances différentes de celles dans lesquelles ont pris naissance les variétés auxquelles elles appartiennent; ce qui confirme encore nos conclusions sur l'importance de choisir des races qui trouvent dans le pays des conditions favorables à leur conservation et à leur complet développement.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur les avantages des croisements : améliorer rapidement les animaux, importer les qualités des races étrangères sans faire des dépenses considérables, créer des races nouvelles plus parfaites même que les races améliorantes, en réunissant aux qualités des animaux indigènes celles des races étrangères, l'aptitude au travail de nos bœufs aux formes de la race Durham, la laine fine de nos moutons à la précocité des moutons anglais, l'ampleur de nos chevaux à la vigueur du cheval de course, la taille de nos porcs à l'épaisseur des races porcines perfectionnées; enfin obtenir des métis, si l'on pousse assez loin les croisements, qui réunissent à toutes les qualités du type améliorateur la faculté de résister au climat.

Ajoutons : par le croisement des espèces seulement on peut produire le *mulet*, si précieux comme bête de somme pour les pays chauds, et des *oiseaux*, des *poissons*, des huîtres, etc., aussi remarquables par la quantité que par les qualités de la viande.

RÈGLES DU CROISEMENT DES RACES. Nous ne parlerons pas ici de l'importance de bien déterminer les améliorations que les animaux du pays sont susceptibles d'acquérir, ni de la nécessité de choisir une race régénératrice dont les qualités soient compatibles avec les conditions hygiéniques, avec les ressources du pays. Vouloir introduire, même pour les croiser, de forts moutons précoces sur les landes de la Sologne ou du Berry, des chevaux carrossiers sur les pelouses du Cantal ou les landes des Basses-Pyrénées, des chevaux légers dans les marais de la Vendée ou dans les fermes de la Flandre pour les nourrir avec le foin du pays, c'est s'exposer à des mécomptes à peu près certains.

1° Nous donnons comme première condition de succès, la nécessité de *bien appareiller les deux races croisées*.

On ne devra jamais, quand on tiendra à avoir des animaux à formes régulières, bien proportionnées, chercher à réunir deux races qui diffèrent beaucoup l'une de l'autre par l'ensemble de la conformation : on ne croisera pas le cheval arabe ou le cheval de course avec la grosse jument cauchoise, ou flamande, ou bretonne, propre au gros trait. C'est à tort qu'on a dit : Le cheval noble, anglais ou arabe, donne d'excellents produits avec *toutes* nos poulinières, avec les plus massives. Les fauteurs de cette doctrine, professée depuis longues années, ont fait beaucoup de mal à nos éleveurs; ils sont cause qu'on a rempli quelques-unes de nos provinces d'animaux décousus, sans valeur, à jambes grêles, à tête lourde, à croupe charnue.

Toutefois l'accouplement d'un cheval fin avec une grosse jument serait moins irrationnel que celui d'un fort cheval avec une jument légère. Ce croisement, contraire aux règles de l'appareillement des individus comme à celles du croisement des races, donnerait des produits mal conformés, à côte resserrée, à poitrine étroite, à flanc long; il arriverait même souvent que les mères mettraient bas avec difficulté et qu'elles ne pourraient pas ensuite allaiter convenablement leurs produits.

Ce serait en vain que, pour transformer nos fortes races chevalines en races légères, nous essayerions de les allier à des races sveltes; que nous voudrions donner du corps et de la taille à nos petites races par l'emploi de types améliorateurs de forte stature; nous n'obtiendrions dans les deux cas, et surtout dans le dernier, que des produits manqués.

Mais on pourra réunir les contrastes lorsque les différences, quoique considérables, seront locales. Il ne peut y avoir qu'avantage à obtenir alors des produits intermédiaires. Un étalon à encolure trop courte ne peut qu'améliorer les produits d'une jument qui a la même région trop longue. Il ne saurait y avoir aucun inconvénient, quant à la conformation des produits, à donner à nos vaches flamandes, dont la poitrine est étroite, le taureau Durham, dont la côte est ronde et le poitrail bien ouvert; le cheval arabe ou anglais, à tête carrée, à chanfrein épais, ne peut que produire un excellent effet sur la race normande, à tête longue et à chanfrein busqué. En un mot, toutes les fois que l'on voudra corriger les formes d'une région du corps, il faut chercher à croiser des individus qui contrastent par la conformation de cette région.

On ne craindra pas non plus d'allier des races différant beaucoup par la constitution et le tempérament. A des juments molles, sans énergie, il ne peut qu'être avantageux de donner des étalons vifs, pleins d'ardeur; un taureau ne saurait trop avoir les caractères des races laitières, si du reste il réunissait les autres qualités qu'on désire dans la race qu'on veut améliorer.

Il ne pourrait y avoir des inconvénients à pratiquer ces croisements, que si le tempérament, la constitution, les qualités de la race améliorée ne convenaient pas au pays. Il serait irrationnel de donner une race précoce, molle, d'un engraissement prompt, à des vaches dont les produits devraient être entretenus sous des climats rigoureux, prendre leur nourriture sur des terres peu fertiles et être utilisés pendant longtemps comme animaux de travail.

Dans l'espèce chevaline, où l'on tient surtout à la régularité des formes, il faut opérer graduellement la transformation des races communes. C'est le seul moyen de tenter l'amélioration de ces races sans s'exposer à des pertes plus ou moins considérables.

Ainsi pour nos forts chevaux de la Vendée, de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Bretagne, de la Flandre, de la Franche-Comté, cherchons d'abord par de bons appareillements et par des soins judicieux à créer des individus plus légers, moins communs que la race du pays. Il se trouve dans toutes nos races des sujets un peu plus parfaits qui peuvent être utilement employés pour imprimer un commencement d'amélioration. Quand nous aurons rendu les formes plus dégagées, créé des juments moins massives, nous aurons recours aux étalons des bons herbages de la Normandie, de la plaine de Chartres ou des herbages du Perche.

Après avoir obtenu, par ces moyens préliminaires, des juments à épaules longues et obliques, à croupe horizontale, on pourrait utiliser avec sécurité les bons étalons carrossiers quart de sang ou demi-sang anglais, en donnant la préférence à ceux qui ressembleraient assez aux femelles, pour qu'on n'ait pas à craindre des produits décousus.

Cette marche lente, la plus convenable pour l'espèce chevaline, a rarement été suivie. En voulant arriver au but du premier coup, on a trop souvent créé des chevaux sans valeur, tantôt restés à la charge des producteurs, tantôt admis dans la cavalerie, où ils ont été signalés pour leur conformation défectueuse et leur mauvais service.

Une fois que des essais d'amélioration par croisement ont été commencés, il est de l'intérêt des éleveurs de les continuer, lors même que les premiers résultats laisseraient à désirer, si le croisement est rationnel, si l'on a lieu d'espérer que les métis seront d'un entretien facile et se vendront plus avantageusement que les individus de la race indigène. Nous voudrions prémunir contre les conséquences d'un premier essai peu avantageux. Nous avons souvent vu renoncer, dans les croisements, à la race régénératrice que l'on avait choisie, au moment où l'emploi en aurait été avantageux, pour revenir aux animaux pur sang du pays, ou pour prendre une autre race étrangère.

Des métisses, quoique défectueuses, couvertes par des mâles de la race améliorante, donnent des produits qui leur sont supérieurs, d'abord parce qu'il y a moins de différence entre les reproducteurs, qu'ils sont mieux appareillés, puisque les mâles et les femelles ont du même sang; ensuite parce que les individus métis, n'ayant pas en général une grande aptitude à transmettre leurs caractères aux descendants, influent peu sur les produits de la conception. Les qualités de la race régénératrice se gravent mieux dans les produits au deuxième, au troisième croisement qu'au premier.

Dans tous les croisements, on ne doit pas cependant revenir à chaque génération à la race croisante. Il peut être préférable de faire reproduire les métis du deuxième, du troisième degré, rarement du premier, par eux-mêmes, pendant une ou deux générations. On fixe ainsi les caractères de la race, qui se forme tout en la surveillant et en lui imprimant la faculté de résister aux influences du climat; car il y a trois choses à craindre dans les opérations par métissage : le retour vers les défauts de la race indigène, l'inaptitude des métis à supporter le climat, et quelquefois la ressemblance trop grande de ces métis avec le type améliorateur.

Dans certains cas, il ne suffit pas d'arrêter le croisement en faisant reproduire les métis sur eux-mêmes; il peut être utile de leur imprimer une marche rétrograde vers la race qu'on améliore. C'est ainsi que dans le croisement de nos chevaux avec les chevaux de race, il est quelquefois nécessaire de donner à des juments métisses, dans lesquelles certains caractères du cheval de course, la légèreté par exemple, sont trop marqués, des mâles de la race commune ou d'un degré de métissage moins avancé qu'elles-mêmes.

Ces croisements alternatifs de tout temps pratiqués, mais bien souvent sans méthode, peuvent être utilement mis en usage, car presque toujours on désire s'approprier certains caractères des reproducteurs qu'on importe et en éviter d'autres. C'est en alternant et en choisissant bien les reproducteurs, qu'on peut arriver à s'approprier les qualités d'une race et à éviter ses défauts.

Ainsi, en croisant les brebis mérinos et le bélier Dishley, nous pouvons arriver à une race intermédiaire qui se rapprocherait de la souche maternelle par la finesse de son laînage et sa toison fermée, et de la race paternelle par les formes, la précocité, l'aptitude à prendre la graisse et la longueur de la laine. Mais il serait difficile d'arriver directement au but : il faut bien étudier, suivre les croisés, et empêcher la race de prendre d'une manière trop prononcée le caractère de l'un des types primitifs, en employant soit un Dishley, soit un mérinos ou un métis, qui se rapprocherait beaucoup de l'une ou de l'autre de ces races, selon que les nouveaux produits tendraient à se rapprocher trop fortement du type à laine longue ou du type à laine courte. De même, dans la race chevaline, on peut s'approprier l'énergie, la force, certaines formes du cheval de course, sans perdre le corsage qui distingue nos races; dans l'espèce bovine, on peut emprunter à la race Durham ses formes, sa précocité, sans perdre l'agilité, l'aptitude au travail, ou l'activité des mamelles que possèdent quelques races françaises.

La nécessité de bien appareiller les reproducteurs est moins rigoureuse dans le croisement des espèces. Quand on veut produire des mulets, on recherche même les juments qui diffèrent le plus des ânes par leur conformation. La jument à corps massif, à croupe charnue, à cuisses épaisses, à garrot élevé, à pieds amples, est celle qui convient le mieux. Ses formes neutralisent, dans le produit, celles de l'âne, dont le corps est léger, la croupe étroite, la cuisse mince, le pied resserré et le garrot bas. Mais il arrive constamment que le mulet, si remarquable par ses qualités, sa force, sa sobriété, présente, dans sa conformation, des défectuosités que nous ne souffririons pas dans le cheval.

2° Comme deuxième règle du croisement des races, nous plaçons l'*importation des mâles préférablement aux femelles*. Dans l'espèce chevaline, par exemple, un étalon peut donner par an de vingt-cinq à quarante poulains, tandis qu'il faudrait de quarante à soixante juments pour produire le même résultat; car parmi les femelles livrées au mâle, plusieurs ne sont pas fécondées, d'autres avortent ou donnent naissance à des poulains morts, ou mal conformés, ou trop faibles pour être élevés. Ces accidents sont même plus fréquents sur les femelles nouvellement importées que sur celles du pays.

A l'économie produite par l'achat d'un étalon, au lieu de cinquante ou de soixante juments, il faut ajouter celle qui résulte du voyage, qui est d'une grande importance si les reproducteurs sont tirés d'un pays éloigné.

Il faut noter aussi que les femelles herbivores employées à la reproduction sont plus difficiles à acclimater que les mâles. Pendant la gestation et l'allaitement, elles réclament le pâturage et sont plus fortement influencées par le climat, que les étalons tenus à l'écurie et soumis à un régime convenable. En outre, l'état de plénitude, la mise bas, l'allaitement, le sevrage, occasionnent des indispositions plus ou moins graves qui rendent les femelles plus sensibles à l'influence des agents atmosphériques.

Mais c'est en nous fondant surtout sur des considérations économiques que nous disons : Il ne convient pas d'importer des femelles pour croiser les races du pays. Car nous sommes loin de contester l'influence exercée par les mères sur le produit de la conception,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur l'amélioration des races. Cette influence peut varier et varie beaucoup sans doute; mais elle n'en est pas moins très puissante : c'est parce que nous la croyons telle, que nous avons si fortement recommandé d'améliorer les juments des races communes avant de les livrer à des étalons de race distinguée.

Nous n'avons pas à rechercher ici dans quel cas il y aurait avantage à importer une race nouvelle, c'est-à-dire des mâles et des femelles pour les faire reproduire ensemble. Nous traitons la question du croisement et nous disons : Même dans l'espèce chevaline, malgré les défauts de nos juments, qui opposent un grand obstacle à l'amélioration de nos races, il faut s'en tenir à l'introduction des mâles. Du reste, des essais se font, et depuis longtemps, dans différents départements : des juments percheronnes sont importées dans l'Alsace, la Lorraine, la Franche-Comté, où quelques-unes, bien placées, ont donné de bons produits; mais il n'en est pas moins vrai que, proportionnellement aux sommes qu'on y a consacrées, elles sont bien loin d'avoir exercé, sur l'amélioration des races indigènes, l'influence qu'ont eue les mâles importés en même temps.

3° Est-il nécessaire de tirer les types reproducteurs du Midi plutôt que du Nord? Beaucoup d'hippiatres l'ont conseillé, et à l'appui de leur opinion ils ont rappelé que des étalons danois, anglais, mecklembourgeois, introduits en France, n'avaient donné que de mauvais résultats. A ces faits nous pourrions en ajouter d'autres, et rapporter qu'on a employé sans succès des étalons de la Normandie, de l'Angleterre, dans le Limousin, la Navarre, l'Auvergne, etc. Mais avant de déduire de ces faits une règle générale, nous devons voir s'il ne serait pas possible de leur opposer des faits d'un autre genre. Nous trouverions que si le mérinos, venu d'Espagne, a parfaitement réussi en France, si des étalons importés des pays chauds ont donné quelquefois de bons produits avec nos juments, d'autres fois leur emploi a complétement échoué. Et les faits de ce genre que nous pourrions citer sont nombreux, car bien souvent la France a demandé des types améliorateurs à l'Espagne, à la Barbarie, à l'Arabie, à l'Égypte, sans avoir pu cependant former race. Et d'un autre côté, les importations du Nord n'ont pas toujours été sans résultats utiles : de nos jours, les produits remarquables issus de mâles tirés de l'Angleterre ne sont pas rares en France pour l'espèce chevaline comme pour celle du porc, du bœuf et du mouton.

On ne saurait cependant méconnaître que les hommes et les animaux domestiques souffrent plus de se rapprocher des zones torrides que de s'avancer vers le Nord. Cela peut provenir de ce qu'il est plus facile de se préserver du froid que de la chaleur. Mais pour les animaux herbivores, cela tient aussi à une autre cause, à la différence de fertilité des herbages, à l'abondance relative des fourrages, si l'on compare les contrées tempérées aux contrées chaudes. Il est très naturel que le cheval navarrais ou auvergnat réussisse mieux dans la Normandie que l'étalon de la plaine de Caen dans les bruyères des Basses-Pyrénées ou sur les pelouses du Cantal; que le cheval africain, petit et sobre, réussisse mieux dans le midi de la France que le cheval anglais, grand et habitué à un régime succulent.

Cette considération mérite une grande attention, soit qu'on veuille importer des mâles et des femelles pour les croiser avec les femelles et les mâles du pays, soit qu'on les importe pour les faire reproduire ensemble et multiplier la race étrangère à l'état de pureté.

C'est de la nourriture surtout que dépend le succès de l'introduction des herbivores et la possibilité de les acclimater. S'il importe peu quand on achète des animaux de savoir s'ils viennent du Nord ou du Midi, il est d'un grand intérêt, au contraire, de savoir s'ils ont été habitués à une nourriture meilleure et plus abondante que celle qui est destinée à leurs descendants. Nous formulerons donc la troisième règle du croisement des races, en disant qu'*on ne doit pas tirer les types améliorateurs d'une contrée où on nourrit mieux les animaux que là où on veut les introduire.*

4° La quatrième règle du croisement se rapporte à la *fixité de la race qu'on importe*. Les types améliorateurs doivent autant que possible appartenir à une race *ancienne*, bien formée, dont les individus se reproduisent depuis plusieurs générations sans éprouver des changements.

La ressemblance n'est jamais parfaite entre les reproducteurs et leurs descendants. Les caractères d'une race se montrent, disparaissent selon des circonstances qu'il est quelquefois fort difficile d'expliquer et de prévoir; mais les dissemblances entre le père et les enfants sont rarement considérables dans les races anciennes, fixes, bien constituées. Dans ces races, les diverses parties du corps, bien disposées les unes par rapport aux autres, sont dans une dépendance réciproque, se soutiennent, se nécessitent et passent, sans grandes modifications, des générateurs aux produits engendrés.

Il n'en est pas de même dans une race qui se forme. Les dissemblances entre les pères et les enfants sont fréquentes et souvent considérables. Même en se reproduisant entre eux et dans les pays où ils sont nés, les métis *jouent* ordinairement beaucoup, donnent des produits qui, souvent, leur ressemblent peu. Comment transmettraient-ils leurs caractères, leurs formes, leur tempérament, leurs qualités, quand ils se reproduisent sous un climat étranger et avec des individus d'une race ancienne et acclimatée? Car presque constamment, les races indigènes qu'on veut améliorer, formées lentement et d'une manière spontanée par l'influence persévérante du climat, sont anciennes, fixes, invariables.

Quand on croise des races, deux causes tendent à détruire les caractères particuliers de la race importée : 1° le sol, les fourrages, l'air, auxquels les individus étrangers ne sont pas habitués; 2° la race indigène par la puissance qu'elle a de se perpétuer sous le climat où elle s'est formée.

Dans un croisement, on ne saurait donc trop rechercher les types améliorateurs parmi les races anciennes bien fixées, tandis que l'on donnera au contraire la préférence aux produits de la race indigène qui sont les moins fixes, qui appartiennent aux variétés de la plus récente formation.

5° *Ne pas chercher à corriger deux défauts à la fois* est encore une condition indispensable pour arriver avec certitude à un résultat utile. Si dans l'amélioration du mouton, par exemple, on veut en même temps rendre les toisons tassées, la laine fine et les formes du corps carrées, on trouvera difficilement un bélier qui réunisse toutes les qualités nécessaires pour ce triple résultat; et si on voulait obtenir successivement ces diverses améliorations, le perfectionnement du lainage à une génération et la régularité des formes à la suivante, on risquerait de perdre une fois les résultats qu'on aurait obtenus l'autre. C'est quand on a fixé une qualité, qu'on doit chercher à en réaliser une autre.

FIXITÉ DES MÉTIS. En principe, les métis ne doivent pas être employés dans le croisement des races; accouplés avec des femelles de race pure, ils ont peu de puissance pour transmettre leurs caractères. Mais en se reproduisant entre eux, conservent-ils les qualités qu'ils possèdent?

Ils les conservent pendant un temps qui varie selon le degré de métissage auquel ils sont parvenus, se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lon les circonstances dans lesquelles ils sont placés, et la ressemblance qu'il y a entre les deux races croisées. Si les métis mérinos dégénèrent, surtout lorsqu'ils sont peu avancés, dans quelques cantons de l'Ouest et du Nord, où l'air est humide et où on les fait reproduire avec des races à laine longue et droite, ils se conservent indéfiniment dans les cantons de la Brie, de la Beauce, où les agents hygiéniques sont plus favorables à la finesse du lainage. Nous avons même des troupeaux de métis qui se sont améliorés par eux-mêmes, et ils peuvent tous s'améliorer quand les animaux sont parvenus au troisième, au quatrième degré de sang mérinos, si l'on a soin de choisir, pour la reproduction, des mâles qui présentent le cachet espagnol et d'exclure les individus, même les femelles, qui ont une certaine tendance à se rapprocher des anciennes races indigènes. Si le mérinos a été croisé avec une race à laine frisée, un peu fine, à toison fermée, un seul croisement améliore, et même pour un temps fort long, la race du pays.

Les mêmes effets s'observent pour le cheval. Les hippologues ont bien cherché à prouver, par des considérations théoriques, qu'une race métisse abandonnée à elle-même dégénère rapidement en France. Mais nous demanderons : la race du cheval de course *importée pure* et abandonnée à elle-même dans les herbages les plus favorables à son existence, se conserverait-elle ? La race la plus pure de l'Arabie se conserverait-elle, et se conserverait-elle même dans les déserts où elle s'est formée, si on cessait de lui donner les soins minutieux qui l'ont produite et que l'Arabe ne néglige jamais ? Et d'un autre côté, est-ce que des chevaux anglo-normands parvenus au troisième ou au quatrième métissage, dégénéreraient si on les tenait dans des loges bien chaudes, bien aérées, bien propres, qu'on les nourrît avec du foin de première qualité, de l'avoine pesant 50 kil. l'hectolitre, qu'on les tînt sans cesse sous de bonnes couvertures de laine, qu'on ne les fît promener que bien couverts et ayant les membres entourés de flanelle, et enfin qu'on eût soin de n'employer à la reproduction que des individus offrant les caractères du type améliorateur?

Évidemment des métis ainsi soignés conserveraient toutes leurs qualités et en acquerraient de nouvelles, tandis que des individus pur sang de la race arabe ou de la race anglaise, abandonnés à eux-mêmes, dégénéreraient.

Donc, si dans les circonstances ordinaires, les améliorations qui résultent du croisement ne se conservent pas, il ne faut pas attribuer la dégénération à la *soixante-quatrième* ou à la *trente-deuxième*, ni même à la *seizième* partie de sang indigène que les métis ont conservé dans leurs veines, mais à l'influence du climat et au manque de soins.

Du reste, la discussion ne peut porter que sur les améliorations qui tiennent à des qualités soumises à l'influence du climat, à la constitution, au tempérament des animaux; celles qui sont moins dépendantes de l'action de l'air et du sol, comme la forme particulière de certaines régions du corps, se conservent plus facilement.

Des exemples nombreux, dans toutes les espèces, prouvent qu'il suffit même de croiser une ou deux fois une race pour lui communiquer certains caractères constants. Il a suffi d'importer, il y a quelques siècles, des étalons danois dans la Normandie, pour donner aux chevaux de la province un chanfrein busqué que nous avons de la peine à corriger. Dans toutes les provinces où on élève des chevaux de selle, ne se trouve-t-il pas des familles de ces animaux portant les caractères de quelque étalon oriental employé jadis dans le pays? De même, nous trouvons dans la Limagne d'Auvergne, dans l'Anjou, dans la Meuse, des bêtes à cornes conservant des indices du taureau suisse, importé il y a plus de cinquante ans.

Enfin, nous pourrions citer l'espèce porcine, qui présente, dans presque tous nos départements, des traces des races étrangères introduites dans quelques établissements publics et particuliers depuis une trentaine d'années. Il a suffi d'importer un verrat des races du Hampshire, du Berckshire, de la race américaine et des petites races à courtes jambes de la mer du Sud, pour donner plus d'ampleur à la poitrine, plus d'épaisseur aux lombes et pour raccourcir les membres; seulement ces changements tendent à disparaître, et d'autant plus vite, que les porcs qui les présentent sont plus soumis au régime pastoral dans les montagnes, les bois, les châtaigneraies, où l'exercice développe les organes locomoteurs.

Et si dans les circonstances ordinaires, la dégénération est, en général, rapide, faut-il s'en étonner quand on voit que les éleveurs ne cherchent pas même à faire reproduire les métis entre eux, qu'ils les donnent à des individus pur sang de la race indigène? Tout tend alors, le climat, le manque de soins, l'oubli des règles de l'appareillement, à les faire dégénérer.

Nous avons insisté sur cette question, parce qu'elle n'est pas seulement importante au point de vue de la science, de l'histoire naturelle, mais qu'elle intéresse la pratique des croisements, l'économie rurale; car si le croisement ne pouvait pas former race, il serait bon de le savoir. Si au contraire, comme nous le pensons, il est démontré que par métissage on peut espérer de communiquer à des races des qualités pouvant se perpétuer sans avoir recours à des importations indéfinies, nous pouvons agir avec plus de confiance, et utiliser plus souvent ce précieux moyen d'accroître une des principales branches de la richesse nationale.

H. MAGNE

CROWNGLAS. Voyez VERRE.

CUIRS (*angl.* leather, *all.* leder). Voyez TANNAGE.

CUIRS VERNIS. L'industrie des cuirs vernis existe à peine en France depuis une quinzaine d'années; mais elle n'a pas tardé à se créer une belle place par la beauté de ses produits, leurs bonnes qualités, l'importance de sa consommation et le succès toujours croissant de ses opérations. Dans ces derniers temps, surtout, le nombre des fabriques a considérablement augmenté.

Le cuir verni a donc un succès assuré, durable, et dont il est facile de se rendre compte en considérant les diverses, nombreuses et fort importantes applications.

Pour la chaussure des femmes et même pour celle des hommes, qui ne comprend tout l'avantage d'une chaussure que le vernis rend imperméable, qui demeure toujours propre et brillante, et qui, loin d'être usée plus vite, reçoit de son vernis des conditions et des garanties de durée?

S'agit-il de la sellerie, de la carrosserie? les cuirs vernis s'y appliquent sous toutes les formes, et rien ne saurait les remplacer. Les cuirs souples, les cuirs roides trouvent également leur emploi dans cette industrie, qui réclame du fabricant de cuirs vernis des objets assez divers pour rendre nécessaires, de sa part, des efforts continuels et une intelligence très active.

Enfin, si l'on considère ses applications dans la confection des coiffures militaires ou autres, on voit encore le cuir verni jouer, dans ces occasions, un rôle qu'aucune autre substance ne saurait s'approprier.

Le cuir verni possède des qualités qui justifient un tel succès. Il est brillant, toujours propre, car un simple lavage suffit pour le nettoyer. Il est imperméable à l'eau; quand il est bien préparé, on peut le froisser, le plier, sans que le vernis se détache ou s'écaille. Le cuir verni dure plus longtemps, et conserve bien mieux sa fraîcheur que le cuir ordinaire.

Mais tous ces résultats ne sont vrais qu'autant qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est question d'un cuir d'excellente qualité. Si le vernis en est mal préparé, s'il est mal appliqué, le cuir vernis devient alors une production très médiocre. Il s'écaille aisément, se gerce, se déchire, et bientôt les objets qui en sont fabriqués sont hors de service.

D'abord inférieurs aux cuirs étrangers, nos cuirs vernis s'exportent aujourd'hui en grande quantité sur tous les marchés du monde.

Le vernissage des cuirs comprend deux opérations distinctes :

1° L'*apprêtage* de la peau,

2° Le *vernissage* proprement dit.

L'opération de l'apprêtage a pour but de boucher tous les pores de la peau et de l'unir par des ponçages successifs, afin d'y faire, comme on dit, *un fonds*, et de la mettre en état de recevoir le vernis.

Dans le vernissage, on cherche à obtenir une couche moelleuse, souple, brillante, et d'un éclat durable, que le frottement ne puisse altérer.

La composition des apprêts et celle du vernis doit, par cela même, être différente.

Dans les apprêts, on incorpore des matières pulvérulentes, qui puissent former mastic dans les pores de la peau, comme le blanc de Meudon, les ocres, le noir de fumée.

Dans le vernis, au contraire, il ne faut aucune matière qui puisse en altérer la transparence et l'éclat.

La base des apprêts comme des vernis est l'huile de lin rendue siccative par des oxydes et des sels métalliques, et amenée à la consistance sirupeuse par une cuisson prolongée.

Composition des apprêts, pour un hectolitre d'huile de lin :

40 kilogr. de blanc de plomb ;
40 kilogr. de litharge.

Faire cuire jusqu'à consistance sirupeuse.

Cet apprêt ainsi préparé, mélangé soit avec des ocres soit avec de la craie, suivant la finesse de la peau à *garnir*, est étendu avec une râclette en acier sur la *fleur* ou sur la *chair*, suivant les besoins de la fabrication.

Après trois couches successives, données à des intervalles de plusieurs jours, pour que chaque couche ait le temps de sécher, on fait un *ponçage* ou *poli*, en frottant la peau avec une pierre ponce, puis on donne encore plusieurs couches d'apprêt de manière à ce que la peau soit garnie bien également ; on ponce de nouveau, et l'on répète ces deux opérations jusqu'à ce que le *fonds* soit bien uni, sans former une couche trop épaisse, et soit cependant suffisant pour empêcher l'infiltration dans la peau, des glacis et vernis subséquents. On conçoit, en effet, que si les matières huileuses pénétraient trop avant dans les tubes capillaires qui composent le tissu cellulaire du cuir, elles s'y durciraient sous l'influence de la chaleur et les transformeraient, pour ainsi dire, en une foule de petits bâtons cassants. Il faut que les matières huileuses qui forment la base des apprêts et vernis pénètrent suffisamment dans les pores de la peau pour y adhérer ; mais qu'on arrive le plus tôt possible à les retenir à sa surface, et faire en sorte qu'ils s'y glacent en couches minces et liantes. C'est là le principe essentiel qui doit diriger le fabricant dans toutes ses opérations.

L'apprêtage ainsi terminé, on donne avec un pinceau fin, dit *queue de morue*, quatre à cinq couches de l'apprêt ci-dessus, mais sans mélange de matières terreuses ; on le colore avec du noir d'ivoire broyé très fin, et on le délaye avec de l'essence de térébenthine, pour en faciliter l'application en couches extrêmement minces. Cette opération a pour but de faire un fonds bien noir et bien glacé, liant et souple, pour recevoir le vernis.

Chacune de ces couches est séchée à l'étuve ; les peaux y sont suspendues par des baguettes de cornouiller, comme cela se pratique dans le corroyage.

Quand ces couches sont bien sèches on donne un dernier *ponçage* avec un tampon de laine et de la ponce réduite en poudre impalpable.

C'est alors que l'on procède au vernissage.

Le vernis est composé d'huile d'apprêt préparée comme ci-dessus, de vernis gras au copal, de bitume de Judée, de bleu de Prusse ou de noir d'ivoire broyés à l'huile de lin siccative coupée d'essence de térébenthine ;

10, 00	kilogr.	huile d'apprêt ;
0, 50	—	bitume de Judée ;
5, 00	—	vernis gras au copal ;
10, 00	—	essence de térébenthine.

On fait cuire d'abord l'apprêt et le bitume, on y ajoute ensuite le vernis, puis enfin l'essence, en ayant soin de remuer fortement.

On peut remplacer le bitume par la même quantité de bleu de Prusse ou de noir d'ivoire.

On met le vernis à déposer dans un endroit chaud pendant 15 jours à 3 semaines avant de pouvoir en faire usage.

On doit prendre les plus grandes précautions pendant et après le vernissage des peaux pour les préserver contre la poussière. On peut les suspendre dans l'étuve, ou bien les mettre à plat cloués sur des cadres, le vernis en dessous, ou bien les placer à plat dans des tiroirs qui s'ouvrent en dehors de l'étuve.

La température des étuves varie de 45° à 60° Réaumur, suivant la nature des peaux et des vernis.

Les procédés qui précèdent sont ceux en usage pour toutes les peaux en général dans la plus grande partie des fabriques. Dans quelques-unes, cependant, on suit des procédés d'origine anglaise dont voici la description succincte :

Les étuves sont à tiroir, c'est-à-dire qu'elles sont disposées de façon que des tables puissent s'y superposer, par étages, en glissant sur des coulisseaux garnis de galets. Des devantures mobiles ferment chacun des compartiments de ces étuves.

Sur ces tables, préalablement garnies de couvertures de laine fortes et moelleuses, que l'on revêt de papier pour éviter de les tacher, on cloue les cuirs que l'on veut vernir, puis on y applique, avec la râclette, 3 couches d'apprêt, on enlève les aspérités avec la pierre-ponce, sans déclouer la peau, ou comme on dit, en terme du métier, *on coupe le bouton* après chaque couche.

On applique ensuite, avec la paume de la main, 6 à 7 couches successives de vernis sans essence, en ayant soin de *couper le bouton* à chaque couche.

Par ce procédé les couches sont beaucoup plus épaisses, et les cuirs ainsi vernis sont d'un glacis plus beau que par le vernissage ordinaire à la *queue de morue;* mais cet avantage est compensé par un inconvénient grave, c'est que le vernis est plus sujet à s'écailler et à se peler.

Il est essentiel, pour que le vernissage des peaux réussisse bien, que le tannage et le corroyage du cuir aient été faits avec le plus grand soin ; que le dégras soit de bonne qualité, qu'il ait été réparti sur la peau d'une manière uniforme et pas en trop grande quantité. L'excès de dégras empêche les premiers apprêts de sécher, et après le vernissage, la peau ne tarde pas à se ternir et à se couvrir d'une espèce de nuage graisseux.

Chaque fabricant a ses procédés particuliers qu'il tient secrets pour la composition des apprêts et des vernis.

Les uns ajoutent à la litharge qu'ils emploient en plus ou moins grande quantité, des os de sèche, de l'ail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du sulfate de zinc, du minium, de la céruse, de l'oxyde de manganèse, ou d'autres oxydes ou sels métalliques, suivant leur caprice. Il y a des recettes pour la composition et la cuisson des huiles qui sont d'une complication vraiment bizarre. De même pour la coloration en noir des vernis, quelques fabricants emploient exclusivement le bitume, d'autres y ajoutent du bleu de Prusse ou du noir d'ivoire.

Le bitume de Judée donne un reflet rouge au vernis, le bleu de Prusse lui donne un reflet verdâtre. Le noir d'ivoire serait, sans contredit, la substance la plus convenable; mais il a l'inconvénient, quelque finement qu'il soit broyé, de se déposer presque tout entier si le vernis reste trop longtemps sans être employé. Si, au contraire, on l'emploie trop tôt, on obtient, il est vrai, un très beau noir, mais il y a un sablé très fin qui paraît dans le fond et nuit à l'éclat du vernis; aussi, comme il est très difficile d'arriver juste au point convenable, la plupart des fabricants ont-ils renoncé à l'emploi du noir d'ivoire.

On comprend, du reste, qu'il est nécessaire de faire varier et le nombre de couches et la consistance des apprêts et des vernis, suivant la nature des peaux et l'usage auquel elles sont destinées.

Il y a même des cas où, avant d'appliquer les apprêts sur la peau (quand il s'agit de vernir sur *chair*) on l'encolle. Cette opération consiste à mouiller, au moyen d'une brosse dure, la face interne de la peau qu'on appelle *la chair*, avec une dissolution plus ou moins concentrée de colle de peau de lapin. On cloue ensuite la peau ainsi humectée sur des planches et on les met sécher à une température assez élevée pour que la dessiccation se fasse rapidement. Les peaux ainsi préparées sont bien serrées et moins sujettes à se laisser percer par les apprêts; avant d'y appliquer ceux-ci, il est nécessaire d'enlever la première surface de l'encollage et de *la chair* avec de la poussière de grès et une pierre-ponce. Sans cette précaution les apprêts ne se lieraient pas bien à la peau.

La presque totalité des cuirs vernis sont noirs : cependant on fabrique aussi des cuirs vernis de couleur, mais ce dernier produit n'est jusqu'ici qu'une industrie fort bornée. Il y a, dans les cuirs vernis de couleur, un ton lourd qui contraste d'une manière désagréable avec la transparence et les brillants reflets du cuir verni noir.

P. MABRUN.

CUIVRE (*angl.* copper, *all.* kupfer). Le cuivre est un des métaux les plus anciennement connus; il a une couleur d'un brun-rouge éclatant, légèrement teinté de jaune et caractéristique. Il est doué d'une odeur et d'une saveur faibles, mais très désagréables. La plupart de ses combinaisons sont vénéneuses. Sa densité varie de 8,8 à 8,9. Il est plus dur que l'or et que l'argent, peu sonore. Il est très ductile, se laisse battre au marteau en feuilles extrêmement minces, et étirer à la filière en fils très fins. Après le fer c'est le plus tenace des métaux : il exige pour se rompre un effort de 34^k par millimètre carré de section. De 0° à 100°, sa dilatation linéaire est de 1/582 de sa longueur primitive. Il fond à 27° du pyromètre de Wedgwood. Chauffé plus fortement il produit des vapeurs qui donnent à la flamme une belle couleur verte. L'intensité de cette couleur pourrait faire croire qu'il est très volatil, mais il ne l'est réellement que très peu, car M. Berthier en ayant fait chauffer un poids déterminé dans un creuset brasqué, dans le four à porcelaine de Sèvres, et l'y ayant laissé pendant toute la cuite, n'a trouvé tout au plus que 1/2 p. 100 de perte.

Le cuivre ne s'altère pas aux températures ordinaires dans l'air sec, mais au contact de l'air humide il se recouvre d'une pellicule de *vert-de-gris*, qui paraît être un hydro-carbonate de deutoxyde. Chauffé au contact de l'air il se recouvre d'une couche de protoxyde qui s'en détache par le choc. Si l'on chauffe jusqu'à fusion, l'oxydation se produit beaucoup plus rapidement; le cuivre fondu s'imbibe d'une partie du protoxyde dont il se recouvre; il perd alors une partie de sa ductilité, et son grain devient rouge et terne. On lui rend ses qualités premières en le faisant fondre au contact du charbon. Le protoxyde, lorsqu'il n'est pas en contact avec du cuivre métallique, absorbe une nouvelle quantité d'oxygène par le grillage et se convertit en deutoxyde. Le cuivre ne décompose l'eau à aucune température, même en présence des acides. L'acide sulfurique ne l'attaque que lorsqu'il est concentré et bouillant, il y a dégagement d'acide sulfureux et il se forme du sulfate de deutoxyde. L'acide hydrochlorique concentré attaque le cuivre, mais seulement lorsqu'il est très divisé, tel qu'on l'obtient, par exemple, en le précipitant d'une de ses dissolutions par du fer métallique. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent aisément. Lorsque l'on tient pendant un certain temps du cuivre en fusion au contact du charbon, il s'y combine un peu de carbone, ce qui le rend aigre. Le soufre, le phosphore et l'arsenic se combinent directement à l'aide de la chaleur avec le cuivre. Une très petite quantité de phosphore rend le cuivre extrêmement dur et propre à faire des instruments tranchants. Il absorbe le chlore gazeux et le brôme avec production de chaleur et de lumière.

Le cuivre s'allie aisément avec tous les métaux, excepté le fer et le plomb, plusieurs de ses alliages ont une grande importance dans les arts. Les principaux sont : les BRONZES, alliages de cuivre et d'étain; les LAITONS, alliages de cuivre et de zinc; et l'*argentan* ou MAILLECHORT, alliage triple de cuivre, de nickel et de zinc.

Les *oxydes de cuivre* sont facilement réduits par l'hydrogène, le carbone, le soufre, les substances organiques, et par plusieurs métaux, entre autres le fer et le zinc.

Le *protoxyde de cuivre* est d'un rouge de foie; il fond au blanc. Chauffé au contact de l'air il absorbe de l'oxygène et se convertit en deutoxyde. C'est une base faible que la plupart des acides décomposent en cuivre métallique et en deutoxyde. L'acide hydrochlorique le dissout sans le décomposer. L'ammoniaque le dissout également en donnant une dissolution incolore. Il forme un hydrate de couleur orangée. Il est composé de :

Cuivre. . . .	0,8878	Cu^2O.
Oxygène. . .	0,1122	

Le *deutoxyde de cuivre* est noir, très hygrométrique. Il supporte une très forte chaleur sans se fondre ni se décomposer. Il est soluble dans le carbonate d'ammoniaque, et dans l'ammoniaque caustique au contact de l'acide carbonique, en donnant des dissolutions d'un beau bleu de ciel. C'est une base assez puissante. On le prépare en calcinant le nitrate de cuivre. Il est composé de :

Cuivre. . . .	0,7983	Cu O
Oxygène. . .	0,2027	

Son hydrate est d'un bleu clair.

Le *peroxyde de cuivre* s'obtient, suivant M. Thénard, en traitant par l'eau oxygénée du deutoxyde de cuivre très divisé. Il est d'un jaune légèrement olivâtre, et se change en deutoxyde avec dégagement d'oxygène quand on le traite par les acides. Il est composé de :

Cuivre. . . .	0,6643	$Cu O^2$.
Oxygène. . .	0,3357	

Il y a des *sels de cuivre* à base de protoxyde et à base de deutoxyde. Tous ceux qui sont solubles sont très vénéneux. L'hydrogène sulfuré et les hydrosulfates en précipitent le cuivre à l'état de sulfure d'un brun-marron insoluble dans un excès d'hydrosulfate. Beaucoup de métaux, entre autres le fer, le zinc et le plomb, en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

précipitent le cuivre à l'état métallique, sous forme de paillettes d'un beau rouge.

Les *sels de protoxyde* sont peu stables. Les sels insolubles sont blancs, bruns ou orangés, ils se dissolvent dans l'ammoniaque en donnant des dissolutions incolores. Les sels solubles sont incolores; ils sont précipités en orangé par les alcalis et leurs carbonates et en blanc par le prussiate jaune de potasse et les phosphates alcalins.

Les *sels de deutoxyde* sont généralement bleus ou verts. Les sels insolubles se dissolvent dans l'ammoniaque et son carbonate qu'ils colorent en bleu. Les sels solubles sont précipités en bleu par les alcalis et leurs carbonates. Le précipité est soluble dans l'ammoniaque, son carbonate, et les bi-carbonates alcalins. Ils sont précipités en brun-rouge par le prussiate jaune de potasse, en vert-bleuâtre par le phosphate de soude et en bleu clair par les arséniates.

Les principaux sels de cuivre sont les suivants :

Le *protosulfure* de cuivre qui est d'un gris-noirâtre cassant et assez tendre pour se laisser couper au couteau; il est fusible à la simple flamme d'une bougie et inaltérable par l'action de la chaleur seule. Il se change par le grillage en deutoxyde pur si la température est très élevée, mais si elle est très basse, il se forme beaucoup de sulfate. Il est inattaquable par l'acide hydrochlorique, et se dissout dans l'acide nitrique et l'eau régale. Il n'est pas réduit par l'hydrogène; il se combine aisément par voie sèche avec les sulfures alcalins et les sulfures métalliques, pour former des sulfures doubles, et a particulièrement une affinité très grande pour le sulfure de fer. Il se combine aussi très aisément avec les arséniures métalliques.

Le *sulfate de deutoxyde* de cuivre ou couperose bleue est d'un très beau bleu, et très soluble dans l'eau. Il est très employé dans la teinture, ainsi que pour le chaulage des blés. On en obtient une grande quantité dans les ateliers d'affinage des matières d'or et d'argent.

L'*arsénite de deutoxyde* de cuivre est insoluble et constitue la belle couleur connue sous le nom de VERT DE SCHÉELE.

Le *deutochlorure* de cuivre est d'un brun-jaunâtre; la chaleur le décompose en chlore et en protochlorure. Il est déliquescent et soluble dans l'alcool dont il colore la flamme en vert. Hydraté, il est vert. Ses dissolutions aqueuses sont bleues lorsqu'elles sont étendues et vertes lorsqu'elles sont concentrées.

Le *protochlorure* de cuivre est d'un blanc ambré, demi-transparent, fusible au-dessous du rouge, et à peu près insoluble dans l'eau.

Le deutoxyde et le deutochlorure de cuivre se combinent en diverses proportions pour former des *oxychlorures*. L'un d'eux connu sous le nom de VERT DE BRUNSWICK est employé dans la peinture.

Il y a trois *carbonates de deutoxyde*, le *carbonate anhydre* ou *mysorine* qui est brun, le *carbonate bleu* et le *carbonate vert*, que l'on rencontre tous les trois dans la nature.

Les minerais de cuivre sont très nombreux et très variés; voici les principaux:

A. *cuivre natif;* se trouve en cristaux réguliers, en dendrites ou à l'état filiforme, généralement dans les terrains primitifs ou de transition, accompagnant, en petite quantité, les autres minerais de cuivre. On le trouve surtout à Tourinski dans la Sibérie, en Hongrie, à Fahlun en Suède, dans le Cornouailles, en Amérique, etc. Ses gangues sont le granite, le gneiss, le schiste micacé et argileux, la chaux carbonatée et fluatée, le sulfate de baryte, etc.

B. *Oxydes de cuivre*

Protoxyde de cuivre, cuivre oxydulé (*all.* rothkupfererz); d'un rouge de cochenille teinté de gris, friable. Densité 6,0 Cristallisé dans le système régulier ou compacte. Se trouve surtout à Chessy (Rhône) et dans les monts Altaï.

Oxyde de cuivre ferrifère (*all.* ziegelerz); est, comme son nom l'indique, un mélange de protoxyde de cuivre et d'oxyde de fer hydraté. Il se trouve dans les mêmes gisements que la pyrite cuivreuse, il paraît provenir de sa décomposition.

Oxyde noir de cuivre (*all.* kupferschwarz); terreux, d'un noir velouté, tirant quelquefois sur le brun. Se trouve ordinairement accompagné d'autres minerais de cuivre, et notamment de pyrite cuivreuse sur lesquels il forme enduit. Il se compose de deutoxyde de cuivre et d'oxyde de fer hydraté, mélangé quelquefois d'hydrate de manganèse.

C. *Composés sulfurés et arséniés.*

Cuivre sulfuré (*all.* kupferglanz); d'un gris de plomb noirâtre, légèrement métallique, fusible à la simple flamme d'une chandelle, et assez tendre pour se laisser couper au couteau; à cassure conchoïde. Il cristallise en prismes à 6 faces réguliers. Sa densité est de 4,8 à 5,3. Pur, il renferme 79,73 p 100 de cuivre; il contient ordinairement une petite quantité de sulfure de fer, et quelquefois de sulfure d'argent. C'est un des minerais de cuivre les plus riches; on le trouve en Sibérie, en Suède, en Saxe, et surtout dans le Cornouailles.

Cuivre pyriteux (*all.* kupferkies); le plus important et le plus répandu des minerais de cuivre. C'est une combinaison de soufre, de cuivre et de fer qui renferme 34 p. 100 de cuivre, et dont la densité est de 4,1 à 4,3. Sa couleur est d'un jaune de laiton, passant au jaune d'or; il est quelquefois irisé à la surface. Sa cassure est conchoïde et son éclat métallique; on le trouve souvent cristallisé, ordinairement en tétraèdres tronqués; il est fragile et ne fait pas feu au briquet comme la pyrite de fer, qui d'ailleurs a une teinte plus pâle. Il est souvent accompagné d'autres minerais de cuivre, de plomb, de fer et de zinc sulfurés, etc. Il est fréquemment aurifère ou argentifère.

Cuivre panaché (*all.* buntkupfererz); combinaison de cuivre et de fer sulfurés, d'un jaune de bronze qui tient le milieu entre le rouge de cuivre et le brun de tombac, irisé à la surface et présentant un éclat métallique. Densité 4,9 à 5,1. Ce minerai très abondant est très rarement cristallisé et renferme environ 61,07 de cuivre.

Cuivre gris (*all.* fahlerz); on donne ce nom à des combinaisons en proportions variables de soufre, d'antimoine, d'arsenic, de cuivre, de fer, quelquefois de zinc, et souvent d'argent. Sa couleur varie du gris d'acier au gris de plomb; il possède l'éclat métallique. Sa densité est de 4,79 à 5,10; il cristallise surtout en tétraèdres. C'est un minerai très important qui renferme 40 à 45 p. 100 de cuivre, et quelquefois jusqu'à 5 et même 30 p. 100 d'argent.

Bournonite. Combinaison de soufre, d'antimoine, de cuivre, de fer et de plomb, d'un gris de plomb plus ou moins foncé, possédant un éclat métallique, et dont la densité est de 5,7 à 5,8. Elle est plus rare que les minerais précédents, et renferme de 12 à 13 p. 100 de cuivre et de 30 à 40 p. 100 de plomb.

D. *Carbonates.*

Mysorine. Cuivre carbonaté anhydre, d'un brun-noirâtre foncé à cassure conchoïde, en masses terreuses ou compactes. Densité 2,62. Il n'a été trouvé que dans l'Indoustan et contient 48 p. 100 de cuivre.

Carbonate de cuivre bleu (*angl.* azurite, *all.* kupferlazur); hydro-carbonate de cuivre, d'un beau bleu, ayant un éclat vitreux et une densité de 3,5 à 3,83; souvent cristallisé en prismes rhomboïdaux obliques modifiés. Il renferme environ 55 p. 100 de cuivre. C'est un minerai assez abondant; à Chessy et dans le Banat on s'en sert avec avantage pour fabriquer du sulfate de cuivre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Carbonate de cuivre vert, malachite; carbonate de cuivre basique et hydraté, d'une belle couleur verte, dont la densité est de 3,56 à 4,0, et qui renferme 50 p. 100 de cuivre. Se trouve à Chessy et dans les monts Ourals. La malachite est tantôt lamelleuse, tantôt fibreuse, tantôt compacte et terreuse, rarement cristallisée en cristaux dérivant d'un prisme rhomboïdal droit.

E. *Arséniates et phosphates.* Minerais assez rares, se trouvant surtout dans le Cornouailles.

Erinite, kupferglimmer. Arséniate de cuivre rhomboédrique, vert d'émeraude, renfermant 46 p. 100 de cuivre.

Liroconite. Cuivre arséniaté en octaèdres obtus, à base rectangle, bleus, renfermant 40 p. 100 de cuivre.

Olivénite. Arséniate de cuivre en prismes rhomboïdaux droits, vert-olive ou vert sombre, renfermant de 40 à 45 p. 100 de cuivre.

Aphanèse. Cuivre arséniaté en lames cristallines vert-bleuâtre, renfermant 50 p. 100 de cuivre.

Euchrolite. Cuivre arséniaté vert d'émeraude, cristallisant en prisme rhomboïdal droit, et renfermant 38 p. 100 de cuivre. Se trouve en Hongrie.

Cuivre phosphaté. D'un noir-verdâtre, cristallisant en octaèdres à base rectangle, et renfermant 50 p. 100 de cuivre.

F. *Cuivre sulfaté.* Se forme journellement dans les mines par l'altération du cuivre pyriteux; est soluble dans l'eau et par conséquent peu abondant.

G. *Oxy-chlorure de cuivre, atakamite.* Se trouve au Pérou et au Chili en masses ou en sables d'un beau vert-émeraude foncé. Il renferme 57 p. 100 de cuivre. Rare.

H. *Hydro-silicates.*

Dioptase. D'un beau vert-émeraude, en cristaux hexaèdres, translucides, ayant un éclat vitreux. Très rare. Se trouve dans le pays de Kirguis.

Kiesel malachite. Amorphe, d'un beau vert, renferme 32 p. 100 de cuivre.

Sommervillite. Amorphe, d'un vert plus ou moins bleu. Très rare. Se trouve aux États-Unis.

Essai des minerais de cuivre. La grande variété et la grande différence que présentent les minerais de cuivre les rend souvent difficiles à reconnaître à la première vue; cependant il est rare que la présence du cuivre ne s'y décèle pas, dans quelques parties, par un enduit plus ou moins sensible de vert-de-gris; d'un autre côté, en grillant le minerai pulvérisé soit seul, soit avec du nitre, puis traitant par l'ammoniaque ou son carbonate, on reconnaît de suite le cuivre à la belle couleur bleue que prend la liqueur. Il y a même beaucoup de minerais de cuivre, tels que le protoxyde ou oxydule, les carbonates, etc., qui se dissolvent immédiatement dans le carbonate d'ammoniaque. (Voyez PLOMB. Essai du cuivre par liqueurs titrées.)

Dans un essai de cuivre, la première chose à faire est de se procurer un échantillon qui ait à peu près la composition moyenne du tas à essayer. A cet effet on choisit à l'œil des échantillons des divers minerais qui composent le tas, de telle sorte que leur ensemble en représente la composition, on les pulvérise et on les mélange bien ensemble. On essaie ensuite au chalumeau une partie de ce mélange pour reconnaître s'ils renferment de l'arsenic et du soufre qui donnent lieu à des fumées ayant une odeur alliacée et sulfureuse. Lorsque le minerai renferme ces deux corps, ce qui arrive très souvent, on en prend 10 gram. que l'on mélange avec 5 gram. de sciure de bois, puis que l'on imbibe d'huile, et on chauffe le tout modérément dans un creuset jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de fumées arsenicales. La matière refroidie est pulvérisée et grillée dans un têt au rouge sombre jusqu'à ce que tout le soufre et le charbon aient été brûlés; à la fin de l'opération il faut donner un fort coup de feu et chauffer au blanc pendant quelques minutes pour décomposer la petite quantité de sulfate de cuivre qui pourrait s'être produit. Le résidu est mélangé avec la moitié de son poids de borax calciné, 1/12 de noir de fumée et quelques gouttes d'huile pour lui donner de la consistance, puis introduit dans un creuset dont on lute le couvercle, et que l'on place dans un fourneau à vent tirant bien, où on le chauffe d'abord graduellement, puis donnant un fort coup de feu pendant quinze à vingt minutes. En retirant ensuite le creuset du feu et le cassant lorsqu'il est entièrement refroidi, on obtient un culot de cuivre métallique, dont le poids, la couleur et la malléabilité, donnent assez exactement la valeur relative du minerai essayé. Lorsque l'essai au chalumeau n'indique pas la présence de l'arsenic, on peut se passer de la première calcination. Enfin, si cet essai ne décèle ni la présence de l'arsenic ni celle du soufre, on peut fondre immédiatement le minerai avec du borax, du noir de fumée et quelques gouttes d'huile.

Très souvent on essaie les minerais de cuivre par voie sèche d'une manière un peu différente de celle qui précède, et qui consiste à les griller, puis à les fondre avec 3 parties de flux noir. Le poids du bouton métallique donne la teneur du minerai.

Dans tous les cas, on coupelle le bouton de cuivre avec du plomb pauvre pour reconnaître s'il contient de l'argent ou de l'or.

L'essai par voie humide est plus exact, mais il exige un peu plus d'habitude et de temps.

Pour doser le cuivre par voie humide, on traite 10 gram. de la matière bien porphyrisée par de l'eau régale bouillante contenant beaucoup plus d'acide hydrochlorique que d'acide nitrique, ou mieux encore par de l'acide hydrochlorique seul, lorsque cet acide peut dissoudre tout le cuivre. Si le minerai renfermait du plomb, il faudrait remplacer l'acide hydrochlorique par de l'acide sulfurique pour séparer ce métal à l'état de sulfate insoluble. On évapore à siccité, on reprend le résidu par de l'acide hydrochlorique, ou de l'acide sulfurique dans le cas où le minerai renfermait du plomb, on étend d'eau et on filtre, pour séparer la silice gélatineuse et toutes les substances insolubles. On précipite ensuite la liqueur filtrée, portée à une température voisine du point d'ébullition, par une lame de fer bien décapée, en ayant soin de l'entretenir dans un état d'acidité très prononcée, en y ajoutant de temps à autre de l'acide hydrochlorique ou de l'acide sulfurique, sans quoi il se formerait un sous-sel de fer insoluble qui se précipiterait avec le cuivre. On lave très rapidement à l'eau bouillante, le précipité de cuivre métallique obtenu, d'abord par décantation, puis sur un filtre, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne se troublent plus par le nitrate d'argent; on le fait sécher dans du papier joseph, au-dessous de 100°, et on le pèse. Si on le desséchait trop fortement au contact de l'air il s'oxyderait sensiblement, surtout si le lavage n'avait pas été exécuté avec le plus grand soin. Lorsque le minerai renferme de l'arsenic, il s'en précipite toujours une certaine quantité avec le cuivre; ce qu'il y a de mieux à faire dans ce cas, est de précipiter la liqueur provenant de l'attaque par l'acide sulfurique, par l'hydrosulfate d'ammoniaque en excès qui redissout l'arsenic, et de traiter les sulfures insolubles lavés et exempts d'arsenic, par la méthode ci-dessus.

TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE DES MINERAIS DE CUIVRE.

Sous le rapport de leur traitement métallurgique, les minerais de cuivre peuvent être partagés en trois classes, savoir :

1° Minerais qui ne contiennent ni soufre, ni antimoine, ni phosphore, ni arsenic, ni plomb. — Cuivre natif, cuivre oxydulé, carbonates et hydro-silicates de cuivre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° Minerais contenant seulement du soufre. — Cuivre pyriteux, cuivre panaché, sulfate de cuivre (ce dernier se forme journellement dans le grillage des minerais ou naturellement dans les mines exploitées ; on le dissolvant dans l'eau et le précipitant par du fer, on en tire du cuivre de cément que l'on raffine ensuite).

3° Minerais renfermant de l'arsenic, de l'antimoine, du phosphore ou du plomb. — Cuivres gris, bournonite, phosphates ou arséniates de cuivre.

Traitement métallurgique des minerais de la première classe.

Lorsque les minerais de la première classe sont assez riches, et se rencontrent isolément en quantité suffisante pour alimenter une exploitation, le traitement en est très simple. Tel était le gîte métallique de *Chessy* (département du Rhône), découvert en 1812, et actuellement presque épuisé, composé de carbonates de cuivre bleu et vert, et d'un peu de cuivre oxydulé. Le minerai préparé était à gangue siliceuse et renfermait de 27 à 30 p. 100 de cuivre métallique. L'opération consistait en une simple fusion des minerais avec une quantité convenable de chaux, servant à scorifier les gangues, dans un fourneau à manche à avant-creuset. Le fond du creuset, battu en brasque pesante, composée d'un mélange de 2 parties en volume d'argile et de 1 p. de poussier de charbon, était à 0m,40 en contre-bas de la tuyère, et le gueulard (ouverture par laquelle on charge les minerais et le combustible) à 1m,80 au-dessus du même niveau. La section intérieure du fourneau était prismatique et rectangulaire : elle avait 0m,85 de profondeur de la warme à la poitrine et 0m,60 de largeur. On employait du coke comme combustible. On lançait par minute dans le fourneau, par une seule tuyère, 8 kilogr. d'air sous la pression de 1c de mercure.

Le lit de fusion se composait de : 40 parties de cuivre carbonaté, 1 partie de cuivre oxydulé, 2 parties de scories du raffinage du cuivre noir, 8 parties de chaux vive, et 20 parties de scories bleues de la fonte précédente. Le fourneau ayant été séché et mis en feu comme à l'ordinaire, la charge normale se composait de 70 kil. de coke et de 134 kil. du lit de fusion ; le coke étant chargé en dessus sur la poitrine, et le minerai sur la warme. On maintenait devant la tuyère un nez de 0m,46 environ ; l'ouvrier le formait au besoin en introduisant par la tuyère un ringard froid qui coagulait les matières, et le cassait avec un ringard lorsqu'il était trop long. On passait de 20 à 28 charges en 24 heures, et on coulait toutes les 12 heures lorsque le creuset était plein de métal : on obtenait par coulée de 350 à 400k de cuivre noir. D'après une analyse de M. Marguerin, ce cuivre noir renfermait 89,3 de cuivre, 6,5 de fer, 0,34 de soufre et 3,7 de silicate de protoxyde de fer, provenant du mélange mécanique d'une petite quantité de scories.

Lorsque le fourneau marchait bien, les scories étaient bien fluides, vitreuses et colorées en bleu ; lorsqu'au contraire le lit de fusion renfermait un excès de silice et d'argile, les scories se coloraient en rouge et renfermaient jusqu'à 3 et 5 p. 100 d'oxydule de cuivre, tandis que le cuivre noir obtenu était beaucoup plus impur et plus chargé de fer ; enfin un excès de chaux donnait des scories d'un gris-noirâtre pouvant aller jusqu'au noir. Ces différences de couleur permettaient au fondeur de reconnaître de suite un dérangement dans l'allure normale du fourneau, et d'y remédier aussitôt soit en augmentant, soit en diminuant la proportion de chaux qui entrait dans le lit de fusion. Les scories rouges étaient repassées dans le fourneau. On obtenait 4 parties 1/2 en poids de scories bleues pour 1 partie de cuivre noir, et comme ces scories avaient une teneur en cuivre de 0,005, la perte en cuivre était de 2,25 p. 100 du cuivre noir obtenu.

Le personnel du fourneau se composait de 2 postes d'ouvriers, se relayant de 12 heures l'un, et composés chacun d'un maître fondeur et de son aide. La campagne de chaque fourneau ne durait qu'une semaine.

Le prix de revient du quintal métrique de cuivre noir était, d'après M. Le Play, de 146f,23 comme suit :

333k de minerai à 35f,30 les 100k, soit.	117f,65	
66k,7 de chaux à 5f les 100k, soit. .	3,34	
256k,6 de coke à 1f,60 les 100k, soit.	4,11	
Main d'œuvre.	2,38	
Total des frais spéciaux. . . .	127f,48	127f,48
Entretien du matériel.	3,00	
Direction et surveillance. . . .	4,75	
Intérêt du capital et des fonds de roulement..	5,00	
Frais divers.	6,00	
	18,75	18f,75
		146f,23

Les scories de la fonte immédiate pour cuivre noir qui sont rejetées, ayant toujours à peu près la même teneur en cuivre, et leur proportion relative augmentant très rapidement à mesure que la richesse du minerai diminue, on conçoit que, dans ce cas, la perte en cuivre augmenterait très rapidement, si l'on suivait le procédé que nous venons de décrire. Aussi lorsqu'il s'agit de minerais notablement moins riches que celui de Chessy, on les soumet à une fonte de concentration avec des pyrites de fer, de manière à obtenir une *matte* (sulfure double de fer et de cuivre), que l'on traite comme nous le dirons plus loin en parlant des minerais de la deuxième classe, et à séparer les matières terreuses à l'état de scories. Le cuivre ayant beaucoup d'affinité pour le soufre, et la matte renfermant seulement 15 à 40 p. 100 de cuivre, les scories rejetées sont beaucoup plus pauvres et la perte en cuivre beaucoup plus faible que par la méthode de Chessy.

Au lieu d'employer des pyrites de fer comme moyen de concentration, on se sert, quand l'on peut, de minerais de cuivre de la deuxième classe.

Enfin nous avons vu employer avec succès, depuis quelques années, à Linz, sur les bords du Rhin, et au Stadberg en Westphalie, un procédé de traitement par voie humide pour traiter des minerais de la première classe, très pauvres, dont la teneur était en moyenne de 1 à 4 p. 100 et qui n'étaient pas assez argentifères pour qu'on pût en séparer l'argent avec avantage.

Ce procédé, sur lequel M. Delesse a publié un mémoire fort intéressant dans le 1er volume de la 4e série des *Annales des Mines*, mémoire que nous engageons nos lecteurs à consulter, consiste à traiter les minerais de cuivre par de l'acide sulfurique que l'on prépare de toutes pièces dans l'usine même. A cet effet on grille des pyrites de fer dans des fourneaux de 2m environ de hauteur, portant à leur partie inférieure une grille placée au-dessus d'un cendrier hermétiquement fermé, au moyen d'un courant d'air forcé qui arrive par une tuyère placée au-dessus de la grille. Il suffit de mettre un peu de combustible lors de la mise en feu et au commencement de chaque charge, la chaleur dégagée ensuite par la combustion du soufre suffit pour opérer la continuation du grillage. Comme l'air arrive à une faible pression, que la température est peu élevée dans l'intérieur du fourneau, et que ce dernier a une faible hauteur, la combustion est incomplète et les gaz qui se dégagent renferment, outre de l'acide sulfureux, une certaine proportion d'air non brûlé. On règle la combustion dans le fourneau en faisant varier la quantité d'air qu'on y fait arriver, de manière à ce qu'elle ne s'élève pas au point d'agglutiner les mor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ceaux, ce qui rendrait leur grillage ultérieur très difficile.

On ajoute à la pyrite une faible quantité de nitre, qui, en se décomposant par l'action de la chaleur, donne naissance au deutoxyde d'azote nécessaire à la formation de l'acide sulfurique.

Le gueulard du fourneau est habituellement fermé par une plaque en fonte, et les produits gazeux se rendent par une conduite latérale dans les cases où se fait l'attaque, et où arrive également un courant de vapeur d'eau, fourni par une petite chaudière à vapeur, qui vient compléter les éléments indispensables à la production de l'acide sulfurique, savoir : l'acide sulfureux, l'oxygène ou l'air atmosphérique, le deutoxyde d'azote et la vapeur d'eau.

On charge le fourneau toutes les 12 heures ; pour cela on arrête le vent et on ferme la conduite latérale par un registre, afin d'empêcher les vapeurs acides répandues dans les cases d'attaque de refluer dans l'intérieur du fourneau : un ouvrier se mettant alors sous le nez un linge mouillé, ouvre une porte placée au-dessous de la grille et qui avait été lutée avec de l'argile, puis retire avec un crochet ce qui a passé entre les barreaux de celle-ci ; un autre ouvrier enlève le couvercle placé sur le gueulard et vide le fourneau avec une longue pince ; il rejette les morceaux complétement grillés et met de côté ceux qui sont agglutinés, les casse et les repasse de nouveau dans le fourneau jusqu'à ce que leur grillage soit complet. Cela fait, et la porte inférieure étant de nouveau fermée et lutée, on jette dans le fourneau un peu de bois, puis 50k de pyrites de fer et 3/10e d'hectolitre de menue houille, enfin par dessus le tout 1k de nitre : la théorie et l'expérience s'accordant pour indiquer qu'une quantité déterminée de deutoxyde d'azote suffit pour convertir en acide sulfurique une quantité presque indéfinie d'acide sulfureux, il nous semble qu'on pourrait se dispenser d'employer une aussi grande quantité de nitre.

Le minerai est placé dans des cases en maçonnerie sur des grilles en pierre, en dessous desquelles arrivent les gaz des fourneaux et la vapeur d'eau. L'acide sulfurique s'unit à la vapeur d'eau à mesure qu'il se forme, se condense sur le minerai dont il humecte et imbibe tous les morceaux, attaque le carbonate de cuivre et le transforme en sulfate, lequel se dissout et coule au fond de la case. Pour que l'attaque ait lieu facilement et qu'il se perde le moins possible de vapeurs acides, on dispose le minerai sur les grilles par couches de diverses grosseurs, de manière à ce que les plus gros morceaux soient sur les grilles et les plus petits à la partie supérieure.

Pour enrichir les eaux acides chargées de sulfate de cuivre, on les fait successivement passer d'une case dans l'autre, en les répandant sur le minerai, au moyen de pompes en plomb. Dans une case d'attaque de 9m,50 de long sur 5m de large et 1m,66 de profondeur, on charge environ 600tm de minerai. Pendant que le chargement s'exécute, on bouche l'ouverture par laquelle les vapeurs acides se répandent ordinairement dans cette case, afin d'empêcher que l'acide sulfurique ne se perde inutilement. Le minerai riche, renfermant quelquefois jusqu'à 6 et 10 p. 100 de cuivre, reste au plus 8 semaines dans une case avant de passer dans la voisine, et quand il a été dans 3 cases, l'expérience apprend qu'il ne retient plus une quantité de cuivre appréciable à l'analyse chimique, de sorte qu'il faut au maximum 24 semaines pour terminer complétement une opération. Pour des minerais pauvres la moitié de ce temps est plus que suffisant.

Quand l'eau chargée de sulfate de cuivre marque 24 à 30° à l'aréomètre de Baumé, on la fait couler dans une cuve où on la précipite par des rognures de tôle, à une température de 30 à 40° ; on emploie un peu moins de 200 de fer pour 100 de cuivre. La quantité de fer dissoute dépend beaucoup, du reste, du degré d'acidité de la liqueur, et on la retrouve tout entière dans le sulfate de fer cristallisé que l'on retire des eaux mères.

L'opération est terminée quand une plaque de fer polie ne se recouvre plus d'une pellicule rouge de cuivre métallique lorsqu'on la plonge dans la liqueur ; on transvase alors, au moyen d'un syphon de plomb, la liqueur chargée de sulfate de fer, dans des chaudières où on la concentre par évaporation, jusqu'à ce qu'elle marque 40 à 45° Baumé, point où on la fait écouler dans des cristallisoirs ; par le refroidissement, les cristaux de sulfate de fer se déposent en grappes sur des bâtons de bois verticaux plongés dans la liqueur vitriolique, et fixés à des perches horizontales reposant en travers sur les cristallisoirs. Les eaux-mères de l'opération sont renvoyées aux chaudières d'évaporation

Le cuivre de cément et le fer non attaqué sont égouttés dans des paniers d'osier, puis lavés au *tamis à secousses* (*all.* setzsiebe) ; le cuivre de cément qui est pulvérulent tombe au fond de la cuve. L'ouvrier prend ensuite une à une les rognures de tôle, qui sont restées sur le tamis, les gratte au couteau pour en détacher les écailles de cuivre adhérentes, et les rejette dans la cuve à précipitation.

Le cuivre de cément obtenu est lavé dans des *caisses à tombeau* pour en séparer les dépôts ferrugineux et le sulfate de fer. On laisse déposer les eaux de lavage, et comme elles contiennent un peu de sulfate de fer, on les emploie de préférence à l'eau pure pour arroser les minerais dans les cases d'attaque. Les boues sont recueillies et traitées comme le cuivre de cément. La teneur du cuivre de cément varie de 50 à 95 p. 100, selon qu'il est ou non à l'état de boues : nous indiquerons plus loin comment on le raffine.

On peut, dans la fabrication de l'acide sulfurique, remplacer avec avantage la pyrite de fer par d'autres sulfures métalliques. Ainsi à Linz, on remplace 1 partie de pyrite de fer par 10 p. de blende (zinc sulfuré) ; le résidu du grillage, au lieu d'être rejeté, est pulvérisé, grillé de nouveau dans des fours à réverbère chauffés à flammes perdues, et fondu pour zinc par la méthode de Belgique (voyez ZINC). Cela permet de traiter avec bénéfice des minerais de cuivre non argentifères, beaucoup plus pauvres qu'au Stadtberg, et qui souvent ne renferment que 1/2 à 1 p. 100 de cuivre métallique.

A l'usine à plomb d'Alzau, près Linz, on grille par le même procédé la galène (plomb sulfuré), et on emploie l'acide sulfurique produit pour dissoudre un minerai de fer oxydé hydraté, et fabriquer à peu de frais une grande quantité de sulfate de fer.

Il est à remarquer que ce procédé de traitement s'appliquerait peu aux minerais très calcaires, parce qu'une grande partie de l'acide produit serait dépensée en pure perte à produire du sulfate de chaux, qui aurait en outre l'inconvénient de rendre le cuivre de cément très impur, et d'apporter beaucoup d'obstacles à la cristallisation du sulfate de fer. Heureusement ce cas ne se présente pas habituellement.

Lorsqu'il serait possible d'établir les usines destinées à traiter des minerais de la première classe près des fabriques de soude ou même de les y annexer, il serait avantageux de remplacer l'acide sulfurique par l'acide hydro-chlorique que ces fabriques produisent en grande quantité, et laissent perdre le plus souvent dans l'atmosphère, faute de débouchés, au grand détriment du voisinage.

Traitement métallurgique des minerais de la deuxième classe.

Les minerais de la seconde classe sont de beaucoup les plus importants et fournissent la presque totalité du cuivre versé dans le commerce. Lorsque ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

minerais sont très riches, on pourrait les ramener à l'état d'oxyde par le grillage, puis les fondre pour cuivre noir comme les minerais de la première classe, mais on obtiendrait toujours du cuivre noir, très impur et ferreux, qu'il serait très difficile de raffiner. D'ailleurs, il est presque toujours impossible de concentrer le minerai de cuivre par une préparation mécanique quelconque, soit parce que la gangue du minerai se compose principalement de pyrites de fer ou autres minéraux analogues, d'une densité à peu près égale à celle du cuivre pyriteux, comme à Rammelsberg, dans le Hartz, soit parce que le cuivre pyriteux ou panaché se trouve disséminé dans le minerai en particules très fines et souvent indiscernables, comme dans le schiste cuivreux du Mansfeld, soit enfin parce que le minerai renferme, comme c'est un cas assez fréquent dans l'Oural, une certaine quantité de minerais de la première classe qui seraient entraînés par le lavage avec les gangues.

Il en résulte donc que les minerais de cuivre livrés aux usines ont ordinairement une teneur assez faible, ainsi :

Les minerais pyriteux du Cornouailles ont une teneur moyenne de. . .	7 1/2 à 8 p. 100
Du Rammelsberg au Hartz.	5 1/2 — p. 100.
De l'Oural.	4 1/2 — p. 100.
Du Mansfeld (minerais argentifères).	1 1/2 à 2 p. 100.

En grillant complétement des minerais aussi pauvres et les fondant immédiatement pour cuivre noir, la perte en cuivre serait énorme, puisqu'elle dépend de la proportion relative des scories, et on obtiendrait du cuivre noir très ferreux. On grille donc incomplétement le minerai de cuivre, plus ou moins, selon qu'il renferme plus ou moins de pyrites de fer, on le fond ensuite en ajoutant, s'il est nécessaire, un fondant convenable pour liquéfier la gangue; cette première fonte est souvent appelée *fonte crue*, quoique la plupart du temps on y passe des minerais grillés; on concentre ainsi le cuivre dans un produit particulier appelé *matte de cuivre* (sulfure double de cuivre et de fer), lequel se sépare aisément des scories que l'on rejette et qui ne retiennent qu'une quantité de cuivre tout à fait insignifiante, surtout quand la première matte renferme au plus 30 à 35 p. 100 de cuivre.

On pourrait griller complétement la matte de cuivre, puis la traiter par la méthode de Chessy ; mais, il tendrait à se former des loups ou dépôts ferreux qui obstrueraient le fourneau On grille alors seulement assez la matte, pour que par une deuxième fusion on obtienne du cuivre noir, et une deuxième matte dans laquelle passent presque en totalité le soufre, l'arsenic, l'antimoine et le fer, de telle sorte que le cuivre noir est beaucoup plus pur. On grille suffisamment cette deuxième matte, pour en séparer l'arsenic, l'antimoine et la plus grande partie du soufre, et on la repasse dans le lit de fusion pour cuivre noir. Les scories de la fonte pour cuivre noir sont repassées dans le lit de fusion de la fonte pour matte dont les scories sont seules rejetées.

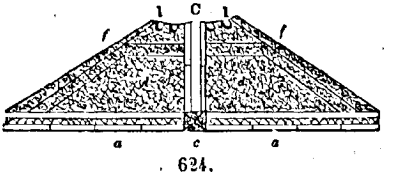
Lorsque le combustible est abondant et à bas prix, on cherche autant que possible à diminuer la perte en cuivre en formant une première matte très pauvre; puis, au lieu de griller immédiatement la matte assez pour obtenir du cuivre noir, on fait quelquefois jusqu'à quatre fontes de concentration successives, en ne grillant qu'imparfaitement les mattes à chaque fois, avant d'obtenir du cuivre noir. On a ainsi l'avantage de chasser plus complétement, par de nombreux grillages, l'arsenic et l'antimoine que renferment presque toujours en petite quantité les minerais de cuivre sulfurés, en même temps que d'obtenir un cuivre noir moins ferreux, s'affinant beaucoup plus facilement et avec moins de déchet, en donnant un cuivre rosette de qualité supérieure.

Le grillage des minerais se fait en tas ou dans des fours à réverbère; celui des mattes se fait dans des cases formées par trois murs verticaux et à sole légèrement inclinée, ou dans des fours à réverbère. La fonte des minerais grillés et celle des mattes grillées s'exécutent soit dans des fourneaux à courant d'air forcé, soit dans des fourneaux à réverbères; de là, deux séries de méthodes tout à fait distinctes.

Entrons maintenant dans quelques détails sur les diverses méthodes suivies dans les principaux groupes d'usines à cuivre de l'Europe.

BAS-HARTZ. Le minerai qui alimente les usines à cuivre du Bas-Hartz est du cuivre pyriteux associé à de la pyrite de fer, de la blende, et une petite quantité de sulfures d'arsenic et d'antimoine: il renferme en moyenne 5 1/2 p. 100 de cuivre métallique.

Le minerai est grillé en tas à base rectangulaire, dont la fig. 624 représente une coupe verticale, on place

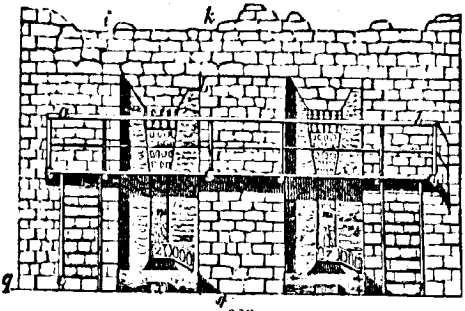


624.

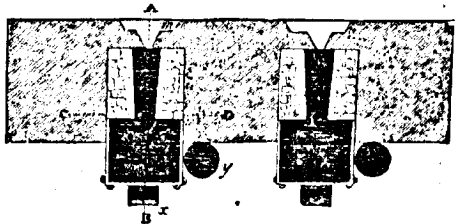
d'abord sur une aire bien battue trois lits de bois en rondins superposés, en y ménageant, pour l'arrivée de l'air, des canaux qui viennent aboutir à une cheminée centrale C en bois placé debout, dont on remplit le bas *c*, avec du menu charbon ; au-dessus on charge le minerai en morceaux *d d*. On allume alors le tas en jetant dans la cheminée C quelques charbons embrasés, et au bout de 24 heures on recouvre le tas de 0m,20 à 0m,30 de minerai en petits morceaux, et on laisse encore le feu se propager pendant deux à trois jours; on recouvre la partie supérieure du tas avec 0m,06 à 0m,10 de schich ou minerai fin obtenu par le lavage; on forme avec de la mousse et de la terre une couverte *f f*, sur les faces latérales du tas; puis on pratique par pression à la partie supérieure du tas, une série de trous hémisphériques de 0m,20 à 0m,30 de diamètre, disposés en quinconce. Le grillage s'opère d'abord à la partie inférieure du tas par suite de la combustion du bois, puis se propage successivement dans toute la masse par suite de la chaleur développée par la combustion d'une partie du soufre renfermé dans le minerai; l'autre partie distille et vient affluer dans les cavités hémisphériques pratiquées à la partie supérieure du tas, où il se liquéfie et où on le puise avec des cuillères. La quantité de soufre ainsi recueillie est plus que suffisante pour couvrir les frais de grillage. Chaque tas renferme à peu près 1100 à 1200qm de minerai et 2 stères 1/2 de bois; le grillage de chaque tas dure quatre mois, et produit 1500k environ de soufre. On défait ensuite le tas, on brise les morceaux qui se sont agglomérés et on regrille de nouveau, en tas, le minerai à deux autres reprises; en résumé on obtient environ 1000qm de minerai grillé.

Le minerai grillé à trois feux est fondu avec du schiste argileux, qui sert de fondant, et des scories de la fonte des mattes, dans des fourneaux à manche de faibles dimensions (fig. 625, 626 et 627); on emploie comme combustible un mélange de charbon de bois et de coke. La fonte est conduite très rapidement, aussi les campagnes durent rarement plus de cinq jours, et on obtient de 6 à 700 kil. de matte par jour. On se trouve dans la nécessité d'agir ainsi, parce que les scories con-

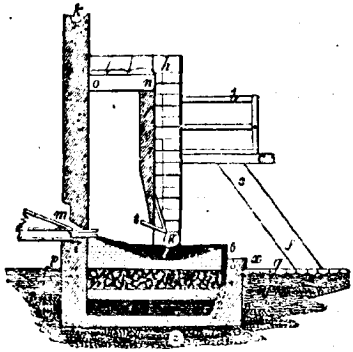
EFERUS - Recherche & Classification numérique



625.



626.



627.

tenant beaucoup d'oxyde de zinc sont peu fusibles; aussi retiennent-elles plus de cuivre que les scories de fontes crues ordinaires.

La première matte est grillée en petits tas de 30^{tm} environ, à trois feux; chaque grillage dure trois à quatre jours. La fusion de la première matte grillée se fait dans les fourneaux de fonte crue avec le même fondant. Le travail est plus facile, les dépôts ferreux moins abondants et la campagne un peu plus longue. On obtient du cuivre noir et une deuxième matte qui est grillée à 6 feux et refondue ; on obtient du cuivre noir et une troisième matte qui est grillée à 5 ou 6 feux et refondue de nouveau; on obtient encore du cuivre noir et une quatrième matte, qui est grillée et repassée dans la fonte de la troisième matte.

SAINBEL (Rhône). Le traitement suivi à Sainbel n'est qu'une modification de celui du Hartz. On grille une seule fois en tas le minerai de cuivre pyriteux, puis on le fond avec du minerai de cuivre carbonaté pauvre dans un fourneau à manche. On obtient ainsi une première matte, qui est grillée dans des cases à 10 feux, puis fondue pour cuivre noir avec du minerai carbonaté riche et des crasses d'affinage; on obtient en outre une deuxième matte qui est grillée à 5 feux seulement, et passée avec la première matte grillée dans la fonte pour cuivre.

FAHLUN (Suède). Les minerais sont des pyrites de fer mélangées de cuivre pyriteux. On les trie en minerais riches et en minerais pauvres ne tenant guère que 2 p. 100 de cuivre; ces derniers sont grillés tantôt en tas, tantôt dans des fourneaux particuliers (voyez MÉTALLURGIE), qui permettent de recueillir la plus grande partie du soufre qui distille. Les minerais pauvres grillés sont fondus avec des minerais crus et des scories de la fonte pour cuivre noir, dans des fourneaux à manche. On obtient des mattes très-pauvres, ne renfermant guère que 10 à 15 p. 100 de cuivre, qui sont grillées à 5 ou 6 feux en tas ou dans des cases, et refondues pour cuivre noir dans les mêmes fourneaux avec des minerais riches, crus ou grillés. On obtient en outre des mattes très-riches qui sont grillées et repassées dans la fonte pour cuivre noir.

OURAL. Les minerais sont un mélange de minerais de la première et de la deuxième classe; on les soumet d'abord à une fonte crue, sans les griller, dans des demi-hauts fourneaux de 4^{m},50 de hauteur, et dont les campagnes durent de dix à onze mois. On obtient par vingt-quatre heures 675 kil. de mattes tenant 30 p. 100 de cuivre. Les mattes sont grillées dans des cases à 3 ou 5 feux, et leur fonte se fait dans le même fourneau, à la fin de la campagne, lorsqu'il commence à s'obstruer par les dépôts ferreux qui sont redissous dans cette opération. On obtient par vingt-quatre heures 1,000 kil. de cuivre noir et 2,250 kil. de deuxième matte très riche, qui est grillée et repassée dans la fonte pour cuivre noir.

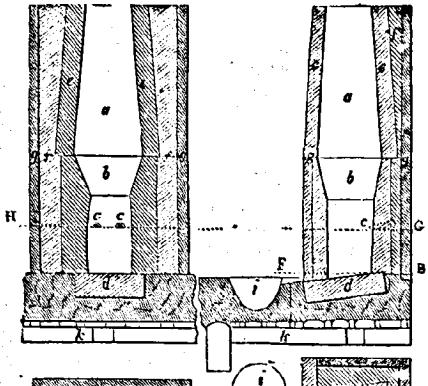
MANSFELD-HESSE. Le minerai traité dans les usines à cuivre du Mansfeld et de la Hesse électorale est un schiste marno-bitumineux dit *kupferschiefer*, qui se trouve à la partie inférieure de la formation du zechstein et immédiatement au-dessus du grès rouge ; il renferme du cuivre sulfuré, du cuivre pyriteux, du cuivre panaché, et une petite quantité de pyrites de fer et de minerais de la première classe, en particules extrêmement ténues et souvent indiscernables à l'œil nu. Outre le schiste cuivreux proprement dit, qui a une teneur moyenne en cuivre de 1 1/2 p. 100, on exploite aussi en quelques endroits, sur une épaisseur de quelques centimètres, le grès gris ou blanc qui se trouve à la partie supérieure de la formation du grès rouge, au contact du kupferschiefer, et qui est quelquefois beaucoup plus riche que le schiste cuivreux proprement dit. Dans la Hesse, ce minerai quartzeux, dit *sanderze*, a une teneur en cuivre de 4 à 6, et même quelquefois de 10 p. 100. En mélangeant les diverses variétés de minerais, on parvient en général à produire un lit de fusion convenable; cependant il est nécessaire dans le Mansfeld d'y ajouter une faible quantité de chaux fluatée.

Avant de procéder à la fusion des schistes, on les grille, ainsi que les minerais quartzeux, en tas plus ou moins considérables, qui en renferment quelquefois jusqu'à 2000^{tm}, afin d'expulser l'eau, l'acide carbonique, le bitume et une partie du soufre qu'ils renferment. On met à la partie inférieure des tas un lit de fagots pour les allumer; le bitume contenu dans les schistes suffit ensuite pour entretenir la combustion pendant toute la durée du grillage, qui est de deux à quatre mois, suivant la saison. Le minerai grillé est fondu avec des scories de la fonte pour cuivre noir, et dans le Mansfeld avec une certaine quantité de chaux fluatée, dans des fourneaux de grandes dimensions dits *fourneaux à lunettes*, et dont les fig. 628 à 631 donneront une idée. A Riegelsdorf (Hesse), ces four-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

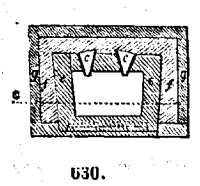
neaux ont 5m,50 de hauteur; leur cuve est légèrement conique et se raccorde avec la partie inférieure du fourneau, qui présente une section trapézoïdale ayant au niveau de la tuyère, 0m,58 de largeur en arrière, 0m,48 en avant et 0m,82 de profondeur. Le diamètre au gueulard n'est plus que de 0m,50. L'air est lancé dans le fourneau par une seule tuyère à eau placée à 0m,72 au-dessus de la sole; il est auparavant chauffé à 120° environ, au moyen d'une prise de gaz faite près du gueulard. Les fourneaux employés dans le Mansfeld sont à deux ou trois tuyères *c*, *c*, et offrent plus de ressemblance avec les hauts-fourneaux dans lesquels on traite les minerais de fer; ils ont une cuve *a*, et des étalages *b*, présentant la forme de deux troncs de cône en sens inverse, tantôt se raccordant immédiatement, comme l'indiquent les fig. 628 et 629, tantôt réunis par une partie cylindrique qui forme le ventre; le creuset et l'ouvrage (fig. 630 et 631) ont seuls une forme trapézoïdale. La hauteur totale de ces fourneaux est de 5m,00, celle de la cuve de 2m,60, et celle des tuyères au-dessus de la sole 0m,68. Le diamètre au gueulard est de 0m,78, au ventre de 1m,40, et la largeur moyenne de la section au niveau des tuyères, de 0m,65 à 0m,70. On chauffe préalablement l'air lancé dans le fourneau à une température de 150 ou 200°.

628.

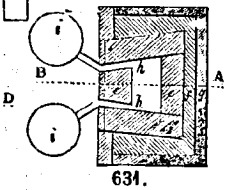


629.

630.



631.



Dans tous ces fourneaux le creuset et l'ouvrage sont construits avec des grandes pierres de grès réfractaire; la sole est formée par une seule pierre inclinée de 5 à 6°. Ces fourneaux sont dits à lunettes, parce qu'ils communiquent par les conduits *h*, *h*, avec deux bassins de réception antérieurs *i*, *i*, dans lesquels on fait successivement la coulée. On bouche les conduits *h*, *h*, avec de la brasque dans laquelle on perce ensuite, au besoin, les ouvertures nécessaires pour faire écouler les mattes et les scories.

Les campagnes durent plusieurs mois. On coule toutes les douze heures environ, et on obtient par coulée de 500 à 600k de matte ayant une teneur en cuivre de 30 à 40 p. 100. Cette matte est grillée dans des cases de six à dix fois suivant les localités. Dans la plupart des usines du Mansfeld, on lave la matte à la suite de chaque grillage intermédiaire, pour dissoudre le sulfate de cuivre qui s'est formé, on concentre les eaux de lavage et on fait cristalliser; on obtient ainsi une certaine quantité de sulfate de cuivre cristallisé, que l'on livre en cet état au commerce. La matte, grillée est fondue avec les crasses de raffinage du cuivre noir, dans des fourneaux soufflés à l'air froid, dont la forme générale est la même que celle des fourneaux de fonte crue, dans lesquels la tuyère est un peu moins élevée, et où la partie antérieure de la cuve est supprimée, de telle sorte que la hauteur totale du fourneau n'est guère que de 2m. On coule ordinairement trois fois en 24 heures, et on obtient 300k de cuivre noir par coulée (Hesse). La deuxième matte qui a une teneur en cuivre de 50 p. 100, est grillée à trois ou quatre feux et repassée dans la fonte pour cuivre noir.

Nous donnerons une idée des consommations et des frais de traitement du schiste cuivreux, par les tableaux suivants qui se rapportent à l'usine de Friedrichshütte près Riegelsdorf (Hesse), et qui offrent la moyenne du roulement de l'année 1839. On y emploie comme combustible un mélange de charbon de bois et de coke, en proportions variables suivant les approvisionnements.

1° Consommations et prix de revient du q. m. de première matte crue.

1767k de schistes cuivreux valant, rendus à l'usine.			28f,72
Grillage des schistes.	34k,5 de bois de fagots.		0f,29
Fonte crue.	3k de charbon de bois.	83k de charbon de bois.	4f,10
	80k	282k,7 de coke.	21f,60
Main-d'œuvre.			2f,13
Matériaux et frais divers.			1f,68
Prix de revient du quintal de 1re matte crue.			58f,52

2° Consommations et prix de revient du q. m. de cuivre noir.

224k,5 de première matte crue (ayant une teneur de 40, 2 p. 100) à raison de 58 f. 52 c. les 100k.			131f,40
49k,5 de deuxième matte crue (ayant une teneur de 50 p. 100).			» »
Grillage des mattes.	68k,7 de bois de fagots.		0f,57
	150k,8 de bois de corde.		1f,07
	137k,5 de ch. de bois.	306k,9 de ch. de b.	15f,17
	0k,5 de coke.		
Fonte de mattes.	16 k,4 de ch. de b.	2k,1 de coke.	0f,18
	1k,6 de coke.		
Main d'œuvre.			2f,38
Matériaux et frais divers.			1f,68
Total.			152f,45
On a produit 22k de deuxième matte par q. m. de cuivre noir, ce qui donne un excédant de 2k,5 de deuxième matte, dont il faudra déduire la valeur calculée pour une teneur de 50 p. 100 du total ci-dessus, ce qui fait à retrancher.			1f,82
Prix de revient du quintal de cuivre noir.			150f 63

Dans les usines du Mansfeld le cuivre noir obtenu, étant assez riche en argent pour qu'on puisse en extraire ce dernier métal avec bénéfice, est soumis à la *liquation*, opération que nous avons décrite à l'article ARGENT. La liquation donnant lieu à une forte dépense en combustible et à de grands déchets sur le cuivre et l'argent, est actuellement presque en totalité remplacée par l'amalgamation des mattes (voir ARGENT); les boues d'amalgamation sont recueillies dans des bassins de dépôt, retirées encore humides, mélangées avec 13 p. 100 d'argile pulvérisée, et moulées en briquettes que l'on fond pour cuivre noir. Dans la Thuringe et la Hesse, les minerais sont trop peu argentifères pour qu'on puisse séparer avec bénéfice le cuivre de l'argent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CUIVRE.

BASSE-HONORIE. Les minerais sont à gangue siliceuse, et se trouvent associés à une certaine quantité de minerais de la première classe que l'on met à part. On les amène par la préparation mécanique à une teneur de 8 p. 100. Les minerais grillés sont fondus, avec addition de calcaire, dans des fourneaux à deux tuyères analogues à ceux de Riegelsdorf (Hesse), mais de dimensions un peu plus considérables. La partie antérieure du fourneau est en grande partie fermée par un châssis mobile en fer, garni de briques réfractaires, ce qui facilite beaucoup les réparations. La fonte est conduite très rapidement. Les campagnes durent de dix à dix-huit jours. On obtient des loups ferreux où reste la plus grande partie de l'arsenic, et des mattes ayant une teneur en cuivre de 42 à 43 p. 100, qui sont grillées en cases à dix ou douze feux, puis fondues pour cuivre noir avec des minerais quartzeux de la première classe, dans les mêmes fourneaux. On obtient, outre le cuivre noir, une deuxième matte qui est grillée et repassée dans la fonte même. Lorsque les minerais sont argentifères, le traitement est beaucoup plus compliqué; nous l'avons décrit à l'article ARGENT.

USINES A CUIVRE DE L'ANGLETERRE. L'extraction et la fonte des minerais de cuivre constituent généralement dans la Grande-Bretagne deux branches distinctes d'industrie. Les usines à cuivre se sont établies sur le littoral de la mer, dans le bassin houiller du pays de Galles, où elles trouvent le combustible en abondance et à très bas prix, et sont parfaitement situées pour recevoir par voie de mer les minerais indigènes et étrangers. Ces usines forment une douzaine d'établissements distincts situés près de Swansea, Neath-Abbey, Aberavon, Taybach, Llanelly, etc., et concentrés entre les mains de neuf compagnies puissantes. Cette concentration des fonderies de cuivre, une des plus merveilleuses créations du génie commercial de l'Angleterre, et la grande diversité des minerais qui les alimentent, ont conduit à l'adoption d'une méthode de traitement susceptible de se prêter à tous les cas, et que nous allons décrire, en renvoyant pour plus de détails à l'excellent travail publié sur ces usines, en 1848, par M. l'ingénieur en chef des mines *Le Play*.

Les minerais indigènes viennent surtout du Cornouailles, et les vaisseaux qui les apportent à Swansea prennent en retour de la houille pour le service des machines à vapeur installées sur les mines et pour celui des fonderies d'étain. Les minerais étrangers, qui concourent environ pour moitié à la production totale du cuivre, viennent de Cuba, du Chili, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, de la Toscane, de la Norwége, etc.

Le traitement métallurgique de ces divers minerais s'opère dans des fours à réverbères chauffés à l'anthracite, et comprend dix opérations fondamentales, qui sont :

I. Grillage des minerais sulfurés, pauvres et de richesse moyenne, à gangue de pyrite de fer;

II. Fabrication de la matte bronze, ou fonte des minerais pauvres, bruts et grillés;

III. Grillage de la matte bronze;

IV. Fabrication de la matte blanche ordinaire, ou fonte de la matte bronze grillée avec les minerais riches;

V. Fabrication de la matte bleue, ou fonte de la matte bronze grillée avec les minerais grillés de richesse moyenne;

VI. Fabrication des mattes blanche et rouge de scories, ou refonte des scories des opérations riches IV, VII et VIII;

VII. Fabrication de la matte blanche-extra, ou rôtissage de la matte bleue V;

VIII. Fabrication des mattes-régules, ou rôtissage de la matte blanche-extra;

IX. Fabrication du cuivre noir, ou rôtissage de la matte blanche ordinaire, des mattes-régules et des produits cuivreux;

X. Raffinage du cuivre noir et production du cuivre malléable.

De ce qui précède on voit que les minerais et produits cuivreux sont introduits dans le roulement de la méthode galloise par les cinq opérations désignées sous les numéros d'ordre I, II, IV, VI et IX. Ils se subdivisent d'après leur nature, leur teneur en cuivre et la destination qui leur est donnée, en sept classes :

La première classe comprend les minerais d'une teneur de 0,03 à 0,15, composés de cuivre pyriteux avec gangue quartzeuse et de pyrite de fer en forte proportion.

La dernière classe comprend des minerais de même nature que les précédents, mais dont la teneur en cuivre varie de 0,15 à 0,25.

La troisième classe renferme des minerais d'une teneur de 0,12 à 0,20, peu riches en pyrite de fer et renfermant une assez forte proportion d'espèces cuivreuses oxydées.

Les minerais de la quatrième classe ont une teneur de 0,25 à 0,45, et sont principalement composés d'espèces cuivreuses oxydées (oxydes, carbonates et silicates), avec beaucoup de cuivre sulfuré, un peu de cuivre pyriteux et panaché, et une gangue de quartz et de fer oxydé à peu près exempte de pyrite de fer.

La cinquième classe comprend des minerais d'une teneur de 0,10 à 0,15 essentiellement composés de cuivre pyriteux, de pyrite de fer et de quartz, et absolument exempts de substances nuisibles, telles que l'arsenic et l'antimoine.

La sixième classe se compose exclusivement de minerais très riches, d'une teneur de 0,50 à 0,80, et exempts de sulfures ferreux et de substances nuisibles.

Enfin la septième classe comprend des produits cuivreux, tels que les battitures et balayures des laminoirs à cuivre, d'une teneur moyenne de 0,75.

Cela posé, nous pouvons aborder la description de chacune des dix opérations précédemment définies.

I. *Grillage de minerais sulfurés, pauvres et de richesse moyenne à gangue de pyrite de fer.* Ce que cette opération offre de plus remarquable, est le chauffage des fours à réverbère, qui servent pour le grillage, au moyen d'un mélange de trois parties d'anthracite menu et de une partie de houille, par l'emploi d'une grille artificielle formée de matières terreuses ou *craya* fournies par le combustible lui-même. Le craya qui, à la partie supérieure, est dans un certain état de ramollissement et empâte les matières charbonneuses, se refroidit aussitôt que ces matières sont consumées, se solidifie à la partie inférieure et s'y divise en gros fragments dont les interstices sont suffisants pour laisser passer l'air nécessaire au foyer, et point assez pour laisser filtrer le combustible pulvérulent. La hauteur totale de la grille de craya est d'environ $0^m,60$; elle est supportée sur quatre à cinq barres de fer et recouverte de $0^m,60$ à $0^m,70$ du mélange de combustible pulvérulent dont nous avons parlé. L'air en traversant la masse du craya s'échauffe, et au contact du combustible pulvérulent qu'il traverse sur une grande épaisseur, se transforme complétement en oxyde de carbone, à l'opposé de ce qui se passe dans les fours à réverbères ordinaires.

Tous les phénomènes que présente un four de grillage bien conduit, prouvent que le courant gazeux qui se dégage sans cesse de la chauffe du four est en effet exclusivement composé soit d'azote, soit de gaz combustible provenant de la distillation du combustible chargé dans la chauffe, soit de l'oxyde de carbone provenant de la réaction de l'air qui a traversé la grille

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur la partie fixe de ce même combustible. Ce courant débouche avec une extrême lenteur par le large rampant qui met en communication la chauffe avec le laboratoire et s'étale ensuite le long de la voûte, en ralentissant encore son mouvement ; la température élevée qu'il a acquise dans la chauffe, la position où il se trouve à la sortie du rampant le placent naturellement au-dessus de la nappe d'air atmosphérique appelée au-dessus de la sole et du minerai, au travers d'orifices spéciaux ménagés dans les portes de travail et sur les côtés de l'autel ou grand pont. Le gaz combustible ainsi superposé à une masse d'air atmosphérique, s'enflamme et brûle lentement par sa surface inférieure et développe ainsi la chaleur nécessaire pour déterminer entre l'oxygène de l'air, placé au-dessous, et les sulfures que contient le minerai, les réactions caractéristiques du grillage.

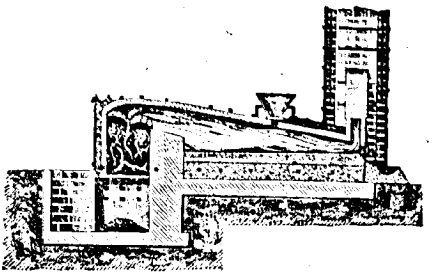
Les principales dimensions du fourneau de grillage gallois sont :

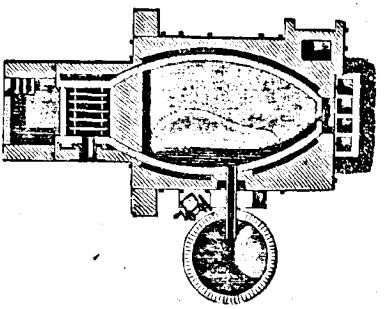
	m.	m.
Chauffe.	0.91	sur 1,22
Autel.	0,46	sur 1,22
Sole.	5,25	sur 3,66
Hauteur de la voûte au-dessus : de l'autel.	0,50	
Hauteur de la voûte au-dessus : de la sole près de l'autel. . . .	0,96	
Hauteur de la voûte au-dessus : de la sole à l'autre extrémité.	0,41	
Section de chaque rampant. . .	0m,30	sur 0,40

On charge tous les cinq quarts d'heure environ 45 kilog. de combustible sur la grille, dont le seul travail consiste à enlever de temps à autre les fragments de craya inférieurs qui paraissent trop restreindre l'accès de l'air, et à reformer au besoin avec la pointe du ringard les orifices qui tendent à s'obstruer. On charge à la fois 3,450 kilog. de minerai dans le four, au moyen des deux trémies placées au-dessus, et on l'étend ensuite uniformément sur la sole, où il forme une couche de 0,m12. Deux heures après le commencement de l'opération, la réaction commençant à s'exercer vivement sur le minerai de la surface, l'ouvrier exécute pour la première fois la manipulation caractéristique du grillage, qui consiste à renouveler la surface avec un râble, en traçant dans toute l'étendue de la masse une série de sillons parallèles. Le râblage complet s'effectue en travaillant successivement par chacune des quatre portes et dure en tout environ douze minutes. Ces râblages se renouvellent de deux heures en deux heures, ce qui en fait cinq par opération. Onze heures et demie après le commencement de l'opération, les ouvriers de deux fours contigus se réunissent pour enlever la charge grillée ; à cet effet, ils ouvrent les quatre portes, enlèvent les plaques de fonte placées pendant le travail au-dessus des trous placés sur la sole au-devant des portes, puis ils attirent au moyen du râble le minerai dans ces orifices, et le font ainsi tomber dans un réservoir placé au-dessous.

II. *Fabrication de la matte bronze ou fonte des minerais pauvres bruts et grillés.* Les fourneaux de fusion employés dans la méthode galloise, quoique chauffés comme ceux de grillage au moyen d'un mélange d'anthracite pulvérulent et de houille menue, en diffèrent en ce qu'il est essentiel ici d'obtenir une température élevée. A cet effet, on leur donne la forme représentée en plan et en coupe par les fig. 632 et 633, la plus convenable pour concentrer la chaleur sur la sole. On conduit le feu de manière à ce que le courant de gaz combustible se mélange dans le foyer même avec de l'air chaud peu ou point modifié par la combustion et aspiré par un ou deux gros canaux que l'on ménage dans la masse du craya. Le gaz combustible et l'air, portés ainsi isolément à une haute température, se mélangent à leur sortie du foyer, sous l'influence du mouvement rapide et des remous qui leur sont imprimés par le tirage ; de là résultent une réaction très vive et une flamme fort intense.

632





633.

Le four de fusion pour la fabrication de la matte bronze consomme environ 140 kilog. de combustible à l'heure et les dimensions principales sont les suivantes :

	m.	m.
Chauffe.	1,37	sur 1,40
Autel.	0,76	sur 1,40
Sole.	3,96	sur 2,74
Rampant.	0,30	sur 0,68
Hauteur de la voûte au-dessus : de l'autel.	0,50	
Hauteur de la voûte au-dessus : de la sole près de l'autel. . .	0,90	
Hauteur de la voûte au-dessus : de la sole à l'autre extrémité.	0,41	

Le lit de fusion se compose de minerais de la première classe grillés, de minerais crus de la troisième classe, de scories riches de l'opération, de scories des fontes IV, V et VII et d'une faible proportion de fondant fluoré formé d'environ deux tiers de fluorure de calcium et un tiers d'argile. La charge se compose moyennement de 1,000 kilog. de minerais bruts et grillés et de 300 kilog. de scories et fondants, et s'introduit, les matières pulvérulentes par une trémie placée sur la voûte du fourneau, et les plus gros morceaux de scories par la porte de travail placée à l'extrémité du grand axe de la sole. Cela fait, on ferme et on lute cette porte. Au bout de trois heures et demie de feu, on ouvre la porte pour brasser vivement les matières, puis on donne un coup de feu pendant un quart d'heure. On procède ensuite à la coulée de la matte en débouchant avec précaution, au moyen d'un ringard pointu, l'orifice qui correspond à la partie inférieure de la dépression ou bassin que présente la sole sur le tiers environ de la surface. La matte coule en mince filet et est conduite par une gouttière en fonte dans un ré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CUIVRE.

servoir en tôle, ordinairement plein d'eau, où elle se grenaille. Le fondeur ouvre ensuite la porte de travail, fait sortir la scorie en la halant avec un râble, et la fait tomber dans quatre moules rectangulaires en sable. Cette scorie, dont la pâte est très-fusible, renferme en suspension un nombre considérable de fragments de quartz et de roches quartzeuses et quelques grenailles de matte bronze. Ces scories sont cassées au marteau et divisées, d'après leur aspect, en scories à rejeter, d'une teneur moyenne de 0,005, et scories à repasser dans l'opération, d'une teneur moyenne de 0,008. La matte bronze obtenue renferme à peu près, cuivre 0,34, fer 0,35, soufre 0,39, scorie mélangée 0,01.

III. *Grillage de la matte bronze.* Le grillage de la matte bronze grenaillée s'effectue dans des fours de mêmes formes et dimensions que ceux employés pour le grillage des minerais. On consomme par heure 43 kilog. de combustible et chaque opération dure trente-six heures. On charge à la fois 4,500 kilog. de matte qui, étendue sur la sole, y occupe une épaisseur moyenne de $0^m,24$. De deux en deux heures, on renouvelle les surfaces alternativement en y traçant une suite de sillons parallèles avec le râble et en la retournant avec une étroite spadelle.

IV. *Fabrication de la matte blanche ordinaire.* Les fours employés pour cette fonte ont les mêmes formes et dimensions que ceux pour matte bronze, à cette différence près que la sole ne présente aucune dépression et seulement une pente uniforme et très faible, strictement suffisante pour donner issue à toutes les matières fondues vers l'orifice d'écoulement placé sur l'un des longs côtés. On y consomme 144 kilog. de charbon par heure et l'opération dure six heures. Le lit de fusion se compose de matte bronze grillée, minerais bruts de la quatrième classe, produits cuivreux de la septième classe, scories des opérations IX et X et débris de fourneaux des opérations II et IV à X. On charge à la fois 16,000 kilog. du lit de fusion et la fonte est conduite comme celle pour matte bronze, à cela près que l'on coule à la fois la matte et la scorie dans une rigole en sable. La matte blanche a une teneur en cuivre d'environ 0,73, les scories sont triées en scories pauvres, d'une teneur moyenne de 0,037, repassées dans la fonte II, et en scories riches, d'une teneur moyenne de 0,053 traitées dans la fonte VI.

V. *Fabrication de la matte bleue.* La fabrication de la matte bleue est en tout semblable à celle de la matte blanche; seulement la nature du lit de fusion, qui se compose de matte bronze grillée et de minerais de la deuxième classe grillés, permet d'élever les charges à 2,000 kilog. On obtient comme produits : de la matte bleue d'une teneur moyenne de 0,57, des scories pauvres d'une teneur de 0,03 à repasser dans la fonte IV et des débris de fourneaux repassés dans la fonte IV.

VI. *Refonte des scories riches des opérations IV, VII et VIII.* Cette refonte s'opère avec addition d'environ 10 p. 100 de minerais pyriteux de la cinquième classe crus et une très faible quantité de charbon. Le four a la forme et à très peu près les mêmes dimensions que les fours de fusion précédemment décrits; il en diffère surtout en ce qu'il n'offre pas de trémie pour le chargement des matières, qui s'effectue par une porte latérale placée sur l'extrémité du petit axe de la sole diamétralement opposée à celle qui correspond au trou de coulée. La charge est de 2,000 kilog. de scories et minerais et 100 kilog. de charbon, et son élaboration s'effectue en cinq heures trois quarts. Les produits sont : des fonds cuivreux très impurs, tenant 0,86 de cuivre; au-dessus un alliage blanc de cuivre et d'étain, renfermant 0,7 de cuivre et 0,3 d'étain; puis tantôt une matte blanche d'une teneur de 0,75, tantôt une matte bleue d'une teneur de 0,62, que l'on appelle improprement matte rouge, et enfin des scories à rejeter, d'une teneur de 0,004.

VII. *Rôtissage de la matte bleue.* Cette opération consiste : 1° en une fusion lente, à une température très-ménagée, dans laquelle on oxyde, sous l'influence directe de l'air, la majeure partie des matières nuisibles et une grande proportion de cuivre; 2° en une fonte opérée à une haute température, dans laquelle, après avoir scorifié les oxydes formés au moyen de la silice fournie par la sole et les parois du four, on affine la matte non décomposée pendant la première période, en faisant réagir sur le sulfure de fer de cette matte l'oxyde cuivreux dissous dans la scorie. Le four de rôtissage ne diffère de celui employé pour la fusion des scories riches que par un ouvreau latéral placé près de l'autel et muni d'un registre qui sert à introduire dans le four une grande quantité d'air, pendant la première période du travail. La charge se compose de 2,000 kilog. de matte bleue en gros pains et son élaboration dure un peu moins de douze heures. On obtient des scories pauvres et riches à repasser dans II et VI, des débris de fourneaux pour la fonte IV et une matte blanche extra d'une teneur moyenne de 0,77.

VIII. *Rôtissage de la matte blanche extra et des mattes de la refonte des scories riches.* Ces diverses mattes sont soumises séparément à un rôtissage qui s'opère tout à fait comme le précédent, à cela près que la proportion de fer et autres matières étrangères étant beaucoup moindre, l'opération est conduite beaucoup plus rapidement, et l'élaboration d'une charge de 4,500 kilog. dure un peu moins de quatre heures. On obtient comme produits des fonds cuivreux d'une teneur de 0,92, une matte-régule ou mélange mécanique de matte et de cuivre d'une teneur de 0,81, des scories riches, des balayures et des débris de fourneaux à repasser dans les fontes VI et IV.

IX. *Fabrication du cuivre noir.* Cette opération, dans laquelle on opère sur de la matte blanche ordinaire, des mattes-régules ou des fonds cuivreux que l'on traite séparément, s'effectue dans un four de rôtissage ordinaire. La charge s'élève à 3,700 kilog., dont l'élaboration dure vingt-quatre heures, et, indépendamment du chargement et de la coulée, se divise en quatre périodes d'une durée à peu près égale, savoir : 1° rôtissage et première fusion pâteuse goutte à goutte, réaction partielle de l'oxyde de cuivre et des sulfures déjà tombés sur la sole; 2° refroidissement, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, soulèvement de la masse; 3° réchauffement, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, deuxième fusion pâteuse; 4° coup de feu, réaction de l'oxyde de cuivre et des sulfures, réaction de l'oxyde de cuivre en excès et des autres oxydes sur la silice, fusion complète. On obtient comme produits du cuivre noir d'une teneur de 0,98-0,99, des scories et débris de fourneaux à repasser en IV et des balayures pour VI.

X. *Affinage du cuivre noir.* L'affinage du cuivre noir s'opère dans des fours de même forme que ceux de rôtissage, dont la sole présente, près de la partie située dans le grand axe du four, un bassin pour l'enlèvement du cuivre affiné. La charge varie de 5,000 à 10,000 kilogrammes et plus de cuivre noir, suivant la capacité du four de raffinage, qui est toujours rempli jusqu'à la voûte, et son élaboration dure vingt-quatre heures. La réparation de la sole en sable réfractaire et le chargement du cuivre noir durent trois heures; on lute ensuite les portes, et pendant dix-huit heures l'ouvrier n'a à s'occuper que de la conduite du feu; le cuivre fond peu à peu et subit un premier affinage, et il se forme peu à peu à la surface du bain une scorie dans laquelle passent, outre l'oxyde cuivreux formé en grand excès, les oxydes de tous les métaux étrangers qui étaient restés dans le cuivre noir, tandis que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le soufre et les traces d'arsenic sont gazéifiées, autant que le permet la nature du métal soumis à l'affinage. Au bout de ce temps commence le raffinage proprement dit, qui commence par un écumage du bain, pendant lequel la presque totalité de la scorie surnage le métal. Aussitôt après on jette sur le bain quatre à cinq pelletées de charbon de bois ou d'anthracite d'une extrême pureté, qui se répand immédiatement à la surface du métal fondu, de manière à le recouvrir presque complétement; puis on introduit dans le bain une grosse perche de bois vert. Sous l'influence de la haute température à laquelle il se trouve brusquement soumis, le bois dégage des gaz qui font bouillonner fortement la masse métallique et qui accélèrent considérablement l'effet qui serait produit à la longue par le charbon de bois. Après avoir prolongé le bouillonnement pendant un temps qui varie de quinze à vingt-cinq minutes, selon la qualité du métal, on commence à prendre des essais dans le bain de cuivre, pour saisir le moment précis auquel le métal atteint le maximum de malléabilité. Dès qu'on est parvenu à ce point, on s'empresse d'enlever par un second écumage les charbons restant à la surface et la mince couche de scorie qui s'est reformée; on jette une pelletée de charbons frais qui s'éparpillent à la surface du métal; on charge fortement la grille pour former, par distillation, une forte quantité de gaz combustibles qui arrivent sous la voûte et y brûlent avec une extrême lenteur; enfin on procède à la coulée, qui se fait ordinairement en puisant le cuivre au moyen de poches en fer préalablement chauffées et le versant dans des lingotières en fonte de formes variées. Fréquemment on se sert de lingotières assez profondes pour que l'on puisse y couler successivement plusieurs lingots, en laissant entre les coulées un temps suffisant pour leur solidification. Si le cuivre est destiné à la fabrication du laiton, au lieu de le couler en lingots, on le granule en le versant dans une grande cuillère percée de trous et placée au-dessus d'une cuve remplie d'eau chaude ou d'eau froide, suivant que l'on veut obtenir des grains bien arrondis ou irréguliers.

Pour prendre les essais dont nous avons parlé, on découvre une petite partie de la surface du bain à $1^m,20$ environ de la porte, et on puise vivement dans une lingotière soudée à l'extrémité d'une forte tige en fer un petit lingot de 40 millimètres de long sur 15 de côté. On l'entame immédiatement avec un ciseau, puis on achève de le rompre, et on obtient ainsi une cassure fraîche dont l'aspect permet d'apprécier le degré de malléabilité. En commençant à prendre des essais au moment où l'action du charbon et le bouillonnement produit par le bois n'ont point encore été suffisamment prolongés, on observe dans la cassure des lingots successifs les caractères suivants : les premiers lingots présentent une cassure grenue, mate, terne, d'un rouge brique foncé, puis ces caractères se modifient peu à peu jusqu'à un certain type dont la cassure est à fibres extrêmement déliées, l'éclat métallique à reflets soyeux très prononcé et la couleur d'un rouge pâle caractéristique; à partir de ce type, la cassure devient plus grossière, les fibres se prononcent de plus en plus et présentent des stries transversales, l'éclat, quoique métallique, cesse d'être soyeux, la couleur devient plus pâle et prend une teinte jaunâtre très décidée. Si alors, après avoir enlevé le charbon et le bois, on laisse la surface du bain exposée sans défense à l'influence oxydante de l'air, cette suite de caractères se présente dans un ordre exactement inverse. Les types extrêmes, grenus et fibreux, correspondent à une dissolution d'oxyde cuivreux ou de carbone dans le bain métallique et à des produits qui n'ont aucune malléabilité, tandis que le maximum de malléabilité correspond au type le plus soyeux. C'est donc au moment où l'on est arrivé à ce type qu'il faut procéder immédiatement à la coulée, en opérant ainsi que nous l'avons indiqué. Celle-ci durant environ une heure et demie, on continue pendant ce temps de prendre des essais dans les poches mêmes qui servent à puiser le métal, et, selon que ce dernier tend à prendre une structure grenue ou fibreuse, on contre-balance cette tendance en ajoutant quelques nouveaux charbons à la surface du bain ou en retirant quelques-uns de ceux qui s'y trouvent.

D'après M. Leplay, les frais de traitement des minerais de cuivre rendant 0,133 kilogrammes de cuivre marchand, peuvent être estimés, dans une usine galloise, à :

	Par 100 kil. du minerai traité. fr. c.	Par 100 kil. de cuivre obtenu. fr. c.
Frais de transport des minerais à l'usine.	0 71	5 33
Traitement métallurgique : Main-d'œuvre.	0 52	3 90
Traitement métallurgique : Combustible.	0 94	6 83
Traitement métallurgique : Matériaux et réactifs divers.	0 20	1 50
Traitement métallurgique : Frais généraux, administratifs, intérêt 5 p. 100 des capitaux immobilisés.	0 76	5 70
Intérêt à 4 p. 100 du fonds de roulement	0 58	3 97
Frais de vente du cuivre, transports, commission, à-compte.	1 98	14 85
Bénéfice du fondeur.	0 83	6 22
Total.	6 44	48 30

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur le mode de traitement suivi aujourd'hui dans les usines à cuivre de l'Angleterre, parce que le beau travail de M. Leplay nous permettait de rectifier les idées erronées qu'on s'était faites jusqu'à ce jour sur les procédés anglais. Nous devons à ce savant ingénieur d'avoir pu exposer d'une manière complète une série d'opérations extrêmement complexes, dans lesquelles toutes les ressources qu'offrent les méthodes de la métallurgie sont habilement utilisées.

Nous allons encore indiquer un progrès dû aux travaux d'ingénieurs des mines français.

PROCÉDÉ DE MM. RIVOT ET PHILLIPS. On sait que le fer métallique précipite le cuivre à l'état métallique d'un certain nombre de ses dissolutions. MM. Rivot et Phillips, ingénieurs des mines, ont reconnu que la même réaction avait lieu par voie sèche, et que le fer métallique plongé dans un bain de silicate de cuivre fondu en séparait également le cuivre à l'état métallique. Ils ont mis cette propriété à profit pour appauvrir les scories de cuivre que l'on obtient dans la fonte des minerais, de manière à obtenir dans une seule opération tout le métal que renferment ceux-ci. Avant de décrire ce procédé, nous ferons remarquer qu'il ne peut s'appliquer aux minerais qui renferment des quantités notables d'arsenic et d'antimoine, ce qui a également lieu pour l'essai par voie humide au moyen du fer métallique desdits minerais.

On commence par griller aussi complétement que possible les minerais de cuivre. En général, pour obtenir un grillage complet, il convient de faire un premier grillage en tas ou dans des fours analogues aux fours à chaux ce qui, en outre, étonne le minerai et rend la pulvérisation plus facile; on le réduit ensuite en sable assez fin et on le grille avec soin au four à réverbère, en terminant par un bon coup de feu, afin de décomposer les sulfates formés à une plus basse température. Il importe que ce grillage soit bien exécuté : avec des minerais imparfaitement grillés, on obtient à la fonte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un peu de matte riche au-dessus du cuivre noir, la consommation en fer est un peu plus considérable, et les scories à rejeter un peu plus riches en cuivre.

On mélange le minerai grillé avec de la chaux ou du sable ou des scories d'une opération précédente, en quantité convenable pour déterminer la fusion du mélange et du charbon de bois ou de la houille maigre menue, en proportion plus que suffisante pour réduire les oxydes que renferme le minerai grillé. En ne comptant comme bases dans la charge que le protoxyde de fer et la chaux, il convient de chercher à produire un bi-silicate de fer et de chaux contenant de 12 à 15 p. 100 de chaux. Lorsqu'il y a moins de chaux et plus d'oxyde de fer, on obtient en général un cuivre plus ferreux.

Le mélange ci-dessus ayant été chargé dans un fourneau à réverbère, on recouvre la charge avec quelques pellotées de houille menue, afin de préserver la matière de l'oxydation par les flammes du fourneau. On brasse de temps en temps afin d'accélérer la fusion. Dès que la matière commence à s'agglomérer, les parties qui s'attachent aux ringards contiennent une certaine quantité de grenailles de cuivre; quand la fusion est complète, ce qui exige environ quatre heures, les outils plongés dans le bain indiquent la réunion du cuivre au point le plus bas de la sole près du trou de coulée. Lorsque la scorie est bien homogène, elle ne contient plus que 2 à 3 p. 100 de cuivre. On place alors dans le four un certain nombre de barres de fer d'un poids à peu près égal à celui de la charge, en engageant leurs extrémités dans des cannelures ménagées dans la paroi du four opposée à la porte de travail, et en ayant soin de les plonger entièrement dans le bain de scories, sans toutefois qu'elles puissent atteindre le cuivre métallique qui occupe le fond du bain. On jette ensuite une certaine quantité de houille menue à la surface de la scorie, afin d'empêcher la peroxydation du protoxyde de fer qu'elle renferme, ce qui aurait l'inconvénient de rendre la scorie moins fluide et d'augmenter la consommation en fer métallique, ce dernier se dissolvant dans le silicate de peroxyde de fer pour le ramener à l'état de silicate de protoxyde. On brasse ensuite de demi-heure en demi-heure avec des râbles à deux dents très commodes pour nettoyer, dans la scorie, la surface des barres. On produit aussi de temps à autre un brassage très énergique de la scorie, en y plongeant une perche de bois vert.

L'aspect de la scorie ne peut guère indiquer l'avancement de la réduction; toutefois les essais pris avec un ringard froid, plongé un instant dans le bain, présentent toujours au contact du fer une teinte métallique rougeâtre très prononcée quand la scorie est un peu riche, tandis que cette teinte est insensible quand les scories ne renferment plus que 4 à 5 millièmes de cuivre.

L'expérience a prouvé que trois ou quatre heures d'action des barres de fer, suffisent pour appauvrir la scorie jusqu'à ce qu'elle ne renferme plus que 4 à 6 millièmes de cuivre. On retire alors les barres de fer et on procède à la coulée. La durée de l'élaboration d'une charge est donc d'environ huit heures.

Le cuivre noir obtenu est très pur et renferme, en général, au plus 1 p. 100 de matières étrangères (fer et soufre).

La consommation en fer des barres varie de 1/12e à 1/7e du poids du cuivre obtenu, et est du reste presque indépendante de la richesse des minerais.

Il est essentiel de n'élever la température que juste au point strictement nécessaire pour la fusion, si l'on veut obtenir du cuivre noir très pur. Dans le cas contraire, et lorsque l'on chauffe au blanc vif, la consommation en fer est, il est vrai, notablement plus faible, mais on obtient un cuivre noir très impur et qui contient jusqu'à 8 et 10 p. 100 de fer.

Nous terminerons, en ce qui concerne ce procédé, qui du reste n'est encore appliqué, à notre connaissance d'une manière courante, dans aucune usine, qu'il peut s'appliquer facilement au traitement des matières plombeuses et notamment des sulfates, pour en retirer à l'état métallique le plomb qu'elles renferment.

Traitement métallurgique des minerais de la troisième classe.

Ces minerais se trouvent ordinairement mélangés en faible proportion avec les minerais de la deuxième classe et sont traités simultanément. Souvent ils sont argentifères et traités comme minerais d'argent (voyez ARGENT; minerais de *cuivre et argent, plomb, cuivre et argent*). La chloruration est un des meilleurs moyens connus pour éliminer les dernières traces d'arsenic, d'antimoine et de phosphore; aussi on a constaté que l'amalgation des mattes ou des cuivres noirs améliore très sensiblement la qualité des cuivres obtenus en dernier ressort.

Raffinage du cuivre noir.

Le raffinage du cuivre noir se fait, soit en grandes masses au four à réverbère, soit au petit foyer lorsqu'on opère sur de faibles quantités. Nous avons déjà décrit plus haut la méthode d'affinage suivie dans le pays de Galles, de sorte qu'il ne nous reste pour compléter ce qui concerne l'affinage du cuivre noir au four à réverbère qu'à décrire les méthodes suivies à Chessy et en Allemagne.

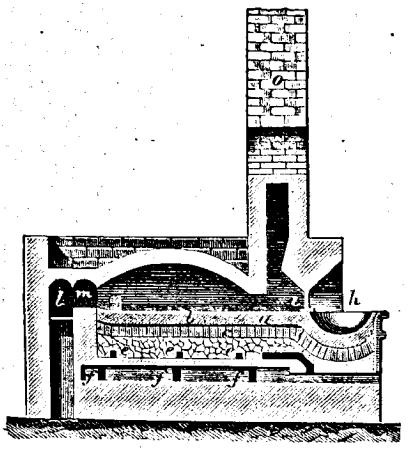
MÉTHODE DE CHESSY. Le raffinage du cuivre noir s'exécutait à Chessy, dans un fourneau à réverbère, dont les fig. 643 et 644 donnent le plan et la coupe; les fondations étaient construites en gneiss; la voûte, l'autel et la cheminée en briques réfractaires. La sole *a*, en brasque pesante (2 p. d'argile, 1 p. de sable, et 2 p. de poussier de charbon) repose sur une contre-brasque *b* en argile damée sur un lit de briques *c* posées de champ sur une couche de scories *d*; deux séries de canaux *e* et *f*, servent à l'assèchement des scories. La sole est elliptique et a 2^m,60 de longueur sur 2^m,15 de large. Elle présente en son milieu une cavité de 0^m,27 de profondeur qui communique par les deux embrasures *g*, *g*, avec les deux bassins de réception *h*, *h*; ces bassins en brasque bien damée communiquent entre eux par un canal *k*; ils ont 1^m,15 de diamètre et 0^m,45 de profondeur, et reçoivent 1300 à 1400^k de cuivre par opération; les embrasures *q*, *q*, sont maintenues fermées jusqu'au moment de la coulée par des briques réfractaires *i*, *i*. La grille *l*, a 1^m,00 sur 0^m,40; *m*, est l'autel; *n*, l'embrasure des tuyères; *o*, la cheminée de 12^m de haut et ayant une section de 15 décimètres carrés; *p*, la porte de travail qui sert à retirer les scories; au-dessus de cette porte, il y a une hotte pour attirer la flamme ou la fumée qui sort lorsque la porte est ouverte et empêcher qu'elle n'incommode l'affineur.

On charge à la fois 3000^k de cuivre noir avec un peu de cuivre en grenailles, de cuivre de cément et de cuivre oxydulé très riche; aussitôt que le cuivre est fondu, on donne le vent; la surface du bain ne tarde pas à se couvrir de scories que l'on retire avec un râble, opération qui constitue le *décrassage*. Il se forme à la surface du bain de nouvelles crasses de plus en plus minces, dont la couleur tire de plus en plus sur le rouge, et que l'on écume fréquemment. Quand il ne se forme plus de crasses, ce qui a ordinairement lieu au bout de quatre à cinq heures, on augmente le feu: le bain se met alors à bouillonner vivement : on dit alors *qu'il travaille*. Ce bouillonnement cesse au bout de trois quarts d'heure à une heure, sans que l'on diminue le feu. On commence alors à prendre des essais. L'affinage n'est ordinairement complet que trois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quarts d'heure après que tout bouillonnement a cessé. On retire alors la couche de scories minces qui surnage, et on coule le cuivre dans les bassins de réception, d'où on l'enlève sous forme de rosettes à mesure qu'il se solidifie à la surface, ce qui a fait donner le nom de *cuivre de rosette* au cuivre obtenu de cette manière. Aussitôt après la coulée, on remarque souvent une fumée rouge, épaisse, qui s'élève de la surface du bain, et qui y retombe sous la forme de pluie fine; cette fumée, qui est due à la projection en l'air d'une multitude de grenailles de cuivre extrêmement fines, se produit surtout lorsque le cuivre est très-pur et ne renferme que fort peu d'oxydule. L'opération dure en tout seize heures, et produit environ 2 500ᵏ de cuivre rosette et 550ᵏ de scories qui sont repassées dans la fonte pour cuivre noir, ainsi que les fumées qui se déposent dans le rampant qui conduit à la cheminée. On consomme par opération 1 800ᵏ de houille. Le cuivre rosette ainsi obtenu est chargé d'oxydule de cuivre et sec. On lui rend sa malléabilité en le refondant dans un four à réverbère et l'affinant par la méthode anglaise, ou le refondant au petit foyer, comme nous le décrirons plus loin.

Fig. 644.



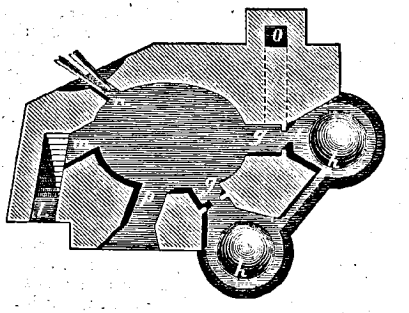


Fig. 643.

RAFFINAGE AU PETIT FOYER. Le raffinage des résidus cuivreux ou *carcas* provenant de la liquation (voy. ARGENT) se fait dans un petit foyer dont la fig. 645 donne la coupe. *a* est le foyer en brasque *c*; *b*, le mur dans lequel est pratiquée l'embrasure de la tuyère, qui reçoit le vent de deux soufflets pyramidaux; des plaques en fonte recouvrent le pourtour du foyer; *e*, ouverture pour faire écouler les scories; un petit mur, et une plaque en tôle *g* servent à retenir le charbon. Le foyer ayant été échauffé par un feu de charbon de bois, on met sur le charbon 30 à 40ᵏ de résidu cuivreux, et l'on recouvre le tout de charbon. Lorsque cette charge est fondue, on en ajoute de la même manière une seconde, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on ait chargé de 100 à 200ᵏ de cuivre et que le foyer soit plein.

Le vent oxyde les métaux étrangers plus oxydables que le cuivre et les scorifie en produisant une sorte de rôtissage. Les scories, d'abord noirâtres, prennent peu à peu une teinte rouge de cuivre et coulent d'elles-mêmes par l'embrasure *e*. On prend fréquemment des essais en plongeant par la tuyère, dans le bain de cuivre, une barre de fer bien décapée, puis, la retirant aussitôt, la plongeant dans l'eau froide et faisant tomber d'un coup de marteau le dé qui s'y est attaché. Ce dé devient de

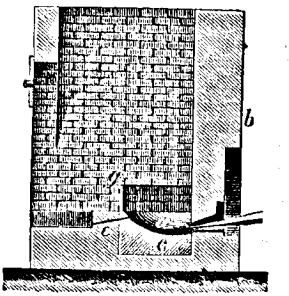


Fig. 645.

plus en plus mince, et l'affinage est terminé lorsqu'il est très-mince, qu'il offre la forme d'un réseau d'un rouge-brun à l'extérieur, et d'un rouge de cuivre à l'intérieur, et qu'il se laisse courber au marteau sans se rompre. On arrête alors le vent, on enlève avec un râble le charbon et les scories qui recouvrent le cuivre, on laisse un peu refroidir le bain, puis on solidifie la surface en y jetant de l'eau, et on enlève le cuivre en plaques minces ou rondelles, que l'on jette dans l'eau froide pour prévenir l'oxydation du cuivre; le métal se recouvre alors d'un enduit extrêmement mince de protoxyde de cuivre, et prend une couleur d'un beau rouge cochenille. Le raffinage de 110ᵏ de résidus cuivreux dure de trois quarts d'heure à une heure, et produit de 75 à 80ᵏ de cuivre rosette en trente-six rondelles environ.

A Riechelsdorf (Hesse), le raffinage du cuivre noir provenant de la fonte du schiste cuivreux s'opère au petit foyer avec un mélange de charbon et de coke; les frais sont comme suit, en se reportant au tableau donné pour les usines de Mansfield :

128ᵏ de cuivre noir à 150 fr. 63 c. les 100ᵏ.	192ᶠ,84
86ᵏ,1 de charbon de bois à 150 f. 63 c. les 100ᵏ.	1 23
7ᵏ,4 de coke à 150 fr. 63 c. les 100ᵏ.	0 57
Main-d'œuvre.	1 83
Matériaux et dépenses diverses.	1 68
Frais généraux (pour tout le traitement). . .	31 45
Prix de revient des 100ᵏ de cuivre rosette.	232ᶠ,57

Le cuivre rosette renferme toujours plus ou moins d'oxydule; pour le rendre malléable, on le refond sous le charbon dans des fours à réverbère ou au petit foyer, et on le coule dans des moules en fonte enduits intérieurement d'argile. On y ajoute quelquefois un peu de plomb pour l'empêcher de monter dans les moules, ce qui arrive souvent quand il est parfaitement pur; mais ce procédé n'est pas à recommander, parce qu'il diminue la ténacité et la malléabilité du cuivre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Raffinage du cuivre de cément. Le cuivre de cément riche est ordinairement passé en petite quantité dans le raffinage du cuivre noir; le cuivre de cément pauvre et ferrugineux est ajouté au lit de fusion de la fonte pour cuivre noir.

Au *Stadtberg* (Westphalie), on fond le cuivre de cément obtenu par le traitement par voie humide des minerais de la première classe, dans un petit fourneau à réverbère dont la grille, sur laquelle on charge un mélange de houille et de coke, est alimentée par un courant d'air forcé et chaud. Le fourneau étant bien échauffé, on charge sur la sole 100[k] de cuivre de cément; cinq heures après on fait la percée et on enlève le cuivre noir par plaquettes, en refroidissant sa surface avec de l'eau. On obtient des scories riches en cuivre qui sont refondues pour cuivre noir dans un fourneau à manche. Le rendement du cuivre de cément en cuivre noir varie de 95 à 50 pour 100, suivant qu'il est en petites plaques ou en boue. Le cuivre noir obtenu est raffiné au petit foyer.

Raffinage des alliages de cuivre. Le procédé indiqué par Fourcroy et employé sur une grande échelle en France lors de la révolution, pour retirer le cuivre du métal des cloches, était fondé sur la propriété que possède l'étain d'être plus fusible et plus facilement oxydable que le cuivre. Ce procédé consistait: 1° à griller complétement dans un fourneau à réverbère une certaine quantité de bronze de cloches et à pulvériser l'oxyde obtenu; 2° à fondre dans le même fourneau une nouvelle quantité de bronze, à y ajouter la moitié de son poids de l'oxyde obtenu dans l'opération précédente, puis à augmenter le feu en brassant fréquemment le mélange. Au bout de quelques heures, il y avait sur la sole un bain de cuivre presque pur, recouvert de crasses pâteuses chargées d'oxyde d'étain et de cuivre; on enlevait alors les crasses avec un râble et on coulait le cuivre. On retirait ainsi du bronze 50 p. 100 de cuivre ne renfermant que 1 p. 100 de substances étrangères. Les crasses étaient pulvérisées et lavées pour en retirer les grenailles de cuivre qu'elles empâtaient; on les mélangeait ensuite avec 1/8 de leur poids de charbon de bois pulvérisé, et on rendait le mélange aussi intime que possible en broyant le tout sous des meules, puis on le fondait à une température élevée dans un four à réverbère. On obtenait un alliage de 60 p. 100 de cuivre et de 40 d'étain, recouvert de crasses plus riches en étain que les précédentes. Cet alliage était refondu au fourneau à réverbère, et soumis à une sorte de coupellation, jusqu'à ce qu'il eût atteint une teneur en cuivre égale à celle du bronze avec lequel il était alors repassé. Les dernières crasses étaient refondues dans un fourneau à manche.

M. Bréant apporta à ce procédé d'importantes modifications, qui lui permirent de traiter avec bénéfice plus d'un million de kilogrammes de crasses de la refonte des cloches, en les payant 0[f],40 les 100 kil., tandis qu'on avait vendu auparavant plusieurs milliers de crasses plus riches au prix de 0[f],05 les 100 kil. Ces modifications consistaient à fondre les crasses stannifères dans un four à réverbère avec une plus grande quantité de charbon et des flux terreux, tels que des écailles d'huîtres pulvérisées, des verres cassés, etc. Il obtenait ainsi un alliage beaucoup plus riche en étain, dont il séparait la plus grande partie de ce dernier métal, presque à l'état de pureté, par liquation sur la sole d'un fourneau à réverbère. Les carcas restant sur la sole étaient ensuite affinés comme ci-dessus.

On peut immédiatement retirer du laiton ou du bronze du cuivre très-pur, en le fondant avec 1/10[e] de son poids de battitures de cuivre et autant de débris de verre à bouteilles ou de tout autre flux analogue. Tous les métaux étrangers passent dans les scories.

Laminage du cuivre. Les lingots de cuivre à laminer sont placés les uns à côté des autres sur la sole d'un fourneau de chaufferie ordinaire et l'on en forme des piles en les disposant en croix, pour que l'air chaud les entoure de tous côtés. On ferme la porte, et l'on regarde de temps en temps si le cuivre est arrivé à la température nécessaire au laminage, qui est celle du rouge sombre. On passe alors les lingots entre les cylindres d'un laminoir analogue à ceux qui servent à la fabrication de la tôle; les cylindres sont pleins et ont ordinairement 1 mètre de table sur 0[m],40 de diamètre. Quoique le cuivre soit très-malléable, il s'aigrit au laminage, et il est nécessaire de réchauffer plusieurs fois le lingot pour le réduire en feuilles sans le déchirer sur les bords.

Le cuivre, par les chaudes et laminages successifs qu'il subit, se couvre d'une couche d'oxyde qui cache la couleur naturelle de sa surface et en change les propriétés. Pour enlever cet oxyde, on laisse tremper les feuilles pendant quelques jours dans une fosse remplie d'urine, puis on les expose sur la sole du fourneau de chaufferie; il se forme de l'ammoniaque qui réagit sur l'oxyde, et le cuivre se découvre. On frotte les feuilles avec un morceau de bois, puis on les trempe encore chaudes dans l'eau pour faire tomber l'oxyde; enfin, on les passe à froid entre des cylindres pour les redresser, on les ébarbe et on les débite en feuilles de la grandeur que réclame le commerce.

Les battitures qui tombent au pied des laminoirs, ainsi que les rognures provenant de l'ébarbage des feuilles, sont raffinées comme nous l'avons dit.

Dosage du cuivre par voie humide. Le procédé de dosage du cuivre par voie humide, dû à Pelouze, consiste à dissoudre 1 partie de la matière à essayer (alliage ou minerai) dans 7 à 8 parties d'acide nitrique du commerce ou d'eau régale; on étend la dissolution d'un peu d'eau, et l'on y verse un excès d'ammoniaque (20 à 25 parties). On obtient ainsi une dissolution d'un bleu très-intense, lorsque la proportion de cuivre est assez notable; on opère dans un ballon de verre d'une capacité suffisante que l'on chauffe au-dessus d'une lampe à esprit-de-vin. D'un autre côté, on dissout dans l'eau du sulfure de sodium cristallisé du commerce; ce sulfure peut d'ailleurs contenir de l'hyposulfite, du sulfite ou du carbonate de soude, et même de la soude caustique, sans que cela puisse apporter la moindre erreur dans le dosage du cuivre. Habituellement on prépare cette dissolution de manière à ce qu'elle renferme environ 110 grammes de sulfure de sodium par litre d'eau distillée. On introduit cette dissolution dans une burette graduée, analogue à celle dont on se sert dans les essais alcalimétriques; on porte la liqueur cuivreuse ammoniacale à l'ébullition, et l'on y verse, jusqu'à décoloration, la dissolution du sulfure de sodium, en ayant soin d'ajouter de temps en temps de l'ammoniaque étendue, afin de remplacer celle qui s'évapore. L'affaiblissement de la teinte bleue indique facilement à l'opérateur que la fin de l'expérience approche, et il a soin de verser goutte à goutte les dernières portions de sulfure; il peut, du reste, terminer l'opération avec une dissolution décime, comme pour les essais d'argent. L'opération terminée, on lit sur la burette le nombre de divisions de la liqueur sulfureuse qu'il a fallu employer pour produire la décoloration. Chaque fois que l'on a une série d'essais à faire, on détermine d'avance le titre de la dissolution par un essai préliminaire fait sur un poids connu de cuivre pur. On obtient alors la teneur en cuivre dans les essais subséquents par une simple proportion. Supposons, par exemple, que l'on ait reconnu qu'il faille employer 30 centimètres cubes de la dissolution de sulfure de sodium pour 1 gramme de cuivre pur, tel, par exemple, que celui que l'on obtient par la galvanoplastie, et qu'il faille en employer 44 cent., 7 pour

FERRUS - Recherche & Classification numérique

40 grammes d'un minerai de cuivre, ces 40 grammes renfermeront $\frac{44,7}{30} = 1^{gr},49$ de cuivre ou 44,9 p. 100.

La présence du zinc, du cadmium, du plomb, de l'antimoine, du fer, de l'arsenic et du bismuth n'altèrent en rien l'exactitude de ce procédé. Lorsqu'il y a de l'étain, il convient d'ajouter à la dissolution ammoniacale une petite quantité de nitrate de plomb, si la matière à essayer ne renferme pas de plomb; l'oxyde de plomb, en se précipitant, entraîne avec lui l'acide stannique, qui, sans cela, reste quelquefois en suspension dans la liqueur, la rend opaline, et rend difficile à apprécier le moment précis de la décoloration. Lorsqu'il y a de l'argent, il faut d'abord le précipiter par un excès d'acide hydrochlorique, filtrer et employer la liqueur filtrée et les eaux de lavage pour le dosage du cuivre. Ce procédé s'applique mal au cas où les matières cuivreuses renferment du cobalt ou du nickel, les oxydes de ces métaux étant solubles dans l'ammoniaque, et la colorant en rose ou en bleu; mais ce cas ne se présente guère que pour les alliages connus dans le commerce sous le nom d'*argentan*, *maillechort* ou *packfong*.

M. *de la Foltye*, en examinant l'action que l'ammoniaque exerce sur le cyanure de cuivre, et celle du cyanure de potassium sur l'ammoniure de cuivre, a reconnu que le cyanure de potassium peut être substitué avec avantage au sulfure de sodium, dans le procédé de Pelouze. Le sulfure brunit rapidement à l'air, ce qui s'oppose à ce qu'on puisse observer facilement le point précis où l'ammoniure de cuivre est décoloré; le cyanure de potassium reste toujours incolore, et la réaction est si nette, qu'à la fin de l'opération une goutte d'une solution de cyanure très-étendue fait passer le liquide essayé d'une coloration encore sensible à une décoloration parfaite.

Statistique.

La production moyenne annuelle du cuivre, pendant ces dernières années, a été d'environ 524,000 quintaux métriques, se répartissant comme suit :

Grande-Bretagne	286,000 q. m.
Empire russe	39,000
Empire autrichien	45,000
Suède et Norwége	21,000
Association allemande (Zollverein)	15,000
Turquie	20,000
France	7,000
Espagne, Toscane, etc.	8,000
Amérique	59,000
Japon	24,000
Asie (pour mémoire)	» »
Total	524,000 q. m.

qui, à raison d'un prix moyen de 250 fr. par quintal métrique, représentent une valeur de 131,000,000 fr.

La France importe moyennement 85,000 quintaux métriques de cuivre métallique, ce qui porte sa consommation totale à 92,000 quintaux métriques, représentant une valeur de 23,000,000 fr. P. DEBETTE.

CYANATES. Sels formés par l'acide cyanique. N'ont aucun emploi dans les arts.

CYANIQUE (ACIDE). Cet acide, découvert par Wœhler, n'a été obtenu qu'à l'état hydraté, et est extrêmement peu stable.

CYANOGÈNE (*angl.*, cyanogen; *all.*, cyan). Composé remarquable d'azote et de carbone, découvert par Gay-Lussac, qui joue le rôle d'un corps simple dans le plus grand nombre de ses réactions. Dans les cas où il n'est pas altéré dans sa composition élémentaire, il se comporte comme le chlore, le brome et l'iode. C'est un corps gazeux, incolore, non permanent, que l'on peut liquéfier par un froid ou une compression suffisante; son odeur est extrêmement vive et piquante; il est inflammable et brûle avec une flamme bleuâtre mêlée de pourpre; sa densité est de 1,81. L'eau à 20° en dissout quatre fois et demi son volume, et l'alcool cinq fois davantage.

Le cyanogène supporte une très-haute température sans se décomposer. Chauffé au rouge avec de l'oxygène, il se décompose avec détonation, et il se forme de l'acide carbonique et de l'azote. Il se combine à l'état naissant avec l'oxygène pour former de l'*acide* HYDROCYANIQUE, ou *acide prussique*. Il produit un grand nombre de cyanures métalliques, qui se combinent aisément entre eux ou avec les chlorures et les sulfures, pour former des cyanures doubles, des chloro-cyanures et des sulfo-cyanures.

Le cyanogène se compose de 2 vol. de vapeur de carbone et de 1 vol. d'azote, condensés en un seul, ou bien en poids de :

Carbone	46	$C^2 Az^2$ ou Cy^2.
Azote	54	
	100	

On l'obtient en décomposant par la chaleur le cyanure de mercure.

CYANURES. Le seul des cyanures dont nous parlerons ici est le cyanure de mercure, qui sert à la préparation du cyanogène. On le prépare soit en dissolvant de l'oxyde de mercure dans de l'acide hydro-cyanique, soit en faisant digérer du *bleu de Prusse* avec de l'eau et de l'oxyde rouge de mercure en excès : le fer de potassium se précipite, et il reste dans la liqueur du cyanure de mercure qui est soluble et que l'on fait cristalliser par évaporation après avoir filtré.

CYCLOIDE. La cycloïde est la courbe que décrit un point de la circonférence d'une roue tournant en ligne droite sur un plan horizontal. Cette courbe jouit de propriétés curieuses que nous nous contenterons d'énoncer.

1° Si d'un point quelconque de cette courbe on laisse tomber un corps pesant le long de sa concavité, celui-ci arrivera toujours au point le plus bas dans le même intervalle de temps;

2° C'est la courbe de *la plus vite descente* pour les corps qui y sont abandonnés à l'action de la pesanteur;

3° Si l'on suspend un pendule au point de naissance de deux arcs cycloïdaux (sur lesquels s'appuiera le fil du pendule), la lentille décrira aussi une cycloïde, et, comme l'a démontré Huyghens, les oscillations du pendule seront parfaitement isochrones, c'est-à-dire s'accompliront dans des temps égaux;

4° L'aire de la cycloïde est triple de celle du cercle générateur, et sa longueur rectifiée est égale à quatre fois le diamètre de ce même cercle.

A cause de ses curieuses propriétés, la cycloïde peut rencontrer dans les arts de fréquentes et curieuses applications. Nous avons déjà cité celle qui en a été faite pour le pendule; peut-être pourrait-elle fournir un moyen d'accroître les limites dans lesquelles de fortes machines de renfort peuvent, sur les chemins de fer, dispenser de l'emploi des machines fixes. Concevons en effet que les roues motrices de la locomotive portent, sur un de leurs rayons, des galets mobiles sur leurs axes, et qui viennent, dans les pentes, se mouvoir dans des guides en fonte placés verticalement en dehors des rails et ayant la forme de la cycloïde que décrivent les galets; la force d'adhérence sera considérablement augmentée, puisque les roues ne pourront plus glisser sur les rails, tandis que l'augmentation de résistance due au frottement des galets contre les guides sera très-faible, puisque c'est un frottement de roulement. Nous ne prétendons pas que ce système pourrait être économiquement adopté dans l'industrie; nous n'avons pour but, en en parlant ici, que d'indiquer une application curieuse de la cycloïde. CH. L.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

D

DAGUERRÉOTYPE. Voyez PHOTOGRAPHIE.

DAMAS (*angl.* damask, *all.* damast). Tissu en soie ou en lin, quelquefois aussi en laine ou en coton, orné de grands dessins représentant des fruits, des fleurs, des paysages, des animaux, etc. C'est une étoffe de luxe sur la fabrication de laquelle nous reviendrons à l'article TISSAGE.

DAMAS. Les belles recherches de M. l'ingénieur russe Anocoff, publiées il y a quelques années dans l'*Annuaire du journal des mines de Russie*, nous mettront à même d'indiquer sommairement ici un procédé qu'il a découvert et introduit avec succès à Zlatooust (Oural), pour préparer de l'acier damassé oriental; nous invitons ceux de nos lecteurs qui désireraient avoir plus de détails à ce sujet à consulter l'intéressante notice précitée.

On juge de la valeur et de la qualité des damas au moiré ou au dessin, à la couleur du fond, et enfin au reflet ou chatoyement de la surface sous la lumière oblique.

Du moiré. L'acier a d'autant plus de valeur que le dessin en est plus grand et plus marqué. Le dessin est considéré comme grand, quand il atteint les dimensions des notes de musique; il est moyen quand il a la grosseur de l'écriture ordinaire; au-dessous de cette grosseur, le dessin est petit, mais encore faut-il qu'on puisse l'apercevoir à l'œil nu. La forme et la disposition du moiré présentent une variété extrême, et il faut une grande habitude pour apprécier à ce signe la valeur du damas. Le moiré que manifeste un culot de damas s'observe plus distinctement encore sur les scories qui le recouvrent lors de la fabrication, en sorte qu'on peut assez exactement juger de la qualité du métal à la seule inspection des scories. En examinant attentivement ces dernières au microscope, on voit qu'elles prennent au contact du culot, toutes les inégalités du métal. Ces inégalités varient à l'infini. Ce sont : tantôt des aspérités et des dépressions irrégulières; tantôt des aspérités longitudinales, plus ou moins parallèles entre elles; tantôt des aspérités réunies par groupes plus ou moins distincts; tantôt des lignes droites parallèles plus ou moins longues et épaisses; tantôt un double système de lignes parallèles, se coupant sous un angle variable et formant ainsi des losanges; tantôt un double système de lignes se coupant à angle droit, et formant des carrés distincts. L'on peut distinguer les scories en diverses sortes. Aux premières scories correspond un métal qui ne manifeste aucun moiré après le travail de la forge. Avec celles de la seconde espèce, on a un métal qui se moire longitudinalement sous forme de lignes irrégulières. Avec les troisièmes, les lignes restent parallèles. Avec les quatrièmes, on a deux systèmes de lignes : les unes suivent la longueur de la barre, en prenant une courbure plus ou moins prononcée; les autres sont disposées transversalement sous différents angles et avec diverses courbures; quelquefois, on voit des points isolés entre ces lignes. Avec les cinquièmes, les lignes longitudinales prennent une courbure encore plus prononcée, et les lignes transversales, en se brisant sous différents angles, forment des dessins pareils aux mailles d'un filet. Avec les sixièmes, les lignes longitudinales et transversales deviennent encore plus courbes et comprennent entre elles une infinité de petits points, dont la masse ressemble à une grappe de raisin; ces grappes sont tantôt irrégulièrement semées à la surface du métal, tantôt disposées par rangées d'une telle symétrie que le damas semble composé de plusieurs morceaux soudés transversalement. Aux deux premières sortes de scories correspond un damas qui ne peut être d'aucun usage et qui, par conséquent, ne mérite pas d'être désigné de ce nom; mais avec les autres variétés on a, dans l'ordre suivant, des damas de qualités d'autant meilleures que les moirés des scories sont plus régulières :

1° Le dessin consistant principalement en lignes droites presque parallèles correspond à la plus mauvaise sorte de damas.

2° Quand les lignes droites deviennent plus courtes et commencent à se courber, la qualité du métal s'améliore.

3° Le métal est encore meilleur, quand les lignes se brisent, que leurs interstices se couvrent de points isolés et que les lignes courbes se multiplient.

4° Le damas approche davantage de la perfection, quand les lignes brisées deviennent encore plus courtes ou se réduisent à des points, et quand elles sont assez nombreuses pour former comme les mailles d'un filet réunies par des fils serpentant dans différentes directions.

5° Enfin, le damas est arrivé à son plus haut degré de perfection, quand les filets transversaux, composés de petits points, se multiplient jusqu'à former comme des grappes de raisin, ou s'étendent sur presque toute la largeur de la pièce en la divisant en parties égales entre elles et de dessin pareil.

Du fond. On peut apprécier par la nature des scories le fond de la couleur du culot qu'elles recouvrent. Le même flux donne des scories de couleurs différentes; plus les scories sont vitreuses et incolores, plus le fond du métal est clair, et *vice-versâ*; mais la qualité du métal est d'autant meilleure que les scories sont plus foncées. Toutefois, les scories foncées sont de différentes sortes; les unes sont vitreuses, les autres ternes; dans ce dernier cas, le moiré cesse de se manifester distinctement.

Les damas peuvent être divisés, sous le rapport du fond, en damas gris, en damas bruns et en damas noirs.

Du reflet. Le reflet se manifeste à la surface du culot, quand on sort ce dernier du creuset, après avoir laissé suffisamment refroidir à l'abri du contact de l'air.

Les culots de mauvaise qualité n'ont point de reflet et en général leur surface n'est pas unie. Plus le métal est parfait, plus sa surface a d'éclat et plus son reflet est prononcé. Le reflet passe quelquefois du bleuâtre à la teinte d'or, de telle sorte que le dessus du culot paraît comme doré. Le reflet ne peut tenir à une oxydation superficielle du métal, car l'oxydation produirait une irisation qu'on n'observe point ici; il faut plutôt l'attribuer à la qualité même du métal. Le reflet est d'ailleurs indépendant de la dureté du métal.

Les damas peuvent être divisés, sous le rapport du reflet, en damas sans reflet, en damas à reflet rougeâtre, et en damas à reflet doré. Plus le reflet est prononcé et voisin de la teinte d'or, plus le métal est parfait. Si le damas est de mauvaise qualité, on ne peut par aucun mode de décapage y faire naître de reflet.

La coïncidence des différents caractères dont il vient d'être question donne, en supposant chacun d'eux porté à son plus haut degré, la limite supérieure de la perfection du damas. Un damas parfait a les qualités suivantes :

1° Une malléabilité et une ductilité parfaites, non pas qu'il puisse se forger comme du fer tendre, mais il faut qu'il se travaille avec facilité et netteté : on doit même pouvoir le forger à froid;

2° Une très grande dureté après la trempe;

3° Un tranchant vif et délicat;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

4° Une très grande élasticité.

M. Anoçoff divise d'après ce qui précède les damas en cinq variétés, savoir : le damas rayé, le damas moiré, le damas ondulé, le damas réticulaire et le damas chevronné. Toutes ces sortes de damas peuvent : 1° Avoir des dessins de grande, moyenne et petite dimension; 2° Être gris, bruns ou noirs; 3° Ne pas avoir de reflet, ou avoir un reflet, soit rougeâtre, soit doré.

Il résulte des observations de M. Anoçoff que :

1° La grosseur, la netteté et le relief du moiré sont en rapport direct avec la proportion de carbone; la disposition du dessin dépend de l'intimité de sa combinaison avec le fer.

2° Le fond du damas et la couleur du moiré indiquent le degré de pureté du fer et celui du carbone; plus le fond est foncé et brillant, plus les ondulations sont blanches, et plus le métal est pur.

3° Le reflet que prend l'acier damassé semble être le meilleur indice de l'état sous lequel le carbone existe dans l'acier. Il paraît que l'on ne peut admettre, comme combinaison proprement dite du carbone avec le fer, que le damas à reflet doré. Dans les damas à reflet rougeâtre, le carbone contient en mélange quelque substance étrangère. Enfin, dans les damas qui n'ont pas de reflet, le carbone se rapproche du charbon ordinaire. De pareils damas sont cassants, s'ils renferment une forte proportion de carbone.

L'analyse d'un des meilleurs aciers damassés obtenus par M. Anoçoff, a donné à M. Ilimoff les résultats suivants :

Fer.	98,000
Carbone.	1,131
Soufre.	0,014
Silicium.	0,500
Aluminium.	0,055
Cuivre.	0,300
Argent.	Traces
	100,000

En cherchant à découvrir le secret de la fabrication du damas oriental, M. Anoçoff a trouvé quatre moyens de le produire, qui consistent :

1° A fondre du minerai de fer avec du graphite ;

2° A fondre le fer avec du charbon et à brûler partiellement le carbone par du protoxyde de fer (battitures) ;

3° A soumettre le fer préalablement carburé à un recuit prolongé, à l'abri du contact de l'air ;

4° A fondre immédiatement le fer avec du graphite.

Le premier de ces procédés demande un minerai de fer extrêmement pur, la consommation en graphite est considérable, la carburation du fer parfois incomplète, et la consommation en combustible deux à trois fois plus forte que dans le dernier procédé, d'où résulte une élévation du prix de revient qui rend ce procédé inabordable ; mais il nous retrace, sans doute, la méthode suivie par les anciens, et nous explique le haut prix des bons damas d'Asie. Ce procédé a dû en effet, en raison de sa grande simplicité, s'offrir de préférence à tout autre aux anciens expérimentateurs.

Le second procédé n'a pas pu être adopté; le métal conservait une proportion considérable de carbone et se forgeait difficilement.

Le troisième procédé est déjà en usage ; mais comme l'acier fondu doit, pour être malléable, ne contenir qu'une faible proportion de carbone, on n'obtiendra par là qu'une sorte de damas fondu, bon à la fabrication des objets de bas prix; les 100ᵏ de ce damas ne reviennent qu'à 240 francs environ.

Enfin, le quatrième procédé que nous considérons comme le meilleur et le moins dispendieux de tous, est le seul dont nous allons nous occuper. La préparation du damas par ce procédé comprend : La fonte, le travail de la forge, la façon des objets, la trempe, l'affilage et le décapage.

Fonte. La fonte s'opère dans de petits creusets réfractaires, faits comme ceux qui servent à la fabrication de l'acier fondu (voyez ACIER), chauffés dans un petit fourneau à courant d'air forcé

On met dans un creuset ordinaire 5 kilogrammes de fer; les allinges faits sur une plus grande échelle étant trop difficiles à forger. En général, plus le métal doit être dur, et moins on doit employer de fer, en sorte que sa quantité peut, dans certains cas, se réduire à 3 et 4 kilogr. On met sur le fer un mélange de 1/12 de graphite, 1/32ᵉ de battitures et d'une certaine quantité de flux. Les meilleurs flux sont : Les débris de foyers réfractaires et la dolomie. L'un et l'autre de ces flux peuvent être employés avec un égal succès mais non concurremment; dans ce dernier cas, les scories se séparent trop difficilement du métal. En employant le quartz, il faut éviter d'ajouter trop de battitures. La dolomie est par elle-même un flux très fusible, en sorte qu'on ne doit pas en employer plus de 1/24ᵉ : au-delà, le creuset pourrait être attaqué; mais si la quantité de dolomie est en rapport convenable avec le graphite, on obtient de meilleur damas avec ce flux qu'avec le quartz. Après avoir chargé les matières dans le creuset, on le recouvre de son couvercle en argile, et on donne le vent. Au bout de trois heures et demie, le métal est recouvert d'une couche mince de scories, au-dessus desquelles surnage l'excédant de graphite; la perte en graphite s'élève alors jusqu'à 0ᵏ,10. Le métal a un faible moiré longitudinal, un fond clair, et, si le graphite est de bonne qualité, un certain reflet. En prolongeant la fusion pendant quatre heures, il se perd jusqu'à 0ᵏ,15 de graphite, et le métal prend un moiré ondulé; si elle dure quatre heures et demie, la perte en graphite s'élève jusqu'à 0ᵏ,20, et le moiré est de grandeur moyenne. A ce moment, le creuset commence à s'affaisser, et il faut arrêter l'opération ; mais si cet affaissement est peu sensible, on continue la fusion pendant une demi-heure de plus : la perte en graphite atteint alors 0ᵏ,30; le moiré est réticulaire et de grandeur moyenne; la quantité de scories va jusqu'à 0ᵏ,20. Quand on voit que le creuset a bien gardé sa position pendant cinq heures, et que la grille du fourneau n'est pas assez obstruée de scories pour porter obstacle au passage du vent, on prolonge encore la fusion pendant une demi-heure ; en ce cas, la perte en graphite s'élève quelquefois jusqu'à 0ᵏ,40 et plus, et la quantité des scories à 0ᵏ,30 et 0ᵏ,40 et même davantage; le métal acquiert alors un moiré plus ou moins prononcé, réticulaire et quelquefois chevronné.

Si le graphite n'est pas de qualité particulièrement bonne, le métal est rarement susceptible d'être forgé. En employant du graphite de creusets de Passau : il ne faut pas en mettre plus de 0ᵏ,40 (1/12ᵉ), pour que le métal reste malléable; le moiré est, dans ce cas, de grandeur moyenne. Si l'on diminue la quantité de graphite jusqu'à 0ᵏ,30 (1/16ᵉ), on obtient un damas réticulaire à moires fines.

Ainsi pour obtenir le meilleur damas, il faut :

1° Un charbon qui donne le moins de crasses possible; celui de pin, par exemple;

2° Un fourneau construit avec les matériaux les plus réfractaires;

3° Des creusets extrêmement réfractaires et non susceptibles de se fendre;

4° Un fer de la meilleure qualité, très malléable et très ductible;

5° Du graphite natif pur, ou le meilleur graphite de creusets;

6° Du quartz calciné, ou mieux de la dolomie;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

7° Une très haute température ;
8° Une fusion aussi prolongée que possible.

Quand la fusion est terminée et que le charbon est entièrement consommé jusqu'à la base du creuset, on arrête le vent ; on laisse le creuset dans le fourneau jusqu'à ce qu'il soit froid ou au moins noir ; on enlève le couvercle, on retire le résidu de graphite ; on brise les scories et l'on extrait le culot. Lors de son refroidissement, le damas prend une surface parfaitement unie, ou présente près du centre une dépression dans laquelle la cristallisation est plus marquée et plus enchevêtrée que partout ailleurs : cette dépression constitue le *retrait*. Les damas qui n'ont point de reflet, et surtout les damas durs, sont ceux qui donnent lieu au retrait le plus considérable. Si un culot dur, dont la surface n'est pas brillante, n'a aucune dépression apparente, on doit s'attendre à trouver une chambre dans l'intérieur du métal ; le damas s'est, dans ce cas, refroidi beaucoup plus vite extérieurement qu'intérieurement. De pareils culots ne peuvent se forger, et le damas qu'ils produisent est de qualité très inférieure, fût-il couvert du plus fort moiré.

Travail de la forge. On forge le culot de damas, qui pèse environ 5k, avec un petit marteau à queue pesant 40k. Le culot est chauffé jusqu'au rouge-clair, et posé sur l'enclume par sa large base. On commence par faire marcher le marteau très lentement, en tournant le culot toujours dans le même sens ; il faut deux hommes pour cette opération. On donne de trois à neuf chaudes. Si l'alliage ne s'est pas gercé, on le fend en trois parties avec des ciseaux. Plus le damas est lent à se forger et net à se fendre, meilleure est sa qualité. Chacun des morceaux est reforgé au marteau, et amené à l'état de massiau régulier, puis ensuite à l'état de barre ; le meilleur métal est celui qui met le plus de temps à se refroidir sous le marteau. Les bons damas, quelle que soit leur dureté, ne passent que deux fois au feu pour être convertis de massiaux en barres, ils peuvent même s'étirer à froid sans gerçures, et s'échauffent alors jusqu'au rouge sous le marteau. Si l'on chauffe une partie de la barre au blanc, elle perd sa malléabilité et s'émiette, quand le damas est dur ; s'il est tendre, elle perd son moiré. On peut juger par là de l'attention que réclame le rechauffage de la part du forgeron.

Façon des objets. Le damas forgé en barres présente de petites irrégularités et des gerçures superficielles. On doit, pour acquérir toute certitude sur la bonne qualité des objets à fabriquer, commencer par affiler les barres et y faire des marques indiquant le dessus et le dessous du culot ; car le dessous a toujours un moiré plus régulier que le dessus, et doit par conséquent former de préférence le tranchant de l'objet. La façon des objets de damas est d'ailleurs la même que celle des objets de tout autre acier ; il faut seulement avoir soin de chauffer aussi peu que possible et de ne point dépasser le rouge-clair ; le rouge-cerise est même suffisant pour la dernière chaude.

Trempe. Tout damas, et en général tout acier, chauffé et brusquement refroidi, augmente de dureté, mais devient en même temps cassant comme du verre. Cette fragilité ne permet pas d'employer l'acier à l'état le plus dur ; car, sauf les limes de serrurier, il n'y a point d'outils dont l'emploi ne nécessite un effort supérieur à la cohésion que la trempe laisse subsister entre les molécules de l'acier.

Pour diminuer la fragilité du métal, tout en conservant autant que possible la dureté que la trempe lui fait acquérir, on chauffe l'acier trempé, mais à une température beaucoup moindre que lorsqu'il s'agit de le soumettre à la trempe. A mesure que le métal s'échauffe, sa cohésion augmente et sa dureté diminue. La destination de l'objet indique le degré de chaleur qu'il faut donner, et les couleurs que prend le métal servent à connaître ce degré. Les principaux degrés de chaleur sont : le jaune, le violet, le bleu et le vert ; le jaune et le degré inférieur ; au vert, le métal commence à perdre de son élasticité.

Les objets qui exigent le plus de dureté sont recuits au jaune-paille, et ceux qui exigent le plus d'élasticité, au bleu. Mais si le métal n'est pas de qualité supérieure, on tâche de l'améliorer, dans le premier cas, en chauffant au violet, et dans le dernier cas en chauffant au vert. Le violet est la température que demandent les ciseaux ; le vert convient pour les faulx.

Les damas de médiocre dureté sont trempés, selon le genre et la destination des objets, dans l'eau ou dans la graisse ; les damas les plus durs sont trempés de préférence dans la graisse. Toutes les armes sont trempées dans la graisse presque bouillante ; la graisse chaude est plus fluide que la graisse froide, se meut plus rapidement autour de l'objet chauffé qu'on y plonge, refroidit plus vite ce dernier, et donne, par conséquent, une trempe plus dure.

Après avoir chauffé au rouge l'objet qu'on veut tremper, on le plonge dans la graisse chaude, et après l'y avoir laissé refroidir, on le sort du bain, on l'essuie et on le nettoie d'un côté avec une pierre à aiguiser, afin de mieux juger de la couleur à laquelle il convient de le recuire. On le réchauffe au-dessus du charbon, en ayant soin de donner la couleur convenable à la chaude. Ainsi, lorsqu'on trempe une lame de sabre, on la chauffe au vert près de la poignée, au bleu à son extrémité, au violet à son milieu et au jaune vers le tranchant. Elle est ensuite redressée au marteau, affilée et plongée encore chaude dans l'eau froide. Si l'on veut augmenter l'élasticité de l'arme aux dépens de sa dureté, on chauffe au bleu et le milieu et le bout de la lame. Il est bon, pour augmenter la dureté du tranchant, de passer préalablement la lime sur ce dernier ; car un objet mince se trempe généralement plus dur qu'un objet épais. Quelques instruments, et notamment les rasoirs, se trempent dans l'eau ; d'autres, comme les faulx, n'ont besoin que d'être agités dans un rapide courant d'air.

Affilage et polissage. Quoique ces deux opérations soient exactement les mêmes pour le damas que pour l'acier, nous croyons cependant utile d'indiquer ici quelques précautions relatives à l'affilage et au polissage des objets qui exigent une dureté et un tranchant particuliers ; ces précautions sont d'ailleurs généralement peu connues.

L'affilage sur des grès ou pierres à aiguiser modifie le degré de la trempe, surtout pour les objets minces. Ainsi, quand on affile des lames sur des pierres à aiguiser sèches, on est obligé de leur rendre leur élasticité, en les réchauffant, après l'affilage, jusqu'au bleu et les plongeant dans l'eau ; c'est ce qu'on appelle *bleuir*. La nécessité de cette opération vient de ce que dans l'affilage les lames passent par places au vert, température à laquelle l'acier perd son élasticité. Les objets dans lesquels la solidité du tranchant est plus utile que l'élasticité doivent être affilés sur des pierres constamment arrosées d'eau. Mais il faut que l'affluence de l'eau soit suffisante et que l'objet ne soit pas trop fortement pressé contre la pierre ; sinon on perd tout le fruit de cette précaution, et l'objet perd sa fermeté et s'émousse rapidement. Telle est l'explication des qualités différentes qu'on observe entre des rasoirs faits du même acier.

Le polissage exerce la même influence que l'affilage sur la qualité des objets, si l'objet reste appliqué quelque temps au même endroit contre le disque de polissage, il s'échauffe trop, et l'ouvrier ne peut guère même s'en apercevoir, car l'émeri efface immédiatement la couleur bleue qu'a prise le point trop chauffé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le polisseur évite cet inconvénient en promenant constamment sur le disque l'objet qu'il polit. Quand on donne un grand poli, les mêmes inconvénients se reproduisent encore plus souvent, surtout pour les objets minces, et notamment à leur tranchant. Les rasoirs peuvent donc ainsi être altérés sans remède. Il vaut donc mieux ne pas donner un haut poli aux objets qui exigent de la fermeté et du tranchant. Les objets de damas n'ont point besoin d'un fort poli; car après le décapage, ce fort poli n'améliore ni le fond ni les dessins du moiré : il suffit de polir ces objets à l'émeri fin, délayé dans l'huile.

Décapage. Il est impossible de reconnaître la qualité du damas sans le décaper. Tous les acides qui attaquent le fer attaquent aussi le damas; mais pour décaper ou faire apparaître le moiré, il faut agir sur le fond plus que sur le dessin. Il semble, au premier coup d'œil, que le choix de l'acide soit indifférent et qu'il suffise de l'étendre au point où il ne corrode que le fond, et respecte les dessins dont la structure résiste davantage à la dissolution. Mais tous les acides ne peuvent pas être employés avec un égal succès; les uns n'agissent que sur le fer et laissent le carbone tel qu'il se trouve dans le métal; les autres attaquent et le fer et le carbone. L'acide nitrique, par exemple, en dissolvant le fer, attaque aussi le carbone, et enlève au fond l'éclat et le reflet propres aux damas; l'acide sulfurique, au contraire, dissout le fer sans attaquer le carbone, et respecte l'éclat et le reflet du fond, surtout quand on l'emploie non pas à l'état libre, mais à l'état de sulfate. Le sulfate de fer de Perse, qui paraît contenir une certaine quantité de sulfate d'alumine, passe pour le meilleur mordant qu'on puisse employer au décapage des lames. Pour 1 litre 1/2 d'eau, on emploie jusqu'à 0k,10 de vitriol vert.

La lame qu'on veut décaper doit être parfaitement propre et purgée de toute huile ou de toute autre matière grasse. En conséquence, on la nettoie préalablement au moyen de cendres fines avec de la lessive, et on la lave ensuite dans de l'eau pure; on la plonge dans la dissolution de mordant chaude, ou bien on l'arrose de ce dernier en la tenant au-dessus du vase qui le renferme. Quand les moires et le fond se sont développés, on sort la lame, on la lave à plusieurs reprises avec de la lessive et de l'eau froide, et on l'essuie légèrement et rapidement avec un chiffon de toile sec. Cette opération ne dure pas plus de 10 minutes et quelquefois moins, si la dissolution de vitriol est forte.

Les moires apparaissent très promptement sur le damas, mais on prolonge quelque temps l'action du mordant, afin qu'elles ressortent d'une manière plus tranchée sur le fond, lequel perd en même temps toutes traces du polissage, et acquiert ainsi la couleur et le reflet propres au damas. D'un autre côté, si l'on prolonge trop l'opération, le fond perd son éclat et les moires leur couleur, le métal devient plus foncé, et si l'on va plus loin encore, le moiré disparaît totalement. Quoique le nettoyage à la cendre puisse faire reparaître le moiré, le fond n'en reste pas moins fortement corrodé et montre une surface matte; aussi, si le métal ne manifeste au premier effet de l'acide ni fond de couleur foncée, ni reflet, on ne pourra les y faire naître ni en plongeant ni en recommençant l'opération. Il faut avoir soin, en essuyant la lame, de ne point toucher un endroit essuyé à sec avec le chiffon humide, car cette place prendrait une irisation qui nuirait à la beauté du moiré. En général, le décapage demande beaucoup d'expérience et d'adresse.

Quelques acides végétaux produisent tout aussi bien le moiré que le sulfate de fer et sont d'un emploi beaucoup plus simple. Il suffit d'humecter l'objet avec du jus de citron ou avec du vinaigre de bière ordinaire, de le laver après l'apparition du moiré avec de l'eau froide, et de l'essuyer à sec avec un chiffon.

Les lames décapées sont enduites d'huile d'olive pure et essuyées de nouveau à sec; cet enduit les préserve de la rouille, même dans un endroit humide.

Prix de revient et usage du damas. A Zlatoust, le damas fabriqué par les procédés que nous avons indiqué, s'élève, y compris le travail de la forge, à 12f 50 le kilogramme.

Les récits faits par les voyageurs, sur la qualité de quelques damas asiatiques, ne sont nullement aussi exagérés que plusieurs métallurgistes modernes l'ont cru jusqu'à ce jour. Il est exact qu'on peut, avec un damas réticulaire ou chevronné, à grandes moires et à reflet doré, couper facilement dans l'air un fichu de gaze; M. Anoçoff a lui-même réussi dans cette expérience avec ses damas. On n'en saurait faire autant avec une lame d'acier fondu anglais; à peine peut-elle couper une étoffe de soie. On rapporte que les damas coupent des os, des clous, etc., sans s'ébrécher; le fait est vrai; mais il faut que le sabre soit fait de bon damas, trempé et recuit au point convenable. Une bonne lame de damas, trempée au même point qu'une lame d'acier, entaillera toujours cette dernière sans s'ébrécher. Une lame d'épée faite de bon damas, régulièrement affilée et convenablement trempée, ployée à la manière ordinaire, s'échappe sous la flexion et se redresse instantanément. Si même on pose le pied sur le bout et qu'on la courbe à angle droit, elle ploie sans se briser, et reprend, quand on la redresse, toute son élasticité première. Quel est l'acier qui jouirait d'une pareille propriété? Un rasoir de bon damas, exempt de défauts, fera au moins deux fois plus d'usage que le meilleur rasoir anglais.

En général, tout objet qui exige de la force et du tranchant doit être fait en damas dur, c'est-à-dire en damas qui manifeste le moiré avant le décapage, et tout objet qui demande de l'élasticité doit être fait de préférence avec le damas tendre, qui se prépare avec une moindre proportion de graphite. Il va sans dire que chaque genre de damas doit être d'aussi bonne qualité que possible; il ne suffit pas qu'il porte un moiré longitudinal.

Dans l'Inde, au lieu d'employer du graphite pour carburer le fer, on se sert de matières végétales (bois et feuilles d'arbres), comme nous l'avons décrit à l'article ACIER (*wootz* indien); le damas ainsi obtenu est trop dur pour se laisser étirer au marteau, aussi lui fait-on d'abord subir un recuit prolongé qui lui donne la malléabilité nécessaire.

M. Bréant a proposé depuis longtemps de fabriquer de l'acier damassé, en fondant du fer avec du noir de fumée; M. Anoçoff, qui a répété ces expériences, a trouvé que l'acier ainsi fabriqué présentait un moiré fort différent de celui du véritable damas, et lui était de beaucoup inférieur sous le rapport de la qualité.

M. Faraday a reconnu le premier, qu'il suffit d'allier à l'acier une très faible quantité d'autres métaux pour obtenir des aciers damassés. Tout le monde a pu admirer à l'Exposition de 1849 les magnifiques lames obtenues, par M. le duc de Luynes, en alliant à l'acier une faible quantité de tungstène, de molybdène, etc. Néanmoins les aciers ainsi obtenus ne présentent pas le même genre de moiré que le véritable damas oriental, et ne le valent pas sous le rapport de la qualité. Disons encore un mot des recherches de M. Anoçoff à cet égard :

Le manganèse allié à l'acier en petite quantité et jusqu'à 1/200e n'en modifie point sensiblement les propriétés apparentes; au delà de 1/400e, il rend l'acier dur, cassant et à gros grains. L'alliage poli et décapé, prend un moiré à peine discernable dans le premier cas, et un moiré fin dans le second cas. On remarque en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

outre quand on passe de la première à la seconde proportion, que le fond du moiré varie du gris au brun.

Les aciers chrômifère et titanifère s'obtiennent en ajoutant au fondant du fer chrômé ou du fer titané. Le chrôme et le titane fournissent, sous plusieurs rapports, les mêmes résultats que le manganèse. Ils rendent également l'acier plus cassant à mesure que l'on en augmente la proportion, et donnent lieu, pour la nature du moiré, à des observations du même genre. Le chrôme et surtout le titane gâtent pourtant moins l'acier que le manganèse, et à proportion égale, l'acier prend avec le chrôme un plus beau poli qu'avec le manganèse. Les dessins donnés par le chrôme sont également plus beaux que ceux donnés par le manganèse, et ils rappellent plus que tous les autres la disposition des dessins du damas; de là vient sans doute que M. Berthier a cru pouvoir considérer l'acier allié de chrôme comme du damas. Le chrôme donne au fond une teinte foncée; le titane le rend violet, ce qui permet de reconnaître facilement la présence de ce métal dans l'acier.

En général, le manganèse, le chrôme et le titane nuisent moins à l'acier que le calcium, le silicium, le magnesium et l'aluminium. La présence de 1/50e de ces derniers métaux enlève à l'acier sa malléabilité. Il n'en est pas de même, si on remplace l'acier par du fer doux; dans ce cas, l'alliage reste encore plus ou moins malléable.

L'acier allié de 1/367e à 1/90e d'argent se distingue de l'acier ordinaire par sa malléabilité et sa grande dureté. Cet acier est dans sa cassure plus blanc que l'acier ordinaire, mais le polissage et le décapage à l'acide n'y déterminent point un moiré uniforme. En augmentant la proportion de l'argent, on ne réussit qu'à faire naître par places de petites raies irrégulières, ce qui semble prouver que l'argent ne s'allie pas chimiquement avec le fer, du moins en quantité notable. L'acier argentifère se rouille moins facilement que l'acier ordinaire; cet avantage payerait et au-delà le supplément de valeur dû à la présence de l'argent, si cet acier était employé pour certains objets, et notamment pour les pièces d'horlogerie. Les alliages de l'acier avec les autres métaux examinés précédemment se rouillent au contraire plus facilement que l'acier pur.

L'allinge d'or et d'acier est plus tendre que l'acier ordinaire, soit à la forge, soit à la trempe. On ne peut même en portant à 1/200e la proportion de l'or, faire prendre à l'acier aucun moiré apparent; l'addition de ce métal ne fait que lui communiquer un reflet jaunâtre.

L'acier platinifère prend un moiré fin, assez uniforme, et conserve en général la couleur du platine. Il prend un très beau poli, est dur et de bonne qualité.

Enfin il nous reste, pour terminer cet article, à parler des aciers damassés obtenus par le procédé de Clouet et Hachette. Ce procédé s'exécute comme nous l'avons décrit à l'article ARMES A FEU, en parlant des canons rubannés et damassés, en soudant ensemble des trousses de petites barres ou lames d'acier, séparées quelquefois par des rubans de fer, les étirant au marteau, les tordant et les coupant ensuite pour en former une nouvelle trousse que l'on traite de la même manière, etc.; on obtient ainsi de l'acier qui présente un damassé très agréable à l'œil et très varié, mais qui ne ressemble en rien au véritable damas. P. D.

DAMASQUINURE. Art d'orner le fer, l'acier, etc., en faisant des incisions à la surface, et les remplissant avec des fils d'or ou d'argent; on l'emploie principalement pour enrichir les lames de sabre, les gardes, les poignées, les platines de pistolet, etc.

Son nom indique son origine, ou, du moins, l'endroit où on l'exerce avec la plus grande perfection; c'est-à-dire, la ville de Damas, en Syrie; M. Félibien attribue le perfectionnement de cet art à notre compatriote, Cursinet, qui vivait sous le règne de Henri IV.

La damasquinure est un travail de mosaïque, de gravure, ou de sculpture.

Il y a deux manières de damasquiner : dans la première, qui est la plus belle, les artistes taillent le métal avec un burin ou tout autre outil propre à graver sur l'acier, et remplissent ensuite les incisions ou creux avec une petite lame assez épaisse, d'or ou d'argent; dans l'autre, qui n'est que superficielle, ils se contentent de couvrir de hachures très fines la surface de l'objet à damasquiner avec un couteau tranchant, tel que celui qu'on emploie pour faire de petites limes. Dans le premier procédé, il est nécessaire que les entailles ou incisions soient faites en forme de queues d'aronde, afin que le fil d'or ou d'argent qu'on y insinue de force puisse y tenir plus solidement. Dans le second, qui est le plus en usage, on agit comme il suit :

Après avoir échauffé l'acier jusqu'à ce qu'il devienn bleu ou violet, on le hache en long et en travers avec l couteau, puis on dessine la figure ou ornement qu'on se propose d'y faire, sur les hachures, avec une pointe fine de cuivre ou poinçon. Cela fait, on prend un fil d'or, et le conduisant on le chassant selon les figures déjà dessinées, on l'enfonce avec précaution dans les hachures du métal avec un *repoussoir* de cuivre, puis avec ce même instrument, ou un autre qui lui ressemble et qu'on nomme *mattoir*, on refoule sur le fil inséré les bavures qui se sont levées lors du passage du burin. L'or acquiert par simple pression une adhérence suffisante pour tenir solidement sur le fer ou l'acier.

DANAIDE. Genre de roue hydraulique inventée par M. Manoury d'Ectot. Voyez HYDRAULIQUE.

DATHOLITE. Chaux boratée siliceuse, boro-silicate de chaux ; minéral assez rare.

DÉ A COUDRE. (*angl.* thimble, *all.* fingerhut). On fait les dés à coudre en os, en ivoire ou en métal. Cette fabrication n'offre quelque intérêt que par les procédés ingénieux de MM. Roux et Berthier, qui ont réussi à faire les dés d'acier avec une rare perfection, et à très bon marché. On taille à l'emporte-pièce des disques de 5 centimètres de diamètre dans de la tôle de fer; on les fait rougir, et on les frappe au centre avec un poinçon sur des tas creusés de trous différents, afin de les emboutir et de leur donner la forme de dés. On taille ces dés, on les polit au tour, et l'on y imprime de petits trous régulièrement distribués; en se servant d'une double roulette qu'on appuie à la surface.

On cémente ensuite les dés, on les trempe, on les décape, on les fait revenir au bleu, et on les double en or; c'est-à-dire qu'on introduit dans chacun d'eux un dé en or très mince, qu'on y force avec un mandrin d'acier poli; cette doublure tient au dé comme si elle y avait été soudée. Enfin, le bord a reçu une rainure où l'on engage l'anneau, bande mince en or qu'on fait entrer juste dans la rainure.

DÉCOLORIMÈTRE. Voyez NOIR ANIMAL.

DÉCOUPOIR. Le découpoir sert à faire vite et avec beaucoup d'économie des pièces plates ayant une forme donnée; on doit l'employer toute les fois que l'on a à fabriquer un grand nombre de pièces ayant toutes les mêmes formes. Il est la cheville ouvrière de certaines industries, et est employé accidentellement dans beaucoup d'autres. Il se compose ordinairement d'un outil nommé *emporte-pièce* ou *piston*, ayant la forme du morceau à enlever et qu'on fait pénétrer dans la matière à découper, soit à coups de marteau, soit au moyen d'une vis ou d'un levier analogue à ceux que l'on emploie dans les presses.

Le marteau suffit toutes les fois que les matières à découper ont peu d'épaisseur et peu de résistance; comme le cuir, le papier, les peaux, les toiles. Les presses et les leviers s'emploient lorsqu'on travaille le fer blanc, les tôles d'acier, de cuivre ou de fer. L'outil employé s'appelle *emporte-pièce* lorsque, suivant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un dessin quelconque, il cerne la pièce qu'il emporte, on lui donne le nom de *couteau*, toutes les fois qu'il enlève des morceaux non cernés et qui tombent comme rognures. Si l'on veut emporter un disque circulaire dans un carré dont le côté soit plus grand que le diamètre du disque ; on emploie l'emporte-pièce soit qu'on veuille produire le disque plein, soit qu'il s'agisse de fabriquer le carré, ayant en son milieu le trou circulaire. Si le carré a pour côté le diamètre du disque et que ce soit ce disque qu'on se propose d'obtenir, on emporte avec un couteau les quatre angles du carré.

Les couteaux et les emporte-pièces se font en acier ; la partie qui coupe est seule trempée dure. Pour les matières tendres, on fait revenir gorge de pigeon, pour les matières dures, jaune-d'or les parties du tranchant et bleu le reste.

On affûte l'outil de différentes manières. Quand la matière à enlever est dure et qu'on doit ensuite la travailler à la lime, on fait le biseau double ; d'autres fois on le laisse vertical d'un côté et incliné de l'autre, le côté incliné doit toujours se trouver du côté de la matière que l'on rejette.

Quand on agit au balancier, la forme de l'emporte-pièce n'est plus la même ; il prend alors le nom d'étampe ou de piston. Les ébauches des montres qui s'emportent dans des feuilles de laiton laminé, se font au moyen d'étampes et de contre-étampes ; il en est de même de toutes les pièces plates qui entrent dans la composition d'une serrure. Le balancier qu'on emploie dans cette fabrication est une vis verticale, terminée à sa partie supérieure par une forte traverse, à l'extrémité de laquelle sont placées deux boules ordinairement en plomb ; un ou deux hommes communiquent à cette traverse un mouvement de rotation. La vis fait alors descendre un piston guidé verticalement, et à l'extrémité inférieure duquel se trouve l'étampe, pièce en acier ayant exactement en relief la forme de la pièce que l'on veut obtenir. La contre-étampe est aussi en acier ; elle est fixée solidement au-dessous de l'étampe et porte en creux la forme de la pièce. On place au-dessus la feuille de laiton, on fait marcher le balancier ; l'étampe emporte d'abord la pièce dans la feuille, puis la comprime très fortement dans la contre-étampe au moyen de la secousse communiquée par les boules de plomb, qui en s'arrêtant brusquement exercent sur le métal une pression très forte qui le tasse et l'écrouit. On fait sortir la pièce de la contre-étampe au moyen d'une petite tige placée dans un trou pratiqué sur le fond, et qu'on soulève en même temps qu'on détourne le balancier ; cela fait, on repousse la feuille de laiton sur la contre-étampe et l'on forme une seconde pièce au moyen d'un second coup de balancier.

On découpe aussi des pièces au moyen d'un *piston* mobile qui entre exactement dans une *lunette* placée au-dessous de lui, et sur laquelle on place les feuilles de métaux à découper. La lunette diffère de la contre-étampe par sa forme intérieure : le trou est prolongé inférieurement, et la pièce emportée par le piston passe au travers et tombe en dessous ; le métal n'est donc pas écroui, il est tout simplement emporté. Ce découpoir s'emploie principalement pour travailler des feuilles épaisses de métal. Le piston est mu quelquefois par un balancier à vis, mais le plus souvent par un levier auquel le mouvement est communiqué tantôt par des hommes, mais le plus souvent par un moteur hydraulique ou à une machine à vapeur. Ce découpoir est surtout employé pour faire dans les feuilles de tôle destinées à la fabrication des chaudières, les trous où doivent passer les rivets (voyez CHAUDRONNERIE). On s'en sert aussi pour la fabrication des écrous : on place d'abord sur la machine un piston et une lunette hexagonale, on découpe dans des feuilles des prismes à six pans de l'épaisseur du métal, puis on perce des trous dans ces prismes au moyen d'un piston circulaire ; cela fait, on les fait encore passer à travers une autre lunette hexagonale très régulière, et un peu plus petite que celle qu'on avait d'abord employée. Le piston se compose d'un hexagone ayant la même forme que le trou de la lunette, et du milieu duquel sort un petit cylindre où on place le trou de l'écrou ; on fait alors marcher le piston. L'écrou, auquel il ne reste presque plus rien à enlever, passe à travers la lunette où il devient très régulier, surtout si l'on a eu soin de faire la lunette cylindrique intérieurement à une certaine profondeur ; le frottement contre les parois suffit pour rendre les faces bien unies. DUBIED.

DÉGRAISSEUR ou DÉTACHEUR D'ÉTOFFES. L'on nomme ainsi l'industriel dont l'art consiste à enlever toute espèce de tache sur une étoffe quelconque sans en altérer le blanc ou la teinture.

Le dégraisseur nettoie, blanchit, reteint et met à neuf les étoffes salies ou altérées par l'usage ; voilà pourquoi on l'appelle aussi teinturier-dégraisseur, teinturier-apprêteur.

Mais, pour éviter des répétitions, nous ne nous occuperons ici que de la théorie et de la pratique du dégraissage ou nettoyage des étoffes, et des moyens faciles de ramener les nuances affaiblies ou inégales à une couleur uniforme. Nous renvoyons aux articles IMPRESSION et TEINTURE pour connaître la préparation des matières colorantes, et les procédés pour les fixer plus ou moins solidement sur les tissus.

Toutefois, avant d'examiner dans son ensemble l'art du dégraisseur, nous citerons les principaux auteurs qui ont écrit avant nous sur cette matière, afin que chaque intéressé puisse les consulter au besoin.

En 1776, Baumé a publié dans le *Dictionnaire universel et raisonné des arts et métiers de l'abbé Jaubert*, un article fort intéressant sur la pratique de l'art du dégraisseur. Cet article a été réimprimé depuis dans le *Manuel du teinturier-dégraisseur*, par Vergnaud (Paris, 1837).

En 1778, Berthollet et Brisson apprécièrent le mérite des procédés employés par Machanet pour remettre à neuf les vieux habits (voir le Bulletin de la Société d'Encouragement, année XXXVI, page 291).

En 1799, Homassel, chef de l'atelier des teintures à la Manufacture royale des Gobelins, a publié un *Traité théorique et pratique de la teinture, suivi de l'art du teinturier-dégraisseur*. La troisième édition de cet ouvrage, imprimée en 1818, a été revue, corrigée et augmentée par les savants chimistes Bouillon-Lagrange et Roard.

Dans la même année, l'illustre Chaptal, l'un des fondateurs de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, a lu à l'Académie des sciences un mémoire très savant *sur la théorie chimique de l'art du dégraisseur*. Ce mémoire, très remarquable par la précision et la clarté de ses explications, a fourni depuis à plusieurs auteurs tous les documents nécessaires pour écrire sur la théorie du dégraissage (voir le tome VI des Mémoires de l'Académie des sciences).

En 1818, Cadet Devaux fit un rapport à la Société d'Encouragement *sur les moyens employés par M. Cotin pour enlever les taches sur les uniformes de drap blanc*.

Depuis cette époque, plusieurs technologistes distingués, parmi lesquels nous citerons MM. Séb. Lenormand, Julia de Fontenelle, E. Martin, ont publié des manuels sur la pratique de cette industrie, qui est aujourd'hui fort répandue.

Enfin, M. Voymant, teinturier à Épinal, a fait imprimer, en 1833, un petit vol. in-12 ayant pour titre : *Véritable manuel pratique du dégraisseur, ou l'art d'apprendre soi-même à dégraisser et à remettre à neuf les tissus, contenant les procédés les plus nouveaux et les plus précieux que la chimie, l'expérience et la pratique, aient*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pu nous fournir jusqu'à ce jour, tels que la manière d'enlever toutes sortes de taches sur quelques couleurs que ce soit, sans aucune altération, de même que pour nettoyer ou remettre à neuf toutes sortes d'étoffes des couleurs les plus délicates, sans les endommager aucunement; blanchissage des chapeaux de paille, etc.

C'est dans ce dernier ouvrage surtout que nous avons trouvé les renseignements qui nous paraissent les plus simples et les plus utiles à connaître. M. Voymant, cependant, n'a rien inventé, rien innové, mais il a décrit avec exactitude et sincérité tous les procédés pratiques de son métier.

Les principes généraux de l'art du dégraissage étaient déjà connus et pratiqués par les peuples de l'antiquité. Ainsi le prophète Jérémie parle de se laver avec le *nitrum*, et de se purifier avec une grande abondance d'herbe de borith (chap. II, v. 22). Malachie s'écrie en prédisant le Messie : « Et qui pourra subsister quand il paraîtra ? car il sera comme le feu de celui qui raffine et comme l'herbe des foulons. » (Chap. III, v. 2.)

Or, il paraît indubitable que le *nitrum* n'est autre chose que le *natrum*, en français natron (sesqui-carbonate de soude), qui nous vient des plaines qui bordent la mer Noire, et de celles qui entourent la mer Caspienne, de la Perse, de l'Arabie, de l'Inde, du Thibet, de la Chine, de la Sibérie, et principalement d'Égypte, où on l'emploie depuis un temps immémorial pour remplacer le savon (voir l'*Encyclopédie méthodique*, art. Natrum).

A l'égard de l'herbe de borith de Jérémie, les meilleurs interprètes pensent que cette plante est la même que l'herbe des foulons de Malachie. Du reste, les propriétés de ces deux plantes sont identiquement les mêmes, et les descriptions qu'en donnent tous les auteurs de l'antiquité, les annoncent comme des herbes dont on se servait alors pour dégraisser et blanchir les laines (1). C'est la même plante appelée *struthion* par les Grecs (Pline, liv. XXIV. sect. 48), en latin *radicula* ou *herba lanaria* (Pline, liv. XIX. sect. 48). Les anciens peuples de l'Arabie l'ont nommée *herba fullonum* (herbe des foulons); les modernes l'appellent, dit Leonarth Fousch (2), *saponaria* (saponaire) (3), parce qu'ils s'en servent comme de savon pour ôter les taches des robes et pour dégraisser les laines (Dioscoride, liv. II, chap. 193).

Pline indique l'emploi de la craie pour dégraisser les vêtements. « On estimait, dit-il, surtout la craie de Thessalie ; on en trouve en Lycie, dans les environs de Bubon. La cimolie sert aussi pour le dégraissage des vêtements. Celle qu'on apporte de Sardaigne, et qu'on nomme ainsi sarde, n'est bonne que pour les tissus blancs, et n'est d'aucun usage pour ceux de couleur ; c'est la moins estimée des cimolies. Celle qu'on tire de l'Ombrie, et qu'on nomme cimolie en pierre, vaut mieux. Cette dernière a ceci de particulier, qu'elle grossit en se macérant. Elle se vend au poids, la sarde à la mesure. La cimolie d'Ombrie n'est employée qu'à lisser les tissus. »

Il ajoute sur le blanchiment des laines par le soufre :

(1) Dans l'empire romain, on nommait *candidats* les individus qui aspiraient aux emplois publics ; ce nom leur fut donné à cause de la robe blanche qu'ils portaient, et que l'industrie du foulon avait rendue éclatante ; car le blanc était la couleur favorite des Romains opulents, malgré les prohibitions prononcées par les anciennes lois (Tite-Live, liv. IV, p. 25).

(2) Commentaires sur les plantes connues des anciens, 1549.

(3) Pourtant M. Jaubert, qui amena les chèvres du Thibet ou de Cachemire en France vers le commencement de ce siècle, rapporta d'Asie, comme une nouveauté, cette herbe connue sous le nom de *ischkar*, ou saponaire d'Orient, et presque tous les dégraisseurs s'en servent aujourd'hui pour nettoyer les châles.

« Nous ne dédaignons pas d'entrer dans ces détails parce qu'il existe une loi *metetia*, relative aux foulons, proposée à la sanction du peuple par les censeurs Flaminius et L. Emilius, tant nos ancêtres mettaient de soins à tout. Voici comment on procède : d'abord on lave l'étoffe à l'aide de la sarde, on l'expose à la fumigation du soufre, On fait tomber le premier enduit avec la vraie cimolie ; la fausse se reconnaît à ce qu'elle noircit et se décompose par l'action du soufre. La vraie cimolie rend plus tendres et plus gaies les belles et riches couleurs que semblaient avoir ternies le soufre. Pour les étoffes blanches, on fait succéder au soufre la pierre cimolienne (4), qui est ennemie des couleurs. A la cimolie, les Grecs substituent le gypse de Tymphée. » (Pline, liv. XXXV, sect. 57.)

On peut donc dire avec quelque exactitude aujourd'hui, que si les anciens ne connaissaient pas le savon pour nettoyer et blanchir leurs vêtements, ils y suppléaient parfaitement au moyen de différentes sortes de terres et de plantes savonneuses (2).

Au résumé, on remarque que si le savon blanchit fort bien les tissus blancs, il altère aussi plus ou moins les tissus colorés ; le savon décreuse, *creuse* et *vrille* très souvent les étoffes de laine et de soie, à cause de l'alcali qu'il contient et qui agit sur les filaments en les dissolvant ; il les rend certainement moins souples et moins brillants qu'ils ne le sont après le nettoyage par la saponaire, à la manière des Grecs et des Persans (3). En effet, la décoction de la racine de cette plante contient une partie mucilagineuse qui adhère aux tissus, et suffit ainsi pour leur donner de l'éclat, voire même de la souplesse et de la solidité.

Maintenant, revenons à la description des procédés actuels du dégraissage, et résumons d'abord les connaissances qu'exige cette profession, qui, suivant l'expression du savant Chaptal, est entièrement basée sur la chimie.

L'art du détacheur ou dégraisseur suppose :

1° La connaissance des divers corps qui peuvent tacher une étoffe ;

2° La connaissance des substances auxquelles il faut recourir, pour dissoudre et enlever les corps étrangers déposés sur l'étoffe ;

3° La connaissance des couleurs simples et composées, et leurs manières de se comporter avec les divers réactifs dont on fait choix pour dissoudre la nature de la tache ;

4° La connaissance de l'étoffe, et de la manière dont elle est affectée par les substances dont on peut se servir pour enlever les taches ;

5° L'art de rétablir une couleur altérée, ou de ramener des nuances affaiblies et inégales à une couleur uniforme.

Ce résumé nous indique naturellement la classification que nous devons observer dans nos explications.

Nature et propriétés des corps qui peuvent tacher et altérer les étoffes blanches ou colorées. Les corps qui ta-

(4) M. Ajasson de Gransagne, traducteur de Pline, dit dans une note que « la cimolie ou cimolithe a été confondue jadis avec l'argile smectique ou terre à foulon. C'est autre chose ; tenace, difficile à pulvériser, schisteuse quand elle est sèche, elle forme avec l'eau, quand on la délaie avec elle dans le rapport de 6 à 13, une espèce de crème qui sert à blanchir. Du reste, dit Tournefort, ce blanchissage est sale. »

Il résulterait donc de la description de ces propriétés que la pierre cimolienne, ou pierre de Cimole, l'une des trois Cyclades, serait tout simplement la soude crayeuse ou *natron*, que l'on a confondu pendant longtemps avec le carbonate de soude ordinaire. (Voir la Chimie de M. Dumas, t. II, p. 353.

(2) Voir Goguet, *Origines des lois des arts et des sciences*, 6e édition, 1820, t. I, p. 150.

(3) L'effet de la saponaire est connu depuis longtemps, car Pline nous dit que la résine de cette plante a la vertu de donner aux laines une blancheur et un moelleux surprenants. (Livre 19, section 18.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chent et altèrent le plus ordinairement la couleur des étoffes, sont : la pluie, l'humidité, les acides, les alcalis, les sucs de certains végétaux, les productions qui contiennent beaucoup d'acide, les sucs astringents, l'urine, la sueur, le sang, le vin, la bière, le cidre, le poiré, les décoctions d'herbes et de fruits, le café, le thé, le chocolat, les sirops, les confitures, les sucs de mûres, de cassis, de merises, les liqueurs spiritueuses, l'absinthe verte, l'huile de rose et autres, le ratafia, les compositions ferrugineuses, les huiles comestibles et à brûler, la graisse, le suif, la pommade, le beurre, la sauce de nos aliments, le bouillon, le vernis, la peinture, les résines, les gommes-résines, le bitume, les encres d'imprimerie, la cire, la bougie stéarique, l'encre, la rouille, le cambouis, la suie, les dégouttures de tuyaux de poêle et la fumée, etc.

Mais toutes ces substances, qui varient beaucoup dans leurs principes, agissent différemment sur les étoffes blanches et teintes. Dès lors, pour parvenir à reconnaître sûrement la nature des taches posées sur un tissu, il faut étudier d'abord la composition chimique des corps qui les ont produites, et la manière dont ceux-ci se comportent avec l'étoffe ; ensuite, il faut bien connaître les propriétés des agents qu'il convient d'employer pour enlever telle ou telle tache sur un tissu quelconque, sans en altérer le blanc ou la couleur.

D'après cela, on peut se convaincre, comme le dit fort bien Chaptal, « que tous les problèmes que le dégraisseur a pour but de résoudre, sont presque constamment des problèmes de chimie compliqués et très difficiles. »

Quoi qu'il en soit, il est toujours facile au dégraisseur d'atteindre le but proposé ; car la science lui fournit d'utiles renseignements et les moyens sûrs, ou à peu près sûrs, d'opérer.

En résumé, nous allons énumérer rapidement les renseignements scientifiques, afin d'éclairer la marche de la pratique.

L'eau qui tombe goutte par goutte sur certaines étoffes neuves dissout les substances gommeuses, gélatineuses ou autres, qui ont servi à les apprêter. Le lustre disparaît par place, et la surface de l'étoffe présente de petites taches plus ou moins espacées entre elles, et qui paraissent d'une couleur plus foncée que celle du fond. Toutefois, pour prévenir cet accident (1), on prend la précaution de délustrer entièrement l'étoffe avant de l'employer à un usage quelconque. Cette opération, que l'on nomme décatissage, s'effectue tout simplement en appliquant, d'une manière uniforme, l'eau ou la vapeur d'eau sur la surface de l'étoffe, ou bien on expose celle-ci pendant un ou deux jours au plus dans un endroit humide.

Certaines étoffes apprêtées, principalement les soieries, lorsqu'elles restent longtemps dans un endroit humide et peu aéré, prennent des taches ou piqûres. Les taches se forment d'abord par la putréfaction du principe mucilagineux de l'apprêt ou de la soie elle-même, uni à une certaine quantité d'eau, ensuite elles se développent par la décomposition de la matière colorante appliquée sur l'étoffe. Dans ce dernier cas, les taches sont très difficiles à enlever par les procédés connus.

Les acides minéraux attaquent aisément tous les tissus sans exception, presque toujours en opérant sur eux une véritable combustion ; pourtant ils n'altèrent le lin, le chanvre, et le coton, que quand ils sont concentrés.

Les acides affaiblis par l'eau changent, nuancent, modifient, altèrent ou détruisent la plupart des couleurs dites faux teint, sur quelque étoffe que ce soit, voire même quelques couleurs réputées bon teint. *Ils rougissent les bleus* végétaux en faux teint, le noir surtout, lorsqu'il entre dans sa composition du bois de Campêche et des préparations de fer, et généralement toutes les nuances obtenues sur la laine avec l'orseille et les astringents. Ils rosent le ponceau, avivent et éclaircissent le bleu indigo, le bleu de Prusse, et en partie les rouges formés par les bois de Brésil et de Fernambouc.

Certains acides minéraux détruisent les tons clairs de l'orangé-jaune, du jaune, et du jaune-vert, et pâlissent les tons foncés de ces mêmes couleurs. Ils font passer au bleu certains verts. Ils jaunissent les brun-rouges, les violets à l'orseille, le ponceau obtenu par la garance et le fer, le bleu produit par le bois d'Inde ou de Campêche, et le sulfate de cuivre (couperose bleue).

Les acides végétaux étant généralement peu corrosifs n'altèrent ordinairement ni les étoffes ni les couleurs ; mais le vinaigre, les jus de citron, de l'orange, de la groseille, de l'oseille, et certaines productions végétales qui contiennent beaucoup d'acide, donnent aux nuances obtenues par les préparations ferrugineuses et astringentes une couleur rouge-orangé. Ils n'ont pas d'action cependant sur l'indigo, sur les couleurs dans lesquelles entre le bleu de Prusse, sur le noir obtenu par les préparations ferrugineuses), et sur les violets faits avec la garance et l'indigo ; mais ils altèrent sensiblement les tons foncés du bleu de Prusse obtenus sur soie et remontés par l'alcali.

Les sucs astringents, nuancent, modifient, altèrent et font virer au brun-verdâtre toutes les couleurs dans lesquelles on fait entrer les oxydes de fer.

Les alcalis caustiques désorganisent complétement les tissus de laine et de soie, en dissolvant les fils, et forment un savon en se combinant avec eux.

Les alcalis fixes et purs, surtout la potasse, la soude et la chaux, détruisent généralement presque toutes les couleurs et attaquent les étoffes de laine et de soie. Ils décolorent complétement la couleur du bleu de Prusse, teinte ou imprimée sur la laine ou la soie ; mais ils n'affectent pas sensiblement les bleus indigo au pastel et tournesol.

Les alcalis modifiés avec de l'eau font tourner au violet les rouges faits au bois de Campêche ou de Fernambouc, ceux faits à la laque dont la matière colorante est d'origine végétale et montés à la cochenille. Ils jaunissent les verts obtenus sur la laine et qui ont l'indigo pour base, ainsi que toutes les couleurs composées avec les sucs astringents et les sels métalliques.

Les alcalis foncent tous les violets teints sur la laine, et les orangés-jaunes faits avec du bois de Fernambouc, en donnant à ces derniers *une teinte plus rouge ;* ils jaunissent le ponceau fin, et font tourner l'écarlate fait à la cochenille en couleur cramoisi obscur ou lie de vin.

De tout cet exposé, il résulte donc que les acides et les alcalis apportent presque sur toutes les couleurs des altérations ou des modifications directement opposées les unes aux autres ; c'est pour cela aussi que l'on dit en chimie que ces agents ont le pouvoir de se neutraliser réciproquement. Le dégraisseur, à son tour, utilise ce pouvoir, soit l'acide affaibli par l'eau pour neutraliser une tache faite par un alcali et réciproquement, soit un acide faible et même l'alcali modifié avec de l'eau pour rehausser et faire revivre des couleurs altérées.

Les urines récentes et chaudes, et surtout celles de certains animaux, altèrent les couleurs, comme le font les acides ; elles jaunissent presque toutes les couleurs, telles que le rouge, l'écarlate, le cerise, le rose, le violet à l'orseille, le bleu, le noir, et toutes les couleurs obtenues par les décoctions astringentes et les sels ferrugineux.

(1) L'apprêt, dit anglais, n'a pas à beaucoup près cet inconvénient. Il s'obtient généralement par la compression, et à l'aide d'une douce chaleur agissant simultanément sur l'étoffe légèrement humide, ou imprégnée d'un apprêt plus ou moins insoluble.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉGRAISSEUR.

Les urines anciennes qui sont devenues alcalines par la formation d'une grande quantité d'ammoniaque produisent l'effet contraire.

La sueur produit le même effet que les alcalis.

Le sang fraîchement déposé sur une étoffe blanche est d'une couleur rouge vif, et très reconnaissable. Peu à peu il perd cette couleur et devient d'une teinte rouge rabattu ou rouille qu'il conserve longtemps. Dans ces deux états, le sang se mêle, en toute proportion, avec l'eau pure qui le dissout entièrement.

Les décoctions d'herbes, de café, de thé, le chocolat à l'eau et au lait; les sirops, les confitures, les sucs de mûres, de cassis, de merises; les liqueurs spiritueuses, l'absinthe verte, colorée par une teinture d'indigo et de safran; les huiles de rose ou autres, qui sont colorées par la cochenille, etc.; le ratafia composé de merises, de sucre et d'alcool; le punch; le vin composé d'alcool et d'acide, la bière, le cidre, le poiré, et presque tous les composés d'herbes ou de fruits alimentaires forment des taches très reconnaissables par leurs couleurs propres, et qui masquent seulement celles des étoffes.

L'encre à écrire, formée ordinairement d'une infusion de noix de galle, de gomme ou de gélatine, et de sulfate de fer (voyez ENCRE), attaque certaines couleurs en les teignant en noir plus ou moins intense.

La rouille, qui n'est autre chose que du fer plus ou moins oxydé, se fixe facilement sur les tissus, et avec une telle adhésion, qu'aucun moyen mécanique ne saurait la séparer. Les étoffes de lin, de chanvre et de coton sont les plus sujettes à prendre la rouille, parce qu'étant plus faciles à être mouillées, elles ont ainsi plus d'affinité pour le fer lorsqu'il passe à l'état de rouille ou d'oxyde. C'est pour cette raison qu'il convient de bien garantir ces étoffes du contact du fer.

Le cambouis, qui est un mélange de vieille graisse et d'oxyde de fer avec d'autres substances, que nous étudierons à l'article GRAISSE DE VOITURE, masque et affecte légèrement la couleur d'étoffe qui prend une teinte plus foncée et moins vive.

Les boues des grandes villes et des routes très fréquentées, celles des fossés, des égouts, ruisseaux, mares et étangs, dans certaines localités, produisent très souvent le même effet que la rouille et les cambouis; en effet, elles sont sujettes à retenir des terres colorées, des débris de matières végétales, animales et ferrugineuses; et dans ces divers cas, elles prennent des nuances très variées qui forment sur les étoffes des taches diversement colorées.

La suie, les dégouttures de tuyaux de poêle et principalement la fumée, déposent sur les étoffes une teinte jaune-verdâtre, souvent très brune, due à de l'acide pyroligneux qui est un véritable vinaigre, lequel tient en dissolution plusieurs sels, une substance résineuse, et de l'oxyde de fer qui adhère fortement au tissu.

Les corps huileux et gras donnent d'abord aux couleurs de l'étoffe sur laquelle ils sont posés des nuances plus foncées; ils s'étendent beaucoup pendant plusieurs jours, surtout quand ils sont soumis à l'action de la chaleur. L'huile d'éclairage épurée altère souvent les couleurs à cause de l'acide sulfurique qu'elle contient toujours ou presque toujours.

Les corps gras attirent et retiennent fortement la poussière que le simple frottement de la brosse ne saurait enlever; dans cet état, les taches prennent indistinctement une nuance gris sale qui tranche avec celle de l'étoffe. Le beurre, le bouillon, la sauce de nos aliments qui retiennent toujours une certaine quantité de corps gras, produisent sur les tissus des effets analogues, quoique à un degré bien moindre.

Le vernis, la peinture à l'huile cuite, l'encre grasse d'imprimerie, la cire, la bougie stéarique, les résines, le bitume, le goudron, la poix jaune, sont très faciles à distinguer. Ces substances, d'ailleurs, ne font que couvrir et adhérer plus ou moins avec l'étoffe en se figeant sur elles; cet effet à presque toujours lieu ainsi, car ces produits tombent ordinairement sur l'étoffe sans être liquides, mais dans un premier degré de fusion et de solidité.

SUBSTANCES ET RÉACTIFS CONVENABLES POUR ENLEVER LES TACHES (1). — *L'eau pure*, froide ou chaude, ou saturée d'acides est destinée à laver ou *rincer* les étoffes, afin de les débarrasser de tous les corps étrangers et neutres qui couvrent la couleur (voyez BLANCHISSAGE).

La vapeur d'eau, qui a la propriété d'amollir les matières grasses et de faciliter ainsi leur dissolution par les réactifs.

L'acide sulfurique qui peut être employé dans certains cas, particulièrement pour aviver et rehausser les couleurs verte, rouge, jaune, etc.; mais il faut l'étendre au moins de cent fois son poids d'eau et augmenter cette dose suivant la délicatesse des nuances.

L'acide hydro-chlorique. On s'en sert avec succès pour enlever les taches d'encre et de rouille sur une grande quantité de couleurs qu'il n'altère pas sensiblement.

L'acide sulfureux. Il ne s'emploie que pour blanchir les étoffes non teintes, les chapeaux de paille, etc., et pour enlever les taches de certains fruits sur des étoffes de laine ou de soie blanche; on se sert aussi, pour cet objet, du gaz sulfureux, mais l'acide sulfureux liquide est moins dangereux.

L'acide oxalique. Son emploi est d'enlever les taches de rouille, d'encre et celles produites par les dissolutions ferrugineuses, ainsi que le reste de la *tache de cambouis ou de boue* qui a résisté au dégraissage par les autres agents. On peut aussi l'employer pour détruire les taches de fruits et de sucs astringents, les taches de l'urine qui a vieilli sur une étoffe, etc. Toutefois on ne peut s'en servir que sur les tissus non teints, car il attaque les couleurs faux teint, et les nuances bon teint et claires. La meilleure manière de l'employer est de le dissoudre dans l'eau froide, quelquefois dans l'eau tiède, et de le laisser reposer un instant sur la tache avant de la frotter avec la main

L'acide citrique est destiné à faire revivre et rehausser certaines couleurs, particulièrement le vert et le jaune; il détruit l'influence des alcalis, et les *rosures* sur l'écarlate (2).

A son défaut, l'*acide acétique* (ou vinaigre rectifié), peut être employé.

L'alcali volatil (ou ammoniaque liquide). C'est l'agent le plus énergique et le plus utile que l'on puisse employer pour dégraisser les étoffes, les chapeaux de soie et pour neutraliser promptement les effets des acides; dans ce dernier cas, il suffit souvent d'exposer les taches à la vapeur de cet alcali qui les fait disparaître entièrement. Tous les fripiers s'en servent journellement pour dégraisser et remettre à neuf les vieux habits.

L'ammoniaque fait tourner au violet toutes les couleurs faites à la cochenille, avec le bois de Brésil ou de Campêche, à la laque et montées à la cochenille. Il n détériore pas les étoffes de soie, mais il attaque sensiblement les étoffes de laine à une température élevée.

On s'en sert aussi pour rétablir la couleur noire su la soie qui a été endommagée par l'humidité.

La soude et la potasse ne sont employées que pour

(1) Il est bien entendu que tous les réactifs, à l'exception des huiles essentielles, doivent être étendus d'une suffisante quantité d'eau, afin que leur action ne soit pas trop énergique sur les tissus, et ne puisse endommager l'étoffe ou la couleur.

(2) En teinture on désigne par rosures les teintes ou taches rouges, cramoisies ou bleuâtres que prend l'*écarlate*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nettoyer les étoffes blanches de lin, de chanvre et de coton, car ces alcalis attaquent les couleurs, voire même la ténacité et la souplesse de la laine et de la soie elle-même. Par la même raison, le savon blanc n'est employé convenablement que pour nettoyer les étoffes de laine blanches.

Le *carbonate de soude* sert pour dégraisser les chapeaux de soie altérés par la sueur.

Le *savon marbré* est bon pour le dégraissage des grosses étoffes de laine et de coton, telles que les couvertures qui ne sont pas soumises au frottement et à l'usure; pour ces sortes d'étoffes qui n'exigent pas une grande souplesse ni une grande douceur au toucher, on peut encore augmenter l'action du savon par une petite addition de potasse.

Le *savon vert*, dit savon gras à la potasse, peut s'employer avec succès en dissolution avec de la gomme arabique ou d'autres matières mucilagineuses pour le dégraissage des étoffes de couleur et principalement des étoffes de soie unies; on doit même préférer cette composition au savon blanc ou marbré, parce qu'elle enlève plus facilement les taches, et qu'elle attaque beaucoup moins les couleurs.

Essence, mélange d'essence et de savon. On s'en sert comme du savon ordinaire.

Poudre de savon, principalement employée pour nettoyer les gants d'agneau et de chevreau; on la trouve toute préparée chez les parfumeurs praticiens.

Bain de savon, pour opérer le lavage à fond des étoffes blanches et en bon teint. On le prépare en coupant du savon par tranches minces que l'on fait dissoudre dans l'eau à la température de l'ébullition, ensuite on le couserve dans un vase de terre ou dans un baquet en bois.

La *bile amère* ou *fiel de bœuf*, que l'on vend chez tous les marchands bouchers et tripiers, dans une espèce de poche membraneuse, est un composé de picromel, de résine, de soude et d'autres matières, qui a la propriété de dissoudre la plupart des corps gras peu résistants sans altérer ni les étoffes, ni les couleurs; aussi les dégraisseurs s'en servent-ils préférablement au savon pour le dégraissage des étoffes de laine. On ne doit pas l'employer pour le nettoyage des étoffes de nuances claires et délicates qu'il ternit, en leur donnant une teinte d'un jaune-verdâtre et parfois d'un vert foncé. On le mélange aussi avec d'autres matières, de l'essence de térébenthine, de l'alcool, du miel, des jaunes d'œufs, de l'argile, etc.; et dans cet état on en fait usage pour dégraisser les étoffes de soie unie.

Mais le fiel doit être très frais pour produire un effet satisfaisant, et le moyen le plus simple pour le conserver est sans contredit celui qui a été indiqué par Dioscoride (liv. II, chap. 70), qui vivait vers le commencement de l'ère chrétienne, sous Néron.

On lie fortement avec une ficelle le col de l'enveloppe membraneuse qui renferme le fiel; puis on met cette enveloppe dans l'eau bouillante pendant quelque temps. Cela fait, on la retire dehors et on la sèche à l'ombre. Au résumé, c'est par des procédés basés sur le même principe que l'on prépare et conserve très bien aujourd'hui les substances alimentaires.

Le *jaune d'œuf* possède à peu près les mêmes propriétés que le fiel de bœuf, mais il est d'un emploi plus coûteux. Il faut aussi l'employer le plus frais possible, car il perd son efficacité en vieillissant.

Quelquefois pour donner une action plus énergique au jaune d'œuf, on le mélange avec de l'essence de térébenthine, par volume égal, et on l'emploie en le chauffant à la température de l'eau tiède.

Les *huiles volatiles* ou *essentielles rectifiées*, telles que celles de térébenthine de citron, de lavande et de bergamotte, enlèvent facilement les taches d'huile, de graisse, de résine, goudron, poix, bitume, etc., sur une étoffe propre; mais on ne les emploie pas pour dégraisser à fond les étoffes salies par l'usage. Du reste, de toutes les essences connues, celle de térébenthine est encore la meilleure et la plus économique que l'on puisse employer aujourd'hui. Elle a pourtant l'inconvénient grave de répandre une odeur forte et désagréable qui reste longtemps dans les étoffes; mais on peut la faire disparaître entièrement en exposant les étoffes infectées à l'action simultanée de deux courants, l'un de vapeur d'eau et l'autre d'air sec (1).

L'*essence de térébenthine* doit être employée seule et sans aucun mélange, soit d'essence, soit d'alcool ou d'eau, et sur une étoffe non mouillée; car elle perdrait alors toute sa supériorité et son énergie.

La *benzine* (voy. *Complément*) et le sulfure de carbone sont employés aujourd'hui pour dissoudre les graisses.

L'*alcool rectifié* dissout facilement la cire, le suif à l'état concret, la bougie stéarique, et toutes les matières résineuses déposées superficiellement sur une étoffe quelconque. Il peut enlever les taches de vernis, de peinture, de poix, de goudron, sur des étoffes de laine tirées à poils, et quelquefois même sur des tissus lisses qui n'ont pas été pénétrés.

L'*alcool* peut être mélangé avec plusieurs agents de dégraissage, tels que le fiel de bœuf, les jaunes d'œufs, soit pour les conserver, soit pour leur donner plus d'énergie et de force de pénétration.

Terres grasses et absorbantes (argile, terre à foulon, terre de pipe, plâtre, cendres tamisées). On emploie ces terres pour enlever les corps graisseux de dessus les étoffes, mais il faut s'en servir avec discernement, selon l'espèce de tissu et la nature des couleurs.

Ainsi pour les étoffes blanches on se sert de plâtre en poudre, et pour les étoffes teintes on se sert de terre grasse en poudre, ou de terre de pipe, ou de cendres.

La *craie* et la *céruse du commerce* ont la propriété de nettoyer parfaitement les étoffes de laine claires, le satin blanc, les tapisseries, etc. On les réduit en poudre très fine, et on en saupoudre l'étoffe bien tendue qu'on frotte avec une brosse de flanelle. Ceci fait, on bat l'étoffe avec précaution pour enlever la poudre superflue.

Saponaire. C'est avec la décoction alcaline des feuilles, des fleurs, et de la racine de cette plante qu'on nettoie et dégraisse parfaitement les étoffes de laine et de cachemire, en leur laissant toutefois une teinte jaunâtre qu'on enlève par un lavage à l'eau saturée de quelques gouttes d'acide citrique ou acétique.

Sel de tartre (sous-carbonate de potasse). Ce sel dissout et enlève avec facilité tous les corps gras; mais on ne doit l'employer que sur les draps bleus, noirs, gris, verts foncés, et généralement sur toutes les étoffes de couleurs réputées bon teint. Par pure précaution, on neutralise encore son action par l'ammoniaque liquide.

Sel d'oseille (bi-oxalate de potasse). Il dissout les oxydes métalliques; aussi est-il employé avec quelque avantage pour enlever les taches d'encre, de rouille, etc., surtout lorsqu'on le mélange avec une partie d'étain pur.

L'*eau de Javelle* (chlorure de potasse) ne doit être employée que sur les étoffes de chanvre, de lin et de coton non teintes, soit pour les blanchir, soit pour enlever certaines taches de fruits.

La *crème de tartre* (bi-tartrate de potasse) est bonne pour enlever les taches formées par les compositions où il entre quelques particules d'oxyde de fer, comme, par exemple, les taches de cambouis qui résistent après avoir été frottées avec de l'essence de térébenthine, les taches produites par la rouille et même par la boue. Du reste, elle n'agit pas aussi promptement que le sel d'oseille ou l'acide oxalique qui doit être préféré.

(1) On enlève aussi toute l'odeur en trempant l'étoffe dans l'alcool.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉGRAISSEUR.

La dissolution d'étain est destinée à combattre les effets des alcalis sur les couleurs ponceau et écarlate, ainsi qu'à enlever les taches d'urine sur tous les vêtements de laine en bon teint. Cette composition détruit les *rosures* sur l'écarlate, et les taches occasionnées par les sucs astringents sur la couleur ponceau.

Compositions polychrestes, dites à détacher. Recette indiquée par Chaptal et recommandée par lui comme étant la meilleure. On dissout du bon savon blanc dans de l'alcool, on broie le mélange avec 4 ou 5 jaunes d'œufs, en y ajoutant peu à peu de l'essence de térébenthine. Dès que la pâte est unie, on y incorpore de la terre à foulon très divisée, pour donner au tout une consistance convenable et en former des savonnettes.

Lorsqu'on veut faire usage de cette composition, on humecte l'étoffe avec de l'eau et l'on frotte dessus avec la savonnette pour en dissoudre une partie; alors, à l'aide de la main, d'une éponge ou d'une brosse, on l'agite fortement pour la faire pénétrer, on l'étend, et peu de temps après on lave l'étoffe pour enlever la dernière trace de ce savon (1).

Nous n'avons point classé au nombre des substances convenables pour le dégraissage des étoffes les infusions de marron d'Inde, de thé, de tabac, les colles végétales de fécules de pomme de terre, d'amidon, de farines de riz, de seigle, etc., les bains de son, l'eau dans laquelle on a fait bouillir des haricots, et beaucoup d'autres liquides mucilagineux et amilacés que l'on a vantés et préconisés comme des moyens détersifs, et qui n'ont d'autre mérite à notre avis que celui de diviser les agents dissolvants, et de faciliter ainsi leur action sur les étoffes.

Nous n'avons pas parlé non plus de l'usage très répandu d'enlever les corps gras en les volatilisant à l'aide d'un charbon ardent, ou en les absorbant par la chaleur d'un fer chaud, au moyen d'un papier non collé. Ces deux moyens ne font que dissimuler momentanément les taches de graisse qui reparaissent quelques jours après avec plus d'étendue.

OUTILS, MACHINES ET USTENSILES NÉCESSAIRES AU DÉGRAISSEUR. *Table de travail dite à détacher*, de 2 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur, légèrement en pente pour faciliter l'écoulement des eaux de lavage. Pour opérer avec plus de propreté et pour éviter de répandre de l'eau sur le plancher, on ajoute un petit chéneau en fer blanc ou en zinc en bas de la pente de la table. Le chéneau reçoit les eaux de lavage et les conduit dans un baquet placé au-dessous.

Autre petite table dite de réserve, et, à son défaut, une simple tablette placée horizontalement à l'extrémité de la table de travail, et à la portée du dégraisseur. On pose sur cette tablette les différentes étoffes nécessaires au dégraissage, les compositions à détacher, etc.

Un *baquet* avec un fouloir qui n'est autre qu'une planche cannelée en lignes horizontales, sur laquelle on frotte les étoffes pour enlever les salissures.

Générateur à vapeur. Comme nous l'avons dit déjà, l'emploi de la vapeur est nécessaire pour amollir les taches huileuses et grasses sur quelque étoffe que ce soit, pour relever et lustrer le velours altéré, et particulièrement pour fixer les couleurs appliquées sur les étoffes, soit par l'impression, soit à l'aide de pinceaux courts. Voyez IMPRESSION.

Machine à sécher les tissus, telle que l'hydro-extracteur de Pentzold, ou toute autre machine fondée sur le même principe. Cette machine a la propriété de retirer l'eau des étoffes en quelques minutes, par l'action de la force centrifuge, sans les soumettre à la pression et sans les tordre à force de bras. Voyez SÉCHOIR, SÉCHAGE.

A défaut de machine à sécher, on peut employer avec quelque succès un *sac à tordre les étoffes*. C'est tout simplement une espèce de filet ou hamac en canevas de fil ou de coton, armé à chaque extrémité d'une suite d'anneaux de métal dans lesquels on passe un bâton ou lissoir. On place les étoffes mouillées dans le sac, puis deux personnes tordent les bâtons en sens inverse à force de bras. A l'aide de ce moyen bien simple et surtout très économique, on évite jusqu'à un certain point de déplacer, d'allonger, de désorganiser et de déchirer même les tissus.

Chambre bien aérée pour faire sécher les étoffes, et dans laquelle on allume, en hiver et pendant les saisons pluvieuses, un calorifère à air chaud (voyez CHAUFFAGE) pour enlever plus promptement l'humidité encore retenue dans les tissus, lors même que ceux-ci ont été soumis à la machine à sécher ou tordus dans un filet. Le mode de séchage à l'air chaud ou l'air libre doit être très prompt, afin que l'humidité n'ait pas le temps d'en altérer les couleurs, et surtout celles des châles, des broderies et des tapisseries qui pourraient se dissoudre et se répandre les unes sur les autres.

Cadres, rames ou *châssis* de plusieurs grandeurs garnis d'une étoffe verte et bien tendue sur les quatre côtés. On tend et attache les étoffes un peu humides sur ces châssis avec des épingles, afin de les faire sécher et de leur donner ainsi l'apprêt et le lustre convenables, que l'on augmente au besoin par la compression et le frottement d'un outil convenable.

Presse cylindrique ou *calandre*, presse à vis verticale, qui est destinée à apprêter les étoffes, tissus de laine et de coton, tels que les casimirs, les mérinos, les châles brochés, les indiennes, calicots, etc.

Un *métier à lustrer*. Voyez LUSTRAGE.

Étuve pour faire le soufrage des étoffes qui ont besoin d'être passées à l'action du gaz acide sulfureux. Cette étuve peut être construite, comme une grande caisse, en planches de sapin du Nord, dont les planches soient bien assemblées, afin que la vapeur ne puisse pas s'échapper. On place des bâtons de bois blanc ou mieux des cylindres en verre (1) de distance en distance pour supporter les étoffes. Mais, pour que la flamme du soufre n'endommage pas les étoffes, on place une plaque de faïence un peu élevée au-dessus du vase. Des *seaux* et des *cuviers* pour faire les rinçages.

Un *battoir en bois* pour battre les grosses étoffes en les nettoyant, des brosses en poils de sanglier, chiendent et en flanelle. Plusieurs cerceaux attachés par le milieu avec une petite ficelle pour suspendre les étoffes, afin de les faire sécher; des fers à repasser, etc.

Précautions à prendre avant de commencer le dégraissage. On doit toujours commencer par examiner *la nature de la tache, l'espèce de l'étoffe, et le genre des couleurs qui y sont posées*, afin de choisir l'agent convenable à employer. Généralement le coup d'œil et le plus ou moins de connaissance qu'on a de l'effet des corps sur les étoffes suffisent pour éclairer dans la pra-

(1) On vend aussi chez les droguistes et chez les parfumeurs à Paris un *savon chimique* ou *à détacher*, que l'on peut composer soi-même. Prenez : 50 grammes de terre à foulon mise en poudre; humectez-la avec un peu d'essence de térébenthine ou mieux de lavande; prenez ensuite 50 grammes de sous-carbonate de potasse pur; 50 grammes de la meilleure potasse du commerce; faites du tout une pâte en ajoutant un peu de savon gras, formez-en de petits pains carrés ou ronds, et conservez pour l'usage.

Mais cette composition ne convient que pour dégraisser les fortes étoffes de laine et les draps dont les couleurs ne sont pas altérées par les alcalis; du reste on l'emploie d'après la méthode indiquée par Chaptal.

(1) Les cylindres de verre ont l'avantage de ne point altérer les étoffes, comme pourraient le faire les bâtons de bois qui attirent et retiennent les matières colorantes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tique. Mais, le plus souvent, cet examen devient difficile, eu égard à la complication des matières qui forment les taches, et à la variété infinie des couleurs qui, quoique les mêmes en apparence, se comportent différemment avec les réactifs. Dans tout état de choses, il faut essayer d'abord l'effet des réactifs sur une petite partie des tissus, pour connaître *l'espèce des couleurs* et leur degré de solidité ou d'altérabilité. On éprouve ensuite la nature des taches qu'on veut enlever, en n'employant toutefois que les agents qui ne peuvent point altérer les étoffes qui les reçoivent. Sur ce dernier point, la science détermine le choix forcé de tel ou tel agent, et ne laisse presque aucune latitude à la fantaisie. Mais, nous le répétons, tous les réactifs, à l'exception de l'essence de térébenthine, de l'alcool, doivent être modifiés et mélangés avec une certaine quantité d'eau que l'on augmente encore, suivant l'altérabilité et la délicatesse des couleurs.

On bat l'étoffe avec une baguette, et on la brosse avec la plus grande attention pour ôter toute la poussière; puis on l'expose à l'action de la vapeur d'eau pour faire ressortir et amollir les taches. Le plus grand nombre des teinturiers passent de l'eau chaude sur toute l'étoffe et brossent avec force pour enlever les corps solubles dans l'eau. Mais cette pratique nous paraît offrir trois inconvénients :

1° De détériorer l'étoffe par le frottement;

2° De faire décharger les couleurs et les corps étrangers dans l'étoffe;

3° D'exiger beaucoup de temps.

Enfin, on marque toutes les taches avec de la craie pour les reconnaître. Cela fait, on commence à enlever les taches partielles avant de mouiller l'étoffe entièrement. Nous recommandons d'en agir ainsi toutes les fois qu'il s'agit de nettoyer, de remettre à neuf une étoffe quelconque; car autrement les taches reparaîtraient.

MOYENS CONNUS D'ENLEVER LES TACHES (1).

Manière de remettre partiellement le glacé des étoffes altérées par des gouttes d'eau. Toutes les fois qu'on ne peut repasser l'étoffe à la machine à lustrer, on la tend sur une table en l'attachant avec des épingles, de manière à ne pas l'endommager; on mouille légèrement l'endroit déglacé avec une petite éponge, puis on met un papier doublé sur un fer à repasser chaud, excepté à l'endroit réservé pour repasser la tache. Si la tache est fort petite, on se borne à faire chauffer le bout d'un fer à gaufrer ou à papilloter, et on le pose perpendiculairement sur l'endroit mouillé.

Les piqûres récentes produites par l'humidité sur les étoffes de soie, s'enlèvent en enroulant l'étoffe dans un linge de calicot blanc, légèrement mouillé, et l'exposant ainsi pendant 24 heures dans un endroit humide.

Procédé pour laver la flanelle sans qu'elle jaunisse. On met dans un bain de savon blanc chaud de la gomme arabique en poudre ou de la dextrine, en quantité suffisante pour le rendre visqueux; on lave soigneusement la flanelle avec ce liquide, comme on le pratique avec le savon, et l'on rince ensuite dans l'eau claire; on renouvelle même au besoin cette opération deux ou trois fois. La décoction de la saponaire produit aussi un très bon effet. Du reste, il est nécessaire de passer la flanelle au soufrage pour lui conserver sa blancheur et toutes ses propriétés hygiéniques.

Taches récentes d'acides minéraux. On peut neutraliser immédiatement leur effet par l'ammoniaque étendu dans une suffisante quantité d'eau, voire même par la vapeur seule de cet alcali; mais il est des cas où cette opération est insuffisante et inutile. Ainsi, lorsque l'acide a vieilli sur l'étoffe, que la couleur est détruite entièrement, il faut avoir recours à la teinture.

Les taches de tabac, d'herbes, de bière, de cidre, de poiré; les taches de sucs de framboise, de fraise, de cerise, de groseille, sur les étoffes non teintes, disparaissent complétement par un lavage à l'eau et au savon, mais pour détruire les dernières taches sur les étoffes teintes, on mélange dans un verre d'eau 10 à 12 gouttes d'acide sulfurique, on les imbibe au moyen de quelques gouttes qu'on y répand avec le doigt; après quoi on lave bien les taches pour enlever tout l'acide qui, malgré sa faiblesse, pourrait produire une altération sur les couleurs des étoffes.

Taches de liqueurs. On commence par rafraîchir la tache autant que possible par la même liqueur qui la produite; et aussitôt cette opération faite, on imbibe la tache avec de l'eau pure, on frotte légèrement et avec soin; si elle résiste, et si la couleur le permet, on a recours à l'acide hydrochlorique ou citrique et à l'alcali pour neutraliser (1). On pourrait même employer avec succès l'alcool.

Sur des tissus blancs, les taches de liqueurs disparaissent complétement en employant successivement un lavage à l'eau de savon et le gaz acide sulfureux.

Taches de café et de chocolat. Le café et le chocolat préparés au lait forment des taches très apparentes et plus faciles à enlever que lorsqu'ils sont préparés à l'eau. Le lavage à l'eau d'abord, et ensuite au savon suffit pour les détruire, mais il peut affecter les couleurs. Alors pour agir avec plus de prudence on se sert du jaune d'œuf que l'on tiédit avec un peu d'eau chaude. On emploie cette composition comme un savonnage. Si les taches résistaient à plusieurs lavages, on pourrait y ajouter quelques gouttes d'alcool, en frottant légèrement avec un pinceau en poils de sanglier coupés courts.

Taches d'encre sur des étoffes teintes. Lorsque ces taches sont récentes, il suffit de les laver à l'eau et de les savonner, afin de séparer les substances végétales. On enlève ensuite l'oxyde de fer qui forme l'empreinte de la tache en le mouillant avec de l'acide sulfurique ou hydrochlorique très affaibli par l'eau, que l'on prend dans une pipette en verre. Quand les taches sont anciennes, il faut que l'acide soit plus fort (1 partie d'acide et 10 à 12 parties d'eau environ) (2).

Sur les étoffes blanches de lin et de coton l'acide oxalique produit de très bons effets; il en est de même du sel d'oseille en poudre mêlé avec du sel d'étain.

Taches de rouille. On les fait disparaître sur les étoffes non colorées au moyen de l'acide oxalique en poudre que l'on place dessus après les avoir mouillées, et que l'on a soin de frotter ensuite avec la main. On se sert de l'acide hydrochlorique mélangé avec de l'eau pour enlever la rouille sur les tissus colorés. Si la tache est petite, pour ne pas étendre l'acide au-delà des bornes, on l'emploie avec une pipette en verre, ou simplement avec un morceau de jonc taillé en pointe. On gratte légèrement la tache avec le morceau de jonc que l'on trempe alternativement dans l'acide jusqu'à ce que la tache soit enlevée. Mais il est des cas où la tache est fort difficile à enlever, aussi vaut-il mieux y renoncer que d'attaquer la couleur du tissu.

On peut encore employer avec succès la crème de tartre qui attaque bien moins les couleurs que les aci-

(1) La plupart de ces moyens sont extraits des manuels publiés par Chaptal, Hommassel, Julia de Fontenelle, Lenormand, Voymant et Vergnaud, mais nous avons ajouté les indications positives que l'expérience et la pratique nous ont suggérées.

(1) On emploie l'alcali avant l'acide, surtout pour agir sur les taches de fruits, de vin, etc.

(2) On enlève encore par le sel d'oseille mêlé avec une partie d'étain.

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

DÉGRAISSEUR.

des oxalique et hydro-chlorique, mais qui a l'inconvénient de ne pas agir avec autant de promptitude.

Voici la manière de l'employer :

On la réduit en poudre très-fine que l'on applique sur la tache et on l'humecte ensuite pour lui donner de l'action. On la laisse agir pendant 8 ou 10 minutes, puis on frotte doucement la tache entre les mains pour faire disparaître le sel, et on la lave avec soin.

Tache de cambouis. Il faut d'abord imbiber la tache avec de l'essence de térébenthine, en la frottant légèrement avec une éponge pour la faire décomposer; ensuite on la mouille de nouveau avec l'essence, et on la couvre aussitôt avec de la cendre tamisée ou de la terre de pipe en poudre. Après dix minutes ou un quart d'heure d'attente, on enlève la terre absorbante, on brosse bien la place; et si la tache n'est pas entièrement disparue, l'on recommence la même opération. Il est rare que la tache résiste à la deuxième opération, mais si elle résiste, on pourrait l'enlever avec le jaune d'œuf mélangé avec de l'essence, et lui faire subir une troisième opération.

Si la tache était ancienne, il pourrait arriver cependant que les parties ferrugineuses qu'elle contient adhérassent fortement avec l'étoffe; et dans ce cas, elles résisteraient à cette opération. Alors il faudrait bien laver la tache, et l'attaquer avec de l'acide hydrochlorique ou oxalique comme s'il s'agissait d'enlever une vieille tache d'encre.

Taches de boue dont l'eau ne suffit pas pour enlever l'empreinte. Le jaune d'œuf appliqué sur une tache de cette espèce enlève presque généralement jusqu'à la moindre trace; mais si après quelques légers frottements suivis de rinçages, la tache résistait, on pourrait employer la crème de tartre réduite en poudre, et la laisser agir pendant quelque temps après l'avoir humectée d'eau.

Quand la boue a produit quelques altérations sur les couleurs telles que sur le rouge en petit teint, et sur les écarlates à la cochenille qu'elle peut quelquefois faire virer au violet, comme le fait un alcali; on fait revivre la couleur par le secours d'un acide (citrique, acétique ou hydrochlorique).

Taches d'urine. Il est essentiel de les enlever de suite et aussitôt qu'on s'en aperçoit; et le meilleur réactif qu'on puisse employer est l'ammoniaque étendu d'eau. Quand l'urine a vieilli, et qu'elle a pris un caractère alcalin, alors si l'ammoniaque ne réussit pas pour enlever entièrement la tache, on fait dissoudre un peu d'acide oxalique dans un vase avec de l'eau en quantité suffisante pour affaiblir son action destructive. On rince bien la tache et on fait agir l'acide oxalique que l'on insuffle au moyen d'une pipette ou d'un petit bâton de jonc.

Les *taches de sueur* peuvent être enlevées sur quelque étoffe que ce soit par les mêmes procédés, et sur l'écarlate elles disparaissent instantanément par l'application du sel d'étain dissout dans une grande quantité d'eau.

Taches de suie, et de dégouttures de tuyaux de poêle. Il faut d'abord commencer par les imbiber avec de l'essence de térébenthine, et les frotter légèrement pour faire dissoudre une espèce d'huile empyreumatique qui tient les sels et autres matières concentrées sur l'étoffe. Ensuite on fait un mélange de cette même essence avec du jaune d'œuf en tenant le composé un peu tiède, et on le fait agir sur la tache à diverses reprises, en frottant légèrement jusqu'à ce que les opérations répétées ne produisent plus d'effet. Si la tache n'est pas parfaitement disparue, après ces deux traitements, qui auront dû enlever toutes les substances végétales, dont la tache est composée, il ne restera alors en dernier lieu qu'une nuance noirâtre formée de quelques particules de fer que l'on pourra dissiper par l'acide hydrochlorique, *sur les étoffes de couleurs,* et par l'acide oxalique ou la crème de tartre sur les étoffes blanches ou reconnues en bon teint. Quelques dégraisseurs emploient aussi des sels d'oseille et d'étain.

Taches d'huile, de graisse, de suif, etc. Toutes les taches graisseuses et huileuses n'exigent pour ainsi dire que le même traitement, l'essence de térébenthine pure, pour disparaître; mais les taches produites par l'huile d'éclairage épurée que contient toujours ou presque toujours, comme nous l'avons dit, une certaine quantité d'acide sulfurique, sont quelquefois difficiles, voire même impossibles à enlever, surtout quand elles ont vieilli sur les étoffes. Dans ce cas, après avoir employé l'essence de térébenthine, on emploie l'ammoniaque, et s'il n'agit pas pour faire disparaître l'empreinte de la tache, il n'y a pas d'autre remède que la teinture.

Pour enlever les taches de graisse et de suif, on les imbibe avec une petite quantité d'essence à l'aide d'une éponge fine, ensuite on les frotte légèrement dans la main et avec promptitude. L'on mouille de nouveau avec l'essence, et l'on recouvre de suite la tache avec de la terre de pipe ou de la cendre tamisée. Après 10 minutes ou un quart d'heure, on donne un coup de brosse et la tache a entièrement disparu. Si la terre absorbante laissait quelque blancheur après l'opération, on pourrait facilement la dissiper en frottant dessus avec de la mie de pain.

Quand on redoute l'odeur de l'essence pour enlever les taches de graisse, on lui substitue l'alcool rectifié. Dans tous les cas, on peut toujours faire disparaître la mauvaise odeur de l'essence de térébenthine en soumettant l'étoffe à l'action de la vapeur d'eau ou en la lavant dans l'alcool. Or ce sont là les moyens les plus simples et les plus économiques que nous connaissions, et nous les recommandons vivement à tous les dégraisseurs, parce que nous les avons employés avec un grand succès.

Les taches de vernis, de peinture et de goudron, concentrées par les huiles qui en font la base et qui les font adhérer avec une grande ténacité sur les tissus, doivent être traitées, comme les huiles et les graisses, par l'essence de térébenthine qui dissout avec facilité l'huile. Ordinairement une seule opération suffit pour obtenir un résultat satisfaisant. Le beurre offre aussi un bon emploi pour enlever les taches de vernis et de goudron; on enlève ensuite le beurre par l'essence de térébenthine.

Les taches de résine, térébenthine, poix, cire, bougie stéarique se dissolvent parfaitement avec l'alcool rectifié. On les pénètre bien avec cette liqueur, ensuite on les frotte avec soin; mais à défaut d'alcool, on peut prendre de l'essence de térébenthine, de lavande, de citron, de l'eau de Cologne, de l'eau-de-vie forte.

DÉGRAISSAGE, NETTOYAGE A FOND ET MISE A NEUF DE TOUTE ESPÈCE D'OBJETS D'HABILLEMENT. Jusqu'ici nous n'avons parlé que des moyens pratiques d'enlever les taches particlles sur des étoffes quelconques; mais nous n'avons pas dit un mot du nettoyage à fond des vêtements, qui varient à l'infini, selon le caprice de la mode et les progrès de la fabrication. Or, chaque nature d'étoffe et de vêtement exige, pour ainsi dire, une manutention à part et bien distincte, et c'est une des qualités pratiques essentielles de l'art du dégraisseur que nous allons traiter ici très brièvement.

Les étoffes de coton, de chanvre et de lin, blanches et en bon teint, se nettoient tout simplement dans un bain de savon que l'on tient à une petite chaleur après avoir enlevé les taches. Généralement on nettoie ainsi toutes les étoffes de coton colorées, mais on les passe rapidement dans un bain d'eau de rivière auquel on ajoute alors quelques pincées d'alun en poudre ou quelques gouttes d'acide acétique, citrique ou sulfurique, afin de neutraliser l'action du savon; ensuite on rince les étoffes à l'eau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

claire, et on leur donne le lustrage et l'apprêt convenables. Les robes, fichus et autres objets d'indiennes et de mousselines, guingamps, etc., sont nettoyés d'abord dans un bain faible de savon blanc, en le tenant pendant quelque temps à la température tiède; on passe rapidement les étoffes dans ce bain, et on les travaille ensuite dans les baquets à fouler, enfin on les rince à plusieurs reprises dans l'eau de rivière et dans un dernier bain saturé d'acide acétique. On les fait sécher après avoir été apprêtées avec une colle de fécule et on les soumet à l'action de la machine à lustrer.

Les tulles et dentelles sont mis avec précaution dans un bain de savon blanc, à la température tiède, et on les y laisse pendant quelque temps, puis on les manie dans un autre bain moins chaud, après les avoir placées dans un sac en canevas pour ne point les tirailler. Depuis quelques années, les praticiens habiles et très soucieux de leur art complètent l'opération en soumettant les étoffes à la vapeur d'eau, et en les lavant à l'eau claire. Nous pouvons même citer à ce sujet un dégraisseur très instruit, M. Frick, qui n'emploie pas d'autre moyen.

Le crêpe noir est nettoyé dans le fiel de bœuf purifié et porté à la température de l'eau tiède.

Les voiles, gazes, blondes et satins blancs, sont macérés ordinairement dans un bain de savon blanc, puis on les passe rapidement 2 ou 3 fois, à différentes reprises, dans un bain de savon blanc très chaud. Ensuite on les soumet à l'action du gaz acide sulfureux, enfin on rince les étoffes à l'eau, colorée par une dissolution de carmin, d'indigo et de cochenille, pour les azurer; on les presse dans un sac à tordre pour en extraire l'eau superflue, et on les fait sécher rapidement.

On nettoie aussi le satin blanc au moyen de la craie que l'on réduit en poudre très fine. Ainsi, on place l'étoffe sur une table recouverte d'une couverture de laine, et on la saupoudre au fur et à mesure qu'on la nettoie en la frottant avec une brosse de flanelle; avec de la mie on donne à l'étoffe de la fraîcheur.

Mais les damas, les lévantines, les florences, les pékins, et généralement toutes les soieries légères de couleurs délicates, sont nettoyées à l'aide d'une éponge fine avec une composition chaude formée de savon gras, de fiel de bœuf, de miel et d'alcool, à peu près par parties égales, et modifiés par une suffisante quantité d'eau. Pour ne point les casser, on les tend sur un châssis ou sur une table, et on les attache avec des épingles pour les faire sécher et leur donner le lustre et le brillant que les consommateurs recherchent si ardemment.

Pour les étoffes de soie brodées en couleurs, on emploie la même composition, avec moins de fiel de bœuf qui ternit les couleurs vives; de plus, on substitue au savon gras le jaune d'œuf qui éclaircit au contraire les couleurs. L'alcool et le miel servent à fixer les couleurs et à leur conserver le lustre.

Lorsque les broderies renferment du cordonnet d'or ou d'argent, on ajoute à l'eau de rinçage quelques gouttes d'acide sulfurique, à cause des fils qui sont sous l'or, et dont la teinte est due au rocou. Mais il est encore un moyen plus sûr et plus efficace de rendre l'éclat et le brillant à l'or et à l'argent, c'est de faire dissoudre du savon blanc dans l'eau, de manière à en former une pâte épaisse. On pose cette pâte avec un pinceau sur l'or et l'argent, et on la laisse sécher; ensuite on l'enlève en frottant avec un petit pinceau de poils de sanglier.

En règle générale, tous les objets de broderie demandent à être repassés et apprêtés encore humides, à l'envers, avec un fer chaud, sur une couverture de laine très épaisse ou pliée en double, afin de donner plus de relief au dessin; la calandre, au contraire, aplatirait et écraserait la broderie.

Habit ou redingote de drap, de casimir ou flanelle, etc., de couleur bon teint et foncée. Quand les taches sont enlevées, comme nous l'avons dit précédemment, on mouille partout l'habit également, en le frottant rapidement dans le sens des poils avec une brosse rude que l'on trempe dans du fiel de bœuf, ou mieux dans l'ammoniaque mélangée avec 8 à 12 parties d'eau tiède. Lorsqu'il est bien brossé et bien nettoyé, on le rince à l'eau claire pour enlever le fiel de bœuf, et on le laisse égoutter pour en extraire l'eau. Cela fait, il s'agit de donner au drap l'apprêt et le brillant du neuf : pour cela, on fait bouillir dans un pot de la graine de lin et un peu de bois d'Inde, ou de toute autre matière colorante, selon le principe de la couleur de l'habit (voyez EXTRAIT, TEINTURE), jusqu'à ce que la composition file comme le blanc d'œuf et soit légèrement colorée. On passe cette composition au travers d'un linge pour en extraire toutes les impuretés, et avec une brosse demi-rude on l'étend uniformément, et dans le sens du poil, sur toutes les parties de l'habit (1). Cette opération terminée, avec les deux mains on étire bien l'habit sur toutes les coutures, pour qu'il ne fasse pas de faux plis, et on le fait sécher sur un demi-cerceau; quand il est sec, on pose dessus un linge bien propre, mouillé avec de l'eau de savon, et on le repasse avec un fer chaud. Alors l'habit est lustré et apprêté à neuf, comme disent les dégraisseurs.

Généralement les dégraisseurs et marchands de vieux habits, ne prennent pas la peine d'enlever les taches partielles; ils étendent tout simplement le fiel de bœuf sur l'habit avec une brosse rude, après quoi ils le font égoutter et sécher sur un demi-cerceau sans le tordre. Lorsqu'il est sec, ils le brossent partout pour lui donner le lustre et le brillant. Mais cette manière de dégraisser ne fait que couvrir et dissimuler les taches, qui reparaissent toujours lorsque l'habit a été porté pendant plusieurs jours.

Lorsque quelques parties de l'habit, telles que les parements, le dessous des manches, les emmanchures, sont trop usées et *râpées* (terme technique), les marchands fripiers intelligents et honnêtes font ressortir la couleur du drap, ou bien ils font enlever par des tailleurs spéciaux, soit dans la doublure, soit dans le collet de l'habit, une pièce de l'étoffe, qu'ils font coudre et *rentraire* à la place du morceau usé. Puis, avec le *chardon à carde*, ils font sortir une partie du poil dont ils recouvrent les coutures, et lorsque cette opération est faite avec soin l'on ne voit pas la réparation.

M. Dier, qui s'est fait une certaine réputation dans le dégraissage, met à neuf les habits par un procédé secret qui consiste, d'après les *on dit* : 1° à mouiller les places de l'habit qui sont *râpées* avec de l'huile d'olive ou d'œillette, et à les couvrir ensuite avec une dissolution de potasse caustique marquant 5 à 6 degrés à l'aréomètre de Baumé; 2° à tirer les poils du drap avec un chardon pendant que l'étoffe est encore humide; 3° à lustrer l'étoffe avec une décoction de pépins de coing, de psilium, de gélatine et d'alun. Nous donnons le procédé de M. Dier tel qu'il nous a été rapporté, sans en garantir toutefois ni le mérite ni l'efficacité. Dans tous les cas, la méthode connue de mettre des morceaux neufs à la place des vieilles étoffes, nous paraît plus prompte, plus sûre, et plus économique surtout.

Lorsque l'habit est très malpropre, qu'il est couvert en quelques endroits d'une crasse épaisse qui couvre la surface de l'étoffe, on soumet l'habit à l'action de la vapeur, afin d'amollir la crasse et de la disposer à se dissoudre plus facilement. Ensuite il faut faire tiédir la composition qu'on se propose de faire agir sur l'étoffe grasse, soit le fiel de bœuf purifié, soit l'ammoniaque

(1) Cette pratique, en terme de fripier, s'appelle passer en couleur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

liquide, soit le fiel de bœuf mêlé avec une quantité égale de jaunes d'œufs, et on augmente leur action détersive par des frictions avec une brosse dure

Les vieux habits et pantalons écarlates, les parements, collets et revers des habits d'uniforme de la garde nationale, etc., se nettoient comme les habits ordinaires; mais, quand ils sont secs, ils prennent souvent des taches de *rouures* ou de noir; on les enlève soit avec l'acide citrique, soit même seulement avec du jus de citron.

Les étoffes de couleur pourpre, cramoisie, violet amarante, rose, exigent le même traitement

Les casimirs, les mérinos, les cachemires, les châles brodés, et généralement tous les tissus légers en laine fine, en soie et coton, en laine et coton, sont dégraissés tout simplement dans une décoction chaude de *saponaire*, mais on les foule et travaille longtemps; on les rince ensuite dans un bain d'eau de rivière *et on les drape* (1); enfin, on les passe à la calandre ou à la presse à vis. On termine les châles en frisant la frange encore humide avec un fer à dent légèrement chauffé.

Tapis en laine longue à l'imitation de ceux de la Savonnerie. Depuis quelques années, un mécanicien de Paris, M. Dennebèque, a imaginé un moyen fort ingénieux et entièrement mécanique de dégraisser et de mettre à neuf les tapis longue laine. Il tond la laine au moyen d'une machine de son invention, afin d'enlever les extrémités des brins colorés qui sont passés et sales. Par ce moyen bien simple, il met à découvert de nouvelles parties de laines colorées qui conservent encore de l'éclat et de la vivacité. Pourtant nous croyons devoir dire sans vanité que nous avons pratiqué et mis au jour, il y a près de 8 années, un procédé analogue pour nettoyer et mettre à neuf la peluche en laine, les petits tapis de lit, et autres objets brodés à la main, en laine longue et en relief. Nous nous servions tout simplement d'une paire de ciseaux recourbés, semblable à celle en usage dans les manufactures de tapis; mais pour dire toute la vérité, nous n'avons jamais pensé à appliquer ce procédé au dégraissage des tapis du commerce. Dans notre opinion, l'honneur de cette découverte appartient entièrement à M. Dennebèque. Nous devons dire aussi que M. Dennebèque n'a pas pris de brevet d'invention pour son procédé, mais seulement pour la machine à tondre qu'il emploie.

Dans tous les cas, on peut toujours tondre les tapis avec une paire de ciseaux recourbés, à défaut d'une machine plus expéditive, en ayant soin de comprimer chaque *duite* que l'on veut couper uniformément entre deux lames de cuivre, de zinc ou de fer-blanc, d'une hauteur proportionnée à la longueur des fils qu'on désire conserver. A. ROUGET DE LISLE.

DÉLIQUESCENT (*all.* zerfliefsbar). Se dit des corps solides qui attirent assez de l'humidité répandue dans l'atmosphère pour se liquéfier spontanément au contact de l'air; tels sont la potasse, ou le chlorure de calcium.

DENSITÉ, PESANTEUR OU POIDS SPÉCIFIQUE. On entend par densité ou pesanteur spécifique d'un corps, la quantité de matière qu'il renferme sous un volume donné; on rapporte les densités des gaz et des vapeurs à celle de l'air prise pour unité, et celle des liquides et des solides à celle de l'eau. Nous n'entrerons pas dans le détail des diverses méthodes employées pour déterminer la densité des corps solides, liquides et gazeux, ayant déjà donné à l'article ARÉOMÈTRE la description des instruments les plus employés dans les arts, et nous nous contenterons de rapporter ici les densités des principaux corps gazeux, liquides et solides.

(1) *Draper*, dans le langage de dégraisseur, signifie envelopper l'étoffe dans un linge avec lequel on la presse.

Pesanteurs spécifiques des gaz, celle de l'air étant prise pour unité.

NOMS DES GAZ.	DENSITÉS trouvées.	DENSITÉS calculées.	NOMS des observateurs.
Air.	1,0000		
Gaz hydriodique. . . .	4,443	4,340	Gay-Lussac.
Gaz fluo-silicique. . .	3,573		John Davy.
Gaz chloro-borique. . .	3,420		Dumas.
Gaz chloroxi-carboniq.		3,399	
Hydrogène arseniqué. .	2,695	2,695	Dumas.
Chlore.	2,470	2,426	Gay - Lussac et Thénard.
Oxyde de chlore. . . .		2,345	
Acide fluo-borique. . .	2,374		John Davy.
Acide sulfureux. . . .	2,234		Thénard.
Cyanogène.	1,806	1,849	Gay-Lussac
Hydrogène phosphoré.	1,764		Dumas.
Protoxyde d'azote. . .	1,520	1,527	Colin.
Acide carbonique. . .	15,245		Berzélius, Dulong.
Acide hydro-chlorique.	1,2474		Biot et Arago
Hydrog. proto-phosph.	1,214		Dumas.
Acide hydro-sulfurique.	1,1912		Gay - Lussac et Thénard.
Oxygène.	1,1026		Berzélius, Dulong.
Deutoxyde d'azote. . .	1,0388	1,0364	Bérard.
Hydrogène bi-carboné.	0,9780		De Saussure.
Azote.	0,976		Berzélius, Dulong.
Oxyde de carbone. . .	0,957	0,967	Cruikshanck.
Ammoniaque. . . .	0,5967	0,5910	Biot et Arago.
Hydrog. carb. d. marais.	0,555	0,559	Thomson.
Hydrogène.	0,0688		Berzélius, Dulong.

Pesanteurs spécifiques des vapeurs, celle de l'air étant prise pour unité, et les vapeurs étant ramenées par le calcul à 0° et 0m,76.

NOMS DES VAPEURS.	DENSITÉS trouvées.	DENSITÉS calculées.	NOMS des observateurs.
Air.	1,0000		
Bi-chlorure d'étain. . .	9,199	8,993	Dumas.
Vapeur d'iode.	8,716		id.
Vapeur de mercure. . .	6,976		id.
Vapeur de soufre. . . .	6,617		id.
Proto-chlorure d'arsenic	6,300	6,297	id.
Chlorure de sicilium. .	5,939	5,959	id.
Ether hydriodique. . .	5,4719		Gay-Lussac.
Camphre ordinaire. . .	5,408	5,314	Dumas.
Ether benzoïque. . . .	5,409	5,241	D. et Boullay
Ether oxalique.	5,087	5,084	id.
Proto-chlor. de phosph.	4,875	4,807	Dumas.
Essence de térébenthine	4,763	4,765	id.
Chlorure jaune de soufre	4,730		id.
Naphtaline.	4,528	4,492	id.
Vapeur de phosphore. .	4,355	4,325	id.
Chlor. rouge de soufre.	3,700		id.
Liqueur des Hollandais.	3,443		Gay-Lussac.
Acide hypo-nitrique. .	3,180		Dulong.
Ether acétique.	3,067	3,066	Dum. et Boul.
Sulfure de carbone. . .	2,644		Gay-Lussac.
Ether hypo-nitreux. .	2,626	2,606	Dum. et Boul.
Ether sulfurique. . . .	2,586		Gay-Lussac.
Ether hydro-chlorique.	2,212		Thénard.
Chlorure de cyanogène.	2,141	2,142	Gay-Lussac
Esprit pyro-acétique. .	2,049	2,020	Dumas.
Alcool.	1,6133		Gay-Lussac.
Acide hydro-cyanique.	0,9476	0,9360	id.
Eau.	0,6235	0,624	id.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pesanteurs spécifiques des liquides, celle de l'eau étant prise pour unité.

Acide sulfurique	1,8409
Acide nitreux	1,550
Eau de la mer Morte	1,2403
Acide nitrique	1,2475
Eau de la mer	1,0263
Lait	1,03
Eau distillée	1,0000
Vin de Bordeaux	0,9939
Vin de Bourgogne	0,9915
Huile d'olive	0,9153
Ether hydro-chlorique	0,874
Huile essentielle de térébenthine	0,8697
Bitume liquide dit *naphte*	0,8475
Alcool absolu	0,792
Ether sulfurique	0,7155

Pesanteurs spécifiques des solides, celle de l'eau étant 1 (à 18° centigrades).

Platine laminé	22,0690
Platine passé à la filière	21,0117
Platine forgé	20,3366
Platine purifié	19,5000
Or forgé	19,3617
Or fondu	19,2581
Tungstène	17,6
Mercure (à 0°)	13,598
Plomb fondu	11,3523
Palladium	11,3
Rhodium	11,0
Argent fondu	10,4743
Bismuth fondu	9,822
Cuivre en fil	8,8785
Cuivre rouge fondu	8,7880
Molybdène	8,611
Arsenic	8,308
Nickel fondu	8,279
Urane	8,1
Acier non écroui	7,8163
Cobalt fondu	7,8149
Fer en barre	7,7880
Etain fondu	7,2914
Fer fondu	7,2070
Zinc fondu	6,861
Antimoine fondu	6,712
Tellure	6,115
Chrôme	5,9
Iode	4,9480
Spath pesant (baryte sulfatée)	4,4300
Rubis oriental	4,2833
Saphir oriental	3,9941
Saphir du Brésil	3,1307
Topase orientale	4,0106
Topase de Saxe	3,5640
Béril oriental	3,5489
Diamants les plus lourds (légèrement colorés en rose)	3,5340
Diamants les plus légers	3,5010
Flint-glass (anglais)	3,3293
Spath-fluor rouge (Chaux fluatée)	3,1911
Tourmaline (verte)	3,1555
Asbeste roide	2,9958
Marbre de Paros (chaux carbonatée lamellaire)	2,8376
Quartz-jaspe onix	2,8160
Emeraude verte	2,7755
Perles	2,7500
Chaux carbonatée cristallisée	2,7182
Quartz jaspe	2,7104
Corail	2,680
Cristal de roche pur	2,6530
Quartz agate	2,646
Feldspath limpide	2,5644
Verre de Saint-Gobain	2,4882
Porcelaine de la Chine	2,3847
Chaux sulfatée cristallisée	2,3117
Porcelaine de Sèvres	2,1457
Soufre natif	2,033?
Ivoire	1,9170
Albâtre	1,8740
Anthracite	1,8
Alun	1,720
Houille compacte	1,3292
Jayet	1,259
Succin	1,078
Sodium	0,972
Glace	0,930
Potassium	0,8651
Bois de hêtre	0,852
Frêne	0,845
If	0,807
Bois d'orme	0,800
Pommier	0,733
Bois d'oranger	0,705
Sapin jaune	0,657
Tilleul	0,604
Bois de cyprès	0,598
Bois de cèdre	0,561
Peuplier blanc d'Espagne	0,529
Bois de sassafras	0,482
Peuplier ordinaire	0,383
Liége	0,240

Pour établir une liaison entre les tables de pesanteurs spécifiques qui précèdent, nous ajouterons que, d'après les recherches de MM. Biot et Arago, le poids de l'air atmosphérique sec, à la température de la glace fondante et sous la pression de $0^m,76$, est, à volume égal, 1/770 de celui de l'eau distillée.

DENTELLE (*angl.* lace, *all.* spitze). Ce léger tissu se fait à la main, avec des fils de lin extrêmement fins dont on enveloppe de petites bobines placées au bout de fuseaux très déliés : on manœuvre ces bobines de manière à croiser les fils autour d'épingles piquées dans un papier épais, et à faire un réseau à jour, où se trouvent diverses fleurs enlacées avec délicatesse. La dentelle qu'on fait avec de la soie blanche est appelée *blonde;* elle prend le nom de *dentelle noire* quand elle est fabriquée avec de la soie noire. Le TULLE (voyez ce mot) est une dentelle en coton, en fil ou en soie, qui se fait à la mécanique. Il y a aussi des dentelles en fil d'or ou d'argent qui sont grossières et servent aux décorations.

C'est à Bruxelles, Malines et Valenciennes, qu'on fait les plus belles dentelles ; les points d'Angleterre et d'Alençon sont renommés, et cependant on en a presque entièrement abandonné l'usage. Bien souvent, le haut prix des dentelles les fait remplacer par les parures en tulle, qui sont aussi belles et bien meilleur marché. (Voy. *Complément.*)

DEPILATOIRE (*ang.* dépilatory, *all.* enthaarungsmittel.) On appelle ainsi toute substance qui sans nuire à la peau, en enlève les poils ou cheveux. Les unes agissent mécaniquement, les autres chimiquement. Les premières sont généralement des emplâtres formés d'un mélange de poix et de résine étendus sur une peau. On les applique chauds sur la partie de la tête à épiler, et on les retire lorsqu'ils se sont refroidis. Les cheveux y sont alors fortement attachés et s'enlèvent avec eux. Cette méthode, bien que très douloureuse dans son emploi, est moins nuisible que celle des actions chimiques, qui consiste dans l'usage de dissolvants énergiques qui pénètrent jusqu'aux racines bulbeuses des cheveux et les détruisent. Ces dissolvants sont, le plus souvent, du sulfure de baryum, des alcalis caustiques ou des pré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parations arséniciales. La plus employée de ces préparations est connue sous le nom de *rusma oriental*, et possède une action dépilatoire très efficace. Cadet-Gassicourt a donné, dans le *Dictionnaire des sciences médicales*, la recette suivante pour la préparer :

On mêle quatre parties de chaux vive avec une partie d'*orpiment* ou de *réalgar*, et on fait bouillir le mélange dans deux parties d'une dissolution concentrée de potasse. La préparation est terminée lorsqu'en y trempant une plume la barbe s'en détache aussitôt.

Lorsque l'on veut se servir du rusma, on l'applique avec précaution sur la peau par friction, et on lave immédiatement après la place avec de l'eau chaude. Il ne faut employer ce caustique si puissant qu'avec une grande circonspection, et même l'étendre d'eau, pour qu'il n'ait qu'au plus juste la force nécessaire.

On fait quelquefois un savon, en chauffant ensemble du rusma et du suif ou de la graisse fondue ; on obtient ainsi une pommade qui a une grande vertu dépilatoire. Au lieu des proportions indiquées plus haut, on peut se servir d'autres rapports, tels que : 1 partie d'orpiment avec 8 p. de chaux vive ; 2 p. avec 12 p. ; 3 p. avec 15 p. ; le dernier mélange est le plus actif, et on tempère son action en y ajoutant 1/8 p. d'amidon ou de farine de riz. On forme ainsi une pâte molle, qui, étendue quelques minutes sur une partie chevelue, emporte ensuite les cheveux avec elle.

Il ne faut employer le rusma que pour épiler une faible partie de la peau à la fois, car non seulement son action détruit la racine des cheveux, mais, trop prolongée, elle pourrait encore ronger la peau.

Bœttiger a découvert dernièrement que le sulfure de calcium était une substance dépilatoire très active et peu dangereuse, dont l'emploi peut devenir très utile dans le tannage des peaux. On sature de gaz hydrogène sulfuré un lait de chaux, et on verse le liquide sur la peau. En moins de 2 heures, une peau de veau traitée ainsi est complétement dépilée, sans que l'épiderme ait été le moins du monde attaqué.

DÉPLACEMENT (*Méthode de*). La dissolution des corps solides dans les liquides, et principalement dans l'eau, est un des procédés les plus fréquemment employés pour la séparation des substances différemment solubles ou insolubles ; et le principe fondamental de l'épuration de ces premières substances. Mais comme en résultat définitif le but est toujours d'obtenir le corps soluble lui-même, généralement par une cristallisation (voyez ce mot), il faudra évaporer l'eau qui a servi à la dissolution. On voit donc que les conditions à remplir par le système qui sera suivi pour opérer la dissolution seront :

1° D'obtenir la dissolution la plus concentrée qu'il soit possible d'obtenir ;

2° D'épuiser parfaitement les matériaux renfermant le corps soluble ;

3° D'opérer, sans frais accessoires de chauffage, pression, etc. Toutes ces conditions sont parfaitement remplies par la méthode dite de déplacement, dont la première application raisonnée a été faite au procédé d'extraction à peu de frais du salpêtre des matériaux de démolition, qui en renferment des quantités minimes.

1° Obtenir la dissolution la plus concentrée qu'il soit possible d'obtenir.

Soit 1 la quantité d'eau d'imbibition, celle que retiendront les matériaux inertes que l'on rejettera, ou déjà contenue dans ceux-ci comme dans le cas de la betterave. Supposons cette quantité suffisante pour dissoudre toute la substance soluble (tout ce que nous allons dire est vrai indépendamment de la proportion d'eau nécessaire à cet effet, que nous déterminons ici pour simplifier.) Si on met en contact les matières avec une autre quantité 1 d'eau, celle-ci qui peut s'écouler devra contenir en dissolution 0,5 des matières solubles. Mise en contact avec de nouveaux matériaux, non encore lavés, elle devra contenir 0,75 ou 3/4. Les matériaux contenant 1 plus 0,5, l'eau emportant toujours moitié, et ainsi successivement 0,5, 0,75, 0,875, 0,9375. Par quatre opérations seulement, on obtiendra ainsi un liquide aussi chargé, à 1/16 près, de la substance soluble que les matériaux qui la renferment.

Il est clair qu'en opérant de la sorte les quantités de substances solubles abandonnées dans les matériaux lessivés croissent en proportion inverse de la quantité qu'on enlève à chaque opération, c'est-à-dire 1/2, 3/4, 7/8, 15/16, et que, par suite, on ne satisfait nullement à la seconde condition.

2° Epuiser complétement les matériaux renfermant la substance soluble.

Si, au lieu d'opérer comme nous l'avons fait précédemment, on traite successivement la même quantité de matériaux par des volumes égaux d'eau pure, la proportion de substances solubles qu'ils renferment décroîtra seulement en proportion géométrique assez rapide qui sera 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, etc. On voit qu'on arrivera facilement à épuiser ainsi les matériaux, mais en rendant très considérables les quantités d'eau à évaporer. C'est la combinaison de ces deux méthodes qui constitue la méthode de déplacement, et qui permet d'éviter les inconvénients des deux procédés en en réunissant les avantages.

Elle consiste à ajouter une nouvelle quantité d'eau à chaque opération, mais en faisant agir celle-ci sur des matériaux presque épuisés, à la reprendre pour la faire agir sur des matériaux plus riches, et de proche en proche, à ne mettre jamais en contact que des solutions déjà chargées avec des matériaux riches, et des solutions peu concentrées avec des matériaux presque épuisés. Il est clair qu'on obtient ainsi les avantages des deux méthodes que nous avons décrit plus haut en évitant leurs inconvénients.

C'est ainsi, par exemple, qu'on opère pour le salpêtre. Les platras étant déposés dans des tonneaux, on verse de l'eau pure dans celui contenant des platras déjà lavés 2 fois ; de là l'eau repasse sur des platras lavés une fois, puis enfin sur des platras non lavés.

Soient 200 décimètres cubes de platras renfermant 4/100 ou 8 kilogr. de salpêtre ; lavés avec 100 kilogr. d'eau, ils laisseront écouler 50 kilogr. d'eau (50 kilogr. étant retenus par imbibition), la première eau renfermera 4 kilogr. de nitre ; par un second lavage de 50 kilogr. d'eau, on en retirera 50 kilogr. d'eau renfermant 2 kilogr. de nitre.

Si on repasse ces 100 kilogr. sur une égale quantité de platras neufs, le tout renfermera $8 + 4 + 2 = 14$ kilogr de salpêtre ; la moitié de l'eau s'écoulant entraînera donc 7 kilogr. de nitre, qui pourra être obtenu avec de bien moindres frais d'évaporation.

Le tableau placé à la fin de cet article (voir ci-après), et extrait de l'instruction publiée par le comité consultatif des poudres et salpêtres, fera bien saisir la marche d'une semblable opération, qu'il indique suffisamment, et fera parfaitement sentir comment on parvient en même temps à charger beaucoup les liqueurs, pour diminuer autant que possible les dépenses d'évaporation, et à épuiser parfaitement les matériaux, en les mettant en contact à mesure qu'ils s'appauvrissent avec des eaux de moins en moins chargées.

Par 4 lavages on obtiendra ainsi successivement l'avantage :

1° De n'évaporer que des liquides marquant au moins 14°.

2° De ne jamais rejeter des matériaux que quand ils ne font plus guère marquer à l'eau que 1/2 degré, c'est-à-dire ne retiennent que 1/200e de matières solubles, et même moins, en augmentant le nombre des lavages.

M. Dombasl a appliqué cette méthode à l'extrac

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion du sucre de betteraves par son procédé de macération. Il a simplifié la manœuvre en suspendant les betteraves dans des paniers d'osier que l'on enlève au moyen d'une grue placée au centre d'un cercle formé par les vases à macération, de telle sorte que l'action a lieu sur tous les vases à la fois.

Dans le cas des betteraves et substances fermentescibles, il est avantageux d'accélérer la macération en réduisant le nombre des opérations, et extrayant l'eau d'imbibition en terminant par une pression, comme le fait M. Boucher, habile fabricant de sucre indigène à Pantin.

La méthode de déplacement trouve son application toutes les fois qu'il s'agit d'agir sur des substances solubles, dans la fabrication de l'alun, du salpêtre, du sucre, du sulfate de fer, et dans la fabrication d'une foule de préparations chimiques. (Voy. *Complément*).

Lavage de 3 *cuviers, contenant chacun* 8 *kilogr. de salpêtre.*

NUMÉROS des lavages.	Cuvier A.	Cuvier B.	Cuvier C.
1er lavage avec 100 litres d'eau fournit. . .	501. à 8° (1)		
2e lav. avec 50 litres. .	501. à 4°	501. à 14°	
3e lav. avec 50 litres. .	501. à 2° —	501. à 8°	
4e lav. avec 50 litres. .	501. à 1° —	501. à 4° 1/2	501. à 14° 1/4
		501. à 2° 1/4	501. à 8° 1/4
		501. à 1° 1/8	501. à 4° 11/16
			501. à 2° 5/16
			501. à 1° 2/16

DÉSINFECTION. On peut avoir à désinfecter des substances ou des espaces nécessairement limités. Quand un espace, tel qu'une habitation, se trouve infecté, l'infection doit être attribuée soit à une cause permanente, soit à une cause accidentelle, soit même à une cause qui a disparu, et cette infection est due à un dégagement de gaz méphitiques, ou simplement d'une odeur désagréable et incommode. Ces gaz sont les produits volatils d'une décomposition organique, ou bien le résultat d'une opération chimique par suite d'un travail manufacturier. Si la cause d'infection a cessé d'agir, si elle a disparu et que l'effet seul subsiste, c'est en général par la ventilation qu'il faut désinfecter, assainir (2), en supposant toutefois que la ventilation soit assez facilement applicable. Si la cause existe encore, si à plus forte raison elle est permanente, on peut encore employer la ventilation pour combattre l'effet produit, ou bien et mieux, attaquer l'infection dans la cause elle-même, et empêcher la décomposition qui amène le dégagement des gaz méphitiques ou incommodes.

Nous n'examinerons pas le cas du dégagement de gaz dû à une opération chimique, nous n'aurions rien à dire de général à cet égard; nous ne nous étendrons pas beaucoup non plus sur le moyen de désinfecter par la ventilation, moyen très-simple et très-connu d'ailleurs. M. d'Arcet, dont les travaux étaient dirigés vers l'industrie et qui a fait des études spéciales sur un grand nombre de questions intéressant la salubrité, a fait pendant sa vie, si laborieusement et si utilement remplie, de fréquentes et d'ingénieuses applications de la ventilation. C'est ainsi qu'il a assaini d'une manière si remarquable les ateliers où l'on dore au moyen du mercure, les ateliers où l'on blanchit les soies et les laines par la combustion du soufre; qu'il a indiqué un moyen simple de faire disparaître l'odeur qui s'exhale des fosses d'aisances dans les hôpitaux, les casernes et les prisons. Le principe de cet assainissement par ventilation peut être établi en deux mots : on aspire, on appelle dans une cheminée l'air infecté ou les gaz méphitiques, qui sont déversés dans l'atmosphère à une hauteur plus ou moins grande, avant qu'ils aient pu se répandre dans les lieux qu'on veut préserver; on leur donne, en un mot, une direction forcée. Nous renvoyons pour ce mode d'assainissement aux articles de M. Grouvelle, neveu de d'Arcet (voyez VENTILATION et INSALUBRES (ARTS), *Complément*).

Un autre moyen de désinfection, et auquel nous devons plus de détails, c'est l'emploi d'agents chimiques, de substances qui modifient les propriétés, soit des gaz provenant des matières organiques en décomposition, soit des matières organiques elles mêmes; et cette modification a lieu par la dénaturation essentielle de la substance, ou par sa combinaison avec tout ou partie de l'agent employé, combinaison jouissant de nouvelles propriétés. Parmi ces agents chimiques, le plus important est sans contredit le chlore. Comme très souvent, pour ne pas dire toujours, les gaz exhalés des décompositions renferment des combinaisons hydrogénées (principalement des carbures d'hydrogène), et que le chlore détermine la décomposition de ces substances à cause de sa grande affinité pour l'hydrogène, avec lequel il forme de l'acide hydro-chlorique, on emploie généralement ce gaz pour combattre l'infection. C'est Hallé, professeur d'hygiène à Paris, qui signala le premier, vers 1785, les propriétés désinfectantes du chlore. En 1791 et 1792, Fourcroy en indiqua les applications possibles. Guyton-Morveau et Thénard, en popularisant plus tard ce moyen, rendirent un service réel à l'humanité; car jusqu'alors on ne connaissait pas de véritable désinfectant, les moyens employés, tels que les émanations d'huiles essentielles, de camphre, les combustions d'aromates et de sucre, n'étaient que des palliatifs.

On se servit longtemps de flacons dits Guytoniens, c'est-à-dire de petits appareils très ingénieux pour produire de petites fumigations de chlore; nous ne les décrirons pas, car on y a renoncé depuis que l'on connaît les chlorures d'oxydes ou hypo-chlorites (voyez CHLORURES DÉCOLORANTS), qui ont partout remplacé non seulement le chlore gazeux, mais aussi la dissolution de ce gaz, qu'on n'emploie plus guère aujourd'hui que dans les laboratoires. Le dégagement rapide du gaz auquel la dissolution donne lieu, rend son emploi incommode, et même nuisible à la santé.

C'est M. Masuyer, professeur à l'École de médecine de Strasbourg, qui a eu le premier l'idée d'employer l'hypo-chlorite de chaux à la désinfection de l'air, de préférence au chlore. Ses expériences datent de 1807. Elles étaient entièrement oubliées, lorsque, en 1822, M. Labarraque appela l'attention des savants sur l'emploi très utile des hypo-chlorites dans l'art du boyaudier, pour s'opposer à la putréfaction, l'arrêter et en faire disparaître les traces. Il indiqua l'hypo-chlorite de chaux étendu de 150 à 200 parties d'eau, comme un précieux moyen de désinfection pour ceux qui travaillent les matières animales.

Les hypo-chlorites sont encore employés pour les embaumements, les exhumations, et les recherches mé-

(1) Les degrés marqués ici sont ceux d'un aréomètre particulier dont chaque degré correspond à un centième de nitre dans les dissolutions. Ainsi 50 litres à 8° indiquent que les 50 litres contiennent 4 kilogr. de nitre.

(2) *Assainir* a une signification plus étendue que *désinfecter*, car un lieu, une habitation, peuvent réclamer un assainissement sans être pour cela infectés; cependant nous pourrons empiéter sur le domaine de l'assainissement en traitant de la désinfection.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dico-légales qui en sont la suite. On enveloppe alors les cadavres d'un drap mouillé avec une solution, contenant 1/100e de son poids d'hypo-chlorite de chaux. Cette précaution serait excellente pour inhumer, par de fortes chaleurs, les cadavres qui doivent traverser les villes et séjourner dans les églises.

Expliquons comment les hypo-chlorites peuvent exercer leur action désinfectante : l'acide carbonique contenu dans l'air (1) s'empare de la base de l'hypo-chlorite, l'acide hypo-chloreux mis en liberté se décompose en chlore et oxygène ; le premier s'empare d'une partie de l'hydrogène des gaz exhalés par la matière en putréfaction pour former de l'acide chlorhydrique ; l'oxygène, lui, se combine avec une partie de carbone, et aussi avec de l'hydrogène pour donner naissance à de l'acide carbonique et à de l'eau. L'hypo-chlorite qu'on emploie le plus généralement comme désinfectant, à cause de son bas prix, est l'hypo-chlorite de chaux.

Nous renvoyons pour les applications de la désinfection dans les arts spéciaux aux articles spéciaux.

On peut aussi dans la désinfection faire usage d'agents, dits chimiques, qui ne dénaturent pas les gaz méphitiques ou odorants, mais qui les absorbent avant leur émanation dans l'atmosphère, les retiennent pour ainsi dire au passage au moment où ils vont se dégager. Ces matières absorbantes, tels les charbons, doivent être mises en contact avec les matières en putréfaction, leur action sur les gaz déjà répandus dans l'atmosphère étant nulle ou peu active ; aussi, comme ils empêchent la putréfaction de se manifester au dehors de la substance attaquée, on pourrait les appeler des préservateurs d'infections, des anti-septiques, aussi bien que des désinfectants. Du reste, les agents dont nous avons parlé tout à l'heure, tels que le chlore et les hypo-chlorites, peuvent aussi être très bien employés comme anti-septiques.

Nous ne pouvons examiner tous les cas d'infection qui peuvent se présenter ; nous nous arrêterons à ceux qui intéressent le plus vivement la salubrité et la commodité publiques, et pour lesquels des recherches actives ont été faites assez récemment avec des chances de succès.

Une cause d'infection, qui, pour bon nombre de villes se trouve dans chaque habitation, et pour les villes très peuplées, comme Paris, dans chaque appartement, ce sont les fosses d'aisance. Assez souvent, dans les circonstances ordinaires, une odeur infecte et repoussante s'exhale des fosses par les orifices qui y conduisent les liquides et les matières fécales ; cette odeur est toujours insupportable lorsqu'on fait la vidange ; le transport des matières à travers les rues présente aussi de l'inconvénient ; enfin dans beaucoup de villes ces mêmes matières déposées en amas répandent au loin une véritable peste. C'est surtout pour Paris que ce dernier inconvénient mérite d'être cité, car à deux pas du mur d'enceinte de la capitale de la France, on dépose toutes les nuits 500 mètres cubes (5,000 hectolitres) de déjections humaines qui, pour le plus grand avantage de l'entrepreneur de la poudrette, séjournent dans des bassins dont la superficie atteint plusieurs mille mètres carrés. De cette immense surface évaporante s'échappent, outre une odeur caractéristique et inhérente à la matière, de l'hydro-sulfate et du carbonate d'ammoniaque ; et ces émanations qui désolent plusieurs quartiers de Paris et plusieurs communes importantes de la banlieue, étendent leur effet à plus d'une demi-lieue. Outre l'odeur infecte, ces gaz gênent encore par leur action sur les métaux, les peintures et les dorures,

(1) Les hypo-chlorites ne peuvent pas se décomposer sans l'intervention des acides ; ainsi l'air putride, privé de son acide carbonique par les alcalis caustiques, n'est pas désinfecté quand on le fait passer à travers de l'hypo-chlorite de chaux.

effet dû à la combinaison de l'acide hydro-sulfurique avec les substances métalliques. Ajoutons que l'opération de vidange des fosses est très malsaine et quelquefois mortelle pour les malheureux ouvriers adonnés à ce métier dégoûtant, et nous aurons suffisamment montré l'intérêt général que mérite cette question, comme l'avantage immense qui résulterait pour la salubrité de l'emploi de procédés permettant de rendre inodores ou à peu près ces sources de pestilence en supprimant, comme conséquence, les ignobles foyers d'infection qui existent auprès des villes, comme Montfaucon aux portes de Paris.

Nous allons faire connaître succinctement les principaux procédés qui ont été proposés pour arriver au but que nous signalons. Nous devons dire avant tout que jusqu'à présent aucun de ces procédés n'a reçu, d'une pratique longue et soutenue et d'une application étendue, la sanction officielle qu'apportent avec elles ces deux conditions ; mais nous devons ajouter que l'autorité administrative de la capitale, trop peu soucieuse de la salubrité générale dans cette question, elle quelquefois si rigide envers des établissements particuliers, est la première cause de la non adoption de tous ces procédés dont l'efficacité ne peut, pour plusieurs, être révoquée en doute. Avant de faire l'exposé de ces procédés, nous devons dire qu'il faut dans cette question se préoccuper de la conservation de la plus grande partie possible des déjections des corps humains ; car riches en matières organiques, riches aussi en certaines substances dites minérales, comme les phosphates, elles constituent un engrais très puissant, un des meilleurs que l'on connaisse.

A notre avis la solution la plus heureuse du problème est de rendre les fosses d'aisance inodores, non pas seulement au moment de la vidange, mais en tout temps. Pour y arriver il faut nécessairement empêcher la décomposition putride des matières fécales et des urines, en y mélangeant des substances qui absorbent ou neutralisent au fur et à mesure de leur formation les produits volatils et odorants de la décomposition. Or quelle est la composition de l'urine et des matières fécales. Il y a dans l'urine du phosphate, du lactate et de l'hydro-chlorate d'ammoniaque en petite quantité, de l'urée en quantité très notable, du soufre d'après Proust, et des matières animales non caractérisées. Les matières fécales sont composées en grande partie de débris végétaux et animaux dans lesquelles il doit nécessairement se trouver une quantité très sensible de soufre.

Or, l'urine se décompose, sous l'influence d'une température moyenne, en carbonate d'ammoniaque ; le soufre s'empare de l'hydrogène des matières organiques en décomposition pour former de l'acide hydro-sulfurique. C'est donc l'hydro-sulfate et le carbonate d'ammoniaque qui forment en grande partie les gaz fétides et délétères qui émanent des fosses.

Pour absorber et neutraliser ces substances au fur et à mesure de leur formation, quels sont les corps qu'on peut employer ? Les sels métalliques neutres ou du moins très peu acides (1), et en tête le sulfate de protoxyde de fer (couperose verte) à cause de son abondance et de son bas prix : en effet il y aura double décomposition, formation de sulfate d'ammoniaque et de sulfure et carbonate de fer. On peut ajouter au sulfate de fer une certaine quantité de sulfate de chaux (plâtre) qui décompose le carbonate d'ammoniaque bien plus abondant que l'hydro-sulfate, et aussi un peu de charbon en poudre qui sert à absorber les odeurs particulières, autres que celles des sels ammoniacaux volatils, qui pourraient s'exhaler.

(1) On pourrait obtenir la neutralité presque parfaite du sel en ajoutant dans la dissolution un peu de chaux vive ou éteinte en poudre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce mélange peut être introduit dans les fosses soit en poudre sèche, soit délayé dans de l'eau. A notre avis, il est préférable de l'employer à l'état de dissolution, pour la partie soluble bien entendu, car une portion plus ou moins forte de cette poudre pourrait arriver au fond de la fosse avant d'être dissoute, et dès lors l'effet ne serait plus aussi efficace. Dans les habitations à plusieurs étages, comme les maisons de Paris, il sera bon d'introduire les substances dissoutes ou délayées par l'ouverture du conduit, menant à la fosse, située à l'étage supérieur, de sorte que le préservatif agira sur les liquides et les substances qui séjournent dans le conduit et dont la décomposition pourrait très-bien répandre une odeur forte et désagréable.

Voici une expérience que nous avons faite nous-même pour nous rendre compte de l'efficacité du sulfate de fer comme désinfectant des urines et matières fécales, lorsque cette question était l'objet d'une préoccupation générale.

Le 2 octobre 1844, à de l'urine de 18 heures au plus et provenant de divers individus, nous ajoutâmes une dissolution de sulfate de fer à 27 degrés Baumé, dans la proportion de 1/20e, et le mélange fut abandonné à la température d'un appartement chauffé à 12 ou 15 degrés. Le 11 décembre, aucune odeur ne s'exhalait du mélange, tandis que la même urine seule placée dans les mêmes conditions répandait au bout de 6 jours une odeur insupportable. La décomposition de l'urée en carbonate d'ammoniaque s'était effectuée, car en plaçant dans le mélange de la chaux vive, et agitant à froid, l'odeur d'ammoniaque était très-forte.

Voilà une expérience de laboratoire; d'autres plus importantes, plus pratiques, si nous pouvons nous exprimer ainsi, ont été faites; nous en parlerons tout à l'heure.

D'après un mémoire sur les antiseptiques, présenté au concours de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon en 1767, il est constant que bien antérieurement avant cette époque on avait indiqué le sulfate de fer comme antiseptique.

Ainsi il paraîtrait d'après cette communication que l'emploi du sulfate de fer pour la désinfection des fosses d'aisance est dans le domaine public; mais il ne suffisait pas d'indiquer le moyen, il fallait surtout l'appliquer, aussi citerons-nous avec plaisir et éloge les noms des chimistes qui se sont occupés d'une manière sérieuse et profitable à l'intérêt général de cette application très-peu attrayante. D'abord M. Siret, pharmacien à Meaux; des expériences ont été faites par lui sous le contrôle d'une commission de l'Académie des sciences composée de MM. Boussingault, Payen et Gasparin. D'après ces expériences couronnées de succès, il faut employant la poudre de M. Siret (poudre composée de sulfate de fer, de sulfate de chaux, de houille, de goudron, de charbon de bois et de chaux vive), 15 à 18 grammes pour désinfecter, comme aussi pour prévenir la putréfaction des matières fétides émanant des déjections d'un individu par jour (1). M. Siret porte à 1/2 centime par jour le coût de cette quantité de sa poudre désinfectante. Une Compagnie s'était créée à Paris pour entreprendre, par abonnement, à tant par tête d'habitant, la désinfection préventive des fosses d'aisance de la capitale. Il eut fallu, pour introduire chaque jour dans la fosse la quantité prescrite de poudre antiseptique, des frais de personnel trop considérables pour que ce système pût réussir.

Après M. Siret, que nous pensons être le premier en date dans cette application, nous citerons MM. Suquet et Kraft, de Paris, puis M. Schattenmann, le directeur de l'administration des mines de Bouxvillers, bien connu dans le monde industriel par ses travaux d'applications.

Ce moyen de désinfection permanente et préventive l'emporte évidemment sur la désinfection au moment de la vidange puisqu'avec lui on fait disparaître l'odeur incommode et repoussante qui infecte si souvent les appartements de la capitale, et aussi parce que la désinfection, au moment de la vidange, présente des difficultés dans la mise en pratique; en effet, le brassage des matières, et surtout des matières solides qui se déposent et se lient fortement au fond des fosses où elles forment une masse compacte, est très-difficile sur de grandes quantités des matières; or ce brassage, impossible quand les fosses sont closes, est indispensable pour arriver à la désinfection. Cependant, rigoureusement parlant, la désinfection au moment de la vidange est praticable et devra être pratiquée, lorsque le procédé de préservation n'aura pas été employé régulièrement chaque jour.

Quand on opère au moment de la vidange, il faut employer du sulfate de fer bien neutre, car l'excès d'acide qui se trouve dans le sulfate de fer du commerce suffirait pour donner lieu à un dégagement d'acides sulfhydrique et carbonique, provenant de la décomposition du sulfhydrate et du carbonate d'ammoniaque. Or l'acide sulfhydrique est, on le sait, extrêmement délétère.

La richesse des matières fécales en ammoniaque étant variable, la quantité du sulfate de fer à employer doit varier aussi; mais ordinairement, d'après M. Schattenmann, 2 à 3 kil. suffisent pour saturer 100 litres de matières putréfiées. On peut facilement reconnaître la saturation en mettant une goutte de la liqueur sur une feuille de papier blanc, et en y passant le bout d'une barbe de plume trempé dans une dissolution de prussiate de potasse rouge, car dès qu'il y a excès de sulfate de fer il se forme du bleu de Prusse, et c'est un signe certain que la matière est saturée et qu'il y a excès de sulfate de fer. La liqueur désinfectante est versée dans la fosse d'aisance par l'ouverture qui sert à la vider, puis on remue avec un ringard, formé d'une perche au bout de laquelle on fixe une planche d'environ 50 centimètres de longueur et de 20 centimètres de largeur.

M. Schattenmann recommande avec raison de ne pas jeter dans les fosses d'aisance des débris de végétaux, de viandes et de poissons dont la putréfaction engendre une odeur particulière très-infecte, qui pourrait bien n'être pas neutralisée par les sels métalliques.

La désinfection des fosses d'aisance par le sulfate de fer ou autres sels métalliques a, outre le but direct qui est très-important au point de vue de l'hygiène et de la salubrité publique, l'avantage indirect, mais d'une haute utilité, de conserver intacte et dans toute sa valeur comme engrais la partie ammoniacale qui y est contenue. En effet les sels ammoniacaux contenus dans les *eaux-vannes* des fosses d'aisance sont très-volatils, de sorte qu'ils se dégagent facilement par évaporation, soit lorsqu'on jette ces liquides sur la terre comme engrais, soit lorsqu'on les conserve dans des citernes ou bassins plus ou moins découverts avant de les employer. Le sulfate d'ammoniaque au contraire est fixe, de sorte qu'on peut, sans exagération, avancer que l'on augmente la valeur de l'engrais qu'on peut conserver indéfiniment.

Les déjections humaines, urines et matières solides par la variété de sels qu'elles contiennent, et surtout par l'ammoniaque et autres substances azotées, comme aussi par les phosphates qui s'y trouvent, constituent une source abondante d'engrais, qu'on n'a pas jusqu'ici exploitée avec toute l'attention désirable. Dans plusieurs contrées on n'en tire qu'un parti incomplet, puisqu'on ne fixe pas les sels ammoniacaux volatils; dans d'autres

(1) On peut admettre que les excréments solides et liquides d'un homme sont, par jour, de trois quarts de kilogr., soit de 282 kilogr. par an, et qu'ils contiennent 3 pour cent d'azote.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on ne tire aucun parti des urines et on les jette comme matières sans valeur ; dans d'autres enfin, on néglige les urines et les matières solides, tandis qu'on devrait recueillir le tout avec soin, en appliquant le dire de cet alchimiste, quelque temps après la découverte du phosphore : *Que si on savait tout ce que contient l'urine, on n'en perdrait pas une seule goutte.* C'est surtout pour Paris que cette indifférence mérite d'être vivement blamée. Le tiers des urines ou eaux-vannes est distille sur de la chaux pour en extraire l'ammoniaque qu'on utilise à la fabrication du sulfate de cette base, et les deux autres tiers après avoir séjourné au moins une année dans de vastes bassins sont, avec le résidu liquide de la distillation, lâchés dans la Seine. On voit qu'il y a un immense progrès à réaliser, et que des barbares auraient probablement beaucoup mieux fait que nous.

Nous avons dit que les excréments d'un homme, pendant une année, renferment 8k,43 d'azote, quantité suffisante, d'après M. Boussingault, pour fournir l'azote nécessaire à la production de 400 kil. de froment, de seigle ou d'avoine, et à celle de 450 kil. d'orge. « C'est-à-dire que ces excréments peuvent fertiliser pendant une année la culture d'un terrain de 20 ares et assurer une récolte abondante. En utilisant tous les excrements humains, les cendres de bois, de tourbe, les matières végétales et animales, on pourrait se passer, sinon entièrement, du moins en grande partie du fumier des bestiaux. Ce résultat, qui rendrait libres les combinaisons de l'agriculture serait fort important, car il résoudrait l'une des questions les plus difficiles, en dispensant le cultivateur de l'entretien d'un bétail nombreux, dans les localités où les fourrages sont rares, et où les terres peuvent être employées plus utilement à produire les aliments nécessaires à une population nombreuse. » (Communication de M Schattenmann au comice agricole de Bouxvillers. Extrait du *Moniteur industriel* du 29 décembre 1844)

Nous croyons que M. Schattenmann aurait bien fait d'insister aussi sur les phosphates contenus dans les excréments humains, car ils jouent certainement aussi un rôle important dans la végétation.

Citons encore quelques faits d'après M. Schattenmann. Deux litres de matières, désinfectées et saturées par le sulfate de fer, marquant 2 degrés Beaumé suffisent pour fumer un mètre carré ou un centiare de pré, et un litre seulement pour un mètre carré de froment, d'orge ou d'avoine. En en mettant une plus grande quantité sur les céréales, leur végétation est trop forte, elles donnent plus de paille et moins de grain. Ces matières peuvent être employées par fumer les plantes potagères, le chanvre, le tabac et le lin; mais elles ne produisent aucun effet sur le trèfle et la luzerne.

Enfin les urines désinfectées peuvent aussi servir à la fabrication des produits ammoniacaux en les traitant par la chaux vive; seulement, l'alcali volatil étant fixé par l'acide sulfurique, il faudra plus de chaleur et plus de chaux pour parvenir à le chasser entièrement.

Nous avons dit qu'à cause de son bas prix le sulfate de fer se prêtait très bien à la désinfection des matières fécales. Ce sulfate se vend à Paris, au dépôt des usines vitrioliques de l'Aisne et de l'Oise, au prix de 8 fr. les 100 kil., en qualité inférieure, il est vrai, mais bien convenable pour l'emploi en question. Nous pensons que pour les localités assez rapprochées des mines de cendres pyriteuses, ces cendres pourraient bien être employées en nature, après avoir été effleuries à l'air; les lignites auxquels elles se trouvent mélangées agiraient comme de la poudre de charbon; il suffirait d'y ajouter un peu de chaux ou même de craie, le carbonate de chaux en effet délayé dans l'eau avec les cendres pyriteuses efflleuries neutraliserait l'acide en excès et il ne resterait en dissolution que des sels neutres. Ce que nous disons des cendres pyriteuses s'applique tout aussi bien au sulfate de fer lui-même, et nous en recommandons l'emploi à ceux qui s'occupent de désinfection (1).

Bien que nous ayons indiqué le procédé qui, suivant nous, l'emporte sur tous les autres, nous ne devons pas passer sous silence dans la discussion de cette question les autres moyens proposés qui ont plus ou moins approché du but.

Vers 1835, M. Salmon eut l'idée d'appliquer les propriétés désinfectantes des charbons à la vidange des fosses d'aisance, du moins en ce qui concerne les parties solides.

Avant de parler de ce procédé, disons d'abord que M. Salmon fabriquait, depuis 1826, une poudre désinfectante en calcinant dans des cylindres de fonte, la vase ou la boue provenant des rivières, étangs ou fossés et qui renferment naturellement assez de substances organiques pour former une poudre noire absorbante et désinfectante au degré convenable. Toute matière renfermant du carbone, et les substances organisées sont toutes dans ce cas, peut être employée au même usage : tels sont les débris de tourbe, la sciure de bois, le tan, etc. Il s'est assuré par un travail en grand qu'en mêlant une terre argileuse avec le dixième de son poids d'une matière organique quelconque, de matière fécale par exemple, et calcinant le tout on obtient un mélange propre à fournir un excellent charbon qui, soumis à une pulvérisation, au moyen de cylindres cannelés, et bluté, convient bien à la désinfection.

C'est en se basant sur les propriétés de cette poudre, que M. Salmon songea à l'employer pour enlever aux matières fécales leur odeur, et les convertir en une matière pulvérulente, inodore, et par conséquent facile à extraire des fosses. Les essais qu'il a tentés, à cet effet, ont parfaitement réussi. Pour obtenir cette désinfection, il faut mêler un hectolitre de poudre avec un hectolitre de matière fécale. Dès que le mélange est opéré, toute odeur fétide disparaît. Nous pouvons citer à l'appui de cette désinfection complète et persistante, un fait assez curieux : M. Darcet ayant assisté à la vidange d'une fosse par le procédé Salmon, emporta une petite quantité de la matière désinfectée; en rentrant chez lui, il la fit placer dans une assiette qu'on présenta dans son salon où il y avait compagnie; aucun des assistants ne put deviner quelle était la matière que l'on faisait circuler ainsi en grande pompe.

Par l'emploi de ce procédé, la matière organique désinfectée est convertie immédiatement en un engrais très actif et des moins désagréables à employer. Un des avantages que nous devons signaler c'est que cette matière est presque sèche et pulvérulente et d'un transport très facile. Malgré les bons résultats de ce procédé il n'a jamais été appliqué d'une manière régulière à Paris. Il est incontestable que la désinfection permanente des fosses, au moyen des sels métalliques, laisse derrière elle le procédé Salmon, qui ne s'appliquait nullement aux eaux-vannes; cependant il peut se présenter des circonstances où il rendrait de véritables services.

Nous devons aussi signaler un mémoire présenté par M. Derosne, il y a longtemps, à la Société d'encouragement; son procédé consiste à séparer immédiatement dans les fosses les parties solides des liquides; à désinfecter sur-le-champ les matières fécales solides, en mélangeant périodiquement, chaque fois qu'on est obligé d'aller aux aisances, une poudre désinfectante analogue à celle de M. Salmon, et aussi d'empêcher la putréfaction des urines, par l'addition d'une solution de

(1) En effet ce qui rend acide le sulfate de protoxyde de fer (couperose verte) c'est la présence d'une certaine quantité de sulfate de peroxyde qui ne peut exister sans cet excès d'acide. En saturant l'acide par une base ou un carbonate, le sel de peroxyde de fer se dépose à l'état basique et le sulfate de protoxyde reste à l'état neutre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chlorure de chaux ou d'acide sulfurique étendu d'eau.

Nous devons mentionner le procédé séparateur de MM. Huguin, qui emploient des appareils propres à opérer la séparation des solides et des liquides de manière à désinfecter les premiers et à rendre les seconds impropres à se putréfier. Leur système se compose d'un appareil de séparation au moyen duquel les matières sont retenues dans un vase métallique, et les urines reçues dans des réservoirs entièrement clos d'où on les extrait à l'aide d'une pompe.

L'appareil de séparation se compose de deux cylindres dont le diamètre diffère d'environ 3 centimètres et qui sont placés l'un dans l'autre. Le cylindre intérieur, criblé de trous à son fond et sur ses parois, retient les matières solides; les liquides s'en échappent par l'espace réservé entre les deux cylindres et tombent dans le fond du vase extérieur d'où ils sont conduits dans le réservoir par un tuyau en tôle galvanisée.

Le tuyau de chute amenant les déjections s'adapte au cylindre intérieur de l'appareil de séparation au moyen d'un manchon mobile qu'on relève lorsqu'il faut vider l'appareil. A ce moment, on place sur l'appareil un couvercle qui le ferme hermétiquement et sur lequel appuie une barre de fer.

Le réservoir qui reçoit les eaux-vannes est construit, suivant l'exigence des localités, soit en bois de chêne doublé de plomb, soit en pierre meulière. On le vide à l'aide d'une pompe portative aspirante et foulante sur laquelle est adapté un tuyau qui conduit ces eaux-vannes dans une caisse en tôle établie sur une voiture servant à les transporter. Dans le dallage qui recouvre le réservoir est pratiquée une ouverture, un trou d'homme fermé par un couvercle aussi en tôle galvanisée, garni d'une barre de fermeture et d'un cadenas.

Avant l'enlèvement des eaux-vannes du réservoir ou fosse, on y introduit par l'ouverture dont nous avons parlé tout à l'heure la liqueur désinfectante, par exemple du sulfate de fer, et on agite pendant quelque temps au moyen d'un bâton. Alors on extrait au moyen de la pompe, et de cette manière on peut enlever 20 hectolitres d'eaux-vannes en un quart d'heure.

L'emploi de la chaux, du corps le plus convenable pour absorber de l'eau, a été fait avec succès par MM. Moselmann et Ce, pour empêcher la fermentation et préparer un mélange recherché pour l'agriculture.

Voilà en définitive plus de procédés qu'il n'en faut pour arriver au *desideratum*. Désormais, si les inconvénients graves que nous avons signalés plus haut se perpétuent, on saura pertinemment que ce n'est pas la science qu'il faut accuser d'impuissance, mais bien l'autorité d'incurie. A. MALLET.

DESSIN INDUSTRIEL. Il serait inutile de s'appesantir sur l'origine des arts du dessin aussi anciens que les sociétés humaines, et sur laquelle les auteurs ne rapportent que des traditions sans valeur. Suivant Pline (livre XXXI, chap. 12), les Grecs attribuaient la découverte du dessin à Dibutade, potier de terre sicyonien, grâce toutefois à sa fille : car celle-ci, étant amoureuse d'un jeune homme qui partait pour un long voyage, traça le pourtour de l'ombre du profil de son amant sur une muraille à la lueur d'une lampe. Son père, sur ce même dessin, plaqua de l'argile, et exécuta l'image en relief sur le dessin tracé (1).

(1) Ce moyen de dessiner a été popularisé de nos jours pour faire des portraits dits *à la silhouette*. Suivant Mercier (Tableau de Paris, tom. 1er), « c'est M. de Silhouette, contrôleur général des finances sous Louis XV, qui a donné son nom à ce genre de peinture. Les portraits à la silhouette furent des images tirées de profil sur du papier noir, d'après l'ombre de la chandelle sur une feuille de papier blanc. »

DESSIN INDUSTRIEL.

Nous ne nous occuperons pas dans cet article de ce qui est du domaine soit de la géométrie descriptive, soit des beaux-arts. Nous voulons seulement y relater les méthodes pratiques de l'exécution matérielle, et passer en revue le grand nombre des procédés existant aujourd'hui, qui tendent à diminuer le travail d'exécution dans les arts, et aident ainsi l'invention de l'esprit; mais surtout et bien plus encore la partie matérielle du dessin industriel, qui joue un si grand rôle dans la fabrication des articles de goût de tout genre. On trouvera à la fin de cet ouvrage, dans l'étude sur l'ART INDUSTRIEL, l'exposé des principales considérations auxquelles donnent lieu les beaux-arts envisagés au point de vue de leurs applications à l'industrie, dont la culture est si essentielle à sa prospérité.

DIVERSES MANIÈRES DE CALQUER.

Une des opérations les plus fréquentes dans la pratique des arts du dessin, et pour laquelle le plus de procédés ont été inventés, est celle qui consiste dans la reproduction d'un dessin.

Pour copier des dessins, et obtenir des copies égales et semblables, on emploie :

Le calque à l'aide de la vitre ou sur la vitre elle-même.

Le calque sur du papier frotté de sanguine ou de mine de plomb, sur de la gaze ou des feuilles de papier transparentes, voire même sur du parchemin rendu transparent par une lessive alcaline.

Le papier piqué dit *poncis*.

Les patrons découpés ou *imprimures*.

Calque à l'aide d'une vitre ordinaire. On commence par appliquer l'une sur l'autre la feuille de papier qui porte le dessin, et celle sur laquelle on veut le reproduire, en ayant soin de les bien juxtaposer et de les fixer avec des pains à cacheter, de la colle à bouche ou de la cire molle, afin d'éviter tout dérangement. Ces précautions prises, on pose les deux feuilles de papier sur le carreau d'une croisée, et on suit avec un crayon quelconque tous les contours du dessin vu par transparence. Mais cette manière est très-fatigante et très-sujette à altérer la rectitude des traits, à cause du frottement de la main qui tiraille et dérange toujours le papier sur lequel on dessine.

La vitre peut encore être posée horizontalement, soit sur une table qui a une ouverture plus petite que la glace, soit sur deux tréteaux en bois, soit enfin sur un métier à broder. Dans ce dernier cas, on met une bougie ou lampe dessous la vitre, afin d'éclairer le dessin.

Sénéfelder a décrit, dans son *Traité de lithographie*, page 109, un autre moyen de calquer le dessin à l'aide de la vitre placée horizontalement.

On place, dit-il, sous le verre une glace inclinée qui rejette d'en bas et par derrière le jour sur le dessin. On doit former par le haut une ombre légère qui frappant un peu sur le haut du dessin, fait que le jour qui s'insinue par derrière a plus d'effet.

Le calque à la vitre présente ce grand avantage qu'on peut copier le dessin dans le sens inverse; pour cela, il suffit de mettre le dessin en contact avec la glace, et d'appliquer dessus le papier à dessiner. C'est à l'aide de ce procédé que les graveurs et les lithographes peuvent copier ou lever un dessin quelconque pour le transporter ensuite sur la planche matrice.

Calque au moyen du papier transparent ou de la gélatine. Généralement on se sert pour calquer les dessins des différents papiers transparents qu'on achète tout préparés chez les marchands de couleurs et de fournitures d'articles de peinture. Mais nous oserons combattre, par des observations directes et concluantes, cet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DESSIN INDUSTRIEL.

nuage vicieux relativement aux inconvénients que présentent tous les papiers transparents du commerce en général.

Le papier huilé n'est pas assez transparent pour laisser apercevoir les traits déliés au travers de son tissu ; il jaunit au bout de peu de temps, et tache souvent les dessins et les tissus sur lesquels on l'applique.

Le papier gélatine est très transparent, d'une petite dimension, et d'un prix de vente élevé, il se racoquille et se casse facilement par la sécheresse, voire même au contact de la main ; il s'allonge et s'étend par l'effet de l'humidité.

Le papier verni a la transparence du papier gélatine quand il est nouveau, mais il est sec, cassant, et il jaunit beaucoup avec le temps, graisse et tache souvent les dessins lorsqu'il est exposé à une température élevée.

Le papier végétal est le seul qu'on puisse employer avec sûreté et économie ; il est sans odeur, ne jaunit jamais, et il ne peut tacher ni les dessins, ni les étoffes avec lesquelles il est en contact ; mais il est peu transparent, d'un prix assez élevé, il gode facilement et présente ainsi des difficultés pour tracer les traits à l'encre et au pinceau.

De tous ces faits, on peut conclure que le calque au moyen des papiers transparents et de la gélatine est beaucoup plus coûteux et plus difficile à employer que le calque à la vitre, et nous nous étonnons même que personne encore n'ait songé à faire cette remarque et à dire franchement son opinion aux dessinateurs praticiens.

Il est des cas, cependant, où le papier transparent peut offrir quelque utilité, par exemple, lorsqu'il s'agit de calquer un dessin très vigoureux et très marqué d'après une étoffe colorée, un châle broché avec des couleurs tranchantes (1), un papier peint, une planche gravée, une lithographie dessinée sur pierre ou sur le zinc, d'après tout autre objet plan et opaque que la lumière ne pourrait traverser. Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de faire usage du papier huilé et du papier végétal, qui ne sont pas assez transparents pour permettre de lever un dessin léger sur étoffe damassée ou brochée avec des couleurs ternes et peu tranchées, sur une étoffe ou une tapisserie brodée avec des couleurs très variées et fondues qu'on ne voit pas distinctement.

Le papier-gélatine ou glace, présente un avantage réel parce qu'on peut calquer, ou plutôt graver le dessin dessus avec un pointe sèche, et qu'ensuite en remplissant les tailles avec de la sanguine ou de la mine de plomb, on peut obtenir des impressions répétées qu'on transporte à volonté sur une surface plane quelconque.

Voici la manière de s'en servir :

Placez le dessin que vous voulez reproduire sur une planche à dessiner parfaitement horizontale, et fixez-le avec de la colle à bouche, de la cire molle, ou par tout autre moyen ; posez ensuite le papier gélatine (2) de manière que la surface lisse se trouve en dessus (3), et fixez-le aussi avec de la cire molle.

Les choses étant ainsi disposées, vous gravez légèrement avec une pointe sèche, semblable à celle dont on se sert pour graver à l'eau forte, tous les traits du dessin que vous apercevez au travers du papier-gélatine. Lorsque les traits du dessin sont entièrement gravés, vous enlevez avec précaution les *barbes* qui sont de chaque côté, avec un grattoir dont la lame est recourbée et très tranchante (4). Cela fait, vous frottez la surface du papier gélatine avec un bouchon humecté d'huile d'olive et un peu de blanc d'Espagne pour lui donner un plus beau poli et de la souplesse.

Vous remplissez les tailles avec de la poudre de sanguine et de mine de plomb, ou de crayon noir à dessiner, à l'aide d'un tampon de drap fin ou de velours de soie, et vous essuyez avec soin la surface du papier gélatine pour enlever la poudre superflue.

Votre dessin apparaît alors très distinctement.

Pour obtenir une impression ou empreinte sur une surface plane et unie, vous posez d'abord le papier gélatine sur cette surface, le côté gravé en dessous, observant de bien l'étendre avec la main ; puis vous appliquez sur le papier gélatine un morceau de taffetas gommé très mince et fortement tendu sur un châssis en fil de fer, ou tout simplement en bois (2). Ensuite vous frottez la surface du *taffetas gommé* soit avec un racle en bois semblable à celui dont on se sert dans l'imprimerie lithographique, soit avec une brosse dure soit avec un cylindre tournant sur deux axes en fer ; soit enfin avec un *brunissoir* de graveur. Par l'un ou l'autre de ces moyens, vous obtiendrez une empreinte très pure et très exacte. Vous pouvez encore soumettre le papier gélatine et la surface à imprimer à l'action d'une presse.

Calque au moyen de la gaze transparente blanche ou noire. C'est la méthode la plus simple et la plus économique surtout pour *lever* les contours d'un grand dessin, d'un tableau peint à l'huile, etc. ; nous la trouvons déjà indiquée dans un excellent mémoire sur *la peinture*, imprimé dans l'*Histoire de l'Académie des sciences*, depuis 1666 jusqu'à 1699, tom. IX (3).

Nous transcrivons ici les propres paroles de l'historien : « On ne saurait contre-tirer un tableau pour le copier, c'est pourquoi on a cherché une autre manière prompte et sûre pour transporter le dessin d'un tableau sur une toile imprimée ou sur un mur ; mais je rappellerai seulement celle qui est le plus en usage, qui est très commode, et qui ne peut faire aucun tort à l'original : on l'appelle *prendre au voile*.

« On choisit un crêpe ou voile de soie noire très fin et assez serré, en sorte pourtant qu'on puisse voir facilement à travers tous les objets ; on y coud tout autour une bande de vieille toile, ou de quelque étoffe mince, et on l'étend sur un châssis de bois, en sorte que le crêpe est tout dégagé. »

« Pour l'usage, on appliquera ce crêpe bien tendu sur le tableau qu'on veut copier, et comme on voit assez facilement au travers du crêpe tout ce qui se présente sur le tableau, on dessine tout le trait avec un crayon de craie blanche bien pointu, et de médiocre dureté. »

On transporte le tracé en frottant la gaze avec un morceau de papier à plat et plié en trois ou quatre double et large d'environ trois doigts.

Calque sur un taffetas ciré, dont l'invention est due à M. Jobard, de Bruxelles. Choisissez un carré de taffetas ciré bien uni, ou plutôt faites-en fabriquer une pièce un peu plus forte et moins transparente que celui du

(1) Dans la fabrique de châles, on se sert exclusivement de papier verni.

(2) On peut enduire la surface intérieure du papier gélatine d'une légère couche de carmin mouillé par l'essence de térébenthine, afin de donner à l'artiste plus de facilité pour voir les traits.

(3) Le papier gélatine a toujours une surface lisse et une qui ne l'est pas, ce que l'on reconnaît très bien à l'œil et au toucher.

(4) L'instrument connu en chirurgie sous le nom de *sauge* remplit parfaitement ce but.

(2) Pour éviter de déchirer le taffetas, on coud sur ses bords un galon de fil ou de coton croisé, avec deux rangées de *points arrière*, et on l'étend sur le châssis en le laçant avec une ficelle. Pour faire mieux, on pose des œillets métalliques sur le galon en ayant soin de les placer uniformément et à petite distance.

(3) Il est à remarquer que le célèbre Bramante, qui florissait à Rome vers le commencement du XVIe siècle, a indiqué l'emploi de la gaze pour dessiner en perspective.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commerce, et tâchez qu'on lui donne une couleur laiteuse, nous dirons pourquoi.

Faites coudre une tresse de fil autour de votre carré; passez un lacet dans cette tresse pour tendre également ce taffetas, au centre d'un cadre formé d'un fil de fer gros comme un tuyau de plume à écrire.

Placez ce taffetas sur le dessin à copier et suivez les traits avec une plume et de l'encre lithographique.

Voilà bien le fond du procédé, mais vous ne feriez rien de bon sans les explications qui vont suivre :

1° Le taffetas étant translucide, il s'ensuit que le trait que vous tracez, se confondant avec le trait de dessous, vous ne savez pas s'il a la même épaisseur ; il faut donc ternir l'envers du taffetas avec une légère solution de lait de chaux ou de blanc quelconque qui permette d'apprécier exactement l'épaisseur et la pureté de vos traits (1);

2° La plume ordinaire ne vaut rien; il faut se servir des petites plumes lithographiques de Perry, qui permettent de tracer les lignes les plus délicates avec une rare facilité;

3° Si votre encre n'est pas assez épaisse, elle s'étale et vous ne faites que des pâtés; il faut donc amener votre encre lithographique à la consistance d'un lait épais; vos traits, au lieu de s'épater, ont une tendance à se resserrer à cause de l'état un peu graisseux du taffetas qui ne repousse pas néanmoins l'encre grasse et alcaline que vous lui confiez;

4° Avant de dessiner, vous aurez soin de passer une couche d'essence de térébenthine ou d'eau de savon sur votre taffetas que vous essuierez bien avec du papier Joseph ou avec un linge.

En très peu de temps vous aurez acquis une habitude parfaite de ce procédé, et ce sera un plaisir pour vous de vous y livrer. Quand on fait un faux trait, rien n'est plus aisé que de l'enlever avec un grattoir, car il ne pénètre point dans la substance du taffetas; il n'est que déposé sur la surface. On peut au besoin enlever à l'essence toute une partie de dessin ou le dessin tout entier.» (Extrait du Rapport sur l'Exposition de 1839, par M. Jobard.)

Du reste, on comprend que le dessin fait sur le taffetas gommé peut être décalqué aisément sur le papier, la planche de cuivre, la pierre lithographique, le zinc, etc., par le même procédé que nous avons indiqué plus haut.

Calque et décalque d'un dessin au moyen du papier ordinaire frotté de sanguine, de mine de plomb, ou *de noir de fumée.* Il y a plusieurs moyens connus de *calquer* un dessin au moyen de papier frotté de sanguine, afin de le décalquer ensuite sur le papier, le bois, les métaux, etc., à l'aide du frottement d'un instrument convenable ou d'une presse à imprimer ; et nous allons les indiquer successivement.

1° Si le dessin peut être sacrifié, on se borne à le frotter par derrière avec de la sanguine, de la mine de plomb, ou du crayon noir pulvérisé que l'on étend bien également avec un linge fin, de manière à ne laisser sur le papier aucun grain grossier qui pourrait trouer le papier. On pose ensuite le côté coloré sur la surface à dessiner, et on suit avec un crayon de mine de plomb très dur tous les contours du dessin qui s'impriment visiblement et dans le sens direct. Il est bien entendu qu'on fixe solidement l'original et le papier sur lequel on veut dessiner, afin qu'ils ne puissent pas se déranger.

Pour obtenir les traits des dessins dans le sens inverse, on se contente de suivre les contours de l'original soit avec un crayon de sanguine, soit avec un crayon noir à dessin, soit avec une plume ou un pinceau, et une encre liquide d'une couleur tranchante avec celle du modèle, et dans laquelle on aura fait fondre un peu de sucre. On décalque ensuite l'esquisse dans le sens inverse par les procédés déjà décrits;

2° On peut aussi mettre entre le dessin et la surface à dessiner un papier ordinaire enduit de sanguine et de mine de plomb; et on repasse sur tous les traits avec un crayon de mine de plomb, comme il est dit plus haut.

3° Si l'on ne veut pas gâter le dessin, on le calque sur un papier transparent, avec un crayon noir à dessin, de la sanguine, ou avec une plume et de l'encre à écrire un peu sucrée, on le décalque ensuite sur la surface donnée, que l'on humecte légèrement pour lui donner plus d'aptitude et d'affinité à prendre les traits colorés;

4° Enfin les dessins imprimés fraîchement à l'encre grasse, peuvent être décalqués sur le papier, les étoffes lisses, le bois, le verre, les métaux, la pierre, etc.; en les faisant passer sous la presse de l'imprimeur en taille douce ou sous celle de l'imprimeur lithographe.

Le simple frottement d'une roulette ou d'une racle en bois suffit ordinairement lorsque le papier qui a reçu le dessin a été enduit d'une couche de colle, d'amidon ou de gomme, etc., avant l'impression. Dans ce cas, on mouille le derrière du papier avec une éponge, afin de dissoudre l'encollage et de détacher plus facilement le dessin qui reste invariablement fixé sur la surface en contact.

Les vieilles impressions elles-mêmes peuvent être ramollies par l'emploi de la vapeur d'eau, par l'ammoniaque liquide, l'éther sulfurique, les huiles essentielles, l'alcool anhydre, les sels alcalins dissous dans l'eau et légèrement chauffés, etc. On réussit même à saponifier l'encre grasse d'impression en imprégnant la gravure d'une solution de soude caustique, dont on neutralise ensuite l'effet par un lavage à l'eau de rivière, saturée par quelques gouttes d'acide sulfurique. Après cette opération, les vieilles impressions sont propres à être décalquées sur le papier, le cuivre, la pierre lithographique, etc. Les contre-épreuves, il est vrai, sont peu marquées, mais on peut augmenter leur intensité et leur vigueur, en les mouillant avec de l'essence de térébenthine et les saupoudrant de mine de plomb et de crayon noir pulvérisés et mêlés ensemble. On peut encore humecter le dessin lui-même, avant d'opérer le décalcage, avec de l'essence de térébenthine ou de lavande, mais on mouille préalablement le papier,

Nous dirons plus tard toutes les applications que l'on fait et que l'on peut faire du mode de transport des dessins imprimés (voyez LITHOGRAPHIE, IMPRIMERIE EN TAILLE DOUCE, PEINTURE SUR VERRE, TOLE VERNIE, etc.)

Moyen d'obtenir simultanément deux calques d'un dessin, l'un dans le sens direct, et l'autre dans le sens inverse. Prenez une feuille de papier mince et unie, comme celui dit *serpente*, et posez-la sur une feuille de zinc bien plane et bien propre; incorporez avec du saindoux un peu d'essence de térébenthine très pure, du bleu de Prusse et du noir de fumée en suffisante quantité pour colorer, et broyez le tout avec une molette sur une glace ; étendez avec précaution cette composition sur les deux côtés de la feuille de papier avec une éponge, de manière à former une couche légère et uniforme, et laissez-la sécher jusqu'au lendemain. Vous frottez ensuite la feuille noircie avec du papier Joseph non collé que vous renouvelez souvent jusqu'à ce qu'elle ne soit plus tachée.

Vous placez cette feuille noircie entre deux feuilles de papier blanc, deux morceaux de mousseline, de taffetas, de satin ou de tout autre tissu sur lequel vous voulez dessiner; vous posez dessus le dessin à

(1) On peut obtenir un bon résultat en dessinant tout simplement avec une couleur tranchante avec celle de l'original.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DESSIN INDUSTRIEL.

calquer, et vous fixez le tout sur une feuille de zinc bien unie, à l'aide de poids très pesant. Cela fait, vous suivez les contours du dessin avec un poinçon émoussé fait avec un fil de plomb étiré; alors le dessin se trouve reproduit sur les deux feuilles de papier blanc par le frottement du crayon qui y fait adhérer les parties grasses.

Moyen de copier un dessin de dentelle. Vous attacherez la dentelle bien droite et bien tendue sur du parchemin vert posé sur le métier *ou carreau* (1). Pour cela, vous ficherez des épingles de place en place sur les deux bords. L'un de ces bords est l'*engrelure* ou la lisière, et se nomme *le pied* de la dentelle; l'autre, garni d'une suite de petites boucles attachées après un fil plat, est *le picot*, et s'appelle *la couronne*. Fichez des épingles dans les réseaux de la dentelle, dans la même partie où vous commencez, et finissez d'attacher; ensuite, prenez une aiguille comme un poinçon, ou plutôt un poinçon même, et piquez dans tous les réseaux de la dentelle, en évitant de piquer au milieu des fleurs. Si au lieu d'une dentelle, c'est un dessin tout piqué que vous avez fixé sur le parchemin, cela ne change rien à l'opération. Prenez bien garde, quand vous avancerez la dentelle pour continuer le dessin, de piquer parallèlement aux derniers trous. Le dessin piqué, ôtez le modèle, et suivez à l'encre toutes les parties non piquées, en vous aidant de la vue du modèle.

Autre procédé. On prend un morceau de dentelle que l'on colle avec de la gélatine sur un morceau de carton fort, en ayant soin de l'étirer dans tous les sens. La dentelle étant tendue bien uniformément, on applique dessus un papier très mince frotté d'un côté avec un corps gras, coloré en noir ou en rouge (voy. pag. 1124) que l'on place en dessus; puis on couvre le tout d'un papier blanc, dit serpente ou pelure; ensuite, à l'aide d'une légère pression ou par le simple frottement d'une roulette, on *transporte* l'empreinte de la dentelle sur le papier blanc.

Manière expéditive d'obtenir une ou plusieurs copies d'un dessin au moyen d'un poncis, ou d'un patron découpé à jour. D'abord il faut préparer le *poncis* de la manière suivante :

On choisit une feuille de papier collée, mince, et très résistante (2). On trace ou calque le dessin sur cette feuille de papier par les procédés ordinaires; et on le place sur une table horizontale, recouverte d'un carton garni d'une couverture de laine douce ou d'un morceau de drap plié en double. On fixe la feuille de papier dessiné avec de fortes aiguilles que l'on pique dans le carton, observant de placer, sous le dessin, deux ou trois feuilles de papier de la même qualité et de la grandeur convenable, suivant le nombre d'exemplaires que l'on veut avoir.

Cela fait, on pique avec une aiguille à coudre fine, ayant une large tête de cire, ou mieux à l'aide de la machine de M. Barthélemy, que nous donnons à la suite de ce paragraphe, tous les traits du dessin, surtout les sommets des angles et les extrémités des lignes. Il faut éviter surtout de piquer deux fois dans le même point ou à côté d'un trou et en dehors des contours; de plus, l'aiguille doit être tenue d'aplomb, et perpendiculairement sur le papier, le doigt *index* sera appuyé sur la tête de l'aiguille. Nous ferons remarquer aussi que plus les traits du dessin sont petits et délicats plus les trous des piqûres doivent être petits et rapprochés les uns des autres.

Lorsque le dessin est entièrement piqué, on enlève les barbes faites à l'envers du papier par les piqûres de l'aiguille, en les frottant doucement avec une pierre-ponce bien unie.

Si le dessin présente des *répétitions* ou *similitudes*, égales à la moitié ou au quart de sa surface, on plie le papier que l'on veut piquer en deux ou en quatre parties égales, et on le pique seulement par moitié ou par quart, de manière que les plis forment les lignes de jonction ou de raccord.

Pour piquer en même temps les deux côtés semblables d'un angle droit, on plie le papier sur lui-même, de manière à former un triangle rectangle. On pique ensuite en suivant la ligne droite, qui forme avec le pli du papier un angle de 45 degrés.

Les autres objets nécessaires sont :

1° Une poncette, formée d'un feutre gris très fin, et roulé fortement sur lui-même en forme de cylindre; puis on pique des épingles, perpendiculairement à son axe, pour arrêter le bout. A défaut de feutre, on prend de la peau de buffle d'une moyenne épaisseur, très souple, et qui est d'un meilleur emploi peut-être;

2° Du charbon, du crayon noir, de la craie, du blanc de plomb, et des poudres résineuses diversement colorées, et réduites en poudre très fine et très sèche (1);

3° Une glace très unie et une molette en verre pour broyer les poudres.

Voici le *moyen-pratique* de répéter ou de multiplier les copies d'un dessin piqué :

On pose le poncis d'aplomb sur la partie que l'on veut dessiner, et on le fixe avec des épingles ou des poids très lourds. On frotte légèrement la poncette sur la glace, recouverte d'une poudre de charbon, de craie, de crayon noir, ou de toute autre matière d'une couleur tranchante avec le fond de la surface à dessiner, et on la repasse avec précaution sur toute la surface du poncis en décrivant de petits cercles (2). La poudre qui se détache de la poncette passe à travers les trous, et se fixe sur la surface de l'objet en formant une suite de petits points colorés correspondants aux piqûres du poncis. Pour reconnaître si tous les traits du dessin sont bien marqués, on soulève d'une main le poncis, en ayant soin de le bien presser de l'autre main. Puis on recommence à promener la poncette comme précédemment, s'il y a lieu.

Lorsque le dessin est terminé, on enlève légèrement le poncis, sans le frotter, et on souffle dessus pour enlever la poudre qui le couvre et pour dégager les trous; puis on le rajuste délicatement sur une autre partie de l'objet, que l'on a déterminée et marquée au besoin avec un crayon tendre, et ensuite on recommence la même opération du ponçage.

S'il s'agit de répéter uniformément le même dessin, suivant des contours ou rapprochements que l'œil ne saurait reconnaître, on rajuste bien exactement le

(1) Cest le métier sur lequel on fabrique la dentelle à l'aide des fuseaux.

(2) Le papier végétal serait excellent pour cet objet, mais il est trop cher; à son défaut on emploie du papier mince connu dans le commerce sous le nom papier bulle.

(1) COMPOSITION :

Noir,	5 parties de bitume de Judée, 7 *id.* de copal, un peu de noir animal pour colorer,	pour l'impression des tulles.
Noir,	copal, 9 parties, colophane, 4 do, noir animal pour colorer.	pour l'impression de la mousseline.
Bleu,	sandaraque avec un peu d'indigo pour colorer,	
Bleu,	copal, 9 parties, mastic en larmes, 4 do, indigo pour colorer.	
Blanc,	colophane, 9 parties, copal, 4 do, blanc d'argent pour former la teinte blanche.	

On met ces ingrédients dans un vase de terre et on les fait fondre sur un feu ardent, en ayant soin de ne les projeter que peu à peu, et au fur à mesure de la fusion.

(2) Anciennement on formait un nouet ou *petit sac* de toile peu serrée, dans lequel on renfermait les poudres fines; on passait ce nouet sur toute la surface des figures, en frappant légèrement afin de faire tomber la poudre.

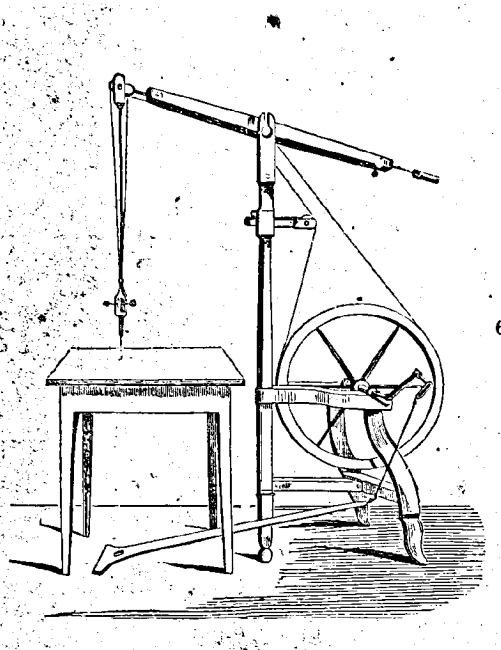
EFERUS - Recherche & Classification numérique

poncis en le piquant avec deux aiguilles que l'on fixe à l'endroit où le raccord doit commencer.

Il est bien entendu que les traits du dessin poncé avec du charbon, de la craie, du crayon noir, etc., peuvent être enlevés par le frottement d'une brosse ou d'un blaireau, voire même par le vent que l'on souffle avec la bouche, et cette propriété est utilisée souvent pour opérer des changements ou des raccords dans certains détails du dessin; mais on fixe les traits obtenus avec une poudre résineuse (1), en promenant un fer à repasser chaud sur le dessin, recouvert nécessairement d'un papier blanc pour éviter les salissures. On conçoit aisément que la chaleur du fer fond la résine qui adhère fortement au papier, ou bien à l'étoffe, ou à toute autre surface sur laquelle le dessin est imprimé; on ne peut même l'enlever qu'à l'aide d'un lavage à l'eau savonneuse ou à l'alcool.

Machines à piquer les dessins, par M. Barthélemy, ingénieur. Dès l'année 1824, M. Barthélemy inventa un mécanisme à ressort dont les mouvements produisaient le jeu d'une aiguille adaptée à une tige passant à travers un petit tube, que la main dirigeait sur un dessin, en même temps que la projection de cette aiguille perçait à volonté 2 ou 3 papiers superposés les uns sur les autres, en conservant toujours le parallèlisme de l'aiguille. Mais les frottements considérables de ce mécanisme avaient bientôt détruit tous les calculs de précision.

Enfin, en 1830, M. Barthélemy convertit ce principe de piqûre en un autre mécanisme à pédale. Le dessin ci-dessus en donne une idée exacte (fig. 651). Il a pour effet de faire piquer jusqu'à 200 points en une seconde. L'aiguille est fixée dans un petit tube en cuivre laminé et fixé à vis dans un autre tube muni d'un écrou, lequel tube est adapté à une petite tige brisée. Cette tige entre dans un autre tube très justement adapté par le bas et permettant nécessairement le jeu de va-et-vient sans aucune résistance. Le haut de cette tige est attaché à un coussinet qui enveloppe une petite poulie à axe excentrique. C'est le jeu de cette poulie qui tend à faire monter et descendre avec douceur et sans secousse l'aiguille *piqueuse*. D'autres poulies liées entre elles par de petites cordes de boyaux et mues à une vitesse proportionnées au nombre de tours multipliés par ceux de la grande roue, transmettent le mouvement à volonté suivant la finesse du dessin et l'accélération nécessaire. La pédale est placée à la portée de la personne qui conduit l'opération, c'est-à-dire sous son pied droit; mais il est nécessaire de contracter pendant quelques heures une habitude telle que tous les mouvements du corps de la personne ne soient pas susceptibles de réagir sur l'action de sa main sur le papier à piquer. Il résulte de cette habitude un ensemble de mouvements bien mesurés. Le pied ne doit agir sur la pédale que vers son extrémité, et la plus petite impulsion entretient la rotation de la roue principale. Il y a à l'extrémité du balancier ou conducteur des poulies un contre-poids propre à annuler dans la charge de la main l'excédant de la somme entière du poids de la tige verticale. Ce contre-poids se recule ou s'avance suivant la volonté du piqueur. Les cordes étant sujettes à se contracter et à se dilater, on a placé entre leurs distances des vis de rappel afin de les tendre ou de les détendre suivant le besoin. Enfin, le piqueur se tient assis naturellement sur le devant d'une table recouverte d'un drap assez épais sur lequel il promène et retourne en tous sens, à la manière des graveurs sur bois, son papier à piquer dont il a le soin de savonner la surface pour faciliter le glissement. Quant à la vitesse et à la direction de l'aiguille qui pique, c'est la main de l'artiste qui les donne, et ces effets sont toujours subordonnés à son habileté et à son adresse.



651.

Manière de faire les patrons découpés ou imprimures. Préparation des papiers. — I^er^ *Moyen.* On met sur une feuille de zinc bien unie une feuille de beau papier de la grandeur convenable, non collée et cylindrée, que l'on enduit de chaque côté avec de l'huile de lin cuite et légèrement chauffée, au moyen d'une éponge fine, puis on les fait sécher à une douce température.

II^e^ *Moyen.* 1° Enduisez l'un des côtés de la feuille de papier d'une couche de suif ou de saindoux, à l'aide d'une éponge ou d'un morceau de flanelle;

2° Exposez cette feuille sur une planche de cuivre chauffée, et recouverte d'une feuille de papier gris non collé;

3° Essuyez-la avec précaution à l'aide d'un papier souple;

4° Appliquez avec une éponge ou un blaireau une seule couche d'un vernis composé de colophane, de térébenthine de Venise, par parties égales, ou trempez tout simplement la feuille dans du vernis gras au copal, faites-la sécher et égoutter à l'air libre;

5° Enfin, lorsque la feuille est sèche, vous dégraissez sa surface avec de l'alcool très pur, ou de la mie de pain, ou de la craie en poudre.

III^e^ *Moyen.* On choisit du papier collé très mince et

(1) Ce procédé a été inventé, en 1807, par deux dessinateurs en broderies, MM. Revol et Rigondet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très égal, que l'on enduit de chaque côté de trois couches successives de colle animale liquide bien chauffée (1), de parchemin, de colle de poisson, ou de gélatine, ou bien de l'une et l'autre mêlées ensemble ; pourtant la troisième couche doit être moins chaude et plus claire que les deux premières.

On fait sécher les feuilles sur des cordes, en les suspendant par un coin au moyen d'une épingle en bois à ressort faisant l'effet d'une pince. Lorsqu'elles sont sèches, on les expose à la cave ou dans tout autre endroit humide, afin de les amollir et de les mouiller, puis on place chaque feuille entre des plaques de zinc polies et frottées légèrement avec de l'huile d'olive, du savon ou du saindoux, à l'aide d'un morceau de flanelle ; et on les soumet ainsi à l'action d'une presse à vis pendant vingt-quatre heures au moins, afin d'unir et d'égaliser leur surface. Enfin on les retire de la presse et on les fait sécher, s'il y a lieu, entre les plis d'une étoffe bien sèche ; enfin on les soumet de nouveau à l'action de la presse à vis pendant dix à douze heures, en ayant soin de mettre chaque feuille entre du papier humecté avec une infusion tiède de noix de Galles. Il faut avoir bien soin pourtant de conserver les feuilles dans un endroit entretenu à une température modérée.

Manière de découper les patrons. Vous coupez une feuille de papier préparée, à peu près du double de la grandeur du dessin que vous voulez faire. Vous calquez dessus tous les principaux contours du sujet par les procédés ordinaires, comme si vous vouliez exécuter un poncis ; puis vous posez cette feuille sur une table de bois blanc bien unie, ou mieux sur une glace bien dressée, en la fixant aux quatre coins avec des poids en plomb, garnis en dessous avec du papier de verre ; ensuite, à l'aide d'un canif ou de tout autre outil tranchant, vous découpez et enlevez tous les traits noirs, observant de laisser de distance en distance de petits morceaux de papier pour soutenir le dessin. Vous tiendrez aussi la pointe de l'outil plutôt droite que penchée, et vous appuierez assez fortement pour couper nettement du premier coup.

Au lieu d'un canif on peut encore employer avec plus d'avantage un petit poinçon dont la pointe est taillée à angle vif, et l'on s'en sert alors comme d'un découpoir en frappant sur la tête avec un petit marteau de bijoutier. Par ce moyen on fait un véritable poncis dont les points sont plus grands et à angles vifs ; mais on comprend qu'on ne peut en agir ainsi que pour l'exécution des dessins d'une large facture, tels que ceux qui sont destinés pour la broderie nuancée sur étoffe, les estampilles, les vignettes pour affiches, etc.

Manière d'employer les patrons découpés. On place le patron sur la partie que l'on veut imprimer et on le fixe avec les poids ou au moyen de pointes posées à demeure sur la table à dessiner, puis on prend une forte brosse que l'on trempe légèrement dans une encre liquide et gommée ; on la frotte sur un garde-main pour voir si elle n'est pas trop mouillée, en ayant soin de la tenir bien droite et de frotter avec vitesse. Lorsqu'on s'est bien assuré de son effet, on la pose sur le patron en décrivant toujours des petits cercles comme on le fait quand on délaie des couleurs dans une soucoupe. Lorsque la brosse n'a plus de couleur, ce dont on s'aperçoit parce qu'elle ne salit plus assez fortement le patron, on en reprend de nouvelle et on l'applique sur les autres parties du dessin, et ainsi de suite jusqu'à son entier achèvement. Au reste, on voit si l'opération s'exécute bien en soulevant de temps en temps le patron.

Si l'encre s'écarte et salit le dessous du patron, on peut en conclure qu'il y avait trop d'encre dans la brosse et que l'on a frotté avec trop de vigueur et de vitesse surtout. Dans tous les cas, il faut bien essuyer le patron avec un linge avant de recommencer.

Toutes couleurs employées pour la peinture à l'aquarelle ou à la gouache peuvent servir lorsqu'on emploie les papiers préparés à l'huile. Les couleurs à l'huile et les encres d'imprimerie sont seules applicables avec le papier préparé à la gélatine ; toutefois on y ajoute plus ou moins de térébenthine, suivant le besoin et la nature du principe colorant (1).

EMPLOI DES PROCÉDÉS MÉCANIQUES POUR COPIER DES DESSINS INÉGAUX ET SEMBLABLES, AINSI QUE DES OBJETS VUS EN PERSPECTIVE (2).

Vitre et gaze transparentes.

La première idée de ces machines à dessiner est due à Pietro della Francesca, du bourg San-Sepulcro, qui florissait vers l'an 1458 environ. (Voir la *Vie des peintres* par Vasari.) Ce savant, pour démontrer la théorie de la perspective, imagina un tableau transparent placé entre le spectateur et quelque objet ; il démontra ainsi que le tracé des rayons, étendu de l'œil aux extrémités visibles de l'objet, formait sur le tableau en le traversant une image semblable à l'objet. Après lui, Léonard de Vinci et Bramante ont indiqué le moyen de dessiner sur une vitre en suivant avec un pinceau enduit de couleur tous les contours des objets tels qu'ils apparaissent à l'œil nu. Bramante ajoute même (voir son *Traité sur la perspective*) :

« Quant à la troisième manière qui consiste à mêler la règle avec la pratique, elle s'obtient à l'aide d'un verre ou du gaze sur laquelle on trace les objets qui sont aperçus au travers. » Or, à l'époque où Bramante écrivait, Viator avait inventé et publié une manière de mettre les objets en perspective sur le papier à l'aide d'une équerre à T de son invention. Voir *De artificiali perspectiva Viator secundo*, traduit par Perigrinus (3).

Dans un ouvrage imprimé en allemand en 1525, et traduit en latin en 1535 (4), Albert Durer, le célèbre peintre et graveur, a donné le dessin et la description d'une vitre verticale pour dessiner les objets, d'après les principes posés par Pietro ; mais Albert Durer a *inventé le point fixe servant de point de vue* ; or c'est là le point important pour dessiner exactement les objets en perspective (5).

Depuis, plusieurs auteurs ont indiqué le moyen de dessiner sur une vitre verticale. Pour cela on la frotte de blanc d'œuf battu avec de l'eau-de-vie, ou bien on la frotte de gomme arabique mélangée avec de l'alcool ou du vinaigre. On trace le calque à la sanguine, puis on applique sur cette vitre le papier sur lequel doit être déchargé le calque. On a soin de tenir le papier un peu

(1) La colle doit être assez fluide pour entrer dans le papier.

(1) On fait encore des *imprimures* avec du cuivre très mince et recuit, avec des feuilles d'étain que l'on colle sur un cadre en bois, et quelquefois même avec du parchemin. A cette occasion, nous rapporterons un procédé pratiqué anciennement pour rendre le parchemin transparent et propre à calquer :

Vous le laverez à plusieurs reprises avec une lessive légère, et vous le rincerez dans l'eau claire, puis vous l'étendrez et le fixerez sur un cadre en bois avec des clous très rapprochés, et vous le ferez sécher à l'air libre. Lorsque le parchemin sera bien sec vous le vernirez.

(2) Voir l'*Histoire chronologique des machines à dessiner*, publié dans le Bulletin de la Société d'encouragement, octobre 1844.

(3) C'est un procédé semblable que le gouvernement a acheté en l'année 1844 à M. Amaranthe Rouillet, moyennant la rente viagère de 1,200 fr. (voir le journal l'*Illustration*, année 1844, tome II, page 265 ; *Moniteur universel*, n° janvier 1844).

(4) *Geometriæ libri quat.*, pages 1 et 183.

(5) Cet instrument est appelé *traquardo* (niveau) par les Italiens ; et un marchand de couleurs et de curiosités, à Paris, le vend ou le prône aux curieux comme une découverte ancienne due à *Traquoir !*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

humide, et comme le dessin est renversé, on en fait la contre épreuve, lorsqu'il est encore humide, sur un autre papier humide aussi. (Voir Montabert, *Traité complet de la peinture*.

Cette méthode pourtant a l'inconvénient d'altérer sensiblement la transparence de la glace et d'affaiblir aussi l'éclat des objets; et nous conseillons de dessiner tout simplement sur la glace avec un crayon lithographique.

Chambre noire de Porta.

Porta fit construire des chambres portatives; chacune d'elles était composée d'un tuyau plus ou moins long armé d'une lentille. L'écran blanchâtre en papier ou en carton sur lequel les images allaient se peindre occupait le foyer; le physicien napolitain destinait ses petits appareils aux personnes qui ne savent pas dessiner. Suivant lui, pour obtenir des vues parfaitement exactes des objets les plus compliqués, il devait suffire de suivre avec la pointe d'un crayon les contours de l'image focale.

Ces prévisions de Porta ne sont pas complétement réalisées. Les peintres, les dessinateurs, ceux particulièrement qui exécutent les vastes toiles des panoramas et des dioramas ont bien encore quelquefois recours à la chambre noire, mais c'est seulement pour tracer en masse les contours des objets, pour les placer dans les vrais rapports de grandeur et de position, pour se conformer à toutes les exigences de la perspective linéaire. Quant aux effets dépendant de l'imparfaite diaphanéité de notre atmosphère qu'on a caractérisés du terme assez impropre de *perspective aérienne*, les peintres exercés eux-mêmes n'espéraient pas que pour la reproduire avec exactitude la chambre obscure pût leur être d'aucun secours. (Extrait d'un rapport fait à la Chambre des Députés par M. Arago sur le daguerréotype.)

Mais quand on a vu les admirables dessins obtenus par les procédés inventés par MM. Niepce et Daguerre, et perfectionnés par MM. Fizeau, Séguier, Claudet, Gaudin, Foucault, Choizelat et autres, personne n'est tenté aujourd'hui de critiquer l'emploi de la chambre noire, et on ne saurait trop recommander à tous les artistes peintres et dessinateurs qui veulent dessiner correctement d'après nature, de faire d'abord des dessins photographiés, pour éviter des fautes d'optique et de perspective, afin de les reproduire ensuite par le moyen du crayon et des couleurs (voyez PHOTOGRAPHIE). Mais pour la reproduction des dessins industriels sur le papier ou sur étoffe, et suivant des dimensions déterminées, la chambre obscure est impuissante ou au moins imparfaite.

Pantographe pour réduire et augmenter les dessins nécessairement tracés sur le papier. C'est M. de Marolais qui a inventé cet instrument vers le commencement du dix-septième siècle (voir sa *Théorie de la perspective*, 1re édition, 1615).

Le R. P. Scheiner, géomètre souabe, a imaginé plusieurs dispositions de parallélogrammes linéaires ou pantographes Voir son livre intitulé *Pantographice seu ars delineandi*, etc., (Rome, 1631.)

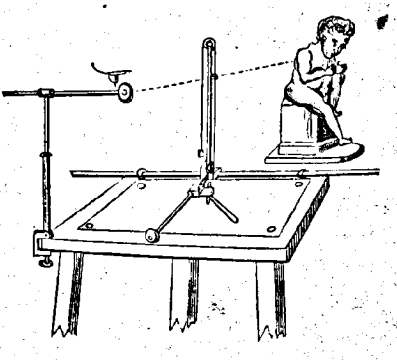
Tout le monde connaît cet instrument qui permet de faire des figures semblables à une figure donnée (voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE). Bien que son usage se soit étendu dans ces dernières années, néanmoins comme c'est un instrument difficile à conduire et surtout d'une fatigante lenteur, les dessinateurs préfèrent généralement le mode de réduction aux carreaux.

Carreaux. On se sert de ce procédé pour copier ou réduire un dessin à de moindres dimensions. Comme on a souvent besoin dans les arts de dessiner de grandes machines ou des appareils, nous croyons devoir exposer ici un moyen simple et très prompt qui ne suppose presque aucune habitude de l'art du dessin.

Concevez un cadre en bois, dont l'intérieur est vide, et dont les côtés sont solidement assemblés à angles droits, à tenons et à mortaises. Chaque tringle est divisé en un certain nombre de parties égales, en 10 par exemple; le bois est percé d'un petit trou à chaque point de division qu'on a marqué d'un numéro. On en file dans ces trous une soie rouge qui, passant d'un bord au bord opposé par les trous de même numéro, forme des séries de lignes fines et parallèles aux côtés du cadre, dont l'espace vide se trouve divisé de la sorte en cent carreaux à jour.

Appliquez cet instrument sur le dessin que vous voulez réduire après avoir tracé au crayon avec une règle et un compas, sur une feuille de papier, un égal nombre de carreaux plus petits portant les mêmes numéros que ceux du cadre; marquez sur ces lignes ou dans l'intérieur de chaque carreau tracé, ce qui se voit sur le carreau de même numéro sur le cadre, et vous n'éprouverez aucune difficulté pour copier ou réduire le modèle assez fidèlement, et avec beaucoup de promptitude. Si vous pratiquez ce procédé en plaçant le carreau devant une machine ou un paysage, et que vous fassiez attention de remettre toujours l'œil au même endroit, lorsque vous voulez regarder les objets à travers le cadre, vous en obtiendrez une perspective exacte.

Equerre de Cigoli, peintre de Florence, en 1600, perfectionnée par M. Ronalds, en 1825. C'est le même instrument que l'on appelle diagraphe de M. Gavard, qui l'a perfectionné. Il avait déjà reçu des perfectionnements importants de MM. Rennenkampf et Ronalds; la figure représente celui publié comme étant l'œuvre de M. Ronalds, de Croydon. (Voir le *Journal hebdomadaire des Arts et Manufactures d'Angleterre*, Paris, 1825.)



652.

La vue perspective (fig. 652) fait bien comprendre comment, à l'aide de cet instrument, on peut dessiner les objets d'après nature, sur un plan horizontal et suivant des dimensions déterminées.

Il suffit de tenir à la main le petit chariot qui glisse à volonté sur la tringle horizontale et perpendiculaire sur l'objet à dessiner. Ce chariot porte un crayon, auquel est attaché un fil de soie ou de métal extrêmement fin, qui roule sur deux poulies placées en haut et en bas d'une tige de fer verticale, cette tige verticale est emmanchée et demeure sur une base ou socle en cuivre et forme, avec la première tringle horizontale, une véritable équerre maintenue dans la position verticale au moyen d'une longue tringle fixe et glissant à travers des anneaux qui lui servent de guide. Le fil de soie porte un petit grain d'émail ou de verre coloré, servant d'index ou point de mire, et tendu au moyen d'un petit poids suspendu à son extrémité. On place d'une manière invariable l'œil au point de vue et on promène l'index sur

EFEPUS - Recherche & Classification numérique

tous les contours apparents de l'objet, en faisant glisser le curseur qui porte le crayon le long de la tringle horizontale, en même temps qu'on le pousse de droite à gauche ou de gauche à droite. Par ce moyen, la pointe du crayon trace en petit sur la feuille de papier l'esquisse de l'objet vu en perspective, et la réduction est d'autant plus petite que l'objet et le point de vue sont plus éloignés du plan perspectif.

Nous ferons remarquer ici les additions apportées à l'instrument primitif de Cigoli, savoir :

1° Le curseur qui reçoit le crayon et l'extrémité du fil servant de guide, et qui permet de promener plus facilement l'index sur les contours de l'objet;

2° Les poulies sur lesquelles roulent le fil de soie qui, dans l'appareil de Cigoli, passait dans des fourchettes;

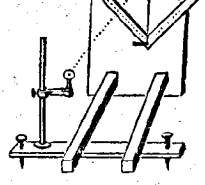
3° Le petit trou percé dans une plaque de métal et servant de point de vue, tandis que Cigoli employait à cet effet une verge creusée en angle aigu;

4° Enfin, le mouvement que l'on peut donner à la tige verticale à droite et à gauche, en poussant à la main la tringle horizontale, tandis que dans la machine de Cigoli le même mouvement était opéré en tirant successivement deux cordons attachés à l'extrémité de la tringle horizontale et parallèle à l'horizon, et passant à travers des anneaux fixés à chaque angle de la tablette à dessiner.

M. le baron de Rennenkampf avait imaginé, dès l'année 1808, d'attacher les deux extrémités du fil sur le curseur qui porte le crayon, et de supprimer le contrepoids. (Voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. IX, page 131.)

Enfin M. Gavard, en 1830, a eu l'idée de fixer la tige verticale sur un chariot porté sur 2 poulies roulant sur une tringle de fer, posée fixement sur la table à dessin.

Parallélogramme du R. P. Scheiner, perfectionné par Rènes (quelques auteurs écrivent Wren), pour dessiner les objets vus en perspective. Nous avons extrait le dessin de cette machine (fig. 653) du livre des *Voyages de Monconys en Angleterre*, mais nous devons dire aussi que, dès l'année 1631, le R. P. Scheiner, géomètre et astronome souabe, avait donné la théorie et les gravures de plusieurs parallélogrammes applicables au dessin de tous les objets matériels. Voir son livre ayant pour titre : *Pantographice seu ars delineandi res quas libet per parallelogrammum lineare, seu earum mechanicum mobile.*



653.

Rènes a apporté cependant au parallélogramme de Scheiner deux additions ou modifications notables, savoir :

1° Une équerre ou T en bois, que l'on fixe avec une vis sur le plan du tableau vertical sur lequel on veut dessiner;

2° Un fil sur lequel glisse un curseur servant de point de mire. On tend et fixe ce fil parallèlement aux deux côtés du parallélogramme, sur des pointes de fer disposées à cet effet.

L'usage de cette addition est d'obtenir un dessin ou égal, ou plus grand, ou plus petit que l'objet, selon que l'on attache le fil aux pointes opposées; au milieu il sera égal; plus haut, il sera plus grand; plus bas, il sera plus petit; mais il faut encore proportionner la distance du point de vue au plan carré; ce que vous apprendrez mieux par la pratique que par une description.

On trouve dans le même livre le dessin et la description d'une autre machine inventée par M. Laurent, et qui est publié dans le *Magasin Pittoresque*, avril 1844; mais l'auteur de l'article attribue à tort l'invention de cet instrument à Wren, le célèbre architecte de Saint-Paul de Londres.

Au résumé, M. Burnier a imaginé, en 1840, une machine à dessiner fondée sur le même principe que celle de M. Laurent, et qui nous paraît bien plus facile à manier; nous en donnons la figure vue en perspective (fig. 654). On voit très bien que l'artiste ayant l'œil placé fixement dessine sur une tablette verticale, en promenant une longue baguette en laiton dont l'extrémité supérieure sert d'index; au centre de la baguette se trouve le porte-crayon formé d'un tube en cuivre, renfermant un ressort à boudin qui pousse le crayon. Ce tube est percé d'une fenêtre longitudinale à travers laquelle on peut retenir le crayon avec l'index.

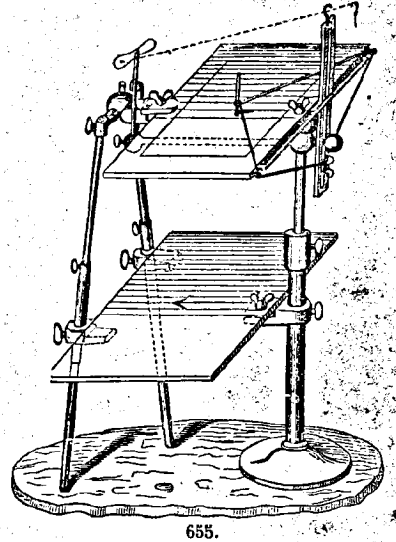


654.

Deux cordons métalliques placés parallèlement en haut et en bas de la tablette maintiennent la baguette contre la planchette à dessiner.

De plus, un volet tourne librement autour de deux gonds fixés sur un montant en bois posé verticalement derrière la planchette. Ce volet porte à ses parties supérieure et inférieure une règle fendue pour livrer passage à la baguette, et pour la maintenir dans une position toujours verticale.

Tout l'appareil est monté sur une espèce de chevalet de peintre.



655.

La figure 655 représente le dessin d'une machine de ce genre que nous avons fait construire pour la Société d'encouragement, d'après des idées qui nous avaient été suggérées par l'un de ses membres les plus distingués.

EFEERUS - Recherche & Classification numérique

DESSIN INDUSTRIEL.

Cette machine se compose : 1° D'un pied en bois sur lequel on pose une tablette horizontale, et mobile à volonté, au moyen d'une genouillère en bois;

2° D'un pied à fourchette que l'on fixe à l'aide d'une mâchoire sur le devant de la tablette, afin de l'empêcher de tomber;

3° D'une règle en bois fendue dans toute sa longueur, et mobile dans tous les sens autour d'un point fixe. Cette règle porte à son extrémité supérieure un fil de laiton recourbé servant d'index et de point de mire. Une tringle métallique un peu écartée de la tablette maintient la règle dans la position verticale;

4° D'une ficelle dont les extrémités sont attachées sur un écrou à oreille et qui glisse dans la rainure de la règle en bois; le milieu de cette ficelle, qui est posée sur la tablette à dessiner, porte une boucle dans laquelle on engage un crayon quelconque. Cette ficelle passe en outre dans des pitons en fer fixés sur l'épaisseur de la tablette;

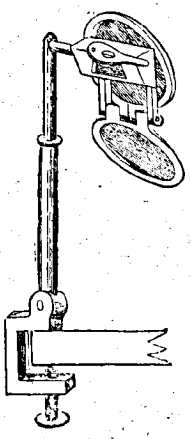
5° D'une tringle en bois rond portant à son extrémité supérieure une plaque de fer blanc percée d'un petit trou servant de point de vue.

Lorsqu'on veut dessiner d'après nature, on règle d'abord l'appareil, de manière que la pointe de l'index et celle du crayon soient perpendiculaires sur le milieu de l'arête de la tablette, et également distantes de ce milieu : ce qu'on obtient facilement en élevant ou en abaissant l'écrou qui retient les bouts de la ficelle. Quand l'appareil est bien réglé, on dessine en suivant les indications données pour l'usage de l'équerre de Cigoli.

Chambre claire à prisme de verre, de Wollaston.

La chambre claire (fig. 656) est un instrument qui permet de voir par double réflexion un objet placé latéralement, tandis que l'œil suit directement la pointe d'un crayon qui trace l'image que l'œil voit sur le papier.

Pour faire usage de cet instrument, il faut fixer la tige de l'appareil invariablement sur une table au moyen d'une vis de pression, et l'incliner de manière que le prisme formé des deux lentilles corresponde au milieu du papier sur lequel on veut dessiner. Puis on allonge la tige, et on tourne le plus grand côté du prisme en face de l'objet à copier, qui est posé verticalement comme la figure l'indique. Ensuite, appliquant l'œil sur le petit trou pratiqué dans la plaque du métal ovale, on continue de faire tourner le prisme sur son axe jusqu'à ce qu'on aperçoive en regardant de haut en bas, l'image droite de l'objet sur le papier sur lequel on doit dessiner et qu'on a soin de fixer avec des épingles ou de la colle à bouche.



656.

Mais cet instrument exige encore une foule de renseignements, de pratiques minutieuses pour avoir des représentations plus ou moins grandes et nettes de l'original; et pour les faire mieux comprendre, nous laisserons parler l'auteur lui-même :

« Il faut que le dessinateur se place dans une position telle qu'une portion seulement de la pupille soit interceptée par l'arête du prisme; alors cette portion de l'œil recevra les rayons émanés des objets éloignés, par la double réflexion prismatique interne, tandis que les rayons venant du papier et du crayon, entreront directement dans la partie de cette même pupille qui est en arrière de l'arête du prisme.

« Selon que l'arête du prisme entame plus ou moins avant le cercle de la pupille, la vivacité relative des deux impressions qui résultent en même temps de la vision directe et des images produites par la double réflexion varie ; si l'œil s'avance trop sur le prisme, on ne voit plus que l'image des objets éloignés, le crayon et le papier disparaissent; si, au contraire, l'œil est trop en arrière on ne voit plus que le crayon et le papier, les images des objets extérieurs s'évanouissent. Mais il y a une position intermédiaire de l'œil que l'usage fait bientôt acquérir et dans laquelle on aperçoit en même temps avec un degré de clarté égal et suffisant, les images, le papier et le crayon. Pour éviter les inconvénients qui peuvent résulter des mouvements involontaires de l'œil, on peut chercher à fixer sa position et régler les quantités relatives de la lumière qu'il reçoit à la fois du papier et des images réfléchies, au moyen d'un petit trou pratiqué dans une lame de laiton qui, se mouvant autour d'un point fixe, peut s'adapter à toutes les inégalités de lumière. Le trou de cette lame de laiton se présente sur le bord du prisme, et, en poussant la lame plus ou moins en avant ou en arrière, on trouve par un court tâtonnement, le point le plus convenable pour la double vision, lorsque l'œil est placé tout près de cette ouverture.

« L'instrument devant être situé très près de l'œil, n'a pas besoin de grandes dimensions, et l'on peut réduire de beaucoup son volume, sans nuire à l'effet. C'est d'après ces motifs et quelques autres que je me suis décidé à le construire aussi petit qu'il est possible de le faire avec précision, et que je l'ai exécuté sur une échelle telle que les lentilles n'ont que 20 millimètres de diamètre.

« Bien que ma première intention eût été de faciliter, au moyen de cet appareil, le dessin des objets naturels dans leur véritable perspective, et que ce soit là son principal usage, cet avantage est loin d'être le seul qu'on en puisse tirer; car la même disposition des réflecteurs peut tout aussi commodément s'employer pour copier des dessins déjà faits que pour dessiner d'après nature; et l'instrument peut ainsi aider les commençants à acquérir l'habitude de faire des esquisses correctes. »

Lorsqu'on l'emploie à cet usage, il faut placer le dessin à copier, autant qu'il sera possible, à la même distance de l'appareil que l'est le papier placé au-dessous; dans ce cas, la copie a la même grandeur que l'original, et l'on n'a besoin de lentille ni du côté du dessin à copier, ni du côté du papier sur lequel on dessine.

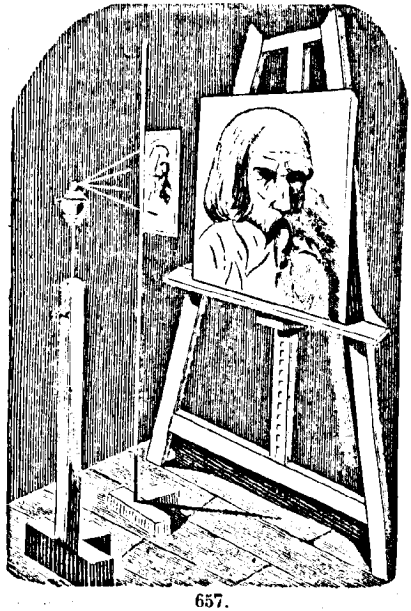
En employant convenablement cet instrument, on peut l'appliquer aux mêmes usages que le pantographe ordinaire; car on peut réduire un tableau dans des proportions données, en le plaçant à une distance qui soit avec celle où se trouve le papier sur lequel on copie, dans le même rapport que la réduction que l'on veut faire; c'est-à-dire que plus on voudra diminuer les dimensions de la copie, plus il faudra éloigner l'original.

Mais, dans ce cas, il faut se servir d'une lentille, pour que l'œil puisse voir d'une manière également distincte à deux distances inégales; et afin qu'une lentille puisse servir à tous les cas, on trouve beaucoup d'avantage à ce que l'intervalle que le prisme peut parcourir sur son pied de haut en bas, et de bas en haut, soit un peu grand, parce que cela donne plus d'étendue à l'échelle des réductions. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En plaçant la lentille convexe sur le devant de l'appareil, et en renversant les distances proportionnelles, (c'est-à-dire en plaçant l'original à une distance moindre que la distance au papier), l'artiste pourrait dessiner correctement de petits dessins sur une grande échelle, et le naturaliste, en se servant d'une lentille dont le foyer serait très court, pourrait copier de très petits objets dont les images seraient alors considérablement amplifiées. (Extrait du mémoire de Wollaston, inséré dans le *Philosophical magazine*, tome XXVIII, p. 343.)

Moyen imaginé, en 1843, par M. Amaranthe Rouillet, pour reproduire les dessins amplifiés sur un plan vertical



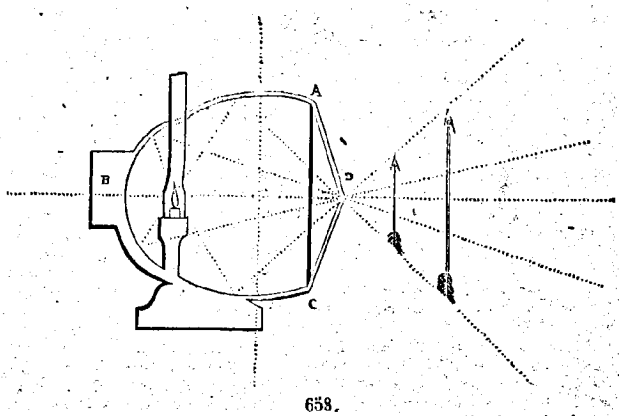
657.

(fig. 657). Pour grandir nettement un dessin, M. Rouillet le trace soit directement, soit en le décalquant sur de la gaze ou de la tarlatane, soit sur une gaze particulière dont on se sert quelquefois pour envelopper les pendules et les flambeaux afin de les préserver des mouches. Cette gaze est connue sous le nom de *gaze gommée*. Sur cette gaze on tracera les contours et on marquera les ombres avec de l'*encre lithographique*, puis on disposera l'appareil comme on le voit dans la figure ci-jointe. A défaut de la gaze gommée, on peut employer une vitre.

La lampe est portée sur un pied disposé de manière à pouvoir l'élever ou l'abaisser à volonté. Sa flamme doit être très petite, et se réduire, autant que possible, à un point lumineux. On emploiera donc, si l'on veut, une mèche cylindrique très grêle, ou bien une lampe à mèche plate préparée de la manière suivante : on coupera à l'extrémité de la mèche une bande rectangulaire d'environ deux ou trois millimètres de hauteur, que l'on ôtera en ayant soin de laisser à l'un des angles de la mèche un petit rectangle d'un millimètre de base sur deux ou trois de hauteur; puis on baissera la mèche jusqu'à ce que le petit rectangle fasse seul saillie au-dessus du rebord de la monture en cuivre; on allumera l'extrémité du rectangle, et l'on placera la lampe de manière à ce que la mèche soit dans un plan perpendiculaire au petit cadre sur lequel se trouve le dessin.

Le placement de la lampe exige quelques précautions : il faut que la flamme soit sur une ligne droite horizontale passant par le centre géométrique du dessin, et à une distance convenable pour avoir le grossissement que l'on désire et des contours nets et bien tranchés. Si le dessin que l'on veut amplifier est lui-même de grande dimension, alors les contours seront élargis et mal terminés. Pour obvier à cet inconvénient, on partage mentalement ou en réalité le cadre du dessin en deux rectangles égaux par une ligne horizontale menée par le milieu des deux bords verticaux, on en fait autant sur la toile destinée à recevoir l'image grossie; puis l'on place d'abord la lampe sur une ligne horizontale passant par le milieu du rectangle supérieur, de façon à ce que le rectangle du grand cadre soit complétement rempli par la moitié supérieure de l'image grossie, et l'on calque sur ce cadre la portion de la figure ainsi agrandie; ensuite on abaisse la lampe jusqu'à ce qu'elle se trouve sur la ligne horizontale passant par le milieu du rectangle inférieur, et l'on calque cette partie à son tour. On conçoit que l'on puisse, si cela est nécessaire, partager la figure en quatre, en huit, en seize, etc., parties égales, et obtenir ainsi un grossissement indéfini. Par cet artifice, on évite l'élargissement des traits et les pénombres qui les rendraient incertains.

Le cadre sur lequel on reçoit l'image grossie doit être tendu avec du papier blanc ou une toile préparée pour peindre, afin que l'ombre noire fasse contraste avec le fond. Les peintres verront qu'on obtient ainsi de très



658.

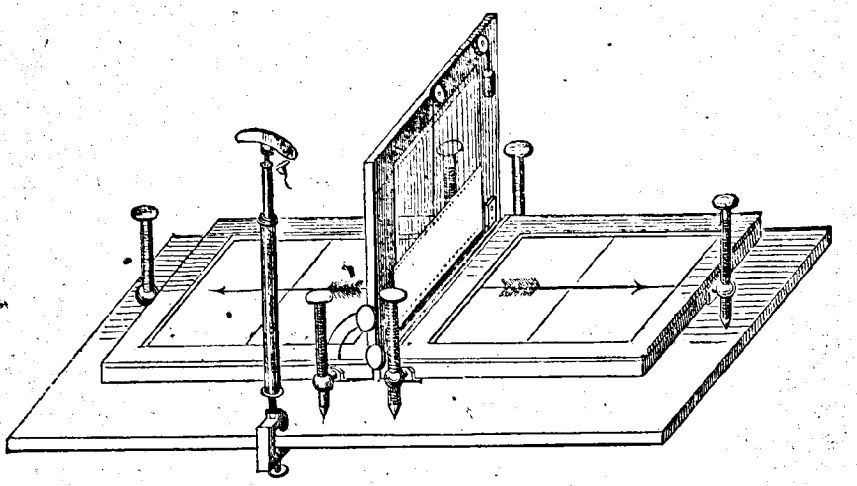
EFERUS - Recherche & Classification numérique

beaux effets d'ombres portées qu'il serait intéressant de fixer sur le papier. On dirait des dessins grandioses d'un relief extraordinaire et d'un aspect soulptural (*Extrait du journal L'Illustration*, mai 1844, page 146).

M. Lassus, rapporteur de la commission qui a examiné le procédé de M. Rouillet, a perfectionné la lampe employée pour le grossissement des objets. Pour que l'ombre portée sur la toile soit nette, pour qu'il n'y ait point de pénombre, il faut que la flamme soit réduite à un point lumineux (fig. 658). Il place donc la flamme de la lampe au foyer d'un miroir métallique concave en forme d'ellipsoïde de révolution A B C, qui fait converger tous les rayons vers un orifice très étroit D, à travers lequel ils s'échappent, et qui peut être considéré comme un point lumineux.

Chalcographe, dit universel, applicable à la reproduction des dessins de fabrique, par Rouget de Lisle.

La fig. 659 représente l'instrument en perspective



659.

afin de pouvoir mieux saisir l'ensemble de ses diverses parties.

Fonctions de l'instrument. L'appareil est monté d'aplomb sur la table à dessiner; les rayons lumineux tombent sur celle-ci de gauche à droite.

On place le dessin ou le modèle sur le carton à gauche de la glace, et on applique dessus un cadre en carton ou en zinc, qui porte sur le milieu de ses côtés opposés deux fils de soie tendus parfaitement d'équerre. Le papier ou le tissu à dessiner est fixé avec des épingles sur le carton de droite, lequel est recouvert d'un cadre semblable au cadre de gauche.

Cela fait, on appuie le front sur le support fixé sur le devant de la table à dessiner, et on regarde de l'autre côté de la glace en donnant au support le degré d'élévation et d'inclinaison convenable pour obtenir le meilleur point de vision; ce point doit être tel que la vue embrasse le plus grand espace possible.

L'œil étant fixé sur le plan à dessiner placé à droite de la glace, on aperçoit par réflexion l'image du dessin: on peut donc en tracer du premier coup les contours, les ombres et les traits de force avec un crayon ou avec un pinceau et de l'encre d'une couleur tranchante que l'on voit distinctement à travers la glace; seulement l'image réfléchie est moins brillante que le modèle, parce que la glace polie éteint toujours une certaine quantité de lumière.

Lorsque la lumière du jour est trop abondante, on aperçoit une image secondaire qui défigure quelquefois l'image principale en se confondant plus ou moins avec elle. Toutefois, l'image du modèle est suffisamment distincte pour qu'il soit possible d'en dessiner les contours ainsi que les principaux détails. Si l'on éprouve quelque embarras, on compare l'esquisse avec le modèle en les regardant successivement des deux yeux; l'habitude du dessin suffit pour faire cette comparaison et pour apprécier ce qui manque à l'esquisse pour qu'elle représente exactement le dessin original: du reste, on peut encore diminuer la lumière trop vive, soit en lui faisant traverser des milieux plus ou moins transparents, soit en appliquant sur la glace une plaque de verre plus ou moins épaisse.

L'esquisse est dessinée dans le sens contraire à celui qu'occupe le modèle; mais il est facile de l'obtenir dans le sens direct en se servant d'un papier frotté de sanguine ou de mine de plomb et de noir de fumée, qu'on place sous le papier ou l'étoffe à dessiner; dans ce cas, on dessine avec un crayon dur ou avec une pointe émoussée qui trace le dessin sur le revers du papier, c'est-à-dire dans le sens direct et semblable au modèle.

Lorsqu'on esquisse sur du papier ou sur une étoffe blanche qui réfléchit plus ou moins facilement les rayons lumineux, il arrive souvent que l'image se montre trop faible; dans ce cas, il faut projeter de l'ombre sur le papier ou sur l'étoffe à l'aide du store placé au pied de la glace et que l'on déroule successivement en tournant un bouton; mais il est un point qu'il ne faut pas dépasser, afin que l'œil aperçoive également bien la pointe du crayon et l'image produite.

Quelquefois on évite l'emploi du store en copiant un dessin de petite dimension soit sur du papier gris ou noir, soit sur la pierre lithographique, le zinc grené ou la planche vernie pour la gravure, soit enfin sur une étoffe quelconque de couleur terne ou noire qui absorbe et éteint plus ou moins les rayons lumineux.

Règles à observer. 1° Pour obtenir une copie égale et semblable au modèle, il faut que le cadre sur lequel

EFERUS - Recherche & Classification numérique

repose le modèle et la planchette à dessiner soient placés horizontalement par rapport au plan perpendiculaire de la glace, ce que l'on vérifie facilement au moyen d'une équerre ou d'un fil à plomb. Si la glace était légèrement inclinée sur le modèle, l'esquisse obtenue serait plus allongée dans le sens de la longueur, tout en conservant ses dimensions proportionnelles dans le sens de la largeur.

2° Pour produire un dessin plus grand que le modèle, on élève horizontalement l'appareil au-dessus de la planchette à dessiner au moyen de trois vis formant trépied; mais, pour réduire les dimensions de l'esquisse, il faut élever la planchette à dessiner au-dessus du cadre qui porte le modèle; dans tous les cas, on indique les dimensions vraies du modèle par des lignes droites et perpendiculaires entre elles et légèrement marquées; puis on trace de cette façon les dimensions de l'esquisse. Enfin il faut régler la position de l'appareil et de la planchette à dessiner, de manière que les lignes tracées sur le modèle et sur l'esquisse coïncident parfaitement avec les fils d'écartement tendus sur les deux cadres placés sur le modèle et sur le papier à dessiner, et ceux-ci doivent se superposer et ne former qu'une seule croix.

3° Si l'on veut reproduire exactement les contours d'un grand dessin que le champ de vue n'embrasse pas tout entier, il est nécessaire de tracer d'abord sur le modèle et sur le papier ou l'étoffe à dessiner des divisions égales, quand on veut obtenir un dessin semblable; on tire ensuite des lignes horizontales et verticales pour toutes ces divisions, ce qui forme autant de carreaux que l'on numérote au besoin pour les reconnaître; on fixe le modèle et le papier à dessiner sur les cartons, en ayant soin que la vision embrasse toute l'étendue des carreaux du modèle et de ceux correspondant sur le papier à dessiner, que les lignes de division, surtout, coïncident parfaitement : ensuite tout le travail consiste à reproduire successivement les contours compris dans les carreaux qui servent ainsi à guider l'œil et la main.

4° Quand, après avoir tracé plusieurs contours, on change involontairement la position de l'œil et par conséquent le point de vue, la pointe du crayon et les lignes tracées ne répondent plus à l'image; mais il est facile de retrouver le véritable point en cherchant à rajuster la coïncidence des lignes de divisions ou de dimensions tracées sur le modèle et sur l'esquisse. Enfin, pour éviter les inconvénients qui peuvent résulter des mouvements involontaires de l'œil, on rend sa position immobile en appuyant légèrement le front sur le support placé en avant de la glace.

Observations. On peut encore se servir du calcographe pour dessiner un objet vu en perspective. Pour cela, on fixe le support au moyen de la vis, parallèlement à la glace, et regardant par le petit trou pratiqué dans la plaque circulaire et servant d'oculaire l'objet placé verticalement, on dessine son empreinte sur la glace elle-même avec un crayon lithographique, ou avec un pinceau à l'encre lithographique. Il faut ensuite transporter ce dessin sur une feuille de papier humide qu'on applique dessus et qu'on frotte légèrement, soit avec un plioir, soit avec une roulette ou tout autre instrument; mais, comme le dessin est renversé, on en fait au besoin la contre-épreuve, lorsqu'il est encore humide, sur le papier ou sur l'étoffe à dessiner.

Au lieu d'une glace ou d'un verre ordinaire, on peut employer un cadre en carton sur lequel on tend et colle de la mousseline claire et transparente, de la gaze, ou mieux de la toile à blutoir; mais alors on trace seulement les contours et les traits de force avec de la craie tendre, du fusain, ou avec un crayon de pastel très-tendre; puis on reporte ce calque sur le plan à dessiner horizontal, soit dans le sens direct, soit dans le sens contraire, en frappant avec le doigt; ce seul ébranlement fait traverser ou tomber le fusain sur le plan à dessiner, et le dessin est marqué suffisamment; mais, pour qu'il soit semblable à l'objet, il faut que la glace soit parallèle à cet objet : dans toutes les autres positions, il en différera plus ou moins.

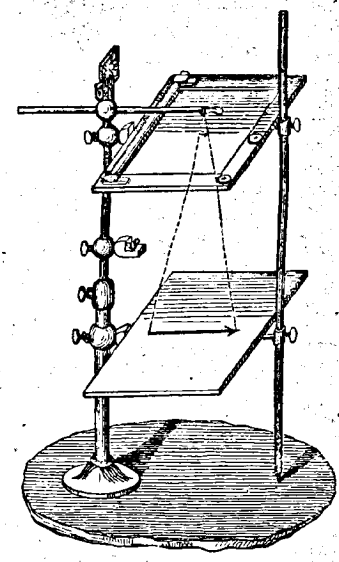
Plus le modèle sera éloigné de la glace, plus la perspective sera petite; toutefois, cette perspective sera plus grande si on éloigne le point de vue de la place.

Ainsi le plus ou le moins de grandeur de l'esquisse exige qu'on éloigne le point de vue ou qu'on rapproche l'objet de la glace. Cependant le point de vue ne doit pas être trop éloigné de la glace, afin qu'on puisse atteindre celle-ci et dessiner dessus sans peine et sans fatigue. L'objet lui-même ne doit pas être trop rapproché de la glace, pour que la perspective puisse s'y peindre entière.

Réciproquement, l'objet étant dessiné sur la glace, on peut le recopier plus ou moins grand sur une tablette verticale appliquée derrière la glace à la distance voulue.

On conçoit qu'on peut aussi dessiner sur un plan horizontal; on y parvient facilement en disposant le point de vue, la glace et la planchette à dessiner sur une tringle ou tablette verticale, au moyen d'ajustements et de vis de pression qui permettent de les élever ou de les abaisser à volonté: alors on dessine en regardant de haut en bas.

La fig. 660 représente cette disposition. La glace est placée en haut et la planchette est au-dessous; le point de vue est fixé à l'extrémité de la tringle horizontale.



660

Ainsi la petite flèche ponctuée représente la positio du dessin tracé sur la glace, lorsque l'œil est placé au point de vue, et la grande flèche représente l'esquisse plus ou moins amplifiée.

MACHINES POUR LA MISE EN CARTE DES DESSINS DE CHALES.

Pour faire bien comprendre tous les avantages de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces machines, il suffit de rappeler comment on compose aujourd'hui la mise en carte des dessins pour châles, et généralement de tous les dessins destinés à être reproduits par le tissage à l'aide du métier à la Jacquart.

On compose et trace d'abord l'esquisse du châle en petit sur le papier ordinaire, et on le colorie par quart ou par moitié avec des couleurs vives et brillantes ; c'est dans cet état que le dessinateur le présente au choix du fabricant.

Lorsque le dessin est choisi ou vendu, on le calque d'abord sur du papier vernis, puis on le reproduit suivant les dimensions déterminées sur du papier quadrillé, et on le colorie avec quatre ou cinq couleurs au plus, que l'on place dans la limite des carreaux. Les petits carreaux colorés indiquent tout à la fois le montage des lisses du métier, et les fils colorés que l'ouvrier tisserand doit employer (voy. TISSUS).

En 1828, M. Bureau, dessinateur à Nîmes, prit un brevet d'invention, aujourd'hui expiré, pour une autre méthode qui est peu répandue.

« On fait graver, dit l'auteur, une planche en cuivre à la réduction des peignes propres à la fabrication des châles, et on s'en sert pour imprimer le papier, qu'on rend transparent par le vernis. On supprime par cette méthode la transposition de l'esquisse sur le grand papier réglé, puisque le dessinateur, appliquant le papier réglé et vernissé sur sa première idée au crayon, fait la mise en carte en faisant l'esquisse peinte. »

Cette méthode procure une grande économie de temps, puisqu'il ne faut que deux jours de travail pour un ouvrage qui en demande ordinairement huit ou dix. L'ouvrier n'a pas plus de difficulté à lire les dessins que par les procédés ordinaires. Dans tous les cas, on pourrait employer une loupe, qui grossirait le papier-réglé vernis dans les mêmes proportions que la règle ordinaire.

Dès l'année 1778, Storer a pris un brevet d'invention en Angleterre pour un appareil optique qu'il appelait le *parfait dessinateur*, destiné à projeter sur un plan horizontal les images représentées, soit par le microscope, soit par la lanterne magique ou la chambre obscure; et personne en France n'avait pensé à appliquer cet appareil à la reproduction des dessins de fabrique (voir *Repertory of arts*, 1796, tome IV, p. 239).

C'est M. Hedde, dessinateur à Saint-Étienne, qui a inventé, en 1821, la première machine propre à la mise en carte des dessins pour les étoffes façonnées, et les rubans de tous les genres, etc.

Cette machine n'est autre chose qu'une lanterne magique, au devant de laquelle on place, entre la lampe d'éclairage et l'appareil optique, un double châssis, dans lequel on fait glisser à volonté une glace non étamée, de haut en bas et de bas en haut, de gauche à droite, et réciproquement. Le dessin est tracé sur cette glace, et divisé en carrés relatifs au carré donné par le champ de l'appareil optique ; ainsi on fait avancer ou remonter la glace au fur et à mesure qu'on a dessiné un carré.

La table sur laquelle on exécute la mise en carte est parallèle à la glace, mais pour la commodité on l'incline sensiblement, ainsi que la lanterne magique. Du reste, on peut voir le dessin et la description de cet appareil dans le tome IV, page 13, des *Descriptions des brevets expirés*.

M. Grillet, en 1843, a perfectionné cette machine avec beaucoup d'adresse et d'intelligence, en y ajoutant des organes qui permettent de dessiner sur un plan horizontal, et de promener le dessin dans tous les sens sans gêne et sans fatigue. A vrai dire, c'est une lanterne magique renversée, de laquelle on peut dire, comme de toutes les inventions, très simples et très originales : *c'était le tout de la trouver*.

Machine propre à la mise en carte des dessins de châles, inventée par M. Grillet. Cette machine, représentée en élévation vue de face, fig. 661, et en projection latérale, fig. 662, se compose de deux montants A A, réunis par trois traverses B, B, B. La traverse supérieure B porte six poulies C, pour le passage des chaînes D ; à la traverse intermédiaire B sont fixées deux grandes poulies E armées de rochets, servant à enrouler les chaînes qui font monter et descendre les cadres I et J, et qu'on manœuvre à l'aide de manivelles F, fig. 661 ; enfin, la traverse d'en bas B sert à relier les pieds du bâti.

A la partie supérieure du bâti, et au-dessus d'un premier châssis I, est adaptée une lampe à double courant d'air L, dont le réflecteur parabolique projette la lumière de haut en bas, afin d'éclairer le dessin à calquer placé horizontalement sur une vitre H.

Le châssis I monte et descend au moyen de deux chaînes du milieu D D qui s'enroulent sur les grandes poulies E E ; on l'arrête à la hauteur voulue pour la réduction ou l'augmentation du dessin, en engageant les cliquets dans les dents des rochets. L'extérieur de ce châssis est muni de coulisses, dans lesquelles glisse horizontalement un cadre G de droite à gauche et réciproquement, au moyen de cordons qui y sont attachés, et qui passent sur des poulies disposées à cet effet. Ce châssis porte des rainures, dans lesquelles glisse un autre cadre H, garni d'une glace non étamée sur laquelle on pose le dessin à copier. Le double mouvement de va-et-vient d'avant en arrière et de droite à gauche, qui résulte de la disposition de ces cadres, permet de transporter successivement toutes les parties du dessin, de manière à ce qu'elles viennent chacune à leur tour correspondre avec le centre du second châssis I portant l'appareil K ; ce qui a lieu également par des poulies de renvoi et des cordons placés à la portée de l'opérateur.

Le second châssis J monte et descend comme le châssis I, et peut être également fixé à toutes les hauteurs par le même procédé; il reçoit une planchette à laquelle est fixé un appareil optique de chambre obscure. Cet appareil en cuivre est muni de deux lentilles de verre à plan convexe, dont les faces courbes sont diamétralement opposées. Il est muni d'une crémaillère et d'un bouton O, qu'on fait mouvoir de manière à faire varier la hauteur des lentilles, et à les amener au point que les traits du dessin, projetés par la lumière supérieure, la traversent et soient reçus sur le papier posé sur la table à dessiner N.

On conçoit que le dessin à calquer doit être tracé sur papier végétal, afin que la lumière le traverse assez abondamment pour que les traits du dessin soient projetés avec la netteté suffisante.

Le réflecteur de la lampe est muni d'une crémaillère, au moyen de laquelle on l'élève ou on l'abaisse jusqu'à ce qu'on ait obtenu la clarté la plus vive.

Les deux lentilles sont nécessaires, quand on veut amplifier le dessin de plus du double ; dans le cas contraire, on dévisse la lentille inférieure et on se sert seulement de celle du haut.

Il faut tracer des carrés de 10 à 15 centimètres sur le dessin qu'on veut reproduire, afin de prendre facilement les raccords.

Usage de la machine. On ne travaille avec cet appareil qu'à la lumière de la lampe, ce qui dispense de l'envelopper d'un rideau comme une chambre noire. Le dessinateur se place devant la table.

Lorsqu'il veut reproduire un dessin de la même dimension que l'original, il retire de la chambre noire la lentille inférieure, puis il élève ou abaisse successivement l'un et l'autre châssis I et J, jusqu'à ce qu'il ait trouvé le point de reproduction, en commençant toujours par le châssis inférieur J.

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

DESSIN INDUSTRIEL.

Pour amplifier un dessin du double, on enlève le châssis inférieur, et on cherche le point précis avec le châssis supérieur.

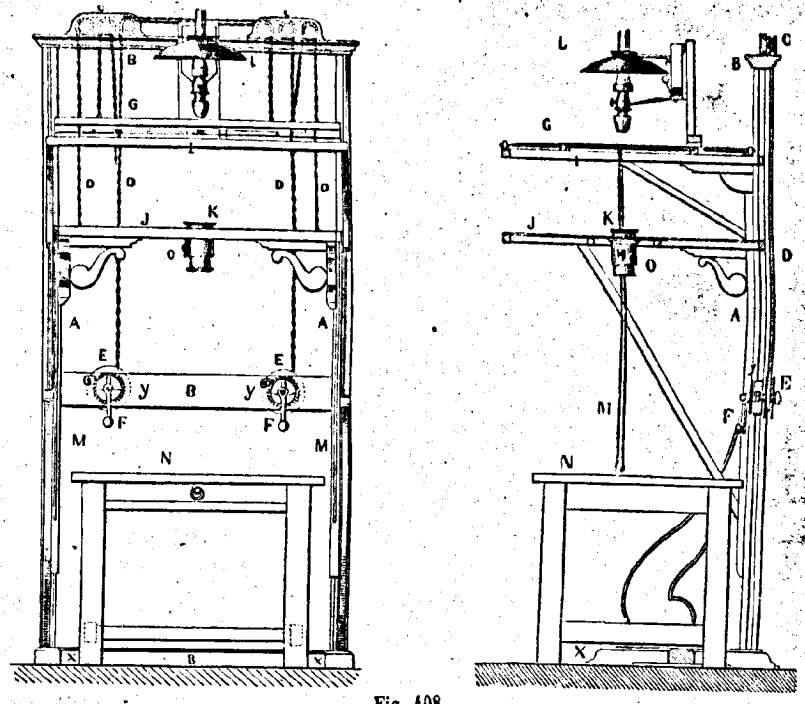


Fig. 408.

obligé de les augmenter ou de les diminuer, afin de ne point altérer leur pureté et d'éviter aussi les pertes de temps.

Quand il s'agit de grossir davantage, on remet la lentille inférieure, puis on cherche le point comme nous venons de le dire.

Les cordons M attachés au châssis portant la glace passent sur des poulies de renvoi, et tombent l'un à la droite et l'autre à la gauche du dessinateur : ils servent à faire mouvoir le dessin à droite ou à gauche à volonté. On fait de même cheminer le dessin d'avant en arrière.

La réduction du dessin s'opère en approchant la chambre noire de la table. En général, pour amplifier un dessin, on élève la chambre noire, et, pour le réduire, on la descend.

Pratique du dessin. Nous terminerons par quelques remarques pratiques.

Dans les dessins de décoration, généralement on suppose que la lumière part de l'angle supérieur à gauche du dessin et forme avec sa base un angle égal à la moitié d'un angle droit. On considère de plus que la lumière est formée de plusieurs rayons qui se propagent en lignes droites et parallèles.

Dans les dessins pour tapis, parquet en mosaïque, et généralement pour tous les objets que l'on pose horizontalement, et sous les pieds, il convient au contraire de faire partir les rayons lumineux du centre de l'objet, autrement le dessin est nuageux et sans vigueur.

Lorsque l'esquisse est terminée, on applique les ombres et les demi-teintes, de sorte que celles-ci se fondent bien ensemble, pourtant sans se confondre ni se mêler, ce qui nuirait à la beauté et à l'effet général du dessin. Il faut autant que possible poser du premier coup les teintes convenables, et n'être pas

Pratique du dessin pour la broderie et la tapisserie. Comme nous l'avons dit à l'article BRODERIE (v. ce mot), les dessins sont de plusieurs espèces et composés par des dessinateurs spéciaux. On les reproduit même par des procédés différents selon la nature de l'étoffe.

Ainsi, pour reproduire un dessin soit sur une étoffe légère, comme de la mousseline, de la gaze, du satin, du gros de Naples, soit sur une étoffe très-lisse, telle que le stoff, la bombazine, le lasting, soit enfin sur les draps, on emploie généralement le poncis et la poudre résineuse que l'on fixe en promenant un fer chaud sur l'étoffe; mais pour les dessins destinés à être brodés par les dames, on trace le dessin après qu'il a été poncé, avec une plume et avec une encre composée de gomme arabique, d'un peu de sucre et de fiel de bœuf. On use la pointe et les côtés de la plume avec une pierre ponce afin de faciliter l'écoulement de l'encre.

Moyen de former ou tourner une bordure en coin, et de copier en sens inverse, soit un coin ou la moitié d'un carré, soit un dessin entier imprimé sur le papier. Il suffit de placer une glace étamée perpendiculairement sur la bordure ou le dessin que l'on veut former en coin, et obliquement par rapport à l'œil du dessinateur, de manière que celui-ci aperçoit l'image de la bordure réfléchie par la glace et formant un coin régulier. Le dessin placé en avant de la glace et coupé par elle est la partie qu'il faut répéter en sens inverse pour former les coins. On répète de même, soit un coin pour former la moitié d'un carré, soit la moitié d'un carré pour former un carré régulier, soit un dessin tout entier.

ROUGET DE LISLE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉTENTE. Lorsqu'on cherche à convertir en travail mécanique la chaleur incorporée dans la vapeur d'eau, ce que la théorie démontre aujourd'hui être le but qu'on peut atteindre à l'aide de la machine à vapeur (voyez MACHINE A VAPEUR), on ne peut approcher des limites fixées par la théorie que par une action complète, c'est-à-dire le double effet de la vapeur telle qu'elle se présente, lors de sa formation, sous un volume déterminé, à une pression donnée : c'est-à-dire le travail produit en surmontant la pression qu'elle rencontre, ce qui produit un travail PV, P étant la pression et V le volume, puis le travail qu'elle peut engendrer par un accroissement ultérieur de volume, la pression décroissant de P à zéro. Cette seconde partie, engendrée par la détente de la vapeur, ne peut être utilisée en totalité dans la pratique, les derniers accroissements de volume répondant à des volumes énormes pour des pressions minimes.

Si on considère les machines à vapeur, on voit que, dans les plus simples, la vapeur agit à pleine pression, c'est-à-dire qu'elle est introduite derrière l'une ou l'autre des faces du piston pendant toute la durée de la course, et c'est au moment même où cette course se termine, que les deux extrémités du cylindre sont mises en communication, l'une avec le condenseur ou l'atmosphère, l'autre avec la chaudière (voyez MACHINE A VAPEUR) Ce mode d'action de la vapeur présente de nombreux inconvénients, qu'indique la théorie, et que nous allons énumérer en peu de mots : 1° Il ne permet pas d'utiliser la *détente* de la vapeur, c'est-à-dire le travail qu'elle est susceptible de développer par son expansion dans le cylindre, entre certaines limites; 2° la communication avec le condenseur ne commençant à

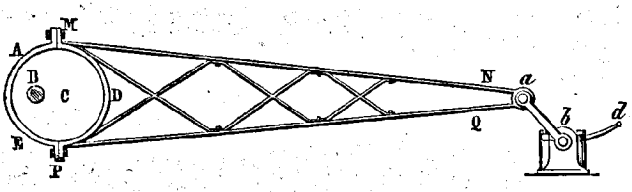


Fig. 1.

s'ouvrir qu'aux extrémités de la course du piston, la condensation ou l'évacuation de la vapeur n'est pas assez rapide, pour qu'il n'en résulte pas un travail résistant très-appréciable pendant la première partie de la course du piston; 3° enfin, la vapeur agissant constamment à pleine pression, il en résulte, aux extrémités de la course du piston, des efforts considérables qui tendent à disloquer la machine. L'emploi de la détente, qui remédie à ces défauts, est le plus grand perfectionnement apporté depuis Watt à la machine à vapeur.

Dans le présent article, nous ne nous occuperons que des dispositions mécaniques employées pour obtenir des détentes plus ou moins étendues.

Sous le rapport du mode de distribution de la vapeur, on peut diviser les machines à vapeur en deux grandes classes, suivant que cette distribution y est réglée par des soupapes ou des tiroirs. Les premières, qui sont des machines fixes, ordinairement de très-fortes dimensions et employées sur les mines pour l'épuisement des eaux, sont souvent à simple effet; en fixant à différentes hauteurs les tasseaux qui servent à décrocher les soupapes, on peut admettre la vapeur pendant toute la durée de la course du piston, ou seulement pendant telle partie que l'on voudra de cette course. Dans ces machines, qui ne sont guère répandues que dans le Cornouailles, on utilise la détente dans une très-forte proportion, en n'admettant la vapeur dans le cylindre que pendant 1/8 à 1/4 de la course du piston. Pour éviter autant que possible les déperditions de chaleur, on enveloppe d'une chemise de vapeur le cylindre de la machine, et on recouvre l'enveloppe extérieure en fonte de corps mauvais conducteurs du calorique, tels que la sciure de bois, le liége, afin de diminuer autant que possible le refroidissement de la chemise de vapeur. On prévient ainsi, lors de la détente, la liquéfaction d'une partie de la vapeur motrice, qui aurait lieu par suite de l'abaissement de température dû au rayonnement des parois et à la dilatation même de la vapeur. D'un autre côté, la présence de l'enveloppe de vapeur maintenant la température sensiblement constante dans l'intérieur du cylindre, l'eau mêlée à l'état vésiculaire avec la vapeur se vaporise pendant la détente, au fur et à mesure que la pression diminue, aux dépens de la chaleur qu'elle prend aux parois du cylindre, et vient par suite augmenter d'autant le travail développé et la limite au delà de laquelle il n'y a plus avantage à prolonger la détente.

Nous traiterons maintenant des machines qui sont munies de tiroirs, ce qui est le cas général.

Mouvement des tiroirs. Pour bien comprendre les considérations relatives aux mouvements des tiroirs, il est nécessaire de connaître les excentriques au moyen desquels on les fait marcher.

Des excentriques employés pour la manœuvre des tiroirs. Les mécanismes employés sont des excentriques circulaires, des excentriques à cames ou des excentriques triangulaires.

Les uns comme les autres sont placés sur l'axe de rotation du volant, ou en reçoivent le mouvement par transmission, sans modification de vitesse angulaire, de sorte qu'ils exécutent, dans tous les cas, un demi-tour par course simple du piston.

Excentrique circulaire. Cet excentrique avec son tirant MNQP (fig. 1) peut être assimilé au système d'une manivelle dont le bras, qu'on nomme *rayon d'excentricité*, serait la plus grande distance de l'axe B à la circonférence du disque, et d'une bielle dont la longueur serait la distance de l'extrémité de ce rayon à l'axe *a* du bouton.

Lorsque ces deux lignes sont sur le prolongement l'une de l'autre, elles coïncident avec l'axe de figure Ba du tirant, et le tiroir est à l'une des extrémités de sa course, ce qui arrive deux fois par course double du piston; lorsque le rayon d'excentricité est perpendiculaire à cette direction extrême, le tiroir est au milieu de sa course, ce qui arrive également deux fois par coup double.

Le disque circulaire est assemblé, *calé*, sur l'arbre du volant au moyen d'une clef en fer forgé.

Enfin, dans les machines à balancier et les machines horizontales, l'axe du tirant est disposé horizontalement; dans les machines verticales sans balancier, il est disposé verticalement, de sorte que le tiroir est aux extrémités de sa course quand le rayon d'excentricité BD est horizontal dans les premières et vertical dans les autres.

Effets du calage de l'excentrique. Supposons maintenant que le *calage* de l'excentrique ait été effectué de telle sorte que le rayon d'excentricité soit sur le prolongement du rayon de la manivelle du volant sur les deux premières classes de machines, et perpendiculaire au même rayon dans la dernière, il résulte, de ce qui précède, que le tiroir sera aux extrémités de sa course quand le piston sera au milieu de la sienne, et qu'il sera au milieu de cette même course quand la machine sera aux *points morts*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Mais si l'excentrique est calé sur son arbre, de façon que le rayon de la manivelle fasse, avec le prolongement du rayon d'excentricité, dans le premier cas, ou avec sa perpendiculaire dans le second, un angle qui est toujours aigu, le tiroir aura de l'*avance* sur le piston et arrivera, par exemple, au milieu de sa course, quand le piston aura à parcourir une certaine fraction de la sienne : on appelle cet angle aigu *angle de calage*.

Enfin, les tiroirs commandés par ces excentriques étant continuellement en mouvement ouvrent et ferment graduellement les passages de la vapeur.

Excentrique à cames. L'excentrique à cames, dont l'application aux machines à vapeur est due à Murray (1801), a pour but d'ouvrir et de fermer rapidement les passages de vapeur en maintenant la communication entre la boîte de distribution et le cylindre, complétement ouverte pendant une portion plus ou moins étendue de la course du piston, ce qui diminue les pertes de force vive dues aux étranglements, et, par suite, l'affaiblissement de la tension dans le cylindre.

Ces excentriques tournent dans l'intérieur d'un châssis rectangulaire B' B (fig. 2), en poussant alternativement deux côtés parallèles B et B' de ce châssis, ordinairement par l'intermédiaire de deux galets dont les axes de rotation sont dans un même plan avec celui O du volant, ainsi que l'axe de figure de la queue BC du châssis, articulée en C avec le levier coudé qui transmet le mouvement aux tiges du tiroir. Le contour de l'excentrique est constamment tangent aux deux galets; ce contour se compose de quatre portions circulaires concentriques au volant, dont deux servent à maintenir la communication entre la boîte de distribution et le cylindre complétement ouverte, et les deux autres à la tenir fermée pour produire la détente ; chacun de ces arcs de cercle est précédé d'une courbure à excentricité rapide qui sert à déplacer le tiroir.

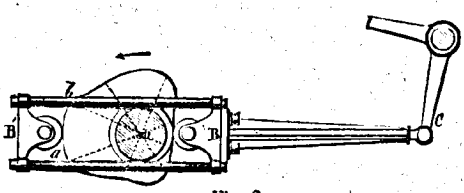


Fig. 2.

L'excentrique tournant dans le sens indiqué sur la figure, et *ab* étant un des arcs de cercle qui maintiennent l'admission de la vapeur, on voit que cette admission commencera à avoir lieu complétement quand le rayon vecteur *oa* de l'excentrique sera arrivé sur la ligne des centres CBOB', de sorte que l'on pourra, en calant l'excentrique sur l'arbre du volant, fixer la position de ce rayon vecteur par rapport au rayon de la manivelle, et régler les positions du tiroir relativement à celles du piston de la manière qui paraîtra la plus favorable aux effets utiles de la machine.

Excentrique triangulaire. On trouve encore dans quelques machines, et particulièrement dans celles à deux cylindres de Hornblower et Wolf, des excentriques dont le tracé est composé principalement de trois arcs de cercle *ab*, *ac*, *bd* (fig. 3) et dont l'axe de rotation *o* passe par le centre d'un de ces arcs *ab*, près du sommet opposé; les extrémités *d* et *c* des deux autres côtés, décrits en prenant les points *a* et *b* pour centres, se raccordent tangentiellement avec un arc de cercle *dc* correspondant à l'angle au centre formé par le prolongement des côtés de celui qui intercepte l'arc *ab*. Cet excentrique pousse successivement les deux côtés M' et M d'un châssis rectangulaire en leur restant toujours tangent. Si l'on suppose que la rotation ait lieu, comme l'indique la figure, au moment où l'origine *a* de l'arc *ab* arrivera au contact du côté M' du châssis, celui-ci, ainsi que le tiroir, sera parvenu à l'une des extrémités de sa course, puis il restera au repos, et la communication demeurera établie entre la boîte de distribution et le cylindre jusqu'à ce que le rayon *oc* soit venu se placer dans la direction *od* perpendiculaire au côté M du châssis. A partir de cet instant, ce côté sera mené par l'arc *ca* de l'excentrique, et l'entrée de la vapeur se fermera graduellement. Si cette entrée est entièrement interceptée au moment où le rayon *om*, par exemple, se place en *od*, la détente aura lieu jusqu'à ce que le tiroir démasque, pour le mettre en communication avec le condenseur ou l'atmosphère, l'orifice qu'il venait de fermer à l'admission de la vapeur, et ouvre l'autre orifice pour faire arriver le fluide moteur en sens contraire sur le piston.



Fig. 3.

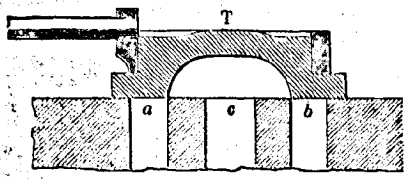
Conclusions. Ce dernier excentrique tend, comme le précédent, à déformer les côtés de son châssis ou les galets dont il peut être armé; faisant, comme lui, passer rapidement le tiroir du repos au mouvement, il expose le système des tiges et leurs articulations aux réactions provenant de l'inertie. D'un autre côté, s'il peut laisser l'entrée de la vapeur entièrement libre pendant une portion considérable de la période d'admission, il rend le tiroir constamment mobile pendant la détente, comme l'excentrique circulaire : ainsi, lorsqu'il n'est pas employé uniquement pour l'admission et l'évacuation de la vapeur, il participe des imperfections des deux autres. En définitive, les excentriques à cames paraissent avantageux dans les machines à mouvements lents, tandis que l'excentrique circulaire est seul admissible pour les grandes vitesses : mais l'inconvénient que celui-ci présente de ne laisser les lumières d'admission de la vapeur complétement ouvertes que pendant un instant aurait dû engager à ne pas l'employer exclusivement dans les machines fixes, comme la plupart des constructeurs l'ont fait depuis quelques années, probablement à cause de la simplicité et de la durée de sa construction.

Disposition des tiroirs. Parlons maintenant des tiroirs mus par les excentriques; dans les machines sans détente, ces excentriques sont calés sur l'arbre du volant à angle droit avec la manivelle, de manière qu'aux limites de la course du piston le bord intérieur du tiroir coïncide exactement avec le bord extérieur de l'orifice correspondant; lorsque cela n'a pas lieu, on dit qu'il y a *avance* ou *retard* à l'admission de la vapeur. On donne généralement une légère avance à l'admission de la vapeur, lorsque le piston doit prendre un mouvement très-rapide, comme dans les machines locomotives. Le piston éprouvant ainsi, à la fin de sa course, une résistance considérable de la part de la vapeur, sa vitesse s'éteint sans qu'il en résulte une forte pression sur l'arbre coudé, qui, dans les locomotives, est l'essieu des roues motrices, et sur les paliers qui le supportent : la vapeur, résistant utilement, se comprime derrière le piston, au point d'avoir acquis une tension presque égale à celle de la chaudière, au moment où la vapeur motrice est admise, de sorte que la pression sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

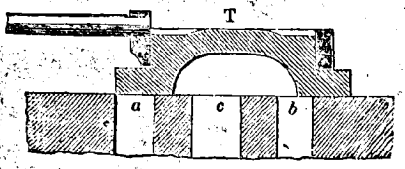
le piston varie d'une manière continue ; sous ce rapport, l'avance à l'admission peut être favorable à la conservation de l'appareil. Si dans l'établissement des autres machines on donne une faible avance, c'est uniquement pour éviter un retard accidentel à l'admission, qui pourrait résulter d'un léger défaut d'ajustage, ou d'un petit dérangement des pièces du mécanisme.

Le moyen le plus simple de tirer parti de la détente dans une assez forte proportion, est de donner aux rebords du tiroir A (fig. 663), une largeur plus grande



663.

que celle des orifices qu'ils doivent masquer et démasquer alternativement, en laissant l'intervalle vide qui les sépare égal à celui compris entre les bords internes des orifices *a* et *b*, qui communiquent avec les deux extrémités du cylindre. L'amplitude des excursions du tiroir est égale à la somme des largeurs de ses rebords ; enfin, on cale l'excentrique sur l'arbre du volant, de telle sorte que l'orifice d'admission de la vapeur commence à être démasqué, au moment où le piston, arrivé à la limite de sa course, doit commencer à rétrograder, disposition que représente la fig. 664. On voit qu'à ce

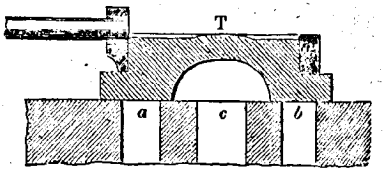


664.

moment l'ouverture *b* est déjà plus ou moins démasquée, pour laisser écouler la vapeur dans le condenseur par l'ouverture *c*. Lorsque le piston est arrivé à l'une des extrémités de sa course, le tiroir devra, d'après le calage de l'excentrique, avoir dépassé le milieu de sa course (fig. 664) d'une quantité égale à la largeur du *recouvrement*, c'est-à-dire de l'excédant de largeur de ses rebords sur l'un des orifices *a* et *b*, et la vapeur cessera d'être admise derrière le piston lorsque le tiroir, après être revenu à la position indiquée par la fig. 664, a encore à effectuer une course en arrière égale au double de la longueur du recouvrement, avant que le piston soit arrivé à l'extrémité de sa course, comme il est facile de le voir en examinant la figure. Il n'y aura donc pas de détente s'il n'y a pas de recouvrement, et la détente sera d'autant plus grande que le recouvrement sera plus considérable ; mais elle ne croîtra pas proportionnellement, parce que la vitesse du piston et celle du tiroir sont variables. Soit *m*, le rapport entre la largeur du recouvrement et celle des orifices *a* et *b*, $\frac{1}{n}$, la fraction de la course du piston pendant laquelle on veut que la vapeur soit admise, on aura pour déterminer *m*, l'équation $m = n - 1 + \sqrt{n(n-1)}$; de sorte que si *l* est la largeur de l'orifice *a*, la largeur du rebord du tiroir A sera $L = l(1+m) = l\left(n + \sqrt{n(n-1)}\right)$; si, par exemple, on veut que la vapeur soit admise pendant les 0,75 de la course du piston ; $n = 4/3$ et $L = 2l$; la course du tiroir sera dans ce cas de 4 *l*. L'échappement de la vapeur commencera lorsque le tiroir aura encore à parcourir une longueur égale à celle du recouvrement, avant la fin de la course du piston ; mais, par suite des vitesses variables du tiroir et du piston, il aura toujours lieu dans une fraction variable de la course de ce dernier. Soit *k* cette fraction, elle sera donnée par la formule :

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{1 - \left(1 - \frac{l}{L}\right)^2}\right),$$

dans le cas que nous avons cité $k = 0{,}065$, de sorte que la détente n'aura lieu que pendant 0,15—0,065 ou 0,085 de la course du piston. On augmente quelquefois la détente, en retardant le moment de l'échappement de la vapeur, au moyen d'un léger recouvrement intérieur que l'on donne aux rebords du tiroir, comme il est indiqué fig. 665. Cette disposition n'est guère adoptée



665.

que lorsqu'on veut obtenir, au moyen d'un seul tiroir à recouvrement, une détente considérable.

Le tiroir simple à recouvrement est actuellement d'un emploi général, et les bords du tiroir sont réglés de manière à supprimer la vapeur aux 7 à $8/10^{es}$ de la course du piston.

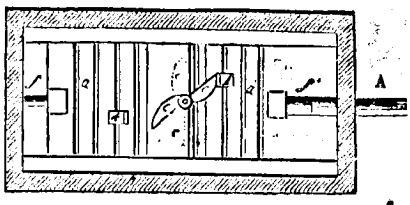
Lorsqu'on emploie un tiroir simple ou à recouvrement, il n'y a d'autres moyens de proportionner la puissance de la machine aux résistances variables qu'elle a à surmonter, que de laisser tomber la tension de la vapeur dans la chaudière, ou de rétrécir à l'aide du régulateur la communication entre la chaudière et le cylindre, moyens qui équivalent à la destruction en pure perte d'une partie de la puissance motrice que la vapeur pourrait développer.

R. Stéphenson a employé dans ses locomotives un système propre à faire varier la course du tiroir à recouvrement, ce qui permet de faire également varier la fraction de la course du piston pendant laquelle la vapeur est admise, ainsi que celle de la détente ; mais ces systèmes, qui se recommandent d'ailleurs par une grande simplicité, ne donnent pas des résultats aussi avantageux que la détente variable obtenue par les mécanismes du genre de ceux que nous allons décrire (voyez LOCOMOTIVE).

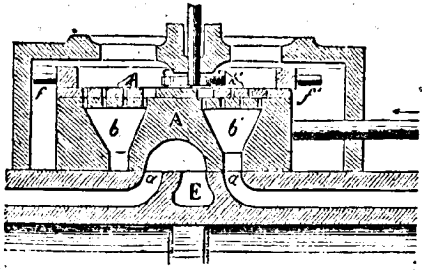
M. Farcot est le premier constructeur qui, dès 1834, ait appliqué à ses machines un système de détente variable. Les fig. 666, 667, 668 et 669 donnent les détails du premier système qu'il emploie. Les fig. 666 et 667 donnent le plan et la coupe de la boîte à vapeur, lorsque le piston du cylindre est arrivé au milieu de sa course. La fig. 668 donne la coupe de cette même boîte à vapeur, lorsque le piston est arrivé à l'extrémité de sa course et est sur le point de changer de mouvement, et la fig. 669 en donne une troisième coupe, lorsque le piston est arrivé au milieu de sa course en sens inverse. L'organe principal de la distribution est un tiroir A,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

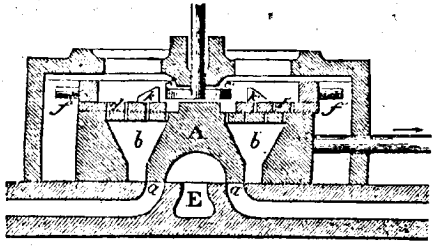
sur lequel se placent deux glissières *d*, *d'*, percées de plusieurs ouvertures rectangulaires, pouvant correspondre avec d'autres ouvertures pratiquées sur le dos du tiroir et communiquant dans des cabinets *b*, *b'*; ces ou-



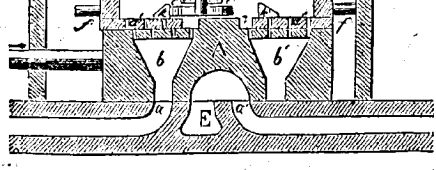
666.



667.



668.



669.

vertures ont une faible largeur dans le sens de la longueur du tiroir et s'étendent sur presque toute sa largeur; leur écartement est égal à la largeur des ouvertures *a*, *a'*, d'admission de la vapeur aux deux extrémités du cylindre, ou à la moitié de l'excursion totale du tiroir A. Lorsque les ouvertures des glissières

sont mises en regard avec celles du dos du tiroir, la vapeur entre dans les cabinets *b*, *b'*, et peut arriver aux cheminées *a*, *a'*, qui la conduisent sur les faces du piston, quand elles sont découvertes par le mouvement alternatif du tiroir A. Les glissières *d*, *d'*, sont entraînées avec le tiroir, tant qu'elles ne sont pas arrêtées soit par les goujons *f*, *f'*, qui viennent buter contre les extrémités de la boîte à vapeur, soit par les talons *k*, *k'*, lorsqu'ils rencontrent la touche *cc*. La longueur des goujons *f*, *f'*, est calculée de manière à replacer les ouvertures des glissières en face de celle du tiroir chaque fois que ce dernier, dans son mouvement alternatif, arrive à la fin de sa course. La touche *c c* (fig. 666) est une double came mobile autour de son axe qui, suivant sa position angulaire, arrête plutôt ou plus tard les talons *k*, *k'*, et par conséquent intercepte plutôt ou plus tard la communication de la boîte à vapeur avec les cabinets *b*, *b'*, et par suite avec le cylindre à vapeur; c'est donc en variant la position de la double came que l'on fait varier l'étendue de la détente. Le mouvement du tiroir étant réglé par un excentrique et n'étant pas par conséquent semblable à celui du piston, il faut, pour que les longueurs d'introduction de la vapeur soient égales de chaque côté du piston, indépendamment de l'obliquité des bielles qui transmettent son mouvement, que les courbures des deux côtés de la double came ne soient pas semblables et aient un tracé spécial pour chaque côté du piston. Pour que la vapeur puisse arriver dans le cylindre au commencement de la course du piston, il faut que les ouvertures des glissières et du dos du tiroir soient encore en regard, comme l'indique la fig. 668, lorsque le tiroir a déjà parcouru la moitié de sa course. Le talon *k* venant ensuite buter plutôt ou plus tard contre la came *c c*, la vapeur cessera d'être admise dans le cylindre, et comme l'espacement des ouvertures de la glissière est égal à la demi course du tiroir, elles ne pourront découvrir de nouveau celles du tiroir pendant la fin de son mouvement; lorsque ensuite le tiroir reviendra en sens contraire, le talon *k* quittera la came et la glissière *d* sera entraînée par le tiroir, sans découvrir les ouvertures pratiquées sur le dos de celui-ci; ces ouvertures ne seront découvertes par l'effet du goujon *f*, que lorsque la vapeur ne pourra plus passer du cabinet *b* dans la cheminée *a*, par suite du mouvement progressif du tiroir, comme le représente la fig. 667. Lorsqu'on voudra marcher à pleine pression et sans détente, il suffira d'amener la double came dans la position *c' c'*, indiquée en lignes ponctuées sur la fig. 666; les talons *k*, *k'*, ne pourront plus venir toucher la came pendant l'excursion du tiroir, les glissières seront toujours entraînées avec le tiroir et la vapeur affluera constamment dans les cabinets *b*, *b'*, de sorte que l'on se trouvera tout à fait dans le cas d'un tiroir simple.

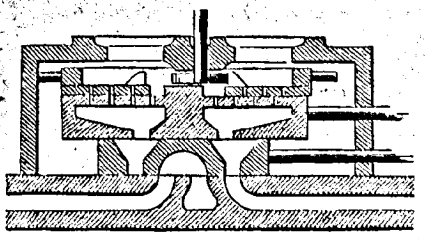
Il est à remarquer que ce système de détente ne permet de supprimer l'admission de la vapeur que pendant la première moitié de la course du piston, et que par suite la détente minimum que l'on puisse obtenir est de 1/2; cette latitude est bien suffisante pour le plus grand nombre de cas, lorsqu'on veut que les machines fonctionnent avec économie de combustible.

Si l'on veut que la détente puisse varier pendant toute la course du piston, il faut aussi que les talons *k*, *k*, marchent, ainsi que le tiroir qui les porte, pendant toute la durée de cette course, vers la double came *cc*. Ce résultat a été obtenu par M. Farcot, par la disposition aussi simple qu'ingénieuse indiquée fig. 670, en plaçant les glissières sur un second tiroir glissant sur le dos du premier tiroir, et mené par un excentrique placé à angle droit de celui qui commande le premier tiroir.

Les glissières de M. Farcot laissent facilement passer la vapeur qui peut ainsi arriver sur le piston à une pres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion voisine de celle des générateurs ; elles interceptent rapidement le passage au moment où l'on veut com-



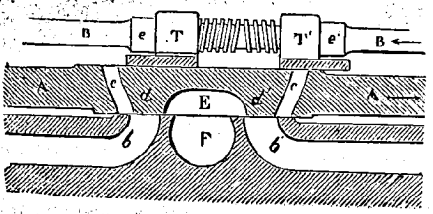
670.

mencer la détente, et permettent de faire varier celle-ci à la main ou au moyen du modérateur, pendant la marche de la machine ; les longueurs d'introduction qu'elles procurent sont à volonté égales de chaque côté du piston, ou inégales si l'on veut avoir égard à la surface perdue par la tige du piston, d'après la forme donnée à chacune des cames de détente. Enfin, on peut avoir des fermetures encore plus rapides que celles dues à l'excentrique circulaire en employant des excentriques à bosses ; mais ceux-ci ne sont pas à recommander, parce qu'ils sont plus compliqués, plus sujets à l'usure, difficiles à réparer, et qu'en définitive l'avantage qu'ils offriraient dans les machines de M. Farcot serait à peine sensible.

Il est facile d'apprécier tout l'avantage que l'on trouve à faire conduire la détente par le régulateur. En effet, quand la résistance que surmonte la machine varie, qu'elle diminue, par exemple, momentanément, la détente augmentant de suite, la pression diminue ; le mouvement reste régulier, et la consommation de vapeur est la moindre possible.

Cet ingénieux système de détente variable, le meilleur de ceux actuellement employés, a valu à son auteur une médaille d'or à la dernière exposition. M. Farcot adopte en outre à toutes ses machines une double enveloppe, l'une de vapeur et l'autre d'air stagnant ; disposition qui sans en augmenter de beaucoup le prix donne lieu à une économie notable de combustible en réduisant considérablement les pertes de chaleur. Ce même constructeur vient de prendre un brevet pour une nouvelle chaudière, d'une disposition très simple, que l'expérience a fait voir comme très avantageuse, l'eau d'alimentation y circulant en sens inverse de la fumée. (Voy. CHAUDIÈRE A VAPEUR.)

Le système de détente variable employé par M. Meyer sur les locomotives, système qui lui a également valu une médaille d'or à l'Exposition de 1849, offre beaucoup d'analogie avec le précédent. La fig. 671 que nous



671.

empruntons au rapport de M. Combes sur les locomotives de M. Meyer, donnera une idée de ce système. Les rebords du tiroir de distribution ordinaire ont une largeur telle qu'ils ne découvrent jamais les lumières, et la vapeur est admise par des ouvertures rectangulaires ménagées dans ces rebords, lorsque celles-ci correspondent aux lumières. E, est l'ouverture d'échappement ; *b*, *b'*, sont les ouvertures des lumières qui aboutissent aux extrémités du cylindre ; *c*, *c'*, les ouvertures rectangulaires ménagées dans les rebords du tiroir A pour l'introduction de la vapeur. On voit que ce tiroir équivaut à un tiroir ordinaire qui, quand il est au milieu de sa course, comme l'indique la figure, masque les deux lumières *b*, *b'*, par les parties pleines *d*, *d'*. Le tiroir A est mené par un excentrique ordinaire calé sur l'arbre des roues motrices, de manière à ce qu'il y ait une très faible avance à l'admission de la vapeur.

Pour obtenir la détente, c'est-à-dire pour supprimer l'admission de la vapeur dans le cylindre, après que le piston a parcouru une fraction déterminée de son excursion totale, M. Meyer a ajouté deux plaques planes ou glissières, enchâssées dans des cadres qui tiennent aux deux taquets T, T', fixés sur une même tige B. Ces plaques glissent sur le dessus du tiroir et viennent masquer à propos et alternativement les deux ouvertures rectangulaires ménagées dans les bords de ce tiroir. Les taquets T, T', sont enfilés sur des parties de la tige B, qui sont filetées en vis à filets carrés, dont les écrous sont taraudés dans l'épaisseur des taquets. Les spires des deux vis serpentent autour de la tige en sens inverse. Il résulte de cette disposition qu'en imprimant à la tige B un mouvement de rotation autour de son axe, les taquets qui ne peuvent participer à ce mouvement de rotation prennent nécessairement un mouvement longitudinal sur cette tige, en s'approchant ou en s'écartant l'un de l'autre, suivant le sens de la rotation imprimée à la tige. Les taquets peuvent ainsi être amenés jusqu'au contact, et leur écartement intérieur peut varier depuis zéro jusqu'à une limite supérieure déterminée par des bagues *e*, *e'*, fixées sur la tige. La fig. 671 représente les taquets à leur maximum d'écartement.

La tige B traverse les deux parois antérieure et postérieure de la boîte à vapeur. Son prolongement, du côté de l'essieu coudé de la locomotive, est lié par un fourreau cylindrique ou un genou sphérique à une bielle fixée en dessous de la machine, qui reçoit de la tige du piston, par l'intermédiaire d'un petit balancier à bras inégaux, un mouvement rectiligne alternatif qu'elle transmet à la tige B et aux taquets T, T' ; mouvement toujours en sens inverse de celui du piston. Le second prolongement de la tige B, au-delà de la paroi antérieure de la boîte à fumée, porte une roue dentée commandée par une chaîne sans fin qui vient passer sur une seconde roue dentée, que le mécanicien peut faire tourner sur son axe au moyen d'un système de tiges tournant dans des colliers fixés aux parois de la chaudière. La tige qui arrive sur le devant de la chaudière se termine par une manivelle sur laquelle le mécanicien agit, quand il veut faire varier, pendant la marche, l'écartement des taquets et l'étendue de la détente qui dépend de cet écartement. Cette étendue est indiquée par une aiguille qui se meut sur un limbe convenablement gradué. L'aiguille indicatrice est commandée, au moyen d'une roue dentée montée sur son axe, par le filet d'une vis sans fin adaptée à la tige que le mécanicien fait tourner, pour agir sur la détente.

La fig. 671 indique clairement le jeu du mécanisme qui produit la détente variable. Supposons, par exemple, le piston à l'origine de sa course directe, le tiroir A a déjà un peu dépassé le milieu de sa course directe, et les glissières fixées aux taquets T, T', sont à l'extrémité de leur excursion directe, prêtes à commencer leur course rétrograde. La lumière *b*, est déjà démasquée de quelques millimètres par le rebord du tiroir : son bord postérieur se trouve un peu au-delà du bord anté-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rieur *c*. Quant à la lumière *b'*, elle est sous l'échappement du tiroir A; par conséquent, la vapeur commence à entrer dans la partie postérieure du cylindre, pour pousser le piston en avant, tandis que la vapeur contenue dans la partie antérieure du cylindre s'écoule, à travers la lumière *b'*, vers le tuyau d'échappement. Le piston du cylindre, marchant en avant, ainsi que le tiroir A, la tige B marche en sens inverse, de sorte que l'ouverture rectangulaire *c* et la plaque T se rapprochent l'une de l'autre. La première se trouve ainsi masquée par la plaque T, et l'admission de la vapeur est supprimée, après que le piston a fait une partie de son excursion d'autant moins étendue que le taquet T est placé plus en arrière sur la tige B, ou que les taquets sont plus écartés l'un de l'autre. L'étendue de la détente augmente donc avec l'écartement des taquets.

Dans le système que nous venons de décrire, on ne peut faire varier la détente qu'entre certaines limites, au-delà desquelles la vapeur serait admise de nouveau dans le cylindre avant la course du piston; mais, en conduisant la tige des taquets de détente par un excentrique, au lieu de la conduire par un balancier lié à la tige du piston, on peut parvenir à admettre la vapeur pendant une fraction quelconque de la course du piston. Cette modification a été du reste introduite par M. Meyer dans la construction de ses machines les plus récentes.

Enfin, nous ferons remarquer que si les dimensions des taquets sont réglées de manière à ce que, pour un certain degré, la détente soit la même sur les deux faces du piston, elle ne sera plus symétrique pour un autre degré quelconque de détente, inconvénient essentiellement inhérent au système employé, et que l'on ne pourrait faire disparaître en donnant aux deux vis des pas inégaux.

Le système de détente variable de M. *Galifant* consiste dans l'emploi d'un tiroir analogue à celui de M. Meyer, mais dans lequel les deux cheminées pratiquées dans le tiroir et destinées à admettre la vapeur dans le cylindre sont courbes et viennent se réunir à une même ouverture placée au milieu du dos du tiroir, par laquelle elles communiquent avec la boîte à vapeur. Un seul taquet mû par un excentrique glisse sur le dos du tiroir. La détente varie suivant le calage de l'excentrique de détente.

Enfin le système de détente variable de M. *Trésel* consiste en un premier tiroir tout à fait semblable à celui de M. Meyer, mené par un excentrique circulaire, sur le dos duquel se meut, au lieu de taquets, un tiroir de détente construit comme un tiroir de distribution ordinaire et mené par un excentrique à bosses; les courbes des bosses de cet excentrique sont calculées de manière à opérer très rapidement l'ouverture et la fermeture complète des cheminées du premier tiroir, avantages que l'on obtient du reste d'une manière plus simple et tout aussi efficace par le système de M. Farcot. On fait varier la détente, comme dans le système précédent, en faisant varier la position de l'excentrique sur l'arbre de rotation. L'inconvénient que présente ce système, du reste très habilement étudié, consiste dans l'emploi d'excentriques à bosses, emploi que l'on doit rejeter toutes les fois qu'il est possible de s'en passer, à cause de leur complication, des causes d'usure qu'ils présentent et de la difficulté de les réparer facilement; ce n'est que dans les filatures qu'on doit s'en servir parce qu'il est impossible de faire autrement.

En outre, dans ces deux derniers systèmes, on ne peut régler la détente au moyen du modérateur de la machine, lorsque celle-ci est en marche, comme cela s'exécute si aisément avec les systèmes de MM. Farcot et Meyer.

P. DEBETTE.

DEXTRINE. Voyez AMIDON.

DIAMANT (*angl.* diamond, *all.* diamant). D'après les expériences de Guyton-Morveau et de Dumas, le diamant est du carbone parfaitement pur qui, chauffé à une haute température dans de l'oxygène, brûle sans résidu en se transformant en acide carbonique. C'est le plus dur de tous les corps; il possède un éclat extrêmement vif et caractéristique connu sous le nom d'éclat adamantin. La densité est de 3,50 à 3,55. Par le frottement il acquiert l'électricité positive. Il cristallise dans le système régulier; on le trouve ordinairement en octaèdres, en cubes, en tétraèdres ou en dodécaèdres rhomboïdaux à faces très souvent curvilignes. Il possède quatre clivages principaux qui conduisent à l'octaèdre régulier et un grand nombre de clivages secondaires, ce qui le rend très facile à pulvériser malgré sa dureté. L'existence de ces clivages est d'une grande importance pour le lapidaire, en lui permettant d'abréger considérablement le travail de la taille. Il existe des diamants dits *diamants de nature* qui se trouvent à l'état brut sous forme sphéroïdale, qui ne possèdent aucun clivage et qu'on n'a pu parvenir jusqu'ici à tailler par aucun procédé; on les pulvérise pour faire de l'égrisée : l'étude de cette variété de diamants est encore à faire et serait fort intéressante; ce sont probablement des diamants maclés.

Le diamant possède un pouvoir réfringent et un pouvoir dispersif très considérable, ce qui avait fait présumer à l'illustre Newton que c'était un corps combustible bien avant que l'analyse fût venue vérifier ce fait. Ce sont ces propriétés auxquelles le diamant taillé doit ses magnifiques effets de lumière.

Le diamant est le plus communément incolore et transparent, cependant on en trouve de légèrement colorés, et même il y en a de noirs et presque opaques. Après les diamants jaunes, les verts sont les plus communs; les bleus sont beaucoup plus rares et ne sont presque jamais d'une belle eau. Les diamants roses sont les plus estimés des diamants colorés, et lorsqu'ils sont sans défaut et d'une belle nuance, ils sont même d'un prix plus élevé que les diamants incolores. Cependant les diamants incolores sont les plus chers.

Le diamant devient phosphorescent lorsqu'on le chauffe presque au rouge, ou par l'insolation, c'est-à-dire lorsqu'on l'expose à l'action des rayons solaires, et dans ce dernier cas, il conserve sa phosphorescence pendant un certain temps après qu'il a été soustrait à l'action de la lumière; ce sont les rayons bleus du spectre solaire qui lui donnent la phosphorescence la plus durable.

La taille du diamant date de 1476. Elle est fondée sur l'observation faite par *Louis de Berquem*, que deux diamants frottés mutuellement l'un contre l'autre s'usent et se réduisent mutuellement en poussière. On exécute cette opération au moyen d'une plate-forme en acier très doux. Le diamant à polir est soudé avec de la soudure d'étain dans une coquille en cuivre, qui est elle-même pincée dans une tenaille en acier. Cette tenaille, qu'on tient chargée d'un poids, presse le diamant sur la plate-forme à laquelle on imprime un mouvement de rotation très rapide, et qu'on a préalablement arrosée avec de la poussière de diamant ou *égrisée* délayée dans de l'huile. On use et on polit successivement toutes les faces. Pour former les facettes, on présente toujours la pierre à la meule dans le sens du fil. Nous définirons plus loin le sens de cette expression.

M. Halphen, le riche et intelligent marchand de diamants, a donné dans le *Dictionnaire du commerce et de la navigation* de curieux renseignements sur le travail et le commerce des diamants; nous emprunterons quelques détails intéressants à cette étude.

La meule donne au diamant la forme par facettes et le poli; mais très-souvent le diamant doit subir l'opé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ration préliminaire du *clivage*. Cliver un diamant, c'est le fendre en deux parties à l'aide d'un couteau d'acier sur lequel on frappe vivement à l'aide d'un marteau. Le diamant se clive toujours suivant une surface parfaitement nette. Les cliveurs appellent ces directions le *fil* de la pierre, et les minéralogistes les nomment faces de clivages. En chaque point d'une pierre, un lapidaire exercé trouve toujours le fil.

Ainsi, il y a beaucoup de diamants qui subissent les trois opérations suivantes: on les clive, on les facette et on les polit. Les trois opérations constituent la taille.

Avec les diamants bruts on obtient par la taille des pierres de formes variées, qui constituent dans le commerce autant de marchandises diverses.

Les trois grandes divisions sont: le brillant double taille, le brillant simple taille et la rose.

Le brillant affecte une forme qu'on obtient par le procédé suivant:

Qu'on imagine un octaèdre régulier (forme la plus fréquente du diamant), saisi par deux sommets ou *deux pointes* opposées, et qu'on divise par la pensée en six parties égales la distance de ces deux pointes, ou en trois parties chaque demi-distance. On supprime au sommet supérieur deux parties en coupant le diamant; on formera ainsi la table ou face supérieure. Au sommet inférieur, et à partir du sommet, on en coupera une partie seulement; on formera ainsi la culasse ou facette inférieure. Le diamant aura deux faces parallèles et seize pans coupés, dont huit inclinés dans un sens et huit inclinés symétriquement en sens inverse.

Les huit pans supérieurs reçoivent chacun quatre petites facettes, et leur réunion forme ce qu'on appelle la *couronne*. Les huit pans inférieurs reçoivent également quatre facettes chacun, et leur réunion forme le *pavillon*. Ces petites facettes sont ou des triangles ou des losanges. Dans un brillant, il y a donc 64 facettes, une table et une culasse.

Le brillant ainsi taillé est dit à *double taille*. Si on n'a fait que 13 facettes sur le dessus et 9 sur le dessous, il est dit à *simple taille*. Cette dernière taille n'est usitée que pour les diamants de petites dimensions.

Le *demi-brillant* est une pierre plate par dessous et ayant à sa partie supérieure une table ou une couronne, en un mot c'est un brillant scié en deux parties égales.

Les *pendeloques* ont la forme d'une demi-poire; elles ont une table et une culasse, et sont surchargées de facettes du côté de la culasse.

La *rose* a le dessous plat et le dessus s'élève en dôme taillé à facettes au nombre de 24. La pointe du dôme pyramidal est formée par la réunion de six faces triangulaires. Six autres triangles, appliqués base à base aux précédents, ont leurs sommets sur le contour de la table inférieure. Les six intervalles laissés par ces triangles sont taillés chacun en deux facettes. Une rose ainsi faite s'appelle *rose de Hollande*. La rose *demi-Hollande* n'a que 18 facettes. La *rose de Brabant* en a 12 seulement.

Ceci se rapporte au diamant cristallisé. — Le diamant cristallin, formé de petits cristaux enchevêtrés, ne peut se tailler, est réduit en poudre, sert à polir le premier et a reçu le nom de *bord*.

Le diamant amorphe est gris d'acier ou noir; il n'a de valeur que pour tailler le diamant, quoique moins avantageux que le bord, et comme outil très-dur, pouvant servir à tailler et tourner la pierre et même le granit, emploi qu'il a reçu avec un grand succès.

Les petits diamants que l'on enchâsse dans des tiges et que l'on emploie pour couper le verre doivent présenter un angle curviligne, autrement ils ne feraient que rayer le verre sans le couper. Il faut au contraire rejeter ceux qui présentent cet angle, lorsqu'on veut seulement graver sur le verre. (Voyez *Complément*, article DIAMANT.)

Enfin, on fait des lentilles simples achromatiques en diamant, d'un prix très-élevé il est vrai, mais qui jouissent d'un grossissement considérable, et présentent, par suite d'un grand pouvoir réfringent que possède le diamant, une image beaucoup mieux éclairée que les microscopes ordinaires.

Le diamant tient le premier rang parmi les pierres précieuses par son éclat, sa dureté et son prix. On compte dans le commerce son poids en *carats* qui se divisent en quatre grains. Le carat vaut 205 milligrammes.

Le prix des diamants, toujours très-élevé, est cependant susceptible de grandes variations: lorsqu'ils ne sont pas propres à la taille, on les vend en général de 30 à 40 fr. le carat. Dans le cas contraire, quand leur poids est au-dessous d'un carat, ils se vendent à un prix variable; faisons les calculs pour le prix de 1840, à savoir 48 fr. le carat. Si leur poids dépasse un carat, on obtient la valeur du diamant en multipliant le carré de son poids, exprimé en carats, par le prix du carat. Toutefois ces bases ne sont applicables qu'aux diamants bruts; lorsqu'ils sont taillés, leur valeur est beaucoup plus élevée, et varie avec la forme, le poids, la teinte, etc. En général, on admet qu'un diamant brut perd la moitié de son poids à la taille et que, par conséquent, un diamant taillé a une valeur quadruple d'un diamant brut de même qualité et de même poids. D'après cela, la valeur d'un diamant taillé

de	1 carat	. .	serait de	192	francs.
—	2 —	. .	—	768	—
—	3 —	. .	—	1,728	—
—	4 —	. .	—	3,072	—
—	5 —	. .	—	4,800	—
—	6 —	. .	—	6,912	—
—	7 —	. .	—	9,408	—
—	8 —	. .	—	12,288	—
—	9 —	. .	—	15,552	—
—	10 —	. .	—	19,200	—
—	20 —	. .	—	76,800	—

Au delà de 10 carats, le prix des diamants croît plus rapidement qu'il n'a été dit. Le carat au lieu de 48 vaut 90 à 100 fr. aujourd'hui.

Le plus gros diamant connu est celui du rajah de Bornéo; il est d'une très-belle eau et pèse 367 carats, et a la forme d'un œuf. Vient ensuite celui que possédait le Grand-Mogol et qui pesait 279 carats, d'après Tavernier qui l'estimait à 11 millions et 1/2 de fr. Le diamant de l'empereur de Russie est brut, de la grosseur d'un œuf de pigeon, et pèse 193 carats; il a été acheté par l'impératrice Catherine 2,360,000 fr. comptants et une rente viagère de 115,000 fr. Le diamant de l'empereur d'Autriche est légèrement jaunâtre et pèse 139 carats; il est estimé 2 millions 1/2. Le plus beau des diamants connus est le Pitt ou le Régent, qui appartient à la couronne de France et pèse 136 carats; il en pesait plus de 400 avant d'être taillé; il est estimé 4 millions 1/2 de fr., quoiqu'il n'en ait coûté en réalité que 2 millions 1/2. Le Koh-i-Nor, appartenant à la reine d'Angleterre, pesait avant la taille 180 carats et après 103. Le plus gros diamant trouvé jusqu'ici au Brésil, car les autres viennent de l'Inde, est l'Étoile du Sud; il pesait avant la taille 254 carats, après avoir été taillé 125.

Les diamants se rencontrent au Brésil et dans plusieurs contrées des deux Indes, principalement dans les royaumes de Visapour et de Golconde, et l'île de Bornéo; on en a aussi rencontré au cap de Bonne-Espérance, dans l'Oural, mais là isolément et en trop faible quantité pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner lieu à une exploitation. Les terrains dans lesquels on les trouve sont toujours des terrains d'alluvion très-modernes. Au Brésil, ces terrains sont principalement formés par la destruction des roches ferrugineuses qui appartiennent à la formation du schiste argileux, et on connaît même quelques rares échantillons de diamants enclâssés dans l'hématite brune (fer oxydé hydraté) subordonnée à cette formation. On en retire le diamant par le lavage.

Les diamants qui présentent une croûte verdâtre sont, en général, les meilleurs, et sont ceux qui possèdent la plus belle eau après la taille.

On estime que le Brésil produit annuellement de 20,000 à 30,000 carats, ou de 4 à 6 kilogrammes de diamants bruts, et que les frais de recherche s'élèvent moyennement à 32 fr. 20 c. par carat.

DIASTASE. La diastase, découverte par MM. Payen et Persoz, est un ferment très-remarquable contenu dans l'orge germée ou malt, et qui lui communique la propriété de transformer l'amidon en dextrine et en glucose (voyez AMIDON), très-probablement sans que la diastase elle-même éprouve aucun changement. Les acides et les alcalis puissants entravent son action. On l'obtient ainsi qu'il suit: on fait digérer du malt d'orge broyé avec une petite quantité d'eau froide; on exprime ensuite le malt, on filtre la liqueur, et on la chauffe au bain-marie à 70° C., afin de coaguler la plus grande partie de l'albumine végétale que l'on sépare ensuite par filtration. On ajoute à la liqueur filtrée de l'alcool pour en précipiter la diastase; on la recueille sur un filtre, on la redissout dans l'eau, et on la précipite de nouveau par l'alcool; enfin, on la dessèche à une douce chaleur. La diastase ainsi obtenue est une substance blanche, solide, très-soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool concentré. Sa dissolution aqueuse n'a aucune réaction acide ou alcaline et est presque sans saveur; au contact de l'air, elle se décompose à la longue et devient acide; elle se décompose également à la température de l'ébullition.

DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT) OU COMBINAISON DE VITESSES. Si l'on produit par action extérieure un déplacement de partie seulement d'une machine (il n'y a nul intérêt à examiner le cas d'un mouvement imprimé à la machine tout entière), en général la communication cessera entre cette partie de la machine et les autres. Il ne peut en être autrement qu'autant que les mouvements que prennent les guides des pièces sont tels que celles-ci continuent à agir l'une sur l'autre comme lorsque les axes et les guides sont fixes. Ce dernier cas n'est donc qu'un cas particulier d'un problème plus général, celui où la vitesse des guides des pièces se réduit à zéro. C'est ce que nous allons rendre clair par un exemple.

Lorsqu'une vis se meut, la vitesse du mouvement de rotation de la tête de la vis est à son mouvement rectiligne dans le rapport du rayon du filet au pas de la vis. Mais ceci suppose que l'écrou est fixe, ce qui n'est qu'un cas particulier du mouvement, celui qui correspond à la vitesse zéro; si, au contraire, il pouvait se mouvoir comme la vis, la vitesse de celle-ci serait évidemment modifiée; si, par exemple, il tournait en même temps que la vis, avec une vitesse de rotation variant de zéro à celle de la vis, la translation rectiligne de celle-ci dans le même temps varierait de la longueur du pas à zéro.

Par une disposition de même nature la vitesse absolue d'un organe quelconque peut changer suivant la vitesse du guide du mouvement.

Les mouvements produits dans les systèmes qui réalisent ce genre de disposition sont généralement appelés *mouvements différentiels*, parce que la vitesse absolue est souvent une différence, plus généralement une combinaison de deux vitesses comme dans l'exemple donné

plus haut, et que ce n'est que par un mouvement de même nature que celui de l'élément considéré que les guides peuvent modifier la vitesse de celui-ci. Nous voyons que l'étude de ces systèmes revient à la solution de ce problème:

Déterminer le rapport des vitesses dans un organe de transformation de mouvement lorsque le guide de l'organe prend un mouvement de même nature que celui de cet organe, d'où résulte avance ou retard du mouvement, combinaison de vitesses.

Le problème ainsi nettement posé va nous permettre de réunir dans une même étude des systèmes fréquemment utilisés, dont l'analogie n'avait jamais été clairement indiquée jusqu'ici.

Passons en revue les diverses transformations du mouvement et les types des organes qui servent à les produire. Nous en déduirons l'indication des systèmes possibles de mouvements différentiels.

I. Mouvement rectiligne en mouvement rectiligne.

Poulie mobile. La poulie mobile, dont le mouvement jouit de propriétés si évidentes à priori, qu'on peut faire reposer sur elles, à l'exemple de Lagrange, tout l'édifice de la théorie de la mécanique analytique, est essentiellement un organe différentiel. Le mouvement rectiligne de l'axe de rotation de la poulie vient s'y ajouter au mouvement semblable de la corde qui porte la poulie. En effet, dans la poulie mobile, l'une des extrémités de la corde est fixée en un point A, fig. 1, la poulie repose sur la corde, et à sa chape est suspendu d'ordinaire un poids qu'il s'agit d'élever, est attachée la résistance qu'il s'agit de surmonter. Les cordons étant parallèles, on voit que chaque cordon supporte $\frac{1}{2}$ P, P étant le poids supporté par la poulie, et quand le mouvement a lieu, le système restant semblable, si le poids P s'est élevé de la quantité a, chaque cordon aura également diminué de cette quantité a.

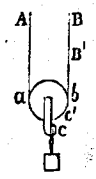


Fig. 1.

Ce raccourcissement se répartissant également sur deux cordons parallèles, chacun d'eux ne se sera raccourci que de a, et le cordon tout entier de $2a$, c'est-à-dire que la vitesse rectiligne de l'axe de rotation sera moitié de celle de l'extrémité du cordon.

Moufles. On obtient un rapport quelconque de vitesse par la répétition d'éléments semblables, ce qui constitue une moufle. Celle-ci se compose d'un système de poulies fixes P P' P'', dont les axes sont supportés par une pièce fixe appelée chape, qui supporte l'axe commun (fig. 2); d'un second système Q, Q', Q'' de poulies mobiles réunies dans une même chape mobile, à laquelle est suspendue la résistance à vaincre qui est habituellement un poids à soulever, et qui pourrait être une résistance quelconque. La corde, fixée par une de ses extrémités à la chape fixe en P, passe alternativement sur une poulie de chaque système dans l'ordre P, Q, P', Q', P''.

Lorsque l'extrémité A de la corde s'abaisse verticalement de la quantité AA', le point B où le poids est suspendu s'élève de la quantité BB', qui est égale au quotient de AA' par le nombre des cordons. En effet, quand le point A sera parvenu en A', la portion de la corde comprise entre le point d'attache et le point géométrique A fixe dans l'espace se sera raccourcie de la quantité AA'; mais ce raccourcissement étant réparti également sur tous les cordons à cause de la symétrie de la figure, le mouvement d'un point de l'axe mobile sera égal au quotient de AA' par le nombre des brins passant autour des poulies mobiles, la chape mobile et par suite le point B se seront donc élevés d'une quan-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tité égale à ce quotient. Donc n étant le nombre des cordons, on a $BB' = \frac{AA'}{n}$. La vitesse du point B est donc n fois moindre que celle du point A, puisque dans le même temps il parcourt un espace n fois moindre. Disons de suite que les résistances dues à la roideur des cordes diminuent les avantages de ce système dans la pratique, au point de vue de la grandeur des efforts que l'on peut exercer par la traction sur une corde. Sa simplicité fait qu'il est employé sur une très-grande échelle sur les navires.



Fig. 2.

Mouffle renversée. En appliquant la force à la poulie mobile et soulevant le poids par l'extrémité du cordage, on augmente la vitesse et la longueur relative du mouvement de celui-ci. C'est la disposition employée dans le TREUIL HYDRAULIQUE d'Armstrong, représentée fig. 3 du dit article.

Le cylindre moteur recevant l'eau par sa partie supérieure, le piston s'abaisse. L'extrémité supérieure de la tige de ce piston porte une poulie, et le bout d'une corde passant sur celle-ci et une poulie fixe portée par une console adhérente au mur. La corde passe ensuite sur un second système semblable composé d'une poulie fixe et d'une poulie mobile avant de passer sur un système de poulies fixes qui la dirigent au-dessus du fardeau à élever. Par ce moyen, le chemin parcouru par celui-ci est égal à $3 \times 3 = 9$ fois celui de la tige du piston; il sera de 18 mètres, si la course du piston est de 2 mètres.

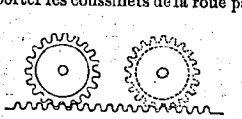
III. Mouvement circulaire en mouvement rectiligne.

Les organes qui servent à cette transformation peuvent fournir deux systèmes différentiels, suivant qu'on considère le mouvement circulaire ou le rectiligne, et qu'on laisse prendre au guide de l'un des éléments le mouvement de l'autre.

PREMIER CAS. — GUIDES A MOUVEMENT RECTILIGNE.

1° Du mouvement circulaire.

Le moyen d'astreindre l'axe du mouvement circulaire à se mouvoir en ligne droite consiste à le rendre solidaire d'une pièce glissant dans des guides rectilignes, de faire par exemple porter les coussinets de la roue par une pièce

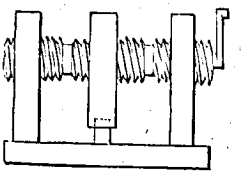

Fig. 2 *bis*.

qui glisse sur une barre rectangulaire. Disons en passant que cette combinaison d'un mouvement rectiligne et d'un mouvement circulaire fournit un instrument simple propre à tracer la cycloïde, si un point du cercle est muni d'un traçoir, et que l'axe du cercle soit porté par un petit bâti dans lequel est pratiquée une douille qui glisse sur une règle.

Si la roue dont l'axe est ainsi mis en mouvement est animée d'un mouvement de rotation continu et munie de dents qui engrènent avec une crémaillère (fig. 2 *bis*) dont la direction est parallèle à la ligne que décrit le centre de la roue, on aura un mouvement différentiel, et le mouvement C de la crémaillère pour un tour de la roue et un déplacement l de son axe sera:

$$C = 2\pi r \pm l.$$

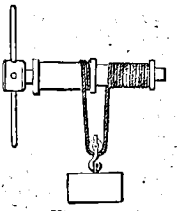
Vis différentielle. Si l'axe du mouvement circulaire est à angle droit avec la direction du mouvement rectiligne, la vis fournira un système différentiel en faisant prendre un mouvement rectiligne parallèle à l'axe, aux collets de la vis que l'on suppose fixes dans la disposition ordinaire. Le moyen le plus naturel d'obtenir ce résultat consiste à fileter les collets de la vis et à transformer en écrou les coussinets qui les reçoivent, ce qui fournit le système inventé par Prony, et auquel il a donné le nom de vis différentielle (figure 3). Il consiste dans un arbre portant deux pas de vis; ceux-ci traversent deux supports formant écrous, et par suite l'axe avance d'un pas par chaque tour de manivelle; si le milieu de l'axe est formé d'une vis d'un pas différent du précédent, et porte un écrou qu'un guide empêche de tourner, de se mouvoir autrement qu'en ligne droite, celui-ci montera par chaque tour d'une quantité égale au pas de la vis. Son mouvement absolu, égal au transport de l'axe moins son mouvement propre, sera donc égal à la différence des deux pas de vis ($h - h'$), quantité qu'on peut obtenir aussi petite qu'on le voudra, en conservant au filet de la vis toute la solidité nécessaire.


Fig. 3.

2° Du mouvement rectiligne.

Treuil différentiel. On appelle ainsi un treuil tel que le mouvement rectiligne de la résistance à surmonter s'y trouve la différence de deux mouvements rectilignes, produits par les enroulements des deux bouts de la corde.

Considérons un treuil employé à soulever un fardeau, la corde est guidée en ligne droite par la pesanteur lors de son enroulement autour du cylindre. Si le poids est suspendu à une poulie mobile soutenue par une corde pliée en deux parties, dont les extrémités s'enroulent dans deux sens opposés sur le cylindre du treuil (fig. 4), et que ce cylindre soit formé de deux parties de diamètres différents, on aura le treuil différentiel. Le fardeau n'est plus alors soulevé pour chaque tour que de la moitié de la différence des deux chemins parcourus par la corde sur les deux cylindres, ou par tour de $e = 2\pi\left(\frac{R - r'}{2}\right) = \pi(R - r)$.


Fig. 4.

Le travail résistant dû à la raideur de la corde, dont l'enroulement est presque double de celui nécessaire pour un treuil ordinaire, détruit les avantages apparents de ce système.

EFFRUS - Recherche & Classification numérique

DEUXIÈME CAS. — GUIDES A MOUVEMENT CIRCULAIRE.

Considérons maintenant le cas où l'on donne un mouvement circulaire à la pièce mue d'un mouvement rectiligne.

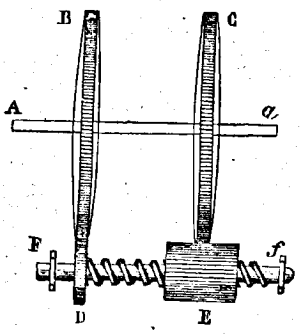
Soit d'abord le cas d'une crémaillère. Si on fait tourner celle-ci autour de l'axe de rotation de la roue en montant ses guides sur un disque tournant autour de cet axe, on voit :

1° Que si le disque a la même vitesse angulaire que la roue, la crémaillère n'aura qu'un mouvement de rotation ;

2° Que si cette vitesse angulaire est différente, la crémaillère aura en même temps un mouvement de rotation et un de progression, ce dernier étant pour deux angles ω, ω' parcourus en un même temps $r(\omega' - \omega)$. Si $\omega' = 2\omega$, rapport bien facile à établir par deux engrenages moteurs, cette progression sera $r\omega$, et, en roulant sur la circonférence, la crémaillère tracera par un de ses points les développantes du cercle primitif; dans tous les cas, des développantes allongées ou raccourcies.

Soit maintenant le cas de la vis, et supposons que l'écrou ait la liberté de tourner autour du même axe que la vis. Cette disposition pourra être réalisée en montant sur l'axe moteur deux roues qui engrènent, l'une avec une roue montée sur la tête de la vis, l'autre avec le contour extérieur de l'écrou formant pignon.

Aa est l'axe moteur (fig. 5) sur lequel sont montées



5.

les deux roues B et C, Ff est l'axe de la vis tournant sur deux collets; vers sa tête est montée une roue D, et elle porte un pignon E dont l'intérieur est taillé en écrou, qui peut par suite avancer ou reculer en tournant autour de la vis.

Si les roues B, C, D, E étaient égales deux à deux, il est clair que l'écrou et la vis tourneraient ensemble comme s'ils ne faisaient qu'une seule pièce; mais si les rayons sont différents, il en résulte un mouvement relatif, un mouvement différentiel, dont la vitesse résulte de la différence des vitesses des mouvements composants.

En effet, représentons par B, C, D, E, les nombres de dents des roues représentées par les mêmes lettres, et par P le pas de la vis. Les rotations simultanées des axes Aa, Ff et de l'axe de l'écrou étant L, L_v, L_e, on a :

$$L_e = \frac{LC}{E}, \quad L_v = \frac{LB}{D}.$$

Mais si la vis fait L_v rotations et l'écrou L_e dans le même sens, la vis et l'écrou font $L_v - L_e$ rotations l'un par rapport à l'autre, et par suite le déplacement de

l'écrou parallèlement à l'axe de la vis, dont le pas est P, est :

$$(L_v - L_e)\,P = LP\left(\frac{B}{D} - \frac{C}{E}\right),$$

quantité qu'on peut rendre très petite par rapport à L.

Cette combinaison est employée dans quelques alésoirs (soit qu'on fasse déplacer la vis, soit que ce soit l'écrou qui se déplace); M. Poncelet en a fait une application à un dynamomètre à ressort. (Voyez article DYNAMOMÈTRE.)

III. Mouvement circulaire en mouvemen circulaire.

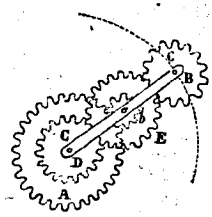
Le mouvement différentiel existera dans un système de roues ou de pièces douées d'un mouvement de rotation, lorsque l'on donnera à l'axe de rotation d'un des systèmes un mouvement de rotation autour de l'autre axe. C'est évidemment d'une combinaison de roues dentées que pourra résulter ce mouvement de rotation.

DES DIVERS SYSTÈMES ÉPICYCLOÏDAUX.

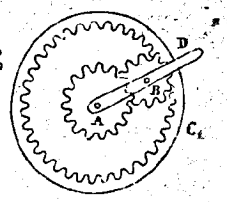
Nous appellerons trains épicycloïdaux les systèmes dérivant du mouvement de rotation de l'axe d'une roue dentée autour de l'axe d'une autre roue dentée avec lequel la première engrène; c'est le seul mouvement que l'on puisse donner, lorsque les roues sont dans un même plan, pour que l'action d'engrènement continue.

Il y a dans un système épicycloïdal trois parties essentielles à considérer; les deux roues extrêmes, et le levier concentrique à l'une d'elles qui porte l'axe de l'autre; les relations de positions différentes de ces trois éléments donnent lieu aux systèmes représentés dans les figures suivantes :

1° Les roues sont extérieures, le plus souvent l'axe de la première (fig. 6) étant fixe, le mouvement est imprimé à l'autre roue extrême B et au levier;

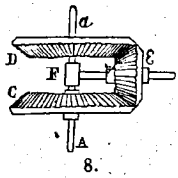


6.



7.

2° L'une des roues est intérieure à l'autre, généralement l'axe de la roue extrême (fig. 7) extérieure est fixe; le mouvement est imprimé au levier qui entraîne la première roue A;



8.

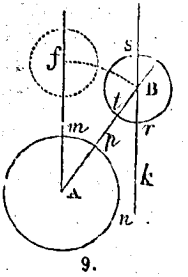
3° Enfin les deux roues ne sont plus situées dans un même plan, elles sont parallèles et montées sur un même axe, le mouvement de la roue D (fig. 8) montée sur l'arbre Aa, imprimera par l'intermédiaire de la roue E supportée par le levier, un mouvement à la roue C qui tourne librement sur l'axe Aa.

DÉTERMINATION DES RAPPORTS DE VITESSE DANS LES SYSTÈMES ÉPICYCLOÏDAUX.

Soit AB un levier tournant autour de A (fig. 9) et conduisant un train dont la première roue est A concentrique au levier, et dont la dernière B peut être concentrique ou non concentrique avec A. Ces deux roues

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont réunies par un nombre quelconque de roues dentées transportées par le levier A B. Les révolutions d'un point de ces roues doivent être estimées : 1° par rapport à la position initiale du levier, ce qui s'obtient en mesurant la distance angulaire d'un rayon passant par le point décrivant avec la ligne fixe A f, ou si cette roue est excentrique comme B, avec une ligne B k parallèle à A f; 2° par rapport au levier qui transporte les axes. Le premier arc mesure les révolutions absolues, le second les révolutions relatives ou par rapport avec le levier en mouvement. Le levier transportant le train de la position A f à AB, et pendant ce même temps le point m de la roue A arrivant en n par une action extérieure, le point r de la roue B passe en s en vertu de la connexion de cette roue avec la roue A (nous supposons que ces mouvements ont lieu dans le même sens). mAn, rBs sont les mouvements absolus des points correspondants sur les roues A et B, et pAn, tBs sont leurs mouvements par rapport au levier.



9.

Mais $m\text{An} = m\text{Ap} + p\text{An}$ et $r\text{B}s = r\text{B}t + t\text{B}s = m\text{Ap} + t\text{B}s$; mAp étant le mouvement du levier.

Si les roues se meuvent dans des directions opposées,

$$m\text{An} = p\text{An} - m\text{Ap} \text{ et } r\text{B}s = t\text{B}s - m\text{Ap}.$$

Relation qui subsiste, quelle que soit la grandeur des angles décrits, et est vraie toutes les fois que les rapports des vitesses angulaires sont constants, comme il arrive avec les roues dentées. Ce qui revient à dire que les révolutions absolues des roues d'un système épicycloïdal sont égales à la somme de leurs révolutions par rapport avec le levier et de celles de ce levier lui-même, quand les directions sont de même sens, et égales à la différence de ces deux quantités quand elles sont de sens contraire.

Soient a, m, n les révolutions absolues simultanées du levier, de la première et de la dernière roue, et soit ε la raison du train épicycloïdal, c'est-à-dire le quotient du nombre des révolutions relatives de la dernière roue divisé par le nombre de celles de la première. ε est une quantité de la forme $\frac{T_m}{T_1}$, identique à celle obtenue pour un système de roues fixes, car elle se rapporte aux mouvements estimés par rapport au levier.

Puisque les révolutions relatives de la première roue par rapport au levier $= m - a$ et celles de la seconde roue $= n - a$, les mouvements du train considérés par rapport au levier étant les mêmes que ceux d'un système ordinaire de roues dentées, on a :

$$n - a = \varepsilon (m - a) \text{ ou } \varepsilon = \frac{n-a}{m-a} \text{ d'où :}$$

$$a = \frac{m\varepsilon - n}{\varepsilon - 1} (1), \quad n = a + (m-a)\varepsilon (2), \quad m = a + \frac{n-a}{\varepsilon} (3).$$

Appliquons ces formules à divers cas simples :

1° Si la première roue du train est fixe, comme il arrive le plus souvent, le nombre m de ses révolutions absolues est 0, et on a :

$$a = \frac{n}{1-\varepsilon} \text{ et } n = (1-\varepsilon)\, a;$$

2° Si c'est la dernière qui est fixe $n = 0$, et on a :

$$a = \frac{m\varepsilon}{\varepsilon - 1} \text{ et } m = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) a.$$

Enfin 3° quand aucune des roues n'est fixe :

$$a = \frac{m\varepsilon - n}{\varepsilon - 1} = \frac{m\varepsilon}{\varepsilon - 1} + \frac{n}{1-\varepsilon} (4),$$

c'est-à-dire que les révolutions du levier sont égales à la somme des révolutions qu'il fait quand on suppose successivement fixes les roues extrêmes.

Dans ces formules les rotations sont considérées comme étant toutes du même sens; s'il en est autrement, pour celles de sens opposé, le signe de m, n, ou a doit être différent.

Prenons pour application des formules précédentes, les trains épicycloïdaux représentés dans les fig. 6, 7 et 8, et supposons que les lettres qui désignent les roues représentent les nombres de dents.

Le train formé des roues A, B, C, dans la fig. 7, est tel de sa nature que les roues A et C tournent en sens opposé, par suite ε est négatif; de même dans le système de la fig. 8; mais dans celui de la fig. 6, les roues extrêmes tournent dans le même sens, et par suite ε est positif. D'ailleurs, on a pour le système de la fig. 6 :

$$\varepsilon = +\frac{\text{AE}}{b\text{B}}; \text{ dans la fig. 7, } \varepsilon = -\frac{\text{A}}{\text{C}},$$

$$\text{et fig. 8, } \varepsilon = -\frac{\text{C}}{\text{D}} = -1.$$

Lorsque la première roue des trains est fixe, c'est-à-dire lorsque $m = 0$, on a, d'après la formule (2) :

$$\text{Pour le système fig. 6, } n = \left(1 - \frac{\text{AE}}{b\text{B}}\right) a,$$

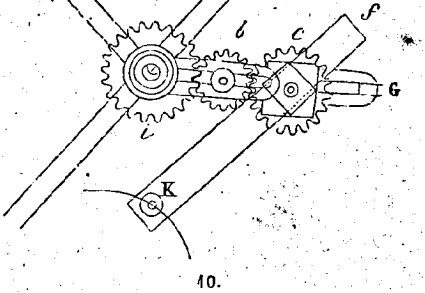
$$\text{Pour le système fig. 7, } n = \left(1 + \frac{\text{A}}{\text{C}}\right) a,$$

Pour le système fig. 8, $n = 2a$,

n et a étant respectivement les rotations simultanées de la dernière roue et du levier.

Les trains épicycloïdaux ont de curieuses applications; nous allons en donner les exemples les plus remarquables. On les emploie :

1° Pour des mécanismes dont la production du mouvement épicycloïdal est le but, comme la plume géométrique qui sert pour le tracé des courbes épicycloïdales, et que représente la fig. 10. Ce n'est que le système de la fig. 6, si on applique un crayon à une barre portée par l'extrémité du levier, ou dans des système qui offrent la même disposition que dans ce cas (voy. ÉPICYCLOIDES, TOURS COMPOSÉS, *Complément*);



10.

2° Pour établir un rapport de vitesse déterminé avec une grande exactitude entre deux axes de position

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fixe, lorsque ce rapport est composé de termes qu'on ne peut faire entrer dans un train de roues dentées à axe fixe ;

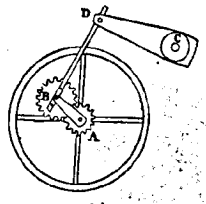
3° Pour produire un mouvement différentiel, une accélération ou retard d'un mouvement de rotation ;

4° Pour concentrer l'effet de deux ou plusieurs pièces différentes et indépendantes sur une même roue, quand l'action d'une ou plusieurs de ces pièces est variable.

Le levier ou barre qui porte les axes reçoit diverses formes. En général, la partie qui se meut doit être aussi légère que possible, et comporter un petit nombre de roues, surtout quand la révolution se fait dans le plan vertical, parce qu'à cause de l'excentricité le poids est une cause de dérangement, à moins qu'il ne soit exactement équilibré. En général, quand le train excentrique est nécessairement lourd, on en dispose les axes verticalement.

Premier système de trains épicycloïdaux.

Mouche ou roue planétaire. La disposition que nous prenons ici pour exemple avait d'abord été employée par Watt pour convertir le mouvement alternatif du piston de la machine à vapeur en mouvement circulaire. Sur l'axe du volant est montée une roue dentée A (fig. 11), qui engrène avec une roue dentée B fixée à l'extrémité de la bielle DB, le centre B étant réuni au centre A par le levier BA qui maintient le contact des deux roues. Quand le piston, par son action exercée sur le balancier, entraîne le levier BA, celui-ci tournerait autour du centre A comme une manivelle ordinaire, si la roue B, attachée à la bielle DB, ne venait modifier cette action.



11.

En effet, les roues A, B, avec le levier AB, constituent un train épicycloïdal, dans lequel $\frac{A}{B} = s$ est négatif, puisque les roues tournent dans des directions opposées, et la dernière roue n'a pas de rotation absolue puisqu'elle est fixée à la bielle. La formule générale qui est : $m = a + \frac{n-a}{s}$, deviendra donc en faisant $n = 0$ et $s = -\frac{A}{B}$, $\frac{m}{a} = 1 + \frac{B}{A}$.

Dans la machine de Watt les roues sont égales, par suite $m = 2a$, et le volant fait deux tours pour un de la manivelle.

Cet appareil est curieux et susceptible de quelques applications pour obtenir simplement des multiplications de vitesses.

Son effet s'analyse facilement à priori en calculant les vitesses angulaires.

Soit V_1 la vitesse angulaire avec laquelle le centre B se meut autour de A, R le rayon de chacune des roues dentées, $2RV_1$ sera le chemin parcouru en une seconde par le centre de la roue B. Puisque cette roue est fixée invariablement à la bielle, tous les chemins parcourus simultanément par tous les points de cette roue sont égaux à celui que parcourt son centre, sont transportés comme lui. Ainsi $2RV_1$ sera aussi le chemin parcouru par la roue B à son point de contact avec la roue A. Soit V'_1 la vitesse angulaire de cette dernière, le chemin parcouru par le point de contact, en tant qu'il appartient à la roue A, sera représenté par V'_1R. Donc $V'_1R = 2V_1R$ ou $V'_1 = 2V_1$; c'est-à-dire que la vitesse angulaire ou le nombre des tours du volant est double de la vitesse angulaire de l'extrémité de la bielle, ou du nombre des oscillations complètes de celle-ci.

Et en général, si

$$AB = (n+1)\,R,\ V'_1 = (n+1)\,V_1.$$

Ainsi les vitesses des deux roues de rayons R et R', l'une fixée à la bielle, l'autre montée sur l'arbre du volant, étant dans le rapport de 1 à $1 + \frac{R}{R'}$.

On voit que pour :

$R = R'$, chaque oscillation donne 2 tours du volant,
$R = 2R'$, — 3 —
$R = \frac{1}{2}R'$, — $1 + \frac{1}{2}$ —

et ainsi de suite.

On aura donc ainsi un nombre de tours du volant plus grand que le nombre d'oscillations de la bielle et dans le rapport que l'on voudra, pourvu que le mouvement de la bielle ait une amplitude convenable.

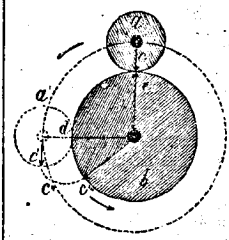
Si l'on voulait obtenir un nombre de rotations inférieur à celui des oscillations de la bielle, on ne pourrait y parvenir par le système précédent. Mais si, comme le propose M. Saladin, de Mulhouse, qui a analysé ces mouvements, on interpose entre les deux roues une roue intermédiaire quelconque, l'effet de cette roue est de changer le sens de la rotation due à l'engrènement, et le rapport des vitesses devient $1 - \frac{R}{R'}$. En effet, si la roue fixée à la bielle tourne dans un sens, l'engrenage au moyen de la roue intermédiaire communique une rotation inverse, et le résultat définitif sera la différence de ces deux mouvements.

Ainsi $R = R'$ donne zéro, le balancier marchant, l'arbre du volant n'aura pas de rotation ; $R = 2R'$ donne -1 ou un tour en arrière ; $R = \frac{R'}{2}$ donne $\frac{1}{2}$ tour dans le sens du mouvement de la bielle.

On voit ainsi comment, pour un même mouvement de la bielle, l'arbre du volant peut rester fixe, ou tourner soit à droite, soit à gauche, avec une vitesse qu'on est libre de varier avec les engrenages.

Les mêmes effets peuvent s'obtenir au moyen de poulies et de courroies ou de cordes. Si la courroie est croisée, l'effet est le même qu'avec deux roues de mêmes rayons que les poulies, tandis que la courroie non croisée répond au même système augmenté d'une roue intermédiaire.

Nous empruntons à M. Saladin deux figures qui indiquent bien les circonstances du mouvement.



12.

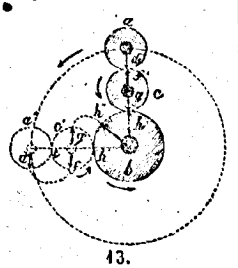
Ainsi, dans le système représenté fig. 12, dans lequel la roue fixe est double de la roue stellaire, la rotation du volant est de un tour et demi pour une oscillation du balancier. En effet, considérons la roue stellaire après qu'elle a parcouru un quart de circonférence ; le rayon vertical ac est toujours vertical en $a'c'$, puisque la roue ne tourne pas. Cherchons ce qu'est devenu le point c sur la roue b.

Si le disque a, au lieu d'être fixé à la bielle, eût été fixé à la manivelle, le cercle b eût tourné d'un quart de circonférence et le point de contact fût resté cons-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tant. Mais comme cette roue a est fixée à la bielle, le point de contact primitif s'est éloigné par l'effet des dents des roues, en parcourant des longueurs égales sur les deux circonférences à partir du point de contact. Si donc on développe dc' et qu'on enveloppe cet axe sur la circonférence b, c'' sera la nouvelle position du point c, et la rotation de b pour celle de $\frac{1}{4}$ de a sera $\frac{1}{4}+\frac{1}{2}\frac{1}{4}=\frac{3}{8}$, puisque dc'' $\frac{1}{4}$ $a=\frac{1}{8}$ b. Le rapport des vitesses sera donc de 1 à $\frac{3}{2}=1+\frac{1}{2}$.

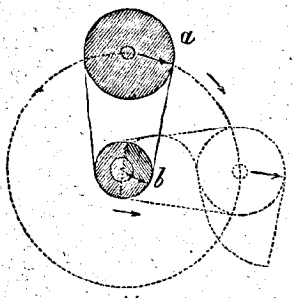
La fig. 13 représente un système à trois roues, a roue de commande et à translation, c roue intermédiaire aussi à translation, b roue commandée d'un rayon double de celui de la roue motrice. Lorsque le disque a est venu en a', son rayon d restant vertical sera venu en d'. Si du point de contact e comme centre de mouvement, nous développons l'arc ed' pour le porter sur le disque c', nous trouvons que le rayon f du disque c est venu en f', et que le rayon opposé g est venu en g'; si enfin du point de contact h' nous reportons sur b l'arc développé $g'h'$, la développante qui part du point g' rencontrera b en h'', et le rayon vertical de b aura parcouru $\frac{1}{4}-\frac{1}{2}\frac{1}{4}=\frac{1}{8}$ seulement de tour pour $\frac{1}{4}$ de tour de a, soit $\frac{1}{2}$ tour de b pour un tour de a.



13.

On voit que si les rayons de a et b étaient égaux, b resterait immobile, les deux mouvements en sens contraire étant égaux, et qu'enfin si la roue stellaire était celle du plus grand rayon, le mouvement serait rétrograde.

La fig. 13 représente le cas d'un tour en arrière en employant des courroies non croisées, et une roue a d'un rayon double de celui de la roue b. Après un quart de tour, les positions relatives de points situés au départ sur des rayons perpendiculaires au même brin, s'obtiendront en enroulant sur la circonférence de a, à partir de la position du rayon primitif, une longueur de la courroie égale à un quart de circonférence et l'enroulant autour de la seconde par la rotation de celle-ci; c'est-à-dire en traçant deux arcs de développantes. La rotation définitive sera :



14.

$\frac{1}{4}-\frac{1}{4}\times 2=-\frac{1}{4}$, puisque $\frac{1}{4}$ de $a=\frac{2}{4}$ de b

Pour une rotation complète de a, la rotation de b sera donc de -1, ou un tour en arrière.

Nous avons supposé que la bielle restait toujours parallèle à elle-même, était infinie; les tracés précédents montrent comment, quand la bielle est courte, les inégalités de la vitesse de rotation croissent avec les inclinaisons de la bielle, et que cette vitesse est plus grande dans les parties placées au-dessus du diamètre horizontal que pour celles placées au-dessous. Cela résulte de la position du rayon vertical de la roue stellaire au point de contact, qui reste toujours dans la direction de la bielle, ce qui rend l'arc à retrancher ou à ajouter plus grand ou plus petit que dans le cas de la bielle infinie.

Second système des trains épicycloïdaux.

Nous allons étudier l'emploi des trains épicycloïdaux pour établir un rapport exact de vitesse angulaire entre deux axes par des sommes ou des différences de vitesses, lorsqu'il ne peut être obtenu par le seul emploi de roues dentées, et lorsqu'une grossière approximation est inadmissible.

Nous avons vu que si s est la raison d'un train épicycloïdal et si l'axe menant est réuni avec la première roue par un système dont la raison est μ, et avec la dernière roue par un système dont la raison est ν, μp et νp étant les rotations simultanées de ces deux roues, p celles de l'arbre moteur, on a [4] :

$$\frac{a}{p}=\frac{\mu}{1-\frac{1}{s}}+\frac{\nu}{1-s},$$

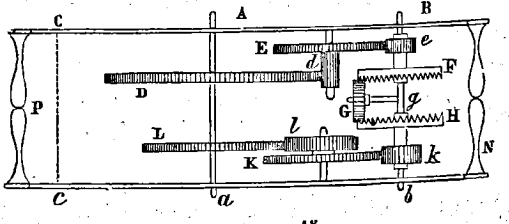
quand a et p sont les rotations simultanées du levier portant le train et de l'axe qui conduit; c'est-à-dire que l'effet des deux trains μ et ν est concentré sur l'axe du levier.

Ce système est appliqué sous une forme simple dans la disposition représentée sur la fig. 15.

Bb est un axe sur lequel est monté le levier Gg, qui porte la roue G; celle-ci engrène avec deux roues égales F et H, qui sont concentriques avec l'axe Bb, mais sont montées sur des tubes qui tournent librement au tour de celui-ci.

Le train épicycloïdal consiste donc en trois roues F, G, H; F pouvant être considérée comme la première roue et H comme la dernière.

Aa est l'axe moteur, qui porte les deux roues B D et L; D sert à mettre l'axe en rapport avec la première roue F du train épicycloïdal (avec le tube qui la porte) au moyen du système de roues dentées et pignons d, E, e; de même L constitue avec l, K et k un système de roues dentées qui réunit l'axe Aa avec la dernière roue H. On a par suite :



15.

$$\mu=\frac{DE}{de}\text{ et }\nu=\frac{LK}{lk}.$$

Le mouvement du train épicycloïdal étant considéré par rapport au levier, on voit que les roues extrêmes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

F et H se mouvent dans des sens opposés, par suite $\frac{F}{H}$ est négatif et égal à :

$$-\frac{F}{H} = -1$$

Par suite :

$$\frac{a}{p} = \frac{1}{2}(\mu + \nu) = \frac{1}{2}\left(\frac{PE}{de} + \frac{LK}{lk}\right).$$

Si donc le rapport $\frac{a}{p}$ est donné, que son numérateur ou son dominateur, ou tous les deux, ne soient pas décomposables en facteurs premiers, il devient facile de déterminer deux fractions décomposables dont la somme soit égale à la fraction proposée, et de les employer pour former un système semblable à celui de la figure.

Cet emploi des systèmes épicycloïdaux a été décrit par M. Francœur, auquel nous empruntons les calculs ci-après, et est indispensable pour la haute horlogerie. Il attribue ce mécanisme à MM. Pecqueur et Perrelet, qui l'ont employé en 1823; la première idée de ces méthodes, suivant M. Willis, est due à Mudge, qui a construit vers 1767 une horloge qui donnait le mouvement lunaire par trains épicycloïdaux.

Appliquons ces résultats aux cas pour lesquels le système simple de roues dentées ne suffit plus, ce qui a lieu quand $\frac{T_m}{T_1} = \alpha$, α n'étant plus un nombre commensurable et que les deux termes ne peuvent se décomposer en nombres premiers.

Premier cas. Soit $\frac{a}{p}$ une fraction dont le dominateur est décomposable en facteurs, mais non le numérateur.

Soit le dénominateur $p = fgh$, la fraction qui représente le rapport des vitesses est $\frac{a}{fgh}$. Le dénominateur pouvant souvent se décomposer en trois facteurs de diverses manières, chacun fournit une solution distincte du problème.

On décomposera $\frac{a}{fgh}$ en deux fractions convenables, en posant :

$$\frac{a}{fgh} = \frac{fx}{fgh} + \frac{gy}{fgh},$$

c'est-à-dire $a = fx + gy$.

Il est facile de résoudre cette équation en nombres entiers pour x et y, et d'obtenir une infinité de valeurs de x et y, qui satisfont au problème et donnent :

$$\frac{a}{fgh} = \frac{x}{gh} + \frac{y}{fh},$$

Soit, par exemple, la fraction $\frac{271}{216}$. Puisque $216 = 4 \times 9 \times 6$, nous poserons $271 = 9x + 4y$ ou $f = 9$, $g = 4$. Les méthodes ordinaires de l'analyse indéterminée donnent pour toutes les valeurs qui satisfont à ces équations les deux expressions $x = 31 - 4t$ $y = 9t - 2$, t étant tout nombre entier positif ou négatif.

On a ainsi : $x = 27, 23, 19 \ldots 31, 45, 39$
$y = 7, 16, 25 \ldots -2 - 11 - 20$
pour les valeurs de t, 1 3 3 . . — 0 — 1 — 2

Comme $gh = 24$, $fh = 54$, la fraction $\frac{271}{216}$ est donc égale à :

$$\frac{27}{24} + \frac{7}{54}, \frac{23}{24} + \frac{16}{54}, \frac{19}{24} + \frac{25}{54},$$

ou encore à :

$$\frac{31}{24} - \frac{2}{34}, \frac{35}{24} - \frac{11}{54}, \frac{39}{24} - \frac{20}{54},$$

et ainsi de suite.

La première série se rapportant au cas où les roues tournent dans la même direction; la seconde, quand les sens de rotation sont différents.

Le dénominateur 216 peut aussi être décomposé en $8 \times 3 \times 9$ et en posant $271 = 8x + 3y$, on a :

$x = 3t - 1$ $y = 93 - 8t$,
d'où $x = 2, 5, 8 \ldots - 1 - 4 - 7$
$y = 85, 77, 69 \ldots 93, 101, 109,$

ce qui fournit les nouvelles décompositions :

$$\frac{2}{27} + \frac{83}{72}, \frac{5}{27} + \frac{77}{72}, \frac{8}{27} + \frac{69}{72}, \frac{93}{72} - \frac{1}{27} \ldots$$

et ainsi de suite pour d'autres solutions.

En général, le dénominateur de la fraction proposée pouvant être décomposé en facteurs premiers et mis sous la forme $m^{\alpha} n^{\beta} p^{\gamma} \ldots$, chaque paire de ces diviseurs peut être prise pour les quantités f et g, pourvu qu'ils soient premiers l'un par rapport à l'autre, puisque a est premier par hypothèse. Si donc alors on résout l'équation $a = fx + gy$ en nombres entiers, on a les valeurs des fractions composantes $\frac{x}{gh} + \frac{y}{fh}$, dans lesquelles h est le produit du reste des facteurs du dénominateur après qu'on a retiré f et g.

Second cas. On suppose dans ce cas que le numérateur et le dominateur sont tous deux premiers.

Formons deux fractions $\frac{a}{A}$ et $\frac{a_1}{A}$. a, a_1 étant le numérateur et le dénominateur de la fraction proposée et A une quantité arbitraire commodément décomposable en facteurs; obtenons pour chacune de ces fractions les sommes ou les différences de deux fractions qui lui sont égales, comme nous avons fait ci-dessus.

Soit un axe Aa (fig. 15) réuni à un autre Bb par des roues dentées et un train épicycloïdal comme dans la figure, et en outre avec un autre axe Cc par un système semblable. Les rotations simultanées des axes Aa, Bb, Cc seront A, a, a_1; μ, ν seront les raisons des trains réunissant Aa avec Bb, et μ_1 ν_1 celles des trains réunissant Aa avec Cc. On aura donc :

$$\frac{a}{A} = \frac{\mu + \nu}{2} \text{ et } \frac{a_1}{A} = \frac{\mu_1 + \nu_1}{2} \text{ et } \frac{a}{a_1} = \frac{\mu + \nu}{\mu_1 + \nu_1}$$

pour rapport des rotations simultanées de Bb et Cc. Nous allons voir comment l'introduction de ce double système ou de A rend la solution du problème facile.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de faire faire à un axe 47321 tours quand un autre en fait 11643; les deux nombres étant premiers la fraction $\frac{47322}{11743}$ est irréductible et indécomposable en facteurs premiers.

Prenons un diviseur $5040 = 7 \times 8 \times 9 \times 10$, et formons deux trains dont les vitesses soient représentées par $\frac{47321}{5040}$ et $\frac{11743}{5040}$.

Pour la première, on obtient par la méthode précédente :

$$\frac{47321}{5040} = \frac{1480}{630} + \frac{783}{720} = \frac{148}{63} + \frac{87}{80},$$

d'où les trains $\frac{296}{63}$ et $\frac{87}{40}$ comme dans la précédente méthode, puisque la moitié de ces nombres égalera $\frac{a}{p}$.

Pour le second train :

$$\frac{11743}{5040} = \frac{830}{633} + \frac{729}{720} = \frac{83}{63} + \frac{81}{89},$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

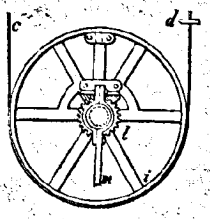
d'où les trains $\frac{166}{63}$ et $\frac{81}{40}$. Le problème consistant à obtenir les deux mouvements demandés sera ainsi complétement résolu.

Troisième système des trains épicycloïdaux.

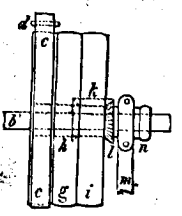
Nous avons dit que cette troisième application avait pour objet de produire un mouvement accéléré ou retardé. Le premier problème trouve son application dans les bancs à broches à mouvement différentiel.

Nous allons en décrire la disposition, d'après M. Saladin, de Mulhouse.

Transmission à deux vitesses. Le mouvement est imprimé à un axe (fig. 16 et 17) par une courroie *c*, pas-



16.



17.

sant sur une poulie folle *e* montée sur l'arbre moteur; *d* guide de la courroie; *g* poulie fixée sur l'arbre; *h* roue d'angle fixée sur la douille de cette poulie; *i*, poulie folle de même diamètre que les deux premières, servant à la double vitesse; *k*, deuxième roue d'angle portée transversalement par la poulie *i*, engrenant avec la première *h*; *l*, troisième roue d'angle à douille, de même nombre de dents que la première *h*, engrenant avec la seconde *k*, et montée librement sur l'arbre *b'*; *m*, frein pouvant être serré sur la douille de la roue d'angle *l*, et pouvant la rendre fixe.

Lorsque la courroie *c* passe de la poulie folle *e* sur la poulie fixe *g*, elle transmet à cette dernière la vitesse qu'elle reçoit du tambour moteur *b*; mais lorsqu'elle commande la poulie *i*, l'arbre tourne avec une vitesse double.

En effet, le système devient alors tout à fait semblable à celui de la fig. 8, pour lequel nous avons trouvé $n=2a$, lorsque la roue *l* devient immobile. Si on fait abstraction de la roue *l*, et qu'on suppose pour un instant la poulie *i* assemblée sur l'arbre, les poulies *g*, *i*, tourneront ensemble d'une même vitesse, et les deux roues d'engrenage tourneront avec elles sans agir. Mais lorsque, par l'action du frein, la roue *l* cesse de tourner avec l'axe, la vitesse de la circonférence de la poulie restant constante, la roue *k* tourne, et elle est ici la roue supportée par le levier dans le train épicycloïdal, dont la première roue *l* est fixe.

Si, au lieu d'être immobile, la roue *l* avait une vitesse angulaire v, la vitesse de l'arbre deviendrait $v \pm 2v'$ (v' étant la vitesse angulaire de l'arbre communiquée par la courroie), suivant que le mouvement initial de la roue *l* serait en sens contraire ou dans le même sens que celui imprimé par la courroie. C'est ce que donne la formule (2) : $n = a + (m-a)\varepsilon$, dans laquelle on fait $\varepsilon = \pm 1$, d'où $n = -m \pm 2a$.

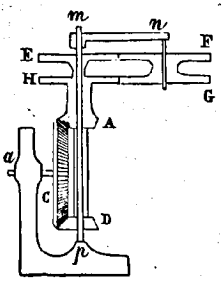
Il faut observer que lorsque la double vitesse commence, le frein doit laisser glisser un peu la roue *l*, lorsque l'effort est trop grand, dans le but d'éviter le changement instantané de vitesse et les ruptures qui pourraient en résulter.

Second exemple. — *Compteurs.* Voyons maintenant l'emploi des trains épicycloïdaux pour produire un mouvement très lent.

Reportons-nous à la formule $\frac{a}{p} = \frac{\mu\varepsilon - \nu}{\varepsilon - 1}$, dans laquelle tous les termes sont considérés comme positifs. Si, au contraire, ε est négatif, μ et ν de signes différents, la formule devient : $\frac{a}{p} = \frac{\mu\varepsilon - \nu}{\varepsilon + 1}$, dans laquelle en choisissant convenablement les systèmes de roues, a peut être très petit par rapport à p, et par suite le levier tourner très lentement.

Si au contraire on veut faire tourner l'axe, dont les révolutions sont p, lentement par rapport au levier, alors le numérateur de la fraction $\frac{a}{p}$ doit être une somme et le dénominateur une différence voisine d'une unité, c'est-à-dire que ε doit être positif dans l'expression $\frac{a}{p} = \frac{\mu\varepsilon - \nu}{\varepsilon - 1}$ et très voisin de l'unité, μ et ν avoir des signes différents.

La fig. 18 représente une combinaison qui répond à cette disposition. mp est un axe fixe autour duquel tourne un long tube dont l'extrémité inférieure porte la roue D et l'extrémité supérieure la roue E. Un tube plus court tourne autour du premier, et porte à ses extrémités les roues A et H. La roue C engrène à la fois avec les roues D et A, et le levier mn, qui tourne librement autour de mp, porte sur un axe n les roues réunies F et G.



18.

Dans le train épicycloïdal, composé des roues E, F, G et H, ε est évidemment positif, les roues extrêmes E, H tournant dans la même direction, A étant la première roue du train épicycloïdal, et on a :

$$\varepsilon = \frac{HF}{GE}.$$

D'ailleurs, $\mu = \frac{C}{A}$ et $\nu = \frac{C}{D}$, et ont des signes différents, puisque A et B tournent dans des sens différents, donc :

$$\frac{a}{p} = \frac{\frac{C}{A}\cdot\frac{HF}{GH} + \frac{C}{D}}{\frac{HF}{GE} - 1}$$

Si, par exemple, $A=10$, $C=100$, $D=10$, $E=64$; $F=49$, $G=44$, $H=51$, on aura : $\frac{a}{p} = 25000$, c'est-à-dire qu'il se produira 25000 rotations du levier mn pour un tour de la roue C.

Généralement la première roue du train épicycloïdal est fixe; dans ce cas, la formule qui convient est $\frac{n}{a} = 1 - \varepsilon$.

Si ε est positif et très voisin de l'unité, cette valeur sera très petite, et n petit par rapport à a, c'est-à-dire que le mouvement de la dernière roue du train est lent par rapport à celui du levier.

Des formes simples des trains épicycloïdaux des figures 6, 7 et 8, les deux dernières ne sont pas propres à réaliser ce système, parce que ε est négatif, mais la disposition de la fig. 6 peut être employée; A étant fixe et $\frac{a}{n} = 1 - \frac{AE}{bD}$; pour avoir le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus petit mouvement possible, il faut poser $AE - bD = \pm 1$.

Soit $s = \frac{111 \times 9}{400 \times 10}$, $\frac{n}{a} = \frac{1}{4000}$, où $s = \frac{31 \times 129}{32 \times 129}$, $\frac{n}{a} = \frac{1}{4000}$.

Quatrième système des trains épicycloïdaux.

Cette dernière application se rapporte aux systèmes qui ont pour but de concentrer les effets de deux ou d'un plus grand nombre de systèmes de rotation sur une pièce unique.

Comme exemple de cette application, nous prendrons l'équation des horloges, curieux problème dont la solution occupe une place importante dans l'histoire de l'invention des mécanismes, et a été l'objet de nombreux travaux depuis une époque reculée jusqu'à nos jours.

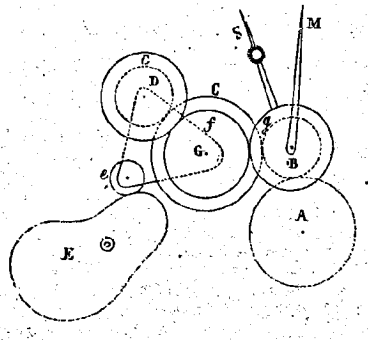
Le but à atteindre est de faire marquer à l'aiguille d'une horloge non seulement l'heure, mais aussi le temps vrai. Pour cela, on agit comme les astronomes pour analyser le mouvement du soleil, c'est-à-dire qu'on divise ce mouvement en deux mouvements élémentaires, l'un uniforme qui correspond au temps moyen, et l'autre qui correspond à la différence du temps moyen et du temps vrai ou à l'équation du temps. On réunit deux mécanismes, l'un celui d'une horloge ordinaire, et l'autre disposé de manière à communiquer un mouvement lent correspondant à l'équation du temps, et on concentre les effets des trains séparés sur une seule aiguille à l'aide d'un train épicycloïdal. Il y a trois arrangements possibles :

Le mouvement de l'équation peut être communiqué à une extrémité du train et le mouvement moyen à l'autre, le levier possédera alors le mouvement solaire (Lebon proposait un système semblable en 1722).

Le mouvement de l'équation peut être communiqué à une extrémité du train, et le mouvement moyen au levier; l'autre extrémité du train donnera le mouvement solaire.

Enfin, le mouvement de l'équation peut être communiqué au levier; le temps moyen à une extrémité du train, l'autre extrémité recevra le mouvement solaire (c'est le système des horloges de Du Tertre, 1742, et d'Enderlin). Nous allons décrire cette dernière disposition.

La fig. 19 permet de voir la disposition des roues dentées et de l'équation qui communiquent le mouvement aux aiguilles.



19.

G est le centre de mouvement du train épicycloïdal, GD*e* le levier sur lequel sont montés les axes. Les roues *f* et C tournent librement autour de l'axe *s*G, et l'axe D est entraîné par le levier ainsi que les deux roues *c*, D qui tournent avec lui et qui engrènent respectivement avec *f* et C. Le train épicycloïdal consiste donc en quatre roues C, *c*, D, *f*, et C est la première roue. Maintenant si on suppose la roue C menée par la roue B, dont le mouvement dérive de celui de la roue A faisant partie d'une horloge ordinaire, et si l'aiguille des minutes est montée sur l'axe de B, elle indiquera le temps moyen à la manière ordinaire.

Le mouvement de l'équation est communiqué à la pièce GD*e* comme il suit :

E est un excentrique dont la révolution s'accomplit en une année. Un rouleau de frottement adapté au levier repose sur le contour de cet excentrique, et est maintenu en contact par un poids ou un ressort. L'excentrique est taillé de manière à faire prendre au levier un mouvement angulaire convenable.

La première roue du train reçoit le mouvement moyen; l'autre extrémité engrène avec une roue *g*, concentrique avec la roue à minutes M, et tourne librement autour de son axe; l'aiguille solaire S est fixée au tube qui porte cette roue et reçoit la combinaison du mouvement moyen et de l'équation.

La formule applicable à ce cas est $n = a(1-s) + mt$, dans laquelle s est positif et égal à $\frac{Cc}{Df}$. Si nous désignons les relations simultanées de l'aiguille des minutes M et de C par M et m respectivement, on a : $m = M\frac{B}{C}$, et celles de f et g par n et s, on a : $n = s\frac{g}{f}$; substituant ces valeurs dans la formule, on a :

$$s = a\frac{Df - Cc}{Dg} + M\frac{Bc}{Dg},$$

dont la première partie se rapporte à l'équation et la deuxième partie au mouvement moyen.

Mais le mouvement moyen de S doit être le même que celui de M, on doit donc avoir $\frac{Bc}{Dg} = 1$. Et pour la partie du mouvement de S due à l'équation, l'expression $a\frac{Df - Cc}{Dg}$ montre le rapport qui doit exister entre la vitesse angulaire du levier portant les axes et celle de l'aiguille.

Si le levier se meut avec la même vitesse angulaire que l'aiguille, alors $\frac{Df - Cc}{Dg} = 1$, ce que l'on peut obtenir en faisant $f = c = g$ et $C = 2D$; d'ailleurs puisque $Bc = Dg$, si $c = g$, on a $B = D$; ce sont les proportions employées par Enderlin.

Si on veut que le levier se meuve d'un angle plus petit que l'aiguille, moitié par exemple, il faut alors poser $C = 3D$, et ainsi de suite.

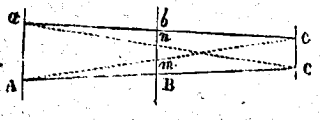
IV. Mouvements alternatifs en mouvements alternatifs.

Dans ce qui précède, nous nous sommes occupés des organes de transformation de mouvement qui correspondent aux mouvements circulaires et rectilignes. Nous avons ainsi étudié les roues dentées, les plans inclinés, les cordes, qui servent généralement pour les mouvements continus, mais aussi dans beaucoup de cas pour des transformations de mouvements alternatifs; il nous reste à étudier, au point de vue du mouvement des guides, les leviers et les bielles, éléments principaux de transformation des mouvements alternatifs.

Soit une longue bielle ABC (fig. 20), B un de ses points, son milieu par exemple, je suppose qu'un petit mouvement A*a*, perpendiculaire à sa longueur soit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

communiqué à son extrémité A, l'autre extrémité C



20.

restant en repos, le point B décrira sensiblement l'espace $Bn = \frac{Aa}{2}$.

Si au contraire A restant en repos, on eût imprimé à C un petit mouvement C*c* transversal à la barre, le point B aurait décrit sensiblement le chemin $Bm = \frac{Cc}{2}$.

Donc si les deux mouvements en question sont communiqués, soit simultanément, soit successivement aux deux extrémités, le centre B parcourt le petit chemin $Bb = \frac{Aa + Cc}{2}$, ou si ces deux mouvements imprimés étaient de sens contraire, de manière à amener la bielle dans la position *a*C, le milieu de la bielle décrivant le petit chemin *mn* $\frac{Aa - Cc}{2}$.

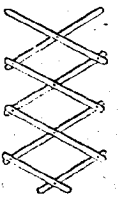
Il est clair qu'on suppose ici la barre assez longue pour que C*c*, A*a*, B*b* puissent être considérés tous trois comme perpendiculaires à la bielle.

Donc si l'on communique deux mouvements virtuels ou élémentaires indépendants, aux extrémités d'une bielle perpendiculairement à sa direction, son milieu décrit la moitié de leur somme ou de leur différence, suivant que ces mouvements sont de même sens ou de sens contraire.

Si ce sont les points A et B auxquels on fait décrire successivement de petits chemins, le point C décrit alors un chemin égal à celui que parcourt A, mais en sens contraire, et deux fois le chemin que parcourt B, dans le même sens que ce dernier point.

Un système fondé sur ces propriétés, dit *zigzag*, permet de transformer, par une combinaison de leviers, un double mouvement circulaire alternatif en un mouvement rectiligne.

Ce système dérive de celui de la transformation du mouvement circulaire alternatif en rectiligne alternatif à l'aide de la bielle et de la manivelle, si l'on change les bielles, en les prolongeant, en deux autres leviers oscillant autour d'un centre mis en mouvement par le premier système. On obtient ainsi la disposition de la fig. 21, dans laquelle le point de rencontre des deux premiers leviers est le seul point fixe.



21.

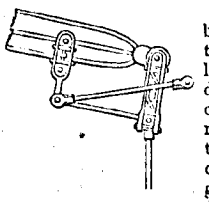
Ce système se trouve ainsi formé d'une réunion de parallélogrammes par l'articulation de barres parallèles deux à deux.

Il est facile d'évaluer les vitesses dans cet appareil. Pour un seul losange, le système n'est que celui de la bielle comme nous l'avons vu, c'est-à-dire pour passer de l'angle ω à l'angle ω' du levier avec la diagonale, *l* étant la longueur entre deux articulations, *r* la longueur des leviers moteurs, le mouvement angulaire sera $r(\omega - \omega')$, et le mouvement rectiligne deviendra $2l(\cos\omega' - \cos\omega)$.

Appelons *a* cette quantité, elle se répétera pour chaque parallélogramme, et s'il y en a *n* égaux entre eux, le chemin parcouru par le point extrême sera $2na$.

Les deux limites du mouvement sont $2nl$ lorsque les bielles sont parallèles à la diagonale passant par l'articulation fixe et se touchent, et np, *p* étant l'épaisseur des barres lorsqu'ils sont en ligne droite et que toutes les barres sont en contact. Le chemin total, qui pourra être parcouru par l'articulation extrême, pour un mouvement angulaire de 0° à 90°, est donc $2n\left(l - \frac{1}{2}p\right)$.

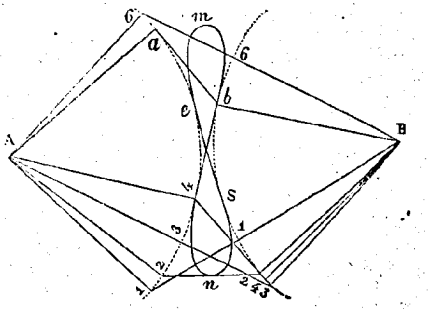
Parallélogramme de Watt. C'est surtout pour fournir des guides du mouvement rectiligne, comme moyen de produire par le mouvement circulaire alternatif un mouvement rectiligne alternatif, que le système des articulations est employé par diverses méthodes qui dérivent de celles que Watt a le premier appliquées à la machine à vapeur (fig 22).



22.

Considérons d'abord une bielle dont les deux extrémités sont assemblées à deux leviers ou rayons décrivant des arcs de cercle, système employé dans la plupart des machines à vapeur ou à piston en général, piston dont on cherche toujours à diriger sensiblement en ligne droite la tige assemblée à un point de cette bielle.

A*a*, B*b* sont les deux bras ou rayons qui tournent autour des centres A et B, *ab* est la bielle articulée à



23.

leurs extrémités mobiles; la fig. 23 indique diverses positions du système.

Un point *c* pris vers le milieu de la bielle décrit la courbe en forme de 8, *mcn*; et le chemin qu'il décrit est une courbe connue sous le nom de *courbe à longue inflexion*, qui se confond très sensiblement dans une partie du mouvement avec une droite.

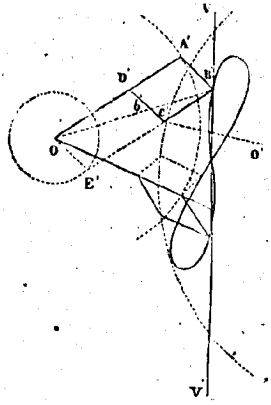
M. de Prony a donné l'équation complète de cette courbe, mais elle est beaucoup trop complexe pour être d'aucune utilité dans la pratique, et il est bien plus simple et suffisamment exact, au lieu d'en faire usage de recourir à des approximations. Pour les meilleures proportions des éléments, voir PARALLÉLOGRAMME.

Cette courbe est souvent considérée comme tracée par le sommet libre du parallélogramme, dont un des sommets se meut sur une circonférence, et son étude offre quelque intérêt au point de vue géométrique. On la décrit facilement en donnant au point C toutes les positions qu'il peut prendre (même en retournant le parallélogramme). Cette courbe est encore la courbe en 8 dont nous avons déjà parlé; la partie de celle-ci qui se confond sensiblement avec une ligne droite appartient à la tangente au point d'inflexion.

Il est facile de démontrer que cette ligne est la même que celle décrite par un point d'une droite mobile de longueur constante, dont les extrémités glissent sur deux circonférences fixes; c'est par un semblable mouvement que nous y avons été conduits précédemment.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En effet, si par le centre O (fig. 24) on mène une



24.

parallèle au côté DC, elle rencontrera le prolongement du côté BC en un point E, et l'on aura OE = D'C' = constante, et de même E'C' = OD' = constante. Donc la droite C'E', de longueur constante, se meut de manière que ses extrémités glissent sur deux circonférences ayant leurs centres en C et O' et pour rayons O'E', O'C'. Le point B' de la droite prolongée parcourt la courbe en question. (Voy. PARALLÉLOGRAMMES.)

Le parallélogramme de Watt peut guider en ligne droite deux tiges à la fois. En effet, la droite OB' rencontre le côté D'C' en un point b qui reste le même sur cette droite, quelle que soit la position du parallélogramme; et ce point b décrit une ligne semblable à celle décrite par le point B', ces deux lignes ayant leur centre de similitude au point O. Il s'ensuit que la seconde approche d'une ligne droite de même que la première.

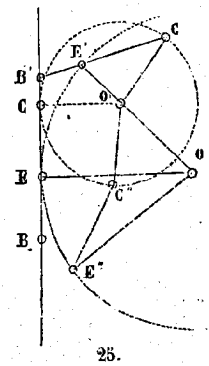
La démonstration est facile; en effet, on a :

$$\frac{D'b'}{A'B'} = \frac{OD'}{OA'} \text{ ou } D'b' = \frac{OD' \times A'B'}{OA'} = \text{constante},$$

à cause de la similitude des triangles OD'b', OA'B.

On a de même $\frac{Ob'}{OB'} = \frac{OD'}{OA'} = \text{constante}$; les deux courbes sont donc semblables.

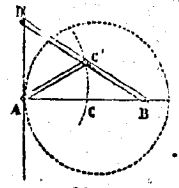
Puisque les points C' et E' se meuvent sur deux circonférences, il suffira de lier (fig. 25) ces points aux rayons des deux cercles par des articulations, en supprimant les côtés du parallélogramme et les remplaçant par le rayon OE' qui devient le balancier. Le mécanisme ayant moins de solidité, il faut rapprocher le point B' du balancier OE'.



25.

La fig. 25 représente cette disposition, qui est celle dont nous sommes partis d'abord, le tracé devant comprendre les points extrêmes de la course.

Un autre système, dû à la combinaison d'un guide plan et d'une articulation, a été quelquefois employé. Bien qu'il soit défectueux au point de vue de la solidité de la construction, nous l'indiquerons sommairement; c'est le parallélogramme d'Olivier Evans (fig. 26).



26.

Soit BD une barre assemblée à l'extrémité D avec une tige AD qui doit se mouvoir en ligne droite, et dont l'extrémité B peut se mouvoir horizontalement sur la ligne AB.

Une barre AC', dont la longueur est égale à la moitié de BD, peut tourner autour d'un point fixe A et est assemblée à charnière avec le milieu C' de BD; menons la ligne AD perpendiculaire à AB.

Quelle que soit la position du point C' sur l'arc de cercle CC', *l'angle* DAB *est toujours droit.*

En effet, les trois points D, A, B étant situés à égale distance du point C', appartiennent à une circonférence décrite du point C' comme centre avec C'B pour rayon. Les deux points B et D' étant les extrémités d'un même diamètre, l'angle inscrit DAB est droit.

Le point D se trouvant constamment sur la perpendiculaire AD élevée sur AB, se meut en ligne droite.

On voit donc que BD étant un balancier, le point D se meut en ligne droite s'il est porté par une tige articulée autour d'un point fixe A, et si les coussinets de l'axe placé en B sont assujettis à se mouvoir dans une glissière. Comme le mouvement rectiligne du point B est peu étendu dans le cas des machines à vapeur, on le remplace par un petit arc de cercle décrit par un support qui porte les coussinets de B, et qui oscille autour d'une articulation placée à sa partie inférieure.

CH. LABOULAYE.

DILATATION (*angl.* dilatation, *all.* ausdehnung). La chaleur, en agissant sur les corps, augmente l'écartement de leurs molécules, les *dilate*. Si l'on considère une des dimensions des corps, le rapport de l'accroissement de cette dimension à sa longueur primitive constitue ce qu'on appelle leur *dilatation linéaire*. Dans les corps non cristallisés, cette dilatation linéaire est la même dans toutes les directions, et par suite, comme elle est très faible, on peut admettre sans erreur appréciable que la *dilatation cubique*, ou augmentation de volume d'un corps par l'effet de la chaleur, est triple de la *dilatation linéaire*. Entre certaines limites, la dilatation des corps est proportionnelle à la température. L'eau seule fait exception à cette règle, et présente un maximum de contraction à 4°,1. Nous renvoyons aux traités de physique pour la description des procédés divers employés pour mesurer la dilatation des solides, des liquides et des gaz, et nous nous contenterons d'en donner ici les résultats.

Dilatation linéaire des solides.

SUBSTANCES.	DILATATION linéaire de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Baguettes de verre.	0,00080833	1/1237	Roy.
Tubes de verre. . .	0,00083333	1/1175	Smeaton.
dito.	0,00077615	1/1289	Roy.
dito.	0,00082300	1.1116	Deluc.
dito.	0,00086130	1/1148	Dulong et Petit.
dito.	0,00081166	1/1228	Lavoisier et Laplace.
Verre à vitres. . .	0,00089089	1/1122	dito
Crown-glas. . . .	0,00087572	1/1142	dito
dito.	0,00089760	1/1114	dito
dito.	0,00091754	1/1090	dito

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SUBSTANCES.	DILATATION linéaire de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Bois de sapin. . .	0,00077615	1/1289	Roy.
Platine.	0,00085055	1/1150	Borda.
dito.	0,00088420	1/1131	Dulong et Petit.
dito.	0,00099180	1/1008	Troughton.
Palladium. . . .	0,00100000	1/1000	Wollaston.
Antimoine. . . .	0,00108333	1/923	Smeaton.
Fonte (prisme de).	0,00111000	1/901	Roy.
Acier.	0,00118990	1/840	Troughton.
dito (verge d'). .	0,00114450	1/874	Roy.
dito (poule). . .	0,00115000	1/870	Smeaton.
dito (trempe). . .	0,00122500	1/816	dito
dito (non trempé).	0,00107880	1/927	Lavoisier et Laplace.
dito dito. . .	0,00107915	1/927	dito
dito dito. . .	0,00107960	1/926	dito
dito (trempé jaune et recuit à 65°. .	0,00123956	1/807	dito
Fer.	0,00115600	1/874	Borda.
dito.	0,00125833	1/795	Smeaton.
dito (doux, forgé).	0,00122045	1/819	Lavoisier et Laplace.
dito (rond), passé à la filière. . . .	0,00123504	1/812	dito.
dito. . . .	0,00118210	1/846	Dulong et Petit.
Bismuth.	0,00139167	1/719	Smeaton.
Or de départ. . .	0,00146606	1,682	Lavoisier et Laplace.
dito (au titre de Paris, recuit). . . .	0,00151301	1,661	dito
dito (au titre de Paris, non recuit). .	0,00155155	1/645	dito
Cuivre rouge. . . .	0,00171220	1/584	dito
dito.	0,00171733	1/582	dito
dito.	0,00172240	1/581	dito
dito (battu). . .	0,00170000	1/588	Smeaton.
dito. . . .	0,00191880	1/521	Troughton.
dito. . . .	0,00171820	1/582	Dulong et Petit.
Cuivre jaune au laiton.	0,00186670	1/535	Lavoisier et Laplace.
dito.	0,00187821	1/533	dito
dito.	0,00188970	1/529	dito
dito (fondu).	0,00187500	1/533	Smeaton.
dito (en fil).	0,00193333	1/517	dito
dito, de Hambourg. . .	0,00185550	1/539	Roy.
dito, anglais.	9,00189296	1/528	dito
dito dito	0,00189450	1/528	dito
Alliage de cuivre 8 p., étain 1 p. .	0,00181667	1/550	Smeaton.
Métal des miroirs de télescopes. . .	0,00193333	1/517	dito
Soudure de cuivre 2 p., étain 1 p. .	0,00205833	1/486	dito
Argent.	0,00208260	1/480	Troughton.
dito (au titre de Paris).	0,00190868	1/524	Lavoisier et Laplace.
dito (de coupelle).	0,00190974	1/524	dito
Étain de Malacca.	0,00193765	1/516	dito
dito, de Falmouth.	0,00217298	1/462	dito
dito, fin. . . .	0,00228333	1/438	Smeaton.
dito, en larmes. .	0,00248333	1/403	dito
Soudure blanche, étain 1 p., plomb 2 p.	0,00250533	1,399	Smeaton.
Alliage de zinc 8 p., étain 1 p., un peu forgé.	0,00269167	1/372	dito
Plomb.	0,00284836	1/351	Lavoisier et Laplace.
dito.	0,00286667	1/349	Smeaton.
Zinc fondu. . . .	0,00294167	1/340	dito
dito, allongée au marteau de 1/12e.	0,00310833	1/322	dito

Dilatation cubique des liquides.

SUBSTANCES.	DILATATION cubique de 0° à 100°.		NOM de l'observateur.
Mercure.	0,018018	1/55,5	Dulong et Petit.
dito (dilatation apparente dans le verre).	0,015432	1/65	dito
Eau (de 4°,1 à 100°).	0,043320	1/23	Kirwan.
dito dito. . . .	0,042133	1/24	Hallstrœm.
Acide hydro-chlorique d'une densité de 1,137.	0,060000	1/17	Dalton.
— sulfurique — 1,85.	0,060000	1/17	dito
— nitrique — 1,40.	0,110000	1/9	dito
Huiles grasses. . .	0,080000	1/12,5	dito
Essence de térébenthine.	0,070000	1/14	dito

Les gaz se dilatent, ainsi que les vapeurs, sensiblement d'une même quantité pour une même augmentation de température. Selon M. Regnault, la dilatation de l'air de 0° à 100° est de 0,366 ou 3/8 de son volume primitif.

On peut utiliser la dilatation et la contraction des corps solides doués d'une grande ténacité, comme le fer, pour produire des efforts mécaniques considérables; car ces efforts sont les mêmes que ceux qu'il faudrait exercer sur ces corps, pour les allonger ou les comprimer de la même quantité (voyez ÉLASTICITÉ). C'est ainsi que M. Molard, l'un des principaux fondateurs du Conservatoire des arts et métiers, est parvenu à redresser les pieds-droits d'une des salles du Conservatoire, qui s'étaient déversés par suite de la pression de la voûte, en les reliant par des tirants en fer chauffés au rouge et boulonnés : la contraction des tirants, due à leur refroidissement, ramena les pieds-droits dans leur position primitive.

DIORAMA. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS DE PEINTURE ET D'ÉCLAIRAGE INVENTÉS PAR M. DAGUERRE. Ces procédés ont été principalement développés dans les tableaux de la *Messe de minuit*, l'*Éboulement dans la vallée de Goldau*, le *Temple de Salomon* et la *Basilique de Sainte-Marie de Montréal*. Tous ces tableaux ont été représentés avec des effets de jour et de nuit. A ces effets étaient jointes des décompositions de formes, à moyen desquelles, dans la *Messe de minuit*, par exemple, des figures apparaissaient où l'on venait de voir des chaises, ou bien, dans la *Vallée de Goldau*, des ro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chers éboulés remplaçaient l'aspect pittoresque de la vallée.

Procédé de peinture La toile devant être peinte des deux côtés, ainsi qu'éclairée par réflection et par réfraction, il est indispensable de se servir d'un corps très transparent, dont le tissu doit être le plus égal possible. On peut employer de la percale ou du calicot. Il est nécessaire que l'étoffe que l'on choisit soit d'une grande largeur, afin d'avoir le plus petit nombre possible de coutures, qui sont toujours difficiles à dissimuler, surtout dans les grandes lumières du tableau.

Lorsque la toile est tendue, il faut lui donner de chaque côté au moins deux couches de colle de parchemin.

Premier effet. Le premier effet, qui doit être le plus clair des deux, s'exécute sur le devant de la toile. On fait d'abord le trait avec de la mine de plomb, en ayant soin de ne pas salir la toile, dont la blancheur est la seule ressource que l'on ait pour les lumières du tableau, puisque l'on n'emploie pas de blanc dans l'exécution du premier effet. Les couleurs dont on fait usage sont broyées à l'huile, mais employées sur la toile avec de l'essence, à laquelle on ajoute quelquefois un peu d'huile grasse, seulement pour les vigueurs, que du reste on peut vernir sans inconvénient. Les moyens que l'on emploie pour cette peinture ressemblent entièrement à ceux de l'aquarelle, avec cette seule différence que les couleurs sont broyées à l'huile, au lieu de gomme, et étendues avec de l'essence au lieu d'eau. On conçoit qu'on ne peut employer ni blanc, ni aucune couleur opaque quelconque, par épaisseurs, qui feraient, dans le second effet, des taches plus ou moins teintées, selon leur plus ou moins d'opacité. Il faut tâcher d'accuser les vigueurs au premier coup, afin de détruire le moins possible la transparence de la toile.

Deuxième effet. Le second effet se peint derrière la toile. On ne doit avoir, pendant l'exécution de cet effet, d'autre lumière que celle qui arrive du devant du tableau en traversant la toile. Par ce moyen, on aperçoit en transparent les formes du premier effet; ces formes doivent être conservées ou annulées.

On glace d'abord, sur toute la surface de la toile, une couche d'un blanc transparent, tel que le blanc de Clichy, broyé à l'huile et détrempé à l'essence. On efface les traces de la brosse au moyen d'un blaireau. Avec cette couche, on peut dissimuler un peu les coutures, en ayant soin de la mettre plus légère sur les lisières dont la transparence est toujours moindre que celle du reste de la toile. Lorsque cette couche est sèche, on trace les changements que l'on veut faire au premier effet.

Dans l'exécution du second effet, on ne s'occupe que du modelé en blanc et noir sans s'inquiéter des couleurs du premier tableau qui s'aperçoivent en transparent; le modelé s'obtient au moyen d'une teinte dont le blanc est la base, et dans laquelle on met une petite quantité de noir de pêche pour obtenir un gris dont on détermine le degré d'intensité en l'appliquant sur la couche de derrière et en regardant par devant pour s'assurer qu'elle ne s'aperçoit pas. On obtient alors la dégradation des teintes par le plus ou moins d'opacité de cette teinte.

Il arrivera que les ombres du premier effet viendront gêner l'exécution du second. Pour remédier à cet inconvénient et pour dissimuler ces ombres, on peut en raccorder la valeur au moyen de la teinte employée plus ou moins épaisse, selon le plus ou moins de vigueur des ombres que l'on veut détruire.

On conçoit qu'il est nécessaire de pousser ce second effet à la plus grande vigueur, parce qu'il peut se rencontrer que l'on ait besoin de clairs à l'endroit où se trouvent des vigueurs dans le premier.

Lorsqu'on a modelé cette peinture avec cette différence d'opacité de teinte, et qu'on a obtenu l'effet désiré, on peut alors la colorer en se servant des couleurs les plus transparentes broyées à l'huile. C'est encore une aquarelle qu'il faut faire; mais il faut employer moins d'essence dans ces glacis, qui ne deviennent puissants qu'autant qu'on y revient à plusieurs reprises et qu'on n'emploie plus d'huile grasse. Cependant, pour les colorations très légères, l'essence seule suffit pour étendre les couleurs.

Éclairage. L'effet peint sur le devant de la toile est éclairé par réflection, c'est-à-dire seulement par la lumière qui vient du devant, et le second reçoit sa lumière par réfraction, c'est-à-dire par derrière seulement. On peut, dans l'un et l'autre effet, employer à la fois les deux lumières pour modifier certaines parties du tableau.

La lumière qui éclaire le tableau par devant doit autant que possible venir d'en haut; celle qui vient par derrière doit arriver par des croisées verticales; bien entendu que ces croisées doivent être tout à fait fermées lorsqu'on voit le premier tableau seulement.

S'il arrivait qu'on eût besoin de modifier un endroit du premier effet par la lumière de derrière, il faudrait que cette lumière fût encadrée de manière à ne frapper que sur ce point seulement. Les croisées doivent être éloignées du tableau de deux mètres au moins, afin de pouvoir modifier à volonté la lumière en la faisant passer par des milieux colorés, suivant les exigences de l'effet; on emploie le même moyen pour le tableau du devant.

Il est reconnu que les couleurs qui apparaissent des objets en général ne sont produites que par l'arrangement des molécules de ces objets. Par conséquent, toutes les substances employées pour peindre sont incolores; elles ont seulement la propriété de réfléchir tel ou tel rayon de la lumière qui porte en elle-même toutes les couleurs. Plus ces substances sont pures, plus elles réfléchissent les couleurs simples, mais jamais cependant d'une manière absolue, ce qui, du reste, n'est pas nécessaire pour rendre les effets de la nature.

Pour faire comprendre les principes sur lesquels ont été faits et éclairés les tableaux du Diorama ci-dessus mentionnés, voici un exemple de ce qui arrive lorsque la lumière est décomposée, c'est-à-dire lorsqu'une partie de ses rayons est interceptée :

Couchez sur une toile deux couleurs de la plus grande vivacité, l'une rouge et l'autre verte, à peu près de la même valeur, faites traverser à la lumière qui devra les éclairer un milieu rouge, tel qu'un verre coloré, la couleur rouge réfléchira les rayons qui lui sont propres et la verte restera noire. En substituant un milieu vert au milieu rouge, il arrivera au contraire que le rouge restera noir tandis que le vert réfléchira la couleur verte. Mais ceci n'a complétement lieu que dans le cas où le milieu employé refuse à la lumière le passage de tous ses rayons excepté un seul.

Cet effet est d'autant plus difficile à obtenir entièrement, qu'en général les matières colorantes n'ont pas la propriété de ne réfléchir qu'un seul rayon; néanmoins dans le résultat de cette expérience, l'effet est bien déterminé.

Pour en revenir à l'application de ce principe aux tableaux du Diorama, bien que dans ces tableaux il n'y ait effectivement de peints que deux effets, l'un de jour peint par devant, et l'autre de nuit peint par derrière, ces effets, ne passant de l'un à l'autre que par une combinaison compliquée des milieux que la lumière a à traverser, donnent une infinité d'autres effets semblables à ceux que présente la nature dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ses transitions du matin au soir, et *vice versâ*. Il ne faut pas croire qu'il soit nécessaire d'employer des milieux d'une couleur très-intense pour obtenir de grandes modifications de couleur, car souvent une faible nuance suffit pour opérer beaucoup de changement.

On comprend, d'après les résultats qui ont été obtenus au Diorama par la seule décomposition de la lumière, combien il est important d'observer l'état du ciel, pour pouvoir apprécier la couleur d'un tableau, puisque les matières colorantes sont sujettes à des décompositions si grandes. La lumière préférable est celle d'un ciel blanchâtre, car lorsque le ciel est bleu, ce sont les tons bleus et en général les tons froids qui sont les plus puissants en couleur, tandis que les tons colorés restent ternes. Il arrive au contraire, lorsque le ciel est coloré, que ce sont les tons froids qui perdent de leur couleur, et les tons chauds, le jaune et le rouge par exemple, qui acquièrent une grande vivacité. Il est facile de conclure de là que les rapports d'intensité des couleurs ne peuvent pas se conserver du matin au soir; on peut même dire qu'il est physiquement démontré qu'un tableau ne peut pas être le même à toutes les heures de la journée. C'est là probablement une des causes qui contribuent à rendre la bonne peinture si difficile à faire et si difficile à apprécier, car les peintres, induits en erreur par les changements qui s'opèrent du matin au soir dans l'apparence de leurs tableaux, attribuent faussement ces changements à une variation dans leur manière de voir, tandis qu'ils ne sont souvent causés que par la nature de la lumière.

DISSOCIATION. La constitution de la mécanique chimique dont nous avons cherché à établir les principes dans l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR par les combinaisons chimiques (Complément), et dans lequel nous avons montré que les quantités de chaleur qui apparaissent lors des combinaisons fournissaient la mesure des quantités de travail qui seraient nécessaires pour séparer les atomes combinés, devait mettre sur la voie de nouvelles découvertes. Ce ne peut être inutilement qu'une vérité prend place dans la science et y remplace des notions inexactes; il doit en être ainsi de la considération de quantités de chaleur pouvant être mesurées, substituées aux notions vagues des forces d'affinité, de dissolution, des forces catalytiques, etc.

Le premier résultat de la théorie thermo-chimique a été l'assimilation des forces physiques et chimiques, de la cohésion et de la combinaison, de la chaleur latente avec la chaleur de décomposition, etc.

Dans l'ordre des découvertes positives, offrant à la science de nouveaux horizons et confirmant pleinement les nouveaux principes, il faut surtout citer les beaux travaux de MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray sur la *dissociation*, dans lesquels ils ont établi des faits du plus haut intérêt, et ont montré que c'était dans la théorie physique des vapeurs qu'on devait, par une assimilation incontestable, trouver la théorie de phénomènes inexpliqués jusqu'alors ou entièrement nouveaux. Je rapporterai ici le principe d'après une leçon faite par M. Deville devant la Société chimique.

« Je suppose, dit-il, qu'on remplisse de vapeur d'eau à 100° et 760mm de pression un espace clos qu'on refroidisse progressivement; on sait que la vapeur ne perdra pas brusquement l'état gazeux, et, par conséquent, toute sa chaleur latente, mais que sa tension diminuera peu à peu, au fur et à mesure de la condensation, sans devenir jamais absolument nulle, du moins aux températures les plus basses que nous puissions manier avec quelque facilité. A chacune de ces pressions correspondra une température fixe de condensation, température maximum à laquelle, pour une pression donnée de la vapeur, la rosée se déposera sur un corps, c'est le point de rosée ou le point d'ébullition du liquide déposé.

« Mais supposons qu'avec une atmosphère indéfinie, formée par l'air ou un gaz qui n'exercera sur l'eau aucune action chimique, nous maintenions dans le vase contenant l'eau condensée et la vapeur une pression constante de 760mm; au fur et à mesure que nous abaisserons la température, il se condensera de la vapeur, et sa pression ira en diminuant jusqu'à devenir à peu près nulle. A chaque tension de cette vapeur correspond un point de rosée ou température fixe de condensation.

« C'est la loi qui régit la condensation des vapeurs ou le phénomène inverse, l'évaporation des liquides. C'est aussi la loi qui régit la combinaison des gaz et leur décomposition.

« Si, dans tous les faits qui viennent d'être exposés, nous remplaçons le mot condensation par le mot combinaison, le mot ébullition par le mot décomposition; si, au lieu de parler d'un liquide qui donne des vapeurs, on parle d'un corps composé qui se résout en ses éléments, si on fait intervenir la chaleur latente de décomposition au lieu de la chaleur latente des vapeurs, on voit que tout est absolument parallèle dans les phénomènes qu'on attribue aujourd'hui à l'affinité et à la cohésion. La nomenclature reste la même, seulement il faut un mot nouveau qui, dans les phénomènes de la transformation partielle d'un composé en ses éléments, correspond à l'évaporation ou transformation partielle d'un liquide en vapeur.

« C'est le mot *dissociation* que j'ai fait adopter pour exprimer le fait correspondant à ce que nous appelons *évaporation*. Dans la décomposition partielle d'un corps, la tension de dissociation nous permettra d'estimer la proportion des éléments séparés au milieu d'une masse gazeuse dont une partie restera encore combinée. Dans la combinaison imparfaite, la tension de dissociation représentera également la proportion des éléments non encore combinés aux éléments déjà réunis. A la même pression, ces deux tensions seront exprimées par le même nombre, comme le point de rosée d'une vapeur et le point d'ébullition du liquide qui la fournit. C'est ainsi que j'ai pu assigner à la vapeur d'eau une tension de dissociation égale à 426 millimètres correspondant à la température de 2500°.

« Pour démontrer ces propositions, on peut employer deux systèmes d'expériences, l'un analytique dans lequel on cherche la relation entre la température et la décomposition des corps, l'autre synthétique où l'on cherche la proportion des corps qui se combinent, lorsqu'on les maintient à une température connue. »

Les expériences permettant de constater les phénomènes de dissociation consistent essentiellement en des dispositions propres à empêcher la recomposition des gaz dissociés par une élévation de température suffisante. C'est par l'emploi de tubes poreux, pour filtrer en quelque sorte l'hydrogène par diffusion, que M. Deville y parvient pour la décomposition de l'eau; c'est en mêlant le courant de gaz à dissocier qui traverse le tube chauffé avec un gaz inerte, de l'azote, qu'il y est parvenu pour l'acide carbonique et d'autres gaz. Ces expériences difficiles ne sont pas susceptibles d'une grande précision en tant que mesures, mais démontrent bien manifestement les principes établis ci-dessus, et fournissent l'explication de phénomènes mal compris avant cette démonstration.

Nous citerons surtout à cause de son importance, au point de vue de la théorie de la combustion et du chauffage, l'analyse de la dissociation de l'acide carbonique, véritable cause de l'apparition de l'oxyde de carbone, dans la plupart des cas. Nous donnerons ici la description de cette expérience.

On fait passer un courant d'acide carbonique bien pur dans un tube de porcelaine étroit rempli de fragments de porcelaine et chauffé dans un fourneau à réverbère à la plus haute température possible dans cet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

appareil (1200° à 1300°). Les gaz, à la sortie du tube horizontal, se rendent dans de longs tubes remplis d'une solution de potasse, où ils sont séparés de l'acide carbonique en excès.

Dans une expérience, l'acide carbonique sortant de l'appareil, avec une vitesse de 7 lit., 83 à l'heure, cessait d'être complétement absorbé ; il donnait en ce temps 20 à 30 centimètres cubes d'un gaz explosif dont la composition était, en moyenne :

Oxygène.	30
Oxyde de carbone	62,3
Azote.	7,7
	100,0

L'acide carbonique est donc décomposé par la chaleur en oxyde de carbone et oxygène, et si ces gaz ne se combinent pas en arrivant dans les parties froides de l'appareil, cela tient évidemment à la difficulté avec laquelle leur mélange s'enflamme, lorsqu'il est disséminé dans une grande masse de gaz inerte tel que l'acide carbonique.

Cette expérience, et les principes nouveaux sur lesquels elle repose, jette une vive lumière sur la question de la production de l'oxyde de carbone dans les foyers. Ce n'est pas à l'épaisseur de la couche de charbon qu'est due sa production, mais à la température de la combustion ; si par le fait de son peu de rapidité, du voisinage de corps froids, elle ne dépasse pas beaucoup 1000°, il ne se produira pas d'oxyde de carbone. Si, par l'effet d'une soufflerie ou d'un tirage très-actif, elle dépasse 1300°, l'oxyde de carbone apparaîtra et sera en quantité d'autant plus grande que la température sera plus élevée.

Remarquons aussi que l'oxyde de carbone se dissocie à son tour à une température plus élevée. M. Cailletet, en aspirant avec un tube les gaz d'un haut fourneau dans le voisinage de la tuyère, a constaté l'existence simultanée des gaz oxygène et oxyde de carbone dans les parties les plus chaudes du haut fourneau ; de plus, ces gaz étaient rendus presque opaques par une sorte de brouillard épais et brunâtre qui, au bout d'un temps très-long, se résout en un dépôt de charbon extrêmement divisé. La production de ce charbon est évidemment due à la dissociation partielle de l'oxyde de carbone.

De la température de combustion de l'hydrogène. Parmi les conséquences qui découlent de la constatation des phénomènes de dissociation, il en est un particulièrement important. Il s'agit de la détermination des températures de combustion qu'on avait été conduit à évaluer trop haut, en ne tenant compte que de la chaleur dégagée et des chaleurs spécifiques, comme l'a fait Ebelmen (voir l'article COMBUSTION).

Prenons comme exemple la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène ; si l'on admet que tout l'hydrogène et l'oxygène se combinent intégralement pour former de l'eau (1 gramme d'hydrogène et 8 grammes d'oxygène pour former 9 grammes d'eau), et que la chaleur dégagée dans cette combustion soit entièrement employée à échauffer la vapeur d'eau formée, on obtiendra facilement la température de combustion de l'hydrogène dans l'oxygène, c'est-à-dire la température à laquelle serait portée la vapeur d'eau dans l'hypothèse précédente.

La combustion de 1 gramme d'hydrogène dégageant 34,500 calories, la chaleur spécifique de la vapeur d'eau étant 0,475, sa chaleur d'échauffement et de vaporisation 637, on aura, pour 1 gramme d'eau :

$$637 + (x - 100)\ 0{,}475 = \frac{34{,}500}{9} = 3833.$$

Ce qui donne pour x 6,800° environ.

Ce calcul est absolument inadmissible, puisqu'il faudrait, pour qu'il fût exact, que la vapeur d'eau ne fût pas décomposée à 6,800°, sous la pression 0,760, ce qui est contraire à l'expérience que nous donnons ci-après, et il faut de toute nécessité admettre que la combustion de l'hydrogène et de l'oxygène, s'effectuant dans un espace imperméable à la chaleur, est incomplète et produit, par conséquent, une température inférieure à celle que nous avons calculée. Cette température T, qui dépend de la facilité du refroidissement, de communication de la chaleur produite, mais surtout de la pression, est nécessairement liée à la proportion des gaz par cette condition que la pression de ces gaz dans le mélange soit égale à la tension de dissociation de l'eau à cette même température T.

MM. Deville et Debray ont cherché à déterminer directement cette température de combustion au moyen du platine fondu que l'on versait dans l'eau froide. Au contact de l'eau, le platine fondu réduit en vapeur une petite quantité d'eau. Cette vapeur, fortement chauffée, se décompose partiellement et en proportion de la tension de dissociation qui correspond à la température du platine fondant. La portion dissociée, dont le volume est considérable par rapport à son poids, est brusquement refroidie, parce qu'elle tend à monter à la surface de l'eau, tandis que le platine descend rapidement, et la vitesse de ce refroidissement est telle qu'une portion des gaz échappe à la recomposition. La présence de l'azote, d'un gaz inerte, y contribue aussi utilement.

On arrive ainsi à trouver un nombre approchant de 2,500°. M. Bunsen, en opérant avec un eudiomètre portant une soupape chargée d'un poids peu supérieur à celui qui lui permettait de s'ouvrir lors de l'explosion, permettant de mesurer la pression, a trouvé, en employant divers mélanges de gaz inertes et d'oxygène et d'hydrogène, le nombre 2,800°, mais pour une pression plus élevée que la pression ordinaire.

De cette température on peut déduire la chaleur de combinaison de l'eau. La quantité de chaleur qu'absorbe 1 gramme d'eau, pour passer de 0° à 2,500°, est donnée par la formule :

$$637 + (2500 - 100)\ 0{,}475 = 1680,$$

dans laquelle 637 représente la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 gramme d'eau pour transformer le liquide en vapeur à 100°, et le terme $(2500 - 100)\ 0{,}475$, la quantité de chaleur qu'il faut donner à cette vapeur pour la porter de 100° à 2,500°.

La différence entre 3833 et 1680, c'est-à-dire 2153 calories, représente le chiffre de la chaleur latente de combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène qu'il faut ajouter à l'échauffement de la vapeur à 2500° pour la réduire en ses éléments, par chaque gramme d'eau, ou $2153 \times 9 = 19377$ par gramme d'hydrogène, et 8 grammes d'oxygène.

Acide carbonique. On peut faire pour l'acide carbonique un calcul analogue au précédent. Sachant qu'à la température de 1200° la dissociation est notable, que la quantité de chaleur dégagée par 1 gramme de charbon et 2 grammes d'oxygène, pour produire de l'acide carbonique, est de 8000 calories, et enfin que la chaleur spécifique de l'acide carbonique est égale à 0,217 ; on a, pour l'échauffement de ce gaz, pour atteindre la température limite : $1200 \times 0{,}217 = 260{,}40$ par gramme, soit 781,20 pour 3 grammes, et il reste, pour la quantité de chaleur nécessaire pour dissocier le gaz, le transformer en oxyde de carbone et oxygène libre, $8000 - 781 = 7220$ pour 3 grammes, ou 2466 calories par gramme, ou la densité étant de 1,97, 4,74 calories (de 1 kil. d'eau) par litre de gaz.

DISTILLATION (*ang.* distillation, *all.* branntweinbrennerei). La distillation a pour objet de séparer une substance volatile d'une ou plusieurs autres qui sont fixes, ou dont la température de volatilisation est plus élevée. Le cas le plus simple, celui où le corps volatil est mélangé avec des substances fixes, de l'eau par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exemple, qu'on débarrasse ainsi de tous les sels terreux qu'elle tient en dissolution, n'exige que l'emploi des appareils les plus simples que nous donnerons en premier, en étudiant le cas le plus compliqué, celui du mélange de substances inégalement volatiles, la différence des points d'ébullition ou de condensation, ce qui est le phénomène inverse, de liquides différents, étant la base de la méthode qui sert à les séparer à l'aide de la chaleur.

La distillation était pratiquée avec ardeur par les alchimistes, surtout pour préparer l'alcool dont l'action sur l'économie animale est si remarquable; aussi croyaient-ils incorporer dans l'esprit-de-vin quelque chose des propriétés du feu qui servait à le préparer. L'appareil primitivement employé, et qui se retrouve encore dans les laboratoires et les pharmacies, est l'alambic simple représenté fig. 1. Il est formé d'une cucurbite en

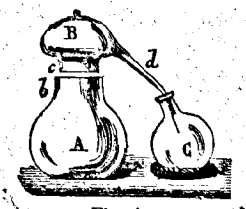


Fig. 1.

verre A, d'un chapiteau B de même matière, dont le col c entre exactement dans le col b de la cucurbite. Le joint est luté avec soin. Autour du chapiteau règne une *gouttière* intérieure qui se prolonge avec le bec *d*. Les vapeurs condensées sur le chapiteau, refroidi par des linges mouillés, descendent par la gouttière dans le bec ou tube abducteur *d*, et le liquide se rend dans un récipient ou matras C.

On recommandait autrefois de chauffer la cucurbite de cet alambic sur un bain de sable, à un feu très-doux, de manière à ralentir le plus possible la distillation, *afin d'imprégner la liqueur, l'eau ardente, des principes du feu* par un contact très-prolongé. Le même appareil servait aux rectifications.

On comprend sans peine toutes les difficultés inhérentes à une distillation opérée dans de telles conditions, quand le refroidissement de la partie supérieure était la seule cause de condensation; quelle en était la lenteur, d'autant plus qu'il fallait la répéter plusieurs fois, et combien il était impossible de se procurer ainsi des quantités notables d'eau-de-vie ou de quintessence. Toutes ces raisons conduisirent les alchimistes à rechercher des modifications par lesquelles ils pussent atteindre leur suprême désidératum, lequel était de produire la quintessence en plus grande proportion et en moins de temps, par une seule opération.

Néanmoins il faut arriver à Glauber (1650) pour l'invention du serpentin réfrigérant éloigné du foyer, permettant d'augmenter à volonté l'action de condensation. Le même chimiste entrevit aussi l'utilité de la disposition des appareils, connus aujourd'hui sous le nom d'appareils de *Wolf*, pour utiliser l'ébullition des liqueurs successives par condensation des vapeurs, disposition sur laquelle reposent principalement les progrès de la distillation, comme nous le verrons bientôt.

Vers la fin du dix-huitième siècle, l'appareil distillatoire proprement dit fut l'*alambic*, composé d'une *cucurbite* plus ou moins vaste et d'un *chapiteau*, et l'on opéra la distillation à *feu nu* ou au *bain-marie* : dans ce dernier cas, la cucurbite se trouvait plongée dans un autre vase contenant de l'eau, et seul exposé à l'action du feu. A cette époque, l'alambic à feu nu se trouvait à peu près partout construit comme il est indiqué par la figure 2. A est la cucurbite, d'un diamètre un peu plus grand au sommet qu'à la partie inférieure. Cette pièce était munie, au bas, d'un *tube de vidange* ou *dégorgeoir d*, à robinet, pour la sortie des liquides épuisés; elle portait, en haut, une *douille* pour l'introduction

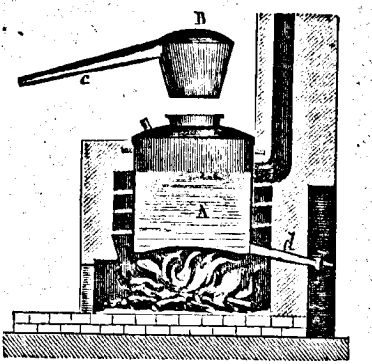
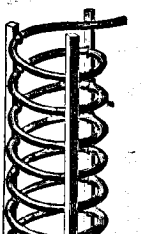


Fig. 2.

des liquides, et le *chapiteau* B, moins dilaté qu'auparavant, s'adaptait avec l'orifice du bouilleur. Chaptal fit faire le fond de la cucurbite concave du côté du foyer, pour obtenir une meilleure utilisation de la chaleur, et cette forme, dont l'utilité fut bientôt reconnue, continua d'être adoptée par la plupart des distillateurs. Autant que possible, on construisit les fourneaux de manière à obtenir la circulation de l'air chaud et de la flamme tout autour de la chaudière, au moins jusqu'au niveau occupé par le liquide, afin d'obtenir une surface de chauffe plus considérable et une action plus rapide.

La gouttière du chapiteau fut supprimée et l'on cessa d'éloigner cet organe de la cucurbite par un tube ascenseur très-allongé, comme on le faisait auparavant. On le rapprocha, au contraire, du bouilleur, auquel il fut adapté par un collet assez court. La suppression de la gouttière et du réfrigérant du chapiteau fit placer le bec *c* de sortie de vapeur au sommet de ce même chapiteau et de côté, en lui donnant toutefois une inclinaison suffisante. Ce bec s'adaptait au tube serpentin du réfrigérant, que la figure 3 représente, hors du vase où il doit être placé et complétement immergé dans l'eau, le diamètre du serpentin allant en décroissant jusqu'à son extrémité inférieure, laquelle était de moitié plus petite (en diamètre) que l'extrémité supérieure.


Fig. 3.

Le nombre des tours de spire du serpentin fut porté à 8 ou même 9.

L'eau de réfrigération, aussi froide que possible, entrait dans la tonne du serpentin par le fond, à l'aide d'un tube d'alimentation, et l'eau chaude sortait en haut par un trop plein.

La liqueur distillée était reçue dans un récipient en bois, dont la forme ne présente plus aujourd'hui aucun intérêt et que l'on nommait *bassiot* ou *buguet*...

Avec cet outillage, on obtenait d'abord par la distillation des liqueurs plus ou moins faibles que l'on nommait *les petites eaux* ; ces petites eaux, soumises à une distillation nouvelle, à une rectification, dans le même appareil, formaient ce qu'on appelait *la repasse*, qui donnait un produit plus fort. Il fallait souvent plusieurs repasses pour faire arriver tout le produit à ce degré de force alcoolique, sorte d'étalon commercial, que l'on nommait *preuve de Hollande* et qui répondait à 18°,5

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'échelle de Cartier, ou à 48 degrés centésimaux environ. On voit clairement les difficultés et les dépenses considérables de combustible et de main-d'œuvre que rencontrait le praticien pour transformer ses eaux-de-vie, par des repasses ou rectifications successives, en alcools ou esprits d'une force déterminée.

Le grand progrès accompli par Adam en 1801, et qui conduisit à créer des appareils de distillation si économiques, repose sur l'application industrielle de l'appareil connu dans les laboratoires sous le nom d'appareil de Wolf, et qui utilise le phénomène capital de l'ébullition successive des liqueurs alcooliques, dont le point d'ébullition est d'autant moins élevé qu'elles sont plus riches en alcools.

L'appareil d'Edouard Adam décrit en détail au *Complément* (art. DISTILLATION), et représenté figure 4,

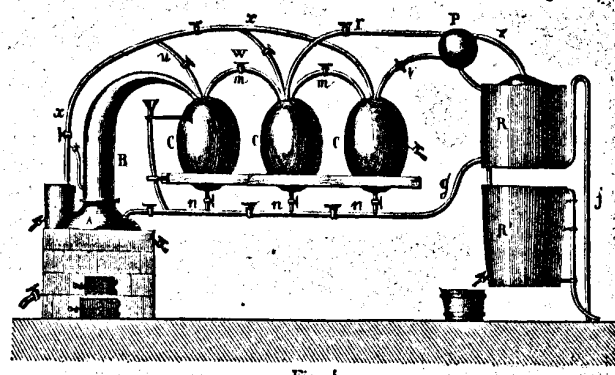


Fig. 4.

La teneur alcoolique d'un liquide augmentant, dans une proportion très-rapide, au fur et à mesure que le point d'ébullition s'abaisse, comme le montre le tableau ci-joint, il s'ensuit qu'à l'aide d'une série de vases condenseurs successifs, les produits de la distillation venant de l'alambic sont d'abord condensés dans le premier vase; mais celui-ci, s'échauffant peu à peu, acquerra bientôt une température normale, inférieure à celle de l'alambic, suffisante pour faire passer dans le second condenseur un liquide alcoolique d'une teneur plus considérable, et ainsi de suite. En définitive, on obtiendra dans les divers vases, d'une manière continue, des produits de plus en plus riches en alcool.

Voici le tableau, dû à Grœning, des points d'ébullition des liqueurs alcooliques, en raison de leur composition, et la teneur alcoolique de la vapeur qui se dégage.

LIQUEURS ALCOOLIQUES.

TEMPÉRATURE de L'ÉBULLITION.	TENEUR ALCOOLIQUE	
	DU LIQUIDE en ébullition pour 100.	DE LA VAPEUR qui se dégage pour 100.
76°,7c	92	93
77°,7c	90	92
77°,8c	85	91
78°,2c	80	90 1/2
79°,0c	70	90
79°,2c	70	89
80°,0c	65	87
81°,3c	50	85
82°,7c	40	82
83°,9c	35	80
85°,0c	30	78
86°,3c	25	76
87°,7c	20	71
88°,9c	18	68
90°,0c	15	66
91°,3c	12	61
92°,5c	10	55
93°,9c	7	50
95°,0c	5	42
96°,3c	3	36
97°,6c	2	28
98°,9c	1	13
100°,0c	0	0

révolutionna la distillation en utilisant ces richesses croissantes des vapeurs. On comprend aisément à première vue que, plus un de ses condensateurs intermédiaires sera éloigné du foyer ou du bouilleur, plus le liquide qui s'y condensera sera soumis à une action réfrigérante. Plus, au contraire, le milieu donné sera rapproché du foyer, moins le liquide condensé renfermera d'alcool et plus il contiendra proportionnellement d'eau de condensation.

Les œufs ne sont que des vases de Wolf et les robinets et tuyaux divers servent à modifier à volonté le chemin suivi par les vapeurs. Cet appareil n'a plus qu'un intérêt historique, et il est inutile de montrer ses défectuosités; il vaut mieux nous arrêter sur ceux qui représentent le dernier progrès de la distillation, dans lesquels est venue s'ajouter, au système des condensations successives, l'application de la méthode de déplacement, pour la bonne utilisation de la chaleur sur les appareils de Laugier et surtout sur celui de Cellier-Blumenthal.

Nous préciserons d'abord, d'après M. Basset (*Guide du fabricant d'alcools et du distillateur*), les conditions de bon travail des appareils de distillation.

Conditions de la distillation. La distillation peut se faire à *feu nu* ou *à la vapeur*. L'application directe du calorique présente des inconvénients de plus d'une sorte. Sans parler de l'usure plus rapide des appareils exposés au contact du feu, de la difficulté que l'on trouve à régler convenablement le degré de chaleur nécessaire à un bon travail, de l'excès de dépense qui s'ensuit, nous nous bornerons à rendre palpables les objections que soulève l'emploi du feu nu au point de vue de la qualité des produits.

Un liquide ou une matière pâteuse semi-fluide, après l'action du ferment, est loin de contenir seulement de l'eau et de l'alcool. On y trouve non-seulement des sels, mais encore des matières grasses, des substances azotées, du ferment plus ou moins altéré, des produits dérivés de l'alcool, tels que l'acide acétique, des produits de l'altération du sucre, comme l'acide lactique, l'acide butyrique, du glucose non altéré, des huiles essentielles et même *quelquefois* de la glycérine, de l'acide succinique, etc. Or, il est évident que toutes ces matières, éminemment altérables sous l'intervention même d'actions très-faibles, ne peuvent supporter sans décomposition l'influence d'une température élevée. L'action d'une chaleur notable déterminera la formation de composés divers, de produits dérivés très-variables, d'essences plus ou moins désagréables, dont plusieurs passeront dans les produits et en modifieront

EFERUS - Recherche & Classification numérique

complétement l'arome et le goût. Or, quoi qu'on fasse, les parois métalliques en contact avec le feu acquièrent une température très-élevée, au moins dans les points qui ne sont pas recouverts de liquide, et cette température amène les modifications les plus complexes dans la nature des matières volatilisables.

En transmettant, au contraire, le calorique au liquide par de la vapeur circulant dans un serpentin, on limite beaucoup le maximum de température, on diminue la somme de ces décompositions et de ces altérations dans les limites du possible, d'autant plus qu'on n'emploie que la quantité de vapeur strictement nécessaire, qu'on peut la régler à volonté selon les besoins, et que l'on n'a plus à craindre les erreurs dues à la négligence ou à la paresse. Pour se convaincre de la réalité de ces différences, il suffit de goûter le produit de la distillation d'un vin donné par un appareil à feu nu et le produit du même vin obtenu par la distillation à la vapeur, et cette simple vérification suffira pour enlever tous les doutes, s'il était possible d'en concevoir.

L'essentiel de tout appareil distillatoire repose dans trois organes : un vase bouilleur, une colonne remplaçant, dans les appareils modernes, les œufs ou vases multiples des anciens appareils, et un réfrigérant dans lequel les vapeurs se condensent.

La fonction du bouilleur sera utilement remplie par deux vases, si l'on veut rendre l'opération continue. En effet, le bouilleur le plus rapproché de la colonne faisant fonction de bouilleur proprement dit ; le second, plus éloigné, agira comme épuiseur, en faisant passer dans le précédent le reste de l'alcool qui peut être contenu dans le liquide déjà préalablement soumis à l'ébullition.

La colonne, composée d'un nombre plus ou moins considérable de vases ou de milieux, sera munie de tubes de rétrogradation intérieurs ou extérieurs. Cet organe agit spécialement en *analysant* les vapeurs, c'est-à-dire en séparant, de proche en proche et à mesure qu'elles s'éloignent de la source de chaleur, les vapeurs alcooliques des produits aqueux ou autres produits condensables. Or, cette séparation ne peut avoir lieu que par l'action progressive d'un refroidissement dont le terme est égal à + 78°,4, c'est-à-dire à la température de la vaporisation de l'alcool.

Il y aura avantage à refroidir le réfrigérant avec des vinasses fermentées, et le courant du liquide froid doit être de sens contraire de celui des vapeurs chaudes.

On peut former le réfrigérant de deux parties ou même de deux vases, dont le plus rapproché de la colonne sert à échauffer le vin ou moût fermenté pendant que le plus éloigné est refroidi par un courant d'eau continu.

Enfin, l'opération peut être rendue continue ou intermittente; elle peut être continue quant à l'introduction du moût, et intermittente quant à l'écoulement de la vinasse épuisée d'alcool. Elle peut même être continue sous les deux rapports.

Nous allons examiner ces différents points en prenant pour exemple un bon appareil connu sous le nom d'*appareil de Laugier*, encore souvent employé.

Appareil Laugier. Cet appareil, représenté en coupe par la figure 5, est continu pour l'introduction du vin fermenté, et intermittent pour la sortie de la vinasse épuisée. Il se compose de quatre vases : deux chaudières, dont l'une est un bouilleur proprement dit, et l'autre fait fonction d'épuiseur, un vase rectificateur faisant fonction de chauffe-vin comme le suivant, et un réfrigérant à serpentin.

La première chaudière A' (l'épuiseur), si elle n'est pas chauffée à feu nu, reçoit la vapeur par un tube qui sert d'entrée à un serpentin en hélice, à vapeur libre ou confinée. La chaudière A (le bouilleur) est placée de manière à avoir son fond au même niveau que la partie supérieure de A, afin que les liquides puissent être dirigés aisément

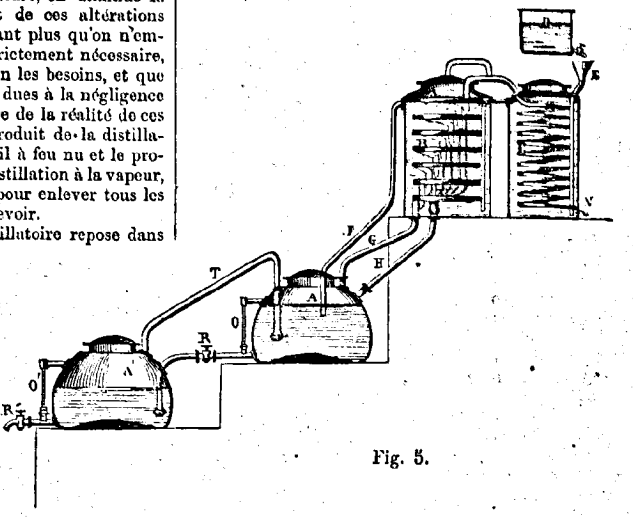


Fig. 5.

par le robinet de communication qui existe entre ces deux chaudières.

De la chaudière A' part un tube T, qui porte la vapeur produite jusque dans le fond de la chaudière A; un autre tube G part de celle-ci pour conduire la vapeur vers le troisième vase B ou rectificateur. Là, ce tube se divise en sept tronçons d'hélice, dans lesquels les vapeurs aqueuses se condensent avec un peu d'alcool. La portion condensée descend, par la partie inférieure des tronçons, vers un tube commun H, qui la ramène dans la chaudière A, tandis que la vapeur enrichie, continuant sa route, passe enfin dans le serpentin du réfrigérant, où elle se condense et sort par le tube N, pour être reçue dans un récipient.

La marche de l'appareil est très-facile à concevoir. On ouvre le robinet du réservoir D, qui contient le moût fermenté, et le liquide s'introduit dans le réfrigérant par l'entonnoir E; de là il passe dans le rectificateur B, qu'il remplit également, puis, par le tube F, dans la chaudière A.

Aussitôt que le liquide est parvenu à la première marque en haut de l'indicateur de niveau O, c'est-à-dire lorsque A est presque rempli, on ferme momentanément le robinet d'écoulement du réservoir, puis, à l'aide du robinet R intermédiaire entre A et A', on fait arriver en A' le liquide de A, jusqu'à ce que la chaudière A' soit remplie à peu près aux deux tiers.

On referme alors le robinet intermédiaire, et l'on introduit la vapeur. Le liquide entre en ébullition, et on l'y maintient jusqu'à ce qu'il ait perdu le tiers ou la moitié de son volume, selon la richesse du moût, dans la chaudière A'.

A ce moment, on fait écouler la vinasse contenue en A' par le robinet de décharge R', qui y est adapté, puis on le ferme, et l'on ouvre le robinet de communication entre les deux chaudières pour que A' se remplisse, comme auparavant, aux dépens de A. On referme alors ce robinet intermédiaire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce qui précède est, en quelque sorte, la mise en train de l'opération.

On ouvre alors le robinet du réservoir D d'une certaine ouverture calculée, et on ne le ferme plus. Lorsque A est rempli aux deux tiers, on fait évacuer la vinasse de la chaudière A par le robinet R, puis on le referme, et, à l'aide du robinet intermédiaire, on fait arriver en A' une quantité suffisante du liquide de A pour remplir cette chaudière aux deux tiers; on ferme le robinet intermédiaire, et l'opération continue de la même façon, en vidant A', lorsque A est rempli aux deux tiers, et faisant passer ensuite en A' le liquide de A, disposition assurément fort ingénieuse.

Appareil Cellier-Blumenthal. — La figure 6 donne une vue de l'appareil Cail, c'est-à-dire de l'appareil de Cellier-Blumenthal, modifié, d'abord par Ch. Derosne, et ensuite par les ingénieurs de la maison Cail.

L'appareil de Cellier-Blumenthal, qui marche avec continuité sans exiger presque de surveillance, donne de l'alcool à un degré voulu quelconque, enfin dépense très-peu de combustible. Cette dépense qui s'élève souvent dans les alambics discontinus jusqu'à trois fois le poids de l'alcool trois-six ou à 33° Cartier obtenu, n'est, dans les appareils construits d'après le système Cellier-Blumenthal, que le quart environ du poids de cet alcool, c'est-à-dire plus de dix fois moins considérable.

La chaudière A est un épuiseur, que l'on chauffe à feu nu ou à la vapeur. B est le bouilleur, dans lequel le col de cygne C, terminé en pomme d'arrosoir, apporte la vapeur presque épuisée venant de A. Au-dessus de B est placée une colonne distillatoire D; celle-ci se continue par un rectificateur E, qui reçoit seulement les produits de la condensation et de la rétrogradation par ses tubes de trop-plein intérieurs et par les rétrogradateurs *f*, *g*. La lanterne de la colonne est terminée par un tube abducteur qui porte les vapeurs mixtes dans un serpentin en F. Ce serpentin est plongé dans le vin à distiller qui y pénètre par le tube *m*, venant du réfrigérant G. Trois bouchons *l l' l''* servent au nettoyage et à la vérification de l'intérieur de F. Une clef à tige *n* permet de nettoyer le tube *m*. Le serpentin porte, à la partie la plus déclive de chaque spire, un tube de retour ou de rétrogradation, qui se réunit à un collecteur, dont le contenu est reporté au rectificateur E par le rétrogradateur *g* ou par *f*.

G renferme seulement un serpentin, dans lequel les vapeurs condensables entrent par le tube *k*, lequel n'est qu'un prolongement du serpentin de F. Le vin, contenu dans le réservoir H, s'écoule dans le régulateur I par le robinet automoteur *t*, passe par le robinet *v* dans le tube d'alimentation *o* et pénètre dans le vase G. Ce vase G est muni d'une vidange *v* inférieure, et l'alcool condensé sort par l'éprouvette *e*.

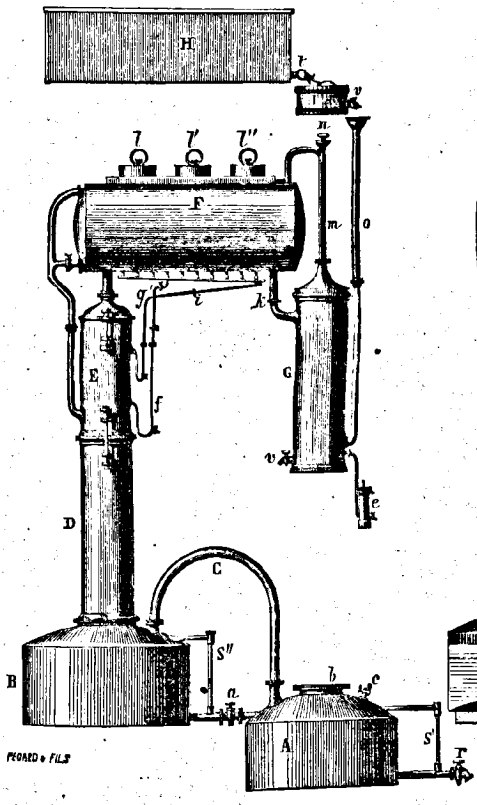


Fig. 6.

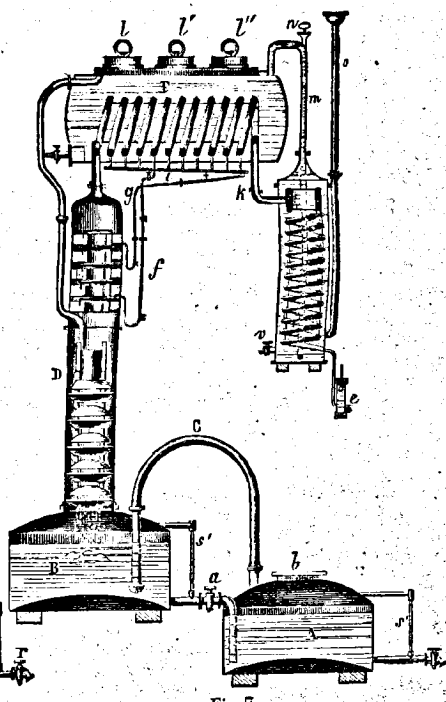


Fig. 7.

On voit tout d'abord que, dans cet appareil, la réfrigération se fait par le vin seul, qui, en quantité égale à 5 ou 6 fois l'alcool à produire, suffit pour cet effet.

La figure 7 donne la coupe de l'appareil Derosne et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en fait voir les détails intérieurs, dont la seule inspection suffit à faire comprendre le travail que nous allons décrire.

Soit donc le vin porté en H par une pompe ou un monte-jus. On ouvre le robinet *t*, le vin coule en I. On ouvre le robinet *v* de I et le vin descend par *o* dans l'intérieur de G. Lorsque celui-ci est rempli, le vin coule dans la partie D de la colonne qui est destinée à produire la distillation. On peut abréger le temps de la mise en train, en ne remplissant pas d'abord le vase F, et en faisant passer aussitôt le vin en D par le robinet inférieur du tube de communication établi entre F et D. On ferme ce robinet lorsque l'on commence le chauffage et la capacité de F se remplit pendant que s'opère la distillation du vin contenu en A.

Suivons, cependant, notre marche régulière, et ne regardons le robinet dont nous parlons que comme destiné à la vidange ultérieure de F. Le vin, descendant par D, arrive en B, dans le bouilleur, passe par *a* dans l'épuiseur A, dont il remplit la capacité aux deux tiers ou aux trois quarts. On ferme *a* et l'on ouvre la vapeur pour commencer la distillation en A. On laisse arriver le vin en B, pendant que les vapeurs, venant de A, barbotent dans le liquide. Lorsque B est plein au même niveau que celui qui a été adopté pour A, on supprime l'arrivée du liquide, jusqu'à ce que le vin de A soit complétement épuisé, et c'est en ce moment que l'on peut achever de remplir F, si on ne l'a pas fait d'abord, ce qui paraîtrait être préférable, afin de n'avoir jamais aucune portion du serpentin de F hors du liquide.

Les vapeurs de A, arrivant en B, portent à l'ébullition le liquide du bouilleur, qu'elles enrichissent de leur produit alcoolique. Les vapeurs mixtes s'élèvent en D, où elles rencontrent une série de calottes alternativement concaves et convexes, disposées comme l'indique la figure 8, dont l'objet est de faire obstacle à la libre ascension des vapeurs et de forcer la condensation des parties les plus aqueuses.



Fig. 8.

Les vapeurs passent ensuite en E par des cheminées recouvertes chacune par une calotte dont les bords plongent dans le liquide de condensation, la hauteur du tube du trop-plein étant suffisamment grande. Il en résulte que les vapeurs, arrivant par chaque cheminée sous la calotte du milieu correspondant, se divisent et sont forcées de pénétrer par barbotage dans le liquide de condensation ou de rétrogradation et qu'elles s'y lavent, ce qui est une des bonnes conditions du travail distillatoire. Mais il y a pression dans cette partie de l'appareil, et c'est le seul défaut de cette colonne.

Chacune des spires du serpentin de F fait office d'un milieu condenseur et correspond à un tube de rétrogradation.

Lorsque le vin de A est épuisé, on ouvre la vidange *r* en A, et l'on fait écouler le liquide épuisé contenu dans cette chaudière. Ensuite on ferme *r* et l'on ouvre *a*, en sorte que le liquide à demi épuisé de B passe en A. On referme *a* et l'on introduit le vin par *o*, de manière que le remplissage de B, à la ligne de travail, corresponde avec l'épuisement en A. A partir de ce moment, on ne ferme plus l'alimentation, en sorte que la continuité quant au vin se trouve nettement établie, pourvu qu'on règle l'introduction, une fois pour toutes, de façon à faire coïncider le remplissage en B et l'épuisement en A.

En définitive, on voit que, dans cet appareil modèle, les vapeurs alcooliques cheminent toujours en sens contraire de la liqueur distillée, de manière à ce que celle-ci profite le mieux possible de toute la chaleur qu'abandonnent les vapeurs en se condensant. D'un autre côté, l'appareil étant disposé de manière à ce que l'on puisse ramener, dans la colonne de rectification, l'alcool qui n'a pas le degré voulu, on évite ainsi les rectifications successives que l'on était obligé de faire dans les anciens appareils. Ces causes réunies, ainsi que la continuité du travail, expliquent l'énorme économie de combustible que réalisent les appareils fondés sur le système Cellier-Blumenthal.

Dimensions des bouilleurs et des serpentins. La grandeur de toute chaudière, l'étendue des surfaces de chauffe doit être calculée en raison de la quantité de vapeur à former dans un temps donné, de la température d'ébullition du liquide, de sa chaleur latente de vaporisation et de sa chaleur spécifique, ainsi que de celle du résidu. La quantité de combustible à brûler, déduite de ces éléments, entraîne les dimensions convenables de la cheminée et de la grille.

Appliquons les principes qui ont été établis dans les divers articles consacrés à l'emploi de la chaleur dans les arts aux questions qui se rapportent à la distillation.

Nous donnerons deux exemples de calcul pour des cas usuels.

1er *exemple.* — Soit à vaporiser, en une heure, 150 kilog. d'alcool pur, à la température primitive de 0°.

La température d'ébullition de l'alcool, sous la pression atmosphérique 0m,76 étant 78°, 40, sa capacité spécifique 0,622, et sa chaleur latente de vaporisation 207, la quantité de chaleur, pour en vaporiser 1 kilog., est :

$$78{,}40 \times 0{,}622 + 207 = 256 \text{ calories},$$

c'est-à-dire les 4/10 environ de celle nécessaire pour vaporiser 1 kilog. d'eau; 1 kilog. de houille vaporisant, dans la pratique, 6 kilog. d'eau, vaporisera donc au moins (à une plus basse température) $6 \times \frac{10}{4} = 15$ kilog. d'alcool.

Un mètre carré de surface de chauffe, suffisant pour vaporiser 15 à 20 kilog. d'eau, il suffira donc pour $15 \times \frac{10}{4} = 38$ à $20 \times \frac{10}{4} = 50$ kilog. d'alcool. En admettant 38 kilog., les 150 kilog. d'alcool exigeront donc $\frac{150}{38} = 4^{m},95$ de surface de chauffe, et la quantité de houille brûlée sera $\frac{150}{15} = 10$ kilog.

On suppose ici que l'alcool n'est chauffé que par l'action directe de la combustion, tandis que, dans les alambics, la liqueur à distiller est amenée à une température très-peu inférieure à son point d'ébullition par la condensation des vapeurs, c'est-à-dire que la quantité $78{,}40 \times 0{,}622 = 49$ calories n'exige aucune dépense de combustible. Dans la pratique donc, les chiffres ci-dessus doivent être modifiés dans le rapport de $\frac{49}{256} = 0{,}19$, c'est-à-dire qu'un kilog. de houille vaporisera 17k,85 d'alcool, qu'une surface de chauffe de 4 mètres carrés sera suffisante pour évaporer en une heure 150 kilogrammes d'alcool en brûlant 8k,01 de houille.

2e *exemple.* — Soit à distiller en une heure 500 litres de vin dans lequel les quantités d'alcool et d'eau sont dans le rapport de 1 à 22,80, ce qui est la condition de la plupart des vins que l'on *brûle* pour fabriquer de l'eau-de-vie. L'expérience prouve que, pour obtenir presque tout l'alcool, il faut vaporiser les 0,22 de la masse totale, ce qui donne 110 litres d'une liqueur composée de 21 litres d'alcool et 80 litres d'eau.

La quantité de houille à brûler est alors :

0,792 étant la densité de l'alcool pur; pour vaporiser

$$0{,}79 \times 21 = 16{,}63 \text{ kilog. d'alcool :}$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La dépense de la houille est : $\frac{16,63}{15} =$ 1k,11

Pour vaporiser les 89 k. d'eau. $\frac{89}{6} =$ 14,83

Pour élever à 100° les 390 kil. de résidu (1 kil. de houille produisant pratiquement 6 kil. de vapeur ou donnant 650 × 6 calories utilisées). . . . . $\frac{100 \times 390}{650 \times 6} =$ 10,00

Total 25k,94

Nous avons vu plus haut, en parlant de l'alcool pur, que la condensation des vapeurs par le liquide frais procurait une économie de 0,19 ; il est facile de reconnaître, par le second exemple, que l'économie devient bien plus considérable quand on opère sur des substances moins pures, devant laisser un grand résidu. Il est évident qu'en faisant marcher le liquide en sens inverse des vapeurs pour les condenser, comme dans les appareils qui viennent d'être décrits ci-dessus, on économisera la chaleur nécessaire pour chauffer le résidu, soit, dans l'exemple ci-dessus, 10 kilog., plus la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer jusque vers 90 degrés l'eau vaporisée, soit 1/7 de 650 degrés, soit 2k,10 ; l'économie sera donc de 12k,10, soit près de 50 p. 100 de la chaleur qu'il faudrait dépenser, si on opérait la condensation avec de l'eau qui serait rejetée au dehors, comme on le faisait autrefois.

Condensation des vapeurs. — On peut admettre : que, pour une même vapeur, la quantité condensée par une même surface est proportionnelle à la différence entre la température de la vapeur et celle de l'eau qui est chauffée, et sert de réfrigérant. On peut admettre que, pratiquement, un mètre carré de cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur condense par heure plus de 100 kil. de vapeur à 100°, par contact de l'eau à 20 ou 25 degrés.

Des expériences directes ont donné une condensation de 2 kilogrammes par chaque degré de différence de température.

Il est donc facile de calculer la quantité de vapeur qui sera condensée pour un excès de température donné.

Des progrès possibles dans la construction des appareils de distillation. Etablis d'après les principes de la science, les appareils à colonne sont à bien peu près parfaits, et tous les alambics que l'on construit aujourd'hui sont, en réalité, peu différents les uns des autres. On cherche toutefois naturellement à les améliorer encore, surtout en vue d'applications spéciales, par exemple, pour la fabrication des produits chimiques, qui fait aujourd'hui grand usage des appareils de distillation, notamment pour l'extraction de l'ammoniaque et de la benzine. Pour analyser les progrès possibles, comprendre les modifications qu'il peut être utile d'apporter à quelqu'une des parties des appareils à colonne pour des usages spéciaux, nous emprunterons encore l'excellente étude ci-après au grand ouvrage de M. Basset.

Dans tout appareil à colonne, on distingue une partie qui fait fonction de *bouilleur* ou d'*épuiseur*, une portion destinée à *analyser les vapeurs*, un *réfrigérant* pour condenser les vapeurs et des *organes de rétrogradation*.

Nous décrirons en détail un *type idéal*, représenté par la figure 9 et qui est une sorte de modèle sur lequel on peut se baser pour étudier toutes les colonnes possibles, pour établir la valeur et l'utilité des modifications faites ou à faire, et pour comprendre le jeu et le fonctionnement des engins de ce genre.

Le cylindre A est un *bouilleur* dans lequel la vapeur pénètre par le robinet *s*, amenée de la prise générale par le tube *xx*. Un tube *r* sert pour le retour de la vapeur condensée qui va se perdre dans le caniveau V, si l'on n'a pas à l'utiliser. Cette seule disposition indique que la vapeur agit par un serpentin. On pourrait aussi

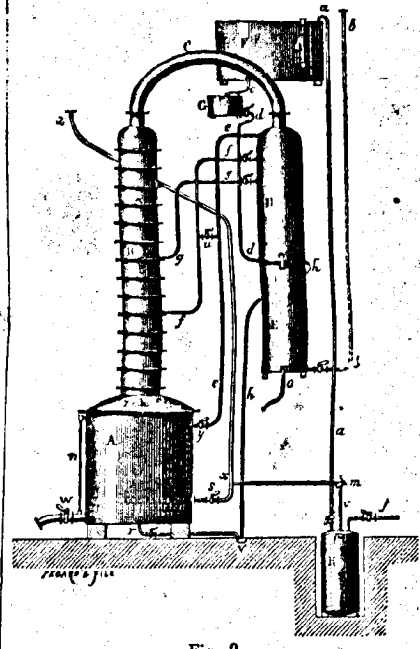


Fig. 9

employer le barbotage, mais nous supposons un type aussi régulier que possible.

La colonne B est composée de quatorze plateaux, en y comprenant la lanterne, et nous admettons que les dispositions intérieures ont été bien comprises. Le diamètre de cette colonne est le tiers de celui de la chaudière A, ce qui est la condition moyenne d'un bon travail. Le col de cygne C, pour porter à la condensation les vapeurs mixtes produites en A et B, offre un diamètre égal au tiers de celui de B. Le réfrigérant a été calculé pour refroidir au moins les quatre cinquièmes des vapeurs dans sa partie D, qui fait fonction de chauffe-vin condenseur, et qui est séparée par un diaphragme de la portion inférieure E, qui est le réfrigérant proprement dit. Ce réfrigérant reçoit, au besoin, de l'eau froide d'un réservoir supérieur par le tube à robinet *bb*, dont on règle l'ouverture selon l'échauffement du liquide qui sort par le trop-plein *h* et va couler dans le caniveau V.

H est un monte-jus qui pourrait être remplacé par une pompe et un récipient à air libre, mais qui est d'un usage plus commode. Le vin arrivant en H par *j*, et venant des cuves de fermentation, on ouvre le robinet à air *i*, puis, lorsque le monte-jus est plein, ce qui est indiqué par le liquide qui se montre en *i*, on referme le robinet *j* et le robinet *i* ; on ouvre le robinet du tube ascenseur *a* ; puis, modérément et progressivement, le robinet *m* de la prise de vapeur *v*. La vapeur comprime le vin en H, et le fait monter par *a* dans le réservoir alimentaire F, sur lequel un indicateur *t* marque le niveau du liquide.

Le vin passe dans le régulateur à niveau constant G par le tube *c* à robinet automoteur.

Lorsque l'on ouvre en entier le robinet du tube ali-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mentaire *dd*, le vin pénètre dans le condenseur D du réfrigérant, remplit toute cette capacité D de bas en haut, et sort par le tube *ee* pour se diriger vers A. On l'introduit dans ce cylindre par le robinet *y*, et aussitôt que l'indicateur *n* marque que le liquide recouvre le serpentin *sr*, on ouvre le robinet *s* pour introduire la vapeur en A.

La vapeur s'élève dans les cases ou milieux de la colonne, s'y dépouille de l'eau et des vapeurs étrangères, en raison des circonstances du travail, et la vapeur mixte renfermant tout l'alcool avec plus ou moins d'eau, passe en D par C. Elle se condense en partie, en cédant son calorique au vin de D. Si l'on tient à obtenir le maximum de force alcoolique, on ouvre le robinet du tube de rétrogradation *ff*, ou encore celui du second tube *gg*, et les vapeurs trop peu alcooliques, condensées dans la partie supérieure de D, retournent à la colonne B, tandis que les vapeurs plus riches continuent leur marche vers E et sortent en *o* à l'état liquide. On reçoit l'alcool dans une éprouvette, où un alcoomètre en indique le degré, et on le dirige vers un récipient.

Lorsque le cylindre A est rempli à une hauteur suffisante, ce qu'on reconnaît à l'indicateur *n*, on ferme les robinets *g* et *d* et le liquide cesse d'arriver en D; mais comme il produit des vapeurs qui pourraient créer des fuites, on ouvre le robinet *u* entre le tube *ee* et le rétrogradateur *ff*, et ces vapeurs ont un chemin pour aller à la colonne et se joindre aux produits de la distillation. A ce moment, il convient encore d'augmenter l'arrivée de l'eau en *b*, de manière qu'elle conserve une température aussi basse que possible en sortant en *h*.

L'opération est terminée, lorsque le produit, sortant en *o*, n'est plus que de l'eau...

L'exposé qui précède renferme tout ce qu'il y a d'essentiel dans la conduite d'un appareil distillatoire à colonne, et il suffit de bien posséder cette manœuvre pour pouvoir diriger un appareil quelconque de ce genre, pourvu que l'on soit au courant des modifications inhérentes au système adopté, lesquelles, d'ailleurs, ont peu d'importance par rapport à la conduite des machines.

Ces modifications peuvent être prévues, à très-peu près, avec un peu de réflexion. Il suffit, pour cela, de prendre successivement les divers organes et de rechercher dans quelles conditions il est possible de les placer.

Modifications du bouilleur A. — 1° Le *bouilleur* A peut être utilisé seulement comme bouilleur et ne plus être astreint à la fonction d'épuiseur qui fait perdre un temps considérable. La principale méthode applicable pour cela consiste à ajouter une deuxième chaudière A', qui accomplisse le rôle d'épuiseur, pendant que l'on fera agir A comme bouilleur. On aura alors la disposition de la figure 10, analogue à celle des deux chaudières de Laugier. Un appareil ainsi modifié sera intermittent quant à la sortie de la vinasse épuisée et continu quant à l'entrée du vin.

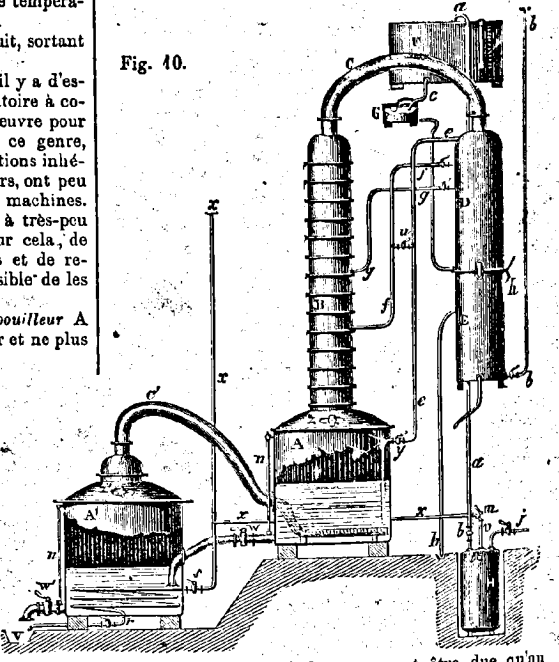
Les circonstances précédentes étant bien saisies, on voit qu'il est très-aisé de modifier encore le système. Et d'abord, dans le but de produire des quantités considérables avec une seule colonne et un seul réfrigérant, on peut augmenter la section de la colonne B, du condenseur D et du réfrigérant E, en raison de la masse à obtenir, puis établir autour de A une série de chaudières épuiseuses A' chauffées directement, en employer cinq par exemple.

Pendant que la distillation se produit en A^1, on remplit A^2, puis A^3, A^4, et l'on fait la vidange de A^1 pendant que A^5 est en remplissage. A^2 se vide quand on remplit de nouveau A^1, en sorte que chaque épuiseur est en travail pendant le temps employé à en remplir trois. Le bouilleur A ne sert, en quelque sorte, que d'intermédiaire aux liquides venant de D et aux vapeurs émises par les épuiseurs.

En admettant 2 mètres de surface de chauffe pour les serpentins des épuiseurs chauffés à la vapeur, chacun de ces vases peut vaporiser très-largement, en une heure, tout l'alcool contenu dans 1000 litres de vin, à 5 pour 100, et produire 100 litres de phlegmes à 50 degrés. Le remplissage étant réglé à une demi-heure, la durée de l'épuisement est d'une heure et demie pour chaque vase, ce qui permet de porter le volume du liquide à 1 500 litres et d'obtenir 150 litres de phlegmes, au minimum, soit 18 hectolitres en vingt-quatre heures, et 90 hectolitres pour l'ensemble du système.

Modifications de la colonne B. — Normalement, la colonne est une série de vases de Wolf, disposés verticalement et placés les uns sur les autres. Chacun de ces vases est ouvert par le haut, et il est adapté au suivant par des brides qui relient les collets de deux cases consécutives, après qu'on a interposé une garniture. En s'élevant par la cheminée centrale *n*, les vapeurs rencontrent un milieu plus froid et, une partie de ces vapeurs se condensant, le liquide s'accumule peu à peu dans le fond de la case, en *oo*, jusqu'à un niveau déterminé par l'élévation du trop-plein *t*, par lequel il s'écoule ensuite, en *rétrogradant* vers le bouilleur. Dans cette disposition normale, on sent que la condensation qui se fait dans chaque case, à mesure que les vapeurs s'éloignent du

Fig. 10.



foyer conducteur de chaleur, ne peut être due qu'au refroidissement de la case, à l'abaissement de température du milieu, et que le libre passage des vapeurs détermine bientôt une sorte d'équilibre de température, par suite de la conductibilité des métaux et de leur faculté d'absorption. La première pensée qui devait venir à l'esprit était donc de *contrarier* ce passage des vapeurs en disposant en *chicane* la cheminée de deux cases consécutives (fig. 11).

Cette idée était déjà remarquable en ce sens qu'elle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tendait à placer, sur le passage de la vapeur mixte, des causes de réfrigération plus actives et, par conséquent,

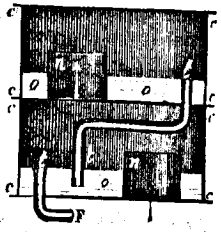


Fig. 11.

à augmenter la condensation partielle de chaque case, c'est-à-dire l'analyse des vapeurs.

De là à concevoir une *calotte* renversée, ou même un simple *disque* métallique au-dessus du courant de vapeur pénétrant dans la case, il n'y avait qu'une transition insignifiante. On forçait ainsi la vapeur à venir se briser contre un obstacle, à se disséminer dans la case, à se *réfrigérer* davantage au contact des parois métalliques frappées, à l'extérieur, par l'air ambiant. On a créé le type indiqué par la figure 12, et il a été fait, sur ce type, toutes sortes de changements sans importance et sans valeur.

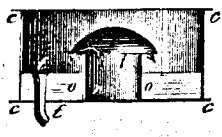


Fig. 12.

Il est digne de remarque, en effet, que la plupart des chaudronniers n'ont fatigué leur imagination qu'à changer quelques tuyaux de place et à tourmenter les calottes des plateaux de colonne. On a eu des calottes plus ou moins bombées, d'autres aplaties en forme d'assiettes; on a accouplé deux calottes renversées, à parois lisses ou à parois déprimées et comme plissées; on a mis, dans une seule case, deux, trois, quatre, six cheminées, chacune avec sa calotte ou son disque. Pour les uns, la calotte devait toucher par les bords le liquide de la condensation; pour d'autres, cette mesure ne vaut rien, parce qu'elle produit de la pression. Les premiers soutiennent que leur pratique est la meilleure, parce qu'elle opère le lavage des vapeurs, etc.

Nous avons mis ce principe fondamental en lumière : on doit éviter la pression dans les vases qui produisent ou renferment des vapeurs alcooliques; ces vapeurs doivent être progressivement et graduellement refroidies, jusque vers + 82 degrés ou + 80 degrés, depuis le point où se fait l'ébullition jusqu'au point d'émergence dans l'organe de réfrigération; et, enfin, les vapeurs doivent être lavées, au moins par la rétrogradation.

Pour appliquer complétement ces principes, nous avons construit la colonne représentée figure 13, dans laquelle on voit la disposition de nos calottes et de nos tubes rétrogradateurs.

c est une petite coupelle ou calotte placée de manière à recevoir les liquides de condensation de la case supérieure, et qui est soudée à la calotte c' dont la section doit être égale aux deux tiers au moins de la section de la colonne. Le tube de rétrogradation o apporte le liquide moins chaud en c, qui se remplit et déverse son contenu sur la convexité de c'. Ce liquide coule en

nappe sur c', et la vapeur, arrivant en dessous, frappe la concavité de la calotte c', se divise, se refroidit et

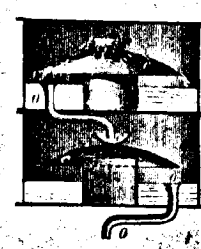


Fig. 13.

traverse la nappe pour continuer sa marche. Il en résulte un lavage et un refroidissement réguliers.

L'organe de réfrigération est muni, dans tous les appareils bien compris, de *tubes de rétrogradation* dont le but est de produire des forces, en faisant retourner à la colonne, ou à l'appareil de distillation, suivant les cas, les premiers produits condensés, qui contiennent une trop forte proportion d'eau. On ne laisse ainsi passer à la réfrigération définitive que des vapeurs d'un haut titre, et l'on peut atteindre des richesses alcooliques très-élevées.

Modifications du réfrigérant. — En ce qui concerne la construction même du réfrigérant, l'organe de réfrigération est, ou un serpentin renfermé dans une enveloppe quelconque, dans laquelle circule le liquide réfrigérant, en sens inverse de l'arrivée des vapeurs; ou ce serpentin est remplacé par des *tentilles*, des capacités métalliques de formes diverses qui sont plongées dans l'eau ou le vin, et entre lesquelles circule la vapeur à condenser; ou bien, encore, on combine et l'on accouple ces diverses dispositions, de manière à obtenir le maximum d'effet, c'est-à-dire la plus grande surface réfrigérante possible dans le chauffe-vin condenseur, afin de diminuer la dépense d'eau, et de transmettre le plus possible de la chaleur des vapeurs condensables au vin à distiller, ce qui procure une grande économie de combustible.

Résumé. — Nous venons de résumer les différentes conditions matérielles dans lesquelles on peut établir les appareils de distillation. Ces données générales et la coordination des différents groupements qui en résultent permettent aux fabricants d'apprécier la valeur de tout appareil qui leur est proposé. En somme, un bon appareil doit accomplir les fonctions suivantes avec une régularité complète :

1° La vaporisation de l'alcool renfermé dans le liquide doit se faire dans *le moindre temps* possible.

2° Aucune partie du vin, ou des matières qui l'accompagnent (matières pâteuses ou semi-fluides), ne doit être exposée à une chaleur qui puisse en déterminer la décomposition et donner aux produits une odeur empyreumatique.

3° On doit pouvoir, en toute circonstance, amener la température des vapeurs mixtes vers + 82 degrés, au point où elles s'engagent dans le col de cygne pour passer dans l'appareil de condensation.

4° Dans toute colonne, les vapeurs doivent être *analysées*, c'est-à-dire dépouillées de l'eau et des principes étrangers, autant que le permettent les lois de la physique, par lavage et refroidissement progressifs, sans pression autre que celle qui résulte d'un lavage en pluie ou en nappe mince.

5° Tout appareil doit être pourvu d'organes de rétrogradation, à l'aide desquels on puisse obtenir des forces régulières.

6° On doit pouvoir, par la continuité de mouve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ments de sens inverse, utiliser la plus grande partie de la chaleur des vapeurs mixtes, pour échauffer les vins à distiller, l'accomplissement de cette condition étant la seule garantie sérieuse de l'économie du combustible.

On doit considérer comme à lire, en même temps que le présent travail, l'article EVAPORATION qui se rapporte en réalité à la même question, avec cette seule différence que c'est le résidu de la distillation et non la vapeur dégagée, qui est alors utilisé. On y trouvera traité l'emploi du vide pour produire la vaporisation à basse température, ressource précieuse quand on opère sur des substances facilement altérables par la chaleur.

Les appareils de distillation employés pour la préparation de divers corps, l'ammoniaque, la benzine par exemple, sont des modifications très-simples de ceux employés pour l'alcool, ne pouvant être fondés sur d'autres principes que ceux qui ont rendu la distillation une opération facile et peu coûteuse.

DOCIMASIE (*angl.* docimasy, *all.* probierkunst). La docimasie est l'art d'essayer les divers minéraux employés dans l'industrie et les produits qui résultent de leur traitement. Elle comprend : 1° les essais par la voie sèche, et 2° les essais par la voie humide.

On dit que l'on fait un essai par la voie sèche lorsque, pour reconnaître la nature d'une substance minérale, pour constater quelques-unes de ses propriétés, ou pour rechercher la proportion de l'un quelconque de ses éléments, on n'emploie que l'action de la chaleur et des flux ou fondants. Par suite des immenses progrès qu'a faits de nos jours la chimie, il est généralement plus exact de procéder par voie humide, en employant comme agents chimiques des réactifs liquides ou en dissolution, ce qui permet de déterminer exactement la nature et la proportion de tous les éléments d'une substance minérale quelconque. Mais l'analyse par voie humide, à laquelle les arts chimiques doivent un grand nombre de découvertes importantes, exige des connaissances tellement étendues que nous sommes forcés de renvoyer à cet égard aux traités spéciaux, et notamment au savant *Traité d'analyse chimique de M. H. Rose.*

S'il est vrai de dire que l'on ne peut presque jamais déterminer la composition complète d'un minéral qu'en l'analysant par la voie humide, la voie sèche, de son côté, présente des avantages qui lui sont propres :

1° Il y a quelques métaux que l'on sépare de leurs combinaisons avec plus de facilité et d'exactitude par la voie sèche que par la voie humide, et dont il serait même extrêmement difficile de reconnaître la présence par ce dernier procédé, s'ils ne se rencontraient qu'en très petite proportion, tels sont l'argent, l'or, le platine, etc...

2° Par la voie sèche, on parvient, au moyen d'opérations simples et expéditives, à séparer un grand nombre de métaux des substances terreuses et des métaux très oxydables avec lesquels ils peuvent être mélangés ou combinés. Lors même qu'on n'aurait ainsi qu'un résultat approché, ce n'en serait pas moins une méthode très utile, pourvu que l'on ait soin de l'appliquer toujours de la même manière, parce qu'alors les résultats sont comparables, et qu'il suffit de constater, par quelques expériences précises, la perte que l'on éprouve, pour calculer avec une exactitude suffisante la proportion cherchée.

3° Par les opérations de la voie sèche, on expulse plusieurs substances volatiles dont la présence complique celles de la voie humide; et l'on parvient souvent à simplifier l'analyse, en changeant le mode de combinaison des divers éléments qui se trouvent réunis dans la matière minérale à essayer et les séparant en plusieurs groupes distincts.

4° Les opérations ordinaires de la voie sèche ayant de grands rapports, avec ce qui se pratique en grand dans les usines, cette méthode a l'avantage, et c'est un des plus importants pour l'ingénieur et pour l'exploitant, de mettre à même de prévoir ce qui arrivera lorsque l'on traitera, dans les ateliers métallurgiques, la matière soumise à l'essai; de connaître immédiatement la proportion des substances qu'on en extraira, et d'éclairer sur le choix des fondants, etc., qu'il faudra employer.

5° Enfin, la voie sèche, permettant d'imiter en petit presque toutes les opérations métallurgiques qui se pratiquent en grand, on peut se livrer par ce moyen à des essais variés et multipliés, presque sans frais, tandis que les expériences faites en grand sont toujours extrêmement dispendieuses, et compromettent souvent la fortune de ceux qui les exécutent. Considérée sous ce point de vue, la voie sèche a déjà rendu et peut encore rendre de très grands services aux arts métallurgiques.

Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails de ce vaste sujet pour lesquels nous renverrons à l'excellent *Traité des essais par la voie sèche de M. Berthier;* nous nous contenterons de donner quelques généralités sur les opérations que nécessitent les essais industriels et en particulier les essais par la voie sèche, en renvoyant à l'article de chaque métal pour la manière de procéder à ces essais, habituellement employée dans les usines ou ateliers métallurgiques.

Les opérations que nécessitent les essais par la voie sèche sont de deux sortes : les unes mécaniques, les autres chimiques; nous allons les examiner successivement :

OPÉRATIONS MÉCANIQUES. *Cassage* : a pour but de concasser la matière à essayer pour en faciliter soit le triage, soit la pulvérisation ultérieure; s'exécute à l'aide de marteaux. On a souvent besoin de casser des culots métalliques très petits et très tenaces pour en connaître le grain; dans ce cas, pour éviter toute projection, on les enveloppe dans une feuille de tôle ou de fer-blanc assez épaisse pour résister au choc, et cependant assez mince pour pouvoir être repliée sur elle-même.

Pulvérisation. S'exécute dans des mortiers en fonte, en acier, en bronze, en porcelaine, en verre, en agate ou en porphyre, suivant la dureté des substances à pulvériser. Lorsque la substance à réduire en poudre est très dure et inaltérable par la chaleur, il est avantageux de l'*étonner*, c'est-à-dire de la faire chauffer au rouge et de la plonger à cet état dans l'eau froide, avant de la piler, elle se fendille alors en tous sens et devient très fragile.

Tamisage. Se fait au moyen de tamis en crin ou en soie, et a pour but de séparer la poudre plus ou moins ténue provenant de la pulvérisation, des matières qui ne sont pas encore assez pulvérisées et que l'on remet dans le mortier. Lorsqu'on veut réduire un corps en grains d'une certaine grosseur et éviter de le réduire en poussière fine, il faut tamiser très fréquemment, afin de soustraire au choc du pilon les particules qui ont déjà atteint une ténuité suffisante pour passer à travers les mailles du tamis. On se sert souvent de tamis emboîtés, pour classer la matière pulvérisée en poudres de diverses grosseurs.

Triage. Cette opération, qui a pour but de séparer les matières mécaniquement mélangées, s'exécute à la main sur la substance concassée, lorsque cela est possible; au moyen du barreau aimanté, lorsque l'une des substances est magnétique; en pilant fortement, lorsque l'une des substances est très ductile et les autres cassantes : la première se réduit seule en paillettes qui restent sur le tamis; et enfin par le lavage.

Lavage. Le lavage s'exécute, soit par suspension dans une eau tranquille et décantation, c'est-à-dire par *lévigation*, soit en soumettant la matière pulvérisée à l'action d'un courant d'eau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La *lévigation* est employée pour séparer des substances qui peuvent rester longtemps en suspension dans l'eau, d'autres substances qui se précipitent très lentement. On l'emploie dans les arts pour purifier l'argile, séparer l'émeri, l'azur, etc., en diverses sortes suivant leur degré de finesse, etc. Cette opération est fondée sur ce fait que : les corps abandonnés à l'action de la gravité dans un liquide en repos, éprouvent une résistance à leur chute, proportionnelle à leur surface, quels que soient leur volume et leur densité; d'où il suit : 1° qu'à volumes égaux les plus lourds tombent le plus rapidement; 2° que dans les grains de même forme, les surfaces étant proportionnelles aux carrés des dimensions, et les poids aux cubes de ces mêmes longueurs, ce sont, à densité égale, les grains les plus gros qui se meuvent avec le plus de vitesse; 3° qu'à densités et à volumes égaux, les particules écailleuses ou lamellaires, éprouvent plus de résistance dans leur mouvement que celles qui, approchant de la forme sphérique, ont une surface moindre.

Le lavage proprement dit, est fondé sur cet autre principe, que : dans un fluide en mouvement l'impulsion que reçoivent différents corps est proportionnelle seulement à leur surface. Il en résulte que, à volumes égaux, les corps les moins denses sont ceux qui acquièrent la plus grande vitesse et se déposent le plus tard; qu'à densités égales les grains les plus petits sont ceux qui sont transportés le plus loin; et qu'enfin à densités et à volumes égaux, les particules qui par leur forme offrent le plus de surface, parcourent un plus grand espace que les autres. Il est évident d'après cela qu'il faut réduire les matières à laver en grains assez petits d'une grosseur aussi uniforme que possible. Les grains assez fins pour pouvoir rester pendant quelque temps en suspension dans l'eau, ne peuvent pas être recueillis par ce moyen; il faut donc toujours commencer par les séparer par lévigation, opération qui, dans ce cas, prend le nom de *débourbage*.

Le lavage, qui se fait en grand dans des appareils très variés que nous décrirons à l'article MÉTALLURGIE, s'exécute ordinairement en petit dans une *auge* ou sébille en bois qui se manœuvre à la main, et requiert une certaine habitude.

Quelquefois deux substances, qui dans leur état naturel ne pourraient pas être séparées l'une de l'autre par le lavage, peuvent l'être après qu'elles ont été grillées : dans ce cas l'une d'elles n'éprouve aucune altération, tandis que l'autre se décompose et se change en une matière beaucoup plus légère. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour les mélanges d'oxyde d'étain et de matières pyriteuses : par le grillage les pyrites perdent leur soufre et de l'arsenic quand elles en renferment; elles augmentent de volume, deviennent beaucoup plus légères et friables, et se séparent alors avec la plus grande facilité par le lavage.

Porphyrisation. La pulvérisation et le tamisage, ne réduisent pas toujours une substance en poudre assez fine pour qu'elle puisse être immédiatement soumise aux opérations chimiques; on la réduit alors à un état de ténuité extrême en la porphyrisant à l'eau sur des plaques en porphyre ou en agate avec des molettes de la même nature, ou dans des mortiers très évasés quand on n'opère que sur de très petites quantités.

OPÉRATIONS CHIMIQUES. — *Calcination* (voyez ce mot).

Grillage. Le grillage est une opération dans laquelle on chauffe un corps avec le contact de l'air, soit pour l'oxyder, soit le plus souvent pour en séparer à l'état gazeux, par le concours de la chaleur et de l'oxygène contenu dans l'air, des substances que la chaleur seule ne pourrait en dégager. Ces substances sont : le carbone, le soufre, le sélénium, le tellure, l'arsenic, l'antimoine et quelquefois le chlore. Un grillage dans lequel il y a fusion, s'appelle *scorification* ou *coupellation*. Le grillage des combustibles prend le nom d'*incinération* parce qu'il a presque toujours pour objet de déterminer la nature et la proportion des cendres qu'il produit.

Le grillage se fait ordinairement dans de petits vases plats en terre cuite ou *têts à rôtir*, que l'on frotte souvent à l'intérieur avec un morceau de sanguine, pour prévenir l'adhérence de la matière, et que l'on chauffe soit sur des charbons, soit même sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Il est essentiel, pour que le grillage soit complet, de remuer fréquemment la matière, afin de renouveler les surfaces, et d'empêcher qu'elle n'éprouve un commencement de fusion ou qu'elle ne s'agglomère. Dans ce dernier cas, il faut retirer la matière du têt, la pulvériser, et la soumettre à un nouveau grillage dans le même têt.

La plupart des substances que l'on grille pour en séparer le soufre ou l'arsenic, sont très fusibles par elles-mêmes, mais elles le deviennent de moins en moins à mesure que le grillage avance (la galène ou sulfure de plomb fait exception à cette règle : elle est fusible et la litharge, produit du grillage, l'est encore plus); il faut donc généralement ménager beaucoup la chaleur dans le commencement de l'opération, d'autant plus que les premières portions du soufre et de l'arsenic se dégagent toujours avec une grande facilité. En général on doit effectuer le grillage à la température la plus basse possible, et n'augmenter le feu que lorsque tout dégagement de vapeur à une température plus basse cesse d'avoir lieu.

Dans le cas seulement où la matière renferme de l'arsenic, il convient d'ajouter dans le têt, aussitôt qu'il ne se dégage plus de vapeurs, une certaine quantité de charbon pulvérisé que l'on mélange avec la matière; on recouvre le têt, et on donne un coup de feu pour ramener à l'état d'arséniures les arséniates indécomposables par l'action combinée de la chaleur et de l'air, qui s'étaient formés pendant le grillage; il se volatilise en même temps une certaine quantité d'arsenic; on découvre ensuite le têt, et on recommence le grillage; l'expérience prouve que quel que soit le nombre des grillages et réductions successives que l'on fasse subir à une matière arsénicale, il est impossible d'en chasser tout l'arsenic. Il est encore plus difficile de se débarrasser de l'antimoine; nous pensons cependant que l'on pourrait séparer, du moins presque complétement, l'arsenic et l'antimoine de beaucoup de minerais, les *cuivres gris*, par exemple, que personne n'a pu traiter jusqu'ici, en les grillant à plusieurs reprises avec une faible quantité de sel marin comme si on voulait les amalgamer, et même en employant dans le grillage un courant de vapeur d'eau, comme nous l'avons vu pratiquer il y a quelques années à Freiberg en Saxe, où ce mode de grillage est à présent généralement adopté pour les minerais d'argent.

Pour l'incinération des combustibles, on se sert ordinairement de capsules en platine.

Réduction. C'est une opération par laquelle on enlève l'oxygène à un oxyde ou à une combinaison oxydée quelconque; elle s'effectue en chauffant à une température plus ou moins élevée le corps à réduire, avec du charbon, du gaz hydrogène, ou quelquefois un corps métallique ayant une beaucoup plus grande affinité pour l'oxygène. Ce dernier procédé ne peut être employé que dans des cas tout à fait particuliers; la réduction par le gaz hydrogène quoique très commode, est rarement employée dans les essais; la réduction par le charbon donnant des produits analogues à ceux de nos usines, est au contraire très usitée. Elle s'exécute comme une fusion proprement dite, soit en mélangeant intimement le charbon avec le corps à réduire, soit par voie de cémentation; dans le premier cas, il faut toujours employer un excès de charbon, ce qui est souvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nuisible, en empêchant le métal de se réunir en un seul culot; le second procédé qui se fait au CREUSET *brasqué* ne présente pas cet inconvénient, et doit être préféré toutes les fois qu'il est praticable, ce qui a souvent lieu.

Fusion. On fait fondre une substance minérale avec ou sans addition : 1° pour déterminer approximativement son degré de fusibilité; 2° pour connaître l'aspect et les propriétés qu'elle acquiert, quand elle a été fondue ensuite plus ou moins lentement; 3° pour rechercher si elle perd quelque chose de son poids : dans ce cas, l'opération est en même temps une fusion et une calcination; 4° pour la combiner avec d'autres substances et ainsi la rendre plus attaquable par les acides, etc.; 5° enfin, et c'est le cas le plus fréquent, on fond une substance hétérogène, soit pour en extraire un métal ou un alliage, soit pour séparer une combinaison métallique d'une combinaison pierreuse : dans ce dernier cas, on dit qu'on fait une *fonte crue*, si les deux combinaisons fondent toutes les deux, et une *liquation*, si l'une d'elles seulement (ordinairement la combinaison métallique) entre en fusion. Quand on réduit en même temps un oxyde ou une combinaison oxydée, on dit que l'on fait une *réduction*; enfin, quand on a pour but d'extraire les métaux de leurs sulfures, l'opération prend le nom de *désulfuration*. On opère la fusion dans des CREUSETS en argile nus ou *brasqués*, que l'on recouvre d'un couvercle pour empêcher l'accès de l'air, et s'opposer à ce qu'il y tombe des cendres ou des charbons. Ces couvercles, que l'on lute quelquefois avec de l'argile grasse, sont ordinairement percés à leur centre d'une petite ouverture pour donner issue aux gaz qui se dégagent. Pour que le fond des creusets ne soit pas constamment refroidi par le courant d'air froid qui traverse la grille du fourneau d'essai, on les élève à une certaine hauteur, en les plaçant sur des supports cylindriques ou *fromages* en argile cuite, sur lesquels on les lute, lorsque les essais (ceux de fer par exemple) exigent une très forte chaleur.

Quand on juge que l'essai est terminé, on cesse d'ajouter du combustible; et dès que celui-ci, en se consumant, laisse les creusets à découvert, on les retire à l'aide de pinces courbes, et on les laisse refroidir lentement et complétement avant d'en extraire le contenu; cependant on les coule quelquefois immédiatement dans des lingotières graissées, puis chauffées modérément.

Distillation, sublimation. Distiller et sublimer, c'est chauffer une substance pour vaporiser cette substance ou seulement une partie des éléments qui la composent, et condenser en même temps les vapeurs qui la forment, de manière à pouvoir recueillir le composé liquide ou solide qui en résulte. On appelle l'opération *distillation*, lorsque les vapeurs se condensent à l'état liquide, et *sublimation*, quand elles se condensent à l'état solide. C'est, dans tous les cas, une calcination en vase clos qui s'opère ordinairement dans des CORNUES.

Il se produit quelquefois, pendant la distillation ou la sublimation, outre des vapeurs condensables, des gaz permanents. On les recueille en faisant passer ces derniers, à l'aide de tubes en verre recourbés, dans des loches ou des flacons renversés sur une cuve pneumatique; on prévient les fuites qui pourraient avoir lieu par les jointures des appareils de distillation, en les garnissant avec des luts appropriés. Les luts les plus employés sont les deux suivants : 1° le *lut à la farine de graine de lin*, qui se fait en pétrissant cette farine avec ou sans un peu de suif et de l'eau, du lait, de l'eau de chaux, une dissolution de colle-forte ou de l'empois : ce lut est bien ductile et imperméable, lorsqu'il a été fait avec soin; mais il ne supporte pas une chaleur de plus de 250° à 300°; 2° le *lut d'âne*. On prend de la chaux vive, à laquelle on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour la réduire en poudre sèche; on la mélange intimement et rapidement avec du blanc d'œuf délayé dans son volume d'eau; on l'étend immédiatement sur des bandes de toile que l'on applique sur les jointures, et on le saupoudre avec de la chaux vive. Au lieu de blanc d'œuf, on emploie quelquefois avec la chaux, du fromage blanc, une dissolution de colle, du sang, etc. Ce lut contracte promptement une grande dureté et adhère fortement au verre; mais il a le défaut de n'être pas flexible. On se sert aussi très souvent, pour réunir deux tubes de verre, de tuyaux flexibles en CAOUTCHOUC.

FOURNEAUX D'ESSAI. Ces fourneaux se divisent en deux classes, les fourneaux dans lesquels le courant d'air s'établit par aspiration, et ceux à courant d'air forcé ou *forges*.

La première classe de fourneaux renferme :

1° Les *fourneaux de calcination*. Ordinairement cylindriques, de 0m,12 à 0m,18 de diamètre, et dont la grille d'une seule pièce peut se placer à volonté à une profondeur de 0m,10 ou 0m,20; ils n'ont pas de cheminée fixe; et lorsqu'on veut produire une forte chaleur, on les recouvre d'une cheminée en tôle légèrement conique; une cheminée de 0m,60 de hauteur suffit pour les essais de plomb, et une cheminée de 1m,20 pour ceux de cuivre.

2° Les *fourneaux à réverbère*. Fourneaux portatifs en terre cuite, ronds ou ovales, que l'on peut à volonté recouvrir d'un *dôme* ou *réverbère*, et qui ne servent guère que pour opérer des distillations ou des sublimations.

3° Les *fourneaux à vent*. Fourneaux tout à fait analogues pour la forme à ceux employés pour la fabrication de l'ACIER *fondu*, mais de plus faibles dimensions : ils sont exclusivement employés à l'École des Mines de Paris pour les essais de fer.

4° *Forges*. On peut au besoin se servir d'un feu de maréchal ordinaire; mais ordinairement on se sert, soit de la *forge d'Aikin*, soit de celle de *Selfstræm*.

La *forge d'Aikin* est construite avec des grands creusets de plombagine d'Allemagne, qui ont la propriété d'être peu fusibles, et de supporter des alternatives quelconques de chaleur et de froid sans se casser. Ce fourneau est portatif et se compose de trois pièces : 1° la partie inférieure est formée du fond d'un creuset de graphite coupé à une hauteur telle, qu'il y reste une cavité d'environ 25mm de profondeur, et percé latéralement d'un trou cylindrique dans lequel on introduit le tuyau du soufflet qui doit donner le vent; 2° la seconde pièce ou la cuve est un creuset entier de 0m,20 environ de diamètre à la partie supérieure, dont le fond est percé de six ouvertures symétriquement disposées autour du centre, et que l'on place sur la pièce inférieure, de telle sorte que tout le vent passe au travers du creuset; 3° la partie supérieure est un creuset renversé de même dimension que le précédent, percé latéralement d'une ouverture pour laisser échapper la flamme, et munie de l'autre côté d'un manche qui permet de l'enlever à volonté : cette dernière partie n'est pas indispensable, et on s'en passe souvent. Au lieu de faire arriver l'air dans le creuset à travers son fond, on peut, comme le propose M. Berthier, l'y introduire par une ouverture latérale, et placer, à quelques centimètres au-dessus de cette ouverture, une grille sur laquelle on pose le creuset : cette disposition rend inutile la pièce inférieure du fourneau d'Aikin.

Forge de Selfstræm. Cette forge, qui produit une température extrêmement élevée et qui est très employée en Allemagne, consiste en deux cylindres de tôle forte, solidement réunis ensemble, à leur partie supérieure, par une plaque annulaire, et dont les fonds sont séparés par un intervalle égal à celui qui existe entre les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parois latérales. Le petit cylindre est la cuve dans laquelle on met les creusets et le combustible; l'espace compris entre cette cuve et le grand cylindre sert d'appareil à chauffer l'air, et il reçoit le vent du soufflet par une ouverture latérale qui laisse passer la tuyère. L'air pénètre dans la cuve par 8 ouvertures qui sont pratiquées dans les parois, à peu près au niveau du fond des creusets. On garnit les parois intérieures de la cuve d'une couche épaisse d'argile réfractaire qu'on y fait adhérer solidement, ou bien on remplace cette couche d'argile par un creuset réfractaire de mêmes dimensions, dans lequel on perce des trous qui correspondent exactement aux ouvertures. Quand l'essai est terminé et qu'on a retiré le creuset, on retourne le fourneau sens dessus dessous, pour vider et nettoyer la cuve. Il faut avoir soin d'entretenir le courant d'air lancé par les soufflets dans l'espace annulaire du fourneau, jusqu'à complet refroidissement; sans cela les parois en tôle s'échaufferaient très rapidement, aux dépens de la chaleur accumulée dans la cuve, et par suite s'oxyderaient et le détruiraient très vite.

RÉACTIFS DE LA VOIE SÈCHE OU FLUX. Ces réactifs peuvent se partager en cinq classes :

1° *Réducteurs.* Les plus employés sont l'hydrogène, le charbon, et le fer métallique; ce dernier est peu employé.

2° *Oxydants.* L'oxygène de l'air, pendant les opérations du grillage, de la scorification et de la coupellation, agit comme oxydant.

La litharge ou oxyde de plomb oxyde facilement la plupart des métaux, excepté les métaux nobles, l'or, l'argent, le platine, etc., et le mercure, et elle forme en général des combinaisons très fusibles avec les oxydes métalliques; ces deux propriétés en font un réactif excellent pour séparer l'or et l'argent de toutes les substances avec lesquelles ils se trouvent mélangés ou combinés. (Voyez ESSAIS.)

Les alcalis caustiques et les carbonates alcalins ont la propriété d'oxyder quelques métaux, comme le fer, le zinc, etc., par la décomposition de l'eau de combinaison ou de l'acide carbonique qu'ils renferment. Les carbonates alcalins n'attaquent ni le plomb, ni le cuivre, ni l'antimoine.

3° *Désulfurants.* L'oxygène de l'air agit comme désulfurant dans l'opération du grillage; le soufre se dégage alors à l'état d'acide sulfureux.

Le carbone agit sur quelques sulfures, comme ceux de mercure, d'antimoine et de zinc, qu'il réduit, en formant avec le soufre qu'ils renferment du sulfure de carbone volatil.

Le fer métallique est très employé pour réduire les sulfures de plomb et d'antimoine, soit dans les essais, soit dans le traitement en grand de ces mêmes minerais.

La litharge, employée en quantité suffisante, réduit tous les sulfures métalliques, et le métal passe dans le culot de plomb réduit, ou se combine à l'état d'oxyde avec la litharge non réduite, ce qui est le cas le plus rare. Ces propriétés font de la litharge un réactif très précieux dont on se sert presque exclusivement pour faire l'essai des matières qui renferment des *métaux fins*, que l'on obtient ainsi à l'état d'alliages avec du plomb, dont on les sépare ensuite par la coupellation.

Les alcalis caustiques décomposent tous les sulfures; il en est de même des carbonates alcalins, mais seulement dans quelques cas avec un mélange de charbon (voyez plus loin *flux noir*); il se forme des sulfures alcalins qui retiennent toujours en combinaison une quantité plus ou moins considérable de sulfure employé.

Enfin le nitrate de potasse ou nitre en excès attaque tous les sulfures; le soufre est transformé en acide sulfurique et tous les métaux sont oxydés, à l'exception de l'or et de l'argent. On le mélange ordinairement avec 2 parties de carbonate de soude pour tempérer son action, et prévenir la projection d'une partie des matières hors du creuset.

4° *Sulfurants.* Le soufre ne sert guère que pour préparer les sulfures alcalins.

Le sulfure d'antimoine était autrefois employé pour l'affinage des matières d'or et d'argent; l'argent, le cuivre, etc., passaient à l'état de sulfure dans les mattes et scories, et l'or se combinait avec l'antimoine réduit.

Les persulfures alcalins peuvent sulfurer tous les métaux sans exception; on les remplace ordinairement, ce qui revient au même, par un mélange de soufre et de carbonates alcalins; on opère généralement dans des creusets brasqués.

5° *Fondants* ou *flux.* Les réactifs de cette classe ou agissent seulement comme fondants pour former avec les matières étrangères des combinaisons fusibles, ou jouent en mêmes temps le rôle de réactifs oxydants ou réducteurs. Nous allons les examiner successivement en commençant par les premiers.

Le borax est un fondant excellent et presque universel, parce qu'il a la propriété de former des combinaisons très fusibles tant avec la silice qu'avec les bases, mais comme il est très notablement volatil à une température élevée, il est impossible de tirer du poids du culot et des scories une vérification de l'exactitude des essais. Comme à l'état hydraté il se boursouffle beaucoup lorsqu'on le chauffe, il ne faut l'employer que récemment fondu, et même il est bon de ne le pulvériser qu'au fur et à mesure que l'on en a besoin.

La silice est très employée pour déterminer la fusion des gangues basiques dans les essais qui se font à une température élevée, les essais de fer par exemple. On la remplace souvent avec avantage par de l'argile qui, renfermant une certaine proportion d'alumine, rend les gangues calcaires plus fusibles; cela est plus simple que d'ajouter un mélange de silice et d'alumine, et vaut mieux. On ajoute au contraire du carbonate de de chaux aux gangues argileuses et siliceuses; dans ce dernier cas on ajoute en outre de l'alumine ou une argile très alumineuse.

Le spath fluor ou chaux fluatée forme avec les sulfates terreux, et en particulier avec les sulfates de chaux et de baryte, des combinaisons très fusibles; c'est également un bon fondant pour les matières siliceuses dont il dégage une partie de la silice à l'état de fluorure de silicium. Ces deux propriétés peu employées dans les essais, sont mises à profit dans la plupart des usines à plomb et à cuivre de l'Angleterre, dans les mines à cuivre du Mansfeld, etc., pour scorifier les gangues terreuses.

Les carbonates alcalins, outre leur action oxydante et désulfurante sur beaucoup de métaux, sont d'excellents fondants pour les gangues siliceuses ou argileuses; ils se combinent également avec un grand nombre d'oxydes métalliques, mais ces combinaisons qui sont fusibles sont généralement décomposées par l'eau; enfin, leur grande fusibilité leur permet de tenir en suspension une assez grande quantité de matières infusibles, disséminées, telles que de la chaux, du charbon, etc., en poudre fine, sans perdre leur fluidité.

Le nitre, en se décomposant au blanc en potasse caustique, agit comme un fondant très énergique et à peu près comme les carbonates alcalins.

Le *flux noir* est un réactif à la fois réducteur, désulfurant et fondant des plus employés. C'est un mélange intime de carbonate de potasse et de charbon, que l'on prépare en allumant dans un vase en fer ou même un creuset en terre, un mélange de 2 ou 3 parties de tartre brut ou de crème de tartre (bi-tartrate de potasse) et de 1 partie de nitre. Aussitôt que la combustion est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nelle de, on retire la matière, on la pulvérise, on la passe à travers un tamis de crin serré pendant qu'elle est encore chaude, et on la conserve dans des flacons bien bouchés, afin de la préserver de l'humidité qui la ferait promptement tomber en déliquescence. On l'emploie surtout pour les essais de plomb et de cuivre.

La litharge est employée comme réactif désulfurant et fondant dans les essais à une basse température pour métaux fins.

Les pyrites de fer sont employées comme réactifs sulfurants et comme fondants dans les usines, mais très rarement dans les essais. L'oxyde de fer sert de même dans nombre d'usines comme fondant ou désulfurant; dans ce dernier cas, il est d'abord ramené à l'état métallique par le charbon.

Voir, pour le complément de cet article, au mot ESSAIS, et en général aux noms de tous les métaux et des diverses matières premières ou produits chimiques.

DORURE (*angl.* gilding, *all.* vergoldung). La dorure est une opération industrielle qui a pour but de recouvrir d'une couche d'or des objets de diverses natures, mais d'une valeur incomparablement moins élevée que ce métal précieux, afin de leur donner le vif éclat et de les douer à leur surface de l'inaltérabilité que présentent les objets faits intégralement en or. On dore le marbre, la pierre, la porcelaine, le bois, le plâtre, le carton, le papier, ainsi que tous les métaux usuels, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain, le zinc et leurs alliages tels principalement que le bronze et le maillechort. Il en résulte plusieurs arts différents, que nous allons examiner successivement en commençant par la dorure sur métaux.

DORURE SUR MÉTAUX. A cause de sa rareté et de ses propriétés remarquables, l'or fut, dès l'origine des sociétés, réservé pour les choses divines, ou monopolisé par les dominateurs des nations, et son emploi, même dans les temples et les palais, fut bientôt limité, dans la plupart des cas, à l'ornement extérieur des objets sacrés ou de luxe. On ne connaissait pas la dorure proprement dite du temps de Moïse; mais il est dit (Exod., XXVI, 10, 19), à l'occasion de la construction du tabernacle : « Vous couvrirez les ais de lames d'or; — vous couvrirez aussi ses barres de lames d'or. » On commença donc, dans l'origine, à revêtir de lames d'or ces objets, à l'aide d'une simple opération mécanique. Ce métal se prêtait à merveille à cette opération par sa grande malléabilité. A mesure que l'on sentit davantage la nécessité d'économiser l'or dont l'emploi se multipliait indéfiniment, tandis que sa production était limitée, on fit les lames de plus en plus minces, et peu à peu elles devinrent des feuilles d'une ténuité extrême que prépare le BATTEUR D'OR (voyez ce mot). Ces feuilles minces sont appliquées, collées sur les objets à dorer, par des procédés que nous donnerons plus loin et qui ne sont plus que rarement en usage pour la dorure des métaux, parce que cette dorure mécanique n'offre pas assez de durée. Pour qu'il y ait adhérence entre le métal de peu de valeur et le métal précieux qui lui sert comme de vêtement, il faut se servir d'un *intermédiaire* qui fasse quelque peu pénétrer l'or dans le métal qu'on veut dorer, ou d'une *force*, ou d'un *agent physique* qui établisse une union suffisamment intime. L'intermédiaire qu'on emploie est le mercure, et on a la *dorure au mercure;* la force est l'affinité dans la *dorure par immersion;* l'agent physique est le courant électrique produit par une pile dans la *dorure galvanique*. Nous allons examiner successivement ces trois méthodes de dorure, dont la première est fort ancienne, mais dont les deux autres n'ont été découvertes que dans ces dernières années.

I. *Dorure au mercure.* Le mercure a la propriété de dissoudre l'or; en employant des proportions convenables, que nous dirons tout à l'heure, de l'un et l'autre métal, on obtient l'amalgame d'or. Comme le mercure attaque aussi l'argent et le cuivre, on répand une couche de l'amalgame sur ces métaux, et quand on chasse par l'action du feu le mercure qui est volatil, les objets restent dorés. « La véritable méthode de dorer le cuivre consiste dans l'emploi du vif-argent, dit Pline (*Hist. nat.* XXXIII); à cet effet, on décape d'abord parfaitement le cuivre, en le chauffant et en l'éteignant dans un mélange de sel, de vinaigre et d'alun. On lui applique ensuite les feuilles d'or, amalgamées avec du vif-argent et mêlées de poudre de pierre de ponce et d'alun. » Cette méthode est applicable aux alliages de cuivre, comme le laiton et le bronze. La dorure du bronze constitue une des industries les plus importantes de Paris, où cinq à six cents ouvriers sont employés à cette opération. Quant au fer, qui n'est pas attaqué par le mercure, cette méthode ne pouvait s'y appliquer, et ce n'est que plus tard qu'on est parvenu à le dorer. Pour cela on revêtit le fer d'un métal intermédiaire, du cuivre, sur lequel l'or fut fixé. « On plonge, dit Boyle (*Usefulness of philosophy*, vol. I, pag. 72), le fer dans une dissolution chaude de sulfate de cuivre; la mince couche de cuivre qui s'y dépose suffit pour qu'on applique dessus l'amalgame d'or. » Malgré cette affirmation, il est probable que la dorure obtenue n'était point de bonne qualité, puisque l'on ne trouvait point, dans le commerce, d'objets en fer ou en acier dorés avant la découverte des procédés galvaniques.

Les procédés dont on se sert pour dorer les bronzes, à l'aide du mercure, sont les mêmes que ceux que l'on emploie dans la fabrication du *vermeil* ou argent doré. Nous nous contenterons donc de décrire la dorure des bronzes qui est, d'ailleurs, celle que l'on fait le plus habituellement.

Rarement le cuivre pur est employé dans les arts; bien plus rarement encore on le soumet à la dorure au mercure, où il prend un ton noirâtre. Le laiton se dore bien, mais, le plus souvent, on soumet à l'opération de la dorure des ornements ou des objets d'art fondus et qui sont, par conséquent, en bronze.

Le bronze destiné à la dorure doit présenter des qualités particulières et diffère essentiellement du bronze des canons. Il doit être facilement fusible afin de bien prendre toutes les empreintes du moule, et il doit présenter une continuité parfaite, parce que les *piqûres*, *gerçures*, et autres défauts à peine sensibles dans les pièces de bronze ordinaire, deviennent très apparents quand les objets sont dorés, et en outre parce que ces défauts font perdre beaucoup d'or, considération toujours importante pour les industriels, mais qui, aujourd'hui que le prix de la dorure est tombé, par suite de la concurrence des nouveaux procédés, à un prix extrêmement bas, est d'une extrême gravité. Il faut en outre que le bronze puisse être facilement tourné et ciselé. La composition chimique des bronzes du commerce est très variable, parce que les fondeurs ne les préparent que rarement avec des métaux purs. Ils se servent de vieux bronzes dédorés, de pièces de rebut, et des vieux objets hors de service, tels que chaudières, chaudrons, etc., qui sont connus sous le nom de *mitraille pendante;* ils les fondent avec un mélange de cuivre jaune et de cuivre rouge, couvert d'étamage et de soudure; l'habitude leur indique les proportions qui doivent les conduire au but qu'ils se proposent. Selon M. D'Arcet, les proportions normales de l'alliage qui est le plus approprié à la dorure sont : cuivre, 82; zinc, 18; étain 3 ou 4; plomb, 4, 5 ou 3. Pour les petits objets qui ont besoin de plus de densité, et réclament moins de ténacité, il est préférable d'employer moins d'étain et plus de plomb, par conséquent les dernières proportions de M. D'Arcet. (Voir pour plus de détails le mot BRONZE). Nous diviserons en quatre parties les opérations de la dorure au mercure : 1° préparation de l'amalgame

EFEDUS - Recherche & Classification numérique

d'or; 2° préparation des bronzes; 3° dorure; 4° mise en couleur, où nous comprendrons le brunissage, le matage, etc.

1° *Préparation de l'amalgame d'or.* L'or que l'on veut employer doit être dans le plus grand état de pureté possible; trop d'argent allié à l'or donne à la dorure un ton vert; le cuivre donne un ton rouge, outre que l'amalgame est grenu et s'étend mal sur le bronze. On lamine l'or afin de rendre sa combinaison avec le mercure plus facile. Quand l'or est pesé, l'ouvrier le met dans un creuset, et à l'instant où ce creuset passe au rouge sombre, il y verse 8 parties de mercure pur pour 1 d'or. Il remue alors le mélange avec une tige de fer recourbée à son extrémité, en laissant le creuset sur le feu, jusqu'à ce qu'il trouve que tout l'or est dissous. Alors l'ouvrier verse l'amalgame dans une terrine qui contient de l'eau; il le lave avec soin, et le comprimant avec les deux pouces contre les bords de la terrine, il en exprime tout le mercure excédant. L'amalgame doit être assez pâteux pour conserver les traces de la pression des doigts. Dans cet état il se compose, pour 100 parties, de 9 à 11 d'or et de 91 à 89 de mercure. On le renferme alors dans un sac de peau de chamois où on le comprime avec les mains; il rend beaucoup de mercure, et il reste en définitive un amalgame composé d'environ 33 de mercure et 67 d'or. Le mercure qui est resté au fond de la terrine, ainsi que celui qui a filtré à travers le sac contiennent des quantités assez considérables d'or, et on les emploie pour former un nouvel amalgame.

Toutes les opérations précédentes sont fort dangereuses pour la santé des ouvriers, soit à cause des vapeurs mercurielles produites dans la dissolution de l'or, et dont on évite l'effet nuisible en se servant du fourneau décrit plus loin, soit à cause du contact du mercure avec la peau des ouvriers, qui doivent, pour cette raison, être munis de gants de peau, de vessie ou de taffetas ciré.

On ne peut appliquer l'amalgame sur les pièces qu'après qu'elles ont été imprégnées d'une dissolution de nitrate de mercure acide. Cette dissolution se prépare en prenant 100 parties en poids de mercure et 100 d'acide nitrique pur, marquant 36° à l'aréomètre, et chauffant le tout ensemble, à une douce chaleur, dans un matras de verre; on laisse échapper dans la cheminée les vapeurs nitreuses qui se forment durant l'opération. On ajoute à la dissolution vingt-cinq fois son poids d'eau distillée, et on la tient en réserve dans des bouteilles bouchées.

2° *Préparation des bronzes.* Les pièces de bronze sortant des mains du fondeur doivent subir plusieurs opérations avant de recevoir la dorure. Elles sont d'abord *recuites*, puis *dérochées*, et enfin *décapées*.

Le *recuit* a surtout pour but de débarrasser les pièces de toutes les matières grasses dont elles ont pu être imprégnées durant les travaux auxquels elles ont déjà été soumises. M. D'Arcet pense qu'en outre, on ramène les couches extérieures à l'état de cuivre rouge par la volatilisation d'une certaine quantité de zinc, et que l'amalgame se combine alors plus facilement avec ces couches. Il se pratique en plaçant les bronzes dans une espèce de mouffle cylindrique en briques, que les ouvriers appellent *moufli*; un grillage en fer placé à une certaine distance des briques maintient le charbon, et laisse intérieurement un espace cylindrique vide où l'on suspend les objets. On se sert pour combustible de charbon de bois, de charbon de terre, ou de mottes, selon les localités; le feu doit être égal tout autour des pièces, et on doit avoir soin de ménager les parties minces. On opère de préférence dans un lieu un peu obscur. Quand l'ouvrier voit que la pièce est chauffée au rouge cerise, il l'enlève avec des pinces longues et la laisse refroidir lentement à l'air.

Pendant le recuit, les pièces se sont chargées d'une couche d'oxyde qu'on enlève en très-grande partie par le *dérochage*, opération qui consiste à les plonger dans un bain d'acide sulfurique très-étendu d'eau, où on les laisse assez longtemps pour que l'oxyde se détache. Alors on les frotte avec une brosse dure, on les lave à l'eau propre, et on les fait sécher dans de la sciure de bois légèrement chauffée.

La surface des pièces est encore irisée, on fait disparaître toutes les taches par le décapage dans de l'acide nitrique (l'eau-forte impure ordinaire du commerce, pourvu qu'elle ne contienne pas de plomb); l'acide nitrique pur ne réussit pas bien. Après avoir plongé les pièces dans l'eau-forte, et avoir laissé l'acide mordre suffisamment, on les plonge rapidement, pour les *éclaircir*, dans un bain d'eau-forte, où on ajoute une poignée de sel de cuisine et de la suie; on les lave ensuite à grande eau. Quand l'eau-forte n'est pas assez concentrée et n'agit pas assez vivement sur les pièces, on la *remonte* par une addition d'acide sulfurique. On sèche les pièces dans de la sciure de bois. Elles doivent être d'un beau jaune pâle et légèrement grenu.

3° *Opération de la dorure.* L'ouvrier doreur plonge son *gratte-bosse*, espèce de pinceau fait avec des fils de laiton assez fins, dans la dissolution de nitrate de mercure, le passe sur la pièce à dorer, placée dans une terrine de terre non vernissée; il prend ensuite avec l'extrémité du gratte-brosse un peu d'amalgame d'or, qu'il applique à son tour sur le bronze. L'ouvrier répète ces opérations autant de fois qu'il le faut pour que la surface entière du bronze soit revêtue d'une couche convenable de l'amalgame. Alors il lave la pièce à grande eau, la sèche, et l'expose au feu pour volatiliser le mercure. Quand l'épaisseur de l'or n'est pas jugée suffisante, on lave la pièce et on lui applique de la même manière une nouvelle couche d'amalgame.

La volatilisation du mercure est une opération délicate et qui demande beaucoup de soins. Pour l'effectuer, l'ouvrier saisit la pièce avec des pinces longues, et l'expose petit à petit à l'action d'un feu de charbon de bois. Il la retourne en tous sens, et a bien soin d'éviter la liquéfaction de l'amalgame qui serait produite par l'application brusque d'un feu trop ardent. La pièce échauffée est retirée du feu; l'ouvrier la saisit par la main gauche, garnie d'un gant épais, la tourne en tous sens, et la frappe de la main droite avec une brosse à longs poils, afin de répartir bien également l'amalgame. Il recommence la même opération jusqu'à ce que le mercure soit entièrement volatilisé, ce qu'il reconnaît, par habitude, au bruit que produit une goutte d'eau qu'il jette dessus, et au temps que cette goutte met à s'évaporer. Pendant que la volatilisation du mercure s'effectue de cette façon, l'ouvrier corrige les endroits défectueux. Quand la pièce est terminée, elle est lavée, puis gratte-brossée avec soin au moyen d'eau acidulée par du vinaigre.

Si la pièce doit être brunie en entier, on la chauffe sans épargne, et on la plonge un peu chaude dans de l'acide sulfurique très étendu d'eau, on la lave, et enfin on la brunit.

Lorsque la pièce doit avoir certaines parties *brunies*, et d'autres parties *mates*, on réserve les parties à brunir en les couvrant au moyen d'un pinceau de la mixture qu'on appelle *épargne;* c'est un mélange de blanc d'Espagne, de cassonade et de gomme, le tout délayé dans l'eau. Les épargnes faites, l'ouvrier doreur fait sécher la pièce, et la chauffe de nouveau à une chaleur indiquée par la couleur que prend l'épargne. Il la plonge ensuite, tandis qu'elle est encore un peu chaude, dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, la lave, la sèche, et la livre à la brunisseuse.

Dans les opérations précédentes, le mercure, soit à l'état liquide, soit à l'état de vapeur, entoure de toutes

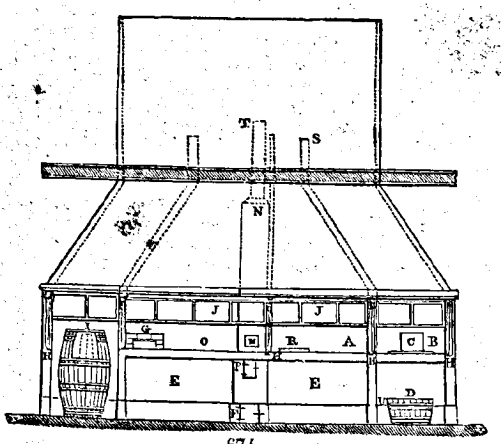
EFERUS - Recherche & Classification numérique

parts les ouvriers doreurs, qui respirant ce métal par tous les pores ne tardent pas à en éprouver les terribles effets, quand on ne prend pas des précautions suffisantes pour les soustraire à l'action pernicieuse de ce poison. L'influence du mercure sur les ouvriers doreurs compromet gravement leur santé, et expose quelquefois leur vie; elle se manifeste, soit par un tremblement nerveux qui va jusqu'à les empêcher de porter les aliments à la bouche, soit par la perte de la mémoire, une difficulté extrême de s'exprimer, et la paralysie de la langue.

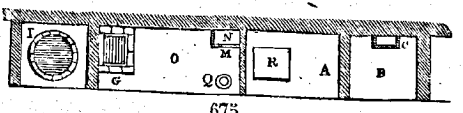
Un art aussi insalubre a attiré depuis longtemps l'attention des hommes qui ont à cœur l'amélioration du sort des ouvriers. L'Académie des sciences de Paris a couronné, en 1783, un mémoire de H.-A. Gosse, de Genève, qui s'était appliqué à augmenter le tirant des cheminées pour entraîner plus vite et plus complétement les émanations mercurielles. En 1818, un prix de 3,000 francs, fondé par un ancien fabricant de bronze, M. Ravrio, a été décerné par la même Académie à M. D'Arcet, qui a fait un travail complet sur l'art de la dorure, et lui a appliqué un système de ventilation dont tout le monde s'accorde à vanter les heureux effets.

Nous allons donner la description du fourneau d'appel que M. D'Arcet a fait construire dans un grand nombre d'ateliers, mais que tous les maîtres doreurs n'ont pas l'humanité de faire établir, tant il est encore vrai que, dans notre société, la santé de l'ouvrier n'est point mise en balance avec le faible revenu d'un petit capital enfoui dans un appareil préservatif.

Les fig. 674 et 675 représentent l'élévation et le plan d'une forge complète à dorer.



674.



675.

P, fourneau d'appel, servant en même temps à chauffer le poêlon à mater.

F, cendrier de ce fourneau

N, T, cheminée du même fourneau, construite en briques jusqu'au rétrécissement de la grande cheminée S de la forge, et terminée par un tuyau de tôle s'élevant de 2 ou 3 mètres au-dessus de ce rétrécissement.

B, forge à recuire les bronzes, à sécher les pièces dorées, et à pratiquer les diverses opérations qu'il peut être nuisible de faire à l'air libre.

C, cheminée de communication entre la forge à recuire B et l'espace D placé au-dessous de cette forge, où l'on pratique le décapage et le dérochage, dont les vapeurs acides sont ainsi entraînées.

U, baquet de décapage.

A, forge à passer l'amalgame sur les pièces.

R, tablette à brosser.

E, E, charbonnier.

O, forge à passer au mat.

G, fourneau pour la même opération.

M, ouverture pratiquée au bas de la cheminée d'appel, ordinairement fermée par un tampon, mais par laquelle, en ôtant le tampon, on fait partir les vapeurs acides données par la dissolution mercurielle en y plaçant le col du matras où cette dissolution se prépare, ainsi que les vapeurs mercurielles de la préparation de l'amalgame en plaçant au-dessous de l'ouverture le creuset où elle se fait.

I, tonneau dans lequel on plonge les pièces dorées mises au mat; les vapeurs qui s'en dégagent s'échappent par la cheminée générale.

J, J, châssis garnis de vitres, et à coulisses verticales, rétrécissant l'ouverture des âtres, permettant à l'ouvrier de voir facilement sous le foyer, et le mettant à l'abri des émanations nuisibles.

H, H, rideaux de cotonnade qui peuvent se fermer à volonté, en tout ou en partie, pour une ou plusieurs des forges, et qui servent à augmenter le tirage.

Q, ouverture pratiquée dans le fourneau d'appel, et qui sert à chauffer le poêlon à mater.

Il n'est pas besoin d'ajouter que les différentes forges indiquées sont alimentées par des soufflerie convenables.

4° *Mise en couleur.* Nous comprenons sous ce titre les opérations variées qui s'effectuent après la dorure proprement dite, pour donner aux pièces les divers aspects réclamés par le commerce.

Quand on veut que la surface dorée soit parfaitement lisse et ait l'éclat et le brillant métalliques, on la *brunit*, c'est-à-dire qu'on la frotte fortement avec le brunissoir, instrument qui est ordinairement une dent de loup ou de chien, et plus souvent de l'hématite, appelée vulgairement sanguine, emmanchée dans du bois. La brunisseuse trempe l'instrument dans de l'eau vinaigrée, et frotte jusqu'à ce que l'éclat convenable soit atteint. On lave alors dans l'eau froide, on essuie avec un linge fin, et on sèche lentement sur un feu très doux.

On obtient des effets très heureux en mélangeant le *brillant* au *mat*; on orne ainsi les bronzes de dessins fort recherchés. Pour *mater* l'or appliqué sur les bronzes, il faut simplement le conserver avec les nombreuses aspérités que le procédé de dorure a créées. Le mercure en se volatilisant a laissé sur le bronze non pas une couche continue, mais une espèce de crible dont le brunissoir bouche les trous en les comblant par les aspérités. L'épargne étendue sur les parties réservées a donc résolu le problème. Il s'agit seulement d'enlever l'épargne sans employer le grattoir qui brunirait. Pour cela, on chauffe la pièce au point de carboniser l'épargne, puis on recouvre les parties épargnées, ayant alors une belle couleur d'or, avec un mélange de 10 parties de sel marin, 25 parties de nitrate de potasse, et 35 parties d'alun, fondu dans l'eau de cristallisation de ce dernier sel. La pièce est remise au feu, et chauffée jusqu'à ce que la couche saline qui la couvre devienne homogène, transparente, et se fonde. Elle est alors retirée du feu et plongée subitement dans l'eau froide, qui détache la couche saline et l'épargne. La pièce est enfin passée dans de l'acide nitrique faible,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DORURE.

lavée à grande eau et séchée avec un linge fin, ou en l'exposant quelque temps au-dessus d'un réchaud.

Quand on veut donner à une pièce de bronze dorée la couleur que l'on appelle *or moulu*, on la frotte moins fort avec le gratte-brosse qu'à l'ordinaire, et on l'expose à une chaleur un peu moins élevée que pour donner le mat. Sur la pièce un peu refroidie, en ayant soin de ne pas toucher aux parties brunies, on étend avec un pinceau une composition de sel marin, d'alun et d'hématite, délayés dans du vinaigre. La pièce est alors chauffée sur des charbons ardents, un peu excités par un soufflet, jusqu'à ce que la couleur commence à brunir; elle doit être assez chaude pour qu'une goutte d'eau projetée à sa surface produise un sifflement. On la plonge alors dans l'eau froide, on la lave, et on la frotte avec une brosse imbibée de vinaigre si la pièce est unie, et d'acide nitrique étendu si elle est ciselée ou gravée; dans tous les cas, elle est enfin lavée et séchée à un feu modéré.

Pour donner à un bronze la teinte d'*or rouge*, on suspend la pièce par un fil de fer, au moment où elle sort toute chaude de la forge où elle a été chauffée avec l'amalgame, dans une composition connue sous le nom de cire de dorure et formée de cire jaune, d'ocre rouge, de vert-de-gris et d'alun. On l'expose ensuite à l'action d'un feu vif, qu'on anime encore, quand la combustion de la couche de cire est assez avancée, en y jetant quelques pincées du mélange employé. Quand le feu cesse de flamber, on plonge la pièce dans l'eau froide, on la lave et on la gratte-brosse avec du vinaigre. Si la teinte obtenue n'est pas belle, on couvre la pièce de vert-de-gris dissous dans du vinaigre, on fait sécher à un feu doux, on plonge dans l'eau, on lave et on gratte-brosse avec du vinaigre, ou même avec de l'acide nitrique, lorsque la pièce présente une teinte trop foncée. La pièce est alors lavée, brunie, puis encore lavée, essuyée avec un linge fin, et enfin séchée sur un feu modéré.

Nous ne donnerons pas de plus amples détails sur l'art insalubre de la dorure au mercure; nous espérons d'ailleurs que ces détails vont devenir complétement inutiles, et qu'ils n'auront plus bientôt qu'un simple intérêt historique. Dans notre conviction, cet art dangereux devrait être supprimé, car on a maintenant des procédés qui n'offrent plus que les dangers inhérents au décapage, et qui donnent certainement, quand ils sont exécutés par des industriels consciencieux, ne cherchant point l'écoulement de leurs produits dans un rabais indéfini, une dorure satisfaisant à tous les besoins du commerce. Nous croyons qu'il serait du devoir de l'autorité de défendre la dorure au mercure, parce qu'un art qui ne satisfait, après tout, que les besoins du luxe, ne doit point mettre en danger la vie et la santé des hommes. Ce sont là des choses qui ne devraient pas être sacrifiées aux jouissances de quelques-uns. Nous savons quelles objections s'élèvent contre notre pensée. Supprimer la dorure au mercure, dira-t-on, c'est donner pendant quelques années le monopole de toutes les dorures aux possesseurs de brevets pris pour les nouveaux procédés, et plonger dans la misère tous les doreurs qui achètent le pain au prix de leur santé, qui aiment mieux devenir paralytiques que mourir de faim. A cette première objection la réponse est facile : le gouvernement qui a acheté l'invention du daguerréotype, [illegible] pouvait être monopolisée quinze ans sans danger pour la société, puisqu'elle ne nuisait à aucune industrie, sans utilité pour la science, puisque son achat ne fera pas faire un pas aux arts avant plus de quinze ans, le gouvernement, proscrivant la dorure au mercure, devrait s'imposer comme premier devoir l'achat des brevets de la dorure par immersion et de la dorure galvanique.

Une seconde objection est soulevée à cette occasion : les travaux de M. D'Arcet ont supprimé tout à fait, dit-on, les dangers de l'emploi des procédés de dorure au mercure; c'est une assertion fausse, et un passage que nous empruntons à une brochure de la société de secours formée par une portion des ouvriers doreurs de Paris, le prouve surabondamment.

1840 — 100 sociétaires : 21 malades, dont 2 morts.
Sur ces 21 malades, 8 sont atteints du mercure.
1841. — 99 sociétaires : 17 malades, dont 9 atteints du mercure.
1842. — 111 sociétaires : 24 malades, dont 1 mort.
Sur les 24 malades, 10 sont atteints du mercure.
1843. — 108 sociétaires : 19 malades, dont 2 morts.
Sur ces 19 malades, 7 sont atteints du mercure.

Ainsi la dorure au mercure continue ses ravages parmi les ouvriers qui se livrent à cet art. Lors même que cette industrie donnerait de bons produits, de meilleurs produits que les inventions nouvelles, ce qui est fort contestable et ce que nous ne croyons pas, on ne saurait se prévaloir de cette raison pour permettre plus longtemps son exercice, mais à la condition, nous le répétons, de livrer les nouveaux procédés au domaine public. C'est pourquoi nous allons développer en détail les découvertes de la dorure par immersion et de la dorure galvanique, sans nous attacher plus longtemps à décrire des méthodes surannées.

II. *Dorure par immersion* ou *au trempé*. Nous entendons par ce mot un procédé de dorure, qui consiste à plonger les objets convenablement préparés dans une dissolution d'or, d'où on les retire quelques instants après complétement dorés.

Ce procédé, applicable seulement aux bijoux de cuivre, consiste à plonger ces bijoux, parfaitement décapés, dans une dissolution bouillante de chlorure d'or dans un carbonate alcalin.

Depuis longtemps les horlogers se servent d'une dissolution d'or pour dorer quelques petites pièces de cuivre ou d'acier. Leur méthode ordinaire consiste uniquement à plonger les pièces dans la dissolution de l'or par l'eau régale. Comme on le voit, l'or se précipitant à l'état métallique, se dépose sur les pièces. Mais en même temps, comme la dissolution d'or n'est presque jamais sans excès d'acide, cet acide non saturé agit sur les pièces, en détruit les vives arêtes, et leur ôte la précision que l'ouvrier leur avait donnée. C'est en vain que Baumé a imaginé de préparer une liqueur aussi neutre que possible, en faisant évaporer la dissolution d'or dans l'eau régale jusqu'à cristallisation, en pressant ensuite les cristaux dans du papier Joseph pour les dessécher complétement, et les dissolvant enfin dans de l'eau distillée. Si au premier instant une telle dissolution n'attaque pas aussi fortement que les liqueurs précédemment employées, les pièces qui y sont plongées, bientôt, par suite du dépôt d'or, l'acide mis en liberté vient à réagir, et les inconvénients qu'on a cherché à éviter reparaissent complétement. Il est évident *à priori* qu'on doit remédier à ces inconvénients en se servant d'une dissolution alcaline d'or, car si une certaine quantité d'acide est alors mise en liberté par suite de la précipitation de l'or, aussitôt cet acide est neutralisé par l'alcali en excès, et par conséquent il ne saurait exercer son action corrosive sur les pièces plongées. Cette solution du problème paraît bien simple aujourd'hui qu'elle est connue; il faut cependant arriver jusqu'en 1836 pour en trouver la réalisation. Les choses simples sont les plus difficiles à découvrir.

La dissolution de l'or dans les carbonates alcalins est connue depuis longtemps; elle est signalée en termes suffisamment clairs dans le *Dictionnaire de chimie* de Macquer. Proust reconnaît qu'une dissolution alcaline d'or abandonnée dans un vase de métal durant 24 heures, dore ce vase d'une manière brillante. Duportal et Pelletier plongeant une lame d'étain dans une liqueur semblable, la voient se recouvrir d'une couche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'or. Tels sont les seuls faits qui ont précédé l'invention de la dorure par immersion ou au trempé. Nous n'avons pas la liberté de discuter la valeur de ces faits, étant appelés à prononcer judiciairement sur leur portée; nous devons nous borner à les mentionner, en ajoutant seulement, parce que c'est un fait, qu'avant le jour où M. Elkington a importé le nouveau procédé d'Angleterre en France, personne n'avait songé qu'il serait possible de dorer commercialement, c'est-à-dire de revêtir d'une couche d'or continue et adhérente un objet en métal, en se servant d'une dissolution analogue à celle que nous allons décrire, dans le but de protéger ce métal. Macquer, qui connaissait le fait de la dissolution de l'or dans les carbonates alcalins, ne soupçonnait pas son emploi pour la dorure, et Baumé, qui chercha à remédier aux inconvénients de la méthode usitée dans l'horlogerie, ne songea pas davantage à ajouter du carbonate de potasse ou de soude à la dissolution d'or.

C'est là la véritable découverte, qui mérite à Elkington d'être classé parmi les grands inventeurs, parmi les hommes qui ont fait progresser l'industrie.

Dans la dorure par immersion, il y a quatre opérations distinctes : préparation du bain, préparation des bijoux, dorure, mise en couleur.

1° *Préparation du bain.* On prend 100 parties d'or laminé et on les dissout dans une eau régale composée de 250 parties d'acide nitrique pur, à 36°, 250 d'acide hydro-chlorique également pur et enfin de 250 d'eau distillée. On opère dans un matras d'essayeur et on laisse échapper les vapeurs nitreuses dans la cheminée du fourneau.

Cette dissolution d'or étant faite, on fait chauffer 20 litres d'eau dans une marmite de fonte dorée intérieurement, parce qu'elle a reçu un vieux bain épuisé, et prenant 6 kilogrammes de bi-carbonate de potasse, on en verse la moitié dans l'eau et on jette l'autre moitié par petites portions dans la dissolution régale versée dans une grande capsule de porcelaine; il se produit une grande effervescence, et quand elle est terminée, on vide tout le contenu de la capsule dans la marmite. On laisse la liqueur bouillir pendant deux heures, en ayant soin de remplacer par de l'eau chaude, l'eau perdue par l'évaporation.

2° *Préparation des bijoux.* Pour mettre les bijoux en état d'être dorés par la simple immersion dans le bain précédent, il faut les soumettre au dérochage, au décapage et enfin à un ravivage. Le dérochage et le décapage se font exactement comme pour la dorure au mercure par les procédés décrits plus haut. Après le dérochage, on attache plusieurs bijoux ensemble avec du fil de laiton, de manière à en faire de petits paquets que l'on peut suspendre au crochet du doreur. Ce crochet est tout simplement une baguette en verre recourbée ou mieux une tige de fer également recourbée; il sert à plonger les bijoux dans les acides du décapage, et de ce que nous appelons un ravivage. Cette dernière opération qui précède immédiatement l'immersion dans le bain d'or, a pour but de rendre plus neuves les surfaces des bijoux décapés, de les mettre dans un état analogue à ce qu'on appelle en chimie *état naissant*, de telle sorte que l'or précipité du bain alcalin s'y applique plus intimement et que l'adhérence soit parfaite. On peut effectuer le ravivage dans la liqueur du décapage composée d'acide nitrique, de suie et de sel de cuisine, mais à moins d'une très grande habitude du temps nécessaire pour que l'effet cherché soit produit, on ne réussit pas facilement, et quand on plonge les bijoux dans le bain d'or, ils prennent souvent une teinte rouge, brune, et ils ne sont plus acceptables par le commerce. Il est donc de beaucoup préférable d'employer un acide composé. Depuis longtemps, un mélange en proportions assez variables d'acides nitrique, sulfurique et hydrochlorique, est employé en Angleterre pour le décapage des cuivres, et c'est à ces mélanges divers que les cuivres estampés anglais doivent l'éclat qui a fait leur réputation. Cette supériorité a naturellement excité l'émulation de l'industrie française, et il y a dix ans environ, M. Bouchet a découvert les proportions les plus propres à obtenir les effets désirés. Maintenant ces sortes de mélanges sont en usage chez tous les estampeurs et les passeurs à l'eau forte de Paris. Pour que la dorure par immersion réussisse complétement, il faut avoir recours à un mélange de cette espèce. La composition suivante réussit parfaitement : 40 parties d'acide sulfurique à 60°, 40 d'acide nitrique à 36°, 1 de sel marin. Il faut que le mélange soit fait au plus tard la veille de l'opération pour que son action soit suffisamment énergique.

L'aspect brillant ou mat dépend, dans la dorure par immersion, du mode de décapage; on brillante par les moyens que nous venons d'indiquer. Pour obtenir le mat, il faut plonger les bijoux déjà décapés dans une liqueur formée de parties égales d'acide nitrique et d'acide sulfurique, auxquelles on ajoute du sulfate de zinc, ou bien dans les acides qui ont déjà servi au ravivage, et les tenir immergés pendant une demi-minute environ, un peu plus ou un peu moins, selon l'état du cuivre et selon l'état du bain matant; on retire les bijoux rapidement et on les lave immédiatement, puis on les met sécher dans de la sciure de bois chaude. Quand les bijoux sont ainsi décapés mats, il faut prendre garde d'enlever cette apparence par le ravivage; la précaution qu'il suffit de prendre, consiste à plonger rapidement les paquets non mouillés dans le bain acide, à les retirer aussitôt et à les laver. Si on ne veut avoir qu'un demi-mat, on plonge les paquets dans l'eau avant de raviver, et on laisse les acides mordre un peu plus.

Souvent le ravivage n'est pas assez parfait pour que la dorure soit suffisamment belle; dans ce cas, il faut plonger les paquets, avant la dorure, dans une très faible dissolution de nitrate de mercure. Cette immersion dans le nitrate de mercure peut souvent même réparer quelques paquets venus imparfaitement. Pour cela, on les plonge au sortir du bain d'or dans l'eau, puis dans le nitrate, et immédiatement de nouveau dans le bain d'or. Il se dépose une nouvelle couche d'or qui consolide la première.

3° *Dorure.* Les détails précédents étant bien compris, rien n'est plus simple que l'opération de la dorure. Si le bain a précipité une poudre noire, ce qui arrive assez souvent, on arrête un moment l'ébullition, on laisse reposer et on décante; il est alors bon à être employé. On dispose à droite de la marmite où bout le bain d'or, une terrine contenant la liqueur à raviver, deux terrines d'eau, une terrine contenant la dissolution de nitrate de mercure, et une nouvelle terrine d'eau; à gauche on place deux ou trois terrines d'eau. Un nombre suffisant de paquets de bijoux étant enfilés dans le crochet, le doreur les plonge successivement dans la terrine à raviver, dans les terrines d'eau, la terrine de nitrate de mercure, la dernière terrine d'eau, enfin dans le bain bouillant et toujours tenu à peu près au même point, par l'eau chaude qu'on y ajoute de temps à autre; le doreur tient les paquets plus ou moins longtemps dans le bain, selon l'épaisseur de la couche qu'il veut déposer, mais rarement plus d'une demi-minute, car au bout de ce temps la couche déposée n'augmente plus; il les retire, les lave dans les terrines de gauche, et les fait sécher dans de la sciure de bois chaude. On continue ainsi jusqu'à ce que le bain soit épuisé; on s'en aperçoit par l'habitude, à la quantité d'ouvrage déjà fait, et à l'éclat de la dorure. On peut prolonger l'emploi du même bain, et l'épuiser davantage en y ajoutant quelques gouttes de nitrate

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'argent ; alors la dorure prend un ton un peu vert. En ajoutant une quantité suffisante de nitrate d'argent à un bain épuisé, on peut argenter par immersion ; on n'a pas encore tiré un parti industriel de cette remarque.

4° *Mise en couleur.* Pour donner à l'or déposé plus de brillant et d'éclat et assurer la conservation de la dorure, on pratique la mise en couleur. On emploie la formule suivante : 6 parties de nitrate de potasse, 2 p. de sulfate de fer et 1 p. de sulfate de zinc dissoutes dans une quantité d'eau bouillante suffisante pour que le mélange soit liquide. On y plonge les objets dorés, on les fait sécher sur un feu clair, jusqu'à ce que les sels deviennent d'une couleur brune, et on les replonge dans l'eau.

Par le même procédé, que nous venons de décrire, on peut aussi exécuter le platinage sur objets en cuivre. On commence par dissoudre le platine ; on prend 1 p. de platine que l'on attaque par 30 p. d'eau régale formée de parties égales d'acide nitrique, d'acide hydrochlorique et d'eau. On laisse évaporer les acides après la dissolution jusqu'à la moitié ou aux trois quarts. On ajoute 2 litres d'eau pure et 48 parties de bi-carbonate de soude ; on fait bouillir jusqu'à ce que la soude soit dissoute ; on ajoute alors par portion 16 p. de bicarbonate de potasse, et on laisse encore bouillir durant une heure.

A cette liqueur ainsi préparée, pour que l'on puisse s'en servir pour platiner, il faut ajouter une dissolution d'or que l'on fait, comme nous l'avons indiqué plus haut, en employant une demi-partie d'or. Lorsque le mélange des deux liqueurs est opéré, on y plonge immédiatement les objets préparés aussi comme nous l'avons vu.

La légère couche de platine déposée sur les bijoux permet d'obtenir des effets variés ; avec un pinceau, on recouvre d'un vernis ou de gomme laque certaines parties qui ne doivent pas être dorées, et on trempe les pièces dans une dissolution d'or faite par l'eau régale tout simplement. On pratique la mise en couleur, et on gratte le vernis ; on obtient ainsi l'or en relief sur un fond blanc.

Les avantages de la dorure par immersion sur la dorure au mercure sont manifestes. Nous mettons d'abord de côté, comme hors de discussion, l'avantage de ne point employer le mercure et de sauver les ouvriers des atteintes de ce poison ; on a prétendu qu'on les tirait d'une atmosphère mercurielle que pour les plonger dans une atmosphère pleine de vapeurs acides et non moins dangereuse ; cela est faux, car les vapeurs acides sont produites par le décapage employé également dans les deux procédés. La méthode du trempé supprime complétement de l'atmosphère habituelle dans laquelle travaillent les doreurs les émanations mercurielles, et évidemment l'atmosphère restante est moins insalubre.

Le procédé du trempé est d'une rapidité extraordinaire ; il permet de dorer des objets délicats, tels que les toiles métalliques, dont le léger réseau serait détruit par l'action corrosive du mercure, et des objets de forme très accidentée, tels que boucles d'oreilles, fleurs, fruits et bijoux de toute nature présentant un vide interne, dont les creux ne pouvaient être atteints par l'amalgame d'or. Il s'applique du reste aussi bien aux grandes pièces. Les premiers essais qu'on a faits n'ont pas été heureux, parce qu'on a plongé les grandes pièces froides dans le bain, qui en a été trop refroidi pour que la dorure pût s'effectuer ; on réussit en ayant soin de placer d'abord les pièces dans l'eau bouillante pour les mettre à peu près à la température du bain d'or. Toutefois, on ne peut dorer par immersion que les objets estampés, c'est-à-dire en cuivre laminé. Certaines fontes de cuivre refusent de prendre la dorure, et par conséquent, pour les grands bronzes, il faudrait encore avoir recours au mercure, si on n'avait la dorure galvanique.

Avec 150 grammes d'or on peut dorer au trempé 50 kilogr. de bijoux, et encore le bain n'est pas épuisé ; il y reste environ un tiers de l'or, qui ne s'y trouve plus en assez grande quantité pour se déposer en couche continue. On dépose donc au plus 2 grammes d'or par kilogramme de bijoux.

Le prix de la dorure du kilogramme est de 20 fr. Par l'ancien procédé, il était de 50 fr. le kilogramme pour les objets estampés, et coûtait jusqu'à 120 fr. pour les objets délicats, tels que les chaînes, qui, n'offrant pas de résistance à l'action corrosive des métaux, exigeaient un très grand nombre de précautions.

On distingue les objets dorés au trempé des objets de même forme dorés au mercure, en les attaquant comparativement par de l'acide nitrique très étendu, de telle sorte que la dissolution se fasse très lentement. Tout le cuivre est dissous, et il reste une pellicule d'or qui conserve dans les deux cas la forme primitive de l'objet. Cette pellicule est brillante sur les deux faces pour l'objet trempé ; elle est couverte d'une pellicule d'un rouge brun, du côté interne, pour l'objet doré au mercure. De plus, si on regarde la dernière pellicule en la plaçant entre l'œil et la lumière, elle est comme criblée d'un grand nombre de trous, ce qui provient de ce que le mercure a été obligé de s'évaporer et a laissé une couche discontinue. Quand la dorure au trempé a été faite trop légèrement, l'or ne conserve pas la forme de l'objet après l'attaque par l'acide nitrique, mais il tombe en petites parcelles brillantes sur les deux faces. Dans ce cas, la dorure n'est pas suffisamment solide pour préserver les bijoux qui, par exemple, ne peuvent pas franchir les mers sans être corrodés. Il est donc tout à fait opposé aux intérêts du commerce de faire une dorure faible ; mais l'appât du lucre est si grand, que nous avons vu bien des bijoux qui contenaient au plus un gramme d'or par kilogramme.

III. *Dorure galvanique.* Nous allons considérer le problème d'une manière beaucoup plus générale que nous n'avons fait jusqu'à présent. Ce ne sera plus seulement du dépôt de l'or sur un métal commun, sur le cuivre, dont nous nous occuperons, mais bien du dépôt d'un métal quelconque sur un autre métal quelconque. Nous considèrerons la dorure, l'argenture, le platinage, le cuivrage, le zincage, le cobaltisage, le plombage, etc. ; mais nous ferons surtout l'application du principe général à la dorure et à l'argenture, qui industriellement sont les deux opérations principales. La pratique industrielle n'a tiré, on peut dire, aucun parti des métaux autres que l'or et l'argent. Le procédé galvanique est trop coûteux pour s'appliquer à un revêtement d'un métal par un autre qui n'a pas une valeur plus grande. Le zincage du fer, par exemple, n'eût pas trouvé toutes ses utiles applications si on n'eût pu le produire à bas prix en immergeant simplement le fer dans un bain de zinc fondu (voyez ÉTAMAGE).

Le problème peut s'énoncer ainsi : appliquer un métal sur un autre en couches continues, adhérentes et inséparables, avec toutes les conditions du brillant métallique, et de l'apparence commerciale des objets faits intégralement avec le métal appliqué seulement à la surface. La solution du problème consiste à dissoudre ce dernier métal dans des agents convenables et à le précipiter ensuite sur le premier, en se servant de l'électricité développée par une pile comme agent de la précipitation.

La condition pour le métal précipité, de former une couche continue et adhérente au métal qu'elle recouvre, distingue complétement l'invention actuelle des travaux, qui ont pour but de faire cristalliser ou de séparer analytiquement les métaux de leurs minerais,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

branche qui a été l'objet des travaux de MM. Gay-Lussac, Becquerel et de plusieurs autres physiciens.

Cette même condition distingue aussi complétement la méthode considérée de la GALVANOPLASTIE, dont le but est de précipiter des métaux sur d'autres corps, en couches continues, mais point adhérentes, afin de prendre des moules ou des empreintes de ces corps.

C'est M. de La Rive qui le premier est parvenu à exécuter les précipitations galvaniques adhérentes. Il avait pour but la dorure. « D'abord il essaya de faire « passer le courant d'une forte pile à travers une solu « tion de chlorure d'or, en mettant au pôle positif un « fil de platine et au pôle négatif le métal à dorer. « Ses premiers essais ne furent pas heureux ; il ne put « par ce moyen dorer que du platine, dorage qui était « d'une bien minime utilité. Il est vrai que ce dorage « était fort beau, et que les plus fins connaisseurs pre- « naient pour de l'or du platine ainsi doré. Quant au « laiton et à l'argent, il ne réussit point à les dorer ; « l'action chimique qu'exerçait sur ces métaux la so- « lution d'or, toujours très acide, les dissolvait eux- « mêmes, et empêchait l'or d'adhérer à leur surface. « (*Annales de Phys. et de Chimie*, t. LXXIII, p. 399.) » Pour réussir à dorer l'argent et le laiton, M. de La Rive songea à employer de faibles courants électriques, et il renonça alors à se servir d'une pile ordinaire, ou plutôt il lui substitua une pile dont faisaient partie intégrante les objets à dorer. Il renfermait une dissolution assez étendue de chlorure d'or dans un sac de baudruche, et plaçait ce sac au centre d'un vase en verre, contenant une eau faiblement acidulée où baignait une lame de zinc. A cette lame, il attachait un fil métallique qui, par son autre extrémité, soutenait l'objet à dorer plongé dans la dissolution d'or.

L'eau acidulée peut être mise dans l'intérieur du sac, et la dissolution d'or en dehors. Alors dans le sac plonge un cylindre de zinc qui est joint à la pièce à dorer, placée en dehors, au moyen d'un fil métallique.

Dans tous les cas, le zinc et la pièce à dorer constituent un élément voltaïque, dont le pôle positif est le morceau de zinc et le pôle négatif la pièce à dorer. Il se produit un faible courant à travers les liqueurs qui ne peuvent se mélanger à cause de la baudruche ; ce courant décompose la solution d'or et amène l'or, molécule par molécule, sur le métal qui sert de pôle négatif.

La baudruche présente des inconvénients inhérents à sa nature ; M. Becquerel les a évités en lui substituant des vases en porcelaine dégourdie ou en terre poreuse qui ne permettent pas aux liqueurs de se mélanger, tout en laissant passer le courant électrique. Il en résulte que l'on n'est plus exposé aux pertes d'or que les sacs en baudruche avaient le désavantage de causer.

Vers le commencement de 1840, après avoir pris connaissance des travaux de M. de La Rive, M. Smee, en Angleterre, chercha à en faire l'application à l'argenture. Après avoir bien nettoyé la pièce à argenter, M. Smee la plonge dans une dissolution de sulfate, d'acétate ou d'hypo-sulfite d'argent très étendu, mêlé avec une petite quantité d'acide sulfurique également étendu. Mais en employant toutes les précautions indiquées par M. Smee, et de son aveu même, on ne parvient que très difficilement à obtenir une mauvaise argenture (*Manuel Roret, Traité de Galvanoplastie*, pag. 105).

On doit reconnaître dans ces essais de dorure et d'argenture les mêmes tâtonnements qui ont précédé l'emploi industriel de la dorure par immersion. Les bains ne doraient pas commercialement, parce qu'ils étaient acides ; M. Elkington est venu détruire l'acidité en composant un bain alcalin. De même, les inconvénients principaux des procédés galvaniques dont nous venons de parler consistent surtout en ce que, la dissolution d'or et d'argent étant acide, elle agit sur les pièces qu'on veut dorer ou argenter, de telle sorte qu'à moins de très grandes précautions, qu'il n'est pas possible de prendre quand on opère en grand, toute la surface des pièces n'est pas recouverte. M. Elkington a encore remédié à ces inconvénients, non plus en introduisant dans les liqueurs une grande quantité de sel alcalin qui aurait compliqué le mode d'action du courant galvanique, mais en remplaçant l'acide corrosif par un acide qui n'exerce pas d'action sur les métaux à dorer ; il a substitué le cyanure d'or au chlorure d'or, et cette substitution a doté l'industrie d'un de ses plus merveilleux procédés.

Nous avons souvent fait cette remarque qu'il y a des époques qui semblent désignées pour voir éclore telle ou telle découverte. Les temps étaient venus, dirons-nous, pour la dorure galvanique. A peine M. Elkington avait pris son brevet pour le nouveau procédé, que l'on voit surgir presque dans tous les pays des hommes qui font la même découverte ou lui apportent de notables perfectionnements ; mais aucun, à notre connaissance du moins, n'a publié ses procédés avant M. Elkington, et même n'a montré publiquement des échantillons de ses produits. M. Perrot, inventeur de la machine à imprimer les étoffes à laquelle on a donné le nom de perrotine, a déposé, le premier, dès le mois de janvier 1841, à l'Académie de Rouen et à l'Académie des sciences de Paris, de nombreuses pièces d'argent, de cuivre, d'acier, de fer, parfaitement dorées. Cet ingénieur avait même généralisé le problème en zincant, platinant et cuivrant le fer. M. Louyet dora dans un cours public à Bruxelles. Enfin M. de Ruolz prit au mois de juin 1841 le premier de ses brevets, où l'on trouve des procédés galvaniques pour la dorure, l'argenture, le cuivrage, etc. M. de Ruolz a eu le mérite de poser nettement les conditions nécessaires pour que l'opération réussisse complétement. Elles peuvent se résumer ainsi :

1° Les éléments électro-négatifs des liqueurs doivent être sans action sur les métaux à recouvrir, c'est-à-dire que les corps, qui sont transportés par le courant galvanique ou pôle négatif, ne doivent tendre en aucune façon à attaquer les métaux qui s'y trouvent placés pour être recouverts ; les liqueurs elles-mêmes ne doivent point agir sur le métal à recouvrir ;

2° Sous l'influence de la pile, il ne doit se précipiter aucun autre corps que le métal à déposer ;

3° Les liqueurs doivent être suffisamment conductrices du courant galvanique.

M. de Ruolz présenta un résumé de ses brevets à l'Académie des sciences, et dès lors il s'ouvrit sur la dorure et l'argenture galvaniques, une espèce de concours dont M. Dumas fut le rapporteur. M. Dumas fit comprendre tout le parti qu'on pouvait tirer des nouveaux procédés dans l'intérêt de l'industrie et du commerce, et de la salubrité des ateliers de dorure. Nous avons donné à l'article ALLIAGES un extrait de ce rapport remarquable, qui nous dispense d'entrer ici dans plus de détails sur le parti que l'on peut tirer, dans l'intérêt général, de la découverte dont nous venons de faire l'histoire. Ce rapport éveilla l'attention publique, et dut vivement encourager M. Ch. Christoffe, cessionnaire des brevets de MM. Elkington et de Ruolz, à consacrer de grands capitaux à faire faire aux procédés galvaniques tous les progrès nécessaires pour les amener à l'état pratique. C'est ainsi qu'en moins de deux ans fut créée en France une industrie qui prendra certainement un très grand développement, et qui, nous le pensons, n'a pas dit son dernier mot. Beaucoup de personnes s'en occupent et doivent y apporter de notables perfectionnements.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous allons décrire les procédés dont l'exécution est la plus commode et la plus usitée, ces procédés n'ayant pu être compris dans le rapport de M. Dumas fait à l'origine de la découverte.

Ainsi que dans toutes les opérations de dorure ou d'argenture, nous devrions considérer la préparation des objets, celle du bain, l'opération de la dorure et enfin la mise en couleur. Mais ce que nous avons dit de la dorure par immersion nous dispense d'entrer pour le moment dans aucun détail sur la préparation des objets et sur la mise en couleur. Le dérochage et le décapage se font comme nous l'avons indiqué; il n'y a pas de ravivage; la mise au mat s'effectue par le procédé des acides mélangés indiqué pour la dorure par immersion, avant la dorure ou l'argenture, et en plongeant, au moment de l'opération, les objets dans une dissolution de nitrate de mercure très faible. On peut aussi obtenir le mat, après le dépôt métallique, par les moyens usités dans la dorure au mercure. On met rarement en couleur; le plus souvent on se contente de brunir les objets complétement desséchés dans de la sciure de bois chaude. Comme on peut déposer, par la pile, des couches du métal précieux aussi épaisses que l'on veut, il est nécessaire de se rendre compte de la quantité d'or ou d'argent dont on a revêtu les pièces. Deux pesées suffisent pour cela; l'une est faite sur les pièces décapées et séchées, l'autre sur les pièces sortant du bain mais déjà séchées. Très souvent on ne dore ou n'argente que certaines parties des objets, afin, par exemple, de déposer de l'or sur un fond de platine ou d'argent. Pour réussir on fait des réserves avec une épargne qui est tout simplement du chrômate de plomb délayé dans une eau gommée.

Les bains se composent généralement de cyanure de potassium, et de cyanure, ou d'oxyde, ou d'un sel du métal à déposer, le tout dissous dans l'eau; nous donnerons tout à l'heure les proportions de ces divers ingrédients. Les dissolutions durent, pour ainsi dire, éternellement, quand on a soin d'attacher au pôle positif de la pile des lames du métal à précipiter, précieuse découverte revendiquée par M. Boquillon, qui a pris aussi de nombreux brevets pour la galvanoplastie et l'électrotypie; à mesure que le métal en dissolution se dépose sur les objets en communication avec le pôle négatif, il se dissout du côté du pôle positif une quantité équivalente de ce métal, si la surface des lames métalliques est à peu près égale à celle des objets à recouvrir. Comme il se pourrait qu'on fût forcé d'employer de très-grandes lames d'or pour la dorure, ce qui serait fort coûteux, on peut les remplacer par des plaques de cuivre dorées par les procédés galvaniques.

Voici comment on dispose l'appareil pour l'exécution en grand des procédés galvaniques.

Prenons pour exemple la dorure.

Figure 676, plan de l'appareil.

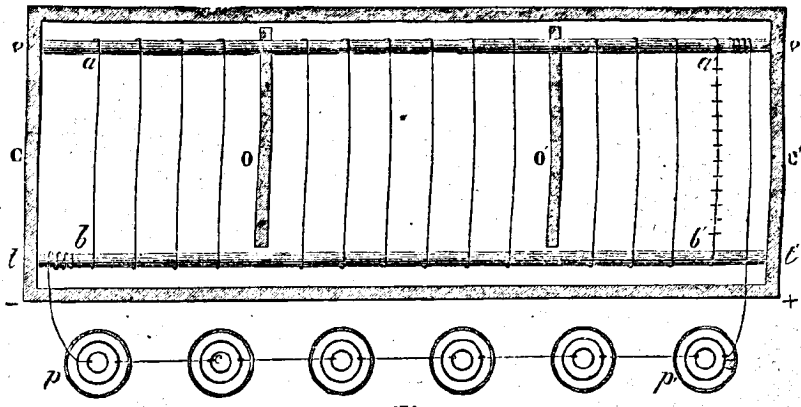
C C', grande cuve en bois, convenablement mastiquée, contenant le bain à dorer.

t t', *v v'*, tiges métalliques dorées, traversant la cuve dans toute sa longueur, placées un peu au-dessous du niveau supérieur du liquide, et mises en communication : *t t'* avec le pôle négatif, *v v'*, avec le pôle positif.

O, O', deux lames d'or partageant la cuve en trois compartiments égaux, en communication avec la tige longitudinale *v v'*, et qui se dissolvent à mesure que la dorure s'opère.

a b, tiges mobiles en laiton doré qui s'appuient sur les tiges *v v'*, *t t'*, et sur lesquelles on accroche par des fils de laiton dorés les objets que l'on veut recouvrir.

p, piles disposées en nombre convenable le long de la cuve C C'. Elles se composent d'un seau en bois mastiqué, où l'on place deux cylindres concentriques qui ne se touchent pas. Le cylindre extérieur *z* est en zinc amalgamé; le cylindre intérieur *c* est en cuivre. On met le zinc de chaque pile en communication avec le cuivre de la pile suivante, au moyen d'un fil de laiton qui est attaché à la partie supérieure de chaque cylindre à l'aide d'une petite clef se composant : 1° de deux mâchoires qui serrent le métal au moyen d'une vis de pression, et 2° d'une tête armée d'une vis qui serre le fil de laiton. On charge les piles avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, et marquant 5° à l'aréomètre de Beaumé.



676.

Le temps de l'immersion varie selon l'épaisseur de la couche d'or que l'on veut déposer.

On entretient durant l'hiver les bains à une température constante de 15 à 20 degrés, au moyen de tuyaux ou s'écoule de l'eau chaude; on emploie le même moyen d'échauffement pour certaines opérations qui s'effectuent à chaud.

Avant de donner les proportions des bains, nous rappelons qu'elles sont brevetées, ainsi que toutes proportions analogues, par MM. Elkington et de Ruolz; il est de notre devoir de ne point induire le public dans des procès en contrefaçon, en le laissant dans l'ignorance de ce fait. Nous serions désolé que l'espèce d'indiscrétion que nous commettons, dans l'intérêt général, et à laquelle d'ailleurs nous sommes autorisé, puisse nuire à des intérêts privés. Enfin, nous reproduisons le regret que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous avons manifesté en rendant compte de la dorure par immersion ; il est fâcheux que le gouvernement n'ait pas pris des mesures pour mettre dans le domaine public des procédés d'une utilité aussi grande.

Dorure. Le bain préférable pour la dorure se compose de 100 parties d'eau distillée, 10 p. de cyanure de potassium, 1 p. de cyanure d'or.

On prétend qu'on peut employer les autres dissolutions suivantes, mais nous ne les avons pas toutes vérifiées :

100 parties d'eau distillée, 12 p. de cyanure de potassium, 1 p. d'oxyde d'or ;

200 p. d'eau distillée, 10 p. de cyano-ferrure jaune de potassium, 1 p. de cyanure d'or ; on peut substituer au cyano-ferrure jaune, du cyano-ferrure rouge, ou même de la potasse ou de la soude ;

100 p. d'eau distillée, 6 p. de cyano-ferrure jaune de potassium, 1 p. de chlorure d'or neutre ; et après avoir filtré on ajoute 50 p. d'eau distillée, et par petites portions une solution de potasse à l'alcool jusqu'à ce que la liqueur soit faiblement alcaline ;

125 grammes de cyanure de potassium ou autre cyanure soluble ; 31,25 gr. d'oxyde d'or ou d'or métallique, et 8 litres d'eau ;

1 p. de chlorure double d'or et de sodium, 100 p. d'une solution de soude à l'alcool marquant 10 degrés à l'aréomètre ;

1 p. de chlorure double d'or et de potassium, 100 p. d'eau distillée, 15 p. de cyanure de potassium ;

500 p. d'une solution de potasse caustique à 10° de l'aréomètre ; 1 p. d'oxyde d'or, et dans la liqueur faire passer un courant d'hydrogène sulfuré, jusqu'à ce que la réaction alcaline n'en soit que très faible ;

150 p. d'eau distillée, 24 p. de cyanure de potassium, 1 p. de chlorure d'or sec ;

100 p. d'eau distillée, 10 p. d'iodure de potassium, 1 p. d'iodure d'or ;

1 p. d'oxyde d'or qu'on fait dissoudre à l'aide d'une chaleur de 100 degrés dans 40 p. d'eau de baryte marquant 3 degrés à l'aréomètre ;

1 partie de sulfure d'or, 300 p. d'eau, 40 p. d'hypo sulfite de soude ;

1 p. de cyanure d'or, 150 p. d'eau, 15 p. d'hypo sulfite de soude ;

1 p. de sulfure d'or, 400 p. d'eau, 40 de ferro-cyanure jaune de potassium ;

1 p. de sulfure d'or, 24 p. de cyanure de potassium, 400 p. d'eau.

A ces nombreuses dissolutions, on pourrait certainement en joindre d'autres encore ; pour cela il n'y aurait qu'à chercher parmi toutes les solutions que la chimie donne le pouvoir de composer, celles qui satisfont aux trois conditions que nous avons posées plus haut. C'est ainsi que dans ces derniers temps, M. Zaleski a proposé de remplacer les cyanures par les cyanates. Mais, nous le répétons, nous n'avons pas encore été mis en position de vérifier jusqu'à quel point ces différentes dissolutions donnent des dorures convenables, ni de les comparer entre elles.

Pour obtenir différentes nuances d'or, il faut attacher au pôle positif des lames d'or allié d'argent ou de cuivre, ou mélanger à la dissolution d'or une solution destinée au cuivrage.

Pour produire le mat, dit M. de Ruolz, il est préférable d'employer la dissolution déjà indiquée et qu'on obtient, en prenant 20 litres d'eau distillée, 1200 gram. de cyanure de potassium, et du sulfure d'or humide, et récemment précipité, résultant du traitement de 42 gram. d'or métallique par l'eau régale, et ensuite par un courant d'hydrogène sulfuré ; le tout mis en digestion pendant 24 heures, à une chaleur de 50 à 60°.

Quand on a besoin d'oxyde d'or, il est préférable de le préparer, au moyen de la magnésie ; on prépare le chlorure d'or par l'eau régale, et on le traite par la magnésie caustique ; il se forme un aurate de magnésie qu'on lave ; par un acide, on en précipite ensuite l'oxyde d'or, et la magnésie se dissout.

Pour préparer le cyanure de potassium, on pulvérise le cyano-ferrure de potassium avec soin, on le chauffe dans un vase en fer couvert, jusqu'à la chaleur rouge cerise ; on laisse refroidir à l'abri du contact de l'air ; et on pile la masse à moitié fondue et poreuse. Cette masse, traitée par de l'alcool étendu et bouillant, laisse déposer le cyanure de potassium parfaitement pur, par le refroidissement.

Le cyanure d'or s'obtient en traitant l'or par l'eau régale, évaporant lentement à siccité, et dissolvant ensuite dans une solution récente de cyanure de potassium. Le précipité blanc-jaunâtre qui se forme est le cyanure d'or qu'on lave et sèche. Un excès de cyanure de potassium le dissout, et c'est alors qu'on l'emploie pour la dorure.

Tous les procédés précédents peuvent être employés pour dorer l'argent, le bronze, le laiton et le maillechort. Pour le fer, l'acier, le zinc, l'étain et le plomb, il est préférable de déposer à l'avance une couche de cuivre, pour que la couche d'or ait plus de solidité.

Jusqu'à la découverte des procédés galvaniques, on n'avait pas doré le fer et l'acier d'une manière durable. On comprend tout le service que ces procédés rendent aux arts en les dotant ainsi d'objets précieux qui leur manquaient jusqu'à présent. Une bonne dorure galvanique, nous l'avons éprouvé, peut éviter la rouille. Toutefois, on a prétendu que l'or déposé à la surface des objets ne les préservait qu'imparfaitement, et on a cité pour exemple une capsule de cuivre doré qui se laisse dissoudre par l'acide nitrique. Le fait est vrai, mais à la condition que l'on n'avait pas pris toutes les précautions pour avoir une dorure bien résistante. Il faut, en effet, assimiler la couche d'or déposée à une espèce de tissu métallique dont les mailles sont très serrées ; à travers cette toile, l'acide nitrique peut filtrer, et par suite il vient attaquer le métal insuffisamment recouvert. Mais soumettons à un martelage la première couche déposée, et exposons de nouveau la capsule à l'action galvanique, la nouvelle toile métallique ne sera plus disposée comme la première ; les vides des nouvelles mailles ne coïncideront pas avec les vides primitifs. En opérant plusieurs fois de cette manière, on obtiendra évidemment une dorure suffisamment préservatrice, et ainsi que nous l'avons vu, on pourra faire bouillir impunément de l'acide nitrique dans une capsule de cuivre dorée galvaniquement.

Certes, avec la dorure au mercure, on n'aurait jamais pu espérer d'arriver à un tel résultat. Dans tous les cas, la dorure sur fer, acier, étain, zinc, est une opération toute nouvelle qui doit rendre de grands services, ainsi que doivent l'avouer ceux mêmes qui conservent le plus de doutes sur la durée des dépôts métalliques. Ils ne comprennent pas bien, disent-ils, comment il peut se produire une grande adhérence ; nous ne le comprenons pas bien non plus, mais nous voyons que cela est, et d'ailleurs nous n'imaginons pas pourquoi la force, le courant galvanique, ayant la propriété de dissoudre les grandes pièces métalliques fort résistantes, placées au pôle positif, n'aurait pas la propriété contraire de déposer au pôle négatif des couches aussi fort résistantes.

Qu'il y a loin, du reste, de la facilité et de la puissance industrielle des procédés galvaniques à ceux employés jusqu'à présent ! Jusqu'à présent, les essais de dorure sur le fer où l'acier n'avaient consisté qu'en une espèce de peinture fort peu adhérente. Outre la dorure par simple immersion dans le chlorure d'or, dont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous avons parlé, et à laquelle on avait à peu près renoncé dans ces derniers temps, on employait la dissolution éthérée d'or. Après avoir chassé, autant qu'il est possible de le faire, l'excès d'acide de la dissolution de l'or dans l'eau régale, on redissolvait le perchlorure d'or dans l'eau, et on agitait ensuite la liqueur avec de l'éther sulfurique qui enlevait l'or et surnageait avec lui. On appliquait avec une brosse l'éther aurifère sur le fer ou l'acier bien brunis, et brunissant de nouveau on chassait tout l'éther par la chaleur développée par le frottement, et on fixait ainsi l'or.

Une autre méthode, peu supérieure, consistait à appliquer des feuilles d'or avec le brunissoir sur le fer, l'acier ou le cuivre chauffés à la température qui donne à l'acier l'aspect bleuâtre.

Enfin, on exécutait la dorure au bouchon; on dissolvait dans l'eau régale 60 parties d'or fin, et 12 parties de cuivre; puis on versait la dissolution sur des chiffons de toile, de telle sorte qu'elle fût tout entière absorbée; on brûlait ensuite les chiffons séchés, et on obtenait une cendre qu'on appliquait avec un bouchon, sur les pièces dérochées, décapées, et brunies; on brunissait de nouveau quand on trouvait la surface suffisamment recouverte. Nous pensons que ces détails, encore fort utiles à connaître en 1841 ou 1842, n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt historique.

Nous donnons, figure 671, une vue de la cuve servant

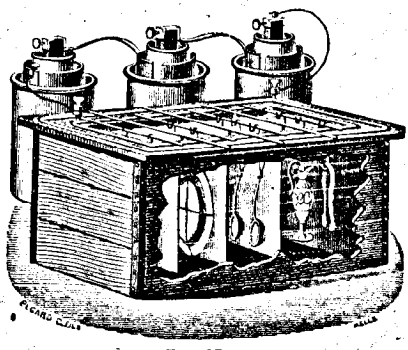


Fig. 671.

à la dorure galvanique; un arrachement latéral permet de bien voir la disposition des objets dans son intérieur.

Argenture. L'argenture galvanique a peut-être encore plus d'importance que la dorure; elle s'est substituée à l'argenture à l'amalgame, au pouce, à la voie humide (voir le mot ARGENTURE) et au PLAQUÉ; elle peut s'appliquer sur tous les métaux, ce qu'on n'obtenait pas par les anciens procédés. On la pratique sur une échelle très-étendue pour recouvrir le maillechort. Cet alliage déjà blanc, étant recouvert d'une couche d'argent suffisamment épaisse, donne des couverts qui remplacent, au point qu'on s'y méprend, les couverts d'argent; 60 grammes d'argent par douzaine de couverts suffisent pour garantir le maillechort durant quatre à cinq ans d'usage.

Pour pratiquer l'argenture galvanique, on prépare les pièces par les mêmes moyens que nous avons indiqués pour la dorure. On prépare les bains de la même manière en remplaçant seulement le cyanure d'or ou l'oxyde d'or par le cyanure d'argent ou l'oxyde d'argent. On peut aussi employer un grand nombre de dissolutions variées; en voici qui offrent quelque intérêt de curiosité parce qu'elles n'ont point d'analogues dans la dorure:

100 parties d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de carbonate d'argent;

100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de ferro-cyanure d'argent;

100 d'eau distillée, 10 d'hyposulfite de soude cristallisé, ou de potasse, de chaux, de baryte, de strontiane, 1 de chlorure d'argent sec;

100 d'eau distillée, 10 d'hyposulfite de soude, 1 de phosphate d'argent;

100 d'eau distillée, 11 d'hyposulfite de soude, 3 d'oxyde d'argent sec;

La même dissolution où l'on remplace l'oxyde d'argent par la même quantité de borate ou de tartrate d'argent;

100 d'eau distillée, 15 de ferro-cyanure jaune de potassium, 1 de borate d'argent.

Pour argenter le fer, l'acier, le zinc, l'étain, il est préférable de cuivrer d'abord légèrement. Pour l'acier, il est nécessaire de passer les pièces décapées dans le nitrate de mercure.

M. Bouilhet, l'un des chefs de la maison Christofle, résume ainsi qu'il suit les observations pratiques, résultat d'une grande expérimentation des procédés électrochimiques, appliqués surtout à l'argenture du cuivre.

I. Le courant électrique agissant en raison inverse des distances, il s'ensuit que plus une pièce ou partie de pièce est rapprochée de l'anode, plus il se dépose d'argent. Il est donc utile de mettre à profit cette particularité du courant galvanique, en plaçant en regard de l'anode les parties qui, dans les pièces à argenter, sont les plus exposées au frottement.

II. La densité étant toujours plus grande au fond qu'à la surface du bain, le dépôt d'argent est aussi plus rapide. L'expérience a prouvé que, sur une pièce plongée dans un bain ordinaire, il se déposait un tiers en plus de métal dans les parties inférieures. Le seul moyen de remédier à cet inconvénient est de retourner les pièces pendant le cours de l'opération.

III. Dans la décomposition des solutions d'argent par la pile, le cyanure d'argent est seul affecté; l'argent se porte au pôle négatif, et le cyanogène au pôle positif. Le cyanure de potassium devenu libre, moins dense que le reste de la solution, s'élève à la surface du bain et détermine un courant ascendant; le cyanure d'argent, formé sur la plaque positive, se dissolvant dans le cyanure de potassium libre, devient plus lourd que la masse du liquide qui l'environne, tombe au fond du bain et forme un courant descendant. De là résulte dans le bain une série de courants ascendants et descendants qui produisent, à la surface des pièces, une multitude de petites stries. Pour les éviter, il suffit de rendre la densité du bain plus uniforme en agitant les pièces à argenter.

IV. En même temps que l'argent, se dépose encore dans le bain un sous-sel de ce métal, qui a l'inconvénient de le faire sulfurer plus vite au contact de l'air. Pour prévenir ce résultat, il est utile de plonger les pièces, après le gratte-bossage, dans un bain de cyanure de potassium pur à 10 pour 100, puis de les rincer, à l'eau seconde d'acide sulfurique, enfin passer à l'eau chaude et sécher; ou mieux encore de les enduire d'une bouillie de borax, de les chauffer légèrement sur un feu de charbon de bois, et de les éteindre dans de l'acide sulfurique étendu à 8°.

V. Lorsqu'une pièce d'orfévrerie, même après le brunissage, est très-sulfurée par son séjour à l'air, on peut la nettoyer rapidement sans altérer en rien le bruni et le mat qui la décorent; il suffit de la passer dans un bain de cyanure à 4 pour 100, de la rincer à l'eau chaude et de la sécher avec un linge fin.

VI. Les bains se détruisent à la longue, c'est-à-dire que, par suite de l'exposition à l'air et du passage du courant électrique, il se forme une certaine quantité de carbonate de potasse et d'ammoniaque, aux dépens du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cyanure qui altère les propriétés du bain. L'anode soluble n'est donc pas suffisant pour en assurer la perpétuité. Afin d'y remédier, il suffit d'ajouter de temps en temps du cyanure de calcium. Par ce procédé, l'acide carbonique est précipité à l'état de carbonate de chaux, et une quantité équivalente de cyanure de potassium est régénérée.

On admet que pour un bain de 600 litres renfermant 2 kilogrammes d'argent par 100 litres, en employant quatre éléments Bunsen de 0m,25 sur 0m,40, on obtient en quatre heures 450 grammes d'argent déposé. En opérant dans des conditions toujours identiques, on peut se fier à l'expérience pour déposer un poids voulu, mais il y a plus de certitude en employant l'appareil suivant.

Nous voulons parler de la balance de M. Roseleur (fig. 672), très-convenable pour l'argenture des couverts

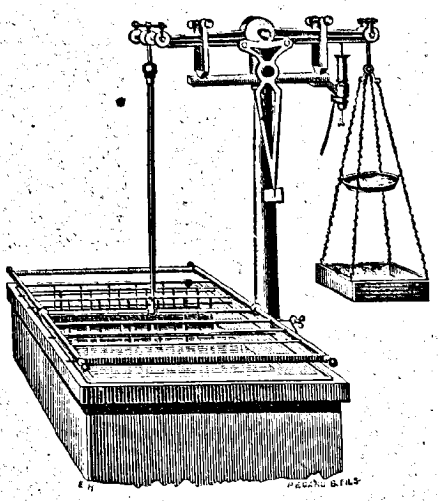


Fig. 672.

sur lesquels il importe beaucoup d'appliquer un poids d'argent déterminé et garanti par la vente, car c'est de ce poids que résulte le bon usage des couverts, leur résistance à l'usure.

L'appareil se compose: 1° d'une cuve en bois doublée à l'intérieur d'une feuille de gutta-percha, qui ne s'altère pas par le contact du bain d'argent. Le rebord supérieur de cette cuve porte une galerie de laiton qui y est fixée par de petites pointes qui, traversant la gutta-percha, vont s'enfoncer dans le bois. Cette galerie porte à une de ses extrémités une presse en cuivre qui sert à attacher le conducteur positif de la batterie; elle sert à supporter dans le bain les anodes solubles d'argent qu'on y attache à l'aide de fils de platine.

2° D'une colonne de fonte qui s'adapte à l'une des parois de la cuve, au moyen d'un empâtement maintenu par de fortes vis. Cette colonne porte horizontalement, à sa partie supérieure, deux bras en fonte munis à leurs extrémités de deux enfourchements verticaux, qui peuvent s'ouvrir ou se fermer par des clavettes de fer, et qui empêchent les trop grandes oscillations du fléau.

Au centre des deux bras que porte la colonne sont adaptées deux cuvettes en acier poli, destinées à recevoir les couteaux du fléau. L'un des bras de la colonne porte à son extrémité un anneau horizontal en fer dans lequel se trouve serré un fort tube de cristal, lequel sert de gaîne, tout en l'isolant de la colonne, à un godet en fer poli: ce godet porte à sa partie inférieure une petite poche en peau de chevreau ou en caoutchouc qui en forme le fond. Ce fond est donc mobile et monte ou descend au moyen d'une vis placée en dessous, ce qui permet de faire varier le niveau du mercure que l'on verse dans le godet en fer. Celui-ci est encore pressé latéralement par une vis de pression en laiton qui sert à le faire communiquer avec le conducteur négatif de la batterie voltaïque.

3° D'un fléau en fonte portant à son centre deux couteaux très-aigus en acier trempé, et à chacune de ses extrémités deux cuvettes parallèles, séparées par une encoche, également creusées dans l'acier, et destinées à recevoir les couteaux du plateau à poids et ceux du cadre à suspendre les objets à argenter. L'un des bras de ce fléau est muni d'une tige de platine qui se trouve placée immédiatement au-dessus du godet d'acier isolé dans le tube de cristal que porte l'anneau du bras de la colonne. Suivant que le fléau incline d'un côté ou de l'autre, cette tige de platine pénètre dans le godet ou en sort.

4° Du plateau à poids qui reçoit la tare exacte des objets immergés dans le bain, et est surmonté d'une petite assiette de tôle sur laquelle on dépose le poids de l'argent à déposer galvaniquement.

5° Du porte-objet, fort tube en laiton, terminé à sa partie supérieure par une platine à tige munie de deux couteaux en acier fondu, et à sa partie inférieure par un cadre en laiton qui a les mêmes dimensions que l'orifice de la cuve, et sur lequel viennent s'appuyer les tringles chargées des objets à argenter.

6° Enfin, d'un nombre plus ou moins grand de tringles à suspension. Ces tringles sont en laiton, aplaties et creusées à leurs extrémités, pour empêcher le roulement et faciliter les contacts. Les fils en cuivre rouge qu'elles portent en râtelier y sont soudés à l'étain dans des trous préparés à l'avance. Ces fils sont contournés à leur extrémité pour accrocher le couvert. Dans leur partie droite et dans toute la longueur qui doit plonger dans la solution argentique, ces fils sont engaînés d'un petit tube de caoutchouc qui a pour but d'empêcher l'argent du bain de se déposer sur leur surface et aussi de permettre, en le relevant à la partie supérieure de la tige, de désargenter aux acides les parties qu'on n'a pas pu se dispenser d'argenter en même temps que les couverts.

On doit verser du mercure dans les six cuvettes où reposent les couteaux pour augmenter la conductibilité et éviter l'action corrosive des liqueurs acides. On équilibre rigoureusement les objets immergés, puis on rompt l'équilibre en plaçant sur la petite assiette de tôle placée entre les chaînes un poids égal à celui de la totalité de l'argent qu'on doit déposer sur les couverts. Par la rupture de l'équilibre, la tige de platine, placée sous le bras du fléau, pénètre dans le mercure du godet en acier, et il suffit alors de relier la batterie à l'appareil par les deux fils conducteurs pour que l'opération commence. Dès que les couverts auront pris au bain une quantité d'argent égale au poids placé sur la balance, l'aiguille reviendra au zéro et la tige de platine sortant du mercure du godet, le courant électrique sera interrompu et par suite aussi la décomposition du bain. L'argenture sera terminée.

Désargenture. Pour enlever l'argent qui recouvre du cuivre, sans attaquer celui-ci, on emploie un mélange formé de 10 volumes d'acide sulfurique pour 1 d'acide nitrique; on opère plus rapidement à chaud.

Lorsque le mélange est ancien et qu'il a absorbé de l'humidité de l'air en grande quantité, il attaque le cuivre.

Théorie de la dorure et de l'argenture galvaniques. On a beaucoup discuté sur la question de savoir quel était, dans les bains d'or ou d'argent, le véritable agent de l'opération. La nature de l'agent décomposé par la pile change-t-elle lorsqu'on substitue au cyanure simple de potassium (prussiate blanc) le cyano-ferrure de potassium

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DORURE.

(prussiate jaune), ou le cyano-ferride de potassium (prussiate rouge)? La question a été résolue d'une manière heureuse par M. Bouilhet: il a constaté que les bains d'argent préparés, soit avec le cyano-ferrure, soit avec le cyano-ferride de potassium, contiennent précisément le sel double produit, dans des circonstances semblables, par le cyanure de potassium, c'est-à-dire du cyanure double de potassium et d'argent (KCy,AgCy).

Voici ce qui se passe dans ces trois circonstances:

1° Quand on mélange du cyanure d'argent avec du cyanure de potassium, le sel double se forme immédiatement.

2° Quand on mélange du cyanure d'argent avec du cyano-ferrure de potassium, quoique l'on ait employé des sels neutres, la liqueur devient immédiatement alcaline, et il se forme du cyanure de potassium et du cyano-ferrure d'argent; ce dernier se décompose par l'ébullition en cyanure de fer et en cyanure d'argent. Ce cyanure d'argent ainsi formé se combine avec le cyanure de potassium d'abord produit, et on obtient le sel double en question.

3° Si on met en contact du cyanure d'argent avec du cyano-ferride de potassium, il se forme du cyano-ferride d'argent et du cyanure de potassium; le cyano-ferride d'argent se décompose ensuite en sesqui-cyanure de fer et en cyanure d'argent, et le cyanure double d'argent et de potassium se forme immédiatement.

Quand on substitue au cyanure d'argent un autre sel, tel que de l'azotate, etc., la réaction est un peu différente, mais aboutit toujours au même résultat. Le cyanure double de potassium et d'argent est toujours le résultat final de l'opération. En général, dans tous les procédés d'argenture galvanique proposés, la substitution d'un équivalent à un autre ne change pas les réactions; on argente toujours par les mêmes principes; on forme un sel double d'oxyde d'argent et d'une base alcaline, lequel sel double est décomposé par la pile. La formation de ce sel double fait le mérite de l'invention de M. Elkington. On a cherché à changer, tantôt l'acide, tantôt la base, à substituer à l'acide cyanhydrique de l'acide hyposulfureux, par exemple, et à la potasse de l'ammoniaque. Ce sont là des changements sans aucun mérite réel.

L'emploi de sels doubles pour l'argenture avait été essayé anciennement, mais dans de mauvaises conditions. On fait plutôt un blanchiment à l'argent qu'une véritable argenture, en trempant des objets de cuivre ou de laiton décapés dans un mélange de chlorure d'argent et de sels divers où domine le chlorure de sodium. En Italie on a essayé, après les travaux de Brugnatelli, de se servir de dissolutions ammoniacales d'argent pour argenter avec la pile: ces dissolutions sont trop instables pour présenter de l'avantage. Dans le courant de 1840, M. Bœttger, chimiste de Francfort, a fait quelques nouveaux essais dans ce genre avec du nitrate double d'argent et d'ammoniaque, contenant un léger excès d'ammoniaque; ces essais ont échoué. Les efforts tentés par MM. Émile Thomas et Delisle, dans la même voie, n'ont pas été plus heureux. Ces messieurs pensaient avoir fait une découverte en montrant que l'alcalinité n'était pas une condition essentielle de l'argenture, parce qu'un acide faible, comme l'acide sulfureux, ne l'empêchait pas de se produire. Cette expérience avait été faite avant eux par M. Roseleur. La vérité est qu'un acide faible, comme l'acide sulfureux ou l'acide acétique, ne fait absolument rien dès que le sel double s'est constitué. Cet acide faible est inutile, s'il n'est pas absolument nuisible. Le procédé de MM. Émile Thomas et Delisle est le suivant, d'après leur propre description: « A. Faites bouillir de la chaux éteinte et du soufre en poudre en quantité convenable dans l'eau, jusqu'à formation suffisante de polysulfure de calcium; filtrez. B. Faites passer dans la liqueur claire A un courant d'acide sulfureux, jusqu'à décoloration et saturation fortement acide. C. Précipitez la chaux dans la liqueur B, par addition successive de carbonate d'ammoniaque jusqu'à réaction alcaline; lavez pour ne rien perdre après avoir filtré. D. Faites passer dans la liqueur claire C un courant d'acide sulfureux, jusqu'à réaction franchement acide. La liqueur D sera un mélange d'hyposulfite acide, de bisulfite d'ammoniaque et d'acide sulfureux; elle dissoudra très-rapidement à froid les oxydes ou sels d'argent et donnera immédiatement une bonne argenture au trempé ou à la pile. » Il nous est impossible de voir autre chose dans cette préparation qu'un sel double d'argent et d'ammoniaque, très-facilement décomposable à l'air.

Une fois que le sel double, d'un alcali et d'un métal à déposer, est constitué, on obtient toujours le dépôt de ce métal en couche continue sur un autre métal, lorsque celui-ci plongé dans la liqueur est préalablement mis en contact avec du zinc pour constituer un élément voltaïque.

Platinage. M. de Ruolz donne pour le platinage les cinq dissolutions suivantes; nous ne croyons pas qu'on pratique l'opération commercialement. Le platinage s'effectue sur le fer, l'acier, le cuivre, le laiton, le bronze et aussi sur l'étain, mais par l'intermédiaire d'une couche de cuivre.

100 parties d'eau distillée, 1 de chlorure de platine, 2 de cyanure de potassium, en joignant une chaleur de 80 à 90 degrés à l'action de la pile;

100 d'une dissolution de potasse marquant 10 degrés à l'aréomètre, et de chlorure double de platine et de potassium, récemment précipité et à l'état humide, en quantité équivalente à 1 partie du même chlorure sec;

100 d'eau distillée, 1 de chlorure de platine sec, et ajouter peu à peu de la soude caustique jusqu'à ce que la liqueur soit franchement alcaline;

200 d'eau distillée, 20 d'iodure de potassium, 1 de chlorure de platine sec.

Pour le laiton, le cuivre et le bronze seulement: une partie de chlorure double de platine et d'ammoniaque sec, 60 d'eau distillée, 30 d'acide hydro-chlorique pur; après avoir fait bouillir durant dix minutes, ajouter 50 d'eau distillée et filtrer.

Cuivrage. Pour cuivrer tous les métaux, on emploie: 100 d'eau distillée, 1 de cyanure de cuivre, 10 de cyanure de potassium;

150 d'eau distillée, 24 de cyanure de potassium sec, 1 de chlorure de cuivre cristallisé;

Pour cuivrer le fer et l'étain seulement, on peut employer les bains suivants:

100 d'eau ordinaire, 4 de bioxalate de potasse, 7 de bioxyde de cuivre;

100 d'eau distillée, 10 d'hyposulfite de soude cristallisé, 1 de nitrate de cuivre.

Pour cuivrer le fer seulement:

Du carbonate de cuivre par petites portions jusqu'à saturation d'une solution concentrée de bicarbonate de soude ou de potasse;

100 d'eau distillée, 10 d'hyposulfite de soude, 1 de sulfate de cuivre cristallisé.

Cuivrage jaune. 1500 d'eau distillée, 130 de cyanure de potassium, 13 de cyanure de cuivre, 43 de cyanure de zinc.

Bronzage. 500 d'eau, assez de cyanure de potassium pour que la liqueur marque 4 degrés à l'aréomètre, la température étant de 15 à 20 degrés, 25 de cyanure de cuivre, 8 de bioxyde d'étain. Au pôle positif de la pile, une lame de bronze composée de 85 de cuivre et 15 d'étain.

Zincage pour le fer, le bronze et le laiton. 100 d'une dissolution de potasse ou de soude marquant 35 degrés à l'aréomètre, 1 d'oxyde de zinc sublimé, 500 d'eau distillée;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

100 d'eau distillée, 40 de sulfate de zinc, 5 de sel marin et ajouter un léger excès d'acide sulfurique pour obtenir une plus belle couleur;

Dans une dissolution de soude à la chaux marquant 15 degrés, dissoudre par l'ébullition autant d'oxyde ou de chlorure de zinc que possible;

Mêler à froid, poids égaux d'une solution de chlorure de zinc à 39° et d'une solution de sel marin à 25°, ou bien d'une dissolution de sel ammoniac à 8°.

Les sels de zinc peuvent être mélangés, sans inconvénient, de parties égales des sels analogues de fer.

Nous devons rappeler que M. Sorel a été breveté pour les dissolutions précédentes ou des dissolutions analogues, avant ou concurremment avec M. de Ruolz.

Plombage sur cuivre, laiton, fer. Employer une solution de potasse ou de soude à la chaux, à 30° de l'aréomètre, et de protoxyde de plomb (massicot) en quantité égale au vingtième de l'alcali employé.

Étamage. M. Ruolz employait 100 d'une solution de soude caustique à 10° de l'aréomètre, et 5 de protochlorure d'étain cristallisé.

Les premiers essais d'étamage par des procédés galvaniques datent de 1841; les brevets de M. de Ruolz les décrivent et le bain qu'il employait fonctionnait très-convenablement. Des procédés analogues furent repris par différentes personnes et employés dans l'industrie à faire la fonte argentine, les épingles en fer étamé, les plumes métalliques de M. Blanzy, etc.

Ce sont des solutions alcalines que M. Maistrasse a employées avec succès à Lorient et à Toulon pour la préparation du zincage des fers de la marine et plus tard pour la fabrication de la poterie de fonte étamée. Il employait, pour cela, des éléments de pile à grande surface composés de deux lames de zinc et de cuivre de $1^{m},20$ sur $0^{m},70$, disposées horizontalement dans de grands bacs en plomb et isolées l'une de l'autre par un châssis en bois; la feuille de cuivre était chargée d'un mélange de parties égales d'acétate de plomb et de sel marin, et l'élément baignait dans une solution d'acide sulfurique à 8 degrés: ces éléments fonctionnent régulièrement pendant huit jours, et donnent lieu à une dépense de 2 francs pendant cet intervalle de temps.

L'étamage galvanique a l'avantage de déposer l'étain sur des objets de toute forme; il permet d'augmenter l'épaisseur du métal déposé autant qu'on le veut, et, comme il ne forme qu'une couche d'étain pur, il offre une garantie complète au point de vue de la salubrité. Il a réalisé d'ailleurs une économie de 15 pour 100 sur les procédés anciens.

M. Maistrasse est arrivé à quelques faits nouveaux qui sont intéressants.

En chauffant les pièces métalliques étamées galvaniquement jusqu'à la fusion de l'étain, on a donné aux pièces ainsi traitées l'aspect et la solidité de l'étamage à chaud, et on a développé quelquefois en elles des propriétés utiles. Ainsi, par ce procédé, l'étamage des toiles métalliques, qu'on ne pourrait faire avec de l'étain fondu sans boucher les mailles, réussit parfaitement, et, par la soudure des fils, il donne à la toile une rigidité spéciale. En élevant la température jusqu'à la fusion de l'alliage que l'étain ferait avec le métal sous-jacent, on réalise un véritable alliage superficiel, ayant l'aspect et les qualités de celui qu'on aurait obtenu par la fusion dans un creuset. Par exemple, sur le cuivre on obtient un véritable bronze, dont la couleur varie avec la quantité d'étain déposée et la température à laquelle la pièce a été portée et maintenue. Avec du cuivre zingué, on fait, de la même manière, des couches superficielles de laiton. Cette méthode trouvera une application dans la fabrication d'objets en cuivre rouge par l'estampage ou la galvanoplastie, avec des formes adoptées pour les objets en bronze, auxquels on donnera ensuite, après coup, par l'étamage recuit, l'aspect et toutes les propriétés extérieures du bronze lui-même. Le zinc étamé, que M. Maistrasse nomme du *zinc blanc*, par analogie avec le *fer-blanc*, sera aussi d'un emploi utile. Lorsqu'il est recuit jusqu'à l'alliage de l'étain, il est plus malléable que le zinc ordinaire; il peut être laminé et estampé à froid, et supporte bien la soudure. Ces qualités nouvelles seront aussi, sans nul doute, l'objet d'applications utiles dans l'industrie.

L'importance qu'on doit attacher à l'emploi de l'étamage galvanique des vases destinés aux usages domestiques et les diverses applications que l'emploi de l'étain ainsi déposé et fondu peut avoir dans les arts rendent les résultats dont il vient d'être parlé fort intéressants.

Nickelisage du cuivre, du laiton, du bronze. On peut employer 100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de cyanure ou de carbonate de nickel; 35 de chlorure de nickel sec, 500 d'eau, 1150 d'une solution d'hydro-chlorate d'ammoniaque à 10°.

Dans des expériences nombreuses entreprises déjà autrefois par M. Becquerel père, M. de Ruolz et d'autres encore, on arrivait bien à déposer sur les objets une couche de nickel, mais les procédés dont on faisait usage n'avaient pas ce degré de sûreté et de constance nécessaires à une application réellement industrielle, et que l'on remarque précisément dans la méthode proposée depuis par M. Adams.

Elle permet de donner au nickel l'épaisseur désirée, il prend un remarquable brillant métallique, obtenu d'ailleurs avec une extrême facilité: quand la pièce sort du bain, il suffit de la frotter avec du drap imprégné d'un peu de poudre métallique pour lui donner tout son éclat.

Les dépôts galvaniques du nickel peuvent être utilisés pour les objets de sellerie, de coutellerie, robinetterie, horlogerie, instruments, armes, décoration, etc...; ils permettent d'obtenir des planches destinées à la reproduction des gravures, avec lesquelles, à cause du peu d'usure du nickel, on pourra atteindre un tirage exceptionnel.

Le nickel est blanc: il possède la propriété de résister à l'action de l'air, des acides et des substances avec lesquelles il pourrait être mis accidentellement en contact. Sa dureté est supérieure à celle de l'acier non trempé; enfin, il est d'un prix peu élevé. Voilà pour le côté industriel.

Au point de vue scientifique, les recherches de M. Isaac Adams sont de nature à jeter un grand jour sur bien des phénomènes présentés par les dépôts galvaniques. Lorsqu'on veut, sous l'influence du courant électrique, séparer l'oxyde de nickel par un alcali fixe d'une de ses dissolutions, il reste généralement de la potasse ou de la soude combinée au nickel; du nickelate de potasse se forme accidentellement.

C'est précisément cette difficulté d'obtenir les oxydes et les carbonates de nickel exempts de potasse ou de soude qui avait fait échouer jusqu'ici les premiers expérimentateurs. La découverte de M. Adams consiste surtout à avoir reconnu que, lorsqu'une dissolution de nickel contient des traces inappréciables de potasse, de magnésie, etc., le métal, au lieu de se déposer pur, se trouve mêlé à de petits dépôts de peroxyde de nickel qui enlèvent à la couche adhérente toute sa cohésion et sa beauté. Aussi le chimiste américain emploie-t-il des sels de nickel absolument exempts de substance alcaline fixe, tels que le sulfate double de nickel et d'ammoniaque ou le double chlorure de nickel et d'ammoniaque.

L'opération se fait dès lors avec la plus grande facilité. Le sel se décompose dans le bain, le nickel se dépose sur l'objet placé au pôle négatif et la dissolution se maintient neutre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cobaltisage du cuivre, du laiton, du bronze et du fer: 100 d'eau distillée, 10 de cyanure de potassium, 1 de cyanure ou de carbonate de cobalt; 200 d'une solution de chlorure de cobalt à 30°, 300 d'eau et 500 d'une solution de sel ammoniac à 10°.

Colorations obtenues par l'électricité. Après avoir parlé longuement de l'application des métaux sur d'autres métaux plus oxydables pour préserver ceux-ci de l'influence des agents atmosphériques, nous devons dire quelques mots de la tentative faite par M. Becquerel, pour substituer aux métaux déposés des oxydes inaltérables, tels que les peroxydes de plomb et de fer; tentative qui a mené ce physicien à la découverte de colorations très-remarquables, dont il en a montré, à l'Exposition de l'industrie de 1844, plusieurs échantillons, tels que boutons et fleurs. Toutefois, le dépôt des couleurs ne se fait guère qu'au hasard, de telle sorte qu'on n'est pas maître des effets produits; ce ne sont pas en réalité de véritables colorations qu'il obtient, mais des décompositions de lumière par des couches minces, connues dans la physique sous le nom de phénomènes des *anneaux colorés*.

On dissout dans un ballon 200 grammes de potasse caustique dans 2 litres d'eau distillée, on y ajoute 150 grammes de litharge, on fait bouillir pendant une demi-heure et on laisse reposer la dissolution. On verse cette dissolution froide, étendue de son volume d'eau, dans un vase cylindrique en porcelaine dégourdie. Ce vase est plongé dans un bocal contenant de l'eau acidulée par 1/20 de son poids d'acide nitrique environ, dans laquelle plonge une lame de platine communiquant avec le pôle négatif d'une pile faible. Le pôle positif est mis en relation avec la pièce à recouvrir d'oxyde. Il ne faut qu'un couple voltaïque ou deux, et on doit suivre l'opération attentivement, car elle ne dure quelquefois qu'une minute et encore moins. Les pièces sont en or ou en cuivre doré, de telle sorte qu'on obtient sur le jaune successivement les teintes rouge clair, rouge de feu, rouge foncé, violet, bleu, et enfin des teintes très-foncées. Il faut retirer continuellement les pièces du bain, afin de pouvoir obtenir les teintes que l'on a en vue. Si l'action galvanique est trop forte, il se forme du protoxyde hydraté de plomb, qui se précipite en flocons jaunes dans la dissolution, sans production de couches colorées. Il est donc nécessaire, dit M. Becquerel, de surveiller à chaque instant l'opération, qui est si facile que l'on peut agir sur un grand nombre d'objets en peu de temps, et toujours avec un égal succès. On augmente ensuite l'éclat des couches déposées par le bruni, qu'elles supportent très-bien parce qu'elles ont une très-grande adhérence.

Machines magnéto-électriques. L'emploi des piles, sur une grande échelle, n'est pas sans graves inconvénients. L'abondant dégagement de vapeurs nitreuses, la variation de l'intensité du courant de la pile avec le temps, doivent être cités, comme le prix élevé de l'électricité ainsi produite. Aussi les grands ateliers de galvanoplastie et de dorure ont dû penser à employer l'électricité produite à l'aide de machines magnéto-électriques, ne consommant que de la force motrice. Le grand atelier d'Elkington à Birmingham a utilisé le premier à cet effet les machines de Wild, malgré bien des obstacles, qui n'existent plus avec la machine de Gramme. Ainsi, dans des expériences comparatives, alors qu'une machine de Wild animée d'une vitesse de 2400 tours par minute ne déposait, par heure, que 170 grammes d'argent, la machine de Gramme, de dimension plus petite et n'étant animée que d'une vitesse de 300 tours seulement, a pu déposer 200 grammes, et l'élévation de température ne dépassait pas 50°.

Ordinairement, les circuits, chez M. Christofle, sont disposés de manière que les dépôts d'argent, par heure, soient de 600 grammes, et M. Bouilhet a constaté que les dépôts avec la machine Gramme se faisaient avec une régularité qui ne laisse rien à désirer.

C'est après ces essais que l'importante maison dont nous parlons a renoncé aux piles, et adopta exclusivement la machine Gramme pour les remplacer.

DORURE SUR BOIS. Les procédés de dorure sur bois s'appliquent aussi au plâtre, à la pierre, au carton-pâte, etc.

Dorure à l'huile. La dorure à l'huile est ainsi nommée parce qu'on se sert principalement d'huile comm. fluide; elle est très-employée pour toutes sortes d'ornements.

I. *Procédé de dorure pour les dômes, les combles des églises, les statues, les grilles, les balcons, les rampes d'escaliers, etc.*

1° On donne une couche d'*impression*, c'est-à-dire une couche de blanc de céruse, d'abord broyé à l'huile de lin, dans laquelle on fait bouillir de la litharge, et ensuite détrempé avec de l'huile de lin dans laquelle on a mis un peu d'huile grasse et très-peu d'essence de térébenthine. Trois ou quatre couches doivent être ensuite données avec de la céruse broyée fin à l'huile et détrempée à l'essence sur les ornements et les parties qui doivent être dorées avec le plus de soin.

2° On applique un mordant sur les pièces. Le mordant se compose d'*or-couleur* et d'huile cuite dégraissée, mêlés en proportion égale. L'or-couleur n'est pas autre chose que le reste des couleurs broyées et détrempées à l'huile qui se trouvent dans le vase où les peintres nettoient leurs pinceaux, et qu'ils nomment *pinceliер*. Cette substance grasse et gluante est bien broyée et passée à travers un linge fin.

3° Quand le mordant est assez sec pour happer l'or en feuilles, on doit étendre les feuilles sur un coussin, les couper en morceaux et les appliquer soigneusement avec du coton; dans les fonds on fait pénétrer l'or avec un pinceau de poil de putois.

L'opération est terminée, si les dorures sont exposées en dehors comme sur les balcons, les grilles, les statues, etc. Si les dorures sont destinées aux intérieurs des appartements, on les vernit.

4° Un ouvrier étend sur la couche d'or un vernis à l'esprit-de-vin, tandis qu'un autre ouvrier le suit en promenant sur les pièces un réchaud sans s'arrêter au même endroit de crainte de faire bouillonner le vernis. Cette chaleur fait revenir l'or, en rendant le vernis transparent. On applique ensuite un vernis gras.

Quand on veut dorer un marbre, on se dispense de mettre les couches d'impression; on lessive, on met une couche de vernis gras à polir, une couche de mordant et on dore.

II. *Procédé de dorure pour les équipages, les meubles, les cadres, etc.*

1° On donne une couche d'impression avec une mixture ainsi préparée: on broie séparément, et très-fin, 2 parties de céruse, 1 partie d'ocre jaune et un peu de litharge, on détrempe le tout avec de l'huile grasse coupée d'essence de térébenthine.

2° La couche d'impression étant sèche, on donne 10 ou 12 couches de *teinte dure*, céruse calcinée à l'huile grasse et détrempée avec l'essence. On laisse s'écouler un jour entre l'application de chaque couche; on met assez de couches pour bien masquer les pores du bois.

3° On *adoucit* d'abord avec une pierre ponce et de l'eau, ensuite avec une serge et de la ponce en poudre très-ténue, jusqu'à ce que la teinte dure soit unie comme une glace.

4° On donne avec une brosse de poil de blaireau 4 ou 5 couches au moins, et quelquefois jusqu'à 13 couches d'un vernis à la laque, en promenant doucement le réchaud.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

5° Le vernis étant sec, on *polit* d'abord avec de la prêle, ensuite avec de la potée d'étain ou du tripoli détrempé dans l'eau.

6° On donne une très mince couche d'or-couleur.

7° On *pose l'or au livret* sur l'or-couleur suffisamment sec, ou ouvrant un livret d'or, posant le bord de la feuille sur le mordant, et la lâchant quand elle est appliquée.

8° On époussette l'or avec une brosse plate de blaireau, et on laisse sécher plusieurs jours.

9° On pose un vernis à l'esprit de vin, comme dans le premier procédé.

10° On donne sur ce premier vernis, quand il est bien sec, deux ou trois couches d'un vernis gras, au copal, en laissant deux jours d'intervalle entre chaque couche.

11° Enfin, on polit avec une serge imbibée de tripoli et d'eau, et on lustre avec la paume de la main, frottée d'un peu d'huile d'olive.

En Angleterre, on ne met pas de vernis, mais on brunit les feuilles d'or avec de l'agate ou une dent de chien.

Dorure en détrempe. On dore en détrempe sur le bois, le plâtre et le marbre, dans des ateliers où on peut se garantir des grandes chaleurs et de l'humidité. Le procédé complet pour avoir une bonne dorure se compose de 17 opérations successives; souvent, on se dispense de quelques-unes, mais alors on obtient un ouvrage d'une mauvaise qualité.

1° *Encollage.* Cette opération a pour but de dégraisser et en même temps de préserver le bois de la piqûre des vers. On fait bouillir dans un litre d'eau une poignée de feuilles d'absinthe et deux ou trois têtes d'ail. Le liquide étant réduit à moitié est passé dans un linge, et alors on lui ajoute une demi-poignée de sel de cuisine et 2 décilitres de vinaigre. Sur le marbre, on ne met pas de sel, lequel présente des inconvénients dans les lieux humides.

2° *On apprête de blanc* successivement avec 10 ou 12 couches de blanc d'Espagne tamisé très fin, et mêlé à de la colle de parchemin très forte. On n'applique une couche qu'autant que la précédente est sèche. On adoucit légèrement avec une brosse la dernière couche donnée un peu chaude et plus claire que les précédentes.

3° On *rebouche* les petits creux et défectuosités qui se trouvent dans le bois avec un mastic formé de blanc et de colle pétris ensemble, qu'on appelle *gros blanc;* on passe ensuite une peau de chien, et on ôte les barbes du bois.

4° On *adoucit* la surface mouillée par petites parties avec de l'eau très fraîche, au moyen de pierres ponces plates ou arrondies, et de petits bâtons très minces afin d'aller dans toutes les moulures.

5° On *répare* la sculpture pour donner à l'ouvrage toute sa perfection artistique.

6° On *dégraisse*, c'est-à-dire qu'on lave avec une éponge douce.

7° On frotte avec de la *prêle* les parties unies, afin de les rendre plus douces, en ayant soin de ne pas user le blanc.

8° On met ensuite une couche de *jaune* afin de remplir les fonds où quelquefois l'or ne peut pénétrer; cette couche sert aussi de mordant. Ce jaune se prépare avec un quart de litre de colle de parchemin, dans laquelle on délaie 60 grammes d'ocre jaune broyé très fin à l'eau. On laisse reposer et on décante la liqueur qu'on fait chauffer et qu'on applique chaude avec une brosse douce.

Quand le jaune est sec, on *égraine*, c'est-à-dire qu'on frotte légèrement avec de la prêle tout l'ouvrage pour en ôter tous les grains et les inégalités.

10° On donne ensuite trois couches d'*assiette* avec une brosse de soie de porc, longue et mince, en évitant d'en mettre sur les fonds. C'est sur l'assiette qu'on pose l'or; elle se compose de 500 grammes de bol d'Arménie, 60 grammes de sanguine, et autant de mine de plomb. Ces substances broyées séparément à l'eau sont mélangées et rebroyées avec une cuillerée d'huile d'olive. On détrempe ensuite la matière dans de la colle de parchemin légère et tamisée, et on l'applique un peu chaude.

11° On frotte avec un linge sec, quand les couches d'assiette sont bien sèches, les parties qui doivent rester mates. Dans les parties qui doivent être brunies, on donne de nouveau deux couches de la même assiette détrempée à la colle, à laquelle on ajoute un peu d'eau.

12° L'ouvrage étant alors bon à dorer, on découpe les feuilles d'or sur le coussin du doreur; on mouille l'ouvrage avec de l'eau pure et très fraîche, et on applique les feuilles avec un pinceau, en ayant soin qu'il y ait dessous une légère couche d'eau. Avec un pinceau sec, on retire l'eau en excès, quand la feuille d'or est appliquée.

13° On brunit avec le brunissoir d'hématite.

14° On *matte*, en passant légèrement une couche de colle sur les endroits qui ne doivent pas être brunis.

15° Si, tandis qu'on dorait, on a oublié de mettre de l'or dans de petits fonds, ou si on a enlevé quelques parties d'or, en mattant, on *ramende*, c'est-à-dire qu'on pose de petits morceaux d'or, après avoir mouillé la place. Le ramendage ayant séché, on passe un peu de colle sur les endroits touchés.

16° On passe ensuite sur l'ouvrage, pour donner à l'or un beau reflet, une couche de *vermeil*. Pour faire le vermeil, on met bouillir, dans un litre d'eau, 60 grammes de rocou, 30 de gomme-gutte, 30 de vermillon, 15 de sang-dragon, 30 de cendres gravelées et 1 de beau safran. Quand par l'ébullition à petit feu la liqueur est réduite au quart, on la passe à travers un tamis de soie ou de mousseline. Avec un pinceau très doux, on glisse légèrement du vermeil sur tous les refends, les carrés et les petites épaisseurs.

17° Enfin, sur les parties mates, on passe une seconde couche de colle à matter plus chaude que la première, et la dorure est terminée.

On peut facilement varier les tons de la dorure, les faire, par exemple, d'or *vert* ou d'or *citron*. On ne change rien aux huit premières opérations que nous venons de décrire. Seulement au lieu de tout *jaunir*, on réserve en blanc les parties que l'on veut mettre en or vert ou en or citron.

Pour l'or vert, on donne sur le blanc réservé une couche d'une mixture de blanc de céruse broyé très fin à l'eau, d'un peu de bleu de Prusse et de jaune dit *stil de grain*, également bien broyés. On détrempe le mélange avec la colle de parchemin, on laisse reposer et on se sert de la liqueur décantée.

Pour l'or citron, on ne mêle à la céruse que le stil de grain.

Ces fonds appliqués, on continue comme précédemment; seulement l'ouvrage fini, il faut faire aussi des vermeils verts ou citrons, ce à quoi l'on réussit en introduisant dans le vermeil ordinaire de la gomme-gutte et du bleu de Prusse.

Il arrive quelquefois qu'on désire avoir des fonds sablés dans des parties dorées d'or bruni. Pour les obtenir on passe une couche du blanc précédemment décrit sur les endroits qui doivent être sablés, et on les saupoudre ensuite du sable fin passé au tamis, on retourne les pièces et on les frappe légèrement pour faire tomber le sable qui ne tient pas. Quand la pièce est sèche, on passe une nouvelle couche de blanc et on peut ensuite jaunir et continuer comme précédemment.

On argente en détrempe, absolument comme on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dore; seulement on ne jaunit pas, on applique directement sur le blanc les feuilles d'argent.

DORURE DES LIVRES. On dore sur le vélin en y plaçant une légère couche de gomme sur laquelle on couche ensuite la feuille d'or qui s'y colle et qu'on brunit avec de l'agate.

On dore la tranche d'un livre relié, collé, rogné et poli, et fortement serré dans la presse à rogner, en lui donnant une légère couche de blanc d'œuf battu, et on laisse sécher. On donne ensuite une légère couche de la composition suivante : on broie à sec et ensemble parties égales de bol d'Arménie et de sucre candi, on y ajoute un peu de blanc d'œuf bien battu et on broie de nouveau. Quand cette couche est sèche, on râcle et on polit; puis avant d'appliquer l'or, on mouille la tranche avec un peu d'eau pure, et on appuie les feuilles d'or avec un pinceau. On polit avec la dent de loup, lorsque les feuilles sont sèches.

Pour imprimer des lettres d'or sur la couverture des livres, dont la reliure est terminée, on passe du blanc d'œuf battu sur les places que l'on veut dorer, et ensuite la composition dite assiette décrite au n° 10 du procédé de dorure en détrempe; on applique l'or en feuilles et on le fixe au moyen d'instruments qu'on appelle fers, et qui sont en cuivre gravés en relief. On fait chauffer ces fers, et partout où ils touchent, l'or est fixé invariablement. L'or excédant est enlevé par du coton. (Voir le mot RELIURE).

DORURE SUR CUIR. Autrefois on pratiquait beaucoup la dorure des cuirs pour tentures des appartements. On employait le plus souvent les peaux de mouton battues et convenablement détirées. Après leur avoir donné une forme régulière, on les recouvrait de deux couches de colle de parchemin avec la paume de la main, et on appliquait par-dessus des feuilles d'argent qu'on tamponnait avec une queue de renard. L'argenture faite, on n'y mettait pas d'or, mais bien un vernis, une couleur d'or dont voici la composition : 2 kilogr. 500 d'arcanson, autant de résine ordinaire et de sandaraque et 1 kilogr. d'aloès, le tout concassé; on chauffait sur un feu de charbon dans un pot de terre jusqu'à fusion, alors on versait sept litres d'huile de lin et on remuait constamment jusqu'à ce que le vernis eût la consistance d'un sirop épais. On étendait le vernis sur le cuir avec les doigts et on l'égalisait avec la paume de la main. On imprimait ensuite les peaux en relief.

DORURE SUR PORCELAINE. Quoique la dorure sur porcelaine paraisse, au premier abord, être un cas particulier de la décoration des poteries, nous allons exposer ici les procédés de son application, parce qu'ils n'ont pas une connexion aussi étroite qu'on le croit généralement avec la fabrication même de la porcelaine. C'est encore une couche très mince du métal précieux qui recouvre les objets, afin qu'ils aient l'apparence d'être faits intégralement en or. Pour qu'un métal puisse être étendu sur les poteries, il faut qu'il soit malléable et qu'ensuite il soit inaltérable par l'action du feu et de l'air. Quatre métaux seuls jouissent plus ou moins de ces propriétés; ce sont l'or, le platine, l'argent et le cuivre. Toutefois, les vapeurs sulfureuses répandues dans nos habitations altérant promptement l'éclat et la couleur du cuivre et de l'argent, il en résulte que le cuivre n'est employé que comme lustre, et que l'usage de l'argent pour cet objet est fort limité; nous avons cependant vu fabriquer en Allemagne une assez grande quantité de tasses et de soucoupes argentées. Nous nous occuperons spécialement de l'application de l'or et du platine. L'excellent ouvrage si complet, qu'a publié il y a quelques années M. Alex. Brongniart, l'illustre directeur de la manufacture royale de Sèvres, nous permettra de traiter complétement la question.

On applique les métaux réduits en poudre très fine par le pinceau, à la manière des couleurs. On recuit ensuite les pièces à la moufle, et enfin on *brunit* ou on *lustre* selon l'épaisseur que l'on veut donner à la couche. Le lustre ne consiste qu'en une couche d'une minceur telle que les métaux reflètent quelquefois les couleurs de l'iris. La couche doit être beaucoup plus épaisse, lorsqu'elle doit supporter le bruni. Nous distinguerons trois opérations dans l'application des métaux sur les poteries, la préparation des métaux, leur application et leur cuisson, enfin le brunissage ou le polissage.

1. *Préparation des métaux.* Nous allons d'abord nous occuper de la préparation des poudres métalliques propres à donner des couches susceptibles d'être brunies.

A. *Préparation de l'or.* On prépare la poudre d'or en la précipitant de la dissolution d'or dans l'eau régale, soit par le sulfate de fer, soit par le proto-nitrate de mercure, soit par des procédés mécaniques qui donnent l'or en coquilles.

1° *Par le sulfate de fer.* C'est le procédé qui donne les dorures les plus solides, quoique les plus chères. On dissout 100 grammes d'or dans 1800 grammes d'eau régale formée de deux parties en poids d'acide hydrochlorique du commerce pour une partie d'acide nitrique ordinaire. On laisse la dissolution se faire toute seule, on l'étend d'une grande quantité d'eau, et on y verse, jusqu'à ce qu'elle ne précipite plus, une dissolution très étendue de sulfate de protoxyde de fer récemment préparée et filtrée. On laisse le précipité se rassembler au fond du vase, on décante et on lave à l'eau bouillante. On dessèche ensuite lentement au bain-marie.

2° *Par le nitrate de mercure.* On traite 150 grammes de mercure distillé par 400 grammes d'acide nitrique ordinaire, sans aucune addition et en laissant la réaction s'opérer lentement et autant que possible sans le secours de la chaleur. On dissout en même temps 25 grammes d'or dans 450 grammes de la même eau régale que dans la première préparation. On verse dans cette dernière dissolution, la première, tandis que les liqueurs sont encore à la température à laquelle elles ont été portées par suite de la chaleur développée dans l'action chimique. Le mélange se trouble et dépose de nombreux flocons d'or métallique d'une couleur brun-jaune. On lave le précipité à l'eau bouillante et on le dessèche au bain-marie.

3° *Or en coquilles.* On broie des feuilles d'or battu sur une glace avec du miel, du sucre, du sel marin ou tout autre divisant que l'eau puisse facilement enlever; un homme exercé à ce travail ne peut broyer que 60 grammes d'or en un jour. Quand l'or est broyé, on le met dans un vase avec de l'eau bien chaude, et on agite pour dissoudre toutes les matières solubles dans l'eau. On met ainsi en suspension dans l'eau les parcelles d'or les plus ténues; on décante l'eau chargée de l'or le plus fin en laissant au fond du vase l'or qui l'est moins; on continue ce lavage en décantant jusqu'à ce que tout le divisant soit emporté. On laisse déposer l'or des eaux de lavage, on décante l'eau claire, et on sèche le précipité au bain-marie. On obtient par cette voie de l'or mat qui est très beau lorsqu'il reçoit une cuisson convenable, ordinairement inférieure à celle que l'on donne à l'or précipité; mais la façon double presque le prix de l'or. On lui donne le nom d'*or en coquilles*, parce qu'on a l'habitude de le conserver dans des coquilles de moules.

4° On prépare enfin l'or du *lustre d'or* en précipitant une dissolution d'or dans l'eau régale, par l'ammoniaque. Le composé qui se précipite est l'*or fulminant*; mais le précipité ne jouit de cette propriété que quand il est sec. On ne le fait donc point sécher, mais on le mêle humide avec de l'huile essentielle de térébenthine.

B. *Préparation du platine.* Le platine destiné à être bruni se prépare soit par dissolution, soit mécaniquement; on fait aussi du lustre de platine.

1° *Par dissolution.* On dissout le platine par l'eau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

régule, et on précipite la dissolution par le sel ammoniac. Il se précipite un sel jaune composé de sel ammoniac 24,1, bi-chlorure de platine 75,9 et qui contient 44,32 de platine pour 100. On met le précipité dans un creuset de terre et on l'expose à une température incandescente. Il se dégage de l'azote, de l'acide hydrochlorique et du sel ammoniac, et il reste du platine en éponge très pur. Quand toutes les vapeurs ont cessé de se dégager, on arrête le feu, et on retire du creuset la masse spongieuse, qu'on broie très facilement.

2° *Le platine en coquilles* se prépare exactement comme l'or; il offre un brillant métallique assez vif et inaltérable.

3° Le lustre de platine se compose simplement d'une dissolution concentrée de chlorure de platine mêlée avec de l'essence de lavande.

II. *Application des métaux.* L'or et le platine, mis en ornements ou en fond sur les poteries doivent y être fixés par l'action du feu, mais cette action ne suffirait pas pour les faire adhérer sur les poteries dont les glaçures sont terreuses, comme la porcelaine dure, quelques grès, etc., parce que ces glaçures ne se ramollissent pas à la température convenable à la cuisson des métaux. On ajoute un fondant qui sert de lien entre le métal et la poterie.

Le *fondant* le plus convenable est l'oxyde de bismuth précipité par l'eau de sa dissolution dans l'acide nitrique. Il ne faut pas employer pour cette précipitation le carbonate de potasse, comme on le fait quelquefois; les oxydes de nickel et de cuivre que contient souvent le bismuth métallique se précipitent alors aussi; la présence de quelques millièmes de cuivre empêche l'or de donner un beau mat. On ajoute à l'oxyde de bismuth 1/12 de borax fondu. On se sert de 1/10 à 1/15 de ce fondant pour 1 d'or; on y ajoute un peu de borax pour le platine et 1/10 pour l'argent.

A Paris, on se sert aussi pour fondant d'un simple mélange de carbonate de plomb et de borax, ou d'acide borique; quelques doreurs n'emploient même que du carbonate de plomb.

L'émail ou le vernis des poteries à couvertes plombifères, telles que les faïences grossières, les faïences fines, les porcelaines tendres, etc., est un fondant suffisant pour les métaux qu'on y place.

On n'emploie pas de fondant pour les lustres.

Pour que les métaux puissent être employés au pinceau, il faut qu'ils soient, après l'addition du fondant, délayés et broyés dans un véhicule visqueux, qui est, suivant les circonstances, ou de l'essence de térébenthine mêlée d'essence grasse, ou de l'eau fortement gommée. Le broyage se fait sur une glace. On doit avoir bien soin de ne pas agréger les molécules, et de ne pas régénérer de paillettes d'or sous la molette.

Pour rendre l'or plus coulant, on y ajoute un peu de noir de fumée. Cette addition est indispensable quand on dore sur le vert de chrôme au grand feu, pour qu'on puisse voir, avec moins de difficulté, les traits que l'on fait.

Les peintres doreurs se servent de pinceaux de blaireau ou de martre à poils fins et longs, qu'on peut manier sans une grande habileté pour faire des contours fins et déliés.

Lorsque la dorure est terminée, on cuit la pièce à la moufle; il faut une température un peu supérieure à celle qui est nécessaire pour la cuisson des couleurs ordinaires les plus dures. Aussi on doit, dans une bonne fabrication, cuire la dorure avant même l'ébauche d'aucune peinture.

L'inconvénient des dorures est d'être chères lorsqu'elles sont assez solides, à cause du combustible nécessaire pour la cuisson. Quand on cuit faiblement, et qu'en outre à cette première économie on ajoute celle de l'or, qu'on réduit en y mêlant de l'argent ou en le mettant très-mince, ce qui se fait par l'emploi de l'or au mercure et par addition du noir de fumée, on obtient des dorures brillantes au sortir de l'atelier, mais qui n'ont presque pas de durée à l usage. M. Rousseau a trouvé un procédé qui permet de mettre très-peu d'or sur le bord des assiettes, des tasses, etc., et cependant de lui donner une très-longue durée.

M. Salvetat a décrit ce procédé à l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE du *Complément*.

Au lieu d'appliquer l'or au pinceau, on l'applique aussi par *impression*. On grave de préférence sur des planches d'acier. On emploie une huile d'impression qu'on prépare avec de l'huile de lin chauffée jusqu'à s'enflammer, puis refroidie et chauffée de nouveau, de telle sorte qu'elle absorbe du noir de fumée. On broie sur une glace cette huile avec de l'or dissous, portant son quinzième de fondant, et mélangé d'un tiers de noir de fumée. On charge la planche avec l'encre ainsi obtenue, et ensuite on tire.

On effectue le tirage de trois manières, sur papier et glaçure, sur papier et biscuit, sur gélatine.

Le premier tirage a pour but d'imprimer sur la poterie déjà revêtue de sa couverte; on tire sur papier joseph humecté convenablement; on enduit la glaçure avec une *mixture* composée d'essence de térébenthine et d'un douzième de vernis de copal, et on fait sécher à l'étuve; on prend alors le papier qui porte l'épreuve de la planche, et dont on a enlevé l'eau en excès, en le faisant égoutter sur une plaque de porcelaine dégourdie, et on l'applique sur la pièce, de manière que le dessin soit à la place qui lui convient; on décalque la gravure, en appuyant sur le papier avec un tampon de feutre ou un petit rouleau; le papier s'enlève avec facilité. Il faut ensuite ajouter de l'or aux empreintes qui, après le passage au feu de moufle, ne donneraient que des traits ou surfaces maigres et grenus. On met dans un petit caisson de papier à lettre, de l'or en poudre très fine et très sèche, contenant seulement 3 pour 100 de fondant et broyée à l'eau seulement; pendant que l'impression est encore visqueuse, on prend dans ce petit caisson, avec un pinceau fin, un peu de la poudre d'or, et on passe ce pinceau sur toutes les impressions qui, par leur viscosité, retiennent l'or. Avec un blaireau fin, on repasse ensuite pour enlever l'or non adhérent : on cuit enfin à la moufle et on donne le brunì.

L'impression sur papier et biscuit se fait en tirant, comme précédemment, mais sur du papier ayant une telle ténacité qu'on puisse difficilement le déchirer, et qui, tordu comme une corde, en acquiert la force. On ne sait bien le faire qu'en Angleterre. On décalque sur le biscuit des faïences fines et de la porcelaine tendre, sans aucune préparation, en appliquant la gravure; le papier ne s'enlève que par un long séjour dans l'eau. On saupoudre d'or et on cuit, afin de chasser toute la matière grasse avant de mettre en émail ou en vernis.

L'impression à la gélatine se fait en tirant sur papier et décalquant sur une feuille de gélatine, ou en tirant directement sur gélatine. Ensuite, on applique la feuille de gélatine sur la poterie, où le dessin qui est à l'huile se fixe complétement et très nettement. On enlève la plaque de gélatine, et on saupoudre d'or.

III. *Brunissage.* L'or posé au pinceau à l'état métallique est mat après la cuisson. Quand on veut que le mat entre dans l'ornementation, on le polit seulement par partie, ce qu'on appelle brunir à l'effet. Si l'or doit être brillant, on le brunit à plat, en le frottant fortement et régulièrement, d'abord pour dégrossir avec des brunissoirs en agate, et pour terminer avec des brunissoirs en sanguine.

Quand le brunissage est effectué, on nettoie l'or

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec du blanc d'Espagne très-bien lavé, pour qu'il ne reste aucune partie sableuse.

On abrége le brunissage en Allemagne, dans les manufactures de porcelaine de Meissen et de Berlin, au moins pour les filets d'assiettes, en plaçant ces pièces sur la tête d'une *tour en l'air*, de manière à faire passer la circonférence de l'assiette sous le brunissoir tenu par l'ouvrier.

Pour les lustres d'or et de platine, on ne brunit pas ; les liqueurs qui tiennent en suspension ces métaux sont étendues avec un pinceau sur le vernis des poteries, et, après qu'on a passé dans des mouffles de fonte à une température rouge cerise, le métal adhère et prend son brillant. On se contente d'augmenter ce brillant, en frottant fortement avec un linge. Ce genre de décoration est surtout employé à Meissen, où il a été introduit vers 1836 ; il a eu une grande vogue. On ne connaît généralement sa préparation que depuis 1843. Quand on emploie cet or sur le biscuit, il donne un assez beau mat et tient bien. Appliqué sur vernis, il est très-brillant, mais il n'a aucune solidité.

On emploie encore quelques autres lustres qui ont eu un succès de vogue aujourd'hui passé. D'abord se présente le *lustre burgos*, qui a le chatoyant rosâtre et en même temps jaunâtre de quelques coquilles ; il n'est pas opaque et laisse voir la couverte. On le prépare en fondant ensemble du soufre, de l'or et de la potasse, dissolvant le tout dans l'eau et précipitant par un acide faible. On recueille le précipité qu'on conserve à l'état de sirop épais dans de l'essence de lavande. On le broie avec une petite quantité de fondant, et on l'étend en couche très-mince sur le vernis de la poterie à laquelle il est destiné. La cuisson suffit pour lui donner son éclat.

Le *lustre cantharide* s'obtient en faisant un mélange de vernis vitrifiable et plombifère ou verre de plomb, d'un peu d'oxyde de bismuth et de chlorure d'argent, qu'on applique au pinceau. On passe la pièce de poterie au feu de moufle, et lorsqu'elle est rouge, on l'expose à la fumée d'un combustible minéral ou végétal. L'argent et le plomb étant ainsi revivifiés, les parties lustrées prennent toutes les couleurs vertes, rougeâtres, bleuâtres de l'iris.

On ne connaît pas bien la manière de faire le *lustre de litharge* et le *lustre cuivreux*. Le lustre de litharge ne se voit que sur les poteries très-grossières venant de l'orient de l'Allemagne. C'est un lustre ayant un éclat métallique d'or recouvert de teintes irisées où le jaune domine. Brongniart pense que c'est un vernis très-chargé d'oxyde de plomb dont on a revivifié le métal par l'enfumage.

Le lustre cuivreux se trouve principalement sur les faïences communes d'Espagne, de Marcassen près Valence ; il offre l'aspect et le chatoiement rosâtre et jaunâtre du lustre burgos, mais un peu plus purpurin ; son éclat et sa richesse ne le cèdent en rien à ceux qu'on obtient avec l'or lui-même. Brongniart pense qu'il se compose d'une pellicule inappréciable de silicate de protoxyde de cuivre. Il l'a reproduit de la manière suivante qui doit être fort analogue à celle employée à Valence. Ayant fait rougir dans un petit moufle des tessons de faïence, il a introduit, par une petite ouverture, du papier contenant de l'oxyde de cuivre et a refermé aussitôt, et, lutant bien toutes les ouvertures, il a laissé refroidir. Lorsqu'on vint à défourner, on vit les tessons recouverts, par places, d'un lustre qui ne différait en rien des plus beaux lustres des vases d'Espagne.

DORURE SUR VERRE. On revêt le verre d'une couche métallique d'or, d'argent ou de platine, par les mêmes procédés que les poteries. Le borax, mélangé aux poudres métalliques tenues en suspension dans un véhicule gras mais coulant d'essence, étant fondu par un feu de moufle, l'or, l'argent ou le platine sont fixés sur le verre par cet intermédiaire, et il n'y a plus qu'à brunir avec l'agate et la sanguine. On brunit à l'effet ou complétement, comme nous l'avons indiqué pour la porcelaine et les poteries.

On applique aussi l'or sur le verre en collant les feuilles d'or à l'aide d'un vernis d'ambre dissous dans de l'huile grasse et un peu de céruse. Quand on a appliqué le vernis avec un pinceau sur le verre, on y fait adhérer la feuille d'or avec du coton, on laisse sécher et durcir le vernis ; enfin on polit avec le brunissoir. C'est par ce procédé que le plus souvent on écrit sur le verre ; on comprend qu'il donne une dorure bien moins solide que la dorure au feu et au borax. BARRAL.

DOUBLAGE DES NAVIRES. Le doublage a pour but de préserver la carène des navires de l'attaque des vers marins qui rongent le bois, et de la débarrasser des plantes et des mollusques qui s'y attachent, augmentent la résistance au mouvement et retardent la marche ; il a en outre l'avantage de retenir en place le calfatage que la violence des lames pourrait déranger. Autrefois ce doublage se faisait en cuivre rouge laminé, mais on remarqua bientôt qu'il se recouvrait assez rapidement de vert-de-gris et se détruisait promptement ; aussi considéra-t-on comme une admirable découverte l'invention de Davy, consistant à employer des clous et des plaques de zinc, pour attacher les plaques de cuivre et modifier leur état électrique. C'était une belle application des nouvelles notions sur l'électricité dont Davy formula l'un des premiers le rôle dans les réactions chimiques, mais pratiquement elle réussit trop complétement ; le cuivre cessa de s'altérer, mais aussi de détruire les végétaux qui tendent à s'attacher à la carène et qui vinrent reproduire les effets en vue desquels le doublage en cuivre était adopté. Il fut dès lors établi que la destruction du cuivre, la formation de sels vénéneux à sa surface, est la condition essentielle de son utilité et qu'on peut au plus chercher à la modérer.

L'expérience a fait adopter pour prolonger considérablement la durée du doublage, au lieu de cuivre rouge, un bronze renfermant 4 p. 100 d'étain. Les feuilles de bronze ont 3/4 de millimètre d'épaisseur et sont assujetties avec des clous de la même matière, dont le poids est environ 1/6 du poids total des feuilles.

L'adoption des navires en fer a beaucoup augmenté l'importance du doublage en cuivre, le fer se salissant à la mer plus encore que le bois, mais son placement devient alors fort difficile. On peut dire qu'on n'est pas encore parvenu à trouver un système satisfaisant.

DRAGÉES. Les dragées proprement dites sont formées d'un noyau entouré de sucre. Ce noyau est tantôt naturel comme les amandes, les avelines, les anis, etc., tantôt il est fait avec un fondant ou avec de la liqueur.

Les dragées à noyau naturel se fabriquent par le procédé suivant : Les noyaux sont placés dans des bassines, dont les parois sont formées par un tube de cuivre enroulé en spirale, dans lequel circule de la vapeur ; elles sont animées d'un mouvement de rotation autour d'un axe incliné passant par leur sommet. Par suite de ce mouvement, les noyaux sont constamment remués et roulent l'un sur l'autre ; on les arrose de temps en temps avec du sirop de sucre cuit à un degré convenable ; des tuyaux verticaux, en communication avec un ventilateur, amènent dans chaque bassine un courant d'air chaud ou froid, qui facilite l'évaporation ; le sucre se solidifie et enveloppe les noyaux de couches successives qui finissent par former autour d'eux l'épaisseur voulue. Pour les qualités communes on ajoute de temps en temps de la farine au lieu de sirop.

Les petites dragées qui présentent à leur surface des aspérités, et sont désignées sous le nom de *perles*, sont fabriquées par un procédé analogue. Les noyaux formés par des fragments d'anis, de vermicelle, etc., sont arrosés avec du sirop contenu dans un entonnoir promené mécaniquement au-dessus d'eux ; cet entonnoir contient

EFERUS. - Recherche & Classification numérique

un sirop très-concentré qu'il laisse tomber goutte à goutte: les gouttelettes saisies par la solidification forment à la surface des bonbons les aspérités qui sont le caractère de cette espèce de dragées.

Pour les dragées à liqueur on commence par fabriquer le noyau. Après avoir tassé de l'amidon en poudre dans un cadre de bois, on applique à la surface de cet amidon une planche en plâtre présentant des aspérités qui ont la forme du noyau et qui, faisant leur empreinte dans l'amidon, y produisent autant de cavités dans lesquelles on coule un mélange, en proportions convenables, de sirop et de la liqueur à employer (kirch, marasquin, etc.). Par un phénomène très-curieux, le sucre cristallise on se séparant de la liqueur et en l'emprisonnant. Quand le noyau est fait, on le recouvre de sucre comme pour les dragées à noyau naturel.

DRAGUE. Instrument qui sert pour curer le lit des rivières, le fond des ports, etc. On ne construit plus que les dragues mécaniques placées sur des bateaux plats d'une forme particulière dits *bateaux dragueurs*. Elles se composent d'un système de chaînes sans fin à longues mailles pleines, égales et articulées, à peu près comme une échelle flexible; sur leurs traverses, on fixe, à des intervalles égaux, un certain nombre de *louchets* ou *hottes* en forte tôle de fer. Cette chaîne, et par conséquent les louchets qui y sont attachés, passent sur un tambour qui les fait circuler le long d'un plan qu'on est maître d'incliner plus ou moins; ils viennent tour à tour se charger de terre ou de vase en passant près du fond, et se vident ensuite à la partie supérieure dans un couloir qui les dirige dans une *Marie-salope* placée sur le bateau.

Dans le bateau dragueur simple, la drague est placée au milieu du bateau, dans une ouverture dont l'étendue est suffisante pour le jeu du plan incliné et de la drague. Dans le bateau dragueur double, il y a deux dragues placées en dehors du bateau, suivant des plans verticaux parallèles aux bordages; dans ce cas on peut draguer au pied d'un mur de revêtement et aussi près du rivage qu'on veut; mais alors, pour que le bateau ne dérive pas, il faut que chaque drague éprouve à peu près la même résistance, ce qui est bien difficile à obtenir.

La distance des deux cylindres sur lesquels circulent les chaînes sans fin est un peu moindre que la moitié de la longueur de ces mêmes chaînes, de sorte que la partie inférieure de celles-ci forme une courbure qui fait plonger et traîner dans le fond chaque louchet avant qu'il se redresse, et lui donne ainsi le temps de se remplir.

Le bateau reçoit suivant sa longueur un mouvement progressif qui lui est donné au moyen d'un cabestan mû par la machine à vapeur qui dessert la drague, et d'une corde de touage fixée à une ancre ou sur le rivage; de la même manière on le déplace latéralement par un mouvement dit de *papillonage*. On sillonne ainsi le fond à la profondeur qu'on désire, en remontant contre le cours de l'eau et ayant soin de maintenir le bateau dans des directions parallèles. On peut remplacer la machine à vapeur, lorsque le courant du fleuve est assez rapide, par une ou deux roues pendantes placées au milieu ou sur les côtés du bateau.

Le creusement du canal de Suez, effectué presque entièrement avec des dragues à vapeur, a montré tout le parti qu'on pouvait tirer de ces appareils dans les marais, les sables, etc. Les dragues à long couloir, qui y ont été employées, pour transporter au loin les déblais, sont d'admirables appareils dont la puissance assure la conservation facile de ce grand travail. Nous en donnerons la description.

Ces dragues, dont la machine à vapeur a 35 à 40 chevaux de puissance, ont des couloirs de 70 mètres de longueur. Leur rendement atteint 1800 à 2000 mètres par jour. Les coques sont en fer et ont 33 mètres de long sur 8m,26 de large. Elles tirent 1m,50. L'axe du tourteau supérieur est à 14m,70 au-dessus de l'eau; les godets ont une capacité de 400 litres.

Les couloirs ont une section demi-elliptique, leur largeur est de 1m,50; ils sont consolidés par deux poutres à large treillis qui reposent, vers le tiers de leur longueur, sur un chaland spécial en fer, par l'intermédiaire d'un échafaudage articulé. Cet ensemble est rendu solidaire de la drague et contribue à la rendre extrêmement stable, malgré sa hauteur. Une chaîne sans fin, munie de palettes, facilite le mouvement des déblais; deux pompes rotatives installées sur la drague versent le supplément d'eau nécessaire à leur entraînement.

DRAP (*angl.* cloth, *all.* tuch). Voyez LAINE.

DROP. Espèce de grue à volée variable, souvent employée en Angleterre pour le chargement des navires. La fig. 673 montre ses parties essentielles et va nous

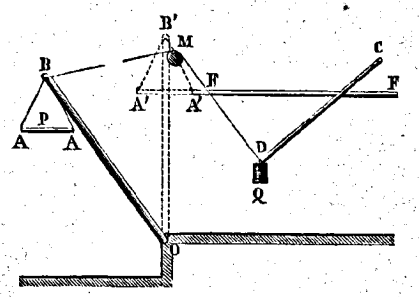


Fig. 673.

permettre de faire bien comprendre les principes de son fonctionnement.

Un plateau AA, d'assez grandes dimensions pour pouvoir porter un wagon, est supporté à la partie supérieure d'un cadre OB, mobile autour d'un axe horizontal O. Lorsque le cadre est placé verticalement en OB', le plateau A'A' vient se placer sur le prolongement d'une voie de fer par laquelle arrivent les wagons chargés. Lorsqu'au contraire le cadre est complétement abattu, le plateau AA vient se placer sur le pont du navire à charger. A la partie supérieure du cadre sont fixés deux câbles qui s'enroulent autour d'un cylindre horizontal M, dont les extrémités sont attachées à des pièces de bois DC mobiles autour d'un axe horizontal C. En D sont placés des contrepoids Q de grandeur convenable.

Le plateau occupant la position A'A', on y place un wagon chargé; le poids de celui-ci fait tourner le cadre autour de son axe O. Son mouvement est ralenti par l'action d'un frein puissant agissant sur l'arbre M, le contrepoids Q diminuant d'ailleurs l'action de la gravité. Ce contrepoids relève ensuite le plateau, quand le wagon a été déchargé et fait reprendre au plateau la position A'A'. On enlève le vagon vide, on le remplace par un wagon plein et l'opération recommence.

Le rôle des pièces de bois est de faire croître la tension de la corde BMD à mesure que le plateau descend et que le moment de la charge par rapport à l'axe O augmente. La direction de MD s'éloignant de plus en plus de la verticale à mesure que le contrepoids s'élève, la composante du poids Q suivant cette direction va en croissant en même temps.

DUCTILITÉ (*angl.* ductility, *all.* streckbarkeit). Propriété que possèdent beaucoup de métaux de se laisser étirer en fils plus ou moins fins, sans se rompre, et qui se rapproche beaucoup de la MALLÉABILITÉ, combinée toutefois avec la ténacité, avec la résistance à la rupture par traction. Le passage à la filière rendant les métaux aigres et cassants, on est obligé de les recuire pour leur rendre leur ténacité et leur ductilité premières.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Voici les métaux placés dans l'ordre de leur ductilité, l'or étant le plus ductile de tous:

Or,
Argent,
Platine,
Fer,
Cuivre,
Zinc,
Etain,
Plomb,

DURETÉ (*angl.* hardness, *all.* hærte). On dit qu'un corps est plus dur qu'un autre lorsqu'il est susceptible de le rayer. En minéralogie, où la dureté est un caractère très-important, on prend pour points de comparaison la dureté des dix corps suivants, le moins dur étant pris pour 1 et le plus dur pour 10.

1. Talc.	6. Feldspath.
2. Gypse.	7. Quartz.
3. Chaux carbonatée.	8. Topaze.
4. Chaux fluatée.	9. Corindon.
5. Chaux phosphatée.	10. Diamant.

Voici, d'après cette échelle de comparaison, la dureté des principaux minéraux:

Diamant	10	Turquoise	6
Saphir rubis	9	Lapis-lazuli	6
Cymophane	8,5	Feldspath	6
Topaze	8	Amphibole	5,5
Spinelle	8	Chaux phosphatée	5
Emeraude verte	8	Chaux fluatée	4
Aigue-marine	7,5	Strontiane sulfatée	3,5
Grenat	7,5	Baryte sulfatée	3,5
Dichroïte	7,5	Anhydrite (chaux sulfatée anhydre)	3
Zircon	7	Chaux carbonatée	3
Péridot	7	Mica	2,5
Quartz hyalin	7	Gypse	2
Quartz agate	7	Chlorite	1,5
Tourmaline	7	Talc	1
Opale	6		

La dureté des métaux, estimée par la résistance que des fils métalliques de même diamètre présentent pour le passage par le même trou de la filière, est comme suit:

Acier déjà étiré	100	Fer recuit	42
Fer déjà étiré	88	Platine recuit	38
Laiton déjà étiré	77	Cuivre recuit	38
Or à 0,875 recuit	73	Or fin recuit	37
Acier recuit	65	Argent fin recuit	37
Cuivre déjà étiré	58	Zinc	34
Arg. à 0,750 recuit	58	Etain	11
— à 0,875 —	54	Plomb	4
Laiton recuit	46		

La dureté estimée plus convenablement, plus scientifiquement, par la résistance que rencontre une pointe pressée contre leur surface, a été donnée à l'article DURETÉ du *Complément*; nous y avons rapporté les expériences les plus complètes et les plus nouvelles, malheureusement encore assez insuffisantes.

M. S. Bottoni a cru pouvoir établir que la dureté d'un métal doit avoir pour mesure le rapport du poids spécifique au poids atomique. En prenant pour dureté expérimentale le temps que met un foret d'acier sous une même pression, animé d'un mouvement constant de rotation, à pénétrer dans le métal à une profondeur aussi constante, il a obtenu des nombres qui ne diffèrent des nombres calculés, que de quantités comparables aux erreurs d'observation.

DYNAMIQUE. Partie de la mécanique traitant des forces et de leurs effets.

DYNAMITE. Voy. NITRO-GLYCÉRINE et PYROXILE.

DYNAMOMÈTRES. Instruments destinés d'après leur étymologie à mesurer les forces, mais qui en réalité sont aujourd'hui des appareils servant à mesurer le travail des forces. Avant de traiter de ces derniers, disons un mot des premiers.

MESURE DES EFFORTS. Le plus ancien de tous les dynamomètres est la BALANCE, servant à mesurer la force de la gravité agissant sur un corps, en unités de même ordre; pouvant servir et servant en effet souvent à mesurer tous les efforts qu'il est facile d'équilibrer par un poids.

La disposition la plus commode, quand la balance ne peut être employée, celle qui se rencontre dans presque tous les dynamomètres, consiste dans l'emploi d'un ressort dont on peut observer la flexion. Toute force qui, appliquée à l'instrument, produit une flexion de n kilogrammes, est une force de n kilogrammes.

Nous prendrons pour type des instruments de ce genre le peson du commerce (fig. 674). Il se compose d'une lame élastique repliée. A l'une des extrémités de la branche BO est fixé un arc de cercle métallique qui traverse la branche OA, et qui porte à son autre extrémité un anneau E auquel on peut suspendre un poids ou appliquer une force quelconque. A la branche OA est fixé un second arc de cercle qui peut glisser sur le premier; il traverse la branche BO du ressort, et se termine par un anneau qui sert à soulever l'instrument et à le suspendre à un point fixe. Ce second arc de cercle est gradué depuis l'extrémité D jusqu'à un talon t qui fixe la limite des poids à soulever par l'instrument, dans le cas où l'on appliquerait en E une force capable de faire fléchir le ressort au delà de sa limite d'élasticité.

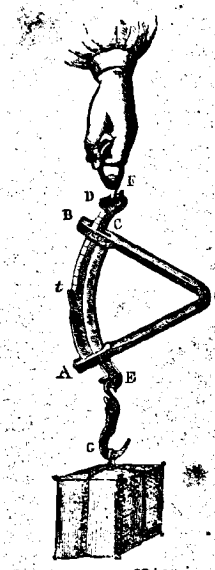


Fig. 674.

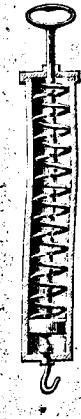


Fig. 674 *bis*.

Supposons que l'instrument étant attaché par l'anneau D à un point fixe, on suspende à l'anneau E un poids de 1 kilogramme, les branches du ressort se fermeront, l'arc Dt dépassera la branche BO d'une certaine quantité, et l'on pourra tracer une indication correspondante. On pourra répéter la même opération pour des poids de 2 et 3 kilogrammes, etc., et l'instrument sera gradué.

Il existe d'autres pesons dans lesquels le ressort est disposé en hélice; tel est celui qui est représenté fig. 674 *bis*. Le ressort est renfermé dans un cylindre en laiton, à la base supérieure duquel il est fixé par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

son extrémité supérieure; son extrémité inférieure est fixée à un disque A assemblé à une tige qui occupe l'axe de la droite cylindrique et vient sortir par un orifice percé au centre de sa base supérieure. L'extrémité de cette tige est terminée par un anneau par lequel on peut tenir l'instrument ou le suspendre à un point fixe.

A la base inférieure de la boîte est adapté un crochet auquel on peut suspendre un poids ou appliquer la force que l'on veut mesurer. Sous l'action de cette force le ressort en hélice se comprime dans le sens vertical, et la tige sort de la boîte d'une quantité d'autant plus grande que la force et par suite la flexion sont plus considérables. On lit sur la tige même la quantité dont elle est sortie de la boîte ou la mesure de la force dont il s'agit. Le mode de graduation est le même que celui décrit précédemment.

Ces pesons sont les seuls qui se rencontrent dans le commerce. Pour les forces supérieures à 100 kilogrammes Regnier avait construit un appareil plus précis consistant en deux lames d'acier réunies par leurs extrémités. L'effort appliqué à une des lames la faisant s'écarter de la première, fixée à la résistance, est mesuré par une aiguille qui se meut par suite de cet écartement. Les divisions du cadran sur lequel se meut cette aiguille sont déterminées préalablement au moyen de poids connus.

C'est ainsi que l'on est arrivé à la disposition et à la forme la plus convenable des ressorts ou de réunion de ressorts, donnant des courses proportionnelles aux efforts, sur laquelle nous reviendrons en détail et qu'indique la fig. 675.

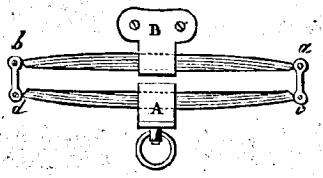


Fig. 675.

MESURE DU TRAVAIL. L'emploi des dynamomètres, pour la mesure du travail mécanique, est une des plus belles applications de la science à l'industrie. C'est grâce aux dynamomètres que peut s'établir le passage incessant de la théorie à la pratique, qu'on peut vérifier si les résultats d'une machine sont ceux que la science permet d'obtenir.

L'effort, souvent variable, que permettent de mesurer les pesons décrits ci-dessus, n'est qu'un élément de la question, et ne suffit pas pour évaluer l'action d'un moteur, ou le travail d'une résistance. Le travail mécanique ne suppose pas seulement une résistance vaincue une fois pour toutes, ou mise en équilibre par une force motrice, mais une résistance constamment détruite, le long d'un chemin parcouru par le point où elle s'exerce et dans la direction propre de ce chemin.

Comme on le démontre en mécanique, et comme nous l'expliquons dans l'Introduction et à l'article MÉCANIQUE, le travail mécanique que nécessite une résistance constante, et qui se reproduit le long d'un certain chemin, a pour mesure le produit de cette résistance par le chemin que décrit son point d'action dans sa direction propre.

Si la résistance ou l'effort qui la produit, au lieu d'être constant, varie sans cesse, ainsi qu'il arrive dans bien des circonstances, le travail total se composera de la somme de tous les produits partiels obtenus en chaque instant, en multipliant la résistance moyenne par l'élément de chemin parcouru pendant ce petit intervalle. Si l'on divise ce produit ou cette somme de produits par le chemin total parcouru, on aura l'effort moyen F, qui, constant, produirait, le long du même chemin, un travail égal à celui réellement obtenu.

On voit, d'après cela, combien l'ancien appareil de Régnier était insuffisant. La détermination de l'effort moyen, fort difficile à déduire des variations de l'aiguille, n'était que de peu de valeur, puisqu'il fallait supposer que cet effort moyen avait lieu pendant toute la durée de l'opération, ce qui est loin d'être exact dans la plupart des cas.

Le problème à résoudre consistait donc à obtenir des appareils qui donnassent à chaque instant la valeur de l'effort et le chemin qu'il parcourt, et, mieux encore, l'intégrale du produit, en chaque instant, de ces deux quantités.

Le savant Poncelet, qui a si bien démontré tout le parti qu'on peut tirer des constructions géométriques, des tracés graphiques, pour faciliter l'interprétation des résultats du calcul, a formulé de la manière la plus complète toutes les solutions possibles du problème, a montré qu'il se réduisait à la mesure de l'aire d'une surface et parfaitement élucidé la théorie de la dynamométrie.

Je m'arrêterai un instant sur les travaux de Poncelet qu'on n'a guère fait, depuis lui, que traduire par des dispositions plus ou moins commodes dans la pratique.

Eytelvein, dans ses expériences sur le bélier hydraulique, avait eu l'heureuse idée de déterminer le mouvement de la soupape, en le faisant tracer par un appendice fixé à celle-ci et venant marquer sur un papier progressant d'une manière continue. Cette expérimentation récente et justement célèbre à l'époque où Poncelet créa son admirable cours de mécanique à l'école de Metz, combinée avec les recherches de Regnier pour mesurer les forces avec des ressorts, le conduisirent finalement aux divers moyens propres à fournir la mesure du travail mécanique.

Je donnerai ici, pour montrer combien il entrevoyait de ressources à tirer de l'emploi de ressorts interposés entre les parties transmettant les efforts, un ingénieux dynamomètre de rotation ou plutôt un régulateur à ressort, dont il donne la description dans son cours.

A et A' (fig. 676) sont deux portions indépendantes

Fig. 676.

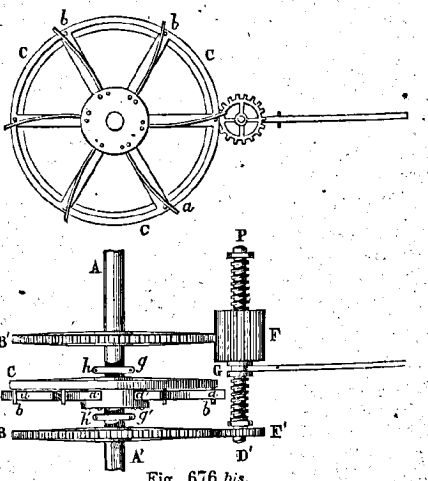


Fig. 676 *bis*.

d'un même arbre moteur, interrompu vers le milieu de l'intervalle compris entre les coussinets *hg*, *h' g'* qui en supportent les extrémités voisines. L'arbre A entraîne dans son mouvement le tambour en fonte CC, qui est évidé intérieurement et armé des mentonnets saillants

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bb. L'arbre A' fait corps avec le noyau *a' a'* portant des lames d'acier droites et flexibles *aa* dirigées suivant les rayons, et dont les extrémités les plus éloignées de l'arc sont pressées contre les mentonnets *b* du tambour C; de cette manière le mouvement de rotation de l'arbre A est transmis à l'arbre A' par l'intermédiaire des ressorts *aa*, et réciproquement.

Les deux roues égales F et F' engrenant avec les deux roues égales B et B' produisent un mouvement de déplacement du levier G proportionnel à la rotation relative des deux roues grâce à l'interposition des ressorts et par suite à la variation des efforts en jeu à partir d'une position moyenne déterminée. Nous avons donné à l'article DIFFÉRENTIEL (fig. 5) le mode de calcul convenable pour évaluer le déplacement pour une rotation relative déterminée des roues, c'est-à-dire une flexion des ressorts; nous ne le répéterons pas ici. Il est évident que le levier G peut servir à tourner une vanne, un robinet, et que ce système constitue bien un régulateur.

Il n'a pas été appliqué, croyons-nous, et a en effet le défaut des appareils à ressort, d'être peu résistant. Il offre cependant beaucoup d'intérêt, car c'est une des formes sous lesquelles Poncelet a formulé pour la première fois les moyens dynamométriques qui ont transformé et fait progresser les expériences de mécanique. Le levier G se déplaçant proportionnellement aux efforts, il constitue l'organe principal d'un dynamomètre de rotation, s'il sert à tracer sur un plan se déplaçant proportionnellement au chemin parcouru, comme nous le dirons plus loin.

Les ressorts qui paraissent indispensables pour un dynamomètre ont été supprimés par M. Hirn dans un système curieux, mais peu pratique. Nous le donnerons ici en empiétant un peu sur la suite, qui rendra plus clair ce qui pourrait paraître obscur dans la description de ce moyen de mesure du travail.

Pandynamomètre de Hirn. M. Hirn a eu l'idée de faire accuser le travail d'une manière continue par l'arbre même du moteur, à l'aide d'une indication qu'il suffira de traduire ensuite numériquement à l'aide d'une expérience statique.

Le principe sur lequel repose le pandynamomètre est le suivant.

L'arbre de rotation transmettant le travail d'un moteur à une usine ou à un outil quelconque, par suite de la résistance, subira nécessairement une torsion, et deux traits situés sur le prolongement l'un de l'autre, aux deux extrémités de l'arbre, éprouveront un déplacement relatif pendant la marche de la machine, pour revenir dans le prolongement l'un de l'autre, à l'état de repos. Cette torsion est en raison de l'effort transmis. Si donc on parvient à mesurer la valeur moyenne de cette torsion pour une période assez régulière, puis qu'au repos on mesure l'effort qu'il faut exercer dans le sens de la rotation pour la reproduire, il est évident qu'en multipliant cet effort par le chemin parcouru par le point d'application pendant le travail, on aura la valeur de celui-ci.

L'instrument de M. Hirn est disposé de façon à donner l'indication continue de la torsion de l'arbre. A cet effet, deux roues d'engrenages sont calées à ses extrémités, commandant deux roues pareilles; toutefois, une roue intermédiaire détermine le mouvement de ces dernières en sens contraire. Chacun des axes des dernières roues porte une roue d'angle engrenant avec une roue d'angle différentielle, laquelle est folle sur un levier qui commande un mécanisme traçant sur un plan mû proportionnellement aux tours de l'arbre. Lorsqu'il n'y a pas de torsion, la roue folle ne se déplace pas (voy. DIFFÉRENTIEL, fig. 8), tandis que tout mouvement de torsion devra faire naître un déplacement de la roue et par suite du levier qui la porte.

Malheureusement la torsion étant nécessairement minime, pour la solidité même de la construction, les imperfections des dentures des roues viennent fournir des indications trop petites pour que l'évaluation ne laisse pas bien des chances d'erreur. L'auteur a essayé des moyens d'amplification de manière à rendre l'instrument plus facile à observer; mais si l'on obtient ainsi un tracé graphique plus étendu du déplacement, les causes d'erreur restent les mêmes. Ce système constitue le pandynamomètre différentiel.

L'inventeur a cherché à employer l'électricité pour la constatation des déplacements, ce qui constitue le pandynamomètre électrique. Que l'on imagine aux deux extrémités de l'arbre deux poulies en matière isolante, sur lesquelles on ait ménagé deux traits conducteurs sur le prolongement l'un de l'autre. Des fils conducteurs en rapport avec une pile sont traversés par un courant, qui, au moment du contact, pendant le repos de l'arbre, traverse au même point un cylindre couvert de papier imprégné de cyanoferrure de fer, usité pour les transmissions télégraphiques. S'il se produit une torsion, les rencontres des fils avec les parties conductrices de poulies ne seront plus simultanées, on n'aura pas seulement un point impressionné, il y en aura deux, dont l'écart angulaire mesurera précisément la torsion.

Revenons aux dynamomètres employés aujourd'hui.

C'est l'honneur de M. Morin d'être parvenu à vulgariser les solutions de Poncelet. Il a fait comprendre toute l'utilité qu'il y aurait à faire passer dans la pratique industrielle un genre d'instruments si nécessaire à l'industrie, et a certainement bien avancé la question sous ce rapport, s'il ne l'a pas résolue complétement. C'est donc par l'exposé de ses appareils que nous devons commencer; nous parlerons ensuite de plusieurs autres et donnerons le résultat de nos propres recherches. Nous serions heureux qu'elles pussent avancer quelque peu la solution de l'important problème que se propose la dynamométrie.

Conditions générales auxquelles doivent satisfaire les dynamomètres. M. Morin les résume ainsi qu'il suit:

1° La sensibilité de l'instrument doit être proportionnelle à l'intensité des efforts à mesurer et ne doit pas pouvoir s'altérer par l'usage;

2° Les indications des flexions du ressort doivent être obtenues sans l'intervention de l'observateur, *et* par conséquent fournies par l'instrument lui-même au moyen de tracés ou de résultats matériels qui subsistent après l'expérience;

3° Il faut que l'on puisse obtenir l'effort exercé en chaque point de l'espace parcouru par le point d'application de l'effort ou, dans certains cas, à chaque instant de la durée des observations;

4° Si l'expérience doit être, par sa nature, continuée longtemps, il faut que l'appareil permette de totaliser facilement la quantité d'action ou de travail dépensée par le moteur.

Pour satisfaire à la première condition, il faut employer des lames qui prennent des flexions proportionnelles aux efforts exercés.

Des ressorts. Les ressorts des dynamomètres de M. Morin consistent en deux lames de bon acier d'Allemagne, dont la section verticale est un rectangle, et la section horizontale celle du solide d'égale résistance, c'est-à-dire parabolique. Ces deux lames sont assemblées à leurs extrémités dans deux barres d'égale longueur au moyen de boulons. La lame fixe entre à mortaise dans la plaque sur laquelle reposent les autres parties du dynamomètre; l'autre lame est libre, mais un arrêt est toujours disposé pour éviter qu'elle ne soit forcée, c'est-à-dire que la tension dépasse le point où l'élasticité de la lame ne pourrait plus la ramener à sa position primitive, quand l'effort vient à cesser.

Il va sans dire que les lames peuvent être de diverses

EFERUS - Recherche & Classification numérique

épaisseurs, et qu'il faut les établir en proportion de l'effort auquel elles doivent résister. Il faut surtout les multiplier quand les efforts sont considérables, l'acier ne pouvant se tremper sur de grandes épaisseurs. C'est ainsi qu'on est arrivé à construire des dynamomètres à traction permettant de mesurer la résistance d'un train de chemin de fer.

En donnant aux lames de ressort la forme parabolique des solides d'égale résistance, les flexions sont doubles de celles que prendrait sous les mêmes efforts une lame d'épaisseur uniforme sur toute la longueur, et la résistance à la rupture reste la même.

La largeur de la lame doit être limitée à 0m,040 ou 0,050, au plus, parce que le gauchissement produit par la trempe est d'autant plus sensible que la lame est plus large.

Les flexions de lames bien travaillées restent proportionnelles aux efforts, tant qu'elles ne dépassent pas 1/10 de leur longueur, mesurée à partir des points d'encastrement.

Par suite de l'élasticité des ressorts du dynamomètre, la distance du milieu du ressort mobile à sa première position indiquera en chaque instant la valeur de l'effort exercé. Si donc on munit cette partie d'un style ou d'un crayon pressant sur un papier, on trouvera sur celui-ci l'indication de la valeur des efforts. Cette trace serait sans valeur, et ne servirait qu'à indiquer la limite des efforts de traction, sur un papier immobile. Il n'en est plus de même si, comme Poncelet l'a indiqué, on donne au papier un mouvement de translation dans un certain rapport avec celui du point d'application de la flexion. Il en résulte des courbes, de l'aire desquelles on peut déduire le travail effectué.

MANIVELLE DYNAMOMÉTRIQUE. Lorsqu'il s'agit de petites machines mues à bras, le système à employer de préférence est toujours la manivelle de M. Morin. Nous en emprunterons une description très-lucide à une notice publiée par M. Tresca, professeur de mécanique au Conservatoire des Arts et Métiers.

Les figures 677 et 677 *bis* représentent cet instrument vu sous deux aspects différents.

Fig. 677.

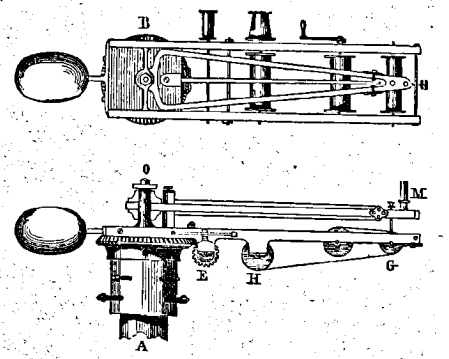


Fig. 677 *bis*.

« Le manchon cylindrique A qui porte huit vis calantes se fixe solidement à l'aide de ces vis sur une portée octogonale disposée sur l'axe même de la machine qu'il s'agit d'essayer. Le dynamomètre se compose de deux bâtis en fer superposés : l'un, rectangulaire, encadre pour ainsi dire toutes les autres pièces (fig. 677) et ne se voit sur la figure 677 *bis* que par son épaisseur ; l'autre, triangulaire, peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son plan et fixé au bâti principal. Si l'appareil se bornait à ces deux pièces, cette dernière portant à son extrémité le manche M de la manivelle, lorsqu'un effort viendrait s'exercer sur lui, le bâti triangulaire seul prendrait un mouvement de rotation, mais une lame de ressort représentée dans la figure 677 *bis*, encastrée par sa partie la plus épaisse, et embrassée par deux couteaux à son autre extrémité, s'oppose à cette indépendance, et c'est par son intermédiaire que se communique le mouvement. Ce ressort s'écarte d'autant plus de sa position normale que l'effort exercé sur lui est plus considérable, et si l'on sait à l'avance quelle est la grandeur de cet écartement pour chaque grandeur d'effort, on aura la mesure de celui-ci par l'observation de celle-là.

« Supposons qu'un crayon placé à l'extrémité du ressort soit mobile avec lui, tandis qu'un autre reste invariablement à la place que ce premier rayon occuperait si le ressort ne fléchissait pas; supposons que ces deux crayons s'appuient à la fois sur une même feuille de papier entraînée d'un mouvement régulier suivant une ligne parallèle à la direction primitive du ressort, chacun d'eux tracera une ligne, et l'écartement de ces deux lignes sera en chaque point la mesure exacte de l'écartement du crayon mobile, et par conséquent de la flexion du ressort. Voyons comment on produit le mouvement du papier.

« Au-dessus du manchon A, par lequel le dynamomètre est fixé sur l'arbre de la machine en expérience, est une couronne dentée B qui glisse à frottement doux dans une gorge pratiquée dans ce manchon; cette couronne peut être rendue absolument fixe, comme nous l'indiquerons un peu plus loin; dès lors un petit pignon d'angle, qui engrène avec elle, tourne quand la manivelle travaille; ce pignon porte une vis sans fin qui fait mouvoir une roue dentée E, portant sur son axe, et en dehors du bâti, une petite bobine ou fusée cylindrique, sur laquelle un fil s'enroule à mesure qu'il se déroule de la fusée conique montée sur un axe parallèle.

« Le reste de la disposition est facile à concevoir. Trois bobines F, G, H, sont placées sur trois axes parallèles placés en travers du bâti; une feuille de papier, primitivement enroulée sur la première à l'aide d'une petite manivelle spéciale (fig. 677), embrasse la bobine de l'extrémité G et vient s'attacher à la troisième H, montée sur l'axe même de la fusée conique: à mesure que cette fusée tourne, le papier est entraîné dans le sens de la flèche et s'enroule sur cette troisième bobine.

« Quant à la fusée conique, elle est nécessaire parce que le diamètre de la bobine, à mesure que le papier s'enroule, s'augmente de toute l'épaisseur des couches successives de papier, et pour un tour de dynamomètre la quantité de papier qui passerait de la bobine E à la bobine H irait toujours en augmentant; la longueur des tracés dont nous parlerons tout à l'heure ne serait plus en rapport avec le chemin ou les arcs décrits par la manivelle. C'est à obtenir pour chaque tour cette proportionnalité désirable qu'est destinée la fusée conique. Au commencement de l'opération, le fil est enroulé sur le petit diamètre, la bobine la fait tourner plus vite pour une même longueur; à la fin, au contraire, le fil se déroule sur le diamètre le plus gros, la bobine tourne plus lentement, et cette modification continuelle dans la vitesse de son mouvement de rotation compense l'accroissement de vitesse du papier, qui résulterait de l'augmentation du diamètre de la bobine par l'application successive de nouvelles couches de papier.

« Quant à la double trace qu'il s'agit de produire, ce sont deux petits pinceaux qui en sont chargés : l'un mobile, fixé à la pointe du ressort en P, près de la ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nivelle ; l'autre fixé à une petite traverse à l'extrémité du bâti quadrangulaire.

« Au commencement de l'expérience, il faut s'assurer que les deux traces se superposeraient exactement si aucun effort n'était exercé sur le ressort : le mieux est d'en faire la vérification sur l'appareil au repos en faisant seulement avancer le papier ; s'il arrivait que la coïncidence ne fût pas parfaite, deux écrous permettent de rappeler à la position convenable et d'y assurer sans crainte de variation le pinceau fixe que porte la traverse. L'écritoire se compose d'un tube de cuivre vissé dans un écrou que porte cette traverse en son milieu, de manière à pouvoir approcher à volonté la pointe du pinceau du papier sur lequel il doit faire un trait régulier et continu. Ce tube muni d'un bouchon est rempli d'encre de Chine un peu épaisse, le pinceau est d'abord chargé d'encre, et la capillarité se charge ensuite de lui amener celle contenue dans le réservoir.

« Nous voyons déjà, par cette description, que deux traits seront obtenus : l'un sera une ligne droite provenant du pinceau fixe, l'autre une courbe plus ou moins sinueuse due au pinceau du ressort. La fig. 677 *ter* est

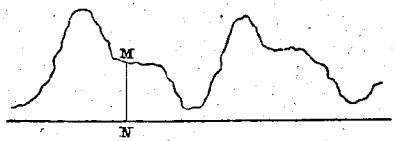


Fig. 677 *ter*.

un calque de cette double trace. Les convexités de la courbe correspondent aux plus grandes flexions du ressort, aux plus grands efforts par conséquent; les points de plus grand rapprochement, au contraire, se rapportent aux efforts les plus faibles.

« Nous voyons qu'à chaque tour il existe un point où l'effort exercé dans le sens du ressort est de beaucoup le plus considérable. Il correspond à la position dans laquelle le tourneur de roue donne son *coup*, au point auquel il est le plus commodément placé pour agir ; on sait qu'il en est ainsi vers la portion supérieure de la course de la manivelle, l'action du tourneur diminue ensuite (la courbe se rapproche de la ligne droite) jusqu'au bas de cette course, l'effort est là à son minimum, parce que le tourneur ne peut plus agir qu'en tirant, et il n'atteint sa plus grande valeur qu'au haut du tour suivant.

« Tous les ressorts, dans certaines limites, prennent des allongements ou des flexions proportionnelles aux efforts qui s'exercent sur eux; M. Morin a construit ses lames de manière à obtenir la sensibilité la plus grande, c'est-à-dire la plus grande déviation pour un même effort. Si, sous ce rapport, on compare deux lames de même section au point d'encastrement, l'une rectangulaire dans toute sa longueur, l'autre, au contraire, affectant la forme des solides d'égale résistance, on observe que la flexion est relativement double dans ce dernier cas. Aussi M. Morin a-t-il choisi cette dernière forme; ses ressorts sont plus épais au point d'encastrement, plus minces à leur extrémité, et cet amincissement suit une certaine courbure, celle d'une parabole, sur les deux faces du ressort.

« Il faut, pour chaque ressort, déterminer expérimentalement la flexion qui correspond à 1 kil.; dans le dynamomètre à manivelle du Conservatoire, chaque écart de 1 millimètre 1/10 correspond à 1 kilogr., en telle sorte que pour avoir la valeur de l'effort exercé

lorsque le pinceau mobile a marqué le point M de la courbe des efforts, il suffit de mesurer la longueur M N qui est de 9 millimètres; divisant cette longueur par 1 mill. 1/10, nous trouvons pour quotient 8,18 qui est la valeur en kilogrammes de l'effort correspondant.

« Cette proportionnalité n'existe toutefois qu'autant que le ressort n'est pas *forcé*, mais la disposition même des bâtis ne lui permet jamais de prendre une courbure trop grande; lorsqu'un effort trop considérable est exercé, le bâti mobile trouve un point d'appui dans la traverse qui porte l'axe O sur lequel il tourne.

« Pour terminer notre description, disons encore comment la couronne dentée peut être à volonté rendue immobile pendant que la manivelle tourne : une vis à tête saillante est fixée sur une couronne mobile, mais ne pénètre pas jusqu'au fond de la gorge qui reçoit cette couronne; elle est destinée à former arrêt au moment où une pièce mobile, convenablement coudée pour ne point gêner la manœuvre, vient *butter* contre elle. A partir de ce moment, la couronne ne peut plus se mouvoir, et le papier se déroule, comme nous l'avons indiqué.

« On comprend qu'il n'est pas nécessaire d'avoir constamment une trace pendant toute la durée d'un long travail qui exigerait un développement de papier beaucoup trop considérable; on se contente, en général, d'obtenir la courbe des efforts au commencement, vers le milieu et vers la fin d'une opération ; pour interrompre le tracé, il suffit de rendre à la couronne sa liberté en dégageant le buttoir coudé qui forme arrêt pour la vis; aussitôt la couronne est entraînée par frottement dans le mouvement commun, le pignon C ne tourne plus sur la denture de la couronne, et le papier n'est plus ni enroulé ni déroulé. Il suffit ensuite de rapprocher le buttoir pour rétablir à volonté le mouvement du papier et produire un nouveau tracé.

« Quant à la masse, placée à gauche, à l'extrémité du dynamomètre, ce n'est qu'un contre-poids destiné à l'équilibrer par rapport à son axe. »

DYNAMOMÈTRE POUR MESURER LE TRAVAIL DE TRACTION. Ce système, employé dans les expériences relatives au tirage des voitures, des charrues, ba-

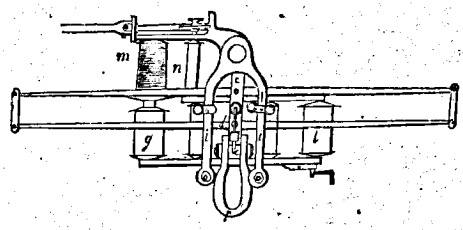


Fig. 678.

teaux, etc., est représenté dans la figure 678.

Le papier sur lequel le tracé doit être fait circule entre deux cylindres sur l'un desquels *g* il s'enroule pendant qu'il se déroule sur l'autre *l*. Le mouvement est imprimé par une courroie qui passe sur l'essieu de la voiture et sur une poulie à l'extrémité de l'axe *u*; à cet axe est fixée une ficelle, qui s'enroule sur la fusée *m*, montée sur l'axe du tambour *g*, et qui, en se déroulant, communique au papier une vitesse de translation indépendante du changement de diamètre qui résulte de son enroulement.

La vitesse du papier étant dans un rapport connu avec le chemin réel parcouru, et la tension du ressort étant indiquée par la distance comprise entre cette courbe et la ligne tracée par le style quand la tension est nulle, il est évident que l'aire de la courbe (qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

représente le produit de l'effort par le chemin parcouru), représente dans un rapport connu la quantité de travail cherché.

Un autre moyen propre à faire mouvoir le papier indépendamment du système sur lequel on opère, ce qui est souvent nécessaire, consiste en un moteur chronométrique, analogue à celui des tourne-broches, muni d'un volant à ailettes pour obtenir une régularité suffisante. Un des axes de ce moteur transmet par un engrenage le mouvement à l'axe du petit cylindre enveloppé par le fil de soie et par suite au papier. Dans ce cas l'aire obtenue représente le produit de l'effort par le temps écoulé, d'où l'on déduit exactement l'effort moyen qui, opérant pendant le même temps ou parcourant le chemin observé directement, produirait un travail égal à celui qui a été réellement développé.

Relèvement des courbes. Nous avons vu au mot *planimètre* (voyez *machines* à CALCULER), comment cet instrument servait à l'élévation des aires des courbes. M. Morin remplace le cône en cuivre par un cône en bois pour éviter le glissement. Plus simplement encore, il recommande de découper la courbe, de peser la feuille de papier limitée par la courbe et d'en comparer le poids à celui du rectangle qui serait décrit par la tension maximum du ressort, longueur connue par la graduation de l'instrument. L'effort moyen qu'il s'agit d'obtenir sera à la tension maximum dans le rapport des deux poids, et il sera obtenu par deux pesées. L'aire ou le travail serait déduit par une opération semblable. La régularité du papier fabriqué à la mécanique rend ce procédé d'une précision très-satisfaisante.

APPLICATION DU DYNAMOMÈTRE DE TRACTION. — Les difficultés de l'application des dynamomètres aux divers cas de la pratique nécessitent souvent la transformation, la modification de ces appareils pour les rendre pratiques. Nous en citerons quelques exemples.

Dynamomètre de Bentall pour évaluer la résistance des charrues. — La traction des chevaux attelés au palonnier *f* (fig. 678 *bis*) s'exerce sur un châssis qui

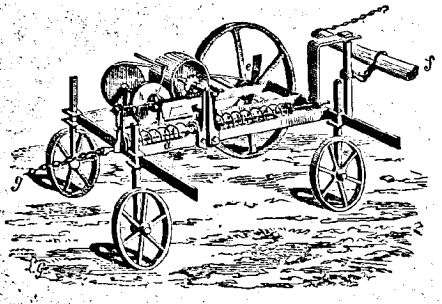


Fig. 678 *bis*.

comprime le ressort en spirale *a*. Ce ressort entraîne la roulette J et l'éloigne du centre du disque *h*, mis en mouvement à l'aide d'une courroie qui passe sur une roue montée sur un des axes des roues du train. Les tours de cette roulette et aussi du tambour *d*, mis en mouvement par une vis sans fin mue par l'axe sur lequel cette roulette peut glisser, sont donc proportionnels à la pression du ressort. D'autre part, un crayon pouvant tracer sur ce tambour se déplace parallèlement à son axe, proportionnellement au chemin parcouru, par l'effet d'une vis taillée sur l'arbre du disque *h*, sur laquelle l'extrémité de la tige qui porte le crayon forme écrou. Si donc on place un papier sur le tambour, le crayon y trace des lignes qui mesureront par leurs ordonnées circulaires la tension du ressort ou la résistance, et par leurs ordonnées parallèles aux génératrices le chemin parcouru. La combinaison des deux mouvements fera tracer une diagonale indiquant les variations du tirage, la ligne devenant de plus en plus parallèle à l'axe du tambour que la grandeur du tirage diminue, et inversement.

Ce dynamomètre a le défaut des instruments à roulettes dont nous allons parler, et dans les expériences de Trappes, lors de l'Exposition de 1855, pour comparer les diverses charrues, on a reconnu que ses indications n'étaient pas exactement proportionnelles aux efforts, parce que la tension des efforts n'est transmise à l'appareil enregistreur qu'à l'aide d'une roue qui ne se meut que par un faible frottement; les erreurs sont surtout notables dans le cas où les charrues n'exigent que peu de tirage.

L'excellence de la disposition du train interposé entre les chevaux et la charrue, tant au point de vue de la rapidité qu'à celui de la précision des observations, est également ressortie de ces mêmes expériences; aussi a-t-on obtenu un excellent instrument en montant sur ce train le dynamomètre traceur de M. Morin, qui, sans cela, est difficilement applicable aux charrues.

DYNAMOMÈTRE A COMPTEUR. Le dynamomètre à style ou *dynamomètre traceur* ne peut donner que des observations limitées par l'étendue de la feuille de papier. Mais puisque le planimètre permettait d'obtenir mécaniquement l'évaluation de l'aire de cette courbe, on conçoit à priori qu'il doit être possible, par la réunion des deux appareils, de supprimer l'opération intermédiaire du tracé de la courbe, et d'obtenir sur un compteur et pendant un temps, prolongé autant qu'il est nécessaire par des rouages successifs, le travail opéré.

C'est ce que M. Morin a heureusement tenté; il a fait apprécier l'utilité d'un genre d'appareils qui servira un jour de base pour les transactions où il s'agira de vendre de la force, comme les compteurs à gaz servent aujourd'hui quand il s'agit de vendre du gaz pour l'éclairage.

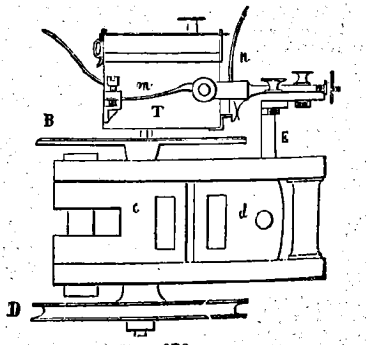


Fig. 678 *ter*.

La fig. 678 *ter* est l'élévation du dynamomètre à compteur. La griffe postérieure est traversée par un axe de rotation sur lequel est vissé le plateau B de $0^m,080$ de rayon, et qui reçoit à sa partie inférieure une poulie D, à laquelle le mouvement est transmis par une courroie ou par un moteur chronométrique quand la première disposition ne peut avoir lieu. Un support E, faisant corps avec la griffe antérieure *d*, soutient un compteur qui avance ou recule avec cette lame.

EFFERUS - Recherche & Classification numérique

Le mouvement est imprimé à ce compteur par une roulette T, montée sur un axe parallèle au plateau B, qui repose sur le centre du plateau quand le ressort n'est pas tendu. Dans toute autre position elle tourne avec ce plateau, et décrit un chemin en rapport avec son éloignement du centre ou avec la tension.

Sa rotation est pour une position donnée proportionnelle au mouvement du plateau, et pour une seconde position égale à la première multipliée par le rapport des rayons, c'est-à-dire des tractions, car le rayon mesure l'effort de traction; si donc l'on compare la rotation en un point quelconque à la rotation pour la traction égale à l'unité, on verra de suite comment le mouvement angulaire du plateau étant en raison du chemin parcouru, la rotation de la roulette est proportionnelle au produit de l'effort par le chemin parcouru, c'est-à-dire au travail qu'il s'agit de mesurer.

Il est facile de concevoir que, l'axe de la roulette portant une vis sans fin, son mouvement se communique aisément par des engrenages convenablement proportionnés à deux limbes dont l'un indique les unités et les dizaines de tours, l'autre les centaines, les mille de tours de la roulette. Le problème serait donc résolu d'une manière élégante, si la roulette soumise à des mouvements transversaux n'était sujette à des glissements qui font de cet appareil plutôt un système théorique qu'un instrument pour la pratique; aussi, en réalité, n'est-il jamais employé.

MM. Martin et Reymondon, qui ont obtenu le prix proposé par la Société d'Encouragement pour la construction de dynamomètres applicables spécialement à l'agriculture, ont combiné un appareil très voisin du dynamomètre traceur de M. Morin. Ils ont satisfait fort heureusement à la condition du programme qui leur assignait d'indiquer les intervalles de temps pendant lequel le travail est opéré (ce qui permet de vérifier si le transport de la bande de papier est régulier) au moyen de petits marteaux qui, mis en mouvement par un chronomètre, font marquer un point sur le papier à chaque seconde, en frappant avec une pointe sèche.

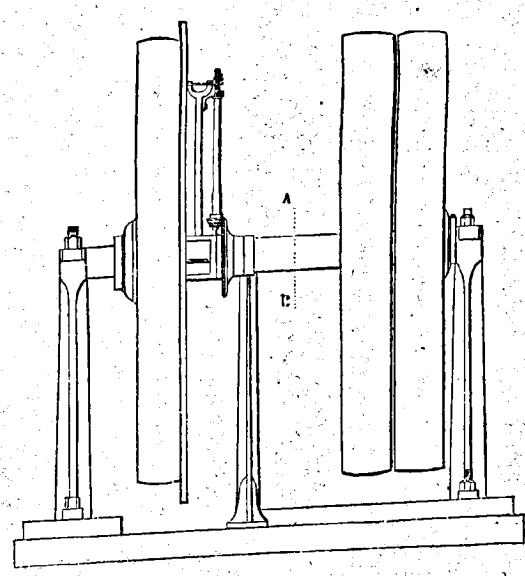
Nous pourrions encore décrire ici le dynamomètre de M. Wagner, spécialement applicable à l'essai comparatif des charrues. Il présente l'heureuse disposition de ne faire agir le ressort qu'à l'extrémité d'un levier dix fois plus grand que celui sur lequel agit la traction. On obtient ainsi la possibilité d'employer le ressort en hélice, renfermé dans une gaîne, des pesons du commerce, instruments moins coûteux, plus commodes et aussi exacts que les grandes lames des dynamomètres dont nous venons de parler. Nous pourrions aussi décrire l'heureuse disposition des tracés sur des cadrans en carton, sur la surface desquels sont imprimés des cercles et des rayons qui permettent d'évaluer en chaque instant les efforts et les chemins parcourus, mais nous craindrions de trop étendre cet article.

Aussi bien tous les dynamomètres proposés jusqu'à ce jour pour comparer les divers systèmes de charrues, présentent cet inconvénient grave qu'en évaluant plus ou moins parfaitement le travail nécessaire pour tracer un sillon sur 2 ou 300 mètres, ils ne tiennent pas compte de la largeur et de la profondeur du sillon, de telle sorte que le travail effectué n'est pas le même, et que par suite il n'est pas étonnant que le travail moteur varie considérablement.

Dynamomètre de rotation. Les systèmes que nous avons décrits ci-dessus ne s'appliquent qu'aux appareils qui sont transportés, nullement aux machines qui garnissent les ateliers, et dans lesquels le travail mécanique est toujours transmis par des systèmes animés d'un mouvement circulaire continu. Nous avons à exposer comment M. Morin a résolu cette partie la plus importante du problème par des dynamomètres de rotation, solution qu'un système proposé par M. Poncelet, que nous donnons à l'article MÉCANIQUE (fig. 1654), avait indiquée. Sur un arbre posé sur deux supports fixés sur un plateau sont placées trois poulies de même diamètre : l'une est fixe; l'autre, voisine de la première, est folle, et la dernière est mobile autour de l'arbre dans les limites que nous indiquerons.

Cet appareil étant interposé entre un arbre et une machine dont on veut mesurer la résistance, la courroie placée d'abord sur la poulie folle est amenée sur la poulie solidaire avec l'arbre, et par suite celui-ci est mis en mouvement.

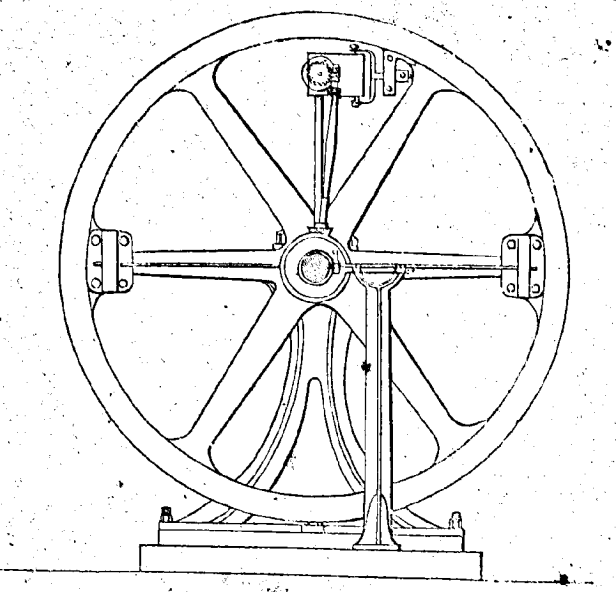
La troisième poulie reçoit la courroie qui doit transmettre le mouvement à la machine et vaincre la résistance. L'arbre, mis en mouvement, l'entraîne, bien qu'elle soit folle sur l'arbre, par l'effet d'un arrêt faisant corps avec elle, et qui vient buter sur une lame de ressort implantée dans l'arbre suivant un de ses rayons. Cette lame, tournant avec l'arbre, agit sur l'arrêt, dont la résistance le fait fléchir, et quand sa résistance à la flexion est susceptible de vaincre celle que la machine oppose, le mouvement commence, et se trouve ainsi transmis de l'arbre moteur à la machine en expérience par l'intermédiaire d'une lame de ressort, dont les flexions mesurent la résistance à vaincre.



679.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un style ajusté sur l'un des bras de la poulie trace les courbes et on obtient ainsi un dynamomètre de rotation à style, pourvu qu'on fasse avancer sous ce style un papier doué d'un mouvement en rapport constant avec celui de l'arbre. Ce mouvement du papier est donné par un système analogue à celui que représentent les fig. 679 et 680, qui indiquent les dispositions du système ci-dessus, destiné à constituer un dynamomètre de rotation à compteur. Un anneau, à frottement doux sur l'arbre, est denté en roue d'angle; il engrène avec un pignon conique dont l'axe rencontre à angle droit celui de l'arbre. L'axe de ce pignon se termine par une vis sans fin qui conduit une roue dentée, dont l'axe, parallèle à celui de l'appareil, porte à un autre bout un plateau de cuivre dont le plan est perpendiculaire à l'arbre. La poulie porte un compteur à roulettes semblable à celui décrit plus haut, et qui se déplace avec cette poulie d'une quantité proportionnelle à la flexion des lames.



680.

Quand on veut obtenir des indications du compteur, on rend immobile l'anneau denté au moyen d'un embrayage. Le pignon emporté par l'arbre roule alors autour de l'anneau denté fixe dans l'espace, et imprime au plateau un mouvement de rotation.

On voit que cet instrument est théoriquement convenable pour totaliser la quantité de travail transmis par un axe de rotation pendant un jour, une semaine, un mois. Aussi résoudrait-il tout à fait le problème s'il n'était trop délicat pour la pratique des ateliers, si des glissements fréquents n'altéraient l'exactitude des résultats.

Pour le dynamomètre à style, l'anneau monté sur l'arbre est denté en hélice et engrène avec un pignon perpendiculaire à l'arbre, mais qui ne le rencontre pas. C'est ce pignon qui met en mouvement le papier sur lequel s'effectue le tracé, à l'aide d'un style placé sur un des bras de la poulie.

Il faut pour la pratique des appareils plus sûrs, agissant par engrenages, sans glissements et altérations possibles. Nous parlerons plus loin de ce que l'on peut espérer dans cette voie.

Dynamomètre Taurines. On a remarqué à l'Exposition de Londres, et le jury a couronné d'une grande médaille, un ingénieux dynamomètre de rotation expérimenté avec succès par les ingénieurs de la marine française. Ce dynamomètre offre cette heureuse disposition, que les efforts de traction s'évaluent par le rapprochement de ressorts suivant une ligne perpendiculaire à l'axe de rotation, d'où résulte, avec une très grande résistance qui permet d'appliquer ce dynamomètre à de grands efforts, une grande facilité d'obtenir les tracés dans la circonstance la plus générale des machines de l'industrie manufacturière.

Ce dynamomètre consiste, réduit à sa plus simple expression, en un système de ressorts paraboliques assemblés par une extrémité à une manivelle calée sur l'arbre mû par la puissance, et de l'autre à un système semblable appartenant à l'arbre sur lequel la résistance vient s'exercer. Ces deux manivelles ou l'une d'entre elles peut être un rayon d'une roue ou d'un volant; c'est toujours la même disposition.

Lorsque la machine est en mouvement, la flèche de courbure des ressorts s'infléchit en raison des efforts de traction, les milieux des deux ressorts se rapprochent. Si donc une tige est articulée d'une extrémité à l'un des ressorts, et de l'autre à une pièce glissant dans une rainure circulaire d'un anneau monté sur l'arbre de rotation et pouvant s'avancer sur celui-ci, il est clair que cet anneau s'avancera en raison des efforts. Un papier roulé sur lui recevra donc d'un crayon fixe un tracé qui sera en raison de la rotation de l'arbre et de l'effort de traction nécessaire pour le mouvoir.

Il nous resterait à indiquer les moyens indiqués par l'inventeur pour rendre les mouvements du traçoir proportionnels aux efforts, ce qu'il obtient, quant aux ressorts, par une disposition de ressorts multiplicateurs disposés de telle sorte que ceux dont nous venons de parler, lorsqu'ils se rapprochent, agissent tranversalement sur eux. La théorie assez compliquée de ces systèmes doit être étudiée dans les mémoires de l'inventeur. Il corrige aussi les défauts de proportionnalité qui résultent de l'obliquité de la barre articulée, par l'effet d'une rainure courbe oblique à l'axe de rotation dans laquelle se meut le porte-crayon. Mais, sans entrer dans ces détails, il est clair que cet appareil peut toujours être taré et par suite donner des résultats exacts; et que la disposition de l'appareil permet de les obtenir avec une grande facilité. Il est facile aussi d'apprécier les avantages de solidité qu'offre cet appareil, ce qui permet de l'appliquer à des machines très puissantes, pour lesquelles la simple flexion d'une lame de ressort, comme dans le dynamomètre de M. Morin, n'offrirait pas une sécurité suffisante.

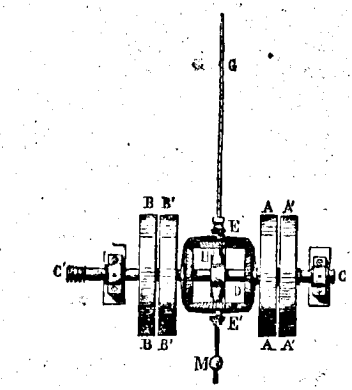
Ce dynamomètre constitue donc un progrès important sur les systèmes qui précèdent, et serait tout à fait précieux s'il était totalisateur, avantage que l'inventeur ne propose de lui donner qu'à l'aide d'éléments analogues à la roulette; c'est-à-dire avec beaucoup de complications et une foule de causes d'erreurs dans la pratique. Nous exposerons plus loin une disposition que nous avons imaginée, et qui, si nous ne nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

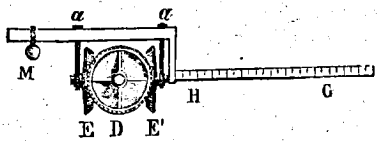
trompons, fournit une solution satisfaisante du problème.

Dynamomètre américain. On emploie en Amérique une espèce de balance dynamométrique, originairement inventée, pensons-nous, par White, ou qui au moins repose sur une disposition analogue à celle du mouvement différentiel qu'il a appliqué dans grand nombre de cas. On sera bien aise d'en trouver ici la description.

Les fig. 681 et 682 sont deux vues du dynamomètre



681.



682.

construit sur le principe d'un mouvement différentiel bien connu, et consiste en deux systèmes de poulies A, A', B, B', tournant autour d'un arbre C C; de chaque côté la poulie extrême est folle. La poulie fixe B' B' et la roue d'angle voisine sont toutes deux attachées sur l'arbre C C; la roue d'angle D est ajustée sur un tube lié à la poulie A A. Les roues E, E' sont portées par la barre G, qui peut tourner autour de l'arbre C C.

Pour employer cette machine, la courroie conductrice venant du moteur agit sur la poulie B', pendant que la courroie conduite passe sur la poulie A pour se rendre aux machines dont il s'agit d'étudier la consommation de travail.

Il est clair que si les roues E, E' sont maintenues dans la position horizontale, ne peuvent tourner autour de l'arbre C, la roue d'angle et la poulie A A avec laquelle elle fait corps, tourneront aussi vite que la poulie B' B'. Alors le poids nécessaire pour maintenir les roues E E dans leur position mesure l'effort nécessaire pour faire mouvoir les poulies et la roue d'angle montée sur l'arbre. Ce poids est obtenu à l'aide du levier G H, qui est employé comme le bras d'une romaine.

Le bras H G est adapté au centre des roues E E par les pièces *a a;* il est partagé en parties égales. Le poids M sert à équilibrer la barre et est fixée par une vis. Quand les roues E E conservent leur position par l'effet du levier G H, il est évident qu'un poids de 20 kil. agissant sur la poulie A équilibrera le même

poids sur les poulies B. La distance du centre de l'arbre C C à la distance sur le levier marquée 1, est égale au rayon de ces deux poulies; par suite, un poids de 20 kil. en 1 contre-balancera le même poids sur A, c'est-à-dire qu'en négligeant le frottement, l'effort peut s'évaluer par le poids nécessaire à la poulie motrice, pour que le système conserve sa figure, c'est-à-dire lorsque la résistance est égale à la puissance

Pour mettre la machine en mouvement, on fera donc passer les courroies des poulies folles sur les poulies fixes, puis l'on fera glisser le poids sur le levier jusqu'à ce qu'il ne soit plus entraîné; le poids ainsi indiqué sur le levier, multiplié par le rapport de la distance au point marqué 1, du point où il est suspendu, permet d'évaluer l'effort nécessaire pour mouvoir la machine.

Un filet de vis en C, au bout de l'arbre C C, agit sur un compteur pour indiquer le nombre de tours que fait la machine pendant le temps de l'expérience; on a donc l'effort et le chemin parcouru, et par suite le travail. On a perfectionné ce système en évitant les oscillations du levier à l'aide d'une pompe régulatrice disposée à l'extrémité de celui-ci, c'est-à-dire qu'on y adapte un piston glissant dans un corps de pompe fermé, et qui résiste aux changements brusques de vitesse.

Nouveau système de totalisateur. Le curieux système de dynamomètre que nous venons de décrire, et qui a pour défaut évident le balancement du levier, nous a fait penser à un perfectionnement qui nous semble heureux et nous paraît s'appliquer parfaitement au plus grand nombre des dynamomètres.

Le moyen d'éviter les grands balancements du levier, qui ne peuvent manquer d'accompagner les variations de force motrice ou de force résistante, balancements qui ne résultent pas cependant de sa nature même comme dans le frein de Prony, avec lequel ce dynamomètre a quelque similitude, consiste à remplacer le poids curseur par un ressort auquel est attaché l'extrémité du levier. Si on relève, par quelque système analogue à celui des dynamomètres traceurs ci-dessus décrits, la pression en chaque instant sur un papier mû proportionnellement au chemin parcouru, on pourra en déduire le travail.

C'est le produit de ces deux éléments qui représente le travail qu'il s'agit d'obtenir, et si l'on approche quelque peu de la solution dans les dynamomètres traceurs qui donnent l'aire qui représente le produit de ces deux éléments, ces appareils ne fournissent cependant qu'une solution bien incomplète de la question à laquelle les dynamomètres doivent faire réponse. Ils offrent en effet ces trois défauts : 1° d'exiger un appareil incommode pour faire mouvoir le papier; 2° de n'enregistrer le travail que pour un instant, en général fort court; 3° de fournir une courbe dont on ne peut obtenir la traduction en chiffres qu'à l'aide de connaissances spéciales, et qui par suite ne peut convenir que pour les recherches des ingénieurs et nullement pour les transactions industrielles de chaque jour.

De semblables inconvénients ne sont pas à craindre dans des appareils où les aires obtenues par des tracés graphiques seraient remplacées par des nombres indiqués sur des cadrans d'un compteur, à la condition que ces nombres expriment bien le travail de la machine.

Nous ne parlons pas des totalisateurs à roulettes actuellement connus, parce que ces dynamomètres à roulettes, sujets aux glissements, ne sont pas sortis du cabinet de l'inventeur, et que l'industrie n'a retiré nul profit de cette ingénieuse invention, toute théorique.

Voici comment nous y parvenons par une disposition qui, si nous ne nous trompons, sera bientôt adoptée pour presque tous les systèmes de dynamo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mètres, et remplacera les appareils graphiques tout à fait impropres à la pratique des ateliers.

Expliquons le système dont nous voulons parler, qui n'est que l'application de l'ingénieux organe de la multiplication, dû à l'inventeur de l'arithmomètre (Voy. CALCULER). Soit MN (fig. 683) un curseur, une tige attachée à des ressorts qui mesurent l'effort, comme cela a lieu habituellement dans les dynamomètres; soit a la course que ce point peut parcourir, et supposons pour fixer les idées que l'effort varie de 1 à 10 kilogrammes. Marquons sur a les points correspondants à des efforts croissants de kilogramme à kilogramme (divisions égales ou inégales, peu importe).

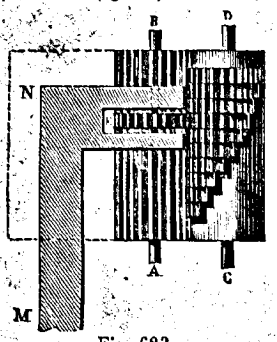


Fig. 683.

Soit CD un cylindre mis en mouvement par la rotation de la machine, et faisant par suite un nombre de tours proportionnel à celui de la pièce sur laquelle on mesure l'effort transmis; sa surface sera dentée, et le nombre des dents qu'on laissera subsister à chaque hauteur sera proportionnel au nombre de kil. indiqué au point correspondant de a.

Cela compris, si l'on fait porter au curseur MN une petite chape dans laquelle soit porté un petit pignon E, il est bien clair que ce pignon tournera pour chaque tour de CD d'un nombre de dents proportionnel au nombre de kilogrammes mesurant l'effort P. Si la partie supérieure entièrement garnie de dents correspond à un effort de 50 kilogrammes et porte 50 dents, un tour indiquera un travail égal à $50\,l$, l étant le chemin parcouru par la résistance pour le déplacement d'une dent de CD: si la partie inférieure, pour un effort répondant à 1 kilogramme, n'a qu'une dent, le travail indiqué par un tour sera $1 \times l$, c'est-à-dire le 50e du précédent, comme cela doit être. La somme des valeurs de Pl ainsi obtenues, pour une succession de tours, donnera donc la mesure du travail total.

Si donc on fait engrener le petit pignon avec un cylindre denté AB, celui-ci tournera avec le pignon et pourra enregistrer sur un cadran la somme du nombre de dents parcouru, et par suite le travail en kilogrammètres, si les divisions sont convenables.

Il est bien évident qu'il y aura avantage à faire faire à CD le plus grand nombre de rotations possibles, pour un même chemin parcouru, afin que les variations de pression soient plus souvent enregistrées, que l'appareil approche le plus possible de la continuité. Il est également évident que l'appareil est applicable, quelles que soient les forces à mesurer en proportionnant les dimensions de l'appareil aux forces en jeu. Il peut être établi très-léger, les résistances à vaincre ne sont jamais que celles très-minimes du compteur, celles qui s'opposent au seul mouvement des aiguilles.

Rien de plus simple que d'obtenir par des compteurs des unités de kilogrammètres d'un ordre supérieur, des milles, des centaines de mille, etc., en établissant un rouage suffisant (Voy. COMPTEUR), et par suite d'enregistrer le travail d'une machine pendant douze ou vingt-quatre heures. C'est là le résultat à obtenir par l'industrie pour vendre de la force au détail, comme on vend du gaz avec un compteur.

Pour appliquer ce totalisateur au système de White, très-convenable pour transmettre l'effort d'un moteur sans que l'introduction d'un dynamomètre dans les mécanismes ait des inconvénients, il suffit d'assembler le bout du levier à un ressort parabolique double ou à l'extrémité d'un peson à hélice, et d'attacher la chape du petit pignon à la barre qui réunit le ressort inférieur à l'extrémité du levier. Quant au cylindre denté, il sera mis en communication soit par une courroie, soit par un système de roues dentées avec une des roues perpendiculaires à l'axe de rotation. Nul besoin de dire qu'il faut avoir soin de déterminer les divisions des cadrans pour que les indications correspondent à des kilogrammètres.

Dynamomètre Taurines avec totalisateur. Ce système de totalisateur s'applique avec la plus grande facilité au système Taurines, que nous avons décrit plus haut, et nous paraît fournir un complément tout à fait nécessaire pour qu'on tire un parti usuel et journalier de cette ingénieuse invention.

En effet, il est facile de monter sur l'axe de rotation le système de parties de roues dentées et de faire de l'anneau glissant un porte-pignon. Si donc par expérience ou par calcul on dispose la progression des roues dentées de manière que les écartements soient en raison des accroissements des efforts, chaque tour de l'axe fera parcourir au premier mobile d'un compteur un nombre de dents égal au produit de l'effort par un tour, et par une série suffisante de cadrans donnera le nombre de centaines, de mille, de millions, etc., de kilogrammètres du travail moteur. On aura donc ainsi, d'une manière simple et pratique, le travail d'un moteur communiqué par une courroie de transmission; en un mot, une solution simple et satisfaisante du problème de l'établissement des dynamomètres, permettant d'évaluer le travail des moteurs et de le diviser en le mesurant.

Autres applications. Nous pourrions compléter les applications de ce totalisateur, qui nous paraissent possibles, à divers appareils, et notamment à des compteurs à gaz perfectionnés. On y tiendrait compte des variations de pression, cause d'erreur dont l'influence n'est pas tout à fait négligeable; mais ce serait abandonner la question des dynamomètres, but de cet article. Nous aurons d'ailleurs occasion de revenir sur ces questions capitales pour le progrès de la science et de l'industrie.

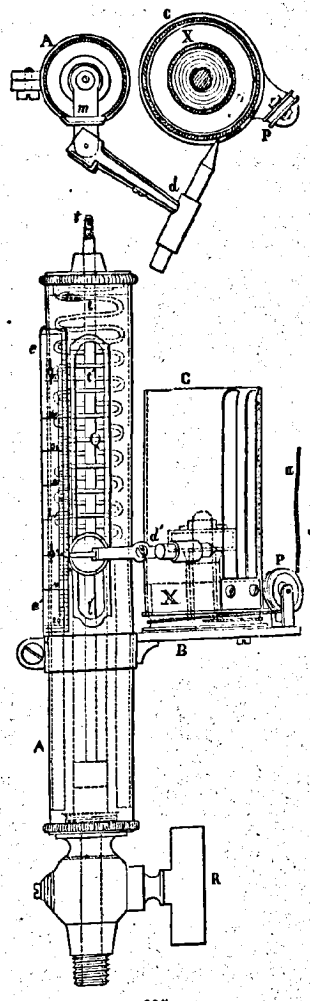
Dynamomètre indicateur de Watt, perfectionné par Mac Naught. Cet appareil, dû au génie du grand constructeur qui avait pressenti tant de perfectionnements, a été introduit en France par Combes. Il sert à mesurer la puissance des machines à vapeur, et surtout à étudier la suite des phénomènes à l'intérieur des cylindres à vapeur, la distribution, la détente, etc.; sous ce rapport c'est un appareil tout spécial à la machine à vapeur, et que les dynamomètres proprement dits ne sauraient remplacer, puisqu'ils ne peuvent mesurer que le travail transmis aux arbres de rotation et nullement indiquer les causes de variation du travail moteur. Nous verrons à MACHINE A VAPEUR l'extrême utilité des *diagrammes*, ou tracés qu'il permet d'obtenir, et qui représentent le produit de la pression de la vapeur sous le piston par le chemin parcouru sous chaque pression, c'est-à-dire une quantité proportionnelle au travail de la machine. Nous ne donnerons ici que la description de l'indicateur de Watt, considéré seulement comme appareil dynamométrique.

Les fig. 684 et 685 représentent l'indicateur de Watt en plan et en élévation. A est le cylindre de l'indicateur, t t' est la tige du petit piston mû par la vapeur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le cylindre A et est indiqué en lignes ponctuées dans l'élévation ; cette tige passe au milieu d'un ressort à boudin Q, fixé par le haut au couvercle du cylindre A, et par le bas à une embase placée sur la tige du piston ; R, robinet servant à ouvrir ou fermer la communication entre l'intérieur du cylindre à vapeur et le

684.



685.

dessous du piston de l'indicateur ; C, cylindre mobile placé latéralement au cylindre A, et autour duquel on roule la feuille de papier destinée à recevoir la trace, le *diagramme ;* B, support du cylindre C ; le cylindre C porte à sa partie inférieure une poulie portant une rainure héliçoïdale dans laquelle est logé le cordon *a*, qui, après avoir passé sur la poulie de renvoi P vient se fixer à l'extrémité d'un appendice fixé sur le piston de la machine à vapeur, ou en un point du parallélogramme articulé qui ait un mouvement moindre, mais proportionnel ; le milieu du bras vertical le plus rapproché du centre de rotation, par exemple ; le support B,

est relié au cylindre C, par un barillet X, faisant corps avec le cylindre, qui renferme un ressort de montre en spirale enfilé sur une tige fixée au support B ; ce ressort sert à faire rétrograder le cylindre, et à tenir le cordon *a* constamment tendu pendant la course descendante du piston de la machine à vapeur ; *l l'*, fente longitudinale ménagée suivant une génératrice du cylindre A, dans laquelle passe le bras *m* articulé avec le porte-crayon *d ; e é*, échelle graduée fixée sur le cylindre A ; les divisions correspondent chacune à une pression de 1/10e de kilogramme sur un centimètre carré. Quand le robinet R est fermé, l'index placé sur le bras *m*, correspond au zéro de l'échelle ; quand il est ouvert, la pression de la vapeur est marquée par les degrés supérieurs au zéro de l'échelle, et le vide par les degrés inférieurs.

Pour se servir de l'indicateur que nous venons de décrire, il faut le visser sur le robinet à graisse du cylindre ou sur toute autre ouverture. Une fois qu'il est mis en place, on enveloppe le cylindre mobile C, d'une bande de papier, en pinçant ses bords sous deux ressorts indiqués dans la figure, en ayant soin qu'elle soit bien lisse et bien tendue, et en en repliant les bords pour bien l'assujettir ; on enfile un crayon bien taillé dans la douille *d*, et on écarte sa pointe du papier en faisant tourner en dehors la tige du porte-crayon autour de son articulation. Cela fait, le petit ressort qui presse le crayon, peut être disposé de manière à ce que la pointe de ce dernier exerce seulement une légère pression sur le papier dont elle touche la surface. On laisse alors donner à la machine quelques coups de piston sans ouvrir le robinet de l'indicateur, pour que le crayon trace la ligne qui correspond au zéro de l'échelle. On relève le crayon et on ouvre le robinet R ; le piston de l'indicateur suit alors les tensions de la vapeur. Au bout de quelque temps, sans rien déranger d'ailleurs à l'instrument, on amène le crayon au contact de la feuille de papier, où il trace une figure représentant exactement la tension de la vapeur, et le degré de vide dans l'intérieur du cylindre à vapeur à chaque instant de la course du piston.

Quand le diagramme est tracé, on enlève la feuille de papier et on suit avec une plume très fine le tracé du crayon ; on divise la figure par des lignes équidistantes, perpendiculaires à la ligne atmosphérique ou celle de zéro de l'échelle ; on prend les longueurs des ordonnées moyennes dans chaque division à l'échelle de l'instrument, on en fait la somme, on divise par le nombre de parties formées dans la figure, et on a pour quotient la pression motrice moyenne.

Si l'on veut avoir la puissance d'une machine en chevaux, on calculera l'aire du piston en centimètres carrés ; on multipliera cette aire par la pression motrice moyenne donnée par l'expérience, exprimée en kilogr. sur un centimètre carré (chaque division de l'instrument exprime 1 kilogr.), et par le nombre de mètres parcourus par le piston dans une minute. On divisera le produit par 4,500 ; le quotient exprimera la puissance de la machine en *chevaux-vapeur*, de 75 kilogrammes élevés à un mètre par seconde, ou 4,500 kilogr. élevés à 1 mètre par minute. En plaçant l'instrument sur la machine marchant à vide, et réglant l'ouverture de la soupape à gorge de manière à ce que le piston prenne la même vitesse que dans le cas de la machine chargée, on aura la puissance absorbée par le frottement seul des différentes parties de la machine, et des transmissions de mouvement que l'on aura conservées.

On pourra reconnaître, de la même manière, si le vide se fait bien dans la machine, si le jeu des soupapes ou du tiroir de distribution est convenablement réglé, si les passages ou issues d'entrée et de sortie de la vapeur sont assez grands, etc. Aussi cet appareil

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est-il devenu tout à fait usuel dans l'industrie, dans la marine à vapeur notamment (voyez MACHINE A VAPEUR).

On a varié cet appareil de diverses manières, mais, dans la pratique, c'est la disposition indiquée ci-dessus qui est restée adoptée le plus souvent. Nous devons toutefois signaler les dispositions qui assurent le développement continu du papier, de telle sorte que les courbes successives ne se superposent pas.

DYNAMOMETRE OPTIQUE OU CHROMATIQUE.

M. Wertheim a su rapprocher des besoins de la pratique un système entièrement différent des précédents et fondé sur des phénomènes lumineux d'une grande délicatesse, pour mesurer l'action des forces, qui peut trouver des applications toutes nouvelles et permettre des expériences d'un grand intérêt. Les dynamomètres de Poncelet et Morin, très-convenables pour mesurer un travail, ne permettent pas de mesurer les pressions qui s'exercent entre deux corps solides sans chemin appréciable parcouru, élément qui est souvent du plus haut intérêt lorsqu'il s'agit de résistances statiques, comme dans tous les cas de construction, de déformation des métaux, etc., c'est-à-dire dans les cas les plus importants; aussi, sans un appareil nouveau, ne peut-on rien savoir sur l'effet utile des machines les plus usuelles, telles que presses, étaux, balanciers, systèmes de leviers, etc. C'est cette lacune que comble le dynamomètre chromatique, nouvelle utilisation industrielle des phénomènes du passage de la lumière à travers les corps transparents, qui a fourni une si curieuse application à une question de chimie, à la saccharimétrie optique.

L'appareil de M. Wertheim repose sur la mesure de l'action qu'exerce sur la lumière transmise un corps transparent et homogène, tiré ou pressé, suivant une seule direction. Fresnel a démontré le premier que cette action mécanique fait naître des phénomènes de double réfraction avec la lumière ordinaire, ou, ce qui est la même chose, des phénomènes de coloration avec la lumière polarisée. Ceci posé, voici la construction de l'appareil que représente la figure 686.



686.

Sa partie essentielle est une plaque de verre, parfaitement transparente dans le sens de sa longueur, de dimensions telles qu'elle puisse supporter des pressions très-considérables, et noircie sur tout son pourtour, à l'exception des deux points au travers desquels on veut viser. Cette plaque de verre *a*, garnie sur ses deux surfaces de plaques parallèles en caoutchouc volcanisé et en carton, est placée entre deux plateaux en fonte bien dressés et suffisamment épais; l'inférieur de ces plateaux *b* porte deux tubes en laiton, dont la surface intérieure est noircie. Le tube objectif contient un nicol *d* à son extrémité la plus rapprochée de l'observateur, et porte à l'autre bout une plaque de porcelaine blanche *e*, qui est mobile dans deux sens perpendiculaires, et qui, par conséquent, peut toujours être placée de manière à être bien éclairée. L'autre tube *f* porte un prisme bi-réfringent *g*. Ces deux tubes sont montés à frottement dur dans des coulisses *h* adaptées à la plaque inférieure, de manière à ce que, en employant des plaques de verre de différentes épaisseurs, on puisse toujours placer leurs axes sur le prolongement l'un de l'autre et à la moitié de la hauteur du verre. La plaque de fonte supérieure *i* est parfaitement libre et ne sert qu'à transmettre les pressions au verre.

Les sections principales du nicol et du prisme bi-réfringent sont parallèles entre elles et font un angle de 45 degrés avec la verticale.

Maintenant on n'a qu'à placer cet appareil peu volumineux entre les deux surfaces sur lesquelles la pression doit s'exercer : quelle que soit la nature des forces appliquées, quelles que soient les pertes qu'elles aient éprouvées avant de produire leur effet utile, la mesure de cet effet sera toujours donnée par la seule inspection des couleurs qui se présentent dans les deux images.

L'appréciation des couleurs est la partie délicate de ces observations. Une fois obtenue, on peut en déduire par le calcul la valeur de la pression, mais il est bien plus simple de tarer directement l'instrument, comme l'a fait M. Wertheim, c'est-à-dire de faire peindre les couples de couleurs que l'on voit successivement dans l'instrument et d'inscrire à côté les valeurs correspondantes de P pour deux plaques de verre, dont l'une est destinée à mesurer de faibles pressions, tandis que l'autre supporte les pressions les plus considérables.

Il importe de prévenir que ces expériences offrent une seule difficulté, qui est d'éviter que le verre ne subisse aucune flexion transversale; car celle-ci ferait apparaître, de ce seul fait, des bandes colorées et toute détermination deviendrait impossible. Cette cause perturbatrice se présente infailliblement toutes les fois qu'on se sert de plaques minces; il est impossible de rendre les surfaces entre lesquelles la pression s'exerce assez complétement planes et parallèles pour qu'il ne s'y produise rigoureusement qu'un effet de compression. Il faut donc que le verre lui-même offre assez de résistance à la flexion pour que l'effet de celle-ci devienne insensible; c'est à quoi l'on arrive en donnant à la plaque une épaisseur (hauteur) de 2 à 3 centimètres.

On se rend facilement compte des dimensions qu'il faut donner à une pareille plaque pour la rendre propre à mesurer une force d'une grandeur donnée. Le verre à glaces supporte une pression de plus de 3 kilog. par millimètre carré; une plaque carrée, de 20 centimètres de côté, pourra donc, sans inconvénient, être soumise à une pression de 120,000 kilog. Mais longtemps avant d'avoir atteint cette limite, les deux images seront devenues complètement blanches par suite de la grande différence de marche entre les deux rayons, cause que la théorie assigne à la différence de coloration.

On trouve ainsi, comme le montre le tableau ci-après, que la plus grande différence de marche dont on puisse se servir est de $0^{mm},002$, la charge correspondante étant de 535 kilog. pour la surface des verres de la presse d'essai, soit 13 à 15,000 kilog. pour 400 centimètres carrés, limite qu'on ne pourrait dépasser qu'en employant une plaque plus large.

Mais sans avoir recours à une plus grande largeur, qui diminuerait en même temps la sensibilité de l'instrument, on peut augmenter sa course par un artifice très-simple. Supposons qu'on soit arrivé à une pression de 13,000 kilog., le rayon extraordinaire aura sur le rayon ordinaire une avance de 0,002. Plaçons maintenant sur le trajet des deux rayons, entre les deux prismes, en *l*, un quartz parallèle à l'axe d'une épaisseur telle, qu'étant employé seul, il produise une différence de marche de 7λ (λ, longueur d'ondulation, varie de 423 millionièmes de millimètre pour le rouge, à 620 pour le violet, moyenne 525) ou $0^{mm},004$. Le quartz est un cristal positif; donc, en ajoutant cette plaque au verre comprimé, on change le signe de la différence de marche *d*, de $-0,002$, elle devient $= +0,002$. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUMÉROS D'ORDRE.	d — En millionièmes de millimètres.	e — En millionièmes de pouces anglais.	P — CHARGE.	COULEUR de l'image O.	COULEUR de l'image E.
1	0mm	0	0	Blanc.	Noir.
2	40	0,78	10	Blanc.	Gris de fer.
3	97	1,91	24	Blanc jaunâtre.	Gris de lavande.
4	158	3,11	39	Blanc brunâtre.	Gris-bleu.
5	218	4,29	54	Jaune-brun.	Gris plus clair.
6	234	4,61	58	Brun.	Blanc avec une légère teinte verte.
7	259	5,10	64	Rouge clair.	Blanc presque pur.
8	267	5,25	66	Rouge-carmin.	Blanc jaunâtre.
9	275	5,41	68	Rouge-brun très-foncé, presque noir.	Jaune-paille.
10	281	5,53	70	Violet foncé.	Jaune-paille.
11	306	6,02	77	Indigo.	Jaune clair.
12	332	6,53	84	Bleu.	Jaune brillant.
13	430	8,46	110	Bleu verdâtre.	Jaune orangé.
14	505	9,94	130	Vert bleuâtre.	Orangé rougeâtre.
15	536	10,55	138	Vert pâle.	Rouge, chaud.
16	551	10,84	142	Vert jaunâtre.	Rouge plus foncé.
17	565	11,12	146	Vert plus clair.	Pourpre.
18	575	11,32	149	Jaune verdâtre.	Violet.
19	589	11,59	153	Jaune vif.	Indigo.
20	664	13,07	183	Orangé.	Bleu.
21	728	14,33	200	Orangé brunâtre.	Bleu verdâtre.
22	747	14,70	205	Rouge-carmin clair.	Vert.
23	826	16,26	216	Pourpre.	Vert plus clair.
24	843	16,59	221	Pourpre violacé.	Vert jaunâtre.
25	866	17,05	228	Violet.	Jaune verdâtre.
26	910	17,91	240	Indigo.	Jaune pur.
27	948	18,66	250	Bleu foncé.	Orangé.
28	998	19,64	263	Bleu verdâtre.	Orangé rougeâtre vif.
29	1101	21,67	290	Vert.	Rouge violacé foncé.
30	1128	22,20	298	Vert jaunâtre.	Violet bleuâtre clair, teinte de passage.
31	1151	22,66	305	Jaune impur.	Indigo.
32	1238	24,76	334	Couleur de chair.	Bleu, teinte verdâtre.
33	1334	26,26	354	Rouge mordoré.	Vert bleuâtre (vert d'eau).
34	1376	27,09	365	Violet.	Vert brillant.
35	1426	28,07	380	Bleu violacé grisâtre.	Jaune verdâtre.
36	1495	29,43	400	Bleu verdâtre.	Rouge-rose.
37	1534	30,20	410	Vert-bleu.	Rouge-carmin.
38	1624	31,91	432	Vert clair.	Carmin pourpré.
39	1652	32,52	440	Vert jaunâtre.	Gris violacé.
40	1682	33,11	449	Jaune verdâtre.	Gris-bleu.
41	1711	33,68	458	Gris-jaune.	Bleu verdâtre clair.
42	1744	34,33	468	Mauve.	Vert bleuâtre.
43	1811	35,65	486	Carmin.	Vert-bleu clair.
44	1927	37,93	515	Gris-rouge.	Gris-vert clair.
45	2007	39,51	535	Gris-bleu.	Gris presque blanc.

Les deux images se colorent successivement de toutes les couleurs des anneaux des lames minces, de la bulle de savon, l'image ordinaire prenant toujours les couleurs de la lumière transmise et l'image extraordinaire présentant les teintes complémentaires ou les couleurs des anneaux de la lumière réfléchie. Newton ayant mesuré l'épaisseur de la lame d'air qui transmet et réfléchit chacune de ces couleurs complémentaires, on devait essayer de se servir de ces mesures pour exprimer numériquement chaque teinte obtenue. On reconnaît bien qu'en effet les différences de marche entre les deux rayons sont sensiblement proportionnelles aux charges, mais le grand nombre de teintes voisines rend bien difficile l'emploi des déterminations de Newton.

Le tableau ci-dessus a été déterminé à l'aide d'une pièce très-pure de crown de Clichy (boro-silicate de zinc) qui pouvait être comprimé jusqu'à donner une différence de marche de $7\frac{\lambda}{2}$ (λ étant la longueur d'ondulation) ; au delà de cette limite, les couleurs sont mélangées de trop de lumière blanche, et sont, par conséquent, trop pâles pour pouvoir servir à des mesures.

On a choisi, dans chaque anneau coloré, un certain nombre de teintes bien caractérisées et faciles à reproduire, et l'on a déterminé les charges qu'il faut appliquer à ce même crown pour les produire. On a pu ainsi, et avec quelques interpolations pour le calcul des chiffres, déterminer et la colonne d, qui contient en millionièmes de millimètres les différences entre les chemins parcourus par les rayons ordinaires et extraordinaires, et les épaisseurs e des lames d'air qui transmettent et réfléchissent les couleurs inscrites dans la 5e et 6e colonne. On les donne en millionièmes de pouces anglais, afin qu'on puisse immédiatement les comparer avec les mesures de Newton.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

couleurs des deux images n'ont donc éprouvé aucun changement; mais en augmentant maintenant la pression, on remontera graduellement toute la série des teintes, et avec une pression de 26,000, on sera revenu à zéro. Par conséquent, et sans rien ajouter à l'appareil optique, on pourra aller de nouveau jusqu'à une double réfraction négative $\frac{7\lambda}{2}$, que l'on obtiendra avec une pression totale de 39,000 kilogr., et ainsi de suite.

Un tableau des colorations et des pressions correspondantes doit être établi avec l'appareil, par le constructeur. Le tableau ci-contre, qui reproduit les déterminations obtenues par Wertheim avec son appareil d'essai, offre un grand intérêt en faisant saisir la marche du phénomène.

Applications. Wertheim a fait quelques applications de cet appareil, que nous rapporterons ici, notamment à des pressions produites par choc, que tout autre système est impuissant à mesurer.

Ainsi, il a trouvé qu'avec de petits écrous qu'on ne serre qu'avec les doigts, on peut produire jusqu'à 220 kilogr. de pression.

Pour décalquer une lettre avec une presse à copier ordinaire, on exerce habituellement une pression de 800 à 900 kilogr.

Un grand balancier des ateliers de Bréguet a donné pour résultats moyens: $P = 48{,}98\,P' + 66{,}5$, P' étant la force appliquée aux bras du levier et P l'effet produit; la quantité constante 66,5, qui est indépendante de la force P', représente l'*inertie du balancier* rendue sensible, parce qu'après que la force P' a cessé d'agir, il reste une coloration correspondante à 66,5, laquelle provient évidemment de cette inertie. On voit que cette force que l'on néglige habituellement pourrait devenir considérable, dans certains cas, pour une vitesse très-notable.

Enfin, en expérimentant sur la grande presse hydraulique, qui se trouve au Conservatoire des arts et métiers, Wertheim a trouvé les résultats suivants:

PRESSIONS

d'après le dynamomètre chromatique.	d'après le manomètre communiquant avec l'eau de la presse	
en kilogrammes.	en atmosphères.	en kilogrammes.
100	0,5	91
175	1,0	181
283	1,6	290
383	2,1	381
544	3,0	544
555	3,5	634
586	4,0	726
938	6,0	1,088
1,285	8,0	1,454
1,523	9,0	1,633
1,666	10,0	1,814
2,464	15,0	2,724
3,091	20,0	3,629
3,338	24,0	4,355
3,427	28,0	5,080
4,099	34,0	5,625
4,480	35,0	6,354
4,950	40,0	7,258
5,891	47,0	8,528

On voit que l'instrument montre que l'on commet de grandes erreurs lorsqu'on croit pouvoir négliger les frottements dans les calculs de l'effet utile de la presse hydraulique. Il est bien fâcheux qu'il soit trop délicat pour devenir d'un emploi général.

MESURE DIRECTE DU TRAVAIL. — Si un travail moteur produisait, sans déperdition, un travail résistant utilisé, on déduirait la mesure des effets obtenus, de la quantité d'objets qu'il aurait servi à fabriquer. Il ne saurait en être ainsi que pour des cas très-simples: l'élévation de l'eau par une pompe par exemple, et encore faut-il, pour calculer le travail moteur, admettre un coefficient de rendement de la pompe, qui ne peut rigoureusement être déduit d'une construction pour être appliqué à une autre.

Le FREIN de Prony fournit une solution du problème par la substitution du frein à l'usine, et le travail du premier étant connu, on en déduit le travail transmis pendant la marche ordinaire du moteur. C'est, somme toute, le moyen le plus souvent employé dans la pratique, car, quand il s'agit de puissants moteurs, l'installation des dynamomètres de rotation offre d'assez grandes difficultés. Dans les deux cas, c'est toujours à un intermédiaire que l'on a recours; et s'il se présente de grandes variations dans le travail, ce qui est très-fréquent, il faut, pour ainsi dire, une disposition nouvelle pour chaque période, et des successions d'expériences et d'observations le plus souvent impraticables.

Dynamomètre à eau. Mayer de Heilbronn, auquel on doit d'avoir formulé la notion de l'*équivalent mécanique de la chaleur*, idée de génie qui immortalisera justement son nom, a proposé un dynamomètre qui rentre dans la catégorie de ceux que nous étudions ici.

Nous rapporterons ce qui a été publié sur ce sujet, dans les procès-verbaux d'une société savante, sans avoir besoin d'insister sur les difficultés pratiques que l'on rencontrerait, à transformer intégralement une quantité de travail mécanique en quantité de chaleur.

« Dès 1850, dit Mayer, dans un opuscule intitulé : *Remarques sur l'équivalent de la chaleur*, j'ai publié le projet d'un dynamomètre, fondé sur la mécanique de la chaleur. J'ai pu le réaliser avec le concours de l'ingénieur Emile Zech, directeur de la fabrique de machines de Heilbronn. L'idée première de réaliser la transformation du travail en chaleur, au moyen d'une pompe de compression, fut très-heureusement modifiée par M. Zech, qui employa, dans ce but, une manivelle à frottement fonctionnant dans une caisse remplie d'eau. Si l'on mesure, ce qui est facile, la quantité de chaleur produite dans un temps donné aux dépens du travail, on déduit immédiatement le nombre de kilogrammètres ou de chevaux-vapeur fournis par le moteur. D'un autre côté, on peut, au moyen d'un compteur, savoir le nombre de tours de la manivelle et connaître, par un poids fixé à un levier, la pression produite dans l'appareil; on pourra en déduire le travail dépensé, et on aura dans le dynamomètre deux méthodes tout à fait différentes et commodes de mesurer le travail, lesquelles devront se contrôler. L'instrument, qui convient pour des machines de 20 chevaux et plus et qui contient 240 kilogrammes d'eau, peut être établi pour le prix de 500 francs environ. Le modèle se trouve dans la salle de l'Exposition du commerce et de l'industrie de Heilbronn. Les méthodes employées jusqu'ici au moyen du frein ne satisfont pas complétement à tous les besoins; j'espère donc, avec mon nouveau dynamomètre, avoir rendu un vrai service à la science technique, et, en même temps, avoir indiqué un nouveau moyen de mesurer directement et sur une grande échelle l'équivalent mécanique de la chaleur. »

CH. LABOULAYE.

Paris. — Imp. VIÉVILLE et CAPIOMONT, 6, rue des Poitevins.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

ET DE L'AGRICULTURE

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

PAR M. CH. LABOULAYE

SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL AUX EXPOSITIONS UNIVERSELLES DE 1862 ET 1867, ETC.

et MM. DEBETTE, Ingénieur des Mines. — BARRAL, Ingénieur. — E. BAUDE.
BERTHELOT, de l'Institut. — BRÉGUET, du Bureau des Longitudes. — DEHÉRAIN, Professeur à Grignon. — P. DESORMEAUX. — DÉGLIN.
DUBIED, Ingénieur. — EBELMEN. — L. FAUCHER, Ingénieur. — FAURE. — GROUVELLE.
HANRIOT, Fabricant. — KNAB, chimiste. — LISSAJOUS, Prof. de physique. — H. MAGNE. — MALLET, Ingénieur-chimiste.
MANGON, de l'Institut. — ROUGET DE LISLE, Ingénieur. — SALVETAT, Chimiste de la Manufacture de Sèvres.
SANSON, Professeur à Grignon. — SCHUTZENBERGER, chimiste. — VINCENDON-DUMOULIN,
et un grand nombre d'Ingénieurs et de Fabricants.

QUATRIÈME ÉDITION

DEUXIÈME TIRAGE

E-M

PARIS

LIBRAIRIE DU DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

60, rue Madame, 60

1879

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

E

EAU (*angl.* wather; *all.* wasser). — L'un des quatre éléments des anciens, occupant une place immense dans l'univers par les océans, les cours d'eau, les nuages; indispensable à la vie végétale et animale. Toutes les connaissances sur la nature de l'eau correspondent à des progrès importants de la civilisation matérielle. La plus capitale et la plus récente est celle de sa composition; en 1784, Cavendish, en Angleterre, et Lavoisier, en France, arrivèrent à démontrer que l'eau est formée d'hydrogène et d'oxygène, à savoir (comme il a été établi par des expériences très-précises): de deux volumes d'hydrogène pour un d'oxygène; en poids de un d'hydrogène pour huit d'oxygène.

Les progrès de la science ont établi que l'hydrogène était le corps dont les atômes possèdent la force vive la plus considérable, bien plus grande que celle de tous les autres corps, et l'oxygène un de ceux qui s'en écartent le moins. De nouveaux progrès feront peut-être sortir de là quelque jour la raison de l'extrême abondance de l'eau sur la terre, c'est tout ce que l'on peut dire dans l'état actuel de nos connaissances.

L'eau est un liquide transparent, inodore, sans saveur, incolore sur de petites épaisseurs, mais présentant une belle couleur bleue lorsqu'il est vu sous une grande masse; l'eau de mer présente d'autres nuances, surtout le vert; on attribue cette dernière teinte à la présence d'une petite quantité de limon argileux, jaune.

L'eau se solidifie à une température qui a été prise pour le zéro de l'échelle thermométrique; avec certaines précautions on peut faire descendre sa température au-dessous de ce point, mais par la moindre agitation la température remonte à 0°, et elle se prend en masse solide, en glace. Celle-ci absorbe pour se liquéfier 79 calories, c'est-à-dire que la chaleur nécessaire pour transformer la glace à 0° en eau à 0° élèverait le même poids d'eau liquide de 0 à 79°.

En se solidifiant, l'eau éprouve une dilatation subite égale environ aux 0,07 de son volume. La glace est par conséquent moins dense que l'eau; la densité de l'eau à + 4° étant 1, celle de la glace est 0,918. La glace, une fois formée, se contracte en se refroidissant comme tous les corps. Si, au contraire, on observe les changements de volume de l'eau maintenue liquide au-dessous de 0°, on voit qu'elle se dilate par le refroidissement au lieu de se contracter, et cette dilatation a lieu à partir de la température de + 4°; elle a été observée jusqu'à — 9°; à cette température la densité de l'eau liquide est égale à 0,998371. Des phénomènes de cristallisation, de polarité moléculaire interviennent visiblement ici pour modifier les phénomènes. A partir de + 4° les augmentations de température produisent des dilatations pour l'eau comme pour tous les autres corps. Cette dilatation n'est pas régulière; de 0° à 100° elle est en totalité 1/22 = 0,0429 du volume primitif. On voit donc que c'est à + 4° qu'une même quantité d'eau occupe le volume le plus petit, qu'à cette température elle a un maximum de densité; c'est cette densité qui a été choisie pour unité de densité des liquides et des solides dans le système métrique.

La propriété que possède l'eau d'avoir un maximum de densité joue un grand rôle dans la nature; par les froids de l'hiver, l'eau se refroidissant à la surface se contracte d'abord et descend dans les parties inférieures, pour être remplacée par des couches plus chaudes; celles-ci se refroidissant à leur tour seront également remplacées, et ce phénomène se produira jusqu'à ce que la température de toute la masse ait atteint + 4°; une fois cette température atteinte, les couches supérieures se dilatent en se refroidissant, au lieu de se contracter, et restent par conséquent à la surface où elles finissent par se solidifier. La glace ainsi formée se refroidit davantage et augmente d'épaisseur, par suite les couches inférieures se trouvent protégées contre le refroidissement. En raison de ces phénomènes, la température des couches inférieures d'une masse d'eau s'abaisse rarement au-dessous de + 4°.

La glace est une masse cristalline formée d'un enchevêtrement de petits cristaux, qui se rencontrent quelquefois isolés. Ils appartiennent au système rhomboédrique et sont généralement des prismes à six pans. La neige, qui est due à la congélation de l'eau atmosphérique, dans des conditions de densité très-variables, offre des groupements très-variés de petits cristaux élémentaires.

Le point d'ébullition de l'eau a été choisi comme point fixe pour toutes les échelles thermométriques. Il varie avec la pression et avec certaines autres circonstances, comme la nature du vase dans lequel on le fait bouillir, la présence des matières en dissolution, etc. Mais sous la pression normale de 0m,760, la température de la vapeur produite est constante et toujours de 100° centigrades; on dit qu'à cette température la tension de la vapeur est de 1 atmosphère ou 0m,760 de mercure. Dans des vases clos cette tension augmente avec la température d'ébullition, question traitée en détail aux articles VAPEUR, MACHINE A VAPEUR, etc., consacrés à l'analyse des moyens d'employer la vapeur à produire un travail mécanique au moyen de la chaleur.

Nous ne traiterons pas ici en détail de la chaleur de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vaporisation pour laquelle nous renverrons à l'article CHALEUR LATENTE du *Complément*, dans lequel nous nous sommes efforcés de bien définir la nature des chaleurs de fusion et de vaporisation; nous dirons seulement que l'eau à 100° absorbe 537 calories pour passer à l'état de vapeur à la même température.

Eau comme dissolvant. Un des plus fréquents emplois de l'eau dans l'industrie est celui qu'on en fait comme dissolvant presque universel. Elle dissout en effet un très-grand nombre de corps solides, liquides et gazeux, et fournit ainsi un moyen souvent employé de séparation et de purification.

La séparation des solides et de l'eau se fait en général par l'ÉVAPORATION de celle-ci. La DISTILLATION sert pour séparer les liquides mélangés à l'eau, en utilisant la différence des points d'ébullition de ces liquides et de l'eau.

Eau comme source d'hydrogène. La plupart des réactions dans lesquelles l'eau est décomposée produisent des oxydations au moyen de l'oxygène de l'eau et par suite le dégagement de l'hydrogène qui lui correspond. C'est de l'eau que ce gaz, qui doit trouver tant d'applications industrielles, pour produire notamment de très-hautes températures, peut s'extraire à très-bas prix par des méthodes convenables (Voy. ÉCLAIRAGE AU GAZ).

Purification et conservation de l'eau. — Dans un grand nombre de circonstances et particulièrement à la suite des pluies, l'eau des rivières devient trouble, et souvent à un degré tel qu'il est impossible de s'en servir comme boisson ou pour la cuisson des aliments; le repos, même prolongé, ne suffit pas pour l'éclaircir complétement; une FILTRATION est nécessaire pour séparer les substances très-ténues qui sont en suspension.

Ces moyens mécaniques, qui sont très-convenables lorsque l'eau n'est altérée que par des substances hétérogènes qui s'y trouvent en suspension en raison de leur grande ténuité, ne sont plus suffisants pour les eaux stagnantes et fétides; il s'agit alors non-seulement de les débarrasser de leur limon, mais encore de détruire cette odeur infecte qui les rend rebutantes et souvent dangereuses. Parmi tous les procédés proposés pour obvier à un si grave inconvénient, il n'en est aucun autre plus efficace que celui que nous devons à Lowitz. Il consiste simplement à ajouter un peu de charbon grossièrement pilé et bien calciné, ou mieux encore du noir d'os, d'agiter et de filtrer. Quand la proportion est suffisante, l'eau est immédiatement désinfectée, quelle que soit sa putridité.

La végétation des plantes peut être rangée au nombre des moyens d'assainissement de l'eau. L'expérience a démontré que des eaux stagnantes qui croupissaient et se putréfiaient habituellement pendant les chaleurs, et à tel point même que les bestiaux refusaient d'en faire usage, pouvaient devenir très-salubres, si, par une cause quelconque, des plantes venaient à s'y développer. Il paraîtrait donc que les végétaux remplissent là les mêmes fonctions que le charbon.

On a fait d'heureuses applications des principes que nous venons d'énoncer à la conservation de l'eau destinée aux équipages des navires; ainsi on a proposé, et avec raison, d'ajouter dans chaque tonneau un peu de charbon en poudre grossière, ou mieux encore de charbonner intérieurement les douves elles-mêmes des tonneaux.

L'obligation de charbonner les tonneaux diminuant leur solidité, et leur forme ne permettant pas de profiter, aussi avantageusement que possible, de l'espace qui leur est destiné dans un navire, on a préféré employer dans la marine les caisses en fer. Elles conservent très-bien l'eau en la privant en partie de son oxygène qui se porte sur le fer des caisses. On peut éviter l'effet de destruction qui en résulte pour celles-ci, en les goudronnant et plaçant dans l'eau des rognures de fer qui déterminent le même effet que les caisses elles-mêmes.

Les eaux pluviales, qu'on est obligé dans beaucoup de pays de conserver dans des citernes, s'y altèrent assez promptement, et deviennent souvent la cause de maladies contagieuses. Il est donc bien important, pour ces contrées, d'avoir recours à des moyens capables de rendre ces eaux salubres, ou de les empêcher de se détériorer. Il est bon de maintenir les citernes dans un grand état de propreté, de filtrer les eaux pluviales au travers du sable avant de les y conduire, et d'entretenir enfin des courants d'air à la surface de l'eau. Si tous ces moyens ne suffisent pas, on a recours en dernier lieu à l'emploi du charbon, mais il faut observer que la chose importante est surtout que la citerne soit bonne, assez enveloppée de maçonnerie, assez enfoncée dans le sol, pour que la température y reste très-basse et que les fermentations et végétations ne s'y produisent pas.

EAU DE COLOGNE. Voy. PARFUMERIE.

EAU RÉGALE. Mélange d'acide nitrique et chlorhydrique pouvant dissoudre l'or, le *roi des métaux*, à l'état de chlorure. Le platine, le palladium... qui résistent aux autres acides, se dissolvent également dans l'eau régale.

EAU-DE-VIE (*angl.* brandy; *all.* branntwein). Nous avons traité en détail à l'article DISTILLATION des principes de cette fabrication, les eaux-de-vie de consommation n'étant autre chose que des esprits-de-vin ayant une richesse alcoolique qui varie de 48 à 56 degrés centésimaux.

Les eaux-de-vie de France sont les plus estimées du monde entier et, parmi elles, la qualité supérieure est produite dans les Charentes, et désignée sous le nom d'*eau-de-vie de Cognac*. Cette eau-de-vie se prépare par la distillation directe des vins blancs un peu acidules de ces contrées vinicoles, distillés dans des appareils simples, à températures peu élevées, par suite sont à l'abri de goût empyreumatique, comme de produits dus à de mauvaises fermentations, mais possèdent au contraire des arômes exquis dus à des éthers légers d'un parfum très-agréable. Les produits sont toutefois un peu âpres au début, et ils n'acquièrent tout leur mérite que par le temps.

La quantité que l'on produit de ces excellentes eaux-de-vie naturelles n'est certes pas en rapport avec celle des produits vendus sous le même nom, et toutes les eaux-de-vie de vin, d'une saveur et d'une odeur franche, sont employées à la préparation des *cognacs*. Les alcools industriels mêmes servent aujourd'hui à *la confection d'eaux-de-vie* dites *de Cognac*, mais fournissent des produits très-inférieurs, non-seulement à ceux-ci, mais aux eaux-de-vie fabriquées avec les trois-six de vin connus sous les noms de *trois-six de Montpellier*, obtenus avec les vins du Midi.

Pour couper les trois-six qui servent à la préparation des eaux-de-vie, comme pour abaisser le degré des eaux-de-vie nouvelles de vin, on emploie des proportions plus ou moins considérables de liquides aqueux, suivant la richesse de l'alcool ou du phlegme dont on dispose. Lorsqu'on se sert, pour cet objet, d'eau ordinaire, les eaux-de-vie sont ordinairement fort dures et ne présentent pas de finesse. On substitue donc le plus ordinairement à l'eau pure des préparations connues sous l'appellation de *petites eaux*, qui contribuent à procurer aux eaux-de-vie du parfum et un certain velouté qu'il serait difficile d'obtenir, sinon par le séjour prolongé en futailles. C'est d'ailleurs par la durée très-considérable de la conservation en fûts, fabriqués en bois de chêne, que les eaux-de-vie les plus renommées parvenaient à la perfection et à la haute valeur qui leur ont valu leur réputation; tout ce que l'on pratique aujourd'hui n'a guère d'autre but que d'atteindre un résultat analogue dans une moindre durée de temps.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Préparation des petites eaux pour le mouillage des eaux-de-vie. Il serait souvent trop coûteux de faire le coupage des esprits avec des préparations particulières, surtout pour les eaux-de-vie communes, et l'on se contente ordinairement de les réduire avec de l'eau de pluie au degré cherché. Nous conseillerons, dit M. Basset, de n'en faire la réduction qu'à 60 degrés par l'eau et d'en compléter ensuite le mouillage avec l'une des préparations ci-dessous, employées avec avantage pour les eaux-de-vie nouvelles des Charentes, et qui donnent les meilleurs résultats dans les coupages ordinaires.

1° Recueillir de l'eau de pluie à défaut d'eau distillée; laisser reposer et tirer au clair après une quinzaine de jours. Ajouter à cette eau 12 litres d'eau-de-vie à 55-60 degrés, ou 10 litres d'esprit à 85 degrés, par hectolitre, pour s'opposer aux altérations. Conserver pour l'usage en fûts propres et bondés. Cette eau est excellente pour le coupage, après un an de séjour en futaille, et elle donne aux eaux-de-vie le moelleux, la suavité et la douceur qu'on n'obtiendrait pas par l'emploi de l'eau pure.

2° Introduire 60 kilogrammes de copeaux de chêne blanc ou de coquilles de noix concassées dans une pipe de 6^{h},5 de capacité (10 kilogrammes par hectolitre). Remplir d'eau et bonder. Huit jours après, rejeter cette première eau et la remplacer par de l'eau de pluie alcoolisée à 10 ou 12 pour 100. Bonder et conserver. Au bout de six mois, on peut se servir de cette préparation pour le mouillage des eaux-de-vie, auxquelles elle donne de la finesse, une couleur franche et le bouquet auquel les commerçants donnent le nom de *rancio*. Plus on laisse vieillir cette préparation, meilleure elle est.

Cette seconde préparation est la meilleure que l'on puisse employer. Pour les eaux-de-vie communes, on pratique souvent le coupage de l'esprit avec de l'eau de pluie ou de rivière, dans laquelle on fait dissoudre au moment du mélange 2,5 à 3 litres de mélasse de canne par hectolitre d'eau-de-vie à obtenir. On peut encore remplacer avantageusement la mélasse par une même proportion de sirop de raisin (peu mûr) et quelquefois on fait dissoudre dans l'eau du coupage un peu de tafia (1 à 2 litres par hectolitre d'eau-de-vie). La plupart du temps, ces préparations sont colorées en jaune ambré par un peu de caramel, de façon à donner à l'eau-de-vie une belle couleur jaune faible, et l'on y ajoute 20 à 25 grammes d'ammoniaque par hectolitre de produit à obtenir.

A côté de l'emploi des petites eaux pour le coupage des esprits ou l'abaissement de degré, tant pour les eaux-de-vie communes que pour les produits plus fins, on se sert fréquemment de certaines infusions alcooliques ou hydroalcooliques pour *améliorer le goût* des eaux-de-vie qui ont été ramenées au degré. Nous reproduirons deux de ces formules, choisies parmi les plus accréditées et celles qui méritent le plus de confiance.

A. *Essence de cognac.* Pour 1 hectolitre d'eau-de-vie à améliorer, prendre :

Cachou pulvérisé.	80 gr.
Baume de Tolu pulvérisé. . . .	8 gr.
Sassafras râpé.	12 gr.
Vanille.	5 gr.
Essence d'amandes amères. . .	1 gr.
Esprit-de-vin à 85 degrés. . . .	1 lit.

Introduire toutes ces substances dans l'alcool après avoir trituré la vanille avec 100 grammes de sucre; laisser infuser pendant huit à dix jours en agitant fréquemment, et décanter. Ajouter à l'eau-de-vie à traiter, et brasser pendant cinq minutes. Cette sorte de teinture peut être préparée à l'avance en plus grande quantité et conservée pour le besoin. Elle se rapproche beaucoup de la formule suivante.

B. *Autre recette.* Prenez 60 grammes de cachou et 8 à 10 grammes de baume de Tolu; faites infuser pendant deux jours dans un litre d'eau-de-vie à 58 ou 60 degrés, laissez reposer pendant un jour et décantez. Ajoutez à la liqueur 25 grammes d'ammoniaque (alcali volatil) et introduisez dans l'eau-de-vie en opérant le mélange par un brassage énergique. Ces doses sont pour un hectolitre.

Les deux formules ci-dessus sont la base essentielle de tous les procédés de ce genre. Il y en a toutefois d'autres assez différentes, pour lesquelles nous renverrons au grand ouvrage de M. Basset sur la distillation.

EAUX (DISTRIBUTION D'). La nécessité, pour tous les centres de population, de posséder une abondante distribution d'eau de bonne qualité est aujourd'hui généralement comprise. Non-seulement les administrateurs des grandes villes, mais encore les conseils municipaux des plus modestes communes se préoccupent d'assurer à leurs concitoyens des eaux convenables pour les usages domestiques et industriels. Depuis quelques années, les sacrifices que les villes s'imposent pour avoir des eaux pures et abondantes donnent en quelque sorte la mesure de leur richesse et de leur degré de civilisation.

Les mêmes tendances se manifestent chez les riches propriétaires d'habitations rurales, et l'on rencontre de toutes parts des travaux, relativement considérables, destinés à amener de l'eau dans les maisons de campagne et dans les fermes isolées. Aussi les questions d'aménagement des eaux destinées aux usages domestiques sont-elles devenues d'un intérêt général et d'une application continuelle.

Dans une ville, l'eau a plusieurs destinations; elle sert aux usages de la vie domestique, aux établissements industriels, aux lavages des rues et des égouts, et enfin comme ornement et moyen d'assainissement dans les fontaines jaillissantes et monumentales. Ces diverses applications ne réclament pas nécessairement les mêmes qualités. Aux usages domestiques doivent être réservées les eaux les plus limpides, les plus aérées, les plus fraîches et les plus pures. Des eaux moins précieuses peuvent convenir parfaitement pour les usages plus grossiers du service de nettoyage des voies publiques et des égouts.

Avant d'indiquer les moyens de se procurer de l'eau, de la réunir et de la distribuer, il convient d'étudier les qualités qu'elle doit présenter, et de faire connaître les volumes d'eau nécessaires, selon les circonstances, pour une bonne distribution publique ou privée.

§ 1. NATURE ET QUALITÉ DES EAUX.

Les eaux naturelles diffèrent beaucoup entre elles par la proportion et la nature des substances qu'elles tiennent toujours en dissolution suivant les terrains qu'elles ont traversés, par leur température habituelle, leur degré de limpidité, etc. Ces diverses circonstances exercent sur leur valeur, au point de vue de leurs usages domestiques et industriels, une influence considérable, sur laquelle il ne sera pas inutile de s'arrêter ici plus longtemps que ne le font habituellement les personnes spécialement occupées des procédés techniques de distribution des eaux. Les faits nombreux que j'ai eu l'occasion de recueillir à cet égard, en examinant les échantillons d'eaux envoyés de divers pays au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, fourniront des renseignements intéressants pour cette première partie de l'article que l'on va lire.

L'étude chimique et hygiénique des eaux a fait depuis quelques années des progrès très-réels. Les travaux de laboratoire et les enquêtes faites en France, et surtout en Angleterre, dans ces dernières années, ont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

constaté un grand nombre de faits nouveaux et intéressants. Cependant, il ne faut pas le dissimuler, plusieurs questions sont loin encore d'être résolues, et il convient d'appeler sur elles l'attention des observateurs, pour hâter autant que possible les progrès de la science hydrologique, si utile au bien-être des populations.

La remarquable faculté de la race humaine de s'accoutumer aux conditions les plus diverses de nourriture et de climat, s'observe également pour l'emploi de l'eau comme boisson. Par un long usage, on s'habitue à des eaux de mauvaise qualité, comme on supporte sans se plaindre l'atmosphère infecte des grandes villes ou les inconvénients des climats froids et brumeux. Mais on doit reconnaître que le jugement des populations et des individus sur la qualité de l'eau est presque toujours juste et rapide. L'usage le plus prolongé ne pervertit point le goût à cet égard ; l'habitude la plus invétérée n'empêche jamais une population de préférer une eau de source ou de rivière de bonne qualité à une eau de puits chargée de matières salines ou organiques. Aucune amélioration urbaine n'est mieux appréciée et plus universellement applaudie que le perfectionnement de la distribution des eaux, sous le rapport de leur qualité et de leur quantité.

Les eaux renferment naturellement les éléments solubles des terrains qu'elles traversent. C'est dire qu'elles peuvent contenir en proportions variables des composés extrêmement nombreux. Dans les eaux destinées aux usages ordinaires de la vie, dont nous devons ici nous occuper à l'exclusion des eaux minérales, on ne rencontre habituellement, en quantités un peu notables, que les corps suivants : alumine, fer, chaux, magnésie, soude, potasse, ammoniaque, acides silicique, sulfurique, chlorhydrique, phosphorique, azotique, carbonique. Dans beaucoup d'eaux, on rencontre encore des traces de brome, d'iode et de plusieurs autres substances qui paraissent exercer une action puissante sur les qualités hygiéniques de l'eau, et dont l'étude, par cela même, doit être poursuivie avec une grande attention. Aux matières minérales que l'on vient de citer, s'ajoutent presque constamment, en proportions plus ou moins considérables, des matières organiques de compositions et de propriétés très-variables, mais dont l'influence sur la qualité de l'eau est toujours extrêmement fâcheuse.

Enfin, les eaux naturelles renferment, à l'état de dissolution, des quantités plus ou moins grandes de gaz oxygène, azote et acide carbonique, dont les quantités relatives doivent être prises en sérieuse considération dans l'étude des eaux.

On ne connaît pas encore, il est vrai, d'une manière précise le mode d'action sur l'économie animale de chacune des substances isolées ou mélangées, qui se rencontrent dans les eaux potables. Mais l'expérience a déjà fourni de très-nombreuses indications à cet égard, et les inconvénients de certains sels, au point de vue des usages domestiques et industriels de l'eau, sont maintenant parfaitement constatés. On connaît d'ailleurs, dès à présent, la composition chimique d'un grand nombre d'eaux, dont un long usage a permis de bien juger les qualités, bonnes ou mauvaises. L'analyse chimique d'une eau, que l'on se propose de distribuer, permet, par conséquent, ou de reconnaître la présence de substances nuisibles à tel ou tel usage particulier, ou bien de la rapprocher d'une eau analogue par sa composition, dont les propriétés sont connues, et par conséquent de prévoir par analogie, avec une certitude presque complète, les caractères qu'elle présentera. L'étude chimique détaillée d'une eau doit donc précéder tout projet relatif à sa distribution. On s'expose, en procédant autrement, aux mécomptes les plus sérieux ; c'est une précaution trop souvent négligée, que l'on ne saurait assez recommander aux ingénieurs et aux administrations publiques.

Avant de donner aucune indication générale, il est utile de montrer, par quelques exemples, la nature et la proportion des matières dissoutes dans les eaux naturelles. A cet effet, on a réuni dans un tableau, à la page suivante, l'analyse d'un certain nombre d'eaux potables. Ce tableau fournira d'ailleurs des termes de comparaison fort utiles pour l'étude de nouvelles analyses.

Les propriétés chimiques d'une eau potable sont évidemment la résultante de l'ensemble des matières qu'elle renferme à l'état de dissolution. Il serait impossible d'aborder l'étude de cette synthèse compliquée, sans étudier préalablement, comme on va le faire, l'influence spéciale de chacune des matières salines et autres qui se trouvent habituellement dans les eaux.

Il est bien entendu qu'il ne s'agit ici que des matières dissoutes ; les substances tenues en suspension dans les eaux troubles seront mentionnées plus bas à propos des moyens de filtrage.

Avant d'aller plus loin, faisons remarquer qu'il est presque toujours extrêmement difficile de dire à quel état de combinaison se trouvent dans l'eau les éléments que l'analyse en sépare. Dans les dissolutions très-étendues, comme le sont toujours les eaux naturelles même les plus chargées, le jeu des affinités diffère beaucoup de ce qu'il est dans les dissolutions concentrées sur lesquelles on opère habituellement dans les laboratoires. C'est donc seulement, en général, à l'aide d'hypothèses plus ou moins probables, que l'on groupe entre eux de la manière la plus rationnelle les bases et les acides trouvés isolément, pour indiquer la proportion des différents sels, chlorures, sulfates, etc., que l'on suppose exister dans une eau soumise à l'analyse. Les sels obtenus par l'évaporation d'une eau ne renferment évidemment que les bases et les acides contenus dans cette eau; mais, dans le résidu solide obtenu, ces éléments peuvent être différemment groupés que dans l'eau elle-même. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple vulgaire, si l'on mélange des dissolutions de chlorure de calcium et de sulfate de soude assez étendues pour ne pas former de précipité, on obtiendra, par l'évaporation du liquide, du sulfate de chaux et du chlorure de sodium, et il serait assurément très-hasardé d'en conclure que la liqueur donnée renfermait ces deux sels. Il convient donc de donner simplement les résultats élémentaires d'une analyse d'eau, c'est-à-dire les quantités trouvées de chaque base et de chaque acide, et de laisser ensuite à chacun le soin d'en tirer les conséquences relatives au mode de groupement des molécules dans le liquide. De cette façon, les analyses faites à différentes époques et par différents chimistes deviendront beaucoup plus comparables et beaucoup plus utiles. Aussi, dans le tableau précédent, n'avons-nous fait figurer que les éléments acides ou basiques trouvés dans chaque eau examinée.

Les dissolutions très-étendues présentent un fait remarquable, c'est l'action dissolvante de certains sels les uns sur les autres qui s'explique quelquefois par l'observation précédente. Ainsi, une eau qui renferme quelques centigrammes par litre de certains sels, devient, par cela même, un dissolvant plus énergique pour d'autres matières que si elle était absolument pure. La plupart des matières organiques contenues dans les eaux exercent à un haut degré cette action dissolvante sur les matières minérales. Le phénomène qui permet à la sève d'entraîner dans le végétal les matières fixes nécessaires à la formation de son squelette, n'est pas un fait isolé. Il se reproduit dans la nature, et c'est ainsi que les eaux riches en matières organiques entraînent souvent de fortes proportions de matières minérales, qui se déposent lorsque la matière organique se trouve détruite dans le liquide par une cause ou par une autre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION DES EAUX.	MATIÈRES SOLIDES PAR LITRE EN GRAMMES.												
	Silice.	Alumine.	Peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Soude.	Potasse.	Acide sulfurique.	Acide chlorhydrique.	Acide carbonique combiné.	Matières organiques et eau combinée.	Poids total par litre des résidus solides.
1 Source des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées)	0,006	»	»	0,004	0,002	»	0,007	0,002	0,001	0,002	»	0,024
2 Source d'Argagnon, près d'Orthez	0,038	0,002	»	0,049	0,005	»	0,020	0,020	0,008	0,033	0,008	0,183
3 Source à Combes-la-Ville (Seine-et-Marne)	0,024	0,002	»	0,183	0,015	0,027	0,027	0,079	0,003	0,142	0,109	0,555
4 Fontaine de la place d'Armes, à La Rochelle	0,006	»	»	0,181	»	0,026	0,026	0,021	0,036	0,196	»	0,466
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846	0,024	0,001	0,002	0,103	0,002	0,008	0,002	0,018	0,007	0,074	»	0,254
6 Eau du puits artésien de Grenelle, 1841	0,006	»	»	0,038	0,007	»	0,026	0,003	0,006	0,052	0,003	0,143
7 Eau du Château-d'Eau de Reims, 18 juin 1849	0,002	0,001	0,004	0,092	»	0,002	0,003	0,001	0,005	0,072	0,008	0,191
8 Eau de la Vilaine, à Redon, 18 août 1846	0,001	0,004	»	0,001	0,004	0,009	»	0,002	0,006	0,001	0,070	0,100
9 Eau de la Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juill. 1846	0,005	0,004	»	0,033	0,009	0,011	»	0,004	0,007	0,020	0,022	0,117
10 Eau de l'Erdre, au déversoir de Nantes, 7 juillet 1846. .	0,002	0,003	»	0,016	0,010	8,021	»	0,006	0,022	0,012	0,051	0,142
11 Eau de la Maine à Clisson, le 26 juillet 1846	0,009	0,007	»	0,015	0,008	0,010	»	0,005	0,023	0,009	9,044	0,159
12 Eau du lac de Grand-Lieu, près de Bouaye, 17 juill. 1846.	0,006	0,005	»	0,008	0,003	0,018	»	»	0,013	0,011	0,012	0,077
13 Eau de la Garonne à Toulouse, le 16 juillet 1846. . . .	0,010	»	0,003	0,036	0,001	0,006	0,003	0,007	0,002	0,034	0,004	0,136
14 Eau du puits de l'École normale de Rhodez, 20 décembre 1849	0,006	0,006	»	0,028	0,018	0,016	0,026	0,024	0,012	0,067	0,009	0,111
15 Eau du Doubs à Besançon, au Pont-Rivotte, 17 janv. 1845	0,016	0,002	0,003	0,107	0,001	0,005	0,002	0,003	0,001	0,086	»	0,230
16 Eau du Rhône à Genève, près des pompes, le 30 avril 1846	0,024	0,004	»	0,063	0,004	0,004	0,002	0,026	0,009	0,038	»	0,182
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	»	»	»	0,059	traces	traces	»	0,004	traces	0,044	»	0,107
18 Idem idem, le 2 mars 1839	traces	»	»	0,084	0,005	»	»	0,018	traces	0,062	0,007	0,182
19 Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846.	0,049	0,002	0,006	0,082	0,002	0,009	0,001	0,014	0,001	0,062	»	0,232
20 Eau de la Toiselle (Cher).	0,010	0,021	»	0,082	traces	0,017	0,017	0,003	»	0,064	0,007	0,204
21 Source de Queven (Morbihan)	0,008	0,011	»	0,012	0,002	0,018	0,018	0,006	0,001	0,011	0,008	0,090
22 Eau prise au milieu du bois de Boulogne, juin 1856. . .	0,003	0,006	»	0,067	0,003	0,011	0,011	0,017	0,006	0,042	0,054	0,210
23 Eau prise au milieu de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858.	0,002	0,001	»	0,006	0,007	0,028	»	0,010	0,030	»	0,008	0,093

Le défaut d'espace empêche d'étendre davantage ce tableau. On trouvera d'ailleurs dans le premier volume du Dictionnaire, à l'article AGRICULTURE, les analyses des eaux qui alimentent Paris, qui le compléteront en partie. On a choisi parmi les nombreuses analyses qu'il eût été facile de réunir des eaux bien caractérisées, de propriétés faciles à vérifier, et analysées par des chimistes dont l'exactitude est bien connue. — Pour rendre ces analyses comparables, on a donné la proportion de chaque base et de chaque acide, en décomposant par le calcul les sels dont le poids est habituellement donné par les auteurs. Le résidu total par litre est exact ; s'il n'est pas toujours égal à la somme des chiffres des colonnes précédentes, cela tient ou à un élément qui ne figure pas dans ces colonnes, et qui a fait l'objet d'une recherche particulière, comme l'acide nitrique, par exemple, ou bien à ce que nous avons dû négliger les quatrièmes décimales dans nos calculs, ou enfin compter des chlorures pour des chlorhydrates.

EAUX.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La présence de l'acide carbonique facilite aussi la dissolution, non-seulement des carbonates terreux, en formant des bicarbonates, mais encore de beaucoup d'autres sels, notamment des phosphates et même des sulfates.

C'est encore peut-être à des phénomènes de même ordre, c'est-à-dire au mode particulier de groupement des molécules dans des liquides étendus, que l'on doit en partie les phénomènes relatifs à la saveur des différentes eaux naturelles, saveur très-faible à la vérité, que l'habitude empêche même souvent de constater dans sa boisson journalière, mais qu'un palais exercé distingue toujours très-bien avec quelque attention. A égalité de fraicheur, c'est par la saveur que les eaux se distinguent. Chacun, en exprimant sa préférence pour une eau potable sur une autre, reconnaît instinctivement l'existence de cette saveur. Il est inexact de dire, comme on le fait souvent par habitude, qu'une eau n'a pas de saveur. Cette saveur est plus ou moins prononcée, plus ou moins agréable, mais elle existe toujours.

Certains sels très-sapides par eux-mêmes affaiblissent souvent la saveur d'autres sels. C'est ainsi que les eaux chargées de plusieurs matières salines sont souvent moins sapides que si elles ne renfermaient que l'un des sels qu'on y rencontre. Cet effet est très-sensible, par exemple, pour les sels de chaux et de magnésie : une eau calcaire, mélangée d'une eau magnésienne, est moins sapide que chaque liquide pris séparément.

Les alcalis communiquent en général à l'eau une saveur douce et un peu fade. Cependant, quand l'eau renferme en même temps de la silice comme dans les sources granitiques, cet effet n'est pas sensible. Les eaux sulfatées, surtout celles des terrains gypseux, ont une saveur crue et lourde fort désagréable et bien connue de toutes les personnes qui ont bu de l'eau des puits de Paris.

L'acide carbonique dissous dans l'eau, surtout quand elle renferme en même temps un peu de carbonate de chaux, communique au liquide une saveur fraîche fort appréciée. Il serait inutile d'insister davantage sur la saveur de l'eau, il suffisait d'indiquer les relations de cette propriété avec la composition chimique du liquide.

Revenons à l'examen des divers composés que l'eau peut renfermer, en suivant l'ordre dans lequel on les a d'abord énoncés.

L'*alumine* ne se rencontre, en général, qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles. Sa proportion, à ma connaissance, n'excède pas 0ᵍ,02 par litre et souvent même on a dû peser avec l'alumine des corps d'une autre nature, phosphates, oxyde de fer, etc. L'influence de ce corps est donc peu connue et probablement très-faible.

Le *fer* ne se rencontre également qu'en fort petite quantité dans les eaux potables. Il leur communiquerait, à dose un peu forte, une saveur désagréable. Les eaux qui en renferment naturellement s'en dépouillent presque toutes par leur exposition à l'air, parce qu'il passe à l'état de peroxyde insoluble. Certaines matières organiques, dont on parlera plus loin, que l'on rencontre dans quelques eaux, renferment de petites quantités de fer qui joue dans leurs réactions remarquables un rôle essentiel, sur lequel on reviendra. Comme l'alumine, le fer dans l'eau potable paraît donc offrir peu d'intérêt; quand il existe en dissolution en quantités notables, il rend l'eau impropre aux usages domestiques.

La chaux et la magnésie peuvent, au contraire, se rencontrer dans les eaux en proportions très-variables. L'action de ces bases est extrêmement importante, et nous devons nous y arrêter davantage. Ces bases se rencontrent dans les eaux, à l'état de carbonate dissous à la faveur d'un excès d'acide carbonique plus ou moins notable, ou combinées aux acides sulfurique, azotique ou chlorhydrique. On placera ici à la fois ce qui se rattache à l'action de la base et à celle de l'acide.

Les auteurs ont longtemps admis que l'eau était d'autant meilleure pour l'alimentation de l'homme, qu'elle renfermait moins de matières en dissolution. A cet égard, un examen plus attentif a singulièrement modifié les opinions. On admet assez généralement aujourd'hui que si les eaux trop chargées sont toujours très-mauvaises, des eaux chimiquement pures ne seraient pas les meilleures pour l'alimentation de l'homme et des animaux. Une petite quantité de carbonate de chaux, 0ᵍ,02 à 0ᵍ,04 par litre, une quantité correspondante d'acide carbonique, retenu plus solidement, en quelque sorte, qu'il ne le serait par l'action seule de la solubilité, paraît être une condition sinon indispensable, au moins fort utile pour la bonne qualité de l'eau. Toujours est-il que les eaux les plus réputées comme boisson présentent à peu près toutes cette composition.

On a longtemps discuté sur l'influence hygiénique de la magnésie dans les eaux potables. Il paraît bien difficile d'attribuer à cette substance les dangers que certains médecins ont cru reconnaître aux eaux qui en renferment des quantités notables. Cependant de nouvelles observations sont nécessaires à cet égard.

S'il reste encore des doutes sur les effets hygiéniques de petites quantités de chaux et de magnésie dans les eaux potables, le rôle des sels de ces deux bases pour les usages culinaires, économiques et industriels de l'eau, est au contraire très-bien connu et assez complétement étudié.

L'eau qui renferme une proportion de chaux un peu considérable devient impropre à cuire les légumes; elle dissout mal le savon et produit sur la peau un effet désagréable que tout le monde connaît. On dit alors que l'eau est *dure*, qu'elle est *crue*. Quand ce défaut est prononcé, il rend l'eau absolument impropre aux usages domestiques et industriels, et fort désagréable comme boisson.

L'importance de ce caractère, qui donne la mesure, jusqu'à un certain point, de la qualité de l'eau, a fait rechercher des moyens rapides et exacts pour comparer, sous ce rapport, différentes eaux.

Le degré de *crudité* de l'eau (Hardness) est une expression devenue populaire en Angleterre, depuis les études intéressantes du docteur Clarck sur ce sujet. Les moyens d'essai de M. Clarck, perfectionnés en France par MM. Boutron et Boudet, sont maintenant généralement connus chez nous sous le nom de méthode *hydrotimétrique*.

Cette méthode d'essai rapide de la plus ou moins grande dureté de l'eau est basée sur la propriété de la dissolution alcoolique de savon, de produire, dans l'eau pure ou débarrassée des sels terreux, une mousse abondante et persistante, tandis qu'elle ne produit que des grumeaux insolubles, sans mousse à la surface, dans les eaux qui renferment des sels terreux. Pour appliquer ce principe, on verse goutte à goutte, avec une burette graduée, une dissolution titrée de savon dans un volume connu de l'eau à essayer. On agite vivement après chaque addition de savon, et on note le nombre de gouttes de dissolution employé au moment où apparaît la mousse persistante. Si l'eau essayée ne renfermait qu'un sel *neutre* de chaux, on déterminerait exactement, par cette méthode, la proportion de chaux. Mais l'acide carbonique, les sels de magnésie, etc., décomposent également la dissolution de savon; aussi cet essai donne-t-il plutôt la quantité de savon décomposé par l'eau essayée que sa richesse en calcaire. Il ne fournit d'ailleurs évidemment aucun renseignement sur la proportion des sels alcalins. La présence de matières organiques peut aussi modifier les indications. Les essais hydrotimétriques exigent, pour être bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faits, plus d'exercice et de connaissances chimiques qu'on ne serait porté d'abord à le supposer, mais ils fournissent rapidement des indications pratiques fort utiles. En ne leur demandant pas de renseignements plus précis ni plus détaillés qu'ils ne sauraient en fournir, ils peuvent réellement rendre de grands services.

La dissolution de savon de M. Clarck et son éprouvette sont graduées de manière que chaque division de la burette, ou chaque degré de *Hardness*, réponde exactement à la quantité de savon décomposable par 0,56 de *grain* de chaux, ou *un grain* de carbonate de chaux dissous dans un *gallon* d'eau (0ᵍ,0142 de carbonate de chaux par litre d'eau).

Les réactifs et les instruments de MM. Boutron et Boudet sont disposés de telle sorte que chaque degré de l'hydrotimètre représente 0ᵍ,1 de savon neutralisé par un litre de l'eau soumise à l'expérience, et correspond à 0ᵍ,01 de carbonate de chaux pour la même quantité d'eau.

Le degré de crudité de l'eau (Hardness) des chimistes anglais diffère donc du degré hydrotimétrique français. Un degré de Hardness équivaut, à très-peu près, à 1°,4, degré hydrotimétrique.

Pour donner une idée des variations de cette propriété, on empruntera aux nombreux essais faits dans le bassin de la Seine, par M. l'ingénieur en chef Belgrand, le résumé suivant :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.
Sources du granite du Morvan et des Arkoses	2° à 11°
—des sables de la craie inférieure.	7 12
—des sables de Fontainebleau.	6 22
—de la craie blanche.	12 17
—de la craie marneuse.	14,5 22
—du calcaire à entroques (base du système oolithique).	16 21,5
—des calcaires de la Beauce (terrain tertiaire).	17 25
—de la craie blanche, recouverte de terrains tertiaires	17 27,5
—des roches oolithiques dures.	17,5 26
—du niveau d'eau des marnes vertes, terrain non gypsifère (terrains éocènes).	20 30
—du niveau d'eau de l'argile plastique (terrains tertiaires éocènes)	20 35
—des terrains oolithiques marneux.	21,5 34
—des terrains tertiaires compris entre le dessus des calcaires de St-Ouen et l'argile plastique	21,5 46
—du niveau d'eau des marnes vertes et des marnes du gypse (partie gypsifère), sources de la banlieue de Paris.	23 155

Voici maintenant quelques chiffres empruntés au Mémoire de MM. Boudet et Boutron :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.
Eau distillée	0°
Eau de neige recueillie à Paris, en décembre 1854	2,5
—pluie id. id. id. id.	3,5
—de l'Allier à Moulins, le 5 mars 1855.	3,5
—de la Garonne à Toulouse, le 9 mai 1855	5,0
—du puits artésien de Grenelle, le 16 février 1855	9,0
—de la Seine, au pont d'Ivry, le 15 décembre 1854	15,0
—de la Seine, à Chaillot, le 16 fév. 1855.	23,0
de Belleville, le 23 février 1855.	128,0

Enfin, voici quelques exemples empruntés aux enquêtes anglaises. Les degrés de Hardness ont été multipliés par 1,4 pour les transformer en degrés hydrotimétriques correspondants :

Désignation des eaux.	Degrés hydrotimétriques.
Eaux des compagnies qui alimentent Londres	15,4 à 22,4
—de Manchester	» 16,8
—de Glascow.	» 6,3
—d'Edimbourg.	» 7,0
Eau du puits de Torrington-square, à Londres	» 112
—du puits de la grille du Collége.	» 44,8
—d'un puits de Charlotte-street, Bedford-square	» 60,9
—des puits artésiens de Londres.	» 7,7
—de Bolton.	» 1,9à5,9

La proportion de sels calcaires existant dans l'eau exerce sur ses propriétés, au point de vue des usages domestiques et industriels, une très-grande influence sur laquelle nous devons insister.

Ainsi qu'on l'a dit, le degré de crudité exprime exactement la quantité de savon décomposée par un litre d'eau. Cette quantité est de 0ᵍ,1 par litre et par degré hydrotimétrique français pour le savon blanc de très-bonne qualité, contenant : soude 6 parties, acide gras 64, eau 30. Cette quantité est par conséquent exprimée par un chiffre plus élevé pour les savons communs, toujours plus ou moins humides. En prenant le dixième du nombre de degrés hydrotimétriques d'une eau, on a donc immédiatement le nombre de grammes de savon qu'il faut perdre par litre avant de pouvoir obtenir un liquide propre à dissoudre le savon qui doit servir d'une manière directe au nettoyage du linge ou de la peau. La quantité de savon, ainsi consacrée en pure perte à former dans l'eau des grumeaux insolubles, devient très-considérable quand il s'agit d'eaux un peu dures. Elle varie, selon les usages, du quart aux deux tiers du poids total du savon dépensé avec des eaux marquant, comme celles de la Seine, par exemple, de 17 à 18°. Pour se laver les mains avec un litre d'eau il faut à peine 1ᵍ,4 de savon si on se sert d'eau de pluie ou de sources granitiques ; on en consomme 3 grammes avec les eaux analogues à celles de la Seine, et il en faudrait plus de 12 grammes avec les eaux de puits de Paris. Ces poids, si faibles en eux-mêmes, appliqués à des opérations qui se répètent à chaque instant, acquièrent une importance très-réelle. A Londres, par exemple, la substitution d'eaux douces aux eaux actuelles réaliserait une économie de savon de 7 à 8 millions de fr. par an. A Paris, cette économie serait de 2 à 3 millions de fr. La consommation du savon dans la France entière est de 46 millions de kilogr. environ par an, représentant pour la population, au prix de vente au détail, une valeur de 50 millions de fr. Chaque réduction d'un degré seulement sur la crudité moyenne de l'eau réaliserait pour la France une économie de plus d'un million par an.

L'action des eaux dures pour la cuisson de la viande et des légumes est également fâcheuse. Tout le monde sait que certains légumes, les haricots blancs, par exemple, ne peuvent pas cuire dans les eaux dures en général, et surtout dans celles où la chaux se trouve unie à l'acide sulfurique. Le même effet se produit sur tous les légumes, mais il est moins sensible sur les racines, pommes de terre, navets, carottes, etc., que sur les graines légumineuses et sur les feuilles, épinards, chicorée, choux, etc. D'après un grand nombre d'essais faits par un cuisinier fort habile, M. Soyer, il faut un tiers de temps de plus pour cuire des légumes avec de l'eau à 20° de crudité, qu'avec des eaux douces marquant 4° ou 5°. L'action des eaux dures sur la viande est également très-sensible, surtout pour les viandes salées. Elle resserre les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pores au lieu de les ouvrir et diminue l'arome des mets. L'action des eaux dures dans les opérations culinaires est d'autant plus marquée que l'on opère sur de plus petites quantités, comme on le fait dans les petits ménages. Dans les grands établissements, la durée de l'ébullition adoucit l'eau avant qu'elle arrive au centre des grosses pièces de viande. Les cuisiniers soigneux et habiles, avant de les employer à des usages délicats, ne négligent jamais de faire bouillir longtemps les eaux dures, pour les adoucir par la précipitation de la plus grande partie des sels calcaires.

La dureté de l'eau exerce sur la qualité de l'infusion de thé une action très-fâcheuse et facile à observer. L'arome est toujours moindre avec les eaux dures qu'avec les eaux douces, et il faut employer beaucoup plus de thé pour obtenir la même force et la même coloration. De très-faibles quantités de fer rendent également l'eau très-mauvaise pour la préparation du thé. Les eaux un peu alcalines des puits artésiens se placent en première ligne pour la préparation de cette boisson ; puis vient l'eau distillée et enfin les eaux calcaires, qui sont d'autant moins bonnes que leur degré de crudité est plus élevé. Si l'on prend des eaux dont la crudité soit due au carbonate de chaux et marquant respectivement 5°,6, 11°,2, 16°,8, 22°,4, on reconnaît que la première donne un thé fort limpide et d'excellente qualité. Le thé fait avec la deuxième eau est encore passable mais un peu louche. L'eau marquant 16°,8 donne une infusion sensiblement trouble et enfin avec l'eau à 22°,4 la liqueur est complétement trouble et véritablement repoussante. Pour rendre le thé passable il faut alors doubler au moins la quantité de feuilles ordinairement employée.

A l'hospice de la vieillesse de Bolton, on a plusieurs fois essayé d'augmenter de moitié la ration du thé et de remplacer l'eau douce par des eaux dures. Les vieilles pensionnaires, sans être prévenues, n'ont jamais manqué de s'en apercevoir et de se plaindre au directeur de la diminution de force de leur thé.

Il est remarquable d'ailleurs que les eaux crues font mal la première infusion, et plus mal encore la seconde. Quand on ne dispose que de mauvaises eaux, il faut donc soigneusement éviter d'échauder le thé, comme le font habituellement certaines personnes délicates.

Ces inconvénients sont encore plus sensibles avec les eaux qui renferment du sulfate ou du nitrate de chaux.

La fabrication du pain et surtout celle de la bière souffrent beaucoup de l'emploi des eaux dures. On cite des brasseries obligées de suspendre leur fabrication pendant l'interruption de distribution d'eaux douces, et leur remplacement par des eaux dures.

Les eaux dépassant 22° sont fort peu convenables pour les usages de la toilette, et elles deviennent tout à fait mauvaises pour cet emploi si leur crudité est due à de la magnésie, les grumeaux de savon devenant dans ce cas beaucoup plus désagréables encore.

Les eaux dures ont en général sur la teinture une action défavorable, qui varie selon la nature des cuves. Les connaissances chimiques sont maintenant trop répandues dans les ateliers de teinture pour que nous nous arrêtions à ces questions. Mais il est un emploi des eaux qui intéresse toutes les industries, c'est l'alimentation des chaudières à vapeur avec les eaux naturelles, dont nous devons dire ici quelques mots.

Chaque kilogramme de vapeur qui s'échappe d'une chaudière y laisse une quantité de matière solide égale au poids des substances dissoutes dans un litre du liquide employé. Les inconvénients de cette accumulation de matières solides dépendent bien plus de leur nature que de leur quantité absolue. Si ces matières solides restent en dissolution comme les sels alcalins, quand il ne s'agit pas d'eau de mer, ou bien sous forme de dépôts boueux, elles n'ont presque pas d'inconvénient, quand même elles seraient très-abondantes ; il suffit, en effet, pour s'en débarrasser, de vider de temps en temps la chaudière. Au contraire, des eaux fussent-elles peu chargées, mais donnant lieu à des dépôts formant des incrustations solides dans la chaudière, sont extrêmement nuisibles et même dangereuses.

La chaux et la magnésie sont encore les bases ordinaires de ces dépôts, qui se produisent de diverses manières selon la nature de l'acide combiné avec elles.

On admet, en général, que l'eau peut dissoudre par litre de 0s,04 à 0s,06 de carbonate de chaux neutre et une beaucoup plus grande quantité de ce sel quand il existe dans le liquide de l'acide carbonique. Cette seconde partie du carbonate se dépose en poussière par le dégagement de l'acide carbonique dès les premiers bouillons de l'eau ; mais ce carbonate de chaux a peu de tendance à s'agréger et par conséquent ne présente pas beaucoup d'inconvénients. Quant au carbonate neutre qui reste dans le liquide, sa solubilité diminue avec la température, de sorte qu'elle est presque nulle vers 150°. Il se dépose d'autant plus de ce produit à l'état pulvérulent que l'on opère dans des chaudières à plus haute pression. Enfin, la partie du carbonate de chaux qui se précipite par le fait de l'évaporation de l'eau et de la saturation du liquide restant tend à se déposer en couches cristallines adhérentes. Mais ces couches sont moins abondantes, toutes choses égales d'ailleurs, avec des eaux qui abandonnent une assez forte proportion de carbonate par le fait du dégagement de l'acide carbonique que dans celles qui ne contiennent que du carbonate neutre dissous. De sorte qu'on arrive à ce résultat paradoxal, en apparence, qu'au point de vue de l'incrustation par le carbonate de chaux, il vaut mieux employer des eaux un peu chargées de ce sel, pourvu qu'elles n'en renferment pas d'autres, que des eaux très-pures, parce que les dépôts sont moins adhérents.

J'ai examiné un dépôt formé dans une chaudière par une eau assez chargée de carbonate de chaux ; ce dépôt était d'un beau blanc, pulvérulent et sans adhérence ; il renfermait :

Silice	4,75
Alumine et traces de fer	0,06
Carbonate de chaux	84,01
Carbonate de magnésie.	10,80
Eau et perte.	0,38
	100,00

Les eaux riches en sulfate de chaux sont malheureusement très-communes et donnent lieu aux incrustations les plus graves. Le sulfate de chaux est assez soluble dans l'eau froide, sa solubilité diminue avec la température, et devient nulle vers 200°. Une partie du sel se dépose donc rapidement par le fait seul de l'élévation de température ; mais elle se réunit au sulfate déposé par le fait de l'évaporation, et forme ces croûtes adhérentes aux chaudières, et souvent si solides, que connaissent tous les mécaniciens. Ces croûtes sont cristallines ou amorphes, selon les points de la chaudière où elles se déposent. La même croûte présente souvent ces deux aspects différents. Les croûtes de plâtre voisines de la tôle de la chaudière ont été assez chauffées pour perdre leur eau de cristallisation et devenir amorphes, tandis que les couches récemment déposées sont encore hydratées et cristallines. Si l'eau renferme, en même temps que le sulfate, du carbonate de chaux, ce qui arrive presque toujours, ce dernier sel, qui seul n'aurait donné, en général, que des dépôts boueux peu redoutables, se dépose sur la surface rugueuse du sulfate, se trouve emprisonné par le premier dépôt de ce sel qui a lieu lors du rallumage, et fait corps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec lui. Enfin, si l'eau renferme de la magnésie, cette base s'ajoute également aux incrustations.

Il reste à indiquer un dernier caractère des eaux très-dures, fort important à signaler au point de vue des travaux de distribution.

Certaines eaux, et ce sont précisément celles qui doivent leur dureté au carbonate de chaux, forment, dans les conduites en fonte ou dans les aqueducs en maçonnerie, des incrustations calcaires souvent assez abondantes pour obstruer rapidement le passage de l'eau.

La propriété incrustante des eaux, si intéressante au point de vue de l'art de la distribution, exige quelques éclaircissements, car elle laisse encore, dans l'esprit des ingénieurs, des doutes que les explications suivantes pourront faire disparaître en grande partie.

Quelques auteurs avaient posé comme règle générale que toute eau, tenant en dissolution 0g,25 et plus de matière solide par litre, devait donner lieu à des obstructions calcaires. Cette règle empirique a été naturellement démentie par l'expérience ; on peut citer des eaux contenant par litre non-seulement plus de 0g,25 de sels dissous, mais même bien plus de 0g,25 de carbonate de chaux, et qui n'ont jamais incrusté les conduites, et réciproquement des eaux très-incrustantes et qui cependant ne contiennent pas cette proportion de sels fixes.

Pour prévoir si une eau sera incrustante, il faut tenir compte non-seulement de la proportion de ses sels fixes, mais encore de leur nature, et surtout, comme on va le voir, de la présence de l'acide carbonique dans cette eau.

Comme on l'a déjà dit, l'eau privée d'acide carbonique dissout à peine 0g,04 à 0g,06 de carbonate de chaux par litre. Mais l'eau contenant de l'acide carbonique peut dissoudre des proportions de ce sel beaucoup plus considérables. En faisant barboter du gaz carbonique dans de l'eau tenant en suspension du carbonate de chaux, on en dissout très facilement 0g,80 à 1g,00 par litre.

Le carbonate de chaux dissous dans une eau potable ou minérale peut donc, par la pensée, se partager en deux parties.

La première partie, n'excédant pas 1/16000 du poids de l'eau, est simplement dissoute par ce liquide et ne tend point à se déposer.

La seconde partie du carbonate de chaux est tenue en dissolution par l'acide carbonique que renferme le liquide et se trouve, sans doute, à l'état de bicarbonate. Ce sel est un peu soluble dans l'eau pure et plus encore dans l'eau contenant de l'acide carbonique libre.

Cette seconde partie de carbonate de chaux des eaux se dépose aussitôt qu'il ne reste plus dans le liquide assez de gaz carbonique pour tenir ce sel en dissolution. Il suffit, en effet, de placer dans le vide, ou de faire bouillir pendant quelque temps, une eau contenant par litre plus de 0g,04 à 0g,06 de carbonate de chaux pour chasser le gaz carbonique et obtenir, à l'état solide, le carbonate de chaux tenu en dissolution par cet acide faible.

Toutes les circonstances qui favorisent le dégagement du gaz carbonique de l'eau tendent, par conséquent, à déterminer des dépôts ou des incrustations de carbonate du chaux et produisent, en effet, ces accidents, si la proportion d'acide carbonique resté dans l'eau n'est plus assez considérable pour tenir en dissolution le carbonate de chaux qui se trouve dans le liquide.

Les causes qui tendent à chasser l'acide carbonique de l'eau sont assez nombreuses et expliquent la plupart des incrustations observées.

En première ligne se placent l'agitation du liquide et les chocs qui en résultent sur les corps solides environnants. Ainsi s'expliquent facilement les incrustations observées près des portes d'aval d'écluses, de certaines roues de moulin, près des chutes d'eau, etc.

La diminution de la pression à laquelle le liquide est soumis dans certaines conduites produit le même résultat, aussi bien que la circulation en petite masse dans des conduits ou des aqueducs, où l'air peut se renouveler, en entraînant sans cesse l'acide carbonique que tend à faire dégager le frottement de l'eau sur les parois plus ou moins rugueuses de la conduite.

Certains végétaux aquatiques décomposent, par leurs parties vertes, l'acide carbonique des eaux, et déterminent d'abondantes incrustations calcaires.

Enfin, les actions électriques déterminent souvent des dépôts de carbonate de chaux. Une plaque d'argent, mise en contact avec un tuyau de fonte ou de plomb, dans une eau contenant du bicarbonate de chaux, se recouvre rapidement d'une incrustation de carbonate neutre, l'acide carbonique s'étant porté sur le métal le plus électropositif. Le cuivre, le laiton, les soudures, l'hétérogénéité même des masses métalliques suffisent pour constituer des couples électriques, plus ou moins énergiques, déterminant, en effet, avec plus ou moins d'intensité, le phénomène de dépôt dont nous venons de parler.

Ainsi, par exemple, l'eau de l'ancien aqueduc romain de Nîmes, bien qu'assez pure, produit des incrustations très-abondantes, qui atteignent jusqu'à 0m,04 d'épaisseur, et que sa composition explique parfaitement. Son analyse m'a donné, en effet, par litre :

	Grammes.
Silice	0,0055
Alumine et peroxyde de fer	0,0058
Carbonate de chaux	0,2275
Carbonate de magnésie	traces.
Acide sulfurique	0,0045
Acide chlorhydrique	0,0032
Alcalis	0,0108
Matières organiques, eau combinée et pertes	0,0027
Total	0,2600

Cette eau contenait à l'état de dissolution :

	Centim. cubes.	Grammes.
Oxygène	6,008	0,0860
Azote	15.617	0,0197
Acide carbonique	27,011	0,0534

Par l'agitation, l'acide carbonique, qui n'existe qu'en très-faible proportion, se dégage rapidement, et le carbonate de chaux doit se déposer, et se dépose, en effet, dans la cuvette de l'aqueduc. Si cette eau était plus riche en acide carbonique, elle pourrait circuler dans des conduites forcées, sans y produire d'incrustations.

Il est facile, en effet, de citer plusieurs eaux très-riches en carbonate de chaux et ne produisant pas d'incrustations. Les eaux des fontaines Notre-Dame et Saint-Nicaise, à Rouen, par exemple, renferment 0g,492 et 0g,931 de carbonate de chaux par litre, et cependant ne produisent pas d'incrustations.

La formation plus ou moins facile du dépôt calcaire dépend non-seulement de la quantité absolue du sel dissous, mais encore, et surtout, de la proportion d'acide carbonique que le liquide renferme en sus de celle qui est *strictement* nécessaire pour rendre soluble le carbonate de chaux de l'eau examinée.

Si cette proportion est nulle ou très-faible, le dépôt commence avec le moindre dégagement de gaz ; si, au contraire, elle est considérable, l'eau peut être agitée pendant plus ou moins longtemps avant d'avoir perdu assez d'acide carbonique pour que le dépôt commence et que les incrustations se manifestent.

Attribuer le dépôt des incrustations calcaires à l'expulsion de l'acide carbonique, c'est indiquer le principe des moyens à employer pour combattre les accidents de cette espèce.

Je citerai un exemple d'application de ces principes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

J'ai eu l'occasion de drainer un terrain criblé de sources dont les eaux étaient tellement incrustantes qu'elles recouvraient, en quelques jours, d'un sédiment calcaire assez épais les corps solides qu'on y plongeait. Pour éviter l'incrustation des tuyaux, qui paraissait un obstacle absolu au succès de l'opération, j'ai eu l'idée de fermer l'ouverture du dernier tuyau de chaque série de drains par une mince couche d'eau. La circulation de l'air dans les tuyaux est devenue impossible, il s'y est formé une atmosphère assez riche en acide carbonique pour empêcher le dégagement du gaz de l'eau, et, dès lors, les dépôts calcaires n'ont pu se manifester. Cette méthode serait applicable à tous les aqueducs et conduites à faible charge.

D'après un très-grand nombre d'observations recueillies par M. Belgrand, les eaux des grands cours d'eau du bassin de la Seine ne sont pas incrustantes quand leur degré hydrotimétrique, déduction faite des sels qui ne se précipitent pas par l'ébullition, ne dépasse pas 18° ou 19°. Le même auteur a réuni plusieurs exemples d'eaux incrustantes, dont le degré dépasse même assez peu cette limite. Ainsi qu'on l'a fait remarquer, la proportion de carbonate de chaux contenu dans une eau n'est pas le seul élément de ses qualités incrustantes. Le degré hydrotimétrique ne suffit donc pas pour fixer à cet égard.

Les incrustations qui se forment dans certaines conduites de Paris ne sont pas, comme on l'a cru longtemps, composées seulement de carbonate de chaux. Elles renferment jusqu'à 5,7 p. 0/0 d'une matière organique azotée qui en fait un véritable stuc, leur donne beaucoup de compacité et rend difficile leur enlèvement. Voici l'analyse de deux incrustations de cette espèce ; la première formée dans un tuyau de tôle Chameroy ; la deuxième dans un tuyau de fonte plus anciennement posé :

Résidu argileux insoluble dans les acides	2,75	7,95
Alumine et peroxyde de fer	1,10	16,00
Carbonate de chaux	91,50	67,85
Carbonate de magnésie	0,20	0,10
Acide sulfurique	fortes traces	f. traces
Matières organiques, non compris l'azote	2,79	5,62
Azote	0,26	0,13
Eau et matières non dosées	1,40	2,35
	100,00	100,00

On préviendrait certainement le dépôt du calcaire dans les conduites en y introduisant régulièrement, ce qui serait très-facile, la quantité de gaz carbonique nécessaire pour remplacer celui qui fait défaut pour tenir en dissolution le carbonate calcaire de la liqueur.

L'enlèvement des incrustations calcaires dans les tuyaux en fonte peut se faire en introduisant dans la conduite, avec certaines précautions, un peu d'acide chlorhydrique. L'opération réussit bien, en général, sur les incrustations de carbonate de chaux pur, mais elle devient d'une application difficile, et souvent impossible, pour les incrustations anciennes, compactes et mélangées, ce qui arrive souvent, de matières argileuses, siliceuses ou organiques.

Les moyens proposés pour améliorer les eaux trop calcaires sont assez nombreux. Quand il s'agit d'eaux trop riches en calcaire, l'addition d'eau de chaux, en quantité convenable, comme l'a proposé le docteur Clarck, neutralise l'acide carbonique en excès, ramène le bicarbonate de chaux à l'état de carbonate neutre qui se précipite. L'eau ainsi traitée, puis éclaircie par le repos ou la filtration, ne marque plus que 5° à 7° hydrotimétriques. Elle peut offrir des avantages pour certaines applications industrielles, mais on doit reconnaître qu'à moins de lui rendre son acide carbonique, ce qui serait du reste assez facile, même sur une grande échelle, cette eau ne serait pas agréable à boire. Sans être aussi efficace que pour les eaux calcaires, l'emploi de l'eau de chaux peut également améliorer les eaux très-chargées de sulfate de chaux, mais il faut alors employer l'eau de chaux en excès, parce que le sulfate de chaux est moins soluble dans ce liquide que dans l'eau pure. Ainsi traitée, l'eau devient impropre aux usages domestiques, à moins d'une longue exposition à l'air; mais elle peut convenir pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

L'ébullition, en chassant l'acide carbonique, détermine la précipitation du carbonate neutre et adoucit ainsi les eaux trop dures. C'est ce procédé qui est employé par les cuisiniers soigneux dans les pays où les eaux sont dures. L'ébullition précipite une partie du sulfate de chaux s'il est très-abondant, mais la solubilité de ce sel à 100° est encore assez grande pour laisser des eaux de très-mauvaise qualité.

L'emploi de l'eau de chaux et l'ébullition ne seraient pas facilement applicables sur une grande échelle. Quand on n'a que des eaux trop calcaires, le seul moyen de les améliorer en grand consiste, si l'on dispose d'un peu de chute, à les faire tomber à plusieurs reprises en lames minces ou en filets, ou bien à les battre avec une roue de moulin, mue au besoin par une machine à vapeur si la chute manque; on amène ainsi facilement une eau naturelle à ne contenir que 0g,10 de carbonate de chaux par litre.

Les eaux calcaires, comme on vient de le voir, peuvent être améliorées par des moyens assez simples. Les eaux riches en sulfate de chaux sont beaucoup plus désagréables et impossibles à amener à un état de pureté convenable pour l'alimentation. Pour le blanchissage et même pour l'alimentation des machines, on peut les traiter par le carbonate de soude, qui précipite la chaux à l'état de carbonate. Si l'eau est d'ailleurs très-riche en acide carbonique libre, une partie du carbonate reste en dissolution, et l'on est forcé de recourir à l'un des procédés décrits pour les eaux calcaires. Dans tous les cas, l'eau reste chargée de sulfate de soude, sel qui pourrait à la longue exercer sur la santé une action fâcheuse, et qui, dans tous les cas, donne à l'eau une saveur fade peu agréable. On doit employer par litre 0,g021 de carbonate de soude cristallisé par 0g,01 de sulfate de chaux contenu dans l'eau.

On a souvent indiqué la baryte comme moyen de purifier les eaux plâtreuses. Les propriétés vénéneuses des sels barytiques sont assez énergiques pour que nous ne conseillions jamais l'emploi de cette substance pour le traitement de l'eau. Les erreurs de dosages, toujours si faciles à commettre, auraient de trop fâcheuses conséquences.

L'importance des sels de chaux et de magnésie dans les eaux nous a obligé à nous y arrêter longtemps. Ce qui nous reste à dire sur les autres matières que ce liquide peut renfermer sera beaucoup moins long.

La potasse combinée à divers acides existe rarement dans les eaux naturelles en quantité un peu notable. On la rencontre particulièrement dans les eaux des puits artésiens et des terrains granitiques et feldspathiques.

La soude ne se rencontre aussi qu'assez rarement dans les eaux naturelles, si ce n'est à l'état de chlorure (sel marin) dans les eaux recueillies dans le voisinage de la mer. Beaucoup de puits sur le bord des côtes fournissent des eaux saumâtres, très-riches en sel, que l'on emploie, à défaut d'autres, pour les usages domestiques.

La proportion de sel contenu dans l'eau des grands fleuves décroît rapidement, en général, quand on remonte leur cours. L'eau de mer prise à 500 mètres du rivage à Dieppe contenant 29g,8 de sel marin par litre, j'ai trouvé dans l'eau de la Seine les quantités suivantes de cette substance :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

				Grammes.
Le Havre, poulier du sud,	20 mars	1855,	1 quart d'heure avant le flot.	22,7
Idem, idem,	27 mars	1855,	idem.	10,5
Honfleur, près l'hôpital,	20 mars	1855,	idem.	10,0
Idem, idem,	27 mars	1855,	Idem.	6,4
Berville, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	8,9
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	9,1
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,3
La Roque, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	4,4
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	4,8
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	3,03
Tancarville, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	0,5
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Quillebœuf, à la surface,	20 mars	1855,	idem.	0,02
Idem, au fond,	20 mars	1855,	idem.	0,04
Idem, à la surface,	27 mars	1855,	idem.	0,03
Idem, au fond,	27 mars	1855,	idem.	0,03

La proportion de sel varie naturellement d'un jour à l'autre, selon la force de la marée et celle du courant, mais la loi de décroissance est toujours bien marquée. Au dessus de Quillebœuf, la proportion de sel diminue encore plus rapidement, et à Rouen on n'en trouve plus que des traces.

L'ammoniaque, à l'état de nitrate ou de carbonate, exerce sur la saveur des eaux une action analogue à celle des alcalis précédents. Cette substance n'existe également qu'en très-petite quantité dans les eaux naturelles de bonne qualité. Elle ne se trouve en abondance que dans les eaux qui ont été en contact avec des matières organiques en décomposition. Nous reviendrons sur cette substance en parlant de l'acide nitrique dans les eaux.

La silice existe dans presque toutes les eaux, mais habituellement en petite proportion. Les eaux des terrains granitiques et feldspathiques en renferment une certaine quantité provenant, comme la potasse, de la décomposition par l'eau, l'air et l'acide carbonique des roches de cette espèce. Certaines eaux minérales renferment beaucoup de silice; mais cette substance, dans la proportion où elle se trouve dans les eaux ordinaires, paraît exercer peu d'influence sur leurs propriétés pour les usages domestiques et économiques.

On a déjà parlé de la présence de l'acide sulfurique dans les eaux à l'état de sulfate de chaux. C'est une des causes les plus fréquentes de la mauvaise qualité des eaux dans une partie de la France. Considéré indépendamment de la base avec laquelle il est uni, l'acide sulfurique donne lieu à des réactions extrêmement fâcheuses. Quand les eaux qui en renferment se trouvent en présence de matières organiques, il se forme souvent de l'acide sulfhydrique qui rend l'eau infecte. Cette réaction des eaux plâtreuses sur les bois les détruit assez rapidement; ainsi, les pieux enfoncés sur le bord du lit de la Seine à Paris, surtout sur la rive droite, sont coupés à la ligne d'affleurement des couches d'eaux plâtreuses qui descendent de Montmartre, quand ils se trouvent en même temps à proximité d'un égout qui fournit les matières organiques. Des réactions analogues sont très-fréquentes dans les pays où les eaux sont riches en acide sulfurique.

L'acide chlorhydrique se rencontre le plus habituellement dans les eaux qui contiennent de la soude. Quelquefois cependant, il paraît uni à la chaux, mais alors il est en petite quantité. Sa présence ne donne lieu à aucune observation générale digne d'intérêt au point de vue pratique qui nous occupe ici.

L'acide phosphorique doit exister dans les eaux beaucoup plus fréquemment qu'on ne le suppose habituellement, parce que les chimistes, jusque dans ces derniers temps, ne le recherchaient pas d'une manière spéciale. Je l'ai rencontré dans un assez grand nombre d'eaux naturelles où son importance, au point de vue des irrigations, me l'a fait chercher. Il est à désirer que l'attention des chimistes et des médecins soit appelée sur ce point. La haute importance des phosphates en agriculture et dans l'économie animale permet de prévoir que cette étude donnera lieu à d'intéressantes et utiles observations.

L'attention n'a été vivement appelée sur l'existence des nitrates dans les eaux que dans ces derniers temps; on avait depuis longtemps signalé leur présence, mais en général, on ne les dosait pas d'une manière rigoureuse. L'importance de ces composés au point de vue de l'agriculture est maintenant bien appréciée; leur influence sur les qualités hygiéniques ou économiques de l'eau est encore peu connue. Mais on peut espérer que les observations en se multipliant ne tarderont pas à éclairer cette question.

L'acide nitrique forme avec la chaux un sel soluble fixe, qui doit exercer une action non moins nuisible que celle du sulfate de chaux.

La production des nitrates est due à des réactions qui ne sont pas encore connues dans tous leurs détails, mais dont l'ensemble permet déjà d'expliquer plusieurs faits importants. En présence de l'oxygène et de produits calcaires ou alcalins, les matières organiques azotées sont brûlées et transformées en acide carbonique et en acide nitrique. Ainsi s'explique l'absence presque complète de matières organiques dans la plupart des puits de Paris, percés au milieu de terrains imprégnés de déjections de toute sorte, et, en revanche, la forte proportion de nitrates existant dans ces eaux. Dans certaines conditions, la nitrification est donc un moyen de débarrasser l'eau des matières organiques qui la rendraient repoussante. Nous n'insisterons pas ici sur la formation des nitrates; nous dirons seulement que l'existence de ces produits, presque toujours négligés dans les analyses d'eau jusque dans ces derniers temps, expliquera probablement bien des faits dont la science ne pouvait pas encore faire connaître les causes. L'altération de certains métaux par les eaux, le succès ou l'insuccès, selon les pays, de certaines opérations de teinture, etc., n'ont peut-être pas d'autre origine.

L'oxydation de l'ammoniaque dans beaucoup de circonstances donne naissance à de l'acide azotique, et réciproquement, certaines actions réduisantes transforment l'acide azotique en ammoniaque. Il doit donc exister souvent une relation entre les proportions relatives de ces deux composés dans les eaux. Un assez grand nombre d'essais, trop longs à reproduire ici, m'ont fait reconnaître que la proportion d'acide azotique et d'ammoniaque variant dans l'eau puisée à une même source à diverses époques, la somme de l'azote de ces produits est souvent à peu près constante.

Voici quelques exemples de dosages d'ammoniaque et d'acide azotique dans les eaux :

	MILLIGRAMMES par litre	
	d'ammoniaque.	d'acide azotique monohydraté.
Eau des fontaines d'Haguenau n° 1	0,2	9,5
Idem n° 2	0,8	4,9
Eau filtrant du ciel des catacombes à Paris	4,6	45,1
Eau d'un ruisseau des Vosges	0,4	8,0
Eau du canal de Carpentras.	1,0	4,9
Eau de la Moselle à Charmes	0,6	2,5
Fontaine près de Versailles.	1,0	45,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous ne parlerons pas ici de l'acide carbonique qui se trouve à l'état de combinaison dans les sels de l'eau. Nous n'aurions rien d'utile à ajouter à ce qui a été dit à propos des carbonates de chaux ou de magnésie. Nous reviendrons dans un instant sur ce gaz simplement dissous dans l'eau.

Nous passerons également sous silence les substances telles que le brome, l'iode, le fluor, etc., qui existent dans les eaux en quantités excessivement petites. Nous ommes assurément très-porté à leur attribuer une importance hygiénique considérable ; mais cette influence n'a pas encore été suffisamment étudiée pour que l'on puisse la démontrer avec un degré absolu de certitude et de netteté.

Nous arrivons donc à l'examen d'une deuxième classe de matières solides contenues dans les eaux naturelles. Ce sont les matières organiques. Ces substances sont peut-être les plus importantes à étudier. Malheureusement les données scientifiques manquent presque totalement à leur égard parce que la marche suivie jusqu'à présent dans les analyses les altère profondément, une longue ébullition les détruisant en partie, comme je m'en suis souvent assuré.

D'un autre côté, les chimistes, jusqu'à présent, se sont bornés à chauffer au rouge le résidu de l'évaporation des eaux, et à compter comme matière organique la perte éprouvée par le précipité pendant cette combustion. On dose ainsi, en général, la matière organique trop haut, parce que l'on perd en même temps qu'elle l'eau fortement retenue par certains sels, le sulfate de chaux par exemple, qui ne perd la totalité de son eau qu'à une température qui détruit la matière organique. Certains chlorures se volatilisent ou se détruisent à la même température, ainsi que les nitrates. Il faut donc, pour étudier sérieusement les matières organiques des eaux, en faire l'analyse élémentaire. C'est ce que je fais maintenant par une méthode nouvelle ; mais les résultats obtenus à cet égard ne sauraient encore trouver place ici.

Les eaux destinées aux usages domestiques ne doivent renfermer que des quantités excessivement faibles de matières organiques. La qualité de l'eau est d'autant meilleure que cette proportion est plus faible, toutes choses égales d'ailleurs. C'est une condition que les eaux des principales villes de l'Europe sont malheureusement bien loin de remplir.

Tout le monde connaît, sous ce rapport, la mauvaise qualité des eaux de Londres. Elles conservent, souvent, même après une filtration, une coloration sensible. Abandonnées à elles-mêmes pendant quelques jours, il s'y développe un nombre immense d'animaux microscopiques et même des insectes visibles à l'œil nu, ainsi que le constatent les enquêtes de 1852. Leur odeur est sensible pour les étrangers.

Les eaux de Paris sont assurément bien loin d'être dans d'aussi mauvaises conditions, quoiqu'elles laissent, sous ce rapport, beaucoup à désirer. L'eau puisée à Chaillot, la plus mauvaise de Paris à cet égard, est très-chargée de matières répugnantes ; en basses eaux surtout leur proportion devient assez grande pour être facilement appréciable. Cependant, cette eau bien filtrée ne se corrompt que fort lentement. La matière organique des eaux de Paris se distingue surtout de celle des eaux de Londres par l'absence presque complète de germes d'animaux.

Les eaux stagnantes, celles qui traversent les marais, etc., se chargent toujours de matières organiques, principalement d'origine animale, auxquelles on attribue en partie, non sans raison, les fièvres et l'état maladif des populations qui les consomment ; je pourrais en citer de nombreux exemples. En Chine on fait, dit-on, toujours bouillir les eaux de cette espèce quelque temps avant de les boire. A l'époque du choléra, plusieurs médecins de Londres recommandaient la même précaution. Elle paraît, en effet, très-rationnelle. L'ébullition anéantit le principe de la vie dans les germes végétaux ou animaux que renferme l'eau ; elle coagule certains composés analogues à l'albumine, qui se précipitent par le refroidissement ; elle détruit enfin avec le temps les matières organiques de l'eau, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer.

La filtration à travers des couches de sable et d'argile peut également purifier l'eau de certaines matières organiques dissoutes, en même temps qu'elle sépare les corps solides, comme nous l'expliquerons en parlant de cette opération.

On trouve dans certaines eaux une matière organique particulière, qui se précipite en flocons rougeâtres par l'action de l'oxygène de l'air. On désigne quelquefois ces eaux sous le nom d'eaux ferrugineuses, à cause de la couleur des dépôts qu'elles produisent, bien qu'elles ne renferment que fort peu de fer. Les eaux de cette nature s'améliorent, comme les eaux incrustantes de nature calcaire, par l'exposition et l'agitation à l'air et peuvent alors devenir très-convenables pour l'alimentation des villes.

Les drainages exécutés dans certains terrains tourbeux riches en oxyde ou en sulfure de fer, donnent souvent des eaux tellement chargées de la matière dont nous parlons qu'elle bouche les tuyaux d'une manière plus ou moins rapide. L'étude de ces obstructions explique très-bien la purification, par leur exposition à l'air, des eaux dont nous parlons. Quelques explications à ce sujet ne seront pas déplacées ici.

La composition des dépôts est nécessairement assez variable : elle dépend sans doute de la nature du sol traversé par les eaux qui les produisent. D'un autre côté, les dépôts sont presque toujours mélangés mécaniquement en proportions indéterminées, mais souvent considérables, d'argile, de sable fin, de détritus de végétaux, etc.

Pour donner une idée des différences de composition qui existent d'un échantillon à l'autre, nous rapporterons les trois analyses suivantes :

	I.	II.	III.
Sable fin et argile insolubles dans l'acide chlorhydrique. .	17,00	29,75	76,75
Alumine.	3,67	3,75	5,75
Oxyde de fer.	37,57	49,70	4,75
Carbonate de chaux	6,33	8,48	3,66
Carbonate de magnésie. . . .	0,00	3,24	1,14
Eau combinée, substances non dosées et matières organiques combustibles, non compris l'azote	34,67	3,07	7,55
Azote	0,66	2,01	0,40
	100,00	100,00	100,00

Il serait difficile de tirer de ces chiffres, sans une étude plus détaillée, des renseignements bien utiles. Il n'en est pas de même des faits suivants, dont on appréciera facilement l'intérêt pratique.

Lorsqu'on recueille un dépôt récent et l'eau même au sein de laquelle il se forme, il suffit de jeter le tout sur un filtre pour obtenir un liquide parfaitement clair. Ce liquide, renfermé dans des flacons entièrement remplis et bien bouchés, ou placé dans une atmosphère dépourvue d'oxygène, conserve indéfiniment sa transparence. Exposé à l'action de l'oxygène pur ou de l'air atmosphérique, il se trouble au contraire en quelques instants et laisse déposer la matière ocreuse qui forme la base des obstructions dont nous nous occupons.

On débarrasse facilement de ce liquide, par quelques lavages à l'eau pure, le dépôt recueilli dans les drains ou dans les fossés de décharge. Par son exposition à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'air, sa teinte devient de plus en plus rougeâtre. Après quelques heures, lorsque la couleur paraît ne plus varier, si on introduit le dépôt dans un flacon rempli d'eau et bien bouché, on voit la teinte rougeâtre repasser peu à peu au brun foncé, presque noir. Après quelques semaines, il suffit de jeter le produit sur un filtre pour obtenir de nouveau un liquide clair, mais qui se trouble rapidement à l'air en laissant déposer le produit ocreux dont j'ai déjà parlé. En même temps, le dépôt, laissé sur le filtre, reprend la teinte rougeâtre qu'il présentait au moment où on l'a renfermé dans le flacon. La même série d'observations peut se reproduire un certain nombre de fois sur le même échantillon. Le produit en question présente donc ce double caractère, de devenir *insoluble* par son *oxydation* et de pouvoir se réduire quand on l'abandonne à lui-même, de manière à redevenir en partie soluble.

Si on introduit 3 ou 4 centimètres cubes du précipité ocreux, récemment recueilli et imbibé de l'eau au milieu de laquelle il se formait, dans une éprouvette remplie d'oxygène, renversée sur la cuve à mercure, l'absorption du gaz est d'abord très-rapide, puis se ralentit peu à peu, et finit par s'arrêter. Pendant les huit premiers jours de l'une de mes expériences, 14 centimètres cubes de gaz oxygène ont été absorbés, tandis que 13 centimètres cubes seulement ont disparu dans les treize jours suivants. La masse était alors complétement rougeâtre, et, jetée sur un filtre, donnait un liquide clair et ne renfermant en dissolution aucun produit remarquable.

Le liquide qui imprègne les précipités récents renferme des proportions variables de substances précipitables par l'action de l'air. Nous en avons obtenu jusqu'à 0ᵍ,80 par litre, bien que déjà l'action de l'oxygène en eût fait précipiter une partie. En général, on en trouve 0ᵍ,25 à 0ᵍ,50 par litre, ce qui suffit, en raison de la légèreté du produit et de sa consistance gélatineuse, pour produire rapidement l'obstruction des tuyaux.

Des faits qui précèdent, et qu'il est inutile de décrire plus minutieusement, il résulte : que les eaux qui produisent les obstructions dont il s'agit conservent leur limpidité et ne donnent lieu à aucun dépôt quand elles sont mises à l'abri de l'action de l'oxygène de l'air ; que le dépôt récemment formé peut exercer sur lui-même une action réduisante qui le fait en grande partie repasser à l'état soluble.

Avant de distribuer les eaux de cette espèce, il faut donc les exposer et les agiter au contact de l'air, et séparer soigneusement le dépôt floconneux aussitôt qu'il est formé, pour éviter qu'il ne se dissolve de nouveau.

Nous pourrions citer un cours d'eau du département de la Charente-Inférieure dont les eaux, dans un parcours peu étendu, en passant, il est vrai, sur deux roues de moulin, abandonnent par litre 0ᵍ,43 de matières de cette nature.

Les eaux chargées des matières dont on vient de parler déterminent assez rapidement la pourriture des bois enfouis dans les terrains qui en sont imprégnés. Ce fait explique l'altération assez rapide des pieux de fondation de certains ouvrages importants.

La destruction des matières organiques contenues dans les eaux, et qui les rendent impropres aux usages domestiques, est souvent impossible par les procédés de la pratique. Nous devons cependant indiquer la nature des moyens à employer pour remédier à ce genre d'inconvénient.

La combustion lente de ces matières par l'oxygène de l'air, leur assimilation par certains végétaux aquatiques, et enfin leur fixation, par certains terrains, sont la base des procédés que la nature emploie pour purifier les eaux croupissantes, et que l'industrie de l'homme cherche à mettre en œuvre dans le même but.

On le répète encore, la nature spéciale des divers produits organiques que renferment les eaux naturelles n'est pas assez connue pour que l'on puisse toujours indiquer à l'avance lequel de ces trois moyens peut le mieux réussir. Mais soit isolément, soit réunis, ils permettent presque toujours de ramener à un état de pureté très-satisfaisant les eaux les plus chargées de matières organiques.

L'exposition à l'air et au soleil des filtrations répétées à travers du sable aéré suffisent souvent pour détruire assez vite la matière organique. Dans ce cas, l'eau se charge d'acide carbonique. Les parties vertes des végétaux aquatiques accélèrent ou complètent cette action, pourvu, bien entendu, que le liquide se renouvelle; car, à l'état stagnant, il dissoudrait plus tard les parties mortes des plantes, et redeviendrait infect.

L'action des parties argileuses du sol exerce aussi, sur un assez grand nombre de matières organiques, une action des plus remarquables. Certaines eaux sont entièrement dépouillées de leurs matières organiques nuisibles par leur passage à travers une terre argileuse, ou une agitation de quelques minutes avec ces mêmes matières. J'ai reconnu, par exemple, par des expériences directes, que des vinasses de distilleries très-chargées, agitées à la dose de 2 à 3 p. 0/0, avec des terres argileuses, ou filtrées sur ces terres, donnent des liquides complétement privés de matières organiques. Ce n'est pas ici le lieu de s'arrêter à l'importance de ce résultat, au point de vue de la théorie agricole ; il suffit de citer ce fait comme exemple de la purification d'une eau fort riche en matières organiques stables par l'action des terres.

Les sels ammoniacaux et alcalins sont également enlevés en partie aux eaux par leur passage dans des sols argileux, ainsi que l'ont si bien démontré les curieuses expériences de M. Way. On comprend toutes les ressources que peuvent donner à la pratique de la clarification des eaux ces réactions si singulières, sur lesquelles nous regrettons de ne pouvoir nous arrêter davantage.

Arrivons enfin à l'étude des gaz dissous dans les eaux. L'acide carbonique, dissous dans l'eau, même en très-petite quantité, lui donne une saveur agréable et exerce sur les fonctions digestives une action favorable. C'est à l'absence seule de ce gaz que certaines eaux doivent leur fadeur. Tous les auteurs admettent également la nécessité de l'air, et surtout de l'oxygène en dissolution dans l'eau. On attribue même à son absence, dans quelques eaux provenant de la fonte des neiges, les maladies endémiques de certaines vallées montagneuses.

L'aération de l'eau est une qualité essentielle, sur l'importance de laquelle on n'a pas assez généralement insisté, et dont les hommes de l'art se préoccupent beaucoup trop peu. Des faits très-nombreux d'observation nous ont montré l'importance de cet élément de la qualité des eaux, et nous ont fait chercher le moyen de l'étudier plus attentivement qu'on ne le fait en général.

Tous les traités d'analyse chimique conseillent d'extraire les gaz de l'eau par l'ébullition pour les soumettre ensuite à l'analyse eudiométrique. Cette méthode ne convient que pour les eaux absolument privées de matières organiques, c'est-à-dire qu'elle fournit presque toujours des résultats erronés. A la température de l'ébullition, en effet, à laquelle se dégagent les dernières bulles d'oxygène, ce gaz réagit sur les matières organiques de diverses manières, selon leur composition ; de sorte que l'on en perd une partie qui reste en combinaison ou bien qui se transforme en acide carbonique qui s'ajoute à celui du liquide. Il convient donc, pour les travaux de recherches délicates, de doser les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gaz de l'eau en plaçant le liquide dans le vide, et en ne l'exposant pas à une température sensiblement plus élevée que celle où il se trouve exposé dans les conduites de distribution.

On sait que l'on peut également doser l'oxygène de l'eau à l'aide du manganate de potasse titré. C'est un procédé d'une exécution aussi facile que la détermination d'un degré hydrotimétrique, mais qui doit être souvent contrôlé par l'analyse eudiométrique directe, car diverses circonstances peuvent le rendre fautif. On ne saurait assez multiplier les essais de ce genre, qui fourniront sans aucun doute de très-utiles indications.

Les eaux de bonne qualité ne doivent tenir en dissolution que les gaz oxygène, azote et carbonique. La proportion relative de ces gaz et de leur volume total est extrêmement variable d'une eau à l'autre, et souvent, pour une même eau, d'un jour à l'autre. Il est rare que la proportion soit celle indiquée par la loi de solubilité des gaz en contact avec l'eau.

Dans une eau de bonne qualité, l'oxygène ne doit pas descendre au-dessous de 3 ou 4 centimètres cubes par litre; plus la proportion de ce gaz est considérable et plus, toutes choses égales d'ailleurs, l'eau est de bonne qualité. La proportion d'azote varie moins que celle de l'oxygène; quand elle dépasse 14 ou 15 centimètres cubes par litre, l'eau a dû séjourner trop longtemps dans un espace confiné, ou s'être trouvée avec certaines matières organiques en décomposition. Quant à l'acide carbonique, sa proportion n'a, pour ainsi dire, pas de limite; le passage des eaux ordinaires aux eaux gazeuses proprement dites a lieu par degrés insensibles. On peut dire seulement que dans les eaux ne renfermant pas de bicarbonate, on doit encore trouver, en général, 8 à 10 centimètres cubes d'acide carbonique par litre, pour que l'eau soit agréable et salutaire. L'eau des puits artésiens, qui plaît assez généralement, en contient cependant une moindre quantité.

La stabilité de la solution de gaz carbonique dans l'eau varie du reste avec beaucoup de circonstances. La nature des matières solides dissoutes dans le liquide, bien que si faible en général, exerce une influence plus grande qu'on ne le pense sur la solubilité de ces gaz. D'un autre côté, le temps augmente beaucoup cette stabilité. Ainsi tout le monde a remarqué que l'eau de seltz, versée quelques instants après sa préparation, abandonne immédiatement presque tout son gaz et n'a que peu de saveur; tandis qu'en la conservant quelque temps, elle petille plus longtemps dans le verre et offre une saveur beaucoup plus agréable. Les eaux naturelles présentent un fait analogue : si le moment où elles se chargent d'acide carbonique est éloigné de celui où les circonstances extérieures d'élévation de température, de diminution de pression, d'agitation, etc., tendent à le lui faire perdre, elles résistent beaucoup plus longtemps à ces influences que si elles avaient agi plus promptement sur elles.

Les variations de la proportion d'oxygène dans l'eau sont quelquefois très-rapides. Parmi les nombreux exemples que j'ai observés, j'en citerai un seul, pour ne pas allonger encore ce paragraphe déjà si long. Pendant les chaleurs de l'été de 1856, la proportion d'oxygène dissous dans l'eau du lac du bois de Boulogne est tombée, en une semaine, de 3cc,6 par litre à 1c,8 seulement.

L'influence de pareilles variations dans la qualité de l'eau au point de vue de ses applications domestiques et industrielles est nécessairement considérable, et il importe que les chimistes, en multipliant les essais, donnent aux médecins le moyen d'en apprécier les effets sur la santé.

Voici quelques exemples d'analyses de gaz de l'eau

DÉSIGNATION DES EAUX.	GAZ DISSOUS PAR LITRE. Centimètres cubes à 0° et 0m,76.			
	Azote.	Oxygène.	Acide carbonique.	Volume total.
1 Sources des environs d'Orthez (Basses-Pyrénées). .	5,6	13,8	16,2	35,6
2 Source d'Argagnon, près d'Orthez (Basses-Pyrén.).	4,7	13,6	24,9	43,2
3 Source de Combes-la-Ville (Seine-et-Marne).	3,1	16,6	35,0	54,7
4 Fontaine de la place d'Armes de la Rochelle . . .				
5 Eau de Seine à Bercy, le 17 juillet 1846.	3,9	12,0	16,2	32,1
6 Eau du puits artésien de Grenelle en 1841.	3,6	13,0	1,5	18,1
7 Eau du château d'eau de Reims, 18 juin 1849. . .	5,7	15,6	5,8	27,1
8 Eau de la Vilaine, à Redon, le 18 août 1846.	3,7	14,9	1,8	20,4
9 La Loire à Nantes, vis-à-vis le château, 7 juillet 1846.	5,5	11,4	0,5	17,5
11 La Maine à Clisson, 26 juillet 1846.	4,3	14,5	3,3	22,1
12 Lac de Grandlieu près Bonaye, 17 juillet 1846. . .	5,9	13,4	0,6	19,9
13 Eau de la Garonne à Toulouse, 16 juillet 1846. . .	7,9	15,7	17,0	40,6
14 Eau du puits de l'École normale de Rodez, 20 décembre 1849.	9,8	25,3	21,7	56,8
15 Eau du Doubs à Besançon, 17 juin 1845.	9,5	18,2	17,8	15,5
16 Eau du Rhône à Genève, 30 avril 1846	8,4	18,4	8,0	34,8
17 Eau du Rhône à Lyon, juillet 1835.	6,5	11,5	6,5	24,5
18 Eau du Rhône à Lyon, 2 mars 1839.	7,9	16,0	12,8	36,7
19 Eau du Rhin à Strasbourg, mai 1846	7,4	15,9	7,6	30,9
22 Eau prise au milieu du lac du bois de Boulogne, juin 1856	2,6	12,0	1,3	15,9
23 Eau de l'étang de Cazeau (Landes), novembre 1858.	6,6	16,0	11,2	33,8
24 Eau d'un puits de Paris, près le marché St-Honoré.	1,4	20,7	38,1	60,2
25 Eau des fontaines d'Haguenau.	6,0	29,6	22,2	57,8
26 Eau d'une source près de Versailles, 15 juill. 1858.	5,7	13,3	11,4	30,4
27 Eau de la même source, 25 juillet 1858.	3,7	16,2	11,8	31,7

Les mêmes eaux portent le même numéro dans ce tableau et dans celui donné précédemment.

Il est une application de l'étude des gaz dissous dans l'eau, que nous ne pouvons passer sous silence. Les qualités des eaux, au point de vue de la science récente et si intéressante de la pisciculture, sont encore, il faut bien l'avouer, assez mal connues. Certaines eaux sont bonnes, d'autres sont mauvaises. La nature des matières salines dissoutes paraît, dans certaines limites, exercer assez peu d'action. La température de l'eau est très-importante au contraire, mais elle ne rend pas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

compte de toutes les anomalies observées. La nature et la variation des gaz dissous, et surtout de l'oxygène, me semble, au contraire, devoir exercer une action énorme sur le développement et la santé des poissons. C'est leur atmosphère. Des essais assez nombreux m'ont indiqué qu'il y aurait une voie de recherches intéressantes à faire dans ce sens. Pour n'en citer qu'un exemple, je dirai que la diminution dans le volume d'oxygène dissous dans les eaux du lac du bois de Boulogne citée ci-dessus a concordé avec une énorme mortalité des poissons du lac.

Cette longue discussion montre nettement l'indispensable nécessité pour toute administration prudente de faire étudier très-attentivement les composés minéraux, les matières organiques et les gaz qu'une eau renferme avant d'entreprendre les travaux toujours très-coûteux de sa distribution. Les exemples d'analyses rapportés ci-dessus, et d'autres au besoin, permettront toujours de comparer une eau proposée pour une distribution à une eau de composition analogue, employée depuis longtemps et dont les propriétés sont dès lors connues. L'analyse permettra d'ailleurs de rejeter immédiatement pour une distribution les eaux mal aérées ou contenant en trop forte proportion certains composés dont les inconvénients sont bien constatés.

A une composition chimique satisfaisante les eaux destinées aux distributions publiques doivent encore joindre autant que possible deux qualités physiques d'une grande importance, savoir : une limpidité parfaite et une température peu variable de 10° à 12°, pour paraître fraîches en été et chaudes en hiver. Les eaux de source à cet égard ont une grande supériorité sur les eaux de rivière; mais cet avantage ne doit pas faire oublier d'autres conditions souvent plus importantes pour une ville.

§ II. QUANTITÉS D'EAU A DISTRIBUER DANS DIVERSES CIRCONSTANCES.

Une distribution d'eau ne saurait, pour ainsi dire, être trop considérable; mais les frais d'établissement croissant rapidement avec le volume, et les ressources disponibles étant nécessairement limites, il convient de rechercher les bornes dans lesquelles il faut se renfermer dans chaque cas particulier.

Nous donnerons d'abord, à titre de renseignements, quelques exemples de distributions d'eau dans diverses villes, puis nous indiquerons les règles pratiques que l'on peut déduire de ces expériences.

Les eaux de Rome antique, si justement célèbres, se présentent naturellement les premières à l'esprit.

Jusqu'en l'an 441, on ne se servait à Rome que des eaux du Tibre, des puits et des fontaines de la ville et du voisinage. On attribuait à ces dernières eaux la propriété de guérir les malades. La première dérivation, celle de l'Appia, fut établie en 442. Depuis cette époque, les différentes autorités qui se succédèrent à Rome travaillèrent à l'envi à augmenter le volume des eaux et à améliorer le système de leur distribution.

Voici quels étaient, à la fin du 1er siècle de notre ère, la longueur et le débit des aqueducs de dérivation de Rome :

	Longueur.	Débit en 24 heures.
	mètres.	mèt. cubes.
Aqueduc de l'eau Appia et Augusta	20091,45	109500
—Anio-Vieux	63855,00	263880
—Marcia	91640,09	281400
—Tepula et Julia	22907,61	99060
—Vierge	23032,35	150240
—Alsietina	32925,42	23520
—Augusta	4188,00	
—Claudia	68912,91	276420
—Nouvel-Anio	87469,50	284280
	417722,33	1488300

La population, à cette époque, était à peine de 1 million d'habitants. Le volume d'eau distribué était donc de 1500 litres par tête et par jour environ.

Les registres de distribution, qui ne comprenaient que 841,080 mètres cubes, établissent de la manière suivante la distribution de ce volume d'eau :

	mèt. cubes.
Distribution hors la ville	243780
—au nom de César, jardins, châteaux impériaux, etc.	102420
—aux particuliers	230820
—à 19 camps	16740
—à 95 établissements publics	144060
—à 39 spectacles	23160
—à 591 pièces d'eau	80100
	841080

Les eaux étaient classées selon leur qualité. L'eau Marcia, la plus pure, était réservée pour les usages domestiques. Les autres eaux servaient à des usages moins délicats; l'eau Anio était exclusivement employée à l'arrosage des jardins et aux usages les plus grossiers de la ville.

Aujourd'hui, Rome, réduite à 170,000 habitants, ne reçoit plus que 180,000 mètres cubes par 24 heures environ, volume encore très-considérable, puisqu'il donne par tête plus de 1,000 litres d'eau pure par jour. L'eau Vierge est de très-bonne qualité. L'eau Poala renferme peu de matières salines, mais elle est souvent souillée de débris végétaux et de limon. L'eau Felice est la moins bonne; elle est assez chargée de sels et contient 0g,23 à 0g,24 de carbonate de chaux par litre. Elle incruste à la longue les tuyaux secondaires éloignés de l'origine de la distribution.

On va voir combien les villes les plus favorisées sont loin d'atteindre ces chiffres élevés.

La distribution des eaux a lieu à Londres par neuf compagnies qui alimentent en grande partie leurs conduites avec l'eau de la Tamise; voici le résumé des opérations de ces compagnies en 1853, d'après un document officiel.

NOMS des COMPAGNIES.	Nombre moyen de litres distribués par jour.	Nombre de maisons alimentées.	Nombre d'établissements et d'usines desservis.
New-River	79,680,418	90,510	414
East-London	54,480,554	63,443	463
West-Middles	22,720,043	24,376	54
Great-Junction	23,243,854	16,019	»
Southwark et Wauxhall	33,018,786	40,046	634
Lambeth	24,456,994	25,583	524
Chelsea	25,588,755	22,725	2,094
Kent	8,364,243	14,573	70
Hampstead	2,759,551	5,454	»
	274,313,168	302,429	

Ce qui porte la distribution, par jour et par habitant, à un peu plus de 400 litres; mais on doit déduire de ce chiffre :

Le service des usines s'élevant à	7,71 p. 100.
Le lavage des rues	1,69
Les chasses dans les égouts	1,10
Le service des incendies	0,31
En tout	10,81 p. 100.

Ce qui réduit à 90 litres environ la consommation des maisons d'habitation par habitant.

Sur la totalité des maisons de Londres 5 à 6 p. 100 au plus n'ont pas de distribution. La taxe d'abonnement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EAUX.

varie de 5 à 7 p. 100 du prix de location des maisons. Il y a d'ailleurs des tarifs particuliers pour les chevaux, les voitures, les bains, les cabinets d'aisances, etc.

A Preston, le volume d'eau distribué par jour et par habitant est de 73 litres. On compte cinq habitants par maison.

A Nottingham on distribue par habitant 75 à 80 lit. d'eau par jour.

A Hull les machines distribuent 173 litres par jour et par tête.

A Ashton-under-Lyne, la compagnie distribue une quantité d'eau assez variable d'un jour à l'autre, mais qui en moyenne par jour et par tête s'élève à 32lit.2 seulement. Il y a en moyenne 5 1/2 habitants par maison.

Le chiffre, cité en dernier lieu, est beaucoup trop bas. Les ingénieurs anglais admettent, comme résultat général, que la consommation doit s'élever à 100 litres au moins par habitant et par jour, dont 70 pour les besoins domestiques. Pendant l'été le service doit pouvoir monter à 150 litres.

Ces chiffres, du reste, ne sont pas très-comparables aux nôtres, parce que les services publics extérieurs sont beaucoup plus importants en France qu'en Angleterre, et que, dans la plupart de nos villes, la population par maison est beaucoup plus grande qu'en Angleterre.

L'aqueduc Croton, si justement célèbre, amène à New-York 115 à 120 litres d'eau par 24 heures et par tête. Il a été construit de manière à assurer facilement un débit régulier de 140,000 mètres cubes par jour, qui pourrait, au besoin, être porté à 250,000 mètres cubes. L'aqueduc qui amène l'eau du bassin de retenue, formé en barrant la rivière, a 65 kilom. de longueur. Le réservoir où arrivent les eaux dans la ville contient 681,000 mètres cubes.

La ville de Bruxelles a fait établir, il y a peu d'années, une distribution d'eau de sources. Son débit est de 20,200 mètres cubes par 24 heures, soit, pour 250,000 habitants, une moyenne de 80 litres par tête. La dépense d'établissement s'est élevée à 30 fr. environ par habitant, tout compris.

Les machines qui élèvent l'eau à Lyon ont été calculées pour assurer un débit journalier de 15,000 mètres cubes pour le bas service, atteignent une hauteur de 48 mètres au-dessus de l'étiage du Rhône, et de 5,000 mètres cubes pour le haut service atteignant une hauteur de 110 mètres, soit en tout 20,000 mètres cubes pour 234,500 habitants, soit 85 litres par tête. La dépense d'établissement a été de 26 à 27 fr. par habitant.

Les eaux amenées à Bordeaux sont recueillies par un aqueduc à barbacanes dans le coteau d'où elles émergent; elles sont montées par des machines dans les réservoirs de distribution. On a calculé sur un débit journalier de 22,000 mètres cubes, soit 170 litres par habitant. La taxe est de 10 fr. par an, par hectolitre journalier pour les usages domestiques, et de 3 francs seulement pour les usages industriels. La dépense de premier établissement a été de 32 fr. environ par habitant.

La distribution des eaux de Nantes a lieu par machines qui puisent dans la Loire. Il y a deux systèmes de conduites : les unes sont destinées aux eaux troubles pour le service public, dont le volume quotidien est de 4,000 mètres cubes; les autres porteront l'eau filtrée pour les usages domestiques dont le volume sera de 2,000 mètres cubes, soit en tout 6,000 mètres pour 100,000 habitants, ou 60 litres par tête.

Besançon est alimenté par une source; la ville reçoit par jour 8,600 mètres cubes d'eau pour 35,000 habitants, soit 246 litres par tête. La dépense des travaux a été de 1,600,000 fr.

Dijon, depuis les beaux travaux de M. Darcy, reçoit, de la source du Rosoir, 300 à 400 litres par habitant et par jour, en général; au moment du plus bas étiage, le débit est encore environ de 240 litres.

A Carcassonne la distribution est de 400 litres par jour et par tête environ. La dépense d'établissement s'est élevée à 49 fr. 46 c. par habitant.

A Béziers, la distribution faite par machines à vapeur est de 10 à 12 litres par jour et par tête.

A Toulouse, les machines hydrauliques qui approvisionnent la ville fournissent 75 à 80 litres d'eau par jour et par habitant.

Arrivons, enfin, à la distribution d'eau de Paris dans son état actuel. Nous indiquerons plus loin les dispositions principales du vaste projet de M. Belgrand, à la réalisation duquel l'administration municipale attache aujourd'hui un si grande intérêt.

Le volume d'eau actuellement disponible à Paris, non compris le produit de la machine du Gros-Caillou, se décompose de la manière suivante :

Canal de l'Ourcq.	99,806	mèt. cubes.
Pompe de Chaillot, eau de Seine.	38,391	—
Pompe d'Austerlitz, eau de Seine.	768	—
Aqueduc d'Arcueil	1,536	—
Puits artésien de Grenelle. . .	864	—
Sources du Nord, Belleville, prés Saint-Gervais.	480	—
Total. . . .	141,845	mèt. cubes.

Ce qui donnerait environ 142 litres par habitant; mais l'insuffisance des conduites et la trop faible hauteur des niveaux ne permettent pas, à beaucoup près, d'utiliser toutes ces ressources. En ce moment (rapport du préfet de la Seine, 4 août 1854) la quantité d'eau appliquée à tous les services de distribution est de 86,777 mètres cubes par jour, savoir :

Services publics.

Fontaines monumentales.	9,910	
— de puisage.	4,630	
Bornes fontaines et bouches sous trottoirs.	35,600	
Poteaux d'arrosement, bouches d'incendies, etc.	5,900	
Ensemble.		56,040

Services privés.

Fontaines marchandes	1,170	
Concessions à l'État	3,843	
— au département	88	
— aux établissements municipaux	7,812	
— aux particuliers	17,824	
Ensemble.		30,737
Total général.		86,777

Les concessions particulières, au nombre de 7,633, se décomposent ainsi :

492	lavoirs.	2,380
137	établissements de bains. . .	2,206
1,165	industries diverses.	4,118
6,229	maisons d'habitation. . . .	9,120
7,633		17,824

La consommation augmente, du reste, rapidement; ainsi de 1854 à 1858 le nombre des maisons abonnées aux eaux de Paris s'est élevé de 6,229 à 7,085. Le débit des fontaines marchandes s'est élevé de 1,170 mètres cubes par jour à 1,472 mètres cubes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le nombre des maisons de Paris étant de 32,250, on voit combien est faible la fraction des maisons abonnées. Il est dès lors difficile de préciser avec certitude l'importance du volume d'eau employé aux usages domestiques; mais on sera certainement au-dessus de la vérité si l'on réunit aux quantités distribuées dans les maisons d'habitation, ou débitées par les fontaines marchandes, celles qui s'écoulent par les fontaines affectées au puisage gratuit et le quart de celles que versent sur la voie publique les bornes-fontaines où le puisage est toléré; on trouve ainsi que ce volume est de 25,887 mètres cubes ainsi composé (1857).

Abonnement du service municipal	12,365	mèt. cubes.
Fontaines marchandes	1,472	—
Fontaines de puisage	3,150	—
Un quart du produit des bornes-fontaines	8,900	—
Total	25,887	mèt. cubes.

Soit 20 à 25 litres par tête et par jour.

Les redevances payées à la ville, pour les concessions en 1857 se décomposent de la manière suivante :

État, département, ville, assistance publique	120,716
Bains et lavoirs	469,167
Industries	360,377
Maisons particulières	636,343
Fontaines particulières	386,894
Total	1,673,497

Cette somme ne représente que la moindre partie des dépenses imposées au public pour sa consommation d'eau. Les 25,164 maisons qui n'ont pas de distribution sont ordinairement pourvues de puits et de pompes. Mais la mauvaise qualité des eaux de cette nature les rend impropres à la cuisson des légumes, à la boisson, à l'emploi du savon; les habitants de la plupart des maisons de Paris sont donc obligés de se fournir d'eau de meilleure qualité, en allant péniblement la puiser aux fontaines du voisinage, ou en l'achetant aux porteurs d'eau.

Les porteurs d'eau vendent l'eau 10 c. la voie de 20 litres, ou, par abonnement, 2 fr. ou 2 fr. 50 c. les 30 voies par mois. D'après des recherches très-détaillées, il est distribué ainsi, à peu près, 1,380,000 mètres cubes d'eau par an, représentant une dépense de 6,000,000 fr. pour les habitants; c'est-à-dire que le mètre cube d'eau, qui coûte par abonnement pris à la ville, 0f,276 environ (100 fr. par an pour 1 mètre cube par jour), coûte 12 à 19 fois autant par les porteurs d'eau.

On voit par ces chiffres combien il est nécessaire d'améliorer le service des eaux de Paris, pour que les distributions particulières se multiplient, comme elles le sont à Londres et dans la plupart des villes bien approvisionnées d'eau.

Les ingénieurs de Paris estiment, dans les grands projets qu'ils ont étudiés et dont on parlera un peu plus loin, que la consommation pour les usages domestiques doit être estimée à 50 litres, et qu'il faut également doubler le volume des eaux consacrées aux usages publics, ce qui porterait le volume total des eaux de Paris, en prévision du chiffre prochain de sa population, à 200,000 ou 210,000 mètres cubes par 24 heures.

Si l'on résume les conséquences à déduire des remarques et des exemples qui précèdent, on sera conduit à admettre, comme on l'a dit en commençant, qu'une distribution d'eau ne saurait être trop abondante, mais que la nécessité de réduire les dépenses oblige à tenir compte du volume strictement nécessaire.

Pour arriver à la détermination exacte de ce volume, il convient de rappeler d'abord les principaux usages de l'eau dans les villes, en indiquant le volume nécessaire à chaque service, selon les circonstances.

Les principaux emplois de l'eau dans les villes sont : 1° les usages domestiques, comprenant la boisson, les soins de propreté, le lavage des cours, etc.; 2° la consonsommation industrielle dans les manufactures; 3° les établissements de bains, les buanderies, les édifices publics; 4° le nettoyage et l'arrosage des rues; 5° la fourniture des fontaines et des jardins publics; 6° le service des incendies, heureusement bien peu important en général et toujours facile à satisfaire, par des emprunts aux eaux destinées aux usages 4° et 5°.

Les ingénieurs anglais estiment, en moyenne, que les articles 1°, 2° et 3° exigent 90 litres par jour et par habitant; quant aux articles 4° et 5°, ils pensent qu'il suffit de leur consacrer une couche d'eau de 0m,65, supposée répartie uniformément à la surface de la ville entière, soit 6,500 mètres cubes par an et par hectare; de sorte que, dans la plupart des villes anglaises, la distribution totale devrait être fixée de 140 à 160 litres par jour et par habitant.

Cette évaluation en bloc paraît s'appliquer assez bien à la France; cependant je la regarde comme un peu faible en général, si l'on tient compte de l'accroissement de consommation qui résulte toujours du développement de la richesse publique. Quelques explications sont encore nécessaires à ce sujet.

Le système des cabinets d'aisances influe beaucoup sur la dépense d'eau dans l'intérieur des maisons. Les fosses exigent beaucoup moins d'eau que le coulage direct à l'égout. Sous ce rapport, la consommation d'eau serait généralement moins forte en France qu'en Angleterre; mais, d'un autre côté, le service public du nettoyage des rues et des fontaines monumentales est habituellement plus considérable chez nous.

Voici, du reste, d'après M. Dupuit, les évaluations adoptées, à Paris, pour les abonnements :

Par personne et par jour	20 litr.
Par cheval et par jour	75
Par voiture à deux roues et par jour	40
Par voiture à quatre roues et par jour	75
Par mètre carré de jardin, 500 litres par an, par jour	1l,5
Par bain	300

Ces évaluations sont un peu faibles, il faut bien le reconnaître, et l'on prend toujours de plus larges bases pour la rédaction des projets.

L'arrosement des voies publiques consomme, à Paris, 1 litre environ par mètre carré. On arrose l'été deux ou trois fois par jour.

Les bornes-fontaines, dans les villes convenablement arrosées, ne doivent pas servir au lavage de plus de 300 mètres de ruisseaux. Elles doivent débiter 100 à 110 litres par minute. A Paris, elles sont ouvertes, en général, trois heures par jour en trois fois et débitent chacune par conséquent 20 mètres cubes environ par vingt-quatre heures.

Le débit des fontaines monumentales varie naturellement avec leur importance. Nous réunissons, comme terme de comparaison, les chiffres suivants :

	Débit par seconde	Débit par heure.
Gerbe du Palais-Royal, à Paris	23l,0	82m,8
Gerbe du rond-point des Champs-Élysées, à Paris	25 ,0	90 ,0
Gerbe du Boulingrin, à Toulouse	16 ,0	58 ,3
Gerbe de la porte Saint-Pierre, à Dijon	20 ,0	72 ,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	DÉBIT	
	Par seconde.	Par heure.
Vasque de la porte Guillaume, à Dijon	9l,4	33me,0
Fontaine de la Trinité, à Toulouse.	1 ,4	5 ,0
Fontaine de la place Bourbon, à Toulouse.	13 ,9	50 ,0
Fontaine de la place Saint-Georges.	1 ,0	3 ,6
Chaque fontaine de la place de la Concorde, à Paris	55 ,0	198 ,0
Fontaine de la place Richelieu, à Paris	9 ,0	32 ,4

Les lavoirs consomment par journée de travail de 2 à 4 mètres cubes d'eau par place. La consommation des industries ne peut être connue que par une enquête faite dans chaque établissement.

L'ingénieur qui rédige un projet de distribution d'eau n'a pas seulement besoin de connaître le volume total qui lui est nécessaire, il faut encore qu'il calcule la consommation de chaque artère de la canalisation souterraine pour proportionner le diamètre des tuyaux au débit qu'ils doivent fournir et à la pression intérieure du liquide. Ce calcul sera facile à faire d'après ce qui précède ; il suffira d'évaluer la population de chaque rue et d'ajouter au chiffre de la consommation domestique le débit des bornes-fontaines placées tous les 200 ou 300 mètres, celui des fontaines monumentales et enfin celui des établissements publics ou industriels placés sur la même conduite. Nous recommanderons seulement de faire un peu largement toutes ces évaluations pour parer à toutes les éventualités.

§ III. MOYENS D'OBTENIR L'EAU POUR L'ALIMENTATION DES VILLES.

Les eaux destinées à l'alimentation des villes sont de diverses natures ; nous les indiquerons successivement.

Les *sources naturelles* fournissent les eaux les plus convenables pour les distributions publiques ou privées, quand leur composition chimique est d'ailleurs satisfaisante. Les eaux de source, en effet, sont limpides et leur température est ordinairement très-peu variable, condition d'une très-haute importance pour les usages domestiques et industriels.

La théorie des sources a fait de très-grands progrès depuis quelques années. Le développement pratique des études géologiques, les études spéciales d'un certain nombre de personnes sur les moyens de découvrir les sources, les grands travaux de drainage, ont dirigé l'attention sur ce point spécial de la physique du globe. Ce serait peut-être nous écarter de notre sujet que d'aborder cette question, qui exigerait d'assez longs détails ; nous nous bornerons, par conséquent, à indiquer les travaux nécessaires pour réunir et utiliser une source connue.

Ces travaux sont généralement assez simples. On commence par curer à vif le bassin de la source. On se rend bien compte des points où l'eau arrive le plus abondamment en jetant à la surface de l'eau des corps légers, dont les mouvements indiquent la direction des courants. On dégage alors un peu ces issues, et, au besoin, on abaisse, si on le peut, le niveau naturel d'écoulement de l'eau du bassin de la source, pour augmenter et régulariser son débit. On entoure alors le bassin de murs épais, établis en dehors de son périmètre, et on le recouvre d'une voûte en maçonnerie, pour mettre l'eau à l'abri de la chute des corps étrangers et de la malveillance. L'aqueduc de la conduite des eaux communique avec le bassin de la source ainsi protégée.

Le tracé des fondations des murs d'enceinte exige une certaine attention. Il faut les faire reposer sur un fond très-solide, et s'assurer, dans tous les cas, que leur pression ne peut pas modifier les fissures souterraines par lesquelles les eaux affluent naturellement. Lorsque le pourtour du bassin de la source est en rocher compacte, ce qui arrive souvent, le travail est fort simple. Dans le cas contraire, l'ingénieur doit procéder avec une extrême prudence, et souvent exécuter des travaux de captation assez considérables, pour assurer la fixité du bassin de la source, par des procédés artificiels imitant, autant que possible, les moyens employés par la nature elle-même dans les sources qui sortent des rochers plus ou moins fissurés.

L'enceinte couverte qui renferme la source, ou la tête de l'aqueduc d'écoulement, doit présenter divers ouvrages dont les dimensions varient avec l'importance du volume d'eau, mais qui doivent assurer les moyens : 1° d'entrer dans la chambre de la source pour la visiter ou la nettoyer au besoin ; 2° d'assurer aux eaux un écoulement au dehors, quand on est obligé de les empêcher d'entrer dans l'aqueduc pour le réparer ; 3° de donner issue au trop plein des eaux, en cas de crue ou de diminution d'écoulement dans l'aqueduc, afin que, dans aucun cas, le niveau des eaux dans le bassin de la source ne puisse s'élever au-dessus du niveau qui leur a été fixé. Un excès de pression sur la sortie d'une source peut souvent déranger son régime, et quelquefois la perdre entièrement, en l'obligeant à chercher une autre issue.

Les villes assez favorisées pour trouver dans leur voisinage des sources abondantes d'eau de bonne qualité sont malheureusement peu nombreuses. On est donc souvent obligé de faire des recherches d'eaux souterraines, ou de recueillir les eaux de pluie filtrées à travers les couches perméables du sol, par de véritables drainages d'une importance plus ou moins considérable. On parvient ainsi à créer de véritables *sources artificielles*, dont les eaux sont ensuite conduites dans les villes. Des sources peu abondantes, ou d'un débit irrégulier, servent souvent d'indice et de guide pour les recherches et les travaux de cette nature, et ajoutent leurs eaux à celles que l'art obtient en abondance. On passe ainsi, par transitions insensibles, des sources naturelles, dont il suffit de conduire les eaux, aux sources entièrement dues à la main de l'homme et créées au sein de terrains à la surface desquels n'apparaissait aucune eau. Les travaux analogues à ceux dont nous parlons maintenant sont extrêmement variés ; ils exigent un grand esprit d'observation, et souvent de profondes connaissances de géologie et d'hydrologie. Il serait difficile, par conséquent, de donner à cet égard des règles pratiques et très-précises. Quelques exemples et quelques indications générales seront plus utiles que des préceptes absolus.

L'art de rechercher les sources et de capter les eaux souterraines par des procédés analogues à ceux du drainage est assurément très-ancien. Les câris de la Perse, beaucoup de travaux romains, l'attestent suffisamment. Mais il est certain que cette pratique, qui avait été autrefois très-employée en France, si l'on en juge par les nombreux exemples que l'on en rencontre, paraît avoir été, sinon complétement oubliée, au moins assez négligée depuis un siècle, ou un siècle et demi, et on comprend très-bien que l'on ait pu, de très-bonne foi, présenter comme des inventions nouvelles des méthodes dont les exemples se retrouvent dans presque tous les grands domaines seigneuriaux ou d'ordres religieux. Les eaux de Gesvres, de Ris, des prés Saint-Gervais ne sont point obtenues autrement.

On a déjà expliqué, en parlant du drainage des sources (Voy. art. AGRICULTURE), le principe du plus grand nombre des recherches d'eau. C'est à la surface des couches imperméables, recouvertes de couches per-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

méables, ou au centre même de très-grandes masses perméables, qu'il faut aller saisir et réunir les filets d'eau dont l'ensemble doit former la source artificielle.

Ces recherches d'eau se font par des procédés très-divers, suivant les pays et les circonstances. Tantôt, les eaux sont recueillies par des galeries souterraines plus ou moins importantes, dont le fond est étanche pour recueillir et conduire les eaux, tandis que les parois sont poreuses ; tantôt on a recours aux procédés ordinaires et plus simples du drainage avec tuyaux ou pierrées, pour amener à la surface les eaux qui s'écoulaient sans profit à une petite profondeur au-dessous du sol.

Il serait impossible, sans multiplier inutilement les figures, d'indiquer les constructions variées adoptées dans le cas qui nous occupe. On se bornera à citer, comme exemple de cette classe de procédés, la disposition adoptée par M. Belgrand pour la distribution d'eau d'Avallon. La voûte de l'aqueduc, dans la traversée des terrains sourciers, a été percée (fig. 3494)

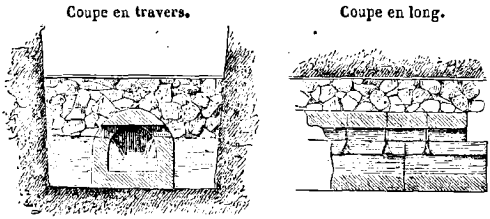


Fig. 3494. — Aqueduc avec pierrée et barbacanes pour recueillir des eaux de source. (Échelle de 0,025.)

de barbacanes nombreuses. Une pierrée de 0m,25 d'épaisseur a été en outre disposée de chaque côté et au-dessus de l'aqueduc pour faciliter l'entrée des eaux dans la cuvette étanche de la conduite. Cette disposition, plus ou moins modifiée selon les localités, est évidemment applicable à tous les cas analogues.

Depuis quelques années on s'est beaucoup occupé des sources artificielles obtenues par des méthodes que l'on vient d'indiquer, et l'on a fondé de grandes espérances sur l'emploi de ces moyens pour l'approvisionnement des villes les plus importantes. Quelques renseignements ne seront pas inutiles sur ces questions encore peu connues.

L'exemple du bourg de Farnham, en Angleterre, où le drainage de moins de deux hectares a permis de fournir en abondance une eau excellente à une population de 3,500 âmes, a fait beaucoup de bruit il y a quelques années. On a même proposé de fournir de l'eau à la ville de Londres par des travaux analogues. Mais l'incertitude inévitable des opérations de cette nature a fait renoncer à ce projet, qui avait été chaudement patronné par le *board of Health*. A Bruxelles, une proposition analogue a également été repoussée.

Le succès obtenu à Farnham est en effet le résultat d'un heureux concours de circonstances géologiques exceptionnellement favorables, qu'on ne saurait espérer de rencontrer souvent. Tout le monde sait en effet que les drainages ordinaires cessent de couler une grande partie de l'année, et qu'il serait dès lors impossible d'employer leurs produits à l'alimentation régulière d'une ville. J'ai exécuté plusieurs drainages qui, ayant rencontré des sources permanentes, donnent un débit continu. L'un d'eux alimente un moulin, un autre fournit l'eau potable à une ferme, et un troisième dessert un hameau assez populeux. Malgré ces exemples de succès que je pourrais multiplier beaucoup, je n'oserais presque jamais promettre à l'avance de réussir dans un travail de cette nature. Les probabilités sont quelquefois très-grandes, mais la certitude n'existe presque jamais. C'est dire avec quelle prudence il faut entreprendre les essais de cette nature.

L'étude attentive des belles sources naturelles indique d'ailleurs les conditions qu'il faut chercher à réaliser artificiellement et sans lesquelles il y aurait folie à espérer d'obtenir, avec une régularité suffisante, un volume d'eau déterminé.

Personne ne doute aujourd'hui que la pluie ne soit l'origine des sources. Pour qu'une source coule d'une manière continue, alors que la pluie est souvent plusieurs mois sans tomber, il faut donc que la masse perméable qui absorbe une partie de l'eau de pluie tombée à sa surface n'agisse pas seulement comme un filtre, mais encore et surtout comme un vaste réservoir, régulateur de l'écoulement. La vitesse de l'eau dans les conduits capillaires qui existent dans le sol est très-faible ; elle ne devient très-sensible que dans les fissures un peu larges, ou les bancs très-poreux, qui figurent, au sein de la terre, des lignes principales d'écoulement analogues à nos ruisseaux et à nos rivières de la surface. Dans les sources remarquables par leur régularité, l'eau qui s'écoule à un moment donné est tombée depuis fort longtemps, depuis des mois et souvent depuis des années. Si l'on voit les sources augmenter aussitôt après les grandes pluies, ce n'est pas en général, au moins quand il s'agit de grandes sources, par l'écoulement de l'eau qui vient de tomber. L'eau de la crue est tombée depuis longtemps, elle a traversé le sol, elle se trouve plus ou moins rapprochée de son point de sortie, et son accélération de vitesse est due seulement à l'augmentation de pression qui peut résulter de l'introduction de nouvelle eau à la partie supérieure de la masse poreuse traversée par les fissures capillaires par lesquelles l'eau s'élance. On s'explique facilement, du reste, la faible vitesse de l'eau dans les masses poreuses, par la résistance que le frottement oppose au mouvement et surtout par les actions capillaires très-énergiques exercées sur l'eau par des surfaces aussi multipliées que celle d'une masse poreuse. Une source n'est donc que l'écoulement d'un amas d'eau intérieur dont les mouvements sont ralentis et régularisés par la résistance de la masse solide du terrain perméable.

Pour que le drainage d'un terrain fournisse une source, il faut donc que la couche poreuse qui reçoit les eaux présente une épaisseur verticale suffisante au-dessus des tuyaux collecteurs, ou une puissance assez considérable sur les plateaux qui dominent l'emplacement de ces mêmes tuyaux, pour que l'eau mette à traverser cette masse un temps plus long que celui qui peut s'écouler entre de fortes pluies. Cette condition est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante. Il faut encore que la disposition du sous-sol imperméable qui empêche le mouvement vertical de l'eau, ou au moins que la direction des lignes principales de suintement dans la masse poreuse soient telles que les eaux rencontrent les collecteurs et puissent s'y écouler. Ces dernières conditions sont encore plus difficiles à prévoir que les premières.

Quant au volume d'eau que l'on peut espérer de réunir par un travail de recherches, l'incertitude est plus grande encore. On peut assez souvent fixer un maximum impossible à dépasser, mais il est très-rare que l'on puisse prévoir à l'avance le volume à attendre des travaux.

C'est encore l'observation des plus belles sources naturelles qui peut donner quelque renseignement sur ce point.

Les sources du mont Ventoux sont un des exemples les plus nets que l'on puisse citer. Le mont Ventoux présente, comme on sait, à peu près la forme d'un demi-ellipsoïde de 25 kilom. de longueur sur 7kil. 5 de lar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EAUX.

geur. Sa hauteur est de 1,960 mètres au-dessus du niveau de la mer. La masse de cette montagne, composée de calcaire néocomien entièrement perméable, repose sur une couche imperméable. Cette couche paraît former une espèce de vallon à double pente, dirigé de l'est à l'ouest comme le grand axe de l'ellipsoïde; elle affleure le sol à l'ouest à peu près à 385 mètres au-dessus du niveau de la mer. On trouve en ce point la source de Malaucène, ou Groseau. A l'est, à un niveau moins élevé, on rencontre d'autres sources moins importantes, mais encore assez remarquables. Sur tout le reste du plateau, on ne trouve pas une source et on n'a pas même essayé d'y creuser de puits dont la profondeur eût été excessive. La disposition de la couche imperméable et l'existence des filets d'eau qui s'y rassemblent ont été vérifiées par l'expérience. Un cultivateur placé au bas de la montagne vers le sud, où l'épaisseur de la couche perméable est considérablement réduite, a fait percer plusieurs puits; il les a réunis souterrainement par une galerie soutenue à l'amont par un mur à pierres sèches, et à l'aval par un mur bétonné. Cette galerie-conduite, convenablement prolongée, amène à ciel ouvert une assez belle source. Les sources qui sortaient plus bas, dans la partie correspondante, ont été coupées et ont cessé naturellement de couler.

Le débit des diverses sources dont on vient de parler est de 2 à 3 mètres cubes par seconde. On estime qu'il tombe 0m,85 de hauteur d'eau par an sur le plateau de cette montagne, qui a 15,000 hect. Ce qui fait un volume de $150,000,000 \times 0,85 = 127,500,000$ mètres, ou bien un débit de $\frac{127,500,000}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 4$ mètres cubes. Les sources débitent un peu plus de la moitié de ce volume d'eau, le reste s'évapore ou pénètre à de plus grandes profondeurs. La disposition des lieux est telle que très-peu d'eau doit s'échapper de cette façon, de sorte que l'on peut regarder un peu plus de 1/2 comme le plus grand rapport de la pluie tombée à la pluie recueillie qu'il soit possible d'espérer dans les conditions habituelles.

La célèbre fontaine de Vaucluse, qui débite 10 à 12 mètres cubes, est à peu près dans les mêmes conditions. Son bassin de réception, également formé de calcaire très-perméable, a 96,500 hect. On ne trouve ni ruisseau ni puits sur cette surface. Elle reçoit environ par an 820,250,000 mètres cubes, répondant à un débit permanent de 26 mètres cubes environ, c'est-à-dire encore à peu près double de celui de la fontaine.

Dans les travaux de drainage ou de captation d'eau, il serait imprudent de compter sur un chiffre de rendement aussi élevé. Il faut pour l'obtenir des circonstances exceptionnellement heureuses. M. Paramelle estime que des couches très-poreuses, de 2 à 8 mètres d'épaisseur, reposant sur un sol imperméable convenablement incliné, produisent après une sécheresse ordinaire 1,152 litres par jour et par hectare; c'est environ un douzième de la pluie moyenne annuelle tombée sur cette surface. Ce rapport, considéré comme résultat moyen, me paraît assez exact; mais il ne faut pas perdre de vue les observations qui précèdent relatives à la puissance de la masse poreuse nécessaire pour régulariser le débit.

Fécamp, Hazebrouck et un certain nombre d'autres villes sont alimentées par des travaux de drainage ou des galeries de recherches percées à la limite des terrains perméables et des terrains imperméables.

Le grand projet d'approvisionnement de Paris étudié par M. l'ingénieur en chef Belgrand, dont s'occupe en ce moment l'administration municipale, a pour base des travaux de captation et des recherches d'eau analogues à ceux dont on vient de parler.

Le volume d'eau que l'on désire amener est de 100,000 mètres cubes par jour, soit 1,160 litres par seconde. M. Belgrand avait proposé d'abord de dériver les eaux de la Somme et de la Soude, et au besoin celles du Sourdon et de la Dhuis. En octobre 1855, époque des plus basses eaux, ces sources donnaient, en effet, par seconde :

Eaux de la Somme et de la Soude.	1,081 lit.
Source du Sourdon.	100
Source de la Dhuis.	315
	1,496

En 1857, la Somme donnait encore 880 litres; mais, en 1858, son débit s'est réduit à 285 litres, bien que les deux autres sources aient peu varié. Ces irrégularités de débit, incompatibles avec l'alimentation d'une grande ville, ont nécessité de nouvelles études. Le projet actuel comprend donc deux systèmes différents à l'aide desquels on obtiendrait l'approvisionnement normal de 100,000 mètres cubes par jour; ils consistent : 1° en dehors des vallées de la Somme et de la Soude, à pénétrer par des galeries souterraines de drainage au milieu de la nappe d'eau déposée par les pluies dans l'épaisseur de la craie tendre, où elle est retenue par la couche d'argile sur laquelle repose la craie, tout en se dirigeant, d'un mouvement lent, par la pente naturelle de cette couche imperméable, soit vers le fond du bassin géologique dont Paris occupe le centre, soit vers les coupures qui lui offrent des moyens d'écoulement; 2° dans ces mêmes vallées, à augmenter le débit des sources en les prenant à un niveau inférieur, si, ce qui semble peu probable, on devait en venir à utiliser ces sources.

L'espoir du succès de cette recherche d'eau est principalement fondé sur les observations suivantes : 1° la surface du bassin de la Vanne, qui est très-bien limité, est de 900 kilomètres carrés; il reçoit par an 540 millions de mètres cubes d'eau de pluie et il en rend chaque année, par les cours d'eau, 31 à 155 millions, soit $\frac{1}{18}$ à 1/4 de ce qu'il reçoit. 2° Le bassin de la Somme-Soude a 300 kilomètres carrés de superficie; il reçoit 180 millions de mètres cubes d'eau de pluie et en restitue par ses sources de 8,987,000 à 36 millions de mètres cubes, soit 1/5 à $\frac{1}{10}$ de l'eau tombée. Or la partie du bassin crayeux comprise entre la vallée de l'Aisne et celle de l'Aube, que l'on suppose devoir concourir à l'alimentation des sources à créer, a 5,300 kilomètres carrés et reçoit 3,180 millions de mètres cubes par an. Le volume de 100,000 mètres cubes, soit 36,500,000 par an que l'on veut en tirer, n'est que $\frac{1}{85}$ du volume reçu, ou moins de $\frac{1}{4}$ du volume que restituent naturellement des terrains de cette espèce.

Ce rapprochement montre en effet la possibilité d'obtenir le volume d'eau nécessaire, mais il ne fournit aucun renseignement sur la longueur à donner aux galeries de suintement, et par suite sur les dépenses relatives à la création des sources artificielles.

Les eaux ainsi recueillies en Champagne seraient amenées par un aqueduc dans un vaste réservoir situé à la cote de 83 mètres pour desservir les étages supérieurs des plus hautes maisons de Paris.

Les eaux de la craie sont limpides, d'une température peu variable et d'une pureté satisfaisante, bien que chargées de calcaire en assez forte proportion; elles remplissent donc les conditions de bonnes eaux. Je ne sache pas qu'on ait déterminé les proportions et la nature des gaz qu'elles tiennent en dissolution, renseignement indispensable, comme on l'a dit, à une étude complète; elles doivent renfermer des nitrates, mais je n'en connais pas la proportion.

Il est à craindre que la qualité des eaux de la Champagne ne soit modifiée d'une manière très-désavantageuse par les progrès de la mise en culture de cette vaste con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trée, aujourd'hui déserte. Dans beaucoup de points, la surface du sol est assez rapprochée du plan d'eau pour que les matières organiques des fumiers soient entraînées à travers les fissures du terrain, l'absence totale d'argile ne permettant pas d'espérer que ces matières soient retenues dans la couche perméable. Dans tous les cas, il se formera des nitrates et la proportion de sels de chaux dans les eaux pourra dépasser de beaucoup celle qui existe aujourd'hui.

Les travaux projetés, non compris ceux de la distribution dans Paris, sont estimés 30 millions de francs, et on a vu que leur exécution comporte des éventualités considérables pour les travaux souterrains de recherches d'eau. On indiquera un peu plus loin, en parlant de l'emploi des machines, d'autres projets présentés en même temps que le précédent, mais qui n'ont point semblé à l'édilité parisienne aussi dignes de la grandeur de la capitale.

Les eaux de rivière, élevées par des machines ou dérivées par des canaux spéciaux, sont très-fréquemment employées aux approvisionnements des grandes villes. Ces eaux, dont la composition est très-variable, non-seulement d'un fleuve à l'autre, mais pour un même cours d'eau d'une saison à l'autre, présentent en général deux inconvénients pour cet usage. Leur température varie continuellement dans des limites très-étendues; d'un autre côté, elles sont rarement complètement limpides et deviennent souvent, en temps de crue surtout, complétement troubles.

Les eaux de source sont donc, en principe, bien préférables aux eaux de rivière; cependant, presque toutes les grandes villes sont approvisionnées par la rivière qui les traverse, les économies réalisées sur les frais de premier établissement compensant et au delà les frais de filtrage. Dans les villes importantes, la solution la plus satisfaisante consiste bien souvent à organiser deux systèmes de distribution, l'un pour les eaux de source habituellement peu abondantes et réservées aux usages domestiques, l'autre fournissant à profusion les eaux de rivière pour les usages grossiers du nettoyage des voies publiques, etc.

Les ouvrages de prise d'eau en rivière n'ont rien de particulier : s'il s'agit de prendre l'eau au-dessus de la ville pour l'amener par un canal de dérivation à une hauteur convenable, ce sont des barrages ou des épis ordinaires placés en tête des dérivations; s'il s'agit seulement d'élever l'eau à l'aide de machines, ce sont de simples galeries de puisage perpendiculaires au cours d'eau. Quelquefois encore le barrage de la rivière, établi dans un point escarpé de son cours et dans toute la largeur de son lit, transforme en vaste réservoir une partie de la vallée. C'est ainsi, par exemple, que le barrage construit dans le lit de la rivière Croton, pour la distribution de New-York, produit un vaste bassin de réserve de 2,724,000 mètres cubes de capacité.

On reviendra plus en détail sur l'emploi des eaux de rivière en parlant des moyens de les élever. Considérées d'une manière générale comme moyen d'obtenir l'eau pour les villes, il n'y a pas à s'y arrêter davantage.

Bien que l'eau des *puits ordinaires* entre souvent pour une forte part dans l'approvisionnement des villes ou des hameaux, nous n'avons pas à nous en occuper ici. Ce sont des ouvrages essentiellement privés. En général, l'eau des puits peu profonds creusés au sein des villes est de très-mauvaise qualité. Elle est souillée par beaucoup de matières étrangères.

Les *étangs* sont quelquefois employés pour réunir et emmagasiner les eaux de pluie destinées à l'alimentation d'une ville. C'est ainsi, par exemple, que les eaux blanches de Versailles sont recueillies par un immense système de rigoles qui sillonnent toutes les campagnes environnantes, puis versées dans les étangs d'où on les extrait pour les usages auxquels on les destine. Les étangs, proprement dits, généralement peu profonds et mal alimentés, ne fournissent que des eaux stagnantes, variables de température et souvent infectes. Les lacs profonds, alimentés d'eaux vives, sont, au contraire, d'excellents réservoirs. Le lac Katrin, qui alimente Glascow, est un exemple remarquable de distribution de cette espèce.

Les puits artésiens, ou puits jaillissants, peuvent rendre de très-grands services à l'approvisionnement des villes. Leurs eaux puisées à une grande profondeur n'ont point traversé les couches superficielles imprégnées de déjections et sont habituellement d'une pureté remarquable. Nous n'avons rien à ajouter à l'article SONDAGE. Nous dirons seulement que les procédés de forage permettent aujourd'hui d'ouvrir le trou sur un beaucoup plus grand diamètre qu'on ne le faisait autrefois, et qu'il est possible dès lors d'employer les procédés de sondage à l'ouverture de puits très-profonds, mais non jaillissants, d'où on extrait l'eau à l'aide des machines élévatoires ordinaires.

On construit ordinairement au-dessus ou à côté des puits jaillissants un édifice destiné à supporter le tuyau d'ascension et un bassin de jaugeage et de distribution. Au pied de ces édifices, sont ménagés des moyens d'écoulement, lorsqu'il devient utile de supprimer momentanément la charge de la colonne ascensionnelle, soit pour nettoyer le tube du forage, soit pour réparer quelques parties du système de distribution.

Le monument si gracieux qui vient d'être établi pour le puits artésien de Grenelle, sur la place Breteuil, à Paris, peut être cité comme exemple de ce genre de construction. Le tuyau d'ascension et les tuyaux de distribution forment le noyau d'un escalier tournant qui monte jusqu'au sommet de l'édifice. De légères colonnettes à nervures forment extérieurement la cage de cet escalier et en dessinent le profil. Trois balcons en forme de vasque partagent en parties égales la hauteur totale de cette fontaine monumentale, terminée par un élégant campanile. L'édifice est entièrement en fonte, à l'exception du soubassement qui est en pierre. Sa hauteur totale est de 42m,8. Le poids de la fonte employée est de 170,000 kilog. à 60 c. le kilog. La dépense totale de la construction est de 156,000 fr.

L'eau de pluie recueillie directement dans de vastes citernes est le dernier moyen que nous ayons à mentionner pour assurer l'approvisionnement d'eau des villes. C'est assurément une triste ressource, et l'on peut dire que les villes qui n'en ont point d'autres sont bien dépourvues d'eau. Les citernes, comme les puits, sont des ouvrages privés dont nous avons peu de choses à dire. Cependant, elles ont dans certaines villes, à Venise par exemple, une si grande importance et leur usage est si souvent nécessaire pour avoir de bonne eau potable, qu'il est nécessaire d'indiquer quelques précautions indispensables à leur bon établissement. L'eau de pluie, en coulant sur les toits, entraîne avec elle la poussière qui s'y dépose, les débris d'insectes qui s'y accumulent, etc. Il est donc toujours nécessaire de la filtrer avant de l'introduire dans la citerne. A cet effet, il convient de disposer en avant de cette citerne un véritable filtre formé de couches de sable, de braise, ou mieux de charbon animal et de gravier, que l'eau est obligée de traverser avant de se rendre dans le réservoir.

L'eau de citerne recueillie avec cette précaution est si bonne, et surtout si agréable pour les usages de la toilette, que l'on ne saurait assez recommander de construire une citerne à côté de chaque maison, quand l'eau dont on dispose d'ailleurs n'est pas d'excellente qualité. La quantité d'eau de pluie que l'on peut re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cueillir par an dans nos climats est égale, à peu près, en prenant les années les plus sèches, à 450 à 500 litres par mètre carré des toits dont on dispose. Quant à la consommation de cette eau dans les ménages, elle dépend évidemment de la nature des usages auxquels on la réserve. Si elle doit suffire à tous les services, il faut donner à la citerne 7 à 8 mètres cubes par habitant de la maison, et 20 à 22 mètres cubes par cheval, bœuf ou vache de la ferme. Si l'eau est réservée exclusivement à la boisson et à la toilette, on peut à la rigueur réduire la capacité à 1 m,5 ou 2 mètres cubes par habitant.

Filtrage. On vient d'indiquer les diverses natures d'eaux employées dans les distributions. Ainsi qu'on l'a déjà dit, la limpidité de l'eau est une de ses qualités les plus précieuses. Dans tout système de distribution bien établi, l'eau doit donc être livrée limpide au consommateur, et par conséquent il faut la filtrer, quand elle est trouble, comme le sont le plus souvent les eaux de rivière et quelquefois même certaines sources sujettes à de grandes crues.

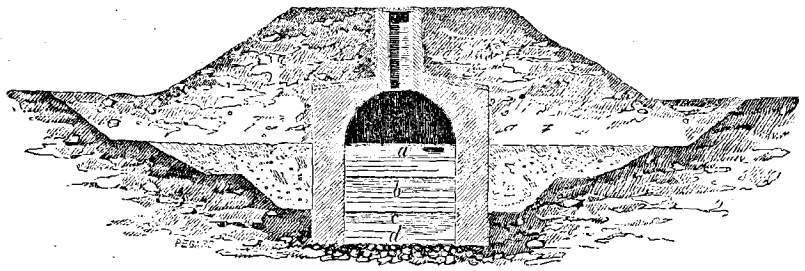


Fig. 3496. — Coupe en travers de la galerie filtrante de Lyon. (Échelle de 0,0033 pour un mètre.)

Les explications données au mot FILTRATION nous permettront de passer très-rapidement ici sur cette opération difficile. Sans revenir sur les filtres de petite dimension destinés principalement aux usages domestiques, il suffira d'indiquer les principaux moyens d'éclaircir les grandes masses d'eau nécessaires à la consommation des villes.

Les grands appareils de filtrage qui nous occupent consistent toujours à faire passer l'eau à travers des couches de graviers et de sable dont les vides, assez grands pour laisser passer le liquide, sont insuffisants pour le passage des corps solides tenus en suspension dans l'eau.

La disposition de la couche de sable varie avec les localités. Tantôt on est assez heureux pour que la couche poreuse forme le lit de la rivière, et alors il suffit d'ouvrir une galerie de puisage dans cette couche filtrante naturelle. Tantôt, au contraire, on est obligé d'amener de loin le sable et le gravier nécessaires à la constitution du filtre, de disposer ces matériaux dans des bassins imperméables et d'assurer la filtration par des artifices plus ou moins compliqués. On donne le nom de filtres artificiels à ces derniers appareils, tandis que ceux dont nous avons parlé d'abord sont appelés filtres naturels.

L'un des exemples les plus remarquables de filtres naturels est celui qui sert à l'épuration des eaux de la Garonne à Toulouse. Les galeries de filtration sont ouvertes dans le banc d'alluvion qui règne le long du cours Dillon. Ce banc est principalement composé de gravier et de sable, entremêlés de cailloux et en quelques endroits d'un limon vaseux. La galerie du troisième filtre, dont la figure 3495 montre la coupe en travers, est ouverte parallèlement au cours de la rivière à une distance de 30 à 50 mètres de la rive. Elle a 250 mètres de longueur, son fond est à 1 m,14 au-dessous des basses eaux de la rivière. Sur ce fond on a établi une petite galerie qui est formée de deux murs en briques simplement superposées et recouvertes de dalles de pierre. Cette galerie a 0m,60 de largeur et 1m,50 de hauteur. L'espace compris entre la galerie et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés; au-dessus, on a répandu une couche de gravier de 0m,66 d'épaisseur, puis on a comblé avec de la terre sablonneuse extraite de la fouille et on a semé du gazon à la surface. Ce filtre fournit 2,800 mètres cubes par jour, soit environ 20 mètres cubes par mètre carré de sa surface totale. La température de l'eau qu'il fournit est très-peu variable et sa limpidité est parfaite. Il fonctionne maintenant depuis une vingtaine d'années sans aucune réparation; c'est une véritable fontaine artificielle, la plus économique que l'on puisse obtenir.

La compagnie des eaux de Lyon a fait établir un filtre analogue à celui de Toulouse (fig. 3496).

La galerie est en béton de ciment de Pouilly; son radier *d* est en gravier et sable naturel; il est établi à 3 mètres au-dessous de l'étiage du Rhône. La largeur de la galerie dans œuvre est de 5 mètres; sa longueur est de 150 mètres. Elle a coûté 1,200 fr. le mètre courant. La ligne *a* indique le niveau du Rhône lors de l'exécution; la ligne *b*, celui de l'étiage; la ligne *c* enfin, la dénivellation possible entre le niveau de l'eau dans le filtre et dans le fleuve.

Au moment de son achèvement, ce filtre a donné par mètre carré jusqu'à 300 mètres cubes en vingt-quatre heures avec une dénivellation *c* de 0m,50. Ce débit énorme ne s'est pas soutenu, mais le régime paraît maintenant régulier, et la température de l'eau est maintenue constante, comme celle d'une source, entre 12 et 13 degrés.

Des filtres analogues existent à Tours (Indre-et-Loire), à Nottingham (Angleterre), à Perth (Écosse), etc. Ils donnent des résultats parfaitement satisfaisants.

M. Dupuit a parfaitement expliqué, par les vitesses relatives des molécules d'eau dans l'intérieur et à la surface de la masse poreuse, comment les filtres natu-

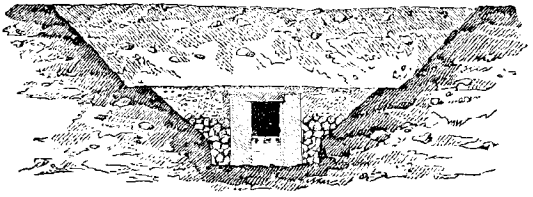


Fig. 3495. — Coupe en travers de la galerie du 3e filtre de Toulouse. (Échelle de 0,0066 pour un mètre.)

rels dont on vient de parler fonctionnent régulièrement sans se recouvrir ou s'engorger de limon. La condition

EFERUS - Recherche & Classification numérique

indispensable au succès est une vitesse suffisante de la rivière à la surface de son lit de sable ou de gravier. Aussi, a-t-on complétement échoué dans la construction de filtres naturels sur les bords de la Clyde, où la marée rend les eaux stagnantes pendant plusieurs heures de la journée.

Les filtres *artificiels* ont été disposés de bien des manières. Le plus habituellement ils se composent de grands bassins imperméables au fond desquels on dispose des tuyaux de drainage ou de petites galeries en pierres sèches. Une couche de gravier recouvre ces ouvrages et supporte une couche de sable fin. L'eau arrive sur cette masse filtrante, dépose son limon à la surface et dans les premières couches de sable, et arrive limpide dans les tuyaux collecteurs placés au fond du bassin. On enlève de temps en temps la couche supérieure du filtre et on la remplace par du sable neuf. On comprend qu'il faut presque toujours réunir deux bassins filtrants de cette espèce pour que le service ne soit pas interrompu pendant les nettoyages.

Les filtres que nous venons de décrire sont très-employés en Angleterre; voici, comme exemples, la composition de la couche filtrante dans quelques-uns de ces appareils :

Filtre de Chelsea.

Sable fin de mer sur une épaisseur de.	0m,60
Sable gravier, id.	0 ,30
Coquilles de mer, id.	0 ,15
Gros gravier dans lequel sont engagés les collecteurs, sur une épaisseur de.	1 ,00
	2 ,05

Filtre de Southwark.

Sable fin de mer, sur	0m,60
Sable et gravier.	0 ,30
Gravier fin	0 ,22
Gravier gros.	0 ,22
Cailloux.	0 ,30
	1 ,64

Chacun des deux filtres de la compagnie de Chelsea a 75 mètres de longueur sur 55 de largeur. L'un des filtres de la compagnie de Southwark a 2,900 mètres carrés, et l'autre 7,840 mètres carrés. La quantité d'eau filtrée, sous une charge de 1m,20 à 1m,30, est de 4 mètres cubes environ par mètre carré de filtre.

L'établissement de Thames Ditton a quatre filtres, composés d'une masse filtrante analogue aux précédentes et reposant sur de fortes ardoises placées de champ au-dessus de petits murs parallèles formant canaux collecteurs. Sous une charge d'eau de 2m,5, on obtient de 7 à 8 mètres cubes d'eau par 24 heures et par mètre carré de filtre.

La ville de Hull, dont la population est de 100,000 âmes, est approvisionnée d'eau filtrée de cette manière, à raison de 172 litres par tête et par vingt-quatre heures. La superficie des filtres est de 1h,47 environ.

Les filtres de Marseille sont couverts. Ils donnent 13 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures et par mètre carré de filtre. Leur épaisseur, de 0m,80, se compose de :

Sable très-fin de Montredon	0m,30
Sable moyen de Goudes	0 ,08
Gros sable de Riom	0 ,18
Petit gravier du Prado.	0 ,12
Pierres concassées passant par un anneau de 0m,06	0 ,12
	0 ,80

Ces filtres se nettoient par le passage d'un courant d'eau de bas en haut. On doit reconnaître que leur fonctionnement n'est pas irréprochable.

Les filtres artificiels sont généralement précédés de bassins de repos où l'eau laisse déposer, surtout en temps de crues, la partie la plus grossière du trouble qu'elle renferme. L'eau arrive aux filtres déjà un peu éclaircie et seulement louche. Elle salit beaucoup moins l'appareil et rend les nettoyages moins fréquents.

Le temps nécessaire pour éclaircir l'eau par le repos est très-variable d'une rivière à l'autre, mais toujours assez long. On peut hâter de diverses manières la précipitation des matières contenues dans l'eau, notamment par l'addition d'un peu d'alun au liquide. Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ces procédés chimiques de clarification doivent être proscrits absolument des distributions importantes. Ils modifient toujours les propriétés de l'eau et une erreur de dosage peut entraîner des dangers sérieux.

§ IV. CONDUITE ET ÉLÉVATION DES EAUX.

Quand on a fait choix des eaux qui doivent être distribuées dans une ville, il faut, suivant le cas, les élever, à l'aide de machines, dans des réservoirs d'un niveau supérieur à celui de tous les points qu'elles doivent atteindre, ou bien les amener dans ces réservoirs à l'aide de conduites ou d'aqueducs convenables, si le niveau naturel de ces eaux est assez élevé.

Occupons-nous d'abord de ce dernier genre de construction.

Aqueducs. — Les travaux qui servent à amener les eaux de la source qui les produit, ou du point de dérivation, sont extrêmement variés et souvent fort importants.

S'il s'agit d'un volume d'eau considérable et que le terrain s'y prête, on se sert de canaux ouverts à la surface du sol. C'est ainsi que le canal de l'Ourcq sert à la fois à la navigation et à la conduite des eaux de distribution.

Pour les volumes d'eau moins considérables, qui se perdraient par les fuites, l'évaporation, etc., on a recours à des rigoles en maçonnerie qui constituent les aqueducs proprement dits. Ces rigoles sont quelquefois exécutées à ciel ouvert. Mais il vaut mieux les couvrir et les placer à une petite profondeur au-dessous du sol, pour mettre l'eau à l'abri de l'évaporation et la conserver fraîche et pure pendant tout son parcours.

La section des aqueducs varie nécessairement avec leur importance et avec les sujétions que s'impose l'ingénieur. On donnait assez souvent autrefois aux aqueducs des dimensions beaucoup plus considérables que celles qui sont généralement adoptées aujourd'hui. On réservait à côté de la cunette, qui renfermait l'eau, une banquette pour le passage des ouvriers, et on ménageait au-dessus une voûte d'une hauteur suffisante pour une circulation facile. L'aqueduc d'Arcueil (fig. 3497) offre un exemple de ces dispositions; de pareils travaux exigent des dépenses considérables, qui ne sont nullement compensées par les avantages qui peuvent résulter de cet emploi inutile de matériaux.

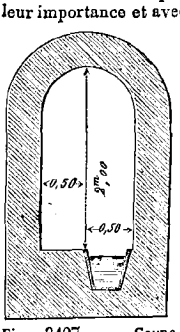


Fig. 3497. — Coupe de l'aqueduc d'Arcueil. (Échelle de 0,013 pour un mètre.)

La section adoptée par M. Darcy pour l'aqueduc de Dijon (fig. 3498) est beaucoup plus rationnelle et peut être présentée comme un excellent type pour les aqueducs de portée moyenne, surtout quand le débit est un peu variable. La cunette a 0m,60 de largeur, la hauteur sans clef est de 0m,90. Ces dimensions permettent à un homme de parcourir l'aque-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

duc sans trop de fatigue. L'épaisseur du radier est de 0m,30 et celle de la clef est de 0m,25. Les pieds droits ont 0m,62 de hauteur et 0m,40 d'épaisseur. L'enduit de la cuvette a 0m,03 d'épaisseur, ce qui réduit à 0m,54 la largeur laissée à l'eau.

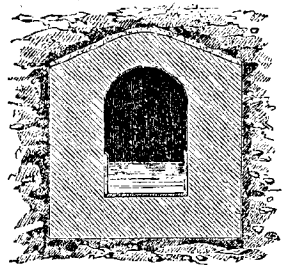


Fig. 3498. — Coupe de l'aqueduc de Dijon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le prix de revient de cet aqueduc exécuté dans l'été de 1839 se décompose de la manière suivante par mètre courant :

Terrassements.	3, 80
Maçonneries.	13, 19
Chape.	1, 15
Enduit.	1, 57
Béton	0, 24
Regards	0, 15
Bornes.	0, 08
Cintrements	0, 24
Ouvrages accessoires.	0, 45
	20, 87

Les regards établis de distance en distance pour pénétrer dans les aqueducs analogues aux précédents, n'ont rien de particulier. Ce sont des cheminées en maçonnerie, s'élevant jusqu'au sol et fermées par une trappe.

Pour les débits moins considérables, quand il faut nécessairement réduire la dépense autant que possible, et que d'ailleurs la conduite peut être placée à une assez faible profondeur au-dessous du sol, on ne saurait mieux faire que d'employer de petits aqueducs en maçonnerie de ciment. L'un des premiers et des plus remarquables exemples d'aqueduc de cette espèce est celui qui a été exécuté par M. Belgrand pour amener les eaux à Avallon. Cette conduite, entièrement construite en béton de ciment de Vassy (fig. 3499), se compose d'une cunette de 0m,30 de largeur et de 0m,15 de hauteur, et d'une petite voûte en anse de panier de 0m,30 de largeur et de 0m,11 de flèche. L'épaisseur de la maçonnerie est de 0m,10. La surface du débouché est de 0m,7148. La pente est de 1/3 de millimètre par mètre.

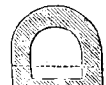


Fig. 3499. Coupe de la conduite d'Avallon. (Échelle de 0m,020 pour 1 mètre.)

Le débit par 24 heures est de 193 mètres cubes pour une hauteur d'eau de 0m,05 dans la cunette, de 510 mètres cubes pour une hauteur de 0m,10 et de 880 mètres cubes pour une hauteur de 0m,15. Enfin étant probablement à peu près pleine, cette conduite a débité jusqu'à 1858 mètres cubes en 24 heures.

La conduite est à peu près à 1m,50 au-dessous du sol, et à 5 mètres dans deux points particuliers. La dépense de sa construction se décompose ainsi :

Terrassements.	6,419,96
Maçonnerie au ciment de Vassy.	25,316,70
21 regards à 70 fr. 83.	1,487,30
Total, pour 3,630 mètres. .	33,223,96
ou par mètre	9 fr. 15 c.

Les ciments hydrauliques dont l'emploi se répand tous les jours et dont les prix descendent rapidement, permettent d'exécuter sur place ou par moulage d'excellents conduits très-économiques pour les petites distributions. Ainsi, par exemple, l'usine de Boulogne livre les tuyaux en ciment aux prix suivants :

Diamètre	0m,10	à 1 fr.	le mètre courant.
—	0m,20	— 2	—
—	0m,30	— 3	—
—	0m,50	— 8	—

A ces prix il faut ajouter le transport, la fouille et la pose. En exécutant sur place au fond de la tranchée, on peut arriver à des prix encore plus réduits. J'ai fait exécuter une conduite de 0m,16 de diamètre et de 800 mètres de longueur en béton aggloméré de M. Cogniet, pour un peu moins de 1 fr. le mètre.

Un petit aqueduc en béton, moulé au fond d'une tranchée et recouvert de pierres plates à joints maçonnés, peut aussi donner des résultats très-économiques.

Les tuyaux en poteries à emboîtement si employés par les anciens peuvent encore rendre des services pour les très-petites conduites à pression presque nulle. Mais, en général, il y aurait avantage aujourd'hui à employer des tuyaux de drainage sans emboîtements, garnis de colliers jointoyés et enveloppés de ciment hydraulique.

On détermine la section et la pente, en chaque point des aqueducs, de manière à assurer l'écoulement du volume d'eau nécessaire. Les vitesses doivent être comprises entre 0m,15 et 1 mètre par seconde. Les formules employées à cette détermination sont données à l'article HYDRAULIQUE et au mot AGRICULTURE, à propos des canaux de desséchement.

Depuis quelques années, les tuyaux de fonte disposés sous le sol, comme ceux employés dans la distribution à l'intérieur des villes, dont on parlera plus bas avec détail, ont été assez souvent employés comme conduite générale, ou plutôt comme siphons renversés pour traverser les vallées profondes. Cependant, en général, les aqueducs en maçonnerie sont plus économiques, et on les emploie encore dans le plus grand nombre des cas.

Il convient, autant que possible, de déterminer le tracé d'un aqueduc de manière qu'il soit constamment à une faible profondeur au-dessous du niveau du sol, comprise entre 1 mètre et 2m,5. Cette condition, du reste, suivie rigoureusement, conduirait souvent à des allongements inutiles du parcours, et même à des impossibilités absolues. On est donc forcé tantôt d'entrer en souterrain pour passer au-dessous des collines ou des montagnes, et, dans d'autres circonstances, de franchir les cours d'eau naturels à l'aide de ponts, ou les vallées à l'aide d'aqueducs monumentaux, d'une plus ou moins grande importance. Les Romains nous ont laissé à cet égard des modèles nombreux, admirables par leur grandeur et surtout par leurs belles proportions. L'aqueduc du Gard est connu de tout le monde ; mais l'Algérie, aux environs de Cherchell, offre des monuments de cette espèce plus remarquables encore.

La France, du reste, n'a plus rien à envier aux plus grands et aux plus beaux ouvrages de cette espèce, depuis la construction de l'aqueduc monumental de Roquefavour (fig. 3500), sur lequel les eaux de la Durance franchissent la vallée de la rivière d'Arcq avant d'arriver à Marseille. Les immenses proportions de ce monument ne peuvent être comparées qu'aux plus grands de nos édifices. Pour les faire bien comprendre, il suffira de dire que le sommet du Panthéon, à Paris, est de deux mètres moins élevé que cet aqueduc dans son point le plus haut, et que les tours de Notre-Dame de Paris, qui ont 15 mètres de moins, atteindraient à peine le sommet de la seconde rangée de voûtes.

Les anciens, qui ne possédaient pas de tuyaux de fonte et qui n'avaient même que de détestable tuyaux de plomb d'un prix énorme, n'avaient aucun autre moyen de faire passer les eaux d'un aqueduc d'un côté

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à l'autre d'une vallée, que l'emploi de ces édifices que nous admirons et que nous imitons encore quelquefois.

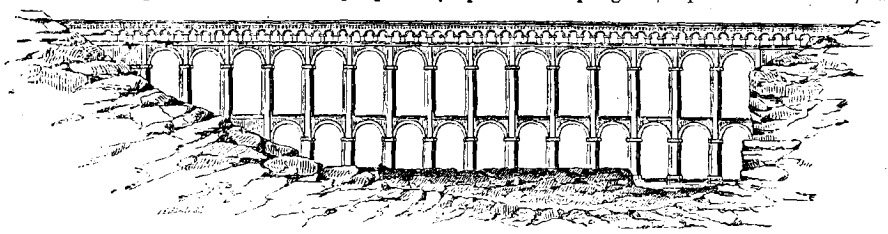


Fig. 3500. — Aqueduc de Roquefavour, près de Marseille de 81 mètres d'élévation. (Échelle de 0m,0003 pour 1 mètre.)

Mais les progrès de l'art des constructions, l'emploi de la fonte devenu si facile et si peu coûteux relativement, permettent de conduire les eaux d'un côté à l'autre d'une vallée d'une manière beaucoup plus économique en général qu'on ne pourrait le faire en construisant des aqueducs monumentaux. On emploie maintenant presque toujours, pour franchir les vallées, des siphons renversés, formés de tuyaux de fonte. Ces siphons fonctionnent parfaitement, mais ils nécessitent ordinairement une perte de charge assez considérable. Les tuyaux suivent sans difficulté la forme du terrain; un pont étroit et léger suffit pour les soutenir au-dessus des cours d'eau à franchir; en un mot, ils se prêtent avec une admirable facilité à résoudre les difficultés les plus sérieuses, et à franchir des obstacles infranchissables par les anciens procédés. Les assemblages des tuyaux en fonte des siphons et les calculs de leur résistance sont les mêmes que pour les tuyaux employés dans les villes à la distribution proprement dite. Nous n'avons pas à en parler pour le moment.

Machines élévatoires. On a supposé dans tout ce qui précède que la source ou la dérivation de l'eau employée était assez élevée pour que le liquide puisse arriver, par l'action seule de la pesanteur, aux réservoirs de distribution placés sur des points culminants de la ville à desservir. Les anciens n'avaient point d'autre système de distribution; aussi trouve-t-on les restes de leurs grands aqueducs auprès de toutes les villes qu'ils ont habitées. Mais on aurait tort de supposer que leur préférence pour les eaux de sources motivait seule ces immenses travaux. Ils ne possédaient pas la machine à vapeur, les moteurs hydrauliques leur étaient à peine connus, et les conduites forcées elles-mêmes, élément essentiel de nos travaux modernes, leur faisaient défaut d'une manière absolue. Il fallait bien, avec cette pénurie de moyens, recourir aux dérivations à grande distance, aux aqueducs et aux bassins de distribution, d'où l'eau se répandait dans la ville par de petits aqueducs à chute ou des tuyaux de poteries à très-faible charge. Si les Romains avaient eu la machine à vapeur, ils auraient plus souvent emprunté l'eau aux fleuves de leurs cités et nous ne verrions pas autant de ces aqueducs magnifiques qui témoignent, il est vrai, de la grandeur romaine, mais aussi de l'impuissance des moyens mécaniques à cette époque. Si les ingénieurs d'alors revenaient au milieu de nous, ils s'étonneraient sans doute de nous voir renoncer aux moyens si puissants et si économiques de la science moderne pour imiter leurs coûteux aqueducs en maçonnerie.

L'art de la conduite des eaux, qui se réduisait autrefois au tracé et à l'exécution des aqueducs, s'est donc singulièrement agrandi par l'emploi des moyens mécaniques d'élévation des eaux, dont on va maintenant dire quelques mots.

Les machines élévatoires employées pour les distributions d'eau de quelque importance sont des pompes à pistons ou à plongeurs, aspirantes et foulantes, ou simplement foulantes quand la disposition des lieux le permet.

Ces pompes sont mises en mouvement par des machines à vapeur ou par des roues hydrauliques, les moulins à vent et les manéges n'étant employés que très-exceptionnellement et pour des appareils sans importance.

Les soupapes des pompes de distribution sont les organes les plus importants de ces appareils. On adopte presque toujours aujourd'hui les soupapes dites de Cornouailles, plus ou moins perfectionnées, ou bien des soupapes à clapets d'une bonne exécution. La condition essentielle à remplir est de donner aux ouvertures des soupapes et aux chapelles qui les renferment une section suffisante pour que l'eau n'y soit animée que d'une assez faible vitesse, 0m,40 à 0m,8 au plus par seconde. Quand ces organes sont bien construits, ils fonctionnent sans dérangement pendant extrêmement longtemps. On a calculé que les clapets des pompes de Toulouse se sont ouverts et fermés soixante-trois millions de fois sans nécessiter aucune réparation.

Dans les anciennes machines hydrauliques, quel que fût leur moteur, l'eau était élevée dans une tour voisine et reçue dans une cuvette de distribution, d'où partaient les tuyaux de conduites dans lesquels l'eau s'écoulait par l'action seule de la pesanteur. Les pompes actuelles sont mises directement en rapport avec les tuyaux, quelle que soit leur longueur. Des réservoirs d'air comprimé amortissent les chocs de la colonne liquide en mouvement, et détruisent les inconvénients que présentait, pour le mouvement régulier des pistons, l'inertie de l'énorme masse d'eau contenue dans une forte conduite d'une certaine longueur. Les châteaux d'eau remédiaient à cet inconvénient en substituant une colone assez courte et seulement égale à la hauteur verticale d'élévation de l'eau, à une colonne comprenant la distribution tout entière. Mais ils avaient l'inconvénient d'augmenter le travail du moteur en l'obligeant à élever tout le volume d'eau à la hauteur maximum, sans jamais profiter des économies résultant de prises faites sur la longueur de la conduite.

Quand on dispose d'une chute d'eau, l'emploi d'un moteur hydraulique convient parfaitement pour la mise en jeu des appareils élévatoires. L'économie considérable que présentent les moteurs hydrauliques leur assure la préférence toutes les fois que les localités se prêtent à leur installation. Il n'y a plus de discussion possible à cet égard, et nous voyons remplacer aujourd'hui par des roues hydrauliques la machine à vapeur qu'un enthousiasme irréfléchi avait fait substituer il y a vingt-cinq ans à l'ancienne machine de Marly. Selon la hauteur de chute et le volume d'eau disponible, on emploie les roues à la Poncelet, les roues de côte, les roues à auget en dessus, ou enfin les turbines. La description et la théorie de ces divers appa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reils et des pompes se trouvent dans le *Dictionnaire*, et il serait inutile d'y revenir ici. On se bornera à indiquer (fig. 3501) l'une des dispositions les plus simples pour la mise en mouvement des pompes élévatoires. Les tuyaux de refoulement des deux pompes se réunissent dans un vaste réservoir d'air, placé en avant du plan de la coupe et que la figure ne représente pas, et sur lequel se branche la conduite d'ascension. L'emploi d'un balancier pour les machines un peu puissantes remplace avantageusement les arbres coudés si sujets à se briser, et surtout les systèmes d'engrenages plus ou moins compliqués que l'on employait souvent autrefois. Si la vitesse de la roue hydraulique ne pouvait pas être réglée convenablement pour le jeu des pompes, on prendrait le mouvement de la bielle sur un second arbre conduit par un engrenage de dimension appropriée à la vitesse à obtenir. Dans ce cas, on monte ordinairement deux boutons de manivelle à angle droit aux deux extrémités de cet arbre auxiliaire et on lui fait commander deux balanciers et quatre pompes pour obtenir une plus grande régularité de mouvement. Ces détails d'installation rentrent, du reste, dans des études de machines pures qu'il serait trop long de discuter ici d'une manière complète.

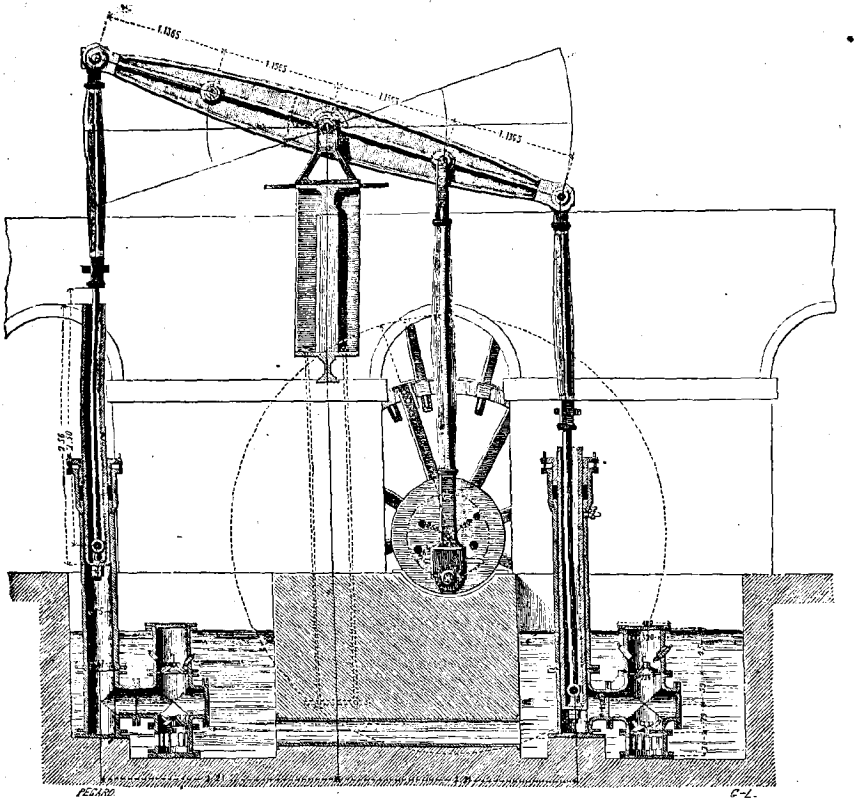


Fig. 3501. — Pompes élévatoires à plongeurs mises en mouvement par une roue hydraulique.

A défaut de moteurs hydrauliques, on emploie des machines à vapeur pour élever l'eau des villes.

Le développement donné à l'article MACHINES A VAPEUR nous dispense d'entrer dans aucun détail sur la construction de ces appareils considérés comme moteurs spéciaux de machines à élever l'eau. Nous dirons seulement que ces machines fonctionnent aujourd'hui avec une grande régularité, une grande économie de combustible, et que dans beaucoup de cas, malgré les frais annuels de leur entretien, elles fournissent l'eau à un prix beaucoup moins élevé que les aqueducs, quand on tient compte du capital énorme que nécessite leur construction. Quelques chiffres à cet égard ne seront pas sans intérêt.

On emploie pour élever l'eau des villes des machines de Cornouailles à simple effet, réglées par des cataractes, ou bien des machines à double effet et à volant, avec détente et condensation. Le premier système est à peu près exclusivement employé en Angleterre; le second paraît assez généralement préféré en France, par suite de quelques difficultés éprouvées dans la mise en marche des premières machines de Cornouailles montées dans quelques-unes de nos grandes villes. Ces deux classes de machines donnent, du reste, à peu près les mêmes résultats économiques quand elles sont également bien construites et bien conduites.

Les ingénieurs anglais les plus compétents, et notamment M. Hocking, grand entrepreneur de machines du système Cornouailles pour l'approvisionnement des villes, admet comme résultat pratique qu'une machine de 250 chevaux élève à 100 pieds de hauteur 1,600,000 gallons d'eau par tonne de houille de qualité moyenne, valant, à Londres, 12 schellings, brûlée sur la grille de ses chaudières. Cette estimation revient à 1k,21 de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

houille par heure et par force de cheval, mesuré en eau élevée. Cette consommation, d'après le même auteur, s'élèverait à 1k,5 pour une machine de 100 chevaux, et à près de 2 kilog. pour une machine de 25 chevaux.

En France, M. Farcot a construit plusieurs machines qui réalisent et au delà ces conditions. La machine établie aux ponts de Cé, pour l'alimentation de la ville d'Angers, par exemple, est verticale, à rotation, commandant directement par la tige même du piston à vapeur une seule pompe aspirante et foulante placée au-dessous du cylindre. Sa puissance nominale est de 45 chevaux pour une pression de 5 atmosphères dans les chaudières et la vitesse de 16 tours par minute. La consommation de houille *garantie* par le marché était de 2k,2 par heure et par *cheval utile mesuré en eau élevée*. Chaque hectogramme dépensé en moins devant donner lieu à une prime, des expériences prolongées pendant des mois entiers ont démontré que la consommation en houille anglaise ordinaire de Sunderland, telle que le commerce la fournit à Angers, était de 1k,228 à 1k,365, et en moyenne de un peu moins de 1k,3 par heure et par cheval mesuré, on le répète, en eau élevée. L'effet utile de l'appareil élévatoire dans cette machine est évalué de 0,83 à 0,86.

De semblables résultats sont bien dignes d'appeler l'attention et de faire comparer sérieusement les distributions par machines aux distributions par aqueducs de dérivation toutes les fois que les deux systèmes peuvent être mis en présence. Aussi, M. Lechâtelier, habile ingénieur des mines, a-t-il proposé d'alimenter Paris à l'aide de l'eau de Seine puisée au pont d'Ivry, filtrée et rafraîchie dans de vastes réservoirs souterrains, puis élevée à l'aide de 10 machines de 100 chevaux chacune. Il estime que les machines brûleraient par heure et par force de cheval 1k,5 de houille à 28 fr., la tonne. Les chiffres qui précèdent montrent que les données de M. Lechâtelier sont loin d'être exagérées et que l'on peut dès lors admettre avec confiance le chiffre de 1,200,000 fr. auquel il arrive pour la dépense annuelle de ce vaste appareil. La dépense d'installation serait de 8 millions environ.

Ce système éviterait toute incertitude sur la quantité et la qualité des eaux destinées à l'approvisionnement de Paris : il n'exposerait pas la capitale à manquer d'eau par la rupture de l'aqueduc en cas de guerre ; enfin il donnerait l'eau à 5 ou 6 centimes, et à moins encore s'il ne fallait pas la filtrer ; tandis que la dérivation des eaux de la Champagne avec les énormes dépenses que nécessite son établissement ferait revenir le mètre cube d'eau à 9 centimes au moins.

S'il paraît réellement utile d'exclure l'eau de Seine comme boisson des Parisiens, que l'on réduise au moins les travaux de dérivation des sources éloignées aux exigences du service des maisons particulières, ce qui n'entraînerait qu'une dépense relativement modérée. Les machines à vapeur ou les moteurs hydrauliques fourniront l'eau nécessaire à l'ornement et au nettoyage de la ville à un prix moitié moins élevé que ne pourrait le faire un aqueduc de dérivation.

§ V. DISTRIBUTION DANS L'INTÉRIEUR DES VILLES.

Les explications données dans les paragraphes précédents ont montré comment il convient de choisir les eaux destinées aux divers usages de l'économie domestique ou industrielle, d'apprécier le volume nécessaire à une population donnée, d'obtenir ce volume d'eau et enfin comment on peut le conduire par un aqueduc ou l'élever par des machines aux points culminants de la ville. Il reste à indiquer comment on distribue et on conduit les eaux dans l'intérieur de la ville sur tous les points où leur présence est nécessaire.

Un système de distribution d'eau constitue un appareil compliqué dont les principaux éléments et les organes essentiels doivent être indiqués successivement.

Réservoirs. — Les eaux élevées par des machines ou amenées par des aqueducs sont habituellement versées dans des réservoirs situés au point le plus élevé du périmètre à desservir par la distribution, afin que le liquide se rende, par l'action seule de la pesanteur, dans toutes les directions qu'il doit atteindre.

Les réservoirs servent à compenser les irrégularités de l'approvisionnement et de la consommation ; ils accumulent pendant la nuit ou pendant les interruptions du service les eaux amenées par les aqueducs ou élevées par les machines. Ils fournissent au besoin en cas d'incendie un volume d'eau qui peut être supérieur à celui que fournissent régulièrement les machines ou la source de dérivation, etc. Leur capacité doit donc être déterminée dans chaque cas particulier d'après les éventualités auxquelles ils ont à répondre et l'on ne saurait donner de règle fixe à cet égard.

Les réservoirs sont construits en tôle ou en maçonnerie. Les premiers sont habituellement réservés pour les volumes peu considérables, à moins que des difficultés particulières de fondation ne les rendent plus économiques que ceux en maçonnerie qui sont généralement employés dans les travaux un peu importants.

Les réservoirs en tôle sont ordinairement cylindriques. On peut les exécuter en tôle assez mince quand leurs dimensions ne sont pas très-considérables. Un réservoir de 8 ou 10 mètres de circonférence et de 3 ou 4 mètres de hauteur peut se composer, par exemple, de tôle de 2 millimètres dans le premier tiers de sa hauteur, de 2 millimètres et demi au milieu, et de 3 millimètres dans sa partie inférieure. Le fond est ordinairement plat. S'il reposait sur une surface plane et résistante, il pourrait être fort mince comme on le fait quelquefois par économie. Mais il vaut mieux lui donner une certaine épaisseur et le poser sur des poutrelles ou sur des murs de refend présentant un écartement suffisant pour que l'on puisse visiter le dessous du réservoir, vérifier et réparer les fuites, s'il s'en produit, et entretenir la peinture pour empêcher la rouille d'attaquer le métal. Si le réservoir n'est pas placé dans une construction en maçonnerie, il faut le recouvrir d'un toit et l'entourer d'une enveloppe en matières peu conductrices, afin de conserver à l'eau une température plus uniforme.

Les grands réservoirs sont ordinairement construits en maçonnerie comme on l'a déjà dit. Il convient de les recouvrir d'une voûte ou au moins d'une toiture. Les réservoirs établis à ciel ouvert gèlent en hiver, reçoivent les poussières et les impuretés que le vent entraîne toujours, et se remplissent en été de plantes et d'animaux aquatiques qui altèrent la qualité de l'eau. La forme des réservoirs dépend essentiellement de l'emplacement dont on dispose, mais les parties essentielles de leur construction sont toujours à peu près les mêmes. Les figures 3502, 3503 et 3504 indiquent la disposition du réservoir d'Amiens, construit d'après les projets de M. Mary. Le fond et les parois des réservoirs sont ordinairement en béton, recouvert d'un enduit de ciment hydraulique. Le fond a 0m,30 à 0m,70, selon la résistance du sol et la hauteur de l'eau qui varie habituellement de 2 à 5 mètres. L'épaisseur des murs d'enceinte se calcule suivant les règles habituelles de l'art de bâtir ; elle est à peu près égale en moyenne aux 2/3 de la hauteur d'eau à supporter, si les murs sont isolés et d'une certaine longueur. Quant au mode de recouvrement, le meilleur est assurément l'emploi de petites voûtes cylindriques légères, supportées par des rangées d'arcades reposant elles-mêmes sur de petits piliers isolés comme l'indiquent les fig. 3503 et 3504.

L'un des réservoirs les plus remarquables que l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

palais dont est celui qui vient d'être construit sur les hauteurs de Passy. Il occupe 6,000 mètres environ de

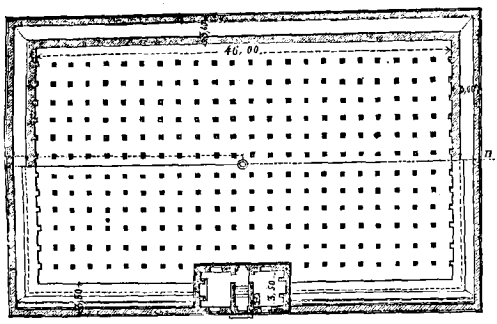


Fig. 3502. — Plan du réservoir de distribution d'Amiens. (Échelle de 0m,0013 pour 1 mètre.)

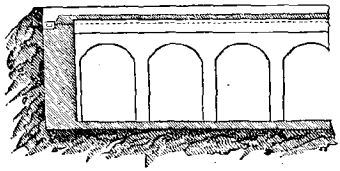


Fig. 3503. — Coupe en long, suivant B O du plan fig. 2502, d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de 0m,005 pour 1 mètre.)

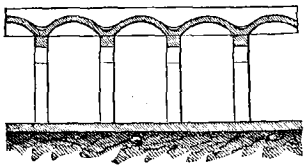


Fig. 3504. — Coupe en travers d'une partie du réservoir d'Amiens. (Échelle de 0m,005 pour 1 mètre.)

superficie partagée en trois bassins contenant ensemble 25,200 mètres cubes d'eau, savoir :

Bassin de Réserve n° 5.	3,900mc
Bassin de Villejust inférieur n° 3.	10,000
Bassin du Bel-Air, id. n° 1. . .	11,300
	25,200

Des piliers élevés sur le radier des deux compartiments principaux, n° 1 et n° 3, portent, au moyen d'arcs de 3m,20 d'ouverture, une voûte en meulière et ciment de 0m,33 d'épaisseur qui forme le fond d'un second étage de bassins cubant 11,900 mètres cubes, savoir ;

Bassin du Bel-Air, supérieur n° 2.	5,700mc
Bassin de Villejust, id. n° 4. . . .	6,200
	11,900

La capacité totale du Réservoir est de 37,100 mètres cubes, le plan d'eau des bassins inférieurs est à la cote 72 mètres au-dessus du niveau de la mer, et celui des bassins supérieurs à 75m,33.

Les tuyaux de conduites débouchent ordinairement au fond des réservoirs, ainsi que les tuyaux de vidanges. S'il s'agit de petits tuyaux, de simples robinets placés à l'extérieur suffisent à toutes les manœuvres. Mais aussitôt que les conduites ont un diamètre un peu considérable, ce mode de fermeture ne serait plus admissible. L'ouverture évasée de chaque tuyau est alors garnie d'une soupape de fond (fig. 3505) que l'on manœuvre de la surface supérieure du réservoir à l'aide d'une tige verticale en fer fixée sur la tête de la vis qui soulève le clapet dont la figure montre nettement la coupe. La tige cylindrique que l'on voit au-dessous de ce clapet lui sert de guide et l'oblige à se poser exactement sur son siége quand on fait redescendre la vis par un mouvement de rotation convenable.

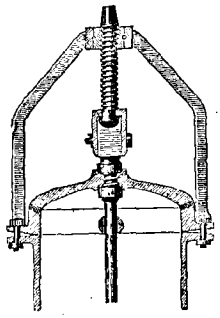


Fig. 3505. — Soupape de fond.

Tracé et diamètres des conduites. — L'eau amenée aux réservoirs, il ne reste plus qu'à la distribuer dans la ville, à l'aide des moyens et appareils que l'on va faire connaître.

La première question à résoudre est de déterminer la direction des tuyaux à poser dans la ville et le volume d'eau que doit porter chacun d'eux.

La direction des tuyaux est commandée par les circonstances locales. On s'arrange seulement autant que possible de manière à faire passer les conduites maîtresses près des points culminants et près des bornes-fontaines. On doit d'ailleurs faire communiquer entre elles les conduites les plus importantes par des conduites secondaires, afin qu'un accident survenu à une de ces artères principales ne compromette pas le service sur toute sa longueur.

En se reportant à ce qui a été dit paragraphe 2, on déterminera facilement le volume d'eau que doit porter dans ses différents points la conduite que l'on considère. On connaît d'ailleurs le nivellement complet de la conduite et la hauteur du réservoir ou du bassin de distribution qui l'alimente. On a donc tous les éléments nécessaires pour déterminer le diamètre à donner aux différentes parties de cette conduite.

On sait en effet qu'en désignant par I la pente par mètre d'une conduite, par D son diamètre intérieur, par v la vitesse de l'eau qui la traverse, on a, d'après M. de Prony, entre ces diverses quantités, la relation :

$$\frac{1}{4}\,DI = 0{,}0000173\,v + 0{,}000348\,v^2;$$

$$\text{d'où } v = \sqrt{0{,}0062 + 2871{,}44\,\frac{D}{4}I} - 0{,}025.$$

D'ailleurs le débit $Q = \frac{\pi D^2}{4} V$.

On a donc deux équations entre le débit, le diamètre, la pente par mètre et la vitesse, et par conséquent, toutes les fois que l'on se donnera deux de ces quantités, on pourra calculer les deux autres.

Les ingénieurs avaient reconnu depuis longtemps que ces formules ne représentaient pas exactement les faits. M. Darcy a démontré en effet que les deux coefficients numériques qui précèdent ne sont pas constants, comme on le croyait. Ils varient avec l'état de la surface interne du tuyau et avec son diamètre. Pour un même état de la surface, le coefficient a de v dans l'expression ci-dessus varie avec le diamètre, de telle sorte que l'on dit $a = \alpha + \frac{\beta}{D}$. Soit que l'on adopte du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reste, les anciens coefficients de Prony ou les coefficients variables de M. Darcy, les tâtonnements que nécessite l'application des formules précédentes seraient toujours extrêmement longs. Pour les abréger, M. de Prony a dressé des tables de la valeur de $\frac{4}{4}$ D I pour les différentes valeurs de v. Ces tables, déjà fort utiles, sont cependant encore d'un usage assez pénible. Pour abréger davantage les calculs, plusieurs ingénieurs, et entre autres MM. Mary, Darcy, etc., ont remarqué qu'en pratique, dans une même ville, on n'employait qu'un nombre assez restreint de tuyaux, de sorte que D n'avait qu'un nombre déterminé de valeurs, et alors ils ont pu dresser des tables donnant pour chaque diamètre de tuyaux la vitesse par seconde et le volume débité correspondant à une perte de charge déterminée. Ces tables, qui n'occuperaient pas moins d'une vingtaine de pages, sont impossibles à reproduire ici; mais il était nécessaire de signaler leur existence aux personnes qui pourraient avoir à se servir des formules qui précèdent.

Ces indications générales sur la détermination du tracé et du diamètre des conduites suffisent pour indiquer la marche à suivre dans cette partie du travail de distribution, et nous pouvons passer à la description de ces ouvrages.

Nature des tuyaux. — Les tuyaux employés pour les distributions d'eau sont de diverses espèces, que l'on va énumérer rapidement.

Les tuyaux en fonte sont les plus employés dans les villes pour les conduites et branchements principaux. Les figures 3506 et 3507 donnent les proportions des tuyaux en fonte de 81 millimètres de diamètre adoptés par le service municipal de Paris, et, à son exemple, par presque toutes les villes de France. La longueur de ces tuyaux varie de 2 mètres à 2 mètres 50. La pose des tuyaux à cordon et emboîtement est extrêmement simple et donne aux joints une étanchéité parfaite. Les tranchées qui doivent recevoir les tuyaux ont ordinairement 1 mètre 40 de profondeur. On les fait assez larges pour que les ouvriers puissent y descendre. La petite extrémité de chaque tuyau est introduite dans l'emboîtement du tuyau précédent. On introduit alors de force, avec un ciseau à matter, de la corde goudronnée dans l'espace annulaire qui existe entre les deux tuyaux jusqu'à 4 ou 5 centimètres de l'extrémité. On pose alors un boudin d'argile sur l'ouverture de cet espace annulaire, et on y coule du plomb fondu bien chaud. Lorsque le plomb est figé, on le matte fortement pour compléter l'opération. La petite gorge que l'on voit sur la figure à l'intérieur de l'emboîtement empêche cette bague de plomb de céder à la pression de l'eau qui tendrait à la faire sortir.

On a figuré sur le tuyau, figures 3506 et 3507, un taraudage et un bouchon à vis en métal fusible, destiné à s'enlever facilement au moment où l'on veut faire une prise sur la conduite. Cette précaution évite de percer le tuyau en place, opération toujours un peu difficile, de faire un joint avec collier brisé, etc. Cependant, beaucoup de tuyaux n'offrent pas cette disposition particulière.

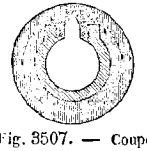


Fig. 3507. — Coupe en travers et vue du bouchon d'attente du tuyau fig. 2006.

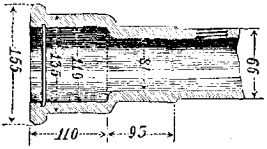
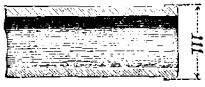


Fig. 3506. — Coupe d'un tuyau en fonte de 0m,081 de diamètre intérieur à cordon et emboîtement. (Échelle de 0m,010 pour 1 mètre.)



Les tuyaux ainsi disposés sont parfaitement résistants et peuvent éprouver sans altération les petits mouvements d'allongement ou de raccourcissement que les variations de température tendent à leur faire éprouver. Mais le démontage d'une pareille conduite est à peu près impossible. En chauffant le tuyau pour fondre le plomb, on le fait souvent éclater, et le plus simple est presque toujours de couper au burin et de briser le tuyau que l'on veut enlever pour introduire dans la conduite un branchement à tubulure, un robinet ou toute autre partie nouvelle. Pour éviter ces difficultés, il convient de mettre de place en place dans la conduite un tuyau à bride (fig. 3508) entre un tuyau à bride et

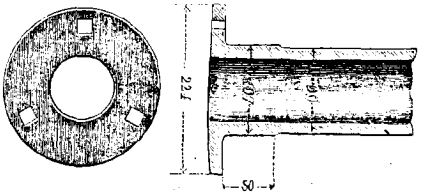


Fig. 3508. — Tête de tuyau à bride en fonte.

cordon et un autre tuyau à bride et emboîtement. Le tuyau à deux brides est réuni aux tuyaux précédents par des boulons, qu'il suffit de dévisser ou de couper quand on veut enlever cette partie de la conduite. Il est prudent de placer de pareils tuyaux à la traversée des rues et dans tous les points où l'on peut supposer qu'il sera nécessaire de mettre plus tard de nouvelles pièces de fontainerie. Ainsi que l'indique la figure, les brides présentent une surface un peu conique; on interpose une rondelle de plomb entre les deux bouts du tuyau, et on la matte fortement lorsque les boulons sont serrés. Sans la forme donnée aux brides, le mattage du plomb n'aurait d'autre effet que de le faire pénétrer dans l'intérieur du tuyau. Les anciennes conduites en fonte étaient entièrement formées de tuyaux à brides. Ces lignes rigides ne pouvaient céder qu'en se disloquant aux efforts de dilatation et de contraction; aussi les fuites se produisaient-elles fréquemment. On n'emploie plus les tuyaux à brides que dans les cas exceptionnels dont nous parlons, où ils sont sans aucun inconvénient.

Pour raccorder deux parties de tuyau qui ont été coupées, ou deux bouts de tuyaux de diamètres différents, on se sert de manchons. Ce sont de petits tuyaux présentant la même disposition à leurs deux extrémités que l'emboîtement des tuyaux ordinaires. Quelquefois les manchons sont composés de deux parties, ou coquilles, qui se placent l'une au-dessus et l'autre au-dessous du tuyau à raccorder. On réunit les deux parties du manchon par des boulons, et on fait le joint comme de coutume. Le raccordement de deux conduites importantes se fait avec un tuyau garni d'une tubulure latérale, ou bien avec des tuyaux bifurqués dits *à culotte*.

Les courbes de grand rayon des conduites peuvent se faire avec des tuyaux droits que l'on incline légèrement les uns par rapport aux autres. Pour les courbes de petit rayon, on a des tuyaux courbes comprenant l'angle que l'on veut obtenir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le tableau suivant indique les dimensions et les poids des divers tuyaux de fonte employés à Paris. Ces proportions consacrées par une longue expérience sont utiles à faire connaître (Voy. la fig. 3506).

DIAMÈTRE DES TUYAUX		ÉPAISSEUR	LONGUEUR DES TUYAUX A		EMBOITEMENT			FILET		CORDON au petit bout.		BRIDE				POIDS	
Intérieur.	Extérieur.	des tuyaux.	emboîtement et cordon emboîtement et bride.	à bride et cordon.	Longueur.	Épaisseur.	Diamètre du cordon.	Longueur	Saillie sur le tuyau.	Longueur.	Saillie sur le tuyau.	DIAMÈTRE passant par le centre des trous.		Nombre de trous.	Épaisseur à la jonction du tuyau.	Frait.	d'un tuyau à emboîtement et cordon.	d'un mètre de conduite.
												Intérieur.	Extérieur.					
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m		m	m	k.	k.
0,060	0,078	0,009	2,10	2,00	0,10	0,012	0,025	0,080	0,003	0,015	0,005	0,186	0,145	3	0,020	0,003	32	16
0,081	0,099	0,009	2,36	2,25	0,11	0,013	0,016	»	0,004	0,016	0,006	0,224	0,179	»	»	0,004	48	21
0,108	0,128	0,010	id.	id.	0,11	0,014	»	»	»	»	»	0,253	0,208	4	»	»	68	30
0,135	0,155	0,010	2,64	2,50	0,14	0,015	0,020	»	0,005	0,020	»	0,286	0,237	5	0,021	0,005	95	38
0,162	0,183	0,010 1/2	»	»	0,14	0,015 1/2	0,024	»	»	0,024	»	0,317	0,266	6	0,022	»	118	47
0,190	0,212	0,011	»	»	»	0,016	0,028	»	»	0,028	»	0,347	0,296	»	0,023	»	144	57
0,216	0,238	0,011 1/2	»	»	»	0,016 1/2	0,032	»	»	0,032	»	0,377	0,324	»	0,024	»	170	68
0,250	0,274	0,012	»	»	»	0,017	»	»	»	»	0,007	0,411	0,358	8	»	»	206	82
0,300	0,326	0,013	»	»	»	0,018	0,034	»	»	0,034	»	0,450	0,397	»	0,024	1/2	264	105
0,325	0,352	0,013 1/2	»	»	»	0,018 1/2	»	»	»	»	»	0,486	0,433	»	»	»	295	118
0,350	0,378	0,014	»	»	»	0,019	0,036	»	»	0,036	»	0,512	0,459	»	0,025	»	329	131
0,400	0,429	0,014 1/2	»	»	»	0,019 1/2	0,038	»	»	»	0,008	0,563	0,510	9	»	»	388	156
0,450	0,480	0,015	»	»	»	0,020	0,040	»	»	»	»	0,614	0,561	10	0,025	1/2	450	180
0,500	0,532	0,016	»	»	»	0,021	»	»	»	»	»	0,666	0,613	12	0,026	»	519	209
0,600	0,636	0,018	»	»	»	0,023	»	»	»	»	»	0,770	0,717	»	»	»	708	283

Les tuyaux en fonte doivent toujours être essayés à la presse hydraulique avant leur emploi. Tous ceux qui se fendent ou présentent des fuites sensibles sont refusés. A Paris, la pression d'épreuve est de 10 atmosphères, soit de trois fois environ la pression que les tuyaux supportent en charge. Il se forme dans certains tuyaux en fonte des tubercules ferrugineux très-durs, dont l'origine n'est pas encore bien connue. On évite cet inconvénient en enduisant à chaud l'intérieur du tuyau d'un mélange d'huile grasse, de cire et de suif. Cette préparation peu coûteuse est toujours fort utile à la bonne conservation des tuyaux.

Les tuyaux en tôle, recouverts intérieurement et extérieurement d'un enduit bitumineux inventés par M. Chameroy, sont fréquemment employés à Paris et dans les principales villes de France. Nous n'avons rien à ajouter aux indications fournies à ce sujet à l'article TUYAU. Le tableau page 200 donne le prix d'un mètre courant de conduite posée en terre à Paris. Ces prix varient nécessairement avec la valeur des matériaux et de la main-d'œuvre; mais ce tableau fournit en peu de lignes beaucoup de renseignements utiles, ce qui nous décide à le reproduire.

Les tuyaux en fonte et en tôle sont les seules matières employées pour les grosses conduites. Mais pour les petits diamètres on emploie des tuyaux de diverses autres matières. Les tuyaux en plomb sont très-fréquemment employés. Les tuyaux en tôle zinguée, ceux en fer étiré commencent à devenir pour les conduites d'eau d'un usage assez général.

Il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit au mot TUYAU sur les différentes matières employées à ce genre de construction; on doit seulement mentionner les tuyaux en papier bitumé que l'on vend à très-bas prix, mais dont une assez longue expérience n'a pas encore fait connaître la valeur.

Robinets. — Un système de distribution comporte un grand nombre de robinets, dont les fonctions sont assez différentes. Les uns servent à isoler une partie de conduite des autres parties, ce sont des robinets d'*arrêt*. On doit en placer à l'origine de tous les branchements secondaires pour que le service de la conduite maîtresse ne soit pas interrompu par les accidents des lignes secondaires. D'autres robinets sont placés aux points les plus bas des conduites pour les vider, ce sont les robinets de vidange. Enfin on place des robinets de service à tous les points où l'eau s'écoule à l'air libre.

La disposition et le volume des robinets dépend de leur destination. Les robinets d'arrêt doivent être de la grosseur de la conduite sur laquelle ils sont montés. Les robinets de service et de vidange sont proportionnés au débit qu'ils doivent fournir.

Pour les petits tuyaux, jusqu'à 0m,06, on peut employer des robinets à boisseau ordinaire que tout le monde connaît. Ces robinets sont placés, dans les travaux de distribution, à l'origine de tous les branchements; on les enveloppe en général de petits murs en briques surmontés d'une cheminée en bois fermée par un tampon de fonte (fig. 3509) qu'on ouvre avec une clef. C'est ce qu'on appelle un robinet sous bouche à clef. On tourne le boisseau avec une tige en fer dont la douille carrée embrasse la tête de ce boisseau.

Ces robinets à boisseau, tels qu'on les construit habituellement, présentent plusieurs inconvénients. Quand ils sont longtemps sans servir, ils deviennent très-durs, et l'on est obligé pour les graisser et les roder de desserrer la clavette placée *au-dessous* du boisseau, ce qui nécessite une fouille de la profondeur de la bouche et assez large pour qu'un homme puisse y aller travailler; d'un autre côté, si le robinet fuit en dessous, on s'en aperçoit difficilement, et l'eau peut s'échapper dans la chambre du robinet, causer des dommages et produire dans tous les cas des pertes inutiles. On emploie en Angleterre des robinets souvent entièrement en fonte (fig. 3510) et dont la disposition me paraît bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Prix d'un mètre linéaire de conduite de fonte posée en terre.

DÉTAIL POUR UN TUYAU.	Prix élémentaires.	DIAMÈTRE DES CONDUITES. 0m,060		0,054		0,108		0,135		0,162		0,190		0,216		0,250		0,300		0,325		0,350		0,400		0,450		0,500		0,600	
		quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.	quantité.	prix.
Déblocage et reblocage du pavé, y compris un pavé neuf par mètre carré. . . .	fr. 0,97	1m,64	fr. 1,59	1,93	fr. 1,87	1,93	fr. 1,87	2,18	fr. 2,18	2,33	fr. 2,26	2,42	fr. 2,35	2,60	fr. 2,52	2,75	fr. 2,67	2,82	fr. 2,73	2,90	fr. 2,82	3,05	fr. 2,96	3,20	fr. 3,10	3,35	fr. 3,24	3,65	fr. 3,54
Déblai de la tranchée. . . .	0,45	0m,82	0,36	0,99	0,45	1,08	0,49	1,00	0,59	1,40	0,63	1,31	0,68	1,62	0,80	2,00	0,90	2,12	0,95	2,23	1,01	2,50	1,12	2,73	1,25	3,06	1,37	3,67	1,65
Dressement du fond et façon des niches.	»	0m,81	»	0,10	»	0,12	»	0,14	»	0,16	»	0,18	»	0,20	»	0,23	»	0,30	»	0,32	»	0,35	»	0,40	»	0,45	»	0,50	»	0,60
Remblai pilonné.	0,28	0m,23	0,23	0,27	0,27	1,05	0,29	1,25	0,35	1,33	0,37	1,42	0,40	1,51	0,42	1,62	0,45	1,79	0,50	1,86	0,52	1,96	0,55	2,13	0,60	2,33	0,65	2,50	0,70	2,87	0,79
Enlèvement des terres excédantes.	»	2m,11	»	0,14	0,14	0,16	0,21	0,22	0,29	0,25	0,33	0,28	0,36	0,31	0,40	0,37	0,48	0,46	0,60	0,51	0,66	0,57	0,74	0,68	0,88	0,79	1,03	0,94	1,22	1,26	1,63
Essai du tuyau et immersion dans l'huile, y compris fourniture d'huile et combustible	0,40	0,95	0,36	1,60	0,60	1,76	0,70	2,50	1,00	2,95	1,20	3,44	1,40	3,88	1,60	4,42	1,85	5,38	2,25	5,74	2,36	6,10	2,70	7,05	3,10	7,90	3,50	8,65	3,90	9,48	4,80
Transport à pied d'œuvre. .	»	»	0,07	»	0,10	»	0,14	»	0,20	»	0,24	»	0,29	»	0,34	0,42	0,48	»	0,63	»	0,60	»	0,68	»	0,78	»	0,90	»	1,05	»	1,42
Descente dans la tranchée et pose en place.	0,65	0k,80	0,52	0,65	0,42	0,75	0,49	0,95	0,62	1,10	0,71	1,25	0,81	1,40	0,91	1,60	1,04	1,85	1,20	2,10	1,35	2,25	1,45	2,60	1,69	2,90	1,89	3,25	2,10	4,00	2,60
Garde feuve goudronnée pour joints.	1,20	0k,11	0,20	0,20	0,24	0,25	0,30	0,30	0,36	0,45	0,54	0,50	0,60	0,55	0,66	0,70	0,84	0,80	0,96	0,85	1,02	0,90	1,08	1,10	1,32	1,20	1,44	1,50	1,80	1,80	2,40
Plomb pour joints.	0,65	11k,38	1,85	»	1,77	2,25	1,46	2,70	1,75	3,15	2,05	3,60	2,34	4,10	2,67	5,10	3,31	6,00	3,90	6,50	4,92	7,00	4,55	8,00	5,00	9,53	6,20	10,55	6,86	12,60	9,39
Façon et garantie des joints.	»	»	0,40	»	0,50	»	0,70	»	0,80	»	1,00	»	1,10	»	1,25	»	1,45	»	1,70	»	1,92	»	2,20	»	2,40	»	2,75	»	3,25	»	3,25
Eclairage et garnissage des tranchées.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Fonte pour tuyaux.	0,24	33k,00	7,92	50,00	12,00	70,00	16,80	100,»	24,00	120,»	28,80	145,»	33,80	170	40,80	210,»	50,40	265	63,60	330,»	79,20	390,»	93,60	450	108,»	500	120	600	144	710,»	170,40
Prix total par tuyau.			12,77		18,27		23,39		33,69		39,55		44,53		52,67		64,06		79,42		87,81		97,32		113,90		131,06		150,31		200,92
Longueur utile des tuyaux. .		2m,00		2,95		2,25		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50		2,50	
Prix d'un mètre linéaire de conduite.			6,38		8,08		10,61		12,84		15,82		17,83		21,07		25,62		31,77		35,12		38,93		45,56		52,42		60,12		80,37

meilleure. La chambre du boisseau est entièrement fermée à sa partie inférieure.

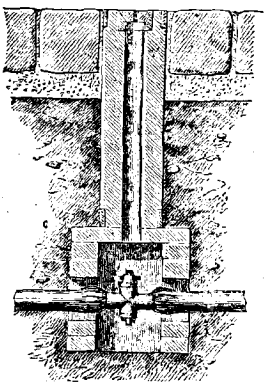


Fig. 3509. — Robinet sous bouche à clef.

Le serrage du boisseau et son graissage sont obtenus à l'aide d'une boîte à étoupe

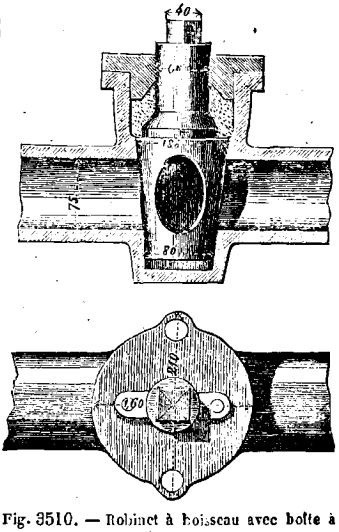


Fig. 3510. — Robinet à boisseau avec boîte à étoupe.

placée au-dessus. On peut donc, avec des clefs convenables, serrer ou desserrer le boisseau, et même l'enlever complétement pour le visiter par l'ouverture de la bouche à clef. La fouille ne devient nécessaire que pour le remplacement du corps du robinet tout entier. J'ai vu des robinets de cette espèce sur des tuyaux de 0m,10 qui fonctionnent encore très-facilement.

Pour les tuyaux d'un diamètre supérieur à ceux dont nous parlons, on est obligé d'avoir recours à des appareils de fermeture plus compliqués. L'un des meilleurs est le robinet-vanne (*fig.* 3511). Ainsi que son nom l'indique, la pièce essentielle de cet appareil est une véritable vanne, en forme de coin très-allongé, que l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

élève et que l'on abaisse du dehors à l'aide d'une vis. Pour fermer le tuyau on abaisse la vis et l'on amène la vanne dans la position indiquée dans la figure. Pour ouvrir le tuyau, on tourne la vis en sens convenable pour relever la vanne et l'amener dans la chambre placée au-dessus du tuyau. Cet appareil fonctionne parfaitement bien, arrête l'eau d'une manière complète, quel que soit le sens dans lequel s'exerce la pression, mais il exige une assez grande hauteur libre, et son prix est excessivement élevé, en raison des soins que nécessite l'ajustage et de la quantité considérable de bronze qu'il renferme.

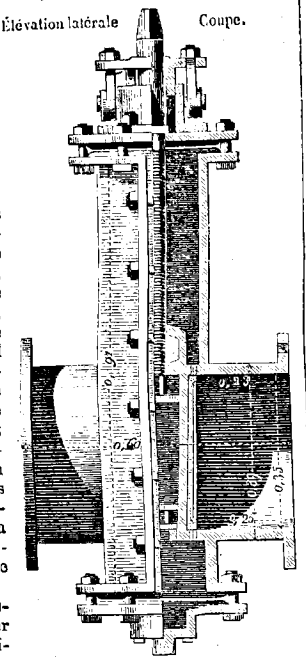
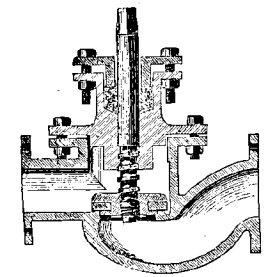
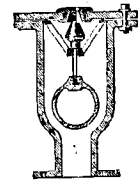


Fig. 3511. — Robinet-vanne de 0m,35.

On a fait beaucoup d'essais pour remplacer le robinet-vanne par un appareil plus simple et moins coûteux. Pour les grands diamètres, on n'est pas encore arrivé, à ma connaissance, à un résultat tout à fait satisfaisant. Pour les diamètres moyens, on emploie assez souvent, depuis quelque temps, des robinets à clapet (fig. 3512) dits système Cadet. On ouvre ces robinets en tournant la vis de manière à soulever le clapet; on les ferme en tournant en sens contraire pour appliquer le clapet sur son siége. Ces robinets fonctionnent très-bien quand la pression s'exerce sur le clapet. Ils seraient moins satisfaisants si la pression s'exerçait en sens inverse. Malgré ces inconvénients, leur bas prix leur assure un assez grand succès : un robinet pour conduite de 80 millimètres ne coûte, en effet, dans ce système, qu'une quarantaine de francs.


Fig. 3512. — Robinet à clapet. (Échelle de 0m,1 pour un mètre.)

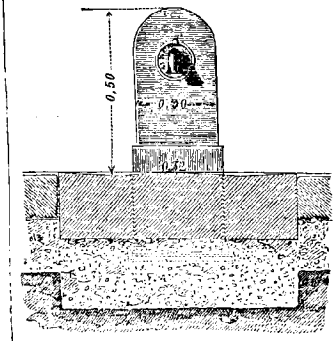
Ventouses. — Lorsqu'on vide un tuyau de conduite, en ouvrant le robinet de décharge situé à sa partie inférieure, il faut laisser rentrer l'air à la partie supérieure, et réciproquement, quand le tuyau se remplit, il faut que l'air s'échappe par les points culminants de la conduite. Un petit robinet que l'on manœuvre à la main, en temps opportun, remplit parfaitement ce double office; mais comme il est difficile de surveiller le robinet de décharge et le robinet d'évent, s'ils sont éloignés, on a construit des appareils spéciaux pour assurer automatiquement la sortie et la rentrée de l'air (fig. 3513).


F. 3513.—Ventouse.

Cet appareil, que l'on nomme ventouse, se compose d'un vase cylindrique en fonte boulonné verticalement au point culminant de la conduite. Ce vase est fermé par une plaque en fonte percée au centre d'une ouverture garnie d'un siége de soupape en bronze. Un flotteur sphérique assez gros supporte, à l'aide d'une tige guidée par une bride, la soupape conique destinée à fermer l'ouverture dont on vient de parler. Le temps que la conduite est en charge l'eau soulève le flotteur et la soupape est tenue fermée. Aussitôt que le robinet de décharge est ouvert, le flotteur descend et la soupape s'ouvre à son tour.

Appareils d'écoulement. — Il n'y a rien à dire ici des robinets d'écoulement placés dans les maisons, leur construction est connue de tout le monde. La disposition des fontaines monumentales varie nécessairement pour chacune d'elles avec l'effet à produire, et nous ne pouvons dès lors donner à cet égard aucun renseignement général. Le seul appareil d'écoulement que nous ayons à mentionner ici est donc la borne-fontaine. Ainsi qu'on l'a déjà dit, les bornes-fontaines doivent débiter à l'heure environ 70 à 80 mèt. cubes; elles sont ouvertes, à Paris, pendant deux ou trois heures par jour. Le puisage y est toléré pendant cet intervalle. Cette tolérance est assurément une bonne chose et un grand progrès sur l'interdiction qui avait d'abord été faite à la population pauvre d'y prendre de l'eau. Mais ce n'est pas assez; en attendant que toutes les maisons soient dotées d'une distribution permanente, il faut que les voisins d'une borne-fontaine puissent y puiser à toute heure. A cet effet, quand on ne possède pas assez d'eau pour assurer l'écoulement permanent des bornes, il faut que chacune d'elles porte, comme à Dijon (fig. 3514 et 3515) et dans beaucoup d'autres villes, un robinet à repoussoir qui se referme de lui-même quand on cesse de presser le bouton, et qui permet d'avoir de l'eau à toute heure pour les usages domestiques.

Fig. 3514. — Élévation.



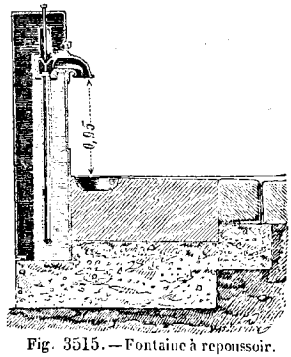


Fig. 3515.—Fontaine à repoussoir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Je décrirai, en terminant, un appareil (fig. 3516) très-employé en Angleterre, fort utile pour entretenir un niveau constant dans les lavoirs et les abreuvoirs, et qui pourrait rendre beaucoup d'autres services. Le fond du réservoir porte une tubulure *h* par laquelle doit se faire l'écoulement. Un manchon en caoutchouc *gg* réunit cette tubulure au tuyau de descente *d*. Ce tuyau est garni à sa partie inférieure d'un flotteur *ee* plongeant dans une petite cuvette de distribution communiquant avec les bassins qu'il s'agit de maintenir constamment remplis au même niveau que la cuvette de distribution. Quand la cuvette et les bassins sont remplis, le flotteur *ee* soulève le tube *d*, la tubulure se trouve fermée et le réservoir ne débite plus. Si le niveau baisse dans la cuvette, par suite de tirages faits aux bassins qu'elle alimente, le flotteur descend, le caoutchouc *gg* s'allonge un peu et l'eau sort par la tubulure du réservoir jusqu'à ce que le niveau soit rétabli.

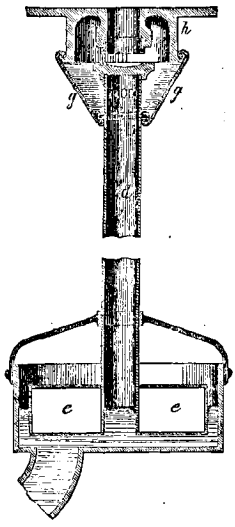


Fig. 3516. — Distributeur à niveau constant.

Il nous reste à dire un mot du mode de vente de l'eau aux habitants des villes. On distingue deux systèmes principaux de distribution : la distribution continue et la distribution discontinue. Dans ce dernier système, la conduite d'eau est ouverte chaque jour pendant un certain temps, et l'abonné en profite pour remplir un réservoir d'une capacité déterminée, où il puise l'eau le temps que la conduite est fermée. Les inconvénients de ce système sont universellement reconnus, le public et les compagnies s'en plaignent également en Angleterre où il est répandu.

Dans le système de distribution continue, les tuyaux sont constamment en charge, et l'on a de l'eau à toute heure en ouvrant un robinet. Mais dans ce système, comment fixer le prix de l'abonnement et le volume de chaque abonné? comment éviter le gaspillage inutile de l'eau? On a essayé de mettre dans chaque maison un robinet dont le boisseau est percé d'un trou assez petit pour assurer, par un écoulement continu, le débit en 24 heures du volume concédé. Mais ce système de jaugeage nécessite l'emploi d'un réservoir, recevant continuellement le filet d'eau de la concession et auquel on puise l'eau par des robinets de dimensions ordinaires. D'un autre côté, ces petits orifices s'obstruent avec la plus grande facilité, et comme on ne peut pas les laisser à la disposition de l'abonné, il faut à chaque instant recourir aux agents de la distribution. Ce système, aussi mauvais que celui de la distribution intermittente, ne saurait devenir d'un usage général.

L'insuccès de cette tentative et de beaucoup d'autres essais porte plusieurs personnes compétentes à penser que le mieux est de concéder l'eau à discrétion, en établissant la taxe d'abonnement proportionnellement à la valeur locative de l'immeuble desservi. Ce mode d'abonnement fonctionne très-bien dans certaines villes, et l'on ne remarque pas qu'il entraîne d'abus et de gaspillages. Toutefois, on doit remarquer que la solution vraiment rationnelle de l'abonnement serait l'emploi de compteurs analogues à ceux employés pour le gaz, laissant à l'abonné la faculté d'avoir de l'eau à discrétion, mais enregistrant exactement sa consommation dont la dépense serait ensuite réglée à intervalles déterminés. Malheureusement, la construction d'un bon compteur à eau pour les petits débits est assez difficile; il en sera parlé à l'article JAUGEAGE.

Parmi un grand nombre de systèmes proposés, plusieurs résolvent assez bien le problème, mais exigeraient toutefois un dégrossissage, un premier filtrage des eaux qui n'est pas encore appliqué aux distributions d'eau de Paris, et qui arrêterait les corps d'un volume notable.

HERVÉ MANGON.

EAUX GAZEUSES (*angl.* Aerated waters). La fabrication des eaux gazeuses, qui paraissait ne devoir guère sortir des pharmacies, a pris un tel accroissement, qu'elle constitue aujourd'hui une branche d'industrie.

Beaucoup de personnes, toutefois, se sont élevées contre la propriété attribuée aux eaux minérales factices, point de départ de l'industrie dont nous allons parler. Sans chercher à examiner les diverses opinions émises à ce sujet, nous pensons que la plus grande partie des eaux naturelles ne sont réellement efficaces que prises à la source; mais ce n'est pas seulement des eaux minérales que nous avons à nous occuper, mais surtout de l'eau acidulée gazeuse qu'on ne peut considérer comme étant une eau minérale, mais bien plutôt comme une boisson d'agrément.

Avant de décrire les divers moyens à l'aide desquels on prépare les eaux gazeuses, nous exposerons le plus brièvement possible l'origine de cette fabrication.

En 1775, Venel, médecin-chimiste à Montpellier, fut le premier qui eut l'idée d'imiter les eaux de Seltz en mettant dans de l'eau pure des matières effervescentes; il crut que le gaz qui se développait était de l'air condensé. Son opinion était une erreur; mais son procédé fut le premier pas assuré pour l'imitation des eaux gazeuses naturelles.

Peu après, Black découvrit la nature du gaz acide carbonique, puis Priestley, Chaulnes, Rouelle le cadet, constatèrent la présence de ce gaz dans les eaux spiritueuses ou acidules gazeuses.

Le docteur Bergmann, illustre professeur suédois, fut le premier qui donna des analyses complètes des eaux naturelles, et les meilleurs moyens de fabriquer; il mit même en principe : qu'une analyse d'eau minérale ne pouvait être réputée exacte que lorsqu'on avait réussi à en faire une semblable dans toutes ses propriétés en dissolvant dans l'eau les principes qu'on en avait extraits.

Il publia son troisième mémoire en 1778.

Les chimistes jusqu'alors avaient nié la possibilité de composer des liquides identiques en principe et en vertu aux eaux minérales naturelles.

On a peine à concevoir que les théories vagues et hasardées qu'on avait proposées jusqu'alors sur l'analyse des eaux, et que les essais presque informes qu'on avait faits aient été portés, par un seul homme et en si peu de temps, à une perfection telle que depuis cette époque jusqu'à ce jour, on n'a, pour ainsi dire, rien changé sur les premiers principes; c'est seulement dans la forme et la disposition des appareils employés que l'on a apporté des perfectionnements.

Bergmann publia, quelque temps après, ses observations sur les bons effets des eaux factices, qu'il avait trouvées même souvent supérieures à celles de la nature.

Les médecins de tous les pays accueillirent avec empressement ce progrès de la création d'un agent thérapeutique jusqu'alors réservé à la classe opulente, et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pharmaciens instruits répondirent aux vœux des médecins en préparant dans leurs officines les eaux de Seltz, de Sedlitz, de Spa, de Balaruc, de Barèges, etc.

On vit alors la chimie, en une vingtaine d'années, résoudre complétement le problème de la fabrication artificielle des eaux minérales, une fois leur composition déterminée.

La France peut, à juste titre, revendiquer la plus large part de gloire dans cette œuvre.

Duchanois fit paraître, en 1779, un ouvrage sur l'art de préparer les eaux minérales artificielles.

Cet auteur offrit dans ce traité l'ensemble le plus complet de cette fabrication ; mais les procédés insuffisants des laboratoires, puis la différence de ces eaux occasionnée par le plus ou le moins d'habileté des pharmaciens qui les préparaient, la consommation qui allait toujours croissant, firent naître à des hommes également habiles dans les connaissances chimiques et mécaniques, le projet (qu'ils exécutèrent) d'établir de véritables manufactures d'eaux minérales artificielles, pour répondre aux désirs des médecins et aux besoins des malades d'une grande et populeuse cité.

M. Gasse, à Genève, habile pharmacien de cette ville, forma un établissement dans lequel on fabriquait annuellement 40,000 bouteilles d'eau de Seltz. M. Paul, qui pendant dix ans avait été son associé, vint s'établir à Paris et y fonda en 1798, à l'hôtel d'Uzès, rue Montmartre, un établissement à l'instar de celui de Genève. M. Paul préparait huit espèces d'eaux minérales factices : 1° eau de Seltz; 2° eau de Spa; 3° eau alcaline gazeuse; 4° eau de Sedlitz; 5° eau oxygénée (cette eau contient la moitié de son volume de gaz oxygène); 6° eau hydrogénée (cette eau contient le tiers de son volume de gaz hydrogène); 7° eau hydro-carbonatée; 8° eau sulfureuse.

Depuis cette époque, la fabrication des eaux gazeuses a reçu de telles améliorations qu'on peut dire avec certitude que l'art a dépassé la nature en ce qui concerne la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau; ce n'est plus une eau médicinale, mais tout simplement une boisson d'agrément qui facilite la digestion, donne du ton à l'estomac et peut se prendre impunément dans toutes circonstances.

Personne aujourd'hui ne met en doute l'action salutaire des eaux rendues gazeuses par l'acide carbonique, et tout le monde sait aussi que les sources qui fournissent cette eau acidulée contiennent des substances minérales qui, sans doute, peuvent avoir leur utilité en médecine, mais qui ne sauraient être ordonnées sans examen et en toutes circonstances, comme on peut le faire simplement de l'eau acidulée gazeuse.

La fabrication dont nous allons nous occuper laisse de côté tous les sels médicamenteux, et, en effet, toute personne peut se livrer à cette fabrication; mais lorsqu'il s'agit de préparer des eaux gazeuses contenant des sels, nous n'hésitons pas à le dire, cela dépend de la pharmacie et ne saurait se préparer que par elle. Les eaux gazeuses obtenues au moyen des poudres (l'acide tartrique et le bi-carbonate de soude, préparation dont nous parlerons à la fin de cet article) ne devraient se vendre que par l'entremise des pharmaciens; cependant beaucoup de personnes se livrent à ce commerce, mais nous croyons que les pharmaciens auraient droit de s'y opposer, et cela serait même à désirer dans l'intérêt de l'humanité, car il arrive souvent des accidents occasionnés par l'usage de ces poudres, qui peuvent avoir leur utilité dans des cas où elles seraient ordonnées par un médecin, mais dont il serait dangereux de faire usage dans toutes circonstances et surtout lorsqu'un malade est resté quelque temps à la diète, et que l'eau de Seltz lui est ordonnée comme tonique, et pour faciliter la digestion des premiers aliments qu'on lui fait prendre.

En effet, on sait que les eaux rendues gazeuses par les poudres contiennent le plus souvent, sinon toujours, les sels dont on fait usage pour produire le gaz carbonique; à savoir, la réunion de l'acide tartrique et du bicarbonate de soude. Or, en même temps que ce mélange donne lieu à un dégagement d'acide carbonique, il y a aussi la formation de bi-tartrate de soude, sel qui a une action purgative non douteuse et dont on ne devrait pas faire usage sans ordonnance.

La bonne fabrication des eaux gazeuses doit donc consister en deux opérations bien distinctes :

D'un côté on dégage l'acide carbonique, et de l'autre on opère sa dissolution dans une eau pure; c'est là ce que nous allons démontrer en décrivant les divers appareils qui ont été établis pour cet usage.

Il existe aujourd'hui quatre systèmes bien connus :

Le système de Genève, celui de M. Bramah, celui de MM. Vernant et Barruel, et celui de M. Savaresse.

Avant d'expliquer la manœuvre de chaque système, nous parlerons d'abord des moyens employés pour dégager l'acide carbonique, ils sont à peu près les mêmes pour tous.

Pour opérer un dégagement d'acide carbonique, il suffit de verser un acide puissant sur un carbonate de chaux, de soude ou de magnésie; on se servait autrefois de l'acide hydro-chlorique, parce qu'il était d'un prix peu élevé, et qu'en l'employant avec du marbre, le dégagement gazeux s'opérait sans qu'il fût nécessaire d'agiter le mélange; mais on a reconnu l'inconvénient de l'usage de cet acide, qui contient toujours un peu d'acide sulfureux, lequel n'est pas entièrement retenu dans l'eau des vases laveurs et pénètre dans les eaux gazeuses; de plus, cet acide étant lui-même gazeux, il est bien difficile de l'empêcher d'arriver jusqu'à l'eau, qui, pour être bonne, ne doit contenir aucune autre substance que l'acide carbonique; ajoutons encore qu'il a l'inconvénient d'attaquer presque tous les métaux, c'est pourquoi on l'a complétement mis de côté pour n'employer que l'acide sulfurique.

Les carbonates dont on faisait usage autrefois sont toujours les mêmes: le marbre, la craie, les bi-carbonates de soude et de magnésie, suivant les lieux et la facilité qu'on a de se les procurer; mais généralement, en France, on ne se sert que de craie pilée, lavée et desséchée, autrement dite blanc de Troyes, de Meudon, etc. En Italie, on se sert de marbre, vu qu'il est d'un prix peu élevé.

Du contact de l'acide sulfurique et d'un carbonate de chaux, il résulte un sel insoluble (le sulfate de chaux); c'est pourquoi il est nécessaire d'agiter le mélange afin que le dégagement continue, autrement il s'arrêterait par suite des dépôts de sulfate de chaux qui se feraient sur le carbonate et empêcheraient le contact de l'acide; cela expliqué, il sera facile de comprendre comment est construit un récipient propre au dégagement de l'acide carbonique.

C'est tout simplement un tonneau en plomb que l'on nomme générateur, muni au centre d'un agitateur qu'on met en mouvement à volonté; à la partie supérieure on ajuste un flacon en plomb ou en verre contenant l'acide sulfurique; au moyen d'un robinet en verre, on peut à volonté livrer passage à l'acide qui tombe dans un mélange de craie et d'eau, qu'on a au préalable introduit dans le tonneau par une ouverture pratiquée à cet effet, et qui est ensuite hermétiquement fermée.

Un petit tube de plomb partant du sommet du tonneau vient communiquer avec la partie supérieure du vase contenant l'acide, ce tube est destiné à équilibrer la pression intérieure du tonneau avec la surface de l'acide, afin qu'il puisse s'écouler sans obstacle lorsque le robinet est ouvert.

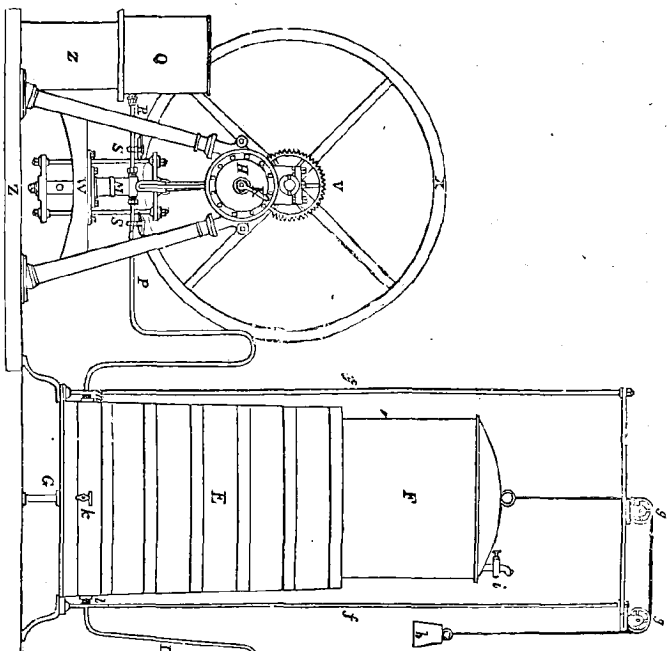
A côté de ce *générateur on place un tonneau en* bois qui sert à laver le gaz; à côté du tonneau laveur on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

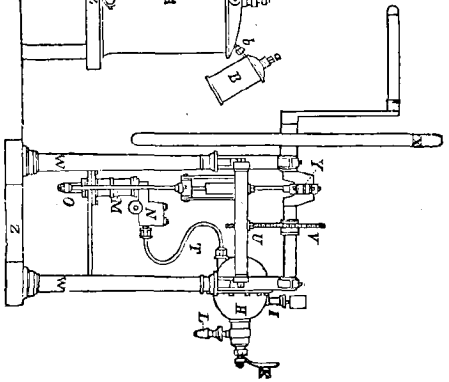
place un autre tonneau encore plus grand qu'on remplit d'eau, et dans lequel on place une cloche en cuivre étamé, ou autrement dire un gazomètre, qui est tenu en équilibre par un contre-poids, le tout étant suspendu à une potence fixée au-dessus du tonneau.

Un tube de plomb fixé au récipient de dégagement va plonger dans le tonneau laveur, où le gaz est divisé en petites bulles au moyen d'un double fond garni de petits trous ; un autre tube de plomb part de la surface du laveur et dirige le gaz sous le gazomètre qui s'élève en même temps qu'il s'emplit.

683.



684.



Le gaz étant dégagé et accumulé sous le gazomètre on se sert d'une pompe aspirante et foulante à l'aide de laquelle on l'introduit dans un grand cylindre contenant de l'eau, c'est ce qu'on appelle le système de Genève, et comme l'acide carbonique n'a que très peu d'affinité pour l'eau, il n'est pas suffisant de le comprimer pour le faire dissoudre, il faut en même temps agiter l'eau, et c'est ce qu'on fait au moyen d'un agitateur placé dans l'intérieur du cylindre.

Lorsque l'eau est saturée à cinq ou six atmosphères, on procède à la mise en bouteille ; mais on comprend qu'une fois l'embouteillage commencé, la tension intérieure du cylindre diminue, et l'eau s'affaiblit d'autant plus que l'embouteillage approche de sa fin ; cet inconvénient empêchait d'avoir des eaux régulièrement chargées de gaz ; de plus, la manœuvre de la pompe est très pénible, et si l'on veut préparer des eaux très gazeuses, en augmentant la pression, la pompe cesse alors de refouler le gaz dans le cylindre saturateur.

On a été longtemps à pouvoir s'expliquer comment il se faisait que, malgré l'action de la pompe, le gaz ne pénétrait plus dans le cylindre saturateur, cela dépend de deux causes : c'est qu'il devient difficile de refoule. du gaz à plus de six atmosphères par le jeu d'une pompe à piston, qui cesse toujours de fermer exactement, et ensuite le calorique latent du gaz mis en liberté par sa compression, n'ayant pas le temps d'être absorbé par les corps environnants, réagit sur le gaz lui-même au moment où l'on remonte le piston, en sorte que la manœuvre de la pompe devient nulle.

Lorsqu'on arrive à une pression assez élevée, le gaz se comprime et se dilate sans sortir du corps de pompe ; ces inconvénients ont entièrement disparus par l'heureuse idée de Bramah, qui a renversé le corps de pompe en plaçant le piston en dessous, et a adopté un collier en cuir semblable à celui dont il avait fait l'application aux pompes hydrauliques.

La pompe, ainsi modifiée, aspire en même temps de l'eau et du gaz, et le collier se trouvant toujours submergé, garde mieux le liquide, avantage d'autant plus précieux que cette pompe a un effet continu, puisqu'elle refoule en même temps l'eau, de sorte qu'au fur et à mesure qu'on tire le liquide pour le mettre en bouteille, la pompe alimente dans les mêmes proportions le ré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EAUX GAZEUSES.

servoir ; la saturation de l'eau se fait à l'aide d'un agitateur mis en mouvement par le jeu même de la pompe, c'est là ce qu'on appelle système continu de Bramah.

Les fig. 683 et 684 représentent les vues de face et de côté de cet appareil tel qu'il se construit actuellement en Angleterre.

La fig. 683 représente l'appareil vu de face.

La fig. 684 en donne l'élévation latérale.

A, générateur en plomb dans lequel se prépare le gaz ; B, vase en plomb contenant de l'acide sulfurique ; C, poignée de l'agitateur du récipient, qui remue les ingrédients dans le générateur ; *a*, couvercle à vis, pour charger le vase en plomb d'acide sulfurique ; *b*, robinet servant à introduire les doses d'acide dans le générateur ; *c*, boîte à étoupes par laquelle passe la tringle de l'agitateur ; *d*, grand couvercle à vis, servant à mettre l'eau et la craie dans le générateur ; *e*, ouverture fermée à vis par laquelle on vide l'appareil ; D, tuyau en plomb qui conduit le gaz du générateur au gazomètre ; E, cuve en bois remplie d'eau, où plonge le gazomètre ; F, gazomètre en cuivre ; G, fort châssis en fer qui porte la cuve et le gazomètre, et les lie solidement ensemble au moyen des trois montants en fer forgé *f*, *f* ; *g*, *g*, deux poulies soutenant la corde et le poids *h* qui maintient le gazomètre ; *i*, robinet servant à chasser l'air contenu dans le gazomètre avant de faire le gaz ; *k*, robinet pour vider l'eau du cuvier ; *l*, point de jonction où se trouve fixé un tuyau de cuivre qui traverse l'eau de la cuve et porte le gaz au gazomètre ; *m*, autre point de jonction ayant un tuyau de cuivre semblable, qui mène le gaz du gazomètre à la machine à eau gazeuse ; H, H, condenseur pour charger l'eau de gaz ; I, soupape de sûreté ; K, L, soupape servant à mettre la liqueur en bouteilles ; M, M, pompe à eau gazeuse ; N, soupape ; O, O, piston de la pompe ; P, tuyau qui conduit le gaz du gazomètre à la pompe ; S, S, deux robinets destinés à régler l'admission du gaz et celle de la solution dans la pompe ; T, tuyau en cuivre par lequel l'eau gazeuse est chassée dans le condenseur ; V V, roue de commande ; W W, châssis en fonte qui porte l'appareil ; X X, volant en fonte ; Z, traverse en fer forgé ; Y, Z, Z, échafaudage et supports en bois qui maintiennent le corps de la machine.

Ce mode de fabrication bien dirigé a un avantage réel dans les grandes fabriques, mais il nécessite un matériel assez considérable et l'emploi de trois ouvriers, quand bien même on n'aurait que dix bouteilles d'eau à fabriquer. Nous disons que ce système ne peut convenir qu'à de grandes fabriques, non seulement à cause du nombre d'ouvriers qu'il faut pour opérer, mais c'est qu'aussi cet appareil manœuvre mieux en travaillant tous les jours ; car, lorsqu'on arrête, les cuirs se dessèchent et prennent un mauvais goût, la pompe cesse momentanément d'aspirer, et lorsqu'elle commence à reprendre l'eau elle lui communique un goût qui ne s'en va qu'après plusieurs jours de travail ; ce système ne saurait donc convenir dans les petites localités où le débit des eaux gazeuses a peu d'importance.

Le troisième système, celui de MM. Vernaut et Barruel, est composé comme suit :

La première partie, servant au dégagement du gaz, se compose d'un grand générateur en forme de tonneau placé horizontalement et traversé par un agitateur ; à la partie supérieure se trouve placée une boule en cuivre, doublée en plomb, contenant l'acide sulfurique concentré qu'on laisse tomber sur le mélange de craie et d'eau qu'on a, au préalable, introduit dans le générateur ; il y a également un petit tube qui sert à à équilibrer la tension sur l'acide sulfurique. C'est en un mot un tonneau de dégagement à peu près semblable à celui que nous avons décrit plus haut, avec cette différence que celui-ci est placé horizontalement et qu'il est fait d'un métal très résistant pour pouvoir maintenir dans son intérieur la grande quantité de gaz qui s'y dégage. A côté du tonneau de dégagement, il y a un ou deux vases laveurs, et ensuite un cylindre saturateur, au fur et à mesure que le gaz se dégage, il va se rendre dans le cylindre où la saturation se fait au moyen d'un agitateur, ou en faisant osciller le cylindre. Ce système a un avantage sur la pompe de Bramah, attendu que la main-d'œuvre du refoulement du gaz est inutile, puisqu'on utilise l'action chimique du dégagement de l'acide carbonique ; mais il n'est pas sans danger à cause du vase qui contient l'acide sulfurique, et qui doit être soumis à la même tension que celle existant dans les autres parties de l'appareil. Il se détériore assez promptement à l'endroit qui sert de fermeture pour intercepter l'écoulement de l'acide dans le générateur ; il y a aussi un développement assez considérable de calorique lorsqu'a lieu le mélange de l'acide avec l'eau contenue dans le générateur, ce qui peut développer une odeur de marne toujours nuisible à la qualité de l'eau gazeuse Cette chaleur contribue aussi à attaquer plus facilement les métaux qui sont en contact avec l'acide sulfurique.

Dans les appareils à système continu, il y a aussi l'inconvénient de la production de chaleur ; mais comme la pression est presque nulle dans le tonneau en plomb générateur, l'action est aussi moins destructive ; cependant il pourrait y avoir une explosion du bocal à acide, qui ne serait pas sans danger, si le tube par où s'écoule le gaz venait à se boucher, ce qui peut avoir lieu par un dégagement trop abondant qui convertirait la masse en écume. On obvie à cet inconvénient en donnant un large passage au premier tube. L'ouvrier qui manœuvre la pompe peut aussi faire éclater le récipient saturateur, s'il ne porte pas toute son attention à l'examen du manomètre et du niveau d'eau.

Le quatrième et dernier système, celui de M. Savaresse, dont nous allons parler, est un perfectionnement aux autres systèmes.

Le volume et le poids total de cet appareil sont réduits de plus des trois quarts, comparés à ceux des autres.

La manœuvre en est facile, même pour ceux qui ne l'ont jamais vu, et une seule personne suffit pour en diriger le travail. Les explosions y sont impossibles, vu que la quantité de gaz produite se trouve parfaitement déterminée, et que la résistance de l'appareil a été calculée dix fois plus grande que la puissance qui agit à son intérieur. Ce fait est facile à prévoir, puisqu'il ne peut y avoir de gaz produit qu'en mettant en contact un acide et un carbonate. Si donc le poids ou le volume de ces deux réactifs sont connus, on sera certain des volumes de gaz produits, puisqu'il ne s'agit ici que de calculer les équivalents des réactifs mis en contact, et par surcroît de précaution, on a encore prévu le cas où l'on pourrait se tromper dans le poids des réactifs employés. L'appareil Savaresse est confectionné de manière à ne pouvoir y introduire que la quantité rigoureuse des agents nécessaires ; si la mesure excédait la quantité voulue, on ne pourrait fermer l'appareil qu'après avoir retranché l'excédant.

L'acide sulfurique, dans ce système, n'est employé qu'après avoir été étendu de 15 fois son poids d'eau et refroidi, en sorte qu'il n'y a jamais une élévation de température dans le travail.

Le carbonate de chaux se trouve isolé de l'eau acidulée jusqu'au moment où l'appareil est fermé, c'est alors que le mélange s'opère par un agitateur et aussitôt l'acide se neutralise en même temps que le gaz se dégage, d'où il résulte que l'acide sulfurique ne reste que très peu de temps en contact avec le générateur, vu qu'il est neutralisé par le carbonate de chaux dont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

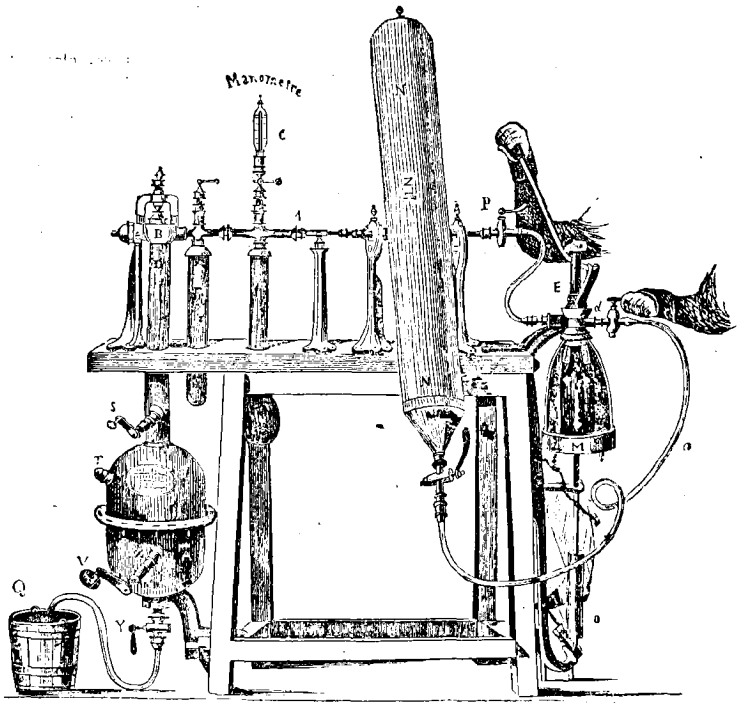
la proportion est calculée pour qu'il n'y ait jamais excès d'acide.

Le gaz qui se dégage s'épure en montant dans la colonne remplie de carbonate de chaux, d'où il passe successivement dans deux vases laveurs, puis arrive dans le cylindre saturateur que l'on fait osciller pour accélérer la saturation. Le mouvement du cylindre ne se fait pas sentir sur les tubes conducteurs auxquels il n'imprime aucun mouvement de torsion, vu qu'il pivote entre deux boîtes à étoupes; cinq minutes suffisent pour préparer un cylindre d'eau gazeuse à 10 atmosphères. Cet appareil peut se loger dans un petit espace d'environ 2 mètres; il peut fabriquer de 500 à 1,000 bouteilles par jour. Il est muni d'un manomètre dont l'invention est aussi de M. Savaresse, et calculé spécialement pour la fabrication des eaux gazeuses. Le mercure a été remplacé par de l'eau, et la hauteur du tube manométrique se trouve à quelques centimètres; malgré son peu d'élévation, les divisions d'une atmosphère à une autre peuvent s'écarter à volonté. A cet effet, le tube manométrique porte deux renflements, dont l'un inférieur a pour but de raccourcir le manomètre en lui donnant une plus grande surface horizontale aux dépens de celle verticale; le second renflement, placé à la partie supérieure, a pour but de donner plus d'espace entre chaque atmosphère qu'on a le plus d'intérêt à connaître.

Ce tube manométrique peut se remplacer par la première personne venue, sans scellement ni mastic.

La fig. 685 représente l'appareil dans son ensemble.

A, est le réclpient générateur dans lequel s'introduit l'eau acidulée; D, col allongé dans lequel on introduit le carbonate de chaux; S, pièce servant à isoler momentanément le carbonate de chaux du contact de l'acide; B, ouverture fermée par où l'on introduit la craie; T ouverture fermée par où l'on introduit l'acide; F, premier vase laveur; F, second vase laveur; C, manomètre; I, boîte à étoupes à rotule dans laquelle pivote l'axe du cylindre; N, cylindre saturateur; *a*, tube servant à conduire le liquide à l'embouteillage; *d*, robinet livrant passage au liquide qu'on veut introduire dans une bouteille; M, bouteille pour être remplie; E, machine à boucher, chassant le bouchon par un levier à parallélogramme; O, pédale servant à comprimer la bouteille lorsqu'on la remplit; P, robinet de retour dont on se sert dans la fabrication des vins mousseux; c'est par ce robinet que l'air atmosphérique de la bouteille remonte dans l'atmosphère gazeuse du cylindre, afin d'éviter la formation de la mousse et pour éviter la déperdition de l'arôme du vin; Q, seau fermé, destiné à recevoir le résidu du générateur. Il suffit d'ouvrir le robinet Y pour que toutes les matières passent dans le seau, chassées qu'elles sont par la puissance du gaz



685.

On n'a pas besoin de se rendre compte des changements de température, comme cela a lieu à l'égard des manomètres à siphon, attendu que l'air ambiant communique à volonté dans le tube manométrique, ce qui fait que le manomètre est toujours exact, lors même qu'on fonctionnerait à des températures différentes.

qui reste encore dans le générateur lorsque l'opération est terminée; V, manivelle de l'agitateur servant au dégagement du gaz.

Les eaux gazeuses une fois fabriquées, on n'a encore que la moitié de l'ouvrage de fait, puisqu'il faut les introduire dans les bouteilles destinées à les livrer au commerce. A cet effet, on emploie deux genres de mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

caniques : l'une est à engrenage semblable à celui du cric, et avec lequel on chasse le bouchon dans la bouteille ; l'autre est celle qu'on voit représentée dans la fig. 685. Le levier est chassé à l'aide d'un parallélogramme. Ce système a pour avantage de moins casser les bouteilles que le mouvement saccadé et brusque de l'engrenage.

C'est M. Vielcazal qui, le premier, a fait l'application de ce système.

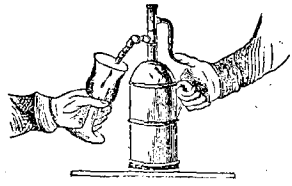
On comprendra que l'embouteillage des eaux gazeuses n'est pas sans danger à cause de la casse des bouteilles dont les fragments de verre sont divisés en lames aiguës et tranchantes, et pourraient blesser si on ne prenait les précautions nécessaires pour s'en garantir ; aussi les machines à boucher sont-elles munies d'un masque en métal.

C'est dans le but de remédier à ces inconvénients, et aussi pour rendre l'embouteillage plus facile que M. Savaresse a imaginé l'usage de ses vases syphoïdes, dont nous ferons dès à présent la description, puisqu'ils se rattachent à la fabrication des eaux gazeuses.

Il est inutile de s'étendre sur les inconvénients qui résultent de l'usage des bouteilles de verre pour le débit des liquides gazeux, car chacun a appris, par sa propre expérience, qu'au moment où l'on débouche une bouteille d'eau de Seltz, une partie en est rejetée par l'expansion du gaz, et le reste du liquide a bientôt perdu toute sa force ; les vases syphoïdes, comme nous l'avons dit, ont remédié à ces inconvénients ; mais, il faut le dire, ils sont d'un prix assez élevé, et demandent du soin pour leur entretien.

Le mécanisme de ces vases est du reste facile à comprendre.

Un cruchon en grès, très résistant, verni en dedans et en dehors, se trouve muni d'une tubulure à sa partie supérieure, à laquelle on adapte un appareil de fermeture permanente, en étain, qui porte un tube plongeur, qui descend jusqu'au fond du vase, un levier ou une clef à vis sert d'obturateur pour maintenir le liquide ; ce vase se remplit en le présentant à un robinet disposé à cet effet et communiquant au cylindre saturateur ; une issue a été ménagée pour laisser échapper l'air contenu dans le vase au fur et à mesure qu'il se remplit, et lorsqu'on veut en obtenir du liquide il suffit d'appuyer sur le levier ou de tourner un peu la vis ; le liquide s'échappe, obligé de fuir par la pression qu'exerce le gaz à sa surface, le vase étant fermé le restant du liquide conserve sa force. L'emploi des bouchons et des ficelles se trouve remplacé à perpétuité par l'appareil de fermeture permanente.



686.



687.

Ces vases restent toujours la propriété de l'établissement qui les reprend vides pour les remplir de nouveau ; on peut faire dans ces vases comme dans les bouteilles de verre, des limonades gazeuses ou tout autres boissons édulcorées ; il suffit pour cela d'y introduire le sirop préparé à l'avance comme cela se fait à l'égard des limonades ou orangeades, etc., etc.

Ces vases sont représentés dans les figures 686 et 687.

Nous indiquerons ici la manière de faire le sirop pour les limonades, comme étant indispensable à la fabrication des liquides gazeux.

Les limonades gazeuses se préparent avec l'eau saturée d'acide carbonique.

On prépare le sirop en faisant fondre ensemble deux parties de sucre et une partie d'eau en poids qu'on fait bouillir, environ un quart d'heure, en ayant soin d'écumer et de filtrer à chaud, puis on fait fondre séparément de l'acide citrique ou tartrique dans quatre fois son poids d'eau chaude ; lorsque la solution est complète on la verse dans le sirop qu'on agite, afin d'en opérer le mélange ; la quantité d'acide citrique qu'on emploie pour chaque livre de sucre est de 5 grammes ; lorsqu'on opère avec de l'acide tartrique il en faut 8 grammes. Ce dernier est d'un prix moins élevé et a aussi pour avantage que les limonades se conservent plus longtemps sans se moisir.

Le parfum du citron est donné avec l'essence du zeste de citron, dans la proportion d'environ une goutte par livre de sucre, et lorsqu'on veut faire des orangeades il suffit d'y mettre de l'essence d'orange au lieu de citron.

Le sirop étant préparé d'avance, placé au frais, ne s'altère nullement, et lorsqu'on veut faire des limonades gazeuses on introduit dans chaque bouteille trois onces de sirop, et l'on tire de l'eau gazeuse par dessus, lorsque la bouteille est bouchée et ficelée, on l'agite, afin d'opérer le mélange. La limonade est alors prête à être livrée au consommateur.

Les eaux médicinales se préparent de la même manière, c'est-à-dire qu'on fait d'abord fondre les sels ; on filtre les solutions et on les introduit dans la bouteille pour la remplir d'eau gazeuse ; nous ne donnerons ici que la formule des eaux de Sedlitz, attendu que ce sont les seules qui s'obtiennent de meilleure qualité que les eaux naturelles ; pour les autres eaux minérales, nous l'avons déjà dit, nous croyons qu'il est préférable de ne faire usage que de celles naturelles et prises aux sources ; néanmoins ceux qui voudraient se livrer à cette fabrication, devront consulter la pharmacopie de M. Soubeiran, dans laquelle on trouve l'analyse et la préparation de toutes les eaux minérales.

L'eau de Sedlitz se prépare avec le sulfate de magnésie, suivant la force ordonnée par le médecin, qui est ordinairement de 20 à 48 grammes par bouteille.

Le sel est d'abord dissous dans une quantité d'eau, environ trois fois son poids, puis filtré et introduit dans la bouteille qu'on remplit d'eau gazeuse. Chaque bouteille doit porter une étiquette indiquant le poids du sel contenu dans le liquide. H***.

Emploi des poudres gazogènes. — C'est en 1775, à Montpellier, que la préparation des eaux gazeuses par les poudres gazogènes a été inventée par Venel, qui faisait un mélange de deux solutions, l'une contenant un carbonate alcalin (du bicarbonate de soude par exemple), l'autre un acide (l'acide tartrique ou citrique). La décomposition du carbonate avait lieu aussitôt ; la dissolution du gaz était opérée par sa propre compression ou par l'agitation qu'on lui communiquait. L'effervescence cessant, l'eau gazeuse était prête. Ce procédé, rappelé par Gay-Lussac dans ses cours, a été exploité commercialement par M. Fèvre, et est employé dans les appareils gazogènes. Dans l'origine, on se contenta de diviser et de vendre les doses

EFERUS - Recherche & Classification numérique

convenables d'acide tartrique et de bicarbonate de soude dans des paquets séparés et de couleurs différentes. Il suffisait de verser deux paquets dans une bouteille, de remplir d'eau, de boucher et d'agiter. Le dégagement du gaz et sa dissolution avaient lieu, l'eau était faite; seulement, au lieu d'une boisson simplement agréable et salubre, on avait une préparation médicinale, et de grands inconvénients peuvent résulter de l'usage prolongé de ces eaux contenant des sels alcalins purgatifs. C'est pour y remédier qu'on a inventé les appareils à vases communiquants qui suppriment cet inconvénient sans cesser de faire de l'appareil à eau de Seltz un appareil d'économie domestique.

Appareils à vases communiquants. — L'idée première appartient à M. Robinet; elle fut réalisée de la manière la plus heureuse par Briet. On a pris depuis à leur sujet un grand nombre de brevets. Les divers modèles que l'on rencontre ne sont que des variantes plus ou moins bien réussies du même système et des applications du même principe. Deux vases accolés communiquant entre eux par un tube; dans le plus petit des vases s'opère la dissolution des poudres. Le gaz qui s'en dégage est refoulé par sa propre pression dans le plus grand, et y arrive, en se tamisant à travers des cribles plus ou moins ingénieusement disposés, dans l'eau qu'il doit saturer. On aide la dissolution par des secousses rapidement données à l'appareil, et l'eau gazeuse jaillit ensuite d'un robinet.

Cet appareil très-simple (fig. 687 *bis*), et formé de deux parties assemblées à vis, est d'un emploi commode; l'eau se place dans le vase supérieur B, placé sur son pied P, et les poudres dans le vase A plus petit. L'eau, en s'écoulant, permet aux deux substances de réagir l'une sur l'autre, et l'acide carbonique, se dégageant par le tube T, vient se dissoudre dans l'eau que l'on fait écouler à l'aide du robinet R. Ce système n'est pas sans inconvénient, surtout si l'on en fait un usage journalier. Le gaz acide carbonique n'arrive pas pur dans l'eau qu'il sature; il est toujours fortement alcalin, et l'action des poudres sur les tuyaux, les robinets ou les douilles, presque toujours en étain plus ou moins plombifère, peut produire des sels toxiques. Ces inconvénients augmentent si, par économie, on se sert d'acide sulfurique, substance d'ailleurs dangereuse pour les personnes peu habituées à la manipulation. Mais les appareils dans lesquels, ainsi que le fait M. Bazet, tous les ajutages métalliques sont remplacés par du verre, échappent à presque tous ces reproches et doivent être conseillés, surtout lorsqu'ils sont mis, par des enveloppes protectrices et de bonnes combinaisons de leurs organes, à l'abri de toute explosion.

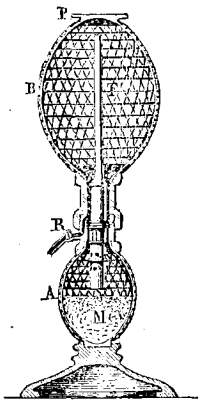


Fig. 687 *bis*.

La question des assemblages du verre et du métal, qui a permis l'usage habituel de siphons en verre, plus agréables à la vue que les siphons en grès de M. Savaresse, a été résolue par l'emploi de vis en étain sur les collets du verre, retenus par le reploiement en équerre du verre. Au besoin une rondelle en guttapercha rend la fermeture hermétique.

En pharmacie, on a souvent besoin de rendre gazeuse une certaine quantité d'eau minérale artificielle ou d'autres préparations médicinales, et il y aurait parfois de graves inconvénients à laisser dans le liquide le résidu des poudres gazogènes. Les appareils à vases communiquants que nous venons de décrire ne sauraient saturer assez fortement le liquide pour qu'on puisse le transvaser dans des bouteilles, encore moins dans des siphons ordinaires. On a donc cherché à fabriquer des appareils dits *de laboratoire*, qui permissent de gazéifier à la fois 8 ou 10 litres de liquide.

Il existe plusieurs appareils de ce genre. Presque tous, ils présentent un cylindre oscillant qui déverse peu à peu de l'acide sulfurique sur du bicarbonate de soude ou de la craie. Le gaz produit est lavé ou épuré par son passage dans des vases ou compartiments intermédiaires avant d'entrer dans le liquide où il doit se dissoudre. Le principe de ces appareils est dû à MM. Vernaut et Barruel. La pression s'y engendre au moyen du gaz en excès, à mesure qu'il se dégage en vertu de la réaction chimique des agents mis en contact.

EAUX MINÉRALES. On appelle eaux minérales, celles qui contiennent des substances étrangères en assez grande quantité pour avoir une action marquée sur l'économie animale. Les unes sont chaudes et portent le nom d'*eaux thermales*, les autres sont dites eaux minérales froides. Sous le rapport de leur composition, on les divise en quatre groupes, savoir :

1° Eaux alcalines;
2° Eaux ferrugineuses;
3° Eaux salines;
4° Eaux sulfureuses.

Eaux alcalines. Ces eaux renferment des sels alcalins et ordinairement de l'acide carbonique libre. Les principales sont : à l'étranger, celles de Seltz; et en France, celles de Plombières et de Vichy. Elles sont prises comme boisson pour faciliter la digestion.

Eaux ferrugineuses. Ces eaux renferment du carbonate de fer tenu en dissolution par de l'acide carbonique en plus ou moins grande quantité; au contact de l'air ce dernier se dégage, et le fer se dépose à l'état de peroxyde. Elles sont souvent chargées de sels alcalins. Parmi les eaux simplement ferrugineuses, nous citerons Passy, Forges, Bussang et Pyrmont. Parmi les eaux ferrugineuses et alcalines, les principales sont : celles de Spa (Belgique), de Carlsbad et de Tœplitz (Bohême); celles du Puy-de-Dôme (Mont-Dore, etc.) et de Cransac en France. On les prend fréquemment à l'intérieur, comme boisson fortifiante par suite de leur teneur en fer.

Eaux salines. Ces eaux renferment une assez grande quantité de sulfate de soude et de chlorure de sodium, mais pas de carbonate de soude; elles renferment aussi souvent de l'acide carbonique libre. Les principales eaux salines de France sont les sources du Cantal, d'Aix, de Balaruc, de Bourbonne-les-Bains, de Niederbronn et de Bains.

Eaux sulfureuses. Ces eaux sont caractérisées par la présence de l'hydrogène sulfuré, quelquefois à l'état libre, mais le plus souvent à l'état de sulfures alcalins; ces eaux, qui ne sont employées qu'extérieurement, sont très-abondantes en France : les principales sont celles d'Aix-la-Chapelle en Belgique, d'Eaux-Bonnes, de Barèges, de Cauterets, de Bagnères-de-Luchon et de Bagnères-de-Bigorre, dans les Pyrénées, et d'Enghien près de Paris.

Lorsqu'on connaît la composition d'une eau minérale naturelle, on peut, en général, l'imiter artificiellement assez bien, mais, dans le cas où elles renferment des matières organiques, comme c'est le cas des eaux sulfureuses des Pyrénées qui contiennent une matière glaireuse azotée, la *barégine*, qu'il est impossible de reproduire, on n'obtient qu'une imitation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-grossière, par l'addition d'une certaine quantité de gélatine.

M. Brongniart, partant de l'observation bien évidente que la composition des eaux minérales dépend de la nature des terrains qu'elles parcourent, a proposé de les classer en cinq groupes.

Le premier comprend les *eaux minérales des terrains primitifs* : ces eaux sont ordinairement thermales, proviennent des grandes profondeurs, et contiennent de l'acide carbonique, de l'acide sulfhydrique, des sulfures alcalins, de la silice, du carbonate de soude, etc. Telles sont celles des Pyrénées, de Cransac, de Chaudes-Aigues, etc.

Le second groupe est celui des *eaux minérales des terrains de sédiment inférieurs*. Ces eaux sont au moins tièdes. Leur composition se rapproche beaucoup de celle des précédentes. Elles contiennent des sels de soude, du sulfate de chaux, etc. Telles sont les eaux de Plombières, de Luxeuil, de Bagnères-de-Bigorre, etc.

Dans le troisième groupe sont rangées les *eaux minérales des terrains de sédiment supérieurs*. Ces eaux sont froides, peu ou point chargées d'acide carbonique; les sels qui y dominent sont les sulfates de magnésie, de fer, les carbonates de chaux et du fer. Telles sont les eaux d'Enghien, de Forges, d'Epsom, etc.

Au quatrième groupe appartiennent les *eaux minérales des terrains de transition*, où se trouvent réunies les substances que contiennent les eaux des groupes précédents. Les eaux de Bath, de Spa, de Vichy, etc., sont de cette espèce.

Enfin, le cinquième groupe est formé des terrains provenant des *terrains trachytes anciens* et des *terrains volcaniques modernes*. La composition de ces eaux se rapproche beaucoup de celle des eaux des terrains primitifs. Exemple : les eaux de Mont-Dore, de Saint-Allyre, d'Island, etc.

L'analyse des eaux minérales, surtout depuis qu'on sait faire usage du spectroscope, a fait reconnaître dans certaines eaux des quantités infinitésimales de fluor, de lithine, d'arsenic, etc., qui pourraient avoir rapport avec leurs propriétés. Mais, en général, les physiologistes attachent plus d'importance à la modification générale du milieu dans lequel vit le malade aux stations thermales qu'aux quantités infinitésimales de substances engagées dans des combinaisons salines.

ÉBULLITION (*angl.* boiling, *all.* kochen). La transformation d'un liquide en vapeur s'appelle en général *vaporisation*. Les liquides se vaporisent par *ébullition* quand les vapeurs se forment au sein de la masse, et par ÉVAPORATION, quand elles se forment à la surface.

L'ébullition se manifeste par des bulles de vapeur qui se forment sur les parois échauffées du vase renfermant le liquide, et qui augmentent de volume au fur et à mesure qu'elles s'élèvent dans l'intérieur de la masse liquide en vertu de leur légèreté, pour venir à la fin éclater à la surface. Pour que ces bulles puissent se former et s'élever au milieu de la masse liquide qui les presse de toutes parts, il faut évidemment que la vapeur dont elles se composent ait une tension égale à la pression environnante; c'est cette condition qui détermine les points d'ébullition des différents liquides, ainsi que ceux du même liquide soumis à des pressions différentes. Mais elle n'est pas suffisante: il faut en outre que la cohésion du liquide, la résistance qu'il oppose à un changement d'état, soit vaincue pour que la vapeur puisse se former, circonstance qui exige le plus souvent la présence d'un gaz étranger, se dégageant du liquide dans lequel il était dissous. Autrement le liquide pourrait rester tel jusqu'à des températures supérieures de 20, 30, 50 degrés et davantage à son point d'ébullition normal. De là, les retards dans l'ébullition de l'eau complétement purgée de gaz et surtout placée sous une couche d'huile. L'ébullition d'un liquide ainsi surchauffé se produisant tout à coup et avec violence peut entraîner des explosions dangereuses. Voy. LIQUIDES, *Complément*.

ÉBULLITION.

Puisque la température de l'ébullition de l'eau varie avec la pression, elle est d'autant moindre que l'on s'élève davantage au-dessus du niveau de la mer et, par conséquent, que la hauteur barométrique est plus faible, comme le montre le tableau suivant :

LOCALITÉS.	HAUTEUR au-dessus de l'Océan.	HAUTEUR moyenne du baromètre.	DEGRÉ d'ébullition de l'eau.
	mètres.	millim.	degrés.
Métairie d'Antisana.....	4101	454	86,3
Quito.....	2908	527	90,1
Mexico.....	2277	572	92,3
Hospice du Saint-Gothard.	2075	586	92,9
Briançon.....	1306	645	95,5
Bains du Mont-Dore....	1040	667	96,5
Madrid.....	608	704	97,8
Plombières.....	421	721	98,4
Moscou.....	300	732	99,0
Lyon.....	162	745	99,4
Vienne.....	133	747	99,5
Paris (1er étage de l'Observatoire).....	65	754	99,7
Niveau de la mer.....	0	760	100,0

L'eau bouillante n'est donc pas également chaude dans tous les lieux de la terre, et par conséquent elle n'est pas également propre aux usages domestiques et à la préparation des aliments. A Quito, par exemple, où l'eau bout à 90°, on ne pourrait pas cuire beaucoup de substances qui peuvent être cuites à 100°.

Voici le point d'ébullition de divers liquides sous la pression barométrique de 760mm de mercure :

Éther sulfurique.	35°,8
Sulfure de carbone. . . .	48 ,0
Alcool.	78 ,0
Eau.	100 ,0
Essence de térébenthine. . .	161 ,0
Phosphore.	290 ,0
Soufre.	443 ,0
Acide sulfurique.	310 ,0
Mercure.	350 ,0

Les liquides précédents se volatilisent sans changer de composition chimique. Leur ébullition ne doit pas être confondue avec la décomposition de certains autres liquides avec formation de produits gazeux, telle que celle de l'huile de lin et des corps gras, vers 320°.

Lorsqu'on augmente la pression au lieu de la diminuer, on retarde l'ébullition, et d'autant plus que cette augmentation est plus considérable. C'est ainsi que dans l'appareil connu sous le nom de *digesteur de Papin*, on peut élever l'eau jusqu'aux plus hautes températures sans la faire bouillir. Cet appareil n'est autre chose qu'un vase cylindrique en bronze ou en fer, dont les parois sont susceptibles d'offrir une grande résistance. L'ouverture en est petite, et on la ferme avec une soupape que l'on charge de poids de manière à produire une pression de 40 à 50 atmosphères, suivant la force des parois. La vapeur qui se forme au-dessus du liquide acquiert une pression suffisante pour empêcher l'ébullition; mais lorsqu'on ouvre la soupape, l'eau s'élance en se vaporisant et avec une telle force qu'elle forme un jet de 8 à 10m de hauteur; en même temps, le vase se refroidit considérablement par suite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la chaleur absorbée par le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux.

Le digesteur inventé par Papin, au milieu du dix-septième siècle, servit alors à montrer la puissance mécanique utilisable que l'on pouvait accumuler dans la vapeur par l'action de la chaleur, ainsi que la puissance dissolvante de l'eau maintenue liquide à des températures supérieures à 100°. (Voy. GÉLATINE.)

L'*autoclave* inventé par D'Arcet est un appareil du même genre que le digesteur de Papin; il en diffère seulement par la disposition du couvercle.

Le point d'ébullition d'un liquide n'est pas changé par des corps étrangers, tels que du sable, qu'il tient mécaniquement en suspension; mais il est toujours changé par les corps qui s'y combinent chimiquement, tels que les sels solubles; il importe de remarquer que la vapeur que donnent ces dissolutions est de la vapeur d'eau parfaitement pure, sans aucune trace des substances dissoutes.

M. Legrand a fait des expériences très-intéressantes à ce sujet, et le tableau ci-après contient les résultats principaux auxquels il est parvenu:

Tableau des points d'ébullition de diverses dissolutions saturées et des proportions des sels correspondantes :

NOMS DES SELS.	POINTS d'ébullition en degrés centigrades.	QUANTITÉS de sel qui saturent 100 d'eau.
Carbonate de soude. . . .	104°,6	48,5
Chlorure de potassium. .	108°,3	59,4
Chlorure de sodium (sel marin).	108°,4	41,2
Sel ammoniac.	114°,2	88,9
Nitrate de potasse (nitre).	115°,9	335,1
Nitrate de soude.	121°,0	221,8
Acétate de soude.	124°,4	209,0
Carbonate de potasse. . .	135°,0	205,0
Chlorure de calcium. . .	179°,5	325,0

ÉBULLITION ET DISTILLATION DE LIQUIDES MÉLANGÉS. — M. Berthelot a fait sur les phénomènes d'ébullition et de distillation des liquides mélangés, des observations d'une grande importance pour les nombreuses industries où l'on cherche à séparer des corps différents par la distillation, c'est-à-dire en profitant de ce que leurs points d'ébullition sont différents. Nous sommes heureux de pouvoir reproduire cette intéressante étude.

Si deux liquides mélangés n'exercent l'un sur l'autre aucune action réciproque, la température d'ébullition sera nécessairement moins élevée que celle à laquelle le plus volatil, envisagé isolément, entrera en ébullition. En effet, les tensions des deux liquides doivent s'ajouter conformément au principe connu qui règle le mélange des deux corps gazeux. Soit, par exemple, un mélange d'alcool et d'eau. L'alcool pur bout à 78 degrés, l'eau à 100 degrés. A la température de 78 degrés, l'alcool possède une tension représentée par une colonne verticale de mercure égale à 0m,76; l'eau possède une tension égale à 0m,33. A 78 degrés, un mélange formé de ces deux liquides, s'ils n'exerçaient aucune action réciproque, devrait posséder une tension égale à 1m,09, c'est-à-dire notablement supérieure à la pression atmosphérique. Le mélange devrait donc entrer en ébullition à une température plus basse que 78 degrés, et qui serait précisément celle où les tensions réunies feraient équilibre à la pression atmosphérique. Ce serait, d'après les tables de M. Regnault, entre 69 et 70 degrés, la tension de la vapeur d'eau étant à 70 degrés de 0m,23, et celle de la vapeur d'alcool, de 0m,54, à cette température.

Mais la relation que nous venons de rappeler et qui règle la tension des gaz mélangés ne s'applique pas à la tension des vapeurs fournies par deux liquides mélangés. En général, d'après les expériences de M. Magnus et de M. Regnault, toutes les fois que deux liquides se dissolvent réciproquement, la tension de la vapeur émise par le mélange est moindre que la somme des tensions des deux liquides pris isolément; dans la plupart des cas, elle ne dépasse pas celle du plus volatil; souvent même elle lui est inférieure. C'est ainsi qu'un mélange de 6 parties d'eau et de 94 parties d'alcool possédera une tension de 0m,76 à 78 degrés, au lieu de 1m,03, et ne pourra entrer en ébullition au-dessous de cette température.

Non-seulement la tension de vapeur exercée par un mélange de deux liquides qui se dissolvent l'un l'autre est moindre que la somme des tensions isolées, mais elle varie avec la proportion des deux liquides mélangés; c'est là un point capital dans la distillation des mélanges. Plus le liquide le moins volatil domine, plus la tension du mélange diminue. Mais toutes les fois qu'il n'y a pas de combinaison proprement dite, la tension réelle demeure en général comprise entre les tensions qu'exerceraient les deux liquides pris isolément. A une température donnée, elle est la plupart du temps moindre que la tension du plus volatil, mais plus grande que la tension du moins volatil. Les mêmes variations s'observent dans l'étude des points d'ébullition. Tous ces résultats sont faciles à comprendre, puisque l'action réciproque qui tend à affaiblir la somme des tensions dépend des masses respectives des deux corps mélangés.

Ces faits entraînent diverses conséquences intéressantes, relativement aux proportions des deux liquides qui passeront successivement à la distillation, et aux variations du point d'ébullition du mélange, pendant le cours de cette même distillation.

Au moment où l'ébullition s'établit et où la distillation commence, les deux liquides se vaporisent ensemble, suivant une proportion déterminée par les tensions de leurs vapeurs respectives. Si l'on connaissait cette tension pour chacune des vapeurs, dans les conditions de l'expérience, ainsi que la densité réelle de cette vapeur, dans les mêmes conditions, il suffirait de multiplier la tension de chaque vapeur par sa densité, pour déterminer le poids de cette vapeur compris dans l'unité du volume. Or, le rapport entre les deux produits relatifs à l'une et à l'autre vapeur règle la distillation; car ces produits représentent les poids des deux vapeurs qui distillent en même temps. Si leur rapport était connu à chaque instant, il nous indiquerait la composition du liquide distillé.

Dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons pas en général calculer ce rapport avec certitude; cependant on obtient dans la plupart des cas des résultats qui marchent suivant le même sens que la réalité, pourvu que l'on admette que chaque vapeur possède sa densité théorique, mais que sa tension est diminuée selon une proportion d'autant plus considérable que le liquide qui la fournit est moins abondant dans le mélange.

Examinons les divers cas qui peuvent se présenter. Dans le cas le plus ordinaire, le liquide le plus volatil sera entraîné d'abord en quantité plus grande que le liquide le moins volatil; cependant ce dernier passera à la distillation dès le commencement de l'expérience. A mesure qu'elle se poursuivra, la proportion du liquide le moins volatil augmentant graduellement dans le résidu, la tension totale des vapeurs diminuera peu à peu, et le point d'ébullition s'élèvera.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le point d'ébullition change donc incessamment par le fait de la distillation. Il change à cause de l'action réciproque qui s'exerce entre les deux liquides; car s'il n'y avait point d'action réciproque, la somme des deux tensions, qui règle le point d'ébullition, ne serait pas influencée par le rapport variable des masses des deux liquides contenus dans la cornue : dès lors les poids des deux liquides qui distillent à chaque instant demeureraient entre eux dans un rapport constant. Mais il n'en est pour ainsi dire jamais ainsi : la tension, le point d'ébullition, la composition du liquide distillé varient continuellement. L'élévation du point d'ébullition en particulier a lieu d'une manière continue, depuis la température d'ébullition initiale, jusqu'au moment où l'on atteint le point d'ébullition du liquide le moins volatil.

Les proportions qui distillent à mesure renferment en général les deux liquides : seulement ils contiennent une quantité décroissante du liquide le plus volatil, et croissante du liquide le moins volatil. Un mélange d'eau et d'alcool, par exemple, ne donne pas, lorsqu'on le distille, de l'alcool pur; la température à laquelle il bout va en augmentant, et le liquide que l'on obtient est de plus en plus hydraté, à mesure qu'avance la distillation.

Mais il ne faudrait pas croire, et c'est ici le point délicat, que l'on puisse parvenir à séparer complétement deux liquides par la voie des distillations, même répétées à plusieurs reprises. Il n'en sera ainsi que dans des cas exceptionnels. Le plus souvent on obtiendra, à côté d'un liquide à peu près pur, un mélange renfermant les deux corps, mélange constitué suivant des proportions fixes, et désormais inséparable par distillation.

A partir du moment où les deux corps se trouvent associés dans la partie qui distille suivant les mêmes proportions que dans le liquide en ébullition, les conditions de la distillation restent constantes ; le produit obtenu restera donc également constant, et toute séparation sera devenue impossible. Pour un mélange d'eau et d'alcool, un pareil système est celui qui renferme environ 6 p. 100 d'eau. Il en est de même d'un mélange de sulfure de carbone et d'alcool renfermant 9 centièmes d'alcool.

De tels mélanges inséparables et à point d'ébullition fixe existent pour la plupart des liquides mélangés deux à deux. Ce n'est que dans des conditions très-particulières qu'ils ne se réalisent pas : il faudrait pour cela que dans tous les mélanges formés par deux liquides donnés, la tension du liquide le moins volatil se trouvât affaiblie suivant une proportion plus forte que celle du liquide le plus volatil, et sans qu'un rapport inverse dans les densités de vapeur vînt établir une compensation.

Lorsqu'un tel mélange est possible, il est facile de prouver qu'il tend à se produire d'une manière nécessaire dans le cours des distillations. Soient, par exemple, divers mélanges de sulfure de carbone et d'alcool : nous savons que le mélange inséparable renferme 9 parties d'alcool et 91 parties de sulfure de carbone. Supposons d'abord une proportion d'alcool supérieure à 9 centièmes : les premiers produits distillés seront moins riches en alcool que ceux qui resteront dans la cornue; ils se rapprocheront donc du mélange inséparable, tandis que le contenu de la cornue tendra vers l'alcool pur. Une nouvelle distillation suffira le plus souvent pour obtenir un premier produit constitué par le mélange inséparable, tandis que d'autre part on parviendra à l'alcool pur.

Si nous opérons au contraire sur un mélange plus riche en sulfure de carbone, les premières parties distillées entraîneront, en même temps que le sulfure, la totalité de l'alcool, et il restera du sulfure à peu près pur à la fin de la distillation. L'expérience prouve qu'il en est réellement ainsi. Ce résultat est remarquable, parce qu'il montre que le liquide le plus volatil peut passer le dernier dans les distillations, si sa masse est prédominante. Dans cette circonstance les premières parties se rapprochent, comme tout à l'heure, du mélange inséparable : elles y parviendront à la suite de nouvelles distillations.

Les faits que je viens d'exposer sont d'une application très-générale, bien qu'ils aient été souvent méconnus, et que l'on ait pris plus d'une fois des mélanges inséparables, et à point d'ébullition fixe, pour des produits définis.

Ce n'est pas qu'il soit impossible de séparer dans d'autres conditions de semblables mélanges, formés sous la pression ordinaire; il suffirait d'avoir recours à la distillation sous une pression différente, dans le vide par exemple. En effet, lorsque la pression extérieure varie, la température d'ébullition change : or, les tensions de vapeur ne varient pas pour deux liquides proportionnellement aux températures. Par le fait d'un abaissement de température, la tension du liquide le moins volatil s'affaiblit en général davantage que celle du plus volatil, et une certaine séparation devient dès lors possible.

Nous n'avons parlé que de la distillation des mélanges divers formés par deux liquides : c'est le cas le plus simple et celui dont la théorie peut être établie avec le plus de certitude, en se fondant sur les données expérimentales. Mais il n'est pas douteux que des faits de même nature, au moins comme signification générale, ne se présentent dans la distillation des mélanges qui renferment trois, quatre liquides ou davantage.

ÉCAILLE (*angl.* tortoise shell, *all.* schildkrœtenschale). L'*écaille* est une substance cornée qui recouvre, en plaques plus ou moins grandes, plus ou moins épaisses, la *carapace* de quelques espèces de tortues. La tortue appelée *caret*, et qu'on pêche en Asie et en Amérique, est celle qui porte la plus belle espèce d'*écaille*. On compte, sur chaque carapace, treize lames et vingt-six autres morceaux recourbés qu'on désigne sous le nom d'*onglons*, qu'on en détache à l'aide de la chaleur, soit de l'eau bouillante, soit, selon quelques voyageurs, en allumant du feu dans la carapace même. L'écaille est tantôt blonde, tantôt brune, tantôt noire; le plus souvent, ces trois couleurs se trouvent réunies sur le même morceau, qu'elles nuancent d'une manière agréable.

L'écaille se travaille à peu près comme la CORNE, et tout ce que nous avons dit de l'aplatissage et de la soudure de celle-ci s'applique à l'écaille, avec cette différence que l'on n'a que le léger bombement de l'écaille à faire disparaître dans l'aplatissage, et qu'il n'est pas nécessaire de la refondre comme la corne; enfin, quant à la soudure, il faut une température plus élevée que pour la corne, et il devient nécessaire d'employer l'eau salée (une poignée de sel par litre d'eau) dans laquelle on la laisse bouillir trois quarts d'heure à une heure, suivant sa nature. Les jeunes écailles doivent bouillir moins longtemps, mais dans une eau plus salée que les vieilles; enfin, la chauffe et le serrage, au moment de la soudure, doivent être beaucoup moins forts que pour la corne. Une autre différence à observer, c'est qu'il est tout à fait inutile de faire tremper préalablement l'écaille dans l'eau froide.

L'écaille est ordinairement moulée, de la même manière que la CORNE.

Pour faire des incrustations sur l'écaille, on prend du fil d'or ou simplement de cuivre doré que l'on contourne avec des pinces, de manière à former un fragment de dessin que l'on veut reproduire. Ce fragment s'applique sur l'écaille, au moyen d'une couche de gomme adragante. On dis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pose successivement autour, ou à côté, les fragments du dessin dans lequel entrent souvent de petites plaques d'une nacre naturellement très mince et encore amincie à la meule, qu'on désigne sous le nom de *nacre de Burgos*, et dont les teintes et les reflets sont beaucoup plus vifs et plus variés que ceux de la nacre ordinaire. Lorsqu'il s'agit de lignes droites un peu longues, on creuse ordinairement un sillon avec un burin pour y loger le fil métallique, qu'il serait difficile d'empêcher de se déranger sans cette précaution. Lorsque le dessin est terminé, on remet la pièce dans le moule où elle a été fabriquée, et au moyen de la pression à chaud, on fait pénétrer dans l'écaille ramollie tous les fils métalliques ou les morceaux de nacre qui forment le dessin, et qui s'y trouvent solidement retenus par la contraction qu'éprouve l'écaille en se refroidissant.

On fait encore usage d'une autre espèce d'incrustation qui produit de charmants effets, et dont nous empruntons la description suivante à M. Boquillon :

Dans un premier moulage, soit en écaille fondue, soit en écaille naturelle, l'écaille reçoit du moule des entailles profondes, formant des dessins divers. On introduit ensuite dans ces sillons de la râpure d'écaille très fine et colorée, que l'on y tasse fortement, puis on essuie bien toute la surface, de telle sorte qu'il ne reste de la râpure d'écaille colorée que dans les sillons. On remet la pièce dans un autre moule exactement de même dimension, et portant, soit un *guillochis*, soit des dessins en relief, qui se raccordent parfaitement avec ceux qu'a produits le premier moule. Il résulte de ce second moulage des dessins d'une autre couleur que le fond, et qui produisent de fort jolis effets. Quant à la coloration de la râpure d'écaille, il suffit, pour la produire, de la mélanger avec la couleur convenable, lors des moulages successifs que l'on fait subir aux déchets et rognures d'écaille (voyez CORNE).

ÉCARLATE (*angl.* scarlet, *all.* scharlach). C'est une couleur rouge vif extrêmement belle et éclatante que l'on obtient en fixant la couleur de la COCHENILLE par un mélange de crème de tartre et de per-chlorure d'étain (voyez TEINTURE).

ÉCARRISSEUR, ÉCARRISSAGE. Écarrir, c'est abattre un cheval hors de service pour le dépecer et en séparer les matières premières nécessaires aux fabricants qui s'occupent du traitement des matières animales (prussiate de potasse, sels ammoniacaux, engrais musculaires, noirs d'ivoire, noir animal, colle, gélatine, phosphates, boyauderies, etc., etc., etc.). Les chevaux morts de maladie ou accidentellement sont achetés par l'écarrisseur; tous les animaux morts, chiens, chats, etc., passent entre ses mains. L'ouvrier qui s'occupe plus spécialement du dépeçage des chiens et des chats prend le nom d'écorcheur.

Près des grandes villes, le métier d'écarrisseur a toujours été profitable aux gens qui s'y livrent, mais il est pour le voisinage la source de tant d'inconvénients qu'il ne peut être exercé qu'à de certaines conditions et sous une surveillance des plus actives. Pendant près de cinquante ans, les particuliers n'ont cessé de porter plainte contre des établissements où l'écarrissage était encore à l'état de barbarie. A Montfaucon, la saleté était si révoltante, l'odeur si fétide, que les maisons avoisinantes n'étaient plus habitables. Grâce aux efforts soutenus et aux publications de MM. D'Arcet, Parent-Duchatelet, Payen, cette industrie a perdu ce qu'elle avait de repoussant et d'incommode.

Les matières jadis abandonnées, au détriment de l'agriculture et de l'industrie, sont maintenant utilisées; toutes les améliorations réclamées depuis si longtemps sont mises en pratique dans le bel établissement d'Aubervillers, que nous aurons occasion de citer dans le cours de cet article. La répugnance qu'inspire généralement le dépeçage d'un cadavre s'est longtemps opposée, surtout dans les campagnes, au progrès de l'écarrissage. Nous voyons encore les paysans porter au loin les animaux morts, dont ils pourraient tirer un si grand parti. Cette répugnance est-elle fondée? l'écarrissage compromet-il la santé des ouvriers? les gaz que développent la putréfaction ont-ils quelque influence nuisible? non... Les enquêtes consciencieuses de MM. Parent-Duchatelet et Payen ont prouvé qu'en général, la santé des écarrisseurs était meilleure que celle des ouvriers employés dans les autres fabriques; au milieu de cette putréfaction, nous avons vu grandir et se développer des enfants sains et vigoureux.

Pour calmer les craintes imaginaires que fait naître cette industrie, disons que, dans le clos de Montfaucon, il ne s'est pas présenté un seul cas de choléra, pendant que ce fléau décimait les quartiers les plus riches et les mieux tenus de Paris.

En thèse générale, le dépeçage des animaux morts est sans danger, il est toutefois une circonstance où l'on doit s'en abstenir. Quand un animal succombe à la maladie connue sous le nom de charbon (anthrax), il faut bien se garder d'y toucher, l'entraîner avec un long croc dans une fosse préparée d'avance, et le recouvrir de terre. Au bout de deux ans, on peut extraire de la fosse les os, pour les vendre. Cette affection morbide est tellement caractérisée dans ses symptômes et dans sa marche, qu'elle ne peut donner lieu à aucune erreur. Les indices du charbon sont les suivants : tumeur gangréneuse surmontée de cloches, douleur vive, chaleur ardente. Les pustules se convertissent en escarres. L'animal est triste, agite ses flancs près desquels se développe une grosseur douloureuse au toucher et rendant le bruit d'une membrane sèche. Après la mort, qui survient au bout de 18 à 30 heures, la langue est noire, la chair et le sang colorés en brun. A ces signes évidents on connaît le charbon; dans le doute il vaudrait mieux s'abstenir et consulter un vétérinaire. Dans tous les cas, pourquoi d'ailleurs les ouvriers n'éviteraient-ils pas même l'ombre du danger, en imprégnant leurs vêtements de travail et leurs mains d'une solution de chlorure de chaux qui est à si bon marché.

Nous avons prouvé que l'écarrissage n'était pas une opération insalubre, tâchons de prouver combien elle peut être lucrative pour les cultivateurs. Un cheval hors de service par suite de maladie, de vieillesse, ou d'une luxation qui ne peut être remise, vaut généralement de 10 à 15 francs. Traité par des procédés peu coûteux, à la portée de tous, il peut acquérir une valeur de 70 francs en moyenne. Une vache du poids de 400 kilogr. peut donner environ 60 francs. Les animaux plus petits présenteraient à proportion les mêmes bénéfices. Pour fixer les idées à cet égard, posons des chiffres, présentons les tableaux que nous devons à M. Payen. Ses comptes-rendus, fruits d'une longue expérience et d'une fabrication en grand, ne laisseront aucun doute dans les esprits. Prenons deux chevaux, l'un de volume moyen, l'autre en bon état, et nous verrons les matières qu'on peut en extraire et le prix qu'on en retire. Ces prix peuvent être modifiés suivant les localités, mais les produits mentionnés dans ces tableaux (voir à la page suivante) offrent en tout pays des applications nombreuses, soit qu'on considère l'agriculture ou l'industrie.

Tous les chevaux qui meurent sont conduits dans des entrepôts d'où ils sont transportés à Aubervillers, les chevaux vivants doivent y être abattus le jour de leur arrivée. Les voitures, qui servent à porter les animaux destinés à l'abattage, sont munies de cordes et d'un moulinet, afin qu'un homme, en les attachant par la queue puisse facilement les enlever. Pour que les jambes ne s'accrochent pas, les ridelles sont basses et inclinées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tableau n° 1.

	CHEVAL de volume moyen	CHEVAL en bon état
	kilogr.	kilogr.
Peau	34	37
Sang	18,500	20,810
Crins courts et longs	1,000	1,220
Sabots	1,500	1,860
Fers et clous	450	1,800
Viscères et issues, foie, boyaux, cervelle	38	39
Tendons	2	2,100
Graisse	4,150	31,500
Chair musculaire, viande	164	203
Os décharnés complétement après la cuisson	46	48,500
Poids total des cadavres	309,600	386,790

N° 2. Tableau des produits obtenus des matières fraîches par les plus simples opérations.

	CHEVAL DE VOLUME MOYEN.		
	Poids en kilog.	Prix du kilog.	Valeur en francs.
	k	f. c.	f. c
Peau fraîche ou passée dans un lait de chaux léger	34	40	13,60
Crins courts et longs	1	1	1
Sang cuit et pulvérulent calculé soit en raison de la nourriture qu'il représente pour les chiens, porcs, etc., soit comme engrais	9	70	2,70
Fers et clous	45	22	12
Sabots supposés réduits en râpures	1,50	1,20	1,80
Viscères et issues employés à faire éclore les asticots pour engraisser les volailles	8	20	1,60
Vidange des boyaux comme fumure	20	05	1
Tendons trempés dans un lait de chaux et desséchés	50	60	30
Graisse fondue	4,15	1,20	4,98
Chair musculaire cuite et divisée pour servir de nourriture aux animaux de basse-cour ou comme engrais	100	35	35
Os	46	05	2,30
	224,50		f. c. 63,60

En refaisant le même calcul pour un cheval en bon état, on trouve, tant par suite de la différence du poids que par la plus value, la somme de 114 francs.

Dans le transport, souvent les rues sont salies par des épanchements de sang et de liquide. Ne pourrait-on pas prévenir ces inconvénients en doublant le fond de ces voitures de plaques métalliques, ou bien encore, ce qui serait plus économique, en plaçant sous les animaux une couche de matières absorbantes comme le noir animalisé? Pour abattre un cheval, on lui bande les yeux et l'on lui assène sur la tête un coup de masse; il est saigné immédiatement afin que le sang ne soit pas perdu. Ce moyen d'abattage est pour ainsi dire le seul admis aujourd'hui. Autrefois, pour montrer leur adresse, les écarrisseurs insufflaient une veine ouverte à dessein, ou bien encore enfonçaient une lame de couteau entre l'occiput et la première vertèbre. En pénétrant jusqu'à la moelle épinière, le couteau donnait immédiatement la mort à l'animal.

Une fois le sang recueilli, nous verrons ultérieurement les préparations qu'on lui fait subir, l'animal est étendu sur le dos, une incision est pratiquée dans le sens de la longueur, depuis le milieu de la mâchoire inférieure jusqu'à l'anus, en suivant la poitrine et le ventre; pour séparer la peau des membres antérieurs et postérieurs, on fait en croix deux autres incisions qui se prolongent jusqu'aux extrémités. Alors on fait une dernière incision circulaire. L'écarrisseur enlève la peau, en glissant son couteau dans l'incision longitudinale. Dans tous les cas, comme il vaut mieux endommager la chair que la peau, il faut toujours tenir le couteau appuyé contre les muscles, surtout si l'animal est maigre. La queue est coupée le plus près possible de sa racine. L'animal est ensuite retourné sur le dos, quand il est complétement dépouillé; la peau qui retient encore les lèvres, c'est-à-dire quelques lambeaux de chair, ce que les écarrisseurs font à dessein pour lui donner plus de poids, la peau est envoyée aux tanneurs, ou s'il fallait attendre, elle est étendue sur des bâtons pour être exposée à l'air. Il est bon de l'imprégner d'une solution de sel marin pour prévenir un commencement de putréfaction.

Les tendons obtenus par la désarticulation des quatre membres devront être passés dans un lait de chaux; cette préparation facile leur donne une valeur plus grande. Ils sont expédiés aux fabricants de colle forte. Dans une exploitation rurale, hachés en morceaux et mélangés avec des pommes de terre, du son, des débris végétaux, ils peuvent servir à l'engraissement des porcs. La chair musculaire est enlevée ensuite par morceaux. A Aubervilliers, elle est divisée par un couteau mécanique avant de passer aux chaudières de cuite. Comme engrais et comme matière alimentaire, la chair musculaire constitue des produits assez importants. Bien qu'à Paris la police, dans des vues de prudence que nous ne saurions blâmer, ait interdit la vente de la chair de cheval comme viande de boucherie, il n'en est pas moins constant que la chair d'un cheval sain, loin d'offrir des dangers comme aliment, peut être d'une grande ressource pour les classes les plus pauvres et réparer les forces de ceux qui sont dans l'impossibilité de se procurer une nourriture animale plus délicate. En Danemarck, la chair de cheval se vend publiquement et avec autorisation.

Dans la Russie méridionale, les Tartares ne mangent, pour ainsi dire, que de la chair de cheval; leur santé n'en souffre nullement. Dans une fabrique que nous avons eu occasion de visiter, ils supportaient beaucoup mieux le travail que les ouvriers russes qui ne se nourrissent, une grande partie de l'année, que de végétaux. En lisant les ouvrages de Parent-Duchatelet et les rapports du baron Larrey, on pourra se convaincre que cet aliment, en admettant toutefois certaines restrictions, n'a rien de nuisible à la santé; c'est le seul point que nous tenons à constater.

La chair de cheval se vend encore pour les chiens, les animaux du Jardin-des-Plantes. Nous croyons qu'elle profite davantage aux porcs, quand elle est cuite et mêlée à des débris végétaux. La viande crue leur occasionne parfois des maladies, surtout lorsqu'ils sont enfermés. Avant de passer à la cuisson de la chair et du sang, disons quelques mots de la graisse et de la manière d'utiliser quelques résidus, intestins, vidanges, sabots, clous fer et poils.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'écarrisseur détache la graisse des muscles dans la région des reins, autour des rognons. Après avoir enlevé les boyaux, il les gratte soigneusement sur une table, en se gardant bien d'endommager ceux qui doivent être livrés aux boyaudiers. La graisse enlevée doit être coupée par morceaux et jetée dans une chaudière, en observant de bien ménager le feu. La graisse fond et se sépare du tissu cellulaire qu'on peut enlever avec une écumoire. Autrefois, l'ouvrier, pour alimenter sa combustion, jetait sur le feu le tissu cellulaire; il vaut mieux le soumettre dans des sacs à une pression graduée, ce qui fournit encore une certaine quantité de graisse. La matière éclaircie, on la verse dans des baquets où elle se refroidit. Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails sur cette opération qui sera décrite plus au long à l'article FONDOIR.

On peut compter qu'un cheval en bon état fournira 40 litres d'huile. Un cheval maigre, 4 à 5 litres seulement. Un ouvrier emploiera 6 heures pour enlever toute la graisse d'un cheval en bon état, à peine une heure pour un maigre.

Par une ébullition dans l'eau suffisamment prolongée, on retire des pieds de chevaux une huile très estimée pour le graissage des machines. Elle vaut de 2 fr. à 2 fr. 50 c. le kilogr. Cette huile a des qualités qui la font rechercher par les émailleurs, elle est fluide, brûle également et sans fumée; elle sert aux hongroyeurs pour préparer les peaux et aux bourreliers pour assouplir les cuirs des harnais. Une fois les intestins débarrassés de leur graisse et vidés, l'ouvrier met à part une partie des intestins grêles, tous ceux qui peuvent servir aux boyaudiers, à la fabrication des cordes à poulie, etc., etc. Ces intestins doivent donc être soigneusement rincés à plusieurs eaux. On les fait sécher en les suspendant à l'air. Dans un établissement bien monté, on pourrait les exposer au soufrage, ce qui leur donnerait une plus grande valeur. Les vidanges d'intestins mélangés avec de la terre, des marnes, des cendres, des escarbilles, ou mieux encore avec du noir animalisé, fournissent un excellent engrais qui peut être utilisé sur les cultures aux environs de l'abattoir.

On peut utiliser les issues, les débris d'intestins dans a production de ces vers blancs, connus vulgairement ous le nom d'ASTICOTS, ces vers proviennent des mouches, *musca carnaria*, *musca cæsar*, *musca vivipara*, qui léposent leurs œufs sur les viandes en putréfaction, et valent à Paris 12 francs environ l'hectolitre. Il s'en vend chaque année pour une dizaine de mille francs C'est, comme on voit, un produit qui n'est pas à dédaigner. En détail ces vers se vendent encore assez cher aux pêcheurs à la ligne. On les donne avec avantage aux volailles. Les expériences à cet égard sont concluantes, c'est un fait bien connu des conservateurs des forêts, qui faisaient jeter çà et là dans les bois des débris d'animaux, pour développer ces larves dont les faisans sont fort avides.

Les fers sont détachés des sabots. Les clous, connus sous le nom de caboches, sont envoyés en province, principalement en Auvergne. Les sabots sont employés par les aplatisseurs pour les peignes à chignon et autres objets; rien n'est plus facile que de séparer le sabot de l'os intérieur, une fois que les attaches sont sèches, il suffit de le frapper sur un corps dur.

Par la fermentation en tas, l'hiver et l'été, par une macération de quelques jours dans l'eau, on arrive à désorganiser les parties pulpeuses. La connexion entre l'épiderme et le sabot est détruite. Les sabots ont peu de valeur, les 100 kilogr. valent de 4 à 5 francs. On pourrait tirer un plus grand parti des sabots en les râpant. La corne en poudre a une valeur d'autant plus grande, que la poudre est plus fine et moins souillée de corps étrangers.

Le poil des animaux se vend humide, 4 fr. 50 c. l'hectolitre : c'est un engrais puissant.

On peut avec les poils fabriquer un feutre grossier, qui, dans les pays froids, surtout dans les maisons en bois, sert à calfeutrer les cloisons. Ce feutre fournit aux chasseurs d'excellentes bourres, qui ne brûlent pas, une fois hors du fusil. Il est encore employé avec avantage dans les emballages.

Le sang se réduit par la dessiccation au tiers de son poids environ.

Les 100 kilogr. de sang sec valent de 18 à 20 fr. environ.

Différentes méthodes ont été employées pour la cuisson du sang; en petit, le moyen le plus simple serait la concentration à feu nu, dans des chaudières longues et peu profondes. Il faudrait, dans ce cas, remuer continuellement le liquide et modérer le feu, surtout vers la fin de l'opération. Pour accélérer l'évaporation, tantôt on faisait descendre le sang sur des piles de bois, tantôt on l'exposait en nombreuses surfaces au contact de l'air, au moyen de toiles qui plongeaient dans la chaudière et se relevaient alternativement. Ces moyens ingénieux, du reste, ont été abandonnés, l'emploi de la vapeur ayant prévalu dans la cuisson du sang.

Dans plusieurs établissements, on verse le sang dans un grand cuvier; un tuyau en serpentin percé de trous y amène la vapeur, le sang bouillonne; après un certain temps, l'albumine du sang est coagulée. On sépare la partie solide de la partie liquide, en soumettant le tout dans des sacs à l'action d'une presse. La partie solide est ensuite portée aux séchoirs. Le liquide qui s'est écoulé des presses peut servir à l'arrosage.

A Aubervillers, le sang se cuit en vases clos à haute pression, dans d'immenses chaudières cylindriques munies d'un double fond.

Ce sont les mêmes chaudières que l'on emploie pour la cuisson de la viande; une porte latérale permet de retirer par le bas, après l'opération, le sang ou la chair.

Dans le double fond se rassemble un liquide gélatineux chargé de graisse.

Des chaudières, le sang et la chair, vont directement au séchoir, sans être pressés.

La dessiccation s'opère, à Aubervillers, au moyen du ventilateur de M. *Combes* et à l'abri de l'air, avantage immense, car les matières azotées sont préservées de la fermentation. Après la dessiccation, le sang et la chair sont broyés dans un moulin, et mis en sacs ou en tonneaux. Le sang et la chair desséchés forment un engrais très puissant; il s'en expédie beaucoup aux colonies pour la culture des cannes à sucre.

Les fabricants de bleu de Prusse en emploient aussi une grande quantité. On préparait pour la clarification des sucres un sang desséché à basse température, dans le but de ne pas coaguler l'albumine. Il paraît que cette opération, qui n'a jamais été faite sur une grande échelle, a été abandonnée.

Le sang liquide s'emploie, dans quelques localités, comme matière colorante. On en fait un badigeon.

Quand on retire la chair cuite par la porte latérale, placée dans le bas de la chaudière, les os s'en séparent avec la plus grande facilité. Dans certains établissements, ils sont vendus directement sans avoir subi aucun traitement. A l'article os, nous parlerons de leur constitution chimique, et nous entrerons dans des détails de fabrication que nous ne pouvons donner ici. Il suffit de savoir que les os sont employés à des ouvrages de tourneurs, tabletiers, etc., à la fabrication du noir animal, des produits ammoniacaux, de la colle forte, de la gélatine, du phosphore, etc.

Ces os, suivant leurs dimensions, valent de 6 à 40 francs les 100 kilogrammes.

On a publié le plan du clos d'écarrissage d'Auber-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

villiers. Ce plan ne laisse rien à désirer sous le rapport des dispositions qui doivent faciliter le travail, assurer la salubrité et la surveillance de toutes les parties de l'établissement.

Ce plan sera toutefois modifié par les industriels qui voudraient annexer à l'écarrissage proprement dit les fabrications qui en dépendent, carbonisation des os, colle, boyauderies, ce qui pourrait être avantageux dans le cas où les matières premières, fournies par l'écarrisseur, devraient être envoyées à de grandes distances. O. VALERIO.

ÉCHAPPEMENT. Voy. HORLOGERIE.

ÉCLAIRAGE (*angl.* Lighting, *all.* Beleuchtung). L'art de l'éclairage, c'est-à-dire de faire naître artificiellement une lumière qui puisse remplacer pour nos besoins celle du soleil, qui ne consistait autrefois que dans l'emploi d'appareils extrêmement grossiers, a pris depuis la fin du dernier siècle, notamment depuis la découverte des becs à double courant d'air d'Argand et celle du gaz de la houille, un développement extraordinaire. Nous allons étudier en détail les grandes industries qui s'y rapportent.

1° PRODUCTION DE LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE. — COMBUSTION LUMINEUSE. — C'est l'éclat de la combustion lumineuse d'un corps qui est la principale source de lumière qu'utilise l'industrie. La lumière électrique a été cependant employée dans ces dernières années, mais dans des cas exceptionnels : nous en traiterons séparément. En général, on produit la lumière par la combustion, c'est-à-dire par la combinaison d'un comburant et d'un combustible. C'est toujours l'air formé d'oxygène et d'azote dans le rapport de 21 à 79 en volume qui, dans la pratique industrielle, fournit gratuitement le corps comburant, l'oxygène. Le rôle de l'azote est négatif; il diminue l'intensité de la combustion que produit l'oxygène pur. Quant aux corps combustibles employés, ils varient en raison de la facilité de leur emploi et de la quantité de lumière qu'ils donnent pour une même dépense. Voyons donc à déterminer d'abord les conditions générales de la combustion lumineuse.

Combustion des solides fixes. — Incandescence lumineuse. — Une chaleur intense soit communiquée à un corps solide, soit engendrée par la combustion de celui-ci, se manifeste sous l'apparence d'*incandescence*. La lumière que projette le corps varie en raison de la température à laquelle se produit celle-ci, et paraît se manifester sensiblement de la même manière pour tous les corps, sauf l'intensité variable en raison du pouvoir émissif, du pouvoir réflecteur, de la densité de chacun d'eux, etc. Si l'on suit la combustion rendue de plus en plus vive du charbon, on voit les couleurs se succéder ainsi. D'abord faiblement incandescent, il émet une faible lueur couleur rouge; d'abord le *rouge sombre*, puis le *rouge cerise*. La température s'élevant beaucoup, la couleur devient rouge jaunâtre (*rouge vif*), puis jaune approchant du blanc, puis verdâtre, enfin bleuâtre avec un très-grand éclat, c'est la *chaleur blanche*.

M. Pouillet (voy. PYROSCOPE, *Complément*) a cherché à évaluer, à l'aide du pyromètre de platine, les températures qui correspondent à ces apparences lumineuses. Il est parvenu aux résultats suivants :

Rouge sombre. . . .	700° c.
Rouge cerise	900° c.
Orangé clair	1200° c.
Blanc nuancé	1300° c.
Blanc éblouissant. . .	1500° c.

Nous dirons quelques mots plus loin de quelques combustions de corps solides extrêmement remarquables par la grande intensité de la lumière qu'elles rayonnent et qui, produites dans les cours de chimie, excitent la vive admiration des spectateurs, par exemple, la combustion du phosphore, du fer dans l'oxygène, celle du fer, de l'antimoine, dans le chlore, etc. Cette intensité sert à établir le principe fondamental de l'explication du pouvoir éclairant qui repose, dans tous les cas, sur l'incandescence des solides, de corps ayant une masse, par suite un pouvoir réflecteur et émissif considérable.

La fixité, l'infusibilité de l'oxyde formé, en limitant la combustion, paraissent rendre impossible le plus souvent l'application industrielle de la lumière formée par la combustion d'un solide; on vient toutefois d'entrer dans une voie d'utilisation d'une semblable combustion, dans un cas tout particulier il est vrai, mais intéressant en ce qu'il nous paraît dans une voie nouvelle; en effet, il n'est pas démontré que l'industrie ne puisse employer, au moins dans quelques cas spéciaux, d'autres combustions de corps solides. Il faudrait des expériences propres à apprécier non-seulement l'intensité de la lumière, comme nous l'indiquons ci-après, mais encore la quantité de lumière (ce que l'on conclut trop imparfaitement aujourd'hui de la mesure de l'intensité et de l'étendue de la surface éclairée, faute de pouvoir mesurer la force vive prenant la forme lumineuse, produite par une combustion) pour une combustion coûtant un prix connu.

Je veux parler du magnésium, dont la combustion est d'un admirable éclat et qui, pour la consommation d'un faible poids, dégage une grande quantité de lumière. Un fil, placé dans un appareil d'horlogerie qui le fait avancer, brûle en un point sensiblement fixe, et pendant tout le temps que le métal est fourni par l'appareil. La fixité et la durée de l'action, l'intensité de la lumière qui renferme une grande proportion de rayons chimiques, ultra-violets, sont assez grandes pour que les photographes aient pu l'employer pour tirer des épreuves.

Pour d'autres applications, d'autres métaux de valeur minime dont l'oxyde est volatil, ou se détache du fil, le zinc et le fer, par exemple, pourraient peut-être recevoir un semblable emploi. Si leur combustion dans l'air n'offre pas autant d'éclat que celle du magnésium ou que leur propre combustion dans l'oxygène pur, on remarquera qu'il serait facile de l'augmenter, en faisant passer par ces fils un courant électrique qui viendrait aider l'activité de la combustion. Or, on sait que la combustion des métaux par la pile a un grand éclat, et si la dépense de l'électricité venait ici s'ajouter pour produire un supplément d'éclat, elle n'enlèverait rien toutefois à la lumière produite par la seule oxydation.

Mais il n'y a pas à insister ici sur un point qui demande des recherches spéciales, notre intention étant seulement d'indiquer une voie curieuse à explorer.

Combustion des solides et de liquides réduits en vapeur, du gaz. — Nature de la flamme. — Quand le corps combustible est à l'état gazeux, soit originairement, soit à cause de la chaleur à laquelle il est soumis, le mélange du gaz avec l'oxygène de l'air et les produits de la combustion constitue la *flamme*, qui est, en réalité, une substance gazéiforme chauffée jusqu'à l'incandescence. Si le gaz combustible ou la vapeur et l'oxygène de l'air sont mêlés uniformément avant l'ignition, et si le mélange est en repos, la combustion prend la forme d'une explosion, la combustion se produisant en un instant dans toute la masse de matière gazeuse, qui paraît un moment totalement lumineuse. Un effet semblable a lieu pour un corps solide combustible, comme le soufre ou le charbon, si on le mélange intimement avec un nitrate, un chlorate ou autre corps solide qui peut fournir facilement de l'oxygène : si la température en un seul point d'un semblable mélange vient à être élevée jusqu'à celle de la combustion, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frottement, percussion ou contact d'un corps chaud, l'ignition de quelques particules élève la température des parties voisines, et l'effet se propage à travers toute la masse en un temps extrêmement court, d'une durée inappréciable, produisant un soudain et violent dégagement de gaz qui occupent plusieurs milliers de fois le volume du mélange solide primitif. Le bruit qui résulte de l'explosion provient du choc violent que produit sur l'air environnant l'expansion soudaine des gaz chauds.

Mais quand le gaz combustible ou la vapeur sort par un orifice ou se dégage d'une mèche pour arriver dans l'air ou dans une atmosphère d'oxygène, la combustion se produit graduellement à la surface du contact des deux gaz, et il apparaît une flamme persistante, consistant en une partie inférieure sombre et peu chauffée, remplie de gaz combustible, et en une enveloppe incandescente marquant les limites des points où le gaz combustible et l'oxygène viennent en contact et se combinent, ou plus exactement les limites de la partie gazeuse portée à une température suffisante pour être lumineuse. On peut facilement prouver que telle est la structure de la flamme, en coupant en quelque sorte la flamme en divers points à l'aide d'une toile métallique comme Davy a appris à le faire (voy. FLAMME); soit encore en plaçant un morceau de phosphore sur la mèche d'une lampe à esprit-de-vin, le phosphore ne prend pas feu tant qu'il n'est pas poussé hors du centre. De la même manière, une chandelle allumée peut être éteinte en la plaçant au milieu d'une flamme d'alcool.

L'éclat ou le pouvoir éclairant d'une flamme ne dépend pas seulement, comme pour un solide, de la température, mais encore de la présence ou de l'absence de particules solides qui agissent comme des centres de rayonnement. Toute flamme qui ne renferme pas de semblables particules émet une faible lumière, même quand la température est extrêmement élevée; telle est, par exemple, la flamme du gaz hydrogène. Mais quand une flamme renferme des particules solides, l'éclat augmente avec la température de ces particules. Leur présence dans la flamme provient quelquefois de la combustion du corps combustible avec l'oxygène, par exemple, l'acide phosphorique ou l'oxyde de zinc, dans la combustion du phosphore ou du zinc; plus souvent, dans la combustion des substances hydrocarbonées à l'état gazeux notamment, ce sont des particules de carbone, celles que l'on recueille sous forme de noir de fumée quand on introduit un corps froid dans la flamme, qui se trouvent dans celle-ci. Toute flamme terne devient plus brillante quand on y projette un corps solide en poussière fine.

On peut citer, comme donnant une flamme terne : le gaz hydrogène, l'oxyde de carbone, le soufre, le sélénium, l'arsenic, l'esprit de bois, l'alcool; le phosphore brûle avec une flamme dépourvue d'éclat, dans le chlore, parce que le chlorure de phosphore produit par cette combustion est à l'état gazeux (H. Davy). Quand une spirale formée par un fil de platine ou un fragment d'amiante est placée dans une de ces flammes, ou que de l'oxyde de zinc en poudre y est projeté, la matière solide devient immédiatement blanche et émet une vive lumière (Davy). Du papier trempé dans une solution de chlorure de calcium et brûlé dans la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, se réduit en une réseau de cendres qui, au milieu de la flamme pâle de l'alcool, émet une brillante lumière (Talbot).

Si de la vapeur d'alcool est projetée par une série de tubes, et du gaz oxygène par une autre série, sur un morceau de chaux suspendu à un fil de métal, l'alcool brûlant dans l'oxygène chauffe la chaux jusqu'à un degré de blancheur éblouissante, telle que la lumière réfléchie par un miroir concave placé derrière est parfaitement sensible à une distance de 68 milles. On rend la chaux encore bien plus lumineuse en employant au lieu d'alcool et de gaz oxygène un chalumeau oxy-hydrogène. Prenant pour unité la lumière d'une bougie de cire, celle émise par un cylindre de chaux dont la circonférence est 1/5e de celle de la flamme de la bougie, est égale à 153 quand il est chauffé par la flamme oxy-hydrogène; à 76 avec la flamme d'éther et d'oxygène; à 69 avec l'alcool et l'oxygène; enfin à 19 avec le gaz d'éclairage et l'oxygène. Du calcaire qui n'a pas été chauffé, de l'argile blanche donnent beaucoup moins de lumière que la chaux vive.

En résumé, une brillante lumière est produite par la combustion des corps suivants :

1° Ceux dont la combinaison avec l'oxygène forme un composé solide : le phosphore, le potassium, l'antimoine, le bismuth, le zinc et beaucoup d'autres métaux;

2° Les composés contenant du carbone, et sur lesquels nous reviendrons tout à l'heure.

Figure des flammes et température. — Il importe de voir comment l'arrivée de l'air, des gaz et des vapeurs combustibles détermine la figure des flammes, et comment, par l'effet des dispositions générales qu'il faut adopter, la température s'y répartit.

Soit la flamme d'un corps riche en hydro-carbures, brûlant au moyen d'une mèche, une chandelle par exemple. Le suif fondu par la chaleur monte dans la mèche en vertu de la capillarité; il s'y décompose sous l'influence de la haute température que lui communiquent les parties déjà en combustion; de là résultent divers gaz et vapeurs combustibles qui se dégagent autour de la mèche. Ces abondantes vapeurs hydrocarbonées ne pouvant brûler par les points où elles sont en contact avec l'oxygène de l'air, et se dégageant symétriquement autour de la mèche, cette flamme est formée ainsi qu'il suit : 1° un cône *intérieur obscur*, effilé à la partie supérieure, entourant la mèche et renfermant les produits de la distillation du suif, mêlés avec quelques produits de la combustion provenant de la partie inférieure, savoir : de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, enfin de l'azote de l'air; son existence se démontre facilement en coupant la flamme horizontalement par un papier qui est carbonisé suivant un anneau dont le centre reste parfaitement intact; 2° la *zone de lumière* bleue du bas de la flamme, qui est en contact avec un excès d'oxygène déterminant une combustion à peu près complète, de façon à rapprocher la couleur de la flamme à peu près privée de carbone solide, de celle de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène; 3° le *cône lumineux* entourant le cône obscur, et dans lequel les vapeurs hydrocarbonées se mélangent avec l'air extérieur et se combinent avec son oxygène. C'est là que se fait la combustion active rendue lumineuse par le carbone qui s'y trouve momentanément en suspension, et qui est porté à l'incandescence. Les gaz échauffés s'élèvent sans cesse, ce qui donne à la flamme son aspect conique. Au sommet du cône obscur, le cône lumineux fait dard. Ce cône est plus jaunâtre à mesure qu'on se rapproche davantage de l'extérieur, parce que le carbone disparaît. Le maximum de température est obtenu là où la combustion est la plus complète possible et où les gaz sont le mieux protégés contre le rayonnement et le refroidissement produit par le contact de l'air extérieur. Ces conditions multiples se trouvent le mieux remplies entre la pointe du cône obscur et la pointe extérieure du cône lumineux, plus près de la première que de la seconde; 4° *la pointe* où se réunissent les gaz hydrocarbonés et le carbone en suspension qui sont brûlés les derniers, abrités en quelque sorte contre l'oxygène par les produits de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE.

combustion des parties latérales qui s'élèvent verticalement. Aussi en ce point la combustion n'est pas très-intense, et c'est par là que le noir de fumée se dégage, très-abondamment si la mèche large et haute dégage abondamment, et à une grande hauteur, des vapeurs hydrocarbonées.

La flamme d'une lampe d'Argand, dont le bec circulaire est léché par un courant d'air extérieurement et intérieurement, peut être comparée à celle d'une chandelle qui aurait été aplatie, puis enroulée sur un cylindre. Elle affecte la forme d'un anneau presque cylindrique dans la plus grande partie de son étendue, se terminant par une pointe circulaire. On y reconnaît donc les mêmes éléments que dans la flamme conique, mais d'après la forme de la mèche la zone obscure a très-peu d'épaisseur.

La grandeur de la flamme dépend de conditions multiples dont les principales sont la température développée par la combustion, le volume de l'oxygène ou, plus généralement, du gaz comburant, le volume des produits de la combustion, la diffusibilité inégale des gaz les uns dans les autres, etc. Voici divers faits qui s'expliquent par le concours de ces conditions.

Quand différents gaz combustibles sont lancés en un seul jet dans du gaz oxygène ou dans des mélanges qui en renferment, on observe les effets suivants : l'hydrogène donne une flamme beaucoup plus petite que le gaz oléfiant (1 volume d'hydrogène a besoin pour brûler de 1/2 volume d'oxygène et le gaz oléfiant de 3 volumes). L'hydrogène mélangé avec de l'azote donne une flamme un peu plus petite que l'hydrogène pur. La flamme du gaz hydrogène dans l'oxygène est plus petite que celle du même gaz dans l'air; c'est là une anomalie apparente, si l'on ne tient compte que des volumes des deux gaz qui entrent en combinaison, comme le fait observé encore, que l'hydrogène donne une moindre flamme dans l'air que dans le chlore ou le gaz nitreux, bien qu'un volume de gaz hydrogène nécessite 2,4 volumes d'air et seulement 1 volume de chlore ou de gaz nitreux.

La couleur de la flamme dépend en partie de sa température, en partie de la nature des substances qui y sont contenues.

Le gaz oxyde de carbone froid donne, en brûlant, une flamme bleue; mais s'il a été préalablement chauffé, la flamme est rouge jaunâtre.

L'hydrogène et les autres gaz qui dégagent beaucoup plus de chaleur que l'oxyde de carbone montrent une flamme rouge jaunâtre quand on les brûle froids. Quand l'hydrogène sort par un petit orifice (comme dans l'appareil de Marsh) pratiqué dans une plaque de porcelaine, la flamme devient pâle verdâtre; résultat de l'action réfrigérante de la porcelaine.

L'addition d'acide borique ou d'un chlorure métallique et d'acide sulfurique, dans l'alcool, donne à la flamme une couleur verdâtre qui, avec un fort chauffage préalable, tourne au jaune. Le chlorure de strontium et le chlorure de calcium colorent en rouge la flamme de l'alcool; le chlorure de barium et le sel marin la colorent en jaune; le protochlorure de cuivre donne une belle flamme rouge avec du vert et du bleu sur les bords. Les flammes des autres corps subissent de semblables altérations. Le chlorure de strontium rougit la flamme de l'hydrogène, du gaz des marais, du gaz oléfiant et aussi celle d'une chandelle; mais, et seulement tant que le sel est humide, il ne produit pas d'effet dans la flamme de soufre. Dans tous ces cas, une partie de la substance ajoutée est sûrement volatilisée : mais on ne savait pas, jusque dans ces derniers temps, si elle se décompose et si la couleur de la flamme est due seulement à la présence de l'acide borique, du chorure de strontium, du chlorure de cuivre, etc., ou s'il se produit une décomposition, de telle sorte que du bore, du strontium, du cuivre sont réduits et produisent les différentes couleurs en brûlant dans la flamme. Davy avait proposé cette dernière explication des faits.

L'analyse spectrale a démontré que la manière de voir de Davy était la vraie, que le sodium et le chlorure de sodium, par exemple, donnaient toujours les mêmes raies, celles du sodium.

L'étude des couleurs des flammes est d'un grand intérêt pour les questions d'éclairage, car dans les comparaisons d'intensité, telles qu'on les pratique pour les applications industrielles dont nous parlons plus loin, on suppose toujours les lumières homogènes, ce qui est une source d'erreur manifeste. L'analyse spectrale pourra permettre de s'avancer dans une voie, où les moyens de comparaison manquaient tout à fait.

PROPRIÉTÉS ÉCLAIRANTES DES GAZ HYDRO-CARBONÉS. — M. Berthelot a eu l'obligeance de résumer pour cet ouvrage l'application de ces principes généraux aux gaz hydrocarbonés, qui constituent la principale source de lumière artificielle dans les sociétés humaines.

Tantôt les sources de lumière affectent naturellement l'état gazeux : tel est le gaz de l'éclairage proprement dit; tantôt elles fournissent par leur décomposition et dans l'acte même de la combustion, des substances gazeuses qui deviennent le véritable support de la lumière produite : tel est le cas des huiles végétales, des résines, du bois, de la paille, des pétroles, de la chandelle, de la bougie, de la cire, etc.

Nous allons chercher à définir les conditions générales auxquelles cette combustion doit satisfaire pour donner un bon éclairage, en appliquant au cas normal de l'industrie et complétant les considérations indiquées ci-dessus.

1° *Présence d'un corps solide.* — Tout gaz lumineux doit renfermer, avons-nous dit, un corps solide en suspension : dans les cas dont nous nous occupons, ce corps solide est toujours du carbone.

2° *Température.* — Le gaz doit être porté à une très-haute température, capable de rendre lumineux le corps solide qu'il renferme, c'est-à-dire le carbone.

3° *Combustion.* — En observant que cette haute température est développée par la combustion du gaz lui-même, c'est-à-dire par la combinaison de l'hydrogène et du carbone du gaz avec l'oxygène de l'air, on tire de là diverses conditions relatives à la combustion et que nous développerons : en effet, il est évident que la combustion doit s'opérer dans les conditions les plus convenables pour que le gaz soit lumineux.

4° *Nature des rayons lumineux.* — Le gaz doit émettre des rayons lumineux incapables de fatiguer l'œil humain : ce qui exclut la prédominance des rayons empruntés aux deux extrémités du spectre, c'est-à-dire des rayons rouges d'une part, et d'autre part des rayons chimiques (telle que la lumière bleuâtre éblouissante de l'arc électrique ou du magnésium). En général, la lumière émise doit être aussi blanche que possible.

Développons les trois premières conditions, lesquelles sont corrélatives. Les gaz comme les autres corps ne deviennent lumineux que s'ils sont portés à une température suffisamment élevée; mais cette condition ne suffit pas, les gaz qui ne renferment aucune particule solide, tels que l'hydrogène, peuvent développer par leur combustion une température excessive, capable, par exemple, de fondre le platine (2000° environ) sans cependant émettre autre chose qu'une lueur à peine visible. Les gaz hydrocarbonés, au contraire, deviennent lumineux par suite de la précipitation sous forme solide d'une partie du carbone qu'ils renfer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

maient en combinaison. Dans l'état naturel du gaz et à la température ordinaire, ce carbone n'est pas visible, parce qu'il est uni à l'hydrogène et constitue avec lui le composé gazeux. Mais au moment de la combustion deux actions se produisent, qui mettent à nu une partie du carbone : d'une part le gaz hydrocarboné est porté à une température très-élevée, ce qui détermine sa décomposition partielle en carbone et en hydrogène; d'autre part, en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante, l'hydrogène du gaz brûle le premier et le carbone se sépare en nature.

Telles sont les circonstances générales qui déterminent au sein de la flamme d'un gaz hydrocarboné la présence du carbone nécessaire pour le rendre lumineux. On pourrait également déterminer cette mise à nu du carbone par certaines actions chimiques, celle du chlore, par exemple, mélangé avec le gaz combustible, mais ce cas est en dehors de la pratique.

Cherchons maintenant à quelles conditions spéciales le gaz sera plus ou moins éclairant, c'est-à-dire émettra une lumière plus ou moins vive et blanche. Ces conditions se rattachent surtout à la présence d'une proportion convenable de carbone dans le gaz.

En effet, il faut que la flamme renferme une proportion de carbone suffisante pour produire une vive lumière et pour subsister en nature pendant quelques instants; mais il faut en même temps que ce carbone brûle complétement à la surface extérieure de la flamme.

Si le carbone est en proportion insuffisante, il ne réfléchit qu'une quantité de lumière trop faible : c'est ce qui arrive, par exemple, avec l'oxyde de carbone. La couleur bleue de sa flamme paraît due à la présence d'une trace de carbone produite par un commencement de décomposition. La même chose arrive, mais avec production d'un peu plus de carbone, avec le gaz des marais, C^2H^4, dont la flamme est jaunâtre et peu éclairante.

Au contraire, si le carbone se trouve en excès, il ne brûle pas complétement à la surface extérieure de la flamme : une certaine proportion échappe à la combustion, cesse d'être lumineuse et rend la flamme fuligineuse, c'est-à-dire que le carbone non brûlé s'interpose comme un brouillard entre l'œil et les parties lumineuses de la flamme. Celle-ci devient ainsi moins éclairante, et de plus elle envoie à l'œil une grande quantité de lumière rouge émise par les parcelles de carbone au moment où elles ont cessé d'être lumineuses par suite du refroidissement.

Toutes ces circonstances se produisent dans la combustion de la benzine ou de l'essence de térébenthine, dans celle des torches de résine, de la paille humide, etc.

L'expérience a prouvé que les conditions nécessaires pour qu'une flamme hydrocarbonée brûlant au contact de l'air soit très-éclairante tiennent aux circonstances suivantes :

1° Rapport entre le carbone et l'hydrogène dans le gaz combustible;

2° Condensation des éléments dans ce même gaz;

3° Rapport convenable entre le gaz combustible et l'air employé pour le brûler;

4° Pression exercée sur le mélange des gaz combustibles et comburants.

Entrons dans quelques détails :

1° *Rapport entre le carbone et l'hydrogène.* — Si l'hydrogène domine, comme il arrive dans le gaz des marais, C^2H^4, la flamme est peu éclairante. Si le carbone l'emporte, comme il arrive dans l'acétylène, C^4H^2, ou la benzine, $C^{12}H^6$, la flamme est fuligineuse.

Le maximum de pouvoir éclairant existe, lorsque les proportions des deux éléments sont rapprochées des rapports équivalents. Ainsi le gaz oléfiant, C^4H^4, donne une flamme très-belle et très-éclairante. Ce rapport a été regardé pendant longtemps comme l'élément principal de la question : mais la condensation joue ici un rôle également important.

2° *Condensation des éléments dans les composés pris sous forme gazeuse.* — On peut le vérifier en comparant la flamme du gaz oléfiant, C^4H^4, à celle du propylène, C^6H^6, et de l'amylène, $C^{10}H^{10}$. Ces trois corps sont formés des mêmes éléments, unis dans les mêmes proportions, mais avec des condensations différentes, comme les formules l'indiquent. Tous trois brûlent avec des flammes fort éclairantes; mais celle du gaz oléfiant brûle avec un dépôt de carbone presque insensible, tandis que les deux autres sont fuligineuses et dès lors moins éclairantes.

De même la flamme de l'alcool méthylique : $C^2H^2 + H^2O^2$, est presque incolore;

Celle de l'alcool ordinaire, $C^4H^6 + H^2O^2$, est fort pâle, jaunâtre, quoique plus lumineuse;

Celle de l'éther, $C^8H^8 + H^2O^2$, est très-brillante :

Celle de l'alcool amylique, $C^{10}H^{10} + H^2O^2$, est brillante, mais déjà légèrement fuligineuse.

Or, tous ces corps peuvent être regardés comme formés par l'association des éléments de l'eau avec des carbures d'hydrogène de même composition, mais diversement condensés.

En raison de cette circonstance, on peut corriger les propriétés fuligineuses d'une flamme en associant le composé qui la fournit avec un corps moins carboné et capable de fournir par lui-même une flamme peu éclairante. C'est ainsi que la flamme de l'hydrogène est incolore et celle de la benzine fuligineuse; mais l'hydrogène chargé de vapeur de benzine brûle avec une belle flamme blanche. De même, l'essence de térébenthine, à flamme fuligineuse, associée avec l'alcool à flamme pâle et jaunâtre, produit un liquide désigné autrefois sous le nom de *gaz liquide*, et qui brûle avec une belle flamme blanche et très-éclairante.

La même règle préside à la fabrication du gaz de l'éclairage préparé par la distillation de la houille. Les premiers produits obtenus à température basse sont riches en carbone, tels que benzine, acétylène, gaz oléfiant, etc., très-éclairants, voire même fuligineux; les derniers sont formés principalement par du gaz des marais, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, tous gaz à flamme presque incolore. En mélangeant le tout dans les gazomètres, on obtient un gaz convenablement éclairant. Dans le cas où les premiers produits de la distillation ne sont pas assez riches en carbone, on y ajoute des produits de distillation des houilles grasses ou même des boghead, sorte de schistes qui fournissent des carbures d'hydrogène très-éclairants.

Ces faits montrent toute l'importance des notions théoriques que nous développons ici.

3° *Rapport entre le gaz combustible et l'air employé pour le brûler.* — Les propriétés éclairantes d'un gaz ou d'une vapeur hydrocarbonée varient suivant la proportion de l'air avec lequel il est mélangé au moment de la combustion. Il est facile de le comprendre, puisque cet air détermine une combustion plus ou moins complète du carbone dans la flamme.

Un gaz très-carboné, qui brûlerait avec une flamme fuligineuse dans les conditions ordinaires, peut donner une flamme blanche et très-éclairante, lorsqu'on le mélange avec une certaine quantité d'air. La flamme peut même devenir presque incolore sous l'influence d'un excès d'air. Ces faits sont faciles à constater avec le bec Bunsen, sorte de bec de gaz placé à l'extrémité supérieure d'un tube qui est muni à la partie inférieure d'un anneau percé de trous donnant passage à l'air, et à l'aide duquel on fait varier à volonté la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

proportion de l'air que l'on mélange avec le gaz de l'éclairage, avant d'en opérer la combustion.

On peut constater que l'air que l'on mélange avec le gaz hydrocarboné peut intervenir de deux manières :

(*a*) Tantôt on mêle à l'avance le gaz et l'air, ce qui s'exécute dans le bec Bunsen, dans lequel la combustion s'opère seulement en haut d'une petite cheminée au bas de laquelle afflue le gaz de l'éclairage, par un trou spécial, l'air entrant par des ouvertures latérales; on obtient le même résultat en plaçant une toile métallique sur l'extrémité de la cheminée d'un bec d'Argand et en enflammant le gaz au-dessus de la toile métallique. L'effet du mélange du gaz d'éclairage avec un excès d'air se constate aussi dans une foule de cas, dans les illuminations publiques, par exemple. Mécaniquement poussé par le vent, l'oxygène pénètre jusqu'au cœur de la flamme, et celle-ci, blanche qu'elle était, passe instantanément à l'état de lueur bleue.

Un mélange analogue s'opère lorsque l'on emploie, au lieu de gaz d'éclairage, un courant d'air chassé, par un ventilateur ou par tout autre procédé, à travers un réservoir renfermant des carbures d'hydrogène très-volatils. Le mélange de la vapeur de ces carbures avec l'air, s'il est convenablement réglé, constitue un gaz inflammable et éclairant. Certaines lampes à huile de schiste reposent sur le même principe, la vapeur de l'huile échauffée se mélangeant avec l'air avant d'être enflammée.

(*b*) Souvent la vapeur ou le gaz combustible n'est pas mélangé à l'avance avec l'air, mais le mélange se fait au moment et dans l'acte même de la combustion, sans l'intervention directe d'une action due à un travail mécanique indépendant de l'appareil, comme dans les cas qui viennent d'être indiqués. Tantôt on parvient à ce résultat en forçant le tirage de l'air autour de la flamme, à l'aide d'une cheminée de verre de hauteur assez grande; tantôt on donne à la flamme

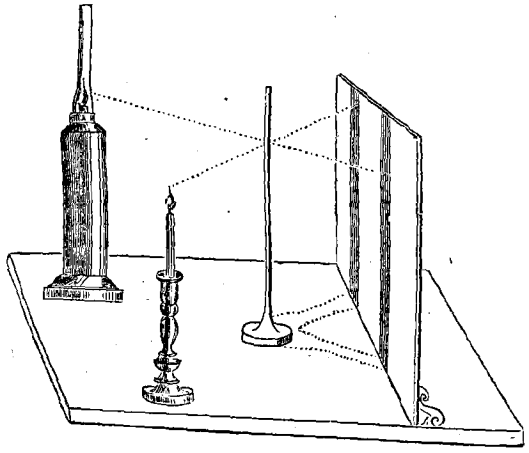


Fig. 688.

une forme spéciale destinée à augmenter sa surface pour une même quantité de gaz brûlé; les becs dits papillon font intervenir une condition de ce genre.

C'est d'après les principes généraux qui viennent d'être posés que sont réglées les innombrables dispositions qui ont été proposées pour la construction des becs de gaz, des lampes à huile végétale, à pétrole, à huile de schiste, etc. (Voir plus loin.)

4° *Pression des gaz.* — Le pouvoir éclairant d'un même gaz ou d'un même mélange gazeux varie suivant la pression sous laquelle la combustion s'opère.

On pourrait déjà prévoir cette influence de la pression, d'après les faits cités plus haut et qui sont relatifs à l'influence de la condensation sur le pouvoir éclairant de divers gaz qui possèdent la même composition.

Elle est révélée dans bien des circonstances. Une des plus curieuses sans contredit est celle que M. Tyndall raconte avoir été faite par le docteur Frankland, dans une ascension au mont Blanc. Six bougies furent allumées à Chamouni pendant une heure, et on détermina la perte de poids qu'elles avaient subie pendant ce temps. Ces mêmes bougies furent portées au sommet du mont Blanc, et on les fit brûler pendant une heure, sous une tente qui les mettait parfaitement à l'abri de l'influence du vent. Les flammes étaient petites, pâles, et cependant la quantité d'acide stéarique brûlée fut trouvée la même, à bien peu près, que dans le premier cas. Ainsi, quoique le pouvoir éclairant de la flamme fût diminué dans une proportion extraordinaire par la raréfaction de l'air, l'énergie de la combustion était restée la même.

Si la quantité de bougie consumée dans un même temps est, entre de larges limites, indépendante de la densité de l'air, c'est que par la compression de l'air, en même temps que l'on augmente le nombre des particules actives en contact avec la flamme, on diminue presque dans la même proportion la mobilité du gaz et par suite l'enlèvement des couches brûlées. En outre, lorsqu'un excès d'air entoure la flamme, son effet refroidissant tend à prolonger l'existence des particules de carbone à l'état solide, et même à empêcher leur combustion finale. Une des plus belles expériences du docteur Frankland consiste à montrer qu'en condensant l'air autour de la flamme pâle et sans fumée d'une lampe à l'alcool, on peut donner à cette flamme l'éclat de celle du gaz d'éclairage; on peut même, si l'on augmente assez la condensation de l'air, faire fumer cette flamme, parce qu'à cause de la diminution de la mobilité des produits de la combusion, l'oxygène de l'air ambiant ne suffit plus à la combustion complète du carbone.

M. BERTHELOT.

2° Mesure de l'intensité de la lumière. — Photométrie. — Une condition essentielle de l'étude des moyens d'éclairage, c'est d'avoir des moyens de mesurer la lumière. Comment évaluer les intensités dont il est sans cesse question dès qu'on parle de lumière artificielle? Ce ne peut être, en attendant qu'on puisse définir et mesurer les quantités de lumière, qu'en évaluant les effets les plus directement utilisables de celle-ci, au moyen de la connaissance des lois fondamentales de la lumière, et en même temps des plus simples pour arriver à des méthodes d'une facile application.

Nous savons que la radiation de la lumière est rectiligne et que la vitesse de ses rayons peut être considérée comme infinie, puisqu'elle est de 70,000 lieues par seconde; chacun a également pu remarquer qu'un corps arrondi, éclairé par un corps lumineux quelconque, n'était éclairé qu'en partie. Ainsi une sphère soumise à l'action d'un corps lumineux reste obscure dans une partie de sa surface et la dégradation de la lumière est presque insensible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette partie porte le nom de *pénombre;* la partie obscure est l'*ombre*.

L'intensité de la lumière décroît d'autant plus que la distance de l'objet éclairé au corps lumineux est plus considérable. La loi de ce décroissement d'intensité dépend évidemment du mode d'émission de la lumière; les rayons s'écartant d'autant plus que leur distance du point lumineux est plus considérable, l'intensité de la lumière diminuera dans le rapport inverse des surfaces des sections du cône de lumière, c'est-à-dire en raison inverse du carré de la distance. Cette loi donne un moyen simple et généralement usité pour mesurer l'intensité des lumières de même couleur, ce qu'on suppose dans la pratique, pour les sources lumineuses destinées aux mêmes usages que l'on compare, ce qui est loin d'être toujours permis; il y a là un grand et difficile progrès à accomplir, car on n'a pas encore tenté de tenir compte de cet élément dans les systèmes adoptés par la pratique. Effectivement, si un tableau est éclairé séparément par deux lumières, à l'aide d'un écran placé entre ces lumières, on pourra, l'une des lumières restant fixe, éloigner ou rapprocher l'autre jusqu'au moment où les deux ombres projetées sur le tableau seront jugées être de même intensité. Alors, prenant les distances de ces foyers au tableau sur lequel les ombres se projettent, on conclut, d'après la loi rappelée ci-dessus, que les intensités des deux lumières sont en raison directe du carré de leur distance au tableau qu'elles éclairent. C'est par ce moyen, dont la fig. 688 montre la disposition, que se font les expériences dites *photométriques*. Très-simple, mais évidemment assez grossier sous cette forme primitive, ce procédé ne peut donner, sans quelques améliorations, un peu de précision.

Un physicien bien connu, M. Foucault, a été obligé pour des expériences sur le gaz de tourbe, dont nous avons donné les résultats à l'article ÉCLAIRAGE, *Complément*, de vérifier l'exactitude des systèmes photométriques généralement employés, et a été conduit à la nécessité de les modifier.

Le procédé des ombres, dit M. Foucault, tel qu'on l'emploie ordinairement, ne me paraissait pas comporter une exactitude suffisante. Je redoutais l'étendue des flammes de gaz, qui faisant naître de larges pénombres, me semblait devoir jeter de l'incertitude sur la comparaison des ombres qu'il aurait fallu ramener à l'égalité. J'ai voulu essayer des nouvelles méthodes fondées sur les phénomènes de la polarisation chromatique, et j'ai pris un grand nombre de déterminations au moyen du photomètre que M. Babinet a spécialement proposé pour ce genre d'application. Je vais dire ici quelques mots de cet intéressant appareil, ne fût-ce que pour me justifier de ne l'avoir pas définitivement adopté d'une manière exclusive.

Le photomètre de M. Babinet se présente extérieurement sous la forme d'un tube de lunette qui, au milieu de sa longueur, donne embranchement sous un angle d'environ 70° à un second tube de même calibre : le tube principal vise sur la source rayonnante que l'on veut éprouver ; la lumière qui pénètre dans l'instrument traverse une série de glaces planes obliquement situées, se polarise ainsi par réfraction et vient illuminer un disque de cristal de roche formé par la juxtaposition de deux segments égaux. On observe ce disque à travers une pièce oculaire que l'on nomme analyseur : il paraît alors vivement coloré de deux teintes partagées entre les deux segments et qui tranchent fortement l'une sur l'autre; on voit, par exemple, du rouge à droite et du vert à gauche. L'embranchement vise pareillement sur une autre source éclairante et la lumière qui en provient est encore ramenée vers l'œil par la réflexion qui s'opère sur les lames multiples de la pile de glaces. Mais comme la réfraction et la réflexion polarisent les rayons en sens contraires, les couleurs développées par ce second faisceau, au lieu de se montrer comme dans le cas précédent, se disposent en sens inverse; le rouge qui était à droite passe à gauche, et réciproquement pour le vert. On observe l'un ou l'autre effet suivant que l'on démasque l'une ou l'autre branche; mais lorsque les deux branches agissent simultanément, l'œil aperçoit un effet résultant qui rappelle plus ou moins l'un ou l'autre effet simple et qui dépend des intensités relatives du faisceau réfracté et du faisceau réfléchi. Si, par hasard, il arrive que ces deux faisceaux aient même intensité, les couleurs s'effacent et le disque apparaît uniformément blanc. Or, comme on dispose des distances des deux sources et comme les intensités varient avec ces distances, on peut toujours réaliser cette espèce d'équilibre qui fait évanouir les couleurs. L'expérience montre que l'appareil présente une assez grande sensibilité. Quand l'équilibre a été réalisé, on constate qu'il suffit de déranger l'une des deux sources de 1/100me de sa distance à l'instrument pour faire reparaître les couleurs. On peut donc admettre que les deux faisceaux qui se font équilibre, possèdent des intensités sensiblement égales. Malheureusement il n'existe aucun rapport simple entre les intensités des faisceaux qui entrent réellement en lutte et les intensités des rayonnements directs émis par les sources. Cette imperfection est inhérente à la construction de l'appareil; la réflexion et la réfraction qui polarisent la lumière l'affaiblissent de part et d'autre dans des proportions inconnues, en sorte que, pour appliquer le nouvel instrument à des mesures exactes, il faut recourir à une méthode analogue à la méthode des doubles pesées.

Au lieu d'opposer l'une à l'autre les deux sources dont on veut comparer les pouvoirs éclairants, on les oppose successivement à une troisième et même source que l'on considère comme constante pendant toute la durée des deux observations, et, des distances où il faut placer successivement cette dernière pour obtenir dans les deux cas l'équilibre, on déduit les intensités des sources proposées. Je suppose qu'on ait à déterminer les rapports des pouvoirs éclairants de deux sources données : d'un bec de gaz et d'une lampe Carcel. On commence par placer le bec de gaz à une certaine distance en avant de la branche principale de l'instrument; on prend ensuite comme lumière auxiliaire une bougie, et l'on cherche à quelle distance il faut la placer en face de l'autre branche pour réaliser l'équilibre. Soit cette distance égale à 50 centimètres : cela fait, on substitue au gaz la lampe Carcel, et l'on rétablit l'équilibre en déplaçant convenablement la bougie. Admettons, par exemple, qu'il ait fallu la rapprocher à 25 centimètres, on est alors conduit à en conclure que le bec proposé éclaire quatre fois plus que la bougie. En effet, l'intensité de la lumière varie en raison inverse du carré de la distance à la source : quand la bougie est placée à une distance moitié plus petite, elle éclaire quatre fois plus. Or, dans les deux cas, elle fait équilibre aux sources qu'on lui oppose; il en résulte donc que, de ces deux sources, la première est quatre fois plus intense que la seconde.

Théoriquement, la méthode paraît irréprochable; mais en pratique elle comporte des lenteurs et des imperfections qui m'ont empêché, malgré l'élégance du principe, de la faire prévaloir.

Elle oblige expressément à recourir à une source auxiliaire, sans que cette source puisse servir d'unité commune dans l'expression définitive des rapports obtenus. Chaque détermination exige deux observations séparées, c'est-à-dire qu'elle comporte deux erreurs qui peuvent s'ajouter, indépendamment de celle qui provient des variations de la source auxiliaire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'appareil demande à être dirigé avec soin, de manière à viser à peu près sur les flammes; enfin il ne se prête qu'à l'observation monoculaire. Ces inconvénients ne se sont manifestés que par l'expérience.

J'ai disposé un nouvel appareil, en me préoccupant seulement d'illuminer les deux parties d'un même écran par le rayonnement direct des deux sources que l'on veut comparer, en satisfaisant à cette condition expresse que les deux régions soumises aux rayonnements différents fussent exactement contiguës sans interposition d'aucune pénombre visible. La sensibilité du procédé dépend de la disparition plus ou moins complète de toute limite perceptible entre les deux régions éclairées au moment où les deux rayonnements deviennent également intenses de part et d'autre. L'appareil que je vais décrire permet de réaliser assez commodément cette parfaite continuité d'un même champ illuminé localement par deux sources différentes.

Il consiste en une boîte cubique, qu'une cloison mobile dans son propre plan partage en deux compartiments égaux : le fond de la boîte qui fait face à l'observateur est formé par un écran très-mat, dont j'indiquerai la composition, et qui joue à peu près le rôle de la glace dépolie dans la chambre noire ordinaire. La paroi opposée fait défaut et c'est par là que les rayonnements des deux sources pénètrent librement et isolément dans leurs compartiments respectifs. On met naturellement l'appareil dans une position symétrique, de manière à ce que la cloison médiane partage en deux parties égales l'angle formé par les rayons des deux sources qui convergent sur le milieu de l'écran.

Dans cette situation, il peut arriver que les ombres portées de part et d'autre par la cloison sur l'écran se trouvent séparées par un espace lumineux, ou bien au contraire que ces deux ombres empiètent l'une sur l'autre; dans tous les cas, leurs bords intérieurs seront très-nettement terminés. Or, comme la cloison peut être mue dans son propre plan au moyen d'un bouton qui fait saillie au dehors, on lui donnera la position nécessaire pour amener exactement les deux ombres au contact. On saisit alors avec une facilité surprenante le moindre excès d'intensité d'un rayonnement sur l'autre, et comme on dispose des positions des deux flammes, on arrive à déterminer avec précision les distances respectives qui égalisent à l'œil les deux moitiés du champ, en faisant disparaître leur limite commune. Quand cette espèce d'équilibre se trouve réalisée, il ne reste plus qu'à mesurer directement les distances des objets lumineux, pour en déduire le rapport des pouvoirs éclairants.

Il ressort de cette description que l'effet produit sur l'écran s'observe par transparence, comme les images de la chambre obscure ordinaire pendant la mise au point. L'analogie semblait conseiller l'emploi du verre dépoli : cependant j'ai bientôt reconnu que cette sorte d'écran ne possède pas assez de pouvoir diffusif, qu'il est trop transparent; que, par suite, l'effet optique, contemplé à sa surface, dépendait trop de la position de l'observateur, et qu'on serait exposé à porter de faux jugements. Sous ce rapport, le papier aurait mieux convenu; mais les inégalités de sa structure auraient masqué des différences que l'œil eût saisies sur une trame plus fine et plus homogène. J'en suis donc arrivé à former cet écran d'une couche d'amidon suspendu dans l'eau et déposé par le repos sur une lame de glace. Cet écran possède toutes les qualités requises; on peut le rendre aussi diffusif que le papier, et, de plus, il offre à l'œil toute la finesse, toute l'homogénéité désirables. Le choix d'un bon écran n'était pas sans importance : en le formant d'une couche mate et fortement diffusive, on rend l'appréciation des intensités lumineuses à peu près indépendante du lieu de l'observation. On peut, sans bouger la tête, se servir indifféremment d'un œil ou de l'autre; on peut, par conséquent, observer avec les deux yeux à la fois, ce qui permet d'asseoir le jugement d'une manière plus certaine.

ÉCLAIRAGE.

Le nouvel appareil ne requiert aucune des subtilités de l'optique moderne; la manière dont il fonctionne est accessible à tout le monde; il isole et rapproche les éclairements des sources proposées; il permet de les ramener à l'égalité par de simples variations de distance, et il fournit par suite le moyen d'évaluer en nombres les pouvoirs éclairants : le tout se réalise au moyen d'une simple boîte, qu'en raison de son emploi et de sa construction j'appellerai *photomètre à compartiments*.

En essayant cette nouvelle méthode, j'avais principalement pour but de supprimer l'intervention d'une lumière accessoire; dès lors les gaz qu'il s'agissait d'éprouver devaient comparaître simultanément devant l'appareil et donner leurs flammes à des distances variables à volonté.

J'arrive maintenant à la recherche d'un moyen pratique pour déterminer la valeur photométrique d'un gaz en valeur absolue, ou du moins pour rapporter cette valeur à quelque unité suffisamment constante et facile à se procurer en tout temps. On a depuis longtemps proposé la bougie comme unité photométrique; mais les variations de cette source lumineuse sont tellement considérables qu'elles sautent aux yeux. Si l'on prend deux bougies dans le même paquet, et qu'on les mette à des distances égales au-devant du photomètre à compartiments, on reconnaît que l'équilibre ne se réalise que très-accidentellement; à chaque instant la supériorité d'éclat passe de l'une à l'autre, et l'instrument accuse presque constamment une inégalité choquante. Cependant cette fixité que l'on chercherait vainement dans une bougie isolée se réalise assez convenablement dans un système de bougies, et elle est d'autant plus parfaite que le groupe est plus nombreux. J'ai pensé qu'en réunissant en faisceau plusieurs de ces éléments dont l'instabilité m'avait d'abord frappé, on réussirait à former une source multiple qui donnerait au photomètre le même effet qu'une flamme simple, et qui déjà présenterait en pratique assez de stabilité pour être utilement employée comme terme de comparaison. Des bougies au nombre de sept se groupent naturellement en faisceau hexagonal, et si l'on a soin de maintenir entre elles une distance d'un centimètre, on trouve qu'elles brûlent avec une remarquable fixité; des courants d'air s'établissent qui tendent les flammes et leur donnent plus de stabilité que lorsqu'elles brûlent isolément. J'ai pris au hasard quatorze bougies de l'étoile et les ayant formées en deux faisceaux, j'ai placé ceux-ci à des distances égales en avant du photomètre. L'effet sur l'écran a été satisfaisant, non pas que l'équilibre ait été complétement et constamment maintenu, mais les différences qui se sont montrées étaient de l'ordre de celles qui apparaissent d'elles-mêmes, lorsqu'on met deux becs de gaz dans les mêmes conditions.

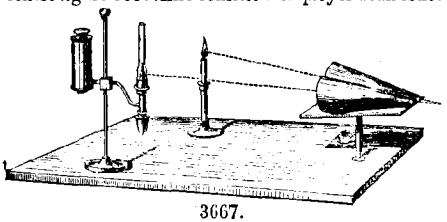
Pour reconnaître jusqu'à quel point on pourrait compter sur ce mode d'évaluation, nous avons employé une séance à évaluer les deux gaz (gaz de tourbe et gaz de houille) en bougies de l'étoile au moyen du photomètre à compartiments; la moyenne de cinq déterminations a donné le bec de gaz de tourbe comme équivalant à 23 bougies 1/4 : le même bec alimenté par le gaz de la ville, à la suite du même genre d'épreuves, a paru égal à 6 bougies $8/10^{mes}$: divisés l'un par l'autre, ces deux nombres de bougies donnent pour le gaz de tourbe 342, celui de la ville étant 100.

Nous avons ensuite comparé directement les deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gaz et nous avons trouvé 331, c'est-à-dire le même nombre à 1/30me près.

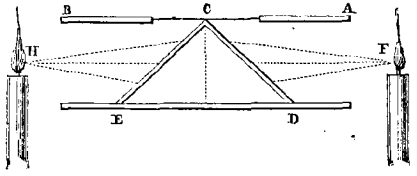
Une disposition du photomètre, analogue à la précédente, en ce qu'elle met bien à l'abri de l'influence réciproque des deux lumières à comparer, a déjà été employée avec succès en Angleterre. Elle est représentée figure 3667. Elle consiste à employer deux cônes



3667.

réunis vers leurs sommets, terminés à ces sommets par deux disques de papier.

Photomètre de Ritchie. — Une disposition à indiquer est celle due au professeur Ritchie, que l'on voit fig. 3668.



3668.

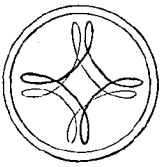
Elle consiste en une boîte rectangulaire ouverte à ses deux extrémités et noircie à l'intérieur. La face antérieure a une longue fente étroite, de forme rectangulaire recouverte avec un tissu fin ou du papier huilé. A l'intérieur on place deux miroirs, taillés dans la même pièce de verre, pour produire exactement la même réflexion. L'angle de réunion des miroirs est en C, et leur ligne de jonction partage AB en deux parties égales; cette ligne est couverte par un papier noir, pour éviter le mélange des lumières réfléchies par les deux miroirs.

Pour se servir de ce photomètre, on le place entre les deux lumières dont on veut comparer les intensités, et elles sont toutes deux réfléchies par les miroirs CD et CE sur le tissu AB. En faisant varier les distances de l'une de ces lumières à la ligne CF, on arrivera à l'égalité de lumière dont l'œil juge assez bien, n'étant pas gêné par la vue des foyers de lumière.

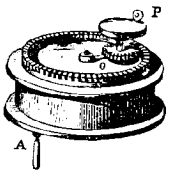
En employant des papiers imprimés (probablement huilés) en caractères très-fins, on apprécie très-bien si chaque lumière permet la lecture des types d'égale finesse, moyen excellent de mesure employé par les oculistes pour juger la netteté de la vision.

Photomètre de Wheastone. — Cet appareil est fondé sur la persistance de la sensation lumineuse sur la rétine. La partie principale est une perle brillante d'acier P (*fig.* 3669) montée sur le bord d'un disque de liége porté sur un pignon *o* qui engrène intérieurement avec une roue plus grande. Celle-ci est adaptée à une petite boîte cylindrique de cuivre qu'on tient d'une main, tandis que de l'autre on fait tourner une manivelle A, qui transmet le mouvement à un axe central et au pignon *o*. Celui-ci roulant dans l'intérieur du grand engrenage, la perle participe à ce mouvement en même temps qu'elle roule sur elle-même, et elle décrit, le rapport des rayons étant de 1 à 4, une courbe épicycloïdale à 4 nœuds telle que celle représentée fig. 3670.

Soient M et N deux lumières dont on veut comparer



3670.



3669.

les intensités; on place entre elles le photomètre et on fait tourner rapidement. Les points brillants produits par la réflexion des deux lumières sur deux points opposés de la perle donnent alors naissance à deux bandes lumineuses, grâce à la persistance de la sensation de la rétine, semblables à celles de la figure. Si l'une d'elles est plus intense que l'autre, on approche l'instrument de celle qui l'est le moins, jusqu'à ce que les deux bandes présentent le même éclat. Mesurant alors la distance du photomètre à chacune des deux lumières, leurs intensités sont proportionnelles aux carrés de ces distances.

Cet instrument n'est évidemment pas susceptible d'une grande précision, mais son emploi est commode pour obtenir des approximations suffisantes dans bien des cas.

Photométrie photographique. — Les progrès de la photographie, en mettant à la disposition des expérimentateurs des substances dont l'impressionnabilité à la lumière est très grande, fourniront à la photométrie des ressources nouvelles, des moyens de mesure plus exacts que ceux qui exigent l'estimation d'égalité de lumière par l'œil, qui n'est pas un instrument bien précis pour estimer de petites différences. Lorsqu'au contraire on aura exactement la limite à laquelle des substances cesseront d'être impressionnées par un foyer lumineux, on pourra déterminer la même limite pour une autre lumière, et si la quantité pouvant produire une image peut être très faible, il en résultera un moyen de mesure très-précis, donnant des renseignements précieux à la fois sur l'intensité et la nature des lumières comparées. Nous ne connaissons pas de recherches faites dans cette voie, mais elle s'ouvrira tout naturellement avec le progrès de la photographie et pourra conduire à d'excellents résultats. L'action chimique de la lumière, évaluée ainsi avec une grande précision, conduira sans doute à mesurer tous les éléments de son action, et par suite notamment ce que nous appelons son intensité, objet de la photométrie.

Photomètre de Bunsen modifié par M. Burel. — On emploie depuis quelques années en Angleterre, surtout pour les cas nombreux de mesure de lumière des becs de gaz, un photomètre dû à M. Bunsen, fondé sur un principe nouveau et fort ingénieux. Voici en quoi il consiste:

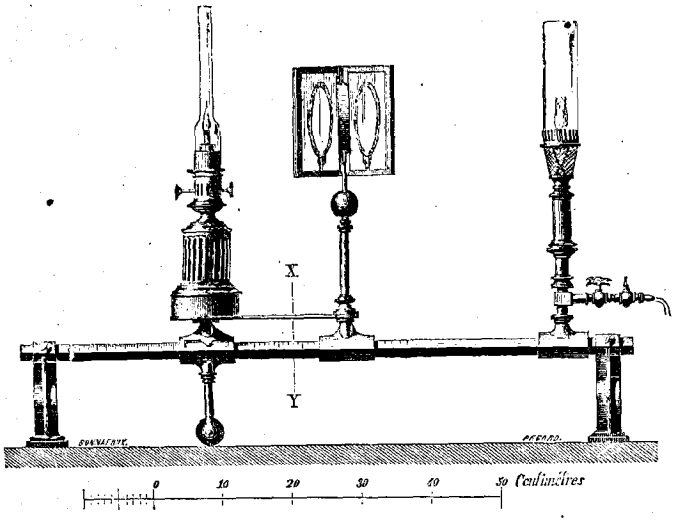
Une feuille de papier blanc, portant une tache de matière grasse en son milieu, tache qui le rend translucide dans toute la partie imprégnée du corps gras, est placée entre les deux lumières que l'on veut comparer, de manière que chacune des faces se trouve éclairée seulement par les faisceaux lumineux qui rayonnent de la source qui est en regard de la face considérée. Les rayons lumineux dont l'ensemble constitue les faisceaux incidents frappent à angle droit la feuille de papier, et si les deux foyers sont également distants et de même intensité, les deux faces devront présenter le même aspect. Mais l'expérience indique un phénomène bien plus remarquable, c'est la disparition, à peu près complète, de la tache au moment

EFERUS - Recherche & Classification numérique

où l'écran est également éclairé des deux côtés. Comment expliquer ce fait intéressant? Voici comment l'analyse M. Boutan (de Rouen) :

ÉCLAIRAGE.

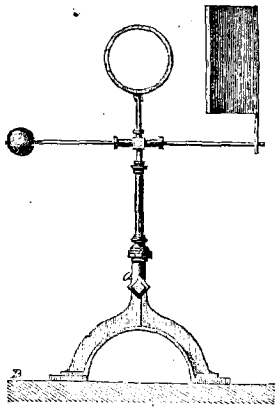
deux portions de surface, qui se trouvent cependant posséder des états moléculaires différents, seront donc identiques; la tache devra disparaître.



3671.

Qu'on examine la tache huileuse de l'écran de M. Bunsen, en interposant entre elle et l'œil la flamme d'une bougie, on reconnaîtra que la tache paraît presque noire; ce qui prouve que le papier, dans cet état d'imprégnation par une substance grasse, a un pouvoir réflecteur ou diffusif à peu près nul pour les rayons lumineux qui le frappent perpendiculairement à sa surface, tandis qu'à côté de la tache le papier non huilé paraît d'un blanc mat et renvoie une forte proportion des rayons qui lui arrivent. Qu'on place, au contraire, le même écran entre l'œil et la lumière de la bougie, la tache paraîtra d'un blanc éclatant, tandis que le reste du papier sera beaucoup moins éclairé que tout à l'heure. Je conclus de ces deux observations que, lorsque l'écran sera disposé comme dans la méthode de M. Bunsen et que ses deux faces seront éclairées chacune par la source qui lui correspond, l'aspect de la tache, vue du côté droit, par exemple, dépendra des rayons qu'elle diffuse, lesquels lui arrivent surtout par transmission et lui viennent de la lumière qui est à gauche; au contraire, l'aspect du papier non graissé sera dû principalement aux rayons que ce papier réfléchit à son tour, et qui lui viennent de l'autre lumière, de celle qui est à droite. Si maintenant on admet l'égalité des fractions de lumière perdue pour l'œil (fractions minimes toutes deux) dans le faisceau transmis par la tache et dans le faisceau diffusé par le papier blanc, quand les faisceaux incidents sont égaux en intensité, on comprendra sans peine que, si les deux lumières sont inégalement intenses, la tache, vue toujours du côté droit, sera perceptible sur le fond de l'écran et se dessinera avec une teinte obscure, si c'est la lumière de droite qui est le plus intense; avec une teinte brillante, si c'est la lumière de gauche qui l'emporte. Si, au contraire, l'égalité d'éclairement est établie sur les deux côtés de l'écran, les rayons, diffusés sur une même face par la tache et le papier blanc, seront en même nombre; les sensations produites par ces

Cette observation est le point de départ du procédé très-délicat combiné par le savant chimiste de Heidelberg, dont on reconnaît ici l'habileté manifestée par tant de beaux travaux.



Coupe sur XY

Fig. 3672.

Sans nous arrêter à la disposition proposée originairement par l'inventeur, ni aux diverses modifications de détail qui ont été successivement adoptées en Angleterre, nous décrirons celle adoptée par M. E. Burel, ingénieur civil à Rouen, qui a heureusement perfectionné le photomètre de Bunsen, et lui a donné un haut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

degré de simplicité et de perfection. Il est représenté fig. 3671 et 3672.

La tringle qui supporte les diverses pièces de l'instrument est une barre prismatique en cuivre solidement établie et qui ne peut fléchir sous le poids du système qui marche avec l'écran, étant soutenue par un appendice vertical de cet écran terminé par un galet roulant sur la table qui sert de base commune à tout l'appareil. A l'une des extrémités de la barre de cuivre est maintenu, par une vis de pression, en un point qui est le zéro de l'échelle photométrique, le support qui reçoit les sources dont on veut mesurer l'intensité. La lumière prise pour unité est une lampe mécanique consommant une quantité d'huile connue, à l'heure, ou une bougie maintenue à une hauteur constante par un ressort à boudin, comme dans les lanternes de voitures ou mieux dans l'appareil analogue dit photophore où l'enveloppe de la bougie est une matière vitreuse, non métallique; de plus, la flamme doit être rendue immobile par l'adaptation d'une cheminée en verre.

Le centre de la flamme du bec de gaz qu'il s'agit d'évaluer, celui de l'écran et celui de la lampe, sont donc placés sur une ligne droite parallèle à la tringle; l'écran et la lampe, tous deux solidaires, peuvent se mouvoir le long de la tringle pour obtenir la mesure cherchée par la constatation de l'égalité de l'éclairement des deux faces de l'écran. En arrière de celui-ci se trouvent deux miroirs inclinés, qui permettent à l'œil la perception simultanée des deux faces du diaphragme, et favorisent la détermination de l'égalité d'éclairement. D'avance se trouvent inscrits sur la règle des chiffres qui donnent le rapport éclairant des deux lumières comparées, en prenant pour unité l'intensité d'une bougie: une ouverture pratiquée dans la pièce à coulisse qui porte la lumière type découvre l'échelle, et un index correspondant à l'axe vertical de cette lumière marque le nombre de bougies auquel équivaut la source examinée.

La solidarité permanente établie entre la bougie et l'écran est un perfectionnement notable de cet appareil, qui non-seulement simplifie le calcul des intensités, mais surtout qui fait que l'appareil possède, dans toutes les parties de son échelle, un degré à peu près égal de sensibilité. En effet, si c'est l'écran qui se déplace entre les deux sources lumineuses, comme dans l'appareil primitif de Bunsen et dans la plupart de ceux le plus fréquemment employés, le mouvement qu'il devra faire par unité de m, m étant le rapport des intensités, sera d'autant plus petit que m sera plus grand et correspondra bientôt à des différences que l'œil n'appréciera plus; tandis que, par la nouvelle disposition, l'éclairement constant de l'écran n'est égal qu'à l'aide de mouvements très-notables, d'où cette conséquence que les résultats obtenus à tous les degrés de l'échelle photométrique présentent à peu près le même degré de précision.

3° ÉCLAIRAGE PAR MATIÈRES SOLIDES.

La seule forme sous laquelle on emploie les matières solides, en laissant de côté les branches de bois résineux employés dans quelques contrées peu civilisées, est celle de chandelle ou de bougie. Diverses matières servent à la confection de cet appareil d'éclairage; ces matières sont le suif provenant du bœuf, du bouc, du mouton, la cire d'abeille qui sert à confectionner les bougies proprement dites, le blanc de baleine, enfin les acides margarique, stéarique et la paraffine.

Nous avons donné aux articles BOUGIE, CHANDELLE, la fabrication de ces produits; nous n'avons donc à traiter ici que de leur combustion. Se composant tous d'une mèche de coton, enveloppée par le corps qu'il s'agit de brûler, les phénomènes de la combustion y ont lieu d'une manière semblable. Prenons pour exemple une chandelle (fig. 688 *bis*). Aussitôt que la mèche est allumée, la chaleur faisant fondre les parties les plus voisines de la flamme, il se forme au pied de la mèche un bain liquide en forme de coupe, les parties de la circonférence plus éloignées restant plus longtemps solides. C'est donc en réalité un liquide résultant de la fusion du liquide par la chaleur dégagée par la combustion, qui vient servir à l'éclairage, absolument comme dans les appareils alimentés par des liquides, qu'on étudiera plus loin. Le suif fondu s'élève dans la mèche en vertu de l'action capillaire, et se décompose à mesure qu'il arrive dans la région de la flamme; d'où résultent des vapeurs combustibles qui, ne pouvant brûler qu'à la circonférence, donnent lieu à un noyau obscur entouré d'une enveloppe incandescente, terminée en pointe (sans noyau obscur), à la partie supérieure, où les gaz obscurs du centre finissent de brûler. Nous avons analysé en détail la forme de la flamme au commencement de cet article, et la figure permet de reconnaître les diverses parties décrites, et notamment le noyau obscur, facile à observer. Nous avons indiqué divers moyens de constater que la température y est peu élevée et la combustion impossible.



Fig. 688 *bis*.

Nous avons parlé de l'influence de la pression sur la combustion, et nous verrons, en traitant de l'éclairage au gaz, l'influence du courant d'air qui alimente la flamme, sur celle-ci. La question a moins d'intérêt pour l'éclairage par les substances solides, puisqu'on ne peut guère rien modifier dans cet éclairage un peu primitif, sauf toutefois la grosseur de la mèche qui détermine la grandeur du foyer de combustion, l'afflux du combustible; ainsi, dans les travaux imités de celui de M. Triger pour creuser des puits dans l'*air comprimé*, il faut réduire à un très-faible diamètre les mèches des chandelles; autrement, par l'activité de la combustion résultant de cet excès de pression, les chandelles sont consumées avec une extrême rapidité.

Un des plus grands inconvénients des chandelles consiste dans la nécessité de les *moucher*. La diminution de lumière qui résulte de la présence au milieu de la flamme d'une masse charbonnée est très-considérable, de plus elle donne lieu à des dégagements de gaz qui se brûlent imparfaitement et possèdent une odeur très-désagréable. Aussi doit-on considérer sous tous les rapports, comme le plus grand progrès qu'il fût possible d'accomplir, l'emploi des suifs sous forme de bougies stéariques, dont la mèche tressée est fine

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et s'use d'elle-même en se tordant pour sortir de la flamme par son extrémité (voyez BOUGIE), qui ne coule pas, n'est pas grasse, et se trouve presque entièrement débarrassée de l'odeur particulière du suif.

4° ÉCLAIRAGE PAR LES HUILES.

Parmi les diverses espèces d'huiles, grasses, siccatives ou essentielles, les huiles grasses étaient, jusque dans ces dernières années, les seules adoptées pour l'éclairage, les huiles siccatives ne pouvant être employées à cause de leur durcissement à l'air, et les huiles volatiles ne brûlant qu'avec fumée et dégageant une odeur fort désagréable. Parmi les huiles grasses, les plus généralement employées sont celles d'olive, de colza, de navette et d'œillet. Pour purifier les huiles, on y verse 2 p. 100 d'acide sulfurique à 66° de l'aréomètre de Baumé et on brasse le mélange, auquel on ajoute deux fois son volume d'eau ; l'eau entraîne toutes les matières étrangères qui se déposent au fond du vase, et que l'on sépare par filtration à une température de 40° environ.

Tous les appareils d'éclairage à l'huile se composent d'un réservoir et d'un appareil où se fait la combustion. Dans toute lampe les deux parties importantes sont 1° le lieu de la combustion ou le bec, 2° le moyen de faire arriver l'huile sur le bec, ce qui comprend les *réservoirs* supérieurs ou de niveau avec le bec, et les moyens mécaniques employés pour faire arriver l'huile au lieu de la combustion.

Une lampe n'étant autre chose qu'un appareil dans lequel s'exerce une combustion extrêmement active; les conditions auxquelles l'appareil est assujetti sont celles de tout foyer.

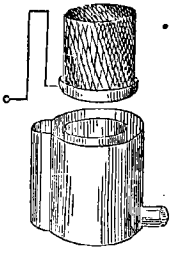
Une cheminée qu'il est bon de faire la plus élevée possible (il faut qu'elle soit en verre pour ne pas intercepter la lumière), portant un étranglement ou coude pour mélanger les gaz et rendre la combustion aussi complète que possible; des entrées d'air disposées pour faciliter le plus possible le contact de la flamme et de l'air, en proportion convenable pour que la combustion soit complète sans mélanger de trop fortes proportions d'air, qui refroidissent la flamme ; telles sont les bases fondamentales de toute lampe.

Becs ou appareils de combustion. Un appareil de combustion qui a été longtemps répandu et qui l'est encore, bien que reconnu mauvais, est la mèche plate ; elle est formée de fils de coton parallèles, et simplement plongée dans un réservoir renfermant l'huile, qui est aspirée par la capillarité de la mèche; dans cet appareil la combustion est incomplète, il en résulte que la lumière offre une teinte peu brillante et toujours rougeâtre. Tel était il y a 60 ans l'appareil de combustion le plus estimé, quand Argand fit la découverte de son bec à double courant d'air.

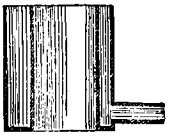
Description du bec d'Argand. Ce bec, représenté tel que l'a construit son inventeur dans les fig. 689, 690, 691. 692 et 693, se compose de deux cylindres concentriques; dans l'espace annulaire compris entre ces cylindres est placé un anneau qui maintient une mèche circulaire; la partie inférieure du cylindre communique avec un réservoir d'huile dont le niveau est un peu inférieur à celui de la partie supérieure des cylindres; un levier doublement recourbé et uni à l'anneau qui maintient la mèche peut lui donner un mouvement dans le sens vertical; enfin on adapte à ce système une partie cylindrique en métal qui vient supporter un cylindre en verre.

Il résulte de cette disposition que la flamme est léchée par l'air intérieurement et extérieurement, ce courant d'air est activé par la cheminée en verre, la combustion est complète et la flamme présente une intensité et une pureté très supérieures à la lumière fournie par les appareils connus avant Argand.

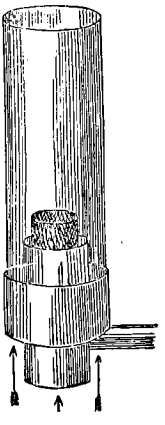
689.



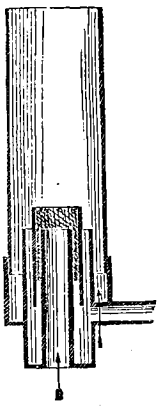
690.



691.

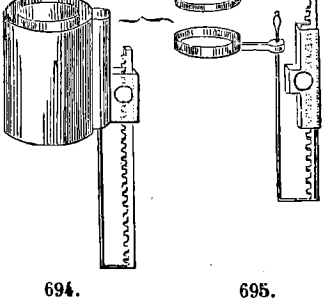


692.



693.

La seule amélioration importante apportée au bec d'Argand est celle qui consiste dans le retrécissement de la cheminée immédiatement au-dessus de la mèche; de cette manière l'air rejeté sur la flamme opère une combustion beaucoup plus complète; les autres changements qui ont été faits à cet utile appareil résident



694. 695.

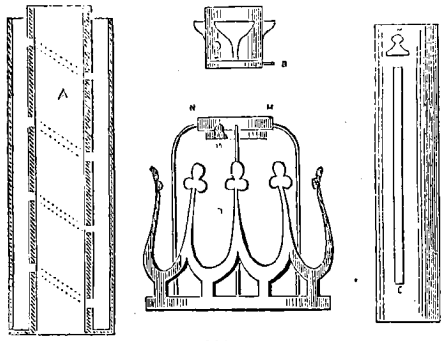
dans le mouvement qu'on doit lui imprimer pour faire monter ou descendre la mèche; le levier doublement coudé d'Argand était incommode, on a donné le mou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vement par un pignon qui engrène avec une crémaillère, comme le montrent les fig. 694 et 695.

On construit aujourd'hui un appareil très ingénieux qui, quoique reposant sur le principe du bec d'Argand, en diffère totalement quant à la construction. Ce bec se compose de quatre pièces dont nous allons successivement donner la description et l'emploi. Deux cylindres concentriques (fig. 696) sont réunis à

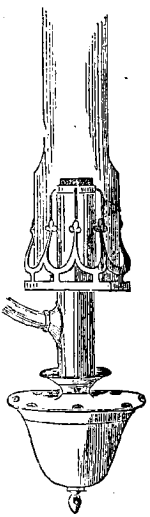
696. 698. 697.



699.

la partie inférieure par une couronne circulaire, le cylindre intérieur porte une rainure en spirale, dans laquelle peut se mouvoir le porte-mèche, fig. 698, qui porte deux appendices, l'un extérieur E, l'autre intérieur B; pour donner le mouvement à ce porte-mèche, un cylindre (fig. 697) entre dans l'intervalle cylindrique réservé entre les deux cylindres concentriques et porte lui-même une rainure dans laquelle pénètre l'appendice extérieur du porte-mèche; ce cylindre est en outre garni à sa partie supérieure d'une saillie M, qui pénètre dans un anneau que l'on pose sur le bec (fig. 699); cet anneau est relié par quatre tiges à un anneau d'un plus grand diamètre, qui porte une galerie dans laquelle s'engage la cheminée; maintenant on conçoit facilement le mouvement de la mèche, le cylindre est mis en mouvement par l'anneau MN, et il communique ce mouvement au porte-mèche. La fig. 700 montre cet appareil monté.

Bec à mèches multiples de Fresnel et Arago. Cet appareil de combustion exécuté en 1822 a pour but de produire une grande intensité de lumière dans un espace très petit; il a été imaginé pour être appliqué aux phares; pour modérer la hauteur de la flamme et éviter la décomposition de l'huile résultant d'une trop haute température, on dispose le réservoir d'huile de manière à ce que l'écoulement sur la mèche soit plus considérable que la quantité consommée; cette disposition est facile à établir en donnant la pression dans le réservoir par un tuyau vertical glissant à volonté dans une boîte à cuir. Afin de régler le tirage, on a surmonté la cheminée d'une partie cylindrique en tôle que l'on fait mouvoir à volonté, les mèches s'abaissent séparément à l'aide d'une crémaillère.



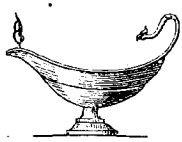
700.

Un bec à deux mèches concentriques produit l'effet de cinq lampes Carcel, et ceux à trois et quatre mèches donnent une lumière égale à 10 ou 20 lampes Carcel, mais ces derniers becs dépensent plus d'huile que 10 et 20 lampes Carcel; les becs à 2 mèches concentriques dépensent à peu près dans la proportion d'une Carcel.

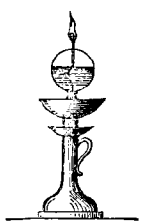
L'application des becs à mèches concentriques pour l'éclairage des salles de spectacle a été faite en 1825 par Locatelli au théâtre Fenice de Venise; l'appareil avait quelques dispositions particulières très ingénieuses, il était d'un fort bel effet.

Épaisseur du bec. Lorsque le bec est très large la mèche se charbonne jusqu'au niveau de l'huile, mais si on le rétrécit en lui donnant vers le haut une forme conique à l'extérieur, le refroidissement dû à l'effet de la partie métallique empêche la carbonisation de la partie inférieure de la mèche, et l'on peut alors *brûler à blanc*, pourvu que l'afflux de l'huile soit suffisante, par l'emploi des moyens que nous indiquons plus loin.

Réservoirs placés au niveau des becs. Dans ces réservoirs le niveau supérieur de l'huile est toujours inférieur à celui de la mèche dans lequel l'huile monte par la force de capillarité. Telle était la lampe antique représentée fig. 701. La disposition fig. 702 est encore assez répandue. On construisit plus tard des lampes à réservoir latéral; ces réservoirs sont fondés sur une propriété physique des liquides, qui consiste en ce qu'un liquide renfermé dans deux vases communiquant se tient toujours au même niveau dans chacun d'eux. Pour que le niveau égal s'établisse dans les deux vases l'air doit avoir un libre accès dans chacun d'eux, la mèche est toujours placée à une distance de 3 à 5mm au-dessus du réservoir. La *lampe astrale* et la *lampe sinombre*, où le réservoir est disposé soit latéralement, soit en couronne, sont d'un grand usage.

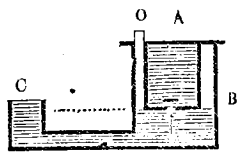


701.



702.

Réservoirs supérieurs aux becs. Nous établirons d'abord le principe reposant sur la propriété connue du vase de Mariotte, sur lequel est fondé la construction de ces réservoirs. Quand deux vases B, C, fig. 703, communiquent, si dans l'un d'eux B, on renverse un réservoir A qui s'ouvre par la partie inférieure quand il est placé dans le vase B, le liquide renfermé dans le vase A s'échappe et remplit les deux réservoirs B et C. L'air arrive par l'orifice O, pour remplacer le liquide qui s'échappe de A, et l'écoulement cesse quand l'air ne peut plus pénétrer, c'est-à-dire quand la partie inférieure du vase A touche au niveau supérieur du liquide dans le vase B. A mesure que la combustion s'opère en C, le niveau baisse dans l'espace annulaire et l'air entre dans le vase quand sa partie inférieure est découverte; ainsi la combustion ayant lieu d'une manière continue, le



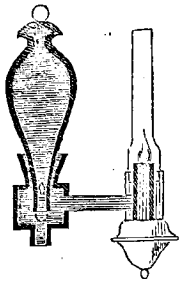
703.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ECLAIRAGE.

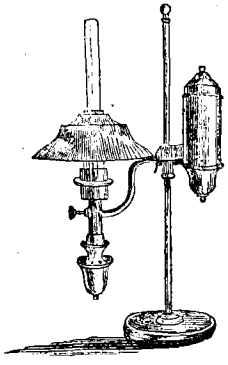
niveau s'abaissera peu à peu, mais les variations seront faibles, car bien que l'entrée de l'air ne se fasse point d'une manière régulière, les bulles se succèdent à intervalles très petits.

Les fig. 704 et 705 représentent des lampes établies d'après le principe que nous venons d'expliquer; il suffit de voir le dessin pour comprendre la disposition.



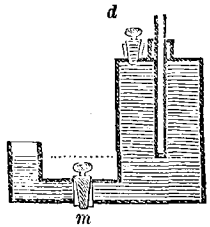
704

On a établi des réservoirs qui ont eu quelque succès et qui, différents des précédents, reposent néanmoins sur le même principe et que représente la fig. 706; l'espace cylindrique annulaire extérieur est remplacé par un petit cylindre intérieur qui communique avec l'atmosphère. Le bouchon *d* permet d'emplir le réservoir, et la communication s'établit avec l'appareil de combustion par le robinet *m*.



705.

Une condition essentielle à remplir est de faire en sorte que l'huile arrive assez haut dans la mèche très peu au-dessous du bord; on peut alors faire sortir celle-ci de 6 à 10 millimètres, de telle sorte que la suffisante quantité d'huile élevée par la pression de l'huile et la capillarité empêche celle-ci de se carboniser au-delà de 2 à 4 millimètres. Au-dessous de l'anneau charbonné, il restera une partie blanche préservée par l'affluence de l'huile. On évite ainsi la distillation et décomposition de l'huile qui se produit par l'échauffement des parties métalliques, quand la combustion a lieu au contact de celles-ci. La lumière est ainsi beaucoup plus vive; en évitant une perte on *brûle à blanc* et on obtient une économie considérable d'huile qui ne brûle pas, ou brûle mal, en donnant peu de lumière.



706.

Tous les réservoirs supérieurs aux becs sont soumis à l'action de la chaleur qui émane de ce bec, et la force de dilatation doit faire dégorger l'huile par l'orifice destiné à la combustion. Des expériences de M. Péclet ont prouvé que ce danger est peu à craindre, pourvu qu'il n'y ait pas d'air emprisonné dans le réservoir.

L'influence de la capillarité est évidente dans les différents appareils que nous venons de passer en revue, il est important de connaître la loi d'élévation de niveau dû à cette force physique; sans entrer dans les détails connus probablement du lecteur, nous allons donner les tables de M. Péclet, déduites d'expériences faites par lui-même avec le plus grand soin, et qui sont toutes particulières pour l'huile :

Élévation de l'huile au-dessus de son niveau dans un tube circulaire.

DIAMÈTRE intérieur du tube.	ÉLÉVATION exprimée en millimètres.
$0^{mm},5$	$27^{mm},20$
1	$13^{mm},60$
2	$6^{mm},80$
3	$4^{mm},53$
4	$3^{mm},40$
5	$2^{mm},72$
6	$2^{mm},26$

Élévation de l'huile au-dessus de son niveau dans un espace annulaire.

ÉPAISSEUR de l'espace annulaire.	ÉLÉVATION exprimée en millimètres.
$0^{mm},5$	$13^{mm},60$
$1^{mm},0$	$6^{mm},40$
$2^{mm},0$	$3^{mm},40$
$3^{mm},0$	$2^{mm},26$
$4^{mm},0$	$1^{mm},70$
$5^{mm},0$	$1^{mm},26$
$6^{mm},0$	$1^{mm},13$

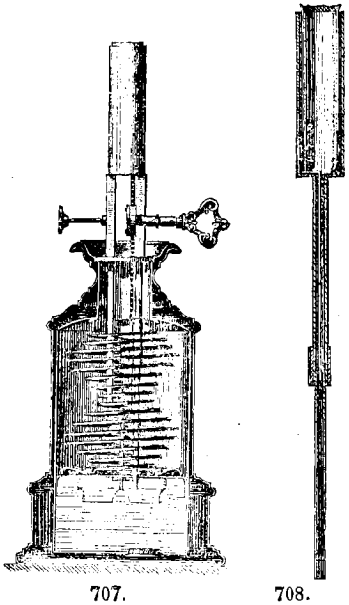
Remarquons que la mèche sert non-seulement à élever l'huile, mais encore à la diviser et à faciliter la combustion en accroissant les surfaces inflammables.

Réservoirs inférieurs aux becs. Ce genre de lampes, qui offre sur celles qui précèdent le grand avantage de faire disparaître l'ombre que produit le réservoir d'huile, n'est possible qu'autant qu'on a pu accumuler dans l'appareil un travail moteur suffisant pour élever l'huile à la hauteur du bec pendant toute la durée de la combustion.

Les lampes de ce genre les plus employées aujourd'hui ne sont qu'une heureuse modification d'un système très imparfait et très ancien connu sous le nom de lampes à pompe. Nous voulons parler des lampes à modérateur, dont la fig. 707 représente une coupe. Un piston A se meut dans un corps de pompe formé par le pied de la lampe et renfermant l'huile; il est pressé par un ressort en hélice (de rayon variable pour pouvoir s'aplatir quand on resserre les spires) et force l'huile à monter par un tuyau d'ascension, qui la conduit jusqu'au bec. A mesure que le piston descend la force du ressort diminue, et la hauteur à laquelle il faut élever l'huile augmente. Le mouvement de l'huile serait donc irrégulier sans l'emploi du *modérateur*. On appelle ainsi une tringle placée à l'intérieur du tube par lequel l'huile monte (fig. 708), et qui rend très étroit le passage de l'huile entre la tringle et un petit tube fixé au piston et qui se meut dans la partie supérieure du tube qui est fixe. Cet étranglement est donc très sensible quand le piston est très haut, quand le ressort vient d'être fortement comprimé à l'aide d'un bouton portant un pignon engrenant avec une crémaillère. Il est minime, au contraire, quand le ressort est à l'extrémité de sa course.

L'huile est versée au-dessus du piston : mais quand on remonte la lampe, le vide produit à la partie infé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique



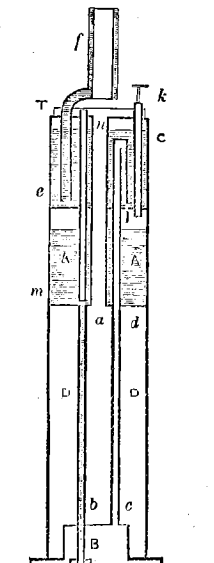
707. 708.

rieure fait infléchir le cuir embouti, qui forme garniture, et l'huile repasse à la partie inférieure.

Les avantages de ces lampes sont, avec un prix peu élevé, les avantages des lampes Carcel, bien qu'à un degré moindre, c'est-à-dire que l'écoulement abondant de l'huile sur la mèche permet une combustion qui n'atteint jamais le bec métallique, une combustion à *blanc*.

Le bon marché de ces lampes, l'heureuse invention du modérateur, la perfection dans la fabrication de ressorts puissants, du bec, etc., sont autant de causes qui expliquent le succès de ces lampes, dont la construction est devenue un article d'une certaine importance pour l'industrie parisienne.

Une disposition très ingénieuse du réservoir inférieur est due à Girard, cette disposition repose sur le même principe que la fontaine de Héron; nous supposons cet appareil bien connu (voyez ce mot), et nous passons à la description de cette lampe, qui offre malheureusement l'inconvénient d'être trop compliquée et trop sujette aux variations thermométriques et barométriques, par suite du grand volume d'air qu'elle renferme.



709

Cette lampe présente l'aspect d'un cylindre (fig. 709) divisé en quatre compartiments A, B, C, D, réunis ou séparés par des tubes *mn*, *ab*, *cd*, *ef*. Le réservoir A communique avec l'air extérieur par un tube *mn*, placé à sa partie inférieure. Il s'y produit une pression égale à la pression atmosphérique, et cette pression égale sur toute la section du liquide qui est au-dessus de ce point, donne au fluide un écoulement uniforme, quelle que soit la quantité de liquide qu'il y ait dans le réservoir A. Cet écoulement continu vient diminuer la capacité du réservoir B; il en résulte augmentation de densité de l'air renfermé dans ce réservoir, et pour que tout reste en équilibre, cet air vient exercer une pression sur la partie supérieure de l'huile renfermée dans le compartiment C; de là, ascension dans le tube *ef*. Ce tube se terminant par le bec, la combustion se trouve alimentée. On remplit cette lampe d'une manière assez simple par le tube IK : à cet effet on remplit d'abord le compartiment A, puis on bouche le tube IK et on renverse la lampe; B se vide dans C. On doit ajouter de l'huile jusqu'à ce que le compartiment A soit rempli; la hauteur de ce compartiment est calculée de manière à ce que l'écoulement du liquide suffise pour la combustion de l'huile que peut contenir C.

Nous dirons encore un mot de la lampe Thilorier, dite hydrostatique. Elle est fondée sur un principe de physique qui, du premier abord, paraît d'une application facile; cependant, avant la réussite de Thilorier, Keir, de Lange et de Vigi, avaient échoué. Voici quel est ce principe :

Si deux vases communiquant entre eux sont remplis de liquides de densités différentes, se faisant équilibre, les hauteurs de chaque liquide seront en raison inverse de leurs densités; avec un liquide plus dense que l'huile, on peut donc faire monter celle-ci de manière à ce qu'elle vienne constamment alimenter la mèche où s'opère la combustion. Le liquide, qui peut être employé comme auxiliaire, doit avoir une densité plus considérable que celle de l'huile; ne point attaquer le métal qui le renferme; n'exercer aucune action chimique sur l'huile; enfin, pouvoir supporter les variations de température sans altération sensible. Une dissolution de sulfate de zinc, étendue de son volume d'eau, possède toutes ces propriétés. C'est ce liquide que M. Thilorier a employé avec avantage; c'est à son emploi qu'est dû le succès de cette lampe. Il remplit la capacité supérieure, descend par un tube dans le pied de la lampe rempli d'huile, et fait monter celle-ci par un tube aboutissant au bec.

Le niveau de cette lampe n'est point constant, il baisse pendant la combustion, mais d'une manière peu sensible, un tube très fin qui établit la communication de la capacité qui renferme le sulfate de zinc avec l'air, agissant ici comme dans le vase de Mariotte.

Il nous reste à dire un mot des lampes à mouvement d'horlogerie; c'est à Carcel qu'on doit la construction de ces lampes. Elles ont pour effet de supprimer les ombres que donnent toujours les réservoirs dans les lampes à niveau supérieur au bec et de produire une flamme bien supérieure en intensité à celle des lampes précédentes. Cet effet est produit par l'écoulement continu et surabondant de l'huile sur la partie de la mèche où s'opère la combustion, d'où résulte une combustion à blanc extrêmement active.

Voici en quoi consiste l'appareil de Carcel : une boîte supérieure au mouvement d'horlogerie est divisée en trois compartiments, A, B, C (fig. 710); le compartiment B renferme un piston P, dont la tige *ab* est mise en mouvement par une manivelle mue elle-même par un mécanisme inférieur. C, est divisé en deux parties qui portent chacune une soupape *c*, *d*; à la partie supérieure du vase A, se trouve un tube *ef*, et à la partie intérieure deux soupapes. Cet appareil plonge dans le réservoir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à huile. Le piston P étant mis en mouvement dans le sens de la flèche, les soupapes *c*, *h*, s'ouvrent, et *g*, *d*, se ferment; le liquide à droite passe dans A, et de là dans *ef*, d'où il se répand sur la mèche, pendant que les réservoirs se maintiennent pleins de liquide; le piston marchant en sens contraire, les soupapes *g*, *d*, s'ouvrent et *c*, *h*, se ferment; il résulte de ce mouvement un résultat analogue à une aspiration continue du tube *ef*, et par conséquent une distribution régulière du liquide.

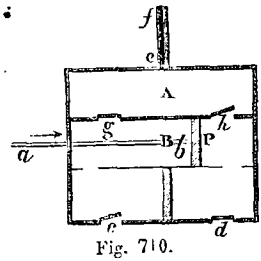


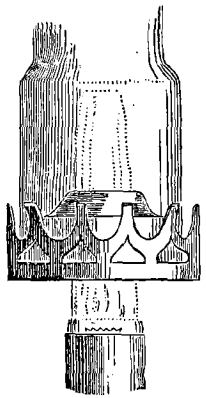
Fig. 710.

Le mouvement de l'huile ne peut être constant avec une seule pompe; aussi dans la plupart des systèmes perfectionnés a-t-on employé deux pompes qui chassent l'huile dans le même conduit. On pourrait employer aussi une chambre à air intermédiaire.

M. Careau a tenté de construire une lampe à mouvement d'horlogerie, à un prix modéré, qui permît d'en rendre l'emploi plus général. Pour cela, il a simplifié considérablement le mécanisme en supprimant le régulateur, et le réduisant à un barrillet et à un excentrique portant la tige des pompes. Il régularise l'arrivée de l'huile par l'huile elle-même, forcée de traverser un diaphragme percé d'un trou très-petit, et placé dans le tube d'arrivée de l'huile. La contraction au passage est d'autant plus grande que le ressort a plus de force. Ce moyen n'a donné que des résultats assez peu satisfaisants; il exige des nettoyages fréquents.

Généralement, dans les lampes à mouvement d'horlogerie, on a mis les pompes au-dessous du réservoir d'huile, en faisant traverser à la tige des pompes une boîte en cuir. Il peut en résulter des inconvénients graves et notamment l'écoulement de l'huile à l'extérieur de la lampe. Aussi, doit-on préférer les dispositions dans lesquelles les pompes sont placées au-dessus du réservoir. On peut aussi, comme l'a conseillé M. Sainte-Preuve, laisser les pompes au-dessous du réservoir d'huile et faire passer la tige communicatrice par un tube traversant le réservoir d'huile et soudé au fond de ce dernier; alors la tige s'élève au-dessus du bain d'huile, et c'est à son extrémité supérieure qu'on adapte les organes qui doivent la lier aux pompes.

Lampe solaire. Une disposition particulière permet d'obtenir sans mouvement d'horlogerie et en employant des lampes qui, quant à la forme du réservoir, se rapprochent des plus anciennes dispositions, une combustion éclatante de blancheur; nous voulons parler de la lampe dite *solaire* (fig. 711). Dans cet appareil la vivacité de la combustion est produite par un étranglement que l'on fait subir à la flamme un peu au-dessus de la mèche. La flamme étant ainsi mélangée intimement avec l'air (comme cela a lieu dans les appareils fumivores), les parties charbonneuses non encore brûlées, et qui donnent à la flamme une teinte rougeâtre, se brûlent; celle-ci s'allonge et s'élève beaucoup au-dessus du niveau de l'huile, en dégageant une lumière extrêmement vive. Ce genre de lampes, abandonné pour les huiles grasses, s'est trouvé très-convenable pour les liquides volatils, à combustion naturellement fuligineuse, qui offrent aujourd'hui tant d'intérêt. Nous y reviendrons plus loin en parlant des résultats auxquels on est parvenu par l'usage de liquides hydrocarburés d'origine minérale, qui va grandissant chaque jour, par suite de la grande économie qui résulte de leur emploi; mais il était curieux d'indiquer comment l'étranglement de la flamme, le mélange forcé des gaz à une certaine hauteur, a fourni une excellente solution du problème d'obtenir une combustion vive sans emploi d'aucun organe mécanique. Nous parlerons de l'emploi des hydrocarbures dans l'éclairage après avoir traité de l'éclairage au gaz; les goudrons qui sont produits lors de la distillation de la houille, étant la source de la plupart de ces hydrocarbures, au moins jusqu'avant la découverte du pétrole, produit sans doute dans la terre par une action semblable à celle qui engendre les goudrons.


Fig. 711.

Lampes à alcool. Nous terminerons cette description des principaux genres de lampes, par l'indication des systèmes dans lesquels on utilise la volatilité du liquide, différence caractéristique entre les huiles grasses et les autres liquides employés pour l'éclairage.

On peut prendre pour types celles qui emploient l'alcool, plus souvent pour le chauffage que pour l'éclairage, la flamme de l'alcool étant peu éclairante.

La lampe à alcool ordinaire est simplement formée par un vase rempli d'alcool, dans lequel plonge l'extrémité d'une mèche de coton. Le liquide monte en assez grande quantité par l'effet de la capillarité, et se décompose assez rapidement pour que la mèche dure indéfiniment. On a construit des lampes à alcool à double courant d'air et à réservoir latéral pour chauffer des corps volumineux, des creusets, par exemple. En employant de l'essence de térébenthine, et de l'air comprimé à l'aide d'un soufflet, M. Deville a établi sa *lampe-forge* qui donne des températures fort élevées.

Eolypile. On utilise très-élégamment la facile vaporisation d'un liquide pour produire un dard de chalumeau, au moyen d'un petit appareil dans lequel le liquide chauffé par la flamme même de l'appareil fournit de la vapeur qui pénètre au milieu de la flamme et en active l'intensité. Le nom d'éolypile est celui d'un petit instrument décrit par les anciens, dans lequel le mouvement résulte de la réaction due à la pression de vapeur qui s'écoule par un orifice, que nous décrirons dans l'histoire de la machine à vapeur.

La figure 712 représente l'éolypile d'un usage courant dans l'industrie du plombier, qui s'en sert dans quelques circonstances où le fer à souder est d'un emploi difficile.

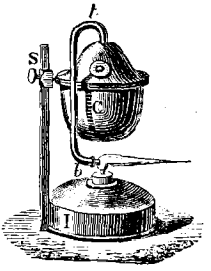


Fig. 712.

Une partie sphérique ou cylindrique C, contenant de l'alcool, se trouve chauffée à sa partie inférieure par la flamme de la lampe à alcool I. Du sommet de la sphère part un tube *t* qui se termine par un bec *b* dirigé sur la flamme de la lampe; celle-ci étant allumée, l'alcool renfermé dans la sphère dégage des vapeurs qui ne tardent pas à s'enflammer, et, par suite de la pression qui s'établit dans la capacité fermée, forment un long dard horizontal dont la température est très-élevée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ (*ang.* gas-lighting, *all.* gaslicht). DÉCOUVERTE. Si on s'en tenait à la valeur intrinsèque de ce mot, le premier Indien qui a songé à mettre le feu au gaz qui s'échappe des sources naturelles de Bakou aurait été l'inventeur de l'éclairage au gaz; mais, à notre avis, le véritable inventeur est celui qui a le premier indiqué le moyen d'extraire, de matières qui se trouvent en abondance dans la nature, du gaz pouvant par sa combustion développer une lumière assez intense pour être substituée à celle produite par les huiles grasses, les suifs, etc.

Dans ces termes, l'honneur de la découverte de l'éclairage au gaz ne peut être attribué ni à l'Anglais Clayton, doyen de Kildare, malgré tout l'intérêt que présentent ses observations et ses recherches, qui datent de 1739, ni à lord Dundonald qui, en 1786, sépara par la condensation les produits gazeux provenant de fumées de fours à coke.

La palme a été décernée en Angleterre à Murdoch, employé aux mines de Cornouailles; en France, à Philippe Lebon, ingénieur des ponts et chaussées. Mais nous pouvons, sans nous laisser influencer par les vibrations de la fibre patriotique, affirmer que l'honneur de la découverte doit revenir à Lebon qui, dès 1786, faisait fonctionner son thermo-lampe, tandis que les expériences de Murdoch ne datent que de 1790 ou 1792.

Mais, cette réserve faite, nous reconnaissons très-volontiers que, sous le rapport de l'application industrielle, Murdoch a devancé Lebon qu'un assassinat, dont le motif n'a pu être connu, a enlevé bien prématurément à ses travaux et aux efforts qu'il tentait pour triompher de l'indifférence et quelquefois même de l'hostilité qu'il rencontrait chez ses concitoyens. Dans ces conditions fatales, Lebon devait être devancé.

Murdoch fut loin d'être secondé dès l'abord, dans ses tentatives, par l'opinion publique et par le concours des capitaux; la lutte fut longue, mais il ne se rebuta pas et parvint à surmonter les difficultés au fur et à mesure qu'elles se présentaient.

Un Allemand nommé Winsor, qui habitait Londres vers la fin du siècle dernier, appela par tous les moyens l'attention publique sur l'application de l'éclairage au gaz; il excita une rage effrénée de spéculations. En se posant comme inventeur, il parvint à fonder successivement plusieurs Sociétés qui n'arrivèrent qu'à la perte du capital engagé. La dernière, constituée sous le nom de *Chartered gaz Company*, par les efforts de Winsor, ne commença à pouvoir fonctionner que lorsqu'elle fut dirigée par Samuel Clegg, disciple de Murdoch, qui réalisa dans l'industrie naissante des progrès considérables.

Le premier établissement éclairé au gaz en Angleterre fut, en 1798, l'usine de Bolton et Watt à Soho près Birmingham. Ce fut en 1808 seulement que le gaz fit son apparition dans les rues de Londres. Ne pouvant, dans les limites que nous nous sommes posées, retracer ici toutes les péripéties que l'industrie du gaz a eu à subir en Angleterre, arrivons à son introduction en France.

C'est en 1815, après la chute définitive du premier empire, que Winsor vint en France pour importer la nouvelle industrie. Il offrit au public, en 1816, un spécimen d'éclairage dans le passage des Panoramas, à la suite duquel essai il s'associa avec MM. Darpentigny-Périer et Compagnie, propriétaires de la fonderie de Chaillot; mais la déconfiture de ses associés rendit vaine son association.

Des actionnaires se présentèrent alors : mais avant de conclure définitivement, ils exigèrent de Winsor un essai plus étendu qui fut réalisé par l'éclairage entier du passage des Panoramas. Témoins de la réussite, les commerçants du Palais-Royal sollicitèrent pour eux le nouvel éclairage. Une commandite se créa au capital de 1,200,000 fr., et le grand référendaire de la Chambre des pairs, qui était un des principaux actionnaires, exigea qu'on éclairât d'abord le palais du Luxembourg. Une usine à gaz s'établit donc à proximité du Luxembourg, et peut-être dans le Luxembourg lui-même, en desservant le pourtour de l'Odéon en même temps que le palais.

Mais bientôt la Société s'affaissa sous le poids des difficultés suscitées par les intérêts contraires et résultant de l'imperfection des procédés, et spécialement de l'épuration, elle entra en liquidation; son matériel fut acheté par Pauwels, pour 67,000 fr., payables en 67 actions dans une nouvelle Société qu'il organisait.

C'est en 1820 que se constitua la première Société Pauwels qui créa une usine dans le haut du faubourg Poissonnière où fut établi un grand gazomètre d'une capacité de 7 à 8000 mètres cubes. Ce gazomètre fut l'objet des critiques les plus vives de la part des personnes qui s'occupaient alors de l'industrie du gaz, et Pauwels fut quasi traité de fou. (Aujourd'hui, il n'est pas rare de voir des gazomètres de 30000 mètres cubes.)

Pendant ce temps le préfet de la Seine, alors M. de Chabrol, faisait étudier la question de la fabrication du gaz par une Commission à la tête de laquelle se trouvait d'Arcet. Une petite usine fut créée à l'hôpital Saint-Louis où des essais se poursuivirent pendant un certain nombre d'années. Cette usine subsista jusqu'en 1860; l'administration des hospices trouva alors plus économique et plus simple d'acheter son gaz à la Compagnie parisienne que de le fabriquer elle-même. Ce qui avait déterminé M. de Chabrol dans cette création, c'est que, sous l'influence, dit-on, des fabricants et épurateurs d'huile, un chimiste industriel bien connu, Clément Désormes, faisait au gaz d'éclairage une guerre acharnée. C'est à l'usine de l'hôpital Saint-Louis que se fit l'essai de la Cagniardelle, pour aspirer le gaz, celui du lavage au lait de chaux et au lait de plâtre, etc.

D'un autre côté, Louis XVIII, jaloux de rattacher à son règne quelque grande innovation dans l'intérêt du commerce et des populations auxquelles il voulait faire oublier les idées de gloire et de conquête que son ambitieux prédécesseur avait tant caressées, vit avec peine la déconfiture de la Compagnie créée sous les auspices de Winsor, déconfiture qui lui semblait devoir amener l'abandon complet de l'éclairage au gaz.

On n'eut donc pas de peine à obtenir de Sa Majesté que la liste civile (elle était de 30 millions par an) fournirait les fonds nécessaires pour continuer les essais. Louis XVIII n'eut pas plutôt manifesté l'intention de se faire fabricant de gaz que la foule des courtisans s'empressa, elle aurait pu plus mal faire, de souscrire des actions dans l'entreprise, et une Société dite royale s'organisa.

Une usine à gaz, qui porta longtemps le nom d'usine royale, fut construite à l'avenue Trudaine, et eut, si nous ne nous trompons, pour directeur M. Bérard. Un gazomètre, auquel elle fournissait le gaz, fut établi rue Richer, dans une dépendance des Menus-Plaisirs, et servait spécialement à l'éclairage de l'Opéra. Ce gazomètre à télescope compensateur était l'œuvre de Sauvage, inventeur très-habile et très-fécond; il resta sous sa surveillance jusqu'en 1841 au moins et fut supprimé quelque temps après.

Quand le succès eut couronné sa mesure politico-industrielle, Louis XVIII reconnut que le rôle qu'il avait accepté était rempli, et il ordonna la mise en vente de l'usine de l'avenue Trudaine. L'adjudication rapporta à la liste civile la moitié environ de la somme qui avait été dépensée.

La Compagnie, qui s'était formée pour se rendre adjudicataire, continua pendant quelque temps son ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

ploitation en conservant le nom de Compagnie royale, puis elle se fusionna avec la Société anglaise Mauby Wilson et Compagnie, qui avait construit une usine aux Ternes, près l'ancienne barrière de Courcelles.

La Compagnie fondée par Pauwels, qui exploitait l'usine du faubourg Poissonnière et ensuite celle de Vaugirard, prit le nom de Compagnie française; elle avait en 1855 la raison sociale Brunton, Pilté et Compagnie.

Pauwels, qui s'était désintéressé dans cette Compagnie, en fonda une autre, dite Compagnie parisienne, sous la raison Dubochet, Pauwels et Compagnie, dont l'usine fut établie à Ivry, près l'ancienne barrière d'Italie.

D'autres Compagnies se formèrent ou s'étaient formées auparavant, savoir: la Compagnie Lacarrière pour l'éclairage des quartiers du Temple et du Marais; la Compagnie Payn pour l'éclairage de Belleville, de la Villette, des faubourgs du Temple, Saint-Martin et Saint-Denis; la Compagnie Pérardel, à laquelle succéda la Compagnie Gosselin, pour l'éclairage de Passy, Neuilly et des Champs-Élysées; la Compagnie Gosse pour l'éclairage de Batignolles, Saint-Denis et La Chapelle.

En 1855, ces diverses Compagnies, qui éclairaient des périmètres distincts et séparés, se fusionnèrent et exploitent aujourd'hui, sous le nom de Compagnie Parisienne, la concession exclusive obtenue par elles pour l'éclairage du nouveau Paris et d'une bonne partie de la banlieue.

Des Compagnies anglaises sollicitèrent et obtinrent, aux environs de 1830, les concessions de la plupart des principales villes de France; elles n'avaient pour ainsi dire qu'à choisir, et elles choisirent bien. La Compagnie continentale et impériale obtint les concessions des villes de Marseille, Toulouse [1], Bordeaux et Lille. La Compagnie européenne, celles de Nantes, le Havre, Amiens, Boulogne, Caen, et d'une bonne partie de Rouen où Pauwels avait déjà fondé une usine dans le faubourg Saint-Sever, exploitée sous la raison sociale Visinet, Pauwels et Compagnie.

Aujourd'hui, il n'est plus guère en France de ville, d'une très-petite importance, qui ne soit éclairée par le gaz.

Dans quelques villes, les municipalités avaient autorisé entre deux compagnies des concurrences qui n'ont pas tardé à cesser, et on a reconnu que les résultats économiques qu'on pouvait en attendre ne contre-balançaient pas les inconvénients graves qui résultaient de l'existence, dans une même rue, de canalisations appartenant à des entrepreneurs rivaux. La participation des municipalités dans les bénéfices des Compagnies de gaz, réalisée déjà dans un certain nombre de grandes villes, est, suivant nous, une combinaison très-heureuse qui doit mettre fin aux tiraillements et aux difficultés qui ont quelquefois existé entre les municipalités et les concessionnaires de l'éclairage au gaz.

DISTILLATION. Cette opération a la plus haute importance dans la fabrication du gaz. Une bonne distillation est la première étape du succès. Pour arriver à ce résultat, il faut de bons appareils et de la houille convenable.

Disons d'abord quelques mots du choix de la houille à employer.

Un directeur expérimenté peut seul, aidé d'ailleurs par l'analyse chimique et par des essais sur une échelle restreinte, arriver à un bon choix sans trop de tâtonnements, sans trop d'écoles. Les conditions particulières de chaque localité, de chaque usine, de chaque saison, pour la même usine, peuvent et doivent le fixer dans son choix. Ici on trouve avantage à distiller de la houille qui donne beaucoup de coke et on ne tient pas à obtenir un peu de gaz de plus; là le coke, au contraire, se vend mal et on veut de la houille produisant le plus de gaz possible. Partout enfin on préfère, à égalité de qualité, la houille qui coûte le moins cher.

Le plus souvent, on est amené à faire, dans la même usine, emploi de plusieurs espèces de houilles: ainsi on mélange assez souvent, dans de certaines proportions, une houille qui donne du bon coke, élément indispensable pour pouvoir l'employer à opérer la distillation à une température suffisamment élevée, et une autre houille donnant plus de gaz ou de meilleur gaz que la première.

Comme très-généralement les concessionnaires de l'éclairage des villes doivent, en vertu de leurs traités, fournir du gaz à un certain titre, avec un pouvoir éclairant déterminé (puissance d'illumination, comme disent les Anglais), une des premières conditions qu'on doit poursuivre dans la distillation, c'est d'obtenir du gaz avec la richesse réglementaire. Aussi est-on obligé, dans nombre d'usines à gaz, d'ajouter à la houille une certaine quantité de cannels produisant beaucoup de gaz et du gaz très-riche, en première ligne desquels se trouvent le bog-head Russell et le lesmahagow, qui sont, à proprement parler, des schistes et qui se distinguent de la houille spécialement par leur texture feuilletée, et en ce que le coke qu'ils produisent n'est point boursouflé et renferme des quantités de cendres considérables. Nous reviendrons plus loin sur la question du pouvoir éclairant.

Ne pouvant examiner les divers cas qui peuvent se présenter pour le choix des houilles à employer, nous nous contenterons de citer les principaux charbons servant avantageusement en France à la fabrication du gaz.

Dans les bassins du Nord et du Pas-de-Calais, les houilles de Denain, de Lens, de Courrières (Billy-Montigny), de Dourges, de Nœux.

Dans le Centre, les houilles de Commentry, laissant derrière elles celles de Saint-Éloi, Ahun... et quelques mines du bassin de la Loire, de Montrambert et de Firminy.

Dans le Midi, les houilles de l'Aveyron (Cransac et Decazeville), de Carmaux, de Bességes, de Graissessac, de la Grand'-Combe.

Dans l'Ouest, les houilles de Litry (l'exploitation de cette mine est restreinte).

Mais bien souvent on est amené en France à faire usage de houilles étrangères, et de s'adresser soit au bassin de Newcastle en Angleterre, soit au bassin de Mons en Belgique, soit aux bassins de Saarbruck et de la Rhurr en Allemagne.

Partout la qualité varie, suivant les veines exploitées, suivant les soins apportés par les extracteurs au nettoyage de leur charbon.

La houille est distillée dans des vases clos, appelés cornues, à une température très-élevée, de l'orangé blanc au rouge blanc, et elle donne naissance à un nombre assez grand de substances diverses, toutes à l'état de vapeurs au moment de leur production. De ces vapeurs, du moins dans les conditions ordinaires, les unes sont permanentes, ce sont les gaz; les autres sont condensables et constituent par leur condensation le goudron et les eaux ammoniacales.

Faisons remarquer que les gaz entraînent certaines vapeurs qu'ils tiennent soit en dissolution, soit en suspension, qu'ils renferment en plus ou moins grande partie jusqu'au moment de leur emploi.

1. La Compagnie anglaise a perdu les concessions de ces deux villes, exploitées aujourd'hui par deux Compagnies françaises.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Parmi les gaz nous avons à citer, en dehors d'une très-petite proportion d'acétylène, de l'hydrogène bicarboné et protocarboné, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène pur, de l'acide carbonique et de l'acide sulfhydrique (hydro-sulfurique). Dans la cornue reste du coke.

De toutes ces substances obtenues par la distillation, on ne doit conserver, comme produits réellement utiles, que l'acétylène, les hydrogènes carbonés, l'oxyde de carbone et l'hydrogène; et encore si on conserve ces deux derniers gaz c'est que leur élimination est considérée jusqu'ici soit comme absolument impossible, soit comme irréalisable, industriellement parlant.

L'acide hydrosulfurique doit être, lui, éliminé absolument; car, en outre qu'il est très-vénéneux, en brûlant il donnerait naissance à de l'acide sulfureux et aussi à de l'acide sulfurique. L'absorption complète de l'acide carbonique serait très-désirable, mais il est assez rare qu'on la réalise à cause des difficultés et surtout de la dépense qu'elle nécessite.

Ce n'est qu'après la condensation et l'épuration qu'on peut évidemment mesurer le gaz produit, mesurage qui s'opère au moyen d'un compteur dont il sera question plus tard.

De 1 000 kilogrammes de houille de bonne qualité, distillée dans des cornues suffisamment chaudes, on obtient environ 300 mètres cubes de gaz. Cette quantité peut être dépassée et portée de 320 à 330 avec des houilles de première qualité; elle n'est que 21 à 25^{m} pour des houilles de qualité médiocre. Lorsqu'une usine à gaz n'arrive pas à ces chiffres, c'est qu'elle ne travaille pas convenablement. Nous parlons en général. Les houilles qui ne produisent pas, dans un bon travail, 24 mètres sont de mauvaise qualité pour le gaz.

La durée d'une distillation qui dépend essentiellement de la nature des houilles varie généralement de quatre à six heures; les usines d'une certaine importance adoptent le plus souvent la marche en quatre heures.

C'est dans la deuxième heure de la distillation que la quantité de gaz produit (le rendement autrement dit) est la plus grande.

Voici les résultats d'observations que j'ai faites pour deux charges de chacune 640 kilogrammes de houille distillée en six heures dans un four à sept cornues bien chaudes.

Le compteur de fabrication a accusé en moyenne:

Après la première heure	43^{m}
Après la deuxième heure	52^{m},5
Après la troisième heure	44
Après la quatrième heure	30
Après la cinquième heure	17
Après la sixième heure	5

Le rendement total était de 191,5, soit à très-peu près 30 mètres par 100 kilogrammes de houille distillée. La température ambiante était de 12 degrés.

C'est pendant les deux premières heures de la distillation qu'on obtient le gaz le plus riche. Il en est de la densité comme du pouvoir éclairant, elle diminue avec la durée de la distillation; étant de 0,63 dans la première heure, elle n'est plus que 0,341 à la cinquième. La densité moyenne du gaz de houille est de 0,430 environ.

L'hydrogène deutocarboné étant décomposable en carbone et en hydrogène protocarboné à une température rouge, on pourrait croire qu'il y a désavantage à trop chauffer les cornues. Il est très-vrai qu'une décomposition se produit dans les cornues, que du graphite (carbone pur ou à peu près) se dépose dans les parties les plus chauffées, ainsi le plafond et l'extrémité de la cornue. Mais, quoi qu'il en soit, il est passé en

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

axiome dans la pratique qu'on ne pèche point très-généralement par un excès de chaleur.

Les proportions des hydrogènes carbonés varient essentiellement suivant la nature des houilles employées.

D'après Schilling, le gaz ne renferme que 4 à 8 0/0 d'hydrogènes carbonés denses. Cette proportion est plus élevée dans le cannel, et elle atteint tout au plus 25 0/0 dans le gaz du meilleur boghead.

Voici les résultats de quelques analyses de gaz de houille parmi celles qui présentent le plus d'écart:

	1	11
Bicarbure d'hydrogène.	8	3,8
Protocarbure d'hydrogène. . .	72	32,8
Oxyde de carbone.	13	12,9
Acide carbonique.	4	0,3
Hydrogène.	0	50,2
Oxyde sulfhydrique.	3	»
	100	100,0

Le 1 est du gaz mal épuré, le 2 est épuré.

Le tableau suivant donne, d'après Payen, la composition du gaz dans les cinq heures d'une distillation. Les acides carbonique et sulfhydrique avaient été éliminés de ce gaz qui retenait encore environ 0,02 de carbures d'hydrogène, des traces de sulfure de carbone, etc.

100 VOLUMES.	HYDROGÈNE BICARBONÉ.	HYDROGÈNE CARBONÉ.	HYDROGÈNE.	OXYDE DE CARBONE.	AZOTE.	RAPPORT DE LA LUMIÈRE.
1re heure. . . .	13	82,5	0	3,2	1,3	54
2e heure. . . .	12	72	8,8	1,9	5.3	48
3e heure. . . .	12	58	16	12,3	1,7	40
4e heure. . . .	7	36	21,3	11	4,7	35
5e heure. . . .	0	20	60	10	10	10

Les résultats de cette expérience diffèrent un peu de la moyenne de ceux de la pratique pour le rendement du gaz de la première heure de distillation.

Le rendement en coke varie aussi suivant la nature de la houille, on peut dire qu'en moyenne on en obtient de 66 à 75 0/0 du poids de la houille. Pour un même poids de coke, le volume est essentiellement variable. Certaines houilles produisent jusqu'à 20 hectolitres de coke par tonne. C'est évidemment le coke le plus dense qui convient le mieux au chauffage des cornues; au contraire, le coke léger se prête mieux aux convenances du chauffage domestique. Le poids moyen d'un hectolitre de coke est de 38 kilogrammes.

Quand la houille a été bien distillée, le coke, au sortir des cornues, est complétement rouge et ne laisse dégager aucune flamme, aucune fumée; si, au contraire, le coke donne une flamme fuligineuse, c'est que la distillation a été incomplète.

Une autre condition essentielle d'une bonne distillation est d'employer des houilles non mouillées.

M. Penot de Mulhouse a fait, il y a nombre d'années, l'expérience suivante.

1 kilogramme de houille contenant 10 0/0 d'eau a donné:

Gaz de bonne qualité.	160 litres.
Gaz de mauvaise qualité. . . .	92 »
Total.	252 »

La même houille, desséchée, a donné:

Gaz de bonne qualité.	260 litres.
Gaz de mauvaise qualité. . . .	92 »
Total.	352 »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour avoir la houille la plus sèche possible, il faut la mettre à couvert lors de son entrée à l'usine, surtout si elle est fine. Lorsqu'on met les charbons en tas, même à découvert, il est nécessaire de prendre toutes les précautions possibles pour la ventilation de toutes les parties de la masse et éviter l'échauffement, quelquefois suivi d'inflammation. Ces accidents se produisent surtout quand la houille a été emmagasinée humide; sous l'influence simultanée de la chaleur et de l'humidité, il s'y produit une espèce de fermentation, surtout dans les houilles menues et pyriteuses, par la transformation du bisulfure de fer en sulfate, accompagnée d'un dégagement de chaleur assez considérable pour amener le départ d'une quantité plus ou moins considérable de substances volatiles.

Quand on n'a que de la houille plus ou moins mouillée, on a l'habitude de l'étaler devant les fours avant de la mettre dans les cornues. Quand ces cornues sont en terre réfractaire, l'emploi de houille mouillée pourrait les faire fendre.

Cette considération a empêché souvent, jusqu'ici, l'emploi dans la distillation des houilles menues lavées malgré leur plus grande pureté et la meilleure qualité de coke qu'elles produisent.

A l'étude des matières premières doit succéder l'étude des outils servant à la distillation.

Cornues. Dans presque toutes, nous pourrions dire toutes les usines à gaz on pratique la distillation dans des cornues en terre réfractaire. Les cornues en fonte, jadis exclusivement en usage, ne sont plus employées aujourd'hui que dans des circonstances particulières. Il est très-vrai que les cornues en terre sont poreuses et laissent d'abord passer une partie notable du gaz produit, mais les pores sont bientôt bouchés par le graphite qui s'y dépose; on a soin, du reste, dans les premières charges, de mélanger à la houille une certaine quantité de goudron.

Une cornue comprend deux parties, le corps et la tête: le corps est la partie placée dans le fourneau, la tête est extérieure. Quand la cornue est en fonte, elle est, ainsi que la tête, munie d'une bride; et les deux brides sont serrées l'une contre l'autre par des boulons et le joint se fait au moyen de mastic de fer interposé.

Quand la cornue est en terre réfractaire, la tête conserve la même forme et vient s'appuyer contre la cornue qui porte un empatement à sa partie ouverte, empatement qui remplace la bride de la cornue de fonte et qui est percé de trous pour laisser passer les boulons. Des échancrures pratiquées dans la paroi de la cornue permettent de placer et de serrer les écrous qui rapprochent la tête contre la face antérieure de la cornue. Le joint se fait avec un mélange de terre réfractaire et de mastic de fer. La tête de cornue porte une tubulure en tulipe dans laquelle on place, au moyen d'un joint qu'on fait très-facilement et économiquement avec du plâtre gâché qu'on coule entre la tubulure et le tuyau.

La cornue est fermée par une porte ou tampon en tôle[1] estampée, lutée soit avec une terre argileuse, soit avec de la chaux (ou mieux des résidus de chaux), soit avec un mélange des deux, et maintenue par une vis de pression passant dans l'écrou d'une traverse mobile reliée à la tête de la cornue par des oreilles. L'ensemble de la traverse et de la vis porte généralement le nom de fléau.

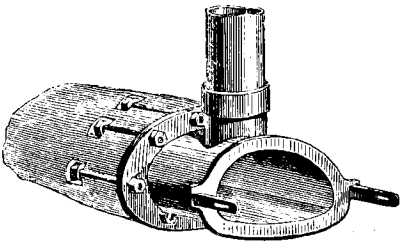
Les figures 1 et 2 donnent une idée suffisante de l'assemblage de la tête avec la cornue et de la fermeture.

La forme qu'on a donnée aux cornues a beaucoup varié: on en a fait de cylindriques, d'elliptiques; d'autres avaient la partie inférieure bombée intérieurement pour augmenter la surface de chauffe. On s'est généralement arrêté à la forme d'un D allongé, renversé, dont assez souvent les angles sont arrondis pour faciliter le défournement du coke.

1. Jadis ce tampon était en fonte et à cause de son poids fatiguait les ouvriers chargés de l'appliquer.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Fig. 1.



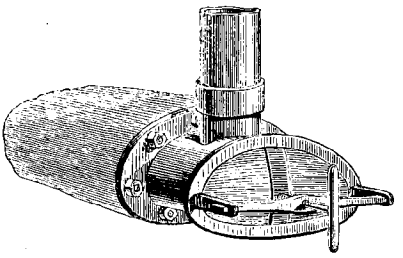


Fig. 2.

On donne aujourd'hui les plus grandes dimensions possibles aux cornues.

Nous en connaissons qui ont jusqu'à 3 mètres; le plus souvent, les cornues n'ont que 2m,80 de longueur utile; les ouvertures ont généralement 0m,50 à 0,65 de large et 0,35 à 0,38 de hauteur.

Il ne faut pas que la couche de houille placée dans la cornue ait une grande épaisseur, eu égard à la facilité d'une distillation complète et à cause du boursouflement de la houille.

Avec des cornues de 3 mètres de longueur utile, on peut facilement distiller 6 000 kilogrammes en vingt-quatre heures (charges en 4 heures) dans un four à 7 cornues et produire ainsi, pour une houille de bonne qualité, 1 800 mètres de gaz.

Nous avons dit plus haut que la distillation de la houille, surtout à haute température, produisait du graphite. Ce graphite se dépose dans l'intérieur de la cornue dont il diminue le volume et s'oppose à la transmission de la chaleur.

Pour combattre la formation de ces couches parasites (si nous pouvons nous exprimer ainsi) ou pour les faire disparaître en tout ou partie, plusieurs moyens ont été proposés. Les meilleurs, suivant nous, consistent à brûler ce graphite. Un des plus simples est de laisser de temps en temps les cornues à décrasser ouvertes après le défournement du coke; souvent aussi on bouche avec des briques l'ouverture de la cornue et dans la cloison, ainsi obtenue, on pratique un orifice dans lequel passe un tuyau en terre réfractaire percé de trous à son extrémité et qui arrive presque au fond de la cornue; on enlève en même temps le tampon placé au-dessus de la colonne montante qui sert ainsi de cheminée et produit un tirage indispensable au succès de l'opération.

Des praticiens recommandent expressément de dégraphiter ou décarburer préalablement les cornues

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'un four qu'on veut éteindre pour le faire servir à nouveau ; sans cette précaution, il pourrait, après l'extinction, se produire entre le graphite et la cornue des différences de retrait et, partant, des ruptures.

Disons à ce propos que quand on veut éteindre un four qui n'est pas condamné, il faut boucher aussi hermétiquement que possible toutes les ouvertures, ainsi que les cornues qu'on a soin de conserver chargées, et laisser alors éteindre le foyer. On abandonne le tout dans cet état jusqu'au moment où on veut ralluner le feu, et on ne débouche même les cornues que quand le four est déjà chaud.

On n'a pas encore trouvé un vernis qui puisse, en résistant à la chaleur du four, préserver l'intérieur des cornues du graphitage.

Les cornues peuvent être réparées pendant la marche du four, on bouche les fissures et fentes qui se déclarent au moyen de ciment réfractaire et même de terre à four auxquels on ajoute en cas de besoin du verre pilé.

Fours. Nous nous occuperons maintenant des fours dont les dispositions ont déjà beaucoup varié et varieront probablement encore. On a commencé par des fours à une seule cornue, puis à deux, puis à trois, plus tard à cinq cornues. Aujourd'hui, dans les usines distillant de 12 à 1500 tonnes de houille par an, on fait généralement usage, pendant l'hiver, de fours à 7 cornues. Certaines usines, celles de Marseille et de Reims, par exemple, ont adopté des fours à neuf cornues, et plus un four à de cornues, moins, proportionnellement, il consomme de chauffage.

M. Coze, directeur de l'usine à gaz de Reims, affirme n'avoir brûlé dans un four à neuf cornues que 14 à 15 kilogrammes de coke pour distiller 100 kilogrammes de houille.

Dans les petites usines, il faut cependant se contenter de fours avec deux et trois cornues; mais nous avons l'intime conviction qu'il vaudrait mieux alors augmenter le nombre de cornues en réduisant très-sensiblement leurs dimensions, parce qu'alors la disposition du four permettant d'utiliser beaucoup mieux

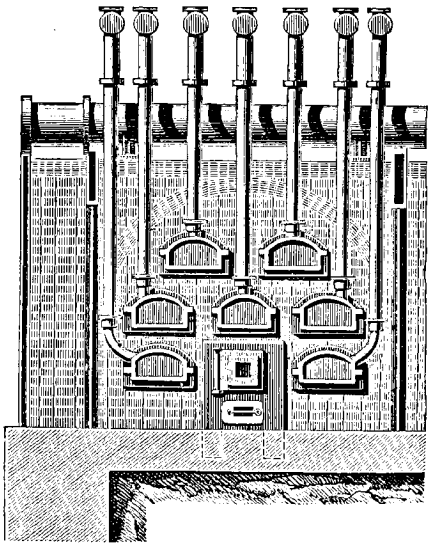


Fig. 3.

le combustible, généralement le coke employé au chauffage, et cette meilleure utilisation amènerait une économie de tous les jours, point très-important, surtout pour les usines en question.

Dans les fours à neuf cornues la largeur est nécessairement plus grande que dans les fours à sept, ce qui exige une voûte plus surbaissée en anse de panier, ou à peu près. On serait tenté de croire qu'une voûte de cette forme est moins résistante peut-être qu'une voûte se rapprochant du plein cintre; mais on nous a garanti le contraire.

Dans les fours à sept et neuf cornues on n'emploie aujourd'hui qu'un seul foyer.

La figure 3 représente un four à sept cornues, vu de face, avec les colonnes montantes, les plongeurs et le barillet.

La figure 4 représente une coupe verticale parallèle

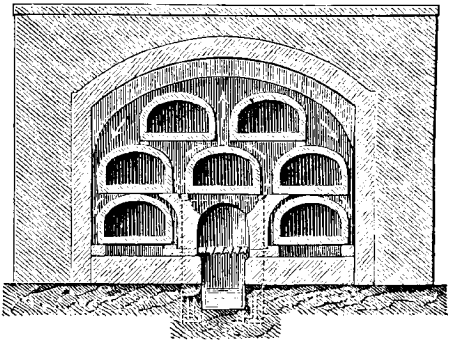


Fig. 4.

à sa façade, et la figure 5 une coupe longitudinale suivant l'axe du four : ces figures parlent d'elles-

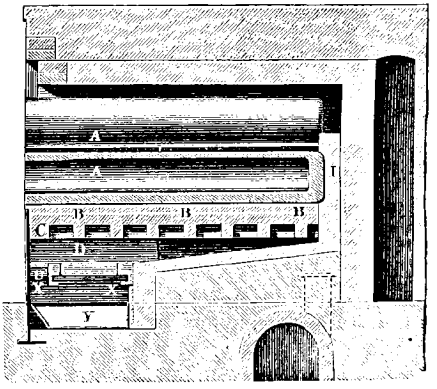


Fig. 5.

mêmes et nous dispensent d'entrer dans des détails de description. Les flèches indiquent le sens de la circulation des flammes.

Les grilles des fours à 7 cornues ont généralement une largeur de 40 à 45 centimètres et une longueur de 80; leur surface étant en rapport avec la quantité de coke à brûler dans le foyer, il faut évidemment, pour les fours à 9, des grilles à dimensions plus grandes.

La distance de la grille à l'intrados de la voûte ou des voussoirs est d'environ 60 centimètres.

Lorsque l'importance des usines le permet, les fours sont adossés; cette disposition procure une incontestable économie de chauffage. On construit même des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

fours doubles dont les cornues sont composées de deux tronçons égaux en longueur et en largeur, et qui n'ont pas de fond, de sorte que les deux tronçons ne forment qu'une seule et même cornue.

Cette disposition offre pour avantages principaux un défournement et une dégraphitation plus faciles. Cependant elle a été assez peu pratiquée jusqu'ici.

Quelle que soit la disposition adoptée pour les fours, il est indispensable d'avoir un bon tirage, que donnent d'ailleurs les cheminées de 33 mètres exigées pour les usines à gaz par le décret du 9 février 1867.

Pour se rendre compte du tirage au pied de la cheminée, comme aussi dans les diverses parties des fourneaux, on mesure le vide qui tend à se produire, et cela au moyen de petits manomètres, dont la branche la plus courte se termine par une partie horizontale qui peut être en métal, et qu'on introduit à l'endroit où on veut apprécier le tirage; on perce la façade du four ou on profite des orifices des regards, et on entoure bien la branche du manomètre avec de la terre à four pour empêcher toute communication avec l'atmosphère. Le tirage au bas d'une cheminée est excellent s'il est mesuré par une dépression de 20 millimètres d'eau; s'il était inférieur à 10 millimètres, il laisserait beaucoup à désirer.

Quand on chauffe des fours au coke, aucune fumée ne doit sortir de la cheminée.

Le mur de façade des fours n'est généralement que de 11 centimètres; on avait, si nous ne nous trompons, proposé jadis de mettre en saillie de cette façade un contre-mur de la même épaisseur, enveloppant les têtes de cornues dont la température n'est pas, à beaucoup près, aussi élevée que celle des cornues et contre lesquelles se produit une véritable condensation.

Tout récemment, M. Letreust, régisseur de l'usine de Vaugirard (Compagnie parisienne), a réalisé cette application sur une grande échelle. Cette disposition a pour résultat incontestable d'élever la température des fours et des cornues; le seul inconvénient qu'elle puisse présenter, c'est de produire des obstructions de goudron dans les colonnes montantes. L'expérience peut seule décider la question.

Les fours sont disposés de manière que les flammes sortant du foyer par les ouvraux de la voûte formée généralement de grosses pièces, nommées voussoirs, aient avec les cornues le plus de contact possible.

Au-dessous des deux cornues du bas se trouvent les derniers carneaux que les produits de la combustion traversent avant de se rendre à la cheminée courante. C'est dans la partie de ces carneaux, contre la façade du four, qu'on peut placer des registres composés de carneaux réfractaires.

Dans une batterie de fours adossés la cheminée courante, qui a la forme d'un tombeau, se trouve sous le milieu des fours, dans le sens longitudinal; elle doit être assez large pour qu'un ouvrier puisse y pénétrer pour la nettoyer, car il s'y amasse avec le temps beaucoup de cendres.

Un grand point dans la construction des fours est d'avoir non-seulement de bonnes cornues, mais aussi des blocs et des briques bien réfractaires. Ces matériaux laissent trop souvent à désirer; après sept ou huit mois de marche ils fondent en partie; alors le foyer s'agrandit et on brûle alors plus de coke et la cornue du milieu reçoit le coup de feu direct.

Les fours sont munis d'armatures pour empêcher le mouvement de la maçonnerie; ces armatures, composées soit de pièces de fonte, soit de deux fers planchers assemblés, doivent être reliées entre elles par des tirants en fer qui traversent la batterie dans le sens de la profondeur et de la longueur. Seulement, il faut les disposer de manière qu'ils ne soient pas en contact avec les flammes, ni même avec les voûtes des fours; sans cette précaution ils seraient détériorés par la chaleur assez rapidement.

Les produits de la combustion ont, à la sortie des fours, une température très-élevée, et si élevée que des registres en fonte placés à la base des cheminées fondent rapidement et que les cheminées elles-mêmes sont sujettes à se crevasser; aussi il est avantageux de ne les placer qu'à une certaine distance des batteries de fours, ce qui permet d'ailleurs de trouver plus facilement l'utilisation d'une partie de la chaleur perdue.

Jusqu'ici, aucune application sérieuse n'en a été faite, à notre connaissance, en dehors de celle dont nous allons parler.

Depuis une dizaine d'années environ, plusieurs inventeurs ont cherché à appliquer au chauffage des fours à gaz les principes si bien posés par notre ancien et regretté collaborateur Ebelmen et à employer à ce chauffage, non plus la combustion directe du coke ou de la houille (car il y a dans certaines circonstances avantage incontestable à substituer la houille au coke), mais la combustion du gaz oxyde de carbone mélangé nécessairement d'une quantité importante d'azote.

Pour arriver à cette réalisation, on commence par produire de l'oxyde de carbone en faisant passer à petite vitesse de l'air dans une couche de combustible (spécialement des débris de coke ou de houille maigre de qualité inférieure) de un mètre et demi d'épaisseur. La grille qui soutient ce combustible est généralement inclinée au lieu d'être horizontale, et ce pour la facilité du service. L'acide carbonique qui se forme dans les couches inférieures, qui sont seules incandescentes, se transforme en oxyde de carbone par son contact avec du coke à une température inférieure.

Les gaz résultant de cette combustion incomplète du carbone sont dirigés, dans le four ou dans plusieurs fours, en même temps qu'une quantité suffisante d'air chauffé, pour transformer l'oxyde de carbone en acide carbonique.

Dans ces conditions, le foyer ne devant plus faire partie intégrante du four, on met en son lieu et place une cornue, de sorte qu'il a huit cornues au lieu de sept.

Voilà le principe du chauffage des fours par le gaz. Divers systèmes ont été proposés et employés pour l'appliquer.

M. Siemens est le premier, nous le pensons du moins, qui ait proposé et réalisé une application à l'industrie du gaz, et ce dans l'usine de Vaugirard, appartenant à la Compagnie parisienne.

Son *gazogène* ou générateur est placé en contre-bas du sol, et le gaz produit, appelé par le tirage, se rend dans les fours après avoir traversé le *régénérateur* de chaleur. Ce régénérateur n'est autre chose qu'un assemblage de briques réfractaires posées de champ et laissant entre elles des interstices que traverse l'air brûlé, sortant des fours, pour se rendre à la cheminée, et auxquelles il abandonne une partie de sa chaleur.

Le régénérateur ou réchauffeur comprend quatre conduits garnis des briques en question; ils sont représentés en $a\,a'\,a^2\,a^3$ dans la figure 7, qui donne une coupe verticale et transversale du four à la façade, tandis que la figure 7 donne une coupe, aussi verticale, mais longitudinale. Au bas de ces conduits sont des registres R, R^1, R^2, R^3, qu'on manœuvre au moyen de treuils.

En supposant que le four soit en marche, les conduits $a\,a$ reçoivent, l'un l'oxyde de carbone, l'autre l'air destiné à l'alimentation, qui viennent, ainsi que l'indiquent les flèches, se mélanger en s'enflammant sous les cornues $c\,c$, tandis que les produits de la combustion descendent par les conduits $a^2\,a^3$. Au bout d'une heure,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on renverse simultanément le passage des gaz, de sorte que l'oxyde de carbone et l'air traversent les conduits fours que les figures 6 et 7 représentent plus spécialement.

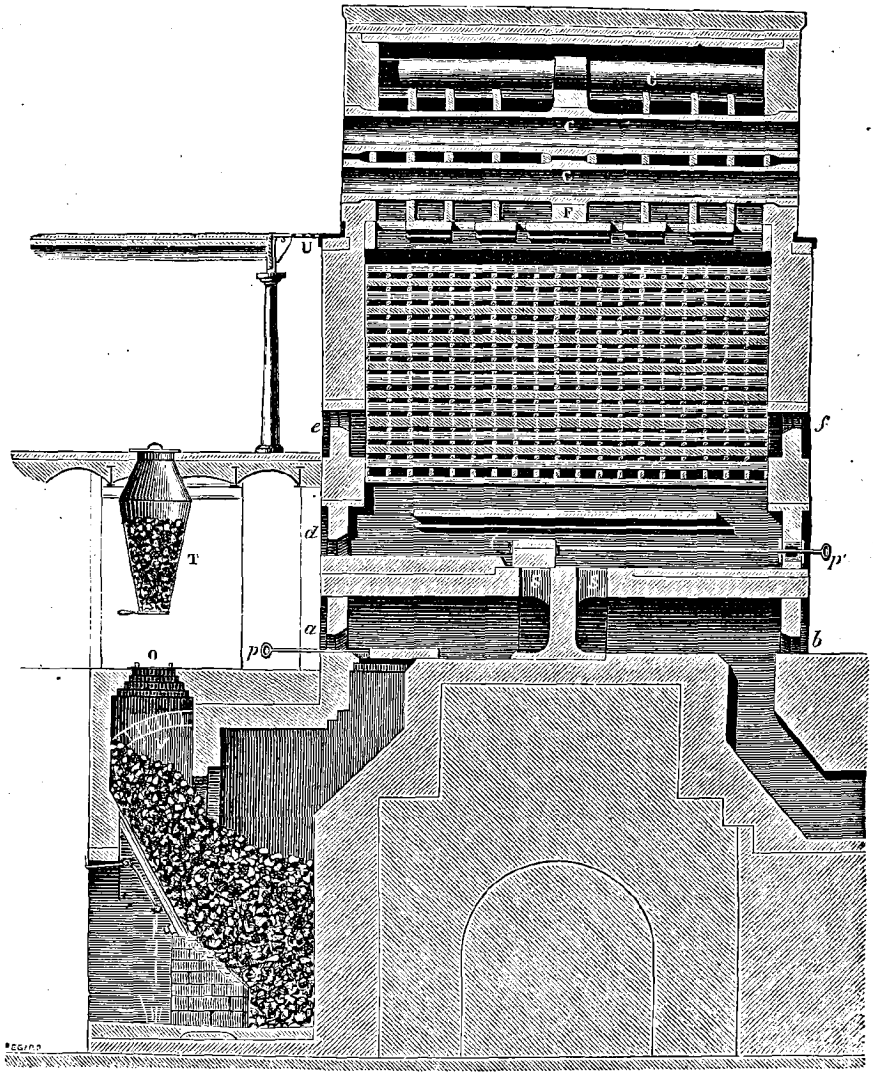


Fig. 6.

a^2 a^2, dont les produits de la combustion ont élevé la température jusqu'au rouge, et ces produits descendent par les conduits a et a^1.

A l'usine de Vaugirard, un seul gazogène sert au chauffage de huit à dix fours.

La Compagnie parisienne, satisfaite de l'économie de combustible promise par ce système, a fait construire à son usine de Saint-Mandé une série de fours aussi chauffés à l'oxyde de carbone, mais avec cette modification que chacun des fours doubles, comprenant seize cornues, a son gazogène, rien n'étant changé d'ailleurs aux dispositions que nous avons décrites. Ce sont ces

Le coke, destiné à alimenter le gazogène, est distribué par une trémie T, et pénètre dans le foyer par l'ouverture O munie d'un tampon. $a\,b\,c\,d$ (fig. 6) sont des orifices qu'on peut déboucher pour constater, au moyen de manomètres, la dépression de l'intérieur du four. Les registres R, R^1, R^2, R^3 sont solidaires deux à deux et peuvent former simultanément deux conduits S S au moyen de la tige p'.

Les produits de la combustion se rendent dans le four par l'ouverture K, qu'un registre règle à volonté au moyen de la tige p.

Depuis les installations faites à la Compagnie pari-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sienne des procédés Siemens plus ou moins modifiés, des ingénieurs français, parmi lesquels M. Ponsard et

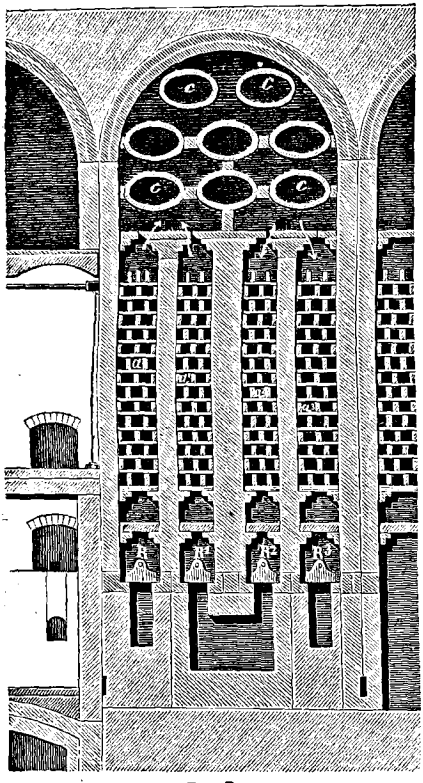


Fig. 7.

M. Lencauchez, ont apporté à ce système des modifications heureuses, en ce sens qu'elles simplifient l'appareil. En effet, ils suppriment le renversement dont nous avons parlé tout à l'heure; les produits de la combustion suivent toujours la même voie avant de se rendre à la cheminée, et, dans leur parcours, ils se trouvent en contact avec des briques creuses dans lesquelles circule l'air d'alimentation, et qui se trouve ainsi chauffé à un haut degré. Nous donnons ici les dispositions du four monté à l'usine de Vaugirard par MM. Lencauchez et Gaillard.

Le générateur au gazogène est analogue à celui de Siemens; le gaz oxyde de carbone se rend directement dans le four, où il se trouve par des arrivées et des distributions habilement combinées, ce qui n'est pas possible avec la disposition Siemens, en contact avec l'air nécessaire à la combustion qui a traversé de bas en haut une série de briques creuses dont les parois ont été léchées par les produits de la combustion sortant du four, dont la circulation se fait horizontalement, et qui ont acquis une température très élevée. Telle est la disposition du récupérateur Lencauchez.

La figure 8 représente la coupe transversale du four et du récupérateur. La figure 9 représente la coupe longitudinale. A A indiquent des tuyaux en fonte que l'air traverse avant de traverser la série de briques creuses figurées en BBBB. Les distributions d'air chauffé et d'oxyde de carbone sont représentées en CCC. La figure 10 donne le détail de la disposition des briques creuses pour la circulation et de l'air d'alimentation et de l'air brûlé.

Les dispositions imaginées par M. Lencauchez sont évidemment meilleures et plus économiques d'installation que celles Siemens. Le générateur ne doit pas être en contre-bas du récupérateur, c'est un avantage de construction qui supprime un des étages, et c'est déjà un inconvénient de n'avoir pas, comme dans les usines ordinaires, les salles des cornues au rez-de-chaussée.

L'expérience a du reste prouvé, au point de vue du chauffage, la bonté du système Lencauchez.

Voici les quantités comparatives de coke brûlé par tonne de houille distillée :

Four Lencauchez.	4k,31
Four Ponsard.	4 ,45
Four Siemens.	4 ,60
Four ordinaire.	5 ,00

La houille distillée en vingt-quatre heures est de

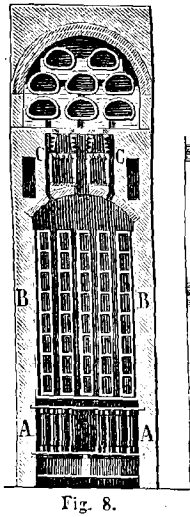


Fig. 8.

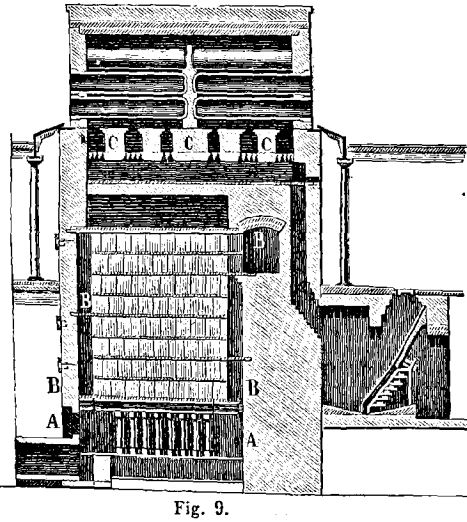


Fig. 9.

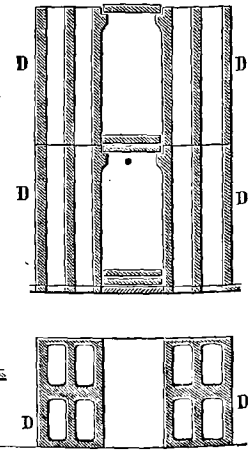


Fig. 10.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

14,000 kilogrammes, produisant 2,400 mètres cubes de gaz.

MM. Muller et Eichelbrenner ont imaginé une autre disposition particulière qui est représentée dans la figure 11. B est la grille du générateur; le coke ou

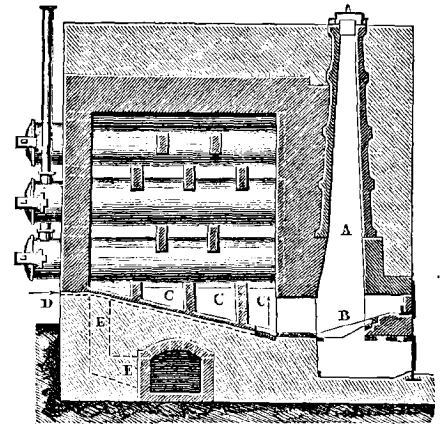


Fig. 11.

charbon se charge par la trémie A, qui a la hauteur du four qu'il s'agit de chauffer, et derrière lequel tout le système est appuyé. L'oxyde de carbone se rend dans les carneaux C, où il se trouve en contact avec l'air arrivé par D. Les produits de la combustion se rendent par le carneau EE dans la cheminée courante.

Ces inventeurs, en dehors des avantages généraux du chauffage à l'oxyde de carbone, font valoir que la trémie étant chargée, les soins à donner au four entre les délutages sont presque nuls, la charge pouvant être considérable, et qu'on arrive par là à une économie notable de main-d'œuvre.

Des fours de ce système ont été montés dans quelques usines à gaz, à celle de Montreuil-sous-Bois (Seine) entre autres, par MM. Leblond et Mulot, ingénieurs qui exploitent les brevets de MM. Muller et Eichelbrenner.

L'économie procurée par le chauffage à l'oxyde de carbone est incontestable, surtout avec l'emploi du réchauffeur; mais les diverses dispositions que nous venons d'énumérer ne sont pas applicables, économiquement du moins, dans les usines établies. Pour les usines à construire, la dépense d'établissement serait nécessairement plus considérable qu'avec les dispositions ordinaires, et, en dehors de l'augmentation de la dépense, il faudrait aussi faire le compte des réparations qu'exige le nouveau système et sur lesquelles on n'est peut-être pas encore bien fixé.

En ce qui concerne le four Muller et Eichelbrenner, c'est spécialement dans les petites usines qu'il pourra trouver une application économique.

Nous n'avons jusqu'ici parlé que du chauffage au moyen du coke, et subsidiairement de la houille; on peut avoir avantage, dans des conditions particulières, à chauffer les fours au moyen du goudron.

Pour réaliser ce chauffage on peut : ou établir des fours spéciaux ou faire usage des fours ordinaires. La combustion de goudron développant, quand elle est faite convenablement, une chaleur beaucoup plus grande que celle du coke, les cornues et les foyers peuvent très-bien ne pas être, et cela arrive le plus souvent, assez réfractaires pour résister longtemps à une haute température.

Pour remédier à cet inconvénient, on peut ne chauffer au goudron que des fours ayant déjà fait un assez long service, et ce moyen est pratiqué heureusement dans plusieurs usines. A cet effet, on enlève la porte du foyer; on bouche hermétiquement la grille avec des carreaux et du ciment réfractaire, on remplace la porte par un grand carreau réfractaire dans le milieu duquel on a pratiqué une échancrure de dix à douze centimètres de côté. A la partie supérieure et la plus rapprochée de la cornue du milieu (nous supposons un four à sept ou à cinq cornues), on pratique une autre ouverture plus petite permettant le passage d'une petite gouttière ou coulotte en fer, ayant une pente très-prononcée vers l'intérieur du foyer, dont une extrémité plonge au-dessus du foyer, et dont l'autre dépasse la façade du four. Dans cette gouttière on laisse couler soit un filet de goudron seul, soit un double filet de goudron et d'eau.

Le goudron ou le mélange d'eau et de goudron arrive dans l'espace du foyer où on a placé à l'origine une certaine quantité de coke incandescent, et une fois le goudron en ignition régulière, on n'a plus besoin de l'intervention du coke.

Pour appliquer ce chauffage, on place sur le massif des fours un réservoir A (fig. 12), dans lequel arrive le goudron. Ce réservoir est muni d'un couvercle qui arrête les cendres et les parties les plus légères du poussier de charbon et du coke; il porte un peu au-dessus de la paroi inférieure un robinet dont l'orifice est protégé à l'intérieur par une toile métallique d'une finesse suffisante pour que les saletés ou parcelles non fluides ne puissent obstruer les robinets. A ce robinet est adapté un tuyau BB en fer qui descend le long du massif, et

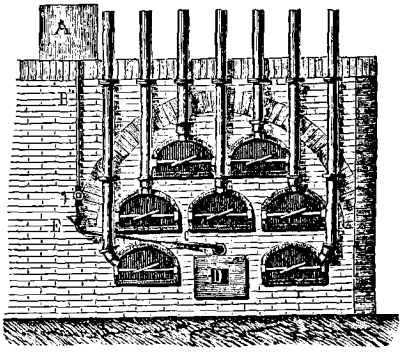


Fig. 12.

en dehors des cornues, à la hauteur de la coulotte dont nous avons parlé tout à l'heure. Ce tuyau se termine par un robinet, dont on règle l'ouverture à volonté, et correspondant à un entonnoir E qui surmonte un tuyau incliné parallèle à la façade du four, qui vient déboucher à quelques centimètres au-dessus de la coulotte en question.

La combustion du goudron donne naissance, dans le fond du foyer, à un champignon, qu'il faut abattre de temps en temps; c'est ce qu'on fait avec une tige de fer qu'on introduit par l'ouverture centrale du carreau réfractaire remplaçant la porte du foyer.

Quand le goudron est trop épais, il faut le liquéfier suffisamment. A cet effet, on peut placer dans le réservoir un serpentin dans lequel circule de la vapeur, ou bien encore, pour les usines qui n'ont pas de vapeur, on peut employer un réservoir de forme plate qu'on place entre deux fours dont la chaleur maintient le goudron liquide.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les fours spéciaux pour chauffer au goudron n'ont que six cornues; on supprime celle qui est la plus rapprochée du foyer, dont les pieds-droits se prolongent beaucoup plus haut qu'à l'ordinaire, de manière à offrir à la flamme du goudron un espace de développement assez considérable. L'alimentation se produit comme nous venons de le dire. Quand on établit ces fours, on ne met point de grille, et on se place de prime abord dans les conditions expliquées plus haut.

Si nous ne nous trompons, c'est un Anglais, Kirkam, qui a le premier indiqué cette disposition.

Disons maintenant quelques mots des conduites servant au passage du gaz à la sortie des cornues.

Les têtes de cornues sont munies de tubulures dans lesquelles viennent s'adapter des colonnes en fonte qui montent verticalement et parallèlement à la façade du massif. Elles dépassent d'une certaine hauteur et le massif et le barillet, qu'on place assez généralement au-dessus, à une distance suffisante pour que la chaleur des fours ne fasse pas cuire le goudron qui se trouve dans ledit barillet (fig. 13).

De la colonne montante part un tuyau qui va s'adapter à la tubulure du plongeur dans le barillet. Les figures donnent une idée suffisante de la disposition.

Pour éviter les obstructions, il est nécessaire que les colonnes-trompettes plongeurs aient un diamètre suffisant, 0,162 par exemple. Le diamètre du barillet ne doit pas avoir moins de 60 centimètres.

La hauteur de plongement dans le barillet peut varier suivant l'étendue du barillet; mais comme il vaut mieux avoir un peu plus que moins de plongement, on adopte assez généralement 3 centimètres.

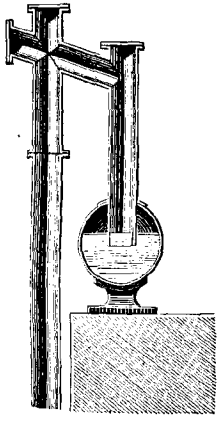


Fig. 13.

Il est nécessaire de donner aux barillets un diamètre suffisant; lorsqu'ils ont un faible diamètre, on est exposé, à moins d'avoir des plongeurs assez longs, à ce que le gaz revienne du barillet dans les cornues au moment du délutage. Voici pourquoi:

Dans les deux premières heures de la charge, le gaz se dégage abondamment. Des bulles grosses et nombreuses viennent barboter dans le liquide du barillet; ce liquide augmente de volume en ce moment, et l'excédant s'écoule naturellement par le trop-plein. Lorsque le gaz se produit moins abondamment, le niveau du liquide baisse et peut baisser jusqu'à laisser à découvert les orifices des plongeurs, et ce d'autant plus facilement que le diamètre du barillet est plus petit.

Les dimensions que nous avons indiquées pour les barillets sont généralement assez grandes pour que le goudron ne puisse pas s'y agglomérer. Cependant quand on distille des charbons très-bitumineux, et qu'on chauffe très-fort, des agglomérations pourraient, à la rigueur, se produire. Pour éviter cet inconvénient, quelques ingénieurs ont proposé des barillets dits à tabatière. La figure 14 donne une idée suffisante de cette disposi-

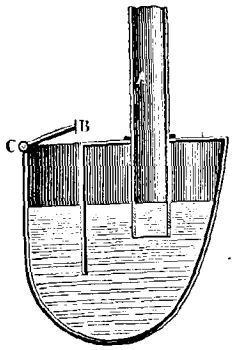


Fig. 14.

tion, qui permet de visiter le barillet et d'enlever une partie plus ou moins considérable du goudron qu'il contient sans arrêter la marche du four; seulement le poids du barillet est alors considérable, et peut-être en ce cas pourrait-on substituer de la tôle forte à la fonte. A est le plongeur, et CB est le couvercle à tabatière.

J'ai conseillé un moyen peut-être un peu moins facile, mais beaucoup moins coûteux, d'arriver à peu près au même résultat : c'est de munir la paroi du barillet, du côté opposé à la façade des fours, un peu au-dessous du niveau du liquide, de trous de main avec fermeture autoclave. Lorsqu'on a besoin de nettoyer le barillet, on profite du moment où la charge est distillée, on enlève les tampons et, avec des raclettes, des cuillers et même, s'il le faut, avec la main, on enlève le goudron agglomeré, et on dégage les tuyaux plongeurs.

Les dispositions adoptées pour la sortie et du gaz et des produits liquides de la distillation diffèrent suivant les usines.

Généralement les barillets d'une batterie de fours communiquent entre eux et n'en forment qu'un à proprement parler, et alors un tuyau, placé à la partie supérieure, donne passage au gaz tandis que le goudron et les eaux ammoniacales s'écoulent par un tuyau dont l'orifice, à sa partie inférieure, est à la hauteur du niveau du liquide dans le barillet, et dont l'extrémité va plonger, avec une garde bien suffisante, dans un récipient qui est en communication par sa partie supérieure avec une citerne. Très-souvent ce tuyau est appliqué sur le tampon formant la paroi extrême du barillet. On peut donner à ce tuyau la forme d'un siphon, seulement les siphons sont exposés à des engorgements.

Quelquefois la sortie du gaz et des liquides condensés s'opère par le même tuyau, qui est disposé comme celui de tout à l'heure, pour la sortie des produits condensés; et si plusieurs groupes existent dans la même usine, les tuyaux en question vont se rendre tous dans un tuyau collecteur au bas duquel s'opère la séparation des liquides et du gaz qui passe dans les condenseurs proprement dits.

Dans quelques usines on a un barillet distinct pour chaque four. Alors chacun des barillets se trouve dans les mêmes conditions que les barillets de plusieurs groupes de batteries de tout à l'heure, et leurs tuyaux de sortie vont aboutir à un collecteur. Cette disposition,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

plus coûteuse évidemment, peut présenter quelques avantages : celui, par exemple, de pouvoir travailler aux barillets des fours au repos sans avoir à prendre aucune précaution, une valve ou un robinet pouvant isoler le barillet du collecteur.

Dans une usine où il existe plusieurs batteries de fours, on peut prendre des dispositions pour que le gaz produit dans chacune reste séparé pendant les opérations de condensation et d'épuration. On pourrait même avoir pour une batterie un exhausteur et des gazomètres distincts; cette disposition présenterait des avantages dans certaines circonstances.

Nous ne pouvons passer sous silence la fabrication simultanée du gaz et du coke dur, appelé aussi coke métallurgique et coke de four.

Nous savons que, dans les cornues à gaz ordinaires, la houille se boursoufle et produit un volume de coke quelquefois double du sien. Si, au lieu d'opérer la distillation en quatre ou six heures, on la prolonge, on obtient du coke plus dense, plus dur, et on peut, par une distillation de douze heures, avoir déjà un coke présentant quelque ressemblance avec le coke de four. Si on augmente la charge, qu'on emploie, par exemple, de grandes cornues, on arrive plus facilement au résultat.

L'ingénieur Lachomette, de Lyon, a installé, il y a quelques années, des cornues de ce genre dans quelques usines, celle de Vaise entre autres.

On avait déjà fait plusieurs tentatives pour fabriquer à la fois du gaz propre à l'éclairage et du coke métallurgique, en opérant la distillation dans des fours, lorsqu'en 1849 Pauwels établit, dans l'usine à gaz d'Ivry, appartenant à l'ancienne Compagnie parisienne dont il était un des gérants (Dubochet, Pauwels et Compagnie), des fours qui résolurent le problème; mais ces fours laissaient à désirer dans quelques détails; Pauwels cherchait à y remédier lorsque la mort le surprit. L'ingénieur de la Compagnie, Pératé, continua l'œuvre de Pauwels, et donna aux fours les dispositions qui sont celles adoptées aujourd'hui.

La chambre de distillation est construite en briques, et assez grande pour distiller à la fois 6000 kilog. de houille.

Cette chambre est ouverte aux deux extrémités, et la sole est horizontale. La houille arrive dans des wagonnets, qui roulent sur des rails placés sur la batterie, pour être chargée dans le four par une ouverture ménagée au centre de la voûte. Les ouvriers l'étalent au fur et à mesure, en courbe uniforme, qui s'élève jusqu'à la naissance de la voûte, sur une hauteur de 0m,60 à 0m,70. La sole seule est chauffée par une circulation de flammes qui a lieu sous la partie inférieure. Cette sole agit comme réservoir de chaleur, et elle tend à maintenir la température au degré voulu, lorsque l'ouvrier a chargé le four, en dégageant la chaleur qu'elle avait emmagasinée pendant la fin de la distillation précédente. Il n'y a qu'un foyer à chaque four.

Les fours sont placés côte à côte, et fermés à chaque extrémité par une porte en fonte, maintenue par des verrous qui entrent dans un cadre, aussi en fonte, fixé sur la face du four; cette porte est lutée avec de la terre à four. Chaque pied-droit qui forme la séparation des différents fours est muni, sur chaque face de la batterie, d'une armature; les armatures de chaque face, encastrées dans le sol par une extrémité, sont réunies à celle de l'autre face par un tirant.

Le gaz s'échappe par un tuyau placé sur la voûte du four, et indépendant de l'ouverture par laquelle on introduit la houille; ce tuyau communique à la conduite générale qui dessert tous les fours par l'intermédiaire d'une clef hydraulique.

La distillation d'un four contenant cinq à six tonnes dure soixante-douze heures; lorsqu'elle est terminée, on ouvre les verrous des portes, et on détache le lut, puis on ferme la clef hydraulique. On allume alors le gaz, qui s'échappe autour des portes, puis on les enlève au moyen d'un treuil qui roule sur des rails placés au-dessus de chaque face de la batterie; ces rails sont maintenus dans des coussinets venus de fonte à la partie supérieure des armatures des fours.

Le coke est enlevé au moyen d'un ***repoussoir***, et le

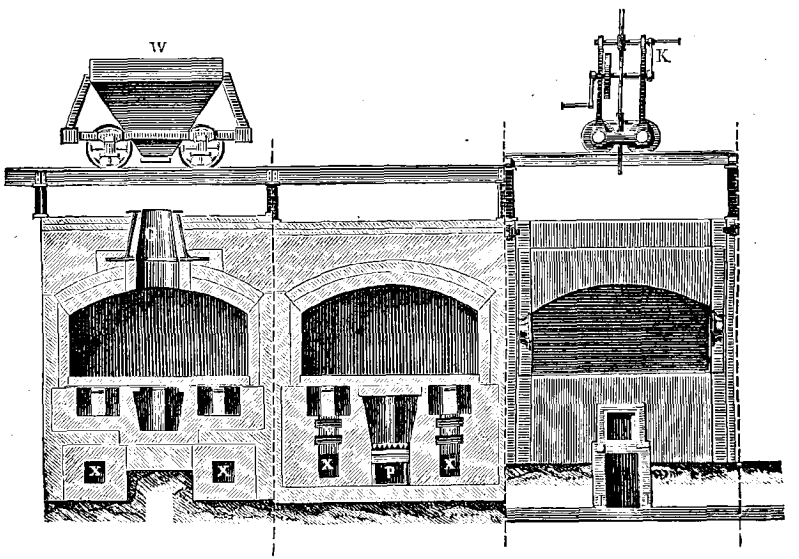


Fig. 17. Fig. 16. Fig. 15.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

four se trouve prêt à recevoir une nouvelle charge. Devant la façade de la batterie par laquelle sort le coke se trouve un quai qui est de plain-pied avec la sole; il

dessus le wagonnet W dans lequel la houille est amenée, et qui roule sur des rails.

La figure 18 est une coupe longitudinale suivant

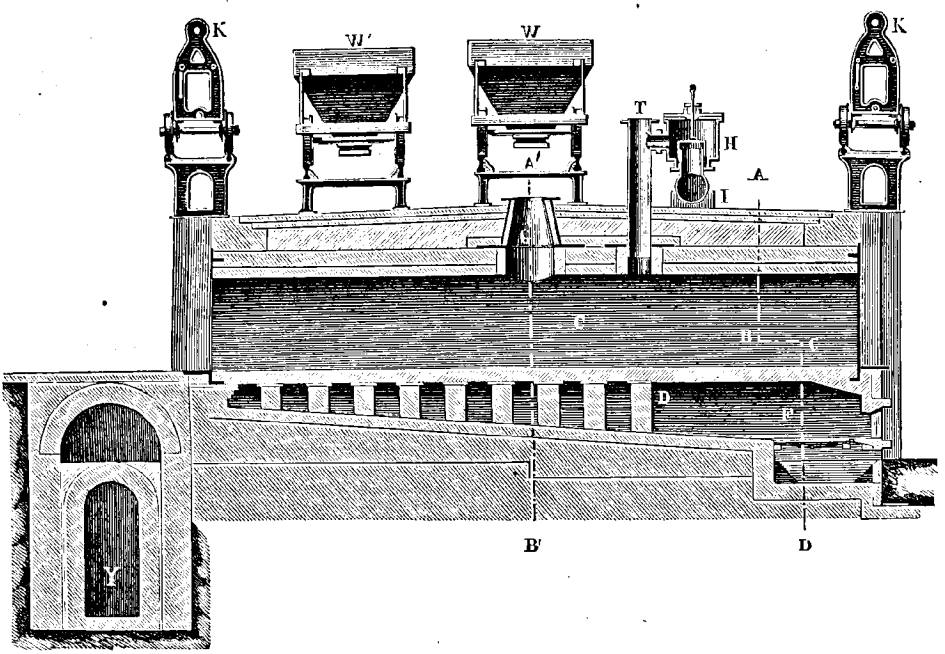


Fig. 18.

est subdivisé par des murs qui se trouvent dans le prolongement des pieds-droits de chaque four, et qui ont environ la hauteur de la couche de coke incandescent qui se trouve dans le four. Ces murs forment des sortes de cases dans lesquelles le coke est envoyé par le repoussoir, et là on l'étouffe avec une couche de cendres qu'on y laisse pendant vingt-quatre heures.

A l'usine de la Villette, deux batteries de fours sont en regard symétrique, se font face, et le repoussoir, qui roule sur des rails parallèles aux façades des fours, dessert les deux batteries en même temps, c'est-à-dire que, sans aucun déplacement, il défourne l'un après l'autre les deux fours qui se font face. Ce repoussoir à double effet est pour cela muni d'un double bouclier. On peut très-bien, dans les usines à gaz possédant des fours, avoir, comme dans les usines à coke, des repoussoirs fonctionnant à la vapeur.

Les figures précédentes représentent les fours Pauwels-Pératé, tels qu'ils sont établis à l'usine de la Villette.

La figure 15 est une élévation du côté du foyer, c'est-à-dire sur la face du four, devant laquelle se meut le repoussoir.

La figure 16 est une coupe transversale suivant la ligne ABCD de la figure 18; elle passe par le foyer F, et montre les descentes de flamme VV, dans les carneaux XX, qui les conduisent dans la cheminée courante Y commune à toute la batterie; on voit aussi l'emplacement des registres destinés à régler le tirage, et placés dans les descentes VV.

La figure 17 est une autre coupe transversale, suivant A'B', et passant par l'axe de la gueule C par laquelle on introduit la houille dans le four; on voit au-

l'axe du four; on y voit l'ensemble des dispositions à la gueule G, précédemment indiquée, le tuyau T par lequel le gaz s'échappe du four, et la clef hydraulique H qui permet d'isoler le four de la conduite générale I pendant le délutage. Le wagonnet W se trouve sur la voie ferrée par laquelle arrivent les wagonnets pleins, et W' sur celle par laquelle ils s'en vont lorsqu'ils sont vides. Les treuils K, K, qui se meuvent sur des rails au-dessus de chaque face, sont destinés à soulever les portes de la chambre de distillation.

La figure 19 est un plan passant sous la sole au-dessus du foyer. Ce plan indique la circulation des flammes sous cette sole, et les chicanes pour les flammes; elles ne se prolongent pas jusqu'à l'extrémité du four, de sorte que l'air chaud suit la direction des flèches pour se rendre dans les descentes VV. Les petits murs *aaaa* supportent la sole.

Le repoussoir dont nous avons parlé tout à l'heure est représenté en plan et en élévation figures 20 et 21. Il se compose essentiellement d'une longue poutre en tôle P, munie dans toute sa longueur d'une crémaillère en fonte. La poutre glisse sur des galets, au-dessus d'une autre poutre P' en tôle, portée sur deux ou trois paires de roues R se mouvant sur des rails T.

La longueur de l'appareil ne permet d'indiquer que la partie la plus importante, et une seule paire de roues est représentée. La poutre P porte, à son extrémité, un bouclier B muni de galets de chaque côté, afin de le guider dans l'intérieur de la chambre de distillation sans détériorer la maçonnerie. Un système d'engrenage, mu par deux manivelles à angle droit M, M, et agissant sur la crémaillère C, met en mouvement la poutre et le bouclier qui balaye toute la longueur de la chambre de distillation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Généralement, pendant que la masse de coke sort de la chambre de distillation, on l'arrose d'eau avec une lance pour commencer son extinction. Le contact de l'eau avec le coke incandescent peut donner naissance à de

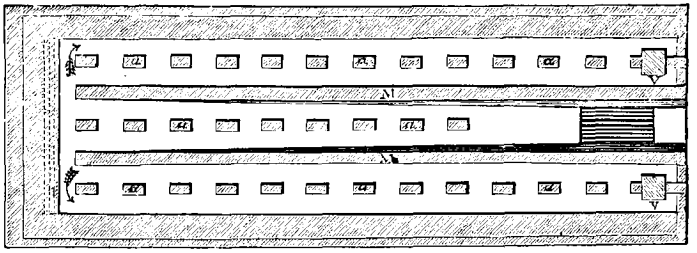


Fig. 19.

pier d'acétate de plomb, mis au milieu de la vapeur d'eau produite par l'extinction, ne prend aucune trace de coloration.

L'expérience a démontré que, pour éviter la produc-

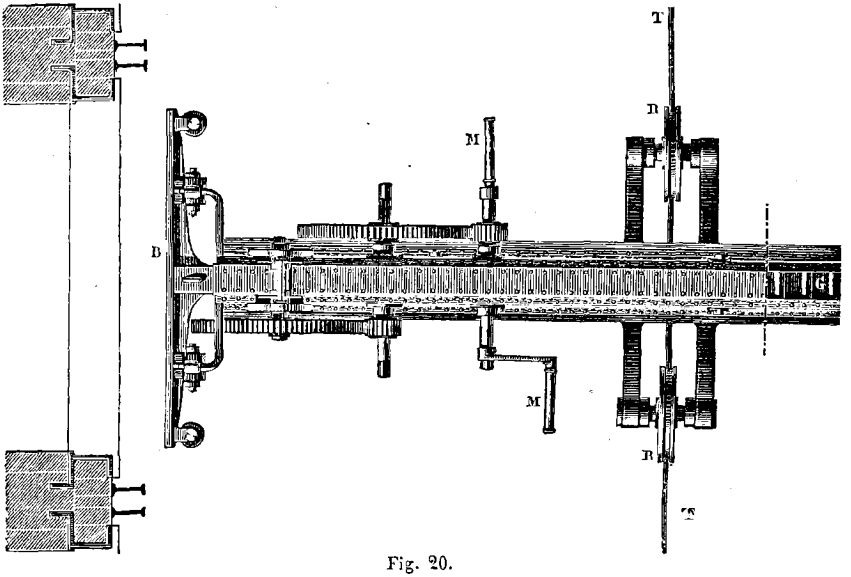


Fig. 20.

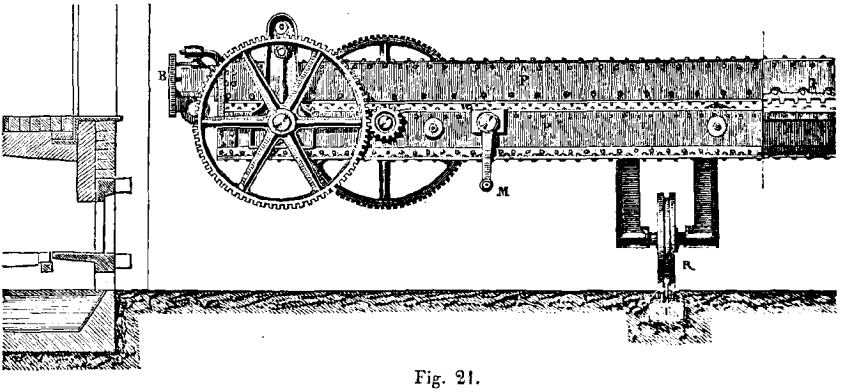


Fig. 21.

l'acide sulfhydrique, mais en quantité si minime qu'on peut pratiquement la considérer comme nulle. Du pa-

tion des têtes noires qui se forment à la partie supérieure de la masse du coke, il est convenable de cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

vrir, après l'enfournement, la houille d'une couche de poussier de coke.

Les fours à coke présentent, paraît-il, plus encore que les fours munis de cornues, l'inconvénient de ne pouvoir être éteints et rallumés facilement. Bien établis avec de très-bons matériaux, ils peuvent fonctionner pendant des années entières sans exiger de réparations. Ils doivent répondre par leur nombre, dans les usines à gaz qui les adoptent (et il ne peut s'agir que d'usines d'une certaine importance) au minimum des besoins, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent servir qu'à fabriquer le tiers environ de la consommation pendant les plus courts jours de la saison d'hiver, si on ne veut pas les éteindre et les rallumer.

Les circonstances peuvent seules fixer les ingénieurs sur la préférence à donner aux fours à coke sur les cornues et sur le nombre à adopter.

L'établissement d'une usine travaillant avec les fours à coke coûtera plus cher que l'établissement d'une usine ne fabriquant qu'avec des cornues. Outre les fours à coke, il faut établir des appareils à pulvériser la houille; cette pulvérisation est une condition indispensable à la bonne qualité du coke.

Les dimensions des fours Pérate ne conviennent pas à toutes les qualités de houille qu'on veut transformer en bon coke métallurgique. Quand il s'agit de houilles tendres, comme celles dites *flénus*, en Belgique, et celles de Commentry, de l'Aveyron, il est indispensable d'avoir des fours plus étroits (de 0,80 à 1 mètre), ce qui fait diminuer considérablement l'importance de la charge, et alors la durée de la distillation est diminuée. Dans un essai que j'ai fait faire aux houillères de Commentry pour l'utilisation des sous-produits, la distillation a été complète dans un four de *queue* en trente heures. Je ne doute pas que dans un four flanqué des deux côtés on ne parvienne à terminer la distillation en vingt-quatre heures, comme dans les fours à coke ordinaires.

Ces fours étroits sont connus généralement sous le nom de fours belges; et même, avec des houilles grasses, ils présentent des avantages sur les grands fours.

Des fours du système que nous venons d'indiquer sont exploités à l'usine du marais Saint-Étienne (Carvès et Compagnie), aux forges d'Alais, à la houillère de Bessèges, à Jemmapes, à Élouges, etc., en Belgique. Les gaz ne pouvant être employés dans ces localités sont brûlés sous la sole.

Le gaz obtenu des fours à coke bien agencés a sensiblement le même pouvoir éclairant que celui des cornues; le rendement est un peu moindre, de 28 contre 30.

La manutention du coke provenant soit des cornues, soit des fours à coke, mais surtout des premières, amène la formation de poussier dont la valeur est bien inférieure à celle du coke. Le haut prix des charbons, à partir de 1871, a fait surgir dans les usines à gaz d'une certaine importance la fabrication d'agglomérés de poussier de coke, semblable à celle des agglomérés de houille décrits à l'article GOUDRON.

La Compagnie parisienne, qui en 1862 avait monté une usine en vue de cette utilisation et qui y avait renoncé à cause du bas prix des fines (charbons menus) sur le carreau des usines, a repris cette fabrication avec avantage. Ces briquettes sont, quand le poussier ne contient pas trop de cendres, employées spécialement pour le chauffage des générateurs de vapeur, des chaudières à distiller le goudron, les eaux ammoniacales, etc. Elles pourraient trouver un emploi dans plusieurs industries, à un certain prix bien entendu.

Cette fabrication est opérée dans d'autres usines à gaz beaucoup moins importantes que celles de la Compagnie parisienne. Nous citerons celles de Brest et de Saint-Omer qui emploient pour comprimer les agglomérés : la première, une presse de M. Sayn, à Paris; la deuxième, une presse de M. Rattier, directeur de l'usine.

La presse de M. Sayn, qui peut être appliquée au moulage des briques, des tuiles, etc., permet, eu égard à la grande pression qu'elle produit, de fabriquer des agglomérés avec 6 ou 7 0/0 de brai et même sans brai.

M. Rattier prépare les briquettes avec 85 de poussier de coke et 15 0/0 de brai gras, et quelquefois même 20 de brai, eu égard à la teneur du poussier de coke en cendres (25 0/0 au moins), surtout quand la houille est impure, ce qui arrive presque toujours quand son prix est élevé. Il est bon, si l'on veut obtenir un combustible ne brûlant pas difficilement, d'introduire dans les agglomérés une quantité notable de brai.

Les briquettes ou agglomérés seraient encore de meilleure qualité si l'on y ajoutait aussi 10 ou 15 0/0 de poussier de houille.

C'est aux intéressés à faire le mélange le plus avantageux.

M. Seguin, ingénieur à Autun, propose d'étendre à la distillation de la houille le système qu'il applique industriellement à la distillation des schistes; il consisterait à substituer au foyer proprement dit d'un four une chambre dans laquelle, lors du délutage, arriverait le coke incandescent de une ou deux cornues. L'ignition bien activée pendant quelques instants, au moyen d'une entrée d'air, on boucherait cette entrée. M. Seguin prétend que la chaleur concentrée de la chambre suffirait pour amener la distillation de la houille, ou du moins qu'on économiserait considérablement le coke brûlé pour le chauffage.

Essai des houilles. Nous avons dit qu'il est très-important pour le directeur d'une usine à gaz de pouvoir constater facilement la qualité d'une houille; M. Audouin, ingénieur chef des travaux chimiques à la Compagnie parisienne, a fait breveter un appareil qui permet de connaître en moins d'une heure la qualité d'une houille au point de vue de la fabrication du gaz, ainsi que son rendement en gaz, en coke (avec la qualité du coke), le pouvoir éclairant du gaz produit, et, aussi, si l'épuration est plus ou moins facile.

L'appareil dont il s'agit permet de faire l'essai des houilles et de toutes matières susceptibles de servir à la fabrication du gaz, dans des conditions toujours identiques de température, de pression, et en évitant toute cause de perte inhérente à la nature des appareils employés.

Cet appareil permet non-seulement de déterminer la valeur des diverses houilles, mais aussi de contrôler les conditions dans lesquelles se trouve la fabrication d'une usine en opérant chaque jour sur la houille employée, et en comparant les résultats obtenus à ceux constatés précédemment avec l'appareil pour la houille de même provenance, et aussi à ceux qu'on obtient dans l'usine; et on apprécie facilement si la différence des résultats journaliers est inhérente à des changements dans la nature de la houille, ou à des conditions différentes du travail de l'usine.

Voici la manière d'opérer:

La houille, dont un échantillon moyen a été prélevé avec toutes les précautions voulues (et ce point est très-important), est broyée et chargée dans une nacelle en tôle préalablement tarée. Le poids de la charge est de 100 à 200 grammes, au plus, suivant la puissance de l'appareil. Le tube en fer qui fait fonction de cornue est porté à la température voulue à l'aide d'un fourneau de forme spéciale dont le dessin indique la dispo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sition. Ce fourneau à flamme renversée est chauffé de préférence avec du gaz, ce qui permet d'obtenir le degré de chaleur, rouge vif, dans des conditions toujours identiques en réglant la pression et, par suite, la dépense des brûleurs, à l'aide d'un robinet ou mieux d'un régulateur. Cette pression est indiquée, à chaque instant, par un manomètre qui communique avec le tube *f* qui amène le gaz.

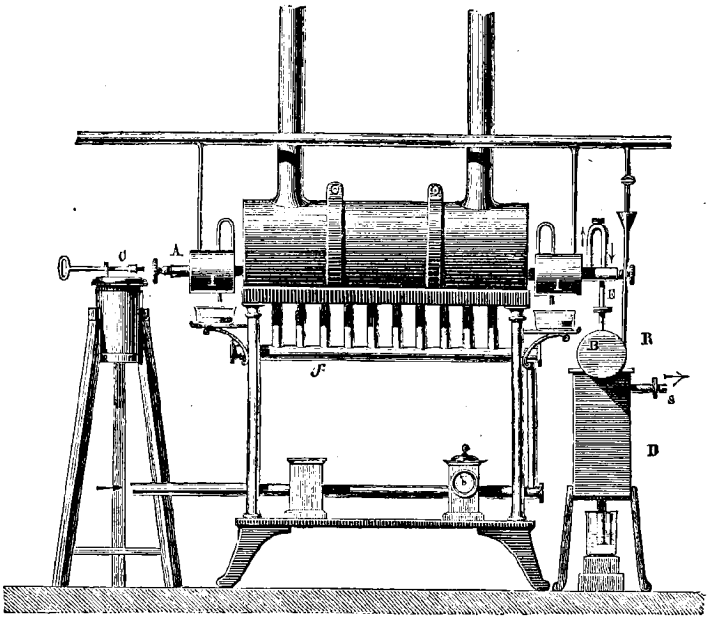


Fig. 22.

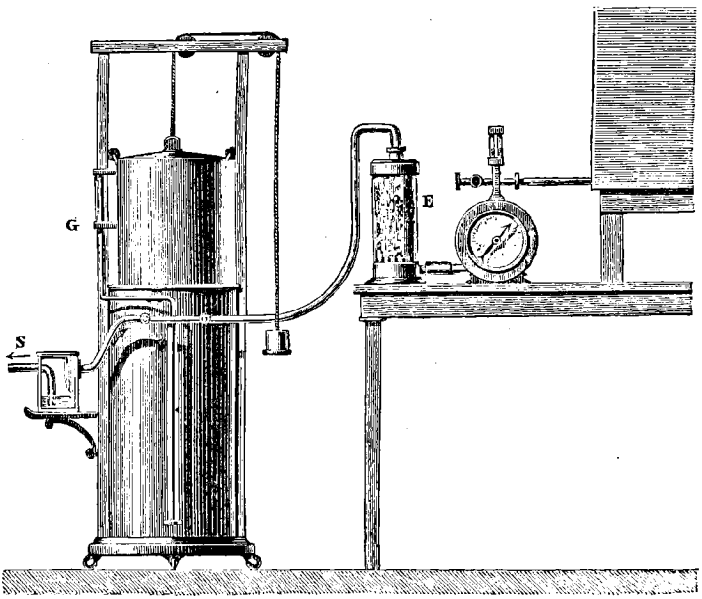


Fig. 23.

Dès que la température voulue est atteinte (après une demi-heure d'allumage), ce qu'on vérifie à l'aide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

d'un pyromètre basé sur l'emploi du calorimètre, et qui donne des chiffres toujours comparables, sinon exacts, on introduit la nacelle et on ferme l'ouverture A; le gaz se dégage et se rend dans le petit gazomètre, d'une capacité de 60 litres environ, qui maintient la pression à 0, après avoir abandonné dans le barillet et le condenseur le goudron et l'eau ammoniacale. La distillation terminée, le gazomètre, qui peut lui-même servir de mesureur, est mis en charge et le gaz est envoyé dans le compteur du photomètre, après avoir passé dans une colonne de matière épurante.

La nacelle est retirée du tube et refroidie rapidement, à l'abri de l'air, et en la pesant on obtient exactement le rendement en coke. Le dosage des cendres se fait comme à l'ordinaire.

Cet appareil est appelé à rendre dans un grand nombre d'usines à gaz, sinon dans toutes, des services signalés; il permet le plus souvent de se passer des usines d'expérience, toujours coûteuses, et qui, au point de vue du contrôle des opérations quotidiennes, ne peuvent présenter les mêmes avantages.

Les figures 22 et 23 indiquent la description de l'appareil, la figure 23 devant être supposée faire suite à la figure 22. B est une manière de barillet; le condenseur est en D; le gaz refroidi s'échappe par le tuyau S pour se rendre au gazomètre G, et de là au compteur d'expérience, et enfin au photomètre; E est un cylindre contenant la matière épurante. II sont des manchons dans lesquels circule de l'eau pour refroidir les parties de la nacelle hors du fourneau. MM (fig. 24) est le ca-

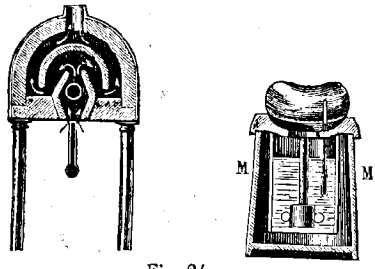


Fig. 24.

lorimètre pyrométrique, C est une vis pour maintenir la fermeture du tube.

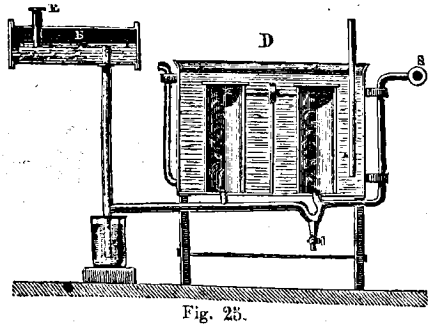


Fig. 25.

CONDENSATION ET ÉPURATION. Nous croyons devoir maintenir le nom de condensation à ce que certains ingénieurs appellent aujourd'hui épuration physique, et ce en vue d'éviter toute confusion, reconnaissant bien l'épuration.

Nous insisterons sur ce point dont l'importance n'est pas généralement assez appréciée par les fabricants de gaz, à savoir que, sans une bonne condensation, l'épuration des gaz est, sinon impossible, du moins très-difficile.

Pour bien faire comprendre ce qui se passe dans la condensation, il est nécessaire de dire quelques mots des produits goudronneux et huileux qui se forment pendant la distillation de la houille.

Ces produits peuvent, pratiquement du moins, être considérés comme des carbures d'hydrogène, différant entre eux plus par leurs propriétés que par leur composition. Les uns sont très-volatils: ainsi la benzine, qui bout à 80°; la naphtaline qui, bien que bouillant à 212°, s'évapore très-facilement, et est entraînée par le courant de gaz avec une très-grande facilité. Ces deux produits persistent en partie après la condensation et l'épuration. Le goudron proprement dit peut être recueilli presque en totalité pendant la condensation; il renferme de la benzine, de la naphtaline et d'autres substances dont plusieurs bien définies aujourd'hui, dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer ici. Qu'il nous suffise de dire que, quand on distille du goudron, il se dégage d'abord des huiles plus légères que l'eau, qui renferment de la benzine, du toluène, et aussi de l'acide phénique; qu'après ces huiles légères arrivent des huiles plus lourdes que l'eau, et contenant entre autres produits de l'acide phénique, du cumène, de la naphtaline, et, pour les dernières, de l'anthracène; que le résidu de la distillation est du brai qui, suivant les exigences de la fabrication, peut être obtenu gras ou sec.

On peut ajouter qu'en moyenne 100 kilogrammes de goudron donnent à la distillation, outre de l'eau ammoniacale retenue mécaniquement, 5 pour 100 d'huile légère, 22 à 25 pour 100 d'huile lourde, et 62 pour cent environ de brai sec.

Les produits de la distillation de la houille sont évidemment tous à l'état de gaz ou de vapeurs au sortir de la cornue.

Outre les gaz proprement dits que nous avons déjà énumérés, ces produits contiennent de la vapeur d'eau, des vapeurs de goudron et d'huiles essentielles, des composés ammoniacaux.

Parmi ces derniers, nous devons mentionner comme les plus abondants le sulfhydrate et le carbonate (à l'état de sesquicarbonate), dont les proportions varient absolument et relativement suivant la nature de la houille distillée. Cependant le carbonate est très-généralement en plus grande quantité que le sulfhydrate, dans un rapport qui est quelquefois de 6 à 1. Puis viennent le cyanhydrate, le sulfocyanure et le chlorhydrate.

Ces sels, sauf le dernier, sont assez volatils, leur volatilité étant favorisée par le courant de gaz, et en même temps assez solubles dans l'eau. Il n'est donc pas étonnant, d'une part, que l'eau provenant de la condensation tienne en dissolution de ces sels ammoniacaux; de l'autre que, si l'on fractionne les produits de la condensation, les eaux ammoniacales contiendront d'autant plus de sels ammoniacaux qu'elles se seront déposées à une distance plus considérable des cornues; et si les appareils condenseurs étaient assez puissants, les sels ammoniacaux entraînés par le gaz, et surtout le carbonate, pourraient se déposer à l'état solide, cristallin; c'est ce que nous avons observé plus d'une fois; c'est ce qui nous a fait dire jadis qu'il en est des tuyaux d'orgue comme de la vertu: « Pas trop n'en faut. »

L'état d'humidité de la houille a une influence sensible sur la condensation. Plus la houille est sèche et plus la condensation est facile, moins il y a d'eau ammoniacale, mais cette eau est plus concentrée, plus riche.

En ce qui concerne les vapeurs de goudron, c'est l'inverse qui se présente: les premiers produits de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

condensation sont les plus denses. Près des cornues, ainsi dans le barillet, le goudron est épais; plus loin, il est plus léger et sensiblement plus riche en huiles essentielles dont la plus recherchée est la benzine.

Lorsque la distillation se fait à haute température, et surtout dans l'hiver, les goudrons des citernes qui les reçoivent sont quelquefois si épais qu'on a beaucoup de peine à les enlever à la pompe. La pompe à soufflet, système Motte, réussit assez bien en ce cas. On est quelquefois obligé de faire usage d'une espèce de monte-jus.

La condensation est produite par le refroidissement du gaz, généralement amené par la différence de température entre le gaz, qui circule dans les appareils, et l'air ambiant; aussi cette condensation, à quantités égales de gaz, se produit bien plus facilement en hiver qu'en été; et lorsque la température ambiante atteint 20 degrés, la condensation, sous l'influence du courant de gaz, est presque insensible, plus encore peut-être pour les substances ammoniacales que pour les goudronneuses.

La condensation commence dès le barillet, comme nous l'avons déjà dit; à la sortie du barillet le gaz circule dans une série de tuyaux en fonte, le plus souvent assemblés à brides, dont le nombre et le diamètre dépendent de l'importance de la distillation. Assez généralement, ces tuyaux, et cette disposition est bonne, sont disposés en jeux d'orgues.

Quelquefois ces tuyaux sont boulonnés sur des caisses en fonte dans lesquelles se rendent les produits de la condensation. Ces caisses sont munies de diaphragmes, pour que le gaz passe dans les tuyaux successivement, et aussi de siphons, pour qu'il y ait constance dans le niveau du liquide. (Voir fig. 26 et 28). Quelquefois ces tuyaux sont ouverts par l'extrémité inférieure, et ils plongent dans une espèce de barillet découvert, toujours avec siphon, et communiquent entre eux latéralement, alternativement par le haut et par le bas (Voir fig. 27).

Il est, dans tous les cas, nécessaire d'établir ces tuyaux de manière qu'on puisse les nettoyer; des tampons ou regards sont nécessaires aux angles, et l'emploi des T nous semble très-bon.

Lorsqu'on veut produire une condensation plus complète que celle amenée par le contact de l'air, il faut faire intervenir l'eau. On laisse quelquefois couler un filet d'eau sur les tuyaux; mais s'ils sont verticaux, cet arrosage se fait généralement assez mal; suivant nous, le meilleur moyen à adopter est de disposer un certain nombre de tuyaux en serpentin, les axes des tuyaux se trouvant dans un même plan vertical et présentant entre eux une inclinaison suffisante pour que l'écoulement des condensations se produise facilement; à chaque coude on place un regard ou tampon.

Le gaz arrive par la partie inférieure du serpentin, et l'eau d'arrosage agit méthodiquement; on la fait arriver par petits filets sur le tuyau le plus élevé, et cette eau descend d'un tuyau à l'autre, sans projection notable, lorsque la distance entre les tuyaux ne dépasse pas 25 centimètres environ.

L'eau produit ainsi deux effets: l'un par contact, l'autre par évaporation, et c'est de beaucoup le plus puissant. On peut activer l'évaporation en plaçant le serpentin dans une espèce de gaîne se terminant en cheminée à la partie supérieure; l'air arrivant par les orifices laissés à la partie inférieure forme un courant produisant l'effet désiré. Dans ces conditions, la quantité d'eau d'arrosage est relativement très-petite.

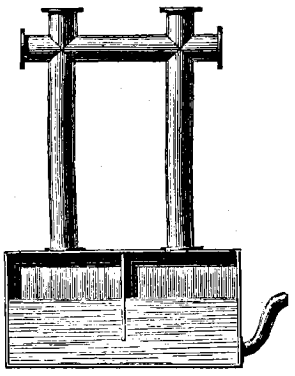


Fig. 26.

La pratique a montré que pour obtenir une bonne condensation, il faut une surface réfrigérante de 10 mètres carrés par chaque tonne de houille distillée en 24 heures, soit pour 300 mètres cubes de gaz, mais à la condition, pour empêcher l'arrivée d'une certaine quantité de goudron aux cuves d'épuration, de faire suivre la condensation d'un lavage qui constitue le commencement de l'épuration proprement dite, car il a pour résultat, non-seulement de priver le gaz des dernières parties de goudron léger qu'il entraîne toujours avec lui, mais aussi d'absorber une partie des sels ammoniacaux qu'il contient encore, et même une certaine quantité d'acide carbonique.

Le gaz, nous l'avons dit, entraîne avec lui, entre autres substances, de l'acide carbonique libre, du sulfhydrate d'ammoniaque et du carbonate d'ammoniaque. Si on le met en contact avec de l'eau ammoniacale non saturée (c'est le cas très-général), cette eau absorbera, dissoudra une partie de ces sels ammoniacaux; comme cette eau contient elle-même du sulfhydrate, et comme,

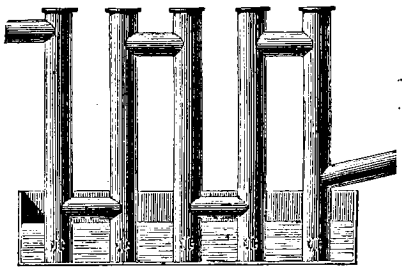


Fig. 27.

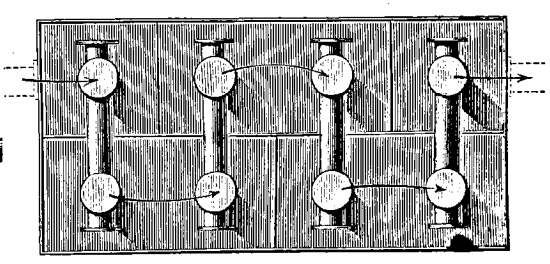


Fig. 28.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

d'un autre côté, l'acide carbonique a la propriété de décomposer le sulfhydrate en se substituant en partie à l'acide sulfhydrique, la substitution aura lieu dans une certaine, mais assez petite proportion, et, de plus, le gaz sera privé d'une partie notable des sels ammoniacaux qu'il contenait, à la condition toutefois que l'eau ammoniacale servant au lavage soit dans une proportion suffisante. Pour que l'effet soit obtenu, il faut, l'expérience directe faite personnellement nous l'a prouvé, que la quantité d'eau ammoniacale servant au lavage (il ne peut être ici question que d'un lavage continu) soit égale à huit fois au moins la quantité d'eau ammoniacale produite par la distillation de la houille dont le gaz doit être lavé.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de procéder au lavage du gaz produit par la distillation de 5 000 kilog. de houille en vingt-quatre heures; comme 1 000 kilogrammes de houille donnent en moyenne 60 litres d'eau ammoniacale, la quantité d'eau ammoniacale nécessaire au lavage de ce gaz devra être au moins de 2 400 litres.

A ce sujet, nous devons dire qu'une usine à gaz doit posséder plusieurs citernes à goudron et à eau ammoniacale. Le dépôt des deux substances s'opère simultanément pendant la condensation; mais, lorsqu'on laisse reposer le mélange, la séparation ne tarde pas à s'effectuer, le goudron gagne le fond du réservoir et l'eau ammoniacale le surnage, ce qui permet, avec plusieurs citernes, d'en avoir une spécialement pour l'eau ammoniacale et une pour le goudron. La bonne distillation de 1 000 kilogrammes de houille donne naissance à 40 kilogrammes environ de goudron. On a donc en condensation un dixième environ du poids de la houille distillée.

Pour qu'une usine à gaz ne soit pas gênée ou forcée de se défaire de ses résidus liquides à tout prix, il est nécessaire que la capacité des citernes (elles doivent être parfaitement étanches, c'est un point de la plus haute importance) puisse recevoir au moins toutes les condensations provenant de la fabrication de quatre mois d'hiver.

Pour n'avoir pas eu de citernes suffisantes, des directeurs ont été amenés à déposer les goudrons dans des gazomètres; et ils ont ainsi rendu ammoniacales les eaux surnageantes, les goudrons retenant toujours de l'eau ammoniacale, et ces eaux, en contact avec le gaz, lui abandonnaient une certaine partie du sulfhydrate d'ammoniaque qu'elles contenaient en le rendant impur, alors même qu'il arrivait parfaitement épuré dans lesdits gazomètres.

On peut priver le gaz de la presque totalité des sels ammoniacaux qu'il contient au moyen du lavage, premièrement avec de l'eau ammoniacale, deuxièmement avec de l'eau pure.

Le moyen le plus simple, suivant nous, d'opérer ce lavage, c'est de faire usage d'une colonne en fonte d'une certaine hauteur, 4 mètres au moins, et d'un diamètre proportionné à la quantité de gaz fabriqué. On les nomme généralement colonnes à coke, en anglais *scrubbers* parce que, assez souvent, elles contiennent, sur une grille placée à leur partie inférieure, ou sur plusieurs grilles superposées, du coke en assez gros morceaux. Le gaz arrive par la partie inférieure de la colonne à travers le coke sur lequel arrive l'eau de lavage distribuée à la partie supérieure, et s'échappe naturellement par le haut de la colonne. La figure 29 représente une de ces colonnes. Elles sont munies d'ouvertures garnies de tampons, pour charger et décharger au besoin le coke quand il est saturé de goudron, ce qui arrive rarement quand il y a arrosage intérieur. Plusieurs de ces colonnes n'ont qu'une grille et deux tampons.

Quand l'usine possède deux colonnes, la première est lavée à l'eau ammoniacale dans les conditions indiquées ci-dessus; la deuxième est lavée avec de l'eau pure, mais en proportion réduite, c'est-à-dire que la quantité de cette eau ne doit pas dépasser la quantité d'eau ammoniacale produite en vingt-quatre heures, et il faudrait réduire cette quantité si le pouvoir éclairant du gaz se trouvait altéré dans ces conditions.

Si l'usine n'a qu'une colonne, le lavage doit se faire à l'eau ammoniacale; mais alors il y a *un desideratum* incontestable.

Dans les grandes usines, au lieu d'une colonne pour chaque lavage, il est utile, sinon nécessaire, d'en avoir plusieurs.

Au lieu de coke, et de préférence au coke, on peut mettre dans les colonnes des tessons de cornues, des pierres, du mâchefer, des fagots de bois, enfin toutes les matières pouvant produire la division du gaz et son contact le plus étendu avec le liquide de lavage.

Autrefois on faisait usage de laveurs proprement dits, composés de bâches ou caisses contenant de l'eau dans laquelle le gaz barbotait. La disposition la meilleure consistait en trois caisses étagées que le gaz traversait successivement en commençant par la plus basse; le liquide, eau pure généralement introduite dans la caisse supérieure, descendait d'une caisse à l'autre;

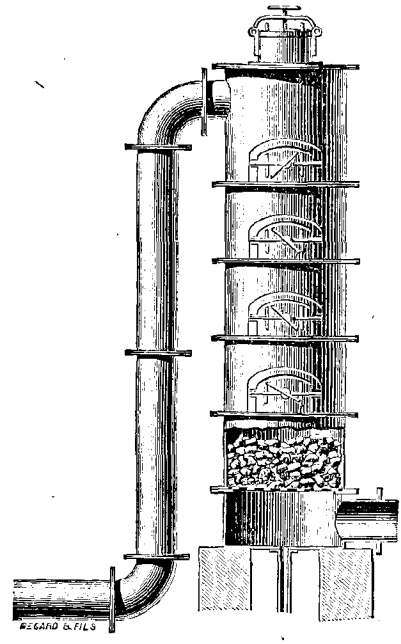


Fig. 29.

on vidait la première de ces cuves quand l'eau ammoniacale pesait trois à quatre degrés; cette disposition constituait un lavage méthodique.

Lorsque le gaz n'est soumis à aucun lavage (à tort suivant nous), il contient encore, malgré une bonne condensation, une certaine quantité de goudron léger qui vient se déposer dans les cuves d'épuration; pour l'arrêter, on place sur la première (par rapport à l'arrivée du gaz) claie des cuves une couche de petit coke (grosseur de noisettes), le goudron reste adhérent aux aspérités du coke.

MM. Pelouze et Audouin, se basant sur ce que le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

goudron n'est dans le gaz qu'à l'état de globules et que le laminage peut amener le dépôt de ces globules, ont imaginé de forcer le gaz à traverser un certain nombre de plaques de métal perforées de trous assez petits qui se contrarient d'une plaque à l'autre.

En même temps que du goudron, se dépose de l'eau ammoniacale en certaine quantité, le gaz n'est point séparé de toute la totalité de sels ammoniacaux volatils qu'il contient.

L'appareil, d'un très-petit volume d'ailleurs, peut être disposé dans un tuyau, ou chambre de forme convenable, pouvant être placé soit à l'air libre, soit dans de l'eau qui baigne sa surface.

Un régulateur combiné avec l'appareil condenseur permet de proportionner l'effet utile de ce dernier avec l'importance de la fabrication en modifiant le nombre des ouvertures par lesquelles s'échappe le gaz.

La figure 30 donne l'ensemble d'une disposition permettant d'opérer sur une production assez importante.

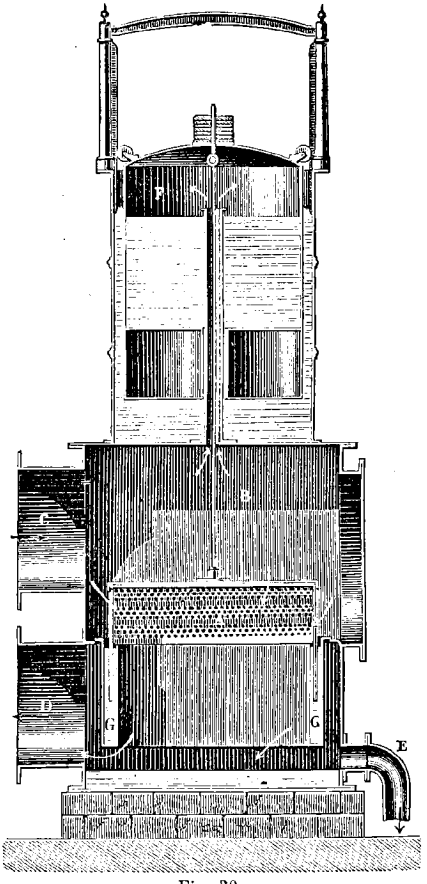


Fig. 30.

La figure 31 donne la disposition des plaques formant les parois de l'appareil condensateur A.

A est l'appareil condensateur proprement dit, il est cylindrique.

B, la chambre dans laquelle se meut l'appareil.

C, arrivée du gaz.

D, sortie du gaz, après son passage dans l'appareil.

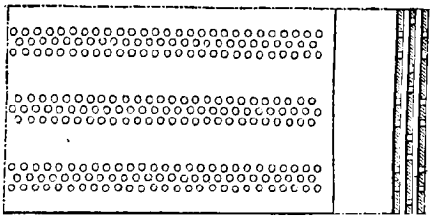


Fig. 31.

E, tuyau terminé par un siphon servant d'écoulement aux condensations.

F, régulateur permettant de faire varier la course de l'appareil.

G, gorge hydraulique dans laquelle plonge l'appareil.

Un appareil fonctionne à la suite des condenseurs ordinaires à l'usine de Saint-Mandé, au moment où nous écrivons (août 1873) sur une production de gaz de 100,000 mètres environ, tout le goudron se dépose avec de l'eau ammoniacale pesant 7 degrés.

L'emploi de cet appareil exige une pression de 2 centimètres environ; mais la plupart des usines ayant aujourd'hui des extracteurs, l'inconvénient est très-léger, même pour celles qui en sont dépourvues.

Ce système, très-ingénieux, sera appliqué dans les usines où la condensation est insuffisante et évitera, pour les usines neuves, une grande partie de la dépense consacrée aux condenseurs et aux scrubbers. Il est appelé à rendre de grands services.

Nous arrivons à l'épuration proprement dite.

Nous avons indiqué le moyen d'enlever au gaz la presque totalité des produits ammoniacaux qu'il contient, par des lavages méthodiques, dans les colonnes à coke; d'autres moyens existent d'arriver au même résultat, plus économiquement dans certaines conditions, moyens qui ont été conseillés et appliqués avant qu'on songeât aux scrubbers, qui ont pris naissance en Angleterre.

Dès 1840, alors que j'étais professeur de chimie industrielle à Saint-Quentin, j'ai imaginé de priver le gaz, déjà condensé, de la totalité des sels ammoniacaux qu'il contient, en faisant agir sur lui des dissolutions métalliques et spécialement celles à bas prix, comme le chlorure de manganèse et le sulfate de fer.

Il y a, comme on dit en chimie, double décomposition entre les sels ammoniacaux (carbonate, sulfhydrate) et les sels métalliques en dissolution; il y a précipitation de carbonate, sulfure et aussi d'un peu de cyano-ferrure du métal, et il reste en dissolution dans la liqueur du sulfate ou du chlorhydrate d'ammoniaque, suivant qu'on a employé du sulfate de fer ou du chlorure de manganèse.

Le chlorure de manganèse est, comme on le sait, le résidu liquide de la fabrication du chlorure; en 1840, on ne lui connaissait aucune utilisation, pour ainsi dire, et le plus souvent il était évacué dans les cours d'eau.

La solution du problème de l'épuration ammoniacale du gaz était donc aussi rationnelle qu'avantageuse.

La découverte et l'application de ce procédé valut à son auteur le premier prix Monthyon pour les arts insalubres.

Quand on fait usage du sulfate de fer, il suffit de faire dissoudre ce sel (la qualité dite petit-sel suffit) dans de l'eau en amenant la dissolution à 15 degrés Baumé environ.

Le chlorure de manganèse conservant avec lui une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quantité notable d'acide chlorhydrique, ne peut être employé à cet état; car, entre autres inconvénients, il présenterait celui de mettre en liberté les acides sulfhydrique et carbonique des sels ammoniacaux. Il faut préalablement le neutraliser; pour arriver à cette neutralisation, j'ai fait usage des eaux ammoniacales de condensation, de sorte que toute l'ammoniaque provenant de la distillation de la houille se trouve transformée en chlorhydrate d'ammoniaque.

L'appareil employé se compose de trois cuves cylindriques, en fonte, étagées, A B C (fig. 32).

Les liquides d'épuration arrivent troubles dans le réservoir K, les matières insolubles s'y déposent et après un certain temps on fait passer le liquide clair dans la citerne M, au moyen du robinet L, et la pompe *f'* amène la dissolution dans des chaudières évaporatoires où on la concentre jusqu'à 18 degrés environ; alors on coule dans des cristallisoirs.

Ce procédé a été, dès 1841, appliqué à l'usine à gaz de Saint-Quentin, puis à celles de Roubaix et Tourcoing, Douai, Bruges, Courtrai, Bruxelles (extra muros), Gratz,... et, depuis lors, il continue à y fonctionner

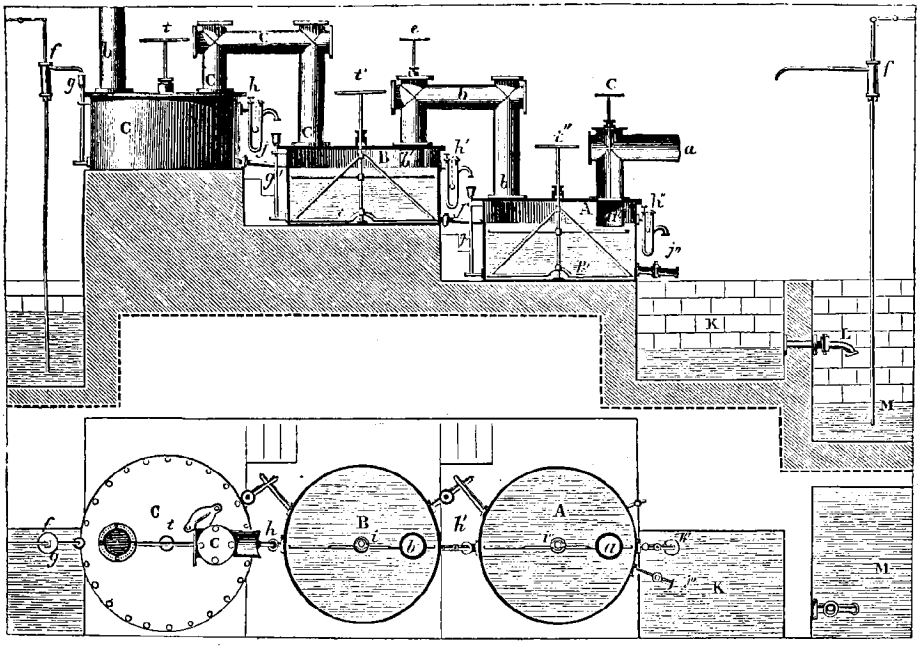


Fig. 32.

La solution neutralisée de chlorure de manganèse est amenée par la pompe *f* dans le tube *g* qui la conduit au fond de la cuve C, un siphon trop plein *h* sert à déverser, par un tube *g'*, dans la deuxième cuve B le liquide qui, par le passage du gaz, peut dépasser le liquide normal; pareille disposition existe pour les cuves B et A, au moyen des siphons *h'* et *h''*.

Les trois cuves contenant de la dissolution, le gaz qui arrive dans la cuve A, par le tuyau *a a'*, la traverse en barbotant (les tuyaux *a' b' C'* plongeant dans la dissolution de 2 à 3 centimètres), et de même pour les cuves B et C.

La dissolution de la cuve A est la première saturée; lorsque cette saturation existe, ce qu'on reconnaît en essuyant le liquide qui s'échappe en petit filet par le siphon *h''*, on ouvre le robinet de la vidange *j''* et on évacue tout ce qui se trouve dans A, en facilitant l'évacuation avec l'agitateur *t''*.

On fait alors passer le contenu de la cuve B dans la cuve A au moyen du tuyau de communication angulaire munie du robinet *j'*, et enfin le contenu de C, et alors on remplit C avec la pompe *f*.

De temps en temps, d'ailleurs, on fait tourner les leviers des agitateurs pour renouveler les surfaces de contact et empêcher les précipités formés de se tasser au fond des cuves.

avec un incontestable avantage. Si cette application n'a pas été plus étendue, c'est qu'au moment de sa découverte, et dans les années suivantes, on ne faisait point usage des exhausteurs ou extracteurs, et que les Compagnies de gaz craignaient d'augmenter la pression sur les cornues; à cette crainte, il ne faut pas manquer d'ajouter l'esprit d'inertie et de routine qui est encore bien vivace aujourd'hui. Et puis, de 1840 à 1850, les hauts prix payés pour le gaz aux Compagnies les rendaient généralement insensibles aux inventions qui ne devaient pas rapporter de très-gros bénéfices.

En dehors de ce procédé et de l'arrosage des colonnes à coke, nous ne voyons pas de moyens pratiquement avantageux pour priver le gaz de son ammoniaque.

Plusieurs autres procédés ont été proposés et même essayés pour arriver au même résultat, opérant tous par la voie sèche, mais ils ont été abandonnés au bout de quelque temps.

Parmi eux, nous citerons pour mémoire le procédé du chimiste anglais, Johnson, qui consiste à placer sur les claies des cuves d'épuration de la sciure de bois mélangée intimement avec du sulfate de fer pulvérisé, égrugé, le *tout suffisamment mouillé* (ce qui se rapproche singulièrement de la dissolution). Il faut six à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

huit couches de cette matière pour arrêter complétement l'ammoniaque.

J'ai, du reste, perfectionné ce procédé; je mélange à la sciure de bois le sulfate de fer et fais passer dans la masse un courant de vapeur d'eau, la dissolution s'opère et la sciure est complétement imbibée de sulfate. Cette matière est placée sur les grilles d'une cuve et il suffit de deux ou trois couches, au plus, pour absorber complétement les sels ammoniacaux; la réaction est la même que par la voie humide.

En lessivant cette matière on extrait le sulfate d'ammoniaque, et le résidu constitue de l'oxyde de fer utilisable, comme nous le verrons tout à l'heure, à l'absorption de l'acide sulfhydrique.

MM. Sucquet et Kraft s'inspirant des travaux de Darcet qui avait indiqué et essayé, à l'usine d'essai de l'hôpital Saint-Louis, le plâtre en suspension dans l'eau, pour épurer le gaz, avaient proposé l'emploi du sulfate de chaux mélangé avec de l'oxyde de fer hydraté. En 1847, Cavaillon revint sur l'emploi du plâtre, avec cette modification qu'il l'acidulait légèrement et le divisait avec la sciure, dont MM. Laming et Johnson avaient déjà reconnu l'efficacité, et appliqua cette mixture pendant trois ou quatre ans dans les usines de l'ancienne Compagnie Française.

Aujourd'hui, nous le répétons, l'emploi de ces matières a été abandonné.

Reste, maintenant, à priver le gaz de l'acide sulfhydrique et de l'acide carbonique qu'il retient, c'est-à-dire à arriver au complément d'épuration.

Si on laissait dans le gaz tout ou partie de l'acide sulfhydrique qu'il renferme, les fuites qui se produiraient dans les conduites de gaz répandraient une fort mauvaise odeur et de plus noirciraient tous les métaux et peintures se trouvant dans leur sphère d'action. Cet acide, pendant la combustion, se transformerait en acide sulfureux et même, pour une petite partie, en acide sulfurique dont les émanations sont nuisibles à la santé et attaquent les dorures, les métaux, etc.

Quant à l'acide carbonique, les inconvénients qu'il présente sont d'une autre espèce; incombustible, il nuit considérablement au pouvoir éclairant du gaz; à la dose de 1, il lui fait perdre plus de 5 pour 100.

En le mélangeant à un gaz, dont le pouvoir éclairant était représenté par 100, on a obtenu les résultats suivants :

QUANTITÉS d'acide carbonique.	POUVOIR ÉCLAIRANT du mélange.
0	100
5,26	71
11,11	51
17,64	29
25	10
33	5

La quantité d'acide carbonique contenu dans le gaz dépend essentiellement de la nature du charbon.

Des analyses faites avec soin, sur plus de 30 variétés de houille, ont démontré que cette quantité varie de 1,20 à 3,90; ces limites peuvent varier avec d'autres houilles.

Avant 1848, on ne faisait usage que de chaux pour l'épuration du gaz.

L'action de la chaux donne naissance à du carbonate de chaux et du sulfure de calcium.

La chaux a été aussi employée à l'état de lait, et ce lait de chaux était placé dans des cuves étagées et méthodiques présentant une grande analogie avec celles que nous avons indiquées pour l'épuration, au moyen des dissolutions salines.

La figure 33 représente une des cuves de l'appareil.

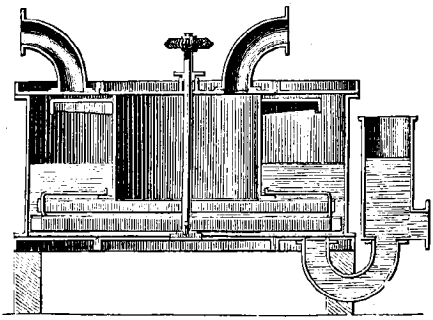


Fig. 33.

Le gaz arrivait au milieu par un conduit formant une couronne cylindrique, de manière à augmenter beaucoup l'orifice de sortie et à multiplier ainsi les surfaces de contact.

La chaux étant très-peu soluble dans l'eau (elle en exige pour se dissoudre, à l'état vif, 778 fois son poids), il était indispensable de la tenir en suspension dans le liquide, et ce, au moyen d'agitateurs tournant sans cesse au moyen d'une force motrice.

Ce procédé présentait l'inconvénient assez grave de donner lieu à des résidus liquides contenant du sulfure de calcium, corps soluble dans l'eau et exhalant, par conséquent, une très-mauvaise odeur; sans parler d'un autre inconvénient inhérent à l'emploi des liquides, c'est-à-dire l'augmentation de pression. Il est vrai que l'application des extracteurs pourrait faire disparaître ce désavantage.

L'emploi du lait de chaux aurait peut-être eu de nouvelles applications depuis l'usage des extracteurs si, depuis lors, n'avaient surgi de nouveaux procédés qui présentent assez d'avantages pour laisser, désormais, l'opération au lait de chaux dans le domaine de l'histoire.

Au lait de chaux on a substitué l'emploi de la chaux éteinte (l'extinction devait être pratiquée quinze jours avant de la mettre en service). Cette chaux était placée, à un certain état d'humidité, sur les grilles ou claies dont nous avons parlé tout à l'heure.

Les premiers épurateurs à chaux ont été disposés comme le montre la figure 34. Soit deux caisses rec-

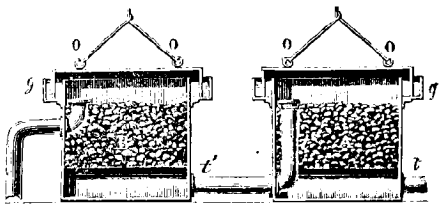


Fig. 34.

tangulaires de même forme A, B, en fonte, portant une gorge g, que l'on remplit d'eau; un couvercle, généralement en tôle, entre dans cette gorge; il est maintenu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans une position fixe par deux barres de fer qui passent dans des oreilles *oo*; le tamis porte une couche de chaux. Le gaz, arrivant par le tube *t*, traverse la couche de chaux qui se trouve dans la cuve A, puis se rend par le tube *t't'* à la partie inférieure de la caisse B, où il traverse un autre lit de chaux; de là il se dirige vers le gazomètre.

On a fait subir à ce système d'importantes modifications: ainsi le couvercle, au lieu d'être plein, est percé à son centre et muni d'un tuyau par où s'échappe le gaz qui a traversé l'épurateur. Ce tuyau vient plonger dans une boîte hydraulique entourant la conduite (figure 35) se dirigeant vers le gazomètre. Quand on veut

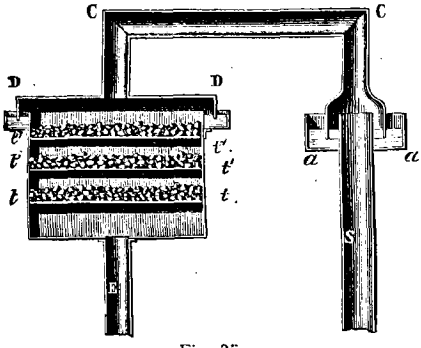


Fig. 35.

enlever le couvercle DD, on doit enlever en même temps le tuyau CC qui le surmonte. Le tuyau d'entrée E, et celui de sortie S, sont munis de vannes pour isoler la cuve au moment de renouveler la matière épurante. La cuve est munie de trois tamis *tt*, *t't'*, *t"t"* reposant sur des taquets ou des nervures venus de fonte.

Une usine devant avoir nécessairement plusieurs cuves de ce système, dont l'action est simultanée, le gaz traverse de préférence la cuve dans laquelle il rencontre moins de pression.

En employant ce système, on avait l'habitude de mettre sur le premier lit *tt* de la chaux ayant déjà servi deux fois, sur le deuxième *t't'* de la chaux n'ayant servi qu'une fois, et sur *t"t"* de la chaux neuve. La chaux des tamis *t"t"* et *t't'* était, lors du renouvellement, étendue par terre avant de resservir.

On emploie généralement aujourd'hui des cuves rectangulaires, beaucoup plus simples pour la manœuvre. La figure 36 représente une de ces cuves assez nettement pour nous dispenser d'explication.

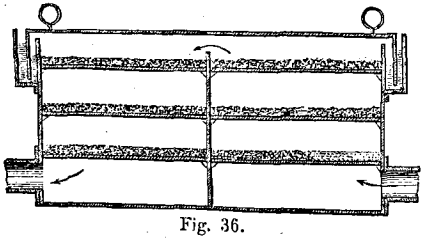


Fig. 36.

La cloison médiane, qui divise la cuve en deux compartiments égaux, peut être supprimée; les lits s'étendent alors sur toute la surface de la cuve; seulement contre une des parois on boulonne une cheminée, formée d'une manière de demi-cylindre, avec des joues,

qui sert d'issue au gaz. La figure 37 donne une idée suffisante de cette disposition.

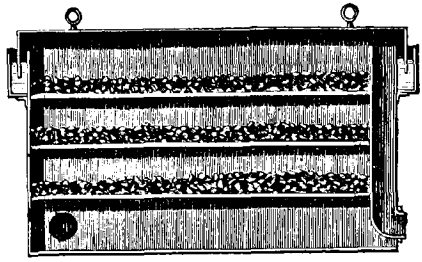


Fig. 37.

Dans un certain nombre d'usines, ces cuves sont simultanées, et alors il est très-utile d'avoir une deuxième série de cuves, en nombre moindre, que le gaz traverse après avoir passé dans celles de la première série, et qui constituent des cuves de sûreté. Si la première série se compose de six cuves on peut se contenter de deux cuves de sûreté.

Dans d'autres usines les cuves sont méthodiques, au nombre de quatre dont trois toujours en fonction. Le gaz est distribué dans ces cuves au moyen d'une cloche centrale, autant que possible (fig. 38) plongeant dans

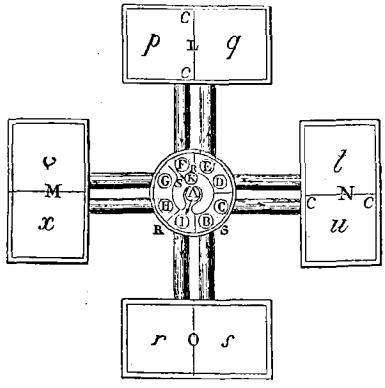


Fig. 38.

l'eau d'une cuve cylindrique dont le fond est traversé par dix tuyaux en fonte montant jusqu'à une certaine hauteur (fig. 41). La cloche a cinq compartiments emboîtant chacun deux des dix tuyaux (fig. 39). Lorsqu'on veut manœuvrer la cloche on la soulève au moyen d'une moufle ou d'une grue, et lorsque ses compartiments ont dépassé le niveau des tuyaux, on la fait tourner à volonté et de manière qu'un des cinq compartiments emboîte deux tuyaux déterminés; généralement, c'est d'un quart de tour qu'on fait avancer la cloche.

Le gaz peut arriver soit par le tuyau central A, soit par le tuyau K; nous donnons la préférence à ce dernier par une raison que nous indiquerons plus tard. Supposons ce dernier cas. Le gaz arrivant par le tuyau K ne rencontre dans le compartiment que le tuyau F, qui le conduit dans la cuve L, d'où il ressort par le tuyau E, se trouvant dans le même compartiment que le tuyau D, qui l'amène dans la cuve N, en sortant de laquelle il revient au distibuteur par le tuyau C, d'où il passe, par l'intermédiaire du tuyau B, dans la cuve O; au sortir de celle-ci, il arrive par le tuyau I dans un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

quatrième compartiment où se trouve le tuyau A qui le dirige vers le gazomètre. La cuve M se trouve en dehors de la circulation du gaz, on peut donc alors remplacer la chaux qu'elle contient et qui a rempli son service.

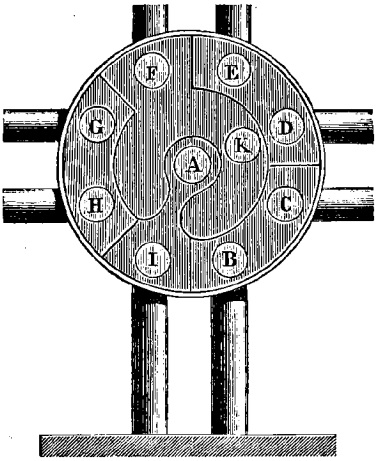


Fig. 39.

Lorsqu'on s'aperçoit que le gaz commence à tacher le papier d'acétate de plomb à la sortie de la cuve O, — l'épreuve se fait au moyen d'un robinet placé au-dessus du compartiment AL, — on soulève la cloche à laquelle on fait faire un quart de tour de droite à gauche, de sorte que le tube K d'arrivée du gaz communique avec le tuyau D ; la cuve L, qui recevait la première l'action du gaz, et qui contenait la matière épurante la plus saturée, se trouve sortie de la circulation, et la cuve M, garnie de matière neuve, vient agir après les cuves N et O. La manœuvre continue dans le même sens. Il est bon par précaution d'opérer le changement lorsque le gaz sortant de la deuxième cuve commence à noircir très-sensiblement le papier de plomb.

Comme le liquide de la cuve du distributeur se trouve toujours partiellement en contact avec du gaz non épuré ou incomplétement épuré tout au moins de son acide sulfhydrique, il en dissout nécessairement, et au bout d'un temps plus ou moins long il en contient assez pour que le gaz, complétement épuré en traversant les cuves en fonction, se recharge par son passage dans le quatrième compartiment d'une certaine quantité d'acide sulfhydrique; on peut croire alors que le service de l'épuration a mal fonctionné. Pour remédier à cet inconvénient, on peut ou bien renouveler souvent l'eau de la cuve du distributeur ou bien garnir à l'intérieur le couvercle de la cloche, dans le compartiment de sortie, d'un tuyau muni, à chacune de ses extrémités, d'une manière d'entonnoir renversé, qui emboîte le tuyau A et le tuyau L, de manière que le gaz n'a pour ainsi dire aucun contact avec le liquide du compartiment. Si le tuyau de sortie n'était pas au centre (comme dans la figure 40), cette disposition deviendrait impossible, le tuyau K n'étant pas dans les diverses positions de la cloche symétrique par rapport aux tuyaux de la circonférence.

Un troisième moyen est d'interposer entre le jeu d'épurateurs méthodiques une cuve d'épuration ordinaire qui sert de cuve de sûreté.

Dans des cas de nécessité, nous avons, pour parer temporairement à l'inconvénient dont il s'agit, couvert le liquide du distributeur d'une couche très-mince d'huile plus légère que l'eau, d'huile de houille par exemple; au bout d'un certain temps, le préservateur a perdu son efficacité.

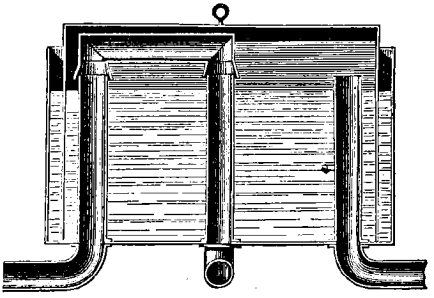


Fig. 40.

Comme nous l'avons déjà dit, pendant de longues années on n'a employé que de la chaux pour l'épuration des acides sulfhydrique et carbonique. On peut évidemment arriver avec elle et complétement au résultat proposé; mais elle présente plusieurs inconvénients; d'abord elle offre au passage du gaz une assez grande résistance, parce qu'elle se tasse dans les cuves, spécialement à cause de sa transformation en carbonate, ce qui exige des surfaces d'épuration très-étendues; ensuite son emploi amène une dépense qui ne laisse pas d'être notable (il faut compter au moins 1 hectolitre de chaux vive pour épurer 1 000 mètres cubes de gaz, c'est-à-dire le produit de la distillation de trois tonnes environ de houille). Enfin les chaux ayant servi à l'épuration exhalent, quand l'ammoniaque n'a pas été enlevée préalablement, une odeur très-désagréable et très-pénétrante qui gêne le voisinage, et on a beaucoup de peine à s'en débarrasser, même à prix d'argent.

L'application de l'oxyde de fer hydraté, avec révivification à l'épuration, a fait, presque dans toutes les usines à gaz, supprimer l'emploi total ou partiel de la chaux.

Voici l'explication de la réaction : au contact de l'acide sufhydrique, l'oxyde, qui est à l'état de sesquioxyde, donne naissance d'un côté à du soufre, d'un autre à du sulfure de fer hydraté qui, au contact de l'air, se transforme en soufre, en oxyde de fer, et pour partie en sous-sulfate de peroxyde. Quelques chimistes n'admettent pas la formation du sous-sulfate. Des expériences directes pourraient décider la question, qui a de l'importance même au point de vue pratique.

On peut obtenir de cette manière l'oxyde de fer nécessaire à l'épuration; mais le mode généralement employé est le suivant :

A un mètre cube de sciure de bois blanc, de sapin ou de pin (et il faut proscrire le chêne et le hêtre), la plus sèche possible, on mélange intimement 300 à 400 kil. de sulfate de fer du commerce de qualité inférieure; la quantité de sulfate à employer est d'autant plus grande que la sciure est plus sèche; on forme du mélange un tas allongé au-dessus d'un tuyau en fer percé de trous communiquant avec un générateur de vapeur. Sous l'action de la vapeur, le sulfate de fer se dissout, pour la plus grande partie, et imprègne, imbibe toute la sciure; on y ajoute de la chaux éteinte et dégagée de ses pierres ou incuits, dans la proportion d'un demi-hectolitre pour 100 kil. de sulfate; on mélange bien intimement, de la chaleur se dégage en abondance, le mélange devient vert-noir, puis il ne tarde pas à devenir rouge; la matière est bonne alors à être mise

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les cuves d'épuration, en l'arrosant si elle est sèche.

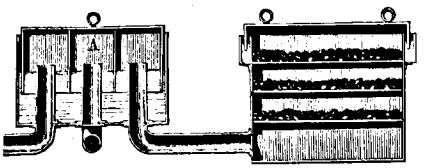


Fig. 41.

La matière ainsi préparée est placée dans les cuves d'épuration en couches assez épaisses. Dans quelques usines, on ne met dans une cuve qu'une seule couche, de 50 à 60 centimètres de hauteur, reposant sur un plancher composé de planches en bois percées de trous.

Au sortir des cuves, la matière est noire; on la met en tas sous un hangar ou appentis, et lorsque la température de la masse s'élève jusqu'à ce que la main puisse à peine la supporter, on l'étale en couches de 15 centimètres environ, et la couleur rouge ne tarde pas à reparaître. Si la revivification est lente à se produire, de temps en temps on renouvelle la surface avec des râteaux. Aussitôt que toute la matière est redevenue rouge, on la remet en tas pour l'employer suivant les besoins.

On a cherché, dès l'origine de l'application de l'oxyde de fer, à revivifier les matières dans les cuves d'épuration pour éviter la main-d'œuvre et la perte inévitable de la manipulation.

Pour produire cet effet, les cuves seraient munies, à leur partie inférieure, d'un tuyau permettant, à un moment donné, l'arrivée de l'air extérieur, et auraient au-dessus de leur couvercle un tuyau d'appel pouvant communiquer à la cheminée de l'usine.

La cuve étant hors de service par la saturation de la matière de gaz, on ouvre la cheminée et le tuyau inférieur; l'air appelé traverse la matière qui bientôt s'échauffe. La chaleur dégagée est considérable, et quelquefois assez élevée pour que la matière s'enflamme; c'est un inconvénient à redouter.

La matière revivifiée sert à nouveau, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le soufre qui se forme et qui recouvre en partie l'oxyde de fer se trouve trop abondant, ou que les manipulations successives aient amené la matière à un état de division tel que, remise dans les cuves d'épuration, elle forme une masse trop compacte empêchant le passage du gaz.

M. Letreust, régisseur de l'usine à gaz de Vaugirard (Compagnie Parisienne), a trouvé qu'en préparant l'oxyde de fer par le mélange du sulfate et de la chaux, et divisant ensuite par la sciure, on obtient une matière agissant plus longtemps.

La quantité de soufre qui s'accumule dans la matière est assez considérable pour s'élever jusqu'à 40 pour cent du poids total; la matière préparée dans de bonnes conditions peut servir cinquante et soixante fois. Nous avons vu de la matière fonctionner pendant un an entier, et un mètre cube épurer ainsi le gaz provenant de 500 tonnes au moins de houille.

Il est essentiel que du goudron ne parvienne pas jusqu'aux cuves d'épuration garnies d'oxyde de fer, car, alors, les surfaces sont recouvertes de ce goudron et la revivification entière devient impossible.

La matière à oxyde de fer contient, outre le soufre, du cyanoferrure de fer, des sulfocyanures de fer et d'ammoniaque, et une certaine quantité de sulfate d'ammoniaque. Ce sulfate provient de l'action du carbonate d'ammoniaque du gaz sur le sulfate de chaux.

La présence de sulfate d'ammoniaque ne suffit pas pour en permettre l'extraction avantageuse, à cause de la grande quantité de sulfocyanure qui se trouve dans la matière.

Aussi, jusqu'à présent, le seul parti qu'on tire de la vieille matière, au point de vue ammoniacal, c'est de la lessiver avec de l'eau, méthodiquement ou non, et l'eau de lessivage est mélangée à l'eau ammoniacale ordinaire.

Après ce lessivage on peut extraire le cyanoferrure; les vieilles matières peuvent fournir jusqu'à 20 kilogrammes de bleu de Prusse suivant qu'elles ont servi plus ou moins longtemps.

Notre cadre ne permet pas d'entrer dans des détails sur cette fabrication.

On n'a pas encore trouvé d'utilisation régulière du soufre et des sulfocyanures que contient la matière d'épuration dans les conditions ci-dessus.

L'oxyde de fer a l'inconvénient de ne point absorber l'acide carbonique, dont la quantité dans le gaz varie d'après la nature des houilles employées [1], mais est toujours assez notable; on a constaté dans certaines usines qu'il pouvait être de 40 grammes par mètre cube, soit 2 1/2 pour 100 de ce volume.

Si on veut que le gaz soit privé d'acide carbonique, il faut donc, après l'oxyde de fer, faire usage de chaux.

Dans quelques usines, pour obtenir en partie ce résultat, on place une couche de chaux au-dessus des couches d'oxyde, le gaz les traversant de bas en haut.

Comme l'épuration de l'acide carbonique est coûteuse, dans plusieurs usines on préfère le laisser dans le gaz en compensant la perte du pouvoir éclairant que sa présence occasionne, par la distillation d'une certaine proportion de cannel ou de boghead.

Nous devons mentionner que l'oxyde de fer, quand il est employé à l'épuration pour la première fois, n'épure pas une aussi grande quantité de gaz que les fois suivantes; c'est après trois passages dans les cuves d'épuration qu'il atteint son maximum de puissance.

M. Lewis Thompson, chimiste anglais, cherche à expliquer ce fait par l'état de l'oxyde qui, employé la première fois à l'état d'hydrate, passe à l'état anhydre auquel il attribue plus de puissance dans l'épuration.

Cette manière de voir n'est point généralement admise, tant s'en faut.

M. R. Laming a prétendu, au contraire, que l'oxyde de fer anhydre n'exerçait pas d'action sur l'acide sulfhydrique, mais nous ne pouvons, ici, discuter cette question qui a bien son intérêt d'ailleurs.

On a naturellement songé à employer dans la fabrication de l'acide sulfurique la matière d'épuration hors de service et contenant 40 pour 100 de soufre, mais la présence de la sciure de bois est un grand inconvénient à cette utilisation.

En effet, pendant que le soufre brûle en donnant naissance à de l'acide sulfureux, la sciure produit de l'acide carbonique qui contrarie la réaction qui s'opère dans les chambres de plomb. On a cherché à se passer de la sciure dans la préparation de l'oxyde de fer en la remplaçant par d'autres matières divisantes, ou même en la supprimant; jusqu'ici on n'y est pas arrivé à cause de la pression causée par l'emploi de matières ne contenant pas de sciure.

Nous devons cependant dire que dans un certain nombre d'usines à gaz d'Angleterre on emploie de l'oxyde de fer naturel sans aucune intervention de la sciure, et le résidu de l'épuration est alors employé sans inconvénient dans les fabriques d'acide sulfuri-

1. Non-seulement l'acide carbonique peut provenir du carbonate de chaux contenu dans la houille, mais aussi de l'action de l'oxygène sur le carbone pendant la distillation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que ; seulement les gardes des cuves sont très-fortes; elles ont quelquefois jusqu'à 1 mètre.

On importe en Angleterre du peroxyde de fer, natif de Danemark, c'est l'agent le moins cher pour la purification du gaz.

Voici l'analyse de ce peroxyde :

Peroxyde de fer.	66,01
Argile et silice.	11,01
Eau et substances humides. . .	19,55
Alumine.	1,80
Oxyde de manganèse.	0,85
Chaux.	traces.

Faisons seulement remarquer, en passant, que cet oxyde est à l'état d'hydroxyde.

M. Lewis Thompson admet que le gaz fabriqué avec de la houille anglaise contient 8 pour 1,000 d'acide sulfhydrique.

Pour absorber cet acide il faudrait théoriquement 6 kilogrammes de protoxyde de fer ; mais dans la pratique il faut augmenter cette proportion d'une manière notable.

Quelques mots de la question historique de la révivification.

J'ai, dès 1847, indiqué un procédé pour l'épuration complète de l'ammoniaque et de l'acide sulfhydrique, au moyen d'un mélange de sulfate et d'oxyde de plomb avec révivification.

Le mélange était obtenu de la manière suivante :

On plaçait dans une cuve d'épuration du sulfate de plomb, résidu de la préparation du sulfate d'alumine dans les manufactures de toiles peintes, il se formait du sulfate d'ammoniaque et du sulfure de plomb; un lessivage enlevait le sulfate d'ammoniaque, et le sulfure de plomb égoutté était grillé dans un four à réverbère à double étage. Le deuxième étage était recouvert de plaques de fonte supportant une chaudière en fonte pour l'évaporation du sulfate.

Ce résidu du grillage était un mélange de sulfate et d'oxyde de plomb qui, placé dans les épurateurs, produisait le résultat demandé.

Ce procédé employé dans plusieurs usines, pendant plusieurs années, a été abandonné à cause de la difficulté de se procurer à un prix convenable du sulfate de plomb assez pur.

En 1850, M. R. Laming imagina de révivifier l'oxyde de fer en soumettant au contact de l'air les matières sortant des cuves, en se basant sur les propriétés du sulfure de fer hydraté; cette application a été un progrès incontestable et qui peu à peu a été adopté généralement, surtout lorsque son brevet fut expiré.

M. R. Laming avait espéré pouvoir réaliser, avec le mélange d'oxyde de fer et d'un sel de chaux, du sulfate principalement, l'épuration complète et la révivification, mais l'expérience ne réalisa pas son espoir.

Les cuves d'épuration ont été d'abord établies en tôle, mais la tôle s'oxydait et se détériorait facilement; on n'a pas tardé à lui substituer la fonte. Dans quelques usines, surtout celles peu importantes, on en trouve en bois. M. Brocchi, ingénieur français, en a établi en poterie. Ces cuves, comme celles en maçonnerie, peuvent rendre des services incontestables à cause de leur bas prix, lorsqu'elles sont bien construites.

Lorsque les cuves ont d'assez grandes dimensions, même à partir de 2 mètres de long sur 1 mètre de large, les couvercles sont d'un poids assez considérable pour qu'on songe à avoir un appareil spécial pour procéder à leur levage. Ceux qu'on emploie ont diverses dispositions, mais leur partie essentielle est presque toujours un treuil.

Il est indispensable qu'un couvercle soulevé pour permettre le travail de la matière épurante ne reste pas au-dessus de la cuve, et cela pour éviter toute chance d'accident.

La position des cuves d'épuration et du distributeur hydraulique, quand il y en a un, doit nécessairement faire varier la disposition de la machine à enlever les couvercles.

On emploie assez souvent une grue tournante dont on fait varier, suivant les besoins, la longueur de la flèche qui porte deux poulies sur lesquelles passent les chaînes ou cordes de levage, et ce en faisant varier la position d'une des poulies qui est mobile. Quelquefois le treuil est mobile; à cet effet son bâti est muni de quatre roues qui lui permettent de se déplacer sur une paire de rails (fig. 42).

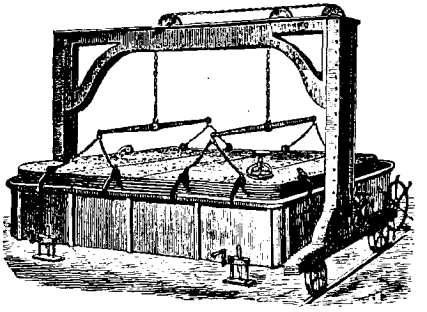


Fig. 42.

Si les cuves ne sont point placées en ligne droite, on peut donner aux rails une courbure appropriée au besoin; ainsi des rails formant un S peuvent desservir un jeu d'épurateurs méthodiques dont les cuves forment les côtés d'un carré ou d'un rectangle avec le distributeur hydraulique placé au milieu.

La poulie différentielle est plus simple que le treuil, on l'adapte aussi à un petit chariot pouvant rouler sur des rails, c'est l'appareil le plus rapide qu'on peut employer dans ce genre.

La figure 43 représente une disposition de grue soli-

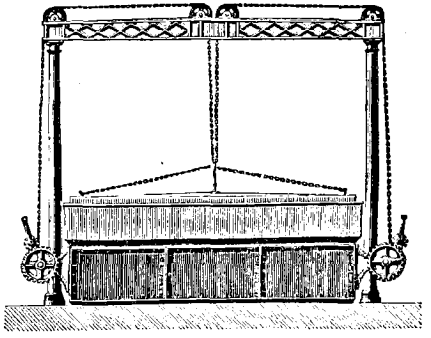


Fig. 43.

dement reliée aux cuves d'épuration. Deux colonnes en fonte sont réunies à la partie supérieure par des poutres en treillis, qui supportent deux paires de poulies sur lesquelles passent les chaînes de levage; les treuils sont fixés à la cuve d'épuration.

Enfin la figure 44 représente une disposition où le levage s'effectue au moyen de vis qui passent au centre de deux roues d'angle; suivant que ces roues tournent dans un sens ou dans l'autre, les vis montent ou descendent. Le système d'engrenage, destiné à mettre ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roues en mouvement, est supporté par un bâti en fonte dont les montants verticaux se divisent en fourche à la partie inférieure, de manière à former quatre pieds pourvus de roues. Cet appareil se déplaçant sur une voie de fer s'adapte particulièrement aux cuves d'épuration placées sur une même ligne.

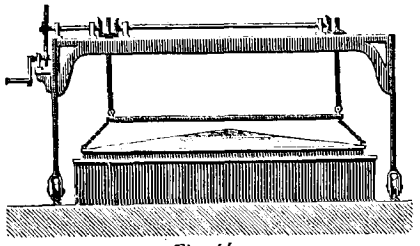


Fig. 44.

Nous avons déjà dit que les couvercles des épurateurs doivent être assujettis pour ne pas être soulevés par la pression du gaz; le moyen que nous avons indiqué n'est pas le seul employé : on adapte quelquefois aux couvercles quatre crochets mobiles autour d'une charnière qui saisissent le bord supérieur de la cuve et sont maintenus dans cette position par des vis de pression. On fait aussi des crochets plus longs qui viennent prendre le dessous de la gorge de l'épurateur lui-même.

Les gorges hydrauliques des cuves doivent être assez élevées; une hauteur de 30 à 40 centimètres n'est pas de trop. Le plus souvent, quand on construit une usine, on ne prévoit pas, à tort, l'importance qu'elle pourra prendre, et au bout de quelques années d'exploitation les cuves d'épuration sont insuffisantes, le gaz les traverse alors en trop grande quantité, la pression se trouve augmentée notablement et quelquefois alors le gaz s'échappe par ces gorges, barbote, comme on dit, bouillonne, et ces échappements de gaz peuvent donner lieu à de très-graves accidents. Lorsque cet inconvénient se présente et qu'on ne peut mettre des hausses à ces gorges, le seul moyen à employer est de remplacer l'eau des gorges par une dissolution saline concentrée n'ayant aucune action sur la fonte; ainsi de sulfate de soude, de chlorure de calcium, de sulfate ou de chlorure de zinc. Les parties des couvercles plongeant dans les gorges doivent de préférence être en fonte.

Dans la cuve du distributeur on pourrait, au lieu de ces dissolutions, mettre du goudron bien liquide, bien lavé préalablement avec de l'eau pour enlever l'eau ammoniacale qu'il retient toujours.

L'emploi des épurateurs successifs, méthodiques ou non, présente des avantages incontestables et incontestés au point de vue de la perfection de l'épuration et aussi de l'économie apportée dans le fonctionnement des matières épurantes, mais il amène nécessairement des pertes de charge qui se traduisent par des augmentations de pression. M. d'Hurcourt a fait, sur ce sujet, des expériences que nous croyons utile de relater ici. Il a chargé une grille de 60 kilogrammes de chaux éteinte (correspondant à environ 46 kilogrammes de chaux vive) par mètre carré et l'a fait traverser par des volumes d'air variant depuis 20 mètres jusqu'à 90 mètres cubes par heure.

Voici les résultats obtenus :

Volumes d'air en mètres cubes.	Pertes de charge en millimètres.
20.	4,20
30.	10,00
42.	15,00
52.	20,00
70.	30,00
90.	45.00

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

M. d'Hurcourt a, d'après une formule $H = 0{,}25\ N^2$ où N indique le nombre des claies et H la perte de charge en millimètres, établi le tableau suivant :

Nombre de grilles.	Perte de charge.
1.	0,6
2.	1,6
3.	3,6
4.	6,4
5.	10,0
6.	14,4
7.	19,6
8.	25,4

Il serait désirable que les expériences fussent recommencées et que la formule fût établie pour l'emploi de l'oxyde de fer hydraté.

Nous aurions encore une série de remarques et d'observations à présenter sur l'épuration du gaz, mais elles ne pourraient trouver leur place que dans un traité sur le gaz d'éclairage.

Nous terminerons l'étude de l'épuration par une remarque générale.

La distillation de la houille donne naissance, nous l'avons dit, entre produits pyrogénés, à de la naphtaline, substance qui est blanche quand elle est pure, cristallisant en lamelles blanches très-légères, se volatilisant à une température assez basse.

La naphtaline se dépose en grande quantité pendant la condensation du goudron dans lequel elle est soluble, mais ce dépôt n'est pas complet, et le plus souvent, pour ne pas dire toujours, le gaz en entraîne après la condensation et l'épuration, surtout celle pratiquée avec la matière à oxyde de fer, fait déposer dans la matière elle-même une nouvelle quantité de naphtaline, mais pas la totalité; de sorte que l'influence d'une température basse, et spécialement un refroidissement subit, peut amener et amène quelquefois dans les conduites de gaz, avant ou après le gazomètre, comme dans le gazomètre lui-même, de nouveaux dépôts qui peuvent amener des obstructions et intercepter finalement le passage du gaz. Pendant les gelées intenses, il est très-commun de voir bouchés, par la naphtaline, les tubes qui mènent le gaz aux lanternes; on débouche ces tubes avec de l'alcool qui dissout la naphtaline. L'essence de pétrole produirait très-probablement le même effet.

On a observé que, si pendant la condensation et l'épuration, par suite de l'action des rayons solaires ou par suite d'une réaction chimique, l'action de la chaux sur l'acide carbonique du gaz, par exemple, la température du gaz est augmentée, il se produit généralement plus loin des dépôts de naphtaline; c'est surtout dans les tuyaux d'entrée des gazomètres où l'eau conserve une basse température que ces dépôts ont lieu, quelquefois aussi dans les conduites des villes. Ce dernier cas, quand il se présente, est très-grave; on a été obligé, à notre connaissance, de ramoner des conduites qui en étaient obstruées.

Dans l'intérieur d'une usine on se débarrasse de ces obstructions en lançant de la vapeur dans les conduites, ou en y introduisant de l'eau bouillante. La vapeur déplace la naphtaline, il faut donc alors lui donner une issue; l'eau en dissout une certaine quantité, et il faut évacuer par un pompage ou autre moyen l'eau avant qu'elle ne se soit refroidie.

Lorsque les dépôts se produisent avant l'épuration on peut les combattre en imbibant la houille à distiller d'huile de goudron, cette huile se vaporise et les vapeurs entraînent avec elles la naphtaline.

Une bonne condensation et une bonne épuration sont des préservatifs à employer, l'appareil Pelouze et Audouin doit aussi produire de bons résultats; et nous ne saurions trop insister sur les inconvénients et sur les dangers même que peuvent présenter ces dépôts.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous avons étudié les conditions dans lesquelles se trouve le gaz depuis sa sortie de la cornue jusqu'après l'épuration; avant d'aller plus loin, nous devons parler des extracteurs ou exhausteurs.

Le gaz, au moment où il se forme dans les cornues, a une pression qui est nécessairement égale à la somme des résistances qu'il rencontre pour se rendre au gazomètre.

En premier lieu, il faut citer celle qui s'exerce par le fait des plongeurs et qui, nous l'avons dit, est de trois centimètres d'eau environ; à cette pression s'ajoute celle des cuves d'épuration du gazomètre, sans parler de la résistance occasionnée par le frottement dans les tuyaux.

La somme de ces résistances varie suivant les usines

la quantité de gaz; ce compteur extracteur peut servir en même temps de purificateur et, pour cela, on remplace l'eau ordinaire par l'eau de chaux.Cet appareil, quoique fonctionnant bien, exige beaucoup de force motrice à cause de la résistance de l'eau lorsque le volant tourne rapidement.

Plusieurs systèmes d'extracteurs à cloches ont été proposés; ils dérivent tous de la disposition employée depuis longtemps par Samuel Hall, mécanicien anglais, pour le flambage des tissus et pour laquelle il obtint en France, vers 1817, un brevet d'importation.

Nous nous contenterons de donner la description de celui établi par Pauwels, à l'usine à gaz d'Ivry, il y a trente ans environ, et qui continue à fonctionner, depuis lors, avec beaucoup de régularité.

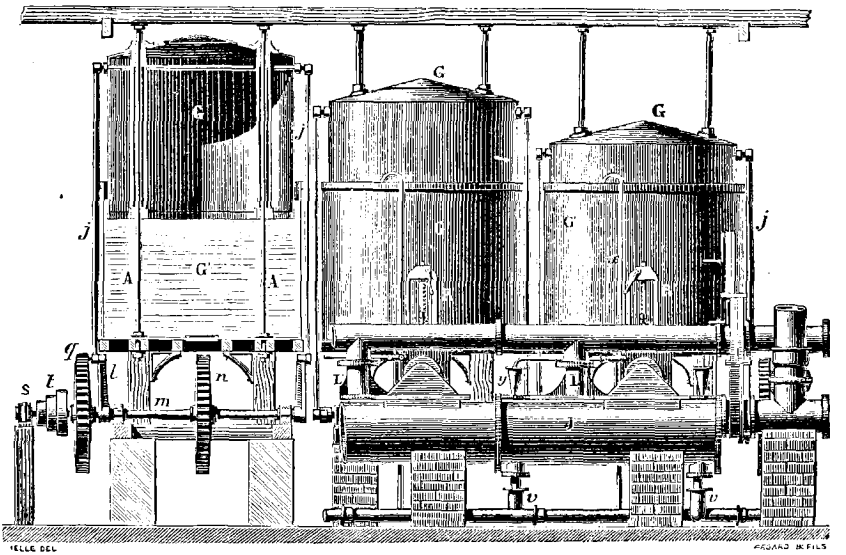


Fig. 45.

suivant les saisons, à cause de la différence de production, suivant la nature et l'état des matières d'épuration. Ainsi, la chaux, surtout après avoir fonctionné un certain temps, offre bien plus de résistance que la sciure à oxyde de fer.

Pour apprécier d'où peuvent provenir des résistances extraordinaires pendant la production du gaz, il est indispensable d'avoir sur les divers appareils des manomètres indiquant la pression avant et après chacun d'eux, et ce depuis le barillet jusqu'à la sortie du gaz de l'usine.

Exhausteurs. Grafton, l'inventeur des cornues en terre réfractaire, ayant trouvé par l'expérience que plus la pression était grande sur ces cornues, et plus il s'y formait de graphite, eut l'idée d'opérer le vide sinon sur les cornues, car on ne peut supprimer les plongeurs, mais sur les barillets.

Blochmann, ingénieur saxon, qui s'est beaucoup occupé de la construction d'usines à gaz en Allemagne, paraît avoir eu la même idée presque en même temps que Grafton.

L'exhausteur de Grafton, aujourd'hui abandonné, se compose d'une roue à godets ou à escargots, tournant dans le sens des palettes, le gaz introduit dans un godet s'échappe par deux ouvertures latérales, situées au centre; autrement dit, c'est un compteur mu mécaniquement en sens inverse de celui où il tourne quand il indique

Il se compose de trois cloches tiercées. La figure 45 est une élévation dans laquelle la première cloche est dessinée en coupe verticale; la figure 46 est une coupe transversale. Les trois cloches G G G en tôle sont mues de bas en haut dans des cuves, également en tôle, au moyen d'une machine à vapeur. Le mouvement de la machine se transmet par des courroies sur les poulies à gradins *t* à l'arbre *s*; le pignon *r*, placé sur cet arbre, engrène avec la roue *q*, qui porte le pignon *o* commandant la roue *n*, fixée sur l'axe *m*, portant les manivelles *l* et les bielles *j*, qui communiquent aux cloches le mouvement d'ascension et de descente. Le guidage des cloches a lieu au moyen des tiges de fer forgé A A, qui passent à travers deux tubes reliés à la cloche, et terminés haut et bas par des boîtes alésées suffisamment longues. Le tuyau H est la conduite d'aspiration, et le tuyau J celle de refoulement. Le premier est divisé par des cloisons en trois parties, dont chacune isolément est mise en communication par un raccord L' avec le tuyau I. venant des cornues. Ce raccord L' pénètre dans le tuyau H et plonge dans le liquide qui s'y trouve. Chaque portion du tuyau H correspond également avec le tuyau K, qui s'élève sous la cloche au-dessus du niveau de l'eau contenue dans la cuve. Ce même tuyau K de chaque cloche se prolonge dans l'autre sens et se trouve en rapport par un plongeur avec le tuyau de refoulement J. Le gaz, qui vient des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

cornues par L, pénètre en H en surmontant la pression de la fermeture hydraulique, lorsque la cloche s'élève, et se rend dans la cloche par K. Pendant ce temps, le

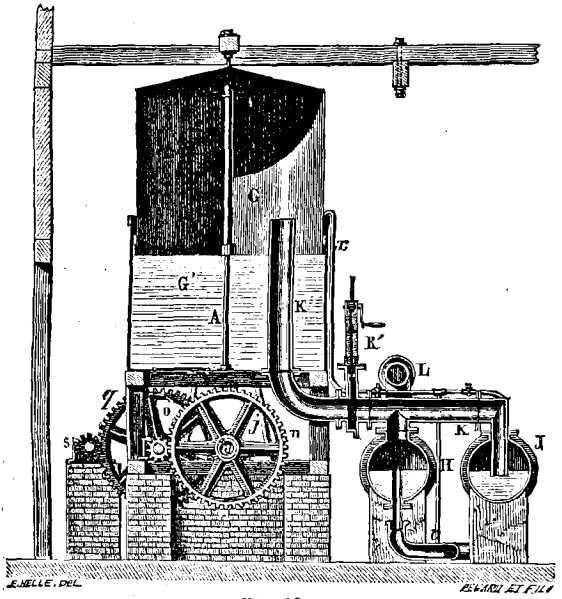


Fig. 46.

gaz qui se trouve dans le tuyau J a son passage intercepté par la fermeture hydraulique du plongeur adapté à K. Lorsque la cloche descend, le liquide monte en L' par la pression qui a lieu en H, et le gaz des cornues est arrêté, tandis qu'en J la pression du liquide est vaincue, et le gaz s'introduit dans le tuyau. La première cloche de gauche étant soulevée par le jeu de la machine, le gaz provenant des cornues est aspiré, il se rend dans ladite cloche, tandis que pendant ce temps la troisième cloche en descendant refoule le gaz qu'elle contient, et qui va se rendre dans les conduites menant aux cuves d'épuration.

La cloche du milieu a pour but d'éviter les points morts, elle est à moitié de sa course, lorsque la première est au haut de la sienne, et la deuxième au bas, de sorte qu'à ce moment même il y a encore aspiration du gaz.

Les tuyaux d'aspiration et de refoulement sont munis tous deux de tuyaux de trop-plein *v*, par lesquels s'échappe l'excédant du liquide, en sorte que le niveau reste uniforme. Les tuyaux *x*, les robinets et entonnoirs y ont pour objet l'alimentation de l'appareil avec de l'eau. Les valves R permettent d'isoler à volonté chacune des cloches.

L'extracteur système Pauwels a été adopté par l'usine de London gaz Company, qui en est très-satisfaite, et ses principales dispositions ont été reproduites dans celui établi dans l'usine de Magdebourg par l'ingénieur allemand Unruh.

L'extracteur rotatif de Beale, qui présente pour son mécanisme beaucoup d'analogie avec les pompes rotatives connues depuis longtemps dans l'industrie, est un des plus employés. Sa construction est simple, son prix d'établissement relativement peu élevé, et lorsqu'on a proportionné sa puissance au travail qu'il doit accomplir, lorsqu'il marche avec une vitesse maximum de 80 à 90 tours à la minute, il fonctionne très-bien et il est de longue durée. Son emploi très-répandu nous engage à donner sa description détaillée. Les figures 47 et 48 en donnent les coupes transversale et longitudinale.

Dans un cylindre A, se trouve un second cylindre placé excentriquement au premier, et qui lui est tangent à la partie inférieure. L'axe du cylindre intérieur est terminé par deux tourillons, dont le plus court entre dans un coussinet fixé dans une des plaques de fermeture de l'exhausteur, tandis que l'autre traverse un presse-étoupes, situé sur l'autre plaque, et porte une poulie de

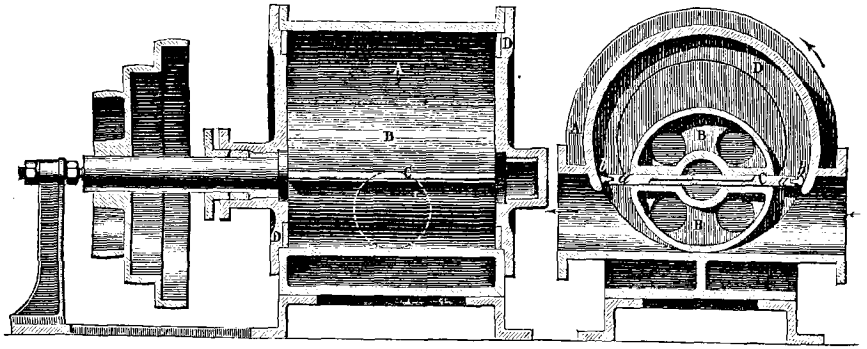


Fig. 47.

Fig. 48.

commande à trois rayons; cette extrémité de l'axe est montée sur une pointe d'acier qu'on peut régler à volonté au moyen d'écrous. Dans le petit cylindre intérieur se trouvent engagées, en sens inverse l'une de l'autre, des plaques C qui divisent en deux la capacité de l'exhausteur.

Chacune de ces plaques porte à ses angles deux saillies latérales *a a* qui pénètrent dans des trous correspondants percés dans les cercles DD servant de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

guides. Ces derniers cercles peuvent glisser, concentriquement au grand cylindre, dans des espaces annulaires pratiqués dans les plaques de fermeture de l'exhausteur; ils sont entraînés par les plaques de séparation C qu'entraîne lui-même le cylindre intérieur excentré. Si l'appareil se trouve dans la position du dessin, les deux plaques sont au bord des orifices d'entrée et de sortie; le cylindre intérieur tournant dans le sens de la flèche, la plaque droite glisse et s'élève vers la partie supérieure, tandis que la plaque gauche descend et rentre dans le cylindre jusqu'au moment où les deux plaques se trouvent verticales; le mouvement continuant, les plaques reviennent à leur première position, et ainsi de suite. On obtient une fermeture plus complète entre la paroi de la chambre et le bord des plaques en munissant ces dernières de rails libres *bb* pressés par des ressorts contre les parois de la chambre. Le fonctionnement de l'appareil est facile à saisir. Le dessin représente l'instant où la révolution entière est accomplie. L'espace supérieur est rempli de gaz, l'entrée est interceptée et la sortie est ouverte. La plaque de droite, s'éloignant de l'ouverture d'entrée, pousse le gaz devant elle et le chasse par l'ouverture de sortie, tandis que de nouveau gaz vient remplir l'espace que cette plaque a laissé derrière elle, jusqu'à ce qu'un angle de 180° ait été parcouru, le même effet se répétant successivement. L'action de l'appareil est continue, mais non uniforme, les volumes développés par la plaque augmentant à mesure qu'elle s'élève et diminuant à la descente; mais les variations qui ont lieu sont insignifiantes et ne nuisent en rien au bon fonctionnement; la variation de la pression, mesurée au tuyau d'entrée, n'est que de 6 à 12 millimètres de hauteur d'eau en marche régulière.

Quant à l'effet utile de l'exhausteur Beale, on peut admettre que, lorsque cet appareil est bien exécuté et que les plaques de fermeture sont bien ajustées, il donne 70 à 80 p. 100 environ d'effet utile. La force motrice nécessaire est relativement faible, et, dans la plupart des cas, il suffit de un à deux chevaux-vapeur. En outre, l'appareil est simple, prend peu de place; son usure est très-faible et exige peu de réparations. S'il a été bien exécuté, on n'a tout au plus besoin que de remplacer de temps à autre les ressorts qui agissent sur les rails des plaques et de réparer les trous dans lesquels entrent les saillies des plaques pour les guider; sauf ces légères réparations, l'appareil peut marcher pendant des années sans autres dépenses d'entretien.

Nous mentionnerons enfin un exhausteur construit

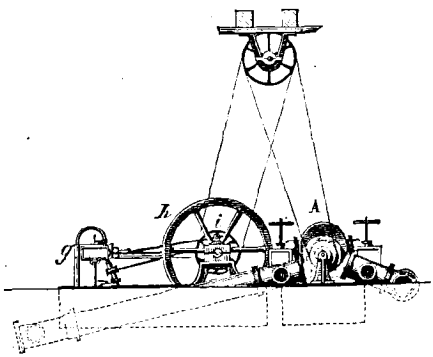


Fig. 49.

par l'ingénieur C. Schiele, et adopté dans plusieurs usines anglaises et probablement aujourd'hui en Allemagne. C'est un ventilateur analogue à celui qui a valu un prix à son inventeur aux expositions universelles de Paris et de Londres, et qui a reçu diverses applications dans toutes les parties du monde. La figure 49 montre la disposition de l'appareil, dont le jeu est si simple qu'il est à peine besoin de le décrire. C'est un appareil à force centrifuge dans lequel le gaz est aspiré par le centre et refoulé par un second tuyau situé à la circonférence. Le nombre de tours de l'axe est de 1 000 à 1 500 par minute, et un tel appareil débite, avec une ouverture d'un diamètre de :

0m,050	un vol. de	5m³	par min. ou	300m³	à l'heure.
0 ,100	»	24 »	»	1 440 »	»
0 ,200	»	100 »	»	6 000 »	»

Pour les petites pressions, jusqu'à 0m,350 de hauteur d'eau, l'emploi d'un seul exhausteur suffit.

Lorsqu'on travaille sous une pression de 0m,700, il faut employer deux exhausteurs accouplés. Ces appareils présentent les avantages suivants : ils travaillent presque sans bruit ni soubresaut; ils maintiennent la pression parfaitement constante tant dans le tuyau d'aspiration que dans celui de pression, même avec une production de gaz irrégulière, ce qui tient à la facilité et à la précision avec laquelle la pression même du gaz peut régler la marche de l'exhausteur; ils exigent très-peu de force, durent longtemps et n'exigent que de rares réparations; ils sont construits de manière à pouvoir être démontés très-facilement, et remontés de même; enfin chaque extrémité de l'axe porte une poulie de commande, de manière à prévenir encore tout arrêt de ce côté.

Nous ne devons pas oublier les extracteurs à pompe, qui se composent essentiellement de cylindres de machines soufflantes.

On peut employer un ou plusieurs corps de pompe. Un seul peut suffire, et nous connaissons des usines n'en possédant pas plus.

Ceux établis dans la plupart des usines de la Compagnie parisienne se composent de trois cylindres horizontaux posés sur le même bâti que la machine à vapeur qui les fait mouvoir. Les tiges des pistons traversent les deux couvercles des corps de pompe dans des stuffing-box qui les guident. Les courses des pistons sont tiercées.

Ces extracteurs fonctionnent avec beaucoup de régularité, sans bruit; ils seraient parfaits, pour ainsi dire, si leur prix était moins élevé, et alors ils seraient probablement adoptés partout.

L'emploi des extracteurs amène comme mesure de sûreté l'emploi de régulateurs d'extraction; expliquons-nous.

Il pourrait se faire que, pour une cause ou pour une autre, la vitesse de l'extracteur fût trop grande eu égard à la quantité de gaz à aspirer; qu'on fît le vide (ce qu'indique d'ailleurs le manomètre correspondant au barillet), alors il ne serait pas impossible qu'on aspirât de l'air avec du gaz s'il y avait la moindre fuite dans un joint, ce qui doit être très-soigneusement évité.

Le régulateur a pour fonctions, dans cette circonstance, de permettre à l'extracteur d'aspirer du gaz sur lequel il a déjà agi une première fois, du gaz des gazomètres par exemple.

Diverses dispositions de régulateurs ont été proposées et adoptées; nous n'indiquerons que celle considérée comme la meilleure et la plus employée, et qui est appliquée d'ailleurs aussi pour régulariser la pression du gaz dans les tuyaux de conduite.

Cet appareil se compose d'une cuve en tôle ou en fonte, contenant de l'eau jusqu'à un certain niveau, dans laquelle vient plonger une cloche suspendue à un bras de balancier dont l'autre bras supporte un poids qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

fait équilibre au poids de la cloche. Deux tuyaux passent verticalement dans la paroi horizontale de la cuve, et émergent dans la cloche au-dessus du niveau d'eau. L'un E, communiquant avec la conduite d'aspiration de l'extracteur, débouche librement dans la cloche, l'autre D (fig. 50), qui est branché sur la conduite de refoule-

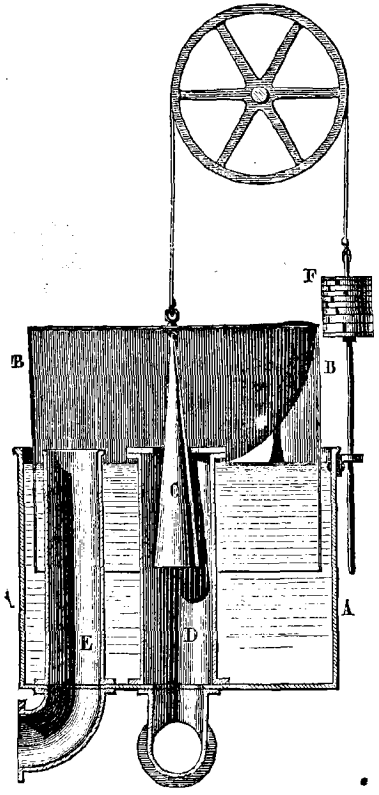


Fig. 50.

ment, est muni à son extrémité d'une plaque annulaire en fonte assez épaisse, dont les bords intérieurs sont bien rodés et forment une partie légèrement conique. Dans cette partie joue un cône C d'un certain développement, dont la surface est bien rodée. Quelquefois il est terminé à sa base par une légère saillie garnie d'une rondelle de caoutchouc. Le cône est relié à la cloche au moyen d'un anneau. Lorsque la cloche s'élève, ce qui a lieu par une augmentation de pression, elle soulève le cône C qui rétrécit l'ouverture du tuyau D, et finit par la fermer complétement; si elle s'abaisse au contraire, ce qui se produit quand la pression diminue, autrement dit quand l'aspiration est trop forte, le cône descend aussi, et l'ouverture de D s'élargit, ce qui permet au gaz déjà aspiré de revenir alimenter l'extracteur.

Cette disposition remédie à l'inconvénient d'une trop forte aspiration ; pour remédier automatiquement à l'inconvénient d'une aspiration trop faible, on peut relier au moyen de leviers coudés la cloche avec le papillon de la machine à vapeur, qu'elle ouvre plus ou moins suivant que la production du gaz augmente ou diminue. Dans le premier cas, la vitesse de la machine s'accélère; dans le second, elle se ralentit. Le travail de la machine est ainsi proportionné à la production du gaz. Cette disposition est très-logique, mais elle peut, en certaines circonstances, manquer d'une régularité suffisante par suite d'un dérangement dans le mécanisme; et, en ce qui concerne l'inconvénient d'une aspiration trop puissante, il est préférable, incontestablement, d'aspirer deux fois une partie du gaz que de se fier à ce mode de régulateur d'une manière absolue.

Il est indispensable d'ailleurs d'avoir à côté du moteur et des extracteurs un manomètre communiquant directement avec le barillet, comme nous l'avons déjà dit, et aussi un manomètre donnant la pression avant l'entrée du gaz dans l'extracteur. Le mécanicien doit consulter ces manomètres à chaque instant pour savoir s'il doit accélérer ou ralentir la marche de sa machine, indépendamment du régulateur du papillon dans le cas où il en existe.

Nous devons faire remarquer que, dans tout le parcours du gaz, depuis le barillet jusqu'aux gazomètres, et cette observation s'applique aussi à la circulation du gaz en général, lorsqu'il y a la moindre contrepente dans les conduites ou tuyaux, il est indispensable de placer à la rencontre des deux pentes un siphon ayant une garde plus que suffisante pour contrebalancer la pression du gaz dans les conduites. Le siphon donne écoulement aux liquides qui peuvent se condenser dans les tuyaux formant contre-pente, et qui vont se rendre directement ou indirectement dans une des citernes de l'usine.

Le gaz épuré doit se rendre dans les gazomètres; mais auparavant, pour qu'on puisse se rendre compte de la fabrication d'une manière exacte, il est indispensable de le faire passer par un compteur, dit compteur de fabrication, parce qu'il présente quelques différences avec les compteurs qui servent à constater la quantité de gaz consommé.

Ce compteur se compose à l'extérieur d'une grande boîte cylindrique en fonte ayant aux deux extrémités des saillies ou brides sur lesquelles viennent se boulonner deux plaques, aussi en fonte, qui sont percées de plusieurs trous, comme nous allons l'indiquer.

Dans ce cylindre se trouve un tambour en tôle étamée (l'étamage est supérieur à la galvanisation) dont le diamètre est un peu plus petit que celui de la boîte ou enveloppe en fonte. C'est ce tambour qui est la partie principale de l'appareil. Il comprend quatre compartiments formés de cloisons, de courbures particulières, et dont la description exacte se donnerait difficilement.

Nous rendrons la description plus simple et plus intelligible, peut-être, en le supposant représenté en coupe

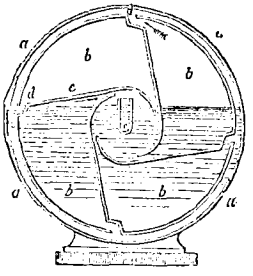


Fig. 51.

par la figure 51, et en disant que c'est une espèce de roue à augets dont l'axe est horizontal, la boîte cylindrique étant remplie d'eau jusqu'à l'axe. La figure 52 donne une coupe longitudinale passant par l'axe du tambour, et représente exactement le compteur.

La partie postérieure du tambour, où le gaz entre par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le tuyau CC (fig. 52), est allongée au moyen d'une calotte en forme de segment sphérique DD, qui force le

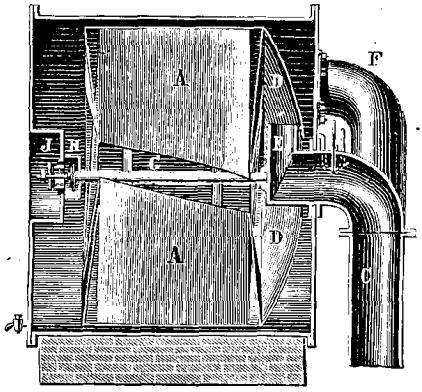


Fig. 52.

gaz à pénétrer dans les compartiments du tambour. Cette calotte est percée à son entrée d'une ouverture annulaire par laquelle entre le tuyau coudé E dont l'extrémité s'élève verticalement au-dessus du niveau d'eau. Le gaz entrant dans un compartiment ou auget, celui-ci s'élève en vertu de la pression du gaz qui afflue de la fabrication; il sort complétement de l'eau; le gaz se répand dans la partie supérieure (d'après la figure que nous avons adoptée, mais antérieurement en réalité) du cylindre et s'échappe par le tuyau F; à peine le premier compartiment a-t-il vidé son contenu qu'un deuxième auget s'emplit de la même manière. Le courant du gaz est en réalité continu.

L'axe G du tambour repose par derrière dans une crapaudine fixée au tuyau recourbé E, et par devant dans une boîte en fonte H solidement fixée à la niche J que porte la plaque antérieure pour recevoir le compteur de tours. La transmission du mouvement du tambour au compteur a lieu de la manière suivante. L'extrémité antérieure de l'axe du tambour porte une roue dentée qui s'engrène avec une autre roue dont l'axe aboutit, à travers un presse-étoupes, dans la niche J; l'extrémité de cet axe porte une autre roue dentée.

Sans entrer dans le détail des transmissions des roues dentées, on voit qu'elles peuvent faire connaître le nombre de tours faits par le tambour, et d'après leur nombre de dents, transformer ce nombre en mètres cubes, dizaines, centaines, mille, etc. Des aiguilles marquent sur des cadrans apparents, placés au milieu de la plaque du compteur, les quantités de gaz passées dans le compteur dans un temps donné.

Le compteur de fabrication est ordinairement, sinon toujours, muni d'un rapporteur qui sert à indiquer, en les pointant, toutes les irrégularités qui se produisent dans la fabrication du gaz à chaque heure de la journée. L'examen du rapporteur permet donc au directeur d'usine de se rendre un compte exact de la marche de la fabrication.

Le *rapporteur* (fig. 53) est construit de la manière suivante : au centre du cadran est fixée une plaque circulaire en communication avec le système des rouages dont nous venons de parler, et se mouvant dans un rapport déterminé avec la quantité de gaz qui passe par le compteur. Sur cette plaque, on fixe une feuille de papier qui porte vingt-quatre divisions pouvant elles-mêmes être subdivisées. Supposons que le compteur indique 3 000 mètres cubes en vingt-quatre heures, et que la plaque circulaire soit reliée par des roues, dans le rapport de 3 à 1, à

celle qui marque 1000 mètres cubes par révolution; il est évident que la distance parcourue en une heure par une des vingt-quatre divisions de la feuille de papier,

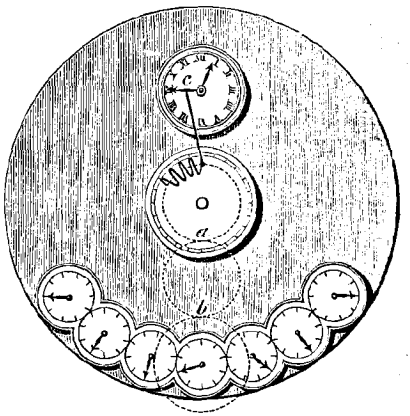


Fig. 53.

depuis un certain point déterminé, indiquera la quantité de gaz fabriquée en une heure au $\frac{3000}{24} = 125$ mètres cubes.

Au-dessus de ce disque se trouve une horloge dont l'aiguille des minutes porte un bras muni d'un crayon légèrement pressé sur le disque par un ressort. Lorsque l'aiguille des minutes tourne, le crayon tracerait pendant la première demi-heure si le papier était immobile, une ligne verticale dont la longueur serait égale au diamètre de la circonférence décrite par le point de l'aiguille auquel se trouve fixé le bras qui porte le crayon, et pendant la deuxième demi-heure, le crayon repasserait, en sens inverse, sur la même ligne. Si, au contraire, le disque divisé tourne, comme nous l'avons dit précédemment, le crayon décrira une série de lignes courbes en rencontrant à chaque heure la circonférence du cercle, et la distance entre chaque point de rencontre indiquera le nombre de mètres cubes produits pendant chaque heure. Si la production du gaz est régulière, la courbe tracée par le crayon le sera aussi; si, au contraire, il y a eu négligence, on s'en apercevra par l'irrégularité de cette courbe, qui indiquera aussi l'heure à laquelle elle s'est produite et la différence de production qui en est résultée; car si le disque se ralentit la courbe se rapproche de la ligne droite, et si sa vitesse diminue, les points d'intersection avec la circonférence s'éloignent les uns des autres.

La figure fera bien comprendre la disposition du rapporteur : *a* est le papier divisé sur lequel le crayon trace la courbe; *b* est le système de rouages qui se relie à la roue des dixaines de mille; les cadrans donnant successivement, à partir du dernier de droite, les unités, dixaines, centaines, mille, etc., etc.; indique l'horloge et le point auquel est attaché le bras qui porte le crayon. Lowe, ingénieur anglais, est l'inventeur de cet ingénieux appareil.

Pour que les indications du compteur soient aussi exactes que possible, il est nécessaire que le niveau d'eau soit constant. A cet effet, on fait arriver dans l'intérieur de la boîte en fonte un tout petit filet d'eau, mais continu. Et, comme conséquence, on adapte sur la plaque postérieure un tube de trop-plein en siphon ayant une garde suffisante, dont l'extrémité est placée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

juste à la hauteur qu'on obtient en ajoutant au niveau normal la hauteur correspondante à la pression du gazomètre. Nous préférons le tuyau-siphon au système de boîte qu'on visse quelquefois derrière le compteur; celle-ci est plus sujette à être obstruée par la naphtaline.

Le compteur est muni sur sa face antérieure de deux tubes manométriques communiquant par le bas avec l'eau du compteur, et par le haut avec le gaz. Savoir : pour le premier, à son entrée dans le compteur; pour le deuxième, à sa sortie, de sorte que la différence de niveaux indique la pression prise par le compteur, qui ne doit pas dépasser 2 centimètres.

On peut vider l'eau du compteur par le robinet placé à la partie inférieure de la plaque de devant.

On comprend que l'exactitude d'un compteur dépend essentiellement de la connaissance exacte du volume du tambour.

Les tuyaux d'entrée et de sortie du compteur doivent être munis chacun d'une valve pour qu'on puisse à volonté isoler l'appareil de circulation du gaz, et être reliés entre eux avant le compteur par un tuyau de communication portant aussi une valve constituant ce qu'on appelle assez ordinairement un *by-passe*. Cette troisième valve est ouverte lorsque les deux autres sont fermées pour isoler le compteur, et elle est fermée lorsque les deux autres sont ouvertes, c'est-à-dire lorsque le compteur fonctionne.

Une disposition semblable doit être prise pour le régulateur, dont nous avons parlé tout à l'heure, et en général pour les principaux appareils, de sorte qu'on ne soit pas obligé d'arrêter la fabrication du gaz quand une obstruction ou un obstacle quelconque se présente au passage du gaz dans les appareils en question.

Gazomètre. Le gaz, une fois qu'il a traversé le compteur, va se rendre dans les récipients destinés à l'emmagasiner pour être ensuite dépensé suivant les besoins de la consommation.

Un gazomètre se compose de la cuve ou citerne contenant de l'eau, et de la cloche qui plonge dans ladite cuve, et qui s'élève ou descend suivant qu'elle emmagasine ou dépense du gaz.

Parlons d'abord des cuves. Elles peuvent être construites soit en bois, soit en métal, fonte ou tôle, soit en maçonnerie.

Les cuves en bois ont été jadis employées quelquefois; on y a renoncé aujourd'hui, non pas que le bois suffisamment épais ne présente pas de solidité, mais les cercles de fer reliant et entourant les madriers dont la cuve se compose sont sujets à de promptes détériorations, et lorsqu'un d'eux, ou plusieurs à plus forte raison, viennent à éclater, la cuve est exposée à s'effondrer.

Les cuves en fonte ou en tôle sont employées lorsque les gazomètres doivent indispensablement être construits dans de très-mauvais terrains. Les épaisseurs de la fonte ou de la tôle dépendent nécessairement du diamètre et de la hauteur de la cuve. Lorsqu'il s'agit de fonte, la cuve se compose de panneaux à nervures assemblés par des boulons. Il est très-utile que les cuves aient au moins deux ceintures en fer.

Généralement, lorsque les cuves sont d'un assez grand diamètre, on les établit sur une couche de béton.

Quelques-unes des cuves en fonte que nous connaissons, celles de l'usine de Versailles et de l'usine de la Bastide, à Bordeaux, sont entourées, l'une de terre, l'autre de maçonnerie. Ces enveloppes ont pour but : premièrement de consolider les cuves, et il est important qu'il y ait étanchéité, surtout lorsque l'enveloppe est en terre; secondement d'abriter l'eau qu'elles contiennent contre le froid; par un hiver rigoureux, cette eau pourrait geler avec une intensité compromettante pour les besoins du service et pour la solidité des cuves.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

La tôle a été jusqu'ici très-peu employée; mais nous avons la conviction qu'une cuve en forte tôle, dont les parois extérieures, y compris, bien entendu, celles du fond, convenablement nettes et décapées, seraient recouvertes d'un bon enduit préservateur de l'oxydation, présenterait toutes les conditions de solidité et de durée, pourvu qu'elle fût entourée comme l'est une cuve en fonte.

Les cuves en maçonnerie sont le plus souvent adoptées. Leur construction exige les plus grands soins et la plus grande surveillance. Il ne suffit pas que l'ingénieur chargé de l'établissement d'une de ces cuves ait dressé ses plans, ait indiqué les épaisseurs, la qualité des matériaux, la composition du béton, il faut qu'il suive lui-même ou fasse suivre le travail par un homme soigneux et vétilleux, pour ainsi dire, de manière que l'entrepreneur remplisse exactement les prescriptions qui lui ont été données.

Nous ne pouvons, on le comprendra, entrer dans des détails de construction de cuves. Les dimensions à donner, la nature et le prix des matériaux qu'on a à sa disposition, et surtout la nature du terrain sur lequel une cuve doit être construite peuvent seules fixer les éléments de la construction ; tenons-nous à quelques généralités.

Une cuve se compose essentiellement du fond ou radier et des murs formant l'enveloppe cylindrique. Le radier doit avoir pour diamètre celui extérieur de la cuve, de sorte qu'il ne fasse avec les murs qu'un seul bloc. Suivant la nature du terrain, le radier sera fait en béton (on fabrique du béton dans tous les pays) ou en maçonnerie ordinaire : meulières, briques et même moellons durs, mais toujours avec mortier hydraulique. Si le terrain est aquifère, il faut épuiser l'eau complétement, et cela est toujours possible avec un nombre suffisant de pompes d'épuisement. On recouvre, sauf quand on a employé la brique, le massif du radier d'un carrelage bien cimenté.

On a soin, quand le terrain n'est pas très-bon, de creuser la citerne avec des talus pour éviter l'éboulement des côtés.

Le pourtour se fait en maçonnerie, comme nous l'avons dit pour le radier. Il est indispensable, pour éviter les tassements inégaux, d'élever les murs partout à la même hauteur à la fois. L'épaisseur des murs dépend aussi des dimensions du gazomètre et de la nature du terrain; généralement, on lui donne des épaisseurs diminuant avec l'élévation. Dans un mauvais terrain, les murs doivent être aussi épais que si la cuve était isolée au-dessus du sol.

Le radier et les murs doivent être revêtus d'un enduit en ciment de très-bonne qualité; la réussite de cet enduit est d'une grande importance.

Pour asseoir les piliers ou colonnes sur lesquels seront adaptés les guides de la cloche, on établit symétriquement, en même temps que la cuve, bien entendu, le nombre de contreforts nécessaires.

La margelle de la cuve doit être faite de telle manière que l'eau ne puisse pas s'infiltrer dans la maçonnerie ; on la recouvre quelquefois de pierres plates.

A moins que la maçonnerie de la cuve ait pu être bloquée contre les parois de la fouille, ce qu'on doit faire quand la nature du terrain le permet, on laisse tout autour un vide formant une couronne circulaire qu'on remplit de terre qu'on pilonne soigneusement par couches, en l'arrosant. On n'emploie pour cela de la glaise qu'à la condition d'en avoir extrait dans la fouille, ce qui est une exception ; même observation pour le dessous du radier. Les prescriptions données jadis à cet égard sont tombées avec raison, suivant nous, en désuétude ; on construit aujourd'hui des cuves de très-grands gazomètres parfaitement étanches. Les cuves en maçonnerie sont assez souvent établies en contre-bas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

du sol, quelquefois cependant elles ne sont enterrées que partiellement suivant la nature du terrain. Il est assez rare qu'elles reposent sur le sol lui-même.

Parlons maintenant des cloches qui, comme les cuves, sont toujours cylindriques. Cette forme a été adoptée parce qu'à surface égale le cylindre occupe le plus grand volume (la sphère exceptée), et qu'à épaisseur égale l'enveloppe présente plus de résistance.

Les épaisseurs des tôles employées varient suivant les dimensions du gazomètre et suivant la place qu'elles occupent dans la cloche. Aussi les tôles du premier et du dernier rang dans la virole du manchon sont très-généralement plus épaisses que celles des rangs intermédiaires. Les tôles de la calotte, qui doivent rayonner vers le centre, sont plus épaisses que celles de la virole, et le premier rang de la calotte, celui qui vient se river à la cornière reliant les deux parties de la cloche, a plus d'épaisseur que les rangs plus rapprochés du centre.

Nous ne conseillerons pas de construire une cloche de dimensions même restreintes (15 mètres de diamètre par exemple) avec des tôles n'ayant pas au moins, pour les plus faibles, 2mm 1/2 d'épaisseur. Généralement le rang du bas est garni d'une cornière, quelquefois d'un fer à T, pour que la cloche, quand elle descend au fond de la cuve, ait une base convenable.

On place assez souvent une cornière au milieu de la hauteur de la cloche, quand cette hauteur est assez grande pour donner du raide, comme on dit vulgairement. Quelquefois aussi, dans les cloches de grandes dimensions, on rive dans l'intérieur un certain nombre de barres de fer plat ayant une inclinaison très-prononcée et allant d'une cornière à l'autre, toujours pour éviter que la cloche ne se gondole et ne se déforme.

Les feuilles de tôle ne doivent pas avoir plus de 1 mètre de hauteur; quant à leur largeur, elle dépend du diamètre du gazomètre. Quand ce diamètre est de 15 à 20 mètres, la largeur ne doit pas dépasser 1 mètre, pour que la virole soit bien cylindrique.

Pour éviter le plus possible l'oxydation des tôles, il est nécessaire qu'elles soient peintes à la surface extérieure aussitôt qu'elles ont été préparées. La peinture étant sèche, on peut procéder à l'assemblage, qui se fait, comme tout le monde sait, au moyen de rivets à tête ronde qu'on a fait couper préalablement, qu'on pose à chaud et qu'on rive ensuite. Le diamètre des rivets augmente avec l'épaisseur de la tôle; il en est de même de la distance entre ces rivets. Pour des tôles de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, on adopte généralement des rivets de 9 millimètres d'épaisseur, et on laisse entre eux une distance de 24 millimètres d'axe en axe. Pour des tôles plus épaisses, qui sont de 3 millimètres environ pour des cloches de 30 à 40 mètres, les diamètres des rivets n'ont plus trois fois, mais seulement deux fois et demie environ l'épaisseur de la tôle.

Les feuilles de tôle ont nécessairement un certain recouvrement; pour que la peinture en minium dont on enduit la surface extérieure, et les couches de goudron qu'on donne plus tard, servent à boucher les fuites qui peuvent se présenter aux coutures, il est bon que les recouvrements se fassent de bas en haut; en vue d'éviter les fuites aux coutures, on met quelquefois dans les pinces des tôles des passements et même des feuilles très-minces de caoutchouc.

La cornière de la calotte doit former par ses deux côtés un angle plus ou moins obtus suivant la flèche, qui elle-même augmente avec le diamètre de la cloche. Pour une cloche de 15 mètres de diamètre, la flèche est de 0m,30, et, dans ce cas, l'angle de la cornière peut être presque droit.

Jadis on garnissait l'intérieur de la cloche, à sa partie supérieure, d'une armature en fer; la disposition de ces armatures ressemblait assez à la carcasse d'un parapluie sans le manche.

On a, généralement en France, renoncé aux armatures en donnant plus d'épaisseur aux tôles, et spécialement à celles de la calotte, que les armatures avaient pour but de maintenir à peu près dans sa convexité, avant qu'on ne remplît la cloche de gaz ou lorsqu'on était obligé de la vider. On supplée aujourd'hui à ces armatures en établissant dans la cuve plusieurs piliers en maçonnerie, dont un au centre, de la même hauteur que la cloche, sur lesquels repose la calotte, le cas échéant. Quelquefois on réunit la partie supérieure des piliers par des traverses dont l'ensemble forme une manière de couronne en charpente.

Les ingénieurs anglais n'ont pas encore renoncé au système des armatures, qui, lorsqu'il n'a pas été combiné mathématiquement, pour ainsi dire, présente de graves inconvénients, car plusieurs fois des armatures se sont brisées, lorsque la cloche se remplissait de gaz, par suite de tensions mal calculées. Tout autour de la cuve, et sur les contreforts dont nous avons parlé tout à l'heure, on établit des piliers ou colonnes qui supportent les guides de la cloche. Généralement le nombre des colonnes est le tiers du diamètre de la cuve exprimé en mètres; ainsi on en établit 7 pour une cuve de 21 mètres de diamètre. Des ingénieurs trouvent cette proportion trop forte et se contentent du quart. Dans tous les cas, on adopte un nombre impair.

Ces colonnes, un peu plus hautes que la cloche, au bout de sa course et pleine de gaz, sont soit en maçonnerie, pierres ou briques, soit en fonte, pleine ou creuse, soit en tôle, suivant le prix des matériaux ou les préférences des ingénieurs.

Si elles sont en pierres de taille superposées, il ne suffit point de les relier par une couche de bon mortier interposé; il est nécessaire qu'une tige de fer, bien scellée sur la muraille de la cuve, fasse pour ces pierres l'effet d'une broche.

Ces colonnes doivent supporter les guides, qui sont en fer ou en fonte.

Les colonnes en fonte pleine ont généralement, surtout lorsque la cloche n'est pas bien grande, dans toute leur hauteur des saillies venues de fonte. Pour les colonnes de maçonnerie, les guides y sont fixés par de forts scellements, et quand il s'agit de colonnes creuses en tôle ou en fonte, les tiges de fer faisant fonction de scellement traversent les colonnes et sont fixées par des boulons.

Les guides ne sont autre chose que des barres de fer dont la partie inférieure est scellée d'ailleurs dans la maçonnerie de la cuve; elles sont rondes ou prismatiques ou rectangulaires; sur celles-ci viennent rouler des poulies à gorge dont les chapes sont, au moyen de plaques de fonte ou de fer, reliées par des boulons à la partie supérieure de la cloche. Quelquefois ces plaques font entre elles un angle correspondant à celui de la cornière sur laquelle elles viennent s'appliquer. D'autres fois la chape ne porte qu'une seule plaque ou patin, plaque qu'on boulonne sur le haut de la virole de la cloche. Quel que soit le mode adopté, il est bon, pour ne pas fatiguer la tôle de la cloche, de placer à l'intérieur des contre-plaques qui sont nécessairement traversées par les boulons. Quelquefois les guides ne sont autre chose que de vieux rails de chemins de fer.

On a proposé de remplacer le guide en saillie par un guide en fer en U dans la rigole duquel glisserait un galet en fonte, une poulie sans gorge, si nous pouvons nous exprimer ainsi.

On a renoncé à un système de guidage primitivement proposé et très-simple. Il consistait à fixer extérieurement en haut et en bas du gazomètre, sur les cornières, des anneaux en fer engagés dans des barres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de fer rondes placées verticalement dans l'espace annulaire compris entre les parois intérieures de la cuve et le gazomètre, et maintenues au-dessus des colonnes.

Le meilleur système, suivant nous, généralement adopté aujourd'hui, est celui des galets tangentiels, inventé, si nous ne faisons erreur, par M. Servier, ancien ingénieur à la Compagnie Parisienne du gaz. Ces galets ont des axes perpendiculaires à la cloche ; ils ont le même diamètre et agissent toujours perpendiculairement à ce diamètre et sans exercer sur la cloche une pression qui tende à la déformer. Pour chaque guide, il y a un système de deux galets (cylindriques et sans gorge) en haut et en bas de la cloche ; l'un des galets d'un système est situé d'un côté du guide, et l'autre se trouve de l'autre côté, comme les deux rouleaux d'un laminoir ; ils sont donc séparés par la saillie qui porte le guide et qui sert de double rail. « Il est, dit l'inventeur, impossible, lorsque ce système est bien appliqué, que les galets dévient et quittent le guide. »

Dans l'application de ce système, le guide peut être en fer à T ou se composer de deux barres ou bandes de fer de 0,15 à 0,30 de largeur, reliées parallèlement à 0,20 d'écartement, de manière à former un système rigide.

Ainsi que nous venons de l'indiquer, outre les guides placés au-dessus de la cuve, il doit y avoir un nombre égal de guides dans la cuve ; ils peuvent former le prolongement des guides extérieurs ; mais on admet comme plus convenable de placer un guide intérieur entre les prolongements supposés de deux guides extérieurs, de les intercaler de manière à rendre encore la cloche plus stable. Les galets du bas sont fixés à la cornière inférieure, et les guides eux-mêmes sont fixés dans la maçonnerie au moyen de scellements.

Il doit y avoir une relation à peu près constante entre le diamètre et la hauteur d'une cloche de gazomètre au point de vue de la solidité ; on admet que pour les petits gazomètres la hauteur doit être la moitié du diamètre augmentée de 30 à 60 centimètres ; mais on ne donne pas ordinairement cette hauteur relative aux cloches des grands gazomètres ; nous ne connaissons pas de cloches ayant plus de 10 mètres de hauteur

Il existe plusieurs dispositions pour les tuyaux d'entrée et de sortie du gaz dans les gazomètres.

Le plus souvent, jusque dans ces dernières années, on a construit contre la paroi extérieure de la cuve un puits un peu plus profond que la cuve elle-même auquel on donne un diamètre de 2 mètres environ dans lequel se trouvent les tuyaux d'entrée et de sortie ; ces tuyaux peuvent, par une ouverture pratiquée au bas de la paroi de la cuve au niveau du radier, pénétrer dans l'intérieur et s'élever jusqu'au-dessus du niveau d'eau, en émergeant ainsi dans la cloche sans aucune autre disposition, s'il ne se produisait pas des condensations qui doivent nécessairement trouver un écoulement. Quelquefois en donnant une légère pente aux parties des tuyaux A et B qui pénètrent dans la cuve, on établit aux points les plus bas des deux tuyaux, dans le puits, des siphons qui déversent les condensations dans une cuvette ou réservoir, d'où on les extrait au moyen d'une pompe qui les amène au-dessus de la surface du sol. Cette disposition est représentée fig. 54 qui donne une coupe d'une cuve de gazomètre et d'un puisard ; un seul tuyau AAA, celui d'entrée, y est figuré.

Quelquefois les tuyaux d'arrivée et de sortie sont boulonnés chacun sur le couvercle d'une caisse en fonte ou bien sont adaptés dans des tubulures que porte ce couvercle ; des tubulures latérales portent les tuyaux qui arrivent dans la cuve.

Nous avons vu une disposition qui nous paraît plus avantageuse et mieux raisonnée. Une bâche en fonte assez longue traverse le mur de la citerne, toujours au niveau du radier, de chaque côté du mur dépasse une partie de la bâche munie sur son couvercle de deux tubulures ; les deux tubulures de la partie extérieure re-

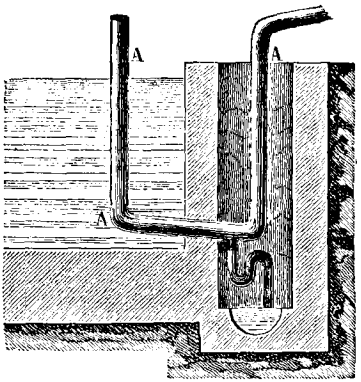


Fig. 54.

çoivent les tuyaux d'arrivée et de sortie du gaz ; les deux tubulures de la partie intérieure reçoivent les deux tuyaux pénétrant dans le gazomètre. Les condensations sont extraites de la cuve, comme à l'ordinaire. Comme les tuyaux d'arrivée et de sortie sont généralement munis de vannes, le gaz est obligé, quand la vanne de sortie est fermée, de se rendre dans le gazomètre. On pourrait, en adoptant cette disposition, séparer le tuyau d'entrée du tuyau de sortie en divisant la boîte en deux parties par une cloison longitudinale n'arrivant pas au fond ; mais la première disposition qui présente une imperfection apparente, est en réalité un avantage, car, en supposant obstrué en tout ou partie par un dépôt de naphtaline le tuyau d'entrée dans le gazomètre, le gaz se rendrait dans le gazomètre par le tuyau servant à la sortie. Et quand cette disposition n'existe pas, on agit sagement en réunissant par un tuyau muni d'une valve, qu'on ouvre en cas de besoin, les tuyaux d'arrivée et de départ, soit dans le puits sec, soit avant.

Pour les cuves creusées dans le sol à une certaine profondeur, les couches inférieures de l'eau conservent souvent la température de 4°, de sorte que le gaz, en pénétrant dans le tuyau d'entrée, se trouve soumis, la plupart du temps, à un brusque refroidissement qui donne quelquefois lieu à un dépôt de naphtaline. Pour se débarrasser de cette naphtaline, on fait arriver dans le tuyau d'entrée du gaz un jet de la vapeur qui chasse la naphtaline dans la cloche. Seulement les vibrations auxquelles peut donner lieu la condensation de la vapeur sont susceptibles d'ébranler les joints du tuyau d'entrée du gazomètre et d'amener des fuites ayant pour effet de vider tout ou partie de l'eau de la cuve qui se rendrait dans les tuyaux d'entrée ou de sortie. Aussi doit-on avoir pour les tuyaux de l'intérieur du gazomètre des joints à brides, et maintenir les tuyaux avec des supports en fer ; on peut même les entourer de maçonnerie.

Le système général des conduites souterraines, pour l'entrée et la sortie du gaz, présente, on le voit, des inconvénients, sans parler des difficultés d'exécution. Pauwels a imaginé, il y a quarante ans environ, un système très-ingénieux qui commence, un peu tardivement comme beaucoup d'améliorations, à être généralement employé, et que nous ne saurions trop recommander.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 55 représente un grand gazomètre auquel ce système est appliqué, ayant deux tuyaux d'entrée et de sortie à genouillères, et entouré de colonnes.

L'invention consiste à faire pénétrer le gaz en dessus de la cloche, sur la calotte, par une conduite rendue mobile au moyen de genouillères.

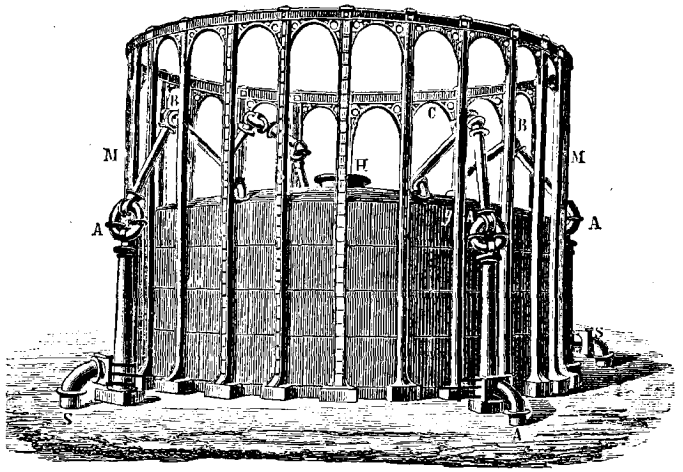


Fig. 55.

La genouillère se compose de deux parties pricipales: la première se branche au moyen de la bride B sur la conduite principale; elle a la forme d'un C dont les extrémités *b b'* sont terminées par deux brides qu'on dresse dans un même plan; l'autre partie a la forme d'un T; une bride E la réunit au tuyau qui va au gazomètre; les deux autres branches sont tournées. Chacune de ces branches est réunie à l'une des brides *b b*, *b' b'*, au moyen d'un coude F. Chaque coude est alésé intérieurement de manière à former un joint *stuffing-box*. (Fig. 56.) On garnit l'intervalle d'étoupes trempées dans du suif, que l'on presse au moyen du joint à brides *f*, en réunissant par des boulons les brides *f f'* et *g g'*.

Si une fuite se déclare, il suffit, pour y porter remède, d'enlever les boulons, de dégager les brides *f f'*, de changer les étoupes et de charger avec de nouvelles.

Les deux coudes F F' sont alésés intérieurement suivant deux diamètres; le premier, plus grand que le diamètre des branches *d* et *d'*, sert à former un vide pour les étoupes; l'autre, de même grandeur, a une profondeur qui permet à la branche *d d'* un petit jeu dans le sens de la longueur, mais tel cependant que chaque partie cylindrique ne puisse dans aucun cas quitter les étoupes.

Le gaz arrive par une colonne qui, à l'extrémité A, se relie au moyen de la genouillère que l'on vient de décrire, à une conduite mobile A B, mise elle-même en communication avec le gazomètre au moyen de la conduite mobile B C et les deux genouillères B et C.

Lorsque le gazomètre est élevé de telle manière que B C est horizontal, c'est-à-dire que la cloche est à la moitié de sa course, *p* représentant le poids de l'une des branches, le système total pèsera sur la cloche avec le poids $\frac{p}{2}$; à la fin de la course, le poids sur la cloche sera $\frac{3}{2}p$, et de *p* lorsque la cloche sera dans une position intermédiaire à celles que nous venons d'indiquer, poids dont ce système charge le gazomètre augmente proportionnellement à la descente parcourue, compensant ainsi en partie la déperdition de pression qui augmente avec la partie cylindrique du gazomètre plongeant dans l'eau.

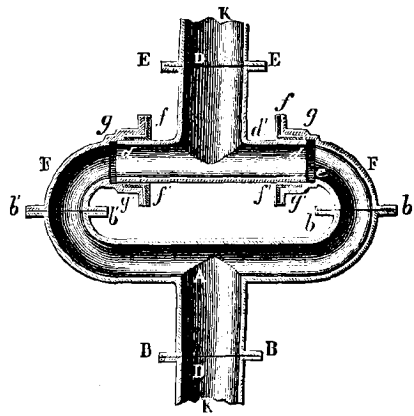


Fig. 56.

On place deux systèmes semblables, un pour l'entrée du gaz, l'autre pour la sortie; ils sont sur le même diamètre et opposés l'un à l'autre, afin de répartir également leurs poids sur la calotte.

Gazomètres télescopiques. Lorsque le terrain d'une usine à gaz est limité ou que le terrain est mauvais, on construit des gazomètres en deux ou plusieurs parties, le plus souvent deux parties, qui rentrent l'une dans l'autre, comme les tuyaux d'une lunette qu'on nomme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gazomètres télescopiques. Cette disposition permet d'emmagasiner une quantité de gaz beaucoup plus grande sur la même surface de terrain avec une profondeur de citerne moins considérable. On économise ainsi la dépense complète d'une citerne, des tuyaux d'arrivée et de sortie du gaz avec leurs accessoires, etc.; malheureusement on ne peut guère adapter à ce genre de gazomètres le système à articulations de Pauwels.

Un gazomètre télescopique se compose d'une cloche ordinaire, dont le rebord du bas se redresse extérieurement de 0,30 pour former une gorge ou rigole d'une largeur de 0,10 à 0,20. Cette cloche est enveloppée dans la cuve d'un cylindre en tôle, d'une deuxième cloche sans calotte, qu'on nomme assez souvent robe, d'un diamètre plus grand, de 0,20 à 0,30 environ, et d'une hauteur telle qu'elle plonge entièrement dans l'eau. L'extrémité supérieure de cette deuxième cloche est garnie intérieurement d'une rigole analogue, mais inverse, à celle de la cloche intérieure.

Lorsque la cloche intérieure s'élève par l'action du gaz, et est sur le point d'atteindre l'extrémité de sa course, sa gorge vient s'engager dans la gorge de la robe extérieure (elle l'agrafe, comme on dit) qui ne tarde pas à être enlevée elle-même; l'eau qui reste logée dans la rigole du bas constitue une garde hydraulique. Les deux cloches, quand elles sont pleines de gaz, n'en forment plus qu'une seule; aussi, quand le gaz s'écoule, c'est la robe extérieure qui descend la première, et lorsqu'elle plonge entièrement dans l'eau, les rigoles se désagrafent et la cloche continue à descendre.

La cloche et la robe sont maintenues à des écartements constants au moyen de galets. La figure 57 in-

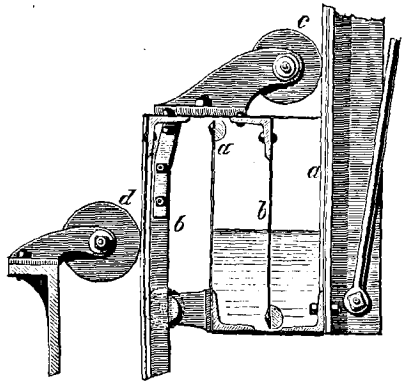


Fig. 57.

dique l'action du joint hydraulique; *a a* représente la gorge de la partie supérieure de la cloche, et *b b* la gorge renversée de la partie inférieure plongeant dans l'eau contenue en *a*. Le galet qui guide la partie supérieure dans son ascension et sa descente est indiqué en *c*, et *d* est le galet fixé à la cuve pour guider le cylindre extérieur; enfin en bas de *a* est un galet qui guide le bas de la cloche intérieure; il s'appuie contre la paroi intérieure de la robe.

Les cloches télescopiques, quand les enveloppes ne sont pas équilibrées par des contre-poids, occasionnent des changements assez brusques de pression, lorsque le poids des enveloppes et celui de l'eau des rigoles viennent s'ajouter à celui de la cloche centrale. L'effet inverse se produit quand la cloche abandonne la robe. Seulement, comme les usines à gaz ont toutes aujourd'hui des régulateurs de pression, les changements ne se font pas sentir dans l'éclairage.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Dans son traité de l'éclairage au gaz, traduit en français par M. Servier, Clegg dit que M. Pigott a imaginé un perfectionnement dans la construction des gazomètres télescopiques par lequel les différentes parties s'assemblent et s'accrochent, en sortant de la citerne, et se détachent en descendant. Cette disposition a pour but de remédier à l'inconvénient qu'on reproche souvent aux gazomètres télescopiques de donner un excès brusque de pression lorsque la partie inférieure est soulevée seulement par la cloche supérieure. Cette inégalité peut être diminuée par l'emploi d'un contre-poids; mais on ne peut rendre la pression uniforme sans courir le danger d'équilibrer la portion inférieure de la cloche, et de faire descendre la cloche supérieure dans la citerne avant l'autre, auquel cas le joint hydraulique n'existant plus, le gaz s'échapperait. L'invention de M. Pigott obvie à la fois aux inconvénients de la variation de la pression et au danger de la séparation des deux cloches. M. Pigott fixe au cylindre extérieur des pènes à ressort, qui sont mis en action par des plans inclinés fixés sur la cloche intérieure. Lorsque celle-ci s'élève, et lorsqu'elle est arrivée à l'extrémité de sa course, les deux parties se trouvent solidement fixées l'une à l'autre. Lorsque la cloche descend, les pènes se desserrent et la cloche intérieure se trouve libre avant que le cylindre extérieur n'atteigne le fond de la citerne.

Des gazomètres télescopiques en trois parties ont été construits et ont bien fonctionné à Worcester et dans plusieurs usines d'Angleterre; un gazomètre a été établi assez récemment à l'usine d'Amiens, appartenant à la compagnie européenne; mais comme ils demandent dans l'ajustement des guides des soins plus grands que les gazomètres ordinaires, on ne les adopte guère que dans des circonstances extraordinaires.

La pression donnée par un gazomètre dépend de sa surface et du poids de la cloche; on trouve cette pression, ou la hauteur d'eau suffisante pour soulever un gazomètre au moyen de la formule $h = \frac{p}{a}$; p est le poids du gazomètre en kilogrammes, et a la surface horizontale exprimée en mètres carrés; mais comme la pression s'exprime en millimètres, on a $h = \frac{p}{1000a}$ ou bien r étant le rayon de la cloche $h = \frac{p}{1000\pi r^2}$.

On peut, au moyen de cette formule, trouver le poids d'un gazomètre en connaissant la pression qu'il exerce ainsi, on a : $p = 1000\pi r^2 h$.

Dans cette formule on a fait abstraction de la diminution du poids provenant de la partie de la cloche plongée dans l'eau, et on a négligé l'influence de la différence entre la densité du gaz et celle de l'air.

Il est aujourd'hui peu d'usines d'une certaine importance ne possédant pas plus d'un gazomètre. Au point de vue d'un bon service et de l'économie de la fabrication, il est nécessaire que la capacité totale des gazomètres représente, à une fraction près, la dépense qui doit être faite dans les plus longues soirées d'hiver. Ainsi, en supposant que l'usine doive livrer en huit heures 20 000 mètres cubes de gaz, il est nécessaire que le volume total du gaz emmagasiné, au moment de la mise en charge, soit de 15 000 mètres. Les 5 000 mètres excédants seront fournis par la fabrication pendant les huit heures, c'est-à-dire par la distillation de deux charges dans chaque four. Ce rapport de 1/4 paraîtra peut-être un peu faible, et on adopte quelquefois celui de 2/5; mais la prudence exige qu'il en soit ainsi. Du reste ce rapport dépend du nombre d'heures pendant lequel doit être faite la plus grande partie de la dépense. Il est des villes de fabrique où toute la consommation des établissements industriels se fait en quatre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

ou cinq heures. Il n'y a donc pas de règle bien générale à poser à ce sujet.

Dans les premiers temps de l'éclairage au gaz, les cloches étant d'un petit diamètre donnaient trop de pression. Pour éviter cet inconvénient, on les faisait à contre-poids, et la suspension dispensait alors souvent de les guider. Aujourd'hui, cette disposition n'est plus nécessaire que pour des gazomètres établis chez des particuliers. Pour que la suspension soit établie dans les meilleures conditions, il faut que les chaînes destinées à soulever la cloche agissent sur un certain nombre de points symétriques de la calotte, qui sont garnis à cet effet de forts crochets; trois ou quatre points suffisent. Les chaînes viennent se réunir à un anneau central d'où part une chaîne unique qui passe sur deux poulies dont les axes sont horizontaux et porte à son extrémité un contre-poids. La figure 58 donne une

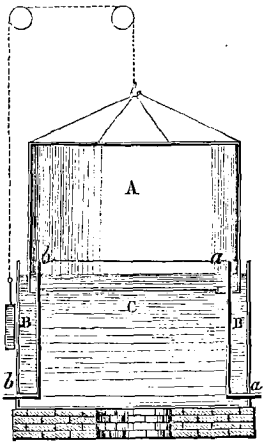


Fig. 58.

idée suffisante de cette disposition. Le poids du gazomètre, à un point quelconque de sa marche, est évidemment alourdi de toute la partie de chaîne qui se trouve de son côté par rapport aux poulies, et il est, au contraire, allégé de toute la partie qui se trouve de l'autre côté. S'il s'élève d'un mètre, il sera allégé d'un poids égal à la somme des poids de 2 mètres de la longueur de chaque chaîne; mais il sera alourdi d'une fraction du poids de la partie de la cloche qui sera sortie de l'eau. En réalité, pour que l'équilibre dans toutes les positions existe, il faut et il suffit que le poids de deux mètres de longueur de chaîne soit égal au poids du volume d'eau déplacé par un mètre de hauteur de la cloche. L'équilibre étant établi, on donne la pression qu'on désire et qui demeure ainsi constante.

Émission du gaz. — Le gaz étant accumulé dans les cloches des gazomètres, il s'agit maintenant de le faire arriver aux lieux de consommation de la ville que l'usine a pour mission d'éclairer, et cela en plus ou moins grande quantité, suivant les besoins; de donner la pression suffisante, suivant l'expression consacrée.

Pour la facilité du service, il est très-avantageux de réunir dans une même pièce, dans une même salle, les communications entre le tuyau de fabrication et les tuyaux d'entrée dans les divers gazomètres, comme aussi les communications des tuyaux de sortie desdits gazomètres avec les diverses conduites; car assez généralement on adapte à la sortie de l'usine, lorsqu'elle a une certaine importance, plusieurs conduites indépendantes l'une de l'autre, et qui peuvent être tout à fait spéciales ou se relier entre elles à une distance de l'usine plus ou moins grande. Ainsi le tuyau de fabrication vient s'adapter à une espèce de barillet duquel partent autant de tuyaux qu'il y a de gazomètres, et chacun de ces tuyaux est muni nécessairement d'une vanne qui ouvre ou intercepte la communication avec le gazomètre. Réciproquement, un autre barillet reçoit les tuyaux des divers gazomètres et sur lui sont branchés autant de tuyaux qu'il y a de conduites différentes, et chacun de ces tuyaux est aussi muni d'une vanne.

Cette disposition excellente n'est cependant pas adoptée partout.

Lorsqu'une usine n'a que trois gazomètres, on peut adopter la disposition suivante (fig. 59) : A étant le

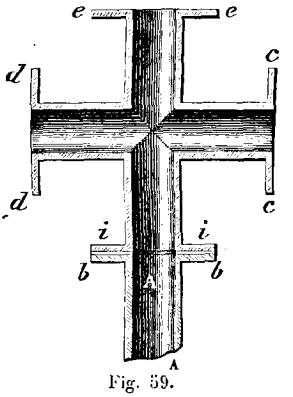


Fig. 59.

tuyau de fabrication, à la bride *bb* dont il est muni à un certain point, on fixe une croix à quatre branches égales munies chacune de brides; contre les brides *cc*, *dd*, *ee*, on place des valves, et aux brides extérieures de ces valves s'adaptent des tuyaux se rendant à chacun des trois gazomètres.

On a une disposition semblable pour les sorties, le tuyau d'émission remplaçant le tuyau A, et comme ces deux croix peuvent être assez rapprochées, on peut les renfermer dans un même citerneau avec un pavillon qui l'abrite, et avoir ainsi toute la manœuvre sous la main.

Très-généralement, et avec raison, on interpose, entre les valves de sortie et les conduites, des régulateurs dits d'émission, dont la disposition est tout à fait la même que celle des régulateurs d'extraction dont nous avons donné déjà la description.

Le but de ces régulateurs est d'avoir dans l'éclairage le plus de régularité possible, de manière que les flammes des becs, soit des rues, soit des habitations, ne soient pas sujettes à des alternatives très-désagréables. On comprend, en effet, que le gaz remplissant les conduites à une pression donnée, si on ouvre dans un certain rayon en même temps un assez grand nombre de becs, les flammes des becs déjà allumés baisseront sensiblement; ce sera le contraire lors de l'extinction, de sorte que les consommateurs seront obligés dans le premier cas de donner plus d'ouverture aux robinets des becs, et de la diminuer dans l'autre cas.

Le régulateur remédie à ces inconvénients : pour le premier cas, la pression diminuant dans la conduite tend à diminuer dans la cloche qui baisse, alors le cône descend et le passage du gaz est augmenté. C'est le contraire dans le deuxième cas.

On place sur la cloche du régulateur, ou on enlève des poids correspondant à l'émission qu'on veut obtenir.

Pour qu'un régulateur ait beaucoup de sensibilité, il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faut que le cône réglant l'émission ait une longueur suffisante. Il est nécessaire aussi que la cloche ait un certain volume: plus le volume est grand et plus le jeu de l'appareil est régulier, mais en réalité la dimension se trouve limitée par l'emplacement.

On a apporté à la disposition du régulateur, dont nous venons de parler, successivement plusieurs modifications. Le balancier est supprimé, et le contre-poids est attaché à la cloche elle-même; il se compose d'un flotteur qui baigne dans l'eau de la cuve. Le tuyau de sortie du gaz enveloppe le tuyau d'entrée. Cette disposition nous paraît présenter moins de sensibilité que celle du régulateur à balancier garni de bons couteaux, sensibilité qu'on peut augmenter, d'ailleurs, en remplaçant les poids placés sur le plateau, et le plateau lui-même, par un réservoir dont la capacité a été calculée. On évacue l'eau que contient le régulateur, c'est-à-dire qu'on augmente la pression, au moyen d'un robinet à bec plus ou moins délié, suivant les exigences. Lorsqu'il faut diminuer la pression, on introduit de l'eau dans le réservoir, en réglant aussi son arrivée *ad libitum*; de cette manière les variations de pression ne se font sentir que progressivement.

Sur la cuve en fonte se trouvent des petites colonnes portant des guides sur lesquels roulent des galets fixés au porteur de la cloche.

La fig. 60 représente à très-peu près la disposition

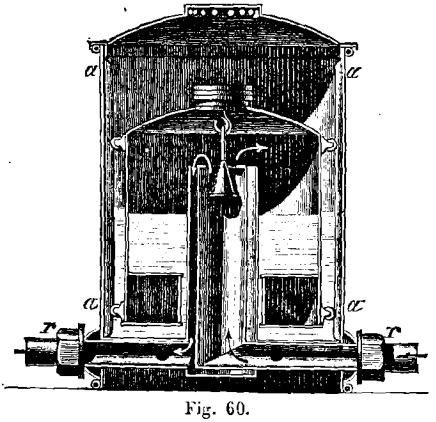


Fig. 60.

modifiée dont nous avons parlé, bien que ce modèle de régulateur s'applique spécialement à la consommation, ainsi que l'indiquent, d'une part, les raccords *rr* servant à relier les deux côtés de la canalisation intérieure et l'enveloppe *aaaa*, qui empêche le premier venu de toucher aux poids déterminant la pression à laquelle le régulateur doit fonctionner.

Un inconvénient se présentait pour les régulateurs ci-dessus décrits, surtout quand le cône n'avait pas une longueur suffisante. Lorsque l'émission était peu importante, c'est-à-dire lorsque la pression dans la canalisation était très-faible, la pression du gaz arrivant dans le régulateur et agissant directement sous la base du cône pouvait amener et amenait quelquefois la fermeture de tout passage, et ce pour un intervalle de temps assez court; mais l'effet de cette fermeture se faisait sentir, et il y avait quelquefois ainsi une série de fermetures et d'ouvertures du cône.

Les constructeurs de régulateurs ont naturellement cherché à remédier à cet inconvénient.

Voici les dispositions qui, à notre connaissance, ont été adoptées.

MM. Brunt et Cie adoptent la disposition suivante.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Le gaz arrive par le tuyau A dans la chambre C et en sort par les orifices *n n* et *i' i'* (fig. 61), que comman-

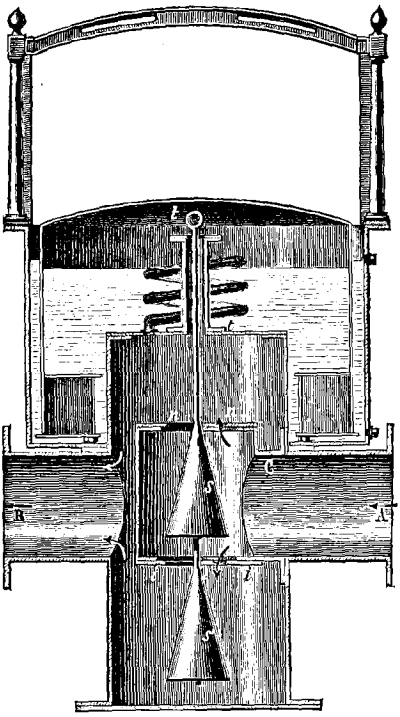


Fig. 61.

dent les cônes *s* et *s'*, sur lesquels la pression du gaz agit en sens inverse et dont l'effet nuisible se trouve ainsi annihilé. Le gaz auquel les orifices *n n* et *i' i'* ont donné passage sort par le tuyau B; il se rend aussi sous la cloche du régulateur par le tuyau *t t* pour amener les variations de position en rapport avec les pressions. Ce tuyau établit aussi une communication entre la partie supérieure de la cloche et les chambres inférieures. Cette communication s'opère aussi au moyen d'un tuyau en serpentin, dans lequel le gaz ne peut circuler que lentement à cause du frottement contre les parois.

MM. Siry, Lizars et Cie ont adopté la disposition représentée par la fig. 62. La pression du gaz arrivant par le tuyau A s'exerce sur le cône *s*, de haut en bas; mais en même temps le gaz se rend par le tuyau *t t* sous une partie de la calotte de la cloche, dont la section est égale à la base du cône *s*, et il y exerce de bas en haut une pression qui contrebalance celle de tout à l'heure. Le gaz se rend aussi sous la calotte de la cloche par les tuyaux *i' i'*, *i'' i''*, une fois qu'il est entré dans la canalisation.

M. Henri Giroud, constructeur très-ingénieux et très-persévérant de régulateurs à Paris, a proposé des modifications assez radicales au régulateur de Clegg; au reproche ancien qu'il lui fait au sujet de la pression différente, au-dessus et au-dessous du cône, il en ajoute d'autres. D'après lui, le frottement des galets contre les tiges directrices est assez considérable; le poids de l'appareil varie à cause des différences de poussées, pour ses diverses positions d'immersion; enfin la pression, qui est invariable à la sortie du régulateur, ne l'est pas dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

tout le réseau où elle varie sensiblement, spécialement suivant la distribution de l'allumage, surtout lorsque

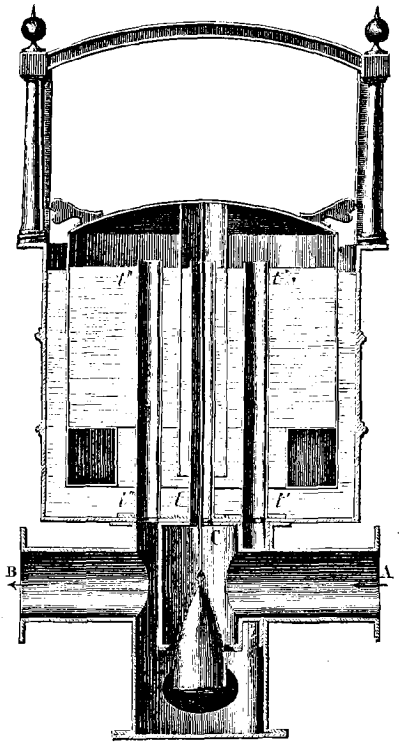


Fig. 62.

les tuyaux de conduite n'ont que les diamètres strictement nécessaires pour suffire à l'écoulement du gaz consommé, et ne peuvent constituer aucune espèce de réservoir.

M. Giroud propose alors l'emploi d'un régulateur de son invention (fig. 63), régulateur dit d'émission, dont voici la description.

Le mouvement de la soupape conique D, à laquelle nous désirerions plus de longueur, réglant le passage du gaz de la chambre d'arrivée A du gaz à la chambre S de sortie, est lié à celui d'une tige *t*, qui porte à son extrémité supérieure une cloche B, renversée dans une cuve à eau G G.

Un tuyau, nommé *tuyau de retour*, ramène directement en M le gaz du réseau, du point central de la consommation; de M le gaz passe sous la cloche B, en suivant la marche indiquée par les flèches; ce sont donc les variations de pression dans le réseau qui mettent cette cloche, et par suite le cône D, en mouvement.

Le gaz qui arrive en A exerce une pression de haut en bas sur D, mais il pénètre, comme le montrent les flèches, dans le cylindre N lié à la tige mobile, et exerce de bas en haut une pression égale sur le fond supérieur de ce cylindre, fond qu'on a pris d'une surface sensiblement égale à la surface du cône D, de sorte que le gaz d'entrée n'exerce aucune action sur le cône régulateur. Le gaz passe autour de D dans la chambre S, et pousse ce cône de bas en haut. Cette action serait perturbatrice, puisque ce n'est pas l'action du gaz du réseau, mais elle est compensée comme suit : le gaz passe par le tube H, et, en suivant les flèches, vient

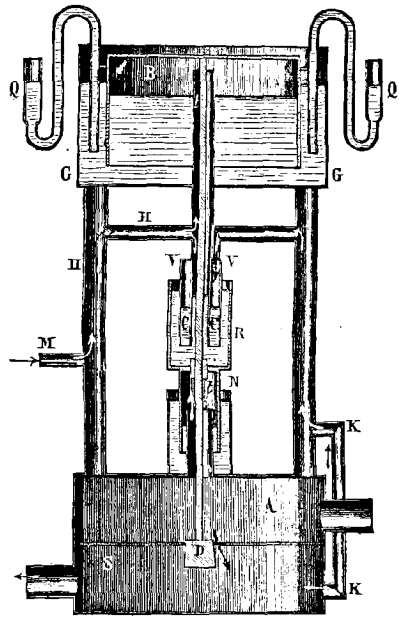


Fig. 63.

exercer son action de haut en bas sur une surface d'eau, qui est égale à la base du cône. Cette surface est comprise dans la couronne annulaire V, liée aux parties fixes, et l'eau est contenue dans le cylindre R, lié à la tige mobile *t*, de sorte que la pression exercée sur l'eau se transmet au système mobile, et compense l'action perturbatrice exercée en S sur la base du cône.

Pour annuler les changements de poussée, dus à l'immersion des diverses parties plongeantes, on attache à la cloche B deux syphons faisant communiquer l'eau de la cuve G avec les vases Q, liés au système mobile; la surface intérieure de chacun de ces vases est la moitié de la section totale des parties pleines qui plongent.

Donc, une fois les syphons amorcés, le même niveau s'établissant toujours dans les vases Q et dans la cuve G, si l'appareil s'est enfoncé, par exemple, d'une hauteur *h*, la poussée a augmenté du poids du volume de la même quantité, mais les vases se remplissant d'une hauteur d'eau *h*, venant du vase G par les syphons, le poids du système mobile a augmenté précisément du poids dont la poussée l'avait allégé. La partie de la cloche B qui plonge dans l'eau est munie d'une boîte à air qui soutient le système mobile et forme un contre-poids.

En résumé, le gaz du réseau met la cloche en mouvement : quand la pression augmente ou diminue, la cloche, c'est-à-dire le système mobile, se lève ou se baisse, ce qui fait mouvoir la soupape d'admission D, soit dans le sens de la fermeture, soit dans le sens de l'ouverture.

L'appareil qui n'est soumis à aucune action perturbatrice, à aucun changement de poids, quand il se meut, est d'une sensibilité extrême, il fonctionne sans frottement aucun. Une fois qu'il est en marche, si l'éclairage souffre sur un point du réseau, on peut être sûr, à moins d'obstructions accidentelles, que les conduites sont insuffisantes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand on veut établir dans le réseau une pression quelconque, on charge de poids convenables la cloche B.

M. Giroud admet que quand l'usine est isolée du réseau à éclairer, et à une distance de 500 à 600 mètres au plus, un tuyau de retour est nécessaire; et alors pour lui le régulateur est un régulateur d'émission.

Quand l'usine est, au contraire, au milieu du réseau à éclairer (c'est évidemment le cas le plus rare) le régulateur devient pour M. Giroud un régulateur de consommation, et il y a lieu à simplification. D'abord le tuyau de retour est supprimé, ainsi que le tube qui le conduit sous B, et également l'appareil formé par les cylindres R, V, et le tube K.

Le gaz de sortie pénètre dans *g* (fig. 64) par le

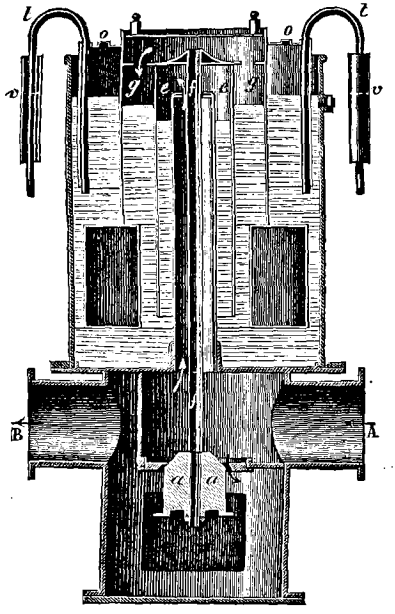


Fig. 64.

cône *aa* et la tige *f*, rendus creux; à cet effet cette tige débouche sous la cloche *g* dans un double fond percé de trous. La cloche *g* entoure concentriquement le cylindre *ee*, compensateur de la pression, et elle se lutte hydrauliquement dans le même bassin que lui. Une boîte à air, toujours immergée, équilibre le poids de l'appareil mobile.

Le gaz arrive en A, la pression exercée sur le cône se compense sur le fond supérieur de *ee*, le gaz passe ensuite autour du cône, et se rend dans le réseau en B. Si la pression diminue en B, cette diminution se transmet en *gg*, en passant par l'intérieur creux de *a* et de *f*, la cloche *g* s'abaisse, ce qui ouvre un plus grand passage au gaz; la cloche se soulève, au contraire, si la pression augmente.

Le compensateur *vv* agit comme il est dit pour le régulateur d'émission.

Remarquons que le cylindre *g* est entouré d'un autre cylindre qui communique avec l'atmosphère par deux petits orifices *o*. Cette disposition forme un frein à air, car le système mobile ne peut descendre qu'autant que l'air a vidé ou rempli l'espace que l'eau doit occuper. Elle empêche les mouvements trop brusques de l'appareil.

M. Giroud admet que lorsque l'usine est très-éloignée du réseau, il est nécessaire de placer dans un point de ce réseau, et de préférence, suivant nous, là où la pression est la plus faible, un manomètre disposé de telle façon qu'un courant électrique passant dans une sonnerie placée à l'usine soit ouvert lorsque le manomètre indique la pression à maintenir dans le réseau, et soit fermé si la pression dépasse ou n'atteint pas la pression normale. On peut disposer d'ailleurs l'appareil de manière que le courant passe dans un sens, s'il y a excès de pression, et dans l'autre s'il y a déficit. Alors on est averti à l'usine par la sonnerie de la différence de pression, et par le galvanomètre dans quel sens elle se produit. On modifie donc la pression de manière à ramener à 0 l'aiguille du manomètre.

La communication du fil électrique remplace de cette manière le tuyau de retour.

M. Giroud a proposé aussi de régler automatiquement au moyen du courant électrique ci-dessus le régulateur de l'usine; mais ce mode, quelque ingénieux qu'il soit, nous paraît trop délicat pour pouvoir être recommandé.

M. Servier a inventé aussi une disposition de régulateur permettant d'émettre le gaz, suivant les besoins de la consommation, en un point donné du périmètre.

L'appareil qu'il indique a beaucoup d'analogie avec le régulateur ordinaire, *seulement le cône, au lieu de fonctionner dans le tuyau d'entrée, fonctionne dans celui de sortie.* De plus, une autre cloche annulaire entoure la première; elle monte et descend avec elle; sous cette cloche débouche un tuyau branché, par l'autre extrémité, à l'endroit du périmètre où on veut maintenir une pression constante.

L'effet des régulateurs n'est pas instantané. Pour éviter les oscillations dans les flammes des becs dans une même salle ou dans un même établissement, il faut avoir dans la salle ou dans l'établissement un régulateur particulier qui est construit sur les mêmes principes qu'un régulateur d'usine.

Mouchard. Il est nécessaire que le directeur d'une usine à gaz puisse se rendre compte des pressions qui, à des heures déterminées, ont été données à l'usine, comme aussi de celles qui ont été obtenues sur certains points du périmètre de la canalisation.

L'indicateur de pression, vulgairement appelé mouchard, peut lui donner les renseignements désirables.

Imaginez une cuve à eau recouverte d'une cloche de 0,30 de diamètre environ, le tout dans un cylindre A (fig. 65), fermé à ses deux extrémités. Le tuyau de

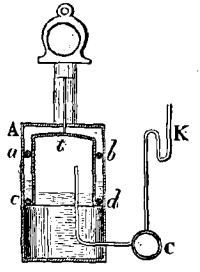


Fig. 65.

conduite principale C communique avec l'intérieur de la cloche *t*, dont le mouvement vertical est assuré par de petits galets roulants *a*, *b*, *c*, *d*. La pression qui existe dans la cloche est la même que celle du tuyau C. Cette pression variant, les positions de la cloche suivront cette variation; un manomètre K indique les pressions exactes du tuyau, et si la pression

EFERUS - Recherche & Classification numérique

varie, le petit gazomètre suivra le mouvement de l'indicateur du manomètre. Ces mouvements sont accusés par la trace d'un crayon sur un cylindre auquel un mouvement de pendule imprime un mouvement circulaire. Le cylindre (la figure 66 montre la partie supé-

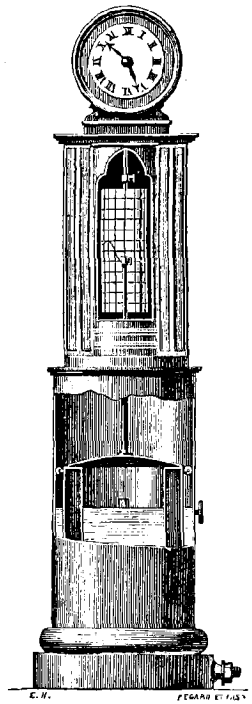


Fig. 66.

rieure de l'appareil à une plus grande échelle) fait un tour en 24 heures. Il est divisé en 24 parties égales par des lignes parallèles à la directrice du cylindre. On sait de cette manière, sans être constamment présent, si les services indiqués aux chefs ouvriers sont exécutés fidèlement, et cette certitude suffit à l'ouvrier pour qu'il exécute les ordres donnés.

Une feuille de papier est tendue sur le cylindre et porte des divisions ou lignes horizontales dont l'écartement correspond à la quantité dont s'élève ou s'abaisse la cloche pour un accroissement ou une diminution de pression de un ou deux millimètres; comme, en outre, il y a des lignes verticales correspondantes aux heures, on comprend que la ligne tracée par le crayon donnera tous les renseignements désirables.

Chaque jour on tend une feuille nouvelle sur le cylindre.

Conduites. Les canalisations en dehors des usines sont ou des tuyaux en fonte ou des tuyaux en tôle et bitume, dits tuyaux Chameroy du nom de leur inventeur. On a tout à fait renoncé aux tuyaux en bois goudronné à cause de la porosité de leurs parois, et on n'emploie plus guère aujourd'hui les tuyaux en poterie.

Ces derniers, en tant que substance, jouissent d'un avantage incontestable sur les tuyaux en métal parce qu'ils se conservent indéfiniment et sans aucune altération possible dans le sol, et que leur prix est peu élevé; mais, à côté de ces avantages, ils présentent plusieurs inconvénients. Ainsi leur petite longueur nécessite des joints plus nombreux, et ces joints sont assez difficilement obtenus étanches. Comme ces tuyaux sont à emboîtement, on les assemble en entourant d'abord la partie mâle d'un cordon de filasse suifée, puis on met un bourrelet de bonne glaise bien préparée et exempte de pierres ou graviers, et enfin, les tuyaux en place, on régularise le bourrelet de glaise et on termine le joint avec un bourrelet de ciment.

Lorsqu'on veut enlever ces tuyaux, il faut les casser en grande partie, à cause de l'adhérence du ciment, et ils n'ont plus, par conséquent, la moindre valeur.

Pour faire des prises ou branchements sur ces tuyaux, il faut les percer à la mèche, et on assujettit le branchement, dans le trou obtenu, avec un bourrelet de filasse qu'on garnit de glaise et de ciment.

Ce mode de canalisation appliqué avec beaucoup de soins et de précautions pouvait rendre quelques services, et il en a rendu, en effet, il y a environ quarante ans, alors que les tuyaux de fonte coûtaient très-cher et que les capitalistes ne s'engageaient qu'avec beaucoup de réserve dans l'industrie du gaz, surtout pour l'exploitation d'usines établies dans des villes de troisième et quatrième ordre.

Les tuyaux Chameroy, dits à joints précis, sont employés aujourd'hui par un grand nombre d'usines, et nous pensons qu'ils le seraient encore plus généralement, si, lorsqu'ils sont relevés par un besoin du service d'une usine, par exemple pour cause d'insuffisance, ils ne se trouvaient pour une bonne partie hors de service, parce que le bitume se détache et que la tôle, une fois à nu, s'oxyde très-facilement.

Le joint à emboîtement précis, système Chameroy, est obtenu de la manière suivante :

Les extrémités des tuyaux portent des couronnes d'un alliage de plomb et d'antimoine soudées à la tôle ; la partie mâle entrant dans la partie femelle. La partie mâle porte une petite rainure circulaire; on la garnit d'une corde de fil fin peu tordue, imprégnée de cire et de suif; on enduit ensuite, avec une petite brosse, les deux parties formant joint, bien nettoyées d'ailleurs, d'un mélange composé de plombagine et de saindoux, et on emboîte le joint portant garniture au bout mâle, dans l'extrémité du tuyau déjà posé, dans son bout femelle.

Pour forcer les tuyaux à pénétrer l'un dans l'autre, il faut que le poseur les présente en ligne, tandis que l'aide, placé à l'extrémité du tuyau qu'il soutient, frappe légèrement, pour les petits diamètres, avec un marteau sur un tronçon en bois épaulé contre le manchon.

Les tuyaux Chameroy ne peuvent être employés dans des terrains humides, car ils s'y oxydent plus ou moins rapidement malgré le plombage qui garantit leur surface intérieure.

En dehors de ces deux inconvénients, dont le dernier est tout local, les tuyaux Chameroy présentent des avantages incontestables sur les tuyaux en fonte qui, dans certaines natures de terrains, les terrains crayeux par exemple, éprouvent de notables altérations. Les tuyaux Chameroy se posent en beaucoup moins de temps que ceux en fonte: ils ont quatre mètres de longueur; ils ne sont point exposés à se briser, puisqu'ils cèdent et s'écrasent sous la pression; ils coûtent moins cher surtout pour les gros diamètres; enfin les prises se font facilement. Pour cela on enlève le bitume du tuyau à l'endroit voulu, on perce la tôle et on soude le branchement en ayant bien soin de ne point décaper la tôle au moyen d'acide muriatique, et on remet un peu de bitume à la jonction.

Depuis sa formation, la Compagnie Parisienne n'emploie que des tuyaux Chameroy pour les diamètres dépassant 250 millimètres, et cela parce qu'elle redoute

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

les graves inconvénients qui pourraient résulter de la rupture de gros tuyaux en fonte.

Nous allons maintenant parler des tuyaux de fonte, qui sont principalement employés pour les canalisations des usines à gaz, et qui se rencontrent, plus ou moins bien fabriqués; aussi doivent-ils toujours, avant leur emploi, avoir été essayés. Généralement on les essaye à la presse hydraulique à une pression de dix atmosphères, plus que suffisante suivant nous. D'après M. Schilling, la meilleure manière d'éprouver les tuyaux consiste à les soumettre sous l'eau à la pression de l'air. A cet effet, on bouche les deux extrémités du tuyau et on le place dans une bâche remplie d'eau; puis on y introduit de l'air comprimé au moyen d'une pompe jusqu'à ce que la pression atteigne un chiffre déterminé. Si le tuyau présente quelques points non étanches, l'air s'échappe en bulles qui s'élèvent dans l'eau de la bâche. Ce mode d'essai ne peut être que très-bon, mais l'essai à la presse hydraulique donne aussi de bons résultats.

Nous considérons comme nécessaire de goudronner les tuyaux de fonte après les avoir essayés, éprouvés. A cet effet on les plonge dans une bâche en tôle contenant du goudron qu'on a fait bien chauffer préalablement ou qu'on chauffe dans la bâche elle-même; non-seulement l'imbibition se fait mieux, mais l'eau ammoniacale que renferme toujours le goudron est chassée par la haute température.

Les tuyaux en fonte ont généralement une longueur de $2^m,50$ à 3 mètres, leur épaisseur augmente avec le diamètre du tuyau. S'il ne s'agissait que de les mettre en état de résister à la pression du gaz qui ne dépasse guère 10 centimètres d'eau, c'est-à-dire un centième d'atmosphère, cette épaisseur devrait être très-faible, mais les tuyaux doivent avoir une épaisseur suffisante pour résister aux chocs (nous ne parlons pas bien entendu de coups de bélier), et se prêter aux exigences du moulage.

Très-généralement les épaisseurs des tuyaux du commerce sont trop fortes de près de 50 %; ainsi les épaisseurs de 6 à 8 millimètres pour des petits tuyaux sont bien suffisantes et elles ne devraient jamais dépasser 10 millimètres.

Les meilleurs tuyaux de fonte sont ceux qui ont été coulés debout.

Jusqu'ici, le plus souvent, les assemblages des tuyaux en fonte se sont faits par emboîtement, de préférence aux assemblages à brides qui ne se prêtent pas à de grandes déviations.

Pour faire un joint avec un tuyau à emboîtement on engage le bout mâle dans la tubulure *a b* (fig. 67),

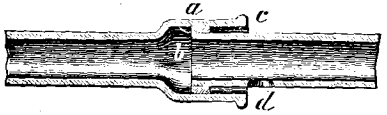


Fig. 67.

jusqu'à ce que le cordon vienne s'appuyer contre le talon de l'emboîtement; puis on refoule *au refus*, avec un matoir, de la corde goudronnée ou mieux de la corde imbibée de suif, de cire, jusqu'à remplir environ la moitié de l'emboîtement; puis, à l'aide d'un cylindre en tôle qui enveloppe le manchon et qui est percé de trous à sa partie supérieure, on verse du plomb fondu qui vient remplir l'espace *c d*. Après le refroidissement on mate le plomb soigneusement. Au lieu du manchon en tôle on entoure quelquefois l'entrée du joint d'un bourrelet de terre glaise au-dessus duquel on ménage une ouverture en forme de godet. Il faut employer du plomb bien chaud pour qu'il ne se solidifie pas avant d'avoir rempli le joint. On doit s'arranger, autant que possible, pour qu'une cuillerée de plomb fondu suffise pour remplir le joint.

Ce système d'assemblage est souvent employé et les résultats qu'il donne ne sont pas mauvais. Il est cependant défectueux, parce que le plomb n'a avec la fonte qu'un contact plus ou moins parfait, et qu'il n'y a point de soudure; et que s'il survient un effort sur un tuyau, le plomb est refoulé d'un côté, tandis que de l'autre côté se forme un vide.

Le diamètre intérieur de l'emboîtement étant plus grand que le diamètre extérieur du bout mâle, si le poseur ne met pas le tuyau qu'il emboîte dans le même axe que le précédent, il se forme une saillie qui nuit à la circulation du gaz. Le matage, qui ne se fait pas commodément, surtout pour la partie inférieure, est loin d'être toujours parfait.

Non-seulement la pose, dans ces conditions, demande beaucoup de temps, mais l'opération du déboîtement, quand on relève une conduite, pourrait présenter des dangers d'explosions si on employait le feu dans la tranchée pour faire fondre le plomb; aussi le plus souvent, sinon toujours, on brise un tuyau sur trois pour les sortir, et ce n'est qu'après qu'on peut fondre le plomb des joints.

Clegg a proposé, il y a déjà longtemps, de remplacer le plomb, dans l'espace annulaire, par un mélange de deux parties de suif fondu de Russie et d'une partie d'huile végétale commune. Il commence par enfoncer au fond de l'emboîture, sur une épaisseur d'environ $0^m,05$, de l'étoupe bien enduite de mastic, puis il serre de la corde goudronnée vers le bord de l'emboîture de manière à bien remplir l'espace annulaire, mais seulement à une profondeur telle qu'il reste entre les deux garnitures un espace d'environ 32 millimètres. A la partie supérieure de l'emboîture, à l'endroit où les extrémités de la corde se joignent, on en enlève une partie pour former une cuvette comme si l'on devait faire un joint au plomb et on y coule bien chaud le mélange de tout à l'heure, qui remplit l'espace compris entre les deux garnitures. Comme il n'y a point de retrait au refroidissement, le joint est parfaitement étanche. La fig. 68 représente un joint de cette espèce: *a* est la corde gou-

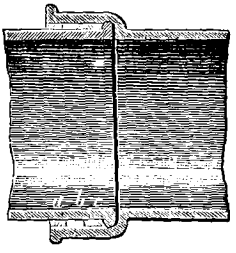


Fig. 68.

dronnée, *b* le mélange de suif et d'huile, *c* l'étoupe mastiquée.

On emploie quelquefois aussi des tuyaux en fonte dont les extrémités sont tournées et alésées, les joints se font de la même manière. Un des avantages de ce système est la facilité avec laquelle on enlève les tuyaux qu'il faut remplacer.

M. King a employé à Liverpool des tuyaux dont les emboîtements, alésés et tournés, ont un diamètre assez large pour permettre, au besoin, de faire un joint en plomb.

Depuis 15 ans environ, on a cherché à appliquer le caoutchouc aux joints des conduites de gaz. Le premier qui se soit, à notre connaissance, occupé de cette application, est un ingénieur belge, M. Delperdange. Son

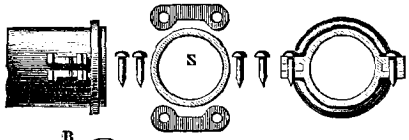
EFERUS - Recherche & Classification numérique

système consiste à réunir deux tuyaux en fonte sans emboîtement, par une espèce de manchon assez court, en caoutchouc, qui est serré par deux bagues en fonte qu'on fait entrer par force.

Nous ne savons si ledit système a reçu en Belgique une grande application; mais il a été très-peu, sinon pas du tout, employé en France. Il a l'inconvénient de faire en réalité deux joints au lieu d'un.

Puis est venu Petit, ingénieur Français. Ses tuyaux ont une petite emboîture; le bout mâle vient s'appuyer contre une rondelle en caoutchouc, placée contre le talon de la partie femelle; chacun des tuyaux porte à ses extrémités deux oreilles présentant entre elles une certaine distance et percées chacune d'un trou ou œil. Les deux trous se correspondent; entre ces deux oreilles se place une patte en fer, portant à chacune de ses extrémités un œil qui doit correspondre à ceux des oreilles, pour recevoir une broche reliant le tout. La fig. 69 représente un bout mâle avec les oreilles d'un côté, la fig. 70 représente deux pattes, des broches et la rondelle en caoutchouc; la fig. 73 une coupe verticale et longi-

Fig. 69. Fig. 70. Fig. 71.



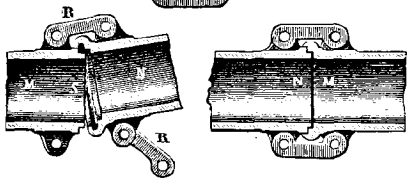


Fig. 72. Fig. 73.

tudinale de deux tuyaux assemblés; la fig. 71 une coupe verticale du joint, la fig. 72 représente deux tuyaux au moment où l'assemblage s'opère. Les tuyaux, système Petit, sont spécialement fabriqués par la Compagnie des forges de Brousseval.

M. Lavril, ancien employé de M. Petit, aujourd'hui ingénieur de la maison A. Durenne, de Paris, a modifié ce système; ses tuyaux en fonte portent à chaque extrémité un empâtement à brides et entre les brides réunies par des boulons se place une rondelle en caoutchouc.

Les tuyaux à joints en caoutchouc sont exempts des inconvénients que nous avons signalés dans ceux à joints de plomb. La pose, ainsi que la dépose, sont faciles et rapides. On avait craint, et cette crainte existe encore chez plusieurs ingénieurs, que la détérioration du caoutchouc vulcanisé et sa transformation totale ou partielle en sulfure de fer rendit le joint mauvais. L'altération est incontestable, mais elle n'empêche nullement l'adhérence et l'étanchéité, et tant que les tuyaux sont en place, les rondelles ne doivent pas être remplacées.

J'ai participé à l'établissement de canalisations complétement à joints de caoutchouc, dans plusieurs villes, et les résultats obtenus depuis 15 ans ne me laissent aucun doute sur la bonté de ces joints. Il est seulement nécessaire d'avoir du caoutchouc de bonne qualité, et présentant de la souplesse. Lorsque les tuyaux à poser ont un diamètre dépassant 250, le système Lavril me paraît préférable au système Petit.

On a quelquefois employé un joint en caoutchouc, composé d'une simple bague de 1 à 2 centimètres de diamètre, suivant le diamètre des tuyaux; on plaçait la bague sur le bout mâle, et on le faisait entrer en forçant dans la tubulure du tuyau femelle. On pourrait mettre ensuite un bourrelet de ciment. Nous ne savons si ledit système modifié légèrement par M. Sommeset, ingénieur de la Compagnie générale Belge, a reçu beaucoup d'applications.

Quels que soient et le système de joints et la nature des tuyaux, les mêmes soins et les mêmes précautions doivent être pris dans la pose d'une canalisation, d'où peut dépendre le succès d'une opération de gaz.

Les tuyaux sont enterrés à des profondeurs qui varient suivant les circonstances de 0,60 à 1m,20. La plus grande profondeur est la meilleure, mais jamais on ne pose les tuyaux assez avant dans la terre pour les soustraire aux variations de la température dont l'influence ne peut qu'être prise en sérieuse considération, surtout lorsqu'il s'agit d'une canalisation en fonte qui s'allonge de 0m,027 sur une longueur de 100 mètres, pour une élévation de température de 24 degrés, différence la plus grande que peut éprouver une conduite placée sous le sol.

La succession des tuyaux de diamètres différents se fait au moyen de bouts formant un tronc de cône dont les deux extrémités correspondent aux tuyaux de 2 diamètres qu'il s'agit de réunir.

Autant que possible, il faut éviter que les changements de direction dans les conduites se fassent au moyen de tuyaux à angle droit qui occasionnent des pertes de charge très-sensibles; les coudes arrondis sont bien préférables.

Nous ne pouvons pas entrer ici dans tous les détails de la pose d'une canalisation; nous nous contenterons d'en citer quelques-uns.

Lorsqu'une partie de conduite a été posée, il faut en faire l'épreuve. Quand il s'agit d'une usine en construction, l'épreuve ne peut se faire qu'avec de l'air. On injecte donc de l'air (une pression de 25 à 30 centimètres suffit) dans la portion de conduite, qui ne doit pas dépasser 50 mètres environ, un manomètre placé sur cette conduite indique s'il y a fuite ou non. Quand l'usine est en exploitation on peut faire l'essai avec le gaz; à la condition expresse d'avoir suffisamment purgé la conduite d'air, on peut flamber les joints des tuyaux. On bouche soit avec un tampon en bois, soit avec une vessie en toile caoutchoutée l'extrémité du dernier tuyau posé.

Des ouvriers poseurs intelligents ont imaginé d'avoir pour la pose de tuyaux à la suite d'autres tuyaux contenant du gaz, une manière de piston à frottement très-doux et très-facile, muni d'une tige dont la longueur dépasse celle d'un tuyau, de manière à permettre au gaz de venir remplir chaque tuyau aussitôt qu'il a été posé.

A cause des condensations qui se produisent toujours plus ou moins par la circulation du gaz dans les tuyaux, il est nécessaire de leur donner une certaine pente qui permet l'écoulement du liquide. Et comme il est très-généralement, sinon toujours impossible, d'éviter des contre-pentes, il faut à chaque contre-pente placer un siphon qui se compose essentiellement d'une marmite en fonte, portant à sa partie supérieure et suivant le même diamètre deux tubulures dans lesquelles s'emboîtent les tuyaux. La marmite porte un couvercle fermant hermétiquement, dans lequel passe un tuyau en fonte ou en fer, plongeant à peu près jusqu'au fond de la marmite, et la surmontant dans le sol d'une certaine hauteur. Quand on veut enlever le liquide qui s'est déposé dans la marmite, on enlève le bouchon surmontant le tuyau dans lequel on fait plonger le tuyau d'aspiration d'une pompe en fer, du système dit *tateur* (fig. 74).

Lorsqu'une fuite se produit dans un joint, de l'eau par des temps de pluie ou par d'autres circonstances, peut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'y introduire et arriver dans une des marmites; aussi il est nécessaire de pomper de temps en temps: un amas d'eau dans une marmite produirait l'obstruction de la canalisation.

Naturellement les conduites distribuant le gaz dans une ville doivent avoir des diamètres en rapport avec les consommations présumées devoir exister dans les divers quartiers de la ville, et c'est au départ de l'usine qu'ils doivent être les plus forts.

Nous verrons tout à l'heure de quelle manière, pour des canalisations et des longueurs données, on peut calculer les diamètres des tuyaux à poser; mais une

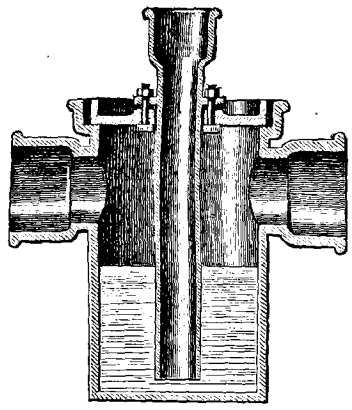


Fig. 74.

mesure assez générale à prendre, c'est de faire arriver directement de l'usine une ou plusieurs conduites ou artères principales sur le point ou sur les points de la ville à éclairer qui doivent présenter ou qui présentent la plus forte consommation. De ce centre partent les diverses conduites secondaires.

Quand un établissement assez important, surtout quand il consomme du gaz la nuit, et pour lequel il faut absolument donner au gaz plus de pression que pour l'éclairage public, n'est point par trop éloigné de l'usine, il y a avantage à le desservir par une conduite spéciale sur laquelle on peut à la rigueur brancher un assez petit nombre de becs.

Pour que les consommateurs aient du gaz à volonté, la pression, avant leur compteur, doit être d'environ 20 millimètres, et conséquemment cette pression doit être plus forte dans les conduites et atteindre 30 millimètres pendant l'éclairage; celle donnée à l'usine au moyen des régulateurs doit être en proportion.

On comprend que nous ne puissions indiquer cette pression d'une manière générale; elle dépend des conditions que l'ingénieur chargé de la construction de l'usine doit savoir apprécier, mais il vaut beaucoup mieux prévoir une pression trop forte que trop faible.

Une des conditions qui, en dehors de l'importance de l'éclairage, influe sur la pression à donner, c'est l'altitude de l'usine par rapport à la ville qu'il faut éclairer.

Il est très-avantageux, au point de vue de la pression à donner, de placer l'usine en contre-bas de la ville entière ou au moins de la plus grande partie. En vertu de sa légèreté spécifique, le gaz tend naturellement à monter, et abstraction faite de la perte due au frottement dans les tuyaux, par chaque mètre d'élévation la force ascensionnelle, la pression du gaz augmente de $^{8}/_{10}$ de millimètre. Réciproquement, s'il faut faire descendre le gaz de un mètre, la dépression sera la même.

On comprend que dans des usines à un contre-bas suffisant, il y a dépression quand il y a en ville une pression bien suffisante; et lorsque le contre-bas est considérable, on est quelquefois obligé de diminuer cette pression en faisant par exemple passer le gaz dans un régulateur. Quelquefois aussi on se contente d'opérer un rétrécissement dans les conduites; pour présenter de l'efficacité, le rétrécissement doit être d'une certaine étendue.

Pauwels, qui avait un esprit très-inventif et auquel l'industrie du gaz est incontestablement redevable de plusieurs perfectionnements qui ont bien leur importance, avait inventé un appareil très-ingénieux, qu'il avait nommé gazo-compensateur, et qu'il interposait dans des conduites placées dans des rues en pente. Les gazo-compensateurs faisaient fonction de régulateurs; mais leurs organes pricipaux s'oxydaient facilement, et au bout de quelque temps on a été obligé d'y renoncer complétement; nous n'en donnerons pas la description.

Nous terminerons ce que nous avons à dire des conduites par l'exposé de formules au moyen desquelles on peut, dans des conditions données, trouver le diamètre à adopter pour des tuyaux d'une longueur donnée, devant fournir, sous une pression déterminée, une quantité de gaz voulue.

Le gaz, en circulant dans les tuyaux, éprouve des pertes de charge qui varient suivant le diamètre et la nature des tuyaux, suivant la vitesse, suivant le nombre de coudes qu'ils forment, suivant les saillies qui peuvent exister dans l'intérieur, par suite de petites imperfections dans les emboîtements ou dans les joints des tuyaux.

Quand il s'agit d'établir une canalisation ou une partie de canalisation, diverses données sont indispensables pour calculer les diamètres à donner aux conduites. La quantité de gaz à fournir, la longueur des tuyaux, l'altitude des lieux à éclairer, la pression qu'on veut donner au gaz, sont les éléments qu'on a toujours en sa possession; mais d'autres doivent être pris en considération, ainsi la perte de charge provenant du frottement produit par le passage du gaz dans les tuyaux et sur lequel influe la surface intérieure de la conduite. Divers auteurs et ingénieurs se sont occupés de cette question, parmi lesquels nous devons citer Clegg et M. Arson, ingénieur en chef de la Compagnie parisienne du gaz. Ils ont recherché d'après des expériences directes quelles modifications on devait apporter à la formule de la vitesse d'écoulement des liquides $v = \sqrt{2\,g\,h}$ pour la rendre applicable au mouvement des gaz dans les conduites.

Dans sa traduction du traité de Clegg, M. Servier cite la formule pratique donnée par Clegg:

$$Q = 78{,}600\ d^2 \sqrt{\frac{h\,d}{\delta\,(l + 50{,}9\,d)}}; \qquad (1)$$

dans laquelle h représente la pression, l la longueur du tuyau, d son diamètre exprimé en mètres, δ la densité du gaz, Q la quantité de gaz écoulée à l'heure; ou si la conduite a une longueur 400 ou 500 fois plus considérable que son diamètre.

$$Q = 78{,}600\ d^2 \sqrt{\frac{h\,d}{\delta\,l}};$$

ce qui signifie: multiplier la pression en millimètres d'eau, par le diamètre du tuyau, exprimé en mètres, diviser le produit par la densité des gaz multipliée par la longueur de la conduite en mètres, extraire la racine carrée du quotient, et la multiplier par la quantité constante 78,600, et le carré du diamètre en mètres, et l'on aura le nombre de mètres cubes dépensés à l'heure. Il fait remarquer qu'en prenant pour δ le nombre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

0,42 qui est assez près de la vérité pour le gaz de houille ordinaire, on arrive à la formule très-simple:

$$Q = 122{,}800\sqrt{\frac{h\,d^5}{l}},$$

dont on peut se servir dans la pratique.

La formule (1) est aussi donnée par Schilling.

M. Arson s'était d'abord arrêté à la formule suivante applicable à des longueurs de 1,000 mètres:

$$Q = K'(1 + m\,D)\sqrt{\frac{H D^5}{L\delta}},$$

dans laquelle Q représente le volume écoulé par seconde en mètres cubes, D le diamètre de la conduite en mètres, L la longueur de la conduite en mètres, δ la densité du gaz qui s'écoule rapportée à celle de l'air, K' coefficient indépendant du diamètre et de l'état de la surface, m coefficient dépendant de l'état des surfaces.

M. Arson faisait remarquer que dans le cas où la valeur K' $(1 + m\,D)$ n'aurait pas été déterminée par des expériences directes, on pourrait obtenir des valeurs très-approchées en faisant K' = 400,

et $m = \begin{cases} 1{,}53 \text{ pour des conduites neuves en fonte, et un gaz quelconque;} \\ 1{,}03 \text{ pour le gaz de houille dans les conduites en fonte de toute nature.} \end{cases}$

Les premières expériences de M. Arson avaient été faites à l'usine de Saint-Mandé sur des conduites de gros diamètres. Mais des expériences faites à l'usine de la Villette sur des conduites de petits diamètres démontrèrent qu'il n'était pas possible d'en relier les résultats avec les précédents par la formule en question, et qu'il fallait faire intervenir dans l'expression d'une quantité de gaz écoulée un terme contenant l'expression du frottement en fonction du premier et du deuxième degré de la vitesse moyenne, et après des considérations dans lesquelles nous ne le suivrons pas, M. Arson arrive à trouver que la formule donnant les pertes de charge est la suivante:

$$p = \frac{4L}{D}\,\pi\,(au + ub^2), \qquad (2)$$

dans laquelle π représente le poids du fluide qui s'écoule et p la perte de charge.

On a trouvé les valeurs suivantes des coefficients a et b pour les diamètres consignés au tableau; pour les autres diamètres, elles ont été déterminées par interpolation.

conditions de longueur et d'assemblage feraient varier la résistance à l'écoulement.

Faisons aussi remarquer que la perte de charge dans les tuyaux en fer blanc n'est que les deux tiers de la perte de charge dans les tuyaux en fonte.

Nous renvoyons pour plus de détails au travail de M. Arson, inséré dans les Mémoires de la Société des ingénieurs civils, qui lui a décerné la médaille d'or. (Voir les Mémoires de cette Société pour 1867.)

Lorsqu'on a calculé les diamètres à donner aux conduites, il est bon d'augmenter, dans une certaine limite, les nombres obtenus.

Comme nous l'avons dit, il est avantageux de faire arriver la conduite principale jusqu'au centre, environ, du réseau à éclairer. Cette conduite peut aboutir à une manière de réservoir ou tambour en fonte, muni d'autant de tubulures qu'il y a de tuyaux secondaires à brancher sur lui. C'est de ce réservoir central, au point de vue du réseau, qu'on fait partir le petit tuyau de retour dont nous avons parlé à propos du régulateur Giroud.

Branchements. Après les conduites principales viennent les branchements ou tuyaux amenant le gaz chez les particuliers.

Lorsqu'on canalise une ville à éclairer, on a soin généralement de placer un certain nombre de tuyaux avec des tubulures vis-à-vis des établissements ou des maisons auxquels on a l'espoir, sinon la certitude, de fournir du gaz; mais c'est là le cas le plus restreint, et le plus souvent on a à faire une prise on branchement sur une conduite déjà placée.

Nous avons déjà dit comment on opérait sur une conduite en tuyaux Chameroy. Quand il s'agit de tuyaux en fonte, on peut quand ils ont un petit diamètre, c'est-à-dire lorsque leur diamètre n'est pas plus du double de celui du branchement, intercaler dans la conduite des pièces de raccord; et, dans ces conditions, les joints en caoutchouc présentent un grand avantage, car on peut à la rigueur enlever un tuyau et le remplacer par 2 bouts formant une longueur égale, dont l'un porte une tubulure. Avec des tuyaux tout en fonte, il faut couper dans la conduite une longueur égale à celle de la pièce qu'on y veut intercaler; puis on introduit la pièce de raccord qu'on retient avec un manchon et on fait le joint avec de la corde goudronnée et du plomb.

Mais très-généralement ce n'est pas ainsi qu'on procède. On perce le tuyau à l'endroit où le branchement doit être établi: à cet effet on installe sur le tuyau une machine à percer. Il y a des machines de plusieurs genres.

Il est évident qu'il faut dans une usine plusieurs de ces machines puisqu'il y a des tuyaux de divers diamètres;

DIAMÈTRE de CONDUITE.	NOMBRE des EXPÉRIENCES.	VALEUR de a.	VALEUR de b.	NATURE de la CONDUITE.
0,500	27	0,000020	0,000246	Fonte.
0,325	31	0,000151	0,000326	»
0,256	4	0,000237	0,000359	»
0,103	7	0,000560	0,000430	»
0,081	10	0,000589	0,000489	»
0,050	5	0,000702	0,000595	»
0,050	4	0,000738	0,000345	Fer blanc.

Il est important de remarquer que les coefficients ont été déterminés pour des tuyaux de fonte de longueur ordinaire et à emboîtement, il est clair que d'autres cependant il n'est pas nécessaire d'en avoir autant que de diamètres différents; on peut au moyen de cales suppléer à la faiblesse du diamètre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Cordier, de Paris, a inventé une machine à percer, des plus simples et des meilleures (fig. 75), qui permet d'éviter presque totalement les pertes de gaz; elle n'a

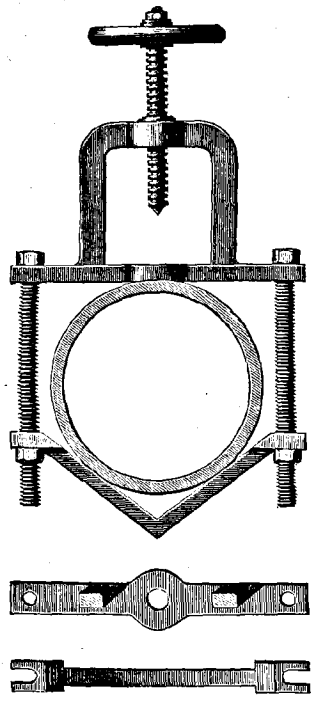


Fig. 75.

qu'un inconvénient, celui de coûter assez cher. Nous ferons remarquer en outre qu'un ouvrier adroit peut avec une machine ordinaire opérer assez rapidement pour rendre les pertes de gaz peu importantes.

Nous répudions absolument le percement des tuyaux au burin qui peut occasionner la cassure du tuyau.

Le trou percé, il s'agit d'ajuster le branchement.

Nous ne sommes nullement partisan de mettre pour branchement des tuyaux en fer, qui s'oxydent facilement et qui sont plus sujets à des obstructions, nous préférons les tuyaux en plomb.

Un collet en plomb est soudé presque à l'extrémité du

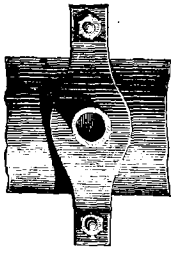


Fig. 76.

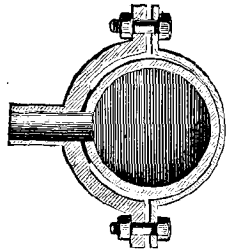


Fig. 77.

tuyau, la partie qui le dépasse est destinée à pénétrer dans le tuyau de fonte ; sa longueur correspond à l'épaisseur

de ce tuyau et on peut très-facilement, ce point n'est pas à dédaigner, rogner cette partie, de sorte qu'elle ne fasse aucune saillie dans l'intérieur de la conduite. On maintient le branchement contre le tuyau en fonte, au moyen d'un collier en fer formé de deux parties qui s'assemblent au moyen de boulons, fig. 76 et 77.

La partie supérieure du collier porte un œil dont le diamètre est très-légèrement plus grand que le diamètre extérieur du branchement. Entre le collet de plomb et la fonte on place une bague de filasse garnie de céruse.

Dans ces conditions, le serrage du collier ayant eu lieu, on peut considérer le branchement comme solidement établi: on courbe alors le tuyau de plomb à angle arrondi, et on le place dans une tranchée pratiquée dans le sol en pente de manière à ce qu'il arrive jusqu'au niveau du sol contre le mur de la maison qu'il s'agit d'éclairer, ou contre le mur qui doit recevoir une console pour une lanterne publique, ou encore à l'endroit où doit être établi un candélabre.

Lorsque la conduite n'est pas suffisamment enterrée et que d'ailleurs le branchement est long, on est quelquefois obligé de faire la prise, non pas au-dessus du tuyau, mais latéralement.

Les tuyaux qui montent le long des murs, pour se joindre aux consoles, sont généralement en fer, résistant mieux aux chocs ou aux dégradations volontaires que les tuyaux en plomb.

On ne doit pas faire de branchement d'un diamètre inférieur à 0,018. La limite inférieure adoptée par la Compagnie Parisienne est de 0,027, même pour les lanternes publiques. Voici les dimensions qu'elle adopte pour les branchements de diverses importances:

De	3 à 10 becs inclusivement. . :		0,027
	10 à 20	»	0,034
	20 à 30	» . . .	0,048
	40 à 50	» . . .	0,054

Assez souvent cependant on adopte les diamètres suivants :

De	1 à 5 becs.		0,018
	6 à 15 becs.		0,025
	16 à 25 becs.		0,031
	26 à 40 becs.		0,037
	41 à 100 becs.		0,050
	101 à 150 becs.		0,062
	151 à 200 becs.		0,075

Avec ces dimensions on peut ne pas tenir compte de la longueur des branchements.

Plusieurs compagnies éclairant des villes de province ont adopté le système de la Compagnie Parisienne, consistant à placer à l'extrémité du branchement, et avant l'entrée dans les maisons, un robinet accessible par la rue, pour pouvoir supprimer le gaz dans les maisons sans y entrer. Ces robinets sont placés dans des coffrets encastrés dans les murs des maisons.

Généralement dans les villes des départements, nous parlons de la France, on se contente de placer un robinet à l'entrée du compteur, et ce en vue d'éviter la dépense du coffret et du double robinet aux abonnés et leur rendre leur installation moins coûteuse.

Si, dans un branchement, il y a une contre-pente, il faut y placer un siphon.

Le dansement du gaz dans les becs provient de la présence dans un tuyau d'une petite quantité d'eau qui forme bouchon et que le gaz parvient à déplacer par alternatives.

Pureté et pouvoir éclairant du gaz. La qualité, le pouvoir éclairant du gaz varient d'après la nature des houilles distillées, et d'après les conditions dans lesquelles s'opère la distillation; les municipalités imposent généralement aux Compagnies de gaz auxquelles elles accordent des concessions, soit par adjudication

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soit par traités amiables, la condition d'un pouvoir éclairant déterminé.

Le gaz privé d'ammoniaque n'exerce aucune action sur le papier de tournesol rougi légèrement, ni sur le papier de curcuma. Mais c'est surtout par rapport à la quantité d'acide sulfhydrique qu'il renferme que la pureté du gaz est constatée. Pur, il n'exerce aucune action sur le papier enduit d'acétate de plomb; si au contraire il contient de l'acide sulfhydrique, celui-ci donne au papier une teinte qui varie du brun au noir, suivant la quantité plus ou moins grande de cet acide que le gaz renferme.

MM. Dumas et Regnault ont indiqué pour contrôler la pureté du gaz un appareil qui se compose essentiellement d'une cloche en verre, reposant sur une tablette bien plane, qui est traversée par un tuyau amenant du gaz, et terminé à l'intérieur de la cloche par un bec Bengel qui dépense 140 litres à l'heure. Le gaz qui arrive à la pression de 2 à 3 millimètres s'écoule non brûlé par un petit tube fixé sur une douille dont est garnie la partie supérieure de la cloche.

Dans l'intérieur est suspendu un papier d'acétate de plomb. On laisse, au moyen d'un robinet, le gaz circuler dans la cloche pendant un quart d'heure, et il est considéré comme pur, si dans cet espace de temps il n'exerce aucune action sur le papier.

Nous avons remplacé la cloche par un simple cylindre en verre, de 5 à 6 centimètres de diamètre, garni à chacune de ses extrémités d'une douille en métal percée à son centre. La douille inférieure vient se visser sur un porte-bec, et la douille supérieure est munie d'un bec d'une petite dépense.

Dans l'intérieur du cylindre se trouve une bande de papier de plomb. On fait arriver le gaz qui traverse le cylindre et va brûler au bec supérieur, qui peut rester allumé continuellement.

Le pouvoir éclairant du gaz se détermine, se mesure, non pas d'une manière absolue, mais par comparaison. On est convenu, en France, de prendre pour unité de lumière celle fournie, soit par une lampe à mouvement d'horlogerie, dite Carcel, brûlant elle-même dans des conditions déterminées et dans un temps donné une certaine quantité d'huile de colza aussi pure que le commerce peut la fournir, soit par une ou plusieurs bougies stéariques d'une poids déterminé, mais ce deuxième système est inférieur au premier. En Angleterre la bougie de spermaciti remplace la bougie stéarique française.

On emploie généralement aujourd'hui la méthode pratique proposée par MM. Dumas et Regnault, qui avaient été chargés, par la ville de Paris et la Compagnie Parisienne du gaz, d'étudier, dans les conditions où se trouvait placée en 1860 l'industrie du gaz, la question du pouvoir éclairant du gaz, qui avait fait, trente ans auparavant, l'objet d'expériences de la part de Fresnel et d'Arago.

MM. Dumas et Regnault ont commencé par définir de la manière suivante le système d'appareil de vérification qui devait satisfaire au but proposé:

« Deux flammes d'égale intensité étant données, l'une « produite par une lampe Carcel (brûlant dans des con« ditions fixées), l'autre par une lampe à gaz brûlant « autant que possible dans les mêmes conditions; déter« miner les consommations respectives d'huile et de gaz « dans un temps donné par l'un et l'autre de ces appa« reils. »

Les appareils choisis par ces Messieurs pour obtenir les mêmes conditions de combustion sont, d'une part une lampe Carcel ayant un bec de 23 millim.5 de diamètre extérieur, et 17 millimètres de diamètre intérieur (courant d'air intérieur) brûlant à blanc et dépassant le porte-mèche de 10 millimètres, et consommant 42 grammes d'huile à l'heure, d'autre part un bec en porcelaine à 30 trous avec panier aussi en porcelaine, dit bec Bengel, et brûlant à l'heure 100 et au maximum 110 litres de gaz sous une pression de 2 à 3 millimètres d'eau.

Avec ces consommations respectives les pouvoirs éclairants des deux lampes doivent être égaux.

Telles sont les prescriptions du traité de 1861 entre la ville de Paris et la Compagnie Parisienne du gaz. MM. Dumas et Regnault ont, dans une instruction spéciale, indiqué avec détails les conditions dans lesquelles les expériences doivent être faites; nous renvoyons à cette instruction pour partie de ces détails que nous ne pouvons tous reproduire ici, et nous dirons que l'essai comparatif au lieu de se faire pendant une heure ne se fait que pendant un quart d'heure, c'est-à-dire sur 25 litres de gaz au lieu de 100, et sur 10 grammes d'huile au lieu de 42.

Voici en quelques lignes la description de l'appareil adopté par ces deux habiles expérimentateurs.

Il est placé, bien entendu, dans une chambre obscure.

Sur un bâtis ou support, on installe une table ou châssis en fonte muni de vis de rappel.

Sur cette table (fig. 78), on place à une extrémité un compteur à secondes NS, fabriqué par M. Brunt, per-

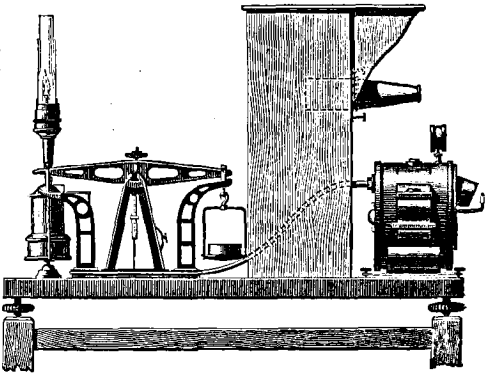


Fig. 78.

mettant d'évaluer la consommation à 1/20 de litre près. Ce compteur est muni d'un robinet n très-sensible, permettant de régler à chaque instant la dépense du gaz.

L'axe du compteur porte deux aiguilles, l'une pou-

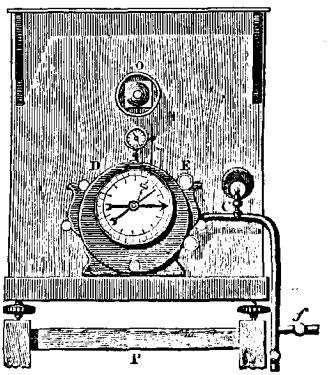


Fig. 79.

vant être rendue fixe ou mobile à volonté, l'autre con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

stamment en mouvement, lorsque le gaz passe par le compteur. Un système de levier que l'on pousse permet de faire mouvoir l'aiguille fixe et détermine simultanément le mouvement de départ de l'aiguille d'un petit compteur chronométrique, compte-secondes (fig. 79), placé au-dessus du compteur à gaz.

Derrière le compteur se trouve un écran vertical avec une manière d'auvent ou capuchon, sous lequel l'observateur place sa tête. Dans cet écran passe un cylindre en tôle formant lunette, dans lequel se trouve une plaque de verre amidonnée (système Foucault), derrière laquelle est fixée une plaque verticale, ce qui divise en deux le champ de la vision qui embrasse d'un côté la lampe à gaz R munie d'un petit manomètre M, et recevant le gaz par le tuyau N en caoutchouc (fig. 80); de

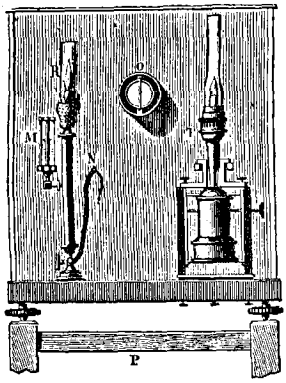


Fig. 80.

l'autre la lampe Carcel, placée dans l'un des plateaux d'une balance construite avec un succès complet par l'habile M. Deleuil, sur les indications de MM. Dumas et Regnault.

Les deux lampes sont à la même distance de l'écran, et ont leurs flammes à la même hauteur.

Avant de commencer les expériences on allume le bec de gaz, dont la pression doit être de 2 à 3 millimètres d'eau, et aussi la lampe dont la consommation doit être de 42 grammes à l'heure. L'essai ne peut être fait quand elle brûle plus de 46 grammes et moins de 38.

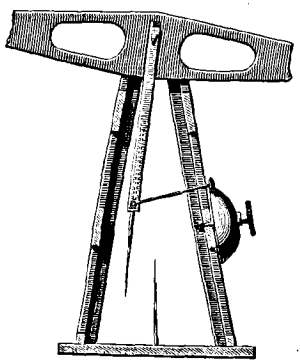


Fig. 81.

Cette lampe est placée dans le cylindre fixé à un des plateaux de la balance, et on fait la tare au moyen de grenailles de plomb; on ajoute sur le plateau un petit poids et on établit la communication du fléau de la balance avec le timbre (fig. 81).

L'aiguille mobile sur l'axe du compteur et celle du compteur sont ramenées à zéro.

L'opérateur se place derrière la lunette, et pour obtenir des lumières égales dans les deux moitiés de l'écran, il fait varier la dépense de gaz au moyen d'un robinet à vis placé sur le compteur.

Quand le marteau frappe sur le timbre, il fait partir l'aiguille du compteur en tirant à soi le levier qui sert au mouvement des deux aiguilles; il accroche un poids de 10 grammes au plateau dans lequel se tient la lampe, et il rétablit la communication du fléau avec le timbre.

Pendant le quart d'heure de l'essai, il doit observer à la lunette si l'égalité des deux lumières se maintient; au besoin il la rétablit en réglant l'arrivée du gaz à l'aide du robinet à vis. Faisons remarquer que le bec de gaz est branché sur une conduite commandée par un régulateur.

Au moment où le marteau frappe sur le timbre, on presse le levier pour arrêter les deux aiguilles.

En supposant que la consommation du gaz ait été de 24 lit.5, comme on a consommé 10 grammes d'huile, la dépense en gaz pour 42 grammes serait

$$2{,}45 \times 42 = 102 \text{ litres.}$$

Pour être dans les conditions les plus exactes, l'essai est répété trois fois de demi-heure en demi-heure, avec la même lampe et le même bec. On prend la moyenne des trois résultats.

La consommation normale de la lampe étant de 42 grammes d'huile à l'heure, pour brûler 10 grammes d'huile il faudra 14'17".

Quand on n'a point à sa disposition l'appareil Dumas-Regnault, on se contente quelquefois de vérifier le pouvoir éclairant du gaz au moyen d'une bougie. On sait que la lumière donnée par une bougie de l'Etoile, de 5 au paquet et pesant 485 grammes, est le 1/7 du pouvoir éclairant normal du gaz.

On entretient la mèche de la bougie à la hauteur d'un centimètre environ, en ayant soin de couper avec des ciseaux l'extrémité rouge qui se carbonise.

Péclet a constaté que le pouvoir de la lampe Carcel étant 100, l'intensité lumineuse de la bougie est 14,30.

Derrière un écran analogue à celui dont nous venons de parler, et sur une table, se trouvent deux règles faisant avec l'axe de cette table des angles égaux et sur lesquelles se trouvent tracées deux lignes divisées en centimètres et millimètres. Sur un point de l'une d'elles est un bec de gaz fixe, dont la consommation est réglée à 100 litres; sur l'autre ligne se trouve une règle à rainure dans laquelle glisse le support d'une bougie. En regardant dans la lunette on fait varier de position la bougie jusqu'à ce qu'elle indique une lumière égale à celle du bec de gaz, et, d'après la loi de la raison inverse du carré des distances, on trouve par le calcul le pouvoir éclairant du gaz essayé. Avec la latitude de 5 pour 100, il faut que le bec de gaz ne consomme pas plus de 105 litres.

D'après M. Penot, la bougie de spermaceti n'équivaut qu'aux 9/10 de la bougie de l'Etoile.

Plusieurs autres photomètres ont été proposés; nous citerons les photomètres rayonnants, parmi lesquels celui de Ritchie, celui de Wheastone, heureusement modifié par M. Chambeyron, celui d'Arago basé sur la polarisation, celui de Babinet, celui de Bunsen simplifié par Burel; plusieurs ont été décrits dans le *Dictionnaire* à l'article ECLAIRAGE, mais l'appareil Dumas et Regnault donne des résultats très-exacts et est généralement adopté aujourd'hui.

Un moyen qui ne peut être donné comme mesure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

photométrique, mais simplement comme indication très-simple et très-rapide, consiste à comparer le gaz à lui-même. On sait que plus le gaz est éclairant, plus, pour la même dépense, dans les mêmes conditions, sa flamme est longue.

Supposons un bec de gaz à un jet (forme bougie) brûlant à une pression bien déterminée, placé entre deux lames de verre parallèles. On constate avec un photomètre la hauteur à laquelle doit atteindre la flamme du gaz qui a le pouvoir réglementaire, on trace sur chaque lame de verre un trait, de sorte que les deux traits et l'extrémité de la flamme se trouvent dans un même plan parallèle au sol. Quand on voudra savoir à un moment quelconque si le gaz, soit provenant de la fabrication, soit en émission, a bien le pouvoir éclairant voulu, on ramène le bec à la pression déterminée, et la hauteur à laquelle la flamme s'élèvera dira si le pouvoir éclairant est égal, supérieur ou inférieur, au pouvoir réglementaire. Et si on a toujours, au moyen d'un photomètre, constaté la hauteur de la flamme du gaz, quand son pouvoir éclairant était 1/2 ou les 3/4 du pouvoir type, on a pu établir sur les lames de verre une échelle qui servira à indiquer très-approximativement le pouvoir éclairant du gaz à un moment donné.

L'appareil employé est généralement placé dans une cage en verre; le gaz, avant d'arriver au bec, passe dans un petit gazomètre contribuant à régulariser la pression, à l'aide d'un robinet placé dans le passage du gaz se rendant au bec.

Cet appareil importé d'Angleterre est, nous le répétons, très-commode, et peut rendre de grands services dans une usine qui veut bien se rendre compte de la qualité de gaz qu'elle produit, dans les diverses conditions de la fabrication.

M. Giroud a construit un petit appareil très-peu coûteux, fonctionnant avec son rhéomètre (dont nous parlerons plus loin), qui indique bien, d'après les hauteurs des flammes, les variations du pouvoir éclairant d'un gaz brûlant dans des conditions fixes de consommation et de pression; seulement il n'y a pas adapté d'échelle.

On peut enfin se rendre compte du pouvoir éclairant du gaz d'éclairage par les moyens analytiques.

D'abord, en supposant le gaz entièrement privé d'acide carbonique, on peut évaluer son pouvoir éclairant d'après sa densité.

Le docteur Henry de Manchester a proposé de déterminer le pouvoir éclairant du gaz par la quantité d'oxygène brûlé et d'acide carbonique produit par la combustion de volumes égaux de différents gaz. Il a trouvé que 100 volumes d'hydrogène pur n'exigeaient que 50 volumes d'oxygène pour une combustion parfaite, tandis que 100 volumes de gaz oléfiant (hydrogène bicarboné) en exigent 284, et que le premier ne produit pas d'acide carbonique, tandis que le deuxième en produit 179 volumes. Ce moyen est loin d'être rigoureux.

La méthode d'analyse chimique, consistant à condenser par le chlore ou par le brôme les vapeurs carburés, est la meilleure pour déterminer le pouvoir éclairant du gaz, lorsqu'on ne fait pas usage de procédés photométriques.

L'emploi du brôme est, dans cette analyse, plus simple, plus facile et moins sujet à erreur que celui du chlore. Pour opérer, on se sert d'un tube de verre de 0,90 de longueur, et de 0,12 de diamètre intérieur, fermé à l'une de ses extrémités et recourbé à l'autre. Ce tube est gradué en centimètres cubes à partir de l'extrémité fermée. Après l'avoir rempli d'eau, on y introduit le gaz de manière à ce qu'il occupe toute la partie graduée; la partie recourbée forme fermeture hydraulique et empêche l'entrée. On introduit une petite quantité de brôme, la grosseur d'un pois environ, dans l'eau de la partie recourbée du tube, on le fermant avec le pouce, et on le retourne plusieurs fois de manière à mettre en contact plusieurs fois le gaz et le brôme. La combinaison et la condensation s'opèrent rapidement, et après deux ou trois minutes on retire son pouce sous l'eau qui remplit le vide partiel qui s'est produit. On ajoute alors une forte solution de potasse au liquide du tube, et après avoir rebouché avec le pouce, on agite à nouveau pour absorber les vapeurs de brôme; puis on laisse reposer quelques minutes et on lit sur l'échelle du tube la quantité de gaz qui a été condensé.

Lorsqu'on fait une analyse précise, il est nécessaire d'opérer sur d'assez grands volumes, et de déterminer la densité du gaz avant et après l'action du brôme, de manière à apprécier le poids de la partie condensée, qui répond au pouvoir éclairant du gaz.

Comme on le voit la méthode analytique laisse sensiblement à désirer sous le rapport de la facilité, et même de la précision, cependant nous n'avons pas cru pouvoir la passer sous silence.

Consommation du gaz. Pour que le gaz donne par sa combustion la plus grande lumière possible, il faut que la pression sous laquelle il arrive au bec soit de 2 à 3 millimètres: c'est ce qui résulte nettement d'un travail très-intéressant entrepris sur les indications de MM. Dumas et Regnault, par MM Audouin et Bérard, travail qui a été publié dans les *Annales de Physique et de Chimie* (3e série, tome XLV, page 423), et dans lequel les directeurs d'usines à gaz et les fabricants de becs à gaz trouveront des renseignements très-utiles.

En regrettant de ne pouvoir reproduire ici la plus grande partie de ce travail, nous croyons cependant devoir citer quelques-uns des résultats constatés par les habiles opérateurs.

Par rapport à l'épaisseur des fentes, ils ont cherché, sans rien changer à la dépense réglementaire, quelles étaient celles qui donnaient le pouvoir éclairant le plus élevé, et ce, en employant des brûleurs dans lesquels le diamètre du bouton augmentait de 0mm,5, pour les dimensions de 4mm,5 à 9 millimètres.

Ils ont trouvé :

1° Que le maximum du pouvoir éclairant correspond, pour les trois séries, à la fente 0mm,7;

2° Qu'une même quantité de gaz peut donner, quand elle brûle dans un bon bec, quatre fois plus de lumière qu'elle n'en donne en brûlant dans un mauvais;

3° Que l'intensité croît plus rapidement que la dimension des fentes;

4° Que l'augmentation du pouvoir éclairant correspond à une diminution très-rapide dans la pression, et, par conséquent, à une diminution de la vitesse d'écoulement du gaz pendant la combustion;

5° Que, pour chaque série de becs, le maximum correspond à une vitesse sensiblement constante; surtout à une pression de 2 à 3 millimètres.

Si on ne donne pas aux becs de gaz une fente de 7 millimètres, c'est que la flamme serait trop vacillante et aurait trop de tendance à fumer. On s'est contenté de la fente de 6 millimètres.

Une autre loi, trouvée par ces messieurs, est que *le gaz s'écoulant avec la même vitesse, c'est-à-dire brûlant à la même pression, donne toujours le même pouvoir éclairant, quel que soit le bec papillon avec lequel il brûle.*

Continuons de mentionner les résultats des expériences.

Quand la dépense d'un bec est faible, ce bec perd beaucoup de son pouvoir éclairant, bien que la pression sous laquelle il brûle diminue, et cette perte peut arriver jusqu'au rapport 1/2.

Il faut avoir bien soin de remarquer qu'il s'agit ici du gaz de houille ordinaire, d'une densité de 0,420 environ. Pour les gaz plus carburés, tels que ceux qui proviennent des cannel, du boghead, des huiles..., les conditions de la combustion ne sont plus les mêmes, et les fentes minces sont plus avantageuses que les fentes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

larges, le gaz demandant pour brûler une plus grande quantité d'air.

Becs divers. Le bec le plus usité pour l'éclairage public est le bec papillon, formé par une espèce de demi-sphère en acier (fig. 82) de 6 millimètres environ de diamètre réunie à un pas de vis par une petite gorge. Dans cette sphère, qui est creuse, on pratique une ouverture avec un trait de scie, et cette ouverture sert à l'écoulement du gaz. Il est vissé dans un petit tube de cuivre qui porte un pas de vis intérieur, et qui est lui-même soudé à la conduite principale.

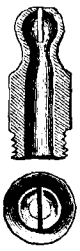


Fig. 82.

MM. Audouin et Bérard ont trouvé que pour les becs papillons à larges fentes les meilleures dimensions de flammes à adopter, pour de fortes consommations, au point de vue du pouvoir éclairant, sont de 8 centimètres de hauteur pour des largeurs variant de 14 à 11 centimètres, les consommations variant de 289 à 210 litres.

Leurs expériences sur les becs bougies leur ont démontré qu'ils sont désavantageux d'une manière générale (puisque, dans les meilleures conditions, ils ne donnent pas l'intensité d'une Carcel, à moins de brûler 150 litres), et que le maximum d'*application* du pouvoir éclairant correspond à la dépense de 34 litres, hauteur de flamme 10 centimètres, avec un trou d'un diamètre de 1mm,5; un diamètre de 2 millimètres donnerait une flamme trop fumeuse.

Le bec Manchester, importé d'Angleterre, est composé d'un petit cylindre creux en fonte, terminé par un disque assez épais, portant deux trous percés dans un même plan vertical et dans une direction oblique, de telle sorte que deux jets de gaz qui s'échappent de ces trous se rencontrent dans leur intervalle et s'épanouissent en s'applatissant et en formant ainsi une flamme en éventail, dont le plan est perpendiculaire à celui des trous (fig. 83).

On voit donc que les becs Manchester peuvent être considérés comme formés par deux becs-bougies, dont les deux flammes se rencontrent à une faible distance de leur origine.

Les expériences sur les becs Manchester ont constaté que ces becs ne peuvent faire brûler le gaz dans des conditions avantageuses.



Fig. 83.

Quand on pousse trop loin la dépense d'un bec Manchester, la flamme change de forme, devient analogue à celle d'un bec bougie et fait entendre un sifflement qui avertit de cet excès de dépense. C'est un des avantages de ce genre de becs, en ce qu'il permet de les régler à une dépense maximum. L'emploi pour les becs papillons des régulateurs ou rhéomètres, dont nous avons parlé ou dont nous parlerons, permet de ne pas tenir compte de cet avantage du bec Manchester, qui a d'ailleurs l'inconvénient de ne pouvoir être épinglé facilement.

Les expériences de MM. Audouin et Bérard ont constaté que deux becs bougies de faible diamètre donnent un pouvoir éclairant égal à celui du bec Manchester, qu'ils peuvent former par leur réunion, et que, comme pour les becs bougies, le diamètre des trous a une grande influence sur le pouvoir éclairant; enfin, quand on arrive à des diamètres supérieurs à 2 millimètres, que la flamme devient fumeuse.

Les diamètres des trous les plus avantageux sont 1mill.,5 pour les dépenses entre 100 et 150 litres. Pour les dépenses de 200 litres, il faut employer le diamètre de 1mill.,7 à 2mill.,8; c'est dans ces conditions seulement que le bec Manchester peut être comparé au bec à large fente.

Becs à double courant d'air. Ces brûleurs sont basés, on le sait, sur le principe de la lampe d'Argand et composés d'une couronne circulaire percée soit d'une fente continue, soit de trous dont le nombre varie. Le bec supporte un verre cylindrique par l'intermédiaire d'une galerie de métal. L'air pénètre par les ouvertures de cette galerie jusqu'à la partie périphérique de la flamme; il arrive aussi dans le centre de cette même flamme par un canal cylindrique qui est ménagé dans l'axe du bec.

Le courant d'air est régularisé au moyen de paniers, soit en porcelaine, soit en métal, destinés à diminuer l'accès de l'air, et quelquefois au moyen de cônes métalliques qui dirigent le courant d'air vers la base de la flamme.

Lorsqu'on fait usage de becs à verre, ce sont les becs du système Bengel, à trous multiples, ou des systèmes analogues qui doivent être employés de préférence. Ils ne constituent autre chose que le bec d'Argand. On rencontre assez souvent des becs en verre ou en cristal, appelés *becs Monier* (fig. 84 et 85), du nom de

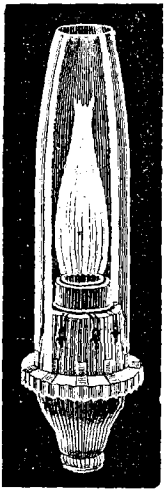


Fig. 84.

l'inventeur. Ces becs ont pour avantage d'absorber moins de lumière et de donner moins de chaleur que

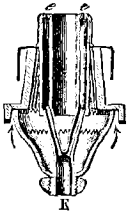


Fig. 85.

les autres, à cause de la diaphanité du verre et de sa faible conductibilité pour la chaleur. Ils ne présentent, d'ailleurs, aucun avantage au point de vue de la consommation.

Le pouvoir éclairant des becs à double courant d'air peut varier de quantités considérables, et des modèles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'apparence à peu près identique peuvent, pour donner une même intensité lumineuse, exiger des dépenses qui varient du simple au double.

Les différences constatées par les expériences de MM. Audouin et Bérard tiennent principalement: 1° au diamètre des trous ou de la fente; 2° au nombre de trous; 3° à la distribution de l'air; 4° à la hauteur du verre.

Les opérateurs ont trouvé: 1° que le maximum de pouvoir éclairant correspond au diamètre de trou de 0 mill.6 à 0 mill.8, en satisfaisant aux conditions de régularité de la flamme; pour des diamètres plus forts, la flamme devient fumeuse; 2° que pour une même intensité la présence du panier amène une diminution de dépense de 3 pour 100; 3° que la meilleure hauteur à donner au verre est de 20 centimètres; 4° que l'emploi des cônes ne présente pas d'économie.

Ces messieurs, bien que n'ayant pas fait d'expériences sur le nombre de trous, pensent avec raison, suivant nous, que, toutes choses égales d'ailleurs, il y a avantage à les multiplier. En effet, le bec Bengel à 30 trous, construit à peu près dans les mêmes conditions que le Bengel à 20 trous, présente un avantage de 2.5 pour 100 sur ce dernier pour le pouvoir éclairant.

Pour les becs cylindriques, comme pour les papillons, le pouvoir éclairant le plus fort coïncide avec les pressions faibles, et les dépenses faibles sont désavantageuses. Il n'est donc pas possible d'établir *à priori* un rapport entre la quantité de lumière produite et la consommation du gaz, et toute distinction entre les becs reposant sur leur dépense relative, telle que demi-bec, quart de bec, est complétement fausse au point de vue du pouvoir éclairant.

MM. Audouin et Bérard ont terminé leurs intéressantes recherches par des expériences sur les quantités d'air nécessaires à la combustion du gaz dans des conditions diverses, et ils en ont conclu:

Que tous les becs ne demandent pas la même quantité d'air pour donner le maximum du pouvoir éclairant; que cette quantité peut varier de 6 litres à 12 litres pour 1 litre de gaz; que la perte du pouvoir éclairant, observée pour des dépenses trop faibles ou trop fortes d'un bec à courant d'air (flamme bleue, flamme fumeuse), peut être corrigée en diminuant ou en augmentant l'accès d'air; qu'on peut faire varier l'intensité de lumière produite par une même quantité de gaz de 1 à 2,6 en faisant varier la quantité d'air de 1 à 1,5; que la quantité d'air brûlée par un bec n'est pas proportionnelle à la dépense; que la dépense d'un bec augmentant, la quantité d'air nécessaire à sa combustion, pour une même intensité relative, devient de moins en moins grande; que le rapport entre la quantité d'air qui arrive à l'extérieur et celle qui arrive dans le centre de la flamme, et qui coïncide avec le pouvoir éclairant, est variable pour chaque forme de bec à verre; qu'un mélange composé de 6 parties d'air et de 9 parties de gaz donne une quantité de lumière bien moindre que celle du gaz pur; que, pour 80 parties d'air et 20 parties de gaz, les propriétés éclairantes du fluide éclairant sont détruites.

C'est à la suite de ces recherches que la ville de Paris a adopté pour son éclairage public les becs à large fente, 6/10 de millimètre. Jusqu'alors elle avait employé des becs à fente plus étroite[1], qui avaient l'inconvénient d'exiger une plus forte pression, et de donner, pour une même quantité de gaz brûlé, une lumière de 40 p. 100 inférieure à celle que donnent les becs actuels. Les flammes s'étalaient, il est vrai, d'une manière plus nette, avec une surface plus grande, vacillaient moins et avaient une plus belle apparence Mais comme il s'agit avant tout de donner, pour une même dépense de gaz, le plus de lumière possible dans les rues, la ville de Paris n'a pas hésité à mettre à profit les résultats des recherches des savants.

Le bec réglementaire de Paris, dit *bec de ville*, consomme 140 litres de gaz à l'heure, lorsque la flamme possède les dimensions suivantes: hauteur 32 millimètres, largeur 67 millimètres.

Dans ces conditions la lumière fournie par un bec est sensiblement équivalente à celle d'une Carcel et 1/10, brûlant dans les conditions indiquées plus haut; elle serait d'une Carcel et 1/7 si le gaz était brûlé dans un bec Bengel placé dans une lanterne bien agencée. Le bec de ville de Paris devrait être adopté par toutes les villes de France.

Le bouton qui termine le bec peut avoir plus ou moins d'étendue, tout en conservant la même largeur de fente, 6/10, et suivant les dimensions du bouton le bec consommera plus ou moins de gaz.

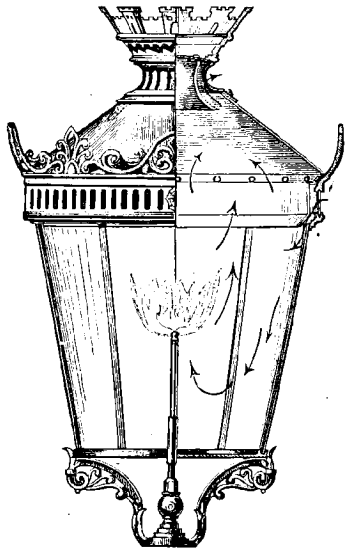


Fig. 86.

On fait généralement usage, pour l'éclairage des rues, de becs dont nous venons de parler, dits *becs papillons*, parce qu'ils procurent un service plus simple et plus facile. On pourrait cependant, avec quelque soin, employer des becs cylindriques à verre comme le bec Bengel, qui donneraient pour une consommation égale plus de lumière.

Les becs destinés à l'éclairage public sont naturellement placés dans des lanternes dont le corps ne doit pas être trop grand pour que la flamme produise le plus d'effet. Il est indispensable que les lanternes laissent, surtout sur les faces inférieure et latérale, le moins possible de passage à l'air pour éviter que le vent ne fasse trop vaciller les flammes. C'est assez dire que nous regardons comme très-utile d'avoir des trapillons pleins, qu'on ne doit pas laisser béants. Une disposition bonne, suivant nous, est de faire le fond de la lanterne en deux pièces à très-peu près égales: l'une fixe, l'autre mobile au moyen d'une charnière à contre-poids formant bascule; cette partie en verre double, garnie d'une bordure de métal, au moins dans deux de ses

1. Jusqu'en 1861, les fentes des becs de la ville de Paris avaient des épaisseurs de 0m.26, 0m.28, 0m.29 pour des consommations horaires de 100, 140 et 160 litres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

côtés, et se rabattant sur la partie fixe. Les deux parties sont, bien entendu, échancrées de manière à laisser passer la chandelle qui doit ne pas dépasser les 2/3 de la hauteur du corps de la lanterne (chapiteau non compris); cette hauteur est, suivant nous, la meilleure.

Jusque dans ces dernières années, les lanternes étaient munies d'un robinet à bascule placé au-dessous. La Compagnie parisienne place aujourd'hui, avec raison suivant nous, dans les lanternes cylindriques posées sur les candélabres, les robinets à l'intérieur sur la chandelle elle-même et à 5 ou 6 centimètres du brûleur, et ce pour éviter les dépôts de naphtaline, qui, en certaines saisons et en certaines circonstances, se déposaient au passage du gaz dans le robinet. La chaleur du bec se transmet en partie au robinet, et la naphtaline qui se déposerait fondrait immédiatement.

Cette disposition peut, suivant nous, s'appliquer à toutes les lanternes au moyen de certaines petites modifications.

Les lanternes cylindriques dont nous venons de parler ont des chapiteaux assez peu élevés de forme, coniques et opaques; le désideratum sur ce point serait de pouvoir en faire un réflecteur dispersant la lumière parallèlement au sol, autant que possible. Dans les lanternes ordinaires, les chapiteaux trop développés et garnis de verre laissent perdre une bonne partie de la lumière qui va éclairer les étages supérieurs des maisons ou se perd dans l'espace. Nous avons vu tout récemment à la gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris, des réflecteurs produisant un bon effet.

La figure 86 représente une lanterne cylindrique, dite ronde plus généralement, dont les dispositions ont été indiquées par MM. Audouin et Bérard. Le trapillon placé à la base ferme, pour ainsi dire, hermétiquement; l'échancrure pour le passage de la chandelle est aussi réduite que possible, de sorte que la presque totalité de l'air nécessaire à la combustion entre dans la lanterne par les trous pratiqués dans la galerie, qui ont, suivant nous, une section totale trop grande; cette section devrait être réduite de manière à ne laisser passer, pour ainsi dire, que la quantité d'air nécessaire à la combustion. De cette manière, il régnerait dans l'intérieur de la lanterne une température relativement assez élevée, condition très-favorable à la combustion et à l'augmentation de l'intensité lumineuse du gaz.

Nous croyons devoir répéter ici que, pour des becs de même forme, les quantités de lumière ne sont point proportionnelles aux quantités de gaz consommées. Ainsi un bec de rue consommant 70 litres de gaz à l'heure ne donnera pas la moitié de la lumière fournie par un bec consommant 140 litres. Il y a donc avantage, en principe, à ne pas employer des demi-becs, et, à plus forte raison, des fractions plus réduites.

Les becs publics de la consommation de 140 litres doivent, pour fournir un éclairage convenable, ne pas être distants de plus de 40 mètres, et leur hauteur au-dessus du sol doit être de 2m,50 à 3 mètres. Nous savons bien que, dans certaines villes de France, les ingénieurs des ponts et chaussées exigent que sur la grande voirie les lanternes soient à une hauteur de 4 mètres, à cause des accidents auxquels pourrait donner lieu le passage des voitures avec un chargement élevé. C'est évidemment au détriment de la lumière fournie à la voie publique, et on sait que la lumière décroît en raison du carré des distances. Quand on ne place des lanternes qu'à des distances réciproques de 50 à 60 mètres, il est nécessaire de ne pas les trop rapprocher du sol; la hauteur de 3 mètres doit être un minimum : sans cela les points intermédiaires ne seraient, pour ainsi dire, point éclairés.

Jusqu'ici les systèmes de verres lenticulaires, proposés pour garnir certaines faces des lanternes, n'ont pas donné de bons résultats pratiques.

On comprend parfaitement que les consommations des becs publics doivent varier suivant les pressions du gaz dans les conduites, et que ces pressions varient elles-mêmes suivant les heures de la soirée, et cela malgré le fonctionnement à l'usine de régulateurs d'émission. Il en résulte que si les villes ne se contentent pas de la moyenne de consommation fixée par bec, et que si elles exigent que la consommation horaire soit toujours au minimum celle fixée par le cahier des charges, l'usine à gaz dépensera en définitive, pour l'éclairage public, plus qu'elle ne doit équitablement, ce qui peut constituer quelquefois pour elle un préjudice considérable, et lorsque les villes sont sur la pente d'une colline, les becs placés au sommet ont toujours une tendance à avoir des flammes dont les dimensions sont trop grandes.

Dans plusieurs cahiers des charges nous avons vu stipuler les dimensions des papillons et les consommations horaires; c'est à tort que les villes exigent de semblables conditions, une des deux stipulations suffit très-largement, le pouvoir éclairant du gaz étant d'ailleurs spécifié.

Pour remédier à cet inconvénient grave d'un excès de consommation pour les becs publics, divers systèmes ont été proposés.

On a proposé et essayé des régulateurs de petite dimension, placés au dessous de chaque bec : ainsi nous avons eu en France les régulateurs construits par M. Brunt, puis par M. Maldant. Ces derniers ressemblent beaucoup aux premiers, et sont basés d'ailleurs sur le même principe; on les a abandonnés, à cause de la mise hors de service plus ou moins prompte des membranes ou baudruches dont étaient faites les soupapes.

Jusqu'ici, c'est le petit appareil inventé par M. Giraud, et auquel il donne le nom de *rhéomètre*, ou régulateur de volume, qui nous paraît remplir le mieux les conditions demandées.

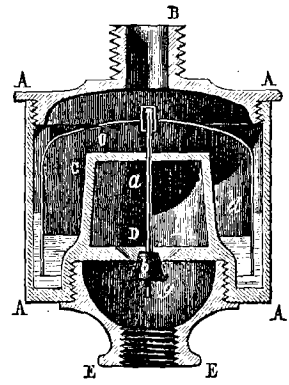


Fig. 87.

Le rhéomètre se compose (la fig. 87 donne une coupe verticale par l'axe de l'instrument) d'un cylindre métallique dont le fond supérieur est formé d'un couvercle vissé sur lequel un pas de vis B peut recevoir un bec circulaire ou un porte-bec. Le fond inférieur de A est percé d'une large ouverture circulaire sur les bords de laquelle s'appuie une pièce C légèrement conique, ouverte librement à sa partie supérieure, et communiquant à sa partie inférieure, par le trou circulaire conique D, avec la pièce E qui se visse elle-même sur le tuyau qui amène le gaz.

Voilà pour les parties fixes de l'appareil.

Une tige *a* en cuivre rouge est l'axe des parties mobiles; elle porte, soudé à sa partie inférieure, un cône *b*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui, suivant les mouvements de la tige *a*, peut boucher plus ou moins l'orifice D.

Cette tige traverse un guide fixé à la partie supérieure de la pièce C et se visse à une cloche légère *d* en cuivre étamé, platiné ou nickelé, par les méthodes galvanoplastiques.

La tige *a* se prolonge au-dessous du cône en une partie aplatie *g* par laquelle on peut la dévisser sans endommager le cône. On met dans l'espace circulaire compris entre A et C de la glycérine parfaitement épurée qui ne s'évapore pas aux températures atmosphériques. Il faut éviter qu'elle soit acide.

Un trou *o* est percé à la partie supérieure de la cloche *d*.

Le brûleur étant vissé en B, le gaz entre dans la cloche par le trou D, en passant autour du cône, et s'échapperait par le trou *o*, purement et simplement, si la pression n'était pas assez grande pour soulever la cloche; mais, en réalité, la cloche se soulève et si la pression dépasse celle pour laquelle l'appareil a été établi, soit 4 millimètres, elle entraîne avec elle le cône *b* qui vient diminuer le passage du gaz, comme dans un régulateur ordinaire.

L'appareil prend une pression d'environ 6 millimètres.

S'il passe dans l'appareil du gaz mal épuré et contenant des quantités notables d'ammoniaque, les organes sont assez facilement attaqués, et au bout d'un temps plus ou moins long il se trouve hors de service.

Les usines qui emploient ce rhéomètre depuis un certain temps s'en déclarent satisfaites.

C'est surtout dans des villes à terrain inégal qu'il peut rendre des services en apportant une économie sensible dans la consommation.

Le rhéomètre se visse sur le tuyau d'arrivée du gaz, sur la chandelle quand il s'agit d'une lanterne, et il porte à sa partie supérieure un pas de vis sur lequel on place le bec. Quand le gaz pénètre dans l'appareil, la cloche se soulève et se met dans une certaine position d'équilibre, le cône *b* obstruant en partie la bague placée dans la paroi inférieure de la pièce C.

Soit *s* la section de la cloche et π son poids, soit *p* la pression dans la canalisation, et soit *p'* la pression au-dessus de la cloche, on a dans la position d'équilibre

$$ps = \pi + p's, \text{ d'où } p - p' = \frac{\pi}{s};$$

on voit que, quelque soit *p*, la différence $p - p'$ est constante.

Mais le trou percé sur la cloche débite précisément le gaz sous la pression $p - p'$; donc il passera toujours le même volume. Pour que le gaz puisse se dépenser, la cloche prendra une position telle, qu'il passera autour du cône, entre ce dernier et la bague, précisément le volume de gaz jaugé au trou de la cloche.

Si on a plusieurs becs différents et qu'on les place sur le rhéomètre, ils feront tous la même dépense, mais les orifices des brûleurs étant différents, ils feront tous cette dépense sous une pression différente.

Les becs particuliers peuvent, comme les becs publics, être munis de régulateurs ou rhéomètres.

On peut aussi très-bien, surtout quand le nombre des becs a une certaine importance, avoir pour une maison, un magasin, un atelier, un régulateur général. Nous ne reviendrons pas sur les effets des régulateurs, cependant nous devons faire remarquer que l'emploi des régulateurs peut être très-utile quand le gaz éclaire des bureaux, des salles d'étude ou de lecture, en ce qu'ils empêchent les oscillations de la flamme, oscillations toujours fatigantes pour la vue.

On a imaginé d'autres dispositions moins ingénieuses, donnant des résultats moins précis, moins avantageux, mais qui exigent des frais d'établissement moins élevés que le rhéomètre Giroud.

Le moyen proposé par M. Brisson, fabricant de becs à Paris, consiste à interposer dans le tuyau de la chandelle un petit bout d'un diamètre plus petit dans toute sa longueur.

La partie inférieure de cet appendice est fermée en partie, c'est-à-dire que la paroi qui le termine est percée d'un trou dont il est très-facile d'augmenter la section, avec un simple tire-point, par exemple. L'étranglement ainsi formé dans la chandelle a pour but et pour effet de diminuer la pression du gaz qui arrive aux lanternes, et il faut, au moyen de quelques tâtonnements, voir quelle doit être la section à donner à l'orifice, pour qu'avec la pression minima de la nuit, le bec puisse avoir la consommation ou les dimensions réglementaires, en supposant que cette pression ne doive pas varier d'une nuit à l'autre.

On obtient aussi un étranglement analogue en faisant pénétrer plus ou moins dans le conduit de la chandelle une petite vis qu'on manœuvre à volonté.

Nous avons vu tout récemment un petit appareil ingénieux, inventé par M. Bablon, qui est un rhéomètre régulateur sec; sa partie régulatrice consiste dans un petit disque en métal qui, sous l'effet d'une pression plus grande que celle nécessaire à une combustion fixée pour le bec, vient boucher tout ou partie de l'orifice ou trou laissant passer le gaz.

Ne pouvant nous étendre davantage sur l'éclairage des rues, présentons maintenant quelques considérations sur l'éclairage intérieur.

Compteurs. Dans les premiers temps de l'éclairage au gaz, les Compagnies faisaient avec les particuliers des abonnements comprenant un certain nombre de becs de dimensions déterminées et brûlant chaque soir, pendant un nombre d'heures fixé; les abonnements prévoyaient le cas où les becs ne devaient pas brûler les dimanches et jours de fête. A Paris chaque branchement était muni d'un robinet extérieur, avec coffret placé dans le mur de façade de la maison à éclairer; des employés des Compagnies parcouraient les rues de 10 à 11 heures, suivant les heures d'extinction prévues, pour fermer les robinets extérieurs; ils avaient soin, en approchant des maisons où le gaz allait être éteint subitement, de frapper l'une contre l'autre les clefs dont ils étaient porteurs pour avertir les habitants de se précautionner d'une lumière, de manière à ne pas être plongés dans une complète obscurité. Lorsque les abonnés avaient besoin de jouir du gaz plus tard, ils devaient aller demander un supplément à la Compagnie.

On comprend tous les désagréments que procurait un semblable système, sans parler des discussions lorsque des abonnés élevaient trop les flammes de leurs becs ou faisaient servir ces flammes au chauffage soit d'outils, soit de liquides.

Heureusement que l'emploi des compteurs parvint non sans peine à se généraliser. Peu à peu les particuliers revinrent des préventions qu'ils avaient contre ces appareils dont ils soupçonnaient l'exactitude. D'un autre côté les compteurs reçurent des perfectionnements, dont ils avaient besoin, il faut le dire; leurs prix furent réduits, et l'autorité exigea qu'ils fussent vérifiés et poinçonnés par ses agents. Aujourd'hui une fois que son compteur est d'une puissance proportionnelle à la consommation, lorsqu'il est placé et entretenu dans des conditions déterminées, un abonné peut disposer du gaz comme il l'entend, non-seulement pendant la soirée et pendant la nuit, mais aussi pendant le jour, dans la plupart des villes au moins, celles où la consommation du jour est assez importante pour que l'usine à gaz puisse donner alors une pression suffisante.

On est bien obligé de maintenir, pendant toute la journée, les conduites pleines de gaz pour éviter les rentrées d'air, comme nous l'avons déjà dit, mais cette né-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

cessité n'exige, quand la canalisation est bonne, qu'une pression qui ne suffirait pas pour alimenter un certain nombre de becs ou d'appareils de chauffage.

Nous avons donc à parler des compteurs, qui ont contribué pour leur part à la grande extension du gaz dans la consommation.

C'est Clegg, auquel l'industrie gazière doit tant de perfectionnements, qui a inventé le compteur. Il le composa d'abord de 2 cloches, dont l'une recevait le gaz, tandis que l'autre le dépensait ; chacune d'elles s'élevait et s'abaissant alternativement; et chacune d'elles communiquait, d'une part, avec la conduite du gaz, et, de l'autre, avec la consommation. Des soupapes étaient disposées de manière que lorsqu'une des cloches était en communication avec la conduite, l'autre ne communiquait qu'avec la consommation, et réciproquement; le mécanisme était mis en jeu par le mouvement même des cloches.

Lorsque le gaz arrivait dans l'une des cloches, il la soulevait en vertu de sa pression, et forçait ainsi l'autre cloche, dépendante de la première, comme le plateau d'une balance dépend de l'autre, à baisser et à envoyer le gaz qu'elle contenait aux brûleurs. Arrivée à une certaine hauteur, elle faisait mouvoir le mécanisme des soupapes, et la communication avec l'extérieur était interrompue; le gaz soulevait alors l'autre cloche, et ainsi de suite. Le nombre des alternatives était indiqué par un mouvement d'horlogerie, permettant de lire sur des cadrans le nombre de mètres cubes qui leur correspondait.

Ce système, qui paraît très-simple, a été abandonné malgré les perfectionnements qu'on y a apportés ; il donne des oscillations à la lumière et se trouve soumis à des inconvénients résultant du jeu des soupapes.

Il nous semble qu'on aurait pu faire disparaître les oscillations au moyen d'une troisième cloche, et alors le compteur se serait trouvé dans les conditions d'un extracteur à trois cloches tiercées.

Clegg ne tarda pas à abandonner sa première ébauche; il adopta, pour mesurer le gaz, des portions de capacités cylindriques, se rapprochant beaucoup du compteur tel qu'il fonctionne aujourd'hui, et dont le compteur de fabrication que nous avons décrit a déjà donné une idée très-nette, car il n'est autre chose que le compteur de consommation dégagé de quelques-uns de ses détails.

C'est Crosley, ingénieur anglais, qui a eu l'honneur de perfectionner et de compléter le compteur Clegg.

Nous avons dit, à propos du compteur indiqué, que le gaz entrait par une calotte sphérique placée à une des extrémités du volant; cette calotte existe aussi dans le compteur de consommation, mais le gaz n'y pénètre pas directement. Sur la façade de l'enveloppe du volant se trouve fixé un compartiment rectangulaire, qui est, s'il nous est permis d'employer cette expression vulgaire, la boîte à malice. Les figures 88 et 89 en donnent le détail; la plaque de métal y est remplacée par une plaque de verre.

Le gaz arrive par le tuyau *t* et pénètre dans une première chambre *b*, percée à sa partie inférieure d'une ouverture qui se ferme au moyen d'une soupape *s*, terminée à sa partie inférieure par un flotteur *d*, dont nous reconnaîtrons tout à l'heure l'utilité. L'ouverture étant supposée libre, le gaz passe de la chambre *b* dans la chambre A, qui est à moitié remplie d'eau. Une seule issue est, dans cette chambre, ouverte au gaz; c'est l'orifice du tube *g* qui s'élève au-dessus de l'eau. Ce tube se recourbe en U, et sa deuxième branche *g'* pénètre dans la calotte dont nous avons parlé tout à l'heure. La capacité cylindrique B, dans laquelle est placé le tambour, est également à moitié remplie d'eau.

Nous n'avons pas à revenir ici sur la marche du volant et sur la manière dont ses révolutions sont indiquées sur des cadrans, disons seulement que la transmission du mouvement se fait: 1° au moyen d'une vis sans fin V, placée à l'extrémité de l'axe du volant;

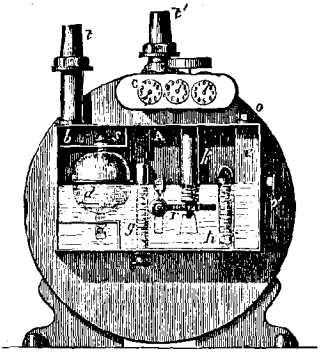


Fig. 88.

2° d'une roue dentée *r* qui engrène sur la vis V; 3° enfin, d'un arbre vertical qui transmet le mouvement à trois

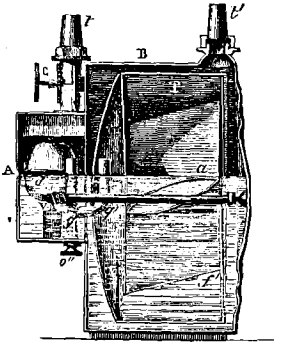


Fig. 89.

cadrans qui se trouvent, dans le compteur de consommation, placés dans une petite boîte fixée sur la façade du compteur, et ce pour la facilité du service, et cette boîte a sa cloison intérieure en verre, ce qui permet de voir la position des aiguilles. L'arbre fait aussi tourner horizontalement une roue appelée tambour, sa bande *u* est divisée en litres, dont le nombre est apprécié avec l'aide d'une aiguille verticale fixe. Pour le bien, cette roue devrait être partagée en 1,000 parties, représentant chacune la consommation d'un litre de gaz, on se rendrait ainsi compte des fractions de mètre, le premier cadran vertical représentant les mètres cubes, mais la réalisation de ce *desideratum* rencontre des difficultés dans la pratique. En réalité le tambour est divisé en une quantité de litres qui varie suivant l'importance du compteur. Pour un compteur de 5 becs, par exemple, la révolution du volant donnant une capacité de 100 litres, le tambour doit faire un tour entier pour marquer 100 litres de gaz, et il doit donc accomplir dix révolutions pour un mètre cube de gaz.

L'exactitude du jaugeage du volant et l'invariabilité des dimensions de celui-ci constituent bien la précision de l'appareil, mais à la condition toutefois que le niveau d'eau de l'appareil reste invariable, car évidemment la capacité de ce volant varie avec le niveau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'eau, niveau qui peut varier lui-même suivant plusieurs circonstances; ainsi le gaz, surtout quand il a été bien condensé, bien refroidi, entraîne une certaine quantité d'eau par son passage dans le compteur, et l'élévation de la température dans le local où est placé le compteur favorise nécessairement cet entraînement.

Or, quand le niveau de l'eau s'abaisse, la capacité intérieure du volant augmente, et la Compagnie qui livre le gaz se trouve lésée. Si au contraire le niveau était trop élevé il y aurait perte pour le consommateur. Il est vrai de dire que ce dernier cas ne peut guère se produire. Le compteur doit être muni d'un régulateur de niveau qui évite ces variations, dans de certaines limites qui, on le conçoit, ne peuvent être mathématiques. La soupape *s* règle le niveau minimum, et voici comment : le flotteur *d* se trouvant soulevé par l'eau contenue dans l'appareil, la soupape *s* qui en est solidaire est ouverte; mais le niveau vient-il à baisser, le flotteur s'abaisse en entraînant la soupape qui vient fermer l'issue de la chambre *b*, et alors l'arrivée du gaz est interrompue. Vient-on à verser de l'eau dans le compteur et à dépasser le niveau normal, le liquide s'élève bientôt, si on n'y prend garde, jusqu'au niveau du tube *g*, tombe dans le coude qui réunit les deux branches *g*, *g'*, et le passage du gaz est intercepté.

Pour introduire de l'eau dans le compteur, et pour régler exactement son niveau, on verse par l'ouverture *o* jusqu'à ce qu'elle s'écoule par la tubulure *o'* munie *o* d'un bouchon de métal à vis.

La fig. 90 donne la coupe verticale d'un compteur à

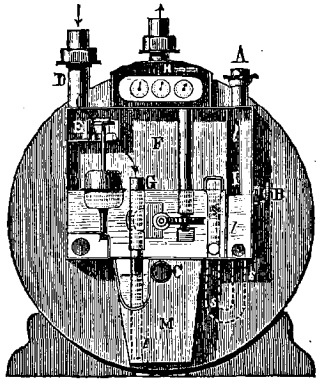


Fig. 90.

garde hydraulique, du compteur ordinaire modifié dans le but de remédier aux inconvénients dont il vient d'être parlé.

Nous avons déjà dit que de l'eau pouvait arriver dans le tube en U, établissant, pour le gaz, la communication entre les deux chambres. Dans le compteur à garde hydraulique, ledit tube en U, figuré en G, porte à sa partie inférieure un tube vertical *tt* qui vient plonger dans l'eau contenue dans une espèce de poche M, faisant saillie sur la boîte du compteur.

En C se trouve un orifice fermé par une vis qu'on ouvre quand on veut donner écoulement au liquide qui s'est accumulé en M, et ce sans qu'il puisse y avoir écoulement de gaz. La garde d'eau du tuyau *tt* empêche aussi les abonnés qui voudraient voler du gaz de pouvoir en prendre, comme il leur serait possible de le faire, si le tube *tt* était simplement bouché inférieurement par une vis, comme dans le compteur ordinaire.

Comme la pression du gaz dans les conduites peut être assez élevée, arriver, comme cela a lieu à Paris, à dix centimètres au moins, il est nécessaire que le gaz ne puisse s'échapper ou être soustrait par la vis B placée latéralement, si on l'ouvrait pendant la pression. A cet effet l'eau contenue dans la chambre F ne peut communiquer au compartiment I que par le tuyau-syphon *ss*, qui forme encore ici une véritable garde hydraulique.

Avec ces dispositions aucun inconvénient ne peut se présenter si on obtient de mettre en place les vis B et C, pendant le fonctionnement du compteur.

Pour mettre en marche ce compteur, il faut d'abord fermer le robinet d'arrivée du gaz et ouvrir 2 ou 3 brûleurs afin d'éviter la compression de l'air qui se trouve dans le compteur, ce qui nuirait à l'établissement du niveau; on retire ensuite les vis A, B et C, et on verse de l'eau en A jusqu'à ce qu'elle s'écoule en C; quand l'eau a cessé de couler, on replace les vis et le compteur est prêt à fonctionner; on ouvre alors le robinet d'introduction et le compteur fonctionne comme nous l'avons dit plus haut.

Il est essentiel qu'on ne puisse faire marcher en sens inverse le volant d'un compteur, ce qui le ferait décompter. Plusieurs moyens peuvent être employés pour arriver à ce résultat.

Quelquefois l'arbre est muni dans sa partie située derrière le volant d'une petite tige ou appendice perpendiculaire à cet axe. Dans le mouvement de rotation cette petite tige rencontre une petite pièce de métal pouvant tourner autour d'un axe, librement, mais seulement dans le sens de rotation normale du volant, c'est-à-dire de droite à gauche. Quand le volant tourne normalement la petite tige fait faire, en passant, environ un quart de tour à la pièce mobile qui reprend la position verticale aussitôt que la tige est passée. Si on voulait faire tourner le volant de gauche à droite, la tige viendrait frapper contre la pièce dont les ailes seraient arrêtées par les deux petits montants entre lesquels elle est suspendue, et le volant serait arrêté dans son mouvement.

Un petit rochet pourrait aussi suivre dans le sens normal le mouvement de la roue dentée horizontale, pour venir s'interposer entre deux dents si le mouvement se produisait en sens inverse.

Il faut que les usines à gaz se prémunissent avec tous les soins possibles contre l'abaissement du niveau d'eau dans les compteurs. Comme il y a très-généralement évaporation favorisée par le passage du gaz, il faut de temps en temps faire mettre de l'eau dans les compteurs, faire le plein, comme on dit. Cette opération se fait ordinairement tous les mois, mais au besoin elle devrait être faite plus souvent.

On a conseillé plusieurs dispositions pour avoir dans les compteurs un niveau d'eau constant. Nous repoussons en principe toutes celles mécaniques par cela seul qu'elles ont pour effet de rendre le volant plus lourd, et par suite de faire perdre au gaz plus de pression pour son passage dans le compteur; ce qui est un inconvénient sérieux. Nous n'avons pas la même objection à faire sur les moyens d'alimentation basés sur l'emploi des vases dits de *Mariotte*. Plusieurs inventeurs ont déjà travaillé dans ce sens. M. Rouget, directeur-gérant de l'usine à gaz de Brest, a proposé, si nous sommes bien renseignés, de faire passer le gaz, avant son arrivée au compteur, sur une surface d'eau où il se sature, pour ainsi dire, de vapeur. Nous avons la conviction qu'on arrivera à un perfectionnement réellement pratique, pour la réalisation d'un niveau constant dans les compteurs.

Nous conseillons fortement aux directeurs d'usines de faire faire le relevé des chiffres des compteurs à des jours différents du mois, ou, s'ils tiennent à connaître les consommations des abonnés pour un mois complet, de faire passer les aiguilleurs supplémentairement une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fois par mois à des dates essentiellement variables. Ils ne sauraient trop se mettre en garde contre des tentatives de fraude toujours trop nombreuses. Il y a aussi un grand intérêt à vérifier les compteurs après quelques années de service, en profitant du moment de cette vérification pour remplacer complétement l'eau dans laquelle a pu se produire un dépôt gênant pour les mouvements du volant.

Le nombre des becs alimentés par un compteur ne doit pas dépasser celui pour lequel il a été construit, sous peine de voir la mesure faussée en moins et ce dans des proportions très-appréciables. Ainsi la quantité de gaz accusée par un compteur de 5 becs sera inférieure de 4 pour 100 au moins à la quantité réellement consommée, si le nombre des becs alimenté était de dix, et l'erreur est d'autant plus forte que la disproportion du nombre de becs est plus grande.

Plusieurs personnes ont demandé et demandent que le compteur à gaz devienne une mesure légale; nous ferons remarquer qu'il ne peut raisonnablement en être ainsi, parce que la mesure donnée par le compteur n'est pas et ne peut être rigoureusement exacte. Dans le compteur à eau, le seul pour ainsi dire employé aujourd'hui (le compteur sec ayant été abandonné à cause de ses désiderata) l'exactitude de la mesure dépend essentiellement du niveau d'eau: or ce niveau d'eau est établi sans tenir compte de la pression sous laquelle le compteur devra fonctionner, et les pressions varient et suivant les usines et suivant les conditions d'altitude des maisons ou établissements dans lesquels se trouvent les compteurs.

Lorsque les compteurs ont été bien construits, on peut et on doit admettre que, le niveau d'eau étant bien maintenu, les indications données par les compteurs sont exactes à 1 ou 2 pour 100 près. Les compteurs à garde hydraulique sont seuls admis au poinçonnage à Paris.

La préfecture de la Seine, eu égard aux chances d'imperfections que peuvent présenter les compteurs de trois becs, n'admet plus, depuis plusieurs années, au poinçonnage que des compteurs de cinq becs. Cette mesure nous semble très-sage, et il serait à désirer que l'emploi des compteurs de trois becs fût supprimé.

Les compteurs doivent être placés dans des endroits accessibles facilement, et suffisamment éclairés pour qu'on ne soit pas obligé de s'en approcher avec de la lumière en cas d'examen ou de déplacement.

Si pour une cause quelconque un compteur doit être déplacé, et que pendant le déplacement on ne puisse se passer de gaz, on relie par un U, en plomb ou en caoutchouc, garni à ses deux extrémités de taraudages, les tuyaux d'arrivée et de sortie du gaz, qui sont eux aussi munis de raccords, sauf à évaluer la quantité de gaz consommé pendant l'absence du compteur approximativement, par une moyenne.

Par des froids intenses l'eau des compteurs est exposée à geler lorsqu'ils sont placés dans des endroits non chauffés et non habités, et ce malgré les précautions qu'on peut prendre en entourant de paille, de foin ou même de fumier les compteurs, qu'on a soin le plus généralement de renfermer dans des boîtes en bois fermant à clef.

Pour empêcher cette congélation plusieurs moyens ont été proposés: ainsi on peut placer dans les compteurs des dissolutions salines privées de toute acidité et alcalinisées légèrement au besoin. Le sel de cuisine peut très-bien servir, à l'état de dissolution concentrée à 18 degrés du pèse-sel. Même observation pour le sulfate de soude; le sel cristallisé, le sel de Glauber, est le plus convenable.

Au lieu de dissolutions salines, on peut employer de l'alcool ou de la glycérine. Il n'est pas nécessaire que la totalité de l'eau du compteur soit remplacée par ces deux derniers liquides; un mélange fait dans de certaines proportions suffit bien, la moitié pour l'alcool est convenable. Le haut prix de l'alcool, eu égard aux taxes nouvelles, rendant son emploi très-coûteux, on pourrait le remplacer économiquement par de l'esprit de bois (méthylène), sur lequel, du reste, le gouvernement ne tardera pas peut-être à mettre des taxes équivalentes à celles mises sur l'alcool.

Quant à la glycérine, voici les relations que M. Schilling indique, d'après M. Fabian, entre la densité du liquide et son point de congélation.

DENSITÉ.	DEGRÉ BAUMÉ.	POIDS EN GLYCÉRINE de 1,26 de densité.	POINT DE CONGÉLATION.
1,024	3,5	10	— 1°,25 centigrade.
1,051	7,0	20	— 2 ,50 —
1,075	10,0	30	— 6 ,25 —
1,105	14,0	40	— 17 ,50 —
1,117	15,5	45	— 26 ,25 —
1,127	17,0	50	— 31 ,25 à 34
1,154	20,0	60	
1,179	22,0	70	
1,204	25,0	80	ne gelant pas à — 25°.
1,232	28,0	90	
1,241	29,0	94	

On pourrait aussi placer dans les compteurs, au lieu d'eau, de l'huile épurée de pétrole ou de schiste, qui ne se congèle pas par le froid et qui présenterait l'avantage d'augmenter plutôt que de diminuer le pouvoir éclairant. Nous disons de l'huile épurée, parce qu'elle est débarrassée de la paraffine qui peut cristalliser par l'action du froid.

Si l'eau d'un compteur est gelée, il ne faut point faire intervenir de feu pour la dégeler; le meilleur moyen est d'entourer le compteur de linges bien imbibés d'eau bouillante.

Compteurs secs. On a souvent tenté, en Angleterre, de combiner des compteurs à gaz sans eau; ils consistent en des systèmes analogues à ceux de certains compteurs à eau, c'est-à-dire en des réunions de pistons alternatifs garnis de cuir comme ceux de la pompe des prêtres, pour supprimer tout ajustement, et qui ouvrent et ferment successivement des capacités d'un volume connu.

Ces appareils n'ont jamais réussi: leur résistance est toujours trop grande pour qu'ils puissent être mus longtemps par la faible pression du gaz; leur prix plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

élevé, la rapide usure des substances facilement altérables dont ils sont formés, ne permettent pas de les mettre en parallèle avec le compteur à eau, dans lequel le liquide forme des ajustements si parfaits, faisant naître des résistances si minimes, et dont la construction en tôle de fer galvanisée ou plombée ne comprend aucune substance facilement altérable comme le cuir. Très-essayés en Angleterre, les compteurs secs n'ont pu être débarrassés de l'inconvénient de faire naître des oscillations du gaz, désagréables pour la vue, dès que la consommation dépasse les quantités pour lesquels ils ont été établis, oscillations que l'eau empêche de naître dans les compteurs ordinaires.

Le gaz, une fois mesuré, se rend aux becs placés dans les locaux à éclairer, et les brûleurs dépendent essentiellement des conditions particulières. Quelles que soient les dispositions à adopter, les principes généraux d'une bonne combustion doivent être observés.

Combustion du gaz. On a reproché et on reproche encore au gaz d'abîmer la vue par sa flamme trop brillante. Il y a toujours moyen de tempérer cette lumière: ainsi on fait usage quelquefois de cheminées bleutées ou en mica (lesquelles ont aussi le mérite de ne pas se casser); ou bien on fait reposer, sur la galerie du bec qui supporte la cheminée, un cône de verre dépoli ou même bleuté, qui intercepte une partie des rayons lumineux. Il est évident, d'ailleurs, qu'il vaut mieux s'éclairer par de la lumière réfléchie que par de la lumière directe.

La vacillation de la flamme du gaz, dont on se plaignait beaucoup à l'origine, n'existe plus, avec des régulateurs, pour des becs à double courant d'air bien établis, garnis de paniers à l'entrée de l'air arrivant au centre, soustrayant la flamme à l'influence des courants.

On reproche aussi au gaz de dégager par sa combustion trop de chaleur. Cette chaleur, qui est pendant l'été un inconvénient incontestable, est souvent, sinon toujours, un avantage dans les saisons froides.

Nous avons à faire remarquer, d'ailleurs, que les lampes à huiles végétales ou minérales, les bougies, les chandelles, ne peuvent donner de lumière sans développer en même temps de la chaleur, et qu'après tout les substances solides ou liquides ne brûlent qu'après s'être transformées elles-mêmes en gaz. Rappelons ici en passant que ce sont les carbures d'hydrogène, soit l'hydrogène bicarboné, soit les carbures liquides, comme la benzine, entraînés par le gaz, qui contiennent un excès de carbone, dont les molécules donnent à la flamme son éclat, son pouvoir éclairant.

Tout autre système d'éclairage donnerait, à égalité de lumière, une chaleur égale à très-peu près à celle développée par la combustion du gaz. Ajoutons que le gaz dépouillé entièrement de son acide sulfhydrique et de son ammoniaque ne peut donner par sa combustion aucune émanation nuisible. On sait que l'acide sulfhydrique donne naissance à de l'acide sulfureux et même à une petite quantité d'acide sulfurique; l'ammoniaque peut dans une flamme de gaz donner naissance à de l'acide azotique ou hypo-azotique.

Composition de la flamme. Nous croyons devoir rapporter ici les expériences faites par Landolt, chimiste allemand, sur la composition de la flamme à diverses hauteurs, bien que nous n'apercevions pas d'utilisation pratique de ces recherches très-intéressantes au point de vue théorique.

Composition de la flamme à diverses hauteurs. Dans les expériences dont nous allons rapporter les résultats, le gaz, débarrassé d'acide carbonique, d'oxygène et de vapeur d'eau, était envoyé, sous la pression d'une colonne d'eau de 38 millimètres, dans une boîte de laiton, ayant à la partie supérieure une ouverture de 7 millimètres et un tube du même diamètre à peu près passant à frottement doux à travers la base. Le gaz trouvait une issue à travers la fente étroite qui était ainsi formée, et le tube était réuni à un aspirateur qui agissait sur un tube de laiton placé dans la flamme. Ces analyses, sans être applicables à tous les gaz préparés avec des houilles de formations différentes, peuvent être regardées comme des approximations assez grandes pour rendre bien compte des faits, qu'il serait souvent impossible de comprendre si on ne tenait pas compte de leur composition.

La table ci-après donne la composition du gaz d'éclairage purifié (L) et celle de la flamme à diverses hauteurs (D millimètres) au-dessus du bec fendu, en centièmes de volume (F).

COMPOSITION DU GAZ D'ECLAIRAGE.

D	0mm		10mm		20mm		30mm		40mm		50mm	
	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F	L	F
Hydrogène	30,30	20,34	41,04	12,45	44,00	2,23	44,00	4,99	41,37	3,43	41,37	2,59
Gaz des marais	40,56	30,31	40,71	25,14	38,40	11,52	38,40	6,92	38,30	2,82	38,30	0,79
Oxyde de carbone	4,95	6,59	7,64	11,71	5,73	5,71	5,73	4,68	5,56	5,26	5,56	5,45
Éthylène	4,04	3,80	5,10	3,59	4,13	1,96	4,13	1,55	5,00	0,90	5,00	0,60
Propylène	3,15	2,75	2,18	2,65	3,14	1,34	3,14	1,00	4,34	0,77	4,34	0,58
Oxygène	—	0,59	—	0,65	—	0,19	—	—	—	—	—	—
Azote	8,00	20,40	2,75	32,20	4,23	57,25	4,23	59,18	5,43	64,01	5,43	66,59
Acide carbonique	—	1,74	0,58	1,95	0,37	4,11	0,37	4,81	—	5,62	—	7,01
Eau	—	7,48	—	9,66	—	15,79	—	16,87	—	17,19	—	16,39

L'acétylène, qui a été reconnu exister dans le gaz d'éclairage, n'était pas découvert lorsque ces expériences ont été faites, c'est pourquoi on ne le voit pas figurer dans les analyses; il est dosé comme avec les autres gaz de composition peu différente. L'éthylène et le propylène ne sont, comme l'acétylène, que des carbures d'hydrogène avec des groupements différents de carbone et d'hydrogène. D'après les résultats ci-dessus, Landolt a calculé les proportions de gaz et d'air qui, par leur action mutuelle, forment les diverses parties de la flamme. Les résultats sont un peu discordants selon que le carbone, l'hydrogène ou l'azote sont pris pour base de calcul. Les résultats les plus probables sont consignés dans la table suivante, dans laquelle A est le volume de l'air atmosphérique mélangé avec 100 parties de gaz; 100 + A = M le volume primitif du mélange non brûlé, V le volume du gaz de la flamme.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COMPOSITION DE LA FLAMME DU GAZ.

D	0mm		10mm		20mm		30mm		40mm		50mm	
A.....	27,08		45,43		172,76		227,73		335,30		381,66	
M.....	127,08		145,43		272,76		327,73		432,30		481,65	
V.....	111,41		120,09		245.96		311,37		422,59		461,23	
	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
Hydrogène.....	30,30	22,66	41,04	14,95	44,00	5,49	44,00	15,54	41,37	14,50	41,37	11,95
Hydr. protocarboné..	40,36	33,77	40,71	30,20	38,40	28,34	38,80	24,55	38,80	11,92	38,30	3,64
Oxyde de carbone...	4,95	7,34	7,64	14,07	5,73	14,05	5,73	14,58	5,56	22,24	5,56	25,14
Ethylène.....	4,04	4,23	5,10	4,31	4,13	4,58	4,13	4,83	5,00	3,80	5,03	2,77
Propylène.....	3,13	3,06	2,18	3,18	3,14	3,29	3,14	3,11	4,34	3,25	4,34	2,68
Oxygène.....	5,67	0,66	9,52	0,78	36,21	0,47	47,73	—	70,28	—	79,99	—
Azote.....	29,41	29,41	38,66	38,66	140,78	140,78	184,23	184,23	270,45	270,45	307,10	307,10
Acide carbonique....	—	1,94	—	2,34	0,37	10,11	0,34	14,98	—	23,76	—	32,34
Eau.....	—	8,34	—	11,60	—	38,85	—	52,55	—	72,67	—	75,61
	127,08	111,43	145,43	120,00	272,76	245,96	327,73	311,37	435,30	422,59	481,66	461,23

L'accroissement subit de la quantité d'air mélangée avec le gaz, entre les hauteurs de 10 à 20 millimètres, est attribuée par Landolt à l'effet du verre. La proportion d'acide carbonique n'augmente pas vers la partie supérieure de la flamme autant qu'on aurait pu s'y attendre, probablement à cause de la réduction de ce gaz en oxyde de carbone, par l'effet du carbone incandescent de la flamme, ou plutôt par suite des phénomènes de dissociation constatés par M. Deville; c'est ce que montre l'accroissement soudain de la proportion d'oxyde de carbone entre la hauteur de 30 à 40 millimètres. Les quantités des divers gaz combustibles diminuent de bas en haut, en raison de leur combustibilité. De 0 à 20 millimètres la décroissance de l'oxygène est très-rapide; l'augmentation de la proportion de ce gaz dans la flamme au-dessus de la hauteur de 20 millimètres est due probablement à la réduction par le charbon de la vapeur d'eau et aussi à sa dissociation. Le gaz des marais diminue bien plus lentement et les hydrocarbures lourds encore davantage, ces derniers restant dans la flamme sans éprouver presque d'altération jusqu'à une hauteur de 40 millimètres et ne brûlant que dans la partie la plus élevée.

La lumière la plus brillante se produit dans la partie de la flamme située au-dessus du sommet du cône obscur. Dans une flamme de gaz de 100 millimètres de hauteur, dans laquelle le cône obscur atteint 65 millimètres, ce point est à 70 millimètres, et en posant l'éclat de ce point = 100, celui des autres parties de la flamme est ainsi :

Haut. au-dessus du bec	80mm	70mm	60mm	50mm	40mm	30mm
Éclat au bord.....	66	100	77	47	20	4
Éclat au milieu....	66	100	59	24	5	0

La combustion n'est parfaite que dans la partie blanche de la flamme, et n'a lieu qu'à une certaine distance des orifices. La partie inférieure est toujours bleuâtre, ce qui prouve qu'en cet endroit le gaz brûle sans être préalablement décomposé; c'est par l'effet d'une décomposition partielle, on le sait, que le charbon est précipité, et, étant incandescent, donne à la flamme sa vivacité et son pouvoir éclairant.

Enrichissement du gaz et carburation. Lorsque dans une usine à gaz on ne peut obtenir, par la distillation des charbons qu'on a à sa disposition, le pouvoir éclairant réglementaire, on complète ce pouvoir en distillant, conjointement avec le charbon, une certaine proportion soit de cannels, soit de schistes bitumineux. Le meilleur des cannels, au point de vue du rendement en gaz et de son pouvoir éclairant, est le cannel d'Ecosse appelé Lesmahagow.

Le meilleur schiste vient aussi d'Écosse; c'est le boghead. Il se trouve aussi en France quelques variétés, peu abondantes malheureusement, de schistes assez riches pour être utilisés dans les usines à gaz. On en trouve dans le bassin d'Autun et aussi à Boson (Var). Rien d'absolu ne peut être conseillé pour le choix à faire et la préférence à donner; les circonstances, les conditions particulières peuvent et doivent seules guider à cet égard les intéressés.

Nous pouvons cependant faire remarquer qu'on doit préférer un cannel qui laisse pour résidu un coke assez riche en carbone pour être brûlé, autrement dit un coke ne donnant pas trop de cendres (c'est le défaut des cokes des schistes et des cannels), et qui peut à la rigueur être brûlé en étant mélangé en certaines proportions avec le coke de la houille. Il y a là un avantage qu'il faut faire entrer en ligne de compte; c'est qu'on peut charger les cornues avec le mélange de houille et de cannel dans la proportion désirable, et la distillation du mélange donne pour le pouvoir éclairant de meilleurs résultats que la distillation séparée des deux substances.

Pour rendre le gaz plus éclairant et dans l'espoir d'obtenir surtout de l'économie, on a depuis longtemps proposé de carburer le gaz ordinaire. Cette carburation obtenue, en principe, en mettant le gaz en contact avec des essences de houille ou de pétrole très-volatiles, les plus volatiles qu'on puisse obtenir, ne pourrait être appliquée que sur le gaz arrivé aux lieux de consommation, par cette raison qu'un parcours plus ou moins étendu produirait le dépôt de l'essence entraînée par le gaz, même quand il n'y aurait pas abaissement de température.

Le fait d'accroissement considérable du pouvoir éclairant du gaz par la carburation est incontestable; mais l'application économique de ce procédé présente des inconvénients très-graves qui l'ont en définitive fait abandonner. D'abord l'adjonction d'un carburateur aux appareils installés chez un consommateur, et comprenant déjà un compteur et quelquefois un régulateur, serait une complication. Ensuite les essences, soit de houille, soit de pétrole, n'ont pas une composition identique, ne se vaporisent pas complétement, tant s'en faut, à la même température. Elles ne sont en réalité qu'un mélange d'essences diverses, les unes plus volatiles que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les autres, de sorte que le gaz en traversant un carburateur entraîne au commencement les essences les plus volatiles, et, au bout d'un certain temps, la partie restante de l'essence a augmenté de densité et diminué de volatilité, et ne peut plus donner le résultat désiré. Il faut alors évacuer le résidu et garnir le carburateur de liquide neuf, laquelle opération présente du danger à cause de l'inflammabilité de l'essence, et produit une odeur très-peu agréable. Enfin, en supposant qu'on puisse trouver une essence de composition homogène et assez volatile, l'utilisation de cette substance, dans un grand nombre de carburateurs, aurait pour effet immédiat d'en faire augmenter singulièrement le prix.

Suivant nous, la seule application logique de la carburation serait la carburation de l'air pour l'éclairage d'établissements situés hors des rayons d'usines à gaz.

Il faudrait que l'essence carburante ne fût introduite que peu à peu dans le carburateur de manière qu'elle pût se volatiliser entièrement, pour ainsi dire, au fur et à mesure de son introduction dans le carburateur soumis d'ailleurs à une température telle que la volatilisation de toute l'essence introduite pût avoir lieu, l'alimentation serait continue ainsi que la volatilisation complète.

Gaz riche. Nous avons jusqu'ici parlé de la production du gaz au moyen de la houille. Dans quelques circonstances on produit le gaz au moyen soit des schistes bitumineux, soit des cannels.

Dans quelques villes de France, peu importantes d'ailleurs, on avait, il y a un certain nombre d'années, installé des usines à gaz *riche* courant, qu'on fabriquait avec du boghead ou des matières analogues, quelquefois même avec des mélanges consistant en boghead réduit en petits fragments, en houille et en substances grasses ou gondronneuses.

Le gaz ainsi obtenu a un pouvoir éclairant notablement supérieur au gaz de houille. Et quand la matière première est du boghead, ce pouvoir éclairant peut être représenté par 4, en prenant pour unité celui du gaz de houille ordinaire. C'est là, du reste, une limite supérieure dont on approche plus ou moins, mais qu'on n'atteint pas facilement. On peut plus pratiquement admettre que le pouvoir éclairant du gaz de boghead se rapproche bien plus de 3 que de 4.

Pendant la distillation le boghead, non plus que les schistes et les cannels, n'augmente pas de volume comme la houille. On charge ces matières réduites en fragments dans des cornues en terre plates; elles n'ont guère plus de 11 centimètres de hauteur, 1 mètre environ de longueur et 50 centimètres de largeur. Chaque cornue reçoit à peu près 42 kil. de boghead. La distillation est terminée en une heure.

La condensation est beaucoup plus facile que celle du gaz de houille qui renferme plus de vapeur d'eau. Il en est de même de l'épuration, qui s'opère au moyen de la chaux; le gaz ne renferme pas d'acide sulfhydrique ou n'en contient qu'une très-petite proportion. Il est essentiel d'absorber la totalité de l'acide carbonique puisqu'on veut obtenir un gaz très-riche.

La fabrication et la fourniture de gaz de boghead présentent, au point de vue de la simplicité des appareils d'épuration, de l'économie apportée sur la dépense de canalisation, relativement moins importante, un avantage sur la fabrication du gaz de houille. Et cette observation s'applique dans des proportions diverses à toute espèce de gaz riche. Cependant on a depuis longtemps admis avec raison, suivant nous, que l'exploitation d'usines à gaz riche est toujours bien moins avantageuse que celle des usines à gaz de houille, et constitue assez souvent une mauvaise opération. Nous donnons, bien entendu, cette appréciation d'une manière générale; ici encore on ne peut poser une règle absolue. Du reste, il est surtout question ici d'usines destinées à desservir l'éclairage des villes; lorsqu'il s'agit de l'éclairage d'un établissement particulier la fabrication du gaz riche peut présenter certains avantages. Et par gaz riche nous ne parlons pas seulement de celui extrait des schistes bitumineux ou des cannels, mais aussi de celui qu'on peut produire avec les huiles de schiste ou de pétrole, les huiles grasses et de résine, les graisses, etc.

Quand il s'agit d'employer à la fabrication du gaz riche, des huiles ou matières susceptibles de se liquéfier, le procédé de fabrication est toujours à peu près le même. Dans une cornue renfermant des morceaux de fonte de fer, ou des substances réfractaires, du coke, portés au rouge, on fait arriver un filet continu, soit de la matière solide liquéfiée, soit du liquide élevé déjà à une température assez haute; la décomposition s'opère, sinon en totalité, au moins en grande partie. Une partie de la matière première peut être entraînée par le gaz, une autre partie peut être transformée en une huile particulière pyrogénée. Comme on fait circuler le gaz dans un condenseur, les matières dont nous venons de parler se déposent pour, assez souvent, être dirigées d'elles-mêmes dans la cornue; la condensation s'opère d'ailleurs facilement. L'épuration au moyen de chaux se réduit à peu de chose et quelquefois même peut être supprimée. Dans la cornue, et quelquefois à sa sortie, le gaz laisse déposer une certaine quantité de carbone graphiteux qu'il faut enlever de temps en temps. Ce carbone bouche assez vite les pores du coke, quand on fait usage de ce corps pour augmenter les surfaces de décomposition.

Lorsqu'on décompose des corps qui sont liquides à la température ordinaire, ou à peu près, on peut alimenter la cornue au moyen d'un réservoir supérieur à niveau constant.

La figure 91 représente un appareil employé par

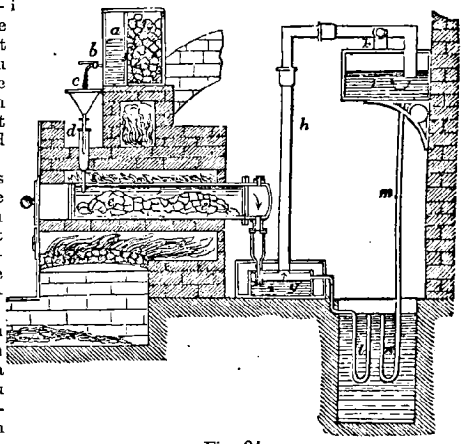


Fig. 91.

Chaussenot pour la fabrication du gaz avec de la résine de qualité inférieure, d'arcanson.

La résine déposée en *f*, et mélangée avec les huiles volatiles des opérations précédentes arrive, à travers une gaze métallique qui arrête toute impureté, dans le réservoir *a*, à mesure qu'elle est liquéfiée par le feu. Elle en sort par un robinet *b* et tombe dans un entonnoir d'où elle passe dans la cornue *e* renfermant du coke incandescent. Les produits de la distillation se rendent dans des réfrigérants *g*, *h*, renfermant de l'eau, puis par un tuyau *k* dans le gazomètre. Les huiles volatiles condensées par les réfrigérants se rendent par les syphons *l*, *n* dans une citerne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le pouvoir éclairant du gaz obtenu par les substances que nous venons d'indiquer est plus élevé que celui du gaz de houille; il varie nécessairement suivant la matière première : pour la résine, il est double; pour l'huile, il peut aller jusqu'au triple.

L'attention des fabricants de gaz s'est aussi portée sur les eaux provenant du dégraissage des laines et qui renferment en dissolution le savon employé au dégraissage, en même temps qu'une proportion plus ou moins forte de suint.

Deux procédés ont été employés pour extraire de ces eaux la matière grasse : le premier, conseillé et pratiqué il y a quarante ou cinquante ans par M. Houzeau-Muiron de Reims, consistait dans l'action des acides et spécialement de l'acide sulfurique qui décomposait les sels gras (oléate, margarate et oléate) contenus dans le savon et mettait en liberté les acides gras qui venaient, avec le suint, se rendre à la surface du liquide. Le mélange, dit *suinter*, était, après séparation aussi complète que possible de l'eau, introduit à l'état liquide dans des cornues où se produisait le gaz.

L'autre procédé est basé sur la réaction qui s'opère par le traitement des eaux grasses ou savonneuses au moyen de la chaux : c'est, on le voit, le contre-pied, pour ainsi dire, de l'autre procédé; on agite, on brasse les eaux avec de la chaux délayée dans une partie de ces eaux. La chaux forme avec les acides gras des sels complétement insolubles qui se séparent de l'eau mère en se déposant. Ce dépôt se fait plus ou moins difficilement et on est obligé d'opérer par filtration. La matière pâteuse retirée des filtres doit être séchée. Pour cela, on l'expose au soleil pendant la belle saison, en la retournant une fois ou deux; pendant l'hiver on est forcé d'amonceler ces boues en tas qu'il faut préserver de la gelée.

Les mottes obtenues, aussi sèches que possible, sont chargées dans des cornues. M. d'Hurcourt recommande de ne pas chauffer au delà du rouge sombre pour ne pas décomposer le carbonate de chaux qui s'est formé par l'exposition à l'air de la matière contenant toujours un excès de chaux.

Gaz portatif. C'est M. Houzeau-Muiron qui eut, si nous ne nous trompons, le premier l'idée de transporter à domicile le gaz obtenu par la décomposition des huiles dont nous venons de parler, de vendre le *gaz portatif*, et il réalisa cette idée dans quelques villes, en commençant par Reims. Pendant nombre d'années on a vu circuler dans ces villes, et à Paris en particulier, d'immenses voitures dont l'extérieur en forme de tombeau était formé de fortes toiles à bâches, peintes en vert, encadrées de filets rouges.

M. D'Hurcourt, qui, comme ingénieur, a beaucoup contribué au succès de l'établissement du gaz portatif de la rue de Charonne, a publié sur cette industrie une étude très-intéressante à laquelle nous empruntons la majeure partie de ce qui suit.

La Compagnie du gaz portatif non comprimé, fondée à Paris par M. Houzeau, avait limité à 10 mètres cubes le volume de gaz contenu dans ses gazomètres portatifs construits en tissu imperméable: c'était, avec du gaz ayant un titre environ quadruple de celui du gaz de houille, la quantité de lumière renfermée dans 40 mètres cubes de gaz courant. Un seul cheval suffisait pour le transport de la voiture qui pesait 1,500 kilog.

Ces gazomètres portatifs, en forme de soufflet, étaient remplis directement au gazomètre de l'usine; la pression du gaz suffisait pour pousser le couvercle. Lorsque l'ouvrier vidait le gaz dans le gazomètre existant nécessairement chez l'abonné, il commençait par enlever la pression dans ce gazomètre au moyen d'un treuil et de contre-poids; puis agissant sur un contre-treuil placé sur la voiture il faisait marcher le couvercle et forçait le gaz à sortir. Sur les 10 mètres cubes de la voiture, on pouvait déverser chez l'abonné de 8 à 9 mètres cubes.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

La difficulté et les frais d'installation des gazomètres chez les abonnés ont été les plus grands obstacles au développement de cette industrie. Il fallut recourir au système de compression.

Il est bien évident que, dans tous les cas, il faut nécessairement employer ici du gaz riche, les frais de transport du gaz par mètre cube, dépense capitale du gaz portatif, étant indépendants de la nature du gaz. Que ce gaz soit riche ou pauvre, il faut toujours les mêmes frais pour la compression et pour le transport; mais ces frais évalués d'après la quantité de lumière, d'après la puissance éclairante du gaz transporté, sont inversement proportionnels à la qualité de celui-ci. Si, en effet, un éclairage est parfaitement alimenté avec 35 mètres cubes d'un gaz donné, un seul voyage d'une voiture de gaz comprimé suffirait; tandis qu'il en faudrait deux avec un gaz qui exigerait la consommation de 2 mètres cubes au lieu d'un, pour obtenir la même lumière.

Aussi le prix de revient du gaz de houille dans le gazomètre, y compris les matières premières, la main-d'œuvre et l'entretien, étant, par exemple, de 0 fr. 10 par mètre cube, on a trouvé grand avantage à fabriquer le gaz portatif avec le boghead, bien que son prix de revient dans le gazomètre puisse s'élever à 0 fr. 40; car son titre est quatre fois plus grand que celui du gaz de houille, et de plus il conserve plus d'hydrocarbures fixes après la compression; celle-ci ne l'appauvrit pas beaucoup, si elle n'est pas très-grande.

Quand on transporte le gaz en employant la compression, on remplit la voiture de cylindres, dans lesquels on introduit le gaz à l'usine par compression, et on va le déverser, chez les abonnés, dans d'autres cylindres où il est comprimé à un degré moindre que dans ceux des voitures.

On peut ainsi transporter, par voiture, une quantité de gaz d'autant plus grande que le degré de compression est plus élevé. Si on double la pression, on double, en effet, le poids de gaz transporté; mais il faut doubler aussi l'épaisseur et le poids des cylindres.

En comprimant le gaz pour en réduire le volume, on ne peut porter avec une voiture à deux chevaux, dans un service régulier, que 50 mètres cubes de gaz. Cette condition se trouve remplie en ramenant le volume à 5 mètres cubes, ce qui exige l'emploi d'une pression de 11 atmosphères.

Il semble que ce résultat d'expérience est discutable, puisque le volume diminue à mesure que la compression augmente, mais les fuites deviennent alors difficiles à éviter et les pertes de toutes sortes grandissent rapidement. De plus, ce qui est fort grave, le titre du gaz baisse dans de grandes proportions. Il baisse déjà de 10 à 15 pour 100 (par condensation d'hydro-carbures) quand on comprime le gaz à 11 atmosphères; au delà cette perte deviendrait excessive. Une Compagnie a jadis essayé, à Paris, de comprimer le gaz jusqu'à 32 atmosphères; elle a lutté contre des difficultés inouïes, pour ne livrer qu'un gaz très-pauvre.

La machine à vapeur qui fait marcher la pompe de compression étant supposée bien établie, c'est-à-dire ne consommant que 2 kilogrammes de houille par cheval-vapeur, on peut pratiquement comprimer 4 mètres cubes à 11 atmosphères, par kilogramme de houille.

La pompe est à long piston plongeur, se mouvant entre des garnitures en cuir, et plonge dans l'eau pour absorber la chaleur dégagée par la compression du gaz qui amène la condensation des carbures d'hydrogène, 100 grammes environ par mètre cube du gaz. On y trouve de l'amylène de la benzine, du cumène, de l'acide phénique, etc.; ce mélange, après distillation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et lavage à l'acide sulfurique, devient un liquide transparent, dont la densité est 0,830, qui est employé pour dissoudre le caoutchouc, pour le dégraissage, la fabrication de la nitro-benzine, etc.

Suivons le gaz comprimé chez le consommateur, débarrassé du gazomètre dont les nombreux inconvénients comme achat, surveillance, détérioration du gaz, etc., sont évités par l'emploi de cylindres analogues à ceux des voitures.

Ces cylindres doivent être facilement transportables et cependant capables de contenir le plus de gaz possible, car un grand cylindre contenant 4 mètres cubes est plus économique que 2 de 2 mètres, ne fût-ce qu'à cause des robinets. On a fixé ce poids à 120 kilogrammes, et on les fait avec les tôles du commerce de 2 mètres de longueur, roulées en rond, avec 3 centimètres de recouvrement. Chacun de ces cylindres a une capacité de $0^{mc},75$, ce qui correspond à un volume disponible de de $2^{m},25$ ou 3 mètres cubes suivant qu'on les charge à 3 ou à 4 atmosphères.

Les cylindres trouvent facilement leur place, sur les toits par exemple. Disons comment on les charge. Chaque voiture porte en arrière une rampe, qui n'est autre chose qu'un tube en cuivre fondu, sur lequel sont montés autant de robinets qu'il y a de cylindres. Chacun de ceux-ci communique par un tube de cuivre avec l'un de ces robinets, de manière qu'en en ouvrant un quelconque, on fait passer le gaz de l'un des cylindres dans la rampe. Cette rampe porte, en dessous, un autre robinet sur lequel on visse la conduite mobile qui mène le gaz à la porte d'introduction de l'abonné ; de là il se rend à ses réservoirs. Un manomètre placé sur la rampe permet d'y lire, à chaque instant, la pression. La conduite mobile dont on se sert est un tuyau en caoutchouc garni de toile. Il peut supporter une pression de 15 à 20 atmosphères.

Quand une voiture de gaz comprimé arrive devant la porte d'introduction d'un abonné qu'elle doit alimenter, le facteur commence par mettre en communication, au moyen d'un ou plusieurs conduits mobiles, selon la distance, la porte d'introduction de l'abonné avec la rampe de la voiture. Il ouvre ensuite les robinets de la porte et de la rampe ; il consulte le manomètre qui lui donne le degré de compression que conservent les réservoirs placés chez l'abonné. Il ouvre ensuite un des robinets des cylindres pour introduire le gaz et continue l'écoulement jusqu'à ce que le gaz soit fourni à 4 ou 5 atmosphères. Pour y arriver, il faut souvent vider plusieurs cylindres de la voiture. Le premier pourra, par exemple, n'amener la compression qu'à 3 atmosphères, le second à 4 et le troisième à 5. Quand ensuite le facteur se rend chez un autre consommateur dont il trouve les cylindres vides, il commence par les mettre en communication avec le cylindre de la voiture ayant du gaz à 3 atmosphères, puis avec le suivant, et ainsi de suite.

On comprend aisément qu'au moyen de cette marche une voiture de gaz comprimé à 11 atmosphères puisse charger plusieurs abonnés jusqu'à 5 atmosphères, sans que, pour cela, tous ses cylindres, rentrant à l'usine, soient forcément à 5 atmosphères. Il n'y en aura que quelques-uns, un seul même parfois, qui soient à ce degré de compression ; tous les autres seront à une pression moindre.

La combustion du gaz devant être faite sous de très-faibles pressions, il faut qu'un régulateur très-sensible soit interposé entre les becs et les réservoirs qui renferment le gaz comprimé. Ce problème a été fort bien résolu, dès les premières tentatives d'emploi du gaz comprimé, par un régulateur dû à M. Boquillon et qui se rapproche des régulateurs à cloche et à cônes qui, sous bien des formes, ont trouvé des applications dans l'industrie du gaz. Nous le décrirons ici.

Soit A (fig. 92) une capacité régulatrice recevant le gaz d'un récipient dans lequel la pression, presque toujours très-supérieure à celle qu'il doit avoir près des becs, est variable.

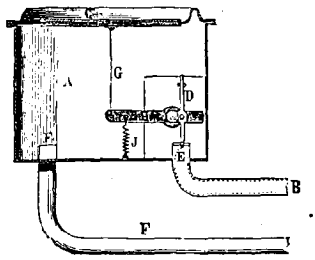


Fig. 92.

La paroi supérieure C de la capacité A est mobile ; elle est portée par un cuir, une membrane qui lui permet de se déplacer ; elle se soulèvera par suite aussitôt que la pression du gaz sera suffisante pour soulever son poids ; elle s'abaissera, au contraire, si la pression diminue.

Le problème à résoudre est de régler la sortie du gaz à une pression voulue, ce qui revient simplement à charger la paroi C d'un poids convenable. En effet, quand cette paroi se soulève, elle rapproche de plus en plus un obturateur conique de l'orifice E et le gaz s'écoule par celle-ci en quantité décroissante.

Cet effet est obtenu en attachant à la paroi C la tringle G qui actionne le levier H, qui par son autre extrémité met en mouvement l'obturateur D.

Disons en terminant qu'il faut que la distance soit grande et la consommation bien limitée, pour que les frais de transport par une voiture, qui ne peut transporter qu'un faible volume de gaz, ne soient pas supérieurs à ceux de l'intérêt du capital qu'exige l'établissement d'une conduite, sans parler des difficultés inhérentes au maniement du gaz dans un semblable système.

Malgré ses inconvénients, malgré les soins qu'elle exige, l'industrie du gaz portatif s'est jusqu'ici maintenue dans Paris et dans la banlieue. Nous pensons que l'éclairage des établissements publics des nombreux villages de la banlieue, privés du gaz courant, a contribué pour beaucoup à la faire subsister.

Gaz de tourbe et de bois. On peut aussi produire avec la tourbe et le bois du gaz propre à l'éclairage, et des usines ont été établies pour faire usage de ces matières premières.

Nous avons à faire des observations s'appliquant aux deux substances. Quel que soit leur état de siccité, la tourbe et le bois donnent à la distillation des quantités d'eau considérables s'élevant, pour la tourbe du moins, jusqu'à 40 pour 100. La quantité d'acide carbonique produite sous l'action de la chaleur est aussi en très-grande proportion, de sorte que les moyens de condensation et d'épuration doivent être bien plus puissants que quand il s'agit de la production du gaz de houille, et nécessiter en frais d'établissement une dépense relativement excessive.

L'absorption complète de l'acide carbonique est même très-difficile, non-seulement à cause de l'énorme quantité de chaux qu'il faut employer, mais aussi à cause du dégagement considérable de chaleur qui s'opère par le fait de la combinaison de l'acide carbonique avec la chaux. Ces raisons m'avaient fait, en 1854, songer à absorber l'acide carbonique du gaz, surtout quand il en renferme de notables proportions, en mettant à profit, pour l'absorber, la propriété qu'ont le sesquicarbonate et le bicarbonate de soude, soumis à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'action de la chaleur, de laisser dégager une partie de leur acide carbonique, en étant ramenés à l'état de carbonate.

On pourrait dans l'épuration employer le carbonate de soude, soit à l'état liquide, soit à l'état solide dans une série de cuves d'épuration fonctionnant méthodiquement. On soumettrait à l'ébullition la dissolution reconnue hors d'état de fonctionner utilement, et on dégagerait son excès d'acide carbonique utilisable d'ailleurs, dans des circonstances données, pour certaines réactions chimiques. Si le carbonate était employé à l'état solide, mais préalablement humecté et au besoin divisé par des corps inertes, il serait chauffé à une température suffisante, soit dans une cornue, soit dans un four. On aurait ainsi une véritable revivification.

Le résidu solide de la distillation de la tourbe ou du bois est un charbon très-utilisable dans l'économie domestique, et peut-être dans quelques opérations industrielles, si on en produisait d'assez grandes quantités, mais il serait peu propre au chauffage des cornues dans lesquelles il se serait produit; il faudrait les chauffer soit avec la tourbe ou le bois lui-même, ou avec de la houille qu'on aurait à sa disposition et qui ne serait probablement que de la houille maigre et impropre à la fabrication du gaz, car nous ne comprendrions pas qu'en possession de houille propre à la production du gaz, on songeât aujourd'hui, sauf dans des cas exceptionnels, à distiller dans cette vue de la tourbe ou du bois.

Le charbon, résidu de la distillation, devrait être, indispensablement, au sortir des cornues, reçu dans des étouffoirs; le défournement par la méthode ordinaire en réduirait en poussier une bonne partie. Pour éviter cet inconvénient, il faudrait placer la tourbe ou le bois à distiller dans des étuis ou enveloppes en tôle ou en fonte, qu'on fermerait hermétiquement, qu'on luterait aussitôt la distillation terminée. On sait que, dans les fabriques d'acide pyroligneux, on a des cornues mobiles qu'on charge sur les fourneaux, et ce pour conserver le charbon le plus intact possible.

La distillation de la tourbe et du bois donne, en fait de résidu liquide, des goudrons et des liqueurs contenant de l'acide acétique (pyroligneux). Pour la tourbe cet acide est combiné avec de l'ammoniaque. Certaines qualités de tourbe donnent des liqueurs alcalines; assez souvent l'acide acétique domine.

Les goudrons provenant de la tourbe contiennent des proportions notables de paraffine, qui épurée donne un produit estimé; elle fond à une température plus élevée que la paraffine obtenue des huiles de schiste et de pétrole.

Lorsqu'on a voulu fabriquer du gaz de tourbe sans l'épurer convenablement de l'énorme quantité d'acide carbonique qu'il contient, on a pu croire, et le fait a été énoncé, qu'il était très-peu éclairant par lui-même, et que, pour songer à l'utiliser à l'éclairage, il fallait nécessairement le carburer. C'était une grave erreur. Les expériences que j'ai faites à ce sujet, et ce sur une production réellement industrielle, m'ont démontré que le gaz de tourbe pouvait être obtenu aussi éclairant que le gaz de houille; du reste sa quantité varie essentiellement d'après la nature de la tourbe. Ce que nous avons dit au sujet du gaz de houille, de l'influence de l'acide carbonique sur le pouvoir éclairant du gaz donne une raison suffisante de ces faits.

Le gaz extrait du bois de sapin à l'usine à gaz du chemin de fer de Munich, montée par M. Pettenkofer, avait la composition suivante:

Acide carbonique	25,72
Oxyde de carbone	40,59
Hydrogène protocarboné	11,06
— deutocarboné	6,91
Hydrogène	15,07

M. de Marsilly a trouvé pour du gaz de tourbe

Acide carbonique	13,50
Oxygène	1,08
Azote	3,67
Gaz polycarburé	3,96
— protocarboné	6,44
Oxyde de carbone	34,28
Hydrogène	37,96
	100,00

Plaçons ici une remarque que nous aurions pu placer lors de la fabrication du gaz ordinaire.

Les halles dans lesquelles sont établis les fours de distillation, quelle que soit d'ailleurs la matière première employée, doivent non-seulement être construites, et ce d'après les ordonnances et décrets sur la matière, en matériaux incombustibles, avoir une charpente en fer, mais il est bon que sur ladite charpente on place des tuiles et non de la tôle.

Depuis longtemps la pratique a fait reconnaître que les couvertures en tôle se détériorent assez facilement, et qu'après un certain nombre d'années il faut les remplacer. Les tuiles à recouvrement, comme celles dites Müller, de Montchanin, conviennent très-bien dans ce cas.

Ce que nous disons pour les halles des fours s'applique aux salles d'épuration. Là aussi surtout la tôle doit être prohibée.

Comme dans le délutage des cornues, on doit faire usage de crochets ou ringards, il faut, pour la facilité du service et pour éviter que les ouvriers ne se blessent, qu'il se trouve devant les fours un espace vide suffisant.

Plus les cornues sont longues et plus l'espace doit être large. On lui donne généralement, pour le moins, 6 mètres.

Quand on place face à face deux batteries de fours, on gagne évidemment de l'espace; mais alors la distance de 6 mètres entre les deux batteries est insuffisante, il faut la porter de 7 à 8 mètres.

Le sol des halles de distillation doit être dur, solide; on emploie à cet effet soit du pavé, soit des carreaux de machefer, que la Compagnie Parisienne a fabriqués la première, soit des plaques de fonte ou de forte tôle. Ces plaques présentent l'inconvénient de trop se polir et de devenir glissantes; nous préférons les deux premiers systèmes.

Quand bien même le décret de 1867 sur les usines à gaz ne fait pas l'obligation de hautes cheminées, nous conseillerons d'en adopter de 20 mètres de hauteur au moins, et nous préférons une cheminée de dimensions suffisantes pour une batterie ou une demi-batterie de fours, à plusieurs petites cheminées pouvant servir chacune à 2 ou 3 fours. M. Magnier, dans son traité sur le gaz, indique pour la section à donner aux cheminées la formule $S = 4/5 \frac{K}{\sqrt{H}}$, K représentant le poids du combustible en kilogrammes, et H la hauteur. Cette formule, ajoute-t-il, donne une section presque double de celle qui est nécessaire; mais on peut, si la cheminée est un peu large, fermer en partie les registres des fours et de la cheminée elle-même.

Gaz à l'eau. Ce gaz n'est autre chose que du gaz hydrogène mélangé, suivant certain mode de préparation, d'une quantité plus ou moins notable d'oxyde de carbone.

Son emploi, dans l'éclairage, est basé sur ce fait, connu en chimie depuis très-longtemps, que si on plonge dans la flamme de l'hydrogène un fil de platine, il devient d'un blanc éblouissant et donne une lumière intense.

Pour pouvoir tirer parti de ce fait dans l'industrie de l'éclairage, il fallait produire du gaz hydrogène à bon

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

marché. Toutes les données de la science à ce sujet ont été fouillées, examinées et expérimentées.

Un Anglais du nom de Sheppeard, si nous avons bonne souvenance, a voulu, il y a trente ans environ, pour avoir de l'hydrogène industriellement, décomposer l'eau au moyen d'un électro-aimant. Sa tentative a eu tout l'insuccès que les gens sérieux et instruits en attendaient.

La décomposition de l'eau au moyen d'un acide (sulfurique ou chlorhydrique) pourrait présenter plus de chances de succès; elle en présenterait peut-être dans des circonstances données, là où le résidu de l'opération, les sulfates ou les chlorures de fer ou de zinc, trouverait une utilisation assez avantageuse.

Si on était amené à faire cette fabrication en grand, et qu'on fît usage d'acide chlorhydrique qui, comme on le sait, est assez volatil, le gaz hydrogène obtenu et refroidi devrait être lavé soigneusement à l'eau, et passer sur de la chaux; cette précaution, moins nécessaire quand on fait usage d'acide sulfurique, est cependant très-utile.

Pour obtenir le dégagement d'hydrogène le plus abondant possible, les liqueurs ne doivent pas être concentrées; c'est assez dire qu'il ne faut pas employer les acides purs. La densité aréométrique de 16 à 17 degrés suffit pour l'acide chlorhydrique, et celle de 18 à 20 pour l'acide sulfurique, ce qui permet l'utilisation des résidus acides de certaines opérations chimiques.

Jusqu'ici on n'a pas, que nous sachions du moins, songé, pour le faire servir à l'éclairage, à obtenir de l'hydrogène au moyen de la décomposition de la vapeur par le fer porté au rouge, et on le conçoit facilement. Il n'en est pas de même de la décomposition de la vapeur d'eau par le charbon incandescent. Comme pendant plusieurs années plusieurs chimistes, M. Gilard et M. Cormier surtout, se sont occupés activement de cette question, comme une ville, au moins, d'une certaine importance, Narbonne, a été éclairée par le gaz à l'eau, nous croyons devoir donner quelques développements à l'examen de cette question, et rapporter les essais qui ont été tentés.

En février 1834, M. Jobard prit en Belgique un brevet pour la fabrication d'un gaz d'éclairage au moyen de la décomposition de l'eau; il s'associa peu de temps après à Selligue, qui prit un brevet en France, et exploita ce procédé à l'usine de Batignolles, aujourd'hui supprimée. Il obtenait d'abord de l'hydrogène pur, qu'il enrichissait ensuite en le faisant passer dans un vase où distillait soit de l'huile de schiste, soit du goudron. L'appareil qu'il employait se composait de trois cornues verticales: l'eau arrivant en petite quantité, par la partie supérieure de la cornue de gauche, la traversait en descendant et en remontant la deuxième cornue, remplie comme la première de charbon de bois; le gaz produit passait dans la troisième cornue, dans laquelle il rencontrait de l'huile de schiste qui se décomposait en coulant le long de chaînes de fer. De là, enfin, les gaz carburés produits se rendaient au gazomètre. L'expérience a prouvé à Selligue que le véritable moyen, au moins en France, de tirer un parti utile des curieux résultats qu'il avait obtenus de la distillation des schistes, était de préparer des huiles minérales pouvant servir pour l'éclairage comme les huiles grasses, et que les limites du prix de revient des huiles étaient bien plus reculées pour cet emploi que pour la fabrication du gaz.

L'insuccès du procédé Jobard et Selligue à Batignolles, à Anvers et dans plusieurs autres villes, avait fait à peu près oublier le gaz à l'eau, lorsque, en 1846 ou 1847, M. Gillard vint remettre la question sur le tapis; seulement, au lieu de vouloir rendre éclairante la flamme de l'hydrogène (qui dans les conditions ordinaires donne beaucoup de chaleur et pas de lumière), en chargeant le gaz de vapeurs carburées qui tendent à s'en séparer, il arrive au même but en interposant dans la flamme une espèce de mèche permanente, indécomposable et inaltérable, en fil de platine. C'est là une application heureuse d'un principe connu.

Pour obtenir le gaz hydrogène, M. Gillard décompose la vapeur d'eau dans une cornue contenant du charbon de bois, et chauffée au rouge blanc. L'oxygène de l'eau s'unit au charbon pour former de l'acide carbonique qu'il faut absorber, et l'hydrogène se rend au gazomètre.

M. Magnier, ingénieur, qui a tenté, dans les ateliers de MM. Christofle et comp., à Paris, l'éclairage par le système Gillard, a publié, dans le n° 1 du *Journal de l'éclairage au gaz*, un travail très-intéressant, dans lequel nous allons chercher une bonne partie des renseignements suivants.

L'appareil se compose de deux cornues en fonte de 2 mètres sur $0^m,34$ et $0^m,024$ d'épaisseur, montées dans un four ordinaire à gaz, et garanties pour résister le plus longtemps possible à une haute température. Il y a là une grande difficulté: la fonte grise de deuxième fusion est fusible à 1,200 degrés; de la chaleur orange clair à celle orange blanc, il y a 12 à 1300 degrés et pour obtenir un résultat satisfaisant il faut chauffer les cornues aussi près que possible de cette couleur; aussi pour arriver à ce résultat et ne pas user trop vite les cornues, il faut une construction parfaite et d'excellents chauffeurs quand on emploie des cornues en fonte [1].

Les cornues en terre simplifieraient singulièrement la question si on pouvait les appliquer à ce travail; mais leur porosité y met un obstacle; le gaz hydrogène, le plus léger de tous les gaz connus, passerait par les pores. Ici, comme pour la fabrication à la houille, il faudrait trouver un vernis peu fusible, et M. Magnier se demande si le vernis employé de temps immémorial pour la poterie commune ne conviendrait pas. On sait que pour l'obtenir il suffit de jeter du sel marin dans le four qui contient la poterie, quand il est bien rouge.

A chaque cornue est adapté un tube qui amène de la vapeur à 4 ou 5 atmosphères; comme la vapeur, à cette pression, n'a qu'une température de 145 degrés, il y a là une cause continuelle de refroidissement pour la cornue. Nous pensons que c'était pour éviter cet inconvénient qu'on avait essayé de surchauffer la vapeur avant son introduction dans la cornue. Cet essai n'aurait-il pas réussi? Le tube est longitudinalement posé dans la cornue au-dessus de la couche de charbon de bois qu'on y a étendue dès que le fourneau a été amené au degré de chaleur voulu. Ce tube est percé en dessous d'une grande quantité de petits trous extrêmement fins, qui envoient la vapeur perpendiculairement et un peu obliquement sur la couche de charbon de bois.

Ce tuyau est en fer: pour éviter l'obstruction des petits trous par l'oxyde de fer formé, on n'a trouvé rien de mieux jusqu'à présent que d'incruster toute la partie inférieure de ce tuyau de petits cylindres de porcelaine qui ressemblent à des bouts de tuyaux de pipe; ils excèdent un peu la surface de l'intérieur du tube pour que leurs trous restent toujours libres.

Rien n'est changé d'ailleurs dans le système des cornues: ce sont les mêmes que pour le gaz de houille; seulement le tuyau injecteur de la vapeur y pénètre par la partie inférieure de la tête, en faisant un coude à angle droit.

Après les cornues viennent le barillet et le condenseur; une bonne condensation est nécessaire, car il se trouve toujours une quantité variable de la vapeur d'eau

1. Nous pensons que l'oxygène de l'eau doit attaquer la fonte de la cornue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

échappée à la décomposition. L'épuration du gaz à l'eau est beaucoup plus simple et plus facile que celle du gaz à la houille. Il ne s'agit que d'éliminer le gaz acide carbonique, ce qu'on obtient au moyen de la chaux et des épurateurs ordinaires. La pratique a démontré que chaque mètre de gaz (mélange d'hydrogène et d'acide carbonique) exige près d'un kilog. de chaux éteinte. Le carbonate de chaux formé peut très-bien être revivifié dans un appareil convenable, tel qu'un four à chaux, de sorte que la même chaux peut toujours resservir; mais il faut toujours compter un peu plus d'un centime pour le combustible employé à la revivification, la main-d'œuvre et la perte.

(Nous ne considérons pas comme économique la revivification de la chaux. Le carbonate résidu de l'opération doit, pour passer au four, être mis en pains ou en mottes; de là une main-d'œuvre coûteuse.)

Voilà le gaz fabriqué: il se rend dans le gazomètre, où il s'emmagasine pour les besoins de la consommation. Avant d'examiner ses qualités et ses défauts, citons le compte de revient tel que le donne M. Magnier pour un fourneau à deux cornues, produisant 500 mètres cubes de gaz en 24 heures, à Paris.

1 kilog. charbon de bois pour 3,500 litres de gaz, soit pour 500 mètres 143 kilog. charbon, à 10 c.	14 fr.	30 c.
350 kilog. de houille pour chauffage, à 3 fr. les 100 kilog.	10	50
Vaporisation des 700 litres d'eau à peu près	2	50
Revivification et perte sur 390 kil. de chaux nécessaires à l'épuration	6	»
Main-d'œuvre	5	»
Intérêt du capital, usure du matériel, etc.	(Mémoire.)	
Total	38	30

En divisant ce prix par 500, le nombre des mètres de gaz obtenus, on trouve 7c,66 pour prix de revient du mètre cube.

Un bec ordinaire dépense au moins 260 litres de gaz à l'heure. On voit donc que dans les conditions actuelles le prix de revient du gaz à l'eau est, à volume égal, tout au moins le même, sinon plus élevé que celui du gaz de houille, qui aujourd'hui à Paris ne peut pas coûter, abstraction faite des frais généraux, plus de 5 à 10 cent. le mètre cube dans une usine bien conduite. Or on consomme 250 litres de gaz à l'eau contre 150 du gaz de houille.

D'après un rapport de M. Jacquelain, publié dans le bulletin de la Société d'Encouragement, le prix de revient du gaz à l'eau, d'après des expériences faites par M. Christofle, est de 16 à 17 cent. le mètre cube; mais à cause des imperfections de l'évaluation, il ne doute pas que dans une usine bien montée le prix de revient ne descendit à 10 cent.

Dans le même rapport, nous trouvons l'analyse très-intéressante du gaz recueilli au sortir de la cornue. Nous la donnons ici:

Vapeur d'eau	2
Acide carbonique	2
Air	5
Oxyde de carbone	14,7
Hydrogène	76,3
Volumes	100,0

La prompte destruction des cornues en fonte et les soins quasi-minutieux qu'exigent l'établissement et surtout la conduite des appareils ci-dessus, ont conduit à chercher une autre disposition; on a, d'après les indications de Galy-Cazalat (nous le pensons du moins), fait usage d'une assez grande colonne en tôle garnie intérieurement de briques réfractaires. Par une ouverture pratiquée au sommet et munie d'un tampon fermant hermétiquement, on remplit à peu près la colonne de coke. Une autre ouverture pratiquée dans le bas sert à évacuer les cendres; un tuyau de dégagement pour le gaz est placé latéralement au haut de la colonne qui porte en bas 2 tuyaux avec robinets permettant de faire arriver à volonté soit de l'air, soit de la vapeur d'eau.

On commence l'opération en allumant le coke de la colonne; quand il est bien embrasé, on lute bien le tampon de dessus et on fait arriver de la vapeur qui traverse de bas en haut le charbon incandescent et se décompose en hydrogène, oxyde de carbone et acide carbonique qui s'échappent par le tuyau placé latéralement.

Mais bientôt le coke se refroidit et la décomposition cesse. On interrompt alors le jet de vapeur; on enlève le tampon supérieur, on ouvre le robinet à air et on fait agir un ventilateur, si on n'a pas à sa disposition pour opérer un tirage suffisant une bonne cheminée avec laquelle on fait communiquer la colonne; puis, quand le coke est bien rallumé, on recommence. Pour ne pas avoir d'interruption dans la production de l'hydrogène, on a employé deux colonnes, dont l'un était réchauffée pendant que l'autre décomposait.

Ces colonnes ne sont que des espèces de *cubilots*. On a aussi dirigé la vapeur de haut en bas au lieu de l'introduire de bas en haut, ce qui était plus rationnel, la partie inférieure de la colonne étant toujours la plus chaude.

Galy-Cazalat avait voulu remplacer par un appareil de ce genre les cornues servant à la distillation de la houille: à l'essai on a trouvé que le gaz produit était peu éclairant; un résultat semblable a été obtenu assez généralement lorsqu'on a essayé de distiller de la houille dans des cornues verticales.

M. Magnier fait remarquer que, pour avoir dans la décomposition par le charbon le moins d'oxyde de carbone possible, il faut que les gaz sortent du vase générateur aussitôt formés, car l'acide carbonique produit se décompose en oxyde de carbone au contact du charbon en ignition, et cette condition est mieux remplie avec une cornue horizontale que dans la colonne dont nous venons de parler; tandis que, d'un autre côté, il y a, tant que le coke est à la chaleur rouge, moins de vapeur qui échappe à la décomposition dans l'appareil vertical.

S'il s'agissait de produire du gaz pour le chauffage, l'appareil vertical aurait tous les avantages.

M. Magnier a trouvé que le charbon léger décompose la vapeur d'eau plus facilement que le charbon dense.

L'éclairage par le gaz à l'eau est beaucoup plus beau, plus riche, moins fatigant à la vue que par le gaz de houille; il semble qu'on pourrait ajouter moins insalubre quand on apporte peu de soin à l'épuration de ce dernier. On se sert pour le brûler de becs ordinaires, percés de trous extrêmement fins, et qui n'ont de particulier qu'une mèche de platine qui les surmonte. Cette mèche est un cylindre tant soit peu moins grand que la circonférence formée par les trous du bec; il a 2 centimètres de haut, il est tissé en fil extrêmement ténu, enfin il se tient à 2 ou 3 millimètres au-dessus du bec, au moyen d'un anneau auquel sont liés trois bouts du fil de platine dont il est formé. Une de ces mèches a environ 160 mailles.

Dès que l'on approche une allumette du bec, l'hydrogène s'enflamme et la mèche passe au blanc éblouissant. Cependant, comme la lumière qui provient de cette masse solide est uniforme et immobile, l'œil n'est nullement fatigué de son éclat, relativement à ce que fait éprouver la flamme vacillante, irrégulière dans sa forme, et ayant différents tons, des autres modes d'éclairage.

Le gaz à l'eau est exempt de fumée, en même temps qu'il se prête admirablement aux combinaisons les plus élégantes d'appareils.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Voilà ses avantages; passons à ses inconvénients. Sa ténuité, sa légèreté occasionneraient, pour son parcours dans un long périmètre, des pertes énormes. Le gaz de houille, quatre à cinq fois plus dense que l'hydrogène, donne déjà naissance à bien des fuites dans les canalisations, et ces fuites se déclarent surtout aux jonctions des tuyaux.

Outre cette chance si grande de fuites et de pertes, il faut ajouter le danger d'explosion; le gaz à l'eau étant inodore, les fuites ne se feront pas sentir, tandis que l'odeur *sui generis* du gaz de houille fait apercevoir une fuite presque à l'instant même, où elle se déclare dans une habitation; il y aurait donc à redouter que le gaz ne se répandît en assez grande quantité pour pouvoir donner naissance, avec l'air, à un mélange explosible.

Nous ne parlerions pas des inconvénients auxquels peut donner lieu la présence de l'oxyde de carbone dans le gaz d'eau, si ce gaz n'était pas inodore, car le gaz de houille n'est pas exempt non plus, tant s'en faut, de cet agent délétère. Cependant il est à remarquer que d'après l'analyse rapportée ci-dessus la proportion y est considérable dans le gaz d'eau.

Quant à la question économique, l'expérience a prouvé que le gaz à l'eau ne peut lutter contre le gaz de houille. La ville de Narbonne est depuis plusieurs années éclairée au gaz ordinaire, l'usine au gaz d'eau qu'on y avait établie n'ayant pas fait ses affaires.

Nous devons faire remarquer, à l'occasion du gaz à l'eau, que les inventeurs de nouveaux systèmes de gaz ne doivent pas tant s'occuper du prix de la houille que du produit à retirer du coke: on peut très-bien payer la houille cher, si le coke se vend à proportion. On s'imagine avoir tout gagné en indiquant pour le gaz une matière première qui ne coûte rien, et très-souvent on se trompe.

On a cherché en Angleterre à appliquer un système mixte: il consiste à introduire dans les cornues où distille la houille, du gaz provenant de la décomposition de l'eau, qu'on fait arriver en petit filet dans une ou plusieurs cornues garnies de coke, chauffées convenablement, ces dernières cornues étant d'ailleurs semblables à celles où on distille la houille. Comme on le voit, c'est une simple modification du procédé Jobard et Selligue; l'hydrogène va prendre au gaz de houille, et surtout au goudron, le carbone qui lui manque, en augmentant singulièrement de volume. Comme c'est surtout au commencement de la distillation de la houille que se dégagent le goudron et les huiles carbonées, on conçoit que l'émission de l'eau est réglée de manière que la production d'hydrogène soit très-rapide au commencement de la distillation, et diminue graduellement jusqu'à la fin.

Plus la houille est riche en hydrocarbures, et plus on peut introduire d'hydrogène dans la cornue qui la distille. Ainsi pour deux cornues chargées de *wigan-cannel*, on avait monté, dans le même fourneau, une cornue pour la production de l'hydrogène; tandis qu'en opérant sur le *boghead-cannel*, on ne se servit que d'une cornue pour la houille, et les deux autres furent converties en cornues à gaz à l'eau.

Au lieu de gaz hydrogène on pourrait plus avantageusement diriger dans les cornues du gaz peu carburé, par exemple celui provenant de la distillation de charbons donnant du gaz peu éclairant, mais en quantité assez abondante.

Le système mixte avait, à son origine, beaucoup préoccupé nombre de fabricants de gaz en Angleterre et en Belgique, pays où généralement le coke et le goudron se vendent assez mal. Ce système a eu des partisans enthousiastes comme des contradicteurs non moins chaleureux. Nous ne savons au juste si quelques usines ont définitivement adopté le système mixte, mais à coup sûr ce n'est point en France, où les fabricants ont conservé beaucoup de calme à son sujet.

Nous répéterons encore ici ce que nous avons déjà dit plusieurs fois: c'est qu'aucune règle absolue ne peut être posée sur les avantages ou les inconvénients d'un système de fabrication.

Système d'Hurcourt. Pour terminer ce que nous avons à dire sur les divers modes proposés pour l'éclairage au gaz, mentionnons le système proposé par M. Tessié du Motay et celui proposé par M. d'Hurcourt. Ce dernier consiste à envoyer aux becs un mélange de 1 partie de gaz de houille ordinaire et de 2 parties d'air, mélange qui n'est pas dans les proportions voulues pour devenir explosible, proportions qui sont de 14 environ de gaz pour 100 d'air.

Suivant l'inventeur une pompe ou une machine analogue enverrait dans les conduites, sous une pression de 10 centim. environ, le mélange dont il s'agit, et les brûleurs seraient munis de mèches de platine, car avec cette proportion d'air le gaz n'est nullement éclairant.

M. d'Hurcourt insiste sur les moyens mécaniques et quasi-mathématiques qui pourraient être employés pour que le mélange puisse être envoyé dans la canalisation dans les proportions ci-dessus indiquées.

L'emploi du mélange produirait, au point de vue de l'intensité de la lumière, une incontestable économie. Mais, malgré cet avantage, nous doutons fort que l'invention de M. d'Hurcourt soit de longtemps employée industriellement. Les appréhensions de la possibilité de produire un mélange explosif suffiront, à elles seules, pour faire reculer les moins craintifs.

Éclairage oxhydrique. M. Tessié du Motay a repris l'emploi de l'oxygène pour obtenir une vive lumière; mais cet inventeur, dont on ne peut contester l'esprit fécond et ingénieux, non plus que les connaissances très-étendues en chimie industrielle, n'a jamais eu, que nous sachions du moins, l'intention de faire circuler dans les canalisations un mélange d'oxygène et de gaz d'éclairage, mais bien de faire arriver sur les becs consommant du gaz ordinaire, de l'oxygène non point chimiquement pur, mais contenant une certaine proportion d'azote. Il a produit ainsi des flammes d'une intensité dépassant considérablement celles produites avec le gaz de houille.

M. Tessié du Motay voulait d'abord faire une application industrielle de la lumière inventée par Drummond, qui dirigeait simultanément sur une boule ou une baguette de chaux ou de craie, du gaz oxygène et du gaz hydrogène ou du gaz de houille. La combustion des deux gaz amène la chaux à un état d'incandescence lumineuse qui rivalise avec la lumière électrique.

La chaux se délite et a besoin à chaque opération d'être remplacée. M. Carlevaris, physicien italien, a substitué la magnésie à la chaux.

A la base d'un cylindre massif de magnésie comprimée, préparé par la méthode de M. Caron, placé verticalement, M. Tessié du Motay faisait arriver le mélange d'oxygène et de gaz ordinaire. Ce cylindre forme pour ainsi dire un centre auquel convergent trois tubes ou chalumeaux très-courts dans lesquels se réunissent l'oxygène et l'hydrogène amenés jusque-là par des conduites séparées; les gaz s'écoulent dans des proportions déterminées pour produire l'effet maximum et qui devraient normalement rester constantes, ce qu'on ne peut obtenir qu'au moyen de régulateurs.

La pression ordinaire pour le gaz d'éclairage, c'est-à-dire de 5 à 6 centimètres d'eau, et une pression de 6 à 7 centimètres pour l'oxygène, suffisaient pour déterminer une vive incandescence après l'allumage.

Dans les essais faits de l'éclairage oxy-hydrique sur la place de l'Hôtel de ville à Paris, on a observé des différences assez fréquentes dans les intensités lumineuses, des affaiblissements et parfois des extinctions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Ces faits étaient dus d'une part à ce que les crayons magnésiens s'usaient assez rapidement, d'un autre côté à ce que les gaz n'arrivaient pas toujours dans les mêmes proportions.

M. Caron a cherché à remédier aux inconvénients de l'usage des crayons magnésiens, et il les a avantageusement remplacés par des crayons de zircone donnant une lumière plus blanche que ceux de magnésie et se creusant moins dans les parties frappées par les jets de flamme.

Plus tard, M. Tessié du Motay a modifié la disposition de son bec qu'il appelle différentiel, il éclaire circulairement, comme l'ancien d'ailleurs, et il doit fonctionner sans subir d'intermittence sensible dans l'intensité de la lumière lorsque la pression du gaz de houille varie. Ce gaz arrive dans deux directions opposées par 2 tubes *aa* qui se recourbent horizontalement et dans la direction des flèches. L'orifice du jet d'oxygène est à un niveau un peu inférieur; il s'échappe à l'extrémité du tube vertical *b*. Les figures 93 et 94 représentent le bec à plusieurs faisceaux pour

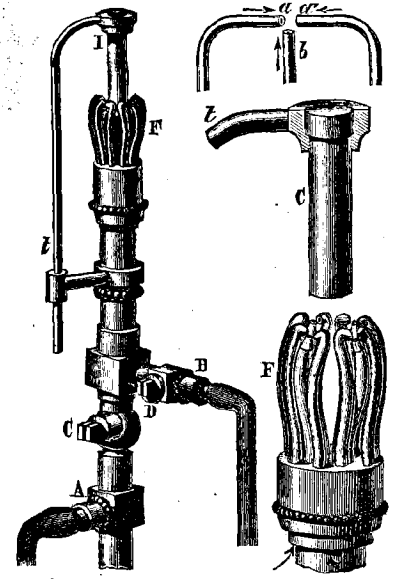


Fig. 93. Fig. 94.

l'oxygène et pour le gaz de houille qui arrivent le premier par le tuyau B et le second par le tuyau A; on règle par les robinets C et D. Le crayon I de zircone est soutenu par le support métallique *t*.

Malgré ces perfectionnements, M. Tessié du Motay renonça à l'emploi des crayons réfractaires dont la rapide destruction rend l'emploi impossible dans la pratique, mais au gaz courant il voulut substituer le gaz riche fabriqué à l'usine du gaz portatif de la rue de Charonne. C'est dans ces conditions qu'il fit, dans les premiers jours de 1872, des expériences sur l'un des côtés du boulevard des Italiens et des Capucines, sur un parcours d'environ 216m, d'après l'autorisation à lui accordée en 1870.

L'éclairage oxyhydrique présente plusieurs inconvénients. D'abord sa grande intensité lumineuse serait un obstacle très-grave pour son adoption dans l'intérieur. On trouve généralement que le gaz ordinaire est, en certaines circonstances, déjà trop éclairant et on affaiblit la vivacité de sa flamme avec des globes dépolis et des verres ayant une teinte bleue. L'intensité extraordinaire ne pourrait donc présenter d'avantages que pour l'éclairage des places et des boulevards ou rues très-larges.

Un second inconvénient est d'exiger une canalisation spéciale, dont les fuites, surtout à l'intérieur des maisons, pourraient présenter de graves dangers, l'oxygène étant dépourvu d'odeur, sans parler de l'augmentation considérable des frais d'installation; il faudrait, outre un deuxième compteur, des régulateurs. Nous disons des régulateurs, car il serait bon, au point de vue de la régularité de la combustion, d'en avoir un à chaque étage. Il y aurait donc des complications d'appareils.

Un troisième inconvénient provient de la densité du gaz oxygène qui est de 1,1026; il faudrait donc fouler dans les conduites le gaz qui aurait une tendance continuelle à descendre.

Enfin reste la question économique, qui a bien aussi son importance. Il n'a été nullement démontré que cet éclairage puisse présenter des avantages sur l'emploi du gaz ordinaire. Le prix de revient du gaz oxygène n'a pu être établi industriellement, et il n'aurait pu l'être que par une marche assez longue dans l'usine construite à grands frais à Pantin par la Compagnie du gaz oxyhydrique.

Le procédé qui y était appliqué est fondé sur les réactions que donne le permanganate de soude soumis à l'action de la chaleur. Soumis à la chaleur rouge sombre, ce permanganate laisse dégager de l'oxygène, et passe à l'état de manganate sous l'influence d'un courant de vapeur surchauffée. Si ensuite on fait passer sur ce manganate de l'air préalablement privé de tout son acide carbonique (c'est là un point très-important, car la formation de carbonate arrête le renouvellement des opérations) le manganate s'empare de l'oxygène et repasse à l'état de permanganate. L'opération se pratiquait dans des cornues en fonte.

La vapeur et l'oxygène de tout à l'heure étaient dirigés dans un réfrigérant amenant la condensation de la vapeur, et on recueillait dans un gazomètre l'oxygène tenant en dissolution une certaine quantité de vapeur d'eau, et renfermant aussi l'air qui remplissait la cornue après l'oxygénation du manganate.

Après la réoxygénation du manganate, on recommençait l'introduction de la vapeur d'eau et ainsi de suite. M. Tessié du Motay prétendait que la revivification devait se produire indéfiniment sans perte sensible de manganate.

L'oxygène obtenu ainsi a été trouvé renfermer 13 à 14 pour 100 d'azote. Pour diminuer cette quantité d'azote, il faudrait perdre une quantité notable d'oxygène, en purgeant les cornues, dont l'atmosphère reste chargée d'azote après la fixation de l'oxygène.

Le rapport fait par M. F. Le Blanc, vérificateur du gaz de Paris, sur les expériences dont le programme fut décidé en conférence par M. le Préfet de la Seine et des ingénieurs en chef, discute avec soin toutes les questions relatives à l'éclairage oxy-hydrique, et il conclut que les promesses faites dans les prospectus, au point de vue de l'économie dans la production de la lumière, n'étaient nullement réalisées, et qu'il n'y a pas lieu pour la ville de Paris à accepter les propositions de la Compagnie Tessié du Motay. Nous ne pouvons donner ici que la substance de ces conclusions qui seront, ainsi que le rapport, lues avec beaucoup d'intérêt par les personnes désireuses d'étudier cette question; ces conclusions, déduites d'expériences directes avec mesures photométriques à l'appui, montrent que le procédé n'offre pas d'avantages sur le gaz de houille et exige des dépenses sûrement plus considérables.

La Compagnie du gaz oxyhydrique présenta sur ce rapport des observations critiques au conseil municipal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui, sur l'avis de sa cinquième Commission, rejeta les propositions de la Compagnie.

Chauffage au gaz. Nous croyons devoir dire quelques mots sur l'application du gaz au chauffage, bien que nous sortions ainsi un peu du cadre d'un article sur l'Eclairage, et que les dispositions à adopter pour appliquer le gaz au chauffage aient été traitées à l'article CHAUFFAGE du *Complément*.

D'abord il ne peut être question que du gaz de houille, le seul adopté aujourd'hui, le seul circulant dans les canalisations des villes. Nous savons bien qu'on a songé à la possibilité d'avoir dans les conduites, pendant le jour, du gaz servant spécialement au chauffage et plus propre à cet emploi, et pendant la nuit du gaz servant à l'éclairage. Mais nous devons écarter cette possibilité : en effet, il y a pendant le jour des consommations de gaz pour l'éclairage et inversement ; sans compter qu'à chaque alternative tout le gaz renfermé dans une canalisation aurait, en définitive, un emploi autre que celui auquel il est destiné.

On ne peut songer sérieusement, même dans les villes où le gaz est vendu le meilleur marché, à substituer le gaz à la houille ou au coke pour les chauffages des industries importantes, comme le chauffage des générateurs de vapeur. Le chauffage à la houille ou au coke est bien plus économique, et aura toujours une marge considérable. Mais le gaz est susceptible d'emplois avantageux dans certaines industries, et surtout dans les petites industries. Sans parler de son emploi dans les moteurs, dits à gaz, dont le nombre augmente tous les jours à cause des services incontestables qu'ils rendent réellement, nous devons citer, entre autres emplois, le chauffage des fers chez les blanchisseuses, dans les apprêts, etc.

En ce qui concerne le chauffage des appartements et celui des fourneaux pour la cuisine, l'emploi du gaz rend des services signalés par la propreté, par la facilité qu'il présente, et qui ont quelquefois des avantages inappréciables.

Le chauffage au gaz fait de rapides progrès, surtout dans les grandes villes, et la consommation qu'il amène pendant le jour doit être et est appréciée par les usines qui voient ainsi leurs recettes croître sans augmentation des frais généraux, et qui trouvent le moyen d'utiliser avec profit des appareils qui chômaient pendant la journée. Ajoutons, ce qui est un axiome pour les fabricants de gaz, que la production étant ainsi augmentée, le prix de revient se trouve par le fait diminué dans une certaine proportion.

Machines à gaz. On a donné à l'article AIR CHAUD du *Complément* la description des principales machines à gaz, celles de MM. Lenoir, Hugon et Otto. Nous n'avons pas à revenir sur leur description.

Les machines à gaz sont, dans des circonstances données et surtout dans les grandes villes, d'une utilité incontestable; elles permettent d'avoir dans un espace très-restreint, dans une chambre par exemple, une force motrice qu'on met en action ou qu'on arrête à volonté, sans la surveillance d'un chauffeur qu'exige toute machine à vapeur.

La consommation de ces machines, par force de cheval et par heure, varie de 1200 à 2500 litres de gaz; la pression dans les conduites doit être de 10 millimètres au minimum. Lorsque cette pression n'existe pas pendant le jour dans les conduites d'une ville, on peut y suppléer au moyen d'un aspirateur se composant d'un compteur dont le volant est sollicité par l'action d'un poids ou d'un ressort qu'on remonte de temps en temps. Le système à poids est plus satisfaisant que celui à ressort, il marche plus régulièrement, il est bien moins sujet à des arrêts subits, il coûte d'ailleurs moins cher. Pour une machine d'un cheval, un compteur de 10 becs suffit, avec un poids de 30 kilog. Si on place ce poids à 10 mètres au-dessus du compteur on n'a besoin de le remonter que toutes les deux heures. L'aspirateur compteur peut servir en même temps de mesureur, mais les indications qu'il donne ne sont pas exactes, la mesure est exagérée par suite de l'élévation du niveau dans la caisse du volant. Pour avoir un jaugeage exact il faut mettre un compteur ordinaire avant l'aspirateur.

APPENDICE. Nous ne croyons pas inutile de donner encore ici la description de quelques appareils qui sont d'un usage journalier dans les usines à gaz.

Manomètres. Un manomètre réduit à sa plus simple expression se compose d'un tube en verre ayant forme d'U, et contenant de l'eau qui monte au même niveau dans les deux branches, si les pressions y sont égales; si les pressions sont inégales la différence de hauteur entre les deux niveaux indiquera la pression la plus forte, et on pourra la mesurer au moyen d'une échelle divisée en millimètres et centimètres, et placée entre les deux branches.

En réalité on fait communiquer avec le gaz une des deux branches, tandis que l'autre reste ouverte et se trouve soumise par conséquent à la pression atmosphérique, les pressions données par le gaz sont exprimées en millimètres et centimètres de hauteur d'eau. On sait que la pression atmosphérique est mesurée par une colonne d'eau de $10^m,40$.

Assez souvent le tube manométrique a la forme d'un tube en S (fig. 95), composé de trois branches; la branche *a* vient se fixer au moyen d'un peu de filasse, garnie au besoin de céruse, sur un tube en fer ou en plomb garni d'un petit robinet pour avoir à volonté la communication avec le gaz, les branches *b* et *c* contiennent de l'eau qu'on peut colorer, et entre ces deux branches se trouve l'échelle quelquefois mobile pour faire correspondre son zéro au niveau le plus bas. Si l'échelle est fixe, le zéro est ordinairement placé entre les positions extrêmes des deux niveaux; alors on additionne les deux distances à partir du zéro.

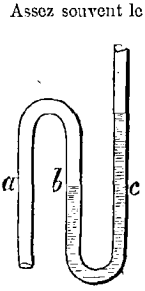


Fig. 95.

Une disposition de manomètre assez employée est représentée, fig. 96. Le tube de verre a son extrémité A mastiquée dans un raccord à vis en bronze, qui la met en communication avec le tuyau de gaz; l'extrémité B est ouverte.

La fig. 97 représente un autre manomètre dans lequel le gaz entre par le bas. Le robinet R porte un raccord qui vient se brancher sur le tuyau de gaz. Deux tubes de verre droits B et C sont fixés en haut et en bas dans des embases en bronze communiquant entre elles par un petit canal ménagé dans l'embase inférieure DD. Le gaz arrive par le tuyau vertical *a a*, rencontre à sa partie supérieure, dans l'embase EE, un autre petit canal qui aboutit à l'extrémité du tube B. Le tube C porte à sa partie supérieure une vis percée verticalement, et communique ainsi avec l'air atmosphérique.

On fait aussi usage d'un manomètre incliné, dit multiplicateur (fig. 98). Il se compose essentiellement d'un tube incliné *c d*, communiquant avec un tube vertical A, muni d'un robinet pour le raccorder avec un tuyau de gaz. L'eau placée dans un des tubes montera au même niveau dans les deux. Ces tubes sont adaptés à une planchette ou règle qui doit être bien horizontale. Le tube *cd* est exactement incliné au dixième par rapport à cette règle, en sorte que les divisions en centimètres de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'échelle n'indiquent réellement que des millimètres pour une échelle qui serait verticale. On peut ainsi ap-

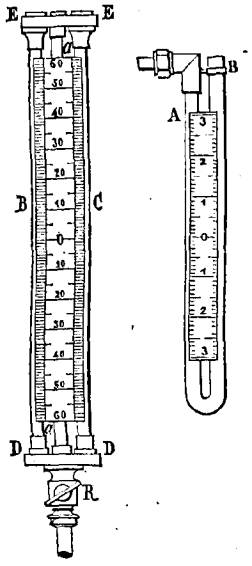


Fig. 97. Fig. 96.

précier à distance des différences de 1/10 de millimètre dans la pression.

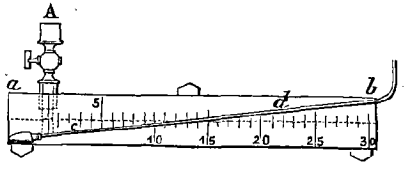


Fig. 98.

On peut modifier la construction de ce manomètre, ainsi réunir par un caoutchouc la branche inclinée et la branche verticale, ou bien remplacer la branche verticale par un réservoir en métal, contenant une certaine quantité d'eau. Le bas de sa paroi verticale est muni d'une douille inclinée dans laquelle le tube incliné vient s'emmancher. Dans cette disposition le réservoir et le tube forment les deux vases communiquants.

On fait aussi usage de manomètres multiplicateurs à cadran, qui sont basés sur le mouvement d'un piston ou flotteur causé par l'élévation ou l'abaissement de la surface de l'eau dans un tube manométrique, flotteur surmonté d'une tige verticale qui commande un pignon actionnant lui-même une roue dentée communiquant le mouvement à une aiguille tournant autour d'un cadran. La fig. 99 représente une coupe verticale, et la fig. 100 une vue de face d'un de ces manomètres inventés par Scholefield.

Chaque division du cadran correspond à un millimètre d'eau, le point de départ ayant été arbitrairement fixé à 10 au lieu de 0. La fig. 99 montre que l'appareil consiste en deux cylindres quasi concentriques, l'enveloppe extérieure et le cylindre intérieur B, qui n'est qu'un manchon ouvert à ses deux bouts.

La pression s'exerce sur la surface annulaire du liquide, et fait monter plus ou moins le niveau dans B. Un flotteur DD obéit aux mouvements de l'eau, il est

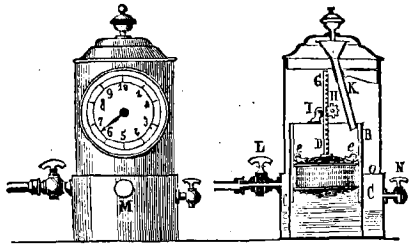


Fig. 100. Fig. 99.

guidé par deux petits galets *e e* glissant sur deux petits guides *f f* de métal soudés aux parois du cylindre.

La crémaillère G engrène avec la roue dentée H portée sur une traverse, ainsi qu'une poulie I qui, s'ajustant à frottement très-doux contre la partie lisse et évidée de la crémaillère, empêche celle-ci de dévier et de marcher sans mettre en mouvement la roue dentée. L'axe de la roue dentée correspond au centre du cadran extérieur.

Le conduit K sert à l'introduction de l'eau ; l'appareil porte un couvercle de forme quelconque.

Pour mettre ce manomètre en état de fonctionnement, on ferme le robinet L d'arrivée du gaz, on ouvre le bouchon à vis M, puis on introduit la quantité d'eau voulue, ce qu'on reconnaît si l'aiguille marque 10. Si elle dépasse ce chiffre on ouvre le robinet de trop-plein N et on laisse écouler l'eau jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée à 10. Alors on referme le robinet N et on ouvre le robinet L. Le gaz se rend dans le compartiment C, sans pouvoir s'introduire dans la partie supérieure, les deux compartiments étant séparés par une cloison O entourant le cylindre B.

Cet appareil n'a que 12 centimètres de diamètre et remplit bien la fonction qu'on peut attendre de lui.

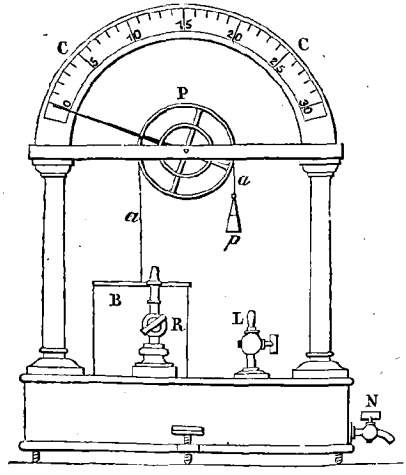


Fig. 101.

La fig. 101 représente une autre disposition de manomètre multiplicateur : B est le cylindre renfermant le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

flotteur. Celui-ci, au lieu de porter une crémaillère, est suspendu à un fil *aa* et équilibré par le contre-poids *p*; le fil passe sur une poulie P qui porte une aiguille se mouvant sur un cadran C C. Cette aiguille doit être à zéro quand il n'y a pas de pression. Les fonctions des robinets L et N sont les mêmes que tout à l'heure. R est un robinet surmonté d'un bec.

Si on voulait être, dans une usine à gaz, averti d'un excès de pression pouvant produire des inconvénients, par exemple la fuite du gaz par des joints hydrauliques, on pourrait faire usage d'un manomètre avertisseur. M. Magnier en a proposé un assez simple; à l'une des branches d'un manomètre il ajoute un petit flacon à deux tubulures, sur l'une desquelles on adapte un petit sifflet ordinaire très-doux (fig. 102). L'excès de pression chasse en partie l'eau qui se trouve dans le flacon et il se produit un sifflement saccadé qui s'entend fort bien à distance.

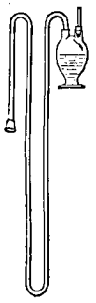


Fig. 102.

Un manomètre placé sur un tuyau ou canalisation intérieure peut servir à reconnaître et constater s'il y existe une fuite. Le gaz étant en pression et aucun des becs n'étant allumé, on voit le chiffre indiqué par le manomètre et on ferme le robinet d'introduction du gaz dans le compteur. Si aucune fuite n'existe, la pression manométrique se maintient; si au contraire la pression baisse, une fuite est incontestable.

Cherche-fuites. Plusieurs systèmes de cherche-fuites ont été proposés. Parmi eux nous devons une mention spéciale à celui de M. Fournier, basé sur le phénomène qui se produit au contact des vapeurs d'ammoniaque et d'acide chlorhydrique, donnant naissance à des fumées blanches très-prononcées. En introduisant de l'ammoniaque gazeuse dans les conduites, et en promenant le long des tuyaux où on soupçonne l'existence de fuites une baguette de verre trempée dans de l'acide chlorhydrique, les fumées blanches se produiront.

L'odeur du gaz rendu ammoniacal, ou encore son action sur les papiers de curcuma ou de tournesol rougi, suffirait même pour faire trouver les fuites.

Est-il nécessaire de rappeler ici que si une fuite de gaz se déclare dans une pièce ou espace plus ou moins clos, la première chose à faire est de ventiler le plus possible et de s'abstenir essentiellement d'y pénétrer avec une lumière ou tout autre corps en ignition.

Valves ou vannes. Pour intercepter à volonté le passage du gaz dans les conduites, on emploie des valves

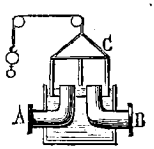


Fig. 103.

ou vannes. Il y en a de deux espèces: les valves hydrauliques bien connues dont la fig. 103 donne d'ailleurs une idée suffisante. Tant que la cloche C occupe la position indiquée sur la figure, le gaz passe du tuyau A au tuyau B. Si on baisse la cloche, le diaphragme plonge dans l'eau et intercepte la communication.

Les valves hydrauliques ont le mérite de présenter toute confiance, en ce sens qu'elles ne peuvent donner de fuite une fois fermées.

Les valves sèches sont plus simples, mais elles peuvent quelquefois laisser passer une certaine quantité de gaz quand leur construction n'est point parfaite.

Les fig. 104 et 105 représentent, en coupe et en vue,

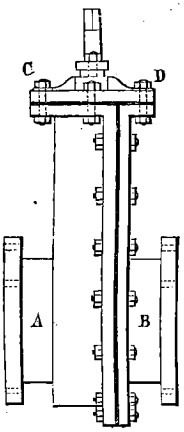


Fig. 104.

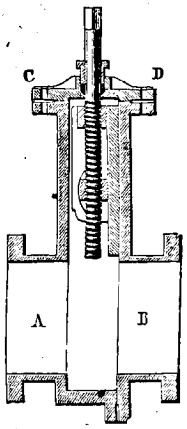


Fig. 105.

une valve de la disposition le plus généralement adoptée jusqu'ici. La chambre est composée de deux parties A et B portant chacune une tubulure, elle est fermée par une plaque C D, boulonnée par dessus. Dans cette chambre se meut un plateau vertical qui est parfaitement dressé comme d'ailleurs les parois intérieures de la chambre. Ce plateau est pressé par un ou deux ressorts qui se trouvent entre lui et la partie A de la chambre. Le dos du plateau porte deux écrous par lesquels passe une vis qui sert de couvercle de la chambre, et dont le mouvement, soit à gauche, soit à droite, fait monter ou descendre le plateau. On fait tourner la vis au moyen d'une clef ou mieux avec une roue horizontale.

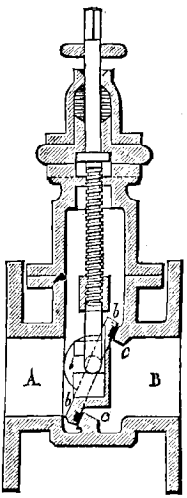


Fig. 106.

Quelquefois, au lieu d'une vis, le plateau se meut au moyen d'une crémaillère.

Dans ce système de valve les ressorts se faussent quelquefois, spécialement quand, en descendant le plateau, on donne à la vis ou à la crémaillère un tour de trop.

Une disposition inventée par un ingénieur nommé Hubert, mort depuis quelques années, nous paraît préférable au système à plateau. Nous savons par une expérience remontant à plusieurs années, qu'elle donne de bons résultats. La fig. 106 en donne une description suffisante.

Le plateau est remplacé par un disque ou obturateur *b b*, venant s'appuyer sur un siége *c c*, et la fermeture est rendue hermétique par une garniture de cuir ou de caoutchouc.

Comme on le voit, un excès de serrage ne peut occasionner aucun inconvénient.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les robinets valves sont construits aujourd'hui par divers mécaniciens, entre autres M. Chetou.

Nous terminerons ce travail en reproduisant un document que les ingénieurs ou directeurs d'usines doivent toujours avoir sous la main; ils ont besoin de connaître les prescriptions des décrets et ordonnances sur la matière, qui forment le code des usines à gaz. Nous donnons donc ci-dessous le texte du décret du 9 février 1867, en vigueur aujourd'hui. Ce décret rapporte les dispositions de l'ordonnance du 27 janvier 1846, qui elle-même avait remplacé l'ordonnance du 20 août 1824.

Nous faisons suivre ce décret de l'instruction adressée aux Préfets pour son exécution, par le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, parce qu'elle renferme des appréciations qui sont, en plusieurs circonstances, essentielles à connaître pour les exploitations des usines à gaz.

A. MALLET.

ÉTABLISSEMENT DES USINES A GAZ.
Décret du 9 février 1867.

Article premier. — Les usines et ateliers de fabrication du gaz d'éclairage et de chauffage pour l'usage public, et les gazomètres qui en dépendent, sont soumis aux conditions ci-après:

Art. 2. — Les usines sont fermées par un mur d'enceinte ou une clôture solide en bois, de trois mètres de hauteur au moins; les ateliers de fabrication et les gazomètres sont à la distance de trente mètres au moins des maisons d'habitation voisines.

Art. 3. — Les ateliers de distillation et tous les bâtiments y attenant seront construits et couverts en matériaux incombustibles.

Art. 4. — La ventilation desdits ateliers doit être assurée par des ouvertures suffisamment larges et nombreuses, ménagées dans les parois latérales et à la partie supérieure du toit.

Art. 5. — Les appareils de condensation sont établis en plein air ou dans des bâtiments dont la ventilation est assurée comme celle des ateliers de distillation.

Art. 6. — Les appareils d'épuration sont placés vers le centre de l'usine, en plein air ou dans des bâtiments dont la ventilation est assurée comme celle des ateliers de distillation et de condensation.

Art. 7. — Les eaux ammoniacales et les goudrons produits par la distillation, qu'on n'enlèverait pas immédiatement, seront recueillis dans des citernes exactement closes et qui devront être parfaitement étanches.

Art. 8. — L'épuration sera pratiquée et conduite avec les soins et précautions nécessaires pour qu'aucune odeur incommode ne se répande en dehors de l'enceinte de l'usine. La chaux ou les laits de chaux, s'il en est fait usage, seront enlevés, chaque jour, dans des vases ou tombereaux fermant hermétiquement, et transportés dans une voirie ou dans un local désigné par l'autorité municipale.

Art. 9. — Les eaux de condensation peuvent être traitées dans l'usine elle-même pour en extraire les sels ammoniacaux qu'elles contiennent, à la condition que les ateliers soient établis vers la partie centrale de l'usine, et qu'il n'en sorte aucune exhalaison nuisible ou incommode pour les habitants du voisinage et que l'écoulement des eaux perdues soit assuré sans inconvénient pour le voisinage.

Art. 10. — Les goudrons ne pourront être brûlés dans les cendriers et dans les fourneaux qu'autant qu'il n'en résultera, à l'extérieur, ni fumée ni odeur.

Art. 11. — Les bassins dans lesquels plongent les gazomètres seront complétement étanches; ils seront construits en pierres, ou briques à bain de mortier hydraulique, en tôle ou en fonte.

Art. 12. — Les gazomètres seront établis à l'air libre; la cloche de chacun d'eux sera maintenue entre des guides fixes, solidement établis, de manière que, dans son mouvement, son axe ne s'écarte pas de la verticale. La course ascendante en sera limitée, de telle sorte que, lorsque la cloche atteindra cette limite, son bord inférieur soit encore à un niveau inférieur de 0m,30 au moins au bord du bassin ou cuve.

La force élastique du gaz dans l'intérieur du gazomètre sera toujours maintenue au-dessus de la pression atmosphérique. Elle sera indiquée par un manomètre très-apparent.

Art. 13. — Les usines et appareils mentionnés ci-dessus pourront, en outre, être assujettis aux mesures de précaution et aux dispositions qui seraient reconnues utiles dans l'intérêt de la sûreté et de la salubrité publiques, et qui seraient déterminées par un règlement d'administration publique.

Art. 14. — Les usines et ateliers régis par le présent décret seront soumis à l'inspection de l'autorité municipale chargée de veiller à ce que les conditions prescrites soient observées.

Art. 15. — Les dispositions de l'ordonnance précitée du 27 janvier 1846 sont et demeurent rapportées.

Instruction pour l'exécution du décret du 9 février 1867.

Monsieur le Préfet,

La nomenclature des établissements réputés insalubres, dangereux ou incommodes, annexée au décret impérial du 31 décembre 1866, a rangé dans la 2e classe la fabrication du gaz d'éclairage et de chauffage pour l'usage public, et dans la 3e classe la même fabrication pour l'usage particulier, ainsi que les gazomètres pour l'usage particulier non attenants aux usines de fabrication.

Ce classement est à peu près le maintien de celui qui existait antérieurement; mais ce qui concerne le gaz est soumis, en outre, à des conditions spéciales prescrites par l'ordonnance royale du 27 janvier 1846, et il a paru convenable de réviser ce régime en tenant compte des progrès réalisés.

Tel est l'objet du décret impérial du 9 février 1867, rendu après examen du comité consultatif des arts et manufactures et sur l'avis du Conseil d'État, décret dont vous trouverez le texte à la suite de la présente circulaire et dont je dois vous faire connaître l'esprit et la portée.

Il convient de remarquer d'abord que l'ordonnance de 1846 s'appliquait indistinctement à la fabrication du gaz pour les usages publics et pour les usages privés; tandis que le nouveau décret, qui le remplace en l'abrogeant, n'a plus jugé nécessaire de réglementer d'une manière spéciale que les usines fabriquant pour l'usage public; les appareils destinés aux besoins privés ne devant plus, dès lors, être soumis qu'aux conditions particulières de l'acte administratif qui en aura autorisé l'établissement.

En second lieu, vous reconnaîtrez, monsieur le Préfet, qu'on s'est attaché à retrancher de la réglementation spéciale tout ce qui pouvait être une gêne trop grande pour le développement d'une industrie dont la nécessité est chaque jour plus démontrée.

Déjà l'administration, désireuse de hâter le développement de cette industrie en lui laissant toutes les facilités compatibles avec la sécurité publique, avait accueilli favorablement les réclamations qui lui avaient été adressées, au sujet de la prohibition contenue dans l'article 6 de l'ordonnance de 1846, lequel interdisait l'emploi de toute substance animale pour la fabrication du gaz, et un décret en date du 17 mai 1865 a rapporté cette prohibition.

Le règlement nouveau, s'inspirant du même esprit, supprime tout ce qui, dans l'ordonnance de 1846 (art. 17 et 24), était relatif à la construction, à l'emploi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du gazomètre et aux épreuves que devaient subir les récipients portatifs pour le gaz. Il a été reconnu, en effet, que les dispositions dont il s'agit n'avaient plus aujourd'hui leur raison d'être, et n'étaient plus en harmonie avec les progrès accomplis dans cette industrie depuis vingt ans.

Le nouveau règlement dispense, en outre, les usiniers de l'obligation que leur imposait l'article 14 de l'ordonnance, d'être pourvus de deux ou plusieurs gazomètres, selon l'importance de leur fabrication; il supprime également l'obligation qui leur était imposée de surmonter de tuyaux et cheminées toutes les ouvertures des ateliers; enfin, il réserve à chaque fabricant, moyennant certaines conditions, la possibilité de traiter, dans son usine même, les eaux de condensation pour en extraire les sels ammoniacaux qu'elles peuvent contenir.

Ces simples indications suffisent pour faire ressortir les avantages que, dans son ensemble, la nouvelle réglementation présente aux industriels. J'y ajouterai seulement quelques explications sur les principales dispositions du décret.

Aux termes de l'article 2: 1° les usines à gaz devront être entourées d'un mur ou d'une clôture solide en bois, de 3 mètres de hauteur au moins; 2° les ateliers de fabrication, ainsi que les gazomètres, devront être séparés des habitations voisines par une distance d'au moins 30 mètres.

Il est bien entendu que la condition d'éloignement des habitations ne concerne que les usines qui se formeraient à l'avenir. S'il en était autrement, en effet, certains établissements actuellement existants se trouveraient frappés d'une sorte de suppression qui ne saurait être dans les intentions du règlement. Vous devrez donc seulement, monsieur le préfet, n'autoriser désormais les usines à gaz qu'en les obligeant à satisfaire à la condition d'éloignement exigée par le décret.

Quant à la première partie de cet article et à l'ensemble des autres dispositions du décret, l'application en principe doit en être immédiate. Mais, avant de formuler des prescriptions à cet égard pour chaque établissement, vous devrez vous faire rendre un compte exact de la situation de l'usine, de son emplacement, de la possibilité ou de l'impossibilité qu'il y aurait de construire le mur ou la clôture exigée. Vous aurez aussi, avant d'ordonner l'exécution de ces travaux, à tenir compte de la difficulté qu'ils pourraient rencontrer, soit au point de vue de la situation existante, soit au point de vue de la dépense qu'ils occasionneraient, et vous pourrez, suivant les circonstances, user momentanément de tolérance, en attendant, pour la réalisation de ces travaux, les délais que vous jugeriez convenables.

C'est l'article 9 qui, comme je l'ai déjà indiqué, laisse aux propriétaires d'usines à gaz, et sous certaines conditions, la faculté de traiter, dans leur établissement même, les eaux de condensation qu'ils peuvent recueillir pour en extraire les sels ammoniacaux. Vous devrez, monsieur le préfet, veiller à ce que les conditions qu'impose cet article soient convenablement observées, surtout en ce qui concerne les exhalaisons nuisibles et l'écoulement des eaux, de manière à sauvegarder les intérêts de la salubrité publique et ceux des habitations voisines.

Les articles 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 et 12, renferment, sauf ce qui a été indiqué ci-dessus, à peu près les mêmes dispositions que les articles correspondants de l'ordonnance de 1846.

Ces diverses prescriptions ne peuvent être l'objet d'aucun embarras, d'aucune gêne sérieuse pour les propriétaires d'usines à gaz, pourvu que l'on tienne compte des recommandations qui précèdent touchant les ménagements qu'il convient d'apporter à l'application de l'article 2 du nouveau règlement.

ÉCLAIRAGE AUX HYDRO-CARBURES LIQUIDES. Les nombreux carbures d'hydrogène qui se rencontrent dans la nature, ayant la plupart une origine minérale, et par suite pouvant être obtenus à bien meilleur marché que les huiles extraites des graines de plantes qui ont exigé tant de travail à l'agriculteur, ont été souvent employés pour remplacer l'huile et même le gaz. Tels sont les pétroles, les huiles de naphte, de schiste, de goudron du gaz, les résines, l'essence de térébenthine, etc.

Si on se reporte aux conditions de combustion lumineuse qui ont été exposées au commencement de l'article ÉCLAIRAGE, et si l'on considère la composition des substances dont il s'agit, on reconnaît immédiatement qu'elles sont tellement riches en carbone, que leur flamme est nécessairement très-fuligineuse, si on se contente, pour les brûler, des appareils ordinaires.

Deux moyens principaux se présentent pour empêcher cet effet: 1° faire arriver dans la flamme, que produit la combustion, une quantité d'air assez grande pour que le carbone ne puisse se déposer en échappant à la combustion et former du noir de fumée, qu'il brûle complétement dans la flamme en se combinant avec l'oxygène de l'air affluant en quantité convenable; 2° mélanger les essences très-carburées à d'autres liquides combustibles très-peu carburés, de manière à compenser l'excès de carbone de l'un par le déficit de l'autre. Ajoutons que la solution du problème est facilitée souvent par la volatilité du liquide, beaucoup des carbures dont il s'agit se réduisant facilement en vapeurs combustibles. C'est sur cette propriété que repose le fonctionnement des appareils qui se rencontrent le plus souvent.

I. Le moyen par excellence de fournir à la flamme la quantité d'air convenable pour qu'un hydrocarbure brûle à l'état gazeux, sans fuliginosité, consiste à carburer l'air pour produire, au moyen de la vapeur entraînée, une sorte de gaz, ainsi que l'a dit plus haut M. Mallet, en retraçant les conditions du bon emploi du procédé, à insuffler de l'air à travers le liquide. Ce système donne, en effet, une combustion excellente, mais exigeant l'emploi d'un appareil de compression de l'air, il est rarement applicable dans la pratique.

Dès 1834, M. Beale de Londres construisit une lampe pour brûler, avec insufflation d'air, les huiles de goudron. Bientôt après, M. Busson-Dumaurier s'associa à M. Beale, et ces messieurs parvinrent à faire vaporiser les huiles essentielles, ou autres, dans l'intérieur d'un bec brûleur, et à mélanger à la vapeur produite une certaine quantité d'air avant la combustion.

La lampe se composait, pour son application la plus ordinaire, d'un réservoir renversé, par le moyen duquel le liquide vient alimenter, à niveau constant, un bec sans mèche, fermé à sa partie supérieure par un disque percé d'ouvertures devant donner passage au mélange de vapeur et d'air, qui enflammé à la sortie fournit la lumière et en même temps la chaleur nécessaire pour la vaporisation de l'huile.

Le bec est divisé en deux parties, dont l'une glisse sur l'autre, de manière à s'allonger ou se raccourcir au besoin. Dans ce bec où le liquide se vaporise, se fait aussi le mélange d'air avec la vapeur, condition d'une haute importance pour la combustion complète de vapeurs si chargées de carbone, et dont la densité étant quatre ou cinq fois celle de l'air atmosphérique rend le mélange intime très-difficile.

MM. Beale et Busson-Dumaurier faisaient arriver l'air dans le bec, sous une pression constante, d'environ 3 cent. d'eau, au moyen d'un soufflet, ventilateur ou gazomètre placé au dehors de l'établissement. Cet air était amené dans le bec par un petit tube qui traversait l'essence, et dont l'orifice, au lieu de regarder la partie supérieure du bec, était dirigé vers la surface du li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE (AUX HYDRO-CARBURES).

quide, de sorte que l'air, refoulé vers cette surface, se mélangeait forcément avec la vapeur produite et l'entraînait, mêlée avec lui dans la proportion convenable; un robinet ordinaire réglait l'introduction de cet air.

Comme MM. Beale et Busson-Dumaurier voulaient pouvoir brûler avec le même bec toutes les huiles obtenues par la distillation du goudron, comme ces différentes huiles se vaporisent à des degrés très-différents, il fallait par conséquent prévoir ces diverses circonstances dans la construction du bec. C'est pour cela qu'une partie rentrait sur l'autre, de manière à pouvoir rapprocher ou éloigner à volonté la flamme du niveau du liquide, pour faciliter ou retarder la vaporisation.

M. Busson-Dumaurier, se contentant trop facilement des résultats obtenus, passa en France et vint à Paris dans l'espoir de faire prendre ce système d'éclairage non-seulement pour les rues, cours, etc., mais bien aussi dans l'intérieur des habitations. Il fit des expériences publiques, si nous ne nous trompons pas, rue Laffitte. Un soir, bon nombre de personnes, parmi lesquelles plusieurs dames aux toilettes élégantes, s'étaient rendues chez M. Busson pour être témoins de ses expériences, et l'encourager de leur approbation bienveillante, s'il y avait lieu. Les essais commencèrent à la satisfaction générale: la lumière était intense et assez belle, et cela depuis une grande demi-heure environ, quand tout à coup une des aimables spectatrices aperçut sur sa robe blanche un petit point noir qu'elle voulut secouer avec la main; mais par l'effet du frottement le point se transforma en une raie noire aussi, et la dame remarqua, à sa grande surprise, que ce point noir avait un certain nombre de frères jumeaux engendrant aussi des raies noires. Cette remarque appela l'attention des dames voisines sur leurs vêtements, et vérification faite d'un résultat identique, elles se sauvèrent toutes sous l'impression d'une véritable terreur panique.

Un semblable résultat obtenu avec tous les inconvénients énumérés plus haut en traitant de la carburation du gaz, avec l'assujétissement de fournir pour chaque consommateur de l'air sous pression, démontrait clairement qu'il n'y avait pas à persévérer dans cette voie pour l'éclairage domestique.

Il n'en est pas de même pour les travaux au grand air, pour les chantiers de construction; on a employé en effet avec succès, dans ce cas, la lampe Donny, qui permet d'obtenir de grandes flammes à l'aide d'un soufflet, et en brûlant les huiles lourdes de goudron, les moins volatiles et celles qui ont le moins de valeur.

Il importe, en effet, de remarquer qu'il y a plusieurs espèces d'huiles essentielles provenant de la même matière première; qu'en distillant soit de la houille, soit du goudron de houille, soit des schistes, ce sont les huiles les plus volatiles, les plus légères, les plus fluides, qui s'échappent les premières; leur fluidité et leur légèreté diminuent au fur et à mesure de la distillation, et les derniers produits volatilisables sont presque visqueux et susceptibles de se figer sous forme de matière grasse par le refroidissement, et très-riches en naphtaline et paraffine. Sans nous étendre davantage pour l'instant sur ce sujet, disons que pour nous une huile essentielle de houille ou de schiste sera celle d'une densité de 0,84 environ, marquant 26 degrés à l'aréomètre. Les produits subséquents de la distillation sont moins volatilisables, et l'huile lourde est le dernier produit liquide de la distillation du goudron de houille.

Les huiles lourdes ont peu de valeur. Leur emploi est d'autant plus difficile qu'elles sont fixes, très-difficilement inflammables, et qu'elles ne peuvent servir dans les lampes à niveau.

Elles sont si peu volatiles qu'on ne peut, sans les avoir préalablement chauffées, les allumer par un corps enflammé. Comme tous les hydro-carbures d'un ordre élevé en carbone et en hydrogène, elles exigent pour brûler une très-grande quantité d'oxygène. Si ce gaz est insuffisant pour brûler tout le carbone et l'hydrogène, il agit d'abord sur l'hydrogène, et le charbon se dépose.

Si la présence de ce dernier corps dans la flamme est nécessaire pour produire, par son ignition, l'intensité de la lumière, il doit disparaître ensuite et brûler entièrement. Une trop grande abondance de charbon, relativement à l'oxygène employé, occasionne le refroidissement de la flamme, qui devient rougeâtre, et laisse dégager sous forme de fumée une grande quantité de ce charbon.

Pour brûler les huiles lourdes sans fumée, il fallait trouver un moyen simple de les réduire en vapeur et de leur fournir la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion de tous leurs éléments. M. Donny atteint ce double but (fig. 107 et 108) de la manière suivante :

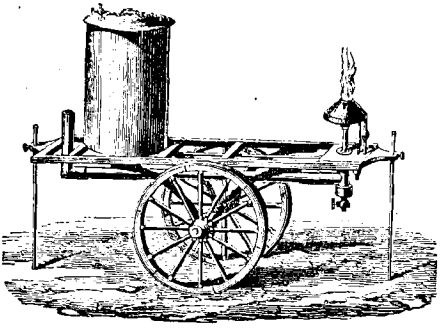


Fig. 107.

La vaporisation de l'huile et sa combustion s'opèrent dans un vase métallique à fond plat et de forme circulaire. Un vase de Mariotte fournit constamment l'huile au foyer et maintient un niveau constant. Le fond du vase à combustion porte à son centre un tube par lequel arrive de l'air comprimé dans un gazomètre ou avec un soufflet.

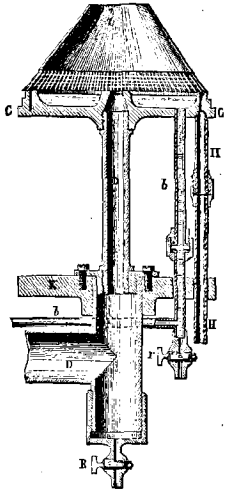


Fig. 108.

Le succès n'a pas justifié d'abord les espérances que M. Donny avait fondées sur la théorie et des principes excellents, et il s'est trouvé en face de grandes difficultés qu'il a vaincues avec un rare bonheur.

Après avoir perdu toute sa partie volatile, le goudron s'élève, par une espèce de capillarité, sur les parois du réservoir, se déverse à l'extérieur et produit en se décomposant, non-seulement une vapeur qui brûle avec une épaisse fumée, mais encore un dépôt de charbon qui va toujours en augmentant jusqu'au point de rendre impossible l'emploi de la lampe.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

si l'inventeur n'avait imaginé des dispositions particulières.

Pour remédier à ce grave inconvénient, on a ménagé autour du vase à combustion un canal concentrique, et dans lequel le goudron vient se déverser, pour tomber ensuite au dehors par un tube fixé à la partie inférieure de la rigole. On évite ensuite l'inflammation du goudron par une toile métallique fixée sur le bord extérieur de la lampe et formant toiture sur le canal circulaire. Un cône placé sur le foyer limite la flamme et complète l'appareil.

Avec ces dispositions, M. Donny brûle complétement et sans fumée toute espèce d'huiles lourdes, même les plus mauvaises, sans les avoir soumises à aucune épuration.

« Nous avons assisté aux expériences de M. Donny, dit M. Masson dans son rapport à la Société d'encouragement, et nous avons constaté les résultats suivants : une petite lampe a fourni une belle flamme très-blanche et sans aucune odeur ou fumée. Le diamètre de cette flamme était de 1 centimètre, sa hauteur mesurait 1 décimètre et l'intensité de sa lumière équivalait environ à dix bougies.

« Nous avons ensuite opéré avec un grand modèle. La lumière valait environ quatre cents bougies ; à 30 mètres du foyer on pouvait facilement lire un journal. La flamme, très-blanche et sans fumée, avait 50 centimètres de hauteur sur 10 centimètres de diamètre. La petite lampe brûlant environ 7 centilitres de liquide par heure, et la grande lampe dépensant 3 litres dans le même temps, nous pouvons apprécier le prix du nouvel éclairage.

« Évaluant à 11 centimes le litre d'huile lourde, le prix d'une lumière équivalent à une bougie est, par heure, de 0 f. 00077 dans la petite lampe, et 0 f. 0008 dans la grande.

« Ainsi, une bougie brûlant pendant une heure ne coûte pas la millième partie de 1 franc. Cet éclairage est donc cinq fois moins cher que l'éclairage au gaz, qui fournit la lumière d'une bougie pour 0 f. 0043.

« La lampe de M. Donny, qui peut, à l'aide d'une disposition convenable, être facilement et promptement transportée d'un point à un autre, éclairera avantageusement les chantiers des grands travaux de terrassement. »

Revenons aux huiles essentielles, plus légères, plus volatiles que les huiles lourdes; pour les employer, il a fallu, dans la pratique, renoncer à l'insufflation de l'air, et chercher à résoudre le problème par l'effet du courant d'air obtenu dans la lampe, en disposant les becs de telle sorte que l'hydrocarbure soit amené à l'état de vapeur avant de rencontrer l'air. Ce sont les diverses combinaisons des systèmes propres à atteindre ce but que nous allons passer en revue, la solution du problème étant d'autant plus facile, avec des appareils simples, qu'il s'agit de brûler des essences plus volatiles. Nous reproduirons ici, comme document intéressant, le bec le plus satisfaisant combiné par MM. Busson et Rouen pour brûler les huiles essentielles obtenues dans la distillation de la houille, et marquant au moins 25° à l'aréomètre, bien qu'il ne soit plus employé, pour conserver la trace de ces essais.

La fig. 109 représente le bec. A est la partie inférieure, communiquant par la base avec un tube qui amène le liquide d'un réservoir à niveau mort. Un robinet placé sur ce tuyau intercepte à volonté la communication entre le réservoir et le bec qui, étant placé au-dessus de lui, donne au liquide qui y arrive une certaine pression. Sur la partie A s'adapte la tête du bec, et ces deux parties sont séparées par une cloison portant un ajutage B à petit orifice. Les parois C, C de la tête du bec sont en cuivre rouge assez épais, très-bon conducteur du calorique; un peu au-dessus de la cloison, les parois sont percées suivant une circonférence de plusieurs ouvertures *c*, *c*, donnant accès à l'air atmosphérique, ouvertures qu'on pourrait, au moyen d'un anneau extérieur au cylindre, diminuer de section à volonté. La figure montre de petites tiges reliant la tête du bec avec la partie inférieure; au-dessus de l'ajutage B se trouve un tuyau ou cheminée *b*. La partie de la tête environnant ce tuyau *b* forme une espèce de chambre ou réservoir, dont les parois sont tapissées d'une toile métallique. D,D, sont des orifices percés à la circonférence de la tête en nombre variable et d'un diamètre de 2 à 3 millimètres. A la partie extrême, dans la pièce de dessus EE, se trouve vissé un tampon F, pour pouvoir au besoin nettoyer l'intérieur dudit bec. La tête du bec peut être munie d'une galerie à claire-voie pour y poser un verre ou cheminée, portant un étranglement qui force l'air d'arriver sur la flamme et rend la combustion plus complète.

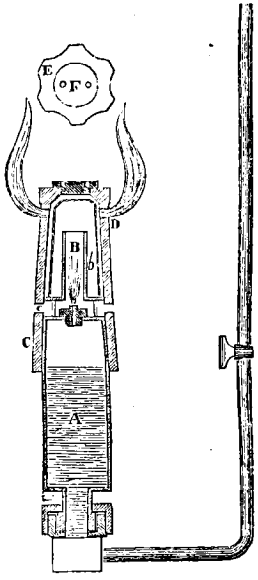


Fig. 109.

Voilà la description du bec, passons à sa manière de fonctionner.

Il faut commencer par vaporiser le liquide; pour cela on chauffe le bec au moyen d'une espèce d'*éolypile*. La vapeur se forme dans la partie A, s'échappe par l'ajutage B, et en vertu de sa tension, elle entraîne avec elle de l'air entrant par les ouvertures *c*, *c*. Ce mélange d'air et de vapeur se dilate d'abord dans le tube, et arrive dans la tête du bec où il éprouve un certain remous favorisant le mélange, que rendent encore plus intime les petits trous des toiles métalliques que l'air et la vapeur sont forcés de traverser pour arriver aux orifices D, D, à la sortie desquels l'inflammation se produit.

Il est bien entendu qu'alors le robinet est ouvert : la colonne liquide du réservoir exerce sur le liquide contenu en A une pression constante, de sorte que la vapeur s'écoule sous l'influence de cette pression nécessaire d'ailleurs au bon fonctionnement du bec. Les parois C,C, transmettent à chaque instant au liquide de A la chaleur nécessaire à sa vaporisation. Le bec se règle lui-même par sa disposition; ainsi, en supposant qu'une trop grande quantité de liquide soit vaporisée, la tension de la vapeur formée augmentant fait remonter le liquide de la partie A dans le réservoir et l'éloigne de la source, ce qui ralentit la vaporisation.

Les dimensions du bec doivent être calculées de manière à ce que la quantité d'hydro-carbure vaporisée réponde au besoin de la combustion. La quantité d'air qui se mélange à la vapeur doit être dans la proportion de 3 à 4 pour une combustion convenable.

La toile métallique, outre l'effet que nous avons indiqué, empêche aussi la flamme d'arriver dans le bec et d'agir sur le mélange de vapeurs et d'air qui pourrait être explosif.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour chauffer le bec avant l'allumage, les inventeurs emploient, comme nous l'avons dit, une espèce d'éolypile qui n'est, à proprement parler, qu'un bec de forte dimension, présentant avec le précédent une grande analogie, mais dont la flamme est horizontale. La fig. 110 représente la coupe sommaire dudit bec, dont la partie inférieure communique avec le réservoir à niveau mort, comme tout à l'heure. Le liquide arrive dans la capacité A, dans la partie supérieure de laquelle se trouve pratiquée une ouverture cylindrique indiquée dans la figure par l'espace entre A et A'. De la partie supérieure A', part un petit tuyau B, percé d'un orifice O par où s'échappe la vapeur formée par la chaleur de la flamme, chauffant directement ici la capacité A et conséquemment le liquide. La vapeur s'échappant passe dans l'espace cylindrique entraînant avec elle l'air nécessaire à la combustion complète de l'hydro-carbure vaporisé, et le mélange est allumé comme à l'ordinaire.

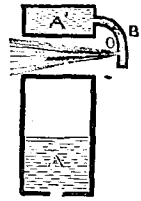


Fig. 110.

Un bec ordinaire de ce genre consomme par heure 60 à 70 grammes environ d'hydro-carbure liquide, à la densité que nous avons indiquée, et entrant en ébullition à la température de 85 degrés environ.

La flamme de ces becs est blanche et brillante, mais ils donnent de la fuliginosité, ce qui présente déjà un inconvénient pour l'extérieur, mais qui, dans les appartements, magasins, etc., serait un obstacle insurmontable. Du reste, nous devons ajouter que cet éclairage n'a été employé quelque temps qu'aux gares, ateliers, souterrains, embarcadères, stations de quelques chemins de fer.

La figure 111 représente une lanterne avec un bec Busson et Rouen. C est le chapiteau, le réservoir liquide est en R, et le liquide est amené au bec B par le tuyau *t*. Le réservoir ne doit pas être placé sur le chapiteau, mais en être séparé pour que la chaleur de la flamme ne vienne pas agir sur le liquide.

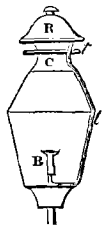


Fig. 111.

Nous ne parlerons pas du prix de revient; la concurrence du pétrole d'Amérique d'une part, et le haut prix acquis par les goudrons de houille pour l'extraction de la benzine, ont dû faire renoncer à cet emploi des huiles de goudron.

Gaz d'essence à pétrole. — Lampes à éponge. Les produits de la distillation du pétrole, qui distillent entre 75 et 120 degrés, fournissent une essence volatile ayant une tension assez grande à la température ordinaire pour qu'elle donne presque spontanément une combustion gazeuse. Il suffit de placer au dessous du bec d'une lampe, dans un réservoir, des éponges imprégnées d'essence, pour avoir une source de vapeur qui dure assez de temps. L'air qui traverse le réservoir par le fait de l'appel produit par la chaleur du bec allumé vient donner un jet de gaz peu allongé, puisque la vitesse de l'air est petite. Cet éclairage peu brillant n'a pu se développer beaucoup. Il est prudent de placer au dehors le réservoir renfermant une matière aussi inflammable et par suite aussi dangereuse à manier que l'essence de pétrole.

Lampes pour l'huile de schiste et le pétrole. Ces lampes diffèrent surtout de celles qui servent pour les huiles grasses, en ce que la mèche de coton qui y est employée sert seulement à aspirer le liquide par capillarité et à le diviser, à augmenter sa surface de contact avec l'air, mais sans arriver jamais jusqu'à la flamme, car alors la chaleur engendrerait une quantité trop considérable de vapeur. Pour éviter une volatilisation trop rapide, on ne se contente pas d'éloigner la flamme du niveau de l'huile, on refroidit de plus le brûleur par le courant d'air appelé par la combustion; il doit être plus énergique que pour les huiles grasses, à cause de la composition des huiles minérales, bien plus riches en carbone et par suite donnant facilement une flamme fuligineuse.

Les dispositions qui, après bien des essais, ont le mieux réussi pour l'huile de schiste, peuvent se ramener à deux, pour les lampes à mèche circulaire, donnant beaucoup de lumière, savoir :

Placer un peu au-dessus du bas de la flamme et dans son intérieur un disque de métal d'un diamètre un peu plus grand que le diamètre intérieur du bec, qui rougit nécessairement et qui a pour but de faire que le courant d'air se brise sur ses bords et par suite de faire brûler le carbone qui aurait échappé à la combustion dans la flamme elle-même;

Donner au verre un étranglement, placé très-bas, qui force l'air à affluer sur la flamme, de manière à rendre la combustion très-vive.

Cet appareil, à la construction duquel ont surtout contribué M. Ménage et M. Breuzin, qui n'ont guère tiré profit de leurs travaux, a été évidemment inspiré par la lampe solaire, mais modifiée heureusement pour les besoins d'une combustion dont on peut admirer souvent l'éclat pour les boutiques en plein air qui l'ont généralement adopté. A l'intérieur, l'odeur de l'huile de schiste est trop forte pour que son emploi ait pu devenir usuel.

Pour le pétrole, qui ne doit renfermer pour l'éclairage que les produits qui passent à la distillation entre 150° et 280°, brûlant bien plus facilement que l'huile de schiste, on emploie le plus souvent la lampe à mèche plate représentée dans la figure 112, qui porte entre le verre et le bec un cône en métal qui renvoie sur la flamme, qui se produit à la fente supérieure, le courant d'air extérieur qui pénètre par les trous placés en bas du bec. Cette disposition est très-efficace, mais elle donne une ombre gênante autour du pied de la lampe.


Fig. 112.

La proximité du réservoir et du bec, qui donne à ces lampes une forme peu gracieuse, résulte de la hauteur assez faible à laquelle la capillarité de la mèche peut élever le liquide et de la nécessité de donner au réservoir d'huile un assez grand diamètre, pour éviter de trop grandes variations de niveau, à mesure que la combustion s'effectue.

Les progrès de l'éclairage au pétrole ont fait imaginer diverses dispositions de lampes, toutes bien moins employées que celle si simple que nous venons de décrire. Parmi les meilleurs systèmes, pour obtenir un bel éclairage, nous citerons la lampe tubulaire de M. Defienne.

La mèche unique des autres lampes y est remplacée par une série de mèches cylindriques, disposées en couronne, autour d'un disque analogue à celui des lampes à schiste. Toutes ces mèches peuvent se monter en même temps à l'aide d'une seule crémaillère. Une enveloppe annulaire, fixée au porte-verre, limite la section de l'air qui afflue à la partie extérieure de la couronne des mèches; un disque intérieur limite également la quantité d'air qui monte en dedans de cette même couronne, et comme, d'ailleurs, l'air peut circuler entre les tubes qui ne se touchent pas, chaque mèche reçoit isolément la quantité d'air nécessaire à la combustion complète du pétrole vaporisé. Lorsque la lampe est allumée, toutes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les flammes se soudent par leur partie moyenne et constituent, par leur ensemble, une brillante couronne. Aucune partie du pétrole n'échappe à la combustion, car on ne sent pas la moindre odeur; la flamme a le ton un peu jaunâtre qui correspond au maximum d'éclat d'une flamme. Avec une hauteur moyenne de celle-ci, la dépense est de 4 grammes par mèche et par heure.

La facilité de l'emploi du pétrole dans des lampes simples a contribué au développement de ce genre d'éclairage, bien moins toutefois que son bon marché. Silliman a établi qu'une lampe à pétrole possède un pouvoir éclairant supérieur à celui d'une lampe Carcel d'une même grandeur de mèche et brûlant la même quantité d'huile de colza dont le prix est beaucoup supérieur. Des expériences photométriques ont établi que le pouvoir éclairant d'une lampe à mèche plate de $9^{mm},5$ est égal à celui de 9 bougies de blanc de baleine brûlant 7 gr. 8 par heure. La lampe à mèche circulaire a un pouvoir égal à celui de 12 bougies. De sorte qu'un litre de pétrole rectifié équivant à 2 kilogrammes, ou 2 kil. 300 de bougies de blanc de baleine, suivant la lampe employée. Le coût moyen par heure d'une lumière égale à celle de 8 bougies de blanc de baleine était, lors des expériences, 0 fr. 088 avec le blanc de baleine, et 0 fr. 044 avec le pétrole rectifié.

Le pétrole a donc l'avantage de l'économie en même temps que celui de l'éclat de la lumière; l'odeur d'hydrocarbure et surtout le danger de son maniement sont les seules causes qui restreignent ses applications.

Gaz sidéral. Nous avons toujours parlé jusqu'ici de l'alimentation de la combustion dans les lampes à hydrocarbures liquides avec de l'air; on a aussi songé à employer de l'oxygène pur, nécessairement plus actif. Cette idée n'a pas été mise à exécution pour l'éclairage par les lampes; mais M. Gaudin l'a pratiquée dans les essais très-intéressants qu'il a faits en 1838, 1839 et 1840, pour obtenir de grands foyers d'éclairage et dont nous allons dire quelques mots.

Nous ne nous arrêterons pas à l'idée que ce savant avait émise sérieusement de pouvoir éclairer toute une ville, ou du moins un quartier, au moyen d'une seule source de lumière, d'une puissance reconnue suffisante. Nous trouvons très-fondée et sans réplique l'objection qu'on lui a faite, et qui se présentait tout naturellement. Il faudrait placer ce foyer à une hauteur démesurée pour qu'il pût éclairer toutes les rues, toutes les parties d'une ville d'une manière à peu près uniforme; et pourquoi certains quartiers ou même certaines portions d'un quartier auraient-ils à perpétuité, pour ainsi dire, le privilége d'être mieux éclairés que tels autres?

Si l'on voulait discuter sérieusement cette question, il serait même facile d'établir que c'est une condition essentielle du succès d'un mode d'éclairage que l'on prétend appliquer à la voie publique, que de pouvoir être divisé facilement, à l'infini pour ainsi dire; que c'est le grand défaut de la puissante lumière électrique dont nous allons parler plus loin, de ne pouvoir être produite qu'en un foyer considérable de chaleur et de lumière. L'intensité de la lumière décroissant en raison du carré des distances, on éclairera évidemment mieux un grand espace, on donnera plus facilement une intensité suffisante, par de faibles foyers peu éloignés les uns des autres, que par un foyer unique situé à une grande distance des extrémités. Si le nombre des foyers lumineux est n, F la quantité de lumière, on aura partout $\frac{F}{n}$, tandis qu'avec un seul foyer, on aura à une extrémité $\frac{F}{m^2}$ si m est la distance du point éclairé au grand foyer, quantité qui aura bientôt une valeur moindre que la première.

Quant au procédé d'éclairage, il s'agissait d'appliquer celui qu'on peut obtenir en faisant brûler un mélange d'oxygène et d'hydrogène en présence de la chaux ou de la magnésie, la lumière de Drummond.

Après avoir tenté de se servir d'oxygène et d'hydrogène purs préparés industriellement, M. Gaudin essaya d'arriver plus simplement et surtout moins chèrement au même résultat, en cherchant, parmi les substances les plus répandues dans la nature, celles dont l'un ou l'autre de ces gaz forme la base principale, et dans lesquelles les corps étrangers qui y sont mélangés ou combinés ne peuvent influer sensiblement sur leurs propriétés. C'est pour cela qu'il avait choisi l'air atmosphérique pour remplacer l'oxygène; et pour remplacer l'hydrogène, l'alcool, l'éther et les essences.

On voit que M. Gaudin avait essayé depuis longtemps l'éclairage oxhydrique, mais sans s'être proposé de suivre une route nouvelle pour arriver à une préparation économique de l'oxygène. Ces essais n'eurent pas de suite.

II. Disons quelques mots du second système propre à faire brûler les hydrocarbures à l'état gazeux.

Un système d'éclairage importé en France en 1832 a été dans les années suivantes vingt fois reproduit avec plus ou moins d'adresse, mais sans succès, jusqu'à ce que l'esprit ingénieux de quelques-uns de nos fabricants lampistes l'eût mis sous les yeux du public avec beaucoup de goût et d'habileté. Ce système d'éclairage est dit au *gaz liquide*, à l'*hydrogène liquide*, au *gazogène*, noms différents chez les divers fabricants de liquides combustibles ou même seulement de lampes destinées à la combustion.

Dans tous les cas, on a associé, par opposition à une huile essentielle quelconque trop carburée, un liquide peu carburé, soit l'alcool, le méthylène (esprit de bois) ou l'éther, pour former un mélange, qu'on peut nommer un *alcoolat*, susceptible de brûler avec une flamme non fuligineuse et assez blanche.

Les huiles essentielles qu'on peut employer pour opérer le mélange sont celles de térébenthine, de goudron de gaz, de naphte, de pétrole, de schiste, de résine. Mais pour que les deux liquides puissent se mélanger intimement, pour que leur dissolution réciproque puisse s'opérer, il faut que l'alcool soit presque absolu, qu'il marque 98 centièmes à l'alcoomètre, il faut de plus que l'essence soit anhydre, et ait été rectifiée sur de la chaux; hors de ces conditions pas de mélange possible. S'il restait dans un des deux liquides une certaine proportion d'eau, leur séparation ne tarderait pas à s'opérer au sein du mélange, et dans la lampe ils se placeraient dans l'ordre de leur pesanteur spécifique, et brûleraient nécessairement dans le même ordre; on obtiendrait successivement deux flammes fort différentes qui ne conviendraient ni l'une ni l'autre. Celle de l'alcool aqueux serait d'un bleu pâle et sans éclat; celle de l'huile essentielle serait fuligineuse et d'un éclat rougeâtre peu intense.

L'appareil de combustion est une lampe qui se compose tout simplement d'un réservoir dans lequel vient plonger une mèche de coton pleine, non tressée, pour obtenir par capillarité l'ascension du liquide; le bout supérieur de cette mèche apparaît au-dessus du réservoir, comme celle des lampes ordinaires à l'alcool, quand elle est mince et que la lampe ne sert que de veilleuse et de bougie; mais quand on veut une grande clarté, et c'est là le cas le plus général, on enveloppe cette mèche dans un fourreau de laiton peu épais qui s'adapte et se fixe sur le réservoir, qu'il dépasse d'une certaine hauteur. Ce fourreau ou tube cylindrique se termine à sa partie supérieure par un disque percé de trous très-petits placés symétriquement et en nombre variable. Le cylindre porte aussi vers son extrémité une galerie à claire-voie pour recevoir une cheminée en verre comme les becs de quinquets ordinaires.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE (AUX HYDRO-CARBURES).

Voilà l'appareil garni, il s'agit maintenant de l'allumer. Mais pour pouvoir enflammer la vapeur du liquide comburant, il faut nécessairement l'engendrer, il faut vaporiser l'alcoolat, et cette vaporisation ne peut avoir lieu que par une élévation de température. Pour obtenir ce résultat, on entoure le fourreau (dans sa partie supérieure) d'un anneau muni d'un fil métallique trempé préalablement dans de l'esprit de vin auquel on met le feu. Le liquide volatil dont la mèche est imbibée se vaporise, et la vapeur s'échappant par les jets ou orifices dont nous avons parlé vient s'allumer à la flamme de l'anneau.

Les jets sont séparés et ne se confondent pas en une seule nappe comme dans les becs à gaz, de sorte que le bec allumé présente l'aspect plus ou moins fidèle d'un artichaut dont les feuilles sont figurées par les jets lumineux. La cheminée en verre est employée quelquefois pour redresser les jets de flamme et pour rendre la combustion plus complète.

Les premiers becs de lampe à alcoolats étaient très-imparfaits, ne permettant ni de régler la flamme ni de l'éteindre sans qu'il se répandît dans l'atmosphère une vapeur d'une odeur très-désagréable. M. Robert, déjà connu par son système très-ingénieux d'éclairage à l'huile par circulation continue, s'est occupé avec beaucoup d'habileté et de succès des perfectionnements dont était susceptible le système d'éclairage par les *alcoolats*, tant pour le bec brûleur que pour le liquide gazogène; nous devons à ses travaux une mention spéciale.

D'abord il remarqua que pour obtenir une régularité soutenue dans ledit éclairage, il fallait adopter pour les dimensions des becs une uniformité exacte et soutenue et pour le liquide une composition toujours uniforme au point de vue de sa richesse en hydrogène, carbone et oxygène, quelles que fussent d'ailleurs les matières composant ce gazogène, car tel bec qui brûle convenablement avec un liquide donné ne brûlera plus de même, si on change la composition du liquide qui doit l'alimenter, et réciproquement. Un des premiers, M. Robert observa que pour la meilleure combustion possible l'alcool devait être absolu et l'essence bien rectifiée et aussi pure que possible; qu'une quantité d'eau même très-petite dans le mélange pouvait modifier l'essence dans sa composition, produire par là des parcelles de corps résinoïdes solides et crasser les appareils. Un des premiers il imagina que l'esprit de bois pourrait très-bien remplacer l'alcool dans la préparation du liquide gazogène, de même que d'autres essences pourraient être substituées à celle de térébenthine.

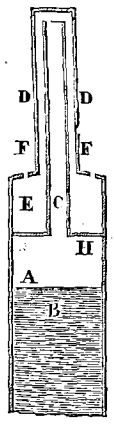


Fig. 113.

Mais c'est surtout dans les becs eux-mêmes qu'il apporta d'heureuses innovations. Dans les lampes qu'il construit, la vapeur inflammable, avant d'arriver aux orifices par où elle s'échappe, vient circuler dans l'espace annulaire de deux tubes concentriques, dont l'extérieur est chauffé directement par la flamme du bec, et forme une espèce de cornue distillatoire où la vapeur subit une certaine décomposition et se convertit partiellement au moins, sinon totalement, en véritable gaz. C'est ce que représente la fig. 113; B est la mèche; la vapeur, formée dans la chambre AH, s'élève dans le tube C, redescend dans l'espace annulaire D, se rend dans l'espace E, et s'échappe par les trous F. L'espace E forme isoloir, comme d'ailleurs l'espace annulaire, en ce sens qu'il s'oppose à la transmission directe du calorique à la chambre de vapeur AH. Cet artifice empêche la tension et la production de la vapeur d'augmenter, et procure à la flamme une immobilité absolue.

L'espace E, comme l'espace annulaire, que la vapeur parcourt, sert d'épurateur, parce que là se déposent les corps étrangers et les portions du liquide qui pourraient être entraînés dans la distillation.

On voit dans la figure 114 le moyen ingénieux ima-

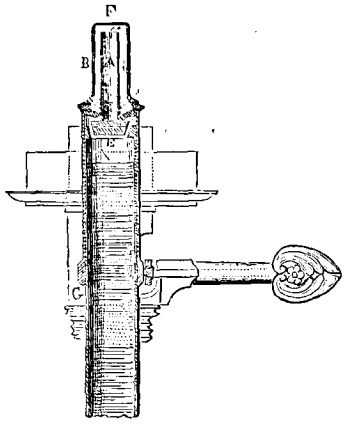


Fig. 114.

giné par M. Robert pour éteindre la lampe, en évitant les inconvénients que nous avons déjà signalés.

Une tige horizontale, terminée par un petit bouton que l'on tourne avec les doigts, imprime au tube BG un mouvement longitudinal et de spirale à la fois, or ce tube commande le cône E, qui vient s'abaisser à volonté et boucher l'orifice de la sortie de la vapeur quand on veut éteindre la lampe.

Le double mouvement indiqué ci-dessus est indispensable pour procurer la décollation du tube, quand il se trouve quelques résidus. Deux petites pièces simples et solides le produisent: une fourche et un tenon. La forme seule du petit tenon est un mécanisme, elle permet de retirer le tube au besoin, et cependant s'op-

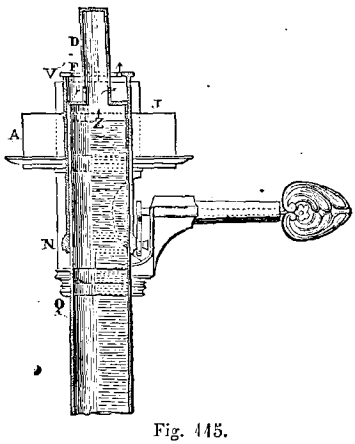


Fig. 115.

pose à sa sortie pendant tout le mouvement pendant lequel il doit rester dépendant.

Ce bec peut encore être modifié comme l'indique la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fig. 115 pour donner le moyen de régler la flamme à volonté.

Ses dispositions sont fondées sur ce principe, que le tube DD, qui transmet au liquide contenu dans le bec le calorique, qui lui est communiqué par la flamme et est indispensable à la vaporisation, en transmet d'autant plus qu'il présente à cette flamme plus de surface chauffante.

En tournant le bouton et à l'aide du mouvement dont nous avons parlé tout à l'heure, on fait descendre ou monter le tube N et la portion supérieure du bec VF, ce qui raccourcit plus ou moins la partie du tube D chauffée par la flamme, et laisse à la lampe plus ou moins de flamme. Lorsque le tube D se trouve complétement noyé dans le tube V, le bec ne reçoit plus de chaleur, et la flamme s'éteindrait instantanément si la chaleur *acquise* ne vaporisait encore un peu de liquide; mais cette chaleur acquise s'épuise bientôt, et avec elle finit la production de vapeur et de flamme sans que le bec exhale d'odeur.

Passons maintenant à l'appréciation de ce système d'éclairage.

La lampe, par sa disposition, par les ornements dont ont su la parer l'habileté et le bon goût des constructeurs, et auxquels elle se prête très-bien, constitue un petit appareil de luxe qui ne manque pas de gentillesse et flatte beaucoup la vue, en excitant d'ailleurs la curiosité, tant par la diaphanéité du réservoir (presque tous sont en cristal), que par la gazéification du liquide. Elle a eu pendant l'hiver de 1843-1844 un succès de vogue dans les salons de la capitale; on s'en est amusé et on s'en amuse encore, comme on l'a fait il y a quelques années des cafetières en cristal. Mais ses agréments de société ne suffisent pas pour constituer un système d'éclairage convenable, bon et utile en toute circonstance, et offrant une économie sur les systèmes généralement employés. Ces conditions, le liquide gazofacteur les présente-t-il?

La flamme est convenablement blanche, ne donne pas de fuliginosité, et peu ou point d'odeur. La mèche, cachée dans le bec, peut servir pendant plusieurs jours sans être rafraîchie ni manipulée quotidiennement, comme dans les becs à huile (M. Robert conseille de la remplacer tous les huit jours); enfin, en faisant le service de ces lampes on ne risque pas de se tacher comme en manipulant le liquide oléagineux. De plus, l'huile contenant toujours des mucilages non volatils qui encrassent les mèches, il résulte que dans les becs à l'huile il y a toujours, après plusieurs heures d'éclairage, une diminution d'intensité de lumière sans diminution de dépense, ce qui n'arrive pas pour le gazogène. Il faut mettre aussi à l'avantage de ce dernier le prix élevé des appareils à huile, leurs réparations, leur entretien, et l'impossibilité d'obtenir un service régulier d'une lampe qui ne sert que rarement, à cause de l'altération, par l'action oxydante de l'air, de l'huile qui brûle alors en produisant un charbon difficile à incendier qui bouche les pores de la mèche.

Mais, à côté de ces avantages, il y a des inconvénients graves: d'abord l'odeur inévitable du mélange liquide, odeur persistante due à l'huile essentielle, et telle que si on a le malheur de renverser une lampe, ou une certaine quantité de *gazogène* dans un appartement, il faut le déserter pour un jour au moins; ensuite l'obligation d'avoir, le plus généralement, en réserve dans son habitation une certaine quantité du liquide qu'on ne trouve pas chez tous les épiciers comme de l'huile à quinquet. Enfin surtout, ce liquide est très-volatil, très-inflammable; pouvant même s'enflammer à distance par une température élevée à cause de sa facile vaporisation, il présente des dangers d'incendie extrêmement sérieux: la chute d'une lampe est, on peut dire, une véritable cause d'incendie, comme de tristes exemples ne l'ont que trop démontré.

Nous devons à ce propos mentionner un bidon très-ingénieux imaginé par M. Robert: l'anse est creuse, ses deux extrémités ouvrent, la première tout près du goulot du vase, l'autre vers le milieu de la capacité, de sorte que l'air entre dans le bidon, qu'on vide, par l'anse, et non par le col lui-même comme dans les vases ordinaires; on évite donc le *glou-glou*, et par conséquent les projections du liquide toujours odorant. Pour diminuer les chances d'incendie, les orifices sont garnis de toiles métalliques, de sorte que le feu ne peut arriver au liquide du bidon.

Revenons à la question de prix. En effet, l'éclairage au *gazogène* et liquides équivalents ne pourrait prendre de l'importance eu égard surtout aux inconvénients qu'il présente, par son odeur et sa grande inflammabilité, que s'il offrait sur l'éclairage à l'huile une notable économie. Sa vulgarisation apporterait à la fabrication de l'alcool une très-grande extension, qui non-seulement serait favorable aux départements vinicoles, mais qui ferait aussi augmenter en quantité l'emploi des autres matières premières de l'alcool autres que le vin, telles la betterave et la pomme de terre, en réduisant peut-être la culture des graines grasses. On ajoutait de plus, que les suifs et les huiles indigènes ne suffisent pas à la consommation, et que l'importation annuelle de ces produits est très-importante; donc qu'on ne nuirait point au sol national, en permettant aux alcoolats de se substituer à ces matières premières d'éclairage qui nous arrivent de l'étranger. Mais ces souhaits ne sauraient faire que les travaux de l'agriculteur puissent être rémunérés, lorsqu'ils s'appliquent à obtenir de ses cultures des produits qui se rencontrent, presque sans frais aucuns, dans le sol de divers pays. La concurrence était bien difficile, il y a quelques années; elle est devenue absolument impossible depuis que la production si abondante du pétrole d'Amérique est venue fournir à bas prix un hydro-carbure très-inflammable.

Tout ceci fait aisément comprendre comment tous les efforts d'un habile inventeur n'ont pu parvenir à vulgariser le mode d'éclairage dont nous venons de parler.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. Nous venons d'étudier les moyens de produire la lumière par la combustion de tous les corps qui peuvent satisfaire aux conditions physiques et économiques du problème. C'est en effet comme accompagnant une combustion active, une température très-élevée, que la lumière nous apparaît, et longtemps il a semblé que les phénomènes lumineux étaient liés indissolublement aux phénomènes calorifiques. L'étincelle électrique et surtout l'arc voltaïque obtenu à l'aide de la pile sont venus montrer une voie nouvelle et ont prouvé que l'électricité pouvait engendrer directement des phénomènes lumineux, sans combustion correspondante. Ce sont là des faits qui méritent une étude sérieuse; il s'agit d'une question du plus haut intérêt.

Le grand éclat de la lumière électrique, si supérieur à celui de toutes les lumières artificielles, impressionne vivement la première fois qu'on la voit, et les personnes amies du progrès se plaisent à devancer en imagination l'époque où l'électricité, se substituant au gaz carboné, émanera d'un électro-moteur central et circulera dans des conducteurs ramifiés pour alimenter de distance en distance des foyers de lumière blanche et vive.

Si jamais cette conception se réalise, c'est qu'on aura beaucoup perfectionné ce que l'on possède actuellement: peut-être même faudra-t-il qu'on invente quelque chose de tout nouveau et dont nous n'avons encore aucune idée. Mais indépendamment de sa substitution aux autres modes d'éclairage, elle a trouvé et trouvera assez d'emplois spéciaux pour qu'il soit convenable de donner comme annexe à l'article ÉCLAIRAGE la descrip-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion des appareils qui servent à la produire et à la diriger.

La première expérience de lumière électrique est due à Davy, qui, ayant fait construire la grande pile de la Société royale de Londres, eut l'idée, au commencement du siècle, d'en armer les pôles de deux cônes de charbon et d'opérer la décharge par leurs extrémités; il vit aussitôt jaillir une lumière d'un éclat supérieur à celui de toute autre lumière artificielle et comparable à celui du soleil. Persuadé que la combustion du charbon n'était pour rien dans la beauté du phénomène, il plaça les charbons dans le vide et il obtint en effet autant de lumière, tout en évitant la consomption du charbon par l'oxygène de l'air. Pour rendre ce charbon plus conducteur, il le calcinait à haute température et l'éteignait brusquement dans le mercure.

Pendant bien des années, l'expérience fut répétée solennellement dans les cours publics, en suivant exactement les indications de Davy. Elle était nécessairement de courte durée, les piles dont on usait alors ne fournissant pas un courant persistant, et puis les charbons incandescents dégageaient d'abondantes fumées qui en peu d'instants obscurcissaient la paroi de globe destinée à les contenir dans le vide. On en serait sans doute encore au même point si la pile de Grove, modifiée par Bunsen, ne fût venue mettre aux mains des physiciens un courant fort et durable.

La pile de Bunsen parut en 1843, et de ce moment, un physicien, M. Léon Foucault, conçut la pensée de tirer parti de la lumière électrique et de l'appliquer au microscope solaire et généralement à toutes les expériences d'optique qui nécessitaient l'emploi de la lumière solaire.

Au mois d'avril 1844, M. Foucault présenta à l'Académie des sciences, en commun avec le docteur Donné, un appareil appelé microscope photo-électrique dont les résultats firent alors quelque sensation. La lumière était blanche, vive et d'un éclat assez soutenu pour permettre d'observer commodément les objets microscopiques. L'amélioration de la source lumineuse était due principalement à la nature et à la forme des charbons dont les pôles de la pile étaient armés. Aux cônes de charbon de bois éteints dans le mercure, M. Foucault avait substitué des baguettes prismatiques carrées de deux ou trois millimètres de côté, taillées par le lapidaire dans la masse du graphite dur et peu combustible qui se dépose à la longue sur les parois des cornues où l'on distille la houille pour en obtenir le gaz d'éclairage. En raison de sa conductibilité, de sa densité et de sa lente combustibilité, cette variété de carbone, communément appelée *charbon de cornue*, est jusqu'à présent supérieure à toute autre pour le dégagement de la lumière électrique. Quand il est taillé en longues baguettes suffisamment minces et d'une égale section dans toute leur longueur, le charbon de cornue permet d'opérer assez longtemps à l'air libre, et la lumière qui éclate aux extrémités continue de rayonner sans obstacle dans toutes les directions. Telles sont les conditions qui ont donné à la lumière électrique l'aspect qu'on connaît aujourd'hui.

En opérant au contact de l'air on acceptait l'inconvénient de l'usure progressive et inégale des charbons; aussi l'appareil était-il pourvu des organes nécessaires pour opérer le rapprochement *à la main*. C'était là une fonction assujettissante et délicate à remplir; il était important d'en affranchir l'opérateur et de rendre l'appareil capable de se suffire à lui-même. Quelques personnes ont cru d'abord que ce soin pourrait être confié à un mécanisme indépendant chargé d'opérer ce rapprochement avec une vitesse uniforme et réglée d'avance sur la valeur probable de l'usure à réparer; mais bientôt on s'est aperçu que ce rapport était insaisissable à l'avance et que toujours ce mécanisme auxiliaire marchait trop lentement ou trop vite. Ce qu'il fallait, c'était un organe impressionnable au changement de distance survenu entre les charbons polaires et capable d'agir à propos pour contenir ses variations entre deux étroites limites. Après deux années d'un travail assidu, M. Foucault a donné, en janvier 1849, l'appareil suivant qui résout le problème d'une manière satisfaisante. Cet appareil étant particulièrement destiné aux expériences d'optique satisfait en outre à la condition de conserver immobile dans l'espace le point radieux que l'on veut utiliser, en sorte que non-seulement les charbons se maintiennent spontanément à la distance la plus propre à exciter une vive lumière, mais qu'en outre ils s'avancent d'eux-mêmes avec des vitesses qui font respectivement équilibre à l'usure inégale de chacun d'eux.

L'appareil, considéré dans son ensemble, est partagé en deux étages par le plancher N, N'; l'étage supérieur est habituellement enfermé dans une boîte dont une paroi est enlevée pour laisser en évidence les organes qu'il faut décrire. L'étage inférieur est à jour comme on le voit dans la figure.

Les deux charbons A et A', taillés en baguettes, sont montés horizontalement sur le prolongement l'un de l'autre et portés sur deux chariots B et B' (fig. 1), qui

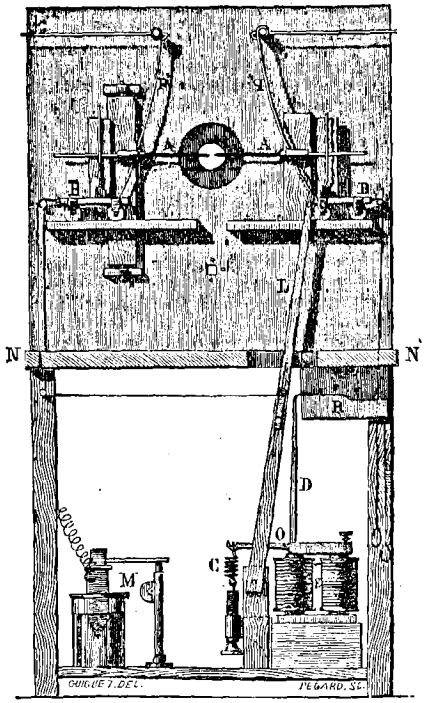


Fig. 1.

roulent dans des coulisses destinées à les empêcher de dévier. L'un deux, le chariot B, est affecté au pôle positif et l'autre B' au pôle négatif; ils sont assujettis par construction et au moyen du levier L à se mouvoir ensemble, mais avec des vitesses différentes. Leur genre de solidarité donne la plus grande vitesse au chariot B, porteur du charbon positif, dont la combus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion est la plus rapide. En marchant l'un vers l'autre, ils cèdent à l'impulsion de deux ressorts conducteurs P et P', mais ils sont retenus par un système de fils qui les relie à un mouvement d'horlogerie R dont la roue d'échappement, buttant sur un arrêt, oblige le tout à rester au repos. Quand l'arrêt est supprimé, le rouage défile et les chariots cheminent avec leurs vitesses respectives. Toute la difficulté se trouve donc ramenée à ceci : supprimer ou rétablir l'arrêt quand la distance interpolaire est trop grande ou convenable. Or cette fonction délicate, qui demande très peu de force, a été confiée à l'électricité elle-même.

Le courant qui illumine l'appareil passe à travers les spires d'un électro-aimant E dont l'énergie varie avec l'intensité du courant; cet électro-aimant attire un contact reposant sur son arête O et sollicité d'autre part à s'en éloigner par un ressort antagoniste C. Sur ce fer doux est montée la détente D qui enraye le rouage ou le laisse défiler à propos, et le sens du mouvement de la détente est tel qu'elle est en prise avec le rouage quand le courant se renforce et qu'elle le délivre quand le courant s'affaiblit. Or, comme précisément le courant se renforce ou s'affaiblit quand la distance interpolaire diminue ou augmente, on comprend que les charbons doivent se rapprocher au moment même où leur distance vient à s'accroître, et que ce rapprochement ne peut aller jusqu'au contact, parce que l'aimantation croissante qui en résulte leur oppose bientôt un obstacle insurmontable, lequel se lève de lui-même aussitôt que la distance interpolaire s'est accrue de nouveau.

Le rapprochement des charbons est donc intermittent; mais quand l'appareil est bien réglé, les périodes de repos et d'avancement se succèdent assez rapidement pour qu'elles équivalent à un mouvement de progression continu.

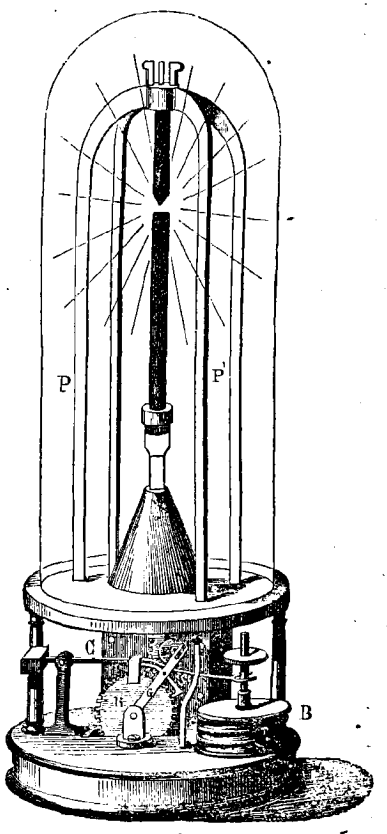
On voit de plus figuré en M un modérateur du courant formé de deux lames de platine disposées parallèlement à la distance d'un centimètre et plongeant plus ou moins et à volonté dans un liquide conducteur, soit une dissolution de sulfate de potasse.

Tel est l'appareil qui, malgré sa forme embarrassante, ait répondu le premier aux exigences d'un service public. Le concours de précautions prises pour assurer la fixité du point lumineux témoigne des préoccupations d'un physicien qui ne s'inquiétait pas encore de satisfaire aux besoins de l'industrie. Néanmoins cet appareil tel quel fut adopté au grand Opéra-National et employé à produire des effets de scène qui n'ont jamais manqué et ont été goûtés du public.

Cependant à la même époque on annonçait en Angleterre, au nom de M. Staite, un appareil plus abrégé dans sa forme et breveté dans différents pays. Dans l'appareil Staite (fig. 2) les deux charbons sont placés verticalement l'un au-dessus de l'autre. Le charbon négatif est fixe et attaché au sommet de l'arcade formé par le concours des quatre piliers métalliques P P' P''. Le charbon positif est porté et mu par un mécanisme qui agit de la manière suivante.

Ce mécanisme se compose d'un rouage à ressort qui court continuellement et qui fait tourner d'un mouvement continu l'excentrique F. Celui-ci communique un mouvement oscillatoire au levier G, mobile autour du même centre que la roue dentée R. Or ce levier agit sur la roue dans un sens ou dans l'autre ou n'agit pas du tout, suivant la position de l'ancre qu'il porte en A. Ce qui maintenant détermine la position de l'ancre, c'est un levier à fourchette C qui va s'appuyer sur un barreau de fer doux mobile au centre d'une bobine magnétique B traversée par le courant. Que l'on remarque enfin que la roue dentée engrène par un pignon avec le support du charbon inférieur, et l'on saura tout ce qui est nécessaire pour comprendre le jeu de l'appareil.

En effet, il ne peut survenir que trois cas différents: ou la distance des charbons est convenable ou elle est trop grande ou trop petite. Si elle est convenable, le barreau de fer doux, le levier à fourchette et l'ancre oc-



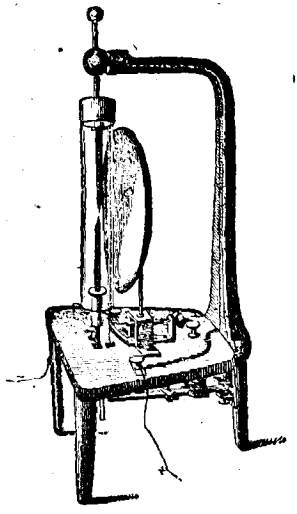
2.

cupent une position moyenne qui fait que le rouage marche à vide sans agir sur la roue dentée dans un sens ni dans l'autre. Mais quand la distance augmente, le magnétisme de la bobine qui faiblit laisse retomber le fer doux, et par suite l'ancre s'inclinant agit comme un encliquetage pour faire tourner la roue dans le sens propre à opérer le rapprochement. Si au contraire les charbons eussent été trop près l'un de l'autre, l'ascension exagérée du fer doux aurait déterminé la manœuvre inverse.

L'appareil Staite opère donc également bien selon les cas la fixation, le rapprochement et l'éloignement des charbons, mais il n'est pas sensible et agit trop lentement. Son usage ne s'est pas répandu en France, où chaque constructeur a préféré établir son appareil sur un modèle particulier. Ainsi M. Deleuil (fig. 3) a supprimé toute espèce de rouage, il a laissé immobile le charbon supérieur; le charbon inférieur seul est repoussé de temps en temps par le jeu d'un électro-aimant placé sous la tablette de l'appareil. Considérant que ce rapprochement ne s'opère que par très-petits mouvements, M. Deleuil a taillé en crémaillère et à dents très-fines la tige qui supporte le charbon mo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bile, et il a mis le côté ainsi taillé en relation avec le contact de l'électro-aimant par l'intermédiaire d'une lame de ressort, de façon à ce que le mouvement oscillatoire du contact oblige le charbon à monter pas à pas.



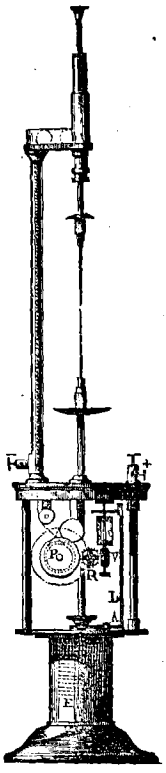
3.

Or il est à remarquer que c'est précisément au moment où la distance interpolaire s'agrandit que les variations rapides du courant déterminent le mouvement oscillatoire dont M. Delcuil a tiré parti pour opérer le rapprochement des charbons incandescents. Cet appareil est très simple, mais il ne procure pas l'immobilité du point lumineux; il est moins sensible que ceux qui sont pourvus d'un rouage et il exige pour marcher convenablement un courant plus intense.

M. Duboscq, successeur de M. Soleil, qui avait à satisfaire aux exigences des expériences d'optique, a conservé le rouage de l'appareil primitif, ainsi que la mobilité des deux charbons, répartie proportionnellement à leur usure respective; il a adopté la direction verticale des charbons comme la moins embarrassante, et il a placé dans le pied de l'appareil tout le mécanisme dont on aperçoit dans la figure les organes principaux.

Le rouage (fig. 4) qui règle l'avancement des charbons est composé de trois mobiles P, R, V, dont le dernier porte un volant et une roue dentée à rochet sur laquelle agit en temps convenable la détente électromagnétique. Un levier coudé L articulé en A porte à une extrémité cette détente, et à l'autre une pièce de fer doux placée dans la sphère d'activité de l'électro-aimant E caché dans le pied de l'instrument. Sans revenir sur la démonstration qui a été faite au sujet de l'appareil primitif, on voit qu'il y a là tout ce qu'il faut pour maintenir les charbons à la distance convenable; mais comme il fallait encore régler leurs vitesses respectives, on les a rattachés au rouage moteur par des cordons enroulés à deux poulies montées sur le premier mobile P, l'une à rayon fixe, l'autre à rayon variable à volonté; le fond de la gorge de la poulie à rayon variable est formé par une lame de ressort qui embrasse une demi-douzaine de chevilles, qu'un mécanisme particulier permet d'approcher ou d'éloigner graduellement de l'axe. La fig. 5 représente cet organe décomposé ou ses éléments constituants.

Quel que soit l'appareil qu'on adopte, la seule pile qui puisse encore fournir un courant suffisamment énergique et soutenu est la pile de Bunsen, dont chaque couple se compose d'un élément charbon plongeant dans l'acide nitrique et d'un élément zinc amalgamé immergé dans l'acide sulfurique étendu, les deux liquides étant séparés par une cloison en terre poreuse. Pour que l'on puisse maintenir entre les extrémités polaires la plus petite distance sensible, il faut que la pile soit formée d'au moins quarante à cinquante couples. Et quand on veut en employer un plus grand nombre, il faut les disposer en séries composées du même nombre de couples et les assembler pôle à pôle, de manière à ajouter les surfaces sans augmenter le nombre réel des couples de la pile entière. Par cette association des séries, on augmente proportionnellement l'intensité du courant et la quantité de lumière produite.

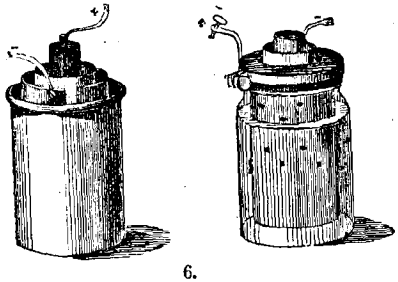


4.



5.

Dans sa forme première, le couple de Bunsen (fig. 6) était composé d'un cylindre creux en charbon de coke agglutiné immergé dans l'acide nitrique contenu dans



6.

un bocal de verre ; le centre évidé du cylindre admettait un vase de porcelaine dégourdie et poreuse, qui contenait une dissolution d'acide sulfurique étendue à 15 degrés de l'aréomètre de Beaumé, et où l'on plaçait un cylindre de zinc amalgamé. Pour préserver l'ascension de l'acide nitrique dans la masse poreuse du charbo on imbibait de cire la partie supérieure destinée à êt

EFERUS - Recherche & Classification numérique

embrassée dans un collier métallique; ce collier ainsi que les cylindres de zinc étaient pourvus d'appendices métalliques à vis servant à établir les communications.

M. Deleuil, après avoir livré au commerce un nombre considérable de ces piles, a trouvé qu'il y avait avantage pour la simplicité de la construction et pour la durée du service à intervertir les positions des liquides et des éléments solides. Aujourd'hui il place l'acide sulfurique et le zinc à la circonférence et le charbon en cylindre plein avec l'acide nitrique ou autre. Le rapport des capacités est tel que les deux acides sont épuisés à peu près dans le même temps. La communication se fait aussi d'une manière plus simple en introduisant à force dans une cavité centrale du charbon l'extrémité conique de l'appendice adapté au zinc seulement.

Quel que soit l'appareil dont on se sert, la quantité de lumière versée dépend surtout de l'intensité du courant fourni par la pile, et cette intensité dépend elle-même de la quantité de zinc, d'acides sulfuriques et nitriques consommés dans l'unité de temps. Il est à regretter que l'on n'ait pas tenté de déterminer quel est dans l'état actuel de la science le rapport de la lumière électrique aux dépenses qu'il en coûte pour la produire. Il est vrai que M. Foucault s'est occupé en commun avec un autre physicien, M. Fizeau, d'estimer par les procédés photographiques l'intensité absolue de la lumière électrique et de la rapporter à celle du soleil prise pour unité; mais c'est là un renseignement purement scientifique, et ce n'est que dans l'application à certaines expériences d'optique que l'on trouve un avantage réel à user d'une source de lumière artificielle qui, considérée à l'unité de surface, vaille les 3/5 de la lumière solaire. Dans les applications à l'éclairage la question devient tout autre, et l'on demande combien les appareils actuellement connus et dépensant tant par heure peuvent remplacer de bougies?

En l'absence de tout document positif fourni par des recherches spéciales, on ne peut que rapprocher quelques renseignements recueillis à des sources diverses.

M. Bunsen, après avoir reconnu la propriété éclairante de sa pile, procéda à quelques mesures de photométrie qui lui donnèrent en moyenne une intensité de 550 bougies pour quarante-huit couples tels que ceux que l'on construisait alors; mais il ne dit pas quelle était la dépense occasionnée par la pile elle-même.

M. Deleuil, qui, de son côté, a dirigé une multitude d'expériences, estime que, dans une soirée de huit à dix heures, une pile de cinquante couples tels que ceux qu'il construit actuellement dépense, tous frais compris, de 15 à 18 francs. Or on peut, sans exagération, considérer la pile de M. Deleuil comme trois fois plus forte que celle dont se servait le chimiste allemand. C'est donc environ une dépense de 2 francs pour alimenter pendant une heure une source lumineuse valant de quinze à dix-huit cents bougies. Encore une fois, cette appréciation est très vague, et il n'en faudrait pas conclure qu'avec dix-huit cents bougies artistement distribuées, on ne fournirait pas une plus grande quantité de lumière utile qu'avec l'appareil qui leur est comparé.

D'ailleurs la lumière électrique possède une qualité qui ne ressort pas nettement dans les appréciations photométriques, et qui pourtant affaiblira toujours aux yeux du public sa valeur éclairante; elle est très blanche, et, par sa blancheur même, dès qu'elle apparaît elle éveille le souvenir du jour; il en résulte que ce n'est plus aux lumières artificielles qu'on la compare; mais au jour lui-même, avec lequel elle ne peut lutter sans désavantage. On ne raisonne pas cette impression, mais on l'éprouve, et le monde l'exprime en disant que la lumière électrique fait voir, mais qu'elle n'illumine pas.

Si en lui conservant son éclat on la rendait plus jaune, il n'est pas douteux que l'œil ne lui attribuât une puissance éclairante considérablement plus grande. Mais admettant que le public s'habitue à cette pâleur de la lumière électrique, il resterait encore à résoudre bien des difficultés qu'on peut énumérer aujourd'hui sans pour cela désespérer absolument de l'avenir.

1° Quelque soin que l'on prenne à régler les différents appareils imaginés jusqu'à ce jour, la lumière électrique n'est jamais fixe, et ses vacillations continuelles contribuent à jeter de l'incertitude sur son véritable pouvoir éclairant.

2° Quand un appareil est bien réglé, il ne l'est que relativement à une certaine intensité du courant qui l'alimente; quand la pile vient à faiblir ou à varier dans un sens ou dans l'autre, l'appareil, quel qu'il soit, ne marche plus dans de bonnes conditions, il peut même arriver qu'il s'éteigne. Il faudrait donc que la pile fût rendue plus constante qu'elle ne l'est, ou qu'on trouvât moyen d'interposer une résistance susceptible de contre-balancer d'elle-même les variations de l'électromoteur.

3° Cette même difficulté reparaît sous une nouvelle forme quand on veut alimenter plusieurs appareils avec une même pile. Les variations accidentelles qui surviennent dans l'un retentissent sur les autres et en peu d'instants, ils refusent tous le service. Reste donc encore à résoudre le problème de la distribution du courant électrique.

4° Enfin il y a encore, au point de vue industriel, une difficulté capitale que voici: on n'a jusqu'ici obtenu de belle lumière qu'en employant comme pôle le charbon de cornue fourni par les usines à gaz; or, si l'on veut faire concurrence à l'éclairage au gaz, on ne peut pas lui demander assistance.

Telles sont les principales raisons qui restreignent jusqu'à nouvel ordre les applications de la lumière électrique et l'empêchent, malgré sa puissance, de s'établir industriellement et de marcher de pair avec la galvano-plastie et la télégraphie, issues du même principe. L. FOUCAULT.

Nous compléterons l'article précédent, dans lequel il est aisé de reconnaître la main d'un maître, par la description de deux systèmes qui ont déjà ouvert la voie à une application du plus haut intérêt.

Régulateur Serrin. — Nous décrirons d'abord un régulateur perfectionné, et le lecteur sera charmé de trouver ici, au lieu d'une simple description, l'élégant rapport de M. Pouillet sur cette invention, dans lequel ce savant traite avec sa clarté habituelle du problème général qu'il a pour objet de résoudre.

Avant d'indiquer le mécanisme qui donne au régulateur de M. Serrin un caractère distinctif, essayons, dit-il, de rappeler sommairement les conditions générales auxquelles doit satisfaire un régulateur de la lumière électrique.

Il faut une pile ayant au moins 50 éléments Bunsen de grandeur ordinaire pour donner naissance à une belle lumière; 100 éléments réunis en tension donnent une lumière plus éclatante, mais cet éclat est encore surpassé grandement lorsqu'on les groupe en deux batteries de 50 éléments chacune pour les faire agir en quantité.

Tout le monde sait que le courant produit par de telles batteries est en quelque sorte foudroyant, et qu'il y aurait un véritable danger à fermer le circuit en touchant le pôle positif d'une main et le pôle négatif de l'autre. Cependant cette puissance foudroyante ne donne plus aucun signe extérieur dès qu'elle se propage dans un circuit uniquement formé par de gros fils métalliques. C'est alors, au seul moment de la fermeture et au seul moment

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'ouverture du circuit qu'elle se montre avec violence: si la fermeture est brusque, on ne voit qu'un éclair; si l'ouverture est brusque, on ne voit qu'un autre éclair, ayant en général un aspect différent: mais si les deux fils, ou plutôt les deux corps qui doivent compléter le circuit, sont seulement mis en présence et assez près l'un de l'autre pour que le circuit ne soit en réalité ni tout à fait ouvert ni tout à fait fermé, alors le double phénomène devient permanent et se montre avec un éclat extraordinaire : aucune matière ne résiste à cette conflagration incessamment renouvelée et qui se maintient aussi longtemps que dure l'action de la pile, c'est-à-dire pendant des journées entières.

L'or, le fer et le platine, en baguettes épaisses, se fondent comme de la cire, et leurs vapeurs colorent de diverses nuances les enveloppes lumineuses qui semblent réunir les deux pôles; la silice, l'alumine et la plupart des substances les plus réfractaires, prises séparément, entrent de même en fusion et en volatilisation. Dans ce foyer où tous les corps se détruisent, il en est un cependant, et c'est peut-être le seul, qui se maintient plus résistant que les autres, qui, par un ensemble de circonstances véritablement heureuses, se trouve être bon conducteur de l'électricité, condition indispensable pour l'objet dont il s'agit, se laisse façonner comme il convient, et qui, de plus, n'est ni rare ni cher. Ce corps est le charbon, tel qu'il se concrète dans les cornues à gaz, ou tel qu'il peut se préparer de toutes pièces par des procédés particuliers. On en fait des baguettes rondes ou carrées, parfaitement droites, d'environ 30 centimètres de longueur sur une épaisseur variable de 5 à 10 ou 12 millimètres. Deux de ces baguettes sont adaptées par une de leurs extrémités à des pièces métalliques convenables, l'une terminant le fil positif de la pile et l'autre le fil négatif. Ces fils de bon cuivre rouge, de 3 ou 4 millimètres de diamètre, recouverts de soie ou de coton, peuvent avoir des centaines de mètres ou même plusieurs kilomètres de longueur, suivant la distance qui doit se trouver entre la pile et le foyer de lumière ou de conflagration. Le charbon positif et le charbon négatif sont en général disposés verticalement l'un au-dessus de l'autre; si leurs extrémités libres étaient planes et mises en contact parfait, le courant introduit au moyen du commutateur ne se manifesterait aucunement; il passerait dans le charbon comme dans le fil de cuivre, sans montrer au dehors aucun signe de sa présence. Le circuit serait complétement fermé.

Mais s'il arrive qu'il y ait dans l'appareil ou régulateur qui porte les charbons un électro-aimant pourvu d'une armature mobile convenablement disposée, le passage du courant fera tomber l'armature, et ce mouvement se communiquant, par exemple, au support du charbon inférieur pour le faire descendre de 2 ou 3 millimètres, le support du charbon supérieur restant fixe, on comprend que les extrémités libres du charbon ont cessé de se toucher, que le circuit s'est ouvert, que l'explosion de la lumière s'est manifestée, et que le phénomène sera persistant sous la seule condition que le circuit ne puisse ni se refermer ni s'ouvrir complétement, c'est-à-dire au delà des limites que le courant peut franchir.

Arrêtons-nous un instant à ce premier jeu de l'appareil et, pour pressentir les autres fonctions qu'il faudra lui attribuer, examinons avec soin les effets qui se produisent dans les charbons.

Le charbon résiste à la fusion, mais il ne résiste pas à une sorte de désagrégation moléculaire qui l'use rapidement, soit qu'elle résulte de la seule action de cette chaleur prodigieuse, soit plutôt que le courant exerce par lui-même un effort d'arrachement et de transport sur les dernières particules matérielles. L'usure est inégale, celle du positif étant en général un peu plus que double de celle du négatif; la combustion du charbon par l'oxygène de l'air n'y entre que pour peu de chose, car on n'observe pas de différence très-marquée quand les charbons sont maintenus dans une atmosphère d'azote. On remarque en même temps que l'incandescence du positif occupe plus de longueur que celle du négatif, comme si celui-ci n'éprouvait qu'un moindre degré de chaleur. Par cette destruction, il arrive donc après peu de minutes que l'espace qui sépare les charbons se trouve agrandi; il n'était d'abord que de 2 ou 3 millimètres, il est bientôt de 8 ou 10, ou même davantage, suivant la nature du charbon et la puissance du courant.

Pour mieux observer ces phénomènes, il faut projeter sur un tableau l'image des charbons avec un grossissement de 8 ou 10 fois; l'éclat en devient alors supportable, et les observateurs, groupés devant cette image, peuvent étudier avec facilité toute la série des accidents qui se produisent dans ce foyer de lumière et de chaleur, si constant en apparence et cependant si agité. Nous nous bornerons à dire que l'intensité de la lumière est affaiblie notablement par une sorte de champignon qui se forme de temps à autre sur la pointe du charbon négatif, par l'accumulation de parcelles qui arrivent du charbon positif, comme transportées par le courant. Ces champignons disparaissent et se renouvellent par intervalles; mais il est vrai de dire qu'on ne les observe presque jamais avec certains charbons et certaines intensités de la pile : par conséquent, il y a là un choix à faire pour obtenir une lumière plus constante.

La distance qui sépare les extrémités positives et négatives des charbons ne peut pas s'accroître ainsi indéfiniment dans le régulateur; il y en a deux raisons : 1° l'intensité du courant diminue à mesure que cet intervalle s'agrandit; 2° l'affaiblissement du courant entraîne l'affaiblissement de la lumière. Il faut donc limiter l'accroissement de l'intervalle pour limiter la diminution d'éclat. C'est là l'une des fonctions importantes du régulateur, et sa fonction la plus délicate. C'est l'électro-aimant dont nous avons déjà parlé qui doit gouverner le moteur chargé de rapprocher le charbon; mais ce rapprochement est un acte très-complexe :

1° Il faut que le centre du foyer de lumière reste à la même hauteur, et comme le charbon positif qui est en haut s'est usé plus que le négatif qui est en bas, chacun doit se déplacer en proportion de son usure, le premier en descendant, le second en montant;

2° Il faut que les charbons ne puissent pas venir au contact, puisque alors le circuit serait complétement fermé et la lumière éteinte, au moins pour un instant;

3° Il faut que ce mouvement s'accomplisse à l'instant voulu, c'est-à-dire avant que le courant ait éprouvé une certaine diminution d'intensité difficile à saisir.

La fig. 7 représente l'appareil de M. Serrin: le porte-charbon supérieur *a* communique avec le pôle positif, l'inférieur *b* par l'intermédiaire de l'électro-aimant et du rouage avec le pôle négatif.

L'armature de son électro-aimant peut être assimilée au plateau d'une balance chargé d'un poids fixe, dont la course de haut en bas et de bas en haut est limitée à 3 ou 4 millimètres par des vis butantes, et qui, au lieu d'avoir des contre-poids de l'autre côté, se trouve soutenu par deux ressorts à boudin dont le premier est fixe et fait à peu près équilibre à la charge, tandis que le deuxième reçoit des tensions variables par un mouvement de vis; un tel plateau de balance se réglerait aisément pour descendre à volonté par une surcharge de 10, 20, ou 30 grammes, suivant le degré

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de tension que l'on aurait donné au deuxième ressort. Tel est le principe dont M. Serrin a fait ici une heureuse application. Son armature est chargée de tous les supports du charbon négatif et compose avec eux un système oscillant verticalement et librement dans les étroites limites de 3 ou 4 millimètres; les deux ressorts la tiennent soulevée, et la surcharge capable de la faire descendre est la force attractive de l'électro-aimant. Cette force diminue avec la force du courant, par conséquent elle diminue quand les charbons

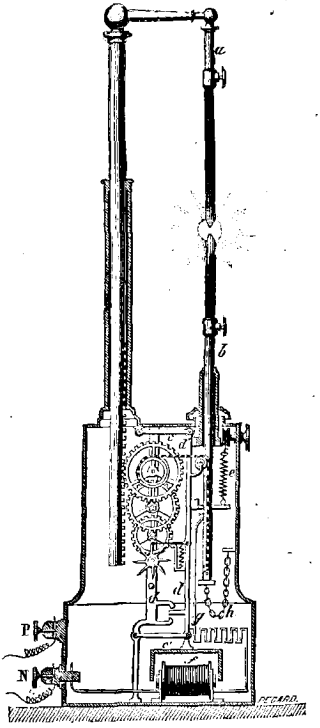


Fig. 7.

par trop usés laissent entre eux un trop grand intervalle et quand la lumière commence à s'affaiblir. C'est donc ce minimum de force qu'il faut saisir pour arrêter là du même coup le maximum de l'écartement des charbons et le minimum de la lumière. Le ressort à tension variable est en effet réglé sur cette donnée : à l'instant où ce minimum arrive, le plateau de la balance remonte, c'est-à-dire que le ressort enlève l'armature, la surcharge due à la force électro-magnétique trop affaiblie étant devenue insuffisante pour la retenir.

Un exemple fera mieux comprendre encore ce balancement entre la force de l'électro-aimant et l'éclat de la lumière. L'énergie de la pile et la nature des charbons permettent-ils un grand écartement sans que la lumière soit trop affaiblie, le ressort sera réglé à petite tension, afin que l'armature ne soit soulevée pour opérer le rapprochement des charbons qu'au moment où la force du courant sera fort réduite; d'autres conditions exigent-elles que l'écartement des charbons soit restreint à des limites plus étroites, la tension du ressort sera augmentée, afin que l'armature soit comme arrachée à l'électro-aimant avant que sa force ou celle du courant aient été diminuées dans une trop grande proportion.

Le degré de tension qu'il faut donner au ressort pour avoir un effet de lumière maximum et suffisamment constant, dépend à la fois de la nature des charbons et de l'énergie de la pile; cette tension une fois obtenue, ce qui est l'affaire de quelques instants, il n'y a plus à s'en occuper, l'appareil devient automatique et se gouverne lui-même jusqu'au moment où il est nécessaire de remplacer les charbons.

Ce sont les mouvements de l'armature, si libres et si pondérés, qui règlent tout dans l'appareil de M. Serrin. Au commencement, quand on introduit le courant, l'armature descend par la force attractive de l'électro-aimant et sépare les charbons, comme nous l'avons dit plus haut; ajoutons ici qu'en descendant elle place un arrêt sur le petit volant du système d'engrenage qui est destiné à opérer le rapprochement simultané des charbons dans la proportion voulue pour le positif et le négatif. Aussitôt que l'usure des charbons a produit entre eux l'écartement limite, ou, ce qui revient au même, le minimum de l'intensité de la lumière, le minimum de la force du courant et le minimum de la puissance attractive de l'électro-aimant, le ressort soulève l'armature, dégage le volant de son arrêt et rend la liberté au système d'engrenage; alors le poids qui presse sur la première roue du système met tout en mouvement : les roues tournent, les charbons se rapprochent, la force du courant augmente, l'électro-aimant devient capable de ressaisir l'armature et de la faire descendre; au même instant tout le mouvement mécanique s'arrête, parce que l'armature en descendant vient replacer l'arrêt sur le volant qui est la dernière roue de l'engrenage.

Ces périodes peuvent se renouveler plusieurs fois dans une minute, si l'usure des charbons est rapide et le ressort très-tendu, tandis qu'elles se reproduisent quatre ou cinq fois plus lentement si les conditions de la pile et des charbons exigent que le ressort soit plus lâche.

Ici un mot d'explication est nécessaire. Comment le charbon négatif, qui se trouve avoir 30 centimètres de longueur ou même plus quand il est neuf, peut-il remonter de 25 ou 30 centimètres pour que ses dernières sections viennent brûler à la même hauteur que les premières, tandis que nous avons dit que son support est invariablement lié à l'armature et forme avec elle le système oscillant de haut en bas ou de bas en haut, dont la course est limitée à 2 ou 3 millimètres? L'aspect seul de l'appareil répond à cette question; le support des charbons est composé de deux tubes de métal, le premier fixe, le second mobile, celui-ci montant et descendant dans le premier à frottement très doux et portant lui-même le charbon. C'est donc le tube fixe du charbon négatif qui est lié à l'armature et qui oscille avec elle; dans son mouvement d'oscillation il entraîne toujours le tube mobile et par conséquent le charbon. Mais l'inverse n'a pas lieu; quand le ressort de réglage a soulevé l'armature et par là mis en liberté le système d'engrenage, le tube mobile qui porte le charbon positif, taillé en crémaillère dans une longueur suffisante, descend par son poids, entraîne la première roue et toutes les autres. Alors une petite chaîne s'enroule par un bout sur une poulie de diamètre convenable qui fait corps avec la première roue et s'en va, par l'autre bout, au moyen d'une poulie de renvoi, faire monter de la quantité voulue le tube mobile qui porte le charbon négatif; ce glissement ascensionnel n'entraîne pas et ne peut pas entraîner le tube fixe qui est, ainsi que l'armature, à son point d'arrêt supérieur.

Les supports à deux tubes métalliques, l'un fixe et l'autre mobile, ne sont pas nouveaux, ils appartiennent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à la plupart des régulateurs de la lumière électrique ; mais M. Serrin leur a donné une fonction nouvelle, en mobilisant le tube fixe de l'un des deux supports, en l'attachant à l'armature de l'électro-aimant pour le faire monter et descendre avec elle.

Ces innovations nous paraissent d'autant plus importantes que M. Serrin, dans la construction de son régulateur, est parvenu à concilier la liberté et la précision des mouvements automatiques avec une solidité qui exclut les causes accidentelles de dérangement.

Le grand mérite de son régulateur, de fonctionner même quand les charbons arrivent au contact, a assuré son succès, justifié par un emploi incessant à l'éclairage de plusieurs phares.

Production de l'électricité à l'aide des piles. C'est par la réunion de piles Bunsen de grandes dimensions, c'est-à-dire des piles les plus puissantes que l'on sache construire (Voy. ÉLECTRICITÉ), qu'on a longtemps produit exclusivement la lumière électrique. Toutefois la pile de Bunsen dégageant des quantités considérables de vapeurs nitreuses, qui en rendent l'emploi désagréable et nuisible, étant en outre fort coûteuse, on a cherché d'autres moyens de production de l'électricité. Nous parlerons d'abord d'un essai de substitution à la pile de Bunsen, de piles d'un autre genre.

M. Carré, l'ingénieux inventeur des appareils servant à fabriquer de la glace, en améliorant et construisant sur de grandes dimensions l'élément de la pile de Daniell au sulfate de cuivre, si inoffensive, a tenté de faire avancer la vulgarisation de l'éclairage électrique. Sa principale modification est d'avoir remplacé le vase poreux par un cylindre de papier parcheminé, attaché à un pied en porcelaine. L'endosmose, si facile à travers cette substance de peu d'épaisseur, rend les effets incomparablement plus grands.

L'élément de cette pile est formé par un vase de $0^m,12$ de diamètre et de $0^m,60$ de hauteur dans lequel est un zinc, haut de 0^m55, porté sur un croisillon et isolé par lui de la boue métallique qui tombe au fond. Le diaphragme qui sépare les deux liquides est formé de papier parcheminé, ou, à défaut, d'un papier qui a été imprégné d'albumine, et ensuite porté à la température de 230°. Ce papier est collé sur lui-même et réuni à un godet qui lui sert de pied et qui repose sur le croisillon placé au fond du vase. Sur la hauteur du diaphragme, on place une carcasse cylindrique de même hauteur, formée de baguettes de bois espacées de 3 à 4 millimètres, assemblées par le bas sur un fond de même matière et, au sommet, sur un cercle de cuivre, qui les réunit et qui reçoit le fil polaire extérieur. Un fil de cuivre de 3/4 de millimètre est tendu alternativement entre le cercle polaire collecteur, denté pour le recevoir, et les saillies du fond en bois. Ce fil entoure ainsi la carcasse d'un réseau présentant un développement considérable et sur lequel le dépôt de cuivre s'opère d'une manière régulière. A l'intérieur de la carcasse et sur toute la hauteur du diaphragme, on met des cristaux de sulfate de cuivre, qui forment une colonne divisée, que le liquide baigne sur une large surface.

Le meilleur liquide extérieur est une solution de sulfate de zinc à 10 degrés, acidulée à $\frac{1}{500}$, qui fournit un courant à peu près constant d'électricité, tant que la densité est au-dessous de 40 degrés. Si on y ajoute un dixième d'une solution de sel ammoniac, le courant électrique devient plus intense.

Cet élément a une tension moindre que celui de Bunsen, mais il a plus de régularité; dans les dimensions indiquées, il donne plus d'électricité qu'un élément de Bunsen de dimension moyenne, et peut fonctionner en donnant un courant constant jusqu'à usure complète du zinc, c'est-à-dire pendant 200 heures de travail effectif. Il consomme environ $0^k,009$ à $0^k,010$ de zinc par heure. Son emploi est donc peu dispendieux, surtout quand on se rappelle que, dans un grand atelier, on pourrait reconstituer le sulfate de cuivre en reprenant les dépôts de cuivre et les attaquant par de l'acide sulfurique au contact de l'air.

Avec 55 éléments, et même avec 40, on obtient une belle lumière; celle-ci apparaît encore avec une intensité bien moindre naturellement, avec 22 éléments.

L'arc voltaïque produit presque constamment un bruit strident très-désagréable. M. Carré a constaté qu'en imprégnant les charbons de divers sels par une ébullition prolongée dans leurs solutions concentrées, ils donnent un arc complétement muet. Moyennant ces charbons et un globe stannique, on obtient une lumière aussi placide et aussi inoffensive que celle qui eût été produite par quelques centaines de bougies, moins une énorme quantité de chaleur et de résidus méphitiques de combustion. Un grand nombre de sels donnent ce résultat, et particulièrement ceux de potasse et de soude.

On modifie aussi la couleur de l'arc en introduisant dans les charbons, toujours par voie de dissolutions salines, des substances qui ont la propriété de colorer les flammes; ainsi l'azotate de strontiane a donné un reflet pourpre, et les sels de cuivre un reflet vert.

Production de l'électricité par machines. Les machines magnéto-électriques engendrent l'électricité dans des conditions bien meilleures que les piles, tant au point de vue de l'économie que de la régularité, de la sécurité de la production pour une application de longue durée. Nous avons décrit ces ingénieuses machines qui permettent d'obtenir l'électricité au moyen d'un travail mécanique (Voyez ÉLECTRICITÉ et ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ ET DU TRAVAIL, *Complément*), à l'aide du mouvement relatif d'un conducteur et d'un aimant. Une excellente machine de ce genre est celle de la compagnie de l'Alliance construite par Van Malderen.

Cet ingénieux appareil, appliqué à la production de la lumière, n'a pas de commutateur pour redresser les courants électriques. Ainsi, il utilise les courants d'induction alternativement renversés, ce qui est une importante innovation introduite dans la construction de cet appareil et un grand progrès accompli. Les courants passant alternativement dans les charbons en rendent l'usure égale, en même temps qu'on évite les pertes dues aux étincelles des commutateurs.

Nous rapporterons, d'après M. E. Becquerel, les résultats des expériences faites à l'administration des phares à Paris, en vue de l'application la plus intéressante et la plus heureuse de la lumière électrique, dans un cas où le maximum d'intensité possible d'un foyer lumineux était si désirable.

La plupart des machines qui ont été construites dans les ateliers de la Compagnie dont nous parlons sont formées de deux parties pouvant fonctionner séparément ou simultanément, à volonté, et formées chacune de quatre rouleaux à 8 bobines par rouleau; cela fait 32 électro-aimants par machine, ou 64 en totalité. Celle qui a servi aux expériences dont nous parlons ci-après avait 6 rouleaux, chaque rouleau ayant 16 électro-aimants ou 96 électro-aimants et 56 aimants pour la machine entière.

Chaque aimant permanent pèse $12^k,5$ et il peut porter environ trois fois son poids. La machine qui a donné lieu aux observations suivantes était mise en mouvement par une machine à vapeur qui, dans une première série d'expériences, avait la force d'un cheval 1/2 environ et consommait 6 kil. de coke par heure; dans une seconde série, la machine à vapeur avait la force de deux chevaux et consommait 9 kil. de charbon par heure. Les courants induits, alternativement inverses, étaient transmis à un régulateur électrique du système de M. Serrin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la seconde série, on a trouvé par heure, en divisant par deux les nombres obtenus, afin de rapporter les intensités lumineuses à la force d'un cheval:

	Intensité moyenne. Bougies.	Intensité maximum lors des éclats lumineux. Bougies.	Intensité minimum. Bougies.
Avec des conducteurs en charbon de cornue convenablement triés.	700	de 1000 à 1100	de 480 à 520
Avec des conducteurs en charbon plus pur.....	de 800 à 880	près de 1380	»

On a déduit l'intensité lumineuse en bougies, de l'intensité d'une lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure et estimée équivalente à 7 1/2 ou 8 bougies.

On voit que pour une dépense relativement très-minime, celle que cause le prix de la houille ou du coke nécessaire pour produire par heure la force d'un cheval dans une machine à vapeur, on a pendant ce même temps une intensité lumineuse soutenue, égale au moins à 700 bougies. Il est intéressant de comparer le prix de revient de cette lumière à celui des lumières produites par les moyens ordinaires. On a, d'après les recherches faites par M. E. Becquerel sur ce sujet:

SOURCES LUMINEUSES.	POIDS DES MATIÈRES consommées par heure, pour une intensité lumineuse correspondant à 1 bougie stéarique.	PRIX DE REVIENT de la lumière équivalente à 700 bougies stéariques par heure.
Lumière électrique (appareil magnéto-électrique).....	»	de 0f,10 à 0f,20
Id. Pile voltaïque de 60 à 80 éléments...	»	de 3 à 5 fr.
Gaz de houille.....	15 litres.	3f,20 [1]
Huile de schiste légère.	4gr,52	3f,85
Huile de colza épurée.	5gr,18	6f,10 [2]
Suif.....	10gr,55	12f,60 [3]
Bougie stéarique....	10gr,40	26f,20 [4]
Bougie de cire.....	8gr,26	32f,40 [5]

1. Au prix de 0 fr. 30 le mètre cube de gaz.
2. Au prix de 1 fr. 70 le kil.
3. Au prix de 1 fr. 70 le kil.
4. Au prix de 3 fr. 60 le kil.
5. Au prix de 5 fr. 60 le kil.

Les résultats de ces expériences, discutables quant à la valeur exacte de chacun des chiffres, mais vrais comme rapports approchés, prouvaient clairement qu'il y avait là une nouvelle industrie à créer. Sous la forme que lui donnait l'invention de puissantes machines électro-magnétiques et de régulateurs assurant la fixité du point lumineux, l'éclairage électrique a pu en effet être appliqué de suite, dans des cas où la puissante lumière ainsi produite pouvait être directement utilisée. Presque toutes les imperfections qu'énumérait L. Foucault, disparaissent dans ce cas, avec l'abandon de la pile comme organe producteur de l'électricité, pour ne laisser subsister que le bon marché appartenant à ce mode d'éclairage. Aussi les applications aux phares, aux grands chantiers de travaux publics, aux grands ateliers, etc., ont-elles les premières fort bien réussi et se sont multipliées. Nous allons en traiter avec quelques détails.

Éclairage des phares. La première application, celle qui a montré la voie, a été faite dès 1864 au phare La Hève par l'administration des phares dirigée par M. Reynaud. L'arc voltaïque a été substitué à la lampe de Fresnel, au centre de la cage de verre formée par des lentilles à échelons. La petitesse du point lumineux est déjà favorable à l'amplification par les lentilles, mais c'est surtout le grand éclat de l'arc voltaïque qui fait la supériorité de l'emploi de la lumière électrique.

Pour parer à toute extinction et pour les changements de charbon, les régulateurs Serrin sont doubles dans chaque appareil; ils glissent sur des rails placés à la surface d'une table en fonte; un arrêt les fixe au foyer de l'appareil, et ils s'y allument instantanément. La communication électrique s'établit d'une part au moyen de la table en fonte, de l'autre par l'intermédiaire d'un ressort métallique qui vient presser le régulateur en un point convenable.

Les charbons employés pour les phares ont 7 millimètres de côté et 27 centimètres de longueur; leur consommation est d'environ 5 centimètres par pôle et par heure, avec les machines à courants alternatifs. Il y a pourtant une petite différence, et le charbon du haut s'use un peu plus vite que le charbon du bas, dans le rapport de 108 à 100. On a réglé en conséquence les régulateurs, mais, comme il est important que la variation du point lumineux soit inférieure à 8 millimètres, pour que la direction du faisceau lumineux ne soit pas sensiblement dérangée, pour permettre aux gardiens de suivre sans fatigue la marche des charbons, on projette sur le mur, au moyen d'une petite lentille à court foyer, l'image des charbons; un trait horizontal est tracé sur le mur, et les charbons doivent se trouver à égale distance de ce trait.

Les machines qui, comme les régulateurs, sont installées en double, sont généralement placées au bas de la tour du phare avec les machines à vapeur qui les font mouvoir, et ce sont des câbles bien isolés et d'un assez fort diamètre, qui conduisent le courant électrique aux régulateurs.

Avec les machines de l'*Alliance* si heureusement combinées par Nollet, au point de vue de leur puissance, sinon à celui du but impossible à atteindre qu'il se proposait, le prix de l'unité de lumière coûte en moyenne sept fois moins avec la lumière électrique qu'avec l'huile. Dans l'état naturel de l'atmosphère, les machines de l'*Alliance* à 4 disques donnent une portée de 38 kilomètres et celles à 6 disques une portée de 50 kilomètres; mais une chose curieuse à constater, c'est que, en temps de brouillard la lumière électrique n'éclaire pas à une distance beaucoup plus grande que la lumière des lampes. D'après M. Leroux auquel nous empruntons ces observations, ce résultat serait dû, en le supposant bien certain, à la prédominance des rayons rouges dans cette dernière. Les couleurs empourprées de l'horizon, au lever et au coucher du soleil, nous apprennent, dit-il, que les rayons rouges, de tous ceux qui composent la lumière blanche, traversent le plus facilement la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère sous ses différents états. Qui n'a vu, par les temps de brouillard, le soleil apparaître comme un boulet rougi au feu, d'un rouge d'autant plus assombri que le brouillard est plus épais? Les rayons rouges sont donc bien ceux que la brume laisse passer le plus facilement et dans ce cas, plus la lumière contiendra de rayons rouges, plus sa portée sera grande. Or la lumière de l'huile provenant d'une source à une température plus basse que celle de l'arc voltaïque, contient proportionnellement plus de rayons avoisinant le rouge. (Voir ci après.)

Applications diverses. M. H. Fontaine qui a dirigé le montage de nombreux éclairages à l'aide de la machine Gramme, qui a donné des résultats remarquables au point de vue de l'intensité (Voy. ELECTRICITÉ), a résumé les résultats de son expérience dans une communication à la Société des Ingénieurs civils en 1877, dont nous repro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

duirons ici le résumé. La machine type engendrant l'électricité qu'il suppose principalement employée est la machine Gramme fournissant un courant assez intense pour engendrer une lumière de 500 becs Carcel et exigeant environ deux chevaux et demi, (longueur 0m,60, largeur 0m,60, hauteur 0m,60, poids 180 kilogrammes.)

Pour la question d'économie comparativement au gaz, il s'est contenté de signaler un seul fait. Avec une machine à Gaz Otto, dépensant 3 mètres cubes de gaz à l'heure et actionnant un de leurs appareils, on est parvenu à produire un foyer lumineux équivalant à 500 becs de gaz dépensant 140 litres à l'heure, c'est-à-dire qu'avec 3 mètres cubes de gaz et le concours d'une machine Gramme, on a obtenu une lumière égale à celle de 70 mètres cubes de gaz brûlant dans les becs ordinaires. Le rapport est de 1 à 23.

Il faut se hâter de dire que le foyer dont il s'agit était indivisible et par suite inapplicable dans la plus grande partie des cas. Il a cité ce fait, non pour montrer la supériorité de l'éclairage à l'électricité sur l'éclairage au gaz, mais simplement pour fixer les idées sur la question économique, sans tenir aucun compte des frais de premier établissement.

Voici un résumé des principales applications de la machine Gramme faites à cette époque.

M. Menier emploie, pour ses établissements de Noisiel, Roye et Grenelle, 14 machines ; la fonderie de canons de Bourges en a 11 ; les ateliers des forges et chantiers de la Méditerranée, au Havre, 7 ; la maison Ducommun, à Mulhouse, 4 ; MM. Santter, Lemonnier et Compagnie, à Paris, 3 ; les marines française, russe, espagnole et autrichienne, 19, etc.

Il faut encore citer la Compagnie des chemins de fer du Nord, à La Chapelle ; la filature de M. Dieu, à Daours ; le port du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize ; les travaux de l'avant-port du Havre ; les usines de MM. Mignon, Rouart et Delinières, à Montluçon ; les ateliers de construction de l'État, à Tarbes ; ceux de Cail, de Fives-Lille, de M. Quillacq à Anzin, de la Société mécanique de Pantin, de MM. Crespin et Marteau, à Paris, de M. Beaudet, à Argenteuil ; les forges de Bességes, de Fumel et de Fourchambault ; les teintureries de MM. Hannart de Wasquehal et de MM. Gnaydet, à Roubaix, etc. Partout on est satisfait de l'éclairage électrique.

La quantité de machines à employer dépend de la nature du travail effectué et de la disposition des locaux. Pour un atelier d'ajustage, de tours, de modelage, etc., un seul appareil éclaire suffisamment 500 mètres carrés ; pour un tissage, une filature, une imprimerie, il faut un appareil pour chaque 350 mètres carrés ; enfin, dans un chantier de travaux publics, un seul foyer électrique permet de travailler sur un rayon de 100 mètres, ce qui correspond à une superficie de plus de 30,000 mètres carrés.

L'électricité n'est pas applicable lorsque les locaux ont moins de 4 mètres de hauteur ou qu'ils renferment trop d'obstacles s'opposant à la diffusion de la lumière ; elle s'accommode mal de réflecteurs et fatigue la vue si elle est trop près des personnes. On n'en saurait conseiller l'emploi pour le service des voies publiques, des gares de voyageurs, des salles d'attente, etc., vu le peu de lumière nécessaire par mètre carré. Dans les gares de chemin de fer par exemple, où l'on arrive toujours un peu endormi, une lumière intense fatiguerait les voyageurs et les agents, les mécaniciens surtout, sans grand avantage pour le service. Pour les maisons d'habitation, il ne faut même pas y songer ; le gaz y règne sans conteste et y régnera très probablement longtemps encore.

Dans les ateliers, les usines, les manufactures, les quais de manutention, etc., partout où l'on travaille activement, c'est autre chose ; l'électricité y a sa place marquée, quand même elle reviendrait à un prix plus élevé que les moyens employés aujourd'hui.

Dans ce cas, l'économie, dans l'éclairage proprement dit, n'est pas la seule chose à considérer. La lumière électrique facilite beaucoup la surveillance des ouvriers et des machines, augmente la production du travail, et permet d'exécuter, la nuit comme en plein jour, certains travaux de précision, certaines manœuvres d'ensemble.

Le prix d'un appareil complet, machine, lampe, fils, transport, revient environ à 2,200 francs, en France et dans les pays limitrophes. Les crayons brûlés dans la lampe coûtent au maximum 0f,20 par heure. Si donc on a un moteur sur lequel on peut prendre la force motrice, la dépense réelle est d'environ 0f,20 pour le charbon supplémentaire du moteur, plus 0f,20 de crayons de cornues, soit en tout 0f,40. En admettant 500 heures de veillées par an et un amortissement de 50 pour 100 sur les dépenses de premier établissement, on arrive à une dépense totale de 0f,85 par heure, tout compris.

Le prix du gaz est très variable ; il coûte rarement moins de 0f,30 le mètre cube, soit 0f,043 par bec et par heure et atteint quelquefois presque le double avec l'amortissement des frais d'installation et les dépenses d'entretien.

Il résulte de là qu'avec du gaz à 0f,30, si l'on est assez éclairé, il est inutile d'établir une machine Gramme tant qu'il n'y a pas au moins 20 becs dans une même salle. Si l'on passait toutes les nuits, l'amortissement par heure devenant beaucoup plus faible, on aurait intérêt à mettre une machine électrique, dès qu'on aurait au moins 12 becs de gaz dans une même salle.

Mais, il faut le répéter, l'économie de lumière n'est pas la seule chose à considérer. A la gare des marchandises de La Chapelle, où sont établies 3 machines Gramme, on a économisé jusqu'à 25 pour 100 sur la main-d'œuvre de manutention, tant le service de nuit a été facilité. Au port de Sermaize l'économie s'est élevée à 50 pour 100. Au Havre, dans les travaux du nouvel avant-port, on a exécuté des travaux de nuit, en profitant des basses mers, qu'il eût été matériellement impossible d'exécuter sans la lumière électrique.

Nous emprunterons à l'ouvrage de M. H. Fontaine (*l'Eclairage électrique*), comme exemple, la description d'une de ces installations, pour laquelle des expériences ont permis de bien constater les résultats obtenus.

Fonderie Ducommun à Mulhouse. Cet atelier est bien disposé pour l'éclairage à l'électricité, quoique rien n'ait été approprié spécialement dans ce but. C'est une grande halle, sans mur de refend ni cloison verticale, ayant 56 mètres de longueur intérieure et 28 mètres de largeur. Deux grands chariots roulants, destinés à la manœuvre des châssis, des pièces moulées et des poches remplies de fonte en fusion, circulent automatiquement d'une extrémité à l'autre du bâtiment. A 5m,50 du sol, au niveau même des chariots, règne sur les deux côtés longitudinaux un plancher de quelques mètres de largeur. Le toit est à deux versants, la charpente peu encombrante, les murs blanchis à la chaux.

Les régulateurs Serrin sont placés sur de petites consoles légèrement en saillie sur les planchers latéraux. On les aborde au moyen d'une échelle, comme cela a lieu pour les lanternes publiques de l'éclairage au gaz. Les foyers sont élevés à 5 mètres du sol, leur écartement est de 21 mètres dans le sens de la longueur, et de 14 mètres dans le sens de la largeur.

Les machines Gramme sont placées dans l'annexe où se trouvaient déjà la chaudière et la machine servant au ventilateur. Le moteur ayant été largement calculé pour le but qu'il devait atteindre, il a été inutile de le modifier et on a pu, sans inconvénient, lui faire actionner les appareils électriques et le ventilateur des cubi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

lots simultanément. L'installation est d'une grande simplicité: les machines Gramme sont situées au premier étage sur une même ligne et elles reçoivent leur mouvement d'un axe intermédiaire unique.

L'éclairage est général et d'une intensité constante; à n'importe quel endroit du local, il est aisé de lire un écrit placé à distance normale des yeux. Il n'y a presque pas d'ombres portées, grâce aux jets croisés de lumière émanant des quatre lampes.

L'installation complète a coûté, en chiffres ronds, 10,000 francs; c'est ce qu'aurait coûté environ l'installation de 250 becs de gaz. La lumière totale produite par l'électricité dépasse 400 becs.

Passons aux résultats des expériences faites par MM. Schneider et Heilmann (un des chefs de l'établissement) sur cette installation.

Les mesures photométriques offraient une difficulté spéciale, à savoir la comparaison des intensités de deux sources lumineuses différant par leur coloration. L'œil n'est pas à même de discerner, dans la comparaison de deux surfaces éclairées, la différence qui tient à l'inégalité d'intensité de celle qui provient de la différence de couleur. C'est le photomètre de Bunsen; avec la modification de M. Burel (décrit pag. 9), qui a fourni les meilleurs résultats. L'unité était la lampe Carcel brûlant 40 grammes d'huile de colza épurée à l'heure.

On a constaté que l'intensité de la lumière électrique, non affaiblie par un globe de verre dépoli, dépassait sensiblement 400 becs Carcel par machine Gramme et 80 becs avec globe diffusant la lumière.

L'observation du travail moteur correspondant à la puissance émissive de 400 becs Carcel, a exigé 8 chevaux-vapeur, y compris les résistances du renvoi de vitesse, soit 1,903 par machine, renvoi non compris. Avec des charbons mous, comme ceux employés actuellement, il ne fallait pas plus de 1,30 cheval-vapeur, soit environ un kilogrammètre par bec Carcel.

Câble Menier. M. Menier a employé, pour l'éclairage de ses usines, un système qui peut trouver d'utiles applications. Il a suspendu les lampes de telle sorte qu'on peut les garnir de leurs charbons et les nettoyer, si besoin est, sans se servir d'escalier ou d'échelle. Le treuil de manœuvre se compose de deux flasques en fonte montées sur un plateau de bois dur et d'un tambour en caoutchouc durci. Les fils conducteurs sont attachés, l'un au flasque de gauche, l'autre au flasque de droite, et ceux-ci communiquent métalliquement avec les extrémités du câble de suspension.

Ce câble est formé d'une enveloppe extérieure en toile, d'une gaîne en caoutchouc, d'une première série de fils de cuivre tressés comme une mèche, d'une deuxième gaîne en caoutchouc, et enfin d'une série de fils de cuivre tressés en corde et formant l'axe du câble. L'enroulement sur le tambour se fait très aisément. Un petit rochet empêche la lampe de descendre.

Le câble soutenu et guidé par deux poulies supérieures, est attaché à un petit plateau, lequel est réuni à la lampe par deux tiges courbes. Un cadre muni de deux oreilles est fixé sur la lampe et reçoit les extrémités des tiges courbes.

Le courant est amené aux bornes de la lampe par les tiges de suspension, dont l'une est reliée avec l'âme métallique du câble et l'autre avec sa partie intermédiaire, c'est-à-dire avec les pôles positif et négatif de la machine magnéto-électrique.

De la production de la lumière. Le succès de l'emploi dans les grandes salles, dans les grands chantiers de puissants foyers lumineux, a fait chercher à faire de semblables applications dans des cas où on avait besoin de petits foyers. On a rencontré alors des difficultés d'un ordre particulier, qui ne peuvent être bien comprises qu'en entrant dans quelques détails sur la théorie de la production de la lumière, question sur laquelle la science a du reste encore de grands progrès à faire.

La chaleur et la lumière sont deux manifestations d'un même phénomène, qui nous impressionne différemment, agit sur des sens différents, en raison de la température. C'est un fait curieux que tous les corps solides commencent à devenir lumineux à la même température, vers 950 à 980°. On peut donc dire qu'un corps commence à émettre une faible lumière à 1000°, puis l'intensité lumineuse augmente dans un rapport plus rapide que la température. Ainsi, le platine à 2600° émet 40 fois plus de lumière qu'à 1900°. Il est à remarquer, d'ailleurs, que la lumière fournie par les corps élevés à l'incandescence passe par diverses phases spectrales à mesure que la température augmente. Ainsi, quand un corps est à la température de:

250°, on peut le dire chaud;
500°, très chaud;
1000°, il donne des rayons rouges;
1200°, il donne des rayons orangés;
1300°, il donne des rayons jaunes;
1500°, il donne des rayons bleus;
1700°, il donne des rayons indigo;
2000°, il donne des rayons violets.

Quand la température d'un corps a dépassé 2000°, il produit toutes les raies spectrales du soleil, et on a alors de la lumière blanche. D'après cela, on peut admettre que le spectroscope peut donner des indications sur la température des différentes lumières; et c'est probablement parce que certaines lumières ne dépassent pas 1300° que nous n'y trouvons pas de rayons spectraux au delà du jaune.

Tyndall a montré que les rayons visibles d'un fil incandescent sont, par rapport aux rayons invisibles, dans une proportion plus petite que dans l'arc voltaïque, et l'on admet généralement que, pour un même courant, l'arc donne au moins deux fois et demi plus de lumière qu'un fil incandescent.

D'après Tyndal, les rayons visibles, par rapport aux rayons invisibles, seraient, pour les différentes lumières, comme les nombres suivants:

	Rayons visibles.	Rayons invisibles.
Lumière de gaz.	comme 1 est à	24
Lumière du fil incandescent	comme 1 est à	23
Lumière de l'arc (pointes de charbon).	comme 1 est à	9

Pour bien comprendre ces phénomènes, il faut en revenir à la transformation de la chaleur en lumière, qui est d'autant plus complète qu'elle a lieu à de plus hautes températures, que les vibrations de l'éther deviennent de plus en plus rapides, deviennent lumineuses au lieu de rester calorifiques.

C'est là la cause du fait énoncé plus haut, et qui *à priori* a toute l'apparence d'un paradoxe, qu'un volume de gaz employé à alimenter une machine motrice actionnant une machine magnéto-électrique, engendre une quantité de lumière bien plus grande que celle que produirait ce même gaz brûlant directement. Les pertes considérables inhérentes à l'emploi des machines intermédiaires rendraient un pareil résultat impossible, donneraient à la proposition énoncée une apparence de mouvement perpétuel, si toute la lumière possible était produite dans les deux cas, ce qui est bien loin d'être vrai pour la lumière produite par la combustion du gaz surtout.

Ce point de théorie n'a pas encore donné lieu à des mesures bien précises pour les températures très élevées; celles que l'on possède ont fait admettre par quelques physiciens que l'intensité de la lumière peut être exprimée par une formule où la température entre en exponentielle.

En cherchant à représenter par une formule empi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rique les nombres obtenus de 500 à 1200°, par M. E. Becquerel, savoir :

Température	500°	Intensité	0
—	900°	—	0,75
—	916° (fusion de l'argent)	—	1
—	1000°	—	4
—	1100°	—	25
—	1157°	—	69
—	1200°	—	146

et en supposant que cette formule convienne encore aux températures comprises entre 1200 et 2000°, ce qui n'est pas prouvé mais assez probable, on arrive aux chiffres suivants :

1500°	28,900
2000°	191,000,000

Or 2000° est approximativement la température de l'arc voltaïque, telle qu'elle a été conclue par M. E. Becquerel de la comparaison qu'il a faite de la partie la plus lumineuse des charbons avec la flamme d'une lampe Carcel.

Ce qui précède suffit pour montrer combien les pertes d'intensité de lumière sont considérables quand on adapte des dérivations qui diminuent l'intensité du courant électrique producteur de lumière; c'est l'élément capital à considérer dans l'analyse des appareils dont nous allons nous occuper.

Divisibilité de la lumière électrique. La production de lumière électrique exige une tension très grande de la source d'électricité et l'emploi des conducteurs en charbon de cornue, seule substance peu altérable à très haute température, connue aujourd'hui, offrant une grande résistance. La production par gros foyers paraît donc une nécessité; c'est là un grave inconvénient pratique, car il importerait de diviser la lumière dans une foule de circonstances. L'arc électrique donnant toujours un foyer de lumière extrêmement intense, mais en un point seulement, son effet éclairant, diminuant en raison du carré des distances, ne saurait remplacer, pour nombre d'emplois, une somme égale de lumière répartie en de petits foyers convenablement espacés comme, il est dit p. 90, car dans la pratique il s'agit en général de répartir la lumière également dans un grand espace. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour l'éclairage des voies publiques.

Il était naturel de chercher à envoyer successivement la lumière électrique dans les appareils différents, au moyen d'un manipulateur, à des intervalles tels que la lumière parût continue, en utilisant la persistance de la sensation lumineuse qui, on le sait, a une durée notable, d'au moins un dixième de seconde.

Restait à savoir si, en opérant ainsi, l'arc jaillirait instantanément entre les charbons restés lumineux, lorsque cesserait l'interruption. M. Leroux a étudié la solution théorique du problème. Il a reconnu que l'arc voltaïque interrompu pendant un temps très court, inférieur à un vingtième de seconde, se rétablissait spontanément. Il a pu ainsi diviser la lumière, en lançant, au moyen d'une roue distributive qui tourne rapidement, le courant d'une pile de Bunsen, alternativement dans deux régulateurs, de manière à ce qu'il passe dans chacun d'eux pendant le même nombre de fractions de seconde, $\frac{50}{100}$ par exemple. Dans ces conditions, les deux lumières sont et restent parfaitement égales.

Pour que l'expérience réussisse aussi bien que possible, il est utile que les charbons soient plus petits que lorsque le courant doit y passer d'une manière continue; s'ils sont à section carrée, leur côté ne doit pas dépasser 4 millimètres. On doit admettre que l'intervalle entre les deux charbons renferme des traces de vapeur de carbone pendant l'interruption très courte du courant, et que c'est à la présence de cette atmosphère qu'est dû le rétablissement instantané du courant. On est porté à admettre cette explication quand on voit l'arc électrique, examiné au spectroscope, présenter constamment les raies caractéristique du carbone.

Cette solution ingénieuse n'a pas donné de bons résultats et il est aisé d'en voir la cause. Ce ne sont plus deux arcs voltaïques continus que l'on obtient ainsi, mais des arcs perpétuellement éteints et rallumés. La température baisse par suite beaucoup et la quantité de lumière, ainsi qu'il a été dit, diminue dans une très grande proportion.

Passons maintenant en revue les nombreux systèmes à l'aide desquels on a cherché à résoudre le problème de diviser la lumière produite par l'électricité.

Bougies Jablochkoff. C'est surtout en vue de supprimer l'emploi des régulateurs que ce système a été imaginé. Par l'usage de charbons parallèles qu'il n'y a pas à mouvoir, il fait disparaître, en effet, un appareil coûteux, donnant toujours quelque instabilité à la lumière, toujours à surveiller. Le succès de cette disposition a montré qu'elle atteignait le but et elle a rendu pratique dans nombre de cas l'éclairage électrique.



Fig. 8.

Cette bougie (fig. 8) se compose de deux baguettes cylindriques de charbon, juxtaposées et séparées par une lame de matière isolante.

Les deux extrémités inférieures des charbons sont fixées dans deux douilles en laiton, offrant assez de consistance pour permettre le serrage de la bougie entre les pinces d'un chandelier spécial.

Les baguettes sont rendues solidaires par une ligature faite entre les douilles, et réunies sur toute leur longueur à l'aide d'une pâte solide en matière mauvaise conductrice (plâtre ou kaolin).

Cette matière devient conductrice lorsqu'elle entre en fusion vers son extrémité, et diminue beaucoup la résistance du passage de l'électricité; c'est là une des causes qui permettent de mettre plusieurs bougies dans un même circuit.

L'allumage des bougies se fait automatiquement dès que le courant passe et cela grâce à une petite baguette de graphite de 1 millimètre de diamètre placée longitudinalement à l'extrémité supérieure des charbons et retenue au moyen d'un fil d'amiante.

Lorsque le courant passe, il suit une baguette de charbon, traverse l'amorce, l'échauffe au point de la consumer dans un temps excessivement court et échauffe en même temps la matière isolante. Celle-ci devient ainsi suffisamment conductrice pour servir en quelque sorte de guide à l'arc voltaïque qui s'est formé lors de la combustion de l'amorce. La bougie s'allume instantanément, puis le courant suit la seconde baguette de charbon, continue son trajet guidé par le conducteur, et trouve successivement sur son chemin les autres bougies qu'il allume de la même façon que la première. Etant donnée la rapidité de transmission du fluide électrique, l'allumage se fait pour toutes les bougies dans un laps de temps inappréciable pour notre œil.

Comme on le voit, plus de mécanisme, plus de flottement de l'arc voltaïque; les charbons rendus intimement solidaires par la matière qui les isole, tout en les reliant, brûlent comme une bougie stéarique ordinaire.

Pour arriver à une usure égale des deux charbons, il faut, lorsqu'on se sert d'un courant continu, que le charbon correspondant au pôle positif ait une section double de celle du charbon correspondant au pôle négatif, puisqu'il a été reconnu que dans les régulateurs le charbon positif brûlait deux fois plus vite que le charbon négatif. Avec des courants alternatifs, au contraire, les deux charbons changeant de pôle à chaque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

instant s'usent uniformément. De là, la préférence à donner aux machines à courants alternatifs pour brûler les bougies Jablochkoff; car, d'une part, il est plus facile de faire des bougies et des supports avec des charbons égaux, et d'autre part l'usure inégale des charbons avec les courants continus n'est pas toujours rigoureusement dans le rapport de 1 à 2. On avait bien songé à mettre un *commutateur automatique* aux machines Gramme ordinaires pour transformer leur courant continu en courants alternatifs, mais cet organe, qui n'a jamais bien réussi dans la pratique industrielle, a été abandonné après quelques expériences sommaires.

La bougie est placée dans l'intérieur d'un globe, surmonté d'une galerie de forme élégante, est en verre opalin; dans l'intérieur du globe un manchon également opalin entoure les bougies de manière à les protéger d'un choc et à empêcher les flammèches de tomber au dehors. Les bornes avec vis de serrage que l'on voit au-dessous du chandelier, figure 9, servent à établir le contact avec

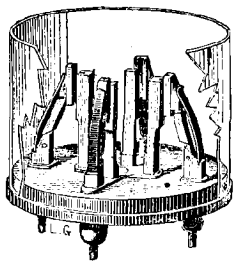


Fig. 9.

le fil conducteur du circuit électrique et avec les fils du commutateur pour les changements des bougies juxtaposées, ce qui doit se faire facilement pour prolonger la durée d'un même bec, condition essentielle des applications.

Comme nous venons de le dire, les globes sont opalins: le verre opalescent a pour propriété de masquer aux yeux le point lumineux qui peut les offenser et de diffuser complètement la lumière en en détruisant toutefois une proportion assez grande.

Si la lumière électrique présente des caractères qui affectent notre œil d'une autre façon que le gaz, s'il faut ainsi en perdre une partie pour qu'elle ne blesse pas la vue, elle a sur ce dernier l'immense avantage d'être plus complète et plus parfaite et de remplacer la clarté du jour sans la modifier en rien.

Le passage de l'électricité, entre deux charbons parallèles et un filet de plâtre fondu ou vapeur de kaolin, diffère notablement du passage de l'arc voltaïque entre deux pointes de charbon opposées l'une à l'autre. La diminution de résistance, condition d'un éclairage limité, entraîne une diminution de température, c'est-à-dire une moins bonne utilisation de l'électricité. On n'arrive, par suite, à placer plusieurs foyers sur un seul conducteur, qu'avec des pertes considérables dues au passage du courant à travers la bougie qui offre le moins de résistance.

Le prix de l'unité de lumière est bien plus élevé dans ce système que dans les grands éclairages. Il paraît s'élever, d'après les rapports faits au conseil municipal de Paris, à 75 centimes par bougie, pour une quantité de lumière qui coûterait, avec le gaz, 27 à 30 centimes (à 15 cent. le mèt. cube). La beauté de l'éclairage fait néanmoins croître chaque jour les applications, de ce système, vu son grand avantage d'être devenu facilement employé dans la pratique.

En tant que divisibilité du courant, on ne peut guère mettre plus de 4 bougies sur chaque machine magnéto-électrique et le plus souvent on n'en met que deux. On a alors construit des machines qui ne sont en réalité que des réunions de machines, c'est-à-dire, dont les courants dégagés par des électro-aimants séparés, ne se réunissent pas à la sortie de la machine. C'est une solution indirecte et assez imparfaite du problème.

Bougie Jamin. On sait que l'arc électrique ordinaire est influencé par les aimants; M. Quet, en plaçant l'arc entre les deux pôles d'un électro-aimant, l'a vu se recourber et même être repoussé comme la flamme d'un jet de chalumeau. Il n'y a pas que les aimants qui agissent sur l'arc; un courant traversant un fil peut, selon sa direction, attirer ou repousser l'arc électrique. Ceci rappelé, M. Jamin a constaté qu'il suffisait de promener un fil métallique, donnant passage à un courant, devant les charbons entre lesquels éclate l'arc, pour amener le déplacement de cet arc.

« Mon brûleur électrique, dit-il, est formé de deux charbons maintenus parallèles par deux tubes de cuivre isolés, séparés par un intervalle de 2 à 3 millimètres, dans lesquels ils glissent à frottement et qui servent à la fois à les diriger et à amener le courant. Ils sont entourés par un circuit directeur composé de cinq à six spires repliées sur un cadre rectangulaire mince, de $0^m,40$ de longueur et de $0^m,15$ de largeur. Ce circuit, traversé par le même courant que les charbons et dans le même sens, amène et fixe l'arc électrique à l'extrémité des pointes.

« Le régime de ces brûleurs est curieux à étudier. Quand les pointes sont en l'air, l'allumage est très difficile, parce que, aussitôt produite, la lumière est vivement projetée vers le haut par la force du courant directeur, qui est proportionnelle au carré de l'intensité. Quand celle-ci augmente, il devient absolument impossible d'allumer les charbons; on n'obtient qu'une vaste flamme qui s'envole aussitôt avec bruit. Si le courant est moindre, la lumière persiste, mais très étalée, très haute et toujours très bruyante, à cause de l'amplitude des oscillations qui ont lieu à chaque inversion du courant. Enfin l'équilibre n'est point stable; si un courant d'air accidentel vient pour un moment à augmenter la hauteur de flamme, rien ne peut la ramener, la limite de son élasticité est dépassée et bientôt elle se rompt. Dans les brûleurs à pointes inférieures, l'allumage est facile et l'équilibre est stable, car, si un mouvement de l'air ou une défaillance du courant fait monter l'arc, il s'établit entre les deux charbons, à l'endroit où ils n'ont point été amincis par la combustion; il se loge dans un intervalle qui ne dépasse pas 2 ou 3 millimètres. Loin de s'allonger, il se raccourcit; au lieu de décroître, sa résistance à la rupture et l'intensité augmentent, et l'on voit la lumière redescendre doucement pour reprendre et garder sa place à l'extrémité des pointes; si au contraire le courant augmente, l'arc se courbe et devient concave vers les charbons; mais sa tendance à monter contre-balançant l'action du courant directeur, il ne s'allonge jamais assez pour se rompre. On atteint les meilleures conditions économiques quand cette courbe est juste assez prononcée pour empêcher le mouvement ascensionnel de la lumière. Dans ce cas, le bruit inévitable de la lumière électrique est réduit à son minimum, parce que les amplitudes du mouvement vibratoire sont le plus petites possibles.

« En résumé, ce brûleur avec ses pointes en bas, réalise des avantages considérables: 1° celui de la simplicité, puisqu'il ne comporte aucun mécanisme et n'exige aucune préparation préliminaire; tout se réduit à un support et à des charbons; 2° celui de l'économie mécanique, puisqu'on arrive presque à doubler le nombre des flammes; 3° celui d'une plus avantageuse disposition

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des foyers, qui dirigent leur plus grande somme de lumière vers le bas, où elle sert, au lieu de la perdre vers le ciel, où elle est inutile.

L'expérience a montré que par suite de la réflexion par les charbons la lumière envoyée horizontalement n'est que la moitié de celle envoyée, en moyenne, dans toutes les directions.

Lampe Rapieff. — Les lampes utilisant une partie seulement de l'arc voltaïque, possèdent en général, un système régulateur équivalent, en fait, aux régulateurs des grands foyers, supprimé dans les systèmes précédents où les charbons demeurent parallèles.

Nous décrirons ici la lampe Rapieff qui est de ce genre et dans laquelle le régulateur est réduit à peu de chose; elle est adoptée pour les ateliers du *Times* à Londres, ce qui montre qu'elle est susceptible de faire un bon service.

Dans cette lampe (fig. 10) pour maintenir simplement les charbons à une distance convenable pour la formation de l'arc, on emploie quatre baguettes de charbon, dont les bouts sont réunis, deux à deux, sous un angle aigu. Ils constituent deux systèmes angulaires dont les plans sont perpendiculaires entre eux, et dont les points de croisement, qui constituent les électrodes, sont éloignés de la distance voulue pour constituer l'arc voltaïque. Des contrepoids à poulies de renvoi réagissent pour pousser l'une contre l'autre les baguettes de chaque système, et celles-ci, par conséquent, à mesure qu'elles s'usent, avancent constamment vers leur point commun de croisement qui reste toujours à la même place.

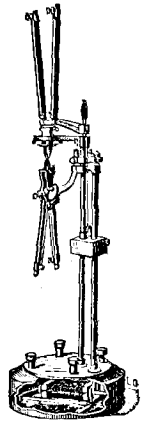


Fig. 10.

Les quatre charbons sont disposés de manière à former les quatre arêtes d'une pyramide interrompue à son sommet. Les charbons employés sont ceux de M. Carré, et c'est une machine de Gramme qui sert de générateur. Avec cette machine, on peut allumer jusqu'à dix lampes, en les plaçant dans le même circuit, mais on n'en emploie que 6 pour l'éclairage des bureaux du Times à Londres où ce mode d'éclairage est appliqué depuis quelque temps.

Enfin, ce dispositif est complété par un système électro-magnétique logé dans le socle de l'appareil et qui a pour fonction, quand le courant passe et que les quatre baguettes de charbon ont été mises en contact, de faire écarter les deux systèmes formant électrodes de la distance nécessaire à la formation de l'arc. Cet effet est obtenu à l'aide d'une corde fixée à l'armature électro-magnétique, laquelle passe à l'intérieur de la colonne montante. Un réflecteur en forme de coupe, soit en cuivre argenté, soit en porcelaine, est situé un peu au-dessus du point de rencontre des charbons, et des vis de réglage permettent de diriger le faisceau lumineux dans telle direction que l'on veut. Avec des charbons d'un diamètre de 6 millimètres, ces lampes peuvent durer deux heures au plus. Leur lumière peut être portée à 100 ou 120 becs de gaz; mais avec les petits modèles on peut en obtenir une qui ne dépasse pas cinq becs de gaz.

A l'établissement du journal anglais le Times, il y aurait maintenant 18 lampes Rapieff qui éclaireraient les ateliers de composition, et 6 qui seraient affectées à l'éclairage des bureaux. Le grand avantage de cette lampe, dit-on, serait qu'elle peut travailler au besoin toute une nuit sans la nécessité de renouveler les charbons; son intensité est toujours constante quand bien même les charbons seraient brûlés très bas, et à ce point de vue, cette lampe l'emporterait sur la bougie Jablochkoff, car dans celle-ci le courant augmente d'énergie à mesure qu'elle brûle, par suite de l'amoindrissement de longueur des charbons à travers lesquels le courant est obligé de passer, tandis que dans la lampe Rapieff, cette longueur est toujours la même. Pour que l'extinction d'une lampe n'empêche pas celle des autres lampes, M. Rapieff dispose l'électro-aimant appelé à séparer les charbons, de manière à agir sur un commutateur.

Charbons préparés. — Nous avons parlé plusieurs fois des charbons spécialement préparés pour l'éclairage électrique et qui ont contribué à en accroître la régularité; nous devons parler de leur fabrication.

Le charbon de cornue est loin d'être régulier, non seulement la dureté en est variable, mais surtout il s'y trouve des grains siliceux et ferrugineux, qui fondent et donnent lieu à des éclats de lumière, à des rapidités d'usure des charbons compromettant la régularité de la lumière.

Le problème de produire des charbons en carbone pur a été attaqué par M. Jacquelain, qui s'était proposé d'obtenir des dépôts graphiteux parfaitements purs par la décomposition des hydrocarbures liquides, mais il n'est pas parvenu à monter une fabrication satisfaisante.

L'emploi du noir de fumée a aussi été tenté sans succès complet; c'est M. Carré qui a monté la fabrication la plus satisfaisante et la plus économique, en faisant entrer une partie importante de coke pulvérisé dans sa composition. Voici la formule indiquée dans son brevet de 1876.

Coke très pur en poudre fine presque impalpable	15 parties
Noir de fumée calciné	5 —
Sirop spécial (30 de sucre, 12 de gomme.)	7 à 8 —

Le tout est fortement trituré et additionné de 1 à 3 parties d'eau.

La pâte comprimée est passée dans une filière, puis les charbons sont étagés dans des creusets et soumis pendant un temps déterminé à une haute température.

La cuisson comprend une série d'opérations. Entre chacune d'entre elles, après une cuisson de quatre à cinq heures au rouge, on les immerge dans un sirop concentré et bouillant de sucre.

Ces charbons sont plus tenaces et plus rigides que ceux de cornue. Ils sont remarquablement droits et réguliers. Des baguettes d'un centimètre de diamètre peuvent être employées sur 0m,50 de longueur, sans crainte de rupture. Leur forme cylindrique, jointe à leur homogénéité, fait que leurs cônes se maintiennent parfaitement réguliers. Enfin ils sont plus conducteurs que les charbons de cornue.

M. Gaudoin a produit aussi de fort bons charbons en se rapprochant beaucoup du procédé Jacquelain.

Éclairage par incandescence. La solution directe, en quelque sorte, de la grande divisibilité de la lumière électrique, malheureusement imparfaite quant à l'intensité, revient à faire naître des séries de points lumineux sur un même courant, ce qui exige que ce courant ne soit pas interrompu comme il le serait par un arc voltaïque, que la lumière résulte de l'incandescence de points du circuit ayant une résistance convenable.

C'est en effet à l'utilisation de l'incandescence que sont arrivés les inventeurs qui, comme Edison, se sont proposés de pratiquer une grande division de la lumière électrique.

C'est le charbon qui a donné jusqu'ici le résultats les moins imparfaits, les métaux ne permettant pas d'employer une température assez élevée, les terres opposant une trop grande résistance au courant, enfin les gaz donnant une trop faible illumination à cause de leur densité minime.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Disons d'abord un mot de ce dernier cas.

On sait que Geissler de Bonn a construit le premier des tubes à ampoules de formes variées, fermés hermétiquement et ne contenant que des traces de vapeurs diverses. Ces tubes, mis en communication avec un courant au moyen de fils de platine scellés dans le verre et d'une bobine Ruhmkorff, produisent une lumière stratifiée, c'est-à-dire composée de couches minces transversales, séparées par des couches minces continuellement agitées. En même temps les parois des tubes présentent un éclat particulier qu'on désigne sous le nom de *fluorescence*.

La lumière donnée par les tubes Gessler est très douce, mais si faible qu'on n'a jamais pu l'utiliser pratiquement et que de nombreux essais faits dans les mines et les poudreries sont restés infructueux.

Revenons aux lampes à charbon incandescent.

Dès 1845 King avait établi les conditions d'établissement de ce genre de lampes qui n'ont réussi qu'en 1874 sous la forme que lui a donnée M. Lodyguine de Saint-Pétersbourg.

Lampe Konn. Nous décrirons ici, d'après M. Fontaine (fig. 11), la lampe très pratique de ce genre, due à M. Konn de la même ville.

Cette lampe se compose d'un socle en cuivre sur lequel sont fixées deux bornes pour attacher les conducteurs, deux tiges en cuivre et une petite soupape ne s'ouvrant que de dedans en dehors. Un globe, évasé à sa partie supérieure, est retenu sur le socle au moyen d'un écrou en bronze pressant sur une bague de caoutchouc, exactement comme cela a lieu pour les niveaux d'eau des chaudières à vapeur.

Une des tiges verticales est isolée électriquement du bâti et communique avec une borne également isolée. L'autre tige est formée de deux parties: 1° d'un tube fixé directement sur le socle sans isolation, et 2° d'une baguette de cuivre fendue dans une partie de sa longueur. Cette fente lui donne de l'élasticité et lui permet de coulisser dans le tube tout en restant fixe si on n'exerce pas sur elle un certain effort. Les charbons de cornue, au nombre de cinq, sont placés entre les deux petits plateaux qui couronnent les tiges.

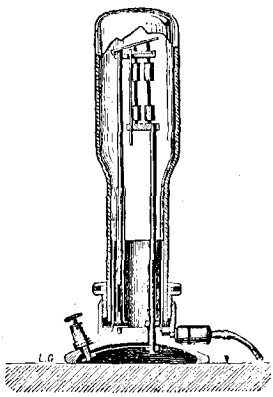


Fig. 11.

Chaque charbon est introduit entre deux petits blocs, également en charbon, lesquels reçoivent des baguettes de cuivre à leurs extrémités. Les baguettes sont de longueur inégale et une pièce à charnière, articulée sur une des tiges repose sur la baguette d'un seul charbon à la fois.

Si l'on place cette lampe dans un circuit en attachant les deux conducteurs d'une pile aux bornes (une des bornes est cachée sur le dessin, mais elle est identique avec celle reproduite et n'est pas isolée du socle), la tige de carbone est traversée par le courant qui passe d'une borne à l'autre, par l'intermédiaire de la charnière, de la baguette de cuivre, de deux blocs de charbon, de la seconde baguette de cuivre et du plateau couronnant la seconde tige.

Le vide a été préalablement effectué en plaçant sur l'ajutage inférieur le conduit d'une machine pneumatique.

La tige rougit, blanchit et devient lumineuse. Sa lumière est d'abord blanche, fixe, constante; puis petit à petit la section diminue, la tige se rompt et la lumière disparaît. La charnière tombe alors sur une autre tige, et presque instantanément l'éclairage est rétabli.

Quand tous les charbons sont usés, la charnière s'arrête sur une tige en cuivre et le courant n'est pas rompu. De cette manière s'il y a plusieurs lampes alimentées par un même générateur électricité, l'extinction de l'une n'entraîne pas celle des autres.

Trois de ces lampes ont fonctionné plusieurs années chez M. Florent négociant à Saint-Pétersbourg, plus dispendieusement que le gaz, à cause surtout des frais de préparation des charbons. On estimait que chacune d'elles équivalait à 20 becs carcel.

Lampe Régnier. M. Régnier a disposé une lampe d'un service facile, utilisant l'incandescence d'une longueur déterminée du charbon. Nous reproduirons ici la description de l'auteur qui montre comment il limite la partie incandescente d'un long charbon, et comment il conserve le petit arc voltaïque au contact.

Une baguette de charbon cylindrique ou prismatique, dit M. Regnier, est traversée par un courant continu ou alternatif, assez intense pour la rendre incandescente dans cette portion. Le courant entre ou sort par un contact, qui est élastique, presse la baguette latéralement; un second contact la touche au bout. Dans ces conditions, le charbon s'use à son extrémité plus vite qu'en toute autre place, et tend à se raccourcir.

Par conséquent, si le charbon est poussé continuellement de manière à buter sans cesse sur le contact en bout, il avancera graduellement à mesure qu'il s'usera, en glissant sur le contact latéral. La chaleur développée par le passage du courant dans la baguette est grandement accrue par la combustion du carbone.

Dans la pratique, on remplace le contact fixe par un contact tournant, qui entraîne les cendres du charbon. La rotation du contact en bout est rendue solidaire du mouvement de progression de la baguette du charbon, de sorte que la position de celle-ci sur le contact en bout fait frein sur le mécanisme moteur.

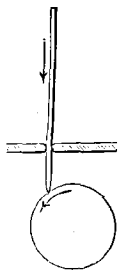


Fig. 12.

Le principe de ce nouveau système de lampe étant établi, il était aisé d'imaginer des dispositifs très simples pour le réaliser.

Le croquis du système (fig. 12) s'explique de lui-même, à première inspection. La progression du charbon et la rotation du contact en bout sont obtenues par la descente de la tige pesante du porte-charbon.

Pour remonter la lampe, il suffit de soulever cette tige. La baguette de charbon est mise en place sans ajustement. Il n'y a point de réglage.

Des expériences exécutées chez MM. Sautter et Le-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

monnier avec dix lampes Régnier et une machine Gramme tournant avec une vitesse de 930 tours, ont donné les résultats suivants sur un circuit représenté par 100 mètres de fil de cuivre de trois millimètres, soit de 30 mètres de fil télégraphique :

Nombre de lampes.	Indications du galvanomètre.	Intensité lumineuse de chaque lampe.	Rendement lumineux total.
5	25°	15	75
6	22°	13	78
7	20°	10	70
10	15°	5	50

Le régulateur Serrin donnait dans les mêmes circonstances, avec une déviation de 21°, une intensité lumineuse de 320 becs.

La lampe Werderman, assez appliquée en Angleterre, n'est que la lampe Régnier renversée. Le plateau de charbon a été remplacé par une petite plaque de cuivre; la coupe étant en haut renvoie en bas beaucoup de lumière, condition favorable à la bonne utilisation de la lumière.

Recherches d'Edison. Edison cherche à employer le moins fusible des métaux, l'iridium, dont l'usage paraît devoir être moins avantageux que celui du charbon, car il ne permet pas d'atteindre une température aussi élevée, ce qui réduit beaucoup l'intensité lumineuse.

La lumière est produite dans ses appareils par une spirale en fil métallique, ou par un petit cylindre formé d'une feuille de métal assez mince, porté l'un ou l'autre, à l'incandescence, par suite de la grande résistance qu'ils opposent au passage du courant ; comme il est impossible d'atteindre la température correspondante aux maximums d'éclat sans s'exposer à voir fondre le métal, quelque réfractaire qu'il soit, Edison a imaginé de faire régler le passage du courant automatiquement par la chaleur que dégage le corps lumineux.

Pour cela, il place dans le circuit un interrupteur dont le mouvement est produit, soit par la dilatation d'une tige métallique placée au milieu de la spirale éclairante, soit par la dilatation d'un gaz renfermé dans la même cloche qu'elle, et agissant sur un diaphragme élastique ou sur un flotteur, si l'échauffement du corps lumineux augmente trop, le mouvement de l'interrupteur ferme un second circuit sans résistance par lequel s'écoule l'excédant d'électricité, et la fusion est évitée sans interruption dans l'éclairage.

Comme ces dérivations intermittentes peuvent produire dans la température du corps lumineux et par suite dans la lumière émise, d'assez grandes variations, Edison a cherché un autre moyen de réglage dans lequel le circuit de dérivation est permanent et formé d'une série de résistances dont la somme est supérieure à la résistance du corps lumineux. Le mouvement de l'interrupteur, produit comme précédemment par l'élévation de température, ferme successivement une série de contacts qui suppriment chacun une portion des résistances de la dérivation et ouvrent ainsi au courant excédant un passage proportionné à son intensité. La quantité d'électricité qui passe dans le corps éclairant se trouve ainsi bien mieux réglée.

Enfin, un commutateur que l'on peut rendre automatique permet de faire passer entièrement le courant par cette dérivation, ce qui substitue à chaque lampe ainsi supprimée une résistance d'égale valeur, de sorte que le fonctionnement des autres lampes n'est pas modifié.

Malheureusement, toutes ces combinaisons fort ingénieuses ne sont pas absolument nouvelles et sont plus faciles à indiquer en principe qu'à réaliser dans la pratique, de manière à leur assurer un fonctionnement régulier.

Pour produire l'électricité, Edison emploie les courants d'induction résultant du mouvement d'électro-aimants dont l'un servant d'inducteur, est activé par une partie des courants produits. Mais, au lieu de les faire passer les uns devant les autres à l'aide du mouvement de rotation employé dans les machines actuelles, l'inventeur leur imprime un mouvement alternatif de rapprochement et d'éloignement très rapide, dont il cherche à atténuer les inconvénients et surtout la dépense de force motrice, en fixant les pièces mobiles à à l'extrémité de longues tiges dont le moteur n'aurait plus qu'à entretenir les vibrations.

Résumé. — Les travaux accomplis ont levé la plupart des difficultés que signalait Foucault, lorsqu'il rendait possible l'emploi de la lumière par l'invention de son ingénieux régulateur. On peut considérer comme indiscutable :

1° Que les grands foyers de lumière électrique fournissent un admirable moyen d'éclairer les phares, les grands chantiers, les vastes ateliers, etc., par un petit nombre de points lumineux.

2° Que des foyers moins puissants fournissent un éclairage de luxe qui sera adopté de plus en plus pour les fêtes, les rues des quartiers de luxe, les grands magasins, avec une dépense supérieure habituellement à celle du gaz, mais non dans des usines où la force motrice sera à bon marché. La tension élevée du courant ne paraît pas compatible avec des subdivisions qui le font descendre toujours au-dessous du maximum que les machines actuelles atteignent assez difficilement.

3° Que le gaz offrira toujours un moyen de subdivision de la lumière extrêmement commode, qui maintiendra son emploi général ; qu'il ne coûte guère que les frais de canalisation, de construction des usines, de surveillance ; que plusieurs de ceux-ci seraient tels avec la généralisation de la lumière électrique pour l'éclairage d'une grande ville, qu'il y aurait sans doute avantage à alimenter au moyen d'une conduite de gaz combustible, les nombreuses machines motrices servant à engendrer l'électricité. C'est sans doute sous cette forme, surtout avec les progrès des machines à gaz, que l'éclairage électrique et l'éclairage au gaz se réuniront pour produire l'éclairage de plus en plus complet dont on prendra chaque jour l'habitude.

ÉCLUSE. (*angl.* sluice, *all.* schleusse). Nous avons décrit à l'article CANAL les dispositions adoptées dans la construction des écluses, et nous avons cherché à faire comprendre toute l'importance de cette admirable découverte, sur laquelle repose la navigation artificielle des canaux. Le seul inconvénient grave de ce système est d'exiger une dépense d'eau considérable, ce qui rend l'établissement des canaux difficile, ou ne leur permet que d'être de peu d'utilité dans nombre de cas. En effet, à première vue, on ne voit pas comment il peut en être autrement : le passage d'un bâteau d'un bief inférieur à un bief supérieur exige une dépense d'eau mesurée par la section horizontale du sas multipliée par la différence de niveau des deux biefs, dépense considérable, et qui, sur nombre de canaux, force à diminuer beaucoup le nombre des passages des bateaux, et par suite l'utilité du canal. En réfléchissant toutefois aux actions diverses qui ont lieu quand on ouvre les portes du sas, on voit qu'en réalité il passe du bief supérieur dans le bief inférieur une grande quantité d'eau dont la force motrice n'est pas utilisée, et qui, si elle l'était, pourrait théoriquement servir à remonter partie de cette eau du bief inférieur dans le bief supérieur.

La difficulté d'imaginer une disposition pouvant éviter cette perte paraît avoir été surmontée d'une manière très satisfaisante par l'invention de M. Girard. Le prix Montyon, décerne à l'auteur et plus encore les conclusions du savant rapporteur, M. Poncelet (voir *Comptes rendus à l'Académie des Sciences*, 17 fé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vrier 1845), qui a fait ressortir tout ce que cette invention, jusque-là dédaignée, avait de remarquable et d'utile, sont des faits dont on ne saurait trop s'applaudir, et M. Poncelet nous permettra de consigner ici l'expression de l'opinion publique, en disant que son zèle pour la science lui a fait faire non-seulement un beau travail, mais encore une bonne action.

Nous extrayons du travail de M. Poncelet la description de cette invention qui réduit toujours la dépense d'eau pour le jeu d'une écluse (quelle que soit la chute) à un volume d'eau de 0m,10 de hauteur environ, c'est-à-dire presque exclusivement à la dépense de la chute du volume d'eau déplacé par le bateau (ou du poids élevé).

Depuis longtemps on a cherché divers moyens d'atteindre le but que s'est proposé M. Girard; on doit citer comme les plus marquants les plans inclinés de Reynolds et Fulton (voyez PLANS INCLINÉS), les écluses à chariot de l'ingénieur Mercadier, celles à sas mobile de Solage et Bossut, celles à flotteur et à contre-poids de l'ingénieur Betancourt, et enfin celles à piston et syphon de M. Burdin. Nous mentionnerons encore un système de M. Thilorier, mais, attendu que c'est par l'emploi d'une force auxiliaire, comme celle du vent ou des chevaux, que l'eau dépensée est remontée, on ne doit pas comprendre cette conception au nombre de celles qui ont pour but d'employer le travail de l'eau qui descend, ou en remonter à très peu près le même volume.

Dans les systèmes de Reynolds, Fulton et Mercadier, on opère la remonte d'un bateau en se servant de l'action de la descente d'un autre bateau, et en les plaçant directement sur des chariots pleins d'eau qui roulent sur des plans inclinés.

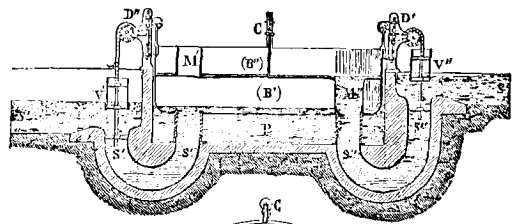
Dans l'écluse de Solage et Bossut, le sas mobile entre le bief supérieur et le bief inférieur, est supporté verticalement par un caisson plongeant dans l'eau d'un puits, dont le mouvement de descente ou d'ascension est produit par une addition ou une soustraction d'eau dans le sas. Le système de Betancourt consiste à mettre un réservoir en communication avec le sas et à faire monter et croître le niveau de l'eau dans ce dernier, au moyen d'un flotteur qui s'enfonce et se retire du réservoir avec assez de facilité, vu qu'il est équilibré à très peu près dans toutes les positions, au moyen d'un autre poids d'un effet variable.

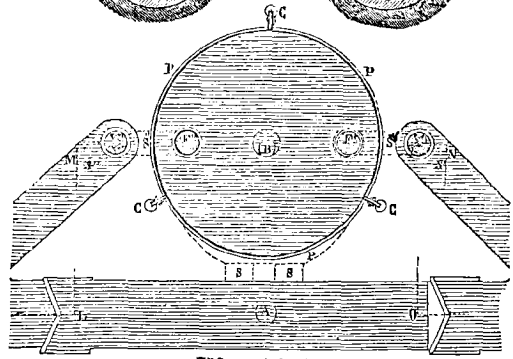
Le système de M. Burdin est aussi basé sur l'usage d'un réservoir latéral en communication avec le sas, ce réservoir est fermé de tous côtés contre l'introduction de l'air par un couvercle et un piston renversé, de sorte que le mouvement du piston agit comme celui d'une pompe aspirante, pour faire entrer dans le réservoir ou en faire sortir tout le volume d'eau que peut contenir le sas, sans que néanmoins le centre de gravité de tout le liquide contenu dans les deux bassins change de niveau, et sans qu'on ait ainsi à dépenser, pour opérer le mouvement, d'autre travail que celui qui est nécessaire pour vaincre les frottements.

Le moyen imaginé par M. Girard diffère assez de tous ceux qu'on vient d'indiquer pour constituer une nouvelle invention; il participe à la fois du système à flotteur de Betancourt et du système à syphon de M. Burdin.

Avant d'expliquer le système de M. Girard, nous donnerons la figure de son appareil sous sa forme la plus complète, car sa première combinaison était loin d'offrir les mêmes chances de succès. Il faut pourtant le dire, la complication du système a encore fait reculer jusqu'à ce jour les praticiens.

753 *bis* (coupe suivant MNLO).





753 *ter* (plan).

A, sas principal ou intermédiaire, communiquant souterrainement avec le puits où plonge le flotteur; B, caisson ou bassin flottant; B', compartiment inférieur, et B'', compartiment supérieur du même; C, C, appareil à contre-poids guides servant à soulever ou à équilibrer le caisson; D' et D'' appareils à déclic servant à la fermeture spontanée des vannes d'entrée des syphons S' et S'' qui communiquent par des fourreaux mobiles avec les compartiments respectifs du flotteur dans ses diverses positions; M', manchon vide servant à écouler l'air du compartiment inférieur du caisson, et à rétablir l'équilibre des pressions du liquide sur les fonds respectifs de ce compartiment et du compartiment supérieur; M'', manchon plein servant à établir la communication entre le compartiment supérieur et la branche verticale du syphon, qui y amène l'eau au travers du puits; P, P, puits dans lequel flotte le caisson, et dont l'eau communique librement avec celle du sas principal A; S, S', syphons renversés qui établissent la communication entre les sas ou biefs d'aval et d'amont avec les compartiments B' et B'' du caisson; S, S', canaux d'amenée du liquide dans ces syphons, correspondants aux biefs d'amont et d'aval; V', V', vannes cylindriques découvertes servant à ouvrir ou à fermer l'entrée à une extrémité supérieure des syphons.

Décrivons d'abord le premier système de M. Girard:

A côté du sas on établit un large puits ou bassin rempli d'eau sur une assez grande profondeur; une caisse prismatique, soutenue par un flotteur vide de moindre dimension, et plongeant dans ce puits ou réservoir, contient elle-même de l'eau jusqu'à un certain niveau et en quantité suffisante pour remplir le sas. Lorsque celui-ci est vide et qu'on veut le remplir, le niveau dans le flotteur est de 0m,05 environ au-dessus de celui du sas, c'est-à-dire du bief inférieur. De grands syphons, toujours remplis d'eau, pouvant, par l'ouverture de robinets, mettre en communication le liquide qui est contenu dans la caisse flottante et celui du sas, l'écoulement s'opère de la première capacité dans la deuxième; mais dès que cet écoulement commence, le niveau, dans la caisse flottante, tend à s'abaisser; celle-ci, perdant une partie de son poids, se relève d'une certaine quantité, laquelle dépend des rapports établis entre la superficie de l'eau qu'elle contient et celle de l'eau sur laquelle elle flotte dans le puits. Il est facile de calculer ces rapports de telle sorte que le niveau de l'eau dans la caisse se relève de la même quantité que celui du liquide contenu dans le sas.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'écoulement continue dans les mêmes conditions jusqu'à ce que, par des dispositifs de construction, et par la fermeture des robinets placés dans les syphons pour en arrêter ou en déterminer le jeu, il se trouve forcément suspendu. Ceci arrive quand l'eau, dans le sas, est à environ $0^m,10$ au-dessus du niveau du bief supérieur, celui du liquide dans la caisse flottante, étant alors à $0^m,05$ seulement au-dessous de ce même niveau. A cet instant, et pour faire passer le bateau du sas dans le bief supérieur, il suffit de tirer de celui-ci, en ouvrant les portes d'amont, une dernière couche d'eau de $0^m,10$ d'épaisseur.

Le passage étant ainsi effectué et les portes refermées, il est facile d'exécuter la manœuvre contraire, c'est-à-dire de faire baisser le niveau dans le sas, et d'opérer la descente d'un bateau qui y serait entré en venant du bief supérieur; il suffit d'ouvrir les robinets des syphons. Le niveau de l'eau contenue dans la caisse flottante ou aboutissent ces syphons se trouvant, en effet, de $0^m,05$ plus bas que celui du liquide dans le sas, l'écoulement a lieu de cette dernière capacité dans la première, et, à mesure que la caisse flottante reçoit du liquide, elle s'enfonce et le niveau du sas s'abaisse. D'une autre part, le niveau dans le puits se relevant par cet enfoncement de la caisse, il en résulte, pour le niveau absolu dans celle-ci, une descente qui est la différence de deux effets opposés. Par les rapports déjà établis entre les sections de l'eau dans le sas, dans la caisse et dans le puits, ainsi que la section de flottaison du plongeur, le niveau s'abaissera dans la caisse, de la même quantité que dans le sas, c'est-à-dire en sens inverse de ce qui avait lieu dans la période ascendante. Ainsi l'écoulement continuera dans les mêmes conditions, et le sas achèvera de se vider jusqu'à l'instant où son niveau n'étant plus qu'à $0^m,10$ au-dessus de celui du bief inférieur, les robinets des syphons viendront à se fermer par le dispositif même des constructions ou à la volonté de l'éclusier. Le niveau de l'eau dans le flotteur n'est alors qu'à $0^m,05$ au-dessus de celui du bief d'aval, et, en faisant écouler dans ce bief les $0^m,10$ excédants de hauteur d'eau, qui restaient dans le sas, les choses sont ramenées à l'état primitif, puisque le niveau dans le flotteur se trouve à $0^m,05$ au-dessus de celui du sas.

Renonçant depuis à l'idée de se servir de syphons supérieurs, dont le jeu est très difficile à maintenir, et de faire plonger le flotteur dans un puits qui, par son extrême profondeur et son isolement, offre des inconvénients non moindres, M. Girard, après quelques tentatives qu'il est inutile d'exposer ici, fut conduit à remplacer le plongeur par une capacité de même forme et de mêmes dimensions que le bassin supérieur, destinée à recevoir l'eau du bief d'aval, au moyen d'un seul syphon renversé entièrement fixe, et dont la branche verticale correspondante traverse à la fois le radier du puits et le fond du bassin inférieur, muni, à cet effet, de garnitures en cuir.

De tels syphons étant exempts des défauts inhérents à ceux qui s'élèvent au-dessus des niveaux entre lesquels ils établissent la communication, l'auteur en a appliqué également le dispositif au bassin supérieur, à cela près, que la branche verticale correspondante du syphon y amène l'eau du bief d'amont, par l'intermédiaire d'un fourreau ou manchon cylindrique enveloppe, servant à relier les deux fonds du flotteur, que cette branche traverse librement en glissant contre des garnitures en cuir dont il est muni à son extrémité la plus basse; ces garnitures ont d'ailleurs, comme les précédentes, pour objet de s'opposer à l'introduction de l'eau, du puits ou du sas, dans les compartiments où elle est soumise à une moindre pression.

Tout l'appareil flottant se trouve ainsi réduit à un caisson prismatique divisé, par un diaphragme ou fond intermédiaire, en deux compartiments distincts, communiquant avec l'air extérieur, soit directement, soit par le moyen d'un tube qui traverse le plus élevé d'entre eux. M. Girard exécute les parois et le double fond de ce caisson en tôle de 3^{mm} d'épaisseur, renforcée par des supports en fonte évidés, qui offrent un système suffisamment solide, vu que les pressions, exercées de part et d'autre du fond le plus bas, se font à très peu près équilibre. Un flotteur placé à la surface de l'eau du compartiment inférieur, indique, à tous les instants, la hauteur relative de cette eau ou son épaisseur. Enfin, les syphons, réduits au nombre de deux, sont, comme dans le système primitif de l'auteur, munis de clapets destinés à établir ou à interrompre la communication entre les compartiments et les biefs respectifs, lors de leur manœuvre, à l'aide d'un appareil à déclic et à leviers que le flotteur fait agir à la fin de chacune des oscillations.

Maintenant, si l'on suppose que, les niveaux des biefs étant invariables, on donne à chacun des compartiments prismatiques du caisson une hauteur égale à la distance de ces niveaux, qui constitue la chute à franchir, et une section horizontale équivalente à celle du sas et de l'espace demeuré libre dans le puits, on aura toutes les données nécessaires pour saisir la manœuvre de cette nouvelle disposition d'écluse.

Considérons, en effet, le système à l'instant où, les portes d'amont étant fermées et celles d'aval ouvertes pour introduire un bateau dans le sas, le caisson vide flotte librement à la surface de l'eau du puits dont le niveau est le même que celui du sas; il est clair qu'en vertu de son poids, il plongera au-dessous de cette surface, d'une certaine hauteur supposée toujours de $0^m,05$ par M. Girard, ce que l'on peut obtenir au moyen de contre-poids convenables servant en même temps à le diriger dans son mouvement vertical. Par suite, les fonds se trouveront respectivement abaissés, de cette même quantité, au-dessous des niveaux correspondants des biefs d'aval et d'amont, ce qui permettra à l'eau de ces biefs de s'introduire simultanément dans les compartiments, lorsque, après avoir fermé les portes d'aval on viendra à ouvrir les clapets des syphons. Supposant d'ailleurs les diamètres de ces syphons calculés de manière à écouler des quantités d'eau égales, sous une même charge motrice et dans le même temps; faisant, en outre, abstraction de l'épaisseur des parois du caisson, etc., et supposant que l'on ait rendu les sections, intérieure et extérieure, égales à celles du sas et de l'espace libre du jeu dans le puits, on verra en considérant les choses statiquement, ce qui est permis vu l'extrême lenteur du mouvement, que, si les compartiments reçoivent en effet deux tranches d'eau d'épaisseur égale h, le caisson s'enfoncera au-dessous du niveau extérieur mobile, d'une hauteur $2h$; et, comme ce niveau n'a pu se relever que d'une hauteur précisément égale à celle dont le caisson s'est abaissé en refoulant par sa base l'eau du puits dans le sas avec lequel il communique, il en résulte que cette élévation et cet abaissement absolus se réduisent simplement à h, c'est-à-dire à la hauteur même dont les niveaux se sont relevés dans les compartiments respectifs. Ces niveaux conserveront donc la même position absolue à toutes les époques de l'abaissement du caisson, si leurs distances, au niveau des biefs respectifs demeurés invariables, se trouvaient primitivement égales, ainsi qu'on le suppose.

Dans le cas contraire, on voit, *à priori*, que les dénivellations, dues aux charges motrices dont il s'agit, tendront à s'égaliser rapidement, en vertu même des conditions qui servent de base à l'établissement du système, car la charge initiale la plus forte donnant lieu, aux premiers instants, à une plus grande épaisseur de tranche d'eau dans le compartiment qui lui correspond, le caisson et par conséquent le niveau dans l'autre compar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

timent, s'abaisseront de quantités absolues, supérieures à celles dont ce dernier niveau tend à s'élever d'une manière relative, c'est-à-dire en raison de l'accroissement d'épaisseur de la tranche d'eau produite sous la plus faible des charges motrices. Cette dernière charge s'accroissant ainsi de plus en plus, tandis que l'autre va, au contraire, en diminuant, il faut bien qu'elles convergent vers l'égalité et que le mouvement du système finisse, au bout d'un temps assez court, pour devenir permanent ou uniforme.

Cela étant admis, on conçoit que la manœuvre du caisson, soit dans la descente, soit dans la montée, s'effectuera d'après les mêmes conditions que pour le premier système de M. Girard, conditions que nous avons déjà indiquées, et sur lesquelles il devient dès lors inutile d'insister. Il nous suffira de faire observer que le flotteur recevant ici, simultanément, un double volume d'eau de la part des biefs respectifs, il doit en résulter une plus grande rapidité dans la manœuvre, une moindre amplitude de mouvement, une plus faible profondeur de puits, et enfin une hauteur considérablement moindre pour tout l'appareil flotteur.

M. Poncelet fait remarquer qu'il serait convenable d'ajuster les branches verticales les plus courtes des syphons, avec le fond des compartiments, au moyen de fourreaux fixes ou mobiles, évasés vers le haut et munis de cuirs emboutés, pour éviter l'introduction extérieure de l'eau. Cette disposition, qui n'exige nullement le polissage ou l'alésage des tubes, comme le prouvent les pompes de M. Letestu, offre d'ailleurs l'avantage de diminuer la hauteur des branches fixes des syphons, et de donner à l'ensemble des fourreaux mobiles, la liberté de jeu que peuvent réclamer les faibles oscillations transversales du flotteur.

Quant aux clapets destinés à ouvrir ou fermer à l'eau le passage au travers des syphons, M. Poncelet conseille l'emploi de vannes cylindriques verticales en tôle mince, analogues aux soupapes des machines à vapeur du Cornouailles, qui sont très faciles à manœuvrer et offrent de suite une large voie à l'eau,

ÉCONOMIE DES MANUFACTURES. M. Babbage a résumé sous ce titre un ensemble de principes, auxquels l'observation indique que se sont assujettis les manufacturiers qui ont le mieux résolu le problème de la production industrielle, de fabriquer le mieux possible, au plus bas prix possible. Nous allons résumer, d'après son bel ouvrage, les principaux résultats auxquels il est arrivé, en cherchant à traiter la question d'une manière moins abstraite qu'il ne l'a fait, c'est-à-dire en nous préoccupant un peu plus que lui du succès du fabricant même. En général, il est vrai, ce succès est obtenu par le bon marché et la perfection de la fabrication, en y joignant pourtant quelques autres conditions; il est clair en tous cas que comme le fabricant ne travaille pas uniquement pour créer, mais bien pour que le résultat de ses travaux, loin de lui être onéreux, lui soit utile et profitable, sa production doit bientôt cesser si elle ne satisfait pas aux dernières conditions dont nous voulons parler, et si par suite le prix de vente devenait inférieur au prix de revient des établissements établis dans de meilleures conditions.

1° DU LIEU D'ÉTABLISSEMENT. Le lieu naturel de l'emplacement d'une manufacture destinée à préparer un produit, paraît être celui où se concentre la matière première. Il n'en saurait guère être autrement quand celle-ci est lourde et encombrante; c'est ainsi qu'on trouve toujours les usines métallurgiques près des minerais, les fabriques de produits chimiques minéraux, le sulfate de fer, etc., près des lieux d'extraction.

Quand la matière première n'est pas d'un poids très-considérable, relativement à la valeur qu'elle doit prendre par le travail, l'emplacement le plus convenable est déterminé par le bon marché d'un des éléments de la fabrication, la force ou le combustible.

C'est ainsi que nos filatures d'Alsace se sont concentrées dans les Vosges pour utiliser les nombreux cours d'eau qui s'y rencontrent; mais l'abondance du combustible est une base souvent préférable aujourd'hui, puisque par la machine à vapeur la force se trouve aussi à bas prix sur les mêmes lieux, en même temps que les moyens de chauffage nécessaires dans presque toutes les industries. C'est là la position des grands centres manufacturiers de l'Angleterre, celle que nous rencontrons en France à Saint-Étienne, et qui tend à se créer dans plusieurs autres localités.

Comme exemple curieux de l'influence du bas prix du combustible sur le lieu d'une exploitation, combiné avec quelques conditions spéciales, nous citerons, d'après Babbage, l'exemple suivant : le comté de Cornouailles renferme des filons de cuivre et d'étain, mais n'offre aucune couche de houille. Le minerai de cuivre, qui exige pour sa réduction des quantités considérables de combustible, est porté par mer jusqu'aux exploitations de houille du pays de Galles et fondu à Swansea. Les bâtiments qui le transportent prennent en retour des chargements de charbon pour les machines qui épuisent les mines, et pour les fourneaux à fondre l'étain qui sont sur le lieu même de l'extraction, le traitement de ce métal exigeant moins de chaleur que celui du cuivre.

Une troisième condition fixe souvent le lieu d'emplacement des fabriques, c'est le voisinage des débouchés. Cette condition est supérieure à toutes les autres pour les industries qui sont pour ainsi dire la suite des beaux-arts, et dans lesquelles le goût est la principale condition du succès. Telles sont, à Paris, l'industrie des bronzes et l'orfévrerie, qui ne sauraient avoir aucun succès dans des fabriques placées au loin, qui deviendraient bientôt étrangères aux changements perpétuels de la mode.

Nous poserons enfin comme condition essentielle dans la création d'établissements nouveaux, de se rapprocher des centres de fabrication déjà établis pour des produits analogues à ceux qu'on veut fabriquer. Ces centres formant le grand marché d'un produit manufacturé, peuplés d'ouvriers qui de génération en génération ont acquis une habileté spéciale, offrent des chances de succès qu'on ne saurait rencontrer ailleurs.

2° DIVISION DU TRAVAIL. Le principe de la division du travail est un des plus féconds en résultats parmi ceux auxquels est assujetti le travail manufacturier. Observé par Adam Smith, il a été exalté par ce savant économiste qui a démontré tous les admirables résultats qu'on avait su en tirer.

La division du travail doit être considérée sous deux faces, en tant que moyen d'une création rapide et économique des produits manufacturés, 1° au point de vue du travailleur isolé, 2° au point de vue de l'emploi du travailleur même.

1° Les avantages de la division du travail pour accroître la production du travailleur sont nombreux. Les principaux consistent dans : 1° l'extrême habileté que l'ouvrier acquiert à répéter un même détail peu compliqué; 2° l'économie du temps qu'il perdrait s'il lui fallait changer fréquemment d'occupation, et reprendre successivement des outils opérant suivant des modes différents; 3° l'extrême simplicité de chaque détail d'opérations, dont l'ensemble paraît extrêmement compliqué, d'où résulte, outre l'habileté qu'acquiert l'ouvrier, la découverte d'outils et de méthodes pour simplifier un travail qui absorbe toute son attention.

2° Au point de vue de l'emploi du travailleur même, la division du travail entre plusieurs personnes permet de n'employer pour chaque opération que la dose d'intelligence et de force (et par suite de dépense) stricte-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment nécessaire au travail à produire. Il est évident que si une partie d'un travail exige un ouvrier capable de gagner 6 fr. par jour, le prix de revient devra résulter du prix de cette journée, si tout le travail devait être fait par cet ouvrier. Mais si la partie la plus simple peut être faite par une femme ou un enfant gagnant 2 fr. par jour le prix du produit en baissera d'autant. C'est sur cette division du travail qu'est basée l'organisation des fabriques.

Il faut remarquer que la simplicité des opérations (surtout quand les machines viennent aider certaines transformations) permet de rendre l'apprentissage facile et peu coûteux, vu le peu de temps qu'il est nécessaire de réclamer à l'ouvrier pour l'intervalle pendant lequel il travaillera d'une manière improductive et la quantité peu importante de matière qu'il gâtera pendant son apprentissage.

Il résulte de ce qui précède que :

Quand d'après la nature spéciale des produits de chaque espèce de manufactures, l'expérience a fait reconnaître à la fois, et le nombre le plus avantageux d'opérations partielles dans lequel doit se diviser la fabrication, et le nombre des ouvriers qui doivent y être employés, tous les établissements qui n'adopteront pas pour l'ensemble de leurs ouvriers un multiple exact de ce nombre fabriqueront chèrement.

La division du travail donne ainsi un minimum de l'importance des établissements, minimum qui s'élève sous l'influence des machines, qui sont des ouvriers d'un ordre supérieur assujettis aux mêmes principes de la division du travail, mais qui par la rapidité de leur production donnent ce résultat, que certains travaux ne peuvent plus se faire avec avantage que dans d'immenses établissements. Ce n'est que dans ceux-ci, que l'on peut établir une division de travail convenable entre les plus puissantes machines qui concourent à la production.

Remarquons encore qu'une bonne division du travail ne peut être obtenue que par une bonne disposition des ateliers, qui évite des transports inutiles, et facilite l'action de surveillance nécessaire pour obtenir le meilleur concours de toutes les intelligences et de tous les efforts.

Notons enfin, quant aux opérations qui exigent l'habileté manuelle de l'ouvrier, que l'avantage que nous avons reconnu à la division du travail, de ne faire faire par des mains habiles que les parties difficiles du travail, est surtout à l'avantage des petits ateliers et des associations d'ouvriers. Mieux que ne peuvent le faire de grands fabricants, un chef-ouvrier de Lyon peut, par exemple, utiliser les ouvriers les moins capables, dont il disposera le travail, en fera les parties difficiles, et le guidera par une surveillance de chaque instant. C'est dans les petits ateliers analogues à ceux de la fabrique lyonnaise que se trouve la limite du bon marché pour la production des articles qui ne sauraient entrer dans le domaine du travail purement mécanique. Dans ce cas, la concentration en grands ateliers n'offre pas, comme le prouve l'expérience, de résultats avantageux, à moins toutefois qu'elle ne soit que la juxta-position de petits ateliers conduits par des ouvriers habiles, intéressés directement à la production qu'ils dirigent.

3° EMPLOI DES MACHINES. L'emploi bien complet des machines est aujourd'hui dans les industries mécaniques la condition essentielle de la production économique. Tant qu'il ne s'agit que de produire quelques exemplaires conformes à un modèle déterminé, l'adresse manuelle suffit avec l'aide de quelques outils simples à *faire* ces objets. Mais quand il s'agit de *fabriquer*, quand la vente d'un produit peut avoir lieu pour un grand nombre d'objets de même nature, alors l'intervention des machines qui ne peuvent, en général, que répéter une seule et même opération, vient se prêter admirablement à réduire le prix du travail. Babbage en cite un exemple, qui a son analogue dans toutes les industries, et que nous citerons, car il indique fort bien l'avantage de l'emploi des machines dans des circonstances données. « Maudslay déclare dans une enquête faite devant le comité de la chambre des communes que lorsque le bureau de l'amirauté lui proposa de faire des caisses en fer pour les navires, il entreprit de faire une de ces caisses pour essai. Les trous des rivets furent percés avec des presses mues à bras d'hommes, et les 1680 trous d'une seule caisse revinrent à 7 schellings. Alors le bureau de l'amirauté qui avait besoin d'une forte quantité de ces caisses, lui proposa de fournir 40 caisses par semaine, pendant plusieurs mois. La commande était assez considérable pour qu'on pût commencer à *fabriquer*. Aussi Maudslay offrit-il de fournir 80 caisses par semaine si on voulait lui en demander 2000. La commande lui ayant été donnée, Maudslay fit alors des outils qui réduisirent de 7 schellings à 9 pences (de 8 fr. 75 à 90 c. environ) la dépense du perçage des trous des rivets des caisses. »

Le dernier progrès de l'emploi des machines est la fabrication AUTOMATIQUE. Quand une industrie est arrivée à ce point, il faut nécessairement que la lutte ait lieu entre établissements tous montés dans le même système; les autres ne pouvant subsister, si partie seulement de leur travail a lieu par machines; si même les machines employées sont moins parfaites et donnent des résultats moins avantageux.

Le travail incessant des inventeurs tend à amener le plus grand nombre des industries à cet état définitif, par l'appât du profit qui résulte de l'introduction de machines faisant mécaniquement et par suite à bon marché une nouvelle partie de la fabrication; machines qui en général donnent à leur origine des produits inférieurs, mais que des perfectionnements permettent bientôt d'obtenir parfaits et toujours semblables.

4° CONTINUITÉ DU TRAVAIL. De même que dans les industries mécaniques, la limite du perfectionnement possible paraît résider dans la manufacture automatique; dans les industries chimiques la perfection est atteinte par la continuité des appareils. La production obtenue dans ce cas presque sans travail et en quantités considérables, sans que la main de l'homme intervienne pour ainsi dire, est extrêmement économique. La production de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb continues est un exemple remarquable de ce genre d'appareils, l'immense consommation de cet agent énergique et son influence sur l'industrie moderne fait bien concevoir tous les résultats importants de sa production économique.

Nous comprendrons aussi sous le titre de continuité du travail, une condition fort essentielle de succès, que les fabricants anglais excellent à réaliser, c'est celle qui consiste à conduire toujours la fabrication du même pas, à obtenir par suite du bon marché une demande incessante, et d'atteindre le maximum de la production possible avec un même matériel.

La manufacture (surtout la manufacture automatique) étant un être parfaitement organisé pour produire le plus avantageusement possible une certaine quantité de produits manufacturés, il est clair qu'on ne saurait altérer profondément sa marche régulière sans produire plus chèrement. Une production trop faible, devant supporter tous les frais généraux de la production régulière, deviendra onéreuse; une production forcée donnera des produits moins parfaits. Les pertes seront souvent bien moindres (à moins qu'il ne s'agisse de crises capitales, ou que la manufacture soit établie sur des proportions exagérées relativement à la vente moyenne de l'établissement) à fabriquer dans les temps de baisse dans la vente pour combler l'excédant qui correspond à des temps de hausse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les pertes d'intérêts résultant de cette marche seront souvent bien moindres que celles qui résulteraient de variations trop notables dans la production ; souvent même le sacrifice qu'il faudra faire sur des marchandises fabriquées d'avance, pour en trouver le placement, sera une source de bénéfices dans l'avenir en ouvrant des nouveaux débouchés. La crise provenant de l'excès de fabrication atteindra peu le fabricant agissant ainsi, et il récupèrera ses pertes dans des temps plus prospères.

Il est clair que le principe que nous établissons ici n'a de valeur qu'autant que la position financière d'une manufacture de produits indépendants des variations du goût, lui permet de suivre une semblable marche en engageant seulement des capitaux disponibles, et qu'elle serait impraticable s'il lui fallait se procurer, en payant de gros intérêts, les capitaux nécessaires.

5° DE L'EMPLOI DES RÉSIDUS. Il n'est pour ainsi dire pas de fabrication qui ne donne sous forme de déchets une quantité considérable de produits, qui n'étant plus propres à la fabrication dont on s'occupe paraissent de peu de valeur. Presque toujours cependant on peut les utiliser, et c'est un des cachets les plus saillants de l'industrie moderne, non seulement de ne laisser rien perdre, mais encore de traiter de nouveau avec avantage des résidus d'anciennes fabrications, comme cela a lieu à Freiberg, en Saxe, pour d'anciennes scories, etc.

On conçoit facilement la diminution de prix de revient qui résulte pour l'objet fabriqué de l'utilisation de résidus autrefois perdus. Les grands établissements sont dans une meilleure position que les petits à cet égard, à cause de la masse importante de résidus qu'ils obtiennent, et qui valent les frais d'appareils particuliers. Cette perte est aussi généralement évitée dans les centres industriels, où les produits d'un grand nombre de fabriques peuvent s'accumuler. Comme exemple de ce genre, nous citerons l'application à l'éclairage de la ville de Reims, faite par M. Houzeau, d'après les indications de M. D'Arcet, des eaux savonneuses, autrefois perdues, produites en énorme quantité, dans cette ville, par le désuintage des laines.

6° COMPTABILITÉ DE LA MANUFACTURE. La comptabilité d'une manufacture doit être tenue avec le même soin que celui d'une maison de commerce. Des comptes en sommes pour chaque série de dépenses, des comptes de matières pour tout ce qui est l'objet d'une importante consommation, offrent le seul moyen de contrôler à chaque instant les dépenses irrégulières qui peuvent naître, et d'apporter un prompt remède aux causes qui les engendrent.

Quant aux dépenses en elles-mêmes, il est clair que le fabricant ne doit faire que celles d'une nécessité absolue. Devant reconnaître les travaux et les services des contre-maîtres et ouvriers capables par un salaire plus élevé, il doit se garder cependant de se laisser aller dans un moment de prospérité, à céder à des prétentions exagérées des personnes qu'il emploie ; car bientôt la production, devenant plus coûteuse que celle de l'établissement voisin, lui serait onéreuse, loin de lui être profitable.

7° COMMERCE. La vente, le commerce que le manufacturier doit faire des produits qu'il crée, forme peut-être la condition la plus essentielle de l'industrie manufacturière, dont elle ne paraît à priori que l'accessoire. Mais on peut affirmer que sur 10 fabricants qui se ruinent, il n'y en a pas deux qui se ruinent pour avoir été mauvais fabricants, contre 8 qui se ruinent pour avoir été mauvais commerçants.

Le commerce du manufacturier est en effet d'une très-grande difficulté en général. Ayant affaire à des marchands en gros, souvent fort habiles, qui ont de grands capitaux disponibles, il est à leur merci pour peu que les besoins d'argent le forcent à vendre ; et en tout cas, le commerçant remplissant ses magasins lors de la baisse des produits profite presque seul de la hausse, et ne laisse au producteur qu'un bénéfice le plus souvent insignifiant. En attendant que les mœurs rendent sacrés les rapports de clientèle, source capitale des succès de l'industrie anglaise, où les intérêts du marchand en gros qui donne les ordres et du fabricant qui les exécute ne sont jamais séparés, d'où résulte la possibilité d'une fabrication sur une grande échelle, et par suite une grande économie de frais généraux pour ce dernier et sauf quelques cas particuliers, comme celui des fabriques situées dans des positions exceptionnelles, disposant de matières premières, de main-d'œuvre, de combustible, etc., à un prix plus avantageux que toutes les autres, nous croyons que le fabricant ne peut arriver, en France, à de grands bénéfices, qu'autant qu'il est assez fort pour pouvoir faire lui-même le placement de ses produits. Cette condition est celle des grandes manufactures, qui, créant dans les lieux de consommation des dépôts bien garnis, profitent des chances heureuses du commerce, et font elles-mêmes le bénéfice qu'eût fait un intermédiaire, sans pouvoir jamais être à la merci d'un ou deux commettants. Voy. ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

CH. LABOULAYE.

ÉCRITURES. *Manières de les multiplier.* Le célèbre Franklin a imaginé un moyen de multiplier les écritures ; sa méthode consistait à écrire sur du papier avec de l'encre gommée ; il saupoudrait l'écriture avec du sablon ou de la fonte pulvérisée et tamisée ; il enfermait le papier entre deux planches ; l'une de ces planches, destinée à recevoir l'empreinte des caractères, était de métal mou tel que l'étain ; l'autre était de pierre dure ou de fer ; elles étaient soumises à l'action d'une presse, et l'écriture se trouvait gravée sur la planche métallique ; on imprimait ensuite par les procédés connus dans la taille-douce.

On voit que Franklin avait inventé, à bien peu de chose près, ce nous semble, ce qu'on a retrouvé de nos jours à l'imprimerie impériale de Vienne sous le nom d'impression naturelle, et qui ne s'applique bien qu'à du tulle, à quelques plantes telles que les algues d'épaisseur constante.

En 1801, Brunel inventa en Angleterre une machine dite *autographe*, qui donne le moyen de copier deux lettres ou deux dessins à la fois. Cette machine, basée sur le principe du pantographe, est décrite dans les *Annales des arts et manufactures*, tom. 5, pag. 59.

Plus tard, le célèbre Watt imagina un procédé fort ingénieux et très connu aujourd'hui en Europe.

Ce procédé consiste à appliquer une feuille de papier mince et non collé sur une lettre fraîchement écrite avec une encre hygrométrique, et à la soumettre ensuite à l'action d'une presse ; par ce moyen la lettre est copiée avec autant d'exactitude que de célérité.

On peut se servir d'une presse ordinaire à plateau et à vis. *Bramah* a construit de petites presses hydrauliques destinées à cet usage. Mais l'on se sert plus communément d'une petite presse à laminoir, portative, et construite à l'instar des presses employées par les graveurs en taille-douce. Les deux cylindres de cette presse sont en cuivre ou en fer ; leurs tourillons traversent deux jumelles en fonte. Une manivelle est adaptée à un des tourillons du cylindre supérieur qui reçoit l'action motrice.

De petits dessins réticulés sont imprimés avec une molette, sur la surface convexe du cylindre inférieur, qui, de cette manière, présente de petites aspérités pour saisir plus facilement la planche de la presse, sur laquelle sont déposés deux cartons en feuilles de zinc contenant les lettres et les feuilles prêtes à être copiées. Des vis règlent la pression.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les jumelles sont fixées sur un plateau en bois que l'on pose sur une table à l'aide de deux agrafes à vis.

Pour se servir de cette presse, il faut avoir des feuilles de papier mince fabriqué pour cet usage; on mouille légèrement une de ces feuilles, on prend la lettre à copier, fraîchement écrite, on la pose sur un carton lissé à la cire; et, si elle est écrite des deux côtés, on mettra auparavant dessous une feuille de papier non collé humide, puis une autre feuille par dessus; ensuite le second carton; enfin, une couverture de drap qui est attachée dans une entaille faite à l'extrémité de la planche qui presse. Alors on passe le tout entre les cylindres, et la copie est faite

Comme l'épreuve se trouve nécessairement en sens inverse, chaque feuille ne peut servir qu'à la copie d'une seule page. On couche cette épreuve sur une page d'un registre en papier blanc du même format que le papier à copier, et on attache les quatre coins avec un peu de colle à bouche; le papier étant fort mince, on lit très distinctement les caractères à travers.

Pour que cette opération réussisse avec toute la perfection désirable; il faut se servir d'une espèce d'encre dont voici la recette : Prenez 4 litres d'eau bien pure, 750 grammes de couperose verte (sulfate de fer) pilée, 250 gram. de gomme arabique, et 125 gram. d'alun de roche également pilés; faites l'infusion à froid pendant six semaines où un mois au moins, ayant soin de secouer le mélange tous les jours; après ce temps, on passera l'encre à travers un linge, et on la conservera pour l'usage dans des bouteilles soigneusement fermées.

On peut, par le procédé que nous venons d'indiquer, copier deux ou trois lettres à la fois (1).

Il y a plusieurs années, M. Lanet, de Bordeaux, a pris un brevet non expiré pour un procédé analogue, dit *prompt-copiste*, destiné à multiplier les écritures.

« On écrit, dit M. Payen dans un rapport fait à la Société d'Encouragement, avec une encre mucilagineuse et hygrométrique sur une feuille de papier ordinaire.

« La feuille, fortement pressée sur une toile vernie ou toile cirée épaisse et souple, y laisse les traces onctueuses adhérentes et légèrement humides, alors les composants pulvérisés d'une encre hygrométrique sont promenés sur la toile, s'attachent aux caractères tracés et les rechargent; puis, par une humectation facile et qui persiste seulement sur les caractères hygrométriques, les matières réagissent sous l'influence de l'eau, forment de l'encre, tandis que le reste de la surface polie de la toile ne retient pas sensiblement d'humidité. On conçoit que les choses ainsi disposées, on puisse, avec cette toile, imprimer sur le papier ordinaire assez absorbant pour retenir fortement et même en caractères assez indélébiles, puisqu'un peu de charbon très divisé entre dans la composition de l'encre; on comprend encore comment les traces sur la toile n'ayant fourni qu'une partie de leur substance, on puisse la recharger en y promenant de nouveau la poudre hygrométrique, et obtenir ainsi un deuxième tirage.

« Il en est de même de la feuille écrite qui, pouvant déposer sur une deuxième toile cirée des traces faciles à recharger, produit ainsi une deuxième matrice de laquelle on obtient encore deux tirages nets et foncés.

« Une seule circonstance atmosphérique peut gêner ces opérations; elle a lieu dans les temps très secs et par conséquent en hiver surtout et durant les gelées : c'est qu'alors la trop faible proportion d'humidité dans l'air ne permet pas les réactions fondées précisément sur le jeu des agents hygrométriques. Il convient, lorsque ce cas arrive, de rendre un peu humide l'air du lieu où l'on opère, soit en y plaçant un vase contenant de l'eau en ébullition, soit en y étendant quelques linges humectés.

« A l'aide d'une disposition très bien entendue, on peut porter directement sur un registre les épreuves de l'empreinte matrice; il suffit à cet effet de passer une tringle en fer dans l'espace que laissent les reliures brisées entre le dos des feuilles et le dos de l'enveloppe, les deux bouts de la tringle qui dépassent le registre sont alors posés dans deux crochets, et la solidité de ce simple support permet d'engager entre les rouleaux de la presse à copier la page sur laquelle on veut prendre la copie. »

Depuis quelques années, les commis-voyageurs du commerce, les maisons de banque, etc., ont adopté le rouleau à copier inventé par M. Scheibler en 1818 et perfectionné par MM. Delacour et Bovy (1).

Ce petit appareil, du prix de 5 francs, se compose d'un cylindre en bois autour duquel s'enroule une étoffe imperméable préparée au caoutchouc, et d'un manche octogone recouvert en crin pour faciliter la prise.

Pour se servir de cette presse, il faut employer pour écrire, l'encre connue sous le nom d'*encre communicative*. (Voyez ENCRE).

On place une feuille de papier sans colle et légèrement humectée, sur une étoffe imperméable, et par dessus ce papier sans colle, on étend le papier écrit dont on veut prendre la copie; on enroule le tout autour d'un cylindre, on presse modérément avec les mains, on entre les mâchoires d'une sorte d'étau cylindrique nommé *pressoir*, et la copie est faite.

On peut obtenir de cette manière deux et même trois copies d'un écrit sans altérer l'original.

Lorsqu'on veut reproduire une lettre de 4 pages, on pose sur chacune des pages écrites une feuille de papier sans colle mouillé, et l'on procède comme il vient d'être dit.

Dans les anciens rouleaux-copistes, on faisait usage de cuirs, de draps, de feuilles de papier imperméable, qui, par leur résistance, par l'inégalité de leur épaisseur, nuisaient souvent au succès de l'opération, produisaient quelquefois de doubles empreintes de l'écriture, et exigeaient un effort assez considérable.

L'étoffe souple et imperméable a l'avantage de simplifier l'appareil, de faciliter le transport de l'écriture et d'assurer la réussite de l'opération.

La manière d'humecter le papier sans colle, indiquée par M. Bovy, présente aussi plusieurs avantages.

Autrefois on humectait ce papier en le plaçant entre deux morceaux de calicots mouillés; il fallait pour que le papier fût convenablement préparé, le laisser ainsi sous presse pendant environ une demi-heure. Ce laps de temps présente des inconvénients, surtout lorsque l'on est pressé; d'un autre côté, l'on n'est pas toujours sûr d'atteindre le degré d'humectation le plus convenable. Trop sèches, les feuilles de papier sans colle ne prennent point l'encre de l'original; la copie ne se fait qu'imparfaitement ou seulement en quelques points et par parties détachées. Trop humides, on a beaucoup de peine à séparer les unes des autres les feuilles de papier sans les déchirer; les caractères sont trop chargés d'encre et la copie se lit difficilement.

M. Bovy recommande de mouiller avec une éponge imbibée d'eau le papier dont on veut se servir, il absorbe l'excédant de l'eau à l'aide de quelques feuilles de papier buvard qu'il place sur le papier sans colle mouillé, il comprime légèrement le tout avec les mains; le papier sans colle est alors préparé et humecté au point

(1) On trouve dans le Bulletin de la Société d'Encouragement le moyen d'écrire deux lettres à la fois, par Rochette, tome V, p. 90; par M. Obrion, tome XXI, p. 190; moyen de les copier, par M. Scheibler, tome XVII, p. 29.

(1) Voir le Bulletin de la Société d'Encouragement, années 1812, p. 29, 1840, p. 185, 1842, p. 44, et le tome LIV des *Descriptions des brevets expirés*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

convenable pour pouvoir être employé immédiatement.

Les copies de lettres sont collées au besoin avec de la gomme arabique, sur des *onglets* en papier, reliés en forme de registre.

Instruments pour écrire, à l'usage des aveugles. Sans remonter plus haut que 1775, nous citerons le docteur Francklin qui faisait usage de tablettes d'ivoire, pour écrire sans lumière pendant la nuit. Des feuilles de cette matière étaient disposées sous un cadre à peu près semblable pour la forme à ces règles de bureau qui servent à tracer des lignes parallèles; les espaces vides étaient destinés à recevoir le dessin des caractères. Ce mode d'écriture pouvait nuire, comme on le voit, à la formation régulière de certaines lettres dont la tête et la queue excèdent le corps; la main pouvait aussi se tromper de ligne.

M. Pingeron a publié, vers 1780, un instrument dont le conducteur des lignes se fixait, dans diverses échancrures pratiquées à droite et à gauche d'un châssis, pour la distance nécessaire à la régularité des lignes.

En 1784, la Bibliothèque physico-économique annonça la description d'une machine à peu près du même genre que celle de M. Pingeron, et imaginée par une dame parisienne privée de la vue. Cette machine était de l'invention de M. L'Hermina, qui l'avait fait connaître sous le nom de sa femme. La règle directrice était conduite par deux ressorts qui lui étaient adaptés, et dont les talons s'arrêtaient dans des trous ou crans que présentaient les faces intérieures de deux règles fixes et parallèles, placées à la distance voulue pour la largeur du papier. La manœuvre simultanée qu'exigeait le jeu des deux ressorts de la règle directrice, devait rendre l'usage de cet appareil peu facile.

Vers 1801, le procédé de Valentin Haüy (1) fut consigné dans un ouvrage ayant pour titre: *Mélanges physico-mathématiques;* il consiste à écrire en relief en appuyant sur un papier fort avec un poinçon en fer (on sait que les aveugles lisent à l'aide du toucher les caractères en relief). Ce poinçon est conduit par une suite de cordonnets de fil de laiton parallèles, et placés à distance égale sur un châssis posé sur le papier. Ce procédé ne peut convenir aux clairvoyants non exercés, qui ne sauraient se rendre compte de l'écriture ainsi tracée.

On trouve dans le même ouvrage deux moyens proposés par M. Bérard, juge à Briançon, et qui était devenu aveugle à l'âge de vingt-trois ans.

Le premier consiste dans l'emploi d'un stylet de fer, avec lequel on obtient une écriture noire, en posant sur le papier à écrire une feuille enduite d'un mélange de saindoux et de noir d'ivoire, recouverte par une autre, sur la surface de laquelle on trace les lettres. Un des grands inconvénients de cette manière d'écrire, c'est qu'elle exige un apprêt dont la personne privée de la vue ne peut guère s'occuper.

Le second moyen de M. Bérard consiste dans l'emploi d'une planche qui porte, dans le sens de sa longueur, une coulisse dans laquelle se meut une règle conductrice des lignes à écrire, lesquelles sont également espacées à l'aide de crans que l'on reconnaît par le tact. On prend de l'encre à la fin de chaque ligne, avec une plume de métal taillée à l'ordinaire, dans un vase large et plat qui en contient une hauteur constante de 6 à 8 millimètres.

Ces documents sont extraits du Bulletin de la Société d'Encouragement, année 1817, dans lequel on lit aussi la description et les dessins de plusieurs appareils semblables.

Vers 1819, M. A. Barbier a imaginé de composer une écriture à l'usage des aveugles, qui répond heureusement aux exigences du toucher; il forme sur le papier des points *qui représentent* la forme des lettres et font des reliefs. Vers 1839, M. Braille, aveugle-né, et répétiteur à l'Institution royale des jeunes aveugles, a modifié ce procédé, qui est le seul enseigné aujourd'hui dans cet établissement.

Pour écrire on a des planches en bois ou en métal, sur lesquelles sont tracées des portées formées chacune de 10 raies concaves et horizontales; on applique sur chaque portée une espèce de grillage dont les jours ont assez de hauteur pour laisser apercevoir les 10 raies, et assez de largeur pour que l'on puisse faire deux points de front dans chaque ligne, et à l'aide d'une simple pointe en fer on fait les lettres en marquant, à cet effet, les points indiqués par la forme des lettres. Mais comme cette écriture doit être lue à l'envers, et que les lettres résultent du relief que fait naître le refoulement du papier piqué, l'aveugle a soin d'écrire les lettres de droite à gauche, et renverser chaque lettre, afin que la première lettre à gauche en lisant soit la première à droite en écrivant. On facilite cette manière d'écrire en appliquant sur le grillage une ou plusieurs traverses fixes, pour mieux faire connaître la position des queues et du corps de la lettre. On obtient du même coup plusieurs copies de ce qu'on écrit, en plaçant l'une sur l'autre autant de feuilles que l'on veut d'exemplaires, et en marquant les points sur le tout.

On peut remplacer la planche rayée par une planche recouverte d'un cuir, d'un molleton, ou de tout autre objet produisant un léger foulage. Le grillage peut être une toile métallique, une plaque percée à l'emporte-pièce, ou une réunion de fils métalliques croisés à angles droits, ou soudés l'un sur l'autre.

En 1843, M. Foucault, aveugle-né, a inventé deux machines fondées sur les principes déjà posés par MM. Barbier et Braille, et comme l'a dit avec raison M. Olivier (Bulletin de la Société d'Encouragement): « Les aveugles pourront maintenant écrire et corriger eux-mêmes ce qu'ils auront écrit. L'aveugle-né n'a plus besoin de dicter ses pensées; il pourra se relire, il pourra modifier l'expression de sa pensée, il pourra écrire. »

Ces ingénieuses machines se composent essentiellement de dix poinçons disposés en arc de cercle, dont les têtes sont maniées comme des touches, qui répondent aux diverses positions que le poinçon doit occuper pour venir dessiner les formes des lettres. Les extrémités de ces poinçons viennent piquer un papier placé sur un cylindre, que l'on fait mouvoir horizontalement pour que les lettres se suivent, et avancer pour que les lignes se succèdent.

Machine a écrire. — L'ingénieuse disposition de M. Foucault consistant à remplacer par un clavier et des mouvements mécaniques le mouvement des doigts et de la main de l'écrivain, paraissait ne pouvoir être admissible que pour les aveugles pour l'usage desquels elle ne s'est même pas propagée. C'est donc avec un assez grand étonnement que l'on vit arriver en Europe une élégante petite machine qui avait déjà fort bien réussi en Amérique (Inventeur Scoles, constructeur Remington) où l'on touche les lettres sur un clavier, au lieu de les tracer; ce qui fait qu'obtenues par pression sur un papier à décalquer, ce sont des lettres gravées, des initiales romaines d'égale largeur autant que possible, d'une parfaite lisibilité, qu'on obtient, au grand avantage des personnes qui remplacent par ce système une écriture illisible. A cet avantage doit être ajoutée la possibilité d'écrire très rapidement ainsi que nous le dirons plus loin.

Nous représentons ici ce petit appareil assez élégant; son fonctionnement est facile à comprendre. L'ensemble de cette machine se compose essentiellement d'un rouleau à axe horizontal sur lequel le papier est posé, et de 44 caractères d'imprimerie qui sont fixés avec une orientation convenable, à l'extrémité de leviers pendants,

1. Le fondateur des premiers établissements pour l'éducation des aveugles, en France et en Russie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tous égaux entre eux, dont les points d'appui sont des charnières disposées en une circonférence de cercle dont les leviers forment successivement les rayons quand ils sont relevés ; le centre de ce cercle correspond à la génératrice inférieure du rouleau recouvert de papier.

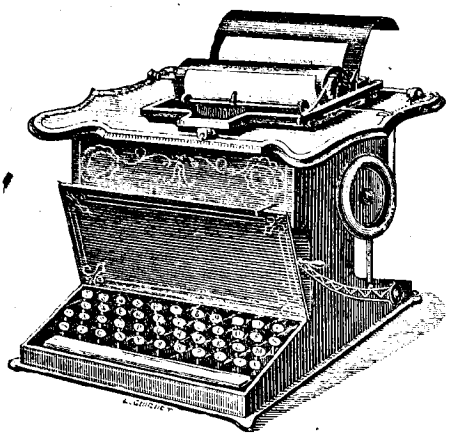


Fig. 17.

Ces leviers sont successivement mis en mouvement au moyen de tringles adaptées à chacun d'eux, et par la pression du doigt de l'opérateur sur les différentes touches d'un clavier qui les font mouvoir et portent inscrite sur chacune l'indication de la lettre typique fixée à l'extrémité du levier correspondant.

On voit que chaque lettre vient successivement se présenter au centre du cercle, lorsque le doigt presse sur la touche qui y correspond, et l'impulsion produite par cette pression est telle que le caractère d'imprimerie est lancé avec une force assez grande, pour que le choc fasse faire une empreinte sur le papier du rouleau à travers un ruban de fil convenablement pénétré d'une encre appropriée.

Des encliquetages et une courroie font avancer le rouleau porte-papier d'une petite quantité, parallèlement à son axe, après l'impression de chaque lettre ; une touche particulière lui fait faire un mouvement plus grand pour séparer les divers mots. D'autre part, un timbre avertisseur fait connaître quand la ligne est finie, et le mouvement par lequel on ramène le rouleau à sa position primitive pour commencer une seconde ligne, le fait aussi tourner sur son axe pour séparer convenablement les lignes successives. Divers organes sont d'ailleurs disposés pour permettre de faire des intervalles arbitraires entre les lignes, marquer les alinéas de diverses espèces et pour tous les autres besoins de l'écriture.

Cette machine fournit aussi le moyen d'obtenir plusieurs copies identiques, de la même pièce d'écriture. Pour cela, au lieu de papier ordinaire, on place sur le rouleau, un fascicule de plusieurs feuilles de papier-pelure séparées par groupes de deux par des feuilles de papier noir à décalquer, et on supprime le ruban de fil porteur d'encre. L'impression causée par le choc des types de la machine est assez forte pour traverser en entier ce faisceau, et les feuilles de papier-pelure reçoivent l'empreinte des papiers à décalquer, de manière que la moitié d'entre elles fournit une lecture directe et l'autre moitié une lecture par transparence. Cet emploi de la machine n'est toutefois ni bien sûr ni bien satisfaisant, au delà de 3 ou 4 copies.

L'impression produite par cette machine donne un texte toujours égal, plus net que l'écriture, condensé en un moindre espace. Il est exécuté plus rapidement ; car une étude d'une semaine permet de produire 220 lettres ou 45 mots par minute, au lieu de 30 que fournirait un expéditionnaire habile ; et un opérateur exercé atteint aisément à une vitesse de 300 lettres ou 60 mots. Enfin, ce genre d'écriture est un bienfait remarquable et une véritable ressource pour les aveugles qui arrivent très rapidement à se servir régulièrement de cette machine, dont les touches sont alors garnies de reliefs perceptibles au toucher.

A l'Exposition de 1878 on a vu figurer à l'Exposition du Danemark une autre machine à écrire due à M. Malling-Hansen de Copenhague, fort élégamment construite par M. Jurgensen ; elle est peut-être plus expéditive que la machine américaine, mais sa construction nous paraît plus difficile et plus coûteuse. Elle est constituée ainsi qu'il suit.

Que l'on suppose une demi-sphère de métal sur la surface de laquelle saillissent des touches circulaires répondant aux diverses lettres, et dont la main embrasse facilement l'ensemble ; chaque touche poussée par un doigt fait sortir un poinçon incliné, portant à son extrémité une lettre gravée débouchant au centre de la sphère, normalement de la surface du papier ; ce mouvement des lettres vers le centre de la boule est, on le voit, une autre solution équivalente à celle de la machine américaine. Quant au mouvement du papier qui, dans les premiers essais de l'inventeur, antérieurs, paraît-il, à ceux de la machine de Sholes, il devait se produire par un courant électrique, ce qui était d'un emploi peu assuré ; aussi, dans la machine mise à l'Exposition de Paris a-t-on rendu le mouvement du papier entièrement mécanique par un système d'encliquetage qui se rapproche de celui de la machine américaine. Le tout est peut-être un peu délicat, la place manquant à cause de la réunion de toutes les touches dans un bien petit espace.

La machine de M. Hansen se rapproche plus que la machine américaine de la machine inventée pour l'usage des aveugles dont nous avons parlé plus haut, et qui, bien que n'ayant reçu que peu de notoriété, et n'ayant guère été appliquée, ne faisait pas moins grand honneur à son inventeur qui, privé de la vue, n'avait pu songer à la construire qu'avec de bien grandes difficultés.

ÉCROU (*angl.* nuth, *all.* mutterschraube). Pièce dans laquelle est pratiqué un trou fileté par lequel passe une vis. Les écrous, découpés dans des barres de fer, dans les fabriques, avec des balanciers mus comme le balancier Chéret (Voy. BALANCIER), qu'ils soient à filet triangulaire ou carré, se font de trois manières : 1° avec des tarauds, ce sont les *écrous taraudés ;* 2° avec le peigne, ce sont les *écrous filetés ;* 3° au moyen du rapport d'un filet en hélice, ce sont les *écrous brasés.* Nous renvoyons, pour leur fabrication, aux mots FILIÈRE et VIS, les vis se fabriquant par les mêmes procédés.

ÉCUME DE MER (*angl.* sea-froth, *all.* meerschaum). C'est un hydro-silicate de magnésie blanc que l'on trouve en rognons dans la serpentine ; sa densité varie de 1,27 à 1,60 ; sa cassure est mate et terreuse ; elle est peu onctueuse au toucher, happe fortement à la langue et prend par le frottement l'éclat de la cire ; elle perd son eau par calcination. Elle possède une certaine ductilité et s'aplatit sous le marteau avant de se rompre. Suivant Lycherell, elle se compose de :

Silice	60,87
Magnésie	27,80
Eau	11,27
Oxyde de fer et alumine	0,09
	100,03

A l'état frais, et encore humide, l'écume de mer est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-molle, et se laisse travailler presque aussi facilement que l'argile. On emploie presque exclusivement l'écume de mer à la fabrication des pipes, usage pour lequel sa porosité et sa blancheur la font rechercher. La meilleure nous arrive toute façonnée de Turquie.

ÉDREDON. Nom donné au duvet dont l'*eider*, oiseau des pays septentrionaux, tapisse son nid, et dont les usages sont bien connus.

EFFERVESCENCE. On dit qu'il y a effervescence lorsque, par suite d'une réaction chimique, il s'opère un dégagement gazeux très-rapide, qui se manifeste par la formation d'un grand nombre de bulles s'élevant dans la liqueur, comme s'il y avait ébullition : ce phénomène se produit, par exemple, lorsqu'on verse un acide étendu sur de la craie.

EFFLORESCENCE. On dit qu'un corps s'effleurit, soit lorsqu'un sel hydraté et cristallisé, comme le sulfate et le carbonate de soude, tombe en poudre par suite de la perte d'une partie de son eau de cristallisation, soit lorsque, par suite de l'action des agents atmosphériques, il se forme des combinaisons salines dues à la décomposition de certaines substances et à leur oxydation à l'air, comme cela a lieu pour les schistes alumineux et les pyrites de fer.

ÉGRISÉE. Voyez DIAMANT et LAPIDAIRE.

ÉLAINE. Voyez OLÉINE.

ÉLASTICITÉ (*angl.* élasticity, *all.* élasticitæt), propriété que possèdent tous les corps de revenir à leur forme primitive, quand celle-ci a été changée par une cause quelconque d'effet mécanique. On admet que tous les corps sont parfaitement élastiques, lorsque le changement de forme ne dépasse pas certaines limites. L'écartement de ces limites, pour chaque corps, sert à mesurer son élasticité : ainsi on dira que l'acier est plus élastique que l'argent et que ce dernier l'est plus que le plomb.

Le changement momentané de forme peut avoir lieu par compression, par traction ou par torsion ; et cette propriété est utilisée dans les RESSORTS, les cordes vibrantes, etc. Lorsque l'effort exercé est trop considérable, les molécules ne reviennent plus parfaitement à leur même place, c'est-à-dire que l'élasticité est altérée. La limite supérieure de l'élasticité est en général 1/3 à 1/4 de celle qui peut déterminer la rupture, et qui mesure la ténacité.

Ce que nous venons de dire s'applique surtout aux corps solides. Les liquides étant à bien peu près incompressibles, n'opposent pas une résistance élastique aux efforts qui agissent sur eux. Les gaz au contraire sont parfaitement élastiques, dans des limites presque indéfinies. Voyez RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX et SOLIDES (CONSTITUTION DES).

ÉLECTRICITÉ. On sait depuis l'antiquité que certains corps acquièrent par le frottement la propriété d'attirer à distance les corps légers. Cet effet conduit à diviser les corps en deux classes : les corps mauvais conducteurs de l'électricité, tels que la résine, l'ambre, le soufre, le verre, etc., qui développent de l'électricité par le frottement, et les corps bons conducteurs, les métaux, par exemple, lesquels ne développent pas d'électricité sensible par le frottement, parce qu'elle s'écoule à mesure qu'elle est produite.

Les différents phénomènes que présentent les corps électrisés s'expliquent en admettant des différences dans les quantités d'électricité des corps, ou plus simplement, sans définir la notion de quantité, deux espèces d'électricité : 1° *l'électricité positive* ou *vitrée*, parce qu'on peut la développer en frottant une baguette de verre avec un morceau de laine, et 2° l'*électricité négative* ou *résineuse*, parce que le frottement la développe sur la résine.

Ces deux électricités ont des propriétés opposées. Lorsque deux corps sont chargés d'électricité de même nom, ils se repoussent ; ils s'attirent au contraire lorsqu'ils sont chargés d'électricités différentes.

Après avoir fait quelques progrès, à partir du dix-huitième siècle, cette partie de la physique s'est développée dans le dix-neuvième d'une manière merveilleuse. Grâce aux travaux de Volta, Galvani, Œrsted, Ampère, Faraday, Becquerel, Foucault et d'un grand nombre de savants, le domaine de l'électricité est devenu un monde. Ces recherches commencent à nous faire entrevoir la nature de l'électricité, qui paraît consister dans le mouvement de l'éther adhérent aux atômes des corps, ainsi que nous l'avons indiqué dans l'INTRODUCTION. Nous n'avons pas à insister ici sur des notions encore mal définies, du domaine de la science pure; de même nous n'entrerons pas ici dans des détails qui sont du ressort de la physique, et renverrons aux traités spéciaux de cette science, mais nous devons entrer dans des détails précis sur la production industrielle de l'électricité, sur l'emploi de laquelle reposent aujourd'hui d'importantes industries : la télégraphie électrique, la galvanoplastie, la dorure et l'éclairage électriques.

La production de l'électricité s'obtient par plusieurs genres d'appareils : les machines électriques, les piles fondées sur les actions chimiques, les appareils thermo-électriques, dans lesquels la chaleur engendre l'électricité, enfin les machines magnéto-électriques à l'aide desquelles on convertit le travail mécanique en actions électriques.

MACHINES ÉLECTRIQUES. Les machines électriques qui produisent de l'électricité par frottement, si intéressantes au point de vue de l'étude des phénomènes électriques, des condensateurs, de la bouteille de Leyde, etc., ne sont pas des instruments propres à fournir de l'électricité industriellement. Les phénomènes qu'y engendrent les vibrations des molécules de la surface ébranlées par le frottement sont essentiellement instantanés et par suite les quantités d'électricité engendrées infiniment petites relativement à celles obtenues au moyen des appareils qui produisent celle-ci d'une manière continue. Faraday a cherché à comparer des effets calorifiques semblables produits : au moyen de la pile, par le courant nécessaire pour décomposer un grain d'eau acidulée (décomposition qui sert à mesurer la puissance d'une pile par la quantité d'eau décomposée en un temps donné), et au moyen de décharges électriques, et est arrivé à des nombres qui vérifient amplement la proposition ci-dessus. Becquerel est arrivé à un résultat à peu près équivalent, qui s'exprime, ainsi qu'il suit, en mesures françaises : Pour décomposer 1 milligramme d'eau, il faut 20,000 décharges d'une batterie présentant une surface de 1 mètre carré, ou la décharge d'un carreau électrique qui aurait environ 2 hectares de surface.

Ces chiffres démontrent amplement toute l'infériorité des machines à frottement pour engendrer l'électricité.

PILE ÉLECTRIQUE. — La pile électrique est l'appareil au moyen duquel le travail des combinaisons chimiques est converti en phénomènes électriques, capables de produire un travail égal, ou une quantité de chaleur équivalente, si la conversion d'une manifestation en une autre était intégrale. C'est pour s'approcher de la limite théorique que l'on doit rechercher la meilleure disposition des piles, ce qui n'est possible que par la connaissance des phénomènes qui s'y produisent, par une bonne théorie de la pile.

La théorie de l'électricité développée au contact de métaux différents, qui avait conduit Volta à la découverte de la pile, la plus importante peut-être du dix-neuvième siècle, n'est plus admissible ; c'est la combinaison chimique qui est la source de l'électricité comme de la chaleur, c'est en réalité le même phénomène. Cette connaissance de la nature des actions qui se produisent dans la pile, et surtout la mesure de l'intensité des cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rants au moyen du galvanomètre, ont conduit à des modes de construction bien plus satisfaisants que les premiers qui avaient été essayés.

Toute pile est essentiellement composée de deux parties: l'une est celle qui donne lieu à l'action chimique, l'autre celle qui recueille l'électricité dégagée dans le milieu où l'action se passe. Ce sont les éléments de tout couple simple, comme celui de la figure 1. Une plaque de zinc Z et une lame de platine P se trouvant en présence, plongées toutes deux dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique; le zinc s'oxyde, l'oxyde de zinc se transforme en sulfate de zinc qui se dissout dans l'eau, et l'hydrogène, provenant de l'eau décomposée, se porte sur le platine, lequel joue le rôle de conducteur positif; le métal attaqué transmettant toujours l'électricité négative.

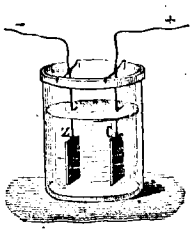


Fig. 1.

Or, le gaz hydrogène qui vient recouvrir la lame de platine conduit mal l'électricité; de là résulte bientôt une diminution dans l'intensité du courant fourni par la pile; aussi M. Becquerel a-t-il établi comme condition essentielle de la construction d'une pile à courant constant, l'absorption de l'hydrogène dégagé. Toutes les anciennes piles dans lesquelles on ne tenait pas compte de cet effet ont disparu de la pratique; leurs effets étaient trop irréguliers et devenaient toujours minimes après peu de temps.

Force électro-motrice et conductibilité. La somme d'électricité obtenue au moyen d'un couple dépend évidemment de deux éléments: de l'intensité de l'action chimique pour qu'elle prenne naissance et pour qu'elle puisse être recueillie, il faut que la substance saline qui provient de cette réaction soit soluble dans le liquide actif et que cette dissolution conduise bien l'électricité.

On a dressé le tableau suivant des forces électromotrices des métaux que l'on peut songer à employer dans la construction des piles.

Forces électro-motrices.

MÉTAUX.	Eau acidulée par l'acide sulfurique (eau 10, acide 1).	Eau acidulée par l'acide chlorhydrique (eau 10, acide 1).	Dissolution de potasse caustique (eau 4, potasse 1).
Amalgame de potassium (mercure 100, potassium 1)	173,3	»	»
Zinc amalgamé	103,2	102,1	103,8
Zinc pur (pris pour unité = 100)	100,0	100,0	100,0
Plomb	66,6	65,7	64,1
Étain	65,9	66,4	86,2
Fer	61,5	61,4	64,1
Aluminium	51,4	82,4	109,0
Nickel	45,1	47,8	30,7
Bismuth	37,2	40,7	46,2
Cuivre	35,0	45,4	42,3
Argent	21,8	33,6	0,0
Or	0,0	»	0,0
Platine	0,0	»	12,8

Ce tableau montre que le zinc est le métal le plus convenable pour obtenir de l'électricité; le fer moins coûteux ne donne en effet guère plus de moitié en force électro-motrice.

Le second élément à considérer dans la construction d'une pile est la conductibilité plus ou moins parfaite de chacun des éléments de la pile. Ce n'est qu'autant qu'ils seront bons conducteurs que l'électricité pourra arriver au circuit extérieur.

M. E. Becquerel a déterminé les conductibilités des principaux métaux usuels et des liquides ordinairement employés pour la construction des piles; il a obtenu les nombres ci-après.

Pouvoirs conducteurs des métaux usuels à zéro.

Argent	100,00	Fer	18,80
Cuivre	94,00	Étain	13,66
Or	65,46	Platine	10,46
Aluminium	44,49	Plomb	8,25
Zinc	24,16	Mercure	1,62

Pouvoirs conducteurs des liquides par rapport à celui de l'argent.

Argent pur	100,000,000,00
Eau acidulée par 1/10 d'acide sulfurique	76,34
Acide azotique à 36°.	105,41
Dissolution de sulfate de cuivre à 19°.	7,25
Dissolution de chlorure de sodium	42,24
Dissolution de sulfate de zinc	7,79

Principaux systèmes de piles électriques. On peut diviser les piles électriques en deux classes:

1° Les piles à forte intensité et par suite à courte durée;

2° Les piles à faible intensité et à longue durée.

Dans tous les cas le zinc et l'eau acidulée forment la première partie du couple; c'est dans la seconde partie que l'on a tenté de nombreuses modifications.

Piles à grande intensité. — Pile à acide nitrique. Un zinc amalgamé étant plongé dans un vase de verre renfermant de l'eau acidulée, si on place au centre un vase poreux renfermant de l'acide nitrique de 36 à 40°, une lame de platine immergée dans cet acide complétera le puissant couple établi par Grove. La dépolarisation du platine, la combustion de l'hydrogène s'effectue dans l'acide nitrique.

Ce couple est fort coûteux, tant à cause du prix du platine, que parce que ce métal se détériore mécaniquement, ce qui a donné à Bunsen l'idée de le remplacer par un charbon de cornue, cylindrique ou prismatique, obtenu en cuisant une pâte faite avec du charbon de cornue pulvérisé, du goudron et un peu d'argile (fig. 2).

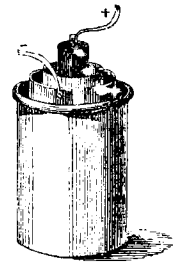


Fig. 2.

La pile de Bunsen est la plus puissante que l'on possède pour produire de l'électricité à haute tension. Aussi l'emploie-t-on toujours beaucoup, malgré son grave défaut de dégager d'abondantes vapeurs nitreuses. L'intensité du courant devient très-faible quand l'acide nitrique n'est plus qu'à 28 degrés, c'est-à-dire après dix heures de service.

La dépense par heure d'un couple à acide nitrique de grande dimension est approximativement la suivante: Zinc, 30 gr.; acide sulfurique, 44 gr. 24; acide nitrique, 57 gr. 27.

La dépense augmente avec la résistance, comme dans un cas fréquent de son emploi où elle est très-forte, quand une série de ces piles est employée pour engendrer la lumière électrique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Piles à un seul liquide. Avant que l'on eût constaté l'importance des phénomènes de polarisation, la diminution de l'action résultant de l'adhérence de l'hydrogène au pôle positif, toutes les piles étaient à un seul liquide.

La pile de Volta formée de rondelles de zinc et de cuivre, séparées par une rondelle de drap imbibée d'eau acidulée dont l'illustre physicien ignorait l'action, la pile à tasses, la pile de Wollaston dans laquelle le cuivre entourait le zinc, ont été des dispositions de plus en plus parfaites de la pile à un seul liquide, sans pouvoir remédier au grand inconvénient qui leur était commun. Après avoir donné aux premiers moments, après que le circuit est fermé, beaucoup d'électricité, elles s'affaiblissent, d'abord rapidement, ensuite de plus en plus lentement, de manière à ne donner, après quelques heures, que de très-faibles résultats.

Les systèmes pouvant donner des courants assez constants et surtout durer longtemps, généralement à deux liquides, sont surtout à étudier aujourd'hui.

Pile à bichromate de potasse. Cette pile est à un seul liquide; elle peut donner, pour peu de temps, un courant d'une intensité supérieure à celle du couple à acide nitrique. Le couple à bichromate de potasse se compose d'une lame de zinc et de deux plaques de charbon, disposées toutes trois parallèlement l'une à l'autre. La lame de zinc est mobile verticalement, de telle sorte qu'on puisse la soulever ou l'enfoncer à volonté dans le vase renfermant le liquide actif dans lequel plongent les lames. Les deux charbons sont reliés ensemble pour constituer l'électrode positive. Le liquide actif est une dissolution concentrée de bichromate de potasse avec addition de 1/100 d'acide sulfurique monohydraté. Cette pile est employée pour les applications chirurgicales de l'électricité, l'explosion des mines, etc.

La théorie du couple à bi-chromate de potasse est simple. Le zinc est très-vivement attaqué, de là la force électromotrice très-grande du couple. Il n'y a pas de vase poreux qui diminue la conductibilité; le bichromate de potasse est bon conducteur; très-riche en oxygène, il absorbe l'hydrogène pendant un certain temps autour des plaques de charbon et l'intensité du courant reste constante.

Lorsqu'un tel couple fonctionne d'une manière continue pendant un temps trop long, l'action cesse presque totalement. On peut ranimer le couple en insufflant de l'air dans l'intérieur du liquide; on enlève ainsi l'hydrogène, qui, n'étant pas absorbé par le bichromate, adhère au charbon, moyen assez peu admissible dans la pratique. Ce n'est pas seulement de l'hydrogène qui s'attache aux électrodes; il se forme par l'action de réduction de l'hydrogène qui se combine avec l'oxygène de l'acide chromique, un sulfate double de potasse et de zinc et par suite un alun de chrome, qui recouvre les électrodes et constitue un enduit peu conducteur qui rend surtout cette pile peu constante.

Au lieu d'employer l'insufflation de l'air pour nettoyer la surface des charbons, on peut imprimer un mouvement continu au liquide, ce qui peut s'obtenir assez facilement, mais ne produit pas des effets aussi complets.

La disposition de ce genre adoptée par M. Chutaux se compose de 4 vases étagés les uns au-dessus des autres. A la partie supérieure un grand flacon, renfermant la solution de bichromate de potasse, est renversé dans un vase poreux qui repose sur une couche de poussière de coke et de sable garnissant entièrement l'intérieur du vase portant les deux électrodes. Celles-ci consistent toujours dans des lames de zinc et charbon occupant les deux extrémités opposées d'un même diamètre du vase extérieur. Mais le charbon est entouré de coke concassé afin de diminuer la résistance de la pile et d'uniformiser la polarisation, et le zinc, qui est d'un fort volume quoique présentant peu de surface, est entouré de sable; en sorte qu'une moitié de l'élément est occupée par le zinc et le sable, l'autre moitié par le charbon et le pulvérin. Un trou pratiqué à la partie inférieure du vase, et recouvert par une soucoupe renversée, permet aux liquides en excès de s'écouler après avoir filtré à travers le sable. De cette manière il se produit un courant continu et incessant, et après avoir traversé deux éléments au moins, le liquide vient remplir un flacon placé en bas.

Le liquide employé est composé de : eau, 1500 grammes; bichromate de potasse, 100 grammes; acide sulfurique (à 66°), 200 grammes.

M. Du Moncel a constaté que, dans ces conditions, l'élément de la pile Chutaux ne coûtait pas plus que l'élément Daniell, tout en ayant une force électro-motrice à peu près double, une résistance moitié moindre; qu'elle demeure dans un état satisfaisant de saturation et de propreté, sans qu'on soit obligé de s'en occuper, le liquide emmagasiné dans les flacons pouvant alimenter la pile pendant un mois.

M. Dulaurier a construit des piles dans lesquelles le bi-chromate de potasse est toujours le liquide dépolarisateur, qui se distinguent des précédentes par une réduction de la surface du zinc et un accroissement considérable des surfaces de la lame polaire électro-négative qui ne joue qu'un rôle passif. Il résulterait de ses expériences, qu'une grande surface de zinc, en usant plus vite le liquide excitateur, fournirait, en somme, un travail mécanique utilisé beaucoup moindre qu'une petite surface. Ainsi une lame de 9 millimètres de diamètre fournissait avec une dépense de zinc de 115 grammes un dépôt de cuivre de 101 grammes dans l'espace de quarante-huit heures; elle ne produirait, avec une surface dix fois plus grande, qu'un dépôt de 5 grammes en une heure, et au bout de ce temps le liquide serait complétement épuisé et incapable de fournir une nouvelle action.

Piles à faible intensité. — Pile de Daniell. Cette pile, la plus employée de toutes (fig. 3), est formée par un vase imperméable renfermant le zinc et l'eau acidulée; au centre un vase poreux contient une lame de cuivre plongée dans une dissolution de sulfate de cuivre. Des cristaux de sulfate de cuivre sont disposés à la partie supérieure de ce dernier.



Fig. 3.

On peut varier les dispositions de cette pile, dont on a donné divers exemples à GALVANOPLASTIE; il est ordinairement préférable, quand la pile doit fonctionner plusieurs semaines de suite, de remplir de cristaux de sulfate de cuivre, dans une solution du même sel, un ballon de verre, qu'on renverse dans le vase poreux : on les maintient en introduisant, dans le col du ballon, un bouchon percé d'un trou suffisant pour laisser facilement arriver le liquide; à mesure que celui-ci se sature, il descend au fond du vase et est sans cesse remplacé dans le ballon par des parties moins concentrées ; l'hydrogène, dégagé par l'oxydation du zinc, réduisant la dissolution de sulfate de cuivre, la densité du liquide diminue.

Si la pile doit rester très-longtemps montée, on trouve avantage à faire tomber, goutte à goutte, de l'eau acidulée dans le vase V, et à enlever, au moyen d'un syphon, le liquide saturé de sel qui est au fond de ce vase.

Pour former une pile avec plusieurs couples de Daniell, on réunit les éléments successivement (fig. 4),

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en joignant les rubans métalliques dont leurs pôles sont garnis, après s'être assuré que les surfaces de contact

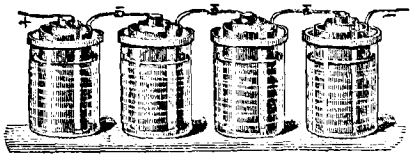


Fig. 4.

sont bien nettes, et en les maintenant avec des vis de pression.

Lorsqu'on a bien pris toutes les précautions convenables, une pile semblable peut fonctionner pendant plusieurs semaines et n'offrir que des variations insignifiantes dans l'intensité du courant.

Couples sans vases poreux. Le vase poreux qui sépare l'élément négatif de l'élément positif est une cause de résistance; les pores s'obstruent par le dépôt de cristaux et même de métal réduit; sa résistance à la conductibilité augmente en quelque sorte proportionnellement à la durée du couple. On a par suite cherché à le supprimer dans les couples que nous allons décrire.

Pile Callaud. Ce couple se compose d'un seul vase; le zinc cylindrique est accroché sur ses bords de manière à ne plonger qu'au tiers de la hauteur du liquide, une spirale en cuivre reposant sur le fond du vase constitue l'élément positif. Pour charger le couple, on commence par verser dans le vase de l'eau acidulée par l'acide sulfurique; puis à l'aide d'un entonnoir très-allongé, on verse au fond une solution concentrée de sulfate de cuivre, qui, en raison de sa densité, vient soulever l'eau et se place autour du cuivre. Préalablement on a placé au fond du vase des cristaux de sulfate de cuivre, pour maintenir à l'état de saturation le liquide dépolarisateur.

La suppression du vase poreux diminuant la résistance, l'intensité de ce couple est plus grande que celle du précédent et très-constante. Son défaut est de ne pouvoir être remué, car alors les liquides se mélangent.

Pile Minotto. M. Minotto a remédié à cet inconvénient en recouvrant le sulfate de cuivre (pulvérisé), et l'élément cuivre, de sable fin sur lequel se place le zinc. L'eau en s'infiltrant dans le sable dissout le sulfate de cuivre, le sable jouant le rôle de vase poreux.

Couples à éléments dépolarisateurs solides. Une matière solide avide d'hydrogène peut remplacer le liquide avec avantage au point de vue de l'entretien du couple. Mais la substance terreuse qu'il est possible d'employer, oxyde ou chlorure, conduit encore plus mal l'électricité que l'acide nitrique et la dissolution de sulfate de cuivre. La résistance du couple se trouve donc plus grande, ce qui n'offre pas d'inconvénient pour les longues lignes télégraphiques; c'est en effet pour cet emploi que les piles dont nous parlons ont réussi.

Pile à sulfate de mercure. Nous avons décrit cette pile à l'article PILE du *Complément*, nous n'y reviendrons pas; nous dirons seulement que l'intensité du couple à sulfate de mercure est intermédiaire entre celle du couple à sulfate de cuivre et celle du couple à acide nitrique.

Pile à sels ammoniacaux. Cette pile a été essayée dans le service télégraphique; voici ce qu'en dit une Commission : Les couples dans lesquels le charbon est entouré d'un mélange de peroxyde de manganèse et de graphite, et qui contiennent une dissolution de sel ammoniac, peuvent être appliqués au service télégraphique. On les établit aisément et ils ont une assez longue durée. Ils offrent toutefois une période de décroissance rapide dans leur force électro-motrice, après laquelle cette décroissance est lente mais continue. Quand la résistance de la ligne est faible, la période de décroissance est telle que le courant devient trop peu intense...

Emploi des piles. Nous indiquerons ici quelques observations relatives à l'emploi des piles en raison des diverses applications qu'on en fait dans l'industrie.

Du zinc amalgamé. Le zinc du commerce est vivement attaqué par l'eau acidulée, tandis que le zinc distillé l'est très-faiblement. On a démontré que cet effet était dû à des parcelles de fer mélangées au zinc, qui forment dans la liqueur autant de petits couples. En examinant de près la surface du zinc, on remarque des points d'où partent des bulles d'hydrogène; ces points correspondent aux parcelles de fer. Comme elles ne sont pas dissoutes par l'acide, la surface devient inégale et rugueuse au bout d'un certain temps. Cette action locale trouble la distribution de l'électricité qui doit produire le courant principal, de sorte que celui-ci en est affaibli. Aussi remarque-t-on que le zinc distillé, quand le circuit est fermé, donne un courant bien plus intense que le zinc du commerce. De plus ce dernier s'use beaucoup plus vite, et se dissout même quand le circuit est ouvert.

On communique au zinc ordinaire les propriétés du zinc pur, en amalgamant sa surface avec du mercure. Pour faire cette opération on frotte le zinc avec un tampon imbibé d'eau acidulée avec l'acide sulfurique pour le décaper, puis on étend du mercure sur sa surface. On parvient ainsi à la recouvrir d'une couche d'amalgame homogène, dont tous les points sont également oxydables, ce qui fait qu'elle n'est pas attaquée quand le circuit est ouvert, et qu'il s'en dégage beaucoup d'électricité quand le circuit est fermé, dix fois autant, peut-être, que quand on n'a pas pris ce soin.

Des intensités du courant. — Du groupement des couples. Si on représente par I l'intensité d'un courant, par E la force électro-motrice, par R la résistance du conducteur, on est arrivé par assimilation avec la propagation de la chaleur, et on a vérifié expérimentalement la loi de Ohm représentée par la relation $I = \frac{E}{R}$.

L'intensité d'un courant qui circule dans un fil conjonctif homogène de longueur L, r étant la résistance de la pile estimée en longueur de fil, sera donc

$$I = \frac{E}{L + r}.$$

Si on réunit plusieurs couples par les pôles de même nom, ils se comportent comme le ferait un couple unique de surface équivalente à la somme des surfaces des éléments des couples; l'intensité ne variera pas sensiblement, mais la quantité d'électricité croîtra proportionnellement au nombre des couples. Aussi dit-on de ce mode de réunion des pôles que la pile est montée en *quantité*.

Si les pôles de nom contraire sont successivement réunis, la pile est alors montée *en tension*, l'intensité du courant s'accroît. S'il y a n couples, la force électromotrice du système sera nE, et la somme des résistances intérieures égale à nR, l'intensité sera donc

$$I = \frac{nE}{L + nR}.$$

L'augmentation est d'autant plus sensible que L est plus grand par rapport à R ou plutôt $\frac{L}{n}$ (en divisant les deux termes par n. C'est le cas des applications à la télégraphie pour les longues lignes. Pour $L = 0$, il n'y aurait nul accroissement d'intensité.

L'intensité est petite quand L est très-grand, à moins qu'on ne fasse aussi n très-grand, ce qui est nécessaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour l'arc voltaïque, l'électrolyse des corps mauvais conducteurs, etc.

Pile secondaire. M. Planté a construit une pile qui joue, pour les piles, le même rôle que la bouteille de Leyde pour les machines électriques à frottement. Voici en quoi elle consiste:

Dans un vase de verre, ou de gutta-percha, ou de caoutchouc durci, on place deux lames de plomb, enroulées en spirale parallèlement l'une à l'autre, mais maintenues à une petite distance uniforme par deux cordes de caoutchouc enroulées en même temps; ces deux lames baignent dans de l'eau aiguisée d'un dixième d'acide sulfurique. Le vase est fermé par un bouchon cacheté, et percé d'un petit trou, qui sert à mettre ou à ôter le liquide et qui donne passage aux gaz pendant la charge de la pile. L'appareil est couronné par un couvercle de caoutchouc durci sur lequel sont placées deux attaches qui communiquent aux deux électrodes et deux pinces qui sont commodes pour tenir les fils métalliques qu'on peut rougir et fondre avec le courant secondaire.

Le vase étant rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique, on fait passer le courant d'une pile. L'eau est décomposée; il se dépose de l'hydrogène sur les plaques négatives et l'oxygène oxyde les lames positives. Si la pile active est supprimée, la pile secondaire permet d'obtenir un courant puissant. Quelle est la cause de ce courant, dit *secondaire?* C'est la recombinaison qui s'effectue entre l'hydrogène et l'oxyde de plomb, action chimique très-énergique, et par suite source intense d'électricité. Cet effet est momentané, mais on peut le reproduire presque indéfiniment avec le même appareil. Avec 2 couples Bunsen et une batterie secondaire de dimensions assez faibles, on brûle facilement, dit M. Saint-Edme, une aiguille d'acier de 12 centimètres de longueur et de 1 millimètre de diamètre, on fond un fil de platine de 10 centimètres.

APPAREILS THERMO-ÉLECTRIQUES. Ces appareils qui, entre les mains de Nobili et de Melloni, étaient devenus des instruments d'une admirable sensibilité pour apprécier les variations de température les plus minimes, deviennent, grâce aux recherches d'ingénieux inventeurs, propres à la production industrielle de l'électricité. Nous avons consacré à cette question un article spécial (Voy. THERMO-ÉLECTRICITÉ), nous n'avons donc pas à la traiter ici.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES. Les machines magnéto-électriques sont les systèmes qui ont permis, grâce à l'intervention des aimants, de convertir du travail mécanique en courant électrique, et par suite d'obtenir industriellement des éclairages électriques, des courants télégraphiques, des dépôts galvanoplastiques à l'aide de la machine à vapeur, sans avoir recours à la pile, dont l'emploi est coûteux et sujet à bien des inconvénients. C'est un des cas les plus intéressants de l'application du grand principe de l'identité des forces physiques; c'est à ce point de vue que nous les avons étudiées dans l'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE de l'ÉLECTRICITÉ du *Complément*, dans lequel nous avons traité également la question inverse, celle de la production du travail mécanique à l'aide des courants électriques.

Le principe des machines magnéto-électriques procède directement de la théorie formulée par Ampère, de l'assimilation à un aimant d'un solénoïde, d'un fil métallique contourné en hélice, fondée sur la découverte d'Œrsted de l'action d'un courant électrique sur l'aiguille aimantée. Si donc, dans l'intérieur d'une bobine creuse, entourée d'un fil de cuivre dont les spirales sont convenablement isolées, on introduit un barreau aimanté, on obtient immédiatement un courant aux extrémités du fil; c'est un courant induit magnéto-électrique. Laisse-t-on l'aimant dans la bobine, tout courant cesse, mais dès qu'on la retire un second courant électrique apparaît, en sens inverse du premier. Il en serait de même si le fil métallique était parcouru à intervalles alternatifs par le courant électrique fourni par une pile et le barreau en fer doux.

On réalisera donc un générateur magnéto-électrique en aimantant alternativement un noyau en fer doux placé à l'intérieur d'une bobine recouverte de fils métalliques; les dispositions à employer peuvent beaucoup varier.

La première machine électro-magnétique fut construite en 1832 par Pixii, constructeur français et, avec juste raison, fort admirée. Il faisait tourner au-dessous d'un électro-aimant un fort aimant permanent en fer à cheval, dont les pôles en s'approchant, puis en s'éloignant de ceux de l'électro-aimant, remplissaient le rôle d'un barreau aimanté qu'on aurait enfoncé dans l'hélice induite, puis qu'on en aurait retiré; un commutateur, gouverné par l'axe de rotation de l'aimant, permettait en outre d'alterner la transmission des courants, de manière à les avoir toujours de même sens.

Dans la plupart des machines construites depuis, on a rendu fixe l'aimant permanent, généralement assez lourd, et on a fait mouvoir les bobines.

Nous avons donné à l'article déjà cité du *Complément* la description de la puissante machine de Nollet, appliquée avec succès à l'éclairage électrique (fig. 5), ainsi

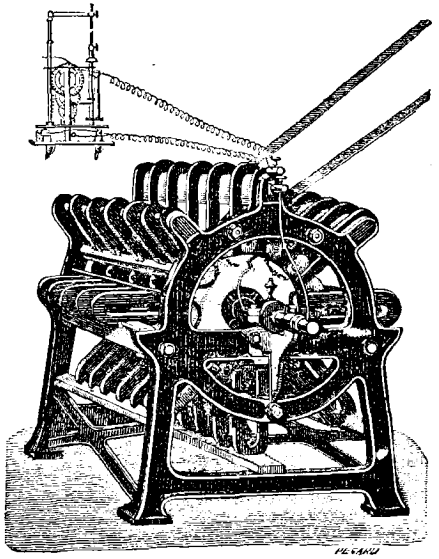


Fig. 5.

que celle des machines de Wilde et de Ladd fonctionnant exclusivement avec des électro-aimants.

On a vu, à l'article ÉCLAIRAGE, le bas prix auquel revient, avec cette machine, l'unité de lumière.

Ce bon marché de la lumière produite par les machines magnéto-électriques a dû faire penser à les utiliser pour les emplois chimiques de l'électricité aussi bien que pour les emplois physiques, c'est-à-dire pour la dorure et la galvanoplastie. On l'a tenté en effet avec succès, surtout depuis que M. Gramme a inventé sa machine qui fournit toujours un courant de même sens, ce qui la rend tout particulièrement convenable pour cette application.

Pour bien comprendre la machine Gramme, dit M. Niaudet-Bréguet qui a coopéré aux premiers essais,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il faut se reporter au phénomène fondamental de l'induction.

Considérons, dit-il, un barreau aimanté AB d'un mètre de long, et une spire de fil conducteur en mouvement réciproque; si on approche la spire du barreau, il s'y développe un courant d'induction qu'il faut examiner en détail. Si on fait entrer le barreau dans la spire par une série de mouvements successifs d'égale étendue (5 centimètres par exemple), on observe qu'à chacun de ces mouvements correspond un courant d'induction et que ces courants sont de même sens jusqu'au moment où la spire arrive en face de la ligne neutre, et qu'ils deviennent de sens opposé si le mouvement continue dans le même sens au delà de la partie neutre ou point milieu.

Ainsi, dans un parcours entier de la spire sur l'aimant, on distingue deux périodes tranchées; dans la première partie du mouvement, les courants sont de sens direct; dans la seconde, ils sont de sens inverse.

Tel est le point de départ du fonctionnement de la machine Gramme, étant observé que l'électro-aimant, devenu continu, est disposé pour tourner transversalement entre les pôles d'un aimant. Il est formé par une bague ou anneau de fer doux sur lequel est enroulé un fil conducteur; on peut le concevoir comme formé par un électro-aimant droit ordinaire recourbé en cercle, le bout d'entrée et le bout de sortie du fil étant soudés pour établir la continuité du conducteur isolé. Cet organe peut recevoir le nom d'*électro-aimant sans fin*.

Étudions maintenant comment le courant se produit dans le fil de l'électro-aimant sans fin. Ce fil est disposé en sections ou éléments, composés chacun de cent spires, par exemple; le bout de la dernière spire d'un des éléments en question est le commencement de la première spire de l'élément suivant; l'ensemble du fil est donc divisé en 40 sections (par exemple) toutes égales entre elles et formant un tout continu.

Cela posé, examinons expérimentalement la production du courant dans une des sections ou éléments et pour cela attachons ses deux bouts à deux fils venant d'un galvanomètre. On part de la ligne des points neutres perpendiculaire à la ligne des pôles, et l'on fait faire à l'élément considéré une série de mouvements successifs de 10 degrés, après chacun desquels on donne le temps à l'aiguille du galvanomètre de reprendre sa position de repos. On voit que pendant tout le temps que ledit élément reste au-dessus de la ligne des points neutres, les courants qui s'y produisent sont d'un même sens, que nous appellerons positif; et que, quand ensuite le même élément est au-dessous, les courants sont de sens négatif, c'est-à-dire opposé à celui de la première moitié du cercle.

Cette expérience permet aussi de constater que le renversement du sens du mouvement amène le renversement du sens du courant.

Il est facile maintenant de s'élever, de la connaissance du phénomène produit dans un des éléments, à celle du phénomène général produit dans l'ensemble de la machine. Tous les éléments qui sont au-dessus du plan de partage sont à la fois le siége de courants tous de sens positif. De plus, par la construction de la machine, il s'ajoutent en tension. Ils peuvent être inégaux entre eux; mais pour une vitesse déterminée du mouvement, leur somme est évidemment toujours la même, car à mesure qu'une spire passe du dessus au dessous du plan de partage, elle est remplacée par une autre. D'autre part les éléments qui sont au-dessous du plan de partage sont le siége de courants négatifs dont la somme est constante et égale à celle des courants de la partie supérieure. Ainsi, la machine réduite aux organes que nous avons décrits jusqu'ici présente deux séries d'éléments produisant des courants égaux et de sens contraire ou, en d'autres termes, deux courants en opposition, qui, par conséquent, ne circulent ni l'un ni l'autre. On ne saurait mieux comparer ce système qu'à celui formé par deux piles Daniell de 20 éléments chacune, mises en opposition par leurs pôles de même nom.

Enfin se présente le mode employé pour recueillir les courants, mode qui est indiqué par la comparaison même que nous venons de faire. Pour recueillir les courants des deux piles en opposition, il suffit, comme on sait, de mettre les deux bouts d'un circuit en contact avec les points de réunion des pôles semblables; aussitôt, les deux courants qui se faisaient équilibre l'un à l'autre et s'arrêtaient l'un l'autre se mettent à circuler ensemble dans le circuit; les piles étaient en opposition, elles sont maintenant montées en quantité. C'est le même moyen qui est employé ici (fig. 6).

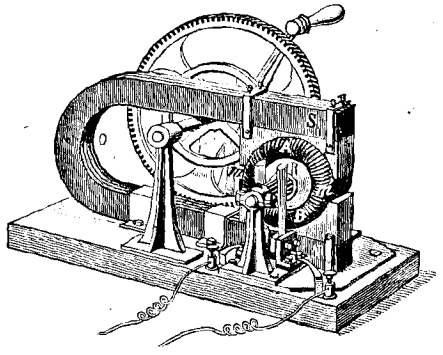


Fig. 6.

Les diverses sections de l'électro-aimant sans fin, les extrémités des diverses spires, sont reliées à des pièces métalliques rayonnantes, de cuivre rouge, toutes isolées les unes des autres quoique très-voisines. Le bout terminant une section et le bout commençant la suivante sont attachés à un de ces rayons, qui sont, par conséquent, en même nombre que les sections. Ces pièces R ont la forme de rayons; mais, arrivées près du centre, on les a recourbées à angle droit, et, se continuant parallèlement à l'axe, elles viennent se présenter, toujours isolées les unes des autres, en un cylindre concentrique avec l'anneau.

Des balais formés de tiges en cuivre rouge appuient sur les pièces R en deux points qui sont précisément sur la ligne des points neutres, c'est-à-dire dans l'endroit où les courants égaux et de sens contraire, produits dans les deux moitiés inférieure et supérieure à l'anneau, viennent s'opposer. Par suite, les deux courants se mettent à circuler ensemble dans le circuit extérieur qu'on fait aboutir aux frotteurs.

Cette machine donne des courants continus; la continuité résulte de ce que, d'une part, la production du courant est continue comme le mouvement, et de ce que, d'autre part, les frotteurs appuient à la fois sur plusieurs des pièces R, d'où il résulte que le circuit n'est jamais rompu.

Nous dirons quelques mots des expériences qui ont décidé la préférence accordée à la machine Gramme pour son application à la galvanoplastie.

Une machine de Wilde, semblable à celles employées en Angleterre dans les ateliers de galvanoplastie, animée d'une vitesse de 2400 tours par minute, ne déposait par heure que 170 grammes d'argent, tandis qu'une machine de Gramme, de dimension plus petite et ne faisant que 300 tours, a pu déposer 200 grammes, et l'élévation de température de l'anneau ne dépassait pas 50 degrés, au lieu de devenir tout à fait nuisible comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans la première. Avec une vitesse de 275 tours, on ne constatait aucune élévation de température.

Les circuits, chez Christofle, sont disposés pour que le dépôt d'argent soit de 600 grammes par heure. Ces dépôts se produisent, avec la machine Gramme, avec une régularité et une constance parfaites.

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES. L'accroissement de puissance obtenu dans les machines magnéto-électriques, en multipliant des aimants et en augmentant leur puissance, est nécessairement assez limité par la difficulté d'obtenir les aimants permanents très énergiques. Il n'en est plus de même si l'on renonce aux aimants et si on les remplace par des électro-aimants dont la puissance est pour ainsi dire illimitée. C'est ainsi que M. Wilde a pu, avec quatre petits aimants pesant chacun une livre et pouvant porter ensemble un poids de 20 kilos, obtenir un électro-aimant qui portait 500 kilogrammes ; c'est cette expérience qui l'a conduit à construire une petite machine montée sur une plus grande fonctionnant en même temps que celle-ci, la première n'ayant d'autres fonctions que de mettre en action l'électro-aimant de la grande machine.

Les machines de Wilde et de Ladd qui ont été décrites à l'article EQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ (*Complément*), qui avaient excité un très grand intérêt à l'Exposition de 1867, à cause de l'intensité du foyer lumineux produit par des machines de petite dimension, ont toutefois un défaut, c'est qu'elles doivent, pour produire tout leur effet, marcher à de très grandes vitesses; aussi les axes s'échauffent-ils bientôt, et il est impossible de prolonger le service pendant un grand nombre d'heures, de le rendre pour ainsi dire continu, comme cela est nécessaire dans la plupart des applications importantes.

C'est pour remédier à cet inconvénient, sans perdre les avantages de ces dispositions, que l'on a varié les modes de construction des machines dynamo-électriques. Nous décrirons ici les deux types de constructions qui ont donné les résultats les plus remarquables dans la production de la lumière électrique.

Machine Gramme. Cette machine puissante, a un bâti en fonte suffisamment fort, ce qui permet de fonctionner à très grande vitesse, condition de maximum de production. Telle est la machine représentée fig. 7.

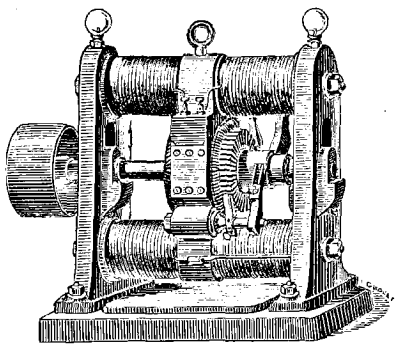


Fig. 7.

Le système électro-magnétique est constitué par un double système d'électro-aimants dont les branches sont opposées l'une à l'autre par les pôles de même nom. Il en résulte, au milieu du système, deux pôles conséquents d'une très grande énergie, et c'est entre ces pôles, qui sont prolongés et contournés circulairement de manière à l'emboîter, que se trouve adaptée la bobine annulaire dont l'axe de rotation porte le collecteur des courants.

ÉLECTRICITÉ.

Dans les premières machines de Gramme, on employait deux anneaux, dont l'un était réservé à l'aimantation du système électro-magnétique. Mais bientôt on supprima cet anneau, et l'on fit passer le courant induit tout entier à travers le système fixe, des extrémités duquel partent les fils du circuit, ce qui augmenta considérablement les effets.

A une vitesse de 850 tours par minute, en consommant un travail de 2 1/2 chevaux-vapeur, cette machine a fourni une lumière de 270 becs carcel. Elle pèse 175 kilogrammes et n'a que 65 centimètres de longueur, 41 de largeur et 50 de hauteur.

Machine Siemens. La machine de MM. Siemens et Hafner-Alteneck que nous représentons fig. 8 a fourni

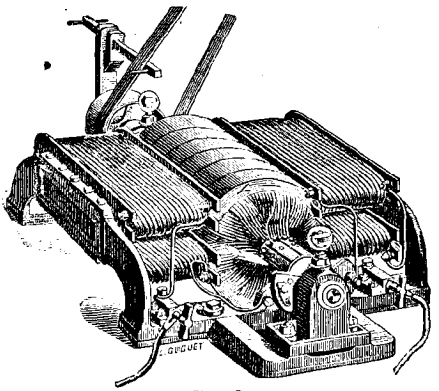


Fig. 8.

d'excellents résultats ponr la production de la lumière. La bobine cylindrique destinée à recevoir l'induction est de grand diamètre et se trouve essentiellement constituée par un cylindre tournant de cuivre, sur lequel sont enroulées, parallèlement à ses génératrices ou à son axe, un certain nombre d'hélices (quatre) juxtaposées et disposées comme les hélices d'un galvanomètre. Ces hélices sont réunies en tension, mais des lames métalliques réunissent leur fil de liaison à une série de plaques disposées autour d'un manchon en matière isolante, fixé sur l'axe de rotation du cylindre, et sur lequel appuient, comme dans la machine Gramme, deux frotteurs à fils métalliques qui transmettent les courants fournis par la machine. Ce cylindre est enveloppé par les pôles épanouis d'un système dynamo-électrique, formé de longues bobines Siemens, à travers lequel passe le courant induit tout entier, et ces pôles hémi-circulaires sont fendus d'un certain nombre de rainures pour faciliter les désaimantations. Les branches des électro-aimants sont d'ailleurs constituées par des lames de fer, plus larges que longues, réunies deux à deux par les pièces de fer qui servent de bâti à l'appareil et qui en forment les culasses.

Enfin, à l'intérieur du cylindre de cuivre, se trouve placée, en face des pôles magnétiques de l'inducteur, une carcasse de fer terminée par des lames arquées du même métal, qui, en constituant en quelque sorte les armatures du système électro-magnétique inducteur, en surexcitent considérablement la puissance.

Dans ces conditions, les courants induits sont dus au mouvement des hélices galvanométriques devant l'inducteur, et les deux pôles de celui-ci agissent simultanément sur chaque hélice, et comme cette double action s'effectue sur les parties opposées de ces hélices dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lesquelles le courant a forcément une direction contraire par rapport à l'axe de figure, les deux effets conspirent dans le même sens. C'est au milieu de l'espace interpolaire que sont appliqués les deux frotteurs du collecteur.

ACTIONS ÉLECTRIQUES. Les effets de l'électricité sont ceux qui se rapportent à la conversion de cette puissance naturelle en une autre puissance, d'après la grande loi de la corrélation des forces physiques. Nous devons donc établir les catégories ci-après :

Les effets physiques, la conversion en chaleur ou en lumière, étudiée ailleurs. Nous ferons seulement remarquer que la condition essentielle d'une grande intensité dans ces effets est que la résistance intérieure des appareils électriques soit considérable, pour que la recomposition des fluides n'ait pas lieu par l'intérieur des appareils plutôt que par l'extrémité des conducteurs.

Les effets mécaniques, les mouvements de masses, qui, quand il s'agit de construire des machines motrices puissantes, qui ne sauraient probablement être économiques, mais qui, à cause de leur transmissibilité instantanée à des distances quelconques, ont donné lieu à la découverte la plus merveilleuse du dix-neuvième siècle, à la télégraphie électrique.

La machine Gramme a fourni, à cause de la continuité des courants qui en sortent, une intéressante solution de la conversion d'électricité en travail ; autrement dit, une première machine Gramme convertissant un travail mécanique en courant électrique, ce même courant, reçu par les fils d'une seconde machine Gramme semblable à la première, viendra produire un effet inverse du premier, déterminer un mouvement de rotation de l'axe ; et, d'après les expériences faites, le rendement du travail mécanique se rapproche de 50 pour 100, ce qui paraît voisin de la limite théoriquement possible, et répond au point où la machine électro-motrice est animée d'une vitesse égale à la moitié de la vitesse de la machine électrique mécaniquement actionnée. Ces premiers résultats, obtenus déjà dans des applications de quelque importance, se rapportent à l'importante question de la TRANSMISSION DU TRAVAIL (Voy. *Complément*).

Les effets mécaniques moléculaires, ou actions chimiques qui sont du même ordre, qui sont inverses de celles qui produisent l'électricité dans les piles.

Les effets chimiques produisent la décomposition des sels et oxydes. Dans la décomposition des oxydes, l'oxygène se porte au pôle positif et le métal au pôle négatif ; la décomposition des sels se fait d'après les règles qui suivent :

1° Quand l'acide et la base sont difficilement décomposables, ces deux éléments sont simplement séparés ; l'acide se rend au pôle positif, et la base au pôle négatif ;

2° Quand l'acide est facilement décomposable, son oxygène vient au pôle positif, tandis que son radical se rend avec l'oxyde au pôle négatif ;

3° Quand l'oxyde est facilement décomposable, il est lui-même réduit ; le métal qu'il renferme vient au pôle négatif, tandis que l'oxygène vient au pôle positif, où il se combine avec l'acide, quand celui-ci est capable de se suroxyder ;

4° Si l'acide et l'oxyde peuvent l'un et l'autre perdre aisément leur oxygène, la décomposition est complète : tout l'oxygène vient au pôle positif, et le métal de l'oxyde se rend au pôle négatif avec le radical de l'oxyde.

C'est la troisième de ces lois qui sert de base aux procédés de DORURE et de GALVANOPLASTIE.

ÉLECTROTYPIE. Voyez GALVANOPLASTIE.

ÉLÉMI. C'est une résine qui exsude d'incisions faites, durant un temps sec, à travers l'écorce de l'*amyris elemisera*, arbre qui croît dans l'Amérique du Sud et au Brésil. Elle nous arrive en morceaux jaunes, tendres et transparents, qui se ramollissent aisément par la chaleur de la main. Ils ont une forte odeur aromatique, un goût chaud épicé, et contiennent 12 1/2 pour 100 d'huile éthérée. La résine cristalline de l'élémi a été appelée *élémine* ; elle est employée pour donner de la dureté aux vernis.

ÉMAIL (*angl.* enamel, *all.* schmelzglas, email.) On désigne sous ce nom une substance vitreuse opaque et colorée, dans laquelle on fait entrer diverses substances métalliques, telles que de l'oxyde d'étain, du phosphate de chaux, du borax, etc.

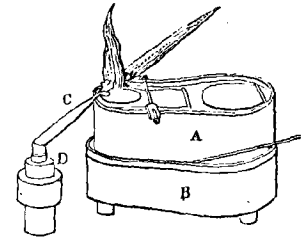
Le plus simple des émaux, celui qui sert de base à la préparation de tous les autres, s'obtient de la manière suivante :

On fait un alliage de 15 à 50 (ordinairement 25) parties d'étain, et de 100 p. de plomb, et l'on chauffe au rouge au contact de l'air ; le bain métallique s'oxyde rapidement et se couvre d'une poudre jaunâtre que l'on retire à mesure, et qui, pulvérisée et soumise à la lévigation, donne une poussière très ténue qui porte le nom de *calcine*. On mêle 200 p. de cette calcine avec 100 p. de sable siliceux et 80 p. de carbonate de potasse, et on expose le mélange à une température suffisante seulement pour lui faire éprouver un commencement de fusion. La *fritte* ainsi obtenue entre dans la constitution de tous les émaux.

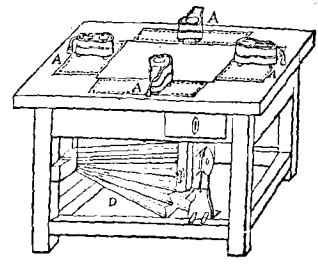
Émail blanc. Afin d'éviter toute coloration accidentelle, lorsqu'on veut préparer l'émail blanc, on mêle la fritte en poudre avec une quantité convenable de peroxyde de manganèse, que l'on a déterminée d'avance par quelques essais faits en petit ; on introduit le mélange dans un feu vif et à l'abri de la fumée. Quand il est fondu, on le coule dans l'eau et on le pulvérise.

Pour les émaux de couleur nous renverrons à l'article ÉMAILLAGE (*Complément*).

Lampe d'émailleur. Beaucoup de petits objets d'émail et de verre, tels que les yeux d'émail, etc., se font très facilement et très promptement à la flamme d'une lampe dite lampe d'émailleur, qui n'est autre chose qu'un bec de chalumeau alimenté par un soufflet, dont le vent, dirigé sur une lampe à huile ayant une très grosse mèche, produit un dard de flamme, dont la chaleur est très intense. Cette lampe est représentée en perspective



762.



763.

(fig. 763), avec la table qui la supporte, et seule, sur une échelle plus grande (fig. 762). Le chalumeau C

EFERUS - Recherche & Classification numérique

glisse à frottement dans le tube D qui amène l'air du soufflet, et peut ainsi être élevé ou abaissé à volonté ; la lampe A est placée dans une cuvette B destinée à recevoir l'huile qui pourrait s'échapper par dessus ses bords et à l'empêcher de se répandre sur la table. L'ouvrier place ordinairement au-devant de la table un petit écran pour que la lumière de la lampe ne lui fatigue pas les yeux.

Il nous est impossible d'entrer ici dans les détails de l'art de l'émailleur à la lampe, art où tout dépend du goût de l'ouvrier et de son habileté à manier le verre et l'émail ramollis par l'action de la chaleur. La plupart des instruments et appareils de physique et de chimie, les thermomètres, les baromètres, les aréomètres, etc., se font à la lampe d'émailleur avec des tubes de verre, et nul ne peut se livrer à l'étude de ces deux sciences, s'il ne possède, du moins à un certain degré, l'art de souffler le verre. Nous traiterons à l'article SOUFFLER LE VERRE des principes fondamentaux de cet art. Voy. ÉMAILLAGE, *Complément.*

EMBAUMEMENT. Le procédé d'embaumement le plus généralement suivi, consiste dans l'injection, par la veine carotide, d'une dissolution concentrée de sulfate d'alumine (procédé Gannal); nous en avons déjà parlé à l'article CONSERVATION DES SUBSTANCES ANIMALES ET VÉGÉTALES, ce qui nous dispense d'y revenir ici. Nous ajouterons seulement que l'on a aussi employé avec succès l'immersion dans le chlorure de zinc.

ÉMERAUDE (*angl.* emerald, *all.* smaragd). Pierre précieuse très estimée, composée de silice, d'alumine et de glucine qui cristallise en prismes réguliers à 6 faces, et se divise en deux variétés principales :

1° *Émeraude verte.* Pierre d'un beau vert dont la dureté = 8, et la densité = 2,73 à 2,77, et qui tient le premier rang après le diamant, le rubis et le saphir. Elle est colorée en vert par une faible quantité d'oxyde de chrôme. La plus belle vient du Pérou, où elle se trouve dans les terrains primitifs. Les émeraudes sans défauts et d'une belle eau valent, lorsqu'elles pèsent 1 carat, 100 à 150 fr. — 2 carats, 300 fr. — 4 carats, 1,700 à 2,000 fr. — et 6 carats, 3,000 fr.

2° *Aigue-marine* ou *béril.* Dureté = 7,5, densité = 2,67 à 2,71 ; incolore ou faiblement colorée, ordinairement en bleu de ciel pâle ou en vert-d'eau. On trouve principalement cette pierre au Brésil et en Sibérie ; elle est beaucoup moins rare que la variété précédente et moins estimée. Une aigue-marine taillée de 1 carat, coûte de 10 à 15 fr., et le prix croît à peu près proportionnellement au poids.

On trouve enfin des émeraudes opaques, telles que celles des environs de Limoges, qui n'ont pas d'emploi. Voy. ÉMERAUDE (VERT), *Complément.*

ÉMERI (*angl.* emery, *all.* schmirgel). Ce minéral, principalement composé d'alumine, est très répandu dans l'île de Naxos, au cap Émeri, d'où l'on en tire des quantités considérables ; on le trouve aussi dans les îles de Guernesey et de Jersey, en Perse, en Saxe, en Suède, etc.

Sa couleur varie du rouge-brun au brun foncé. Il se présente, en masses informes, mêlé avec d'autres minéraux ; sa cassure offre un grain très serré ; sa densité est de 4 environ ; il possède une grande dureté, analogue à celle du corindon, dont il se rapproche par sa composition.

On se sert de l'émeri pour user, aplanir, disposer au poli divers corps durs, tels que les verres d'optique, les glaces, les cristaux, le fer, l'acier, les marbres, etc. On vend aussi sous le nom d'émeri des sables de grenat et de zircon, que l'on trouve assez abondamment dans un assez grand nombre de localités, et qui sont plus durs que les sables quarzeux.

ÉMÉTIQUE, TARTRE STIBIÉ. C'est un tartrate double d'antimoine et de potasse soluble dans l'eau, que l'on prépare le plus souvent en faisant bouillir du verre d'antimoine ou du sulfure grillé, avec son poids de crème de tartre, et 10 à 12 parties d'eau ; évaporant jusqu'à pellicule, laissant l'émétique se déposer par le refroidissement, et purifiant par plusieurs cristallisations successives. L'émétique est très employée en médecine comme purgatif et vomitif.

EMPOIS. Voyez AMIDON.

EMPORTE-PIÈCE. Voyez DÉCOUPOIR.

ENCAUSTIQUE. Sous ce nom sont comprises deux choses bien différentes : la peinture à la cire, dite encaustique, et le cirage à la cire, dit aussi encaustique. C'est de ce dernier que nous voulons nous occuper ici plus spécialement ; mais nous dirons d'abord quelques mots sur la peinture à la cire.

Peinture encaustique. M. le comte de Caylus, dans un mémoire qu'il lut à l'Académie des belles-lettres en 1755, mémoire qui fut imprimé à Genève dans la même année, et M. de Montabert, dans son excellent *Traité sur tous les genres de peinture* (chez Bossange, Paris, 1829), se sont efforcés de réhabiliter la peinture à la cire, dite encaustique, en ont exalté les avantages et la grande solidité, si on la compare avec la peinture à l'huile ; ils nous ont raconté tout ce que la tradition a transmis sur l'état de cet art chez les anciens, et ont fait ressortir tous les efforts tentés par les modernes pour le faire revivre parmi nous.

D'un autre côté, M. Durozier, pharmacien à Paris, dans une notice fort intéressante, annonce avoir réalisé avec un plein succès toutes les formules de M. de Montabert. C'est donc à ces ouvrages, de tous points complets, que nous renverrons le lecteur désireux de savoir les moyens de préparer et d'employer les couleurs à la cire, de connaître en un mot les procédés matériels de ce genre de peinture dont les anciens, dit-on, se servaient avec fruit, *parce qu'elle est la plus parfaite de toutes et la plus durable, la cire étant inaltérable à l'air et à la lumière.*

Qu'on nous permette ici quelques réflexions : que la lumière et tous les corps gazeux répandus dans l'air aient moins d'action sur la cire que sur les huiles fixes de lin, de noix ou d'œillette, c'est incontestable ; mais que les peintures faites à la cire, fussent-elles mêmes fixées par le feu, auquel cas seulement elles peuvent s'appeler *encaustiques*, soient parfaitement à l'abri des atteintes de ces agents de destruction, d'oxydation, nous ne le pensons pas ; car nous voyons en deux ans, plus ou moins, les bustes en cire des coiffeurs devenir d'un jaune à faire peur. L'air et la lumière ne sont donc pas sans action sur la cire.

A ces observations d'expérience, si vous ajoutez les difficultés que présentent l'application et le mélange des couleurs broyées à la cire, la confusion qui résulte dans les teintes et les lignes du tableau, alors qu'on y applique le feu pour en finir et faire valoir la peinture, vous vous expliquerez facilement le discrédit et l'abandon dans lesquels on laisse ce genre de peinture, qu'on ne connaît ou plutôt qu'on ne fait que deviner par le peu qu'en rapportent Pline (*Hist. nat.*, lib. XXXV, cap. XI), Macianus (*Tit. de fund. inst.*, L. XVII), et Julius Paulus, lib. VII et seq.

Encaustique, cirage. On donne dans les arts le nom d'encaustique à plusieurs préparations faites avec la cire, dans le but de la rendre plus facile à étendre en couches minces et uniformes à la surface des corps qu'on veut *cirer*, c'est-à-dire rendre luisants, inaccessibles à la poussière et à l'humidité, qu'on veut conserver et tenir propres sans de grands efforts ; car tel est le résultat qu'on se propose en cirant les tables, les lits, les meubles, les parquets, etc.

Beaucoup, en effet, se contentent de cirer les meubles ordinaires, ainsi que les parquets et les carreaux,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parce que la cire acquiert bientôt sous les frottements répétés une transparence et un poli qui imitent ceux du vernis; mais si le cirage résiste aux chocs, s'il peut facilement être réparé, soit par simple frottement, soit par une nouvelle application de cire, le brillant qu'il produit est terne, il ne relève pas, n'exalte pas comme le vernis l'éclat ni la couleur du bois. Le cirage est aussi bien plus tendre que le vernissage. Le dossier ciré d'une chaise tachera votre habit, si vous vous appuyez sur lui assez longtemps pour que la cire se ramollisse; un dossier verni ne produira jamais le même effet. Mais le vernis ne résiste pas aux chocs; il cède au travail du bois, il se fend, se lève en écailles, se raye au moindre frottement d'un corps dur, et ces accidents pour être réparés demandent l'enlèvement du vernis ancien et l'application d'un nouveau. Le cirage comme le vernissage ont donc leurs avantages et leurs inconvénients; mais les uns et les autres sont si connus qu'il devient inutile de nous appesantir sur ce sujet. C'est pourquoi nous allons donner de suite les différentes recettes des préparations de la cire connues sous le nom d'*encaustiques*.

1re recette. — *Encaustique ou pommade de cire à l'essence*. Faites fondre dans une bassine en cuivre bien propre :

500 grammes de cire jaune pure; lorsquelle est bouillante, retirez la bassine du feu et ajoutez-y peu à peu, en mélangeant sans cesse, 1,000 gr. d'essence de térébenthine que vous avez fait tiédir à part. Vous devez continuer d'agiter la masse jusqu'à entier refroidissement.

Remarques. En suivant cette méthode, en fondant la cire à part, en y ajoutant hors et loin du feu l'essence tiède, on évite toute chance de feu. Cette pommade, où la cire se trouve dans un grand état de division par son mélange avec l'essence de térébenthine, s'étend facilement et uniformément à la surface des corps; l'essence pénètre le bois, donne du pied à la cire, et le brillant qui résulte d'un simple frottement avec un chiffon de laine est comparable à celui d'un vernis, et après sa complète évaporation, l'essence, si elle est pure, laissera la cire dans son état de dureté normale et le cirage sera aussi solide que s'il avait été fait avec la cire naturelle.

La pommade ci-dessus est jaune. Veut-on l'obtenir rouge? au lieu d'essence de térébenthine pure, il faut employer de l'essence dans laquelle on aura mis la veille digérer à froid 30 gr. d'orcanette par kilogr. d'essence, et dont le lendemain on aura séparé l'orcanette en la filtrant à travers une toile serrée.

2e recette — *Encaustique ou pommade à la potasse*. Mettez dans une bassine en cuivre à cul de poule, bien propre :

500 gr. de cire jaune en morceaux.
1,000 gr. d'eau de rivière clarifiée.
60 gr. de potasse d'Amérique.

Faites bouillir en agitant sans cesse avec une spatule en fer, jusqu'à ce que le tout forme une crème savonnease bien homogène, et bien liée et sans grumeaux; continuez d'agiter jusqu'à entier refroidissement.

Remarques. Dans cette pommade, la cire est à l'état d'une sorte de savon; aussi ne forme-t-elle pas une glace aussi solide que par la première recette, elle reste collante; mais pourtant on la préfère à la première parce qu'elle n'a pas d'odeur.

3e recette. — *Encaustique liquide*. Mettez dans une bassine en cuivre d'une capacité suffisante :

250 gr. de cire jaune pure en morceaux.
125 gr. de savon vert.
25 gr. de potasse d'Amérique.
4, 5 ou 6 litres d'eau de rivière clarifiée, selon que vous voulez obtenir un encaustique plus ou moins chargé de cire.

Portez la bassine sur le feu, agitez sans cesse avec une spatule, jusqu'à ce que presque toute la cire soit fondue; alors retirez du feu, laissez refroidir, puis avec les deux mains prenez les parties de cire qui surnagent, trempez-les dans le liquide en les frottant de manière à les dissoudre, comme on le ferait avec du savon. Renfermez pour l'usage. Chaque fois que vous vous en servirez, il faut agiter fortement la masse pour y répartir également les parties de cire qui se seraient déposées au fond.

4e recette. — *Encaustique ou pommade de cire dure à l'essence*. Les trois recettes d'encaustiques ci-dessus sont connues. Celle-ci ne l'est pas ou ne l'est que des personnes à qui nous l'avons indiquée.

Le reproche principal que l'on fait aux cirages, soit à la cire naturelle, soit à l'encaustique, c'est de n'être pas assez durs pour conserver longtemps leur brillant; on peut le leur rendre facilement, mais c'est toujours à recommencer; chaque fois qu'on s'est servi d'un meuble, il faut le frotter. La recette suivante, que nous pratiquons depuis longtemps, nous ayant toujours réussi, le cirage qui en résulte ayant presque la solidité et l'éclat d'un bon vernis à l'alcool, sans en avoir les inconvénients, nous la donnons avec la persuasion qu'il satisfera à un besoin véritable et généralement senti.

C'est la même chose pour les proportions que la première recette ci-dessus; la seule différence consiste en ce que nous employons une cire durcie, au lieu d'une cire naturelle.

Nous mettons un kil. de cire jaune pure dans une bassine à cul de poule; nous la portons sur le feu quand la cire est fondue, nous ajoutons 120 gram. de litharge en poudre, nous mélangeons avec une spatule pour empêcher la litharge de rester au fond, et nous mélangeons souvent; nous conduisons le feu doucement pour donner à la cire tout le temps nécessaire de réagir sur la litharge. Lorsqu'enfin la cire a pris une couleur marron, que la litharge est en partie revivifiée et qu'une goutte de cire que nous faisons tomber sur une assiette est arrivée au point non plus de se couper, mais de s'écraser en poussière sous l'ongle, la cire est assez cuite. Nous ôtons la bassine du feu et laissons refroidir; le lendemain, nous séparons de la cire le culot composé de litharge, plus ou moins revivifiée, et c'est avec 500 gr. de cette cire que nous faisons la pommade, comme nous l'avons dit ci-dessus, en y ajoutant 1 kilogr. d'essence. TRIPIER-DEVEAUX.

ENCENS ou OLIBAN. Gomme-résine qui nous arrive de l'Afrique en morceaux, en larmes ou en grains de différentes grosseurs. C'est une substance sèche, friable, d'un jaune pâle ou blanchâtre, translucide et recouverte d'une sorte d'efflorescence; sa cassure a un aspect brillant; sa saveur est amère, et son odeur aromatique; elle se présente souvent en gouttes ou larmes oblongues, arrondies par leur extrémité, quelquefois seules, et d'autres fois géminées : on lui donnait, dans ce dernier cas, le nom d'encens mâle. Cette substance a été employée, dès la plus haute antiquité, pour la purification des temples et le culte divin. Elle est encore de nos jours consacrée aux mêmes usages; mais comme elle ne répand pas une odeur agréable lorsqu'elle est seule, on lui mêle d'autres aromates, tels que benjoin, musc, storax, ambre, baume de Tolu, etc.; on en fait une poudre qu'on projette par petites parties sur des charbons ardents.

ENCLIQUETAGE. On donne ce nom à un mécanisme très simple qui sert à empêcher le mouvement rétrograde d'une roue, quand le moteur cesse d'agir ou par toute autre cause, et qui se compose d'un ressort ou d'une languette appelée *cliquet*, dont l'extrémité vient contre-bouter contre les dents obliques d'une roue à rochet et prévient tout mouvement rétrograde. Lors de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la marche l'autre côté de ces dents soulève le cliquet, et la roue à rochet tourne facilement dans le sens direct. Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

ENCLUME (*angl.* anvil, *all.* ambos). Masse de fer ou de fonte ayant un poids, une forme et des dimensions appropriées aux travaux qu'on veut faire, sur laquelle on forge les métaux à chaud ou à froid. La surface sur laquelle on bat les métaux doit être dure et lisse; ordinairement le milieu, ou la *table*, a la forme d'un parallélogramme, et les bouts, appelés *bigornes*, sont l'un cylindrique et l'autre quadrangulaire, pour que l'ouvrier puisse façonner diverses pièces. Un trou carré, percé près du bord de la table, est destiné à recevoir un tranchet sur lequel on coupe le fer; les enclumes sont fixées sur des chabottes ou billots fixés en terre, ou dans un massif, près de la forge.

Les enclumes de fer doivent être aciérées en acier de bout, trempé à toute sa force. A cet effet, le fabricant brise son acier en bouts de 2 à 3 centimètres de long, qu'il met les uns à côté des autres, en trousse carrée, maintenue par un lien en fer. Il soude cette trousse dont il fait une planche, qu'il soude à son tour, comme une mise, sur l'enclume.

Le haut degré de chaleur nécessaire pour cette opération dénature l'acier, surtout à sa surface; pour lui rendre sa qualité, on fait chauffer l'enclume pendant quelques heures dans une boîte pleine de cément, et on la trempe en faisant tomber, sans interruption, une forte colonne d'eau froide sur la table, jusqu'à ce qu'elle soit presque complétement refroidie. Dans cet état, l'enclume doit faire rebondir le marteau avec force, et rendre un son clair et argentin

Dans les grosses forges, on n'emploie guère que des enclumes en fonte; celles-ci sont beaucoup plus économiques que celles en fer, et ne coûtent que les frais de moulage, qui sont peu élevés, puisque, lorsqu'elles se brisent, on en passe les débris dans le feu d'affinerie.

ENCRE (*angl.* ink, *all.* tinte). On peut considérer les encres connues comme étant de huit espèces différentes, que nous classerons en autant de sections.

La 1re section comprendra les encres noires dont on se sert pour écrire sur le papier, et qui se divisent elles-mêmes en encres liquides et en encres solides.

La 2e section comprendra les encres sèches, dites de la Chine ou à dessin, et celles composées d'après les mêmes principes, que l'on appelle improprement : encres indélébiles.

La 3e section comprendra les encres à marquer le linge et les étoffes.

La 4e section comprendra les encres colorées.

La 5e section comprendra les encres autographiques et lithographiques pour écrire et dessiner sur la pierre lithographique, le zinc, le cuivre, et autres métaux polis ou grenés.

La 6e section comprendra les encres dont on se sert dans les imprimeries typographique, en taille douce et lithographique.

La 7e section comprendra les encres communicatives dont on se sert pour la copie des lettres.

La 8e section comprendra les encres pour écrire sur le verre, le zinc, le fer-blanc, etc.

I. ENCRE A ÉCRIRE.

Tout le monde sait que les anciens écrivaient sur le papier (*papyrus*) ou le parchemin avec un roseau effilé dont la pointe était fendue comme celle de nos plumes : on le trempait dans l'encre comme nous y trempons nos plumes.

Pline nous apprend (liv. XXXV, ch. 25) même que les anciens composaient l'encre avec les charbons qui provenaient de la combustion du *téda*, lesquels étaient triturés dans un mortier et mélangés avec de la gomme. L'excellence de ce procédé a été constatée par M. D'Arcet, dans un rapport fait à l'Académie des Sciences, le 6 juin 1831.

Les Chinois ont aussi employé, de temps immémorial, l'encre composée avec du noir de fumée ou du charbon très-divisé, tenu en suspension dans une solution savonneuse ou alcaline par le moyen d'un corps glutineux.

Un fait bien démontré, c'est que les écritures des manuscrits qui datent du Ve au XIIe siècle sont très lisibles et bien conservées, tandis que celles des XVe et XVIe siècles, etc., sont tellement décolorées qu'on a toutes les peines du monde à les lire. C'est sans doute parce que les copistes du Ve au XIIe siècle écrivaient sur du parchemin et des papiers de coton assez poreux avec l'encre antique, tandis que les écrivains des XVe et XVIe siècles employaient des papiers faits avec le vieux linge et moins poreux, et de l'encre composée de noix de galle et de sulfate de fer.

L'encre est une combinaison de tannin, d'acide gallique et d'oxyde de fer; les autres substances qui entrent dans sa composition servent seulement à lui donner de la consistance et du brillant.

Rien de si facile que la préparation de l'encre (*Chaptal*) : on mêle d'un côté 1/3 de copeaux de bois de Campêche à 2/3 de noix de galle pulvérisée, et on les fait bouillir dans 25 fois leur poids d'eau pendant 2 heures, en remplaçant l'eau à mesure qu'elle s'évapore. D'autre part, on sature de l'eau tiède avec de la gomme arabique concassée, et enfin, l'on fait une dissolution de sulfate de fer légèrement calciné, marquant 14 à 15° à l'aréomètre de Baumé, à laquelle on ajoute du sulfate de cuivre dans la proportion de 1/13e de la noix de galle employée. Cela fait, on mêle 6 parties en volume de la décoction de noix de galle et de campêche à 4 p. d'eau gommée; et l'on y verse ensuite 3 à 4 p. de la solution de sulfate de fer, en ayant soin d'agiter la liqueur, qui devient aussitôt d'un bleu-noir.

Matières premières qui entrent dans la composition des encres liquides. Nous ne nous attacherons pas à citer ici toutes les recettes d'encres connues; tout ce que nous pouvons faire de mieux, c'est d'indiquer les substances vraiment utiles dans la composition de l'encre ordinaire.

1° *Liquides.* L'eau pure est de tous les liquides celui qui est le meilleur. Des essais n'ont fait voir aucune différence entre l'eau crue et l'eau douce, l'eau de pluie ou l'eau de puits; cependant l'eau de pluie paraît préférable. La proportion d'eau la plus convenable est de 10 à 12 parties d'eau sur une de noix de galle. Quelques prescriptions indiquent de 4 à 16 parties d'eau. Quand on emploie trop d'eau, on peut facilement épaissir la liqueur par l'évaporation. On emploie aussi de la bière au lieu d'eau; elle remplace une certaine quantité de gomme; mais elle a l'inconvénient de rendre l'encre trop épaisse, de sécher trop lentement, de moisir plus facilement, et de donner une encre proportionnellement plus faible, parce que le tannin n'est pas aussi soluble dans la bière que dans l'eau.

Le vinaigre peut être employé pour l'encre parce qu'il empêche la moisissure. Cependant l'écriture n'est pas aussi noire que celle qui provient de l'encre faite avec de l'eau pure, et elle jaunit plus vite. Pour l'encre qui contient trop de fer une addition de vinaigre est utile; mais il ne faut pas prendre du vinaigre glutineux, parce qu'il la ferait facilement moisir.

Le vin blanc n'est pas à recommander à cause de son prix, et n'est d'aucune utilité. L'eau-de-vie l'est encore moins par la même raison; cependant, quand on veut tenir un peu de résine en dissolution dans l'encre, et qu'on veut la préserver de la gelée, on peut y ajouter un peu d'eau-de-vie.

2° *Corps qui contiennent de l'acide gallique.* Tous les corps qui contiennent de l'acide gallique et du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tannin peuvent servir pour la préparation de l'encre; mais la matière la plus avantageuse est la noix de galle, dont l'eau extrait du tannin et de l'acide gallique, qui s'unissent à l'oxyde de fer pour former une belle encre noire; la racine de la rose de mer (*nymphea alba*) donne une encre fine noir-bleuâtre, qui ne forme point de dépôt comme celle de noix de galle, mais il en faut davantage; la racine de tormentille donne une encre d'un noir-verdâtre; les fruits de l'aulne donnent une encre d'un noir-bleuâtre; l'écorce de chêne et la sciure de bois de chêne donnent une encre d'un noir-bleu; l'écorce des grenades donne une encre noir-brunâtre; le sumac et les écorces d'orange donnent une encre d'un noir-verdâtre, etc.

Les noix de galle doivent être pulvérisées pour en extraire plus de tannin et d'acide gallique; de la sorte l'encre est bien plus noire. Cependant on ne doit pas trop les diviser, parce qu'une partie resterait en suspension dans la liqueur et rendrait l'encre pâteuse.

3° *Sels de fer.* On emploie ordinairement le sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert, couperose verte). L'infusion de noix de galle, en agissant sur lui, le décompose, et lui enlève son oxyde pour former un gallate de fer, qui est d'une couleur plus ou moins noire, suivant les proportions.

Cependant comme le fer y est à l'état de protoxyde, l'encre ne devient d'un beau noir que quand elle a absorbé de l'oxygène. Si on oxyde davantage le fer dans le sulfate, en le calcinant légèrement, jusqu'à ce qu'il prenne une couleur jaune de rouille, on obtient par ce moyen une encre complétement noire. On obtient le même résultat en prenant une décoction de noix de galle qui est restée exposée à l'air; on peut aussi employer d'autres sels de fer, particulièrement le nitrate de fer, qui donne une encre plus noire, parce que le fer y est à l'état de peroxyde.

L'acide sulfurique du sulfate n'est point nécessaire, et n'agit que comme dissolvant du fer, il est mis en liberté; par conséquent, il n'est pas nuisible d'en diminuer la quantité par l'addition de la potasse, ou par la calcination, avant le mélange avec la noix de galle.

4° Le *bois d'Inde* ou de Campêche contribue à la confection de l'encre, à cause de l'union que contracte sa matière colorante avec l'oxyde de fer; ce qui rend non seulement la couleur plus foncée, mais encore moins susceptible d'éprouver du changement par l'action de l'air et celle des acides.

5° Le *sulfate de cuivre* (couperose bleue, vitriol de Chypre), que Chaptal a indiqué dans une certaine proportion, rend l'encre plus foncée et plus consistante.

6° *Matières épaississantes.* Les principales sont la gomme, la bière épaisse; le sirop ne les remplace pas complétement; le sucre ne peut être employé qu'en petite quantité. Dans les recettes, on indique ordinairement la gomme arabique; mais celles du prunier et du cerisier sont aussi bonnes. La gomme augmente la viscosité de la liqueur, et maintient les matières colorantes en suspension; l'encre ne traverse pas le papier, et peut être appliquée plus épaisse; en même temps, la gomme colore l'encre d'une espèce de vernis compacte, qui, s'interposant entre l'encre et l'air, la garantit, lorsqu'elle est sèche, de son action. Si on prend trop de gomme, l'encre devient trop épaisse, coule mal de la plume et sèche difficilement.

Le sucre en petite proportion augmente la fluidité de l'encre, permet ainsi de mettre plus de gomme que l'encre ne pourrait en supporter sans cela, et lui donne plus de brillant; mais, en général, le sucre ne peut remplacer la gomme, car il ne tient pas comme celle-ci les matières colorantes en suspension; il rend l'encre plus difficile à sécher, et trop coulante, quand on le met en excès. La cassonade et la mélasse sont bien préférables; on les ajoute avec la gomme ou après.

Ainsi le sucre agit :

1° En rendant l'encre plus coulante; celle-ci exige alors plus de gomme.

2° En rendant l'encre moins collante, d'où il résulte qu'il en sort davantage de la plume, que les traits sont plus gros et plus brillants, ce qui est important pour la conservation de l'écriture.

3° En retardant la dessiccation, ce qui est un inconvénient dans certains cas; néanmoins on utilise cette propriété pour la préparation des encres destinées à copier les lettres, comme nous le verrons plus bas.

Des différentes matières que l'on ajoute à l'encre.

L'*acide muriatique* colore en rouge les traits faits avec l'encre ordinaire; mais à l'air, après quelque temps, ils redeviennent noirs.

Une addition de chaux rend l'encre brune; la potasse la rend verdâtre.

Le *sulfate de cuivre* est avantageux à l'encre qui contient du bois de Campêche; mais il ne faut pas en ajouter plus d'une partie sur huit de noix de galle ou même un peu moins. Si on en prend trop, la couleur de l'encre devient d'un gris sale.

Le *vert-de-gris* agit comme le sulfate de cuivre; mais avec le temps, il fait passer l'encre plus rapidement au jaune.

L'*alun* a été recommandé par Jeoffroy; mais il est nuisible, parce qu'il donne une teinte rougeâtre, et facilite le développement de la moisissure.

Le *sel de cuisine* est avantageux jusqu'à un certain point pour empêcher la moisissure; mais son action est peu efficace.

Le *sulfate d'indigo* et la *garance* donnent à l'encre une belle couleur noire. Cette pratique, du reste, est empruntée à l'ancienne teinture; car, pour faire un beau noir sur les étoffes, les ordonnances du roi, dressées sous le ministère éclairé de Colbert, prescrivaient, sous des peines convenables, *aux teinturiers* du grand et du bon teint, de guesder, garancer, etc., c'est-à-dire de teindre d'abord en bleu, en rouge, etc., les étoffes qu'ils voulaient mettre en noir.

La noix de galle étant d'un prix élevé, on en remplace souvent une partie par du sumac, par le gland ou l'écorce de chêne pulvérisés, par le châtaignier, le *mimosa babla*, les fruits et l'écorce d'aulne; mais, en général, les encres préparées avec ces substances sont d'une qualité inférieure, et n'ont d'autre mérite réel que d'être d'un prix de fabrication moins élevé.

Quelques fabricants, pour obtenir une encre double d'un noir tirant sur le violet, ajoutent une petite quantité de carbonate de manganèse. Les encres dites de la grande et de la petite vertu sont préparées ainsi avec plus ou moins d'eau et de gomme.

Préparation de l'encre liquide.

Par infusion. On arrose avec de l'eau le corps contenant du tannin, et on abandonne l'infusion dans un lieu chaud pendant un temps suffisant; on soutire la liqueur; on la remplace par de l'eau; on répète cette opération jusqu'à ce que tout le tannin soit extrait. On dissout d'abord la gomme dans l'extrait (1), et plus tard le sulfate de fer. L'encre ainsi obtenue est coulante, peu glutineuse, et n'a pas de penchant à la moisissure; elle est un peu pâle et facilement détruite par les acides; mais elle devient noire avec le temps. Elle revient aussi un peu plus cher que celle qui est préparée par la décoction.

Par décoction. On fait une décoction de la matière contenant du tannin; on la filtre, puis on y dissout la

(1) Quand l'extrait est trop aqueux, on fait concentrer à l'air libre ou par la chaleur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gomme et le sulfate de fer (1). Par ce procédé, il se dissout plus de matières noires; mais l'encre est plus mucilagineuse, et a plus de penchant à la moisissure.

Par le temps. On laisse la dissolution de tannin, obtenue par infusion ou par décoction, dans des vases plats à l'air (six mois); on enlève de temps en temps la moisissure qui se forme à la surface; on la filtre pour enlever les pellicules et le tannin qui est au fond, et on y fait dissoudre 1/4 de gomme. Alors on ajoute autant de sulfate de fer, et on agite.

Proportions et mélanges des matières. Tout dépend, dans la préparation de l'encre, de la préparation de noix de galle et de sulfate de fer; mais comme la décoction contient plus ou moins d'acide gallique, la plupart des prescriptions indiquées par les auteurs ne sont pas exactes et complètes. Il serait mieux de dissoudre séparément la noix de galle et le sulfate de fer, et de mêler les liqueurs en proportions convenables pour obtenir une belle encre noire, et d'ajouter ensuite les autres substances.

Les recettes données diffèrent beaucoup les unes des autres; quelques-unes prescrivent 6 parties, d'autres 18, d'autres 1 seulement de noix de galle sur 1 de sulfate de fer. Il est vrai de dire aussi que, à cause de la grande variété des qualités de noix de galle et des matières qui contiennent du tannin, on ne peut pas indiquer un dosage qui puisse être employé dans tous les cas.

Nous résumerons ainsi les divers inconvénients d'un mauvais dosage :

Trop de noix de galle rend l'encre verdâtre ou rougeâtre, et par le temps elle devient sur le papier brune ou rougeâtre.

Trop de fer la rend bleue dans le commencement, ou violette, ou plus ou moins grise; mais avec le temps elle passe à la couleur rouille. Dans ce cas, les matières colorantes se déposent plus facilement.

Trop peu de fer rend la couleur plus pâle, mais par le temps elle ne devient pas facilement jaune.

Dans aucun cas, quand la noix de galle est bonne, il ne faut prendre plus de sulfate de fer que de noix de galle. Parties égales de ces deux matières donnent une encre qui, dans quelques semaines, devient brun-jaune. Si on prend davantage de sulfate de fer elle le devient encore plus vite. Une partie de sulfate de fer et 2 parties de noix de galle donnent une encre qui résiste plus longtemps; 4, 5 et 6 parties de galle donnent une encre plus solide, mais qui n'est pas aussi noire. La meilleure proportion, suivant Lewis et Bancroff, est de 3 parties de noix de galle pour 1 p. de sulfate de fer, et pour 2 p. de ce sel, suivant Ribeaucourt (2).

Propriétés d'une bonne encre. Les propriétés que l'on doit exiger sont :

1° Une couleur noire foncée;

2° Une couleur solide qui ne s'efface pas par le frottement et les lavages à l'eau, et qui ne change pas avec le temps;

3° Qu'elle sèche promptement;

4° Qu'elle se fixe solidement sur le papier, sans y pénétrer trop profondément;

5° Qu'elle coule uniformément et facilement de la plume;

6° Qu'elle ne moisisse pas.

(1) Il ne serait pas convenable de faire bouillir le sulfate de fer avec la noix de galle, parce que cette dernière ne serait pas complétement épuisée. Le précipité noir se dépose sur la noix de galle, de manière que l'eau ne peut pas bien y pénétrer et se renouveler; cependant la plupart des recettes indiquent l'ébullition de la noix de galle avec le sulfate de fer.

(2) M. Payen indique 5 parties de noix de galle et 2 p. de sulfate de fer, et son encre est excellente, d'après le témoignage des personnes qui en font usage.

Couleur foncée. La couleur noire provient, comme nous l'avons dit, du gallate de fer et du tannate de fer; elle n'est à son maximum que quand le fer est très oxydé; aussi elle ne s'acquiert qu'avec le temps dans la plupart des encres.

Solidité. Elle consiste dans les proportions des mélanges; elle est augmentée par la gomme et le sucre; ces corps forment un vernis qui préserve l'acide gallique et le fer du contact de l'air. On l'obtient encore plus sûrement quand on ajoute à l'encre un corps dont la couleur ne change pas ou difficilement (bleu de Prusse, noir de fumée, indigo, etc.) On ne peut les employer seuls, parce que les traits s'effacent trop facilement. Peut-être l'addition de l'alcool et de la résine serait utile pour cet objet.

Rapidité du séchage. La rapidité du séchage est d'autant plus grande que l'on a mêlé avec l'eau moins de corps épaississants, moins de gomme et de sucre. Le dernier surtout rend l'encre collante, même après le séchage. L'encre faite avec de l'eau-de-vie forte sèche vite, mais elle s'évaporerait trop vite dans l'écritoire, et reviendrait trop cher.

Pénétration. La fixité réside principalement dans l'action du sulfate de fer ou de l'acide sulfurique libre; et dans la porosité du papier. Elle est principalement importante pour la conservation de l'écriture, etc., parce que les traits ne peuvent être rendus invisibles sans altérer le papier. Si on emploie de l'encre trop épaisse, la pénétration n'a pas lieu, c'est ce qui arrive avec l'encre qui contient trop de sucre. Le collage du papier et les matières épaississantes préviennent une trop grande pénétration et le coulage de l'encre.

Coulage. L'encre trop liquide coule trop facilement; l'encre trop épaisse coule trop difficilement : ce dernier inconvénient provient d'un excès de gomme. Une petite addition de sucre en poudre ou de mélasse prévient cet effet.

Moyen de prévenir la moisissure. On a proposé beaucoup de moyens pour s'opposer à la moisissure, mais la plupart de ces moyens n'ont pas complétement réussi. La cause de ce phénomène provient de ce que la décoction de noix de galle contenait trop de matières glutineuses, ou que celle-ci était de mauvaise qualité. On peut prévenir cet effet en laissant la décoction à l'air jusqu'à ce que le mucilage soit décomposé, et l'employer seulement alors; les encres ainsi obtenues ne moisissent pas. Ensuite le meilleur moyen est l'emploi des clous de girofle; on en met quelques-uns dans l'écritoire. Le sublimé-corrosif (deuto-chlorure de mercure) ou l'acétate de mercure détruisent aussitôt la moisissure; mais la propriété vénéneuse de ces substances rend leur usage dangereux. L'acétate de nickel empêche aussi la moisissure, l'eau-de-vie produit aussi quelque effet; mais elle affaiblit un peu l'encre, parce qu'elle précipite des matières colorantes; le camphre a été employé avec succès par Bancroff; mais il se volatilise bientôt. Le pyrolignite de fer, employé à la place du sulfate de fer, est très bon. La soude, le salpêtre, le sel marin, le sel ammoniac, agissent un peu, mais faiblement; le premier nuit à la couleur, les autres à la durée de l'encre. L'alun n'empêche pas la moisissure, il la provoque plutôt.

Nous avons emprunté à l'ouvrage de Leuchs sur les matières tinctoriales (1) une grande partie de ce qui précède sur la préparation et les propriétés des encres; et c'est un devoir pour nous de citer ici le nom de ce technologiste distingué dont les travaux sont fort estimés dans toute l'Allemagne.

Nous mentionnerons aussi, à titre de renseignement, les fluides pour remplacer les encres à écrire, inventés par M. Stephens, chimiste de Londres, dont la pré-

(1) Cet ouvrage a été traduit en 1829, par M. Péclet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paration ne nous est pas bien connue. Nous savons seulement que le principe colorant est le bleu de Prusse (prussiate de potasse), combiné avec l'acide gallique.

Au nombre de ces fluides, nous citerons en première ligne, comme servant aux usages les plus généraux, l'encre bleu-noir, ainsi appelée parce que sa couleur, d'abord d'un beau bleu, devient ensuite du noir le plus foncé. Ce fluide coule de la plume avec facilité et permet de faire les déliés les plus délicats ; il se distingue par la permanence de sa limpidité, l'absence de toute moisissure et de rouille sur les plumes métalliques. Tant d'avantages réunis nous portent à dire que cette encre égale au moins les meilleures encres connues, si elle ne les surpasse pas.

A défaut de la préparation et de la composition de l'encre de Stephens, nous donnons celle de Perry, qui est aussi fort en réputation en Angleterre.

Les ingrédients employés dans la composition de cette encre sont, dans les proportions suivantes, pour une quantité de 325 litres.

Noix de galle concassées. . . .	9 kilogr.
Sulfate de fer	4
Bois d'Inde.	1

que l'on fait bouillir dans une quantité suffisante d'eau. Quand la teinture est bien faite, on retire les noix de galle et le bois d'Inde qui sont épuisés et on ajoute :

Sucre blanc.	4 kilogr.
Gomme arabique.	4

On fait évaporer jusqu'à la consistance d'un extrait liquide, puis on y ajoute :

Indigo en poudre.	250 gram.
Hydro-chlorate d'ammoniaque. .	375
Essence de citron	32
Essence de lavande	96
Acide acétique	250
Cyanure de potassium	125

On incorpore bien le tout ensemble, et l'encre est faite. Cette encre est très convenable pour être employée avec des plumes métalliques ou des plumes d'oie ; elle offre la facilité de pouvoir obtenir des teintes différentes, soit claires, soit foncées, en y ajoutant la quantité d'eau nécessaire.

Formule de l'encre liquide de M. Tarry.

On prend : noix de galle en poudre. .	125 gram.
Gomme en poudre. . . .	48 —
Sulfate de fer calciné. . .	36 —
Eau de pluie.	1750 —

On fait infuser la noix de galle dans l'eau pendant l'espace de 24 heures, en remuant de temps en temps ; on filtre l'infusion à travers un filtre de papier non collé ; on fait dissoudre la gomme dans une partie de l'infusion en la broyant dans un mortier ; lorsque la dissolution est opérée, on ajoute le sulfate de fer, on agite et on laisse reposer.

Depuis peu de temps, on vend dans le commerce, comme une invention, des encres liquides dites indélébiles, qui consistent en un charbon très divisé et tenu en suspension dans l'eau alcaline au moyen de la gélatine rendue liquide par une ébullition prolongée. Ces encres ne sont, à proprement parler, que des encres de Chine liquides, plus durables sans doute que l'encre noire formée d'acide gallique, de tannin et d'oxyde de fer ; mais qui ne sont pas réellement indélébiles, comme nous le prouverons plus tard.

Du reste, l'Anglais Bosvel avait obtenu, dès l'année 1817, une encre semblable par un procédé qui a été décrit dans les journaux et publications de l'époque (1) ; et le savant D'Arcet écrivait à cette occasion qu'on avait déjà indiqué plusieurs fois les alcalis caustiques comme un excellent moyen de diviser le charbon à l'infini, et de le rendre par là très-propre à la fabrication de l'encre de la Chine, ou en général à celles des encres indélébiles (voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XIII, page 92). On peut donc préparer une encre basée sur les mêmes principes, sans crainte d'aucune poursuite en contrefaçon.

Encre à écrire solide. Tout le monde sait que l'encre liquide expose ceux qui en font usage, à des accidents parce que la bouteille qui la contient est sujette à se casser, et que par suite, les meubles, les habillements et les mains sont salis et tachés.

C'est pour prévenir les accidents et faciliter en même temps les relations de ce genre de commerce, que plusieurs chimistes ont indiqué l'emploi et la préparation des encres solides en tablettes (voir le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. 22, pag. 78. *Manuel du papetier, par Julia de Fontenelle*, 1828, pag. 278.) ; mais les marchands et les consommateurs ne les ont pas généralement adoptées.

Du reste, comme la composition des meilleures encres à écrire solides est encore celle des encres de la Chine, nous nous bornerons à indiquer la préparation de ces dernières.

II. ENCRES DE LA CHINE.

Cette encre est connue depuis un temps immémorial, puisque l'on possède des dessins et des gravures grossières des Chinois et des Japonais, qui datent de plus de 300 ans avant J.-C.

Pendant longtemps on a émis des opinions différentes sur la préparation de cette substance ; cependant on savait dès l'origine qu'elle se fabriquait avec du charbon ou du noir de fumée, et une dissolution de gélatine de corne de cerf mêlée d'un peu de musc et de camphre.

Suivant Hermann (1) et Fourcroy (2), les Chinois la préparent avec de la sépia, liquide noir que donne un poisson nommé sèche.

Dans son Système de chimie (*édition de* 1807, *traduction de Riffaut*), Thompson dit que la préparation de l'encre de la Chine consiste dans un mélange de noir de fumée avec une solution de gomme-laque par le borax.

D'après la recette publiée par le P. Duhalde, comme extraite d'un livre chinois, on fait bouillir dans de l'eau du suc de gingembre et diverses plantes désignées par les noms du pays et inconnus de nos botanistes ; on clarifie et l'on fait évaporer jusqu'à la consistance d'extrait.

On ajoute sur 330 gram. de cet extrait, 125 gram. de colle de peau, puis on incorpore dans ce mélange 320 gram. environ de noir de fumée ; on en fait une pâte homogène qui prend différentes formes et des dessins, lettres, etc., en relief, dans des moules où on la comprime. Au sortir de ces moules, on tient pendant quelque temps les bâtons d'encre plongés dans de la cendre (3).

Suivant le jésuite Nicol-Trigault, on prend en Chine le noir de fumée des lampes à l'huile, que l'on recueille sur des assiettes qui sont suspendues au-dessus des lampes.

John pensait que l'encre de Chine était composée de sépia et de noir de fumée résineux (4) ; mais plus

(1) *Annales des arts et manufactures*, tome XXIII, page 53.

(1) Pauli Harmani, *Cynosuræ*, tome I, page 11.
(2) Fourcroy, *Système des connaissances chimiques*.
(3) Cette préparation qui, au premier abord, paraît incomplète, puisque nous ne connaissons pas, disent les auteurs, la nature des plantes indiquées, est très facile à faire, à notre avis, si on emploie une décoction de racine de savonaire, ou de toute autre plante détersive.
(4) L'histoire nous apprend que dans l'empire romain on donnait à l'encre le nom de la sèche, *sépia* (Pers, Ib). On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tard il se convainquit qu'elle se composait d'un charbon fin, d'un peu de musc, de camphre et de colle animale. Il composa une très-bonne encre de Chine avec du noir de fumée de lampe et une décoction de colle de poisson.

Kasleteyn (1) assure avoir composé une très-bonne encre de la Chine de la manière suivante: il incorporait à chaud du noir de fumée, préalablement calciné avec une solution de colle de poisson; il évaporait à consistance convenable, puis il coulait la matière dans des moules.

Proust dit que le noir de fumée traité par la potasse et broyé avec la colle, lui a donné une encre que les gens de l'art ont trouvée supérieure à la véritable encre de la Chine.

Ainsi de tous les travaux et essais des chimistes modernes, il résulte donc que les matières premières de l'encre de Chine sont :

1° *Le charbon*. C'est la base principale; on peut l'obtenir de différentes manières; pour l'encre la plus fine, il faut prendre du noir de lampe ou du noir de fumée provenant de la combustion de bois résineux, etc. (voyez NOIRS). On peut tout simplement le purifier par la calcination, ou bien on le traite par une lessive alcaline ou par l'alcool à 28 degrés, pour le dépouiller entièrement des matières huileuses ou résineuses qu'il contient toujours. On le lave d'abord dans l'acide sulfurique étendu d'eau pour en enlever les sels solubles.

Nous savons qu'un fabricant d'encres de Chine, en Allemagne, emploie mystérieusement le noir provenant de la combustion du camphre, et son encre est justement renommée.

En 1823, Frantz Steiner obtint en Autriche un brevet pour la fabrication d'encre de la Chine, avec du charbon de papier et de linge, que l'auteur prétendait être équivalente à celle de la Chine.

Pour les encres inférieures on emploie des noirs plus grossiers, celui de liége, de coton, de marc de raisin, de noyaux de pêche, etc.;

2° *Une dissolution de gélatine ou colle animale* qui a subi un commencement d'altération; on l'obtient soit par une ébullition prolongée, soit en l'extrayant des os dans une machine à forte pression, comme la marmite de Papin, soit en versant dans cette gélatine fondue un peu d'infusion de noix de galle, et en redissolvant le précipité par l'ammoniaque.

Plusieurs auteurs ont préconisé la dissolution de colle de poisson comme bien préférable, parce qu'elle se putréfie moins facilement que la colle ordinaire; mais on peut toujours, pour empêcher la fermentation, ajouter un peu d'alun et de colle de parchemin, etc.

L'eau de gomme, avec un peu de sucre, peut être également employée. La gomme adragante employée seule rend l'encre de Chine trop rude;

3° *Corps odorants*. On emploie du musc, du camphre, etc.

La préparation de l'encre de Chine à l'aide des mélanges que nous venons d'indiquer ne présente aucune difficulté; on broie parfaitement les matières charbonneuses avec les dissolutions gélatineuses; on presse la pâte dans des formes huilées, en fer, en tôle, en étain, en zinc ou en bois, qui doivent être environ un tiers plus grandes que les morceaux d'encre secs; et on les laisse sécher. Les marques sont placées en relief dans les formes, ou bien on les fait avec des cachets en cuivre jaune, quand la matière est à moitié sèche. La dorure et l'argenture se font par les procédés connus, c'est-à-dire avec un mordant ou vernis gras au copal, sur lequel on applique la feuille, d'or ou d'argent, lorsqu'il est à moitié sec.

Nous ne donnerons pas ici les diverses recettes des encres de Chine qui ont été publiées jusqu'à ce jour, et dont nous n'avons pas été en position d'éprouver la qualité. Nous nous bornerons à indiquer celle de Mérimée dont nous avons reconnu tous les avantages.

« La colle la meilleure est celle qui, trempée dans l'eau, ne fait que se gonfler sans rien laisser dissoudre. On en trouve rarement de pareille dans le commerce, mais, à son défaut, on peut se servir avec succès de la colle de Flandre.

« Après l'avoir fait tremper pendant quelques heures dans environ 3 fois son poids d'eau acidulée par 1/10e d'acide sulfurique, on jette l'eau qui contient la portion trop soluble de la colle, et on la remplace par de l'eau légèrement acidulée. On fait bouillir cette colle pendant une heure ou deux, et l'ébullition la modifie au point qu'elle ne se prend plus en gelée en refroidissant.

« On sature ensuite l'acide avec la craie que l'on projette peu à peu, jusqu'à ce que le papier réactif indique que la saturation est complète. On filtre à travers du papier, et la dissolution qui passe est parfaitement transparente.

« On prend environ le quart de cette colle, sur laquelle on verse une dissolution concentrée de noix de galle. La gélatine est aussitôt précipitée et produit une matière élastique résiniforme.

« On lave cette matière avec de l'eau chaude et on la dissout à chaud dans la colle clarifiée; on filtre encore cette colle et on la fait rapprocher au point convenable, afin qu'en l'incorporant avec le noir de fumée, on ne soit pas obligé d'attendre longtemps que la pâte ait acquis la consistance nécessaire pour être moulée.

« Le principe astringent contenu dans les sucs végétaux ne précipite plus la gélatine lorsqu'on a saturé l'acide qu'il contient. On peut donc faire bouillir avec de la magnésie ou de la chaux la noix de galle ou tout autre végétal abondant en principe astringent (1), et mêler ensuite à la colle la décoction filtrée; il n'y aura pas de précipité et la colle ainsi préparée sera d'autant moins soluble, après sa dessiccation, qu'elle contiendra plus d'astringent.

« Ce n'est que par tâtonnement qu'on arrivera à connaître la proportion la plus convenable de matière astringente qu'il faut combiner avec la colle.

« De quelque manière qu'on prépare l'excipient qui doit être mêlé avec le noir, il faut qu'il soit tellement clarifié qu'en le délayant dans beaucoup d'eau il ne laisse rien précipiter. Il n'y aura plus qu'à le concentrer par l'évaporation au point convenable.

« C'est aussi par tâtonnements qu'on pourra déterminer les proportions relatives de noir (2) et de colle, puisque cette colle peut être plus ou moins concentrée; mais on parviendra sans peine à trouver la meilleure proportion en faisant les deux essais suivants :

« On appliquera, au pinceau, une légère couche d'encre sur de la porcelaine, et avec une plume on écrira sur le papier. Si l'encre est luisante sur la porcelaine, c'est une preuve qu'elle est suffisamment collée; si, après sa dessiccation sur le papier, on ne la détrempe pas avec un pinceau imprégné d'eau, c'est une preuve qu'il n'y a pas trop de colle.

« En Chine, les moules sont en bois : on pourrait les avoir en argile cuite; cette terre se moule parfaitement, et lorsqu'elle n'a pas été demi-vitrifiée par le feu, elle happe fortement à la langue. Elle boirait donc en

employait quelquefois cette matière pour de l'encre (Cicéron, *de Nat.*, DDII, page 401; Pline, livre XVI, ch. LXIV, § 36).

(1) Journal de physique de Hollande, 1791.

(1) Cette encre serait très bonne; mais elle n'aurait pas comme celle de Chine la propriété de se délayer dans le vinaigre.

(2) Le noir de fumée léger, provenant de la combustion de l'huile ou de la graisse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peu de temps une partie de l'humidité de la pâte; ce qui faciliterait sa sortie des moules peu après qu'elle y aurait été comprimée. On entrerait ensuite les bâtons d'encre dans la cendre, afin qu'en séchant, ils ne puissent se fendre, et l'on ferait sécher les moules au soleil ou dans une étuve. Si après un long sursis leurs pores se trouvaient bouchés au point de ne plus absorber l'humidité, on les ferait bouillir dans une lessive caustique et sécher ensuite, ou bien on les ferait rougir au feu (1). »

Moyen de reconnaître la bonne encre de Chine. L'encre de Chine est moulée en pains ou bâtons de différentes formes ou grandeurs, ornés le plus ordinairement sur leurs surfaces de caractères chinois et de figures bizarres, recouvertes souvent d'une feuille d'or. On en trouve de deux espèces, l'une d'un beau noir très foncé et tirant légèrement sur le bleu, l'autre d'un noir roussâtre. La cassure de bonne encre de Chine est d'un noir luisant. La pâte en est fine et parfaitement homogène.

Pour la reconnaître, il faut frotter le bout du bâton dans un godet avec un peu d'eau, et laisser ensuite sécher rapidement le morceau d'encre et l'encre du godet. Si l'encre faite et la partie du pain qui a été frottée sont troubles, graveleuses et ternes, c'est une marque infaillible que cette encre ne vaut rien. Si, au contraire, elles sont claires, unies et brillantes, l'encre doit être bonne, surtout si en séchant sa surface se couvre d'une pellicule d'aspect métallique. Après cette première épreuve, on peut faire, dans un godet, de l'encre assez épaisse pour tracer un trait bien pur et bien noir; lorsqu'il est sec, on passera dessus avec le pinceau une couche d'eau pure; si l'encre qui a servi se délaie, si le trait s'élargit et devient inégal, c'est un signe de la mauvaise qualité de cette encre; car elle doit supporter le lavis sans aucune altération.

L'encre de Chine étant considérée comme indélébile par les réactifs, la commission nommée par l'Académie des sciences pour examiner les moyens de prévenir la falsification des actes en billets de commerce, a proposé les encres suivantes :

N° 1. *Encre indélébile ou ineffaçable* (2), *avec des plumes d'oie.* Encre de Chine délayée dans l'eau acidulée par l'acide hydro-chlorique du commerce, et marquant 1 degré et demi à l'aréomètre de Baumé.

N° 2. *Pour écrire avec des plumes métalliques.* Encre de Chine délayée dans l'eau rendue alcaline par la soude caustique et marquant 1 degré à l'aréomètre de Baumé.

M. Dumas a donné dans son rapport les explications scientifiques que nous transcrivons ici.

Les personnes qui ont fait quelques études chimiques, et qui savent que l'encre de Chine est formée de charbon excessivement divisé, comprendront sans explication particulière les motifs qui ont déterminé l'ancienne commission dans le choix de cette encre. Elles se rappelleront en effet que le charbon est insoluble et inattaquable par tous les agents connus à de basses températures, et que le papier serait toujours détruit avant que le charbon fût atteint lui-même.

Mais si l'encre de Chine est toujours indélébile en ce qui concerne les agents chimiques; il serait possible, à la rigueur, qu'elle fût effacée par des moyens mécaniques; c'est ce qui aurait lieu si elle ne pénétrait pas dans la pâte même du papier.

Il y a donc une certaine relation à établir entre l'acide ou l'alcali qui, ajoutés à l'encre de Chine, ont pour objet de la faire pénétrer dans le papier et le collage du papier lui-même.

Plus le papier serait collé, plus il faudrait d'acide hydro-chlorique et de soude pour déterminer cette pénétration qui constitue toute la garantie contre les falsifications. Les doses indiquées par la commission se rapportent aux papiers ordinaires du commerce. Pour des papiers extraordinaires, des papiers surcollés, il faudrait les augmenter.

Si le papier sur lequel on écrit est légèrement humide, l'encre pénètre mieux, et la garantie qu'elle présente en est augmentée. Aussi serait-il bon dans un cas important, d'humecter très légèrement le papier, d'attendre une ou deux minutes pour laisser à l'humidité le temps de pénétrer dans toute l'épaisseur de la feuille, puis enfin d'écrire avec l'encre de Chine récemment délayée dans la liqueur acide.

Mais des essais récents ont constaté que l'encre de Chine acidulée pouvait être détruite même sans le secours d'agents chimiques très puissants.

III. ENCRE A MARQUER LE LINGE ET LES ÉTOFFES.

En 1805, Haussmann proposa l'emploi du sulfate et de l'acétate de manganèse pour la fabrication d'une encre indélébile propre à marquer le linge; plus tard il indiqua la composition suivante :

Faites dissoudre de l'asphalte dans une quantité suffisante d'essence de térébenthine; broyez avec cette dissolution du noir de fumée ou de la plombagine en poudre fine, et appliquez-la avec des caractères à jour ou en relief (1).

On peut employer aussi l'encre de Chine délayée avec de l'acide hydro-chlorique, faible (2), composition que le savant chimiste Berzélius, et après lui l'Académie des sciences, avait recommandé comme le meilleur préservatif contre toutes les falsifications d'écriture (voir le rapport de M. D'Arcet, du 6 juin 1831, et celui de M. Dumas, du 13 février 1837).

M. Pajot-Laforêt a indiqué plusieurs procédés pour composer une encre à marquer le linge (3). Nous donnons la recette de celle qui nous paraît la plus simple. Elle consiste à prendre 64 gram. de nitrate de manganèse pur et concentré, qu'on mêle à une égale quantité d'une forte décoction de noix de galle d'Alep; on ajoute ensuite à ce mélange 32 gram. de bonne encre ordinaire à écrire, ce qui forme une encre à marquer le linge d'une grande solidité.

Pour se servir de cette liqueur, il faut préalablement que l'endroit du linge que l'on veut marquer soit imbibé d'un mordant composé de prussiate de potasse dissous dans l'eau distillée, qu'on gomme suffisamment pour empêcher l'encre à marquer de se répandre au-delà des chiffres ou lettres que l'on emploie pour marquer le linge.

Recette de l'encre dite anglaise

Liqueur n° 1.

On prend : sous-carbonate de soude.	16	grammes;
Eau de rivière.	128	—
Gomme arabique. . . .	12	—

On fait dissoudre la gomme dans l'eau, puis on ajoute le sous-carbonate de soude qui s'y dissout avec facilité.

---

(1) M. Mérimée mêlait un peu de camphre dans l'encre préparée, et il attribuait à cette matière la facilité avec laquelle l'encre se moulait.

(2) Voir le rapport de M. Dumas, en date du 13 février 1837.

(1) On peut remplacer avec avantage le noir de fumée par du crayon noir à dessiner, réduit en poudre très-fine. Le vernis des imprimeurs, mêlé avec de l'oxyde de fer et de la sanguine, produit une encre assez résistante; on se sert aussi du crayon noir ou de la sanguine seulement.

(2) 100 parties de cet acide doivent pouvoir dissoudre 3 parties de marbre blanc.

(3) Voir le Journal des Connaissances usuelles, tomes XVI et XVII.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Liqueur n° 2.

On prend, d'une part :

Nitrate d'argent.	10	grammes;
Gomme arabique.	12	—
Eau distillée.	24	—

On fait dissoudre la gomme dans l'eau, puis on ajoute le nitrate d'argent qui s'y dissout très-facilement.

Les liqueurs préparées doivent être conservées à part.

Lorsqu'on veut s'en servir on agit de la manière suivante :

On prend la liqueur n° 1 avec une petite éponge, et on mouille la place sur laquelle on veut écrire, on sèche ensuite, en se servant d'un fer à repasser qui unit la place qui a été mouillée.

Lorsque la place est ainsi séchée et polie, on écrit avec une plume qui a été plongée dans la liqueur n° 2. Cette plume imprégnée du liquide fournit des traits colorés, figurant le nom ou tout autre dessin, selon la volonté de la personne qui écrit.

On peut, si l'on ne veut pas écrire, faire préparer par un graveur ses initiales, son chiffre, à jour, sur une petite plaque d'argent. On mouille la place avec la liqueur n° 1 ; on sèche au fer à repasser, puis on applique la plaque d'argent, et à l'aide d'une brosse trempée dans la liqueur n° 2, on passe de la liqueur sur les parties de la plaque découpée à jour ; on a soin de bien presser la plaque pour que la liqueur n° 2 ne dépasse pas la lettre, ce qui causerait du *bavochage*, c'est-à-dire que les lettres ne seraient pas bien nettes.

Avant que le linge ne soit lavé, on l'expose aux rayons du soleil ou à la lumière d'un beau jour, afin de faire noircir le nitrate d'argent. Cette encre s'enlève, au besoin, par l'action du chlore ou de la vapeur d'ammoniaque.

Autre composition. Noix de galle, 32 grammes ; campêche, 16 gram., bouillis dans un demi-litre d'eau, passez et ajoutez 4 gram. de nitrate d'argent et 8 gram. de gomme arabique ; on marque, au moyen d'une plume à bec court et peu fendue, le linge mouillé avec une solution de 32 gram. de potasse et de 64 gram. d'eau. A l'aide de cette méthode économique, généralement employée en Angleterre, l'inscription ne peut disparaître qu'en enlevant le morceau ; elle permet en outre d'écrire les noms en entier, ce qui évite une foule d'erreurs et de pertes. Les lettres sont d'abord peu apparentes, mais le contact de l'air et l'influence de la lumière et du soleil leur donnent bientôt une couleur noire foncée.

Autre composition qui n'a besoin d'aucun autre apprêt pour être employée ; il suffit d'avoir un petit tampon sur lequel on étend un peu de liquide, et avec un cachet en bois fixe ou mobile, on imprime sur le linge et on laisse sécher.

Composition de la liqueur :

Nitrate d'argent. . . .	30	grammes;
Gomme arabique. . . .	30	—
Eau distillée.	125	—
Noir de fumée.	8	—

Mêlez intimement ces substances, en remplaçant la gomme par la même quantité d'encre de Chine, on a une couleur encore plus foncée.

IV. ENCRES COLORÉES.

Presque toutes les encres rouges et jaunes peuvent être considérées comme des LAQUES (voyez ce mot), dont on retarde la précipitation en augmentant la densité de la liqueur au moyen de la gomme.

Encre rouge faite avec le carmin. On fait dissoudre du carmin en poudre dans l'ammoniaque liquide, et on laisse évaporer l'excès d'alcali ; en cet état on y ajoute un peu de mucilage de gomme arabique, et on conserve le liquide dans de petites bouteilles ; cette encre est très-belle, mais elle est un peu chère.

Encre faite avec le bois de Brésil ou de Fernambouc. 16 parties de bois de Fernambouc rapé ou moulu, et bouilli dans une quantité d'eau suffisante avec une partie d'alun dissous dans du vinaigre rectifié ; on laisse reposer la solution pendant trois semaines et on filtre. Quand il ne se forme plus de dépôt, on peut ajouter un peu de gomme et de sucre.

Cette encre est belle et s'améliore avec le temps. Si on prend 1/3 d'alun de moins, la couleur est plus vive, et par le temps elle devient moins brunâtre, parce que cette nuance provient d'un excès d'alun. On peut aussi faire bouillir un peu de cochenille avec le Fernambouc. On dit qu'en employant de l'eau-de-vie, on obtient de plus belles couleurs du Fernambouc qu'avec l'eau pure ou le vinaigre.

Encre faite avec le vermillon. On bat le blanc de quatre œufs avec une cuillerée à café, d'alcool et de sucre candi ; on mélange le vermillon réduit en poudre très fine.

Il faut que cette matière soit agitée pour s'en servir.

Encre jaune. — Avec la gomme-gutte : 1 partie de gomme-gutte, 1 p. de gomme arabique dissoute par l'ébullition dans 12 parties d'eau : on peut aussi ajouter un peu de safran.

Encre faite avec le safran. Les décoctions de safran et de carthame mélangées avec de la gomme arabique donnent une encre jaune, mais chère.

— *avec le bois jaune.* On le fait bouillir dans l'eau avec un peu d'alun, et on ajoute un peu de gomme ; on avive la couleur en ajoutant un peu de gélatine liquide, avant la filtration, pour précipiter le tannin.

— *avec la graine d'Avignon.* 8 parties de graines bouillies avec 32 p. d'eau et 1 p. d'alun, pendant une heure environ ; filtrer et ajouter un peu de gomme, et de l'eau, si la liqueur est trop épaisse.

Encre bleue faite avec l'indigo. On arrose une partie du meilleur indigo, pulvérisé, avec 6 parties d'acide sulfurique concentré, en remuant avec une tige de verre. On abandonne la liqueur pendant quelques heures, et on la verse goutte à goutte en remuant fortement dans 3 à 5 litres d'eau froide. Ensuite on jette dans la liqueur de la craie tant qu'il se forme une effervescence ; on laisse reposer quelques jours et on filtre.

L'acide doit être saturé par la craie, autrement il altérerait le papier. On peut aussi ajouter de la gomme.

Encre faite avec le bleu de Prusse soluble. On le réduit en poudre très fine, on le broie avec un mucilage épais de gomme arabique, et on le délaie ensuite avec de l'eau gommée jusqu'à ce que la consistance soit telle que l'encre coule facilement dans la plume. Si l'on veut, on ajoute à l'encre un peu de sucre en poudre ou de fiel de bœuf. (Voyez à l'article BLEU DE PRUSSE procédé *Stéphens et Nax*, le moyen de rendre le bleu de Prusse soluble : nous ferons remarquer cependant que ce moyen ne réussit qu'avec le bleu de Prusse anglais).

Encre verte. On mélange une des encres bleues avec une des encres jaunes.

Encre violette. Mélange de l'encre rouge avec l'encre bleue.

Encre orange. Mélange de l'encre rouge avec l'encre jaune.

Encres métalliques. On prend des poudres métalliques très fines, bronze, argent, or, etc. ; et on les broie séparément avec de la gomme, un peu de sucre ou de miel et de fiel de bœuf purifié. Quand l'encre est sèche on peut la lisser avec un BRUNISSOIR.

Encres sympathiques. On appelle ainsi toutes les li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

queurs avec lesquelles on trace des caractères invisibles sur le papier, et qui apparaissent ensuite sous différentes couleurs par l'action des agents chimiques. On les divise en trois classes :

La première classe comprend les encres invisibles qui apparaissent par l'emploi d'un autre réactif ;

La deuxième classe comprend celle dont l'écriture invisible devient colorée en l'exposant à la chaleur ;

La troisième classe est celle des encres invisibles dont l'écriture tracée avec un corps collant, gras et incolore, apparaît en la couvrant avec quelque poudre colorée.

On peut lire les recettes de ces encres qui sont détaillées et expliquées dans la physique amusante de M. Julia de Fontenelle, et le *Manuel de chimie amusante de M. Riffaut*. Elles sont de trop minime importance pour nous y arrêter.

V. ENCRES AUTOGRAPHIQUES ET LITHOGRAPHIQUES.

Recette de M. Crusel, écrivain autographe du ministère de la guerre, auquel la Société d'encouragement a décerné, en 1830, le prix de 200 francs, proposé par elle pour la meilleure encre autographique.

Composition. 8 grammes de cire vierge, 2 gram. de savon blanc, 2 gram. de gomme laque, et 3 cuillerées à bouche de noir de fumée.

Préparation. On fait fondre ensemble la cire et le savon, et avant que ce mélange s'enflamme, on y joint le noir de fumée, que l'on remue avec une spatule ; on laisse brûler le tout pendant trente secondes, on éteint la flamme, puis on ajoute peu à peu la laque, en remuant toujours ; on remet le vase sur le feu pour faire l'amalgame, jusqu'à ce qu'il s'enflamme ou soit prêt à s'enflammer ; on éteint la flamme et l'on ne verse dans le moule que lorsque l'encre est un peu refroidie.

Propriétés. On peut, avec cette encre, faire des traits aussi fins qu'avec le burin, et des pleins aussi forts que l'on veut, sans craindre qu'elle s'étende au transport ; sa composition indique qu'elle peut se conserver en bâton sans se détériorer, et que les traces sur le papier lithographique peuvent se conserver aussi des années avant d'en faire le trànsport ; elle est donc à la fois bonne et inaltérable.

Observations. On pourrait faire une encre qui serait plus lente à se coaguler, en ne mettant que 1 gram. 1/2 ou même 1 gramme de savon ; mais, si elle est un peu trop brûlée, elle ne se transporte pas bien, parce qu'elle est trop sèche ; celle dont la composition est donnée ci-dessus n'a pas cet inconvénient. Si elle se coagule trop vite, donnez-lui une flamme ; si elle est un peu trop brûlée, elle est encore bonne. On ne risque donc jamais de perdre son temps et ses matières.

On sera peut-être surpris de ne pas trouver de suif dans cette composition ; nous avons observé que l'encre qui en contient une petite quantité est bonne quand on l'emploie de suite, et que le transport se fait aussi de suite ; mais que le suif séchant promptement, son effet devient nul, et souvent des ouvrages transportés 4 à 5 jours après qu'ils sont écrits paraissent défectueux, bien que faits par une main très exercée. Si le suif est employé en plus grande quantité, les traits s'étendent au transport, et si le transport se fait longtemps après le tracé, la défectuosité est encore plus sensible (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, tome XXX, page 265.)

Emploi. Il est nécessaire de dissoudre cette encre à chaud, on peut ensuite y ajouter de l'eau froide. Pour cela, on fait chauffer fortement une soucoupe devant le feu ou à la flamme d'une bougie, en même temps on promène un bâton d'encre jusqu'à ce qu'il y en ait assez de fondu. On ajoute de l'eau qu'on laisse bouillir dans la soucoupe. On retire la soucoupe, et on délaie l'encre avec un bouchon ; s'il y a trop d'eau, on fait évaporer ; s'il n'y en a pas assez, on en ajoute de la froide.

Encre lithographique de M. Lemercier.

Proportions. Cire jaune . . . . . 4 parties ;
Suif de mouton épuré . . . 3
Savon blanc de Marseille . 13
Gomme laque en feuille. . 6
Noir léger 3

On peut changer les proportions qui précèdent, si on veut rendre cette encre applicable à un usage particulier ; ainsi, supposant qu'on veuille aciduler fortement pour mettre le travail à l'encre en relief ; on augmentera la proportion du suif, observant d'ajouter, dans le même rapport, à la proportion du savon. L'encre où on aurait mis plus de suif que précédemment, nécessiterait aussi un peu plus de noir.

Fabrication. Il faut avoir une casserole de cuivre ayant un long manche, munie de son couvercle, et une cuillère en fer. On commence par faire fondre les ingrédients pour l'encre dans le même ordre que pour la fabrication des crayons ; le savon étant fondu, on ajoute la gomme laque par petites pincées, agitant continuellement, et ayant attention de n'en remettre qu'après que celle précédemment ajoutée est fondue. Lorsque l'on a fait l'addition de toute la gomme laque, on augmente le degré de chaleur, jusqu'au moment où la vapeur blanche qui se dégage commence à s'épaissir. Alors on retire la casserole du feu, et on enflamme la matière ; supposant qu'on ait pris par 31 grammes chacune des proportions précédentes, on laissera brûler pendant une minute au plus ; ensuite on éteint la flamme, on laisse la fumée se dégager et la masse refroidir pendant une demi-minute ; puis on fait l'amalgame du noir, en le délayant pendant plusieurs minutes, après lesquelles on remet la casserole sur le feu, en continuant toujours de remuer la masse. On laisse cuire un quart d'heure environ. La cuisson étant terminée, on laisse l'encre refroidir un peu, et on la verse sur un marbre que l'on a frotté d'avance avec du savon, ce qui facilite l'enlèvement de la matière refroidie ; arrivé à ce point, on la fait refondre, pour mieux mélanger et raffiner sa pâte ; ce moyen est bien préférable à celui du broyage, qui est très difficile, attendu qu'il ne peut être fait qu'à chaud. En faisant refondre la pâte, il est essentiel de la remuer sans cesse et de la maintenir à une chaleur tempérée. Cette seconde opération étant terminée, on coule l'encre dans un cadre en bois posé sur le marbre qui a déjà servi, et avant que l'encre soit tout à fait refroidie, on la divise par morceaux, en la coupant avec une lame de couteau ; il faut ensuite la laisser sécher parfaitement avant de l'employer.

Nous pourrions multiplier les recettes d'encres autographiques et lithographiques, qui varient seulement dans la proportion de certaines matières, et qui sont du reste à peu près semblables, quant à la nature et à la composition des substances réunies.

Ainsi, on retrouve dans toutes les encres du savon ou un alcali fixe (soude ou sous-carbonate de soude), du suif ou de la graisse, de la cire, de la gomme laque et du noir de fumée. Dans quelques-unes, cependant, on trouve de la térébenthine de Venise et du mastic en larmes ; mais on a reconnu par l'expérience et par la pratique que les encres qui renferment ces ingrédients sont d'une qualité inférieure, c'est-à-dire peu faciles à employer et peu résistantes à l'acidulation.

Il résulte même de l'examen que nous avons fait des recettes des meilleures encres lithographiques, que leurs ingrédients sont répartis dans les proportions suivantes : savon ou alcali, 1 partie ; corps gras (suif, cire, résine ou gomme-résine), 5 parties ; noir de fumée, quantité suffisante pour colorer. Mais le talent du fa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bricant d'encre consiste à choisir les corps gras dans un état de pureté suffisant, et à les mélanger avec soin, et dans des proportions convenables.

Voici les données de M. Joumar, écrivain-lithographe fort habile, sur l'encre lithographique.

« Outre la facilité avec laquelle on doit l'employer, deux qualités sont indispensables à l'encre : la résistance et la solidité.

« Elle est résistante lorsqu'elle préserve absolument la pierre de l'action des acides dans tous les points du trait.

« Elle est solide quand, après un long tirage, le trait n'est nullement altéré.

« Ces qualités bien distinctes sont souvent confondues par les lithographes ; elles sont cependant en quelque sorte exclusives l'une de l'autre, car les résines augmentent la résistance de l'encre en diminuant sa solidité, tandis que les corps gras (1) au contraire la rendent plus solide et moins résistante.

« Diminuer le plus possible la proportion des résines, en augmentant d'autant celle des corps gras, serait le moyen d'obtenir l'encre la meilleure pour la durée de la planche, si, par la diminution de la dose des résines, on n'altérait la résistance qui seule permet une acidulation un peu énergique, autre condition d'un tirage facile et long, et si la question de sa fluidité ne venait d'un autre côté compliquer le problème. »

Senefelder avait déjà dit dans son Traité de la lithographie :

« Si l'on emploie la gomme laque, l'encre conserve un peu plus longtemps sa fluidité. »

De cette remarque de Senefelder et du rapprochement que nous venons de faire, nous serons donc fondés à conclure que les résines augmentent et prolongent la fluidité de l'encre, et c'est un motif pour les y maintenir dans une proportion plus grande que ne l'exigerait le fait seul de l'impression.

D'après sa propre expérience, M. Joumar pense que cire, 1 partie ; corps gras, 1 partie ; corps résineux, 1 partie, sont des proportions générales desquelles il ne faut pas beaucoup s'écarter (2).

Puis il indique les effets auxquels donne lieu l'introduction en excès d'une de ces substances composantes, et le caractère particulier qu'elle communique à l'encre.

« *Avec excès de résine.* L'encre avec excès de résine est sèche, à cassure luisante, insoluble à froid ; elle coule sur la pierre avec une facilité trop grande pour permettre aisément des travaux finis. La résistance à l'acidulation est très grande ; on ne peut l'enlever avec l'essence avant le tirage d'un certain nombre d'épreuves, sans courir le danger de ne plus voir reparaître les parties les plus délicates de la planche ; elle dure peu d'ailleurs au tirage ; c'est la plus mauvaise des encres.

« *Avec excès de cire.* Encre ferme, assez cassante lorsqu'elle est bien calcinée ; elle a une odeur de cire prononcée, une pâte fine, surtout lorsqu'il y a dans l'encre une certaine quantité de mastic ; elle conserve très peu de temps sa fluidité et devient épaisse et terreuse, d'un emploi facile pendant qu'elle est fluide ; le trait graisseux qu'elle dépose sur la pierre est terne et terreux. Cette encre est bien résistante et assez solide. A part l'inconvénient d'être obligé d'y ajouter à chaque instant de l'eau, ce n'est pas une mauvaise encre.

« *Avec excès de corps gras, suif et savon.* Encre molle adhérant aux doigts ; elle se délaie avec facilité, devient en peu de temps épaisse et visqueuse ; d'un emploi facile pour certains travaux, sa résistance n'est pas très grande ; en revanche, beaucoup de solidité.

« *Avec excès de suif.* Même caractère que la précédente ; elle devient épaisse sans viscosité, d'un emploi plus difficile, peu résistante, mais solide.

« *Avec excès de savon.* A peu près les mêmes caractères ; elle devient très gluante en s'épaississant ; sa résistance est grande, beaucoup de solidité. »

Ces données suffiront, sans doute, pour éclairer les praticiens dans le choix et la proportion des substances ; quant au moyen de donner à une encre mal fabriquée les qualités requises, nous allons l'indiquer aussi.

1° Si l'encre est insoluble, on doit ajouter à la composition du savon sec, en la faisant refondre sans l'enflammer.

2° Si elle est molle et gluante, on doit la brûler davantage, pour enlever l'excès de corps gras.

3° Si elle est très peu soluble et pas assez noire, l'on ajoute un peu de noir, en remuant toujours et doucement pour bien opérer le mélange.

4° Si après sa dissolution dans l'eau, et après un certain temps de repos, elle devient visqueuse, on doit la faire cuire un peu plus, afin de mélanger plus intimement le savon ou l'alcali avec les corps gras et résineux.

5° Les bâtons de cette encre doivent être homogènes et exempts de bulles d'air ; on obtient ces effets, en agitant continuellement et doucement les matières, et en les fondant une deuxième fois.

VI. ENCRES D'IMPRIMERIE.

Plusieurs auteurs modernes ont écrit qu'on n'avait pas de justes notions sur la nature et la préparation de ces encres. Les uns disent qu'on ne les a pas décrites d'une manière précise jusqu'à ce jour ; les autres pensent que les fabricants font un grand mystère de leurs modes de composition et de préparation ; et cependant on sait, depuis l'origine de l'imprimerie, c'est-à-dire depuis plus de quatre siècles, que l'encre est un mélange d'huile et de noir de fumée ; l'huile se convertit en vernis par la cuisson ; le noir de fumée provient de la combustion de la poix-résine ou de la graisse.

Disons donc en passant que les encres d'imprimerie généralement en usage en France sont encore telles qu'elles ont été inventées dès l'origine, c'est-à-dire composée d'huile cuite et de noir de fumée, etc. Au résumé, la préparation de ces encres est décrite et parfaitement décrite dans les auteurs spéciaux qui ont écrit sur l'imprimerie.

Nous ne saurions nier toutefois les défauts capitaux de la plupart des encres typographiques françaises, faites avec de l'huile cuite ou mal cuite et mal dégraissée (voyez VERNIS), qui jaunissent par le temps, comme on peut s'en convaincre en examinant certains ouvrages imprimés, et qui s'oxydent surtout trop facilement au contact de l'air et de la lumière.

Nous citerons aussi avec éloge les améliorations notables apportées depuis quelques années en Angleterre, dans la composition de ces encres. Ces perfectionnements, qu'on a essayé un temps de nier, sont si réels, qu'un fabricant anglais a trouvé bénéfice à transporter en France son usine, et que plusieurs importantes fabriques françaises font depuis quelques années de

---

(1) M. Joumar entend par *corps gras* le suif et le savon.

(2) C'est identiquement les mêmes proportions que nous avons indiquées plus haut, sauf le savon que nous désignons par *alcali* ou base, et sans lequel d'ailleurs *l'encre lithographique n'est pas possible* (voyez IMPRIMERIE LITHOGRAPHIQUE).

Ainsi, en décomposant les nombres donnés par M. Joumar, nous trouvons :

Savon. . . .	1/2 partie.	En doublant.	1
Cire.	1 partie.	—	2
Suif.	1/2 partie.	—	1
Corps résineux.	1 partie.	—	2

} 5

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grands efforts pour améliorer leur mode de fabrication.

En effet, bien des imprimeurs français étaient forcés, pour les tirages de grand luxe, de faire venir d'Angleterre, au prix de 16 à 20 francs le kilogramme, des encres qui possédaient des propriétés, un brillant qu'ils ne rencontraient pas dans les encres françaises.

Il y avait là l'indice d'un progrès autre que celui d'un simple tour de main; aussi a-t-il été constaté que les fabricants anglais faisaient entrer dans la composition de leurs encres (typographiques (1) seulement), des substances qu'on n'avait pas songé à employer en France, des baumes que leur fournissait leur commerce si étendu, et surtout le baume de copahu. Nous dirons plus loin combien ces substances donnent de brillant à l'encre, mais d'abord indiquons les conditions générales de cette fabrication.

Encres typographiques. Trois opérations sont nécessaires pour former cette encre :

1° Faire le noir convenable pour colorer suffisamment;

2° Faire l'huile cuite ou vernis ou mieux *faire le meilleur choix et le meilleur dosage d'autres ingrédients*, et les mélanger assez intimement pour obtenir constamment un excipient homogène et *sirupeux;*

3° Mélanger ou broyer le vernis ou l'excipient *sirupeux* avec le noir d'impression, de manière à former une encre d'un beau noir, compacte, assez résistante au toucher, uniforme dans sa composition, ayant la propriété d'adhérer facilement et uniformément aux rouleaux, aux caractères en relief, au papier légèrement humide, et de sécher très promptement.

Propriétés de l'encre. L'encre typographique doit adhérer fortement au papier, sans le pénétrer et sans former *de cercle*, ou *cerne jaune ou blanc*, autour des lettres et des traits; elle doit être insoluble et indestructible par les lavages à l'eau, par l'humidité, par la chaleur et par le plus grand nombre des agents chimiques dont nous nous servons dans l'économie domestique. Ces propriétés nous conduisent naturellement à étudier quelques-unes des substances qui peuvent produire les effets désirables.

1° *Huile cuite ou vernis.* Les vernis à l'huile de lin ou de noix non épurée à l'acide sulfurique (2) sont très siccatifs et les seuls propres à faire les encres d'imprimerie; celle de noix mériterait la préférence, car elle s'épaissit beaucoup moins par la cuisson; mais elle est trop chère. Quant aux autres huiles, elles ne valent rien, parce qu'on ne peut les dégraisser parfaitement; qu'elles sèchent difficilement et qu'elles pénètrent le papier et le jaunissent à mesure qu'elles vieillissent.

Cependant, dans quelques cas, c'est-à-dire pour faire certaines encres de couleur (avec le bleu de Prusse, le chromate de plomb, le blanc de plomb et autres couleurs qui sont très siccatives) on peut user d'une petite quantité d'huile d'œillette et de chènevis; mais c'est seulement pour humecter les couleurs (3).

2° *Les résines* (colophane, brai sec ou arcanson) entrent comme siccatifs dans la composition des encres typographiques. La térébenthine de bonne qualité est préférable pour l'encre supérieure, elle la rend plus forte, plus siccative et plus mordante; le fait est vrai, mais il entraîne un grand nombre d'inconvénients et de difficultés d'exécution que nous allons énumérer.

La première, est de mélanger à froid la térébenthine avec l'encre d'imprimerie, de manière à former une composition homogène; on peut bien la mélanger à chaud, mais alors la difficulté est d'opérer la cuisson au degré de chaleur convenable et pendant le temps nécessaire.

Si l'on fait trop cuire, ce qu'il est difficile d'éviter, alors le vernis est trop épais; si l'on fait cuire au point convenable, il arrive souvent, pour ne pas dire presque toujours, que l'encre est remplie de petits grains durs provenant du mélange du noir de fumée et de la térébenthine, qui se broient difficilement.

La térébenthine, ainsi que la litharge, dont quelques fabricants d'encres usent mystérieusement et maladroitement, ont encore le défaut de s'attacher tellement aux caractères, qu'il est presque impossible de bien laver les formes, soit à la lessive de potasse, soit à l'essence de térébenthine. D'ailleurs ces substances sèchent et durcissent si promptement les encres, qu'elles les rendent généralement difficiles à la distribution égale et uniforme sur le rouleau et sur les lettres.

3° *Les baumes du Pérou* ou *du Canada*, traités par l'alcool et la distillation pour enlever l'huile volatile, sont excellents dans la composition de l'encre, pour lui donner du luisant et du mordant. Mais *le baume de copahu* dont on a enlevé l'huile volatile par la distillation, traité à la température ordinaire par l'huile de pétrole rectifiée, et solidifiée au besoin par le lait de chaux, est encore meilleur. On le broie sur un marbre à l'aide d'une molette, avec une proportion convenable de savon jaune, de résine ou de savon gras, de térébenthine de Venise et de copal en poudre, si l'on veut avoir une encre très brillante.

4° Le savon de résine est aussi une matière utile, nous dirons même indispensable, pour la préparation d'une bonne encre, car elle lui donne du liant et de la facilité à se déposer sur les lettres et sur le papier. On a remarqué que l'encre qui ne contient pas de savon empâte l'œil des caractères après le tirage de quelques épreuves (1).

Le savon de résine jaune est le meilleur pour les encres noires; mais pour les encres de couleurs brillantes et délicates, le savon blanc en poudre et sec est préférable. Il faut bien faire attention de ne pas mettre trop de savon, car l'impression serait irrégulière et l'encre ne sécherait pas complétement. La proportion doit être telle que l'encre se distribue facilement et uniformément, sans empâter l'œil des caractères.

5° Le noir de fumée végétal est, dit-on, employé en Angleterre préférablement à tous les autres noirs dans la composition des encres de première qualité. En France on emploie le noir de résine purifié.

La plus belle qualité de noir (après le noir de bougie, qui serait d'un prix énorme) est celui qu'on obtient de la combustion étouffée des hydro-carbures. Ce progrès est d'autant plus heureux qu'il fournira un débouché à nos fabricants d'hydro-carbures d'huile de schistes, pour leurs huiles lourdes impropres à l'éclairage.

L'indigo seul ou mélangé avec un poids égal de bleu de Prusse, employé en petite quantité, donne à l'encre un noir très intense.

Manière de fabriquer l'encre ordinaire avec le vernis,

---

(1) Les encres pour la taille-douce et la lithographie sont toujours faites avec de l'huile plus ou moins cuite et du noir choisi.

(2) L'huile de noix épurée contient toujours une certaine quantité d'acide sulfurique qui altère le brillant du noir et le papier lui-même, sur lequel il opère une véritable combustion, et cette combustion se dénote par une couleur jaune que l'on voit à l'envers du papier.

(3) L'on doit employer deux sortes de vernis, l'un faible et l'autre fort. Le faible est destiné pour le temps froid et la presse mécanique; le fort est pour le temps chaud et l'impression des vignettes soignées, à l'aide de la presse à bras. Cette précaution est d'autant plus indispensable que souvent l'on est obligé de modifier ou d'accroître la qualité d'une encre par une addition de l'un ou l'autre vernis.

(1) Les caractères *encrés* avec une encre qui contient du savon peuvent être lavés et décrassés facilement et promptement avec une lessive légèrement alcaline.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

etc., d'après M. Savage (1). Mettez dans un poêlon de terre, assez grand pour contenir toute l'encre, de l'indigo et du bleu de Prusse bien broyés :

75 grammes de chacun, avec 2 kilogr. du plus beau noir de résine et 1 kilogr. 750 grammes de noir végétal, versez ensuite sur cette composition le vernis chaud, en ayant soin de verser lentement, par degrés, et de remuer constamment pour incorporer convenablement toutes les matières.

Cela fait, vous soumettrez le mélange à un broyage à la molette, ou mieux à une machine ou moulin opérant par un frottement circulaire et alternatif (voyez BROYAGE pour les machines), jusqu'à ce qu'il forme une pâte granulée, luisante et parfaitement homogène.

Il ne faudrait pas croire, du reste, que ce résultat soit obtenu facilement à l'aide des machines cylindriques qui, comme nous l'avons dit, sont impropres à la fabrication des encres d'imprimerie. (Voy. BROYAGE).

On peut fabriquer l'encre pour l'impression des vignettes de la manière suivante :

Baume de copahu.	36 parties.
Noir de fumée.	12
Indigo et bleu de Prusse par parties égales.	5
Ocre rouge.	3
Savon de résine.	12

On broie ce mélange sur une table de marbre, avec une molette circulaire (2).

Les encres de couleur se fabriquent de même; mais les matières colorantes convenables (voy. COULEURS) sont broyées d'abord à l'eau, puis elles sont séchées sur des tablettes en plâtre pour absorber rapidement l'eau qu'elles renferment. Il ne faut pas oublier que la parfaite trituration augmente la transparence et l'éclat des couleurs. Il faut donc broyer longtemps et lentement.

Composition de l'encre pour l'imprimerie en taille-douce. Cette encre diffère de l'encre typographique, par l'état de l'huile cuite qui ne doit pas être soumise à une ébullition prolongée capable de lui faire acquérir la propriété d'adhérer. Cette qualité la rendrait ainsi moins disposée à entrer dans le creux de la gravure et plus difficile à étendre ou à enlever. Le noir est également d'une espèce différente, et composé de noir d'os et de noir de lie de vin brûlée (3).

On fait l'encre de diverses manières, en raison du genre de gravure à imprimer. Par exemple, pour le pointillé, il faut une encre qui ne soit pas excessivement garnie et qui soit un peu pâteuse; si on veut lui donner du brillant on y ajoute un peu de noir léger.

Pour l'aqua-tinta, il faut aussi un noir qui ne soit pas très garni, mais ferme. On y met un peu de noir léger pour donner du brillant et de la vigueur.

Pour le burin, il la faut très garnie et très ferme.

Pour la manière noire, il la faut la plus ferme possible; on y met un quart d'huile claire, un quart à peu près d'huile grasse et un quart et demi d'huile forte.

Lorsque les planches sont usées ou que la gravure en est faible, il faut moins d'huile forte; un peu d'usage et d'expérience doivent diriger pour la quantité.

(1) Voir son ouvrage sur la préparation de l'encre d'imprimerie. Londres, 1832.

(2) On nous a communiqué une recette d'encre typographique employée en Angleterre et ainsi composée :

450	grammes	de savon vert,
250	—	de térébenthine de Venise,
50	—	de noir léger,

mais nous n'en garantissons pas les avantages, que nous n'avons pas été à même de vérifier. C'est aux praticiens à faire des essais pour se convaincre.

(3) On emploie plus généralement du noir de Francfort, qui est un résidu ou charbon plus dense, qu'on dit être fait avec de jeunes branches de vigne.

Composition et préparation de l'encre d'impression lithographique. (Extrait du *Manuel de la lithographie*, par MM. Chevalier et Langlumé). « De la préparation de l'encre d'impression et de la quantité et de la qualité du noir employé (1), résultent la couleur plus ou moins noire, plus ou moins brillante des épreuves, ainsi que la conservation du dessin sur la pierre pour obtenir un long tirage. Les lithographes emploient deux espèces d'encre. L'encre faite avec *le vernis léger* (2) est l'encre qui sert pour l'impression des dessins faits au trait, des écritures et des autographies; cette encre peut s'appeller *encre n° 1*. L'autre, faite avec le vernis n° 2, est employée pour l'impression des dessins au crayon : cette dernière encre demande plus de soins dans l'addition du noir. On pourrait faire des encres intermédiaires dans le but d'adoucir la teinte ou de la rendre plus forte : l'encre plus douce servirait à imprimer les dessins légers, qui ont de la peine à prendre de la couleur; l'encre plus forte serait appliquée aux dessins vigoureux qui auraient une tendance à noircir ou à s'empâter. »

En général, on ne saurait trop recommander une attention toute particulière dans la préparation des unes et des autres, puisqu'on voit tous les avantages qui doivent résulter de cette préparation. Plusieurs personnes ont eu l'idée de se servir, pour la préparation de l'encre, de bleu d'indigo, de cire, de suif, de résine, de laque noire, etc.; mais les mélanges que nous avons faits de ces diverses substances avec le vernis et le noir de fumée ne nous ont pas fourni des encres meilleures ni plus belles que celles que l'on prépare avec le beau noir de fumée et le vernis. Cette préparation étant plus simple, nous avons cru devoir lui donner, quant à présent, une préférence que nous croyons fondée sur le mode actuel d'encre à la main; mais nous donnerons à l'article LITHOGRAPHIE la composition d'une encre différente propre à l'impression lithographique à la mécanique.

Manière de mélanger le noir avec le vernis d'impression. A défaut d'une machine à broyer convenablement disposée, comme nous l'avons dit plus haut, on peut broyer l'encre sur une pierre lithographique très dure et parfaitement plane. On place la pierre lithographique sur un matelas de flanelle recouverte d'une toile cirée.

On se sert ordinairement d'une molette de porcelaine, de grès, de zinc ou de toute autre matière plus dure que la table à broyer, et taillée en forme de cône. La surface frottante de cette molette est circulaire parfaitement plane, mate et dépolie. Les arêtes inférieures en sont arrondies en biseau ou chanfrein, afin de donner entrée ou prise à l'encre et d'empêcher ainsi la molette de *brouter*. Mais, d'après des expériences qui nous sont particulières, la forme de cette molette nous paraît vicieuse, et de nature à fatiguer beaucoup le broyeur; en effet celui-ci doit agir avec la main sur la molette tout à la fois pour comprimer la matière, et pour donner le mouvement rectiligne ou curviligne à volonté. On peut broyer avec moins de fatigue, et avec plus de célérité en employant tout simplement *la machine à lisser;* les modifications et additions à apporter au mode de broyage consisteraient alors à se servir d'abord d'un cylindre de chocolatier pour mélanger grossièrement les matières; on achèverait le broyage avec la molette montée sur la *machine à lisser.*

Manière de broyer le noir d'impression et de le mélanger avec le vernis. On chauffe légèrement le noir calciné sur un feu de cendre chaud, et on l'écrase doucement avec une molette; puis on le broie avec une lessive légère de potasse ou de soude caustique pour le réduire en

(1) Noir de fumée calciné.

(2) Huile cuite (voyez VERNIS.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

poudre impalpable. On le lave et filtre à plusieurs eaux à travers une chausse en laine ou en papier pour en extraire la potasse caustique, et on le fait sécher au contact du feu. Au moment de s'en servir on l'humecte de quelques gouttes d'alcool rectifié qui a pour but de faciliter son incorporation avec le vernis.

Cela fait, on étale le noir sur la table, en forme de cercle, à la façon des maçons qui font le mortier, et on l'humecte avec le vernis que l'on projette peu à peu. On retourne souvent le noir dans le vernis avec la spatule, jusqu'à ce que celui-ci forme une masse pâteuse très dure et très épaisse, que l'emploi de quelques coups du *cylindre-broyeur* amollit bientôt. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait incorporé environ 300 grammes de noir par 250 gram. de vernis.

Lorsque le mélange est bien opéré, on ramasse le noir avec la spatule et on en forme une *boule* ou *pâté*, que l'on place à l'abri du contact de l'air et de la poussière, dans une boîte de fer-blanc ou de tôle exposée à l'action d'une faible chaleur.

Comme la masse d'encre ne peut être broyée convenablement d'un seul coup, on en prend une portion de la grosseur d'une noix ou d'une noisette, suivant la grandeur de la table à broyer, et on l'étend avec la molette que l'on promène en ligne droite, de bas et haut et de haut en bas de la table, en appuyant préférablement sur l'arête de devant, de manière à former une couche légère et d'une faible épaisseur. Lorsqu'on a fait ainsi vingt-cinq à trente allées et venues, on décrit des ronds ou petits cercles concentriques, afin de ramener l'encre au centre de la table, et on la ramasse aussi de temps en temps avec la spatule sur les bords de la pierre et de la molette.

On s'aperçoit que l'encre est bien broyée, lorsque la masse réunie et partagée avec un couteau, présente une coupure qui, d'abord d'un beau noir mat, devient d'un beau noir brillant dans toutes ses parties. Si l'encre ne présentait pas ce caractère, il faudrait continuer de broyer.

VII. ENCRE COMMUNICATIVE POUR COPIER LES LETTRES.

Eau 200 parties, noix de galle 15 p., sulfate de fer 15 p., sucre commun 10 p., et gomme arabique 12 p. A 18 p. de cette encre ordinaire, ajoutez 6 1/4 de sucre candi, 2 1/2 p. de sel déliquescent (du sel marin, ou mieux du chlorure de calcium).

Autre encre communicative de Bovy de Prégny (*Description des brevets expirés*, tom. 54.)

Noix de galle. . . .	0,500	gram. dans	3 litr. d'eau ;
Bois de Campêche. .	0,125	—	1 —
Racine de guimauve.	0,075	—	1 —
Sulfate de fer calciné.	0,500	—	1 —
Sulfate de cuivre. .	0,225	—	
Gomme arabique. .	0,250	—	1 —
Sucre brut.	0,250	—	
	total		7 litres.

Faire infuser à chaud, pendant une heure, la noix de galle, le bois de Campêche, la racine de guimauve, les sulfates de fer et de cuivre, la gomme arabique et le sucre, dans la quantité d'eau désignée, sans laisser bouillir ; mélanger le tout, à l'exception de la gomme et du sucre que l'on ne met que six heures après, et laisser reposer pendant douze heures, après avoir remué le mélange.

Alors on décante le liquide et on le met dans des flacons.

Recette d'une encre en poudre impalpable, propre à obtenir *des copies d'écritures*, d'après le *procédé du prompt copiste de M. Lanet* (voyez *copie des* ÉCRITURES.)

Noir de fumée 1 partie, sulfate de fer 27 p., noix de galle en poudre fine et tamisée 13 p., sucre candi en poudre 60 p. On broie le tout avec une molette sur un marbre.

Cette poudre est jetée sur une feuille de papier, au-dessus des caractères écrits avec une encre communicative, et transportée sur un plateau vernis ou poli, sur une toile cirée, sur une peau, ou sur toute autre surface appliquée sur le plateau d'une presse, comme il est dit plus haut. Cette poudre adhère sur l'écriture ; ensuite, au moyen d'une brosse de martre, à longs poils et très douce, on enlève le surplus. Puis on humecte la surface des caractères au moyen de l'haleine, jusqu'à ce qu'ils paraissent noirs et mouillés ; le même effet peut être obtenu avec plus de régularité, au moyen d'une mousseline claire, tendue sur un châssis en fil de fer, et légèrement humectée d'eau. Après cela on imprime par les procédés connus.

Moyen de revivifier les écritures anciennes et presque altérées (*Dictionnaire Encyclopédique*). Prenez 1/6 de litre d'esprit-de-vin, cinq petites noix de galle ; plus ces noix seront petites, meilleures elles seront ; concassez-les et réduisez-les en poudre très menue ; mettez cette poudre dans l'esprit-de-vin ; prenez votre parchemin ou papier, exposez-le deux minutes à la vapeur de l'esprit-de-vin chauffé ; ayez un petit pinceau ou du coton, trempez-le dans le mélange de noix de galle et d'esprit-de-vin, et passez-le sur l'écriture, qui reparaîtra, lorsque cela est possible.

Quelquefois une écriture passée peut être rendue lisible en l'humectant tout simplement avec une infusion de noix de galle ou de fer. Le prussiate de potasse rend aussi l'écriture *noir-bleu*. Ce moyen pourrait même être utilisée pour augmenter la durée de l'encre à écrire ; il suffirait alors de tremper préalablement le papier sur lequel on veut écrire dans une faible décoction de noix de galle.

VIII. MOYEN D'ÉCRIRE SUR LE VERRE, LE ZINC, ETC.

Méthode de faire des écritures sur le verre au moyen des rayons du soleil. Cette méthode, décrite dans le *Dictionnaire de l'Industrie*, publié par Duchesne, en 1799 et 1800, peut servir de base à l'histoire de la photographie ; c'est pour cela que nous la donnons ici.

Dissolvez de la craie dans l'eau forte jusqu'à la consistance de lait ; versez-y une dissolution d'argent, gardez le tout dans une bouteille de verre blanc qui soit bien bouchée ; lorsque vous voudrez vous en servir découpez des lettres à jour sur un morceau de papier, et collez-le sur un des côtés de la bouteille ; exposez-la au soleil, de manière à ce que ses rayons puissent passer au travers de l'ouverture des lettres sur la surface de cette liqueur ; alors l'endroit éclairé où se trouvera la liqueur noircira, et le reste demeurera blanc ; observez de ne point remuer la bouteille pendant le temps que dure l'opération.

Moyen d'écrire sur le zinc pour étiqueter les plantes, par M. Braconnot. Ce moyen fut trouvé accidentellement par M. Symon, amateur de botanique et de culture à Bruxelles. Il consiste à écrire le nom des plantes avec un crayon noir à dessiner sur des lames de zinc ; en peu de jours l'écriture devient ineffaçable.

Cependant, ces caractères n'ont pas beaucoup d'intensité, surtout si la surface du zinc n'a pas été préalablement dépolie et rayée, soit par du grès, soit avec une lime ; encore dans ce cas, on conçoit que les contours des lettres ne peuvent avoir aucune netteté.

Dans l'espoir d'en trouver un meilleur, dit M. Braconnot, nous nous sommes livré à quelques recherches ; nous désirions surtout obtenir un liquide ou une espèce d'encre avec laquelle on pût facilement tracer sur le zinc des lettres ineffaçables par les intempéries de l'atmosphère et par le frottement. Comme nous avons atteint le but que nous nous étions proposé, nous pensons faire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plaisir au botaniste-cultivateur, en lui indiquant la préparation suivante :

Prenez : vert de gris en poudre, 1 partie;
Sel ammoniac en poudre, 1
Noir de fumée, 1/2
Eau, 10

Mêlez ces poudres, dans un mortier de verre ou de porcelaine, en y ajoutant d'abord 1 partie de l'eau pour obtenir un tout bien homogène, après quoi versez-y le reste de l'eau. Quand on se sert de cette encre, il faut avoir soin de l'agiter de temps en temps. Les caractères qu'elle laisse sur le zinc ne tardent pas à prendre beaucoup de solidité, surtout après quelques jours.

Elle pourra être employée non seulement dans les jardins botaniques, mais aussi pour désigner des objets que l'on conserve dans les lieux bas et humides; nous nous en sommes servi pour étiqueter des clefs. Nous avons trouvé d'autres compositions avec lesquelles on pourrait écrire assez solidement sur le zinc; mais elles ne valent pas celle que nous venons d'indiquer; nous ne citerons que la suivante : Eau, noir de fumée et alun. Comme ce sel existe souvent dans le crayon noir à dessiner, on peut supposer qu'il a quelque part dans la fixation du noir, ou qu'il agit comme mordant. Ce qu'il y a de certain, c'est que les crayons à dessiner de la fabrique de Conté, dans lesquels nous avons trouvé du sulfate d'alumine et du noir, laissent pareillement, en les frottant sur le zinc, des caractères qui deviennent ineffaçables. Au reste, dans ces sortes d'encres, on peut, jusqu'à un certain point remplacer le noir de fumée par des matières colorantes minérales.

Encre pour écrire sur les rognures de fer-blanc :

Eau forte (acide nitrique), 10 parties;
Eau, 10
Cuivre, 1

On fait dissoudre le cuivre dans l'eau forte ; lorsqu'il est dissous, on ajoute l'eau.

On peut écrire sur les rognures de fer-blanc avec ce liquide, en se servant d'une plume ordinaire un peu ferme, pour que l'écriture ne *baroche* pas; mais les morceaux de fer-blanc pouvant être enduits d'une matière grasse, qui refuserait le liquide, on les dégraisse d'abord, en frottant avec un linge enduit de blanc d'Espagne sec, qui enlève la matière grasse.

A. ROUGET DE LISLE.

ENCRIER. Parmi les divers encriers actuellement usités, nous citerons les deux plus ingénieux et les plus répandus : l'encrier syphoïde et l'encrier à pompe, qui ont tous deux pour but de soustraire l'encre à l'action de l'air qui la décompose lentement, et en même temps de ne jamais permettre à la plume de prendre une quantité d'encre trop considérable.

L'encrier syphoïde se compose d'un réservoir fermé, communiquant par le bas avec un tube latéral dans lequel on prend l'encre. Supposons le réservoir entièrement plein d'encre et inclinons-le légèrement : une ou plusieurs bulles d'air, s'introduisant par le tube latéral, viendront se loger à la partie supérieure du réservoir, et déplaceront une quantité d'encre correspondante qui refluera dans le tube latéral, où on la fera ainsi monter à la hauteur convenable. Lorsque le réservoir étant vide, on voudra le remplir, on versera l'encre par le tube latéral, en inclinant l'encrier en sens contraire, de manière à ce que l'air contenu dans le réservoir puisse s'échapper par le tube latéral, au fur et à mesure que l'encre s'y introduit.

Encrier pompe. Cet encrier, pour lequel M. Boquet a pris un brevet d'invention, actuellement déchu, se compose d'un réservoir, ordinairement en porcelaine, dans lequel on met l'encre et qui est percé latéralement, au-dessus du niveau habituel de l'encre, d'un petit trou qui vient aboutir au fond du godet où l'on plonge la plume. Le couvercle du réservoir est traversé par une vis qui supporte un cylindre plein en verre ou en porcelaine. En tournant le bouton qui forme la tête de la vis, le cylindre plein s'enfonce dans l'encre qu'il déplace et force à remonter dans l'intervalle annulaire, compris entre le contour du cylindre et les parois du réservoir; dans ce mouvement ascensionnel, le niveau de l'encre atteint le trou latéral qui communique avec le godet, où elle s'élève plus ou moins, selon le degré d'immersion du cylindre. En faisant tourner le bouton en sens inverse, on fait remonter le cylindre, et l'encre du godet rentre dans le réservoir par le trou, dont nous avons parlé, qui est légèrement incliné du dehors au dedans.

L'encrier-pompe, qu'il serait plus rationnel d'appeler encrier à plongeur, a l'avantage de conserver l'encre à l'abri de l'air et de la poussière, d'empêcher qu'elle ne se perde par une évaporation surabondante, de lui imprimer une légère agitation qui en recombine tous les principes, et lui donne une teinte égale et prononcée au moment où l'on veut en faire usage, et de la présenter à la plume en plus ou moins grande abondance, selon le besoin que l'on en a. Enfin le réservoir n'étant point hermétiquement clos, l'air qui s'y trouve renfermé peut s'échapper facilement, et l'on n'a pas à craindre que l'action de la chaleur ou celle des rayons solaires, en dilatant l'air contenu dans le réservoir, fasse extravaser l'encre et la répande au dehors, comme cela peut quelquefois arriver avec l'encrier syphoïde, si l'on n'a pas soin de le tenir presque entièrement plein d'encre, et de ne jamais en faire passer dans le tube une quantité suffisante pour le remplir en grande partie.

ENDUITS HYDROFUGES. Les murs des habitations, particulièrement les parties basses, sont exposés à se pénétrer d'une humidité plus ou moins considérable, suivant différentes circonstances particulièrement dépendantes de la situation des bâtiments et des usages auxquels ils sont employés, de la nature des matériaux de construction et de diverses conditions locales, des infiltrations par exemple.

Dans une localité semblable, l'air constamment humide présente de graves inconvénients pour la santé de ceux qui y habitent; les objets qui s'y trouvent placés, et plus particulièrement les tentures, y éprouvent une détérioration plus ou moins rapide, qu'il est de la plus haute importance de prévenir. On y parvient complétement au moyen du procédé suivant, résultat des recherches de MM. Thénard et D'Arcet : on sèche d'abord le mur, à l'aide d'un réchaud de doreur, après l'avoir gratté à vif pour mettre le plâtre ou la pierre à nu, s'il est vieux; puis on en chauffe de nouveau successivement les diverses parties, sur lesquelles on applique à mesure à la surface un mastic gras à l'aide d'un large pinceau. Si celui-ci ne pénètre pas complétement, on présente le réchaud devant, de manière à chauffer aussi fortement que possible sans altérer cependant l'huile qui entre dans la composition du mastic gras. On donne ainsi successivement plusieurs couches, jusqu'à ce que le plâtre ou la pierre refuse d'absorber le mastic. La dernière couche forme alors, à la surface du mur, un léger glacis qui prend beaucoup de solidité, et sur lequel on peut ensuite peindre ou coller du papier de tenture ou autre.

Le mastic gras communément employé se prépare en faisant cuire une partie d'huile de lin avec 1/10 de litharge, puis y faisant fondre deux parties de résine.

Lorsque les murs sont légèrement humides, et que l'on veut éviter l'altération du papier qui les recouvre, on applique sur la surface des feuilles de plomb. Dans ce cas, ce qu'il y a de mieux à faire est de donner

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au mur un enduit de bitume très-chaud, qui pénètre le mur, et forme à la surface une couche solide et imperméable sur laquelle on étend, pendant qu'elle est encore molle, la feuille de plomb. Le papier collé sur un mur préparé de cette manière se conserve très-bien.

Plusieurs ciments, notamment des compositions dont l'oxychlorure de zinc est la base, ont été proposés et réussissent dans divers cas à remédier à un inconvénient qu'il vaut bien mieux prévenir par les soins apportés à la construction que corriger plus ou moins imparfaitement.

Le principal et le plus sûr moyen adopté dans la pratique consiste à couvrir de planches le mur habituellement humide, planches placées à quelque distance du mur, assemblées sur des tasseaux, et sur lesquelles on tend la toile qui reçoit le papier de tenture. L'air interposé entre celui-ci et le mur empêche toute communication d'humidité à la pièce habitée, dans le cas où l'eau provient de celui-ci, ce qui est bien rare, mais surtout empêche la précipitation de l'humidité sur la muraille, dans le cas, bien plus fréquent, où la maçonnerie, se refroidissant par sa communication avec le sol, devient humide par la précipitation de la rosée qui se forme sur sa surface.

ENGRAIS (*angl.* manure, *all.* dünger). On donne le nom d'*engrais* à toute substance animale, minérale ou végétale qui peut conserver, augmenter ou rétablir la fécondité du sol.

Autrefois ce nom n'était accordé qu'aux matières d'origine organique; le nom de *stimulants* était réservé aux substances minérales salines ou alcalines qu'on supposait aptes seulement à faciliter l'assimilation des principes qui entrent dans la composition des fumiers.

Les travaux remarquables de MM. Boussingault, Payen, de Gasparin, en France; de M. Liebig, en Allemagne; de MM. Law et Gilbert, en Angleterre, etc., sont venus effacer cette distinction, en prouvant par de nombreuses analyses, et par des expériences exécutées avec soin, que les sels terreux et alcalins ne sont pas moins nécessaires pour l'alimentation des végétaux que l'azote lui-même.

La théorie des engrais comprend en réalité les mêmes questions que celles que se proposent la physiologie végétale et la chimie organique. Comment s'opère la nutrition des plantes, dans quelles conditions peuvent-elles s'assimiler les premiers éléments des corps organisés mis en liberté par des actions de fermentation, de décomposition; comment s'établit le *circulus* qui paraît une grande loi naturelle et qui fait que la mort fournit des matériaux pour la vie? ce sont là autant de problèmes difficiles, dont on peut trouver des solutions d'autant moins imparfaites que les connaissances acquises sur les végétaux sont plus grandes, et la théorie des engrais doit s'améliorer avec les progrès de la physiologie végétale. Les progrès accomplis par des travaux d'ordre scientifique peuvent se traduire en méthodes d'une grande importance pratique, fournir de puissants moyens d'accroître les richesses que produit la plus grande et la plus indispensable des industries, l'agriculture, en causant la salubrité qui s'altère par la putréfaction non utilisée des matières végétales et animales.

Comme la plante ne saurait créer de matière, qu'elle ne peut que transformer les éléments qui sont placés dans les conditions où elle peut se les assimiler, le meilleur engrais est donc celui qui, avec le concours des éléments contenus dans l'atmosphère, peut offrir à la plante cultivée, et sous une forme assimilable, *l'azote et les principes qui entrent dans la composition de cette plante et peuvent contribuer à son développement.*

On voit tout de suite de quel immense avantage il serait pour l'agriculteur de connaître exactement la composition des végétaux, celle des terrains qui les produisent, et celle des engrais qui sont destinés à leur alimentation.

Déjà la chimie répond à une partie de ces questions; quelques exemples feront sentir l'utilité de ces connaissances. Le vin renferme toujours une assez forte proportion de tartrate de potasse; or, il est évident que, si ni le terrain ni l'engrais ne pouvaient fournir la potasse en proportion suffisante, la vigne en souffrirait et ne donnerait qu'une faible récolte : c'est ce qui arrive probablement dans beaucoup de circonstances.

Le blé contient des phosphates en quantité telle que ses cendres fournissent souvent près de la moitié de leur poids d'acide phosphorique. Or, la plupart des terrains ne contenant que des traces de phosphates, il est de toute nécessité que l'engrais destiné à l'alimentation du blé en contienne une proportion convenable.

La paille, les tiges d'un grand nombre de plantes renferment une forte proportion de silice; le foin, le trèfle exigent de la chaux en abondance; d'autres végétaux ne prospèrent que lorsqu'ils peuvent s'assimiler de la soude. Toutes ces plantes doivent donc trouver dans la terre, ou à défaut dans l'engrais, les matières qu'elles préfèrent.

A l'aide de la chimie, l'agriculteur peut se rendre un compte exact des substances enlevées au sol par les récoltes, et calculer la nature et la quantité exacte des principes qu'il doit porter sur chacune de ses terres pour en maintenir la fertilité.

Les matériaux qui doivent concourir à la croissance des plantes sont de deux sortes; les uns appartiennent au règne organique, ce sont : l'azote, l'oxygène, l'hydrogène et le carbone; les autres constituent les cendres des récoltes, et sont formées de sels terreux et alcalins. Ce qui établit une distinction bien tranchée entre ces corps, c'est que les premiers sont en partie empruntés à l'atmosphère, et que les seconds, au contraire, ne peuvent être fournis à la plante que par la terre ou les engrais.

Voici, d'après M. Boussingault, la moyenne des résultats déduits des analyses faites sur les produits de six *assolements* différents, comprenant un grand nombre de plantes :

Récolte sèche : 1000 parties. *Engrais employé* · 442 parties.

Composition des récoltes.		Composition des engrais.	Différence.
Carbone. . . .	464	159 en plus	305
Hydrogène . .	54,6	18,7 id.	35,9
Oxygène . . .	416,0	114,0 id.	302,6
Azote.	12,4	8,8 id.	3,6
Sels	53,0	141,7 en moins	88,7

On remarque surtout que l'oxygène, l'hydrogène et le carbone contenus dans la récolte, forment un total bien supérieur à celui des mêmes corps contenus dans les engrais; on serait même porté à croire, en voyant ces résultats, que les engrais n'ont qu'une importance très-secondaire lorsqu'on les considère comme devant fournir ces trois corps, si des expériences directes n'avaient prouvé leur efficacité sous ce rapport. Heureusement que les substances qui peuvent fournir ces principes aux plantes se trouvent en abondance dans la nature; les feuilles des arbres et celles d'un grand nombre de végétaux, les racines des récoltes précédentes, la paille des graminées, et en général toutes les matières végétales et animales renferment en abondance ces corps.

En résumé, l'air, par son oxygène et son acide carbonique; l'eau, par ses éléments et les gaz qu'elle tient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toujours en dissolution, et une foule de substances que l'agriculture peut se procurer à bas prix, concourent à fournir aux plantes l'oxygène, l'hydrogène et le carbone qui sont nécessaires à leur existence.

De l'azote. Le précédent tableau montre que l'azote se trouve aussi dans les récoltes en plus forte proportion que dans les fumiers; mais la différence est moins considérable. Le rôle que ce principe joue dans l'agriculture est des plus importants; tout ce qui se rattache à sa manière d'agir est du plus haut intérêt; nous nous empressons donc de transcrire ici la manière de voir d'un de nos plus habiles observateurs, de M. Boussingault :

« Je crois avoir constaté par de nombreuses analyses que, dans la grande culture, l'azote contenu dans une succession de récoltes excède toujours, et souvent dans une très-forte proportion, l'azote qui se trouvait primitivement dans les engrais consommés pour les produire. Cet excès provient évidemment de l'air, et il est plus que probable que, dans cette circonstance, une partie de l'azote excédant entre dans les plantes à la faveur du nitrate d'ammoniaque, nitrate qui, d'après les analyses de M. Liebig, se rencontre fréquemment dans l'eau des pluies d'orage. Dans cette occurrence, ce serait donc un phénomène électrique qui disposerait l'azote de l'atmosphère à s'unir aux végétaux. Mais avant de se prononcer définitivement sur cette explication, il faut savoir si le nitrate d'ammoniaque peut réellement concourir à la production des principes azotés qu'on rencontre dans toutes les plantes. »

Les matières azotées sont plus rares et d'un prix plus élevé que les autres substances organiques; ce sont celles dont on doit tout d'abord se préoccuper en agriculture. L'azote est donc l'aliment qu'il importe le plus d'augmenter et de conserver dans les engrais, ou, en d'autres termes, les matières organiques les plus avantageuses à la production des engrais sont précisément celles qui donnent naissance, par leur *décomposition*, à la plus forte proportion de corps azotés, solubles ou volatils : nous disons par leur décomposition, car la présence de l'azote dans une matière d'origine organique ne suffit pas pour la caractériser comme engrais. La houille, pour citer un exemple, renferme de l'azote en quantité très-appréciable, et cependant son action améliorante sur le sol est entièrement nulle; c'est que la houille résiste à l'action des agents qui déterminent la production des combinaisons azotées favorables au développement des plantes.

Par les mêmes raisons, les engrais agissent avec d'autant plus de rapidité que leur décomposition elle-même est plus rapide : tel engrais n'agit que pendant une année, tel autre prolonge ses effets pendant cinq ou six années et même plus.

Cette durée d'action doit être prise en sérieuse considération; elle dépend souvent de la cohésion des substances, de leur insolubilité; le climat, la nature du terrain, exercent aussi une grande influence sur les progrès de leur décomposition.

Convaincus de l'importance de l'azote dans les engrais, MM. Payen et Boussingault ont entrepris une longue série d'analyses, dans le but de déterminer les proportions de ce principe dans les nombreuses matières employées à l'amélioration du sol. Ce travail leur a fourni les moyens d'établir les *titres* et les équivalents des engrais examinés comparativement, en les rapportant au fumier de ferme, que ces messieurs considèrent comme l'*engrais normal*. Nous donnerons plus loin ce travail remarquable.

Des engrais minéraux. Les végétaux renferment constamment des matières terreuses et alcalines, qui sont indispensables à la croissance des plantes, à leur vie complète, et même à leur destination. Un seul exemple suffira pour démontrer la nécessité de la présence de certains sels dans les plantes : la charpente osseuse des animaux doit sa rigidité à du phosphate et à du carbonate de chaux, les aliments doivent donc leur procurer ces sels calcaires; or, tous les aliments dérivent en définitive du règne végétal.

Une autre preuve de l'utilité des sels, c'est que les végétaux n'admettent pas indifféremment ceux qui sont à leur portée. Ils possèdent une véritable propriété d'élection pour admettre, ou au moins pour retenir certaines substances de préférence à d'autres. Il n'est plus possible de nier cette propriété et l'utilité des substances minérales choisies, en présence des faits nombreux indiqués par l'expérience agricole, et des analyses si précieuses et si concluantes de M. Boussingault.

Ainsi, parmi les plantes, les unes se chargent de sel marin sur le même sol où d'autres n'en prennent qu'une petite quantité. Le froment prend sur le même terrain huit fois plus d'acide phosphorique que les betteraves ou les navets; la paille d'avoine et celle de froment renferment cinquante à soixante fois plus de silice que le froment et l'avoine eux mêmes. Nous pourrions citer une foule d'autres exemples aussi concluants.

D'un autre côté, tout le monde sait que le plâtre est favorable aux légumineuses, et M. Boussingault a prouvé qu'il ne produit aucun effet sur le froment. On sait aussi que certains végétaux affectionnent certaines natures de sol, en raison des principes qu'ils contiennent; ainsi la fougère, le châtaignier, la vigne, demandent des sols riches en potasse.

Ces faits multipliés prouvent, comme le dit fort bien M. de Gasparin, que ce n'est pas une certaine quantité d'un principe nutritif uniforme, mais le choix de principes nutritifs différents, qui est nécessaire aux plantes.

Cela ne veut pas dire que dans certaines circonstances les plantes ne prennent des sels en plus ou moins grande quantité, que certains sels ne se substituent à d'autres, qu'ils soient aussi indispensables à l'existence de la plante que l'oxygène et le carbone, l'azote et l'eau, que la soude, par exemple, ne remplace la potasse, etc., non; mais ce qu'il y a de certain, c'est que lorsque la plante rencontre dans le terrain les substances qui lui sont le plus favorables, celles que ses cendres contiennent en plus grande quantité, elle prospère beaucoup mieux et donne des récoltes bien plus abondantes. C'est un fait bien certain que la différence de composition chimique des sols y fait reproduire des plantes d'espèces différentes.

Pour connaître les engrais minéraux qui sont utiles aux plantes, il était nécessaire d'avoir des analyses exactes de leurs cendres. Plusieurs chimistes se sont occupés avec soin de ces analyses; nous croyons devoir donner plus bas le résumé de quelques-uns de leurs travaux.

Lorsqu'on examine ces tableaux, une chose qui frappe tout d'abord, c'est la ressemblance que présentent les principaux résultats, quoique les plantes analysées proviennent de terrains de compositions différentes. Ainsi on remarque que les cendres de trèfle renferment toujours une proportion considérable de carbonate de chaux. Cela explique l'efficacité du plâtrage ou du chaulage, employés pour la culture de ces plantes. Les cendres de pommes de terre, de topinambours, de haricots et de fèves, contiennent jusqu'à 50 p. 100 et plus de potasse; les cendres du froment en donnent proportionnellement beaucoup moins, et renferment toujours des proportions énormes de phosphates.

Ces résultats, si remarquables et si constants, n'indiquent-ils pas de suite quelles sont les substances minérales qui doivent être associées à l'engrais azoté pour les différentes cultures, dans le but d'obtenir les récoltes les plus productives?

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EXPÉRIENCES DE M HERTWIG.

Analyses de quelques cendres végétales.

100 PARTIES renferment	Bois de hêtre.	Écorce de hêtre	Bois de sapin.	Écorce de sapin.	Feuilles de sapin.	Feuilles de pin.	Tabac de la Havane	Tabac de Hanovre.	Fanes de fèves de marais.	Paille de pois I.	Paille de pois II.	Fanes de pommes de terre.	Trèfle, luzerne
Carbonate de potasse.	11,72		11,30		»	»	6,18	»	13,32	4,16	4,34		23,47
Carbonate de soude.	12,37	3,02	7,42	2,95	»	10,72	19,40	1,61	16,06	8,27		4,69	8,16
Sulfate de potasse. .	3,49		»		»	1,95	»	11,11	32,40	10,75	11,99		2,23
Sel marin.	»	»	»	»	»	»	8,64	9,24	0,28	4,63	3,72	2,28	2,27
Sulfate de soude . .	»	»	»	»	»	»	7,39	1,09	»	»	»	»	»
Silicate de potasse. .	»	»	»	»	»	3,90	»	»	»	»	»	»	»
Carbonate de chaux.	49,54	64,76	50,94	64,98	»	63,32	51,38	40,00	39,50	47,81	49,73	43,68	41,61
Magnésie.	7,74	16,90	5,60	0,93	»	18,60	7,09	4,27	4,92	4,05	4,38	3,76	6,41
Phosphate de chaux.	3,32	2,74	3,43	5,03	»		9,04	17,95	6,43	5,15	4,15		11,80
Phosphate de magnésie.	2,92	0,66	2,90	4,18	»	6,35	»	»	6,66	4,37	7,82	5,73	0,91
Phosphate de fer. .	0,76	0,16	1,04	1,04	»	0,88	»	»	3,49	0,90	3,64	1,30	0,81
Phosphate d'alumine	1,51	0,81	1,75	2,42	»	0,71				1,20		2,75	»
Phosphate de manganèse.	1,59	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Silice.	2,46	9,04	13,37	17,28	»	10,31	8,26	15,25	7,97	7,81	15,54	29,81	2,26

EXPERIENCES DE M. THOU.

Analyses de quelques cendres végétales, provenant des environs de Solm, dans la Hesse électorale; récolte de 1842.

	Pois sauvages.	Pois jaunes.	Petites fèves de marais.	Froment.
Charbon.	»	»	»	0,522
Silice.	0,56	0,29	1,48	1,914
Phosphate de fer.	0,68	1,94	0,34	0,525
Chaux.	2,96	2,70	5,38	3,011
Magnésie.	7,75	6,91	7,35	13,575
Acide phosphorique.	38,34	34,01	35,33	45,531
Acide sulfurique.	2,63	4,28	2,28	»
Potasse.	27,12	35,20	21,74	24,170
Soude.	17,43	10,32	21,07	10,340
Chlorure de sodium.	1,88	2,56	3,32	»

Analyses de quelques cendres végétales par M. de Saussure.

100 PARTIES DE CENDRES contiennent .	Fruits murs du marronnier d'Inde	Graines de vesces.	Paille de froment.	Graines de froment.	Son de froment.	Tiges de maïs.	Graines de maïs.	Paille d'orge	Graines d'orge	Vesces en fleurs.	Paille de vesces sans graines.
Potasse.	51,0	22,45	12,5	15,0	14,0	59,0	14,0	16,0	18,0	57,25	31,0
Phosphate de potasse.	28,0	43,93	5,0	32,0	30,0	9,7	47,5	»	9,2	carbonate	»
Chlorure de potassium.	3,0	0,90	3,0	0,16	0,16	2,5	0,25	0,5	0,25	»	14,0
Sulfate de potasse. . .		2,00	2,0	»	»	1,25	0,25	3,5	1,5	12,0	2,0
Phosphates terreux. .	12,0	27,92	6,2	44,5	46,5	5,0	36,0	7,75	32,5	18,0	6,0
Carbonates terreux. .	»	»	1,0	»	»	1,0	»	12,50	»	5,0	37,5
Silice.	0,5	»	61,5	0,5	0,5	18,0	1,0	57,0	35,5	2,0	2,75
Oxydes métalliques. .	0,25	0,50	1,0	0,25	0,25	0,5	0,12	0,5	0,25	0,5	0,57
Perte.	5,25	2,30	7,8	8,59	8,59	3,05	0,88	2,25	2,8	8,25	6,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EXPÉRIENCES DE M. BOUSSINGAULT.

Composition des cendres provenant des plantes recoltées à Bechelbronn (Bas-Rhin).

SUBSTANCES qui ont donné des cendres.	ACIDES			Chlore	Chaux.	Magnésie	Potasse.	Soude	Silice.	Oxyde de fer, alumine, etc.	Charbon, humidité, perte.
	carbonique.	sulfurique.	phosphoriq								
Pommes de terre. . .	13,4	7,1	11,3	2,7	1,8	5,4	51,5	traces	5,6	0,5	0,7
Betteraves champêtres.	16,1	1,6	6,0	5,2	7,0	4,4	39,0	6,0	8,0	2,5	4,2
Navets.	14,0	10,9	6,1	2,9	10,9	4,3	33,7	4,1	6,4	1,2	5,5
Topinambours.	11,0	2,2	10,8	1,6	2,3	1,8	44,8	traces	13,0	5,2	7,6
Froment	0,0	1,0	47,0	traces	2,9	15,9	29,5	traces	1,3	0,0	2,4
Paille de froment. . .	0,0	1,0	3,1	0,6	8,5	5,0	9,2	0,3	67,6	1,0	3,7
Avoine.	1,7	1,0	14,9	0,5	3,7	7,7	12,9	0,0	53,3	1,3	3,0
Paille d'avoine.	3,2	4,1	3,0	4,7	8,3	2,8	24,5	4,4	40,0	2,1	2,9
Trèfle.	25,0	2,5	6,3	2,6	24,6	6,3	26,6	0,5	5,3	0,3	0,0
Pois.	0,5	4,7	30,1	1,1	10,1	11,9	35,3	2,5	1,5	traces	2,3
Haricots.	3,3	1,3	26,8	0,1	5,8	11,5	49,1	0,0	1,0	id.	1,1
Fèves.	1,0	1,6	34,2	0,7	5,1	8,6	45,2	0,0	0,5	id.	3,1

Substances minérales enlevées au sol par les diverses cultures faites à Bechelbronn sur un hectare.

NATURE de la récolte.	Récolte sèche	Cendres dans 100 parties de la récolte	Quantité des cendres par hectare.	ACIDES		Chlore.	Chaux	Magnésie	Potasse et soude.	Silice.	Oxyde de fer, alumine, etc.
				phosphoriq.	sulfurique.						
	kil.	kil	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Pommes de terre. .	3085	4,0	123,4	13,9	8,8	3,3	2,2	6,7	63,5	6,9	18,6
Betteraves	3172	6,3	199,8	12,0	3,2	10,4	14,0	8,8	89,9	16,0	5,0
Navets dérobés, demi-récolte.	716	7,6	54,4	3,3	5,9	1,6	5,9	2,3	20,6	3,5	0,7
Topinambours. . . .	5500	6,0	330,0	35,6	7,3	5,3	7,6	5,9	146,8	42,9	17,2
Froment.	1148	2,4	27,5	12,9	0,3	0,0	0,8	4,4	8,1	0,4	»
Paille de froment. .	2790	7,0	195,3	6,0	2,0	1,2	16,6	9,8	18,6	132,0	2,0
Avoine.	1064	4,0	42,6	6,4	0,4	0,2	1,6	3,3	5,5	22,7	0,6
Paille d'avoine. . .	1283	5,1	65,4	1,9	2,7	3,1	5,4	1,8	18,9	26,2	1,4
Trèfle.	4029	7,7	310,2	19,5	7,7	8,1	76,3	19,5	84,1	16,4	0,9
Pois fumés.	998	3,1	30,9	9,3	1,5	0,3	3,1	3,7	11,7	0,5	traces
Haricots à l'état normal.	1580	3,5	55,3	14,8	0,7	0,1	3,2	6,4	27,1	0,6	id.
Fèves à l'état normal.	2121	3,0	63,6	21,8	1,0	0,5	3,2	5,5	28,7	0,3	id.

Les tableaux ci-dessus prouvent bien que si l'azote est un des éléments les plus précieux à considérer dans les engrais, il ne suffit pas, et une terre qui ne recevrait qu'un aliment purement azoté, serait excitée, il est vrai, à la végétation, mais, bientôt épuisée de ses principes minéraux, elle ne tarderait pas à devenir stérile.

L'expérience de chaque jour vient à l'appui de cette manière de voir. N'est-on pas obligé de cultiver tour à tour des plantes différentes sur le même terrain, afin de ne pas l'épuiser des mêmes substances minérales? Dans certaines localités, ne laisse-t-on pas encore reposer la terre de temps en temps, sans lui rien enlever, afin de donner au sol le temps de reproduire, par de lentes décompositions, des sels assimilables et favorables à la végétation?

Il est facile de comprendre que si l'on rendait chaque année à la terre les substances qui lui sont enlevées par les récoltes, elle pourrait produire indéfiniment les mêmes récoltes, toutes choses égales d'ailleurs.

Tout en adoptant la manière de calculer la valeur des engrais azotés, d'après la quantité d'azote qu'ils renferment, l'agriculteur devra toujours prendre en sérieuse considération les sels qu'ils pourraient contenir, quoiqu'ils aient une moins grande valeur que l'azote. C'est ainsi que le guano et les os, qui contiennent une proportion considérable de phosphates, devront être préférés, à proportion égale d'azote, à d'autres engrais, qui ne contiendraient outre l'azote que des substances inertes.

Dans le cas où on emploierait des engrais ne contenant que très-peu de substances minérales, comme les sels ammoniacaux, le sang, la laine, etc., l'agriculteur intelligent devra toujours y suppléer par l'addition des principes qui leur manquent. Après les résultats décisifs que l'on a obtenus de l'emploi du sulfate de chaux et de la chaux dans la culture des plantes qui absorbent une proportion très-forte de cet alcali, on ne comprend pas comment on n'a pas encore étendu ces expériences à tous les sels utiles à la végétation. Il paraît évident que si la chaux et le sulfate de chaux, répandus en excès sur les terres qui en renferment toujours, produisent de bons effets dans la culture du trèfle, répandus également en excès ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

favoriseraient encore plus les récoltes de cette plante, dans des terrains qui ne contiennent souvent que des traces de ce sel.

D'après tout ce qui vient d'être dit, on peut donc conclure que le meilleur engrais serait celui qui rendrait à la terre *toutes les substances que les récoltes lui enlèvent*. Il n'en est aucun jusqu'à présent qui remplisse à lui seul cette condition; le fumier de ferme lui-même, qui renferme à peu près toutes les matières nécessaires à la végétation, ne suffit pas toujours. Les phosphates s'y trouvent en faible proportion, et d'ailleurs tous les agriculteurs n'ont pas à leur disposition la quantité de fumier qui leur est nécessaire.

A diverses époques, on a préparé avec plus ou moins de succès des engrais composés. Les esprits tournés vers les améliorations agricoles les ont accueillis avec ardeur, mais malheureusement ces préparations, décorées de noms divers, ont rarement une valeur intrinsèque égale à leur prix. D'ailleurs, soit par ignorance, soit par vice de manipulation, ces engrais présentent toujours des dosages différents.

De tous ces engrais ou mélanges propres à l'amélioration du sol, celui dont on a le plus parlé est l'engrais Jauffret. Cet engrais se composait de végétaux, d'arbustes, de roseaux, etc., arrosés avec une lessive composée de fumiers animaux délayés et de substances salines, destinées à ajouter à l'engrais les éléments manquant aux végétaux employés.

La recette de Jauffret n'est qu'un tâtonnement, où l'on ne saurait blâmer que l'exiguïté des proportions de matières employées; d'ailleurs, il manquait à l'auteur la connaissance de la composition des plantes.

Malgré son imperfection, la méthode de Jauffret a rendu de véritables services à la Provence, pays pauvre et manquant de fourrages, mais possédant auprès de ses terres épuisées de vastes espaces couverts de végétaux sauvages.

Après ces considérations théoriques, nous allons examiner les principales matières employées comme engrais, en disant quelques mots sur leur composition, leur valeur et leur préparation. Nous parlerons d'abord des engrais azotés, puis enfin des engrais minéraux, et nous terminerons par les sels ammoniacaux.

ENGRAIS AZOTÉS.

Fumier de ferme. Comme c'est surtout sur le fumier de ferme que l'agriculteur doit compter pour maintenir la terre en produit, nous allons en parler d'abord. Le fumier est composé généralement d'un excipient qui prend le nom de *litière*, parce qu'il sert à former le lit des animaux. Cette litière est formée de végétaux, le plus souvent de paille, de roseaux, de feuilles d'arbre, etc. Ces matières, qui ont le double avantage d'être en même temps absorbantes et azotées, s'emparent des déjections des animaux et constituent alors un des meilleurs engrais. Il est évident que le rapport entre la quantité de litière et celle des déjections animales constitue la plus ou moins grande valeur des fumiers également humectés, puisque les excrétions sont plus azotées que la litière; le meilleur fumier s'obtiendrait en employant le minimum de litière. Cependant il faudrait s'arrêter au point où les litières ne suffiraient pas pour absorber complétement les urines.

Le fumier de ferme peut être considéré comme un engrais complet et universel, c'est-à dire qu'employé en quantité suffisante, il pourrait entretenir indéfiniment la fertilité du sol. En effet, il renferme tous les principes nécessaires au développement des plantes : on y trouve toutes les substances minérales contenues dans les cendres des végétaux; en outre, les substances organiques qu'il renferme peuvent être divisées en deux classes : les unes, très-solubles dans l'eau, sont d'une grande richesse en azote facilement assimilable; les autres, insolubles dans l'eau, sont très-peu azotées et donnent naissance à des acides végétaux et autres produits constituant la masse brunâtre, connue sous le nom d'*humus*.

Outre son action chimique, le fumier de ferme a, par l'effet des pailles, une action mécanique sur le sol propre à diviser les terres fortes.

Le fumier est porté à l'aide d'une brouette dans un lieu proche des écuries et étables, où on l'amoncelle au fur et à mesure de sa production. Les eaux du fumier et celles qui s'écoulent des étables sont recueillies dans un puisard, situé au-dessous ou à côté du tas de fumier; un grillage en bois empêche la paille d'y pénétrer; une pompe plongeant dans le puisard permet d'arroser à volonté le fumier quand sa surface se dessèche trop. Les litières imprégnées d'excréments et imbibées d'urine doivent être arrangées et tassées avec soin pour qu'une fermentation trop active ne puisse avoir lieu dans la masse et occasionner des pertes.

On met quelquefois le fumier à l'abri du soleil; il serait bon, si on le pouvait économiquement, de l'abriter aussi de la pluie; dans tous les cas, il faut le garantir du contact des eaux courantes. Quand la paille a un prix élevé, on lave les litières et l'eau de lavage est recueillie avec les urines dans un même réservoir; l'engrais liquide ainsi obtenu s'emploie seul et on le conduit aux champs dans des cuves disposées sur des chariots.

Tous les fumiers de ferme n'ont pas les mêmes qualités ni la même valeur. Les différences dépendent d'abord de la variété des animaux qui les produisent, et ensuite de la nourriture de ces animaux et des soins qu'on donne à l'arrangement du tas de fumier.

L'engrais que MM. Payen et Boussingault ont appelé engrais normal est celui de la ferme de Bechelbronn, appartenant à M. Boussingault.

Ce fumier, fourni par 30 chevaux, 30 bêtes à cornes et 12 à 20 porcs, desséché à 110°, avait la composition suivante :

Carbone	35,8
Hydrogène	4,2
Oxygène	25,8
Azote	2,0
Sels et terres	32,2
	100,0

A l'état normal, c'est-à-dire tel qu'il sortait de l'étable, sa composition était celle ci :

Carbone	7,41
Hydrogène	0,87
Oxygène	5,34
Azote	0,41
Sels et terres	6,67
Eau	79,30
	100,00

M. Boussingault a analysé les cendres de ce fumier, et il a trouvé pour leur composition moyenne :

Acides	carbonique	2,0
	phosphorique	3,0
	sulfurique	1,9
Chlore		0,6
Silice, sable, argile		66,4
Chaux		8,6
Magnésie		3,6
Oxyde de fer et alumine		6,1
Potasse et soude		7,8
		100,0

Nous allons maintenant examiner les matières excrétées par différents animaux, et nous passerons en revue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

séparément les fumiers de cheval, de bêtes à cornes et de porcs, qui entrent dans la composition du fumier de ferme, dont nous venons de parler sommairement.

MATIÈRES EXCRÉTÉES.

Fumier de cheval. Quoique les déjections du cheval soient plus riches en azote que celles de la vache, ces dernières sont préférées par les cultivateurs, qui les trouvent plus utiles; cela tient à ce que le fumier du cheval étant peu humide fermente et se dessèche rapidement. Pendant cette fermentation, une portion considérable des principes azotés se trouve perdue, ce qui diminue d'autant la valeur de cet engrais. Effectivement, le fumier frais de cheval contient 2,7 pour 100 d'azote, tandis qu'après une décomposition complète, il n'en renferme plus, au même état de siccité, que 1 pour 100.

On peut s'opposer à cette décomposition du fumier de cheval, soit en le maintenant constamment humide, soit en le tassant fortement de manière à le préserver du contact de l'air; on prévient ainsi la production des moisissures qui s'y développent avec une grande rapidité.

Le fumier de cheval préparé sans les soins que nous venons d'indiquer ne convient qu'aux terres argileuses; bien préparé, il peut convenir à tous les sols. Plus riche en phosphate que le fumier de ferme, il est préférable pour la culture des céréales.

D'après M. Boussingault, un cheval qui consomme par jour :

7k,500 de foin,
2k,270 d'avoine,
16k,000 d'eau,

produit dans le même temps :

14k,200 de crottin,
4k,330 d'urine.

Fumier des bêtes à cornes. Le fumier des bêtes à cornes est beaucoup plus aqueux que le précédent, surtout quand le bétail est mis au vert; aussi la confection de ce fumier est-elle très-facile.

Les déjections de la vache, à l'état sec, renferment 2,6 d'azote, à l'état humide 0,36.

Dans les pays d'herbages; les excréments des vaches ne sont pas répartis d'une manière régulière; ils restent en effet à la place où les ont déposés les animaux. Il serait préférable de les enlever et de les délayer dans l'eau pour les répandre ensuite également sur les prairies. Cette manière d'opérer produit en Flandre de très-bons résultats.

D'après M. Boussingault, une vache qui consomme par jour

45k,000 de pommes de terre,
7k,500 de regain de foin,
60k,000 d'eau,

donne dans le même temps :

28k,413 d'excréments,
et 8k,200 d'urine.

Fumier de porc. Les porcs nourris à l'engraissement donnent des déjections très-azotées, qui, par conséquent, agissent plus énergiquement que les précédentes.

A l'état sec, les déjections renferment 3,4 pour 100 d'azote; à l'état humide 0,61 seulement.

D'après M. Boussingault, un porc de huit mois et demi, du poids de 60 kil., qui consomme dans la journée 7 kil. de pommes de terre cuites délayées dans de l'eau assaisonnée de 25 grammes de sel, produit :

1k,300 d'excréments,
et 3k,050 d'urine.

Fumier de mouton. Le fumier de mouton est très-énergique et peu aqueux; on l'emploie souvent sans préparation aucune. Après avoir balayé chaque matin le sol de la bergerie, on met les crottins en tas pour les vendre à la mesure. Le prix de l'hectolitre varie de 1 à 2 francs.

Les excréments des bêtes à laine s'appliquent le plus souvent au moyen du parcage. D'après M. Boussingault, un mouton, pendant la nuit, peut fumer une surface de 1mc,3 de terrain.

A l'état sec, le fumier de brebis contient 2,99 pour 100 d'azote, et à l'état normal 1,1.

Le parcage convient plutôt aux terres légères qu'aux terres argileuses; il peut même être très-nuisible à ces dernières par suite du tassement que fait éprouver au sol le piétinement des animaux.

Excréments de chauves-souris. — Le sol de certaines grottes fréquentées par les chauves-souris est entièrement recouvert par les excréments de ces animaux. Ce produit se décompose lentement : il est formé en partie de débris d'insectes.

Une analyse faite au laboratoire de l'École des ponts et chaussées (1) a donné pour la composition de ce produit les chiffres suivants :

1° Produits volatils ou combustibles		
Eau perdue à 105°.	19,50	
Matières organiques non compris l'azote	62,65	
Azote.	8,18	90,33
2° Cendres		
Phosphate de soude et alcalis. .	2,42	
Silice et sable siliceux très-fin. .	2,43	
Chaux.	2,37	
Magnésie.	0,02	
Acide phosphorique.	2,58	
Acide sulfurique	0,09	
Matières non dosées et pertes. .	0,06	9,67
	100,00	100,00

Les expériences faites pour utiliser les déjections de chauves-souris ont donné de bons résultats.

Colombine. Les excréments de pigeons sont connus sous le nom de colombine; ce fumier est tellement actif qu'il faut en user prudemment; il convient à toutes les cultures. Dans le département du Pas-de-Calais, où il existe de nombreux pigeonniers, on paye 100 fr. chaque année les déjections de 6 à 700 pigeons; c'est la charge d'une forte voiture. Cette quantité suffit pour fumer 1 hectare de terrain. Les excréments de poules, nommés poulaille, sont aussi très-actifs; mais ils ont moins de valeur que la colombine; ils sont très-recherchés dans le Midi.

Voici d'après M. Girardin les résultats d'analyses comparatives faites sur des excréments de pigeons et de poules :

	Fiente récente	
	de pigeon.	de poule.
Eau.	79,00	72,90
Matières organiques (débris de ligneux, plumes, acide urique, urate d'ammoniaque).	18,11	16,20
Matières salines (phosphate et carbonate de chaux, sels alcalins, etc.).	2,28	5,24
Graviers et sable siliceux . .	0,61	5,66
	100,00	100,00

MM. Boussingault et Payen ont trouvé que la colombine renferme 8,30 p. 100 d'azote.

(1) Les matières intéressant l'agriculture et l'art des constructions sont analysées gratuitement au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères, sur la demande des Ingénieurs ou des particuliers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Guano. Le guano est le résultat de l'accumulation séculaire des excréments d'une multitude d'oiseaux se nourrissant de poissons, qui se réunissent, depuis nombre de siècles, dans un grand nombre de petits îlots de la mer du Sud, sur les côtes du Pérou et du Chili où la pluie est extrêmement rare. On trouve dans ces îles des dépôts de cette matière qui atteignent jusqu'à 20 mètres d'épaisseur.

Certains guanos contiennent jusqu'à 17 pour 100 d'azote, mais il est de plus en plus rare de trouver des échantillons aussi riches.

Nous donnons ci-dessous les résultats de l'analyse de deux essais de guanos de qualité ordinaire faits au laboratoire de l'Ecole des ponts et chaussées :

1° Produits volatils ou combustibles				
Eau hygrométrique perdue à 104°. . .	14,40		15,35	
Matières organiques non compris l'azote	39,09		37,09	
Azote.	11,35	64,84	14,86	67,30
2° Cendres.				
Résidu insoluble dans les acides. . .	2,29		2,45	
Alumine, peroxyde de fer et chaux précipitée avec l'acide phosphorique.	16,00		18,93	
Chaux non combinée à l'acide phosphorique.	0,25		00,00	
Acide phosphorique	7,28		4,68	
Acide carbonique, sels solubles et matières non dosées. . .	9,34	35,16	6,64	32,70
	100,00	100,00	100,00	100,00

Le guano du Pérou se vend actuellement dans les ports français 32 fr. 50 les 100 kil.

Le guano s'emploie à la dose de 250 à 500 kil. par hectare. Il convient de l'associer comme supplément aux fumiers de ferme.

Au milieu du guano du Pérou, on rencontre des concrétions blanchâtres demi-dures formées d'urate d'ammoniaque qui, exposées à l'air, se délitent et donnent une poussière très-riche en carbonate d'ammoniaque.

Les guanos peuvent être partagés en deux classes : les guanos ammoniacaux, tels que ceux du Pérou, très-riches en matières organiques azotées, et les guanos terreux plus pauvres en matières azotées, mais beaucoup plus riches en phosphates.

D'après tout ce que nous venons de dire, on voit que le guano est un engrais des plus précieux; malheureusement les variations de sa qualité, et surtout, il faut le dire, les sophistications sans nombre que certains détaillants lui font subir, l'ont déprécié aux yeux de quelques agriculteurs.

Il convient donc de ne jamais faire d'achats importants de guano sans les faire essayer chimiquement.

Excréments de poissons. Le dépôt qui se forme au fond des étangs bien peuplés de poissons est un excellent engrais; M. de Gasparin en a obtenu des résultats remarquables.

Déjections de l'homme. Les excréments humains sont un des engrais les plus actifs qu'on puisse employer. En effet, d'après Hermstaed et Schuller, un sol fumé avec des engrais végétaux donne 5 fois la semence.

Du fumier d'étable	7	—
De la colombine.	9	—
Du fumier de cheval	10	—
De l'urine humaine.	12	—
Des excréments humains solides.	14	—

MM. Boussingault et Liebig ont constaté qu'en moyenne un individu produit en 24 heures 750 gr. d'excréments composés de 625 gr. d'urine et 125 de matière solide dosant ensemble 3 p. 100 d'azote.

On peut utiliser les déjections humaines soit humides, on les nomme alors engrais flamand, soit desséchées, dans ce cas elles prennent le nom de poudrette.

Aux environs de Grenoble, près de Lyon et en Toscane, on les délaye dans l'eau pour les distribuer plus uniformément sur les terrains qu'on en recouvre. En Chine, les matières fécales sont recueillies soigneusement dans des vases disposés le long des grandes routes, pour les délayer dans l'eau et les déposer près des plantes; quelquefois aussi les Chinois les pétrissent avec de l'argile pour en former des briques qui, séchées et pulvérisées, se répandent en couverture. A Paris, les matières fécales sont converties en poudrette.

Poudrette. Les vidanges de la ville de Paris, transportées à Bondy, sont versées dans de vastes bassins étagés et peu profonds destinés à les recevoir. C'est dans deux bassins, plus élevés que les autres, qu'on décharge alternativement les matières extraites des fosses pendant la nuit.

Lorsque l'un de ces bassins est rempli, on fait couler la partie la plus liquide dans un troisième bassin placé au-dessous : ce troisième réservoir rempli, il s'y dépose, comme dans l'un des deux premiers, une partie de la matière solide contenue dans le liquide. Les parties les plus fluides du troisième bassin passent dans un quatrième, et ainsi de suite; les dernières eaux, conduites dans un égout, se rendent à la *Seine*. Par ce procédé, on finit par n'avoir plus, dans chaque bassin, que des matières pâteuses qu'on enlève avec des dragues ou à la pelle pour les placer sur un terrain en dos d'âne, où on les retourne à mesure que leur dessiccation s'opère. Au bout d'un temps plus ou moins long, on obtient une matière pulvérulente qui constitue la poudrette; on la dispose en tas, dont les faces sont battues, afin d'éviter l'infiltration des eaux pluviales dans la masse.

Cet engrais à l'état normal renferme 41,4 d'eau et 1,56 d'azote pour 100; à l'état sec, la quantité d'azote est de 2,67; la poudrette pèse 70 kil. l'hectolitre, et se vend 7 fr. 15 c. les 100 kil.; on la répand sur le sol à l'époque des labours; on en emploie 20 à 30 hectolitres par hectare.

M. Chodzko a imaginé un autre système pour préparer la poudrette; il emploie pour séparer les matières fixes contenues dans les eaux-vannes des bâtiments de graduation dans le genre de ceux employés pour l'évaporation des eaux salines. On bat ensuite les fagots sur lesquels se sont déposées les matières solides; on obtient ainsi une poudrette brune ayant encore un peu l'odeur de la matière fécale.

Les effets de la poudrette sont malheureusement très-vite épuisés; quelquefois ils ne se prolongent pas jusqu'à la fructification des céréales; cet engrais donne aux herbages une grande vigueur, mais on assure qu'il leur communique un goût qui répugne aux animaux. M. Boussingault, dans ses observations, n'a pas vérifié ce fait.

M. Salmon est parvenu à désinfecter complétement les matières fécales, en les mêlant avec une matière charbonneuse obtenue par la calcination en vase clos d'une terre calcaire contenant des matières organiques dont l'azote s'ajoute à celui de l'engrais; c'est le *noir animalisé.*

Engrais flamand. La méthode usitée en Flandre pour utiliser les vidanges est beaucoup plus rationnelle et surtout plus hygiénique que la confection de la poudrette. On donne le nom d'*engrais flamand* ou *gadouc-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aux excréments humains retirés des fosses d'aisances, et conservés dans des citernes voûtées placées au-dessous du sol, sur le bord d'une route, et à proximité des champs cultivés. Ces citernes, dont le fond est en grès et les murs en briques, sont remplies quand les travaux agricoles le permettent au cultivateur : on laisse fermenter cet engrais quelques mois avant de s'en servir, et on a soin d'ajouter de la matière à mesure qu'on en retire.

Les fermiers qui emploient cet engrais y ajoutent souvent des tourteaux de graines oléagineuses réduits en poudre; ces résidus, renfermant des substances végétales azotées, constituent eux-mêmes un très-bon engrais.

Les caves où on recueille l'engrais flamand contiennent ordinairement 32 mètres cubes de matière, ou 320 hectolitres, chacun du poids de 125 kil., et coûtant 25 cent. D'après MM. Payen et Boussingault, l'engrais flamand contient à l'état normal 0,19 à 0,22 pour 100 d'azote.

L'emploi direct des vidanges étant un des éléments principaux de la solution du grave problème de l'assainissement des grandes villes par l'agriculture, en tirant parti des valeurs que l'on est trop disposé à laisser perdre, il y a grand intérêt à insister sur cette question et à signaler la pratique du département du Nord.

On voit souvent aux environs de Lille, dans la petite culture, utiliser l'engrais flamand avec profusion et presque d'une manière exclusive; mais dans une exploitation un peu importante, on a tenté rarement de fertiliser le sol avec cet engrais seulement.

Il n'y a pas d'agriculture progressive sans bétail, partant sans fumier pailleux. Si donc le cultivateur dispose d'une proportion considérable de fumier d'étable, il en fera usage d'une manière rationnelle, simultanément avec l'engrais flamand, plutôt que d'affecter celui-ci à une partie de ses terres, et séparément celui-là à une autre partie. Le fumier d'étable revient dans le Nord sur un même sol, tous les trois ou quatre ans; toutes les terres de la ferme en reçoivent successivement leur part à l'époque de certaines cultures, et l'engrais humain est versé postérieurement sur le sol, soit à la même époque de rotation, soit l'année suivante, suivant les circonstances.

Dans les terres fortes, il serait surtout déraisonnable de vouloir fonder un système de fertilisation sur l'usage exclusif de l'engrais flamand. Le fumier d'étable n'agit pas seulement par ses matières azotées et salines, il agit encore dans les sols argileux comme un excellent amendement. La paille contribue à donner à la terre cette porosité sans laquelle la culture serait une chimère; bien plus, il n'est pas douteux que la silice qu'elle contient est dans des conditions plus favorables d'assimilation pour les céréales que la silice que les silicates naturels peuvent renfermer.

L'engrais flamand, employé seul, tend à donner au sol une compacité que l'on combattrait vainement par des labours multipliés.

Dans une exploitation des environs de Lille, on avait cru pouvoir fertiliser les cultures exclusivement avec l'engrais humain; on ne nourrissait que deux vaches pour une ferme de 40 hectares.

Pendant quelques années, les choses allèrent passablement; mais on s'aperçut bientôt que les blés poussaient en feuilles; les tiges n'acquéraient pas le développement nécessaire, et la pénurie du grain était extrême. On changea de système; on introduisit du bétail dans l'exploitation : dès lors les terres reçurent du fumier d'étable, et bientôt les blés devinrent ce qu'ils sont dans l'arrondissement de Lille entre les mains de nos cultivateurs.

On va à la ville chercher la matière quand les chevaux sont inoccupés, par les temps pluvieux surtout qui ne permettent pas de voiturer sur les champs; on emmagasine l'engrais, et, lorsque les circonstances sont favorables et les terres sèches ou durcies par la gelée, on la distribue sur les sols qu'on veut fertiliser. On peut se servir pour le transport du tonneau

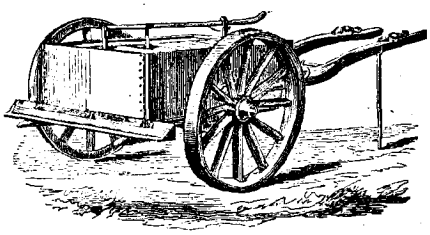


Fig. 764.

(*fig.* 764) ou de la caisse en tôle (*fig.* 765). En mélangeant ainsi les produits recueillis en différents endroits, on obtient un liquide uniforme, d'une

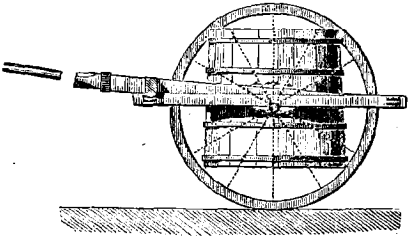


Fig. 765.

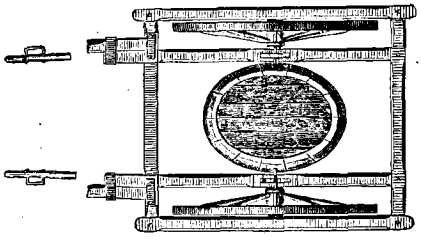


Fig. 765 *bis*.

densité moyenne, dont l'effet est plus facile à préjuger.

La pesanteur spécifique de l'engrais flamand, tel qu'on l'emploie aux environs de Lille, varie de 2 à 3 degrés de l'aréomètre Baumé.

DÉBRIS D'ANIMAUX.

Les débris d'animaux morts, les matières animales provenant des abattoirs sont des engrais puissants. Aussi, partout où l'on peut se les procurer facilement, il est extrêmement avantageux de les employer pour l'agriculture. Tout peut être utilisé : la chair musculaire, les débris de peaux, de crins, de tendons, de corne, les os, les plumes, etc.

Chair musculaire. La chair musculaire des animaux abattus dans les chantiers d'équarrissage est cuite, desséchée, puis réduite en poudre; en cet état, elle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

constitue un excellent engrais. Elle contient habituellement plus de la moitié de son poids d'eau et 3,25 pour 100 d'azote; séchée à l'air, elle renferme encore 8 à 9 centièmes d'eau. Parfaitement sèche, elle contient 14,25 pour 100 d'azote. On la vend dans le commerce 20 francs les 100 kil.; elle contient alors 13,04 pour 100 d'azote et 0,24 d'acide phosphorique.

Le sang des animaux abattus s'emploie comme engrais de diverses manières. Ordinairement on le fait coaguler par l'ébullition et on le dessèche ensuite à l'étuve, quelquefois on se borne à le délayer dans l'eau d'irrigation. Enfin on peut faire absorber le sang liquide par de la terre végétale desséchée au four et répandre ce mélange sur les terres. M. Payen a trouvé que le sang parfaitement sec contient 17 pour 100 d'azote; le sang desséché qu'on prépare en grand en contient 14,87; comme la chair musculaire, il se paye 20 fr. les 100 kil.

Os et autres engrais phosphatés. Les récoltes enlèvent au sol une forte proportion d'acide phosphorique nécessaire à leur constitution et à leur complet développement. La plus grande partie de cet acide ne se retrouve pas dans les fumiers de l'exploitation, puisque les phosphates se concentrent principalement dans les produits exportés, c'est-à-dire dans les grains, le laitage et les animaux. Il est donc indispensable de restituer ou de fournir à la terre les phosphates essentiels à sa fertilité. La valeur des os, comme engrais et comme amendement, n'est pas assez connue dans la plus grande partie de la France; tandis que nous laissons perdre ou exporter des quantités énormes d'os, nos voisins, comprenant mieux leurs intérêts, les recueillent avec soin, les font venir à grands frais, et enrichissent leurs terres arables de tous les phosphates dont les nôtres s'appauvrissent. Les agriculteurs pourraient facilement réaliser, dans beaucoup de localités, des bénéfices importants, en faisant recueillir les os dans leur voisinage, comme divers autres résidus dont nous parlons ci-après, et en les employant à fumer leurs terres.

Pour donner une idée de l'importance du commerce des os en Angleterre, nous nous bornerons à citer les chiffres officiels de l'importation, pendant une période de cinq années :

	Poids importés.
1843.	42,036 tonneaux.
1844.	33,958 —
1845.	37,411 —
1846.	34,050 —
1847.	29,646 —

Les os entiers ou en gros fragments ne se décomposent qu'avec une extrême lenteur. Il convient donc de les réduire en poudre avant de les employer. Quand on n'opère que sur de petites quantités, on peut les pulvériser sur une pierre, ou un bloc de bois garni de clous à têtes pointues, avec un fort maillet de bois dur cerclé en fer et garni de clous, ou d'une plaque de fonte dure taillée en pointes de diamant. Mais si on opère un peu en grand, ce procédé serait trop dispendieux, et il devient nécessaire de recourir aux machines. Il a été proposé un assez grand nombre d'appareils pour écraser les os. Le plus simple consiste en une paire de meules verticales, en fonte ou en pierre dure, disposées comme celles des huileries. En Auvergne, où l'engrais d'os est assez employé, on se sert, pour les écraser, d'un appareil fort simple, composé d'une espèce de râpe circulaire, mise en mouvement par une roue hydraulique, et sur laquelle on appuie fortement les os placés dans une trémie, au moyen d'un levier en bois. En Angleterre, et dans une ou deux fabriques françaises, le moulin à broyer les os se compose de trois ou quatre paires de cylindres cannelés en fonte, de plus en plus rapprochés, et entre lesquels les os sont obligés de passer. On broie, par heure, et par force de cheval, de 100 à 150 kil. d'os; dans une grande ferme ou dans une petite usine on peut employer avec grand avantage le concasseur à cylindre (*fig.* 766).

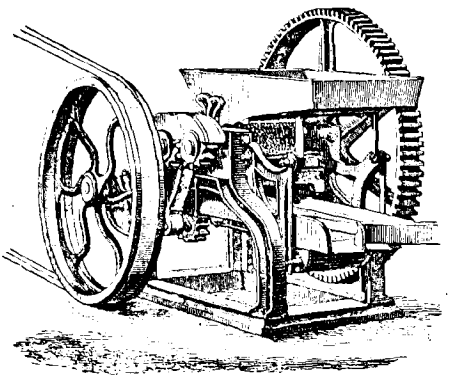


Fig. 766. (Broyeur d'os.)

Si l'on n'avait pas soin d'enlever la graisse des os par l'eau bouillante, cette graisse réagissant sur le carbonate calcaire du réseau osseux formerait un savon de chaux résistant à toutes les influences atmosphériques; on comprend donc que les os, dans ce cas, n'exerceraient sur le sol qu'une action à peu près nulle, à moins d'être réduits en poudre fine. M. Payen a constaté que des os entiers et anciens n'avaient perdu, après un séjour de quatre ans dans la terre, que 0,08 de leur poids, tandis que quand ils sont traités par l'eau bouillante, ils en perdent, dans les mêmes circonstances, 0,25 à 0,30.

La poudre des os non épuisés contient, à l'état sec, 7,58 pour 100 d'azote; dans l'état où on la livre au commerce, elle renferme 0,30 d'eau et se vend 12 fr. les 100 kil.; elle contient alors 5,30 d'azote.

Les os conviennent à toutes les terres et produisent une fumure persistante pendant quatre ou cinq années.

Les déchets d'os de tabletier sont employés, pour la plus grande partie, par les fabricants de charbon animal; les râpures seules, employées en agriculture, servent à fumer les riches vignobles et les oliviers : cet excellent engrais, analogue au précédent, ne persiste que pendant deux années, vu son extrême division.

Les os qui, après avoir été coupés en fragments et débouillis pour en extraire le suif, ont encore servi à préparer la gélatine, peuvent donner un engrais qui se fait sentir une année; mais ces résidus de fabrique de gélatine fermentent rapidement quand on les met en tas, ce qui leur fait perdre une grande partie de leur matière animale. Pour les conserver sans danger, M. Payen conseille de les dessécher avant de les réduire en poudre.

Depuis quelques années on emploie avec succès, sous le nom de *superphosphate de chaux*, un mélange de coprolithes et de quelques os en poudre, avec le tiers ou la moitié de leur poids d'acide sulfurique ordinaire. Pour préparer ce mélange, on humecte légèrement les phosphates en poudre, et on les met dans des cuviers, puis on ajoute peu à peu, et en remuant sans cesse, la quantité voulue d'acide sulfurique. Le superphosphate

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de chaux des fabriques anglaises, quand il n'est pas sophistiqué, contient, en moyenne :

Phosphate de chaux.	35 à 40
Sulfate de chaux.	20 25
Eau.	20
Matière animale.	20

On a proposé de remplacer l'acide sulfurique par les acides chlorhydrique ou acétique impurs; mais il est évident que l'acide sulfurique est, en général, de beaucoup préférable.

Les os ne sont pas la seule source de phosphates dont puisse disposer l'agriculture. On a trouvé une certaine proportion de ces sels dans plusieurs sables de mer employés par les cultivateurs du littoral de la Manche. Les excellents effets bien constatés de cette espèce d'amendement sont probablement dus, en partie, à la présence de ce composé. On a découvert, en Angleterre, des marnes phosphatées; elles paraissent produire d'excellents résultats. Tout porte à croire qu'il existe en France beaucoup de marnes analogues; leur recherche serait assurément une des études les plus utiles à entreprendre. Enfin, il existe, dans certaines contrées, et notamment en Espagne, des dépôts considérables de phosphate de chaux, que les minéralogistes désignent sous le nom d'*apatite*. Il serait à désirer que l'on connût beaucoup de gisements de cette roche. Il suffirait de la réduire en poudre, et au besoin de la traiter par l'acide sulfurique, pour obtenir un excellent amendement qui pourrait rendre la fertilité à bien des terres dépourvues d'acide phosphorique.

La quantité de phosphates employée par hectare varie de 10 à 40 hectolitres. En général, il suffit d'une fumure tous les trois ou quatre ans.

Depuis quelques années la question des phosphates naturels a pris au point de vue agricole une importance extraordinaire; nous devons y insister et nous emprunterons de curieux détails sur cette importante question à l'excellent *Guide des Engrais* de M. Robart.

Les phosphates de chaux naturels sont connus depuis longtemps des minéralogistes sous les noms d'*apatite*, de *phosphorite* et de *coprolithes*.

L'apatite existe en gisement considérable en Espagne, à Logrozan et à Tuxillo, province de l'Estramadure.

Un échantillon dit de phosphate d'Estramadure, analysé au laboratoire de l'Ecole impériale des ponts et chaussées, a donné les chiffres suivants :

Matières insolubles dans les acides . . .	14,0
Chaux, alumine et peroxyde de fer précipités avec l'acide phosphorique.	50,5
Acide phosphorique.	33,1
Perte par calcination et matières non dosées	2,4
	100,0

La quantité d'acide phosphorique trouvée répondrait à 72,16 de phosphate de chaux des os.

Un autre échantillon de phosphate naturel, remis par M. de Molon, a donné à l'analyse :

Résidu terreux cuit dans les acides . . .	0,9
Phosphate de chaux.	94,7
Alumine	3,1
Eau perdue par grillage	1,3
	100,0

Ce phosphate de chaux naturel était en poudre blanche très-fine, fortement phosphorescent par la chaleur.

L'Angleterre possède également, dans les comtés de Suffolk, de Norfolk, du Hertfordshire et du Lincolnshire, des dépôts de coquilles fossiles mélangées de sable vert, également riches en phosphate de chaux, et qui sont devenus l'objet d'un commerce considérable.

Coprolithes. Voici un passage d'un rapport de M. Elie de Beaumont qui fit connaître la découverte d'une abondante source d'acide phosphorique.

« Au commencement de l'année 1848, M. Wiggins annonça à la Société géologique de Londres que près Ramsholt-Creek, Sutton et en quelques autres points du Suffolk, on avait trouvé de grandes quantités de dents, d'ossements et de substances coprolithiques ou excrémentitielles. En Angleterre, un pareil fait ne pouvait passer inaperçu. Ces débris, riches en phosphate de chaux, sont maintenant recueillis, dit-il (22 mars 1848), pour être employés dans l'agriculture. Mais on ne s'est pas borné à les employer en nature, et on les mêle avec l'acide sulfurique. Ce compost est devenu, dit-on, un article régulier de commerce. Il est coté dans les annonces agricoles et offert à raison de 6 à 7 livres sterling (150 à 175 fr.) la tonne, prix qui, pour le dire en passant, ne s'écarterait que faiblement de celui auquel les résidus de noir animal sont vendus à Nantes pour le même usage, et qui, comme ce dernier, fait probablement ressortir le prix de l'acide phosphorique supposé pur à environ 50 centimes le kil. La valeur vénale de la substance étant, d'après ce qu'on vient de rapporter, beaucoup plus grande que celle de la houille, c'est là un gite minéral d'une grande richesse et dont l'exploitation est susceptible de donner des bénéfices considérables. »

Les prix indiqués par M. de Beaumont établissent la valeur agricole du phosphate de chaux en Angleterre à raison de 23 centimes le kilog., puisqu'un kilogramme d'acide phosphorique est contenu dans 2k,67 de phosphate de chaux des os.

Le sol français n'a rien à envier à ses voisins sous le rapport de ces précieuses richesses agricoles; car, dès l'an III, le *Journal des Mines* signalait à l'attention publique un gisement de pyrites situé sur la rive méridionale du Pas-de-Calais entre Saint-Pol et Wissant, dans lequel M. Berthier, alors professeur de chimie à l'Ecole des mines, trouvait des quantités assez considérables de phosphate de chaux. Cette richesse en phosphate obligea même M. Flachat, propriétaire de l'établissement dans lequel les pyrites étaient converties en sulfate de fer commercial, à renoncer à cette fabrication, dont la marche était entravée par la présence du sulfate de chaux.

Je ne serais pas étonné, a dit plus tard l'éminent professeur de l'Ecole des mines, de voir un jour l'usine établie par M. Flachat sur la côte de Wissant, dans le but de traiter les pyrites en rejetant le phosphate de chaux, relevée pour utiliser le phosphate de chaux avec le concours des pyrites.

On voit également dans les *Annales des Mines* (année 1820, 1re série, t. V, page 197) que M. Berthier a trouvé jusqu'à 57,3 p. 100 de phosphate de chaux dans des nodules de chaux phosphatée que contient la chaux chloritée du cap la Hève, près le Havre.

Le plus important gisement est celui qui a été signalé par M. de Lanoue, chimiste-géologue à Raismes (Nord). Il résulte, en effet, de la communication de M. de Lanoue que le calcaire ou la craie des environs de Lille contient une substance appelée *tun*, dans laquelle l'analyse a révélé des richesses de 19 à 32,50 de phosphate de chaux. A l'appui de ses intéressantes communications, M. de Lanoue a produit des échantillons d'une roche de cette nature, prise à une profondeur de 15 à 30 mètres, formant une couche moyenne de 0,90 d'épaisseur et s'étendant à plusieurs lieues aux environs de Lille. « C'est, ajoute M. de Lanoue, la plus considérable accumulation d'acide phosphorique qui, jusqu'à ce jour, ait été signalée sur le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

globe. » Les analyses de M. de Lanoue ont été répétées à l'Ecole des mines par M. Rivot, et elles ont donné les résultats suivants :

Phosphate de chaux . . .	38,70
Carbonate de chaux (craie).	52,30
Argile	1,50
Eau et perte.	7,50
Oxyde de fer	traces.
	100,00

C'est d'après ces indications de la science que des hommes d'action se mirent à l'œuvre, et que M. Nesbitt, chimiste agricole à Londres, et M. de Molon de Paris, explorèrent le sol français. Un peu plus tard, M. de Molon annonça à l'Académie des sciences la découverte de nouveaux gisements d'une puissance, d'une étendue et d'une richesse bien supérieures à tous ceux indiqués jusqu'ici, et présentant, en effet, un système régulier d'observations indiquant des recherches nombreuses, dont le résultat est l'existence de gîtes immenses de phosphate de chaux dans toute l'étendue du bassin dit anglo-parisien, dont Paris est le centre, et qui embrasse trente-neuf départements dans la circonférence que forment autour de Paris les villes et bourgs suivants : Honfleur, Argentan, Alençon, le Mans, La Flèche, Angers, Loudun, Châtellerault, Mehun, Sancerre, Auxerre, Bar-sur-Seine, Saint-Dizier, Clermont-en-Argonne, Vouziers, Rethel, Rozoy et Aubenton.

En France, c'est principalement dans les différentes espèces de craie (blanche-marneuse chloritée) et dans une variété particulière de sable vert et d'argile que l'on trouve des rognons ou nodules, dits coprolithes, souvent empâtés dans la masse terreuse qui les enveloppe, et dont le volume, aussi bien que le poids, la richesse et la couleur, paraissent dépendre de la nature des terrains qui les contiennent.

Du rôle du phosphate dans les engrais. — Dans tous les essais comparatifs que l'on peut tenter, il faut se souvenir que si l'engrais entre dans la comparaison comme élément du problème, la nature du sol y participe également par sa plus ou moins grande fécondité, c'est-à-dire que chacun des éléments que la terre contient déjà contribue puissamment à faciliter ou à entraver l'action des engrais mis en comparaison. Dans tous les cas, le phosphate de chaux sera toujours un auxiliaire puissant, précieux, mais rien de plus. Hormis les cas de défrichements, le phosphate de chaux ne constituera jamais un engrais proprement dit, pas plus que l'humus, ni les sels ammoniacaux, ni la potasse, ni la soude, ni la chaux, ni la magnésie, ni l'alumine, ni la silice, ni l'oxyde de fer; c'est le concours de *tous* qui est indispensable, comme dans le fumier de ferme, et dans un état analogue à celui où chacun de ces corps existe dans ce dernier.

Ici, le fait capital, c'est la solubilité des phosphates de chaux naturels dans l'eau chargée d'acide carbonique et leur assimilation certaine, incontestable, par les plantes cultivées; c'est un fait important à consigner. C'est pour satisfaire à cette condition de solubilité que les Anglais fabriquent le superphosphate, par un mode de traitement qui ne paraît pas indispensable dans tous les cas, d'après les expériences ci-après.

La fabrication des engrais est l'art de grouper économiquement les éléments nécessaires à la végétation en général, mais particulièrement aux récoltes, et, en prenant pour point de départ la composition du fumier de ferme, se résumant elle-même en matières végétales pouvant fournir de l'humus et de l'acide carbonique, en matières animales pouvant donner de l'ammoniaque, et par conséquent de l'azote, et enfin en matières minérales diverses, comprenant principalement les phosphates, la potasse, la magnésie, la chaux, et accessoirement la silice, la soude, l'alumine, l'oxyde de fer, le soufre et le chlore.

Les végétaux étant dépourvus d'organes digestifs, les matières solides que nous leur présentons ne peuvent être absorbées par eux, et passer ensuite dans leur organisme qu'à la condition *expresse* d'être solubles dans l'eau.

C'est dans les conditions normales qui viennent d'être indiquées que le phosphate de chaux, devenu soluble, vient fournir aux plantes et surtout au blé un sel nécessaire pour le développement du grain.

C'est ainsi que, par l'effet de la pourriture ou combustion lente, les matières végétales naturellement insolubles acquièrent la faculté de pouvoir se dissoudre, puisque l'humus n'est pas autre chose que du bois rendu soluble dans l'eau, avec lequel les végétaux reconstituent de nouveau bois, ou de nouvelle paille, ou de nouvelles feuilles; de même que, dans la combustion lente de ces mêmes matières végétales, toujours accompagnée d'un dégagement d'acide carbonique, les plantes retiennent le carbone qu'elles font servir à leur charpente, à leur constitution, tandis qu'elles rejettent l'oxygène surabondant.

C'est également en vertu des mêmes lois que les végétaux ne peuvent prendre à certaines matières animales impustrescibles, comme les cuirs tannés et la houille, l'azote qu'elles contiennent, tandis que, par l'effet de la décomposition de ces matières, l'ammoniaque qui en résulte devient soluble dans l'eau, et la végétation peut alors y puiser l'azote qui lui est absolument indispensable, sauf à laisser de côté l'hydrogène, si elle peut s'en passer.

Utilité du phosphate de chaux. — M. Boussingault a formé un sol artificiel en prenant de l'argile cuite concassée et du sable, qu'il a fait calciner à une température élevée, afin de détruire toute trace de matières organiques; la même précaution a été prise pour le pot à fleur contenant ce mélange, dans lequel on a semé des graines d'hélianthus. L'arrosage a été pratiqué avec de l'eau pure, c'est-à-dire distillée avec le plus grand soin, mais à laquelle cependant on avait fait absorber le quart de son volume d'acide carbonique gazeux.

Dans ces conditions, on n'a obtenu qu'une plante faible, délicate, ne pesant pas beaucoup plus à l'état sec que la graine de laquelle elle était sortie, mais pourvue cependant d'organes complets. Le bouton s'est épanoui en une petite fleur jaune, dont la corolle n'avait pas plus de 3 millimètres de diamètre. Cette fleur en miniature était environnée de plusieurs feuilles naissantes. (A).

Dans une seconde expérience faite avec les mêmes précautions, et les mêmes matières employées dans les mêmes rapports, on a ajouté au sol 10 grammes de phosphate de chaux des os, 0,50 de cendre provenant du foin de prairie, et 1,26 de carbonate de potasse, puis on y a également semé deux graines d'hélianthus, qui ont été arrosées avec la même eau que celle employée dans l'expérience A. Chacun des plants a fourni un bouton, et tous deux ont donné une fleur jaune extrêmement petite, mais bien conformée.

Comme dans l'expérience A, les plants sont restés assez vigoureux jusqu'à l'âge de deux mois; puis, les feuilles se sont flétries, vers le bas de la tige, et la force de la végétation a décru rapidement.

Dans ces deux expériences comme dans celle qui va suivre, les plantes ont été exposées en plein air, mais tenues à l'abri de la pluie et de la rosée, à un mètre au-dessus du gazon, près d'une vigne plantée sur la limite d'une grande forêt.

Enfin, dans une troisième expérience, le sol était exactement constitué, en poids et en nature, comme dans la première expérience que nous venons de dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

crire, mais on a fait entrer dans la composition du sol : 10 grammes de phosphate de chaux, 1g,50 de cendre, et 1g,40 d'azotate de potasse, et les deux graines d'hélianthus qui ont été semées ont été arrosées avec la même eau pure que celle employée précédemment. Ici, la seule présence d'un peu d'azote (0g,1969), contenu dans l'azotate de potasse employé, a suffi pour produire des résultats bien différents des premiers. L'hélianthus le plus grand portait une belle fleur jaune dont la corolle avait 9 centimètres de diamètre. Les feuilles présentaient une surface égale à celle d'un hélianthus venu en terre de jardin.

Voilà les faits.

Laissons parler le savant illustre dont les travaux ont si puissamment contribué à éclairer la pratique agricole, et nous conclurons après : « Les hélianthus venus dans ces conditions ont offert à peu près le même aspect, la même vigueur, que ceux que l'on avait cultivés en pleine terre. De l'association du salpêtre avec les phosphates et les cendres, il est donc résulté un engrais *complet*, dans lequel les plantes ont trouvé tout ce dont elles avaient besoin. »

Nous avons reproduit en italique le mot complet, sur lequel nous croyons devoir présenter quelques réflexions, dit M. Rohart.

On pourrait se prévaloir des idées d'un grand maître pour tenter de nous fabriquer des engrais *complets* au moyen du salpêtre, des phosphates et des cendres; sans s'apercevoir qu'un pareil engrais serait absolument *incomplet* dans les conditions culturales ordinaires, c'est-à-dire à défaut de pouvoir employer, comme M. Boussingault, l'eau saturée d'acide carbonique gazeux, à laquelle l'éminent agronome a dû nécessairement recourir pour dissoudre le phosphate de chaux, et afin que la plante puisse s'assimiler le carbone dont elle a toujours besoin, qu'il soit fourni directement à la végétation, ou qu'il provienne de la décomposition des matières végétales.

Râpures de corne. Les râpures de corne agissent énergiquement et conviennent à tous les sols; en Angleterre, on en donne 36 hectolitres par hectare.

Tendons, rognures de peaux, crins, plumes, résidus de colle d'os. Toutes ces matières peuvent s'employer de la même manière et dans les mêmes circonstances que les râpures de corne. La dose que doit en recevoir un terrain se calcule facilement par leur équivalent en azote.

Poissons. Les poissons qui commencent à se putréfier sont employés comme engrais dans les pays de pêche; on peut, avant de s'en servir, les dessécher et les réduire en poudre. Le hareng contient à l'état sec 10,54 p. 100 d'azote; humide il en renferme 0,9 seulement. La morue complétement desséchée en possède 10,86. Les débris de poissons desséchés deviennent l'objet d'une utile industrie.

Marc de colle. Le résidu des fabrications de colle-forte renferme des substances tendineuses et cutanées, des poils, des débris d'os, de corne, des muscles, un savon calcaire et des matières terreuses; ce mélange une fois desséché peut se conserver longtemps, il renferme alors 4 p. 100 d'azote et constitue par conséquent un assez bon engrais.

Pain de creton. Le marc des graisses de bœufs, de moutons, de veaux, traitées par les fondeurs, est appelé pain de creton : il est formé en grande partie des membranes du tissu adipeux encore imprégnées d'un peu de graisse, de sang, de muscles et d'os. Jusqu'à présent il a servi à la nourriture des chiens; on a essayé de l'utiliser comme engrais, on en a obtenu de bons résultats; il contient 11 à 12 p. 100 d'azote. Avant de se servir du pain de creton, qui est très-dur, on le concasse et au besoin on le trempe dans l'eau.

Suint. Le suint provenant du lavage des laines s'emploie aussi comme engrais; pour le recueillir et pouvoir l'employer, on fait arriver les eaux de lavage dans des fossés pleins de paille qui s'en imbibe.

Chiffons de laine. Les chiffons de laine offrent un des plus riches engrais qui soient employés; la décomposition lente de la laine la fait agir pendant six à huit ans; et comme la quantité d'azote qu'elle renferme est assez considérable, il s'ensuit qu'elle présente un engrais coûtant peu de frais de transport. 3,000 kil. de chiffons de laine suffisent pour fumer un hectare; malheureusement cette richesse agricole ne peut se recueillir en quantité un peu considérable que dans les grandes villes, ce qui en restreint l'emploi.

L'Angleterre en importe de Sicile pour la culture du houblon; en Provence on en fait usage pour toutes les cultures; les chiffons doivent être divisés le plus possible pour être répandus facilement sur la terre.

D'après MM. Boussingault et Payen, les chiffons de laine renferment 12,28 p. 100 d'eau, et la matière sèche donne 20,26 d'azote : à Paris ces chiffons coûtent 6 fr. les 100 kil. et en Angleterre 17 fr. 65 c. (1).

Noir animal des raffineries. Dans le raffinage du sucre on mêle cette matière fondue avec du charbon animal, et on clarifie avec du sang battu. Le mélange filtré laisse sur les filtres un dépôt qui, lavé, contient tout le charbon employé, le sang coagulé, un peu de sucre et quelques substances végétales contenues dans le sucre brut; desséché, ce produit contient à peu près 21 centièmes de sang auquel il doit son action fertilisante. En 1824, M. Payen fit connaître le parti que l'on pouvait tirer de cette matière employée comme engrais, et depuis lors plus de 10 millions de kil. de noir animal des raffineries sont utilisés annuellement à l'amélioration du sol. Le noir des raffineries étrangères est même venu concourir à ce nouveau débouché, surtout dans les départements de l'ouest de la France. Le sucre contenu dans ce résidu produit, par la fermentation, de l'alcool et ensuite des acides acétique et lactique défavorables au développement des plantes; c'est ce qui explique les résultats désavantageux donnés par ce résidu employé peu de temps après sa sortie des fabriques : si, au contraire, on le laisse en tas un mois ou deux avant de s'en servir, l'action prolongée de l'air cause l'altération de la matière animale, et l'ammoniaque qui se produit, non-seulement sature les acides provenant de la fermentation du sucre, mais encore donne une réaction alcaline au produit, réaction toujours favorable à la végétation.

M. Payen a trouvé dans une quantité de noir représentant 12 kil. de sang, 2,04 p. 100 d'azote, mais les résultats donnés par cet engrais sont de beaucoup supérieurs à ceux qu'on devrait en attendre d'après ce dosage. Le noir animal se paye à Paris de 7 à 7 fr 50 c. les 100 kil.

SUBSTANCES MINÉRALES AZOTÉES.

Quelques substances minérales mélangées de matières azotées sont employées comme engrais, telles sont : les coquilles, les vases de mer ou de rivière, et les terres salpêtrées de toutes provenances.

Les sables de mer employés en Bretagne sont appelés *merl* et *trèz*.

Le *merl*, qu'on désigne aussi sous le nom de sable de mer, fond de corail, etc., est un sablon calcaire formé de débris de coquilles et de madrépores. On le

(1) La laine bleue n'est point employée comme engrais, on en retire l'indigo; elle coûte 1 fr. le kilogramme.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trouve abondamment à l'embouchure de la rivière de Morlaix, où il s'exploite à la drague. La rade de Brest et la rivière de Quimper en produisent aussi des quantités considérables. L'extraction du merl se fait du 15 mai au 15 octobre; une gabare peut en contenir 7,000 kilogrammes, qui se vendent 8 à 10 fr. Cet engrais doit s'employer peu de temps après sa sortie de l'eau, car il se désagrége rapidement à l'air et perd une partie de ses qualités. Le merl agit particulièrement sur les sols argileux par sa matière calcaire. D'après MM. Payen et Boussingault, le merl de Morlaix renferme, à l'état sec, 0,12 p. 100 d'azote. En sortant de la mer il renferme la moitié de son poids d'eau, et s'emploie à la dose de 1,400 à 2,800 kil. par hectare.

Le *trèz* est un sable de mer constituant le sol des plages marines dans plusieurs localités des environs de Morlaix; cette matière doit être lavée afin de la dépouiller de la plus grande partie du sel qu'elle contient.

Le peu de substance animale qu'il renferme se détruit par la putréfaction, s'il reste exposé trop longtemps à l'air; de là la distinction établie entre le trèz vif et le trèz mort, la seconde matière étant évidemment moins azotée que la première.

Le trèz de Roscoff, desséché, renferme 0,14 p. 100 d'azote, et on en emploie 4,000 kil. par hectare de terrain.

On désigne sous le nom de *tangue*, sur les côtes de la Manche et du Calvados, un sable calcaire mou, très-fin, différent des précédents, mais également recherché des cultivateurs du littoral.

Les vases de rivières et de cours d'eaux sont presque aussi riches en matières fertilisantes que le fumier, elles renferment peu de phosphates; mais, desséchées à l'air, elles renferment à peu près la même quantité d'azote que le fumier frais, soit 0,4 à 0,5 p. 100.

D'après M. Hervé-Mangon, il existe en France environ 200,000 kilomètres de cours d'eau dont le quart au moins pourrait être curé tous les ans et pourrait donner 2,500,000^{mc} de vase séchée à l'air. Ce volume de vase contiendrait une quantité de matières fertilisantes au moins égale à 2 millions de tonnes de fumier ordinaire.

Les vases des égouts des villes constituent aussi un engrais précieux. Johnson évalue à 230,000 litres la quantité d'engrais liquide que, chaque jour, les égouts de Londres rejettent en pure perte dans la Tamise; d'après M. Hervé-Mangon, les égouts de Paris perdent par an une quantité de matières fertilisantes renfermant 1,204,500 kil. d'azote. (Voyez l'article ÉGOUTS.)

On peut très-facilement clarifier les eaux d'égout en y ajoutant un peu de lait de chaux : on obtient ainsi un précipité qui se rassemble facilement. Il suffit de 0^k,4 à 0^k,5 de chaux pure par litre d'eau pour opérer la précipitation presque instantanée de toutes les matières en suspension et de près du 1/4 des matières dissoutes. Le précipité ainsi obtenu et desséché renferme environ 1,20 pour 100 d'azote.

PRODUITS DE LA COMBUSTION DES VÉGÉTAUX.

Suies. La suie est employée en quantités considérables par les agriculteurs; elle constitue un bon engrais. D'après M. Braconnot, la suie d'une cheminée dans laquelle on avait brûlé du bois renfermait :

Acide ulmique.	30,0
Matière azotée soluble dans l'eau. .	20,0
Matière carbonatée insoluble . .	3,9
Silice.	1,0
Carbonate de chaux	14,7
Carbonate de magnésie	trace.
Sulfate de chaux	5,0
Phosphate de chaux ferrugineux .	1,5
Chlorure de potassium	0,4
Acétate de chaux.	5,7
Acétate de potasse	4,1
Acétate de magnésie.	0,5
Acétate de fer.	trace.
Acétate d'ammoniaque	0,2
Principe âcre et amer	0,5
Eau	12,5
	100,0

MM. Payen et Boussingault ont trouvé que la suie de houille contient plus de matière azotée que celle de bois. La suie se répand en couverture sur les trèfles et les jeunes froments; on en emploie 18 hectolitres par hectare. Elle doit s'appliquer seule, par un temps calme et pluvieux, comme l'a recommandé Mathieu de Dombasle.

La suie s'emploie en Flandre pour les semis de colza destinés au repiquage. On croit qu'elle préserve les jeunes plantes des attaques des insectes; on en donne alors 50 hectolitres par hectare. Son prix varie de 1 fr. 50 c. à 1 fr. 70 c. les 100 kil., suivant les localités.

Cendres de Picardie. Les cendres de Picardie proviennent de la combustion lente et imparfaite des tourbes pyriteuses, exploitées dans le département de l'Aisne pour la fabrication de l'alun et du sulfate de fer.

Quand la tourbe est entassée, elle est humide. En présence de l'eau, le sulfure qu'elle renferme se transforme en sulfate. La chaleur développée par l'oxydation du fer et du soufre gagne de proche en proche, active la réaction, et bientôt est assez élevée pour enflammer la tourbe et la faire brûler lentement; on obtient par cette combustion spontanée une cendre grise qui sert à amender les prairies. Ce n'est pas seulement au sulfate de chaux qu'elle renferme qu'est due son action sur la végétation, la plus grande partie de son activité provient des matières azotées qu'elle possède. L'analyse y a indiqué 1/2 p. 100 d'azote. M. Boussingault pense que pendant l'incinération des tourbes pyriteuses, il se produit du sulfate d'ammoniaque. Les cendres de Picardie se vendent sur les lieux 50 cent. l'hectolitre; on en donne aux prairies de quatre à six hectolitre par hectare.

Cendres vitrioliques. Les résidus de la fabrication de la couperose, appelés cendres vitrioliques, sont analogues aux précédentes; à Forges-les-Eaux, les terres pyriteuses lessivées sont mêlées avec le quart de leur poids de cendres de tourbe; l'engrais qui en résulte convient aux prairies et aux herbages humides. Ces cendres sont plus azotées que celles de Picardie, elles contiennent 2,72 p. 100 d'azote. Voici, du reste, leur composition donnée par MM. Girardin et Bidard :

Matière organique soluble.	2,7
Humus insoluble	49,8
Sulfates de protoxyde et de peroxyde de fer	1,8
Sable fin.	39,0
Sulfure et peroxyde de fer	6,7
	100,0

Écobuage. L'écobuage consiste à brûler sur place les matières organiques d'un terrain, surtout quand elles sont pauvres en principes azotés. Cette opération transforme la superficie du sol en une terre poreuse et charbonneuse qui retient, en les condensant, les vapeurs ammoniacales dégagées pendant la combustion; il se produit, en outre, des sels alcalins et terreux dont l'action est indispensable à la végétation. Une combustion trop complète amènerait, comme dans la préparation des cendres pyriteuses, la disparition des principes organiques, et on n'aurait plus un engrais azoté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En Amérique, pour pratiquer l'écobuage, on se contente de mettre le feu aux pâturages quand l'état de dessiccation de l'herbe est suffisant; quelques jours après le passage du feu, on voit poindre sur le sol une végétation nouvelle et vigoureuse.

On procède aussi à l'écobuage d'une autre manière; on enlève la couche superficielle du terrain qui renferme les matières organiques à brûler; on forme ensuite avec ce mélange de terre, de racines et de tiges, des espèces de fourneaux auxquels on met le feu; à mesure que la flamme se fait jour à travers la masse, on ajoute du gazon afin de fermer les issues qui se sont formées. On obtient ainsi une combustion lente, et tous les gaz dégagés pendant cette opération sont absorbés par l'enveloppe de terre charbonneuse.

Comme on le voit, le but de l'écobuage est de mettre en liberté, par une combustion lente, les principes contenus dans les matières végétales pour les rendre au sol et les tenir de cette manière à la disposition d'une nouvelle récolte; on a l'avantage de hâter ainsi la circulation des éléments contenus dans les plantes, d'en jouir sur-le-champ; tandis que ces mêmes végétaux abandonnés aux effets lents de la putréfaction ne se fussent décomposés que peu à peu, et les résultats qu'ils auraient produits comme engrais, dispersés sur plusieurs récoltes, eussent été inappréciables. L'écobuage exerce aussi sur le sol une action mécanique; il en diminue la consistance et en augmente la porosité; il produira donc plutôt de bons effets sur les terres fortes que dans les sols sablonneux.

La bonne préparation de la plupart des engrais composés artificiels exige la pulvérisation et le mélange des matières diverses qui entrent dans leur composition. Cette double opération peut s'exécuter avec avantage, dans beaucoup de circonstances, à l'aide de l'appareil représenté par la figure 767, et formé de cages cylin-

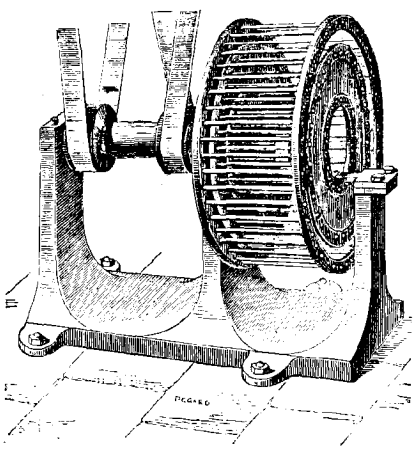


Fig. 767.

driques à barreaux de fer tournant rapidement en sens contraire, les unes dans les autres. Les matières jetées en fragments par l'ouverture centrale que l'on voit à droite ressortent mélangées et en poussière à la circonférence.

SUBSTANCES VÉGÉTALES.

Engrais verts. Sous le nom d'engrais verts, on comprend les parties vertes des plantes qui entrent dans les récoltes des racines ou des tubercules, telles sont les *fanes* de carottes et des pommes de terre, les feuilles de betteraves et de navets; comme ces matières peuvent servir à la fois d'engrais et de fourrage, c'est au cultivateur à voir lequel de ces deux emplois peut lui être le plus avantageux.

D'après M. Boussingault, les matières dont nous venons de parler sont des aliments médiocres et des engrais excellents; il a trouvé que les fanes des pommes de terre provenant de la culture d'un hectare, représentaient 800 kil. de fumier de ferme supposé sec, et que les feuilles des betteraves fournies par une même surface valaient plus de 2600 kil. du même engrais au même état de siccité.

Parmi les engrais verts, se trouvent les plantes marines, qui servent à l'amélioration du sol près des côtes de la mer; ces plantes, fortement azotées, peuvent s'employer, soit immédiatement après leur sortie de la mer, soit à demi-desséchées, macérées ou même incinérées en partie. Elles agissent aussi bien par leurs substances salines et leurs propriétés hygroscopiques que par l'azote qu'elles renferment.

Séchées au soleil et réduites en poudre, elles ont été utilisées par M. Salmon pour la désinfection des matières fécales; elles constituent alors un excellent engrais qui, desséché, renferme 2, 4 p. 100 d'azote.

Goëmon. La Bretagne, l'Écosse et l'Irlande, emploient sous le nom de *goëmons* les différentes plantes de la famille des algues. La récolte du goëmon se fait en labourant la surface des roches et le fond de la mer au moyen de grands rateaux; des règlements fixent ordinairement, pour chaque localité, l'époque et le mode de la récolte.

Cet engrais, riche en sels de soude et de potasse, a le grand avantage d'être entièrement exempt de graines nuisibles; les différents fucus sortant de l'eau et égouttés retiennent 0,75 d'eau; desséchés à l'air ils en renferment encore 0,40; à cet état le *fucus saccharinus* possède 1,38 p. 100 d'azote, et le *fucus digitatus* 0,86 seulement; complétement sec, le premier en renferme 2,29, et le second 1,41. Le goëmon brûlé contient 0,40 p. 100 d'azote.

Les plantes aquatiques qui croissent dans les eaux douces peuvent aussi offrir des ressources comme engrais.

Roseau. Le roseau est la plante d'eau douce la plus employée; fauché au vert il se décompose facilement; coupé au moment de sa floraison, et séché sur place, tel qu'on le livre au commerce, le roseau contient encore 0,20 d'eau et 0,75 d'azote; desséché complétement, il donne 1,10 de son poids de cendres et 1,0678 p. 100 d'azote. Réduit par la macération au même degré d'humidité que le fumier, sans y rien ajouter, il contient 0,267 d'azote. On fume souvent les oliviers, en Provence, en plaçant à leurs pieds des gerbes de roseaux dont l'effet se sent pendant deux années entières.

Fougères. Parmi les autres végétaux transportés pour servir à engraisser les terres, se trouvent les fougères dont l'azote n'a pas été dosé, mais qui renferment de la potasse en notable quantité, et qui, sous ce rapport, sont avantageuses pour les terrains manquant de cet alcali.

Bruyères. Comme les précédents, les bruyères peuvent aussi être d'une grande utilité; les feuilles renferment 1,74 d'azote, mais les tiges sont beaucoup plus pauvres, et on aurait plus d'avantage à les brûler qu'à les employer comme engrais.

Buis. Le buis est un engrais d'une grande ressource dans les pays environnés de montagnes calcaires, qui en sont quelquefois couvertes; les rameaux feuillés de buis, après avoir été foulés et écrasés sous les pieds des chevaux et les roues des voitures, peuvent fermenter facilement. A l'état vert ils renferment 1,17 p. 100 d'a-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

zote, et 1,60 d'eau; à l'état sec ils offrent 2,89 p. 100 d'azote.

Dans quelques pays de montagnes, on emploie aussi au même usage les tiges-feuillées des pins.

Sarments. On n'a pas d'analyse des sarments, seulement on sait qu'on peut les employer avec avantage dans l'agriculture, si toutefois leur emploi, comme combustible, n'est pas d'un plus grand rapport.

Les récoltes enfouies en vert, pour améliorer le sol, rentrent également dans les engrais qui nous occupent. Cette méthode, qui date d'une haute antiquité, est encore suivie de nos jours, surtout en Italie; on cultive dans ce but les plantes qui prélèvent le plus de principes sur l'atmosphère; c'est aux légumineuses qu'on donne généralement la préférence.

Prairies. Les prairies demandent à être défrichées de temps en temps, car la nature du sol empêche quelquefois de les conserver indéfiniment en bon état.

Dans les prés qui rapportent 15000^k de foin par hectare, le gazon fournit un engrais qui équivaut à 668^k d'azote pour une même surface, et donne trois récoltes de froment, produisant ensemble 72 hectolitres.

Lupin. Le lupin employé comme engrais vert ne se sème en France qu'au mois de mars, et s'enterre aussitôt qu'il est en fleurs. Si l'on en juge par ses effets énergiques, cette plante, dont on n'a pas l'analyse, doit être très riche en azote.

La semence du lupin, analysée par M. Payen, renferme 3,49 d'azote à l'état normal, et 4,35 à l'état sec; ce serait donc un engrais fort riche.

Fèves. L'herbe de la fève en fleur compte comme une demi-fumure; elle s'emploie surtout pour engraisser les terrains qui doivent porter le chanvre.

Vesces. Les vesces sont un engrais vert très coûteux.

Seigle Le seigle enterré en vert augmente un peu la richesse des récoltes; mais cette augmentation est si faible qu'elle ne compense pas les frais.

Spergule. La spergule que M. de Woght-a beaucoup employée paraît donner d'assez bons résultats; d'après cet agronome, si l'on sème consécutivement un champ de spergule, pour être enterré en vert en mars, juin et août, l'effet de ces trois herbages équivaudra à 2,900^k de fumier par hectare. Cette plante ne réussit bien que dans les terrains sablonneux et les climats humides.

Sarrasin. D'après Schwerz, le sarrasin cultivé en Allemagne n'est enterré que quand la récolte de la graine ne laisse plus d'espoir. La paille de sarrasin renferme 0,54 p. 100 d'azote à l'état sec, et 0,48 après sa dessiccation à l'air.

Madia sativa. Le madia sativa a été employé comme engrais vert par plusieurs agriculteurs; en raison des exsudations résineuses qui couvrent cette plante, MM. Boussingault et Payen pensent qu'il faudrait lui faire subir une macération avant de l'enterrer. Les fanes de madia sativa renferment 0,66 p. 100 d'azote à l'état sec, et 0,53 après dessiccation à l'air.

Navette. De toutes ces plantes, la navette est depuis plus longtemps et beaucoup plus souvent employée au même usage, sa graine a le grand avantage de coûter peu; et 10 à 12^k de cette graine suffisent pour ensemencer un hectare.

On considère encore comme engrais verts les débris de plantes, les chaumes des différentes céréales et les feuilles des arbres des forêts; quant à ces dernières, il est bon de les laisser fermenter avant de s'en servir.

De tous les engrais verts, ceux fournis par les prairies sont les moins coûteux et les plus abondants; l'emploi des autres plantes est subordonné à leur réussite sur les terrains qu'on leur destine, et surtout à leur équivalent en azote. Dans le plus grand nombre de cas il est préférable de cultiver des plantes pouvant servir à la nourriture des animaux, ceux-ci restituant à la terre une grande partie des éléments qu'ils en reçoivent, l'autre partie donnant naissance à un produit animal d'une valeur plus considérable.

Débris végétaux.

Terreau. Le terreau qui se trouve en amas dans le fond des étangs et des marais situés dans un terrain calcaire est usité comme engrais; cette matière pauvre en azote et riche en carbone est utile aux terrains qui manquent de ce dernier corps. Les terreaux les plus riches sont ceux qui n'ont pas été formés sous l'eau, aussi ce sont les plus avantageusement employés dans l'agriculture.

Tourbe. La tourbe a une grande analogie avec le terreau; elle en diffère cependant par l'absence des matières solubles dans l'eau, ce qui se conçoit en effet d'après son origine aqueuse; cependant exposée à l'air et à l'humidité elle donne naissance à une certaine quantité de principes solubles dont les alcalis hâtent le développement; c'est ce qui explique son emploi comme engrais dans certaines localités. La tourbe chargée de tannin, d'acides végétaux et minéraux, de matières hydrogénées, demande quelques préparations avant son emploi. A l'état sec, employée pour litière, elle remplace économiquement la paille, et les matières qu'elle est destinée à absorber neutralisent sans manipulations les acides qu'elle renferme, et augmentent sa valeur comme engrais. La tourbe a aussi été employée mélangée avec du fumier; dans tous les cas elle ne s'emploie pour améliorer le sol que lorsqu'elle ne peut être utilisée plus avantageusement comme combustible.

Nous parlerons maintenant des résidus des différents végétaux dont les fruits, les racines ou les tiges ont subi un traitement destiné à en extraire les sucs.

Orge germée. L'orge germée qui a servi à la production de la bière est utilisée avec succès pour fumer les terres, desséchée sur les tourailles elle équivaut à deux fois et demie son poids de fumier; on la connaît sous le nom de *touraillons.* En Angleterre on en emploie de 35 à 52 hectolitres par hectare, pour la culture de l'orge et celle du froment.

Marc de raisin. Le marc de raisin contient une assez forte proportion d'azote, et comme la décomposition des pepins est lente c'est un engrais de longue durée qui convient à la fumure des vignes. Séché à l'air il contient 1,71 à 1,83 d'azote, et desséché complétement 3,31 à 3,56.

Marc des pommes à cidre. Le résidu de la fabrication du cidre étant acide doit être neutralisé par la chaux avant son emploi comme engrais, si le terrain qui doit le recevoir n'est pas lui-même calcaire. Mêlé avec du fumier il se neutraliserait sans manipulation.

Pulpes, résidus des féculeries. Les pulpes provenant de la fabrication de la fécule diffèrent peu en valeur de celle de la pomme de terre; elles pourraient donc servir avantageusement pour la nourriture des bestiaux; mais quand leur production dépasse les besoins de cette consommation, elles peuvent servir et servent effectivement d'engrais, car leur conservation ne peut s'opérer facilement. La pulpe des féculeries renferme les 7/10 de son poids d'eau et 0,526 pour 100 d'azote; complétement sèche, elle en contient 1,95.

Les écumes et dépôts des défécations qui proviennent de la même fabrication renferment 0,005 d'azote; c'est à peu près ce qu'on trouve dans le fumier de ferme humide. M. Dailly, propriétaire d'une féculerie située à Trapes, près de Versailles, emploie très avantageusement les eaux de cet établissement. Après les avoir fait déposer il les dirige dans de vastes champs qui sont autour de la féculerie; quant aux dépôts qu'elles ont formés, on les laisse se dessécher à l'air, et ils donnent une poudrette qui a la moitié de la valeur de la poudrette ordinaire.

Pulpe de betteraves. Le résidu de la fabrication du sucre de betterave sert généralement pour la nourriture

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des bestiaux; il contient en sortant des presses 0,378 pour 100 d'azote, séché à l'air 1,14, et desséché dans le vide 1,26.

Tranches de betteraves. Les tranches de betteraves qu'on obtenait par le procédé de macération dû à Mathieu de Dombasle pour l'extraction du sucre, ne renfermaient que 0,0001 d'azote: un pareil engrais ne peut évidemment pas payer les frais de transport.

Tan. Le tan épuisé qui a servi à la préparation des cuirs peut être employé comme engrais après une dessiccation préalable; on devra aussi avant de l'employer neutraliser par la chaux le tannin qu'il renferme encore.

Tourteaux. Les graines oléagineuses, après l'extraction de l'huile, laissent un résidu connu sous le nom de tourteaux; ces résidus renferment à peu près toute la matière azotée qui était contenue dans la plante, aussi fournissent-ils d'excellents engrais, d'autant plus propres à être transportés qu'ils renferment peu d'humidité.

Les plus employés sont : le marc d'olive, les tourteaux de colza, de lin, de madia, d'arachide, tous très riches en azote. On emploie aussi les tourteaux de graines de coton, de chénevis, de cameline, de faînes, de pavots, etc. Quant aux tourteaux de noix ils sont réservés exclusivement pour la nourriture des animaux.

Pour employer ces résidus comme engrais, on les pulvérise et on les répand ensuite sur les plantes déjà sorties de terre, ou sur les champs, en ayant soin de les enterrer par un labour. Comme l'humidité est indispensable à la poudre des tourteaux, pour que la réussite soit complète, on doit les humecter avant de s'en servir. En Angleterre on donne 1000 kilogr. de tourteau par hectare, du reste les doses varient avec les cultures; c'est surtout pour les terrains légers et sablonneux qu'on doit en faire usage.

Nous terminons ce que nous avions à dire sur les engrais azotés par le tableau de leur valeur comparative; ce tableau est dû, comme nous l'avons déjà dit, aux travaux de deux savants distingués, MM. Payen et Boussingault. Dans ce tableau la 5e colonne est la plus utile, elle donne la quantité d'azote contenue dans l'engrais à l'état sec, et c'est seulement dans cet état, comme il est facile de le comprendre, que les engrais peuvent être comparés entre eux.

TABLEAU DE LA VALEUR COMPARATIVE DES ENGRAIS,

déduite des analyses faites par MM. Boussingault et Payen.

DÉSIGNATION.	EAU normale.	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche.	humide	sec.	humide.	sec.	humide.
Fumier de ferme, moyenne de Bechelbronn.	79,3	1,95	0,41	100	100	100	100
Fumier d'aubergiste du midi de la France.	60,6	2,08	0,79	107	197	94	51
Eau de fumier.	99,6	1,54	0,06	78	2	127	68
Paille fraîche de froment d'Alsace, 1838.	19,3	0,30	0,24	15	60	650	167
Paille de froment ancienne des environs de Paris.	5,3	0,53	0,49	27	122,5	367	82
— — partie supérieure.	5,3	0,43	0,41	22	102,5	453	98
— — parties voisines de l'épi, l'épi compris.	9,4	1,42	1,33	73	332,5	137	30
Paille de seigle d'Alsace.	12,2	0,20	0,17	10	42,5	975	235
— — des environs de Paris, 1841	12,6	0,50	0,42	26	105	390	95
Paille d'avoine d'Alsace.	21,0	0,36	0,28	18	70	542	143
— d'orge —	11,0	0,26	0,23	13	57,5	750	174
Balles de froment —	7,6	0,94	0,85	48	212,5	207	47
Paille de pois —	8,5	1,95	1,79	100	447,5	100	22
— de millet —	19,0	0,96	0,78	49	195	203	51
— de sarrasin.	11,6	0,54	0,48	27	120	361	83
— de lentilles	9,2	1,12	1,01	57	250	174	40
Tiges de topinambours.	12,9	0,43	0,37	22	92,5	453	108
Fanes de madia ayant donné graines.	14,3	0,66	0,57	33	142,5	295	70
Fanes, engrais vert avant la graine.	70,6	1,53	0,45	79	113	126	89
Genêt sec, tige et feuilles.	10,4	1,37	1,22	70	305	142	33
Fanes de betteraves champêtres.	88,9	4,50	0,50	230	125	43	80
— de pommes de terre.	76,0	2,30	0,55	117	137,5	85	73
— de carottes.	70,9	2,94	0,85	150	212,5	66	47
Feuilles de bruyère séchées à l'air.	7,0	1,90	1,74	97	435	103	23
— de poirier tombées en automne.	14,5	1,59	1,36	81,5	340	127	29
— de chêne —	25,0	1,57	1,18	80	293	125	34
— de peuplier —	51,1	1,17	0,54	66	134	167	74
— de hêtre —	39,3	1,91	1,18	78	294	102	34
— d'acacia —	53,6	1,56	0,72	80	180	125	56
Buis, rameaux et feuilles.	59,3	2,89	1,17	147	293	68	34
Racines de trèfle enfouies, desséchées à l'air.	9,7	1,77	1,61	90	402,5	110	25
Fucus digitatus, séché à l'air.	39,2	1,41	0,86	72	215	139	46
— —	40,0	1,58	0,95	81	237,5	123	42
Fucus saccharinus, —	40,0	2,29	1,38	117	345	85	29
—, sortant de la mer.	75,5	»	0,54	»	135	»	74
Goëmon, dit brûlé.	3,8	0,40	0,38	20	95	488	105
Coquilles d'huîtres.	17,9	0,40	0,32	20	80	488	125
Coquillages de mer desséchés, de Dunkerque.	»	0,15	0,05	3	15	3750	769
Vase de la rivière de Marcq.	3,7	0,42	0,40	21	100	464	100

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION.	EAU normale.	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche	humide	sec.	humide.	sec.	humide
Trèz de la rade de Roscoff.	0,5	0,14	0,13	7	32,5	1393	308
Merl, sable de mer.	1,0	0,52	0,51	26,5	128	377	78
Morue salée.	38,0	10,86	6,70	557	1675	18	6
— lavée, pressée et séchée à l'air.	10,0	18,74	16,86	961	4215	10	2,5
Sciure de bois de sapin, —	24,0	0,22	0,16	11	40	886	250
— —	24,0	0,31	0,23	15	57,5	629	174
Sciure de bois de chêne, —	26,0	0,72	0,54	36	135	256	74
Graines de lupin blanc de Toscane, bouillies et séchées.	10,5	4,35	3,49	223	872,5	45	11,5
Tourraillons d'orge.	6,0	4,90	4,51	251	1127,5	40	9
Marc de raisin.	48,2	3,31	1,71	169	427,5	57	23
Tourteau de lin.	13,4	6,00	5,20	307	300	33	8
— de colza.	10,5	5,50	4,92	282	1230	35	8
— d'arachis.	6,6	8,89	8,33	455	2082,5	21	4,5
— de madia.	11,2	5,70	5,06	292	1265	34	8
— de cameline.	6,5	5,93	5,52	304	1378	33	7,25
— de chènevis.	5,0	4,78	4,21	245	1052	41	9,5
— de pavot.	6,0	5,70	5,36	292	1340	34	7,5
— de faînes.	6,2	3,53	3,31	181	828	55	12
— de noix.	6,0	5,59	5,24	287	1310	35	7,5
— de graines de coton.	11,0	4,52	4,02	232	1000	32	10
— d'épuration des graines vertes par la sciure de peuplier.	10,0	3,92	3,54	201	885	50	11,25
— d'épuration de l'huile de poisson par la sciure de peuplier.	7,7	0,58	0,54	30	135	332	75
Marc de pommes à cidre, séché à l'air.	6,4	0,63	0,59	32	147	309	68
— de houblon.	73,0	2,23	0,56	114	140	88	67
Pulpe de betteraves, séchée à l'air.	9,3	1,26	1,14	64	285	155	35
— sortant de la presse.	70,0	»	0,58	64	85	»	106
Tranches de betteraves épuisées, procédé de Dombasle.	94,5	1,76	0,01	90	2	111	4137
Pulpe de pommes de terre.	73,0	1,95	0,53	100	131,5	100	76
Suc de pommes de terre reposé et décanté.	95,4	8,28	0,38	425	94	23	106
Eaux de lavage des féculeries, à 4 volumes d'eau.	99,2	8,28	0,07	425	17,5	»	571
Dépôts des eaux des féculeries, égouttés en tas.	80,0	1,81	0,36	92	90	108	111
— — séchés à l'air.	15,0	1,81	1,54	92	384,5	»	24
Excréments solides de vaches.	85,9	2,30	0,32	117	80	84	125
Urine de vache.	88,3	3,80	0,44	194	110	51	91
Excréments mixtes de vaches.	84,3	2,59	0,41	132	102,5	75	98
— solides de cheval.	75,3	2,21	0,55	113	137,5	88	73
Urine de cheval (le cheval buvait peu).	79,1	12,50	2,61	641	652,5	15,5	15,33
Excréments mixtes de cheval.	75,4	3,02	0,74	154	185	64	54
— de porcs.	81,4	3,37	0,63	172	157,5	58	63
— de moutons.	63,0	2,99	1,11	153	277,5	65	36
— de chèvres.	46,0	3,93	2,16	201	540	50	18,5
Engrais flamand liquide à l'état normal.	»	»	0,49	»	47,5	»	210
— —	»	»	0,22	»	55	»	182
Poudrette de Belloni, séchée à l'air.	12,5	4,40	3,85	225	962	44	10,33
— de Montfaucon.	41,4	2,67	1,56	137	390	73	25,5
Urine, séchée à l'étuve.	9,6	17,56	16,85	900	4213	11	2,3
— liquide, ammoniacale.	96,9	23,11	0,72	1183	179	8,5	56
Noir animalisé, préparé depuis 11 mois.	44,6	1,96	1,09	100,5	272	98	37
— récent, des camps près Paris.	42,0	2,96	1,24	151,6	310,5	66	32
— engrais dit hollandais, fabriqué à Lyon.	44,1	2,48	1,36	127	340	79	29,5
Herbes marines animalisées de Marseille, séchées à l'étuve.	12,1	2,73	2,40	140	600	7	16,5
Colombine de Bechelbronn.	9,6	9,02	8,30	462	2075	21,5	5
Guano importé en Angleterre à l'état ordinaire.	19,6	6,20	5,00	323	1217	31,5	80
— passé au tamis.	23,4	7,05	5,40	361	1349	28	74
— importé en France.	11,3	15,73	13,95	807	3487	12,5	28,5
Litière de vers à soie. 5e âge.	14,3	3,48	3,29	178,7	827	56	12
— 6e âge.	11,4	3,71	3,29	190	822	53	12
Chrysalide de vers à soie.	78,5	8,99	1,94	461	485	21,5	20,5
Hannetons.	77,0	13,93	3,20	714	801	14	13
Chair musculaire séchée à l'air.	8,5	14,25	13,04	730	3260	13,5	3
Sang sec (soluble), tel qu'on l'expédie.	21,4	15,50	12,18	795	3045	12,5	3,25

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION.	EAU normale	AZOTE dans 100 de matière		TITRE à l'état		ÉQUIVALENT à l'état	
		sèche.	humide.	sec.	humide.	sec.	humide.
Sang liquide des abattoirs.	81,0	»	7,95	795	736	»	13,33
— des chevaux épuisés.	82,5	»	2,71	795	580	»	15
Sang congulé sortant de la presse.	73,5	17,00	4,51	871	1128	11,5	9
— séché en fabrique (insoluble).	12,5	17,00	14,88	871	3719	11,5	2,75
Résidu de bleu de Prusse animalisé de sang.	53,4	2,80	1,31	144	326	7	30,5
Os fondus séchés à l'air.	7,5	7,58	7,02	388	1754	26	6
— — humides livrés par les fondeurs.	30,0	»	5,31	»	1326	»	7,5
— non fondus, renfermant 0,10 de graisse.	8,0	»	6,22	»	1554	»	6,5
Résidus de colle d'os.	12,0	0,91	0,53	47	133	214	76
Marcs de colle livrés par les fabricants.	33,6	5,63	3,73	288,4	933,5	35	11
Pain de créton.	8,2	12,93	11,88	663	2969	15	3,33
Noir animal des raffineries, tel qu'on l'expédie.	47,7	2,04	1,06	104	265	96	38
— des raffineries, expédié de Paris.	27,7	19,01	13,75	974	3437	103	28
Ecume de défécations de la sucrerie de Vigneux.	67,0	1,58	0,54	81	134	127	75
Noir anglais, sang, chaux et suie.	13,5	8,02	6,95	411,4	1738	24	6
Plumes.	12,9	17,61	15,34	903	3835	11	2,5
Bourres de poils de bœufs.	8,9	15,12	13,78	775	3445	13	3
Chiffons de laine.	11,3	20,26	17,98	1039	4495	9,5	2,25
Râpures de cornes.	9,0	15,78	14,36	809	3590	12,83	3
Suie de houille.	15,6	1,59	1,35	81	337,5	122	30
— de bois.	5,6	1,31	1,15	67	287,5	149	35
Cendres de Picardie.	9,2	0,71	0,65	36	162,5	275	62
Terreau de crottin, desséché à l'étuve.	»	1,03	»	53	»	189	33

L'usage de ce tableau sera suffisamment expliqué par un exemple pratique que nous empruntons à M. Boussingault (1).

« Les tourteaux d'huile sont à bon marché cette année (1842); il s'agit de savoir s'il y aurait avantage à les répandre sur le sol pour augmenter la production du blé. La supposition que l'on doit faire, et c'est d'ailleurs la moins favorable, est que le froment puise la totalité de son azote dans le sol, qu'il n'en prélève pas sur l'atmosphère; en second lieu, nous admettrons que tout l'azote du tourteau sera utilisé pendant la culture. Dans des conditions convenables de chaleur et d'humidité, cette supposition pourrait se réaliser. Dans tous les cas, la matière active qui resterait dans le sol réagirait les années suivantes.

« Voici maintenant quels sont les éléments de la question :

« 1° En moyenne, il y a 0,025 d'azote dans le froment cultivé à Bechelbronn;

« 2° Dans la paille de 1841, il y a 0,003 d'azote;

« 3° Le tourteau de caméline qu'on se propose d'employer en contient 0,055. Son prix actuel, mouture comprise, est de 8 fr. les 100 kil.;

« 4° Le rapport du poids du grain à celui de la paille est :: 47 : 100.

« L'hectolitre de grain pèse 77 kil. Son prix moyen est de 18 fr.

« Les 100 kil. de paille valent 3 fr.

« Une gerbe de 100 kil. est composée ·

Grain, 32k, contenant en azote	0k,800, valent	5f,76
Paille, 68k, —	0k,189, —	2f,04
Total de l'azote.	0k,989, —	7f,80
0k,989 d'azote se trouvent dans 18k de tourteau de caméline, valant.		1f,44
Différence.		6f,36

« Ainsi 18 kil. de tourteau, devenant une gerbe de froment, augmenteraient leur valeur propre de 6 fr. 36 c. En supposant encore qu'on ne réalise que la moitié, que le tiers de ce qui est indiqué par la théorie, on voit que l'addition du tourteau doit être tentée, et qu'on ne doit rien négliger pour faire réussir son application comme engrais. »

ENGRAIS MINÉRAUX OU AMENDEMENTS.

La pratique a devancé la science dans l'application des engrais ou amendements minéraux; comme on ne comprend pas encore bien nettement leur manière d'agir, c'est une raison de plus pour les étudier avec soin.

Chaux. La chaux s'emploie comme engrais, soit à l'état de chaux carbonatée, soit à l'état de chaux caustique; la chaux magnésienne est nuisible à la végétation, on doit en éviter l'emploi; la chaux caustique ou chaux calcinée employée dans l'agriculture, produit au contraire de grandes améliorations, surtout dans la culture des céréales. Le chaulage, comme on le comprend facilement, est inutile dans les terrains suffisamment calcaires. La chaux vive paraît agir, d'après Liebig, en rendant les substances terreuses assimilables aux plantes.

Dans les environs de Dunkerque, on emploie 40 hectolitres de chaux par hectare de terrain, l'effet de cette dose s'y fait sentir de 10 à 12 ans. D'après M. Puvis, le sol doit recevoir annuellement 3 hectolitres de chaux par hectare, quantité plus que suffisante.

Quoique la chaux donnée au sol à l'état caustique se carbonate assez rapidement sous l'influence de l'acide carbonique contenu dans l'air et l'eau du sol, il est bon pour activer cette saturation et par conséquent préserver les plantes de l'action de la chaux caustique, de la distribuer sur les terres aussi également que possible.

En Angleterre, pays où l'on chaule le plus abondamment, on emploie de 215 à 270 hectolitres de chaux par hectare; dans les terrains tourbeux bien égouttés, on dépasse quelquefois 400 hectolitres.

(1) Boussingault, *Economie rurale, etc.*, tome II, p. 149.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La chaux est utile dans la culture de différentes manières; elle entre dans la constitution des plantes; elle neutralise les acides qui se forment dans certains sols et nuisent aux racines, elle favorise la décomposition des substances argileuses et les rend ainsi assimilables. Elle agit aussi sur les matières minérales en favorisant la désagrégation des roches, elle opère des doubles décompositions, s'empare de la silice des silicates, met en liberté les alcalis. Le silicate de chaux formé se transforme en carbonate par l'action de l'acide carbonique et livre aux plantes la silice à l'état de liberté. Sous l'influence de l'acide carbonique la chaux se transforme en carbonate de chaux très-divisé et très-apte à pénétrer dans l'organisme et à transformer en carbonates volatils les sels fixes d'ammoniaque.

La chaux a encore pour effet de décomposer les sulfates de fer, d'alumine, de magnésie que renferment les argiles pyriteuses en formant du sulfate de chaux.

Il résulte d'expériences faites par M. Boussingault que la chaux vive provoque dans le sol la formation d'ammoniaque, mais au lieu de favoriser la nitrification elle semble plutôt détruire l'acide nitrique préexistant dans le sol.

Le développement d'ammoniaque est fort loin d'être en rapport avec la quantité de chaux fournie au sol. L'ammoniaque tout formé ne dépasse pas habituellement 0^{g},02 pour 1 kil. de terre végétale. Or, d'après les expériences de M. Boussingault, l'ammoniaque trouvé dans le sol après le chaulage aurait été en moyenne de 0^{g},033. La chaux n'introduit pas l'ammoniaque dans le sol, mais elle l'y développe; elle transforme un engrais latent en engrais actif.

Dans les terrains pauvres en humus, le chaulage ne devra donc pas dispenser de l'emploi du fumier, sous peine d'épuiser complétement le sol.

Marne. Employée comme engrais, la marne agit par son principe calcaire; le marnage, sous ce rapport, revient donc à l'application de la chaux. La marne argileuse agit et par son calcaire et par son argile, elle doit s'employer dans les terrains sablonneux où l'argile qu'elle contient agit mécaniquement, tandis que son calcaire, par son action chimique, remplace un chaulage.

La marne est un mélange de carbonate de chaux, d'argile plus ou moins sablonneuse, d'oxyde de fer et de quelques autres substances en proportions relativement assez faibles. La marne de bonne qualité se délite entièrement par l'action de l'air et de l'humidité, et se réduit en poudre impalpable. Les marnes de qualités inférieures contiennent du sable ou des noyaux calcaires sans action *chimique* immédiate sur le sol; elles sont, comme amendement chimique, d'autant plus précieuses, toutes choses égales d'ailleurs, que la quantité de ces matières inertes est moins considérable, et que le carbonate de chaux contenu dans la partie *susceptible de se déliter* est au contraire plus abondant. En d'autres termes, on peut dire, d'une manière générale, à moins que des circonstances spéciales ne modifient cette règle, que la valeur d'une marne est en raison inverse de la quantité de matières inertes qu'elle renferme, et en raison directe du carbonate de chaux de ses parties susceptibles de se déliter à l'air.

Il est probable que la marne agit aussi comme engrais azoté, MM. Payen et Boussingault ayant trouvé dans plusieurs substances marneuses des matières organiques.

Comme les plantes enlèvent de la chaux au sol, il est évident que l'action d'un marnage n'est pas illimitée; on emploie ordinairement 20 à 30 mètres cubes de marne par hectare. On admet, en général, qu'il convient d'ajouter au sol une dose de marne telle que la proportion de calcaire, dans la couche arable, soit de 3 p. 100 environ. Cette règle, toutefois, n'a rien d'absolu, et on s'en écarte souvent beaucoup dans la pratique. En Sologne, on peut admettre, comme résultat moyen, que le produit *net* de l'hectare s'élève, par le marnage, de 6 fr. à 32 fr. 90 c. On emploie dans ce pays de 25 à 33 mètres cubes de marne par hectare. Cette opération doit être renouvelée tous les vingt ou vingt-cinq ans environ. La pratique du marnage s'est trouvée fournir la solution du difficile problème de donner de la fertilité à un pays où la couche arable est presqu'exclusivement formée de sable siliceux.

Cendres de bois. Malgré les améliorations que les cendres introduisent dans l'agriculture, elles sont peu employées comme engrais, leur prix de revient est généralement trop élevé : on préfère en extraire le carbonate de potasse. En Angleterre, les cendres de bois sont employées de préférence pour les sols graveleux, et chaque printemps on en donne 35 hectolitres par hectare.

Cendres lessivées. Les cendres de bois provenant des savonneries contiennent encore, outre les sels solubles échappés à la lexiviation, du carbonate de chaux provenant de la caustification du carbonate de potasse qu'elles renfermaient, et les sels insolubles tels que des phosphates, sulfates et carbonates avec un peu de silice. Les cendres lessivées, employées à la dose de 40 à 60 hectolitres par hectare, agissent pendant une dixaine d'années.

Cendres de tourbe Elles sont d'un emploi avantageux et très-recherchées des agriculteurs; elles renferment de la chaux, du sulfate de chaux, des carbonates, chlorures et sulfates alcalins, de la silice gélatineuse et de l'argile calcinée. Toutefois, la composition de ces cendres varie suivant la provenance des tourbes, et par conséquent leur effet n'est pas toujours le même.

Généralement les cendres de tourbe suppléent avantageusement au plâtrage; celles qui proviennent de tourbes pyriteuses renferment du sulfure de fer qui, par l'action de l'air, donne des efflorescences de sulfate qui sont nuisibles aux développements de la végétation : une bonne cendre doit être blanche et légère, son poids à l'état sec est de 50 kil. l'hectolitre. On donne par hectare de terrain de 50 à 100 hectolitres de cendres de tourbe.

Cendres de houille. Les cendres de houille renferment à peu de chose près les mêmes matières minérales que celles de tourbe, seulement les sels alcalins y sont en beaucoup moindre quantité; ces cendres agissent sur le sol en en diminuant la ténacité, par cela même elles conviennent aux terres argileuses.

Les sels alcalins sont favorables à la végétation comme tout tend à le prouver; certaines cultures exigent même pour prospérer l'emploi de ces amendements.

Nitrate de potasse. Le nitrate de potasse employé à petite dose agit très-énergiquement sur la végétation, et favorise surtout celle des céréales, des légumineuses et du sarrasin; la cherté de ce sel en limite l'emploi. On le remplace en Angleterre par le nitrate de soude venant du Pérou.

Nitrate de soude. Le nitrate de soude, dont le prix est beaucoup moins élevé que celui du nitrate de potasse, a donné de bons résultats employé à la dose de 125 kil. par hectare; cependant il faut que le sol soit en même temps pourvu d'engrais organiques pour que la réussite soit complète.

Sel marin. Le sel marin favorise la culture de l'orge, du froment, de la luzerne et du lin, on doit en employer 150 à 300 kil. par hectare. Le *chlorure de calcium* et le *sulfate de soude* agissent de même, employés en petite quantité.

Plâtre. Le sulfate de chaux est un des engrais miné-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

raux les plus utilisés dans l'agriculture; il convient surtout aux légumineuses, aux prairies artificielles formées par le trèfle, la luzerne et le sainfoin : son action est nulle sur les céréales, peu sensible sur les récoltes sarclées et les prairies naturelles.

Le plâtre doit se répandre en poudre au printemps et lorsque les plantes qui le reçoivent ont acquis un certain développement; on l'applique le matin pour qu'il puisse adhérer aux feuilles encore mouillées par la rosée.

Le plâtre cru est aussi bon que celui qui a subi la cuisson; ce dernier cependant a l'avantage de se réduire plus facilement en poudre. On donne par hectare depuis 200 jusqu'à 2,000 kil. de cette matière.

Le plâtre est absorbé par les plantes, surtout par celles dont la croissance est rapide; il est à présumer que le plâtre agit utilement sur les prairies artificielles en fournissant au sol la chaux qui lui est nécessaire. Suivant M. Dehérain le plâtre agit surtout en favorisant la diffusion de la potasse et de l'ammoniaque.

TRANSPORT DES ENGRAIS.

Dans la pratique agricole, les engrais se transportent à l'aide des charrettes ordinaires de la ferme; lorsqu'il s'agit d'opérations agricoles ayant pour but de fertiliser une étendue un peu considérable de terrain et pour le transport des amendements volu-

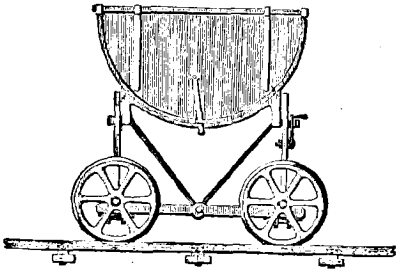


Fig. 768.

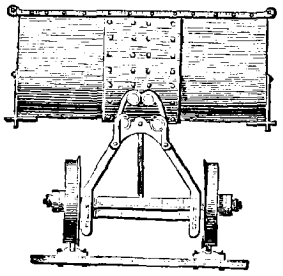


Fig. 768 *bis*.

mineux, comme la marne, les vases de rivières, etc., il est économique d'employer de petits wagons roulants sur des rails légers (fig. 768 et 768 *bis*), comme toutes les fois que des transports considérables doivent être faits dans une même direction; les frais de transport constituent une des plus grandes dépenses de la production agricole, et trop souvent le cultivateur omet de se poser la question s'il ne serait pas possible de les diminuer.

DES SELS AMMONIACAUX.

Les sels ammoniacaux sont introduits dans les compositions d'engrais chimiques. M. Schattenmann a trouvé que des dissolutions de ces sels à 1 degré de force et à la quantité de 2 litres par mètre carré de surface donnaient les résultats les plus satisfaisants, répandues sur les prés, les champs de froment, d'orge et d'avoine; ces dissolutions n'ont produit aucun effet sur la luzerne et sur le trèfle, mais elles ont donné des résultats avantageux sur les prés naturels, quand elles ont été répandues dès que la végétation devenait active. Ainsi, par exemple, M. Schattenmann a récolté, sur la partie d'une prairie haute et sèche, arrosée avec 2 litres de sulfate d'ammoniaque de 1 degré (à l'aréomètre de Baumé) par mètre carré, 89 kil. de foin par are, tandis qu'à côté l'are n'a donné que 51 kil.

M. Ed. Solly a reconnu que l'hydro-sulfate d'ammoniaque étendu d'eau agissait très-favorablement sur la végétation des plantes potagères.

Malgré les expériences si positives de ces savants, M. Bouchardat prétend que les sels ammoniacaux, même à des doses très-faibles, lui ont paru, dans des conditions sans doute toutes spéciales, contraires à la végétation.

Des expériences de M. Boussingault il paraît résulter que les sels ammoniacaux portent de l'azote dans les plantes, mais qu'ils n'y pénètrent qu'à l'état de carbonate; le sulfate, l'hydro-chlorate et les autres sels à base d'ammoniaque étant décomposés par le carbonate de chaux qui se trouve dans le sol. On sait que toutes les fois qu'on met en présence deux sels à l'état pulvérulent, avec la quantité d'eau strictement nécessaire à la réaction sans en dissoudre les produits, s'il peut se former un composé volatil, ce composé se forme et se dégage; c'est ce qui arrive dans la terre. La réaction contraire aurait lieu si l'on mettait en présence deux dissolutions, l'une de sulfate de chaux et l'autre de carbonate d'ammoniaque : le carbonate de chaux insoluble se formerait et se précipiterait. (Voy. NUTRITION DES VÉGÉTAUX.)

DE L'EAU.

L'eau doit être considérée comme jouant un certain rôle dans l'agriculture, en tant que véhicule de substances salines dont la quantité, dans quelques cas, n'est pas négligeable.

L'eau de rivière et celle de source, qui toutes deux sont employées dans l'agriculture, renferment une bien plus grande quantité de matières salines que l'eau de pluie; ces sels proviennent des terrains que ces eaux ont traversés, aussi leur composition est-elle très-variable.

Quand un agriculteur aura le choix entre plusieurs eaux, pour abreuver ses animaux ou pour arroser ses terres, il devra donner la préférence à la plus riche en sels alcalins, sans cesser d'être potable.

M. Boussingault a trouvé qu'à Bechelbronn les eaux qui servent à abreuver le bétail introduisent annuellement dans le fumier plus de 100 kilog. de sels alcalins.

ENGRENAGE. Voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, et *Complément* ENGRENAGE.

ENRAYURE. Pour diminuer la rapidité de la course d'une voiture, lorsqu'elle descend une pente, on place un sabot en fer sous une ou plusieurs des roues; ce sabot retenu aux brancards ou à l'essieu par une chaîne empêche la roue de tourner et augmente la résistance, en convertissant le frottement de roulement de la roue en frottement de glissement. On produit un effet analogue au moyen d'un frein garni de bois, qui, mû par une vis, vient presser plus ou moins les jantes des roues. (Voy. FREIN, *Complément*.)

C'est ce système, dû à M. Molard, directeur du Conservatoire de 1810 à 1815, qui a fourni le point de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

départ des nombreux systèmes de freins qu'a fait combiner l'exploitation des CHEMINS DE FER. Dans ce cas plus nettement encore que dans les voitures traînées par des moteurs animés, on voit clairement le phénomène mécanique qui les fait employer, à savoir la consommation de la force vive emmagasinée dans le système en mouvement pour produire le travail résistant du frottement engendré par le serrage du frein contre la jante de la roue.

ENVELOPPES DE LETTRES. L'exécution par machines, et par suite à très-bas prix, des enveloppes a fait de ce petit objet un article dont la production a acquis une certaine importance.

La première condition de couper les enveloppes dans une pile de feuilles de papier, à l'aide d'emporte-pièces, de couteaux convenables pour couper le papier, est facilement remplie; nous ne nous y arrêterons pas.

Les machines à enveloppes ont à plier, coller et timbrer les enveloppes; parmi plusieurs fort curieuses, nous donnerons celle de M. Rémond, de Birmingham (fig. 1 et 2), et en emprunterons la description à un rapport fait par M. Dumery à la Société d'encouragement.

Pour confectionner une enveloppe de lettre, il faut avant tout prendre une feuille de papier ayant la forme voulue, et la transporter sous la machine qui doit la plier. Or, on sait combien il est difficile de saisir, de transporter et de déposer une feuille de papier dans un temps très-court et avec certitude de ne pas la froisser.

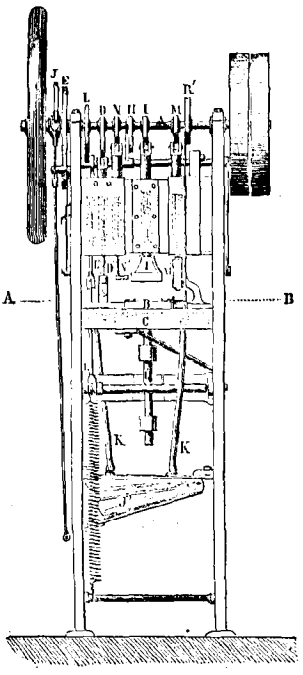
Cette première opération du soulèvement, du transport et de la pose de la feuille, est opérée d'une manière toute nouvelle dans cette machine.

Un tuyau méplat, en forme de fourche à deux branches et percée d'une multitude de trous à sa partie inférieure, vient se poser sur la pile du papier découpé. Le manche de la fourche est un tuyau en communication avec un soufflet qui fait le vide, et force ainsi la première feuille à adhérer à ce tuyau qui la soulève, la transporte presque tendue à la place qu'elle doit occuper, avec la célérité et la rectitude de mouvement que possèdent les pièces métalliques de la machine.

Dès que la feuille est ainsi placée, supposez qu'on la fasse descendre dans une boîte rectangulaire à l'aide d'un bouchon de même forme que la boîte, et que le milieu de l'enveloppe restant horizontal, force les quatre lèvres de l'enveloppe à se redresser à angle droit; puis que l'on sorte le bouchon de ce moule carré en y laissant l'enveloppe, que l'on incline légèrement les quatre lèvres en forme de pyramide, et que l'on descende le bouchon pour aplatir et comprimer l'enveloppe contre le fond de la boîte, enfin que l'on fasse basculer le fond de cette boîte pour que l'enveloppe pliée tombe à la partie inférieure, et vous avez, en somme, la série des opérations à accomplir et une idée sommaire des principales fonctions de la machine.

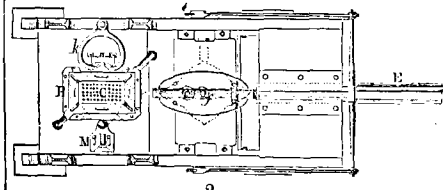
C'est encore l'air atmosphérique, qui déjà d'une part, par la dépression du soufflet, a permis d'enlever et de transporter la feuille, et d'autre part l'a fait abandonner par une insufflation, alors qu'elle était à destination, qui joue dans les opérations que nous venons de décrire un rôle actif d'une toute autre nature.

Comme nous l'avons dit, le bouchon ou moule intérieur, après avoir descendu la feuille dans une boîte de même forme, et après avoir forcé les quatre lèvres à se plier à angle droit, remonte, laissant l'enveloppe tapisser le fond et les quatre côtés de cette espèce de caisse, mais avant que le bouchon n'y replonge de nouveau, il faut incliner les lèvres de l'enveloppe vers le centre, afin qu'en descendant une dernière fois sur la même enveloppe, le bouchon en trouve les quatre côtés inclinés et n'ait plus qu'à les aplatir en les comprimant sur le fond de la caisse. Cette inclinaison à donner aux quatre côtés de l'enveloppe, c'est encore l'air qui le produit, par suite d'une insufflation faite, dans le moment opportun, à travers des fentes placées sur chacun des quatre côtés de la caisse, à une faible distance au-dessus du pli ou cassure.



1.

Fig. 1, vue de la machine; fig. 2, coupe par AB. B boîte en bronze rectangulaire dans laquelle se fait le pliage. C fond de la boîte percé de trous pour l'échappement de l'air. Il est maintenu en place par un ressort qui agit sur le levier D' et écarté quand l'excentrique D agit sur celui-ci. E excentrique qui agit sur l'axe coudé e' et par des tringles le chariot E (fig. 2) qui font corps avec l'alimenteur f, percé de trous à la partie inférieure et communiquant avec le soufflet par un tube en caoutchouc. La pile des feuilles monte par l'effet d'un long ressort à boudin agissant sur des axes coudées, et s'abaisse par l'action de l'excentrique L. Elle est toujours en contact avec l'alimenteur. I Excentrique qui fait descendre deux fois la boîte. N' tige mue par N, pressant sur une éponge imbibée d'eau gommée. M' timbre mû par M; s'il est humide un rouleau encreur est mû par l'excentrique R'.



2.

Nous devons ajouter que, au moment où l'appareil pneumatique présente la feuille au-dessus du moule, et pendant que celle-ci est encore plane, les extrémités des deux grands côtés de l'enveloppe sont simultanément touchées en dessous, l'une par une petite éponge constamment imbibée de gomme, et l'autre par un timbre sec ou humide qui dépose la marque que doit porter l'enveloppe, en sorte que, après l'opération du pliage, l'enveloppe sort complétement terminée.

Cette machine produit environ 20,000 enveloppes, pliées, collées et timbrées dans un jour.

Cette machine est loin d'être la seule; il en existe de plusieurs genres, mais l'introduction dans celle de M. Rémond de l'insufflation de l'air nous a semblé la rendre particulièrement remarquable, car c'est là un nouveau moyen de prendre et de conduire une feuille

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de papier, qui a pu trouver de nouvelles applications, comme nous le verrons à l'article RELIURE, pour une machine à plier. L'ouvrière place simplement la feuille de papier dans les autres machines, et il n'est pas difficile de pousser les bords de l'enveloppe dans la boîte, par des pièces mues mécaniquement. Nous donnons à l'article SAC du *Complément* la description d'une curieuse fabrication mécanique de ce genre, fort analogue à celle des enveloppes.

ENVELOPPE DE MACHINE A VAPEUR. — L'enveloppe du cylindre remplie de vapeur constitue le moyen de réchauffer la vapeur qui se détend en poussant le piston; et comme c'est en réalité la chaleur qui se convertit en travail mécanique, celle qui est ainsi transmise l'est dans des conditions excellentes d'utilisation. Nous donnons à l'article MACHINE A VAPEUR les expériences qui montrent les bons résultats que procure l'emploi des enveloppes.

ÉPICYCLOÏDE. — Courbe tracée par un point d'un cercle roulant sur la circonférence d'un autre cercle, ou ce qui revient au même, dont l'axe est monté en un point de la surface du premier, de manière à posséder un double mouvement de rotation. Le rapport de ces deux rotations fait varier le nombre d'arcs semblables qui existent entre le point initial de l'axe et son retour à la même position. De là ce curieux résultat que l'on peut tracer des courbes épicycloïdales de complication très-grande et très propres au guillochage, à la décoration de surfaces circulaires par des procédés mécaniques. (Voir *Complément*).

ÉPINGLE (*ang.* pin, *all.* steckнadel). La fabrication des épingles a toujours été considérée comme extrêmement curieuse à cause de la multiplicité des opérations nécessaires pour fabriquer cet objet à si bon marché. Depuis Adam Smith, elle a toujours été citée comme l'exemple le plus saisissant des effets de la division du travail.

Avant de la décrire, je dirai toutefois que le progrès de la mécanique fera bientôt disparaître les anciens procédés de fabrication. Des machines évidemment inspirées par les machines à pointes, permettent de fabriquer aisément des épingles d'acier, bien plus résistantes que celles en laiton. Les têtes obtenues par refoulement du fil qui se déroule d'une bobine, sont préférables à celles des épingles anciennes où elles peuvent souvent se séparer de la tige.

La confection des épingles comprend quatorze opérations distinctes.

1° *Dressement du fil.* L'ouvrier prend l'écheveau de fil de laiton venant de la filière, et pour lui faire perdre sa courbure, il le place sur un dévidoir, et en faisant passer le bout, après l'avoir saisi avec des tenailles, entre les clous d'un instrument qu'on nomme *engin*, il le tire en courant sur une longueur d'environ 10 mètres; quittant ce bout, il revient à l'engin, où il coupe le fil; après quoi il recommence la même opération, et cela jusqu'à la fin de la botte de fil. Lorsque l'ouvrier en a dressé une botte de 10 à 15 kilog., ce qui s'appelle une *dressée*, il en prend le bout du côté de l'engin, sur lequel il frappe de petits coups avec une spatule, pour les mettre tous dans le même plan vertical; il lie ensuite la botte avec du fil de laiton, et la découpe par longueurs de 3 ou 4 en *tronçons*, avec une cisaille.

2° *Empointage.* Cette opération s'exécute sur des meules de fer ou d'acier, taillées en lime et trempées en paquet à toute leur force. Les épingliers en ont de deux tailles différentes, l'une pour dégrossir, dont la taille est forte, et une d'un diamètre moins grand, dont la taille est plus fine, et qui sert à terminer la pointe.

3° *Découpage des tronçons par longueur d'épingle.* Tant que les tronçons conservent assez de longueur pour être saisis à la main, le coupeur en prend une poignée qu'il présente à une cisaille disposée à cet effet. Avant de la faire agir, il a soin que toutes les pointes se trouvent dans un même plan vertical parallèle au tranchant de la branche fixe; ce qui s'obtient au moyen d'une feuille de tôle placée à la distance convenable, qui détermine la longueur des épingles. Il rend à l'empointeur les tronçons qui n'ont plus de pointes, et lorsqu'enfin ces tronçons ne contiennent plus que deux épingles, et qu'il faut les couper par le milieu, il les assujettit avec un coin dans une espèce de boîte en fer, ce qui permet de les présenter à la cisaille. Les tronçons ainsi empointés s'appellent *hanses*; ils portent une petite rebarbe occasionnée par la cisaille, qui sert à arrêter et à fixer les têtes.

4° *Tortillement du fil pour faire les têtes.* Le fil de laiton qu'on destine à faire les têtes est plus mince que celui des épingles. On le tortille en hélice sur une broche, comme les élastiques de bretelles, sur une longueur de 1 mètre et 1/2 à 2 mètres, à l'aide d'un petit touret.

5° *Couper les têtes.* Un ouvrier assis par terre prend dans une de ses mains une douzaine de ces petits torons, qu'il présente par un de leurs bouts bien égalisés, à une cisaille dont il fait agir la branche supérieure, l'inférieure étant fixée avec l'autre main, observant de ne jamais couper ni plus ni moins de deux révolutions de fil.

6° *Recuire les têtes.* On prend une grande cuillère en fer, qu'on remplit de têtes, on la fait rougir sur un brasier, et on la trempe immédiatement dans l'eau froide; la trempe produisant sur le cuivre un effet inverse de celui qu'elle produit sur l'acier, on ramollit ainsi les têtes, et on en rend le *frappage* plus facile.

7° *Frapper* ou *façonner les têtes.* Cette opération, qui n'a rien de pénible, s'exécute par des femmes ou des enfants, au moyen de petits montants fixés sur les côtés d'une table. Chaque ouvrière ou *têtière*, assise sur un banc en face de son mouton, les deux avant-bras placés sur des appuis fixés au niveau de la table, fait jouer le mouton avec un de ses pieds, à l'aide d'une pédale et d'un levier correspondant placé dans le haut, sur les traverses supérieures. La masse du mouton, qui ne pèse que 1 kilogr. à 1 kilogr. et 1/2, porte de chaque côté deux petites oreilles percées de trous verticaux, dans lesquels passent deux petites tringles en fer solidement fixées en haut et en bas, qui servent de guide au mouton, conjointement avec une tige qui, partant du milieu de ce mouton, va passer dans un trou correspondant, percé dans la traverse supérieure qui assemble les poteaux verticaux qui s'élèvent à chaque angle de la table. Sur le haut de cette tige est une masse de plomb de forme sphérique ou cylindrique, pesant environ 5 kilogr. La tête du mouton se termine par une pièce en fer dans laquelle est enchâssée une petite matrice en acier percée d'une *anche* ou *têtoir*, cavité hémisphérique destinée à former la moitié de la tête de l'épingle; au-dessous est une petite enclume portant également une matrice percée d'une anche toute semblable qui communique avec une petite rigole creusée dans l'outil et servant à recevoir le corps de l'épingle, qui serait aplatie sans cette précaution. Chaque ouvrière est munie de trois écuelles en bois, dont l'une est pleine de hanses empointées, une autre de têtes, et la dernière sert à mettre les épingles terminées. D'une main, elle enfile, sans y regarder, les épingles dans les têtes, ce qui s'appelle *brocher*, de l'autre elle les place dans les anches, et elle fait jouer le mouton avec le pied, en ayant soin de faire tourner en même temps l'épingle pour bien frapper la tête de tous les côtés. Il faut 5 ou 6 coups de mouton pour chaque tête.

8° *Jaunir* ou *décaper les épingles.* Les épingles sortant des mains des *têtières* sont noires, surtout la tête; on les décape en les faisant bouillir pendant 1/2 heure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans de la lie de vin ou une dissolution de crème de tartre; on les lave ensuite à l'eau avec soin.

9° *Blanchir* ou *étamer les épingles*. Cette opération, dont nous avons déjà donné la théorie aux articles ALLIAGES et DORURE, s'exécute ainsi qu'il suit : on a des bassins d'étain de 0m,45 de diamètre, à rebords très peu élevés; on en couvre le fond d'une couche très mince d'épingles de la même espèce ; puis, posant ces bassins l'un sur l'autre, en forme de pile, au nombre de 18 ou 20, et cette pile sur une grille de fer où sont attachées 4 cordes, deux ouvriers les portent dans une chaudière de cuivre, ayant 0m,50 de diamètre et de 0m,75 à 0m,80 de profondeur, établie sur un fourneau; ils continuent à y ajouter autant de piles semblables que la chaudière peut en contenir, en ayant soin de faire sortir en dehors le bout des cordes attachées aux grilles. On remplit ensuite cette chaudière d'eau bien limpide, dans laquelle on jette 2 kilogr. de crème de tartre; on laisse bouillir le tout ensemble pendant 4 heures; après quoi on retire séparément chaque pile, qu'on plonge dans de l'eau fraîche et claire.

10° *Éteindre les épingles*. On donne ce nom au lavage à l'eau froide qu'on fait subir aux épingles.

11° *Séchage et polissage*. On sèche les épingles et on les polit en les mettant avec du son, dans un tonneau que l'on fait tourner sur son axe.

12° *Vannage*. On sépare les épingles du son, au sortir du tonneau, au moyen d'un van à blé ordinaire ou ventilateur.

13° *Piquer les papiers*. Les épingles se vendent ordinairement *boutées* dans du papier, par rangées de 25, 50 ou 100. Ce papier est disposé de manière à présenter autant de fois deux plis qu'on veut mettre de rangées d'épingles ; et puis, au moyen d'un peigne à manche, dont les dents, au nombre de vingt-cinq, sont très effilées, on perce à l'endroit du pli, en frappant avec un marteau sur le manche du peigne.

14° *Boutage*. Opération qui consiste à placer les épingles dans les trous du papier.

ÉPISSURE. Épisser, c'est réunir deux cordes bout à bout en un seul brin, sans les nouer. Le procédé le plus usité est l'*épissure longue*, qui conserve à la corde son diamètre. Pour le faire, on commence par détordre 15 à 20 centim d'un toron de chacun des bouts des cordages qu'on veut joindre. Rapprochant les deux bouts l'un de l'autre, on fait entrer le toron détordu de l'un d'eux dans le vide qu'a laissé le toron détordu de l'autre, et on les enlace ensemble, de manière à les bien arrêter. Cela fait, on procède à l'entortillement des deux autres torons de la même manière, en remplaçant le toron qu'on défait, au fur et à mesure, d'un des bouts du cordage, par le toron correspondant de l'autre, et les arrêtant tous trois à de certaines distances les uns des autres. Pour éviter qu'une épissure se défasse, on passe avec un pinceau une légère couche de colle-forte sur chaque nœud des torons, après en avoir coupé les bouts excédants, et quelquefois même après avoir entouré d'une ficelle serrée l'épissure sur toute son étendue.

ÉPONGE (*angl.* sponge, *all.* schwamm). L'éponge est un tissu fibreux plus ou moins dense, plus ou moins flexible, qui est produit par de petits animaux presque imperceptibles, appartenant au genre *polypes*, et qui vivent dans la mer. Ce tissu est enduit, dans son état naturel, d'une sorte de gelée animale, à demi-fluide et très mince, susceptible, dit-on, d'éprouver une légère contraction ou frémissement lorsqu'on la touche, et c'est le seul signe de vie qu'on y ait remarqué. Après la mort, cette gelée disparaît, et il ne reste que le tissu ou éponge qui lui sert de base; elle est formée de la réunion d'une multitude de petits tubes capillaires, susceptibles de recevoir l'eau dans leurs interstices et de se distendre considérablement. Les éponges se trouvent au fond de la mer, attachées à des pierres ; c'est particulièrement dans les parages des îles de l'archipel qu'on les rencontre en plus grande abondance.

L'éponge, quoique d'une origine analogue à celle du corail, est cependant d'une nature tout à fait différente. Le corail est presque entièrement composé de carbonate de chaux, tandis que l'éponge est formée des mêmes éléments que les matières animales, et elle fournit à la distillation une assez grande quantité d'ammoniaque.

Les usages des éponges sont assez nombreux : les plus fines sont employées pour la toilette ou pour le pansement de certaines plaies; celles qui sont grossières servent pour nettoyer les chevaux, les harnais, les voitures et pour laver les parquets.

Les éponges renferment beaucoup de matières étrangères, telles que des fragments de coquilles, des cailloux, du sable, des débris de madrépores et des têts de mollusques. Leurs fibres sont souvent recouvertes d'un enduit variable par sa consistance, sa couleur et sa nature; et ce n'est qu'après les avoir débarrassées de toutes ces substances qu'elles deviennent propres au service.

Pour les débarrasser du sable, de l'argile desséchée, et de la matière qui enduit leurs fibres, on les bat et on les lave à grande eau sans trop les froisser; mais pour enlever les autres parties, on est obligé de les faire sortir *à la main*, ce qui exige une assez grande dépense, et détruit quelquefois le tissu des éponges, à cause des déchirements que l'on est obligé de leur faire subir pour en retirer ces corps étrangers. Les cailloux siliceux ne peuvent être extraits que de cette manière; mais on parvient très bien et à peu de frais à enlever les parties calcaires, en traitant les éponges par de l'acide hydro-chlorique très affaibli, marquant 8 à 10° au plus, puis les lavant à grande eau.

Dans ces derniers temps, on a employé l'acide sulfureux et surtout le chlore, pour blanchir les éponges, et ce dernier moyen surtout a parfaitement réussi. Il n'est en usage que pour les éponges très fines destinées à la toilette; il en affaiblit peu le tissu, et leur donne plus de valeur.

Les chirurgiens font quelquefois usage de l'éponge pour empêcher des plaies de se cicatriser en les tenant constamment ouvertes, ou pour les dilater. Pour cela les éponges sont préparées de deux manières : 1° à la cire; 2° ficelées. Pour préparer les éponges à la cire on les coupe par tranches, on les plonge dans de la cire fondue, puis on les comprime assez fortement jusqu'à ce que la cire soit solidifiée. Pour avoir des éponges ficelées, on les mouille et on enroule autour, en la serrant fortement, une ficelle que l'on a fixée par une de ses extrémités, puis on les conserve en cet état. Préparées par l'un ou l'autre moyen, les éponges occupent un très petit volume. Si l'on en coupe un fragment, et si on l'introduit dans une plaie, il s'y gonfle et en dilate l'ouverture. Les éponges ficelées sont préférées aux éponges préparées à la cire, parce qu'elles agissent plus efficacement.

Enfin, on emploie aussi l'éponge pour le traitement des goîtres; mais dans ce cas, ce n'est qu'après lui avoir fait subir une calcination en vase clos. On met le résidu charbonneux, réduit en poudre, dans une espèce de sachet qu'on applique sur la tumeur. C'est sans doute à la présence d'une petite quantité d'iode que l'on doit rapporter l'efficacité des éponges dans le traitement des maladies scrofuleuses.

EPSOM (*sel d'*). Voyez SULFATE *de magnésie*.

ÉPUISEMENT DES EAUX. Voyez HYDRAULIQUE, MINES, POMPES, etc.

ESCARBILLES. On nomme, en fabrique, escarbillos, les parties de houille, incomplétement brûlées, qui tombent sous la grille. C'est une espèce de coke d'une densité variable, mélangé avec les cendres. La production des escarbilles est une perte pour le fabricant, elle est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

considérable, avec un chauffeur négligent, avec un foyer d'une construction vicieuse. Elle sera moindre tant que toutes les proportions du foyer seront bien calculées, que la température en quelque endroit n'y sera pas abaissée brusquement, que le chauffeur chargera sa grille régulièrement, en rejetant la houille d'avant en arrière, pour la brûler complétement, et qu'il aura soin de ramasser à la pelle les parties de houille qui tombe ront du foyer, quand il est forcé d'extraire le mâchefer, pour les recharger avec de la houille neuve. On a cru qu'un appareil distributeur de charbon assurerait un chargement uniforme, une combustion complète.

Différents systèmes ont été essayés; ils paraissent abandonnés; on compte fort peu d'établissements qui aient adopté un moyen mécanique d'alimentation pour les foyers.

Laisser les escarbilles avec les cendres serait une perte pour le manufacturier : ces escarbilles pouvant servir dans des foyers où la température n'est pas très haute, dans les appareils de chauffage, par exemple, pour les ateliers, bureaux, etc. Les escarbilles sont séparées des cendres par le tamisage au moyen d'un crible, ou en jetant le mélange contre une claie. Les plus gros morceaux de coke sont triés à la main par des enfants, des femmes, etc., qui en rejettent le mâchefer.

Sur les chemins de fer, les cantonniers ramassent sur la voie les escarbilles qui tombent des locomotives, pour le chauffage des stations. Comme le crible laisse toujours passer les fragments les plus petits, toutes les escarbilles ne sont pas recueillies par ce moyen. Nous en indiquerons un autre qui donne de bons résultats dans les fabriques où il est employé. Les cendres provenant du crible sont agitées à la pelle dans un baquet à moitié rempli d'eau. Les escarbilles viennent nager à la surface, le coke en petits fragments étant spongieux et rendu plus léger d'ailleurs par l'air contenu dans ses interstices. On enlève successivement les couches qui se forment à la surface de l'eau. Quand elle devient trop bourbeuse, on la change, et l'opération recommence. Nous appellerons aussi escarbilles les résidus de la combustion du bois, bien que ce nom soit réservé particulièrement aux résidus de la combustion de la houille.

Dans les fabriques où l'on brûle du bois il tombe des grilles une assez grande quantité de braise. Ce charbon léger brûlant très facilement se consume en pure perte dans les cendriers. Il faut toujours laisser 5 à 6 centimètres d'eau dans le fond des cendriers. On y trouve le double avantage de ménager la grille et de ne pas perdre les escarbilles. En outre, la braise mal éteinte, mise en tas, se rallume facilement, peut brûler à l'extérieur fort longtemps sans qu'on s'en aperçoive, et finir par causer de graves accidents. Nous en avons eu malheureusement un exemple récent dans une fabrique de sucre chauffée au bois. Suivant nous, il vaut mieux jamais ne laisser les escarbilles en grands tas et autant que possible les utiliser au fur et à mesure de leur production; que les escarbilles proviennent de la houille, du bois ou de la tourbe, on peut en faire des BRIQUETTES en les agglomérant à l'aide d'argile délayée en bouillie. On utilise ainsi divers combustibles de peu de valeur qui, sans cette préparation, seraient d'une combustion difficile et passeraient entre les barreaux des grilles.

ESSAIS (*angl.* assays, *all.* probiren). Nous ne parlerons dans cet article que des essais des matières d'or et d'argent, en renvoyant pour les autres métaux à l'article de chacun d'eux en particulier.

ESSAI DES MATIÈRES ARGENTIFÈRES. Les matières argentifères sont de deux sortes : 1° celles qui peuvent être immédiatement soumises à la coupellation : ce sont les alliages avec le plomb et le cuivre, les sulfures de plomb et de cuivre et le chlorure d'argent; 2° celles qui doivent d'abord subir un traitement préalable. Nous parlerons d'abord de ce traitement, qui consiste à faire passer l'argent dans un alliage plombifère susceptible d'être coupellé, et qui s'exécute, soit par fusion avec un flux réductif, soit par fusion avec un flux oxydant, soit par scorification.

Fusion avec un flux réductif. On fond immédiatement avec un flux réductif, du flux noir par exemple, toutes les matières plombeuses en agissant comme s'il s'agissait de faire un essai pour PLOMB, et on coupelle ensuite le culot de plomb obtenu. On essaie comme pour CUIVRE, tous les minerais de cuivre argentifères, parce que le cuivre allié d'argent que l'on obtient peut passer immédiatement à la coupellation, si l'on a soin d'y ajouter 16 à 17 parties de plomb. On fond encore avec un flux réductif toutes les matières argentifères non plombeuses, en y ajoutant une certaine quantité de litharge qui puisse produire le plomb métallique avec lequel l'argent doit se trouver allié; lorsque ces matières renferment de l'arsenic ou de l'antimoine, il faut d'abord les griller aussi complétement que possible.

Fusion avec des réactifs oxydants. Les réactifs oxydants dont on fait usage dans l'essai des minerais d'argent, sont la litharge et le nitre. On sait que la litharge attaque tous les sulfures, arsénio-sulfures, etc., et qu'elle en oxyde à peu près tous les éléments, excepté l'argent, lorsqu'elle est employée en quantité suffisante. Il se réduit une quantité de plomb proportionnelle à la quantité des matières oxydables; en sorte qu'il résulte de l'essai une scorie dans laquelle l'oxyde de plomb domine, et un alliage de plomb et d'argent qui ne contient ordinairement que très peu de métaux étrangers, si ce n'est du cuivre, et qui peut être soumis immédiatement à la coupellation. Ce mode d'essai est très commode et très expéditif. On mêle exactement le minerai, pulvérisé et laminé, on place le mélange dans un creuset, on met par dessus une couche mince de litharge pure, on chauffe rapidement, et l'on retire le creuset du fourneau aussitôt que la matière est devenue parfaitement liquide. Il est nécessaire d'employer une grande quantité de litharge, parce qu'on a reconnu que, pour que les scories ne retiennent pas d'argent, il est indispensable qu'il n'y reste pas la moindre trace de matières sulfurées. Les pyrites en exigent jusqu'à 50 parties; le mispickel, la blende, le sulfure d'antimoine, le cuivre pyriteux, et les cuivres gris en exigent vingt-cinq à trente fois leur poids; on n'en emploie que 4 à 5 parties pour la galène et le sulfure d'argent. Cette proportion diminue lorsque le minerai est mélangé de gangues pierreuses, et l'expérience a appris qu'il suffit généralement de 10 à 20 p. de litharge pour les minerais tels qu'ils sont livrés aux usines de fonte ou d'amalgamation. Ce mode d'essai a l'inconvénient de produire une quantité de plomb trop considérable. On évite cet inconvénient en effectuant en partie cette oxydation par le nitre. A cet effet, on fond 1 p. du minerai avec 30 p. de litharge au moins, et l'on pèse le culot de plomb; ayant apprécié approximativement le poids minimum que doit avoir ce culot pour que d'un côté le *plomb-d'œuvre* obtenu ne soit pas trop riche et que de l'autre la coupellation ne soit pas trop longue, on a, par différence, la quantité de plomb qu'il faudrait laisser dans les scories à l'état d'oxyde; l'expérience ayant montré que l'oxydation de 1 p. de plomb exige 0,25 à 0,30 p. de nitre, il est facile de déterminer la quantité qu'il faut employer pour atteindre le but qu'on se propose.

Scorification. La scorification produit, de même que la fusion avec la litharge, un alliage d'argent et de plomb susceptible d'être coupellé, et une scorie très fusible qui se compose d'oxyde de plomb et de toutes les substances étrangères à l'argent, ramenées à l'état d'oxyde; mais, dans la fusion, l'oxydation de ces ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tières a lieu par l'action de la litharge qui fournit en même temps, en se réduisant, le plomb qui doit entrer dans l'alliage; tandis que dans la scorification, toutes ces matières sont oxydées par voie de grillage, au moyen de l'oxygène de l'air, et que la litharge elle-même est produite par l'oxydation d'une partie du plomb métallique qu'on mélange avec la matière à essayer. Le plomb que l'on ajoute est du plomb granulé, qui se prépare en versant du plomb fondu dans une boîte en bois, l'agitant vivement jusqu'à solidification complète, puis le passant à travers un tamis de crin assez gros. Il faut tenir compte de la quantité d'argent que renferme le plomb que l'on ajoute; il convient donc d'employer du plomb extrêmement pauvre. Le meilleur que l'on puisse se procurer s'obtient en réduisant par un peu de charbon, le carbonate de plomb de Clichy, préparé au moyen de l'acétate. Lorsqu'on opère par fusion avec la litharge, il faut également tenir compte de sa teneur en argent, et il faut la prendre aussi pauvre que possible. Le minium fabriqué avec le carbonate de plomb de Clichy est très convenable, seulement il faut faire attention que le minium renferme plus d'oxygène que la litharge, et agit par conséquent comme un mélange de litharge et de nitre.

La scorification se fait dans des vases ronds et peu profonds, en terre réfractaire, auxquels on donne le nom de *scorificatoires*, et que l'on frette préalablement à l'intérieur avec de la sanguine (oxyde rouge de fer), afin de diminuer l'action corrosive de la litharge; on les chauffe sous la moufle d'un fourneau de coupelle. Avant d'introduire les scorificatoires dans la moufle, on met dans chacun d'eux un poids déterminé de minerai réduit en poudre, qu'on mélange intimement avec une quantité convenable de plomb granulé et un peu de borax. On ferme la porte de la moufle et on donne un coup de feu pour faire fondre le plomb; on diminue alors le feu et l'on donne accès à l'air en ouvrant la porte. Le courant d'air qui s'établit dans la moufle commence aussitôt le grillage, qui continue de lui-même sans qu'il soit nécessaire d'agiter. Par l'effet de l'oxydation, il se forme sur le bain métallique des scories qui sont rejetées sur les bords, et qui, augmentant successivement, finissent par le recouvrir complétement. Quand la scorification a été poussée assez loin, on donne un fort coup de feu pour liquéfier les scories aussi complétement que possible. Celles-ci sont suffisamment fluides, lorsqu'en y plongeant un crochet de fer rougi au feu, ce crochet ne se recouvre que d'un léger enduit qui en s'écoulant ne forme pas une goutte solide à l'extrémité. Cette condition de liquidité est indispensable pour que les globules métalliques puissent se réunir tous en un seul culot. Lorsqu'on ne parvient pas à l'atteindre, c'est un signe qu'on n'a pas poussé assez loin la scorification, et il faut alors la continuer, ou qu'on n'a pas employé une assez forte proportion de plomb, et dans cas il faut en ajouter une nouvelle dose. Quand l'opération est terminée et les scories bien fluides, on retire le scorificatoire avec une pince à croissant, et l'on coule immédiatement les matières qu'il contient dans une lingotière hémisphérique en fer: les parties métalliques gagnent le fond, et comme le refroidissement est subit elles n'adhèrent pas à la lingotière et forment un culot que recouvrent les scories. Celles-ci s'en détachent aisément au marteau; elles doivent être vitreuses et bien homogènes, d'une couleur variant du brun au jaune verdâtre. Le culot métallique doit être aussi ductile que du plomb pur, sans quoi il ne pourrait passer à la coupellation et il faudrait le scorifier de nouveau. En général, il est avantageux de pousser la scorification très loin, parce que l'expérience a prouvé qu'il se perd moins d'argent dans cette opération, qu'il ne s'en perd dans la coupellation qui la suit, si le culot est considérable. Cependant il y a une limite à cet égard, car, d'une part, il ne faut pas que le culot soit trop riche, auquel cas les moindres pertes en grenailles en causeraient une notable sur l'argent, et de l'autre, la litharge pourrait corroder le scorificatoire au point de le percer, et l'on manquerait l'essai. La durée d'une scorification varie de 1/2 à 1 heure au plus.

La scorification s'applique à toutes les matières argentifères sans exception, et c'est en même temps le moyen le plus commode et le plus exact. Quand la gangue du minerai est terreuse, l'oxyde de plomb, qui se forme par le grillage, se combine avec elle et en détermine la fusion; quand elle est métallique, les métaux oxydables absorbent l'oxygène de l'air, et leurs oxydes forment, avec la litharge qui se produit en même temps, une combinaison qui devient bien fusible quand la proportion de la litharge s'est accrue jusqu'à un certain point; et si la scorification a été poussée assez loin, le culot de plomb ne peut contenir, outre l'argent, qu'une certaine quantité de cuivre, qui ne l'empêche pas de passer à la coupellation.

Nous avons vu que, dans la fusion, il faut employer une grande quantité de litharge, pour qu'il ne se forme pas des oxy-sulfures qui retiendraient dans les scories une quantité notable d'argent. Dans la scorification, au contraire, les scories ne contiennent jamais d'oxy-sulfures, quelque petite que soit la proportion de plomb que l'on emploie; car, quand même il s'en produirait dans le courant de l'opération, ils seraient complétement détruits par le grillage. Ces scories ne renferment donc jamais une quantité notable d'argent en combinaison, et il suffit d'ajouter assez de plomb pour qu'elles deviennent bien liquides, et que l'on ait un culot convenable.

On ajoute ordinairement 2 à 8 parties de plomb à la galène et au sulfate de cuivre, selon qu'il y a moins ou plus de gangue, et 12 à 16 p. de plomb pour les autres minerais d'argent. On met habituellement 1/2 à 1 p. de borax; on en augmente la proportion pour les matières qui contiennent beaucoup de chaux, d'oxyde de zinc ou d'oxyde d'étain. L'addition du borax a pour but de rendre les scories très fluides dès le commencement de la scorification, et en diminue de beaucoup la durée; on l'emploie récemment fondu, et on le pulvérise au moment de s'en servir.

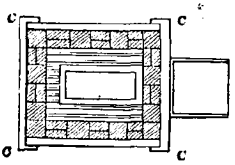
Coupellation. La coupellation est une opération extrêmement ingénieuse, qui a beaucoup de rapports avec la scorification, et qui s'effectue à peu près de la même manière. Comme celle-ci, elle a pour but de séparer l'argent et l'or de diverses matières étrangères par le moyen du plomb; mais elle en diffère en ce que les scories sont absorbées par la matière de la *coupelle*, dans laquelle on opère, au lieu de rester à la surface du bain; de sorte que celui-ci étant toujours à découvert et exposé au contact de l'air, on parvient à oxyder non seulement les métaux étrangers, mais encore tout le plomb, et qu'il ne reste à la fin que de l'argent ou de l'or, purs ou alliés entre eux. La condition indispensable de toute coupellation étant que les scories puissent s'imbiber dans la coupelle, on conçoit pourquoi elle ne peut s'appliquer qu'à un certain nombre de substances, et non pas à toutes, comme la scorification. Le plomb et le bismuth sont les seuls métaux dont les oxydes aient la faculté de s'imbiber dans les coupelles, mais à la faveur de l'un ou de l'autre, divers oxydes, qui isolément formeraient sur la coupelle des scories infusibles, acquièrent la propriété de la traverser. Lors donc qu'on a une coupellation à faire, il faut commencer par combiner la substance avec une proportion de plomb ou de bismuth suffisante, pour que les oxydes de ces métaux puissent entraîner dans la coupelle toutes les substances étrangères oxydées elles-mêmes pendant l'opération. On n'emploie jamais le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ESSAIS.

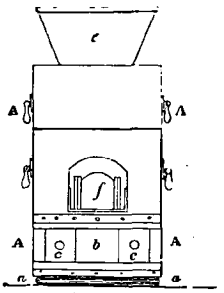
bismuth a cause de son prix élevé, et parce qu'il donne lieu à une perte notable sur l'argent.

Les *coupelles*, ou vases poreux dans lesquels s'exécute la coupellation, doivent présenter une texture assez lâche pour que les oxydes y pénètrent facilement, et en même temps une solidité suffisante pour qu'on puisse les manier sans les briser; de plus elles doivent être d'une nature telle qu'elles ne puissent pas être fondues par l'oxyde de plomb. Il y aurait un grand nombre de substances qui pourraient servir pour faire des coupelles, et qui rempliraient toutes ces conditions; mais on ne fait usage que des trois suivantes, parce qu'elles sont très communes, savoir : la poudre d'os calcinés, les cendres de bois et les marnes très calcaires. Ces deux dernières n'étant employées que pour les coupellations en grand, dans les traitements métallurgiques, nous ne nous occuperons que des coupelles d'os qui sont exclusivement employées dans les essais.

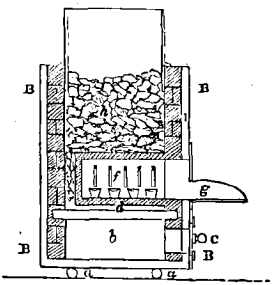


766.

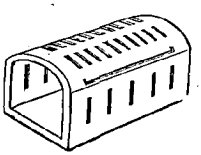
Pour les préparer, on calcine des os de bœuf ou de mouton, jusqu'à ce que toute la matière animale soit brûlée, et qu'ils soient devenus parfaitement blancs; on les pile, on les tamise et on les lave à grande eau, afin d'enlever toutes les substances solubles. La poudre lavée est du phosphate de chaux mélangé d'un peu de carbonate de chaux en partie réduit. On en fait une pâte avec de l'eau; puis on façonne cette pâte en coupelles, en la comprimant dans un moule en bronze analogue à celui dont on se sert pour faire les creusets à fondre l'ACIER. Elles sont d'autant moins sujettes à se fendiller qu'elles sont plus petites, et que leur dessiccation à l'air sec a été plus prolongée.



767



768. 769.



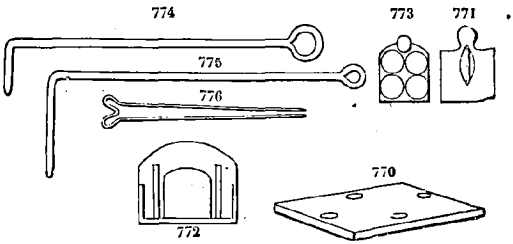
On sait par expérience qu'une coupelle peut absorber un poids de litharge égal au sien. C'est de ce fait qu'on part pour choisir une coupelle d'une grandeur convenable, lorsqu'on sait d'avance quelle quantité de plomb on emploiera dans un essai. On peut néanmoins faire passer dans une coupelle beaucoup plus que son poids de litharge, en la plaçant sur un petit tas de cendres d'os; mais on doit rarement avoir recours à ce moyen, parce qu'il expose à faire *noyer* l'essai, lors même qu'on a l'attention de chauffer plus fort qu'à l'ordinaire et de donner moins d'air.

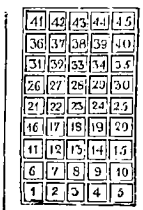
On fait les coupellations dans des fourneaux à mouffles dits *fourneaux de coupelle;* ce sont des espèces de fourneaux à réverbère portatifs, au milieu desquels on place un petit four demi-cylindrique dit *moufle*, percé de fentes pour y déterminer un courant d'air. Cette moufle se trouvant entourée de toutes parts de combustible embrasé, s'échauffe très fortement, et l'on peut alors y exécuter des grillages, des scorifications et des coupellations.

On fait les fourneaux de coupelle de diverses grandeurs : les plus grands sont carrés et ont $0^m,40$ de côté, les plus petits sont elliptiques, et leur plus grand diamètre n'a que $0^m,18$ de côté; cette dernière dimension est un peu faible, et il vaut mieux leur donner $0^m,25$ de large sur $0^m,20$ de profondeur. Le plus souvent ces fourneaux sont en terre cuite et cerclés en fer; quelquefois on les fait en tôle forte garnie intérieurement d'argile pour leur donner plus de durée.

Les fig. 766, 768 et 767 donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un fourneau de coupelle carré employé à la Monnaie de Londres. Il est porté sur des rouleaux *a, a*, qui servent à le changer à volonté de place; *b*, est le cendrier; *c, c*, les portes du cendrier, servant à régler le tirage; *d*, la grille; *f*, la moufle en avant de laquelle est la plaque de travail *g*; *e*, une trémie en tôle qui sert à charger le combustible. La fig. 769 est une vue perspective de la moufle; elle repose sur une plaque d'argile ou de tôle, fig. 770, qui lui sert de support, et peut être fermée plus ou moins au moyen d'une porte, fig. 771, mobile dans le châssis, fig 772. On la ferme souvent seulement avec des charbons superposés, comme l'indique la fig. 773. Les fig. 774 et 775 représentent deux tisonniers; la fig. 776, les pinces qui servent à introduire et retirer les coupelles; et la fig. 777, un tableau qui sert à inscrire le rang des essais dans la moufle et prévenir toute confusion.

Le fourneau le plus employé est celui d'*Anfrye* et *D'Arcet*, représenté en coupe et en élévation fig. 778 et



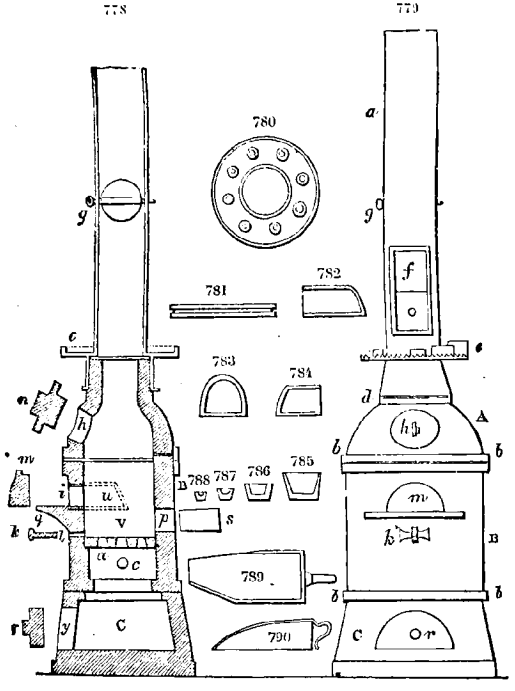


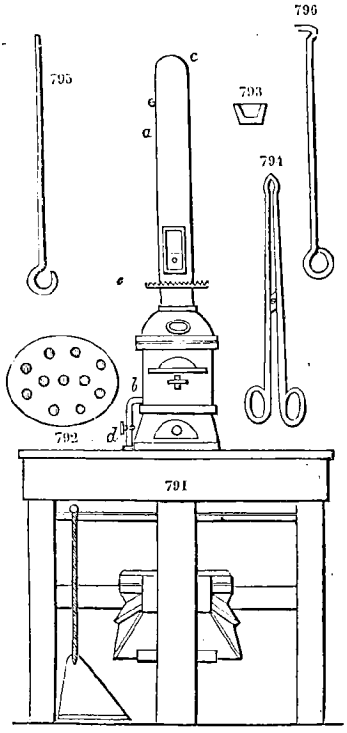
777.

779. Ce fourneau, en terre réfractaire et relié par des armatures en fer *b, b*, se compose de trois parties : le *cendrier* C, le *laboratoire* B, et le *dôme* A. Ce dernier est surmonté d'une cheminée en tôle, *a*, destinée à déterminer dans le fourneau un tirage actif que l'on règle au moyen de la valve ou registre *g*. On peut également le faire varier en fermant plus ou moins la porte *y* du cendrier, au moyen du tasseau en terre cuite *r; v*, est la grille; *u*, la moufle, dont on peut fermer l'ouverture *t*, au moyen du tasseau *m; p*, est une ouverture pratiquée sur le derrière du laboratoire et qui sert à introduire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une brique réfractaire *s*, destinée à soutenir l'extrémité postérieure de la moufle; *q*, saillie servant à faciliter la manœuvre des coupelles; *l*, ouverture que l'on ferme à volonté au moyen du tasseau *k*, et qui sert à introduire un tisonnier pour dégager la grille; *h*, ouverture pratiquée dans le dôme et habituellement fermée par le tasseau *n*, servant à charger le combustible dans le fourneau; on peut aussi se servir à cet effet de la porte à coulisse *f*, pratiquée à la base de la cheminée en tôle *a*; le dôme se termine par une plate-forme annulaire en tôle à rebords *e*, qui sert à dessécher complétement les coupelles avant de les introduire sous la moufle, et qui est figurée en plan fig. 780; la fig. 781 est une coupe de la grille, formée d'une plaque de terre cuite percée de trous coniques et cerclée en fer; les fig. 782, 783 et 784 sont trois coupes de la moufle; la fig. 784 est une petite moufle pour recuire les essais d'or; les fig. 785, 786, 787 et 788, des coupelles de grandeurs différentes; et enfin, les fig. 789 et 790, sont des pelles à charger le charbon.





Lorsque l'on n'a que peu d'essais à faire, on peut employer un fourneau de même forme et de plus petites dimensions, fig. 791, placé sur une table et alimenté par un soufflet dont le vent arrive, par le tuyau *d*, sous la grille en *b*. La fig. 792 est la grille en terre cuite vue en plan; la fig. 794, les pinces qui servent à introduire et retirer la coupelle, fig. 793; et enfin, les fig. 795 et 796, sont deux tisonniers de forme un peu différente.

On augmente la durée des moufles en y étendant une couche mince d'os calcinés en poudre, qui sert à absorber la litharge fondue qui s'y répand en cas d'accident.

On emploie toujours du charbon de bois pour allumer les fourneaux de coupelle; mais une fois que la chaleur est portée au rouge, on continue d'alimenter les grands fourneaux avec du coke pur, et les fourneaux moyens avec un mélange de coke et de charbon de bois; pour les plus petits fourneaux, il ne faut employer que du charbon de bois pendant tout le travail.

Passons maintenant à la pratique de la coupellation: le fourneau étant chauffé, on place les coupelles près de la porte de la moufle et on les y fait avancer graduellement, en ayant soin de mettre les plus grandes au fond. S'il arrive qu'en s'échauffant elles se fendillent, ce qui a lieu quelquefois pour des coupelles de dimensions considérables, et qui n'ont pas été convenablement desséchées par une exposition de quelques semaines dans un lieu bien sec, on les retire et on les remplace par de nouvelles coupelles. Dès qu'elles sont chaudes, et que l'intérieur de la moufle paraît d'un rouge légèrement blanc, on y introduit la matière à coupeller, avec ou sans addition de plomb, en l'enveloppant, si elle est en très petits morceaux, en grenailles ou en poudre, dans une feuille très mince de plomb laminé. Quand les coupelles ont été remplies, on ferme les fourneaux pendant quelques instants, soit avec la porte, soit avec quelques gros charbons allumés, pour que les métaux fondus prennent la température de la moufle, puis on la débouche pour donner accès à l'air; le bain métallique est alors *découvert*, c'est-à-dire qu'il présente une surface convexe bien lisse et sans scories. Lorsque le bain a de la peine à se découvrir, on met dessus un morceau de papier Joseph, qui en brûlant réduit la surface du bain et le découvre. Dès que le bain reçoit le contact de l'air il devient très éclatant, et on le voit se recouvrir de taches lumineuses et irisées qui se promènent à la surface et se précipitent vers les bords; ces taches sont produites par l'oxyde de plomb fondu qui se forme sans cesse, et qui, recouvrant le bain en forme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de pellicule très mince, mais d'épaisseur variable, offre le phénomène des anneaux colorés. La litharge fondue est rapidement absorbée par la coupelle, de sorte que l'alliage métallique se découvre à chaque instant pour s'oxyder aussitôt, et qu'il s'établit à sa surface un mouvement continuel du centre à la circonférence. Il s'élève en même temps des coupelles une fumée visible, qui se répand dans la moufle, et est due à des vapeurs de plomb qui brûlent au milieu de l'air. A mesure que l'opération avance, le bain métallique diminue et s'arrondit de plus en plus, les points brillants dont il est couvert deviennent plus grands et se meuvent plus vivement; enfin, lorsque les dernières portions du plomb se séparent, le bouton semble agité d'un mouvement rapide qui le fait tourner sur lui-même; il jette un grand éclat, et il présente sur toute sa surface des rubans colorés de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel; puis, tout à coup, l'agitation cesse, toutes les couleurs disparaissent, et le bouton, devenu mat et immobile, s'aperçoit à peine; après quelques instants il reparaît avec l'aspect de l'argent pur. On dit alors que l'*éclair* a eu lieu.

Si l'on retirait le bouton de retour de la moufle aussitôt après l'éclair, il serait sujet à *rocher* (voyez ARGENT), et, d'autant plus, qu'il serait plus gros, ce qui pourrait amener des pertes. On prévient cet accident en laissant quelques instants les coupelles dans le feu et les approchant peu à peu de la porte avant de les retirer, afin d'obtenir un refroidissement lent et d'autant plus gradué que les boutons sont plus gros

La chaleur est trop forte, lorsque les coupelles sont d'un rouge-blanc presque aussi intense que celui du bain dont il ne s'élève qu'une fumée peu visible; elle est trop faible, lorsque la litharge trop peu liquide pour être absorbée forme des bourrelets, et que la fumée est très épaisse et lourde. Il faut que la coupelle soit rouge et que le bain soit beaucoup plus lumineux et très net.

Un courant d'air trop fort oxyde trop rapidement le plomb, et dans ce cas comme dans celui d'une chaleur trop basse, la litharge peut finir par recouvrir complétement l'essai : on dit alors qu'il est *noyé*. On peut ordinairement prévenir cet accident, lorsqu'il tend à se produire, en bouchant en partie l'ouverture de la moufle par des charbons allumés, ce qui élève la température dans son intérieur et diminue l'affluence de l'air.

En général, il convient de *donner chaud* dans le commencement pour *découvrir*, puis de refroidir, et de donner encore à la fin un coup de feu pendant quelques instants pour séparer les dernières traces de plomb et faire passer l'éclair; il vaut mieux que la température soit un peu trop élevée que trop basse, surtout dans les essais de matières argentifères très pauvres, comme la plupart des minerais d'argent.

On reconnaît qu'un essai a bien *passé*, à l'aspect du bouton : celui-ci doit être bien arrondi, blanc et clair, cristallin en dessous, et il doit se détacher aisément de la coupelle; quand il retient du plomb, le bouton est brillant en dessous, livide à sa partie supérieure, et il n'adhère pas du tout à la coupelle.

On saisit le bouton avec une brucelle, on le brosse par dessous et on le pèse à l'aide d'une balance sensible à 1/2 milligramme. Il va sans dire qu'on doit retrancher du poids obtenu le poids du grain d'argent que le plomb et la litharge ajoutés dans la coupellation et les opérations préliminaires auraient produits seuls : il faut donc connaître d'avance la richesse de ces matières. Quelquefois, surtout lorsqu'il s'agit d'alliages argentifères, on passe dans une coupelle, placée à côté de celle dans laquelle on fait l'essai, une quantité de plomb précisément égale à celle qu'on a ajoutée à l'alliage, et l'on met, dans le plateau de la balance avec les poids, le petit grain d'argent que l'on obtient : on appelle ce petit grain le *témoin*.

La quantité de matière qu'on allie avec le plomb pour le coupeller se nomme *prise d'essai*, et le bouton d'argent qu'on obtient, *bouton de retour*. La prise d'essai est ordinairement de 1/2 gramme pour les matières qui contiennent plus de 0,8 d'argent, et de 1 gramme pour celles qui, quoique riches, en contiennent moins de 0,8, elle doit être de 5 à 10 grammes pour les matières pauvres, telles que les minerais, etc.

Ayant considéré la coupellation sous le point de vue général, nous passerons à quelques détails relatifs aux cas principaux qui se présentent habituellement.

Argent et plomb. Ces alliages passent avec la plus grande facilité à la coupellation.

Argent et cuivre. La coupellation n'offre aucune difficulté, pourvu qu'on ajoute une quantité de plomb suffisante pour entraîner tout le cuivre. Cette quantité a été déterminée par des expériences précises de M. D'Arcet, qui se résument dans les nombres suivants :

TITRE DE L'ARGENT en millièmes.	PLOMB A AJOUTER pour 1 partie d'alliage.
1000.	3/10
950.	3
900.	7
800.	10
700.	12
600.	14
500.	16 à 17.
400.	Id.
300.	Id.
200.	Id.
100.	Id.
Cuivre pur.	Id.

Il est remarquable qu'au-dessous du titre de 500 il faille toujours la même proportion de plomb, quelle que soit celle du cuivre.

Dans l'essai des alliages de cuivre et d'argent il y a toujours une perte en argent, variable avec le titre de l'alliage et la température à laquelle on opère. A la Monnaie de Paris on tient compte de cette perte, au moyen de la table de correction qui suit, résultat d'expériences très soignées :

TITRES récls.	TITRES donnés par la coupellation.	TITRES récls.	TITRES donnés par la coupellation.
1000	998,97	500	495,32
975	973,24	475	470,50
950	947,50	450	445,69
925	921,75	425	420,87
900	896,00	400	396,05
875	870,93	375	371,39
850	845,85	350	346,73
825	820,78	325	322,06
800	795,70	300	297,40
775	770,59	275	272,42
750	745,48	250	247,44
725	720,36	225	222,45
700	695,25	200	197,47
675	670,27	175	173,88
650	645,29	150	148,30
625	620,30	125	123,71
600	595,32	100	99,12
575	570,32	75	74,84
550	545,32	50	49,56
525	520,32	25	24,78

Ces nombres au reste ne sont pas constants, comme l'indique le tableau suivant contenant les résultats des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

essais simultanés faits, sur 3 alliages déterminés, par les principaux essayeurs de l'Europe, sur la demande de M. D'Arcet.

ESSAYEURS.		TITRES trouvés par l'expérience.		
Nom.	Résidence.	950 millièmes.	900 millièmes.	800 millièmes.
F. de Castenhole, essayeur de la monnaie. . .	Vienne.	946,20	898,40	795,10
Vervaëz, dito. .	Madrid.	944,40	893,70	789,20
Cabrera, dito. .	dito.	944,40	893,70	788,60
Essayeur. . . .	Amsterdam.	947,00	895,00	795,00
Bingley, maître essayeur. . .	Londres.	946,25	896,25	794,25
Johnson, essayeur. . . .	dito.	933,33	883,50	783,33
Inspecteur de la monnaie. . .	Utrecht.	945,00	896,50	799,00
Essayeur de la monnaie. . .	Naples.	945,00	891,00	787,00
Essayeur du commerce. . .	dito.	945,00	891,00	787,00
Essayeur de la monnaie. . .	Hambourg.	946,20	897,55	798,60
dito dito. .	Altona.	942,25	894,00	790,00

Sulfure d'argent. — *Sulfure de plomb* (galène) et *sulfure de cuivre argentifères.* — *Chlorure d'argent.* Ces divers minerais, lorsqu'ils sont presque purs, sont coupellés directement avec addition de 2 à 5 parties de plomb pauvre granulé.

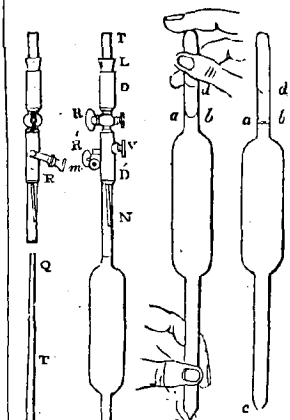
Essai des alliages de cuivre et d'argent par la voie humide. Les imperfections du mode d'essai des alliages d'argent par la coupellation, que nous avons signalées, déterminèrent, en 1829, le gouvernement français, à nommer une commission chargée d'examiner le procédé en usage au laboratoire des monnaies, pour l'essai des espèces d'or et d'argent, et d'indiquer les changements dont ce procédé était susceptible. M. Gay-Lussac, qui faisait partie de cette commission, proposa une méthode qu'il employait déjà depuis plusieurs années, et que ses nouvelles recherches l'ont mis à même d'approprier aux besoins du commerce. Cette méthode a été immédiatement adoptée dans les laboratoires du bureau de garantie et de la Monnaie de Paris; elle a l'avantage de donner une exactitude presque mathématique et elle est en même temps presque aussi rapide que la coupellation. M. Gay-Lussac l'a fait connaître avec détail, dans une instruction qu'il a publiée au nom de la commission des monnaies. C'est de cet écrit que nous avons extrait ce qui suit :

Le nouveau procédé consiste à déterminer le titre des matières d'argent par la quantité d'une dissolution de sel marin titrée, nécessaire pour précipiter exactement l'argent contenu dans un poids donné d'alliage. Ce procédé est basé sur les principes suivants : L'alliage, préalablement dissous dans l'acide nitrique, est mélangé avec une dissolution titrée de sel marin, qui précipite l'argent à l'état de chlorure, composé tout à fait insoluble dans l'eau et même dans les acides. La quantité du chlorure d'argent précipité est déterminée non par son poids, ce qui serait peu sûr et beaucoup trop long, mais par le poids ou le volume de la dissolution titrée de sel marin nécessaire pour précipiter exactement l'argent dissous dans l'acide nitrique. On reconnaît facilement le terme de la précipitation complète de l'argent, à la cessation de toute nébulosité, lorsqu'on verse graduellement la dissolution titrée de sel marin dans la dissolution nitrique d'argent. 1 milligr. d'argent est rendu très sensible dans 100 gram. de liquide, et on en distingue même encore très bien 1/2 et même 1/4 de milligramme, pourvu qu'avant l'addition du sel marin la liqueur soit parfaitement limpide. En agitant vivement pendant 1 ou 2 minutes au plus le liquide rendu laiteux, on le clarifie suffisamment, pour qu'on puisse facilement apprécier, après quelques instants de repos, le trouble que pourrait y produire l'addition de 1 milligr. d'argent. La filtration est beaucoup plus efficace que l'agitation, mais celle-ci est beaucoup plus prompte, et suffit généralement.

En supposant qu'on opère sur 1 gramme d'argent pur, la dissolution de sel marin doit être telle, qu'il en faille 100 grammes si l'on mesure en poids, et 100 centilitres cubes si l'on mesure au volume, pour précipiter exactement tout l'argent. Cette quantité de dissolution est divisée en 1000 parties appelées *millièmes*; il s'en suit que le titre d'un alliage est donné par le nombre de millièmes de la dissolution titrée de sel marin qu'il faut employer pour précipiter l'argent contenu dans 1 gramme de cet alliage.

On désigne la dissolution titrée de sel marin sous le nom de *dissolution normale*. On peut la mesurer au poids ou au volume. La mesure au poids offre peut-être un peu plus de précision; elle a l'avantage d'être indépendante de la température; mais elle demande trop de temps pour des essais nombreux, et comme la mesure au volume donne une exactitude suffisante et exige beaucoup moins de temps, elle est exclusivement employée. Elle est, à la vérité, soumise à l'influence de la température, mais il est facile d'éviter cette cause d'erreur. Ce sera la seule que nous décrirons ici.

La dissolution normale de sel marin, mesurée au volume, est préparée de telle manière, qu'il en faut 100 centilitres à 15 degrés pour précipiter exactement 1 gramme d'argent. A cette température, elle contient 569^{gr},83 de sel marin pur pour 105 litres d'eau pure. On obtient facilement ce volume de dissolution, au moyen d'une pipette de verre fig. 797 et 798, jaugée de manière à ce que, remplie d'eau jusqu'au trait *ab*, elle laisse écouler d'un jet continu 100 grammes d'eau à 15 degrés. Quelques instants après la cessation du jet, la pipette fournit encore 2 ou 3 gouttes de liquide, qui ne doivent pas être comptées et qui sont tout à fait négligeables, parce qu'elles équivalent au plus à 1/4 de millième d'argent. La manière la plus commode de disposer cette pipette est représentée dans les fig 799, 800, 801 et 802, T, est le tuyau de communication, avec le réservoir de la dissolution titrée de sel marin, et K A H, le châssis, monté sur le support P, qui soutient la pipette. Pour remplir celle-ci, on commence par appliquer l'index de la main gauche sur l'orifice inférieur de la pipette, comme l'indique la

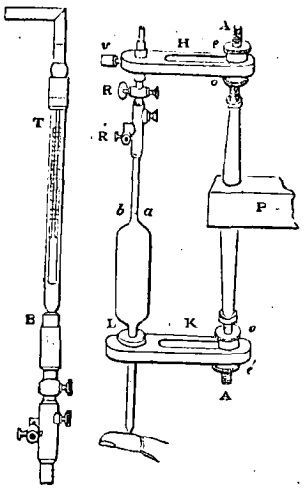


800. 799. 798. 797.

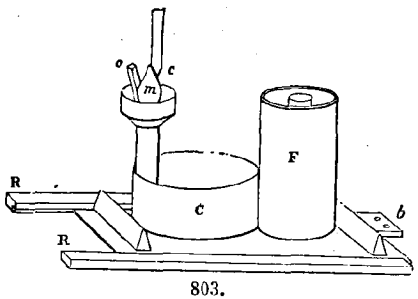
EFERUS - Recherche & Classification numérique

ESSAIS.

fig. 801, puis on ouvre les deux robinets R et R'. Lorsque le liquide arrive près du col de la pipette, on en modère l'accès, et aussitôt qu'il s'est élevé en *d* à quelques millimètres au-dessus du trait *a b*, on ferme les deux robinets R et R', et l'on ôte l'index. Il ne s'agit plus



802. 801.



803.

maintenant que de régler la pipette. Pour y parvenir, il faut que le liquide touche le trait *ab*, et qu'il n'en reste pas d'adhérent extérieurement au bec. Cette dernière condition est facile à remplir. Après avoir ôté le doigt qui fermait l'orifice inférieur *c* (fig. 803) de la pipette, on applique contre cet orifice une éponge humide *m*, appelée *mouchoir*, enveloppée d'un linge qui absorbe, à mesure qu'il s'écoule, le liquide excédant. Pour la commodité de l'opération, le mouchoir est placé à frottement dans un tube de fer-blanc terminé par un godet, et ouvert par le bas pour laisser écouler, dans la cuvette C, sur laquelle le tube est soudé, le liquide que le mouchoir ne peut conserver. Il ne reste plus, pour achever de régler la pipette, qu'à faire descendre le liquide jusqu'au niveau *ab* (fig. 801). Pour cela, et pendant que le mouchoir est appliqué contre le bec de la pipette, on y laisse entrer l'air très lentement en desserrant la vis V, et, à l'instant de la tangence, on enlève le mouchoir et l'on place sous l'orifice de la pipette le flacon destiné à recevoir la dissolution. Le mouvement devant être fait rapidement et sans hésitation, le flacon est logé dans un cylindre en fer-blanc F (fig. 803) d'un diamètre tant soit peu plus grand et faisant corps avec la cuvette et le mouchoir. Tout cet appareil a pour base une plaque en fer-blanc, mobile entre deux règles en bois R, R, dont l'une porte une rainure sous laquelle s'engage le bord de la plaque. Les excursions sont fixées par deux buttoirs *b*, *b*, dont un seul est visible sur la figure, placés de telle sorte que lorsque l'appareil est arrêté par l'un d'eux, le bec de la pipette correspond au centre du col du flacon, ou bien est tangent au mouchoir. On comprendra sans peine qu'il est avantageux, une fois qu'on aura réglé la rentrée de l'air dans la pipette par la vis V, de la laisser constamment libre, parce que le mouvement du mouchoir au flacon s'exécute assez rapidement, pour qu'une goutte de dissolution n'ait pas le temps de se former et de se détacher.

Le volume de la dissolution normale, mesuré à l'aide de cet appareil, ne variant pas, il faut faire varier le poids de la prise d'essai des alliages, et le prendre tel qu'il contienne approximativement 1 gramme d'argent fin. Le titre des monnaies étant en France de 900 avec une tolérance en plus ou en moins de 3 millièmes, on doit en prendre 1gr,111 pour l'essai. Quant aux objets d'orfévrerie, il y en a en France à 2 titres, savoir à 950 et à 800, avec 5 millièmes de tolérance : les prises d'essai pour chacun de ces titres sont de 1gr,0582 et 1gr,2578.

Pour exécuter l'essai, on commence par mettre l'alliage dans un des flacons de la fig. 806, d'une capacité de 2 décilitres, puis on verse dessus 10 grammes environ d'acide nitrique pur à 32 degrés, ou ayant une densité de 1,29. On chauffe au bain-marie pour favoriser la dissolution qui se fait très rapidement, et lorsque tout est dissous, on expulse la vapeur nitreuse qui reste dans le flacon, au moyen d'un soufflet à douille courbe. On y introduit alors une mesure de la dissolution normale de sel marin, on agite pour éclaircir; puis on ajoute avec la burette graduée B (fig. 804), 1 centilitre d'une *dissolution décime* de sel marin, contenant dix fois moins de sel que la *dissolution normale;* on agite, on ajoute de nouveau 1 centilitre de dissolution décime, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité. Pour avoir le titre, on ajoute au gramme d'argent fin autant de milligrammes qu'on a employé de centilitres de dissolution décime, moins 1/2; ce qui donne le nombre de milligrammes d'argent contenus dans la quantité d'alliage soumis à l'essai, et d'après cela on calcule le titre par une proportion. On peut éviter ce calcul, en se servant des tables qui se trouvent dans l'instruction publiée par la commission.



804.

Si la prise d'essai se trouvait contenir un peu moins de 1 gramme d'argent fin, la liqueur, après l'addition de la mesure normale de sel marin, ne se troublerait plus par la dissolution décime de ce sel. Alors on ajouterait un centilitre d'une *dissolution décime* de sel marin, et l'on achèverait l'essai au moyen de la dissolution décime d'argent. Dans ce cas, on retranche de 1 gramme d'argent fin, autant de milligrammes moins 1 1/2, qu'on a employé de centilitres de dissolution décime; ce qui donne le nombre de milligrammes d'argent contenus dans la quantité d'alliage soumise à l'essai; et d'après cela, on calcule le titre par une simple proportion.

Pour faire l'essai de l'argent à peu près fin, on en prend un gramme que l'on dissout dans l'acide nitrique, on ajoute une mesure de dissolution normale de sel marin, et l'on procède ensuite immédiatement, au moyen de la dissolution décime d'argent, comme il est dit ci-dessus.

Nous avons admis jusqu'ici que pour tous les essais

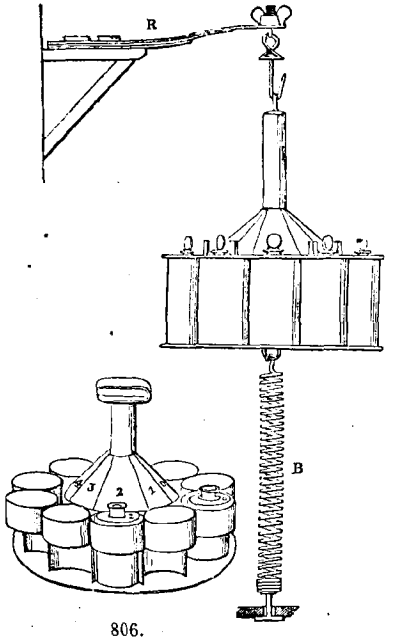
EFERUS - Recherche & Classification numérique

la température restait constante; mais comme elle change continuellement, la même mesure de dissolution ne contient jamais la même quantité de sel marin, et il y a par conséquent une correction à faire à cet égard. M. Gay-Lussac a déterminé par expérience les variations de poids de la mesure, et il a, d'après cela, dressé une table qui donne, de degré en degré, les corrections à faire au titre obtenu. On ne se sert cependant pas de cette table dans le laboratoire de la Monnaie, ce qui nous dispense de la rapporter ici, parce qu'on a reconnu que la salure de la dissolution normale, renfermée dans un vase de cuivre, varie journellement, non seulement en raison des changements de température, mais encore par d'autres causes qui n'ont pas été étudiées, probablement par l'action du cuivre sur le sel marin, etc., et l'on préfère faire un essai préalable chaque jour, en commençant toutes les opérations par l'épreuve sur 1 gramme d'argent fin, au moyen des dissolutions décimes soit de sel marin, soit d'argent. On sait par là combien de milligrammes d'argent la dissolution normale précipite, soit en plus, soit en moins du gramme, et l'on corrige tous les résultats subséquents en conséquence.

Pour opérer promptement et facilement la dissolution des prises d'essai, on a un bain-marie en fer-blanc, qui peut recevoir à la fois 10 flacons.

L'agitateur (fig. 805), destiné à éclaircir les liqueurs,

805.



806.

porte aussi 10 compartiments numérotés dans lesquels on loge autant de flacons. On ferme ceux-ci avec leurs bouchons de verre préalablement plongés dans l'eau pure, et on les assujettit avec des coins en bois. L'agitateur est alors suspendu à un ressort R, et on lui imprime, en le prenant avec les deux mains, un mouvement alternatif rapide qui agite la dissolution et la rend, en moins d'une minute, aussi limpide que de l'eau. Ce mouvement est favorisé par un ressort à boudin B, fixé d'une part à l'agitateur et de l'autre au sol. L'agitation terminée, on ôte les coins et on les loge dans l'espace vide que laissent entre eux les compartiments. On enlève l'agitateur, et on place les flacons sur une console à cases numérotées (fig. 806), destinées à les recevoir.

On remarque que lorsqu'on précipite les dissolutions d'argent par le sel marin, elles se clarifient par l'agitation beaucoup plus vite et beaucoup plus complétement, que lorsqu'on précipite du sel marin par une dissolution d'argent, ce qui tient à ce que le chlorure d'argent est légèrement soluble dans le sel marin.

On a constaté par expérience que la présence d'une faible quantité de métaux quelconques, dans les alliages de cuivre et d'argent, n'influe pas sur la proportion de sel marin nécessaire pour précipiter l'argent. Mais il paraît que ce procédé ne pourrait pas être appliqué aux alliages d'argent qui contiendraient une proportion considérable d'autres métaux que le cuivre. M. D'Arcet a reconnu, par exemple, qu'il ne donnerait pas de résultats exacts avec les alliages de plomb et d'argent; ce qui tient à ce que les chlorures solubles exercent, en général, une action dissolvante notable sur le chlorure d'argent.

Lorsque l'argent contient une certaine proportion de mercure, 4 à 5 millièmes seulement, le mercure se précipite à l'état de protochlorure avec le chlorure d'argent, et se reconnaît en ce qu'il empêche ce dernier de prendre une couleur bleu-violacée par l'action des rayons solaires. Lorsque la quantité de mercure est plus faible, on ne précipite, par exemple, à l'aide du sel marin, qu'un cinquième de l'argent en dissolution; le protochlorure de mercure étant encore plus insoluble que le chlorure d'argent, le mercure se trouvera concentré dans ce précipité et l'empêchera de bleuir à la lumière solaire.

Le mercure étant précipité avec l'argent, l'essai par voie humide ne peut être employé que pour reconnaître la présence du mercure, comme nous venons de le faire remarquer, et on doit employer la coupellation.

Quand les essais sont terminés, on verse le contenu de chaque flacon dans une grande cuvette, renfermant un peu de sel marin; on laisse déposer, on lave le chlorure d'argent par décantation et on le réduit au creuset brasqué ou au creuset nu, en le mélangeant avec de la craie et du charbon, dans les proportions de 70,5 de craie et 4,5 de charbon p. 100 de chlorure.

ESSAI DES MATIÈRES D'OR. L'essai des matières d'or se fait par voie sèche, absolument de la même manière que l'essai des matières d'argent, en leur faisant subir d'abord, s'il est nécessaire, une fusion ou une scorification, pour obtenir un alliage d'or et de plomb qui puisse passer à la coupellation. Celle-ci présente moins de difficulté que pour l'argent, et exige moins de précautions, parce que l'or n'est point volatil et qu'il a beaucoup moins de tendance que l'argent à pénétrer dans les coupelles. D'ailleurs, les boutons de retour ne sont jamais sujets à *rocher*. Ces coupellations se font, en général, à une température plus élevée que celle de l'argent, et l'on donne un coup de feu un peu fort au moment de l'*éclair*.

Lorsqu'il s'agit d'un alliage de cuivre et d'or, ou de cuivre, d'or et de platine, on ne peut séparer les dernières traces de cuivre, à moins d'introduire dans l'alliage une quantité d'argent telle, qu'il y en ait à peu près 3 parties pour 1 partie d'or ou d'or et de platine. On détermine approximativement à cet effet le titre des alliages d'or et de cuivre par l'épreuve à la *pierre de touche*. Voici comment on opère : on fait sur une pierre de touche (quarz lydien, variété de quarz jaspe noir et compacte) une trace de 4 millimètres de long et de 3 millimètres de large avec l'alliage; puis on mouille cette trace avec une barbe de plume trempée dans une liqueur acide composée comme il est dit plus loin. Cet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

acide dissout le cuivre ; on en examine l'effet ; puis on essuie légèrement pour enlever la liqueur, et l'on examine de nouveau ce qui reste de la trace métallique. Quand on a de l'habitude, on aperçoit très approximativement le titre de l'alliage, d'après la teinte verte plus ou moins foncée que prend la liqueur acide, et d'après l'épaisseur de la trace d'or pur qui reste sur la pierre. Quand on n'a pas acquis l'habitude suffisante, on fait des épreuves comparatives avec différents alliages connus, moulés en forme de fortes aiguilles et qu'on nomme *touchcaux*, et l'on voit avec lequel de ces touchcaux l'alliage est identique.

La liqueur acide dont on fait usage pour attaquer la trace métallique se compose de 98 parties d'acide nitrique pur d'une densité de 1,340, de 2 p. d'acide hydro-chlorique pur d'une densité de 1,173, et de 25 p. d'eau distillée. La composition de cette liqueur a été déterminée par tâtonnement, de telle sorte qu'à la température de 10 à 12 degrés, à laquelle on devrait rigoureusement opérer, elle soit sans action sur les alliages au titre de 750 millièmes et au-dessus, parce que ce titre est le plus bas des alliages qu'il est permis légalement d'employer dans la bijouterie. Les alliages à un titre inférieur sont attaqués par la liqueur acide ; ils brunissent, et la liqueur devient verte ; et quand on a enlevé cette liqueur, il reste sur la pierre une trace d'autant moins apparente que l'alliage contenait plus de cuivre. Si l'on opérait à une température inférieure à 10 degrés, l'acide n'attaquerait pas tous les alliages à un titre plus bas que 750, tandis qu'au-delà de 12 à 15 degrés, il attaquerait l'alliage à 750 et même un peu au-dessus ; aussi est-il convenable avant de commencer une série d'épreuves de s'assurer de l'effet de l'acide sur les traces de touchcaux connus.

La séparation de l'or et de l'argent porte le nom de *départ*. Le départ se fait par *voie humide*. Ce départ se fait ordinairement dans les essais, au moyen de l'acide nitrique. Il faut alors ajouter assez d'argent pour qu'il y en ait à peu près 3 parties pour 1 p. d'or ; s'il y en avait moins, le départ ne serait pas complet, tandis que s'il y en avait davantage on obtiendrait l'or en poudre, ce qui serait très incommode et exposerait à des pertes. L'opération par laquelle on amène l'alliage à ce titre s'appelle *inquartation*. Elle consiste à fondre cet alliage, dans une coupelle, avec 2 p. de plomb et la quantité d'argent fin ou d'or fin nécessaire. On évalue cette quantité d'après une détermination approximative du titre de l'alliage, au moyen de la pierre de touche. A cet effet on a des *touchcaux* à différents titres bien déterminés, et, lorsqu'on a un alliage à essayer, on le frotte sur la pierre de touche, et l'on cherche quel est le touchcau qui laisse une trace de la même couleur.

On aplatit sur l'enclume le bouton inquarté et coupellé ; on le fait recuire au rouge pour l'adoucir, on le lamine de manière à lui donner une certaine épaisseur, on le recuit de nouveau, et on le roule en cornet ou en spirale autour d'un tuyau de plume. Il est nécessaire que l'alliage soit amené à une épaisseur convenable, d'une part, pour que l'argent puisse complétement se dissoudre, et de l'autre, pour que le cornet d'or fin conserve une certaine cohérence après l'action de l'acide. La prise d'essai est de 1/2 gramme, et l'on donne à la feuille inquartée 8 centimètres de long : ces feuilles ne doivent pas avoir plus de 1/3 de millimètre d'épaisseur.

On met le cornet d'essai dans un matras en verre de 1/10e de litre environ, on verse dessus de l'acide nitrique pur à diverses reprises, on fait chauffer, et, lorsque tout l'argent est dissous, on lave par décantation, puis on renverse le matras dans un petit creuset, pour y faire tomber le cornet, et l'on en fait sortir l'eau. Dans cet état, le cornet est très fragile et d'un rouge de protoxyde de cuivre mat ; on le fait recuire sous la moufle d'un fourneau de coupelle en le chauffant graduellement sans le fondre : il prend par là beaucoup de retrait, un éclat jaune d'or métallique, et assez de solidité pour qu'on puisse le peser sans craindre de le briser.

Il y a plusieurs manières d'employer l'acide nitrique. Vauquelin prescrit dans son *Manuel de l'essayeur* (et c'est la méthode légale), de verser sur le cornet inquarté (la prise d'essai étant de 1/2 gram.) 36 à 50 gram. d'acide nitrique à 22°, ce qui doit remplir le matras à la moitié ou aux 2/3), de faire bouillir doucement pendant 20 à 22 minutes au plus, de décanter, de remplacer la liqueur par une quantité égale d'acide nitrique à 32°, et de faire bouillir pendant 8 à 10 minutes. On remarque qu'en suivant cette méthode le *cornet de retour* contient toujours une petite quantité d'argent, ce qui donne lieu à une surcharge de 1 à 2 millièmes. M. Chaudet, essayeur de la Monnaie, a trouvé moyen de l'éviter. Pour cela, il verse sur le cornet inquarté de l'acide nitrique à 22°, qu'il fait chauffer pendant 3 à 4 minutes seulement ; il remplace cet acide par de l'acide à 32° qu'il fait bouillir pendant 10 minutes ; il décante, et il fait une seconde *reprise* avec de l'acide à 32°, qu'il tient en ébullition pendant 8 à 10 minutes.

Dans les essais de minerais aurifères, le bouton qui provient de la coupellation contient ordinairement de l'argent. Lorsque la proportion de ce dernier métal dépasse celle de l'inquartation, ce qui a le plus souvent lieu, on aplatit le bouton entre deux feuilles de papier, et on le traite par l'acide nitrique pur. L'or reste sous la forme d'une poudre d'un jaune-brun que l'on pèse immédiatement, ou que l'on fait fondre à la coupelle en l'enveloppant d'une feuille de plomb. Quand la quantité en est extrêmement faible et impondérable, on s'assure du moins de sa présence en traitant, par l'eau régale, le résidu que laisse l'acide nitrique ; s'il y a de l'or il se dissout et donne une liqueur jaune dans laquelle une goutte de dissolution de chlorure d'étain suffit pour former un dépôt de pourpre de Cassius de couleur violacée ; ce caractère fait reconnaître la présence des moindres traces d'or. Quand l'or domine dans le bouton, il faut d'abord soumettre ce dernier à l'inquartation.

On peut, selon M. Gay-Lussac, faire l'essai des alliages d'or, d'argent et de cuivre, avec une grande exactitude, au moyen de la dissolution titrée de sel marin indiquée. Si l'alliage ne renferme pas au moins cinq à six fois plus d'argent et de cuivre que d'or, il faut d'abord le ramener à cette proportion en y ajoutant une quantité connue d'argent fin qu'on retrancherait après l'essai. On prend alors un poids connu d'alliage contenant approximativement 1 gram. d'argent, on le fait bouillir pendant huit à dix minutes avec 30 gram. d'acide nitrique à 32°, qui dissout l'argent et le cuivre et laisse l'or à l'état de poudre, puis on termine l'essai comme à l'ordinaire ; mais pour avoir l'or et le séparer du chlorure d'argent, on sursature la dissolution d'ammoniaque qui dissout le chlorure d'argent, on lave le résidu deux fois de suite avec de l'eau ammoniacale, puis on le fait passer dans un creuset pour le recuire.

Lorsque l'or domine dans un alliage, et qu'on a des raisons pour ne pas y ajouter de l'argent, on peut faire le départ par l'eau régale ; dans ce cas l'or se dissout et l'argent est transformé en chlorure ; on lave ce chlorure, on le dessèche fortement et on le pèse. Quant à l'or, on le précipite par le sulfate de protoxyde de fer, on le lave avec de l'acide hydro-chlorique pur et on le recuit fortement avant de le peser. Si l'on traitait par ce procédé un alliage qui contînt beaucoup d'argent, il pourrait arriver que l'abondance du chlorure d'argent empêchât la dissolution complète de l'or ; dans ce cas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il faudrait avoir l'attention de réduire l'alliage en lame excessivement mince, dissoudre le chlorure d'argent dans l'ammoniaque, et traiter de nouveau le résidu, s'il y en avait un, par l'eau régale.

Le départ par l'acide sulfurique concentré a l'avantage de donner de l'or pur sans surcharge; mais il est difficile à exécuter, et il exige de grandes précautions, à cause de la haute température à laquelle bout l'acide sulfurique concentré et des soubresauts qui en résultent. Il est d'ailleurs nécessaire d'employer un assez grand excès d'acide pour tenir en dissolution le sulfate d'argent qui se forme, et qui est très peu soluble dans l'eau. L'alliage doit être inquarté, s'il est trop riche en or, comme pour le traitement par l'acide nitrique. On se sert rarement de ce procédé comme moyen d'essai; mais il est presque exclusivement employé en grand pour extraire de l'argent l'or qui y est renfermé, surtout en France, où l'acide sulfurique est à bas prix, tandis que l'acide nitrique est fort cher. (Voir l'article AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT.)

Nous terminerons cet article en disant quelques mots sur les alliages d'or et d'argent qui renferment du platine ou des métaux analogues.

Or, argent, platine et cuivre. S'il n'y avait pas d'argent, il faudrait en ajouter une quantité double environ de celle de l'or et du platine réunis; puis on coupelle à la plus forte chaleur possible dans une bonne moufle. Les alliages d'or et d'argent qui contiennent du platine présentent à la coupellation et au départ des caractères particuliers qui décèlent la présence de ce métal. Si l'on ne chauffe pas très fortement, l'essai ne passe pas, et le bouton de retour s'aplatit; cet effet est déjà sensible, quand le platine est à l'or ou à l'argent dans le rapport de 2 à 100. Dans le même cas, la dissolution nitrique provenant du départ est colorée en jaune paille, parce qu'elle contient du platine. Au moment où l'essai d'un alliage contenant du platine se termine, le mouvement est plus lent, les bandes colorées sont moins nombreuses, plus obscures, et subsistent moins longtemps que lorsqu'il n'y a pas de platine; le bouton ne se découvre pas, et sa surface reste matte et terne. Quand l'essai a bien passé, l'on remarque que les bords du bouton sont plus épais et moins arrondis que ceux des essais ordinaires, et que la surface est en totalité ou en partie cristalline.

Pour faire l'essai des alliages d'argent et de platine, on les ramène à renfermer au moins 2 parties d'argent pour 1 partie de platine, et on fait le départ par l'acide sulfurique concentré, qui ne dissout que l'argent. On ne peut pas faire le départ des alliages d'argent et de platine, comme celui des alliages d'argent et d'or, par l'acide nitrique, puisque la présence de l'argent rend le platine soluble dans cet acide. On pourrait encore traiter par l'eau régale, qui amènerait l'argent à l'état de chlorure insoluble, puis on précipiterait le platine de la dissolution, en y ajoutant de l'alcool et du sel ammoniac, et lavant à l'alcool faible; le platine resterait à l'état de chlorure ammoniacal qui, calciné, donne pour résidu du platine métallique en éponge.

Pour analyser les alliages d'or et de platine, on dissout dans l'eau régale; on sépare d'abord, comme il vient d'être dit, le platine à l'état de chlorure ammoniacal; puis on précipite l'or par le sulfate de protoxyde de fer.

Pour les alliages de platine, d'or et d'argent, on traite par l'eau régale qui sépare l'argent à l'état de chlorure; puis on sépare, dans la dissolution, l'or et le platine comme il vient d'être dit. Si l'alliage contient en outre du cuivre, on le précipite en dernier lieu de la dissolution, à l'état métallique, par une lame de fer, après avoir évaporé à sec avec de l'acide hydrochlorique ou sulfurique, pour chasser l'acide nitrique, et repris par l'eau, ou bien, à l'état de deutoxyde, par la potasse caustique; enfin, on peut d'abord le séparer par coupellation, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Or et palladium. On purifie l'alliage en le coupellant avec 4 à 5 parties d'argent fin et 8 à 10 parties de plomb; puis on fait le départ par l'acide nitrique; l'argent et le palladium se dissolvent : on peut les séparer en précipitant d'abord l'argent par l'acide hydro-chlorique, puis le palladium par le cyanure de mercure.

Or et rhodium. Ces alliages sont complétement solubles dans l'eau régale, lorsque l'or y domine. On précipite l'or de la dissolution par le sulfate de protoxyde de fer, puis le rhodium, à l'état métallique, par une lame de fer. P. DEBETTE.

ESSENCE D'ORIENT (*fr.* et *angl.*, *all.* perlenessenz). Cette matière, qui sert à la fabrication des perles artificielles, se prépare en malaxant avec les mains une grande quantité d'écailles d'ablettes, dans un baquet rempli d'eau, laissant déposer, décantant, ajoutant de l'eau fraîche et malaxant de nouveau les écailles, laissant déposer, décantant une seconde fois et passant ce qui reste dans le baquet au travers d'un tamis de crin très serré qui retient les écailles. Enfin, on mélange avec un peu d'ammoniaque la matière pâteuse, brillante, et d'un blanc-bleuâtre nacré qui a passé à travers le tamis. L'addition de l'ammoniaque, suivant plusieurs fabricants, n'est pas absolument nécessaire, et a principalement pour objet de prévenir la décomposition de l'essence.

ESSENCES. Voyez HUILES VOLATILES.

ESSIEUX. Voyez LOCOMOTIVE, VOITURE

ESSORER. On expose généralement les étoffes mouillées à l'air pour les faire égoutter et sécher; mais il est utile, auparavant, d'en extraire le plus d'eau possible, afin de hâter le séchage.

Les moyens dont on se sert aujourd'hui pour retirer l'eau des tissus sont : l'*égouttage* proprement dit; le *tordage* à force de bras; la *compression* entre deux cylindres; l'*hydro-extracteur* de Penzoldt, appelé aujourd'hui *Essoreuse*.

L'égouttage est le moyen le plus simple, mais aussi le plus long; il exige un grand emplacement et ne peut s'appliquer qu'aux matières qui ne risquent point de s'altérer en restant humides.

Le tordage à force de bras est encore le plus généralement employé. Dans les grands établissements on emploie pour cette opération un baquet sur lequel on place, à l'extrémité d'un même diamètre, deux montants en bois qui dépassent les bords supérieurs de 25 à 30 centim. L'un de ces montants porte un crochet fixe, l'autre un crochet attaché à l'extrémité de l'axe d'une manivelle. La pièce que l'on veut tordre est pliée entre les deux crochets de manière que les deux extrémités rentrent dans le milieu, alors on tourne la manivelle jusqu'à ce que la pression soit assez forte. On se sert aussi d'un filet en corde dans lequel on place les étoffes, et on le tord de la même manière.

Mais le tordage tend évidemment à déplacer, à allonger par places et à rompre même les filaments d'un tissu ou les fils d'un écheveau; l'eau n'est jamais régulièrement extraite et il reste toujours des parties qui contiennent plus d'eau les unes que les autres; d'ailleurs l'opération exige beaucoup de temps et devient, par conséquent, très coûteuse.

L'extraction de l'eau par la compression entre deux cylindres est encore prônée aujourd'hui comme le moyen par excellence; mais ce moyen présente divers inconvénients : il écrase le tissu et fait décharger les couleurs sur les étoffes; il extrait l'eau irrégulièrement, et le teinturier de fils en écheveaux n'a jamais pu s'en servir avec avantage.

La presse à compression se compose de deux cylindres dont les axes sont parallèles et dont les surfaces cour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bes sont plus ou moins rapprochées l'une de l'autre. On imprime à ces cylindres, au moyen d'un engrenage, des mouvements de rotation en sens contraires, et l'on présente à leur surface le corps à comprimer. Le frottement fait adhérer la substance aux surfaces des cylindres, qui, en tournant, obligent les toiles à passer d'un côté à l'autre de l'espace qui les sépare. Il faut que cet intervalle puisse varier à volonté pour graduer la pression; en conséquence, les tourillons qui portent les axes doivent être mobiles, sans que le parallélisme de ceux-ci soit altéré. Cette partie de l'appareil exige beaucoup de précision; il faut, d'ailleurs, que les axes soient solidement retenus, parce que tout l'effort de la presse se porte sur les tourillons. Les rouleaux sont faits le plus souvent en bois d'orme, posés horizontalement l'un sur l'autre; lorsqu'on veut que l'appareil soit doué d'une grande résistance, on fait l'un des cylindres ou tous les deux en cuivre, et l'axe en fer forgé. Cet axe tourne sur des coussinets de cuivre fixés au bâti de la machine. On recouvre ordinairement les deux cylindres de métal d'une étoffe de linon de coton, roulée en plusieurs doubles, afin d'éviter les taches d'oxydation. Quelquefois on les recouvre d'une feuille de caoutchouc.

ESSOREUSE. On désigne sous le nom d'essoreuse, de turbine, des dispositions particulières d'un même genre d'appareils servant à séparer d'un solide un liquide qui l'imprègne, par l'emploi de la force centrifuge. L'essoreuse sert dans les blanchisseries à sécher le linge au sortir des lessives; la turbine à séparer, dans les fabriques de sucre, les cristaux de sucre des mélasses, et en y versant de la clairce, du sirop de sucre, à le blanchir presque instantanément.

L'histoire de cette ingénieuse invention est intéressante, notamment parce qu'elle montre une fois de plus que tout appareil usuel, tout outil manié à la main, utile parce qu'il permet de tirer parti de quelque loi naturelle, peut être le point de départ d'une machine importante, qui n'est au début que l'outil manuel mû mécaniquement, problème toujours soluble, facilement peut-on dire aujourd'hui, grâce aux progrès de la cinématique et de la science de la construction des machines.

Le point de départ de l'essoreuse est en effet le *panier à salade*, le panier en treillis d'osier ou de fil de fer à l'aide duquel on débarrasse de l'eau qui les mouille les feuilles de salade que l'on vient de laver. Pentzoldt, ouvrier dans une fabrique de pianos, voulant diminuer la fatigue qu'éprouvait sa femme dans ses savonnages, s'amusa à construire grossièrement une machine pour faire tourner rapidement un treillis dans lequel il plaçait le linge à sécher. Seyrig, chez lequel travaillait Pentzoldt, allant chercher son ouvrier qui n'était pas fort assidu à son travail, vit cet essai assez informe et fut frappé de l'ingéniosité de l'idée; grâce à son concours l'essoreuse prit naissance.

L'hydro-extracteur de Pentzoldt consistait primitivement dans un double tambour en cuivre, tournant rapidement sur un axe vertical, au moyen d'une manivelle et d'une corde enroulée autour d'une poulie. Ensuite, M. Caron, mécanicien, l'un des cessionnaires du brevet de Pentzoldt, imprima un mouvement progressif à l'aide d'une manivelle et d'engrenages, remplacés ensuite par le système plus convenable décrit ci-après, pour faire agir des machines motrices.

Le double tambour entre lequel on introduit les étoffes à sécher est monté sur un axe reposant par sa partie inférieure sur une crapaudine, et maintenu vers le haut par une enveloppe que l'on a faite longtemps élastique, laquelle lui permet de dévier suivant l'impulsion donnée par la charge quelque peu inégale, quelque soin que l'on prenne d'enrouler régulièrement des tissus contenus dans le tambour; celui-ci est en cuivre, fermé à sa partie supérieure par un couvercle, et réuni par son fond à un cylindre inférieur ouvert à son sommet. Le

tambour est entièrement renfermé dans une enveloppe fixe, en cuivre, qui reçoit toute l'eau dégagée des tissus pendant l'opération.

La vitesse imprimée au tambour est de 1500 à 1800 révolutions par minute; mais on conçoit qu'on ne pourrait, sans danger de rupture, passer de l'état de repos à une vitesse aussi considérable; on commence donc par une rotation faible de 3 à 400 tours par minute, puis on augmente successivement au moyen de la combinaison de deux cônes à sommets opposés sur lesquels passe la poulie motrice.

La fig. 807 représente le mode de construction adopté par MM. Tulpin, de Rouen, qui fabriquent beaucoup

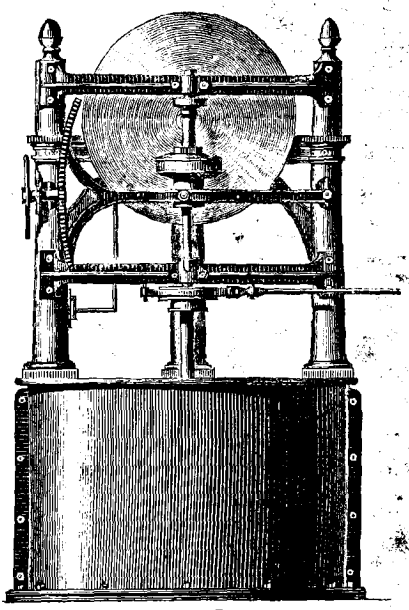


Fig. 807.

d'essoreuses. C'est à l'aide d'un plateau vertical de friction, mû par la machine motrice, qu'est mise en mouvement la roue horizontale, à contour garni de cuir montée sur l'axe du panier qui reçoit l'étoffe mouillée. Celle-ci étant disposée à peu près régulièrement, au point de vue de l'égalité de répartition du poids autour de l'axe, la roue est placée au centre du plateau au moyen d'un petit volant à main, qui fait glisser, au moyen d'un arc denté, le canon qui la porte. La pression du plateau agissant alors, le mouvement commence et va s'accélérant rapidement à mesure que le plateau vertical se déplace.

L'eau est projetée vers la circonférence, séparée de l'étoffe d'autant plus facilement, que celle-ci est à fils moins serrés et que l'extérieur du panier mobile, renfermé dans l'enveloppe fixe, est à mailles moins serrées, par exemple lorsqu'il est fait avec un fil métallique contourné et non de plaques perforées.

Dans les machines à essorer les étoffes de laine, et avec une vitesse du tambour de 1500 tours par minute, on obtient, en sept ou huit minutes au plus, un séchage suffisamment complet, c'est-à-dire que les étoffes se trouvent dans un état de moiteur convenable pour opérer promptement le séchage à l'air.

TURBINE. C'est, en principe, la même machine que l'essoreuse, construite pour son application spéciale à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ESSOREUSE.

l'épuration du sucre, ce qui exigeait notamment le remplacement de la capacité close dans laquelle on dispose les étoffes, par un panier complétement ouvert à la partie supérieure, de telle sorte que l'on pût projeter de la clairce, du sirop de sucre, pendant que l'appareil reçoit les vitesses si considérables de 12 à 1500 tours par minute, nécessaires pour effectuer rapidement l'opération.

Quelques mots sur l'historique de l'invention :

M. Seyrig, qui avait été mêlé à l'invention de l'essoreuse, et avait cherché à l'exploiter en Angleterre, eut l'heureuse idée de l'appliquer à la fabrication du sucre et le bonheur de le tenter alors que venait d'être inventé le procédé Schutzembach qui rendait son succès certain.

L'ancien procédé de purgation et de clairçage des sucres consistait à verser dans de grands vases à forme conique le sucre à l'état de sirop cuit à 42 degrés de densité. Il cristallise et se purge, peu à peu la mélasse liquide s'écoule sous l'action de la pesanteur. Sous la même influence s'opère le clairçage produisant le blanchiment, c'est-à-dire le passage à travers la masse, de haut en bas, du sirop versé à titre de *clairce*. La purgation durait de deux à six semaines, le clairçage environ vingt-quatre heures.

Schutzembach eut l'heureuse idée de placer la pâte de cristaux et de mélasse, aussitôt la cristallisation produite, dans des caisses plates, sur une faible épaisseur. La clairce traverse avec facilité le sucre réduit en pâte semi-fluide. La double opération de l'épuration et du clairçage n'exigeait plus que six à huit jours. La durée de cette opération a été réduite à dix minutes par l'invention de la turbine.

L'emploi de la turbine et la nature de celle-ci sont expliqués par ce qui précède. Il consiste à placer dans un tambour mobile, garni sur son pourtour d'une fine toile métallique, traversé par un arbre vertical et garni seulement à la partie supérieure d'un simple rebord annulaire vers la circonférence, une pâte semi-fluide composée de cristaux de sucre et de sirop et de la soumettre à la force centrifuge. En moins de cinq minutes, l'appareil tournant à la vitesse de 12 à 1500 tours à la minute, la mélasse ou sirop est écoulée, et il ne reste dans le tambour que la poudre de sucre, débarrassée de tout sirop, et sèche. Le rebord annulaire empêche la sortie des matières s'élevant le long des parois par l'effet de la force centrifuge, et les fait retomber vers le centre; son effet permet de laisser vide le dessus de l'appareil, d'ajouter des matières à l'appareil en mouvement, d'apprécier la couleur des produits, etc.

Pour blanchir le sucre, une quantité de clairce ou sirop blanc est jetée dans l'appareil en mouvement; la force centrifuge oblige cette clairce à traverser la couche de sucre adhérente aux parois verticales du tambour mobile, et par ce passage de la clairce le sucre est lavé, amené à l'état de blancheur plus ou moins grande, suivant la quantité de clairce que l'on a employée.

Cail qui assistait aux premiers essais comprit de suite l'excellence de la méthode, et les importants bénéfices qu'il retira du grand nombre d'appareils qu'il construisit pendant la durée du brevet furent une juste rémunération de la justesse de son jugement et de la perfection avec laquelle il sut construire la turbine.

L'excellent modèle qui fut établi dans ses ateliers n'a pas été modifié depuis l'origine (fig. 807 *bis*). Il fallait en même temps construire l'appareil assez grand pour produire beaucoup, et cependant pas assez pour que les dangers de rupture fussent à redouter. Il a adopté un diamètre d'environ un mètre, ce qui à une vitesse de 1500 tours à la minute donne une vitesse linéaire d'au moins 150 mètres par seconde.

On comprend comment les appareils de plus grand diamètre, comme ceux mal établis ou qu'on a fait tourner à des vitesses par trop considérables, peuvent se briser, projeter des fragments à leur circonférence, ce qui n'est que trop souvent arrivé, en produisant des

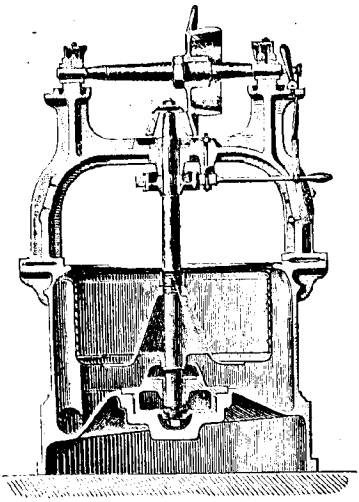


Fig. 807 *bis*.

effets semblables à ceux des chaudières à vapeur, en tuant les personnes placées dans leur voisinage. La masse en mouvement de chaque côté du diamètre croissant comme $(R^2 - r^2)$ H, tandis que les sections ne croissent que comme $(R - r)$ H, on voit comment pour un accroissement du rayon extérieur, les résistances diminuent relativement avec rapidité, quand le diamètre des appareils augmente.

A la solidité du tambour en fonte, à la bonne installation de la crapaudine sur laquelle repose l'axe, maintenu vertical par des collets placés à la partie supérieure, près la transmission de mouvement, il faut ajouter un système limitant le maximum de vitesse, tout en l'atteignant sans perte de travail par suite de l'inertie, lors du rapide passage de l'état de repos à des vitesses de 150 mètres par seconde à la circonférence du tambour.

Cail fit mouvoir l'axe vertical par une roue d'engrenages d'angles à friction, en couvrant de cuir les deux cônes et les appliquant l'un contre l'autre par l'action d'un puissant ressort. L'axe horizontal du cône moteur était mû par le système ordinaire de poulie fixe et poulie folle, qui a été abandonné pour être remplacé par un simple et minime déplacement de l'axe, obtenu en écartant le ressort qui limite la pression par une vis, un excentrique, etc. Le glissement pouvant se produire à l'origine au contact des deux cônes, ce système n'offre pas d'inconvénients sérieux au point de vue de l'économie du travail moteur et est beaucoup plus expéditif que l'ancien.

L'effet de la force centrifuge pour séparer l'eau liquide des substances auxquelles elle adhère et qui seules sont retenues par le panier à surface discontinue qui les renferme, est facile à analyser. On sait que la force centrifuge, agissant sur une masse m, a pour valeur $m \frac{v^2}{r}$. La vitesse linéaire v est égale à $r\omega$, ω étant la vitesse angulaire; donc pour une masse $m = \frac{P}{g}$ pour 1 kilog. sera $\frac{1}{9,8} r\omega^2$. Pour $2r = 1$ mètre et $\omega = 1500$ tours par minute, 25 par seconde, on trouve 31 kil pour la valeur de cette expression; c'est-à-dire que la force

EFERUS - Recherche & Classification numérique

centrifuge agit comme agirait une gravité six fois plus grande que la gravité terrestre pour séparer l'eau de l'étoffe par simple suspension de celle-ci.

ESTAMPAGE. L'estampage est un procédé général qui trouve dans les arts une foule infinie d'applications. C'est, en général, par l'action de moutons ou de balanciers agissant sur des coins et matrices d'acier qu'on parvient à donner à des métaux malléables des formes voulues. L'estampage ne s'applique qu'aux pièces de petite dimension qui doivent avoir une grande netteté, lorsque ces pièces ont une épaisseur notable. Pour les pièces de dimensions un peu grandes, l'estampage exige que le métal ait une épaisseur assez faible, soit réduit en feuilles. Nous ne traiterons ici ni de la fabrication des MONNAIES, à laquelle nous consacrerons un article spécial, ni de celle des couverts et fourchettes par estampage que nous décrirons à l'article ORFÉVRERIE. Nous allons donner ici seulement la description d'une application curieuse et importante des procédés de l'estampage.

CUIVRES ESTAMPÉS. Une nouvelle industrie qui a pris un grand développement dans ces dernières années est celle des cuivres estampés, au moyen desquels on a pu obtenir à des prix extrêmement minimes des ornements d'un grand éclat et d'un prix très peu élevé.

Nous empruntons ce qui suit, pour la majeure partie, à un intéressant rapport fait à la Société d'Encouragement sur cette industrie, par M. Amédée Durand.

« Tout le monde sait que, pour transformer en un objet donné de sculpture une feuille plane de cuivre, on profite de sa malléabilité pour obtenir ce résultat. La malléabilité est la propriété que possède le métal de se tendre et de se raccourcir; mais ces deux effets, même avec l'auxiliaire des recuits, ne peuvent s'obtenir que dans des conditions de progression dont on ne peut franchir les limites sans s'exposer à voir le métal se déchirer dans quelques parties, et dans d'autres se plisser, comme le fait un papier à filtre placé dans un entonnoir. Pour maîtriser ces deux effets, la pensée concevrait l'idée d'un moule dont les formes se prononceraient progressivement et proportionnellement, et arriverait ainsi à ces beaux reliefs de sculpture à fortes saillies que nous avons sous les yeux; mais un tel moule ne saurait être réalisé dans l'état actuel de notre industrie, et c'est à des équivalents que l'estampage a été obligé d'avoir recours. Voici en quoi consistent ceux-ci.

« Un moule de fer est placé sur le tas du mouton; on sait que le poinçon qui entre dans ce moule est un morceau de plomb qu'on y a coulé; rien n'est plus simple que d'atténuer avec un outil les saillies de ce poinçon, qui sont trop fortes pour qu'elles ne déchirent pas la feuille de cuivre; mais, d'un autre côté, les creux du moule correspondant à ces saillies n'offrant plus au glissement sur elles-mêmes des molécules du plomb qui forme le poinçon une résistance suffisante, la feuille de cuivre se trouverait sollicitée à prendre de l'extension dans des proportions qui dépasseraient ses limites de malléabilité. Pour obvier à cet inconvénient, on a encore recours au plomb, et on en verse en fusion dans les creux du moule dont on redoute la trop grande profondeur pour le commencement de l'opération. On voit dès lors que progressivement les creux du moule arriveront à présenter à la feuille en estampage toute la profondeur par la substitution de nouveaux morceaux de plomb graduellement moins épais, et finalement par leur suppression.

« Les moyens qui viennent d'être indiqués, et qui sont fondamentaux dans cette industrie, ne sont pas les seuls employés, et sans parler encore de celui de tous qui mérite au plus haut degré d'être signalé, en raison de son importance et de sa nouveauté, nous dirons qu'un auxiliaire est fourni au plomb par le cuivre lui-même qu'il est destiné à façonner.

« Ces combinaisons de plomb coulé atténué dans sa forme et frappé au mouton ne satisferaient pas à la condition essentielle d'une fabrication industrielle, la célérité. Il a fallu recourir à un moyen plus économique de rendre la résistance du cuivre décroissante, à mesure que deviennent plus petits les détails des surfaces non encore façonnées. Pour cela, on commence par placer sous le mouton plusieurs pièces superposées, puis on en diminue le nombre; puis encore on a recours à un autre moyen pour augmenter partiellement la résistance du métal dans les places où les ruptures sont le plus à craindre; il réside dans la superposition momentanée de quelques morceaux de feuilles de cuivre. Ces doublures, qui n'ont quelquefois que des dimensions très restreintes, ont reçu le nom de chemises; elles ont, en effet, pour effet d'opposer une résistance efficace aux déchirures, et de former une transition indispensable pour obtenir certains détails de relief auxquels le métal se refuserait de prime-abord.

« Ce que nous avons dit des effets obtenus dans l'industrie de l'estampage, de la plasticité du plomb, serait incomplet, si nous ne parlions pas de l'application fort remarquable qu'on en a faite pour assembler le poinçon de plomb avec le mouton qui est en fonte de fer, et l'y fixer de la manière la plus solide. Ici point de vis de pression, ni de clef, ni aucun de ces moyens qu'on emploie avec les matières résistantes; le plomb s'y refuse, et ce n'est pas trop de le saisir par toute l'étendue de surface que les besoins du travail laissent disponible. Voici ce qui a lieu : le mouton qui, comme nous venons de le dire, est en fonte de fer, a sa partie inférieure terminée par une surface plane; cette surface reçoit, au moyen du tour, des rainures circulaires concentriques plus larges au fond qu'à l'entrée, et présentant ainsi la partie creuse de l'assemblage dit en queue-d'aronde. Pour compléter cet assemblage, il suffit de laisser tomber le mouton sur le plomb coulé dans le moule et refroidi, pour que, par la plasticité de ce métal, la seconde moitié de l'assemblage soit produite, et que les languettes circulaires en queue-d'aronde viennent se mouler dans les rainures indiquées précédemment. Si un seul coup de mouton suffit à produire cet assemblage, on conçoit que tous ceux qui lui succèdent ne font que le consolider. »

Tout ce que nous venons de dire se rapporte aux principes fondamentaux de l'industrie de l'estampage, et ne dépasse pas ce que peut produire une seule matrice, si étendue qu'elle soit; cependant, on obtient aujourd'hui des bandes d'ornements d'une longueur indéfinie et de formes variées dans leur étendue. Il s'agissait de résoudre ce problème, savoir que lorsqu'une partie du cuivre s'estampait, celle qui devait à son tour venir recevoir sa forme dans la même matrice, ou une tout autre différente, reçût en même temps une ébauche qui lui ménageât un rapport, un lien avec celle qui s'incrustait. C'est par un système d'enchevêtrures assez délicates à régler entre les ornements et les matrices, qu'on parvient à obtenir ces bas-reliefs, ces longues frises qui ne présentent de solution de continuité, ni dans le métal, ni dans sa forme. Ces enchevêtrures n'ont pas lieu seulement sur la longueur de la pièce estampée, elles sont quelquefois nécessaires dans sa largeur, et c'est pour les obtenir que M. Fugère a imaginé de dévier les barres de ses moutons en les soudant à leurs bases, afin de donner à la matière la latitude nécessaire pour se déplacer, suivant le travers des pièces qu'il exécute.

Cet aperçu peut donner une idée du système que suit l'estampage, mais ne peut nullement mettre sur la voie du moyen éminemment remarquable, de l'expédient tout à fait imprévu, qui est employé dans cette industrie pour donner à ses produits une netteté qui peut ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

river jusqu'à présenter l'aspect que donne aux médailles l'action du balancier. L'expérience avait prouvé que, quel que fût le poids des moutons, quelque répétés que fussent leurs coups, la feuille de cuivre, poussée dans les détails de la matrice par le poinçon en plomb, ne pouvait en reproduire toute la finesse et la fermeté. Il s'agissait donc de découvrir une matière propre à fabriquer un poinçon qu'on retrouvât toujours le même, à tel nombre que pussent s'élever les coups de mouton, et quelque variées que fussent les formes qu'il aurait à produire. C'est ici le lieu de signaler particulièrement cette puissance infinie que révèlent si fréquemment les explorations industrielles, et qui réside dans l'observation des phénomènes de la nature, que certains hommes savent faire avec une sagacité si profonde, et qui non seulement leur tient lieu de science, mais souvent précède les découvertes de celle-ci. Nous regrettons vivement que nos recherches n'aient pu nous permettre de connaître celui qui le premier, voyant le poinçon de plomb en quelque sorte las et manquant du dernier degré de ductilité nécessaire pour imprimer la feuille de cuivre dans les détails les plus délicats de la matrice, eut l'idée de construire une espèce de poinçon d'eau dont la fluidité complétât ce qu'il demandait vainement à la plasticité du plomb. En effet, et cela est devenu un procédé usuel, de verser un peu d'eau sur la feuille de cuivre à bout d'estampage par le plomb, pour qu'aussitôt cette eau, comprimée par le poinçon qui la frappe, pousse le cuivre dans les détails les plus délicats de la matrice, et lui donne presque entièrement l'aspect qu'on ne croyait pouvoir attendre que du balancier.

L'application de moyens aussi efficaces a eu les résultats les plus frappants. On est parvenu à obtenir par ces procédés les ornements de ronde-bosse de l'architecture monumentale; c'est ainsi que le théâtre italien offre dans la construction de sa première galerie une rampe composée de consoles que, malgré leur grande dimension et le relief de leurs formes, l'estampage a pu produire. L'emploi de ces produits pour la décoration des appartements est aujourd'hui extrêmement considérable en France.

Quand les pièces séparées ont été estampées, on les soude à l'étain, et on les fait décaper par les passeurs à l'eau forte qui emploient les procédés de décapage à acides combinés que nous avons indiqués à l'article DORURE. Enfin les pièces sont passées, afin qu'elles conservent l'éclat produit par le décapage, à un vernis particulier qui leur donne l'aspect d'une véritable dorure. (Voir VERNIS.)

ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES. Les établissements dangereux ou insalubres sont régis par le décret du 15 octobre 1810 et l'ordonnance du 14 janvier 1815; de même que les CHAUDIÈRES A VAPEUR, qui en font partie, et dont nous avons parlé dans un article à part, les établissements insalubres sont divisés en trois catégories :

La *première* comprend ceux qui doivent être éloignés des habitations particulières;

La *seconde*, les manufactures et ateliers dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement nécessaire, mais dont il importe néanmoins de ne permettre la formation, qu'après avoir acquis la certitude que les opérations qu'on y pratique sont exécutées de manière à ne pas incommoder les propriétaires du voisinage, ni leur causer de dommage;

Enfin, la *troisième* catégorie renferme les établissements qui peuvent rester sans inconvénients auprès des habitations, mais qui doivent rester soumis à la surveillance de la police.

Les demandes en autorisation pour les établissements insalubres de la première catégorie doivent être adressées au préfet du département, et dans le ressort de la préfecture de police (département de la Seine et communes de Saint-Cloud, Sèvres et Meudon), au préfet de police. Elles donnent alors lieu à des affiches et à une enquête de *commodo* et *incommodo*. Lorsqu'il y a opposition, le conseil de préfecture est appelé à donner son avis. L'instruction terminée, les pièces sont envoyées par le préfet au ministère du commerce, et l'autorisation est définitivement accordée, s'il y a lieu, par une ordonnance royale rendue en conseil d'État.

Pour les établissements de la seconde catégorie, la demande doit être adressée au sous-préfet de l'arrondissement, et après une enquête de *commodo* et *incommodo*, faite par le maire de la commune, les pièces sont renvoyées au préfet, qui statue. Si l'autorisation est refusée, ou si les conditions qui lui sont imposées lui paraissent inutiles ou trop onéreuses, le fabricant peut se pourvoir en conseil d'État contre l'arrêté du préfet; mais ce pourvoi n'est pas suspensif, et, provisoirement, il doit se soumettre à la décision du préfet. Il en est de même des oppositions.

Pour les établissements de la troisième catégorie, les autorisations sont délivrées par les sous-préfets, sur l'avis des maires et de la police locale. Quoique l'enquête ne soit pas exigée, elle a lieu dans le ressort de la préfecture de police. Les oppositions sont jugées par le conseil de préfecture, et le pourvoi est même admissible devant le conseil d'État.

Nous renvoyons pour plus de détails au *Code administratif des établissements insalubres*, par M. *Trébuchet*, et nous nous contenterons de donner ici la nomenclature de ces établissements :

1re *catégorie*. Affinage des matières d'or et d'argent par l'acide sulfurique, quand les gaz dégagés pendant cette opération sont versés dans l'atmosphère. — Affinage des métaux au fourneau de coupelle, ou au fourneau à réverbère. — Allumettes (fabrication d') préparées avec des poudres, ou matières détonnantes ou fulminantes. — Amidonneries. — Ammoniacaux (fabrication des sels) par la distillation des matières animales, ou préparés au moyen des eaux de condensation des usines d'éclairage. — Bleu de Prusse (fabriques de), lorsqu'on n'y brûle pas la fumée et le gaz hydrogène sulfuré, etc. — Bleu de Prusse (dépôts de sang destinés à la fabrication du). — Boues et immondices (dépôts de). — Boyaudiers. — Calcination d'os d'animaux, lorsqu'on n'y brûle pas la fumée. — Cendres d'orfèvres (traitement des) par le plomb. — Cendres gravelées (fabrication des), lorsqu'on laisse répandre la fumée au dehors. — Chairs ou débris d'animaux (dépôts de). — Chanvre (rouissage du) en grand par son séjour dans l'eau. — Charbon animal (fabrication ou revivification du), lorsqu'on ne brûle pas la fumée. — Charbon de terre (épuration du), à vases ouverts. — Chlorures décolorants, *eau de Javelle*, chlorure de chaux (fabrication en grand des), destinés au commerce. — Colle-forte (fabriques de). — Cordes à instruments (fabriques de). — Cristalleries, — Cuirs vernis (fabriques de). — Dégras ou huile épaisse à l'usage des tanneurs (fabriques de). — Écarrissage. — Échaudoirs ou cuisson des débris d'animaux, intestins, etc. — Émaux (fabriques d'). — Encre d'imprimerie (fabriques d'). — Engrais animaux (dépôts et fabriques d'), poudrette, etc. — Étoupilles ou amorces fulminantes (fabriques d'). — Feutres vernis (fabriques de). — Fourneaux (hauts). — Goudron (fabrication et travail du). — Graisses à feu nu (fonte des). — Huiles de lin (cuisson des). — Huile de pied de bœuf (fabriques d'). — Huile de poisson (fabriques d'). — Huiles de térébenthine et d'aspic (distillation en grand des). — Huile rousse (fabriques d'), extraite des crétons et débris de graisse à une haute température. — Noir d'ivoire et noir d'os (fabrique de), lorsqu'on ne brûle pas la fumée. — Orseille (fabrications d'). — Porcheries. — Poudres fulminantes (fabriques de). — Pyro-ligneux (fabrication de l'acide), lorsque les gaz se répandent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans l'air sans être brûlés. — Résines et matières résineuses (travail en grand), soit pour la fonte et l'épuration de ces matières, soit pour en extraire la térébenthine. — Rouge d'Angleterre (fabriques de) en vases ouverts. — Sabots (ateliers à enfumer les), dans lesquels il est brûlé de la corne ou autres matières animales, dans les villes. — Soufre (fabrication des fleurs de). — Soufre (distillation du). — Suif (fonderie de) à feu nu. —Sulfate de cuivre (fabrication du) au moyen du soufre et du grillage. — Sulfate de soude (fabrication du) en vases ouverts. — Sulfures métalliques (grillage des). — Sulfurique (fabriques d'acide). — Tabac (combustion des côtes de) en plein air. — Taffetas et toiles, cirés et vernis (fabriques de). — Tourbe (carbonisation) en vases ouverts. — Tripiers. — Tueries, dans les villes dont la population excède 10,000 âmes. — Vernis (fabriques de). — Verreries.

2e *catégorie*. Acier (fabriques d'). — Affinage des matières d'or et d'argent, par l'acide sulfurique, quand les gaz dégagés pendant cette opération sont condensés. — Battoirs à écorce, dans les villes. — Bitumes, asphaltes (ateliers pour la fonte et la préparation des). — Blanc de baleine (raffineries de). — Blanc de plomb ou de céruse (fabriques de). — Blanchiment des fils et tissus par le chlore et l'acide sulfureux, gazeux ou liquide. — Bleu de Prusse (fabriques de), lorsqu'elles brûlent leur fumée et le gaz hydrogène sulfuré. — Buanderies des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent, quand ils n'ont pas un écoulement constant de leurs eaux. — Calcination d'os d'animaux, lorsque la fumée est brûlée. — Carbonisation du bois à l'air libre ou en vases clos, lorsqu'elle se pratique dans des établissements permanents, et ailleurs que dans les bois et forêts, ou en rase campagne. — Carton (fabriques de). — Cendres d'orfèvre (traitement des), par le mercure et la distillation des amalgames. — Cendres gravelées (fabriques de), lorsqu'on brûle la fumée, etc. — Chamoiseurs. — Chandelles (fabriques de). — Chapeaux (fabriques de) — Charbon animal (fabrication ou revivification du), lorsque la fumée est brûlée. — Charbon de bois (dépôts de), dans Paris. — Châtaignes (dessiccation des). — Chaux (fours à) permanents. — Chiffonniers. — Chlore (fabriques de). — Chlorures décolorants, *eau de Javelle*, *chlorure de chaux* (fabrication des), quand ces produits sont employés dans l'établissement même, ou que la production ne dépasse pas 300 kil. par jour. — Chromate de potasse (fabriques de). — Chrysalides (dépôts de). — Cire à cacheter (fabriques de). — Colle de peau de lapin (fabriques de). — Corroyeurs. — Couverturiers. — Cuirs verts (dépôts de). — Cuivre (fonte et laminage du). — Cuivre (dérochage du) par l'acide nitrique. — Distilleries d'eaux-de-vie et liqueurs. — Étain (fabriques de sel d'). — Faïence (fabriques de). — Feutre goudronné propre au doublage des navires (fabriques de). — Fonderies au cubilot. — Fondeurs en grand au fourneau à réverbère. — Forges de grosses œuvres, où l'on fait usage de moyens mécaniques pour mouvoir, soit les marteaux, soit les masses soumises au travail. — Fours à cuire les cailloux destinés à la fabrication des émaux. — Galons et tissus d'or et d'argent (brûleries en grand des). — Gaz d'éclairage (ateliers de). — Harengs (saurage des). — Hongroyeurs. — Huiles essentielles (dépôts d'). — Huiles (extraction des huiles et autres corps gras contenus dans les eaux savonneuses des fabriques). — Huiles (épuration en grand des) au moyen de l'acide sulfurique. — Hydro-chlorique (fabrication de l'acide) en vases clos. — Lard (ateliers à enfumer le). — Maroquiniers. — Mégissiers. — Morues (dépôts de). — Moulins à broyer le plâtre, la chaux et les cailloux. — Moulins à farine, dans les villes. — Nitrique (fabrication de l'acide), *eau-forte*, par la décomposition du nitre au moyen de l'acide sulfurique, dans l'appareil de Woolf. — Noir de fumée (fabriques de). — Noir d'ivoire et noir d'os (fabriques de), lorsqu'on brûle la fumée. — Noir minéral (carbonisation et préparation des schistes bitumineux pour fabriquer le). — Os (blanchiment des) pour les boutonniers. — Papier (fabriques de). — Parcheminiers — Phosphore (fabriques de). — Pipes (fabriques de). — Plâtre (fours à) permanents. — Plomb (fonte et laminage du). — Poêles et fourneaux en faïence et terre cuite (fabriques de). — Porcelaine (fabriques de). — Pyro-ligneux (fabrication de toutes les combinaisons de l'acide) avec le fer, le plomb ou la soude. — Rouge d'Angleterre (fabriques de) en vases clos. — Salaisons (dépôts de), — Secrétage des peaux ou poils de lièvre et de lapin. — Soufre (fusion du), pour l'épurer et le couler en canons. — Sucre (raffineries de). — Suif (fonderies de) au bain-marie ou à la vapeur. — Sulfate de soude (fabrication du) en vases clos. — Sulfates de fer et de zinc (fabrication des) par la dissolution des métaux dans l'acide sulfurique. — Sulfures métalliques (grillage des), dans des appareils propres à recueillir le soufre et à utiliser l'acide sulfureux qui se dégage. — Tabac (fabriques de). — Tabatières en carton (fabriques de). — Tanneries. — Tôle vernie (fabriques de). — Tourbe (carbonisation de la) en vases clos. — Tuileries et briqueteries. — Vernis à l'esprit-de-vin (fabriques de). — Zinc (usines à laminer le).

3e *catégorie*. — Acétate de plomb, *sel de Saturne* (fabrication de l'). — Acétique (fabriques d'acide). — Ammoniaque ou alcali volatil (fabrication en grand de l'). — Ardoises artificielles et mastics divers (fabrication des). — Battage en grand et journalier de la laine et de la bourre. — Batteurs d'or et d'argent. — Blanchiment par les chlorures alcalins. — Blanc d'Espagne (fabriques de). — Bois doré (brûleries de). — Borax (raffinage du). — Bougies (fabriques de). — Boutons métalliques (fabrication des). — Briqueteries ne faisant qu'une seule fournée en plein air, méthode flamande. — Briquets phosphoriques et oxygénés (fabriques de). — Buanderies des blanchisseurs de profession et les lavoirs qui en dépendent quand les eaux ont un écoulement constant. — Camphre (raffinage du). — Caractères d'imprimerie (fonderies de). — Carbonate de soude (fabrication du). — Cendres (laveurs de). — Cendres bleues et autres précipités du cuivre (fabriques de). — Chantiers et dépôts de bois à brûler et de charbon de bois dans les villes. — Chaux (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par année. — Chicorée-café (fabriques de). — Chrômate de plomb (fabriques de). — Ciriers. — Colles de parchemin et d'amidon (fabriques de). — Corne (travail de la), pour la réduire en feuilles. — Dégraisseurs. — Doreurs sur métaux. — *Eau seconde* (fabrication de l'), alcali caustique en dissolution des peintres en bâtiments. — Échaudoirs dans lesquels on traite les animaux pour séparer le poil de la peau. — Encre à écrire (fabriques d'). — Engraissage des oies (établissements en grand pour l'). — Essayeurs. — Étain (fabrication des feuilles d'). — Féculeries. — Fer blanc (fabriques de). — Fondeurs au creuset. — Fromages (dépôts de). — Gélatine (fabrication de la). — Glaces (étamage des). — Grillage des tissus de coton par le gaz (ateliers de). — Laques (fabriques de). — Lavoirs à laines (établissement des). — Lustrage des peaux. — Moulins à huile. — Nitre ou salpêtre (fabrication et raffinage du). — Ocre jaune (calcination de l') pour le convertir en ocre rouge. — Papiers peints (fabriques de). — Plâtre (fours à), ne travaillant pas plus d'un mois par an. — Plomb de chasse (fabriques de). — Potasse (fabriques de). — Potiers d'étain. — Potiers de terre. — Sabots (ateliers à enfumer les). — Savonneries. — Sel (raffineries de). — Sulfate de cuivre (fabrication du) par voie humide. — Sulfate de potasse (raffinage du). — Sulfate de fer et d'alumine; extraction de ces sels des matériaux qui les contiennent tout for-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

més, et transformation du sulfate d'alumine en alun. — Sirop de fécule (extraction du). — Tartre (raffinage du). — Teinturiers. — Toiles peintes (ateliers de). — Tréfileries. — Tueries dans les communes dont la population est au-dessous de 10,000 habitants. — Vacheries dans les villes dont la population excède 5,000 habitants. — Vert-de-gris et verdet (fabriques de). — Viandes (Salaison et préparation des). — Vinaigre (fabriques de). Voy. *Complément* INSALUBRES (ARTS).

ÉTAIN (*angl.* tin, *all.* zinn). L'étain est connu dès la plus haute antiquité ; il en est parlé dans les livres de Moïse, et il était fourni au commerce par les Phéniciens qui le tiraient du Cornouailles. C'est un métal d'un blanc presque aussi pur et aussi brillant que celui de l'argent. Il possède une saveur et une odeur très sensibles et très désagréables ; il est très malléable, et peut être réduit en feuilles excessivement minces en le battant sous le marteau : sous ce rapport, il tient le quatrième rang parmi les métaux. Il est aussi très ductile ; cependant, sous ce rapport, il n'occupe que le septième rang. Dans l'ordre de la ténacité, il occupe le cinquième rang : il exige pour se rompre une charge d'environ 8 kilogrammes par millimètre carré de section. Il est très mou, quoique moins que le plomb. Fondu, sa densité est de 7,29, et elle s'élève par le laminage et le martelage jusqu'à 7,45. Il se dilate de 1/162. de 0 à 100°, et fond à 212° suivant Newton, et 228° suivant Chrichton ; il est peu volatil. Les acides, en agissant sur sa surface, y développent des dessins qui ont été utilisés pour la préparation du *more métallique* (voir *fer-blanc*). Lorsque l'on plie une baguette d'étain pur, elle fait entendre un craquement particulier que l'on appelle cri de l'étain : cet effet est dû au brisement des cristaux rudimentaires que renferme la masse ; quand on a renouvelé plusieurs fois l'essai sur une même baguette, il cesse de se produire.

Dans le commerce, on apprécie la pureté de l'étain : 1° à l'intensité du *cri*, qui est d'autant plus grande que l'étain est plus pur ; 2° au poids comparatif de deux balles de même grosseur, l'une d'étain fin, l'autre de l'étain à essayer ; et 3° en coulant le métal, fondu à une très basse température, dans une cavité de 1 à 2 centimètres de diamètre. L'étain pur, coulé en feuilles ou en lingots, présente au moment où il se solidifie une surface parfaitement lisse, sur laquelle on n'aperçoit aucun indice de cristallisation ; mais de très petites quantités de métaux étrangers lui donnent la propriété de se couvrir de ramifications aiguillées ou étoilées d'autant plus étendues que l'étain est plus impur. Les étains de Banca et Malacca (Inde), et celui d'Angleterre connu sous le nom de *grain-tin*, sont très purs ; les autres renferment toujours une petite quantité de cuivre, de plomb, de fer ou d'arsenic.

L'étain forme deux oxydes. Il ne s'altère pas sensiblement, même à l'air humide ; mais maintenu en fusion au contact de l'air, il se convertit rapidement en protoxyde (surtout lorsqu'il est allié avec du plomb), et même en deutoxyde, si le grillage est suffisamment prolongé. Il ne décompose l'eau qu'au rouge. Il est dissous par les acides sulfurique, hydro-chlorique et nitrique à chaud. Il se combine directement avec le soufre, le sélénium, le tellure, le phosphore, l'arsenic et le chlore. Il s'allie avec un grand nombre de métaux, et plusieurs de ces alliages sont d'un grand usage dans les arts ; tels sont ceux qu'il forme avec le cuivre, le plomb et le fer. (Voyez ALLIAGES, BRONZE, FER-BLANC, SOUDURE, ETC.)

Nous venons de dire qu'il y avait deux oxydes d'étain. Ces oxydes sont réduits, à l'aide de la chaleur par l'hydrogène, le charbon, le soufre, le fer, etc., à l'état d'hydrate ; ils sont solubles dans les sulfures alcalins.

Le *protoxyde d'étain* est tantôt en petits cristaux d'un gris métalloïde, tantôt en poudre d'un jaune-olivâtre, d'une densité = 6,67 ; il est fusible, et chauffé au contact de l'air, il brûle comme de l'amadou, en se changeant en deutoxyde. Son hydrate est blanc, et perd son eau à la température de 100°. Le protoxyde d'étain est soluble dans les acides et les alcalis fixes caustiques, mais il est insoluble dans l'ammoniaque. L'acide nitrique et le chlore le font passer à l'état de deutoxyde. On prépare l'hydrate, en précipitant une dissolution de protochlorure par de l'ammoniaque en excès, et lavant à froid avec de l'eau bouillie. En le faisant digérer à 97°, pendant plusieurs heures, avec de l'eau ammoniacale, lavant à l'eau bouillie, ou le chauffant au rouge dans un courant d'acide carbonique, on obtient le protoxyde anhydre, qui est composé de :

Etain. . . .	0,88	Sn O.
Oxygène. .	0,12	

Le deutoxyde d'étain se présente sous deux états distincts, sous lesquels il possède des propriétés différentes. Préparé en oxydant l'étain métallique par l'acide nitrique, il est blanc, à l'état d'hydrate contenant 11 pour 100 d'eau, insoluble dans l'acide nitrique, et se réduit facilement par calcination à l'état anhydre. Préparé en précipitant par l'ammoniaque une dissolution de deuto-chlorure d'étain, il est d'un blanc jaunâtre, hydraté et soluble dans l'acide nitrique. Sous ces deux états, cet oxyde joue le rôle d'un acide faible ; aussi le nomme-t-on souvent *acide stannique* ; il est soluble dans les alcalis fixes caustiques et dans l'ammoniaque étendue, mais non dans l'ammoniaque concentrée. En fondant le deutoxyde d'étain insoluble dans l'acide nitrique avec un alcali caustique, on le rend soluble dans cet acide. Réciproquement, en faisant digérer à chaud un mélange de deuto-chlorure, d'eau et d'acide nitrique, il s'en précipite un chlorure qui donne avec l'ammoniaque un hydrate insoluble dans l'acide nitrique.

A l'état anhydre, le deutoxyde d'étain est composé de :

Etain. . . .	0,7867	Sn O².
Oxygène. .	0,2133	

L'étain est précipité de ses dissolutions salines, à l'état métallique, par le fer et le zinc.

Les *sels de protoxyde* s'altèrent promptement à l'air, en absorbant de l'oxygène. Ils donnent avec les alcalis caustiques des précipités blancs solubles dans un excès de réactif, avec l'ammoniaque et les carbonates alcalins des précipités blancs insolubles dans un excès de réactif, avec l'hydrogène sulfuré des précipités bruns, avec les sulfures alcalins des précipités semblables, solubles dans un grand excès de réactif, avec les prussiates jaune et rouge des précipités blancs, et avec les iodures alcalins des précipités rouges solubles dans un excès de réactif.

Les *dissolutions de deutoxyde*, dans les acides, offrent des caractères analogues, à cette différence près, que l'hydrogène sulfuré les précipite en jaune sale, le prussiate jaune en blanc jaunâtre, et que les iodures alcalins ne les troublent pas.

Les combinaisons de deutoxyde avec les bases, ou *stannates*, sont décomposées par les acides ; il se forme alors des dissolutions de deutoxyde, que l'on reconnaît aux caractères que nous venons d'indiquer. Les principaux sels d'étain sont les suivants :

Le *protosulfure*, qui est d'un gris de plomb métallique, demi-ductile, un peu moins fusible que l'étain, et inaltérable par la chaleur. Il se décompose par le grillage, et se transforme en deutoxyde. On l'obtient directement en chauffant au rouge de l'étain et du soufre. Son hydrate est brun, et se prépare en précipitant un sel de protoxyde par l'hydrogène sulfuré.

Le *deutosulfure*, connu sous le nom d'*or mussif*, et em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ployé pour bronzer le bois, etc., se présente sous la forme de lames micacées d'un jaune de laiton tirant sur le jaune de bronze, et se décompose à la chaleur rouge avant de se fondre, en abandonnant la moitié du soufre qu'il renferme et se transformant en protosulfure. On le prépare ordinairement en faisant un amalgame de 2 parties d'étain et de 1 partie de mercure, y ajoutant 1 partie 1/4 de soufre et 1 partie de sel ammoniac; puis, triturant le tout ensemble, dans un mortier, avec un peu d'eau, on place le mélange dans des creusets convertis ou dans des cornues, et l'on chauffe au bain de sable pendant plusieurs heures à une chaleur qui ne doit pas dépasser le rouge naissant. Le mercure ne sert qu'à rendre l'étain susceptible d'être très divisé. Il se volatilise pendant l'opération.

Le *protochlorure* ou *sel d'étain* est blanc-grisâtre éclatant, à cassure résineuse, fusible au-dessous de la chaleur rouge et volatil peu au-dessus. Il se dissout dans une petite quantité d'eau; mais celle-ci en excès le décompose en oxy-chlorure qui se précipite, et en chlorure acide qui est employé dans la teinture comme mordant. Les dissolutions mêlées de deutochlorure donnent, avec celles d'or, un beau précipité pourpre connu sous le nom de *pourpre de Cassius*. (Voyez OR.) On l'obtient, soit en distillant de l'amalgame d'étain avec du protochlorure de mercure, soit en chauffant en vase clos, jusqu'à fusion, le chlorure acide cristallisé. Ce dernier se prépare en dissolvant l'étain métallique dans de l'acide hydro-chlorique.

Le *deutochlorure* ou *liqueur fumante de Libavius* est liquide à la température ordinaire, incolore, transparent, très fluide, plus lourd que l'eau, d'une ardeur piquante et insupportable, et très volatil; il bout à 120°. Il répand à l'air d'épaisses fumées blanches, par suite de sa grande affinité pour l'eau avec laquelle il se combine en toutes proportions. On le prépare ordinairement en distillant, à une chaleur ménagée, un mélange de 4 parties de sublimé corrosif et de 1 partie d'étain amalgamé avec environ 1/3 de son poids de mercure.

Le seul minerai d'étain est l'*oxyde* (deutoxyde) que l'on rencontre en filons, en amas, et le plus souvent en veinules très disséminées (stockwork) dans les terrains anciens. On le trouve souvent aussi en galets dans les alluvions qui proviennent du détritus de ces terrains. Il est presque toujours accompagné de wolfram (voyez TUNGSTÈNE), de molybdène sulfuré et de pyrites arsenicales. Les gîtes d'étain exploités ne sont pas en grand nombre; les principaux se trouvent dans les Indes, le Cornouailles, la Saxe et la Bohême. On a découvert, au commencement de ce siècle, deux gîtes d'étain en France, à Piriac (Loire-Inférieure) et à Vaulry (Haute-Vienne); mais ces gîtes n'ont aucune importance.

L'oxyde d'étain est brun-rougeâtre, se foncant quelquefois jusqu'au noir et d'autres fois incolore, tantôt transparent ou fortement translucide, le plus souvent opaque. Il est assez dur pour rayer le verre. Sa densité varie de 6,5 à 6,9; il cristallise en prismes droits à base carrée, presque toujours maclés, ce qui forme même un de ses caractères saillants, et qui présentent un éclat extrêmement vif. Sans addition, il est infusible au chalumeau; difficilement réductible au feu de réduction, il se réduit aisément par l'addition de la soude. Il est inattaquable par les acides. Rendu soluble par la fusion avec la potasse ou la soude, il donne lieu, par le chlorure d'or, à un précipité pourpre.

L'essai des minerais d'étain est très-simple. On commence d'abord par les griller pour décomposer les matières pyriteuses et arsenicales, que l'on enlève ensuite par un lavage par décantation; ou mieux, ce qui est beaucoup plus exact et plus rapide, on fait bouillir pendant quelques instants le minerai réduit en poudre avec un faible excès d'eau régale; on étend d'eau, on jette le résidu sur un filtre, on le lave, on le fait sécher, et on calcine le tout, le filtre à part, pour chasser la petite quantité de soufre libre qui a pu se former par l'action de l'eau régale. L'essai se fait à la température des essais de plomb ou à celle des essais de fer. Lorsqu'on opère à une basse température, on fond le minerai grillé, soit avec 4 parties de flux noir dans un creuset nu, soit avec 1/2 partie de carbonate de soude dans un creuset brasqué. Mais en suivant ce procédé, qui est cependant encore presque le seul employé dans les usines, il reste toujours dans les scories une certaine quantité d'étain, et d'autant plus que la matière est plus pauvre et qu'on emploie plus de flux; en sorte qu'il pourrait arriver que des minerais ou des scories qui seraient assez riches en grand, pour être traitées avec bénéfice, ne donnassent pas d'étain en petit, si l'on faisait l'essai de cette manière.

Lorsqu'on veut réduire en totalité l'étain, il faut fondre le minerai grillé avec addition d'un fondant convenable, à la température des essais de fer, dans un creuset brasqué. 0,30 à 0,40 de borax ou de carbonate de soude, préalablement pulvérisés, peuvent servir dans tous les cas, mais, étant volatils, on ne peut vérifier l'exactitude des essais, comme lorsqu'on emploie pour flux des fondants terreux (voyez *essais de* FER); l'opération se conduit du reste absolument comme pour les essais de fer. On obtient un alliage qui renferme de l'étain, du fer, et quelquefois du tungstène, qu'il faut analyser par voie humide.

Quand on veut rechercher combien une scorie pourrait produire en grand d'étain pur, ou susceptible d'être purifié par la liquation, on en fond une certaine quantité avec 10 à 15 p. 100 de son poids de fer métallique en limaille, dans un creuset nu, et l'on analyse le tout. L'étain est du reste à peu près pur lorsqu'il n'est point magnétique, et il est susceptible d'être purifié par liquation toutes les fois qu'il est malléable. Nous verrons d'ailleurs que l'on emploie également en grand le fer métallique, pour réduire l'oxyde d'étain resté dans les scories provenant de la fonte des minerais, ou dans les carcas de liquation.

Il n'y a aucun moyen de doser par voie sèche l'étain contenu dans un alliage: il faut nécessairement opérer par voie humide. Dans les essais d'étain à une température élevée, on obtient des alliages d'étain, de fer, et presque toujours de tungstène. On réduit ces alliages au laminoir en feuilles aussi minces que possible quand ils sont ductiles, et on les pulvérise quand ils sont cassants, puis on les fait bouillir avec de l'acide hydrochlorique pur et concentré, qui dissout le fer et l'étain et laisse un résidu de tungstène renfermant quelquefois un peu de fer: on précipite l'étain de la dissolution par l'hydrogène sulfuré, on recueille le précipité sur un filtre, on le lave, on le traite par l'acide nitrique, on évapore à sec et l'on calcine le résidu, qui par là se trouve transformé en deutoxyde d'étain pur. On fait bouillir avec de l'acide nitrique la liqueur qui renferme le fer, pour ramener ce métal à l'état de peroxyde, que l'on précipite par l'ammoniaque et que l'on calcine, le filtre à part, après lavage.

Pour analyser l'étain du commerce, on le traite par l'acide nitrique pur qui le convertit en deutoxyde insoluble: on évapore presque à siccité, on étend d'eau et on filtre pour séparer l'étain; dans la liqueur filtrée, on précipite le plomb à l'état de sulfate par l'acide sulfurique, on filtre et on précipite le fer à l'état de peroxyde par un excès d'ammoniaque qui redissout le cuivre; on filtre et enfin on précipite le cuivre à l'état de deutoxyde en faisant bouillir la dissolution ammoniacale avec de la potasse caustique. Lorsqu'il y a de l'arsenic dans l'étain, au lieu d'opérer comme nous venons de le dire, il faut, après avoir séparé le plomb, sursaturer la liqueur d'hydro-sulfate d'ammoniaque après l'avoir neutralisée avec de l'ammoniaque, et filtrer. L'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

senic passe dans la liqueur filtrée d'où on le précipite, à l'état de sulfure, en la neutralisant par l'acide hydrochlorique, tandis que le fer et le cuivre restent sur le filtre à l'état de sulfures ; on les dissout dans l'acide nitrique et on les sépare comme ci-dessus.

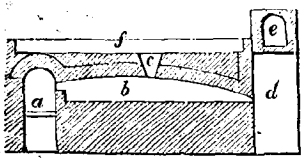
Traitement métallurgique.

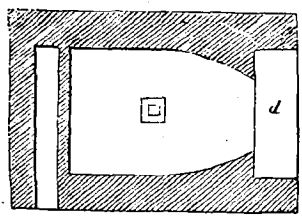
Le traitement métallurgique des minerais d'étain comprend : le grillage du minerai, le lavage du minerai grillé, la fonte du minerai grillé, le traitement des résidus et le raffinage de l'étain. La fusion des minerais grillés s'exécute, soit dans des fourneaux à tuyères, soit dans des fourneaux à réverbère, ce qui constitue deux classes de procédés distincts. En Angleterre, pour les minerais d'alluvion seulement, en Bohême et en Saxe, on emploie le premier procédé ; le second est usité en Angleterre pour tous les minerais venant des mines de Cornouailles. Nous allons les passer successivement en revue.

SAXE. En Saxe les propriétaires de mines d'étain sont obligés de livrer leur minerai préparé aux usines royales, qui leur en paient immédiatement la valeur d'après celle de l'étain qu'ils donnent à l'essai, déduction faite des frais de traitement ; il en résulte, d'une part, que l'exploitation des mines peut se faire avec peu de fonds, puisqu'elle n'exige pour ainsi dire aucuns fonds de roulement, et, d'autre part, que les usines royales peuvent associer les minerais divers qui leur sont livrés de la manière la plus convenable pour leur traitement ultérieur.

Les minerais sont apportés à l'usine, lavés, à l'état de *schlichs crus*. On commence par les griller afin de décomposer les matières pyriteuses et arsenicales qu'ils renferment, et qui, ramenées à l'état d'oxyde, se séparent ensuite aisément par le lavage. Le grillage s'effectue dans des fours à réverbère, représentés en plan et en coupe fig. 808 et 809 : la sole *b*, de forme trapézoïdale, a 5m,15 de longueur, 3m,30 de largeur près de la grille *a*, et 1m,65 près de la porte de travail *d*, placée à l'autre extrémité ; la voûte n'a que 0m,22 de hauteur, à la clef, au-dessus de la sole ; celle-ci est une aire plane ouverte des deux côtés, sur laquelle on brûle du bois ; près de la porte de travail et dans la voûte, est pratiqué un canal horizontal *e*, qui conduit l'acide arsénieux et les autres produits du grillage dans une série de chambres de condensation. On en retire de temps à autre l'acide arsénieux impur, qui forme moyennement les 20 à 25 p. 100 de schlich cru. On charge à la fois 6 à 700 kil. de schlich cru préalablement desséché sur la voûte *f* du fourneau, d'où on le fait tomber sur la sole par l'ouverture *c*, pratiquée dans la voûte, et on augmente graduellement le feu de manière à ne pas dépasser le rouge sombre dans les deux premières heures ; on donne à la fin un bon coup de feu, l'oxyde d'étain pur étant infusible. Chaque grillage dure en moyenne sept heures.

808.

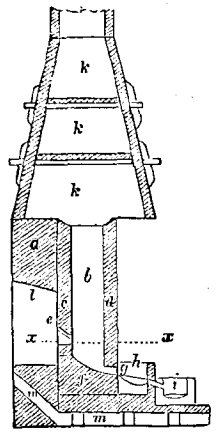


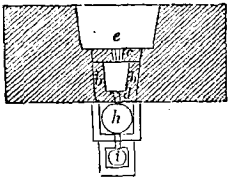


809.

Les schlichs grillés sont lavés sur des tables à secousses, puis fondus sans addition, ou avec une petite quantité de quarz quand ils sont très ferrifères, et avec 2 à 4 p. 100 de chaux quand ils sont très chargés de wolfram (tungstate de fer), de schéelin-calcaire (tungstate de chaux) et de molybdène sulfuré ; ces schlichs renferment de 40 à 60 p. 100 d'étain. La fusion s'exécute dans un demi-haut-fourneau à poitrine fermée, ayant seulement un *œil* pour l'écoulement de l'étain et des scories, et surmonté de chambres de condensation. Ce fourneau est représenté en coupe verticale, fig. 810, et en coupe horizontale au niveau *x x* de la tuyère, fig. 811 : *a*, massif du fourneau ; *b*, *b*, costières ; *c*, warme, et *d*, poitrine ; *e*, tuyère ; *f*, sole en granite ; *g*, *œil* de la poitrine, par lequel l'étain et les scories tombent dans l'avant-creuset *h* ; *i*, bassin de réception dans lequel on fait de temps en temps couler l'étain, et où on le puise pour le couler ; *k*, *k*, *k*, chambres de condensation ; *m*, *m*, canaux d'assèchement. La hauteur totale du fourneau au-dessus de la sole est de 4 mètres ; la largeur de la warme est au gueulard 0m,57, à la sole 0m,38 ; celle de la poitrine, aux mêmes hauteurs, est de 0m,47 et 0m,38 ; et la distance de la warme à la poitrine est de 0m,66 et 0m,52. La poitrine est déversée intérieurement de telle sorte, que la verticale partant de son extrémité supérieure tombe exactement au milieu de la sole ; celle-ci a une inclinaison de 0m,10. On lance dans le fourneau de 4 1/2 à 5 kil. d'air par minute au moyen de deux soufflets pyramidaux. La charge normale est d'environ 6 kil. 1/4 de schlich grillé et de 1 litre et 1/2 de charbon de bois léger. On passe 52 kil. de minerai par heure. La campagne dure de cinq à six jours. Les scories que l'on obtient sont repassées dans la proportion des 2/3 dans le courant de l'opération, puis à la fin de la fonte on les repasse une fois seules.

810.





811.

L'étain en pains obtenu par la coulée est affiné sur des aires de liquation analogues à celles usitées à Schlaggenwald, et dont nous parlerons plus bas.

Les scories de la fonte du minerai renferment encore 25 à 26 p. 100 d'étain métallique ; on les ajoute aux crasses d'affinage ou carcas de liquation, et on fond le tout avec parties égales de scories de forge, dans un petit fourneau à manche de 1m,60 de hauteur, à bassin extérieur hémisphérique, et dont les campagnes ne durent que douze heures. Les scories de forge tendent à se réduire dans le fourneau à l'état de fer métallique,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et produisent par conséquent le même effet que donnerait l'addition directe de ce dernier, mais à beaucoup meilleur marché. Les scories sont enlevées par plaques, au fur et à mesure de leur solidification, dans le bassin extérieur qui a 0m,45 de diamètre, et rejetées; elles sont très pauvres en étain, et n'en renferment plus que 4 à 5 p. 100.

Le prix de revient des 100k d'étain, en Saxe, peut moyennement s'établir comme suit, à 204 fr. 18 c.:

Frais d'extraction du minerai. . . .	79f,68c
Frais de transport au jour, de grillage et de préparation mécanique. . .	63f,00c
Frais de fondage et de raffinage. . .	3f,53c
Frais généraux.	57f,97c
Prix de revient des 100k d'étain raffiné.	204f,18c

BOHÊME. Les mines d'étain de Bohême se groupent autour de deux centres bien distincts : *Zinnwald*, qui n'est en quelque sorte que le prolongement d'Altenberg en Saxe, dont il n'est éloigné que de quelques kilomètres, et où on suit les mêmes procédés de traitement; et *Schlaggenwald* (cercle d'Ellbogen), qui est de beaucoup le plus important, et dont nous allons dire quelques mots.

Les schlichs crus, livrés aux usines, sont grillés dans des fours à réverbère, à sole elliptique, de forme presque identique avec ceux employés pour la chloruration des minerais d'argent. (Voyez ARGENT, *amalgamation saxonne.*) La sole a 2m,40 de long sur 3m,50 de large; l'autel, 0m,30 sur 1m,65; la grille en briques réfractaires posée de champ, les mêmes dimensions; la voûte est à 0m,50 au-dessus de la grille; 0m,25 au-dessus de l'autel; 0m,35 au-dessus de la sole, près de l'autel; 0m,40 au milieu de la sole, et 0m,10 à son extrémité, près de laquelle elle est percée de deux cheminées de 0m,10 de diamètre, qui communiquent avec les chambres de condensation placées au-dessus. On charge à la fois de 200 à 250 kilogrammes de schlich cru sur la sole, et l'opération dure de 6 à 30 heures, en moyenne 20 à 25 heures. On élève graduellement la température en brassant à la fin, à plusieurs reprises, avec du poussier de charbon pour réduire les arséniates. Le grillage est terminé : 1° quand il ne se dégage plus de fumées arsenicales; 2° quand par le lavage à l'augette le minerai paraît bien pur, et que l'eau de lavage se colore fortement en rouge par l'oxyde de fer qu'elle tient en suspension; 3° quand enfin le minerai grillé et lavé à l'augette donne à l'essai au flux noir, fait à une température élevée, un bouton d'essai qui se laisse facilement laminer en un ruban flexible faisant nettement entendre, lorsqu'on le plie, le cri particulier à l'étain pur.

Les schlichs crus que l'on apporte à l'usine sont de trois sortes : le schlich gros obtenu dans les caisses à tombeau, le schlich moyen obtenu sur des tables dormantes à toiles, et le schlich fin venant des tables jumelles (voyez MÉTALLURGIE). Le schlich gros est grillé à part; les schlichs moyen et fin le sont ensemble; le schlich gros grillé est lavé à part dans une caisse à tombeau; il en est de même des autres schlichs grillés; enfin, les boues sont lavées sur une table à secousse ou sur des tables jumelles.

La fonte des minerais grillés s'exécute dans des fourneaux à manche de même forme que celui représenté fig. 810 et 811, mais beaucoup moins élevés, et dont les campagnes durent très peu de temps; de telle sorte que les propriétaires des mines, lesquelles sont très nombreuses et donnent lieu chacune à une faible extraction, peuvent fondre au fur et à mesure le minerai qu'ils en tirent. Le vide intérieur est prismatique, à section trapézoïdale, dont la largeur est de 0m,25 à la warme, 0,m20 à la poitrine et la profondeur de 0m,50, la hauteur de ce vide est de 2 mètres, à partir de la sole, qui est formée d'une pierre de granite inclinée de 1/3, à l'extrémité de laquelle est pratiqué, dans la poitrine, l'œil de 0m,03 de diamètre par lequel l'étain et les scories coulent dans l'avant-creuset extérieur; la sole dure au plus deux à trois campagnes, souvent même seulement une seule; le fourneau est construit avec un mélange damé d'argile réfractaire et de quarz grossièrement concassé. La poitrine est déversée à l'intérieur, de manière à ce que la verticale, partant de son extrémité supérieure, tombe au milieu de la sole. La tuyère est à 0m,15 ou 0m,20 au-dessus de la sole, suivant que le minerai est plus ou moins réfractaire; elle est rectangulaire et en granite; on démolit l'embrasure qui y conduit, à la fin de chaque campagne, pour réparer le fourneau. Le vent est donné par deux soufflets pyramidaux, qui en lancent de 3 à 4 kilogr. par minute, et il vient frapper la sole à 0m,07 environ de l'œil. Le séchage du fourneau se fait en 2 heures; on commence alors par donner le vent, et par charger dans le fourneau 3 parties de scories de l'opération avec 1 partie de schlich moyen, dont on augmente graduellement la proportion jusqu'à ce que la charge se compose de parties égales de minerai et de scories. A mesure que les scories se solidifient dans l'avant-creuset de 0m,33 de côté, on les retire à la pelle, et on les plonge encore rouges dans l'eau pour les étonner; on les concasse ensuite avec le dos de la pelle, et on les repasse dans le fourneau. On passe ainsi successivement, dans le fourneau, le schlich moyen, le schlich gros et le schlich fin; puis enfin, à la fin de la campagne, on repasse dans le fourneau, à deux reprises successives, les scories mêmes de l'opération, sans addition et sans élever la température, qui doit toujours être telle, que les matières qui s'écoulent par l'œil soient bien liquides et aient une couleur un peu au-dessus du rouge sombre. Les dernières scories que l'on obtient sont bocardées et lavées, pour en séparer les grenailles d'étain qu'elles renferment, et ce qui reste sur les tables de lavage est repassé dans le fourneau à la fonte suivante.

Après que l'on a passé dans le fourneau 150 kilogrammes de minerai, ce qui a lieu toutes les 4 heures environ, on coule l'étain, qui se trouve dans l'avant-creuset, dans un petit bassin hémisphérique de 0m,22 de diamètre, creusé dans une pierre de granite et préalablement chauffé avec quelques charbons allumés, et on l'y agite avec une petite quantité de poix minérale, jusqu'à ce qu'il se soit refroidi au point qu'une petite coquille de bois sec se transforme promptement en charbon roux sans s'enflammer, lorsqu'on l'y plonge. On puise alors l'étain avec une cuillère en fer, et on le verse dans un moule en granite, où il prend la forme de pains qui sont plus tard soumis à la liquation. Il reste, dans le bassin de réception, quelques crasses qui sont traitées à part avec les carcas du raffinage et les grenailles d'étain venant du bocardage des scories.

En résumé, le minerai employé rend de 30 à 60 p. 100 d'étain. Chaque campagne dure environ quarante-huit heures en tout, et, pendant ce temps, on passe dans le fourneau 1,300 kil. environ de minerai. Un fondage, que nous avons suivi, a fourni 12 pains d'étain qui, purifiés par liquation, ont donné 511 balles d'étain pesant 601 kil.

Le raffinage de l'étain se fait sur une aire plane de liquation en granite de 0m,30 de large, sur 0m,95 de long, inclinée de 1/12e, et ayant sur trois de ses côtés un rebord de 0m,15 de hauteur. On y met de petits morceaux de bois en croix que l'on allume, puis l'on charge successivement au-dessus les pains d'étain. Ce dernier métal se sépare peu à peu, coule sur le sol de l'aire, et se rend à sa partie inférieure, dans une cavité hémisphérique de 0m,25 de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diamètre, en granite, chauffée d'abord avec quelques charbons. Lorsque cette cavité se trouve remplie on y puise, avec une cuillère en tôle, l'étain, qui doit être à une température telle, qu'un morceau de papier qu'on y plonge se charbonne instantanément sans s'enflammer, et on le coule sur une table en cuivre ou en fonte, en feuilles que l'on roule ensuite et qui portent le nom de balles d'étain. Les tables en cuivre sont de beaucoup préférables à celles en fonte, parce que le premier métal peut se travailler en feuilles très minces, et qu'en outre il est beaucoup meilleur conducteur du calorique, de telle sorte que l'étain s'y refroidit bien plus rapidement et acquiert par suite beaucoup plus de brillant et d'apparence.

Les balles d'étain ainsi obtenues, et livrées au comptoir du gouvernement, qui délivre en les recevant un à-compte de 90 p. 100 sur leur valeur, sont soumises tous les six mois à une seconde liquation, sur des aires de 1m,90 de long et 0m,50 de large, ayant pour but de purifier l'étain, et en outre d'obtenir par le mélange des balles provenant des différentes exploitations, un métal d'une qualité à peu près constante, et sur lequel on applique quatre marques.

Les grenailles d'étain venant du bocardage des scories et les carcas de liquation, sont mélangés avec un peu de poix minérale et du charbon de bois pulvérisés, puis introduits dans des pots de terre intérieurement vernis à l'alquifoux, et recouverts à l'extérieur d'un enduit d'argile servant à augmenter leur résistance et leur durée; ces pots ont environ 0m,13 de diamètre intérieur sur 0m,16 de profondeur. On les recouvre avec des couvercles en terre non lutés, on les range en plein air sur des morceaux de briques, qui leur servent de supports ou de fromages, en laissant entre chacun d'eux un certain intervalle. On élève ensuite tout autour un petit mur en pierres sèches de 0m,30 à 0m,40 de hauteur, on jette dans cette enceinte un peu de menu bois, puis on la remplit de charbon de bois et on allume le tout. Deux heures après la mise en feu, les ouvriers retirent séparément chaque pot, le découvrent et se mettent de suite à remuer les matières qu'il renferme avec une tige de bois vert; il se dégage d'abondantes fumées blanches, que l'on regarde comme dues à la volatilisation et à l'oxydation au contact de l'air d'une certaine quantité d'antimoine, d'arsenic, de zinc, et quelquefois de plomb et de soufre. Dès que l'on laisse quelques instants les matières en repos, l'étain gagne le fond et s'y rassemble. L'opération est terminée, lorsqu'en découvrant la surface du bain, le métal est d'un blanc brillant ne s'altérant pas à l'air d'une manière sensible; lorsqu'il est impur, sa surface se recouvre instantanément d'une pellicule d'un jaune plus ou moins foncé passant quelquefois au bleu violet, et présentant toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Il va d'ailleurs sans dire qu'il ne faut procéder à la coulée que lorsque la température est très basse (300 à 350°); il n'y a alors que les parties métalliques les plus pures qui restent assez liquides pour se rassembler en masse au fond du pot; on coule alors l'étain sur le sol de l'atelier, en inclinant le pot et en retenant les matières solides avec une planchette en bois. L'étain ainsi obtenu est raffiné avec l'étain de fusion en pains. On jette ensuite dans une cuve d'eau ce qui reste dans le pot, on en sépare les grenailles d'étain par lavage au crible à secousses et on les retraite comme ci dessus. Les boues sont concentrées par lavage et les résidus les plus riches traités comme le minerai cru.

Voici quels sont les résultats de ce traitement pour la principale exploitation des environs de Schlaggenwald, résultats qui sont la moyenne de l'année 1838.

Le schlich cru amené à l'usine, et sec, avait une teneur moyenne en étain de 36,4; grillé et lavé, elle s'est élevée à 47,4. Les consommations et frais par 100 kil. d'étain en balles obtenu, ont été comme suit :

275k de minerai lavé, sec, rendu à l'usine.			136f,39
Combustible pour le grillage, la fonte et le raffinage.	1/2k de poix minérale.	0f,28	
	2k 1/2 ou 750k de bois léger.	9f,72	
	425k de charbon de bois léger.	16f,85	
		26f,85	26f,85
Main-d'œuvre, frais divers et frais généraux.			17f,86
Impôts sur l'étain.			11f,63
Prix de revient des 100k d'étain en balles.			192k,73
Prix de vente des 100k d'étain en balles.			225f,75
Bénéfice.			32f,02
			ou 16,67 p. 100.

ANGLETERRE (*Cornouailles*). On distingue dans le Cornouailles deux sortes de minerais d'étain, ceux de filons, qui viennent des mines du pays, et ceux qu'on retire du lavage des sables d'alluvion. La presque totalité de ces minerais est traitée dans des fourneaux à réverbère alimentés à la houille; on ne soumet à la fonte au charbon de bois, dans un fourneau à tuyères, que les meilleurs minerais d'alluvion, dans le but d'obtenir de l'étain extrêmement pur.

Fonte au fourneau à manche. On fond immédiatement les minerais d'alluvion lavés, sans qu'il soit nécessaire de leur faire subir un grillage, dans un demi-haut-fourneau de 5 mètres de hauteur. L'étain réduit est d'abord reçu dans le premier bassin de réception, puis coulé dans le second, où on le laisse reposer quelque temps. Les scories qui coulent dans le premier bassin sont enlevées à mesure qu'elles se solidifient, jetées dans l'eau, puis divisées en deux classes; celles encore riches en oxyde d'étain, qui sont repassées dans le lit de fusion, et celles qui ne renferment guère que des grenailles d'étain, que l'on y concentre par bocardage et lavage avant de les repasser dans le lit de fusion. Le bain métallique se divise, par le repos des masses, en tranches horizontales d'autant plus pures qu'elles sont situées plus près de la surface. Lorsque l'étain qui forme les tranches supérieures est jugé suffisamment pur, on le transvase, au moyen de poches, dans le bassin d'affinage, qui a été préalablement chauffé, et sous lequel, s'il est en fonte enduite d'argile, on entretient un peu de feu. L'étain qui occupe le fond du bain est toujours très impur; on n'en transvase aucune portion dans le second bassin, mais tout ce qui reste dans le premier est coulé en saumons destinés à être rejetés dans le fourneau de fusion.

Lorsque le bassin d'affinage est suffisamment rempli, on y produit une ébullition artificielle en y plongeant une tige de bois vert que l'on agite dans le bain; le minerai non réduit et les substances pierreuses viennent à la surface sous la forme d'une espèce d'écume. Lorsque l'ébullition a été prolongée 1 heure à 1 heure 1/2, on retire le bois vert et l'on écume la surface du bain d'étain, qui doit présenter un éclat particulier et très vif. On laisse la masse reposer pendant quelque temps, ce qui permet aux parties inégalement pures de se séparer encore plus complétement, et, quand elle est suffisamment refroidie, on la coule en saumons, en puisant toujours l'étain à la surface du bain. De cette manière, presque tout ce qu'il y a d'impuretés dans le bain se trouve concentré dans les derniers saumons qui doivent être refondus; les autres, destinés au commerce, sont envoyés à un bureau où, après avoir constaté leur degré de pureté et perçu le droit de la couronne, on les frappe d'une marque. Ils sont généralement livrés ainsi au commerce; quelquefois cependant on chauffe le métal au point seulement de le rendre fragile, de sorte qu'en le laissant alors tomber d'une assez grande hauteur la masse se réduit en fragments, qui présentent une agglomération de grains allongés ou de *larmes*; ce

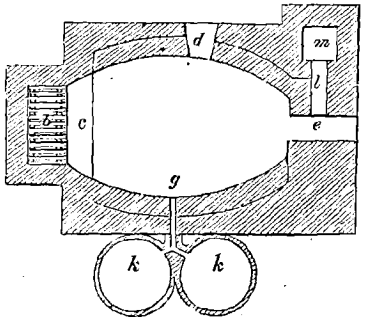
EFERUS - Recherche & Classification numérique

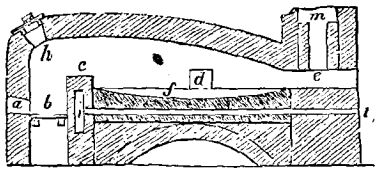
qui a fait donner à cette espèce d'étain le nom d'*étain en larmes* (*angl.* grain-tin).

Fonte au fourneau à réverbère. Tous les minerais d'étain de filon et une partie de ceux d'alluvion, sont traités par cette méthode. Après avoir lavé ces minerais, on les grille dans des fourneaux de grillage surmontés de chambres de condensation, et dont les dimensions varient dans des limites assez étendues. Ils ont ordinairement de 3 à 4^{m} de long sur 2 1/2 à 3^{m} de large. On charge à la fois 300 à 400^{k} de schlich cru sur la sole, et chaque grillage dure de 12 à 18 heures. L'arsenic impur qui se dépose dans les chambres de condensation est vendu aux usines d'arsenic. Le minerai grillé est exposé au contact de l'air pour transformer les sulfures en sulfates, et lessivé. Les eaux de lavage contiennent du sulfate de cuivre; on en précipite le cuivre, par de la ferraille, à l'état de cuivre de cément. On crible ensuite le minerai grillé pour séparer les fragments qui se sont agglomérés et qui doivent être de nouveau soumis au grillage après un bocardage préalable. Ce qui a passé à travers le crible est lavé dans des caisses à tombeau ou sur des tables dormantes, suivant le degré de finesse du schlich.

Les fig. 812 et 813 donnent la coupe et le plan du

812.





813.

fourneau à réverbère employé à St-Austle pour la fonte des schlichs d'étain grillés et lavés : *a*, est la porte par laquelle on charge le combustible sur la grille *b*; *c*, l'autel; *d*, la porte par laquelle on charge le minerai sur la sole; *e*, la porte de travail; *f*, la sole qui a environ 3^{m},50 de long sur 2^{m} de large; *g*, le trou de coulée; *h*, ouverture pratiquée dans la voûte, que l'on ouvre seulement au moment où l'on charge le minerai d'étain sur la sole afin d'empêcher le courant d'air d'entraîner la poussière dans la cheminée; *i*, petit canal donnant passage à de l'air froid qui rafraîchit l'autel et la sole et les empêche de se détruire aussi promptement; *k*, *k*, bassins de réception; *l*, rampant qui conduit les fumées à la cheminée *m*, qui a de 10 à 15^{m} de hauteur.

Avant de charger sur la sole le minerai grillé, dont la teneur moyenne est de 65 p. 100 d'étain, on le mélange, selon sa qualité, avec 1/15^{e} à 1/5^{e} de houille très sèche en poudre qui sert de réductif. On y ajoute aussi quelquefois de la chaux éteinte ou de la chaux fluatée, pour obtenir des scories plus fusibles. On charge à la fois 700 à 800^{k} de minerai, en chauffant fortement de prime-abord. Au bout de 6 à 7 heures, on jette quelques pelletées de houille sèche en poudre, afin de rendre les scories moins fusibles. On coule d'abord l'étain, et dès qu'on voit arriver des scories, on ferme le trou de coulée. Immédiatement après on retire les scories laissées sur la sole et on procède à une nouvelle charge. On laisse reposer pendant quelque temps l'étain dans le bassin de réception, afin de favoriser la séparation d'une petite quantité de scories qui ont coulé en même temps et que l'on enlève, puis on le prend avec des poches et on le coule dans des moules en fonte. Les scories qui étaient en contact immédiat avec la surface de l'étain sont très riches en grenailles; elles sont en très petite quantité, et sont mises de côté et fondues à part sans addition. Les scories qui contiennent seulement quelques grenailles d'étain sont bocardées et lavées, dans le but de concentrer les grenailles dans une faible quantité de scories, puis fondues isolément; elles donnent un étain de qualité très inférieure, ce qui se conçoit très facilement, attendu que le métal qui forme ces grenailles étant moins fusible que l'étain pur, se solidifie promptement et ne peut pas se réunir au bain métallique : on refond ces divers résidus au commencement de chaque campagne, lorsque les fourneaux ne sont pas encore suffisamment échauffés pour la fonte des minerais. Enfin, plus des 3/4 des scories sont assez pauvres pour être rejetées.

Le raffinage des saumons d'étain se compose de deux opérations, une liquation et le raffinage proprement dit. La liquation s'opère dans un fourneau à réverbère pareil à celui de fusion; on range les saumons d'étain sur la sole du fourneau, près de l'autel, et on les chauffe modérément. L'étain fond et coule dans le bassin d'affinage construit en briques ou remplacé par une chaudière en fonte sous laquelle on fait un peu de feu; au bout de quelque temps, les saumons cessent de donner de l'étain, et laissent sur la sole un résidu formé d'un alliage très ferreux. On range alors de nouveaux saumons sur les restes des premiers, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que le bassin de raffinage soit suffisamment rempli : sa grandeur est telle qu'il renferme 5000 à 6000^{k} d'étain.

Alors commence la seconde opération du raffinage. On enfonce dans le bain d'étain des bûches de bois vert, que l'on maintient à l'aide d'un châssis fixé sur une potence tournante. Le dégagement de gaz qui en résulte produit un bouillonnement constant dans le bain, qui amène à la surface une sorte d'écume et facilite la tendance qu'ont les parties les plus impures et les plus lourdes à se précipiter au fond. L'écume, composée presque entièrement d'oxyde d'étain et d'une petite quantité d'oxyde de fer est enlevée et rejetée à mesure dans le fourneau. Lorsqu'on juge que l'ébullition a duré un temps suffisant, on retire le bois vert et on laisse reposer le bain. Il se sépare en différentes zônes, d'autant plus pures qu'elles sont plus près de la surface. Lorsque l'étain est suffisamment refroidi, on le puise avec des poches et on le coule dans des moules en fonte. On conçoit que l'ordre de succession des saumons est celui de leur pureté; ceux qui proviennent du fond de la chaudière sont même ordinairement tellement impurs, qu'ils doivent être de nouveau soumis au raffinage, comme s'ils provenaient directement du minerai. La durée totale du raffinage est de 5 à 6 heures.

Chaque saumon d'étain qu'on soumet à la liquation laisse, comme nous l'avons dit, sur la sole du fourneau à réverbère, des crasses formées d'un alliage très ferreux. Lorsque la liquation d'une charge est terminée, on augmente le feu pour fondre les crasses restées sur la sole, et l'on fait couler l'alliage qui en provient dans un petit bassin à part. Cet alliage étant laissé en repos pendant quelque temps, la partie supérieure est coulée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en saumons, qui sont de nouveau soumis au raffinage. Il se dépose, au fond du bassin et sur ses parois, un alliage blanc, aigre, à cassure cristalline, qui contient une si grande proportion de métaux étrangers qu'on n'en peut tirer aucun parti. Il en est de même d'un nouveau résidu, infusible même à la température actuelle du fourneau, qui reste sur la sole.

En résumé, d'après MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, on peut évaluer ainsi qu'il suit le prix de revient des 100ᵏ d'étain raffiné, obtenu au fourneau à réverbère :

457ᵏ de minerai grillé et lavé. . .	194f,37c
175ᵏ de houille.	2,20
main-d'œuvre et frais généraux. .	7,80
Prix de revient des 100ᵏ d'étain raffiné.	204f,37c

INDE. On rencontre dans la presqu'île de Malacca, l'île de Banca et quelques îles environnantes, du minerai d'étain d'alluvion très riche et très abondant ; on le fond sans grillage préalable dans de petits fourneaux à manche analogues à ceux de Bohême.

Statistique. — La production totale de l'étain est annuellement d'environ 75,630qm qui se répartissent ainsi qu'il suit :

Saxe (1840).			1215qm
Bohême (moyenne de 1830 à 1841). . .			623
Angleterre.	étain en larmes. . .	3000qm	40000
	étain commun. . .	37000	
Inde.	presqu'île de Malacca. .	2386qm	33762
	Banca et îles voisines. .	31376	
Production annuelle de l'étain.			75630qm

Le prix de l'étain varie de 250 à 300 et même 350 francs. P. DEBETTE.

ÉTAMAGE. L'étamage a pour but de recouvrir un métal facilement oxydable d'une couche d'un autre métal non oxydable. Ainsi l'on recouvre le fer d'une couche d'étain, de zinc, de plomb, pour le préserver de l'oxydation qu'il éprouve à l'air humide. Ainsi, encore, on recouvre les vases culinaires en cuivre d'une couche d'étain, afin d'éviter les dangers qui peuvent résulter de la formation des sels vénéneux de cuivre dans les différentes préparations où l'on emploie le vinaigre, où l'on fait cuire des herbages acides, etc.

Les procédés d'étamage ont, quant au but, une grande connexité avec ceux employés dans la dorure, l'argenture, et les autres dépôts métalliques, que nous avons décrits à l'article DORURE ; ils en diffèrent essentiellement, quant au principe de l'opération. Dans les procédés de dorure, pour fixer le métal précieux sur le métal commun, il faut employer un intermédiaire, parce que les deux métaux à juxtà-poser n'exercent point d'action l'un sur l'autre. Dans les procédés d'étamage, au contraire, les deux métaux à juxtà-poser étant susceptibles de donner des alliages, il suffit d'appliquer un métal sur l'autre, convenablement décapé, pour que la soudure s'effectue, pour qu'il y ait adhérence entre les deux surfaces en contact.

Nous allons considérer successivement l'étamage du cuivre ; celui de la tôle, qui donne le fer-blanc ; celui de la fonte, auquel nous ajouterons les procédés propres à émailler cette matière ; celui du fer, qui sera complété par la galvanisation ou zincage, et par le plombage de ce métal ; enfin l'étamage des glaces.

Auparavant nous devons nous occuper d'une opération essentielle qui précède toujours l'étamage ; nous voulons parler du décapage des surfaces métalliques destinées à être recouvertes de couches d'étain, de zinc ou de plomb.

Décapage. Toutes les parties de la surface qui ne seraient pas parfaitement décapées ne prendraient point l'étamage. Le décapage du cuivre se fait habituellement en saupoudrant de sel ammoniac la pièce chauffée, étendant et frottant au moyen d'une étoupe. L'oxyde dont la surface était revêtue se combine avec le sel ammoniac pour donner un sel double volatil que la chaleur enlève. Pour la tôle et le fer, on emploie aussi une dissolution d'un sixième d'acide hydrochlorique dans l'eau. M. Golfier-Besseyre conseille fortement l'usage du chlorure double de zinc et d'ammonique. Ce sel s'obtient facilement par la combinaison équivalent à équivalent de chlorure de zinc et de sel ammoniac ; il cristallise avec une grande facilité, tantôt en tables, tantôt en prismes, est très soluble dans l'eau, et se décompose par la chaleur en hydro-chlorate d'ammoniaque qui se sublime, et en chlorure de zinc qui se fond.

Ce composé est remarquable par la propriété qu'il possède de faciliter tellement l'étamage, qu'on peut très bien étamer du cuivre et du fer avec de l'étain, du plomb et du zinc ; du zinc avec de l'étain ou du plomb, et même de l'étain avec du plomb, et réciproquement. Il met si bien à nu les surfaces métalliques sur lesquelles on en fait l'application, qu'aussitôt le contact il se produit des alliages fusibles qui déterminent l'étamage ; c'est ainsi du moins que l'auteur s'explique la possibilité, par l'intermédiaire de ce sel, d'étamer une lame d'étain au moyen d'une lame de plomb, et réciproquement une lame du même plomb avec une lame du même étain.

Ce sel, dont la faible valeur permet un facile emploi, donne une si bonne qualité à l'étamage, que M. Besseyre a pu se servir, pendant plusieurs mois, d'une chaudière en tôle étamée avec du plomb seulement, pour faire cristalliser des liqueurs chargées d'acide sulfurique, sans qu'elle ait présenté aucune apparence d'altération.

C'est surtout la dissolution de ce sel qu'il convient d'employer lorsque l'on veut étamer, car il est essentiel pour le succès de l'opération que les surfaces à étamer soient uniformément et très complétement recouvertes d'une couche de ce composé, ce qu'il est à peu près impossible d'obtenir quand on l'emploie en poudre.

En thèse générale, M. Besseyre pense que l'action qu'exerce le chlorure double de zinc et d'ammoniaque sur les métaux, dont il facilite les soudures à l'étain ou l'étamage, s'explique par la plus grande affinité du zinc pour l'oxygène que pour le chlore, tandis qu'au contraire les autres métaux (même le fer) ont une affinité plus grande pour le chlore que pour l'oxygène.

ÉTAMAGE DU CUIVRE. La pièce étant décapée, il faut la recouvrir du métal préservateur. Pour cela, on promène l'étain en fusion sur la pièce chauffée, et on l'étale sur tous les joints avec de l'étoupe. Mais on n'obtient ainsi qu'une couche superficielle extrêmement mince d'étain, de telle sorte que ce métal étant bientôt emporté par le frottement, employé pour récurer les vases culinaires, on est dans la nécessité de renouveler souvent l'étamage.

Afin de faire cette opération à moindres frais, on emploie rarement l'étain pur ; pour la plupart des usages on se sert d'un alliage contenant du dixième au quart de son poids de plomb. Dans ces proportions, l'emploi du plomb n'est pas dangereux. Toutefois cet alliage n'est pas plus résistant que l'étain pur, et M. Biberel lui a substitué avec avantage un alliage de 6 parties d'étain et de 1 partie de fer, sous le nom d'étamage polychrône. Cet alliage a l'avantage incontestable de produire un étamage d'une bien plus grande durée que celui obtenu par les moyens ordinaires. On l'obtient facilement en fondant d'abord l'étain, y projetant des rognures de fer, et chauffant jusqu'au rouge.

On reproche à cet alliage, qui a le grain de l'acier, d'être peu malléable à froid, cassant à chaud, et plus difficile à appliquer que l'étain ou l'alliage d'étain et de plomb, d'exiger une plus haute température pour se fixer, d'adhérer en couche plus épaisse sur les vases de cuivre, et d'être d'une couleur moins brillante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MM. Richardson et Motte proposent de lui substituer un alliage composé:

Nickel.	0k,283
Rognures de fer.	0k,198
Étain.	4k,534

On fait fondre ensemble ces métaux avec un flux composé de 28 grammes de borax et 85 grammes de verre pilé. On obtient un étamage plus adhérent et plus blanc que le précédent.

ÉTAMAGE DE LA TÔLE. Le fer, exposé à l'air humide, a la propriété de se couvrir très-rapidement d'une couche d'oxyde qui augmente incessamment, de telle sorte que les pièces de fer peu épaisses ne tardent pas à se trouer. Aussi pour obvier à ce grave inconvénient, on fait adhérer à la surface de la TÔLE une couche d'étain, qui la change en *fer-blanc*, et l'on peut alors l'employer à une foule d'usages auxquels le fer ordinaire ne résisterait pas.

Pour fabriquer la tôle à fer-blanc, on se sert, en général, de fer préparé au charbon de bois; on lamine ce fer, suivant les dimensions qui dépendent de la puissance des machines, et on découpe ensuite la tôle à la cisaille, à cinq ou six dimensions en usage dans le commerce, et qui varient dans les divers pays. On en forme des caisses de 100, 200 et 225 feuilles.

Pour exécuter l'étamage, on commence par préparer le métal, par le décaper. Le décapage se fait au moyen de l'acide hydro-chlorique. Pour huit caisses de 225 feuilles chacune, on emploie 2 kilogrammes d'acide hydrochlorique, à 25° et 12 kilogrammes d'eau. On plie les feuilles en forme de Ω, et on les plonge l'une après l'autre dans l'acide, de manière que leurs deux surfaces soient bien mouillées par le liquide. Après cinq ou six minutes d'immersion, on passe dessous une barre de fer, et on les enlève trois par trois pour les porter dans le four à dessécher chauffé au rouge obscur. Lorsqu'elles ont atteint cette température, on les retire et on les laisse refroidir à l'air. Leur surface se découvre par la séparation d'écailles d'oxyde qui s'en détachent. Alors un ouvrier les redresse, en saisit huit à dix avec sa pince et les frappe avec force contre un bloc en fonte, afin que tout l'oxyde disparaisse. On les passe ensuite sous un laminoir à cylindres durs de 43 à 48 centimètres de diamètre.

Les feuilles sont alors parfaitement unies; mais leur surface présente encore çà et là des taches noires. Pour les faire disparaître, on lessive les feuilles, en les tenant plongées pendant dix ou douze heures dans une eau légèrement acidulée par du son ou de la recoupe qu'on y a fait macérer durant huit à douze jours et on les agite ensuite, pendant une heure, dans une autre eau renfermant quelques centièmes d'acide sulfurique, et contenue dans une caisse en plomb, divisée par compartiments dans chacun desquels se place une caisse de feuilles. Enfin, on retire rapidement les feuilles pour les placer dans de l'eau pure, où on les frotte avec de l'étoupe et du sable, et où on les conserve ensuite jusqu'au moment de s'en servir. On peut les garder ainsi autant de temps qu'on veut, parce qu'elles sont à l'abri du contact de l'air, et parce que le fer ne décompose pas l'eau à la température ordinaire.

Si, lorsque l'on veut pratiquer l'étamage, on plongeait immédiatement les feuilles dans l'étain fondu, il y aurait danger imminent d'explosion et de voir le métal fondu projeté hors du bain. D'un autre côté, quand on sèche les articles de fer qui sortent du décapage, les surfaces sont très-sujettes à être attaquées et altérées par l'oxygène de l'air, au point que l'adhérence et la solidité de l'enduit métallique sont gravement compromises. MM. Morewood et Rogers proposent de faire sécher les objets en fer dans une atmosphère de vapeur, de manière à exclure, autant qu'il est possible, la présence de l'air. Ils prétendent qu'on obtient ainsi des surfaces sèches infiniment plus aptes à recevoir la couche de métal au moment où on les plonge dans le bain, que quand on a recours aux autres moyens de dessiccation en usage jusqu'à présent.

Pour procéder à cette opération, on emploie une caisse fermée en fer, qui peut avoir 2 mètres de longueur, 0m,45 de largeur et 1 mètre de profondeur, dimensions qui varient du reste suivant celles des articles sur lesquels on se propose d'opérer. Quand ce sont des feuilles ou des plaques qu'il s'agit de traiter, on place trois râteliers de fer écartés à une distance de 0m,50 en travers de la caisse; ces râteliers portent des barres verticales distantes entre elles de 25 millimètres, entre lesquelles on place sur champ les feuilles ou plaques qui ne peuvent ainsi se toucher. Ces barres s'élèvent jusqu'au sommet de l'auge, mais ne descendent qu'à 15 centimètres du fond; elles sont aplaties, larges d'environ 36 millimètres, les bords tournés du côté des plaques pour s'opposer à toute espèce de contact entre elles. Si les articles ont toute autre forme que celle de feuilles, on se sert de râteliers sans barres verticales, ou, si on les emploie, on les met à une distance suffisante pour que les objets puissent être introduits entre elles. Au fond de cette caisse, on dépose du sel ammoniac sur une épaisseur de 7 à 8 centimètres, et dessous on allume du feu, de manière à chauffer le sel ammoniac et à le convertir en vapeurs qui remplissent la caisse et en chassent l'air atmosphérique.

Il est inutile de faire remarquer qu'on pourrait se servir de toute autre vapeur, pourvu qu'elle fût de nature à ne point affecter sérieusement le fer, et à chasser l'air en contact avec la surface des pièces qu'on veut dessécher; telles seraient celles que donnent le chlorure de zinc, et quelques autres sels; mais l'expérience a appris que le sel ammoniac était la meilleure substance qu'on pût employer pour cet objet.

Il est encore bon d'observer que, lorsqu'on a appliqué la chaleur, *il faut* bien avoir soin de n'élever la température qu'avec un certain degré de lenteur, afin de ne pas donner lieu à des pertes par une vaporisation trop rapide, puisqu'il ne s'agit simplement que de remplir la caisse de vapeur, et de chasser autant d'air atmosphérique qu'il est possible.

La préparation des feuilles de tôle étant suffisamment indiquée, nous devons nous occuper de celle de l'étain. On fait un premier bain de parties égales d'*étain en saumons*, provenant des minerais en roche, et d'*étain en grains*, provenant de minerais d'alluvion et qui est plus pur que l'autre; on ajoute au mélange 1 kilogr. de cuivre pour 70 kilogr. d'étain. Quand le métal est fondu, afin d'empêcher l'oxydation, on ajoute une quantité suffisante de suif ou de graisse, pour former sur le métal fluide une couche d'environ un décimètre d'épaisseur. La chaudière est chauffée au moyen d'un foyer placé au-dessous de son fond, et de conduits qui règnent autour de la surface extérieure; on porte la chaleur aussi loin qu'il est possible, sans enflammer la graisse qui couvre l'étain fondu.

A côté de cette première chaudière s'en trouve placée une autre, qui est remplie seulement avec de la graisse.

On commence par plonger les feuilles une à une dans la graisse, jusqu'à ce que la chaudière en soit entièrement remplie, et on les y laisse environ une heure. Les feuilles de fer sont mieux disposées alors à prendre l'étain. Au sortir de ce premier bain, on les plonge dans la chaudière à l'étain, avec la graisse adhérente à leur surface, et on a soin de les ranger dans une position verticale. On met ordinairement dans cette chaudière 340 feuilles, et on les y laisse au moins une heure et demie pour qu'elles soient bien étamées. Si on retirait les feuilles de tôle au bout d'un temps moins long, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'aurait qu'un fort mauvais étamage, parce que la surface du fer ne serait qu'à peine attaquée; il faut qu'il puisse se faire à l'endroit du contact des deux métaux un véritable alliage de fer et d'étain. Dans tous les bons fer-blancs cet alliage existe; on en a la preuve en exposant une feuille de fer-blanc à l'action de l'acide chlorhydrique étendu d'eau. L'étain étant dissous laisse la feuille de fer couverte d'un grand nombre de cavités, ce qui n'aurait pu avoir lieu si l'étain n'avait pas pénétré dans le fer, car les feuilles avaient été laminées, et avant l'opération de l'étamage elles présentaient une surface parfaitement unie.

En retirant les feuilles du bain d'étain, on les laisse s'égoutter sur une grille de fer; l'excès de ce métal se rassemble surtout à la partie inférieure des feuilles. En plusieurs points de leur surface elles retiennent aussi plus d'étain qu'il ne faut, et, en outre, de l'oxyde et beaucoup de crasse. Pour les nettoyer et enlever cet étain en excès, on procède au *lavage*. Le principe de cette opération consiste tout simplement à fondre, par l'application d'une chaleur brusque, le métal excédant et à le happer par des bains d'étain et de graisse, qui sont eux-mêmes la source de la chaleur.

Le laveur remplit presque entièrement une chaudière de fer avec le meilleur *étain en grains* fondu; une seconde chaudière contient du suif en fusion pur ou du lard exempt de sel; une troisième chaudière, non chauffée, ne renferme autre chose qu'un grillage à son fond pour recevoir les feuilles; et une quatrième, nommée chaudière à lisser, contient une couche d'étain fondu de l'épaisseur d'un centimètre seulement. Nous n'avons pas compté une première chaudière, qui n'a pas d'autre but que d'entretenir de l'étain à l'état de fusion, afin d'en avoir toujours de disponible et de pouvoir en mettre au besoin dans les chaudières suivantes, qui doivent en contenir plus ou moins.

Le travail s'effectue de la droite à la gauche, dans le bâtiment qui renferme l'appareil du lavage.

La chaudière à laver est divisée en deux compartiments par une cloison mobile. L'ouvrier enlève la cloison, et lorsque l'oxyde d'étain s'est rassemblé à la surface, il le pousse avec un ringard vers une extrémité et remet la cloison, afin que l'oxyde ne rentre pas dans l'autre compartiment où l'on donne la dernière immersion aux feuilles. L'oxyde et les crasses provenant du premier bain où l'on emploie de l'étain commun, se détachent des feuilles et remontent, au fur et à mesure de l'opération, à la surface du bain. L'ouvrier laveur s'en débarrasse en soulevant la cloison, et les refoulant refluer dans le premier compartiment. Quand on a lavé un certain nombre de caisses de feuilles, on enlève les crasses, en écumant le bain, et remplaçant le déchet par l'étain parfaitement pur de la chaudière dont nous avons parlé en dernier lieu, et qui est destinée à cet objet. Dans le lavage on ne doit jamais se servir que de l'étain en grains. Tout l'étain commun qui est consommé dans cette fabrication est employé dans l'étamage proprement dit.

Le laveur retire un petit nombre de feuilles de la chaudière à laver, les place devant lui sur le fourneau, prend une feuille avec des tenailles qu'il tient de la main gauche, et avec une brosse de chanvre disposée pour cet objet, et qu'il tient de la main droite, il frotte un côté de la feuille. Il la retourne aussitôt, frotte l'autre, la plonge rapidement une seconde fois dans la chaudière à laver, pour faire disparaître les marques de la brosse, et la retire pour la plonger dans la chaudière à la graisse. L'étain superflu qui adhère à quelques parties de la surface, et qui y forme quelques ondulations, est enlevé par cette immersion, qui ne doit pas durer trop longtemps pour que trop d'étain ne se détache pas des feuilles, ce qui exigerait une troisième immersion dans le bain d'étain.

Au sortir de la chaudière à la graisse les feuilles sont placées dans le vase vide où elles se refroidissent. Il se forme alors sur le bord inférieur un bourrelet d'étain qu'on enlève au moyen de la dernière chaudière, nommée chaudière à lisser, et qui, comme nous l'avons dit, ne contient qu'une très petite quantité d'étain. On y place les feuilles, suffisamment refroidies, une à une sur leur bord inférieur; le bourrelet d'étain fond; l'ouvrier retire alors la feuille, et lui donne un coup vif avec une baguette; cette percussion fait tomber tout le métal excédant.

Pour que l'étamage soit bon, il est nécessaire qu'aucun point de la surface du fer ne soit libre; car, dans le cas contraire, la feuille s'oxyde bien plus facilement que si elle n'avait pas été étamée, lorsqu'elle vient à être mouillée par de l'eau, ou seulement lorsqu'elle se trouve dans de l'air humide. Le contact des deux métaux donne alors, en effet, naissance à un courant voltaïque qui hâte l'altération du fer. On dit que le fer-blanc qui présente quelques points non recouverts est *piqué*; on corrige ce défaut très grave, lors même que les points ne sont pas plus grands que des pointes d'épingles, par un battage qui ramène la couche d'étain voisine sur le point non suffisamment étamé.

C'est pour la même raison que le fer-blanc n'a aucune durée lorsqu'il a été coupé, et qu'on n'a pas passé de l'étain fondu sur tous les bords découpés pour les recouvrir. L'oxydation commence alors aux bords et s'étend avec une grande rapidité à toute la surface.

Dans toute la série des nombreuses opérations que nous venons de décrire, il y a une très grande quantité de déchets d'où il faut revivier l'étain; on le fait par la *liquation* et par le *raffinage*.

La quantité d'étain qui adhère au fer est proportionnelle à la surface, quel que soit d'ailleurs le poids des lames; une caisse de 225 feuilles de 35 centimètres sur 27 exige de 5k,500 à 6 kilogr. Cela fait de 130 à 140 grammes d'étain par mètre carré de surface à recouvrir.

Le fer-blanc obtenu par les procédés précédents est connu sous le nom de fer-blanc *brillant doux*. On connaît aussi dans le commerce un fer blanc sous le nom de *terne doux;* il se fabrique par les mêmes procédés que le premier, en employant un alliage de 2 parties de plomb contre 1 partie d'étain.

En se combinant avec le fer, l'étain détermine une cristallisation à grandes lames qui est dissimulée par une très légère pellicule d'étain qui recouvre la feuille de fer-blanc. Au moyen d'une eau acidulée par l'acide nitrique, l'acide hydro-chlorique, ou un mélange de ces acides, on dissout la pellicule, et la cristallisation reparaît avec l'apparence d'un beau *moiré métallique*. Proust est le premier qui ait remarqué ce phénomène; ses expériences lui ont démontré que c'est l'étain le plus pur qui fournit les cristallisations les plus nettes. Les essais nombreux de M. Robiquet ont confirmé ce résultat. Le fer-blanc destiné à donner du moiré doit donc être fait avec de l'étain très pur; et de plus, afin que les cristaux soient assez volumineux, il faut que ce fer-blanc soit recouvert de couches d'étain plus épaisses que le fer-blanc ordinaire.

La fabrication du moiré métallique, rendue industrielle par M. Alard, a eu un moment une très-grande importance; mais la vogue de ce produit est passée aujourd'hui. Toutefois, comme il est certain que le moiré reviendra un jour à la mode, ainsi qu'il arrive à la plupart des produits industriels, nous pensons devoir indiquer sommairement les détails de sa fabrication.

On commence par frotter la feuille de fer-blanc avec un morceau d'étoffe de laine, pour déterminer quelle est la surface qui se moire le mieux, car l'une des faces de la feuille présente toujours une cristallisation plus belle que l'autre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour donner le moiré, on suspend horizontalement la feuille au-dessus d'un fourneau jusqu'à ce que l'étain s'échauffant prenne une teinte jaune. On procède alors à une espèce de dégraissage avec une eau formée de 2 parties d'eau et de 1 p. d'acide sulfurique; on lave avec de l'eau pure qu'on fait couler dessus, on laisse égoutter, et on applique ensuite l'acide. Cette application se fait, soit avec une éponge, soit avec une espèce de brosse formée d'un morceau d'étoffe de laine tendu sur une planche. L'acide peut avoir une composition très variable. Les fabricants de moiré employaient l'une ou l'autre des compositions suivantes :

1° 8	part. d'eau,	4	de sel marin,	2	d'acide nitrique ;	
2° 8	—	2	d'acide nitr.	3	—	hydro-chlorique;
3° 8	—	1	— sulf.	2	—	—
4° 4	—	2	— nitr.	2	—	—
5° 3	—	2	—	1	—	—
6° 3	—	1	—	2	—	—
7° 8	—	4	— sulf.	0,1	—	nitr.

Nous ne pensons pas qu'une de ces liqueurs mérite une préférence marquée sur une autre.

Quoi qu'il en soit, après le passage de l'acide, les cristaux présentent des lames fibreuses très larges, et très étendues, dont l'aspect est trop uniforme. On change cet aspect par des moyens qui peuvent varier à l'infini, mais qui ont tous pour principe le changement du moiré à grandes lames en un moiré à petites lames.

Moiré granuleux. La feuille de fer-blanc étant chauffée au point de mettre l'étain presque en fusion, on la saupoudre de sel ammoniac pour détruire l'oxyde formé, et on la plonge brusquement et obliquement dans l'eau froide.

Moiré satiné. La feuille étant chauffée comme précédemment, on plonge verticalement dans l'eau froide, par saccades qui varient de profondeur selon la largeur des apparences qu'on veut obtenir.

Moiré étoilé. Sur la feuille chauffée, on projette avec un balai de petites gouttes d'eau. Chacune d'elles, en s'évaporant, refroidit un point de la feuille et détermine un centre de cristallisation. Les cristaux offrent souvent alors l'aspect des nodules de malachite polie.

Dessins divers. En passant sur la surface de la feuille de fer-blanc, avant de la soumettre à l'action de l'eau acidulée, la pointe d'un petit cône de fer rougi qui ne fasse que l'effleurer, on peut tracer tels dessins qu'on veut, et qui, en vertu de la différence de cristallisation produite aux endroits touchés, apparaissent nettement lorsque l'acide a agi.

Dans tous les cas, quel que soit l'effet qu'on veut obtenir, il faut avoir soin de ne point trop prolonger l'action de l'acide qui mettrait en certains points la tôle à nu, et ensuite il faut de toute nécessité, pour préserver la surface moirée de toute oxydation ultérieure qui en détruirait l'éclat, la recouvrir d'une couche de vernis blanc ou coloré, que l'on a soin de poncer ordinairement pour le rendre plus mince, et pour que la lumière puisse continuer à se jouer sur les faces des cristaux. Le vernis au copal est celui qu'on emploie le plus ordinairement.

ÉTAMAGE AU PLOMB. Dans certaines circonstances on peut, dans l'étamage du fer, remplacer l'étain par le plomb; on obtient alors le *fer plombé*. Ainsi, on sait que les couvertures en zinc ont de graves inconvénients à cause de leur peu de sonorité et de leur prix élevé; on sait aussi que les couvertures en plomb résistent mieux que celles en zinc, mais qu'elles sont encore plus coûteuses et chargent trop les bâtiments. On a eu l'idée dans l'importante fabrique de fer-blanc de Montataire (Oise), de fabriquer de la tôle de fer étamée au plomb pour cet usage; et tous les essais qu'on a faits ont complétement réussi. Le meilleur décapage que dans cette circonstance on puisse employer pour la tôle, est celui de M. Golfier-Bessoyre que nous avons indiqué plus haut, et qui se pratique au moyen du chlorure double de zinc et d'ammoniaque.

Voici le procédé donné par MM. Morewood et Rogers, pour la fabrication de la tôle étamée avec du plomb ou tout autre alliage convenable dans lequel le plomb domine.

Disons d'abord qu'il ne s'agit ici que d'un alliage de plomb et d'étain, dans lequel l'étain n'entre que dans le rapport de 15 p. 100, et que nous n'ignorons pas qu'on a déjà enduit le fer de plomb combiné à l'étain, mais que dans ce cas ce dernier métal entrait dans l'alliage pour une portion très considérable. Quoi qu'il en soit, c'est un fait avéré que le plomb seul ou le plomb légèrement allié d'étain ne saurait être employé avantageusement pour enduire la tôle, lorsqu'on se sert d'huile ou de suif pour couvrir le bain, attendu que la température de fusion du plomb seul ou du plomb légèrement allié d'étain décompose rapidement ces matières grasses.

Il faut donc chercher un autre flux ou matière préservatrice, et on le rencontre dans le sel ammoniac ou le chlorure de zinc, sans mélange aucun de matières grasses, qu'on applique sur le bain contenant le métal ou l'alliage en fusion, qui consiste principalement en plomb, ou si c'est du plomb et de l'étain qui ne renferme pas plus de 15 p. 100 de ce dernier métal.

Il est préférable d'employer un mélange des deux sels dans la proportion de trois parties de sel ammoniac contre deux parties de chlorure de zinc sans matières grasses, ou bien celui d'une partie de sel ammoniac toujours avec ou sans introduction d'une partie d'huile ou de suif.

Les feuilles de tôle sont plongées dans le bain à la manière ordinaire. Seulement lorsqu'on applique le flux préservateur sur le bain, on introduit les sels séparément et on n'en opère le mélange qu'à la surface de ce bain.

On parvient ainsi à plomber les tôles ou bien à les recouvrir d'un enduit consistant principalement en plomb et dans lequel l'étain n'entre pas pour plus de 10 p. 100, en donnant toutefois la préférence au plomb sans alliage, pour l'appliquer sur le fer qui a reçu préalablement une couche de quelque autre métal, tel que l'étain, puis une couche de zinc ou d'un alliage de zinc, cas dans lequel on procède ainsi qu'il suit.

Le plomb étant fondu dans un vase en fer de dimensions convenables, on couvre sa surface avec le flux préservateur, tel par exemple que celui composé de deux parties de chlorure de zinc et environ une partie d'huile ou de suif avec ou sans une petite dose de sel ammoniac, et qui réussit très bien. Cela fait, on plonge les objets qu'il s'agit d'enduire dans le métal en fusion jusqu'à ce que leur surface ait acquis la même température que celle du bain; en cet état on les enlève avec lenteur de ce bain et peu après on les plonge dans l'eau. Enfin on les frotte avec une brosse ou de la sciure de bois pour enlever le flux qui peut adhérer à leur surface et pour les sécher. La température du bain ne doit pas s'élever beaucoup au-dessus du point de fusion du plomb; autrement, le zinc serait disposé à s'enlever à la surface de l'article qu'on veut enduire de plomb. La meilleure méthode pour s'assurer que le plomb est à la température convenable, consiste à prendre un petit barreau de zinc allié de 5 p. 100 d'étain et à l'introduire dans le bain; s'il fond avec rapidité, le bain est trop chaud; s'il ne fond pas, le bain est à peu près à la température convenable.

Il faut avoir soin que les articles ne restent pas dans le bain au-delà du temps nécessaire pour se charger d'une couche suffisamment épaisse de plomb.

Lorsqu'on veut donner de la dureté à cet enduit de plomb, on peut l'allier avec une petite quantité d'antimoine, mais cette addition augmente les frais.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉTAMAGE AU ZINC. On étame le fer avec le zinc comme avec l'étain, en plongeant le fer réduit en feuilles et bien décapé par l'un des procédés que nous avons donnés, dans du zinc fondu, et le retirant très-peu de temps après. Il y a pénétration du fer par le zinc, et cette pénétration est telle que l'alliage formé fondrait si l'immersion durait un temps assez long. Le produit obtenu présente un avantage réel pour certains usages et est préférable au fer-blanc ordinaire. Les deux métaux, fer et zinc, sont susceptibles d'être altérés par l'eau ; mais une action galvanique est produite, et le fer, négatif par rapport au zinc, est alors moins oxydable que ce métal. Le zinc s'oxyde donc dans l'eau et protége le fer ; mais, en outre, il donne un oxyde qui fait vernis, tandis que l'oxyde de fer tombe ; ce vernis empêche l'oxydation de continuer. Les avantages du fer zingué, qu'on a appelé FER GALVANISÉ, sont bien reconnus aujourd'hui, et par exemple, dans la marine, on emploie avec succès les clous galvanisés. La découverte de ce produit date de 1742, mais elle était restée dans l'oubli, et ce n'est que dans ces dernières années, que M. Sorel, par des expériences suffisamment décisives, a démontré toute son importance. Nous rendrons donc toute justice à M. Sorel, car il a rendu un immense service à l'industrie en faisant voir expérimentalement que le zinc préservait le fer, tandis que Malouin, le premier inventeur du fer galvanisé, n'avait point constaté l'excellence du produit dont il a indiqué la préparation. Les moyens de préparation du fer galvanisé imaginés par M. Sorel ont été l'objet d'un brevet d'invention qui lui a valu de justes bénéfices. Son procédé est celui rapporté dans l'extrait suivant du mémoire de Malouin (Mémoires annexés à l'histoire de l'Académie des sciences, 1742, page 110). « L'analogie que j'apercevais entre le zinc et l'étain, dit Malouin, me conduisait à chercher les moyens de blanchir superficiellement le cuivre par une couche de zinc, comme on l'étame ordinairement; la même chose m'encourageait aussi à tâcher de faire du fer-blanc avec le zinc comme on le fait avec l'étain : je souhaitais d'autant plus y réussir, que j'imaginais que le zinc donnerait un blanchiment plus parfait que ne le donne l'étain, parce que le zinc étant beaucoup plus dur, doit être beaucoup plus difficile à user; d'ailleurs le zinc se fondant bien plus difficilement que ne fait l'étain, le blanchiment des vaisseaux fait avec le zinc résisterait bien plus au feu que ne fait leur blanchiment fait avec l'étain; enfin, l'étain a la mauvaise qualité de noircir les doigts et le linge lorsqu'on l'essuie, ce que ne fait pas le zinc, l'étain a aussi une odeur qui n'est pas agréable, le zinc n'a point d'odeur du tout. Invité par les apparences de ces avantages du zinc sur l'étain, je m'animai à chercher les moyens de faire le blanchiment du fer et du cuivre avec le zinc, comme on le fait avec l'étain, et j'y ai réussi. Le Mémoire que M. Réaumur donna en 1725, sur les principes de l'art de faire du fer-blanc, m'a servi de guide dans les différents essais que j'ai été obligé de faire avant que de trouver le secret de faire le fer-blanc avec le zinc au lieu de l'étain : le moyen qui m'a le mieux réussi pour cela a été celui du sel ammoniac. Il faut avant toutes choses rendre son fer bien net, ensuite le tremper dans la dissolution de sel ammoniac, et le plonger dans du zinc fondu, d'où on le retire aussitôt : on a par ce moyen un fer-blanc dont le blanchiment paraît tenir au fer encore plus fort que n'y tient celui qu'on fait avec l'étain.

« Ayant vu que le blanchiment du fer pouvait se faire avec le zinc comme avec l'étain, j'espérai que je pourrais aussi faire celui du cuivre par le même moyen; j'ai fait les mêmes essais pour blanchir le cuivre avec le zinc, que j'avais faits pour blanchir le fer; j'ai trouvé que le zinc s'attache au cuivre comme au fer, et qu'il s'y attache pour le moins aussi bien que le fait l'étain. Il faut, après avoir décapé le cuivre avec de l'eau-forte, employer le sel ammoniac comme on l'emploie pour le fer avant que de le mettre dans le zinc fondu.

« Après m'être ainsi assuré que le zinc s'attache aussi bien au cuivre que le fait l'étain, je ne doutai pas qu'on ne pût blanchir la surface intérieure des vaisseaux de cuivre avec le zinc, aussi aisément qu'on les étame ordinairement ; mais je me trompais en cela, parce que, lorsqu'il s'agit de blanchir des vaisseaux en dedans, la préparation de ces vaisseaux, soit de cuivre, soit de fer, ne suffit pas; il faut, outre cela, y étendre également et y conduire avec la main l'étain ou le zinc fondu, ce qui est plus difficile que d'y plonger seulement une feuille ou de fer ou de cuivre.

« Les ouvriers en étamage ne peuvent se persuader qu'il soit possible d'employer pour leur ouvrage d'autre métal que l'étain, et ceux que j'ai engagés à employer du zinc au lieu d'étain n'ont jamais voulu prendre dans leur travail avec le zinc des précautions différentes de celles qu'ils prennent lorsqu'ils étament à l'ordinaire : cela m'obligea d'essayer moi-même....

« Les obstacles que je trouvais à surmonter dans cette opération venaient de ce que le zinc ne s'étend point qu'il ne soit bien fondu et qu'il ne soit entretenu bien chaud; c'est pourquoi il fallait que je fisse bien chauffer le vaisseau de cuivre que je voulais blanchir. Mais après avoir versé le zinc bien fondu dans un vaisseau qui était bien chaud sur un feu de charbon, lorsque je venais à étendre le zinc avec la main, le feu prenait à l'étoupe par la résine qui s'enflammait, et cela en rendait l'opération impraticable..... Mais dans une seconde opération, n'ayant point mis de résine à l'étoupe, le feu n'y prit point; or, il ne faut point de résine à l'étoupe, quand on a soin d'employer du sel ammoniac dans le décapage. »

Nous n'avons besoin de rien ajouter à la description de Malouin ; la résistance inerte contre l'emploi du zinc, qui est venue de la part des ouvriers ne voulant point renoncer à leurs méthodes habituelles, est un fait qui se présente trop souvent pour qu'on ne comprenne pas comment il fallut un siècle pour que son invention fût appliquée. D'ailleurs Malouin avait mal expliqué son procédé, n'ayant pas compris et fait apprécier la supériorité du zinc sur l'étain, pour préserver le fer de l'oxydation, la vraie cause du succès du fer galvanisé.

Le zinc dont on fait usage doit être parfaitement pur, et si on le fait fondre dans des creusets de terre, ces creusets doivent être, surtout si les objets ne sont pas d'un grand volume, renfermés dans d'autres creusets de fer ou de fonte, en remplissant l'intervalle compris entre les deux creusets avec du sable fin ou du plomb. Quand on emploie directement des creusets de fer ou de fonte, il se forme un alliage de fer et de zinc qui perfore les creusets en peu de jours et les met hors de service. Pour obvier à cet inconvénient, on met du plomb au fond du creuset, on munit le creuset d'un anneau de fer qui descend jusqu'au bain de plomb et on remplit avec de l'argile le vide cylindrique qui existe entre l'anneau et le creuset. Le zinc ne se combine pas avec le plomb et surnage; il n'attaque que l'anneau de fer qu'on remplace quand il est hors de service.

On chauffe les creusets avec du coke ou du charbon de bois.

On préserve le bain de zinc de l'oxydation en le couvrant d'une couche de sel ammoniac, ou bien d'un flux formé de résine ou de carbonate de soude.

Quand ce sont de gros objets que l'on veut zinguer on doit les chauffer d'abord dans un four à réverbère ou autre, après qu'ils ont été décapés à l'acide et récurés. Les vis ou autres objets auxquels on ne veut pas que le zinc prenne, sont recouverts d'une légère couche d'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gile, et quand il y a des cavités ou des trous, on les bouche avec des chevilles ou des pièces de bois.

Pour effectuer le zincage des clous et autres articles du même genre, on les place d'abord dans un panier en fil de fer, ou dans un vaisseau de forme quelconque percé de trous. Le panier ou vaisseau est alors plongé dans le zinc liquéfié et le bain de métal couvert avec une couche de sel ammoniac. Le panier étant enlevé du bain est secoué avec soin afin de détacher des objets le zinc en excès. On peut aussi, dans le même but, jeter ces objets dans un cylindre percé de trous tournant sur son axe et qui a été chauffé à un degré de chaleur suffisant pour empêcher toute quantité superflue de zinc d'adhérer dans les trous ou cavités. Tous les objets sont d'ailleurs jetés dans l'eau, à un moment opportun que l'habitude fait connaître, afin que par un refroidissement subit le reste du zinc excédant s'en détache.

Pour finir les objets assez considérables, on fait disparaître par la lime ou par le grattoir toutes les inégalités qui se trouvent dans la surface. Ensuite on donne le poli par de la pierre-ponce ou du grès, en terminant par du cuir ou du liège.

Enfin, on achève de rendre la couche de zinc complétement préservatrice en recurant les surfaces zingnées avec du sablon humide, puis en les humectant avec un chiffon trempé dans une solution de sel ammoniac, ce qui engendre, à ce qu'il paraît, un vernis très solide.

On préserve aussi les surfaces de fer par un enduit formé de zinc en poudre et d'une substance onctueuse, et que l'on appelle PEINTURE GALVANIQUE. Pour préparer la poudre de zinc, on place ce métal dans un fourneau à réverbère; on lute avec soin toutes les ouvertures qui pourraient donner passage à l'air, et on porte peu à peu le zinc fondu jusqu'à une température voisine du rouge. Alors on ouvre la porte de travail du fourneau, on écume le bain de zinc et on y jette le dixième de son poids de limaille de fer forgé humecté avec de l'acide hydro-chlorique, auquel on a ajouté un peu de sel ammoniac; on a soin d'agiter pendant tout le temps. Après l'introduction de la limaille, la surface du zinc est recouverte avec du charbon en poudre fine, et la température portée au rouge-cerise ou à peu près. On maintient le zinc à cette température durant une heure environ en l'agitant de temps à autre avec un ringard. On verse ensuite le métal dans une auge en brique, en terre ou en fonte, et on le préserve du contact de l'air avec un couvercle de fonte. On l'agite au moyen d'une spatule en fer qui passe par une ouverture percée dans le couvercle, jusqu'à ce que, par le refroidissement, il devienne assez solide pour ne plus être remué. Il peut alors être réduit en poudre, ce à quoi l'on voulait arriver en en faisant un alliage avec du fer.

On prépare une très bonne peinture avec cette poudre en la mélangeant avec l'huile obtenue par la distillation du goudron de gaz à laquelle on ajoute un tiers d'essence de térébenthine. Quand on emploie l'huile ordinaire de la peinture, on ajoute un peu de céruse pour donner de la consistance au mélange. Les proportions dépendent des substances avec lesquelles la poudre de zinc est mélangée, ainsi que de l'usage auquel la peinture est destinée.

On fait aussi avec la même poudre de zinc une pâte qui peut être employée à préserver les objets en cuivre, acier, fer limé ou poli, qu'on en frotte tout simplement. Cette pâte se compose de cire fondue à laquelle on ajoute dix fois son poids de zinc en poudre et environ un 50e de suif ou d'huile.

ÉTAMAGE DE LA FONTE. L'étain pur s'applique difficilement sur la fonte, et n'adhère pas assez sur le métal pour donner un étamage solide et durable. M. Budi a découvert un alliage qui non seulement adhère avec force à la fonte, sans qu'il soit nécessaire de tourner celle-ci, et après l'avoir seulement récurée avec du sable, mais qui de plus est plus fusible, plus dur et plus blanc que l'étain.

La fonte étamée s'introduira de cette manière dans une foule de ménages, et pour des opérations où on l'avait repoussée jusqu'à présent; mais, il y a plus, l'alliage de M. Budi pourrait être aussi employé au lieu d'étain pur, à cause de sa dureté et de sa blancheur, dans l'étamage du cuivre, parce que cet étamage serait plus solide et plus beau que l'étamage ordinaire sans coûter davantage.

Il se rapproche du reste beaucoup de l'étamage polychrône dont nous avons parlé plus haut.

Quoi qu'il en soit, l'alliage pour la fonte se compose, sur 100 parties, de :

Etain.	89
Nickel.	6
Fer.	5
	100

Cet alliage se dissout complétement dans l'acide hydro-chlorique.

MM. Morewood et Rogers, qui se sont beaucoup occupés de l'art d'enduire et recouvrir le fer avec d'autres métaux, et que nous avons déjà cités, ayant entrepris de recouvrir la fonte avec des métaux ou des alliages, ont fait une remarque qui peut avoir de l'importance : c'est que, quand on coule la fonte dans des moules en métal, l'objet que l'on produit peut être revêtu, avec un autre métal, d'une manière plus satisfaisante qu'il n'est possible de le faire lorsque les objets à enduire ont été coulés à la manière ordinaire.

Au lieu d'étamer la fonte, il est assez avantageux de l'ÉMAILLER. Cette fabrication a été essayée en France; mais la mode n'a pas encore voulu des produits qu'elle a donnés. Il n'en est pas de même en Allemagne, où plusieurs usines fabriquent une assez grande quantité de fonte émaillée, qui donne des vases et ustensiles d'un usage précieux pour la cuisine.

Les objets doivent être coulés en fonte douce, homogène et non poreuse, et ne présenter ni pailles, ni crevasses, ni soufflures; la fonte grise à grains fins convient assez. Les pièces ayant été choisies doivent être débarrassées avec du grès ou à la lime, de tous les corps étrangers, tels que sable, argile, scories, charbon, qui peuvent y adhérer mécaniquement. Quand on soupçonne que leur surface a pu être imprégnée de quelque matière grasse, on doit les soumettre préalablement à la chaleur du rouge naissant; mais le plus ordinairement cette opération n'est point nécessaire.

On procède ensuite au décapage, qui se fait en remplissant les vases avec de l'acide acétique provenant de la fermentation du vin ou de la distillation du bois, ou bien avec la liqueur acide provenant de la fermentation de grain moulu. L'atelier du décapage doit être entretenu à une température de 25 degrés, et on détache plusieurs fois la couche d'oxyde qui se forme sur la surface des vases, afin que l'action soit plus rapide. Il faut environ 12 heures pour que le décapage soit parfait.

Après le décapage on procède au recurage; on plonge les objets dans l'eau tiède, et on frotte les surfaces à émailler avec de la chaux maigre en poudre; on lave ensuite à l'eau froide, et on sèche rapidement dans la moufle d'un fourneau, au sortir duquel on les laisse refroidir jusqu'à environ 80 degrés, et à ce moment on les recouvre d'émail.

Cet émail se compose de *couverte* et de *vernis*. La couverte s'obtient de la manière suivante : on broie et on mélange intimement, au moyen d'une grosse molette, 5 parties en poids de silice pure très blanche et très fine, obtenue par la réduction en poudre de roches quarzeuses ou de cailloux de rivière blancs, avec 8 parties de borax pulvérisé. On met le mélange dans un creuset réfractaire, qu'on introduit dans un fourneau à moufle susceptible d'être porté à une température rouge. Quand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le borax est fondu dans son eau de cristallisation, et que toute l'eau s'est évaporée, on coule la masse dans un plat, et on prépare une nouvelle quantité de ce flux. On le pulvérise finement, on en remplit les 5/6 d'un creuset, et cette fois on le maintient durant 1 heure à une bonne température rouge. On laisse refroidir le creuset, on le casse, on nettoie la masse intérieure des fragments de creuset qui peuvent y adhérer, on la chauffe dans une capsule au rouge brun, et on la plonge brusquement dans l'eau froide. Elle devient très-friable, et on la réduit en poudre fine. Cette poudre est alors mélangée avec le quart de son poids d'argile blanche, à laquelle on ajoute quelquefois la moitié de son poids d'oxyde d'étain. Cette argile et l'oxyde d'étain doivent donner l'opacité à l'émail.

Le *vernis* consiste en un verre formé de 6 parties de silice, 3 de borax et 2 de soude, la soude et le borax ayant été calcinés. Le verre étant formé par les moyens ordinaires, on le réduit en poudre.

Quand on veut appliquer l'émail, on forme une pâte de la couverte dans de l'eau purgée d'air par l'ébullition, et qui est à la température de 40 degrés environ, de manière à obtenir la consistance d'un sirop de sucre ordinaire. 3 kilogr. de couverte en poudre, délayés dans un vase de 4 à 5 litres de capacité, suffisent pour émailler 50 pots ou casseroles de 1 1/2 à 2 litres de capacité. Dans un de ces pots on verse 15 à 16 centilitres de la bouillie, entretenue à une température constante et toujours remuée. Avec un pinceau on étend vivement cette bouillie sur la surface à émailler, qui est à la température de 75 degrés. Quand la pièce s'est refroidie jusqu'à 30 degrés, on fait tomber la matière excedante. Il doit être resté sur tous les points de la paroi une couche qui varie de 1 1/2 à 2 1/2 millim. d'épaisseur, et qu'on a rendue uniforme par quelques secousses convenables imprimées au vase. On essuie avec une bande de cuir le bord interne de la pièce, sur une hauteur de 3 millimètres environ, afin que l'émail ne s'étende pas sur le bord intérieur, et on répand ensuite le vernis, réduit en poudre fine, en le tamisant à travers un sac de batiste fine, qu'on tient à environ 10 centimètres au-dessus de la surface. Toutes les parties enduites de la couverte retiennent une couche d'environ 2 millimètres d'épaisseur.

Avant de procéder à la cuisson de l'émail, on laisse les pièces sécher dans un endroit chauffé, et on les porte peu à peu jusqu'à la température de 100 degrés. On les range ensuite dans une moufle en fonte fermée par une plaque de tôle, et qui doit être placée dans un fourneau qui lui a déjà donné la température de la fusion du laiton. On chauffe jusqu'au rouge, afin de mettre l'émail en fusion. On laisse alors refroidir lentement pour que la couche d'émail ne se fendille pas. Quand la température est arrivée à environ 100 degrés, on revêt extérieurement le vase d'une couche de vernis noir.

ÉTAMAGE DES GLACES. C'est au moyen d'un amalgame d'étain qu'on étame ordinairement les glaces, afin que la quantité de lumière qui les traverse ne soit pas perdue pour la réflexion.

La lame de verre, lorsqu'elle sort de la verrerie, est rugueuse à la surface; on commence donc par la polir. Le polissage s'effectue d'abord avec du grès grossier, ensuite par de l'émeri ou corindon, et on finit par frotter avec du colcothar. La lame doit être usée de telle sorte que ses deux faces soient parallèles, autant que possible. Ce premier travail s'est effectué en plaçant la glace sur une plaque métallique.

Cette opération faite, on prend une feuille d'étain de la dimension de la glace; elle est obtenue par le battage. Elle doit être d'une seule pièce afin qu'il ne se produise aucune raie dans la glace. On a une table de marbre parfaitement dressée, entourée d'un cadre en bois et garnie de rigoles et deux trous, et mobile sur un genou pour recevoir l'inclinaison nécessaire. Quand on a mis cette table dans une position parfaitement horizontale, on y étend la feuille d'étain au moyen d'une patte de lièvre. On la dégraisse ensuite au moyen d'un peu de mercure qu'on promène avec la même patte sur toute la surface. On verse ensuite une couche de mercure dont l'épaisseur varie de 4 à 6 millimètres.

Les opérations préliminaires exécutées, on place la lame de verre à l'extrémité de la feuille d'étain, de manière que ses bords poussent devant eux le mercure en excès qui s'écoule par les rigoles pratiquées dans la table. La glace, en se transportant parallèlement à elle-même, a chassé une grande partie du mercure sans laisser aucun vide entre elle et la lame d'étain, et toutes les impuretés du mercure qui se trouvent à la surface sont ainsi expulsées.

La glace presse déjà par son poids sur l'amalgame formé; on ajoute en outre des blocs de plâtre qui exercent une pression plus forte, et on penche un peu la table, pour que son inclinaison facilite l'écoulement du mercure. Au bout de quinze ou vingt jours la lame d'étain a pris tout le mercure qu'elle pouvait prendre; le mercure en excès a disparu, et a formé un amalgame à proportions définies contenant 4 parties d'étain pour 1 de mercure.

Lorsque quelques irrégularités se manifestent dans la glace tout l'ouvrage est à recommencer, c'est-à-dire qu'on ne peut pas le corriger; mais l'étamage peut être enlevé facilement, et on en retire sans peine et l'étain d'une part, et le mercure d'autre part, par la volatilisation.

L'humidité étant une des grandes causes d'altération du tain des glaces, on a cherché à parer à ces inconvénients en recouvrant le tain d'une couche de VERNIS, qui doit être assez élastique pour ne pas se fendiller par les changements de température. Cette condition est assez difficile à remplir, et c'est pourquoi l'amélioration dont nous parlons n'a point été généralement acceptée.

On a cherché aus-i à étamer les glaces avec divers alliages de plomb et d'étain; mais l'application ne pouvant avoir lieu qu'à chaud, compromet le sort des glaces, et cette indication n'a pas été adoptée.

Il importait cependant de supprimer l'emploi du mercure dans cette industrie fort dangereuse pour la santé des ouvriers. Nous montrerons à l'article VERRE, comment on est parvenu, après un assez grand nombre d'essais, à y substituer l'argenture par une réaction chimique obtenue à froid.

Nous aurions aussi à traiter des moyens d'opérer l'étamage à l'aide de l'électricité, mais nous avons fait connaître à l'article DORURE les moyens d'étamer et de zinguer les métaux en se servant de dissolutions décomposées par le courant voltaïque : nous n'avions donc pas à revenir ici sur cet objet, en traitant de l'étamage, et devons renvoyer le lecteur audit article.

BARRAL.

ÉTAMAGE AU ZINC ET AU PLOMB. Nous donnerons ici, d'après le mémoire de l'inventeur, M. Rabatel, de Lyon, la description d'un produit qui semblait offrir des avantages spéciaux. Il le proposait surtout pour couvertures de maisons, sous formes de losanges attachés par un sommet aigu au voligeage, et agrafés latéralement par des plis en équerre (deux côtés en dessus et deux en dessous).

La fabrication de ce produit est analogue à celle du fer-blanc. Laissons parler l'inventeur :

« *Grave défaut du fer zingué.* On savait depuis longtemps que la grande oxydabilité du zinc le rendait attaquable par tous les acides (gazeux ou liquides), même par les plus faibles; aussi, dans la pratique, a-t-on reconnu que dans tous les cas où le zinc n'est pas applicable, le fer recouvert de zinc ne l'est pas davantage

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« On a vu des faits curieux produits par cette action des acides, faibles on degré et en volume, sur le zinc ou sur le fer zinqué.

« Dans les locaux sujets à des dégagements de vapeur d'eau, qui pénètre les planches sur lesquelles reposent les feuilles de zinc ou de fer zinqué, cette vapeur se mêle à l'acide pyroligneux, et, en se condensant, suinte à travers les pores du bois : cela suffit pour ronger ces métaux en quelques mois. C'est surtout lorsqu'on pose une couverture en zinc ou en fer zinqué sur du chêne que cette destruction est certaine.

« Les couvertures de bâtiments et les articles de fumisterie, soumis à l'action des gaz acides dégagés par la fumée du bois, de la houille, et surtout du coke; les tuyaux de descente qui reçoivent les eaux ménagères, chargées d'acides alimentaires, ou ceux placés dans des terres ou dans des eaux minérales renfermant quelques traces d'acides ; les objets exposés aux émanations acides des fabriques ; les vases contenant des substances légèrement acidulées, etc., etc., ont été, toujours et partout (plus ou moins rapidement, selon la force des acides et selon la nature du milieu où ils étaient placés), attaqués, oxydés, détruits.

« Cela devait être, puisque la surface de la tôle galvanisée n'est autre chose que du zinc. L'action destructive exercée par les acides sur ce corps isolé est la même lorsqu'il recouvre le fer; il y a plus, on peut supposer que cette action doit être encore plus énergique, à cause de l'état électro-positif dans lequel se trouve le zinc lorsqu'il est mis en contact avec le fer.

« L'administration des ponts-et-chaussées sait combien les couvertures en zinc ou en fer zinqué, placées sur les toits de remises à locomotives, ont été promptement altérées et criblées de trous par l'acide sulfureux que dégage le coke en combustion. Il a été facile de remarquer que les portions les plus endommagées étaient celles qui se trouvaient dans la direction des courants d'air régnants. »

Les observations qui précèdent semblent conduire à remplacer le zinc par un métal moins attaquable aux acides, le plomb, par exemple. C'est en effet sous l'influence de ces idées qu'on a tenté le plombage de la tôle, l'étamage au plomb dont nous avons parlé plus haut. Mais l'expérience a détruit toutes les espérances que l'on avait fondées sur ce nouveau produit, comme on aurait dû le prévoir. Le fer-blanc, la tôle plombée, s'attaquent avec facilité à l'air humide, parce que ni l'étain ni le plomb n'exercent sur le fer l'action préservatrice de l'oxydation qui est due au zinc.

Réunir les avantages des deux procédés était un progrès important à réaliser. Voici comment l'expose l'inventeur :

« *Conservation du fer zinqué par le plombage ou l'étamage.* Comme nous venons de l'établir, le défaut capital, nous dirons même le seul défaut du fer zinqué, est son attaquabilité par les acides. Ce fait reconnu depuis longtemps, par ceux qui se sont occupés de galvanisation, a conduit tout naturellement à l'idée d'appliquer sur la couche de zinc un métal qui pût résister aux acides.

« Cette idée a été suivie de l'invention de divers procédés manufacturiers, au moyen desquels on dépose sur le fer zinqué, soit le plomb, soit l'étain, soit le cuivre ; s'il le fallait même, on pourrait superposer des couches de ces différents métaux les unes sur les autres.

« Ces couches sont régulières, uniformément réparties sur toute la surface de l'objet zinqué, et elles y sont très adhérentes.

« La couche recouvrante garantit le fer zinqué de la corrosion des acides, et de plus, elle lui communique ses propriétés spéciales.

« On obtient, par cette combinaison, un produit doué de la ténacité et de la malléabilité du fer, lequel prend en retour les propriétés de durée et de résistance aux influences extérieures que possède le métal formant la dernière couche recouvrante. La fonction de la couche de zinc interposée (fonction que ce métal est seul apte à remplir) est de garantir le fer de l'oxydation.

« Ainsi préparé, le fer peut même, dans beaucoup de cas, remplacer avec avantage les métaux recouvrants dont nous venons de parler.

« Ajoutons, et ceci est très important, que cette préparation équivaut à la création d'un nouveau métal propre à des applications spéciales auxquelles ne conviendraient ni le fer ni les autres métaux isolés (1).

« En résumé, dit-il, 1° aucune peinture ou vernis ne peut empêcher que le fer soit détruit par la rouille ;

« 2° Lorsque deux métaux sont en contact, le plus oxydable constitue celui qui l'est le moins à l'état électro-négatif, et, en absorbant l'oxygène, préserve l'autre de l'oxydation ;

« 3° En conséquence, le plomb ou l'étain appliqués directement sur le fer, pour en empêcher l'oxydation, ne peuvent produire ce résultat, puisqu'ils sont moins oxydables que ce dernier métal. Ce sont eux, au contraire, qui seraient garantis aux dépens du fer, si celui-ci en s'oxydant ne détachait pas et ne brisait pas la couche recouvrante ;

« 4° Le zinc, qui est plus oxydable que le fer, possède seul cette précieuse propriété d'attirer à lui l'oxygène, et de le détourner du métal qu'il recouvre ;

« 5° Par un privilége spécial, l'oxydation du zinc, loin de le détruire, le conserve au contraire ; mais ce métal a le défaut capital d'être attaquable par tous les acides, même par les plus faibles ;

« 6° Le moyen de mettre le fer zinqué à l'abri de cette cause de destruction consiste à le recouvrir d'une couche de plomb ou d'étain ;

« 7° Cette superposition de métaux, combinée d'après leurs lois physiques et chimiques, constitue un produit composé, qui a les qualités de chacun des métaux composants, sans en avoir les défauts. »

Cette fabrication curieuse ne laisse pas que d'offrir d'assez grandes difficultés, par la nécessité de trouver le point exact où le zinc se recouvre d'une couche de plomb d'épaisseur convenable. Si le bain de plomb (recouvert de chlorure de zinc) est trop chaud et l'action trop prolongée, il se fait un véritable lavage du zinc qui est complétement dissous dans le plomb ; il n'en reste plus sur la tôle. Il y a donc une température convenable pour que l'opération s'effectue le mieux.

ÉTAU (*angl.* vice, *all.* schraubstock). Sorte de presse, ordinairement en fer, qui se compose de deux leviers à mâchoires, articulés à leur partie inférieure, dont l'un est fixé à une vis, presque toujours à filet carré, qui traverse l'autre levier et s'engage ensuite dans un écrou qui, selon qu'on le fait tourner dans un sens ou dans un autre, serre ou desserre les mâchoires ou *mors* de l'étau. Ces mâchoires sont aciérées à l'intérieur, taillées en lime et trempées ; un ressort placé entre les deux branches, mais que l'on comprime aisément en faisant marcher l'écrou, les fait ouvrir, quand on desserre l'étau.

Il y a des étaux dits *à agrafes* qu'on fixe contre le bord d'un établi au moyen d'une simple vis de pression ; mais on ne peut s'en servir que pour de très petits objets.

(1) Après avoir appliqué sur le fer zinqué des couches de divers métaux, on a fait la même opération sur le zinc seul. En agissant ainsi, on n'avait qu'un but de curiosité ; car, évidemment, tout le monde préfèrera le fer zinqué et plombé ou étamé, qui a une durée certaine, au zinc, pareillement plombé ou étamé, dont la ténacité et la malléabilité sont très faibles et la dilatation et la combustibilité très grandes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On fait aussi des étaux qu'on appelle *parallèles*, parce que la branche de devant s'ouvre, par l'effet de la vis, parallèlement à elle-même au lieu d'articuler autour d'un point comme à l'ordinaire. Ils ne sont guère en usage, malgré leur commodité, que chez les amateurs, ainsi que les étaux qui ont la faculté de pivoter sur eux-mêmes.

On donne le nom d'*étau à main* à une petite pince à vis qui a la forme d'un étau, et qu'on tient à la main pour limer une infinité de petits objets.

Les forgerons emploient de gros étaux, du poids de 150 à 200^k, dits étaux à chaud, parce qu'on s'en sert pour façonner au marteau des pièces de fer ou d'acier à chaud. Il est nécessaire qu'ils aient de la masse et de la solidité pour ne pas s'échauffer trop vite et pour résister aux chocs produits par les coups de marteau. On les isole et on les fixe le plus solidement possible, au milieu de la forge, de manière à pouvoir circuler tout autour.

Les étaux de serruriers, de limeurs, etc., sont ordinairement du poids de 25 à 35^k. Les étaux des menuisiers sont presque toujours en bois.

ÉTHER (*angl.* ether, *all.* æther). Une seule des substances désignées par les chimistes, sous le nom d'éther, est préparée en grand et a quelque emploi dans les arts; c'est l'*éther sulfurique*, le seul dont nous nous occuperons ici, et qui, quoique son nom semble l'indiquer, ne contient aucune portion de l'acide qui a servi à le préparer.

L'éther se compose de :

Carbone. . . .	65,32	$C^4 H^{10} O$
Hydrogène . . .	13,31	
Oxygène . . .	21,37	
	100,00	

Cette formule peut le faire considérer, suivant la manière dont on la décompose, soit comme un hydrate d'hydrogène bi-carboné (C^4H^8 ($C^4H^8 + H^2O$), soit comme un oxyde d'un radical particulier, appelé par M. Dumas l'*éthyle* $C^4 H^{10}$. La formule qui représente la composition de l'alcool étant $C^4 H^{12} O^2 = C^4 H^{10} O + H^2O$ montre que l'alcool est de l'éther hydraté. Dans la première hypothèse que nous avons indiquée, ce serait du bihydrate d'hydrogène bi-carboné; dans la seconde, de l'hydrate d'oxyde d'éthyle. Quoi qu'il en soit, l'éther est incolore, liquide, très fluide, d'une odeur particulière, forte et pénétrante, d'une saveur d'abord âcre, brûlante et douceâtre, puis fraîche. Il ne possède aucune réaction acide ou alcaline, ne conduit pas l'électricité, et réfracte fortement la lumière; sa densité est de 0,712 à 24°,77; il est très volatil, et bout à 35°,6 sous la pression barométrique de 0^m,760; il distille sans altération; la vapeur qui se forme est très dense; ramenée par le calcul à 0° et à la pression de 0^m,760, sa densité est de 2,565. Cette circonstance, l'inflammabilité et la grande volatibilité de l'éther expliquent facilement les graves accidents que ce produit a souvent occasionnés. En effet, quand on transvase de l'éther, il répand d'abondantes vapeurs que leur densité amène dans les parties inférieures de l'appartement; quand on n'est pas éloigné d'une cheminée ou d'une lumière, elles peuvent s'y enflammer, et propager l'incendie jusqu'à l'éther lui-même. En pareil cas, il faut conserver assez de présence d'esprit pour boucher immédiatement le flacon. Dans tous les cas, il est prudent de conserver l'éther dans des flacons d'un petit volume, 1/2 litre par exemple, et de le manier loin de tout foyer allumé.

L'éther est très inflammable, comme nous venons de le dire, et brûle avec une flamme blanche et fuligineuse sans laisser de résidu. Il est décomposé avec inflammation par le chlore gazeux. Il est également décomposé par les acides minéraux à chaud; les alcalis n'ont sur lui qu'une faible action. Il dissout très bien le brôme et l'iode, ainsi qu'une certaine quantité de soufre et de phosphore. Il dissout également le caoutchouc, et nous avons vu que c'était le meilleur moyen connu pour ramener ce dernier à l'état d'émulsion. Il dissout aussi nombre de sels métalliques, tels que le chlorure d'or, le nitrate de mercure, etc., qu'il enlève même à leurs dissolutions aqueuses, pourvu qu'elles soient acides. De son côté, il est soluble dans 9 parties d'eau, et se mêle en toutes proportions avec l'alcool auquel il communique sa saveur et son odeur. La *liqueur d'Hoffmann*, employée en médecine, est formée d'un mélange de 2 p. d'alcool et de 1 p. d'éther.

La préparation de l'éther consiste à distiller un simple mélange d'alcool et d'acide sulfurique, et à purifier le produit obtenu par l'eau, les alcalis et une nouvelle distillation. Mais comme théoriquement on peut s'y prendre de manière à convertir, avec le même acide, une quantité pour ainsi dire indéfinie d'alcool en éther, il vaut mieux, comme M. Boullay l'a proposé le premier, rajouter de l'alcool au mélange, au fur et à mesure que l'éther distille.

La préparation de l'éther, quoique très simple en elle-même, exige néanmoins quelques précautions que nous allons indiquer. On mêle parties égales d'acide sulfurique concentré à 66° et d'alcool rectifié à 36°; la chaleur, qui se développe au moment du mélange, serait assez forte pour déterminer la rupture des vases; on doit donc ajouter l'acide par petites portions, et agiter fortement le mélange à mesure. Quand la chaleur devient trop forte, on le laisse en repos; puis on recommence, lorsqu'il est suffisamment refroidi. Quand la majeure partie de l'acide est ajoutée, on s'arrête, et on en réserve une partie pour réchauffer le mélange au moment où l'on procédera à la distillation. Il est, en effet, avantageux de laisser le mélange en repos pendant 24 heures.

L'appareil distillatoire peut se composer d'une cornue tubulée en verre, chauffée au bain de sable, et munie d'une allonge qui entre dans le col d'un matras tubulé placé dans un baquet rempli d'eau froide, qui se renouvelle constamment. La tubulure du matras est traversée par un syphon servant à extraire l'éther condensé, et à le faire passer dans les flacons destinés à le recevoir.

On ajoute la dernière portion d'acide dans le mélange, et on verse le tout dans la cornue; la tubulure de celle-ci porte un tube en S, dont la branche inférieure, terminée en pointe presque capillaire, plonge jusqu'aux 2/3 de la hauteur du liquide. On chauffe jusqu'à ce qu'il se manifeste un léger frémissement; on retire le feu, et l'ébullition s'établit peu à peu et sans tumulte; on remet alors quelques charbons allumés, de manière à la maintenir bien régulière. Comme l'appareil est parfaitement clos, la dilatation intérieure refoule le liquide condensé, et le fait sortir par le syphon, lorsqu'il se développe un peu plus de vapeurs que de coutume, ce qui permet de fractionner à volonté les produits.

Lorsqu'on a recueilli un litre de produit dans le récipient, on ajoute sans désemparer, par le tube en S, une quantité égale d'alcool à 36°. Comme l'extrémité du tube est effilée, l'alcool s'écoule avec lenteur, et le mélange n'est pas sensiblement refroidi; l'ébullition et l'étherification continuent, et la liqueur contenue dans la cornue renferme toujours les mêmes proportions d'acide et d'alcool.

Lorsqu'on a ajouté, de la sorte, une quantité d'alcool égale à celle qui entrait dans le volume primitif, o abandonne l'opération à elle-même, et on se contente de soutenir le feu pendant quelques heures. On l'arrête quand on aperçoit d'abondantes vapeurs blanchâtres qui troublent la transparence des vases, les échauffent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

beaucoup, et ne peuvent se condenser; la chaleur seule du fourneau suffit pour former le peu d'éther qui reste à obtenir.

On fractionne ordinairement en trois portions la totalité des produits; la première, peu éthérée, ne contient en quelque sorte que de l'alcool qui se volatilise avant d'avoir subi la réaction de l'acide sulfurique; la deuxième, la plus considérable et la plus pure, est celle qu'on rectifie immédiatement; on y ajoute 1/6 de son poids de carbonate de potasse, qui s'empare de l'eau, ou de l'acide sulfureux, et qui décompose l'huile de vin pesante que l'éther peut contenir; on agite le mélange et, lorsque l'éther a acquis une odeur suave et pure, on le rectifie dans un appareil semblable au précédent, à cela près que la cornue n'a pas besoin d'être tubulée. La rectification doit être faite au bain-marie et conduite très doucement; on recueille les 2/3 de la quantité soumise à la distillation, et l'on obtient ainsi un éther parfaitement pur.

Le résidu de la rectification réuni au dernier produit de la première distillation, est mis en contact pendant plusieurs jours avec le carbonate de potasse qui a servi à la purification précédente; on y ajoute un peu d'eau et du peroxyde de manganèse en poudre fine, afin d'enlever l'acide sulfureux qui y existe en assez grande quantité. La réaction de cet acide sur l'oxyde de manganèse produit un dégagement de chaleur si considérable, que le liquide entrerait en ébullition, si on n'avait soin d'ajouter le peroxyde de manganèse par petites portions. On ajoute au mélange, quand il s'échauffe trop, une certaine quantité d'eau froide. Celle-ci favorise plus tard l'action et sert d'ailleurs à dissoudre le sulfate et l'hyposulfate de manganèse formés par la réaction de l'acide sulfureux sur le peroxyde de manganèse. Lorsque l'odeur de l'acide sulfureux est tout à fait dissipée, on sépare, à l'aide d'un entonnoir, la couche d'éther; elle renferme encore un peu d'huile de vin pesante, que on en sépare par une rectification ménagée. Cet éther est de qualité inférieure et n'offre jamais la pureté et l'odeur franche et suave du précédent.

La marche que nous venons de décrire est à peu près celle que l'on suit dans tous les ateliers où l'on s'occupe de la préparation de l'éther; mais les appareils sont souvent plus simples. Ainsi, on se sert fréquemment d'un alambic en plomb, dont le chapiteau communique au moyen d'un long tube avec un serpentin ordinaire; ce dernier verse l'éther dans un flacon à col étroit qui sert de récipient. L'alambic est d'ailleurs muni d'un tube qui sert à introduire de l'alcool, pour remplacer celui qui s'est converti en éther. La première distillation se fait à feu nu. On rectifie également l'éther dans un alambic, en employant de la chaux vive au lieu de carbonate de potasse. On obtient facilement 30 à 40 litres d'éther dans un alambic convenablement dirigé.

Il résulte des recherches de MM. Liebig et Mitscherlich que, l'acide sulfurique étendu d'eau de manière à bouillir à 140°, peut transformer en éther une quantité indéfinie d'alcool que l'on ferait arriver d'une manière continue dans l'alambic, et il se dégage un courant continu d'éther mêlé d'eau pure et d'un peu d'alcool non décomposé, sans autre produit. Ce fait sera sans doute mis à profit dans la préparation de l'éther en grand, et viendra compléter la révolution commencée par M. Boullay, dans la fabrication de ce produit.

ÉTHIOPS. C'est le nom générique donné par les alchimistes à de certaines préparations métalliques, noires. L'*Éthiops martial* était l'oxyde noir de fer; l'*Éthiops minéral*, le sulfure noir de mercure, et l'*Éthiops perse*, l'oxyde noir de mercure.

ÉTOUPILLES DE SURETÉ. Voyez MINES.

ÉTUVE. Voyez SÉCHOIR.

ÉVAPORATION. L'évaporation a pour objet de séparer, en la faisant passer à l'état de vapeur, l'eau renfermant en dissolution des substances fixes, que l'on obtient ainsi à l'état solide. Tandis que dans la distillation, on se propose de séparer de l'eau les parties plus volatiles qu'elle, dans l'évaporation, au contraire, c'est l'eau qu'on distille pour obtenir les substances fixes qu'elle tient en dissolution.

L'évaporation a toujours lieu par l'action de la chaleur, qui seule peut produire des vapeurs, mais dans des conditions très diverses.

On distingue :

1° L'évaporation spontanée à l'air libre;

2° L'évaporation par un courant d'air forcé;

3° L'évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer, et celle de la vapeur;

4° L'évaporation dans le vide.

1° *Évaporation spontanée à l'air libre.* Quand l'air n'est pas saturé d'humidité, il se produit à la surface de l'eau, en proportion de la température, une véritable vaporisation spontanée, fort lente il est vrai, mais dont l'action devient très considérable quand on peut disposer de très grandes surfaces.

Dalton a démontré que l'espace rempli d'un fluide élastique, comme l'air, était capable de recevoir la même quantité de vapeur que s'il était vide; seulement cette action a lieu beaucoup plus lentement, et cette diffusion est retardée comme par une espèce de frottement moléculaire. Comme l'évaporation produit un froid notable qui tend singulièrement à retarder l'évaporation spontanée, on en conclut que cette manière d'opérer ne peut être employée que dans des contrées chaudes, où l'action du soleil est très grande; et sur des dissolutions qu'il est possible de répandre sur des surfaces très considérables.

Ces conditions sont très bien remplies par les marais salants du Midi dans lesquels l'évaporation spontanée enlève, dans le courant d'une campagne, 1,000 mètres cubes d'eau au moins par hectare.

Le renouvellement de l'air est encore un moyen d'accélérer l'évaporation. On l'utilise fort avantageusement en même temps qu'on accroît considérablement les surfaces de contact de l'eau et de l'air, dans les bâtiments de graduation employés dans quelques salines (voyez SEL).

2° *Évaporation par un courant d'air forcé.* Dès 1794, Montgolfier, l'illustre inventeur des aérostats, voulant concentrer des dissolutions de jus de fruits dont la chaleur détermine rapidement la fermentation, eut l'idée d'employer à cet effet l'air chauffé à 40 ou 50° qu'il faisait passer à travers la dissolution.

La facilité avec laquelle on met des volumes énormes d'air en mouvement permet de montrer que, théoriquement, ce procédé doit être économique; Montgolfier ayant reconnu qu'en moyenne, en automne, un mètre cube d'air peut dissoudre 3 grammes d'eau.

Cette idée a été reprise par plusieurs inventeurs.

En 1811, Curaudau proposa de faire passer l'air échauffé par un poêle à travers une tour carrée traversée par des toiles métalliques sur lesquelles se répandait le liquide. En 1812, Parmentier essaya de lancer l'air échauffé dans la dissolution à évaporer, en faisant arriver l'air dans un vase lenticulaire percé d'un très grand nombre de trous. Ces divers essais n'eurent pas de suite.

En 1829, M. Kneller prit un brevet en Angleterre pour concentrer les dissolutions de sucre au moyen d'air chaud, lancé dans la dissolution par un grand nombre de petits tuyaux plongés dans le liquide; une raffinerie a même été montée sur ce système, qui ne s'est pas répandu.

En 1833, M. Brame-Chevalier reprit cette idée, usitée dans le but d'évaporer les dissolutions du sucre à une basse température. Il fait arriver l'air chaud à la partie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inférieure des chaudières renfermant le sirop de sucre, par un double fond dont la surface supérieure est percée d'une infinité de trous capillaires, par lesquels le sirop de sucre est trop visqueux pour pouvoir passer, quand l'injection de l'air s'arrête.

La chaleur latente, nécessaire à l'évaporation de l'air, étant fournie par des grilles à vapeur (voir plus loin) qui maintiennent constante la température du sirop malgré l'évaporation, et l'air le traversant avec trop de rapidité pour prendre sa température, on obtient, d'après l'expérience, les résultats suivants :

La machine soufflante donnant 10 mètres cubes d'air par minute, l'air entre à 135° et sort à 95°, et enlève 30 kil. d'eau par minute. Le sirop reste à la température de 75 à 80 degrés centigrades.

La complication, le haut prix de ces appareils, les a fait disparaître de l'industrie. Ils ne peuvent être mis en comparaison sous aucun rapport avec les appareils à cuire dans le vide, outre que le sirop retient des bulles d'air qui gênent beaucoup la cristallisation du sucre. Néanmoins ce procédé a une valeur réelle dans la voie où Montgolfier l'avait d'abord appliquée, pour évaporer à une température extrêmement basse des produits très facilement altérables. C'est par ce moyen qu'on a préparé dernièrement du lait solidifié et diverses autres conserves.

3° *Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer ou de la vapeur d'eau.* Le cas le plus fréquent, celui employé presque à chaque instant dans les arts, est celui où l'évaporation a lieu par le chauffage direct d'une chaudière placée sur un foyer. C'est le système le plus simple et le plus économique, aussi l'emploie-t-on toujours quand la nature du corps dissous n'impose pas des conditions spéciales.

Quand on chauffe un liquide, les quantités d'eau évaporées sont proportionnelles aux tensions de la vapeur aux diverses températures. Connaissant donc la table des tensions de la vapeur (voy. VAPEUR), et sachant que l'expérience a indiqué que 1 mètre carré de surface de chauffe d'eau à 40° évapore à très peu 1 kil. d'eau en une heure dans un air calme, on en déduira, dans chaque cas, les quantités d'eau évaporées par mètre carré, pourvu que la production de chaleur soit suffisante pour empêcher la température de baisser.

La quantité de chaleur tant latente que sensible de l'eau étant (voyez VAPEUR) de 651 unités, et un kil. de houille développant par la combustion 7500 unités, on voit que ce dernier pourra évaporer 7500/651 ou 11k,10 d'eau. Mais la perte par la cheminée nécessaire pour le tirage, ne peut guère être moindre que 0,15 à 0,20. On voit que donc 9k ou 9k,50 seront la limite supérieure de la quantité d'eau que pourra évaporer un kil. de houille.

La dépense absolue de combustible est théoriquement indépendante de la température de l'évaporation (pourvu que tout le combustible soit bien brûlé, et transformé complétement en gaz acide carbonique, ce qui exige une combustion un peu vive), mais en réalité elle est moindre à une température basse qu'à une température élevée, à cause de la rapidité de la perte de chaleur par rayonnement.

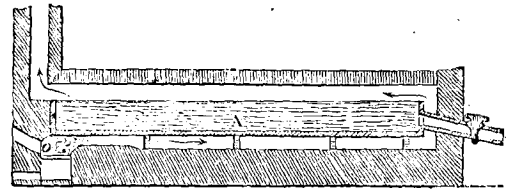
De la condition d'avoir un feu un peu actif dans le foyer, et de celle, pour le bon emploi du combustible, de jeter les produits de la combustion dans la cheminée à une température peu élevée, on en déduit que les meilleurs résultats seront obtenus de systèmes dans lesquels on fera circuler la flamme sur une grande longueur autour de la chaudière, de manière qu'elle rencontre avant de sortir les parties de la dissolution les plus froides.

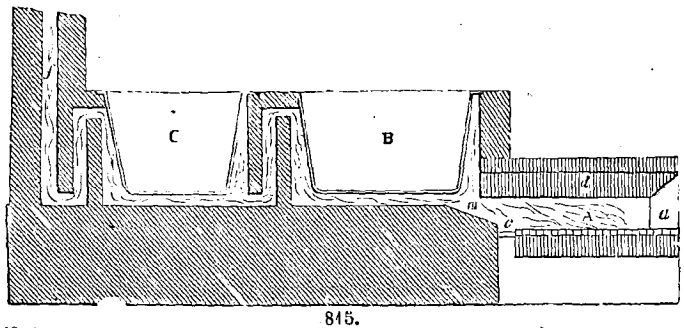
On doit encore remarquer que quand une chaudière est exposée au feu, son fond ne doit pas être placé trop près de la grille, pour qu'il ne refroidisse pas trop les gaz qui s'échappent du foyer, et ne s'oppose pas, par suite, à leur combustion complète. Ainsi, en plaçant au-dessus de la flamme d'une chandelle une capsule pleine d'eau, on fera aisément bouillir celle ci, tandis qu'en plaçant la capsule au milieu de la flamme on fera fumer la chandelle; il se déposera une couche de noir de fumée sur le fond de la capsule, venant d'une combustion imparfaite, et l'eau pourra cesser de bouillir, quoique la capsule soit alors environnée de flamme.

La chaudière (fig. 814) est un appareil évaporatoire du genre de ceux employés dans les salines qui évaporent en général 7k,50 d'eau par kil. de houille.

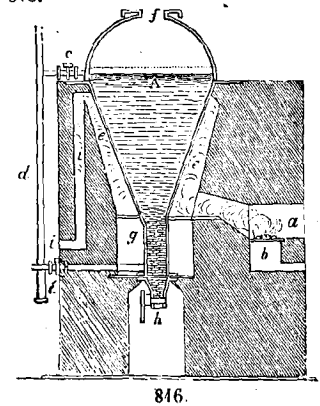
La fig. 815 représente une succession de deux chaudières placées sur le même feu; on peut placer la seconde chaudière au dessus de la première dans laquelle on

814.





815.



816.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

verse son contenu quand l'évaporation est plus avancée. Il y aurait avantage à contrarier ainsi le mouvement de la fumée, pour la forcer à venir lécher la chaudière, s'il n'en résultait pas des remous qui gênent le tirage.

La figure 816 représente une chaudière pour les dissolutions qui laissent déposer des cristaux, lesquels se réunissent par l'effet de la forme de la chaudière et se rassemblent dans un vase conique percé de trous, qu'on suspend par une chaîne vers la partie inférieure. Ces cristaux intercepteraient la communication de la chaleur et feraient brûler le fond des chaudières si la chaleur se communiquait par cette partie.

Emploi de la vapeur. La vapeur fournit un moyen simple et fréquemment employé de transporter la chaleur. Elle présente les avantages suivants :

1° D'évaporer dans plusieurs vases avec un seul feu et une seule cheminée; d'où simplicité dans le chauffage, économie dans les pertes de combustible dépensé pour le tirage.

2° De ne jamais brûler les chaudières.

3° De ne jamais décomposer les substances végétales tenues en dissolution dans la liqueur, et qui se précipitent sur les parois des chaudières, parce qu'elles ne peuvent jamais être portées à une température supérieure à celle de la vapeur.

C'est ce troisième avantage qui décide presque toujours de l'emploi de la vapeur; car, quant aux autres, le chauffage direct est généralement moins coûteux, et économise la dépense d'appareils spéciaux; mais il n'en est plus ainsi, quand cette dépense est déjà faite pour d'autres appareils comme quand une machine à vapeur existe déjà dans un établissement.

Le mode d'action de la vapeur se conçoit facilement. Quand celle-ci est amenée en contact avec un corps froid elle se condense. La chaleur latente dégagée par la liquéfaction de la vapeur étant de 550 calories, il s'en suit que 1 kilog. de vapeur à 100° donne, en se condensant dans 5 kilog. 1/2 d'eau à 0°, 6 kilog. 1/2 d'eau à 100°.

Cette action est donc très-énergique; elle est presque instantanée lorsqu'on fait arriver la vapeur dans l'eau à chauffer, par un tuyau percé de trous, qu'elle agit par *barbotage*; lorsqu'au contraire la vapeur ne doit pas se mélanger avec le corps à chauffer et qu'elle agit par suite sur une surface métallique, la vitesse du chauffage varie évidemment en proportion de la surface baignée par la vapeur.

En général, 1 mètre carré de surface de chauffe d'une chaudière à double fond condense 200 kil. de vapeur par heure, pour chauffer l'eau, et seulement 20 à 30 kil. pendant l'ébullition; quantité qui s'élève à 60 ou 70 kil., en employant un serpentin de cuivre peu épais.

La manière de faire agir la vapeur pour l'évaporation consiste à la faire arriver, soit dans un double fond pratiqué autour de la chaudière, soit pour multiplier les surfaces, à travers des grilles formées de tuyaux de cuivre ou mieux de serpentins continus, dans lesquels circule la vapeur. Nous décrivons à l'article SUCRE plusieurs appareils de ce genre. C'est, en effet, pour l'extraction du sucre, qui perd si facilement, par la chaleur, la faculté de cristalliser, qu'on a surtout inventé et développé les applications de ce genre d'appareils. Une condition essentielle est de les disposer de manière à les purger complétement d'air, en les faisant traverser par la vapeur en mouvement, car la présence d'air diminue beaucoup la rapidité de la transmission de la chaleur.

Nous ne parlerons pas de l'emploi des solutions salines ou des bains d'huile pour chauffer à des températures supérieures à 100°. Ces dispositions sont tout à fait inutiles aujourd'hui qu'on fait circuler avec facilité la vapeur à 3 ou 4 atmosphères, et par suite à des températures de 120 à 130°.

4° *Évaporation dans le vide.* Le point d'ébullition d'un liquide s'abaisse à mesure que la pression à laquelle il est soumis diminue. C'est donc une heureuse idée que d'avoir pensé à placer dans le vide les dissolutions à évaporer, puisque de la sorte on peut opérer à des températures plus basses, et plus rapidement. Des appareils de cette nature sont exclusivement employés dans les raffineries aujourd'hui, et permettent de travailler avec une rapidité extrême et à une température très-basse, à laquelle la production du sucre incristallisable est minime.

Les avantages du vide, parfaitement reconnus aujourd'hui pour l'évaporation de dissolutions renfermant des substances facilement altérables, trouveront certainement encore à s'appliquer dans quelques autres cas, pour résoudre certaines difficultés qui peuvent se présenter dans la pratique. C'est ainsi que Kuhlmann a proposé d'employer la diminution de pression pour la concentration de l'acide sulfurique, opération qui exige l'emploi de cornues de platine d'un prix fort élevé.

Le plus haut degré de l'aréomètre auquel il soit possible, à la pression habituelle, de concentrer l'acide sulfurique dans des chaudières de plomb, est de 62 à 63 degrés de Baumé. Le plus souvent, on s'arrête à 60 ou 61 degrés; toutefois, en opérant avec quelques ménagements, les chaudières de plomb ne sont pas sensiblement attaquées, même en poussant la distillation au delà de 62 degrés.

En chauffant l'acide sulfurique soumis à une faible pression, de 3 à 4 centimètres de mercure seulement, on abaisse son point d'ébullition suffisamment pour que la concentration à 66 degrés puisse être complétée dans des vases de plomb, à une température de 190 à 195 degrés.

Appareils à cuire dans le vide ou mieux sous faible pression. Le principe de ces appareils consiste : à condenser la vapeur qui se dégage d'une chaudière fermée, en la mettant en communication avec une capacité

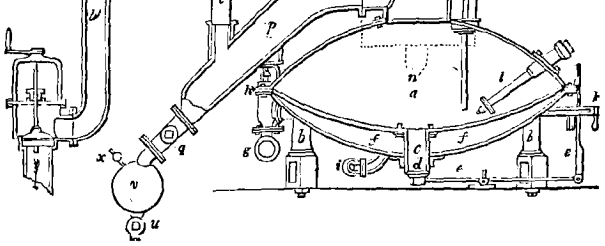


Fig. 817.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

renfermant de l'eau froide qui la condense, ou à enlever mécaniquement la vapeur formée.

La condensation, employée surtout dans des appareils de raffinerie, n'a donné de bons résultats qu'avec l'addition d'une pompe à air, l'enlèvement de l'air qui se dégage des solutions aqueuses et gêne la condensation étant effectué imparfaitement par des robinets de purge. Tel était l'appareil d'Howard, dont la figure 817 est une coupe. *a* est une chaudière à double fond, qui reçoit le sirop à cuire; le double fond *f* reçoit la vapeur par le tuyau *k*; *i* est le retour d'eau par lequel s'écoule l'eau condensée; *y* est le tuyau communiquant à la chambre de condensation, qui reçoit le tuyau d'une pompe à air, servant à entretenir le vide dans l'appareil. C'est au moyen de la manivelle qu'on voit en *e*, qu'on ouvre une soupape latérale qui met la vapeur en communication avec l'eau froide dans le condenseur, où les vapeurs, passant par *o*, *r*, *y*, *b*, viendront donc se liquéfier. La capacité *o* sert à purger la vapeur des parties de ce sirop entraînées mécaniquement, qui retombent dans la chaudière. Le tuyau *p* reçoit par *t* la vapeur déjà condensée par l'action extérieure sur la partie *r* du tuyau d'écoulement. L'eau qui s'y condense se vide par le robinet *u*.

D'après Péclet, un appareil d'Howard servant à raffiner par heure 600 à 700 kilogr. de sucre blanc exige, avec une condensation de 500 kilogr. de vapeur pendant le même temps, une pompe à air consommant un travail de deux chevaux-vapeur. Le volume d'eau froide employée est de 10 mètres cubes par heure, l'eau de condensation sortant à 30 degrés.

L'appareil d'Howard, plus ou moins modifié dans ses détails, donne des résultats excellents. C'est de lui que procède celui de Degrand, dont les appareils ont trouvé longtemps une heureuse application dans la fabrication des sucres de betteraves, grâce au perfectionnement qu'il leur avait apporté en employant la vapeur produite par l'ébullition dans la chaudière, à évaporer une partie de l'eau des premiers jus. Pour cela, il faisait passer les vapeurs sortant de la chaudière dans une série de tubes communiquants disposés horizontalement; de sorte qu'en faisant couler les jus en lames verticales, la condensation des vapeurs se produisait en évaporant une quantité d'eau notable, et qu'on utilisait ainsi une partie de la chaleur perdue.

Appareils à effets multiples. Ces appareils, dont l'invention appartient à Pecqueur, un de nos grands inventeurs, mais qui ont reçu une disposition pratique de M. Rilleux, français qui fabriquait du sucre en Louisiane, constituent un très-grand progrès dans les appareils d'évaporation. Ils sont fondés sur un principe vrai négligé auparavant, dont l'appareil Degrand seul offrait une première application, à savoir que la vapeur émise par une première chaudière évaporatoire pouvait parfaitement servir, par l'utilisation de sa chaleur de vaporisation, à produire l'évaporation d'un liquide renfermé dans une seconde chaudière. De même la vapeur de la seconde chaudière peut servir à produire l'évaporation dans une troisième, et ainsi de suite. Bien entendu, cet effet ne peut se produire à l'infini, et l'évaporation s'effectuer avec une quantité de combustible indéfiniment décroissante à mesure qu'on multiplierait le nombre des chaudières. Comme nous l'avons expliqué à l'article ÉVAPORATION du *Complément*, il y a toujours, dans une vaporisation, une quantité de chaleur égale au travail nécessaire pour surmonter la pression qui s'oppose au dégagement de la vapeur, qui est absolument

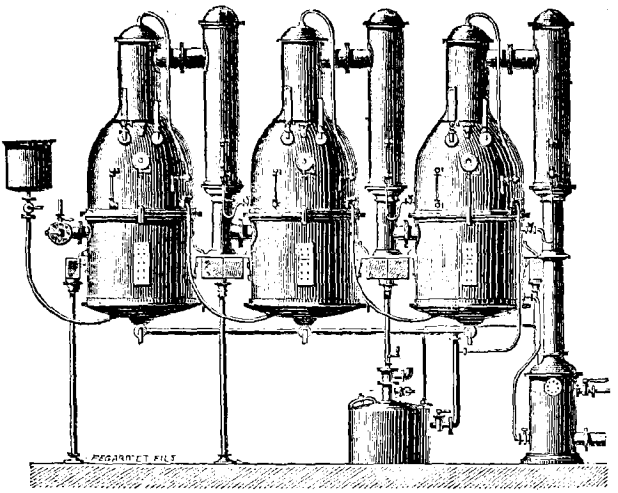


Fig. 818.

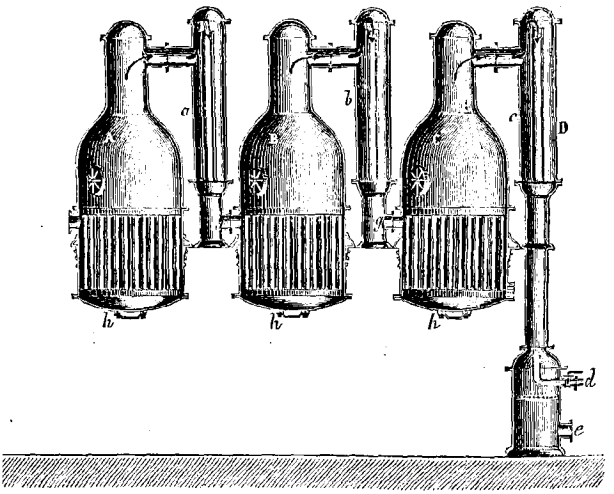


Fig. 818 *bis*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

détruite et qu'on ne saurait retrouver; mais cette quantité permet encore d'assigner une limite théorique de plus des 9/10 à l'économie de combustible théoriquement possible, au moyen de semblables appareils, comparativement à ceux dans lesquels on produit l'évaporation à l'air libre, en perdant la vapeur. La limite pratique est bien plus resserrée, surtout pour une production rapide, la transmission effective de la chaleur exigeant entre chaque chaudière des différences de température très-notables, en vertu desquelles seules a lieu la communication de chaleur, ce qui s'obtient par le fonctionnement dispendieux d'une pompe à air qui détermine des pressions, et par suite des points d'ébullition décroissants en raison de l'éloignement de chaudière considérée à la première chaudière.

La figure 818 montre en coupe, et la figure 818 *bis* en élévation, l'appareil à triple effet seulement, tel que le construit la maison Cail, pour la concentration des jus sucrés et qui donne, pratiquement, une économie de combustible d'un peu plus de moitié. A, B, C sont les trois chaudières, dont la surface de chauffe va croissant de la première à la troisième; *a*, *b*, *c*, les condenseurs; D, la colonne de condensation et d'appel, qui communique en *e* avec la pompe et en *d* avec un tuyau d'injection qui apporte l'eau, système qui assure une pression très-faible dans la troisième chaudière.

La vapeur produite par l'ébullition de la première chaudière va chauffer la seconde en circulant autour des tubes du double fond; de même la vapeur de la deuxième chaudière va chauffer la troisième, et celle qui sort de cette dernière se rend au condenseur.

La disposition des tubes de chaque chaudière est la suivante : ils sont d'égale longueur, ajustés et assemblés, à chaque extrémité, dans un disque, en sorte que l'intérieur est rempli par le liquide à concentrer et l'extérieur baigné dans la vapeur. La réunion des tubes et des deux disques d'assemblage forme, en effet, une sorte de boîte cylindrique, dans laquelle la vapeur pénètre pour échauffer la surface extérieure des tubes. C'est pour faciliter le nettoyage que l'on a adopté cette disposition, bien inférieure à celle des serpentins, pour la puissance du chauffage.

ÉVENTAIL (angl., *fan*; all., *fœcher*). La fabrication des éventails, fort ancienne à Paris, est une des plus importantes parmi celles comprises habituellement sous le nom d'articles de Paris, qui doivent surtout leur prix au bon goût et à l'élégance.

Le fabricant d'éventails proprement dit ne fait que mettre en œuvre les matériaux qui lui sont fournis par divers ouvriers. La fabrication des montures s'est concentrée dans quelques villages du département de l'Oise, entre Beauvais et Méru, et y occupe 1 500 à 2 000 personnes. Une division parfaite du travail, l'emploi bien entendu de fraises tournantes, d'outils placés sur le tour pour graver la pièce guidée à la main, a permis d'obtenir, à des prix très-modérés, les formes variées à l'infini par la mode; la monture passe successivement entre les mains du débiteur, du façonneur, du polisseur, du découpeur, du sculpteur, du graveur, du doreur et du riveur. Les matières principalement employées pour les montures sont : la nacre, l'ivoire, l'os, la corne, l'écaille, le citronnier, l'ébène, etc., et grand nombre de bois veinés.

Quant à la feuille, formée généralement de deux feuilles de papier réunies par de la colle, quelquefois d'une étoffe de soie bordée de plumes, etc., et entre lesquelles se placent les extrémités de la monture, on les obtient par la chromo-lithographie, la gravure en taille-douce, dont les effets sont rehaussés par l'enluminure, le coloriage, pour les produits ordinaires, par le travail d'artistes peintres, dont le talent fait la grande valeur des éventails de premier ordre.

Le fabricant, recevant d'une part les montures, et de l'autre les feuilles, qu'il a soin de faire fabriquer suivant son goût et en raison des demandes de ses clients, procède au montage, qui consiste à plisser la feuille, à la réunir à la monture, et à la border avec le petit filet d'or, qui se colle en haut, tout autour.

EXCENTRIQUES. Les excentriques constituent un genre d'organes d'un usage très-fréquent dans les machines. Le mouvement du moteur étant transmis, pour ainsi dire toujours, sous forme de mouvement circulaire, il suffira de monter sur l'axe en mouvement une pièce, un excentrique de forme convenable, pour transmettre à une tige guidée en ligne droite ou oscillant autour d'un axe qui le rencontre, des mouvements alternatifs suivant une loi déterminée.

Principe général. — Si sur un axe tournant on monte une pièce qui actionne un levier ou barre guidée en ligne droite, si ρ est la distance du point de contact de la tige à l'axe de rotation de l'excentrique, les chemins parcourus seront en raison de ces valeurs de ρ, variables avec les angles successifs de rotation, suivant une loi exprimée par l'équation $\rho = f(\omega)$, qui détermine la forme de l'excentrique en raison du mouvement à produire.

Ce sont les formes de cette fonction, les valeurs de ρ pour des valeurs correspondantes de ω, le mouvement de rotation étant supposé uniforme, ce qu'on peut toujours faire, que nous allons chercher à étudier pour les divers cas qui se présentent le plus souvent.

Nous étudierons successivement les deux cas où l'excentrique actionne une barre guidée ou un levier, c'est-à-dire, d'après la nature propre de l'excentrique, considéré au point de vue cinématique, les transformations du mouvement circulaire continu en mouvement rectiligne ou circulaire alternatif.

Si l'on trace un certain nombre de positions successives de l'extrémité de la pièce à mouvement alternatif, et que d'après la loi du rapport des vitesses on détermine la position correspondante de la ligne qui doit venir en contact avec l'extrémité de la pièce à mouvement alternatif pour chacune de ces positions, le rayon limitant l'arc de rotation correspondant, on aura successivement les positions et les distances au centre de points du contour de l'excentrique, en nombre suffisant pour tracer celui-ci, à l'aide d'arcs de cercle passant par les premiers points indiqués jusqu'à la rencontre des rayons. C'est ce que vont rendre plus clair les applications successives de cette méthode.

Auparavant nous remarquerons que toutes les fois que les courbes seront continues, sans saut trop brusque, que le rayon vecteur variera peu pour une variation angulaire petite, l'excentrique jouira de l'avantage d'agir sans choc.

Ce qui fait en outre et surtout employer les excentriques, c'est que, la loi du mouvement alternatif variant avec la forme de la courbe, on peut obtenir en variant ces formes toute variation de vitesse que l'on voudra. On parvient ainsi, notamment dans les machines opératrices, à imiter le travail intelligent de la main de l'ouvrier.

I. — MOUVEMENT RECTILIGNE ALTERNATIF.

Direction du mouvement rectiligne rencontrant l'axe de rotation et perpendiculaire à cet axe.

Courbes en cœur. — Une des formes les plus fréquemment adoptées des excentriques est celle des courbes dites *courbes en cœur*, ou excentriques à mouvement uniforme. Voyons comment doit s'en faire le tracé.

Puisque le mouvement de va-et-vient doit être uniforme, le point B (fig. 1) de la droite BA devra successivement occuper les positions équidistantes B, 1, 2, 3, A, les longueurs B1, 12... étant supposées des parties égales de la course AB. Si, du point O comme centre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on décrit les cercles O1, O2, O3, OA, et que l'on divise la circonférence OB en un même nombre de parties égales que les divisions de la barre BA, la rencontre des rayons passant par les points de division avec les circonférences décrites indiquera les points par lesquels devra passer la courbe enveloppe du point B, et qui satisfera à la condition de communiquer un mouvement uniforme à la ligne BA par une rotation uniforme de l'axe O. On a soin d'arrondir les angles tels que celui existant en B, pour qu'il n'y ait pas d'arc-boutement.

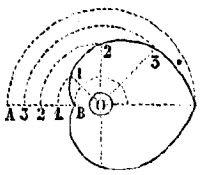


Fig. 1.

Pour produire le mouvement de va-et-vient, une oscillation descendante identique avec l'oscillation descendante, la partie inférieure de la courbe, au-dessous de AB, direction du mouvement rectiligne, est faite en tout semblable et symétrique avec la partie supérieure.

Cette courbe est évidemment une partie de spirale d'Archimède allongée, dont l'équation est $\rho = a\omega + C$; le rayon vecteur, moins une quantité constante, est constamment proportionnel à l'angle décrit.

Lorsque le mouvement transmis dans chaque sens doit correspondre à plus d'un tour, on peut encore, pour chaque période de mouvement, employer plusieurs tours d'une spirale d'Archimède. La figure 2 représente une disposition de cette nature, dite vis plate. La rainure en forme de spirale tracée dans le plateau reçoit une cheville implantée à l'extrémité de la barre. Une seconde spirale, tracée en sens contraire, se raccordant à la première à ses deux extrémités, pourrait produire le mouvement rectiligne inverse du premier sans changer le sens du mouvement circulaire.

Il résulte du tracé ci-dessus de la courbe en cœur que toutes les droites passant par le centre O, terminées de part et d'autre aux deux courbes, sont égales à OA + OB = BC. Ainsi O3, par exemple, sera de O à 3 égal à OB + B3 sur la ligne AB, et le prolongement jusqu'à la courbe inférieure sera, à cause de la symétrie, égal à O1, ou OB + B1 = A3 + OB; donc la ligne totale sera égale à OB + B3 + A3 + OB, = OA + OB.

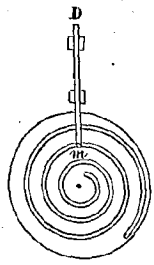
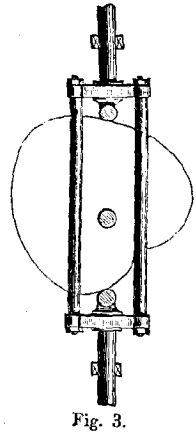


Fig. 2.


Fig. 3.

La propriété ci-dessus offre l'avantage de permettre de communiquer le mouvement rectiligne par deux points écartés situés de chaque côté de la courbe, ce qui assure la régularité du mouvement, et, mieux qu'une rainure, rend l'emploi de cet organe possible dans les cas où la résistance change de direction pendant le mouvement. On munit alors la pièce à mouvoir de deux chevilles, ou mieux, pour diminuer les résistances de frottement, de deux galets placés aux points sur lesquels agit la courbe (fig. 3). Les axes de ces galets, parallèles à l'axe de rotation projeté en O, doivent être reliés par un châssis de forme invariable, guidé de manière à ne pouvoir se mouvoir que suivant AB.

L'emploi de galets doit faire modifier le tracé de la courbe, qui doit leur être tangente dans toutes leurs positions. Pour obtenir la courbe convenable, il faut, d'un nombre suffisant de points de la courbe tracée comme ci-dessus, décrire de petites circonférences avec un rayon égal à celui des galets et leur mener une courbe tangente, qui sera la véritable forme de l'excentrique.

Si le mouvement ne devait pas être uniforme les positions successives ne seraient plus également distantes, mais le tracé de l'excentrique s'obtiendrait de la même manière. Ainsi supposons comme application de ce genre de courbes, qu'il faille obtenir diverses intermittences dans le mouvement, la courbe serait encore facilement tracée; par exemple, qu'il fallût (fig. 4) que dans le premier quart de tour le point B marchât uniformément jusqu'en A, que, dans le second quart, il y eût intermittence, que, dans le troisième quart, le point B revint uniformément de A en B, puis qu'enfin, dans le quatrième quart, il y eût de nouveau intermittence. Les parties BD, CE, se traceront comme nous l'avons vu pour le mouvement uniforme, et les parties DC, BE, seront des arcs de cercle ayant leur centre en O et ne pouvant, par suite, imprimer aucun mouvement résultant d'excentricité. Cet emploi de parties circulaires, pour suspendre le mouvement engendré par un excentrique, est souvent usité.

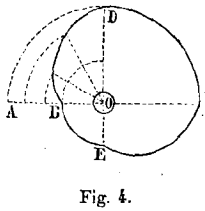
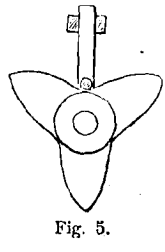


Fig. 4.


Fig. 5.

La figure 5 montre un exemple de combinaison de plusieurs saillies, lorsqu'il faut que le mouvement rectiligne alternatif ait plusieurs allées et venues, trois dans le cas de la figure, pour un seul tour de la roue. C'est donc un tiers de quatre droits qu'il faut diviser en un nombre de parties égal au nombre de points déterminés sur la tige menée en ligne droite; on obtient ainsi un nombre voulu d'oscillations pour chaque tour du mouvement circulaire.

En résumé:

1° Il y a autant de va-et-vient de la tige à chaque révolution que la courbe renferme de parties rentrantes, de diminutions de rayons vecteurs succédant à des augmentations;

2° La durée d'un va-et-vient est d'autant plus petite, par tour de l'axe, que l'angle des rayons vecteurs extrêmes de l'angle est plus petit;

3° Des rainures assurent le mouvement de va-et-vient dans le cas de tiges qui ne portent pas par leur poids sur l'excentrique.

Vitesses. — La courbe des espaces, qui permet par ses tangentes de déterminer les vitesses, est facile à ob-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tenir. En effet, développant la circonférence O suivant une droite *ab*, et partageant chaque moitié *ac* et *cb* en autant de parties égales que la course totale de la tige, en six parties par exemple, en chaque point on élèvera des perpendiculaires sur lesquelles on prendra des longueurs égales au chemin parcouru par la tige, et, par les points ainsi déterminés, on fera passer une courbe qui sera la courbe cherchée (fig. 6), dont les tangentes

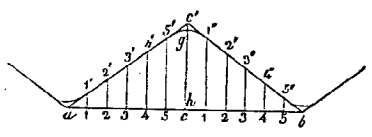


Fig. 6.

donneront en chaque point, par leur inclinaison, le rapport des chemins parcourus circulairement et en ligne droite. Cette construction s'applique à toute forme d'excentrique; dans le cas des courbes en cœur, les espaces parcourus par la tige étant proportionnels aux angles parcourus, la courbe sera remplacée par deux lignes droites. Les arrondissements pratiqués à l'origine et au sommet de la courbe modifient quelque peu en ces points la relation des mouvements; il est facile de relever, en traçant la courbe exactement, les petites variations qui en résultent.

Excentrique à vitesse variable. Les excentriques sont la traduction, sous forme de courbe, de la loi du mouvement à engendrer; quand elle peut être quelconque pendant la durée de l'oscillation, on ne doit pas en général recourir aux courbes en cœur qui produisent des mouvements rectilignes proportionnels aux rotations de l'axe, ce qui n'est pas la condition à remplir pour un organe de mouvement alternatif. Au lieu de ces courbes qui ne remplissent pas les conditions dynamiques d'un bon travail, causant un brusque passage du repos au mouvement de la tige qui possède un mouvement rectiligne, on peut se proposer de construire une courbe dont le mouvement s'accélère uniformément depuis l'origine de la course de la tige jusqu'au milieu, et se retarde ensuite uniformément depuis le milieu jusqu'à la fin de la course, de sorte que la vitesse croisse et décroisse de quantités égales en des temps égaux. Nous allons donner ce tracé d'après M. Morin.

Supposons que la course totale doive être de 0m,20 dans une demi-révolution; pour la période d'accélération correspondante au quart de la circonférence, elle sera de 0m,10 (fig. 7). Sur une ligne d'abscisses OA,

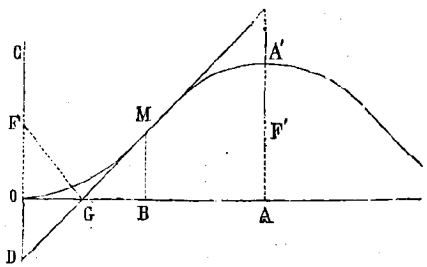


Fig. 7.

portons le développement de la circonférence correspondante à la naissance de la courbe. Prenons OA égal à la moitié, et OB égal au quart de cette circonférence, et au point B élevons une perpendiculaire égale à la moitié (0m,10) de la course: on aura ainsi une abscisse et une ordonnée de l'un des points de la courbe de la relation des mouvements, et comme on sait que cette relation doit représenter un mouvement uniformément accéléré, la courbe sera une *parabole* dont l'axe sera la perpendiculaire OC, et dont l'axe OB sera la tangente à l'origine. D'après les propriétés connues de ce genre de courbe, on portera de O en D une distance égale à $OD = BM = 0^m,10$, ou à la demi-course; on joindra le point M au point D par la ligne MD, qui sera une tangente au point M à la courbe et qui coupera OB en un point G; en ce point on élèvera à la ligne MD une perpendiculaire qui rencontrera OC au point F, foyer de la parabole. Connaissant ainsi les axes et les foyers de cette courbe, on achèvera son tracé par la méthode connue. Cette portion de la courbe du mouvement étant tracée, les autres branches correspondantes aux 2e, 3e, 4e quarts, doivent être exactement les mêmes, mais disposées symétriquement. On reportera de A' en F' la distance OF du foyer au sommet, et l'on tracera ainsi les deux parties supérieures de la courbe de relation des mouvements. On complétera d'une manière analogue le dernier quart, qui donnera le tracé complet de la courbe cherchée.

Cela fait, on divisera la ligne d'abscisses AO correspondante à la demi-circonférence en dix parties, on élèvera en chaque point de division des perpendiculaires limitées à la courbe. On partagera de même en dix parties égales la demi-circonférence décrite avec le rayon de la naissance de la came; par chaque point de division on mènera des rayons sur lesquels on portera, à partir de cette circonférence, des longueurs égales aux ordonnées correspondantes de la courbe. On aura ainsi autant de points qu'on voudra du contour de la came (fig. 8). La courbe que l'on vient de tracer présente, comme on le voit d'après la figure, un contour très-continu, sans angle rentrant ni saillant.

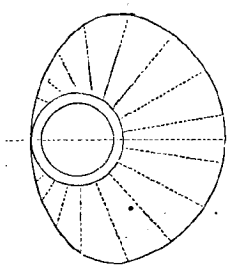


Fig. 8.

On remarquera d'ailleurs que le choix du rayon du cercle qui correspond à la naissance de la courbe est à peu près arbitraire; en l'augmentant par rapport à la course à obtenir on rend l'action de la came sur la tige moins oblique; mais comme on accroit en même temps le chemin parcouru par le frottement, il convient de ne pas l'augmenter au delà de ce qui est nécessaire dans chaque cas. Il est utile d'observer que par suite de l'identité des deux parties, placées inversement, de la courbe des espaces, la courbe de l'excentrique peut être comprise entre deux galets, les quantités ajoutées à chaque rayon d'un même diamètre formant par leur somme une longueur égale à la course, mais non entre deux tangentes (ni par suite dans un cadre), les courbures étant différentes.

Nous avons donné en détail le tracé précédent, surtout parce qu'il montre l'application de la méthode générale qui consiste, à l'aide du tracé préalable d'une courbe rapportée à des coordonnées rectangulaires représentant la relation que l'on veut obtenir entre les chemins parcourus par les deux éléments, à en déduire le tracé de l'excentrique.

On doit classer dans la même série encore une forme d'excentrique très-facile à exécuter, celle où l'excentrique est un cercle dont le centre est en *b*, et qui tourne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autour du point o (fig. 9), ac étant la direction rectiligne assurée par des guides au galet c; nous retombons sur l'excentrique circulaire, dont nous avons indiqué la meilleure disposition à l'article BIELLE, et la vitesse du mouvement rectiligne est celle de l'extrémité de la bielle dans le système composé de la bielle et de la manivelle; ab, l'excentricité étant le rayon de celle-ci, bc rayon du cercle, la longueur constante de la bielle.

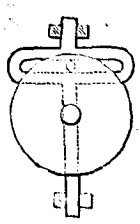


Fig. 9.

Rainures appartenant au système plan. — Dans les divers systèmes qui précèdent, une cheville ou galet est adaptée au système conduit, une rainure ou une courbe appartenant toujours au système qui conduit.

On peut employer la disposition inverse, adapter les courbes au système conduit, la cheville ou galet au plateau mu d'un mouvement circulaire continu.

Telle est la disposition représentée dans la figure 10, dans laquelle la direction de la rainure est perpendiculaire à celle de la barre qui ne peut se mouvoir que dans le sens de sa longueur. Il est facile de voir que le rapport des vitesses dans ce système est encore identiquement celui qui peut être obtenu avec une bielle infinie et une manivelle. Pour un angle de rotation θ mesuré à partir de la position verticale du rayon, le mouvement rectiligne est de même égal à $R(1 - \cos. \theta)$, R étant la distance de la cheville au centre. Il est bien clair que les deux systèmes ne sont cependant pas équivalents dans la pratique, à cause des frottements considérables de celui que nous étudions ici.


Fig. 10.

Si l'on voulait que le mouvement rectiligne de la tige fût proportionnel à la rotation de la roue, la rainure dans laquelle glisse le galet ne devrait plus être une droite, mais prendre la forme d'une courbe facile à construire.

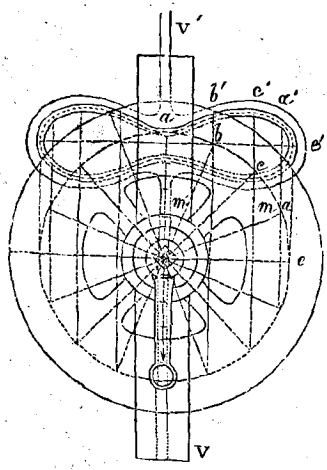


Fig. 11.

Divisons la demi-circonférence ac (fig. 11) en un certain nombre de parties égales, et la longueur de la course rectiligne, correspondant à cette rotation, en un même nombre de parties égales aussi.

Soient m, m' deux points de division correspondants. Il faut que quand le galet fixé à la circonférence et qui parcourt la courbe aa' sera arrivé en m, le point a de la tige VV' soit arrivé en m'. Si donc on prend $m'a = am'$, le point a' appartient à la courbe que le galet doit parcourir pour obliger cette rainure de descendre de la quantité am', en venant en m.

La suite de points ainsi déterminés formera un arc de la courbe suivant laquelle il faudra tracer la rainure qui, répétée dans les quatre quadrants, formera une courbe continue et fermée.

Mouvement rectiligne situé dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, mais ne le rencontrant pas. — Dans les cas précédents, la direction du mouvement rectiligne passe par l'axe de rotation. C'est une condition avantageuse au point de vue des résistances passives, et surtout pour éviter de produire des pressions obliques et par suite engendrant des frottements considérables. Lorsqu'on ne peut adopter cette disposition et que la direction du mouvement rectiligne passe à une distance notable de l'axe du mouvement circulaire, la méthode générale donne souvent des parties presque parallèles au mouvement rectiligne lors du contact, et pratiquement inacceptables pour peu surtout que la résistance soit notable. On trouve dans ce cas avantage à la modifier ainsi qu'il suit :

Les longueurs qui correspondent aux diverses positions que prend l'extrémité de la barre sont portées sur des droites faisant des angles droits avec les divers rayons du cercle décrit du centre de rotation comme centre, et tel que son rayon soit la longueur de la perpendiculaire abaissée du centre sur la direction du mouvement rectiligne. Les droites dont il vient d'être parlé coïncideront avec cette direction pour une rotation qui amènera un des rayons sur le rayon initial.

Supposons que les vitesses doivent être telles que, pour les rotations correspondant aux points 1, 2, 3, 4, 5 de la circonférence (fig. 12), la barre doive se trouver aux points I, II, III, IV, V. Menons en chacun de ces points de la circonférence des tangentes, puis du centre A traçons des cercles passant par les points I, II, III, qui viennent rencontrer les tangentes correspondantes aux points a, b, c, d. On déterminera ainsi une série de points par lesquels on fera passer la courbe demandée.

Si le mouvement rectiligne doit être uniforme, les

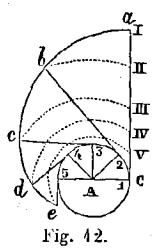


Fig. 12.

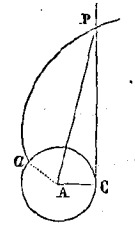


Fig. 13.

espaces I-II, II-III, III-IV, IV-V sont tous égaux entre eux, comme les intervalles pris sur la circonférence, et la courbe est une développante de cercle, si les espaces rectilignes et les intervalles entre deux points de division sur le cercle sont égaux en développement; des développantes allongées ou raccourcies, si les espaces sont dans un rapport constant (fig. 13).

Nous allons indiquer bientôt les applications de ce dernier tracé. Ce qui précède suffit évidemment pour tracer pour un rapport de vitesse quelconque, la forme des excentriques dans un cas quelconque, et montre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comment le développement des courbes croît avec la distance du mouvement rectiligne à l'axe de rotation.

EXCENTRIQUES A CADRE CIRCONSCRIT.

On trouve souvent avantage à faire agir les excentriques sur des parties droites perpendiculaires à l'axe de rotation, le mouvement produit par des surfaces tangentes à une courbe n'étant pas sujet aux arcs-boutements, comme ceux qui peuvent naître lors du mouvement d'un point sur une courbe.

La courbe cyliadrique de l'excentrique agissant sur un plan tangent, c'est à l'aide de ses tangentes que doit être fait le tracé de la courbe du profil de l'excentrique. La courbe formée par les pieds des perpendiculaires abaissées du centre de rotation sur les tangentes aux divers points d'une courbe est dite la *podaire* et celle-ci est appelée à son tour l'*antipodaire*.

Supposons que l'on donne la loi du mouvement, ou les distances d_0, d_1, d_2 du cadre au point C, pour des rotations augulaires *zéro*, i_1, i_2 de l'excentrique, et proposons-nous de trouver la figure de l'excentrique considéré dans sa position initiale.

On mène par le point C les droites CZ_0, CZ_1, CZ_2 (fig. 14), formant avec la direction du mouvement rectiligne les angles zéro, i_1, i_2, comptés en sens contraire du

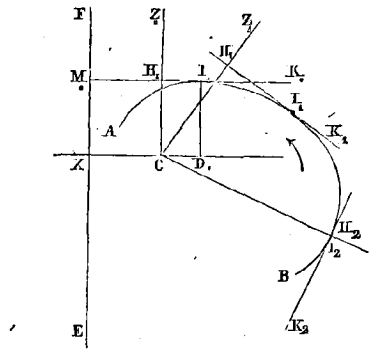


Fig. 14.

mouvement. On prend sur les droites des longueurs CH_0, CH_1, CH_2, respectivement égales à d_0, d_1, d_2; enfin, menant par ces points des perpendiculaires à chacune des droites, on aura une série de tangentes qui formeront l'enveloppe de la courbe et permettront de tracer l'antipodaire.

Puisque les côtés du cadre dessinent deux tangentes parallèles du profil à une distance invariable, il s'ensuit que les excentriques à cadre circonscrit sont nécessairement des courbes dont les tangentes parallèles conservent une distance constante.

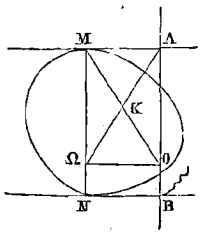


Fig. 15.

Si, dit M. Haton de la Goupillière, nous fixons par la pensée l'excentrique, le mouvement relatif du cadre sera celui d'un angle droit MAO, dont un côté AB passe continuellement par le centre O de rotation (fig. 15), et dont l'autre AM s'appuie en M sur l'arc proposé. Par suite, en menant la normale MΩ, nous reconnaîtrons que le point de rencontre de celle-ci avec la perpendiculaire élevée en O, que Ω est le centre instantané de rotation.

Si donc nous voulons savoir en quel point la droite NB touche son enveloppe, il suffit d'y projeter normalement le centre instantané (ce sera l'intersection de deux positions successives de l'enveloppe), c'est-à-dire de prolonger MΩ jusqu'à sa rencontre en N. On voit d'après cela que la corde de contact de l'excentrique et du cadre reste parallèle aux côtés transversaux.

On peut, d'après cela, se représenter le profil conjugué d'une manière simple. En effet, MN étant la normale commune aux deux courbes, et restant constante, on voit que ces lignes sont partout équidistantes et forment un couple de courbes qui sont des développantes d'une même développée. Par exemple, le profil conjugué d'une spirale logarithmique, d'une cycloïde ou d'une épicycloïde, sera une développante de spirale égale, de cycloïde égale ou d'épicycloïde semblable.

EXEMPLE I. *Pour produire le repos.* — Le profil étant un cercle concentrique de rayon R, la courbe conjuguée sera un autre arc de cercle concentrique de rayon Δ — R, si Δ est le côté du cadre.

EXEMPLE II. *Pour transmission uniforme.* — Le profil étant une développante de cercle, la ligne conjuguée sera une courbe égale, car toutes les développantes d'un même cercle sont identiques.

EXEMPLE III. *Pour transmission sinusoïdale*, celle du système bielle et manivelle. — Le profil étant un cercle excentrique du rayon R, la ligne conjuguée sera un autre cercle concentrique à celui-ci, et de rayon Δ — R. Si Δ = 2R le noyau est complétement circulaire tournant autour d'un point autre que son centre.

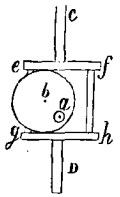


Fig. 16.

Tel est le système représenté figure 16, dans laquelle *a* est le centre de mouvement et *b* le centre du cercle. La rainure est alors formée de deux barres parallèles, assemblées à angle droit avec la barre glissante; *ab* étant la distance du centre de la cheville au centre du mouvement.

Quant à la condition de raccordement aux extrémités entre un arc et l'arc conjugué, elle se réduit à ce que la corde extrême soit normale en ces deux extrémités à l'arc proposé, et égale à la distance constante des tangentes.

Si l'on veut qu'il y ait symétrie dans la conduite, il suffit de se donner un quart du profil et d'en déduire le second par la symétrie, après quoi l'on rentrera dans le cas précédent. Le quart proposé devra, par suite, avoir ses tangentes extrêmes perpendiculaires l'une à l'autre, pour que la condition précédente soit satisfaite et qu'il y ait également continuité entre les deux portions symétriques.

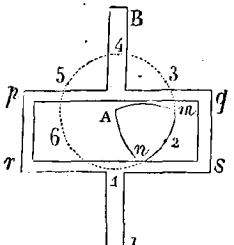


Fig. 17.

Excentrique triangulaire. — Si l'on fait Δ = R, la première courbe, le cercle conjugué se réduisant à un point, on a l'excentrique triangulaire, souvent employé pour produire un mouvement intermittent.

A est le centre de rotation de l'excentrique (fig. 17), formé par un triangle équilatéral A*mn*, dont les côtés sont formés d'arcs de cercle dont le centre est le sommet opposé du triangle, le centre de rotation A étant l'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ceux-ci. La barre mue par l'excentrique est coupée et terminée par deux barres à angle droit sur sa direction pq, rs, dont la distance est égale au rayon des arcs des contours de la came. Conséquemment, les barres seront en contact avec la came dans toute position, et il sera facile de déterminer les rapports de vitesse.

Posant $ao = r$ (fig. 18) et appelant α l'angle décrit par ao depuis l'origine du mouvement prise à l'extrémité

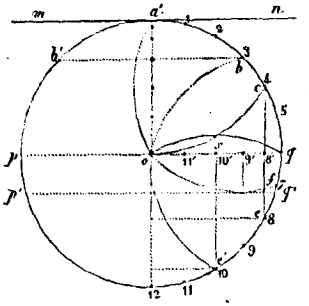


Fig. 18.

verticale de la course, et remarquant que, d'après le tracé, l'arc sous-tendu sur le cercle décrit par l'excentrique triangulaire est de $\frac{1}{6}$ de 2π; étudions le mouvement en partant du point a, le mouvement se faisant de a vers c.

L'excentrique pressant le cadre par sa partie convexe, avant qu'il n'ait parcouru $\frac{1}{3}\pi$, on a, la face oc poussant la ligne pq jusqu'à la position $p'q'$, pour valeur de l'intervalle qui sépare ces deux lignes, de l'espace rectiligne parcouru:

$$l = \text{sin. vers}\,\alpha = r(1 - \cos.\alpha), \qquad (1)$$

la perpendiculaire abaissée du point b sur ao indiquant évidemment le mouvement du cadre.

Le mouvement se continuant, le point de contact de l'excentrique avec le cadre se rapproche de l'angle c, et quand celui-ci est arrivé en e, la corde ce se trouve perpendiculaire sur oq, et le cadre a marché de la moitié de la corde ce ou du rayon ao, ou de la moitié de la course totale pour une rotation de $\frac{1}{3}$ de circonférence. Le mouvement continuant, la loi du mouvement varie lorsque l'excentrique agit sur le côté inférieur par son angle c; ainsi on aura pour la seconde partie de la course lorsque cet angle c est parvenu en e', pour la valeur de $e's$ dont le cadre est descendu:

$$l = r\cos.(\tfrac{1}{3}\pi + a_1). \qquad (2)$$

a_1 étant l'arc décrit depuis le commencement.

Lorsque es est devenu égal à ao, la course totale, le plateau de l'excentrique a décrit $\frac{2}{3}$ de la circonférence. Passé cette position, l'excentrique touchant le cadre par son arc concentrique ca, celui-ci ne s'éloigne plus du centre.

Les expressions ci-dessus montrent que l'excentrique reste en repos tant que c n'a pas dépassé 4, dans le premier tiers d'une demi-circonférence; puis le mouvement s'accélère graduellement, et la moitié de la course est parcourue quand c est en 8; le mouvement, va d'abord en s'accélérant, comme le montre l'expression (1), qui varie assez vite avec α, tandis qu'il est retardé, varie plus lentement pour un même angle dans les parties auxquelles s'applique l'expression (2).

L'excentrique triangulaire est un organe précieux, dont les propriétés expliquent bien le fréquent emploi, surtout pour conduire les tiroirs de la machine à vapeur.

Dans le tracé précédent on suppose l'excentrique placée sur un plateau disposé à l'extrémité de l'arbre tournant, ce qui souvent n'est pas admissible. Il faut alors

modifier le tracé en comprenant l'arbre dans le contour de l'excentrique, comme le montre la figure 19, ce qui

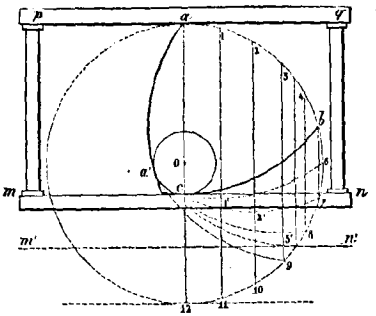


Fig. 19.

modifie peu la loi du mouvement; l'arc ab étant plus grand que le sixième de la circonférence, la tige reste en repos plus longtemps que dans le dispositif précédent.

En augmentant le rayon oc, on peut, par un tracé semblable au précédent, augmenter le temps pendant lequel la barre reste en repos, le rendre par exemple égal à $\frac{1}{4}$ de la circonférence en se donnant $oc + oa =$ égal au côté du carré inscrit.

Frottement des excentriques. — Le contour des excentriques étant toujours fort grand relativement à la course des tiges conduites, le travail consommé par le frottement, tout le long de ce contour étendu, est toujours considérable par rapport à l'effet utile. Aussi n'emploie-t-on guère ce genre d'organes que dans le cas des machines opératrices, jamais pour simple communication de mouvement, et seulement pour des pressions peu considérables. Remarquons que dans le mouvement rectiligne, outre le frottement que nous allons évaluer, la pression de la courbe sur le galet, dont on a soin de munir la tige en mouvement, qui s'exerce dans le sens du mouvement rectiligne de ce galet, il naît un autre frottement très-nuisible par suite de la pression considérable de la barre contre ses guides.

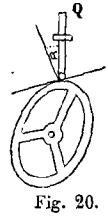


Fig. 20.

Le frottement d'un excentrique surmontant une résistance Q de direction constante, qui est celle de la tige mue en ligne droite, est égal en chaque instant à fQ cos. α. α étant l'angle de cette direction avec la normale à la courbe au point de contact (fig. 20). Pour un arc de la courbe infiniment petit ds, pour lequel celle-ci se confond avec sa tangente, le travail absorbé par le frottement sera fQ cos. αds.

On aura le travail total du frottement en faisant la somme des quantités de travail élémentaire fQ cos. αds pour tous les points de la courbe; ce qui s'obtiendra, par exemple, par la quadrature d'une aire plane limitée par une courbe tracée par points dont les ordonnées seront les valeurs successives de fQ cos. α, et les abscisses les parties du contour de l'excentrique développé.

MOUVEMENT INTERMITTENT.

Les excentriques que nous venons d'étudier agissent constamment sur la tige qu'elles font mouvoir. Lorsqu'il doit en être autrement et que les conditions du travail à effectuer ne permettent de laisser subsister de solidarité entre les divers organes que pendant une fraction de tour, il se produit un choc à la reprise des saillies. Ces saillies prennent le nom de *cames*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les *cames* servent à produire un mouvement rectiligne intermittent en agissant, soit sur des chevilles ou mentonnets, soit sur des entailles pratiquées dans les tiges guidées verticalement. Tel est le cas des pilons.

Le tracé de la courbe de la came pour une élévation uniforme est celui donné plus haut, celui d'une crémaillère, avec la condition que les dents en forme de développantes soient assez espacées pour que le pilon ait le temps de retomber après chaque soulèvement.

Les cames agissant contre les pilons au repos, et contre des mentonnets éloignés de l'axe des cylindres, constituent un appareil défectueux; outre le frottement et le choc produit lors de la rencontre de la came et du pilon, l'éloignement du mentonnet de l'axe de la tige fait naître une action de déversement et par suite un frottement contre une des moises inférieures et une des moises supérieures qui la maintiennent.

Pour diminuer les chocs, on peut quelquefois, et il faut toujours chercher à le faire quand il n'y a pas impossibilité absolue, tracer la came de manière que ses premiers éléments se confondent avec un arc d'un cercle extrêmement voisin de l'extrémité du mentonnet, au point le plus bas de la course du pilon (si la position de ce point n'est pas variable) et tangent à l'origine à cette circonférence.

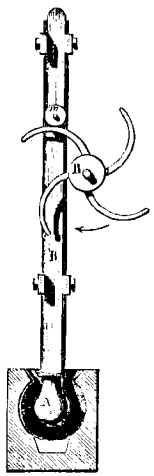


Fig. 21.

Quant à l'action de la came sur l'extrémité du mentonnet, tendant à déverser la tige du pilon et à faire naître des frottements considérables sur les guides qui la maintiennent, on l'évite quelquefois en pratiquant dans la tige du pilon (fig. 21) une ouverture pour le passage de la came, qui peut alors agir près de l'axe même du pilon.

Un rouleau placé à la partie supérieure de l'entaille diminue beaucoup le frottement, au moins jusqu'à ce que l'usure empêche ce rouleau de tourner.

Quand on ne peut affaiblir ainsi le pilon, on peut lui adapter un anneau portant deux saillies dont la direction commune passe par l'axe, et que rencontrent deux cames, semblables entre elles, agissant simultanément.

Aller et retour par double came, pour appareils où la pesanteur n'est pas en jeu. — Le système de cames est en général employé pour des appareils pesants, et par suite, le mécanisme n'a pour objet que d'élever le corps qui retombe naturellement.

S'il n'en est pas ainsi, on peut ramener la barre à sa

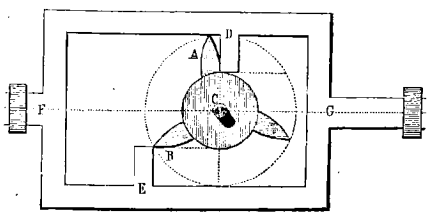


Fig. 22.

position primitive à l'aide du double système représenté dans la figure 22, où les cames agissant des deux côtés du

centre viennent pousser, dans des sens successivement opposés, le cadre guidé dans deux coulisses rectilignes, et lui communiquer par suite les oscillations du mouvement rectiligne alternatif. Les conditions à remplir pour le tracé sont tout à fait analogues à celles des engrenages; il est inutile d'y insister.

II. — MOUVEMENT CIRCULAIRE ALTERNATIF.

La théorie de la production du mouvement circulaire alternatif par contact immédiat, par l'action de courbes qui se poussent, est identique à celle exposée à propos des engrenages pour la production du mouvement circulaire continu; le plus ou moins d'étendue du mouvement circulaire ne change rien aux conditions qui servent à déterminer les formes des courbes qui agissent les unes sur les autres en chaque instant. La seule différence, c'est qu'il n'y a plus à satisfaire aux mêmes conditions de limites des longueurs des dents; que les courbes épicycloïdales, par exemple, dans le cas d'un mouvement uniforme, ont un développement bien plus grand.

Nous supposerons d'abord que le levier qui a le mouvement circulaire alternatif porte, en général, un galet ou *touche*, qui s'appuie sur la courbe.

On peut obtenir les formes voulues en adoptant les mêmes méthodes de construction que celles adoptées pour produire le mouvement rectiligne, sauf la nécessité de tenir compte de la rotation du levier qui se meut aussi circulairement.

Soit à faire parcourir à un levier KA, l'arc AB d'un mouvement uniforme, pendant que l'axe du cylindre tourne de l'arc ACD. Divisons les arcs AB et AD en un

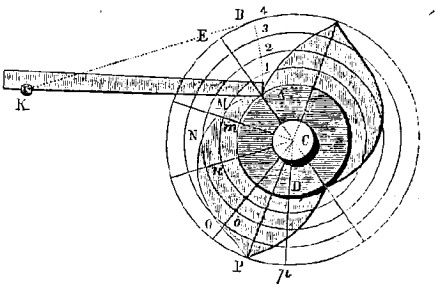


Fig. 23.

même nombre de parties égales; décrivons du centre C des circonférences concentriques passant par les points de division de AB, et menons les rayons passant par les points de division correspondants de AD.

Si l'on considère les points *m*, *n*, *o*, *p* déterminés par les intersections de ces lignes, et qu'on reporte sur les circonférences correspondantes, et en avant de ces points, les longueurs comprises entre le rayon initial CA et l'arc décrit par l'extrémité du levier sur lequel on a tracé les points de division (longueurs comprises entre le rayon CE et les points 1, 2, 3, 4, sur la fig. 23, dont le levier s'éloigne de CA par son mouvement circulaire), on obtient les points de la courbe AMNOP qui satisfait aux conditions voulues.

Rainures au système conduit. — La cheville ou galet dans la figure ci-dessus est adaptée au système conduit, et la courbe au système qui conduit. On peut employer encore l'arrangement inverse, adapter les courbes au système conduit, et la cheville au système qui conduit.

Les figures 24 et 25 représentent de semblables arrangements dans lesquels le mouvement de révolution d'une cheville excentrique *c*, parcourant la rainure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pratiquée dans un levier tournant autour du point *b*, produit le mouvement circulaire alternatif varié en raison de la forme de la courbe.

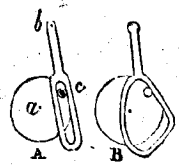


Fig. 24. Fig. 25.

La première des dispositions ci-dessus est employée dans la petite machine à raboter de Withworth (Voyez MACHINES-OUTILS); la rotation de la roue est continue et uniforme, et l'autre, celle de la rainure, alternative et irrégulière. On voit d'abord que l'oscillation dans un sens et celle de sens opposé correspondront aux deux arcs embrassés par les tangentes issues du centre de rotation de la rainure et s'effectueront par suite dans des temps inégaux.

Les limites du rapport des vitesses angulaires correspondront évidemment aux instants où la rainure se trouve disposée suivant la ligne des centres. Dans un intervalle infiniment petit, le bouton parcourt un élément perpendiculaire à cette ligne, qui peut être considérée comme un arc de cercle décrit indifféremment autour de chacun des centres avec les rayons r et $\Delta \pm r$, si r désigne le rayon de rotation du bouton et Δ la distance des centres. Les limites du rapport des vitesses seront donc:

$$\frac{r}{\Delta + r}, \quad \frac{r}{\Delta - r} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta - r}{\Delta + r};$$

le rapport du minimum au maximum; enfin la différence qui le sépare de l'unité, c'est-à-dire l'irrégularité de la transmission exprimée par:

$$\frac{2r}{\Delta + r}.$$

Excentriques agissant suivant la longueur du levier. — La construction de ces excentriques est exactement la même que celle des engrenages à flancs avec une seule dent à la roue, lorsque le rapport des vitesses des deux mouvements circulaires est constant; le levier est ici exactement le flanc d'une roue. Lorsqu'il est variable, on peut pour chaque position donnée du levier et chaque point de la roue déterminé par le rapport des vitesses instantanées en ce moment, tracer les circonférences primitives et diviser la ligne des centres en rapport inverse de ces vitesses. La construction Poncelet donnera donc une série de petits arcs auxquels la courbe cherchée sera tangente, et avec un nombre suffisant de ces arcs, la courbe pourra être tracée.

Points limites. — Les points limites de l'excursion du levier, qui se déterminent dans le cas précédent par l'intersection de circonférences ayant d'une part le levier pour rayon et de l'autre le plus grand et plus petit rayon vecteur de l'excentrique, s'obtiendront ici en menant deux tangentes du centre du levier aux deux circonférences décrites du centre de l'excentrique avec le plus grand et le plus petit rayon vecteur de celui-ci.

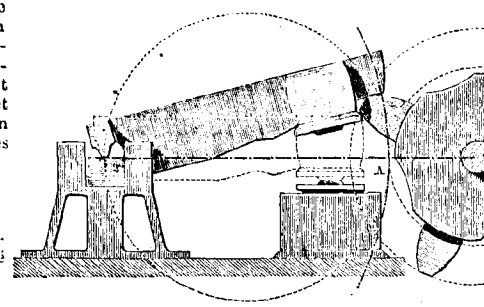
MOUVEMENT INTERMITTENT.

Nous nous sommes proposé, dans les cas précédents, de déterminer en général des excentriques qui produisent un seul va-et-vient par tour du mouvement circulaire. Lorsqu'il faut produire plusieurs oscillations du mouvement alternatif, avec un intervalle de repos (et par suite avec un choc de la pièce en mouvement contre celle en repos), on emploie, comme dans le cas précédent, les *cames*, qui, d'après ce que nous venons de dire, ne conviennent que quand le travail industriel à effectuer en exige l'emploi.

Tel est le cas des marteaux de forges et martinets, qui exigent une vitesse assez grande. Les cames doivent être assez espacées pour que le marteau ait pu reprendre sa première position par l'action de son poids ou d'un ressort, quand l'action d'une autre came vient à se produire.

Le problème à résoudre est tout à fait celui des engrenages à flancs; toutefois dans la pratique, comme il n'est d'aucune importance que le mouvement ascendant du marteau soit uniforme, le tracé exact est sans intérêt, lorsque le choc est considérable. Il n'en est plus de même lorsque les appareils sont légers à conduire, lorsque par exemple il est possible de garnir d'un rouleau l'extrémité de la came (le tracé doit évidemment être obtenu en réduisant les normales d'une longueur égale au rayon de la roulette).

Nous prendrons pour exemple de détermination théorique le marteau frontal représenté dans la figure 26, avec la condition que pendant l'action des cames, pendant le contact, les deux mouvements soient dans un rapport de vitesse constant. On voit que la partie antérieure du marteau étant considérée comme le flanc d'une dent, sa longueur déterminera le rayon du cercle dont le roulement servira à tracer les épicycloïdes formant le contour des dents. Pendant la levée (et indépendamment du choc initial), on se trouve exactement dans le cas déjà étudié des engrenages à flancs.


Fig. 26.

Frottement. — La came étant tracée en épicycloïde, l'angle θ décrit par le levier est trop grand pour qu'on puisse lui appliquer, pour calculer le frottement, la formule trouvée pour les engrenages en supposant cet angle très-petit. Poncelet a montré que la formule qui donne l'effort moyen nécessaire pour vaincre le frottement devient alors:

$$f Q \frac{R + R'}{R R'} \frac{a}{2} \left(1 + \frac{\theta^3}{2.3}\right),$$

a étant le pas des cames, R, R' les deux circonférences primitives, θ l'angle du soulèvement; et que le travail consommé par le frottement pendant que la came parcourt un arc $R'\theta$ est:

$$f Q R' \frac{R + R'}{R} \left(\frac{\theta^2}{2} + \frac{\theta^4}{3.4}\right).$$

Pour éviter le choc si nuisible dans les machines, et qui entraîne une perte de forces vives, il faut, toutes les fois que cela est possible, remplacer les cames par un excentrique continu, après avoir préalablement transformé, s'il est nécessaire, le mouvement circulaire con-

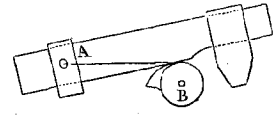


Fig. 27

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tinu en un autre, tel qu'une rotation dure le même temps qu'une oscillation du levier. La courbe ne doit alors jamais abandonner complétement le corps, pour ne pas le rencontrer au repos lorsqu'elle marche elle-même avec une certaine vitesse. Telle serait, pour le cas d'un marteau, l'excentrique tracé comme celui que représente la figure 27, c'est-à-dire tel qu'au point le plus bas de sa course, la ligne inférieure du manche du marteau se confondit avec une ligne menée tangentiellement au cylindre qui est monté sur l'axe de rotation.

AXES NON PARALLÈLES.

1° *Mouvement rectiligne alternatif.*

Dans tout ce qui précède il a été supposé que l'axe de rotation et celui du mouvement rectiligne considéré comme appartenant à un cercle d'un rayon infini, étaient parallèles. Examinons le cas où il n'en est pas ainsi.

L'excentrique réduit à une section de cylindre ne peut suffire alors. En effet, la poussée ne pouvant avoir lieu que par un point unique, tel que l'extrémité de la barre, une action commencée cesserait bientôt; le point de contact échapperait évidemment bientôt du contour de l'excentrique.

Au lieu de se limiter à des excentriques plans, on doit considérer des rainures courbes.

Si la direction du mouvement de la barre n'est pas parallèle à l'axe de rotation, la surface dans laquelle doivent être pratiquées les rainures devient un cône ou un hyperboloïde engendré par la révolution autour de l'axe, de la ligne qui est la direction du mouvement.

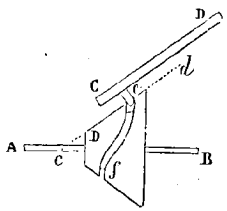


Fig. 28.

Ainsi dans la figure 28, AB est l'axe, CD la barre glissante, *e* la cheville, *cd* la direction du mouvement, qui dans cet exemple est supposé rencontrer l'axe en *c*. La ligne *cd* en tournant autour de la surface engendre un cône D en tournant autour de AB, et la cheville doit être engagée dans une rainure tracée sur la surface conique en raison de la loi du mouvement.

Entrons dans quelques détails sur la modification qu'il faut faire subir à la méthode générale pour tracer une rainure convenable pour un mouvement voulu, sur un cône adapté à l'axe de rotation, ayant pour génératrice une droite parallèle à la direction du mouvement rectiligne.

On développera la surface du cône, on partagera l'arc de base en parties égales, on tracera les génératrices pour chaque point de division, et sur chacune d'elles on portera, à partir du cercle de base, les distances que la tige mobile devra parcourir. On aura en joignant ces points le développement de la rainure, puis en enveloppant ce tracé sur le cône, on y reportera la rainure elle-même.

Appliquons ce tracé au cas où la barre étant renvoyée par un ressort, on peut ne conserver qu'une face de la rainure, faire agir sa surface sur l'extrémité de la barre; et soit à conduire la barre de manière qu'elle monte et descende, avec une vitesse constante, en un demi-tour (fig. 29).

Construisons avec un rayon DE un cercle, et prenons un arc EF égal à π R, R étant le rayon du cercle de base. Divisons l'arc EF en parties égales, 8 par exemple; portons sur chacun de ces rayons les longueurs du chemin que doit parcourir AB pour des rotations de $\frac{1}{8}$ de π R, nous aurons les points de la courbe qui, enroulée sur le cône, donnera le tracé de la surface cherchée, qui sera

formée suivant ce contour par des plans perpendiculaires à la direction de AB.

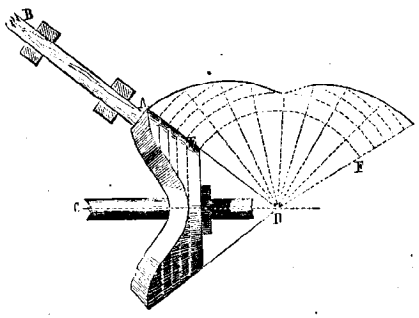


Fig. 29.

Il est inutile d'entrer dans le détail de toutes les formes et combinaisons qui peuvent être ainsi obtenues; nous nous bornerons au cas le plus remarquable, celui où la direction du mouvement est parallèle à l'axe de rotation.

Il est facile de voir que la disposition convenable dans ce cas revient à celle de la vis, qui, servant à produire le mouvement rectiligne continu pour une direction rectiligne parallèle à l'axe, fournira une solution par l'emploi d'une double hélice, comme le représente la figure 30.

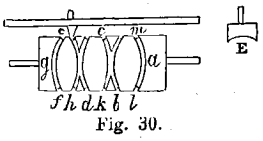


Fig. 30.

Sur la circonférence d'un cylindre on trace deux hélices complètes, l'une à droite partant de *a* et passant par *mbcdf*, arrive en *g*, l'autre à gauche qui commence en *g* et passe par *ohkl*, pour rejoindre la première en *a*. Ces deux hélices forment un tracé fermé, se continuent l'une l'autre, et permettent au cylindre d'agir d'une manière continue. Lorsqu'il tourne, la pièce E, qui passe dans une rainure et qui est attachée à la pièce glissante, prend un mouvement alternatif d'avant en arrière et *vice versa*; chaque oscillation correspond à une ou plusieurs révolutions du cylindre, en raison des révolutions de l'hélice.

Comme les rainures héliçoïdales se coupent nécessairement deux fois par chaque révolution, la pièce E doit être plus longue que la rainure comme nous l'avons représentée à part; il devient alors impossible qu'elle quitte une rainure pour l'autre aux croisements. En outre, comme les inclinaisons des filets sur la barre sont de directions opposées, il faut que la pièce E soit attachée à la barre par un axe, comme le montre la figure, pour qu'elle tourne d'un petit angle aux changements d'inclinaison.

φ étant le rapport du pas à la circonférence, on aura toujours, comme avec la vis, pour le rapport des vitesses des deux mouvements:

$$\frac{V}{v} = \text{tang.}\,\varphi = \frac{h}{2\pi r}.$$

Si la barre doit se mouvoir plus rapidement dans une direction que dans l'autre, l'inclinaison d'une rainure doit être plus rapide que celle de l'autre; de même, en variant son inclinaison dans différents points, on variera le rapport des vitesses.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce système convient très-bien pour le cas où une oscillation du mouvement rectiligne correspond à un certain nombre de rotations.

2° *Mouvement circulaire alternatif.*

Les excentriques appliqués à produire le mouvement circulaire alternatif jouissent de la propriété importante de communiquer le mouvement, quel que soit l'angle que fasse l'axe autour duquel ils tournent avec le levier oscillant. En effet, l'excentrique agissant sur le plat du levier, cette face du levier devient un flanc d'une grande longueur que l'excentrique rencontre toujours. La poussée peut donc toujours avoir lieu, souvent d'une manière inacceptable pour la pratique à cause de l'étendue du glissement. Le contour de l'excentrique doit être formé par une surface dont la face du levier représentera le plan tangent dans toutes les positions du contact.

EXPLOSION (MACHINES A). On a proposé à diverses reprises d'utiliser les effets des explosions pour faire fonctionner des machines motrices. Sauf l'emploi de la poudre à canon, pour lancer avec une vitesse énorme des projectiles, dans des conditions où l'économie du prix de revient du travail mécanique importe bien moins que la puissance de son action et la facilité de son transport, on peut difficilement utiliser ce genre d'action. La cause principale en est dans la condition de la production presque instantanée de pressions énormes, dont, par suite, la communication régulière aux organes de transmission ne peut avoir lieu sans à-coups et chocs destructeurs. Aussi ce problème posé avant la découverte de la machine à vapeur est encore à résoudre, et sa solution pourrait conduire à quelques applications curieuses, sinon de grande importance.

Il nous a paru de quelque intérêt de relater des essais faits dans cette voie. Nous ne parlerons pas de ceux qui consistent à faire détonner de la poudre ou des mélanges analogues dans des vases clos en communication avec des cylindres, dans lesquels seraient des pistons mobiles. Indépendamment des mauvaises conditions de travail d'un semblable appareil, le prix de revient de la force serait fort élevé. Poncelet donne, dans son introduction à la *Mécanique industrielle*, le calcul comparatif du prix de revient du travail de la poudre et de celui de la vapeur d'eau, dans lequel il établit que le rapport est d'au moins 90 à 1.

Les seuls essais dont nous dirons ici quelques mots sont ceux basés sur l'emploi des mélanges détonnants d'air et de gaz hydrogène, pur ou carboné; c'est en effet avec le gaz d'éclairage extrait de la houille qu'on a fait fonctionner les seules machines de ce genre, qui ont pu être appliquées dans quelques cas. (Voy. AIR CHAUD, *Complément.*)

Machine Brown. Dans cette machine, qui remonte à 1830, on utilisait surtout la propriété détonnante du mélange d'air et du gaz hydrogène, de pouvoir produire le vide par condensation de l'eau formée; le gaz hydrogène était amené par un tuyau dans un cylindre de grande capacité, fermé supérieurement par une calotte mobile, et inférieurement par une vanne-soupape.

Quand le mélange d'air et d'hydrogène était formé en proportions convenables, une soupape s'ouvrait pour le mettre en communication avec un corps incandescent qui l'enflammait. A l'instant, les produits de la combustion, soulevant la calotte, s'échappaient, entraînant la majeure partie des gaz permanents; puis, la soupape se refermant presque aussitôt par son poids, il se produisait une condensation de la vapeur d'eau formée. Alors le couvercle supérieur étant fermé hermétiquement par la pression atmosphérique, l'eau à élever soulevait la soupape inférieure, et entrait dans le cylindre dans lequel s'achevait la condensation. Cette eau s'échappait par une soupape plus élevée, aussitôt qu'un mécanisme, un système de contre-poids et de flotteurs, soulevait le couvercle du cylindre, pour y laisser rentrer l'air.

L'inventeur a disposé, plus tard, deux appareils semblables, côte à côte, pour mouvoir deux pistons alternativement, par la pression atmosphérique.

Malgré les essais réitérés de l'inventeur, cette machine imparfaite n'a pas reçu d'applications.

Machine Selligue. Dans l'année 1844, Selligue a proposé l'emploi de l'explosion du gaz hydrogène plus ou moins pur, obtenu au moyen de la décomposition de l'eau par le charbon, pour faire mouvoir les bateaux, en agissant directement sur l'eau et en supprimant tout mécanisme intermédiaire.

« Voici le fait, dit l'inventeur, qui m'a conduit à imaginer ces appareils. En faisant diverses expériences sur le gaz, j'ai remarqué que les détonations, dans diverses circonstances, avaient plus ou moins de puissance avec les divers mélanges d'air atmosphérique indiqués dans le Traité de chimie de Dumas. J'ai vu que la quantité de vapeur en suspension, ainsi que la quantité d'oxyde de carbone qui se produisent dans le gaz que j'obtiens par la décomposition de l'eau par le charbon au rouge, faisaient aussi varier les effets comme puissance et comme vitesse, si je puis me servir de cette expression. Je suis parti de là pour combiner des appareils pour faire marcher des vaisseaux et remplacer des machines hydrauliques d'une grande puissance.

« Voici la description succincte de cet appareil, dont la fig. 820 est un croquis:

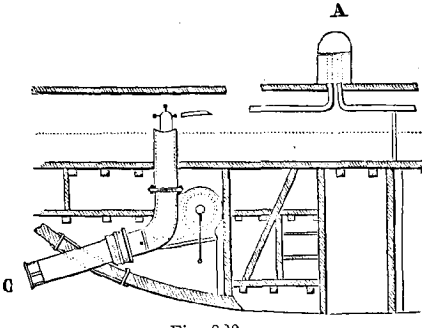


Fig. 820.

« Je place à l'arrière d'un vaisseau, et le plus bas possible au-dessous de la flottaison, deux à quatre récipients d'explosion en métal ductile. Je me servirai du mot éprouvette métallique, qui spécifie bien la forme du récipient d'explosion. Ces éprouvettes seront du calibre d'un mètre, je suppose, et de sept mètres de longueur. Je courbe cette éprouvette presque à angle droit à la distance de deux mètres et demi de la partie supérieure qui est fermée; ainsi l'autre partie du tube a quatre mètres et demi et se trouve placée presque horizontalement, et ce bout d'éprouvette est ouvert.

« A la partie supérieure de chaque éprouvette, il y a trois robinets; l'un s'ouvre après une première explosion pour laisser remonter l'eau qui reprend son niveau et chasse l'azote qui existait après l'explosion; l'autre sert à introduire le gaz et l'air dans l'éprouvette, et se ferme de suite; le troisième est combiné de manière à faire effectuer la détonation. A cet effet, il y a une flamme de gaz qui brûle par un petit orifice ménagé au centre de la clef dudit robinet, et une autre flamme placée sur le robinet, laquelle brûle constamment et rallume la première, qui s'éteint à chaque explosion.

« Il y a ensuite, dans le tube inférieur de l'éprouvette, une espèce de piston-rame articulé, de manière à laisser passer au travers l'eau qui vient reprendre son niveau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

après l'explosion. Les lames qui composent ce piston se placent horizontalement, et ne présentent que leur épaisseur comme résistance au retour de l'eau; quand l'explosion a lieu, elles présentent toute leur surface.

« Au moyen d'un mouvement de va-et-vient, mu par un mouvement circulaire et continu, je fais faire les fonctions en temps utile et marcher deux corps de pompe de grandeur et de capacité convenables, telles que *un* pour le gaz et *huit* pour l'air. Ils aspirent dans un sens et foulent dans l'autre l'air et le gaz dans l'éprouvette.

« Une explosion peut avoir lieu toutes les trois secondes dans le même récipient (je prends à présent pour point de départ, de mise en action, des récipients d'explosion dans lesquels j'introduirai 36 litres de gaz et 280 litres d'air atmosphérique; chaque explosion égalera environ 25,000 kilogrammes de force). C'est donc une seconde et demie de temps par explosion, 40 explosions par minute, et par heure 2,400 explosions à 36 litres, soit 84,000 litres. Il faut deux de mes fourneaux ordinaires pour obtenir d'une manière normale cette quantité de gaz, et la capacité totale des cylindres doit être de 3,600 litres, ce qui fait douze tubes de deux mètres de long sur $0^m,44$ de diamètre intérieur. Pour combustible en 24 heures, on brûle, dans deux fourneaux de cette capacité, 20 hectolitres de houille, et on emploie, pour chaque production de 3,500 litres de gaz, 1 kilogramme de charbon de bois ou autre pour décomposer l'eau. Ainsi, en 24 heures, c'est 576 kilogrammes de charbon. L'eau ne coûtant rien, je n'en parle pas dans ce compte.

20 hectolitres de houille, à 3 fr. 50 c. l'hectol.	70	
576 kilogr. de charbon, à 10 fr. les 100 kilog.	57	60
	127	60

« Avec 127 francs 60 cent. on a une force motrice égale à 25,000 kilogr. toutes les secondes et demie; ce qui, à 75 kilogr. par cheval-vapeur par seconde, égale 222 chevaux. Une machine à vapeur coûterait dix fois plus cher. »

Selligue dit avoir fait un appareil de démonstration qui, au moyen de 100 centimètres cubes de gaz et de 800 centimètres cubes d'air, portait 6 litres d'eau à chaque explosion à 10 mètres de hauteur.

D'après ces résultats et confiant dans la facile production du gaz obtenu par de la décomposition de l'eau au rouge à l'aide du charbon de bois, il pensait être arrivé à une combinaison fort avantageuse. Ses calculs, dans lesquels il confond la pression et le travail, relativement à un système qui n'a jamais été exécuté et qui était encore bien loin de l'état pratique, sont absolument sans valeur.

En réalité, il était séduit par l'idée, obscure pour bien des esprits, d'explosion, qui paraît susceptible de vaincre toutes les résistances, quelque grandes qu'elles soient, ce qui est erroné, mais surtout n'entraîne pas comme conséquence la production d'une quantité considérable de travail, car la détente peut être minime si l'effort est grand. Ces questions ont été avancées par l'étude de machines à explosion fondées sur une théorie plus avancée et dont nous avons cherché à formuler les principes dans l'INTRODUCTION. Le seul but rationnel que l'on peut se proposer d'atteindre avec les machines à explosion, c'est d'utiliser la chaleur qui peut résulter de celle-ci à chauffer les gaz. Le problème ainsi posé a conduit à la machine à gaz de Lenoir, et à celle de Otto et Langen, les premières qui aient donné pratiquement des résultats utiles, non au point de vue de l'économie qu'elles procurent comparativement à la machine à vapeur, mais à cause de la facilité de leur emploi dans les villes où l'on dispose du gaz courant. (Voy. AIR CHAUD, *Complément.*)

EXPLOSIONS DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. Voyez CHAUDIÈRES A VAPEUR et VAPEUR.

EXTRAITS. On distingue deux espèces d'extraits proprement dits : les extraits de bois de teinture et les extraits pharmaceutiques.

Les composés odorants que l'on désigne dans le commerce de la parfumerie sous le nom d'extraits de citron, de bergamote, de musc, de lavande, etc., ne sont, à proprement parler, que des cosmétiques huileux ou alcooliques, parfumés par des essences (voyez HUILES VOLATILES).

Les extraits aromatiques de légumes, tels que ceux de carottes, de navets, d'oignons, de poireaux, de champignons, d'estragon, de céleri, que l'on vend chez les épiciers pour donner de l'arôme à la préparation des mets, ne sont pas autre chose que des conserves de légumes cuits et concentrés à la vapeur.

Les extraits de teinture sont presque restreints aujourd'hui à la composition des couleurs pour les impressions sur étoffes de coton, de laine et de soie; on les obtient en soumettant les bois de Fernambouc, du Brésil, de Sainte-Marthe, de Cuba, de Santal, et certaines substances végétales (quercitron, fusteit, orseille, gaude, graine d'Avignon, etc.), à l'action successive de l'eau et de la vapeur d'eau.

En pharmacie, les extraits sont des médicaments composés des parties solubles des végétaux ou des animaux, ramenés par l'évaporation en consistance molle, pilullaire ou sèche.

Au reste, la grande difficulté consiste à extraire économiquement, soit la matière colorante des bois de teinture, soit les parties solubles des espèces médicinales, de façon à les réduire en pâte sèche ou en solution liquide plus ou moins concentrée; c'est là le point essentiel ou manufacturier que nous voulons traiter ici.

Comme nous l'avons dit (BROYAGE), les bois de teinture doivent être divisés suffisamment, afin que l'eau puisse agir plus facilement sur la matière colorante qu'elle doit dissoudre; mais il faut opérer cette division dans un état convenable, et à l'aide de machines et d'outils faciles à manier et à réparer en cas d'usure. Déjà une vingtaine de machines ont été inventées et publiées depuis le commencement de ce siècle pour remplir ce but (voir les *Descriptions des brevets expirés*, *Annales des arts et manufactures*, tome II, page 198), et il en existe même plusieurs assez ingénieuses, telles que celles de MM. Barcker et Boweliffe, Hunter-Murdoch, Newton, Berendorff, etc., et d'un nombre assez grand d'autres inventeurs. Toutefois, nous nous bornerons à donner ici la description de la machine la plus curieuse, celle de Valery, qui réunit des organes nouveaux et propres à scier, râper, ou réduire les bois colorants en poudre fine.

La figure 821 représente l'élévation longitudinale de la machine.

La figure 822 est la vue horizontale.

A, A, bâti en fonte de la machine; B, B, croix de Saint-André servant à assembler les deux côtés du bâti; C, coussinet de l'arbre du plateau; D, chariot qui glisse dans des coulisses sur des tringles *h*, *h*, fixées le long de l'intérieur du bâti sur de petites portées; E, crémaillère fixée sous le chariot; F, pignon engrenant dans cette crémaillère; G, G, mâchoires armées de dents qui saisissent fortement l'extrémité de la bûche; H, plateau circulaire et vertical monté sur l'arbre I, et portant les couteaux ou lames d'acier K, qui rongent la bûche; J, J, boîtes saillantes fondues d'une seule pièce avec le plateau, et recevant les couteaux, serrés entre deux plaques par une vis de pression. Ces boîtes sont disposées en double spirale sur le plateau, au nombre de six; l'intervalle occupé par chacune d'elles est un peu plus grand que le sixième du rayon du plateau, afin que les couteaux se recouvrent un peu les uns les autres, et coupent bien toute la surface que présente le bout de la bûche soumise à leur action, et qui est attaquée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EXTRAITS.

perpendiculairement à la direction de ses fibres. On n'emploie que le nombre de couteaux nécessaire, suivant le diamètre de la bûche.

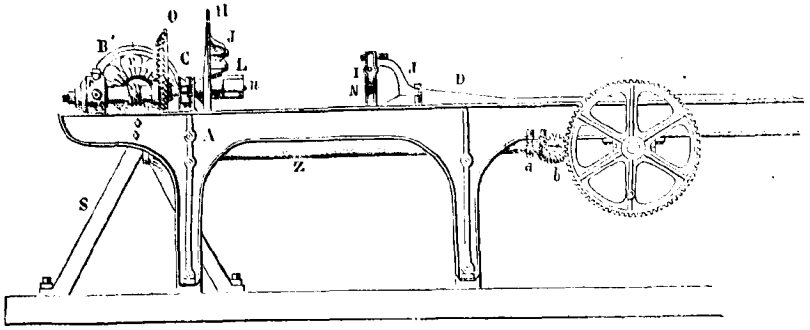
L, pièce de fer solidement fixée dans le centre du plateau, et terminée par une pointe quadrangulaire mobile armée d'une lame d'acier maintenue par une petite vis. La lame peut être avancée à mesure qu'elle est usée par le travail et le repassage; une encoche pratiquée dans la pièce L donne passage au bois coupé par la lame. Cette pièce est taraudée à sa base et sert d'écrou pour recevoir la vis de l'arbre du plateau, et faire appuyer fortement celui-ci contre son embase M. Elle fait saillie de 2 à 3 centim. au-delà des boîtes J, J. Son objet est de pénétrer dans la bûche que l'on veut réduire en poudre au moyen de la pointe quadrangulaire et de sa lame, et, en précédant les autres couteaux du plateau, de soutenir (comme le pourrait faire une forte pointe de tour) cette bûche d'une manière invariable.

N, anneau recevant l'extrémité de la bûche que l'on veut réduire en poudre; il est fixé au moyen de deux boulons sur le chariot, et soutenu derrière par une jambe de force.

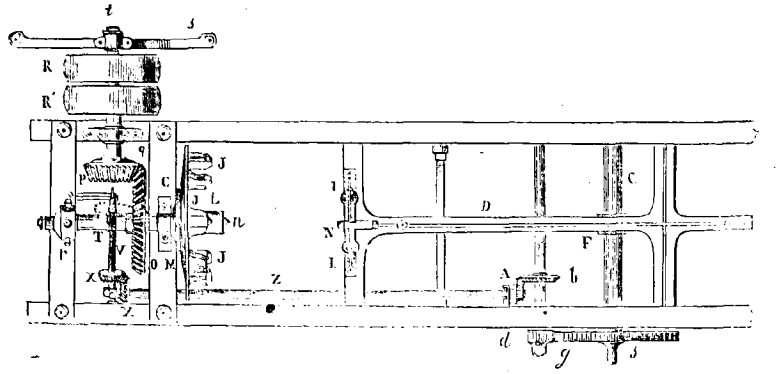
O, roue d'angle montée sur l'arbre I, et recevant son mouvement d'un pignon P ajusté sur l'arbre *q*; sur cet arbre sont aussi montées les deux poulies R, R', dont l'une est fixe et l'autre folle.

L'arbre *q* tourne dans des coussinets, dont l'un est fixé sur le bâti et l'autre sur une chaise en fonte S.

L'arbre I porte une vis sans fin, T, qui fait mouvoir la roue U. L'arbre incliné V de cette roue est muni à son extrémité d'un pignon X, engrenant avec une roue Y, montée sur l'arbre Z.



821.



822.

A l'autre extrémité de cet arbre est monté un pignon *a*, communiquant le mouvement à la roue *b* fixée sur l'arbre *c*, lequel porte un pignon *d* qui commande la roue *e*; cette roue, en faisant tourner l'arbre *f*, entraîne le pignon F, qui, engrenant dans la crémaillère E, fait avancer le chariot.

Le pignon *d* n'est qu'enfilé sur l'arbre *c*; il peut en être retiré à volonté au moyen de la poignée Q, ce qui permet de faire fonctionner le pignon F, et en même temps de reculer le chariot pour remplacer la bûche qui vient d'être rongée par une nouvelle.

Les engrenages qui font mouvoir le chariot sont calculés de manière à ce que celui-ci avance d'un quinzième de millimètre pendant une révolution entière du plateau H.

h, *h*, règles sur lesquelles chemine le chariot; elles sont attachées contre les côtés extérieurs du bâti; *i*, *i*, vis destinées à serrer fortement les mâchoires qui retiennent la bûche sur le chariot.

J, saillies adaptées au plateau et portent les couteaux ou lames d'acier qui rongent la bûche; ils sont pris entre deux petites plaques, et serrés par des vis de pression.

n, pointe quadrangulaire mobile fixée au bout de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pièce L; c'est cette lame qui, attaquant le bois debout, le réduit en poussière en tranchant de petites longueurs des fibres; *r*, crapaudine de l'arbre I; *s*, poignée adaptée à l'un des rayons de la roue *e*, pour ramener le chariot lorsque la bûche est débitée; *t*, *t*, coussinets de l'arbre *q*.

Jeu de la machine. La courroie passée autour de la poulie R fait tourner l'arbre Q qui, par l'intermédiaire des roues d'angles O, P, imprime une vitesse de 30 à 40 tours par minute au plateau H. Le mouvement est transmis par la vis sans fin T, fixée sur l'arbre I, à la roue U, et successivement aux pignons X, Y, qui, en faisant tourner l'arbre Z et les pignons *a*, *b*, puis le pignon *d* et la roue *c*, font avancer le chariot, à l'aide du pignon F et de la crémaillère E, d'un mouvement lent et régulier.

Le produit de la machine est de 175 à 200 kilogr. de poudre par jour; cette poudre est passée dans un blutoir à brosses, d'où elle sort d'une finesse et d'une égalité parfaites. (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, octobre 1839.)

Disons, cependant, que les fabricants d'extraits ne sont pas généralement d'accord sur la nécessité de réduire les bois de teinture en poudre très fine. Les uns prétendent que cette méthode est défectueuse ou au moins superflue quand on opère l'extraction de la matière colorante au moyen de la vapeur d'eau; les autres affirment, d'après leurs propres expériences, que les poudres colorantes de M. Valery rendent moins d'extraits que les bois coupés en feuillets minces au moyen de la varlope circulaire; M. Panay, l'un de nos plus habiles fabricants, nous a communiqué sur ce fait une expérience fort curieuse et très concluante.

« J'ai fait réduire, dit-il, sous mes yeux des moitiés de bûches de bois de teinture en poudre fine par la machine Valery, et j'ai réduit les autres moitiés en copeaux minces au moyen de la varlope circulaire; puis j'ai soumis les deux produits obtenus au même mode d'extraction par l'ébullition dans l'eau chauffée par la vapeur circulant dans un serpentin, et pendant le même espace de temps. A mon grand étonnement, les poudres de M. Valery, quoique parfaitement épuisées en moins de 6 heures, m'ont donné 30 p. 0/0 d'extraits de moins que les bois réduits en copeaux. » M. Panay pense que, dans les poudres tinctoriales de M. Valery, une partie de la matière colorante est altérée ou brûlée par la violence du choc, c'est-à-dire par la chaleur produite par le choc de l'outil qui coupe les fibres ligneuses dans le sens perpendiculaire. Cette opinion semblerait confirmée jusqu'à un certain point par le témoignage de M. Chevreul, qui recommande de soustraire les poudres Valery au contact de la lumière et de l'atmosphère, parce qu'elles s'altèrent, dit-il, bien plus vite à cause de leur division même.

Tout en reconnaissant ce fait incontestable, que les bois effilés, coupés, moulus ou réduits en poudre fine, sont altérés ou modifiés par l'action de la lumière et de la chaleur, nous devons convenir aussi que la fabrication des extraits et des teintures tend à se simplifier et à s'améliorer aujourd'hui, par suite de l'emploi des machines à couper et triturer les bois de teinture. On comprend aisément qu'une division mécanique, qui a pour effet de donner aux copeaux, ou particules des bois de teinture, la plus grande surface et la moindre épaisseur possibles, est extrêmement favorable à l'extraction de la matière colorante, par l'économie qu'elle apporte dans la durée de l'opération et dans la dépense du combustible; mais il faut employer les poudres ou les copeaux aussitôt après leur préparation pour obtenir le plus de matières colorantes possible.

Préparation des extraits. Jusqu'au commencement de ce siècle, l'usage suivi en France a été de réduire les bois en copeaux à l'aide d'une hache, et de laisser macérer ces copeaux pendant quelques jours dans l'eau pour dissoudre la matière colorante. Mais, en observant la contexture des bois et le dépôt de la couleur dans leurs interstices ou cellules, les Hollandais s'aperçurent les premiers qu'on perdait une quantité considérable de matière colorante. Ils songèrent alors à triturer les bois de teinture entre deux meules placées perpendiculairement sur une table ronde, dans la même position que les meules propres à écraser les graines oléagineuses.

Un ouvrier jetait sur la table et au passage des meules les bois de teinture coupés en éclats ou petits morceaux, de l'épaisseur de quelques millimètres et longs de 5 à 6 centimètres. Les meules réduisaient d'abord les copeaux en lames plus ou moins épaisses et grossières, ressemblant à des brins de filasse légèrement contournés et aplatis; puis les copeaux étaient soumis à une seconde machine à triturer, et tamisés ensuite au moyen d'un blutoir.

Pour aider la première trituration on humectait par moments les copeaux ou brins de bois; et cette humectation empêchait aussi la volatilisation des poudres colorantes.

Les bois étaient réduits en éclats par le moyen de petites haches ou de couteaux de boulanger mus à la main.

Nous lisons, dans un Mémoire envoyé en 1793 par un représentant du peuple en mission en Hollande au comité de salut public : « C'est avec ces meules que les Hollandais réduisent en poudre les bois de Santal, de Campêche, du Brésil, de Fernambouc et de mûrier. » (Voir le *Journal des Arts*, tome I^er^, page 304.) C'est à l'aide de ce procédé que les Hollandais passaient alors pour avoir un moyen particulier de préparer les couleurs, qu'ils extrayaient d'ailleurs au moyen d'une longue ébullition dans l'eau.

En 1816, M. Salleron employa le filtre-presse ou filtre hydraulique de M. le comte Réal pour extraire la matière colorante des bois de teinture. (Voir le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, tome XV, année 1816). Mais cet appareil ne permet pas d'opérer sur des quantités de matières un peu considérables. Il exige surtout une trop grande dépense de combustible pour évaporer les eaux de lavage.

Vers la même époque, M. de Rommerhausen, physicien allemand, inventa la *presse à vapeur*, qui, même aujourd'hui, peut encore paraître nouvelle et d'un bon emploi pour la préparation des extraits, sauf pourtant à la compléter par les additions, changements ou perfectionnements que l'on a apportés depuis plusieurs années dans les appareils à vapeur.

La fig. 823 représente la coupe verticale de cette presse, publiée, en 1825, dans le Traité de Leuchs sur la préparation des matières tinctoriales. (Voir la traduction par M. Péclet. Paris, 1829. Première partie, page 40.)

« *A*, est le foyer; le feu chauffe la chaudière *c*, la fumée va envelopper la chaudière *b*, et se rend dans la cheminée.

« *b*, chaudière pleine d'eau, garnie d'un tuyau à robinet qui aboutit à une chaudière à vapeur *c*; sa capacité est les 2/3 de celle de la première.

« *c*, chaudière à vapeur. Le tuyau *f* est destiné à laisser dégager la vapeur quand on veut l'alimenter; le tuyau *e*, également garni d'un robinet, communique avec la partie inférieure d'un vase, où se trouvent les corps que l'on doit soumettre à la vapeur; les deux chaudières sont en fer ou en cuivre.

« *d*, est un vase en bois de chêne. L'eau bouillante arrive à sa partie inférieure par le tuyau *e*, et passe à travers un fond percé recouvert de paille, et delà elle s'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

échappe à travers les corps qui ont été placés dans l'espace *h*. A la partie supérieure on place une grosse toile de laine ou un fond percé que l'on fixe de manière qu'il ne puisse pas être levé.

« *k*, tuyau par lequel le liquide, qui a traversé le vase *d*, se rend dans le tonneau *l*. Lorsque les corps sont aromatiques, on condense la vapeur dans un serpentin.

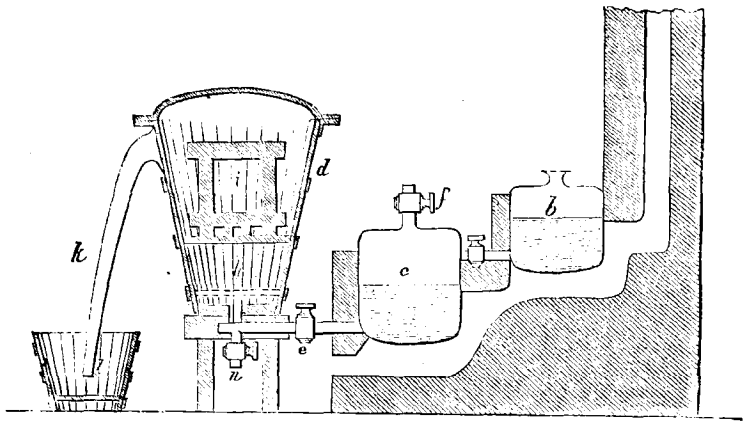
« *n* est un tuyau formé par un robinet qui sert à soutirer le liquide qui reste dans le vase.

« Pour travailler avec cet appareil, on commence par fermer tous les robinets, on introduit l'eau dans la chaudière *b* et on ouvre le robinet qui communique avec la chaudière à vapeur et le robinet *f*, pour que l'eau de la chaudière *b* puisse pénétrer dans la chaudière *c*; alors on ferme le premier robinet, on laisse ouvert le robinet *f*, on remplit de nouveau la chaudière *b*, et on chauffe.

« Pendant que l'eau renfermée dans les chaudières *a*

M. Leuchs ajoute dans une note : « Il ne faut pas ouvrir trop tard le robinet, parce que la vapeur pourrait acquérir une assez grande force élastique pour briser la chaudière. Pour éviter ces accidents, il serait convenable de garnir les chaudières de soupapes de sûreté. »

Cet appareil, disons-nous, peut être perfectionné facilement et utilement : ainsi, en plaçant plusieurs cuves ou cylindres verticaux *d*, faits solidement en cuivre, les uns à côté des autres, et en les faisant communiquer par des tuyaux de métal du haut en bas, on peut former un appareil d'extraction par la méthode dite de déplacement (voyez DÉPLACEMENT), et opérer ainsi une circulation continue de l'eau ou de la vapeur d'eau condensée, de manière à obtenir des extraits à un degré de concentration voulu. Il faudrait alors employer un générateur à vapeur marchant à haute pression, et muni de soupapes de sûreté, de pompes alimentaires, etc. ; la vapeur chauf-



et *b* se chauffe, et que les vapeurs se dégagent par *f*, on remplit l'espace *h* avec les objets que l'on veut soumettre à l'expérience; si ce sont des corps solides, ils doivent être grossièrement pilés.

« Aussitôt que l'eau entre en ébullition, on ferme le robinet *f* et on ouvre quelques minutes après le robinet *e*. La pression de la vapeur qui se forme dans la chaudière *c* force l'eau à pénétrer dans l'espace *h* (le robinet *n* est fermé); en traversant les corps qui y sont renfermés, elle dissout les matières solubles qu'ils renferment, et se rend par le tuyau *k* dans le tonneau *l*.

« S'il paraît des vapeurs dans le tuyau *k*, c'est une preuve que l'eau de la chaudière *c* est évaporée ; on ouvre alors le robinet *f* et celui du tuyau placé entre *c* et *b*, et on laisse pénétrer l'eau de la chaudière *b* dans la chaudière *c*; l'opération recommence comme précédemment et on répète cette opération jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule par le tuyau *k* soit pure, ce qui indique que les corps solubles qui renfermaient les matières placées en *h* ont été complétement entraînés.

« On peut accélérer l'opération en faisant d'abord tremper les corps pendant quelques heures dans l'eau, et encore davantage si on les fait traverser par de la vapeur. Cette dernière opération peut s'exécuter en mettant d'abord seulement, dans la chaudière *c*, quelques pouces d'eau qui se transforme rapidement en vapeur. »

ferait d'abord à l'aide de serpentins les cuves ou chaudières pour évaporer à l'air libre les extraits liquides ; elle reviendrait ensuite dans la première cuve *d*, où elle se condenserait et opérerait en même temps la circulation du liquide coloré, par l'effet de la pression dans les autres chaudières.

C'est d'après le principe de la circulation de l'eau et de la vapeur que M. Panay construit avec succès un appareil fort ingénieux, pour lequel il a pris un brevet d'invention de 15 ans, en y joignant, par des combinaisons mécaniques bien entendues, l'emploi de l'eau distillée chaude. Le dessin de cet ingénieux appareil nous a été communiqué par l'inventeur avec le plus entier désintéressement; et nous saisissons avec empressement cette occasion pour lui adresser publiquement tous nos remercîments.

Pour n'omettre aucun des renseignements théoriques qui peuvent guider dans l'étude et la marche progressive de la fabrication des extraits, nous allons décrire la composition et les principes organiques des bois le plus généralement employés.

Bois de campêche que l'on appelle aussi *bois d'Inde*. Les bûches de ce bois sont dures, compactes et lourdes ; elles sont à l'extérieur d'une couleur brun-rougeâtre ; mais elles doivent être dans l'intérieur orangé rougeâtre et exhaler une odeur de violette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le bois de campêche est composé, suivant M. Chevreul, de ligneux, d'hématine, qui contient le principe colorant assez semblable au sang, d'une matière particulière qui lui est intimement unie, d'une substance azotée, d'une substance volatile, d'une matière résineuse, d'acide acétique, de chlorure de potassium, d'acétate de potasse, d'acétate, de sulfate, d'oxalate et de phosphate de chaux, d'alumine, d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse.

L'eau bouillante enlève environ 0,03 de matières solubles au bois de campêche; la décoction contient tous les corps que nous avons déjà nommés, moins le ligneux, l'oxalate et le phosphate de chaux.

L'hématine et la matière particulière qui lui est unie sont les substances dominantes de l'extrait aqueux.

L'alcool bouillant enlève au bois qui a été épuisé par l'eau, de la matière résineuse, de l'hématine et la matière particulière.

L'acide hydro-chlorique sépare du bois épuisé par l'eau et l'alcool de l'hématine, de la matière particulière, de l'oxalate, et probablement du phosphate de chaux.

Le bois qui a été épuisé successivement par les dissolvants retient encore de l'hématine et de la matière particulière; probablement cette matière est fixée au ligneux par la substance azotée et la matière résineuse (30e leçon de *Chimie appliquée à la teinture, par M. Chevreul*, 2me vol., page 89).

Pour obtenir l'hématine pure dans les laboratoires de chimie, on fait évaporer à siccité la dissolution aqueuse de bois de campêche à une basse température et on traite le résidu par l'alcool chaud à 36 degrés. On filtre, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse et on ajoute un peu d'eau; en évaporant de nouveau et abandonnant la liqueur à elle-même, une partie de l'hématine cristallise. On lave les cristaux avec un peu d'alcool.

M. Panay obtient l'hématine cristallisée pure sans aucun traitement à l'alcool et sans aucune manutention; par son procédé, l'hématine se forme et se dépose tout simplement par le repos sur les parois mêmes des baquets en bois qui contiennent la décoction plus ou moins concentrée de campêche, et dépouillée préalablement de la matière résineuse.

L'hématine n'est employée à l'état de pureté que comme réactif dans les laboratoires; elle n'est encore d'aucun usage dans les arts et les manufactures.

Bois de Brésil. Le plus estimé dans le commerce est connu sous le nom de *bois de Fernambouc, bois de Fernambourg.*

Il est très dur, compacte, très pesant, et va au fond de l'eau. Il a une odeur et un goût sucrés; sa couleur est jaune-rougeâtre à l'extérieur, et passant plus ou moins au rouge foncé quand il a été exposé à l'air; les couches intérieures sont plus pâles et se foncent au contact de l'air.

La décoction ou l'infusion aqueuse de ce bois contient, suivant M. Chevreul, du ligneux, de la *brésiline*, qui renferme la matière colorante, une matière qui y est intimement unie, une huile volatile qui a l'odeur et la saveur du poivre, de l'acide acétique libre, des acétates de chaux, de potasse et d'ammoniaque, du sulfate de chaux et une substance azotée.

Sa solution tire moins sur le rouge que celle de l'hématine, à concentration égale.

On emploie aussi le bois de Nicaragua ou de Sainte-Marthe qui ne renferme ordinairement que le 1/3 et souvent 1/2 de la matière colorante du bois de Fernambourg, qui n'est pas, du reste, aussi belle, ni aussi durable.

Bois de Santal. Ce bois n'est employé aujourd'hui que dans la teinture; il renferme un principe colorant rouge nommé *santaline*, et une matière analogue à celles qu'on nomme résines.

Bois de Brésil jaune. Il se rencontre dans le commerce sous la forme de grosses bûches qui doivent être compactes, denses, d'une couleur jaune sans mélange de rouge.

On rencontre souvent dans l'intérieur de ces bûches une matière pulvérulente jaune ou d'un blanc tirant sur la couleur de chair, et une matière rouge dont l'aspect est résineux. M. Chevreul a désigné sous le nom de *morin*, la matière colorante de ce bois.

La décoction ou infusion aqueuse de bois est jaune d'or, mais elle peut présenter accidentellement quelques parties rougeâtres et orangées, suivant qu'elle est faite avec plus ou moins d'eau. Nous examinerons la décoction de *bois jaune* à l'article TEINTURE; et nous renvoyons pour l'examen du *morin* aux leçons de chimie appliquée à la teinture par M. Chevreul, tom. II, 30e leçon.

Au résumé, le bois de Brésil jaune est plutôt employé dans les teintures sur laine que pour les couleurs d'impression sur étoffes; les jaunes qu'il donne d'ailleurs ont l'inconvénient de devenir roux à l'air; précisément à cause des composés astringents qu'il renferme. Aussi lui préfère-t-on, dans les manufactures d'impression, le bois jaune venant de Cuba, qui donne des jaunes plus intenses et plus variés.

Au reste, les extraits de quercitron, de Gaude, de graine de Perse, sont encore supérieurs et plus brillants; et on les emploie généralement aujourd'hui dans les grandes et bonnes manufactures d'impressions et de teintures.

Usage des extraits. L'extrait de campêche sert à faire le violet et le noir; celui de Brésil est employé principalement pour le rouge sur soie.

L'extrait de Sainte-Marthe sert pour faire le rouge à bon marché, le puce et le marron sur coton.

L'extrait de Cuba est principalement en usage pour le vert et le jaune.

Il ne suffit pas, cependant, pour fabriquer des extraits vendables, de connaître seulement la composition et les propriétés des bois colorants, comme les savants chimistes les ont définis, il faut connaître encore l'état actuel de la manufacture, c'est-à-dire le mode d'employer et de mélanger les mordants pour produire sur les étoffes des couleurs brillantes et solides.

La partie commerciale et économique est aussi d'une grande importance, puisqu'il s'agit de produire des extraits que l'on vend aujourd'hui à un prix inférieur à celui du bois brut.

Préparation des extraits en grand au moyen de la vapeur. M. Panay a été un des premiers en France qui se soit livré à la fabrication des extraits aqueux, en employant la méthode d'extraction et de concentration de la matière colorante par la vapeur; ses travaux datent de l'année 1826. Au commencement de l'année 1829, cet industriel habile a monté, d'après le même principe, la fabrique d'extraits de M. Charles Meissonnier à Paris, et celle de M. Michel à Puteaux, en 1835.

Mais, au mois de novembre 1829, M. Charles Meissonnier a pris un brevet d'invention pour un appareil d'extraction, qui a beaucoup d'analogie avec la presse de Rommerhausen (voir *la Description des brevets expirés*, tome 39, page 193); toutefois cet appareil renferme des additions et perfectionnements pour l'évaporation économique des liquides, dans des vases chauffés au moyen de la vapeur.

Il est bon de dire aussi que dès le mois de mai 1828, M. Perpigna avait pris un brevet pour une méthode d'évaporation des liquides en multipliant les surfaces exposées à l'action de la chaleur (voir *les Descriptions des brevets expirés*, tome XXXVI, page 186). Son appareil était composé d'une chaudière à large ouverture avec un double fond, chauffé par la vapeur; et celle-ci circulait ensuite dans un serpentin placé au-dessus. Nous retrouvons en outre dans le *Journal de pharmacie*, tome V,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

page 302, année 1819; tome IX, page 348, année 1823, l'emploi des appareils d'évaporation, chauffés au moyen de la vapeur d'eau, pour préparer les extraits pharmaceutiques; et ces appareils sont encore les meilleurs que l'on puisse employer avec sûreté et économie.

Appareil de M. Meissonnier. La vapeur entre dans une grande chaudière de cuivre hermétiquement fermée, et dans laquelle on a placé préalablement les copeaux de bois de teinture, sur un double fond de fer-blanc troué comme une passoire à café; elle pénètre facilement les fibres ligneuses, dissout la matière colorante qu'elles renferment, se condense en partie et forme l'extrait liquide qui s'écoule au moyen d'un tuyau fixé à la partie inférieure de la chaudière, dans un vase plat et à double fond.

La vapeur surabondante s'échappe de la grande chaudière par un second tuyau placé au-dessus du niveau du liquide ou extrait coloré; elle chauffe le vase à double fond qui le contient, et se condense dans un troisième vase rempli d'eau.

L'extrait ainsi chauffé prend bientôt la consistance sirupeuse qui est généralement demandée dans les manufactures; on le met, au besoin, dans une petite bassine hémisphérique placée au-dessus de la grande chaudière, afin de lui donner la consistance molle ou sèche.

On continue ainsi l'opération, c'est-à-dire l'extraction de la matière colorante, tant que le liquide qui découle de la grande chaudière est coloré; puis on remplace le bois épuisé par du bois neuf.

Le vase qui reçoit l'extrait est peu profond et d'une assez grande dimension pour pouvoir produire promptement l'évaporation; il est ouvert à sa partie supérieure afin d'établir l'accès d'un courant d'air sur la superficie du liquide bouillant, ce qui accélère encore l'évaporation.

La chaudière d'extraction est en cuivre, et assez forte pour résister à la tension de la vapeur et à la dilatation produite par la chaleur.

En 1839, M. Beyssère présenta à l'Académie des sciences un procédé qui, au premier aspect, paraît simple et facile d'exécution; les bois de teinture réduits en copeaux très minces à l'aide de la varlope sont immédiatement soumis dans un cuvier fermé à un courant de vapeur, et quand la température de la masse totale a atteint près de 80 degrés, on découvre et l'on arrose avec quelques litres d'eau froide; puis on soutire à l'aide d'une cannelle inférieure la portion de liquide qui s'est condensée, et on la rejette à l'aide d'un arrosoir sur la surface des copeaux. Cette manœuvre est réitérée jusqu'à ce que la lessive ait atteint un assez grand degré de concentration, et alors on l'évapore d'abord à feu nu; puis au bain-marie. L'action de la chaleur ainsi ménagée permet d'obtenir des extraits bien homogènes et entièrement solubles dans l'eau chaude. Suivant l'auteur, on évite ces longues ébullitions au contact de l'air auxquelles on avait recours autrefois, et les matières colorantes éprouvent beaucoup moins d'altération. (Voir *Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 29 avril 1839.)

M. Beyssère n'a point élevé de fabrique, et tout porte à croire que sa méthode de lavage est longue et plus dispendieuse que celles employées par MM. Panay, Meissonnier et Michel. Nous reconnaissons cependant, d'après notre propre expérience, que les extraits aqueux obtenus par son procédé sont riches en matière colorante, en ce sens que celle-ci est plus vive et plus éclatante, mais il faut éviter la concentration à feu nu, qui agit sur la matière colorante en la carbonisant.

Le résultat de la coloration des extraits paraît tenir à deux causes que la science n'a pas encore suffisamment expliquées : l'une est inhérente à la fabrication elle-même, qui opère par des lavages successifs; l'autre paraît accidentelle et due au développement des couleurs par l'action d'une chaleur régulière et prolongée, en présence de certains agents chimiques ou physiques qui éprouvent eux-mêmes des modifications plus ou moins stables.

Il est probable que les phénomènes de la coloration plus ou moins intense des extraits sont analogues à ceux des couleurs, qui ont lieu dans la teinture par l'action lente et prolongée de la chaleur, au contact de l'air, et sous l'influence de certains agents (voyez TEINTURE).

Au reste, quelle que soit l'opinion que l'on ait sur le développement des couleurs des extraits, les rapprochements que nous faisons ici ne peuvent avoir aucun inconvénient, puisque nous ne les présentons pas comme définitifs, mais comme probables, et que, d'un autre côté, les extraits et les couleurs de teinture sont remarquables par leur analogie de composition.

Il est démontré d'ailleurs qu'on doit purifier les extraits de bois de teinture, tels que ceux de campêche, autant que possible de la matière résineuse, d'un excès d'hématine, des corps solides et des sels qui changent et altèrent la couleur fixée sur l'étoffe par l'impression, et nous avons reconnu même qu'en teinture les extraits d'orseille fournissent une couleur plus vive, plus économique que les orseilles ordinaires.

PURIFICATION DES EXTRAITS AQUEUX.

On précipite la matière résineuse au fond des vases, après la première évaporation, par une légère addition d'eau froide versée dans le liquide aqueux lorsqu'il est encore chaud; on la laisse déposer dans des cuviers en bois.

Après plusieurs jours de repos le liquide aqueux se compose de trois parties distinctes : l'une compacte, solide, fortement colorée en brun-rougeâtre, qui se dépose au fond des cuves et qui contient la matière résineuse, les sulfates de chaux et d'alumine, les oxydes de fer et de manganèse, etc., qu'on sépare; l'autre gluante, d'une apparence résineuse, et d'autant plus riche en couleur qu'elle est plus insoluble dans l'eau froide; la troisième partie, c'est-à-dire la partie supérieure du liquide, est sirupeuse, et plus ou moins soluble dans l'eau froide, suivant que l'extrait a été fait avec plus ou moins d'eau ou de vapeur d'eau condensée. On décante ensuite cette dernière partie et on la fait évaporer et concentrer, au moyen de la vapeur, dans un vase en cuivre à double fond, ou garni intérieurement d'un serpentin. On obtient ainsi un second extrait gluant, plus insoluble et plus riche en couleur, que l'on mêle avec la première partie. Comme nous l'avons déjà dit, l'hématine pure se dépose et cristallise sur les parois mêmes du vase sans l'intermédiaire d'aucun réactif. C'est à M. Panay que l'on doit ce procédé facile, qui lui permet de préparer et de vendre aujourd'hui l'hématine cristallisée au prix de 6 francs le kilogramme.

Quant à l'épuration immédiate des extraits du bois de Fernambouc, de Sainte-Marthe, et généralement de tous les bois de Brésil, elle a la plus grande analogie avec celle du bois de campêche, sauf la différence du principe colorant (*la brésiline*) et de la matière qui y est unie, qu'on ne cherche pas à obtenir à l'état de pureté; mais l'extrait de Fernambouc l'emporte toujours pour la quantité et la vivacité des couleurs. La cause de cette différence, dit Leuchs, provient en grande partie de ce que les bois de Brésil, autres que ceux de Fernambouc de bonne qualité, contiennent une matière colorante fauve.

Dingler a fait voir que l'on pouvait séparer cette dernière, et qu'alors on pouvait teindre avec le brésillet le bois de Sainte-Marthe, du Japon, de Sapan, etc., aussi bien qu'avec le meilleur bois de Fernambouc. Le procédé de Dingler consiste à traiter les bois par l'eau ou la vapeur d'eau, à concentrer la décoction, de manière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à obtenir 7 kil. à 7 kil. 1/2 de décoction par 2 kilogr. de bois, laissant refroidir, et y versant un kilogr. de lait écrémé trait depuis 12 à 18 heures (pour les bois peu riches en couleur 1/3 à 1/2 de moins); on agite, on fait bouillir pendant quelques minutes et on filtre. Les matières colorantes fauves sont précipitées par la coagulation de la matière caséeuse. En teignant on étend la décoction avec de l'eau. Pour l'impression, on la concentre de manière que 2 kilogr. de bois ne fournissent que 2 1/2 kilogr. à 3 kilogr. de décoction, et on épaissit la liqueur comme à l'ordinaire. Les décoctions peuvent être employées de suite, parce que par ce traitement elles ont acquis les propriétés qu'elles n'acquerraient, par la préparation ordinaire, qu'en les conservant quelque temps. On peut augmenter la quantité colorante des différents bois, et principalement celle de celui de Ste-Marthe, en laissant légèrement fermenter les décoctions. Pour cet effet on le fait moudre grossièrement, et on le met dans des tonneaux, ou en masses bien couvertes, dans un lieu dont la température ne soit ni trop basse ni trop élevée; où on l'abandonne pendant quatre ou cinq semaines. L'humidité et la chaleur y développent bientôt une fermentation qui se reconnaît à la température de la masse, qui se trouve plus élevée que celle de l'air. Après on peut le faire moudre fin et le mettre dans des tonneaux (extrait du *Traité complet de la préparation des matières tinctoriales*, par Leuchs, traduit de l'allemand par M. Péclet, première partie, page 245).

Quelques chimistes attribuent l'amélioration qu'éprouve la décoction de bois de Fernambouc par le temps, à la séparation des matières résineuses, et le fait est démontré depuis longtemps par l'expérience et par la pratique manufacturière. Il ne faut donc pas croire, *à fortiori*, que l'action simultanée de l'oxygène atmosphérique et de la chaleur ne puisse avoir aucune influence sur les bois pulvérisés, ainsi que sur les décoctions de certains bois de teinture, surtout lorsqu'on fait évaporer ces liquides à feu nu et au contact de l'air.

Il est plusieurs faits bien démontrés, c'est que si on laisse du bois de campêche, pulvérisé, pendant plusieurs mois, et même pendant des années, dans un lieu très sec et exposé à une chaleur tempérée, il perd bientôt ses propriétés tinctoriales. En évaporant une décoction de ce bois resté quelque temps à l'air, le résidu n'est presque plus soluble dans l'eau, et donne des couleurs très faibles et très fugaces (*Bancroff*).

Au contraire, la décoction de Fernambouc exposée dans une cave pendant plusieurs mois, et même pendant des années, éprouve une altération qui embellit sa couleur et le rend plus solide. Il est bon d'y jeter de temps en temps un peu de bois de Fernambouc moulu, on perd moins de matière colorante (*Leuchs*).

Ces rapprochements nous conduisent à reconnaître que les belles couleurs des extraits de bois sont, pour la plupart, le résultat d'opérations chimiques plus ou moins adroites et bien entendues; que le développement ou l'altération de la matière colorante sont subordonnés à diverses circonstances inconnues, qui en modifient plus ou moins les nuances.

Quant au meilleur mode d'évaporation (voyez ÉVAPORATION), l'expérience prouve qu'il y a avantage à évaporer lentement, au moyen de la vapeur à basse pression, afin de ne point altérer la matière colorante, et pour amener les extraits constamment au même degré de concentration. C'est ainsi que M. Panay opère, et ses préparations, dont la production s'élève au chiffre énorme de plus de 700 kilog. par jour, sont justement citées et appréciées dans les manufactures d'impressions.

PRÉPARATION DES EXTRAITS PHARMACEUTIQUES.

Les extraits sont classés par les pharmaciens de la manière suivante :

1° Les extraits faits avec le suc des plantes vertes;

2° Les extraits obtenus par l'action de l'eau, soit à froid, soit à chaud, sur les plantes sèches, et appelés *extraits aqueux;*

3° Les extraits obtenus au moyen de l'eau et de l'alcool appelés *extraits hydro-alcooliques;*

4° Les extraits obtenus avec l'alcool seul, et appelés *extraits alcooliques* ou *résineux;*

5° Les extraits obtenus avec le vin, qui ne sont guère plus employés.

A ces cinq variétés d'extraits, M. Dausse, pharmacien à Paris, en a ajouté deux autres qui sont dues à ses recherches.

1° Les extraits obtenus par l'intermède de l'éther et de l'eau, qu'il appelle *extraits aqueux éthérés;*

2° Les extraits obtenus au moyen de l'eau, de l'alcool et de l'éther, qu'il appelle *extraits hydro-alcooliques éthérés*. Ces deux extraits ne se préparent qu'avec les plantes aromatiques.

Pour les préparer, il faut employer toutes les opérations que nécessite la fabrication des extraits de teinture, c'est-à-dire l'*extraction des matières* solubles par l'action de l'eau ou de l'alcool, soit à froid, soit à chaud, l'*évaporation* et la *concentration* du liquide aqueux par le chauffage au moyen de la vapeur et la distillation régulière et méthodique.

On doit employer surtout le moyen d'extraction à l'eau froide ou tiède, et celui d'évaporation au bain-marie ou à la vapeur, ou dans le vide, pour transformer les sucs végétaux en extraits sans les altérer. On sait d'ailleurs que la plupart des extraits pharmaceutiques obtenus par la décoction ou l'infusion à chaud et l'évaporation à feu nu se colorent fortement, et contractent un goût empyreumatique très désagréable.

L'extraction s'opère facilement à froid, lorsqu'on fait usage d'un appareil fondé sur la méthode de déplacement; et depuis l'heureuse application de cette méthode, tant recommandée par MM. Boullay, Guibourt et autres, des expériences ont prouvé que, traités à froid par l'eau ou l'alcool, les substances médicamenteuses cèdent à ces liquides toutes les parties solubles qu'elles renfermaient, et cela en employant beaucoup moins de liquides que par les anciens procédés.

Le mode d'évaporation de la solution aqueuse, dans un vase à double fond chauffé par la vapeur, n'altère en rien l'extrait que l'on veut obtenir. Pourtant la majeure partie des pharmaciens emploient encore l'évaporation et la concentration des extraits à feu nu ou à l'aide du bain-marie. Nous ne connaissons qu'un seul pharmacien à Paris, M. Dausse, qui emploie le chauffage à la vapeur, et encore depuis quelques années seulement; il est aussi le premier qui ait fabriqué par ce procédé les extraits pharmaceutiques en grand.

Au résumé, voulant fournir sur la préparation des extraits pharmaceutiques des indications exactes, nous avons recueilli et mis en ordre les travaux des hommes spéciaux.

Extrait du Dictionnaire universel des Matières médicales, par Mérat, 1831. « On les prépare en faisant évaporer le suc des plantes fraîches, naturel ou dépuré, ou l'infusion, la décoction, la macération ou la digestion de ces plantes, pour leur donner la consistance qu'ils doivent avoir, soit par l'ébullition (ce qui est le plus mauvais procédé), soit par l'évaporation lente sur le feu, à l'étuve, à la vapeur, au soleil. Un extrait bien préparé doit être lisse, luisant, fléchir sous le doigt sans y adhérer, et se dissoudre complétement dans l'eau. Les extraits doivent se conserver à l'abri de l'air, dans des endroits secs, et être visités de temps en temps pour voir s'ils ne s'altèrent pas, auquel cas il faut les renouveler, et non les remanier. En les cuisant ou les décuisant, comme on le recommande dans les pharmacopées, on les altère; car le moindre changement leur ôte leurs propriétés; il faudrait les conserver dans des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

flacons à large ouverture bouchés à l'émeri. Les extraits présentent beaucoup de différences, suivant leur mode de préparation, ainsi que l'a prouvé M. Orfila, qui a conclu des expériences qu'il a faites de la température employée pour l'obtenir (*Toxicologie*, tome II, page 214), que ceux préparés par décoction et évaporés par ébullition sont presque sans propriétés; les meilleurs sont ceux faits récemment par l'infusion de la plante sèche. Comme chaque pharmacien prépare à sa manière ce composé médicinal, qu'il apporte plus ou moins de soins dans sa confection, il en résulte que les extraits sont fort différents, suivant les officines. Toutes choses égales d'ailleurs, ils diffèrent encore suivant que l'année a été sèche ou pluvieuse, que la plante employée a été récoltée dans des localités chaudes ou humides, sauvage ou cultivée, que l'extrait est ancien ou nouveau. On voit donc que ce genre de médicament ne saurait être toujours le même, et que ses effets doivent être nécessairement incertains. Il n'y a que les extraits très actifs auxquels il reste toujours une partie de leurs propriétés naturelles. »

Le but qu'on se propose en faisant des extraits est triple; on a l'intention : 1° de conserver les principes qu'on suppose les plus précieux des substances employées pour les saisons ou les lieux où elles existent peu fraîches; 2° de les rapprocher sous le moindre volume possible; 3° d'en faciliter l'administration. Ces deux dernières intentions sont assez bien remplies; mais il n'est pas certain qu'il en soit de même de la première; on n'a dans un extrait, comme nous l'avons dit, que les parties solubles dans l'eau de végétation, ou le liquide employé; il y en a d'insolubles qui n'en font point partie, et qui cependant ont aussi des propriétés non équivoques. C'est donc la plante entière qu'il faut employer lorsqu'on veut avoir toutes les vertus qu'elle possède. Il n'y a donc que l'usage, aidé de l'analogie, qui puisse donner au juste le degré de valeur des extraits.

Les doses des extraits sont en général du quart de la quantité de la plante en nature; ainsi la belladone, l'aconit, la jusquiame, etc., dont on donne deux grains en poudre, se prescrivent par demi-grains, en extrait; dans les végétaux moins actifs on peut donner moitié en poids. On les administre en bols ou en pilules, parce que leur saveur est toujours amère et désagréable; ils servent, en outre, d'excipient pour d'autres substances dont on fait des pilules. On mêle fréquemment les extraits au savon et à d'autres médicaments fondants. Lorsqu'on ajoute aux extraits la partie verte de leur suc, on les dit préparés à la manière de Storck. On ne connaît qu'un petit nombre d'extraits animaux, ce sont les tablettes de bouillon, l'extrait de fiel de bœuf, de cantharides, etc.

Les extraits peuvent contenir les principes suivants : Extractif alcaloïde, gomme, gomme-résine, fécule, mucilage, gluten, soufre, acide benzoïque, citrique, etc.; sels, principes colorants, etc. On y trouve parfois du fer, du cuivre, qui viennent des vases qui ont servi à les préparer.

Extraits obtenus avec le suc des plantes, par Dausse. Généralement pour préparer ces extraits, on fait usage d'un FILTRE-PRESSE. La seule modification que M. Dausse a apportée à ce procédé, consiste en ce que, pour ne rien perdre de la substance extractive que retiennent toujours les résidus après l'expression, il met ces derniers dans des cylindres à déplacement où ils sont épuisés par l'eau, jusqu'à ce que celle-ci passe insipide; c'est de cette manière qu'il prépare les extraits de tige de laitue, de turyons d'asperges, etc.

Extraits aqueux. Pour les extraits aqueux, toutes les substances, à l'exception d'un très petit nombre, sont soumises à l'action du *filtre-presse*. Fleurs, feuilles, écorces, bois, racines, sont traités dans cet appareil par l'eau à la température ordinaire; quelques plantes seulement sont traitées au moyen de l'eau chaude.

Les racines, les écorces et les bois, les feuilles sont réduits en poudre grossière. Il y a certaines fleurs qu'il ne faut point pulvériser, si l'on veut que l'opération ait un résultat satisfaisant.

Lorsque la substance à traiter est très avide d'humidité, et susceptible de se dilater considérablement, on l'humecte préalablement avec une suffisante quantité d'eau pendant quelques heures; c'est ainsi qu'on doit traiter la poudre de têtes de pavots, de racine de patience, de rhubarbe, etc. On les introduit ensuite dans le cylindre à déplacement, en les tassant légèrement. On déplace la première eau employée, en ajoutant de l'eau sur le filtre, et on continue successivement à en ajouter de nouvelles quantités jusqu'à ce que la substance soit épuisée.

Pour les bois durs, tels que le gayac, le quinquina, le buis, etc., qui se dilatent très peu, on les place de suite dans le cylindre, sans les avoir humectés préalablement, et on verse de l'eau par dessus. La poudre de ces substances se dilate un peu à mesure que l'eau les pénètre; mais cette légère dilatation, loin de nuire, empêche que l'eau ne les traverse trop rapidement; but qu'on atteint d'ailleurs, avec la précaution de tourner le robinet qui se trouve au bas du cylindre, de manière à ce qu'il ne sorte qu'un petit filet d'extrait, et à permettre que les substances et l'eau soient longtemps en contact pour que le liquide puisse se charger des principes médicamenteux.

Enfin les extraits sont placés dans une capsule au bain-marie, pour coaguler l'albumine qu'ils contiennent presque tous; après on les retire pour les laisser refroidir et les filtrer au papier. Ils sont ensuite remis dans la capsule pour achever la concentration de l'extrait.

Les extraits ainsi évaporés entièrement au bain-marie, sont entièrement solubles dans l'eau froide; avantage que n'offrent pas les extraits obtenus par décoction, surtout quand on les évapore à feu nu, soit en totalité, soit en partie; en outre, le mode d'évaporation à feu nu carbonise toujours une partie notable des extraits, et leur communique à tous une odeur analogue que l'on désigne par le nom d'*odeur d'extrait*.

Extraits hydro-alcooliques. Pour préparer ces extraits on emploie l'alcool tantôt à 22°, tantôt à 24°, selon la substance que l'on veut traiter; mais il est inutile de faire macérer préalablement la poudre. On se contente de la placer dans le cylindre, garni à son extrémité inférieure d'un disque d'étoffe de laine. Après avoir placé un disque en fer-blanc percé de petits trous sur la surface unie de la poudre, on verse l'alcool, que l'on déplace successivement, jusqu'à l'entier épuisement de la substance. Seulement on a la précaution de remettre sur le filtre les premières parties qui sortent troubles, jusqu'à ce que le liquide extrait soit très clair. On déplace les dernières quantités d'alcool retenues par la plante, au moyen de l'eau, afin de ne rien perdre du menstrue employé. Ces extraits, bien clairs, sont distillés dans un alambic chauffé au bain-marie, afin de recueillir la majeure partie de l'alcool employé. Le résidu trouble est versé dans une capsule et évaporé au *bain-marie*. Vers la fin de l'opération, on remue le produit avec une spatule en os, afin de bien mélanger les principes abandonnés par l'alcool et l'eau, et d'avoir un extrait homogène.

Comme pour les extraits aqueux, il est convenable d'employer 2 kilog. d'*alcool* à 22 ou 24° par 500 gram. de substances.

Extraits alcooliques ou résineux. On doit toujours employer de l'alcool à 34° ou 36°, afin de ne pas dissoudre la matière extractive aqueuse qu'ils ne doivent pas contenir, sans quoi, si l'on veut les obtenir bien purs, on est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

obligé, pour les en débarrasser, de les laver avec de l'eau chaude, quand ils sont en consistance pilulaire.

Au reste la marche de la préparation est absolument la même que celle adoptée pour obtenir les extraits hydro-alcooliques.

Extraits vineux. On préparait jadis les extraits d'absinthe, de fumeterre, etc., en traitant ces plantes avec le vin blanc. Ces extraits ne sont plus en usage. De tous ceux de cette espèce, il n'y a que celui qu'on prépare avec la racine d'ellébore noir, en la traitant par l'alcool, le vin et le sous-carbonate de potasse, qui soit encore employé et seulement dans la préparation des pilules toniques de Bacher.

Extraits aqueux éthérés et extraits hydro-alcooliques éthérés. Dans la préparation des extraits aqueux éthérés on ne doit avoir en vue que d'obtenir le principe soluble dans l'eau et le principe aromatique.

Dans la préparation des extraits hydro-alcooliques éthérés, le but est d'obtenir les principes solubles dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther.

On emploie les plantes aromatiques à l'état sec, bien conservées et de premier choix. Quoique sèches, elles contiennent encore beaucoup d'huile essentielle. Chacune d'entre elles fournit, par 30 grammes et selon sa nature, depuis 2 grammes 1/2 jusqu'à 7 grammes 1/2 et plus d'huile tant fixe que volatile et aromatique.

Voici la manière d'opérer :

La substance est préalablement pulvérisée, placée ensuite dans un cylindre à déplacement, pourvu de tous ses accessoires; vous versez alors dessus un poids égal d'éther sulfurique; vous déplacez ensuite cet éther par l'alcool à 33° et à son tour l'alcool est déplacé par l'eau. Avec ce dernier menstrue vous lessivez, sans discontinuer la substance, jusqu'à ce que le liquide qui passe soit insipide et incolore, l'extrait éthéré est distillé à part dans une petite cornue, pour retirer presque tout l'éther. L'extrait alcoolique est mêlé à l'extrait aqueux, et soumis aussi à la distillation, pour retirer la majeure partie de l'alcool. Ce qui reste dans le bain-marie de ces deux derniers extraits, est recueilli avec soin, placé dans une capsule, et évaporé jusqu'à la consistance d'extrait pilulaire bien rapproché; alors le résidu de l'éther, qui n'est que de l'huile fixe ou volatile est ajouté à la masse extractive et incorporé rapidement au moyen d'un pilon. Si on veut obtenir ces extraits secs, il faut attendre, avant d'ajouter les essences, que la masse extractive soit plus rapprochée que ne le comporte l'état pilulaire. Après avoir incorporé les huiles, on étend la masse sur les bords de la capsule, quelques minutes après on retire ce vase de dessus le bain-marie; et quand il est presque refroidi, on enlève l'extrait avec la pointe d'un couteau.

La disposition la plus commode est celle de l'appareil que M. Payen a décrit dans les Annales de physique et de chimie, qu'il nomme *extracteur à distillation continue.* Tous ceux qui s'occupent de l'analyse des substances végétales, ou qui demandent des solutions très chargées, soit de sels, soit d'autres principes solubles, peuvent tirer de grands avantages de cet appareil, qui offre des applications aussi heureuses que multipliées; mais nous laisserons parler l'auteur.

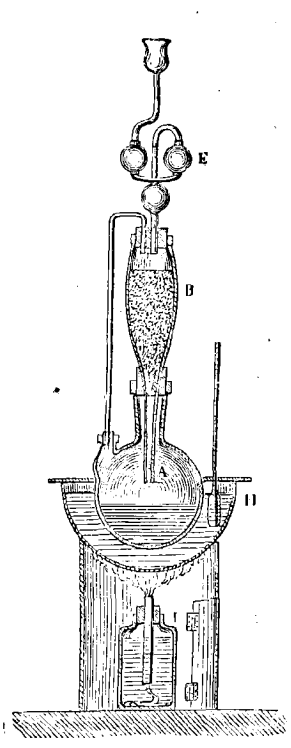
Extracteur à distillation continue, par M. Payen. Les appareils propres à déterminer les propriétés physiques et la composition élémentaire des corps, se sont tellement perfectionnés entre les mains des célèbres chimistes de notre époque, qu'ils semblent ne plus rien laisser à désirer. Il n'en est pas de même des appareils et ustensiles destinés à l'extraction ou à la séparation des principes immédiats; aussi, les travaux entrepris dans cette voie sont-ils presque toujours lents, difficiles et dispendieux.

Ces inconvénients sont plus particulièrement sentis lorsqu'il s'agit, par exemple, d'extraire d'une substance organisée la totalité des principes solubles, dans l'éther, l'alcool, et d'autres véhicules volatiles et d'un prix plus ou moins élevé.

Il faut, en effet, beaucoup de temps et de soins minutieux pour opérer, avec ces liquides, des filtrations, lavages à épuisement, et des distillations successives, afin d'isoler les principes dissous et de reprendre une partie du dissolvant; l'action de l'air, d'ailleurs outre les pertes qu'elle occasionne, vient parfois compliquer les résultats en donnant naissance à de nouveaux produits.

Ces difficultés disparaîtront si l'on fait usage de l'appareil simple et facile à diriger que j'ai disposé dans la vue de les résoudre.

Au moyen de l'extracteur à distillation continue, on réalise les conditions d'un épuisement spontané, en évitant les transvasements à l'air et réduisant aux proportions les plus minimes le temps absorbé par les manipulations, la dépense des réactifs, ainsi que les chances d'erreurs résultant de l'impureté de ceux-ci, et de la déperdition des produits extraits.



824.

On comprendra sans peine les avantages de cet appareil en examinant sa construction: il se compose d'un ballon A, fig. 824, surmonté d'une allonge B, la pointe effilée de celle-ci entre jusqu'à la moitié de la profondeur du ballon. Les parties supérieures de ces deux vases communiquent entre elles par un tube latéral *cd*. L'ensemble du système offre deux capacités closes; il était donc nécessaire de pourvoir aux dilatations et contractions des gaz et vapeurs; telle est la fonction du tube de sûreté à triple effet E, dont la première boule, *f*, condense d'ailleurs une portion des vapeurs, et fait retomber le produit liquide dans l'allonge.

Lorsqu'on veut se servir de l'*extracteur* pour épuiser par l'éther ou l'alcool, une substance en concentrant tous les produits des lavages, on garnit le col de l'allonge avec un tampon de fil de coton (1); on remplit sa panse aux deux tiers de la hauteur avec la substance en poudre sèche, on verse dessus le liquide, en quantité

(1) Lavé préalablement, ainsi que tous les bouchons, avec les mêmes liquides.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suffisante pour mouiller toutes les parties, remplir les interstices, filtrer dans le ballon et le remplir à moitié. On assujettit alors les bouchons à l'embouchure de l'allonge et à la tubulure du ballon; on fait plonger la moitié de celui-ci dans un bain-marie d'eau H. L'appareil reste maintenu dans sa position verticale à l'aide d'un support ordinaire qui embrasse le col du ballon.

Le bain-marie, recouvert d'une plaque en deux parties, est chauffé par une lampe à l'alcool I, dont la mèche peut être tellement abaissée que la température de l'eau, indiquée par un thermomètre, soit entretenue de 38 à 40 degrés centésimaux.

L'éther dans le ballon est ainsi porté et maintenu en ébullition; sa vapeur s'élève et se condense en partie dans le tube latéral. Le liquide résultant de cette condensation retombe distillé sur la substance que contient l'allonge. L'excès de vapeur et l'air dilaté se dégagent par le tube de sûreté; mais une partie de la vapeur se condense dans les trois boules, dont la première verse immédiatement son liquide dans l'allonge, et concourt à l'épuisement de la substance. Afin de régulariser la filtration, on place à la superficie bien nivelée de la substance pulvérulente trois disques de diamètres gradués, en papier à filtre.

La concentration de la solution filtrée s'opère continuellement dans le ballon; elle alimente la distillation qui fournit également, d'une manière continue, l'éther épuré à la substance, qui s'épuise par une filtration incessamment reproduite.

On parvient sans peine à régler pour plusieurs heures consécutives la température de cette sorte de circulation.

Nous citerons un exemple qui fera bien comprendre les avantages de la méthode et de l'appareil.

Deux décilitres de bois, en poudre, ont été lavés pendant trente heures, sans interruption, avec un demi-litre d'éther, et sans demander, pour la surveillance de l'opération, à différentes reprises, plus d'une heure de temps.

Il eût fallu pour obtenir les mêmes effets en opérant sur un filtre à l'air, employer au moins 5 litres d'éther, opérer plus de dix rectifications, y consacrer presque tout son temps durant trois jours, respirer constamment la vapeur d'éther, et courir quelques chances d'incendie.

On peut facilement modifier cet *extracteur* dans les formes et les dimensions de ses parties; il peut être utile, comme nous l'avons presque toujours fait, de placer l'allonge dans une cloche renversée, afin de mettre de l'eau froide dans l'intervalle entre deux vases. La modification du tube de sûreté rend l'usage de cet appareil plus commode; elle permet d'ajouter le dissolvant par ce tube, et de faire rentrer dans l'allonge le liquide condensé dans les boules; il suffit pour cela de refroidir un peu le ballon.

L'épuisement continu, au moyen de l'alcool, peut être rendu plus économique en échauffant le bain-marie, au moyen d'une lampe à l'huile dont le niveau soit constant; la flamme et la distance seront réglées de façon à entretenir la distillation de l'alcool, sans dégagement sensible de vapeur au travers du tube de sûreté.

On pourrait même placer le bain-marie sur un foyer ordinaire, où l'on brûlerait du charbon ou tout autre combustible usuel; mais alors il faudrait consacrer beaucoup plus de temps à surveiller l'appareil et diriger le feu.

L'emploi de l'extracteur à distillation continue, nous semble destiné à rendre plus faciles et moins dispendieuses diverses opérations des laboratoires. On s'en servira quelquefois avec avantage pour épuiser certaines matières par l'eau distillée; dans ce cas, on remplacerait par de l'huile ou une solution saline (1) l'eau du bain-marie.

Il est bien probable que la facilité avec laquelle on pourra extraire ainsi les matières grasses et résineuses, les huiles essentielles, permettra d'étudier ces substances, même dans les organes et les produits naturels qui n'en renferment que de faibles proportions.

Nous pourrions citer encore, pour compléter cet article, plusieurs procédés et appareils propres à la fabrication des extraits de teinture, et pour lesquels les auteurs ont pris des brevets d'invention. L'un est destiné à extraire et concentrer tout à la fois la matière colorante dans un générateur à vapeur; l'autre consiste « à hâter, dit l'inventeur, la dissolution de la matière colorante dans l'eau ou la vapeur d'eau, au moyen d'un agitateur mis en mouvement par une force motrice quelconque; » le troisième a pour objet d'extraire la matière colorante par pression et par ascension, comme on peut le faire facilement, au moyen de la presse à vapeur de Rommerhausen, etc. Mais nous préférons renvoyer les lecteurs à la description des brevets, pour qu'ils jugent eux-mêmes les procédés dans leur application possible et manufacturière. A. ROUGET DE LISLE.

F

FAIENCE (*angl.* earthen ware, *all.* steingut). La faïence est une espèce particulière de poterie que nous ne pouvons définir d'une manière nette et exacte sans mettre sous les yeux du lecteur le tableau de la classification des poteries qu'a donné M Alexandre Brongniart, l'illustre directeur de la manufacture royale de porcelaine de Sèvres, dans le beau traité des arts céramiques qu'il a publié à la fin de sa carrière.

On verra par ce tableau, que toutes les poteries, depuis les simples terres cuites, dont les molécules sont à peine liées les unes aux autres, comme les briques et les vases les plus communs, jusqu'aux porcelaines dont les molécules se sont enchevêtrées les unes dans les autres, parce que la pâte a reçu un commencement de fusion, forment une série presque continue. Les poteries qu'on appelle faïences communes ou faïences fines occupent les quatrième et cinquième ordres, et forment la transition entre la première et la seconde classe.

(1) La solution de chlorure de calcium, par exemple, dont le degré d'ébullition varie à volonté, suivant la densité qu'on lui donne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU DE LA CLASSIFICATION DES POTERIES.

CLASSES.	NOMS ET CARACTÈRES.	ORDRES.	NOMS ET CARACTÈRES.
I.	POTERIE A PATE TENDRE, c'est-à-dire rayable par le fer, argilo-sableuse, calcarifère, la plupart fusible au feu de porcelaine. *Nota.* Du XIIe siècle avant J.-C. au XVe siècle après, avec une lacune de vingt siècles.	1er ordre.	TERRES CUITES. Pâte argilo-sableuse. Surface matte. Sans aucune glaçure. *Sous ordre.* A. LA PLASTIQUE (moulée) B. LES USTENSILES. Briques, fourneaux (moulés). C. LES POTERIES MATTES. Jarres, urnes (tournées)
		2e ordre.	POTERIES LUSTRÉES. Glaçure mince. Silico-alcaline.
		3e ordre.	POTERIES VERNISSÉES. Glaçure plombifère.
		4e ordre.	POTERIES ÉMAILLÉES. (*Faïence commune.*) Glaçure stannifère. (*Appendice.*) Carreaux, briques, etc., à glaçure vitrifiée.
II.	POTERIE A PATE DURE, c'est-à-dire non rayable par l'acier, opaque, argilo-siliceuse, infusible. *Nota.* Du XVIe au XVIIIe siècle.	5e ordre.	FAÏENCE FINE. Pâte incolore. Glaçure vitro-plombique.
		6e ordre.	GRÈS CÉRAME. Pâte colorée. Sans glaçure ou glaçure silico-alcaline.
III.	POTERIE A PATE DURE, translucide, argilo-siliceuse, alcaline, ramollissable. *Nota.* Du XVIIe au XIXe siècle.	7e ordre.	PORCELAINE DURE. Pâte de kaolin. Glaçure felspathique.
		8e ordre.	PORCELAINE TENDRE NATURELLE. Pâte argilo-saline, phosphatique, kaolinique. Glaçure vitro-plombique, boracique.
		9e ordre.	PORCELAINE TENDRE ARTIFICIELLE. Pâte marno-saline, frittée. Glaçure vitro-plombique.

Les faïences communes ont une pâte colorée ou blanchâtre, tendre, c'est-à-dire assez facilement rayable par le fer, à texture lâche, à cassure terreuse ; par une glaçure rendue opaque au moyen de l'étain, on dissimule la grossièrcté de cette pâte. Ces faïences sont d'origine italienne. Elles constituent un genre qui renferme toute terre cuite ou brique revêtue d'un émail opaque.

Les faïences fines, au contraire, ont une pâte blanche, encore opaque, mais à texture fine, qui est dense et sonore ; on n'a pas besoin de chercher à en dissimuler les défauts ; aussi ne les recouvre-t-on que d'un vernis vitro-plombifère. Ces faïences sont d'origine anglaise.

Les fabrications de toutes les espèces de poteries ont des principes et des procédés communs. Nous ne donnons dans cet article que les détails qui ont plus particulièrement trait aux faïences communes, qui sont d'ailleurs les seules poteries méritant réellement ce nom ; les faïences fines se rapprochent beaucoup des grès cérames et même des porcelaines, et c'est avec raison que M. Brongniart les a mises dans une classe distincte des premières. Nous renvoyons donc à l'article POTERIE pour la faïence fine, ainsi que pour tout ce qui concerne l'examen des matériaux tant naturels qu'artificiels employés, leur préparation, le façonnage des pièces, le posage des enduits vitreux, et la cuisson.

FAÏENCE COMMUNE OU ÉMAILLÉE. L'époque connue de la fabrication de la faïence commune est moderne en Europe, et même, par toute la terre, ne remonte pas au-delà du quatorzième siècle. Les Persans et les Arabes paraissent seuls avoir connu cette faïence avant les Européens. On admet généralement que des ouvriers arabes, ou bien espagnols, mais tenant leurs procédés des Arabes, introduisirent des îles Baléares en Italie l'émail opaque stannifère. A ce sujet, nous ne pouvons mieux faire que de citer les paroles de M. Brongniart. « Le nom de *majolica*, donné alors dans presque toute l'Italie à cette faïence, dérive, suivant Scaliger, de *majorica*, Mayorque ; ce nom transformé, par coquetterie de langage, comme le dit Fabio-Ferrari, en celui de majolica, ne laisse aucun doute sur cette filiation ; cette introduction aurait eu lieu vers 1415, à peu près à l'époque où Luca della Robbia, sculpteur de Florence, fit ses figures et bas-reliefs en terre cuite, et les empâta dans un émail d'étain. » Il ne faut pas confondre, toutefois, les sculptures en terre cuite, mises à l'abri des altérations atmosphériques, par un émail dur, et qui constituent la *terra invetriata* de Luca della Robbia (1420) avec la *majolica* (1450), qui n'est qu'une transformation des poteries vernissées faites depuis longtemps à Pesaro. Ces poteries vernissées furent d'abord *engobées*, dans le but de cacher la couleur de la pâte que laissait voir leur vernis transparent, d'une couche mince d'une argile blanche, dont on les revêtait en les plongeant dans une bouillie de cette argile ; on cuisait à une basse température, et on les passait ensuite à un vernis, ou fondant, composé d'oxyde de plomb, de potasse et de sable très fin. Entre 1450 et 1500, on substitua à cette engobe l'émail stan-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nifère. La fabrication de la majolica se fit d'abord à Castel-Durante et à Florence, sous la direction des frères Fontana d'Urbin. Toutes les principales villes d'Italie voulurent ensuite avoir leurs manufactures de cette faïence qui avait obtenu une grande vogue. Parmi ces dernières se trouvait Faenza, où travaillait Guido Salvaggio.

Toutes ces manufactures faisaient bien plutôt des objets de luxe, que des vases ou ustensiles destinés à l'usage domestique; c'étaient des services de table destinés aux princes de l'époque, revêtus de sculpture d'une grande délicatesse et de peintures splendides. La majolica fut dans l'état le plus florissant, de 1540 à 1560. A partir de cette dernière époque, après la mort des frères Fontana, cette fabrication qui avait été une branche des beaux-arts, devint simplement une branche du commerce des potiers, et ses produits allèrent constamment en se dégradant.

Quoique Girolamo della Robbia, petit-neveu de Luca, soit venu en France vers 1530, et ait contribué, assure-t-on, à la décoration en carreaux émaillés du château de Madrid, à Boulogne, près Paris, il paraît que les procédés de fabrication de la faïence italienne majolica étaient entièrement perdus ou inconnus en France, vers 1560. A cette époque, en effet, Bernard de Palissy entreprit, à Saintes, les recherches qui le conduisirent, après un travail de vingt-cinq ans, au résultat qu'il ambitionnait d'atteindre, c'est-à-dire de faire une coupe semblable à une coupe émaillée d'une grande beauté qui lui avait été montrée. Bernard de Palissy, comme il le dit lui-même, « a porté son secret dans la fosse, et nul ne s'en est ressenti. » Aussi, après sa mort et après celle de ses successeurs immédiats qui fabriquèrent sans doute par routine, on cessa de faire de riches faïences dans le genre de celles assez nombreuses laissées par notre célèbre potier. Les faïences de Palissy sont caractérisées par un style particulier et par des représentations d'objets naturels en reliefs coloriés d'une très grande vérité. Entre autres objets, on remarque les coquilles fossiles du bassin de Paris, moulées sur nature, et qui peuvent être utilement employées, selon l'observation de M. Brongniart, pour faire reconnaître les vraies faïences de Palissy et les distinguer des faïences postérieures, fabriquées sans doute dans le Midi, et qui portent surtout des reptiles en relief. Dans l'émail de Palissy, on trouve souvent un grand nombre de petites gerçures.

A partir de Bernard de Palissy, l'art de fabriquer cette sorte de faïence dégénéra considérablement en France, de même qu'en Italie. Les objets ont revêtu des formes sans aucun goût, et la pâte très grossière n'est plus suffisamment recouverte par l'émail, dont les gerçures deviennent de plus en plus nombreuses. On n'en a plus fabriqué que pour les vases de cuisine destinés à aller sur le feu, les carreaux de revêtement des fourneaux, et les poêles.

Cependant, dans ces cinq dernières années, on a cherché à perfectionner ces produits, parce que les gerçures faisaient le plus mauvais effet dans les revêtements extérieurs des cheminées, qu'il est fortement de mode de garnir en faïence, au lieu d'employer la tôle ou le cuivre. On s'est appliqué à faire une faïence ingerçable, et on a à peu près réussi. Nous avons été assez heureux pour aider à résoudre le problème, et nous avons vu, depuis peu, l'une des solutions que nous avions trouvées à Paris, appliquée avec beaucoup de succès, à Berlin, par M. Feilner, qui fabrique de très beaux ornements du meilleur goût et d'une grande richesse. La nouvelle faïence est telle que l'on peut la recouvrir facilement de toutes les couleurs habituellement en usage pour peindre sur porcelaine. M. Brongniart a fait peindre des panneaux de cheminée qui ont parfaitement réussi. Nous avons de fortes raisons de croire que l'art du fabricant de faïence émaillée est en train de se régénérer; notre plus grand désir est que le potier trouve dans ce qui va suivre des renseignements qui puissent l'aider à perfectionner son industrie encore fort imparfaite aujourd'hui dans notre pays.

La pâte de la faïence émaillée est composée d'argile plastique, de marne argileuse et de sable; quelquefois on y ajoute du ciment. Les proportions de ces substances employées sont variables suivant les diverses contrées, parce que ces matières elles-mêmes n'ont pas partout la même composition; les proportions varient aussi selon l'objet qu'on se propose de confectionner. Nous allons nous borner, pour le moment, à indiquer sommairement la série des opérations le plus généralement suivies. Ces matières sont mêlées dans une caisse rectangulaire qu'on appelle gâchoir; on met assez d'eau pour que les corps pesants étrangers se séparent par décantation. A la sortie du gâchoir, la pâte est tamisée une fois, et elle se rend ensuite dans des fosses d'une grande dimension; on la relève au bout d'un temps plus ou moins long, qui dépend de l'état de l'atmosphère, et on la place sur des renversoirs, des tablettes, ou on l'applique contre des murs, pour qu'elle se raffermisse.

Quand la pâte a acquis une consistance convenable, on procède au façonnage, qui s'exécute en formant avec la pâte, bien battue, corroyée et foulée par le marchage de l'ouvrier, des balles d'une grosseur calculée sur le volume de la pièce qu'on veut fabriquer; quelquefois on se contente d'ébaucher d'une manière assez soignée, mais le plus souvent on pratique le tournassage. L'ébauchage et le tournassage ont lieu sur le tour. Les pièces qui ne sont pas arrondies et les garnitures se font au moule de plâtre.

On fait arriver les pièces à une certaine dessiccation en les abandonnant sur des planches dans des salles où passent les cheminées des fours, et on procède ensuite à la cuisson. Cette cuisson est double; elle fournit d'abord le biscuit, par une température qui s'étend du rouge-cerise au rouge-blanchâtre; on émaille le biscuit, et on cuit de nouveau à une température un peu supérieure. Ces deux cuissons sont nécessaires, parce qu'il est très difficile de mettre l'émail sur le cru, à cause de l'eau qu'il faut d'abord chasser et qui ferait *bouillonner* l'émail. Elles s'exécutent dans le même four, qui est généralement rectangulaire et terminé par un cylindre couché; il est à bouche latérale, foyer inférieur, et n'a généralement qu'un seul laboratoire. On cuit le cru ou biscuit dans la partie supérieure, et le biscuit émaillé dans la partie inférieure.

Le biscuit est très poreux, et c'est pourquoi on le recouvre d'un émail épais. Mais il se présente alors un grave inconvénient, c'est que cet émail, au lieu de faire une couche continue, tressaille, se fendille, se gerce; alors les matières grasses, se plaçant dans les fentes, pénètrent dans les biscuits, et font contracter aux ustensiles une très mauvaise odeur, outre qu'ils prennent une apparence fort désagréable à l'œil, parce que les gerçures, d'abord insensibles, sont devenues noires et trop visibles.

Quand on veut obtenir la faïence qui ne va pas sur le feu, celle qu'on a appelée faïence blanche, rien n'est plus simple que d'éviter les gerçures; il suffit de faire en sorte que la pâte contienne une quantité suffisante de chaux, qui augmente la fusibilité de l'argile; alors le biscuit n'a plus à l'avance aucune gerçure, forme un corps plus continu, et quand on le revêt d'émail celui-ci adhère plus facilement à la pâte, dont la fusibilité a été rapprochée de la sienne. Mais la chose n'est pas aussi facile quand on veut obtenir la faïence brune, qui va sur le feu; M. Bastenaire-Daudenart prétend qu'il suffit de diminuer la proportion de chaux employée dans la faïence blanche, pour que les pièces puissent supporter l'action du feu et rester ingerçables. Ainsi il dit que le mélange des argiles et des marnes, convenables pour la fabrication de la faïence blanche et brune, doit rester

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mor de la silice, de l'alumine et du carbonate de chaux, à peu près dans les proportions suivantes :

	Faïence blanche.	Faïence brune.
Alumine ferrugineuse.	35	38
Silice.	58	57
Carbonate de chaux. .	7	5
	100	100

Nous doutons fortement de l'efficacité de ces proportions, qu'on a cependant regardées longtemps, dans tout ce qui a été dit sur ce sujet, comme une règle incontestable. Ni les expériences directes, ni les analyses chimiques, n'ont confirmé cette règle. Tout ce qu'il y a de vrai, c'est qu'à mesure qu'on augmente la quantité de chaux dans la pâte de la faïence, on la rend plus fragile. Pour avoir une faïence qui aille bien sur le feu, il faut arriver à supprimer la chaux, ou au moins à en employer les proportions les plus faibles qu'il soit possible de faire. Mais alors on est exposé à avoir des gerçures.

Voici les analyses de plusieurs pâtes de faïences privées de leur émail, qui vérifient les prémisses que nous venons de donner. Les onze premières ont été faites dans le laboratoire de Sèvres (*Traité des arts céramiques*, vol. II, p. 23); les trois dernières ont été faites par nous.

Si on se rappelle que nous disions plus haut que la faïence de Bernard de Palissy était recouverte d'un grand nombre de gerçures, on voit, d'après l'analyse n° 12, qu'il y a une très grande analogie de composition et d'apparence entre cette faïence ancienne et la faïence avec laquelle les poêliers ont aujourd'hui l'habitude de fabriquer les poêles en faïence. On voit aussi que la présence de la chaux dans la pâte fait disparaître les gerçures, lorsque, du moins, le biscuit a été assez cuit, car souvent les gerçures proviennent uniquement d'un défaut de cuisson et se présentent même alors dans les faïences dites ingerçables. Ce n'est pas à la chaux seule qu'appartient cette propriété d'empêcher une faïence de gercer. Si notre principe est vrai, c'est-à-dire si c'est en rendant la pâte plus fusible, en facilitant l'aggrégation de ses molécules, que la chaux empêche les gerçures, tout alcali fixe doit, en effet, produire le même résultat. C'est ce que nous avons vérifié, en introduisant de la soude et de la potasse dans la pâte. A cause de la facile dissolution de ces deux bases dans l'eau, nous avons dû d'abord les fixer en formant ce qu'on appelle des frittes. Nous avons en conséquence calciné ensemble : 1° 1 partie de sable de Belleville et 1/2 partie de soude du commerce; 2° 1 partie de grès

COMPOSITION DE LA PATE DES FAIENCES ÉMAILLÉES.

NOMS DES FAIENCES.	Silice.	Alumine.	Chaux.	Magnésie.	Fer.	Acide carbonique et perte.	OBSERVATIONS.
1. Faïence italienne de Luca della Robia.	49,65	15,50	22,40	0,17	3,70	8,58	Fait une vive effervescence.
2. Faïence majolica.	48,00	17,50	20,12	1,17	3,75	9,46	Fait effervescence, fusible en émail verdâtre, mêlé de jaunâtre, et comme cristallisé en aiguilles.
3. Faïence de Bernard de Palissy.	67,50	28,51	1,52	0,00	2,05	0,42	La pâte ne fait aucune effervescence, n'est pas fusible.
4. Faïence d'Espagne (ancienne).	46,04	18,45	17,64	0,87	3,04	13,96	Fait effervescence, fond comme le n° 5.
5. Faïence de Valence (Espagne) (moderne).	51,55	20,52	13,64	1,24	2,63	10,42	Fait effervescence, fond en émail concave vert sale, jaunâtre, texture cristallisée.
6. Faïence de Manassès, près Valence.	54,71	18,80	19,69	traces	2,20	4,60	Cette poterie était couverte du lustre Burgos. (Voir BOCCARO.)
7. Faïence de Delft.	49,07	16,19	18,01	0,82	2,82	13,09	Fait effervescence, fond comme le n° 10.
8. Faïence de Perse.	48,54	12,05	19,25	0,30	3,14	16,72	Fait effervescence, fond en verre homogène transparent, cristallisé sur les bords.
9. Faïence de Nevers. . .	56,49	19,22	14,96	0,71	2,12	6,50	Fait effervescence, fond en beau verre homogène, transparent.
10. Faïence de Rouen. . . .	47,96	15,02	20,24	0,44	4,07	12,27	Fait effervescence, fond en verre bouteille translucide.
11. Faïence de Paris.	64,50	12,99	16,24	0,15	3,01	6,10	Fait effervescence, fond en verre brun avec bords et taches jaunâtres cristallisées.
12. Faïence pour poêles (gercée).	74,9	22,1	1,6	0,5	0,7	0,2	Ne fait aucune effervescence, infusible.
13. Faïence pour poêles (ingerçable).	56,3	26,6	14,7	traces	1,3	1,1	Fait effervescence, fond comme le n° 11.
14. Autre faïence pour poêles (ingerçable).	55,4	29,2	13,2	traces	0,9	1,3	Fait effervescence, fond comme le n° 11.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pilé et 1/2 partie de soude ; 3e et 4e les mêmes sable et grès avec de la potasse. Nos frittes formées, nous avons préparé des carreaux formés de :

1 partie d'argile de Gentilly,
2 parties de sable de Belleville ;
ou bien 1 partie d'argile de Gentilly
2 parties de la fritte n° 1.

et successivement en employant chacune de nos frittes.

Tous ces derniers carreaux étaient ingerçables ; le premier seul était gercé. Cette expérience est décisive ; c'est bien en rendant la pâte de la faïence plus fusible, quel que soit l'ingrédient capable de reproduire ce résultat qu'on emploie, qu'on évite les gerçures.

Nous avons voulu aller plus loin ; nous nous sommes demandé pourquoi il fallait chercher cette fusibilité, et nous avons trouvé que les gerçures provenaient certainement de l'emploi du sable dans la composition de la pâte. L'usage du sable provient de la nécessité où l'on est d'avoir une faïence qui supporte assez bien les changements de température un peu brusques. Ainsi que nous l'avons entendu dire à M. Gay-Lussac dans le cours qu'il nous faisait à l'École Polytechnique, si on employait l'argile à l'état natif, elle éprouverait par la cuisson un retrait d'où il résulterait des crevasses. Pour empêcher cet inconvénient, on amaigrit ou dégraisse l'argile, c'est-à-dire qu'on lui ajoute du sable ou de l'argile déjà cuite, et qui partant n'est plus soumise au retrait. Les grains de cette substance ajoutée laissent entre eux des interstices que remplit l'argile nouvelle. Ne pouvant pas se retirer, et offrant à la compression une assez grande résistance, ces grains rendent la forme invariable, quand la température s'élève. Mais la forme reste tellement invariable, que le biscuit de la faïence est alors formé de parties distinctes à peine liées entre elles, et qui laissent des interstices visibles à la loupe, d'où proviennent les gerçures. Si, par un alcali introduit dans la pâte, on attaque ou dissout les grains de sable qui maintenaient à distance ces parties, les interstices disparaissent, mais aussi la faïence ne supporte pas aussi bien les changements de température. Cela est tellement vrai, qu'en remplaçant, dans la faïence gercée de nos poêles ordinaires, le sable par du ciment très fin, c'est-à-dire par du biscuit pilé très fin, nous avons diminué considérablement les gerçures, et que prenant de l'argile de Gentilly, la lavant fortement, la mettant en bouillie pour la priver de tout sable et de toute matière étrangère, nous avons fabriqué avec cette argile, sans aucun mélange, de la faïence tout à fait ingerçable.

C'est ce dernier procédé que nous avons vu employer, à Berlin, par M. Feilner, qui réduit en bouillie claire, à la mécanique, une argile plastique analogue à celle de Gentilly, fait passer cette bouillie dans de longs conduits où elle abandonne le sable, avant de la laisser se rendre dans des fosses où elle se dessèche. Cette terre est mise, sans aucun mélange, en mottes de la grosseur correspondante aux dimensions des carreaux de poêle qu'il s'agit d'obtenir. Les mottes sont ensuite moulées par compression, au moyen d'une presse double à levier, telle que, quand on moule inférieurement un carreau, on place supérieurement une motte, qui à son tour, est moulée quand la presse se relève ; à ce moment on enlève le carreau inférieur, on le remplace par une motte et on redescend la presse, qui comprime cette dernière motte, tandis qu'on enlève le carreau supérieur, et ainsi de suite. La faïence ainsi fabriquée présente un glacé magnifique, exempt de toute gerçure. Nous pensons que ces indications suffiront pour mettre nos poêliers, dont les procédés sont si imparfaits, sur la voie d'améliorations qu'il leur sera facile d'introduire dans la fabrication.

Quoi qu'il en soit, voici les principales compositions de pâtes aujourd'hui employées. D'après M. Brongniart, la faïence brune, qui, pour les ustensiles de ménage, est destinée à aller au feu, se compose à Paris de :

Argile plastique d'Arcueil.	30
Marne argileuse verdâtre supérieure au gypse.	32
Marne calcaire blanche des terrains gypseux.	10
Marne sableuse ou sable impur marneux jaunâtre, supérieur au terrain gypseux de Picpus.	28
	100

Quant à la faïence blanche, dit encore M. Brongniart, elle se compose à Paris de :

Argile plastique d'Arcueil.	8
Marne argileuse verdâtre.	36
Marne calcaire blanche.	28
Sable impur et marneux jaunâtre.	28
	100

Nous avons vu employer, pour cette dernière faïence, au faubourg Saint-Antoine, dans une des plus importantes fabriques de ce quartier où il y a tant de fabriques de faïences, la composition suivante :

Argile plastique d'Arcueil.	25
Marne verte.	49
Marne blanche.	28
Terre à four de Picpus.	28
	100

A Tours (Indre et Loire), on fabrique deux sortes de faïence, l'une dite *caillou* ou *terre à feu ;* elle est brune au dehors, blanche en dedans et résiste très bien aux changements de température qui ont lieu dans le service de la table et de la cuisine ; elle se compose de parties égales de marne calcaire de Chambray et d'argile figuline impure dite terre de *pâtis* ou de *près ;* l'autre, qu'on nomme faïence ordinaire, est blanche et composée des mêmes éléments que la précédente, mais on introduit, en outre, dans sa pâte, une terre qui est une marne calcaire d'eau douce, dite terre de *Fondète.*

A Nevers (Nièvre), où selon l'opinion de de Thou, que partage M. Brongniart, furent importés vers 1600, de Faënza, en Italie, les procédés de fabrication de faïence italienne, par une personne de la suite du duc de Gonzague, et où on suppose que se sont conservés par tradition les procédés de fabrication primitifs, on emploie pour la composition de la faïence commune :

TERRE BLANCHE, marne argileuse d'un blanc sale qu'on extrait près de la ville, dans un lieu nommé la Raye de Porteneul.	33
TERRE JAUNE, argile figuline, sableuse, friable, non effervescente, extraites aux Chaumoines.	50
TERRE GRISE, argile figuline friable, mais moins sableuse, non effervescente, extraite aux Neuf-Piliers.	16
	99

Il y avait autrefois à Rouen un centre de fabrication de faïences communes qui produisait des objets d'une grande richesse de décoration. Le nombre des manufactures de faïence était très considérable ; aujourd'hui il est bien diminué. Il n'y a plus guère que la fabrique de M. Lambert qui soit en état de répondre à toutes les exigences du commerce. L'argile qu'on y emploie est tirée principalement de la forêt de Lalonde, près Rouen, de Saint-Aubin-la-Campagne, de Rose-Roger, de Thuit-Hébert et de Forge-les-Eaux. On y ajoute du sable fusible de Decize, ou bien un sable provenant du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

broyage d'un grès jaune des environs de Pithiviers.

Au Havre, on fabrique la faïence commune avec les argiles de Saint-Aubin, les marnes des prairies et des terres des bords de la mer. Les proportions sont :

Argile rouge de Saint-Aubin.	45
Terre de mer (Marne).	22
Terre de pré (Marne).	33
	100

Enfin, à Lunéville (Meurthe) et Sarreguemines (Moselle), se trouvent deux grands centres de fabrication de faïence émaillée, de la plus haute importance, dont les produits sont justement renommés. Nous ne savons point exactement les terres qui y sont employées; mais tout ce que nous venons de dire prouve surabondamment qu'on ne peut fixer à priori les mélanges qu'il convient de faire dans telle ou telle localité, que ces mélanges doivent être appropriés aux ressources du pays. Pour trouver ceux qui sont les plus convenables, il faut faire les analyses des terres qui sont à meilleur marché, et qui présentent une plasticité suffisante.

Quelques essais pratiques conduiront rapidement à former une pâte qui présente une des compositions mentionnées dans le tableau précédemment donné, et qui satisfasse aux conditions voulues par les habitudes locales.

Les différentes proportions que nous venons de rapporter ne concernent que la fabrication des vases et ustensiles de ménage. Il nous reste à parler des procédés employés dans la fabrication des carreaux et panneaux destinés aux poêles, aux cheminées, etc. Cette fabrication n'a guère été étudiée jusqu'à présent.

La pâte des poêles de Paris est faite avec l'argile plastique qui se trouve au sud, à peu de profondeur, et au-dessous des couches de calcaire grossier qui vont en s'amincissant sur la pente nord du plateau de Gentilly, Arcueil, Vanvres, Vaugirard, etc., avec le sable argilo-ferrugineux de Belleville, et du ciment résultant de biscuit broyé. Ces substances sont employées sans aucune préparation préliminaire; elles sont *marchées* par un ouvrier qui se promène en décrivant une sorte de spirale du centre à la circonférence du tas, et réciproquement de la circonférence au centre. Le mélange s'opère ainsi. Une marchée est composée en volume de :

Argile plastique de Gentilly ou terre grasse.	540
Ciment.	225
Sable de Belleville.	120
	885

Les poêliers font souvent une autre composition plus soignée destinée à être placée à la surface extérieure des pièces, et à rendre l'émail plus uni. Ils appellent cette composition *terre à sable;* elle est formée de :

Argile plastique de Gentilly.	540
Sable de Belleville.	278
	818

Elle est étendue en couche mince sur l'autre pâte, dont elle corrige les inégalités provenant du ciment qui est en grains trop gros. Au lieu du sable employé dans cette composition, on pourrait mettre du ciment tamisé très fin; les gerçures dont sont recouverts les panneaux et carreaux seraient beaucoup moins apparentes. Mais cette précaution augmenterait peut-être trop le prix de cette faïence.

L'inspection du tableau qui donne la composition des faïences fait connaître de suite un moyen certain de faire disparaître les gerçures ou tressaillures des faïences destinées aux poêles. On voit, en effet, que ces faïences

ne contiennent pas de chaux. Il n'y a donc qu'à leur appliquer un principe connu et appliqué déjà aux faïences destinées à l'usage de la table et aux pièces qui ne doivent pas aller au feu. Il n'y a qu'à introduire, dans la pâte, de la chaux à l'état de carbonate, afin de faire convenablement adhérer l'émail. Toutefois, il est à craindre de donner à la faïence, par cette introduction, une fragilité qui l'empêche de supporter, sans se briser, les changements de température assez brusques qu'éprouvent les petits poêles en usage en France. Le premier fabricant qui ait tenté cette amélioration, à Paris, M. Pichenot, n'avait pas pensé à cet inconvénient, car il a pris un brevet pour l'introduction du carbonate de chaux dans la pâte d'une faïence qu'il nomma à la fois *ingerçable et réfractaire.* L'expérience vint bientôt lui apprendre son erreur, car tous les poêles qu'il fit ne tardèrent pas à se briser sous l'action de la chaleur. Ce n'est qu'en prenant certaines précautions qu'il est possible de faire servir au chauffage les faïences ingerçables. Les précautions sont indiquées par ce qui se passe en Suisse et en Allemagne où les faïences pour poêles ne sont généralement pas gercées. Dans ces contrées, les poêles sont de véritables meubles, des meubles tenant une grande place, ayant environ 2 mètres de hauteur, $1^m,20$ de largeur et $0^m,70$ de profondeur. Dans ce meuble, qui ressemble par sa forme et à ses dimensions à une grande armoire, est construit le poêle véritable en briques, isolé des plaques où carreaux émaillés, qui, alors, ne reçoivent pas directement l'action du feu, et ne servent que d'enveloppe extérieure au foyer de chaleur placé intérieurement. L'usage de la faïence ingerçable calcarifère doit donc être borné à la construction de très grands poêles ou de panneaux de cheminée, ou de carreaux qui ne sont pas exposés à un feu vif, ou à de brusques changements de température.

M. Pichenot a indiqué plusieurs compositions pour sa pâte; mais elles reviennent toutes à la composition suivante qu'il emploie ordinairement :

Argile plastique de Vaugirard ou de Gentilly.	25
Marne argileuse de Ménilmontant, ou plutôt craie de Meudon.	25
Sable.	13
Ciment composé de débris de cazettes et de biscuit de faïence.	37
	100

Mais l'émail des plaques assez grandes qu'il est parvenu à construire présente l'inconvénient d'être plus ou moins ondulé; ce qui peut nuire à leur emploi dans la peinture et est d'ailleurs assez désagréable à la vue. J'ai reconnu qu'en employant un mélange de parties égales d'argile de Gentilly et de craie passée au tamis, on obtenait un émail très glacé; mais les pièces gauchissent. Pour obvier à ce nouvel inconvénient, on peut placer, sur la pâte ordinaire qui ne gauchit pas, une couche mince de cette pâte tamisée, dans laquelle on a introduit une certaine quantité de ciment très fin. Il est préférable toutefois, ainsi que je l'ai constaté, d'employer une marne calcaire (comme celle de la plaine d'Ivry près Paris), qui est en même temps siliceuse, et renferme, outre les autres éléments, 26 pour 100 de sable.

On obtient une pâte très ductile, qui se dessèche aisément sans se fendre ni se fendiller, et qui peut donner de très grandes pièces très planes, en faisant le mélange suivant :

Argile plastique de Gentilly.	32
Marne sablonneuse d'Ivry.	38
Ciment de terre cuite.	30
	100

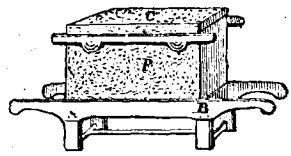
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette pâte, employée par M. Vogt, a surtout l'avantage de ne pas être courte comme celle de M. Pichenot, qui présente de grandes difficultés pendant le travail.

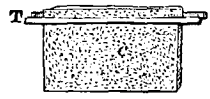
Le moulage des plaques, carreaux et panneaux ne s'opère pas tout à fait comme dans les autres fabrications. Nous allons, pour cette raison, le décrire en peu de mots.

Le marcheur ayant rendu la pâte suffisamment homogène et plastique, en forme de gros ballons qu'il marche en plaques circulaires d'un diamètre plus ou moins grand, suivant la dimension de la croûte qu'il veut obtenir. Il place ensuite ces plaques l'une sur l'autre, jusqu'à ce qu'il ait formé un cylindre d'environ un mètre de hauteur ; il change ensuite ce cylindre en un parallélipipède rectangle. P représenté dans la

825.



826



827.

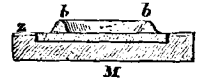


fig. 825, ayant pour base la plus grande plaque que l'on veut obtenir. Le parallélipipède est placé sur un brancard à pied bas AB, et on le transporte dans l'atelier du moulage. L'ouvrier mouleur indique, au moyen de deux règles T, l'épaisseur des croûtes qu'il veut enlever ; il fixe ces règles sur les faces verticales du parallélipipède, à l'aide de petits morceaux de pâte, puis avec le fil de laiton, qui est, comme on sait, la scie du potier, il enlève successivement les croûtes qu'il veut mouler. Pour enlever et transporter cette croûte C sans la déchirer, l'ouvrier en soulève un des côtés, puis prenant les deux règles T (fig. 826) qui lui ont servi pour limiter l'épaisseur de la croûte, il en serre le bord soulevé, et transporte alors la plaque, ainsi suspendue, dans le moule M (fig. 827). Ce moule est une plaque de plâtre d'une épaisseur convenable sur laquelle on pose un cadre en fer Z, qui donne les limites en largeur, longueur et épaisseur de la plaque. Plus ordinairement, au lieu de ce cadre en fer, le moule a des rebords en plâtre ; mais alors il faut autant de moules que l'on veut faire de pièces différentes ; avec les cadres en fer, il n'y a besoin que de plaques de plâtre.

Le mouleur place sa croûte dans le moule, la tamponne et la comprime le plus également possible. Avec une racle en fer, il enlève tout ce qui, de la surface supérieure, excède la hauteur des rebords du cadre Z. Il place ensuite les colombins (*b*, *b*) faits avec la même pâte et qui sont destinés à maintenir la plaque, à la transformer en carreau de poêle.

La pâte prend tout son retrait en séchant dans des salles qui sont situées au-dessus des fours et où passent leurs cheminées ; le retrait est

Pour la pâte ingerçable, environ. .	55 p. 1000
Pour la pâte ordinaire gercée. . . .	90 p. 1000

Quand la pâte est sèche, on enfourne les pièces. Le four présente, comme le four du faïencier ordinaire, la

superposition de deux demi-cylindres couchés sur leur axe. Il est composé d'une chambre inférieure voûtée, qui sert de cendrier, et dans laquelle on place la composition d'émail pour être fondue, d'un laboratoire moyen et d'une chambre supérieure nommée enfer ; le foyer est antérieur.

On place toutes les pièces en échappade en plusieurs lits, de champ ou verticalement ; les inférieures portent elles-mêmes les supérieures, dont elles sont séparées par des tasseaux ou briques longues. On place d'abord trois lits de pièces émaillées et ensuite deux lits de biscuit.

La cuisson se fait au bois et dure vingt-quatre heures. Nous ne mettons pas en doute qu'on pourra facilement employer la houille pour cuire toutes les poteries, dès qu'on trouvera que ce changement donnera une économie. On apprécie le degré de l'élévation de la température par la couleur de l'incandescence que l'on juge à travers deux visières pratiquées dans la porte du laboratoire, l'une en bas, l'autre en haut.

Quand les pièces sont cuites en biscuit, on passe à l'émail. L'émail de la faïence pour poêles est à peu près le même que l'émail blanc de la faïence ordinaire pour ustensiles de ménage. Nous allons donner maintenant quelques détails sur la fabrication de ces émaux dont nous ne nous sommes pas encore occupés.

On fait deux émaux, l'un pour la partie brune des vases que l'on place à l'extérieur, l'autre pour la partie blanche qui est à l'intérieur.

L'émail brun est rendu opaque par une matière terreuse. On réduit en poudre, on mélange, et on met en bouillie claire dans l'eau les proportions suivantes :

Minium.	52 ou bien	53
Manganèse.	7	5
Poudre de brique fusible (on prend à Paris celle de Sarcelles). . .	41	42
	100	100

La fabrication de l'émail blanc exige plus de précautions : il est rendu opaque par le peroxyde d'étain. Dans un petit four à réverbère qu'on appelle *fournette*, on fait oxyder ensemble du plomb et de l'étain ; on obtient une poudre jaunâtre qu'on nomme la calcine. On emploie pour cela environ les proportions suivantes :

Plomb.	84	Oxyde de plomb.	90
Étain.	16	Oxyde d'étain. .	20
	100		110

Fournissant :

La calcine obtenue, on la mêle avec des matières siliceuses et salines, et place le mélange au fond du foyer du four, dans une place qu'on nomme bassin. Les proportions des mélanges varient un peu suivant les localités, la nature des pâtes et le but qu'on se propose. M. Bastenaire-Daudenart (*Art de fabriquer les poteries communes*, page 303) indique les quatre compositions suivantes : la composition n° 1 est celle qui est la plus chargée d'étain, la plus dure ; la composition n° 2 est celle qui renferme le plus de plomb, est la plus tendre et aussi plus communément employée. Quand on n'a pas de sable de Nevers, qui est un peu fusible, on le remplace par du sable quartzeux pur, et alors on augmente un peu la dose du fondant (nos 3 et 4).

N° 1.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain. .	23	44
	Oxyde de plomb.	77	
		100	
Minium.			2
Sable de Decise, près Nevers.			44
Sel marin.			8
Soude d'Alicante.			2
			100

EFERUS - Recherche & Classification numérique

N° 2.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	18	47
	Oxyde de plomb.	82	
		100	
Sable de Decise, près Nevers.			47
Sel marin.			3
Soude d'Alicante.			3
			100

N° 3.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	23	45
	Oxyde de plomb.	77	
		100	
Sable quartzeux lavé.			45
Minium.			2
Sel marin.			5
Soude d'Alicante.			3
			100

N° 4.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	18	45
	Oxyde de plomb	82	
		100	
Sable quartzeux lavé.			45
Sel marin.			7
Soude d'Alicante.			3
			100

Nous avons vu employer, par les fabricants de poêles du faubourg Saint-Antoine à Paris, la composition suivante :

N° 5.

Calcine composée de :	Oxyde d'étain.	17	43
	Oxyde de plomb .	83	
		100	
Sable de Nevers.			43
Minium.			3
Cailloux de rivière pilés.			3
Sel marin.			6
Potasse du commerce.			2
			100

On évalue à 60 ou 70 degrés du pyromètre de Wedgwood la température nécessaire pour fondre l'émail dans le bassin.

La masse fondue est broyée, réduite en poudre très fine, et la poudre est ensuite mise en suspension dans l'eau, où elle doit faire une bouillie fine. Quelques faïenciers sont dans l'habitude de colorer cette bouillie en rouge clair par un peu de minium ajouté. Quand la pièce doit être émaillée tout entière, on la trempe dans la bouillie ; quand elle ne doit l'être qu'intérieurement, on verse une portion d'émail avec une tasse dans l'intérieur, où on le promène par un mouvement approprié, et on rejette l'excédant dans le baquet contenant l'émail. Quand la pièce doit être émaillée seulement à l'extérieur, on procède à la fois par immersion et par arrosement.

Les pièces émaillées à épaisseur convenable sont retouchées au pinceau dans les parties où l'émail manque ; on en ajoute toujours d'ailleurs sur les parties saillantes, et on en ôte un peu dans les creux, parce que l'émail fondu peut couler, et alors les saillies laissent percer la couleur de la pâte, et les creux sont empâtés

Pour augmenter l'épaisseur de l'émail, certains fabricants saupoudrent aussi, à l'aide d'un tamis, les pièces fraîchement trempées avec de l'émail en poudre fine. Quelques poêliers les saupoudrent avec un peu de minium.

Enfin, avec une brosse, on enlève l'émail qui est sous le pied des pièces pour les empêcher d'adhérer sur les supports pendant la cuisson, et pour économiser l'émail mis en excès dans des endroits inutiles. C'est une opération très nuisible pour la santé des ouvriers.

L'émail de la faïence peut être coloré en jaune, en vert pur et en vert pistache, en bleu et en violet, par les oxydes métalliques suivants :

Émail jaune.

Émail blanc.	91
Jaune de Naples, c'est-à-dire oxyde d'antimoine.	9

Émail vert pur.

Émail blanc.	95
Battiture de cuivre (protoxyde).	5

Émail vert pistache.

Émail blanc.	94
Protoxyde de cuivre.	4
Jaune de Naples.	2

Émail bleu.

Émail blanc.	95
Oxyde de cobalt à l'état d'azur.	5

Émail violet.

Émail blanc.	96
Peroxyde manganèse.	4

Au lieu de colorer entièrement l'émail, on peut décorer de différents dessins la surface des pièces par plusieurs procédés dont les fabricants font des secrets. Un des moyens qui réussit bien consiste à saupoudrer l'émail coloré sur la faïence, fraîchement émaillée mais non cuite, et recouverte d'une feuille de carton ou de clinquant percée de petits trous qui dessinent les ornements qu'on peut obtenir. La poudre colorée ne s'attache qu'aux points de la faïence non recouverts par la feuille de clinquant ou de carton.

Les carreaux de revêtements employés pour garnir les fourneaux sont fabriqués par les procédés que nous avons donnés. Quand on veut que l'émail stannifère, dont ils sont aussi recouverts, ne gerce pas, il faut employer pour faire la pâte des compositions analogues à celles que nous avons recommandées.

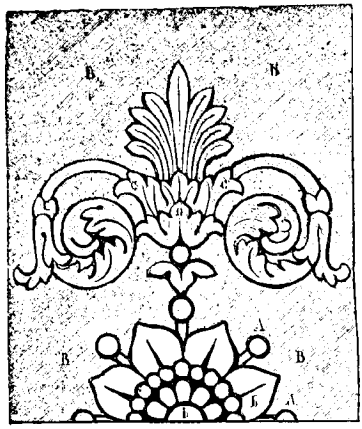
Les carreaux de revêtement étaient autrefois fort en usage pour l'ornement des édifices. Les planchers et murs au rez-de-chaussée de la plupart des anciens châteaux, et surtout des résidences et chapelles royales en étaient ornés. Cet usage est bien tombé aujourd'hui. Toutefois il serait à désirer que l'on se servît des très beaux et très grands panneaux en faïence que fabriquent si bien quelques poêliers de Paris, pour tapisser, par exemple, les salles de bain. On pourrait employer non seulement des faïences émaillées en blanc, mais encore des faïences incrustées et vernissées, comme celles que fait M. Vogt, qui a poussé très loin ce genre d'ornementation pour la fabrication des carreaux de poêles.

M. Vogt fait d'abord un modèle en terre sur lequel sont en creux tous les ornements de couleurs différentes de celles du fond (fig. 830). Il coule sur ce modèle un plâtre ML qui présente en saillie tout ce qui est en creux dans le modèle. Il obtient ainsi son moule. Il remplit avec des pâtes colorées tous les creux. Ainsi, dans la pièce que M. Brongniart, à qui nous empruntons cette description, prend pour exemple, les feuilles *b* (figure 828) sont blanches, les perles A sont jaune d'ocre, les enroulements ou volutes (travail pointillé) sont jaunes, le culot D est vert, la palmette est brune ; la pâte colorée s'arrête aux lignes noires qui sont en saillie ; on couvre le tout d'une couche de quelques millimètres d'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paisseur de la pâte brune B, qui fait le fond sur lequel les ornements sont incrustés, et qui doit être appliquée sur la pâte grossière et jaunâtre T, base des plaques en question.

828.



829



830.



On ôte alors le moule ML, et la croûte à fond brun B est creusée de sillons *l* (fig. 829) limités par les saillies du moule. Ces sillons sont remplis ensuite par de la pâte noire ou de tout autre couleur, et forment les contours et traits bruns des ornements.

La pièce, étant séchée, est cuite en biscuit, recouverte alors d'un vernis plombeux et transparent, et passée une seconde fois au feu pour vitrifier ce vernis.

Quoique nous ayons vu travailler M. Vogt, nous ne pouvons indiquer les moyens qu'il emploie pour colorer et composer ses pâtes très diverses. On conçoit qu'il a dû faire un grand nombre d'essais, souvent bien infructueux, avant d'arriver à accorder ses terres, c'est-à-dire à faire en sorte que par la dessiccation et la cuisson elles se retirent toutes de la même quantité sans la production d'aucun fendillement, d'aucune gerçure. Il est bien juste qu'un fabricant soit payé de ses peines par la vente exclusive des produits qu'il est parvenu à exécuter après bien des efforts dispendieux.

BARRAL.

FANAL. Voyez PHARE.

FANONS. Voyez BALEINE.

FARINE (*angl.* flour, *all.* mehl). On désigne sous ce nom un grand nombre de substances réduites en poudre par le moyen de meules; mais il s'applique plus particulièrement aux céréales. Les procédés employés pour obtenir les farines étant décrits à l'article MOULINS, nous ne nous occuperons ici que de leur nature et des moyens de reconnaître leurs falsifications.

Les principes constituants de la farine de blé sont une matière azotée neutre plus ou moins abondante, des matières grasses, de la fécule (voyez AMIDON), et des sels alcalins ou terreux (presque exclusivement des phosphates, voyez ENGRAIS).

Lorsqu'on humecte avec de l'eau la farine de blé, de manière à en former une pâte ferme et homogène, et qu'on malaxe ensuite cette dernière sous un mince filet d'eau, il reste entre les mains de l'opérateur, lorsque l'eau passe tout à fait claire, une substance d'un blanc-grisâtre, élastique, tenace, d'une odeur fade, à laquelle on a donné le nom de *gluten*. La liqueur trouble qui s'écoule entraîne l'amidon avec quelques débris de gluten, ainsi que tous les produits solubles. En laissant reposer cette liqueur, la fécule se dépose; en soumettant ensuite cette liqueur à l'ébullition, on voit se former à sa surface des écumes qui se contractent sous forme de flocons grisâtres, et qui présentent la plus grande analogie avec l'albumine coagulée. En filtrant et évaporant au bain-marie le liquide jusqu'à consistance sirupeuse, il est facile d'y reconnaître la présence du sucre et d'une matière gommeuse analogue à la dextrine sinon identique avec elle. Enfin, si l'on examine de plus près le gluten, on voit qu'on peut par l'action des dissolvants le séparer en quatre substances distinctes; mais ces substances, ainsi que l'albumine végétale, ayant toutes sensiblement la même composition, nous les réunirons sous le nom générique de gluten.

Cela posé, voici un tableau de l'analyse de plusieurs farines, d'après Vauquelin.

Les farines contiennent toujours de l'eau qu'elles ont puisé dans l'atmosphère depuis leur mouture, ou que le blé contenait avant cette opération. Le minimum est de 6 pour 100, et le maximum de 20 à 25. En moyenne, il faut compter sur 17 pour 100. Dans les analyses précitées de Vauquelin, la dessiccation était imparfaite.

Les meuniers n'ignorent pas que de la farine desséchée, exposée dans un lieu humide, ne tarde pas à s'échauffer, à se pelotonner, à se gâter : si on la pèse alors, on trouve que son poids est augmenté de 12 à 15 pour 100, et même plus. Quoique l'amidon sec attire aussi l'humidité de l'air, il ne présente aucun des phénomènes ci-dessus, qui sont dus à l'altération des matières azotées qui composent le gluten.

	FARINE brute de froment	FARINE de méteil	FARINE de blé dur d'Odessa	FARINE de blé tendre d'Odessa, 1re qualité.	FARINE de blé tendre d'Odessa, 2e qualité	FARINE de service, dite seconde	FARINE des boulangers de Paris	FARINE des hospices, 2e qualité.	FARINE des hospices, 3e qualité.
Eau.	10,000	6,000	12,000	10,000	8,000	12,000	10,000	8,000	12,000
Gluten.	10,960	9,800	14,550	12,000	12,000	7,300	10,200	10,300	9,020
Amidon. . . .	71,490	75,500	56,500	62,000	70,840	72,000	72,800	71,200	67,780
Sucre de raisin.	4,720	4,220	8,480	7,360	4,900	5,420	4,200	4,800	4,800
Dextrine. . . .	3,320	3,280	4,900	5,800	4,600	3,300	2,800	3,600	4,600
Son resté sur le tamis. . . .	0,000	1,200	2,300	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000
	100,490	100,000	98,730	98,360	100,340	100,000	100,000	97,900	100,200

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'influence de l'humidité sur les farines est très redoutable. D'une part, elle produit une altération du gluten, qui rend celui-ci impropre à produire une bonne panification; de l'autre, elle favorise la formation des sporules de divers champignons, qui plus tard se développeront abondamment dans le pain. Les farines des blés de 1841 ont présenté, en 1842, pendant un été très chaud, cet inconvénient au plus haut degré. Les sporules, évidemment réunis sur la partie corticale du grain, se développaient surtout dans la partie inférieure des pains, toujours saupoudrée de son ou de recoupette. La superposition des pains favorisait leur développement; il en était de même de l'humidité et de la chaleur. Du reste, pendant le développement de ces champignons, la température s'élevait beaucoup, et le pain, bientôt envahi tout entier, ne présentait plus qu'une masse rougeâtre et repoussante. Des lavages énergiques du grain infecté, suivis d'une dessiccation rapide et des brossages réitérés, diminuent le nombre des sporules. En réduisant la proportion d'eau dans le pain, augmentant la dose de sel, et forçant la température de la cuisson, on rend leur développement moins facile.

Jetons maintenant un coup d'œil rapide sur les autres céréales :

Nous avons parlé de l'orge à l'article BIÈRE, ce qui nous dispense d'y revenir ici.

A côté de l'orge et du froment vient se placer le seigle, qui, dans quelques pays, constitue pour la majeure partie la pâte du pain de la classe pauvre, et que les classes plus aisées font quelquefois entrer par goût dans le pain. Quoique la farine de seigle soit moins blanche que celle de froment, elle donne un pain d'une saveur agréable, qui a la propriété d'être hygrométrique, et de se conserver frais pendant fort longtemps.

Le seigle possède, en outre, la précieuse faculté de croître dans des terrains impropres à la culture du froment.

Après le seigle vient le sarrazin, dont l'usage est beaucoup moins répandu, et qui n'offre qu'un intérêt secondaire. Sa farine a une saveur propre, et ne donne qu'un pain lourd et mal levé : elle est caractérisée par la présence de matières résineuses et huileuses particulières, qui causent une sorte d'ivresse aux animaux qui en mangent pour la première fois.

Le maïs ou blé de Turquie est surtout très productif dans les pays chauds; à la Havane, par exemple, on en fait jusqu'à quatre récoltes successives dans la saison. Il constitue un aliment très agréable, d'une digestion facile. Les individus qui en mangent, pendant quelque temps, présentent des symptômes d'accumulation de graisse dans leurs tissus; ce qui ne paraît pas étonnant, lorsqu'on se rappelle qu'un boisseau de maïs peut fournir un litre d'huile grasse.

On distingue deux variétés principales de riz, suivant leur origine, le riz de la Caroline et le riz du Piémont. Le riz renferme très peu de gluten. Cette substance a été, il y a quelques années, l'objet d'un Mémoire présenté à l'Institut, dont l'auteur, d'après des expériences qu'on a tout lieu de croire exactes, a prouvé que 1/7 de farine de riz ajoutée au pain lui donne la faculté de fixer une beaucoup plus grande quantité d'eau. Il supputait, d'après ces expériences, qu'il en résulterait une économie considérable sur la quantité de céréales consommées chaque année en France; mais, en définitive, comme le fait judicieusement observer M. Dumas, un homme qui mange un pareil pain ne consomme en réalité que le pain supposé sec qui entre dans son estomac, quoiqu'il ingère en même temps de l'eau, qui s'en va par les urines ou la transpiration.

Outre les farines des céréales et les fécules proprement dites (voyez AMIDON), il existe une troisième classe de farines qui jouent un grand rôle dans l'alimentation : ce sont les farines des légumineuses, c'est-à-dire des fèves, des haricots, des pois et des lentilles, et qui sont caractérisées par la présence d'une certaine proportion de soufre.

Parlons maintenant des caractères qui servent à distinguer la farine de froment et des substances avec lesquelles on la falsifie.

Les meilleures farines sont d'un blanc mat, virant plutôt au jaunâtre qu'au gris, et douces au toucher; on n'y distingue à l'œil nu aucune parcelle de son; elles développent une très légère odeur agréable à sec ou quand on les humecte. Délayées et pétries avec moitié de leur poids d'eau, elles donnent une pâte susceptible de s'allonger et de s'étendre en nappes minces et élastiques, homogènes, dans lesquelles on ne doit rencontrer ni insectes, ni grumeaux, ni aucuns corps étrangers.

La farine abandonne son eau hygrométrique par une exposition prolongée au contact de l'air, et à une faible chaleur. En conséquence, les farines qui perdront le moins de leur poids, dans une étuve à courant d'air à 100°, seront celles qui auront le plus de valeur.

Les falsifications les plus habituelles des farines s'effectuent avec la fécule de pommes de terre, et les farines de féverolles, de haricots ou de seigle.

La farine de féverolles est souvent employée à cause de l'œil jaunâtre fort recherché qu'elle donne à la farine, mais le pain en prend une teinte rose vineux qui décèle la fraude; celle de haricots donne au pain un goût amer et désagréable; celle de seigle lui communique une saveur caractéristique très prononcée. Pour reconnaître la présence de ces mélanges dans les farines, le procédé le plus exact après la panification et le plus simple, consiste à en prendre un échantillon et à verser dessus un peu d'eau bouillante; l'odeur qui se dégage décèle immédiatement la fraude.

Quant à la fécule de pommes de terre, elle peut avoir été ajoutée avant ou après la mouture; dans ce dernier cas, la fraude est plus facile à découvrir. Moins de 10 p. 100 de fécule n'offriraient guère de bénéfices au fraudeur; s'il y en avait plus de 30 p. 100, la panification deviendrait impossible. On peut presque toujours reconnaître la présence de la fécule par une analyse microscopique, mais le moyen le plus exact et le plus simple est le suivant, dû à M. Gay-Lussac, et perfectionné par M. Boland, habile boulanger de Paris :

On traite 20 grammes de farine, comme pour en extraire le gluten, mais en ayant soin de recueillir tout le liquide amylacé dans un grand verre conique à pied; on laisse déposer pendant 2 1/2 à 3 heures, puis on décante tout le liquide surnageant le dépôt. On enlève à l'aide d'une cuillère à café la couche supérieure grisâtre, mélange d'amidon, d'albumine et de gluten sans cohérence. On laisse ensuite la masse restée au fond du verre se dessécher en repos, jusqu'à ce qu'elle soit devenue assez solide pour pouvoir s'enlever d'un seul morceau. La portion arrondie qui forme le sommet des pains coniques, et qui contient les premières parties déposées, sera la plus riche en fécule, s'il y a un mélange de celle-ci dans l'échantillon essayé. On sépare avec le tranchant du couteau 1 gramme environ de cette partie, on le broie dans un mortier d'agate avec un peu d'eau, on l'étend d'eau, et la liqueur filtrée se colorera en bleu par une solution d'iode, s'il y a de la fécule. Suivant que ce phénomène se reproduit sur une deuxième couche enlevée parallèlement à la première, puis sur une troisième, etc., on en conclut que la farine contenait à peu près 1, 2 ou 3/20es de son poids de fécule. Si la première couche enlevée au sommet du cône donnait, après la trituration, un liquide qui, filtré, ne se colorât pas sensiblement en bleu par l'iode ou qui prît une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

légère teinte violacée rougeâtre disparaissant bientôt spontanément, on en conclurait que la farine n'est pas mélangée de fécule. Ce procédé est fondé sur ce fait que les grains de fécule, ayant un volume plus considérable et une texture plus lâche, se déchirent et se désagrégent en partie par le broyage au point de céder à l'eau assez de leur substance pour que la liqueur filtrée se colore en bleu par l'iode, tandis que, dans la farine pure, les granules de l'amidon, plus petits, plus plats et plus résistants, ne sont pas sensiblement entamés, et que l'eau, après le broyage et la filtration, ne se colore pas par l'iode, ou donne au plus une très-légère nuance vineuse et instable.

Ce procédé permet bien de constater la présence de la fécule dans la farine, mais il n'en donne que très-grossièrement la proportion, et l'on n'en connaît pas de plus simple.

M. Boland essaie également, pour gluten, de la manière suivante, toutes les farines qu'il reçoit : on prend 50 grammes de la farine à essayer, et on les place dans une capsule ; on verse au milieu du tas de farine environ 20 centimètres cubes d'eau, et on délaie avec une cuillère ou une spatule, de manière à obtenir une masse plastique bien consistante. On la pétrit entre les doigts pendant deux minutes, puis on laisse l'hydratation s'achever en repos pendant quinze minutes en été et une heure en hiver. On immerge alors dans un seau d'eau froide un tamis en toile métallique fine, dans lequel on malaxe la pâte avec précaution pour en retirer le gluten : les parties solubles et l'amidon s'échappent à travers les mailles du tamis ; enfin, on achève le lavage du gluten en le malaxant fortement, pendant dix minutes, sous un courant d'eau froide. Le gluten obtenu est fortement pressé, puis essuyé légèrement, et pesé ; on l'introduit alors au fond d'un tube de cuivre qu'on porte au four ou, à son défaut, dans un bain d'huile chauffé à 140° ; il se dessèche promptement, et on le retire, avant qu'il ne se colore, pour en prendre aussitôt le poids. On a donc ainsi la proportion du gluten humide et du gluten sec, qui se contrôlent mutuellement. On conçoit que l'addition de 10 à 15 pour 100 de fécule serait indiquée par une diminution correspondante dans la proportion du gluten. Ce procédé n'est pas absolu pour déterminer la valeur ou la pureté d'une farine, essayée sans objet de comparaison, car la proportion du gluten varie du simple au double, et même plus, comme nous l'avons vu, dans les différentes espèces de blés ; mais la nature du gluten peut, dans tous les cas, fournir des indications très-utiles sur la qualité de la farine essayée ; plus il est souple, élastique, tenace, extensible, homogène, exempt de mauvaise odeur et de coloration brune, plus il se soulève et augmente de volume par sa dessiccation rapide au four, et plus il est probable que la farine dont il provient est de bonne qualité. Il importe donc beaucoup d'exécuter l'essai du gluten indiqué par M. Boland.

Enfin, on falsifie quelquefois la farine, dans le but d'en augmenter le poids, en y mélangeant du plâtre, de la craie, de la cendre d'os, ou d'autres matières terreuses analogues. On reconnaît facilement cette fraude par l'incinération, la farine pure ne laissant qu'une proportion très-faible de cendres.

FARINE DE POMME DE TERRE. Depuis longues années on s'est occupé de la panification de la pomme de terre, ou plutôt de l'emploi de la fécule ou de la pomme de terre pour obtenir par leur mélange avec la farine de blé un pain économique ; l'adultération des farines par la fécule a même été employée sur une très-grande échelle, dans la meunerie et la boulangerie, pendant les dernières années de disette, surtout depuis qu'on est parvenu à enlever complétement à la fécule la saveur propre qu'elle possède par un lavage avec une solution très-faible de carbonate de soude. Il est évident que l'emploi de la pomme de terre réduite en farine eût été moins coûteux que celui de la fécule. D'ailleurs, la pulpe de la pomme de terre qui reste dans la farine est un peu glutineuse, légèrement azotée, et facilite la panification, de telle sorte que l'on peut mélanger la farine de pomme de terre à la farine de blé dans une proportion beaucoup plus forte que la fécule. En outre, cette farine est beaucoup moins sujette à s'avarier que celle de blé, de sorte qu'en la mélangeant à cette dernière dans la proportion de 20 à 30 pour 100, on réduirait de plus de 9/10e la proportion des farines qui sont annuellement avariées dans les transports ou dans les magasins, ce qui serait d'un immense avantage surtout pour la marine.

La transformation des pommes de terre en farine s'opère de deux manières : 1° en les faisant cuire à la vapeur, les divisant, les faisant sécher, et les réduisant en poudre ; 2° en les coupant par rouelles, les faisant macérer dans l'eau et les faisant sécher avant de les réduire en farine.

La farine de pommes de terre cuites offre rarement la blancheur exigée par le commerce et conserve un léger goût de pomme de terre. La pomme de terre crue, coupée en tranches et desséchée à l'air, donne un produit d'apparence cornée, susceptible, il est vrai, de se réduire en farine, mais qui se moisit souvent et se colore toujours, par la concentration à la surface et par l'altération au contact de l'air des sucs qu'elle renferme. Au commencement de ce siècle, plusieurs personnes, et notamment, en 1813, M. de Lasteyrie, indiquèrent l'emploi de macérations et de lavages méthodiques à l'eau pour enlever aux tranches de pommes de terre la matière âcre qu'elles contiennent, et produire ainsi une farine plus blanche et plus sapide ; toutefois, ce procédé ne se répandit pas, par suite du long espace de temps qu'exigeait la macération, et surtout parce qu'aucun industriel ne s'en occupa. En Allemagne, depuis nombre d'années, on traite la pomme de terre, comme il vient d'être dit, en faisant précéder les lavages à l'eau froide par une macération dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique. Dans ces derniers temps, on a aussi essayé le procédé suivant : on commence à laver la pomme de terre au moyen d'un laveur mécanique ; de ce laveur elle est amenée dans un coupe-racines qui la débite en tranches minces d'environ deux millimètres d'épaisseur. Ces dernières tombent dans un grand bac renfermant de l'eau saturée de chaux, afin de leur conserver toute leur blancheur en enlevant la partie jaunâtre qui vient recouvrir leur surface aussitôt qu'elles sont débitées. Après que les tranches ont suffisamment trempé dans cette eau de chaux, on la fait écouler et on la remplace immédiatement par de l'eau fraîche pour les laver de nouveau. Lorsqu'on a ainsi répété ce lavage plusieurs fois, on soumet ces tranches à une forte pression pour en exprimer la majeure partie de l'eau, et on achève la dessiccation à l'étuve. Par ces divers procédés on obtient des galettes minces et d'un beau blanc susceptibles d'être facilement réduites en farine, mais dans lesquelles on retrouve encore, à un degré assez prononcé, la saveur propre à la pomme de terre.

Enfin, M. Auguste Clerget a proposé de perfectionner le procédé indiqué par M. de Lasteyrie et d'employer, pour la macération et le lavage, de l'eau chauffée à 30 à 40°. Une société se forma pour l'exploitation de ce procédé, mais, ayant négligé le concours d'hommes pratiques et écrasée par des frais généraux exorbitants, elle s'est liquidée sans avoir même, on peut dire, livré de produits au commerce. C'est cette fabrication qui, en d'autres mains et mieux dirigée, eût pu donner des résultats industriels, que nous allons sommairement décrire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

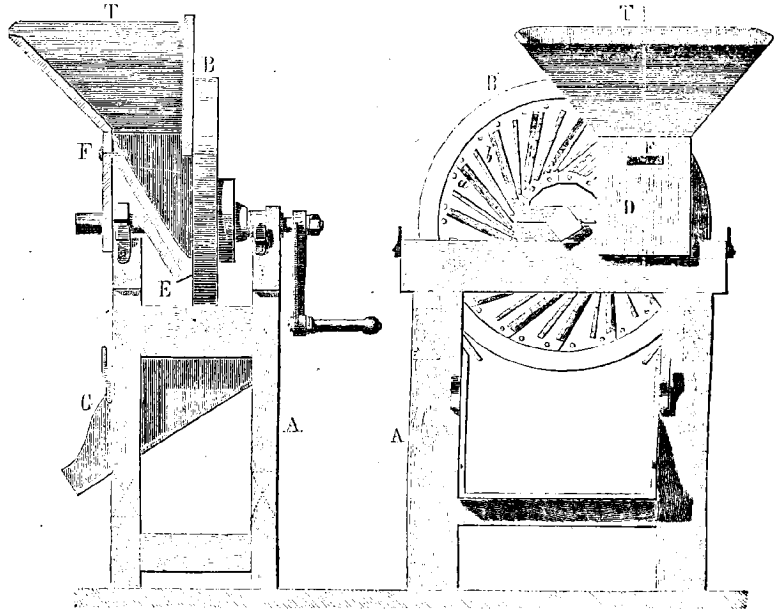
Dès que la pomme de terre commence à germer, la fécule commence à disparaître; il est donc nécessaire ici, comme dans les féculeries, que le travail commence immédiatement après la récolte de ce tubercule pour être terminé, autant que faire se pourra, avant la germination. Le reste du temps la force motrice de l'usine peut être employée, soit à la mouture des cossettes, soit à tout autre usage.

Les pommes de terre sont d'abord lavées dans des tambours à claire-voie, qui tournent dans des bâches pleines d'eau, en tout semblables aux laveurs mécaniques employés dans les féculeries. De ces laveurs la pomme de terre passait entre deux meules-brosses garnies en chiendent et tournant dans l'eau. Nous pensons que l'emploi successif de deux laveurs ordinaires eût produit plus économiquement le même effet. De là, les pommes de terre lavées se rendent dans un bassin, d'où un dragueur à godets et à claire-voie les extrait pour les conduire à un coupe-racines.

Nous avons vu employer avec avantage, pour débiter les pommes de terre en cossettes, un coupe-racines construit par M. Corrège, et analogue à celui de M. Burette, représenté en élévation et en coupe par les fig. 1 et 2 : A, bâti en charpente; B, roue sur laquelle sont montées les lames; T, trémie; D, plomb mobile ou volet qui forme le fond de la trémie; E, centre du mouvement du volet; F, vis au moyen de laquelle on change à volonté l'inclinaison du volet; G, couloir par où s'échappent les cossettes à mesure qu'elles sont coupées; *aa*, lames tranchantes; *bb*, rainures à travers lesquelles passent les tranches coupées. La machine est recouverte d'une chemise en planches, supprimée dans le dessin, qui sert à retenir les cossettes qui pourraient s'attacher à la roue et être lancées en tous sens par la force centrifuge.

Le coupe-racines que nous venons de décrire débite les pommes de terre en tranches minces ou cossettes qui tombent au fur et à mesure sur une chaîne sans fin en gutta-perka, qui les conduit dans les bassins de macération préalablement remplis d'eau à 35 ou 40 degrés. Ce n'est point un lavage que l'on cherche à produire; on s'efforce surtout de détruire, par une fermentation activée par la température à laquelle on opère, les principes âcres et sapides de la pomme de terre, tout en prévenant, autant que possible, la dissolution de la fécule ou de la pulpe sous l'action du ferment que renferme ce tubercule. A cet effet, on modère la fermentation, et on enlève de temps à autre les produits qui en résultent en changeant l'eau de macération. La conduite de l'opération offre peu de difficultés; celle-ci est terminée, après trente-six ou quarante-huit heures, selon la quantité relative d'eau employée, sa température et le nombre de lavages.

Les cossettes, lorsqu'on les retire des bassines de macération, sont assez molles, sans odeur, bien que les premières eaux de macération en eussent une très forte. Il est indispensable de les soumettre immédiatement à une pression aussi forte que possible, sous une

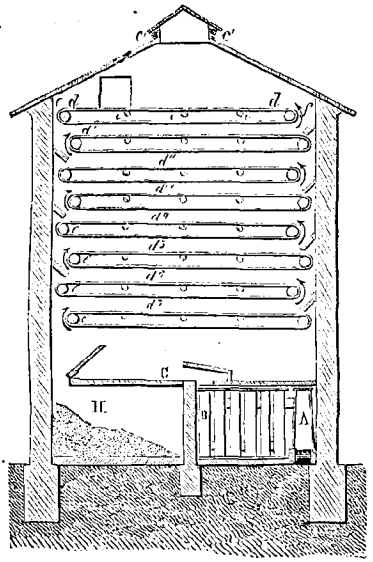


presse hydraulique, pour en exprimer toute la quantité d'eau qu'elles sont susceptibles d'abandonner par ce moyen. Enfin on achève de les dessécher à l'étuve : cette dessiccation est d'autant plus facile, qu'elles ont été plus fortement pressées, et présente d'assez grandes difficultés lorsqu'il s'agit d'opérer en grand. Des essais, que nous avons fait faire à titre d'expert, nous ont convaincu que la dessiccation des cossettes devait se faire dans une grande exploitation au moyen de séchoirs mécaniques analogues à ceux employés dans les lavoirs à blé ou autres, et être conduite avec une grande rapidité.

Le séchoir mécanique qui nous paraît le plus approprié à la dessiccation des cossettes est celui représenté fig. 3; il se compose d'une étuve chauffée par un calorifère AB : l'air chaud fourni par le calorifère s'élève, entre dans l'étuve par la trappe C, suit les directions sinueuses marquées par des flèches sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

figure, et sort en haut de l'étuve en *c'*. La cossette est étendue au sortir de la presse, soit immédiatement, soit après un pelletage préalable, sur une aire sèche et bien aérée pour la faire ressuer. De là elle passe sur une



3.

toile sans fin *d*, à l'étage supérieur, tendue entre deux cylindres *e*, *f*, et supportée par des rouleaux *i*, *i*, *i*. D'autres toiles *d'*, *d''*, ...*d*^{7}, disposées au-dessous par étages, sont mises en mouvement alternativement en sens contraire, et avec des vitesses égales, par des roues d'engrenage adaptées sur l'axe de chaque cylindre *e*, *e*, ... Il s'ensuit que les cossettes, qu'un distributeur mécanique amène d'une manière régulière sur la toile sans fin supérieure, se distribue avec la même régularité sur les toiles inférieures, et que, rencontrant, au fur et à mesure qu'elle descend, de l'air de plus en plus chaud et plus sec, elle se dessèche graduellement, et tombe enfin dans le récipient H à l'état convenable pour être emmagasinée ou livrée au moulin.

Les cossettes desséchées sont ensuite réduites en farine dans des moulins à blé, et on en sépare par le blutage le son provenant de la pellicule de la pomme de terre.

Aujourd'hui sans emploi, les procédés qui viennent d'être décrits peuvent certainement aussi s'appliquer à d'autres substances amylacées, parmi lesquelles nous citerons en première ligne le *marron d'Inde*, qui pourra être réduit en farine alimentaire après qu'on aura enlevé, par des macérations et lavages appropriés, la saveur âcre et particulière qu'il possède.

P. DEBETTE.

FAUX ou FAULX (*angl.* scythe, *all.* sense). Instrument dont on se sert pour couper les fourrages, etc.; il se compose d'une grande lame mince en acier légèrement arquée, tranchante du côté concave, pointue à un bout, et terminée à l'autre par une poignée en queue qui sert à la fixer, au moyen d'une virole et d'un coin, à l'extrémité d'un manche en bois de 1^{m},50 au moins de longueur. La surface inférieure de la faux est convexe; du côté du dos, il y a une nervure dont toute la saillie est en dessus, et qui, prenant naissance à la queue, va former la pointe. C'est à cette disposition que la faux, quoique très mince (elle n'a pas 1^{mm} d'épaisseur), doit toute sa fermeté. Cette nervure a en outre pour objet de renverser et d'entraîner les plantes au fur et à mesure que la faux les coupe, pour en former l'*ondin*.

La fabrication des faux a longtemps été concentrée en Allemagne, et surtout en Styrie. Actuellement neuf de nos départements, du midi et de l'est de la France, alimentent presque exclusivement le commerce intérieur.

L'acier naturel ou de cémentation est fourni au fabricant de faux en barres méplates de 25^{mm} sur 50^{mm}. Il les casse en tronçons de 0^{m},24 à 0^{m},25, qu'il classe en diverses catégories, suivant l'aspect de leur cassure. Les barreaux de nature *ferreuse* sont mis à part et destinés à fournir l'étoffe dont se compose le dos des faux; on les étire au martinet en barres de 30^{mm} de large sur 8 à 10^{mm} d'épaisseur, qu'on coupe par longueurs de 0^{m},65. On assemble ces barres par *trousses* de 16, que l'on corroie et que l'on réduit en barres carrées de 20^{mm} de côté sur 0^{m},65 de long. On étire, de la même manière, les tronçons d'acier fin, destinés à faire les tranchants des faux, en barres de 20^{mm} sur 10^{mm}, qui sont soudées à plat sur les premières et étirées en barres de 25^{mm} de large sur 7 à 8^{mm} d'épaisseur; l'acier fin y entre pour 1/3 et l'étoffe pour 2/3. Un ouvrier raffineur, avec son compagnon, corroie 350^{k} d'acier en 18 heures; le déchet est de 7 1/2 p. 100.

Des mains du *raffineur*, ces barreaux passent dans celles du *martineur*, qui, en deux chaudes, ébauche les faux, forme la pointe, le talon, et recourbe à angle droit le bout qui doit servir à faire la queue, le tout à l'aide d'un martinet de 45 à 50^{k} qui bat environ 300 coups par minute. La pièce ébauchée porte 0^{m},80 de long, 22^{mm} de large près de la crosse, 16^{mm} au milieu et 10 au petit bout près de la pointe; son épaisseur est de 5^{mm} près de la crosse et de 4^{mm} au bout opposé; la crosse ou queue a 80^{mm} de long, 30^{mm} de large et 4^{mm} d'épaisseur. On donne ensuite une chaude suante à la pièce, et on la courbe convenablement, en relevant en même temps, à l'extrémité de la queue, le petit *porreau* qui sert à la fixer contre le manche.

On élargit alors la lame sous un martinet de 30^{k}; le maître, après l'avoir chauffée vers le bout, saisit la crosse de la main gauche, et le bout de la main droite avec une petite tenaille; il promène dans le sens de la longueur la pièce renversée sur l'enclume, pour former la nervure, puis dans le sens de la largeur pour étendre la lame. Il emploie trois chaudes sans changer cette disposition, puis en donne une quatrième, du côté de la crosse, pour en former le talon. La faux est ensuite remise à un ouvrier qui, avec un marteau à main et sur un tas de fer, la redresse en partie, après l'avoir légèrement réchauffée; cette opération se termine sous un petit martinet de 15^{k} battant de 300 à 400 coups par minute. Enfin un autre ouvrier termine la nervure en la battant dans l'angle, à coups redoublés, avec un marteau à panne légèrement arrondie. Cette opération, ainsi que les deux précédentes, exige une grande habileté de la part de l'ouvrier.

Il reste à donner à la poignée ou *queue* la direction convenable, à imprimer la marque du fabricant, à affranchir à la cisaille le côté du tranchant, à tremper, recuire et affûter la faux, opérations qui n'exigent aucune description particulière.

Les faux de Styrie ne pèsent que 500 grammes; celles que l'on fabrique dans d'autres parties de l'Allemagne et en France en pèsent 700 à 800.

On donne le tranchant aux faux par un martelage, et ensuite avec une pierre à aiguiser, dont chaque faucheur doit être pourvu; ce martelage s'exécute à l'aide d'un marteau à manche très court, et d'une petite en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

clume que le faucheur plante en terre, entre ses jambes. Le marteau et l'enclume ont des formes différentes : c'est-à-dire que le marteau est à panne et tête de l'enclume légèrement bombée. Indépendamment de son enclume et de son marteau, le faucheur doit être muni d'un étui ou *coffin* plein d'eau, suspendu par un crochet à sa ceinture, et renfermant une pierre à aiguiser. Lorsqu'on aiguise la lame avec la pierre, il faut faire attention à l'usage que l'on veut en faire; pour les herbes fortes, la luzerne, les gros foins, le tranchant doit en être court; il devra être long et aplati pour les herbes fines.

La *faucille* (*angl.* sickle, *all.* sichel) est un instrument qui sert à couper ou à scier le froment, le seigle, et en général toutes les céréales dont les graines ne tiennent pas dans l'épi et qui tomberaient à terre si on les fauchait. C'est une lame d'étoffe d'acier recourbée en demi-cercle de $0^m,20$ à $0^m,25$, large de 25^{mm} environ, à tranchant taillé en lime d'un seul côté, et dont un des bouts est façonné en queue propre à recevoir un petit manche qui, tantôt est placé dans le plan de la lame, tantôt s'élève un peu au-dessus, ce qui évite au moissonneur la peine de se baisser.

On commence à remplacer la faucille, dans les environs de Paris, par la *faux flamande*, employée depuis longtemps dans le nord de la France. Elle se compose d'une lame de $0^m,80$ de long et d'un manche en bois de 30^{mm} de diamètre sur $0^m,50$ à $0^m,60$ de long; ce manche, qui est coudé à angle droit à $0^m,15$ environ de chacune de ses extrémités, porte à sa partie supérieure, près de la poignée, une espèce d'anneau en cuir, qui sert à faciliter la manœuvre de l'instrument. On réunit les chaumes que l'on veut couper à l'aide d'un bâton léger terminé par un crochet de fer. Tandis que l'ouvrier a sa faux dans la main droite, il tient le crochet de la main gauche par le milieu, de manière à ce que la partie courbée soit parallèle à la lame et au-dessus d'elle; le crochet soutient la paille vers la moitié de sa hauteur, tandis que la faux la coupe à 5 à 10 centim. du sol. Un grand avantage de cet instrument, c'est que celui qui s'en sert n'a pas besoin de se pencher, ce qui ménage ses forces et lui permet de faire plus d'ouvrage; il laisse aussi moins de chaume. Le sciage à la faucille arrange, il est vrai, plus régulièrement la paille, qui prend moins de volume; il donne un blé moins difficile à battre; enfin, beaucoup de mauvaises graines, échappant à la faucille et restant dans le chaume, le grain est plus propre. Mais le fauchage ne coûte que la moitié du sciage, la récolte est beaucoup plus prompte, la paille demeure plus longue, le sol est mieux nettoyé, et il n'est plus nécessaire d'y faire dispendieusement passer la faux pour enlever le chaume.

Nous avons vu employer avec succès, dans diverses parties de l'Allemagne, en lieu et place de la faux flamande, une *faux à rateau*, qui ne diffère de la faux ordinaire que par l'addition faite à l'extrémité du manche, d'une espèce de rateau composé de baguettes ayant la même courbure que la faux, et dont l'objet est de rassembler les tiges des céréales à mesure qu'on les coupe, et de les coucher doucement les unes à côté des autres, afin de ne pas les ébranler, et que l'ouvrier qui doit faire les gerbes ait moins de peine à les former; ce procédé procure, sur les précédents une économie considérable sur la main d'œuvre.

FÉCULE (FABRICATION DE LA). La fabrication de la fécule a pris depuis quelques années en France un développement remarquable, et aujourd'hui ses produits sont expédiés jusqu'en Angleterre. A mesure que les produits de la culture, ont forcé les fermiers à planter en grand la pomme de terre, qui ne présente pas pour son exploitation manufacturière à beaucoup près autant de difficultés que la betterave, les prix de vente de la fécule ont baissé rapidement. Ils sont maintenant réglés sur ceux des pommes de terre; et de ce bon marché sont résultés des emplois tout nouveaux, et des consommations toujours croissantes et presque sans limites. La dextrine, les gommes employées dans l'apprêt des tissus; la glucose ou sucre de fécule, introduit en grand par son bas prix dans la fabrication des bières, des vins naturels pour les améliorer, même en Bourgogne, et par la pureté qu'elle atteint, remplaçant aujourd'hui le sucre ordinaire dans toutes les préparations des liqueurs, des sirops de pharmacie, etc., tous ces débouchés ont développé rapidement la fabrication de la fécule; et bientôt il n'y aura pas une grande ferme qui n'ait son atelier complet pour convertir la pomme de terre, qui ne peut être ni transportée ni vendue, en fécule, produit éminemment transportable et dont le placement se fait à la halle presqu'aussi facilement et aussi régulièrement que celui des farines.

C'est que cette fabrication est très simple, qu'elle n'exige que des machines peu coûteuses à établir, et s'organise parfaitement avec les travaux de la culture. On y emploie avantageusement les bœufs et les chevaux pour moteur, et comme là les frais généraux d'administration sont nuls, et qu'au besoin le fermier pourrait encore avec avantage se contenter de fabriquer et de vendre sa fécule sans bénéfice, pour écouler les pommes de terre nécessaires à sa culture, il en résulte que le nombre de ces établissements peut se multiplier presque sans limites.

Ainsi qu'il arrive dans toutes les industries qui s'appliquent à des objets de grande consommation et à bon marché, de nombreuses tentatives et des inventions de toute nature ont été faites pour perfectionner cette fabrication, si simple qu'elle soit; mais de même que pour le sucre de betterave, il reste peu de chose de toutes ces inventions, après un an ou deux d'emploi et de vogue; et les fabriques qui prospèrent le plus sont celles qui sont montées le plus simplement.

En décrivant les outils que l'on peut adopter avec pleine sécurité, nous dirons un mot de ceux que l'on a cherché sans succès à leur substituer.

Nous donnons ici la description et le plan (*fig.* 831 et 832) d'une fabrique qui a été construite par M. Firmin Raveau, architecte, et dont nous avons monté les machines et étuves, pour M. Legrand, fermier et propriétaire à Guitry, près Vernon (Eure).

Cette fabrique peut servir de modèle par la disposition générale, le choix des appareils et la simplicité de combinaison des transmissions de mouvement. Avec quatre chevaux attelés, elle travaille facilement et dans la perfection 200 hectolitres de pommes de terre par jour, et conduit, au besoin, en même temps, un moulin à broyer les tourteaux de colza pour la ferme.

Des silos et des soins à donner à la pomme de terre emmagasinée. Les silos destinés à recevoir la pomme de terre et la conserver saine et à l'abri de la gelée, sont établis près de la fabrique et parallèlement à elle, de manière à pouvoir, au moyen d'un appareil mécanique appelé *drageur*, conduire la pomme de terre sans main-d'œuvre, du magasin à la fabrique, par une galerie couverte.

Ces silos, qui doivent être d'une grande capacité pour recevoir la pomme de terre destinée à cinq ou six mois de fabrication, c'est-à-dire 30,000 hectolitres, sont ordinairement creusés dans la terre sur un mètre ou deux, pour réduire les frais de construction, soutenir les murs contre la poussée d'une si grande charge, et préserver de la gelée les produits emmagasinés.

La pomme de terre doit autant que possible être rentrée sèche et avec le moins de terre adhérente que l'on pourra.

Les pommes de terre sont apportées en sacs de 1 hectolitre, après avoir été mesurés toujours sur le terrain,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tant pour la comptabilité de la ferme, que pour celle de la fabrique, qui doivent être soigneusement séparées. On les monte à dos d'hommes par deux portes réservées sous comble aux deux extrémités des silos, tant pour rendre facile l'arrivage et le déchargement de plusieurs charrettes à la fois, que pour diminuer les frais de transport à l'arrivée et à la sortie des silos ; on les porte sur des planches mobiles, qu'on installe momentanément sur les sommiers du comble, dans toute la longueur du silo, et on les verse à droite et à gauche jusqu'à ce que le silo soit plein jusqu'au niveau des entraits qui ne doivent jamais être recouverts, ni enveloppés de pommes de terre, parce que, avec la fermentation et la chaleur qui se développe toujours, ces pièces de bois s'échaufferaient et s'altéreraient promptement.

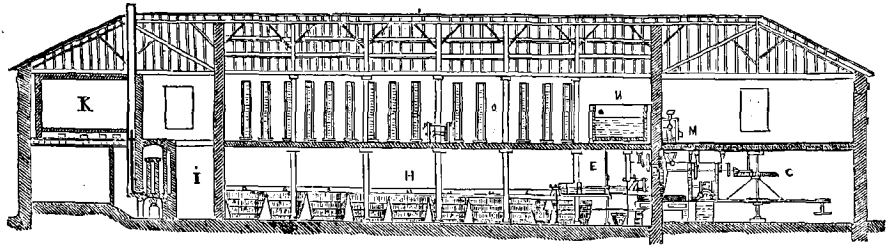
Quand on rentre la pomme de terre par des temps de pluie et de boue, ce qu'on doit éviter autant que possible, elle est inévitablement mouillée et sale, aussi faut-il encore lui donner de la surveillance pour diminuer au moins des inconvénients quelquefois inévitables, et ne pas laisser les ouvriers remplir le silo de boue avec leurs sabots, qu'ils doivent toujours laisser à la porte.

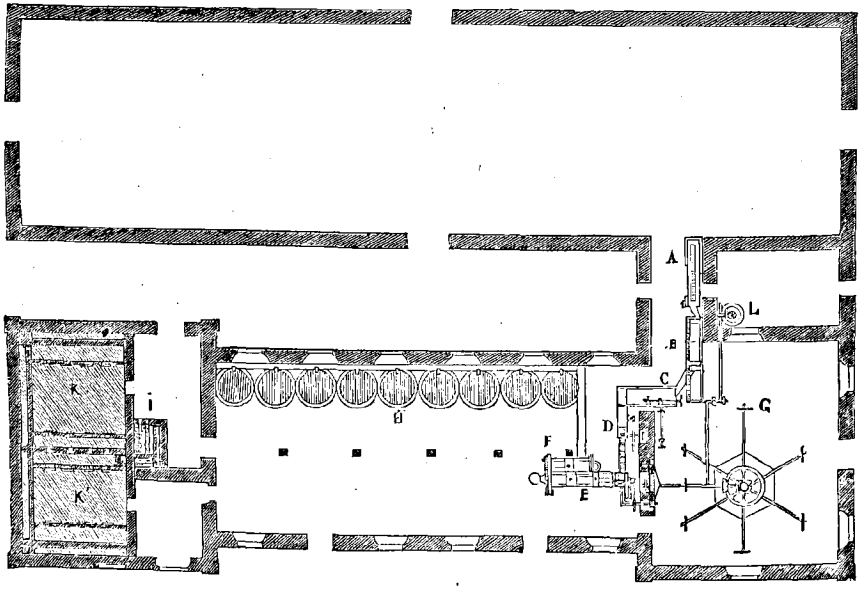
Quand le silo est plein, on ferme avec soin les fenêtres, et on les calfeutre de paille, ainsi que les portes qui ne communiquent pas avec la fabrique.

Il est de la plus haute importance de préserver la pomme de terre de la gelée qui, même légère, en altère la qualité, et forte, la perd entièrement. Aussi doit-on réserver toujours des places vides au milieu des pommes de terre, dans le silo, pour y placer deux ou trois poêles dans lesquels on fait du feu pendant les grandes gelées.

Quand la récolte est abondante, et que le silo ne la peut pas recevoir en entier, on établit, dans une partie sèche et élevée des terres cultivées en pommes de terre, des silos momentanés, creusés en terre de 1 mètre au plus, garnis de paille et d'une couche complète de terre de 20 à 25 centimètres d'épaisseur. Quelques manufacturiers aux environs de Paris se contentent de l'amonceler sur le sol et de la recouvrir de paille

831.





832.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en ayant seulement soin de la préserver, par un toit ou des planches, de la neige ou de la pluie, qui seules l'altèrent, disent-ils, et la font geler. Ce moyen est bon à employer, quand on n'a pas de silo, et que l'on reçoit la pomme de terre à peu près au fur et à mesure des besoins de la fabrication; mais on s'exposerait gravement, nous en sommes convaincus, en l'adoptant pour tous les produits d'une récolte destinés à alimenter une fabrique pendant l'hiver entier.

Un soin indispensable, pour conserver à la pomme de terre toute sa qualité, est de la remuer de temps en temps dans le silo, afin d'empêcher la fermentation, qui s'y développe très-rapidement, surtout si elle a été rentrée par des temps de pluie et de boue.

Nous donnons, figure 831 et 832, les dessins d'ensemble de la féculerie, dont nous allons analyser le travail; la figure 831 est le plan de la féculerie; la figure 832 est une coupe en long.

Nous remarquerons, avant de décrire les procédés d'extraction de la fécule contenue dans le réseau cellulaire de la pomme de terre, que celle-ci, comme la betterave, perd à attendre la fabrication. C'est au moment où elle vient d'être récoltée, en pleine maturité, qu'elle contient et donne le plus de fécule; et, si on perd un mois au commencement de la campagne, il est évident qu'on ne le rattrapera pas à la fin, puisque la pomme de terre rend moins de produits, surtout dans le mois de mars, à l'époque où le travail de la germination commence à se faire et où la fécule, qui est la substance propre à la nourriture de la jeune plante, se transforme.

La première condition d'un travail bien organisé doit donc être de faire en été, et d'avance, tous les travaux de réparation et d'amélioration ou d'accroissement que l'on a jugés nécessaires, et de ne pas attendre pour cela les mois de septembre et d'octobre, comme font tant de fabricants. Il faut aussi que les outils soient tous essayés d'avance, le calorifère et les étuves nettoyés et réparés, et tout en ordre, pour commencer la fabrication le plus tôt possible, aussitôt les premières voitures de pommes de terre rentrées. Il y a des fermiers qui ont soin de planter de la pomme de terre à une époque et dans une position où elle sera plus hâtive, pour commencer leur travail quinze jours plus tôt.

Il faut surtout pousser le travail avec autant d'activité que de régularité, et si la fabrication est réglée à 200 hectolitres, il faut que, chaque jour, les 200 hectolitres soient écrasés. Tous les efforts doivent être faits pour que la fabrication soit terminée à la fin de février ou dans la première quinzaine de mars. Aussi est-il très-important, dans un grand établissement, d'avoir largement les machines nécessaires à la fabrication pour faire le plus possible par jour. Une augmentation bien légère, dans les intérêts de premier établissement, donne une somme annuelle de bénéfices considérable.

Série des opérations que subit la pomme de terre pour être transformée en fécule.

La fabrication de la fécule se compose de quatorze opérations :

1° Montage de la pomme de terre du silo à la fabrique, et en même temps au-dessus du premier laveur au moyen du *dragueur* A.

2° Lavage au premier *laveur* B.

3° Passage au second *laveur* C.

4° Déchirage de la pomme de terre lavée à la *râpe* D.

5° Montage de la pulpe de la râpe au tamis cylindrique E, au moyen d'une chaîne à godets.

6° Séparation de la fécule et de la pulpe dans un tamis cylindrique E.

7° Séparation du petit son, que l'eau entraîne mélangé avec la fécule, dans un petit tamis inférieur F.

8° Repos et décantation des fécules dans les cuves en bois H.

9° Lavage à grande eau de la fécule déposée dans les tonneaux, et passage dans des tamis de soie à la main.

10° Montage au haloir dans les bachots ou demi-tonnes, où elle a été déposée après le lavage.

11° Exposition de la fécule humide en morceaux de 2 ou 3 décimètres cubes sur des étagères, dans un séchoir à air libre dit *haloir* O.

12° Ecrasage de la fécule séchée au haloir à l'aide d'un gros rouleau de bois.

13° Séchage dans une étuve chauffée K.

14° Ecrasage au rouleau et passage au blutoir M pour la vendre en sacs.

Les machines que nous allons décrire sont conduites par un manége G, attelé avec des bœufs ou des chevaux; quatre chevaux, quand les machines sont bien montées, suffisent pour travailler 200 hectolitres de pommes de terre.

Le manége de Guitry est très-léger. L'arbre vertical tourne sur un pilier fixe en fer forgé, qui soutient le plancher du magasin placé au-dessus, et les bras en bois sont reliés ensemble et après l'arbre vertical, par des cordes métalliques qui lui donnent une grande légèreté.

Il est bon de donner cinq ou six bras à un manége pour atteler des chevaux de renfort, dans le cas d'augmentation du travail.

La transmission et la multiplication de mouvement se font au moyen de roues droites, de poulies et de chaînes Galle.

Il va sans dire qu'il y a avantage à employer, quand on le peut, une force hydraulique, ou à se servir du moteur d'une usine à laquelle la féculerie est annexée, ce qui arrive à un assez bon nombre de papeteries, à cause de la grande consommation de fécule que l'on fait dans la fabrication du papier.

L'eau est fournie à toute la fabrique par un réservoir N, de grande capacité, et alimenté largement par des pompes. Pour travailler par jour 200 hectolitres de pommes de terre, il faut de 100,000 à 120,000 litres d'eau.

Dragueur ou noria. Le dragueur est un plan incliné en madrier de chêne, pris entre deux longuerines qui lui servent de guides, au pied duquel est une grille en bois sur laquelle on jette la pomme de terre à la brouette pour en séparer déjà les principaux cailloux qu'elle contient, et dont l'enlèvement est très-important pour la conservation des machines. Sur ce plan court une chaîne sans fin, composée de deux chaînes Galle à très-longues mailles, séparées de $0^m,25$, et réunies par plusieurs tasseaux en fer placés perpendiculairement au plan, passant par-dessus deux tambours de fonte ajustés en haut et en bas du plan, et dont le mouvement, imprimé par le manége au moyen d'une forte chaîne Galle, se transmet à la chaîne sans fin. Celle-ci, agissant sur le plan, et à travers la trémie avec grille, où l'on a versé les pommes de terre, les entraîne sur les tasseaux formant noria, et les conduit en haut du plan, où elles sont versées dans la trémie du premier laveur. Il faut donner sept à huit tours par minute de vitesse à ce dragueur.

Le dragueur, qui sert à élever les pommes de terre à une hauteur suffisante pour que la pulpe, mélangée à l'eau, puisse parcourir un chemin suffisant avant d'arriver sur le sol, n'est pas employé dans beaucoup de féculeries. Les laveurs et la râpe étant placés sur le sol, la pulpe mélangée à l'eau peut être enlevée facilement et plus simplement à l'aide d'une pompe, et conduite, à la hauteur convenable, à la tête des appareils séparateurs de la fécule, que nous décrivons ci-après.

1er et 2e laveurs. Pour faire de belle fécule, et aujourd'hui qu'on l'emploie dans les apprêts des tissus et sur-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tout des toiles blanches, on est extrêmement difficile pour la blancheur et l'éclat de la fécule; la première condition et la plus importante, c'est un lavage parfait.

Dans beaucoup de fabriques, on laisse baigner la pomme de terre dans de grands tonneaux, avant de la passer au laveur, afin que la terre qui y adhère ait le temps de se détremper et ne résiste pas au lavage.

Dans d'autres, on plonge la pomme de terre, sortant du silo, dans un baquet plein d'eau placé auprès du dragueur, et d'où un ouvrier la jette à la pelle sur cet outil.

Mais ces procédés occasionnent une grande main-d'œuvre, et le travail est plus économique et plus parfait en les passant successivement à deux laveurs, dont le premier sert à détremper la pomme de terre et à enlever presque toute la terre et les cailloux, et le second, avec de l'eau toujours propre, achève le travail du premier et rince le tubercule.

Le laveur est un tambour à jour, semblable à celui employé pour laver les betteraves dans la fabrication du SUCRE; il est composé de deux plateaux circulaires en fonte, montés sur un arbre tournant en fer, et réunis pour former le tambour par des baguettes de fer rond de 13 millim. de diamètre, ne laissant entre elles que 1 centimètre de passage pour l'échappement des cailloux. Plus de jeu entre les tringles laisserait passer les petites pommes de terre, et quoiqu'en vidant le grand et fort coffre de chêne plein d'eau, qui est placé sous le tambour, et dans lequel ce dernier tourne, on ait soin de faire passer l'eau dans un panier à claire-voie, pour ne laisser perdre aucune pomme de terre, cependant celles qu'on en retire ne sont jamais aussi bien lavées que dans le laveur : ce serait donc encore une main-d'œuvre perdue.

Le tambour du laveur, tournant avec son arbre sur des paliers fixés sur le coffre de bois, plonge au tiers de toute sa hauteur dans l'eau, et les 12 tours par minute qu'il fait avec un diamètre de $0^m,80$, en faisant sauter vivement la pomme de terre sur chaque tringle de fer, la nettoient parfaitement. L'eau de ces laveurs est renouvelée au moins deux ou trois fois par jour au moyen d'une large porte réservée au bas du coffre et fermée par un tampon et une barrette à vis comme le trou d'homme des chaudières à vapeur.

Un tour d'hélice en bois ou en métal fixé sur l'axe, à l'extrémité du laveur opposée à celle de l'entrée, prend la pomme de terre pour la vider au dehors. Du premier laveur on la passe au second, et du second elle tombe sur une grille de bois, qui la conduit à la râpe, où un enfant la pousse à la main en ayant soin de ne laisser passer aucun caillou, précaution très-essentielle, car, à chaque caillou qui passe, toutes les lames de la râpe sont fortement endommagées.

Plusieurs constructeurs munissent le laveur, intérieurement, d'une sorte de vis héliçoïdale désignée sous le nom de *colimaçon*, qui, marchant en sens contraire du cylindre, promène les pommes de terre, les fait frotter contre la claire-voie du cylindre, et les unes contre les autres, de manière à les débarrasser de la terre adhérente à leur surface; en même temps cette vis les conduit à l'extrémité du cylindre, où on les fait souvent tomber dans un épierreur.

Celui-ci se compose d'une caisse au fond de laquelle une sorte de fourchette à griffes recourbées, très-espacées, va ramasser les tubercules pour les rejeter sur le plan incliné conduisant à la râpe, tandis que les pierres retombent entre les interstices qui séparent les griffes.

Râpe. La râpe ou cylindre dévorateur est un tambour de fonte de $0^m,50$ à $0^m,60$ de diamètre et de $0^m,27$ à $0^m,32$ de largeur, armé sur toute sa circonférence de lames de scie fines, espacées de 10 à 15 millimètres, à dents très-courtes, mais mieux de 10 millimètres, le râpage est plus fin (Voyez SUCRE).

Ce tambour tourne sur un axe porté solidement sur des paliers et un bâti de fonte. Au-dessus du tambour est une capote mobile en tôle, tenue par des clavettes; et au-dessous, dans le sens où le mouvement entraîne la pomme de terre, est une planchette inclinée et une auge, où tombe la pulpe, et d'où elle est prise par une chaîne à godets, qui la conduit dans un tamis cylindrique.

Sur le devant de la râpe et du côté de l'arrivée des pommes de terre, est une table horizontale en bois avec un plateau mobile en fer, parfaitement dressés sur leurs arêtes, qui, au moyen de deux vis de serrage, sont amenés parallèlement, avec une grande exactitude, tout contre les lames de la râpe, de manière à ne laisser passer que la pulpe très-fine sans aucun morceau de pomme de terre qui ait échappé à la râpe. Un poussoir en bois, à charnière en haut et à ressort en bas, reposant sur la planche mobile, serre la pomme de terre, que le jeune ouvrier fait tomber sur la râpe avec une râclette en bois, en retirant à la main les cailloux.

Un levier placé à sa main lui permet, si un caillou venait à passer inaperçu dans la râpe, de faire sauter les ressorts qui pressent le poussoir contre le cylindre, et d'avoir ainsi le temps de dégrener la râpe au moyen de la poulie folle. Un robinet fait couler constamment et abondamment de l'eau sur la râpe pour délayer la pulpe. Une râpe doit faire de 7 à 900 tours par minute, et elle pourrait traiter au besoin 250 hectolitres de pommes de terre par heure.

Souvent on emploie seulement le poids des pommes de terre placées en quantité suffisante sur la râpe; il suffit pour en assurer l'action.

La pulpe tombe dans un coffre, d'où une chaîne formée de longues lames accouplées comme la chaîne Galle, et de godets en tôle, et montant sur un plan incliné en bois, va porter cette pulpe dans la trémie du tamis cylindrique, en même temps qu'un robinet y verse de l'eau.

Tamis cylindrique. Le tamis cylindrique E, fig. 833, est composé de trois bâtis cylindriques en fer recouverts de toile métallique, tournant sur un axe en fer, au-dessus d'un coffre en bois. Ces trois tamis sont séparés l'un de l'autre par deux tambours en cuivre fixés solidement au coffre du tamis.

La pulpe qui arrive sur le premier tamis, abondamment délayée dans l'eau, est bien vite séparée de cette eau, qui emporte la fécule dans le coffre et va tomber dans le premier tambour, où elle est de nouveau délayée par une forte injection d'eau et des agitateurs, fixés sur l'arbre tournant.

De là elle est versée et séchée de nouveau sur le second tamis, et enfin délayée de nouveau dans le deuxième tambour et définitivement séchée sur le troisième tamis, qui la jette au dehors, complétement séparée de la fécule, d'où elle est emportée pour servir à la nourriture des vaches et des moutons.

Le tamis doit faire vingt-quatre à vingt-cinq tours par minute; plus de vitesse donnerait un mauvais tamisage. Il peut suffire facilement avec 3 mètres de longueur à 200 hectolitres de pommes de terre.

La fécule entraînée par l'eau va passer dans un autre tamis placé au-dessous des précédents, plus petit et plus fin, qui en sépare le menu son, puis elle se rend par une rigole dans les cuves de dépôt.

Le tamis est l'outil qui, dans toutes les féculeries, a subi le plus de modifications, parce qu'on n'est pas encore fixé sur le meilleur système. On l'a fait longtemps avec un seul tambour horizontal tournant avec l'arbre. Ce système est insuffisant, le tamisage est imparfait, la pulpe n'est pas épuisée; il faut la délayer de nouveau dans l'eau.

Puis on a fait de longs plans inclinés en toile métallique, sur lesquels l'eau descendait en emportant la fé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cule, pendant que la pulpe était montée par des râcloirs mécaniques en mouvement. Ce système prend beaucoup de force et la longueur des tamis est très-gênante. Il détruit très-rapidement les toiles métalliques et ne donne pas plus de fécule que les autres; c'est à notre avis un mauvais système.

Enfin, on a fait de petits plans inclinés sur le même système, superposés les uns aux autres, qui, dit-on, marchent très-bien. Mais nous sommes convaincus que le meilleur système est le tamis à tambours fixes, parce qu'il sèche et délaye plusieurs fois la pulpe. A notre connaissance, l'invention des tambours fixes et multiples est due à M. Pasquier, propriétaire à *Trou*, près Versailles.

Le système de trois tamis montés sur un seul axe est toutefois moins souvent employé aujourd'hui que celui, plus simple, de deux tamis cylindriques indépendants. La pulpe, sur chaque tamis, est soumise à l'action de brosses fines, frottant contre les parois intérieures de la toile, et tournant en sens contraire du cylindre. Du premier tamis l'eau féculente se rend sur le second, semblable au premier, mais dont la toile est plus fine, pour retenir les débris du tissu cellulaire qui auraient pu passer à travers les mailles de la toile métallique du premier cylindre.

Décantage. La fécule délayée dans l'eau, et sortant du tamis à petit son, se rend par une rigole fixée au mur dans la cuve H de dépôt, qu'elle remplit successivement au moyen de petites vannes.

En quatre heures, la fécule est complétement déposée, et on décante l'eau surnageante, que l'on envoie sur les terres pour les fumer. Ces eaux ne doivent pas rester près de la féculerie, car elles deviennent très-rapidement infectes.

On fait couler sur le premier dépôt une nouvelle charge d'eau et de fécule, que l'on décante de même. Puis, quand elle a atteint une épaisseur de $0^m,25$ dans des cuves de $1^m,10$ ordinairement de haut, on procède à son lavage.

A la sortie du tamis, on fait avec avantage écouler l'eau dans une longue rigole, peu inclinée, dans laquelle la fécule se dépose en même temps que des matières terreuses, que l'on en sépare par l'opération du *dessablage*, par un lavage.

Lavage. La fécule déposée est encore salie par de la terre.

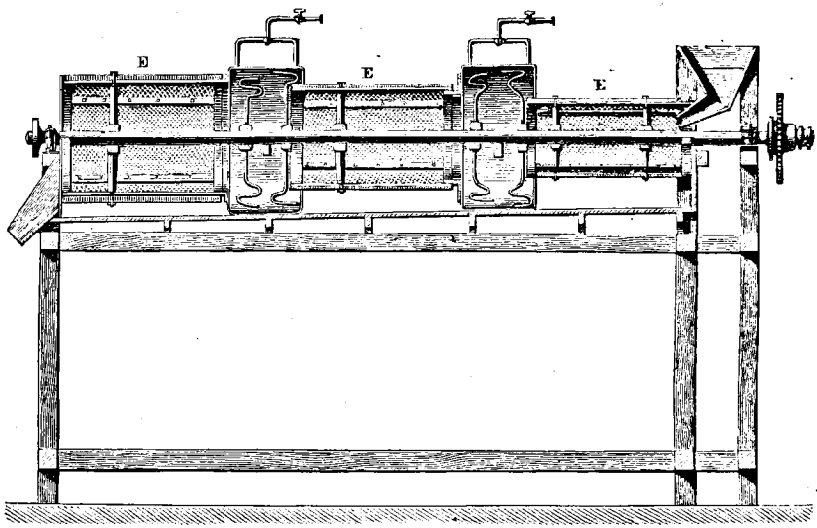


Fig. 833.

On la délaye à grande eau dans des tonneaux, puis on la laisse reposer quelques minutes, enfin on la décante.

Après trois ou quatre heures de dépôt, on trouve à la superficie du dépôt une couche grisâtre que l'on enlève à l'aide de râcloirs, et qui est délayée à part et passée au tamis de soie pour retirer une partie de la fécule blanche qu'elle contient. La fécule, débarrassée de cette couche, que l'on nomme *gras de fécule*, est remise en suspension et pressée dans un tamis de crin ou de soie.

Quand l'épuration est ainsi complète, on remplit avec la fécule mélangée encore avec beaucoup d'eau, à l'état de bouillie, des baquets garnis de toile dits *bachots*, où on la tasse de manière à les remplir, et on la monte au haloir O, dans les bachots, au moyen d'un treuil.

Là, les bachots sont renversés et les morceaux de fécule, encore tout pénétrés d'eau, sont jetés sur le sol du haloir, qui est recouvert d'une couche épaisse de plâtre, qui boit une partie de cette eau ; les morceaux sont ensuite placés sur les échelles. On les sépare les uns des autres pour les sécher le plus possible et diminuer ainsi les frais d'étuvage.

Au bout de quinze ou vingt jours, quand on n'est pas pressé par le manque de place au haloir, ou par la vente, les pains sont déjà bien séchés; si le temps est favorable, ils se délitent bientôt, et tombent en poussière des échelles. Dans les grands froids de l'hiver, ils gèlent souvent, et M. Pasquier nous a assuré que la fécule ainsi gelée était plus belle.

On porte alors la fécule à l'étuve, en la chargeant dans de petits wagons placés sur un chemin de fer qui court dans toute la longueur du haloir; mais avant de la mettre à l'étuve, on l'écrase sur une aire en plâtre au moyen d'un lourd rouleau de bois, tenu par un long manche. Il faut exiger de tous les ouvriers *du blanc*, c'est-à-dire de ceux qui font le travail du lavage de la fécule, du haloir et de l'étuve, la plus grande propreté. Ils ne doivent monter au haloir qu'en quittant leurs sabots et prenant des chaussons, laissés exprès au bas de l'escalier, car on marche là dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fécule, et elle serait très vite perdue d'ordures.

Dans une féculerie bien montée, il y a toujours deux étuves, que l'on charge, et que l'on chauffe alternativement avec le même calorifère, pour pouvoir laisser reposer la fécule douze heures après qu'elle est complétement étuvée. La fécule est chargée sur des cadres en bois garnis de toile au fond, et placés sur des châssis, de manière à laisser 8 ou 10 centimètres d'espace entre chaque rang de cadres. La fécule s'y étend en couche de 3 ou 4 centimètres, et toutes les précautions doivent être prises dans la construction de l'étuve, d'abord pour qu'il n'y ait pas de bois qui puisse prendre feu; les incendies dans une étuve chauffée à 70° et avec de la fécule aussi sèche, étant très dangereux; ensuite, pour conserver le plus possible la chaleur, au moyen de doubles murs, de doubles portes, et de l'absence complete de toute fenêtre.

On chauffe très modérément pendant quatre heures, sans dépasser 45 à 50°, pour éviter que la fécule humide ne s'altère; on pousse ensuite vivement le feu de manière à atteindre 65 à 70°, et en dix-huit ou vingt heures l'étuvage est complet. Au moyen de registres, on jette toute la chaleur dans l'autre étuve que l'on a remplie d'avance, et on laisse reposer pendant douze heures l'étuve dont le séchage est fini, pour laisser retomber un peu la température, et aussi parce que la fécule achève de se sécher.

Au milieu de chaque opération, on ouvre la porte de l'étuve, et les ouvriers y pénètrent pour aller remuer avec des râclettes en bois tous les cadres, pour renouveler les surfaces. Le calorifère que nous avons monté à Guitry, et qui nous appartient, est d'un système tout nouveau et qui a donné les résultats les plus remarquables. Nous en avons donné la description et les plans, dans ce Dictionnaire, à l'article CHAUFFAGE, voir les fig. 468 et 469. Son principe est de pouvoir à volonté sécher, en faisant passer dans l'étuve un grand courant d'air, ou, au contraire, de monter rapidement la température de l'étuve, en faisant circuler de nouveau dans le calorifère l'air déjà chauffé de l'étuve. Nous avons monté l'étuve de Guitry en moins d'une heure de 70 à 105°. Ce calorifère, monté dans deux ou trois féculeries, et depuis dans plusieurs hôtels, fonctionne parfaitement bien.

La fécule perd à l'étuve environ 25 p. 100 de son poids, quand elle a été un temps suffisant au hâloir; quand elle arrive au hâloir, elle retient environ 35 à 40 p. 100 d'eau; et enfin, séchée et prête à livrer au commerce, elle en contient encore de 7 à 8 et 10 p. 100.

La fécule au sortir de l'étuve est mise en sac au magasin, ou en tas, où elle peut rester sans inconvénient un temps indéfini.

A mesure que l'on en a besoin, on la pile au rouleau, et on la passe à un blutoir M en soie, qui fait 30 tours par minute, et dont le cylindre commandé par une courroie, ou mieux une chaîne sans fin, reçoit à chaque tour plusieurs secousses vives qui le font retomber sur ses paliers, pour faire passer mieux la fécule. Ces secousses sont données par un excentrique à 2 cames fixées sur le bout de l'arbre tournant, et rencontrant un heurtoir en fonte.

Il nous reste à donner quelques détails économiques sur cette fabrication.

La pomme de terre rend de 16 à 18 p. 100 de fécule sèche, et les sons retiennent encore un peu de fécule, ce qui les rend si nourrissants pour les bestiaux.

Les machines nécessaires pour une féculerie coûtent, avec les pompes au complet et montées, de 15 à 16,000 fr. dans le meilleur système avec le calorifère.

Les frais de fabrication pour 200 hectolitres de pommes de terre par jour, pesant moyennement 80k l'hectolitre, peuvent être comptés comme suit :

	hect.	f	c.	f.	c.
200 hectolitres de pommes de terre.	200	1	75	350	»
1 contre-maître.				2	25
2 ouvriers manœuvres, et 1 enfant pour approcher la pomme de terre, etc.	3	1	60	4	80
3 hommes au blanc et 2 étuveurs.	5	2	»	10	»
Entretien des machines, tamis, toiles.				10	»
Intérêts du capital de l'usine sur 150 jours de travail, à 75,000 fr. de dépense, bâtiments compris, à 6 pour 0/0.				30	»
Houille pour le calorifère. . . .	3	3	»	9	»
Frais généraux, bureau.				5	»
Transport de la fécule au lieu de la vente; 2700k par jour. . .	kil. 2700		75	20	25
Imprévu.				20	»
Total.				461	30
Soit les 100k de fécule.				17	8
Prix de vente des 100k de fécule. . . .				22	»
Bénéfice par 100k de fécule.				4	92
Et par jour, pour 200 hect. de pommes de terre.				136	70

PH. GROUVELLE.

FENDERIE. Voyez FER.

FER (*angl.* iron, *all.* eisen). Le fer métallique est d'un gris-bleuâtre, malléable, ductile et le plus tenace des métaux; il ne se rompt que sous une charge de 75 kilogr. par millimètre carré de section; poli, il possède beaucoup d'éclat; il a une saveur et une odeur distinctes, mais faibles. Il perd une partie de sa ténacité et devient cassant par l'écrouissage; on lui rend ses propriétés en le faisant *recuire*. Pur, il est absolument fixe, et extrêmement difficile à fondre, et peut-être même n'est-on pas encore parvenu à le liquéfier, car il est probable que lorsque cela arrive, on doit l'attribuer à l'absorption d'une certaine quantité de carbone; mais il jouit de la précieuse propriété de se ramollir à une température bien inférieure, et de pouvoir alors se souder sur lui-même et prendre sous le marteau toutes les formes que réclament les arts. Il est magnétique. Sa dilatation linéaire, de 0 à 100°, est de 1/846e. Le fer ne s'altère pas dans l'air sec, à la température ordinaire, mais lorsqu'on le chauffe, il se recouvre d'une pellicule d'oxyde très mince qui présente, à mesure qu'elle augmente d'épaisseur, le phénomène des anneaux colorés, les diverses couleurs se produisant dans le même ordre et aux mêmes températures que pour l'ACIER (voyez ce mot). Au rouge, il s'oxyde rapidement et se recouvre d'écailles d'oxyde dites *battitures*, parce qu'elles se séparent aisément par l'action du marteau; cette oxydation rapide explique le soin que l'on prend, en travaillant le fer; de le garantir autant que possible, comme nous le verrons, de l'action oxydante de l'air, lors du réchauffage, et l'importance de l'amener à la forme voulue en lui faisant subir le moins de chaudes possible.

Le fer obtenu en réduisant à une basse température un oxyde par l'hydrogène est pyrophorique, c'est-à-dire qu'il s'enflamme spontanément au contact de l'air même après qu'il a été refroidi; il perd cette propriété lorsqu'on augmente sa cohérence, en le chauffant au rouge en vase clos et le laissant refroidir à l'abri du contact de l'air. Très divisé et chauffé au blanc, il brûle dans l'air et dans l'oxygène en répandant une lumière extrêmement vive.

L'air humide oxyde lentement le fer qui se recouvre d'une couche jaunâtre d'hydrate de peroxyde de fer qu'on appelle *rouille;* une partie de l'hydrogène qui se dégage par la décomposition de l'eau, se combine à l'état naissant avec de l'azote venant de l'air, pour donner de l'ammoniaque qui reste en combinaison avec la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rouille. Le fer décompose très rapidement l'eau au rouge : hydrogène se dégage, et l'oxygène s'unit au fer pour donner de l'oxyde magnétique.

L'acide nitrique étendu dissout lentement le fer ; l'acide nitrique concentré l'oxyde également et avec une très grande rapidité, mais la plus grande partie du fer reste à l'état de peroxyde, sans se dissoudre. L'acide sulfurique le dissout aisément en présence de l'eau qui se décompose ; concentré, il n'a aucune action sur lui à froid, mais il le dissout à la chaleur de l'ébullition en se décomposant en partie et donnant lieu à un dégagement d'acide sulfureux. Les hydracides, tels que l'acide hydro-chlorique, etc., le dissolvent rapidement, même à froid, en dégageant de l'hydrogène, et le transforment en protochlorure, etc., l'eau régale le dissout rapidement, avec dégagement de vapeurs rutilantes, et il se produit du perchlorure.

Le fer ayant une grande affinité pour l'oxygène, réduit tant par voie sèche que par voie humide un grand nombre d'oxydes métalliques, tels que ceux d'argent, de cuivre, de plomb, etc., et même dans certaines circonstances la potasse et la soude.

Le fer se combine aisément et directement, à l'aide de la chaleur avec tous les *gazolites*, c'est-à-dire avec les corps simples non métalliques, l'hydrogène et l'azote exceptés ; mais lorsqu'on le chauffe dans un courant de gaz ammoniac sec, il décompose ce corps avec dégagement d'hydrogène, et il retient en combinaison de 7 à 9 p. 100 d'azote et peut-être aussi de très peu d'hydrogène, et devient extrêmement cassant et même friable.

Le fer se combine, par voie sèche, en plusieurs proportions avec le carbone, et selon que la proportion en est plus ou moins considérable, il constitue les fers du commerce, l'acier, ou la fonte.

Le fer est naturellement grenu et de qualité d'autant meilleure que le grain est plus fin et plus brillant ; par l'écrouissage ou le martelage, il devient nerveux, c'est-à-dire qu'il présente une disposition fibreuse ; la cassure d'un bon fer présente un nerf tordu très blanc et brillant ; si on le martelle à froid dans le sens de sa longueur ou si on le trempe, il reprendra sa texture grenue ; il paraît que cette texture est due à la présence du carbone ; pendant l'élaboration la quantité en diminue, ce qui, joint à l'action du marteau ou du laminoir, le fait passer à l'état nerveux ; mais il renferme encore une petite quantité de carbone qui suffit pour lui faire reprendre, lors de la trempe, la texture grenue. Lorsque, par une série de chaudes trop répétées ou mal conduites, on dépasse l'état nerveux, le fer est dit *brûlé*, le nerf qui existe encore a perdu son éclat, et, lorsqu'il est à texture grenue, il présente souvent des irisations qui tiennent à ce que tout le carbone peut se brûler et même le fer s'oxyder un peu : il perd alors une grande partie de sa ténacité. Le fer poli présente souvent des taches brunes qui portent le nom de *pailles* ou de *cendrures* suivant qu'elles sont plus ou moins grandes, et qui diminuent de beaucoup sa valeur ; ces taches paraissent dues à une interposition de scories ou d'oxyde de fer, et proviennent d'un corroyage imparfait lors de la fabrication

Les fers du commerce se distinguent en *fers forts* qui se laissent forger et courber à froid et à chaud et en *fers rouverains*, qui cassent à froid ou à une température plus ou moins élevée.

Les fers forts se divisent eux-mêmes en trois catégories :

Le *fer fort dur* ou *fer aciéreux*, qui est le plus résistant au feu par suite de la plus forte proportion de carbone qu'il renferme ; il est très dur, et est particulièrement employé pour la fabrication de l'acier de cémentation, des câbles en fer, des canons de fusil, des tôles fortes de machines à vapeur, et en général pour tous les objets qui réclament une grande résistance

Le *fer fort mou*, plus ductile que le précédent, moins résistant et plus facile à produire ; présente moins de résistance au feu ; se travaille aisément à froid et à chaud, et convient surtout à la fabrication des objets, comme les fers et clous de cheval, les jantes de roues, le fil de fer, les essieux, etc., qui exigent une certaine ductilité jointe à beaucoup de résistance.

Le *fer demi-fort*, ne cassant ni à chaud ni à froid, et possédant les qualités des deux variétés précédentes mais à un degré moins élevé ; on l'emploie surtout à faire les pointes de Paris et le gros fil de fer.

Les fers rouverains se divisent également en deux catégories :

Les *fers métis* ou fers cassant à chaud doivent cette propriété à une certaine proportion de soufre ou d'arsenic ; ils présentent une cassure plus foncée et plus terne que les autres fers ; lorsqu'ils sont nerveux, leur nerf est plus gros que celui des fers forts et terne, e leurs fibres, mises à nu par la rupture, sont criquées ou fendues dans le sens transversal ; enfin le nerf est coupé en lames au lieu de présenter, comme les fers forts, une cassure crochue et hérissée d'aspérités. 0,0003 de soufre rendent le fer insoudable.

Les *fers tendres* ou fers cassant à froid doivent cette propriété à du phosphore ; leur cassure est à grains plats, blancs et brillants, unie et sans arrachements Ils sont ordinairement très lamelleux. Ils se travaillent bien à chaud et sont ordinairement débités en verge de fenderie pour la fabrication des clous.

Les *fers brûlés* cassent également à froid ; il ne s'y trouve plus de carbone, mais ils renferment beaucoup de silicium. Leur cassure est lamelleuse, blanche, légèrement bleuâtre, brillante et éminemment cristalline. Les lames sont plus grandes et plus anguleuses que celles du fer tendre.

Enfin il existe des fers rouverains qui sont à la fois cassants à froid et brisants à chaud ; ils ne peuvent presque être d'aucun usage.

Avant d'acheter ou de recevoir les fers, dans le commerce, on leur fait subir certains essais ayant pour but de reconnaître la qualité du métal ; on soumet en outre les fers finis à d'autres essais qui servent à mettre à nu les défauts de fabrication, mais ces derniers essais variant à l'infini selon la nature même des fers et l'usage auquel on les destine, nous ne parlerons ici que des essais généraux qui s'appliquent à tous les fers sans exception. Ceux-ci s'opèrent à chaud et à froid ainsi qu'il suit :

On chauffe au rouge-clair, dans une forge de maréchal, la barre à essayer, on la replie sur elle-même à cette température, et dès qu'elle est arrivée au rouge-brun on la plie de nouveau. On laisse alors refroidir la barre, et, après l'avoir entaillée à froid au moyen d'une tranche, si les dimensions ou la nature du fer l'exigent, on la plie jusqu'à la rupture ou jusqu'à réunion des deux parties du coude, ce qui, dans tous les cas, met à découvert la texture du métal. Les essais à chaud précités montrent si le fer est cassant au rouge-clair, au rouge-brun ou à ces deux températures, ou s'il résiste à l'une et à l'autre. Les essais à froid, indiquent si le fer est fort, tendre ou métis. Le fer tendre casse net ; la cisaille le brise, mais ne le coupe pas ; il craque sous cet outil. La cassure à froid peut indiquer, jusqu'à un certain point, si le fer est cassant à chaud ; le nerf de ce dernier présente des solutions de continuité perpendi culairement à sa direction. Les faisceaux de ce nerf forment pour ainsi dire des lames, ce qui ne s'observe pas dans les fers bons à chaud. Les fers forts résistent à la rupture à froid. Leur cassure est généralement fibreuse, et leur qualité est d'autant meilleure que leur nerf est plus blanc, plus long, plus fin et plus uniforme ; la cisaille les coupe comme une substance molle, sans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les rompre. Le fer dit brûlé se comporte de la même manière sous la cisaille, à l'opposé du fer tendre, auquel du reste il ressemble beaucoup.

Chaque maître de forges est dans l'usage de mettre sa marque sur les fers qu'il livre au commerce. Les marques les plus estimées sont les marques de Snède (L), (OO) et (J B), et la marque russe (CCMD), qui sont presque exclusivement achetées par les fabricants d'acier de cémentation.

Les fers du commerce renferment au plus 1/2 p. 100 de carbone ; au-delà, ce sont des fers fortement aciéreux, et lorsqu'il en renferment 1 à 2 p. 100, ils constituent l'ACIER, composé remarquable dont nous avons fait le sujet d'un article particulier.

Lorsque la proportion du carbone varie de 2 à 5 p. 100, il en résulte une nouvelle combinaison, connue sous le nom de *fonte*, fer fondu, fer cru, fer coulé (*angl.* cast iron, *all.* roheisen) qui présente des caractères essentiellement différents de ceux du fer. Le carbone qu'elle renferme est tantôt entièrement à l'état de combinaison, les fontes sont alors blanches, tantôt il s'est séparé en partie lors du refroidissement de la masse dans laquelle il se trouve disséminé à l'état de graphite, ce sont les fontes grises ; ces dernières passent du gris-clair au gris-noir. Enfin les fontes présentent, dans certains cas, des mélanges de parties blanches et de parties grises qui forment des espèces de taches sur le fond : ce sont les fontes truitées.

On distingue les fontes en *fontes de moulage* et en *fontes d'affinage* :

Les *fontes de moulage* sont d'un gris souvent très foncé (fontes noires) ; celles au charbon de bois, moins foncées et à grain fin, sont ordinairement employées en première fusion ; celles au coke sont d'un gris-noir à gros grains, et ne sont guère employées qu'en seconde fusion ; elles sont d'autant meilleures pour cet usage que le grain en est plus gros et la couleur plus foncée ; les impuretés qu'elles renferment ne permettent pas de les employer en première fusion au moulage d'objets délicats ou de résistance ; l'excès de carbone non combiné qu'elles renferment les rend d'ailleurs tout à fait aptes au travail en seconde fusion (VOYEZ FONDERIE DE FER). Elles renferment toutes une forte proportion de silicium, et c'est à la présence de ce corps, qui possède une puissance de saturation plus grande que le carbone, qu'on attribue la séparation de ce dernier, à l'état de graphite, dans les fontes grises et noires.

Les *fontes d'affinage* sont grises, truitées ou blanches ; elles contiennent beaucoup moins de silicium que les précédentes, ce qui les rend beaucoup plus faciles à affiner, le silicium étant même plus difficile à séparer du fer que le carbone. Les fontes blanches se divisent elles-mêmes en deux classes : les fontes blanches à grandes lames, et les fontes blanches sublamellaires ou grenues et ordinairement caverneuses. La première espèce doit ordinairement ses propriétés à la présence d'une certaine proportion de manganèse, et est exclusivement employée à la fabrication de l'acier de forge ; cependant la présence du soufre peut aussi rendre les fontes blanches lamelleuses. Les fontes blanches sublamellaires le doivent souvent à du manganèse et sont alors employée à la fabrication de l'acier de forge. Les fontes blanches grenues sont ordinairement le produit d'un dérangement du fourneau, et dans ce cas elles donnent de très mauvais fer, ou bien elles résultent d'une surcharge en minerai. Ainsi, il existe beaucoup de fourneaux où l'on produit, suivant les besoins de l'usine, de la fonte grise de moulage ou de la fonte blanche d'affinage, en diminuant ou augmentant la charge en minerai.

Selon Roy, la fonte se dilate de 1/901 de 0° à 100° ; sa densité varie de 7,00 pour la fonte noire à 7,70 pour la fonte blanche la plus dense. La fonte est encore plus fusible que l'acier ; elle se dilate en se solidifiant, la fonte grise plus que la blanche, et elle se contracte ensuite, de sorte que le retrait définitif est d'environ 1/96 dans chaque dimension ; c'est cette précieuse propriété qui permet aux fontes de moulage de reproduire, avec une extrême netteté, les détails et les ornements les plus délicats des moules.

La fonte blanche est plus fusible que la fonte grise, mais elle reste toujours à l'état de fusion pâteuse, tandis que la fonte grise acquiert une grande fluidité.

Les fontes grises sont, comme nous l'avons dit, caractérisées par la présence du silicium en quantité notable, 1 à 4 p. 100 ; elles sont peu dures, se laissent forer et limer d'autant plus aisément que leur couleur est plus foncée, et s'aplatissent sensiblement sous le marteau avant de se rompre. Selon que la fonte présente ces caractères à un degré plus ou moins élevé, on dit qu'elle est plus ou moins *douce*. En général le soufre blanchit les fontes, ou au moins affaiblit leur teinte, les gueuses sont aussi criblées de soufflures à la surface ; ces fontes sont donc peu propres au moulage, et donnent à l'affinage des fers rouverains. Le phosphore diminue la ténacité des fontes, mais il rend celles-ci très fluides et préférables à toutes autres, sous le rapport du fini des pièces, au moulage des objets d'art, qui n'exigent pas, comme les pièces de machines, une grande résistance ; à l'affinage elles donnent du fer tendre cassant à froid ; aussi toutes les usines à fer, qui emploient des minerais phosphorés, marchent presque exclusivement en fonte de moulerie de première fusion, pour munitions de guerre, ornements en fonte, etc.

Les fontes blanches sont très dures et rayent le verre, mais elles sont très aigres et se laissent pulvériser. Il n'y a que la fonte blanche lamelleuse manganésée dont les caractères extérieurs ne changent pas par l'effet d'une solidification et d'un refroidissement très lent ; toutes les autres fontes blanches perdent, dans ce cas, leur éclat, et prennent une teinte grise plus ou moins prononcée. Réciproquement, en soumettant la fonte grise à un refroidissement brusque, ou la blanchit notablement. Ainsi, par exemple, on convertit souvent des fontes d'affinage, naturellement d'un gris clair, en fontes blanches sublamellaires ou grenues en les coulant *en coquille*, c'est-à-dire dans un moule métallique qui, étant bon conducteur du calorique, détermine une prompte solidification, que l'on précipite encore en jetant une assez grande quantité d'eau sur la coulée. On est dans l'habitude, en Allemagne, dans la plupart des hauts-fourneaux au charbon de bois, lorsque la fonte est trop graphiteuse pour le moulage en première fusion ou trop grise pour l'affinage (ce dernier cas est beaucoup plus rare que le précédent), d'arrêter le vent un peu avant la coulée, et d'introduire dans le creuset, par l'ouverture de la tuyère, une faible quantité de minerai de fer que l'on brasse avec la fonte, et qui, en se réduisant, brûle l'excès de carbone qu'elle renferme. Ce travail est assez long, très fatigant, et cause des arrêts qui, en diminuant la production journalière, augmentent les frais de l'usine ; aussi n'est-il pas à recommander, et il vaut beaucoup mieux augmenter la charge en minerai, en raison de la nature des produits que l'on veut obtenir, et faire varier, s'il est nécessaire, la composition du lit de fusion, de manière à obtenir des laitiers plus fusibles.

La ténacité des fontes est environ le quart de celle du fer forgé et le huitième de celle de l'acier trempé et en partie recuit ; mais leur résistance à l'écrasement est beaucoup plus considérable : elle est double pour la fonte grise et triple pour la fonte blanchie par un refroidissement brusque.

Le fer s'allie à la plupart des métaux, mais la plupart de ces alliages n'ont aucun emploi dans les arts ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

introduit cependant en petite quantité dans nombre d'alliages, il pourrait leur communiquer de précieuses qualités; presque toujours on a été arrêté par les difficultés de la fabrication, et des recherches dirigées avec soin et persévérance dans cette voie donneraient certainement des résultats d'une haute utilité (voyez ALLIAGES, BOUCHES A FEU, DAMAS, ÉTAMAGE).

Le fer forme avec l'oxygène quatre combinaisons qui sont aisément réduites, à l'aide de la chaleur, par l'hydrogène, le charbon, le soufre, et en général par toutes les matières combustibles.

Le *protoxyde de fer* est une base trop forte et en même temps trop avide d'oxygène pour qu'il puisse exister isolément; on ne connaît donc pas ses propriétés physiques. Son hydrate est blanc et s'altère spontanément au contact de l'air; il décompose l'eau lentement à la température ordinaire, et rapidement à l'aide de la chaleur. Les alcalis et les terres alcalines le précipitent de ses dissolutions; il est soluble dans l'ammoniaque. Le protoxyde de fer se compose de :

Fer.	0,7723	FeO
Oxygène.	0,2277	

Le *peroxyde de fer* est opaque, d'un rouge-violacé en masse, et d'un rouge vif lorsqu'il a été porphyrisé; sa couleur est d'autant plus foncée et tire d'autant plus sur le violet qu'il a été plus fortement calciné; il n'est pas magnétique; il est infusible. Son hydrate est jaune-brun; il perd aisément son eau par la calcination.

Le peroxyde de fer fortement calciné ne se dissout facilement que dans les acides sulfurique concentrés et hydro-chlorique bouillants. L'hydrate natif se dissout en outre assez facilement dans l'acide oxalique bouillant; l'hydrate précipité est soluble dans tous les acides.

Le peroxyde de fer est une base faible isomorphe avec l'alumine; il se compose de :

Fer.	0,6934	Fe^2O^3
Oxygène.	0,3066	

On l'obtient très pur en calcinant au rouge du nitrate de fer.

L'*oxyde magnétique* est d'un noir pur, opaque; sa poussière est noire; il est éminemment magnétique et même très souvent magnéti-polaire. Il se fond sans se décomposer. On l'obtient en faisant passer de la vapeur d'eau sur du fer métallique chauffé au rouge. Il n'est attaquable que par les acides forts; les acides sulfurique et hydro-chlorique le transforment en un mélange de sels de protoxyde et de peroxyde, l'eau régale en sel de peroxyde.

En prenant deux parties égales d'un sel de protoxyde de fer, le sulfate vert par exemple, dissolvant l'une dans l'eau bouillante et faisant bouillir l'autre avec un mélange d'acides nitrique et sulfurique, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs rutilantes, mélangeant alors les deux dissolutions et saturant par de l'ammoniaque, il se forme un précipité noir qui conserve sa couleur à l'air et qui est très magnétique; sa poussière est brune; il est susceptible de former des sels cristallisés que l'on doit regarder comme des sels doubles analogues aux aluns. Cet hydrate perd toute son eau par calcination, sans passer à un état d'oxydation plus élevé.

L'oxyde magnétique est composé de :

Fer. . . .	0,7178	$Fe^3O^4 = FeO + Fe^2O^3$
Oxygène.	0,2822	

L'*acide ferrique* n'a pas encore été isolé. En fondant ensemble de l'oxyde de fer et du nitre, on obtient un ferrate de potasse, qui se décompose spontanément au contact de l'eau et même peu à peu dans l'air en donnant lieu à un dégagement d'oxygène tandis que le fer se sépare à l'état du peroxyde. Selon M. Frémy, qui a découvert cet acide, il est composé de :

Fer.	0,5312	FeO^3.
Oxygène.	0,4688	

Enfin quelques auteurs regardent comme un oxyde particulier, qu'ils désignent sous le nom d'*oxyde des battitures*, la couche d'oxyde qui se forme à la surface du fer métallique, lorsqu'on chauffe ce dernier au contact de l'air; mais nous ne pouvons partager cette opinion, parce que ce produit n'offre pas une composition homogène dans toutes ses parties, et que la proportion d'oxygène qu'il renferme va sans cesse en augmentant, de la surface intérieure qui était en contact immédiat avec le fer métallique à la surface extérieure. Il est noir, luisant, un peu métalloïde, à structure cristalline ou grenue, très magnétique et fusible à une haute température. Il renferme moyennement 27 p. 100 d'oxygène.

Les *sels de protoxyde de fer* solubles sont d'un vert-pâle; leurs dissolutions un peu étendues sont sensiblement incolores; elles sont précipitées en vert sale par les alcalis et leurs carbonates; le précipité est soluble dans l'ammoniaque et les bi-carbonates; le carbonate de chaux ne les trouble pas, même à chaud. Les phosphates et arséniates alcalins les précipitent en blanc, et le précipité verdit à l'air; les oxalates les précipitent en jaune-serin; les sulfures alcalins en noir; le prussiate rouge de potasse en bleu; et le prussiate jaune en blanc, le précipité bleuit rapidement au contact de l'air. Les succinates et benzoates solubles ainsi que l'hydrogène sulfuré ne les troublent pas. Elles précipitent, à l'état métallique, l'or de sa dissolution dans l'eau régale, en passant à l'état de sels de peroxyde. Lorsqu'on traite par l'acide nitrique une dissolution d'un sel de protoxyde de fer, la liqueur reste noire tant qu'il y reste du protoxyde, parce qu'elle retient en dissolution le *bi-oxyde* d'AZOTE qui se forme; mais elle devient limpide dès que le fer est entièrement peroxydé.

Les *sels de peroxyde* ont généralement une réaction acide; les sels solubles sont bruns ou jaunes. Les alcalis, l'ammoniaque et leurs carbonates, et un grand nombre d'oxydes métalliques, en précipitent tout le fer à l'état d'hydrate de peroxyde hydraté d'un brun-jaunâtre. Il en est de même du carbonate de chaux, même à froid. Les phosphates et arséniates les précipitent en blanc-jaunâtre; les sulfures alcalins en noir; le prussiate jaune de potasse en bleu-intense; les succinates et benzoates, en brun, lorsqu'ils sont neutres; ils ne sont pas précipités par les oxalates et le prussiate rouge. L'hydrogène sulfuré les décolore et les ramène à l'état de sels de protoxyde, et il y a dépôt de soufre. L'acide sulfureux les réduit également au bout d'un certain temps à froid et presque instantanément à 100°. Lorsqu'on y ajoute une substance organique soluble dans l'eau et susceptible de se décomposer entièrement par l'action d'une chaleur élevée, on ne peut plus en précipiter le fer que par les sulfures alcalins et le prussiate jaune.

Les *ferrates* se décomposent spontanément au contact de l'eau en donnant lieu à un dégagement d'oxygène et à un dépôt de peroxyde de fer.

Les principaux sels de fer sont les suivants :

Le *proto-sulfure*, d'un jaune de bronze très sombre, très fragile, magnétique, indécomposable par la chaleur seule et fusible au rouge. Il s'effleurit à l'air humide et se change en sulfate de protoxyde. Il est facilement décomposé par le grillage. Les acides sulfurique et hydro-chlorique étendus le dissolvent avec dégagement d'hydrogène sulfuré pur, sans dépôt de soufre. Il se combine aisément par voie sèche avec les sulfures alcalins et les autres sulfures indécomposables par la chaleur. On le prépare aisément en projetant du fer dans du soufre fondu, ou en jetant du soufre sur du fer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chauffé au rouge, puis chauffant jusqu'au blanc pour chasser l'excès de soufre. Il correspond au protoxyde et se compose de :

Fer.	0,6277	FeS.
Soufre.	0,3723	

Il se produit très fréquemment dans les opérations métallurgiques, il constitue ce que l'on appelle *mattes ferrugineuses*, et il se trouve en proportion plus ou moins considérable dans toutes les autres *mattes*.

Le *persulfure de fer* est un bi-sulfure qui contient :

Fer.	0,4574	FeS^2.
Soufre. . . .	0,5426	

Il est très abondant dans la nature; il s'y rencontre également combiné avec du protosulfure, à l'état de *pyrite magnétique*. (Voyez aux *Minerais : pyrites*).

Le *sulfate de protoxyde de fer* ou *vitriol vert*, est un sel soluble et cristallisable, très employé surtout pour le chaulage des blés, la désinfection des fosses d'aisances, la purification du gaz d'éclairage, etc. Nous reviendrons sur sa préparation et ses propriétés à l'article ALUN. En le torréfiant légèrement, on le convertit en sulfate sesqui-basique de peroxyde de fer, dont on extrait par distillation de l'*acide* SULFURIQUE *fumant* dit *de nordhausen*.

Le *protochlorure* anhydre est à peine coloré en masse, fusible et volatil au rouge; il s'obtient en faisant passer de l'acide hydro-chlorique gazeux et sec sur du fer métallique chauffé au rouge, ou en chauffant en vases clos un mélange d'oxyde de fer et de sel ammoniac. Il est déliquescent; sa dissolution que l'on peut préparer directement, donne par la concentration et le refroidissement des cristaux hydratés d'un vert-pâle, qui se décomposent par l'action de la chaleur. Le sel anhydre est composé de :

Fer.	0,434	$FeCl^2$.
Chlore.	0,566	

Le *perchlorure de fer* est d'un brun-rouge métalloïde très déliquescent et plus volatil encore que le protochlorure. Il correspond au peroxyde de fer et se compose de :

Fer.	0,340	Fe^2Cl^6.
Chlore. . . .	0,660	

Son hydrate est décomposé par l'action de la chaleur.

On ne connaît aucun moyen pour préparer le *carbonate de fer anhydre*, mais il se rencontre en abondance dans la nature. Quand on verse un carbonate alcalin dans une dissolution de protoxyde de fer, il se fait un précipité blanc qui verdit promptement, et jaunit ensuite à l'air en absorbant de l'oxygène. Ce précipité blanc est soluble dans le sel ammoniac. Quand le précipité est devenu tout à fait brun-jaune, on lui donne le nom de *safran de mars apéritif*. C'est alors, d'après M. Soubeiran, un mélange d'hydrate et de carbonate de peroxyde de fer, dans lequel la proportion du carbonate devient de plus en plus faible.

L'*oxalate de protoxyde de fer* est pulvérulent, d'un très beau jaune-serin, inaltérable à l'air, insoluble dans l'eau, mais légèrement soluble dans l'acide oxalique, avec lequel il forme un sel acide cristallisable en grains verts.

L'*oxalate de peroxyde* est très soluble dans l'eau et l'alcool; les dissolutions étendues sont jaunes et concentrées, d'un vert-bouteille foncé; il forme avec l'oxalate d'ammoniaque un sel double soluble que l'on peut obtenir en beaux cristaux vert-pomme.

L'*acétate de peroxyde* est rouge, incristallisable, employé dans la teinture. On le remplace presque toujours par le *pyro-lignite de fer* ou *bouillon noir*, dont nous avons décrit la préparation à l'article *acide* ACÉTIQUE.

Voir, pour les *prussiates jaune* et *rouge*, et le BLEU DE PRUSSE, à ce dernier mot.

Minerais de fer.

Parmi les nombreux minéraux dont le fer est l'élément essentiel, les principaux sont :

Le *fer météorique* qui constitue les aérolithes, et se compose essentiellement de fer métallique, souvent en partie oxydé, renfermant un peu de nickel et quelquefois du cobalt et du chrôme.

Le *peroxyde de fer anhydre* très abondant dans la nature et se présentant sous l'un des quatre états suivants :

1° Le *fer oligiste*, en cristaux, quelquefois considérables, dérivant d'un rhomboèdre très voisin du cube, d'un noir métallique très brillant et souvent irisés. La forme de ces cristaux est souvent celle de grandes tables hexagonales; leur poussière est rouge; leur densité est de 5,00 à 5,20. Son gisement le plus remarquable est à l'île d'Elbe (voyez MINES);

2° Le *fer micacé* ne diffère du précédent qu'en ce que les cristaux sont très petits et sous la forme de paillettes hexagonales;

3° L'*hématite rouge* se présente en masses mamelonnées fibreuses, très dures, d'un rouge sombre, souvent métalloïde à la surface; cette variété est fréquemment mélangée d'oxyde de manganèse, et devient alors d'un rouge-brun presque noir;

4° Le *fer oxydé rouge compacte, granulaire*, ou *terreux*, qui forme des masses compactes, sans éclat, à cassure grenue ou terreuse, ou en grains accolés, sphériques ou aplatis, à cassure souvent fibreuse; leur poussière est rouge.

Pur, le peroxyde de fer anhydre renferme 69,34 p. 100 de fer métallique.

Le *peroxyde de fer hydraté* est encore plus répandu que le peroxyde anhydre; il est brun; sa poussière est d'un brun tirant sur le jaune; sa densité est de 3,9; il perd son eau par calcination et devient rouge. Pur, il contient 59,15 p. 100 de fer métallique. Les principales variétés sont :

L'*hématite brune*, en masses mamelonnées, à cassure fibreuse brune, et souvent noire, par un mélange de peroxyde de manganèse hydraté terreux.

Le *fer oxydé hydraté en roche*, compacte ou terreux, en fragments irréguliers, d'un brun tirant plus ou moins sur le jaune. Ordinairement de très bonne qualité. Comme variété, nous citerons le *minerai des prairies*, qui renferme constamment une certaine quantité de phosphate de fer, lequel lui donne souvent une teinte bleuâtre passant à l'olivâtre au contact prolongé de l'air; c'est un mauvais minerai qui donne du fer tendre, et n'est guère employé que pour la fabrication des fontes de moulage de première fusion.

Le *fer oxydé hydraté granulaire*, qui constitue la plus grande partie des minerais de France, et se divise : 1° en *minerai oolithique*, appartenant à la formation oolithique, où il se trouve en couches, composées de petits grains réunis par un ciment calcaire ou ferrugineux; ce minerai n'est jamais riche et donne presque toujours de mauvaise fonte, parce qu'il contient ordinairement de l'acide phosphorique; 2° en *minerai en grains* plus ou moins gros, quelquefois agglutinés par une pâte ferrugineuse à peu près de même composition, mais le plus souvent enveloppés d'argile, dont il est facile de les séparer par le débourbage; ce minerai est ordinairement de très bonne qualité, et se trouve remplissant des poches ou des crevasses dans les terrains tertiaires ou les terrains d'alluvion.

Les argiles colorées par du peroxyde de fer anhydre ou hydraté, en proportion trop faible pour constituer un véritable minerai de fer, portent le nom d'*ocre rouge* ou d'*ocre jaune* (voir ARGILE).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'oxyde de fer magnétique ou *fer oxydulé* forme souvent des couches extrêmement épaisses, ou des amas considérables, dans les terrains anciens. Pur, il est d'un noir grisâtre, un peu métalloïde; sa poussière est d'un gris foncé sans mélange de rouge; il est magnétique et très souvent magnéti-polaire; il constitue alors l'aimant naturel. Il se trouve cristallisé ou en masses grenues et lamellaires; il cristallise en octaèdre régulier. Sa densité est de 5,10. Pur, il renferme 71,8 p. 100 de fer métallique. Il contient fréquemment une proportion variable de titane oxydé.

On distingue deux variétés de *carbonates de fer* : le fer carbonaté spathique et le fer carbonaté des houillières.

Le *fer carbonaté spathique* ne se rencontre que dans les terrains primitifs et de transition; quand il est pur, il est d'un blanc un peu blond et nacré; mais il prend souvent une teinte jaunâtre ou brune plus ou moins foncée, par suite d'un commencement de décomposition. Il cristallise en rhomboèdres de 107°, et se présente ordinairement en masses lamellaires; sa densité varie de 3 à 3,8. Il renferme toujours une certaine proportion de carbonate de manganèse ou de magnésie, et quelquefois aussi du carbonate de chaux. Pur, il renfermerait 47,47 p. 100 de fer métallique. Il est facilement soluble dans les acides; il raie la chaux carbonatée, et est rayé par l'arragonite (modification isomérique de la chaux carbonatée, qui jouit de propriétés physiques différentes).

Le carbonate de fer se décompose complétement à la chaleur blanche; il se dégage un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, et le résidu contient à la fois du peroxyde de fer et de l'oxyde magnétique. Il se décompose lentement à l'air, et même dans l'intérieur des filons; il brunit d'abord, et il finit par se transformer en un mélange de peroxyde et d'hydrate de peroxyde sans changer de forme. Il paraît que, lors de cette décomposition, le carbonate de magnésie passe à l'état de bi-carbonate soluble, qui est entraîné par les eaux. Les fers spathiques arrivés au dernier point de leur décomposition spontanée portent le nom de *mines douces*, et sont alors très recherchés, parce que ce sont des minerais très riches et d'excellente qualité.

Le *fer carbonaté des houillières* ou *fer carbonaté lithoïde* se trouve principalement dans le terrain houiller. Tantôt il y forme des couches minces et bien réglées : il est alors presque toujours pauvre; tantôt il se trouve disséminé en rognons arrondis de toutes grosseurs dans la houille et les argiles qui l'accompagnent. Ces rognons sont fort riches; leur centre est souvent occupé par de la houille, de la chaux carbonatée laminaire ou des pyrites. Ce minéral est d'un gris plus ou moins foncé pouvant aller jusqu'au noir; sa cassure est compacte, quelquefois grenue ou oolithique. Il contient ordinairement du carbonate de chaux, de magnésie et de manganèse, mais en proportion beaucoup moindre que le fer spathique. Il est intimement pénétré d'argile bitumineuse et même de houille. Il contient presque toujours une certaine quantité de phosphate de chaux ou de fer, et il est mêlé mécaniquement de pyrites de fer, quelquefois de galène et de blende. C'est presque le seul minerai exploité en Angleterre, et c'est à son abondance sur les lieux mêmes où s'exploite la houille, que ce pays doit le développement immense qu'y a pris la fabrication du fer.

La *chamoisite* est un hydro-silicate de fer compacte, d'un gris foncé verdâtre, à cassure inégale, quelquefois grenue et presque terreuse, assez dure et très fortement magnétique. Elle fait gelée avec les acides. Sa densité est de 3 à 3,4; elle contient 46,7 p. 100 de fer métallique. On la trouve, dans le Valais, en couches peu étendues, mais épaisses, dans un calcaire coquiller grisâtre; on l'exploite pour les usines du pays et elle produit d'excellent fer.

Pyrites. Les combinaisons du fer avec le soufre portent le nom de pyrites. On en distingue trois espèces : la pyrite jaune, la pyrite blanche et la pyrite magnétique.

La *pyrite jaune* est très abondamment répandue dans la nature; elle est d'un jaune de laiton métallique. Ordinairement cristallisée en cubes ou en masses globulaires rayonnées. Sa densité est de 4,83. Elle fait feu au briquet. Calcinée, elle donne du soufre. Elle est inattaquable par l'acide hydro-chlorique. C'est un bisulfure de fer $Fe S^2$.

La *pyrite blanche* a exactement la même composition que la pyrite jaune, mais elle en diffère totalement par ses formes cristallines qui dérivent d'un prisme rhomboïdal droit dont l'angle est de 106°. Sa densité est de 4,75. Elle est d'un jaune beaucoup plus pâle que la précédente; elle se trouve dans les mêmes gisements, mais elle y est moins abondante; elle est plus rarement cristallisée, et forme plutôt des boules et des rognons dans les argiles et marnes des terrains à lignites. Elle s'effleurit aisément à l'air et se convertit en sulfate, propriété qui est utilisée en grand pour la fabrication du sulfate de fer et de l'alun; il suffit de laisser les lignites terreux et les schistes pyriteux s'effleurir à l'air, de les lessiver, et de faire cristalliser, en ajoutant toutefois des sels de potasse lorsqu'il s'agit d'obtenir de l'alun.

La *pyrite magnétique* est d'un jaune de bronze foncé, à cassure inégale et attirable à l'aimant; sa densité est de 4,5 à 4,6; elle cristallise en prismes hexagones réguliers. Elle se trouve dans les terrains primitifs et de transition, et est beaucoup plus rare que les précédentes. C'est un mélange de bisulfure et de protosulfure de fer représenté par la formule $Fe S^2 + 6 Fe S$.

L'altération des pyrites, dans les mines, donne lieu à du sulfate neutre de protoxyde et à plusieurs sous-sulfates de peroxyde qui n'ont d'intérêt que pour les minéralogistes.

Le *fer phosphaté* est toujours à l'état d'hydrate d'un gris clair ou incolore, mais il bleuit promptement au contact de l'air. Il ne se rencontre jamais en grandes masses; mais il se trouve souvent mélangé en petite quantité dans un grand nombre de minerais, qui donnent alors du fer cassant à froid.

Le *mispickel* est un arsénio-sulfure d'un gris-blanc métallique à cassure grenue que l'on trouve dans les terrains anciens. Sa densité est de 5,6. Au chalumeau, sur le charbon, il dégage une fumée épaisse d'arsenic et se fond en une boule qui offre l'apparence de la pyrite magnétique.

Les *arséniates de fer* sont assez rares, ordinairement cristallisés, d'un vert plus ou moins foncé, et donnent au chalumeau les mêmes réactions que le mispickel.

Préparation mécanique des minerais de fer. Les seuls minerais qui soient employés pour la fabrication du fer, sont les divers oxydes et les carbonates. Les minerais de fer oxydé magnétique, de fer oxydé rouge et de fer oxydé hydraté en roche sont ordinairement fondus tels qu'ils arrivent de la mine, après avoir été concassés en morceaux sous les pilons d'un bocard ou à l'aide d'un marteau à main. Les minerais en grains sont exposés à l'air pendant quelque temps pour permettre à l'argile qui les enveloppe de se déliter, ainsi que les pyrites qu'ils peuvent renfermer et qui se transforment en sulfates solubles, puis lavés, soit dans des espèces de paniers à claire-voie suspendus à une perche élastique, que l'on remplit de minerai et que l'on fait osciller dans l'eau qui entraîne les parties argileuses, soit dans des *patouillets*, machines très simples que la simple inspection du dessin que nous donnerons à l'article MÉTALLURGIE fera mieux comprendre que la description que nous pourrions en donner ici; enfin on soumet les fers carbonatés spathique et lithoïde et quelquefois les minerais de fer oxydé hydraté à un grillage ou plutôt à une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

calcination, qui a pour but d'étonner les gangues et de chasser les matières volatiles qu'ils renferment tels que l'eau, l'acide carbonique, les matières bitumineuses, etc. Cette opération s'exécute soit en tas à l'air libre, soit le plus souvent dans des fours intermittents ou continus qui ont la plus grande analogie avec les fours employés pour la cuisson de la chaux. Il faut que la température soit peu élevée et ne dépasse pas le rouge; sans cela l'oxyde de fer réagirait sur les gangues et formerait avec elles des scories fusibles. Il convient, après le grillage, de laisser les minerais exposés en tas à l'air libre, pendant plusieurs mois et même plus s'il est possible; les pyrites sont ramenées, par la calcination, à l'état de protosulfure qui s'effleurit et qui est entraîné par les eaux pluviales, de sorte que la qualité du minerai s'améliore en proportion du temps qu'il est resté exposé à l'air.

En France, sur 1000^k de minerai traités dans l'ensemble des usines à fer de ce pays, il y en a 170^k de minerai brut, 740^k de minerai lavé et 90^k de minerai grillé; en Angleterre, au contraire, où la presque totalité du minerai est du *fer carbonaté lithoïde*, la proportion du minerai grillé est de 960^k sur 1000^k.

Teneur des minerais de fer. En Angleterre, la teneur moyenne des minerais grillés est de 40 p. 100 de fer métallique; en France, celle des minerais lavés est de 36 p. 100.

Prix de revient des minerais de fer. En Angleterre, ce prix varie avec celui de la fonte, de 1^f, 50 à 2^f, 50 les 100^k. En France, il est moyennement de 1^f, 32 rendu aux usines; dans ce prix, l'exploitation proprement dite entre pour 0^f, 37, le lavage pour 0^f, 33, le grillage pour 0^f, 02 et les transports pour 0^f, 59.

Essai des matières ferrugineuses. On fait les essais de fer à la plus haute température que l'on puisse produire dans les fourneaux d'essai, en chauffant les matières à essayer avec un flux convenable, dans un creuset en terre nu, ou mieux dans un *creuset brasqué* (voyez CREUSETS). Lorsqu'on opère dans des creusets nus, il faut nécessairement ajouter au mélange une certaine quantité de charbon pour réduire l'oxyde de fer, et il faut en ajouter un excès parce que l'air qui pénètre dans les creusets en brûle une partie; mais, si l'on en met trop, il peut arriver que l'excédant non brûlé porte obstacle à la réunion de la fonte en un seul culot. Dans les creusets brasqués, la présence même de la brasque dispense d'ajouter du charbon au mélange; elle permet de recueillir et de peser avec exactitude le culot entier, parce que d'un côté il ne contracte aucune adhérence avec le charbon, et que de l'autre aucune substance étrangère ne s'introduit dans la scorie, qui ne se compose par conséquent que des gangues ou matières mélangées avec de l'oxyde de fer et des parties fixes du flux ou fondant ajouté. D'ailleurs les creusets brasqués résistent mieux que les creusets nus, parce que la brasque soutient les parois au moment où elles se ramollissent. On doit donc préférer, pour les essais de fer, l'emploi des creusets brasqués.

Après que la matière ferrugineuse a été pilée et tamisée, on en prend un certain poids que l'on mélange exactement, sur une feuille de papier verni, avec un poids déterminé du flux convenable. On introduit avec précaution le tout dans le creuset; on y tasse légèrement la matière, et on fait tomber au fond, à l'aide d'une barbe de plume, les particules qui ont pu s'attacher aux parois; on remplit enfin le creuset de brasque tassée; on le lute sur un fromage, on y adapte un couvercle, et on le place dans le fourneau d'essai. Ce dernier est, soit une forge à tuyères, comme la *forge de selfstræm* (voyez DOCIMASIE), soit un fourneau à vent de même forme que ceux employés pour la fabrication de l'acier fondu mais de dimensions beaucoup moindres.

L'essai terminé, on retire les creusets du feu, on les laisse refroidir, et on les casse pour en retirer le culot qui n'a aucune adhérence pour la brasque. On le pèse entier; puis, en frappant légèrement dessus, on en détache aisément le culot de fonte; mais comme la scorie, même lorsqu'elle est parfaitement fondue, présente presque toujours à sa surface une quantité variable de grenailles de fonte, on la concasse grossièrement, on trie les morceaux qui ne renferment pas de grenailles, on réduit le reste en poudre, et en promenant un barreau aimanté dans cette poudre, on en extrait tous les grains de fonte, que l'on réunit au culot métallique; on pèse ce dernier, et en en retranchant le poids du culot total, on a, par différence, le poids exact de la scorie.

Dans le procès-verbal d'essai qu'il convient toujours de rédiger, il faut noter avec soin l'aspect du culot total, et décrire séparément les caractères de la scorie et de la fonte, parce que cela donne des indices sur la nature des substances contenues dans la matière ferrugineuse soumise à l'essai. On doit examiner si la scorie est compacte ou bulleuse; vitreuse, émaillée ou pierreuse; transparente, translucide ou opaque; si elle présente des indices de cristallisation; quelle est sa couleur par réflexion ou par réfraction dans les éclats minces, ou si elle présente des nuances qui indiquent qu'elle n'est pas homogène; un enduit métallique d'un rouge de cuivre, recouvrant la scorie, indique la présence du titane dans le minerai. Quant à la fonte, il faut la casser pour reconnaître sa ténacité et pour examiner son grain : cela est souvent très difficile; mais on y parvient néanmoins toujours, en enveloppant le culot dans une feuille de tôle mince ou de fer-blanc, le plaçant sur une enclume et frappant dessus à grands coups de marteau. Les fontes de bonne qualité s'aplatissent toujours un peu avant de se rompre; elles sont d'un gris plus ou moins clair et à grains fins ou moyens. Les mauvaises fontes se cassent facilement et sans changer de forme; il y en a même que l'on peut pulvériser; elles sont cristallines à la surface, blanches, lamelleuses, et souvent remplies de cavités remplies de cristaux; les fontes manganésées, qui présentent également une partie de ces caractères, donnent ordinairement une scorie tirant sur le jaune ou l'améthiste.

Avant de faire l'essai comme il vient d'être dit, il convient, pour arriver à une connaissance aussi exacte que possible de la matière à essayer, de la soumettre à quelques opérations très simples que nous allons décrire. On calcine et on grille un poids connu de minerai pour chasser l'eau, l'acide carbonique, les matières bitumineuses, et ramener le fer à l'état de peroxyde lorsqu'il n'est pas à l'état de silicate. On traite, par l'acide acétique ou l'acide nitrique faible et à froid, les minerais à gangue calcaire, pour dissoudre les carbonates de chaux et de magnésie par différence, en pesant le résidu de l'attaque après dessiccation. On traite ensuite par l'acide hydro-chlorique bouillant, ou mieux encore par l'eau régale, qui laisse les matières insolubles dans les acides, ordinairement du quarz ou de l'argile que l'on pèse; on remarquera que l'acide hydrochlorique attaque presque toujours plus ou moins les argiles. Lorsque les matières à essayer renferment du fer titané, on les traite par l'acide sulfurique concentré, qui ne laisse que les gangues pierreuses.

Ces essais préliminaires permettent de déterminer la nature et la proportion du fondant qu'il convient d'ajouter dans l'essai par voie sèche. Ordinairement on a le choix entre divers fondants; mais si l'on veut vérifier l'exactitude de l'essai et se rapprocher autant que possible des procédés industriels, il est indispensable d'employer un flux fixe, ou qui contienne une proportion rigoureusement déterminable de substances volatiles,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'on détermine avec soin en le calcinant fortement à part.

Soient maintenant : A, le poids de la matière ferrugineuse non calcinée ou *crue;* B, le poids de la même matière calcinée; C, le poids total des fondants crus ajoutés; D, le poids des mêmes fondants calcinés; le poids des matières insolubles dans l'acide hydro-chlorique ou sulfurique; R, le poids des matières fixes, solubles dans l'acide acétique, poids que l'on calcule aisément lorsqu'on connaît la perte qu'éprouve par calcination la matière ferrugineuse crue, et le poids du résidu du traitement de cette matière par l'acide acétique; M, le poids du culot de fonte et des grenailles; S, le poids de la scorie; et O, la perte de poids dans l'essai, qui représente la quantité d'oxygène dégagée par la réduction. On disposera ces quantités de la manière suivante, indiquée par M. Berthier dans son excellent Traité des essais par la voie sèche :

On a soumis à l'essai,

A minerai cru = minerai calciné.			B
On a ajouté C fondants crus = matières fixes. .			D
	Total des matières fixes. . .		B+D
On a obtenu. . . . . Fonte — M Scorie — S	Total.		M+S
	Perte.		O
Fondants ajoutés.		D	
Matières vitrifiables.		S—D	
Matières insolubles dans l'acide hydro-chlorique.		T	
Matières solubles dans l'acide hydro-chlorique.		S—D—T	
Matières solubles dans l'acide acétique.		R	
Matières insolubles dans l'acide acétique et solubles dans l'acide hydro-chlorique.		S—D—T—R	

Lorsque le fer contenu dans la matière à essayer est à un degré connu d'oxydation, et que cette matière ne renferme qu'une faible quantité d'oxyde de manganèse, la quantité d'oxygène O doit correspondre à très peu près à la quantité de fonte M, et si cela a lieu, on est assuré que l'essai doit être exact. Lorsque cette perte O a été déterminée avec soin, elle fait connaître très approximativement la teneur en fer, quand bien même, par suite d'une chaleur trop faible ou trop peu prolongée, ou de l'emploi de flux non appropriés, l'essai n'aurait pas fondu ou n'aurait qu'imparfaitement fondu. Les essais se font ordinairement sur 10 à 20 grammes de minerai.

Pour mieux faire comprendre ce qui précède, nous prendrons un exemple particulier, pris dans les minerais les plus abondants, les hydrates à gangue argileuse :

Fer oxydé hydraté compacte d'Ernée (Mayenne). Il perd par calcination 0,106 d'eau, et laisse après l'attaque par l'acide hydro-chlorique 0,066 de quarz et d'argile :

10gr de minerai cru = minerai calciné. . . .			8gr,90
0gr,44 de carbonate de chaux = chaux. . .			0gr,24
			9gr,18
Ont donné. . . . . Fonte 5gr,81 Scorie 0gr,95	Total. . .		6gr,76
Fondant ajouté. 0gr,24	Oxygène		2gr,42
Matières vitrifiables. . . . 0gr,71			
Matières insolubles. . . . 0gr,66			
Matières solubles. . . . 0gr,05 (c'était de l'alumine).			

La fonte était gris clair et assez tenace. La scorie était vitreuse, transparente et couleur de quarz enfumé. La perte en oxygène de 2,42 correspond, à raison de 42 d'oxygène pour 100 de fonte, à 57,6 de fonte; l'essai en a donné 58,1.

Quelle que soit la nature d'une matière ferrugineuse, on peut toujours en déterminer la fusion à l'aide du borax, dont on ajoute de 10 à 30 p. 100, suivant que la matière est plus ou moins riche. Ce mode d'essai est par conséquent commode, et souvent employé lorsqu'on veut seulement déterminer la richesse du minerai; mais le borax étant volatil, on est privé de tout moyen de vérification, et ce flux a en outre l'inconvénient de communiquer à la fonte des caractères différents de ceux qu'elle aurait eus en faisant l'essai avec des flux terreux, tels que ceux employés dans les mines. Ces derniers flux peuvent se réduire à trois, le carbonate de chaux, les argiles et le quarz. Leur choix est basé sur la connaissance de la nature et de la proportion approximative des gangues, et on s'arrange toujours de manière à produire une scorie fusible. Sous ce rapport, on peut diviser les matières ferrugineuses à essayer en 5 classes : 1° les matières presque pures, telles que les oxydes compactes et en masse, les battitures, etc., que l'on peut, à la rigueur, essayer sans addition, mais auxquelles il convient cependant d'ajouter un verre terreux fusible par lui-même, tel que celui que l'on obtient avec 3 parties d'argile et 2 parties de carbonate de chaux, afin de faciliter la réunion des grenailles de fonte en un seul culot; 2° les matières à gangue presque exclusivement quarzeuse, certains minerais oxydés, par exemple, auxquelles il faut ajouter environ le poids de cette gangue d'argile alumineuse et 1 fois à 1 fois 1/2 la même quantité de carbonate de chaux; 3° les matières à gangue argileuse ou siliceuse renfermant diverses bases, mais peu ou point de chaux; c'est le cas de la plupart des minerais en grains, des minerais carbonatés, des minerais qui ont pour gangue des roches primitives, des scories d'affinage, etc.; elles fondent très bien avec addition de 2 parties de carbonate de chaux par 3 parties de gangue; 4° les matières calcaires ou alumineuses, renfermant peu ou pas de silice, tels que les minerais oolithiques, les fers spathiques, quelques minerais hydratés alumineux, etc.; lorsque ces matières sont calcaires, on emploie comme fondant de l'argile siliceuse; et lorsqu'elles sont alumineuses, on se sert d'un mélange de quarz ou d'argile et de carbonate de chaux, ou d'argile marneuse, ce qui revient au même; et 5° les matières qui renferment de la silice et diverses bases susceptibles de former un verre terreux fusible, telles que quelques minerais hydratés, la chamoisite, les laitiers des hauts-fourneaux, les scories des forges catalanes et des cubilots, etc... On les essaie sans addition.

Lorsque l'on a un grand nombre d'essais de fer à faire, il peut être plus court, et il est certainement plus exact d'opérer par le procédé suivant, dû à M. Ebelmen : On attaque le minerai par l'acide hydro-chlorique auquel on ajoute un peu d'acide nitrique, si tout le fer n'est pas à l'état de peroxyde, on évapore à sec, on reprend par de l'acide hydro-chlorique étendu d'eau et on filtre; les gangues terreuses, quarz et argile restent sur le filtre; on étend d'eau la liqueur filtrée après l'avoir introduite dans un flacon assez grand, on la maintient à 40 ou 50°, et on y fait arriver de l'acide sulfureux, au moyen d'une dissolution concentrée à froid de cet acide préparée d'avance et contenue dans une fiole sous laquelle on place quelques charbons; le col de cette fiole est fermé par un bouchon que traverse un tube recourbé qui conduit le gaz acide sulfureux dans la dissolution hydro-chlorique; aussitôt que cette dernière, auparavant d'un beau jaune, est entièrement décolorée, par suite de la réduction du perchlorure de fer à l'état de protochlorure, on arrête le dégagement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gazeux, et l'on fait bouillir la dissolution pour chasser l'excès d'acide sulfureux jusqu'à ce que toute odeur de ce gaz ait complétement disparu. Il reste dans la liqueur de l'acide sulfurique dû à l'oxydation de l'acide sulfureux qui a effectué la réduction du perchlorure de fer en protochlorure; on dose cet acide en ajoutant du chlorure de baryum, qui le précipite à l'état de sulfate que l'on recueille sur un filtre, que l'on calcine et que l'on pèse; ce poids, multiplié par 0,465 ou par 0,670, donne celui du fer métallique ou du peroxyde de fer contenu dans la matière essayée; le manganèse et l'alumine ne donnent qu'une seule série de sels, leur présence n'affecte nullement l'exactitude des résultats obtenus.

Disons maintenant quelques mots sur l'analyse des fers, fontes et aciers. on les laisse digérer avec du brôme ou de l'eau et de l'iode en excès, tout le fer se dissout, et il reste le carbone et le silicium à l'état de silice; on lave le résidu, on le dessèche, on le pèse, on le grille pour brûler le carbone on le pèse de nouveau, et on a ainsi la silice et, par suite, le silicium, et, par différence, le carbone total. On traite une autre partie du métal par l'acide hydro-chlorique, le carbone combiné se dégage à l'état d'hydrogène carboné, et le résidu que l'on traite comme le précédent contient de la silice et le carbone à l'état de graphite, non combiné, dont la présence constitue les fontes grises et noires. On a, par différence, la quantité de carbone qui entre dans la fonte à l'état de combinaison.

TRAITEMENT MÉTALLURGIQUE.

Dans les premiers temps, on extrayait directement le fer de ses minerais en une seule opération. Cette méthode, encore usitée dans les Pyrénées et la Corse, ne peut être appliquée qu'à certaines variétés de minerais riches et d'une nature particulière. Voy. FORGES CATALANES. Plus tard, on fondit les minerais riches à gangue fusible, dans des fourneaux de 3 à 4^{m} de hauteur, à poitrine fermée, pour former une loupe de dimensions voulues, par un petit mur en briques que l'on démolissait à chaque opération, pour enlever la loupe de fer en partie affiné produite; on terminait l'affinage en refondant le fer de loupe avec des battitures et des scories riches de l'affinage même dans un bas foyer, puis portant la nouvelle loupe sous le marteau. Cette dernière méthode, qui n'est plus usitée que dans quelques usines de la Thuringe, y est même actuellement presque abandonnée et remplacée par l'emploi de petits hauts fourneaux de 7 à 8^{m} de hauteur, à poitrine fermée, qui donnent des fontes manganésées, qui sont ensuite affinées pour le fer par la méthode allemande, ou pour ACIER. (Voy. ACIER).

Depuis longtemps on fond les minerais de fer pour séparer les matières terreuses à l'état de *laitiers*, et en retirer de la fonte que l'on soumet ensuite à l'affinage pour la transformer en fer. Cette méthode, qui a l'avantage de s'appliquer à tous les minerais de fer, présente une grande économie de main-d'œuvre, ainsi que de combustible dans la plupart des cas. Traitons donc de la fabrication de la fonte.

FABRICATION DE LA FONTE.

Nous envisagerons successivement dans la fabrication de la fonte :

1° Le matériel;
2° Le personnel;
3° Les matières premières;
4° La nature des produits;
5° La conduite des hauts-fourneaux;
6° La théorie de l'opération;
7° Les conditions économiques de la fabrication;

Et 8° Les divers perfectionnements introduits dans ces dernières années dans la fabrication de la fonte.

MATÉRIEL. *Hauts-fourneaux.* Avant d'entrer dans quelques détails sur la construction des hauts-fourneaux, il est indispensable de faire connaître le nom de leurs diverses parties, ce que nous ferons à l'aide des fig. 835 et 836 : D, est le gueulard par lequel on jette le minerai et le combustible dans le fourneau; le vide intérieur de ce dernier est formé par deux troncs de cônes renversés CD, BC, la *cuve* et les *étalages*, réunis par leur plus grande base, suivant une conférence C qui porte le nom de *ventre*. L'*ouvrage* est la portion du vide intérieur qui s'étend depuis les tuyères T jusqu'à la naissance des étalages B; cependant, on comprend aussi quelquefois sous ce nom toute la partie du fourneau comprise entre la sole A et les étalages B; le *creuset* est la partie du fourneau placée au-dessous des tuyères; la partie extérieure du creuset *c* (fig. 836) porte le nom d'avant-creuset. L'avant-creuset est fermé par un petit mur incliné recouvert d'une plate de fonte ou *dame d*, par-dessus laquelle s'écoulent les laitiers; la face opposée à la dame porte le nom de *rustine*. Le recouvrement ménagé sur la partie du creuset qui s'avance hors du fourneau s'appelle la *fausse tympe a*; il est soutenu et protégé à l'endroit où s'échappe la flamme par deux pièces de fonte, la *tympe* et le *tarret b*. On introduit le vent dans l'intérieur du fourneau, au moyen d'une ou plusieurs ouvertures T, T, qui portent le nom de *tuyères*; on donne le nom de *costières* aux deux faces de l'ouvrage sur lesquelles sont placées les tuyères; dans les fourneaux qui n'ont qu'une seule tuyère, comme c'est le cas d'un grand nombre de fourneaux au charbon de

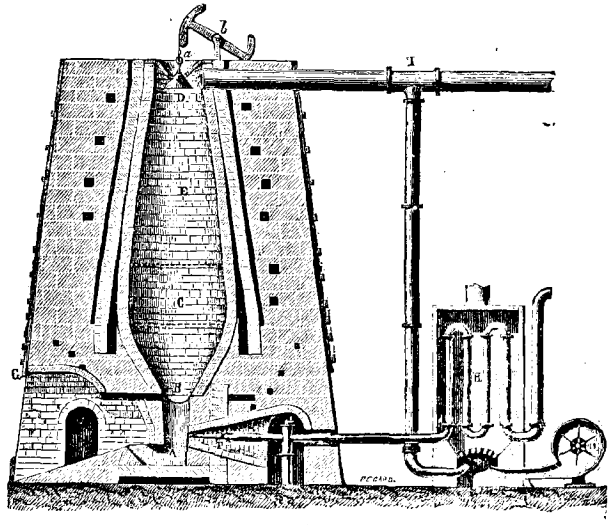


Fig. 835.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bois, on appelle *contrevent* la paroi qui lui fait face. E E, la chemise du vide intérieur se construit avec les matériaux les plus réfractaires que l'on puisse se procurer; on la sépare du massif du fourneau, construit ordinairement en briques communes, par un espace vide que l'on remplit, soit avec du sable assez gros, soit avec du menu bois qui, en se carbonisant, laisse bientôt un résidu de charbon un peu élastique, de manière à ce que la chemise puisse se dilater sous l'action de la chaleur, sans entraîner avec elle le massif, qui, ayant une température rapidement décroissante du centre à la circonférence, ne tarderait pas à se fissurer.

L'emploi d'un courant d'air forcé exigeant une certaine quantité de force motrice, on place autant que possible les hauts fourneaux dans des bas-fonds, afin d'utiliser les cours d'eau; d'un autre côté, on doit toujours placer la sole à 1 ou 2m au-dessus du niveau des plus grandes crues, afin d'être à l'abri des inondations. On donne le plus ordinairement au massif des hauts fourneaux la forme d'un tronc de cône ou celle d'une pyramide quadrangulaire : la première est la plus légère et la plus économique. Le massif est construit, comme nous l'avons dit, en pierres de taille ou en briques communes, et relié par de fortes armatures en fer.

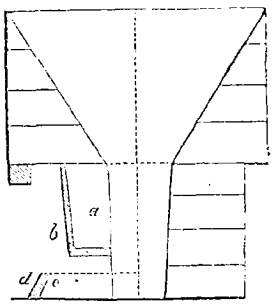


Fig. 836.

On conçoit aisément, en réfléchissant au poids énorme qu'elles ont à supporter, que les fondations des hauts-fourneaux doivent être établies de la manière la plus solide, et à l'abri de toute humidité. Elles sont généralement voûtées, ce qui favorise leur assèchement et produit une économie de matériaux; ces canaux servent aussi souvent à loger en partie les conduites d'air, qui doivent être accessibles sur tous les points, pour qu'on puisse vérifier au besoin s'il existe des fuites, et dans ce cas les réparer.

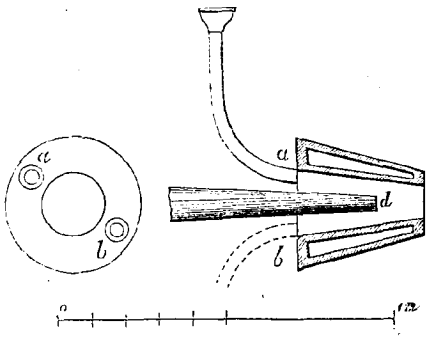
Le devant du fourneau est évidé et forme en se réunissant aux murs latéraux de l'avant-creuset une *embrasure* ou niche terminée par deux angles obtus; la voûte de *l'embrasure de travail* est ordinairement plate et soutenue par une ou plusieurs grosses barres de fonte qu'on nomme *marâtres*. Les tuyères et quelquefois la rustine présentent des embrasures analogues.

Il arrive quelquefois que pour obtenir plus de légèreté dans la construction, on supprime toute la partie du massif située au-dessous des étalages et on supporte la partie supérieure sur un rang de colonnes en fonte, comme cela a lieu à Hayanges, ce qui rend en outre les abords du fourneau et par suite le service plus facile.

Le creuset et l'ouvrage ont ordinairement une section rectangulaire, cependant on leur donne quelquefois une forme circulaire; on les construit en pierre de taille ou en briques réfractaires. La cuve a une section circulaire et se construit avec des matériaux réfractaires, ordinairement d'une qualité inférieure à ceux qui forment l'ouvrage. Les étalages sont construits de manière à se raccorder exactement avec la cuve et avec l'ouvrage, tantôt avec des briques réfractaires, tantôt avec un mélange damé de sable et d'argile réfractaire.

Les MACHINES SOUFFLANTES employées dans les usines à fer étant décrites dans un article spécial, nous n'en parlerons pas ici; l'air venant, soit de ces machines, soit d'un régulateur intermédiaire, arrive par des *buses* circulaires de 3 à 8 centim. de diamètre à l'embouchure, dans les *tuyères* en cuivre ou en fonte placées sur les côtières du fourneau, par lesquelles il pénètre dans l'intérieur. Dans les fourneaux soufflés à l'air froid, ces tuyères sont ordinairement simples, mais dans les fourneaux soufflés à l'air chaud, elles seraient très promptement détériorées si on n'y faisait constamment passer un filet d'eau pour les rafraîchir. Les fig. 838 et 839 montrent la disposition et la construction d'une

838. 839.



tuyère de ce genre; l'eau arrive par le tuyau *a* et s'écoule par le tuyau *b*; *d*, est la buse de la machine soufflante.

On marche quelquefois à tuyère fermée, c'est-à-dire en lutant la buse contre les parois de la tuyère, afin d'éviter les pertes d'air qui ont toujours lieu avec les tuyères ouvertes, mais cette disposition est moins commode pour le travail.

Les hauts-fourneaux au charbon de bois ont 1 ou 2 tuyères; ceux au coke en ont toujours au moins 2 et souvent 3 et plus.

Les dimensions des hauts-fourneaux dépendent du volume d'air qu'on y lance à la fois, de la nature du minerai et de celle du combustible, de la quantité et de la qualité de la fonte que l'on veut obtenir. Il est difficile de donner à ce sujet des règles théoriques, et on ne peut que se baser sur les faits qui nous sont indiqués par l'expérience.

La hauteur des hauts-fourneaux au charbon de bois est de 8 à 12m; celle des hauts-fourneaux au coke est de 12 à 15m et même au-delà. En parlant de la théorie des hauts-fourneaux, nous indiquerons l'influence de la forme de chacune des parties qui la composent; ici nous ne rappellerons que quelques données pratiques.

La hauteur de l'ouvrage varie de 1/6 à 1/8 de la hauteur totale du fourneau : elle doit être d'autant plus grande que les minerais sont plus réfractaires et que l'on veut obtenir de la fonte plus grise; on la diminue au contraire pour la fabrication des fontes d'affinage et le traitement de minerais facilement fusibles; la largeur de l'ouvrage, c'est-à-dire le côté du carré équivalent à la section au niveau des tuyères, varie depuis 0m,50 pour les plus petits fourneaux au charbon de bois jus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'à 1m,20 et même 1m,50 pour les plus grands fourneaux au coke.

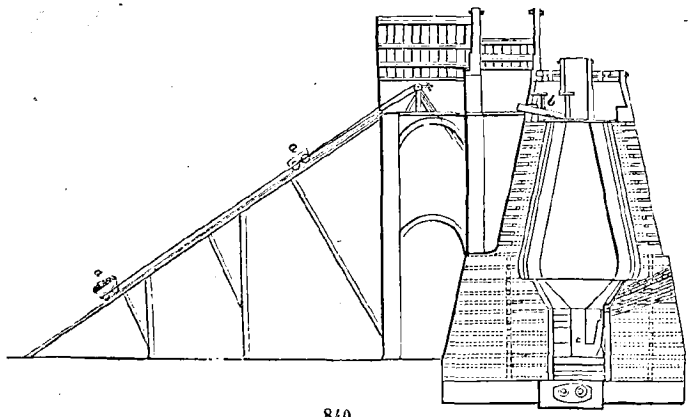
Les ouvrages sont toujours évasés par le haut pour faciliter la descente des charges, et leur largeur à la naissance des étalages doit être habituellement de 1/4 à 1/3 plus grande qu'au niveau des tuyères.

Le creuset a la même largeur que l'ouvrage; sa hauteur limitée par la position des tuyères est un peu plus faible que sa largeur; sa longueur, y compris l'avant-creuset, est de 3 fois à 3 fois 1/2 sa largeur.

L'inclinaison des étalages est ordinairement de 45° à 55°, mais elle doit varier par les mêmes raisons que l'ouvrage. Dans quelques pays, en Styrie et en Carinthie, par exemple, où l'on traite des minerais riches et très fusibles, on a supprimé complétement l'ouvrage, en augmentant seulement la hauteur et l'inclinaison des étalages; la descente des charges a lieu très rapidement et la production de ces fourneaux est considérable.

La hauteur du ventre au-dessus de la sole varie de 1/5 à 1/3 de la hauteur totale : elle est plus grande pour les fourneaux au coke que pour ceux au charbon de bois, et augmente à mesure que les minerais à traiter sont plus réfractaires; le diamètre au ventre varie de 1/4 à 1/6 de la hauteur totale. Le raccordement entre la cuve et les étalages se fait quelquefois par une partie cylindrique. La hauteur totale de la cuve varie des 2/3 aux 4/5 de la hauteur totale; le diamètre au gueulard varie de 1/3 aux 2/3 du diamètre au ventre; l'emploi de l'air chaud, ou celui du coke comme combustible, permettent d'augmenter les dimensions relatives du gueulard et il existe même en Angleterre quelques fourneaux au coke dont la cuve est entièrement cylindrique. Les gueulards des hauts fourneaux sont souvent recouverts de cheminées qui s'appuient sur le massif, comme l'indique la fig. 840 et dans lesquelles on ménage des portes de chargement D.

Disposition des usines à fer. On dispose ordinairement les usines à fer de manière à ce que les matières premières et les divers produits aient le moindre transport possible à subir. Ainsi dans les pays accidentés on adosse toujours les hauts-fourneaux à une colline de manière à ce que le combustible et le minerai puissent arriver de plein pied jusqu'au gueulard; dans les pays de plaine où cette condition ne peut être remplie, on élève les charges au niveau de la plate-forme du gueulard, soit à l'aide de plans inclinés comme l'indique la fig. 840,



840.

soit à l'aide de BALANCES D'EAU, soit de toute autre manière.

PERSONNEL. Il y a deux catégories d'ouvriers spécialement attachés au service des hauts-fourneaux, ceux au gueulard qui chargent le lit de fusion et le combustible et ceux au creuset qui font écouler les laitiers et la fonte. Il faut en moyenne pour un fourneau produisant 1800 à 2000k de fonte par jour, 3 ouvriers au gueulard et 2 au creuset par 24 heures, et pour une production de 10,000k de fonte par jour, 10 ouvriers au gueulard et 4 au creuset par 24 heures.

On paie souvent ces ouvriers à la journée, et quelquefois, ce qui est bien préférable, à tant par quintal métrique de fonte obtenue.

MATIÈRES PREMIÈRES. *Minerais et fondants.* Les fondants que l'on ajoute pour déterminer la fusion des gangues portent le nom de *castine* quand ils sont calcaires et d'*herbue* quand ils sont argileux. On mélange toujours autant que possible diverses sortes de minerais de manière à obtenir des gangues fusibles avec la moindre addition possible de fondants. Pour la même raison on emploie souvent comme fondants des argiles ou des calcaires ferrugineux qui, seuls, seraient trop pauvres pour pouvoir être fondus.

Combustibles. Les combustibles le plus employés sont le charbon de bois et le coke; cependant, dans quelques localités où le transport du combustible est presque nul, on remplace en partie le charbon de bois par du bois vert ou desséché, et on emploie, au lieu de coke, la houille crue, lorsqu'elle est sèche et qu'elle ne donnerait qu'un coke fritté; l'emploi du bois vert ou desséché, après avoir été beaucoup prôné, tend plutôt à décroître; mais celui de la houille sèche se répand de jour en jour.

PRODUITS. Les produits des hauts-fourneaux sont la *fonte* dont nous avons déjà parlé, et les *laitiers*. Les laitiers sont des verres terreux provenant de la combinaison des gangues des minerais avec les parties fixes des fondants ajoutés. Lorsque le *lit de fusion*, ou mélange des minerais et des fondants de diverses natures est fait dans des proportions convenables, les laitiers ne retiennent qu'une quantité de fer tout à fait insignifiante. Ce sont des silicates terreux. Ces silicates étant d'autant plus fusibles qu'ils renferment un plus grand nombre de bases, on conçoit, par exemple, qu'un minerai siliceux exigera un fondant renfermant à la fois un mélange de chaux et d'alumine comme une marne calcaire, tandis qu'un minerai argileux fondra parfaitement avec du calcaire pur; un minerai siliceux et du calcaire pur formeraient du silicate de chaux, qui ne deviendrait suffisamment fusible qu'en dissolvant une quantité notable d'oxyde de fer pour former un silicate double.

Les laitiers des fourneaux au charbon de bois doivent être plus fusibles que ceux des fourneaux au coke, parce que la température est moins élevée dans les premiers que dans les derniers. Ce sont les silicates dans lesquels il y a 1 1/2 à 2 fois autant d'oxygène dans la silice que dans la somme des bases. Les laitiers au coke sont plus basiques, et il s'y trouve 1 à 1 1/2 autant d'oxygène dans la silice que dans la somme des bases. Voici du reste deux compositions de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laitiers se rapportant, l'une au charbon de bois, l'autre au coke, et bien fusibles :

Laitier au charbon de bois.	Laitier au coke.
Silice. . . . 50	50
Chaux. . . . 25 à 30	40 à 60
Alumine. . . 15 à 20	20 à 25

Lorsque le minerai est manganésifère, les laitiers peuvent être beaucoup plus chargés en silice que nous venons de l'indiquer, parce que l'oxyde de manganèse est un fondant bien plus énergique que les oxydes terreux.

Les laitiers sont tantôt vitreux, tantôt pierreux; l'aspect qu'ils prennent dépend surtout de la rapidité plus ou moins grande du refroidissement; lorsqu'il est lent, ils deviennent en général opaques et prennent un aspect pierreux. Ils présentent alors quelquefois des cristaux bien déterminables. Ils sont fréquemment remplis de boursouflures, et quelquefois, lorsqu'on les a solidifiés brusquement par une projection d'eau froide, ils sont légers et poreux comme de la pierre ponce; dans ce cas, ils paraissent à peu près blancs, mais si on les refond au chalumeau ou de toute autre manière, on voit qu'ils ne doivent cette apparence qu'à leur extrême division.

Les laitiers ont des couleurs très variées, tantôt unies, tantôt zonées et quelquefois d'un très bel effet; on vient d'utiliser en France cette propriété, pour fabriquer avec des laitiers refondus des objets d'ornement de très belle apparence.

Quoique l'aspect et la nature des laitiers varient d'un fourneau à l'autre, on ne doit pas moins les observer avec soin dans chaque fourneau, car les changements de couleurs ou de fusibilité des laitiers sont le signe le plus certain auquel on puisse reconnaître les dérangements survenus dans l'allure du fourneau, les chutes de minerai, etc....

CONDUITE DE L'OPÉRATION. *Mise en feu.* Avant de mettre un haut fourneau en activité, on doit commencer par le sécher. Si tout le fourneau vient d'être construit à neuf, le séchage exige les plus grands soins. Après avoir nettoyé le creuset qui n'est pas encore fermé par la dame, on commence par faire à l'entrée de l'avant-creuset, avec des fagots ou de la tourbe, un feu doux qu'on entretient pendant plusieurs jours; dans les fourneaux au coke, on active le séchage en allumant du feu dans quatre cheminées destinées à l'assèchement du massif et pratiquées aux quatre coins dans son intérieur. On forme ensuite, à l'aide de plusieurs ringards appuyés par une extrémité contre la rustine et soutenus en dehors du fourneau par un bloc de fonte, une grille sur laquelle on brûle pendant quelques jours du bois sec ou de la houille. Quand on est sûr que la dessiccation est assez avancée, on retire la grille formée par les ringards, on jette sur la sole quelques charbons incandescents, et on remplit immédiatement de charbon frais toute la capacité du fourneau. On ferme alors toutes les issues par lesquelles l'air pourrait provoquer une combustion trop rapide, et on laisse le feu se propager lentement. Lorsque la masse commence à s'affaisser au gueulard, on y jette encore, s'il est nécessaire, quelques mesures de charbon; autrement on charge immédiatement des laitiers bien fusibles, et souvent une petite quantité du lit de fusion. On ouvre alors l'avant-creuset et on fait pendant quelques jours de nouvelles grilles, afin d'activer la combustion. Chaque grille dure environ une heure; on laisse écouler entre les premières un assez long intervalle, et on accélère les dernières quand le fourneau est assez chaud. Il arrive souvent que l'on ne fait pas ces grilles, et que l'on se contente d'ouvrir l'avant-creuset, lorsqu'on ne charge que des laitiers très fusibles. Au lieu d'employer une grille intérieure pour le séchage du fourneau, il est plus commode d'établir une sorte de four à réverbère provisoire, à grille extérieure, et dont la voûte vient s'abaisser sous la tympe. Pour ménager les parties des côtières et de la fausse tympe soumises au contact de la flamme, on les garnit de briques réfractaires posées de champ sans aucun mortier. On charge sur la grille du four, soit du bois, soit de la houille; ce qui procure, dans la plupart des cas, une économie de combustible notable.

Si le fourneau qu'on met en feu a déjà servi, et si la cheminée réfractaire a été seule reconstruite, la dessiccation s'opère beaucoup plus rapidement.

Dès qu'on s'aperçoit, par l'écoulement des laitiers aux tuyères, que les premières charges de minerais vont arriver, on s'empresse de préparer la dame, ordinairement en sable damé recouvert, à l'intérieur, d'une plaque de fonte blanche par-dessus laquelle s'écoulent les laitiers. Les tuyères sont à la hauteur de la tympe, et la dame est ordinairement en contre-bas de 5 à 10 centimètres.

La dame préparée, on retire la plaque de fonte intérieure placée pour soutenir, pendant le damage, le sable dont on fait alors sécher la surface, en attirant sur le devant quelques charbons enflammés; on a soin de garnir tout l'intérieur de l'avant-creuset d'une couche de fraisil humide, dont l'effet est d'empêcher la première fonte qui arrive d'adhérer au sable, lequel n'est pas encore suffisamment échauffé. Enfin, il ne reste plus, avant de donner le vent, qu'à remplir le creuset et l'avant-creuset de quelques mesures ou *rasses* de charbon, que l'on serre fortement sous la tympe, pour ne pas laisser à la flamme un passage trop facile. A partir de ce moment, on augmente progressivement la charge en minerai, en laissant la charge en charbon constante, jusqu'à ce que l'on ait atteint l'état normal du fourneau et la qualité de fonte désirée. Dans les premiers jours de roulement, on ne doit couler que lorsque le creuset est entièrement plein; c'est le meilleur moyen de l'échauffer. Les premières coulées donnent presque toujours des fontes épaisses, noires, qu'on met de côté pour le moulage en seconde fusion, quand il y a un cubilot dans l'usine.

La charge en charbon doit se baser plutôt sur le diamètre du gueulard que sur les autres dimensions du fourneau; son volume doit être tel qu'elle présente une épaisseur suffisante pour que le minerai éprouve une certaine difficulté à se tamiser à travers le charbon. Lorsque cette épaisseur est trop faible, surtout pour les minerais en grains, il en résulte des chutes de minerais et des dérangements dans l'allure du fourneau. On charge d'abord le combustible, puis par dessus le minerai et la castine séparément ou préalablement mélangés.

Enlèvement des laitiers et coulée. Dans la plupart des fourneaux au charbon de bois, on a soin de recouvrir les laitiers, dans l'avant-creuset, de quelques pelletées de fraisil, de telle sorte qu'ils y soient encore assez fluides pour s'écouler naturellement par dessus la dame. On moule quelquefois ces laitiers en briques pour les constructions communes. Dans quelques fourneaux au bois, lorsqu'on ne prend pas la précaution que nous venons d'indiquer ou lorsque le dosage du lit de fusion n'est pas convenable, et dans la plupart des fourneaux au coke, les laitiers restent visqueux; il faut alors nettoyer fréquemment l'avant-creuset à l'aide de longs ringards en fer et hâler les laitiers au moyen d'une pelle et d'un crochet en fer, travail très pénible. Les laitiers visqueux ainsi que ceux que l'on retire immédiatement avant la coulée, renferment souvent des grenailles de fonte que l'on en retire par le bocardage. Peu de temps avant la coulée, le fondeur attire avec son ringard tout le laitier dans l'avant-creuset, puis quelques instants après il arrête le vent, et après avoir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nettoyé les côtières avec son ringard, il enlève à l'aide d'une sorte de râble le charbon et le laitier qui surnagent dans l'avant-creuset; dès que le bain de fonte est à découvert, il place sous la tympe un tampon d'argile, de laitier dur, ou une plaque de fonte garnie de terre bien séchée, pour empêcher le contenu du fourneau de passer en partie dans l'avant-creuset. On perce alors à l'un des angles inférieurs de la dame, avec un ringard pointu, sur la tête duquel on frappe à grands coups de marteau, un trou par lequel la fonte s'écoule et que l'on rebouche ensuite avec un tampon d'argile. On coule la fonte sur le sol de l'usine, soit en une seule gueuse, soit en un grand nombre de petits gueusets plats, suivant le mode d'affinage qu'on doit lui faire subir. Quelquefois on la coule en coquille, c'est-à-dire dans une rigole en fonte, et on jette dessus de l'eau pour la refroidir brusquement, ce qui la blanchit et la rend plus facile à affiner. Dans quelques usines, on coule les fontes sulfureuses venant d'un travail au coke ou à la houille et sortant du fourneau, dans des moules en fonte enduits d'une couche de chaux. Cette couche, épaisse de quelques millimètres et qui se sèche bientôt à l'air, est appliquée avec une brosse trempée dans une bouillie calcaire. Les lingotières, dont le vide à la forme et les dimensions des gueusets ordinaires, sont placées sur le sol de l'usine et reçoivent la fonte d'une maîtresse gueuse creusée dans le sable; la coulée se fait comme à l'ordinaire. Les avantages que présente ce procédé sont les suivants :

1° La couche calcaire en contact avec la fonte absorbe une très grande partie du soufre que renferme celle-ci, comme le démontre l'analyse.

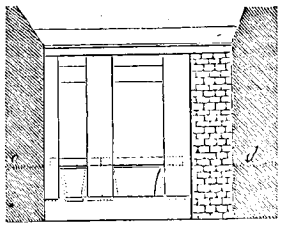
2° Ce mode de moulage diminue les déchets de la fonte dans les opérations subséquentes qu'on lui fait subir. — Ce qui se comprend, parce que les gueuses coulées dans le sable en retiennent toujours une certaine quantité à leur surface qui donne lieu à des carcas ou des scories lorsqu'on la refond au fourneau à réverbère ou au cubilot, si elle est destinée au moulage de seconde fusion, et absorbent toujours une certaine quantité de silicium par leur contact, à une température élevée, avec la silice, ce qui en rend l'affinage bien plus difficile, si c'est une fonte d'affinage.

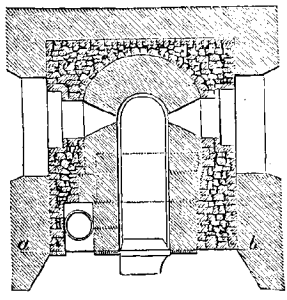
Quand on travaille en fonte de moulage, la coulée se fait d'une manière différente : le charbon et les laitiers étant enlevés et le tampon ou *bouchage* mis en place sous la tympe, les ouvriers viennent tour à tour puiser la fonte dans l'avant-creuset, avec des poches ou cuillères en fer garnies à l'intérieur comme à l'extérieur d'un enduit composé d'un mélange de terre argileuse et de crottin de cheval. Quand l'ouvrage est vidé, le fondeur, avec l'aide d'un autre ouvrier, retire le bouchage et ramène les matières dans l'avant-creuset qu'il achève de remplir avec un mélange de braise et de laitier bien serré sous la tympe.

Ce mode de coulée, le plus anciennement employé dans les fourneaux roulant en fonte de moulage, a l'avantage de ne pas refroidir la fonte, mais il offre l'inconvénient : 1° de donner lieu à une perte de minerai et de charbon; 2° de refroidir l'avant-creuset; 3° de diminuer la production journalière par suite de l'arrêt forcé de la machine soufflante pendant la coulée, arrêt qui dure au moins une demi-heure, et quelquefois jusqu'à deux heures; et 4° d'occasionner des descentes brusques et irrégulières des charges, lorsqu'on donne de nouveau le vent; 5° de ne pouvoir couler que peu de fois par jour et de subordonner le travail des mouleurs à celui du haut-fourneau.

Pour remédier à cet inconvénient, on imagina vers 1828, à Malapane, d'établir à gauche de l'avant-creuset fig. 841 et 842 (le trou de percée étant à droite), un creuset auxiliaire de forme circulaire, séparé du premier, soit par une paroi en briques réfractaires, soit par un mur d'une seule pièce en grès réfractaire qu'il est plus facile de remplacer en cas d'usure, et communiquant avec lui par un canal de fond qui permet à la fonte, mais non aux laitiers, de passer de l'avant-creuset dans le creuset puisard. On ne donne que 15 à 20 centimètres d'épaisseur à la paroi de séparation; lorsqu'elle est usée on fait la percée comme à l'ordinaire, on enlève cette paroi, et on la remplace par une paroi en grès réfractaire, préalablement chauffée au rouge vif.

841.



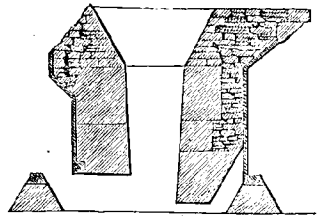


842.

Cette disposition permet de puiser de la fonte à chaque instant, sans être obligé d'arrêter le vent, et de reverser l'excès de fonte dans le creuset, sans craindre qu'une partie notable en soit retenue dans les laitiers, sous forme de grenailles, comme il arrive dans le cas d'un creuset ordinaire.

Il est essentiel de ne laisser pénétrer la fonte dans le creuset puisard que quatre à cinq semaines après la mise en feu du fourneau, et de le chauffer sans cesse, pendant ce temps, avec un feu de charbon. Pour fermer le canal de communication, on emploie un tampon de fraisil et d'un peu de terre : il faut aussi laisser constamment un peu de fonte dans le creuset afin qu'il ne se refroidisse pas trop.

On place quelquefois le creuset-puisard sur la rustine comme un creuset ordinaire, avec cette seule différence, que la pierre de tympe du creuset-puisard (fig. 843), se prolonge jusqu'à 0m,15 de la sole, de



843.

manière à n'y admettre que la fonte, qui n'est pas sujette à blanchir pourvu qu'elle soit couverte par une couche de fraisil. L'avant-creuset ne sert plus alors qu'à l'écoulement des laitiers et se trouve derrière le fourneau, tandis que le creuset-puisard est tourné du côté de la halle de fonderie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On emploie également dans un certain nombre de fourneaux roulant en fonte de moulage la *coulée à la percée*, qui permet de couler sans arrêter le vent et mériterait de se répandre davantage. La dame est remplacée par une plaque transversale fixée aux mureaux par quatre forts boulons et percée en son milieu d'un trou rectangulaire d'environ $0^m,25$ de haut sur $0^m,15$ de large. On garnit de sable damé argileux réfractaire la partie qui regarde dans le fourneau, et on remplit l'ouverture avec de la terre de bouchage. Une petite plaque portant trois petits trous de $0^m,02$ à $0^m,03$ de diamètre placés sur une même verticale, vient, en s'ajustant sur la traverse au moyen de quatre goujons à clavettes, fermer l'ouverture rectangulaire dans laquelle elle s'emboîte par un rebord saillant : cette plaque est dite *plaque de gentilhomme*. Au moment de la coulée, le fondeur perce successivement les trois trous, en commençant par celui du haut, et les ouvriers se présentent tour à tour pour recevoir la fonte dans leurs poches. Après chaque coulée, on retire momentanément la plaque de gentilhomme, et l'on répare le bouchage en enlevant les laitiers et la fonte qui restent dans les trous, où il est nécessaire de rapporter du sable.

Les jets de moulerie de première fusion sont rechargés dans le fourneau ainsi que les grenailles de fonte provenant du bocardage des laitiers, avec le minerai, sans exiger une addition dans la charge en combustible.

Engorgements, réparations, suspension de travail, mise hors feu. Lorsqu'il se forme des dépôts ou des engorgements dans l'intérieur d'un fourneau, il faut élever la température intérieure, ce qui se fait, soit en diminuant les charges, soit en y lançant de l'air chaud s'il était soufflé à l'air froid, et si l'on peut disposer d'un appareil à cet effet ; c'est dans ce but que beaucoup de fourneaux marchant à l'air froid sont munis d'*appareils Cabrol* ; on cherche aussi quelquefois à dissoudre ces dépôts en ajoutant des fondants convenables, soit par le gueulard, soit par la tuyère.

Lorsqu'il y a lieu de réparer une des parois de l'ouvrage ou du creuset on arrête le vent après la coulée, et on soutient les matières dans le fourneau en faisant une grille au-dessus de la paroi que l'on veut réparer ; on la détruit alors et on la remplace le plus rapidement possible ; cette opération devient très compliquée, si la paroi est située au-dessus du niveau des tuyères ; dans tous les cas, elle est beaucoup plus facile dans les fourneaux dont le massif est soutenu jusqu'à une certaine hauteur par des colonnes.

Lorsque par des causes quelconques on se trouve forcé de chômer pendant quelques jours (huit à dix au plus), on bouche le gueulard et les tuyères, après avoir fait la coulée, puis on remplit l'avant-creuset de charbon par-dessus lequel on dame une couche de fraisil. Lorsque le chômage doit durer plus longtemps, il faut ne charger que du combustible jusqu'à ce que la dernière charge de minerai soit arrivée dans le creuset, on ferme alors toutes les ouvertures comme ci-dessus et on ajoute toutes les semaines un peu de combustible au gueulard pour remplacer celui qui s'est consumé par les infiltrations d'air ; nous avons vu, pendant la grande sécheresse de 1842, un fourneau qui est resté ainsi en suspension de travail plus de trois mois, faute d'eau motrice.

Pour les petits fourneaux au charbon de bois, la durée de la campagne est limitée par le temps où l'on a de l'eau motrice en quantité suffisante, elle est ordinairement de neuf mois, dans le cas contraire elle peut aller à deux ou trois ans et même plus. Les fourneaux au coke dont la soufflerie est généralement alimentée par une machine à vapeur, fournissent des campagnes de plusieurs années ; on en a vu marchant huit à dix ans de suite et même plus.

La dégradation des parois intérieures, et notamment l'élargissement de l'ouvrage, les engorgements, le manque de matières premières, de combustible ou de force motrice, les crues d'eau, peuvent obliger à mettre le fourneau hors feu. Pour cela, on réduit peu à peu la quantité de minerai, on ajoute des fondants très fusibles pour dissoudre autant que possible les dépôts, on laisse les charges s'affaisser dans le fourneau ; lorsque celles-ci sont presque au niveau des tuyères, on nettoie le creuset, on enlève la dame et les tuyères et on laisse refroidir. On peut accélérer le refroidissement en continuant à donner le vent pendant quelque temps.

Allures diverses. Lorsqu'un fourneau marche à tuyères brillantes, qu'il produit de la fonte grise ou noire, on dit que son allure est chaude. Les laitiers sont visqueux et la température très élevée, ce qui permet d'ajouter beaucoup plus de chaux que dans toute autre allure, et d'effectuer par conséquent une séparation du soufre plus complète.

Lorsque la tuyère est obscure et suivie d'un nez ou canal formé par du laitier répandu, l'allure est froide ; on obtient des fontes blanches d'affinage contenant plus de soufre et moins de silicium que celles provenant d'une allure chaude. Le dosage du lit de fusion doit être tel, qu'on obtienne des laitiers très fusibles ; ceux-ci renferment souvent une quantité d'oxyde de fer très notable. C'est dans cette classe que viennent se ranger les fourneaux sans ouvrage, employés en Styrie et en Carinthie.

L'allure froide étant difficile à garder, la plupart des fourneaux marchant en fonte d'affinage se tiennent dans une allure intermédiaire. Cette allure est nettement déterminée pour les minerais spathiques manganésifères, par la production des fontes blanches lamellaires à grandes lames, passant insensiblement aux fontes blanches sublamellaires rayonnées ou fibreuses.

Du vent. La pression de l'air est très variable ; elle est de 3 à 4 centim. de mercure dans les petits fourneaux au charbon de bois, et s'élève jusqu'à 8 et 11 centim. de mercure dans les plus grands fourneaux au coke.

THÉORIE DE LA FABRICATION DE LA FONTE. Dès 1836, M. Le Play, actuellement professeur de minéralogie à l'école des mines, se basant sur les réactions connues de l'air, de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, en présence du charbon et des oxydes de fer à une température élevée, donna une théorie fort ingénieuse de la réduction des minerais dans les fourneaux à tuyères, théorie qui lui permit d'expliquer d'une manière très plausible les phénomènes qui se passent dans le traitement des minerais de fer au haut-fourneau. Plus récemment M. Ebelmen, ayant été chargé par M. le sous-secrétaire des travaux publics de faire l'analyse des divers produits gazeux des foyers métallurgiques, a été conduit à examiner de nouveau ce sujet, et s'est trouvé à même, en s'appuyant sur les données que lui ont fournies ses expériences, de compléter et de modifier en partie les idées théoriques précédemment émises par M. Le Play. Les mémoires de ces ingénieurs distingués nous permettront de donner une théorie assez nette des hauts-fourneaux, en renvoyant pour plus de détails le lecteur aux mémoires précités, qui sont insérés dans les *Annales des mines*, 3e et 4e séries.

Occupons-nous d'abord des fourneaux au charbon de bois. L'air arrivant dans le fourneau se convertit rapidement d'abord en acide carbonique, puis, à mesure qu'il s'élève, en oxyde de carbone, par suite de la présence d'un excès de charbon porté à une température élevée. La partie du fourneau comprise entre le niveau des tuyères et celui où la totalité de l'air se trouve brûlée, constitue la zone de fusion, qui n'a qu'une faible étendue, et où la température est extrêmement élevée par suite du grand dégagement de chaleur, dû à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

transformation de l'oxygène de l'air en acide carbonique ; ce dernier, en dissolvant du carbone et en se transformant en oxyde de carbone à mesure qu'il s'élève, donne lieu à une absorption de chaleur qui passe à l'état latent et la température diminue. A partir d'une certaine hauteur, le courant gazeux, composé d'azote, d'oxyde de carbone et d'une petite quantité d'hydrogène, opère la réduction des minerais de fer qui marchent en sens contraire ; cette réduction a lieu avec formation correspondante d'acide carbonique, sans effet calorifique sensible, de sorte que la température du courant gazeux continue à diminuer par suite de l'échauffement progressif des matières qu'il rencontre ; enfin dans les parties supérieures de la cuve, où il est trop refroidi pour effectuer cette réduction, il détermine la distillation des parties volatiles du charbon et du minerai. Ainsi donc nous trouvons dans un haut-fourneau, en partant du gueulard, quatre zones bien distinctes dans lesquelles la température va en croissant, et qui sont : 1° la *zone de distillation*, où s'opère l'expulsion des matières volatiles du combustible et du minerai ; 2° la *zone de réduction*, où s'opère la réduction du minerai ; 3° la *zone de carburation*, où s'opère la carburation du fer métallique réduit et son passage à l'état de fonte, soit par l'action carburante seule de l'oxyde de carbone, comme l'admet M. Le Play, soit par la cémentation au contact du charbon comme le présument d'autres métallurgistes (1) ; et 4° la *zone de fusion*, où s'opère la fusion de la fonte et celles de gangues terreuses et des fondants qui se séparent à l'état de laitiers. Dans les fourneaux au charbon de bois, la limite entre la zone de réduction et de carburation est à très peu près au ventre, et la zone de fusion est toujours comprise dans l'ouvrage. Ces faits une fois posés nous permettront de vérifier les règles données par l'expérience pour le profil à donner aux hauts-fourneaux, en partant de la considération de leur forme générale et de ce fait, que la production de la fonte grise exige plus de chaleur que celle de la fonte blanche.

Dans l'ouvrage le courant d'air lancé horizontalement par la tuyère pénètre jusqu'au contrevent, et s'élève ensuite verticalement en occupant toute la largeur de l'appareil. Pour obtenir des fontes grises, et pour traiter des minerais réfractaires, on établira des ouvrages rétrécis et élevés ; pour des minerais facilement fusibles et des fontes d'affinage qui ne réclament pas une température aussi élevée, on emploiera des ouvrages larges et peu élevés.

Le haut-fourneau s'élargit très rapidement du sommet de l'ouvrage jusqu'au ventre, ce qui pent porter à croire que l'action du courant gazeux sur le minerai n'est pas essentielle pour produire les modifications chimiques qu'il subit dans cette partie du fourneau. Il est évident que le courant en sortant de l'ouvrage tend à s'élever à peu près verticalement, et ne se répartit pas d'une manière uniforme à travers la masse des matières contenues dans les étalages ; c'est dans cette région que s'opère la carburation du fer. D'un autre côté, le minerai étant plus lourd que le combustible tend à gagner l'axe du fourneau, et se trouve néanmoins toujours soumis à l'action du courant gazeux. A cet égard, nous rappellerons un fait qui nous paraît concluant : le directeur de l'usine d'Holaubkau, en Bohême, fit remplir son fourneau, lors de la mise en feu, avec du charbon de bois de chêne, puis pendant tout le reste de la campagne qui dura près de deux ans, il n'employa que du charbon de bois résineux, les seuls bois que fournissent les coupes où s'alimente l'usine. Lors de la mise hors feu les angles du ventre étaient encore remplis de charbon de bois de chêne, ce qui prouve que le minerai n'avait pas pénétré dans cette partie, car il y aurait consommé du charbon, soit que la carburation eût eu lieu par cémentation, soit qu'elle eût eu lieu par la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique, lequel aurait dissous de nouveau du charbon pour passer à l'état d'oxyde de carbone. Le charbon resté aux angles du ventre sert donc surtout à y concentrer la chaleur nécessaire. Le plus ou moins d'inclinaison que l'on donne aux étalages tend à augmenter ou à diminuer la rapidité de la descente des charges, et par conséquent on leur donnera une faible inclinaison pour des minerais réfractaires et des fontes grises, et une plus forte pente pour des minerais facilement fusibles et des fontes de forge ; on va même en Styrie et en Carinthie, où l'on traite pour fontes d'affinage des minerais très fusibles, jusqu'à supprimer complétement les étalages et à employer des ouvrages élevés et assez larges qui se raccordent immédiatement avec la cuve.

La forme du vide intérieur de la cuve prouve, au contraire, que le contact des gaz avec les minerais est indispensable à leur réduction ; en effet, la majeure partie du courant s'échappant du fourneau en suivant les parois de la cuve, il faut pour les atteindre, après avoir traversé à peu près verticalement les étalages, que le courant diverge du centre et se répartisse d'une manière sensiblement uniforme à travers le lit de fusion. L'expérience démontre que la réduction a lieu dans cette zone par la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique, sans dépense en combustible et sans effet calorifique, et que l'acide carbonique produit ne se change plus en oxyde de carbone au contact du charbon, ce qui prouve que la température du courant gazeux dans cette partie du fourneau, quoique assez élevée pour produire la réduction de l'oxyde de fer, ne l'est plus assez pour déterminer la dissolution du carbone dans l'oxyde de carbone. Mais, lorsque le minerai arrive, par suite d'une descente trop rapide, incomplétement réduit dans les étalages, il se combine avec la silice, et la réduction ultérieure du produit ne s'opère qu'avec consommation de charbon et absorption de chaleur latente par la transformation du carbone en oxyde de carbone. Ce sont ces deux dernières circonstances qui rendent compte de l'économie de combustible que présentent les grands fourneaux sur les petits, qui, en général, ne sont avantageux que pour fondre des minerais très fusibles et très faciles à réduire par cémentation, destinés à la fabrication des fontes d'affinage.

Les mêmes phénomènes que nous venons de décrire se présentent également dans les fourneaux au coke, avec cette différence que l'échauffement des matières s'opérant toujours au moyen de la chaleur sensible que conserve le courant gazeux ascendant après les transformations successives de l'oxygène de l'air en acide carbonique et en oxyde de carbone, comme la masse de gaz qui traverse le haut-fourneau est à peu près proportionnelle au combustible introduit, la température sera d'autant plus élevée que l'on consommera plus de carbone pour fondre une partie de minerai ; or, les fourneaux au coke dépensant environ deux fois plus de combustible que les fourneaux au charbon de bois pour

(1) Nous pensons avec M. Le Play que la carburation du fer métallique peut s'opérer par l'oxyde seul, et comme preuve de ce que nous avançons, nous rappellerons qu'on fabrique actuellement à Zlatoust, dans l'Oural, de l'acier fondu comparable aux meilleurs aciers anglais, en jetant dans les creusets de fusion, chauffés dans des fourneaux à vent alimentés au charbon de bois, des rognures de tôle, et laissant les creusets découverts. Le fer se carbure par la réaction des gaz combustibles qui l'entourent et fond ; dès qu'il est entièrement fondu, on recouvre les creusets, on les laisse encore quelque temps dans le feu pour que l'acier formé acquère l'homogénéité désirable, puis on les retire et on coule l'acier en lingots comme à l'ordinaire. Comme d'après les expériences de M. Ebelmen, les gaz provenant de la combustion ou de la distillation des charbons de bois ne renferment point d'hydrogène carboné, on ne peut faire autrement que de reconnaître que, dans le cas dont il s'agit, la carburation est due à l'oxyde de carbone.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la même quantité de minerai, la température sera toujours plus élevée dans une tranche quelconque du premier fourneau que dans la tranche correspondante du second. Il en résulte que dans les fourneaux au coke la réduction commence très près du gueulard presque aussitôt après l'introduction du minerai dans le fourneau, et qu'elle se termine à peu près au milieu de la cuve, tandis que cette limite se trouve très près du ventre dans les fourneaux au bois.

Il est facile maintenant d'expliquer pourquoi, dans les fourneaux au coke, la consommation en combustible est moyennement deux fois plus considérable que dans ceux au charbon de bois, en s'appuyant sur ces faits que 1° le charbon de bois est susceptible, toutes choses égales d'ailleurs, de transformer l'acide carbonique en oxyde de carbone plus rapidement que le coke, probablement à cause de sa porosité. Il en résulte que la zone qui correspond à la zone de fusion et que nous pourrions appeler aussi *zone oxydante*, parce qu'il y existe de l'oxygène libre et de l'acide carbonique, a toujours une étendue notablement plus grande dans les fourneaux au coke que dans ceux au charbon de bois; 2° la fonte ou fer carburé, en traversant la zone oxydante, s'oxyde en partie; lorsque la combustion a lieu aux dépens de l'oxygène libre, il se produit un dégagement de chaleur considérable; lorsqu'elle a lieu par la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, il n'en résulte aucun effet calorifique sensible. Ainsi donc, plus il y aura de fer oxydé devant la tuyère, plus la température de la colonne gazeuse ascendante sera élevée après la transformation complète de l'acide carbonique en oxyde de carbone. Il est évident aussi que la proportion d'oxyde de carbone, contenue dans les gaz, sera en raison inverse de la quantité d'oxyde de fer formée, puisque l'acide carbonique décomposé par le fer ne donne qu'un volume égal au sien d'oxyde de carbone, tandis qu'il double de volume lorsqu'il passe à l'état d'oxyde de carbone en dissolvant du carbone. D'un autre côté, l'oxyde de fer formé se trouvant dans les laitiers à l'état de silicate, il y a nécessairement réaction entre cet oxyde et le carbone de la fonte ou les fragments de charbon mêlés avec le laitier, et l'expérience montre que cette réaction produit de l'oxyde de carbone dont la formation est accompagnée d'une absorption considérable de chaleur qui passe à l'état latent.

Ces principes, une fois posés, nous paraissent pouvoir expliquer, comme l'a fait M. Ebelmen, les différences du roulement des fourneaux au coke et au charbon de bois, et les principales variations qu'on observe dans l'allure des hauts-fourneaux :

Il est évident que l'oxydation, devant la tuyère du fer réduit dans la partie supérieure du fourneau, sera toujours, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus considérable, que la proportion du fer, par rapport au charbon, sera plus grande dans le lit de fusion. Si maintenant nous considérons deux combustibles, comme le coke et le charbon de bois, qui agissent avec une rapidité différente sur l'air et sur l'acide carbonique, et avec lesquels l'étendue de la zone oxydante est différente, il est bien évident qu'il faudra augmenter la masse du charbon le moins combustible, par rapport à celle du minerai, afin que l'oxydation du fer ne soit pas plus considérable dans un cas que dans l'autre; aussi l'expérience a-t-elle prouvé qu'il fallait en moyenne deux fois plus de coke que de charbon de bois pour produire, dans le haut-fourneau, le même poids de la même nature de fonte.

On explique de la même manière les différences de consommation d'un même fourneau, employant toujours le même combustible, suivant qu'on veut produire des qualités différentes de fonte; ainsi l'on sait que l'on consomme beaucoup plus de charbon pour avoir des fontes grises que pour produire des fontes blanches.

La température des gaz au gueulard d'un fourneau marchant en fonte grise, est à peu près le même que dans le roulement normal en fonte blanche, d'où l'on conclut nécessairement que, puisque la consommation en combustible est plus considérable dans le roulement en fonte grise que dans celui en fonte blanche, il faut nécessairement que la température du courant gazeux, après la formation de l'oxyde de carbone, soit plus élevée dans ce dernier cas que dans le premier, et cette circonstance ne peut s'expliquer que par la combustion devant la tuyère d'une certaine quantité de fer qui passe dans le laitier et blanchit la fonte.

Les fontes blanches se produisent assez souvent, dans les hauts-fourneaux marchant en fonte grise, par l'effet d'un dérangement dans l'allure du fourneau. Quand ce dérangement est de longue durée, on reconnaît que la chaleur monte au gueulard ; en même temps les fontes deviennent blanches, et les laitiers se chargent d'une grande quantité d'oxyde de fer, de sorte que le rendement en fonte est très faible. Cette élévation considérable dans la température de la cuve et le refroidissement très sensible que l'on remarque dans la température du creuset, s'explique facilement par les considérations que nous avons développées plus haut.

Un dérangement de peu de durée, comme une chute de minerai pendant quelques heures, ne produit pas sensiblement le transport de la chaleur au gueulard en raison de la masse des matières contenues dans le fourneau. Le seul symptôme de dérangement consiste dans la production des fontes blanches et des laitiers ferreux; mais quand on utilise les gaz des hauts-fourneaux pour alimenter des fours à réverbère, on s'aperçoit immédiatement du moindre dérangement survenu dans l'allure du fourneau, par l'abaissement qui se produit dans la température du four; cela tient à ce que la proportion d'oxyde de carbone contenue dans les gaz devient, comme nous l'avons vu, d'autant plus faible, que la quantité de fer brûlé devant la tuyère se trouve plus considérable.

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE LA FABRICATION DE LA FONTE EN FRANCE. Pour une usine ayant un seul haut-fourneau au charbon de bois produisant 3,000 kil. de fonte par jour, et roulant dix mois l'année, on y lancera 14 kil. d'air par minute sous une pression de 4 centim. de mercure. Le prix de revient des 100 kil. de fonte d'affinage pourra s'établir comme suit :

Frais spéciaux.

Minerai, 300k à 1f,32c les 100k. .	3f,96c	
Castine, 80k à 0f,29c les 100k. . .	0f,16c	
Charbon, 110k à 7f,00c les 100k. .	7f,70c	
Main-d'œuvre.	0f,45c	
	12f,27c	12f,27c

Frais généraux.

Cours d'eau, direction, intérêts du capital à 5 p. 100, et du fond de roulement à 6 p. 100, contributions et frais divers.	2f,73c	2f,73c
Prix de revient des 100k de fonte.		15f,00c

Lorsque les usines sont plus considérables le prix ci-dessus peut descendre jusqu'à 11 fr. Les usines marchant en fonte de moulage dépensent notablement plus de charbon, ce qui élève le prix de la fonte, qui, non compris les frais de moulage, revient de 15 à 18 fr. les 100 kil.

Dans les usines au coke le prix de revient de la fonte est beaucoup moins élevé, par suite d'une plus grande production, qui diminue les frais généraux dans une proportion considérable et du bas prix du coke, qui revient à 1 fr. 25 c. les 100 kil. ; de sorte que le prix de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

revient de la fonte au coke d'affinage descend jusqu'à 9 et même 7 fr. dans quelques usines. Celle de moulage revient de 10 à 15 fr. On consomme de 150 à 200 kil. de coke par 100 kil. de fonte d'affinage, et 200 à 300 kil. de coke pour 100 kil. de fonte de moulage de seconde fusion.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX ANCIENS PROCÉDÉS. *Emploi de l'air chaud.* Avant de décrire les divers appareils employés pour chauffer l'air, parlons d'abord des effets de l'air chaud dont l'emploi est dû à Neilson de Glascow, qui l'introduisit en 1831 dans les usines d'Écosse. Il est évident que, si l'on élève à une certaine température l'air sortant de la machine soufflante avant de le lancer dans le fourneau, la température du courant gazeux en sera d'autant plus élevée. D'un autre côté la combustion du charbon ayant lieu d'une manière beaucoup plus rapide, la zone oxydante se trouvera considérablement réduite et par conséquent la combustion du fer devant la tuyère diminuera dans la même proportion. Enfin, si nous supposons qu'on lance la même quantité d'air dans les deux cas, et que l'on augmente la charge en minerai, à l'air chaud, de manière à ce que la température du courant gazeux soit la même, après la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, qu'à l'air froid, le refroidissement pour un même volume de gaz augmentera avec la charge en minerai, de telle sorte qu'il y aura dans toute la partie supérieure du fourneau moins de chaleur à l'air chaud qu'à l'air froid, tandis que la combustion de l'air s'opérant devant les tuyères dans un espace plus resserré, la température y sera plus élevée.

On comprend donc que, quand même l'appareil à air chaud reçoit sa chaleur d'un foyer particulier, il y a économie sous le rapport du combustible à chauffer l'air. Les fontes blanches deviennent grises et même noires si l'on ne change pas le dosage des charges, parce que la température s'élève devant les tuyères et que la quantité de fer brûlé y diminue; cette économie est surtout considérable pour les fourneaux au coke à cause de l'étendue de la zone oxydante à l'air froid; on doit donc augmenter la charge en minerai jusqu'à ce que l'on soit arrivé à produire la quantité de fonte voulue; la température étant plus élevée dans le creuset, les laitiers deviennent plus fluides et on peut augmenter de beaucoup la proportion de castine si les minerais sont argileux, et diminuer celle d'herbue si les minerais sont calcaires, de manière à obtenir des laitiers plus basiques qui dépouillent mieux la fonte du soufre qu'elle renferme. Si au contraire les minerais sont exempts de soufre et si l'on travaille au charbon de bois, on pourra sans inconvénient diminuer notablement la proportion du fondant. Ces diverses propriétés ont fait adopter généralement l'emploi de l'air chaud dans les usines qui marchent en fonte de moulage. Les fontes à l'air chaud sont plus chargées en silicium que les fontes à l'air froid, conséquence naturelle d'une plus forte chaleur dans le creuset et par suite plus difficiles à affiner; aussi n'y a-t-il avantage à employer l'air chaud que pour les minerais réfractaires et non pour les minerais oxydés en grains très-fusibles. Néanmoins, beaucoup d'usines roulant en fonte d'affinage à l'air froid sont pourvues d'appareils à air chaud, dont on ne se sert que dans le cas des engorgements ou de tout autre dérangement, lorsque le creuset se refroidit et que la chaleur monte au gueulard, pour ramener le fourneau à son allure normale; c'est en effet le meilleur remède que l'on connaisse dans ce cas.

En résumé l'économie produite sur le combustible a été de 10 à 15 p. 100 dans les fourneaux au charbon de bois qui roulaient auparavant d'une manière économique, tandis que dans ceux qui consommaient beaucoup de combustible par suite de quelques vices dans la composition des charges ou la construction même des fourneaux, elle s'est élevée jusqu'à 30 et 40 p. 100. Généralement cette augmentation a été plus sensible pour les fourneaux au coke ou à la houille roulant en fonte de moulage que pour tous les autres.

La dilatation de l'air augmentant sa vitesse dans les tuyaux de conduite, il est nécessaire, pour ne pas augmenter la pression et l'effort de la machine soufflante, d'augmenter le diamètre de ces conduites et surtout celui des buses; sans cela la quantité d'air qui arriverait dans le fourneau serait moindre, et quoiqu'il y eût une plus faible consommation en combustible, la production journalière pourrait diminuer; tandis que, s'il arrive dans les deux cas la même quantité d'air dans le fourneau, la production augmentera, et par conséquent il en résultera une économie notable sur les frais généraux rapportés aux 100 kil. de fonte.

Quant à la température à laquelle il faut chauffer l'air, elle dépend de la nature du combustible et de celle des minerais, des propriétés de la fonte que l'on veut obtenir, etc.; en Ecosse, on a été jusqu'à 350° pour des fourneaux alimentés avec du combustible minéral; dans le Rutland jusqu'à 5 à 600°; à Kœnigshutte (Haute-Silésie), on n'a pu dépasser la température de 100° sans altérer notablement la qualité de la fonte; les fourneaux au charbon de bois présentent des anomalies semblables, cependant on peut dire que la température de l'air lancé dans les fourneaux alimentés au coke ou à la houille doit être généralement plus forte que pour les fourneaux au charbon de bois.

Disons maintenant quelques mots sur la disposition des appareils à chauffer l'air. Dans les fourneaux au coke ils sont presque exclusivement desservis par un foyer particulier où l'on brûle du combustible de qualité inférieure; dans les fourneaux au charbon de bois ils sont chauffés soit au moyen des flammes du gueulard, soit au moyen de gaz pris à un niveau inférieur et brûlés par un courant d'air chaud. Les gaz des fourneaux au coke ayant, comme le démontrent les recherches d'Ebelmen, un pouvoir calorifique plus considérable que celui que possèdent les gaz des fourneaux au charbon de bois, l'on réussit parfaitement à échauffer l'air qui doit alimenter les buses à tel degré qu'on le veut, sans qu'il en résulte le moindre inconvénient pour l'allure du fourneau, en faisant un peu au-dessous de la plate-forme du gueulard une prise de gaz que l'on brûle au moyen d'un courant d'air.

Les premiers appareils consistaient en longs tuyaux en fonte emboîtés les uns dans les autres et placés dans une enveloppe en briques, que parcourait la flamme. Les joints étant rapidement détruits par suite des variations incessantes de la température, on substitua à ces longs tuyaux des systèmes tubulaires coudés. L'un de ces systèmes consiste en une série de 10 ou 12 tuyaux de peu de longueur, repliés en V renversé; l'autre est un long conduit unique, plusieurs fois replié à la façon d'un serpentin. L'un est dit appareil Calder, l'autre appareil Wasseralfingen.

Dans ces appareils, une surface de chauffe de 0,50 à 0,60 de mètre carré, par mètre cube de vent à chauffer par minute, ne permet pas de porter l'air à plus de 150 à 160°, à moins de sacrifier la durée de l'appareil. Pour atteindre 300° il faut au moins un mètre carré par mètre cube d'air. En augmentant la surface de chauffe on est arrivé à 400 et 500° avec 3 et 4 mètres, et même 600° avec 5 mètres. C'est une limite supérieure qu'il est impossible de dépasser avec des appareils en fonte, cette température étant celle du rouge naissant.

Le chauffage doit être méthodique, c'est-à-dire les gaz chauds de la combustion et ceux de la soufflerie circuler en sens inverse. Quant au diamètre et à la longueur des tuyaux, ils doivent varier en sens inverse l'un de l'autre, pour un volume donné de vent et une même surface de chauffe.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les appareils Calder se composent d'une série de siphons, soit verticaux, soit fortement inclinés, dont les extrémités aboutissent à deux caisses horizontales parallèles. L'une des caisses reçoit l'air froid, l'autre éconduit l'air chaud. L'air, venant par le porte-vent froid, se partage en autant de branches qu'il y a de siphons, et s'y échauffe en les traversant; puis les courants isolés se confondent de nouveau dans la deuxième caisse, située à l'origine du porte-vent chaud. On peut, dans ce système, faire varier la section et le nombre des siphons, pourvu que la surface de chauffe reste suffisante. On ne peut guère donner aux caisses horizontales une longueur de plus de 5 ou 6 mètres.

On trouve économie sous le rapport de la simplicité des appareils et sous celui de la consommation en combustible nécessaire pour échauffer l'air, surtout à une température élevée, à remplacer l'appareil ci-dessus par l'appareil *Cabrol*. Cet appareil, fort ingénieux, consiste dans un foyer placé dans une caisse ou chambre en fonte, communiquant par le bas au régulateur de la soufflerie, et par le haut au porte-vent. L'air fourni par la machine traverse le foyer incandescent, et s'y brûle en partie, la masse s'échauffant plus ou moins, suivant la rapidité de son passage, la surface de la grille et la quantité de combustible qui s'y trouve accumulée; immédiatement après il entre dans le fourneau. Le foyer est garni intérieurement, ainsi que le porte-vent, de briques réfractaires séparées de l'enveloppe en fonte par du charbon pulvérisé, de manière à éviter les déperditions de chaleur. Le foyer et sa caisse sont renfermés dans une caisse en fonte plus grande, disposée de manière à ce que l'ouvrier chargé du service de l'appareil puisse y pénétrer à volonté, soit pour jeter le combustible sur la grille, soit pour la dégager des cendres qui peuvent l'obstruer. Des dispositions fort ingénieuses permettent de faire ce service sans arrêter la soufflerie, et l'ouvrier qui en est chargé ne souffre nullement ni de la chaleur, ni de la pression de l'air au milieu duquel il se trouve. Cet appareil ne consomme que 20 à 25 kil. de houille par 100 kil. de fonte, pour élever l'air à la température de 300 à 400°. L'appareil pour les fourneaux alimentés au charbon de bois est beaucoup plus petit; il n'a qu'une caisse servant de foyer; l'ouvrier n'y pénètre pas, il jette le bois ou le charbon de bois par en haut, au moyen d'une trémie à double tiroir; la cendre se vide à chaque coulée, lorsque la soufflerie est arrêtée. Cet appareil peu coûteux, et que l'on peut mettre en activité en moins d'une demi-heure, est surtout employé dans les hauts-fourneaux qui marchent habituellement à l'air froid, et qui n'emploient l'air chaud que dans le cas d'un dérangement dans l'allure du fourneau, qui se manifeste par le blanchiment de la fonte, l'obscurcissement de la tuyère qu'il faut dégager à chaque instant, le refroidissement du creuset et le transport de la chaleur au gueulard.

Une pratique prolongée a fait abandonner cet ingénieux système, parce qu'il était impossible d'y régler la température et le degré de désoxydation de l'air.

Pour obtenir le chauffage de l'air à un degré élevé, on abandonne les appareils en fonte, pour avoir recours aux matières réfractaires, on emploie le système Cowper qui dérive des régénérateurs des fours Siemens. On ne peut évidemment se servir directement de ceux-ci dès que l'air est comprimé. La porosité naturelle de la terre réfractaire, et surtout la multiplicité des joints, ne permettent les hautes pressions que si l'on renferme l'appareil tout entier dans une enveloppe étanche en tôle de fer, capable de résister aux tensions élevées du vent. Avec cette enveloppe, il se constitue partout à l'intérieur une pression uniforme.

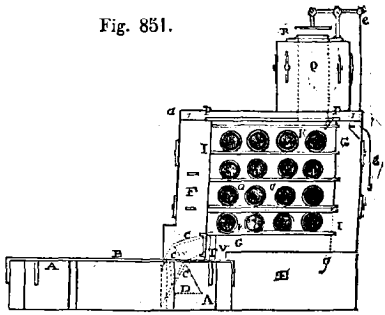
L'enveloppe a la forme d'une tour cylindrique à calotte sphérique légèrement bombée. La tour est garnie, à l'intérieur, d'un revêtement en briques, afin de protéger la tôle contre l'action oxydante de l'air chaud.

Dans cette tour, on peut disposer les briques de diverses manières, soit pour multiplier des carneaux courts, soit pour obtenir un conduit long unique. L'appareil doit être double, comme tous les appareils Siemens, c'est-à-dire qu'il faut deux appareils identiques avec carneaux et clapets pour le renversement des courants. Tandis que l'un des appareils absorbe la chaleur d'un foyer de combustion, l'autre cède au vent la chaleur précédemment absorbée par les briques. Avec cet appareil, on chauffe l'air jusqu'à 700 et 800°. Il faut alors nécessairement que les porte-vent chauds soient intérieurement garnis de briques jusqu'aux buses, afin de prévenir les pertes de chaleur et l'oxydation de la fonte. Il faut aussi, pour prévenir les effets de l'air chaud sur la fonte au travers des joints, que l'anneau en briques soit séparé de la fonte par une couche de sable de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, destinée à combler toutes les fissures.

L'analyse de ces appareils est faite de main de maître par le savant M. Grüner, dans son *Traité de métallurgie;* nous y renverrons le lecteur qui aurait besoin de renseignements plus complets sur ces appareils.

Les appareils chauffés au moyen des flammes perdues du gueulard, ou d'une prise de gaz faite dans la cuve du haut-fourneau, sont placés, soit au niveau même du gueulard, soit sur le sol de l'usine. Comme exemple des premiers, nous donnerons la description de l'appareil à serpentin horizontal, le plus employé, et établi, dès

Fig. 851.



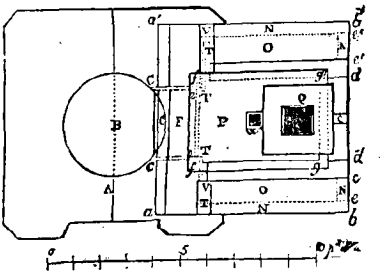


Fig. 850.

1832, par M. Faber du Faur, à l'usine de Wasseralfingen, quand il réussit à utiliser les gaz perdus dans les hauts-fourneaux (la fig. 835 montre une autre disposition de ce genre d'appareil à serpentin vertical); les figures 850 et 851 en représentent le plan et la coupe. A est la partie supérieure de la cuve; B, le gueulard; C, une doublure en fonte formant le revête-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment de l'embrasure destinée au passage de la partie de la flamme du gueulard qui est employée au chauffage du vent ; D, l'aile de la pièce C, servant à la fixer au gueulard ; E, est la sole du four à chauffer l'air ; F, G, murs du four H, renfermant les tuyaux en fonte K, dans lesquels circule l'air arrivant de la soufflerie ; une partie de la flamme du gueulard pénètre dans le four par l'embrasure C et s'échappe par la cheminée Q ; les tuyaux K sont soutenus par des plaques en fonte, et réunis deux à deux par des tuyaux courbes en fonte s'adaptant sur les brides M et situés entre les murs G et N, dont l'intervalle est rempli de débris de briques et autres matières peu conductrices de la chaleur ; ces coudes sont souvent placés à l'air libre; P, est une plaque en fonte recouverte d'une faible épaisseur de maçonnerie et formant le haut du four ; R, est une plaque en fonte terminant la cheminée ; S, le registre de la cheminée ; T, sont des portes ou coulisses servant à régler la grandeur de l'ouverture C ; V, les ouvertures latérales par lesquelles les coulisses T entrent dans le four ; ces ouvertures sont plus larges que les coulisses, en sorte qu'il reste un espace de 0m,05 environ de largeur, par lequel l'air pénètre dans le four, afin d'opérer la combustion des gaz du gueulard, ce qui augmente considérablement la chaleur dans le four ; W, est l'ouverture supérieure du four et X les portes postérieures ; on balaie de temps à autre les tuyaux par les portes W et X, pour enlever les poussières qui s'y déposent et que l'on retire ensuite par la porte Y. L'air arrive de la soufflerie dans l'un des tuyaux inférieurs et sort par l'un des tuyaux supérieurs pour se rendre aux tuyères ; les tuyaux de conduite d'air chaud sont habillés de manière à éviter autant que possible toute déperdition de chaleur. Le mastic dont on se sert pour faire les joints se compose de limaille de fer pétrie avec tout juste autant d'argile grasse et réfractaire qu'il en faut pour donner du liant à la pâte.

Les appareils placés sur le sol de l'usine sont de beaucoup préférables à ceux placés sur la plate-forme du gueulard où l'espace manque et qui ont l'inconvénient d'exiger une plus grande quantité de force motrice pour faire mouvoir la soufflerie, par suite du plus grand développement des tuyaux de conduite, aussi leur donne-t-on maintenant la préférence. On fait une prise de gaz dans le haut-fourneau, soit au moyen de une ou plusieurs ouvertures pratiquées sur les parois de la cuve, soit au moyen d'une trémie cylindrique ou conique, procédé qui a été appliqué pour la première fois, au commencement de 1836, dans les usines de Rothmershausen et de Veckerhagen (Hesse électorale). Cette trémie est en fonte, de 2m environ de hauteur, et forme la partie supérieure du gueulard ; les parois de la cuve s'élargissent depuis le niveau du gueulard jusqu'un peu au-dessous de la trémie, de manière à former un espace annulaire où se rassemble une partie des gaz qui s'échappent du fourneau, et où l'on fait une prise par un canal en briques ménagé dans le massif du fourneau et se raccordant avec un tuyau en fonte qui amène les gaz sur le sol de l'usine. On brûle ces gaz soit avec un courant d'air chaud et forcé, soit avec un appel d'air froid.

Lorsqu'on emploie un courant d'air forcé, on se sert d'un fourneau à réverbère disposé comme celui qui sert pour le *puddlage au gaz* (voir plus loin le même article), avec cette différence que la voûte est plate et très surbaissée, et la sole de forme rectangulaire ; l'air froid arrive par un tuyau carré placé transversalement près du rampant et sort chaud par un tuyau semblable, parallèle et de même forme, communiquant avec le premier par deux ou plusieurs tuyaux droits placés suivant la longueur du four ; les gaz combustibles arrivent en arrière de l'autel et y sont brûlés par de l'air lancé par quatre tuyères et préalablement échauffé par son passage à travers 4 ou 6 tuyaux disposés en travers dans la cheminée du four lui-même.

Parmi les appareils où l'on brûle les gaz à l'aide d'air froid, le plus simple, sans contredit, consiste en deux tuyaux concentriques en fonte d'un grand diamètre et placés verticalement ; on fait arriver les gaz combustibles à la partie inférieure du tuyau intérieur qui sert de cheminée, et où on les brûle par un courant d'air naturel dont on règle l'arrivée au moyen d'un registre. L'air arrive froid, de la machine soufflante, à la partie supérieure de l'espace annulaire compris entre les deux tuyaux, et s'échappe chaud à la partie inférieure pour se rendre aux tuyères.

Emploi partiel ou exclusif du bois vert, desséché ou torréfié. Les essais faits dans cette direction, en employant un mélange de bois vert ou de bois desséché et de charbon de bois, ont donné lieu, il est vrai, à une économie notable de combustible ; mais l'économie en argent a été beaucoup plus faible, et même n'existe que là où le transport du bois, des coupes à l'usine, est presque nul ; d'ailleurs, il faut employer de l'air chauffé à une température d'autant plus élevée que les charges renferment une proportion plus considérable de bois ; cette proportion, du reste, ne peut dépasser, sans danger, 0,45 pour le bois vert, et 0,60 pour le bois desséché. On peut, au contraire, remplacer entièrement, dans les fourneaux marchant à l'air chaud, le charbon de bois par du *charbon roux*, ou bois torréfié par le procédé *Echement* (voyez CARBONISATION). Le nombre des usines qui emploient le bois vert ou desséché diminue chaque année, tandis que l'usage du charbon roux tend à prendre plus d'extension. On dessèche ordinairement le bois dans des caisses rectangulaires chauffées au moyen des flammes perdues du gueulard ; pour le charbon roux, une bonne disposition à adopter dans certains cas, consiste à chauffer le vent dans un appareil placé sur le sol de l'usine, au moyen d'une prise de gaz faite sur la cuve par une trémie placée comme nous l'avons dit, et à déterminer l'appel des gaz dans l'appareil par un ventilateur aspirant placé à la suite, qui les conduirait ensuite par un canal sous la meule à torréfier ; la torréfaction se ferait donc ainsi sans dépense aucune de combustible, pour chauffer l'air destiné à opérer la torréfaction. Cette disposition procurerait une économie de 10 p. 100 sur le combustible; mais elle pourrait n'en produire aucune en argent, si la distance de la coupe à l'usine était un peu considérable ; il est d'ailleurs facile, connaissant cette distance et le prix des transports, de déterminer le degré de dessiccation, de torréfaction ou de carbonisation qu'il sera le plus avantageux de faire subir au combustible. En outre, il est à remarquer qu'il est difficile d'obtenir une allure du fourneau aussi régulière avec du bois vert ou desséché qu'avec du bois torréfié ou du charbon de bois.

Emploi de l'anthracite ou de la houille. L'anthracite est très difficile à employer dans les hauts-fourneaux, parce qu'il se délite et tombe en petits fragments par l'action de la chaleur ; cependant on est parvenu, en Angleterre et en Amérique, à l'utiliser pour la fabrication de la fonte, en le brûlant avec de l'air dont la pression soit au moins double de celle qu'exige l'emploi du coke, c'est-à-dire de 0m,15 à 0m,20 de mercure et même plus

Les houilles sèches et dures, peu collantes, peuvent être très facilement utilisées à l'état cru, sans même qu'il soit nécessaire d'employer de l'air chaud. Les houilles grasses et collantes doivent d'abord être converties en coke.

Emploi de la tourbe. On a essayé, dans quelques localités, de remplacer le bois et le charbon de bois par de la tourbe crue ou carbonisée ; la quantité considérable de cendres souvent pyriteuses que donne presque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toujours la tourbe crue et surtout carbonisée, l'altération qui en résulte dans les qualités de la fonte, ont empêché, dans presque toutes les localités, de donner suite à ces essais.

Utilisation des flammes perdues du gueulard et du gaz des hauts-fourneaux. On a principalement employé les flammes perdues du gueulard à chauffer le vent, à cuire de la pierre à chaux et des briques, à griller le minerai, et enfin à chauffer des chaudières à vapeur destinées à fournir la force motrice nécessaire au service de l'usine. Les gaz combustibles, pris dans la cuve par des ouvertures placées à une distance variable au-dessous du niveau du gueulard, sont brûlés avec de l'air et employés aux mêmes usages que les flammes perdues du gueulard, et en outre au mazéage et au puddlage de la fonte, ainsi qu'au réchauffage du fer; opérations qui exigent, surtout la dernière, les températures les plus élevées que l'on produise dans les ateliers métallurgiques. Nous reviendrons, du reste, sur ce sujet en parlant de la fabrication du fer.

TRANSFORMATION DE LA FONTE EN FER FORGÉ.

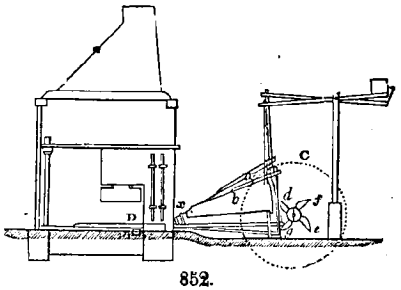
Les diverses méthodes que l'on suit pour affiner la fonte, c'est-à-dire pour la transformer en fer forgé, se divisent en deux grandes classes essentiellement distinctes sous tous les rapports, d'après la nature des appareils qu'ils emploient : d'une part, l'ancienne méthode usitée sur le continent, où l'affinage de la fonte se fait au charbon de bois dans de bas foyers à tuyères, et où l'étirage du fer affiné brut s'exécute au marteau; d'autre part, la méthode anglaise, inventée à la fin du siècle dernier en Angleterre, et dont l'usage se répand chaque jour de plus en plus sur le continent; méthode où l'affinage de la fonte se fait dans des fours à réverbère, et où l'étirage du fer affiné s'opère au moyen d'appareils particuliers qui portent le nom de laminoirs.

Nous allons étudier successivement ces deux groupes de fabrications, en commençant par le plus ancien; ils disparaissent chaque jour devant le puddlage.

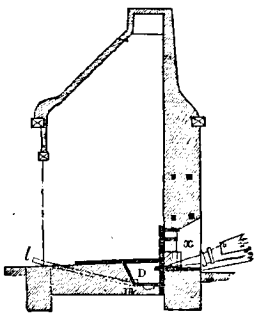
Méthodes d'affinage dans des bas foyers à tuyères, dans lesquelles on ne fait pas subir à la fonte de blanchiment préalable.

Ces méthodes se distinguent en deux classes : celles où le réchauffage et l'étirage des matières se font dans le même foyer; ce sont les méthodes *comtoise*, *champenoise*, *bourguignonne et allemande*, qui ne diffèrent guère que d'après la nature de la fonte à affiner, et la méthode *wallone* où le réchauffage du fer en mastiaux se fait dans un foyer particulier; méthode qui disparaît chaque jour, parce qu'elle donne lieu à une plus forte consommation en combustible.

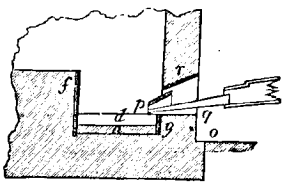
Foyer. La fig. 852 donne l'élévation d'une ancienne forge allemande, la fig. 853 en est la coupe, et les fig. 854, 855 et 856 donnent à une échelle plus grande le plan et deux coupes du foyer; ce foyer se compose essentiellement d'un creuset D (fig. 852 et 853) muni d'une tuyère x, alimentée par deux soufflets pyramidaux en bois a, b, ou tout autre machine soufflante, mus par les cames d, e, f, g, montées sur l'arbre de la roue hydraulique C; l, est une rigole par laquelle on fait arriver au besoin de l'eau sous la plaque de fond pour la rafraîchir. Le creuset est surmonté d'une cheminée assez haute. L'espace compris entre le mur et les piliers de cette cheminée est de 2m,00 à 2m,30 sur 1m,60 à 2m,00, et forme une aire plane ordinairement élevée de 0m,33 au-dessus du sol. Le creuset, ménagé à l'un des angles de la hotte, se compose de cinq plaques de fonte, et reçoit le vent du côté contigu au mur. La plaque ou taque g, qui supporte la tuyère p, s'appelle *warme*; celle f qui lui est opposée, *contrevent*; celle du devant, percée de deux trous par lesquels on fait écouler les scories, *chio* ou *laiterol*; celle de derrière, *haire* ou



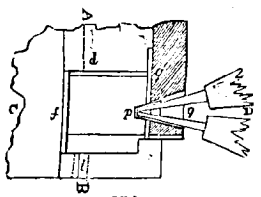
852.



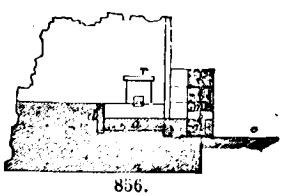
853.



855.



854.


856.

rustine, et celle du fond, *sole*. Toutes ces taques ont 0m,06 d'épaisseur, à l'exception de celle de *chio* qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

y a que 0m,03 ; elles durent plusieurs mois, le fond seul doit être changé tous les 8 ou 15 jours.

On déverse quelquefois la rustine en dehors de 0m,05 pour pouvoir sortir plus facilement la loupe ; le chio est toujours d'aplomb ; le contrevent est tantôt placé verticalement, tantôt déversé légèrement en dehors ou en dedans ; la warme est verticale pour les fontes blanches et truitées et déversée vers l'intérieur du feu pour les fontes grises. La largeur et la longueur du creuset varient entre des limites très grandes, et leurs dimensions ont peu d'importance ; il n'en est pas de même de la profondeur du feu mesurée au-dessous de l'œil de la tuyère et de l'inclinaison de celle-ci. Jusqu'à une certaine limite, la profondeur du feu doit être d'autant plus grande que les fontes sont plus grises et plus difficiles à affiner. On emploie dans les feux d'affinerie, une ou deux tuyères en cuivre rouge, quelquefois en fonte ; elles sont très plates, ce qui assure leur stabilité et permet au vent de s'étendre en nappe ; leur œil, quand il n'y a qu'une tuyère, est de 40mm sur 27mm, et quand il y en a deux, de 23mm sur 24mm, ou de 40mm sur 10mm. Une inclinaison de 7 à 8° produit la plus haute température dans la région supérieure du foyer où se trouve la gueuse, et convient, par conséquent, pour les fontes grises ou noires qui fondent difficilement, mais qui, une fois fondues, deviennent très liquides, afin que le métal puisse fondre et tomber goutte à goutte dans le bain de scories, ce qui favorise beaucoup sa décarburation. Pour les fontes blanches, truitées ou grises ordinaires qui fondent à une température peu élevée, mais qui prennent peu de liquidité et se figent promptement, on doit donner à la tuyère une inclinaison plus faible ou plus grande que celle de 7 à 8°, suivant qu'elles sont plus ou moins exemptes de matières nuisibles. Pour les fontes grises, on adopte généralement les inclinaisons de 6 à 7° et de 8 à 10° ; pour les fontes blanches et truitées, on peut choisir entre 3 et 4° et 10 à 11°. Par ce moyen, les fontes blanches et truitées fondent, non pas par gouttes comme les fontes grises et noires, mais bien par petites écailles, ce qui est nécessaire pour que la fonte soit en partie préservée de l'action oxydante des scories et ne se décarbure pas trop durant son parcours de la gueuse au fond du creuset. Si d'ailleurs la fonte est impure, ce qui nécessite un plongement de 10 à 11°, la chaleur concentrée dans la région inférieure du creuset fait que la matière ferreuse, rassemblée après la fusion dans cette partie du feu, reste à l'état pâteux pendant tout le temps nécessaire à l'oxydation complète des matières étrangères.

On donne à la tuyère une légère saillie sur la warme, afin de ménager cette taque et de rapprocher ou d'éloigner le maximum de température de la partie du creuset où se trouve la gueuse, suivant que la fonte est plus ou moins difficile à affiner. On donne quelquefois à la tuyère une légère déclinaison vers le chio, dans le but de retarder l'affinage et de favoriser l'écoulement des scories et la circulation du vent, parce que le fraisil, fréquemment arrosé d'eau dans cette partie du foyer, obstrue souvent le passage de l'air.

Nous rappellerons, d'après l'excellent Mémoire de M. Thirria (*Annales des Mines*, 3e série, tome XVIII), les dimensions et les principales circonstances du roulement des feux employés dans la Franche-Comté, en Champagne et en Bourgogne :

MONTAGE DU FEU.	FEU A UNE TUYÈRE.		
	Comtois.	Champenois.	Bourguignon.
	m. c.	m. c.	m. c.
Longueur intérieure du feu prise au niveau du dessus de la face de chio.	0,73	0,70	0,74
Longueur intérieure du feu prise au niveau du dessus de la face de chio.	0,51	0,54	0,47
Profondeur comptée sur la warme au-dessous de la tuyère.	0,21	0,18	0,17
Hauteur de la warme à l'angle de la haire.	0,16	0,12	0,11
Hauteur de la warme à l'angle du chio.	0,22	0,19	0,14
Inclinaison de la warme vers l'intérieur du feu.	0,009	0,018	0,013
Inclinaison du fond vers le contrevent, comptée sur la haire.	0,027	0,034	0,016
Inclinaison du fond vers le chio, comptée sur la warme.	0,013	0,023	0,027
Hauteur du contrevent à l'angle de la haire.	0,62	0,51	0,46
Hauteur de la haire à l'angle de la warme.	0,32	0,30	0,31
Distance du fond à la plaque de dessus le chio, prise à l'angle de la warme.	0,32	0,24	0,20
Warmage ou avancement de la tuyère dans le feu.	0,067	0,088	0,067
Plongement de la tuyère.	7° 1/4	3°	2° 1/2
OEil de la tuyère.	0,040 sur 0,027	0,040 sur 0,027	0,033 sur 0,029
Distance du centre de l'œil de la tuyère à la haire.	0,27	0,28	0,38
Distance du centre de l'œil de la tuyère au chio.	0,46	0,42	0,36
Diamètre de l'œil de chaque buse.	0,025	0,034	0,033
Distance de l'extrémité de la buse de derrière à l'œil de la tuyère.	0,067	0,055	0,067
Distance de l'extrémité de la buse de devant à l'œil de la tuyère.	0,067	0,074	0,067
Distance du fond au premier trou de chio.	0,16	0,15	0,13
Distance de son centre à la warme.	0,15	0,13	0,13
Distance du fond au deuxième trou de chio	0,19	0,17	0,15
Distance de son centre à la warme.	0,18	0,17	0,17
Diamètre de chacun des trous de chio.	0,027	0,027	0,027

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSOMMATIONS ET PRODUITS.	FEU A UNE TUYÈRE.		
	Comtois.	Champenois.	Bourguignon.
Pression moyenne de l'air aux buses, exprimée en centimètres de mercure.	3,5	3,0	2,7
Volume moyen de l'air lancé par minute, sous la pression atmosphérique, en mètres cubes. . . .	3,99	3,20	3,16
Durée de l'affinage, en minutes.	135	90	40
Quantité de fonte consommée pendant l'affinage, en kilogr.	88	66	32
Quantité de charbon de bois consommée pendant l'affinage, en mètres cubes.	0,455	0,376	0,352
Poids moyen du fer forgé donné par la loupe de chaque opération, en kilogr.	65	48	23
Production mensuelle en fer forgé de divers échantillons, en kilogr.	17,000	19,000	21,000
Fonte aux 100k de fer marchand, en kilogr. . .	135	138	140
Charbon de bois aux 100k de fer marchand, en mèt. cub.	0,700	0,685	0,634

Marteaux. Les marteaux employés dans les feux d'affinerie sont à soulèvement latéral ou à bascule : les premiers servent au cinglage des loupes et à l'étirage du fer en gros échantillons, et les autres, dits *martinets* ou *makas*, à l'étirage du petit fer.

Parlons d'abord des marteaux à soulèvement. Leurs têtes se font généralement en fonte, et on durcit leur panne à la coulée, en disposant dans le moule une pièce de fonte très épaissee sur la partie correspondante à cette face, de telle sorte, qu'elle se trouve, en un mot, coulée en coquille.

Les *manches* et les *rabats* se font en bois de hêtre, de frêne ou de charme de premier choix. Le point par où les cames soulèvent le manche est protégé par une large patte en fer dite *braye*. L'extrémité du manche est emmanchée dans une bague à tourillons, appelée *bogue* ou *hurasse*, qui contient l'axe de rotation du marteau. L'*enclume* est en fonte, la table doit avoir été dressée après la coulée; on la place sur plusieurs pièces de bois de fort équarrissage, plantées verticalement dans le sol et maintenues par des cadres entourés de maçonnerie; ce système, dit *stock*, ne peut être solidaire avec la fondation des autres parties du système. Souvent on encastre l'enclume dans une grosse pièce de fonte ou *chabotte*, qui repose sur le stock ; dans tous les cas, on doit donner à l'enclume un poids au moins triple de celui du marteau pour qu'elle puisse amortir les chocs. La table de l'enclume et la panne du marteau doivent bien coïncider dans toute leur étendue. L'axe longitudinal de l'une de ses surfaces, au lieu d'être parallele à l'arbre des cames, est tourné en dehors, afin que les cames ne puissent pas saisir les barres. et afin que les longues barres ne soient pas arrêtées par les supports du rabat. L'*ordon* ou charpente d'un marteau à soulèvement, se compose : 1° de deux montants ou jambes qui reçoivent les tourillons de la hurasse ; 2° de deux colonnes placées de file derrière l'intervalle des jambes et recevant le rabat ; 3° d'une fondation qui assure la solidité de tout le système. Actuellement on confectionne en fonte les jambes de la hurasse et les supports du rabat.

Le poids des marteaux à soulèvement que l'on emploie ordinairement varie de 200 à 400k ; leur *levée*, qui est généralement en raison inverse de leur poids, est comprise entre 0m,80 et 0m,55, et le nombre de coups qu'ils battent par minute varie de 90 à 120.

La *force motrice* dépensée pour le service d'un marteau s'obtient en kilogrammètres, au moyen de la formule $2x = 0{,}05 \cdot p \cdot n \cdot c$, dans laquelle p, désigne le poids de la tête du marteau augmenté de celui des cales et de celui de la partie du manche qui pèse sur la tête, quantités additionnelles que l'on peut estimer aux 2/5 du poids de la tête ; n, le nombre de coups par minute ; et c la levée. Soit, par exemple, un marteau dont la tête pèse 300k et pour lequel $n = 100$ et $c = 0^m,60$, on aura $x = 630$ kil. mèt. $= 8{,}4$ chev. vap. (à 75 kil. mèt. par chev. vap.). On a supposé dans l'établissement de la formule précitée que les frottements de toute nature et l'action du rabat absorbent à peu près la moitié du travail utile et que le moteur rend 50 pour 100 de la force réellement dépensée en eau et en vapeur.

Les fig. 857 et 858 représentent un marteau à soulèvement avec ordon en fonte, d'après le modèle adopté en dernier lieu dans les usines de la Silésie. (*Extrait de la Métallurgie du fer de Karsten*, tome V.)

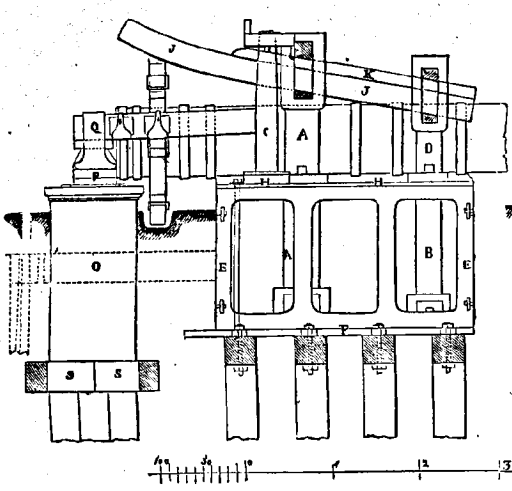
Les deux colonnes de fonte A et B, ainsi que les deux jambes C et D de l'ordon, sont maintenues solidement par une caisse en fonte enterrée et fixée sur les sommiers en bois, dont chacun s'emboîte avec deux forts pilotis, comme l'indique le dessin. La caisse en fonte se compose d'une plaque de fond F, d'un cadre rectangulaire dont les côtés sont E et G, et d'un chapeau H. Q, tête du marteau ; L, hurasse dont les tourillons tournent dans des coussinets fixés aux jambes C, D ; J, rabat et sa couverture K, calés à l'aide de coins en bois, et servant à limiter la levée du marteau ; M, arbre moteur en chêne portant un collier sur lequel sont montées cinq cames en fonte ; le palier qui soutient le tourillon qui termine cet arbre repose sur un madrier en chêne soutenu par le sommier N, qui à son tour se trouve fixé sur des pilotis. Enfin le stock O en bois de chêne qui porte l'enclume P, dont la panne, parallèle à celle du marteau Q, forme un angle aigu avec l'axe de l'arbre des cames, repose sur deux sommiers bien reliés entre eux et fixés sur cinq pilotis ; il porte à la partie supérieure une plaque en fonte qui l'emboîte, et dans laquelle se trouve une ouverture octogone pour recevoir la chabotte de même forme.

Le poids de la tête des *martinets* varie de 50 à 250 kil. ; la volée est de 0m, 50 à 0m,60 pour les martinets les plus forts; de 0m,35 à 0m,45 pour les moyens; et de 0m,25 à 0m,30 pour les plus petits ; le nombre de coups par minute varie de 140 à 300, les plus faibles battant le plus vite. L'enclume porte souvent une *étampe* forgée, à laquelle on donne la forme de l'échantillon que l'on veut obtenir ; dans ce cas, la tête du marteau porte une étampe semblable.

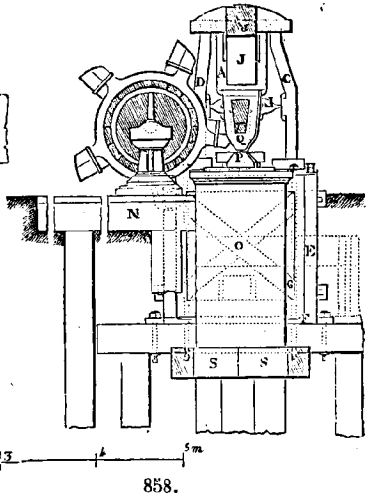
Les ordons des martinets ne se composent, pour ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dire, que de deux montants en bois ou en fonte assemblés dans des semelles, et consolidés par des moises ou traverses. On doit pouvoir y fixer solidement des cra-



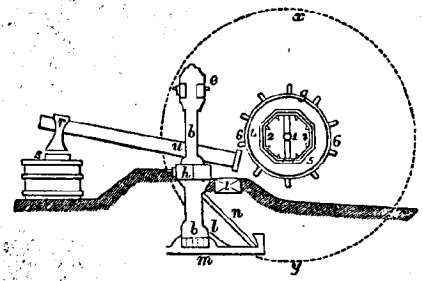
857.



858.

paudines et pouvoir les changer avec facilité. Les fondations peuvent être établies comme celles du marteau à soulèvement que nous venons de décrire. Le manche porte à l'arrière une forte frette en fer munie d'une *touche* sur laquelle viennent agir les cames; la partie inférieure de la frette est renforcée et vient buter contre le *tas*, ce qui limite l'étendue de la levée.

La fig. 859 est l'élévation du martinet habituelle-



859.

ment employé dans les forges allemandes : 1, axe de rotation de la roue hydraulique motrice *x y*, sur lequel est monté le collier 2 3, de l'arbre des cames 4 5 6; *h*, *l*, *m*, *n*, fondations supportant les jambes *b* du marteau, qui sont réunies à la partie supérieure par les traverses *c*; *u*, manche, et *r*, tête du marteau; *s*, enclume; *t*, tas destiné à limiter la levée du marteau et formé par l'extrémité d'une solive en bois élastique.

Méthode comtoise.

Un feu comtois est desservi par six ouvriers travaillant en deux postes, qui se relèvent après l'affinage de quatre loupes, lequel dure environ 8 heures. Les trois ouvriers dont se compose un poste sont deux forgerons et un valet, dit *goujat*. Un manœuvre, dit *releveur de charbon*, transporte le charbon de la halle dans la forge. Un des quatre forgerons a le nom d'*affineur*, et monte le feu; un autre, dit *marteleur*, soigne le marteau, mais le plus souvent le marteleur est en même temps affineur. Les deux forgerons de service font tour à tour une loupe et forgent toujours le fer qu'ils ont obtenu. En France, l'affineur et le marteleur reçoivent ordinairement 10 fr. par mois en sus du prix de fabrication, réglé à forfait, à raison de 16 fr. par 1,000^k de gros fer, et de 18 fr. par 1,000^k de petit fer. Comme un feu comtois produit par mois 18,000^k de gros fer ou 16,000^k de petit fer, l'affineur et le marteleur gagnent chacun 80 à 85 fr. par mois, et les deux autres forgerons 70 à 75 fr.; les goujats sont payés au mois et gagnent 18 à 20 fr.; il en est de même du releveur de charbon qui gagne habituellement 30 fr. par mois. En Belgique et en Allemagne, le salaire des ouvriers est notablement moindre.

Conduite de l'affinage. — Chargement. Dès que la dernière loupe est sortie du feu, on met *avant*, c'est-à dire qu'on avance dans le feu la gueuse placée sur un rouleau et disposée perpendiculairement à la tuyère. Il doit y avoir un espace de 0^m,03 à 0^m,04 entre la gueuse et le contrevent, pour que le vent puisse agir le mieux possible sur la fonte tout en s'élevant dans le dessus du feu; il faut, en outre, que le dessous de la gueuse se trouve à 0^m,10 ou 0^m,12 au-dessus de la nappe formée par le vent, et que son extrémité soit éloignée au moins de 0^m,30 de la face du chio. Dans cette position, la fonte fond goutte par goutte, ce qui est nécessaire pour le succès de l'opération; car si on faisait fondre la gueuse par écailles, comme dans le traitement des fontes blanches et truitées (1), en l'exposant plus directement au vent, l'affinage serait plus long et plus difficile; c'est seulement quand la fonte est noire et graphiteuse, qu'on place la gueuse au milieu du feu pour la faire fondre plus facilement; mais on ne le fait qu'après le chauffage des massiaux.

La gueuse convenablement placée, on met par dessus, du côté du contrevent, des *sornes* ou scories riches de l'opération précédente mélangées de battitures et scories très riches ou *embrecelats*, on remplit le foyer de charbon, on couvre celui-ci d'une ou deux pelletées d'embrecelats, puis on donne le vent. Les scories riches, qui fondent promptement, sont destinées à former le lit de sorne, sur lequel la matière ferreuse provenant

(1) On n'affine ordinairement, par la méthode comtoise que des fontes grises.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la fusion de la gueuse doit reposer immédiatement pendant toute la durée de cette partie de l'opération, ainsi que le bain de scories pauvres qui doit la recouvrir pour la préserver de l'action directe du vent. On règle la quantité de ces additions de manière à ne conserver que la portion de scories riches nécessaire pour l'affinage, car un feu comtois qui roule bien doit consommer toutes les scories riches qu'il produit.

Fusion. Pendant que la fonte nécessaire à la formation d'une loupe se liquéfie et que le marteleur et le goujat procèdent au cinglage et à l'étirage de la loupe précédente, le forgeron chargé de la conduite de l'affinage, n'a autre chose à faire qu'à régler le vent au moyen d'un registre placé au dessus des buses; entretenir le feu de charbon de manière à ce qu'il forme toujours bien la voûte, sans se crever, suivant l'expression des ouvriers; déboucher l'un des deux trous du chio, pour donner écoulement aux scories surabondantes, savoir : le trou inférieur, quand les scories entrent facilement en fusion, et le trou supérieur, quand il a fallu plus de temps pour les liquéfier ; placer sur le feu de l'embrecelat pour remplacer les scories pauvres qui se sont écoulées par le chio ; commander au goujat d'avancer la gueuse dans le feu toutes les fois que cela est nécessaire; dégager avec une tige de fer la tuyère lorsque les scories l'obstruent; retourner de temps à autre les pièces qui chauffent; projeter dans le creuset soit un peu de sable quarzeux, soit un peu d'argile, si les scories ne sont pas assez abondantes, ce qu'on reconnaît à ce que le feu donne des étincelles claires, ou si elles ne sont pas suffisamment liquides ; sonder le feu de temps en temps avec un ringard, pour reconnaître la nature des scories et celle de la matière ferreuse; enfin, arroser le devant du feu, pour se garantir d'une trop grande chaleur, et pour empêcher que le fraisil ne soit emporté par le vent. Le chargement et la fusion de la fonte durent 1 heure 25 minutes environ.

Travail. Aussitôt que la dernière pièce à forger est retirée du feu, le forgeron fait retirer la gueuse par le goujat de manière à l'empêcher de fondre, et alors commence la seconde partie de l'affinage qu'on nomme le *travail*, parce qu'elle est réellement pénible pour le forgeron. Son premier soin est de ramener au-dessus de la masse ferreuse les sornes ou scories endurcies qui se trouvent entre elle et le fond du foyer; à cet effet, il les soulève avec le ringard, en les plaçant dans les angles et le long des bords du chio ; puis il les tire sur cette plaque avec un crochet en fer, et il en sépare les parties ferreuses qui y sont adhérentes pour les reporter vers le feu. Cette première manœuvre se nomme le *désornage*, et dure environ 5 minutes.

Après le désornage, le forgeron procède au *soulèvement* proprement dit, qui consiste à soulever avec le ringard la masse ferreuse au-dessus du niveau de la tuyère, pour en exposer les différentes parties à l'action décarburante du vent. Lorsque le fer à demi-affiné est redescendu sur la plaque du fond, sur lequel il repose immédiatement depuis le désornage, le forgeron le perce avec son ringard pour reconnaître quelles sont les parties qui ont encore besoin d'être exposées au vent. Celles dont la couleur est rouge et qui n'adhèrent que faiblement au ringard doivent être soumises de nouveau à l'action décarburante de l'air, tandis que les parties ferreuses d'une couleur blanche qui s'attachent fortement au ringard, et dont il ne peut dégager cet outil qu'en frappant dessus avec son marteau, doivent être abritées du vent et placées, à cet effet, soit contre la haire, soit contre le contrevent. Le forgeron, du reste, favorise l'épuration du métal, en jetant, à plusieurs reprises, dans le feu, de l'embrecelat et des débris *stifflet*, qui s'étaient attachés au ringard. Le feu est peu garni de charbon pendant cette seconde partie de l'affinage; la masse ferreuse est presque toujours à découvert, et le vent, qui est lancé avec toute son intensité, forme à la surface du foyer des gerbes brillantes, composées de parcelles de scories en fusion et de charbon incandescent. Le soulèvement dure moyennement 25'.

L'affinage se termine par l'*avalage*, opération qui consiste à réunir avec le ringard les parties ferreuses, et à en former une boule au centre du foyer. A cet effet, après avoir diminué le volume du vent, le forgeron écarte, avec le ringard, les sornes et le fraisil qui peuvent gêner l'agglomération des parties ferreuses; puis il forme la loupe, en les réunissant successivement à un noyau situé vers le milieu de la plaque du fond. On achève l'opération en jetant sur la loupe une pelletée d'embrecelat, dans le but de la refroidir et de lui faire prendre une consistance convenable pour la sortir du feu. Cela fait, les deux forgerons retirent la loupe, d'abord en la soulevant avec des ringards, puis en la tirant avec des crochets sur la plaque de chio.

Affinage par attachement. Dans beaucoup d'usines, surtout en Allemagne, on ne sort pas tout le fer en une seule fois, mais par parties : on profite du moment où la matière entre pour la dernière fois en fusion pâteuse, pour retirer du foyer les parties du métal qui sont complétement affinées, tandis que l'opération se continue comme à l'ordinaire à l'égard du reste de la masse. A cet effet, l'affineur promène son ringard au-dessous du gâteau soulevé, en le maintenant à peu près dans un plan horizontal passant par la tuyère, et en le faisant tourner sur lui-même, il y attache des parties ferreuses ; il retire l'outil, le plonge dans l'eau pour refroidir le fer, et recommence la même manœuvre jusqu'à ce qu'il ait formé un petit lopin de 8 à 10 kilogr. que l'on porte de suite au marteau pour l'étirer. Ce travail connu sous le nom d'*affinage par attachement*, peut durer jusqu'à ce que toute la masse soit descendue au fond du creuset; il procure une économie de temps et de charbon, et le fer qui en résulte est toujours d'une qualité supérieure, sans que les parties qui restent dans le creuset pour former la loupe, se trouvent détériorées; il serait à désirer que ce procédé prît en France une plus grande extension.

Forgeage. La loupe étant retirée du feu et déposée sur le sol de l'usine, le goujat la frappe à coups de masse aux deux points opposés qui doivent former les extrémités de la *pièce* ou du *massiau principal*, puis on la laisse refroidir quelques instants pour qu'elle ne se désunisse pas sous le marteau, on la cingle, et on la coupe avec le *hacheron* en deux *massiaux* qui ont $0^m,30$ à $0^m,35$ de côté en carré. L'un de ces massiaux est placé dans le feu entre la gueuse et la tuyère, de manière que son extrémité plonge dans le bain de scories qui recouvre la matière ferreuse, sans atteindre celle-ci, dont le contact produirait une cémentation qui rendrait le fer cassant (1). L'autre massiau est posé sur la tuyère et recouvert de charbon. Dès que le premier massiau est hors du feu, on le remplace par le deuxième. On forge le premier massiau sur la moitié de sa longueur en une barre de l'échantillon qu'on veut avoir, et qui se termine par un bout de dimensions un peu plus fortes qu'on nomme *bordon* ou bout de barre. Ce premier forgeage du massiau est appelé la mise en *maquette*, et on donne à sa partie non forgée le nom de tête de maquette. Quand la mise en maquette est achevée, on plonge dans une auge remplie d'eau la barre et le bout de la barre, jusqu'à ce qu'ils soient assez refroidis pour

(1) La seule partie du foyer où la température puisse être portée au blanc soudant, est celle où l'on place la pièce qu'on se propose de forger immédiatement. Elle se trouve à $0^m,10$ ou $0^m,12$ de l'extrémité de la tuyère, et l'on retourne plusieurs fois la pièce afin d'y faire arriver successivement toutes les parties qui doivent être chauffées au blanc soudant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on puisse les saisir; on introduit alors la tête de maquette dans le feu en l'appuyant sur la tuyère. Le deuxième massiau ayant atteint la température du blanc soudant, on le remplace par la tête de maquette du premier massiau; et quand il a été converti à son tour en barre, bout de barre et tête de maquette, on fait refroidir dans l'eau la partie forgée, et on place la deuxième tête de maquette au-dessus de la tuyère, jusqu'à ce qu'on ait retiré du feu la première. Celle-ci, après une chaude suffisante, est passée au marteau et forgée en barre et bout de barre. On place ensuite le bout de barre dans le feu, à côté de la tête de maquette du deuxième massiau, qui, après une chaude suffisante, est étirée de même en barre et bout de barre. Ces forgeages terminés, il ne reste plus qu'à étirer les quatre bouts de barre.

Conduite du vent. La quantité de vent lancée dans le feu va en augmentant jusqu'à la période du soulèvement; elle diminue ensuite constamment jusqu'à la fin de l'opération.

Consommations et déchets. Nous les avons donnés dans le tableau p. 21.

Modifications à apporter aux dispositions ordinaires pour l'affinage des fontes autres que les fontes grises. Pour l'affinage des *fontes noires* : 1° on donne au vent une inclinaison de 7 à 8°; on fait warmer les tuyères de 0m,10 au lieu de 0m,08 à 0m,09, et on fait pencher le warme un peu plus qu'à l'ordinaire vers l'intérieur du feu; 3° lorsqu'il y a deux tuyères, on place celle de derrière 0m,03 à 0m,04 plus près de la haire, tant pour élever la température dans la partie postérieure du feu où se trouve la gueuse, que pour rendre plus facile le soulèvement de la masse ferreuse; 4° on augmente la profondeur du feu en la portant à 0m,23; 5° on a soin d'ajouter une plus forte proportion de scories riches; 6° on augmente le volume du vent, surtout lors du soulèvement de la matière ferreuse que l'on expose davantage et plus longtemps à l'action du vent.

Pour l'affinage des fontes *blanches* et *truitées* : 1° on donne au vent une inclinaison moindre ou plus grande que celle de 7 à 8°, en la réduisant à 3 ou 4°, ou en la portant à 10 ou 11°; 2° la warme est placée bien verticalement, et on fait seulement avancer les tuyères dans le feu de 0m,05 à 0m,06; 3° lorsqu'il y a deux tuyères on rapproche la tuyère de devant de 0m,03 à 0m,04 du chio, pour abaisser la température dans la partie postérieure du foyer où se trouve la gueuse; 4° on diminue la profondeur du feu, prise au-dessous de l'œil de la tuyère, en la réduisant à 0m,17; 5° on incline le fond un peu moins vers le contrevent; 6° on ajoute moins de scories riches; 7° enfin, on diminue l'intensité du vent à toutes les époques de l'affinage, et on expose moins longtemps, lors du soulèvement, la matière ferreuse à l'action décarburante du vent.

Méthode allemande.

Dans cette méthode, la fonte à affiner arrive ordinairement des hauts-fourneaux en plaques minces que l'on casse en fragments et que l'on charge sur le contrevent avec un mélange de scories riches et de battitures. Quand l'étirage de la loupe précédente, qui dure de 2 à 3 heures, est terminé, on enlève les charbons du foyer, et on continue à donner le vent, 20 à 30 minutes, pour refroidir le bain. On fait alors écouler complétement les scories; la masse ferreuse, quoique peu affinée, prend alors par le refroidissement une consistance pâteuse, et est ordinairement soulevée à trois reprises différentes. Dans le premier soulèvement, la masse se divise en morceaux que l'ouvrier ramène les uns après les autres devant la tuyère pour les faire fondre de nouveau, et dont il favorise l'affinage de manière à ce qu'en redescendant au fond du creuset, ils se prennent en une masse qu'il puisse soulever sans qu'elle se divise en morceaux. Cette masse portée devant la tuyère entre en fusion pâteuse et redescend au fond du creuset. On la soulève alors de nouveau, en l'appuyant contre le contrevent et, après avoir ramené les charbons embrasés au milieu du feu, on la renverse par dessus, on la recouvre de combustible frais et on la porte à la plus haute température possible. L'opération se termine par l'avalage, quand la masse est redescendue au fond du creuset : on enlève souvent une partie du fer par attachement.

La quantité de fonte qu'on traite en une opération varie de 100 à 150k; la loupe transformée sous le marteau en parallélipipède grossier, est ordinairement divisée en cinq lopins que l'on forge dans l'opération suivante. La durée d'une opération est de cinq à neuf heures, ce qui tient en partie au poids trop faible des marteaux, qui prolonge de beaucoup la durée du forgeage.

Dans l'affinage des fontes sulfureuses et phosphoreuses, on ajoute dans toutes les périodes de l'opération une certaine quantité de chaux carbonatée en poudre, dont la proportion varie de 2 à 10 p. 100 du poids de la fonte. Cette addition favorise la production d'un fer nerveux et l'élimination du phosphore et du soufre.

Méthode champenoise.

L'affinage champenois diffère de l'affinage comtois, sous plusieurs rapports que nous allons indiquer : 1° La gueuse, au lieu d'avoir son extrémité dans le foyer, à 0m,30 au plus de la face du chio, doit en être éloignée de 0m,05 à 0m,06 seulement, pour que, mieux exposée à l'action du vent, elle fonde par écailles et non goutte à goutte, la fusion par gouttes favorisant trop la décarburation de la fonte; 2° le forgeron détache à plusieurs reprises de la gueuse, pendant la fusion, par un coup de ringard, son extrémité amincie, dans le but de retarder la décarburation de la matière ferreuse; 4° les diverses parties de l'affinage, et surtout le soulèvement, sont menées plus rapidement; 4° on n'ajoute pas de loupe, mais seulement 3 à 4 kil. de battitures par loupe, au lieu de 8 à 10 kil. nécessaires dans l'affinage comtois; 5° au lieu de diviser la loupe en deux massiaux, lorsqu'elle est cinglée, on n'en fait qu'une seule pièce qu'on nomme *renard*, et qui est forgée en barre, bout de barre et tête de maquette; on chauffe ensuite le bout de barre que l'on étire en barre; la tête de maquette n'est chauffée et étirée que dans l'opération suivante, de sorte qu'on chauffe au commencement de chaque opération du fer provenant des deux opérations précédentes; le déchet est un peu plus grand et la consommation en combustible un peu plus faible que dans un feu comtois (voir le tableau donné plus haut).

Pour l'affinage des fontes grises et noires on change le montage du fer champenois de manière à se rapprocher des dispositions du feu comtois, tandis que pour celui des fontes tout à fait blanches, au contraire, on diminue l'inclinaison de la tuyère, son avancement dans le feu et sa distance à la haire, la profondeur du feu, l'inclinaison du feu vers le contrevent, et l'intensité du vent à toutes les époques de l'affinage, enfin, on n'ajoute que peu ou point de scories riches.

Méthode bourguignonne.

L'affinage bourguignon diffère essentiellement des affinages comtois et champenois en ce qu'il ne comprend que deux périodes distinctes, *la fusion* et *l'avalage*. On affine surtout par ce procédé des fontes blanches.

Comme il n'y a pas de soulèvement, il est nécessaire que la fonte se décarbure en majeure partie dans le trajet qu'elle fait en tombant de la gueuse au fond du creuset; en conséquence, elle doit fondre par gouttes comme dans l'affinage comtois et non par écailles, comme les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fontes truitées soumises à l'affinage champenois; à cet effet on approche la gueuse à 0m,24 ou 0m,26 de la face de chio; en outre, on ne casse pas ou au moins on ne casse que rarement avec le ringard le bout de la gueuse, pour la faire tomber dans le creuset au milieu de la matière ferreuse. On ne jette non plus jamais dans le feu, pendant l'opération, des morceaux de sorne, des scories riches ou des battitures. Il faut remarquer d'ailleurs que l'affinage produit une très petite quantité de sorne, que le forgeron retire du feu, quand la loupe en a été extraite, et qu'il place sur la gueuse, avec une pelletée de battitures, pour que le tout, en fondant, forme le bain qui doit garantir la matière ferreuse de l'action du vent.

Dans la méthode bourguignonne, la gueuse est placée au milieu du feu, quand on forge en maquette le massiau donné par la loupe. Dans cette position qu'elle occupe pendant les 8 à 10 minutes nécessaires pour le forgeage des bouts de barre, elle fond plus rapidement que quand elle se trouvait près du contrevent, et la fonte qui s'en détache produit, pour le moins, autant de matière ferreuse que celle qui est tombée dans le foyer pendant les 20 à 25 minutes écoulées depuis le commencement de l'opération.

Une autre différence consiste à ce que l'on étire chaque fois, dans le feu bourguignon, du fer provenant de trois affinages successifs, savoir : la tête de maquette du renard ou massiau obtenu avec la loupe de l'avant-dernière opération, le massiau donné par la loupe de l'opération précédente, et le bout de barre provenant de la loupe faite avant celle qui a donné la tête de maquette.

Le déchet sur la fonte est plus fort et la consommation en combustible moindre dans un feu bourguignon que dans un feu comtois ou champenois (voir le tableau p. 21.

Pour affiner dans les feux bourguignons des fontes autres que les fontes blanches, on rapproche le montage du feu de celui des feux champenois ou comtois, on augmente l'intensité du vent et on ajoute des scories riches pendant les diverses périodes de l'affinage, dans une proportion d'autant plus grande que la fonte est plus grise.

Théorie de l'affinage dans les feux d'affinerie.

Les analyses de M. Ebelmen ont montré que, arrivé près du contrevent, le courant gazeux avait une action oxydante nulle ou du moins très peu énergique, la décarburation de la fonte s'opère donc seulement, pendant la première période de l'affinage par sa réaction sur les scories basiques qui remplissent le creuset, et dont l'action, par conséquent, est d'autant plus énergique que la profondeur du feu est plus grande; cette réaction est évidemment plus vive lorsqu'on fait fondre la fonte en gouttes, au lieu de la faire fondre en écailles comme dans la méthode champenoise. Dans cette première période, l'affinage s'opérant par l'oxygène d'une partie du protoxyde de fer renfermé dans les scories, il n'y a pas oxydation d'une partie du fer contenu dans la fonte, et par conséquent pas d'autre déchet que celui dû au départ du carbone, du silicium, etc., déchet qui serait plus que compensé par le fer réduit. D'un autre côté, les scories basiques sont réduites à la surface du bain par le contact du charbon, et ramenées graduellement, par l'une et l'autre cause, à l'état de silicate neutre dit *scories crues*, beaucoup plus pauvres et plus fluides, que l'on fait écouler par les trous du chio.

Dans la deuxième période de l'affinage, la masse ferreuse à demi-affinée, sorte d'éponge métallique imbibée de scories crues, est soumise directement à l'action oxydante du vent, et c'est là sans doute l'origine du déchet considérable que subit la fonte. Une partie du carbone restant encore dans la fonte se brûle directement par l'oxygène de l'air avec une quantité de fer correspondante, et l'oxydation du fer détermine une grande élévation de température qui produit de nouveau la fusion du métal. Les scories crues qui imprégnaient le fer sont changées en scories très basiques, et cette circonstance, jointe à l'élévation de température produite par l'oxydation du fer, augmente leur action décarburante.

Dans les feux bourguignons où l'on traite des fontes très faciles à affiner, on ne fait pas de soulèvement, mais on produit un effet analogue, quoique moins énergique, en fondant une partie de la gueuse à une faible distance de la tuyère, de manière à ce que le vent exerce sur elle, pendant cette partie de la fusion, une action décarburante.

Perfectionnements introduits dans les méthodes d'affinage précédentes. — Emploi de l'air chaud. L'air chaud est employé avec avantage dans les feux d'affinerie, surtout pour l'affinage des fontes à l'air chaud; il diminue de 10 à 16 p. 100 la consommation en combustible, et de 3 à 7 p. 100 celle de la fonte, en augmentant de 8 à 10 p. 100 la production en fer dans un temps donné. La température à laquelle on chauffe l'air doit être en rapport tant avec la nature des fontes à traiter qu'avec celle des combustibles que l'on emploie, et le montage du feu doit être modifié comme nous l'indiquerons plus loin.

Dans les feux d'affinerie qui marchent au charbon de bois, et où l'on traite des fontes obtenues au charbon de bois et à l'air froid, la température la plus convenable est de 80 à 120° pour les feux comtois et allemands, de 130 à 150° pour les feux champenois, et de 160 à 180° pour les feux bourguignons; ces limites peuvent être élevées de 40 à 50° pour les mêmes feux traitants des fontes obtenues au charbon de bois et à l'air chaud; pour l'affinage des fontes produites à l'air chaud avec un mélange de charbon de bois et de bois vert ou desséché, il faut agir à peu près comme pour les fontes obtenues au charbon de bois et à l'air froid; enfin, la température pour chaque feu doit être élevée progressivement, à mesure qu'on y porte une proportion plus considérable de bois desséché ou vert, de telle sorte qu'elle doit être de 260° pour des feux roulant uniquement au bois desséché, et qu'elle doit s'élever à 360°, lorsque l'affinage se fait au bois vert seul.

Lorsque la température de l'air chaud n'excède pas les limites qui viennent d'être indiquées, suivant la nature des fontes soumises à l'affinage, et qu'on opère d'ailleurs dans le montage du feu les changements convenables, les produits obtenus sont d'aussi bonne qualité que ceux qui proviennent de l'affinage à l'air froid.

Les modifications qu'il convient d'apporter dans le montage des feux roulant à l'air chaud et au charbon de bois consistent à diminuer leur profondeur, ainsi que l'inclinaison de la tuyère, et à augmenter l'orifice des buses proportionnellement à la température de l'air lancé.

On échauffe ordinairement l'air dans un système de tuyaux placés, soit directement au-dessus du feu, soit dans la cheminée d'un four à réchauffer alimenté par les flammes perdues du feu d'affinerie.

Emploi du bois vert ou desséché, seul ou mélangé de charbon de bois. Lorsqu'on fait usage du bois vert ou desséché, il est nécessaire d'employer, comme nous l'avons dit plus haut, de l'air chauffé à une température élevée. Ordinairement on n'emploie que du charbon de bois seul ou mélangé de très peu de bois vert ou desséché, pendant la fusion de la fonte et le forgeage de la loupe; lorsqu'on ne consomme pendant toute la durée de l'affinage que du bois vert ou desséché, il faut, comme dans la méthode wallonne, réchauffer le fer dans un foyer séparé, habituellement alimenté à la houille. Quoique ces divers procédés procurent une économie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

notable sur le combustible végétal, ils n'ont pas été généralement adoptés, parce qu'on a trouvé que les fers obtenus avaient une contexture très variable, d'où il résultait que la fabrication n'avait pas cette uniformité qui est si importante pour des produits de bonne qualité, et à laquelle on parvient facilement dans les feux d'affinerie alimentés avec du charbon de bois.

Emploi des feux voûtés. Un perfectionnement introduit maintenant presque partout en France, est l'emploi des *feux voûtés*; ces feux sont enveloppés au moyen de trois grandes plaques de fonte placées régulièrement du côté du chio, du contrevent et de la haire; le quatrième côté étant toujours fermé par la paroi de la hotte que traversent les tuyères. Ces plaques sont percées toutes les trois d'ouvertures convenables pour le travail, et sont reliées à une hauteur de 1m,30 à 1m,50 par une voûte en briques surmontée d'une petite cheminée. Afin de favoriser l'aspiration des vapeurs qui résultent du fréquent arrosage de la plaque de travail, et qui pourraient incommoder les ouvriers, on crée une espèce de cheminée d'appel, en laissant un vide de 0m,10 de largeur entre la face intérieure de la hotte et la paroi extérieure de la plaque de devant. Les feux couverts produisent une économie de 15 à 20 pour 100 sur le combustible.

Utilisation des gaz perdus. La composition des gaz qui s'échappent des foyers d'affinage, prouve qu'ils ont encore un pouvoir calorifique qui est au moins les 0,90 de celui que le combustible consommé était susceptible de produire; aussi conçoit-on que l'on puisse en tirer un parti avantageux. On les emploie ordinairement pour le réchauffage du petit fer, la production de la vapeur d'eau, la dessiccation du bois, l'échauffement de l'air, etc.; on obtient ainsi moyennement dans un feu comtois, un effet égal à celui que produit un fourneau ordinaire dans lequel on brûlerait 30 kil. de houille de première qualité, ce qui correspond à une force de 7 à 8 chevaux-vapeur. Les feux suivis de fourneaux peuvent être montés pour le travail en gueuses ou pour l'affinage de fontes en saumons; dans ce dernier cas, on ménage, entre le feu d'affinerie et le four à réverbère, une aire sur laquelle on porte préalablement la fonte au rouge. Cet échauffement préalable accélère la fusion de la fonte à un tel point, que l'on doit se borner à réchauffer les plus grosses pièces dans le feu et achever le forgeage au moyen des fours à flammes perdues, qui donnent toujours une température suffisante pour l'étirage subséquent.

Les divers procédés à suivre pour utiliser la chaleur que renferment les gaz des foyers d'affinerie, ou au moins des procédés tout à fait analogues ayant été décrits avec détails ou devant l'être dans le courant de cet article, nous nous contenterons de faire remarquer, quant aux dimensions des fours à réverbère employés pour le réchauffage du fer, que leur sole a ordinairement de 1m,60 à 2 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur; que la hauteur moyenne de la voûte au-dessus de la sole est de 0m,25 à 0m,33; que l'introduction des gaz et de l'air nécessaire à la combustion, appelés naturellement par l'ouverture de travail, a lieu sur toute la largeur du four et sur une hauteur de 0m,16 environ; qu'on divise ordinairement la sole en deux ou trois compartiments, qui forment autant de fours à température graduée; et enfin, qu'on donne à la cheminée placée à la suite du four une hauteur de 10 à 12 mètres, et une section de 0m,40 sur 0m,20.

Dès 1843, nous avons vu à Kilianshütte (grand duché de Hesse) brûler les gaz d'un feu d'affinerie, qui alimentaient un four à réverbère pour fer de tirerie, avec de l'air chaud et forcé, arrivant par neuf trous pratiqués dans un tuyau de fonte placé en travers, dans le raccordement des voûtes du foyer et du four. Plus récemment on est parvenu à Montblainville, en France, à employer ces gaz pour le puddlage de la fonte, en alimentant le feu d'affinerie avec un mélange de charbon de bois et d'une très forte proportion de bois torréfié ou desséché. Les dispositions adoptées ne diffèrent, du reste, en rien de celles usitées dans le *puddlage au gaz* (voyez plus loin).

Méthodes d'affinage dans des bas foyers, à tuyères, où l'on fait subir d'abord à la fonte une préparation particulière.

On peut préparer la fonte à l'affinage par le *blanchiment*, le *mazéage* et le *grillage*. La première et la dernière opération n'ont d'autre but que d'accélérer l'affinage ultérieur; la seconde sert en outre à améliorer la qualité du fer.

Le *blanchiment* s'opère, soit en coulant la fonte, au sortir du haut-fourneau, en plaques minces, dans des lingotières en fonte, et en l'arrosant avec de l'eau tandis qu'elle est encore rouge, soit en la faisant arriver dans un trou creusé dans le sol, l'y arrosant, et la retirant à mesure qu'elle se solidifie à la surface, en plaques minces ou *blettes* du poids de 10 à 12 kil.

Le *mazéage* a pour objet, tant de blanchir la fonte, que de lui enlever une partie du silicium et du phosphore qu'elle peut renfermer. On peut l'opérer dans les hauts-fourneaux mêmes, lorsque ceux-ci sont très petits, comme dans l'Eiffel, par exemple : à cet effet, on soumet la fonte réunie dans le creuset à l'action du vent, pendant une ou deux heures avant la coulée, en inclinant la tuyère du fourneau vers le bas; mais ordinairement le mazéage se fait, soit dans des foyers analogues au foyer d'affinerie et alimentés avec du charbon de bois, soit dans des fours à réverbère. On le fait toujours suivre d'un blanchiment au moyen d'un refroidissement brusque; nous conseillerons de couler toujours la fonte mazée dans des moules en fonte enduits de chaux ou de calcaire, ce qui améliore sa qualité et diminue le déchet à l'affinage.

On soumet au *grillage* les fontes, soit brutes, soit déjà blanchies ou mazées. Le grillage, du reste, ne sert qu'à décarburer la fonte, et agit avec beaucoup plus d'énergie sur la fonte blanche que sur la fonte grise.

Cela posé, il ne nous restera plus que quelques mots à dire sur les principales méthodes d'affinage qui rentrent dans cette section.

Méthode nivernaise.

La fonte, ordinairement grise, est refondue dans un foyer de mazerie au charbon de bois, avec 1/10e en poids environ de scories riches d'affinage; on traite environ 500 kil. de fonte en trois heures. La fonte mazée est coulée sur une aire de brasque humide, et refroidie brusquement par une projection d'eau. L'affinage de la fonte blanche caverneuse obtenue, se fait comme dans la méthode bourguignonne par petites loupes de 30 à 40 kil., et exclusivement par l'action des scories riches. L'affinage est conduit très lentement, ce qui tient en partie à ce que les moyens d'étirage sont trop faibles, et chaque opération dure 3 heures 1/2.

Méthode de Styrie.

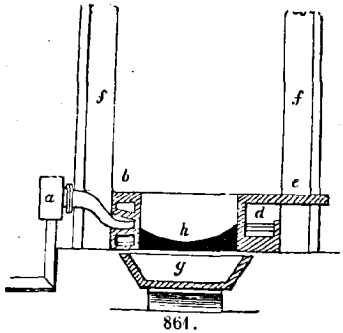
En Styrie et en Carinthie on coule ordinairement la fonte, au sortir des hauts-fourneaux, en blettes que l'on grille à l'air libre et que l'on affine comme précédemment; seulement les loupes sont beaucoup plus grosses et pèsent de 70 à 80 kil.

Méthode du sud du pays de Galles.

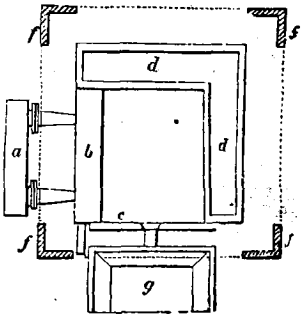
On traite par cette méthode des fontes au coke, et l'on cherche à obtenir du fer doux et de qualité supérieure pour la fabrication du fer-blanc. A cet effet, on soumet d'abord la fonte à un mazéage dans une finerie au coke (voir ci-après), placée soit isolément, soit de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

manière à ce que la fonte mazée puisse couler immédiatement dans le foyer d'affinerie; on affine ensuite le plus rapidement possible la fonte mazée, par le brassage avec des scories riches dans un feu d'affinerie au charbon de bois; on retire le fer à demi affiné, on le réduit sous le marteau en plaquettes de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, que l'on jette dans l'eau pour les refroidir; enfin on soumet ces plaquettes réchauffées à la houille, à un corroyage qui se fait d'abord au marteau, puis au laminoir.



861.



860.

Méthodes d'affinage dans des fourneaux à réverbère.

L'affinage de la fonte dans des fourneaux à réverbère fut inventé, dit-on, par deux Anglais, nommés Cort et Parnell, en 1787, et appliqué d'abord aux fontes au coke. Les premiers essais faits sur de la fonte brute laissèrent beaucoup à désirer. Plus tard, on essaya d'imiter l'opération du mazéage, pratiquée depuis longtemps dans beaucoup de forges à l'allemande pour l'affinage des fontes au charbon de bois, c'est-à-dire de refondre la fonte au coke dans des foyers à tuyères semblables aux feux d'affinerie ordinaires, puis de la couler en plaques minces, dites *fine-métal*, que l'on soumit à un refroidissement brusque. On affina alors le fine-métal dans des fours à réverbère dits fours à puddler, et le fer défectueux résultant de ce travail fut soumis à des chaudes et à des corroyages réitérés, dans des fours à réchauffer, pour lui donner les qualités voulues par le commerce.

Les perfectionnements introduits depuis quelques années dans la fabrication de la fonte et dans l'opération du puddlage, permettent, dans le plus grand nombre des cas, de se passer du finage, et diminuent le nombre des corroyages nécessaires pour obtenir du fer de bonne qualité. Cependant, on est toujours obligé de recourir au finage pour les fontes très impures qui peuvent se présenter de temps à autre, et lorsque l'on veut obtenir des fers de première qualité.

La rareté toujours croissante du combustible végétal dans l'est de la France, a déterminé la plupart des maîtres de forges à le consacrer exclusivement à la fabrication de la fonte, et à affiner celle-ci dans des fours à réverbère alimentés à la houille. Le réchauffage se fait dans des bas foyers à tuyères, et l'étirage au marteau, ce qui caractérise cette méthode dont nous parlerons dans un article séparé.

Enfin, nous terminerons les méthodes d'affinage au four à réverbère, en parlant des fours chauffés au moyen des combustibles gazeux provenant soit des hauts-fourneaux mêmes, soit de générateurs spéciaux.

Méthode anglaise.

Finage. Le finage ou mazéage des fontes peut s'opérer, soit dans des fours à réverbère, soit dans des foyers à tuyères appelés fineries; ce dernier procédé est le plus généralement employé.

Le finage élimine une grande partie du silicium et du phosphore que renferment les fontes, mais il ne diminue pas la proportion de soufre qu'elles peuvent renfermer; il est utile lorsque les minerais sont siliceux et réfractaires, lorsque le combustible dont on dispose est très chargé de cendres, et lorsqu'on emploie l'air chaud ou un fourneau dont l'ouvrage est élevé et rétréci, circonstances qui favorisent la formation d'une fonte très-siliceuse et impure.

Les fig. 860 et 861 donnent le plan et la coupe d'un fourneau anglais; celle-ci se compose de quatre parties : le creuset, les tuyères, la cheminée et la lingotière.

Le creuset *h* est un espace rectangulaire dont le fond est faiblement incliné de l'arrière à l'avant; les parois sont formées par trois bâches en fonte grise, *d*, *d*, constamment rafraîchies par un courant d'eau froide; le devant du foyer, qui achève le rectangle, est fermé par une plaque de fonte *c*, dans le milieu de laquelle on a ménagé, à la partie inférieure, une ouverture pour faire la coulée. Le fond du creuset est formé d'une sole en briques réfractaires recouverte d'une couche de sable pur.

Une finerie a quatre et le plus souvent six tuyères *a*; celles-ci sont composées d'une double enveloppe en tôle forte, dont l'intervalle est traversé par un courant d'eau, afin qu'elles ne se brûlent pas trop promptement; elles sont fixées sur chaque côté du creuset, de manière à ce que chacune d'elles occupe la ligne médiane des deux tuyères opposées.

Chacune des bâches latérales *d*, est recouverte par une plaque de fonte *b*, sur laquelle est fixée une grande plaque de fonte appelée *côtière;* les côtières forment le revêtement intérieur et latéral d'une finerie jusqu'à la naissance de la cheminée. Celle-ci est en briques ordinaires, et supportée par des plaques horizontales en fonte qui reposent sur d'autres plaques verticales très épaisses, *f*, *f*, que l'on nomme *piliers*.

En avant du creuset se trouve une lingotière en fonte *g*, composée de plusieurs parties jointives, et revêtue intérieurement de terre grasse; c'est dans cette lingotière que l'on fait écouler le fine-métal. On l'y laisse se solidifier, puis, lorsqu'il est encore presque rouge, on le plonge dans une bâche à eau placée à la suite de la lingotière.

La longueur du creuset est de $1^m,25$ et sa largeur de 1 mètre, pour six tuyères; sa profondeur varie de $0^m,20$ à $0^m,30$, suivant que les fontes sont plus ou moins faciles à affiner. L'inclinaison des tuyères varie de 8 à 25°, suivant que les fontes sont plus ou moins difficiles à affiner; on leur donne une saillie de $0^m,10$ à $0^m,12$. L'œil des buses varie de $0^m,03$ pour les fontes blanches à $0^m,04$ pour les fontes grises.

Le personnel d'une finerie se compose de deux brigades d'ouvriers qui se relèvent par poste de douze hommes, chaque brigade se compose d'un maître fineur et de son aide; le travail se continue sans interruption pendant une semaine.

Le seul combustible que l'on emploie dans les fineries est du coke.

On charge d'abord un lit de scories riches de puddlage

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ou du finage même, au-dessus du coke dont on a rempli le foyer jusqu'au dessus des tuyères, puis 1200 à 1500^k de fonte sur les tuyères en remplissant l'intervalle compris avec du coke, puis on donne le vent en maintenant le creuset plein de coke. Lorsque la fonte est fondue, on fait écouler s'il est nécessaire une partie des scories ; au bout de 1 heure environ la fusion est complète, et l'on brasse de temps à autre le bain pour renouveler les surfaces. Au bout de 2 heures environ, l'opération approche de sa fin, on reconnaît ce point, soit à la nature des scories qui deviennent très liquides, soit en prenant un essai avec une cuillère en fer, refroidissant le métal avec de l'eau, et le cassant pour apprécier son grain, qui doit être blanc et présenter une structure lamellaire et radiée.

On coule en perçant avec un ringard pointu le tampon d'argile placé au bas de la plaque de devant. Le fine-métal sort le premier, les scories après, et le tout se rend dans la lingotière en fonte dont nous avons parlé. Pendant que les dernières scories coulent du foyer, l'aide fineur verse quelques seaux d'eau dans la lingotière pour étonner les scories et refroidir la coulée, et quand le métal est solidifié on le traîne dans un bassin rempli, puis on le casse en fragments.

Si le métal en coulant dégage peu d'étincelles, on a coulé trop tôt ; si au contraire il dégage une foule innombrable d'étincelles faibles, blanches, et formant sur la surface du bain une vapeur blanchâtre assez abondante, l'opération a été poussée trop loin ; dans les deux cas il donnera au four à puddler un déchet considérable et un fer de mauvaise qualité. Le finage a été convenablement conduit, lorsque le fine-métal dégage, à sa sortie du foyer, beaucoup d'étincelles assez volumineuses et lancées à une certaine distance sans être accompagnées de flammes ; le produit est alors caverneux au quart ou au tiers de son épaisseur.

Le déchet dans les fineries varie de 5 à 18 p. 100 ; on consomme 35 parties de coke pour 100 parties de fine-métal obtenu. Chaque opération dure de 2 1/2 à 3 heures

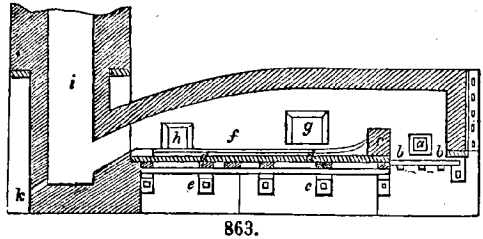
Lorsqu'on opère le finage dans des fours à réverbère, on obtient généralement un déchet moindre ; on dispose souvent ces fours de manière à ce que l'on puisse y charger ou y faire arriver la fonte encore liquide sortant du haut-fourneau.

Les fours à réverbère ont deux tuyères placées sur le même côté ou sur deux parois opposées du fourneau, assez fortement plongeantes et dirigées de manière à imprimer au bain un mouvement giratoire plus ou moins rapide. Pour accélérer le finage, on ajoute souvent après la fusion de 2 à 10 p. 100 de minerai de fer pur, ordinairement hydraté, qui diminue en même temps le déchet.

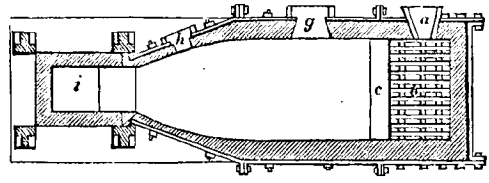
Puddlage. Le puddlage, ou le travail qui s'exécute dans les fours à puddler, est l'affinage proprement dit, c'est-à-dire l'opération par laquelle on convertit le fine-métal ou la fonte en fer ductile. Il consiste, en deux mots, à faire fondre la fonte sur la sole du four, et à la brasser avec des scories riches, des battitures, etc., au contact de la flamme, jusqu'à ce qu'elle ait à peu près perdu tout son carbone. On forme alors avec le fer affiné des balles d'environ 40^k appelées *loupes*, que l'on soumet à des corroyages réitérés pour les transformer en fer marchand.

Les fours à puddler sont de deux sortes, les *fours pleins* et les *fours à air* ou *fours bouillants* ; dans les premiers l'enceinte de la sole est massive ; dans les seconds, d'invention plus récente, il règne autour de la sole un canal vide qui livre passage à un courant d'air et permet de rafraîchir les parois exposées au contact du métal et de la plus forte chaleur : ce sont du reste ceux dont l'usage est actuellement le plus répandu.

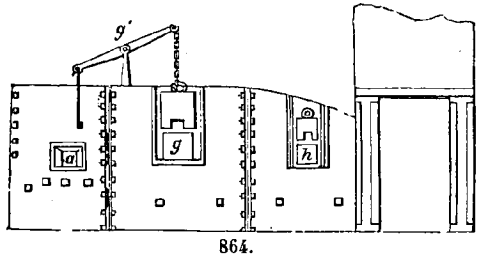
Les fig. 862, 863 et 864, donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un four à puddler à parois pleines ; *a*,



863.

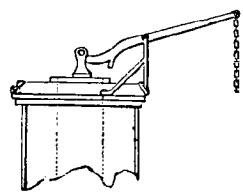


864.



864.

est la porte par laquelle on charge le combustible sur la grille *b* ; *d*, *d*, les plaques en fonte qui forment le fond de la sole et sont soutenues sur des pièces en fonte *e*, *e*, encastrées par leurs extrémités dans les taques latérales du four ; *f*, est la sole en sable ou en scories ; *g*, l'embrasure de travail, dont on manœuvre la porte à l'aide d'une chaîne et d'un levier fixé sur la potence *g'*, au milieu de cette porte est pratiqué un trou de 0^m,12 de côté qui permet de brasser la fonte au moyen de ringards, sans ouvrir la porte, et que l'on peut également fermer au moyen d'une petite plaque de fonte ; *h*, porte par laquelle on charge d'abord la fonte près du rampant pour lui faire subir un échauffement préalable ; *i*, cheminée munie d'un registre, comme l'indique la figure 865, servant à régler le tirage ; *k*, trou de floss par lequel s'écoulent les scories.


865.

Les cheminées peuvent servir à un seul four ou être communes à plusieurs fours. La cheminée d'un four isolé est à double paroi ; l'intérieure, qui sert au passage de la flamme, est construite en briques réfractaires, l'extérieure en briques ordinaires, et ces deux parties sont séparées par un espace vide, dans lequel on fait circuler de l'air pour rafraîchir la paroi intérieure. La cheminée exigeant rarement des réparations, tandis

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que le four doit être souvent réparé, il est nécessaire de rendre ces deux parties indépendantes l'une de l'autre; la même observation s'applique aux deux parois de la cheminée; enfin, il faut diminuer autant que possible le poids de la construction. Pour satisfaire à ces conditions, on soutient la maçonnerie extérieure de la cheminée, en bas, par des piliers et des marâtres en fonte, et on l'allège en la formant de deux étages, l'un d'une brique et l'autre d'une demi-brique, et en réservant dans l'étage inférieur, sur deux faces opposées, des embrasures qui servent en outre à réparer la gaîne en briques réfractaires. Quant à cette dernière, on l'appuie de distance en distance contre la maçonnerie extérieure par des voûtes qui permettent de la réparer à différentes hauteurs, sans la détruire au-dessus de l'endroit où l'on travaille. Le tout doit être fortifié par un système d'ancrage convenable.

Il arrive souvent que l'on accole les fours à puddler par deux ou par quatre, et qu'on leur donne alors une cheminée commune; dans ce cas, lorsque deux courants de gaz arrivent dans la même cheminée par deux ouvertures opposées, il est nécessaire de placer une cloison à l'endroit où les deux courants viennent se rencontrer, pour qu'ils se recourbent en frappant la cloison et ne se confondent qu'au moment où ils ont pris la même direction.

Dans les fours à air, les deux autels sont creux; les parois latérales sont également creuses et formées du côté du four par des plaques de fonte; le courant d'air qui s'établit dans les canaux ainsi formés, lorsqu'on chauffe le four, rafraîchit ces plaques et les empêche de fondre. Cependant, il faut veiller à ce que la fonte que l'on traite dans le four n'arrive pas en contact avec les plaques latérales; on y parvient en garnissant l'enceinte qui doit renfermer la fonte de pierres calcaires, que l'on maintient dans leur position avec des scories liquéfiées.

Dans les fours à air on économise des briques, et les réparations sont moins fréquentes que dans les fours pleins; mais ces fours sont plus froids et exigent du combustible de meilleure qualité et en quantité plus considérable; d'un autre côté, l'emploi de la pierre calcaire, qui ne peut avoir lieu que dans les fours à air, exerce sur la qualité du fer que l'on affine une influence d'autant plus avantageuse que le combustible dont on se sert est plus sulfureux, et que la fonte est plus impure.

L'autel d'un four à puddler doit être réparé tous les quinze jours; les parois de la sole et le rampant tous les deux et demi à trois mois; et la voûte et le bas de la cheminée, au bout de huit à neuf mois.

Voici les dimensions d'un four à puddler ordinaire : la grille est carrée et a $1^m,10$ de côté; il y a 13 barreaux de $0^m,05$ de côté, placés à $0^m,55$ en contre-bas du grand autel; celui-ci à $0^m,25$ de large et est à $0^m,33$ au-dessus de la sole; le petit autel, près du rampant, est à la même hauteur que le grand autel et a $0^m,21$ de largeur; le seuil de la porte de travail est au niveau des autels; la sole a de $1^m,80$ à $2^m,00$ de long, $1^m,10$ de large près du grand autel, $0^m,48$ près du petit autel, et $1^m,75$ vis-à-vis la porte de travail; la hauteur à la clef de la voûte est de $0^m,30$ au-dessus des autels; le fond du rampant est incliné d'environ 45° à l'horizon, et sa largeur est de $0^m,33$; la hauteur totale de la cheminée est de 12 à 15^m, et sa section intérieure est carrée et de $0^m,45$ de côté.

Le prix d'un four à puddler tel que nous venons de le décrire, avec cheminée particulière, est de 3,500 à 4,000 fr.

Le personnel d'un four à puddler se compose de quatre ouvriers, deux puddleurs et deux aides, qui se relèvent deux par deux par poste de douze heures.

La sole du four se fait en sable ou en scories. Les soles en sable sont assez rarement employées, et ne peuvent servir que pour les fours pleins. Les scories que l'on emploie pour les soles varient suivant la nature des fontes à affiner. Pour les fontes blanches, on emploie des scories de puddlage; pour les fontes grises, il faut une sole plus réfractaire que l'on prépare avec de vieilles soles concassées, des crasses du marteau, ou des sornes de feux d'affinerie au charbon de bois. Dans tous les cas on réduit les scories en menus fragments, dont on forme sur la plaque de sole une couche d'environ $0^m,08$ d'épaisseur; on donne alors un fort coup de feu, et lorsque les scories sont entrées en fusion pâteuse, ce qui exige plusieurs heures de feu, on égalise leur surface avec une palette rouge; la sole ainsi égalisée ne doit plus avoir, après cette opération, qu'une épaisseur de $0^m,03$ à $0^m,05$, suivant qu'on veut affiner de la fonte blanche ou de la fonte grise.

On puddle sur une sole en scories, soit par bouillonnement, soit à l'eau, procédés que nous allons décrire succinctement.

Puddlage par bouillonnement. Le four étant chauffé au rouge blanc, on y introduit 230 kil. de fonte avec 25 p. 100 de battitures. Le chargement opéré on ferme la porte, on la cale solidement, et on la lute aussi hermétiquement que possible; elle reste ainsi fermée jusqu'au moment où l'on veut retirer les loupes. Le registre de la cheminée est complétement levé. Quand la fusion commence à avoir lieu, c'est-à-dire quand le métal se désagrège et perd sa consistance, on baisse le registre et l'on remue sans rien ajouter, jusqu'à ce que les scories couvrent la fonte. On ouvre alors entièrement le registre, puis on brasse et on retourne le métal à tour de bras, à droite et à gauche, jusqu'à ce que le fer ait pris nature. Dans cette période les scories se gonflent, et le bouillonnement devient tellement vif que le four qui, auparavant, paraissait presque vide, se remplit jusqu'au dessus de la porte, et il devient quelquefois impossible au puddleur d'empêcher qu'une partie des scories ne s'échappe par dessus le seuil de celle-ci. A mesure que le fer s'affine, le bouillonnement diminue et les scories s'affaissent. Quand le fer a pris nature, c'est-à-dire quand il a perdu sa liquidité, qu'il est devenu grumeleux et d'un blanc éclatant, on le retourne pour présenter successivement toutes ses parties au courant d'air, puis on le découpe pour faire blanchir les parties noires ou mal affinées qui peuvent s'y trouver, après quoi on forme les balles comme il sera indiqué plus loin. Les balles achevées, on les porte sous le marteau, en commençant par celle qui a été formée la première. L'opération terminée, on fait écouler les scories par un trou placé au-dessous du seuil de la porte, avant de faire une nouvelle charge.

On suit quelquefois dans l'affinage par bouillonnement une seconde méthode, qui ne diffère de la précédente que parce que l'on emploie 50 p. 100 de battitures, et qu'on laisse le registre constamment ouvert. L'affinage est un peu plus rapide, mais, d'après quelques maîtres de forges, le fer perd en qualité.

Passons maintenant au *ballage* ou formation des balles : aussitôt que le fer commence à prendre nature, l'ouvrier le pousse, par portions, avec un ringard près de l'un ou l'autre autel, puis au moyen d'un autre ringard, dit *rabot*, dont l'une des extrémités est aplatie et repliée en équerre, il nettoie le côté libre de la sole, en amenant à la surface de l'amas le fer qui peut encore rester sur le côté; il répète ensuite cette manœuvre, jusqu'à ce que le fer se prenne en morceaux isolés qui résistent à la pression du ringard. Lorsque l'affinage en est à ce point, l'ouvrier partage la masse de fer en 4, 5 ou 6 morceaux, suivant qu'il veut former 4, 5 ou 6 balles. S'il y a un plus grand nombre de morceaux, il en réunit plusieurs ensemble en les pressant avec son rabot; dans cette opération, il doit avoir soin de bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faire blanchir les morceaux à l'endroit de leur réunion, en les exposant au point où se développe la plus forte chaleur. A mesure que l'ouvrier *dégrossit* ainsi les balles, il les range près du grand autel ; il nettoie ensuite le côté libre de la sole avec le rabot, et s'il s'y trouve des morceaux de fer épars, à demi-affinés, il les attire vers la porte, où ils ne tardent pas à perdre leur carbone ; ces morceaux servent à compléter les balles trop faibles. Quand ce travail est achevé, l'ouvrier prend la balle qu'il avait mise la dernière de côté, l'amène avec le rabot près de la porte, la serre un peu, la met à la grosseur convenable, soit à l'aide des morceaux épais dont nous venons de parler, soit en en coupant un morceau avec un ringard, puis il la repousse du côté libre de la sole ; il fait faire ainsi un tour de sole à toutes les balles, et il termine ce travail par le nettoyage de la place devenue libre. Dans cet état, les balles sont dites *ébauchées ;* pour les *finir*, l'affineur prend la balle qu'il a ébauchée en dernier lieu, il la serre et l'arrondit avec le rabot et il la pousse du côté libre de la sole, puis il traite successivement de même toutes les autres balles ; immédiatement après on peut les cingler en commençant par celle qui a été finie la première, ou bien on les laisse encore pendant quelques minutes près de l'autel et loin de la porte, en fermant le registre qui était resté constamment levé pendant tout le ballage. On doit s'abstenir de jeter du combustible récent dans le foyer, et même de piquer la grille aussi longtemps que les balles ne sont pas encore ébauchées ; car alors ces balles se trouvent dans un état de porosité et de division extrêmes, les fuliginosités qui se développent au moment où l'on fait le feu les rendraient difficiles à souder.

Un autre moyen de former les balles consiste à prendre avec le rabot un noyau de métal et à le rouler sur la sole ; il ramasse ainsi les fragments les plus affinés du fer qui recouvre la sole ; lorsque la balle est assez grosse, on la roule près du grand autel ; les autres balles se font de la même manière. Ce procédé paraît devoir mériter la préférence.

En résumé, dans l'affinage par bouillonnement, on fait dix à onze fournées lorsqu'on traite de la fonte grise, douze à treize en fonte blanche, et quinze à seize avec du fine-métal ; le déchet est de 7 à 9 p. 100. On consomme environ 100 kil. de houille par 100 kil. de fer ébauché ; enfin on se sert presque toujours de fours à air, ce qui leur a aussi fait donner le nom de fours bouillants.

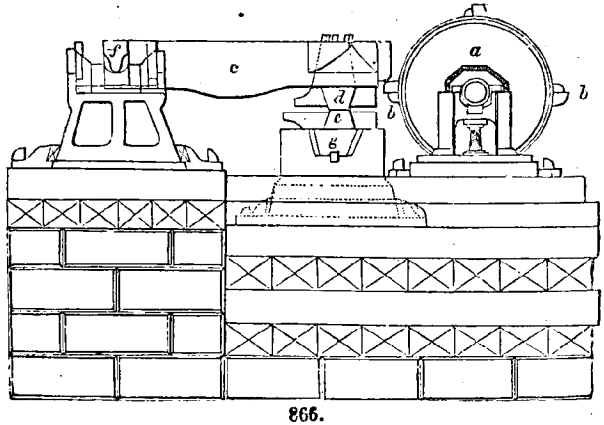
Puddlage à l'eau. C'est la méthode de puddlage la plus ancienne, où on n'emploie que des fours pleins. On charge la fonte sans scories. Dès qu'elle commence à rougir, on la remue souvent en frappant dessus pour la briser ; quand elle est en morceaux de la grosseur d'une noix et près de fondre, on baisse le registre, puis on jette de l'eau sur les parties qui menacent d'entrer en fusion. Au lieu d'eau seulement, on se sert quelquefois d'eau avec de la limaille, ou de la tournure de fonte ou de fer ; on poursuit cette manœuvre, en continuant à briser la fonte et à la retourner à droite et à gauche, jusqu'à ce que la fonte soit à l'état pulvérulent ; on ouvre alors un peu le registre et on ramène le feu ; on remue la fonte, qui ne doit jamais devenir liquide, et on continue ainsi jusqu'à ce que le fer ait pris nature, en augmentant le feu de plus en plus jusqu'à la fin. On emploie environ 100 litres d'eau par fournée ; on ne peut faire que huit fournées en fonte grise et dix en fonte blanche par vingt-quatre heures ; le déchet sur la fonte est de 14 à 15 p. 100. L'eau que l'on ajoute favorise l'élimination du soufre, et par conséquent le fer devient meilleur à chaud que dans l'affinage par bouillonnement, mais il convient moins bien pour les objets qui, comme les rails, doivent présenter une grande résistance à froid.

On modifie maintenant souvent la méthode précédente, en donnant un bon coup de feu après le chargement de la fonte, pour la mettre en fusion ; lorsqu'elle est à peu près liquéfiée, on baisse le registre et on jette peu à peu sur la sole une grande quantité d'eau, jusqu'à ce que la fonte soit arrivée à l'état pulvérulent. On lève alors peu à peu le registre et on augmente graduellement la chaleur jusqu'à ce que le fer ait pris nature. Après quoi on forme les balles. On emploie environ 20 litres d'eau par fournée. Les résultats sont les mêmes que par la première méthode à l'eau, seulement le déchet est moindre et ne s'élève que de 10 à 13 p. 100.

Puddlage sur sole en sable. On ne peut puddler sur sable qu'avec des fours pleins, et d'après l'ancienne méthode à eau, la nécessité de conserver la sole exige que la fonte reste à l'état pulvérulent, et n'entre pas en fusion ; on ne peut du reste traiter par ce procédé que de bonnes fontes blanches au charbon de bois ou du fine-métal. On ne passe que neuf charges par 24 heures, le travail est beaucoup plus difficile et le déchet est de 15 à 25 p. 100. (Voy. FOURS TOURNANTS).

Corroyage du fer puddlé. On cingle les balles, soit sous un marteau, soit sous un *squeezer*, puis on les passe immédiatement entre les cylindres ébaucheurs d'un laminoir.

La fig. 866 donne l'élévation du marteau frontal le plus généralement employé, et des fondations sur lesquelles il repose ; tout le marteau est en fonte ; *a* est la bague à cames montée sur l'arbre moteur et portant quatre cames *b*, *b*, qui viennent soulever le marteau *c*, par l'une de ses extrémités dite *front* ; *f*, sont les tourillons autour desquels tourne le marteau ; *d*, est la panne du marteau et *e* la table de l'enclume encastrée dans la chabotte *g*. La panne du marteau est formée de 3 parties : la première sert à cingler les loupes, la seconde à rassembler et à parer le fer, et la troisième est particulièrement destinée à l'étirage ; on leur donne une pente légèrement oblique remontant du côté de l'ouvrier afin de faciliter l'écoulement des scories du



866.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

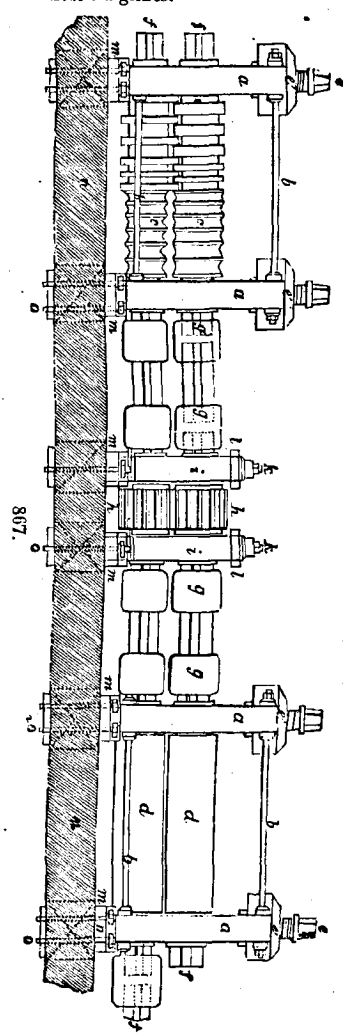
côté opposé. La table de l'enclume est formée de parties exactement semblables à celles du marteau et placées symétriquement. Le poids de la tête du marteau varie de 2000 à 6000k, sa levée de 0m,40 à 0m,60 et le nombre de coups par minute est de 80 à 100. Afin que le marteau ne retombe pas à faux sur l'enclume lorsque le cinglage est terminé, ce qui les briserait presque à coup sûr, on saisit le moment où la tête parvient à sa plus grande hauteur, et on place debout, sous l'un des bords antérieurs du marteau, une barre de fer qui porte le nom de *valet* ou *bonhomme;* pour remettre le marteau en activité, il suffit de présenter sous son front une tige de fer : au passage d'une came il est un peu soulevé; on enlève alors le valet et le marteau retombe.

Au lieu d'employer le marteau frontal pour cingler les loupes, on se sert souvent du *squeezer*, aussi connu sous le nom de *presse* et *machine à maquer;* il dépense moins de force, coûte peu, n'exige guère de réparations dispendieuses, et se meut sans bruit, sans choc et sans danger pour ceux qui le desservent. Le squeezer a la même forme que les CISAILLES droites, seulement les mâchoires du squeezer, au lieu d'être formées de lames à angles vifs et se rencontrant par leurs bords, comme dans la cisaille, sont, au contraire, larges et se rapprochent de manière à comprimer les corps interposés, sans les couper. Une seule des mâchoires est mobile et elle offre sur le dessous un évidement dans lequel se fixe, au moyen de boulons à tête perdue, une plaque de fonte munie dans le sens transversal de cannelures destinées à mordre sur la loupe pour l'empêcher de glisser.

Un *train de laminoir* se compose ordinairement de deux *équipages* ou *jeux* de cylindres et des appareils nécessaires pour les mettre en mouvement. Dans chaque équipage, il y a au moins deux cylindres superposés, présentant des rainures ou *cannelures* rondes, carrées, plates ou profilées, selon la forme que l'on veut donner au fer; ces cylindres ont leurs axes dans un même plan vertical et tournent en sens contraire. Les cylindres *c, c,* de chaque équipage (fig. 867), sont soutenus par deux cages *a, a,* en fonte, renfermant des coussinets en bronze dans lesquels se meuvent les tourillons. Chaque cage est munie d'une vis de pression en fer *e*, à filets carrés, mobile dans un écrou de bronze et servant à maintenir les cylindres l'un sur l'autre lorsque leur position a été convenablement réglée. Les cages de chaque jeu de cylindre sont reliées entre elles par de forts boulons à clavettes *b;* elles sont calées très solidement sur de grandes plaques de fonte *m*, fixées elles-mêmes, par des boulons *o*, sur une charpente de fondation *n*.

Dans un même train, les cylindres des équipages respectifs communiquent entre eux par des allonges en fonte, sous forme de trèfles comme les extrémités *f* des cylindres, sur lesquelles glissent des manchons présentant un creux de même forme et dont l'épaisseur est réglée, de manière à ce qu'en cas de surcharge extraordinaire de la machine par l'effet des résistances à l'étirage, ils cassent avant tout autre pièce; on maintient l'écartement de deux manchons voisins, au moyen de tringles en bois couchées dans les cannelures de l'allonge, et liées avec une simple corde.

En tête de chaque équipage de cylindres se trouve un jeu de pignons *h, h,* montés dans des cages *i, i,* de la même manière que les cylindres, et qui y sont maintenus par les vis de pression *k, k*. Dans les équipages à deux cylindres on communique toujours le mouvement au pignon inférieur. Pour pouvoir arrêter le train à volonté, on termine l'arbre de couche qui le conduit par un manchon fixe à griffes; une allonge à tourillon soutenue par un palier, porte à ses extrémités deux manchons mobiles, l'un à griffes s'embrayant avec le premier, l'autre qui saisit à la fois l'allonge et le trèfle du pignon conduit par l'arbre de couche. L'embraiement et le débraiement s'opèrent au moyen d'un levier à fourche qui passe dans une gorge pratiquée sur le manchon mobile à griffes.



Pour que le lamineur puisse facilement engager les barres dans les cannelures, on place du côté de l'entrée des cylindres et à peu près à la hauteur du fond des cannelures une plaque en tôle forte ou en fonte qu'on nomme *tablier*. A la sortie des cylindres, on met une autre plaque, appelée *plaque de gardes*, ayant pour but de recevoir le fer et de l'empêcher de s'enrouler autour du cylindre inférieur; à cet effet elle est découpée en languettes, qui ont la même forme que les cannelures respectives et s'y engagent sans frottement. Pour les fers plats, on remplace la plaque de garde par des gardes en fer forgé qui s'appuient sur le fond des cannelures.

Dans le laminage ordinaire, un ouvrier reçoit la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arre à sa sortie, à chaque passage, et la repasse par dessus le cylindre supérieur au lamineur, qui l'engage dans la même cannelure ou dans la cannelure suivante. On facilite souvent cette manœuvre au moyen de leviers à crochets suspendus à des chaînes qui sont attachées aux chappes de poulies courantes à gorge triangulaire et roulant sur des barres de fer horizontales placées des deux côtés du train.

Le fer ne peut recevoir en une seule fois la forme et les dimensions voulues ; il faut le faire passer successivement dans des cannelures de plus en plus petites. Dans la détermination du décroissement des cannelures, il faut avoir égard à la nature du fer, à la forme et à la dimension des trousses, à la force et à la vitesse des cylindres, etc.

Les cannelures des cylindres à fers ronds ou carrés sont creusées par moitié dans les deux cylindres ; pour empêcher dans ce cas tout mouvement latéral des cylindres, on les fait emboîter à leurs extrémités comme ceux pour fers plats. Les cylindres à fers plats se composent de parties saillantes ou *rondelles*, et de *cannelures* qui reçoivent les rondelles ; la compression du fer se fait entre les rondelles du cylindres supérieur ou *mâle*, et les cannelures du cylindre intérieur ou *femelle*.

Le diamètre des cylindres ébaucheurs est de 0m,40 à 0m,50, et leur vitesse de 30 à 40 tours par minute. Ordinairement on a deux paires de cylindres ébaucheurs, dont l'une, portant des cannelures ogives, sert à dégrossir le métal, et dont l'autre présente des cannelures plates finisseuses. Quelquefois la même paire présente des cannelures ogives et des cannelures plates (voir fig. 867). Voici, en millimètres, la dimension des cannelures d'un train ébaucheur à deux équipages fonctionnant bien :

Dégrossisseur.

Largeurs	190	160	130	110	95	80	70	58
Hauteurs	160	130	110	95	80	70	65	58

Finisseur.

Largeurs	52	54	76	79	81	125	122	118
Hauteurs	32	20	46	30	20	20	30	46

Passons maintenant au cinglage des balles : on retire celles-ci successivement du four à puddler, à l'aide d'un crochet, en commençant par celles qui sont le plus près de l'autel ; on les saisit alors, avec une grande tenaille, et on les traîne sur une plaque en fonte jusqu'au marteau ; on place d'abord, à l'aide de tenailles, la balle sur la table à cingler ; après le premier coup de marteau, le marteleur la retourne, et continuant à la faire battre, en ne la retournant qu'après plusieurs coups, il lui fait prendre la forme d'un prisme à base carrée de 90 à 110mm de côté ; il la place ensuite verticalement entre le manche du marteau et la deuxième enclume, afin de la refouler aux deux bouts ; dans cet état elle porte le nom de pièce et est passée de suite aux cylindres ébaucheurs. La durée moyenne du cinglage d'une loupe au marteau est de 1 à 1 minute 1/2.

Les balles destinées à la fabrication de la tôle sont d'abord soudées à une barre de fer chauffée par un bout au blanc soudant ; cette barre sert ensuite à les manœuvrer ; on les bat d'abord entre les pannes à cingler, puis on les aplatit entre les pannes à parer ; en cet état, elles portent le nom de *brammes*, et on les refoule par bout comme ci-dessus ; on sépare alors la barre de fer avec le *hacheron*, et on laisse refroidir.

La manœuvre du squeezer est analogue à celle du marteau.

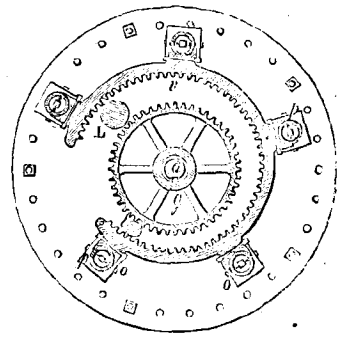
En donnant la description du laminoir nous avons indiqué la manière dont s'effectuait le laminage. Lorsque les barres sont achevées, on les dresse ; on les traîne sur une plaque de fonte dite *banc à dresser*, sur laquelle on les frappe à l'aide de maillets en bois, pendant qu'elles sont encore rouges. On les pèse ordinairement aussitôt qu'elles sont refroidies, les ouvriers étant généralement payés à prix fait par 1,000k de fer ébauché obtenu.

Le fer ainsi obtenu doit encore être soumis à un ou plusieurs corroyages avant d'être amené à l'état de fer marchand susceptible d'être livré au commerce. A cet effet, on le coupe aux cisailles en bouts de barres dont on forme des *trousses* ou *paquets*, qui sont réchauffées et étirées de nouveau au laminoir.

Les fours à réchauffer ont beaucoup de ressemblance avec les fours à puddler, mais comme la température doit y être plus élevée, ils sont toujours pleins. La sole est entièrement formée de sable réfractaire battu sur une grande épaisseur entre quatre murs. Le sable dissout l'oxyde de fer qui se forme à la surface des paquets et forme des scories fluides qui protégent le fer ; cela n'aurait pas lieu avec une sole en scories et le fer se brûlerait. Afin de n'avoir pas une flamme trop oxydante on ne charge la grille qu'une fois par heure environ, après chaque renfournement, de manière à former sur les barreaux une couche de combustible de 0m,15 à 0m,20.

Machine à loupes. Avant de terminer ce qui se rapporte à la fabrication du fer à l'anglaise, j'indiquerai comment l'idée de perfectionnements consistant à remplacer le marteau frontal soulevé par des chocs qui

Fig. 868.



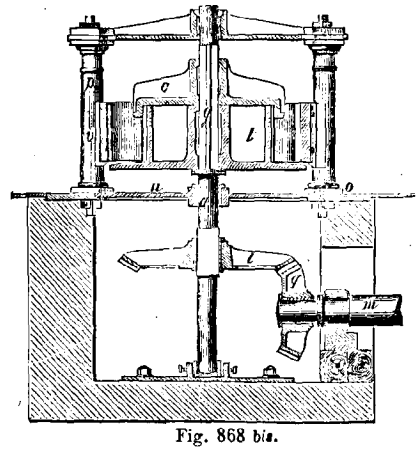


Fig. 868 *bis*.

en font un appareil défectueux, au point de vue de l'économie du travail mécanique, par des appareils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

agissant par pression comme le *squeezer*, a conduit à employer dans nombre de forges à l'anglaise, pour le cinglage des loupes, un appareil qui remplace le marteau frontal et le squeezer avec une notable économie de force et de main-d'œuvre, et qui est représenté en coupe horizontale et verticale (fig. 868 et 868 *bis*). Cette machine se compose : d'un tambour *t*, formé d'une seule pièce en fonte et armé extérieurement de dents qui accrochent la loupe; d'un comprimeur mobile *c*, qui se soulève lorsque la loupe est grande et descend, en vertu de son propre poids, lorsqu'elle est moindre; d'une volute fixe *v*, armée intérieurement de dents; de colonnes *p*, *p*, fixées à tenon sur la plaque d'assemblage *o*, *o*, et destinées à s'opposer à tout mouvement latéral de la volute; d'un arbre en fer forgé *a*, mobile dans une douille en fonte fixée sur une plaque solidement boulonnée sur la fondation : cet arbre, qui imprime le mouvement de rotation au tambour *t* et au comprimeur *c*, par le moyen de la clef ou goupille carrée *g*, traverse, un peu au-dessous du tambour, une douille retenue au moyen d'une plaque en fonte *n*, et est maintenu à sa partie supérieure par une plate-forme à cinq bras fixés aux colonnes *p*; d'un engrenage conique *i*, *q*, servant à transmettre le mouvement de l'arbre moteur *m* à l'arbre de la machine à loupes *a*.

Cet appareil fonctionne très-simplement : la loupe présentée en L (fig. 868) est entraînée par le mouvement du tambour *t* et sort en *l*, réduite aux dimensions qu'elle doit avoir pour passer au laminoir. Le cinglage d'une loupe ne dure que 6 secondes environ et un seul appareil peut desservir 50 à 60 fours à puddler.

L'entretien de cet appareil n'est qu'environ le dixième de celui du marteau frontal, et la rapidité avec laquelle il opère procure des pièces plus chaudes, et qui par suite passent plus facilement au laminoir et y donnent de meilleurs produits.

Historique. En terminant l'exposé de la méthode qui a fourni une des bases les plus solides au beau développement de l'industrie anglaise, et bientôt à la prospérité de celle de toutes les nations industrieuses, il y a lieu de consacrer quelques lignes à l'histoire de ce grand progrès industriel.

C'est de 1781 à 1800, lorsque Watt s'occupait de la machine à vapeur qui allait fournir la puissance motrice à l'aide du combustible minéral, qu'on arriva aussi à employer seulement ce dernier pour la partie chimique de la fabrication du fer. Les célèbres ingénieurs Smeaton, Wilkinson, Walter, Henry Cort et Purnell, Roebuck, Bramah, Watt et Boulton eux-mêmes y prirent directement ou indirectement une très-grande part. Elle consiste principalement, dit M. Poncelet, en cherchant à la résumer en quelque mots, dans la substitution de la houille au bois, à l'aide de fours à réverbère; dans la construction de grandes machines soufflantes cylindriques imitées des machines à vapeur; dans l'emploi, pour le cinglage des plus grosses loupes, du marteau *frontal* ou à soulèvement par la tête, qui pesant de 2,000 à 3,000 kilogrammes, produit par son seul poids les effets de ressort des anciens rabats et renvois; enfin, dans le remplacement des anciens marteaux et martinets à pression servant à étirer progressivement, à l'aide du choc, les longues barres de fer; rectangulaires ou arrondies, par des laminoirs en fonte dure, avec cannelures graduées ou décroissantes, pour forger également les loupes et les réduire en barres de diverses formes ou échantillons, dans leurs passages successifs au travers des ouvertures ou lunettes formées par celles de ces cannelures qui se correspondent exactement sur chaque couple de cylindres, remplissant la fonction de véritables filières continues, où le tirage direct et longitudinal des barres de fer est supprimé et se trouve remplacé par le simple frottement des cannelures contre ces barres.

C'est de 1783 à 1784 que M. Cort fit la première fois connaître les procédés de puddlage et de laminage, comme le montre le texte des patentes qu'il prit alors.

Il serait difficile, dit M. Fairbain, d'exprimer la grandeur du service que M. Cort a rendu à l'industrie du fer de l'Angleterre. Mais on ne sait peut-être pas assez, ajoute-t-il, que M. Henri Cort a consacré une fortune de plus de 500,000 fr. à perfectionner ses procédés de puddlage et de laminage; qu'on lui a audacieusement dérobé le fruit de ses découvertes dans les bureaux d'un département important du gouvernement et qu'il est mort de misère, victime de l'apathie et de l'égoïsme de son ingrat pays.

On voit que ces travaux, comme ceux de Smeaton, qui dès 1760 avait établi une soufflerie à piston aux forges de Carron, avaient bien préparé le terrain; aussi obtint-on les plus grands résultats dès que la machine à vapeur vint fournir abondamment et en tous lieux la force motrice.

Méthode champenoise.

Dans la méthode champenoise on affine au four à réverbère, sans mazéage préalable, des fontes au charbon de bois. Les fours à puddler que l'on emploie ont ordinairement une seconde sole placée à la suite de la première, comme l'indique la fig. 869, et sur laquelle on échauffe préalablement au rouge vif la fonte avant de l'introduire sur la sole du four à puddler. On utilise souvent la chaleur que conservent les gaz après avoir passé sur la seconde sole pour chauffer une chaudière à vapeur. La fig. 869 représente l'installation d'une chaudière à chauffer à flamme perdue, montée aux forges de Sionne (Vosges) par M. Grouvelle. Un four à puddler produit ainsi une force de 45 chevaux et un four à réchauffer une force de 20 chevaux. Le travail des fours, ou une suspension dans celui de la chaudière, exigeant que l'on puisse au besoin jeter directement la flamme du four dans la cheminée, sans la faire passer d'abord sous la chaudière, on établit au bas de la cheminée deux registres, dont l'un horizontal ferme le passage du four à la cheminée quand on envoie la flamme sous les bouilleurs, et dont l'autre vertical intercepte cette dernière communication, quand on veut envoyer directement la flamme dans la cheminée. Il convient également de placer sous les bouilleurs un foyer additionnel pour pouvoir chauffer à feu nu et se servir en-

Fig. 869.

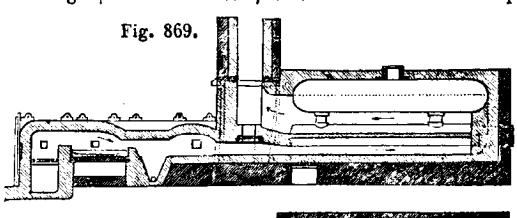
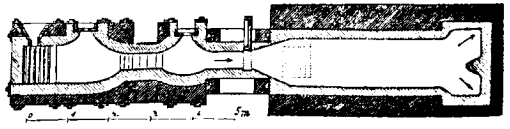


Fig. 869 *bis*.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

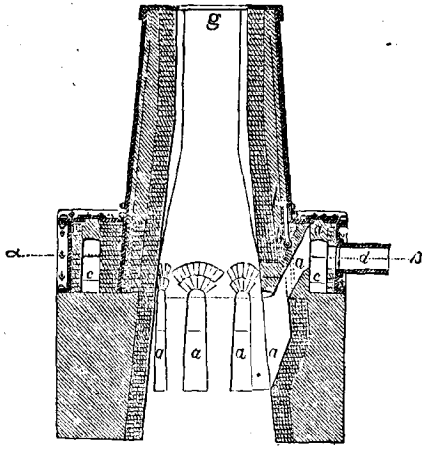
core de la machine à vapeur quand le four à réverbère ne marche pas; il suffit de fermer convenablement ce foyer quand on ne s'en sert pas. Ce qui caractérise cette méthode c'est que le fer est cinglé au marteau, puis réchauffé dans un foyer de chaufferie, tout à fait semblable aux feux d'affinerie à l'allemande et alimenté à la houille, et enfin étiré au marteau. On consomme de 50 à 60^k de houille par 100^k de fer ébauché, et autant pour le réchauffage. Au lieu d'employer de la houille comme combustible, on se sert dans quelques parties de l'Allemagne de bois vert seul ou mélangé de bois desséché, dans les fours à puddler, et de bois fortement desséché, dans les fours à réchauffer. La dessiccation des bois s'opère généralement au moyen des flammes perdues.

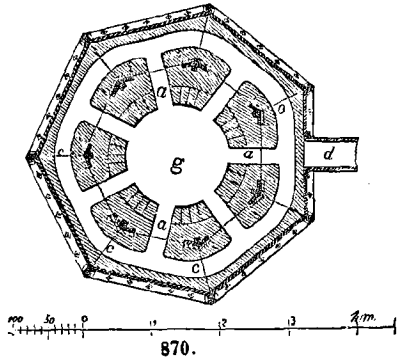
Emploi des fours à gaz.

On peut au lieu de combustibles solides employer, pour l'alimentation des fours à réverbère qui servent au mazéage et au puddlage de la fonte ainsi qu'au réchauffage du fer, des combustibles gazeux provenant d'une prise de gaz dans la cuve d'un haut-fourneau, ou préparés directement à cet effet dans des générateurs particuliers (voir l'art. COMBUSTIBLES).

Les fig. 870 et 871 donnent en plan et en coupe la disposition la plus généralement adoptée pour faire une prise de gaz sur la cuve d'un haut-fourneau au charbon de bois : a, a, sont 7 ouvertures équidistantes pratiquées sur le tour de la cuve b, 3 à 4^m au-dessous du gueulard g, qui conduisent le gaz dans un espace annulaire $c\,c$, sur lequel vient s'adapter un tuyau en fonte $d\,d$, par lequel le gaz se rend aux fours à réverbère. Ces fours n'ont qu'une cheminée de 1 à 2^m, par laquelle cependant il ne sort ni flamme ni fumée. On prend souvent les gaz, comme nous l'avons indiqué, au moyen d'une trémie. Les fig. 872 et 873 donnent le plan et la coupe d'un four à puddler au gaz établi dans une usine d'Allemagne : a, est le conduit par lequel les gaz arrivent en arrière de l'autel du four, et sont ensuite brûlés sur cet autel par un courant d'air qui, venant de l'appareil à chauffer l'air du haut-fourneau où il a acquis une température de 150 à 200°, est chauffé de nouveau jusqu'à 350 ou 400° dans un appareil, placé dans la cheminée du four à gaz, qui se compose de 2 tuyaux carrés b, b, réunis par un certain nombre de tuyaux courbes c, d'où il se rend par le tuyau d, dans une boîte demi-cylindrique avant de pénétrer dans le four par les 7 tuyères e, e, e. Comme il n'y a presque pas de tirage par la cheminée, la flamme tend à s'échapper en partie par la porte de travail $i\,i$, ce qui incommoderait les ouvriers, si on ne prenait soin de la refouler dans le four au moyen d'un jet d'air froid, rasant le devant de cette porte, et arrivant par un tuyau k, muni d'un robinet que l'on ouvre pendant le travail. g, est le rampant qui diffère de celui des fours à puddler

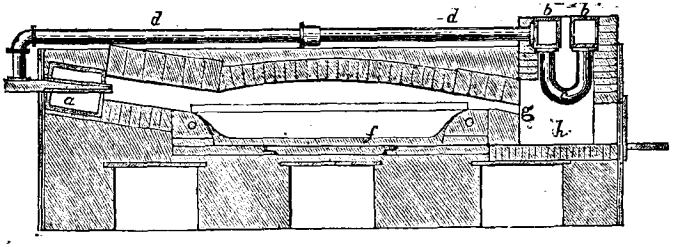
871.



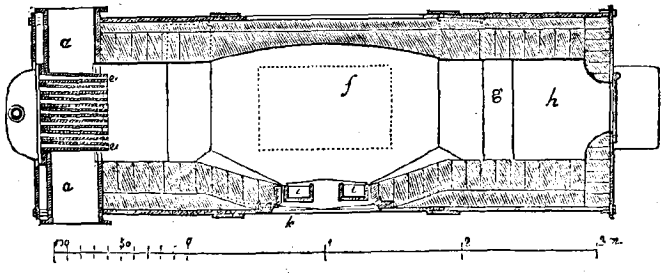


870.

872.



873.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

ordinaires en ce qu'il est beaucoup moins élevé et occupe presque toute la largeur de la sole. Le bas de la cheminée *h*, forme une seconde sole sur laquelle on porte préalablement la fonte au rouge avant de la charger sur la sole du four à puddler. Les conduites de gaz et d'air chaud sont munies de registres qui servent à en régler l'affluence; on juge facilement d'après l'aspect de la flamme qui s'échappe par la porte de travail, s'il y a excès d'air ou de gaz dans le four; une flamme bleuâtre indique la présence d'un excès de gaz non brûlé, tandis qu'une flamme courte et jaunâtre indique un excès d'air. Nous avons vu qu'on peut également alimenter les fours à puddler et à réchauffer, au moyen des gaz combustibles qui s'échappent des foyers d'affinerie.

Les fours à réverbère alimentés avec les gaz des hauts-fourneaux sont refroidis par tous les dérangements qui surviennent dans l'allure de ceux-ci, et contribuent même, lorsque les fourneaux roulent au charbon de bois et ont une faible production journalière, à leur donner une marche irrégulière; cet accident n'est pas à craindre avec les fourneaux au coke dont les gaz sont en plus grande abondance et qui ont d'ailleurs sous le même volume un pouvoir calorifique plus considérable.

Le roulement des fours à gaz est beaucoup plus régulier, lorsqu'on produit les gaz combustibles dans un générateur particulier (voyez COMBUSTIBLES); ils sont alors plus riches en matières combustibles que ceux qui proviennent des hauts-fourneaux; la combustion s'effectuant d'une manière plus complète, il y a économie sur le charbon employé, le chauffage est très facile à régler, et l'on peut employer des combustibles très impurs et terreux qui sans cela n'auraient aucun emploi. On peut d'ailleurs purifier ces gaz, de la même manière que le gaz d'éclairage, avant de les faire arriver dans le four.

Le fer que l'on obtient est de meilleure qualité que dans l'affinage à la houille, et le déchet beaucoup plus faible; il n'est ordinairement que de 2 à 3 p. 100.

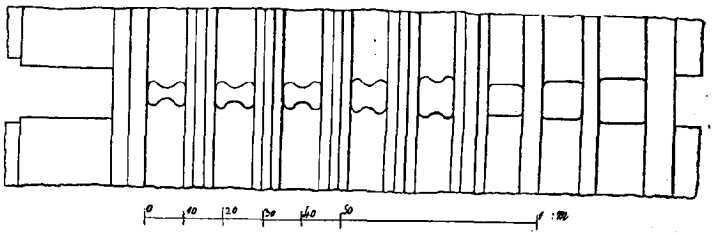
Fabrication des rails.

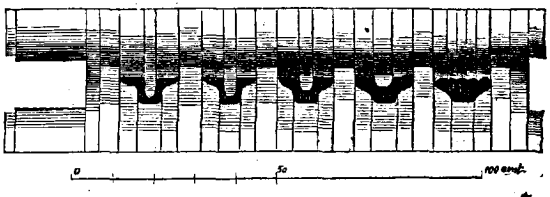
Le fer des rails doit être fort, dur, et très résistant à froid. On forme les paquets pour rails en comptant sur un déchet de 10 p. 100 au four et à l'étirage, et sur une perte de 12,5 p. 100 à la scie, pour les bouts coupés; ils ont 0m,15 sur 0m,18 de section. Ces paquets se font avec du fer ébauché et du fer une fois corroyé, que l'on associe de manière à ce que l'ébauché forme le centre et le corroyé les couvertures supérieures et inférieures du rail. Ces paquets sont chauffés au blanc soudant dans des fours à réchauffer ordinaires, puis soudés et étirés en une seule chaude au laminoir. Il faut pour chaque train à rails six fours à réchauffer dont cinq sont constamment en activité. La durée d'une chaude est de 1 heure 1/2 à 1 heure 3/4.

Le train à rails se compose de trois équipages de cylindres, dont le premier, à partir de la machine motrice, sert à former les barres de corroyé qui entrent dans la composition des paquets; le second est employé à dégrossir les paquets tant pour rails que pour corroyés, et le troisième à finir les rails. Comme on corroie quand on ne fait pas de rails et réciproquement, il n'y a jamais plus de deux équipages de cylindres qui fonctionnent simultanément.

Les cylindres à rails ont 0m, 40 à 0m, 50 de diamètre

874.





875.

et font de 60 à 80 tours par minute. La fig. 874 donne le tracé des cannelures successives d'une paire de cylindres pour la fabrication des rails ordinaires usités en France; la fig. 875 donne celui des cannelures pour la fabrication des rails à pont habituellement employés en Amérique.

Les rails manqués sont découpés à la cisaille, tandis qu'ils sont encore chauds, et rentrent dans la fabrication comme fer ébauché; les autres rails sont affranchis avec soin de leurs extrémités, soit à la tranche, soit à la scie, suivant que les sections doivent être biaises ou droites. On emploie le plus souvent les scies. Celles-ci sont circulaires, de 1m, 25 de diamètre, et en fer fort aciéreux à grains. Il y en a deux, parallèles et fixées aux extrémités d'un arbre en fonte qui reçoit un mouvement de rotation autour de son axe à l'aide d'une courroie sans fin; leur distance est égale à la longueur que doit avoir le rail. La courroie sans fin est tendue sur un tambour placé à côté de l'engrenage du train à rails et sur une poulie montée sur l'arbre des scies. Pour que celles-ci ne s'échauffent pas, elles sont constamment rafraîchies par un filet d'eau, et elles tournent dans des augets où l'eau d'arrosage vient se rassembler; on empêche l'eau d'être projetée sur les rails en couvrant chaque scie d'un chapeau en tôle, qui ne laisse de libre que l'endroit où la scie doit entamer les rails. Les scies tournent sur elles-mêmes sans bouger de place, et coupent à la fois les deux extrémités du rail qu'on leur présente encore rouge, et immédiatement après sa sortie des cylindres. En avant des scies se trouve un banc en fonte pour dresser les rails et un banc mobile également en fonte sur lequel on place le rail à terminer. Les scieurs, armés de tenailles, tratnent le rail qui vient d'être terminé sur le banc à dresser, le soulèvent par les deux extrémités et le rabattent avec force, sans le lâcher, contre la plaque, pour faire disparaître les grandes courbures qu'il présente; puis, après l'avoir assujetti sur le banc mobile qui présente une saillie ou un creux pour le recevoir, ils achèvent de le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

redresser en le battant avec des maillets en bois. L'un des scieurs fait alors avancer graduellement le banc mobile qui porte le rail, de manière à donner prise aux scies; pendant que l'on coupe les bouts, ils sont tenus avec des tenailles par deux ouvriers. Il faut que le rail s'avance bien parallèlement à lui-même; à cet effet, on relie ordinairement le banc mobile à un axe parallèle à l'arbre des scies et de même diamètre, que l'on fait mouvoir au moyen d'un levier, de telle sorte que le rail décrit une partie de surface cylindrique; cet axe est ordinairement souterrain et placé de manière à se trouver dans un plan vertical avec le rail, lors de l'état de repos contre le banc à dresser.

Le rail scié et encore chaud, on achève de le dresser sur toutes ses faces, puis on le pare, opération qui consiste à limer ses extrémités et à enlever les bavures qu'il présente. On le place ensuite sur deux sommiers en fer peu élevés et on le bat à coups de maillets pour qu'il se courbe au milieu jusqu'à terre. La différence de contraction que les rails éprouvent sur leurs deux faces, parce qu'il se trouve plus de matière sur une face que sur l'autre, les force à se redresser naturellement par le refroidissement. Sans cette précaution, ils présenteraient une courbure en sens inverse.

On dresse enfin les rails à froid, soit au marteau, soit à l'aide d'un balancier à vis verticale en tout semblable aux presses à timbrer ordinaires, mais beaucoup plus grand, ce qui est beaucoup plus économique.

On ajuste ensuite les rails en les plaçant un à un sur un banc en bois, en examinant si les bouts sont bien d'équerre, si les rails ont les dimensions voulues, s'ils sont bien droits et dépourvus de bavures, etc., et réparant ces défauts à l'aide de limes, de ciseaux et de marteaux à main; lorsqu'on ne peut y arriver ainsi, on chauffe au rouge les parties défectueuses du rail, dans un foyer sans cheminée, semblable du reste à une forge maréchale, et on les bat au marteau.

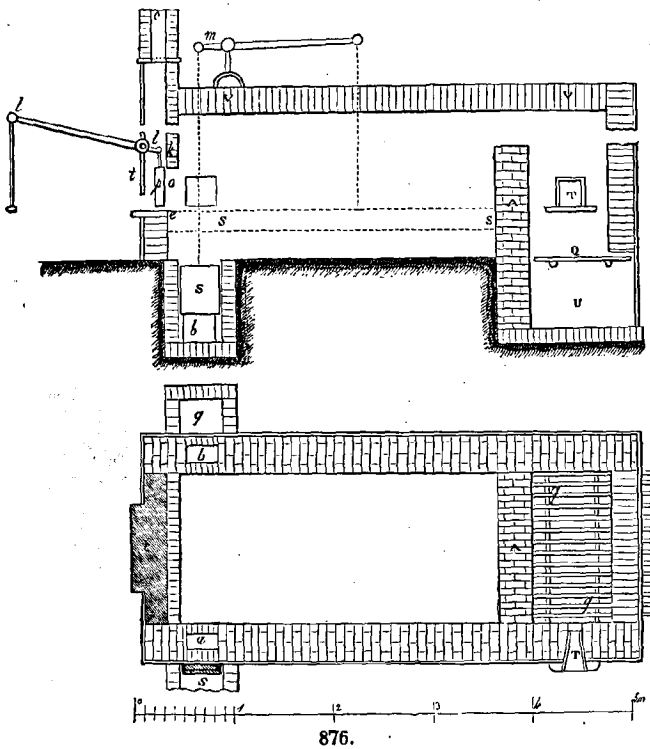
Les rails finis sont pesés; on n'en pèse ordinairement qu'un petit nombre, et, d'après leur poids, on calcule celui des autres de même forme et de mêmes dimensions. Les ouvriers sont payés à prix fait par 1,000^{k} de rails reçus.

Avant de recevoir les rails, on les éprouve en en prenant quelques-uns au hasard et les soumettant au choc d'un mouton; il faut qu'ils résistent à un nombre de coups déterminé, la distance des supports sur lesquels on les pose étant également déterminée. Après cette épreuve, on casse un rail et on examine la cassure; dans les rails les plus soignés et les plus résistants, le fer est grenu à la surface de roulage et très nerveux au centre

FABRICATION DE LA TOLE.

On distingue trois espèces de tôles : les tôles fortes pour chaudières à vapeur, etc., qui ont 6^{mm} et plus

877.



876.

d'épaisseur; les tôles fines, qui ont 1^{mm} 1/2 et moins d'épaisseur; et les tôles moyennes, dont l'épaisseur est comprise entre les deux limites précitées.

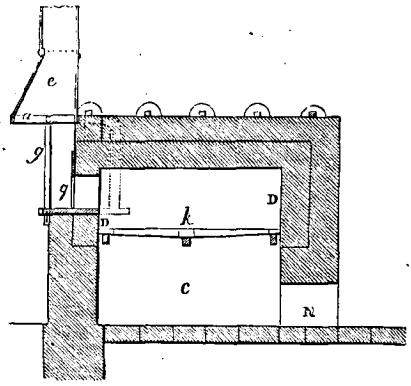
On emploie, pour le réchauffage des paquets et des tôles, des fours à réverbère d'une forme particulière ou des fours dormants. Les fig. 876 et 877 donnent le plan et la coupe d'un four à réverbère pour tôles : Q, grille du four; U, cendrier; T, tisard; A, autel; la sole rectangulaire SS, qui s'élève jusqu'à la hauteur de la porte *p*, se compose de deux assises; l'une de 0^{m},40 d'épaisseur est en débris de briques réfractaires; l'autre, placée au-dessous, est formée de coke et a 0^{m},15 d'épaisseur. On charge le fer immédiatement sur le coke, en l'introduisant par la porte *p*, que l'on manœuvre à l'aide d'un levier qui la tient en équilibre dans toutes les positions; la flamme se rend par les carneaux *a*,*b*, dans le rampant *q*, qui la conduit à une cheminée commune; une lotte *c* est placée au-devant de la porte *p*, et sert à entraîner la flamme et les étincelles qui peuvent s'échapper par celle-ci lorsqu'on l'ouvre.

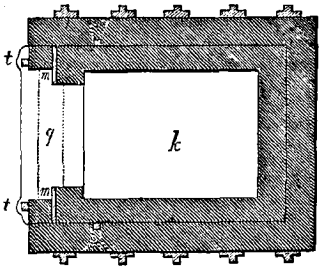
Au lieu de fours à réverbère, on emploie quelquefois des fours dits *fours dormants;* qui ont beaucoup de ressemblance avec les fours des boulangers, excepté que la sole y est remplacée par une grille; celle-ci est très spacieuse et recouverte d'une voûte très basse. La cheminée, placée en dehors du four et au-dessus de la porte de travail, permet d'évacuer la flamme et la fumée sans produire de tirage; ils n'ont qu'une porte qui sert non seulement à l'introduction du combustible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans la chauffe, mais encore à l'enfournement et au défournement du fer : celui-ci se place sur la houille dont la grille est chargée.

878.







879.

Les fig. 878 et 879 donnent le plan et la coupe d'un four dormant : *k*, grille; *c*, cendrier; D, intérieur du four; *e*, hotte en tôle pour évacuer la fumée; *a*, châssis en fer qui supporte la hotte; *g*, tiges qui supportent la hotte; *q*, seuil de la porte; *m*, plaques en fonte servant d'armatures à la porte; N, ouverture pour le nettoyage du cendrier.

A Audincourt en France, et dans plusieurs autres usines, on réchauffe les paquets destinés à la fabrication des tôles fortes dans un four à gaz alimenté par un générateur particulier (fig. 880 et 881) : le générateur à gaz A, déjà décrit à l'article COMBUSTIBLES, a la forme d'un petit haut-fourneau à cuve très large, et reçoit l'air par deux tuyères *t*, *t*; on charge le combustible, ordinairement de la braise menue, par l'ouverture B, qui est fermée pendant l'intervalle de deux charges par une plaque en fonte F. Les gaz arrivent dans le four à réverbère par le conduit C; l'air qui doit les brûler est projeté par la caisse à vent F, en briques réfractaires percées sur le devant de deux rangées de trous, au moyen desquels la combustion des gaz s'achève dans l'espace peu étendu placé immédiatement avant la sole M du four; l'air comburant est préalablement échauffé, avant d'arriver à la caisse F, par son passage à travers les tuyaux D placés dans la cheminée H, et chauffés à flammes perdues. A la suite de la sole M, il y en a une seconde N, sur laquelle on place les largets de fer à souder, tandis que le soudage de la trousse précédente a lieu sur la première. P et Q sont les portes des deux soles. On porte au rouge blanc les *largets* fabriqués dans des feux comtois, en les passant successivement, d'abord sur la sole N, puis sur la sole M; puis on les soude en deux chaudes sous un gros marteau du poids de 1000 à 1,200 kilogrammes; enfin, on réchauffe les largets soudés dans le même four, à la fin de chaque semaine, et on les passe au laminoir. On soude ainsi des pièces dont le poids varie de 150 à 600 kilogrammes et même plus.

Enfin, dans les forges à l'allemande, on réchauffe souvent la tôle au moyen des flammes perdues du feu d'affinerie.

Dans un train à tôle, il y a ordinairement deux équipages de cylindres servant, l'un pour dégrossir, l'autre pour finir les feuilles. Ces cylindres *d*, *d* (voir fig. 867), sont coulés en coquille, afin de durcir leur surface, puis terminés sur le tour; leur diamètre varie de 0m,40 à 0m,50, et leur longueur doit excéder de 0m,10 à 0m,15 la largeur de la tôle à fabriquer; ils font de 25 à 40 tours par minute, suivant la nature des tôles; indépendamment des deux équipages ci-dessus, le laminoir à tôle comprend un équipage à corroyer, ordinairement réuni sur le même train, comme l'indique la fig. 867. Le laminoir à tôle diffère essentiellement des laminoirs à cylindres cannelés, par ce fait que, dans ces derniers, le fer est réduit graduellement à l'épaisseur voulue, en passant par les diverses cannelures, tandis que, dans les laminoirs à tôle, le cylindre supérieur doit, au contraire, s'écarter plus ou moins du cylindre inférieur, suivant l'épaisseur du métal qu'on lamine, et l'on est obligé de serrer les vis de pression à chaque passage dans les cylindres. Afin d'empêcher que le cylindre supérieur ne retombe de tout son poids sur le cylindre inférieur, après le passage du fer, ce qui pourrait donner lieu à des ruptures, on se sert de bascules qui font presque équilibre au poids du cylindre supérieur et des pièces qui se meuvent avec lui; ces bascules s'adaptent aux cages mêmes des laminoirs, et sont logées dans une fosse derrière le train. L'équipage finisseur, dont les cylindres ne doivent pas s'écarter beaucoup l'un de l'autre, n'a pas besoin de bascules. Celles-ci diminuent la pression du cylindre supérieur sur le fer pendant le laminage, et reportent l'effort qui en résulte sur les tourillons des cylindres et le dessus des cages qui traversent les vis; ce qui oblige à donner à ces pièces des dimensions beaucoup plus considérables. Enfin, les allonges, au moyen desquelles on établit la communication du cylindre supérieur dans l'équipage à bascule avec les pignons du train, doivent être assez grandes, et les manchons d'accouplement doivent offrir assez de jeu, pour que le cylindre supérieur puisse s'élever à divers degrés, suivant l'épaisseur des pièces à laminer.

Dans l'équipage finisseur servant à la fabrication des tôles fines ou moyennes, on rend ordinairement le cylindre supérieur indépendant de la machine, afin qu'il reçoive son mouvement du cylindre inférieur par pression, et qu'il ne puisse prendre une vitesse différente de celle qui anime ce dernier; on lui donne alors 1/2 millimètre de diamètre de plus qu'au cylindre inférieur, afin de prévenir l'enroulement du fer autour de ce cylindre. Les équipages ainsi disposés portent le nom d'*équipages à coquille*. On emploie ordinairement, pour la fabrication des tôles fortes et moyennes, des fontes au coke, que l'on affine, comme nous l'avons dit plus haut, et que l'on étire au marteau sous la forme de parallélipipèdes rectangles ou *brammes* de 0m,05 d'épaisseur; on les porte isolément ou par paquets de deux, suivant leurs dimensions, au blanc soudant, et on les transforme, au moyen de l'équipage à corroyer, en *languettes* de 0m,25 de large, 0m,25 d'épaisseur et et 1m 1/2 à 3m de longueur; on découpe ces languettes

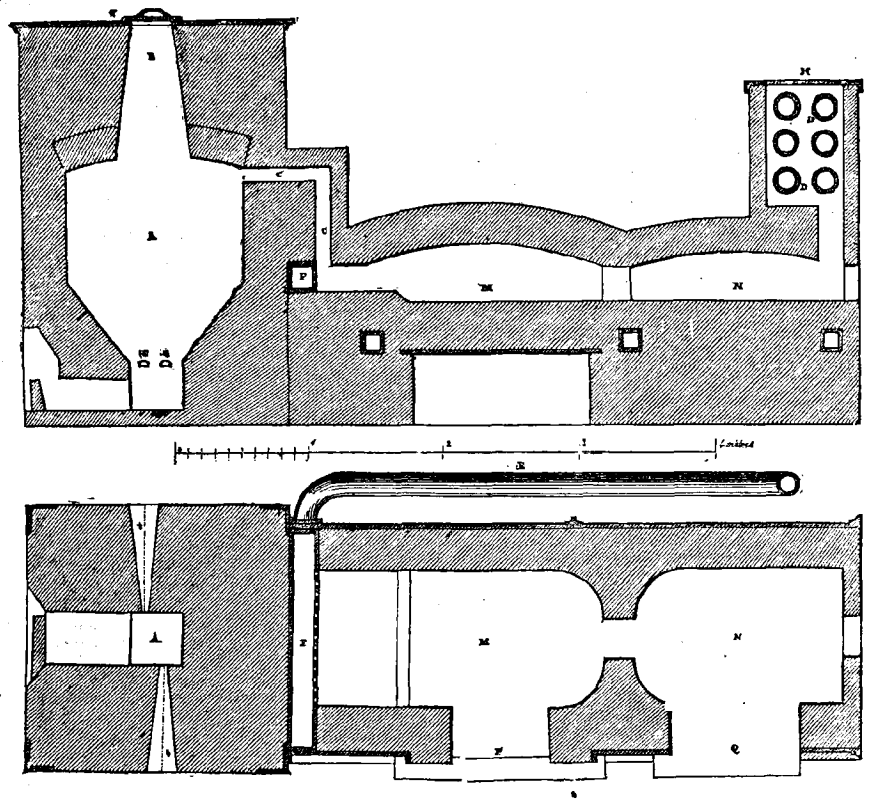
EFERUS - Recherche & Classification numérique

en bidons de 0m,70 de longueur, que l'on réunit par quatre pour en former des paquets, qui sont réchauffés et étirés de nouveau en languettes.

fois qu'on est sur le point de les engager entre les cylindres unis non à coquille.

Les tôles fines destinées ou non à la fabrication du

880.



881.

Lorsque les feuilles de tôle doivent peser plus de 200k, on découpe les languettes en bidons, d'une longueur déterminée par le poids de la tôle à fabriquer, que l'on réunit par six ou huit en paquet; on chauffe ce paquet au blanc soudant, dans le four à réchauffer du train ébaucheur, on le soude sous le marteau et on le transforme en bramme; on réchauffe ensuite ces brammes et on les réduit en une seule chaude, au moyen des cylindres unis non en coquilles, en tôle de 10 à 12mm; si la tôle devait être beaucoup plus mince et n'avoir par exemple qu'une épaisseur de 5 à 7mm, on serait obligé de la réchauffer une ou plusieurs fois dans le four à tôle pour pouvoir continuer le laminage.

Pour les tôles dont la feuille pèse moins de 200k, on coupe les languettes en bidons de longueur convenable, que l'on réunit deux à deux et que l'on porte sur la sole du four à tôle. Lorsque le fer a acquis la température du blanc soudant, on le passe entre les cylindres unis non à coquilles; quelquefois, cependant, on lui fait encore subir auparavant un corroyage intermédiaire : les tôles ainsi obtenues portent le nom de tôles à *deux chaudes*. Enfin on réduit les feuilles à l'épaisseur voulue au moyen de réchauffages et de passages successifs au laminoir. Dès que les tôles en se refroidissant sont arrivées à la chaleur rouge, on les dépouille de la couche d'oxyde qui les recouvre au moyen d'un balai, chaque

fer-blanc se fabriquent ordinairement avec des fers de première qualité obtenus dans les forges à l'allemande. Ces fers arrivent de la forge sous la forme de *largets* ou de barres méplates de 0m,20 à 0m,25 de large, 0m,25 d'épaisseur et de 0m,70 à 1m,00 de longueur. Ordinairement chaque larget donne une feuille de tôle, à moins qu'on ne veuille obtenir des feuilles pesant environ 20k, auquel cas on emploie deux largets pour une feuille. On chauffe les largets au blanc soudant dans le four à tôle ou dans un four à flammes perdues, puis on les passe dans le deuxième équipage à cylindres du train, en les présentant en travers entre les cylindres, de manière à ce que la longueur des largets forme la largeur des feuilles, et en serrant les vis de pression après chaque passage pour rapprocher les cylindres et amincir de plus en plus les feuilles. On continue ce travail jusqu'à ce que la tôle ait de 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, puis on les amène jusqu'à 3 ou 4mm aux cylindres à coquille. On réunit alors successivement les feuilles en paquets de 2, 4, 6, 8, 10, 12 et tout au plus 16 feuilles, que l'on lamine, aux cylindres à coquille, comme des feuilles isolées, jusqu'à ce que la tôle soit assez fine. Lorsque la tôle ne doit pas avoir plus de 1m,50 de long sur 1m,00 de large, la réduction à 1mm1/2 d'épaisseur s'opère en une seule chaude; mais lorsqu'on veut obtenir des tôles plus grandes ou plus minces, on est obligé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de réchauffer plusieurs fois dans le four à tôle, parce que les feuilles, en vertu de leur faible épaisseur, se refroidissent promptement. On les porte au rouge peu intense et on les lamine jusqu'à ce qu'elles aient perdu la température lumineuse.

Dans le laminage à une température peu élevée, le fer s'écrouit, devient cassant et perd de sa malléabilité. L'écrouissage est d'autant plus fort que les feuilles se sont plus refroidies entre les cylindres, et, en cet état, la tôle ne pourrait souvent se ployer à angle vif sans casser. Pour rendre au fer sa douceur, on place les feuilles par paquets dans le four à tôle et on les y fait rougir. On les laisse ensuite refroidir lentement et lorsqu'elles ne sont pas bien planes, on profite du moment où elles sont encore rouges pour les dresser avec un maillet de bois sur les dalles en fonte du laminoir. La tôle forte s'écrouit beaucoup moins que la tôle mince, et se recuit ordinairement d'elle-même par la seule chaleur qu'elle conserve après le laminage.

Dès que les feuilles sont refroidies, on leur donne à la cisaille les dimensions voulues.

Les bonnes tôles ont une épaisseur uniforme et une surface parfaitement unie. La tôle fine doit pouvoir être pliée un grand nombre de fois en sens opposé avant qu'elle ne casse.

Pour les tôles fortes et moyennes le déchet est de 30 p. 100 environ, et la consommation en houille de 150^{k} par 100^{k} de tôle ébarbée ; pour les tôles fines obtenues avec des fers au charbon de bois, le déchet est de 6 à 10 p. 100 et on consomme 50^{k} de houille par 100^{k} de tôle ébarbée. L'ébarbage des tôles donne de 15 à 20 p. 100 de rognures.

Fabrication du fer marchand et du petit fer.

Dans les feux d'affinerie on amène immédiatement la loupe à l'état de fer marchand; dans les forges anglaises et champenoises, la fabrication du fer marchand exige un réchauffage et un corroyage du fer ébauché. Les fers marchands ont de 40 à 70^{mm} de côté ou de diamètre lorsqu'ils sont carrés ou ronds, et de 10 à 40^{mm} d'épaisseur sur une largeur de 50 à 150^{mm} lorsqu'ils sont plats ; au-dessous de ces dimensions ils rentrent dans la catégorie des petits fers. Ces dernières se divisent en deux catégories, selon qu'ils ont été étirés au laminoir. Voici le nom et les dimensions des principales espèces de petits fers :

Fers martinés.

Carillon, fer carré, de 6^{mm} au minimum.
Bandelette, fer plat, de 3^{mm} sur 9^{mm} au maximum.
Verge ronde, fer rond, de 7^{mm} au maximum.
Verge crenelée, de 8^{mm} au maximum.

Fers laminés.

Fer de cercles, fer feuillard, de 1 à 4^{mm} sur 30 à 80^{mm} au maximum.

Rubans, fer plat, de 1/2 à 1^{mm} sur 10 à 30^{mm} au maximum.

Carillon, fer carré, de 4^{mm} à 30^{mm} au maximum.

Bandelette, fer plat, de 2 à 6^{mm} sur 10 à 40^{mm} au maximum.

Verge ronde, n° 23, de 6^{mm} au maximum.

Les petits fers martinés s'étirent sous des martinets ou makas du poids de 50 à 100^{k}, et battant de 200 à 300 coups par minute. Le réchauffage du fer se fait, soit au moyen des flammes perdues des feux d'affinerie, soit dans une sorte de forge maréchale; il en est de même du petit fer étiré au laminoir dans les forges allemandes.

Le réchauffage des massiaux ou des trousses destinées à la fabrication du petit fer et du fer marchand au laminoir, se fait dans les forges anglaises, dans les fours à réverbère ou les fours dormants, que nous avons décrits fig. 876 à 879 en parlant de la fabrication de la tôle.

Le train de cylindres marchands se compose ordinairement de deux équipages de cylindres, de 0^{m},35 à 0^{m},40 de diamètre et de 0^{m},90 à 1^{m},00 de table, qui font de 65 à 100 tours par minute. Nous ne reviendrons pas ici sur le tracé des cannelures ; nous dirons seulement que pour les cannelures rondes ou carrées, le décroissement des diamètres ou des côtés marche ordinairement par 4^{mm} depuis 81^{mm}, et au-dessus, jusqu'à 54^{mm} ; par 2^{mm}, depuis 54^{mm} jusqu'à 30^{mm} ; et par 1^{mm}, depuis 30^{mm} jusqu'à 20^{mm}, et au-dessous. Pour la fabrication des fers plats, on fait varier la hauteur des cannelures, soit en leur donnant une largeur constante pour le même échantillon, soit en augmentant légèrement cette largeur depuis la première cannelure jusqu'à la dernière. Dans le premier cas, on donne un peu d'entrée aux cannelures du cylindre femelle ; c'est-à dire qu'on les évase un peu, afin que le fer puisse s'en dégager plus facilement ; cet évasement n'est pas nécessaire dans le second cas. Lorsqu'on fait varier la largeur des cannelures, l'accroissement successif est au plus égal aux 0,09 de l'épaisseur qu'a le fer avant d'y être engagé ; on y passe du fer carré de dimensions moindres que la largeur du fer qu'on veut obtenir, l'étirage marche un peu plus vite, et l'on peut diminuer le nombre des cannelures nécessaires pour arriver à un échantillon donné. Lorsque la largeur des cannelures est constante, le fer plat se fabrique avec du fer carré, dont le côté est égal à la largeur du fer à obtenir.

Dans les équipages à gros fer plat, les cannelures emboîtent les rondelles d'environ 20^{mm}, et le plus grand diamètre du cylindre supérieur dépasse celui du cylindre inférieur d'environ 50^{mm}, c'est-à-dire du double de la hauteur de l'emboîtement ; tous les cylindres à fer plat présentent des dispositions analogues. Ce moyen permet d'obtenir des fers de différentes épaisseurs, avec les mêmes cannelures, en réglant convenablement la hauteur du cylindre mâle.

Les collets qui séparent les cannelures et les rondelles, ont une épaisseur égale ou seulement des 2/3 de celle des cannelures ; elle est d'autant plus grande que celles-ci sont plus profondes. Le décroissement des cannelures est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus faible que le fer est plus écroui et a acquis de plus faibles dimensions.

Le train pour petit fer est composé de deux équipages au moins de cylindres ; ceux-ci ont de 0^{m},12 à 0^{m},25 de diamètre, et font de 150 à 200 tours par minute ; leur vitesse de rotation est d'autant plus grande que leur diamètre est moindre.

La nécessité d'accélérer le travail, afin de pouvoir étirer le fer en une seule chaude, a fait adopter pour les laminoirs à petit fer des jeux à trois cylindres. Dans ces laminoirs, le lamineur, après avoir reçu la barre, l'engage entre les deux cylindres supérieurs ; le rattrapeur, placé derrière le train, la reçoit, et l'engage à son tour entre les deux cylindres inférieurs, au lieu de la rendre au lamineur, en la passant par dessus le cylindre supérieur, comme dans le laminage à deux cylindres. Cette disposition, fort avantageuse aussi longtemps que les barres n'ont encore que de faibles dimensions, est au contraire embarrassante et dangereuse pour les ouvriers, du moment où les barres ont acquis une certaine longueur ; aussi n'est-elle guère employée que dans l'équipage dégrossissant du train, et les équipages finisseurs sont à deux cylindres ; ceux-ci sont souvent à coquille comme ceux servant à la fabrication de la tôle.

Dans les équipages à trois cylindres, pour fers ronds et carrés, on donne au cylindre supérieur un diamètre un peu plus grand qu'au cylindre du milieu, et on rend celui-ci un peu plus fort que le cylindre inférieur, afin d'empêcher l'enroulement du fer. Pour la même raison, dans la fabrication des fers plats, on dispose le cylindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du milieu, qui reçoit directement son mouvement de l'arbre de couche, de manière à ce qu'il soit femelle par rapport à celui du dessus et mâle par rapport à celui du dessous.

On supprime souvent les cannelures finisseuses de divers échantillons, sur les cylindres à fer marchand ou à petit fer, et on les remplace par une partie cylindrique plus large que la barre, au moyen de laquelle on l'aplatit encore de 2mm environ ; cette large cannelure appelée *polissoir*, ne s'emploie que pour les fers de moins de 8mm d'épaisseur.

Lorsqu'on fabrique du fer feuillard, on n'emploie qu'un équipage à deux cylindres unis à coquille de 0m,20 de diamètre. Afin de donner au feuillard une surface plus lisse, on en détache la couche d'oxyde avant de l'engager entre les cylindres au moyen de deux couteaux mobiles ou raclettes placés du côté de l'entrée.

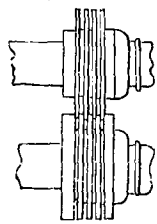
On fait ordinairement faire un quart de tour aux barres après chaque passage dans les cannelures respectives du dégrossisseur ; on opère de même entre les cylindres finisseurs, si le fer est rond ou carré, mais on les retourne sens dessus dessous après chaque passage, si on lamine du fer plat. Arrivé à la dernière cannelure des finisseurs, dans laquelle il les passe au moins deux fois, le lamineur vérifie leurs dimensions avec soin.

Fabrication du fer fendu.

Lorsqu'on veut fabriquer avec économie des fers carrés ou plats dont les formes n'ont pas besoin d'une entière perfection, on se sert de machines appelées *fenderies*.

Un train de fenderie se compose de deux équipages, dont l'un, appelé *espatard*, sert de dégrossisseur, et l'autre constitue la fenderie proprement dite. L'espatard est tantôt un équipage à cylindres unis, mais beaucoup moins longs que ceux du train à tôle, et tantôt est remplacé par un équipage ordinaire à fer plat marchand, muni d'une large cannelure qui fait fonctions d'espatard. Dans le premier cas, les languettes que l'on veut découper doivent avoir à peu près la largeur et l'épaisseur nécessaires pour la fente en arrivant au train ; dans le second, il arrive à l'état de paquets que l'on amène aux dimensions voulues entre les cylindres du dégrossisseur. On place ordinairement le train de fenderie à la suite du gros train marchand.

La fenderie (fig. 882) se compose de deux systèmes de *taillants* ou couteaux circulaires, faits en acier ou en fer aciéré, montés sur des arbres en fonte, et séparés par des disques ou *rondelles* de même épaisseur, mais d'un plus petit diamètre, qui les maintiennent à une distance égale à la largeur des verges que l'on veut fabriquer, et dont l'ensemble porte le nom de trousse. Chaque trousse est appuyée d'un côté contre une rondelle d'épaulement, faisant corps avec son arbre, et elle est recouverte du côté opposé par une rondelle mobile ou *garde* ; tout l'ensemble du système est traversé par quatre boulons d'assemblage qui en forment un tout invariable.



882.

Les trousses sont disposées l'une au dessus de l'autre, de manière à ce que les taillants de l'une correspondent aux entre-deux de l'autre, et remplissent parfaitement les intervalles laissés par ces pièces. Les taillants doivent se pénétrer au plus de 10 à 15mm ; en les engageant davantage, on augmente l'angle qu'ils forment à leur jonction et le fer est saisi moins facilement.

Pour empêcher les verges de s'enrouler autour des trousses de fenderie, on place entre les taillants des lames droites en fer aciéré sur le côté, dites *vergettes*, portées par des pièces à lunettes enfilées dans les colonnes de la cage de la fenderie ; ces vergettes ont en outre pour but de faire sortir les verges en ligne droite et de les rassembler en faisceaux, afin que le fer soit exactement dirigé sur les taillants et soit fendu avec le moins de perte possible, on place du côté de l'entrée des guides, qui ont entre eux un écartement plus grand de 4 à 5mm seulement que l'épaisseur des trousses ; ces guides sont adaptés aux *tirans* en fer qui séparent et maintiennent les *porte-vergettes*.

Les taillants doivent être bien plans, d'égale épaisseur, et, autant que possible, tournés sur leur pourtour, pour être égaux en diamètre et avoir des arêtes plus vives. On les chauffe au rouge-cerise pour les tremper et on les recuit jusqu'au bleu léger. Le diamètre des taillants supérieurs et inférieurs est le même ; il peut varier de 0m,27 à 0m,40 ; mais il ne change jamais dans la même machine. Il est avantageux d'employer de grandes dimensions parce que le fer sort plus droit et le travail marche avec plus de célérité ; mais les grands taillants sont difficiles à confectionner, exigent beaucoup de force motrice et sont sujets à se voiler. Les rondelles ou entre-deux ont un diamètre moindre de 0m,12 à 0m,15 que celui des taillants. L'épaisseur des taillants et entre-deux d'une paire de trousses est la même et égale à la largeur du fer fendu que l'on veut obtenir. Toutes les trousses doivent avoir la même largeur, 80mm par exemple, afin qu'on ne soit pas obligé d'employer des cylindres plats différents pour les divers échantillons sous lesquels on veut débiter le fer dans la fenderie.

Le nombre des taillants d'un équipage est toujours impair ; l'arbre supérieur en porte ordinairement un nombre pair ; par suite, le nombre des brins fournis par une barre est aussi impair, et égal à la somme des taillants des deux trousses, moins deux. Le nombre des taillants dont se composent les trousses dépend des dimensions des verges à fabriquer ; il est d'autant plus grand que ces fers doivent avoir moins de largeur ; ainsi les lames de 5 à 9mm, 11 à 14mm, 14 à 16mm, 16 à 22mm et de 22 à 27mm, peuvent se faire respectivement à 13 ou 11, 9, 7, 5 et 3 brins.

La vitesse des trousses de fenderie varie de 50 à 80 tours par minute ; on doit constamment arroser les trousses par une abondante injection d'eau froide, pour qu'elles ne se détrempent pas trop vite, et, de plus, on doit encore les graisser avec du suif placé par morceaux sur les portes-vergettes de devant, afin que les taillants glissent sans effort les uns sur les autres.

Les verges de fenderie dont la largeur est égale ou inférieure à 7mm, se font en une seule chaude ; tous les autres fers fendus se fabriquent en deux chaudes ; on aplatit d'abord le fer entre les espatards et on le passe immédiatement après entre les trousses, qui le découpent en tringles.

Le fer fendu est surtout employé pour les besoins de la clouterie.

Fabrication du fer de riblons.

Dans les grandes usines on obtient beaucoup de déchets de fer, tels que débris de fer fendu, rognures de tôle, bout de rails trop petits pour entrer dans la composition des paquets, etc., dont il importe de tirer parti à l'usine même. Quelquefois aussi, on établit, près des grandes villes, des usines particulières, pour le traitement des vieilles ferrailles. A cet effet, on forme avec ces débris des masses ou fagots que l'on chauffe dans des fours à réchauffer ordinaires et que l'on traite ensuite, comme les balles des fours à puddler, au marteau et aux cylindres ébaucheurs ; le déchet à l'ébauchage est de 10 à 12 p. 100. Ce fer ébauché donne, par le corroyage, un fer de qualité supérieure ; du reste, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qualité de ce fer doit varier avec celle des débris ou *riblons* dont on a formé les masses. C'est ainsi que des fers à cheval, de vieux clous, etc., donnent un fer de meilleure qualité que les bouts de rails et d'autres fers de gros échantillons. Le fer de riblons porte aussi le nom de fer de masse, fer de mitraille, etc.

Conditions de vitesse auxquelles doivent satisfaire les machines ouvrières d'un laminoir; force motrice absorbée et travail effectué par ces machines.

De toutes les machines d'un laminoir, il n'y a que le marteau pour lequel il soit possible de calculer la force motrice nécessaire. Les trains, les cisailles et le squeezer, prennent au moteur des forces qui varient avec les résistances à vaincre. Celles-ci surpassent souvent la puissance du moteur et exigent que le volant cède une portion de sa force vive.

Les forces indiquées dans ce paragraphe sont celles que fournit le moteur et non celles qui sont réellement employées pour le travail. On suppose que chaque machine ouvrière travaille au moyen d'un moteur particulier et que les cylindres ont les diamètres que nous avons indiqués.

Pour 10 à 12 fours à puddler il faut un *marteau frontal* du poids de 4000 à 5000^k donnant 70 à 75 coups par minute, et exigeant une force de 12 à 15 chevaux.

Un *squeezer* faisant 80 à 90 oscillations par minute exécutera le même travail que le marteau frontal ci-dessus, et consommera une force de 8 à 10 chevaux.

On ne tient pas compte de la force dépensée par les *cisailles* qui est très faible; une seule cisaille peut suffire pour une fabrication de 1000^{qm} d'ébauché par semaine.

Un *train ébaucheur* à deux équipages faisant 30 à 40 tours par minute et desservant 10 à 12 fours à puddler, exige une force de 20 chevaux.

On peut admettre qu'il faut une force de 40 chevaux pour faire fonctionner un marteau, un squeezer et un train ébaucheur.

Un *train à rails* composé de deux équipages dont les cylindres font 50 à 70 tours par minute, doit être desservi par une machine de 40 à 45 chevaux. La fabrication de ce train peut s'élever, par 24 heures, de 14000 à 18000^k de rails, suivant que ceux-ci sont plus ou moins légers.

La vitesse des *laminoirs à tôle* varie, avec la nature des échantillons, depuis 25 tours jusqu'à 40; la puissance motrice nécessaire à un train de deux équipages varie entre 30 et 50 chevaux, suivant que les tôles sont plus ou moins minces. Un pareil train peut fournir, en travail continu, de 550 à 600^{qm} de tôles fines et jusqu'à 1800^{qm} de grosses tôles par mois.

La vitesse des *trousses de fenderie* varie de 50 à 80 tours par minute. On peut estimer à 8 ou 10 chevaux la puissance absorbée par la cage de fenderie. En travail continu de jour et de nuit, une fenderie pourvue d'un espatard produit par semaine 400^{qm} de verges de 5 à 6^{mm}, et 660^{qm} de verges de 9 à 13^{mm}.

La force motrice absorbée par un *petit train* varie avec la vitesse et le nombre des cylindres de 10 à 20 chevaux. Dans ce derniers cas on fabrique aisément 50 à 60^{qm} de verge ronde n° 23 par 24 heures.

Prix de revient des fers fabriqués par la méthode anglaise.

Nous prendrons pour exemple une grande forge située près de mines de houille, et à laquelle la fonte brute revient à 9 fr. 50 c. les 100^k, ce qui est le cas de plusieurs usines en France, et nous donnerons, en partant de cette base, le prix de revient du fer ébauché, du fer corroyé, des rails, modèle ordinaire, pesant 34^k,72 par mètre courant, et du fer fendu communs.

Fer ébauché.

110^k de fonte à 9 fr. 50 c. les 100^k. . . .	10^f,25
125^k de houille à 1 fr. 10 c. les 100^k. . . .	1^f,38
Main d'œuvre.	1^f,46
Frais généraux et frais divers.	1^f,62
Prix de revient des 100^k de fer ébauché. .	14^f,91

Fer corroyé.

68^k de fer ébauché à 14 fr. 91 les 100^k. . .	10^f,14
29^k de bout de rails à 17 fr. les 100^k. . . .	4^f,93
15^k de mitraille à 15 fr. les 100^k.	2^f,25
63^k de houille à 1 fr. 10 c. les 100^k. . . .	0^f,69
Main-d'œuvre.	0^f,69
Frais divers.	0^f,69
Prix de revient des 100^k de fer corroyé. .	18^f,09

Rails bruts.

63^k de fer ébauché à 14 fr. 91 c. les 100^k. .	9^f,39
62^k de fer corroyé à 18 fr. 79 c. les 100^k. .	11^f,65
55^k de charbon à 1 fr. 10 c. les 100^k. . . .	0^f,61
Main d'œuvre.	0^f,56
Frais divers.	0^f,04
Produit, 112^k 1/2 de fer à.	22^f,25
A déduire 12^k 1/2 pour bouts, à 17 f. les 100^k.	2^f,12
Prix de revient des 100^k de rails bruts. .	20^f,13

Rails finis.

102^k de rails bruts à 20 fr. 13 c. les 100^k. .	20^f,53
Charbon.	0^f,05
Ajustage et frais divers.	0^f,50
Total.	21^f,08
A déduire, 1^k,90 de mitraille à 15 fr. les 100^k.	0^f,28
Prix de revient des 100^k de rails finis. .	20^f,80

Fer fendu.

117^k,5 de fer ébauché à 14 fr. 91 c. les 100^k.	17^f,52
75^k de charbon à 1 fr. 10 c. les 100^k. . .	0^f,82
Main d'œuvre.	1^f,27
Frais généraux et frais divers.	1^f,79
Total.	21^f,40
A déduire, 4^k de mitraille 15 fr. les 100^k.	0^f,60
Prix de revient des 100^k de fer fendu. . .	20^f,80

Fabrication de fil de fer.

On donne le nom de *tréfileries* aux ateliers dans lesquels le fil de fer est réduit en fils plus ou moins minces par l'étirage à froid au moyen de la *filière*.

Le fer destiné à la tréfilerie doit être facile à travailler à chaud, afin de se prêter à un amincissement suffisant par l'action du laminoir; fort et doux à froid, afin de subir sans difficulté l'étirage à la filière; et plutôt dur que mou à cause de la texture nerveuse qu'il prend par le travail; le fer trop mou étant sujet à des solutions de continuité dans le sens de la longueur du fil, par suite de la séparation des fibres produites par l'étirage. On n'emploie que des fers provenant de bonnes fontes au bois, et les meilleures qualités de fil se fabriquent toujours avec des fontes affinées au charbon de bois. Le fer puddlé peut être filé sans difficulté en numéros ordinaires, mais les fils qu'il donne sont plus durs, plus roides et moins souples que ceux fabriqués avec du fer affiné dans des forges à l'allemande. Du reste, le fer puddlé s'emploie de préférence pour le fil destiné à la fabrication des pointes de Paris, à cause de sa dureté et de son prix moins élevé.

Le numéros des fils se détermine au moyen d'une *jauge* ou disque d'acier sur le pourtour duquel on a fait des entailles rectangulaires qui sont désignées par des numéros : un fil de fer appartient à un numéro quand il peut entrer dans l'entaille qui lui correspond. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux jauges principales du commerce, sont les jauges anglaise et française. La *jauge anglaise* contient 27 numéros dont le 0 correspond à un diamètre de 8 millimètres et le n° 26 à 1/2 millimètre. Le n° 1 de cette jauge a 7 millimètres de diamètre et le n° 2, 6 1/2 millimètres. Dans la *jauge française*, les numéros et les diamètres des fils vont en croissant depuis le n° 0 jusqu'au n° 24; au-dessous du 0 ou *passe-perle*, la jauge contient des numéros qui croissent depuis le n° 8 jusqu'au n° 30, mais qui correspondent à des diamètres décroissants. Le n° 21 français au-dessus du passe-perle égale le n° 2 anglais, et le n° 1 français, aussi au-dessus du passe-perle, égale le n° 24 anglais; le n° 30 au-dessous du passe-perle correspond au fil le plus fin que l'on puisse obtenir avec le meilleur fer, et qui s'emploie pour cordes de piano, fines toiles métalliques, etc.

La filière est une plaque d'acier percée d'une suite de trous placés en échiquier (voir BANC-A-TIRER) et dont les diamètres vont en décroissant. Les trous de la filière sont coniques, et l'on fait entrer le fil par le grand côté du cône. Pour que le trou de sortie conserve sa rondeur, de laquelle dépend la forme du fil, il est nécessaire que la plaque d'acier employée soit très-dure. L'angle du cône doit être très-aigu, afin que la compression du métal et sa réduction au diamètre voulu soient mieux ménagées. Il faut, pour la même raison, que les diamètres des trous ne décroissent pas trop rapidement. On perce la filière, à chaud, avec des poinçons coniques, dont chacun peut servir pour 4 ou 5 trous de diamètres différents. Les filières employées pour les numéros fins, à partir du n° 15 de la filière anglaise, se font seulement en acier fondu et ont 12 millimètres au plus d'épaisseur; pour les autres fils, on se sert d'une plaque d'acier sauvage, ou acier de forge extrêmement dur, soudée à une plaque de fer; l'épaisseur de ces filières est d'environ 25 millimètres.

Comme la longueur du fil s'accroît par le passage dans la filière, on l'enroule sur des cylindres auxquels on donne un mouvement de rotation qui produit la traction nécessaire à l'étirage. Pour les fils inférieurs au n° 15 de la jauge anglaise, on emploie un tambour horizontal. On enroule les fils plus fins autour de bobines verticales ayant la forme de cônes très-aigus (fig. 882 *bis*);

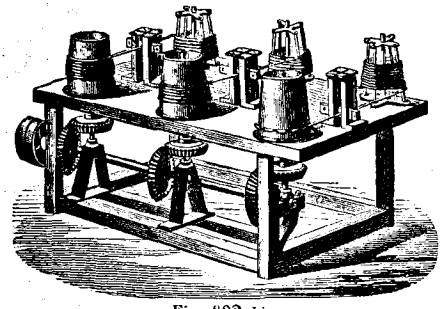


Fig. 882 *bis*.

chaque bobine est assujettie sur un axe vertical qui traverse la table de travail et qui donne le mouvement. C'est, en général, une roue hydraulique qui meut les bobines des tréfileries, dans les usines à fer au charbon de bois, dont les produits sont souvent, en bonne partie, transformés en fil de fer et en pointes dans la forge même. Leur grande ductilité les fait rechercher pour cet emploi. Avant de passer le fil à la filière, on l'amène au laminoir à un diamètre de 8 millimètres au plus, et qui descend quelquefois jusqu'à 3 et 4 millimètres; dans ce dernier cas, on le reçoit sur des bobines à la sortie du laminoir.

Afin de diminuer le frottement qui a lieu pendant la traction, on graisse le fil ou le trou, ou bien, ce qui est préférable, on applique sur la filière une pelote de graisse formée d'un mélange de suif et d'onguent noir, à travers laquelle passe le fil qu'il s'agit de filer; par ce moyen, on refroidit l'ouverture conique, en même temps qu'on facilite le passage du fil.

La vitesse de tirage doit être uniforme et réglée d'après la nature du fer, la destination et le diamètre du fil. Le fer puddlé exige une vitesse moindre que le fer affiné au charbon de bois. On augmente la vitesse en raison du nombre de passages à la filière.

Quand une botte de fil est faite, on la jette sur un *dévidoir* de forme conique pour la passer de nouveau dans la filière correspondante. Le dévidoir est placé en avant de la filière sur la table de travail, et mû habituellement à la main.

Pour attirer le fil appointé du trou de la filière sur le tambour ou sur la bobine, on emploie des tenailles qui s'ouvrent d'elles-mêmes lorsqu'elles avancent vers la filière, et qui, en se retirant, prennent et serrent fortement le fil qu'elles doivent filer. La bobine ou le tambour est entaillé pour recevoir la tenaille, qui, après avoir saisi le fil, recule; puis, quand la bobine a fait 1/4 de tour, elle s'applique dans l'entaille de cette dernière, après quoi l'enroulement commence.

Le nombre de trous par lesquels on fait passer le fil pour l'amener à un numéro donné dépend de la qualité du fer, de la force mécanique dont on dispose et du degré de finesse que doit avoir le fil fini. Lorsqu'on dégrossit, on saute ordinairement un trou de la filière à chaque passage, et, en général, ce n'est que pour les 4 à 5 dernières passes, destinées à finir et à parer le fil, que l'on suit l'ordre des numéros observé dans la filière.

Le fil s'écrouit et devient moins ductile après son passage à travers une série de trous; on le recuit alors au rouge-brun pour le ramener à son état primitif. Le recuit se fait soit dans une espèce de four à réverbère chauffé soit par les flammes perdues du feu d'affinerie, soit à feu nu au milieu d'un tas conique de menu charbon ou fraisil auquel on met le feu, soit, le plus souvent, en vase clos, dans des marmites annulaires en fonte. Le nombre de recuits que l'on fait subir au fil dépend de la nature plus ou moins ductile du fer et du diamètre auquel le fil est parvenu. Les gros numéros exigent des recuits beaucoup plus fréquents que les autres. On recuit toujours le fil avant de l'engager dans le premier trou de la filière.

Le recuit donne toujours lieu à la formation d'une couche d'oxyde plus ou moins épaisse, dont on débarrasse le fil par le *décapage*. Sans cela, l'oxyde formé, en se détachant pendant l'étirage corroderait la filière et changerait la forme des trous, ou au moins produirait des raies ou des stries nuisibles à l'apparence et à la qualité du fil. Le décapage se fait au moyen de l'acide sulfurique, étendu ordinairement d'environ 240 fois son poids d'eau. Il faut employer un acide plus fort pour les fils recuits à feu nu que pour ceux recuits en vases clos. Après le décapage, on laisse les fils s'égoutter pendant quelques heures avant de les repasser à la filière. On ne décape pas à chaque recuit, surtout pour les gros numéros.

On estime qu'une tréfilerie ayant 8 bobines ou tambours en activité, exige une chute d'eau d'une force de 20 chevaux.

Statistique. De toutes les industries métallurgiques, celle du fer est, sans contredit, de beaucoup la plus importante. Nous en donnerons une idée, en rappelant qu'actuellement, en France, la fabrication de la fonte du fer et de l'acier et de leurs élaborations principales occupe plus de 50,000 ouvriers et crée une valeur de plus de 150,000,000 de francs, non compris l'exploita-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion des forêts et des mines de houille qui alimentent les usines à fer.

Nous terminerons, en indiquant la production en fonte de l'Europe pour 1871, et remarquant que celle de la fonte est à celle du fer environ comme 3 : 2 ; la plus grande partie est transformée en fer forgé et 1/10e à 1/4, selon les localités, en fonte moulée de première fusion. Cette production est de 12 millions de tonnes métriques qui se répartissent ainsi :

	Tonnes métriques.
Grande-Bretagne	5,896,000
États-Unis	1,735,000
France	1,225,000
Zollverein	1,133,000
Belgique	904,000
Autriche	408,000
Suède et Norwége	254,000
Russie	299,000
Italie	68,000
Espagne	65,000
Autres pays	181,000
Totaux	12,168,000

P. DEBETTE.

FER BATTU ÉTAMÉ (USTENSILES EN). L'emploi du cuivre pour la fabrication des casseroles, chaudrons, et autres vases destinés à la préparation des aliments, entraine avec lui, dans certains cas, une foule d'inconvénients fort graves, que l'on n'évite qu'au moyen d'un étamage coûteux et demandant une surveillance continuelle. Le prix du cuivre est d'ailleurs trop élevé pour les classes pauvres. La fonte, qui remplace le cuivre dans beaucoup de ménages, est lourde, cassante et d'un usage incommode ; elle a l'inconvénient capital de noircir les aliments, et de leur communiquer un aspect et une saveur désagréables qui la fait rejeter de tous les ménages aisés. Le fer-blanc, dans un petit nombre de cas, peut, il est vrai, remplacer le cuivre ; mais il est trop faible pour être solidement rivé et agrafé ; il ne peut, à cause des soudures, supporter l'action continue du feu. Son manque de consistance, résultant de son peu d'épaisseur, le rend également impropre à être employé pour quantité d'ustensiles qui exigent une certaine solidité.

Quant à l'étain, son prix élevé, sa fusibilité, son extrême malléabilité, qui ne lui permet pas de recevoir le moindre choc sans se déformer, rendent son usage impraticable. Reste le zinc. Chacun sait que ses combinaisons salines sont des poisons violents. L'emploi de ce métal est donc fort restreint.

Le fer battu étamé offre quelques-uns des avantages du cuivre, et convient pour tous les ustensiles pour lesquels on avait recours aux matières ci-dessus mentionnées. La fabrication des ustensiles en fer battu remplace, pour les besoins de la cuisine et du ménage, la chaudronnerie, la ferblanterie, la fonderie, la poterie d'étain. Le fer battu jouit d'une grande solidité, et la modicité de son prix le met à la portée de toutes les classes. Il se fabrique par l'emboutissage à froid, en évitant ainsi toute cause de destruction rapide par les modes d'assemblage, rivure, soudure, etc. La condition essentielle pour la réussite de l'opération est d'employer du fer d'une grande malléabilité et d'une qualité parfaite.

On emboutit le fer sur une série de matrices et de moules, se rapprochant graduellement de la forme de l'objet que l'on veut avoir. Les molécules du fer subissent un écartement progressif. On soumet à l'action d'un puissant balancier à vis, dans le genre de ceux qui servent au monnayage, le fer en feuilles placé dans ces différentes matrices ; ou bien, avec grand avantage, on remplace par la presse hydraulique le balancier, dont l'emploi est souvent dangereux pour les hommes qui le manœuvrent, et en évitant des chocs qui peuvent produire facilement des déchirures par suite de non-homogénéité du métal. On peut obtenir par ce procédé des ustensiles de toutes formes et de toutes dimensions, même la marmite de campagne et la gamelle pour la troupe, quoique ces pièces soient à angles aigus, et cela d'une seule pièce, sans soudure ni solution de continuité, ce qui procure une grande économie et une solidité à toute épreuve.

L'étamage se fait au moyen de bains d'étain recouverts de chlorure de zinc liquéfié par la chaleur et portés à une haute température ; ce qui le rend, dit-on, plus solide et plus durable. Nous devons observer cependant que l'étain s'étend en couche plus égale, d'une manière plus uniforme, sur le cuivre que sur le fer. Les autres parties de la fabrication, telles que le montage, l'agrafage, sont absolument les mêmes que celles mises en usage pour les ustensiles de même espèce, en cuivre, en fer-blanc, etc.

La fabrication du fer battu ou plutôt estampé est une industrie dont l'importance augmente chaque jour en France. La consommation française du fer battu étamé peut être représentée par le chiffre de 1,500,000 francs au moins.

Il s'en exporte en Amérique, en Italie, en Suisse, en Belgique ; la seule cause qui s'oppose à l'accroissement de nos débouchés à l'étranger tient au prix élevé du fer en France, ce qui nous oblige à vendre nos produits bien plus cher que ceux de même nature qui se fabriquent en Allemagne. Il est vrai que ces derniers, fabriqués au marteau par les procédés à chaud, sont mal établis, lourds et de formes disgracieuses ; mais le bon marché les fait préférer aux produits venant de nos usines de Franche-Comté, où cette fabrication est montée sur la plus grande échelle ; où elle a été vraiment créée, par MM. Japy, nos grands industriels de Beaucourt. La qualité de nos tôles au bois peut faire ici une heureuse compensation au prix plus élevé de la matière première, car il faut qu'elles soient ductiles et bien soudées pour éviter des déchets et donner de bons produits.

D'ingénieuses machines sont venues s'adjoindre à de nombreuses collections de matrices pour assurer la prospérité de cette industrie pleine d'avenir. Celle pour faire les joncs, pour retourner les bords coupants par l'action de plans inclinés successifs, et les remplacer par des parties rondes, constitue une élégante application des procédés d'emboutissage. On comprend facilement comment une pièce cylindrique étant montée sur le tour, des roulettes de formes différentes venant s'appliquer sur le bord, le déplacent successivement de manière à le replier finalement en forme de boudin.

FER-BLANC. Voyez ÉTAMAGE.

FERBLANTIER. Le ferblantier exécute en fer blanc, tôle mince étamée facile à couper et à façonner, une foule de petits ustensiles à bon marché. Les procédés d'exécution sont simples, mais il faut qu'ils soient appliqués par un ouvrier un peu adroit pour être satisfaisants.

Le grand mérite du fer-blanc est que ses surfaces se soudent avec grande facilité, ce qui fournit le moyen rapide d'assemblage des éléments des objets fabriqués.

FER GALVANISÉ. Voyez ÉTAMAGE.

FERMENTATION. Les phénomènes de fermentation, c'est-à-dire la transformation toute spéciale des substances du règne organique auxquelles on a donné ce nom, constituent un phénomène général, le retour au monde minéral des molécules qui lui ont été empruntées par la vie organique. Ils exigent ordinairement pour se produire : le contact de l'air, une température de 20 à 30° centigr., la présence de l'eau, enfin le concours constant d'une petite proportion de matière organisée particulière, qui constitue le ferment introduit dans la substance qui éprouve la fermentation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'action spéciale des ferments engendre d'autres effets que les décompositions ordinaires, qui résultent des affinités chimiques; les savants l'expliquent de deux différentes manières.

D'après M. Liebig, la fermentation des corps es excitée par d'autres corps qui se trouvent eux-mêmes dans un état d'altération, et la cause des transformations qui en résultent, doit se chercher dans la destruction de l'état de repos, par suite de laquelle les molécules mises en mouvement obéissent à leurs attractions mutuelles ou à des attractions nouvelles; car, ajoute ce chimiste célèbre, ce mouvement mécanique suffit déjà pour amener dans beaucoup de corps un changement de forme et d'état, à plus forte raison un corps qui se trouve dans un état de décomposition ou de combinaison devra-t-il pouvoir communiquer à d'autres corps le même mouvement ou la même activité.

Dans les corps exempts d'azote, parmi les causes d'altération qui les sollicitent, la plus essentielle se trouve dans la grande affinité de leur carbone pour l'oxygène, affinité qui a pour conséquence la formation de produits extrêmement simples et inaltérables.

Dans les matières azotées qui renferment toujours du carbone, outre cette cause d'altération, il en existe une autre due à l'affinité de l'azote qu'elles contiennent, pour l'hydrogène; aussi ces matières se décomposent-elles bien plus facilement que celles qui ne contiennent pas d'azote.

Ainsi, dans les matières azotées, deux corps s'emparent des éléments de l'eau, deux affinités opposées s'y trouvent en activité et s'y renforcent réciproquement. Il en résulte que les combinaisons qui contiennent de l'azote, renferment, par suite de la tension de leurs éléments, une cause de perturbation qui agit aussitôt que ces combinaisons rencontrent en même temps de l'hydrogène et de l'oxygène. On conçoit, d'après cela, que toutes les parties azotées de l'organisation végétale ou animale tombent d'elles-mêmes en putréfaction, en présence de l'eau et à une température plus élevée que la température ordinaire. Les substances exemptes d'azote n'ont pas la même propriété, elles manquent de cette prédisposition naturelle qui est propre aux molécules azotées complexes.

Les substances renfermant de l'azote peuvent donc seules provoquer la fermentation des substances organiques. On comprendrait, d'après cela, que la levure, qui est une matière azotée, n'agirait comme ferment qu'en vertu de son altération. Les expériences de M. Colin, qui tendent à prouver que la levure doit sa propriété fermentescible à l'altération de sa partie soluble, viendraient à l'appui de cette supposition.

Le gluten, la légumine, le sang, etc., provoquent comme la levure la fermentation de l'eau sucrée, lorsqu'elles tombent en fermentation.

M. Liebig admet que toutes ces matières qui fermentent d'elles-mêmes au contact de l'eau et de l'air, reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent, et se comportent de la même manière que l'eau oxygénée en contact avec l'oxyde d'argent.

Or, nous savons que le bi-oxyde d'hydrogène, dans ce cas, perd la moitié de son oxygène, tandis que l'oxyde d'argent est lui-même réduit à l'état métallique, réduction qu'on ne peut expliquer qu'en admettant qu'elle est l'effet du contact de l'oxyde d'argent avec l'eau oxygénée, corps qui se trouve lui-même dans un état de décomposition. D'après le même chimiste, la levure et tous les ferments proviendraient de l'altération du gluten ou de toute autre matière azotée analogue, lequel gluten, en présence de l'eau et de l'air, entre à chaque instant dans une nouvelle période de décomposition. C'est dans ce dernier état qu'il acquiert la faculté de provoquer la fermentation dans un liquide sucré; mais si ce liquide renferme lui-même du gluten ou des substances albuminoïdes, comme c'est le cas pour le moût de bière, par exemple, la décomposition des éléments du sucre a pour conséquence une nouvelle production de levure par l'altération de ce gluten. Le mouvement continuel des globules qui forment les ferments, pendant la fermentation, serait dû à la perturbation de l'équilibre des molécules du ferment, et ce mouvement se communiquerait également aux éléments des corps en contact.

M. Liebig serait en outre porté à considérer le gluten soluble comme une combinaison hydrogénée semblable à l'acide hydro-indigotique (voyez TEINTURE), comme ce dernier, exposée à l'oxygène de l'air, elle perdrait une certaine partie de son hydrogène ou bien s'oxyderait en se transformant ainsi en ferment insoluble; du moins le dépôt de lie, dans les vins et les bières que l'on conserve, dépôt se formant seulement au contact de l'air, semble prouver que l'oxygène est la cause de la formation des produits insolubles. (Voy. BIÈRE.)

Outre la théorie de M. Liebig pour expliquer la fermentation, on en a proposé dans ces derniers temps une autre qui semble plus généralement adoptée. Les recherches microscopiques sur les matières animales et végétales en fermentation, ont fait admettre dans cette nouvelle théorie, que la cause de cette altération en apparence spontanée était due à la formation de certains végétaux ou animalcules microscopiques; cette assertion s'appuie d'ailleurs sur la grande similitude qui existe entre l'action des ferments et le rôle joué par tous les animaux et par toutes les parties des plantes qui ne sont pas vertes, similitude qui s'explique de la manière suivante. Les animaux, par l'accomplissement régulier des actes de leur vie, détruisent les matières organiques complexes que les végétaux tendent sans cesse à créer sous l'influence de la lumière, et ils les font rentrer dans les composés habituels de la nature minérale, en même temps qu'ils utilisent pour eux les forces qui maintenaient ces matières à l'état de combinaison. Ainsi agissent les fermentations; elles dédoublent les matières organiques complexes, pour les ramener aussi à des formes plus simples appartenant au règne inorganique.

Le ferment jouerait donc le même rôle que tous les animaux; comme eux il a besoin pour vivre et se développer d'une nourriture semblable à la leur, comme eux encore, il détruit en les simplifiant les productions végétales.

Tantôt le ferment n'existe qu'en germe dans les matières organisées; tantôt il est déjà formé, mais pendant la fermentation il perd sa qualité de ferment; tantôt, au contraire, non seulement il existe et agit, mais encore il se développe jusqu'à sextupler de poids.

L'étude de la fermentation alcoolique peut donner une juste idée de l'action peu connue du ferment; nous y trouverons dans cette étude un exemple des trois états sous lesquels se présente le ferment dans les phénomènes de la fermentation.

Ainsi, dans les raisins, le ferment est à l'état de germe, la fermentation n'attend que le concours de l'air pour se produire spontanément. Dans la décomposition du sucre liquide par la levure de bière, le ferment disparaît faute d'une matière azotée pour l'alimenter, son action est incomplète. Enfin, dans la fabrication de la bière, la fermentation est complète, car non seulement la levure décompose le sucre, mais en même temps elle se développe aux dépens de la matière albumineuse de l'orge et produit un volume sept fois plus considérable où toutes ses propriétés se rencontrent. Telles sont les trois phases de la vie du ferment.

D'après les expériences et les recherches microscopiques de MM. Cagniard-Latour et Turpin, la levure de bière, examinée avant la fermentation, est formée en entier de globules de 1/100e de millimètre de diamètre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont le pourtour semble souvent garni de petits appendices que ces savants regardent comme de véritables bourgeons annexés aux cellules mères. Aussitôt que la fermentation commence, les petits corps ovoïdes qui forment la levure s'agitent dans tous les sens, et si la substance est mêlée de matières azotées, le ferment augmente de volume, les appendices latéraux des globules se développent rapidement et semblent se détacher pour vivre isolément à leur tour et produire d'autres bourgeons; ce phénomène de multiplication par dédoublement paraît bien difficile à constater par expérience, néanmoins, s'il était démontré, il faudrait bien admettre, comme l'a dit M. Dumas, que la fermentation constitue de véritables actes vitaux, et que la reproduction du ferment est la même que celle du règne végétal.

L'existence d'un être vivant démontrée par là serait confirmée par la remarque que dans toute fermentation complète excitée dans une matière non azotée, impropre à la nutrition, la levure perd ses propriétés, et que, si on ajoute au contraire de l'albumine au mélange, le développement du ferment marche aussitôt.

Ainsi, par une nourriture convenable le ferment donne naissance à du ferment; c'est ce qui explique la fermentation générale manifestée dans du jus de raisin non altéré, quand on y ajoute du moût en fermentation.

Nous croyons devoir donner ici l'opinion de M. Liebig sur cette nouvelle théorie; nous citons textuellement :

« Dans la théorie qui admet que la fermentation est due à la formation de certains végétaux ou animalcules microscopiques, les particules de levure seraient des espèces de champignons dont les germes ou les semences pénétreraient de l'atmosphère dans le liquide fermentescible, ils s'y développeraient aux dépens des substances azotées, de manière à devenir de véritables champignons; par le contact de ceux-ci, dans l'état de développement, avec les particules sucrées, celles-ci se décomposeraient en acide carbonique et en alcool; ce qui, en vérité, signifie tout simplement que l'acte de cette végétation trouble l'équilibre des attractions élémentaires du sucre et en détermine la métamorphose.

« M. Gay-Lussac a prouvé par ses expériences que le jus de raisin exprimé sur du mercure à l'abri de l'air, n'entre pas en fermentation, et que ce phénomène s'établit au contraire au bout de quelques heures dès que l'air a de l'accès. Il a démontré en outre que la fermentation s'établit immédiatement si l'on fait arriver de l'oxygène au dessus de jus, et qu'il s'absorbe de ce gaz 1/120e du volume de l'acide carbonique développé pendant la fermentation. Or, comme on ne peut guère supposer la présence de germes de champignons dans le chlorate de potasse ou le manganèse, d'où l'on extrait le gaz oxygène, il n'est pas rationnel non plus d'attribuer la décomposition à des végétaux en développement.

« Enfin, M. Gay-Lussac a encore fait voir que le jus entre aussi en fermentation si l'on y introduit les pôles d'une pile galvanique, c'est-à-dire dans des circonstances où aucune substance n'y peut arriver du dehors.

« La théorie qui explique la fermentation par le développement de certains végétaux, est donc obligée d'admettre que des êtres vivants peuvent se produire sans la présence d'un germe ou d'une semence, ce qui est tout à fait contraire aux expériences qu'on possède sur les conditions nécessaires au développement des plantes. »

Plus loin l'illustre professeur de Giessen ajoute :

« Ce serait chose singulière, merveilleuse, que de voir, pendant les actes de décomposition qui constituent la fermentation, naître des matières organisées et des parties d'organes des substances d'une structure cristalline, des substances douées d'une forme géométrique. Nous savons, au contraire, qu'avant de se résoudre complétement en combinaisons inorganiques, un corps passe par une série de métamorphoses qui ne lui font perdre ses formes qu'insensiblement. »

La fermentation alcoolique la mieux étudiée semble s'accorder assez bien avec la notion d'une réaction chimique simple, comme l'admettait M. Liebig. En effet, le fait chimique qui y prédomine est la conversion du sucre en alcool et en acide carbonique.

L'équivalent du sucre de raisin desséché dans le vide à 130° étant représenté par $C^{12}\ H^{12}\ O^{12}$, la réaction dont nous avons parlé peut se représenter par l'équation suivante :

$$C^{12}\ H^{24}\ O^{12} = 4\ CO^2 + 2\ C^4 H^{12} O^2.$$

Et en représentant par des nombres :

$$2250 = 1100 + 1150.$$

D'où l'on peut déduire que 100 parties de sucre de raisin doivent donner 51,2 parties d'alcool et 48,8 d'acide carbonique. Si le sucre de raisin était hydraté, les deux équivalents d'eau qu'il renfermerait alors deviendraient libres.

Les recherches de M. Pasteur sont enfin venues décider la question en faveur des idées opposées à celles de M. Liebig, et faire prévaloir la théorie physiologique.

Reprenant la fermentation alcoolique et ne s'arrêtant pas devant une équation chimique entre les éléments du sucre et ceux de l'alcool et de l'acide carbonique, équation qui, à cause de sa simplicité même, avait été généralement considérée comme définitive, M. Pasteur s'est demandé si l'équation dont nous parlons, quelque simple qu'elle soit en apparence, est réellement l'expression des faits; si elle est démontrée de manière qu'on soit autorisé à s'en servir pour déterminer, comme on l'avait fait si souvent, la quantité de sucre contenue dans un liquide d'après les quantités d'alcool et d'acide carbonique produites par ce liquide en fermentation? Se livrant à des recherches plus précises, il a découvert la glycérine et l'acide succinique parmi les produits de la fermentation spiritueuse.

Mais l'étude de cette fermentation est-elle complète, dit M. Chevreul, après que l'analyse immédiate a été si heureusement appliquée à ses produits? M. Pasteur ne l'a pas pensé. M. Cagniard de Latour avait fait la belle observation que la levûre, considérée comme ferment du sucre, semble augmenter en végétant à la manière d'une plante, lorsqu'elle est dans l'eau sucrée. M. Pasteur vérifie cette observation, comme l'avaient fait déjà Turpin, Schwann et Kutsing, et bientôt il lui donne une extension qu'on était loin de soupçonner. D'où vient cette levûre, déjà vivante quand M. Cagniard de Latour l'observa? M. Pasteur répond, d'une *spore* ou graine d'une mucédinée. Cette spore peut être dans les matières albuminoïdes qu'on a appelées *ferments*, quand elles ont acquis, dit-on, la faculté d'exciter la fermentation dans l'eau sucrée, après avoir subi l'influence du gaz oxygène, ou bien cette spore peut se trouver en suspension dans l'atmosphère par suite d'une impulsion qu'elle a reçue d'une cause quelconque. Dès que la spore a perdu le mouvement qui la suspendait dans l'air, elle tombe; et là où la spore rencontre une nourriture appropriée, elle donne naissance à des globules de levûre, et si cette levûre a le contact de l'eau sucrée et de phosphates terreux, la fermentation spiritueuse s'établit, et la levûre s'accroît et se multiplie aux dépens de la matière ambiante. Non-seulement le sucre produit de l'alcool, de l'acide carbonique, de la glycérine, de l'acide succinique, mais il cède à la levûre les élé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ments nécessaires à la production du ligneux et d'une matière grasse.

La levûre n'est donc pas une matière morte : c'est, comme l'a vu M. Cagniard de Latour, un corps vivant dont le développement vital, suivant M. Pasteur, a pour effet la fermentation spiritueuse; ou, en d'autres termes, celle-ci est un phénomène chimique essentiellement subordonné à une action vitale.

M. Pasteur attribue la cause première de diverses fermentations à diverses espèces de plantes mycodermiques et même à diverses espèces d'animaux infusoires. D'après lui, si l'air a été reconnu pour être indispensable au début d'une fermentation, ce n'est point par son oxygène qu'il agit, mais bien par les spores de ces plantes ou les œufs d'infusoires qu'il répand dans la liqueur susceptible de fermenter.

Pour saisir ces spores, ces œufs dans l'air, M. Pasteur fait passer de l'air atmosphérique dans un tube de verre contenant du coton-poudre. Si cet air tient en suspension des spores, des œufs, il les abandonne au coton-poudre, dans lequel il se filtre. Puis, en soumettant celui-ci à l'action de l'éther alcoolique, M. Pasteur dissout le coton-poudre, et le résidu, examiné au microscope, présente des corps organisés qui ont bien la propriété de développer la fermentation. Car si, au lieu de coton-poudre, on s'est servi de filaments d'amiante, en secouant ceux-ci dans des liquides susceptibles de fermenter, la fermentation s'établit si celle-ci est possible sous l'influence des spores ou œufs recueillis par l'ingénieux procédé que nous rappelons.

Quelle conséquence M. Pasteur tire-t-il de ces faits? C'est que, du moment où l'on prouve que les matières albuminoïdes privées de la vie et soumises au contact du gaz oxygène n'ont pas la faculté d'exciter la fermentation des matières qui en sont susceptibles, et que les véritables ferments sont des corps vivants, il faut nécessairement reconnaître que les spores ou les œufs de ces corps vivants se trouvent dans les matières albuminoïdes ou bien ont été déposés par l'air dans les liquides fermentescibles. En adoptant l'opinion contraire, ce serait reconnaître l'existence des générations spontanées, que l'ensemble de ses travaux tend à infirmer.

C'est en poursuivant ces travaux que M. Pasteur a découvert plusieurs végétaux mycodermiques et des animaux infusoires constituant chacun un ferment spécial. Par exemple, il a reconnu que le ferment qui convertit le sucre, la mannite et l'acide lactique en acide butyrique est un animalcule infusoire, et, faits bien dignes d'être signalés, *cet infusoire vit sans gaz oxygène libre;* et il y a plus : *soumis dans le liquide où il vit à un courant de ce gaz, il périt*, tandis qu'il continue à vivre dans la même circonstance s'il est soumis à un courant de gaz acide carbonique.

Passons en revue les principales fermentations. On les classe comme suit :

Alcoolique;	Pectique;
Glucosique;	Benzoïque;
Visqueuse;	Sinapisique;
Lactique;	Digestive;
Acétique;	Ammoniacale;
Gallique;	Putride.

La *fermentation glucosique* est celle qui a principalement pour effet la conversion de l'amidon et de la dextrine en sucre de raisin, sur lequel s'exerce la fermentation alcoolique; son action se manifeste surtout au moment où la diastase réagit sur l'amidon.

La diastase n'est pas le seul ferment qui puisse produire la fermentation saccharine : le gluten peut la déterminer également, surtout si la température est de 50° ou 60°, ce qui tendrait à faire croire que la diastase n'est qu'une simple modification du gluten, q s'opère sous l'influence de l'air.

On a donné le nom de *fermentation visqueuse* à la modification spontanée que les vins blancs subissent quelquefois, et qui leur fait prendre l'aspect glaireux du blanc d'œuf. Cette maladie des vins, connue généralement sous le nom de *graisse*, se retrouve aussi dans les sirops et dans les infusions de tan.

M. Desfosses est parvenu à produire la fermentation visqueuse en faisant bouillir de la levûre avec de l'eau, puis en ajoutant à ce mélange filtré du sucre, de manière à lui faire marquer 6° à 8° au pèse-sirop. Si on expose ce liquide dans un endroit chaud, il s'épaissit et devient visqueux en dégageant de l'hydrogène et de l'acide carbonique.

M. Péligot a remarqué que, pendant la fermentation visqueuse, il se développe dans le liquide des globules d'un ferment très-analogue à la levûre de bière. Ce ferment peut exciter la fermentation visqueuse dans les solutions sucrées auxquelles on l'ajoute, si l'on a soin d'élever suffisamment la température de la masse.

L'eau bouillante enlève au gluten une matière qui peut aussi produire la même fermentation.

Les acides sulfurique, sulfureux et hydro-chlorique, l'alun et le tannin empêchent la fermentation visqueuse en précipitant son ferment.

Les vins rouges doivent au tannin qu'ils ont emprunté à la rafle des grappes de raisins, avec laquelle ils ont été longtemps en contact, la propriété de ne point subir cette fâcheuse altération. Les vins blancs préparés dans d'autres conditions manquent de tannin, et par cela même sont sujets à la graisse; mais si on leur fournit cette matière, on précipite le ferment et on les empêche ainsi de subir la fermentation visqueuse.

Toutes les substances végétales neutres ayant la même composition que l'acide lactique ou qui n'en diffèrent que par quelques atomes d'eau peuvent subir la *fermentation lactique*. Le ferment qui agit dans ce cas peut être fourni par toutes les matières organisées neutres, animales ou végétales, lorsqu'elles ont été modifiées par le contact de l'air.

Les corps qui peuvent le plus facilement se convertir en acide lactique par la fermentation sont : la glucose, le sucre de canne, la dextrine et la lactose, qui tous ne diffèrent de l'acide lactique que par un peu plus ou un peu moins d'eau qui leur est prise ou rendue par la fermentation.

Tous les agents qui arrêtent la fermentation alcoolique agissent de même sur la fermentation lactique.

Parmi les ferments qui la déterminent le plus facilement se trouve la diastase, mais la diastase transformée en un nouveau ferment par une exposition de quelques jours à un air humide. Le caséum se convertit aussi en ferment lactique au contact de l'air. Ce phénomène se présente surtout dans le lait abandonné à lui-même et qui se coagule en s'aigrissant. Le coagulum est composé de caséum et de beurre; le petit-lait renferme du sucre de lait et des sels. La coagulation du caséum a été produite par l'acide lactique, lequel a pris naissance par l'action exercée par le caséum lui-même sur le sucre de lait. Ainsi, au contact de l'air, le caséum devient ferment et transforme le sucre de lait en acide lactique, qui à son tour coagule le caséum, lequel entraîne le beurre en se précipitant et cesse alors d'agir, et la fermentation lactique s'arrête. Si on sature l'acide lactique formé, le caséum se redissout et les phénomènes recommenceront dans le même ordre.

Les membranes de l'estomac de divers animaux, ou des morceaux de leur vessie fraîche et lavée, peuvent aussi donner naissance à la formation de l'acide lactique.

La fermentation acétique se produit dans la fabrication du vinaigre. Dans l'acétification, les liqueurs alcoo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

liques employées, par la déshydrogénation de leur alcool, donnent naissance à un corps nommé aldéhyde dont la formule est $C^4 H^8 O^2$. celle de l'alcool étant $C^4 H^{12} O^2$. A son tour l'aldéhyde s'oxyde à l'air pour produire de l'acide acétique $C^4 H^8 O^4$. (Voy. ACÉTIQUE.)

Tous les chimistes reconnaissent que l'acétification se produit sous l'influence d'un ferment spécial qui prend naissance pendant la formation du vinaigre; en outre, la présence de l'air est indispensable à la fermentation acétique. Il est digne de remarque que le résultat de l'acétification est tout à fait l'opposé de celui des fermentations en général. Effectivement la fermentation a toujours pour objet la destruction des matières organiques complexes pour les ramener à des formes plus simples; la fermentation acétique produit au contraire l'union de deux corps, l'aldéhyde et l'oxygène : c'est une véritable combustion qui nécessite, comme on le comprend, la présence de matières poreuses qui divisent les liquides et augmentent les surfaces de contact avec l'air. Une température autre que celle de 20° ou 30° arrête l'acétification.

La fermentation lactique exige, pour se produire, des matières amylacées ou sucrées, mais le concours continu de l'air n'est pas nécessaire; une fois commencée, elle peut s'en passer; elle ne fait pas non plus intervenir l'alcool. Dans la fermentation acétique, au contraire, la présence de l'alcool tout formé est aussi indispensable que celle de l'air.

Le vin, la bière, le cidre et en général toutes les matières alcooliques peuvent servir à la fabrication du vinaigre; mais si la matière employée est trop riche en alcool il faut l'étendre d'eau pour que l'opération marche bien. (Voyez ACÉTIFICATION).

La fermentation gallique produit le changement qui s'opère quand la noix de galle pilée est exposée en pâte au contact de l'air : le tannin passe à l'état d'acide gallique par l'action du ferment renfermé dans la noix de galle. Ce ferment peut produire également la fermentation alcoolique dans un liquide sucré D'un autre côté la viande, le sang, le caséum peuvent aussi convertir le tannin en acide gallique, mais seulement au bout de quelques semaines de contact à l'abri de l'air; la levûre de bière opère cette transformation plus lentement encore. Toutes ces observations ont fait admettre l'existence de la fermentation gallique.

Fermentation pectique. Lorsqu'on met une dissolution de pectine transparente et fluide en contact avec de l'albumine végétale extraite du suc des fruits, la masse s'épaissit au bout de quelques heures, devient gélatineuse et finit par se contracter considérablement; la pectine a été ainsi transformée en une substance insoluble dans l'eau, mais soluble dans les alcalis; c'est de l'acide pectique. Ce changement isomérique, éprouvé par la pectine sous l'influence de l'albumine végétale, paraît analogue aux phénomènes qui se passent dans les fermentations; c'est ce qui a fait admettre une *fermentation pectique.*

La fermentation benzoïque transforme une matière neutre azotée et cristallisée, n'agissant pas sur l'économie animale et existant dans les amandes amères, en produits nouveaux parmi lesquels se trouvent l'hydrure de benzoïle et l'acide hydro-cyanique, qui forment ensemble l'essence des amandes amères.

Cette fermentation se produit toutes les fois qu'on délaye avec de l'eau le tourteau des amandes amères; une odeur d'acide prussique indique le commencement de la décomposition.

La matière qui agit comme ferment a été appelée synaptase par M. Robiquet; celle qui subit la fermentation est l'amygdaline.

La synaptase a la plus grande analogie avec l'albumine; elle n'agit pas sur l'amidon, tandis qu'en présence de l'amygdaline elle la transforme en produits nouveaux; la réaction a lieu à froid aussi bien qu'à chaud.

L'amygdaline qui existe dans le son des amandes amères a la composition suivante; $Az^2 C^{40} H^{54} O^{22}$, hydratée elle renferme en outre 6 atomes d'eau. La synaptase n'a pas été analysée, on sait seulement que c'est une matière azotée.

Nous ne donnerons ni le moyen de préparer ces deux corps, ni leur manière de se comporter avec les divers réactifs; nous ne parlerons pas non plus de l'acide amygdalique qui dérive de l'amygdaline : cette étude regarde beaucoup plus les traités de chimie théorique qu'un ouvrage de science appliquée.

Dans la *fermentation sinapsique* la farine de moutarde est transformée en une huile essentielle.

Le principe particulier contenu dans la moutarde noire qui détermine constamment la production d'une huile volatile a reçu le nom de myrosine. La moutarde blanche ne donne jamais d'huile volatile, mais elle fournit un principe âcre quand on la fait digérer dans l'eau froide. Traitée par l'alcool à 38°, elle fournit par l'évaporation une substance cristalline appelée sinapisine; c'est cette matière qui, sous l'influence de la myrosine, donne naissance au principe âcre dont nous avons parlé.

La production de l'huile essentielle fournie par la fermentation de la moutarde noire est accompagnée, comme toutes les fermentations, d'une formation de globules ayant l'aspect de ceux de la levûre de bière : ils sont seulement plus petits.

Fermentation digestive. La digestion a été considérée dans ces derniers temps comme une véritable fermentation.

Le suc gastrique renferme le ferment qui produit cette *fermentation digestive.* La substance qui, dans le suc gastrique, produit l'action d'un ferment a été appelée pepsine par M. Schwan.

M. Vogel fils a isolé cette matière, que l'estomac des porcs fournit en abondance.

Ajoutée à l'acide hydro-chlorique étendu, la pepsine a la propriété de dissoudre, à 28° centigr., la viande cuite, et cela sans diminuer de poids et sans changer de nature; cette matière agirait donc sur les aliments par sa seule présence, en les disposant à la solubilité; son action serait la même que celle de la diastase dans la transformation de l'amidon en sucre de raisin.

M. Deschamps, de son côté, s'est assuré que la présure est propre à l'estomac de tous les animaux, et qu'elle est essentielle à la digestion; il a appelé chymosine la partie active de la présure.

D'après d'autres expériences dues à MM. Dumas et Cahours, la présure, ajoutée à la dose de quelques gouttes dans un mélange de 10,000 parties d'eau et de 6 p. d'acide hydro-chlorique, rend ce liquide apte à dissoudre la fibrine en quelques heures.

L'acide hydro-chlorique seul agirait en formant une gelée consistante insoluble. Comme l'roust a trouvé dans le suc gastrique de l'acide hydro-chlorique libre, on peut dire que dans cette matière il y a deux agents; l'acide qui ramollit et gonfle les matières azotées qui se trouvent dans les aliments; la pepsine ou la chymosine qui en détermine la liquéfaction.

Sous le nom de *fermentation de l'urée*, M Dumas désigne la conversion de l'urée en carbonate d'ammoniaque, sous l'influence de l'eau, d'un ferment et d'une température favorable.

L'urée, en se transformant en carbonate d'ammoniaque, fixe 2 atomes d'eau. En représentant ce corps par $C^2 H^8 Az^4 O^2$, la formule qui explique ce phénomène est la suivante :

$$C^2 H^8 Az^4 O^2 + 2 H^2O = 2 (CO^2, Az^2 H^6).$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est sa conversion en carbonate d'ammoniaque qui rend l'urée propre à l'alimentation des végétaux. Cette conversion se fait par l'action de la matière muqueuse de l'urine, qui joue le rôle de ferment. La levûre de bière n'agit pas sur l'urée pure, même à la longue; ajoutée à l'urine elle provoque sa fermentation. Le résidu blanc qui se dépose dans les vases où l'on recueille les urines est le plus énergique de tous les ferments qui peuvent décomposer l'urine.

La fermentation putride des matières animales ou végétales donne pour produits ultimes, après diverses transformations, de l'acide carbonique, de l'ammoniaque et de l'eau.

Pour que les matières animales et végétales puissent entrer en putréfaction, il faut le contact de l'air, celui de l'eau et la température nécessaire aux fermentations proprement dites, car, à 0° et au-dessous, à 100° et au-dessus toute putréfaction cesse.

D'après M. Liebig, l'eau dans la fermentation putride ne servirait pas seulement de milieu pour favoriser le mouvement des molécules, mais elle agirait en outre en vertu de l'affinité de ses éléments pour ceux de la substance organique. Le contact d'une matière en putréfaction excite rapidement la putréfaction générale des substances animales auxquelles on l'ajoute.

Une substance organique se conserve, si on lui enlève son eau, ou si on la met à l'abri du contact de l'air. Les sels avides d'eau, les matières qui, comme la créosote, l'alcool, le tannin, le sublimé corrosif, etc., peuvent coaguler l'albumine empêchent également la putréfaction des substances animales. La plupart des acides, le charbon et le chlore agissent de la même manière. (Voyez l'article CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES.)

Le plus souvent, au moment où la putréfaction commence, des myriades d'animalcules microscopiques se montrent, et semblent naître aux dépens de la matière qui se désagrége. A ces animalcules en succèdent d'autres qui font à leur tour place à de nouvelles générations, de telle manière que la décomposition finale est le résultat d'un grand nombre de reproductions successives.

Ces animalcules ne peuvent être, d'après M. Liebig, la cause de toutes ces transformations, puisque eux-mêmes, après leur mort, éprouvent les mêmes décompositions par lesquelles ils se résolvent en définitive en eau, en acide carbonique et en ammoniaque.

M. Pasteur a montré que ce n'était pas là un fait accidentel et qu'il y avait dans cette production incessante d'animaux une grande loi naturelle d'une grande importance.

L'observation la plus vulgaire a montré de tout temps, dit-il, que les matières animales et végétales exposées après la mort au contact de l'air, ou enfouies dans la terre, disparaissent à la suite de transformations diverses. La fermentation, la putréfaction et la combustion lente sont les trois phénomènes naturels qui concourent à l'accomplissement de ce grand fait de destruction de la matière organisée, condition nécessaire de la perpétuité de la vie à la surface du globe. Dans mes travaux, j'ai indiqué avec précision quelles étaient, suivant moi, les vraies causes des fermentations, et j'ai annoncé le principal résultat des recherches que je poursuis sur la putréfaction proprement dite. Partout la vie, se manifestant chez les productions organisées les plus infimes, m'apparaît comme l'une des conditions essentielles de ces phénomènes, mais la vie avec une manière d'être inconnue jusqu'à ce jour, c'est-à-dire sans consommation d'air ou de gaz oxygène libre. La matière morte qui fermente ou qui se putréfie ne cède donc pas, uniquement du moins, à des forces d'un ordre purement physique ou chimique. Il faut bannir de la science cet ensemble de vues préconçues qui consistaient à admettre que toute une classe de matières organiques, les matières plastiques azotées, peuvent acquérir, par l'influence hypothétique d'une oxydation directe, une force occulte, caractérisée par un mouvement intestin, prêt à se communiquer à des substances organiques prétendues peu stables. Les combustions lentes dont les matières organiques mortes sont le siége, lorsqu'elles sont exposées au contact de l'air, ont également, dans la plupart des cas, une étroite liaison avec la présence des êtres les plus inférieurs. On arrive ainsi à cette conséquence générale, que la vie préside au travail de la mort dans toutes ses phases; et que les trois termes dont je parlais tout à l'heure, de ce retour perpétuel à l'air de l'atmosphère et au règne minéral des principes que les végétaux et les animaux en ont empruntés, sont des actes corrélatifs du développement et de la multiplication d'êtres organisés. L'exposition de quelques expériences et analyses suffira pour faire comprendre les faits et les conséquences qu'on en doit tirer.

Les expériences de M. Pasteur consistent essentiellement à abandonner pendant un temps plus ou moins long, au contact de l'air privé des germes des organismes les plus inférieurs, des matières organiques réputées très-altérables et d'une combustion lente facile, telles que l'urine, le lait, la sciure de bois humide, les matières albuminoïdes. Non-seulement, dans ces conditions, ces matières ne se putréfient pas et ne fermentent pas, ce qui est déjà un fait acquis à la science par les recherches antérieures de M. Pasteur, mais en outre ces matières n'éprouvent qu'une oxydation directe insignifiante. Après plusieurs années d'exposition à une température de 25 à 30°, l'oxygène des vases n'est pas encore consommé entièrement, et souvent c'est à peine s'il en a disparu quelques centièmes.

Puis M. Pasteur répète les mêmes essais dans les mêmes conditions, mais sous l'influence du développement des germes des mucédinées et des plus petits infusoires; et dans l'espace de quelques jours tout l'oxygène a disparu, il a été remplacé par de l'acide carbonique. Ces petits êtres sont donc les agents principaux de la combustion lente des matières organiques animales et végétales. L'énergie de leur action est quelquefois extraordinaire, témoin l'exemple saisissant de la combustion de l'alcool par les mycodermes, que M. Pasteur a fait connaître et sur le développement desquels il fait reposer son procédé d'acétification. Les principes immédiats des corps vivants seraient donc en quelque sorte indestructibles, si l'on supprimait de l'ensemble des êtres que Dieu a créés les plus petits, les plus inutiles en apparence. Et la vie deviendrait alors impossible, parce que le retour à l'atmosphère et au règne minéral de tout ce qui a cessé de vivre serait tout à coup suspendu. Dans une seconde partie de son travail, M. Pasteur reproduit les expériences précédentes dans des conditions toutes nouvelles. Il a réussi à mettre au contact de l'air pur, privé de ces poussières, des liquides très-putrescibles, notamment le sang et l'urine, à l'état même où ces liquides existent dans le corps des animaux, sans les modifier par la cuisson. Ces liquides se conservent sans altération, et leur combustion lente est également à peine sensible.

La question de la fermentation se trouve, depuis les travaux de M. Pasteur, entièrement confondue avec celle des générations spontanées, une des plus difficiles que puisse se proposer la physiologie, puisque les expériences basées sur l'emploi du microscope portent sur des faits qui échappent le plus souvent à nos moyens d'observation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M Payen a donné le nom de gastérase à la matière azotée qui dissout les aliments, matière qu'il est parvenu à isoler.

La fermentation des corps gras consiste dans la séparation des acides gras et de la base qui, réunis, forment les graisses. Dans ce dédoublement, les acides gras s'hydratent, ainsi que la base, qui est convertie en alcool glycérique ou glycérine. Cette fixation d'eau constitue toute la fermentation. Une fois séparés de leur base, les acides gras ne peuvent plus se recombiner avec elle; ce phénomène est donc tout à fait en dehors des réactions ordinaires que présente la chimie.

Dans la fermentation des graines, les mêmes phénomènes qui ont lieu pour les autres fermentations se reproduisent. Le concours d'une matière albuminoïde, celui de l'eau, celui de l'air, et une température variant de 15 à 30°, sont indispensables. F***.

FERMOIR. Cette dénomination s'applique à un grand nombre d'outils différents. On dit qu'un outil est un fermoir ou est aiguisé en fermoir, lorsque le tranchant est formé par la réunion de deux biseaux; ces biseaux sont plats ou ronds: dans ce dernier cas, le fermoir est dit à *nez rond*. Le fermoir est en général un outil dégrossisseur.

FERNAMBOUC. Voyez BOIS DE TEINTURE.

FEU GRISOU. Voyez MINES.

FEUTRE. Voyez CHAPEAUX et LAINE.

FEUTRES VERNIS. Le feutre pénétré d'une quantité suffisante d'huile siccative sert à la confection de plusieurs produits importants, et surtout à celle de visières de casquettes et de chapeaux, dont l'imperméabilité et la durée rendent l'usage très utile pour les hommes exposés journellement par leur travail à l'intempérie des saisons.

Les feutres ne sont point préparés exprès pour ce genre de travail; on les obtient par les procédés indiqués à l'article CHAPEAUX, seulement on se sert de matières plus grossières. L'huile siccative est préparée, comme nous l'indiquerons à l'article HUILES, en employant pour 100 parties d'huile en poids, 2 p. de céruse, 2 p. de litharge, et autant de terre d'ombre.

Le feutre pour chapeaux étant placé sur la forme, on l'imprègne d'huile siccative, et, après l'avoir desséché à l'étuve, on le doucit au tour avec la ponce, en le plaçant sur un moule en bois; on réitère cette opération six fois, puis on le vernit au moyen d'une brosse en queue de morue.

Les visières sont préparées un peu différemment. Un morceau de tissu étant étendu sur une table, on l'imprègne de colle de farine et on le porte à l'étuve: on le coupe ensuite de la forme voulue, puis on le pénètre d'huile siccative et l'on ponce, en réitérant l'opération à trois reprises: on place ensuite la visière dans un moule, où elle est fortement comprimée au moyen d'une presse; le moule est chauffé de manière à pouvoir recevoir successivement jusqu'à vingt visières.

Pour nettoyer un chapeau sali par la boue ou la poussière, il suffit de le laver, de le bien essuyer, et de le frotter avec un peu d'huile.

FIBRINE (*angl.* fibrine, *all.* thierischer faserstoff). La fibrine constitue la majeure partie des muscles des animaux, elle existe dans le chyle, le sang, etc., et l'on peut la considérer comme la plus abondante des parties constituantes de tout être du règne animal. On la prépare facilement, en agitant et battant avec une poignée de verges du sang récemment obtenu; la fibrine s'attache alors aux baguettes sous forme de longs filaments rougeâtres, que l'on décolore en les malaxant entre les mains sous un filet d'eau chaude; enfin, on la dépouille des corps gras qui pourraient y adhérer, en la faisant digérer avec de l'alcool ou de l'éther.

La fibrine ainsi obtenue est solide, blanche, flexible et légèrement élastique, insipide, inodore, plus dense que l'eau dont elle renferme les 4/5 de son poids, et tout à fait neutre aux réactifs. Desséchée, elle devient jaunâtre, demi-transparente, roide et cassante; trempée de nouveau dans l'eau, elle reprend sa mollesse et sa flexibilité. La fibrine renferme pour 100: 52,78 de carbone, 6,96 d'hydrogène, 23,48 d'oxygène et 16,78 d'azote; et en outre, d'après M. Mulder, 0,36 p. 100 de soufre et 0,33 p. 100 de phosphore.

FIEL DE BOEUF. Le fiel de bœuf purifié possède des qualités qui doivent le rendre précieux dans les arts et dans l'industrie. Il est employé avantageusement pour le dégraissage et le nettoyage des étoffes (voyez DÉGRAISSAGE). Il se combine très facilement avec toutes les couleurs de la peinture, leur donne plus de ténacité, les fixe fortement, et les rend plus coulantes; mais on lui reproche aussi de *salir* certaines couleurs brillantes et vives, et de répandre une odeur désagréable et nauséabonde, lorsqu'il est employé à l'état naturel et en excès.

Le fiel de bœuf se trouve contenu en grande partie dans une espèce de poche membraneuse; en général il est d'un jaune-verdâtre et parfois d'un vert foncé; il est très amer et un peu sucré en même temps; d'une faible odeur nauséabonde particulière; il convertit les couleurs de tournesol et de violette en jaune-rougeâtre, effet qui semble principalement dû à sa couleur; son poids spécifique est de 1,026 à 6°; sa consistance varie; le plus souvent elle est sirupeuse; quelquefois elle est très limpide, et d'autres fois elle est troublée par une matière jaune qu'on trouve dans la bile de presque tous les animaux, et qu'on peut en séparer au moyen de l'eau. Le fiel, abandonné à lui-même dans un vase ouvert, se putréfie peu à peu et dépose un peu de matière vert-jaunâtre; le mucus seul qu'il contient se décompose alors en partie; aussi la fermentation n'est point active, et l'odeur qu'il répand n'est point fétide; on prétend qu'elle finit par avoir quelque analogie avec celle du musc; le fiel s'unit en toute proportion avec l'eau et l'alcool; traité par un acide, il donne un précipité composé d'une matière animale jaune et d'un peu de résine; cet effet est beaucoup plus sensible avec l'acide sulfurique: la potasse et la soude, loin de troubler le fiel, le rendent plus transparent et en diminuent l'état visqueux.

Une des propriétés remarquables du fiel, c'est de dissoudre la plupart des matières grasses; cet effet est dû sans doute à la soude qu'il contient et au composé ternaire de picromel, de résine et de soude; c'est pour cela que les dégraisseurs lui donnent la préférence, même sur le savon, pour dégraisser les étoffes de laine.

800 parties sont composées à peu près de:

Eau.	700
Picromel.	69
Matière résineuse.	15
Matière jaune, terme moyen. . .	4
Soude.	4
Phosphate de soude. . . .	2
Chlorures de sodium et de potassium.	3,5
Sulfate de soude.	0,8
Phosphate de chaux et peut être de magnésie.	1,2

« Lorsque l'on a beaucoup de fiel de bœuf et qu'on n'en a pas l'emploi, on peut le faire évaporer au bain-marie en consistance d'extrait, dans une bassine d'argent pour s'en servir au besoin en le dissolvant dans une eau légèrement alcaline. » (*Extrait du Manuel du blanchissage*, par Julia de Fontenelle, tom. II, p. 96.)

Manière de purifier le fiel de bœuf concentré. Cette manière de purifier le fiel de bœuf concentré a été imaginée par Richard Carthery et publiée dans le journal de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nicholson (octobre 1811, *Bibliothèque britannique*, tom. XLIX. pag. 85.)

« Prenez du fiel de bœuf au moment où l'on vient de tuer l'animal; après l'avoir laissé reposer dans une bassine pendant une nuit, versez-le dans un vase de terre propre, avec la précaution de ne pas laisser passer les sédiments dans le vase; mettez-le ensuite dans un poêlon plein d'eau bouillante sur le feu au bain-marie, de manière à ce que l'eau ne puisse point entrer dans le pot. Faites bouillir l'eau jusqu'à ce qu'il s'épaississe; puis étendez-le sur un plat devant le feu pour achever l'évaporation, après l'avoir débarrassé autant qu'il est possible de son humidité, mettez-le dans de petits pots que vous recouvrez de papier, attaché de manière à en fermer l'entrée à la poussière. Il conservera ainsi pendant plusieurs années toutes ses propriétés. »

Certains peintres d'aquarelles très en réputation à Paris se bornent mystérieusement à faire bouillir le fiel de bœuf au bain-marie; à l'étendre sur des assiettes en couche mince, et à le faire sécher au soleil pendant un certain temps. Ce procédé est simple et surtout efficace pour purifier une petite quantité de fiel, et le décolorer au point qu'il n'altère plus les couleurs avec lequel il est mêlé, mais on comprend aisément que cette méthode n'est point applicable en grand; il vaut mieux dans ce dernier cas recourir au moyen suivant que l'on doit à M. Tomkins, graveur anglais :

« A une pinte de fiel de bœuf frais, bouilli et écumé, ajoutez 32 grammes d'alun en poudre fine; laissez la liqueur sur le feu jusqu'à ce que la combinaison soit parfaite; lorsqu'elle est refroidie, versez-la dans une bouteille, que vous boucherez légèrement. »

« Prenez ensuite une pareille quantité de fiel de bœuf, bouilli et écumé; ajoutez-y 32 grammes de sel commun, et continuez de le laisser sur le feu jusqu'à ce que le tout soit combiné; après quoi vous le mettrez dans une bouteille qui devra être légèrement bouchée.

« Cette préparation se conservera sans altération et sans dégager de mauvaise odeur, pendant plusieurs années.

« Lorsqu'on l'a laissée pendant trois mois environ dans une chambre où règne une température modérée, elle dépose un sédiment épais et s'éclaircit; alors elle est propre aux usages ordinaires; mais comme elle contient encore beaucoup de matière colorante jaune, faisant virer au vert les couleurs bleues et salissant le carmin, on ne peut pas l'employer pour les couleurs en miniature.

« Pour obvier à cet inconvénient, M. Tomkins recommande de décanter séparément chacune des liqueurs sus mentionnées, après les avoir laissé reposer jusqu'à ce qu'elles soient claires, puis de les mêler ensemble par portions égales. La matière colorante jaune que retient encore le mélange se coagule aussitôt, se précipite, et laisse le fiel de bœuf parfaitement purifié et incolore. Si on le désire, on peut le verser à la fin sur un filtre de papier.

Cette préparation s'éclaircit en vieillissant, elle ne dégage jamais d'odeur désagréable, et ne perd aucune de ses qualités utiles. » (*Extrait du vol. XXXI des transactions de la Société d'encouragement de Londres.*)

Propriétés du fiel de bœuf purifié.

Outre les avantages que nous venons d'indiquer, le fiel de bœuf purifié possède celui de se combiner très facilement avec les couleurs, et de leur donner plus de solidité, soit lorsqu'il est mêlé avec elles, soit lorsqu'on le passe sur le papier après que les couleurs ont été appliquées. Il augmente l'éclat et la durée de l'outremer, du carmin, du vert et généralement de toutes les couleurs fines, et contribue à ce qu'elles s'étendent plus facilement sur le papier, l'ivoire, etc.

Combiné avec la gomme arabique, il épaissit les couleurs sans leur communiquer néanmoins un vernis désagréable; il empêche la gomme de se gercer et fixe tellement les couleurs, qu'on peut appliquer dessus d'autres nuances, sans qu'elles se combinent avec les premières.

Mêlé avec du noir de lampe et de l'eau gommée, il donne une couleur qui peut remplacer l'encre de Chine.

Pour préparer cette encre il suffit de faire noircir à la fumée d'une chandelle ordinaire un morceau de terre ou de verre, de recueillir le noir qui s'y est formé, de le mêler d'abord avec de l'eau gommée, et ensuite avec le fiel de bœuf purifié. On obtient par ce moyen une couleur qui n'a pas besoin d'être broyée, qui est d'un beau noir, s'étend très facilement sur le papier et ne peut en être enlevée sans le détruire.

Lorsqu'on passe le fiel de bœuf sur des dessins faits au crayon ou à la plombagine, les traits ne s'effacent plus, et on peut ensuite les enluminer avec des couleurs dans les préparations desquelles il est entré une petite quantité de cette liqueur.

Les peintres en miniature trouveront un grand avantage à l'employer; en le passant sur de l'ivoire, il lui enlève complétement la matière onctueuse dont sa surface était chargée; mêlé avec les couleurs, il les rend propres à s'étendre plus facilement et à pénétrer dans l'ivoire de manière à s'y fixer solidement.

On peut aussi s'en servir pour des transparents. On le passe sur le papier vernis ou huilé qu'on laisse ensuite sécher; les couleurs préparées avec un peu de fiel de bœuf s'y appliquent très également, et résistent à tous les moyens qu'on pourrait employer pour les enlever.

Mais nous le répétons, le fiel doit être très frais, autrement le procédé de M. Tomkins ne réussit pas.

FIEL DE VERRE. Sel salin qui vient surnager le verre dans les pots de verrerie, et qui est alors extrêmement liquide; c'est du sulfate de soude impur.

FIL DE LAINE FLOCHE. On appelle ainsi, dans le commerce de la bonneterie et de la tapisserie à l'aiguille, le fil fait avec de la laine longue, peignée et très-ouverte, soit anglaise, soit mérinos *métis*. Ce fil est composé le plus ordinairement de 3, 4, 5 et 10 brins, légèrement tordus à la filature et réunis *ou doublés*, soit à la Mull-Jenny, soit à l'aide d'une machine appelée *moulin;* de là est venue la dénomination de *fil floche mouliné*. Il ne s'agit ici que d'une petite industrie, mais qui s'adresse à une clientèle distinguée qui réclame des produits d'une grande perfection.

Autrefois, c'est à-dire sous le règne de Louis XIV et de Louis XV, on appelait, dans les fabriques, *fil d'Estain* le fil retors fait avec de la laine de Flandre peignée, qu'on nommait par conséquent *Estain;* ce genre de fil était principalement employé dans la fabrication de la tapisserie des Gobelins, des tapis de la Savonnerie, de la passementerie et de la bonneterie, etc. On ne connaissait point à cette époque le fil de laine floche fait avec de la véritable laine longue anglaise, qui a été fabriqué pour la première fois en France, vers l'année 1826, par M. Wullianny, filateur à Nonancourt.

C'est au mois de mai 1836 que nous avons livré au commerce de Paris les premiers fils floches, faits avec de la laine mérinos métis provenant de Berlin. Plus tard, nous avons employé exclusivement les laines mérinos françaises. Nous avons recherché inutilement pendant deux années (1834 à 1836) un filateur français qui voulût bien entreprendre le filage de cette espèce de laine, la plus propre sans contredit au travail de la tapisserie à l'aiguille, et à la fabrication de la bonneterie de luxe.

Nous avons quelque droit à nous vanter de nos efforts, car s'ils nous ont été onéreux, le temps a prouvé que nous avions vu juste.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce n'est que depuis cette époque que les avantages de cette laine ont été reconnus et généralement appréciés par les fabricants de tapisseries.

La laine mérinos-métis fournit un fil soyeux, léger, élastique, floche ou gonflé, et par conséquent susceptible de garnir les mailles du canevas beaucoup mieux sans doute qu'on peut le faire avec la laine anglaise ou dite anglaise, plus lisse, plus rigide, et surtout plus pesante pour une même longueur déterminée.

Cette laine reçoit plus facilement et plus uniment les teintures qui flattent plus agréablement la vue, parce qu'elles ne sont pas luisantes, et qu'elles n'ont pas l'inconvénient de s'affaiblir par la lumière qu'elles réfléchissent.

La tapisserie à l'aiguille, faite avec ces fils de laine teints diversement, présente un aspect plus doux et plus agréable à la vue.

Aujourd'hui, la consommation des fils de *laine mérinos-métis française* qui, au commencement de l'année 1836 était nulle, s'élève au chiffre de plusieurs millions par année. Nous ne comprenons pas, dans le produit des ventes, les fils que quelques marchands de Paris et de la province font venir de Berlin par l'interlope, moyennant une prime d'assurance variable de 20 à 25 p. 100 de la valeur, inférieure aux droits de douanes auxquels sont soumis, à l'entrée en France, les laines peignées étrangères.

La plupart des marchands français vendent toujours les fils mérinos à broder sous la désignation de *fils de Berlin*, afin de vaincre, disent-ils, l'opinion régnante qu'on ne peut produire en France de fils à broder comparables à ceux de Berlin; et, par une bizarrerie singulière, les Berlinois, eux, vendent les plus belles laines à broder sous la dénomination de laine *Zéphyre-Ternaux*, du nom de notre illustre compatriote, qui importa, dit-on, à Gotha les premiers *moutons mérinos-métis*, dont la race croisée a produit la belle variété de laine longue propre à la broderie. « C'est ainsi, nous disait un Berlinois, que nous honorons un homme qui a été utile à notre pays. »

Nous reconnaissons, cependant, que les véritables laines de Berlin l'emportent sur les laines françaises, non moins par la finesse des fils et la beauté des teintures, résultat d'un mode de filage et de teinture mieux entendu, que par un prix de vente moins élevé.

Le problème consiste donc aujourd'hui à obtenir, avec des laines mérinos-métis françaises, la réunion de toutes les qualités des fils de Berlin, pour satisfaire non seulement aux nécessités du travail de la tapisserie, mais encore aux exigences du consommateur. Mais, il faut le dire franchement, les filateurs et teinturiers français sont encore fort incertains sur le but à atteindre et sur les moyens d'en approcher.

Cherchons à fournir des indications positives sur le meilleur choix de la laine, et sur les phénomènes qui peuvent avoir de l'influence sur la réussite du fil floche. Notre intention cependant n'est pas d'entrer ici dans l'étude et la description des procédés pratiques de la filature; nous nous bornerons à fournir des renseignements exacts ou au moins suffisants pour effectuer, sans peine et sans tâtonnement, un bon et beau fil floche à broder.

Variété et qualité des laines mérinos-métis. Les toisons grasses, courtes, rondes, unies, c'est-à-dire celles qui présentent une surface rase, annoncent la régularité des mèches, la roideur des brins, et plus encore un grand déchet au désuintage, au peignage et à la filature.

Les toisons grasses, courtes ou longues, touffues et noueuses, c'est-à-dire dont les mèches se terminent par des nœuds, sont des indices de brins flexibles, ténus et élastiques, mais qui ne se soutiennent pas près le lavage du suint et des matières étrangères.

Les laines, courtes ou longues, fines et crépues, sont trop molles, trop mobiles, trop faciles au feutrage; elles rendent toujours un fil faible et maigre.

Les laines d'agneau et celles *dites de peaux*, abattues avant leur maturité ou leur développement, sont tendres, flexibles, mais elles n'ont pas la ténacité et l'élasticité convenables.

Les laines dites *pelades*, détachées au moyen de la chaux sur les animaux morts dans les fermes ou tués dans les boucheries, sont sèches, dures au toucher, dépourvues de la douceur, du moelleux et de la flexibilité que leur donne le suint, et réussissent mal à la teinture.

Or, pour obtenir le meilleur fil pour la tapisserie, il faut que tous les brins de la laine soient également flexibles, élastiques et nerveux; il faut enfin que tous les brins soient lisses, égaux et parallèles, c'est-à dire peignés; par conséquent, la laine doit être longue; le cardage, au contraire, rendrait le fil velu et peu résistant.

Choix de la laine. On choisit les laines mérinos-métis dont les brins sont longs, frisés ou ondulés, c'est-à-dire dont les sinuosités sont peu développées et régulières; ces laines fournissent un fil floche, flexible, élastique et nerveux; mais les laines, dont les brins se développent en spirales ou vrilles, et s'enchevêtrent ensemble, produisent un fil serré, crépu et feutré.

Les laines provenant des moutons-métis et qui sont vendues dans le commerce sous la désignation de laines de la Brie, de la Champagne, de Reims, de la Bourgogne, du Soissonnais, etc., sont très propres à la fabrication des fils floches à broder, et beaucoup plus que les laines mérinos de race pure, celles de la Saxe par exemple, qui sont trop molles et trop feutrantes. Cependant il faut choisir préférablement celles détachées à maturité sur les animaux vivants qui ont pris péniblement leur nourriture dans des terrains arides et sablonneux. Ces laines, contenant moins de suint et de matières étrangères exigent des opérations de désuintage moins prolongées et par conséquent moins destructives, et fournissent surtout un déchet moins considérable au peignage et à la filature.

Au reste, l'expérience et la pratique nous ont conduit à reconnaître qu'on peut produire des fils à broder comparables à ceux de Berlin, en employant exclusivement les laines fines françaises; mais nous devons avouer aussi que l'opinion générale des filateurs et des marchands de laines est opposée à la nôtre.

Moyen de reconnaître et d'essayer la qualité de la laine brute ou peignée. On peut apprécier, au besoin, la douceur et le moelleux de la laine par le toucher.

On reconnaît la finesse des brins par la comparaison à l'œil nu, ou même par le micromètre de Daubenton, par le mesureur de laines de Kœhler ou de Boisseau, ou par une filière ordinaire; mais à vrai dire, ces diverses appréciations ne sont ni rigoureuses ni absolues pour éclairer les filateurs et les fabricants qui doivent rechercher les laines légères, flexibles, élastiques et tenaces.

La laine brute qu'on veut éprouver doit être lavée dans une eau savonneuse (eau 100 parties, savon vert 4 à 5 parties), ou mieux dans une eau contenant 2 à 3 p. 100 de sous-carbonate de soude chauffée à la température de 50 à 60 degrés centigrades. Ce lavage a pour but d'enlever les corps gras et étrangers qu'elle contient toujours; puis on la rince à l'eau très claire, sans tordre ni brouiller les filaments qu'on démêle encore quand ils sont sec avec un peigne ordinaire, afin de les rendre parallèles.

Cela fait, on reconnaît très bien la flexibilité des brins de laine par la faculté qu'ils présentent d'être pliés facilement sous un angle très aigu, et sans être endommagés, c'est-à-dire sans se couper à l'endroit ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ils sont pliés. On frotte et on retord entre les doigts plusieurs filaments qui s'enlacent d'autant plus facilement et plus parfaitement qu'ils sont plus légers, plus fins et plus souples.

Pour juger de l'élasticité d'une laine, il faut en prendre une poignée dans la main, et la presser à plusieurs reprises pour essayer son ressort; ensuite on étend plusieurs brins dans leur longueur, et on voit s'ils reprennent promptement et avec force la première dimension que le frisé leur donne.

Enfin, on essaie la ténacité ou la force d'une laine par la résistance plus ou moins grande qu'opposent, avant de se rompre, plusieurs brins de même finesse et de même croissance tirés par les deux bouts; cette dernière épreuve, toutefois, n'offre qu'un indice de la force normale des brins pris isolément, et n'entre pour rien dans l'examen du fil *complexe* qui peut être plus ou moins résistant, suivant que les brins ou filaments qui les constituent sont plus ou moins fins, nombreux et tordus.

Manière d'apprêter la laine peignée. Lorsque la laine peignée est grasse au toucher, lorsqu'elle n'est pas parfaitement désuintée, ou que l'on a employé une trop grande quantité de corps gras pour faciliter le peignage, et à une trop basse température, il est convenable de la laver dans la dissolution d'eau alcaline tiède dont nous avons déjà parlé. On la rince ensuite dans l'eau claire pour enlever les matières solubles et étrangères; puis on l'essore à l'aide de la machine de Penzold, ou du ventilateur de Lauberau (voyez *machine à* ESSORER), pour en extraire la plus grande partie de l'eau de lavage. Enfin, on la fait sécher à l'air libre et à l'ombre.

Cette préparation préliminaire a pour double effet : 1° d'enlever le corps gras qui attire la poussière, jaunit et tache la laine; 2° de donner à la laine plus d'aptitude à prendre l'eau, plus de facilité à subir les opérations du blanchiment (voyez BLANCHIMENT), de la teinture et des apprêts (voyez TEINTURE).

Cela fait, on expose la laine réduite en lames ou rubans à la cave pendant douze à vingt-quatre heures, ou mieux on l'humecte d'eau en la pressant entre des toiles mouillées, puis on la soumet à l'action d'une presse à vis pendant dix à quinze minutes, dans une caisse en bois fermée, et dans laquelle on introduit un courant de vapeur. On la retire ensuite pour la faire sécher à l'air libre et à l'ombre, ou dans un *séchoir ventilateur*.

La vapeur agit en se condensant par la basse température de la laine, dont les brins prennent ainsi un plus grand degré de souplesse, d'affinité et de cohésion.

De plus, la vapeur tend à conserver d'une manière invariable aux brins de laine la forme, c'est-à-dire la juxta-position, qu'on leur a donnée par la pression. La chaleur ordinaire seule agirait mal sur les poils qui se contracteraient et se contourneraient en différents sens d'autant plus facilement qu'ils seraient plus fins, plus déliés et plus écartés les uns que les autres; c'est là un inconvénient qu'il faut éviter, si l'on veut obtenir facilement un fil lisse, net, régulier, tenace et gonflé.

Au besoin, on bat légèrement la laine nattée mollement, à l'aide d'un battoir en bois qui étend les brins, les étire, les rompt, développe leur frisé, leur flexibilité, leur élasticité, et les dispose par suite à se croiser, à l'enlacer plus facilement par la filature. Mais cette méthode ne doit être employée qu'avec discernement pour préparer les laines longues et grosses.

Enfin on file et on dévide la laine par les procédés ordinaires; cependant, nos propres expériences nous ont conduit à reconnaître qu'on peut obtenir les meilleurs résultats dans la filature, en employant la vapeur agissant librement sur la laine réduite en rubans et chauffant les peignes ou hérissons, etc.

Apprêt des fils de laine écrus. Cet apprêt a été employé pour la première fois, par nous, en 1837, et nous en avons toujours obtenu des résultats satisfaisants.

Au reste, nous avons suivi ou appliqué tout simplement les principes de l'apprêt sur les tissus de laine.

Voici notre manière de procéder : Nous développons plusieurs écheveaux sur deux bâtons ou *lissoirs*, passés dans leur circonférence, et nous les accrochons parallèlement sur un châssis ou *battoir*. Nous formons ainsi plusieurs couches ou rangs d'écheveaux que nous plaçons les uns au-dessus des autres, entre des toiles légèrement humectées d'eau.

Nous entourons les écheveaux avec une espèce de sac d'étoffe de laine peu serrée, et nous les plaçons dans une cuve fermée, dans laquelle ils sont exposés, pendant 15 à 20 minutes à l'action simultanée de la vapeur sèche et d'une légère pression que l'on augmente graduellement. Cette opération rend les fils plus unis, plus lisses, en applatissant d'une manière invariable les poils ou duvets.

C'est en séchant sous la double action de la chaleur et de la pression que la laine acquiert du lustre, du brillant à l'œil, et une plus value marchande de 25 à 30 p. 100.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que la laine ainsi apprêtée perd quelquefois un peu de sa blancheur; que le fil diminue de longueur et s'étend plus difficilement, parce que les brins éprouvent trop de frottement pour pouvoir glisser les uns sur les autres. Le fil de laine devient, toutefois, plus souple, plus élastique, plus tenace et plus gonflé ou floche.

Si l'on veut obtenir des fils écrus encore plus floches et plus ouverts, il suffit de les exposer pendant un temps déterminé à l'action d'un ventilateur, ou d'un courant d'air sec.

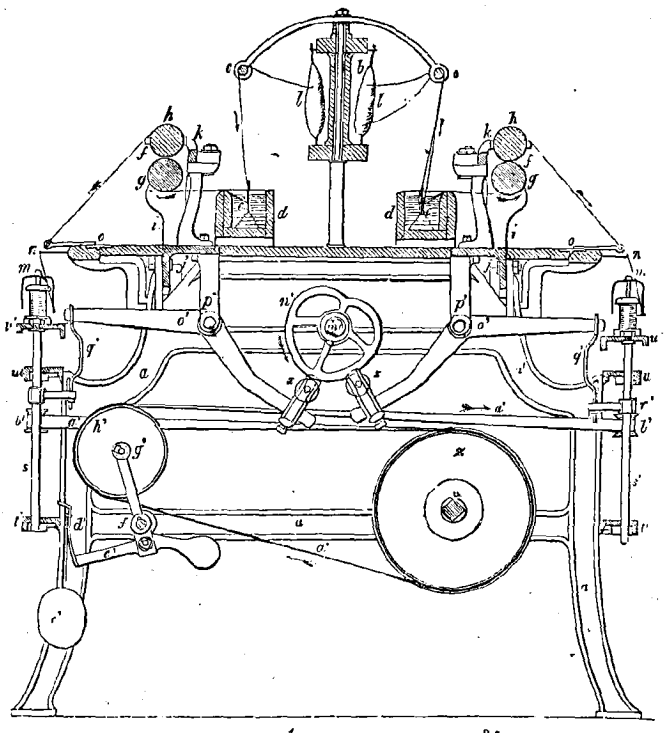
Nous ne terminerons pas cet article sans parler d'une fraude qui se pratique journellement dans le commerce des fils de laine. Cette fraude consiste à passer la laine à la vapeur libre, c'est-à-dire à la mouiller, ce qui lui donne momentanément plus de moelleux, plus de douceur au toucher et plus de poids; tous les acheteurs savent cela, cependant les personnes inhabiles ou trop confiantes se laissent prendre tous les jours à cette apparence trompeuse. ROUGET DE LISLE.

FIL D'OR ET D'ARGENT. Nous n'entendons pas parler ici de l'étirage de l'or et de l'argent, qui se fait comme pour les autres métaux, au moyen du banc-à-tirer, mais des fils de soie blanche ou jaune recouverts d'un fil très mince et aplati, d'argent seul ou doré. Le seul soin à prendre en tordant les fils, est de régler la torsion de manière à ce que le fil métallique se roule en hélice sur la soie de manière à la recouvrir complétement.

FIL RETORS. (*ang.* thread, *all.* zwirn). La réunion de plusieurs brins de coton, de laine ou de lin, pour en former par la torsion un seul fil, servant à la couture, à la confection des filets, etc., s'exécute au moyen de la machine représentée en coupe transversale figure 883; *a*, bâti en fonte de la machine; *b*, châssis sur chacun des côtés duquel s'étend une rangée de bobines *l*, *l*, mobiles sur leurs axes et couvertes de fil à tordre; ce fil passe des bobines sur les baguettes de verre *c*, *c*: *d*, *d*, sont de petites cuves allongées en bois doublées de plomb et remplies d'eau, qui servent à mouiller le fil, dans le but de faciliter sa torsion. On mouille toujours le lin, plus rarement le coton et jamais la laine. On réunit les fils qui doivent être tordus ensemble en les forçant à passer à travers des boucles *e*, *e*, pratiquées à l'une des extrémités de fil de métal, et placées comme l'indique la figure. De là les fils passent sur les cylindres étireurs *g*, *h*, dans le sens indiqué par les flèches, puis sur des rouleaux métalliques *n*, *n*, mobiles autour des charnières *o*, *o*, afin de pouvoir faire varier au besoin leur position, et qui les conduisent sur des bro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ches m, m. Le cylindre g, est en fer ou en laiton, et le cylindre h, en bois de hêtre avec un axe en fer; j, i, k, sont les supports des cylindres; les cylindres g, forment un seul arbre sur chacun des côtés de la machine et reçoivent leur mouvement du moteur, au moyen d'engrenages, tandis qu'il y a autant de



1 2 pi.

883.

cylindres h, que de broches, et que ces cylindres sont mus par la friction des cylindres inférieurs.

Les broches ont un mouvement vertical de va-et-vient, et en même temps leurs ailettes reçoivent un mouvement de rotation continu, afin que le fil se répartisse également sur la surface des broches.

L'axe v, qui reçoit le mouvement du moteur, porte de distance en distance des poulies z, qui font mouvoir, au moyen de courroies sans fin, quatre broches à la fois : la courroie a' passe d'abord sur un rouleau de pression h', sur l'axe duquel agit un levier coudé g' f' e', chargé d'un contre-poids c', puis de là elle passe sur les gorges b', montées sur les axes s' des ailettes de deux broches de droite, revient passer sur les gorges b', des axes des ailettes des deux broches de gauche opposées, pour retourner ensuite sur la poulie z, en suivant les directions indiquées par les flèches.

L'extrémité d'un des cylindres g, imprime, au moyen d'engrenages, un mouvement de rotation continu à l'axe m', portant des courbes en cœur n', qui en agissant sur les galets x, x, fixés à l'une des extrémités des leviers o',o', mobiles autour des points p', p', impriment à ces leviers un mouvement de va-et-vient qu'ils transmettent par l'intermédiaire des fourchettes q', q', embrassant les collets r', r', aux axes des broches, qui sont guidés par les pièces t' et u'.

En faisant varier la vitesse de rotation des cylindres y et h, celle des broches demeurant constante, on fait varier à volonté le degré de torsion des brins.

FILETS (*angl.* net, *all.* netz). On sait que les filets qui servent pour la pêche sont faits avec des fils très résistants, qui forment des mailles de grandeur variable suivant les filets; chacune de ces mailles est limitée par des nœuds disposés de manière à résister et à se consolider par la traction.

Dans la fabrication ordinaire à la main, fabrication qui exige l'emploi d'un moule (dont la grosseur est en raison de la grandeur des mailles) et d'une navette autour de laquelle s'enroule le fil, c'est la révolution de ce fil qui constitue la boucle, qui serrée après le passage de la navette forme le nœud.

On voit combien cette fabrication est plus compliquée que celle des tissus, qui ne sont formés comme la toile que par l'entrelacement des fils, et même que les tissus à mailles comme le tulle, le tricot, qui sont formés de mailles non arrêtées par des nœuds, et dont la fabrication à la mécanique paraît être la dernière limite des ressources de la science du mecanicien constructeur.

Un des plus habiles mécaniciens que la France ait possédé, M. Pecqueur, a voulu aller au delà, et après s'être essayé en combinant de charmantes petites machines qui servent à la fabrication des bourses en filets, il a attaqué celle des filets de pêche et y a complétement réussi. Chacun a pu admirer à l'Exposition de 1849 cette belle machine et se convaincre, en la voyant fonctionner, de tout ce qu'elle renferme d'ingénieux. On en jugera encore mieux en étudiant dans le Bulletin de la Société d'encouragement (juillet 1852) les dessins de l'inventeur, auquel cette Société a décerné un grand prix qu'elle avait proposé pour la solution du problème de la fabrication mécanique des filets de pêche.

Dans l'impossibilité de donner ici des figures en assez grand nombre et des explications assez détaillées pour faire apprécier cette machine dans tous ses détails, nous tâcherons seulement d'en donner une idée. Ce qui la rend remarquable, entre bien des dispositions mécaniques très ingénieuses, c'est l'emploi multiplié qui y est fait: d'excentriques pour y imprimer des mouvements dont les lois sont très complexes et de joints brisés pour produire des mouvements de rotation en même temps que des mouvements de translation.

Des fils verticaux sont tendus parallèlement; une ligne de crochets vient les accrocher, puis se recule et se renverse; le fil passe sur le pied du crochet: celui-ci, tournant, vient alors prendre une seconde fois le fil, et, se redressant, laisse partir le premier fil, la dent du crochet

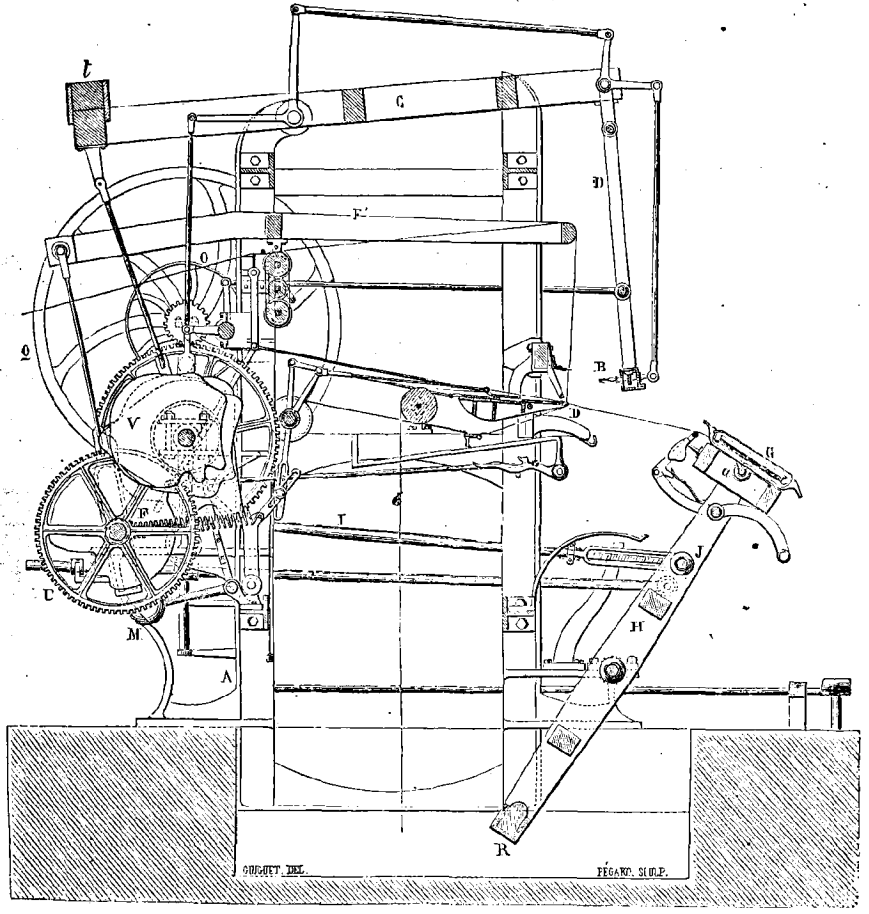
EFERUS - Recherche & Classification numérique

étant à la partie inférieure, et forme ainsi la boucle. Le porte-crochets, s'avançant, vient engager les fils sous une rangée de navettes, et, après les avoir abandonnés, reprend sa place. Ces navettes, placées sur le cadre tournant d'un axe horizontal, s'éloignent des fils verticaux, et entraînent la boucle qui passe dans chacune d'elles, formant le nœud comme dans le travail à la main. Arrivées à une distance convenable, ces navettes basculent; et comme la partie circulaire autour de laquelle elles tournent est entaillée, le fil est lâché, comme fait le petit doigt dans le travail à la main quand la maille est convenablement serrée, et l'opération se continue pour former une nouvelle série de mailles.

On voit sur la fig. 884 le système qui donne aux crochets le mouvement de rotation, après qu'ils ont accroché les fils, et qui se compose d'une longue crémaillère qui engrène avec de petits pignons montés sur l'axe de chaque crochet. On voit aussi très clairement sur cette figure comment la navette étant toujours accrochée, le fil peut cependant passer dessous, grâce à l'encoche pratiquée dans le galet à rebords engagé dans une rainure qui l'assemble avec le châssis oscillant. Par cette disposition le galet ne peut plus se séparer de la navette, et peut pourtant tourner sans elle.

Cette fig. 884 est la coupe de la machine, et a été choisie entre celles qui servent à la représenter, parce qu'elle en indique assez bien la construction en montrant l'élément composé d'une navette et d'un fil, élément qui se répète autant de fois qu'il y a de navettes disposées les unes à côté des autres. Elles étaient au nombre de cinquante-deux dans la machine mise à l'Exposition.

G, navette; H, levier oscillant qui porte la navette et permet de serrer le fil; DD, rangées de crochets formant rateau et recevant un mouvement alternatif de va-et-vient; ils ont pour objet de saisir et maintenir les



884.

nœuds à mesure qu'ils sont formés; B, crochets dont le mouvement compliqué part des deux arbres K et L, qui portent les excentriques et les manivelles qui leur communiquent le mouvement; I, bielle qui éloigne les navettes et fait serrer les nœuds.

FILIÈRES EN PIERRES FINES. Nous avons parlé des filières en acier à l'article BANC-A-TIRER, nous traiterons ici du progrès que, il y a quelques années

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seulement, une heureuse idée, l'application des pierres fines à la construction des filières, a fait faire à la tréfilerie des métaux fins ; amélioration aussi importante sous le rapport de la perfection que de l'économie des produits.

Le travail des pierres fines destinées à la construction de filières propres à tirer dans les numéros les plus fins les métaux précieux se rapproche beaucoup de celui des pierres employées dans l'horlogerie; seulement on emploie des pierres plus fortes, et les trous, au lieu d'être à peu près cylindriques comme pour les montres, doivent présenter un double évasement d'une forme particulière. La main d'œuvre et les outils sont à peu près les mêmes dans les deux industries. Voici en peu de mots en quoi consiste le travail qui nous occupe :

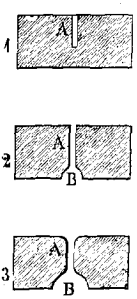
On doit d'abord faire choix de rubis ou saphirs sains et durs; cette dernière qualité les rendant ordinairement opaques et marbrés, ce sont les pierres rejetées par la bijouterie qui conviennent le mieux aux filières : ces pierres doivent surtout être pures de tous corps étrangers, tels qu'oxydes métalliques ou autres, de quelque nature qu'ils soient.

Le travail se fait sur des tours d'une extrême délicatesse et d'un ajustage parfait. Comme mordant pour user, tourner, percer et polir les pierres, on emploie le diamant fin, qui seul peut mordre sur la première dureté au dessous de lui. Outre les esquilles de diamant qui servent de burin pour tourner, on en réduit en poudre fine qui se *tamise* à l'huile pour servir, dans les différents numéros qu'on obtient ainsi, aux diverses opérations, depuis le sablage de la meule ou lapidaire à user, pour laquelle on emploie le premier et le plus gros numéro jusqu'au dernier polissage qui se fait avec le dernier numéro, qui n'est autre qu'une poudre presque impalpable.

La première opération est l'*applatissage*, qui consiste à passer les pierres sur le lapidaire, et à les amener à présenter deux faces parallèles ayant pour écartement la plus grande épaisseur que peut produire la pierre, en raison de sa grosseur et de sa forme primitive. Les plus petites pierres servent aux filières destinées à tirer les fils capillaires, et peuvent, après le tournage, représenter des lentilles de 2 millimètres de diamètre sur 1,5 millimètre d'épaisseur. Le tournage consiste, après avoir aplati les pierres selon deux faces parallèles, à leur donner une forme de pourtour parfaitement ronde.

Cette opération du *tournage* se fait avec des burins en diamant, après avoir fixé la pierre au tour, à l'extrémité d'un tasseau, où elle reste attachée par un ciment à la gomme laque. La pierre s'appuie sur une de ses faces, qui devient, pour tout le reste du travail, la base sur laquelle on se fixe pour percer et obtenir un trou bien perpendiculairement à cette face, qui est plus tard le point d'appui de sertissage; on obtient ainsi une régularité d'exécution sans laquelle on ne pourrait arriver au but dans un travail aussi délicat.

Le *perçage* se fait ensuite sur un tour ordinairement consacré exclusivement à ce travail, et dont on peut se figurer la perfection d'ajustage en sachant que l'axe de ce tour ne marche pas à une vitesse moindre de cinq à six mille tours à la minute, et porte, dans un trou foré à cet effet, une petite broche d'acier collée au ciment après avoir été trempée et revenue presque bleu. Cette broche d'acier sert de foret pour la pierre. La justesse du tour permet en effet de tourner cette broche jusqu'à une finesse moindre que celle d'un cheveu fin, parfaitement cylindrique sur une longueur de 2 à 3 millimètres. Le même tour porte, en avant de l'arbre, sur une verge carrée, un chariot bien ajusté, portant lui-même, à sa partie supérieure et au niveau de l'arbre du tour, une petite pièce d'acier, ou plus souvent de laiton, qu'on nomme *le coulant*, vu sa propriété de glisser dans la rainure qui le contient, en suivant une ligne parallèle à l'axe même du tour : c'est au bout de ce coulant, du côté de l'arbre du tour, et par conséquent précisément en face du foret, que se colle la pierre. La disposition du chariot, porteur du coulant, est telle, qu'au moyen de plusieurs vis on amène la pierre à présenter son centre à la pointe du foret. On met alors sur la pierre une goutte de poudre de diamant délayée dans de l'huile fine, puis, le tour mis en mouvement à la vitesse que nous avons indiquée, on vient faire appuyer la pierre contre le foret, en appuyant légèrement sur le coulant avec le bout du doigt. Pendant cette légère pression, le bout du foret broie contre la pierre les grains de poudre qui se trouvent entre elle et lui ; mais son mouvement de rotation excessif chasse bientôt ces grains de poudre; on retire alors le coulant : la goutte d'huile qui est sur la pierre, et au milieu de laquelle passe le foret, vient remouiller la place mise à sec, et y rapporter en même temps de nouveaux grains de poudre de diamant, qu'une nouvelle pression du foret vient chasser, et qui sont remplacés par ceux que ramène l'huile, le coulant s'étant de nouveau éloigné. C'est par ce jeu continu de va et vient de la pierre contre le foret que s'obtient le perçage; car à chaque contact le foret chasse bien la poudre, mais ce n'est pas sans avoir fait subir à chaque grain qu'il rencontre un petit mouvement de rotation qui a fait un trait contre la pierre moins dure que le grain de diamant. C'est la succession de ces frottements qui, emportant peu à peu quelques atomes de la pierre, finit par produire un trou cylindrique au milieu de la masse dure et compacte A (fig. 1). On peut se figurer la délicatesse de tout ce travail en pensant aux dimensions des corps sur lesquels on agit.



Divers mécanismes, plus ou moins ingénieux, ont été employés pour remplacer l'action du doigt sur le coulant. Ces moyens sont surtout avantageux pour ceux qui ont un moteur à leur disposition ; car celui-ci faisant tout marcher, le même ouvrier peut conduire plusieurs tours à la fois.

Après ce travail du perçage, qui n'atteint jamais au delà des deux tiers de l'épaisseur de la pierre, on comprend qu'il faut ouvrir du côté opposé un jour à ce premier trou. Cela se fait au moyen d'esquilles pointues en diamants fins : la pierre se colle au ciment sur une petite plaque de laiton à jour dans le centre; cette plaque entre juste et ferme hermétiquement une boîte nommée *barille*, ajustée à l'arbre d'un tour ; elle peut se retourner, et est assez bien ajustée pour que le centre ne change pas. Ainsi, ayant collé la pierre d'un côté en la concentrant par le trou du perçage, on retourne le couvercle, et à travers l'ouverture de son centre, derrière laquelle la pierre se trouve placée, on pratique dans celle-ci un trou conique B (fig. 2), qui vient rencontrer, précisément par son sommet, le fond du trou percé au foret. La filière est ainsi mise à jour ; mais elle ne présente encore qu'un trou cylindrique terminé d'un côté par une large ouverture conique dont on ne doit plus tenir aucun compte ; il reste à donner à la pierre la partie cylindrique du trou auquel il faut donner la forme voulue avant de le sertir au milieu d'une plaque ronde en laiton qui lui sert de monture pour pouvoir être manié aisément et placé convenablement dans les porte-filières ou *joues* qui font partie des bancs à tirer.

On doit contre-percer et former le trou avant de le sertir, parce qu'à cet état on peut voir dans l'intérieur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la pierre au moyen d'une petite facette polie qu'on a pratiquée sur le champ de la pierre; c'est par cette facette qu'on voit, en pratiquant le *contre-perçage* à l'esquille, le moment où il vient rencontrer le fond du perçage. La forme se donne au moyen de petites broches d'acier dont on lime le bout en cônes plus ou moins allongés que l'on passe successivement en commençant par les plus obtus. De même que pour le perçage on commence par mettre à l'entrée du trou une goutte de poudre de diamant délayée dans l'huile : cette poudre use le pourtour du trou selon la forme des divers cônes que l'on passe et qui la broient contre la pierre. La dernière broche que l'on passe n'est plus un cône, mais bien une broche cylindrique plus fine que le trou lui-même, et qui le traverse d'outre en outre; cette broche travaille le milieu du trou où les cônes n'ont pu atteindre, et, en s'inclinant légèrement de côté, elle enlève les angles que les cônes ont laissés entre eux, et marie les facettes successives qu'ils ont produites. Toutes ces broches coniques et cylindriques en acier se passent avec de la poudre d'un numéro un peu plus gros. Quand le trou a été ainsi formé (fig. 3), on enlève cette poudre au moyen d'un *brochon* de bois de fusain : ce bois, au moyen d'un petit couteau bien affilé, peut produire une pointe allongée et assez fine pour plonger dans ces trous du diamètre d'un cheveu, et y ramasser la poudre de diamant, qui les salit après avoir servi à les former. On passe ainsi plusieurs brochons de chaque côté, puis on recommence l'opération que l'on vient de faire, mais en employant des broches de laiton et de la poudre fine qui polit parfaitement; enfin, après un nouveau nettoyage, on s'assure à la loupe du poli et de la forme. La forme de la section de la filière varie suivant le métal que l'on doit tirer. En principe, elle doit toujours être telle que la section du trou, selon son axe, présente sur les bouts une courbe parabolique dont chaque élément a pour tangente le côté du cône qui a servi à la produire, et dont la longueur a un rapport voulu dépendant de la section du cylindre du fil qui doit y passer, en tenant compte encore de l'espèce de métal. Ainsi la forme de la filière pour or doit être beaucoup plus allongée que celle de la filière pour argent, les surfaces de frottement étant ainsi bien plus allongées dans le premier que dans le second cas.

L'acier exige, au lieu d'une courbe fortement arrondie, une filière dont l'entrée est un cône presque droit.

On comprend, du reste, que cette courbe voulue pour une bonne filière cesse au point où, dans la longueur de l'axe du trou, le métal une fois comprimé cesse de toucher aux parois de la filière. La sortie du trou est semblable à l'entrée, sauf la dimension. Ce second évasement sert à deux fins : d'abord à permettre au trait (le fil) de reculer, ce qui n'arriverait pas si le trou finissait brusquement, selon une ligne droite perpendiculaire à son axe, car alors il présenterait une arête vive qui ferait l'office d'un couteau circulaire qui arracherait les molécules du métal, et ne lui permettrait pas de retourner en arrière; ensuite, la matière, ménagée ainsi en une légère courbe, présente un épanchement qui soutient la filière, qui, sans cela, s'aiguiserait et s'en irait en éclats sous la pression du métal qu'elle comprime. On voit, d'après la figure 3, que l'entrée du trou est bien plus large que la surface de section du trait qui doit y passer; cela est nécessaire, le fil n'arrivant pas toujours suivant une ligne parfaitement droite, suivant l'axe du trou; il faut qu'il rencontre, en flottant, des surfaces parfaitement polies, et ayant elles-mêmes la forme continuée de la partie principale du trou, celle dans laquelle le fil reçoit sa plus forte pression, et qu'on appelle le *fait* de la filière.

On peut se figurer l'importance de la forme et du poli des filières, quand on pense au travail qu'elles doivent produire. Ainsi pour l'or, par exemple, employé dans la passementerie, ce n'est point sur un fil d'or massif qu'on opère, ce n'est que sur une légère feuille superposée à un bâton de cuivre rouge ou d'argent; ce bâton a à l'origine 30 millimètres de diamètre. On applique sur toute la longueur, qui est d'environ 80 centimètres, 2 grammes d'or par partie du poids de 250 grammes; cet or est en feuilles minces d'un décim. carré; on roule ces feuilles autour du bâton. Or, le cube d'or massif de 1 décimètre carré pesant 17 kilogr. la feuille de 2 grammes, qui représente une des couches du cube, a donc pour épaisseur $0^m,000101$, un dixième de millimètre. Il faut amener ce bâton à la finesse d'un cheveu, et cela en l'étirant de manière à ce que l'or s'étende avec la matière première du bâton et qu'il y en ait toujours partout. C'est en effet ce qui arrive; et à cette extrême finesse, la couche d'or a conservé le même rapport qu'elle avait dans le principe avec le corps du bâton. On comprend d'après cela toute l'importance de la perfection de la filière pour qu'elle n'enlève ou seulement n'altère pas cette couche d'or, dont l'épaisseur ne peut plus se représenter que par plusieurs décimales au-dessous des 10 millièmes. D'un autre côté, à de pareilles finesses les fils ont bien peu de résistance, et à chaque trou ils supportent une compression qui les réduit d'au moins 1/5 de leur diamètre. Pour l'acier, on n'a pas à ménager la couche superficielle de la matière, mais il n'en faut pas moins par les autres raisons énoncées, que les filières soient parfaites, car elles servent alors à étirer l'acier employé à fabriquer les spiraux, qui dans les montres font partie avec le balancier du régulateur de la pièce. On peut se figurer dans les montres qui descendent aux dimensions de 5 à 6 lignes de diamètre ce que peut être le spiral : il est fait d'un fil d'acier laminé plus fin que les grosseurs que nous indiquons plus loin pour les fils d'or, et qui n'a plus, par cette raison, que bien juste la force de supporter le tirage.

La forme de la courbe parabolique a encore l'avantage d'agir sur le trait de telle manière que la compression s'exerce dans l'épaisseur entière du fil, et que le centre s'étire autant que la surface immédiatement en contact avec les parois de la filière.

Après l'application du rubis et du saphir à la fabrication des filières, on a dû naturellement penser à l'emploi du diamant lui-même. Depuis plusieurs années, en effet, on a essayé ce genre de filières; mais jusqu'ici on n'est arrivé qu'à des résultats trop imparfaits pour en permettre l'usage sur les métaux précieux.

On n'a pas encore pu obtenir dans ces filières les formes prescrites parfaitement exécutées. L'excessive dureté du diamant, contre lequel on ne peut rien faire mordre que lui même, n'a pas encore permis d'arriver entièrement au but. On en fabrique cependant, mais seulement pour tirer des matières qui nécessitent moins de soins que le fin. Le prix élevé de la fabrication, résultant de la longueur du travail, s'est opposé de son côté à la généralisation de l'emploi des filières de cette espèce. Des ouvriers habiles parviendront peut-être à résoudre cette question importante d'économie de fabrication et de perfection de fini, mais jusqu'ici le but n'a pas été atteint.

Nous donnons, fig. 4, la forme du banc à tirer en usage pour la tréfilerie fine exécutée dans les filières en pierres fines.

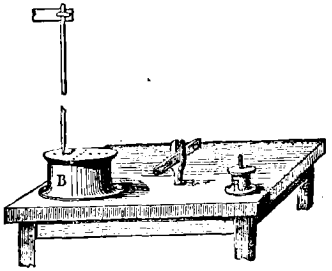
B est la *bobine*, dont le tambour a 40 centimètres de diamètre environ. Cette bobine est mise en mouvement avec la main gauche au moyen d'une manivelle. Celle-ci est formée d'un bâton terminé au bas par une pointe d'acier qui entre dans un trou fait sur la bobine; l'autre bout monte jusqu'au plafond, où il joue dans une ouverture faite à une planche qui le retient ainsi de côté.

R, la *roquette*, de 5 centimètres environ de diamètre, sur laquelle est placé le trait que l'on veut diminuer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en le passant dans une filière retenue par la *joue* placée entre les deux ; cette joue est une espèce de fourchette dans laquelle entre à simple pression le *porte-filière*

F, porte-filière, dans lequel est retenue la filière sous



4.

la pression d'un ressort. Le trait ne passe pas directement de la *roquette* à la filière, il passe d'abord sur une baguette de bois que l'ouvrier tient à la main droite, et qui lui sert et à diriger le trait et à contre-balancer les secousses qu'éprouve la roquette, et qui feraient rompre le fil.

Les *bâtons*, pris à 30 millimètres de diamètre, ne s'étirent pas tous jusqu'à la finesse d'un cheveu. Suivant l'objet auquel les traits sont destinés, ils restent à des numéros plus gros dont voici les tables :

Pour le faux cuivre rouge et le mi-fin.	Argenté. Doré.
Numéros pour crochets et chapelets..	Arbitraires.

Paillettes.		Paillettes.	
	6		13
	6 1/2		14
	7		15
	7 1/2		16
	8		17
	8 1/2		18
	9		19
	9 1/2		20
	10		22
	10 1/2		24
	11		26
	11 1/2		28
	12		30
	12 1/2	Fin. d'un cuer.	23

Pour le fin.		Bouillons.	
	Argent pur et argent pur doré.		5 1/2
			6
			6 1/2
			7
Paillettes.	6		7 1/2
	6 1/2		8
	7		8 1/2
	7 1/2	P. . .	1
	8		1 1/2
	8 1/2		2
	9		2 1/2
	9 1/2		3
	10		3 1/2
	10 1/2		4
	11		4 1/2
	11 1/2		5
	12		5 1/2
	12 1/2	Fin. d'un chev.	6

Les numéros de paillettes sont les mêmes que pour le faux. On désigne par la lettre P les numéros de 1 à 6, avec les 1/2 intermédiaires.

On voit par cette table des numéros correspondants dans chaque genre, que les gros numéros de faux manquent dans le fin, qui par contre en contient davantage dans les plus fins. GARAPON.

FILIERES. L'instrument qui sert à former les filets des vis porte le même nom que celui qui permet d'étirer les métaux en fils ; c'est là une lacune de langage technologique, car il n'y a entre eux aucun point de similitude.

Les *filières à fileter* servent à former des pas de vis sur des cylindres en bois ou en métal de dimensions moyennes, car lorsque les pas de vis deviennent très forts on les obtient sur le tour par une machine-outil spéciale.

Les filières sont en acier, et leur disposition varie suivant le diamètre des vis à obtenir et la nature de la matière à travailler. On les divise en trois classes : les *filières simples*, les *filières doubles* ou *filières à coussinets*, et les *filières à bois*. Nous examinerons successivement chacune de ces trois espèces.

Disons d'abord que cet article doit être étudié avec l'article *Taraud*, puisque la fabrication de l'écrou ou le filetage du trou qui reçoit la vis est la seconde partie de l'opération qui permet d'utiliser celle-ci. La fabrication du taraud a mené à un perfectionnement de la filière, qui n'est pas compris dans l'article suivant, que nous énoncerons brièvement.

Pour commencer une vis on employait souvent, comme nous allons le voir, une première filière à trou conique, mais alors les filets, formés successivement de courbes d'inclinaisons différentes, étaient *machurés*. On a trouvé avantage, comme pour le taraud, à employer un trou cylindrique et à le rendre conique en enlevant partie de l'extrémité des filets à l'entrée. L'outil ne tend plus à former des filets d'inclinaisons différentes (voyez TARAUD).

Les filières simples ne sont employées que pour le filetage de vis d'un faible diamètre ; ce sont des écrous pratiqués dans une planche d'acier au moyen de tarauds, et qui deviennent aptes, une fois trempés, à tarauder les cylindres d'acier non trempé, de fer ou de cuivre. Il faut autant d'écrous de différents diamètres que de grosseurs de vis à obtenir ; le plus souvent on en pratique une certaine quantité sur une même planche d'acier. Cette planche a d'ordinaire la forme indiquée sur les fig. 884 et 885 ; elle est plus épaisse à un bout qu'à l'autre ; les gros trous, qui ont besoin tout autour d'eux d'une grande résistance, sont taraudés dans la partie la plus épaisse, les petits trous dans la partie la plus mince. La filière ne doit pas avoir un trop grand nombre de filets, parce qu'elle serait trop dure à conduire, et qu'on courrait risque de rompre les vis d'un petit diamètre ; on ne dépasse guère trois filets à trois filets et demi. On ne doit pas non plus jamais mettre moins de deux filets et demi, parce que le filetage se ferait mal, qu'une vis un peu longue se courberait, et que la filière serait promptement détériorée.

Quelquefois la planche est d'égale épaisseur ; on conçoit alors que les petits trous qui reproduisent des pas très fins auraient un trop grand nombre de filets. Pour obvier à cet inconvénient, on les évase jusqu'à ce qu'il n'y reste plus que trois filets.

Pour produire une vis, on emploie d'ordinaire les deux trous situés à côté l'un de l'autre. Le trou 1 est taraudé avec un taraud conique, la partie la plus évasée devant être en dessous. La vis est d'abord passée dans ce trou, puis on la tourne dans le trou *a* qui est cylindrique, et qui la termine complétement. Quand on filete avec les gros trous, on pince la vis dans l'étau, et on tourne la filière en la tenant par les deux bouts ; les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

distances du trou aux deux extrémités, ou les bras de levier de la force, sont égaux à peu près; condition indispensable pour la facilité du filetage.

Cette condition n'est plus satisfaite pour les petits trous; mais l'effet à produire étant alors peu considérable, on tient la filière dans la main gauche, et on fait tourner de la main droite la petite vis que l'on tient serrée dans une pince.

La construction d'une pareille filière n'est pas une chose très-facile; on devra choisir de l'acier fondu de première qualité, qu'on forgera suffisamment pour ne pas le rendre pailleux, en ayant soin de le ramener souvent au feu, et de le traiter à petits coups pleins et nourris. Au sortir de la forge, on dresse la planche, suivant une décroissance bien égale, soit à la lime, soit à la meule; on marque la place des trous avec le pointeau, et on les perce. Après cela vient l'opération du taraudage. On emploie de préférence des tarauds coniques allongés et équarris à la lime, et affutés après la trempe sur la pierre à l'huile, afin de bien couper la matière et de ne pas la refouler.

Le trou 1 se fait avec un taraud conique, il est plus grand en dessous qu'en dessus; le second trou A avec un taraud cylindrique un peu moins fort que le dessus du premier trou.

Quand les trous sont taraudés, on fait à la lime dans les filets les dégagements, dont nous étudierons plus tard le but et la forme: on n'en fait point aux petits trous, non qu'ils soient inutiles, mais parce qu'on trouve peu de limes pour passer dans ces petits diamètres. Les dégagements faits, on repasse les tarauds dans les trous, et on procède à l'opération de la trempe.

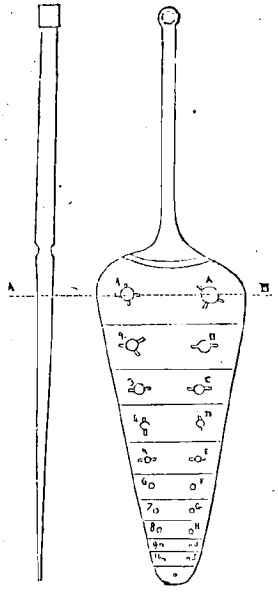


Fig. 884. Fig. 885.

Il est difficile de tremper une filière sans la gauchir, surtout si on a employé dans sa fabrication de la tôle d'acier; car l'acier laminé gauchit beaucoup plus que l'acier martelé et récroui à froid. Pour tempérer l'action de l'eau, on l'emploie tiède, ou on répand un peu d'huile à sa superficie; on entre la filière par la tranche, et on la promène dans le sens de l'entrée. D'autres fois, on fouette l'eau avec le dessous de la filière; puis on la retire, on la retourne, et on la plonge aussitôt; le premier coup fait gauchir, le second ramène dans la ligne droite. On recuit au bleu, quand l'acier est de la première qualité, sinon gorge de pigeon ou couleur d'or.

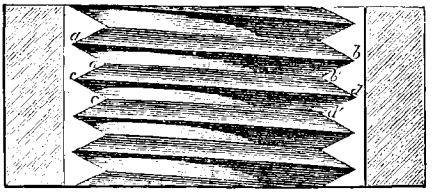


Fig. 886.

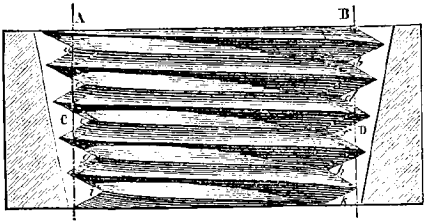


Fig. 887.

Pour bien faire comprendre le mode d'action de cet outil, nous donnerons les fig. 886 et 887 qui représentent les coupes de deux trous des filières à une dimension dix ou douze fois plus grande que nature, et avec un plus grand nombre de filets qu'on n'en emploie ordinairement. La figure 886 est une filière cylindrique destinée à finir les vis; la figure 887 une filière conique qui commence les vis et leur donne entrée à la filière cylindrique.

Dans ces dessins, nous ne supposons que deux dégagements à chaque trou, comme en B, fig. 885, etc. La coupe passe par ces dégagements, et on voit en arrière une moitié de la filière; les lignes verticales A et B représentent la grosseur de la vis à tarauder. En supposant que la matière ne soit jamais refoulée, cette grosseur est alors égale à la profondeur des filets inférieurs.

Supposons maintenant qu'on introduise le cylindre AB à fileter dans la filière 887, il sera attaqué en *a*, et le premier filet s'y incrustera d'une quantité égale au petit triangle *a*. En tournant d'un demi-tour, la partie attaquée se mouvra, suivant la ligne inclinée *a b*, sans rencontrer un dégagement, et une fois arrivée en *b*, elle se sera agrandie, et le métal se sera nécessairement refoulé d'une quantité égale à la différence de surface des petits triangles *b* et *a*. Cette différence est d'autant plus grande que la ligne *a b* est plus longue. Ainsi, s'il n'y avait pas un dégagement en *b*, et que la partie attaquée par la pointe *a* dût faire un tour entier et arriver en *c*, elle serait refoulée de toute la différence qui existe entre le triangle *c* et le triangle *a*. Une fois arrivée en *b*, la portion attaquée par le filet *a b* entre dans le dégagement C, et le biseau formé dans le cylindre tendant à se resserrer, en vertu de l'élasticité de la matière, est coupé par la pointe *b*, que l'on ne voit pas sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la figure, mais dont on voit facilement la position : elle est vis-à-vis de *b*, sur l'autre face du dégagement C. Ce triangle *b'* surpasse en surface le triangle *b* d'une quantité d'autant plus grande que le dégagement C aura plus d'étendue dans le sens de la circonférence. Il s'ensuit donc que, lors même que le filet ne se rétrécirait pas en quittant la pointe *b*, il serait coupé par la pointe *b'* d'une quantité d'autant plus considérable que la différence entre les triangles *b'* et *b* serait grande.

La quantité dont le fer se resserre en quittant la pointe *b* est peu considérable, si le dégagement est peu large la pointe *b'* ne coupera que très peu et le fer sera refoulé pendant tout le temps qu'il passe de *b'* en *c'*, si le dégagement D est peu large le même raisonnement fera voir que de *c* en *d* le fer sera encore refoulé. L'effet des dégagements est donc presque nul quand ils ont peu de largeur, et les vis que l'on filète se font presque entièrement par refoulement. On est alors obligé de faire le cylindre AB plus petit que nous ne l'avons représenté sur la figure, parce que son diamètre augmentant à mesure qu'il descend doit pouvoir passer dans l'angle rentrant qui sépare les pointes *h* et *k* (fig. 887).

La filière à dégagements étroits est donc radicalement vicieuse, elle refoule presque autant la matière que si elle était continue, le sommet des pas de vis composé de métal relevé manque de solidité, et si les vis sont en acier et destinées à être trempées, une partie de ce métal relevé se brise en petits éclats.

On doit remédier à cet inconvénient en faisant de grands dégagements et en augmentant leur nombre ; on peut en faire 4 et ne laisser aux filets que l'étendue nécessaire pour ne pas nuire à la solidité de la filière. Tout le travail qui s'opère dans l'intérieur des filets est un travail de refoulement ; le métal n'est coupé qu'aux dégagements. On comprend sans peine qu'il faut beaucoup moins d'efforts pour fileter en coupant, que pour fileter en refoulant. On obtiendra avec de grands dégagements des vis mieux faites et on tourmentera beaucoup moins les filières.

Quand on fait passer la vis sur une filière cylindrique, après l'avoir fait passer dans la filière conique, il n'y a que le filet supérieur qui coupe par son dégagement ; il rend la vis cylindrique sur toute sa longueur. Dans celle-ci comme dans la filière conique il est avantageux de faire 4 dégagements et de les pratiquer aussi grands que possible.

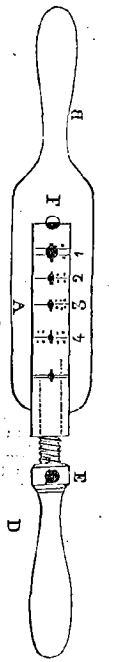
La filière simple a l'inconvénient de ne pas être aiguisable ; une fois émoussée, il n'est pas possible de l'affûter, les angles des dégagements sont arrondis, ils ne coupent plus, ils refoulent la matière, et le filet se trouve formé par la rencontre de deux bavures.

Dans l'emploi, la filière simple doit être tenue le plus horizontalement possible, on doit y mettre de l'huile et ne jamais tarauder des cylindres plus gros que le plus petit diamètre intérieur du fond des filets.

Filières doubles. Les vis reproduites par la filière simple sont toutes cylindriques, et quelque petite que soit la différence entre les trous taraudés sur une même plaque, il est possible qu'il se trouve des grosseurs qui ne puissent être exactement reproduites. Les filières doubles n'ont pas cet inconvénient ; une filière faite pour travailler une vis d'un certain diamètre peut être employée à fileter des diamètres un peu plus petits ou un peu plus grands ; on peut faire des vis coniques, ce qui est surtout avantageux dans la fabrication des tarauds ; enfin la filière est affûtable, c'est peut-être là son plus grand avantage.

Les filières doubles se composent de deux coussinets taraudés placés solidement dans une pièce nommée *fût* que l'on tourne à la main, ces coussinets peuvent se rapprocher l'un de l'autre au moyen de vis.

La fig. 888 représente une filière double contenant 4 coussinets, on peut par son moyen fileter des vis de divers diamètres, sans être obligé de déplacer ou de changer les coussinets, opération d'ordinaire assez longue. Son inconvénient principal est de n'avoir qu'un de ses trous à égale distance des points d'application de la force. Quand on emploie les autres trous, l'opération du filetage est plus difficile et exige plus de soins de la part de l'ouvrier. Comme on le voit sur la figure, les coussinets sont marqués par paire ; quelquefois on emploie des lettres, d'autres fois on se contente de coups de pointeau.



888.

Le *fût* de la filière se compose de deux parties, le cadre et la vis ; le cadre est d'une seule pièce ; il se compose du cadre A, du bras B, de l'œil ou douille C ; la vis D est également d'une seule pièce. L'intérieur du cadre A doit être bien dressé, on le lime ordinairement en biseau, et on fait aux coussinets des rainures triangulaires et rentrantes, qui s'ajustent exactement dans les biseaux. D'autres fois on pratique une rainure longitudinale sur les côtés intérieurs du cadre et on laisse aux coussinets des saillies extérieures qui entrent dans ces rainures.

La *vis* D, est destinée à serrer les coussinets contre le cylindre à fileter et à les rapprocher l'un de l'autre à mesure que l'opération avance ; les filets ne doivent pas être trop inclinés afin que la vis ne tende pas à se desserrer ; l'embase E est percée de deux trous forés en croix dans lesquels on passe un levier pour serrer la vis, quelquefois cette embase a la forme d'un écrou et on la fait tourner avec une clef ordinaire.

Il est bon de faire la vis D et son œil aussi longs que possible.

Les *coussinets* sont la partie ouvrière de la filière ; aussi doit-on en soigner la confection puisque c'est de leur bonne exécution que dépend la perfection du filetage.

On les prend dans un barreau d'acier d'un calibre un peu plus gros que la grosseur du coussinet, et qu'on refoule à la forge. Les coussinets forgés sont moins sujets à *se criquer* à la trempe, à *s égrener dans les filets*, que les coussinets non forgés. L'acier fondu qu'on emploie à leur confection ayant un fil prononcé, il importe de savoir si on fera le taraudage sur le bout ou sur le côté du fil, de manière à ce que ce fil soit parallèle ou perpendiculaire à la longueur de la filière. Quand le coussinet est fileté des deux côtés on met le fil perpendiculaire ; si on le faisait parallèle à la longueur de la filière, *les criques* se manifestant ordinairement dans le sens du fil qui dans ce cas serait celui de la plus petite dimension, le coussinet se fendrait en deux pièces à la première pression qu'il éprouverait. Cependant quand le coussinet est long on doit préférer le filetage en bout qui est plus dur que le filetage en travers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand les coussinets sont forgés, on les ajuste dans le cadre de la filière et on s'occupe du soin de les fileter; on emploie à cet effet des tarauds *ad hoc* nommés *mères*, qui sont les types fabriqués avec soin, creusés sur le tour, servant à obtenir des vis semblables avec les diverses filières. Le filetage se fait d'ordinaire après qu'on a pratiqué le dégagement du fond; d'autres fois cependant on fait les dégagements après le filetage. L'opération de la trempe et du revient ne présentant aucune particularité, nous ne nous y arrêterons pas.

Forme des coussinets. On a d'abord adopté la forme semi-circulaire représentée dans la fig. 889; mais cette forme présente des désavantages qu'il faut signaler. Elle donne beaucoup de peine pour le filetage et astreint à ne fileter que des diamètres voisins de celui de la mère. Soit C le cylindre à fileter, son diamètre doit être égal à celui du cercle BB' qui représente le fond des filets de la filière, mais pratiquement en diffère toujours quelque peu. Au commencement de l'opération, la filière étant pressée contre le cylindre, celui-ci tournant dans le sens de la flèche, n'étant attaqué qu'en O, n'est nullement guidé dans son mouvement descensionnel, et les traits qui s'impriment sur le cylindre ont une inclinaison qui dépend de la pression. Ils peuvent donc ne plus correspondre une fois qu'on a tourné d'un tour entier.

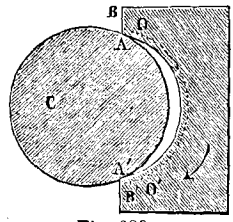


Fig. 889.

Il n'en est pas de même quand on emploie le coussinet indiqué fig. 890. La partie attaquée dès le commencement de l'action reste dans la filière sur toute la longueur AA', et le cylindre C est obligé de descendre en suivant l'inclinaison des filets de cette filière. Il y a donc avantage à employer celle-ci; elle est plus facile à conduire et exige moins d'attention de la part de l'ouvrier.

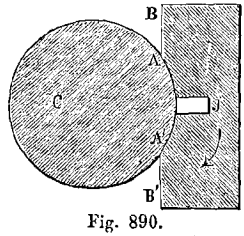


Fig. 890.

Il faut le plus possible ne fileter que des tiges cylindriques, des boulons, par exemple, qui aient même diamètre que la mère qui a formé les coussinets; quand ils sont beaucoup plus gros, le pas se double souvent, parce que les filets de la filière étant plus inclinés que ne doivent l'être ceux du boulon, la partie coupante d'un filet atteint la partie coupée par le filet inférieur avant que la filière ait fait un tour entier; si elle l'atteint au bout d'un demi-tour le pas est doublé. Pour le comprendre, il faut faire attention que la filière tend à tracer sur le boulon des traits ayant la même inclinaison que ses filets. Quand la différence entre le boulon et la mère est peu considérable, les parties coupantes ne rencontrent les filets inférieurs qu'un peu avant le tour entier et le pas ne peut se doubler.

Toujours les écuelles ou vides du boulon obtenu sont un peu plus grands que les pleins, parce que le filet de la filière, étant plus incliné que celui du boulon, ne coïncide pas avec lui et doit par conséquent agrandir l'écuelle pour pouvoir s'y loger. Cette différence de dimension entre le filet de la filière et l'écuelle du boulon est d'autant plus faible que les pas de la filière embrassent une moins grande partie de sa circonférence; ce qui explique la préférence accordée au genre de coussinet dont nous parlons ci-après.

Si le diamètre du boulon est plus petit que celui de la mère, il n'y a que le fond de la partie filetée qui opère; ce fond étant occupé par le dégagement, il n'y a que très-peu de contact, et il est presque impossible de maintenir la filière dans une position absolument horizontale; on refoule la matière au lieu de la couper, et on fait souvent un pas double par une raison analogue à celle que nous avons donnée pour le cas du boulon plus grand que la mère; seulement, les parties coupantes ne rentrent dans les parties coupées inférieures qu'au bout de deux tours de la filière; on produit en tout cas un pas mâché, irrégulier; souvent on tourne sans fin et on ne produit plus d'hélice. Il vaut donc mieux que les boulons à fileter soient plutôt plus gros que plus petits que la mère, surtout si les coussinets ont un peu de jeu; mais, nous le répétons, plus la différence sera faible et plus les résultats obtenus seront parfaits.

Le coussinet représenté dans la fig. 890 peut être facilement repassé à la meule circulaire, mais à ce point de vue la forme (fig. 891) est bien plus avantageuse; le repassage peut se faire avec une simple pierre à l'huile; les angles sont plus vifs et coupent avec plus de facilité; mais si on filète des vis de petit diamètre, les tranchants peuvent s'appuyer l'un sur l'autre et s'écraser réciproquement. C'est la forme adoptée pour le coussinet principal de la filière à trois coussinets décrite plus loin.


Fig. 891.

Les dégagements du fond des coussinets servent d'issue à la limaille et font naître de nouveaux angles coupants.

Le métal, comme on peut le voir dans les fig. 889 et 890, n'est coupé qu'en A et A': en A quand on tourne dans le sens de la flèche, et que la filière descend le long du boulon; en A' quand on tourne en sens inverse, et qu'on fait remonter la filière après avoir resserré la vis de pression.

Après avoir parlé de la forme des coussinets, il nous reste à parler des variations qui existent dans celle du *fût*. Le plus souvent elles n'ont pour base que le caprice du fabricant: aussi ne donnerons-nous la description que de quelques-unes des filières les plus généralement répandues. Les filières de la forme indiquée, figure 888, ne sont employées maintenant que pour de petits diamètres, et on ne fait plus usage que de la filière à une seule paire de coussinets.

Formes diverses du fût. La figure 892 représente une filière double. La direction de la coulisse où sont situés les coussinets n'est plus parallèle, mais bien perpendiculaire aux leviers DD. Les deux coussinets se rapprochent au moyen de vis C, C, et on ne court plus risque de les desserrer en tournant les leviers, comme avec la filière représentée fig. 888. On voit comment les deux rainures règnent dans le sens de sa longueur sur sa partie intérieure, et servent de guide aux coussinets, qui s'y ajustent au moyen de deux languettes; elles servent à placer les coussinets après avoir desserré les vis. Deux entailles sont pratiquées dans le cadre et descendent jusqu'aux rainures; les languettes sont habituellement doubles et à cheval sur la saillie du cadre; en coupant ces languettes dans leur milieu, on peut laisser subsister un petit épaulement dans le cadre. On ne fait quelquefois qu'une seule entaille de la largeur du coussinet, mais cela a un inconvénient: si la filière est très-ouverte, le coussinet n'est pas maintenu, tandis qu'en laissant un épaulement entre les deux entailles, il est impossible que le coussinet sorte, pour peu qu'on ait serré la vis de pression.

Les vis C, C, sont forées de deux trous en croix dans lesquels on passe un levier, au moyen duquel on les fait tourner pour resserrer les coussinets, pour exercer une pression suffisante sur la pièce à fileter (c'est dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

graduation de cette pression que consiste surtout l'habileté de l'ouvrier: s'il serre trop peu, il perd du temps; s'il serre trop, il tord la tige), toutes les fois qu'on s'aperçoit que la filière devient lâche et tourne avec trop de facilité.

La construction de cette filière (fig. 892) présente

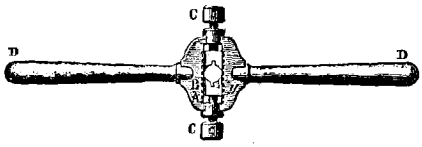


Fig. 892.

quelques difficultés; les rainures ne peuvent se faire qu'avec un outil particulier, une fraise montée sur le tour, le fût étant placé sur le support. Cependant son bon usage, la facilité de pouvoir changer promptement les coussinets, ont généralisé son emploi parmi les artisans, et surtout dans les ateliers de mécanique.

La *filière à plaque*, représentée dans la figure 893,

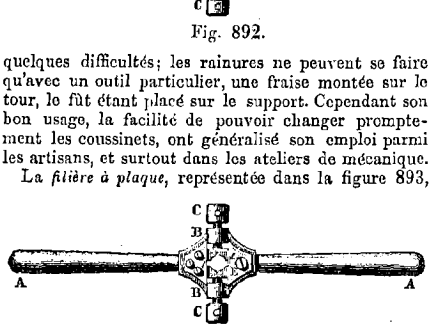


Fig. 893.

remplit le même but que celle que nous venons de décrire, tout en étant plus facile à construire. Peu de mots suffiront pour la faire bien comprendre : A, A, sont les bras ou leviers; C, C, les vis de pression; B, B, leurs écrous; E, sont les plaques maintenant les coussinets, et maintenues elles-mêmes après le corps de la filière soit par trois vis fraisées, si la plaque est simplement percée à plat, soit par une seule vis, si la plaque ne peut tourner.

Dans le milieu de la filière est pratiqué un cadre contenant les coussinets, qui sont limés carrément sur toutes leurs faces, et sont maintenus au-dessus et au-dessous par le débordement des plaques sur les côtés intérieurs du cadre, qui sont indiqués sur la figure par les lignes ponctuées. Quoique plus simple à construire que la précédente, cette filière exige beaucoup de temps pour le changement des coussinets, parce qu'il faut, pour effectuer cette opération, enlever les plaques E, et détourner, par conséquent, les vis qui les fixent au corps de la filière. Leur usure, surtout quand elles sont mal rentrées, est un inconvénient assez notable.

Filières à trois coussinets. Dans ces filières, le coussinet est divisé en trois parties ayant très-peu d'étendue dans le sens de la circonférence; on les rapproche du centre, à mesure que les filets s'approfondissent, au moyen de vis ou de coins disposés de manière à les faire marcher de quantités égales. Ces filières sont trop peu répandues en France; elles produisent de très-belles vis et sont faciles à conduire, surtout au commencement de l'opération, parce qu'il ne faut qu'un tiers de tour pour faire rentrer les uns dans les autres les sillons creusés par les parties coupantes. Elles peuvent aussi, plus facilement que les filières doubles, fileter des diamètres différents les uns des autres sans trop agrandir l'écuelle aux dépens du filet. Nous avons, en effet, déjà dit qu'on obtenait ce résultat en donnant aux coussinets peu de développement dans le sens de la circonférence.

La filière de Withworth est une filière à trois coussinets qui, affutés au besoin sur la meule, découpent les filets dans le métal sans jamais le refouler. Les filières

de Withworth, comme la série de pas de vis établie par ce constructeur, sont en Angleterre d'un usage absolument général, ce qui introduit dans toutes les constructions une uniformité précieuse qui mériterait d'être imitée.

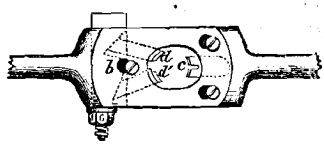


Fig. 894.

La filière Withworth se compose d'un tourne-à-gauche s'élargissant en son milieu en forme de plateau circulaire. Dans ce plateau, on perce de part en part une lunette dans laquelle les coussinets pourront fonctionner; trois rainures sont pratiquées à la machine, suivant trois rayons inclinés les uns par rapport aux autres; c'est dans ces rainures que l'on place les coussinets. Deux d'entre eux, plus étroits que le troisième, sont placés d'un même côté (fig. 894), et ils peuvent glisser dans leurs rainures de manière à se rapprocher du centre de la lunette, lorsqu'on repousse leurs talons, par les bords inclinés d'une même clavette mobile dans l'épaisseur du plateau, au moyen d'un écrou par lequel celle-ci se termine. Le troisième coussinet est plus large que les autres, et on a pratiqué un évidement dans son milieu, qui détermine une nouvelle arête tranchante. Cet ensemble de trois coussinets ou peignes est recouvert par une plaque maintenue à l'aide de boutons à mentonnets; cet assemblage suffit pour maintenir les coussinets en place, vu la perfection du travail, et le changement de coussinets peut s'effectuer plus rapidement que si la plaque était fixée avec des vis.

Ces coussinets sont taillés par des tarauds-mères, d'un diamètre extérieur plus grand de deux fois la profondeur du filet que celui des tiges à fileter. Withworth a été conduit à adopter cette disposition pour que, dès le commencement du taraudage, la filière soit, par à peu près toutes les arêtes des filets, en contact avec la surface du cylindre à fileter.

Nous compléterons cette étude d'un outil d'un usage incessant dans les ateliers de mécanique et de serrurerie, en parlant d'essais faits pour l'améliorer, rendus moins importants par la perfection du dernier système qui vient d'être décrit.

La Société d'Encouragement pour l'industrie nationale ayant proposé un prix pour le perfectionnement des filières et tarauds, beaucoup d'artistes se sont occupés attentivement de cette partie importante de la mécanique, et plusieurs essais ont été tentés. Le prix a été décerné à M. Valdeck. Sa filière présente quelque analogie avec les filières à bois, que nous décrirons bientôt, ayant pour principe, comme dans ces dernières, de couper la matière avec un ou deux burins fixés sur les coussinets, en ne se servant de ces coussinets que pour guider les burins dans le mouvement hélicoïdal.

Nous renvoyons les personnes, qui voudraient connaître la disposition de cette filière, au 37e volume du *Bulletin de la Société d'Encouragement*, où elle est décrite dans tous ses détails.

Machine à fileter et à tarauder. Indépendamment du TOUR A FILETER, qui sert à fabriquer les vis de très-grande dimension, dans les ateliers de construction et de serrurerie, où l'on filète une grande quantité de boulons, on a renoncé au filetage à la main, et on emploie une machine spéciale, très-expéditive, que l'on applique aussi au taraudage des écrous, et que l'on nomme machine à tarauder. Elle ne change pas le moyen employé pour tailler des filets de vis dans le fer ou le cuivre, elle agit avec le même outil pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

creuser un sillon; mais elle offre l'immense avantage de faire travailler cet outil avec beaucoup de rapidité et d'exactitude, sans que l'intelligence d'un ouvrier soit nécessaire pour en diriger le mouvement. Le filetage à la main n'est plus guère employé dans les ateliers que pour travailler des pièces qu'il serait peu commode de placer sur la machine.

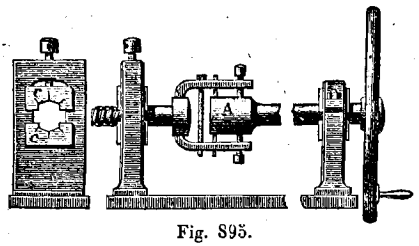


Fig. 895.

La figure 895 représente la disposition la plus simple d'une machine de ce genre, employée pour le filetage d'un boulon, une des applications les plus fréquentes.

Le boulon à fileter est placé à l'extrémité d'un arbre, qui l'entraîne dans son mouvement de rotation, et qui peut lui-même se mouvoir dans le sens de sa longueur. Les coussinets en acier sont fixés sur un porte-outil convenablement disposé et situé dans le prolongement de l'arbre; leurs formes sont analogues à celles que nous avons décrites, et on peut les rapprocher l'un de l'autre, soit au moyen de vis que l'on serre de temps en temps, soit au moyen d'un contre-poids qui les presse continuellement contre le boulon. Au commencement de l'opération, on ouvre les coussinets et on y fait pénétrer le boulon d'une longueur égale à deux ou trois pas de vis; on resserre les coussinets et on fait marcher l'arbre; le boulon ne peut alors plus tourner sans avancer; il entraîne l'arbre et se filète à une certaine profondeur en passant dans les coussinets.

On admettait autrefois comme indispensable que le boulon reçût plusieurs passes pour que les filets fussent creusés à la profondeur qu'ils doivent avoir; quand on opère ainsi, lorsque le boulon est à l'extrémité de sa course, l'ouvrier, par un embrayage convenablement disposé, quand on n'opère pas à bras, fait tourner l'arbre en sens inverse, et, dans ce mouvement rétrograde, les coussinets travaillent comme dans le mouvement direct. Si la seconde passe ne suffit pas, on en donne successivement une troisième, une quatrième, en resserrant chaque fois les coussinets ou en laissant agir le contre-poids, jusqu'à ce que l'intervalle de leurs filets soit exactement rempli par les filets du boulon.

La rapidité du filetage des boulons et du taraudage des écrous, qui se produisent en quantité considérable et à très-bas prix, a exercé la sagacité des constructeurs qui se sont proposé de l'effectuer en une seule passe. Withworth y est parvenu, grâce à la puissance d'action de sa filière, comme il a été dit à l'article MACHINES-OUTILS.

Nous citerons, pour compléter les indications à ce sujet, la disposition imaginée par M. Zeilin de Mulhouse. Il fixe le coussinet à action progressive, qui doit servir à fileter le boulon en une seule passe, à l'extrémité d'un tube creux, dans lequel il fait passer, pendant le travail, un courant d'eau de savon qui lubrifie les parties frottantes. Cette eau passe dans les dégagements de la filière, et entraîne avec elle tous les copeaux. L'échauffement n'étant plus à craindre, la machine peut marcher beaucoup plus vite; les coussinets et les tarauds restant froids, il n'est plus nécessaire d'attendre qu'ils se refroidissent, et leur durée est beaucoup plus grande.

Nous avons dit que la même machine pouvait servir au taraudage des écrous: à cet effet, on enlève les coussinets; l'écrou à travailler se place dans le porte-outil où ils étaient fixés, et on place le taraud d'acier sur l'arbre à la place du boulon. Comme on le verra à l'article TARAUD, le taraud ne coupe que dans un sens, et il n'est nécessaire que de donner une seule passe; aussi, quand il s'est enfoncé complétement dans l'écrou, on fait tourner l'arbre avec rapidité et à la main, en sens

Fig. 896.

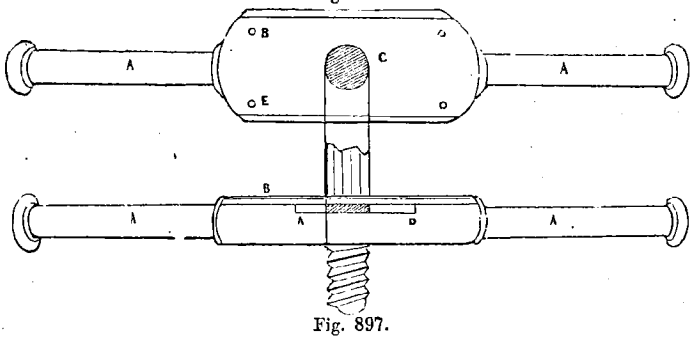


Fig. 897.

Fig. 898.

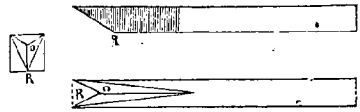


Fig. 899.

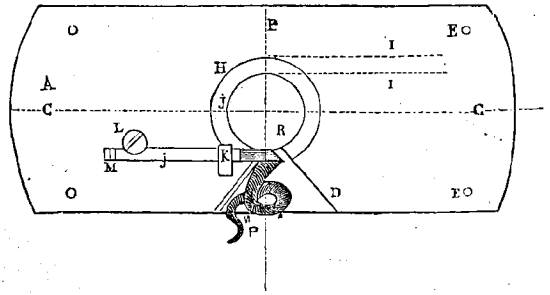


Fig. 900.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inverse, pour retirer le taraud, et on recommence l'opération sur un second écrou.

Filières à bois. C'est l'instrument au moyen duquel on fait les vis en bois de petit et de moyen diamètre. — Sa fabrication est l'objet d'une industrie toute spéciale qui n'est exploitée que par certains ouvriers. Son principe, dont nous avons déjà dit un mot, est différent de celui des filières employées ordinairement au filetage des métaux, la vis est faite en une seule passe, au moyen d'un ou de deux outils nommés V, situés sur une des faces d'un écrou en bois d'une seule pièce dans lequel s'engage la vis dès qu'elle a été soumise à l'action du second outil; les figures 896, 897, 898 et 899 représentent une filière à bois.

A, corps de la filière avec ses deux bras ou leviers tournés;

BB, plaque de recouvrement;

C, trou conducteur percé au milieu de cette plaque;

E, vis qui fixe le recouvrement sur le corps de la filière;

F, morceau de bois arrondi destiné à être fileté;

G, partie de ce morceau de bois qui, après avoir passé dans la filière, se trouve fileté.

La fig. 900 représente une vue de la filière sur une plus grande échelle, le recouvrement étant enlevé, on voit en plan l'écrou où entre la vis; les cercles H et J représentent la saillie et le fond des filets.

j est le fer ou le V de la filière représenté sur une plus grande échelle, sur les fig. 898 et 899. Il porte une rainure angulaire O par laquelle se dégage le copeau; les parties ombrées sur les fig. 898 et 900, font entre elles l'angle des filets, et le V est placé dans une rainure pratiquée à la partie supérieure de A; des petites cales M, sont destinées à maintenir sa pointe R sur la ligne PP. Quand les repassages successifs l'ont raccourci, la rainure doit être assez profonde pour que la pointe R arrive à la hauteur d'un des filets de l'écrou. Quand on a rempli cette condition, on enlève du bois avec un rabot sur le dessus de la filière jusqu'à ce que le V affleure.

K est un crochet terminé par un bout en vis et qui maintient le fer; L est une vis ayant la même destination; on fait au recouvrement B des entailles correspondantes, afin que leur saillie ne soit pas un obstacle à son exacte fermeture.

Ce qui précède étant bien compris, on voit que si l'on introduit le cylindre à fileter dans le trou C, il rencontrera d'abord la pointe R qui l'attaquera; et la partie enlevée qui a exactement la même forme que le plein de l'écrou en bois s'y engagera immédiatement en quittant le V; la filière sera alors guidée par l'écrou dans son mouvement descensionnel, le V formera sur le cylindre un pas qui entrera exactement dans l'écrou et le copeau enlevé sortira, comme on le voit sur la fig. 900, par le dégagement P D, en N.

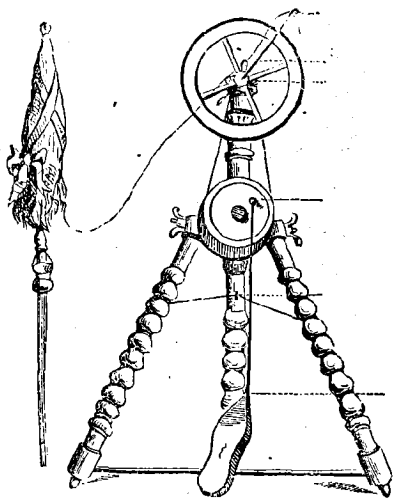
Quand les cylindres à fileter sont un peu gros on est obligé d'employer plusieurs V qui se partagent l'ouvrage; on en fait rarement plus de deux; celui qui termine le filet a toujours la même position; le fer qui attaque la matière se place ordinairement à la place des lignes ponctuées I, I, il est placé au-dessus du fer *j* d'une quantité égale à la moitié du pas du filet, et la partie coupée par ce premier fer ne s'engage dans l'écrou qu'après avoir été terminée complétement par le fer *j*.

E. DUBIED.

FILIGRANE. C'est le nom qu'on donne à de petits ouvrages faits en fils de métal, tissus avec élégance, et imitant les formes variées de vases, de fleurs, etc. Ces fils sont joints avec de la soudure qu'on a soin de mettre en très faible quantité pour qu'on l'aperçoive difficilement.

On donne aussi le nom de *filigrane* ou filigramme aux lettres et figures qu'on voit en regardant le papier par transparence, et qui servent de chiffre pour reconnaître la fabrique. Ces dessins se font en fil de cuivre sur la toile métallique de la forme, de sorte que la matière du papier recevant moins d'épaisseur dans ces parties que dans les autres, elles ont plus de transparence.

FILOIR. C'est sous cette dénomination que M. Duvelleroy, vend, dans le commerce, un ingénieux instrument représenté fig. 901, et inventé par M. Taïman



901.

Duverger, l'un des inventeurs les plus ingénieux et les plus excentriques de notre époque.

La grande roue est composée de deux parties qui s'emboîtent à frottement doux, disposées de manière à ce que la partie de devant se détache aisément, en appuyant les deux pouces sur les rayons, et en introduisant les doigts de chaque côté dans la gorge de la roue pour attirer à soi cette partie de devant. Il faut alors saisir le bout d'un fil entre les deux parties de la roue, que l'on refermera bien jointes; puis passer l'autre bout de ce fil dans l'œil de l'ailette, de droite à gauche, ensuite dans l'œil de la broche. On lance à la main, la grande roue, de gauche à droite, on fixe le pied sur la pédale, on maintient le mouvement de rotation en pressant cette pédale, et la fileuse exécute ce mouvement avec assez de douceur pour qu'au retour ce soit la pédale qui enlève le pied.

Bien que la grande roue tourne seule, quand elle n'est pas encore reliée à l'ailette par le fil, aussitôt que le fil est passé dans l'œil de cette ailette et que l'on se met à filer, la roue et l'ailette tournent ensemble; cette simultanéité d'action est indispensable, puisque c'est le mouvement circulaire de la broche de l'ailette que fait la torsion, en même temps que l'ailette a pour fonction de tourner autour de la grande roue pour y pelotonner le fil à mesure qu'il se fait.

Si le filoir n'avale point assez, on serre légèrement la boîte en cuivre qui en couronne le pied (c'est le régulateur), s'il avale trop on le desserre un peu.

Le degré de torsion à donner au fil dépend de la fileuse; il faut, si l'on veut tordre beaucoup, accélérer le pas et maintenir un peu son fil; si l'on désire un fil uni et peu tordu, on donne au pas un mouvement ordinaire et l'on rend beaucoup au filoir, qui, sans arracher le fil de la main, comme le fait l'ancien rouet, en prendra autant qu'on voudra lui en donner.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand l'évidoir ou gorge de la grande roue est suffisamment chargé de fil, il reste à tirer l'écheveau de là, sans le déformer et sans le mêler : pour cela il suffit d'ouvrir la grande roue de cuivre ; on retire l'écheveau et on le lie. Ainsi l'opération du dévidage, si difficile, si longue, si désastreuse pour le fil, se trouve complétement supprimée.

Le filoir ne fait pas de bruit en fonctionnant, et son mouvement est si doux, qu'un long travail ne fatigue pas ; il file le chanvre, le lin, le coton, la laine, la soie, la fantaisie ; il est très portatif puisqu'il se replie.

La corde qui fait tourner les deux roues est au filoir ce que l'archet est au violon ; graissez l'archet du violon, vous ne tirerez aucun son de l'instrument ; graissez la corde du filoir, les roues ne tourneront plus ; mais frottez de colophane ou de résine l'archet du violon ou la corde du filoir, et ces deux instruments fonctionneront.

La corde s'allonge au travail, et sa trop grande longueur rend le filoir dur ; il est donc indispensable de remplacer cette corde dès qu'elle a l'inconvénient d'être trop longue, aussi bien que si elle a reçu la moindre tache d'huile ou de graisse, ce qui arrive ordinairement lorsqu'on met trop d'huile sur les broches des roues, d'où elle se glisse jusqu'à la corde. Pour remplacer la corde, il faut prendre du fouet pareil en grosseur au modèle, l'allonger avant de le couper, joindre les deux bouts l'un sur l'autre, le coudre fortement en *surjet* et le frotter de résine avant de s'en servir. Il faut aussi avoir soin que les deux poulies où passe la corde soient toujours propres et ne soient jamais embarrassées de fil ou d'huile.

Si le fil venant à s'engager dans le mécanisme obligeait de démonter le filoir, il suffirait de dévisser le petit écrou qui fixe la broche au dos du régulateur et d'attirer l'ailette en avant.

Si le filoir devenait dur, il faudrait dévisser les deux écrous qui maintiennent les deux roues, ôter l'huile ancienne qui s'y serait encrassée, en mettre de la nouvelle et replacer le tout exactement comme avant. Il faut aussi verser quelquefois un peu d'huile sous la cuir qui garnit l'intérieur du régulateur et qui doit toujours se trouver sur la broche.

Des personnes se figurent, à tort, que la manivelle sur laquelle la petite roue tourne ne devrait pas être mobile, et cherchent à la fixer. Pour tenir la corde toujours tendue, il *faut* que cette manivelle soit mobile ; vouloir la rendre fixe, c'est rendre impossible l'emploi du filoir.

Il est nécessaire de signaler une dernière précaution à la fileuse pour assurer la durée et le service régulier du filoir. Il faut, avant d'appuyer le pied sur la pédale, attendre que le bouton qui existe sur la petite roue ait dépassé de deux centimètres à droite le point supérieur du chemin circulaire qu'il décrit. Du reste, le temps et l'usage sont les meilleurs maîtres. (Voy. ROUET).

FILONS. Voy. GÉOLOGIE et MINES.

FILOSELLE (*angl.* floss-silk, *all.* floret). Nom donné au produit du cardage et filage de la bourre de soie. La coque des vers à soie est dure, sèche, tenace et cassante ; on fait disparaître ces défauts en la laissant longtemps macérer dans l'eau qui dissout la grande quantité de matière gommeuse dont le ver l'avait imprégnée ; on la soumet à la presse et on la lave de nouveau, etc. ; ensuite on la fait sécher, on la bat fortement, on l'enduit légèrement d'huile, et on la carde soit à la main, soit à la mécanique. En travaillant cette bourre à plusieurs reprises, on la met en état d'être filée, tissée ou tricotée.

FILTRATION, FILTRES, ET MATIÈRES FILTRANTES. La filtration se dit généralement de l'opération mécanique qui consiste à faire passer un liquide quelconque qui contient des matières étrangères et non dissoutes à travers un corps assez dense pour le retenir.

On emploie aussi le mot *clarification* dans le même sens, pour exprimer l'action chimique ou mécanique à l'aide de laquelle on enlève aux liquides les corps opaques ou translucides qui troublent leur transparence.

Les *matières filtrantes* employées aujourd'hui, sont : la pierre poreuse calcaire, dite *pierre à éponge* ou *à filtrer ;* la pierre ponce broyée grossièrement, le papier joseph ou gris non collé, le sable fin et grossier, le charbon pulvérisé, le verre pilé, le chanvre tillé, le coton brut, la paille, le jonc terrestre, les écorces, les branches et feuilles sèches ; un morceau de toile, de drap, d'étamine, de flanelle, de feutre, de soie ; la pâte à papier, la sciure de bois, la laine tontisse, l'éponge ordinaire, la limaille de fer, de zinc, la terre glaise calcinée, etc.

L'effet de la filtration se comprend aisément ; on conçoit qu'un liquide en traversant un corps poreux ou un tissu assez serré dépose à sa surface et dans ses interstices, les parties solides et les plus grossières qu'il peut contenir. C'est par ce moyen, du reste, que les savants modernes expliquent la pureté et la limpidité des eaux qui sourdent des terrains sableux et calcaires.

Tout porte à croire que les anciens eux-mêmes ont observé le phénomène de la filtration des eaux dans le sein de la terre ; ce phénomène leur a suggéré peut-être l'idée d'appliquer du gravier et du sable à la clarification des eaux troubles. Aussi l'avons-nous retrouvée, par exemple, disait M. Arago (*Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 1837, 2me semestre, p. 197.), dans la grande citerne du palais ducal à Venise, qui existe depuis plusieurs siècles.

Les Japonais se servent, dit-on, de temps immémorial, de plusieurs sortes de pierres ou grès à filtrer. Ces pierres ont la propriété de donner passage à l'eau au travers de leurs pores, et peuvent par ce moyen la dépouiller des saletés et ordures qu'elle peut avoir contractées. Quand on destine ces pierres à filtrer, on les taille pour leur donner la forme d'un mortier ou d'un vase proportionné à la quantité d'eau qui doit y être reçue ; à l'extérieur on leur donne la figure d'un œuf dressé sur son extrémité ; on laisse en haut des rebords par lesquels le mortier peut être soutenu au moyen d'une bâtisse de bois carrée sur laquelle on le place pour qu'il soit suspendu en l'air ; on met au-dessous un vaisseau de terre ; on verse l'eau de rivière ou de pluie qu'on veut filtrer dans le mortier ; elle passe au travers de la pierre, et les gouttes d'eau qui se sont filtrées viennent se réunir à la pointe de l'œuf et tombent dans le vaisseau qu'on a placé au-dessous pour les recevoir. De cette manière l'eau se trouve pure et dégagée des saletés dont elle était chargée avant d'avoir été filtrée. (Voir le *Dict. encycl.*, tome XIV, p. 515.)

C'est à l'aide d'un procédé analogue à celui des Japonais que les Égyptiens clarifient aujourd'hui les eaux du Nil, et en général les eaux contenant des substances terreuses en suspension. (Voir *le Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XXIV, p. 424.)

Depuis un temps immémorial, on filtre, en Afrique, les eaux du Niger au moyen des éponges.

En Espagne, on emploie cette méthode depuis longtemps pour clarifier les sirops et les liqueurs. C'est à Amy, avocat au parlement de Provence, qu'on doit l'introduction ou l'application en France des éponges à la filtration de l'eau à boire, vers l'année 1743.

Les anciens connaissaient aussi le moyen de clarifier les vins, soit en les transvasant, soit en les passant au travers d'une toile. (*Pline*, livre XIV, chap. 14 et 22.) C'est à cause de cette pratique, sans doute, que les anciens chimistes et pharmaciens ont appelé *chausse d'Hippocrate ou à hippocras*, un sac conique fait d'un bon drap serré dont ils se servaient pour filtrer cer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

taines liqueurs ou décoctions faites avec du vin, du sucre, etc., qu'ils nommaient *hypocras*.

Encore aujourd'hui la *chausse d'Hippocrate* est employée par tous les chimistes, pharmaciens, liquoristes et généralement par toutes les personnes qui s'occupent de clarifier les liquides et les sirops. Les praticiens affirment que cette pratique est encore la meilleure, sinon la plus prompte, qu'on ait imaginée jusqu'ici.

Nous classerons les appareils de filtration en trois séries, suivant la nature ou la difficulté des liquides susceptibles d'être filtrés ou clarifiés.

La première série comprendra les appareils propres à filtrer les eaux de pluie ou de rivière.

La deuxième comprendra les appareils à filtrer les boissons, le vinaigre, les vins, le cidre, la bière, les liqueurs, les sirops, les huiles, etc.

La troisième enfin comprendra les produits chimiques et pharmaceutiques.

FILTRATION DES EAUX DESTINÉES A L'ALIMENTATION DES VILLES ET AUX USAGES DOMESTIQUES.

Nous ne saurions mieux faire, pour faire apprécier les circonstances diverses qui influent sur la composition des eaux et l'importance de la filtration, que de citer ici le remarquable rapport de M. Arago à l'Académie des sciences sur le filtre Fonvielle.

« Les hommes se servent pour leur boisson, pour préparer leurs aliments, pour les besoins de propreté et pour des usages industriels, de l'eau de citerne, de l'eau de puits, de l'eau de source, de l'eau de rivière. Ces quatre sortes d'eau ont même origine, la pluie. L'eau de pluie est en général d'une telle pureté, qu'on ne parvient guère à y découvrir quelques matières étrangères qu'en faisant usage des réactifs chimiques les plus délicats.

« Les citernes construites avec des matériaux choisis seraient donc le meilleur moyen de se procurer de l'excellente eau pour la boisson, si la pluie y tombait directement, si elle n'y portait pas les ordures, la poussière, les insectes, accumulés, dans les temps de sécheresse, sur les terrasses et sur les toits le long desquels son écoulement s'opère. Dans certaines localités, à Venise, par exemple, l'inconvénient dont nous venons de parler, se manifesta à un tel degré, que pour la grande citerne du palais ducal, le constructeur sentit la nécessité de ne laisser arriver l'eau pluviale au réservoir, où le public la puise, qu'après lui avoir fait traverser une large couche poreuse dans les interstices de laquelle les matières étrangères, tenues en suspension, devaient se déposer en partie.

« Les puits peuvent être assimilés à des citernes, seulement ils ne sont pas alimentés par de larges canaux en maçonnerie, en briques, en pierres ou en métal ; les eaux pluviales leur arrivent, pour ainsi dire, goutte à goutte, à travers les fissures ordinairement capillaires du sol. Il est rare que dans ce trajet long et difficile, les filets liquides ne rencontrent pas des matières solubles dont ils se chargent en plus ou moins grande quantité. Ce n'est donc plus de l'eau de pluie proprement dite qu'on tire du puits ; elle est ordinairement aussi claire, aussi limpide, mais elle contient presque toujours des matières dissoutes dont la nature chimique change avec la construction géologique du pays.

« Ce que nous venons de dire peut s'appliquer mot à mot aux sources. L'eau qu'elles répandent est aussi de l'eau pluviale qui, après avoir traversé une épaisseur plus ou moins grande de l'écorce du globe, est ramenée à sa surface par un jeu de syphon, ou, si l'on veut, car c'est la même chose en d'autres termes, par la pression de filets liquides non interrompus et partant des lieux élevés. La nature et la proportion des matières étrangères dont l'eau de source se trouve imprégnée dépend aussi de l'étendue du trajet qu'elle a fait au sein de la terre, et de l'espèce de roche qu'elle y a rencontrée. Supposez ces roches d'une certaine nature, et le pays abondera en sources minérales. Admettez que la descente verticale du liquide ait quelque étendue, et l'eau surgira à l'état thermal.

« Chaque rivière charrie vers la mer les eaux d'une source principale et celles d'un certain nombre de sources de moindre importance, qui s'ajoutent aux premières dans leur trajet. Sous le rapport de la composition chimique les eaux de rivière sembleraient devoir être une sorte de moyenne entre toutes les eaux de toutes les sources de la contrée environnante ; mais il faut remarquer cependant, qu'au moment des fortes averses, et sur un bassin de rivière un peu étendu, quel est le jour où çà et là il n'y en a point ? les eaux pluviales ne s'infiltrent pas à beaucoup près dans la terre en totalité ; qu'elles coulent à la surface du sol et sur les pelouses des bois et des coteaux, en assez grande abondance et avec rapidité ; dans ce trajet extérieur, elles doivent dissoudre très peu de matières étrangères comparativement à la proportion dont elles seraient chargées, si, divisées en très minces filets, chacune de leurs molécules, pour ainsi dire, avait pu isolément et pendant un temps fort long, se trouver en contact avec les principes solubles du terrain. A cette circonstance, toute en faveur de la pureté de l'eau de rivière, il faut ajouter que le carbonate de chaux, par exemple, est dissous à l'aide d'un excès d'acide ; que cet excès se dégage pendant la longue exposition de l'eau à l'air, et que dès lors le carbonate se précipite.

« Ces remarques, au surplus, ne doivent être considérées que d'un point de vue général. Il ne serait pas difficile, en effet, sans s'écarter des règles connues de la géologie, d'imaginer, et même de trouver des dispositions de terrain dans lesquelles les puits, les sources, donneraient de l'eau pure, et les rivières voisines, au contraire, de l'eau fort imprégnée de matière saline. Tout ce que nous avons voulu faire, c'est d'expliquer comment l'inverse arrive ordinairement, comment l'eau de la Seine et celle de la Garonne, par exemple, sont notablement plus pures que les eaux de la plupart des sources des contrées que traversent ces deux rivières.

« Néanmoins on doit reconnaître que la limpidité constante des eaux de source, jointe à l'uniformité de leur température, lorsqu'elles sont peu distantes du point de consommation, doivent militer en leur faveur, et même leur mériter la préférence, si toutefois elles sont assez abondantes en toutes saisons pour fournir constamment la quantité exigée. Cette préférence serait aussi motivée sur la plus grande confiance que le public accorde à ces eaux de source. Beaucoup de personnes, comme on le sait, répugnent à faire usage de l'eau de rivière, surtout quand cette rivière reçoit et charrie une partie des immondices de toute une grande cité, bien que ces immondices, divisées dans une aussi grande masse et si souvent renouvelée, n'influent pas d'une manière sensible sur leur composition. »

« L'avantage d'une plus grande pureté de l'eau de rivière considérée chimiquement, est, en effet, bien compensé par son manque habituel de limpidité ; à chaque averse, les eaux torrentielles, pendant leur course précipitée, se chargent de terre végétale, de glaise, de gravier, de toutes sortes de détritus qu'elles arrachent au sol, et l'ensemble de ces matières est entraîné, pêle-mêle, jusque dans le lit des rivières. Chacun doit comprendre maintenant pourquoi les mariniers, et même les ingénieurs, appellent quelquefois les crues, *troubles*.

« Les proportions de matières étrangères tenues en suspension dans l'eau pendant les crues, pendant les plus fortes troubles, ne sont pas les mêmes, ainsi qu'on devait s'y attendre, dans les différentes rivières. Dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Seine, cette proportion s'élève quelquefois jusqu'à $\frac{1}{2000}$. Ainsi, celui qui boirait dans sa journée trois litres d'eau de Seine non filtrée, à l'époque des plus fortes crues, chargerait son estomac d'un gramme et demi de matières terreuses. Quel pourrait être, à la longue, l'effet de ces matières sur la santé ? la question, vivement controversé, a laissé les médecins et les ingénieurs hydrauliciens fort divisés d'opinions. Faute d'expériences exactes, on s'est déterminé, de part et d'autre, d'après des systèmes arrêtés d'avance. On ne nous trouvera certainement pas trop sévère dans notre jugement, si nous ajoutons qu'un des partisans déclarés des eaux troubles, se fondait sur cette prétendue observation, que les animaux, que les troupeaux surtout, ne commencent à se désaltérer dans les mares qu'ils rencontrent sur leur chemin, qu'après en avoir fortement agité la vase avec leurs pieds. Au surplus, toute considération de salubrité mise de côté, il est certainement fort désagréable de boire de l'eau chargée de limon. »

La ville de Toulouse a été la première, en France, à donner l'exemple du progrès, en fondant, en 1823, le premier établissement pour la distribution publique des eaux clarifiées pour les besoins de toute la ville.

En 1836, M. Cordier a établi, à Bordeaux, un appareil de filtrage pour les eaux de la Garonne.

La ville de Paris possède aussi depuis quelques années trois systèmes de filtrage, d'après les procédés de MM. Smith, Henri Fonvielle et Souchon; mais Toulouse, Bordeaux et Paris sont encore aujourd'hui les seules grandes villes de France qui possèdent des établissements de filtration en grand, et l'on cherche les moyens de les étendre.

Établissement des fontaines publiques. Les appareils construits à Toulouse méritent une attention toute particulière, car c'est dans cette ville qu'on a résolu pour la première fois, en France, le problème de la filtration en grand dans toute son étendue; aussi allons-nous, d'après M. D'Aubuisson, en donner une description détaillée.

M. Abadie, dans son premier projet, en 1821, celui où il établissait ses machines sur le bord du canal de Touny, avait entouré leurs puisards d'une circonvallation de sable et de gravier contenue dans des cases de maçonnerie, et pensait que les eaux du canal, en traversant cette masse filtrante, y déposeraient leurs saletés, et arriveraient claires à ses pompes. Par une disposition ingénieuse, qui était permise par les localités, il pouvait faire traverser, mais en sens contraire, cette masse par les eaux de la rivière; et le faisant lorsqu'elles étaient claires, il espérait nettoyer les sables et sans déplacement.

A ce mode naturel de clarification, M. Virebent proposa de substituer celui dont on fait usage, depuis plusieurs années, dans les appareils qui fournissaient aux habitants presque toute l'eau potable. Ici l'eau s'épurait en traversant horizontalement une masse de sable, comme dans le projet de M. Abadie, non du haut en bas, comme dans les fontaines filtrantes, mais de bas en haut et à plusieurs reprises.

Mais l'expérience faite, il en résulta que lorsque les eaux de la Garonne sont très-sales, on ne peut les purifier complétement qu'en les faisant passer successivement à travers quatre couches de graviers de sable, ayant quatre pieds d'épaisseur chacune, et qu'un mètre carré de ces couches, placées les unes sur les autres, ne clarifie que 20 mètres cubes en vingt-quatre heures ou un pouce d'eau de fontainier. D'après ces résultats, qui furent exposés en détail dans le rapport de M. Magues, l'Académie de Toulouse conclut à ce que les moyens présentés par MM. Abadie et Virebent n'étaient pas suffisants pour clarifier 200 pouces d'eau.

Aujourd'hui, l'eau que les machines élèvent pour les fontaines leur est fournie par les filtrations, qui s'opèrent à l'aide des travaux exécutés par M. D'Aubuisson dans le banc d'alluvion que la rivière a déposé, depuis une cinquantaine d'années, au pied du cours du Dillon, et qui est principalement composé de gravier et de sable entremêlés souvent de cailloux, et en quelques endroits d'un limon vaseux.

Il s'était élevé quelques doutes sur l'efficacité des ouvrages projetés ; les eaux des puits de Saint-Cyprien, lesquels provenaient aussi des filtrations de la Garonne, sont louches, disait-on, lors des crues de la rivière. On dut en conséquence procéder avec circonspection, et on se borna d'abord, en partant de la prise d'eau, à faire un fossé que l'on poussa jusqu'au point où devait être le bassin destiné à recevoir le produit de la filtration. On donna au bassin la forme d'une ellipse, ayant la dimension projetée : le fond, dont la superficie était de 260 m. carrés, fut établi à un mètre au dessus des très basses eaux de la rivière. Le niveau du seuil sur lequel l'eau passe en sortant du filtre, correspond à $0^m,77$ du garonomètre établi sur la Garonne, ou à $1^m,23$ au-dessous de l'étiage. Nous donnons le nom de filtre aux excavations ou fosses dans lesquelles se rend la filtration, bien que ce nom appartienne proprement au massif de terrain compris entre les excavations et la rivière.

Plus tard, on prolongea le filtre dans le banc d'alluvion jusqu'à lui donner 108 mètres, sur une largeur de 10 mètres au fond ; il avait ainsi 1,080 mètres carrés de superficie.

Mais on n'obtint pas ce que l'on désirait, le terrain étant comme desséché par la première excavation.

Toute l'excavation fut entourée d'une forte digue qu'on éleva à $3^m,60$ au-dessus du terrain environnant, et à près de 6 mètres au-dessus des moyennes eaux de rivière, et le mettant ainsi à l'abri des inondations ; le filtre donna d'abord une fort bonne eau, mais, dès la seconde année, une végétation de plantes aquatiques commença à s'y établir et à altérer la qualité de ses produits. L'année suivante le mal empira : les rayons du soleil traversant sans obstacle une couche d'eau unie et parfaitement transparente, atteignaient le fond dans toute leur intensité ; ils y développaient une forte chaleur, laquelle était encore augmentée par l'effet et la réverbération des bords et des digues. Par suite, la végétation y acquit une vigueur extrême, les divers moyens employés pour la détruire furent sans effet. Des reptiles s'y joignirent. Les plantes et les animaux moururent, et en se putréfiant dans l'eau tiède ils la rendirent très mauvaise. Des commissaires furent envoyés par l'Académie des Sciences.

Ils trouvèrent que l'eau était très bonne en entrant dans le filtre, et vicieuse lorsqu'elle en sortait ; la forte chaleur et la lumière en furent à leurs yeux la cause manifeste ; il fallait l'attaquer ; on ne le pouvait qu'en couvrant le filtre.

Sur cette idée que M. D'Aubuisson avait émise, les commissaires proposèrent de remplir le fond du filtre avec des cailloux et de le combler.

En conséquence, ce fond fut nettoyé aussi bien que possible. On établit ensuite dans sa largeur un petit aqueduc en briques, simplement superposées sans mortier, puis on remplit le bassin de gros cailloux bien lavés jusqu'à la hauteur des moyennes eaux. De cette sorte, les filtrations qui pénétraient dans l'excavation, et étaient les mêmes qu'avant le remplissage, coulant dans les interstices des cailloux et des briques, ainsi que dans l'aqueduc, se rendaient sans obstacle sensible, et par conséquent sans diminution de quantité, jusqu'à l'entrée de la conduite en fonte, tout comme si le bassin fût resté entièrement vide et découvert. Sur les gros cailloux, on en étendit une couche de plus petits, puis une couche de gravier, et l'on finit par combler le creux en abattant les digues ; dessus, on sema du gazon. L'ancienne prairie, à la surface du banc d'alluvion, fut ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

établie dans son entier. Le filtre qui est au-dessous, dérobé aux yeux du public, qui ignore en quelque sorte son existence, est maintenant à l'abri de la malveillance et de la manie destructive des enfants. Il n'exige plus les frais d'entretien. Un grand regard placé en tête, au-dessus du point où l'eau entre dans la conduite en fonte, permet d'y descendre et d'en visiter cette partie, qui est la plus importante.

Depuis qu'il a été ainsi disposé, la qualité de ces eaux s'est non seulement rétablie, mais encore améliorée ; la limpidité et la saveur en sont parfaites.

Dans le fort de l'été, lorsque presque toutes les eaux de nos contrées ont une odeur ou un goût plus ou moins sensible, celle-ci a toujours été trouvée par ceux qui sont descendus dans le regard, vive, bonne et fraîche, comme l'eau des montagnes. Coulant et séjournant quelque temps à 6 mètres sous terre et à 40 mètres de la rivière, elle prend une température qui ne varie qu'entre les limites assez rapprochées. Dans l'été, elle n'a pas porté le thermomètre centigrade au-dessus de 17°, et dans le long et rigoureux hiver de 1830, après vingt-cinq jours de fortes gelées, et la gelée ayant pénétré à plus de 1 mètre au-dessous de la superficie de terrain qui la recouvre, elle n'a fait descendre le thermomètre qu'à 8°, avantage précieux. Fraîche en été, elle présente une boisson agréable à sa sortie des fontaines ; chaude en hiver, elle garantit les conduites des effets de la gelée.

Ce filtre n'étant pas suffisant, on en établit un second.

Un homme de l'art appelé à cette discussion, après avoir rappelé combien les puits creusés près de la rivière, notamment ceux de Tourny, sont abondants en eaux toujours très claires, proposa d'en ouvrir plusieurs sur les bords du banc d'alluvion, et de les mettre en communication entre eux et avec le château d'eau. Cette idée fut adoptée. En conséquence, en aval du premier filtre, à 10 mètres environ de la rivière, on ouvrit et on poussa une tranchée jusqu'à la rencontre du quai. Sur le fond, on construisit onze trous ou puits en briques, mais sans mortier, jusqu'à 3 ou 4 pieds au-dessus de la surface du sol, et on les recouvrit de plaques de fonte. On joignit leurs pieds par des tuyaux, lesquels reposaient sur le fond de la tranchée, on posa du gravier par dessus, et le reste de l'excavation fut comblé avec la terre qu'on en avait retirée. A l'extrémité, contre le mur du quai, on établit une cale, qui reçut aussi l'eau venant du premier filtre ; les deux eaux se réunissaient, et se rendaient ensuite de concert au puisard des machines par la conduite déjà posée dans le canal de prise d'eau.

Les résultats furent peu satisfaisants et ne répondirent pas aux espérances. On ne put obtenir que 60 à 80 pouces d'eau.

On fit alors un troisième appareil exactement semblable au premier, c'est-à-dire basé sur les mêmes principes.

Ces trois appareils réunis fournissent maintenant toute l'eau nécessaire aux besoins des habitants, et il paraît même qu'ils n'ont subi depuis l'époque de leur achèvement, en 1825, aucun changement important et susceptible d'être signalé.

Appareil de filtrage des eaux de la Garonne, par M. Cordier. Quant aux dispositions générales, il faut savoir d'abord que, par l'effet du flux, les eaux de la Garonne éprouvent à Bordeaux immédiatement en aval du nouveau pont un gonflement qui les élève à 6 mètres au-dessus du niveau de la marée basse, à l'époque des équinoxes, et à 5 mètres seulement au-dessus de ce même niveau à l'époque des solstices.

« Le gonflement des eaux de la Garonne a lieu parce qu'elles sont repoussées en avant par le courant du flux ; alors les vases et autres matières susceptibles d'être tenues en suspension dans ce courant, remontent de l'embouchure de ce fleuve vers Bordeaux, en troublant plus ou moins la limpidité de ses eaux, et comme l'exhaussement de ce fleuve à chaque marée s'effectue en moins de temps que son abaissement, il arrive qu'une partie des vases et autres matières, amenées par le flux, se déposent sur les rives de la Garonne pendant le reflux, ou continuent de troubler l'eau lorsque son courant vers la mer est rétabli. Ce sont ces eaux troublées qu'il s'agit de filtrer avant de les mettre en distribution.

« Il faut savoir, en second lieu, que le volume d'eau à distribuer doit être de 350 pouces de fontainier, équivalents à 7 mille mètres cubes ou à 7 millions de litres en 24 heures.

Cela posé, que l'on conçoive au-dessus du quai de Bacalan, formant la rive droite à 3000 mètres environ en aval du nouveau pont, un réservoir quadrangulaire de 100 mètres de longueur, de 60 mètres de large, et de 2 mètres de profondeur, ayant son fond et ses parois verticales revêtus de maçonnerie ; le fond de ce réservoir destiné à recevoir l'appareil de filtrage que nous avons à décrire doit être établi à 2 mètres au-dessus des plus basses marées de la Garonne.

« Que l'on conçoive encore le réservoir entouré suivant sa longueur et à 4 mètres en-dehors de ses parois, de deux canaux chacun de 25 mètres de large, lesquels se réunissent dans la prise d'eau du fleuve par deux embranchements de 6 mètres de largeur seulement ; le fond de ces deux canaux est au même niveau que celui du réservoir rectangulaire dont nous venons de parler.

« A chacune des extrémités de ces deux embranchements et près de leur confluent dans la prise d'eau, sont posées des vannes, au moyen desquelles on peut rétablir ou intercepter, suivant les besoins du service, la communication entre cette prise d'eau et les deux canaux latéraux dont le réservoir est bordé suivant sa longueur.

« Les choses étant ainsi disposées, et la marée ayant atteint 2 mètres de hauteur au-dessus des plus basses eaux du fleuve, on ouvre les deux vannes qui viennent d'être indiquées ; l'eau de la Garonne commence à entrer dans les deux canaux latéraux, et elle continue d'y monter jusqu'à ce qu'elle y soit parvenue à la hauteur de 2 mètres. On ferme aussitôt les deux vannes, l'eau devient alors stagnante dans les canaux, et si elle y passait un temps suffisant, elle y déposerait les troubles dont elle est chargée lorsqu'elle y est introduite. Il est évident que ce procédé de clarification pourrait suffire, mais l'incertitude de la durée de cette opération, suivant les circonstances, ne permet pas de l'employer. Les canaux latéraux ne peuvent donc être considérés que comme des réservoirs de dépôt où l'eau commence à s'éclaircir par la précipitation des matières les plus grossières qu'elle tenait suspendues.

« Pour faire arriver l'eau plus promptement et avec plus de certitude à cet état de limpidité parfaite qui est une des conditions requises, il a fallu nécessairement employer quelques moyens auxiliaires des réservoirs de dépôts. Voici en quoi ils consistent :

« On a divisé en deux parties égales dans le sens de sa longueur, le grand réservoir rectangulaire au moyen d'une digue de maçonnerie de 4 mètres 1/2 d'épaisseur à sa base sur 3 mètres de hauteur. Ainsi de part et d'autre de cette digue se trouvent deux réservoirs égaux, dont chacun est divisé lui-même en 10 compartiments, que l'auteur du projet désigne sous le nom de *bassins-filtres*.

« Lorsque l'eau est restée pendant environ 24 heures dans les deux bassins de dépôt, elle est conduite par deux aqueducs dans une bâche, d'où elle est élevée de quelques mètres par une pompe à vapeur pour arriver dans les bassins filtres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sable ; elles ont toutes donné constamment une eau très claire et très limpide. »

Ces faits démontrent suffisamment qu'Amy doit être considéré comme le véritable créateur des fontaines filtrantes domestiques en France.

Duchesne, dans son dictionnaire de l'industrie publié en 1800, a signalé les inconvénients du plomb et du sable employés dans les fontaines filtrantes : « C'est pour y remédier, dit-il, que l'on a imaginé des fontaines de pierres filtrantes ; ces fontaines sont de pierres de liais, rondes ou carrées, jointes ensemble par un mastic impénétrable à l'eau, et peintes extérieurement à l'huile en forme de granit ou de porphyre. Elles contiennent plus ou moins d'eau suivant leur grandeur. Au lieu de sable ou d'éponge, on construit intérieurement et au fond de la fontaine une petite chambre plus ou moins grande et bien mastiquée, avec trois à quatre pierres de 27 millim. d'épaisseur, dressées de champ, pouvant contenir à peu près deux à trois pintes d'eau. Ces pierres filtrantes viennent de Picardie ; on leur donne le nom de *Vergier*. C'est en passant à travers ces pierres que l'eau versée dans la fontaine filtre et s'épure ; et de sale et bourbeuse qu'elle était, elle en sort claire et limpide, par un robinet qui pénètre dans cette chambre fermée, dans laquelle entre un tuyau mastiqué qui, venant aboutir au haut de la fontaine, sert à donner de l'air à l'intérieur de la chambre ou réservoir et facilite l'écoulement de l'eau. A peu près tous les trois mois, et lorsque les pores de la pierre filtrante sont bouchés par la bourbe et les saletés de l'eau, on ratisse la pierre avec un racloir, et on lave. C'est afin que la pierre qui couvre la petite chambre s'encroûte moins, qu'elle est posée en forme de toit. »

Ces dispositions ont été améliorées de diverses manières. Nous citerons seulement la suivante, sur laquelle un rapport a été fait à la Société d'encouragement, en 1831. C'est la fontaine filtrante destinée aux usages domestiques, par M. Lelogé, et que l'auteur nomme *filtre ascendant* ou fontaine *à pression continue et à eau ascendante* filtrant par *le charbon et la pierre poreuse*. (Voir le *Bulletin*, tome XXX, p. 171.)

Cette fontaine est divisée sur sa hauteur en quatre parties inégales, celle supérieure étant à elle seule à peu près égale aux trois autres.

Cette partie supérieure est destinée à recevoir l'eau à filtrer ; le fond est formé par une pierre non filtrante à l'angle de laquelle se trouve un orifice communiquant par un canal vertical ou un tuyau à la partie inférieure, laquelle forme un premier réservoir de peu de hauteur, où l'eau opère un premier dépôt qui peut, de temps à autre, être retiré par un tampon mobile pratiqué à cet effet dans le fond de ce premier réservoir, qui est en même temps le fond de toute la fontaine.

L'espace compris entre ce réservoir et les parties supérieures est divisé en deux autres réservoirs ; celui inférieur est séparé d'abord du réservoir précédent par une pierre percée de trous, et il est de plus rempli de charbon.

Enfin ce deuxième réservoir est séparé du troisième par une pierre filtrante.

Par cette disposition, l'eau arrive dans le premier réservoir, après y avoir opéré un premier dépôt, pressée par celle que contient la partie supérieure, elle est forcée de filtrer par ascension, d'abord au travers du charbon que contient le deuxième réservoir, et enfin au travers du filtre qui le sépare du troisième.

En 1791, James Peacok prit un brevet d'invention en Angleterre pour un appareil à filtrer par *descension et ascension* de l'eau à travers *le sable et le gravier*. Cet appareil se compose, 1° d'un grand réservoir d'eau placé à une hauteur convenable ; 2° d'une caisse fermée placée au-dessous et remplie de gravier ou de sable lavé ou d'un mélange de charbon et de carbonate calcaire lorsqu'il s'agit de désinfecter l'eau. L'opération de la filtration s'effectue ainsi :

L'eau contenue dans le grand réservoir supérieur, descend au moyen d'un tuyau dans le fond de la caisse inférieure ; elle se filtre par *ascension* à travers le gravier ou le charbon, et sort, en descendant par un tuyau fixé à la partie supérieure de la caisse inférieure. On nettoie ce filtre au moyen d'une pompe aspirante et foulante. On aspire ainsi de l'eau pure ou filtrée qui s'écoule dans un troisième réservoir ; on la fait remonter en la refoulant à travers la caisse remplie de gravier. L'eau ainsi refoulée, chasse devant elle et charrie tout le limon ou la vase déposée dans le gravier. Cette vase sort ensuite par le même tuyau d'écoulement de l'eau filtrée, et tombe dans une auge placée au-dessous. (Voir *la description et la figure* publiées dans le tom. XIII des *Annales des arts et manufactures*, page 303).

En 1800, MM. Smith, Cuchet et Montfort prirent le premier brevet en France pour un appareil de filtration. Cet appareil, auquel les inventeurs ont donné le nom de *filtre-inaltérable*, tiré des *trois règnes de la nature*, n'est, à vrai dire, que la réunion ou l'application des procédés décrits déjà par Amy, Collier, Lowitz (1) et Peacock. M. Smith, cependant, a réclamé dans les journaux de l'époque la priorité de l'invention. (Voir les *Annales des arts et manufactures*, tome XIII, p. 288, vol. II *des Brevets*).

Le même volume fait mention des procédés employés à Brest vers la même époque par Barry pour désinfecter et purifier l'eau la plus corrompue, au moyen de plusieurs couches de sable, de grès et de charbon pulvérisés et comprimés entre deux disques en bois percés comme une écumoire. M. Barry avait aussi imaginé d'employer, comme moyens de filtration, une grosse toile de laine ou d'étamine, et une toile double de crin, et des petits paquets de bois cloués à l'intérieur du tonneau destiné à faire *la clarification*. Ces moyens sont très ingénieusement disposés et utiles à consulter pour l'histoire de l'art.

En 1806, M. Alexandre, de Bordeaux, prit un brevet pour un appareil à filtrer et à clarifier les eaux, auquel il a donné le nom de *filtre-bordelais*. Le principe de son procédé est la capillarité, et la matière filtrante est le coton disposé en mèches plates. (Voir le tome VI *des Brevets expirés*, page 293).

En 1812, M. Paul de Genève inventa un filtre fondé sur la méthode de déplacement.

Ce filtre se compose de plusieurs cylindres de plomb, faits en forme de manchons, hauts de 60 à 65 centimètres au plus sur 16 centimètres de diamètre. Ils sont fermés par le haut avec un couvercle qui entre à force et bouche hermétiquement. Ces cylindres, dont on peut porter le nombre à douze, quinze ou vingt, à volonté, sont remplis de sable jusqu'à une certaine hauteur. Le sable repose sur un diaphragme ou crible de plomb qui le soutient, et l'empêche de boucher l'orifice inférieur par où l'air arrive. Tout étant ainsi disposé, on conçoit que l'eau qui descend du réservoir par le tuyau entre dans le premier cylindre, le traverse, passe dans le second par un autre tuyau, remonte jusqu'au troisième tuyau, qui la conduit dans le troisième cylindre, où elle s'élève jusqu'à un robinet qui sert à la verser dans le bassin ou le réservoir.

Quand l'eau sort de ce filtre, elle est d'une limpidité parfaite ; et cela doit être, puisque, si l'on emploie dix à douze cylindres, elle se trouve ainsi traverser, par sa force ascendante, 5 à 6 mètres de sable, et il est rare

(1) C'est Lowitz de Saint-Pétersbourg, qui a reconnu et démontré le premier, en 1790, les propriétés anti-septiques du charbon, et les avantages qui résultent de son emploi pour purifier l'eau corrompue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les sources naturelles aient à traverser des couches aussi épaisses.

En 1814, M. Ducommun prit un brevet de dix ans pour des perfectionnements qu'il a apportés aux filtres à base de charbon.

Voici en résumé, suivant l'inventeur, la composition du filtre :

1° Un fond solide, percé de trous, et destiné à porter le filtre ;

2° Une couche de gros sable, qui ne puisse passer à travers les trous ;

3° Une seconde couche de sable moyen, qui ne puisse asser entre les grains de la couche précédente ;

4° Une troisième couche de sable fin ou de grès pilé, qui ne puisse également passer entre les grains de sable moyen ;

5° Une couche de charbon concassé : s'il est fin, il suffit de lui donner 5 à 6 millimètres d'épaisseur ; dans ce cas, le filtre est propre aux eaux de rivière, qui sont peu infectes, et qui n'ont besoin que d'être peu clarifiées : s'il est gros, l'épaisseur de la couche peut aller jusqu'à 30 centimètres ; ce qui convient pour les grandes filtrations et pour celles où l'on doit épurer les eaux infectes et corrompues ;

6° Une couche de grès ou de sable fin, comme la troisième, surmontant le charbon pour le retenir et l'empêcher de s'élever ;

7° Une couche de sable plus gros que le précédent ;

8° Une couche de gros sable, comme celui du fond ;

9° Enfin, un plateau percé de trous, pour éviter que la chute de l'eau ne dérange les matières filtrantes. (Voir le tome XII *des Brevets expirés*, page 8.)

Un filtre de 1 mètre carré de section, composé suivant cette méthode, peut aisément filtrer, d'après M. Ducommun, 4,000 voies d'eau par 24 heures ; ce qui correspond à plus de 1,000 hectolitres, soit par heure 450 à 460 litres.

Pour prolonger la durée du filtre en retardant l'obstruction des pores, on garnit d'étoupes le plateau supérieur (Amy avait déjà indiqué ce moyen en 1749.), en les plaçant dans les ouvertures ménagées pour le passage de l'eau.

Pour souder ou luter les parties des fontaines domestiques en grès ou en pierre, M. Ducommun recommande d'employer un mastic composé de :

0,30	bitume de Judée	= 1,00.
0,20	colophane	
0,10	cire	
0,40	ciment	

On fait chauffer le tout, pour enlever entièrement l'humidité, et on coule en tablettes.

Le 17 mai 1845, M. le comte Réal a demandé un brevet pour un appareil propre à clarifier les eaux, dit de *filtres forcés* (voir le tome VIII des brevets expirés, page 153). Ce filtre était destiné, suivant l'auteur, soit à la filtration des eaux, soit à faire des teintures végétales ou extraits pharmaceutiques, soit à la purification des huiles par le charbon, et à bien d'autres usages. Il est composé d'un cylindre métallique muni de plusieurs compartiments ou diaphragmes mobiles percés de trous, et renfermant entre eux la matière filtrante ou la matière tinctoriale que l'on veut soumettre à l'extraction (voir EXTRAITS). Le réservoir d'eau était placé au-dessus.

Pour opérer la filtration, par exemple, on établit la communication de l'appareil avec le réservoir d'eau. Cette communication étant établie, l'eau vient presser sur la matière filtrante, contenue dans le cylindre avec une force due à la hauteur de son niveau au-dessus de l'appareil ; elle passe à travers les matières filtrantes où elle s'épure, traverse le diaphragme inférieur, et demeure claire et limpide dans l'espace ménagé entre ce diaphragme et le fond de l'appareil ; on soutire l'eau au moyen d'un robinet placé à la partie inférieure de l'appareil.

M. Cadet de Gassicourt avait pensé que, dans quelques circonstances, il serait difficile et gênant de placer un réservoir au-dessus de l'appareil. Il disait dans son rapport qu'il serait plus avantageux de fixer le réservoir dans une place déterminée du laboratoire ; tandis qu'il serait commode de transporter le filtre dans le lieu où l'on voudrait le mettre en usage. Cet habile chimiste avait proposé, ce qui a été appliqué plus tard, d'opérer la pression du liquide à l'aide d'une pompe que l'on pourrait adapter au-dessus de l'appareil : le dessin d'un appareil ainsi disposé a été gravé dans *le Bulletin de la Société d'encouragement*, tome XVI.

Le mécanicien Hoffmann, de Leipsick, a inventé, en 1819, une presse aérostatique dans laquelle la pression et la filtration ne sont pas effectuées comme dans celle de Réal, par l'action d'une colonne d'eau ; mais par l'air que l'on condense par le moyen d'une pompe de compression. Une presse aérostatique, encore plus ingénieuse, a été inventée par le docteur Rommerhausen à Acken, sur l'Elbe. L'effet de cette machine est une conséquence de la pression considérable que l'atmosphère exerce sur les parois d'un vase vide d'air. Un récipient qu'on peut soumettre à l'action de la pompe pneumatique, est muni d'un diaphragme sur lequel est placé un filtre ; et sous celui-ci un vase propre à recevoir le liquide, qu'on a disposé au-dessus. Lorsqu'on fait le vide, la pression de l'atmosphère force le liquide au travers du filtre et contribue à l'extraction plus complète des parties solubles (*Bibl. univer.*, tome IX).

Telles sont les descriptions sommaires des principaux filtres qui ont été décrits et publiés en France, descriptions nécessaires pour apprécier ce qui appartient en propre à chaque inventeur, et ce qu'il y a de nouveau dans certains appareils mis récemment au jour.

Filtres de M. Henri Fonvielle. Avant de donner la description de ce filtre, tel qu'il est construit et exploité aujourd'hui par la Compagnie française, à laquelle la ville de Paris avait un instant accordé la filtration exclusive des eaux de la Seine, nous tracerons une courte histoire de son origine.

C'est le 27 novembre 1835 que M. Fonvielle a pris un brevet de dix ans pour un *appareil mobile servant à la filtration des eaux*. Le filtre était composé de couches superposées d'éponges, de cailloux de rivière, de zinc, de limaille de fer et de charbon ; sur ce filtre, tombait à ciel ouvert un courant d'eau qui le traversait en descendant, et s'échappait ensuite, après la filtration, par un robinet placé au bas de l'appareil ; mais ce filtre n'offrait rien de bien intéressant.

En 1836, M. Fonvielle substitua, dans une addition *de brevet*, les hautes pressions et les filtres fermés déjà connus aux pressions basses et aux filtres ouverts.

En 1837, il ajouta à son brevet un mode de nettoyage par l'action simultanée de plusieurs courants d'eau qui, pénétrant brusquement dans la masse de filtre, dans des directions, et à des hauteurs diverses, remuent et entraînent rapidement les matières terreuses et salissantes.

Mais nous avons déjà dit que MM. Collier, James Peacock, Soller, Robert Thom filtraient dans des vases clos ; qu'ils nettoyaient leur filtre en y faisant passer rapidement dans la direction contraire une grande quantité de liquide clair. M. Henri Fonvielle n'a donc rien inventé, sur ces deux points fort importants de l'art du clarificateur ; il n'en est pas de même, tant s'en faut, quant au moyen rapide et économique de nettoyer les filtres par l'action de plusieurs courants d'eau, agissant simultanément ou presque simultanément sur les matières filtrantes sans les bouleverser. Ce moyen n'était pas connu avant Fonvielle, et l'honneur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cette invention utile lui appartient sans contestation sérieuse. M. Arago l'établit clairement dans son rapport.

« Nous ne pouvons avoir aucun doute, dit ce savant illustre, sur la grande utilité de ce conflit des deux courants opposés ; car, après avoir nettoyé le filtre de l'Hôtel-Dieu, à la manière de *l'ingénieur Thom*, nous voulons dire à l'aide d'un courant ascendant, nous avons été assurés que ce même courant ascendant ne donnait, au robinet de dégorgement, que de l'eau limpide ; dès qu'on manœuvrait les deux autres robinets, l'eau sortait au contraire du filtre, dans un état de saleté extrême. Pour le dire en passant, les malades, témoins de l'opération, exprimaient hautement leur surprise en voyant, à quelques secondes d'intervalle, la même fontaine fournir, tantôt une épaisse bouillie jaunâtre, et tantôt de l'eau claire comme du cristal. »

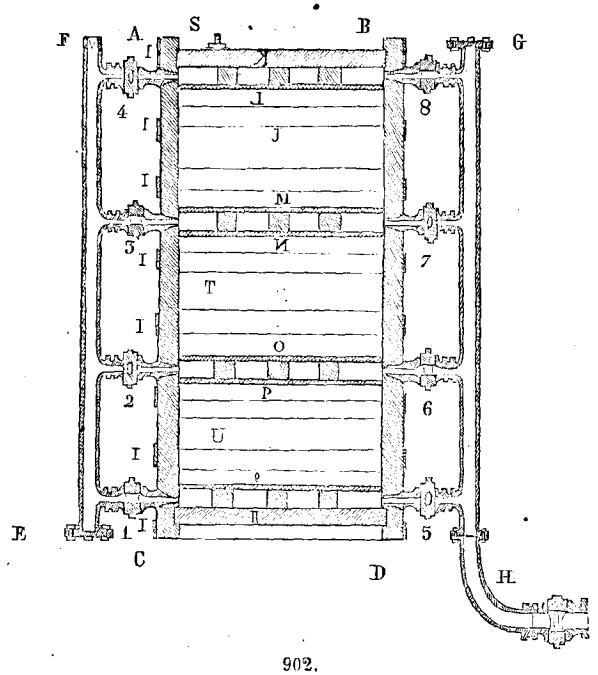
Nous n'accorderons pas la même importance aux inventions de MM. Mareschal et C^e^, de la Compagnie française, cessionnaires du brevet de M. Fonvielle, qui ont pris deux nouveaux brevets de 15 ans en 1838 et 1839, *pour des perfectionnements dans les appareils servant à la filtration.*

Les premiers perfectionnements consistent en l'emploi de cuves, légèrement coniques dont le fond est soutenu par des traverses superposées, laissant entre elles assez d'intervalle pour le passage du liquide. Sur ce fond, on étend : 1° une couche de gravier ; 2° une couche de sable ; 3° une couche de sable plus fin ; 4° une couche de *grès pilé ;* et de même on place, sur cette dernière, d'autres couches semblables aux précédentes, mais disposées en sens inverse. Ces matières sont pressées par de faux fonds percés de trous sur lesquels on fait appuyer un bouchon ou piston à vis ; ces faux-fonds sont entourés sur tout leur pourtour d'une corde, ajustée dans une rainure pratiquée exprès, comme sur une poulie à gorge, pour empêcher le passage de l'eau.

Les brevets d'addition, pris par les mêmes inventeurs, comprennent : 1° L'emploi d'une corde de sparterie, *d'aloès* ou de *phormium tenax*, qu'on fait passer de différentes manières entre les trous des faux-fonds, ce qui permet de faire ces trous plus grands, et avec plus de facilité, ou bien de comprimer les filaments de ces cordes entre deux faux-fonds superposés ; 2° dans l'application de plusieurs filtres que l'on renferme dans le même appareil ; 3° dans l'addition d'une soupape de sûreté que l'on emploie lorsqu'on agit à haute pression ; 4° *dans la disposition* d'une porte en fonte ou en bois et adaptée sur le côté de l'appareil, pour nettoyer ou laver les matières filtrantes sans démonter celui ci.

Le 4 mai 1840, MM. Mareschal et C^e^ ont encore pris un troisième brevet de 15 ans, pour *un moyen de construire et d'agencer les faux-fonds, de déplacer et comprimer les matières filtrantes, de manière à rendre le filtre indestructible*

Tous ces brevets reposent, comme on le voit, sur une forme nouvelle donnée à la cuve, sur la manière de construire, de disposer les faux-fonds, de placer et d'enlever les matières filtrantes au moyen d'une porte adaptée sur le pourtour de la cuve, mais tous ces changements ou perfectionnements n'ont point changé l'application heureuse des principes de *la filtration ascendante*, par la haute pression du liquide et du nettoyage en retour, par l'action simultanée de plusieurs courants d'eau ; ils n'ont fait que développer et agrandir les procédés matériels de construction.



902.

La figure 902, représente la coupe verticale du filtre-Fonvielle, perfectionné par MM. Mareschal et compagnie.

ABCD, cuve légèrement conique en bois, divisée en trois compartiments égaux J, T, U, ou plus, qui renferment les matières filtrantes soutenues et pressées par les plateaux L, M, N, O, P, Q. Cette cuve est entourée à des distances égales de 10, cercles en fer I. On peut concevoir une, deux et trois cuves semblables et plus placées les unes à côté des autres.

EF, tube vertical en métal servant à conduire l'eau dans le filtre de haut en bas, le réservoir étant placé au-dessus de la cuve.

GH, autre tube vertical en métal qui conduit l'eau filtrée dans un tuyau de conduite en fonte placé horizontalement dans le sol.

Sur les tubes EF, GH, etc., sont implantés huit robinets ordinaires, numérotés 1 à 8 ; lesquels sont fixés fortement au-dessous de chacun des faux-fonds, qui supportent les différentes matières filtrantes, sauf les robinets numéros 4 et 8 qui sont adaptés au-dessus du plateau supérieur qui presse toute la masse des matières.

Manière de monter le filtre. On place d'abord sur le fond de la cuve R, le plateau Q, percé de trous, et dont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le pourtour porte une gorge garnie d'une corde, ou de drap pour intercepter le passage de l'eau ; on étend sur ce plateau une couche U de charbon végétal grossièrement pulvérisé, de 10 centimètres environ d'épaisseur ; puis on superpose le plateau troué P ; et le second faux-fond O, sur lequel on étale une couche légère de gros sable de rivière, puis du grès fin, et par-dessus du gros sable légèrement tassé; on met ensuite le plateau compresseur N et le faux-fond M; et par-dessus celui-ci des éponges bien lavées à plusieurs eaux, bien sèches et très également distribuées.

On applique le troisième plateau compresseur L ; et le couvercle de la cuve K qui doit être en bois fort pour résister à la pression du liquide. On arrête enfin le couvercle à l'aide d'une vis à écrou S.

Pour faire fonctionner l'appareil, on ferme tous les robinets à l'exception des nos 4 et 7, et on ouvre le robinet qui est en communication avec le grand tuyau qui renferme l'eau trouble qui vient du réservoir supérieur. Alors l'eau traverse le compartiment J de haut en bas, chasse l'air qu'il renferme et s'écoule par le tuyau 7; on ouvre ensuite le robinet 3; puis les robinets 2 et 1 ; l'eau traverse les masses filtrantes T et U de bas en haut, puis elle sort toute filtrée par le robinet n° 7, tombe dans le tuyau de conduite horizontal dont nous avons parlé plus haut et se rend dans un grand réservoir de décharge, en vertu de la pression donnée par la hauteur du liquide renfermé dans le principal réservoir. C'est des réservoirs, ainsi disposés dans des localités différentes, que part toute l'eau filtrée qui sert à l'alimentation publique des eaux clarifiées de la ville de Paris. Ainsi, l'eau que les porteurs puisent à la pompe de la porte Saint-Denis, vient d'un système de filtres placés rue du Faubourg-Saint-Denis, 17.

Manière de nettoyer le filtre. L'ouvrier ferme tous les robinets 1 à 7, ainsi que celui du tuyau de conduite des eaux H et il ouvre un autre robinet adapté sur un second tuyau horizontal, dit de décharge, plus le robinet n° 8. Un deuxième ouvrier ouvre tout à coup et successivement les robinets nos 4 et 3, comme la figure l'indique, qui mettent le dessus et le dessous du compartiment J en communication avec la conduite qui renferme l'eau de lavage claire. Ce compartiment se trouve ainsi nettoyé par les deux courants opposés qui détachent les matières terreuses ; et l'eau sale s'écoule par les robinets 7 et 8. On agit de même pour laver les autres compartiments, en fermant, bien entendu, les robinets du compartiment déjà nettoyé.

On change et on déplace à volonté les matières filtrantes sans déranger le mécanisme de l'appareil. Il suffit pour cela d'ouvrir une petite porte latérale correspondant à chaque compartiment J, T, U, et au moyen d'un fourgon ou d'un bâton garni d'un crochet en fer, on retire les matières épuisées, le charbon, par exemple, puis on le remplace par du charbon neuf que l'on tasse légèrement. L'opération du nettoyage proprement dit, au moyen des deux courants d'eau, ne s'exécute pas plus souvent que dans les filtres ordinaires, et il demande 15 à 20 minutes par appareil ; mais le changement du charbon épuisé, qui a lieu une fois par semaine, demande une heure de temps environ par appareil ; les autres matières filtrantes sont lavées à fond deux ou trois fois par année.

Quantités d'eau filtrée. Suivant les expériences faites, en 1836, par M. Arago, le filtre de M. Henri Fonvielle, à l'Hôtel-Dieu, quoiqu'il n'eût pas un mètre d'étendue superficielle, donnait par jour, avec 88 centimètres de pression de mercure (une atmosphère et 1/6), 50,000 litres au moins d'eau clarifiée. Ce nombre déduit de l'examen des divers services de l'hôpital était une petite partie de ce que l'appareil eût pu fournir si la pompe alimentaire avait été perpétuellement en charge; dans certains moments, M. Arago a trouvé, par des expériences directes, que le filtre donnait jusqu'à 95 litres par minute. « Ce serait, dit-il, près de 137,000 litres en 24 heures, ou environ 7 pouces de fontainier. En nous en tenant aux premiers nombres, nous aurions déjà 17 fois plus de produit que par les procédés actuellement en usage. »

D'un autre côté nous lisons dans le n° février 1842, de la *Revue scientifique*, page 321, un article fort savant dans lequel l'auteur défend avec chaleur le procédé de filtration de MM. Lanay et Sornay, et celui à laine de M. Souchon qui rendent, suivant lui, moitié en plus de ce que donne le filtre Fonvielle dans les mêmes circonstances.

Voici les dispositions de ces deux filtres :

« *Filtre-Lanay* (plus connu sous le nom de filtre des *Bains Chinois*). Au lieu de disposer les matières filtrantes par couches horizontales, et de les faire traverser par le liquide dans une direction verticale soit ascendante, soit descendante, on les dispose ici en anneaux cylindriques concentriques dont les surfaces courbes sont verticales, en les maintenant bien entendu, à l'aide de tissus ou de lames métalliques percées de trous nombreux et fins. Puis, comme dans les filtres Ouarnier, Peacock, etc., on ferme hermétiquement l'appareil, et on fait filtrer l'eau sous une haute pression, soit dans un sens, soit ensuite dans le sens contraire, afin de nettoyer. Ces deux sens vont de la circonférence au centre, et du centre à la circonférence. A cet effet, on ménage au milieu du filtre un espace cylindrique non occupé par les matières filtrantes, et on laisse de même entre l'enveloppe extrême de l'appareil et ces matières filtrantes un autre espace annulaire cylindrique qui reste libre.

« Cette disposition offre deux avantages; d'abord, elle présente à l'eau trouble qui arrive dans l'espace annulaire une surface filtrante plus vaste qu'elle ne peut l'être dans les autres dispositions à égalité de poids de matières filtrantes, et pour une même capacité de l'appareil. Soit, en effet, une cuve cylindrique de 1 mètre environ de diamètre intérieur ; dans les filtres où les couches filtrantes sont horizontales, et où la filtration a lieu dans la direction de la hauteur de la cuve, la surface filtrante est celle de la section circulaire du cylindre ou les 785 millièmes de 1 mètre carré, tandis que, dans le filtre des Bains Chinois, la surface filtrante externe diffère peu de celle de l'enveloppe cylindrique même du filtre; or, si, comme aux Bains Chinois, on donne à ce cylindre une hauteur de 1 mètre, cette surface cylindrique sera quatre fois plus grande, c'est-à-dire de 3 mètres carrés et 140 millièmes.

« Le second avantage que fournit cette disposition du filtre qui présente au courant horizontal de l'eau une paroi verticale, consiste en ce que la partie la plus considérable, la plus grossière des impuretés qu'arrête la surface filtrante qui ne pénètre pas dans les pores de ce filtre, tombe, quand elle devient considérable, au bas de l'espace annulaire cylindrique, ménagé entre cette surface filtrante et l'enveloppe de l'appareil ; cette chute débarrasse d'autant la surface filtrante, et rend par conséquent le filtrage plus facile. Il n'est pas besoin sans doute de faire remarquer à nos lecteurs qu'en employant, comme nous venons de le faire, cette expression, *surface filtrante*, nous n'entendons pas que la filtration n'ait lieu d'une manière utile qu'à la surface même. Il est évident pour tout le monde que la filtration a lieu aussi dans l'intérieur même de la masse du filtre; mais c'est à la surface qu'a lieu la plus grande séparation, le dépôt le plus considérable des matières suspendues dans l'eau trouble ; c'est donc l'action de la surface qu'il faut principalement apprécier dans toute comparaison de filtres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Les matières employées dans le filtre des Bains Chinois étaient le grès en poudre et le charbon pilé. Le grès était placé vers la circonférence et le charbon dans l'intérieur. On tassait ces deux matières à l'aide de maillets, de manière à en faire comme deux pierres ayant des pores d'un petit diamètre. Rien n'était plus facile que le nettoyage et le service de ce filtre dont on renouvelait assez souvent les matières. Les auteurs de cet appareil avaient préféré le grès en poudre au sable de rivière employé par M. Fonvielle, à cause des aspérités mêmes de ce grès ainsi concassé.

« L'expérience a montré qu'un filtre des Bains Chinois de 1 mètre de diamètre donnait, sous la pression de 15 mètres, 160 litres d'eau filtrée par minute (*Revue scientifique*, février 1842, pag. 329).»

Filtre-Souchon (brevet de quinze ans, délivré le 8 mai 1839). L'appareil établi par M. Souchon dans le pavillon de la pompe Notre-Dame, se compose de deux parties essentielles : le dégraisseur et le filtre proprement dit. Le premier se compose de cinq cases en bois de $0^m,80$ de côté, sur $0^m,40$ de hauteur. Dans chaque case, à $0^m,09$ du fond, est un tasseau sur lequel porte un châssis garni d'un tissu de toile.

L'eau, reçue d'abord dans un chenal commun, pénètre dans la partie inférieure des caisses et passe à travers le diaphragme en filtrant, de bas en haut, et sous une pression de $0^m,15$; elle s'y dépouille des matières sédimenteuses les plus grossières qu'elle tient en suspension. On rejette de temps à autre l'eau qui occupe le fond des cases, et l'on détache avec de l'eau et un balai les impuretés qui sont attachées aux cadres d'étoffe.

Le filtre qui reçoit les eaux au sortir du dégraisseur qu'on vient de décrire, se compose de cinq cases en bois de $2^m,10$ de long, sur $0^m,80$ de large et $0^m,90$ de profondeur. Chaque case est indépendante des autres et peut se nettoyer séparément. Au fond de chaque case est l'ouverture par laquelle s'écoule l'eau, qui doit, après le filtrage, passer dans le réservoir de l'établissement, et de là dans les tuyaux de distribution. Sur le fond de chaque case sont fixées des barres de bois échancrées par dessous, espacées entre elles, et qui laissent un vide dans lequel l'eau peut circuler librement ; c'est sur ces barres et sur des tasseaux fixés sur les côtés, que repose le filtre proprement dit.

Chaque filtre se compose de plusieurs couches de laine retenues dans des compartiments distincts, tendues sur une serge, dont le compartiment d'en bas est un cadre métallique et reposant également sur un grillage métallique. Le premier de ces deux cadres s'ajuste exactement à la forme de la case, et ses bords sont garnis de lisière, pour que l'eau ne puisse passer entre le cadre et les parois. C'est sur cette serge que repose la laine. Au-dessus de cette serge est un grillage métallique, sur le cadre duquel porte un autre cadre en fonte très pesant. Une vis de pression permet de serrer fortement tout cet assemblage, et de maintenir le filtre de laine. Au-dessus de ce compartiment en est un second, organisé de la même manière, et contenant une couche de laine également épaisse, également comprimée. Les autres couches de laine, placées au-dessus des deux premières, contiennent trois fois moins de matières que celle-ci, et ne sont pas comprimées. Le nombre de ces couches flottantes varie suivant l'état de l'eau. En été, trois couches flottantes suffisent ; en hiver, il en faut jusqu'à cinq quand les eaux sont très limoneuses.

Le filtrage de l'eau à travers cet appareil a lieu sous une pression de $0^m,55$. L'eau reçue par le haut sort tout à fait limpide par la partie inférieure.

En été, chaque filtre peut fonctionner utilement pendant dix heures. Alors il est trop sale ; il faut le nettoyer.

Quand les eaux sont très troubles, en hiver, par exemple, le filtre ne peut servir que quatre heures de suite.

Le filtre ainsi engorgé par les matières qui étaient en suspension dans l'eau qu'il a arrêtées, ne laisse plus passer que les deux tiers de son premier débit.

Pour nettoyer le filtre, on enlève la couche flottante supérieure, qui est obstruée de terre, et on recommence la filtration.

Un peu plus tard, quand le filtrage est encore réduit aux deux tiers, on enlève une nouvelle couche. On arrive successivement jusqu'aux couches du fond ; alors on replace de nouvelles couches de laine flottante, puis, après un nouveau filtrage, on les enlève à leur tour l'une après l'autre, pour les remplacer de même.

Le filtrage peut se maintenir dans un état convenable, par ce seul changement des couches flottantes, pendant cinq jours de travail en été, et pendant trois ou quatre en hiver. Alors seulement il faut renouveler les couches du fond. Il faut dix minutes pour enlever une couche flottante ; une heure pour renouveler le filtre en son entier.

Cinq filtres fonctionnent dans le pavillon Notre-Dame ; on n'en renouvelle qu'un à la fois.

La surface des filtres est de 8 mètres. Le filtrage est de 1,300 litres d'eau par minute, quand il y a peu de limon.

La laine salie par le filtrage est lavée à l'eau, puis employée de nouveau. De temps à autre il faut la dégraisser de nouveau. Cette laine, après quelques mois d'usage, devient jaunâtre, alors même qu'elle a été blanche au commencement. De douce qu'elle était au toucher, elle devient rugueuse, et chaque brin paraît comme écorché.

Cette même laine, changée par un aussi long emploi, laisse filtrer l'eau avec moins de rapidité et se tasse davantage ; mais on corrige ce défaut en donnant au filtre moins d'épaisseur.

Comme le filtrage et le lavage entraînent toujours un peu de laine, il faut à la longue réparer ces pertes par une faible addition de laine neuve, qui améliore l'état du filtre. Jamais on ne jette à dessein ou on ne met au rebut la plus petite portion de cette masse filtrante.

La *Revue scientifique* (n° de mars 1842) a résumé assez longuement les observations et les expériences faites par les commissaires nommés par l'Académie de médecine, par MM. Bayard et Gautier de Claubry, sur les propriétés réelles de la laine tontisse employée comme matière *filtrante*. Suivant l'auteur de l'article de ce journal : « Ce qui fait la supériorité des filtres à laine sur les filtres à charbon, c'est non seulement la qualité des eaux obtenues, la rapidité du filtrage, le bon marché, mais encore la rapidité et la facilité du nettoyage des filtres. La présence d'une plus grande quantité de limon en hiver est sans doute gênante, en ce qu'elle rend ce filtrage plus paresseux ; en ce qu'elle demande des couches flottantes de laine plus nombreuses ; mais elle compense une partie des inconvénients en rendant plus facile le nettoyage des filtres. Le limon aide, en effet, au dégraissage de la laine. »

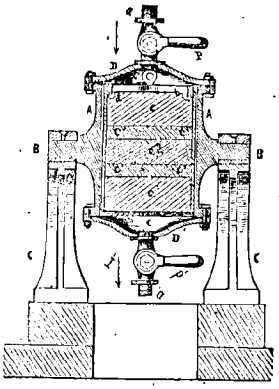
Il faut reconnaître, toutefois, que l'emploi de la laine pour filtrer l'eau est fort ancien ; Strabon lui-même laisse à entendre que certains peuples de l'Asie-Mineure se servaient d'une peau de mouton non dégraissée pour filtrer l'eau bourbeuse. Ce qui est vrai, incontestable, c'est que Amy a employé la laine, en 1749, dans la confection de ses filtres domestiques. M. Souchon a changé et perfectionné sans doute la manière de se servir de la laine, de la disposer dans les filtres ; mais il est équitable de rappeler les emplois antérieurs de cette substance pour filtrer. M. Chevallier cite aussi dans son journal des *Connaissances nécessaires*, 1841, page 562, M. Dietrich, qui a imaginé de faire passer l'eau à travers deux masses de feutre épaisses de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plusieurs centimètres, entre lesquels se trouve un lit de charbon. Mais cette invention est postérieure à la prise du brevet de M. Souchon ; tout porte à croire que l'emploi du feutre est plus dispendieux et moins efficace dans certains cas.

Filtre Ducommun. C'est à vrai dire la reproduction de la forme du *tonneau-filtre* inventé par Schmidt, en 1800, et perfectionné par MM. Barry et O'Reilly, en 1802 (voir les *Annales des arts et manufactures*, tome XIII, page 289); mais M. Ducommun a disposé autrement les matières filtrantes, puis il a appliqué avec art le principe de la filtration à haute pression dans un vase clos. Cette disposition n'est pas neuve sans doute, mais elle est toujours bonne.

Cet appareil se compose d'un cylindre en fonte A, figure 903, tournant autour des tourillons B, B, les-



903.

quels sont portés par des coussinets ajustés sur les supports C; les deux extrémités du cylindre A sont fermées par les deux couvercles en fonte D, D', qui y sont fixés au moyen de boulons.

a, *a*, deux robinets adaptés sur les couvercles D, D', et que l'on peut ouvrir et fermer à volonté à l'aide des poignées *p* et *p'*, ces robinets portent des pas de vis que l'on raccorde alternativement soit avec le tuyau supérieur qui communique avec le réservoir plus élevé, soit avec celui qui conduit l'eau filtrée dans un récipient inférieur.

Les matières filtrantes sont placées dans une seconde enveloppe en tôle ou en cuivre, dont le fond *e* est percé de trous; sur ce fond, on a mis une première couche de pierre poreuse ou de cailloux *c*, que l'on a recouverte d'une seconde couche moins épaisse de sable fin ou de grès pilé *c'*. Par-dessus celle-ci, on a étendu une couche plus considérable de charbon de bois pilé c^2, puis une couche de grès plus mince *c'* pareille à la première, et enfin une dernière couche de gros sable *c*. On a mis le couvercle *b* de manière que les arrêts ou baïonnettes *a*, en comprimant les matières filtrantes, entrent dans les entailles pratiquées sur la circonférence de l'enveloppe, et décrivent un demi-tour pour le fixer.

C'est à proprement parler un filtre double que l'on peut faire tourner à volonté sur ses axes, et qui permet ainsi d'opérer l'introduction de l'eau à filtrer, soit par le robinet du haut *a*, soit par le robinet du bas *a'*. On peut le nettoyer en enlevant le couvercle supérieur D, et en attachant une corde à l'anneau qui est fixé sur le centre du couvercle *b*, et que l'on tire avec force; on

bien on peut filtrer simplement par le sens opposé.

Filtres industriels (système Tard). L'inventeur a donné à ces filtres le nom d'industriels, parce qu'ils sont destinés à diverses fabrications, telles que celles des vinaigres, sirops, produits chimiques, etc. La base de ces filtres est la base de papier mélangée avec d'autres matières, telles que la sciure ou le charbon de bois pulvérisé, pour en former des masses filtrantes solides, faciles à manier et à transporter.

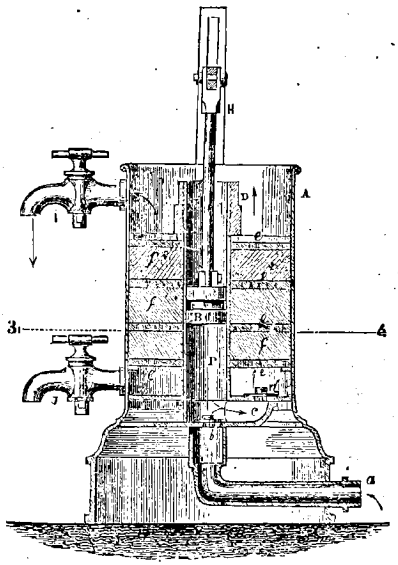


Fig. 915.

La figure 915 représente la coupe verticale d'un filtre à pompe foulante, tel que le construit M. Tard.

Ce filtre se compose d'un cylindre en cuivre mince A, posé sur un socle de même métal, qui en est séparé intérieurement par le fond ou la base élargie du corps de pompe P. Sous ce fond est rapporté la tubulure *c*, qui, d'une part, porte la soupape d'aspiration *b*, et, de l'autre, la soupape de refoulement *d*; sur le socle est adapté un robinet pour donner issue à l'air confiné, sans quoi la filtration n'aurait pas lieu. La première soupape *b* donne entrée au liquide qui arrive du réservoir par le tuyau coudé *a*, ce qui a lieu lorsqu'elle s'ouvre par le vide formé au moment où le piston B s'élève. La seconde soupape *d*, donne entrée au liquide dans le cylindre, en s'ouvrant lorsque le piston descend.

Le corps de pompe est en cuivre, et placé concentriquement dans l'intérieur du cylindre enveloppe A ; il se termine par une partie filetée, recevant un fort écrou D également en cuivre, et destiné à presser sur un croisillon à quatre branches, fondu avec un anneau pour retenir le dernier plateau du filtre.

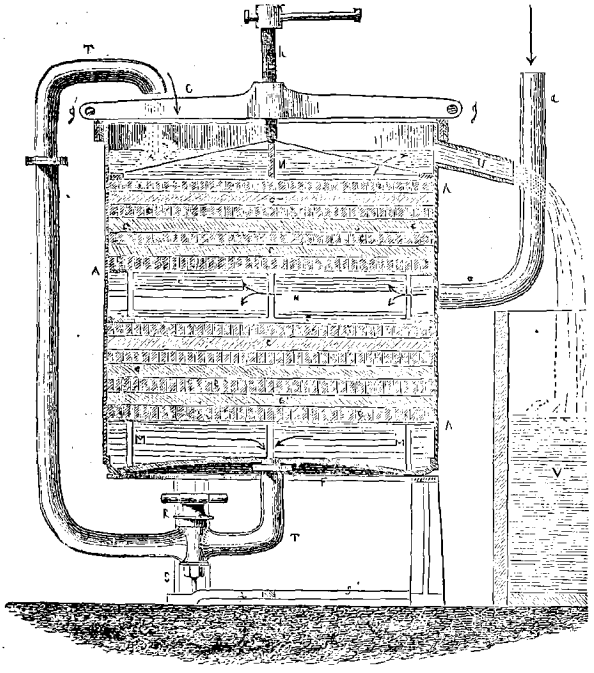
A quelque distance au-dessus du fond du corps de pompe est un premier disque *e*, qui est soutenu dans l'intérieur de l'enveloppe, par des tasseaux rapportés à la hauteur convenable. Ce plateau est assez ordinairement en bois, percé de trous, et peut être aussi en cuivre ou en fer galvanisé, lorsqu'on veut filtrer des liquides sur lesquels les métaux n'ont aucune influence, comme de l'eau, par exemple. Sur ce premier disque on place un tourteau auquel M. Tard donne le nom de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dégrossisseur; il est généralement composé de chanvre coupé et de grosse sciure de bois, et est préparé comme nous l'indiquerons plus loin. Sur ce premier tourteau, qui n'a pas plus de 3 centimètres d'épaisseur, l'auteur en place un second f', de même nature et de même épaisseur, qu'il sépare par une cloison ou par un second plateau troué; celui-ci est également surmonté d'un troisième tourteau f^2, qui est véritablement le filtreur, composé de pâte à papier, et de charbon végétal en grains; il est placé de même entre deux disques percés e^1, e^3. C'est sur le dernier de ces plateaux que l'on serre le croisillon à 4 branches, au moyen de l'écrou D.

Ainsi le liquide à clarifier, amené par le tuyau *a*, dans la partie inférieure du cylindre enveloppé, est forcé, lorsqu'on fait jouer la pompe, de traverser successivement les quatre plateaux percés et les trois tourteaux de matières filtrantes, pour s'échapper enfin par le robinet *i*.

Filtre de grande dimension, par le même. La fig. 916 représente la coupe d'un grand appareil pour filtrer une masse d'eau considérable.



916.

A, cylindre de métal d'une seule pièce, ayant un fond F, qui est légèrement bombé pour mieux résister à la pression; il est élevé sur un support en fonte *s*, *s'*.

a, tuyau vertical qui communique avec un grand réservoir placé à une hauteur de un ou plusieurs mètres au-dessus de l'appareil A. L'eau à filtrer arrive dans l'espace vide M, qui forme le milieu de l'appareil, entre deux doubles-fonds en bois troués, et maintenus dans leur écartement au moyen d'une bague ou châssis en fer galvanisé.

M', faux-fond ou châssis en fer percé de petits trous, et placé sur le fond de l'appareil. Sur ce faux-fond inférieur, on pose les matières filtrantes dans l'ordre suivant :

1° c^2, tourteau de pâte à papier et de charbon pilé que l'on recouvre d'un second disque percé e^2;

2° Tourteau *c'*, composé de chanvre et de sciure de bois de hêtre sur lequel on pose le disque troué *e'*;

3° C, tourteau semblable au premier, que l'on presse avec le disque *e*, et le châssis en fer M.

De même, on place sur le disque du milieu M, trois autres couches de matières filtrantes dans l'ordre que nous venons d'indiquer; puis le croisillon en fer N, que l'on serre légèrement au moyen de la vis *h*, adaptée sur le couvercle de fermeture à jour *g g'*.

On forme ainsi un filtre double séparé au milieu par le châssis M, et dans lequel la filtration a lieu tout à la fois de haut en bas et de bas en haut, comme les flèches au trait l'indiquent.

L'eau qui filtre de haut en bas remonte dans la partie supérieure, au moyen d'un tuyau recourbé T, muni d'un robinet R, que l'on ouvre et ferme à volonté; elle s'écoule ensuite par le tuyau incliné U, dans le réservoir de décharge V.

Un robinet à air est fixé sur le pourtour de l'appareil, entre les deux filtres et au milieu de l'espace vide M. Un autre robinet est adapté au-dessous du premier faux-fond M. Les deux robinets servent, en outre, à vider les dépôts et les impuretés qui tombent entre les faux-fonds M et M'.

Avec un appareil de 1 mèt. car. garni comme nous le disons, on peut filtrer 1500 à 2000 hectolitres d'eau par jour, suivant la pression sous laquelle on opère ou bien encore suivant le plus ou le moins de degré d'impureté du liquide. Comme le brevet de M. Fonvielle est expiré depuis le 27 novembre 1845, M. Tard peut employer aussi, pour nettoyer son filtre, l'action brusque de deux courants d'eau opposés. Alors son filtre est devenu encore meilleur.

Nettoiement ancien des filtres-Tard. Le nettoiement journalier s'effectue tout simplement en ouvrant les robinets d'air et de dégorgement pour faire écouler le limon contenu dans la partie inférieure du filtre, entre les matières filtrantes et le fond du vase; puis on introduit une certaine quantité d'eau claire pour laver et détacher les matières terreuses. Le nettoiement général a lieu lorsque le filtre ne fournit plus de l'eau assez claire; l'opération consiste alors à enlever les matières, à les laver séparément et à les replacer dans l'ordre déjà indiqué.

Dans un filtre de 1 mètre de diamètre, le nettoiement n'a lieu qu'après qu'il a fourni 5000 à 6000 hectolitres, il peut se faire en 3 ou 4 heures au plus. Pour les filtres d'une moindre dimension l'opération peut s'effectuer en deux heures et même en une heure, lorsque l'opérateur est adroit.

Précautions à prendre pour préparer les matières filtrantes. M. Tard dit dans son instruction que les matières filtrantes doivent avoir une adhérence parfaite avec le cylindre; le moindre interstice existant, laissant un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

passage au liquide, causerait une perturbation dans l'intérieur ; et dès lors la clarification serait incomplète.

« *Préparation du dégrossisseur.* On coupe le chanvre à 8 centimètres environ de longueur ; puis on le fait tremper dans l'eau pendant plusieurs jours ; on renouvelle l'eau plusieurs fois ; on le retire ensuite pour l'employer lorsqu'on reconnaît qu'il a perdu son odeur et sa couleur primitive ; cette opération peut être hâtée en employant le chlorure de chaux ou l'acide sulfurique.

« Quand le chanvre est ainsi travaillé, on le met dans une eau nouvelle, d'où on le retire par poignées qu'on nomme *morues*, proportionnées à la grandeur de l'appareil. Ces morues sont mises toutes mouillées dans le filtre, en plaçant toujours la partie la plus épaisse sur la plus faible.

« *Préparation de la pâte.* La pâte préférable est celle qui n'a pas encore servi à la fabrication, c'est ce qu'on nomme du défilé de chiffons que l'on trouve dans toutes les fabriques de papier ou qu'on fait soi-même, en réduisant le chiffon en pâte en le laissant quelque temps dans une eau légèrement chlorurée.

« Cette pâte doit être mise dans l'eau, et lorsqu'elle est divisée au point d'être insaisissable, on l'égoutte dans un tamis pour la mélanger, avec du charbon végétal concassé en petits grains comme il sera dit plus bas ; le charbon a pour but d'ouvrir ou de diviser les particules filtrantes de papier.

« Lorsque le chanvre, qui sert comme dégrossisseur, paraît devenir trop vieux pour cet usage, on peut facilement le convertir en pâte, en le faisant d'abord sécher, et le coupant ensuite à la longueur de 1 centimètre ; alors, on le laisse séjourner quelque temps dans l'eau et l'on obtient un *défilé* excellent pour la composition du *filtreur*.

« *Préparation du filtreur.* Le point de départ est de 1/3 pâte sur 2/3 charbon de bois ou noir végétal ; *mais celui-ci doit être* concassé de la grosseur d'une lentille ; on en extraira la fine poussière au moyen d'un crible fin ; et on jettera ensuite de l'eau dessus jusqu'à ce qu'elle en sorte claire.

« Si l'on veut avoir un filtreur moins dense et plus poreux, on augmente la quantité de charbon de bois.

« Au contraire, si l'on veut un filtreur plus dense et plus compact, on diminue la quantité de charbon et on augmente la quantité de pâte à papier. On resserre aussi les pores du papier, suivant la nature ou la difficulté du liquide à filtrer.

« *Montage extérieur de l'appareil.* Les matières filtrantes étant préparées, comme il est dit, et le filtre mis en communication avec le réservoir, ou la pompe, on place le faux-fond dans l'appareil et on met dessus une couche de 6 à 8 centimètres d'épaisseur de chanvre disposé en morues, ainsi qu'il a été dit plus haut.

« Sur cette première couche, on place un second faux-fond qu'on recouvre d'une autre couche de chanvre de même épaisseur ; cette deuxième couche reçoit un nouveau faux-fond, ensuite le filtreur que l'on a coulé, après avoir bien remué le mélange avec une spatule.

« Quand le filtreur est à peu près égoutté, on l'égalise avec la main, ou au moyen d'une batte circulaire, afin de former une égale épaisseur partout et d'obtenir une adhérence parfaite de la pâte avec le cylindre. (On doit observer que le filtreur ne doit jamais excéder 4 centimètres d'épaisseur, quel que soit le diamètre de l'appareil). »

Si le liquide ne paraît pas suffisamment clair, on y ajoutera un peu de pâte pour augmenter la densité du mélange Cette quantité ne peut être indiquée d'une manière bien précise ; l'expérience et l'intelligence de l'ouvrier la lui indiqueront suffisamment.

Lorsque le filtreur est disposé, on le recouvre avec du chanvre ou un morceau de canevas bien dégorgé (pour empêcher quelques parcelles du filtreur de s'échapper), on place le dernier faux-fond, et le croisillon, puis on serre ensuite avec la vis dite *de fermeture*.

Il faut avoir le soin de serrer la vis légèrement, de manière à maintenir seulement les matières sans les comprimer trop fortement ; cela se comprend, la bonne clarification n'ayant lieu que par l'état de porosité du filtreur, une compression trop forte aurait l'inconvénient de resserrer les matières et de ralentir la filtration sans aucun avantage pour la qualité.

Tels sont les renseignements publiés par l'inventeur lui-même, et nous les avons reproduits textuellement.

Il nous reste à donner quelques notions générales sur la nature, le choix et la *préparation* des principales matières filtrantes.

Des éponges. Il faut les choisir bien saines, d'un grain assez fin, régulier et serré. On les lave à plusieurs eaux, pour les débarrasser des matières terreuses et animales jusqu'à ce que la dernière eau s'écoule limpide.

Ensuite on les presse fortement dans un linge dont on tord les extrémités, en sens inverse, pour en extraire toute l'eau.

Si l'on conservait les éponges humides, elles prendraient sans aucun doute le goût de *moisi*, en séchant à l'air, et le communiqueraient ensuite à l'eau. Cet inconvénient se reproduit souvent dans la pratique de la filtration, lorsqu'on n'a pas le soin de tenir les éponges plongées dans la masse d'eau. Si cela arrive, on fait macérer les éponges pendant quelque temps dans l'eau renfermant un peu d'ammoniaque liquide ; et on lave ensuite à plusieurs eaux. Quand les éponges sont amollies par l'usage, il faut les changer.

Des sables. On prend le plus ordinairement des sables siliceux exempts de matières calcaires, (ces derniers se reconnaissent aisément en versant sur les sables un acide étendu d'eau. Le bon vinaigre peut servir à cette épreuve ; s'il y a effervescence, c'est-à-dire un petit bouillonnement, les sables contiennent des substances calcaires.

On passe les sables au travers un crible de fer ou de laiton à mailles de différentes grosseurs, pour obtenir des sables de différents grains ; on rejette les sables trop fins et ceux qui n'ont pu passer à travers le crible.

Chaque espèce de sable ainsi criblée est recueillie et lavée séparément dans un crible à petites mailles, lequel est placé au-dessus d'un baquet en bois qui reçoit l'eau et les parties boueuses. Le lavage doit être prolongé jusqu'à ce que l'eau sorte très claire. On fait bien sécher les sables avant de s'en servir ; quelques praticiens les emploient encore humides.

Des laines et des étoffes de laine. Les laines et les étoffes de laine doivent être parfaitement dégraissées, et blanchies au soufre. Pour enlever le mauvais goût du soufre, on peut les passer dans un bain de vapeur sèche, ou dans un bain contenant 3 à 4 pour 0/0 de sous-carbonate de soude, et les laver ensuite à plusieurs eaux. Quelques détracteurs de l'emploi de la laine ou de toute autre matière animale dans la filtration prétendent que ces agents entrent promptement en fermentation *putride par suite de l'impossibilité où l'on est d'en extraire complétement la matière grasse ;* ils disent qu'en laissant l'eau un peu longtemps en contact avec la laine, elle entre en fermentation putride, ou contracte un goût de suint fort désagréable. Cela est possible ; mais dans ce cas, cet inconvénient n'a lieu que par suite du mauvais choix de laine, de l'incurie ou de la négligence de l'opérateur qui n'a pas pris les soins convenables. Ne se sert-on pas d'ailleurs, depuis un temps immémorial, d'étoffes de laine pour filtrer les liquides chez les distillateurs, les confiseurs, les pharmaciens ? et personne, que nous sachions, n'a songé encore à attribuer à ces étoffes la moindre influence pernicieuse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tout le mal qui peut arriver provient d'un défaut de propreté, c'est-à-dire du défaut de lavage des étoffes.

Des grès. On prend le grès blanc et dont la cassure est très faiblement grenue. Ce grès est tantôt dur et solide, tantôt tellement friable qu'il s'égrène sous les doigts.

Le meilleur est le *grès-filtrant* des minéralogistes ; on le trouve principalement en France, en Bohême, le long des côtes du Mexique, près des îles Canaries ; on en trouve aussi en Espagne, près de Saint-Sébastien et de Gretoria.

On le pile dans des mortiers ; on le passe dans un crible à petites mailles pour obtenir un grain fin et régulier ; puis on pile de nouveau le grès qui n'a pu passer ; ensuite, on le lave et on le fait sécher.

De l'emploi du charbon. C'est Lowitz, comme nous l'avons déjà dit, qui a découvert la propriété du charbon d'enlever à l'eau la plus corrompue sa mauvaise odeur. Ce savant a indiqué, dès 1788, la méthode de préparer et d'employer ce produit, qui même aujourd'hui est encore le plus efficace, sinon le plus économique pour clarifier les eaux troubles qui tiennent des matières organiques en suspension et en décomposition. (Voir les *Annales de Crell*, tome II, année 1788, p. 36 et 131, et tome I^er^, année 1791, p. 308, 398 et 494.) Sa méthode consiste simplement à ajouter à l'eau putride du charbon végétal grossièrement pilé et bien calciné, dans une proportion suffisante, à agiter et à filtrer au travers d'une chausse.

Quelques personnes ont prétendu que l'eau filtrée à travers le charbon a perdu une grande quantité de l'air qu'elle tenait en dissolution, et que, dès lors, elle est moins propre à être bue qu'une eau qui aurait passé par un simple filtre de sable. M. Barry a conseillé, dans ce cas, d'aérer l'eau de nouveau en l'élevant, au moyen d'une pompe, à une grande hauteur, et en la laissant retomber ensuite sous forme de pluie. Quoi qu'il en soit, les expériences nombreuses, faites par diverses commissions de savants, ont prouvé rigoureusement que l'eau filtrée au charbon est très bonne à boire.

FILTRATION DES VINS, DU CIDRE, DE LA BIÈRE, DU VINAIGRE.

On ne filtre point généralement les vins de France au moyen d'appareils, on les clarifie seulement par le repos ; puis, on les débarrasse de tous les principes en suspension, au moyen d'une opération qu'on nomme *collage à l'albumine* (voyez ALBUMINE). On retire ensuite le vin clair de dessus la lie, au moyen d'un syphon ou d'une pompe aspirante et foulante ; cette opération s'appelle *tirer au clair*, *soutirer*, *transvaser* le vin. Quelquefois on filtre à travers un filtre de papier, placé au fond d'un entonnoir de verre ou de métal. Dans ce cas, le filtre de M. Tard peut offrir des avantages ; seulement, on remplace en grande partie le chanvre par de la sciure de bois de hêtre, mélangée par tiers ou moitié, suivant la subtilité du résidu, avec du noir végétal, préparé convenablement pour ne point altérer la couleur du vin.

M. Tard fait observer que les matières filtrantes qui ont servi aux vins rouges, ne peuvent être employées pour la clarification des lies de vins blancs ; il faut nécessairement en employer d'autres.

Le cidre, la bière et le vinaigre, se clarifient comme les vins, c'est-à-dire par le repos et en les tirant au clair. La mère du vinaigre est filtrée à travers une chausse, ou mieux à travers une couche un peu épaisse de poussier de charbon (voyez acide ACÉTIQUE).

Filtration des huiles végétales. Cette opération a pour but de faciliter la dépuration ou le dépôt de la matière extra-mucilagineuse et colorée qui troublent leur transparence, et les dispose à la détérioration (voyez HUILES).

Dans les départements du nord de la France, on se sert encore d'un tonneau ouvert par le haut, portant un robinet vertical à la partie inférieure, et un deuxième robinet adapté sur les douves et le plus près possible du fond.

On met sur le fond du tonneau une grosse tresse de paille bien serrée, s'adaptant exactement avec les parois intérieures, et par dessus on place un double fond en tôle, percé de trous, de cinq millimètres de diamètre environ ; sur le pourtour de ce double fond, on soude en rive un cercle de fer plat troué de distance en distance, et sur lequel on tend et on coud une flanelle croisée très forte, que l'on replie en dessous

Au-dessus du faux-fond, on met : 1° une couche très serrée d'épis de blé battus et dépouillés de leurs grains, à la hauteur de 8 centimètres ; 2° une couche de charbon pilé fin de 25 millimètres ; 3° une seconde couche de charbon pilé plus gros ; 4° enfin, une troisième, une quatrième et une cinquième couche, en augmentant toujours la grosseur du charbon de manière à former une épaisseur totale de 15 à 20 centimètres.

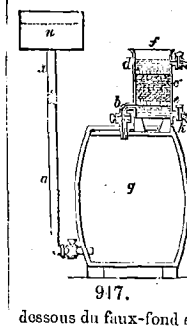
On place ensuite un second faux-fond en bois percé de trous, de la grosseur de 5 millimètres, faux-fond que l'on fixe avec des vis de pression.

Après que l'huile qui est en tonneau a reposé le temps nécessaire pour opérer le dépôt des matières les plus lourdes, on la soutire au moyen d'une pompe, et on la verse ensuite sur le filtre de bas en haut ; mais on a soin auparavant d'ouvrir le robinet d'en bas, pour donner une issue à l'air d'abord, et ensuite à l'huile, qui se filtre en traversant les couches de charbon et de paille, et tombe dans un tonneau placé au-dessous.

Pour les huiles comestibles d'œillette et de faîne qui sont très difficiles à clarifier, quelques épurateurs adaptent sous le robinet d'en bas une chausse en feutre, cousue sur un cercle afin de la tenir ouverte et de lui donner plus de force.

En Angleterre, on emploie depuis longtemps le mode de filtration des huiles, par ascension, et par la pression de l'eau.

La fig. 917 représente un appareil de ce genre, qui a été publié à tort, comme étant l'œuvre de M. Collier (voir le *Manuel du fabricant d'huile, par M. Julia de Fontenelle*). *g*, baril d'huile, au fond duquel se déposent les matières les plus impures, *a*, tube métallique qui communique avec un réservoir d'eau *n*, plus élevé que le tonneau *g*. *f*, filtre en métal adapté à vis sur le fond supérieur du tonneau et garni intérieurement de deux faux-fonds *e* et *d*, qui le partagent en trois parties. *b*, tuyau de métal muni d'un robinet ; ce tuyau est vissé solidement sur le dessus du tonneau *g*, et sur le filtre *f*, au-dessous du faux-fond *e* ; il sert ainsi à établir la communication entre les deux vases. L'espace compris entre les faux-fonds *e* et *d*, est rempli avec du charbon grossièrement pulvérisé.



917.

l, robinet d'écoulement de l'huile filtrée ; *k*, robinet de décharge pour faire évacuer les saletés qui se déposent au-dessous du faux-fond *e*.

Pour opérer la filtration, on ouvre les robinets des tubes *a* et *b*, et on ferme le robinet *k* ; alors, l'eau contenue dans le réservoir *n*, s'écoule par le tuyau *a*, et se rend dans la partie inférieure du tonneau *g*. En vertu de sa densité, elle presse l'huile de bas en haut et la force à s'élever par le tuyau *b*. L'huile traverse le filtre de bas en haut, et s'échappe ensuite toute clarifiée par le tuyau *l*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque le filtre est encrassé, on le nettoie en versant beaucoup d'eau bouillante dessus, et en ouvrant le robinet de décharge *k* pour laisser échapper les impuretés; puis on enlève les corps qui sont restés dans la partie supérieure *d* au moyen d'une éponge.

Cela fait, on dévisse le filtre et on l'expose au feu jusqu'à ce qu'il soit rouge et qu'il n'en sorte plus de fumée. Par ce moyen on brûle et on calcine tout à la fois le charbon et la matière mucilagineuse qu'il retient, et le charbon reprend par suite sa propriété dépurative.

Suivant M. Julia de Fontenelle, les filtres les plus employés sont des cuviers dont le fond est percé de trous coniques dans lesquels on passe avec précaution du coton. Quelquefois on recouvre le fond de ces filtres d'une couche de tourteau d'œillette en poudre; quand le tourteau se salit, on le change.

On emploie aussi des lits alternatifs de paille et de charbon ou de paille et de tourteau; mais ces filtres s'engorgent très promptement, et exigent nécessairement des nettoyages fréquents qui occasionnent des déchets et des pertes de temps.

MM. Grouvelle et Jaunez ont imaginé un appareil en fer-blanc dans lequel ils emploient une couche de mousse de 5 centimètres d'épaisseur légèrement tassée, recouverte d'une couche de 15 à 20 millimètres de tourteau. Ils ont essayé, dit-on, de filtrer soit par la haute pression de l'huile dans des vases en fonte de fer fermés, soit avec des pompes foulantes, armées de soupapes de sûreté qui renvoyaient l'excès d'huile dans le réservoir et régularisaient la pression, mais il paraît que les praticiens n'ont point adopté cet appareil, parce qu'il est difficile à nettoyer.

Le filtre de M. Tard est employé avec succès par plusieurs épurateurs pour clarifier les huiles de noix, de colza, et certaines huiles animales; cependant les huiles d'œillette, de chenevis, etc., et généralement les huiles épaisses qui obstruent les filtres, offrent encore des difficultés à être filtrées par ce système. L'inventeur explique cela, parce qu'il faut resserrer fortement les matières filtrantes pour que l'huile trop fluide ne puisse le traverser trop facilement; voici, du reste, la manière d'opérer :

Préparation des matières. Le dégrossisseur se compose de 1/4 de pâte à papier sur 3/4 de sciure de hêtre, mélangés ensemble. Ce mélange, mis dans neuf fois son volume d'eau, est coulé dans un moule de 2 à 3 centimètres plus grand que l'appareil; lorsque l'eau est égouttée, on égalise avec une batte circulaire, et on fait sécher.

Du filtreur. Le filtreur se compose de 1/4 de pâte sur 3/4 de noir végétal ou charbon de bois; on le prépare et on le sèche de la même manière que le filtreur.

Du montage de l'appareil. Si les diamètres du filtreur et du dégrossisseur sont trop grands, on se sert d'une râpe à *pain* pour les réduire au diamètre convenable, en observant toutefois qu'ils doivent entrer avec force, afin qu'il y ait adhérence parfaite avec le cylindre; s'il y avait quelques interstices, on les remplit de chanvre ou de coton. Comme première couche de dégrossisseur, on met environ 10 à 12 centimètres de sciure de hêtre ou de tremble pour les huiles à bouche, et de sapin pour celles à brûler. La seconde couche est le dégrossisseur composé de pâte et de sciure, et enfin le filtreur. Il faut avoir soin de placer dessous et au-dessus des matières un canevas ou rond de flanelle, pour qu'elles ne puissent s'échapper dans l'opération.

Après la filtration, et lorsqu'on doit changer les matières, on met celles-ci dans l'eau tiède pour en extraire le peu d'huile qu'elles contiennent, et après les avoir lavées convenablement, on peut s'en servir à nouveau. Nous ferons cependant remarquer que ces matières ne peuvent servir que pour épurer des huiles de même nature et de même qualité.

Filtration de l'huile d'olive pour l'horlogerie, par M. Laresche. La filtration se fait d'abord dans un tamis de crin et ensuite sur un filtre de papier gris, garni intérieurement d'une couche de coton assez épaisse, que l'on maintient contre le papier avec trois ou quatre petits cercles bien minces. La filtration doit se faire dans un lieu frais et hors du contact de l'air, en plaçant les filtres sous des cloches de verre; ensuite l'huile est mise dans des bouteilles soigneusement bouchées, qu'on place à la cave, en les couchant. L'auteur propose de ne procéder à la dernière filtration qu'après un mois de repos de l'huile dans les grandes bouteilles qui la contiennent. Cette huile n'étant pas encore assez fluide, il a imaginé de la faire passer à travers des filtres de bois de tilleul. Pour cet effet, il fait débiter en petits billots de 19 centimètres de haut sur 11 de diamètre, du bois de tilleul vieux et bien sain; il expose ces billots à l'air pendant plus d'un mois; il prend ceux qui ne sont pas fendus, en fait faire au tour des gobelets coniques, et bouche avec de la cire à cacheter les défauts, s'il s'en trouve; puis, les place dans ses filtres de verre : il faut ordinairement 60 à 64 heures pour qu'un demi-kilogramme d'huile passe. Ce moyen est coûteux, en ce que chaque filtre ne peut servir qu'une seule fois. Le résidu qu'on trouve au fond des gobelets est peu considérable et ressemble parfaitement à de l'huile légèrement coagulée. Toute l'opération doit être faite sous verre.

Les fioles dans lesquelles on met l'huile, après la dernière filtration, doivent être très propres et bien sèches; on aura soin de les boucher à mesure qu'on les remplira, de les coiffer avec du parchemin amolli à l'eau, et de les conserver dans un lieu frais (*Bulletin de la Société d'encouragement*, tom. XXVII, p. 61).

Filtration des liqueurs et des sirops. Les liqueurs préparées par la fermentation se clarifient d'elles-mêmes, c'est-à-dire par le repos. Quant aux autres, on n'a pas encore trouvé de meilleur moyen, pour les avoir limpides, que de les filtrer. On emploie le plus généralement une chausse en tissu de laine ou de coton croisé, un filtre de papier joseph sans colle, ou un entonnoir de verre ou de métal, que l'on remplit à moitié de coton cardé, de laine tontisse ou de pâte à papier *très blanche*.

Les plus habiles liquoristes se servent de la chausse en tissu de laine, qu'ils garnissent intérieurement de pâte à papier. A défaut de cette matière, on prend du papier blanc sans colle, que l'on broie avec la liqueur elle-même pour en former une pâte très liquide; on ajoute ensuite la quantité de liqueur, suffisante pour remplir la chausse, on agite le mélange avec un bâton, et on le verse aussitôt. Dans cette opération, la pâte à papier s'attache fortement aux parois de la chausse; elle forme un filtre qui donne les meilleurs résultats et les produits les plus soutenus, si l'on choisit toutefois une chausse d'un tissu convenable. Par exemple, si le tissu est trop serré, une liqueur très chargée de sucre ne passera pas, ou bien elle passera si lentement que le principe spiritueux et aromatique pourra s'évaporer en partie. Si le tissu est trop lâche, le liquide très fluide passera sans être clair et limpide. Pour bien faire, il faut avoir plusieurs chausses d'étoffes de laine, plus ou moins serrées, selon la densité ou la visquosité de la liqueur. Au reste, le procédé de la chausse en laine est toujours plus expéditif que le coton cardé ou le filtre en papier seul, parce que la filtration s'opère à travers un corps plus ou moins poreux, à volonté, moins prompt à s'encrasser, et surtout sur une surface bien plus étendue. Le filtre en papier, du reste, est difficile à manier, et très sujet à se rompre.

Lorsqu'on veut se servir d'une chausse, surtout si elle est neuve, il faut la plonger d'abord dans un sirop chaud ou dans la liqueur froide, pareille à celle que l'on veut filtrer, afin de resserrer ou de boucher les pores du tissu. La chausse étant imbibée de liqueur, on la place

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans un entonnoir de verre, de cuivre, ou d'étain, beaucoup plus grand, et on la suspend sur un cercle en fer, lequel est fixé à un support en bois ou le long de la muraille du laboratoire ; on la remplit de pâte à papier, mélangée avec la liqueur à filtrer, et on laisse reposer le mélange pendant un certain temps, en ayant soin de placer un vase convenable sous l'entonnoir. Bientôt la liqueur suinte à travers les mailles du tissu et descend lentement jusque vers la pointe de la chausse, où elle forme un filet mince qui s'écoule dans le vase placé au dessous. Si ce filet ne coule pas avec continuité, le tissu étant trop serré, eu égard à la consistance de la liqueur, celle-ci n'en sera, il est vrai, que mieux filtrée, mais l'opération sera fort longue ; elle pourra même s'arrêter avant que la chausse ne soit vide. Si, au contraire, le filet est trop abondant, ce sera une preuve que le tissu est trop lâche, et la liqueur ne s'éclaircira qu'imparfaitement.

Si la liqueur, bien que filtrant à travers une étoffe convenable, paraît louche au premier abord, on attendra qu'elle coule parfaitement claire, pour reverser dans la chausse ce qui aura passé en premier lieu. Cela fait, on couvrira l'appareil, et on n'aura plus à s'en occuper, si ce n'est pour le remplir quand il sera vide, et changer le récipient quand celui-ci sera plein.

La quantité de liqueur que peut filtrer en une journée une chausse de capacité connue, est subordonnée non seulement à la qualité de son tissu, mais encore à la consistance de la liqueur, à sa température, à celle de l'atmosphère, et à une foule de circonstances imprévues : cette opération est généralement longue.

Quelquefois même la filtration ne suffit pas pour obtenir la parfaite clarification des liqueurs ; il en est plusieurs auxquelles on est obligé d'ajouter diverses substances propres à séparer et à précipiter les matières qui en troublent la transparence, ou à les envelopper, pour les retenir, tandis que la liqueur passe à travers les pores du filtre. Quelques personnes emploient la pâte d'amande, d'après les conseils de M. Demachy, mais cette dernière matière absorbe en pure perte une portion considérable de liqueur, et ne remplit qu'imparfaitement le but proposé. Le collage au blanc ou à la colle de poisson, est préférable à tous les autres moyens.

Nous avons dit plus haut qu'on mettait la chausse dans un entonnoir de verre, et qu'on la couvrait ensuite. Cette précaution est nécessaire, afin d'éviter l'évaporation plus ou moins abondante des principes alcooliques ou aromatiques, surtout si la liqueur est chaude. Si la chausse n'était pas couverte, l'air absorberait une certaine portion de l'humidité, à mesure que la liqueur passerait ; la partie sirupeuse s'épaissirait et se déposerait sur la surface extérieure de la chausse, où elle formerait un enduit qui finirait par obstruer les pores, en sorte que, d'une part, les principes les plus volatils s'évaporeraient, et que de l'autre, la filtration s'arrêterait tout à fait si la liqueur était très épaisse, ou que la chausse travaillât depuis longtemps.

Quand l'opération de la filtration est finie, on rince la chausse à grande eau, on la presse entre les mains, sans la tordre, après l'avoir retournée, pour en faire sortir tout le sirop et les impuretés dont elle est imprégnée, et on la fait sécher promptement. On ne doit jamais savonner ni lessiver les chausses, dans la crainte de leur faire prendre un mauvais goût.

Il ne faut pas croire, toutefois, que la filtration ait seulement pour effet d'éclaircir les liqueurs ; elle modifie aussi, d'une manière très sensible, leur qualité ; soit en bien, soit en mal, selon la manière dont elle a été faite, sans parler des qualités particulières qu'elles peuvent en outre emprunter des substances auxiliaires que l'on ajoute quelquefois pour les clarifier.

On sentira aisément la raison de ces changements, si on se rappelle, d'une part, que la filtration dissipe une portion des principes les plus volatils et si, d'autre part, on réfléchit aux rapprochements plus immédiats aux combinaisons plus intimes qui doivent s'opérer entre les divers éléments de la liqueur, en passant à travers cette multitude de filières qui les forcent à se diviser, à se subdiviser, à se rapprocher et à se mêler, pour ne former qu'un tout homogène.

Aussi, lorsque l'on examine la liqueur attentivement avant et après la filtration, on est quelquefois tout étonné des différences que l'effet seul de cette opération a fait naître dans la saveur, dans le parfum et dans la nuance. Par ce motif, il convient donc de ne filtrer une liqueur que lorsque la confection est terminée, et d'attendre même que quelques jours de digestion lui aient donné ce degré de perfection qu'elle n'a jamais au moment du mélange. Il convient en outre de filtrer la liqueur à froid, et de ne point la laisser exposée à l'air.

On peut aussi filtrer les sirops à travers la chausse, au moyen du charbon pilé et d'autres matières (voyez SUCRE), mais les cuisiniers, les confiseurs et les pharmaciens préfèrent deux autres méthodes, pour les grandes filtrations, soit en attachant des étoffes de toile ou de laine sur les ouvertures des vaisseaux convenables, soit en les fixant et les tendant lâchement sur un châssis, appelé *carrelet*, garni de pointes, et faisant les fonctions de cercle de tamis

FILTRATION DES PRODUITS CHIMIQUES

En chimie et en pharmacie, on distingue deux modes de filtration : premièrement, la filtration dans laquelle le liquide seul est la partie utile comme cela arrive, par exemple, dans les décoctions ou infusions végétales ; secondement, la filtration dans laquelle le liquide est inutile, et sert, le plus souvent, comme dissolvant, soit pour opérer le lavage des corps solides, soit pour faciliter la séparation des substances principales connues sous le nom de *précipités*.

Les instruments qui servent à la filtration sont très nombreux. Les principaux sont :

1° Le carrelet, châssis monté sur un pied, garni de pointes auxquelles on accroche les bords d'une toile d'un tissu très serré, et croisé. Il sert pour opérer les grandes filtrations. Pour les infusions, les décoctions, les potions purgatives ou médecines, les émulsions qui ne sont troublées que par des particules fort grossières, on se sert d'une étoffe de laine appelée *étamine*.

2° La chausse en laine pour filtrer les sirops et liqueurs analogues ;

3° Le syphon pour décanter, et la pipette pour *amorcer* ou aspirer les dernières gouttes du liquide que l'on n'a pu décanter.

4° Le verre conique à pied, d'où l'on décante un liquide pour le séparer du dépôt rassemblé au fond du verre. On applique le bord de ce verre, en l'inclinant, contre une baguette de verre verticale qui sert à diriger l'objet du liquide dans un vase placé au-dessous.

5° La passoire conique en métal et le tamis pour passer les infusions ou décoctions de matières grossières.

6° Les filtres en papier joseph non collé, pour les analyses délicates, et les filtrations d'une faible quantité de liquide.

7° L'entonnoir en verre, que l'on garnit à volonté de coton cardé, de chanvre tillé, de laine, de sable lavé, de charbon de bois concassé, ou de verre pilé, pour liqueurs acides.

8° Les appareils clos de MM. Donavan et Riouffe pour filtrer à l'abri du contact de l'air.

Manière de filtrer sur le carrelet. On commence par mouiller la toile, afin de gonfler les fibres et de resserrer le tissu ; on verse, de suite, une grande quantité de liquide à filtrer, que l'on maintient toujours à la même hauteur, pour avoir la même pression, et, par consé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quent, le même écoulement de liquide. Par ce moyen, les matières les plus grossières, tenues en suspension, se déposent d'abord sur les mailles et les bouchent; ensuite, les particules plus fines et plus fluides ne peuvent plus passer; le liquide passe alors clair, et s'écoule dans un vase placé au-dessous. Il peut arriver, cependant, que le liquide passe trouble en commençant; dans ce cas, on change le vase qui reçoit le liquide, et on verse de nouveau celui-ci sur le filtre. Cet accident se présente encore quand la couche de liquide est peu épaisse, et qu'on verse dessus avec trop de force et de précipitation; alors le liquide se soulève et détache les particules grossières qui couvraient les pores du filtre, et les molécules les plus fluides passent, sans obstacle, à travers le tissu.

Il faut toujours tenir le filtre plein, afin d'avoir un écoulement parfait et rapide. Si on ne prenait pas cette précaution, les impuretés qui sont agrégées superficiellement sur les parois du filtre, pourraient s'affaisser davantage, se concréter par la dessiccation, et s'opposer ainsi à l'imbibition de la toile.

Souvent aussi, l'agitation et le mouvement de vibration activent singulièrement la filtration; on conçoit que l'agitation remue et déplace les molécules ténues et agglomérées qui obstruent les pores du filtre

Manière de faire les filtres en papier. On les fait avec du papier non collé. Pour les liqueurs acides, on a la précaution de laver les filtres avec de l'acide hydrochlorique affaibli, afin de leur enlever la petite quantité de carbonate de chaux et d'oxydes métalliques qu'ils contiennent; autrement, ces corps viendraient s'ajouter à ceux déjà dissous, et modifieraient les résultats de l'analyse. Pour faire un filtre de papier, on coupe une feuille en carré de la grandeur voulue, on la plie d'abord en forme de fichu; puis on la replie sur elle-même, de manière à faire coïncider les angles. Ensuite on forme, en partant du centre, une série de plis alternatifs, disposés comme ceux d'un éventail, que l'on presse entre les doigts. On coupe ensuite les pointes du papier avec une paire de ciseaux. On fait les plis multipliés, et petits, afin de ménager des espaces entre le filtre et l'entonnoir qui le soutient; et le filtre fournit davantage. Si les plis sont trop larges, ils ne peuvent soutenir le poids du liquide; ils s'affaissent et s'appliquent en partie contre les parties de l'entonnoir; et le liquide ne filtre plus sur ce point.

Dans les analyses, on emploie de préférence des filtres coniques dits *filtres plats*, qui s'appliquent sur toute la circonférence de l'entonnoir, renferment sous le même volume le maximum de matière, et qui sont bien plus faciles à laver.

Choix de l'entonnoir. Le diamètre de l'entonnoir doit être à peu près des trois quarts de sa hauteur, mesurée depuis le bord jusqu'à la naissance de la douille; si l'entonnoir a plus d'ouverture, les parois, par conséquent, sont moins inclinées, et le liquide s'écoulera plus lentement.

On verse le liquide sur les bords du filtre avec précaution, et pour ainsi dire goutte à goutte, dans la crainte de déchirer le papier. Quand la filtration est terminée, on enlève le filtre en papier, en roulant la douille de l'entonnoir dans les mains, et en donnant une légère secousse pour le détacher. On pose ensuite l'ouverture de l'entonnoir sur plusieurs doubles de papier non collés et on l'enlève brusquement. Le filtre sèche ainsi en restant quelque temps sur les doubles de papier qu'on renouvelle au besoin. Lorsqu'il est bien sec, on l'étend sur une feuille de papier, et on enlève les résidus avec une lame de bois.

Les acides forts, les liqueurs acides qui peuvent ronger le papier, les liquides alcalins sont filtrés à travers une couche de verre bien pilé et lavé, de sable siliceux qui ne contient aucune partie soluble ou calcaire, ou de charbon concassé. L'on place ces matières au fond d'un entonnoir de verre, en commençant par mettre les particules les plus grosses, et par dessus les particules les plus fines.

En 1825, M. Donavan a employé avec succès un appareil pour filtrer des solutions d'alcali caustique qui, comme chacun le sait, doivent être filtrées à l'abri du contact de l'air. Il consiste en deux vaisseaux de verre, dont le supérieur a un col garni d'un bouchon de liége fin, bien ajusté, et perforé, pour admettre l'une des extrémités d'un tube; la partie inférieure de ce vaisseau se termine en un tube d'entonnoir, lequel s'ajuste dans l'orifice du vaisseau inférieur, soit à frottement, soit au moyen d'un lut ou d'un bouchon de liége percé. Le vaisseau inférieur a aussi un autre col ou tubulure qui reçoit l'autre extrémité du tube. La jonction en est assurée par un bouchon de liége percé ou par du lut.

La gorge du tuyau de l'entonnoir est fermée par une sorte de bouchon en toile commune *lâchement* roulée. Il faut éviter que ce bouchon presse les parois du tube de l'entonnoir. Le tube de jonction étant enlevé, on introduit la solution dans l'orifice supérieur du vaisseau inférieur; on laisse perdre les premières gouttes, puis on réunit toutes les parties de l'appareil. La filtration peut se continuer sans qu'il y ait possibilité d'absorption d'acide carbonique par l'alcali.

Le mode d'action de cet ingénieux appareil est trop facile à saisir pour exiger aucune explication, M. Donavan observe que les vaisseaux de verre vert doivent être préférés à ceux de verre blanc, le premier étant beaucoup moins attaquable que l'autre par les alcalis fixes.

Cet appareil est utile pour la filtration des liquides auxquels l'accès de l'acide carbonique, ou l'humidité de l'atmosphère seraient nuisibles, de même que pour la filtration des substances volatiles, comme l'alcool, les éthers, les fluides ammoniacaux, etc. Si l'on substitue au tampon de toile, du verre grossièrement pulvérisé ou du sable, on pourra l'employer à filtrer des acides corrosifs qui s'affaibliraient par l'absorption de l'eau atmosphérique (*Journal de pharmacie*, tom. XI, page 549).

L'appareil de Donavan a été perfectionné depuis par M. Riouffe, pharmacien, auquel on doit un autre appareil pour filtrer les liquides volatils (voir le *Journal de pharmacie*, tom. XII, page 12).

L'extracteur de M. Payen, que nous avons décrit figure 824, peut aussi servir avec avantage pour filtrer, soit les acides corrosifs et les alcalis caustiques, soit les matières volatiles et les précipités de diverses natures.

Outre les différentes manières de filtrer que nous avons décrites, et qui sont les plus usitées, il y a encore une infinité de procédés dont on se sert pour filtrer les matières solides ou concrètes, par exemple, les résines, les baumes, les sucres, le salpêtre, etc.; mais, comme nous n'avons eu pour objet que la filtration des liquides, et la séparation des matières qui troublent leur transparence, nous ne donnerons point ici la description de ces divers appareils, et nous renvoyons pour les connaître aux articles spéciaux. ROUGET DE LISLE.

FLAMME. La combinaison des gaz ou vapeurs combustibles avec l'oxygène se produit ordinairement avec lumière, lorsqu'elle a lieu à une température au-dessus du rouge; on dit alors qu'ils brûlent avec *flamme*; on dit, au contraire, qu'un corps solide en combustion est incandescent. Certains corps autres que ceux précités se combinent aussi entre eux avec dégagement de lumière, le chlore gazeux et l'antimoine métallique réduit en poudre fine, par exemple, mais ces cas sont assez rares.

La combustion des gaz ne produit qu'une lumière très faible et ordinairement bleuâtre, tels sont, par exemple, l'hydrogène pur et l'oxyde de carbone, mais, lorsqu'on plonge dans la flamme un corps solide, un fil métallique,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce dernier prend de suite un éclat très vif; il en est de même, si l'on y jette de la limaille de zinc qui se transforme en oxyde blanc fixe qui devient d'un bleu très éclatant, et est très employé pour cette cause dans les *feux d'*ARTIFICE, pour former des gerbes brillantes. Les hydro-carbures et la plupart des gaz ou vapeurs combustibles employés dans l'éclairage, se décomposent par l'action de la chaleur développée par la combustion, et donnent lieu à un dépôt de carbone très divisé ou de noir de fumée, qui donne à la flamme un éclat d'un blanc très vif; ce carbone en brûlant à la surface extérieure de la flamme, produit une flamme bleuâtre à peine visible; enfin, si l'affluence de l'air extérieur n'est pas suffisante, une partie du charbon échappe à la combustion et la flamme fume. On distingue donc dans toute flamme, celle d'une bougie par exemple, la partie intérieure obscure et formée par les vapeurs combustibles non, ou seulement en partie, décomposées en charbon et en gaz combustibles; la couche moyenne, d'un blanc éclatant, composée de gaz combustibles tenant en suspension du carbone très divisé; et l'enveloppe extérieure bleuâtre où s'opère la combustion proprement dite. Il en résulte que si l'on plonge un corps froid dans la flamme, il se déposera dessus du noir de fumée.

Les gaz et vapeurs combustibles ne s'enflamment qu'à une température rouge; d'un autre côté, une toile métallique, d'un tissu plus ou moins serré, suivant la nature du gaz ou de la vapeur, refroidit assez la flamme, tant que la température ne s'élève pas à un certain degré, pour l'empêcher de se propager d'une surface à l'autre, quoique cependant le gaz ou la vapeur la traversent. Ces propriétés remarquables observées par le célèbre Davy, l'ont conduit à la découverte de la LAMPE DE SURETÉ qui porte son nom, et qui est destinée à prévenir les accidents si graves et malheureusement si fréquents, qui proviennent de l'inflammation du gaz hydrogène carboné, qui se rencontre dans les mines de houille : d'après ce que nous avons dit précédemment, comme une toile métallique à mailles suffisamment serrées peut empêcher la combustion d'une vapeur ou d'un gaz de se propager de l'une de ses surfaces à l'autre, on conçoit qu'en enveloppant d'une toile convenable la flamme d'une lampe, les gaz combustibles qui y pénètrent peuvent brûler dans l'intérieur du réservoir métallique, mais la combustion n'est pas susceptible de se propager au dehors, si ce n'est dans le cas où la toile rougirait en quelques points, car elle n'empêche cette transmission qu'en refroidissant la flamme au-dessous du point où la vapeur peut s'enflammer.

FLANELLE. Étoffe légère, à tissu simple ou croisé, fabriquée avec du fil de laine peignée ou cardée, d'un numéro assez fin. Il y a trois sortes de flanelle, suivant qu'on les fabrique avec des peignés, des cardés, ou des peignés et des cardés à la fois. La première est rase, très légère et sans apprêt; on l'emploie à faire des jupons, doublures, etc. Celle en cardé est plus garnie, plus chaude, plus absorbante; on a remarqué qu'elle est moins sujette que la précédente à se retirer et à se feurer au lavage; elle sert plus particulièrement à faire les gilets. La flanelle faite en chaine peignée et en trame cardée tient le milieu entre les deux autres espèces.

FLÉAU. Instrument dont on se sert pour battre le blé à force de bras. Il est composé de deux bâtons attachés l'un au bout de l'autre avec des courroies. Le manche que tient le batteur est ordinairement le plus long; l'autre est le fléau proprement dit. Un fléau court, avec un long manche, assène un coup plus fort : c'est le plus usité. Les courroies qui unissent les deux pièces doivent être tressées les unes dans les autres, de manière à ce que le fléau puisse tourner facilement quand le batteur le relève après avoir frappé le coup. Au lieu de cuir, on se sert avec avantage de nerfs de bœuf ramollis dans l'eau au moment où on les emploie. Dans certaines contrées, on emploie des peaux d'anguille pour le même usage.

FLEURET. Sorte d'épée à lame rectangulaire qui sert à démontrer l'escrime. La soie et le haut de la lame du fleuret sont en fer; à partir de la marque, le reste de la lame est en acier cémenté et corroyé; la pointe se termine par un mamelon arrondi sur lequel est rivé le *bouton*, petit disque en fer, que l'on entoure de plusieurs épaisseurs de peau jaune pour amortir la force du coup. L'acier employé pour la lame n'est pas de première qualité; c'est par une trempe très bien faite et qui demande beaucoup d'habitude qu'on parvient à obtenir de bonnes lames. La poignée est en fer. Les lames de fleuret doivent présenter une grande élasticité, et une dureté suffisante pour que les parties anguleuses ne soient point promptement détériorées et pour que le brillant du poli se conserve longtemps. On essaie une lame en la faisant ployer; après la flexion, elle doit redevenir parfaitement droite. La flexion ne doit point avoir lieu également dans toutes les parties de la lame; c'est surtout près du bouton qu'elle doit se faire remarquer; elle doit se faire sentir jusqu'à 1/4 de la lame à partir de la poignée; le dernier quart ne doit point fléchir; si cela a lieu, c'est que la lame est trop faible, ou que le fleuret est mal emmanché. Tous les fleurets sont marqués *Solingen*, mais on les fabrique à *Klingenthal* et à *Saint-Étienne*. Il y a deux sortes de fleurets : les uns à lames plus flexibles, plus menues, dits *fleurets de leçon*, coûtent 9 fr. la douzaine de lames; les autres, dits *fleurets d'assaut*, sont plus carrés dans leur coupe, ont la lame plus grosse, sont moins flexibles, et coûtent 10 fr. la douzaine de lames; les poignées s'achètent à part.

Pour les outils dits *fleurets*, qui servent à percer les trous de mine, voyez MINES.

FLEURS ARTIFICIELLES (*fabrication des*). On emploie des matières très variées pour la confection des fleurs artificielles : des rubans taillés, frisés et plissés, des plumes d'oiseau très délicates et de mille nuances de couleurs, des cocons de ver à soie teints, des coquilles, de la cire, des fanons de baleine taillés en feuilles légères, blanchies, puis revêtues de brillantes couleurs, enfin des émaux; telles sont les matières que l'art de nos fabricants emploie pour imiter les fleurs et les feuilles avec une perfection difficile à surpasser.

On se sert principalement, en France, de la batiste la plus fine et la plus belle pour les pétales, et de taffetas de Florence pour les feuilles; nous prendrons pour exemple la fabrication d'une rose, ce qui suffira pour faire comprendre comment on peut imiter les autres fleurs.

On découpe d'abord les pétales à l'emporte-pièce, dont on doit avoir un assortiment de grandeurs différentes, parce que, dans la même rose, tous les pétales ne sont pas égaux. Lorsque les pétales sont ainsi découpés, on prépare la teinture, qui se compose de carmin délayé dans une eau alcaline. On prend le pétale avec des brucelles par son extrémité qui est en pointe; on le plonge alors dans de l'eau pure, afin d'avoir une teinte bien égale et tendre comme elle est ordinairement sur les bords; on termine avec le pinceau, vers le milieu, qui est toujours plus foncé. On panache au pinceau, lorsque cela est nécessaire. Vers l'onglet du pétale, qui est blanc, on verse une goutte d'eau, ce qui délaie la couleur et la fait venir en mourant. On se sert d'une couleur faible et, lorsqu'elle est sèche, on trempe de nouveau les pétales dont la couleur est trop pâle, jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance désirée. Pour imiter quelques accidents qu'on remarque souvent dans les roses, on les peint avec le pinceau.

Le taffetas qui sert à faire les feuilles est teint en pièces, de la couleur convenable à l'objet qu'on se propose d'imiter. On étend l'étoffe mouillée sur un grand châssis, au moyen de ficelles qu'on coud sur le bord, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on l'y laisse sécher. Alors, avec de la gomme arabique très légère, on lui donne d'un côté le brillant que doivent avoir les feuilles. On donne le velouté en dessous avec un pinceau trempé dans une eau d'amidon colorée suivant la nuance que l'on désire. L'art consiste à saisir le degré de consistance de l'amidon, et à l'appliquer de manière qu'il ne durcisse pas trop, qu'il ne soit pas lisse, enfin qu'il veloute bien. On imite encore bien mieux le velouté des feuilles, lorsqu'il doit être très prononcé, avec de la tonture de drap réduite en poussière fine et teinte de couleur convenable. On passe avec le pinceau de la gomme légère, et, lorsqu'elle commence à sécher, on saupoudre avec la tonture; quand la gomme est sèche, on secoue pour faire tomber l'excédant de tonture.

Il faut encore donner aux feuilles l'apparence de la nature, et exprimer, dans chacune d'elles, les nervures qu'elles portent toujours. Pour y parvenir, on se sert de divers instruments qu'on nomme *gaufroirs*. Chacun d'eux est formé de deux pièces : l'une, qui est en fer et a un manche en bois, porte à son extrémité la gravure d'un côté de la feuille; l'autre, qui en est la contre-partie, est en cuivre et a des rebords tout autour. On fait chauffer modérément le fer, puis on presse à la fois plusieurs feuilles, qu'on a placées dans le moule de cuivre, et on les y laisse quelques instants pour qu'elles prennent bien la forme.

Les folioles des calices des roses sont apprêtées immédiatement au sortir de la teinture, afin de leur conserver toute la fermeté qu'elles doivent avoir. Pour cela, le taffetas encore mouillé est foulé, pressé dans l'eau d'amidon coloré, et lorsqu'il est bien imprégné des deux côtés, on l'étend sur le cadre et on le fait sécher. Le taffetas ainsi préparé et bien sec, on le découpe à l'emporte-pièce, sur un billot de bois ou sur un plateau de plomb, suivant la forme et la grandeur de la feuille que l'on veut imiter.

On fait les boutons avec du taffetas ou de la peau blanche teints de la couleur convenable, ou bien qu'on peint après; on leur donne la forme qu'ils ont naturellement, en les remplissant de coton, de mie de pain ou de filasse gommée, et on les lie bien avec de la soie au bout de petits fils de fer.

Les étamines se préparent en fixant au bout d'un petit fil de laiton des bouts de soie écrue en quantité suffisante pour former le cœur. Lorsque ces fils sont ainsi placés, on les trempe dans de la bonne colle de gants, qui leur donne en se séchant la fermeté nécessaire. Avant de coller ces fils, on les coupe tous à la fois d'une longueur égale et convenable à la rose. Lorsqu'ils sont secs, on humecte légèrement, et tout à la fois le bout de chacun de ces fils, avec une pâte composée de gomme arabique et de belle farine de froment; lorsque les extrémités des fils de soie écrue, qui doivent former le cœur, sont imprégnées de pâte, on les plonge dans un vase rempli de semoule teinte en jaune par la *terra merita* dissoute dans de l'alcool; chaque fil prend un grain de semoule, et on laisse bien sécher; c'est ainsi que se fait le cœur ou les étamines.

On colle avec de la pâte les folioles, au cœur, par leur pointe; puis on continue à coller des pétales plus grands, et de plus en plus grands, au fur et à mesure qu'on s'éloigne du cœur, en les gaufrant avec des brucelles creuses d'un côté, et imitant la nature autant qu'on le peut. On place ensuite le calice, qui renferme le bout de tous les pétales, et on le colle avec de la pâte. La queue se fait avec un ou plusieurs fils de fer, qu'on attache à celui qui porte le cœur. On enveloppe le tout avec plus ou moins de coton filé, selon que la queue doit grossir ou non, à mesure qu'elle s'éloigne de la fleur, et l'on recouvre le tout de papier serpente teint en vert. Les feuilles se montent de même sur un petit fil de cuivre; on les rassemble comme la nature les présente.

Il nous reste maintenant à dire quelques mots des couleurs employées dans la fabrication des fleurs artificielles.

Les *couleurs rouges*, depuis le pourpre jusqu'au rose, s'obtiennent au moyen du bois de Brésil, du carmin, du carthame ou rose en tasse, du carmin et de la laque de garance.

La meilleure manière de traiter le *bois du Brésil* est de le faire macérer à froid dans l'alcool pendant quelques jours. Un peu de sel de tartre, de potasse ou de savon fait passer cette couleur au pourpre; un peu d'alun donne une laque d'un beau rouge-cramoisi; et un acide quelconque fait passer la couleur au jaune, dont la nuance est d'autant plus foncée que l'acide est employé à plus forte dose.

Le *carmin* est meilleur en morceaux qu'en poudre; délayé dans l'eau pure, il donne le rose; un peu de sel de tartre le fait passer au rose vif.

Le *carmin* et la *laque de garance* se préparent comme le carmin ordinaire.

Le *carthame* se dissout à froid dans l'alcool, la chaleur le fait passer à l'orangé ainsi que les alcalis. Les acides en rendent le rouge plus vif et plus pur; on obtient une couleur de chair très tendre en rinçant la pièce colorée par le carthame dans une eau légèrement savonneuse.

Les *couleurs bleues* se préparent au moyen de l'*indigo* ou du *bleu de Prusse;* on se sert souvent aussi des *boules de bleu* dit *anglais* délayé dans l'eau.

On dissout d'abord l'indigo dans de l'acide sulfurique concentré, ou mieux fumant, on étend ensuite d'eau la dissolution, puis on sature l'acide sulfurique en y ajoutant de la craie en poudre, jusqu'à ce qu'il ne se produise plus d'effervescence; on laisse reposer et l'on décante la liqueur. On lave ensuite le précipité, et l'on obtient encore une couleur moins foncée. On donne plus d'intensité à l'indigo en y ajoutant un peu de potasse. On y ajoute ordinairement 1/3 d'alcool.

Les *couleurs jaunes* se préparent au moyen de la terra merita, du rocou, de la graine d'Avignon, de la sarrette, du safran, du jaune de chrôme et de la gomme-gutte.

La *terra merita* se dissout à froid dans l'alcool, et doit se conserver dans un flacon bien bouché. On en modifie la teinte en plongeant les pétales, avant ou après la teinture, dans de l'eau pure ou renfermant un peu de crème de tartre en dissolution.

Le *rocou* se dissout à froid dans l'alcool, ou à chaud dans de l'eau alcaline.

La *graine d'Avignon* donne un beau jaune par sa décoction dans l'eau pure.

Dans les mêmes circonstances, la *sarrette* donne un jaune verdâtre.

L'infusion à l'eau pure du *safran* sert pour la teinture; son infusion alcoolique s'emploie au pinceau

Le *jaune de chrôme* s'applique également au pinceau.

La *gomme-gutte* se délaie dans l'eau pure, et sert soit à la teinture, soit à la peinture.

Les *couleurs vertes* s'obtiennent par des mélanges de bleu et de jaune. Si le mélange est fait à l'avance, on l'emploie au pinceau; s'il s'agit de teinture, on trempe d'abord dans le jaune, puis dans le bleu; dans ce cas, on emploie ordinairement la gomme-gutte et l'indigo. Pour la peinture, on se sert de *jaune indien* mélangé de bleu de Prusse.

Les *couleurs violettes* s'obtiennent par des mélanges de rouge et de bleu. Pour teinture, on peut tremper d'abord dans une infusion aqueuse d'orseille, puis dans un bain de bleu. L'orseille seule donne un beau rouge cramoisi. L'infusion portée à l'ébullition, après avoir délayé l'orseille dans l'eau tiède, donne un *gris de lin violacé*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les *violets* employés au pinceau s'obtiennent par des mélanges de bleu de Prusse ou de cobalt, avec de la laque de carmin ou de garance.

Le *lilas* pour teinture s'obtient par une décoction d'orseille de Lyon; pour peinture, on emploie des mélanges de cobalt et de carmin très affaiblis, ou de laque et d'outremer.

FLINT-GLASS. Voyez VERRE.

FLOTTEUR. La propriété qu'ont les corps plus légers que l'eau de flotter à la surface de ce liquide, a été mise en pratique pour obtenir des effets mécaniques plus ou moins utiles, mais fort ingénieux; outre l'emploi que M. Girard en a fait au sas des écluses des canaux, nous ne mentionnerons que le suivant, qui est assez fréquemment employé :

Procédé pour retirer des fardeaux du fond de l'eau. On charge de grands bateaux jusqu'à ce qu'ils s'enfoncent dans l'eau, de manière à déplacer, outre leur tirant d'eau à vide, un volume d'eau d'un poids plus considérable que la masse à soulever. On attache alors fortement cette masse aux bateaux, par des cordes exactement tendues, offrant une résistance convenable. Otant ensuite le poids dont ils étaient chargés, l'eau agit de bas en haut pour soulever les bateaux vides, avec une force égale au poids de l'eau déplacée par cet enfoncement, c'est-à-dire au poids même dont on a déchargé les bateaux. Cette force suffit pour soulever la masse, et il est facile de la transporter de la sorte vers le rivage. On est quelquefois obligé de répéter l'opération, à mesure que le lit du fleuve, devenant moins profond, le fardeau se trouve ramené sur le sol du fond de l'eau.

FLOTTEUR D'ALARME. Voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR.

FLUOR. Corps simple que l'on n'a pas encore pu obtenir isolé, et qui, d'après la nature de ses composés, paraît avoir une grande analogie avec le chlore.

FLUORURES. On nomme ainsi les combinaisons que le fluor forme avec les autres corps simples. Traités à chaud dans des vases en plomb ou en platine, par de l'acide sulfurique concentré, ils laissent dégager des vapeurs blanches très piquantes d'acide *hydro-fluorique*. Ces vapeurs exercent sur l'économie animale une action des plus énergiques : reçues sur une lame de verre, elles en détruisent la transparence; il se forme de l'eau des fluorures de potassium ou de sodium et d'aluminium solubles, et du fluorure de silicium gazeux. Lorsque le fluorure, avant d'être chauffé avec de l'acide sulfurique concentré, a été préalablement mêlé avec de la silice en poudre fine, il se produit du fluorure de silicium qui fume beaucoup à l'air, et qui, reçu dans de l'eau, la décompose en partie, en donnant lieu, d'une part, à un dépôt de silice gélatineuse, et de l'autre, à de l'hydrofluate de fluorure de silicium ou acide *hydro-fluo-silicique*, qui reste en dissolution. Ces deux propriétés caractérisent les fluorures.

Les fluorures de potassium, de sodium, d'aluminium, de glucinium, d'étain, d'antimoine, de cobalt, de nickel, d'argent, de cuivre, de platine et de cuivre, sont solubles dans l'eau, la plupart des autres ne le sont pas, ou ne le sont que très peu : le plus insoluble est le fluorure de calcium. Tous les fluorures sont plus ou moins fusibles. On profite de cette propriété dans le traitement de certains minéraux, pour rendre les gangues elles-mêmes plus faciles à fondre. (Voyez CUIVRE, PLOMB.) Quelques-uns sont volatils, le fluorure de silicium, par exemple.

Le fluorure le plus répandu dans la nature est le *fluorure de calcium*, aussi connu sous le nom de *chaux fluatée*, *spath fluor*, et qui se compose de :

Calcium	51,87
Fluor	48,13

Il est tantôt blanc, tantôt coloré en rose, en jaune, en vert, en bleu ou en violet. Il cristallise dans le système régulier, le plus souvent en cubes, mais fréquemment aussi en octaèdres : il possède 4 clivages également faciles, qui mènent à l'octaèdre régulier. Il décrépite fortement sur les charbons ardents, en produisant une superbe lumière phosphorescente bleuâtre : ce phénomène est surtout frappant dans l'obscurité. Lorsque le fluorure de calcium a été ainsi exposé à l'action de la chaleur, si on le laisse refroidir et qu'on le remette sur des charbons rouges, il ne produit plus de phosphorescence. On trouve dans la nature quelques espèces de spath fluor que la chaleur ne rend pas lumineux, ce qui porte à croire qu'ils ont été portés dans le sein de la terre même à une haute température, tandis qu'au contraire les premiers paraissent avoir une origine aqueuse.

La chaux fluatée de Lunebourg, le fluorure de calcium que l'on a préparé par double décomposition, en versant du fluorure de potassium dans un sel calcaire, donnent une lumière violette, verte ou bleue, selon l'intensité de la chaleur à laquelle on les porte. Dans tous les cas, le fluorure de calcium qui a été calciné et qui cesse par conséquent d'être phosphore-cent par l'action de la chaleur, reprend cette propriété, lorsqu'à l'aide d'agents chimiques on le dissout pour le précipiter de nouveau.

Le fluorure de calcium ou spath fluor est une substance essentiellement de filon, et qui se trouve ordinairement dans les filons d'argent, de plomb, d'étain, etc.

FLUX. Voyez DOCIMASIE.

FOIN. Nom que l'on donne à l'herbe fauchée et séchée, destinée à la nourriture des bestiaux, soit pendant l'hiver, soit dans les circonstances où on est forcé de les tenir à l'écurie, sans pouvoir se procurer de l'herbe fraîche.

FONDANTS. Voyez DOCIMASIE.

FONDERIE DE FER (*angl.* iron foundry, *all.* eisengiesserei). L'art du fondeur consiste à reproduire, avec des matières plus ou moins fusibles, les formes et les dimensions de tous les objets modelés ou sculptés qui peuvent se présenter.

Cet art, dont les premières applications remontent à l'antiquité la plus reculée, a pris en ces derniers temps une immense importance, et a donné naissance à une de nos plus belles industries, la fonderie de fer.

Tous les métaux susceptibles de se fondre, sous l'influence d'une forte chaleur, peuvent être employés dans la fonderie; tels sont l'or, l'argent, le plomb, l'étain, le zinc, le cuivre, etc.; mais le cuivre et la fonte sont aujourd'hui les matières le plus généralement employées, soit en raison de leur prix, soit en raison des qualités particulières qui les caractérisent.

Le cuivre et ses alliages sont principalement consacrés à la reproduction des œuvres d'art proprement dites; la fonte de fer domine, au contraire, dans toutes les applications industrielles, les grandes constructions, la fabrication des machines de toute espèce, etc.

Nous nous occuperons principalement, dans cet article, de la fonderie de fer : celle du cuivre et de ses alliages constitue des industries spéciales.

Qualités de la fonte. La *fonte* est, comme on le sait, une combinaison de carbone et de fer, obtenue directement par la réduction des minerais de fer dans des appareils appelés *hauts-fourneaux*. Le mode de combinaison du carbone avec le métal, ainsi que la nature et la proportion des matières étrangères, telles que le silice, l'alumine, le soufre, le phosphore, le manganèse, etc., qui s'y trouvent combinés, déterminent, dans la fonte, des qualités infiniment variables relativement à sa couleur, son degré de fusibilité, sa dureté, sa ténacité, etc. Toutes les fontes ne sont donc pas propres aux usages de la fonderie : celles que l'on préfère sont les fontes qui deviennent assez fluides par la fusion

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour bien remplir les moules dans lesquels on les verse, qui ne prennent pas trop de retrait par le refroidissement, et qui une fois à l'état solide se travaillent facilement, et satisfont à toutes les conditions de ténacité que l'on peut en attendre.

Ces différentes qualités se trouvant réunies à un plus haut degré dans les fontes grises que dans les fontes blanches ou trempées, ce sont ces premières que l'on consacre généralement au travail de la fonderie, tandis que les autres sont réservées à la fabrication du fer.

La *fonte grise* se fond à une température de 1,100 à 1,200 degrés; elle coule doucement, se fige avec lenteur; et quand la coulée a lieu à l'air libre, la surface du bain prend une forme convexe, qui se couvre d'une quantité de graphite (carbone non combiné), d'autant plus considérable que la couleur du métal tire plus sur le noir.

Un excès de graphite rend la fonte poreuse et lui enlève de la ténacité; la présence du soufre la rend très fusible et quelquefois caverneuse, à cause de la rapidité du refroidissement.

Le phosphore rend également la fonte très fusible et propre à bien remplir les moules; mais son excès en altère la ténacité.

On peut employer les fontes dans le moulage, soit en *première fusion*, c'est-à-dire telles qu'elles sortent du haut-fourneau, soit en *seconde fusion*. Les dernières sont généralement plus homogènes, plus tenaces, et conviennent particulièrement à la confection des pièces de machines. Les fontes de première fusion s'emploient ordinairement pour la poterie, les tuyaux, les grosses pièces sans ajustage, et pour tous les objets à la réussite ou à la ténacité desquels on n'attache pas une haute importance.

Les fontes *au bois et au coke* sont toutes deux employées au moulage : la première est principalement coulée en première fusion, tandis que la dernière convient particulièrement à la seconde fusion. C'est avec des fontes au coke et en seconde fusion que se font toutes les grandes et belles pièces de machines.

Il est rare que l'on emploie des fontes d'une seule et même espèce; généralement on fait des *mélanges* que l'on varie suivant la nature des objets à couler, le travail qui devra leur être appliqué, les résistances auxquelles ils seront exposés. C'est dans la possibilité d'opérer des mélanges, qui possèdent à coup sûr toutes les qualités que l'on recherche, que consiste le principal avantage de la seconde fusion. Le fondeur modifie ainsi, tout à fait à son gré, la nature du métal, suivant les exigences du travail, et il applique à chaque objet la variété de fonte qui lui convient le mieux.

On voit par là que la parfaite connaissance des qualités de la fonte, et des divers résultats que peuvent amener les mélanges, doit constituer l'un des premiers mérites d'un bon fondeur; ce n'est pas d'ailleurs le moins difficile à acquérir; car il ne peut être que le fruit de nombreuses observations et d'une longue expérience.

On a longtemps discuté, et l'on discute encore beaucoup sur les mérites relatifs des *fontes à l'air froid et à l'air chaud* : il paraît néanmoins démontré que ces dernières sont particulièrement propres à la seconde fusion, pourvu que l'on n'ait pas poussé la température de l'air au point de les rendre trop graphiteuses. Dans ce dernier cas, ce n'est pas en seconde, mais plutôt en troisième fusion qu'il conviendrait de les employer, car les refontes successives tendent à blanchir la fonte et à resserrer son grain. Du reste, et quand on a la ressource des mélanges, on se trouve toujours très bien de la possibilité d'employer des fontes très grises, attendu qu'elles servent à faire passer les vieilles fontes qui resteraient sans emploi, si l'on n'avait pas un puissant correctif à opposer à tous les défauts.

Matériel des fonderies. Le matériel d'une fonderie se compose comme il suit :

Les fourneaux de seconde fusion;
Les appareils soufflants;
Les grues;
Les étuves;
Les machines à broyer le sable;
Les moulins à noir (charbon pulvérisé);
Les châssis, lanternes, axes et armatures;
Les outils et ustensiles des mouleurs;
Enfin, les modèles en métal ou en bois.

Nous allons jeter un coup d'œil sur ces différents objets, puis nous aborderons la question du mélange proprement dit.

Les fourneaux employés dans les fonderies pour la fusion de la fonte sont de deux espèces : ce sont ou des cubilots (fourneaux à la Wilkinson) soufflés par un ventilateur, ou des fours à réverbère à tirage naturel.

Des cubilots. Le cubilot se compose essentiellement d'un cylindre en fonte ou en tôle de 2 à 6 mètres de hauteur sur $0^m,70$ à $2^m,50$ de diamètre, dont l'intérieur est garni en sable réfractaire ou en briques. Le métal et le combustible sont introduits à la partie supérieure; l'air soufflé entre par des tuyères latérales situées à différentes hauteurs, et le métal en fusion s'échappe à volonté par l'orifice inférieur que l'on bouche avec de la terre.

Les dimensions intérieures de la cuve varient, avec la quantité de fonte que l'on veut couler à la fois, dans des limites très étendues : certains appareils peuvent à peine contenir 5 à 600 kilogrammes de fonte, tandis que la capacité des plus grands s'élève jusqu'à 10 à 12,000 kilogrammes.

La forme des cuves n'a rien de bien déterminé; mais, en général, elle se rapproche de celle d'un tronc de cône appuyé sur sa base la plus grande. La partie inférieure se fait ordinairement en sable réfractaire bien damé, mais souvent aussi on emploie des briques, quand on n'a pas de bon sable.

L'enveloppe se fait en fonte ou en tôle; nous préférons de beaucoup celles en tôle, qui sont plus résistantes et plus à l'abri des accidents.

Les tuyères par lesquelles on introduit le vent sont établies sur une double rangée, et l'on souffle toujours par deux à la fois, au fur et à mesure que le bain de fonte s'élève ou remonte les tuyères, en bouchant avec de la terre celles que l'on a laissées vides.

On admet en moyenne une distance de $0^m,30$ à $0^m,45$ entre le fond de la cuve et la première tuyère. Dans un fourneau de $3^m,60$ de hauteur et de $1^m,60$ de diamètre extérieur, on aurait entre la sole et la première tuyère $0^m,34$ environ, et l'écartement des autres tuyères irait successivement en diminuant de $0^m,02$, de manière à avoir $0^m,24$ entre la 5e et la dernière.

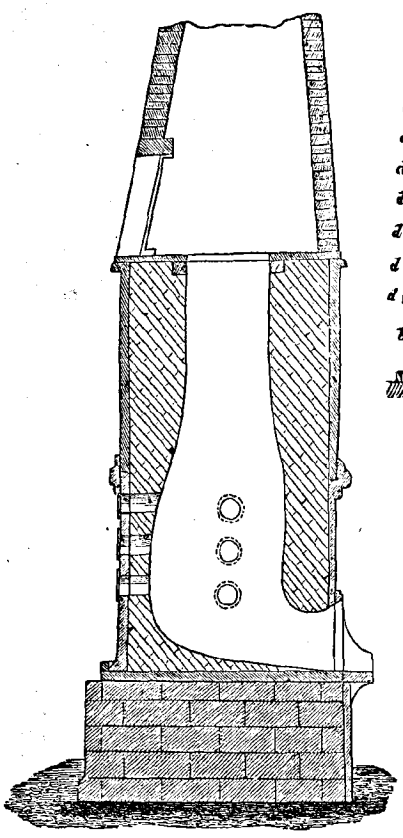
Le croquis (fig. 918 et 919) pourra donner une idée de la disposition d'un cubilot à enveloppe de fonte; au lieu d'une cheminée en briques, on adopte plus généralement une hotte en tôle terminée par un tuyau du même métal. Souvent on dispose la plate-forme du gueulard de manière à pouvoir y échauffer préalablement la fonte avant de la laisser tomber dans la cuve.

Les fig. 920, 921 et 922, donnent le plan, la coupe et l'élévation d'un cubilot de grandes dimensions, à enveloppe en fonte de la fonderie de MM. Martin et comp., à Rouen : *m m*, massif de maçonnerie sur lequel repose le fourneau; *b b*, plate-forme octogone en fonte, ayant un rebord dans lequel s'engagent les plaques *a a*, *a a*, etc.; *a a*, .., plaques en fonte de 27^{mm} d'épaisseur; l'une d'elles est échancrée à sa partie inférieure en *c*, pour donner issue à la fonte, et deux des autres portent chacune six ouvertures *g*, *g*, .., pour donner entrée aux tuyères; *c*, ouverture pour la coulée de la fonte, à laquelle est adaptée une espèce de gouttière en fonte *e*,

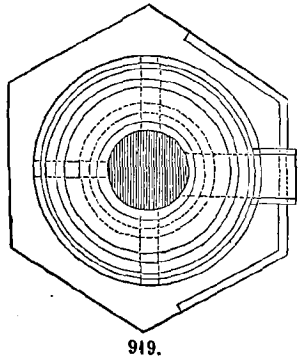
EFERUS - Recherche & Classification numérique

intérieurement garnie d'argile; *d*, armatures en fer forgé, de 0m,11 de large sur une épaisseur qui varie de 15mm en bas à 6mm en haut, servant à maintenir les pla

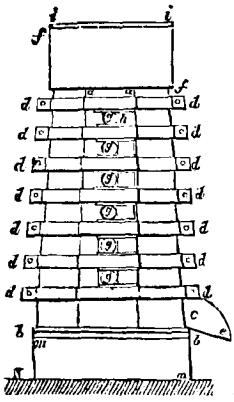
établit de la manière suivante : après avoir placé au fond du fourneau un lit de sable de 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur, légèrement incliné vers l'orifice de coulée, on



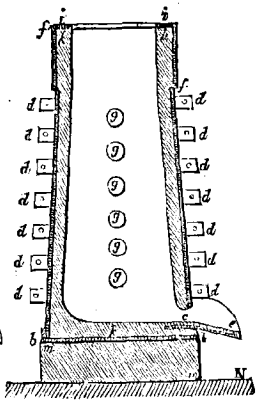
918.



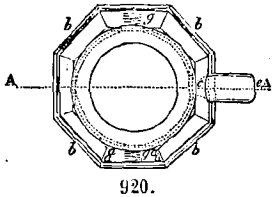
919.



922.

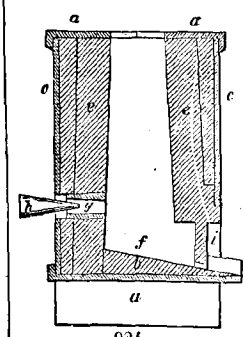


921.

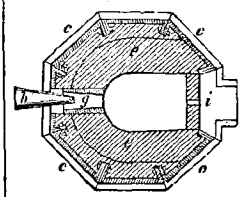


920.

pose verticalement, dans l'axe du fourneau, un cylindre en bois de toute sa hauteur et d'un diamètre un peu moindre que celui du vide que devra présenter le fourneau à sa partie supérieure. On tasse alors du sable, entre le cylindre de bois et l'enveloppe en fonte, puis on retire le cylindre de bois, et on recoupe la paroi intérieure de l'enveloppe de sable, jusqu'à ce qu'on lui ait donné la forme convenable. Cette enveloppe dure généralement de 5 à 6 semaines, quand on fond six fois par semaine; *i i*, plaque de fonte annulaire, placée au gueulard, et destinée à préserver, pendant la charge, les bords de la chemise en sable *k k*, NN, niveau du sol : la partie qui se trouve au-dessous de l'orifice de coulée est en sable, que l'on enlève en tout ou en partie quand on veut recueillir la fonte dans une poche de grande dimension. La hauteur totale de ce fourneau est de 2m,60, et son diamètre au gueulard est de 0m,75 et à la sole de 1m,00; il peut contenir à la fois 5000k de fonte en fusion, et il faut 2 heures 3/4 pour arriver à ce résultat.



924.



923.

Les fig. 923 et 924 donnent le plan et la coupe du cubilot de la fonderie royale de Berlin : *a*, fondation surmontée d'une plaque en fonte qui sert de base à l'enveloppe octogonale

ques de fonte; *f f*, couronnement cylindrique en fonte servant à exhausser le fourneau; les ouvertures *g*, qui servent à placer les tuyères, sont munies chacune d'une porte à coulisses *h*, qui servent à fermer celles d'entre elles qui ne servent pas; *k k*, chemise ou enveloppe intérieure du fourneau, en sable un peu argileux, que l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en fonte *c c*; *e e*, chemise en briques réfractaires, séparée de l'enveloppe en fonte par un vide rempli de cendres tassées; *f*, sole de $0^{m},15$ à $0^{m},20$ d'épaisseur, formée d'un mélange bien damé d'argile réfractaire et de sable quarzeux; *g*, tuyère dans laquelle débouche la buse *h*; *i*, trou de coulée. Depuis quelques années, ce cubilot avait été alimenté avec de l'air dont on élevait la température en le faisant passer à travers des tuyaux autour desquels circulait la flamme du gueulard; ces tuyaux, à ce qu'il paraît, ne tardaient pas à se brûler ou bien ne retenaient plus l'air. Leur reconstruction étant devenue nécessaire, il y a quelque temps, M. Schmahel a eu l'idée de les supprimer et de les remplacer par un seul tuyau annulaire creux qui entoure le fourneau à l'extérieur, dans lequel on fait arriver le vent de la soufflerie et qui le verse dans l'ouvrage par 12 petites tuyères disposées sur un même plan horizontal. Ces petites tuyères, dont les buses ont environ 26 millimètres de diamètre, sont percées dans les briques réfractaires mêmes de la chemise du fourneau. Pour nettoyer ces buses, et en même temps pour observer la marche du travail, M. Schmahel a pratiqué sur la surface convexe de l'anneau creux de fonte autant d'ouvertures correspondantes à ces buses et fermées par des tampons annulaires dans lesquels est serré un disque de verre et portant une poignée à l'extérieur. Le fourneau ainsi construit fournit la même quantité de fonte que précédemment, lorsqu'on employait l'air chaud avec une seule grande tuyère. Il présente en outre cet avantage, que la fusion y est extrêmement rapide, ce qui est très important lorsqu'il s'agit de fondre de grosses pièces, parce que dans ce cas on peut remplir successivement de fonte deux, ou un plus grand nombre de grandes poches avant que le métal de la première commence à se figer. De plus, la fonte est moins cassante et donne des objets d'une plus grande densité que lorsqu'on employait l'air chaud.

Le volume d'air lancé dans les cubilots dépend de la quantité de combustible que l'on veut y brûler dans un temps donné : on peut compter sur 10 mètres cubes d'air par kilogr. de charbon. La pression du vent n'a pas besoin d'être élevée et dépasse rarement 20^{mm} à 30^{mm} de mercure. — On calcule d'après ces données le diamètre que doivent avoir les buses. Le tableau suivant donne les volumes d'air qui s'écoulent en une minute par des buses de différents diamètres

PRESSION de l'air en millimètres de mercure.	VOLUME D'AIR sorti, en mètres cubes, par des buses d'un diamètre, en millimètres, de				
	40	50	60	70	80
5	2,16	3,37	4,85	6,60	8,63
10	3,08	4,80	6,93	9,40	12,30
15	3,82	5,97	8,60	11,70	15,30
20	4,38	6,85	9,90	13,40	17,50
25	4,95	7,72	11,20	15,20	19,80
30	5,45	8,51	12,25	16,65	21,80

Les volumes sont ramenés à la pression atmosphérique et à la température de 10 degrés.

On a essayé l'emploi de l'air chaud dans le soufflage des cubilots, mais les résultats n'en ont pas été assez prononcés pour que l'on ait généralement adopté cette méthode.

Il est rare que l'on emploie des soufflerie à pression pour le soufflage des cubilots, ce sont presque toujours des VENTILATEURS (voir MACHINES SOUFFLANTES) de $0^{m},60$ à $1^{m},00$ de diamètre.

Dans une grande fonderie, on a toujours au moins trois cubilots de dimensions différentes.

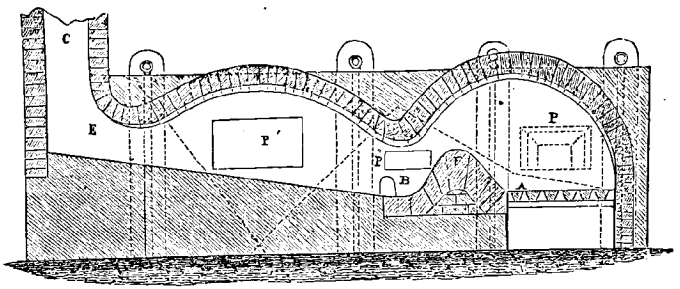
On charge dans les cubilots le métal et le combustible au poids; la valeur de la charge varie avec les dimensions de l'appareil.

Pour liquéfier 1000 kilogr. de fonte, on emploie environ 150 à 170 kilogr. de coke, rarement moins et souvent davantage. Le déchet de la fonte est également très variable : avec de bonnes fontes grises, un coke convenable et un vent bien dirigé, il peut n'atteindre que 6 à 7 p. 100, mais généralement on l'estime à 10 p. 100, et lorsqu'on refond des brocailles, il peut s'élever jusqu'à 15 ou 20 p. 100.

Les cubilots sont les appareils les plus généralement employés dans les fonderies, parce qu'ils conservent à la fonte que l'on emploie toutes les qualités qui lui sont propres; les fours à réverbère blanchissent au contraire un peu les fontes et les affinent. Voy. CALEBASSE.

Des fours à réverbère. Un four à réverbère présente trois parties principales : la grille sur laquelle on brûle ordinairement de la houille; le creuset où se réunit le bain de fonte :

La figure 925 représente la forme de four qui paraît



925.

donner les meilleurs résultats au point de vue de l'emploi du combustible et la conservation des qualités de la fonte.

On donne généralement à la sole trois fois la surface de la grille, et sa longueur varie de 2 1/2 à 3 fois sa largeur.

La hauteur de la voûte varie avec la dimension des pièces que l'on fait fondre; il faut toujours qu'elle soit assez élevée pour que la flamme ne lèche pas de trop près le bain de fonte, protégé d'ailleurs par une suffisante élévation de l'autel.

L'échappement doit avoir une section égale à 1/5 ou 1/6 de celle de la grille.

La grille, vers laquelle l'air doit pouvoir affluer avec toute la liberté possible, doit présenter une section de 1 décimètre carré par kilog. de houille brûlée par heure, et on donne à la cheminée une section égale à 1/4 ou 1/5 au moins de celle de la grille, soit $0^{m.car},20$ à $0^{m.car},30$ par 100 kilogr. de houille brûlée par heure, avec une hauteur de 12 à 15 mètres.

Dans le dessin ci-dessus la flamme monte directement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à la cheminée après l'échappement, mais nous pensons que l'on devrait au contraire la faire redescendre, avant de s'en débarrasser définitivement, parce que la chaleur paraît alors mieux rester dans le four, et le combustible est mieux utilisé. Ce fait ne s'explique pas parfaitement, mais il est confirmé par beaucoup d'expériences, et entre autres par la marche des fours à réchauffer employés dans les forges à laminoirs.

Les fours à réverbère doivent être construits avec beaucoup de soin, et toutes les parties qui se trouvent en contact avec la flamme doivent être revêtues de briques réfractaires de la meilleure qualité.

Le four que nous avons représenté peut contenir 3,000 à 3,500 kil. de fonte, qui à raison de 400 à 450 kil. de houille par 1,000 kil. de fonte, exigeraient environ 1,300 à 1,400 kil. de combustible, que l'on devrait brûler en trois ou quatre heures environ suivant les dimensions de la grille et les proportions relatives de la sole, de l'échappement et de la cheminée.

Le déchet varie avec la durée de l'opération ; avec un four bien construit et bien conduit, il ne doit pas s'élever au-dessus de 10 à 12 p. 100.

Les fours à réverbère s'emploient principalement dans les cas suivants :

1° Lorsque l'on n'a pas de moteur pour une soufflerie ;

2° Quand on a de très-grosses pièces à refondre, et telles qu'elles ne pourraient pas être traitées dans un fourneau à la Wilkinson.

En général, il n'y a d'avantage à les employer que lorsque la fabrication est assez étendue pour pouvoir opérer successivement plusieurs fondages ; dans le cas contraire, le seul échauffement du four absorbe déjà beaucoup de combustible, et il en résulte une consommation considérable par tonne (1,000ᵏ) de fonte moulée.

Des grues. Les grues sont des appareils indispensables dans toutes les fonderies, soit pour enlever les châssis, soit pour transporter le métal en fusion du four aux moules qu'il doit remplir. Nous ne nous arrêterons pas à la description des grues, mais nous indiquerons d'une manière générale les conditions auxquelles elles doivent satisfaire. Les grues d'une grande fonderie doivent être fortes, élevées, et être pourvues d'une grande volée : il faut qu'elles puissent enlever des charges de 15 à 25 tonnes ; que la volée, de 6 à 7ᵐ de longueur, se meuve au moins à la même hauteur au-dessus du sol ; enfin que le chariot auquel se suspendent les charges se meuve avec facilité sur la volée.

Ces grues sont toujours à double pivot, se mouvant dans des crapaudines dont l'une est fixée sur une fondation solide, tandis que celle du haut est solidement rattachée à la charpente de la fonderie.

Les grues entièrement construites en fonte et en fer sont préférables pour l'usage à celles dont l'axe, la volée et les contre-fiches sont en bois, mais leur prix élevé n'en permet pas toujours l'emploi.

Une belle grue en bois, avec flasques en fonte et tirants en fer, coûte en moyenne 400 à 450 fr. par tonne à enlever, soit, par exemple, 8,000 à 9,000 fr. pour une grue de 20 tonnes : le même appareil construit en fonte dans les mêmes conditions de hauteur et de solidité coûterait plus du double.

On a toujours plusieurs grues dans une fonderie, et elles sont disposées de manière à ce qu'un fardeau quelconque puisse être facilement transmis de l'une à l'autre, et parcourir ainsi tous les points de l'atelier. Il est évident que les wilkinsons, les fours à réverbère, l'entrée de l'étuve, doivent se trouver dans le rayon d'action de l'une de ces grues. Voy. GRUES.

Des étuves. Les étuves sont des chambres en maçonnerie convenablement échauffées, dans lesquelles on fait sécher les moules et les noyaux avant d'y verser la fonte. Tous les moules n'ont pas besoin d'être passés à l'étuve, mais une grande fonderie ne saurait marcher sans cet appareil.

On donne aux étuves des dimensions proportionnées à celles des châssis que l'on veut y introduire ; en moyenne, il faut qu'une étuve ait de 3 à 4 mètres de largeur sur 5 et 6 de longueur, et souvent on leur donne des dimensions beaucoup plus considérables ; la hauteur varie de 2 à 4 mètres.

Les murs de l'étuve et la voûte sont construits en briques ; la porte est en tôle et s'ouvre de bas en haut, au moyen d'un contre-poids qui lui fait équilibre.

Le milieu de l'étuve est occupé par un chemin de fer se prolongeant à l'extérieur, sur lequel se meut un fort *chariot en fonte* destiné à recevoir les moules à sécher. Les noyaux et les autres petites pièces sont placés dans le bas de l'étuve et appuyés contre ses parois latérales.

Une étuve peut être chauffée directement, ou par la chaleur perdue d'un appareil de combustion quelconque. Dans le premier cas, le milieu de l'étuve est occupé par une grille en fer, sur laquelle on charge de la houille ou tout autre combustible, et auquel l'air arrive par un caveau souterrain.

Généralement on emploie des moyens plus économiques pour échauffer les étuves, en les plaçant au-dessus ou à proximité d'un four à coke qui sert à préparer le combustible destiné aux cubilots. Les gaz qui sortent du four sont amenés dans l'étuve, et s'échappent ensuite dans l'air par une cheminée en briques ou en tôle.

Cette disposition fort simple suffit dans la plupart des cas. On doit avoir soin de placer l'orifice d'entrée des gaz dans la cheminée à la partie inférieure de l'étuve, et de placer un registre dans la cheminée pour régler le tirage. Il est également essentiel, pour être complétement maître du travail de l'étuve, d'établir des registres qui permettent de faire pénétrer la fumée du four dans l'étuve, ou de l'envoyer directement à la cheminée ; moyennant ces précautions, la disposition que nous venons d'indiquer suffit parfaitement aux besoins d'une fonderie.

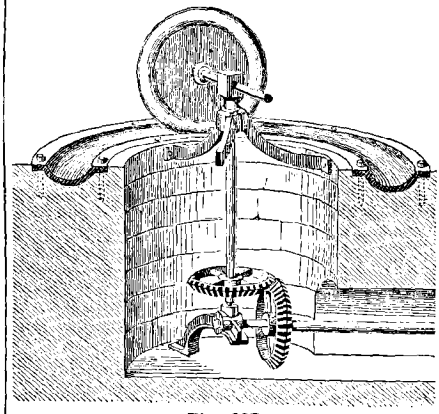


Fig. 927.

Au lieu d'envoyer la fumée du four dans l'étuve, ce qui nuit aux moules et aux noyaux à cause de la couche de suie dont ils se couvrent, on pourrait disposer un appareil à air chaud à la suite du four à coke, ou dans ses propres parois, et n'envoyer dans l'étuve que de l'air pur convenablement échauffé ; mais cette disposition est plus chère de premier établissement, et nous ne l'avons point encore vu appliquer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque les moules sont placés dans l'étuve, on lute les joints de la porte avec de la terre, et suivant la dimension des pièces à sécher on les laisse plus ou moins longtemps exposés à l'action de la chaleur. La durée de l'opération varie de un à trois jours, suivant l'intensité de la chaleur.

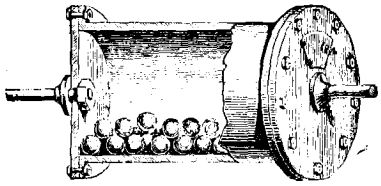


Fig. 928.

Machine à broyer. Les différentes matières que l'on emploie dans la confection des moules exigent toutes certaines préparations, pour les approprier à l'usage auquel elles sont destinées. Les sables, par exemple, sont habituellement séchés, broyés, passés au tamis, puis mouillés et passés au rouleau sur une table. Ces opérations se font généralement à bras d'homme, mais dans les ateliers où l'on a besoin d'une grande quantité de sable frotté et bien préparé, il est préférable d'employer pour le broyer et le frotter une machine simplement composée de deux cylindres en fonte, entre lesquels on fait passer le sable. Elle rappelle la machine à broyer cylindrique. A sa sortie, on le fait quelquefois tomber dans un cylindre creux en mouvement traversé par un courant d'air chaud pour le sécher.



Fig. 929.

Ce séchoir n'est pas très-efficace et sert très-rarement. Il vaut mieux faire sécher le sable dans une étuve, et ne se servir des cylindres que pour le frotter.

La terre à noyaux se triture ordinairement sur un établi avec un couteau en fer à manche recourbé ; mais, pour de grandes quantités, il vaudrait mieux employer un pétrisseur mécanique, consistant simplement en une auge circulaire en fonte, dans l'axe de laquelle se mouvrait, avec une faible vitesse, un arbre vertical garni d'une traverse horizontale armée de couteaux verticaux. Il y a beaucoup d'autres appareils faciles à imaginer qui peuvent remplir le même but.

Moulin à noir. Le poussier de charbon de bois ou de houille, dont on fait une si grande consommation dans les mouleries, se prépare toujours au moyen d'un appareil mécanique appelé *moulin à noir*. Le moulin le plus employé consiste en une auge circulaire en fonte, dans laquelle se meuvent deux meules accouplées sur un arbre vertical. La fig. 927 peut donner une idée d'un moulin de ce genre, mais on le dispose ordinairement de manière à occuper beaucoup moins de place.

Dans les petites fonderies on emploie simplement un cylindre creux en fonte (fig. 928), monté sur un axe horizontal, dans lequel on place des boulets. Ce cylindre doit faire vingt-cinq à trente tours par minute.

Des poches. Parmi les différents appareils qui constituent la base fondamentale d'un atelier de moulage, et dont le nombre et les proportions doivent être en harmonie avec la nature et l'importance des travaux, nous avons encore à distinguer les poches, ou creusets, au moyen desquelles la fonte se transporte à bras d'hommes ou avec des grues, depuis les fourneaux de fusion jusqu'aux moules où elle doit être versée.

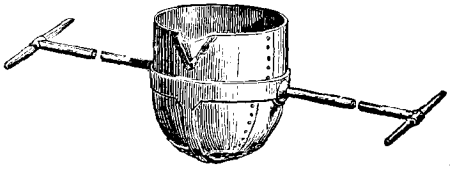


Fig. 930.

Chaque atelier doit avoir une série de poches de différentes dimensions, depuis les plus petites, qui peuvent être portées par un seul homme, jusqu'à celles de la plus grande contenance.

Ainsi l'on doit avoir :

Un grand nombre de petites poches de	15 à 20k
Une ou deux poches de.	50
Une ou deux poches de.	75
Une ou deux poches de.	100 à 150
Une ou deux poches de.	200 à 300
Une poche de.	400
Une poche de.	800
Une poche de.	1,500
Une poche de.	3,000
Une poche de.	5,000
Une poche de.	10,000

Il est assez rare que l'on dépasse la dimension de 10 à 12,000 kil.; quand on a à couler des pièces d'un poids plus considérable, on emploie plusieurs poches, ce qui paraît préférable, en général, pour que la fonte se distribue plus vite et plus facilement dans un grand moule, en versant la fonte en deux points plutôt qu'en un seul.

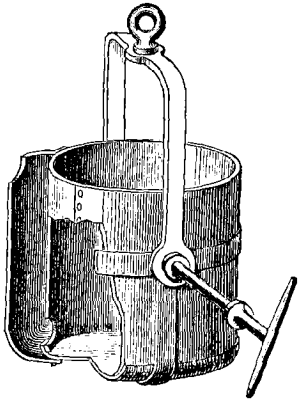


Fig. 931.

Dans les anciennes fonderies on faisait les poches en fonte de 8 à 35 millim. d'épaisseur; aujourd'hui on les fait généralement en tôle. Les poches sont toujours garnies à l'intérieur d'une couche de vieux sable mélangé dans l'eau avec du crottin de cheval. Voici le croquis des différentes poches employées dans les fonderies :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Fig. 929, petite poche sur un seul homme.

Fig. 930, poche de 200 kil.

Fig. 931, poche de 1,800 kil. dans laquelle la fonte passe à la partie inférieure d'une cloison, avant d'arriver au bec.

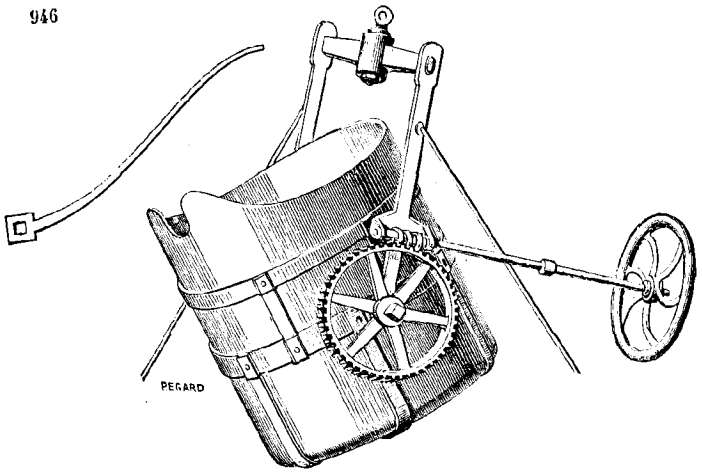
Quand on n'emploie pas ce genre de tubulures, il faut continuellement écumer la fonte pendant la coulée, afin d'empêcher les matières étrangères qui peuvent surnager à la surface de pénétrer dans les moules.

Fig. 946, levier, au moyen duquel l'ouvrier appuie sur l'axe de suspension de la poche pour la forcer à s'incliner sur l'orifice du moule.

Figure 947, mécanisme employé pour faire déverser les poches de grandes dimensions.

Voici les dimensions exactes de deux poches mues par un mécanisme de ce genre et employées à l'usine d'Indret.

946



947.

	POCHE de 6,000 kil.	POCHE de 11,000 kil.
	m.	m.
Diamètre interne sans terre. .	1,125	1,380
Profondeur.	1,100	1,500
Roue dentée; diamètre.	0,470	0,600
Vis sans fin : 2 filets; diamètre.	0,080	0,150
Idem. — ; pas. . .	0,040	0,040
Tourillons; diamètre.	0,090	0,110

Des châssis. Les châssis dans lesquels se préparent les moules constituent la partie la plus importante du matériel des fonderies ; on les fait en bois pour les petites pièces, mais il est indispensable d'avoir des châssis en fonte pour toutes les pièces un peu fortes.

Chaque fois que dans un établissement on a beaucoup de pièces à mouler sur le même modèle, on fait des *châssis spéciaux*, parfaitement appropriés à la forme des moules qu'ils doivent contenir ; mais on doit aussi avoir, et c'est le cas le plus général, des *séries de châssis* qui permettent, sauf de rares exceptions, de mouler toutes les pièces qui peuvent se présenter.

Lorsque l'on ne veut cependant pas trop multiplier les châssis, ce qui devient excessivement dispendieux, on emploie des châssis en *mille pièces*, ainsi nommés parce qu'ils sont composés d'une multitude de plaques boulonnées entre elles, et reliées aux angles par des équerres. Au moyen d'une certaine quantité de plaques de longueur et de hauteur variables, on forme sans difficulté des capacités de toutes grandeurs : on fait des plaques de 0m,100, 0m,160 et 0m,216 de hauteur, sur des longueurs variables de 0m,50 à 1m,00. Les plaques de raccordement des équerres avec les plaques de côté ont ordinairement 0m,20 de largeur.

On doit avoir des équerres ouverts suivant différents angles, de manière à pouvoir former des châssis polygonaux à 5, 6, 8, 10 ou 12 pans.

Le fond du châssis est occupé, soit par des *parties quadrillées* rattachées aux côtés, soit par de fortes plaques à nervures disposées parallèlement à la plus petite face du châssis et convenablement boulonnées à leurs extrémités avec les pièces du cadre, soit avec des barres de fer.

Les pièces extrêmes et opposées du cadre sont généralement pourvues de forts tourillons au moyen desquels le châssis peut être suspendu à la grue et transporté où l'on veut.

Pour les petites pièces, on emploie habituellement des châssis sans barres, de formes rectangulaires ou octogones, auxquels on laisse des rebords intérieurs pour qu'ils puissent retenir les sables, et on les dispose de manière à pouvoir accoupler des parties d'inégale épaisseur quand le besoin du moulage l'exige.

Les séries de petits châssis peuvent être organisées comme il suit :

CHASSIS rectangulaires.	LONGUEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR des parties épaisses.	HAUTEUR des parties minces.
	m.	m.	m.	m.
N° 1.	0,25	0,18	0,060	0,030
N° 2.	0,40	0,30	0,060	0,035
N° 3.	0,50	0,40	0,070	0,040
N° 4.	0,40	0,30	0,080	0,080
N° 5.	0,60	0,40	0,100	0,070
N° 6.	0,70	0,50	0,100	0,080

Au-dessus de ces dernières dimensions, on emploie des châssis carrés de 0m,70, 0m,85, 1m,00, 1m,50, 2m,00, de côté, et de 0m,10 à 0m,25 d'épaisseur.

Les châssis dont le côté dépasse 2m,00, sont presque toujours quadrillés et n'ont pas de partie de dessous.

Indépendamment de ces châssis, on emploie encore des châssis octogones portant 0m,216, 0m,330, 0m,400, 0m,500 et 0m,600 de diamètre intérieur, avec une hauteur variable de 0m,06 à 0m,15.

Nous n'en dirons pas davantage des châssis ; nous avons voulu donner à entendre ce qu'il y avait à faire pour l'organisation de cette portion du matériel, mais il serait par trop long d'en donner une description complète. Nous rappellerons seulement que la disposi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion et la bonne confection des châssis ont une très grande influence sur la rapidité et la perfection du moulage, et que, par conséquent, il y a lieu d'attacher une haute importance à la manière dont ils sont exécutés. Le point essentiel, sous le rapport de la bonté du travail, c'est qu'ils soient toujours assez solides pour résister aux efforts de dilatation des moules ; on les fait ensuite le plus légers possible, afin d'en faciliter le maniement, et de réduire à sa limite inférieure le capital, toujours énorme, qu'il faut consacrer à leur acquisition.

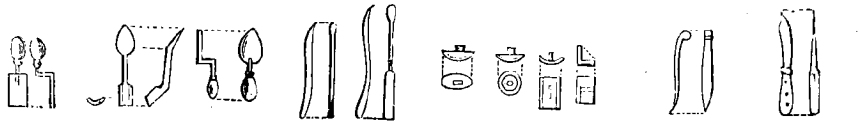
Des noyaux. Les moules destinés aux pièces creuses exigent que l'on y ménage des parties pleines de sable ou de terre auxquelles on fait occuper la place où doit se trouver le vide de la pièce moulée.

Quand ces vides ont de faibles dimensions, on les remplit avec du sable battu dans des moules en bois, que l'on appelle *boîtes à noyaux*. Quand les noyaux sont considérables, on les fait quelquefois en terre ou en briques soutenues et reliées par des *armatures* en fonte et en fer.

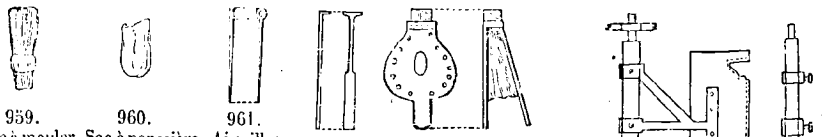
Lanternes, axes. Lorsque les noyaux ont des formes cylindriques régulières, on les fait en terre appliquée sur des pièces cylindriques de fer ou de fonte appelées axes ou lanternes. Les lanternes servent pour les noyaux de grosses dimensions ; ce sont des tubes cylindriques ou coniques en fonte ou en tôle, montés sur des tourillons et percés d'une multitude de petits trous destinés à laisser échapper les gaz qui se développent pendant la coulée.

L'épaisseur des lanternes en fonte doit être assez forte pour qu'elles ne fléchissent pas, et varie entre 0m,015 et 0m,025. On leur donne le plus fort diamètre possible, en se ménageant cependant assez de place pour les garnir d'une ou deux épaisseurs de *cordes ou torches* en foin filé, et d'environ 0m,03 à 3m,05 de terre. On met ces lanternes sur un tour, et on les tourne au diamètre voulu. Les noyaux sont ensuite séchés à l'étuve et placés dans le moule.

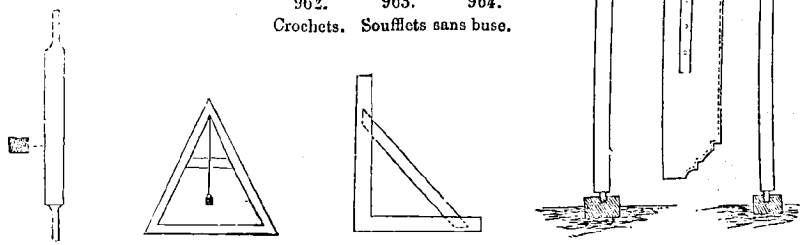
Pour les noyaux d'un très petit diamètre, on remplace les lanternes creuses par des *axes en fonte ou en fer*, pourvus de tourillons quand ils doivent être tournés ; sans tourillons, quand le noyau est fait en sable dans une boîte. Les noyaux de tous les tuyaux sont faits avec des lanternes ou des axes.



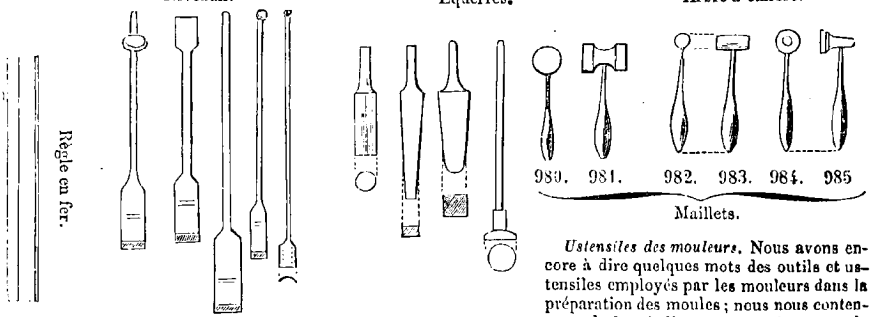
948. 949. Truelles 950. 955. 956. Spatules. 951. 952. 953. 954. Lissoirs. 957. Tranches. 958. Couteaux.



959. Brosse à mouler. 960. Sac à poussière. 961. Aiguilles. 962. Crochets. 963. 964. Soufflets sans buse.



965. 966. Niveaux. 967. Équerres. 968. 969 Arbre à calibre.



970. Règle en fer. 971. 972. 973 974 975. 976. 977. 978. 979. Battes diverses. 980. 981. 982. 983. 984. 985 Maillets.

Ustensiles des mouleurs. Nous avons encore à dire quelques mots des outils et ustensiles employés par les mouleurs dans la préparation des moules ; nous nous contentons de les indiquer sommairement ci-dessus, parce qu'ils varient beaucoup suivant les habitudes de travail des ouvriers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous ne reproduirons pas les formes très diverses des tamis en toile métallique, des compas, des pelles, marteaux, brosses, pinceaux, balais, caisses à sable, tamis à noyaux, etc.

Des modèles. Nous terminerons la nomenclature du matériel des fonderies par quelques données générales sur la confection des modèles.

Les modèles se font généralement en bon bois de noyer, chêne ou sapin, et ils doivent être établis avec beaucoup de soin et de solidité. La bonté du moulage dépend en grande partie de la perfection des modèles.

Tous les modèles doivent présenter de la *dépouille*, c'est-à-dire un certain évasement qui facilite leur sortie du sable. Il faut, en outre, que leurs dimensions soient plus fortes que celles des dessins que l'on copie, à cause du retrait qui s'opère dans les fontes par leur refroidissement. On compte ordinairement sur un retrait de 1/100, ce qui revient à prendre toutes ses mesures avec une règle de 101 centimètres, divisée ensuite en dixièmes, centièmes, millièmes.

Certaines fontes ont un retrait beaucoup plus considérable, mais elles sont mauvaises pour les fonderies, où l'on doit, au contraire, rechercher les fontes à faible retrait.

Le modeleur doit tenir compte de la manière dont la pièce sera moulée; car il la divise en conséquence pour en réunir ensuite les différentes parties par des chevilles, des vis ou des boulons que l'on enlève pendant le moulage.

La confection des *boîtes à noyaux* est un des points délicats de l'art du modeleur; il faut que les boîtes soient exécutées avec soin et divisées de manière à faciliter la sortie du noyau. La place du noyau est indiquée sur le modèle par une partie dont la trace dans le moule fixe la position du noyau à y placer.

Quand on a beaucoup de pièces à faire sur un même modèle, on le fait en métal; ainsi tous les modèles des pièces de vaisselle, des ornements, des candélabres, statuettes, etc., se font en cuivre. Il n'est pas moins essentiel, dans beaucoup de cas, de faire également les boîtes à noyaux en métal: pour les coussinets de chemins de fer, par exemple, dont la forme intérieure est la plus essentielle à bien conserver, il est presque indispensable d'avoir des boîtes à noyaux en fonte ou en cuivre.

Du moulage. Les indications qui précèdent nous paraissant suffisantes pour donner au lecteur une idée assez nette du matériel des fonderies, nous allons passer à la description des diverses méthodes de moulage que l'on emploie aujourd'hui.

Les opérations du moulage peuvent se partager en cinq classes principales, qui sont :

1° Le moulage en sable vert;
2° Le moulage en sable vert séché;
3° Le moulage en sable d'étuve;
4° Le moulage en terre;
5° Le moulage en coquilles.

Du moulage en sable vert. On entend par moules en sable vert ceux qui reçoivent la fonte aussitôt après leur confection, sans avoir besoin d'être étuvés. Ce procédé est aujourd'hui le plus employé, pour la vaisselle, les ornements et la plupart des pièces de machines.

Le sable que l'on emploie doit être à la fois siliceux et un peu argileux, doux, coulant et moelleux au toucher. Suivant sa qualité, on le mélange avec 1/5 à 1/20 de poussier de houille, qui fait décaper les pièces et favorise la sortie des gaz; quand le sable est trop gras, on le fait recuire, où l'on y ajoute du poussier de charbon en supprimant une partie de celui de houille. Ces sables ainsi mélangés sont séchés à l'avance, puis broyés, tamisés, mouillés et frottés.

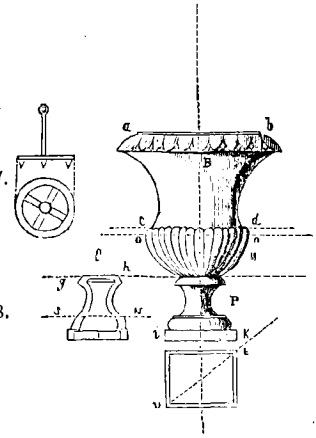
Nous ne saurions décrire ici la méthode de moulage employée pour chacune des pièces qui se présentent dans les fonderies; nous en donnerons une idée générale, en décrivant (d'après M. Guettier) le moulage d'un vase de jardin.

Le modèle d'un vase (fig. 986 et 989) est décomposé en cinq parties, savoir: la cloche ou tulipe qui comprend la partie *a b c d*; la couronne *o o'*, ou autrement dit le quart de rond qui termine le culot; le culot M, et enfin le pied P, qui se divise en deux parties suivant la diagonale *v t* (fig. 989). Il résulte de cette disposition que le châssis forme aussi cinq parties (comme l'indique la fig. 990) dont une, celle qui compose la chape du pied, se divise en deux tiroirs. Le noyau du vase se fait dans le modèle, en même temps que l'on pratique le moulage de l'extérieur. Le châssis du pied et le châssis supérieur doivent être, lorsqu'ils sont en bois, garnis de clous qui servent à retenir les sables.

Le châssis supérieur doit avoir de plus une barette avec un mamelon hérissé de pointes, qui plonge dans le modèle du pied et qui sert à supporter le noyau.

Pour procéder au moulage d'un vase, on posera d'abord la cloche sur la planche à mouler qui prend la partie B du modèle, puis on comprimera la chape jusqu'à la ligne *c d*, en ayant soin de fouler le noyau de la cloche en même temps. On pourra poser de suite sur la chape la couronne c, en ayant soin de dépouiller le côté du moule suivant *o o'* et le noyau de la cloche suivant

986.

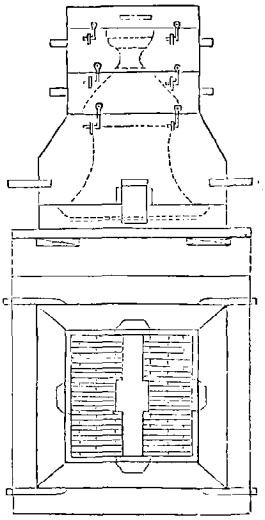


987.

988.

989.

990.



991.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c d. Il sera bon ensuite de retourner la chape entre deux fonds, de la dépouiller suivant *a b*, de battre la fausse pièce qui doit faire corps avec le noyau de la cloche et enfin de retourner de nouveau, en consolidant cette fois la partie à noyau sur une garniture de sable mouvant, disposée aussi horizontalement que possible. On pourra alors mettre en place le modèle du culot, et le châssis qui doit recevoir l'empreinte de cette portion du vase; on foulera à la fois le noyau et la partie de châssis, en ayant soin d'assurer le premier au moyen d'une armature (fig. 987), dont les trois repères s'ajustent dans le noyau de la cloche. On aura également soin en mettant en place le modèle du pied, de faire en sorte que sa section corresponde bien à celle de son châssis, puis on foulera le petit noyau compris entre les lignes *g h* et *s u* (fig. 988), et la partie contenant le moule du pied, laquelle sera dressée suivant *i k* (fig. 986), avant de battre le dernier côté du moule.

Lorsque tous les châssis sont foulés, c'est-à-dire lorsque le moule est monté, comme l'indiquent les fig. 990 et 991, il s'agit de le démonter. Pour cela, on enlève les deux châssis supérieurs et on ouvre en tiroir les deux parties qui contiennent le modèle du pied. En retirant chaque partie on doit enlever avec elle une moitié du modèle qu'on démoule dans le sens qui lui est propre, après avoir eu soin de dépouiller suivant la couture du châssis et suivant celle du pied. Lorsqu'on a retiré les modèles et lorsqu'on a lissé au poussier, on réunit de nouveau par les crochets les deux parties du châssis du pied, et on rectifie les coutures au moyen de la spatule ou du paroir. On enlève ensuite le châssis du culot, puis le modèle, puis enfin le noyau de celui-ci; il ne reste plus alors qu'à démonter la chape de la cloche et à retirer le modèle de celui-ci après avoir enlevé d'abord celui de la couronne. Quand toutes les parties du moule sont ragréées et parées au poussier, on les ferme les unes sur les autres en commençant par celles qui ont été démoulées les dernières. On étuve ordinairement le petit noyau compris entre *g h* et *s u* (fig. 988), afin qu'il ne s'écrase pas en remoulant.

Moulage en sable vert séché. Ce moulage s'emploie pour les pièces de fortes dimensions, telles que plaques de fondation, bâtis, balanciers, etc., dont on désire que les surfaces soient bien nettes et bien polies. Les moules ne sont point dans ce cas lissés au poussier comme pour le sable vert, mais on emploie un badigeon composé d'argile grasse pour 1/4, et de 3/4 de poussier de charbon, que l'on étend au pinceau sur toutes les parties qui doivent recevoir la fonte. On peut néanmoins y passer ensuite le *lissoir* pour effacer les traces de la brosse. Ce moulage donne de forts beaux produits.

Moulage en sable d'étuve. Le sable destiné à l'étuvage n'a pas besoin d'être aussi homogène, ni de posséder toutes les qualités indispensables au sable vert. Cette méthode s'emploie particulièrement pour les pièces à noyaux compliquées, telles que cylindres à vapeur, condenseurs, boîtes de distribution; les pièces à gros noyaux; celles à reliefs et à pièces de rapport, etc.; toutes celles enfin pour lesquelles il faut donner au moule une très grande solidité, et obtenir des surfaces parfaitement saines.

Moulage en terre. On emploie pour cette méthode des terres assez grasses pour se lier parfaitement, mais ne donnant cependant pas trop de retrait, que l'on mélange avec 1/3 à 1/5 de crottin de cheval ou de bourre hachée dont la présence est indispensable pour empêcher les moules de se crevasser pendant le séchage et pour favoriser le passage des gaz.

Le moulage en terre s'emploie principalement pour toutes les pièces circulaires qui peuvent s'obtenir sans modèles au moyen de trousses, et pour un grand nombre de gros objets se présentant rarement, et dont les dimensions exigeraient un appareil de châssis long et coûteux à établir.

Pour les moules en terre de pièces régulières on opère comme il suit :

Disposer d'abord le noyau, en ayant soin de lui laisser tous les orifices nécessaires pour l'échappement des gaz et des vapeurs, ce qui demande d'autant plus de soin que ce noyau est plus vaste et plus renfermé par le métal; trousser ensuite sur le noyau une épaisseur qui représente exactement l'objet à couler; recouvrir enfin cette épaisseur, qui prend le nom de fausse pièce, de plusieurs assises de terre épaisse, qu'on étend en les pétrissant avec les doigts qui laissent à leur surface des empreintes utiles pour lier les différentes couches entre elles et pour les empêcher de gercer. Ce sont ces dernières couches qui composent la chape à laquelle on donne une épaisseur qui augmente en raison de l'étendue et de la masse des pièces à couler.

Pour démouler, il suffit d'enlever la chape au moyen d'une grue, puis la fausse pièce qu'on peut briser parce qu'elle n'est plus d'aucune utilité; on répare alors le noyau et l'intérieur du moule, on leur donne la couche, on les fait sécher de nouveau, et il ne reste plus qu'à fermer le moule et à l'enterrer au moment de la coulée.

On a eu soin de laisser à l'entour du noyau une assise ou meule formant un cône tronqué dont la base supérieure dépasse de quelques centimètres celle de la pièce moulée, et dont la hauteur varie entre $0^m,03$ et $0^m,10$. Cette meule sert de repère à la chape qui vient s'y ajuster à frottement, conservant ainsi entre elle et le noyau un vide dont l'épaisseur est parfaitement régulière.

Quand on peut disposer de châssis convenables, on remplace les chapes en briques par une chape troussée en sable. Pour cela, on choisit un modèle cylindrique dont les dimensions se rapprochent de la pièce à trousser, on moule et on démoule ce modèle par les procédés ordinaires du moulage en sable; puis on introduit la trousse dans le vide qu'il a laissé, et en enlevant tout le sable inutile, on arrive à donner à la chape les dimensions et les formes voulues. Il est également facile de trousser un noyau en sable, si l'on a soin de maintenir celui-ci par une ou plusieurs lanternes, ou de remplir tout son milieu de plusieurs gros morceaux de coke qui, diminuant la masse du sable, donnent de la facilité pour le séchage et se prêtent à l'échappement des gaz. On emploie de préférence ce dernier moyen, pour les noyaux fermés par le haut, tels que les noyaux de chaudières, de bassins, etc., etc.

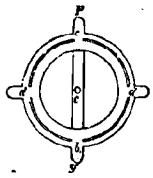
Lorsque le moulage en terre n'a pas lieu pour des pièces troussées, il se fait sur modèles au moyen de coquilles qui se traitent comme des pièces de rapport. Ces modèles sont recouverts d'un enduit de suif fondu avec de l'huile de pavot ou de la cire; on y applique les couches de terre comme on le fait pour les chapes ordinaires faites sur fausses pièces, en ayant soin de conserver toutes les séparations nécessaires, la facilité du démoulage. On démoule après la parfaite dessiccation de toutes les épaisseurs.

Ces procédés donnent rarement d'aussi beaux produits que le moulage en sable, mais ils sont souvent indispensables pour éviter la dépense considérable des châssis, alors qu'il faut employer des moules excessivement solides.

Pour rendre plus clair ce que nous venons de dire, nous prendrons un exemple simple, celui de la fabrication d'une chaudière à sucre (fig. 997) : on établit horizontalement sur le sol une plate-forme annulaire en fonte *a d b d* (fig. 993); on appuie, au centre *c*, l'extrémité inférieure d'un arbre vertical disposé de manière à pouvoir tourner librement sur lui-même, en faisant décrire à l'arc *e f* (fig. 996) d'un pommeau de bois, une surface de révolution identique avec la sur-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

face intérieure renversée de la chaudière qu'on veut mouler; la ligne *e g* du panneau est dressée de manière à décrire la surface du bord de la chaudière. On construit alors sur la partie *a d b d* de la plate-forme en fonte, avec des briques posées soit à plat, soit de champ, et de la *terre*, une espèce de dôme *h i k* (fig. 996), de 0m,05 à 0m,10 d'épaisseur, selon la grandeur et le poids de la pièce à mouler; la surface extérieure du dôme doit être distante partout de 0m,50



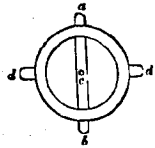
992.



994.



995.



993.



996.



997.

au moins de la surface décrite par l'arc *e f;* avant d'élever le dôme en briques jusqu'au point *i*, on place de la houille sur le sol, dans l'intérieur, afin d'établir plus tard en ce point un foyer pour dessécher le moule. On ferme alors la voûte en ne laissant plus en *i*, autour de l'arc de révolution, qu'une très petite issue. Cette ouverture, ainsi que quelques autres que l'on ménage au-dessous des bords de la plate-forme en fonte, permettent au mouleur d'allumer le feu quand cela est nécessaire, et de le graduer de manière à dessécher peu à peu et complétement le moule, sans qu'il soit nécessaire d'y introduire de nouvelle houille.

On étend sur le dôme en briques une couche de terre de consistance pâteuse; on la tourne avec le panneau *g e f*, et l'on obtient une surface raboteuse, que l'on enduit d'une couche de terre beaucoup plus molle; on tourne encore avec le panneau, et il se produit une surface lisse, sur laquelle viendra se mouler la partie extérieure de la chaudière. La ligne *e g* a tracé, dans sa révolution, une sorte d'épaulement ou rebord *m*. Le moule étant dans cet état, on allume le feu et on laisse sécher, puis on enduit, à l'aide d'un large pinceau, toute la surface extérieure avec une sorte de bouillie formée d'eau, de poussière de charbon de bois et de très peu d'argile, afin de prévenir l'adhérence, la surface déjà séchée et les couches d'argile qui vont être appliquées par-dessus. On enlève alors le panneau *g e f*, et on le remplace par un autre panneau *g' e' f'* (fig. 994), dont le bord *e' f'* décrit la surface extérieure de la chaudière. On étend sur la surface *e f* une couche de terre, qui est tournée et lissée de manière à produire la surface de révolution *e' f'*, comme on avait fait pour la surface *e f*, seulement dans ce cas-ci, la ligne *e' g'* du panneau ne forme pas de nouvel épaulement et frotte légèrement sur *m*.

La couche de terre comprise entre les deux surfaces *e f*, *e' f'*, est une représentation exacte de la chaudière qu'on veut obtenir. Lorsque cette couche est bien séchée par la chaleur du foyer, qui continue à brûler intérieurement, on l'enduit de la bouillie dont il a déjà été fait mention. On enlève l'arbre vertical, en laissant subsister au dôme le trou par lequel il passait, ce qui

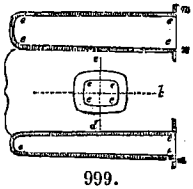
continue à favoriser la combustion du charbon placé à l'avance dans l'intérieur, puis on pose horizontalement sur les oreilles de la plate-forme *d d* (fig. 995), une nouvelle plate-forme annulaire *p q*, semblable à la première, avec cette différence qu'elle est un peu plus grande et qu'elle ne porte pas de traverse. La disposition relative de ces deux plates-formes est représentée en plan fig. 992.

On applique sur la surface *e' f'* (fig. 995) une nouvelle couche de terre de 0m,05 d'épaisseur et dont la partie extérieure est lissée grossièrement à la main; puis, on construit sur la plate-forme *p q* une voûte en briques, dont la surface interne s'applique contre la couche de terre. Celle-ci contracte une forte adhérence avec les briques qui absorbent une partie de son humidité, tandis que l'enduit étendu sur la surface *e' f'* l'empêche de s'attacher aux couches de terre qui l'ont précédée.

On laisse sécher toute la masse en continuant le feu, dont le courant d'air est entretenu à l'aide d'une petite ouverture ménagée à la partie supérieure du nouveau dôme; puis, quand tout est convenablement sec, on repère les deux plates-formes, et on enlève *p q*, en ayant soin de la maintenir dans une position à peu près horizontale. Avec cette plate-forme s'enlève la dernière voûte en briques, et la couche de terre qui la précède. Celle-ci représente intérieurement le moule exact de la surface *e' f'*, ou de l'extérieur de la chaudière. On brise la croûte comprise entre *e f* et *e' f'*, opération qu'il est facile de faire sans endommager la surface *e f*, qui représente exactement la surface intérieure de la chaudière, ni l'épaulement *m*, qui en forme le bord. L'ouverture verticale, qui donnait passage à l'arbre de rotation, quand il était en place, et au courant d'air du foyer intérieur, est bouchée, et l'on ne conserve cette ouverture que dans la partie du moule enlevée avec *p q*, c'est par là qu'on verse la fonte lors du moulage, après avoir replacé bien exactement, à l'aide de repères, les plates-formes l'une sur l'autre.

Il arrive souvent que certaines parties des moules sont faites en sable, et certaines autres, particulièrement les noyaux, en terre. Comme exemple, nous prendrons une cornue à gaz (figures 998 et 999). Le noyau de la cornue doit avoir la forme *e e e e*, et présenter une grande consistance, attendu qu'il ne peut être fixé au moule extérieur, lors de la coulée, que dans la partie sortant de la cornue vers *m m*. Il faut qu'il soit modelé en terre sur un cylindre ou tronc de cône creux en fonte d'environ 13mm d'épaisseur, dit *lanterne*, et d'une forme différente pour chaque sorte de noyau; sa surface est criblée de trous de 10 à 12mm de diamètre; il est monté, à l'aide de croisillons en fer, sur un axe aussi en fer, qui le traverse dans toute sa longueur. La fig. 1000 représente une section horizontale par l'axe du noyau:

998.



999.



1000.

i g h, est l'axe de la lanterne, représentée elle-même en *i k k i*; *i o*, est une espèce de rebord ou plateau perpendiculaire à l'axe, ouvert en *i i*, faisant corps avec la lanterne, et dont la circonférence *o o* présente une courbe semblable à la section du noyau faite perpendiculairement à son axe. L'axe *g h* est posé sur deux

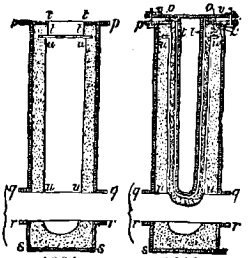
EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDERIE DE FER.

tourillons, et des manivelles placées à ses deux extrémités facilitent la manœuvre pendant la fabrication du noyau. On enroule sur toute la surface de la lanterne, depuis le point *h* jusqu'au collet formé par le plateau, une corde de la grosseur du doigt, faite avec du foin assez fortement tordu. On forme ainsi une ou plusieurs couches de cette sorte d'enveloppe, selon la grosseur du noyau par rapport à la lanterne; puis on étend de la terre sur le foin et on lui donne exactement la forme que doit avoir le noyau, en maintenant à la main une planche convenablement entaillée contre le plateau *o o*, et un autre plateau qu'on ajoute momentanément vers *h*, tandis qu'à l'aide des manivelles on donne un mouvement de rotation à tout l'appareil. Le foin interposé entre la lanterne et la terre, a pour effet de faciliter l'adhérence de cette terre, et de livrer passage, jusqu'aux trous qui criblent la surface de la lanterne, aux gaz qui se dégagent lors de la coulée.

Quand le noyau est achevé et qu'il a passé à l'étuve, on enlève l'axe *g h*, puis on bouche avec de la terre la petite ouverture qu'il a laissée au point *h*; en cet état, le noyau est prêt à être introduit dans le moule de la pièce.

Ce moule, exécuté en sable recuit, se compose de trois pièces, dont deux absolument semblables entre elles, sont représentées en *p q* (fig. 1001); la troisième est indiquée en *r s*, et forme le moule de l'extrémité de la cornue. Le cylindre *u u*, qui représente le moule extérieur de la cornue, est surmonté d'une partie vide également cylindrique *t t*, placée sur le même axe, et d'un diamètre précisément égal à celui du noyau, qui a une forme légèrement conique, afin de pouvoir entrer facilement dans cette ouverture *t t*, et de la boucher très exactement quand il y est introduit jusqu'au collet.



1001. 1002.

Les trois parties du moule et le noyau étant préparés, on réunit d'abord les deux pièces *p q*, et on les soutient dans une position verticale · puis on descend le noyau dans l'ouverture *t t* (fig. 1002). Quand le plateau *o o* du noyau est appuyé sur le moule, on vérifie si le bout du noyau est bien partout également distant du bord de la surface extérieure *u u*, et on s'assure qu'il ne dépasse pas trop la ligne *q q*. En cas de quelque inexactitude, on rectifie la position du noyau avec de légères cales en fer placées sous le bord du plateau *o o*; puis, à l'aide d'une croix en fonte et d'écrous *v v*, on fixe le noyau de manière à le rendre invariable. On descend tout l'appareil sur *r s*, et l'on fixe avec des boulons et écrous la surface plane *q q* sur *r r*; puis on introduit la fonte liquide, dans le moule placé debout, par une ouverture *z*, ménagée à la partie supérieure du moule.

Moulage en coquilles. Cette méthode, qui consiste à couler les pièces dans des moules en métal, a généralement pour but d'obtenir des surfaces très dures ; elle ne s'emploie que rarement, et presque toujours pour les cylindres des laminoirs à tôle ou à petits fers, dont il est essentiel que la surface soit aussi dure que possible. Pour obtenir de bons cylindres trempés, il faut : faire l'épaisseur de la coquille soit égale à 1/3 du diamètre du cylindre ; chauffer les coquilles à 75 ou 80 degrés ; introduire le métal suivant deux jets en source; donner à la masselotte environ le tiers du poids du cylindre, et choisir de bonnes fontes grises. On ne coule jamais que la table du cylindre en coquilles, le tourillon et le trèfle sont moulés en sable séché.

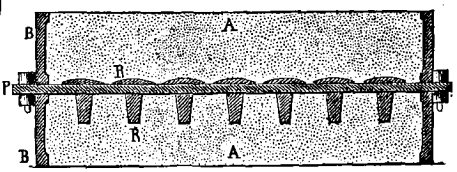
Moulage à l'aide de plaques, dit mécanique. Toutes les fois qu'il s'agit d'obtenir un grand nombre de petites pièces semblables, on trouve une grande économie à fondre un premier moule en fonte qui représente une réunion de demi-pièces, sur lesquelles le sable est pressé avec grande facilité dans le châssis dont les deux parties se rapprochent avec toute sécurité. Ce procédé extrêmement expéditif est très-économique pour les petites pièces.

Ce système, qui dans ce cas offre l'avantage précieux de maintenir les écartements de plusieurs objets à mouler simultanément, n'a en principe rien de bien nouveau sans doute, mais ce n'est que depuis peu de temps qu'on a remarqué combien il était avantageux pour les productions d'articles qui doivent être multipliés en grand nombre.

On emploie aussi des plaques doubles pour fabriquer des rivets, par exemple. Les guides qui réunissent les deux châssis sont assez longs pour recevoir la plaque entre les châssis, et quand elle est en place, l'ensemble ne diffère pas d'un système ordinaire. La plaque portant un demi-rivet sur chaque face ayant été placée entre les deux châssis, le sable est battu; on enlève ensuite la plaque, les guides empêchant aucun ébranlement dans cette opération. Les châssis étant alors de nouveau réunis, le oreux qui répond à la tête de chaque rivet est exactement perpendiculaire à celui de la tige. Les avantages qu'offre ce mode d'opérer sont si grands qu'il reçoit chaque jour de nouvelles applications.

Plaques percées. Une modification de ce système consiste à employer des plaques percées d'ouvertures, propres à recevoir directement des modèles pouvant traverser celles-ci et être retirés à l'aide de la plaque; il a été employé pour la première fois pour la fonte des clous de laiton. La vue de la fig. 1003 suffit pour faire saisir le mode d'opérer. Une modification de ce système est employée sur une grande échelle à Woolwich pour mouler les boulets et les obus. On y opère ainsi qu'il suit :

Fig. 1003.



A sable, BB châssis, R clou, P plaque.

Une ouverture circulaire est pratiquée dans une plaque horizontale de fer, bien dressée, de trois centimètres d'épaisseur. A travers cette ouverture et exactement de même diamètre, on engage une sphère de fer de telle sorte qu'un hémisphère sorte exactement de la plaque. Le châssis inférieur est posé sur la plaque et rempli de sable ; le levier qui soutient la sphère étant retiré, celle-ci tombe par son seul poids; on opère de même pour le châssis supérieur. Les moitiés du moule du noyau de sable de l'obus sont aussi ouvertes et formées à l'aide d'un levier, afin d'éviter toute altération de forme.

De la coulée. Nous ne pouvons pas décrire ici toutes les précautions que l'on doit prendre relativement à la fonction des *jets* pour l'entrée de la fonte, des *évents* pour la sortie de l'air, des *masselottes* qui fournissent du métal au centre et empêchent les soufflures, avant de procéder à la coulée des moules; et cependant il est positif qu'elles exercent la plus grande influence

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur le succès de l'opération. Ce sont là des détails tout à fait pratiques que l'on saisit d'un coup d'œil quand on assiste au travail d'une fonderie, mais dont il serait fastidieux et inutile de décrire toutes les nuances.

Pour bien faire comprendre le mode d'opérer, nous représentons ici la vue d'une coulée fig. 1004.



Fig. 1004.

Nous dirons seulement un mot des nombreux accidents auxquels sont sujettes les pièces moulées : ce sont *les soufflures* qui sont occasionnées par des bulles d'air, qui, n'ayant pas trouvé d'issue pour s'échapper des moules, viennent se loger à la surface des pièces; *les retirures*, qui proviennent du tassement du métal, et qui présentent des surfaces raboteuses, entachées et souillées; les *dartres*, qui résultent d'un manque de cohésion dans le sable, ou d'un jet mal dirigé ou versé de trop haut; *les bosses*, qui proviennent d'un sable mal tassé; *les reprises*, *friasses* et *flons* qui sont engendrées par une fonte trop froide, ou par les défauts de liaison dans le métal, etc., etc.; la *rupture*, ou le *gauchissement* des pièces par le retrait, quand les modèles sont mal combinés, etc. Ces accidents, et beaucoup d'autres que nous renonçons à décrire, sont très-nombreux dans les fonderies; ils sont l'écueil du fondeur, et ils prouvent jusqu'à l'évidence le grand nombre de précautions minutieuses auxquelles il faut s'astreindre pour faire un bon travail et obtenir de beaux produits.

Dispositions générales. D'après les détails dans lesquels nous sommes entrés sur les différents appareils employés dans les fonderies, il est facile d'en conclure les dispositions qui doivent faciliter l'ordre et la bonne marche d'un grand atelier.

Une usine occupant en tout un carré de terrain de 75m de côté peut produire annuellement, en fondant une fois par jour, 7,500 à 8,000 quint. métr. de fonte moulée de seconde fusion, en employant environ cent ouvriers. A. Barrault.

FONDERIE DE CUIVRE ET DE BRONZE. Le moulage des pièces en cuivre ou en bronze peut s'exécuter par les mêmes procédés que celui des objets en fonte; mais on emploie plus généralement le moulage en sable d'étuve, parce qu'il fournit des résultats plus convenables sous le rapport de la netteté et de la qualité. Le cuivre rouge fondu devient peu liquide, *monte*

dans les moules, et n'est pour ainsi dire jamais employé dans la fonderie; la facilité avec laquelle ce métal se travaille au rouge et même à froid, permet d'éviter le moulage d'un grand nombre d'objets, qu'il est d'ailleurs plus convenable de forger, parce qu'on les obtient plus denses et par suite d'une plus grande ténacité. Lorsqu'au contraire, le cuivre est allié à une certaine proportion d'étain ou de zinc, de manière à constituer les bronzes et les laitons, il devient extrêmement liquide par la fusion, et particulièrement propre au moulage.

Nous avons déjà donné un exemple du moulage du bronze, en parlant de la fabrication des BOUCHES A FEU; nous en donnerons encore un autre, en disant quelques mots sur les *fonderies de cloches*.

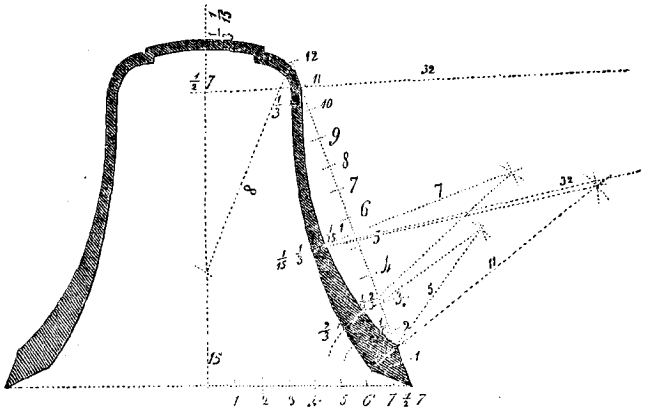
Le métal des cloches est un alliage composé d'environ 78 p. 100 de cuivre et 22 d'étain; mais sa composition n'est pas et ne peut être constante, même dans la même pièce.

Le tracé des cloches repose sur une base déterminée, dite *échelle campanaire*, *bâton de Jacob*, et plus connu sous le nom de *brochette*, qui a été dictée par l'expérience et se transmet de génération en génération dans les familles des fondeurs. Elle repose sur certaines proportions qui, à l'instar des modules en architecture, servent à régler et à faire harmoniser entre elles les diverses parties des cloches. Le *bord*, ou autrement dit la plus forte épaisseur de la cloche, constitue le principe de toute la mesure; c'est le point de départ qui détermine toutes les autres dimensions. La brochette qui est une échelle composée de plusieurs lignes horizontales venant s'appuyer sur un trait vertical, donne, au moyen de points placés à des distances convenues, l'épaisseur du bord, suivant le poids des cloches. Le tableau qui suit, et que nous empruntons à l'ouvrage de M. Guettier sur la fonderie, donne l'épaisseur du bord, et le diamètre des cloches, depuis un poids de 3k jusqu'à un poids de 12000k; ce n'est du reste, qu'une brochette présentée sous la forme de tableau et exprimée en mesures métriques.

POIDS des cloches	ÉPAISSEUR du bord.	GRAND diamètre.	POIDS des cloches	ÉPAISSEUR du bord.	GRAND diamètre.
kilogr.	m.	m.	kilogr	m.	m
3	0,008	0,120	750	0,074	1,110
4	0,011	0,165	1000	0,081	1,215
5	0,013	0,185	1250	0,087	1,305
6	0,015	0,225	1500	0,093	1,395
10	0,019	0,285	1750	0,098	1,470
15	0,021	0,315	2000	0,103	1,545
20	0,022	0,330	2250	0,108	1,620
25	0,023	0,345	2500	0,110	1,650
30	0,025	0,375	2750	0,114	1,710
35	0,027	0,405	3000	0,117	1,755
40	0,028	0,420	3500	0,123	1,845
45	0,029	0,435	4000	0,128	1,920
50	0,030	0,450	4500	0,134	2,010
75	0,034	0,510	5000	0,137	2,055
100	0,037	0,555	5500	0,141	2,115
125	0,040	0,600	6000	0,146	2,190
150	0,043	0,645	6500	0,150	2,250
175	0,045	0,675	7000	0,154	2,310
200	0,047	0,705	7500	0,158	2,370
250	0,050	0,750	8000	0,160	2,400
300	0,055	0,825	8500	0,164	2,460
350	0,058	0,870	9000	0,168	2,520
400	0,060	0,900	9500	0,170	2,550
450	0,063	0,945	10000	0,173	2,595
500	0,065	0,975	11000	0,181	2,715
600	0,068	1,020	12000	0,190	2,850

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Plusieurs méthodes sont en usage pour le tracé des cloches; la plus suivie est celle qui donne 15 bords au grand diamètre, 7 bords 1/2 au diamètre du cerveau, 12 bords à la ligne qui joint l'arête inférieure de la cloche à la naissance du couronnement du cerveau, et enfin 32 bords au plus au grand rayon qui sert à tracer le profil de la partie supérieure de la cloche proprement dite. La fig. 1005, où toutes les lignes de construction sont cotées en nombres, la dimension du bord étant prise pour unité, suffira pour indiquer le tracé à suivre dans le cas d'une cloche de dimensions quelconques.



1005.

Quant aux dimensions à donner aux diverses cloches d'un même carillon ou d'une même volée, on admet, conformément aux lois de l'acoustique, que le nombre de vibrations de la cloche est en raison inverse de son diamètre, ou de la racine cubique de son poids; de sorte que pour une série de cloches qui formeraient une octave complète, les diamètres iraient en augmentant avec la gravité des sons et seraient entre eux :

pour	*ut*,	*ré*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*, *ut*;
comme	1,	8/9,	4/5,	3/4,	2/3,	3/5,	8/15, 1/2.

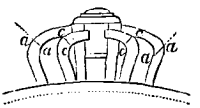
Le tracé des anses, représenté fig. 1006, est plus simple que celui des cloches. Les modèles d'anses se font en plâtre, en bois ou en terre cuite, et on a soin d'y conserver des divisions comme *aa*, *cc*, pour aider au démoulage. Après avoir enduit ces modèles d'une couche de cire et de suif mêlés, on les recouvre de plusieurs épaisseurs de terre fine; on fait sécher le moule avant de retirer les modèles, on le ragrée, on place les coulées qui sont habituellement disposées sur le point le plus élevé; enfin on le recouvre d'une couche de cendres délayées dans du lait ou de l'urine et on le fait recuire.

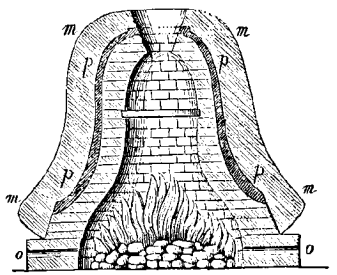
Les cloches sont ordinairement moulées dans la fosse où on les coule, et sur une base qui ne subit pas de déplacement. Ce moulage diffère peu du moulage en terre décrit avec détails dans l'article précédent (FONDERIE DE FER). Il consiste dans la confection d'un noyau en briques et d'une chape en terre, entre lesquelles est placée une épaisseur postiche de terre qu'on appelle la fausse-cloche, et qui est séparée des autres parties du moule par des couches de cendres ou de noir qui l'empêchent d'y adhérer et facilitent par suite le démoulage; c'est sur la fausse cloche qui occupe provisoirement la place du métal, que les fondeurs disposent les cordons, les ornements, et les inscriptions dont les cloches sont habituellement recouvertes. Ce travail s'exécute au moyen d'empreintes en cire très fusible et en même temps tenace, que l'on obtient en faisant fondre à un feu doux, puis filtrant sur un tissu de laine, un mélange de 0,80 de cire, 0,13 de poix blanche, 0,04 de graisse et 0,03 d'huile de pavot.

La beauté des cloches dépend beaucoup de la qualité de la terre ou potée qui sert à garnir les empreintes en contact avec le métal; cette potée se compose ordinairement de terre très fine à laquelle on ajoute environ 1/4 de fiente de vache. On a l'habitude de la préparer longtemps à l'avance, afin qu'elle puisse éprouver une sorte de fermentation, ce qui la rend beaucoup meilleure. La terre qui doit composer la chape est préparée à peu près de la même manière; seulement on remplace la fiente de vache par du crottin de cheval ou par de la bourre hachée.

On pourra juger, par l'examen de la fig. 1007, de l'ensemble d'un moule de cloche : ce moule est achevé, en plein séchage, et tout prêt pour le démoulage. *n n*, est le noyau au milieu duquel on brûle le combustible qui reçoit de l'air par les soupiraux *o*, *o*; *m m m*, est la chape, et *p p p*, la fausse-cloche qu'on devra enlever et casser après que la chape sera démoulée. Le travail

1006.





1007.

qui reste à faire dans l'état où se trouve la fig. 1007, consiste donc à ragréer la chape et la surface du noyau après l'enlèvement de la fausse-cloche, à les recouvrir d'une couche de cendres délayées dans du lait ou de l'urine, à placer sur la chape le moule des anses et le bassin de coulée qui fait corps avec celui-ci, à garnir le fond encore ouvert du noyau d'un bouchon de terre dans lequel est scellé l'anneau qui doit supporter le battant; enfin à remouler et à enterrer le moule, après toutefois s'être assuré que la dessiccation est complète.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le poids du battant est d'environ 1/20e de celui de la cloche; il est proportionnellement un peu plus faible pour les fortes cloches. P. DEBETTE.

FONDERIE DE ZINC. Il n'y a que peu d'années que l'art de couler en zinc a été importé en France, et cet art n'a pas encore l'importance qu'il pourra prendre un jour. Quatre ou cinq établissements seulement à Paris s'occupent de fondre le zinc pour faire ce qu'on appelle de *faux-bronzes;* ils fabriquent plus généralement les menus objets; des chandeliers, des lustres ou des faux bronzes de pendules, bronzés ensuite à l'aide de la galvanoplastie. Le zinc que les fabricants emploient de préférence est celui de la Silésie; ils disent qu'ils peuvent également se servir de celui de la Vieille-Montagne, mais que le zinc de cette localité se coule moins facilement et prend moins nettement la forme du moule. Ils ne coulent en sable que les pièces un peu plus considérables, telles que celles qui servent aux pendules, et ils opèrent alors comme les fondeurs en métaux ordinaires. Généralement leurs moules sont en fer; ils les placent verticalement, prennent dans le creuset le métal avec une cuillère, le versent, laissent refroidir quelques instants, et l'opération est achevée. Lorsque les pièces qu'ils veulent obtenir sont destinées à offrir une certaine résistance, comme par exemple les branches d'un lustre, qui offrent peu d'épaisseur et qui seraient susceptibles de fléchir, ils les renforcent en mettant dans le moule un fil de fer de 4 à 8 millimètres de diamètre, dont le but est de faire charpente; ils coulent ensuite le zinc fondu qui entoure de toutes parts cette tige interne et y adhère fortement.

Dans toute la Prusse, et surtout à Berlin, l'art du fondeur en zinc a pris une extension qui laisse bien loin en arrière toute la fabrication française en ce genre. On coule en zinc des statues de grandeur colossale, des vases, des ornements d'architecture de toute espèce, à tel point que pour décorer la plupart des édifices publics nouveaux, églises, théâtres, bibliothèques, palais, on ne se sert plus que d'ornements en zinc, revêtus d'un vernis particulier. Ainsi nous avons vu à Berlin, dans la fonderie de M. Geiss, qui est le principal fondeur en zinc de l'Allemagne, un fronton de dimension très considérable pour le théâtre de Hambourg, et plusieurs statues, corniches et entablements pour le grand opéra de Berlin, qu'on a terminé à la fin de 1844. Il est d'usage, dans l'Allemagne du nord, de couronner la plupart des édifices par des statues. Jusqu'à ces dernières années, on employait pour cet objet des statues de pierre qui, comme on le sait, résistent difficilement aux injures du temps; on paraît disposé maintenant à remplacer partout ces dernières par des statues de zinc qui offrent une résistance suffisante, sont à bien meilleur marché, et ne chargent pas les murs autant que des statues en bronze ou même en fonte.

Le zinc dont on se sert en Allemagne est celui de Silésie; on prétend qu'il est bien meilleur que celui de toute autre provenance. Il est vrai qu'il donne une masse bien continue, ne présentant point de pores comme fait celui de la Vieille-Montagne, par exemple. Nous croyons que le secret de cette juste préférence qu'on lui accorde réside bien plutôt dans la double fusion qu'il a subie, que dans une composition particulière, quoiqu'il soit vrai que le zinc de Silésie soit un alliage et non pas un métal pur (voir pour plus amples explications l'article ZINC). Les fondeurs allemands font tous leurs moules en sable fin mélangé de charbon en poudre tamisé. Ils ont soin de disposer leurs foyers de telle sorte que la température ne puisse pas trop s'y élever, et se tienne à peu près constamment au rouge obscur, à cause de la facile volatilité du zinc. Sa prompte fusibilité qui commence à la température de 360°, rend son emploi très commode pour le coulage; on le fond dans des creusets faits moitié d'argile cuite moitié d'argile crue, semblables à ceux qu'on emploie dans la métallurgie de ce métal. BARRAL.

FONDERIE EN CARACTÈRES. Depuis Fournier jeune, c'est-à-dire depuis près d'un siècle, les procédés de la fonderie en caractères n'ont pas été décrits, et pourtant, si les principes sont restés les mêmes, bien des idées ingénieuses sont venues trouver leur place dans cette industrie. Nous espérons donc qu'on nous saura gré d'en décrire les procédés un peu longuement, eu égard au cadre de cet ouvrage, et qu'on pourra trouver quelque intérêt à leur exposition, qu'on chercherait inutilement ailleurs.

La fonderie en caractères n'est pas d'ailleurs seulement une partie de ce grand art de la typographie, la découverte la plus merveilleuse des temps modernes, elle doit aussi être considérée comme une branche de l'art de la fonderie, le procédé le plus parfait et le plus économique de donner à un corps une forme voulue.

Toutes les fois qu'il s'agit industriellement de faire un corps semblable à un autre, c'est par les procédés de moulage, puis par ceux de fonte ou de coulage, qu'on parvient à l'obtenir économiquement. Dans ces procédés en général (et toujours dans le cas de corps résistants, comme les alliages métalliques, le seul dont nous voulions parler), le moule est fait en terre, en sable, etc., doit être reproduit pour chaque exemplaire qu'il s'agit d'obtenir, et la pièce métallique, fondue à une haute température, doit être réparée, ébarbée, soumise enfin à des façons mécaniques pour être amenée à l'état voulu

Quand il s'agit de multiplier un objet un très grand nombre de fois, les frais du moule, de réparation pour chaque exemplaire doivent être diminués autant que possible, et la perfection consisterait à pouvoir se servir toujours du même moule et à éviter toute réparation. C'est ce but qu'atteignent les procédés de fonderie en caractères, qui, à cet égard, doivent trouver de nombreuses applications toutes les fois que les pièces peuvent être faites en alliages d'une résistance médiocre. Déjà pour les garnitures dans les métiers à filer le coton, pour les moulins à dévider la soie, pour les assemblages des tuyaux de tôle, pour la fonte du zinc, etc., on a utilisé avec avantage les procédés de la fonderie en caractères. On a d'ailleurs cru à tort que la résistance des alliages qu'il était possible de mouler par ces procédés était nécessairement minime, et nous relaterons avec soin les résultats qui ont été obtenus en opérant avec des alliages d'assez grande résistance.

§ 1. CONDITIONS QUE DOIVENT REMPLIR LES CARACTÈRES D'IMPRIMERIE.

Du mode de composition et de tirage qui constitue l'IMPRIMERIE, on déduit facilement les conditions auxquelles doit satisfaire la fabrication des caractères. Chacun sait que ceux-ci sont de petits parallélipipèdes métalliques portant à l'une de leurs extrémités l'œil de la lettre, que l'on réunit pour former les mots, les pages, etc.

La première condition, dont il n'est pas besoin de parler, c'est que l'œil de la lettre représente avec pureté la forme voulue, et que son relief soit suffisant pour qu'elle laisse seule son empreinte sur le papier.

2° Il faut que tous les caractères avec lesquels on compose une page aient tous une dimension constante, celle dans le sens de la longueur de la lettre, ce qu'on appelle la force de corps. Si les lettres sont toujours à la même hauteur sur le corps, les parties inférieures des lettres placées l'une près l'autre seront toujours sur la même ligne, ce qui est indispensable pour la lecture, et de plus la surface des tiges étant plane à cause de leur égalité, une ligne viendra s'appliquer sur une autre sans laisser de vide.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3° Il faut que toutes les lettres soient également distantes entr'elles, et que la séparation ne soit plus grande, que pour distinguer les mots entr'eux. C'est par cette condition essentielle qu'est déterminée l'épaisseur des tiges qui portent les différentes lettres, comme nous le verrons plus loin. Il faut enfin que les quatre surfaces soient parfaitement d'équerre entr'elles, autrement la lettre qui est fondue de manière que ses traits soient perpendiculaires à la dimension constante, tourne avec la tige de la lettre, et elle se trouvera pencher. L'égalité parfaite sur toute la hauteur dans tous les sens est de plus nécessaire pour qu'on puisse, en serrant une page composée, n'en faire qu'un seul tout, aisément maniable.

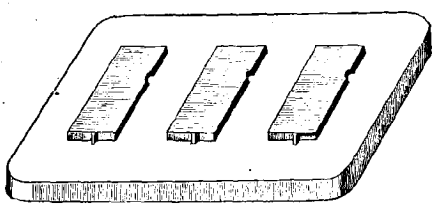
4° La hauteur de toutes les lettres doit être identiquement la même. Il n'est pas besoin d'insister sur cette condition, puisque s'il y avait des inégalités, quelques-unes des lettres perceraient le papier à l'impression, tandis que d'autres ne marqueraient pas.

En un mot, l'œil doit être pur et avoir un relief suffisant ; les tiges doivent être parfaitement droites, les faces d'équerre entre elles ; les épaisseurs en tous sens, depuis le haut jusqu'en bas, parfaitement les mêmes ; enfin la hauteur toujours identique.

Ces conditions, qu'il est nécessaire de remplir avec une rigoureuse exactitude, doivent faire sentir tout le travail qu'entraînerait le besoin d'une aussi grande précision s'il fallait dresser chaque lettre par un travail mécanique. Au lieu de cela, par une admirable application d'un moyen de reproduction, c'est sur un moule qu'on a reporté le travail mécanique, et celui-ci, une fois bien dressé, permet de fondre des milliers de lettres remplissant toutes les conditions voulues. Le travail du mécanicien se trouve reproduit à l'infini, comme l'est celui du graveur (voyez GRAVEUR EN TYPOGRAPHIE), et doit, comme celui-ci, être extrêmement soigné, à cause de la grande reproduction de ses défauts ou de sa perfection.

Le premier principe d'un fondeur doit être que la lettre doit sortir parfaite du moule, et ne regarder les opérations qui suivent la fonte que comme des accessoires nécessaires, mais non comme des correctifs de la fonte. Sans doute, dans un travail de fabrique, on est souvent forcé de réparer aussi bien que possible les défauts de la fonte, mais ce n'est jamais qu'aux dépens de la perfection de la fabrication.

Le principal outil qui sert pour la vérification des lettres est celui représenté (fig. 1008), qui consiste en un



1008.

marbre, petite surface parfaitement plate de verre dépoli sur laquelle on place trois lettres. Supposons qu'il s'agisse de vérifier la régularité de l'épaisseur ; on les place dans le même sens, puis au moyen d'une petite règle d'acier dite *jeton*, appliquée sur leur surface, on voit si la surface des trois lettres est bien parallèle à celle du marbre. Si le jeton ne porte que sur la même arête, il y a plus d'épaisseur de ce côté, le moule est de carne. Si l'épaisseur dans ce sens est bonne pour la vérifier encore dans le sens de la hauteur on pose le jeton vers une des extrémités après avoir retourné une des lettres. Le défaut se trouve doublé par cette action de *retournement*, et devient plus appréciable. On vérifie de la même manière la force de corps avec une grande exactitude, bien moindre toutefois que celle qu'on peut obtenir par la méthode de *répétition*. (Voir plus loin le *typomètre*, qui sert aussi d'étalon pour vérifier la hauteur.)

§ 2. MÉTAL PROPRE A LA FABRICATION DES CARACTÈRES.

Le métal qui doit servir à la fabrication des caractères d'imprimerie doit remplir les diverses conditions qui suivent :

1° Il doit être très propre au moulage, afin que l'on puisse reproduire par la fonte les traits les plus fins. Il faut pour cela que le métal n'ait pas une force de cristallisation trop grande, qui tende à lui faire prendre des formes cristallines, au lieu de se solidifier par le contact des surfaces plus froides qu'il vient toucher.

2° Il doit être d'une fusion facile pour qu'on puisse le tenir fondu dans le fourneau de fondeur, dans lequel il faut pour le travail que la surface du métal soit exposée à l'air, ce qui cause de grandes pertes de chaleur. Il faut aussi que l'oxydation soit assez lente pour que l'ouvrier n'ait pas besoin d'écumer son creuset à chaque instant, ce qui entraîne un déchet considérable et une grande perte de temps ; cette condition peut même rendre le travail impossible, comme nous le dirons plus bas, en parlant de l'essai qui a été tenté d'employer le zinc.

3° Le prix du métal qui forme la base des caractères doit être peu élevé pour ne pas trop élever la valeur du matériel des imprimeries.

4° Enfin il doit être assez dur pour que l'œil de la lettre, surtout dans les parties les plus fines, ne s'écrase pas à l'impression ; il ne doit pourtant pas être trop dur parce que les opérations qui suivent la fonte de la lettre deviendraient très lentes et par conséquent très coûteuses.

De ces conditions il résulte que c'est toujours le plomb qui a été la base des caractères d'imprimerie. Le zinc seul pourrait le disputer comme métal aisément fusible et peu coûteux, mais il est beaucoup moins liquide, il est pâteux jusqu'au rouge ; alors il devient très liquide, mais est, dans cet état, tellement oxydable, qu'il s'enflamme. A la température de nos fourneaux quelques centièmes de zinc suffisent pour rendre le travail impossible. L'ouvrier, au lieu de puiser avec sa cuillère une gouttelette ronde, n'obtient qu'une masse pâteuse adhérente aux bords de la cuillère par une pellicule blanche d'oxyde, qui empêche le métal de quitter instantanément la cuillère et de remplir aussitôt le moule, ce qui rend impossible l'emploi d'alliages contenant de faibles quantités de zinc.

Le plomb seul est bien trop mou pour être employé à fabriquer des caractères qui doivent supporter l'effort de la presse, il faut le durcir en l'alliant à un métal cassant. Autrefois chaque fondeur avait sa recette pour durcir le plomb. On fondait du potin (laiton fort impur) et quelquefois du fer, avec du sulfure d'antimoine (la mine d'antimoine débarrassée de la gangue par une première fusion). Dans cette opération, il se faisait un affinage du sulfure d'antimoine par le fer et le cuivre ; mais après la fonte, il fallait enlever une croûte énorme qui se formait à la surface, ce qui donnait quelquefois un déchet de 1/5e. De plus, tant à cause du sulfure qui s'était dissous dans la masse de plomb, que parce qu'on n'agissait pas par proportions fixes, on n'était jamais sûr du résultat ; le métal était toujours gras et peu fluide. Aussi a-t-on abandonné ce mode de préparation du moment qu'on se mit à pré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parer l'antimoine pur. C'est à Fournier jeune que l'industrie est redevable de la création de la première fabrique d'antimoine. Depuis cette époque, on s'est arrêté à un alliage de plomb et d'antimoine donnant toujours les mêmes résultats pour les mêmes proportions, et variant de 10 à 30 d'antimoine pour 100 de plomb, suivant le degré de dureté qu'on voulait donner au métal.

L'alliage d'antimoine et de plomb remplit toutes les conditions exigées. Il participe d'autant plus de la nature de l'antimoine qu'on fait entrer celui-ci en plus grande proportion, et devient aussi cassant que l'on veut. Il offre (tant que les proportions d'antimoine ne dépassent pas 15 p. 100 environ) la propriété essentielle de se gonfler par la solidification, condition la plus avantageuse pour le moulage. Il est bien liquide et l'alliage à 15 p. 100 est plus fusible que chacun les deux métaux qui le composent.

Il est un autre métal qui jouit au plus haut degré de la propriété de rendre cassants les métaux auxquels il est allié et qui est moins coûteux que l'antimoine : c'est l'arsenic. Il ne peut pourtant pas le remplacer ; car, outre l'inconvénient des vapeurs arsenicales, qui ne permet pas d'y songer, l'ouvrier aurait infiniment plus de peine à fondre les lettres à cause de la force de cristallisation de l'arsenic qui tend à faire rondir les fins. L'effet de l'arsenic est sous ce rapport tout différent de celui de l'antimoine, ainsi dans la fabrication des plombs de chasse faits avec des plombs arseniés, quand ceux-ci se trouvent alliés avec de l'antimoine ils ne peuvent plus former aussi aisément un noyau cristallin et font la queue.

Nous avons vu qu'au moyen de l'antimoine on pouvait donner à l'alliage le degré d'aigreur qu'on désirait, mais en donnant ainsi beaucoup de dureté on forme une matière vitreuse qui a peu de résistance, aussi les traits délicats sont-ils promptement abattus par l'effort de la presse, ou le lavage de la forme. On a donc cherché à augmenter cette résistance et on y est arrivé assez heureusement en ajoutant à l'alliage 6 à 8 p. 100 d'étain. Une plus forte proportion d'étain est presque inutile, parce que celui-ci étant plus léger est presque de suite oxydé, et qu'il n'y a vraiment d'utile que la partie retenue dans la masse par l'affinité de l'alliage, partie qui ne dépasse pas la proportion que nous venons d'indiquer. L'étain augmente la résistance absolue de l'alliage et donne un produit très satisfaisant. Mais l'effet est assez limité par la raison que nous avons donnée plus haut, et par la tendance de l'alliage d'étain et d'antimoine à cristalliser et à donner une matière encore trop cassante.

Il était pourtant avantageux de faire des caractères plus résistants. M. Didot, pour son système de Stéréotypie, avait fondu en matière dure, c'est-à-dire en introduisant du cuivre dans l'alliage 1 p. 100 de cuivre, et 9 p. 100 d'étain sur 100 d'alliage ; l'emploi de ces caractères, avantageux pour les imprimeurs, a pourtant été abandonné à cause de leur prix élevé, résultant des difficultés de leur fabrication.

Cependant l'emploi des mécaniques et les grands tirages des journaux rendaient désirable une amélioration notable dans la résistance de la matière. Nous nous sommes efforcés de la réaliser, et, pour cela, reprenant la voie tracée par M. Didot, nous sommes arrivés, dès 1837, à des résultats forts satisfaisants en faisant entrer environ 1 p. 100 de cuivre et 6 p. 100 d'étain dans 100 parties de métal à caractères.

Mais pourquoi s'est-on borné à l'emploi de proportions peu considérables de l'alliage d'étain et de cuivre? On peut en indiquer plusieurs raisons :

1° L'augmentation considérable de prix des caractères, qui résulterait de l'emploi de métaux beaucoup plus chers que le plomb (en ne tenant pas compte de la moindre densité, qui fait qu'il existe un plus grand nombre de lettres dans un kilogramme);

2° La moindre fusibilité de l'alliage qui rend le travail beaucoup plus difficile : c'était là la principale cause du prix élevé de la matière dure chez MM. Firmin Didot. Il était très difficile, dans les fourneaux chauffés au bois, de maintenir le métal dans un état de liquidité convenable ; tellement que son introduction dans la fabrication courante n'est devenue possible que du jour ou un autre perfectionnement, le chauffage des fourneaux de fonderie au moyen du coke ou de la houille, est venu en élever la température moyenne. Mais alors la rapidité de l'oxydation croit rapidement pour les métaux plus légers que le plomb, et la composition moyenne des lettres d'une fonte se trouve bien différente de celle du lingot. Aussi doit-on peu se fier aux échantillons que montrent souvent des inventeurs, qui exhibent quelques lettres auxquelles doit ressembler la fonte future, ce qui ne saurait être. Ces échantillons ont d'ailleurs toujours l'inconvénient que nous indiquons ci-après ;

3° L'alliage d'étain et de cuivre cristallise avec une grande facilité. Il suit de là qu'il ne peut être ajouté à l'alliage d'antimoine et de plomb en proportion un peu considérable, sans accroître aussi sa fragilité. Des caractères composés seulement de cuivre, étain et antimoine, ne sont qu'un produit très défectueux. La dureté en est fort grande, mais il suffit de tâter les traits avec l'ongle pour les casser ; et de semblables caractères, dont le prix serait fort élevé, auraient dès le second jour de leur emploi l'aspect de caractères usés.

Un autre alliage a été depuis quelque temps essayé avec succès ; il n'a pas l'inconvénient que nous venons de signaler, il est peu cristallisable. C'est un alliage d'étain avec une petite quantité de fer.

Les caractères fabriqués, en remplaçant dans l'alliage total qui constitue le métal à caractères une forte proportion de plomb par l'alliage d'étain et de fer, offrent réellement une très grande résistance et sont tout à fait convenables pour les grands tirages. Leur prix est sans doute plus élevé que celui des caractères ordinaires, mais à l'emploi ils se trouvent en réalité moins coûteux, comme il arrive pour tous les outils dont on peut prolonger la durée, même avec un prix d'achat plus élevé.

Disons toutefois que ces caracteres, très propres aux journaux, conviennent moins pour les labeurs et les impressions soignées. La température plus élevée de la fonte et la plus grande difficulté de faire aucune réparation, comme nous allons le dire pour un autre essai, rendent très difficile d'obtenir des fontes très parfaites en même temps que très résistantes.

Essai de M. Colson. Nous venons d'exposer les principaux résultats des essais tentés pour améliorer le métal servant habituellement ; la dureté des caractères en est modifiée d'une manière avantageuse, mais dans des limites assez bornées pour que les façons secondaires qui succèdent à la fonte n'en soient pas sensiblement modifiées, et que, par suite, le prix des caractères n'en soit pas beaucoup augmenté.

Il est clair, en effet, que si cette plus grande dureté entraînait de nouvelles façons fort coûteuses, l'avantage que l'on recherche pourrait se trouver annulé, et que l'emploi de caractères fort résistants, mais fort chers, pourrait devenir bien moins avantageux que celui de caractères beaucoup moins résistants, mais beaucoup moins coûteux.

Tel est l'écueil auquel est venu échouer M. Colson, de Clermont-Ferrand, dans une tentative fort intéressante, pour le succès de laquelle il a vainement prodigué de grandes sommes d'argent et toutes les ressources que pouvait suggérer un esprit inventif, exercé à toutes les difficultés de la profession.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On connaît depuis longtemps, dans l'industrie, un alliage fort remarquable, et sur lequel M. Kœchlin de Mulhouse a attiré l'attention : c'est l'alliage de zinc et d'étain. Cet alliage, notamment celui composé de parties égales des deux métaux, jouit de la propriété d'être extrêmement liquide à une température de 460 degrés environ, et en outre d'être d'une dureté telle que les lettres fondues avec cet alliage, et dont l'apparition fit sensation à l'exposition de 1839, pouvaient être enfoncées à coups de marteau dans le cuivre rouge, sans être écrasées. Le jury ne voulut pas néanmoins couronner cette invention nouvelle avant que l'expérience n'eût prononcé, et il fit sagement, car s'il était facile de fabriquer ainsi quelques échantillons, on ne put arriver à organiser une fabrication courante. L'établissement fondé dans ce but a cessé ses essais et a tout au plus tenté d'utiliser les frais d'annonces qu'il avait faits, pour vendre quelques fontes en matière dure, semblable à celles qu'emploient plusieurs fonderies de Paris.

Nous nous contenterons de résumer les principaux obstacles que cette fabrication a rencontrés, et qui l'ont fait échouer.

1° Une oxydation considérable à la surface, qui transformait le métal fondu en une masse spongieuse d'où résultait une grande difficulté de fondre pour l'ouvrier forcé de puiser en même temps l'alliage et l'oxyde formé. En outre, cette oxydation causait un déchet énorme, vu la difficulté de revivifier le métal sans pertes considérables des deux métaux, à cause de la volatilité du zinc.

2° L'action du zinc sur le moule en fer, qui se trouvait rongé, ce qui, par suite, devait donner lieu à des réparations considérables, aux secondes façons que la lettre devait subir.

3° La piqûre et la destruction rapide des matrices par l'action du zinc ; inconvénient énorme.

4° L'impossibilité de l'apprêt au couteau, à cause de la dureté des lettres. Or, nous venons de voir que la fonte était bien plus défectueuse que dans le cas ordinaire, et pourtant dans ce cas, sans l'apprêt, les fontes seraient fort imparfaites. Là surtout a été l'écueil, et il n'était pas possible de songer à faire cette opération lettre à lettre; outre le prix d'une semblable façon, il serait impossible de rien obtenir ainsi de régulier.

Nous pensons qu'il est inutile d'insister davantage sur cet essai, et que l'on reconnaîtra facilement que l'on avait dépassé le but qu'on doit se proposer dans l'amélioration du métal à caractères, la première condition devant être de pouvoir fabriquer toujours par les procédés habituels de la fonderie, qui permettent de créer avec tant d'économie des produits d'une précision mathématique.

Tous les inconvénients que nous venons d'énumérer se retrouveraient si on tentait d'employer l'alliage de zinc et de fer qui a été proposé par M. Sorel, l'ingénieux inventeur de la galvanisation du fer. Disons seulement que si le moyen d'introduire le zinc dans le métal à caractères était trouvé, il se rencontrerait un nouvel obstacle à son usage dans l'imprimerie, dans l'action qu'exerce sur ce métal la potasse qui sert au lessivage des formes, pour enlever l'encre après le tirage.

Concluons donc que tous ces essais fort curieux n'ont pas d'importance véritable pour la fonte des caractères d'imprimerie. Mais il n'en est pas de même quand les caractères doivent servir isolés ou entrer dans des compositions de peu d'étendue, et que, par suite, il n'est plus nécessaire d'obtenir le même degré de précision dans les dimensions de la lettre. On peut alors obtenir des caractères extrêmement durs. Les mêmes essais ont une importance réelle quand il s'agit d'appliquer les procédés de la fonderie en caractères à des objets ayant d'autres emplois que les caractères.

Caractères pour relieurs et doreurs. La plus ingénieuse application qui ait été faite en ce genre est celle qui a été réalisée pour la première fois par M. Petibon. Autrefois toutes les lettres servant à la dorure, et qui doivent être chauffées pour cet usage (néanmoins les Allemands emploient les caractères d'imprimerie qu'ils chauffent seulement à l'eau bouillante), étaient gravées sur cuivre. Un graveur, M. Duhautdezert, réalisa de grands bénéfices en exécutant en partie ce travail par des moyens mécaniques, consistant surtout dans l'emploi du banc à tirer et du balancier sur lequel se montaient des poinçons d'acier, correspondant aux intérieurs et aux extérieurs des lettres.

Aujourd'hui on fond toutes ces lettres en cuivre jaune, avec le moule ordinaire de fonderie, auquel on n'a fait subir d'autre modification que d'allonger les jets et de supprimer l'étranglement qu'il forme pour déterminer le pied de la lettre, ce qui facilite beaucoup la fonte.

Nous ne nous étendrons pas sur cette fabrication ; nous dirons seulement que ces lettres sont réparées sur toutes leurs faces à la lime, et sur l'œil avec le burin. Ce fut un progrès important pour la reliure, que celui qui permit d'établir ces caractères au prix d'environ 25 francs les 100 lettres ; mais on conçoit qu'outre que ces lettres ne sont pas assez régulières pour l'imprimerie, on se garderait bien de les employer à cause de leur prix trop élevé, car dans la fonderie les 100 lettres ne coûtent pas en moyenne plus de 40 centimes. Ce progrès a bien prouvé l'inutilité des recherches de quelques inventeurs qui ont tenté de fabriquer les caractères par procédés mécaniques, remplacés dans ce cas par les procédés de la fonderie, bien moins coûteux et donnant des produits plus parfaits.

§ 3. DU FOURNEAU.

Le fourneau des fondeurs en caractères consiste dans un bâti circulaire, élevé en briques ou moulé en argile d'une seule pièce, qui supporte une cuillère en fonte contenant le métal et divisée en six compartiments, ce qui permet à chaque ouvrier d'employer l'alliage le plus convenable à son genre de travail. La largeur est d'environ 50 à 60 centimètres. Six ouvriers sont rangés autour de ce fourneau circulaire ; c'est la meilleure disposition qu'ait fournie l'expérience. On emploie depuis quelque temps avec succès des cuillères plus larges à 7 cases, laissant dans le centre le passage du tuyau du fourneau, disposition convenable pour le bon emploi du combustible. Le feu devant être entretenu avec une grande régularité, est alimenté au moyen de bois pelard bien sec ; on évite ainsi le refroidissement causé par le dégagement de la vapeur d'eau que fournit l'humidité de l'écorce des bois, outre que celle-ci empêche toujours le bois de sécher.

Nous ne parlerons pas de la disposition de la cheminée, de sa hauteur, etc., vu que les dispositions employées généralement sont les mêmes que celles employées dans tous les cas semblables.

Nous recommandons seulement une disposition très commode et très avantageuse, employée pour la première fois, nous pensons, dans cette industrie, par M. Lion : c'est de chauffer à flamme renversée. Au lieu de faire sortir les produits de la combustion par un tuyau placé sur un côté du fourneau, il est bien préférable de retourner la flamme, c'est-à-dire de placer dans le massif du fourneau deux tuyaux en fonte, l'un vis à vis l'autre. Par leur extrémité inférieure, ils plongent dans 2 conduits en briques pratiqués sous le fourneau, qui se réunissent au centre de celui-ci ; de là part sous terre un conduit qui va rejoindre la cheminée, pratiquée dans l'intérieur du mur. Des briques placées de champ dans le foyer, près des tuyaux, et ne laissant que 6 à 7 millim. d'intervalle entr'elles et la cuillère, forcent la flamme à venir lécher celle ci, il se fait un tourbillonnement à l'entrée qui fait abandonner

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à la flamme une plus grande partie de sa chaleur que quand elle est entraînée rapidement dans un tuyau un peu large.

Le chauffage au bois des fourneaux de fonderie a été conservé jusque dans ces derniers temps, et existe encore dans quelques ateliers à cause de la régularité assez grande du feu que l'on obtient avec du bois sec. Mais le haut prix de ce combustible y a fait généralement renoncer, et l'exemple de l'Angleterre qui a toujours chauffé à la houille (chaque ouvrier a un fourneau séparé dont la cheminée aboutit à une cheminée centrale) prouvait que les obstacles à surmonter n'étaient pas excessifs. On ne peut disconvenir néanmoins que le feu ne soit plus difficile à conduire pour obtenir une grande régularité, et que des coups de feu plus fréquents n'occasionnent un plus grand déchet, une oxydation plus considérable. Aussi est-il avantageux dans les fourneaux ayant un fort tirage, de remplacer la houille par le coke; dans ceux dont le tirage est plus faible, par un mélange de houille et de coke. Ce dernier s'enflammant plus lentement occasionne des coups de feu moins vifs et prolonge la durée des chauffes, ce qui le rend plus économique.

Tous ces chauffages sont défectueux auprès du seul système qui devrait être appliqué dans ce cas et qui le sera certainement quand il sera devenu plus pratique. Le problème à résoudre consistant à maintenir à une température fort élevée une masse métallique ; à transmettre en chaque instant une quantité de chaleur constante, égale à celle perdue par le refroidissement, il n'y a qu'un système donnant toujours la même quantité de chaleur qui puisse satisfaire à cette condition : c'est l'emploi des gaz combustibles (voyez COMBUSTIBLES), le seul système indépendant des variations inhérentes à tout procédé dans lequel on introduit irrégulièrement des masses variables de combustible.

§ 4. DU MOULE.

Des conditions que les caractères d'imprimerie doivent remplir, on doit déduire facilement la forme nécessaire du moule qui sert à les fondre. Les fig. 1009 et 1010 qui représentent les deux pièces séparées et la fig. 1011 le moule fermé font comprendre comment on y est parvenu.

La fig. 1012 représente le moule anglais, très peu différent de celui employé en France.

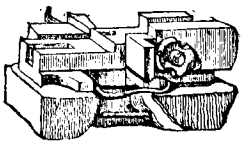
Donnons, d'après Fournier, la description des pièces du moule, en indiquant le rôle que joue chacune d'elles pour faire remplir à la lettre les conditions voulues.

Le moule est composé de 2 parties semblables qu'on désigne sous le nom de pièce du dessous et pièce du dessus; il n'y a qu'une seule différence que nous indiquerons plus loin. Dans chaque pièce on distingue :

1° *La platine*, pièce sur laquelle s'assemblent toutes les autres, qui s'étend sous toute la surface du moule ;

2° *La longue pièce*, qui s'étend dans toute la longueur de la platine. Les deux faces longitudinales en sont dressées bien parallèles, la largeur étant égale à la hauteur de la lettre, moins la hauteur de l'œil, à l'extrémité est une entaille bien parallèle à ces faces, appelée *fourchette*, qui reçoit une partie saillante fixée à l'autre pièce du moule, et qui sert à conduire les 2 pièces du moule l'une par l'autre, pour qu'elles glissent l'une sur l'autre en ligne droite.

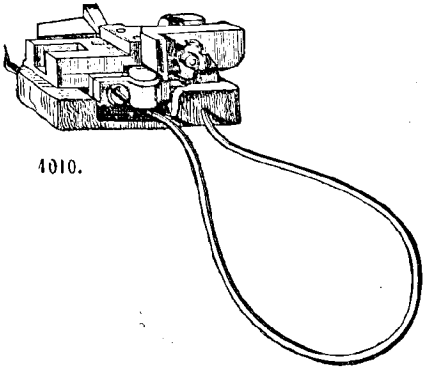
3° *Le blanc* est une pièce plate, de même largeur que la longue pièce sur laquelle elle est fixée, et qu'elle recouvre sur la moitié de sa surface, du côté opposé à la fourchette; elle est fixée par 2 vis et par la potence, pièce dont nous parlons plus loin. Cette pièce est terminée par une face d'équerre avec la surface sur laquelle elle s'applique, et avec les deux faces du blanc qui sont parfaitement parallèles. Cette face a donc l'épaisseur du blanc qui est précisément celle du corps



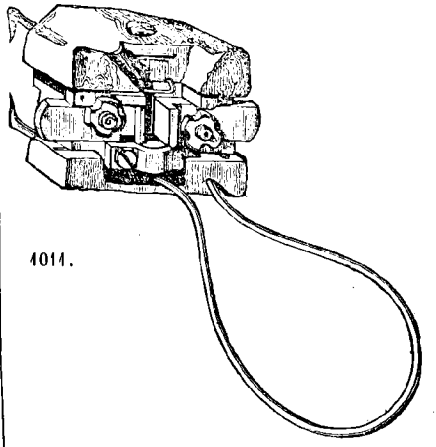
1009.

pour la fonte duquel le moule doit servir, c'est-à-dire, a, par exemple, neuf points typographiques, si on veut avoir un moule de petit-romain.

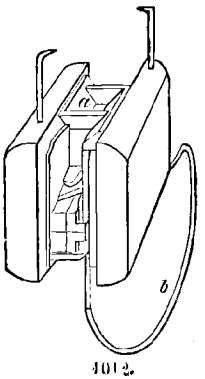
4° *La potence*, ainsi appelée à cause de sa



1010.



1011.



1012.

forme, est fixée vers l'extrémité du moule et traverse perpendiculairement par un trou carré, le blanc, la longue pièce et la platine, et les assemble par le serrage de l'écrou qui marche sur l'extrémité de cette pièce qui est filetée. La partie qui repose sur le blanc est destinée à remplir le vide de la fourchette et à fournir un guide à celle-ci.

La description de ces parties principales doit faire comprendre le mécanisme principal du moule dont les autres parties ne sont que des accessoires. Chaque pièce de moule for

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mant une équerre, étant appliquées l'une sur l'autre, laisseront un vide d'une dimension constante et invariable dans le sens où les pièces posent l'une sur l'autre, et une dimension variable mais égale d'une extrémité à l'autre du blanc dans l'autre sens.

Donc, en fixant des matrices à une extrémité et en faisant remplir le vide par le métal, on aura des lettres pour lesquelles la force de corps sera toujours identique, et l'épaisseur constante dans toute la hauteur de la lettre. Le moule aura de plus l'avantage de pouvoir faire toutes les lettres d'une même fonte en variant les paisseurs.

Nous allons donner la nomenclature des différentes ièces restantes, dont l'emploi est évident ou bien sera expliqué dans les paragraphes suivants où nous parlerons de l'emploi du moule.

Le jet, qui sert à introduire le métal, forme, lorsque le moule est fermé, un entonnoir carré, se réduisant vers la longue pièce, au tiers du corps de la lettre, et suffisamment large du haut pour l'introduction du métal. Il s'applique par une face sur la longue pièce et le blanc, et est retenu sur la platine par une vis et un écrou.

Les hausses sont de petites pièces de fer que l'on interpose entre le jet et les longues pièces pour donner exactement la hauteur en papier, elles adhèrent par la pression du jet et par de petites saillies qu'on fait naître dans la hausse en frappant avec un poinçon, et qui entrent dans des trous percés dans la longue pièce. En mettant, entre la hausse et la longue pièce, des petits clinquants laminés, on obtient, avec facilité, exactement la hauteur voulue. On met aussi ces clinquants sous les blancs pour rendre la force de corps à un moule qui l'a perdue, tant par les frottements répétés de la fonte, que surtout par le redressage à la lime nécessaire pour rendre plates les pièces qui se sont arrondies dans des endroits où les frottements ont été plus considérables.

Les registres sont deux pièces qui tiennent la matrice à la place convenable et règlent l'écart du moule. Ils sont retenus chacun par une vis et un écrou, la vis tient à la longue pièce par un assemblage à queue d'aronde. Le registre n'est fixé que par la pression de l'écrou, il peut s'avancer ou se reculer par de petits coups de marteau.

Pour que le moule soit maniable, on fixe sur chaque pièce au moyen d'une vis fixée au milieu de la platine et d'un écrou, un bois qui permet de travailler pendant que le moule est chaud.

La pièce de dessous a trois pièces particulières :

La saignée, qui est une petite éminence longue et convexe du dessus, plate du dessous, qui est fixée sur la longue pièce dans laquelle elle est retenue par une partie pliée d'équerre qui entre dans un trou qui y est percé. L'autre extrémité entre sous le blanc qui est évidé à cet effet, de même que le blanc de la pièce du dessus est évidé pour que la saignée puisse s'y loger. Celle-ci fait naître sur la lettre un cran qui sert à reconnaître le sens de la lettre.

Le heurtoir, qui sert de point d'appui à la matrice, est une grosse vis qui tourne dans un écrou qui fait partie de la platine. Cet écrou est refendu par un trait de scie d'un côté, ce qui fait un petit vide qui permet, au moyen d'une vis placée à son extrémité, de serrer plus ou moins le coussinet, de sorte que le heurtoir devient assez dur pour ne pas pouvoir varier par la pression de la matrice. Il sert à mettre la ligne.

Enfin au bas de la pièce du dessous est adapté l'*archet*, arc oblong en fort fil de fer, qui vient poser sur un talon pratiqué à la matrice. Cet archet a une double courbure pour faire double ressort, une courbure du haut en bas, pour appliquer la matrice sur le heurtoir, et une courbure horizontale pour appliquer la matrice contre les longues pièces, afin d'éviter le passage de la matière, et des variations dans la hauteur.

La pièce du dessus a deux petites pièces particulières; le *jobet* est un petit fil de fer plié en équerre d'un bout et tourné en rond de l'autre pour entourer la vis de bois. Il est retenu entre le bois et la longue pièce et sert à retenir la matrice quand on ouvre le moule. Le *gimblet* est un fil de fer fixé dans l'entaille du bois. On fait passer entre ce gimblet et le bois un morceau de peau nommé attache, lié d'un bout à la matrice par un fil, et collé de l'autre avec de la salive sur le bois. Ce gimblet empêche l'écart de l'attache quand on ouvre le moule, et celle-ci est utile en ce que, retenant alors la matrice, elle n'empêche pas de déchausser la lettre qui est dans le moule, c'est-à-dire par un coup de pouce donné à l'extrémité de la matrice, d'en faire sortir l'œil de la lettre, pendant que celle-ci est encore retenue dans le moule.

A chaque bois est fixé un crochet en fil de fer qui sert à faire tomber la lettre du moule.

Si l'on se rend bien compte de la construction du moule, on doit voir qu'il peut servir à une fabrication parfaite. En effet la force de corps établie par l'aplomb des deux pièces du moule l'une sur l'autre ne peut varier que par l'usure des surfaces, effet extrêmement lent et négligeable quand le moule est réparé en temps utile. L'épaisseur de la lettre est égale, une fois le moule dressé, et augmente ou diminue bien également pour les lettres d'épaisseurs diverses.

Enfin, la hauteur une fois mise, ne peut nullement se déranger par les opérations de la fonte, de telle sorte que les lettres fondues sur le même moule sont exactement de même hauteur.

Nous ne terminerons pas ce que nous avons à dire du moule sans faire remarquer que puisqu'il est formé de deux pièces symétriques, il en résulte que la lettre étant fondue, il suffit d'ouvrir le moule pour que la lettre tombe, en détruisant seulement son adhérence, il n'est besoin d'aucun effort pour cela, puisqu'elle n'est retenue par rien. La lettre reste donc parfaitement droite comme elle a été fondue; elle n'est soumise à aucun effort qui pourrait la courber.

§ 5. EMPLOI DU MOULE.

L'ouvrier fondeur se place debout devant le fourneau où la matière est tenue en fusion, la jambe droite en avant. La cuillère qui renferme le métal convenable pour ce qu'il fond, est placée à peu près à la hauteur de la main, l'avant-bras étant horizontal; elle a un rebord plat sur lequel pose la petite cuillère formée d'une petite barre de fer dans l'extrémité de laquelle est formée une cavité oblongue dans le sens perpendiculaire à sa plus grande longueur (fig. 1013). Il tient celle-ci par un manche en bois entre le pouce et le premier doigt, et pour puiser la fait entrer obliquement dans le métal fondu, de manière à repousser les crasses avec le dos, et la relevant en lui donnant un petit mouvement de rotation, il enlève une goutte de matière, qui ne s'attache pas à la cuillère qu'il a soin de passer dans de la poussière de plâtre de temps en temps. La grandeur de la cuillère, et aussi l'inclinaison qu'il lui donne en puisant, sont proportionnées à la lettre à fondre.



1013.

A la gauche de l'ouvrier est placé un banc de forme triangulaire à trois pieds sur lequel il fait tomber les lettres formées dans le moule.

De la main gauche, il tient le moule, le pouce dessus, les autres doigts dessous, en ayant soin que ce soit l'extrémité du pouce qui pose vers le milieu du moule. Celui-ci est alors tenu fermé au-dessus des blancs, tandis que si on le tenait par le bord, on courrait risque de le faire ouvrir quand les pièces seraient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelque peu arrondies, et on fondrait des lettres trop fortes.

Tenant ainsi le moule de la main gauche, le jet en l'air, il prend avec la droite la cuillère qu'il remplit de métal, vient l'appliquer contre l'orifice du jet, puis il retire un peu la main gauche pendant qu'il fait tomber la matière en tournant la cuillère, enfin relevant brusquement le moule, la matière vient choquer la matrice et entre dans les parties les plus fines. Sans ce mouvement précipité, le métal tendrait à se former en goutte, prendrait mal l'empreinte et souvent n'arriverait pas jusqu'à la matrice, il se figerait en touchant le fer peu échauffé. On diminue le refroidissement dans le jet, en mettant sur celui ci une couche d'eau dans laquelle on tient de l'ocre en suspension et qui, en se séchant, laisse de l'ocre sur la pièce; mais on ne doit jamais en mettre sur les blancs du moule.

La lettre étant immédiatement solidifiée, on ôte l'archet qui presse sur le talon de la matrice, on appuie le pouce de la main droite sur l'extrémité supérieure de celle-ci, ce qui la fait basculer et déchausse la lettre, c'est-à-dire fait sortir l'œil de la lettre du creux de la matrice; on ouvre alors le moule comme si une charnière unissait les deux pièces, puis au moyen du crochet fixé au bois du moule on fait tomber la lettre sur le banc en la poussant par le jet.

On referme alors le moule en engageant d'abord les fourchettes de la pièce du dessus sur la potence de la pièce du dessous, on place l'archet sur le talon de la matrice en appuyant un peu dessus, et on recommence la fonte d'une autre lettre.

Il n'est pas besoin de dire que malgré le nombre d'opérations nécessaires pour fondre une lettre, l'ouvrier peut mettre une grande rapidité à exécuter ces diverses opérations qui se présentent toujours dans le même ordre. C'est en allant, pour ainsi dire, en mesure qu'il va le plus vite, en même temps que par un balancement de corps il se trouve amené à prendre et à replacer la cuillère. Un bon ouvrier peut arriver à faire de 4 à 6 mille lettres par jour.

Le fondeur doit veiller à ce que les lettres fondues satisfassent à toutes les conditions typographiques, la pureté de l'œil, la ligne, l'approche.

Pureté de l'œil. Cette condition est évidemment la première de toutes, aussi le fondeur doit-il toujours avoir soin de visiter les lettres fondues, afin de rejeter toutes celles qui ne sont pas bien venues. Quant au moyen d'obtenir cette pureté d'œil, il consiste dans la secousse donnée au moule, ce qu'en terme de fonderie on appelle *pousser*.

Cette secousse qu'on donne au moule, cette action de pousser est bien plus puissante qu'on ne pourrait le croire; car la matière, prenant d'abord une certaine vitesse de haut en bas quand on retire le bras, conserve un instant cette vitesse quand on relève brusquement le moule, et la matrice vient choquer la matière avec une vitesse relative assez grande, elle se trouve donc chassée fortement. C'est comme si la matière se trouvait lancée avec la somme des deux vitesses du moule, vitesse que l'on peut augmenter presque à volonté, le poids du moule étant peu considérable.

Il est à remarquer que la matière, en arrivant sur un point de la matrice, doit mieux prendre l'empreinte de cette partie que de toute autre, car l'air s'échappe de suite par les autres parties du creux, c'est donc sur la partie de la matrice qu'il est le plus difficile de faire venir, qu'il faut faire, en général, arriver la matière. On y parvient en la versant par le côté le plus convenable du jet. Ainsi si on place la cuillère sur le jet de la pièce du dessous, en la tenant dans le sens de la largeur du moule, ou si, retournant le moule, on la pose de même sur le jet du dessus, dans un cas, la matière viendra d'abord sur la tête de la lettre, dans l'autre sur le pied.

C'est là, nous le croyons, la seule règle que l'on peut poser; jeter en moule de manière que la matière arrive d'abord sur la partie la plus difficile à venir de la lettre; ainsi la lettre *f*, dont le bouton qui passe en dehors du blanc est la partie la plus difficile à venir, devra être jetée en dessous.

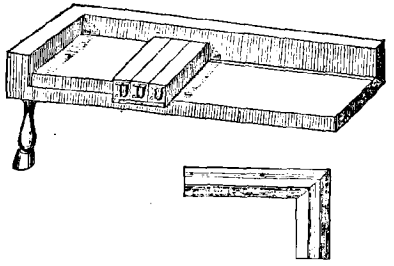
Comme on ne connaît pas généralement la partie la plus difficile à venir, c'est en fondant aux différents jets qu'on parvient à voir celui qui réussit le mieux. On dit dans les ateliers, pour exprimer ces différentes manières : jeter droit ou au pied du crochet, par le coin du dessus, par le coin du dessous, en dessous, entre les deux crochets, et enfin en dessus, en retournant le moule; méthode qui fait perdre beaucoup de temps, puisqu'il faut à chaque lettre retourner deux fois le moule, car il faut que le moule soit à sa position naturelle pour ôter l'archet et ouvrir le moule.

Enfin, quand malgré tous ces essais on ne réussit pas, alors avec un canif on augmente les talus inférieurs de la matrice vers le haut, en prenant bien garde de ne pas en rayer le fond avec la pointe, et on donne ainsi plus d'entrée à la matière, car c'est ordinairement dans les lettres gravées avec des talus très faibles que la matière a le plus de peine à entrer, surtout si on a gravé les déliés et les empâtements trop fins. Un fait d'expérience assez remarquable, c'est que si on laisse trop peu de profondeur aux matrices, à un certain point il devient presque impossible de les fondre.

Un malheureux procédé a été introduit, dans ces dernières années, dans les ateliers, c'est celui du *cuissage*, qui consiste à faire seulement descendre le moule jusqu'à ce que l'archet rencontre le corps. Cet arrêt brusque fait très bien venir l'œil en même temps que l'ouvrier fatigue moins, mais cette secousse de l'archet tend toujours à déranger quelque peu le moule, et les caractères ainsi fondus sont toujours moins réguliers qu'en employant l'ancienne méthode.

De la ligne. L'alignement régulier des lettres est la condition la plus importante d'une belle impression. Pour l'obtenir, on commence par déterminer la ligne de la lettre m, celle qui est la plus commode à cause de la grande largeur de sa partie inférieure. Si rien ne détermine déjà la ligne, on met l'm dans le milieu du corps, c'est-à-dire de manière qu'en retournant une m entre deux autres les traits du pied de celle qu'on retourne forment une ligne droite avec les traits horizontaux supérieurs des deux autres. Pour voir si on a cet effet, on place les m sur une *justification* (instrument que chaque fondeur doit posséder) que représente la fig. 1014 et retournant celle du milieu (mum),

1014.



1015.

on vérifie avec un jeton si les traits forment bien une ligne droite. Les longues du haut et les longues du bas auront alors une place égale pour se loger.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La ligne de l'm étant déterminée, pour fondre une autre lettre on place la matrice sur le moule, puis fondant une lettre on la met dans la justification, entre les mm, et on juge dans quel sens on doit agir.

On fait varier la ligne en tournant, au moyen d'un tourne-vis à trois faces, la vis à tête creuse sur laquelle pose la matrice, que l'on fera ainsi monter ou descendre.

Pour toutes les lettres qui ont des traits horizontaux à la partie inférieure, comme n, u, b, i, l, etc., rien de plus aisé que de juger si elles sont bien en ligne avec les m, si les traits inférieurs sont bien sur la même ligne que ceux des m. Les lettres qui ont des traits carrés à la partie supérieure, comme p, q, t, etc., s'alignent avec les traits de la partie supérieure des m; et si le graveur les a calibrées convenablement, elles doivent se trouver aussi en ligne par la partie inférieure.

On remarquera que le v et l'y, lettres qui s'alignent ainsi sur le haut, dépassent la ligne du bas d'une quantité notable, parce que finissant en pointe elles paraîtraient *monter* si elles n'arrivaient que juste sur la ligne.

Enfin les rondes o, c, e, etc., sont gravées un peu plus grandes que le premier jambage de l'm, afin qu'on puisse les faire dépasser également des deux côtés (ce qu'on juge facilement en en retournant une entre deux autres), parce que leurs extrémités s'écartant des autres lettres laissent sur la ligne un blanc qui tromperait l'œil et ferait paraître les rondes trop petites si elles étaient de calibre avec le premier jambage de l'm. Il faut donc que la rondeur dépasse un peu l'm, également par le haut et par le bas.

C'est toujours en employant les mêmes moyens qu'on parvient à établir la ligne des capitales, de l'italique, des caractères étrangers. Cela se réduit toujours à partir de la lettre la plus carrée du bas et la plus large, à mettre les autres lettres carrées du bas exactement de ligne, à faire dépasser quelque peu les rondes, opérations qui se font toujours à l'aide de la justification et du jeton.

De l'approche des caractères romains et italiques. L'approche est la distance qui sépare deux lettres consécutives. La condition la plus essentielle est que toutes les lettres d'un même caractère soient toutes séparées entr'elles par la même quantité de blanc; cette régularité est la condition essentielle de la typographie.

Pour les lettres à traits carrés, m, n, h, u, etc., on parvient rigoureusement, par les procédés que nous allons décrire, à les mettre dans la même approche, c'est-à dire à faire que la face latérale de chacune de ces lettres dépasse le jambage vertical de la moitié du blanc.

Pour les rondes comme l'o, ou le côté rond des lettres comme e, d, p, q, etc., on fait que l'écart de l'o avec l'm, au quart de sa hauteur, soit le même que celui de deux m; par l'effet de la rondeur, le milieu de l'o sera plus rapproché et les extrémités plus éloignées sensiblement de la même quantité, l'effet moyen sera donc celui de l'écart voulu.

L'approche de l'o étant fixée, celle de toutes les autres rondeurs s'en déduisent. Les lettres finissant par des pointes, v, y, et qui, par leur forme, portent beaucoup de blanc, se mettent au vif des traits du haut, c'est-à-dire que le talus du poinçon déborde sur la tige de la lettre, de manière qu'en les frottant sur une lime, le talus disparaisse entièrement.

Pour les parties des lettres ayant des demi-rondeurs, comme a, g, e, l'écart doit être intermédiaire entre celui des rondeurs et celui des jambages droits.

Quel est cet écart qui doit séparer les différentes lettres? Fournier dit qu'il doit être un peu moindre que l'écart des jambages de l'm, sans quoi les mots ne paraîtraient pas assez liés. Il est aisé de s'assurer, en consultant les plus belles éditions, que cette règle n'est pas absolue. Si même on devait poser une règle absolue, ce principe devrait être modifié.

La lettre m étant une lettre plus serrée que les lettres à deux jambages n, h, etc., dont le contre-poinçon est de la largeur du plus grand nombre de lettres, la régularité la plus parfaite sera obtenue du caractère fondu avec un écart égal à ce contre-poinçon. De cette manière, la distance des lettres paraîtra (vu la diminution d'écartement qui résulte pour l'œil de la réunion des deux jambages) quelque peu plus grande que celle qui sépare les jambages, ce qui doit être.

Voyons maintenant les moyens de mettre cette approche.

La matrice est retenue sur le devant du moule au moyen de deux registres formant l'arrêt qui empêche les deux pièces du moule, glissant l'une sur l'autre, de se fermer complétement, et fait qu'elles réservent entr'elles le vide que doit remplir la tige de la lettre pour avoir l'épaisseur voulue. Une matrice plus épaisse qu'une autre donnera donc une épaisseur plus considérable, ou, ce qui revient au même, on aura un accroissement ou une diminution d'épaisseur, d'un côté ou de l'autre, de la tige de la lettre, en faisant avancer ou reculer le registre de ce côté. Donc, en faisant mouvoir ces registres, on aura toute approche voulue.

L'instrument qui sert à voir les approches est le même que celui qui sert à voir la ligne. On commence toujours par mettre l'm d'approche. On en met trois sur la justification après les avoir frottés et coupés au pied, puis on retourne celle du milieu comme ceci mum, pour voir si la lettre est bien dans son milieu. Il est bien évident que les trois lettres fondues étant identiques, les deux écarts seraient égaux si elles étaient placées dans le même sens, mais en retournant celle du milieu chacun des écarts est formé de deux fois la distance d'un même jambage au bord de la tige. Le défaut est donc doublé pour chacun, et la différence plus aisée à apercevoir. On s'en assure encore au filé, procédé qui va nous servir pour mettre l'approche des autres lettres. Pour cela, on met les trois m à plat sur la justification en retournant celle du milieu, de la sorte m m m, si l'on est dans son milieu, les jambages doivent former exactement une ligne droite, ce dont on s'assure en faisant passer le jeton par les jambages des deux m des extrémités, et en voyant si celui du milieu coïncide bien avec cette ligne.

On emploie les termes *près du dessous* et *gros du dessous*, lorsque la lettre est trop près de la face de la tige qui a été formée sur le blanc de la pièce de dessous, ou lorsqu'elle est trop grosse et porte trop de blanc du côté de la matrice qui touche le registre de la pièce du dessous. On dit de même *près ou gros du dessus*, quand cela arrive relativement à la pièce du dessus. Ainsi, pour représenter les deux défauts, prenons trois m qui fassent cet effet, mum qui se rapprochent d'un côté, et portent un blanc considérable de l'autre; elles sont trop près du dessous et trop grosses du dessus. Pour corriger le premier défaut, il faut repousser d'un petit coup de marteau le registre de la pièce du dessous pour que la matrice passe un peu plus en avant du blanc de cette pièce, ou grossir du dessous; pour le deuxième défaut, il faut faire le contraire, c'est-à-dire repousser en arrière le registre de la pièce du dessus, ce qu'on appelle rapprocher du dessus.

Pour faire reculer le registre, on a un petit coin en bois dont on pose un bout sur la face du registre et que l'on tient appliqué contre les longues pièces; on donne un petit coup de marteau sur l'autre bout, ce qui fait reculer le registre. Ce morceau de bois sert, comme on le voit, à garantir la face du registre contre laquelle pose la matrice.

L'approche des m étant décidée et satisfaisant à la condition que nous avons établie, on passe entre les m

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toutes les lettres de la frappe pour que toutes les lettres aient l'écart des deux m. On emploie, comme nous l'avons déjà dit, le *filage* à cet effet. Ce procédé est extrêmement exact, puisque les deux m permettant de fixer parfaitement le jeton, on aperçoit aisément la moindre quantité dont le jambage d'une lettre entre deux m peut dépasser ou rentrer sur la ligne formée par le jeton.

Pour les rondeurs, après que l'approche de l'o a été fixée d'après le principe que nous avons posé, on s'en sert pour faire filer toutes les rondeurs sur les o.

Notons que les chiffres sont toujours tenus demi-quadratins (moitié du carré dont le côté est la force du corps); cette épaisseur constante permet de faire des opérations d'arithmétique qui exigent que les chiffres retombent les uns sous les autres.

Capitales. Les capitales grandes et petites, dont l'approche se met d'après les mêmes principes, puisque les formes sont semblables, sont tenues un peu plus grosses que les minuscules; on met l'approche de l'H de manière que l'écart soit égal à celui des deux jambages. Les autres sortes se mettent soit *au filé*, soit d'après les mêmes principes que nous avons indiqués ci-dessus.

De l'approche de l'italique. L'approche de l'italique est donnée par la gravure même, au moins pour les italiques modernes, qui remplacent de jour en jour les italiques anciens; en effet, nombre de lettres commencent et finissent par des traits obliques qui forment liaison d'une lettre à l'autre; il faut donc que ces traits se fassent suite l'un à l'autre, de la sorte : *mmm*.

Une remarque à faire, c'est que l'*m* n'est plus tenue rigoureusement dans son milieu comme dans le caractère romain, c'est-à-dire qu'une *m* retournée entre les deux autres produit cet effet *mum*, elle est plus grosse du dessus. On y trouve l'avantage que, comme à cause de la pente du caractère, les accents, les longues (*f*, *l*) dépassent le corps, on est obligé de leur faire subir la façon de la crénerie, ces parties sont d'autant plus soutenues, qu'on tient plus gros du dessous, et qu'on se dispense ainsi de faire créner beaucoup de sortes.

Indépendamment de l'habitude qu'acquiert l'œil de juger l'égalité de l'écart, on voit que pour les italiques modernes, on peut vérifier si la lettre est bien d'approche, en considérant si le crochet du bas des lettres qui sont terminées ainsi, reprend bien avec le crochet du haut de l'*m*, ou l'inverse si c'était la lettre qui commençât par un crochet. L'œil permet d'estimer la régularité de l'écart pour les autres lettres.

Ces moyens de mettre l'approche de l'italique sont imparfaits; ce qui est d'autant plus regrettable, que, comme on n'a pas non plus de procédé qui permette de bien s'assurer des pentes à la justification des matrices, la plupart des italiques pèchent à la fois par la pente et par l'approche, et ce n'est qu'avec beaucoup de soins qu'on parvient à faire quelque chose de passable.

Aussi nous pensons avoir indiqué un moyen utile en inventant la justification brisée dont nous parlons à l'article de la justification des matrices, et qui, comme nous l'avons vu, permet d'appliquer à l'italique le moyen du filage (voyez GRAVURE). L'approche de l'italique se trouve alors aussi simple à mettre que celle du romain, et ce sont absolument les mêmes principes à appliquer.

Des grandes capitales italiques. L'emploi de notre justification brisée permet aussi de fondre les grandes capitales dans une approche rigoureuse; mais quand les matrices sont bien justifiées de pente, les procédés actuels permettent de les fondre suffisamment bien, les formes droites des capitales permettant de juger aisément l'écart.

Les *H* étant fondues de manière que leur écart soit égal à celui du contre-poinçon, le trait de la pièce du dessus étant au vif, on fait passer toutes les lettres entre ces *H*, de manière que les distances des traits du haut aux traits des *H* (ceci est le meilleur guide) soient égales aux distances des traits du haut des *H* entr'elles, en crénant, s'il y a lieu, de la sorte *HYHH*.

Des caractères étrangers. Au moyen des principes posés, on parvient à mettre d'approche les caractères étrangers, l'allemand, le grec, l'hébreu, etc.

Du moule américain, dit *lewer-mould*. Depuis quelques années un célèbre fondeur anglais, M. A. Wilson, dont l'établissement est depuis longues années au premier rang, a adopté pour sa fabrication un moule américain auquel il a fait subir quelques modifications, et qui lui a permis de monter une fabrication extrêmement parfaite.

Les avantages de ce moule correspondent à presque toutes les imperfections qui se rencontrent dans la fabrication au moyen des moules ordinaires.

1° L'usure des moules est la cause la plus grave de l'altération des dimensions des lettres; car la perfection des procédés de fonderie n'existe qu'autant qu'il s'agit du moule sortant des mains du mécanicien. Il est clair, en effet, que si le moule est usé, les dimensions du vide que remplit la matière varient. Or, cette usure résulte du choc des deux pièces du moule, qui disjointes pour faire sortir la lettre sont réunies avec rapidité pour en former une autre, mais surtout de ce que dans cette action l'extrémité de la pièce du dessus vient quelquefois toucher la vive arête de la pièce du dessous, l'abat, en formant des saillies qui dérangent quelquefois la force de corps, et font toujours que la lettre cesse d'être parfaitement rectangulaire.

Cette cause est tout à fait évitée avec le moule américain qu'il suffit d'entre-bâiller, sans qu'il y soit besoin de séparer entièrement les deux pièces du moule. L'usure du moule devenant moindre, les réparations deviennent moins fréquentes, ce qui permet de construire le moule en acier trempé, dressé au lapidaire, et par suite bien moins sujet à s'user par l'action du frottement.

2° La difficulté de mettre parfaitement l'approche et la ligne est assez grave, et demande des soins et des connaissances qu'on ne peut rencontrer que chez les bons ouvriers. Aussi est-ce là l'obstacle contre lequel lutte sans cesse le maître fondeur. Disons de plus que le moyen de faire varier l'épaisseur en frappant le registre avec un marteau, n'est pas assez délicat pour qu'on soit certain d'obtenir toujours la même épaisseur pour une lettre fondue à diverses reprises sur plusieurs moules, ce qui est un grand défaut.

Au moyen du moule américain, ou plutôt de la justification à registre arrêté que l'ancienne fonderie avait jadis abandonnée, parce que la matrice s'usait rapidement, la précision du travail nécessaire pour l'approche et la ligne se trouve reportée sur le travail préparatoire de la matrice, qui une fois fait par d'habiles artistes permet d'obtenir des produits toujours identiques et d'une grande perfection. Enfin, la fixité des registres évite toute mauvaise pente résultant de leur rotation.

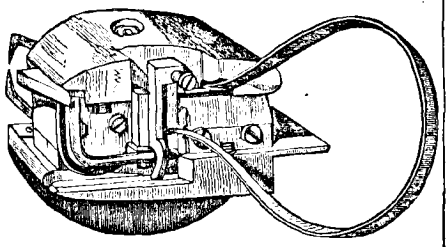
Le moule américain ne permet pas seulement un travail très parfait, il est encore très avantageux pour l'ouvrier, dont il accélère d'un tiers le travail en diminuant le nombre des opérations qu'il doit effectuer. C'est ce que fera bien sentir la description du moule et le mode de travail.

Ce moule, dont la fig. 4016 peut donner idée, diffère principalement du moule ordinaire par les registres, l'archet et la manière de déchausser.

Les registres fixés à demeure par deux vis servent à guider les longues pièces qui glissent entre eux et de petites pattes placées en face, en supprimant ainsi les potences et les fourchettes. Le registre de la pièce du dessus est terminé à sa partie inférieure par une équerre, sur laquelle porte le talon de la matrice. L'archet est un fort ressort d'acier qui, tenant à la pièce du dessus,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

maintiendra toujours la matrice appuyée sur l'équerre dont nous venons de parler. Celle-ci ne pourra avoir qu'un petit mouvement de bascule, déterminé par le mécanisme dont nous allons parler.



1016.

Du bois de la pièce du dessus sort une touche que l'on saisit quand on entr'ouvre le moule. Cette touche fait mouvoir un levier coudé se terminant vers le bas du registre, fait incliner l'extrémité d'une barre mobile autour d'un point fixé sur ce registre, et qui est terminé à son extrémité supérieure par une partie carrée dans laquelle passe une petite vis qui touche le haut de la matrice.

Ceci bien compris, la fonte se réduit à entre-bâiller le moule; en le faisant, la touche fait sortir de la matrice l'œil de la lettre, et celle-ci dont l'adhérence avec le moule très bien poli est très faible (et est d'ailleurs vaincue par une faible action de *tire à tire*, résultant dans le premier moment de l'ouverture de ce que l'œil de la lettre est encore dans la matrice, et que le jet de la pièce du dessous tient par une petite cavité oblique pratiquée dans l'angle du jet que la matière a remplie et qui n'est pas de dépouille), sort par une petite secousse en avant imprimée au moule. En laissant retomber la pièce du dessous le moule se ferme et est disposé de nouveau pour recevoir la matière.

La fonte est simplifiée et le travail devient plus rapide (par suite plus économique) par ce procédé. Les seuls défauts à lui reprocher, c'est que la *ligne* de la matrice s'use, et que les fortes sont des hors de ligne.

§ 6. OPÉRATIONS QUI SUIVENT LA FONTE DE LA LETTRE.

Romperie. Le vide que laisse le moule dans l'état de rapprochement convenable à la fonte d'une lettre, se compose de deux parties : celle où doit se former la lettre et le jet. Le jet dont l'ouverture du haut est assez large pour introduire aisément la matière, se resserre vers le bas de manière à n'avoir plus que le tiers de la force de corps de la lettre et la même épaisseur.

On commence par séparer le jet d'avec le corps, ce qui s'appelle rompre. Cette opération est très simple, il suffit de prendre la précaution de tenir la lettre entre les doigts près du pied et de manière que la force de corps soit verticale. Cette précaution est surtout nécessaire pour les lettres fines, qui ont toujours plus de résistance dans le sens de la force de corps, qui est celui de la plus grande épaisseur, et qu'on courberait si on voulait les rompre dans l'autre sens.

Frotterie. La lettre étant rompue, on la frotte sur son épaisseur pour la débarrasser des petites aspérités qui sont à sa surface toujours sur ce sens.

En effet, ces aspérités résultent de ce que les arêtes des blancs sont abattues, ou les blancs du moule usés inégalement par le frottement; la matière dépasse donc les blancs en suivant les longues pièces. On frotte généralement les lettres sur une pierre de grès dressée par le frottement d'une autre pierre, en interposant entre les deux du grès sec. On produit ainsi un grain qui fait l'effet d'une lime. Une lime serait certainement meilleure que cette pierre, mais le métal se loge entre les tailles et empâte rapidement les limes, de sorte que leur entretien serait une dépense assez notable.

On frotte donc les lettres sur cette pierre des deux côtés par lesquels elles s'assemblent pour composer les mots. Comme cette opération est la dernière qu'on fait subir à la lettre sur ce sens, il faut que la frotteuse s'assure si le moule fond bien et qu'elle cherche à réparer les imperfections de la fonte autant qu'il lui est possible.

Pour s'assurer que les lettres sont bien d'égale épaisseur dans toute l'étendue de la tige, on en range une centaine les unes à côté des autres, sur un morceau de bois appelé *composteur*, qui est une règle de bois munie de talons pour empêcher les lettres de glisser. Si les tiges sont égales, la dernière est parallèle à la première. Si elles chassent plus du côté de l'œil, ce qu'on appelle aller en tête, c'est une marque qu'il y a plus d'épaisseur vers l'œil de la lettre que vers le pied, défaut que sa répétition rend très sensible. Si elles chassent davantage du côté du pied, c'est le contraire qui a lieu. On doit alors appuyer sur la pierre du côté qui a le plus d'épaisseur, on en enlève davantage à cette extrémité, et quand par plusieurs essais on s'est rendu compte de la pression nécessaire, on parvient assez bien, en conservant cette pression, à rétablir l'égalité des tiges.

L'épaisseur des lettres peut aussi varier d'un côté à l'autre de la force de corps, le moule peut être de carne. Ce défaut résulte le plus souvent de l'usure d'une des arêtes du moule, d'où naît une petite saillie sur la lettre, qu'on peut apercevoir à l'œil. Quand on a composé un essai de frotterie, on sent en pressant les lettres avec le moule sur le talon du composteur si elles forment un tout; si au contraire il y a plus d'épaisseur dans un sens elles tendent à se former en cercle, en se fermant du côté de la moindre épaisseur. On doit appuyer davantage sur le côté de la plus grande épaisseur, ce qui demande beaucoup d'habileté pour les petits caractères.

Crénerie. Certaines lettres ne peuvent se frotter parce que l'œil de la lettre dépasse la tige qui la supporte, telles sont l'f et le j dans le caractère romain. La tête de l'f doit donc anticiper sur la lettre voisine. Créner c'est évider cette tête en dessous avec un canif, de manière qu'elle puisse se loger sur le haut de la tige de la lettre suivante. Remarquons ici qu'il faut pour cela que la partie supérieure de cette tige soit libre, ce qui force à faire les doubles fl, fi, l'i et l'l étant deux longues du haut qui peuvent se présenter après l'f

La tête étant crénée on ratisse avec le canif le côté de la lettre correspondant à la partie crénée, ce qui remplace la frotterie.

Dans l'italique il y a beaucoup plus de lettres crénées à cause de la pente qui fait sortir les lettres longues du corps; l'opération dans ce cas, comme dans tous ceux qui peuvent se présenter, est toujours la même.

Composition. Cette opération n'a aucune influence sur la nature de la lettre, mais elle est nécessaire pour les opérations qui suivent et permet de passer du travail lettre à lettre au travail sur un certain nombre de lettres à la fois. Composer, c'est arranger les lettres sur des règles en bois de 4 décimètres environ de longueur garnies d'un rebord qui soutient les lettres; on les place les unes à côté des autres, le cran toujours du même côté. On compose ainsi successivement les différentes lettres d'une fonte, qui passent alors entre les mains du coupeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDERIE EN CARACTÈRES.

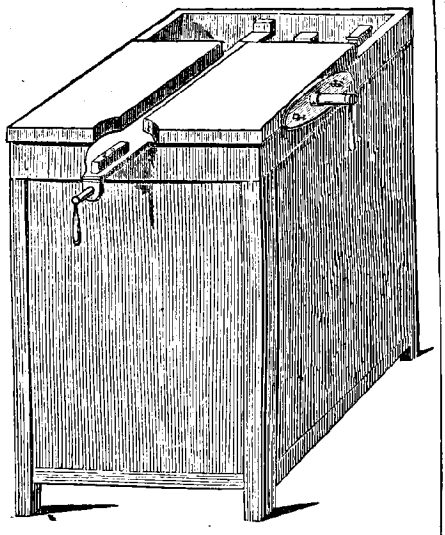
§ 7. DU COUPOIR.

La hauteur qu'on donne aux caractères n'est pas une quantité qu'on puisse fixer à priori; elle est un résultat de l'expérience. Plus cette hauteur est grande, plus on a de facilité à serrer une page composée, moins il y a de chances par le serrage que les lettres ne prennent une position oblique.

D'un autre côté, trop de hauteur serait inutile, les fontes se trouveraient avoir inutilement un poids considérable qui augmenterait leur prix sans le moindre avantage; l'expérience a fait adopter la hauteur de dix lignes et demie, qui est bien suffisante. En Flandre, et dans le Midi, les hauteurs sont généralement plus grandes, elles varient de dix lignes et demie à onze et onze et demie. En Angleterre, la hauteur est un peu moindre.

Nous avons déjà insisté sur l'absolue nécessité que toutes les lettres soient identiquement de même hauteur, condition à laquelle il serait impossible de satisfaire si elle résultait d'une opération mécanique, et qu'on obtient au contraire aisément en faisant qu'elle soit donnée par l'opération même de la fonte. Nous avons vu que les deux jets du moule étaient en saillie sur la force de corps du tiers de celle-ci; ces deux saillies forment le pied, et le jet de la lettre n'a d'épaisseur que ce troisième tiers.

Ce jet étant rompu il reste encore une petite saillie qui empêcherait la lettre de poser sur les deux pieds venus à la fonte par suite des recouvrements des deux jets. Il faut enlever cette saillie et faire en sa place une gouttière; ce que l'on fait au coupoir d'un seul coup sur toutes les lettres qui tiennent sur un composteur. Donnons d'abord la description de cet outil que représente la fig. 1017.



1017.

Le coupoir est une espèce d'étau, dont les mâchoires ont une grande largeur, avec des dispositions particulières pour la commodité du travail, et des guides convenables, pour que les mâchoires marchent parallèlement. Il consiste essentiellement dans un train en fer à cheval, dont les deux branches parallèles glissent dans des mortaises pratiquées dans des supports fixes, et qui, dans la partie transversale, a un renflement taraudé qui se monte sur une vis fixée après la partie droite du bâti où elle ne peut que tourner. Le mouvement de rotation de la vis fera marcher son écrou, et par suite le train. Sur la partie droite est fixée à demeure un plateau en fonte ou en bois recouvert de cuivre; sur la partie gauche est fixée par quatre vis, sur le train, un plateau pareil; ce plateau, marchant parallèlement au premier, opèrera une pression égale dans toute la longueur sur un objet placé entre les plateaux avec toute la force qu'on obtient d'un levier adapté à une vis, force bien plus grande qu'il n'est nécessaire.

Entre les deux plateaux et passant au-dessous d'eux est ajustée une plaque, bien d'équerre avec les faces intérieures des plateaux, qui porte à son extrémité en saillie un talon, qui sert de point d'appui dont nous verrons plus loin l'emploi, et sur le devant un autre talon qui se meut au moyen d'une vis qu'on nomme *vis de frotterie*, parce que, comme nous allons le voir, elle est destinée à serrer les lettres sur la frotterie, comme la vis qui fait marcher le train est appelée *vis de corps*, parce que c'est dans le sens du corps qu'elle opère une pression sur les lettres.

La pièce qu'on place entre les deux plateaux et qui renferme les lettres s'appelle *justifieur*; elle est com-



1018.

posée de deux parties d'environ 0m,65 de longueur, 0m,025 de largeur et 0m,022 de hauteur. La pièce du dessous porte une platine qui est une bande plate parfaitement d'équerre avec la face contiguë, elle porte à son extrémité une noix, plaque de 0m,054 de long de l'épaisseur du plus petit caractère qu'on veut couper; entre la platine et la pièce on pratique à chaque extrémité deux mortaises. La pièce du dessus porte une noix à son extrémité antérieure, et deux languettes étroites destinées à entrer et à glisser dans les mortaises de la pièce de dessous.

Le coupeur prenant un composteur de la main droite, l'applique sur le bord de la pièce du dessous du justifieur qu'il tient un peu incliné de la main gauche; puis le faisant tourner un peu brusquement il fait tomber les lettres sur celui-ci, la tête en bas; il met alors la pièce du dessus dans les languettes, puis place le justifieur entre les parois des plateaux. Serrant la vis de corps il fait appliquer les lettres contre les faces du justifieur, après avoir eu soin aussi de presser avec un petit morceau de bois sur le pied des lettres pour qu'elles portent bien au fond, puis desserrant un peu la vis de corps il fait marcher la vis de frotterie. La deuxième pièce du justifieur poussée par cette vis, avance; et les lettres prises entre les deux noix se trouvent serrées sur la frotterie. Sans lâcher la vis de frotterie qu'il tient de la main gauche il serre fortement la vis de corps pour maintenir les lettres dans cette position.

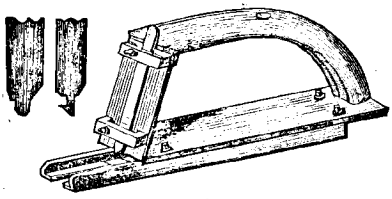
Le justifieur doit être fait avec soin, les surfaces supérieures dressées en se guidant sur un marbre parfaitement droit; il faut s'assurer avant de placer les noix si les deux pièces s'appliquent bien l'une sur l'autre dans toute leur longueur, et toutes les faces d'équerre entre elles. Tout cela est nécessaire pour que la lettre soit serrée également dans toute la longueur, autrement la lettre, ayant du jeu dans une partie du justifieur, tourne et se courbe.

Les lettres étant serrées dans le justifieur, forment un tout parfaitement solide, on prend un rabot (fig. 1019)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

outil composé principalement de deux patins en cuivre qui peuvent se serrer près de la lettre par le mouvement des vis à large tête qui glissent dans une rainure. et les fixent à une pièce plate en fer. Cette pièce est courbée du devant, et on peut avec deux vis y fixer un fer. Le rabot, guidé par l'épaisseur de la lettre fera donc suivre à ce fer une ligne droite, et par conséquent, quand il aura été adapté pour enlever la rompure, il suffira de pousser le rabot dans toute la longueur, et ce rabot une fois monté servira pour toutes les lettres de la même force de corps.

1021. 1020.



1019.

On fait encore au coupoir une autre opération qui consiste à enlever la partie supérieure du corps de la lettre qui n'est pas occupée par l'œil pour dégager celui-ci. A cet effet, on monte sur les rabots des fers, dont le tranchant est oblique, et qui sont placés, l'un à droite et l'autre à gauche, et on enlève l'excédant en faisant mordre ce rabot de la quantité convenable. Mais il faut pour cela retourner la lettre, ce que l'on fait en la replaçant sur le composteur, en appliquant celui-ci sur le justifieur, le talon en haut, et donnant un mouvement de renversement ; puis retournant le composteur de droite à gauche et replaçant par le mouvement inverse dans le composteur la lettre, dont l'œil se trouve alors en haut.

Enfin, les imprimeurs demandent souvent qu'on ajoute des crans à celui du moule, afin de distinguer des fontes de même force de corps qui se trouvent dans leur imprimerie. On les pratique aux endroits convenables au moyen de fers portant des saillies latérales, qui correspondent aux crans voulus et qu'on monte sur rabots.

Voilà tout le travail qui devrait être fait au coupoir, mais quelquefois la hauteur d'un moule s'est dérangée, quelques matrices se trouvent mal justifiées ; on peut alors remettre la hauteur au coupoir en prenant les soins convenables.

Si la différence de hauteur est peu de chose, on se contente de frotter le pied de la lettre avec une lime qu'on tient horizontale, après qu'on a enlevé la rompure ; mais si la différence est très notable, alors, après avoir enlevé la rompure, on desserre la vis de corps, puis on renfonce avec soin les lettres en pressant fortement sur le pied, on serre les vis en s'assurant que les lettres ne se lèvent pas au milieu ; puis avec un rabot portant un fer plat, monté à la hauteur convenable, on enlève l'excédant de hauteur. Il est évident que pour que cette opération soit possible, il faut avoir un justifieur parfaitement bien calibré pour la hauteur, et dont la surface supérieure soit exactement plane.

§ 7. DE L'APPRÊT.

L'apprêt est la dernière façon à donner aux caractères ; il a pour but principal de réparer les petites inégalités qui peuvent exister sur la force de corps des diverses sortes d'un même caractère fondu sur plusieurs moules, et de corriger les variations qu'éprouve chaque moule par l'effet de la dilatation et de l'usure.

L'apprêteur a, sur un râtelier placé à sa gauche, les rangées de composteurs qui viennent de sortir des mains du coupeur. Il prend successivement chaque composteur, en transporte les lettres sur un composteur d'apprêt fig. 1022, qui est plus fort et plus droit qu'un composteur ordinaire, et cela en les appliquant l'un sur l'autre et les retournant ; puis au moyen d'un couteau plat de trois à quatre pouces de long, il râtisse la surface, de manière à enlever le morfil produit par la frotterie ; il reporte ensuite les lettres sur un second composteur d'apprêt, et fait la même opération sur l'autre face.



1022.

Il prend alors deux ou trois lettres sur le composteur, et les met entre les m sur une justification pour vérifier si l'approche est bonne (si elle est mauvaise, il ne peut que jeter la sorte), et si la sorte est bien en ligne. Il vérifie en même temps la force de corps par un parangonnage, s'il est nécessaire (voir plus loin *Typomètre*), et si le peu d'apprêt qu'il a donné est suffisant. S'il y a un peu de force, il apprête de nouveau (du côté opposé au cran, afin de ne pas changer la ligne) et de la quantité convenable ; car un bon apprêteur sait ce qu'il enlève par la manière dont il appuie le couteau d'apprêt ; puis il remet la force de corps entre les m. Quand il est arrivé, il continue alors toute la sorte, en ne vérifiant plus que de temps en temps et donnant le même apprêt à chaque composteur.

Nous avons admis, dans ce que nous avons dit, que la sorte que l'on apprêtait était en ligne avec les m ; mais il arrive quelquefois qu'elle monte ou qu'elle descend sur cette ligne ; c'est à quoi l'apprêteur peut remédier dans quelques limites fort restreintes. En effet, quand on compose les lignes, les lettres viennent s'appliquer les unes sur les autres par le côté de la lettre où est le cran (puisqu'on compose le cran dessous). Or, si on enlève un peu de métal de ce côté en tête ou en pied, on fera monter ou descendre la ligne. Il faut en ôter en même temps à l'extrémité inverse sur l'autre face. Les faces qu'on aura fait de la sorte à l'apprêt seront un peu obliques sur le pied de la lettre, ne seront plus parfaitement d'équerre ; mais cependant la lettre ne se redressera pas sur son pied, à cause du serrage de la ligne. Il va sans dire que ceci ne peut se faire que pour des variations extrêmement minimes de la ligne, et ne peut s'employer dès que la variation est notable.

Le composteur apprêté, l'apprêteur qui a dû déjà vérifier l'approche, la hauteur, la ligne, doit encore visiter le composteur et rejeter :

1° Les mauvaises d'œil qui auraient échappé à l'ouvrier, qui doit déjà avoir fait cette visite ;

2° Les épaisses, qui ont été fondues quand le moule était mal fermé ;

3° Les fortes de corps que l'apprêteur reconnaît en passant son couteau, qui les attaque avant toutes les autres ; elles résultent tant de ce que le moule a été mal fermé que d'un grain sur les blancs ou les longues pièces ; d'où la nécessité de brosser le moule de temps en temps pour le nettoyer ;

4° Les hors de ligne, qui se font quand on ne presse pas l'archet sur le talon de la matrice, ou que celui-ci n'a pas assez de ressort.

Les lettres ayant ces défauts étant ôtées, tout est fini, et le caractère est en état d'être livré à l'imprimeur. On en forme, à cet effet, des pages de dimensions égales qu'on serre avec une ficelle, et qu'on enveloppe de papier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDERIE EN CARACTERES.

§ 8. DES POINTS TYPOGRAPHIQUES.

Avant Fournier jeune les forces de corps ne procédaient pas régulièrement; chaque imprimerie avait les siennes, et quand un imprimeur voulait un caractère nouveau, on le fondait sur la force de corps de quelque caractère analogue existant déjà dans son imprimerie, ou bien le fondeur suivait la force de corps habituelle de sa maison. On conçoit combien la routine avait ainsi accumulé de forces de corps différentes sans aucune relation entre elles. Or, il y avait à cela, outre plusieurs graves inconvénients, tels que celui de la confusion des caractères qui ne différaient que par des quantités très faibles, le grand désavantage de ne jamais arriver à un parangonnage exact.

Fournier, partant du plus petit corps habituellement en usage, appelé nonpareille, et pour lequel l'usage avait établi une dimension sensiblement fixe, en prit la sixième partie qu'il appela point typographique, et il assujettit tous les corps des caractères courants à se succéder par intervalles d'un point. Les corps sont ainsi classés régulièrement, et séparés par intervalles assez rapprochés pour que les différences de grandeur des caractères, de mêmes proportions, gravés sur deux forces de corps consécutives, soient très peu sensibles.

Fournier comprit fort bien toute l'importance des points typographiques, cette introduction d'une commune mesure dans les divers éléments du matériel d'une imprimerie.

Après avoir rappelé les efforts qui avaient été faits inutilement pour fixer les dimensions des caractères d'imprimerie, il ajoute dans son excellent *Manuel typographique* :

« Voilà ce qui m'a engagé à débrouiller ce chaos, en mettant dans cette partie un ordre qui n'y avait jamais régné : je crois avoir eu le bonheur d'y réussir avec une justesse et une précision qui ne laissent rien à désirer par l'invention des *points typographiques*. Ce n'est autre chose que la division des corps de caractères par degrés égaux que j'appelle *points*. Par ce moyen on connaîtra au juste les degrés de distance et les rapports des corps. On pourra les combiner ensemble de la même manière qu'on combine ensemble les signes numéraires, et comme deux et deux font quatre, ajoutez deux il viendra six, doublez ce tout, vous aurez douze, etc. De même une nonpareille qui porte six points, avec une autre nonpareille, feront ensemble le cicéro qui en a douze; ajoutez encore une nonpareille vous aurez dix-huit points ou le gros-romain; doublez ce tout qui fera trente-six points, ce sera le trismégiste qui porte ce nombre, et ainsi des autres, comme on le verra par la table des proportions. »

« Pour faire la combinaison des corps, il suffit de savoir le nombre de *points typographiques* dont ils sont composés. Il faut pour cela que ces points ou grandeurs données soient invariables, de manière qu'ils puissent servir de guides dans l'imprimerie, comme le *pied de roi*, les *pouces* et les *lignes* en servent dans la géométrie. »

Pour obtenir ce résultat, Fournier introduisit dans la fonderie l'instrument le plus précieux pour la perfection de la fabrication, c'est l'instrument de répétition qu'il nomma *prototype*. Cet outil est formé d'une équerre adaptée sur une surface plate. Un des côtés est de la hauteur du caractère qui est de dix lignes 1/2. La longueur du grand côté est de deux cent quarante points typographiques, et devait être prise sur un étalon déposé à la chambre syndicale.

Supposons qu'il s'agisse d'établir un moule pour fondre de la nonpareille, on ne vérifiera pas seulement la force de corps en plaçant la lettre d'essai entre deux *m* sur un marbre, mais en plaçant quarante de ces lettres à plat sur le prototype pour reformer les deux cent quarante points, et la différence répétée quarante fois indiquera comment le moule est défectueux. On arrivera donc ainsi à établir divers moules exactement de la même force de corps, qui sera en même temps la force de corps régulière.

Il en sera de même de chaque force de corps qui entre un certain nombre de fois dans deux cent quarante points, plus une fraction, en y ajoutant quelquefois une ou plusieurs espaces fines.

Cet instrument de répétition si ingénieux, applique aux diverses opérations de la fonderie, à la vérification des moules, à l'apprêt, est évidemment le meilleur moyen d'assurer la perfection du travail à un degré nécessaire pour le travail de la composition qui est une répétition perpétuelle et pour lequel, par suite, la précision de dimensions mesurée sur une lettre isolée est insuffisante.

Du typomètre. Les forces de corps de Fournier avaient un inconvénient : c'est qu'elles n'étaient pas réductibles aisément en mesures ordinaires; que la longueur du prototype ne pouvait s'établir avec les mesures connues; c'est ce qui a décidé MM. Didot à changer les dimensions du point; ils ont appelé six ou nonpareille la force de corps de six points typographiques, et ils ont donné au point typographique la longueur de deux points du pied de roi, de sorte que le six a précisément une ligne. Les avantages de ce changement ne compensaient peut-être pas la confusion qu'il a fait renaître pour les forces de corps, mais qui a disparu par l'adoption universelle aujourd'hui des points Didot.

Le prototype s'est transformé en typomètre, qui lui est entièrement semblable, sauf la longueur qui est de deux cent quatre-vingt-huit points typographiques nouveaux.

Pour remplir le typomètre il faut :

Nonpareille ou corps.	6	48 lettres.
Mignonne ou corps.	7	41 et 1 p.
Petit-texte.	7 1/2.	38 et 3 p.
Gaillarde.	8	36
Petit-romain.	9	32
Philosophie	10	28 et 8 p
Cicéro.	11	26 et 2 p.
Saint-Augustin.	12	24
Gros-texte.	14	20 et 8 p.
Gros-romain.	16	18
Petit-parangon.	18	16
Gros-parangon	20	14 et 8 p.
Palestine.	22	13 et 2 p.
Petit-canon	26	11 et 2 p.
Trismégiste.	32	9
Gros-canon	40	7 et 8 p.
Double-canon	52	5 et 28 p.
Triple-canon.	66	4 et 24 p.

L'habitude des noms insignifiants rapportés ci-dessus commence à se passer. On se contente de désigner les caractères par le nombre de points contenus dans leur corps, comme M. Firmin Didot en a donné l'exemple.

On a essayé, dans ces derniers temps, de revenir aux points Fournier, en les mettant en rapport avec les nouvelles mesures. La base annoncée est que 100 points Fournier font juste 35 millim., ou que le point est égal à $0^{mm},35$ environ. Serait-il prudent et avantageux, quand la plupart des imprimeries sont parvenues, souvent au prix de grands sacrifices, à monter tout leur matériel sur points Didot, de modifier toutes les forces de corps? Que vaut le point Didot en millimètres? L'annuaire du bureau des longitudes donne, pour la ligne du pied de roi, $2^{mm},256$, dont le sixième est $0^{mm},376$. Un tel bouleversement doit-il être tenté pour que le point soit plutôt 0,35 que 0,376? Cette première division décimale n'est en rien supérieure à la seconde. Ce serait sur d'autres bases que devrait être établie une division

EFERUS - Recherche & Classification numérique

millimétrique exacte qui, au reste, bouleverserait tous les matériels existants, et cela avec bien peu d'utilité.

§ 9. DES LETTRES DE DEUX POINTS, DES FANTAISIES, DES CARACTÈRES D'AFFICHES.

Les titres des ouvrages, les annonces de journaux, exigeant des capitales de plus grandes dimensions que les grandes capitales des caractères qui servent à l'impression des textes, et dont la fonte offre beaucoup de difficultés, on facilite celle-ci, soit par l'emploi de la ponce dont nous parlerons ci-après, soit par le clichage. Ce procédé consiste à frapper vivement la matrice sur une petite quantité de métal fondu déposée sur une pierre plate. Le métal, projeté violemment au fond de la matrice, s'y moule avec une netteté extrême. Retirant ce cliché et en limant toutes les bavures, on le replace dans la matrice, et celle-ci étant placée sur un moule, on verse la matière pour former le corps, et la chaleur de celle-ci fondant une partie du cliché fait des deux pièces un tout rarement d'équerre sur le corps.

Caractères d'affiches. A partir des lettres de deux points de gros-canon, on a encore fait des lettres qui sont spécialement destinées aux affiches, ce sont les doubles de fonte, triples, quadruples de fonte, et enfin les caractères d'affiches proprement dits qu'on désigne par le nombre de points de leurs corps, et qu'on a poussé dans ces derniers temps à des proportions exagérées où elles deviennent du domaine de la gravure sur bois (voyez GRAVURE).

Pour rendre les grosses lettres moins pesantes, on les évide en dessous, ce qui les fait appeler, d'après leurs formes, lettres à ponts.

Le moule doit donc être fait de telle sorte que les jets pénètrent à l'intérieur de la tige par des parties circulaires, et la rompure se trouve au milieu de cet évidement. La matrice est pressée par une vis, et le moule est posé sur un support quand on fond, car le moule est trop long pour qu'on puisse songer à le tenir a la main. On ne peut donc plus pousser, et par conséquent les fins viennent difficilement. On y remédie en ponçant la matrice, c'est-à-dire en répandant à sa surface intérieure une petite couche de pierre-ponce, pulvérisée, très fine, et dont on fait un petit tampon en la renfermant dans un linge. Cette poussière empêche le refroidissement immédiat de la matière, mais les résultats sont imparfaits.

§ 10. DES ESSAIS DE CONQUÊTE DE LA TYPOGRAPHIE SUR LA TAILLE-DOUCE.

L'imprimerie a sur tous les moyens de reproduction deux très grands avantages qui doivent faire chercher à étendre autant que possible son domaine. Le plus important consiste dans son principe même, qui est celui de la composition et de la décomposition des diverses lettres, ce qui les fait servir à représenter une infinité de mots différents, tandis que les lettres d'une gravure sur cuivre ne peuvent servir que pour représenter ce pourquoi elles ont été spécialement gravées. C'est étendre à de nouveaux produits les grands avantages de la substitution de l'impression en caractères mobiles à l'impression tabellaire.

Le second consiste dans l'extrême économie du tirage des gravures en relief, qui, quand il s'agit de grands nombres, permet, surtout avec l'aide de la presse mécanique, d'obtenir les produits à un prix excessivement modique.

1° *Des caractères d'écritures.* On a souvent essayé de représenter les caractères d'écriture au moyen de l'imprimerie, ce qui était plus important encore avant l'invention de la lithographie qu'aujourd'hui, puisque pour avoir quelques exemplaires d'une circulaire on était obligé de la graver sur cuivre, travail dispendieux et qui ne pouvait plus servir à rien après l'impression.

On a donc gravé des caractères imités des formes de l'écriture que l'on compose comme à l'ordinaire. On représente ainsi très bien les caractères qu'on appelle *ronde*, *bâtarde*, dont les lettres commencent par des parties pleines. La jonction des lettres se faisant d'un délié à un trait fort est parfaite, et le trait noir de chaque lettre empêche l'œil de sentir que le fin de la lettre précédente n'arrive que très près; on obtient ainsi l'effet de la continuité de l'écriture.

Mais cet effet de continuité ne peut plus avoir lieu pour l'écriture courante, dite anglaise, dans laquelle le passage des pleins aux déliés se fait par transitions insensibles; aussi en composant lettre à lettre les jonctions se faisant à la rencontre de deux déliés, ne peuvent être jamais assez parfaites pour que l'œil ne les voie pas. C'est pour obvier à cet inconvénient que M. Firmin Didot a imaginé les anglaises, un des plus beaux travaux de leur auteur, typographe si justement célèbre. Nous allons exposer l'ingénieux système de combinaison qu'il a adopté, mais nous devons faire observer que la gravure des anglaises est un véritable chef-d'œuvre qui a fixé pour ainsi dire le type le plus parfait de l'écriture.

Si on considère les diverses lettres de l'écriture, on reconnaît qu'il n'y a que huit lettres qui se joignent aux lettres précédentes par un délié continu; ce sont *m*, *n*, *r*, *s*, *v*, *x*, *y*, *z*; pour toutes les autres le délié vient se perdre dans une partie pleine. Or, si nous faisons abstraction de ces lettres, il est évident que l'on obtiendra l'effet de continuité en faisant que chaque lettre soit terminée par le délié tout entier, puisque alors, comme nous l'avons dit plus haut, la lettre suivante venant présenter une partie pleine à son extrémité, la continuité de l'écriture est complétement obtenue pour l'œil.

C'est ce que l'on a fait pour l'anglaise, mais il restait encore à faire les liaisons des diverses lettres avec celles dont nous avons parlé plus haut. On pouvait y arriver en faisant des lettres doubles composées des autres lettres suivies de celles-ci et de leurs combinaisons entre elles; mais on serait arrivé à un nombre de signes trop considérable. Pour en diminuer le nombre, M. Didot a imaginé les passe-partout; ce sont les signes composés de la première partie d'une de ces lettres, commune à plusieurs suivant une autre lettre; comme, par exemple, *er*. Ce signe servira à faire *em*, *en*, *er*, en ayant le reste de ces lettres comme signe particulier qui viendra se joindre fin avec plein.

C'est en étudiant les divers cas qui peuvent se présenter que M. Didot arrive à satisfaire complétement au problème proposé avec un petit nombre de passe-partout et de lettres doubles. Un exemple fera bien comprendre ce mode de composition. Ainsi :

Admirablement

se compose,

Admirablement

La liaison a toujours lieu ainsi, de délié sur plein, au moyen de quelques signes particuliers dont l'emploi n'offre aucune difficulté à un compositeur de quelque habileté.

Les anglaises se fondent avec un moule différent du moule ordinaire. On conçoit que si on les fondait sur celui-ci le délié d'une lettre ne pourrait venir s'allonger le long du jambage de la lettre suivante sans créner pour venir se placer sur celle-ci, ce qui serait d'un ajustement difficile et exposerait ces parties à se casser trop aisément. On se sert d'un moule penché, c'est-à-dire d'un moule dont les blancs ont sur les longues pièces une inclinaison égale à celle de l'écriture sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ligne horizontale; de la sorte les jambages droits des lettres seront parallèles aux surfaces de frotterie. Ceux-ci sont au vif, et le délié vient se terminer presque parallèlement à la frotterie, l'assemblage imite tout à fait celui de l'écriture, en évitant beaucoup de crénerie. L'usure est peu considérable dans la casse, parce que les extrémités des traits sont obliques sur la frotterie et protégés par la tige de la lettre. Pour qu'on puisse serrer la forme il faut toujours qu'elle forme une surface rectangulaire sans vides, aussi place-t-on au commencement et à la fin de chaque ligne des quadratins triangulaires qui servent aussi à faire tenir la lettre dans le composteur.

Ce système, d'abord employé, avait un grand défaut, c'est qu'à cause de toutes ces surfaces obliques il était difficile de serrer la forme sans qu'il y eût quelque glissement qui vînt déranger les lignes. On y a remédié en faisant un cran dans le blanc du moule, qui fait que la frotterie est composée de deux losanges parallèles, réunis l'une en arrière de l'autre, de telle sorte que les lettres successives s'accrochent entre elles successivement et qu'aucun glissement ne saurait avoir lieu.

2° *De l'impression de la musique par les procédés typographiques.* La musique est habituellement imprimée au moyen d'une espèce particulière de gravure en taille-douce (voyez GRAVURE DE MUSIQUE).

Ce travail, ordinairement exécuté par des femmes qui acquièrent beaucoup d'habileté, est peu coûteux; il paraît donc de peu d'intérêt de s'occuper des essais qui ont été souvent répétés, de faire entrer l'impression de la musique dans le domaine de la typographie. Mais il faut remarquer :

1° Que la musique obtenue par les procédés typographiques doit surpasser en beauté et en régularité, quant à l'espacement et à la pente des signes fondus, celle obtenue par le procédé ordinaire, à cause des variations qui doivent toujours avoir lieu dans le placement des poinçons;

2° Que le procédé ordinaire devient tout à fait insuffisant, quand on désire joindre quelques exemples aux ouvrages qui traitent de la musique, et que ce serait un avantage réel que de pouvoir remplacer par de la lettre typographique le texte des romances, toujours fort disgracieux quand la gravure en est obtenue par le frappage par lettres séparées;

3° Que le prix du tirage de la gravure en taille-douce est très élevé en raison de sa difficulté et de tous les soins qu'il exige. Il coûte environ 1 fr. 50 c. le cent, soit 15 fr. le mille, tandis que le tirage de la typographie, surtout avec les presses mécaniques, ne coûte pas plus de 5 fr. le mille. Cette supériorité assure la préférence aux procédés typographiques, dans le cas de très grands tirages.

Ce qui fait la grande difficulté de l'impression de la musique par les procédés typographiques, c'est la nécessité d'obtenir des portées qui paraissent continues.

On peut classer les procédés, au moyen desquels on a cherché à lever cette difficulté, en deux séries :

1° Procédés qui ne comportent qu'une seule opération. Notes et portées toujours gravées ensemble;

2° Procédés qui comportent deux opérations, l'une pour les notes, l'autre pour les portées.

1° Le procédé le plus simple, celui qui résulte de la nature même de la typographie, consiste à composer la musique comme on a longtemps composé le plain-chant, sans employer de notes doubles. Chaque note est gravée avec les portées qui répondent à l'intervalle qu'elle occupe dans la composition, et leur réunion reforme les portées par parties successives. La multiplicité des signes qui seraient nécessaires pour la composition de la musique rendrait ce procédé peu commode; mais il serait surtout défectueux par l'effet désagréable des blancs toujours apparents aux jonctions des diverses notes; tellement que le procédé a même été abandonné pour la composition du plain-chant et remplacé par celui dont nous allons parler.

Procédé Fournier. Fournier, cherchant à améliorer ce procédé, imagina un autre système qui eut, pendant quelque temps, beaucoup de succès. Breitkopf, qui imagina un procédé analogue, à peu près à la même époque, entreprit de grands travaux, et ses descendants l'appliquent encore aujourd'hui, après y avoir apporté des perfectionnements de détail. Pour diminuer le nombre de jonctions, Fournier fondait la musique sur cinq corps, tous égaux à une, deux, trois, quatre, cinq fois le plus petit, qui était égal à l'épaisseur d'une portée. Chaque signe étant gravé seulement avec les portées qu'il rencontre, et fondu sur le corps correspondant à ce nombre de portées, on voit qu'un parangonnage sera nécessaire le plus souvent pour terminer la composition de chaque signe. Le nombre des interruptions dans les jonctions diminuera, parce que toutes les fois que ce parangonnage devra avoir lieu sur des signes consécutifs, on remplacera les filets élémentaires par des filets de grande longueur correspondant à plusieurs notes; toutefois, le nombre en sera toujours trop considérable pour que ce procédé puisse lutter avec la musique gravée.

Un autre avantage de ce système est de pouvoir faire bon nombre de signes composés, comme par exemple des croches réunies, par la composition des notes qui seules représentent les noires, et d'une barre transversale qui se place comme nous venons de le dire, pour les filets. La musique de Fournier n'en comporte pas moins plus de cent soixante signes différents (sans être aussi complète que celle qu'il faudrait employer aujourd'hui). Ce procédé n'est praticable que pour une musique simple.

2° La grande difficulté à résoudre étant de remplacer par une seule opération les deux gravures successives des portées et de la musique, on a cherché aussi, et avec plus de succès, à obtenir la musique par deux opérations.

Double impression. On a souvent cherché à imprimer successivement les notes sans portées, puis les portées; ce fut même le premier procédé que Fournier tenta de réaliser. Mais si la composition devient alors d'une grande simplicité, la difficulté de retomber juste sur toutes les lignes à la fois, a fait renoncer à ce système tous ceux qui l'ont essayé.

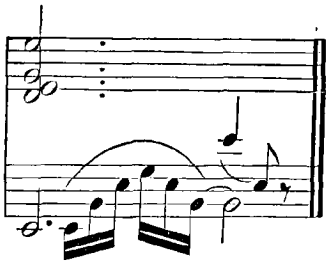
Procédé Duverger. M. Duverger, imprimeur à Paris, est parvenu à tourner la difficulté qui s'attachait à l'impression de la musique par un procédé extrêmement ingénieux et qu'il exploite avec succès.

La composition se fait comme dans le procédé précédent, au moyen de notes sans portées. La composition faite est portée au clicheur, qui en prend une matrice en plâtre. C'est dans cette matrice qu'on trace les portées au moyen d'un instrument qui permet de descendre une griffe exactement à la profondeur de l'œil des notes, et de la faire mouvoir en ligne droite, de telle sorte qu'elle rencontre exactement par le milieu les notes sur portées. Cela fait, on coule le métal dans cette matrice, et on obtient ainsi en relief la planche de musique. Nous en donnons ci-contre une épreuve.

Avantages de ce procédé. Il est aisé de voir combien ce procédé offre d'avantages.—En fournissant le cliché, il permet de ne tirer que le nombre d'exemplaires dont on a besoin. —Le texte, joint à la musique obtenue par la typographie, est d'une netteté parfaite. — Les lignes de musique montées sur bois, comme M. Duverger les fournit à ses confrères, viennent se mêler facilement dans toutes les compositions. — Enfin le grand avantage du relief permet, par l'économie qu'offre le tirage,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'obtenir les ouvrages populaires de musique à des prix extrêmement modérés.



Le *procédé Duverger* permet encore de résoudre une difficulté de l'impression de la musique, dont aucun autre système n'offre une solution quelque peu satisfaisante. On sait que les notes sont souvent réunies par un signe appelé coulée, qui vient rencontrer des portées sous toutes les inclinaisons, en variant de grandeur pour embrasser le nombre de notes voulu. Ces signes, qui ne peuvent entrer dans les compositions, se placent en général hors des portées dans les autres systèmes, ce qui n'est pas toujours admissible. Le *procédé Duverger* résout seul cette difficulté; voici comment :

De petites coulées, faites avec de petits morceaux de cuivre, sont simplement collées sur la composition avant le clichage, et sont moulées dans le plâtre. En les enlevant, la matrice portera donc en creux ces coulées, qui, après la fonte, feront partie de la planche de musique.

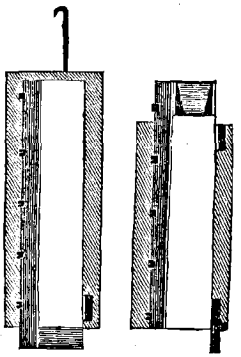
Inconvénients du procédé. Ils ne consistent que dans le prix élevé de la planche, qui limite beaucoup le nombre de cas dans lesquels il serait avantageux de typographier la musique. Nous donnons au *Complément* la description du nouveau procédé dit Pyrostéréotypie, qui paraît plus économique.

§ 11. OBJETS ACCESSOIRES DE LA COMPOSITION.

Interlignes. Les interlignes sont des bandes de métal de la hauteur des espaces, qui servent à séparer les lignes. Ces bandes permettent d'obtenir avec un même caractère des effets différents, puisque, augmentant les blancs de la page, l'impression devient plus claire et plus agréable à l'œil; elles consolident aussi la composition, et empêchent les chevauchages ou empiétements d'une ligne sur l'autre, qui peuvent provenir, soit des imperfections de la fonte du caractère, soit du mauvais serrage de la forme.

De l'emploi que les interlignes ont à remplir, il résulte : qu'elles doivent être parfaitement égales d'épaisseur dans toute leur longueur, identiques entre elles, parfaitement plates et exemptes de courbures qui feraient naître une élasticité qui rendrait le serrage régulier de la forme très difficile. La nécessité de remplir ces conditions aurait fait chercher à obtenir les interlignes par les procédés de fonderie, quand on n'y aurait pas été conduit par la simplicité et l'économie. Si l'on veut réfléchir, en effet, aux moyens mécaniques qu'il serait possible d'employer pour préparer des lames de métal, on verra qu'ils sont bien plus compliqués que ceux de la fonderie, outre que l'action mécanique du laminoir ou autre outil analogue engendre forcément l'élasticité que nous avons signalée comme un défaut. Aussi n'a-t-on jamais fait par ces procédés que quelques interlignes en cuivre d'un demi-point. Il va sans dire que des interlignes faites par des procédés mécaniques ne pourraient être faites avec le métal à caractères, qui a trop peu de résistance pour être travaillé au banc à tirer, et s'écrase trop facilement pour passer sous le laminoir. Donnons quelques détails sur le moule au moyen duquel on fond les interlignes.

Du moule à interlignes. Le moule à interlignes (fig. 1023) est composé de deux pièces de 0m 15 de long



1023.

environ, c'est toute la longueur sur laquelle on peut fondre les interlignes de peu d'épaisseur. Chacune de ces pièces est formée d'une bande de fer dressée avec soin, le long de laquelle s'applique une joue en équerre, de sorte que les deux pièces étant appliquées l'une sur l'autre, elles laissent entre elles un espace rectangulaire, dans lequel viendra se former l'interligne. Deux équerres placées sur chacune pièce sur le côté opposé à la joue, et dans chacune desquelles s'engage la joue de l'autre pièce, empêchent les pièces de tourner l'une sur l'autre. A l'extrémité supérieure de la pièce du dessous est appliqué le jet entaillé dans une partie qui peut glisser et dépasser la longue pièce de l'épaisseur de l'interligne à fondre. A l'extrémité inférieure de la pièce du dessus est un talon fixé de la même manière, et qui excède aussi la surface de l'épaisseur de l'interligne. Ce talon arrêtera la matière qui, entrant par le jet, devra venir remplir le vide. On voit que le mouvement du jet et du talon permettra de fondre avec le même moule toutes les épaisseurs dont on aura besoin. Quant aux longueurs, on les obtient, soit en rognant les bandes fondues au moyen de l'outil dont nous parlerons ci-après, soit en les fondant directement de longueur au moyen du moule, ce qui doit toujours se faire pour les lingots trop épais pour pouvoir être coupés facilement. Pour cela, on adapte, au moyen d'une vis, sur le côté de la pièce du dessous, qui ne porte pas de joue, un petit chariot sur lequel vient s'appuyer l'extrémité de la joue de la pièce du dessus. En repoussant ou éloignant ce chariot, on arrive à donner à l'interligne la longueur exacte qu'elle doit avoir; mais alors, après avoir enlevé le jet, il faut limer le bout du côté du jet pour enlever l'excédant de la rompure. Ce moule, employé avec grand soin, peut servir à fabriquer d'assez bons produits; néanmoins il laisse beaucoup à désirer, et en travail courant on peut dire qu'il ne fournit qu'une fabrication imparfaite, comme les imprimeurs en ont pu faire souvent l'expérience. Cela dépend de deux défauts principaux :

1° La joue d'une pièce ne peut s'appliquer bien exactement sur l'autre pièce, puisque le moule doit poser librement par ses extrémités pour que les interlignes soient identiques. Celles-ci viennent à la fonte avec deux barbes en équerre qui se forment par ce défaut d'ajustement, et ces barbes faisant tenir l'interligne, on la fausse en la sortant du moule, et aussi en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la ratissant pour enlever ces barbes, aussi ne sont-elles jamais bien plates.

2° Le moule s'échauffant peu, quand on fond des interlignes fines, l'ouvrier est forcé, surtout quand il faut des longueurs un peu grandes (et encore ne dépasse-t-on guère 0m,12 à 0m,13), d'enduire son moule avec un peu d'ocre ou de noir de fumée pour diminuer le refroidissement, ce qui fait naître de petites variations dans les épaisseurs.

Interlignes fondues par pression. Un nouveau moyen de fondre les interlignes, bien supérieur à l'ancien, s'est fait jour dans ces dernières années, c'est l'application d'un nouveau procédé de fonderie (voir FONDERIE MÉCANIQUE). La supériorité de cette nouvelle fabrication fut pleinement établie dès le premier jour, et le temps n'a fait que confirmer cette opinion.

Dans ce procédé, le jet se trouve sur la longueur de l'interligne au lieu d'être à l'extrémité, ce qui n'offre aucun inconvénient ; la matière n'a donc plus que peu de chemin à parcourir, et il devient facile d'obtenir de grandes longueurs. Le métal est chassé avec une grande force au moyen d'un refouloir ; il n'existe plus de soufflures ni de trous qui se forment quand le refroidissement empêche le métal d'arriver en certaines places en quantité suffisante.

L'interligne vient se former entre deux pièces ; celle du dessus est entièrement plate, et celle du dessous se compose d'une pièce plate entourée en-fer à cheval d'un rebord de l'épaisseur de l'interligne. Ces deux pièces sont unies ensemble par un serrage d'une force considérable, ce qui évite les variations qui naissent toujours de la manière dont l'ouvrier tient fermé le moule à main. La partie antérieure de la pièce du dessus porte une petite saillie dans toute la longueur, qui, empêchant l'interligne de sortir, permet de la séparer du jet par le mouvement d'un chariot sur lequel reposent les pièces entre lesquelles la matière a été refoulée ; puis, soulevant la pièce du dessus, après avoir ouvert le serrage qui l'appliquait sur la pièce du dessous, l'interligne se trouve fondue et rompue, ne peut être que parfaitement plate, et il n'y a plus qu'à l'enlever du moule sur lequel rien ne la retient. Ce que nous venons de dire suffit pour comprendre que ce système offre tous les avantages qu'on peut désirer. Absence totale de soufflures et de parties creuses, identité dans les produits, toute variation étant impossible ; facilité de fondre de grandes longueurs ; les interlignes sont fondues par ce procédé sur 0m,30 de longueur.

Si l'on joint à cet avantage que la perfection de ces produits en a assuré la vente, et que chaque sorte d'interlignes devant être fondue par quantités considérables, permet d'apporter à la mise en train la plus grande précision, au moyen du calibre, instrument de répétition dont nous parlerons ci-après, on devra considérer ce procédé comme un véritable progrès.

Des épaisseurs. Pour les épaisseurs des interlignes, comme pour tout le matériel de l'imprimerie, le point, l'unité typographique doit être la mesure de l'épaisseur.

On compte cinq interlignes :

1 p., 1 p. 1/2, 2 p., 2 p. 1/2, 3 p.

Les interlignes d'épaisseurs supérieures se font en multipliant celles-ci, ce qui est toujours le plus avantageux, ou sont comptées comme lingots.

Cette progression par demi-points offre toutes les nuances désirables ; mais on ne fond guère que des quatre sortes : 1 p., 1 p. 1/2, 2 p., 3 p. L'interligne 2 p. 1/2 se fait souvent en réunissant les deux premières, dont l'usage est bien plus fréquent.

Du calibre. Le calibre est un instrument qui permet de vérifier avec une grande précision l'épaisseur des interlignes, filets, etc. Il consiste en deux équerres larges de 0m,02, glissant l'une sur l'autre en conservant leurs faces parallèles et serrées au moyen d'un écrou. Si on fixe les deux pièces dans un écartement donné, par exemple, à 30 points de distance, au moyen de 3 m de dix qu'on placera dans ce calibre, il faudra que 10 interlignes de 3 points ou 30 interlignes d'un point entrent dans ce calibre avec la même résistance dans toutes leurs parties. C'est un instrument de répétition au moyen duquel on corrige des défauts très faibles, et les imperfections qui peuvent subsister ne sont qu'une quantité trop faible pour être nuisible. Comme pour tous les produits de fonderie, ce n'est que par la répétition qu'on peut obtenir une perfection suffisante, la composition étant elle-même une répétition perpétuelle qui multiplie les plus petits défauts.

Du rogne-interligne. L'outil qui sert à mettre les interlignes de longueur est un outil indispensable dans toutes les imprimeries, et qui s'y rencontre pour ainsi dire toujours. Il se compose d'un couteau descendant dans un plan vertical, placé à l'extrémité d'une bande de fer horizontale. Cette bande est munie, dans le sens de sa longueur, d'une partie formant un dos, contre lequel l'interligne vient s'appuyer. Un chariot fixé à plat au moyen d'une vis à tête plate, pour laquelle plusieurs trous, correspondant à des positions différentes, sont percés dans la partie horizontale, vient s'appuyer par son grand côté contre le dos et peut glisser horizontalement. Si on place une interligne appuyée à ce chariot et à la partie verticale de l'équerre et bien appliquée à plat, puis qu'on abaisse le couteau, en le serrant vers le chariot, on aura une interligne qui sera exactement de la longueur qui sépare le chariot du couteau ; et, l'instrument une fois monté à la longueur convenable, en coupera de cette longueur le nombre d'interlignes dont on aura besoin en répétant l'opération.

Cet outil est nécessaire dans une imprimerie, puisque souvent on a besoin de remettre des interlignes qui deviennent inutiles sur une justification plus courte.

2° *Des filets.* Les filets sont des lames de métal de la hauteur des caractères, dont l'œil est produit par une opération mécanique. Cet œil, par la nature même du procédé de fabrication, est toujours une ligne droite, ou une combinaison de lignes droites de diverses largeurs. L'épaisseur des filets est ordinairement d'une nonpareille ou 6 points, pour ceux qui ont besoin d'un œil un peu fort, et sur demi-nonpareille ou 3 points pour les autres.

On a fait longtemps les filets en cuivre, mais ceux qu'on employait autrefois étaient mal fabriqués et n'avaient pas la justesse désirable, surtout pour la composition des tableaux où l'on en emploie beaucoup, et qui demande beaucoup de précision. Aujourd'hui on les fabrique beaucoup mieux, mais on les emploie cependant rarement à cause du bon marché auquel on peut établir ceux obtenus par la fonte.

Le moule à filets doit être le plus long possible, car comme on découpe dans les lames la longueur dont on a besoin, plus elles sont longues, moins il y a de déchet. On ne peut pourtant guère excéder un mètre de long, parce qu'il serait difficile de faire arriver la matière dans toute la longueur quand on fond les filets sur demi-nonpareille. Le moule à filets se compose de deux pièces assemblées à charnière par l'extrémité inférieure, qui pose à terre dans l'opération de la fonte.

La pièce du dessous est composée :

1° D'une pièce en fer, bien dressée, d'une épaisseur un peu plus grande que la hauteur des filets ;

2° De deux bandes de fer d'épaisseur égale, qui posent sur deux saillies qui s'étendent dans toute la longueur de la première pièce et bien parallèlement à celle-ci à la partie inférieure. Ces deux bandes se fixent au moyen de vis à tête, traversant des trous oblongs qui permettent à ces pièces de monter.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces deux bandes étant bien dressées en même temps que la pièce principale, on voit que si on place entre elles et les saillies inférieures de petites cales de l'épaisseur exacte du filet qu'on veut fondre, elles déborderont précisément de cette quantité la partie sur laquelle doit se former le filet.

La pièce du dessus est une pièce en fer, plate, de la largeur des trois parties de celle du dessous. Elle viendra donc s'appliquer sur les deux bandes de la pièce du dessous, et le vide sera précisément tel, qu'étant rempli par la matière le filet ait les dimensions convenables. Il n'est pas besoin de dire que chaque pièce est garnie d'un bois, et qu'un jet est adapté à la partie supérieure.

Le moule est fermé par le milieu au moyen d'une griffe à vis ; cette griffe vient s'accrocher sur deux tenons en saillie sur la pièce du dessous ; en faisant tourner la vis dont l'écrou se trouve au milieu de la griffe, on serre les deux pièces.

Voici en quoi consiste le moule à filets, mais on ne pourrait fondre sans une préparation préalable des filets un peu minces. Le fer refroidissant rapidement le métal, la partie qui parcourt successivement ces surfaces froides est figée bien avant d'être arrivée à l'extrémité du moule ; et même, pour les filets plus épais, la surface étant rapidement refroidie, l'air forme des soufflures à l'intérieur qui le mettent souvent hors de service.

On emploie un moyen très simple pour parer à ces divers inconvénients : on colle, au moyen de colle de pâte, une bande de papier bien égale sur chacune des deux pièces ; de cette manière le métal n'étant plus refroidi si rapidement, arrive aisément à l'extrémité du moule. La colle a souvent de la peine à prendre quelque adhérence avec le fer. On se trouve bien de frotter celui-ci avec une gousse d'ail ; la surface est attaquée et devient gluante. La colle prend alors très bien.

L'inconvénient de ce procédé est que le papier se charbonnant assez promptement près du jet, le filet se trouve avoir plus d'épaisseur dans cette partie, et bientôt le papier se déchirant, il devient impossible de continuer. Il serait assez utile de chercher quelque dissolution qui rendît le papier moins combustible. On a employé l'alun avec quelque succès.

Du banc à tirer et du filetage des filets. Le filet sortant du moule n'est pas assez rigoureusement d'épaisseur ; les inégalités qui résultent de la combustion du papier et de l'épaisseur de la colle, rendent nécessaire de les passer au banc à tirer, entre deux couteaux qui se rapprochent, pour obtenir rigoureusement l'épaisseur convenable.

L'opération qui consiste à faire l'œil du filet se fait au coupoir. On serre dans un justifieur le filet, puis au moyen d'un fer monté dans un robinet mécanique (qui est un rabot ordinaire, à la seule différence que le fer peut monter ou descendre au moyen d'une vis verticale), on enlève peu à peu du métal. Le rabot étant guidé par l'épaisseur constante du filet, sur lequel on a serré les patins, il est évident que, en chaque point, le filet présentera la contre-épreuve du fer du rabot, et que toutes ces contre-épreuves formeront des lignes droites. Ainsi si le fer (qui est en acier trempé) est simplement un fer en fourche avec une petite partie plate au fond, le filet sera simple, et l'épaisseur de l'œil sera celle de cette partie plate. En variant les fers on fera les divers filets, maigres, de cadre, azurés, etc.

Pour que le filet ait la hauteur exacte des caractères, on le retourne dans le justifieur, on le taque pour forcer l'œil à arriver au fond, puis on serre fortement. On enlève l'excédant de hauteur avec le rabot mécanique et on termine, avec un rabot à fer fixe, dont les patins sont bien droits, et qui a été monté avec soin, pour obtenir une hauteur bien régulière.

Outils servant à couper et biseauter les filets. C'est à l'aide du couteau et de la lime que l'on coupe habituellement les filets et qu'on biseaute les extrémités qui doivent s'assembler pour former les cadres. On construit aussi à cet effet un outil dit *biseautier*, analogue au rogne-interligne, qui se compose d'un couteau tournant sur la surface inclinée d'une pièce en cuivre portant une rainure dans laquelle se place l filet. Celui-ci étant attaqué par le couteau dans le sen de la hauteur, et d'une quantité indéterminée, troj grande quelquefois pour que le couteau puisse l'enlever, les résultats de cet outil sont très imparfaits. Il n'en est pas de même d'un outil construit en Angleterre par M. Jehl, ancien directeur des ateliers de la fonderie F. Didot. Il se compose d'un fer vertical porté dans un chariot glissant à coulisses. Ce fer ne pouvant saillir que d'une faible quantité (réglable par une vis qui en change l'inclinaison), la quantité de matière enlevée est toujours convenable. Le filet présenté droit est coupé d'équerre ; présenté à 45° par l'effet d'un guide oblique, il est biseauté à cette inclinaison et toujours mis à la longueur voulue, si l'outil porte un chariot à vis que nous y avons joint avec succès.

3° *Des garnitures.* Les garnitures servent à remplir les intervalles qui séparent les pages dans une forme et permettent de les serrer dans un châssis en laissant entre elles les séparations convenables, qui représentent les marges sur le papier.

On se servait autrefois, et aujourd'hui même on se sert encore, dans quelques imprimeries, de bois pour établir les garnitures. Ces bois étant rarement assez égaux en épaisseur pour que les intervalles fussent identiques, on ne pouvait obtenir un registre parfait ; étant rarement d'équerre, les caractères suivant la direction des bois, penchant en pied ou en tête, ne pouvaient être parfaitement redressés. De plus, après le lavage de la forme, les bois d'abord gonflés se séchaient et se resserraient, ce qui leur donnait des courbures diverses, contraires à leur destination, et d'où résultaient de fréquentes décompositions de formes, surtout pendant les grandes chaleurs. Enfin, l'emploi des bois était encore assez coûteux, bien que le prix d'achat ne fût pas élevé, à cause de leur fréquent renouvellement, vu qu'une fois coupés pour un ouvrage, ils peuvent rarement être employés pour un autre.

C'est à M. Molé que revient l'honneur d'avoir remplacé ces bois par des garnitures en métal. Le problème à résoudre consistait à obtenir des plans parallèles destinés à soutenir la lettre et à réunir ces plans par des compartiments disposés de la manière la plus convenable pour résister à la pression résultant du serrage de la forme avec le minimum de poids. Le lingot plein, offrant inutilement une résistance bien supérieure à la pression qu'il doit supporter, était un moyen quelque peu barbare ; la garniture à jour forme au contraire un moyen parfait d'atteindre le but, puisqu'on peut proportionner les épaisseurs de métal de manière à obtenir une résistance suffisante et non un excès inutile.

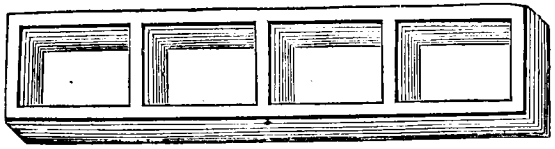
La forme la plus parfaite à donner aux garnitures, pour obtenir la résistance convenable avec le moindre poids, sera évidemment la disposition dans laquelle le métal résistera partout directement, et non par une action indirecte qui, multipliant l'effort par un bras de levier, forcerait à employer de grandes épaisseurs de métal pour résister à cette action.

Nous nous contenterons de donner le système le plus parfait de garnitures à jour qui existe aujourd'hui et qui est dû à un habile fondeur, M. Lion.

Les fig. 4024 et 4025 représentent la forme de cette garniture fondue au moyen d'un moule fort ingénieux qu'il serait trop long de décrire ici. Dans ce système, les séparations sont verticales, et se prolongent jus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'à la partie supérieure de la garniture, où elles ont une épaisseur convenable.



1024.



1025.

Dans ce système, on obtient le maximum de résistance relative au poids du métal employé. En effet, la résistance qu'opposent les séparations est toujours directe. L'épaisseur des côtés de la garniture et des cloisons, à la partie inférieure, est peu différente de celle qui existe à la partie supérieure, parce que dans ce moule le noyau se retire de la garniture, pendant que celle-ci reste dans le moule, au moyen de l'action d'une vis et de guides qui forcent le noyau à sortir en ligne droite; si bien qu'il ne faut plus que peu de dépouille pour qu'il sorte facilement. Il en résulte encore cet avantage que les garnitures, maintenues dans le moule à ce moment, puis s'en détachant avec une grande facilité, ne peuvent jamais être faussées.

§ 11. DE LA POLICE DES CARACTÈRES.

La police des caractères est la liste des sortes nécessaires à la composition, avec l'indication de leur proportion respective pour un nombre de lettres déterminé, et par suite pour un poids donné, autrement dit, pour une *fonte*. Cette proportion s'établit habituellement sur 100,000 lettres, et forme un tableau dont on répète les nombres autant de fois qu'il est nécessaire. Une fonte se demande habituellement par poids, quelquefois par feuille, et dans de cas, on estime la feuille de 80 à 100 kilogr., soit 40 à 50 kilogr. par forme, en comptant dans le poids des feuilles les sortes qui restent nécessairement dans la casse, et qui ne pourraient être levées à cause de l'épuisement d'une d'elles. Cette seconde manière de demander une fonte se ramène donc facilement à la première.

Une fonte étant demandée en poids, le fondeur doit en déduire le nombre de lettres qu'il doit fondre, sans qu'il soit possible d'arriver au poids déterminé d'une manière absolue, à cause des variations des divers poids du même nombre de lettres de caractères d'un même corps, suivant la grosseur de l'œil, l'approche, etc., qu'il est impossible d'évaluer d'une manière absolue. L'imprimeur doit donc laisser au fondeur une latitude du dixième environ sur le poids, soit en plus, soit en moins.

La détermination d'une police exacte serait un travail d'une extrême importance, s'il était possible; mais malheureusement il n'en est rien, et quelque soin que le fondeur puisse apporter à l'établir, il est bien rare qu'une fonte puisse être complétement utilisée, sans qu'on ait besoin d'y ajouter de nombreux assortiments qui sont souvent une source de reproches pour le fondeur. Cela résulte des variations très considérables dans l'emploi des diverses sortes, suivant la nature du travail auquel on applique une fonte. Ainsi, suivant qu'elle servira à l'impression d'un ouvrage de jurisprudence ou de médecine, certaines sortes surabondantes dans un cas seront insuffisantes dans l'autre. Il en sera de même si elle doit servir à imprimer un journal ou un labeur. Fournier recommande de faire dans chaque cas la police, en comptant toutes les lettres comprises dans un passage de l'ouvrage que l'on doit imprimer; mais un semblable travail serait bien souvent inutile, parce qu'une fonte appliquée un jour à un travail d'une certaine nature devra faire le lendemain un travail tout différent. La police ne peut donc être qu'une moyenne, qui ne varie qu'avec les grandes révolutions de l'orthographe, comme quand l'*a* a remplacé l'*o* dans un grand nombre de mots.

Nous terminerons par l'observation de Fournier, qu'il n'est pas surprenant que les grandes capitales nécessitent une police différente de celle des minuscules, puisque étant plus communément employées à commencer les mots qu'à les former, certaines consonnes ont un emploi égal à celui des voyelles.

Nous ne pouvons donner ici les polices convenables pour les langues étrangères qui se trouvent dans les principales fonderies; c'est ce que l'on a fait dans la police que nous donnons pour le français, qui est celle adoptée par plusieurs fonderies et qui n'est guère que la police Didot ramenée à 100,000 lettres, en y faisant quelques corrections indiquées par l'expérience.

Police française pour 100,000 *lettres.*

a	5,000	é	1,600	A	400	A	250	1	450		
b	1,100			B	250	B	150	2	350		
c	2,500	à	500	C	350	C	200	3	300		
d	3,000	è	500	D	350	D	200	4	300		
e	9,300	ì	100	E	500	E	400	5	350		
f	1,200	ù	200	F	200	F	125	6	250		
g	1,000			G	200	G	125	7	250		
h	1,000	â	150	H	200	H	125	8	250		
i	5,000	ê	400	I	500	I	250	9	250		
j	500	î	100	J	250	J	100	0	450		
k	200	ô	100	K	75	K	50		3,200		
l	4,000	û	150	L	400	L	200				
m	2,400			M	400	M	300				
n	4,500	ë	150	N	350	N	200				
o	4,700	ï	100	O	350	O	250				
p	1,800	ü	100	P	300	P	150				
q	1,300		4,150	Q	200	Q	100				
r	4,500			R	400	R	200				
s	5,500			S	400	S	250				
t	5,000			T	350	T	250				
u	4,500		1,600	U	300	U	250				
v	1,200	.	2,000	V	250	V	150				
x	500	,	1,000	X	150	X	100				
y	400	'	1,000	Y	100	Y	75				
z	400	;	400	Z	100	Z	50				
	70,500	:	350								
		!	150	Æ	75	Æ	50	Bas de casse.		70,500	
æ	100	?	200	OE	75	Œ	50	Doubles. . .		1,650	
œ	200	«	250	W	75	W	50	Accents. . .		4,150	
w	200	*	50	Ç	75	ç	50	Ponctuations.		7,500	
ç	150	()	200					Gr. capitales.		8,000	
fi	400	[]	50	É	200	É	150	Pet. capitales.		5,000	
fl	200	—	200					Chiffres. . .		3,200	
ff	200	§	50	È	100	È	100			100,000	
ffi	100		7,500								
ffl	100			Ê	75	ê	50				
	1,650				8,000		5,000				

Nous ne pouvons donner ici une idée de tous les produits qui se rencontrent dans un établissement important; on en juge par tous les produits de la typographie, l'imprimerie ne pouvant que reproduire les types que lui fournit la fonderie. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant la question d'art à l'article ART INDUSTRIEL du *Complément*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDRIE MÉCANIQUE. Le moule ordinaire, qui est, à bien peu près, le même que celui employé à l'origine de l'imprimerie, peut, comme l'a montré une longue expérience, donner avec des soins convenables une fabrication parfaite. Les améliorations qu'on pourrait y introduire encore ne doivent donc pas changer les principes fondamentaux du moule ; elles ne doivent tendre qu'à rendre son usure moins prompte, moins nuisible à la qualité des lettres, et à rendre le jeu des pièces plus régulier. Nous avons vu l'important progrès réalisé dans cette voie par l'intervention du *moule américain*. Aussi n'est-ce pas pour obtenir une fabrication plus parfaite qu'on a cherché à entrer dans une voie toute différente, mais pour fabriquer plus économiquement. Les produits ainsi fabriqués ont été, en effet, livrés à des prix inférieurs à ceux de la fonderie ordinaire, mais n'ont pas cependant, jusqu'à ce jour, pris une part considérable de la fabrication à cause de leur imperfection.

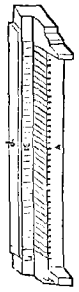
Les seuls systèmes exploités commercialement jusqu'en 1850, reposent sur un principe nouveau fort ingénieux, qu'on doit à M. Henri Didot, et qui permet d'obtenir avec bien plus d'énergie, dans un système fixe, l'effet que l'ouvrier fondeur produit par la secousse qu'il donne au moule.

M. Henri Didot transporte l'opération du clichage (voyez POLYTYPIE) sur une masse de métal placée à côté de la partie où se forment les lettres; la masse liquide choquée violemment tend à s'échapper en tous sens, mais elle ne trouve d'issue que dans des vides nombreux où viennent se former les lettres.

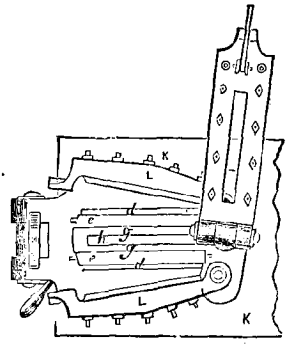
Nous avons vu qu'un des grands avantages du moule à main était que, par sa composition en deux pièces symétriques, il suffisait de l'ouvrir pour que par la plus faible pression la lettre tombât sans pouvoir être faussée. Mais si on veut former un grand nombre de lettres à la fois, il est impossible de pouvoir ouvrir les pièces qui enveloppent les lettres, de manière à laisser sortir celles-ci librement. Il faut donc retirer par traction les lettres formées (inconvénient assez grand); tout ce qu'il est possible de faire, c'est de rendre mobile la pièce qui s'applique sur l'espèce de peigne entre les dents duquel les lettres viennent se former, ce qui permet de les retirer.

Dans l'invention de M. Didot on a rendu cette adhérence un minimum, en faisant que les lettres touchent cette bande de recouvrement par la frotterie; dans le système Herhan, c'est par la force de corps.

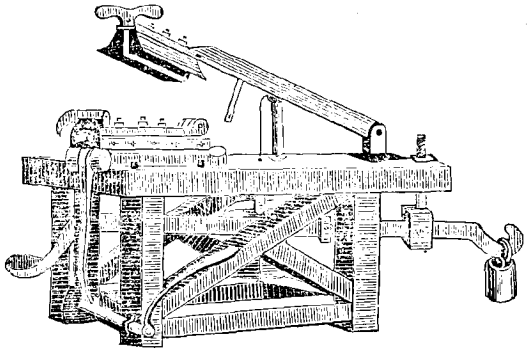
Invention H. Didot. Fonderie polyamatype. La pièce principale du moule est une longue pièce de fer parfaitement plate, dans laquelle sont faites, au moyen d'une espèce de machine à raboter d'une grande précision, des entailles ayant toutes la même largeur, qui est égale à la force de corps des caractères que l'on veut fondre, dimension donnée par la largeur du fer. Ces entailles doivent être parfaitement parallèles et leur profondeur doit être égale à l'épaisseur que doit avoir la lettre, dont la matrice est fixée à l'extrémité, dans une pièce appliquée d'équerre, où se trouvent pratiquées des rainures plus larges qui reçoivent les matrices (voyez fig. 1026). Une plaque de recouvrement s'applique avant le clichage et applique sur le peigne, au moyen de vis, les deux pièces qui recouvrent sur deux bandes placées en face l'une de l'autre (fig. 1027); au milieu se trouve un espace dans lequel on verse la matière sur laquelle on fait tomber un poids qui chasse fortement la lettre de droite à gauche et remplit les intervalles des deux moules (voyez figure 1028).



1026.



1027.



1028

Une première infériorité des caractères fondus par ce procédé résulte de ce que l'air n'ayant plus d'issues, occasionne des soufflures nombreuses à l'intérieur des lettres, ce qui fait qu'ils peuvent manquer de solidité et s'affaisser inégalement par l'effort de la presse. Mais ce n'est pas seulement à l'action de l'air qu'il faut attribuer l'infériorité qu'ont les caractères fabriqués sur ces moules sur ceux de la fabrication ordinaire. La matière ne coule plus liquide de la cuillère dans le moule, elle se trouve agitée violemment et amenée presque instantanément, par le refroidissement des parois du moule (toujours moins échauffé, et plus difficile à échauffer que le moule ordinaire), à un état pâteux ; elle ne passe pas naturellement de l'état liquide à l'état solide, elle semble passer par l'état intermédiaire, qui détruit l'adhérence des molécules et désagrége en quelque sorte la matière; aussi les caractères, quoique fondus avec un bon métal, ont-ils peu de consistance, et le grain de leur cassure est très gros.

Après la fonte le peigne est retiré parallèlement au sens des lettres, puis on enlève le tout.

Comme dans ce procédé on fait un grand nombre de lettres en même temps, il faut qu'en faisant jouer le moule un certain nombre de fois, la fonte se trouve faite suivant la police. Il faut donc qu'il y ait toujours plusieurs matrices d'*e*, d'*a*, d'*s*, etc., pour une de *k*, par exemple. Or, quelque soin que l'on prenne, il y a tou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cès en France dans ces dernières années. On a voulu fabriquer des caractères par procédés entièrement mécaniques et abandonner complétement la voie de la fonderie. A cet effet, on étirait des bandes métalliques ayant exactement les dimensions que devaient avoir les lettres, travail déjà extrêmement difficile pour obtenir des produits d'une précision comparable à ceux de la fonderie. Après avoir découpé les bandes de métal en petites longueurs presque égales à la hauteur des caractères, on les introduisait successivement dans une machine analogue à celle qui sert à fabriquer les pointes de Paris avec du fil de fer. La petite pièce métallique, maintenue entre deux joues en acier, était écrasée vers la partie supérieure par deux petites pièces d'acier mues par des excentriques. Le métal ainsi refoulé venait se mouler dans une matrice en fer fortement maintenue à la partie supérieure, et la lettre était terminée, après toutefois qu'on avait enlevé les barbes qui se projetaient entre les joues d'acier et la matrice. Sans insister sur ce curieux essai, qui ne pouvait réussir, malgré l'habileté des inventeurs, qui ont résolu le problème difficile d'obtenir mécaniquement un moulage d'une grande pureté sans altérer les dimensions des tiges qui devaient former le corps des lettres, nous dirons que la solution complète du problème les eût peut-être menés à faire, suivant leur espoir, des caractères en cuivre deux ou trois fois plus résistants que ceux qu'on peut obtenir par les procédés de la fonderie, mais que certainement ils eussent été bien imparfaits et auraient coûté au moins dix fois plus cher.

CH. LABOULAYE.

FONTAINE FILTRANTE. Voyez FILTRATION.

FONTAINE DE HÉRON. La *Fontaine de Héron* se compose de trois vases, un vase supérieur, un vase moyen, un vase inférieur; et de trois tubes, le premier descendant du fond du vase supérieur au fond du vase inférieur, le second s'élevant du sommet du vase inférieur au-dessus du vase moyen, et le troisième s'élevant du fond du vase moyen jusqu'à deux ou trois décimètres au-dessus du vase supérieur; c'est celui-ci qui forme le jet de la fontaine de Héron. On met de l'eau dans le vase moyen, au moyen d'un bouchon que l'on ferme ensuite; on met pareillement de l'eau dans le vase supérieur, on ouvre un robinet placé sur le premier tube, et le liquide s'élance en un point qui est d'autant plus élevé au-dessus du niveau du vase moyen que le niveau du vase supérieur est lui-même plus élevé au-dessus du niveau du vase inférieur.

C'est avec un appareil construit sur ces principes qu'on fait l'épuisement des eaux des galeries de la mine de sulfure de plomb, à Schemnitz, en Hongrie. (Fig. 1029.) Un réservoir d'eau supérieur est alimenté par une source et sert à alimenter un réservoir A placé au niveau du sol ou d'une galerie d'écoulement; un deuxième réservoir fermé B est placé au fond de la mine et rempli d'eau à épuiser. L'air chassé de A lors de l'arrivée de l'eau du réservoir supérieur exerce une pression sur la surface de l'eau, et la force s'échappe par un tuyau d'ascension *l'*.

Pour recommencer cette opération, il faut rétablir les choses dans l'état primitif, c'est-à-dire vider le réservoir A actuellement rempli d'eau, et remplir d'eau le réservoir B. C'est à quoi l'on parvient par le jeu des robinets S S', S'' S''' et r r', liés deux à deux.

Il existe entre les capacités des réservoirs A et B un rapport dépendant de la pression exercée par la colonne d'eau qui tombe du niveau supérieur dans le réservoir A et qui en chasse l'air dans le réservoir B. Soit h la hauteur de cette colonne, H la hauteur d'une colonne d'eau faisant équilibre à la pression atmosphérique, A et B les capacités des deux réservoirs. Quand l'air introduit est dans le premier, son volume est A, et son élasticité a pour expression $H\rho g$, ρ étant la densité de l'eau; quand il a passé dans le réservoir B, son volume est B (abstraction faite de la capacité du tuyau de communication, et du poids de l'air qui y est renfermé), et cet air fait équilibre à la colonne h, plus à la pression atmosphérique (si le mouvement se continue jusqu'à ce que le réservoir se vide), on a donc : $AH = B(H + h)$, l'élasticité étant $(H + h)\rho$, équation qui donne le rapport des capacités des deux vases et montre qu'on doit avoir $A > B$.

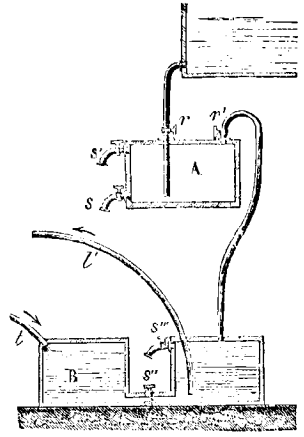


Fig. 1029.

FONTE (*angl.* cast-iron, *all.* roheisen). Voyez FER et FONDERIE DE FER.

FONTE MALLÉABLE. Voyez *Complément*.

FORCE D'UN CHEVAL-VAPEUR. Dans la mesure du travail des forces en général, on prend pour unité la force qui est capable d'élever, en 1 seconde, un poids de 1 kilog. à une hauteur verticale de 1 mètre; cette unité porte le nom de *dynamie* ou *kilogrammètre*. Pour évaluer le travail des forces des machines à vapeur, on prend une unité plus grande, appelée *cheval-vapeur*, qui correspond à 75 dynamies, c'est-à-dire à 75 kilog. élevés, par seconde, à 1 mètre de hauteur verticale, et qui équivaut à très-peu près à l'estimation introduite en Angleterre par le célèbre Watt. Le cheval-vapeur ainsi défini exprime un travail à peu près double de celui que peut fournir un cheval de force ordinaire dans le même temps.

FORÊT. Les forêts occupent une part importante du sol de la France, comme on en jugera par les données statistiques ci-après :

En 1791, les forêts de la France avaient une étendue de 9,589,869 hectares, dont 1,360,492 appartenaient à l'Etat; en 1851, la totalité était de 8,967,000 hectares, dont 1,226,090 à l'Etat. Ce dernier chiffre est descendu à 1,007,046. Ainsi, dans l'espace de sept années, les forêts de l'Etat ont diminué de 283,446, compensation faite des reboisements, qui ont été, en moyenne, de 860 hectares par année, de 1821 à 1837; de 1,300 dans la période 1838 à 1854, elle s'est élevée à 6,270 de 1855 à 1857, inclusivement, et cette opération se poursuit toujours dans de larges proportions. La loi du 28 juillet 1860 a affecté une somme annuelle d'un million, pendant dix ans, au reboisement des montagnes. Pour 1862, les produits des forêts sont évalués à 38 millions, dont 32 1/2 à provenir des coupes de bois.

Plusieurs des considérations qui se rapportent aux forêts ont été exposées à l'article BOIS. Nous ne parlerons ici que de l'estimation du prix des bois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur pied. Le tableau suivant, donné par M. Deperthuis, apprend ce que l'expérience a fait connaître sur le produit d'un arpent de bois destiné au chauffage.

Table du produit d'un arpent de bois selon l'âge de la coupe et la nature du terrain.

AGE de la coupe.	SOL		
	mauvais.	médiocre.	excellent.
ans.	stères.	stères.	stères.
10	9 1/2	16 1/2	21 1/2
15	12	27 1/2	43
20	18	46 1/2	71
25	25	63	100
30	31	80	129
35	33 1/2	100	167
40	33 1/2	118	200
50	28 1/2	118	267
60	24	180	334
70	14	198	382
80	9 1/2	220	430
90	4 1/2	229	456
100	»	243	487

L'arpent de 100 perches carrées de 22 pieds vaut 51 ares.

Le tableau ci-dessus suppose que le bois est bien garni; s'il en est autrement il faut en réduire les nombres dans un rapport dépendant de l'étendue des vides ou clairières dont il faut d'abord déterminer la proportion.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'acheter 5 hectares 95 ares de bois de 25 ans, dans un sol de qualité moyenne et que les clairières soient de 1/7e. Les 5 hectares 95 ares ne vaudront réellement, déduction faite du septième, que 5 hectares 10 ares ou 10 arpents, ce qui, à raison de 63 stères de bois par arpent (voir le tableau), donne 630 stères pour l'équivalent de la coupe; si le prix du stère, dans le lieu de l'exploitation, est porté à 10 francs, l'enchère ne devra pas dépasser 6,300 francs.

Jusqu'à 30 ans le bois porte le nom de *taillis*, au-delà il prend successivement ceux de *demi-futaie*, *haute futaie* et *vieille futaie*.

L'estimation de la valeur d'une futaie est principalement basée sur la quantité de pièces de charpente qu'on peut en tirer. On range les arbres par classes, qu'on nombre et qu'on estime à part : la somme donne le prix total. Pour estimer le prix d'un arbre on en mesure la circonférence à 2 mètres de terre, au moyen d'un ruban, et on en déduit le quart pour tenir compte des déchets dus à la présence de l'écorce et de l'aubier; à cet effet, les divisions du ruban sont espacées de telle sorte que 4 mètres n'y sont comptés que pour 3; on prend ordinairement le cinquième du contour ainsi obtenu pour représenter l'équarrissage de la solive que l'on peut en retirer. On mesure ensuite la hauteur de la *pile*, c'est-à-dire de la portion d'arbre susceptible d'être convertie en bois de charpente, en tenant à la main et à la hauteur de l'œil un triangle rectangle isocèle (sorte d'équerre dont un côté est vertical et l'autre horizontal), et s'éloignant de l'arbre à une distance telle que le sommet de la pile se trouve sur l'alignement de l'hypoténuse : la distance à laquelle on se trouve alors de l'arbre augmentée de 1m,50 donne approximativement la hauteur de la pile. On a ainsi les 3 dimensions de la solive, et il est facile d'en déterminer le cube et par suite le prix; il faut encore tenir compte des branches capables de produire du bois de corde ou des fagots, ce qui varie avec l'âge, . essence, etc.. et que l'expérience apprend à connaître. (Voy. FORÊTS, *Complément.*)

FORET (*angl.* borer, *all.* bohrer). On donne ce nom à divers outils de dimensions variables qui servent à percer les métaux, la pierre, le bois. La partie travaillante ou la mèche est en acier, et se fait ordinairement pour les forets de faible dimension, avec des tronçons de fleurets ou de vieilles limes.

Les forets destinés à percer un premier trou, par un mouvement de rotation alternatif, tel que celui qu'on imprime avec un archet, ont leurs bouts aplatis et taillés en grain d'orge, avec deux biseaux qu'on fait sur la meule après la trempe. La pointe doit correspondre exactement au centre, sans quoi le trou qu'on perce n'est point rond. Lorsque le foret a pour objet d'agrandir un trou, on fait précéder son tranchant d'un goujon du calibre du premier trou; il prend alors le nom de *foret* ou *mèche à goujon*. Il faut plusieurs assortiments des uns et des autres dans un atelier. Le bout opposé à celui qui perce est façonné en pivot, en carré, etc., suivant le mode de communication du mouvement.

Les tranchants des forets qui percent en tournant toujours dans le même sens, sont également à pointes angulaires plus ou moins obtuses, mais ils sont à biseau simple. On se sert ordinairement d'huile pour forer le fer et l'acier. La fonte, le fer, le cuivre, le bronze, la pierre, etc., se percent à sec; il faut seulement avoir soin de ne pas trop précipiter le mouvement, afin de ne pas détremper l'outil. Cette vitesse peut aller à 35 à 40 tours par minute pour des trous d'un diamètre de 25 millimètres et au-dessous, et doit diminuer au fur et à mesure que le diamètre augmente.

FORGE. On distingue deux espèces de forges, savoir : les *grosses forges* (*forges à l'allemande*, *forges à l'anglaise* : voyez ACIER et FER), où l'on fabrique le fer et l'acier et où on les étire en barres de tout échantillon au moyen de martinets et de laminoirs; et les *forges maréchales* (*angl.* smith's forge, *all.* schmiede-feuer), où l'on façonne à bras d'hommes les innombrables pièces de fer et d'acier que consomment les diverses branches de l'économie industrielle.

La disposition des forges maréchales varie suivant l'usage auquel elles sont destinées, ainsi on distingue les forges de serruriers, de mécaniciens, de cloutiers, de maréchaux, les forges portatives, etc.; mais toutes se ressemblent, en ce qu'elles sont principalement formées d'un soufflet, d'une tuyère placée horizontalement, d'un foyer, d'une hotte et d'une cheminée. On les chauffe au charbon de bois ou le plus souvent à la houille et particulièrement avec cette variété grasse et collante qui a reçu le nom de *houille maréchale*. On emploie ordinairement le menu dont on forme au-dessus du feu une voûte, qui se soutient par suite de la propriété collante de la houille, et qui sert à concentrer la chaleur. Avant la chaude, on détache de la voûte les parties les plus calcinées, pour former le fond du feu sur lequel on place le fer au-dessus de la tuyère; de telle sorte que le vent traverse du coke enflammé, puis se réfléchit sur la voûte embrasée, avant de venir en contact avec le fer sur lequel il n'exerce plus alors qu'une action à peine oxydante.

La fig. 1030 représente une forge portative très simple avec ses principaux accessoires : A, soufflet cylindrique en cuir, qui se manœuvre au moyen du levier B, qui fait mouvoir l'axe C, portant deux secteurs sur lesquels s'enroulent des chaînes qui viennent s'attacher au fond inférieur du soufflet; D, porte-vent qui vient aboutir à la tuyère en E; le foyer est recouvert avec des briques réfractaires minces; F, étau. Cette forge est surtout employée sur les vaisseaux; elle a 0m,75 de hauteur sur 0m,60 de large et 0m,80 de long, et pèse environ 100 kilogr.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La question du travail de la forge a été traitée avec trop de soin par notre collaborateur A. Faure, dans son bel article CONSTRUCTION DES MACHINES, pour que nous ayons à y revenir ici. Il a parfaitement indiqué la révolution qu'apportait dans l'art de la forge l'admirable invention du marteau à vapeur, qui a permis de mouler des masses de fer de dimensions énormes et d'attaquer des constructions gigantesques.

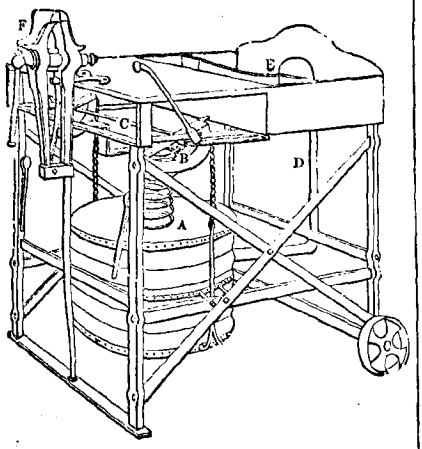


Fig. 1030.

Nous chercherons à le compléter sur un seul point qu'il n'a peut-être pas assez mis en lumière ; je veux parler de l'emploi des étampes. Lorsqu'un grand nombre de pièces semblables doivent être obtenues par la forge, on comprend toutes les économies que peut procurer, pour les opérations ultérieures, le forgeage dans un creux de la forme qu'il s'agit d'obtenir.

Ceci revient à modifier l'enclume. Une modification générale est celle qui consiste à lui donner la forme d'un V pour le forgeage des arbres et en général des pièces de fer cylindriques. Au lieu de s'écraser comme sur une enclume plate, l'arbre reste toujours sous l'axe du marteau, et il ne tend pas à s'y former un centre, un noyau poreux. On est allé plus loin que le simple emploi des étampes pour les pièces à multiplier; on a construit en Angleterre une machine à forger qui a eu un grand et légitime succès. Cette machine, inventée par M. Ryder pour la confection de petits articles de consommation courante, les broches de filature, par exemple, fonctionne avec une rapidité et une précision remarquables. Elle se compose essentiellement d'une série de petites enclumes de 20 cent. carrés environ, maintenues par-dessous au moyen de larges vis qui traversent le bâti de la machine, et qui servent à régler d'une manière exacte la distance qui doit exister entre chacune d'elles et le marteau correspondant. Une garniture en liége est interposée entre la vis et l'enclume pour amortir les chocs. Quant aux marteaux, ils sont respectivement disposés au-dessus des enclumes, et accomplissent leur chute en glissant de haut en bas et réciproquement entre des coulisses verticales ménagées dans le bâti de la machine. Chacun d'eux est maintenu relevé par un fort ressort à boudin, et l'abaissement qui produit le choc est obtenu au moyen d'un excentrique circulaire, abaissant une espèce de came agissant par pression sur la tête du marteau. Le nombre des coups par minute est de 700.

MM. Platt frères, d'Oldham, les célèbres constructeurs de métiers à filer, ont perfectionné cette machine, dont ils ont apprécié la grande utilité pour produire les nombreuses pièces semblables qui entrent dans ces appareils. Au lieu de faire porter les enclumes sur des vis dont les pas étaient forcés en peu de temps par les chocs répétés, il les font porter sur des plans inclinés en forme de coin que l'on déplace à l'aide d'une vis horizontale. On a également remplacé la garniture de liége par un fort ressort spiral. Le matriçage des enclumes et des marteaux permet d'obtenir telle forme que l'on désire, avec une perfection qui n'est pas moins remarquable que la rapidité de la production. Tous les petits articles, tels que boulons, écrous, broches, etc., ainsi fabriqués paraissent presque produits au tour, tant ils présentent de perfection au double point de vue des dimensions et du poids.

FORGES CATALANES ET CORSES. Dans ces forges on extrait du fer malléable de ses minerais dans une seule opération. Cette méthode, par la simplicité de ses appareils et de son roulement, peut offrir quelques avantages dans des contrées montagneuses, où les communications sont difficiles, où les fortunes sont médiocres et où les forêts sont disséminées sur une grande étendue. Le fer qu'elle donne est plus pur que celui que l'on obtient par les autres méthodes, non-seulement parce que les matières premières de la fabrication se distinguent par leur bonne qualité, mais encore parce que la réduction précède la fusion et s'opère à une température peu élevée à laquelle les matières étrangères qui peuvent se trouver dans les minerais sont irréductibles. D'ailleurs, les scories de l'opération renfermant une grande quantité d'oxyde de fer, la réduction, si elle pouvait faire de plus grands progrès que ceux que l'on observe, s'exercerait de préférence sur l'oxyde de fer, qui est plus facile à réduire que les autres éléments des scories. Cela explique pourquoi les fers produits par la méthode directe sont très-estimés pour la fabrication des pièces de résistance, pour la cémentation, etc.; cette méthode fournit en outre des aciers naturels qui sont une seconde source de bénéfices pour les maîtres de forges. Enfin, la dépense en combustible est généralement un peu inférieure au chiffre total des consommations dans les différents traitements habituellement usités au charbon de bois. Mais, d'un autre côté, cette méthode exige l'emploi de minerais qui ne se trouvent que dans peu de localités, le travail est difficile et la main-d'œuvre infiniment plus considérable que dans tous les autres procédés de fabrication du fer. Aussi est-elle exclusivement concentrée dans les Pyrénées et en Corse, pays où les conditions établies ci-dessus se trouvent remplies.

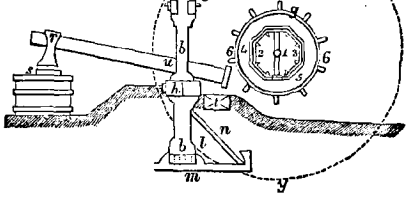


Fig. 1031.

L'ensemble d'une forge catalane comprend un feu ou foyer pour l'élaboration du minerai, une machine soufflante d'une construction particulière dite *trompe*, fournissant au maximum 8^{l},9 d'air par minute sous une pression de 0^{m},08 de mercure, et un marteau à queue,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FORGES CATALANES ET CORSES.

du poids de 650k, mû par une roue hydraulique. Le foyer se trouve entre la machine soufflante et le marteau, et tous les trois sont placés à peu près sur la même ligne droite.

La fig. 1034 est l'élévation du marteau employé dans les foyers pyrénéens : *1*, axe de rotation de la roue hydraulique motrice *xy*, sur lequel est monté le collier 2 3, de l'arbre des cames 4 5 6; *h*, *l*, *m*, *n*, fondations supportant les jambes *b* du marteau, qui sont réunies à la partie supérieure par les traverses *e*; *u*, manche, et *r*, tête du marteau; *s*, enclume; *t*, tas destiné à limiter la levée du marteau et formé par l'extrémité d'une solive en bois élastique.

La machine soufflante ou *trompe* a été donnée à l'article MACHINES SOUFFLANTES. Nous n'en reproduirons pas ici la description, nous contentant de faire remarquer la simplicité, la rusticité d'un genre d'appareil fondé sur des phénomènes curieux.

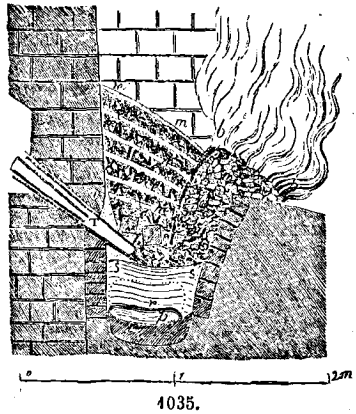
La chute totale d'une trompe est de 6 à 7 mètres, et cet appareil, lorsqu'il est bien construit, emploie moyennement 12/100es de mètre cube d'eau par seconde et par feu.

Le personnel d'un feu catalan se compose de 8 ouvriers formant 2 brigades qui se relaient par postes de 6 heures environ, jour et nuit, en se réunissant toutefois pendant un temps assez court, à la fin de chaque opération, pour retirer la loupe du feu. Chaque brigade se compose d'un maître affineur ou marteleur dit *foyer* ou *maillé*, et de son aide ou *pique-mine*, et d'un fondeur ou *escola*, avec son aide ou *miaillou*. Outre ces ouvriers, il y a, par usine, un *garde-forge* qui livre aux fondeurs le minerai et le charbon, et un *commis* chargé de la comptabilité et de la haute surveillance.

Les minerais que l'on traite dans les forges catalanes doivent être en roche, purs, riches et fusibles; il faut qu'ils contiennent au moins 40 à 50 p. 100 de fer métallique et que par leur nature ils puissent donner lieu à la formation facile d'un silicate neutre. Voici, du reste, d'après M. François, la composition moyenne des minerais employés dans l'Ariége :

Peroxyde de fer. . . .	62,474
Peroxyde de manganèse. .	6,213
Chaux.	2,790
Alumine.	1,014
Magnésie.	0,545
Silice.	14,745
Eau.	12,112
Perte.	0,137
	100,000

Le minerai à traiter en une opération est partagé en deux parties : l'une, composée de morceaux débarrassés au moyen d'un crible, de la poussière et des menus fragments, est placée en *mm* (fig. 1035), et séparée du combustible chargé en *cc*, par plusieurs couches soigneusement battues *aa*, de fraisil humecté et de charbon menu; l'autre, réduite en poussière et portant le nom de *greillade*, formant au moins le tiers et quelquefois la moitié de la masse totale, et fortement humectée d'eau, est chargée successivement, et par petites portions, pendant toute la durée de la réduction du minerai *m*; ces petites couches *m'm'* de minerai, stratifiées avec le charbon de bois *c*, descendent en même temps que ce charbon s'affaisse par la combustion qui a constamment lieu devant la tuyère. Les massiaux de fer brut *f*, *f*, sont placés au-dessus de la tuyère T, dans l'espace disponible compris entre le minerai *m* et la warme *v*. La chaleur, dégagée par la combustion, est employée en partie à échauffer par contact et par rayonnement les massiaux *f*, *f*, et en partie entraînée par les gaz que cette combustion produit. L'air projeté de haut en bas circule dans les charbons incandescents tout le temps nécessaire pour perdre sa vitesse initiale; par suite de cette disposition, l'oxygène atmosphérique est déjà converti en oxyde de carbone, lorsque les gaz sont chassés au travers du minerai *mm* par le courant que ne cesse de projeter la tuyère. L'oxyde de carbon



1035.

sort du foyer en traversant le minerai *mm*, et non le charbon *cc*, par plusieurs raisons; les interstices qui existent entre les charbons laissent au gaz un passage moins facile que ceux du minerai *mm*, préalablement débarrassé de tous les menus fragments; la hauteur de la masse de ce charbon *cc* est ordinairement plus grande que celle du minerai *mm*; les massiaux placés au-dessus de la tuyère gênent la sortie des gaz dans cette direction; enfin, les couches de minerai pulvérulent et humecté *m'm'*, qu'on stratifie continuellement avec le charbon, tendent encore à empêcher la circulation des gaz dans cette partie du foyer. Par ces divers motifs, le minerai *mm* offre le point de moindre résistance, et donne seul issue aux gaz, que l'on peut effectivement embraser en *bb*, par l'approche d'un corps enflammé à la surface du tas de minerai, dès qu'on commence à donner le vent; la disposition du foyer pyrénéen est donc telle, que le minerai y est soumis, depuis le commencement de l'opération, à l'influence simultanée de tout l'oxyde de carbone qui se forme dans le foyer, et de toute la chaleur qui n'est point employée dans le fond du foyer à échauffer les massiaux et à élaborer le minerai menu. L'élaboration du minerai gros et menu en *m* et en *m'*, et la conversion de toutes les matières fixes en une loupe de fer malléable *r*, et en scories *ss*, comprennent d'ailleurs une foule de phénomènes que nous allons examiner succinctement.

La sole du foyer est ordinairement une pierre de granite : trois de ses parois sont formées de barres de fer superposées; la *rustine* ou *haire* est seule en maçonnerie réfractaire; la tuyère est en cuivre rouge. Les dimensions de ces diverses parties étant données par la figure 1035, nous passerons immédiatement à la description d'une opération.

Après avoir retiré la loupe ou *massé* du feu, et rejeté dans le creuset le charbon réuni sur l'aire, l'ouvrier jette par-dessus du charbon frais qu'il égalise et presse au moyen d'une pelle. Arrivé un peu au-dessous du niveau de l'extrémité de la tuyère, on partage le creuset, à l'aide d'une planche placée à peu près parallèlement à la warme et aux 2/3 environ du creuset à partir de cette face, en deux parties que l'on remplit, l'une de minerai, l'autre de charbon tassé et recouvert d'une couche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de fraisil humide et également tassé, comme l'indique la figure 1035.

On donne alors pendant le vent au maximum de tension (0m,084), afin de dégager la tuyère et d'aviver le feu, et après 10 minutes environ, on abaisse le vent à une pression de 0m,036, que l'on maintient pendant toute la durée de cette période. L'escola ajoute du charbon et par-dessus de la greillade à peu près toutes les 8 minutes, en arrosant cette dernière, après la charge, avec une certaine quantité d'eau. La durée moyenne de cette période est de 73 minutes.

Dans la seconde période, dont la durée moyenne est de 69 minutes, on porte la tension du vent à 0m,045 de mercure, et l'on fait deux percées de scories, l'une à la fin de cette période, l'autre 20 minutes avant.

Dans la troisième période, dont la durée moyenne est de 42 minutes, on porte la pression du vent à 0m,063, et l'on fait deux percées pour faire écouler les scories. L'escola *donne* deux fois *la mine* dans cette période, au commencement et à la fin. Donner la mine, c'est faire descendre le minerai à l'aide d'un ringard que l'on introduit entre celui-ci et le contrevent. Lorsque l'escola donne la mine pour la première fois, il pousse son ringard droit au fond, sans qu'aucun des points de la partie plongée de l'outil cesse d'être en contact avec le contrevent, et cela dans le plan vertical qui passe par l'axe de la tuyère; il répète la même opération dans l'angle du creuset formé par le contrevent et le laiterol. Il ne la donne pas encore dans l'angle formé par le contrevent et la rustine. Lorsqu'il donne la mine pour la seconde fois, il enfonce son ringard à l'extrémité du contrevent; puis, l'extrémité inférieure de l'outil restant fixe, il lui imprime un mouvement de va et vient parallèle au contrevent avec lequel il reste constamment en contact.

Dans la quatrième période, dont la durée est de 45 minutes, on porte la tension du vent à 0m,072; on rejette sur le feu, avec la greillade, les scories lourdes des coulées précédentes; on perce quatre fois pour donner écoulement aux scories; on donne trois fois la mine, principalement dans l'angle formé par le contrevent et la rustine. L'étirage du fer provenant de la loupe précédente s'achève vers le milieu de cette période, et l'on y épuise aussi la greillade.

Dans la cinquième et dernière période, dont la durée moyenne est de 133 minutes, et où la tension du vent a été portée à 0m,084, le charbon est presque partout enflammé à la surface du creuset, et tout le mur de minerai a disparu sous le charbon. On perce environ douze fois pour faire écouler les scories, et, après chaque percée, on donne la mine; mais le ringard s'enfonce de moins en moins, parce que la loupe ou massé qui occupe le fond du creuset grossit de plus en plus. Le pied du mur de minerai est fortement aciéreux. En donnant la mine, on fait glisser la partie aciéreuse sur le massé, pour qu'elle s'y soude et s'affine sous la tuyère. La chaleur étant très forte, le valet jette 1 litre 1/2 d'eau sur le feu, chaque fois que le maître donne la mine. Environ 30 minutes avant la fin de cette période, on fait le dernier chargement de charbon; il n'y a plus alors de minerai dans le creuset. Alors, au lieu de donner la mine, après le percement du chio, l'escola rassemble les morceaux de fer épars dans le creuset pour les souder au massé, et il cherche à arrondir et à dégager celui-ci avec son ringard. Arrivé à ce point, et lorsque le charbon s'est affaissé jusqu'aux approches de la surface supérieure du massé, on arrête le vent, et l'on se hâte d'enlever à la pelle les charbons embrasés qui recouvrent le massé; celui-ci adhère ordinairement au fond du creuset. Pour l'en détacher, on introduit par le trou du chio un fort ringard que l'on enfonce à coups de masse entre la loupe et la pierre du fond, et dont on se sert pour soulever le massé; tous les ouvriers se réunissent alors pour le saisir à l'aide de crochets, et le faire rouler sur le sol de l'atelier.

Le cinglage de la loupe et son étirage se faisant de la même manière que dans les feux d'affinerie (voyez FER), nous ne reviendrons pas ici sur ces détails.

Avant de terminer, nous dirons quelques mots sur les diverses réactions qui se passent dans le feu et qui ont été observées directement par M. François.

Dans la partie supérieure du feu, le minerai perd son eau, les carbonates sont partiellement décomposés, et l'oxyde de fer passe successivement à l'état d'oxyde magnétique et d'oxyde des battitures. Plus bas, on remarque, autour des noyaux de minerai, l'apparition de pellicules de fer métallique, et, dans le voisinage de ces pellicules, la formation de matières scoriacées et boursouflées. Une réduction plus active, la scorification et la liquation des terres et un commencement de carburation, marquent la troisième région du feu à partir du sommet du mur du minerai. La liquation s'opère toujours à l'état de silicate neutre, que l'on remarque partout où s'exerce la réduction. Enfin, la liquation continue à s'opérer dans les proportions définies du silicate neutre, si l'allure est modérée, dans la portion du mur du minerai la plus rapprochée de la tuyère suivant la verticale; de plus, la réduction s'achève et la carburation s'exerce avec une grande activité, si l'allure est lente et soutenue.

Pendant la période de l'étirage, la greillade et le charbon n'atteignent dans le feu qu'une hauteur de 0m,50 au-dessus du nez de la tuyère; dans la période qui suit, au contraire, le foyer est entièrement rempli, et la greillade doit descendre d'une hauteur d'environ 1m,00 pour arriver sous le vent; aussi, la réduction se fait moins complétement dans la première période que dans la seconde, et les premières coulées de scories sont assez basiques pour pouvoir être rejetées dans le fourneau, si l'allure et le charbon le permettent. En général, on obtient des scories d'autant plus riches et par suite un fer d'autant plus doux que la rapidité avec laquelle on fait fondre la greillade est plus grande. Lorsque la greillade arrive sous le vent, elle y donne naissance à un noyau métallique d'une forme concave, dit *principe du massé*, parce qu'il sert en effet à asseoir le massé, et que l'ouvrier nourrit pendant l'étirage et le travail en donnant de la mine.

La durée ordinaire d'un feu ou d'une opération est de 5 heures 3/4. On peut admettre que, dans une campagne entière et dans une forge bien conduite, on consomme par feu 485k de minerai renfermant 240k de fer métallique et 405k de charbon, et que l'on obtient 148k de fer en barres.

On obtient dans les forges catalanes trois espèces de fer : le *fer ordinaire*, le *fer fort* et l'*acier naturel* ou *fer cédat*. Le fer ordinaire est dur, nerveux, plus ou moins aciéreux, difficile à travailler à la lime et au marteau. Le fer fort est un acier ferreux qui a une couleur blanche dans sa cassure. Le fer cédat est noir ou violet et constitue la qualité supérieure d'acier naturel. Le fer fort se trouve généralement à l'extrémité du massé; plutôt à la surface qu'au centre, et plutôt sur les bords qu'au milieu, et surtout du côté du laiterol ou chio.

Pour obtenir de l'acier, il faut observer les règles suivantes : 1° employer moins de greillade pour obtenir des scories moins riches en oxydes de fer; 2° pousser plus fréquemment la mine vers la tuyère et avec moins de force, afin que le massé, qui n'est plus protégé par les scories, échappe à l'action du vent; 3° donner plus de charbon ou moins de mine; 4° multiplier les percées du chio; 5° prolonger le travail, renverser le contrevent en arrière et rendre la tuyère plus rasante, 6° donner moins de vent vers la fin de l'opération que pour la production du fer doux; 8° employer des char-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bons lourds ; 9° employer des minerais ou des fondants manganésifères.

L'acier des forges catalanes s'emploie, sans affinage préalable, à la confection des faux, des socs de charrue, etc.

D'après M. François, le prix de revient des 100[k] de fer forgé à l'usine de Vicdessos (Ariége), pour l'année 1840, pendant laquelle on a fait 1000 feux, a été comme suit, de 40[f],63[c] :

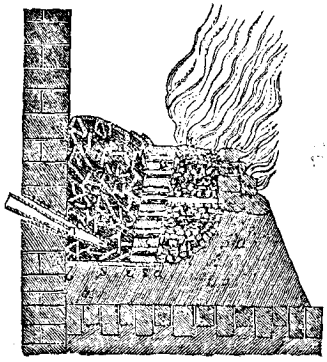
310[k] de minerai, à 2[f] les 100[k].	6[f],20
302[k] de charbon à 8[f],20 les 100[k].	24[f],76
Main-d'œuvre.	5[f],95
Garde-forge et commis, 1500[f] par an. .	0[f],93
Entretien de l'usine, 1200[f].	0[f],80
Intérêt à 5 p. 100 de la valeur de l'usine (25000[f]).	0[f],83
Intérêt à 6 p. 100 du fonds de roulement (29000[f]).	1[f],16
Prix de revient des 100[k] de fer forgé. . .	40[f],63

Nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui désireraient plus de détails sur les forges catalanes à l'excellent ouvrage que vient de publier sur ce sujet M. François (*Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées*, etc.).

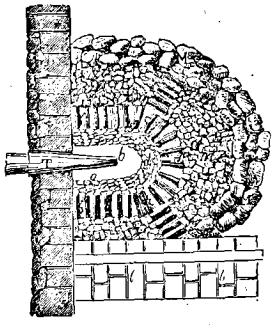
FOYERS CORSES. La fabrication du fer par la méthode corse diffère de la fabrication pyrénéenne en ce que la simplicité apparente des moyens y est poussée moins loin, et notamment en ce que la réduction du minerai se fait dans un foyer distinct de celui où ont lieu la formation des loupes et le corroyage du fer brut. Dans la première opération, on emploie, pour diriger l'oxyde de carbone sur le minerai à réduire, un moyen aussi simple qu'ingénieux, dont les fig. 1036 et 1037 offrent les principaux détails.

Le foyer n'offre d'autre construction fixe que la warme *v v*, qui supporte la tuyère, et le laiterol *l l*, qui ne joue aucun rôle dans la première opération. Ce foyer est reconstruit à neuf chaque fois de la manière suivante : sur un fond de brasque battue, *a a a*, on élève au devant de la tuyère une enceinte composée de gros charbons bien droits, C C, longs de 0[m],16 et disposés horizontalement. La base de cette sorte de mur d'enceinte est limitée intérieurement par deux droites parallèles *b b*, perpendiculaires à la warme, distantes de 0[m],18, et situées à égale distance du plan passant par l'axe de la tuyère ; ces deux droites s'appuient contre la warme par l'une de leurs extrémités, et sont raccordées à l'autre extrémité par un demi-cercle *b d b*, dont le point *d*, situé dans le plan de l'axe de la tuyère, est à 0[m],40 de la warme. La limite extérieure du mur d'enceinte est une figure *b' d' b'*, entièrement semblable à celle que nous venons de décrire, et est distante de 0[m],16 de tous les points correspondants de la limite extérieure ; l'espace compris est occupé par des charbons disposés horizontalement, et toujours normalement aux deux limites. Sur l'assise inférieure, établie comme il vient d'être dit, on place d'autres charbons de même longueur, offrant une certaine retraite à mesure qu'ils s'élèvent, de telle sorte que l'enceinte ait en tout 0[m],75 de hauteur ; et offre à son orifice supérieur des dimensions de 0[m],48 et 0[m],55. Le minerai à réduire, concassé en fragments, est placé en *m*, entre le mur de charbon et de gros fragments M de minerai, qui doivent servir à une opération subséquente, et qui reçoivent ainsi une sorte de préparation. Le combustible chargé en *c* s'élève ordinairement au-dessus du niveau du minerai. On lance moyennement dans l'enceinte 5[k] d'air par minute, avec une pression de 0[m],04 à 0[m],05.

Ici, comme dans le cas des foyers pyrénéens, la masse du minerai à réduire offre aux gaz réductifs formés dans l'enceinte, une moindre résistance que le charbon accumulé au-dessus de la tuyère. On charge à la fois 530[k] de minerai et l'opération dure quatre heures.



1037.



1036.

On retire le minerai réduit, mélangé de brasque, et on l'affine par petites parties dans le même foyer, au moyen de scories riches, après avoir détruit le mur de charbon C C. Chaque affinage dure environ quatre heures, et produit de 30 à 35[k] de fer doux d'excellente qualité. Malheureusement, dans ce procédé, la main-d'œuvre, et surtout la consommation en combustible (qui s'élève à plus de 700 de charbon pour 100 de fer produit), sont si considérables, que cette méthode disparaît de plus en plus.

Statistique. En résumé, en 1843, il y avait en France 127 foyers catalans et 8 foyers corses, en tout 135 foyers, dont 107 en activité ont produit 108,451[m] de fer forgé, ayant une valeur de 4,906,597 francs. P. DEBETTE.

FORMIATES. Nom donné aux sels formés par l'acide formique ; ils sont tous solubles, et précipitent de leurs dissolutions l'argent et le mercure à l'état métallique.

ACIDE FORMIQUE. Cet acide existe naturellement dans le corps des fourmis, ce qui lui a valu le nom qu'il porte, et dont on l'extrayait autrefois par distillation ; actuellement on le prépare directement en exerçant une action oxydante sur un grand nombre de matières organiques, et ne poussant pas la réaction jusqu'au bout ; on prend ordinairement, à cet effet, une grande cornue tubulée, dans laquelle on met 1 partie de sucre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dissoute dans 2 p. d'eau ; on y ajoute 3 p. de peroxyde de manganèse, et puis on verse par la tubulure 3 p. d'acide sulfurique à 66°, que l'on étend préalablement de trois fois son poids d'eau ; il faut que le tout ne remplisse que 1/15e à 1/20e de la cornue. Vers 50 à 60°, l'action devient très tumultueuse et il se dégage beaucoup d'acide carbonique, puis en continuant à chauffer il distille de l'acide formique étendu ; on reçoit ordinairement cet acide dans un lait de chaux. On obtient ainsi du formiate de chaux que l'on fait cristalliser par évaporation, et que l'on traite par de l'acide sulfurique à 66° pour obtenir de l'acide formique concentré ; on l'obtient encore plus concentré, et ne renfermant qu'un équivalent d'eau, en décomposant à chaud par l'hydrogène sulfuré gazeux le formiate de plomb anhydre. Dans cet état, il renferme environ 19 3/4 p. 100 d'eau, et sa composition est exprimée par la formule $C^2 H^2 O^3 + H^2 O$. C'est un corps très réducteur qui précipite de leurs dissolutions, à l'état métallique, l'argent et le mercure ; il n'a reçu du reste, jusqu'à présent, aucun emploi dans les arts.

FOULON (*terre à*). Voyez ARGILE.

FOULON (*moulins à*). Voyez LAINE.

FOURS A CHAUX. Voyez CHAUX.

FOURS A PLATRE. Voyez PLATRE.

FOURNEAUX (*angl.* oven, *all.* ofen). Voyez MÉTALLURGIE, et à l'article de chaque industrie en particulier, ainsi qu'aux articles ARGENT, CHAUDIÈRE A VAPEUR, CHEMINÉE, CUIVRE, FER, ÉTAIN, MERCURE, PAIN, ZINC, etc.

FOURNEAUX DE CUISINE (*angl.* coaking stove, *all.* küchenofen). Dans l'enfance des sociétés, les aliments étaient exposés à l'action directe du feu, c'est-à-dire rôtis et grillés sur des charbons ardents, par l'action de la flamme, ou cuits dans des fours sur des cendres chaudes, ou enfin entourés de cailloux préalablement chauffés, comme le font encore aujourd'hui la plupart des nations de l'Océan pacifique, et les peuplades sauvages de l'Amérique.

Homère, si fidèle dans les détails industriels qu'il nous a transmis, si utile à étudier pour l'histoire des arts, ne parle que de viandes rôties, aussi bien devant les murs de Troie, que dans les riches palais de Nestor, de Ménélas, d'Alcinous et d'Ulysse. Les chairs sont toujours rôties ou grillées sur le feu direct, au moyen de broches ou de lardoires à cinq pointes, analogues à celles dont on se sert aujourd'hui pour griller le pain. Une seule fois, sous la tente d'Achille, il est question de viandes cuites dans une chaudière d'airain ; mais il est évident que c'est dans le vase même d'airain, et dans la graisse, et non pas dans l'eau bouillante que les chairs étaient cuites : car Homère, qui n'oublie jamais un détail technique, ne dit pas que l'on ait rempli d'eau la chaudière où Achille jette divers animaux, et dans les vers suivants il ne parle que de chairs rôties.

On doit en conclure, comme l'a déjà dit Brillat-Savarin, que les chairs étaient cuites dans une chaudière d'airain, sans eau, et avec leur graisse ; procédé qui donne des viandes d'un goût excellent, et est employé encore aujourd'hui, notamment dans la Franche-Comté, en employant des vases en bronze, et dans la Lorraine, l'Alsace, et presque toute l'Allemagne, avec des marmites de fonte ou de fer battu.

Quelques vers que Lycophron met dans la bouche de Cassandre, et dans lesquels il décrit *une chaudière bouillant du fond par l'action du feu*, et où une vieille sorcière fait bouillir les chairs des morts, *comme on le fait dans l'art de la cuisine ;* et la fable du vieux Pélias, que ses filles coupent par morceaux, et font bouillir dans une chaudière pour le rajeunir, s'expliquent très bien par le même procédé ; et ne prouvent rien contre l'assertion que, dans les ouvrages anciens, il n'est nulle part question de viande bouillie, ni de bouillon.

Chez les Romains, en même temps que déjà les foyers de cuisine étaient installés dans l'intérieur des maisons, et que de nombreux perfectionnements et un grand luxe de variété avaient été introduits dans la préparation des mets, le fond du procédé était déjà amélioré. Les vases de bronze et de terre, les broches, les fours en briques étaient employés sous des formes diverses.

La simplicité des procédés des anciens se retrouve encore de nos jours ailleurs que chez les peuplades sauvages. Les Kalmoucks font leur cuisine dans des marmites de fer, et font bouillir dans l'eau la viande de mouton, de bœuf, de cheval et de chèvre, qu'ils mangent sans pain, en buvant le bouillon salé pour lequel ils paraissent avoir un goût prononcé ; et les marchands nomades du Tyrol, comme les bûcherons de la Bavière, n'ont pour toute batterie de cuisine, sur leurs chariots, qu'une poêle en fer, employée à la préparation de la soupe, aussi bien que des viandes.

Les fourneaux de cuisine sont restés les mêmes pendant des siècles, un foyer rempli de bois embrasé, d'abord en plein air, puis placé dans les habitations, mais sans cheminées, chez les Romains, au moins jusqu'à l'époque de leur décadence ; puis avec des cheminées et de vastes hottes comme on les voit dans les plus vieux châteaux de l'Europe ; et devant le feu ou au-dessus, la viande bouillie ou les ragoûts placés dans des vases. La viande rôtie et le gibier sur les broches, les grillades sur la braise, le pain, les gâteaux ou autres mets cuits dans les fours. Puis vint, avec la multiplication des mets, la découverte du charbon de bois. Mais, tandis que l'art de la cuisine du riche créait et multipliait ses méthodes, rien n'était fait pour la préparation en grand, pour l'amélioration et l'économie de la nourriture destinée aux pauvres, et aux nombreuses réunions d'hommes.

La science du chauffage domestique et industriel était encore ignorée.

C'est dans le nord de l'Europe que sont nés les procédés de cuisson des aliments en grand : là il faut des appareils qui servent à la fois à la cuisson et au chauffage. Là l'emploi de la tourbe, et surtout de la houille, ont fait chercher des dispositions plus heureuses ; et surtout par suite des désagréments de leur fumée, ils ont donné naissance aux foyers fermés, sans lesquels il n'y a pas de bon fourneau de cuisine, pas de bon appareil de chauffage.

L'homme qui a porté les lumières de la science dans cette industrie, jusque-là livrée à des maçons ignorants, c'est Rumford.

Avec le besoin d'être utile, l'esprit d'application qui donne un but pratique à toute découverte savante, et l'originalité d'imagination qui multiplie les procédés, Rumfort avait l'instinct du manufacturier qui juge d'avance les résultats et l'activité patiente qui exécute et améliore. Rang, fortune, talents, fonctions et réputation, tout fut par lui employé sans relâche dans un but unique, créer pour les pauvres, et pour l'amélioration du sort des masses, des institutions populaires conçues avant la révolution française, organisées au sein de l'Allemagne despotique, et devant lesquelles reculerait plus d'un philanthrope de nos jours.

En même temps qu'il instituait en Bavière de vastes établissements pour recevoir les pauvres, et y établissait le premier un travail utile et justement rétribué pour tous les âges, il analysait scientifiquement les principes mêmes de l'alimentation, et découvrait aussi de nouveaux procédés, auxquels il ajoutait une série également nouvelle d'instruments de préparation, tant pour les hospices et les casernes que pour les petits ménages. Ce fut la pensée dominante de sa vie : il y prodigua son temps et ses conseils, sa surveillance, son activité, son exemple, et provoqua pour tous ses petits appareils la libre concurrence du constructeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les procédés complets importés par lui-même en France servent encore, dans nos bureaux de charité, à préparer des soupes économiques, auxquelles il ne manque pour devenir une excellente nourriture qu'un élément azoté puissamment nutritif, et qu'un savant du même ordre, d'Arcet, y a voulu porter sous la forme de la gélatine.

C'est surtout en Angleterre que, guidé par de rigoureuses expériences, Rumford a appliqué la houille dont il avait su apprécier les avantages.

La réduction des foyers à de très petites capacités; l'établissement sur un seul foyer de plusieurs marmites de dimensions modérées et de chaudières à eau, sous lesquelles il utilisait la chaleur perdue de la fumée; la découverte de procédés complets pour rôtir la viande dans des fours en tôle, sans goût désagréable, par l'introduction d'un léger courant d'air; des idées heureuses et larges sur les principes de cuisine, et surtout la préparation des soupes; telles sont les bases de son système de construction culinaire, qui a résolu le double problème d'une économie très grande de combustible et d'un emploi simple et facile.

Ses Mémoires, placés au premier rang des ouvrages industriels destinés à être le plus longtemps utiles, sont une mine féconde d'idées, d'expériences et de résultats, où, depuis cinquante ans, tous les constructeurs d'appareils économiques ont fouillé sans l'épuiser, pour s'assimiler les éléments qui leur sont nécessaires.

Pas un appareil de cuisine, jusqu'à ce jour, qui n'en soit sorti; et, dans nos plus grands établissements, les meilleurs fourneaux sont encore disposés d'après ses méthodes, complétées par quelques remarquables perfectionnements.

Rumford donnait un foyer séparé à chaque série de marmites, à chaque four à rôtir, quelquefois à chaque marmite. Il admettait encore les réchauds au charbon de bois. Aujourd'hui on a concentré dans un petit espace et réuni sur un seul fourneau et en un seul foyer, la préparation des soupes de légumes, la cuisson des viandes, la confection des rôtis et des grillades, celle de la petite cuisine, et le chauffage des plats de service.

Quelques mots rendront claires les dispositions fondamentales communes à tous les grands appareils de cuisine les mieux combinés.

On a d'abord remplacé complétement, par des plaques de fonte ou de fer empruntées à l'Allemagne, dont elles ont gardé le nom, placées au dehors du foyer, et rougies par l'action directe du feu, l'usage des réchauds et du charbon de bois, à peu près exclusif encore dans nos cuisines; pratique aussi onéreuse à la bourse que funeste à la santé. Les cuisinières y périssent, ou s'enivrent, et deviennent folles.

Le service des plaques allemandes, chauffées au bois ou à la houille, est économique et en même temps facile. On y prépare les grillades, les omelettes, les fritures, les ragoûts de viande, les légumes et les sauces; vingt mets différents sont conduits de front sans travail et sans variations sur des plaques, qui offrent toutes les températures dont on a besoin, depuis le rouge vif jusqu'à la douce température d'un four, sur les parties les plus éloignées de la plaque, et aujourd'hui on les voit adoptées avec plein succès, chez nos plus fameux restaurateurs.

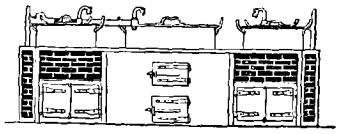
A la suite des foyers ainsi recouverts de plaques allemandes, on établit tantôt circulairement autour du foyer, tantôt à droite et à gauche, d'abord la marmite à potage, puis celles aux légumes, aux ragoûts, puis le four à rôtir de Rumford, puis enfin la chaudière qui fournit constamment l'eau chaude nécessaire à la cuisson des aliments, au lavage de la vaisselle et au service entier de la cuisine. Des robinets versent dans chaque marmite l'eau venant d'un réservoir supérieur.

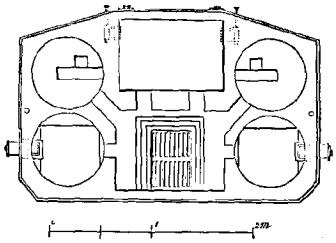
A l'hôpital Saint-Louis de Paris, le système est double. Les foyers, placés aux extrémités d'un fer à cheval, envoient leur flamme et leur fumée chauffer deux séries complètes d'appareils, comme nous venons de les décrire, et se réunissent sous une seule chaudière à eau, et dans une seule cheminée placée au centre du demi-cercle, disposition due aussi à Rumford.

D'autres appareils plus modernes, comme ceux de la Charité, de l'Hôtel-Dieu, ont un seul foyer, et toutes les marmites, chaudières et fours sont rassemblés à l'entour, de manière à occuper dans la cuisine un moindre espace, et à fonctionner plus activement

Les fig. 1038 et 1039 représentent les fourneaux de la Charité. Les deux parties circulaires antérieures por-

1039.





1038.

tent les marmites pour divers usages; elles sont chauffées par les produits de la combustion, qui ont déjà entouré deux fours en fonte. Les deux parties postérieures reçoivent des plaques à l'allemande. Enfin une grande chaudière (sous laquelle est un troisième four) renferme de l'eau chaude pour les besoins de la cuisine.

Les fig. 1040, 1041 et 1042 représentent les fourneaux à bain-marie (tels qu'ils sont établis à l'institution des Jeunes Aveugles, à Paris), à la construction desquels nous nous sommes surtout attaché, et qui nous ont donné des résultats très avantageux.

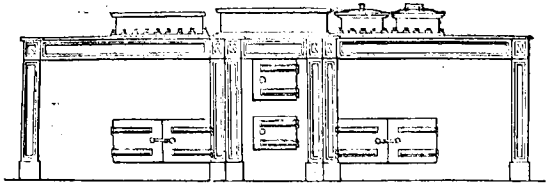
Les figures démontrent comment un seul foyer permet de chauffer toutes les marmites, ainsi que les étuves placées dans les parties latérales du fourneau. Au reste, pour ces divers appareils, les dispositions sont à peu près semblables, sauf les proportions plus ou moins bonnes, plus ou moins grandes des appareils, des passages et des détails d'ajustement.

L'emploi d'enveloppes de fonte percées pour les portes et au milieu desquelles l'on bâtit solidement le fourneau, est une excellente addition qui a donné à ces fourneaux une apparence extérieure de propreté, et en réalité une solidité et une durée qu'ils n'avaient pas. Les ajustements aussi en sont beaucoup plus faciles que ceux de briques avec ceintures en fer. Tous les brevets pris chaque jour pour des fourneaux de cuisine, et qui servent d'enseigne à un nombre infini de constructeurs, n'ont d'autre système, d'autre origine, ni d'autres dispositions que celles qui précèdent, et ne présentent rien d'original.

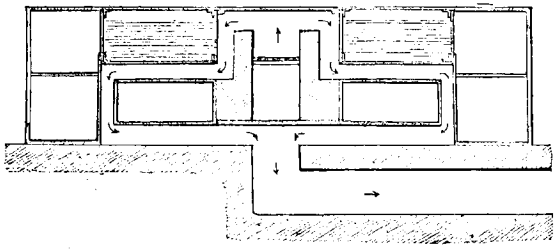
Quant aux perfectionnements des petits appareils destinés aux cuisines particulières, il a été depuis quarante ans l'objet des travaux de quelques hommes de haute portée, Harel, Lemare et d'Arcet, et il faut le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

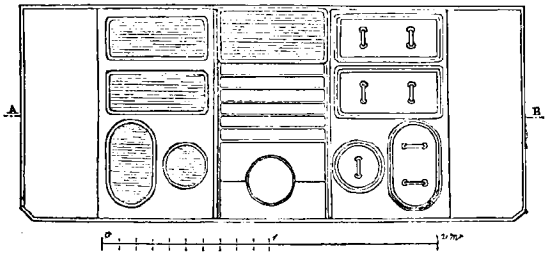
FOURNEAUX DE CUISINE



1042.



1041.



1040.

dira, ils ont trouvé chez les particuliers plus de bonne volonté que dans les administrations publiques : et cependant, c'est à ces dernières que devrait toujours appartenir l'initiative de l'exécution des inventions dues au progrès individuel. Que les chefs d'un établissement particulier hésitent à admettre un procédé nouveau, qui peut compromettre leur existence industrielle ; pour ma part, je trouve souvent qu'ils sont alors prudents et sages. Mais une administration doit oser entreprendre ce qui doit être utile à tous, et sans danger pour son service; sous ce rapport l'administration des hôpitaux de Paris est appelée à remplir de graves devoirs, et est responsable de ce qu'elle fait envers les pauvres si nombreux dans notre société; mais en même temps riche de puissantes ressources, de conseils et de talents ; placée au centre de toutes les administrations municipales de la France, que pousse un même besoin de perfectionnement, et appelée chaque jour à leur donner des leçons et des exemples, l'administration des hôpitaux de Paris est peut-être trop prudente, trop méfiante envers ce qu'elle ne connaît pas encore : elle fait beaucoup chaque jour, mais sans oser ce qu'elle pourrait oser, et sans ouvrir assez hardiment des voies nouvelles à tous ceux qui la voudraient suivre.

M. Harel a le premier entrepris d'opérer une révolution dans les petits appareils de cuisine.

Il a entrepris la tâche bien difficile d'introduire dans tous les petits ménages des appareils commodes, portatifs et économiques. La sagacité et la finesse de son esprit, qu'il a su plier pendant de longues années à cette œuvre, lui avaient d'avance montré le succès dans le bon marché de ces appareils et la perfection de leur exécution. Sa persévérance lui a donné le succès avec tous ses avantages.

Aux dispositions premières de Rumford, il a ajouté tout ce que la science et l'expérience lui ont enseigné, et sous toutes les formes, toutes les dimensions, pour toutes les fortunes, surtout les plus modestes, auxquelles il s'adressait de préférence. Il a varié ses marmites à pot au feu placées sur de petits foyers fermés, avec carneaux de fumée, où l'affluence de l'air et la combustion lente du charbon de bois sont réglées à volonté, de manière à n'obtenir que ce qu'exige la conduite d'un pot au feu abandonné à lui-même. De petits fours portatifs à rôtir servent à la préparation de la pâtisserie. D'autres grands fourneaux et des poêles portent aussi le caractère distinctif des travaux de M. Harel : haute intelligence et invention dans les combinaisons, étude profonde des besoins du public et bon marché des produits, surveillance rigoureuse de l'exécution, c'est ainsi qu'il a obtenu pendant longtemps une supériorité incontestée sur tous les appareils du même genre. Nous n'en connaissons pas encore de meilleurs dans ce système.

Citons comme un perfectionnement important, à cause de son utilité, celui apporté par M. Harel aux fourneaux ordinaires qui répandent dans les cuisines presque tous les produits de la combustion. Pour éviter cet inconvénient, M. Harel ferme les portes des cendriers et fait communiquer chaque fourneau par un orifice latéral avec une cheminée en tôle. Par cette disposition, l'air arrive sur le combustible par la partie supérieure du fourneau, et les produits de la combustion s'échappent par l'orifice latéral.

La cuisine salubre de d'Arcet porte le caractère de tous les ouvrages de ce savant : génie d'application des hautes sciences et emploi toujours puissant de la ventilation. Elle a fait pour l'ensemble de la cuisine ce que M. Harel avait fait pour son principal instrument, elle y a réuni tous les perfectionnements possibles dans la combinaison et le choix prévoyant des appareils les plus simples dans une ventilation régulière et énergique qui en assure la salubrité et la propreté. C'est un modèle complet offert à toutes les classes, et qui pour cela rendra de grands services aux architectes. Son principe consiste à réunir sur un seul fourneau une marmite à pot au feu de Harel, des réchauds bien disposés avec cendrier et porte à coulisse, un four à pâtisserie avec un foyer spécial recouvert d'une plaque de fonte chauffée doucement, enfin un foyer ordinaire à bois pour ne rien changer aux habitudes des cuisinières ; le tout est couvert d'une seule hotte, communiquant à une large cheminée, où la chaleur du four à rôtir et du pot au feu, déterminent un appel constant, qui emporte au dehors toute odeur de charbon ou de graisse. La fermeture de la hotte par un des rideaux favorise encore puissamment cet appel.

Qui n'a pas connu et employé le caléfacteur du savant et bon Lemare, à la tête carrée, à l'imagination puis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sante, d'où jaillissait instantanément la conception et l'exécution ; génie laborieux et inépuisable, qui, pendant qu'il créait le caléfacteur, les fours aérothermes, les couvoirs à circulation, ses cafetières et ses chocolatières, et tant d'autres appareils si utiles et si ingénieux, créait en même temps ses grammaires française et latine, monument admirable de méthode, de science et de richesse de faits ; âme droite et naïve que l'on ne pouvait connaître sans l'estimer et l'aimer, esprit toujours vert et original, qui remplissait encore ces derniers moments d'une longue vie, avec ses trois pensées chéries, le bonheur et la liberté de sa patrie, la grammaire et les appareils de chauffage.

C'est un phénomène curieux que d'avoir vu deux hommes de même droiture et fermeté d'âme, de même élévation généreuse de pensée, avec un genre d'esprit tout différent, comme Harel et Lemare, consacrer tous deux une partie de leur vie à se créer une industrie productive avec les petits appareils de chauffage.

Le caléfacteur est un instrument complet et le meilleur de tous les appareils portatifs connus. Il est la première et la meilleure application du principe du foyer intérieur que Lemare a étudié et appliqué à tant d'usages.

Une expérience faite par M. Thénard a prouvé que le caléfacteur utilisait 0,80 de la valeur réelle du combustible ; c'est donc sous ce rapport un appareil d'une grande perfection.

Pour la cuisson des viandes et des légumes dans les petits ménages, surtout pour la confection du bouillon, ce principe est d'un emploi très heureux. Ici la combustion doit être lente, et son établissement avec la combustion du charbon de bois, au centre même du liquide à chauffer, permet de réduire la dépense de ce combustible à sa limite inférieure.

Le bouillon ainsi fabriqué est d'un goût excellent et les légumes sont très bien cuits, les ragoûts qui n'exigent pas une chaleur vive s'y font parfaitement, mais les rôtis ne peuvent pas s'y faire ; il paraît du reste fort difficile d'arriver à faire des rôtis sur le feu lent nécessaire au pot au feu ; car les efforts ingénieux de M. Sorel pour unir le rôtissage de la viande à la confection des bouillons au bain-marie, dans des appareils assez analogues aux caléfacteurs, n'ont donné que des rôtis desséchés et mous, parce qu'ils ne sont pas saisis et activement poussés, comme le veut le principe fondamental de cette opération.

Comme M. Harel, Lemare donnait des soins extrêmes à la construction de ses appareils : tous, jusqu'au plus petit, étaient construits sur des maudrins étalonnés.

Si le caléfacteur, malgré ses qualités réelles et pratiques, et bien qu'il ait été répandu partout, n'est pas définitivement adopté par la cuisine bourgeoise comme l'ont été les fourneaux de M. Harel c'est que sans doute il sort des habitudes des cuisinières, habitudes que M. Harel a su toujours avec raison respecter en les pliant lentement à ses perfectionnements ; c'est que réellement il demande dans son emploi et pour son nettoyage des soins minutieux.

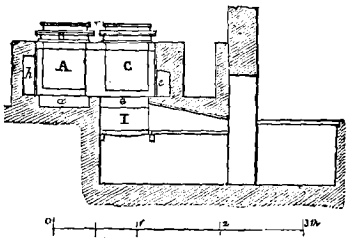
Construits aussi presque toujours en fer-blanc, ces appareils n'ont pas eu une grande durée ; la rouille les a détruits, et on ne les a pas renouvelés.

Appliqué en grand, le principe du caléfacteur présente les défauts des foyers intérieurs, refroidissement trop grand de la combustion et de la fumée et ralentissement du tirage, difficultés de construction et de nettoyage.

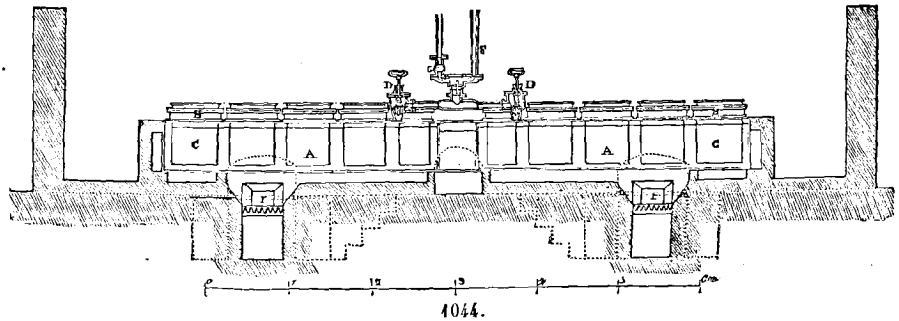
Quelques caléfacteurs à bouillon, de grandes dimensions, ont été employés par la compagnie hollandaise et divers hôpitaux ; mais tout en réduisant la dépense en combustible, ils n'ont pas été au fond de la question, le remplacement du charbon de bois par la houille, ni corrigé complétement le défaut des grandes marmites, celui d'altérer la qualité du bouillon par une ébullition inégale et souvent trop vive.

Le petit appareil régulateur de M. Sorel, dont nous parlerons plus loin à l'article INCUBATION ARTIFICIELLE, permet d'obtenir une plus grande régularité du feu.

Nous terminerons ce que nous avons à dire au sujet



1043.



1044.

des appareils relatifs à l'emploi de la chaleur dans l'économie domestique, en donnant le dessin de l'appareil à bain-marie employé à la Maison de Force de Gand pour la fabrication du bouillon.

C'est surtout dans ce cas que l'emploi du bain-marie est avantageux ; car chacun sait que le bouillon fait à feu nu et dans de grandes marmites, comme on le fait encore dans beaucoup d'hôpitaux, perd toute qualité et toute saveur par une ébullition trop vive et trop inégale. Avec la même quantité de viande et de légumes, des marmites moins grandes, et des appareils combinés pour obtenir une ébullition très lente et très régulière, on obtient du bouillon et du bouilli bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

supérieur en qualité, et de plus une importante économie de combustible.

Les figures 1043 et 1044 montrent la disposition de cet appareil tel que nous l'avons monté à la prison de Gand, où il fonctionne avantageusement depuis plusieurs années. On voit, sur la première, la disposition des moyens d'alimentation convenables pour remplacer la petite quantité d'eau qui se vaporise. La vapeur qui se forme et qui s'échappe en petite quantité détermine une faible pression qu'on règle par une soupape, et qui est suffisante pour que la température du bain-marie dépasse assez 100, pour que l'ébullition ait lieu facilement dans les marmites. GROUVELLE.

FOURS TOURNANTS. La construction du meilleur fourneau possible est, pour toutes les industries chimiques qui emploient la chaleur, de la même importance que pour les industries mécaniques l'établissement de la machine la plus avantageuse. Ainsi, par exemple, l'emploi du four à réverbère a été un des rouages principaux de l'industrie métallurgique anglaise, qui a appris à les construire dans les dimensions les plus convenables pour le puddlage du fer, le traitement du minerai de plomb, etc. Dans chaque industrie chimique, la disposition, les dimensions de fourneau, constituent une question capitale, comme nous l'avons vu, en parlant du haut fourneau pour le fer, du four continu pour la cuisson de la chaux, etc.

C'est donc en traitant de chaque industrie qu'il faut indiquer les conditions d'exécution du fourneau à employer, et nous ne pensons pas à écrire ici un article d'ensemble sur la nature et les propriétés des divers genres de fourneaux, travail qui d'ailleurs a été admirablement fait par Ebelmen, dans l'article COMBUSTION, du présent ouvrage. Nous voulons seulement faire apprécier ici le progrès réalisé en agitant mécaniquement les matières soumises à l'action d'une chaleur souvent très-intense, afin de réduire beaucoup ou supprimer même le travail de l'ouvrier, dans certaines fabrications, dans des cas où il était extrêmement pénible.

Pour les substances soumises à une température assez peu élevée pour que le fer résiste, on emploie dans diverses industries des appareils qui rentrent dans la catégorie de ceux dont nous parlons, et dont le brûloir à café est le type. Tel est le torréfacteur combiné par M. Rolland pour sécher le tabac haché, et qui a été décrit à propos de l'appareil RÉGULATEUR de température qui en fait partie. Le tabac, reçu sur une hélice en fer, qui reçoit un mouvement de rotation, s'avance au-devant d'un courant d'air chaud qui traverse le cylindre en tôle dans lequel tourne l'hélice, sort convenablement séché à l'autre extrémité, si sa vitesse de rotation et la température d'air chaud sont bien déterminées.

Ce système, qui ne peut guère s'appliquer directement que dans des circonstances analogues à celle pour laquelle il a été combiné, offre le grand avantage d'être *méthodique*, c'est-à-dire que, comme dans les appareils de déplacement, le mouvement du corps est tel, qu'il va en s'échauffant de plus en plus, à mesure qu'il rencontre de l'air plus chaud; que la partie la plus refroidie de celui-ci rencontre la substance froide entrant dans l'appareil et que le contraire a lieu à la sortie. Cette disposition est évidemment celle de la meilleure utilisation.

On a tenté la construction, pour des températures plus élevées, d'appareils offrant les mêmes avantages que le précédent, par le déplacement progressif de la substance à chauffer. Des hélices, des chaines sans fin ont pu être employées avec avantage pour des matières pulvérulentes, le plâtre, les pouzzolanes, qui exigent des températures assez élevées.

Mais c'est surtout pour des fabrications où le mouvement imprimé aux matières est une des conditions indispensables du travail, pour des réactions chimiques exigeant le brassage d'une matière portée à une haute température, travail toujours fort pénible et fort coûteux, que l'industrie recherche les dispositions propres à agiter les substances chauffées sans intervention de l'ouvrier et qu'elle adopte les fours tournants. Leur fonctionnement n'est devenu possible que depuis que la possibilité d'envoyer au loin de longues flammes, soit au moyen de l'appareil Siemens, soit même simplement avec des foyers recevant une forte charge de combustible, produisant, par suite, des quantités considérables d'oxyde de carbone et de longues flammes, a rendu pratique la séparation du foyer et de la substance à traiter. Nous en citerons ici deux applications: la production d'une réaction chimique énergique, à haute température (ce qui exclut l'emploi d'agitateurs en fer), et le puddlage de la fonte.

Fours à soude tournants. On a vu, à l'article SOUDE, comment s'exécutait la fabrication de la soude, au moyen d'un mélange de sulfate de soude, de craie et de charbon chauffé jusqu'à fusion pâteuse, dans des fours à réverbère dits *fours à soude*. La réaction se fait à une haute température, à l'aide d'un brassage énergique qui exige l'emploi d'ouvriers adroits, forts et intelligents, par suite largement payés. On produit ainsi la soude brute, de laquelle, par lixiviation et cristallisation, on retire les 30 à 35 p. 100 de carbonate de soude qu'elle contient.

Les fabriques de France produisent, annuellement, environ 100 000 tonnes de sels de soude divers, et l'Angleterre, qui est le pays le plus producteur de l'Europe, en fabrique 300 000 tonnes. Le haut prix de la main-d'œuvre spéciale que le travail de ces usines réclame a engagé à chercher les moyens de lui substituer un brassage mécanique.

Deux systèmes ont été proposés : le premier, dû à M. Pattinson, est le brassage mécanique opéré par des agitateurs en fer fixés à un arbre occupant le centre du four, et recevant son mouvement d'un moteur à vapeur. Ce système a été promptement abandonné. Celui qui a réussi est le *four tournant* de MM. Elliot et Russel, perfectionné par MM. Stevenson et Williamson, dans la fabrique de produits chimiques de Janon, à South-Shields, près de Newcastle. Il est décrit, ainsi qu'il suit, par M. Lamy.

Il consiste en un énorme cylindre en fonte ayant environ 5 mètres de longueur horizontale et 3 mètres de diamètre extérieur, doublé, à l'intérieur, de maçonnerie en briques réfractaires; cette capacité intérieure n'est pas cylindrique, mais est renflée au milieu pour ramener les matières vers le centre, de manière à offrir la forme d'un tonneau. Elle présente aussi deux nervures pleines en face l'une de l'autre, sur un même plan diamétral, pour rendre le mélange des matières plus complet pendant le mouvement tournant du four. Le cylindre repose sur quatre galets roulants ou roues indépendantes, supportées elles-mêmes par un massif d'une grande résistance. Sur la circonférence extérieure du cylindre est fixée une roue dentée, engrenant avec un pignon commandé par une petite machine à vapeur, qui peut, à la volonté de l'opérateur, lui donner un mouvement de rotation plus ou moins rapide. Une ouverture est ménagée dans le milieu de la longueur du cylindre, pour le chargement et le défournement des matières; elle est fermée par une porte amovible en fonte. Deux ouvertures aux deux bouts du cylindre servent, l'une à l'introduction de la flamme produite dans un foyer voisin, l'autre à la sortie des gaz de la combustion qui, de là, sont conduits dans les parties voisines de la fabrique, où leur chaleur est utilisée pour des dissolutions, lixiviations, évaporations, etc. Un anneau mobile, soutenu par une chaine et doublé de briques réfractaires, met en communication le foyer avec le cylindre, sans que les petits déplacements imprévus de celui-ci puissent être des causes d'accidents. Un grand tirage est indispensable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour que la combustion s'opère, avec l'énergie convenable, dans toute la longueur du four.

Pour faire une cuite de soude, on chauffe le cylindre au rouge et on l'arrête ensuite dans une position telle, que l'ouverture de chargement corresponde à celle d'une trémie dans laquelle des wagons viennent verser les matières destinées à la fabrication de la soude; on y introduit d'abord 1 300 kilogrammes de calcaire et 500 kilogrammes de charbon en menus morceaux; on donne ensuite au cylindre un mouvement de dix révolutions à l'heure ou d'un tour en six minutes. Après une heure et un quart, le calcaire est transformé en chaux; on ajoute 1 160 kilogrammes de sulfate de soude avec 180 kilogrammes de charbon, et on laisse tourner le cylindre, avec la même vitesse, pendant une demi-heure. Au bout de ce temps, la réaction commençant avec la fusion des matières, on porte la vitesse de rotation du cylindre à deux tours par minute, et l'opération est terminée au bout d'une demi-heure de chauffe à cette vitesse de rotation. On arrête alors le cylindre de manière que la plaque qui ferme son ouverture soit à la partie la plus basse, et on fait tomber la soude fondue et pâteuse dans de petits wagons placés sur des rails au-dessous du four tournant.

Cette opération dure donc deux heures et un quart, et on peut faire dix cuites, c'est-à-dire fabriquer 18 800 kilogrammes de soude brute en vingt-quatre heures; c'est le triple de ce que produit un bon four anglais ordinaire. La chaleur y est répandue d'une manière plus uniforme, le sulfate de soude est mieux décomposé, l'opération est soustraite à l'accès de l'air, la main-d'œuvre est beaucoup diminuée, et la consommation de charbon est réduite dans la proportion de 362 kilogrammes à 544 kilogr., c'est-à-dire diminuée d'un tiers environ.

On trouvait, à l'origine, que ces appareils étaient très-chers, qu'ils étaient sujets à des dérangements fréquents, mais on a perfectionné les détails du four, et maintenant il fonctionne avec toute la régularité désirable et en procurant une économie notable aux très-grandes fabriques pouvant utiliser complétement un aussi puissant appareil.

Four à puddler de Danks. Il n'était pas d'application des fours tournants plus souhaitable que celle qui en a été faite au puddlage du fer qui exige, dans le travail au four à réverbère, des efforts qui dépassent les forces du plus robuste ouvrier, exposé à une température extrêmement élevée.

Le four de Danks, qui a le premier réussi dans cette voie et dont la fig. 1 est une coupe et la fig. 2 une vue prise à l'extrémité de droite, se compose essentiellement de trois parties:

1° Une partie fixe : le foyer A;

2° Une partie tournante : le four à puddler proprement dit B;

3° Une partie mobile à volonté C, qui est la pièce de raccordement avec la cheminée.

Le foyer n'offre rien de particulier, si ce n'est l'emploi d'une soufflerie au-dessous et au-dessus de la grille, pour activer la combustion et assurer la production d'une longue flamme qui traverse constamment le four.

La partie tournante se compose de deux couronnes de fonte réunies par des douves de même nature, de manière à former une sorte de tonneau, ouvert par les deux bouts et ayant toute la solidité désirable, grâce, tant au système d'assemblage de ces pièces, qu'aux nervures creuses servant en même temps au rafraîchissement des parois du four et au soutien du revêtement dont il sera parlé plus loin.

Le cylindre repose horizontalement sur des galets qui lui permettent de tourner, quand on agit par un pignon sur la grande roue dentée E adaptée sur son pourtour. L'une de ses extrémités annulaires s'applique à frottement contre l'extrémité du foyer et livre passage à la flamme qui en sort; l'autre, mobile, sert au chargement et au déchargement de l'appareil, et donne issue aux produits de la combustion à travers cette partie.

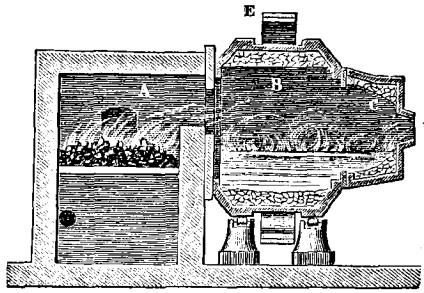


Fig. 1.

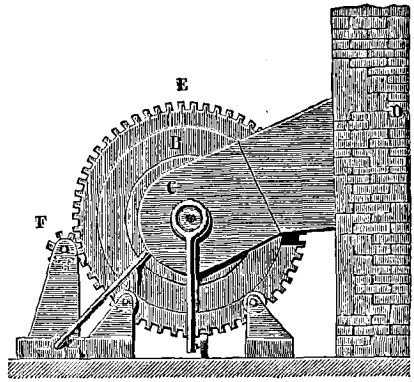


Fig. 2.

Celle-ci possède à peu près la forme d'un tronc de cône, dont la grande base serait ouverte et la plus petite fermée. En place, elle repose sur un châssis tournant autour de tourillons; sa grande base s'appuie sur l'extrémité du cylindre opposée au foyer, et elle donne ainsi passage aux produits de la combustion qu'elle conduit à des canaux, d'où ils se rendent sous les chaudières ou à la cheminée. Son déplacement, au contraire, laisse le cylindre ouvert et permet de le charger ou de le décharger (la soufflerie étant alors arrêtée et les portes du cendrier fermées). Une grue permet de l'enlever aisément. Des conduites d'eau empêchent un trop grand échauffement.

Telles sont les principales dispositions du four à puddler tournant de Danks, dans lequel plusieurs éléments connus sont habilement utilisés; mais ce qui était nouveau dans cette invention, et ce qui l'a fait réussir après des essais infructueux dans la même voie, c'est le système adopté pour former le revêtement intérieur de la capacité où s'opère le puddlage, en renonçant à le faire indestructible, mais le formant avec du minerai de manière que sa réduction soit utilisée pour augmenter la production du fer.

L'oxyde de fer est la base de ce revêtement. Pour l'appliquer, on forme d'abord un mélange de minerai de fer pulvérisé et de chaux, que l'on délaye de manière à former une pâte. On recouvre de celle-ci un tiers environ de circonférence de la surface intérieure du cylindre puddleur, de façon à former une couche dépas-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sant de 1 pouce les nervures qui la soutiennent; après quatre heures, cet enduit ayant fait prise, on recommence la même opération à côté, et on obtient bientôt, sur toute la surface intérieure du tonneau, un premier revêtement.

Cela fait, on procède à l'application du second revêtement ou *fettling*.

On jette dans le cylindre garni de son premier revêtement une certaine quantité de minerai en poudre, puis on chauffe le cylindre et on fait tourner jusqu'à ce que le minerai soit complétement fondu. Alors l'appareil est arrêté, et la partie du minerai qui n'a pas adhéré pour vernir le premier revêtement tombe au bas du tonneau, sous forme de masse pâteuse, dans laquelle on jette des morceaux de minerai, jusqu'à ce qu'ils s'élèvent à 6 pouces environ au-dessus du liquide. On égalise la surface rugueuse ainsi obtenue à l'aide d'une nouvelle quantité de minerai en poudre. Ceci terminé, on fait encore tourner le cylindre, jusqu'à ce qu'une nouvelle quantité de minerai ajoutée comme précédemment soit liquéfiée; puis on recommence une opération semblable à côté, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la surface intérieure se trouve protégée par le même *fettling*.

On emploie deux tonnes à deux tonnes et demi de minerai pour faire le revêtement d'un tonneau destiné à recevoir 700 livres de fonte.

Puddlage. Voici maintenant comment se fait le puddlage.

Sur le *fettling*, préparé comme il vient d'être dit, on jette une certaine quantité de scories en poudre, et, sur la couche ainsi formée, on charge la fonte en lingots ou préférablement en fusion, à l'aide d'une fourche ou d'une cuillère, manœuvrée au moyen d'une grue et introduite dans le cylindre, après avoir enlevé, pour un instant, la pièce mobile.

Si la fonte est en lingots, la fusion demande de 30 à 35 minutes pendant lesquelles on fait tourner le four partiellement, de temps en temps, de façon à bien exposer tous les fragments à l'action de la flamme. Lorsque la charge entière est fondue, on imprime au tonneau un mouvement de rotation d'un ou deux tours par minute durant 5 ou 10 minutes, dans le but d'obtenir sur la fonte en fusion l'effet le plus complet des scories agissant de concert avec le *fettling*. En même temps, l'ouvrier puddleur lance à travers le regard de la pièce mobile un jet d'eau, qu'il dirige le long de la ligne de contact des scories flottantes et de la paroi intérieure du tonneau, du côté de la descente : une certaine quantité de scories se trouve ainsi fixée à cette paroi et entraînée par le mouvement à l'intérieur du bain de fonte. Après 5 ou 10 minutes, le métal commence à s'épaissir, on arrête la rotation, on donne un coup de feu, de façon à liquéfier entièrement les scories, qui viennent flotter au-dessus du métal en fusion et sont expulsées par un trou de coulée. Cela fait, on élève de nouveau la température, on donne au tonneau une vitesse de rotation de six à huit tours par minute, qui brasse fortement la charge et permet à la décarburation de s'achever.

Au bout d'un certain temps, sans rien changer au chauffage, on ramène la vitesse de rotation à deux ou trois tours par minute, et la loupe ne tarde pas à se former. Si le puddleur aperçoit quelques parties métalliques adhérentes aux parois du tonneau, il les amène d'un même côté de la loupe; il les fait recouvrir par celle-ci, de manière à n'avoir plus qu'une masse unique. On enlève enfin la pièce mobile, on écarte le châssis sur lequel elle reposait, et à l'aide d'une grue, on vient placer auprès de la loupe une grande fourche, sur laquelle celle-ci vient d'elle-même se placer, au moyen d'un nouveau mouvement de rotation du tonneau; la fourche est alors enlevée par la grue et la loupe portée au squeezer. On refait un chargement et le travail continue.

On peut faire huit ou dix charges successives avant de renouveler le *fettling*, en ayant soin, toutefois, de réparer les parties les plus usées, consommées utilement, puisque la production en fer est plus grande que le poids de la fonte introduit dans le fourneau.

M. Siemens dispose le four tournant qu'il emploie pour la fabrication de l'acier, de manière que les gaz combustibles y entrant avec assez de vitesse pour pouvoir remplir le four sortent par des orifices placés à côté de ceux d'entrée. Il y trouve le grand avantage que la seconde extrémité du four se trouve disponible pour l'introduction et le travail des matières qui y sont contenues.

FRAISE. On donne plus particulièrement ce nom à un outil, en forme de cône renversé, qui sert à évaser l'orifice d'un trou dans lequel doit entrer une vis, de manière que la tête de celle-ci ne fasse pas saillie, ou à tout autre outil du même genre; mais on a plus récemment appliqué cette dénomination à une classe d'outils tout à fait différents : ce sont habituellement de petites roues finement taillées, en acier, destinées à couper les métaux, à refendre les roues d'engrenages, ou des tranchants convenablement entaillés sur un cylindre pour couper le bois par rotation. C'est sur l'emploi de cet outil que Grimpé avait fondé tout son système de sculpture du bois, et il a été le point de départ de plusieurs inventions pour le travail mécanique des bois.

FREIN. Le frein dynamométrique de Prony est un appareil qui permet d'évaluer, par une seule opération, le travail transmis par un arbre d'une machine. Cette invention a été un pas immense pour les progrès de la mécanique pratique, en permettant d'évaluer directement le travail transmis par les récepteurs, et par suite de comparer pratiquement les dispositions diverses de ceux-ci, pour s'arrêter aux plus convenables. Il consiste, comme le représente la fig. 1045, dans une barre

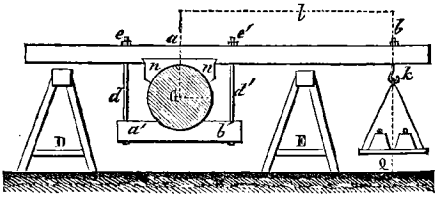


Fig. 1045.

de bois portant à une extrémité un plateau destiné à recevoir des poids, et à l'autre un collier formé de deux coussinets serrés sur l'arbre par des boulons. En chargeant le plateau, et d'un autre côté en serrant graduellement les boulons, entre les mâchoires du frein, de manière à obtenir un frottement convenable, on arrive à l'équilibre dynamique, c'est-à-dire à un point tel que les poids faisant équilibre au frottement sur l'axe, l'arbre ayant à ce moment la vitesse du régime, le travail du frottement sera égal au travail transmis à l'arbre par le moteur.

Soit F l'intensité du frottement qui s'exerce à l'extrémité du rayon r de l'arbre et n le nombre de tours que cet arbre fait en 1" $\frac{2\pi rnF}{60}$ est le travail en 1" du frottement et par suite le travail transmis à l'arbre tournant. La quantité F se trouve mesurée par le poids Q qui tient le levier en équilibre; on a en effet : $Fr = Ql$, l étant la longueur du point de suspension du plateau supportant le poids Q à la verticale passant par le centre de l'arbre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le travail transmis à cet arbre, en une seconde, a donc pour expression

$$2\pi \frac{n}{60} Fr = 2\pi l \frac{n}{60} Q = 0{,}1047 nlQ$$

En pratique, l'emploi du frein n'est pas sans difficulté. Les oscillations perpétuelles auxquelles il donne lieu rendent l'observation du moment d'équilibre un peu difficile. On y parvient cependant assez bien avec quelque habitude, en ayant soin :

1° De limiter, par une corde ou mieux des heurtoirs, comme le montre la figure, les oscillations du bras de levier;

2° De faire varier le frottement, tant en serrant les boulons qu'en versant soit de l'eau, soit du sable, entre les surfaces frottantes, afin d'atteindre la position d'équilibre;

Et 3° de faire varier les poids, ou, ce qui est plus commode, la distance du poids à l'arbre, comme dans une romaine.

FROID (Voyez *Complément*, PRODUCTION DU).

FROMAGE (*angl.* chesse, *all.* kæse). La substance caséeuse du lait, le *caséum* ou fromage, est d'un blanc mat dans son état frais, devient demi-transparente et légèrement jaunâtre par la dessiccation, n'a ni odeur ni saveur bien tranchée, enfin se dissout dans les alcalis et est précipitée par les acides.

La fabrication du fromage constitue pour certaines contrées une industrie très-importante et une source de richesses. Outre les fromages frais que l'on prépare partout, il existe un grand nombre d'espèces diverses qui sont surtout produites par les départements qui se livrent à l'élève du bétail. La production de la France est de plus de 130 millions de kilogrammes.

Les fromages peuvent, d'après la nature du lait employé à leur fabrication, se diviser en quatre classes : 1° les fromages préparés avec du lait de vache; 2° ceux qui sont préparés avec du lait de chèvre; 3° les fromages au lait de brebis; 4° les fromages faits avec des laits mélangés. Chacune de ces classes peut elle-même se subdiviser en deux catégories comprenant les fromages *mous* (frais ou salés), et les fromages *à pâte ferme*. On distingue aussi les fromages *maigres* et les fromages *gras*. Les premiers sont obtenus en faisant cailler le lait écrémé; les seconds sont préparés avec du lait non écrémé et quelquefois additionné d'une certaine quantité de crème.

La séparation du caséum s'obtient par l'action assez mal expliquée de la *présure*, qui jouit au plus haut degré de la propriété de faire cailler le lait.

La présure est une matière extraite de la membrane du quatrième estomac (ou *caillette*) de veau non sevré, et on se la procure par divers procédés dont chacun repose sur une recette empirique. Voici la description d'un des plus employés, donné par Boussingault : « On prend des caillettes, on en retire le lait caillé qu'on lave à l'eau froide, puis, après l'avoir mêlé avec un volume de sel égal au sien, on le remet dans la caillette qu'on a préalablement bien lavée. On place alors dans un vase de grès plusieurs de ces estomacs de veaux remplis de grumeaux de lait caillé salé; on les couvre d'une forte saumure de sel. Quelques jours après l'on retire les estomacs, on saupoudre de sel et l'on fait sécher à l'air. Un morceau de caillette ainsi préparé, d'une surface de 0m,02 carrés, mis à infuser pendant douze ou quinze heures dans 0l,02 ou 0l,03 d'eau tiède, donne un liquide capable de coaguler 12 à 15 litres de lait. »

Les fromages *frais*, destinés à être mangés immédiatement, se font avec le lait écrémé, avec le lait non écrémé, ou bien encore avec du lait auquel on ajoute de la crème provenant de la traite précédente. Dans ce dernier cas, on les appelle *fromages à la crème*.

Le fromage *blanc*, ou fromage *à la pie*, qui est connu partout, se fabrique avec du lait écrémé chaud additionné d'une certaine quantité de crème. On détermine la coagulation au moyen de présure, puis on met le caillé dans des moules et on le fait égoutter en le chargeant d'une rondelle de bois. Quand il est égoutté, on le sort des moules et on le pose sur un lit de feuilles ou de paille. Ce fromage peut se conserver huit à quinze jours.

Les fromages que l'on vend à Paris sous le nom de *fromages de Neufchâtel* ont la forme de petits cylindres d'une longueur de 7 centimètres sur 4 centimètres de diamètre. Le fromage à la crème est enveloppé dans du papier joseph qu'on mouille pour le tenir frais. Voici comment on fabrique le fromage dit *bondon* :

Après chaque traite, le lait est transporté dans une pièce dite *pièce de l'appréi*; on le coule, à travers une passoire, dans des cruches où il est mis en présure. Ces cruches sont placées dans des caisses que l'on recouvre de couvertures de laine et vidées le surlendemain dans des paniers de bois, dont le fond est formé par une toile attachée sur les bords. On place ces paniers sur des éviers; le fromage s'égoutte jusqu'au soir; on le retire avec la toile que l'on replie sur lui, et pendant qu'il est ainsi enveloppé, on le met sous presse jusqu'au lendemain matin. Puis on pétrit cette pâte dans un linge blanc, comme de la pâtisserie, jusqu'à ce que les parties caséeuses et butyreuses soient bien agglomérées. Cela fait, on procède au moulage en introduisant dans des moules de bois des pâtons un peu plus forts que le moule, puis on les y comprime en les posant sur la table et en appuyant sur leur face supérieure avec la paume de la main. A l'aide d'un couteau de bois on enlève sur chaque base ce qui sort du moule, et l'on démoule en frappant légèrement. Ces fromages sont ensuite salés sur leurs bases et roulés dans du sel fin. Après les avoir fait égoutter pendant vingt-quatre heures, on les transporte au magasin, où on les pose sur un lit de paille. C'est là que par un séjour de trois mois environ ils se raffinent; pendant ce temps, on les retourne souvent, on les change de place et l'on renouvelle la paille.

Nous parlerons maintenant des fromages dont l'usage est le plus répandu, de ceux de Gruyère, de Parmesan, de Hollande, de Roquefort et de Brie.

La fabrication du fromage de Gruyère se fait, en Suisse et dans le Jura, de la manière suivante : on trait les vaches vers les trois ou quatre heures du soir; on porte le lait dans des baquets en bois, placés les uns à côté des autres, dans la laiterie, sur des tablettes dont elle est garnie dans tout son pourtour. On a soin, en remplissant les baquets, de verser doucement le lait, afin de produire le moins de mousse possible, et on enlève celle-ci pendant que le lait est encore chaud, parce qu'on a remarqué qu'elle nuisait à l'ascension de la crème. Le lendemain, on trait de nouveau les vaches vers les six heures du matin, et le lait qui en résulte est immédiatement filtré à travers un entonnoir garni d'un bouchon de paille vers son orifice inférieur, et tombe de là dans une chaudière. Lorsque tout le lait a été réuni dans ce vase, on va à la laiterie chercher celui de la veille. Avant de l'enlever, on l'examine pour voir s'il est gras, et, dans ce cas, on l'écrème. Si l'on trouve, au contraire, que le lait n'est point assez gras, on laisse une partie des baquets sans les écrémer; la quantité ou l'épaisseur de la crème montée à la surface indique la qualité du lait.

Le mélange étant fini et la chaudière remplie, on la place sur un bon feu clair, et on laisse chauffer jusqu'à ce que tout le liquide ait atteint un degré de chaleur égal à celui du lait lorsqu'il sort de la mamelle, c'est-à-dire 25° environ; on retire alors la chaudière de dessus le feu, et l'on met toute la masse *en présure* pour le caillage.

La présure se prépare comme il suit : on prend une certaine quantité de petit lait qui reste après que la matière caséeuse a été retirée de la chaudière, on y ajoute un peu d'eau, et on le fait bouillir; d'autre part, on a du petit lait aigre, fermenté; on en prend

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une quantité égale à celle de l'eau ajoutée précédemment, et on laisse sur le feu; le petit lait se sépare alors d'une certaine quantité de matière caséeuse qu'il avait conservée et qu'on enlève à l'écumoir; on soutient encore le feu quelque temps, puis on ajoute une caillette de veau, dans laquelle on a introduit une petite poignée de sel, et on laisse refroidir : cette liqueur forme la présure; on en prépare environ 6 litres à la fois et on la renouvelle au besoin.

Dans une chaudière remplie de la quantité de lait nécessaire pour faire un fromage de 30 kilogr., on délaie 2 litres de présure préparée comme il vient d'être dit, on mêle le tout bien exactement, et on le laisse ainsi se prendre en masse, ce qui dure de 1/2 à 3/4 d'heure, selon la température du lieu où l'on opère. Quelquefois on ne chauffe pas le lait avant de le faire cogguler, mais alors il faut employer une présure plus forte. Dans tous les cas, lorsqu'on juge que le lait est suffisamment caillé, on le coupe en plusieurs sens, à l'aide d'une grande lame de bois, et de manière à le réduire en grumeaux de la grosseur d'une fève. Lorsqu'ils sont à peu près tous parvenus au même volume, on commence à travailler la masse entière en la remuant constamment avec un bâton armé de petites broches qui le traversent de distance en distance : ce travail dure environ 10 minutes. On remet ensuite la chaudière sur un feu très doux, que l'on soutient jusqu'à ce que toute la masse ait acquis une température d'environ 40°, en continuant constamment à remuer avec le bâton agitateur. On juge que la pâte est assez cuite, lorsque les grumeaux qui nagent dans le petit lait ont pris une consistance un peu ferme, qu'ils font ressort sous les doigts, et qu'ils ont acquis un coup d'œil jaunâtre.

Quand on a travaillé ainsi la masse pendant le temps nécessaire et à la température convenable, on retire la chaudière de dessus le feu, sans pour cela cesser d'agiter, ce qui dure encore environ 3/4 d'heure, jusqu'à ce que la masse se soit agglomérée et ait acquis une sorte d'élasticité, ce que l'on reconnaît en la pressant entre les doigts; l'ouvrier passe alors dans la chaudière, et dans la masse même, une étamine en toile claire, avec laquelle il l'enlève, et la porte dans un moule placé sur le plateau d'une presse. Quand il juge que le fromage est entièrement égoutté, il serre la presse, et la laisse en cet état pendant 24 heures. Après ce temps, le fromage est confectionné, et a acquis la forme qu'il doit conserver; on le retire, et on le porte à la cave sur des tablettes qui y sont disposées à cet effet; puis on procède à la salaison.

Le fromage étant placé sur les tablettes, on le saupoudre de sel pulvérisé, au moyen d'un tamis, sur chacune de ses faces. On réitère cette opération tous les jours pendant quatre à cinq mois; et chaque fois, avant de répandre du nouveau sel, on a soin d'essuyer celui de la veille et de l'enlever, ainsi que de nettoyer les tablettes sur lesquelles reposent les fromages.

Dans la plupart des fromageries, on retire encore du petit lait une certaine quantité de matière caséeuse, en le soumettant à une sorte de clarification, qui consiste à le faire bouillir, à y ajouter alors une faible quantité de petit lait aigri, puis à calmer l'ébullition, en versant dans la chaudière, et à diverses reprises, du petit lait froid. La matière caséeuse restante se sépare, et vient nager à la surface, d'où on l'enlève avec une écumoire. Elle sert d'aliment aux bestiaux, ou à la fabrication de fromages de qualité inférieure consommés dans le pays.

Le *fromage de Parmesan* se prépare identiquement de la même manière que celui de Gruyère; seulement, par suite d'un degré de cuisson plus avancé, la pâte du fromage de Parmesan est sèche et grenue, tandis que celle du Gruyère est unie, compacte et serrée.

Le *fromage de Hollande* se prépare d'une manière essentiellement différente. On fait cailler le lait à froid, et lorsqu'il est encore pourvu de toute sa crème. Lorsqu'on a obtenu le caillé par le procédé ordinaire, et qu'on l'a bien malaxé et réuni en une seule masse, on le met dans une espèce de passoire, où on le comprime fortement; il s'en égoutte encore beaucoup de petit lait et une certaine quantité de crème, qui, malgré tout le soin qu'on a pu prendre de bien mélanger la pâte, n'y est pas uniformément répandue, et y est distribuée par veines. On continue toujours à pétrir le caillé; et, lorsqu'on le juge suffisamment égoutté, on le met dans des cylindres creux, dont le fond est concave et percé de quatre trous. Aussitôt que cette espèce de moule en est rempli, on place sur le caillé bien tassé un couvercle d'un diamètre un peu plus petit que le cylindre, afin qu'il puisse y entrer, et on pose tout cet appareil sur une table munie d'une rigole tout autour; on met sur le couvercle du moule une planche portée sur trois montants et chargée de pierres. Lorsque le pain a acquis une certaine consistance, on le tire de la forme, on le retourne, et on lui fait subir une nouvelle pression. Enfin, lorsque la masse est devenue plus homogène, et qu'il ne s'en écoule plus ni petit lait ni crème, on retire le pain, et on l'enveloppe dans une toile claire, qu'on enroule tout autour de la surface cylindrique. Le pain ainsi enveloppé est porté sous une forte presse, où on le comprime graduellement jusqu'à ce que la pâte ne présente plus d'interstices et soit bien homogène, ce qui exige environ 8 à 10 heures d'une pression soutenue. Après ce temps, on retire le fromage de la toile, et on l'immerge dans une eau légèrement salée; quelques heures après, on le retire de l'eau salée pour le déposer dans une forme plus petite que la première, et percée seulement d'un trou au milieu d'un fond concave. On recouvre la surface supérieure d'une couche de sel blanc bien pur, qui se dissout peu à peu par l'humidité du fromage et pénètre en partie dans son intérieur.

Lorsqu'on juge que la salaison est achevée, on met de nouveau le fromage tremper dans l'eau, non seulement pour enlever l'excès de sel qui est à la surface, mais encore une croûte blanchâtre et butyreuse qui s'y est formée. Après 5 à 6 heures d'immersion, on le retire de l'eau; on le lave avec du petit lait; et en le râclant, on parvient à le dépouiller entièrement de la croûte qui le recouvre. Enfin, lorsque les fromages sont ainsi nettoyés, on les dépose dans un magasin frais, sur des tablettes bien propres, où on a soin de les retourner souvent; là, ils acquièrent une couleur d'un beau jaune, et c'est alors qu'on les livre au commerce.

D'après Chaptal, le *fromage de Roquefort* se fabrique avec du lait de chèvre, et surtout avec du lait de brebis, de la manière suivante : on réunit le lait des deux traites du matin et du soir, et on y délaie, comme à l'ordinaire, la quantité de présure voulue. La coagulation s'opère en moins de 2 heures; et aussitôt après, on brasse fortement le caillé, on le pétrit, et on l'exprime avec force; il en résulte une pâte qu'on laisse reposer; puis, on incline le vase pour faire écouler le petit lait qui surnage. On place ensuite la masse de caillé, qui s'est reprise de nouveau, dans une éclisse perforée à son fond; on l'y pétrit une seconde fois, et on la recouvre d'une planche que l'on surcharge de poids; on retourne de temps en temps les fromages et dans différents sens, afin que la masse s'égoutte aussi également que possible. Lorsque les fromages paraissent avoir rendu tout leur petit lait, ce qui a ordinairement lieu au bout de 12 heures de pression, on les porte au séchoir après en avoir essuyé la surface avec un linge; là, on les place sur des tablettes les uns à côté des autres, on les remue et on les retourne de temps en temps, et on les essuie soigneusement pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'ils se dessèchent sans s'échauffer. Assez ordinairement on entoure les fromages d'une grosse toile, afin d'éviter qu'ils puissent se gercer en séchant. Cette opération dure rarement plus de quinze jours dans la belle saison.

Aussitôt que les fromages sont suffisamment desséchés, on les porte dans des caves d'une température très fraîche et constante, creusées dans le roc, où, après les avoir placés sur des tablettes, on commence par les imprégner sur une de leurs surfaces de sel broyé; vingt quatre heures après, on les retourne et on les sale sur l'autre face. Au bout de deux jours on les frotte tout autour avec un morceau de grosse toile, puis le lendemain on les râcle fortement au couteau. La salaison achevée, on empile les fromages au nombre de dix à douze, et on les maintient ainsi pendant quinze jours environ. Dans cette période, le fromage acquiert de la fermeté et de la consistance, et il commence à se couvrir d'une espèce de moisissure blanche fort épaisse et d'une sorte d'efflorescence granulaire. On enlève de nouveau toutes ces productions à l'aide d'un couteau, et on replace les fromages sur les tablettes. On réitère ainsi cette même manœuvre tous les quinze jours, et même plus souvent, pendant l'espace de deux mois. La croûte qui se forme dans chaque intervalle est successivement blanche, verdâtre et rougeâtre; c'est à cette dernière nuance qu'on reconnaît que les fromages ont suffisamment séjourné dans les caves, et qu'ils sont en état d'être livrés aux consommateurs.

Le *fromage de Brie*, dont la consommation ne s'étend qu'à une assez faible distance des lieux de fabrication, par cela seul qu'il ne peut se conserver, n'en est pas moins d'une excellente qualité, lorsqu'il a été bien préparé et qu'il est pris au point convenable de sa fermentation. Sa fabrication n'offre d'ailleurs rien de particulier, et nous l'indiquerons en deux mots : le lait entier, une fois caillé par la méthode ordinaire, est mis à égoutter dans un lieu frais sur une claie d'osier. On le laisse ainsi égoutter plusieurs jours, jusqu'à ce qu'il ne s'en écoule plus de petit lait. Au bout de ce temps, on le sale et on l'expose au grand air, alors que la température est de 15 à 20°. Tous les deux jours au plus tard on le retourne, et à chaque fois on sale de nouveau la partie supérieure. Lorsqu'on a atteint le degré que l'habitude a fait reconnaître pour le plus convenable, on le porte à la cave et on le place sur un lit de foin ; enfin, on le retourne de temps à autre, jusqu'à ce qu'il s'amollisse et devienne gras.

Cette espèce de fromage doit être consommée aussitôt qu'il commence à s'affaisser et à couler comme de la crème, parce qu'à ce point, où il est exquis, il est très voisin de l'état de putréfaction.

FROMENT (*angl.* wheat, *all.* weitzen). Le froment tient le premier rang parmi les céréales. Son grain est celui qui renferme le plus de farine, la plus agréable, la plus nourrissante et la plus propre à la panification (voyez FARINE et PAIN). On peut ranger toutes les variétés de froments en deux classes : les froments à *grains tendres* et à chaume creux, qui sont les plus anciens et les plus communs, et les froments à *grains durs* et à chaume solide, qui ont été importés d'Afrique, et dont la culture se répand de jour en jour, surtout dans nos départements méridionaux.

FROTTEMENT (*angl.* friction, *all.* reibung). Voyez RÉSISTANCES PASSIVES.

FULMINATES (*angl.* fulminates, *all.* knallsaüresalze). Parmi les fulminates, sels formés par l'acide fulminique, les principaux sont les deux suivants :

FULMINATE DE MERCURE (*angl.* fulminate of mercury, *all.* knallquecksilber). Ce sel, qui se compose de 0,24 d'acide fulminique et de 0,76 d'oxyde de mercure, et qui est aussi connu sous le nom de *poudre fulminante de Howard*, est actuellement exclusivement employé pour la fabrication des capsules et amorces fulminantes.

Le procédé de préparation le plus convenable, tant sous le rapport de la qualité du produit que sous celui de l'économie industrielle et de la sûreté de l'opérateur, est le suivant :

On dissout à une douce chaleur 100 parties en poids de mercure dans 1000 parties d'acide nitrique ayant une densité de 1,40, et on verse cette dissolution, préalablement portée à 55° C, dans 830 p. d'alcool ayant une densité de 0,83. Si l'on mesure le mercure, l'acide nitrique et l'alcool au volume, ce qui est plus commode, il faudra, pour 1 partie du premier, prendre 7 p. 1/2 du second et 10 p. du dernier de ces corps.

La dissolution du mercure dans l'acide nitrique se fait dans une cornue en verre tubulée, dont le col plonge dans un ballon à deux tubulures, placé dans un vase où arrive constamment de l'eau fraîche, et dans lequel se condensent une grande partie des vapeurs acides qui se dégagent de la cornue; la liqueur ainsi condensée est plus tard reversée dans la cornue. Quand tout le mercure est dissous, et que la dissolution a atteint la température de 55°, on la verse lentement à l'aide d'un entonnoir en verre dans l'alcool renfermé dans un matras en verre, dont le volume soit au moins six fois plus considérable que celui de la liqueur qu'il doit contenir. Au bout de quelques minutes, il commence à se former, sur le fond du matras, un léger dégagement de gaz, dont la quantité augmente peu à peu, jusqu'à produire un bouillonnement très vif et à donner au liquide une apparence mousseuse. Il se dégage alors, par le col du matras, une vapeur épaisse et blanchâtre qui est extrêmement inflammable, et qui, par conséquent, doit être conduite au dehors et rejetée dans l'atmosphère, en ayant bien soin qu'elle ne rencontre aucun corps enflammé. Cette vapeur est en grande partie composée d'éther nitreux, qui entraîne avec lui, probablement d'une manière mécanique, une certaine quantité de mercure. Les essais faits pour condenser ce dernier, en faisant passer cette vapeur à travers une dissolution de sous-carbonate de soude, rendant la formation du fulminate beaucoup plus difficile et altérant sa qualité, par suite du léger excès de pression qui en résulte, on a été obligé d'y renoncer.

Quand le bouillonnement et le dégagement des vapeurs blanchâtres ont cessé, on jette le contenu du matras sur un filtre en double papier sans colle, et on lave le précipité de fulminate à l'eau pure et froide, jusqu'à ce que les eaux de lavage n'exercent plus aucune réaction acide sur le papier du tournesol. On enlève alors le filtre de l'entonnoir et on l'étend sur une plaque de cuivre laminé ou de faïence chauffée en dessous à 100° par un courant de vapeur. On partage ensuite le précipité desséché en portions de 5 à 6 grammes, que l'on renferme chacune dans un papier, et que l'on introduit après dans une caisse ou un grand bocal en verre fermé avec un bouchon.

Lorsque le fulminate a été bien préparé, il se présente sous la forme de petits cristaux brillants d'un gris-brunâtre, qui paraissent transparents lorsqu'on les place sur un verre de montre et qu'on les humecte de quelques gouttes d'eau ; ils se dissolvent sans résidu dans 130 parties d'eau bouillante, et se précipitent de nouveau à l'état cristallin par le refroidissement.

En suivant le procédé que nous venons de décrire, et qui est celui qui a été adopté en Angleterre à la suite des recherches du docteur Ure, faites en 1831 au nom de la commission d'enquête, instituée lors du remplacement, dans l'armée anglaise, des fusils à pierre pour les fusils à piston, et qui est celui qui donne la plus forte proportion de fulminate, on obtient de 100 parties en poids de mercure, 130 p. de fulminate ; or, comme 100 p. de mercure correspondent à 142 de fulminate, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

perte en mercure est de 8 1/2 p. 100 du mercure employé.

Le fulminate de mercure se décompose avec flamme et explosion, soit par le choc, soit lorsqu'on le chauffe à la température de 188°; il se dégage de l'azote, de l'acide carbonique et des vapeurs d'eau et de mercure. Il est nécessaire pour que le choc donne lieu à une explosion, que les corps choqués possèdent une certaine dureté, ainsi : le choc du bois contre du bois, ou même du fer contre du bois, ne détermine pas l'explosion. Elle n'arrive que très rarement entre le fer et le plomb ; plus facilement, quoique avec difficulté, entre le verre et le verre, le marbre et le marbre. Elle se produit toujours entre le fer et le fer, un peu moins facilement entre le fer et le bronze, le fer et le cuivre ; par le frottement, on la détermine aisément entre deux plaques de bois, un peu moins facilement entre deux plaques de marbre ou de fer, ou entre le fer et le marbre ou le bois. Les cristaux les plus gros sont ceux qui détonnent le plus facilement. Lorsqu'on humecte le fulminate de 5 p. 100 de son poids d'eau, la partie la plus violemment choquée détonne seule; l'inflammation ne se propage pas. Lorsqu'on l'humecte avec 30 p. 100 d'eau, on peut sans danger le broyer sur une table de marbre avec une molette en bois. Lorsqu'on le recouvre d'une traînée de poudre ordinaire, celle-ci est projetée par l'explosion sans s'enflammer; mais si la poudre est renfermée dans une cartouche, elle s'enflamme à coup sûr. Aussi on pourrait n'employer que du fulminate pur pour la confection des capsules fulminantes, mais il vaut mieux le mélanger, dans le but d'assurer complétement l'inflammation de la charge, avec une petite quantité de poudre ordinaire ou de toute autre matière combustible analogue, qui s'enflamme infailliblement par son mélange intime avec le fulminate, et qui, projetée violemment entre les grains de poudre qui composent la charge, en détermine à son tour l'inflammation. L'expérience, du reste, a montré que dans les nouveaux fusils à percussion, on obtenait la même portée que dans les anciens fusils à pierre, en réduisant la charge de poudre aux 85 centièmes de ce qu'elle était primitivement.

En France on calcule que, en moyenne, 1k de mercure produit 1k 1/4 de fulminate, qui suffit pour préparer 40,000 capsules. A cet effet on broie le fulminate avec 30 p. 100 de son poids d'eau, sur une table en marbre, avec une molette en bois, et on y incorpore 6/10mes de son poids de poudre ordinaire. On introduit ensuite cette pâte dans les capsules. Pour prévenir l'action de l'humidité, on recouvre la pâte ou on la broie avec de la teinture de benjoin, ou mieux, suivant les essais faits par la commission d'enquête que nous avons déjà citée, avec une dissolution de mastic dans de l'huile essentielle de térébenthine.

Les capsules se font en cuivre mince embouti à la mécanique ; pour empêcher le crachement, on refend ordinairement les bords en quatre jusqu'à la moitié de leur hauteur, et on pratique dans le piston une échancrure dirigée en avant du côté du canon du fusil.

L'expérience a montré que lorsque, par un choc ou au moyen d'une tige de fer rouge, on fait détonner une ou plusieurs capsules au milieu d'une caisse qui en est remplie, les capsules touchées détonnent seules et l'inflammation ne se propage pas, à moins que l'on n'ait jeté de la poudre à tirer entre les capsules.

FULMINATE D'ARGENT (*angl.* fulminating silver, *all.* knallsilber). Le fulminate d'argent se prépare absolument de la même manière que le fulminate de mercure, à cette différence près, que l'on remplace le mercure par de l'argent fin, et que l'on laisse refroidir la dissolution d'argent dans l'acide nitrique avant de la verser dans l'alcool. Une autre méthode très simple de le préparer, est la suivante : On prend du nitrate d'argent réduit en poudre fine que l'on introduit dans un matras avec de l'alcool concentré, on agite, et on y ajoute une quantité d'acide nitrique fumant égale à celle de l'alcool. La liqueur se met à bouillonner, le nitrate d'argent se dissout d'abord, puis il se décompose, et il se sépare un précipité floconneux formé d'une agglomération de petites aiguilles de fulminate d'argent. Lorsqu'il ne se forme plus de précipité, on étend d'eau, on filtre, on lave jusqu'à ce que les eaux de lavage n'aient plus de réaction acide, et on dessèche le précipité avec précaution.

Le fulminate d'argent est encore beaucoup plus explosif que celui de mercure, et n'est pas par suite employé dans la confection des capsules et amorces fulminantes; sa préparation exige les plus grandes précautions, et on ne doit opérer à la fois que sur des quantités extrêmement minimes; elle a donné lieu à beaucoup d'accidents ; le plus récent est celui du chimiste anglais *Hennel*, qui, en en préparant 1/2 kilogr. à la fois, y trouva la mort. L'explosion de cette masse le mit en pièces et ses membres séparés furent projetés à des distances considérables les uns des autres.

On n'emploie guère le fulminate d'argent que pour la préparation des pois fulminants et autres objets analogues ; pour préparer les pois fulminants, on prend de petites perles en verre creux de la grosseur d'un petit pois, on y introduit un peu de fulminate d'argent humide, et on enveloppe la perle d'un morceau de papier brouillard, puis on laisse sécher; lorsqu'on jette ce pois par terre avec force ou qu'on le brise de tout autre manière le frottement des esquilles de verre sur le fulminate en détermine l'explosion.

ACIDE FULMINIQUE. Cet acide isomère avec l'acide cyanique n'a pu encore être obtenu à l'état libre ; on ne connaît que ses combinaisons avec les bases ; à cet état, il est représenté par la formule $C^4\,Az^2\,O^2$, et ses sels par la formule $C^4\,Az^2\,O^2 + 2\,MO$; les fulminates renferment, tantôt 2 atomes de base fixe, et ils sont alors neutres au papier, tantôt 1 atome de base fixe et 1 atome d'eau ; dans ce dernier cas, ils possèdent une réaction acide.

FUMÉE (*moyens de prévenir la*). On sait que la plupart des foyers alimentés à la houille rejettent dans l'atmosphère une proportion considérable de charbon très divisé sous la forme d'une fumée plus ou moins épaisse, dont les inconvénients sont bien connus, et qui donnent lieu à de vives oppositions de la part des voisins toutes les fois qu'il s'agit d'établir, dans l'intérieur des villes, des chaudières à vapeur. Pour éviter autant que possible la dépréciation de la propriété, l'administration supérieure s'était contentée jusqu'ici d'obliger les fabricants à construire des cheminées d'une hauteur considérable et supérieure à celle des constructions environnantes, afin d'entraîner au loin la fumée et d'en diminuer les inconvénients en la répartissant ainsi sur une plus grande surface. Ce moyen devenant de plus en plus insuffisant à mesure que le nombre des établissements à vapeur établis dans l'intérieur des villes augmentait dans une proportion rapide, l'administration a dû se préoccuper de l'intérêt des particuliers, tout en continuant à protéger l'industrie, et par conséquent chercher si, par des moyens simples, des appareils peu onéreux et non brevetés, il était possible de prévenir la production de la fumée dans les foyers des chaudières à vapeur, sans augmenter la consommation en combustible ou la rapidité avec laquelle les chaudières se brûlent; à cet effet, une commission fut nommée l'année dernière, et son travail est assez avancé pour qu'on puisse déjà affirmer qu'elle a atteint le but qu'elle s'était proposé. Le rapport qu'elle a adressé à ce sujet au sous-secrétaire des travaux publics, n'ayant pas encore été publié, et devant, sous peu, après l'achèvement des travaux de la commission, servir de base à la rédaction d'un projet d'ordonnance interdisant à l'avenir aux propriétaires de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaudières à vapeur de produire une fumée qui puisse être incommode ou nuisible au voisinage, et d'une instruction ministérielle indiquant d'une manière numérique et précise les modifications qu'il convient d'apporter aux appareils existant pour arriver à ce résultat (il va sans dire que les industriels seront libres d'employer tel autre procédé qui leur conviendra, pourvu qu'ils arrivent au même but), nous regrettons de ne pouvoir en donner ici un extrait, et nous nous contenterons d'indiquer d'une manière générale quels sont les principaux procédés qui ont été essayés, soit en France, soit en Angleterre, pour prévenir les inconvénients qui résultent du déversement de la fumée dans l'atmosphère. Ces procédés se distinguent en deux classes tout à fait distinctes : dans la première, on condense la fumée tenue en suspension dans les gaz qui s'échappent par la cheminée; dans la seconde, on brûle la fumée dans l'intérieur même du fourneau.

Plusieurs personnes, nous citerons par ordre chronologique MM. Ward, Vivian, etc., se sont occupées des moyens de condenser la fumée au moyen d'eau lancée sous forme de pluie dans les canaux où circulent les produits de la combustion avant de se rendre à la cheminée; mais elles faisaient indistinctement arriver de l'eau dans toute l'étendue de ces canaux, ce qui diminuait considérablement le tirage, qu'il fallait rétablir au moyen d'immenses cheminées d'appel d'une construction très coûteuse. M. Hedley, maître de forges à Newcastle-sur-Tyne (Angleterre), a résolu cette difficulté d'une manière fort ingénieuse qui consiste à faire circuler la fumée dans une conduite repliée sur elle-même de manière à former une série de petites cheminées verticales accolées dans lesquelles les gaz circulent successivement de haut en bas et de bas en haut. On fait tomber de l'eau divisée en pluie, par une plaque percée d'une multitude de petits trous, dans les parties de la conduite où la fumée circule en descendant. La fumée est obligée de traverser une couche mince d'eau pour passer d'une partie de la conduite où elle a circulé en descendant, à la partie suivante où elle circule en montant. De cette manière, l'eau et la fumée circulant toujours dans le même sens, il en résulte, pour le fourneau, une augmentation considérable du tirage, qui devient très actif, sans qu'il soit nécessaire d'avoir des cheminées de plus de 3 à 4 mètres de hauteur. L'eau dissout les sels ammoniacaux et retient le noir de fumée, qui surnage, qui peut être recueilli et qui est de très bonne qualité. Ce procédé a été appliqué avec le plus grand succès à une chaudière de machine à vapeur fixe établie sur la ligne du chemin de fer allant de Sunderland à Durham. Ce procédé n'est pas seulement restreint aux foyers alimentés avec la houille, mais il s'applique encore plus particulièrement à la condensation de fumées bien autrement nuisibles que celles que produisent les combustibles minéraux ou végétaux, telles que celles des fourneaux de grillage dans les usines métallurgiques, celles des fours à réverbère pour la fabrication du sulfate de soude qui vomissent dans l'atmosphère des torrents d'acide hydrochlorique gazeux, et autres du même genre, dont les effets se font souvent sentir à des distances considérables. C'est ainsi qu'il commence à se répandre en Angleterre dans les usines à cuivre et dans les fabriques de soude. On peut aussi utiliser ce procédé pour la condensation des fumées métalliques ou cadmies qui donnent lieu à une perte très notable dans certaines industries, puisque pour le plomb, par exemple, les chambres de condensation ordinaires retiennent au plus 6 à 8 p. 100 du plomb volatilisé ou entraîné par le courant gazeux; aussi s'est-il rapidement introduit dans une grande partie des usines à plomb et à zinc de l'Angleterre.

Avant de parler de la seconde classe de procédés relatifs à la destruction de la fumée, il est nécessaire d'indiquer la manière dont celle-ci se forme. Lorsqu'on vient de charger du combustible frais sur la grille, celle-ci se trouve presque complétement obstruée, et, comme l'ont montré des expériences directes et multipliées faites par la commission centrale des machines à vapeur avec l'anémomètre de M. Combes (voyez VENTILATION), ne laisse passer qu'une quantité d'air presque insignifiante; le combustible éprouve alors une véritable distillation en vase clos et très brusque; il se forme des produits pyrogénés riches en carbone et en hydrogène qui, en passant sur la sole où la température est assez élevée, se décomposent en donnant lieu à de la vapeur d'eau, à un peu d'oxyde de carbone et d'hydrogène libre, à de l'acide carbonique venant en partie de la faible quantité d'air qui est passée à travers les barreaux de la grille, et à un dépôt de charbon en particules très ténues qui sont entraînées par le courant gazeux et qui, suivant leur plus ou moins d'abondance, constituent la fumée noire opaque et la fumée légère translucide et jaunâtre. A mesure que l'on s'éloigne du moment de la charge, et que par suite la distillation avance, la quantité d'oxygène et d'hydrogène diminue dans le combustible ainsi que la fumée; d'un autre côté, comme la grille se dégage, il passe de plus en plus d'air entre les barreaux, et cet air, en déterminant la combustion d'une partie de plus en plus considérable des produits de la distillation, tend aussi à diminuer la proportion de fumée. Enfin, il arrive un point où, par ces deux causes réunies, on n'aperçoit plus de fumée au sommet de la cheminée, et cet état de choses durera jusqu'à la fin de la charge : nous ne parlons ici que des fourneaux desservis chacun par une cheminée spéciale. Pour donner une idée de ce qui se passe pendant la durée d'une charge, nous rappellerons que, d'après les expériences précitées de la commission centrale des machines à vapeur, la quantité d'air qui passe à travers les barreaux de la grille d'un foyer alimenté avec de la houille de Mons, varie dans le rapport de 1 à 4, depuis le commencement jusqu'à la fin d'une charge, 2 représentant la quantité moyenne d'air qui serait nécessaire pour opérer la combustion complète du charbon dépensé, en supposant cette dépense proportionnelle au temps. On voit donc que la quantité d'air qui traverse la grille aussitôt après une charge est tout à fait insuffisante pour opérer la combustion complète des produits de la distillation.

Tous les procédés employés pour rendre cette combustion complète peuvent se ranger en trois classes :

1° Ceux dans lesquels, sans rien changer d'ailleurs au fourneau, on brûle la fumée par un ou plusieurs jets d'air arrivant, par des ouvertures ménagées en diverses parties du fourneau, par l'appel de la cheminée;

2° Ceux dans lesquels on fait usage de courants d'air forcé ou de jets de vapeur;

3° Ceux où l'on fait usage de plusieurs grilles, ou d'une seule grille disposée de manière que le charbon distille avant de brûler.

Les appareils de la première classe sont les plus simples, les moins coûteux, et peuvent donner des résultats très satisfaisants.

Nous nous contenterons de dire que la commission s'est assurée que dans les chaudières cylindriques à bouilleurs et foyer extérieur, telles qu'on les emploie ordinairement en France, il suffirait de faire arriver de l'air sur la sole par deux ouvertures placées à une faible distance au-delà de l'autel et au-dessus du niveau de ce dernier, et présentant une section telle qu'elle fût 1/6 à 1/4, de celle du vide entre les barreaux de la grille s'ils restaient constamment ouverts, et 1/2 à 1/3 si on les fermait au tiers ou à la moitié de l'intervalle qui sépare deux charges pour qu'il ne se produisît plus du tout de fumée noire et seulement, avec du charbon très fumeux, une faible quantité de fumée légère tout à fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sans inconvénients pourvu que la cheminée dominât les maisons voisines, sans que la consommation en combustible fût augmentée; d'après la théorie, on devrait même réaliser une certaine économie sur le combustible, ce qui est arrivé dans certains cas, mais ce qui n'est pas ici le fait principal. Avec du charbon plus sec, on pourrait sans inconvénient diminuer les dimensions des ouvreaux : ceux-ci étaient pratiqués dans le massif même en briques du fourneau, et n'ont exigé qu'une journée de travail du maçon.

On peut également disséminer l'air par des plaques métalliques percées de trous, mais cela n'est pas nécessaire.

Nous ne parlerons pas ici de l'emploi d'un courant d'air forcé pour brûler la fumée, et nous renverrons à l'article COMBUSTIBLES, où M. Ebelmen a traité ce sujet d'une manière aussi claire que précise et savante. Nous rappellerons seulement que, dans ce cas, il faut employer un générateur à courant d'air forcé et brûler les gaz combustibles résultants par un courant d'air également forcé; ce procédé est tout à fait fumivore et on peut employer des cheminées de 2 à 3^{m} seulement de hauteur, mais il exige une force motrice et ne peut, par suite, être appliqué dans beaucoup de cas; il faut d'ailleurs avoir soin de préserver les bouilleurs ou les chaudières, sur une partie de leur surface, au moyen d'un revêtement en briques réfractaires, afin de les préserver de la destruction rapide qui résulterait du contact des gaz et de l'air non encore brûlés à une température extrêmement élevée. On peut aussi, d'après M. Ebelmen, employer un générateur à combustion renversée et à grille inférieure, ce qui éviterait l'emploi d'une machine soufflante, tout en prévenant la production de la fumée; ces générateurs seraient analogues aux alandiers des fours à faïence et à porcelaine.

L'emploi de la vapeur d'eau indiqué d'abord par M. Fyfe, d'Édimbourg, pour brûler les houilles sèches et les anthracites, a été depuis appliqué avec succès sur les mines de houille du nord de la France; dans ce cas, on fait arriver au moyen d'une buse en tôle, dans le cendrier, qui est hermétiquement fermé, un filet de vapeur pris à la chaudière; il en résulte un courant d'air très actif affluant par la buse, et qui détermine une combustion très vive. Probablement aussi, une partie de la vapeur d'eau, en passant à travers le charbon incandescent, se décompose, et donne alors naissance à des gaz combustibles qui, en brûlant ensuite, produisent de la flamme : toujours est-il que celle-ci s'allonge considérablement et qu'il en résulte une économie très notable sur le combustible.

Ce système, tel que nous venons de le décrire, n'a aucun rapport avec la fumée, puisqu'il ne s'en produit pas avec les houilles sèches et anthraciteuses; mais, M. Jvison a imaginé de l'appliquer aux fourneaux alimentés avec des houilles grasses, comme moyen de prévenir la fumée, en faisant arriver un jet de vapeur non plus dans le cendrier, mais bien au-dessus de la grille. La vapeur est amenée dans le foyer par un petit tuyau adapté à la chaudière et qui se termine dans le foyer par une sorte d'éventail creux percé d'une dixaine de petits trous qui la disséminent au milieu du courant gazeux. La vapeur agit, comme dans le cas précédent, en déterminant un appel d'air, par des ouvertures ménagées exprès, suffisant pour produire la combustion de la fumée; l'effet de la vapeur est plutôt ici mécanique que chimique. D'après l'enquête anglaise on fait disparaître la fumée par l'emploi de ce procédé, selon les uns avec économie de combustible, selon les autres sans économie aucune, en tenant compte de la quantité de vapeur dépensée dans le foyer.

Cet appareil perfectionné par M. Thierry a un véritable succès. Ce constructeur (fig. 1032), empruntant de la vapeur à la chaudière, vient la faire se surchauffer à une haute température, dans des tubes en fer placés près du foyer, puis la projette sur le combustible par de petits orifices percés dans un des tubes en fer de l'appareil surchauffeur placé un peu au-dessus de la porte des fourneaux, dans laquelle sont percées des ouvertures.

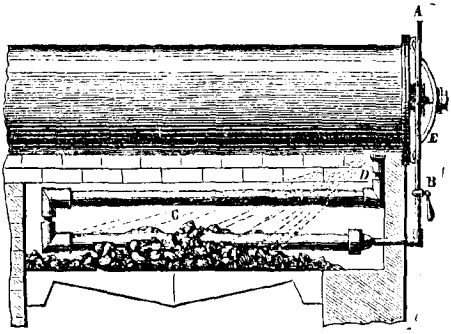


Fig. 1032.

On voit que, par cet appareil, plusieurs buts atteints : d'abord, une économie relative dans la pense de la vapeur lancée dans le foyer qui n'est ployée qu'en petite quantité; elle devient parfaitem sèche, l'eau qu'elle emportait étant complétement vaporisée, et fait plus que doubler de volume par la température élevée qu'elle acquiert. Mais, en outre, la vapeur surchauffée jouit de cette propriété remarquable, de ne plus refroidir le combustible comme la vapeur saturée et humide, mais d'agir comme un gaz combustible et de se décomposer sur le devant du foyer pour produire sous la chaudière une chaleur intense.

Les expériences ont constaté que l'appareil Thierry était plutôt économique que dispendieux et toujours parfaitement fumivore. L'arrivée d'air par des orifices est toujours, au contraire, la cause d'un accroissement de consommation. C'est un fait que l'expérience a mis hors de doute.

Parmi les procédés où l'on fait usage de plusieurs grilles, nous ne citerons que celui de M. Chanter, qui consiste essentiellement en ce qu'il fait usage de deux grilles fixes distinctes placées à la suite l'une de l'autre, et dont la dernière est généralement à un niveau plus bas que la première. On charge la houille crue sur la première grille et lorsqu'elle est réduite à l'état de coke, en partie consommée, on la fait tomber sur la seconde; l'air passe aisément à travers cette dernière grille et sert à la combustion des gaz qui arrivent de la première grille; enfin, s'il n'arrive pas ainsi assez d'air, on en fait affluer une certaine quantité dans l'intérieur du fourneau par des ouvertures ménagées au delà de la seconde grille. Ce procédé peut réussir, mais nous pensons que la seconde grille est superflue, et qu'une seule grille à gradins est préférable.

Telle est la solution fournie par les *Grilles à gradins de MM. de Marsilly et Chobrzinski*. La donnée de ces grilles, dit M. Grouvelle dans son excellent *Guide du Chauffeur*, se trouve dans un appareil appliqué depuis longtemps en Russie à un petit four de dessiccation du bois. Elle est construite là pour brûler un combustible pulvérulent et sans ténacité. En y ajoutant l'introduction de l'air en lames minces et horizontales donnée par la plaque, elle devait réaliser la combustion de la houille dans les conditions les plus favorables, et donner une fumivorité presque complète. L'appareil consiste en une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grille à gradins ou inclinée (fig. 1033), dont les barreaux plats et larges sont disposés à la manière des marches d'un escalier, et se recouvrent les uns les autres. A la suite de cette grille sont quelques barreaux à la manière ordinaire ; le nombre et l'écartement de ces barreaux dépendent de la pureté et de la nature du combustible.

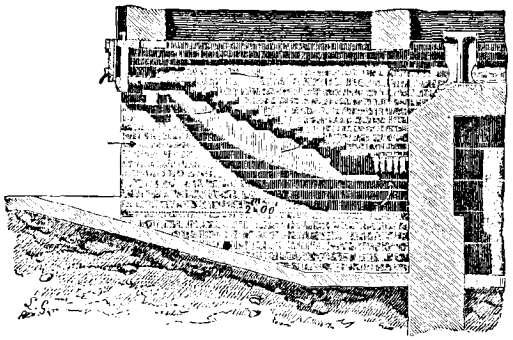


Fig. 1033.

Ce système est appliqué dans des foyers de chaudières à vapeur fixes et aux foyers des locomotives, et dans ce dernier cas il permet, sans trop d'inconvénients, la substitution complète de la houille au coke, avec une légère économie en poids, à travail égal. Sur le chemin de fer d'Orléans 105 locomotives à marchandises brûlent exclusivement de la houille avec des grilles à gradins, 66 de même espèce et 7 à voyageurs fonctionnent au chemin du Nord.

D'après des rapports faits sur un service de 19,524 kilomètres, par cinq locomotives avec grilles à gradins, au chemin du Nord, l'économie sur les mêmes machines, avec grilles ordinaires, est par kilomètre, en argent, de 7 centimes.

Les règles principales pour l'établissement de ces grilles, sont :

1° De donner aux grilles environ 1 mètre carré par 60 kil. de houille à brûler à l'heure ;

2° La section entre les barreaux doit être d'autant plus grande que la houille est plus grasse ; on ne peut pas descendre au-dessous de 0m,18 par kil. de houille brûlée à l'heure ;

3° Le premier barreau doit être à 0m,25 de la chaudière en hauteur ;

4° Le chauffeur doit toujours charger près de la porte le combustible frais, après avoir refoulé au fond la houille embrasée.

Perfectionnements apportés à cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale de chocolat, d'après M. Grouvelle. — On a remarqué, sur une grille appliquée à une machine de 20 chevaux de la Compagnie coloniale, que les ouvertures transversales des barreaux en gradins rendaient difficile le service du ringard du chauffeur.

On trouvait aussi que l'air n'arrivait pas assez abondamment au combustible ; on fit alors la même grille en gradin, mais avec les ouvertures des barreaux dans le sens du grand axe du fourneau, ce qui a donné de meilleurs résultats. Nous avons vu marcher cette grille dans l'atelier de la Compagnie coloniale, et avec de la houille de Charleroi la fumée était nulle et la chaudière montait très-vite en vapeur. Cette disposition se rapproche à celle que Watt avait proposée et du moyen de diminuer la fumée que l'habileté d'ouvriers chauffeurs avait su trouver. Il consiste simplement à charger toujours le combustible frais près de la porte pour lui faire subir un commencement de distillation avant de le pousser au milieu de la grille.

Il faut remarquer que chaque nature de combustible exige pour sa combustion complète un volume d'air différent, par suite que le rapport du plein au vide, dans une grille, doit varier avec la nature du combustible dont on la charge. Les bons constructeurs de chaudières obéissent à cette nécessité et font varier le rapport dont il s'agit suivant que la grille doit brûler de la houille, du coke, de la tourbe ou de la sciure de bois. Ce qui est pratiqué pour des combustibles de nature aussi différente devrait être également usité pour une grille qui, chargée d'abord de houille, se trouve, après un certain temps, chargée de houille et de coke ; c'est là l'avantage qu'offre l'inclinaison des grilles qui permet une classification du combustible dans le sens de la longueur de la grille, et aussi de faire varier facilement et graduellement la hauteur du combustible, afin de compenser par l'épaisseur de la couche l'inconvénient qui résulte de barreaux également espacés, livrant accès à des quantités d'air à peu près égales, alors qu'il s'agit de brûler des combustibles qui en exigent des quantités différentes.

Il nous reste à dire quelques mots sur les distributeurs mécaniques et les grilles mobiles avec trémies.

La production de la fumée dans les fourneaux où la charge est intermittente tient, comme nous l'avons dit, à ce que la quantité d'air qui passe à travers les barreaux de la grille est un minimum immédiatement après la charge et pendant la période de distillation du combustible, précisément au moment où cette quantité devrait être un maximum ; tandis qu'au contraire, à la fin de la charge, elle est un maximum et devrait être un minimum : un palliatif très-simple consiste à alimenter la grille d'une manière continue au moyen de distributeurs mécaniques, qui n'ont d'autre inconvénient que d'être d'un prix élevé et d'exiger une certaine quantité de force motrice, et par suite la présence d'une machine pour les mettre en mouvement. Ces distributeurs dus à M. Collier, et suivant les Anglais à M. Stanley, se composent essentiellement d'une trémie à débit continu, d'où la houille tombe entre deux cylindres broyeurs horizontaux, puis de là dans l'espace compris entre les deux axes de deux projecteurs circulaires contigus, placés dans le même plan horizontal, et qui, tournant en sens inverse l'un de l'autre, projettent continuellement la houille menue sur le foyer. La forme de ces projecteurs est ordinairement celle d'une roue composée d'une coquille conique droite et de six palettes trapézoïdales verticalement implantées autour de la coquille. Leur vitesse est considérable, de 200 tours environ par minute, plus ou moins, et on conçoit qu'ils doivent introduire une certaine quantité d'air au-dessus du combustible. En outre, chez M. Collier, on a remplacé le tisage du charbon par un mouvement oscillatoire de chacun des barreaux qui composent la grille. On fait varier la quantité de houille lancée sur la grille, en rapprochant ou éloignant l'un des cylindres broyeurs de l'autre.

Enfin, M. Juckes a imaginé d'employer une grille sans fin articulée, à peu près comme une large *chaîne sans fin*, de M. Galle, et qui passe sur deux lanternes mobiles sur leurs axes, et placées, l'une à l'avant en dehors du fourneau, et l'autre au delà de l'extrémité du foyer. La grille est animée d'un mouvement de progres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion très-lent de 2 à 3m par heure environ. Le mouvement est communiqué par la machine à vapeur que dessert la chaudière, ou par tout autre moteur, à l'aide de courroies, à l'axe de la lanterne de devant. Le combustible est chargé sur la partie antérieure de la grille au moyen d'une trémie fixe. La quantité de combustible entraînée par la grille est déterminée par la position de la porte du foyer, formant la paroi postérieure de la trémie, qui est mobile dans des coulisses verticales, et dont on règle la hauteur à volonté suivant l'épaisseur de combustible que l'on veut avoir sur la grille; l'air ne pénètre ainsi jamais dans le foyer qu'en passant entre les barreaux de la grille. Ceux-ci s'échauffent peu, il se forme peu de mâchefer, et celui-ci se détache, ainsi que les cendres, des barreaux de la grille, en passant sur la seconde lanterne; il faut que le mouvement soit assez lent pour que le combustible se consomme entièrement en parcourant l'étendue de la grille; aussi est-il nécessaire d'augmenter les dimensions de la grille, d'en faire varier la vitesse de translation et l'écartement des barreaux, suivant les cas. Le procédé est ingénieux, mais ne fournit pas une solution complète du problème; nous ne parlons pas sous le rapport de la fumée (nous nous sommes assurés que cet appareil est complétement fumivore dans tous les cas), mais bien sous celui de la production de vapeur : ainsi, des appareils de ce genre, toujours fumivores, donnent tantôt des résultats très-satisfaisants, tantôt la chaudière ne peut plus produire qu'une quantité bien moindre de vapeur qu'avec une grille ordinaire et dans le même temps, avec une plus grande dépense en combustible.

Pour expliquer la fumivorité de cet appareil il suffit de se rappeler que l'adoption d'une grille animée d'un mouvement de rotation régulier, et desservie par une trémie, produit une alimentation tout aussi régulière et continue que celle que donnent les distributeurs mécaniques, et que la couche de combustible qui recouvre la grille va sans cesse en diminuant du commencement à l'extrémité de la grille, où elle est pour ainsi dire nulle; de telle sorte qu'il doit arriver dans le fourneau à travers la grille une quantité d'air considérable, et probablement bien plus que suffisante pour produire la combustion complète de la fumée. Voir *Complément*, FUMÉE.

FUMIGATIONS. Dans un grand nombre de circonstances, telles que la décomposition des matières organiques ou l'accumulation d'un grand nombre d'individus dans un lieu resserré, l'atmosphère devient plus ou moins impropre à la respiration, et il est alors nécessaire, soit de recourir à l'effet d'une ventilation énergique, ce qui est encore ce qu'il y a de mieux, soit d'employer des *fumigations*, qui décomposent les miasmes répandus dans l'air.

Le chlore est sans contredit le meilleur moyen pour parvenir à ce dernier effet; mais, répandu en trop grande quantité dans l'atmosphère, il peut devenir nuisible par l'action irritante qu'il exerce sur l'économie animale; il vaut beaucoup mieux, sous ce rapport, se servir de *chlorures alcalins* (voyez CHLORURES DÉCOLORANTS), du *chlorure de chaux*, par exemple, dont le prix est peu élevé, et que l'on peut aisément se procurer; l'emploi des chlorures alcalins présente cet avantage, que le chlore ne se dégage que lentement et au fur et à mesure qu'il est déplacé par l'acide carbonique existant dans l'air ou provenant de la décomposition des miasmes. On dissout ordinairement le chlorure de chaux dans environ cent fois son poids d'eau.

FUSÉE A LA CONGRÈVE. Voyez ARTIFICES.

FUSIBILITÉ (*angl.* fusibility, *all.* schmelzbarkeit). La difficulté d'apprécier exactement les hautes températures ne permet pas d'indiquer d'une manière précise la température de fusion de la plupart des métaux; nous allons cependant donner ces températures, en degrés du thermomètre centigrade, telles qu'elles sont généralement admises, en indiquant à la suite le nom de l'observateur.

Mercure. . . .	— 39°	Gay-Lussac.
Potassium. . .	+ 58	Gay-Lussac.
Sodium.	90	Gay-Lussac.
Etain.	230	Kupfer.
Dito.	239	Daniell.
Bismuth. . . .	246	Daniell.
Plomb.	312	Guyton-Morveau.
Dito.	322	Dalton et Crighton.
Dito.	354,5	Daniell.
Tellure.	entre le plomb et l'antimoine.	
Arsenic.	fusible et volatil au-dessous du rouge.	
Cadmium . . .	360	
Zinc.	370	Brongniart.
Dito.	411	Daniell.
Antimoine. . .	432	Daniell.
Argent.	1022	Daniell.
Cuivre.	1092	Daniell.
Or.	1102	Daniell.
Fonte grise. . .	1587	Daniell.
Acier.	entre la fonte et le fer.	
Manganèse. . .	entre la fonte et le fer.	
Nickel.	entre la fonte et le fer.	
Fer forgé. . . .	2418	Clément-Désormes.
Palladium, Molybdène, Urane, Tungstène, Chrôme, Titane,	presque infusibles et s'agglomérant seulement en petits globules fondus, au feu de forge le plus violent.	
Cérium, Osmium, Iridium, Rhodium, Platine,	infusibles au feu de forge le plus violent; fusibles au chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.	

FUSIL. Voyez ARMES A FEU.

G

GAIAC (*angl.* guaiac, *all.* guaja harz). Résine qui exsude de l'arbre appelé *guaiac officinalis*, qui croît dans les îles de l'Inde occidentale, et qui n'est guère employée que dans les pharmacies.

GALBANUM. Gomme-résine qui exsude spontanément ou par des incisions du *bubon galbanum*, plante de la famille des Ombellifères, qui croît en Afrique et particulièrement en Éthiopie.

GALÈNE (*angl.* galena, *all.* bleiglanz). Nom donné au plomb sulfuré. Voyez PLOMB.

GALIPOT. Nom donné à la térébenthine du *pinus maritima*, solidifiée sur l'arbre. Lorsqu'il se trouve mélangé de débris d'écorces et plus impur, il prend le nom de *barras* (voyez TÉRÉBENTHINE).

GALLATES. Sels formés par l'acide gallique. Voyez l'article suivant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NOIX DE GALLE (*ang.* gall-nuts, *all.* gallæpfel). On donne ce nom à des excroissances que l'on trouve sur les feuilles et les menues branches de la variété de chêne dit *quercus infectoria*, qui croît dans le Levant. Elles sont produites par la piqûre d'un insecte du genre *cynips* de Linné et de l'ordre des hyménoptères, qui y dépose ses œufs; ils se développent en s'entourant d'une espèce de tubercule qui est la galle elle-même, qui s'accroît jusqu'à ce qu'ils aient subi leur métamorphose; alors ils en percent la paroi et s'échappent; passé cette époque la galle pâlit, devient moins dense, moins astringente, et perd ainsi successivement les qualités qui la font rechercher.

Il résulte du mode de formation des galles, qu'elles sont dues à une extravasion des sucs végétaux et qu'elles doivent présenter une organisation ou au moins un tissu homogène; c'est en effet ce que l'on observe : une galle de bonne nature présente une cassure entièrement grenue, brillante au soleil, et qui offre à peine quelques différences vers la périphérie, où les matériaux extravasés ont dû subir une altération de la part de l'air.

Les galles, quelles qu'elles soient, renferment toutes beaucoup de tannin, ce qui les rend propres à être employées dans la fabrication des ENCRES, la TEINTURE en noir, le tannage des PEAUX, etc.

Les *galles d'Alep* sont les plus estimées; on en distingue trois sortes : les galles noires qui forment la qualité supérieure sont petites, très-denses et très-raboteuses. Elles renferment presque toujours l'insecte avec lequel elles se sont développées, ce qui se reconnaît à ce qu'elles n'offrent aucune perforation; les galles blanches, plus grosses, moins denses et moins raboteuses que les galles noires, sont beaucoup moins estimées; les galles vertes ont un aspect et des qualités intermédiaires à celles des deux espèces précédentes.

Les *galles de Smyrne* sont comparables aux galles d'Alep sous tous les rapports, mais elles leur sont inférieures en qualité. La Dalmatie, l'Illyrie, la Calabre, etc., produisent des galles inférieures aux précédentes, plus petites, et qui croissent sur le *quercus cerris*. Enfin, on trouve en France, et généralement presque partout, des galles de qualités très-inférieures, qui croissent sur le chêne vert (*quercus ilex*) et le chêne ordinaire (*quercus robur*), et qui ne sont guère employées que pour le tannage.

Le principe utile et astringent des noix de galle est le *tannin*, que l'on en retire aisément comme il suit : on prend un tube de verre droit, long et étroit, que l'on étire légèrement à l'extrémité inférieure, dans laquelle on place ensuite une mèche de coton, et que l'on introduit dans le col d'un flacon; on remplit à moitié le tube de noix de galle grossièrement pilée et légèrement tassée, puis on verse par dessus de l'éther sulfurique hydraté, et on ferme le tube avec un bouchon. La liqueur qui s'est rassemblée au bout de 24 heures dans le flacon forme deux couches : la couche supérieure, qui est de l'éther presque pur que l'on enlève et qui peut servir pour une autre opération, et la couche inférieure, qui est une dissolution de tannin dans l'eau provenant de l'éther et de la noix de galle non desséchée. La dissolution est presque sirupeuse; en l'évaporant à sec, sous le récipient d'une machine pneumatique, on a une matière boursouflée et incristallisable, qui est du tannin dans le plus grand état de pureté que l'on ait pu obtenir.

En épuisant la noix de galle par l'éther, on en retire de 40 à 45 p. 100 de tannin.

Le tannin ou acide tannique (*all.* gerbsaure) est un véritable acide, rougissant la teinture de tournesol et se combinant avec les bases pour former des *tannates*. Il est très-soluble dans l'eau et l'alcool, moins dans l'éther; il possède une saveur très-astringente. Le tannin ou l'infusion aqueuse de la noix de galle précipite un grand nombre de sels métalliques, et cette propriété est quelquefois employée dans l'analyse qualitative.

Avec les sels de protoxyde de fer, il n'y a pas de précipité; avec les sels de peroxyde de fer, il y a un précipité d'un noir bleu intense (encre) qui reste en suspension dans l'eau; avec les sels de titane, le précipité est d'un rouge de sang; enfin, la plupart des précipités par les sels métalliques incolores sont d'un blanc sale. Le tannin précipite complétement la gélatine, et réciproquement; le précipité est caséeux; c'est lui qui se forme dans le tannage des peaux. La composition du tannin est représentée par la formule $C^{18}\,H^{16}\,O^{12}$. A l'état sec, le tannin se conserve indéfiniment, mais à l'état de dissolution, il s'altère assez promptement et passe à l'état d'acide gallique (*all.* gallæpfel saure), même hors du contact de l'air.

L'*acide gallique* se produit, comme nous venons de le dire, par la décomposition spontanée de la dissolution de tannin; pour le préparer, on fait une infusion à chaud de noix de galle, on concentre par l'ébullition la liqueur qui est d'un brun très-foncé, on ajoute du noir animal pour la décolorer, on filtre, on fait cristalliser, et on purifie les cristaux obtenus par plusieurs cristallisations successives; on a ainsi de l'acide gallique incolore, lorsqu'il est parfaitement pur, et en aiguilles soyeuses. Il se distingue du tannin en ce qu'il peut cristalliser et en ce qu'il ne précipite point la gélatine; avec les sels de peroxyde de fer, l'acide gallique donne un précipité d'un bleu noir très-intense (encre) beaucoup plus soluble dans l'eau que le précipité analogue produit par le tannin. La composition de l'acide gallique est représentée par la formule $C^7\,H^6\,O^5$; par l'action de la chaleur, il perd successivement un atome d'acide carbonique $C\,O^2$ et un atome d'eau $H^2\,O$, en donnant naissance à deux nouveaux acides, l'acide pyrogallique $C^6\,H^6\,O^3$ et l'acide méta-gallique $C^6\,H^4\,O^2$, qui n'ont aucun emploi dans les arts.

M. Michel, chimiste praticien distingué et habile teinturier de Lyon, a conçu l'heureuse pensée de fabriquer l'acide gallique avec de vieux châtaigniers en faisant bouillir à la vapeur ce bois réduit en copeaux.

100 de copeaux de vieux châtaigniers donnent 16 à 18 de décoction à 20° Baumé, que l'on désigne dans le commerce sous le nom d'acide gallique liquide.

ACIDE GALLIQUE. Voyez *noix de* GALLE.

GALVANOPLASTIE. Le but que l'on cherche à atteindre par la galvanoplastie est de précipiter, par l'action d'un courant galvanique, un métal de sa dissolution, sur un objet donné, en couche continue, mais non adhérente, de manière que cette couche représente exactement tous les détails de l'objet avec toutes leurs dimensions et leurs courbures. Quelquefois la couche doit être adhérente, mais dans ce cas on ne fait réellement pas de la galvanoplastie; on fait de la dorure, du cuivrage, etc.

Le courant électrique que l'on emploie provient, soit d'un appareil simple, soit d'un appareil composé. Dans un appareil simple, le moule, l'objet sur lequel doit se déposer le métal précipité, fait partie essentielle du circuit galvanique. Dans l'appareil composé, la pile est en dehors du bain à décomposer, et le moule est attaché au pôle zinc; le pôle cuivre, charbon, etc., est mis d'ailleurs en communication avec le bain; l'avantage que l'on trouve à employer un appareil composé consiste en ce que l'on peut attacher au pôle cuivre ce que l'on appelle un électrode soluble, c'est-à-dire une lame du métal même, qui est en dissolution dans le bain qui entre en dissolution

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en quantité à peu près égale à celle qui se dépose sur le moule.

Les inventeurs de la galvanoplastie, Spencer et Jacobi, qui, le premier en Angleterre, le second en Russie, firent la découverte de cet art nouveau en 1838, à peu près simultanément, et sans aucun doute en travaillant chacun de leur côté dans la plus complète ignorance des travaux de l'autre, exécutèrent leurs opérations galvanoplastiques avec des appareils simples. Les appareils qu'ils employèrent dans l'origine étaient sans doute fort imparfaits, et depuis l'époque de leur invention, quoiqu'elle soit si rapprochée de nous, ils ont été grandement perfectionnés. Cependant, afin de faire voir comment avec les premiers vases venus, sans avoir recours à des appareils coûteux, on peut arriver aux plus beaux et plus utiles résultats, nous décrirons, d'après M. Becquerel (*Éléments d'électro-chimie*), l'observation fondamentale qui a engendré toute la galvanoplastie, exactement comme l'a faite Spencer pour la première fois. Une plaque carrée de cuivre fut mise en communication avec une plaque de zinc de même forme et de même grandeur, au moyen d'un fil de cuivre. La plaque de cuivre fut recouverte à chaud d'une couche de vernis, composé de cire jaune, de résine et d'ocre rouge; avec une pointe métallique on traça des lettres dans ce vernis, en mettant à nu le cuivre, comme dans la gravure à l'eau forte. Cette préparation faite, on prit un vase rempli à moitié d'une solution saturée de sulfate de cuivre, dans laquelle on plongea la plaque de cuivre, ainsi que le verre d'un bec à gaz, fermé à l'une de ses extrémités par un tampon de plâtre de 0m,02 d'épaisseur, et rempli aux deux tiers d'une solution étendue de sulfate de soude. L'élément zinc du couple fut plongé dans cette dernière dissolution, la face inférieure du disque placée parallèlement à la face supérieure de la cloison perméable; et le fil conjonctif fut recourbé de manière que la plaque de cuivre fut opposée par la surface gravée à la face inférieure de la même cloison. Dès l'instant que le circuit fut fermé, le cuivre provenant de la décomposition du sulfate de cuivre vint remplir les sillons tracés par la pointe dans le vernis, de manière à produire les caractères en relief. M. Spencer eut aussitôt l'idée de faire servir ces caractères à l'impression typographique, et il prépara une plaque en cuivre avec laquelle il obtint des épreuves qui furent distribuées dans le public. C'est de là que partit ce savant pour mouler des médailles en opérant exactement, comme nous venons de le dire. Voici comment il décrit lui-même son expérience :

« Je formai, avec la médaille et une rondelle de zinc, un couple voltaïque, comme auparavant; j'y fis déposer une couche de cuivre d'un millimètre d'épaisseur environ; puis je détachai avec soin, mais non sans quelque peine, le dépôt formé. J'examinai le résultat à la loupe, et je vis tous les détails de ma médaille reproduits avec une merveilleuse fidélité sur la contre-épreuve voltaïque. Je renouvelai de nouveau la même expérience avec la même médaille, car je voulais obtenir un moule plus épais et plus résistant. Je laissai donc le dépôt procéder lentement et atteindre une épaisseur considérable; mais lorsque je voulus le détacher de la médaille, je trouvai les deux surfaces intimement soudées entre elles. »

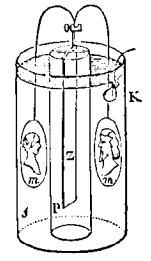
Il n'y a pas très loin de là aux dépôts faits sur des empreintes ou des moules seulement, au lieu des pièces mêmes, pour éviter cet inconvénient. M. Jacobi n'alla pas tout de suite aussi vite que M. Spencer dans la généralisation du procédé; il se contentait, dans ses premières publications, « d'obtenir, à l'aide d'un courant voltaïque, des épreuves en relief de planches de cuivre gravées, et une contre-épreuve de ces mêmes épreuves, de telle sorte qu'il pouvait multiplier ainsi à l'infini les exemplaires d'une planche de cuivre gravée. » Mais on doit en outre à M. Jacobi l'emploi de l'électrode positif de même nature que le métal qui est en dissolution, afin d'avoir une dissolution toujours au même degré de concentration.

Après ces premières et fondamentales notions historiques, nous nous contenterons de dire que MM. Becquerel, Boquillon, Elsner, Grove, Mason, Smee, Elkington, Solly, Sorel, Ch. Chevalier, et beaucoup d'autres encore, se sont occupés de faire avancer l'art de la galvanoplastie, sans qu'il soit toujours facile de rapporter chaque perfectionnement à son auteur propre; c'est notre excuse pour ne pas entrer dans une discussion où des noms propres, mais non la science, se trouvent intéressés.

Nous allons commencer par la description des appareils galvaniques qu'il convient d'employer quel que soit d'ailleurs le métal qu'il s'agisse de déposer.

APPAREILS GALVANIQUES.

Appareils simples. Parmi ces appareils, celui que l'on emploie le plus ordinairement est représenté fig. 1046. Dans un vase en verre, en porcelaine ou en faïence, on met la dissolution convenable du métal qu'on veut déposer, par exemple, du sulfate de cuivre *s*, pour recouvrir de cuivre les moules *m*. Au centre de ce premier vase, on en place un autre P, d'un diamètre beaucoup moindre, poreux, fait, par exemple, en porcelaine dégourdie. Dans ce vase P, on met de l'acide sulfurique étendu, de douze ou quinze fois de son poids d'eau, et on y plonge une lame ou un cylindre Z de zinc, amalgamé ou non. Les moules *m* sont mis en communication avec le zinc Z, par un fil de laiton. La dissolution du sulfate de cuivre devant s'épuiser à mesure que le dépôt métallique s'effectue sur les moules, il faut l'entretenir à un degré de saturation constante en y ajoutant de temps à autre des cristaux de sulfate de cuivre, ou mieux en plaçant à la partie supérieure de la dissolution un petit panier ou un sac en toile K rempli de cristaux.



1046.

Au lieu d'employer l'appareil précédent, on peut se servir du suivant, que M. Becquerel décrit à peu près ainsi que nous allons le faire.

On prend une caisse rectangulaire en bois lutée intérieurement avec une substance peu susceptible d'être attaquée par les dissolutions, par exemple avec de la gutta percha (voyez ce mot). On partage cette caisse en deux compartiments par une cloison perméable au liquide et appelée diaphragme. Ce diaphragme peut être en baudruche ou en parchemin, mais il est plus convenable de le faire en gros plâtre de mouleur; il ne faut lui donner que peu d'épaisseur, afin de diminuer le moins possible l'intensité du courant.

Le premier compartiment contient une dissolution faite à froid de sulfate de cuivre ou de tout autre sel qu'il s'agit de décomposer; dans cette dissolution on fait plonger les moules à quelques centimètres de distance du diaphragme. Dans le deuxième compartiment se trouve de l'eau légèrement acidulée en contact avec une lame de zinc d'une surface à peu près égale à celle des moules, lame qui est placée à un centimètre environ du diaphragme. Quand tout est ainsi arrangé, on établit la conductibilité métallique entre les moules et le zinc.

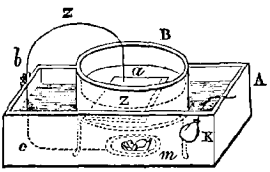
On entretient le sel constamment au même degré

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de saturation, comme dans le cas précédent. Il est bon d'entretenir la température de 40 à 70° pour éviter la cristallisation, et comme, malgré toutes les précautions, la saturation est toujours plus grande au fond que dans le haut, il faut retourner le moule de temps en temps, et cela avec rapidité afin d'éviter toute oxydation.

Un autre inconvénient est l'épaisseur inégale du dépôt, toujours plus abondant à l'extrémité opposée au point d'attache qu'à ce point même. On cherche à y remédier en plaçant plusieurs conducteurs suffisamment longs aux deux extrémités du moule, et en ayant soin de relever derrière ceux qui sont fixés au bord inférieur.

C'est dans le but d'échapper à cet inconvénient d'un dépôt irrégulier qu'on se sert souvent de l'appareil suivant (fig. 1047); il est formé d'une caisse rectangulaire ou cylindrique A, dans laquelle on en met une autre B, dont le fond est un diaphragme maintenu convenablement aux parois de la caisse. Ce dernier vase B est supporté à une dixaine de centimètres du fond du vase A. Le moule *m* est placé horizontalement sur un support à 7 ou 8 centimètres du diaphragme qui fait le fond du vase B. Dans ce vase, rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique, on met horizontalement une lame de zinc Z, ayant à peu près les mêmes dimensions que le moule. Le vase A étant aussi plein du sel à décomposer, on établit le circuit par le fil conducteur *a b c*. Il ne se forme plus alors que quelquefois un bourrelet sur les bords du moule. Cependant pour que le dépôt fût rigoureusement égal en tous les points, il faudrait que toutes les parties du moule fussent à égale distance du zinc, ce qui ne peut s'obtenir qu'en donnant au zinc la forme générale des saillies ou dépressions du moule, ou bien en prêtant cette même forme à la cloison perméable. Sans ces précautions le dépôt est toujours plus considérable sur les saillies que sur les creux.



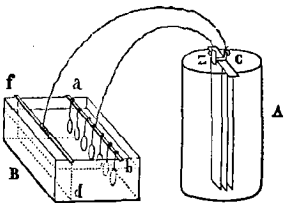
1047.

Quand on juge que le dépôt a acquis une épaisseur suffisante, on lave les pièces à grande eau et on les sèche avec du papier buvard. On détache ensuite les pièces des moules, ce qui se fait facilement quand on a préparé les moules en prenant les précautions que nous indiquerons plus loin.

Appareils composés. Nous avons dit plus haut que l'appareil était composé quand le courant galvanique était produit dans un vase séparé de celui qui contient la dissolution à décomposer. On peut alors employer un courant aussi faible ou aussi énergique que l'on veut en employant un ou plusieurs éléments voltaïques de formes et de grandeurs diverses. On dispose l'opération de la manière suivante (fig. 1048): A est la pile, B la caisse où on verse la liqueur, le sulfate de cuivre par exemple.

On suspend les moules qu'on veut recouvrir à une tige *a b*; en face, on met une plaque *f d*, du métal qu'on doit faire déposer, une plaque de cuivre dans la circonstance actuelle, pour servir d'électrode soluble. La pile étant chargée on met *f d*, en communication par un fil de laiton avec le pôle cuivre C, et *a b*, en communication avec le pôle zinc Z.

Nous n'avons rien à dire sur la disposition particulière des moules, ni sur l'emploi de la dissolution à décomposer, si ce n'est qu'il est bon d'opérer à une température de 40 à 70°. L'emploi seul de la pile a besoin d'être fait avec discernement; aussi allons-nous décrire les principaux instruments voltaïques dont on peut se servir dans la galvanoplastie.



1048.

Nous commencerons par parler de l'emploi du zinc amalgamé imaginé par Kemp; il présente trois avantages importants. Le premier, dit M. Becquerel, est que l'équivalent complet d'électricité s'obtient par l'oxydation d'une certaine quantité de zinc, c'est-à-dire que si l'on opère avec l'appareil simple la décomposition d'un sel métallique en dissolution, on obtient un équivalent de zinc consommé, c'est-à-dire, ajouterons-nous, que l'électricité produite dans l'action chimique est tout entière portée sur son récipient quand on emploie le zinc amalgamé, tandis qu'avec le zinc ordinaire il s'en perd une partie. Le second avantage est que le zinc n'est pas attaqué quand le circuit n'est pas fermé, tandis qu'avec le zinc ordinaire l'acide étendu agit constamment. Enfin, le troisième avantage, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Faraday, est qu'on obtient une action régulière, tandis que, avec le zinc ordinaire, l'action est très capricieuse et procède par saccades. La régularité de l'action électrique dépend aussi du reste de l'état de pureté de l'acide; on conseille, pour le moment, d'employer de l'acide le plus pur possible, parce que, s'il s'y trouvait de l'acide nitrique, le zinc, quoique amalgamé avec grand soin, serait bientôt détruit sans avoir produit tout son effet utile.

L'amalgamation de toute la surface du zinc s'effectue d'une manière très-simple. Dans une soucoupe on verse de l'eau, de l'acide sulfurique pur et du mercure; ensuite, avec une brosse, on prend un peu de ce mélange et on frictionne la surface du zinc jusqu'à ce qu'elle soit devenue brillante, qu'elle soit recouverte d'une couche d'amalgame.

Les piles qu'il est le plus convenable d'employer sont celle de Daniell et celle de Bunsen, la plus employée aujourd'hui pour la production de l'électricité, mais qui a l'inconvénient d'être un peu chère et de dégager des vapeurs nitreuses.

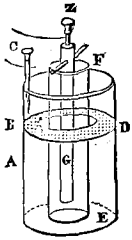


Fig. 1050.

Pile de Daniell. La pile à courant constant de Daniell, telle que la dispose M. Becquerel, est représentée fig. 1051. Elle consiste en une auge en cuivre ABD, ayant 0m,18 de hauteur, 0m,14 de largeur et 0m,03 d'écartement, munie de deux appendices A et B formant biseau, communiquant avec l'intérieur de l'auge par plusieurs ouvertures, et remplis de sulfate de cuivre. Dans cette auge, on verse une dissolution saturée de sulfate de cuivre, et on y plonge un sac de toile à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

voile F G K (fig. 1052), contenant une lame de zinc Z K, de 0m,12 de largeur. Deux vis de pression L et E permettent, soit d'assujettir aux deux pôles obtenus les fils conducteurs du courant, soit de serrer le cuivre d'un élément avec le zinc du suivant. On voit que chaque face de la lame de zinc y est en présence d'une surface de cuivre.

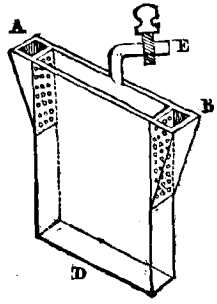


Fig. 1051.

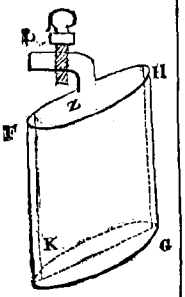


Fig. 1052.

On a fait subir plusieurs changements de forme à la pile de Daniell; nous ne citerons que le suivant, qui est avantageux et donne la forme usitée aujourd'hui représentée fig. 1050. A, vase de cuivre; B D, tablette percée de trous pour recevoir les cristaux de sulfate de cuivre qui doivent entretenir à un degré de saturation constante la dissolution de ce sel contenu dans le vase A; E F, vase poreux où se trouve de l'eau faiblement acidulée par l'acide sulfurique ou le sel marin, et où plonge un cylindre de zinc amalgamé G; C et Z, deux vis de pression pour attacher les fils conducteurs des pôles-cuivre et zinc, ou pôles positif et négatif.

Pile de Bunsen. Nous avons décrit cette pile à ÉLECTRICITÉ et discuté les moyens de produire celle-ci à bon marché.

DES BAINS.

Les appareils à l'aide desquels on doit décomposer les diverses combinaisons métalliques employées dans la galvanoplastie, étant maintenant décrits, nous allons donner quelques détails sur les combinaisons elles-mêmes.

Bains d'or. On n'emploie dans la galvanoplastie que les bains que nous avons décrits à l'article DORURE, soit pour la dorure galvanique, soit même pour la dorure par immersion; d'ailleurs, on ne dépose l'or qu'exceptionnellement, afin de dorer les précipités de cuivre qu'on cherche à obtenir plus généralement.

Bains d'argent. Les bains dont on se sert dans l'argenture peuvent tous être employés en galvanoplastie. De tous les sels dont on peut se servir, le nitrate d'argent est le moins convenable. Le sulfate d'argent convient bien pour les métaux qui ont plus d'affinité pour l'oxygène que l'argent. Le choix du sel que l'on doit employer dépend donc de la nature du moule, qui peut être d'or, de platine, d'argent, de cuivre, de charbon, ou d'une matière plastique recouverte d'une de ces substances.

Bains de platine. Les dissolutions du platine sont celles du platinage (voir DORURE). Nous ajouterons seulement que M. Boettger annonce qu'il est parvenu à obtenir un dépôt de platine d'une grande adhérence, d'un éclat spéculaire, et résistant à l'action des acides, même bouillants, au moyen d'une solution de chlorure double d'ammoniaque et de platine dans l'eau bouillante, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'ammoniaque liquide quand elle est arrivée à une température modérée, et que l'on soumet à l'action de la pile quand elle est encore chaude; cela mérite confirmation.

Bains de nickel. Le nitrate de nickel ou le sulfate ammoniacal de protoxyde de ce métal peuvent être employés.

Bains de cuivre. Voici ce qu'en dit M. Becquerel :

« Le sulfate, le chlorure, le nitrate et l'acétate, sont les combinaisons employées, mais surtout le premier sel, en raison de son prix peu élevé. Ce sel offre une résistance considérable au passage du courant galvanique, aussi augmente-t-on le pouvoir conducteur de la dissolution en y ajoutant une petite quantité d'acide sulfurique ou nitrique. Suivant M. Smee, une dissolution qui renferme 500 grammes de ce sel, 2 kilogr. d'eau, et un tiers à moitié de son volume d'acide sulfurique étendu de huit parties d'eau, est d'un bon usage, surtout quand on opère sur des substances non conductrices, recouvertes d'une couche de plombagine.

« L'addition d'acide nitrique a cela d'avantageux, que l'acide attaque l'électrode soluble, ce qui facilite le passage du courant en rendant la dissolution plus forte. Il faut bien se garder d'ajouter un acide quand la matière du moule est plus oxydable que le cuivre. MM. Jacobi et Spencer ont émis l'opinion qu'il y a toujours inconvénient à se servir d'une dissolution acide; cependant beaucoup de personnes en font usage.

« Le nitrate de cuivre exige un courant initial moins fort pour être décomposé; mais son prix élevé ne permet pas de l'employer dans les opérations en grand. M. Smee emploie 500 grammes de ce sel et un litre d'eau acidulée, avec 16 grammes d'acide nitrique concentré. Avec cette dissolution, on peut obtenir très promptement une plaque de cuivre. L'électrode soluble en cuivre doit être de la même dimension que le moule, et ils doivent être placés à un centimètre de distance.

« Le chlorure ne présente aucun avantage, ainsi que les autres sels solubles de cuivre.

« L'électrode soluble est toujours en cuivre; quant au moule, il peut être fait de plombagine, de charbon, d'or, d'argent, de platine, de palladium, de nickel, et même de cuivre. »

Bains de zinc. Le sulfate de zinc est le bain qu'on emploie ordinairement.

Bains de plomb. L'acétate très étendu, acidulé avec de l'acide acétique, ou une petite quantité d'acide nitrique, est le sel que M. Becquerel conseille d'employer.

Bains d'étain. L'étain, ainsi que le plomb, présente beaucoup de difficultés à la réduction par la pile. On peut se servir de la dissolution d'étain dans l'eau régale, acidulée par l'acide nitrique.

Dans ces courts détails sur les dissolutions à employer en galvanoplastie, nous n'avons pas attiré expressément l'attention du lecteur sur quatre conditions essentielles, d'où dépend complétement le succès de l'opération, et qui malheureusement n'ont pas encore été clairement formulées en lois nettes et précises. Ce sont : 1° l'intensité de la pile; 2° le degré de concentration et de conductibilité de la dissolution; 3° sa température; 4° la disposition et la grandeur relatives des deux électrodes. Ainsi que l'a remarqué M. Boquillon, qui est, de tous ceux qui se sont occupés de galvanoplastie, celui qui a fait les observations les plus circonstanciées sur l'état moléculaire des dépôts métalliques, ces dépôts peuvent être durs et cassants comme de l'acier, mous et flexibles comme du plomb, posséder des qualités intermédiaires, ou bien être formés d'une poudre noire ou de cristaux plus ou moins considérables, selon que les quatre conditions sont entre elles dans certaines relations. Ces relations sont encore mal définies, et nous nous fions bien mieux à l'habitude acquise au bout de quelques jours d'essai, qu'à toutes les règles vagues fournies jusqu'à présent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans tous les cas, voici ce que M. Boquillon a observé. Toutes choses égales d'ailleurs, un électrode positif plus grand que l'électrode négatif ou moule, tend à produire sur ce dernier un dépôt cristallin, qui va jusqu'à l'état pulvérulent, si la différence de leurs dimensions est très considérable. Le contraire a lieu si l'électrode négatif est plus grand que l'électrode positif. L'élévation de la température tend à produire de semblables effets.

Si l'on considère trois cas, que dans le premier la dissolution soit complétement saturée, que dans le second elle le soit moins, et que dans le troisième le sel ne se trouve qu'en très petite quantité, ainsi que l'a fait M. Boquillon, il pourra arriver que le dépôt obtenu dans le premier cas soit dur, cassant, que celui du second cas soit plus flexible, et que le dépôt du troisième cas soit formé d'une masse spongieuse de cristaux non agrégés, et finisse par ne présenter qu'une poudre noire très divisée, n'ayant aucune adhérence. Eh bien, si l'on affaiblit l'intensité du courant, le troisième dépôt deviendra ce qu'était le second dans la première expérience. Le second dépôt sera plus mou, et enfin le premier pourra avoir les propriétés du second.

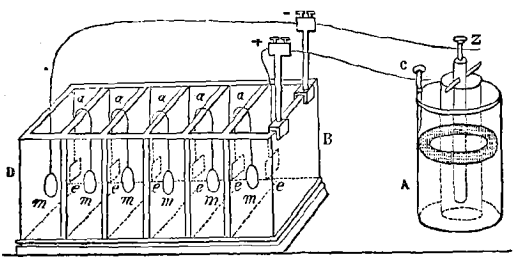
Cela donne un exemple des nombreux phénomènes qui se passent dans ces actions, encore trop peu étudiées. (*Voy.* GALVANOPLASTIE, *Complément.*)

On peut augmenter l'intensité du courant galvanique, tout en conservant la même pile, extérieure à la dissolution, par le procédé suivant, qui est surtout employé quand on agit sur une dissolution difficile à réduire; ce sont plusieurs appareils simples (*fig.* 1058) réunis en pile :

A, élément de Daniell.

B, auge divisée en six compartiments au moyen de diaphragmes poreux.

Sur ces diaphragmes sont placés à cheval cinq fils métalliques pliés, *a a a*, supportant à une extrémité un moule *m*, plongeant dans l'un des compartiments, et à l'autre extrémité un électrode soluble *e*, plongeant dans le compartiment voisin, de l'autre côté de la cloison poreuse.



1058.

Toutes les auges sont pleines de sulfate de cuivre, par exemple, et l'élément voltaïque A est chargé. Alors on met le pôle positif C en communication avec un électrode *e*, dans le compartiment extrême B, qui fait communiquer le compartiment B et le compartiment D, et alors on fait arriver dans ce dernier sur le moule *m* le conducteur négatif attaché au pôle zinc Z; au bout de deux minutes ce moule sera recouvert, et on n'aura plus à craindre l'action chimique qu'il aurait pu subir. Cela fait, on retire du compartiment D, l'extrémité du fil qui reliait les deux compartiments extrêmes, on le plonge dans le compartiment voisin de D, et on place le premier fil plié, *e a m*; au bout de quelques instants, le nouveau moule sera encore recouvert. On agit de même pour le troisième compartiment, et ainsi de suite. Toutes ces précautions étant prises, on comprend bien comment il se fait que l'intensité du courant soit multipliée, puisque deux compartiments voisins, séparés par une cloison supportant un fil *e a m*, constituent un appareil simple.

DES MOULES.

Tout corps conducteur du courant électrique peut être employé à former un moule propre à la galvanoplastie, pourvu qu'il ne soit pas de nature à être attaqué par la dissolution, et à réagir sur le métal précipité. Un moule non conducteur, satisfaisant à ces mêmes conditions, peut aussi être employé quand on prend la précaution de donner à sa surface la faculté conductrice par une couverte très mince d'un corps conducteur en poudre.

Moules métalliques. Les corps conducteurs susceptibles de donner des moules sont : les métaux, le charbon bien calciné et la plombagine. Or, la dissolution la plus communément employée dans les opérations galvanoplastiques est le sulfate de cuivre, sur lequel, comme on sait, agissent le zinc, l'étain et le fer. Ces trois métaux usuels ne pourront donc pas être employés pour faire des moules. Le platine et l'or réunissent bien toutes les conditions voulues, mais leur prix élevé ne permettra pas qu'on les emploie dans des opérations en grand.

Ces exceptions posées, il ne reste parmi les métaux usuels que l'argent, le cuivre et le plomb, ainsi que les alliages de ce dernier pour la fabrication des moules métalliques.

L'argent, ne pouvant être précipité que par l'or et le platine, doit être employé pour réduire les métaux, quand on veut que le dépôt précipité soit d'une grande pureté.

Les feuilles d'argent pur, dit M. Smee dans ses éléments de galvanoplastie traduits par M. de Valicourt, dont l'épaisseur est calculée de manière à peser 3 grammes 333 milligr. par décimètre carré de surface sont employées par les faux monnoyeurs dans leur coupable industrie; le procédé qu'ils suivent consiste à mettre la pièce de monnaie qu'ils veulent imiter sur une planche de bois; sur cette monnaie, ils appliquent une feuille d'argent, puis ils frappent doucement sur cette dernière jusqu'à ce qu'elle présente une copie fidèle de l'original, résultat qui ne tarde pas à être obtenu : cela fait, ils recommencent la même opération pour la face opposée. Les deux disques d'argent sont ensuite soudés par leurs bords; et le fabricant commet un crime et risque sa tête pour la pièce de fausse monnaie qui lui a coûté tant de peine. Sans doute le lecteur n'aura pas même l'idée de recourir à cette fraude, et il n'est pas nécessaire d'en dire davantage; mais on comprendra facilement que le même procédé peut être mis en usage, avec une meilleure intention, par l'électro-métallurgiste, pour obtenir un moule.

On obtient des moules très avantageux avec le cuivre en opérant un dépôt électro-chimique de ce métal sur la pièce originale ou sur un plâtre convenablement métallisé comme il sera dit plus loin.

Le plomb en feuilles préalablement dépouillé à l'aide du raclage de l'oxyde qui le ternit, puis aplati en le mettant sur une plaque de fer qu'on soumet à l'action d'une presse, peut recevoir l'empreinte de la gravure la plus délicate; il suffit pour cela d'appliquer l'objet à copier sur la feuille de plomb, et cette dernière sur la plaque de fer, et de comprimer le tout à l'aide du cylindre d'une presse. Cette méthode est parfaite et suffit pour tous les cas. La pression à l'aide d'un rouleau est beaucoup plus forte qu'une pression directe, quoique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les instruments employés par les estampeurs soient doués d'une grande énergie.

Cette méthode revient à faire un *clichage par compression;* elle exige que les objets dont on veut avoir une empreinte soient composés d'une matière assez résistante pour supporter la pression à laquelle ils sont soumis. Il est préférable, pour cette raison, de faire un *clichage par percussion à froid*. Un coup de poing ou de marteau appliqué sur une médaille placée sur une lame de plomb bien nettoyée et brillante suffit pour donner une empreinte parfaitement nette, et on peut copier de la même manière un cachet en cire à cacheter. On ne pourrait obtenir ce résultat par une simple pression, mais on y parvient par un coup sec.

Les alliages de plomb que l'on peut employer sont la soudure des plombiers, le métal fusible de d'Arcet, le métal fusible de Newton, l'alliage qui sert à la fonte des caractères typographiques, et le métal en usage en stéréotypie. Nous renvoyons pour la fabrication de ces composés aux mots ALLIAGES et STÉRÉOTYPIE.

Pour fabriquer des moules avec tous les alliages fusibles il faut avoir recours aux procédés du clichage par fusion seule, ou par fusion et percussion, procédés qu'on trouvera décrits aux articles POLYTYPIE, STÉRÉOTYPIE et MOULAGE EN MÉDAILLES.

Toutefois pour les personnes qui tiendraient à ne pas avoir recours aux clicheurs de profession, nous dirons quelques mots des moyens qu'elles peuvent employer pour clicher des médailles à la main.

Afin d'obtenir des empreintes avec la soudure des plombiers, il suffit de prendre une partie de cet alliage en fusion, de le verser sur un morceau de papier placé lui-même sur un morceau de drap, d'appliquer la médaille sur l'alliage, de mettre par-dessus une planchette de bois et de frapper un coup sec.

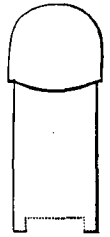
Avec l'alliage de d'Arcet, ainsi que l'indique M. Walker, il suffit de le couler liquide dans le couvercle d'une boîte en carton, et quand il est dur ou pâteux, prêt à se solidifier, ce qu'on reconnaît quand sa couleur passe du brillant au mat, on laisse tomber dessus, de 8 à 10 centimètres de hauteur, la médaille qui doit être froide. On doit avoir eu soin, avant de laisser tomber la médaille, de débarrasser la superficie du métal de la couche d'oxyde qui a pu s'y former, en la raclant avec une carte.

M. Walker a perfectionné son procédé de clichage de la manière suivante :

« Formez un alliage, ainsi qu'il a été dit précédemment, avec les métaux ci-après :

Bismuth.	8 parties
Etain.	4
Plomb.	5
Antimoine	1

« Tournez alors un mandrin cylindrique de bois et creusez, à l'une de ses extrémités, une cavité du diamètre exact de la médaille et un peu moins profonde que son épaisseur (fig. 1059).



1059.

« Faites-y entrer cette médaille en l'assujettissant, s'il le faut, avec un peu de papier.

« Placez sur une table une petite capsule de fort papier ayant des bords de 6 à 8 millimètres de hauteur. Huilez légèrement le fond de cette capsule, et versez-y une certaine quantité d'alliage en fusion. Remuez le métal avec deux cartes jusqu'à ce qu'il prenne une consistance pâteuse, et qu'il paraisse sur le point de se cristalliser. Ayez alors une gaîne cylindrique de carton de 7 à 8 centimètres de hauteur et d'un diamètre plus grand que le mandrin, placez-la vivement au-dessus de la capsule, et prenant rapidement le mandrin d'une main, frappez un coup léger et bien d'aplomb sur le métal contenu dans la capsule. La gaîne de carton a pour but d'empêcher le métal de s'éparpiller au moment de la percussion, ce qui pourrait brûler l'opérateur. »

Enfin M. Bœttger propose d'employer un alliage fondant à 108 degrés et composé de :

Plomb.	8 parties
Bismuth.	8
Etain.	3

Lorsque la combinaison des métaux a été bien opérée au moyen de plusieurs fontes répétées, on verse une partie de l'alliage dans une petite capsule de carton ; on l'agite avec un fil de fer chauffé au rouge jusqu'à ce qu'il soit prêt à se solidifier; puis, au moment précis où le métal forme une pâte homogène, on y applique la médaille préalablement chauffée au point de pouvoir la tenir encore dans la main ; on l'appuie alors fortement au moyen d'un tampon de bois garni d'un disque de liége, et on maintient la pression jusqu'à ce que le métal soit presque entièrement refroidi.

Dans tous ces procédés, du reste, le moule ne doit être séparé de la médaille qu'après son entier refroidissement.

L'imperfection de ces méthodes et le manque d'habitude de ces opérations, qui exigent de la précision, doivent engager les opérateurs à avoir recours aux procédés exacts des clicheurs pour tous les ouvrages soignés, comme planches typographiques, etc.

Moules plastiques. Ces moules sont faits en cire à cacheter, cire vierge, cire composée, stéarine, papier, plâtre, soufre, gutta-percha, gélatine.

Cire à cacheter. Il importe d'employer de la cire à cacheter de la meilleure qualité (voir ce mot) pour obtenir des empreintes exactes. Les graveurs prennent les empreintes de la manière suivante : ils présentent une carte au-dessus de la flamme d'une bougie, en frottant doucement la partie chauffée avec un bâton de cire. Quand ils jugent qu'il y en a assez de déposée, ils appliquent le cachet. Pour obtenir de larges empreintes, on enflamme, au moyen d'une bougie, un bâton de cire sur une longueur de 8 à 10 centimètres. On reçoit ensuite sur une carte les gouttes de cire fondue. Quand on en a une quantité suffisante, on éteint, on remue en tournant jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air, et alors on applique l'objet qu'on veut reproduire, en le maintenant sur la cire avec une forte pression. Si l'objet est en métal, il absorbe la chaleur et n'adhère point à la cire; mais si l'objet n'est pas métallique, il faut plonger le tout dans l'eau froide, afin de pouvoir faire la séparation. Si l'objet est en bois, il faut le frotter préalablement avec de l'huile d'olive.

Cire vierge. On place l'objet légèrement huilé à la surface d'une espèce de sac en papier, et on y verse ensuite la cire fondue, en ayant soin qu'aucune bulle d'air n'adhère au modèle.

Quand le modèle est en plâtre, on lui fait absorber à saturation de l'eau chaude, mais pas cependant au point que cette eau paraisse à la surface; on met alors le plâtre dans l'espèce de sac dont nous avons parlé, et on verse la cire. On laisse refroidir dans un endroit frais, et la cire se sépare ensuite facilement du plâtre.

Comme la cire et les substances analogues éprouvent un retrait notable en se refroidissant, il est bon d'employer un mélange de parties égales de cire jaune et de résine. On le fait d'abord fondre, puis on le laisse reposer jusqu'à ce que toutes les bulles aient disparu, et que la composition ait acquis la consistance de la mélasse. On la coule alors sur l'objet, comme on le fait pour la cire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Stéarine. Au lieu de cire, on peut employer la stéarine, ou mieux encore un mélange de 32 parties de blanc de baleine, 7 de cire, et 7 de graisse de mouton fondue et passée; il est bon d'ajouter au mélange une petite quantité de plombagine.

Cette plombagine est introduite, afin de donner au moule une certaine conductibilité. C'est pour cette raison que M. Lockey conseille d'employer : cire et stéarine, parties égales; plombagine lavée et tamisée, une demi-partie. C'est encore pour cela que M. Mayo fait un mélange de cire blanche et de blanc de céruse broyé très fin.

Papier et plâtre. Nous ne dirons rien ici des moyens de couler le plâtre, et de faire des moules en papier, carton pierre, etc.; on trouvera sur cet objet les détails nécessaires à l'article MOULAGE. Mais ce que nous devons donner, ce sont les moyens d'empêcher les moules faits avec les substances d'absorber les dissolutions métalliques.

Après avoir bien nettoyé les surfaces, on les brosse avec un peu d'huile siccative de lin ou de noix, qu'on a fait chauffer jusqu'à l'ébullition, afin qu'elle sèche le plus promptement possible, quand elle est appliquée sur l'objet. Il faut bien prendre garde d'en employer une trop grande quantité; car, en se desséchant, l'huile superflue remplirait les petites cavités du modèle et en altérerait le dessin. Lorsque les moules en papier ont été ainsi traités, et qu'ils ont séché pendant 24 heures, ils sont tout à fait propres à recevoir les substances conductrices dont nous parlerons tout à l'heure.

Le meilleur moyen de traiter les moules en plâtre consiste à les passer à la stéarine.

Soufre. Le soufre donne des empreintes fines.

Gutta-percha. La gutta-percha est éminemment propre aux opérations galvanoplastiques et s'emploie aujourd'hui presque exclusivement. Sa mollesse à chaud et sa résistance à froid, son inaltérabilité par les acides font qu'elle satisfait à toutes les conditions. (Voyez GALVANOPLASTIE, *Complément.*) Seulement elle exige des modèles résistants, qu'on puisse soumettre à une pression sans craindre de les altérer. Si le modèle est en plâtre ou en cire, on a recours au moulage à la gélatine.

Gélatine. La gélatine se moule sans opposer aucune résistance et permet d'exécuter les moules des objets les plus fouillés. Mais elle a l'inconvénient de s'altérer dans les bains acides et de fournir un métal très-cassant, par suite de la nécessité où l'on est de faire un dépôt rapide pour éviter l'altération de la surface du moule. Elle devient à peu près imperméable en ajoutant à sa dissolution dans l'eau chaude 2 pour 100 d'acide tannique dissous dans l'alcool et 10 pour 100 de mélasse. Mais elle s'altérerait encore dans les bains, si on n'avait pas soin de préserver la surface extérieure du moule par une enveloppe en feuilles minces de gutta-percha ou par un vernis épais. Elle s'emploie par voie de coulage entre deux *chapes* en plâtre, épousant à distance les sinuosités du modèle et demande un temps assez long pour son complet refroidissement.

MÉTALLISATION DES MOULES.

Une fois le moule plastique formé, il faut métalliser sa surface pour qu'il devienne conducteur du courant galvanique. La couche conductrice doit être excessivement mince, afin de n'altérer en rien les reliefs et les creux de l'objet que l'on veut représenter. On métallise les moules soit par les solutions, soit par les poudres métalliques.

Solutions métalliques. On imbibe la surface du moule d'une solution métallique, et on réduit ensuite le métal, soit par l'action de la lumière, soit au moyen d'une vapeur ou d'un gaz que l'on fait arriver sur la surface.

M. Boquillon applique sur le moule toute la quantité de la solution de nitrate d'argent que celui-ci peut retenir, et laisse le liquide s'évaporer sous l'influence de la lumière; il répète cette opération aussi souvent qu'il est nécessaire pour avoir une surface continue et d'un beau noir. Il lave légèrement la surface du moule avec de l'ammoniaque faible, et trempe celui-ci dans le nitrate d'argent, qui le mouille alors parfaitement; il traite ensuite par la manière de M. Spencer, que nous allons donner. Au lieu de laver avec l'ammoniaque, on peut employer le chlorure ou le nitrate d'argent dissous dans l'ammoniaque.

M. Spencer opère de la manière suivante :

Dans un flacon contenant un peu d'essence de térébenthine, d'alcool absolu ou d'éther sulfurique, on fait dissoudre un peu de phosphore, et on garde ce flacon bouché. D'un autre côté, on prépare aussi une solution étendue de nitrate d'argent cristallisé, ou bien encore de chlorure d'or ou de platine, que l'on conserve également dans un flacon.

Lorsqu'on veut métalliser un moule, on y applique, au moyen d'un pinceau très-doux, une couche de la dissolution métallique. On verse alors dans une capsule, ou simplement dans un verre de montre, quelques gouttes de la préparation phosphorée; on chauffe doucement sur un bain de sable, et dès qu'il commence à se dégager des vapeurs, on expose à leur action le moule enduit de la solution métallique, qui à l'instant même change de couleur, devient brun, et bientôt d'un noir de plus en plus foncé. Le moule peut alors être employé.

Pour préparer ainsi de petits objets, tels que des médailles, on peut les fixer, soit au fond d'un verre, d'un entonnoir, d'une cloche de verre ou de tout autre vase, suivant leurs dimensions; on place au-dessous de ce vase la capsule qui contient la préparation phosphorée, de manière à ce que toutes les vapeurs se trouvent recueillies sous cette espèce de récipient.

On peut même se dispenser de l'action des vapeurs de phosphore, il suffit d'exposer les moules à l'influence de la chaleur ou des rayons solaires pour déterminer la revivification du métal à leur superficie. Ce moyen n'est pas applicable aux moules en cire.

On peut aussi remplacer la préparation de phosphore par un courant de gaz hydrogène sulfuré qu'on fait arriver sous le récipient où est placé l'objet à métalliser, car l'argent sulfuré rend la surface conductrice.

Poudres métalliques. Les préparations précédentes ne réussissent pas toujours, car on observe souvent, sur les moules, des fissures qui détruisent la conductibilité électrique. Il est préférable d'employer la métallisation par les poudres métalliques, et surtout par la plombagine ou graphite.

De toutes les poudres conductrices appliquées par voie sèche, la plombagine est la meilleure. Sa nature onctueuse rend son application facile; elle se fait au moyen d'un pinceau en blaireau qui amène la plombagine dans les parties les plus fouillées, et d'une brosse très-douce pour rendre les surfaces brillantes. Toutes les plombagines ne donnant pas également une bonne métallisation. Celle qu'on doit préférer doit être légère, pas trop dure, nette, unie, luisante, argentée et d'un grain fin et serré.

Les poudres métalliques quelquefois employées sont celles de cuivre et d'argent.

Pour avoir une poudre de cuivre très-divisée, on précipite le cuivre d'une solution bouillante de son sulfate par du zinc métallique; on sépare ensuite le cuivre du zinc en excès par l'acide sulfurique étendu, et on sèche, à une douce chaleur, la poudre obtenue.

Quant à la poudre d'argent, on la prépare en faisant bouillir avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et du zinc pur, du chlorure d'argent récemment précipité du nitrate par du sel marin et bien lavé.

Voici un autre moyen, indiqué par M. Oechsle, pour obtenir l'argent en poudre à l'aide de la pile galvanique. Nous en empruntons la description au *Manuel Roret*

Après avoir lavé du chlorure d'argent jusqu'à ce qu'il ne renferme plus de traces d'acide, on le fait sécher jusqu'à consistance d'une bouillie épaisse, et on le mélange en cet état avec une solution saturée de sel marin ; on le verse alors dans une capsule ou autre vase en terre poreuse. Dans un second vase en porcelaine et assez grand pour contenir le premier, on place sur deux tasseaux en verre une plaque de zinc amalgamé, puis on y verse de l'acide sulfurique étendu de 20 à 25 fois son poids d'eau. On met alors sur la plaque de zinc deux autres tasseaux de verre sur lesquels on place le tube poreux contenant le chlorure d'argent. La lame de zinc est mise en communication avec le liquide du tube poreux, au moyen d'un fil d'argent ou de platine qui plonge dans ce dernier. Il se manifeste aussitôt une action galvanique. Au bout d'une demi-heure, on remarque que le chlorure d'argent a pris une teinte grisâtre, bientôt après il se réduit à l'état métallique. On laisse fonctionner l'appareil jusqu'à ce que tout le chlorure soit réduit, ce que l'on reconnaît à ce que, en l'agitant, la liqueur ne prend plus une apparence laiteuse et reste parfaitement limpide ; on décante alors la solution de sel commun, et l'on fait sécher la poudre d'argent.

La plombagine qu'on doit préférer doit être légère, pas trop dure, nette, unie, luisante, argentée et d'un grain fin et serré; sa pesanteur spécifique est alors d'environ 2,089. Souvent, dans le commerce, elle est falsifiée par du molybdène sulfuré, et alors elle n'est pas suffisamment conductrice et efficace.

M. Boquillon applique de la manière suivante les poudres conductrices. Le plâtre et les matières poreuses qui ont été imprégnées d'une substance grasse ou résineuse sont dans un état favorable à l'application. Si l'on chauffe modérément le moule de manière à rendre la surface légèrement onctueuse, on peut appliquer la poudre métallique avec un pinceau fin de blaireau. On peut encore placer le moule au milieu de la fumée peu dense produite par la combustion imparfaite d'un corps gras, tel qu'un mélange de cire et de résine. La couche infiniment mince qui se dépose sur la surface conserve assez longtemps la propriété de happer les poudres métalliques ou la plombagine appliquée avec un pinceau. On peut aussi employer l'huile grasse des mouleurs en plâtre, en en faisant prendre au moule autant qu'il est possible, et en desséchant l'huile avant l'immersion dans la dissolution à décomposer. Les parties du moule qui ne doivent pas recevoir de dépôt doivent être recouvertes d'un vernis.

Métallisation des poteries et du verre. Dès qu'une surface est rendue conductrice, quelle que soit la nature du corps qu'elle recouvre, on peut la revêtir d'une couche métallique par les procédés de la galvanoplastie ; on peut donc, par ces procédés, recouvrir les diverses poteries et le verre de couches d'argent, de cuivre, etc., si, à l'avance, on les a recouverts d'une couche de plombagine ou d'une poudre métallique. Or, il suffit, pour cette dernière opération, de répandre sur les poteries et le verre une couche de vernis capable de happer les poudres conductrices.

Selon M. Simson, on peut employer avec succès un autre procédé pour métalliser le verre, procédé qui évite l'inconvénient d'avoir une substance étrangère, un vernis, entre le verre et le métal.

L'objet en verre que l'on veut recouvrir de métal est soumis à la vapeur de l'acide hydro-fluorique, jusqu'à ce que sa surface prenne un aspect mat et dépoli. Il est alors facile d'y appliquer, au moyen d'une estompe de liége ou de peau, une couche excessivement mince de graphite qui y adhérera avec la plus grande force, grâce aux aspérités du verre.

Dérochage et décapage. Les moules plastiques, recouverts d'une couche conductrice par les procédés précédents, sont en état d'être plongés dans les bains à décomposer. Quant aux moules métalliques, ils doivent être d'abord dérochés et ensuite décapés. Nous n'avons rien à ajouter aux procédés de décapage donnés à l'article DORURE. Pour le dérochage on ne pourra pas employer celui que nous avons indiqué, et qui commence par un recuit, lorsqu'on aura affaire à des moules fusibles ou très délicats. Dans ce cas, et surtout lorsqu'on aura des soudures à l'étain, il faudra dérocher simplement avec une eau légèrement acidulée par de l'acide hydrochlorique, et laver dans une eau chaude acidulée par un peu d'acide sulfurique.

DES SOUDURES.

Pour établir la communication entre le moule et le pôle négatif de l'appareil voltaïque, on prend pour conducteur une bande de cuivre ou de plomb, et si le moule est métallique, on le soude sur les bords de la manière suivante :

Soudure au chlorure de zinc et à l'étain. On commence par faire du chlorure de zinc en attaquant le zinc par l'acide hydro-chlorique, et évaporant jusqu'à consistance sirupeuse ; on renferme la liqueur dans un flacon bouché à l'émeri. Pour s'en servir pour souder, on en humecte légèrement, avec un pinceau, les deux surfaces à réunir, préalablement grattées avec un râcloir ; on les étame ensuite facilement avec le fer à souder et un peu de soudure d'étain ; puis, après les avoir mises exactement en contact, on achève la soudure, soit avec le fer, soit au moyen d'une lampe à esprit-de-vin.

Soudure à la stéarine. Le procédé de soudure employé par M. Lockey est encore plus simple et plus facile que le précédent, puisque chacun a sous la main la stéarine, seul corps qui soit nécessaire pour désoxyder les métaux, et déterminer leur adhérence à l'aide de la soudure d'étain.

On commence par nettoyer les pièces qu'on veut souder, soit avec un grattoir, ou même avec du papier de verre. On chauffe ensuite l'objet sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, et on le frotte légèrement avec un morceau de stéarine. On applique alors, sur le point chauffé, un morceau de soudure très mince, qui s'étend aussitôt et se combine intimement avec la surface du cuivre. La même opération est répétée sur la pièce qu'on veut souder avec la première. On maintient ensuite les deux objets en contact à l'aide d'une pince plate, on les chauffe simultanément, et on continue de les maintenir avec la pince jusqu'à ce qu'ils soient refroidis.

Quand le moule est formé avec une matière non conductrice, on pratique des ouvertures dans son intérieur, afin d'y introduire des conducteurs après y avoir amené la métallisation ; les précautions à prendre dépendent des pièces sur lesquelles on opère.

APPLICATIONS DE LA GALVANOPLASTIE.

§ 1. *Reproduction des monnaies et médailles.*

Pour reproduire une monnaie ou une médaille, on peut opérer de trois manières :

1° On opère directement sur la pièce en la plaçant au pôle négatif, après avoir pris des précautions suffisantes pour empêcher l'adhérence, précautions qui consistent à passer sur l'original une couche très légère d'une substance grasse, telle que l'huile, la cire, la stéarine, le suif, etc., que l'on enlève ensuite le plus possible en essuyant avec un linge fin. On obtient ainsi en creux une image, sur laquelle on opère de nouveau pour avoir une reproduction en relief;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° On prend l'empreinte de la pièce avec un alliage fusible, de sorte que la première opération galvanoplastique donne le relief;

3° On prend l'empreinte avec une des substances plastiques précédemment indiquées.

Dans les trois cas, il faut éviter avec le plus grand soin l'adhérence des bulles d'air au moule; car, sans cela, on ne pourrait pas en reproduire toute la délicatesse. Les bulles se présentent surtout quand on opère sur des moules en verre. Pour parer à cet inconvénient, il faut examiner la pièce après l'avoir mise pendant quelque temps dans la dissolution, pour voir s'il y a des bulles, et chauffer légèrement pour les faire disparaître.

Quand on agit directement sur la médaille, il faut recouvrir le revers, sur lequel il ne doit pas y avoir de dépôt, d'une matière grasse ou de cire, puis on la met en rapport avec le pôle négatif au moyen d'un fil de métal très fin fixé autour. Le revers peut être reproduit de la même manière en recouvrant la face déjà prise avec une matière grasse. L'opération étant achevée, on sépare la pièce de l'original en enlevant d'abord le cuivre qui recouvre le moule vers ses bouts, et ensuite les faces se séparent avec une grande facilité. Si parfois il y a adhérence, on peut vaincre la difficulté en chauffant; la différence de dilatabilité opère la séparation.

Il est préférable, lorsqu'on tient à n'altérer en aucune façon une pièce originale précieuse, d'employer l'une des deux dernières méthodes. Les moules en métal fusible se détachent souvent avec peine du dépôt métallique. Dans le cas où l'adhérence ne pourrait être vaincue qu'en détériorant le dépôt, on doit fondre le moule, qui entre en fusion à une température bien inférieure à celle qui altérerait le cuivre déposé. Quant aux empreintes obtenues avec la plupart des substances non conductrices, elles se détachent si facilement que le moule n'en éprouve jamais aucune atteinte.

Chaque fois que l'on veut prendre l'empreinte de grandes médailles, comme celles de 15 centimètres de diamètre, par exemple, il est nécessaire d'employer un appareil composé, dont l'emploi, d'ailleurs, est préférable pour la plupart des opérations galvanoplastiques. La médaille *m* doit être mise à plat au fond du vase (fig. 1047); on l'empêche de surnager en la fixant au fond par des chevilles de bois, ou bien en faisant adhérer un morceau de plomb au revers du moule. Au-dessus de la médaille, on place une plaque de cuivre Z, de dimensions un peu plus grandes que les siennes. Enfin le moule est mis en communication avec le pôle-zinc de la pile, et le cuivre avec l'autre pôle.

Cinquante ou soixante heures d'immersion donnent une épaisseur convenable aux dépôts métalliques.

Lorsque les empreintes des deux faces d'une médaille sont obtenues, un petit artifice fort simple, dit M. de Valicourt, permet d'imiter l'original au point de tromper l'œil du connaisseur le plus exercé. On fait avec du cuivre rouge une virole du diamètre de la médaille qu'on veut imiter et de la hauteur de cette médaille. Sur cette virole, tournée et polie avec soin, on soude promptement à l'étain, ou de toute autre manière, les deux empreintes galvanoplastiques. On bronze ensuite l'ensemble obtenu, par les procédés que l'on trouve à l'article BRONZAGE.

§ 2. *Galvanisation des statuettes, des bas-reliefs,* etc.

Pour recouvrir d'une couche de cuivre une statuette, un bas-relief, ou tout autre objet en plâtre, on la place dans un appareil simple, dans lequel la statuette est placée verticalement, un conducteur venant toucher les deux extrémités de la statuette.

Lorsque l'appareil sera monté, la statuette devra se trouver placée exactement au centre d'un anneau de zinc, dont la surface sera au moins égale à celle de l'objet qu'on veut recouvrir de cuivre et ne pas être trop éloignée des parois du diaphragme poreux dans lequel se place la statue; les cristaux de sulfate de cuivre garnissant la partie inférieure.

Cuivrage galvanique. Les bains acides de sulfate de cuivre employés pour la galvanoplastie ne peuvent servir à déposer du cuivre adhérent à la surface des métaux; de plus, ils attaquent le fer, l'acier, la fonte, le zinc, métaux sur lesquels le dépôt du cuivre, comme métal protecteur et décoratif, est le plus souvent appliqué. Dans ce cas, il faut, comme pour la dorure, avoir recours à des bains alcalins, au cyanure double de potassium et de cuivre, pour le cuivrage, ce qui donne des dépôts dispendieux pour de très-grandes pièces. Pour de fortes épaisseurs, on peut passer par des bains d'étamage et de plombage, qui permettent l'emploi du bain galvanoplastique sans crainte d'altérer le métal sous-jacent.

Le bain acide de sulfate de cuivre a été employé par M. Oudry au cuivrage de la fonte destinée à l'ornementation des rues et des places publiques, mais en faisant disparaître en quelque sorte le métal de l'objet.

C'est au moyen d'un vernis isolant, composé de matières résineuses, d'une peinture au minium, qu'il s'est dispensé du cuivrage préalable dans un bain de cuivre alcalin; ce vernis supprime aussi le décapage difficile de la fonte, et, dans le cas d'une rupture de la couche métallique enveloppante, rend, par son interposition entre le cuivre et la fonte, l'oxydation du métal sous-jacent moins rapide.

L'enduit est séché à l'étuve, puis frotté avec la plombagine pour le rendre conducteur, et porté au bain de sulfate de cuivre, et enfin recouvert de cuivre par l'action de la pile.

Les fontaines des Champs-Elysées, des places Louvois et de la Concorde, les candélabres des voies principales de Paris, etc., montrent tout le parti que l'art monumental peut tirer du cuivrage galvanique de la fonte.

M. Weil a obtenu des dépôts très-adhérents sur la fonte de fer, sans couche isolante, qui empâte toujours les contours, en employant des dissolutions alcalino-organiques, avec l'aide du contact d'un peu de zinc. Voici la manière d'opérer.

On décape la fonte et le fer dans de l'eau fortement acidulée, ce qui n'exige que cinq à dix minutes. On passe à l'eau, puis à l'eau faiblement alcalisée; on lave, on gratte-bosse au fil de fer et non pas au fil de laiton, et l'on suspend les pièces ainsi préparées, au moyen d'un fil de zinc, dans la dissolution renfermée dans un vase inattaquable aux alcalis caustiques. Ces vases doivent être par conséquent en grès céramique, ou en caoutchouc durci, ou en bois doublé intérieurement de gutta-percha, etc.

Les pièces cuivrées sont lavées, gratte-bossées, desséchées à la sciure de bois et ensuite à l'étuve.

Voici une des dissolutions qui donnent de bons résultats, — *Sur 10 litres d'eau* :

350 grammes de sulfate de cuivre cristallisé;

1,500 grammes de sel de seignette cristallisé;

800 grammes de soude caustique à la chaux, renfermant environ 50 à 60 pour 100 de soude libre.

Cette dissolution renferme à peu près 2 équivalents d'acide tartrique pour 1 équivalent d'oxyde de cuivre.

Le dépôt de cuivre ne se produit que lorsque le zinc entre dans le bain, et la couche augmente, dans certaines limites, avec le temps de l'immersion. Ce dernier effet n'a pas lieu pour le plomb, l'étain, métaux dont les oxydes sont solubles dans l'alcali froid.

§ 3. *Reproduction des fruits, légumes, végétaux.*

En cuivrant, par les méthodes décrites dans cet article, des fruits, des légumes, des feuilles, des graines et d'autres produits naturels, on peut fabriquer, soit des ornements, en conservant exactement la forme,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le volume et toutes les particularités, tous les détails les plus fins de l'objet galvanisé, soit des moules qui serviront à reproduire les objets primitifs; dans ce dernier but, il suffit d'augmenter l'épaisseur de la couche métallique déposée. Par exemple, pour reproduire une pomme, une poire, une graine, etc., on frotte le fruit avec de la plombagine, et on enfonce vers la queue ou vers le germe une petite épingle qui sert à établir la communication avec le pôle zinc de l'appareil électro-chimique; le reste de l'opération s'effectue comme nous l'avons dit plus haut. Lorsque le cuivrage est achevé, on retire l'épingle qui laisse un petit trou par lequel on peut chasser l'eau du fruit, pousser l'évaporation jusqu'à siccité et éviter ensuite toute fermentation ultérieure.

§ 4. *Application de la galvanoplastie à l'art du fondeur.*

On sait que pour obtenir une statue en fonte de bronze, de fer, de zinc, le sculpteur ayant fourni son modèle exécuté en terre, on en tire une épreuve en plâtre ou en cire, et que c'est sur cette dernière épreuve qu'est fait le moule en sable qui doit recevoir le métal fondu. Le travail de reproduction sera moitié moindre en employant la galvanoplastie pour obtenir la statue par voie humide. Au lieu de faire un moule en relief avec de la cire ou du plâtre, et ensuite un moule en creux avec du sable, on commence par faire un moule en creux avec du plâtre, et on le revêt intérieurement de plombagine avec beaucoup de soin. Alors on le plonge dans la dissolution de cuivre et on fait passer le courant électrique; quand la couche déposée est assez épaisse, on enlève le moule qui laisse à découvert l'objet parfaitement reproduit.

S'il s'agit d'une statuette en ronde-bosse de petite dimension, on prend les creux de chaque moitié, on les prépare avec de la plombagine, et on rapproche ensuite les deux moitiés que l'on soude avec du plâtre; on établit les communications avec l'appareil voltaïque, en essayant de s'arranger de façon à ce que le liquide puisse pénétrer à l'intérieur du moule et que le dépôt puisse s'y effectuer.

Si l'original a de grandes dimensions, il faut, en général, fabriquer des parties séparées que l'on soude soit à l'argent, soit à l'étain, en ayant soin de recouvrir ensuite électro-chimiquement la surface des soudures d'une couche du métal qui constitue la ronde-bosse, travail coûteux et difficile. On avive la surface de la soudure, on la circonscrit au moyen de mastic de vitrier, de manière à former une espèce d'auge que l'on remplit de la solution métallique où plonge un fil de même métal en relation avec le pôle positif d'un couple voltaïque, la ronde-bosse communiquant avec le pôle négatif. Quand la soudure est recouverte du dépôt métallique, s'il se présente quelques protubérances, on les enlève avec une lime douce.

Cette manière d'opérer ne donnait que des résultats insuffisants, au moins pour les grandes pièces, qu'on avait renoncé à exécuter en galvanoplastie, avant qu'on n'eût perfectionné le mode d'opérer, ainsi que nous allons le dire.

Galvanoplastie ronde-bosse. Il était intéressant d'obtenir, à l'aide de la galvanoplastie, des sujets entiers, de s'affranchir de tout le travail de réunion des parties du modèle, qui est la cause de grandes dépenses. Parkes y parvint en Angleterre, dès 1841, par un procédé qui consiste à introduire dans l'intérieur d'un moule fait en plusieurs pièces, et ouvert à sa partie inférieure de manière à permettre le renouvellement du liquide épuisé, une anode soluble en fil métallique représentant grossièrement la forme de l'objet. En conduisant l'électricité dans les parties les plus fouillées, elle se dissout et maintient la saturation du bain; mais ce procédé avait l'inconvénient de ne permettre la production de rondes-bosses qu'avec de faibles épaisseurs, la destruction de l'anode arrêtant promptement le courant.

M. Lenoir a eu l'idée de substituer l'anode insoluble en fil de platine à l'anode soluble, ce qui remédie à l'inconvénient signalé. Dans ce procédé, la carcasse de fils de platine est le siége d'un dégagement de gaz hydrogène dont il faut ménager l'échappement par des ouvertures placées dans tous les points culminants du moule.

Voici comment il opérait : il construisait, à grand renfort de dextérité et de patience, une carcasse en fil de platine, qui épousait les formes les plus variées de la pièce qu'il voulait reproduire. C'était une sorte de squelette que l'on formait ainsi. Les fils extrêmes étaient réunis ensemble et passaient par un petit tube de verre, de manière à être isolés du moule en gutta, et rejoignaient ainsi le pôle charbon de la pile, pendant que le moule était en contact avec le pôle zinc. Dans ce procédé, il fallait, et il faut encore dans celui que nous allons indiquer, avoir soin de laisser un orifice à la partie supérieure, afin de faire échapper le gaz oxygène qui se dégage autour du fil de platine, et un autre à la partie inférieure, afin de permettre le renouvellement du liquide qui, sans cela, serait bien vite épuisé.

La saturation du bain est entretenue, comme dans le bain à appareil simple, au moyen de sacs contenant des cristaux de sulfate de cuivre.

Malgré tout le mérite du perfectionnement, ceux qui essayèrent de le mettre en pratique les premiers ne réussirent pas à tirer tout le parti dont il pouvait être susceptible, et on le comprendra aisément quand on songe que, pour faire une statue de 20 centimètres de hauteur, la carcasse de platine absorbe 120 à 140 grammes de platine, et que l'opération dure vingt à vingt-cinq jours, c'est-à-dire que pour produire un poids de 1 kilogramme de cuivre, il faut immobiliser 120 à 140 francs pendant près d'un mois.

Qu'eût-ce été s'il avait fallu fondre une statue grandeur naturelle?

Pour donner une certaine importance à cette exploitation, un capital important était nécessaire, mais en disproportion avec le résultat à produire. Il fallait, de plus, des ouvriers très-habiles pour construire ces délicates et fragiles carcasses, et leur exécution devenait très-dispendieuse.

La question en était restée là, lorsque, il y a quelques années, ce procédé devint la propriété de la Société Christofle et Cie. Nous eûmes l'occasion de l'expérimenter, dit M. Bouilhet auquel nous empruntons cette description, nous eûmes aussi pendant quelque temps le regret de ne pouvoir lui donner tout le développement dont il était susceptible. Cependant, l'occasion étant venue de faire un travail important par ce procédé, la question fût reprise dans nos ateliers et reçut enfin une solution tout à fait satisfaisante.

Des recherches entreprises par M. Planté, sur les courants secondaires, l'avaient amené à construire une pile, dite de *polarisation*, dans laquelle le plomb était substitué au platine, et lui avait permis de réaliser des effets secondaires d'une grande intensité.

Le plomb se comportant donc, au point de vue électro-chimique, comme le platine, c'est-à-dire, ayant la propriété de ne point s'altérer au pôle positif d'une manière sensible, nous essayâmes, avec son concours, de le substituer au platine. Nous avons trouvé dans cette substitution tous les avantages que nous avions avec le platine, sans aucun de ses inconvénients : la modicité du prix, la malléabilité du métal qui permet de lui faire prendre toutes les formes voulues par l'expérience, et l'inaltérabilité de nos bains.

On comprend, en effet, combien il est facile de faire avec ce métal les noyaux intérieurs, et, lorsqu'il s'agit de reproduire plusieurs fois un même objet, qu'on peut, en sacrifiant un moule, obtenir une épreuve grossière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur laquelle on modèle autant de noyaux en plomb qu'il est nécessaire. Ces noyaux faits sont percés de trous, de manière à permettre la circulation du liquide, puis placés dans l'intérieur du moule et maintenus à distances égales et régulières par des supports isolés. Cette méthode donne une très-grande régularité dans le dépôt, car chaque point de l'épreuve est toujours à une distance constante du noyau conducteur. Les lames de plomb sont réunies au pôle positif de la même manière que le fil de platine dans le procédé Lenoir. Le plomb se couvre d'une certaine couche d'oxyde puce et devient le siége du dégagement du gaz oxygène.

Il est curieux de se rendre compte du travail qui se fait dans l'intérieur du moule; supposons une figure déposée par ce procédé, qui pèse 2,700 grammes; sa capacité est de un litre et demi environ; en supposant que le bain de sulfate de cuivre contint 60 grammes de cuivre par litre, il a fallu que le liquide se soit renouvelé complétement trente fois pour fournir la quantité de métal nécessaire au dépôt; c'est grâce au mouvement produit par le dégagement du gaz par la partie supérieure, que ce renouvellement a lieu avec une très-grande régularité, sans lui il était impossible.

Fondeur-typographe. L'application des procédés galvanoplastiques à la typographie est devenue tout à fait industrielle. Dans un de ses plus curieux emplois, pour l'art du fondeur en caractères, elle offre surtout des avantages pour la production des matrices dans lesquelles on fond les caractères d'imprimerie.

La possibilité de produire des matrices très-épaisses, que l'on enchâsse, par fusion, dans du zinc, pour les justifier, a permis de multiplier beaucoup les applications.

Malheureusement, comme il a été dit à l'article GALVANOPLASTIE *du Complément*, c'est surtout la contrefaçon qui a profité de ce progrès; et dans cette voie, la palme appartient aux Allemands qui volent avec une naïveté remarquable. Nombre de fondeurs typographes allemands ont dans leurs spécimens les plus jolies gravures des graveurs français, que n'ont pas les riches fonderies anglaises, auxquelles on n'a pas voulu les vendre et qui ne veulent pas *les prendre*.

Quant aux planches stéréotypées. elles s'obtiennent à si bon marché que la galvanoplastie, bien plus chère, ne paraît pouvoir les remplacer que quand on cherche la perfection absolue qu'elle fournit. Tel est le cas des gravures sur bois. Voyez STÉRÉOTYPIE et *Complément*, art. GALVANOPLASTIE.

Le problème a pourtant été attaqué, et si on n'est pas parvenu à faire des clichés en cuivre à aussi bas prix qu'en plomb au moyen du plâtre, ou surtout du papier, on est parvenu toutefois à en diminuer assez le prix pour que leur emploi puisse en être beaucoup plus fréquent.

Le gutta-percha qui remplit si bien les conditions de donner un creux excellent, a un grand défaut. La coquille de cuivre déposée à sa surface ne saurait en être séparée sans être déchirée ou horriblement contournée à moins d'avoir acquis une résistance, c'est-à-dire une épaisseur assez grande, ce qui répond à une grande dépense, à un prix élevé.

Pour faire des clichés en cuivre très-minces, très-suffisamment résistants, toutefois, quand ils sont doublés en métal à caractères, on est parti de creux en cire dont on se débarrasse par fusion et non plus par arrachement, comme avec le gutta-percha. Voici comment on opère :

On fait fondre son mélange de cire et de colophane que l'on coule dans une espèce de cuvette en plomb peu profonde : quand il est solidifié on le saupoudre de plombagine, on passe un blaireau à sa surface pour enlever l'excès, et on glisse la cuvette renversée dans une coulisse portée par la plate-forme supérieure et fixe d'une presse à genou. Au-dessous d'elle et sur une autre plate-forme mobile, bien guidée, se trouve la page de mobile ou le bois dont on veut prendre l'empreinte. En faisant tourner l'axe qui commande les genoux, la seconde plate-forme monte et une empreinte parfaitement nette se produit dans la cire.

Retirant celle-ci par des mouvements inverses, on la plombagine et on la porte dans le bain de sulfate de cuivre où, en vingt-quatre ou trente heures, on obtient un dépôt de cuivre suffisant pour que le doublage en métal soit possible.

La coquille en cuivre étant chauffée, et, par suite débarrassée de la cire sans éprouver aucune action nuisible, on y dépose de l'étain réduit en poussière qui étame la surface, puis on verse du plomb fondu, qui, par suite de l'étamage, devient adhérent au cuivre.

Il ne reste plus qu'à dresser le plomb sur la tour ou au rabot pour terminer le cliché.

§ 5. *Application de la galvanoplastie à la métallurgie.*

M. Becquerel avait annoncé être parvenu, à l'aide d'un procédé électro-chimique très-simple, à extraire l'argent, le cuivre et le plomb de leurs minerais respectifs, sans avoir recours à des appareils composés, mais bien en employant des appareils simples avec du fer ou du zinc. MM. Dechaud et Gaultier de Claubry présentèrent plus tard à l'Académie des sciences la description d'un procédé à l'aide duquel ils voulurent exploiter galvaniquement les mines de cuivre de Mouzaïa, en Algérie. Comme renseignement, je reproduirai ici le rapport de M. Becquerel.

« Avant tout, dit M. Becquerel, ce procédé exige la transformation du minerai en un composé soluble dans un liquide facile à se procurer dans le lieu de l'exploitation : c'est à cette condition-là seulement que les forces électriques peuvent agir pour séparer le métal de ses combinaisons. S'agit-il de minerais de cuivre, tels que le carbonate, l'oxyde, le sulfure ou les sulfures multiples, qui sont les plus communs, on transforme en sulfate les deux premiers, avec l'acide sulfurique, et les deux derniers en les grillant, opération qui s'exécute avec une grande perfection au Mexique, pour la préparation du magistral, agent indispensable dans l'amalgamation au patio. Une fois la sulfatisation effectuée, on lessive le minerai, et la solution est soumise à la décomposition électro-chimique dans des appareils simples. Si l'on veut obtenir le cuivre en lames, il faut disposer l'appareil pour que la solution soit constamment au maximum de saturation. MM. Gaultier de Claubry et Dechaud ont rempli cette condition, au moyen de dispositions très-simples que nous allons décrire.

« Lorsque l'on superpose, dans un vase, deux dissolutions, l'une saturée de sulfate de cuivre plus dense, l'autre de sulfate de fer moins dense, si dans la première on place une lame de cuivre, dans l'autre une lame de fonte communiquant avec la première au moyen d'un conducteur métallique, on a un couple voltaïque dont l'action est suffisante pour décomposer le sulfate de cuivre; l'oxygène et l'acide du sulfate se portent sur la fonte, d'où résulte du sulfate de fer, tandis que le cuivre se dépose sur la lame de cuivre formant le pôle négatif. Le cuivre déposé dans les premiers instants est à l'état de pureté chimique; mais le fer devenant de plus en plus abondant, le cuivre, en se précipitant, entraîne avec lui du fer; il devient peu à peu cassant, puis pulvérulent, à mesure que la dissolution s'appauvrit davantage. Mais, tandis que cette dissolution devient moins dense, celle du sulfate du fer, au contraire, augmente en densité; il en résulte : 1° une dissolution de cuivre normale occupant la partie inférieure du vase; 2° une dissolution du même sel un peu moins dense surnageant la première; 3° une dissolution de sulfate de fer très-dense; 4° une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autre normale. Pour rester toujours dans les conditions primitives, et obtenir le cuivre en feuilles, il fallait enlever la solution de sulfate de cuivre moins dense, et celle de sulfate de fer plus dense; c'est en cela que consiste le principal perfectionnement apporté au traitement électro-chimique des minerais de cuivre, par MM. Gaultier de Claubry et Dechaud.

« Leur appareil se compose des parties que nous allons indiquer : d'une caisse en bois doublée de plomb recouvert ensuite de cire ou de tout autre substance analogue, et destinée à recevoir la dissolution de sulfate de fer. Cette caisse est pourvue de deux ouvertures : l'une supérieure, pour l'introduction de la liqueur normale; l'autre inférieure, servant à expulser la liqueur dense au moyen de syphons. Dans son intérieur, et à distance convenable, plongent des cases en cuivre ou tôle plombée, dont les extrémités et la partie inférieure sont en métal, tandis que les parois latérales sont à jour et garnies de feuilles de carton fixées solidement. Une ouverture inférieure amène également, au moyen de syphons, la dissolution concentrée de cuivre, et une autre, placée presque à la partie supérieure, permet l'écoulement de la dissolution faible.

« Dans ces cases, on place le métal négatif destiné à recevoir le dépôt de cuivre, et entre chacune d'elles, ainsi qu'à l'extérieur des deux cases extrêmes, se trouvent à demeure des plaques en fonte destinées à produire l'action voltaïque.

« Des conducteurs métalliques servent à établir la communication entre toutes les parties du couple; et on règle l'appareil de manière qu'il arrive à chaque instant autant de dissolution forte de sulfate de cuivre et de dissolution faible de fer, qu'il sort de liqueur faible de cuivre et de liqueur forte de fer : l'action se continue sans aucune main-d'œuvre.

« D'un autre côté, pour faciliter le passage du courant entre les deux dissolutions en contact et séparées par des diaphragmes en carton, ceux-ci sont percés de petites ouvertures au-dessus du niveau supérieur de la plaque négative; au moyen de cette disposition, la dissolution de sulfate de fer normale occupant la partie supérieure de la case vient s'étendre sur celle de cuivre, de sorte que l'appareil est ramené à ses conditions premières.

« Une fois l'appareil monté, on n'a besoin que d'enlever les feuilles de cuivre, quand elles ont une épaisseur convenable, et de remplacer les plaques de fonte, quand elles ont été dissoutes.

« Le mouvement des liquides s'opère au moyen de syphons en rapport avec des bassins à niveau constant; peu importe la qualité de la fonte employée; celle de la plus mauvaise qualité réussit également bien. Les feuilles de cuivre peuvent être livrées de suite au commerce; passées au laminoir, elles acquièrent la densité de celles de cuivre obtenue au laminage. »

Nous interromperons quelques instants le rapport de M. Becquerel pour puiser dans le Mémoire de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry quelques chiffres sur les rendements du procédé de métallurgie électro-chimique ci-dessus.

« A une température de 20 degrés centigrades, disent les auteurs du Mémoire, 1 mètre carré de surface reçoit jusqu'à 1 kilogramme de cuivre en 24 heures.

« Le cuivre précipité est pur, à un état physique constant; les feuilles peuvent être immédiatement travaillées au marteau ou passées au laminoir. Dans ce cas, quatre à cinq passes amènent le métal à la densité de 0,894, et l'on évite par là toutes les opérations nécessaires pour le faire passer de l'état de plateaux à celui de feuilles. Le travail n'offre aucune difficulté, ne demande point d'affinage, ne donne pas de scories. »

Malheureusement tout ne se présente pas avec autant d'avantage que la phrase précédente semble le faire croire. Les auteurs, en effet, sont bientôt conduits à avouer qu'il faut partager les produits de la manière suivante :

50 pour 100 de feuilles de cuivre pur ;

25 pour 100 de cuivre divisé pur, qui ne demande qu'une fusion pour être amené à l'état de plateaux ou de lingots ;

25 pour 100 de cuivre divisé exigeant un affinage.

Ainsi donc on aura encore besoin de l'action du feu dans ce procédé. Or, voyons quelles quantités, quelles masses de liquide il faudra remuer pour obtenir 1,000 kilogrammes de cuivre en feuilles.

Il sera d'abord nécessaire d'employer une quantité double de cuivre dissous, soit 2,000 kilogrammes, qui, à l'état de sulfate, représentent 5,000 kilogrammes.

Or, une partie de sulfate exige 4 parties d'eau pour être dissoute; il faudra donc 20,000 kilogr. d'eau, ce qui fera une masse de 25,000 kilogr. de liquide, ou environ de 25 mètres cubes pour le sulfate de cuivre.

On doit évaluer à une quantité à peu près équivalente le sulfate de fer nécessaire pour que l'action électro-chimique se produise.

C'est donc 50 mètres cubes de liquide au moins qu'il faut manier pour obtenir une si petite quantité de cuivre; savoir 1,000 kilogrammes en feuilles, 500 en poudre pure, 500 en poudre impure.

Pour que cette quantité fût obtenue en 24 heures, il faudrait, en outre, que les appareils offrissent une surface de dépôt d'un développement de 1,000 mètres carrés.

Ainsi, une usine devrait être montée sur un pied énorme pour opérer par le procédé électro-chimique de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry; cette énormité des appareils, des masses d'eau à remuer, etc., est un obstacle dont ne nous semble pas s'être occupé le savant rapporteur de la commission académique, car il continue simplement à dire :

« Tout le cuivre précipité n'est pas obtenu en feuilles, il n'y a guère que les trois cinquièmes et même la moitié; le reste est à l'état de poudre ou de fragments que l'on soumet à la fonte.

« Le procédé électro-chimique pour le traitement des minerais de cuivre avec le perfectionnement de MM. Gaultier de Claubry et Dechaud paraît présenter des avantages sur les anciennes méthodes de traitement; mais il exige que les minerais puissent être transformés entièrement, et à bon marché en sulfate; toute la question industrielle est là. D'un autre côté, la dissolution de cuivre, en partie épuisée, se charge de plus en plus de fer; de sorte qu'en la repassant de nouveau sur les minerais pour la saturer de sulfate, et la faisant rentrer dans l'appareil, il arrive un instant où la quantité de fer qu'elle renferme est telle que le cuivre précipité contient une certaine proportion de ce métal qui en altère la qualité : pour parer à cet inconvénient, on se trouvera dans la nécessité de ne plus repasser les dissolutions trop ferrifères sur ce minerai et de précipiter le cuivre qu'elles renferment avec du fer.

« A en juger par les expériences dont nous avons été témoins, il nous est permis de croire que l'application en grand du procédé électro-chimique, pour le traitement des minerais de cuivre, présente des chances de succès. »

Nous ne pouvons nous empêcher d'ajouter que si le succès en petit est à peu près certain, le succès en grand ne nous en semble pas moins très douteux, et nous croyons être en cela de l'avis de l'un des membres de la commission de l'Académie, car M. Dumas, après avoir lu le rapport de M. Becquerel, absent ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jour-là de l'Institut, a cru devoir ajouter : « Je ferai remarquer à l'Académie que nous ne préjugeons rien sur l'emploi du procédé de MM. Dechaud et Gaultier de Claubry dans la métallurgie; nous parlons seulement des expériences de laboratoire faites en notre présence. » C'était bien prévoir le résultat négatif qu'a fourni l'expérience.

§ 6. *Étamages des glaces par l'argent.*

Dans l'article ÉTAMAGE DES GLACES, nous avons dit que sans doute la galvanoplastie donnerait prochainement le moyen de substituer à l'amalgame d'étain, si dangereux pour les ouvriers exposés à absorber le mercure par tous les pores, un autre métal nullement insalubre. Notre prédiction s'est accomplie, et l'étamage a été obtenu sinon par courant électrique direct, au moins par une réaction chimique qui dispense de l'emploi du mercure.

Un Anglais, M. Drayton, utilisant une réaction découverte par Liébig, a trouvé le moyen de déposer sur le verre une couche d'argent qui donne à la glace une pureté de réflexion admirable.

Son procédé consiste à dissoudre, dans l'eau distillée, du nitrate d'argent, à y ajouter de l'alcool, du carbonate d'ammoniaque, de l'ammoniaque et de l'huile essentielle de Cassia, à verser la liqueur ainsi préparée sur la glace en y ajoutant, au moment de l'opération, de l'huile essentielle de girofle. Au bout de deux heures, l'argent réduit par ces huiles essentielles couvre la glace d'une couche parfaitement homogène de l'argent le plus pur.

Ce procédé offrait quelques imperfections dans la pratique. Nous dirons à l'article VERRE comment on y a remédié et comment, par des modifications, on l'a amené à l'état industriel. Les globes argentés que l'on voit aujourd'hui partout sont étamés par ce procédé. Les procédés de l'étamage au mercure ne permettraient pas de les fabriquer.

§ 7. *Reproduction des planches gravées.*

La planche de cuivre que l'on veut reproduire doit être d'abord soudée par sa face postérieure à une lame de métal, étain, plomb ou zinc, qui sert à établir la communication avec le zinc, de la batterie voltaïque. La température qu'exige cette opération chasse l'air qui revêt la surface de la plaque, en sorte que si on la plaçait de suite dans la dissolution de cuivre, l'original et la copie pourraient adhérer fortement. Pour éviter cet accident, la plaque soudée doit être placée durant vingt-quatre heures dans un lieu frais, ce qui lui permet de se revêtir de nouveau d'une couche d'air. On peut d'ailleurs, comme M. Spencer, frotter la surface à chaud avec de la cire, et l'essuyer jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'une pellicule infiniment mince, ou bien, comme M. Boquillon, recevoir dessus la fumée blanche d'un corps résineux, après y avoir déposé une couche d'or ou d'argent. Les personnes qui ne sont pas habiles à souder les métaux peuvent se servir tout simplement, pour établir le courant, d'un fil métallique ou d'un fragment de métal qu'on met en contact avec la face postérieure du moule.

La densité de la dissolution de sulfate de cuivre que l'on emploie dépend de la force de l'appareil voltaïque. Si on n'emploie qu'un seul couple, on opère avec une dissolution saturée de sulfate de cuivre, étendue d'un peu plus d'un tiers de son volume d'acide sulfurique, ou bien d'une dissolution de 500 gr. de nitrate de cuivre dans 1 litre 1/2 d'eau. Avec quatre ou cinq couples, on peut parfaitement se servir d'une dissolution presque saturée de sulfate ou de nitrate de cuivre.

L'appareil voltaïque le plus convenable, dont on se sert pour fabriquer les planches, est celui de M. Smee, que nous avons déjà décrit.

A (fig. 1064), est le couple voltaïque qui se compose d'une lame d'argent platinisé, placée au milieu d'une

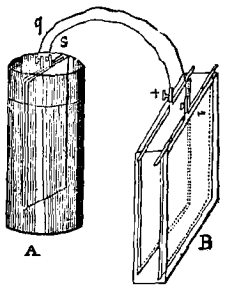


Fig. 1064.

lame de zinc recourbée, et communiquant par un fil S, avec le pôle positif de l'appareil à décomposition, c'est-à-dire avec l'électrode soluble en cuivre qui doit avoir une surface égale à celle du moule. La lame de zinc est unie, par un fil *q*, serré par une vis, au moule placé au pôle négatif de l'appareil de décomposition.

L'appareil à décomposition est une auge verticale B en bois revêtu d'un enduit isolant, de forme parallélipipédique, à la partie supérieure de laquelle deux tiges ou lames servent à fixer les fils métalliques conducteurs et les électrodes.

Cet appareil peut aussi être horizontal ; alors il faut avoir soin de placer le moule au fond, sans quoi la couche déposée n'aurait pas une dureté uniforme.

La première auge à décomposition est préférée pour une précipitation lente, mais la seconde paraît plus appropriée pour une précipitation rapide du cuivre.

L'appareil voltaïque doit être chargé avec de l'acide sulfurique étendu de 15 à 16 fois son poids d'eau.

Voici comment on doit disposer l'opération, d'après M. Smee :

« Quand on a rempli l'auge avec le liquide, on prend un morceau de cuivre de même dimension que celle de la planche, et on le fait communiquer avec l'argent de la batterie. Celle-ci étant amorcée, l'auge à précipiter étant remplie par la dissolution, et le fragment de cuivre à dissoudre étant plongé dans l'auge et uni à l'argent de la batterie, on doit faire communiquer le fil qui est soudé sur la plaque où le dépôt doit s'effectuer, avec le zinc de la batterie, et l'opérateur doit surtout avoir soin de ne plonger qu'en dernier lieu la plaque de cuivre dans l'auge à précipiter, pour compléter le circuit; ces dispositions achevées, on voit un

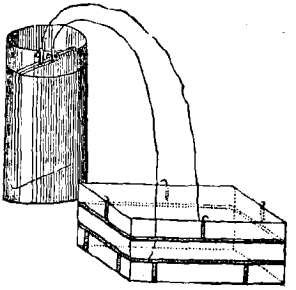


Fig. 1065.

dépôt de cuivre pur se former (fig. 1065 et 1066); ce dépôt n'adhère pas à l'original, à cause de la couche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'air qui les sépare, ou de la très-mince couche de cire qu'on a interposée. »

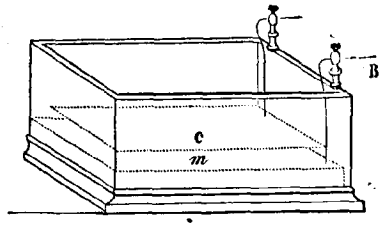


Fig. 1066.

Le dessin étant gravé en creux dans la pièce originale, on l'obtiendrait en relief dans l'épreuve galvanoplastique, si on ne prenait la précaution de se servir comme moule de l'épreuve galvanoplastique en relief, obtenue directement sur la planche originale. Dans tous les cas, le moule étant obtenu, on procède comme pour les planches unies, en prenant toutes les précautions recommandées dans les principes généraux de galvanoplastie qui précèdent ces applications.

Dans la pratique, on a peu utilisé ce mode de multiplication du travail du graveur, bien qu'on soit parvenu à l'exécuter avec une grande perfection. On est arrivé à un résultat équivalent en couvrant la surface de cuivre d'une couche de fer extrêmement résistante au frottement (voy. *Complément* GALVANOPLASTIE), ce qui s'obtient encore, par une action galvanique, à l'aide d'un bain de chlorure de fer ammoniacal.

§ 8. *Gravure des épreuves daguerriennes.*

M. Grove est le premier qui se soit occupé de ce problème intéressant. Il s'agit de trouver un moyen d'obtenir une gravure dans laquelle le crayon ou le burin de l'artiste ne sera point intervenu, où l'on pourra écrire, dessiné *par la lumière*, et gravé par l'*électricité*.

On sait que les images daguerriennes sont composées de saillies dues au dépôt de mercure, formant les clairs, et de parties planes formant les ombres, et qui ne sont autres que l'argent du plaqué. Les dégradations de teinte proviennent du mélange des saillies et des parties planes. Si sur ces images, considérées comme moule, on dépose du cuivre, il arrivera que les reliefs deviendront des creux, et réciproquement, de sorte qu'en tirant des épreuves de ces planches, les clairs deviendront des ombres, et *vice versâ*. Mais les saillies daguerriennes sont si faibles, que les planches de cuivre n'offriront pas assez de résistance pour qu'on puisse tirer plusieurs épreuves. Aussi le problème à résoudre consiste-t-il à se servir des planches daguerriennes comme électrodes positifs solubles dans des liquides attaquant le mercure, et laissant l'argent, afin que les clairs des épreuves soient les mêmes que sur la plaque. Par ce procédé, on pourra graver assez profondément la planche pour qu'elle puisse servir à un tirage suffisamment nombreux. La liqueur satisfaisant à la condition imposée de laisser l'argent et d'attaquer le mercure, est l'acide hydro-chlorique; et voici comment M. Grove, conjointement avec M. Gassiot, dispose l'appareil :

Dans un bâti en bois on pratique deux cavités placées à 5 millimètres de distance l'une de l'autre, et dans lesquelles on glisse : 1° la plaque qu'il s'agit de graver; 2° une plaque de platine de même dimension. Le dos et les bords de la plaque daguerrienne sont vernis avec une solution de gomme-laque; on laisse seulement libre une portion du bord pour établir le contact métallique avec le conducteur voltaïque. Le bâti en bois, chargé de ses deux plaques, est ensuite placé dans un vase de verre ou de porcelaine rempli d'une solution de 2 volumes d'acide hydro-chlorique et de 1 volume d'eau distillée. Deux fils assez forts en platine arrivant d'un simple couple de la pile de Grove, sont mis en contact avec les deux électrodes durant 30 secondes.

« On retire alors la plaque daguerrienne, on la lave dans de l'eau distillée, et si l'argent était bien homogène et ne présentait point de stries, le dessin original aura pris une belle couleur de terre de Sienne, produite par la couche d'oxy-chlorure formée pendant l'opération. On place l'épreuve dans un plat contenant une solution très-faible d'ammoniaque, et on frotte légèrement sa surface avec du coton bien doux, jusqu'à ce que tout le dépôt ait disparu; on replonge aussitôt dans de l'eau distillée et on fait sécher avec soin. L'opération est alors terminée, et l'on obtient une gravure parfaite du dessin original, dessin qui donnera une épreuve *positive*, c'est-à-dire dont les lumières et les ombres seront disposées comme dans la nature. Sous ce rapport, cette épreuve sera plus correcte que l'original, car elle ne sera pas renversée. Les caractères d'imprimerie sont dans leur position normale, ainsi que les côtés droit et gauche de la face, lorsqu'on opère sur un portrait.

« Toutefois, la gravure des épreuves daguerriennes offre une difficulté insurmontable. Si les plaques sont gravées assez profondément pour donner une bonne épreuve, quelques-unes des lignes les plus délicates de l'original se confondront nécessairement, et la beauté principale de ces délicieux dessins sera détruite. Mais si, au contraire, on n'a continué l'opération que pendant le temps nécessaire pour produire la gravure exacte de l'épreuve, ainsi qu'on peut le faire parfaitement, le nettoyage que l'imprimeur lui fait subir suffit pour détruire sa beauté, et l'on n'obtient qu'une épreuve très-imparfaite, parce que les molécules de l'encre d'imprimerie sont trop grosses pour la profondeur du trait gravé. (*Proceedings électrical society*, 1er vol., p. 98.) »

Nous donnons à l'article PHOTOGRAPHIE les améliorations que M. Fizeau avait apportées à ce procédé, mais sans pouvoir atteindre des résultats pratiques. Nous disons ci-après comment c'était en quittant la plaque métallique de Daguerre qu'on y devait parvenir.

Héliographie. L'invention de la gravure par l'action de la lumière remonte déjà à 40 ans. Elle est due à Nicéphore Niepce, qui la trouva avant 1822; ce fut son premier pas vers la merveilleuse découverte de la photographie.

La propriété que possède le bitume de Judée, de former avec les essences un vernis que l'impression de la lumière rend insoluble dans les mêmes essences, fit naître à M. Niepce la pensée d'appliquer sur une plaque métallique une couche d'un vernis de ce bitume dissous dans l'essence de lavande, de placer sur cette plaque ainsi préparée une gravure rendue transparente et d'exposer le tout à la lumière; l'action des rayons lumineux achevée, il dissolvait avec l'essence de lavande la partie du vernis que les noirs de la gravure avaient préservée de l'action solaire, et soumettant la planche à l'eau-forte, il avait une reproduction en creux du dessin de la gravure originale. Grâce à des perfectionnements (Voy. PHOTOGRAPHIE), l'*héliographie* est acquise maintenant à l'art de la gravure, et, si elle n'est pas encore parvenue au dernier degré de perfection, elle rend dès aujourd'hui de grands services aux graveurs qui savent retoucher les planches obtenues directement.

Procédé Dulos. En réalité, le problème se trouvait attaqué par les premiers inventeurs avec une connaissance trop imparfaite des conditions auxquelles une gravure, soit en creux, soit en relief, doit satisfaire pour permettre le tirage de nombreuses épreuves,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour remplir complétement son rôle. M. Dulos, dont nous donnons ci-après les curieux procédés de gravure, dans lesquels les dépôts galvaniques sont heureusement utilisés (voy. GRAVURE), a su réduire le problème à obtenir sur le cuivre des parties conductrices ou non conductrices, ce que des réactions convenables permettent d'obtenir pour les noirs et les blancs d'une épreuve à teintes régulières, pour la reproduction d'une gravure, par exemple.

Mais ce résultat est insuffisant dans le cas général; les grandes parties noires ne se prêtent pas au tirage de la taille-douce; non-seulement on ne peut obtenir ainsi des gravures semblables à celles où les objets sont représentés par leur lignes de courbure, dont l'artiste anime chaque trait par l'action intelligente de son burin, ce qui sera toujours impossible, mais mêmes des représentations médiocres. Des essais curieux ont été faits en combinant l'action du noir de la photographie avec celle d'un réseau très-fin qui maintient l'encre; on obtient ainsi des gravures intéressantes, mais qui semblent devoir moins se multiplier que les réproductions directes des épreuves photographiques. Nous avons analysé avec soin à l'article PHOTOGRAPHIE, ces dernières conquêtes des arts graphiques.

GANGUE (*angl.* veinstone, *all.* gangart). Les minéraux métalliques qui sont traités en grand dans l'industrie métallurgique sont dits des *minerais*. Les minerais ne se rencontrent pas généralement isolés dans la nature; il sont ordinairement associés à d'autres minerais d'une valeur secondaire ou à des matières pierreuses; ces minerais accessoires portent le nom de *gangues*. Les gangues métalliques les plus communes sont les pyrites de fer, le fer spathique, les divers oxydes de fer et la blende; les gangues pierreuses sont le quarz, le feldspath, le carbonate de chaux pur ou combiné avec d'autres carbonates, l'arragonite, le sulfate de chaux et le spath-fluor, le sulfate et le carbonate de baryte. Comme nous parlons de ces divers minéraux, soit à leur nom, soit aux articles GÉOLOGIE et MINÉRALOGIE, nous n'y reviendrons pas ici, et nous nous contenterons de dire quelques mots sur les *feldspaths* qui abondent dans certaines roches, et se trouvent quelquefois dans les filons d'étain.

Il y a un assez grand nombre d'espèces de *feldspaths*, mais nous ne parlerons ici que des deux espèces les plus abondantes, le feldspath proprement dit ou *orthose*, et l'*albite*. Le *feldspath orthose* est l'espèce la plus commune, il a une cassure lamelleuse et raie le verre; sa densité est de 2,37 à 2,39; il est inattaquable par les acides, et fond au chalumeau en un émail blanc. Les cristaux sont très-souvent hémitropes, mais ne présentent jamais d'angles rentrants. Sa composition est représentée par la formule minéralogique $K Si^3 + 3 Al Si^3$. L'*albite* a un certain éclat que ne possède pas le feldspath; elle s'en distingue principalement en ce que les cristaux, presque toujours hémitropes, présentent alors un angle rentrant; elle est inattaquable par les acides, et fusible au chalumeau en émail blanc; sa composition est représentée par la formule minéralogique $Na Si^3 + 3 Al Si^3$, qui ne diffère de celle de l'orthose que par le remplacement de la potasse par son équivalent de soude.

Avant de soumettre les minerais au traitement métallurgique, il est nécessaire de les débarrasser autant que possible de leurs gangues, ce qui se fait en les soumettant à une *préparation mécanique* que nous décrivons à l'article MÉTALLURGIE.

GANCE. Petit cordonnet d'or, d'argent, de soie, de coton ou de fil plus ou moins gros, rond, carré ou même plat. Il se fabrique à la *machine à faire des lacets* (voyez CORDONNET), lorsqu'il est rond ou plat, et surtout lorsqu'il n'est pas large. On le fait à la navette sur le métier, et lorsqu'il est façonné, on le travaille comme les rubans à galons.

GANTS (*angl.* gloves, *all.* handschuhe). Les peaux servant à fabriquer les gants sont: les peaux de chevreau, souples et résistantes, pour la première qualité; celles d'agneau et de mouton pour les secondes qualités. Elles subissent les opérations de la mégisserie, quand elles sont destinées à faire des gants glacés et de Suède, celles de la chamoiserie, quand il s'agit de fabriquer des gants de daim ou de castor. (Voy. MÉGISSERIE, *Complément.*)

La peau venant de la mégisserie est d'abord *ouverte*, c'est-à-dire assouplie par son étirage en tous sens sur le palisson, puis son marchage dans un bain d'eau additionné de jaunes d'œufs. Elle est ensuite teinte et après séchée, étirée une seconde fois sur le palisson.

Alors commence le travail du gantier, qui étend la peau sur un marbre et la soumet au *dollage*, opération qui a pour objet de donner à la peau toute la souplesse possible en l'amincissant, et la ramenant en toutes ses parties à une épaisseur uniforme. Il s'opère à l'aide d'une lame large et très-coupante, tenue presque parallèle à la surface du marbre, à l'aide de laquelle l'ouvrier coupe la peau dans différents sens, en l'étirant de temps en temps: Vient alors le dépeçage, qui consiste à découper des morceaux ayant la forme d'un carré long, chacun d'eux devant servir à la confection d'un gant. Après avoir été pressés, ils subissent l'opération de la fente, par laquelle le gantier pratique dans chaque morceau des fentes qui sépareront les doigts et le trou qui doit recevoir le pouce. Il se sert à cet effet d'une plaque en zinc qui lui sert de modèle, et découpe à part les fourchettes qui compléteront les doigts par le côté.

On emploie souvent aujourd'hui pour la fente un emporte-pièce armé de lames correspondant aux fentes, dont on a un assortiment de diverses grandeurs, qui portent des numéros différents. Enfin, on fait ensuite les coutures, soit à la main, soit à la mécanique.

Un Anglais a introduit à Paris un appareil très-simple, représenté en profil fig. 1068, pour faciliter la cou-

Fig. 1069.

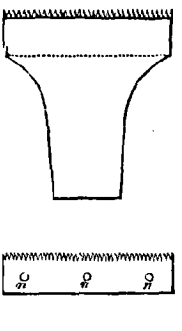


Fig. 1068.

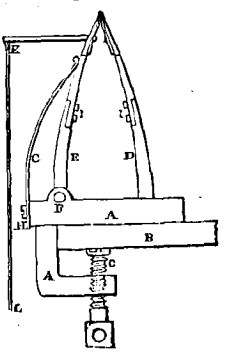


Fig. 1070.

ture des gants : cet appareil ressemble à une pince en fer, dont la partie supérieure des deux mâchoires se compose d'une sorte de peigne en laiton (fig. 1070), fixé sur chacune des machines au moyen des vis *n*, *n*, *n*, comme on le voit fig. 1069 et 1070. Les dents de ce peigne n'ont que 1 à 2 millimètres de long, et sont parfaitement régulières. La pince AA est fixée sur le bord de l'établi B au moyen de la vis C ou est montée sur un pied; l'une des mâchoires D est fixée, l'autre E est mobile à charnière autour du point F. La partie supérieure en laiton des deux machines est fixée en I, I, au moyen de fortes vis, à la partie inférieure en fer. La

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machine mobile E est naturellement pressée contre la machine fixe D, par un ressort G, fixé en H sur le bâti A. Un levier K, que l'on fait mouvoir à l'aide d'une tringle L et d'une pédale, sert à desserrer les mâchoires afin d'introduire entre elles la pièce à coudre. Celle-ci étant placée dans une position convenable, l'ouvrière retire son pied de dessus la pédale, et passe successivement son fil à travers toutes les dents des peignes, en faisant glisser son aiguille sur le fond de chaque entaille. Dès que la partie engagée entre les peignes est cousue, l'ouvrière la dégage en mettant le pied sur la pédale, engage la partie suivante et continu son travail. La couture ainsi exécutée est très-régulière et se fait extrêmement vite. Il va sans dire que l'écartement des peignes et des dents doit varier suivant que le point doit être plus ou moins serré.

Au lieu de cet appareil, on emploie dans quelques localités des emporte-pièces qui, en découpant les gants, font du même coup les trous par où doit passer la soie qui sert à faire les coutures, au moyen de sortes de peignes placés en arrière des tranchants de l'outil, ce qui facilite et abrége beaucoup le travail ultérieur.

Les gants de Suède sont fabriqués avec les mauvaises peaux d'agneau ; on les râcle du côté de la chair et on les dolle sur la fleur : ils sont moins épais, plus perméables, et par suite moins chauds. Les gants de castor, qui se fabriquent en général à Niort, sont faits avec des peaux d'agneau chamoisées ; les gants de daim avec des peaux de mouton chamoisées.

Nous avons dit que dans les gants le pouce était formé par une pièce rapportée ; M. Jouvin est parvenu à le confectionner comme les autres doigts, faisant corps avec le reste du gant. C'est cette absence de couture de rapport du pouce qui caractérise les gants Jouvin.

Les gants une fois cousus, on les étire, on les enveloppe dans un linge légèrement humecté d'eau, et on les bat pour leur donner de la souplesse et du moelleux, puis on les met en presse.

GARANCE (*angl.* Madder, *all.* Færberrothe). La garance (*rubia tinctorum*) est la racine préparée d'une plante qui a donné son nom à la famille des rubiacés.

Cette plante (VOY. AGRICULTURE), qui était connue des Grecs et des Romains, passe pour être originaire de l'Asie. Elle fut sans doute apportée par les Romains dans les Gaules; toutefois, sa culture fut abandonnée en France, tandis qu'elle subsistait en Flandre et en Allemagne. Sous Charles-Quint elle fut introduite en Alsace; enfin un Persan, Jean Althein, l'introduisit dans le midi de la France, sur le territoire d'Avignon où elle s'acclimata avec un grand succès. On comprend que la culture de la garance, supportant les climats du Nord, se soit propagée dans presque toute l'Europe. Aujourd'hui, on cultive la garance dans l'île de Chypre, dans le Levant, en France, en Angleterre, en Suisse et en Allemagne.

Cette plante se multiplie par graine ; cependant il est avantageux de la replanter avec les jets enracinés qui poussent au printemps.

La culture de la garance se fait généralement dans les terrains meubles et légèrement humides; cependant cette racine peut prospérer également dans tous les terrains, quand ils ont été parfaitement fumés.

D'après de Gasparin, il faut par hectare 57,600 kilogr. d'engrais normal pour cette culture, et dans les terrains secs on retire 1,700 kilogr. de garance, ce qui fait un rendement de 2k,93 de garance pour 100 kilogr. de fumier.

Le terrain destiné à la plantation de la garance est préalablement défoncé à la bêche ou à l'aide d'un labour profond. Les semailles se font dans le midi à la fin de février; dans le Nord et dans tous les terrains frais, il vaut mieux attendre le commencement d'avril. On sème en lignes espacées de 0m,25, à la profondeur ed 0m,03 à 0m,05. Les graines lèvent après vingt ou vingt-cinq jours. Un premier sarclage doit être fait aussitôt que toutes sont levées, puis deux autres dans le courant de l'été. En novembre on recouvre toutes les plantes d'une légère couche de terre prise dans les intervalles des lignes, ce qui favorise l'accroissement des racines. La seconde année la plante fleurit et on la coupe, en général, quand elle est en fleur, pour fourrage, enfin on la recouvre encore de terre à l'arrivée de l'hiver comme la première année. Un autre mode de culture consiste dans le repiquage du plant venu en pépinière ; les rejetons sont plongés dans l'eau avant d'être mis en terre. En Alsace, on plante ces rejetons en lignes espacées de 0m,35, et les plants sont eux-mêmes séparés par un intervalle de 0m,15 à 0m,18.

Ce n'est qu'au bout de trois ans qu'on tire la plante de terre, mais dans les pays comme l'Alsace, où les gelées sont à craindre, il est prudent d'enlever les récoltes au bout de deux années, car un hiver rigoureux pourrait détruire la récolte. Dans le Levant, où on n'a pas à redouter les gelées, la récolte ne se fait qu'au bout de 5 à 6 ans, les produits s'accroissent avec le temps et cela d'une manière sensible. Dans le Midi, par exemple, une récolte de quatrième année pèse 4 à 500 kilogr. de plus qu'une de troisième année ; dans une riche contrée cet excès de produit ne compense pas la prolongation de la culture.

La récolte de la garance est pénible et longue, car il faut, à l'aide de la bêche et une à une, dégager les racines de la terre qui les environne. Dans les terres fortes on emploie quelquefois la charrues à défoncer, mais alors on casse souvent des racines et on en perd une partie.

Dans une terre de moyenne qualité et bien fumée, le rendement de la garance peut aller de 3,000 à 3,500 kilogrammes par hectare, récolte de troisième année (à 60 franc les 100 kilog); le produit en fourrage est aussi d'une grande importance.

Les racines sont séchées au soleil ou à l'étuve dans le Nord, quand elles sortent de terre, jusqu'à ce qu'elles cassent net, sans plier.

La racine de garance est composée de trois parties distinctes : d'un cœur ligneux jaune, qui en occupe le centre dans toute la longueur; d'une partie corticale rouge ; et enfin d'une pellicule légère et rougeâtre appelée épiderme.

C'est surtout dans la partie corticale que réside le principe colorant le plus utile, aussi cherche-t-on à l'isoler le plus possible ; pour cela, les racines séchées sont remuées souvent, puis battues pour en séparer l'épiderme, la terre et les autres matières étrangères. Les débris qui résultent de ce traitement sont criblés, et ce qui reste sur le crible est un mélange d'écorces et de racines menues auquel on a donné le nom de *bilon* ou de *mulle*. Ainsi épluchées, les racines sont broyées sous une meule de pierre, ou bien encore à l'aide de pilons armés de couteaux ; un blutage en sépare ce qui reste de terre et d'épiderme : on a alors la garance nommée *non robée ;* après une seconde mouture, on en sépare comme précédemment la garance *mi-robée ;* enfin la troisième mouture donne la garance *robée ;* cette dernière passe pour la meilleure ; cependant la garance mi-robée provenant de grosses racines est préférable. Quelquefois on ne fait qu'une seule qualité, mais alors on enlève la partie la plus pauvre par une première mouture ; une seconde mouture donnera la garance appelée *garance grappe*. Dans le commerce, on a depuis longtemps réservé le nom spécial d'*alizari* aux racines entières, et le nom de *garance* aux racines pulvérisées. En teinture on recherche peu les alizaris, et en France celui d'Avignon est le seul employé.

Quant aux poudres ou garances, on les distingue, d'a-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

près leur provenance, en *garance de Hollande*, *garance d'Alsace* et *garance d'Avignon*. C'est dans un mémoire de M. Girardin sur la garance, que se rencontre pour la première fois, une indication raisonnée de la nature de ces poudres ; aussi est-ce à ce savant chimiste que nous emprunterons la description de ces trois sortes de garance du commerce.

1° *Garance de Hollande*. La garance de Hollande dont l'emploi était jadis considérable en France, a disparu de nos marchés, par suite du droit élevé dont le gouvernement l'a frappée, pour encourager les cultures de l'Alsace et d'Avignon. Cette garance serait encore employée sans cela, car elle jouissait d'une vogue méritée.

L'odeur de la garance hollandaise est forte et nauséabonde; sa saveur est sucrée et amère; sa couleur varie du rouge brun au rouge orangé ; elle est triturée grossièrement et sa poudre est grasse au toucher. A l'air cette garance absorbe facilement l'humidité (cette propriété de la garance exige que sa mouture se fasse dans des étuves chauffées à 10 degrés centigr.), propriété qu'elle doit au sucre qu'elle renferme ; cette matière colorante offre avec le temps des modifications de couleur très-prononcées, surtout si le contact de l'air humide est facile; elle exige avant son emploi au moins une année de tonneau, et c'est à trois ans qu'elle possède son maximum de vigueur tinctoriale ; passé cet âge, sa fermentation continue, elle brunit et perd de plus en plus sa valeur.

Les marques connues sur nos marchés sont :

Mulle,		Mulle,
Surfine,	ou bien	Fine grappe,
Non robée ou robée,		Surfine grappe.

Le mot *grappe* indique que la poudre est consistante et agglomérée.

Cette sorte de garance venait de Hollande dans des fûts de chêne pesant pleins environ 600 kilogr.

2° *Garance d'Alsace*. Cette garance est loin de valoir la précédente.

Son odeur est plus pénétrante que celle de la garance hollandaise, et sa saveur amère est moins sucrée ; sa trituration est assez grosse; sa couleur varie du brun au jaune vif ; elle absorbe très-facilement l'humidité et en fermentant elle devient rouge foncé, tandis que la garance précédente passe au rouge vif dans les mêmes circonstances.

La garance d'Alsace se durcit également dans les barriques ; à mesure qu'elle vieillit, sa couleur se fonce. Quoique subissant le *robage*, cette garance n'est jamais désignée sous le nom de *robée* ou *non robée*. Les marques connues sont les suivantes :

O, mulle ; MF, mi-fine ; FF, fine fine ; SF, surfine ; SFF, surfine fine.

Les garances alsaciennes viennent en fûts de chêne de 600 kilogr., en demi-barriques de 300 kilogr., en quarts de barriques de 150 kilogr. C'est à Strasbourg, Haguenau et Géiselbrunn que ces garances se préparent principalement.

3° *Garances d'Avignon*. Les garances du midi de la France sont généralement employées de préférence aux autres, car elles permettent au teinturier de varier plus facilement les couleurs. Les garances précédentes ont presque toujours la qualité indiquée par la marque, celles d'Avignon au contraire présentent de grandes différences pour une même marque, cela tient à ce que chaque fabricant a sa marque.

Les poudres du Comtat Venaissin ont une odeur agréable, une saveur amère et sucrée, et leur aspect varie du rose au rouge clair ou brun ; leur trituration est très-fine, on ne voit plus la texture de la racine, ce qui facilite les fraudes. La garance d'Avignon attire moins facilement l'humidité de l'atmosphère, mais elle fermente tout autant que les autres en devenant rouge tendre ou rouge foncé, suivant que la poudre est ou *rosée* ou *palus*.

La meilleure garance est faite avec les racines des *palus*, nom qu'on donne dans le Midi aux terres engraissées de détritus organiques provenant d'anciens marécages : ces terres fournissent des racines *rouges*, tandis que les autres terres les donnent *rosées*.

La garance moitié *rosée*, moitié *palus*, donne une matière colorante avantageuse à la vente, et le rouge qu'elle produit est brillant et corsé.

Les garances d'Avignon sont dites *épurées*. Une garance est épurée de 3 à 15 p. 100. Or, l'*épuration* d'une garance consiste dans l'extraction de l'épiderme, il est donc clair que cette opération enlève souvent au-delà de l'épiderme proprement dit.

La garance d'Avignon peut s'employer en sortant des moulins; cependant un an de tonneau lui est favorable ; cette garance fermente peu et ne s'agglutine pas ; cependant elle se décompose à la longue comme les autres. Sa faible fermentation est due à ce qu'elle renferme peu de matières azotées, matières abondantes dans les garances d'Alsace et de Hollande, où elles déterminent une fermentation acide en jouant le rôle de ferment.

La dessiccation qu'on fait subir aux garances d'Avignon est cause des différences de nuances qu'on y remarque. Si on sèche à une température trop élevée, la poudre se ternit, sans rien perdre de ses qualités.

Les garances sont : ou palus,
— — ou rosées,
— — ou mi-palus, mi-rosées.

Des marques variées indiquent, outre la provenance, le mode de trituration, la finesse de la poudre.

La garance *extra fine* est obtenue par le broyage du cœur ou de la partie ligneuse des racines ; la couleur qu'elle fournit est moins riche en principe colorant, mais sa teinte est beaucoup plus vive.

Les garances d'Avignon viennent en fûts de bois blanc du poids de 900 kilogr. ; ces barriques sont doublées intérieurement de cartons épais qui empêchent l'entrée de l'air.

La production de la garance en France est considérable. On estime le produit annuel du département de Vaucluse à 30 millions de kilogrammes de racines sèches et celui de l'Alsace à 2 millions. Les autres pays de production, tels que la Silésie, la Hollande, Naples, l'Asie-Mineure, etc., ne donnent ensemble qu'environ 16 millions de kilogrammes de racines sèches; la production de la France est sensiblement double de celle des autres peuples.

On voit que la culture de la garance est une de nos plus intéressantes cultures industrielles. A ce point de vue, il est regrettable que sa prospérité soit compromise par la découverte de l'alizarine artificielle, fabriquée avec l'anthracène, c'est-à-dire avec un résidu abondant et de faible valeur du goudron de houille. (Voy. TEINTURE.)

Composition de la garance. La garance a fixé l'attention de la plupart des hommes remarquables voués à l'étude de la chimie, et malgré les savantes investigations qu'elle a subies, et des découvertes importantes, sa composition n'est pas encore bien connue ; c'est ce qui atteste la difficulté des recherches faites sur un pareil corps.

La garance renferme plusieurs matières colorantes de nuances diverses, mais le principe rouge le plus important est l'*alizarine* découverte par Robiquet. Cette matière s'obtient en traitant la poudre de garance par l'acide sulfurique. Après un contact de plusieurs jours, les matières organiques mêlées à l'alizarine sont carbonisées, et alors on enlève l'acide par de nombreux lavages à l'eau ; le résidu séché est traité successivement par l'alcool froid qui enlève les matières grasses, puis par l'alcool bouillant qui dissout le principe colo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rant. L'alcool qui tient en dissolution l'alizarine est étendu d'eau, puis distillé ; à mesure que la distillation s'opère, la matière colorante se dépose et on la sépure du liquide restant par une filtration.

L'alizarine ainsi obtenue est à peine soluble dans l'eau bouillante ; l'alcool et surtout l'éther la dissolvent facilement, elle colore ce dernier en jaune orangé. Dissoute dans les liqueurs alcalines, elle leur donne une coloration violette d'une grande beauté.

L'alizarine par l'action de la chaleur se sublime en beaux cristaux aiguillés, rouges et brillants ; elle est volatile et insoluble dans l'acide sulfurique, propriétés qui n'appartiennent qu'aux couleurs éminemment solides.

MM. Robiquet, Colin et Kuhlmann ont trouvé dans la garance :

Une matière colorante rouge, qui est l'alizarine.
— — rose, nommée purpurine.
— — jaune, — xanthine.
De la gomme,
Du sucre,
De la pectine,
Une résine odorante,
Une matière amère,
Une matière azotée,
Un acide organique,
Du ligneux,
Enfin des sels nombreux de potasse et de chaux.

D'après Robiquet, les couleurs formées par la matière rouge de la garance sont très solides ; celles au contraire qui ont pour base la matière rose, le sont fort peu.

M. Runge a trouvé dans la garance sept principes différents, qui sont :

Le pourpre de garance,
Le rouge de garance,
L'orange de garance,
Le brun de garance,
L'acide garancique,
Et l'acide rubiacique.

Ce chimiste allemand n'a pu économiquement obtenir purs les trois premiers produits qui seuls sont importants.

D'un autre côté, il semblerait résulter des expériences de M. Decaisne que la garance à l'état vivant ne contient qu'un principe colorant, liquide et jaune ; à l'air, ce liquide, de jaune qu'il était, passe au rouge, et cette transformation est d'autant plus rapide que la division de la plante est plus complète. Les expériences chimiques de M. Schwartz semblent confirmer l'opinion émise par M. Decaisne sur l'unité du principe colorant de la garance.

Depuis quelques années, on a livré au commerce de nouveaux produits obtenus à l'aide de la garance, ils sont connus sous les noms de *garancine* et de *colorine*.

La garancine est tout simplement le charbon sulfurique de MM. Robiquet et Colin, auquel on a enlevé les dernières traces d'acide par des lavages nombreux.

MM. Robiquet et Colin prirent en 1828 un brevet pour l'extraction de ce produit. Le but de ces chimistes était d'extraire toute la matière colorante de la garance, matière dont on n'utilise pas la moitié par les procédés ordinaires. Effectivement, dans le bain du teinturier, la garance se divise en deux portions, dont l'une est dissoute ou en suspension dans l'eau, tandis que l'autre demeure fixée dans le résidu ligneux et ne sert à rien.

Pour mettre la matière colorante à nu, et la séparer des corps qui pourraient la retenir malgré l'affinité des mordants, MM. Robiquet et Colin ont employé l'acide sulfurique concentré à forte dose : voici du reste, la description de leur procédé de fabrication telle qu'ils l'ont indiquée.

« On délaie la garance dans cinq à six parties d'eau froide, et on la laisse macérer du soir au lendemain, afin de donner le temps à la portion de matière colorante qui se dissout d'abord de pouvoir se précipiter ensuite, comme cela arrive dans la congulation spontanée de la gelée ; alors on jette le tout sur des toiles, et quand le marc est suffisamment égoutté, on le soumet à la presse, puis on le reprend pour le délayer de nouveau dans une semblable quantité d'eau ; on remet immédiatement à la presse, et on réitère encore une fois cette même opération.

« Lorsque ces trois lavages sont terminés, on délaie ce marc encore humide et bien écrasé avec une demi-partie d'acide sulfurique, eu égard à la quantité primitive de garance employée ; mais il faut que cet acide soit étendu de plus ou moins d'eau suivant la température, et seulement au moment de l'employer, afin de mettre à profit la chaleur qui se dégage pendant le mélange. Cet acide, ainsi étendu, est donc versé tout chaud sur la garance, puis on brasse le tout avec autant de rapidité que possible, et quand on juge que le mélange est bien opéré, on élève la température à 100°, et on la maintient à ce degré pendant une heure environ. Au bout de ce temps, la matière est délayée de nouveau dans une quantité convenable d'eau, filtrée et lavée sur les toiles jusqu'à ce que le liquide soit parfaitement insipide. Alors on soumet la matière à la presse, puis on la fait sécher et passer au tamis.

« Dans cette opération, l'acide n'a subi d'autre altération que de s'affaiblir et de se charger de quelques sels calcaires, ce qui ne l'empêche pas d'être propre à la fabrication du sulfate de soude ; on pourra peut-être utiliser aussi le premier lavage aqueux, qui contient beaucoup de matière sucrée qu'on peut facilement transformer en alcool. »

Ce procédé fut d'abord mis en usage en 1829, mais la garancine n'a été employée d'une manière courante qu'en 1839, notamment à Rouen et en Alsace.

On compte aujourd'hui douze à quinze fabriques de garancine à Avignon, et une ou deux en Alsace. Les fabricants d'Avignon retirent ce produit des garances du comtat Venaissin même ; ceux d'Alsace sont obligés pour augmenter la force de leur garancine d'employer avec les garances alsaciennes une petite quantité de garance du Midi.

Les procédés de fabrication de la garancine varient un peu suivant les fabriques ; aujourd'hui cette nouvelle matière colorante vaut 4 fr. 50 c. à 5 fr. le kilogr. avec escompte de 6 p. 100.

Les variétés de garancines sont nombreuses, on en rencontre dans le commerce qui rendent quatre fois la valeur de la matière colorante de la garance qui a servi à les obtenir, tandis que d'autres ne donnent que deux fois et demie cette valeur : on peut admettre qu'en général une bonne garancine vaut trois fois plus qu'une bonne garance.

La consommation de la garancine est en moyenne de 1600 à 1800 barriques de 300 kilogr. par an pour celle d'Avignon, et de 4 à 600 fûts de même contenance pour celle d'Alsace.

La quantité de garance employée en teinture a baissé de près de moitié depuis l'introduction de la garancine ; mais ce changement dans l'emploi de la matière colorante n'a pas changé le mode de garançage, et les mordants sont restés les mêmes.

Il existe des garancines mal lavées et acides avec lesquelles on emploie de la craie pour les neutraliser en partie, car une trop grande acidité est nuisible ; il faut éviter autant que possible cet emploi et même celui des alcalis

Les garancines ont un grand avantage sur la garance,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elles ne *chargent* pas les blancs comme cette dernière, et le blanchiment des étoffes garancées devient alors presque nul.

Les nuances obtenues par la garancine sont plus brillantes et plus vives que celles fournies par la garance; cependant toutes les garancines ne donnent pas les mêmes nuances avec la même richesse et le même éclat.

M. Léonard Schwartz de Mulhausen a pris un brevet de 15 ans, en 1845, pour la fabrication d'une garancine préparée avec les résidus de garance qui a déjà servi à la teinture; ce produit qu'il a nommé *garanceux*, est beaucoup moins riche en principe colorant que les bonnes garancines ordinaires, il a à peu près la même valeur tinctoriale que les garances, et son prix d'achat est de 2 fr. 25 c. le kilogr.

M. Steiner a pris aussi la même année un brevet en Angleterre, pour la préparation de la garancine avec les résidus de garance; son procédé a une grande analogie avec celui de M. Schwartz, voici du reste comment il opère : En dehors des bâtiments où se trouvent les cuves de teinture on établit un grand filtre en creusant un trou dans la terre et en garnissant cette cavité, au fond et sur les parois, de briques sans mortier pour les unir. Sur les briques du fond on met une certaine quantité de pierres et de graviers, et sur ces derniers on pose une grosse toile à voile. Au-dessous du fond en brique on a disposé un canal qui sert à évacuer les eaux de filtration. Près du filtre, se trouve dans un tonneau de l'acide sulfurique étendu d'eau et d'un poids spécifique de 1065, celui de l'eau étant 1000.

Des cuves de teinture, la garance est dirigée, par un conduit, dans le filtre, tandis qu'en même temps on verse une certaine quantité de l'acide étendu, dans le même conduit; la garance se colore alors en jaune orangé, et l'acide précipite la matière colorante qui était dissoute et l'empêche de fermenter. Une fois que le filtre a séparé les liquides des matières en suspension, on enlève ces dernières pour les mettre dans des sacs qui sont ensuite pressés entre les plateaux d'une presse hydraulique. Ces sacs perdent par cette pression une quantité d'eau égale à la moitié et quelquefois aux deux tiers de leur poids. Le résidu retiré des sacs est brisé, puis tamisé, et à cette matière, qu'on met dans une cuve en bois doublée de plomb, on ajoute le cinquième de son poids d'acide sulfurique à 60° qu'on répand uniformément sur la garance à l'aide d'un arrosoir en plomb. On brasse le mélange : quand le contact a été bien établi, on retire la garance pour la mettre dans une autre cuve sur un double-fond en plomb percé de trous; sous le faux-fond on introduit un courant de vapeur qui traverse ce faux-fond et imprègne la matière.

Pendant ce travail qui dure deux heures au plus, il se forme une substance brune qui est composée d'un mélange de garancine et de matières organiques carbonisées. Cette substance est alors étendue sur le sol où elle se refroidit, après quoi on la jette sur un filtre ou on l'épuise par l'eau froide jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus acide. Remise en sacs et pressée de nouveau, cette garancine est séchée à l'étuve et réduite en poudre, puis passée au tamis.

Pour la neutraliser complétement, M. Steiner ajoute à cette substance la vingt-cinquième partie de son poids de carbonate de soude sec qu'on y mélange le plus intimement possible. C'est à cet état qu'on emploie cette garancine.

Le produit commercial connu sous le nom de *colorine* est le résidu de la distillation des teintures alcooliques provenant du traitement du *charbon sulfurique* par l'alcool. Le résidu qui est de l'alizarine mêlée d'un peu de matières grasses est retiré de l'alambic pour être délayé dans l'eau, puis pressé dans le but d'en éliminer la matière grasse; cela fait on le dessèche et on le réduit en poudre; la poudre qu'on obtient est jaune d'ocre, elle est sans odeur ni saveur marquées et possède toutes les propriétés chimiques de l'alizarine.

MM. Parisot, Gastard et Fauquet de Rouen furent les premiers qui firent l'application en teinture de la colorine; mais l'emploi véritablement manufacturier de ce produit est dû à MM. Girardin et Grelley. Cette nouvelle matière colorante portera, sans aucun doute, une grande simplification dans l'industrie des indiennes, et accélérera surtout les procédés d'impressions.

La colorine de ces messieurs se vend à Rouen 40 fr le kilogramme.

Comme tous les produits commerciaux dont le prix est élevé, les garances sont l'objet d'une foule de fraudes qu'il est bon de signaler. Tantôt on mélange à la poudre de garance des substances minérales, telles que la brique pilée, l'ocre rouge et jaune, le sable et l'argile jaunâtre; tantôt, au contraire, c'est avec des substances végétales qu'on altère les garances, et on a soin de choisir celles dont la couleur se rapproche de la nuance de cette racine. On emploie souvent de la sciure de bois, des coques d'amandes, du son, de l'écorce de pin, du bois d'acajou, du bois de santal, etc. Ces poudres étrangères non seulement diminuent d'autant la valeur des produits tinctoriaux, mais encore absorbent de la matière colorante, aussi nuisent-elles beaucoup plus à la teinture que les matières minérales.

Pour reconnaître l'adultération des garances, on est obligé d'essayer ces matières. Notre but n'est pas ici d'entrer dans les détails des procédés chimiques employés pour reconnaître ces fraudes et faire l'essai des garances; nous nous contenterons de renvoyer nos lecteurs aux procédés très simples dus à M. Girardin, et qui se trouvent décrits dans sa *Technologie de la garance* et à l'article TEINTURE.

GARANTIE. Les matières d'or et d'argent, sous quelque forme qu'elles paraissent dans le commerce, doivent porter l'empreinte de leur titre, c'est-à-dire de la quantité proportionnelle de fin qu'elles renferment, c'est ce qu'on nomme la *garantie*, parce qu'en effet cette empreinte est dans la circulation le signe de reconnaissance, le gage de la fabrication qui garantit les droits entre l'acheteur et le vendeur.

La matière est brute ou fabriquée : brute, elle est présentée en *lingots* sur lesquels on inscrit avec un *poinçon* le nom de l'essayeur ou des essayeurs, car l'acheteur et le vendeur emploient le plus souvent chacun leur essayeur, pour faire vérifier la teneur en argent ou en or fin. Si les essayeurs, qui sont des officiers de commerce, ne sont pas d'accord entre eux, on peut avoir recours à un essayeur de la garantie, qui est un officier de l'administration; et enfin, dans le cas où les parties ne s'en rapporteraient pas à ce dernier, l'administration des monnaies est appelée à juger en dernier ressort, en faisant faire l'essai dans les laboratoires : toutefois elle n'intervient que pour contrôler les opérations des essayeurs de la garantie, qui sont des agents sous sa dépendance, et non celles des essayeurs du commerce, qui exercent une profession libre, et qui ne sont soumis qu'à obtenir préalablement un brevet de capacité. La matière fabriquée constitue les *monnaies* et les *objets d'orfèvrerie ou de bijouterie*, et doit toujours être soumise, avant la mise en circulation, à une garantie légale, et ne peut donc, par conséquent, être contrôlée que par les seuls agents de l'administration, par les essayeurs de garantie. Les titres voulus par la loi, ainsi que la manière de procéder aux essais des matières d'or et d'argent, ayant été indiqués avec détails à l'article ESSAI, nous n'y reviendrons pas ici, et nous rappellerons seulement que la garantie est régie par la loi du 19 brumaire an VI.

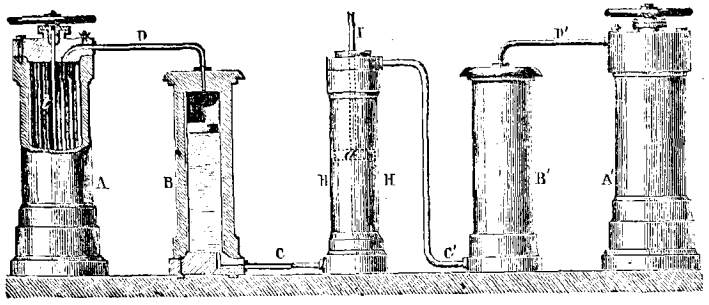
GAUDE (*angl.* weld, *all*, wau). Plante herbacée qui croît naturellement dans toute l'Europe, mais particu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lièrement dans les lieux sablonneux ; c'est une espèce de *réséda*, à laquelle Linnée a donné le nom de *luteola*, à cause de la couleur jaune qu'elle contient.

La gaude est employée en teinture pour teindre en jaune et en vert. On en fait aussi une laque jaune très solide employée dans la peinture. La matière colorante de la gaude a été isolée par M. Chevreul, qui lui a donné le nom de *lutéoline* ; elle cristallise en cristaux aciculaires, peu solubles dans l'eau, beaucoup plus dans l'alcool et l'éther, et qui se subliment par l'action de la chaleur sans se décomposer.

GAUFRAGE. On donne le nom de *gaufreur* à l'ouvrier qui imprime des figures en bas-relief sur une étoffe quelconque, avec des fers chauds ou des cylindres gravés ; les instruments gravés dont il se sert se nomment *gaufroirs*, et l'action d'appliquer les fers chauds sur l'étoffe, pendant un temps suffisant pour



que les diverses figures prennent la forme désirée et puissent la conserver, se nomme *gaufrage*.

Le *gaufroir* est ordinairement composé de deux parties : le gaufroir proprement dit, et sa contre-épreuve ; le premier est en laiton gravé en creux, et sa contre-partie peut être en carton qui se moule sur le gaufroir ; des chevilles de repère servent à les placer toujours l'un sur l'autre sans pouvoir se tromper. On humecte légèrement la substance qu'on veut gaufrer, on la place sur le dessin du gaufroir un peu échauffé, on recouvre avec la contre-partie et l'on met à la presse. On les laisse en repos jusqu'à ce que le gaufroir soit froid, et on retire alors la pièce à gaufrer qui a parfaitement pris l'empreinte.

Lorsqu'on gaufre au cylindre, celui-ci porte la gravure sur sa circonférence convexe ; des fers chauds sont placés dans l'intérieur du cylindre, et l'échauffent suffisamment. Le cylindre inférieur est recouvert de draps fortement tendus et élastiques, qui servent de contre-épreuve. L'étoffe légèrement humectée passe lentement et sous une forte pression entre les deux cylindres ; elle a le temps de s'y sécher et d'être fortement imprimée.

GAZ. Les gaz se distinguent des solides et des liquides par la tendance qu'ont leurs molécules à occuper tout l'espace qui leur est offert, et réciproquement à pouvoir se comprimer sous un très faible volume, en raison inverse de la pression à laquelle ils sont soumis, ce qui constitue la *loi de Mariotte*, et leur a fait donner le nom de *fluides élastiques*.

Les gaz se distinguent en gaz permanents et gaz coërcibles : ces derniers sont ceux que l'on est parvenu à liquéfier et même à solidifier par l'action d'un grand froid, d'une pression considérable, ou de l'un et de l'autre : ce sont le chlore gazeux, le gaz ammoniac, le protoxyde d'azote, l'hydrogène sulfuré, et les acides sulfureux, hydro-chlorique et carbonique (voyez pour les propriétés de chacun de ces gaz à leur nom).

Les vapeurs rentrent dans les gaz coërcibles.

GAZ (*éclairage au*). Voyez ÉCLAIRAGE.

GAZ LIQUÉFIÉ (MACHINE A). On s'est occupé beaucoup d'une machine à gaz acide carbonique de notre célèbre compatriote Brunel, remarquable par ses ingénieuses dispositions et que nous allons décrire.

L'acide carbonique, qui se liquéfie à 0° sous une pression de 40 atmosphères, développe à 80° (en redevenant gazeux) une énorme pression de 80 atmosphères au moins. C'est d'après cette donnée et en poursuivant une indication de Davy qui avait cru indiquer une route pouvant conduire à d'importants résultats au point de vue de la production économique du travail, que Brunel imagina de substituer l'acide carbonique à la vapeur d'eau pour faire mouvoir les machines.

Son appareil est formé de cinq cylindres A, B, H. B', A', (fig. 1077) verticaux, communiquant entre eux. Les cylindres extrêmes renferment l'acide carbonique, qui y est comprimé et liquéfié une fois pour toutes à l'aide d'une pompe. Chacun d'eux joue alternativement le rôle de chaudière et de condenseur, et à cet effet ils contiennent plusieurs tubes cylindriques longitudinaux *t*, dans lesquels on fait passer successivement de l'eau chaude et de l'eau froide. Cet acide passe dans les cylindres B, B', par les tuyaux D, D', et presse des pistons mobiles au-dessous desquels est située une masse d'huile. L'huile remplit le cylindre central HH, et communique la pression à son piston *a*, dont la tige I transmet le mouvement au reste de la machine. Pour concevoir le jeu de cet appareil, imaginons que l'eau chaude coule dans A, et l'eau froide dans A', l'acide carbonique pressera plus fortement le piston de B que celui de B', et le piston *a* de H montera. Lorsque celui-ci sera au haut de la course, on fera passer de l'eau froide dans A et de l'eau chaude dans A', et le piston *a* prendra un mouvement contraire au précédent. L'emploi des cylindres intermédiaires B, B' et de l'huile est motivé sur la nécessité d'éviter les fuites d'acide carbonique.

L'ordre de recherches inauguré par Brunel à la suggestion de Davy a été suivi par bien des inventeurs qui y ont perdu leur temps et leur argent.

C'est à propos d'une tentative de ce genre, présentée à la Société d'encouragement, que j'ai fait le rapport ci-après au comité des arts mécaniques, pensant qu'il était utile de bien établir les vrais principes sur ce genre de questions, afin d'empêcher des esprits distingués de s'engager dans une voie trop souvent poursuivie dans le monde des inventeurs, pour y chercher des résultats impossibles.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dès 1823, Sadi-Carnot, dans son admirable brochure ayant pour titre *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, a établi qu'en principe la substitution d'un corps à un autre, dans une machine à feu, ne pouvait conduire à aucun avantage *théorique*. Il a démontré que dans une machine à feu supposée parfaite, c'est-à-dire dans laquelle aucune fraction de la chaleur n'est communiquée à un corps sans lui faire produire tout le travail extérieur qu'elle est susceptible d'engendrer, où le contact n'aura jamais lieu entre des corps possédant des températures sensiblement différentes, il fallait admettre, à moins de conclure à la possibilité du mouvement perpétuel, que la nature du corps échauffé est sans influence sur la quantité de travail, que celle-ci dépend entièrement et exclusivement de la quantité de chaleur utilisée.

Cet important principe n'est plus qu'une conséquence nécessaire de la notion sur laquelle repose la théorie mécanique de la chaleur aujourd'hui reconnue incontestable, à savoir l'équivalence de la chaleur et du travail. Puisque de la chaleur est consommée lorsqu'elle est communiquée à un corps pour produire du travail, qu'elle se transforme en travail, celle-ci seule est à considérer dans les machines à feu.

Nous nous trouvons, aujourd'hui, par suite du progrès scientifique que je viens de rappeler, en mesure de juger divers essais de transformation des machines à feu par changement du liquide employé, qui paraissaient reposer sur des principes exacts lorsque la science était moins avancée, mais dont les mauvais résultats pratiques paraissaient indiquer une lacune de la théorie, aujourd'hui heureusement comblée. Je rappellerai ici, comme exemple, la machine Perkins, combinée pour employer la vapeur d'eau à une pression très-élevée et à une très-haute température, et qui n'a offert aucun avantage sur la machine à vapeur ordinaire; et surtout la célèbre machine de Brunel à gaz carbonique alternativement liquéfié et gazéifié, fournissant des pressions considérables pour de faibles variations de température et qui cependant n'a pu donner de résultats qui justifiassent en rien les espérances du célèbre ingénieur.

Ces légères variations de température dont il s'agit ici consomment toujours la même quantité de chaleur que des variations plus considérables d'autres vapeurs pour produire une même quantité de travail, c'est ce qui condamne le genre de recherches dont il s'agit, ce qu'établit la théorie mécanique de la chaleur; c'est, au reste, ce qui se reconnaît assez bien par l'étude des faits.

S'il s'agit de l'action du corps à l'état gazeux, il a été établi par Dulong, alors qu'on ne parlait pas encore de la théorie mécanique de la chaleur, qu'un même travail de compression appliqué à divers gaz dégageait une même quantité de chaleur, ou inversement qu'un même travail engendré par la dilatation d'un gaz consommait toujours la même quantité de chaleur. Il n'y a donc nul intérêt à remplacer un gaz par un autre dans une machine à gaz échauffé.

Pour ce qui est des vapeurs, c'est une loi au moins approchée que la chaleur latente de vaporisation sous une même pression est en raison inverse de la densité de la vapeur formée, est proportionnelle au volume de la vapeur exprimée en fonction du volume du liquide et par suite que le travail d'action directe est le même par calorie. Cette loi se vérifie pour la vapeur d'eau, celle d'alcool, d'éther, d'essence de térébenthine, pour tous les corps bien étudiés. Ainsi, la vapeur d'eau produisant 1,700 litres par kil. à la pression ordinaire (ce qui se déduit des rapports des densités de l'eau et de la vapeur), et la chaleur latente étant 536, c'est $\frac{1700}{536} = 3^{l},17$ par calorie; l'alcool donne 520 fois le volume du liquide sa chaleur latente est 207, sa densité 0,8 et le rapport $\frac{520}{0,8 \times 207} = 3^{l},15$ par calorie. On arrive donc encore pour les vapeurs à la même conclusion que ci-dessus pour les gaz.

Pour le reste du travail que peut engendrer la chaleur incorporée dans la vapeur, au moyen de la détente: puisqu'une calorie engendre toujours un même volume à une même pression, celui-ci ne pouvant augmenter en produisant un travail sans qu'il se produise un refroidissement, et par suite une condensation partielle de la vapeur qui disparaît d'après ce qui précède en volume égal pour une même quantité de chaleur, on doit encore conclure qu'avec ce mode d'action une même quantité de chaleur disparaissant dans des conditions analogues produira un même travail.

L'illusion de Brunel, qui nous apparaît clairement aujourd'hui, c'est qu'en ne se préoccupant que des faibles variations de température qui ne produisaient, avec l'acide carbonique, que des variations de pression considérables, il négligeait un des éléments de la question, et raisonnait comme un ingénieur qui, pour évaluer une force vive, ne considérerait que la vitesse. La chaleur de vaporisation de l'acide liquéfié dont il ne se préoccupait pas est tellement grande qu'elle produit dans l'appareil Thilorier un froid suffisant pour solidifier l'acide carbonique sous la pression de l'atmosphère. En employant de petites quantités de chaleur, Brunel n'a obtenu et ne pouvait obtenir que des effets minimes.

Le remplacement de l'acide carbonique par l'ammoniaque, ou tout autre gaz liquéfiable, ne changerait rien au principe d'un genre de machines qui reste toujours sans aucun point de supériorité théorique sur la machine à vapeur; c'est dans tous ces cas la même machine dans laquelle le travail mécanique est produit de la même manière, en proportion d'autant plus grande relativement à la quantité de chaleur dépensée qu'on en perd inutilement une quantité moindre, ce qui ne dépend pas de la nature de la vapeur, mais du bon emploi de la détente, des moyens d'éviter les pertes de chaleur, etc.

En terminant, je ferai remarquer que les conclusions ci-dessus relatives à l'inutilité du genre de recherches tendant à substituer à la vapeur d'eau une autre vapeur, ne se rapportent qu'à la question économique, à la solution du problème de produire du travail mécanique artificiellement au plus bas prix possible, par la source de chaleur la plus avantageuse qui se représente dans la nature, par la combustion du combustible végétal et minéral. Si on laisse de côté le bon marché, s'il s'agit d'obtenir même à un prix relativement élevé du travail moteur, dans des conditions toutes particulières de légèreté, de facilité d'emploi, des gaz liquéfiés pourront peut-être être employés. C'est ainsi qu'à la guerre on emploie la poudre à canon dont le travail est, d'après M. Poncelet, 90 fois plus coûteux que celui de la vapeur d'eau, qu'on emploie l'acide sulfurique et le zinc dans des machines électro-magnétiques, etc. Un inventeur a proposé dans ces derniers temps l'emploi de l'ammoniaque successivement séparé de l'eau et liquéfié, puis agissant dans une machine et se combinant à l'eau pour produire de la chaleur. Dans cette voie d'utilisation de produits chimiques transportés sur le lieu où le travail est nécessaire, et de leur purification à l'atelier à l'aide de la chaleur, et surtout de leur liquéfaction à l'aide de pompes pour recommencer à nouveau, il y a peut-être des résultats intéressants de transport de travail à poursuivre, mais sans qu'on doive penser jamais atteindre par ces doubles opérations le bon marché de la production de travail que procure une bonne machine à vapeur. CH. LABOULAYE.

GAZE. Tissu léger fait en soie, ou en soie et fil de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lin, dont le caractère particulier, consiste dans l'écartement des fils de la trame, maintenus constamment à des distances égales, par le serpentement de deux fils de chaîne l'un sur l'autre, qui n'en présentent ensuite qu'un à l'œil, et dont l'ensemble avec le fil de trame forme un tissu criblé de trous. (Voyez LIN, SOIE).

GAZE MÉTALLIQUE. Toile en fil de métal, de fer ou de cuivre, dont le tissu est plus ou moins serré, et qui est employée à la confection des LAMPES DE SURETÉ. On s'en est aussi servi pour remplacer l'étamine dans les blutoirs à farine, etc., mais on y a actuellement généralement renoncé.

GAZOMÈTRE. Réservoir servant à emmagasiner le gaz destiné à l'éclairage, au fur et à mesure de sa production. (Voyez ÉCLAIRAGE).

GÉLATINE. Nous avons vu, en parlant de la fabrication des COLLES-FORTES, que la *gélatine* peut s'extraire des *os* par deux procédés différents; dans l'un, la gélatine reste pour résidu, tandis que la partie calcaire est dissoute; dans l'autre, au contraire, la gélatine est entraînée à l'état de dissolution, et le squelette osseux qui reste sert à fabriquer le noir animal, comme nous le verrons plus tard.

Gélatine par les acides. Cette préparation consiste à dissoudre, au moyen de l'acide hydro-chlorique, les sels calcaires contenus dans les os, et à mettre ainsi en liberté la matière animale qui n'est pas attaquée par cet acide étendu.

Les os sont à peu près composés de :

40 p. 100 de matières animales;
60 p. 100 de phosphate et de carbonate de chaux.

Dans les 60 p. 100 de sels calcaires, le phosphate de chaux entre pour les quatre cinquièmes, et le carbonate pour un cinquième seulement. L'acide dissout le carbonate en dégageant de l'acide carbonique, et transforme le phosphate neutre en bi-phosphate soluble en s'emparant d'une partie de sa base; il y a formation de chlorure de calcium, et tous les sels sont ainsi dissous.

En pratique, tous les os ne sont pas également bons pour la préparation de la gélatine; les uns, par leur extrême cohésion, s'attaquent trop lentement; les autres ne donnent pas une proportion de gélatine suffisante pour couvrir les frais de l'opération. Ainsi, tous les os qu'on appelle *os gras* sont abandonnés aux fabricants de noir animal; voici ceux dont on fait surtout usage :

1° *Les cornillons de bœuf ou de vache.* Ce sont les os qui garnissent l'intérieur des cornes, leur porosité les rend facilement attaquables par l'acide hydro-chlorique, et ils donnent une proportion de gélatine plus considérable que tous les autres os; le produit qu'on en retire est aussi de bonne qualité : ils valent à Paris de 14 à 16 fr. les 100 kilogr.;

2° *Les caboches.* Ce sont les os de la tête des bœufs ou des chevaux : comme ils sont très minces ils s'attaquent aussi très facilement et donnent une belle gélatine. Il faut, avant de les employer, en séparer à coups de hache les dents adhérentes à la mâchoire; ces dents emploieraient en pure perte de l'acide hydro-chlorique. Le prix de ces os est de 8 fr. les 100 kilogr.

3° *Les résidus des fabricants de boutons.* Ces déchets sont des os plats et très minces dans lesquels on a découpé les boutons; comme ils sont percés d'un grand nombre de trous, on leur a donné le nom de *dentelles;* ces résidus donnent une gélatine très blanche et de bonne qualité : on s'en procure des quantités considérables à Paris.

4° *Les têtes ou caboches de moutons.* Ces os donnent aussi une gélatine d'une grande blancheur, mais moins forte que celle des précédents et en plus faible proportion; cette gélatine a en outre une tendance à devenir laiteuse, aussi peu de fabricants emploient ces os, et leur prix est très bas. Voilà à peu près les seules variétés qui soient employées.

Généralement on ne fait subir à ces os aucun traitement préliminaire; il serait peut-être bon cependant, si l'on avait de l'eau en abondance, de les y plonger pendant quelque temps; on en séparerait ainsi les matières étrangères et ils seraient ensuite plus facilement attaquables par l'acide employé.

Il est rare qu'on les réduise en morceaux, et comme ils renferment peu de graisse on se dispense le plus souvent d'en extraire cette matière. Quoi qu'il en soit, voici comment on procède à l'amollissement de ces os.

Dans de grands cuviers en bois ou dans des bacs rectangulaires doublés en plomb, d'une capacité d'environ 2 mètres cubes, on met les os à traiter avec une quantité égale d'acide hydro-chlorique à 23° Beaumé, étendu de quatre fois son poids d'eau. Les os doivent toujours être recouverts de 2 à 3 centimètres de liquide.

Les cuviers où se fait cette première opération doivent, autant que possible, être à l'abri du soleil, car une température élevée pourrait occasionner l'attaque de la matière animale elle-même.

Au bout de sept à huit jours l'amollissement des os est complet; on les enlève avec une large écumoire en tôle, pour les porter de suite dans les cuviers en bois où on les lave à grande eau. Comme le bain acide n'est pas suffisamment épuisé par cette première immersion, on y ajoute une nouvelle quantité d'os égale à la première, et qui, en un jour ou deux, épuise complétement l'acide; ces os sont alors enlevés et portés immédiatement dans un bain neuf où ils restent comme les premiers, sept à huit jours. L'opération se continue ainsi toute l'année.

Cette manière d'opérer pourrait être plus méthodique en changeant plus souvent les os de bains acides; on devrait également, si on le pouvait, laver avec plus de soin les os épuisés; dans quelques usines on les expose à l'action d'un courant d'eau, et même on les plonge ensuite dans un bain d'eau de chaux pour saturer les dernières traces d'acide qu'ils pourraient renfermer encore.

Les eaux acides sont vendues, lorsque les localités le permettent, aux fabricants de phosphore qui en retirent le phosphate en dissolution. Ces mêmes eaux saturées par des eaux ammoniacales constituent un excellent engrais après leur évaporation.

Les os ramollis, après avoir été lavés à deux ou trois reprises, puis chaulés, sont exposés en plein air sur un sol pavé, ou mieux sur des filets à mailles solides et disposés en rayons, où ils se dessèchent; cette dessiccation n'est pas seulement nécessaire pour l'emmagasinage, mais elle est aussi indispensable à la bonne qualité de la colle.

Pour convertir en gélatine ou colle-forte les os ramollis et desséchés, on les fait digérer dans de l'eau bouillante. Cette dissolution qui se fait dans des chaudières en tôle ou en fonte, ne donne de bons produits peu colorés, que si on a soin d'opérer à une température à peine égale à 100°. Pour satisfaire à cette condition, on fait usage dans quelques fabriques de vases chauffés au bain-marie. Ces appareils se composent d'une chaudière en tôle munie d'un double-fond sous lequel on introduit, à l'aide d'un entonnoir à robinet, l'eau qui doit recevoir l'action directe du foyer et par son contact chauffer l'appareil. Une soupape communiquant avec l'espace réservé entre les deux fonds, permet de régler à volonté la température du bain d'eau chaude. Cette disposition évite les coups de feu qui peuvent, avec de simples chaudières, brûler leur fond et colorer les produits. L'emploi de chaudières à bascule chauffées par un serpentin de vapeur serait probablement avantageux.

La dissolution de gélatine s'obtient en ajoutant la quantité d'eau suffisante pour n'avoir qu'à chauffer sans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

évaporer; aussitôt qu'elle est terminée, on laisse déposer quelque temps, puis on soutire dans des moules en bois doublés de plomb ou de zinc. Avant de couler, on a soin de garnir le robinet de vidange d'un torchon de paille qui filtre en quelque sorte la dissolution et qui retient le marc de colle, c'est-à-dire les parties non dissoutes.

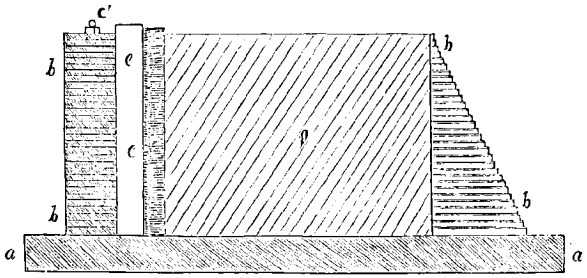
Quelquefois la solution gélatineuse est soutirée toute bouillante dans une seconde chaudière, enveloppée de corps mauvais conducteurs de la chaleur : c'est là que se fait la clarification. Après quelques heures de repos on coule dans les moules.

Les pains refroidis sont extraits des moules; ils ont à peu près 0m,20 de longueur, 0m,08 de largeur et 0m,15 d'épaisseur, il s'agit de les découper en feuilles minces qui n'ont quelquefois que 4 millimètres d'épaisseur.

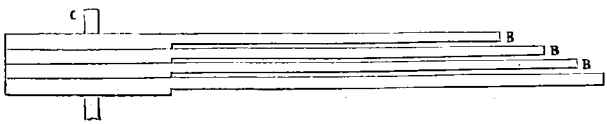
A cet effet, on emploie des appareils simples et ingénieux : en Angleterre on fait usage d'une boîte en bronze à fond mobile; ce fond peut s'abaisser ou s'élever à volonté d'une quantité donnée, à l'aide d'une vis micrométrique. On dépose dans cette boîte le pain de gélatine à diviser, et on fait alors mouvoir le fond de l'appareil jusqu'à ce que le sommet du pain dépasse les bords supérieurs de la boîte d'une hauteur égale à l'épaisseur qu'on veut donner aux feuilles de colle; puis à l'aide d'un fil de laiton tendu qu'on promène sur deux bords parallèles des faces de la caisse; on enlève ce qui dépasse, on obtient ainsi une première tranche de gélatine. On soulève encore le fond de la même quantité, on coupe de nouveau ce qui dépasse la boîte et on continue de même jusqu'à ce que tout le pain soit divisé. La dernière tranche est mise de côté pour être refondue, car elle renferme les matières étrangères qui se sont déposées après le coulage en pains.

M. Grenet, de Rouen, emploie dans le même but un appareil dont nous donnons le dessin ci-dessous. La fig. 1078 en représente le plan, et la fig. 1079 la coupe verticale. Voici en quoi consiste cet appareil : sur une plate-forme en bronze *a*, est une série de plaques en laiton *b*, *b*, évidées à leur intérieur et posées les unes sur les autres; chacune de ces plaques se trouve percée de deux trous, ce qui permet de les relier à l'aide de deux boulons *c*,*c'*, fixés au plateau en bronze. La plaque du bas est la plus longue, celles qui sont au-dessus ont une longueur graduellement moindre, elles ne sont en contact que par les faces de leur plus petit côté, c'est ce que montre d'ailleurs la figure 1080, qui représente l'assemblage de cinq de ces plaques : un espace égal à peu près au cinquième de leur épaisseur existe donc entre les faces des longe côtés de ces plaques.

1079.



1078



1080.

Le vide existant au milieu de l'appareil reçoit le pain de gélatine D, qui a les mêmes dimensions; ce pain s'appuie contre une brosse *e*, qui occupe le plus petit des trois côtés de cette espèce de boîte. L'appareil étant disposé comme l'indiquent les figures, rien n'est plus facile que de couper en feuilles la gélatine qui se trouve au centre; pour cela on fait passer entre toutes les plaques (ce que permettent les vides qui s'y trouvent ménagés) un fil de laiton qu'on tient tendu et la division est opérée.

Comme toutes les plaques ont la même épaisseur (celle qu'on veut donner aux feuillets), on obtient une série de tranches gélatineuses égales.

La brosse *e*, est destinée à permettre au fil métallique de couper entièrement et d'une manière franche chaque feuille jusqu'au bout; une fois la feuille coupée le fil qui est pris dans les crins de la brosse est retiré et engagé entre les deux plaques suivantes.

Enfin, nous dirons un mot de l'appareil à diviser de M. Pélier, fabricant de colle à Paris; cet instrument est certainement celui qui opère le plus rapidement, car il suffit de couper une feuille pour les couper toutes à la fois.

M. Pélier met ses pains de colle dans un canal en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bois dont les faces sont à charnières et viennent, quand la division s'opère, serrer le pain qu'on découpe. Un cadre en fer portant 22 lames de couteau espacées d'une quantité égale à l'épaisseur à donner aux feuilles de gélatine, peut tourner autour d'un de ses côtés qui lui sert d'axe et vient s'abattre à volonté sur le pain de colle de telle manière que les lames se trouvent parallèles au canal renfermant ce pain qui se trouve ainsi divisé en 23 plaques d'un seul coup. Quand on relève les couteaux, les faces du canal qui comprimaient latéralement le prisme de colle tombent en tournant autour de leur arête inférieure, et les 23 feuilles de colle se trouvent libres.

Dans ce dernier appareil, le fond du canal où se mettent les pains est garni d'une brosse afin d'obtenir des coupures franches. Nous ne parlerons point ici de la dessiccation des feuilles de gélatine ; cette dessiccation et les chances qu'elle court ont été indiquées ailleurs (voir l'article COLLE-FORTE), ainsi que les rendements en gélatine obtenus par ce procédé avec les différentes qualités des os employés.

Gélatine extraite des os par la vapeur. C'est en l'année 1681 que l'extraction de la matière animale des os fut opérée pour la première fois, et ce fut à l'aide de la vapeur à haute pression qu'on y parvint.

Papin, à qui l'on doit les premières notions précises sur la force motrice de la vapeur et sur l'emploi utile de cette force, eut l'idée de traiter les os à une haute température, en se servant pour cela de l'appareil qui porte encore son nom ; mais l'emploi de la *marmite de Papin* présentait de graves inconvénients : le produit qu'il donnait ne se prenait pas en gelée, il était altéré le plus souvent et avait alors une saveur empyreumatique fort désagréable. Aujourd'hui même ce procédé défectueux est encore en usage dans le Midi, où l'extraction de la gélatine se fait sous une pression moyenne de 3 atmosphères.

En 1812, M. d'Arcet, reprenant les travaux de Papin, reconnut que les os exposés à l'action de l'eau à une température élevée, perdent une portion de leur matière animale qui est transformée en ammoniaque ; cette transformation n'a plus lieu si on opère à 100° seulement.

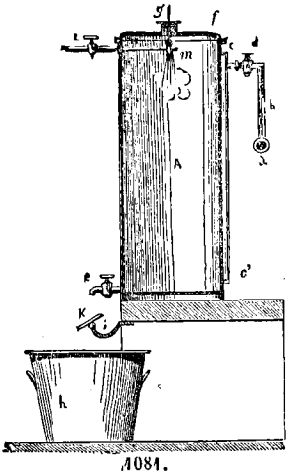
Le procédé que M. d'Arcet proposa à cette époque et qu'il a perfectionné depuis, consiste à rendre indépendant de l'appareil à extraire la gélatine celui qui doit fournir la vapeur, et à n'opérer la transformation du tissu cellulaire en gélatine qu'à une température maximum de 106°.

Ce qui a été dit de ce procédé, en parlant de la COLLE FORTE (voy. ce mot) nous dispense d'entrer dans de plus grands détails. Nous nous contenterons de donner le dessin et la description de l'appareil imaginé par ce savant.

Cet appareil est représenté par les fig. 1080 et 1081. Fig. 1081, coupe verticale de l'appareil à extraire la gélatine : *A*, cylindre en fonte hermétiquement fermé dans lequel arrive de la vapeur ; *a*, tuyau faiblement incliné, apportant la vapeur d'un générateur qui est le complément de l'appareil ; *b*, tuyau vertical conduisant la vapeur dans le cylindre *A* ; *c*, *c'*, tuyaux faisant suite au tuyau *b*, et conduisant la vapeur, l'un en haut et l'autre au bas de l'appareil ; *d*, robinet placé sur le tuyau *b*, et servant à régler l'introduction de la vapeur dans le cylindre en fonte. (Les tuyaux et le cylindre doivent être enveloppés de matières conduisant mal la chaleur afin d'empêcher leur refroidissement) ; *e*, robinet placé à la partie inférieure du cylindre pour l'écoulement de la dissolution gélatineuse ; *f*, couvercle du cylindre. Ce couvercle se fixe au cylindre de différentes manières, seulement on a soin de garnir le joint d'une rondelle de carton pour empêcher les fuites ; *g*, tubulure fixée au couvercle, pour y placer à volonté un thermomètre ou un manomètre ; *h*, vase destiné à recevoir la gélatine au fur et à mesure de sa production ; *i*, gouttière destinée à conduire dans un autre vase la graisse qui coule d'abord quand l'appareil commence à marcher ; *k*, gouttière mobile autour d'un axe placé à son centre, et qui reçoit directement le liquide qui s'écoule par le robinet *e*, pour le verser soit dans le vase *h*, soit dans la rigole *i*, suivant le côté où elle est inclinée ; *l*, tuyau amenant de l'eau froide dans l'intérieur du cylindre ; *m*, ajutage mobile qu'on fixe au tuyau *l*, quand le panier qui contient les os est dans le cylindre, ce petit tube verse l'eau froide goutte à goutte au milieu de l'appareil, ce qui empêche une élévation de température trop considérable en même temps que la dissolution est rendue plus claire.

1080.





1081.

Fig. 1080. Élévation du panier garni d'une toile métallique en fil de fer ; c'est dans ce panier que se placent les os qui doivent être exposés à l'action de la vapeur dans le cylindre A ; *n*, est l'anse par laquelle on enlève ce panier chargé d'os, au moyen d'une poulie supérieure, quand il s'agit de le placer dans le cylindre, ou de l'en retirer après l'épuisement des os.

Dans cet appareil, il est de la plus haute importance de ne pas trop prolonger l'action de la vapeur, si on ne veut pas s'exposer à transformer une partie des matières animales en produits ammoniacaux. Il faut en outre en tenir toutes les parties dans le plus grand état de propreté pour prévenir toute fermentation putride.

Quand le travail a été bien conduit, le résidu de l'opération contient :

Phosphate et carbonate de chaux. . . .	90
Matière animale non attaquable par la vapeur, savon de chaux et graisse libre. . . .	10
	100

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Aussi ce mélange ajouté à des os neufs ou des débris animaux donne-t-il, par une calcination en vases clos, un excellent charbon animal.

Ce résidu s'emploie également pour la préparation du phosphore, et, comme nous l'avons dit, en parlant des engrais, son emploi est très convenable pour fertiliser le sol, surtout dans la culture des céréales.

La dissolution gélatineuse fournie par ce procédé peut renfermer jusqu'à 40 grammes de gélatine par litre, on l'évapore rapidement dans des chaudières peu profondes en ayant soin de ne pas trop élever la température; le degré de concentration une fois assez élevé, on laisse déposer et on met en moules, on divise et on sèche comme par l'autre procédé.

Quant à la graisse qui s'écoule des cylindres et qui vient se figer à la surface de la dissolution de gélatine, elle peut remplacer le beurre comme aliment et la moelle de bœuf dans la confection des pommades.

Il nous reste à parler encore de la préparation de la gélatine alimentaire.

Gélatine alimentaire. Ce fut immédiatement après la découverte de son nouveau procédé d'extraction, que M. d'Arcet appliqua à la nourriture de l'homme la gélatine extraite des os par le moyen de l'acide hydrochlorique; mais le prix élevé auquel se vendait alors cette matière empêcha son emploi pour cet usage. C'est ce qui conduisit ce chimiste distingué à reprendre les expériences de Papin, et ce qui l'amena à imaginer l'appareil dont on fait encore usage aujourd'hui.

L'expérience ayant appris qu'il fallait au moins quatre jours pour extraire, à l'aide de la vapeur à faible tension, la matière animale que renferment les os lorsqu'on tient à l'avoir de bonne qualité, M. d'Arcet composa son appareil de quatre vases d'égale capacité, en tout semblables à celui dont nous avons donné la description et le dessin précédemment.

Les os s'épuisant en quatre jours de travail continu, on conçoit qu'en chargeant d'os un cylindre chaque jour, et en recevant dans un même vase, à chaque tirage, les liqueurs qui s'écouleront en ouvrant à la fois les robinets de vidange des 4 cylindres, on arrivera à obtenir un ordre de travail régulier au bout du quatrième jour de marche et le service de l'appareil consistera simplement alors à remplir chaque jour un panier d'os concassés, à ouvrir le cylindre où les os sont restés quatre jours exposés à l'action de la vapeur, à en retirer le panier en toile métallique chargé d'os épuisés qu'on remplacera par des os neufs préparés d'avance, à remettre ensuite ce panier dans le cylindre en fonte dont on referme alors l'entrée après avoir toutefois remis le tuyau d'injection d'eau froide qui doit augmenter la condensation. Cela fait, on laisse de nouveau arriver la vapeur en même temps qu'on ouvre le robinet d'eau froide et celui de vidange. Pendant les deux premières heures, la graisse seule s'écoule; on la recueille à part.

Quant à la dissolution gélatineuse, qui sort après, on la porte immédiatement dans un endroit frais.

Dans la préparation de la gélatine alimentaire, les os de bœuf sont seuls employés, il faut qu'ils soient propres et frais. Les os de veau, de porc et de mouton, mêlés aux précédents, nuisent à l'aspect ou à l'odeur du bouillon.

On a soin d'enlever, avant de les concasser, tout ce qui adhère aux os, car les cartilages, la peau, etc., troubleraient la dissolution de gélatine.

On doit obtenir 900 litres de dissolution pour 60 kilogr. d'os traités pendant 24 heures dans un des cylindres. La préparation de ces 900 litres de bouillon exige 144 kilogr. de houille.

La dissolution gélatineuse obtenue pour la confection des bouillons doit contenir 10 à 12 grammes de gélatine par litre, elle doit en outre être sans saveur ni odeur quand les appareils sont propres et construits en métaux salubres. M. d'Arcet a conseillé pour la conserver de l'acidifier légèrement avec du vinaigre ou mieux de l'acide citrique ou tartrique, ce qui en même temps facilite sa prise en gelée quand on la concentre davantage.

La graisse recueillie au commencement d'une opération est fondue avec des oignons coupés en tranches minces et qu'on y fait frire; puis une fois toute l'eau partie, on ajoute une croûte de pain grillé qui enlève l'odeur : elle est alors de bonne qualité.

A Reims, pour préparer 400 litres de bouillon de viande au moyen de la dissolution de gélatine telle qu'on l'obtient au sortir de l'appareil de M. d'Arcet, on emploie :

Dissolution gélatineuse.	400 litres.
Viande avec ses os.	20 kilogr.
Carottes épluchées. . .	10
Porreaux épluchés	5
Navets.	2,5
Céleri.	0,5
Sel.	8,0.
4 clous de girofle.	
Quelques carottes roussies.	

On met toutes ces matières dans une marmite d'une capacité de 450 litres et on les chauffe pendant 5 heures. On obtiendrait un excellent bouillon si, au lieu d'employer seulement 5 p. 100 de viande, on en employait 25 p. 100.

La préparation des légumes au gras se fait en cuisant pendant 2 heures, dans une marmite :

Pommes de terre.	100 kilogr.
Eau, sel, herbes.	42
Graisse d'os	6

Pour donner à ces légumes les qualités de ceux cuits au bouillon, on remplace l'eau par la dissolution gélatineuse : on emploie volumes égaux de dissolution et de légumes.

Le bouillon de gélatine obtenu, la soupe se prépare en prenant :

Bouillon.	0,566 kilogr.
Pain.	0,076
Pour une portion. . . .	0,642

A Reims, la ration revient à moins de 6 centimes, et si on retranche le prix de la viande, à 5 centimes seulement.

Quand on veut préparer de la gelée, on fait subir quelques changements à la marche de l'opération.

Le cylindre chargé d'os neufs est enveloppé d'une couverture de laine, l'injection d'eau froide est suspendue et le robinet de vidange n'est ouvert que d'heure en heure, sans lui permettre toutefois de laisser échapper de la vapeur.

On obtient, à l'aide de ces précautions une dissolution plus concentrée qui peut se prendre en gelée et qu'on clarifie avec des blancs d'œufs battus; on acidifie la solution, comme nous l'avons déjà dit, avec un peu d'acide citrique.

La moyenne de onze années de travail de l'appareil de l'hôpital Saint-Louis a donné les résultats suivants, pour le rendement de 100 kilogr. d'os secs.

Gélatine.	28,204
Graisse.	7,216
Résidu osseux pouvant servir à la fabrication du noir animal. . . .	64,580
	100,000

Les os employés renferment en moyenne 30 p. 100 de gélatine et 10 p. 100 de graisse; on voit combien à l'aide de cet appareil on est près d'arriver à la limite,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et comme son rendement est supérieur à celui obtenu par les fabricants de colle-forte qui, en employant le même procédé, ne retirent en gélatine que 10 à 15 p. 100 du poids des os qu'ils emploient. La pression à laquelle ils opèrent est la principale cause de la perte qu'ils font.

L'usage de la gélatine alimentaire s'est répandu peu à peu dans un grand nombre de villes de l'Europe; en Amérique même on monta quelques appareils pour l'alimentation des classes pauvres, ou des hôpitaux, et de nombreux rapports favorables au nouvel emploi de la gélatine furent publiés et dédommagèrent M. d'Arcet des peines qu'il eut à faire partager son idée favorite. Mais quelques années plus tard la gélatine alimentaire souleva une opposition des plus vives: on lui reprocha de transmettre au bouillon une saveur fade et quelquefois repoussante, bien différente de l'odeur aromatique et de l'action stimulante que le bon bouillon exerce sur l'estomac, et qu'il doit à l'osmazôme et à l'acide qu'il a puisés dans la viande. On a également reproché à la gélatine d'être indigeste et de s'altérer facilement; enfin on a fini par dire qu'elle n'était pas nutritive. De tous ces reproches celui-ci est certainement le plus grave, les autres pouvant être atténués en grande partie; aussi l'Académie des sciences nomma-t-elle une commission pour décider la question. Les résultats obtenus par ses commissaires ont prouvé que les expériences qu'ils ont faites tendent toutes à démontrer que le pouvoir nutritif de la gélatine est faible.

« On se ferait très-probablement, dit M. Dumas, une idée juste de ses effets, en la considérant comme propre à fournir aux dépenses de la respiration, sans avoir la faculté de fonctionner comme un véritable aliment réparateur de nos tissus, dont elle se bornerait à prévenir la destruction, et à ce dernier point de vue la gélatine jouerait un rôle fort essentiel, toutes les fois qu'on la ferait intervenir dans une alimentation trop pauvre en matières azotées. »

Le faible pouvoir nutritif de la gélatine paraît venir de ce que, toutes les fois qu'on détruit l'organisation d'une matière gélatineuse, on diminue probablement en grande partie ses propriétés nutritives.

Quoi qu'il en soit des doutes qui restent encore à cet égard, en admettant que l'emploi de la gélatine alimentaire fût abandonné, que les appareils de d'Arcet cessassent de fonctionner partout où on les emploie pour sa préparation culinaire, on les utiliserait encore avec avantage pour fabriquer la colle forte. On peut dire que si l'illustre savant, qui a rendu tant de services à l'industrie, s'est trompé en poursuivant pendant plus de trente années la réalisation des vues élevées de Papin, Proust et d'Arcet père, pour approprier la gélatine des os à l'alimentation de l'homme, son erreur fut celle de tous les chimistes contemporains qui partagèrent son opinion sur l'utilité de cette matière pour animaliser convenablement la nourriture des indigents; erreur qui ne fut pas sans utilité, puisqu'elle l'amena à perfectionner considérablement les procédés de Papin et à doter l'industrie de l'art d'extraire la gélatine des os par le moyen des acides, ce qui porta en France les fabriques de colle forte au plus haut point de perfection.

F. CH. KNAB.

GÉLIVITÉ DES PIERRES. Lorsqu'une pierre est pénétrée d'une plus ou moins grande quantité d'eau, un abaissement de température suffisant peut congeler cette eau jusque dans l'intérieur de la pierre, malgré le peu de conductibilité de celle-ci pour la chaleur; et, comme la glace offre un volume notablement plus considérable que l'eau dont elle provient, l'effet qu'elle produira dans l'intérieur des pores de la pierre pourra dépasser la ténacité de celle-ci et en déterminer la rupture, ou au moins y faire naître de nombreuses fissures: on dira alors que cette pierre est plus ou moins gélive. Il est facile de comprendre que les pierres offriront sous ce rapport de très grandes différences, et qu'il est de la plus haute importance de connaître l'altération qu'elles peuvent éprouver par les variations de température auxquelles elles se trouveront naturellement soumises dans l'atmosphère, avant de les employer dans les constructions.

On peut imiter l'effet que l'eau produit en se congelant dans les pores d'une pierre par l'action d'un sel qui augmente beaucoup de volume par l'action d'une cause facile à produire; on se sert ordinairement pour cela, d'un sel efflorescent, le SULFATE DE SOUDE, susceptible de perdre de l'eau, après s'être solidifié, en acquérant un volume plus considérable que celui qu'il présentait.

A cet effet, on fait tailler des échantillons des pierres à essayer, en cubes à vives-arêtes de mêmes dimensions, que l'on plonge pendant un temps déterminé, ordinairement une demi-heure, dans une dissolution bouillante saturée à froid de sulfate de soude.

On enlève les cubes de la liqueur, on les suspend au moyen de fils de manière à ce qu'ils soient complétement isolés, et on place au-dessous de chacun d'eux un vase renfermant une portion de dissolution bien tirée à clair; après 24 heures, si le temps n'est pas trop humide ou trop froid, il s'est formé à la surface des cubes des efflorescences blanches. On plonge alors chaque pierre dans le vase inférieur, pour faire disparaître les cristaux, et on recommence autant de fois qu'il s'en forme.

Cinq jours après le commencement de l'efflorescence, on arrête l'expérience; la quantité de fragments qui se sont détachés, leur poids pris à l'état sec comparativement à celui de la pierre également sèche, et l'altération de formes que le cube a éprouvée, indiquent le degré de gélivité de la pierre soumise à l'expérience, ou de plusieurs pierres que l'on voudrait préparer.

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR. Voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR.

GENIÈVRE (*angl.* gin, *all.* genever). Liqueur dont la plus estimée vient de Hollande, et qui se fabrique ainsi qu'il suit : On prépare, avec 2 parties en volume de seigle de Riga non germé, et 1 p. de malt d'orge ou *dréche*, un moût que l'on fait fermenter à la matière ordinaire, puis que l'on soumet à la distillation. On obtient ainsi une eau-de-vie de grain faible, que l'on soumet à une seconde distillation, en ajoutant dans l'alambic, 1k de baies de genièvre vieilles de quatre à cinq ans, et 1/8e de kilogr. environ de sel marin. La liqueur ainsi obtenue renferme environ 60 p. 100 d'alcool en volume, et possède l'odeur aromatique du genièvre. On obtient de 28 à 33 litres de genièvre par hectolitre de grain.

GÉOGNOSIE. Voyez GÉOLOGIE.

GÉOLOGIE. Lorsqu'on parcourt une certaine étendue de la surface du globe, en étudiant le sol, surtout dans les parties, telles que les escarpements, les tranchées et les excavations, où il se trouve à découvert, on ne tarde pas à reconnaître que la composition en est très variée. L'aspect des *roches* change, ainsi que la nature de leurs principes constituants, et par suite l'emploi auquel elles sont propres. Ainsi, les unes servent à la fabrication de la chaux, les autres à celle du plâtre; les unes sont assez dures pour rayer l'acier et d'autres se laissent tailler avec la plus grande facilité; il en est même qui forment avec l'eau une pâte plus ou moins liante susceptible d'être modelée à volonté.

L'étude des propriétés des substances minérales qui entrent dans la composition de la croûte terrestre, considérées en elles-mêmes, constitue la MINÉRALOGIE. La GÉOLOGIE, au contraire, considère les roches sous le rapport de leur gisement : elle comprend à la fois la description des masses minérales qui constituent toutes les parties connues de l'écorce du globe, et l'ordre de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

superposition de ces masses. Elle recherche la manière d'être des minéraux utiles, afin de guider le mineur dans ses explorations et ses exploitations; enfin, elle étudie tous les phénomènes qui tiennent à la constitution du globe terrestre, pour déduire de cet examen l'histoire des révolutions dont il a été le théâtre.

Notions préliminaires de géographie physique. La terre présente la forme d'une sphère aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur : le rayon à l'équateur est de 6376 854 mètres, l'aplatissement est de 1/305 d'après les mesures géodésiques prises dans diverses parties du globe ; on arrive au même résultat, par des observations astronomiques, en prenant pour point de départ, les inégalités du mouvement de la lune, tant en longitude qu'en latitude, ainsi qu'en admettant que la terre ait été primitivement fluide et dans les mêmes conditions de mouvement.

L'observation et le calcul ont également démontré que la densité moyenne de la terre est environ cinq fois plus grande que celle de l'eau, c'est-à-dire près du double de la densité moyenne, de l'écorce minérale qui nous est connue. Ce fait vient encore à l'appui de l'hypothèse d'une fluidité primitive et probablement générale de toute la masse du globe ; car, en vertu de la gravité, les matières auront dû se ranger, les plus denses au centre, et les plus légères à la surface. C'est ainsi que nous voyons à la surface que nous habitons, l'air, l'eau et l'écorce minérale disposés concentriquement et dans l'ordre de leur densité. Nous commencerons l'examen géologique du globe en jetant un coup d'œil rapide sur la forme et la composition de ces trois couches.

Atmosphère. L'atmosphère est la couche d'air qui environne la terre, et qui renferme en outre quelques millièmes d'acide carbonique et une quantité très variable de vapeur d'eau. Cette colonne d'air faisant équilibre, au niveau de la mer, à une colonne de mercure à 0° de 0m,76 de hauteur, la hauteur totale de l'atmosphère serait seulement de 7950m si sa densité était constante ; mais comme, par l'effet de la gravité, elle décroît à mesure que l'on s'élève suivant une certaine loi, cette hauteur est de 15 à 16 lieues : au-delà est le vide absolu ; il en résulte qu'on ne peut supposer aucune déperdition d'eau à la surface du globe par voie d'évaporation. Les différences de température auxquelles sont soumises les diverses parties du globe, jointes au mouvement même de rotation qu'il possède, déterminent à la surface des courants atmosphériques ou vents réguliers ou irréguliers. Un vent ordinaire parcourt 2 à 3m par seconde, un vent fort 5 à 6m, un vent violent 10m, et un ouragan jusqu'à 20, 30 et 40m.

Eaux. Les eaux couvrent près des trois quarts de la surface du globe, et leur évaporation spontanée produit des vapeurs qui se répandent dans l'atmosphère et dont la condensation ultérieure donne naissance aux nombreux cours d'eau qui sillonnent l'écorce terrestre.

Écorce minérale du globe. La surface du globe est accidentée d'une manière très diverse, et il est nécessaire de donner à ce sujet quelques définitions. On donne le nom générique de *montagnes* aux aspérités saillantes de l'écorce minérale du globe : tantôt ce sont des *dômes* arrondis, tantôt des *pics* aigus et isolés, ou des groupes dentelés sous forme d'*aiguilles;* d'autre fois ce sont des crêtes ou sinuosités qui sillonnent la surface sous forme de rides, ou des *plateaux* bordés par des escarpements plus ou moins rapides. Quoique ces formes soient susceptibles de varier à l'infini, les masses montagneuses un peu étendues constituent des *groupes*, et le plus souvent des chaînes, dont la structure est assujettie à des lois de symetrie, dont l'étude est d'une grande importance.

Une chaîne de montagnes est une saillie qui suit une direction déterminée, et qui se décompose généralement en plusieurs chaînons parallèles dont la hauteur va sans cesse en diminuant, à mesure que l'on s'éloigne de l'arête centrale dite cime ou ligne de partage des eaux, jusqu'à ce qu'ils se confondent avec les plaines environnantes. La cime est tantôt en forme de crête, tantôt composée de plateaux allongés. Les dépressions parallèles à la direction d'une chaîne de montagnes, constituent les vallées longitudinales, qui sont coupées à angle droit par les vallées latérales, qui descendent de la ligne de faîte et séparent les divers massifs constituants ; les crêtes comprises entre ces vallées présentent elles-mêmes des dépressions moins apparentes ou gorges, qui prennent le nom de col sur la ligne de faîte de la chaîne et qui servent alors à passer d'un versant à l'autre. Il arrive quelquefois que deux ou plusieurs chaînes se coupent, ce qui rend beaucoup plus difficile l'observation des phénomènes qui se rapportent à chacune d'elles.

Les groupes de montagnes sont disposés avec plus ou moins de régularité, soit autour d'un point culminant, soit autour d'une dépression centrale, d'où divergent, en s'élargissant sans cesse, les vallées principales.

Les chaînes de montagnes forment, pour ainsi dire, le squelette des continents, et en constituent, par conséquent, le caractère le plus saillant. Quant aux pays de plaines, leurs formes sont moins nettement dessinées, et sans les variations de la végétation et du climat, il y aurait identité presque complète entre la plupart d'entre eux.

DES ROCHES. Les roches sont des minéraux simples ou des associations de minéraux qui se rencontrent en masses assez considérables dans la nature pour qu'on puisse les regarder comme des principes constituants de l'écorce du globe.

Les roches composées se distinguent des roches simples par une *structure d'agrégation*, qui indique la manière dont se groupent les minéraux qui les constituent. Cette structure est dite *granitoïde*, lorsque les roches sont formées de minéraux cristallisés, associés à peu près dans la même proportion; *porphyroïdes* lorsqu'elles sont composées d'une pâte compacte dans laquelle sont disséminés des cristaux contemporains ; si, dans ces derniers cas, les cristaux isolés sont remplacés par des noyaux ou amandes de couleur différente de celle de la pâte, on dit que la roche à une structure *amygdaloïde*. Les roches composées de fragments ou de grains de roches plus anciennes, réunis par un ciment quelconque, portent le nom de roches *arénacées;* si les fragments sont anguleux, la roche est une *brèche;* lorsqu'ils sont arrondis et assez gros ils constituent par leur réunion un *poudingue* ou *conglomérat;* enfin, si les fragments sont à la fois arrondis et très petits, ils forment les *grès*, qui passent par degrés insensibles aux argiles, dans lesquelles les fragments élémentaire sont réduits à une ténuité telle que la roche produite par leur réunion devient homogène.

Cela posé, passons rapidement en revue les roches principales qui composent l'écorce du globe.

Roches granitoïdes

La plus répandue de ces roches est le *granite*, qui est formé d'un mélange de quarz, de feldspath et de mica, à l'état cristallin. Le quarz est ordinairement en grains gris ou blancs ; le mica, en lames noires, brunes, vertes ou argentines ; et le feldspath, blanc ou rose. Beaucoup de granites contiennent à la fois deux feldspaths de couleur différente. Lorsque l'un d'eux se présente sous la forme de grands cristaux implantés dans une pâte uniformément grenue, on dit que le granite est porphyroïde.

Le lames de mica sont quelquefois déposées parallèlement à une même direction, ce qui donne alors un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aspect rubanné à la roche, qui prend alors le nom de *granite rubanné* ou *gneiss*.

Le quarz, ordinairement en grains, se présente quelquefois en cristaux incomplets; souvent alors le mica manque complétement. Cette variété de granite porte le nom de *granite graphique* ou *pegmatite*.

L'*hyalomite* ou *greisen*, au contraire, est un granite qui ne contient presque point de feldspath.

Dans certains granites, le mica est remplacé par du talc, et porte alors le nom de *protogine;* il est quelquefois rubanné, et constitue alors du gneiss talqueux. On ne distingue guère ces roches des granits proprement dits, qu'en ce qu'elles renferment ordinairement à la fois deux feldspath, l'un blanc, et l'autre verdâtre.

Dans d'autres granites, au contraire, le mica est remplacé par de l'amphibole généralement d'un beau vert, et il y a souvent deux feldspaths blancs ou gris et rouge, ce qui donne une très belle roche qu'on désigne sous le nom de *syénite* : celle-ci peut être schisteuse, comme les granites.

Roches porphyroïdes.

Ces roches sont composées d'une pâte feldspathique ordinairement rougeâtre et de cristaux de feldspath; il arrive souvent que la pâte contient un peu d'amphibole, ce qui la rend verdâtre.

Lorsque la pâte, outre les cristaux de feldspath, renferme des grains, et le plus souvent des cristaux bipyramidés de quarz, la roche prend le nom de *porphyre quarzifère*. La pâte devient quelquefois terreuse, et le porphyre prend alors le nom de *porphyre argileux*. Lorsque les porphyres ne contiennent pas de cristaux, ils passent au *feldspath compacte* ou *pétrosilex*. Quelquefois la pâte prend un éclat résineux, et constitue alors le *feldspath résinite* ou *pechstein*.

Roches trachytiques.

Ces roches sont composées de *feldspath vitreux* ou *ryakolite*, en petits cristaux, formant une pâte âpre au toucher et remplie de cellules tapissées de petits cristaux, et souvent associée à du *feldspath albite*.

La présence du quarz dans les trachytes donne des *porphyres trachytiques* analogues aux porphyres quarzifères.

La *dômite* est un trachyte à grains très fins, friable et très âpre au toucher, qui forme une partie des dômes de l'Auvergne.

Les terrains trachytiques sont associés, dans quelques localités, avec des roches vitreuses, grises ou verdâtres, et globuleuses, qui portent le nom de *perlites* ou *perlstein*, et à une roche vitreuse d'un vert-noirâtre très foncé dite *obsidienne;* la *pierre ponce* est de l'obsidienne devenue fibreuse par le passage d'une multitude de bulles qui l'ont traversée verticalement.

Enfin, on doit encore rapporter aux roches trachytiques le *phonolite*, roche à la fois tabulaire et schisteuse, à cassure esquilleuse, remarquable par sa grande sonorité sous le marteau.

Roches amphiboliques.

Diorite. Cette roche est composée d'amphibole vert ou noir, et d'albite lamelleuse fréquemment en cristaux maclés, qui présentent toujours alors un angle rentrant, que l'on aperçoit aisément en faisant miroiter un morceau de cette roche à la lumière, ce qui la fait aisément reconnaître. Quelquefois les cristaux d'amphibole et d'albite sont disséminés dans une pâte compacte, verdâtre, et constituent alors le *porphyre dioritique*. Les *ophites* appartiennent presque tous à cette dernière classe; il en est de même d'un grand nombre d'amygdaloïdes et de variolites, qui sont réellement des *diorites amygdaloïdes*.

Lorsque les cristaux d'albite disparaissent, les diorites passent aux *amphibolites*, qui sont le plus généralement schisteuses. Les amphibolites compactes prennent le nom de *cornéennes* ou d'*aphanites*.

Roches pyroxéniques.

Ces roches sont composées de pyroxène vert ou noir, et de feldspath chatoyant ou labrador; la *lherzolite* est seule formée exclusivement de pyroxène, d'un vert assez clair, à cassure esquilleuse.

La *dolérite* est un mélange de labrador et de pyroxène, offrant une structure granitoïde. Les dolérites porphyroïdes portent le nom de *mélaphyres*. Les *basaltes* diffèrent des mélaphyres, en ce que la pâte ne renferme pas de cristaux isolés de labrador, et sont ordinairement caractérisés par la présence de grains cristallins de *péridot* d'un jaune verdâtre.

Les *trapps* sont des roches compactes et noirâtres comme les basaltes, mais dont les éléments sont indiscernables.

Roches hypersthéniques, diallagiques, etc.

L'*hypérite* est une roche de labrador et d'hypersthène.

L'*euphotide* est une roche de diallage et de feldspath tenace ou jade.

La *serpentine* seule forme souvent des masses considérables dans le sein de la terre.

Roches micacées.

La principale est le *micaschiste*, roche schisteuse composée de mica et de quarz, qui passe par des transitions insensibles au gneiss.

Roches talqueuses.

La plus importante est le *schiste talqueux*, composé de quarz et de talc; elle est souvent associée à des roches verdâtres qui portent le nom de *chlorites*, *pierre ollaire*, etc.

Roches de quarz.

Le quarz compacte ou *quarzite* forme des couches puissantes dans certains terrains; lorsqu'il est noir, il constitue le *quarz lydien* ou *kieselschiefer*

Le *quarz silex* se trouve surtout en rognons, disposés en forme de couches, dans les terrains de craie.

Roches calcaires.

Ces roches très répandues dans la nature constituent un grand nombre de variétés, et sont composées de chaux carbonatée pure ou mélangée de substances diverses; les principales sont les suivantes :

Calcaires saccharoïdes ou *marbres*. Ces calcaires, généralement blancs ou peu colorés, doivent leur état cristallin à un métamorphisme dû à l'action de roches ignées d'origine postérieure.

Calcaires compactes. Ces roches très abondantes, qui fournissent des marbres d'ornement, des pierres lithographiques, etc., ont tantôt une cassure esquilleuse et conchoïde, tantôt une cassure terreuse, et sont fréquemment colorés en jaune, en rouge, en gris ou en noir, par des oxydes de fer ou des matières bitumineuses.

Calcaires oolithiques. Ces calcaires, fort abondants dans certaines formations secondaires, doivent leur nom à leur structure, qui se compose de petits grains ronds soudés ensemble et fort analogues à des œufs de poisson.

Calcaires crayeux. Calcaires blancs terreux, qui se rencontrent en abondance dans la plus récente des formations secondaires.

Calcaires siliceux. Ces calcaires blancs, compactes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à cassure conchoïde, sont abondants aux environs de Paris.

Calcaires bitumineux. Calcaires compactes, terreux, d'un brun plus ou moins foncé, exhalant une forte odeur de bitume.

Calcaires marneux. Calcaires mélangés d'argile, ayant l'aspect terreux, et se délitant facilement; ils passent aux *marnes*, lorsqu'ils contiennent environ moitié de leur poids d'argile.

Toutes ces roches donnent à froid une vive effervescence avec les acides minéraux.

Dolomie. Carbonate double de chaux et de magnésie. (Voyez CARBONATE.)

Roches de chaux sulfatée.

La chaux sulfatée hydratée ou *gypse*, ainsi que la chaux sulfatée anhydre ou *anhydrite*, se rencontrent en masses considérables dans certains terrains.

Roches diverses.

Le *sel gemme*, les *minerais de fer* et les *combustibles minéraux*, se rencontrent, dans certains terrains et dans certaines localités, en couches puissantes, et constituent alors de véritables roches.

Laves.

La composition n'est pas la seule circonstance qui imprime aux masses minérales des caractères assez nets et assez constants pour mériter un nom particulier. Quelquefois certains modes de formation communiquent aux roches un caractère indélébile, quelle que soit, du reste, leur composition.

Les roches volcaniques et les roches arénacées sont dans ce cas.

Les laves, sorties du sein de la terre à l'état liquide, et qui se sont répandues sur les contreforts des volcans en nappes généralement assez minces, sont, par leur nature, bulleuses, scoriacées, étirées, quelquefois même tordues. Quand elles sont très bulleuses, on les appelle *scories;* on les désigne sous le nom de *lapilli*, lorsqu'elles sont en petits fragments, et sous celui de *cendres*, quand elles sont en poussière fine.

Roches arénacées.

On donne, comme nous l'avons dit, le nom de roches arénacées à celles formées par la réunion de fragments anguleux ou roulés, cimentés entre eux par une pâte, en général, d'une nature différente de celle des fragments et toujours postérieure. Ce sont des *brèches*, lorsque les fragments sont anguleux; des *poudingues*, lorsqu'ils sont arrondis et d'une certaine grosseur; des *grès*, lorsque les fragments sont à l'état de petits grains; et enfin, des *argiles*, lorsque les éléments en sont tellement ténus que la roche a une apparence homogène. Les grès micacés ont une texture schisteuse et portent le nom de *psammites*.

On donne le nom de *conglomérats* ou de *tufs* à des sortes de poudingues composés de galets de roches ignées empâtés, soit dans des débris plus ténus, soit même dans la masse ignée qui s'est refroidie.

Les principales roches arénacées sont les suivantes :

Grauwacke. Roche des terrains de transition formée par la réunion de fragments de roches anciennes, quarz, granite, porphyre, schistes argileux et micacé, etc., et d'un ciment ordinairement grisâtre composé tantôt de schiste argileux, tantôt d'argile; le plus ordinairement, elle est à grains fins. Quoique la grauwacke soit généralement grise, comme l'indique son nom, on en trouve aussi de rouge. Cette roche renferme souvent assez de mica pour devenir schisteuse.

Grès houiller. Le grès houiller est analogue à la grauwacke; il est seulement à grains plus grossiers, et son ciment est toujours terreux. Il passe par gradations insensibles à des argiles schisteuses et à des schistes bitumineux.

Grès rouge. Ce grès, très abondant dans la formation à laquelle il a donné son nom, se compose de galets de roches anciennes empâtées dans un ciment argileux et sablonneux, coloré par de l'oxyde rouge de fer; il est presque constamment associé à des porphyres rouges quarzifères.

Grès bigarré. Ce grès à grains fins, renfermant quelquefois des noyaux assez gros de quarz, est ordinairement bigarré de rouge et de gris-verdâtre; le ciment est sablonneux et ferrugineux.

Grès vert. Ce grès, composé de grains siliceux réunis par un ciment le plus souvent calcaire ou marneux, et placé à la partie inférieure des formations crétacées, est remarquable par la grande quantité de points verts qu'il renferme, ce qui lui avait fait donner autrefois, par erreur, le nom de craie chloritée.

Grès de Fontainebleau. Ce grès, placé à la séparation des terrains tertiaires inférieur et moyen, est composé de grains siliceux réunis par un ciment calcaire ou siliceux : dans ce dernier cas le grès est trop dur pour être aisément débité et par suite n'est pas employé au pavage.

Molasse. Roche des terrains tertiaires supérieurs, composée de galets de quarz, de paillettes de mica, de particules d'argile, et enfin, de débris et de moules de coquilles, agglomérés par un ciment calcaire. En Suisse, cette roche passe fréquemment à un poudingue dont les galets sont assez gros; la pâte de cette roche étant peu solide, elle se désagrège à la surface, et les galets présentent une série de proéminences saillantes, ce qui a fait donner au poudingue dont il s'agit le nom de *nagelflue*, par sa comparaison avec une muraille garnie de clous.

Arkose. On a donné ce nom à un grès composé d'éléments de feldspath et de quarz, intercalé, dans une position constante, à la séparation des terrains cristallins et des terrains sédimentaires.

Argiles et marnes.

Les argiles et marnes étant le produit de dépôts boueux, on conçoit que ces substances doivent exister dans presque tous les terrains; elles succèdent aux grès, dont elles sont toujours une conséquence. On distingue spécialement, parmi les marnes :

Les *marnes irisées*, qui se lient au grès bigarré, et sont, comme cette roche, caractérisées par une grande variété de couleurs.

Les *marnes du lias*, en général très bitumineuses, sont fortement colorées en noir.

Il en est souvent de même des marnes appelées, à tort, *argile d'Oxford* et *argile de Kimmeridge*.

Les *marnes d'eau douce*, abondantes dans les terrains tertiaires, alternent avec les calcaires d'eau douce.

Parmi les argiles, on doit indiquer l'argile plastique et l'argile wealdienne.

L'*argile plastique*, placée à la séparation des terrains crétacés et des terrains tertiaires, a été désignée sous ce nom parce qu'elle fournit généralement une bonne terre pour la poterie. Cette formation argileuse contient une grande quantité de lignites, souvent assez abondants pour être exploités.

L'*argile wealdienne*, placée à la base du terrain crétacé, est souvent d'excellente qualité pour la fabrication des poteries.

Pour les minéraux qui entrent dans la composition des roches, nous renverrons aux articles ARGILE, CALCAIRE, CARBONATES, COMBUSTIBLES, GANGUES, MINÉRALOGIE, SEL-GEMME, SILICATES, et au nom de chaque métal en particulier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DIVISION DES TERRAINS EN TERRAINS SÉDIMENTAIRES ET EN TERRAINS IGNÉS. Un premier coup d'œil jeté sur la composition de l'écorce minérale du globe, permet de distinguer deux classes de roches, différentes à la fois par leur nature et par la forme des masses.

Les premières, d'une composition chimique généralement simple, telles que les calcaires, les grès, les argiles, se présentent en couches régulières, subdivisibles en assises plus ou moins épaisses. Leur nature et leur stratification dénotent évidemment l'action sédimentaire des eaux; en effet, les unes composées de sables libres ou agglutinés, de fragments hétérogènes et roulés, retracent leur action mécanique; les autres, tels que les calcaires, de même nature que les dépôts actuellement formés par les sources minérales, retracent leur action chimique, et durent nécessairement avoir été déposées au fond d'un liquide qui les tenait en dissolution. Cette première classe de roches a été désignée sous le nom de roches *sédimentaires* ou *stratifiées;* on y trouve souvent des débris organiques, animaux ou végétaux, réduits à l'état fossile, c'est-à-dire dont la substance a été remplacée par des substances minérales.

La seconde classe comprend des roches analogues par leurs caractères minéralogiques et par la forme des masses qu'elles constituent, aux laves émises par les volcans. Ces roches sont cristallines, rarement stratifiées, et affectent des formes massives; elles renferment des minéraux que l'on retrouve non seulement dans les produits volcaniques, mais encore dans les fourneaux de nos usines : quelquefois elles ont produit, à leur contact avec les roches qu'elles traversent, des altérations identiques à celles qui résultent d'une forte chaleur; en un mot, il existe entre les diverses roches de cette classe une série de passages minéralogiques, de relations de forme et de structure, qui ne permet pas de douter qu'elles ne résultent des phénomènes analogues. On les désigne sous les noms de roches *cristallines*, roches *non stratifiées*, roches *ignées* ou *d'épanchement*.

Les dépôts sédimentaires sont assez généralement horizontaux; cependant on les voit en beaucoup de contrées disloqués et inclinés; de plus, leur élévation dans beaucoup de chaînes de montagnes démontre qu'ils ont été nécessairement soulevés. Ces soulèvements de certaines parties du globe qui ne purent avoir lieu sans perturbations dans la distribution des eaux, se lient en outre à des éruptions ignées, de sorte qu'il y a en géologie trois séries de faits très distincts, qui ont marché de front pendant tous les âges géognostiques; ce sont : 1° les dépôts par sédimentation; 2° les émissions de roches ignées; 3° les soulèvements ou oscillations de la croûte du globe.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES.

Le caractère spécial et distinctif des terrains de la série sédimentaire est la stratification, c'est-à-dire la configuration en couches, lesquelles sont ordinairement subdivisées en assises ou lits, distincts par des variations de couleur, de texture ou de composition, et dont les plans de séparation sont parallèles à ceux de la couche elle-même. Cette stratification est un fait inhérent à l'origine des terrains sédimentaires; car un dépôt fait dans les eaux, soit par précipitation mécanique de matières tenues en suspension, soit par précipitation chimique, doit nécessairement avoir lieu par lits successifs et parallèles.

Une condition non moins essentielle des dépôts sédimentaires, quoiqu'elle semble moins évidente, est l'horizontalité des couches.

Donc, toutes les fois que la stratification d'un dépôt sédimentaire sera sensiblement inclinée, ce dépôt aura été dérangé de sa position première.

Le fait de ces dislocations résulte d'ailleurs des divergences qui se manifestent souvent dans la stratification des masses sédimentaires. Ainsi, lorsque les plans de séparation des diverses couches sont tous parallèles, la stratification est dite *concordante*, et l'on peut supposer l'ensemble déposé dans les mêmes mers; mais lorsque l'on voit cet ensemble naturellement divisé en bandes distinctes par les directions différentes que suivent les plans des couches, inclinés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, tantôt divisés et contournés, la stratification est dite *discordante*, et l'on doit nécessairement admettre que ces divers dépôts discordants ont été séparés les uns des autres par des mouvements de la croûte du globe, c'est-à-dire qu'ils appartiennent à des formations distinctes.

La silice, le calcaire et l'argile, tantôt purs, tantôt mélangés entre eux, constituent la presque totalité des dépôts sédimentaires; ces couches alternent avec des roches de transport ou d'agrégation, et quelques autres substances beaucoup moins répandues, telles que le carbone, le gypse et certains minerais de fer.

Une composition aussi simple semble s'opposer à la distinction des divers terrains sous le rapport minéralogique. Il est cependant des caractères différents pour une même roche, dans ses diverses positions géognostiques; caractères faciles à saisir, lorsqu'on considère l'ensemble d'un terrain, en faisant abstraction de toutes les exceptions de détail. Ainsi les calcaires inférieurs, compactes, esquilleux, saccharoïdes, souvent caractérisés par la présence du mica, du diallage, du carbone, etc., sont distincts des calcaires compactes, lithographiques, oolitiques, crayeux, des formations suivantes, qui eux-mêmes ne peuvent être confondus avec les calcaires grossiers, siliceux ou marneux des terrains de sédiment supérieurs. Les argiles indélayables, etc., les grauwackes des premiers dépôts sédimentaires, n'ont aucune analogie avec les argiles onctueuses et plastiques des dépôts récents.

La présence et l'abondance du carbone, du sel gemme, de la chaux sulfatée, etc., donnent souvent des indications très précises sur l'âge et la nature du terrain qui les renferme. Enfin, la puissance même d'une formation et ses subdivisions naturelles peuvent conduire au même résultat. En un mot, il faut rarement se fier aux caractères minéralogiques considérés isolément; mais l'ensemble de ces caractères suffit quelquefois pour faire reconnaître un terrain.

Les débris organiques que renferment si souvent les dépôts sédimentaires sont d'un secours puissant dans les explorations géologiques. Le nombre des fossiles que l'on peut désigner sous le nom de caractéristiques, c'est-à-dire qui appartiennent exclusivement à une formation, est, il est vrai, très restreint. Mais il en est des fossiles comme des caractères minéralogiques, et c'est plutôt en considérant leur ensemble qu'on peut arriver à de justes appréciations. Ainsi, en comparant les listes de fossiles trouvées dans un terrain dont la position géognostique est incertaine, avec celles qui ont été faites pour des terrains bien déterminés, il est rare qu'on ne puisse reconnaître son rang dans la classification. Cette méthode ne pourrait guère être employée sur place par un observateur; mais il trouve quelquefois son équivalent dans certains fossiles, dont l'abondance est caractéristique, bien qu'ils ne le soient pas eux-mêmes.

Du reste, la superposition et la continuité des couches sont les seules règles de détermination que l'on puisse regarder comme infaillibles pour les formations sédimentaires. Les caractères minéralogiques et zoologiques ne viennent qu'après; mais s'ils sont nettement tranchés et d'un accord constant dans leurs indications, il en résulte des données que l'on peut également considérer comme certaines.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une *formation sédimentaire*, d'après ce qui a été dit précédemment, est l'ensemble des couches déposées dans l'intervalle de deux révolutions.

Les caractères distinctifs d'une formation indépendante sont :

1° Les caractères de gisement et de stratification; une formation indépendante pouvant reposer presque indifféremment sur toutes celles qui l'ont précédée, et présentant avec elles, ainsi qu'avec celles qui l'ont suivie, des discordances de stratification plus ou moins fréquentes.

2° Les caractères de composition; car, malgré les nombreuses anomalies qui peuvent exister, une formation a presque toujours des caractères de composition qui lui sont propres, soit qu'ils résultent de la nature même des roches constituantes ou de substances accidentelles, surtout si on la considère dans des contrées assez rapprochées.

3° Les caractères organiques, soit qu'ils résultent de la présence de certains fossiles qui seront tout à fait propres à cette formation, ou qui s'y trouveront avec une profusion remarquable, soit de l'absence totale de ceux qui caractérisent les formations voisines.

Généralement, deux formations superposées seront distinctement séparées, même lorsque leur stratification sera concordante, si elles ne se suivent pas immédiatement dans l'échelle géognostique, de telle sorte qu'il y ait entre elles une lacune. On voit, dans ce cas, les caractères précités se modifier, à partir d'une ligne nettement déterminée; mais il n'en est pas ordinairement ainsi pour deux formations qui se suivent immédiatement. On voit alors les couches supérieures de l'une alterner avec les couches inférieures de l'autre, les caractères minéralogiques et zoologiques se fondre et se modifier graduellement, de telle sorte qu'il n'y a changement complet qu'en faisant abstraction d'un ensemble de couches plus ou moins puissant. En un mot, lorsque deux formations consécutives se sont superposées sans qu'il y ait discordance dans leur stratification, il y aura très souvent passage de l'une à l'autre.

Les formations se subdivisent en étages, qui peuvent différer entre eux par une composition tout à fait distincte, ou seulement par le développement plus ou moins grand de certaines roches. Ces étages peuvent se diviser eux-mêmes en assises et les assises en couches.

La dénomination de *terrain* a une acception plus étendue que celle de formation. Un terrain peut en comprendre plusieurs qui seront réunies entre elles par des analogies plus ou moins prononcées, de telle sorte que les terrains représenteront les grandes unités, c'est-à-dire les intervalles écoulés entre les grandes révolutions du globe; tandis que les formations qui subdivisent ces intervalles seront isolées entre elles par des révolutions qui, sans modifier aussi complétement la configuration des mers et des masses continentales, auront cependant amené des discordances de stratification, la génération de roches différemment caractérisées, et des changements notables dans la série organique.

L'observateur qui parcourt une contrée où la série des terrains sédimentaires est très développée, doit d'abord bien reconnaître les caractères et les limites des formations les mieux caractérisées, afin de pouvoir ensuite déterminer de proche en proche les formations qui se trouvent au-dessus et au-dessous de ces horizons géognostiques.

En considérant toute la série sédimentaire pour y établir les plus larges subdivisions, deux terrains paraissent plus propres que tous les autres pour remplir ce rôle d'horizons géognostiques. D'abord, le terrain houiller, caractérisé par une très grande abondance de carbone, par un grand développement de roches arénacées et par des débris organiques, surtout des végétaux, très nombreux et très distincts. Ce terrain, étant généralement exploité, est d'ailleurs mieux connu qu'aucun autre, et les discordances de stratification qui l'isolent presque constamment des terrains inférieurs et supérieurs, le désignent en outre comme placé entre deux des principales révolutions du globe. Vient, en second lieu, le terrain crétacé, terrain à la fois très développé et très bien caractérisé sous le rapport minéralogique et zoologique. Les caractères tranchés de ces deux terrains ont déterminé, dès la naissance de la géognosie, la subdivision des terrains sédimentaires en terrains de *transition*, terrains *secondaires* et terrains *tertiaires*.

La série des *terrains de transition*, qui comprend tous les terrains inférieurs au terrain houiller, est principalement composée de schistes, de roches d'agrégation et de calcaires cristallins, qui prennent souvent les couleurs sombres et la structure schisteuse qui semblent caractériser la majorité de ces dépôts. Les êtres organiques commencent à se développer dans cette période, et l'on y voit, outre de nombreux végétaux, des animaux placés tout à fait au bas de l'échelle organique; tels sont les encrines, les productus, les trilobites, les nautiles, les orthocères, etc.... Les dépôts sont en outre remarquables par les dislocations et les contournements qu'ils ont éprouvés; caractère, d'ailleurs, bien naturel, puisque étant les plus anciens, ils durent nécessairement être affectés par toutes les oscillations qui ont eu lieu pendant les périodes suivantes.

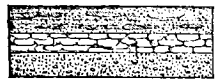
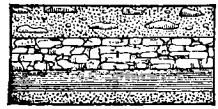
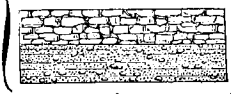
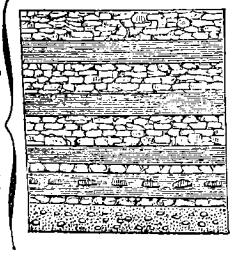
La série des *terrains secondaires* embrasse tous les dépôts compris entre la limite inférieure du terrain houiller et la limite supérieure du terrain crétacé : c'est la série la plus puissante et la plus variée. Les grès, les calcaires, les argiles, en forment presque toute la masse, et les minerais de fer, le gypse, le sel, y constituent des couches et des amas dont l'abondance est souvent caractéristique. Beaucoup de fossiles, tels que les ammonites, les bélemnites, les gryphées, etc., naissent et finissent avec cette période, pendant laquelle on voit se développer les animaux vertébrés.

La série des *terrains tertiaires*, qui comprend tous les dépôts supérieurs au terrain crétacé, se compose aussi principalement de calcaire, de grès et d'argile, mais on y remarque la diminution graduelle de l'influence des agents chimiques. Les roches sont moins compactes; les couches ont plus souvent conservé leur horizontalité; enfin, les débris organiques y sont encore plus nombreux et plus variés que dans la série précédente. On y voit paraître les mammifères représentés, tantôt par des animaux qui n'existent plus, tels que les anoplotherium, les palæotherium, les mastodontes, etc.; tantôt par des analogues aux espèces actuelles, tels que les éléphants, les rhinocéros, les hyènes, les ours, etc.; le nombre des coquilles marines et fluviatiles y est prodigieux, et elles ne présentent que peu d'analogie avec les coquilles secondaires. Les cérites, les turritelles, les cythérées, les planorbes, les lymnées, etc., sont les plus caractéristiques.

Les dimensions de cet ouvrage ne nous permettent pas d'entrer dans les détails de description de chacun de ces terrains en particulier, pour lesquels nous renvoyons aux ouvrages spéciaux, et nous nous contenterons d'en présenter un résumé dans le tableau suivant, dans lequel nous intercalerons, entre chaque formation, les soulèvements qui ont marqué la limite de chacune d'elles. Ce tableau indiquera alors, à la fois, la position relative des terrains, l'époque de l'arrivée au jour des différents systèmes de montagnes, et la direction des couches de sédiment qui ont été relevées.

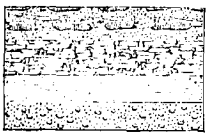
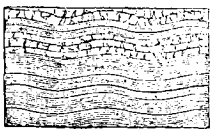
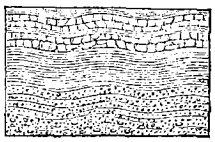
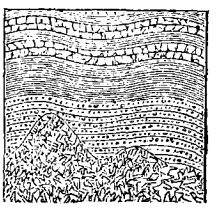
EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU GÉNÉRAL DES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES.

ORDRE.	Sous-groupe de Formations.	FIGURES 1082 A 1088.	NOMS DES FORMATIONS.
ALLUVIONS.	L'homme existe sur la surface du globe.		*Terrains d'alluvion*, volcans modernes éteints et brûlants : les grands volcans des Andes ont été soulevés pendant cette période. Les alluvions sont généralement des sables et des cailloux roulés, en couches irrégulièrement stratifiées et meubles.
			XII. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DE LA CHAINE PRINCIPALE DES ALPES. DIRECTION E. 16°. N.
			*Terrain tertiaire supérieur*, terrains subapennins, molasse, nagelflue, sables des landes, alluvions anciennes de la Bresse, tuf à ossements de l'Auvergne. Les éruptions de trachytes et de basaltes correspondent, en grande partie, à cette époque.
			XI. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES ALPES OCCIDENTALES — DIRECTION N. 26°. E.
TERRAINS TERTIAIRES.	Les mammifères commencent à paraître à la partie inférieure de ce groupe et deviennent très abondants vers son milieu.		*Terrains tertiaires moyens.* Faluns, dépôts arénacés marins, tantôt sableux et renfermant une multitude de coquilles en partie brisées, tantôt réunies par un ciment calcaire, et qui couvrent une partie de la Touraine et de la Loire-Inférieure. Calcaire d'eau douce avec meulières : contient beaucoup de lignites dans le midi de la France et en Allemagne. Grès de Fontainebleau.
			X. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES ILES DE CORSE ET DE SARDAIGNE. DIRECTION N.-S.
			*Terrains tertiaires inférieurs.* Marnes avec gypse, ossements de mammifères. Calcaire grossier, pierre de taille de Paris. Argile plastique, lignites du Soissonnais.
			IX. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DE LA CHAINE DES PYRÉNÉES ET DE CELLE DES APENNINS — DIRECTION E. 18°. S.
			*Craie supérieure.* Couches avec silex. Couches sans silex.
	Terrains ou formations crétacées.		VIII. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU MONT VISO — DIRECTION N.-N.-O. à S.-S.-E.
			*Craie inférieure.* Craie-tuffeau. Grès vert. Grès et sables ferrugineux, terrain néocomien, formation wealdienne.
			VII SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU MONT PILAS, DE LA CÔTE D'OR, DES CÉVENNES ET DE L'ERZGEBIRGE — DIRECTION E. 40°. N.
TERRAINS TERTIAIRES.	Terrains de calcaire du Jura. Abondance considérable de Sauriens. Calcaire oolithique.		*Étage supérieur.* Calcaire de Portland. Argile de Kimmeridge, argile de Honfleur. *Étage moyen.* Oolithe d'Oxford, calcaire de Lisieux, coral-rag. Argile d'Oxford, argile de Dives. *Étage inférieur.* Corn-brash et forest-marble (calcaire à polypiers), grand oolithe (calcaire de Caen), fuller's-earth (banc bleu de Caen), oolithe inférieur. Marnes et calcaires à bélemnites, marnes supérieures du lias, lignites dans les départements du Tarn et de la Lozère. *Lias ou calcaire à gryphites.* Calcaire à gryphées arquées. Grès du lias, ou infraliasique, dolomies.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Suite du Tableau général des formations sédimentaires.

ORDRE.	Sous groupe de Formations.	FIGURES 1089 A 1095.	NOMS DES FORMATIONS.
			VI. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU THURINGERWALD, DU BŒHMERWALD-GEBIRGE ET DU MORVAN — DIRECTION O. 40°. N.
TERRAINS SECONDAIRES.	Trias ou Keuper.		*Marnes irisées* avec un amas de gypse et de sel. Exploitation des lignites en Alsace, en Lorraine et dans la Haute-Saône. *Muschelkalk*, calcaire compacte, grisâtre, souvent fétide, magnésien et très coquillié. *Grès bigarré.*
			V. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES BORDS DU RHIN — DIRECTION N. 21°. E.
	Terrain pénéen. Le zechstein et le grès des Vosges n'existent jamais ensemble.		*Grès des Vosges,* ne renfermant pas de débris organiques.
			IV. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES PAYS-BAS ET DU PAYS DE GALLES DIRECTION E. 5°. S.
			*Zechstein* (calcaire magnésien des Anglais), schistes marne-bitumineux, à poissons du Mansfeld, riches en cuivre. *Grès rouge,* contient des masses de porphyre et des rognons d'agate.
			III. SYSTEME DU SOULÈVEMENT DU NORD DE L'ANGLETERRE — DIRECTION S. 5°. E.
			*Terrain houiller.* Grès, schistes, avec couches de houille et fer carbonaté. Calcaire carbonifère, ou calcaire bleu, avec couches de houille.
TERRAINS DE TRANSITION.	Ce groupe est caractérisé par la grande abondance de cryptogames vasculaires et par l'absence presque complète des plantes dicotylédones; les animaux vertébrés n'y sont représentés que par quelques empreintes de poissons.		II. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DES BALLONS (VOSGES) ET DES COLLINES DU BOCAGE (CALVADOS) — DIRECTION E. 15°. S.
			*Terrain de transition supérieur.* Vieux grès rouge des Anglais. (Système Devonien.) Anthracites de la Sarthe et des environs d'Angers.
			*Terrain de transition moyen.* Calcaire des environs de Brest, calcaire de Dudley. Schistes (ardoises d'Angers). Grès quarzite, caradoc sandstone des Anglais. (Système Silurien.)
			I. SYSTÈME DU SOULÈVEMENT DU WESTMORELAND ET DU HUNDSRÜCK DIRECTION E. 25°. S.
			*Terrain de transition inférieur.* Calcaire compacte esquilleux. Schiste argileux. (Système Cambrien.)
TERRAINS GRANITIQUES.			Granite formant la base principale de la croûte du globe.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TERRAINS IGNÉS.

Les roches ignées, quelle que soit leur homogénéité apparente, sont généralement cristallines et composées de divers minéraux soumis à certaines lois d'association. Ces minéraux sont le feldspath, le pyroxène, l'amphibole, le quarz, le mica, l'amphigène, la serpentine, le péridot et le fer oxydé souvent titanifère.

Ces divers minéraux sont soumis, dans leurs associations, à des affinités et à des antipathies qui paraissent tantôt inhérentes à leur nature, et qui, d'autres fois, semblent résulter de l'état particulier du globe à certaines époques. Ainsi, par exemple, le quarz, si abondant dans les granites, l'est beaucoup moins dans les porphyres; il est très rare dans les trachytes et nul dans les laves modernes. Or, si l'on observe que cette diminution graduelle du quarz dans les roches ignées feldspathiques, coïncide précisément avec leur ordre géognostique, on sera directement conduit à conclure que l'état géogénique du globe fut tel, relativement aux roches ignées, qu'il tendait à l'élimination du quarz : la répulsion constante qui existe entre l'amphibole et le pyroxène, paraît aussi dériver de causes analogues.

Quant aux affinités et aux antipathies purement minéralogiques, on peut citer l'association si fréquente du fer oxydulé et des roches serpentineuses, celle qui existe entre le péridot et les pyroxènes de la formation basaltique, tandis que ce péridot est constamment éliminé par la présence du feldspath. L'exclusion du feldspath par l'amphigène dans une partie des laves modernes, l'abondance du mica dans les granites, tandis que les syénites en contiennent beaucoup moins, les pétrosilex et les trachytes si peu, sont de nouveaux exemples, que l'on pourrait augmenter encore. On s'explique, d'après ces lois d'association, comment il se fait que le nombre des roches soit si peu considérable, relativement à celles dont on pourrait supposer l'existence.

Les formes qu'affectent les roches ignées sont généralement massives; elles présentent peu de lignes de stratification. Souvent elles constituent seules les agglomérations montagneuses, en forme de groupes ou de chaînes, mais plus souvent encore elles ne constituent qu'une partie de ces contrées, soit qu'elles en couronnent les crêtes, soit qu'elles apparaissent au pied des montagnes, comme sur leur fracture d'élévation.

Leurs masses, tantôt agglomérées, tantôt entassées, se lient presque toujours, par leur distribution, aux grands accidents du sol. Quant aux détails de leurs formes, ils dépendent en grande partie de leur position. Les masses isolément superposées à la surface du sol, affectent tantôt celle de dômes arrondis, tantôt celle de murailles crénelées et dentelées, suivant la nature de la roche. Les formes plates et affaissées, celles de coulées plus ou moins morcelées, couronnant des sommités d'une autre composition, sont également très fréquentes. Lorsque les masses ignées sont engagées dans les terrains préexistants, elles se présentent ordinairement sous forme de filons ou masses qui coupent la stratification, dont la puissance peut varier depuis quelques décimètres jusqu'à des centaines de mètres; leurs affleurements, tantôt difficiles à suivre, se prolongent quelquefois, sous forme de hautes murailles, sur plusieurs lieues de longueur. On les voit encore en masses intercalées dans le sens de la stratification, tantôt si régulièrement qu'on les prendrait pour une couche sédimentaire, tantôt avec des renflements, des étranglements et des ramifications qui annoncent leur intercalation postérieure.

Quelle que soit du reste la position de ces masses ignées, les détails de leur forme fournissent généralement des données sur leur mode d'émission et sur leur fluidité primitive. Ces appréciations hypothétiques jettent un intérêt tout particulier sur cette classe de terrains; elles conduisent à la connaissance de leurs phénomènes géognostiques. Quant à leur classification géognostique, elle ne peut guère s'obtenir que par l'étude des rapports qu'ils présentent avec la série des terrains sédimentaires.

En effet, les terrains ignés sont beaucoup plus remarquables par la forme et la hauteur de leurs masses que par leur étendue superficielle. Il en résulte que l'on a rarement des exemples de superposition entre eux, pour constater leur âge relatif; et comme d'ailleurs les diverses parties d'un même terrain ne sont pas contemporaines, leur âge absolu ne peut être déterminé que comparativement aux dépôts sédimentaires.

Les roches des deux séries se trouvent souvent en contact, et cependant l'on pourra, dans beaucoup de cas, parcourir des contrées très étendues, sans que les dépôts sédimentaires présentent d'interruptions. Ces contrées sont celles dont les surfaces planes sont formées de dépôts assez récents, et qui n'ont subi que des dérangements peu considérables. Mais lorsque les dépôts sédimentaires auront été fortement accidentés, de manière à donner naissance à des chaînes ou des groupes de montagnes, il y aura presque toujours certitude de roches ignées.

La présence des roches ignées est donc intimement liée aux bouleversements qu'a subis le sol. Dans le cas de soulèvement d'une chaîne de montagnes à travers une série plus ou moins compliquée de dépôts, elles constitueront souvent l'axe central, qui se trouvera ainsi l'axe minéralogique de la chaîne, les terrains se montrant dans le même ordre sur chaque versant. D'autres fois, les masses ignées se présenteront alignées au pied de la chaîne; mais dans ce cas il y aura grande probabilité que leur sortie ne sera pas contemporaine du soulèvement, et qu'elle n'aura eu lieu qu'à la faveur de mouvements postérieurs. Dans l'un et l'autre cas, la direction de ces masses sera parallèle à la direction de la chaîne, c'est-à-dire à la direction des couches sédimentaires.

Si le soulèvement, au lieu d'avoir eu lieu suivant une ligne droite, n'a affecté qu'un seul point de l'écorce minérale du globe, les dépôts sédimentaires superposés auront été soulevés vers ce point central, vers lequel elles convergeront. Mais n'ayant point assez d'élasticité pour se prêter à la dilatation qu'exige un tel bombement du sol, les couches se sont généralement rompues, laissant dans ce centre une cavité circulaire, que l'on est convenu d'appeler *cratère de soulèvement*. C'est dans le centre de ce cratère que se trouveront généralement les roches ignées contemporaines du soulèvement.

Sous le rapport minéralogique, il semble que des produits d'origines aussi différentes que les roches ignées et sédimentaires, doivent toujours être très distincts. Cette distinction sera en effet très facile toutes les fois que ces dernières seront restées telles que les a faites la sédimentation; mais lorsqu'elles ont été en contact avec les roches ignées, les circonstances énergiques de température et de pression, auxquelles elles ont été soumises, ont plus ou moins altéré leur nature première, de telle sorte qu'un centre de perturbation et d'émission des roches ignées est presque toujours, pour les dépôts sédimentaires, un centre d'altérations, qui iront toujours en diminuant, à mesure qu'on s'éloignera de ce point, mais qui se propageront d'autant plus loin que l'action aura été plus vive et la roche plus impressionnable.

Ces altérations sont faciles à expliquer, lorsque les principes constituants sont restés les mêmes. Ainsi des grès ont souvent été changés, par le contact des roches ignées, en quarz compacte, des calcaires en marbres, des grauwackes en gneiss; mais il n'en est plus de même lorsque de nouveaux principes ont été introduits.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi les calcaires ont été souvent transformés en dolomie. Telles roches de composition très simple se sont pénétrées d'amphibole, de pyroxène, de grenats, de spinelles et autres minéraux de nature ignée. Ces réactions ne se bornèrent pas d'ailleurs à des modifications de roches : les gisements métallifères, les matières qui remplissent un grand nombre de filons, de cavités, paraissent en grande partie liés à cet ensemble d'émanations de l'intérieur et de l'extérieur.

Ces altérations des roches ont souvent eu lieu sur une échelle immense ; des contrées étendues, telles que la région des Alpes, ont pris un *facies* minéralogique évidemment tout différent de celui qu'elles avaient d'abord. Les chances d'altération ayant été d'autant plus grandes que les dépôts étaient plus anciens, il ne faut pas s'étonner de la liaison presque intime qui existe entre les premiers dépôts sédimentaires et les roches ignées anciennes ; cette liaison étant d'ailleurs considérablement augmentée par une grande analogie dans les roches, puisque les eaux n'avaient pas encore eu le temps de modifier complétement l'écorce ignée à peine refroidie, sur laquelle elles avaient été précipitées.

Les rapports géognostiques seront d'une étude bien simple, entre les dépôts sédimentaires, dont l'isochronisme général est très probable, et les masses ignées qui les auront traversées à des époques intermittentes.

Si l'on considère une masse ignée saillante à la surface du sol, elle sera nécessairement postérieure aux roches sur lesquelles elle repose, à moins que la contrée n'ait été tellement bouleversée, que l'on soit en droit de supposer un renversement complet de tout le système qui aurait interverti l'ordre de superposition. Mais de ce que l'on trouvera une roche superposée à certaines couches, il ne s'ensuivra pas qu'elle ne puisse être regardée comme de beaucoup postérieure. Si la masse est intercalée, elle sera postérieure aux roches qu'elle traversera ; mais de ce qu'un filon, traversant un système de couches, s'arrêtera au milieu, on ne pourra pas conclure qu'il est antérieur à toutes celles qu'il ne traverse pas. De même, toutes les roches ignées, intercalées dans un terrain, sont certainement postérieures à celles sur lesquelles elles reposent, mais elles peuvent l'être aussi à celles qui les recouvrent.

Le tableau suivant (fig 1096), dressé par MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, donnera une idée de l'ancienneté des roches d'origine ignée et de la durée de leur émission.

Soit AC, une ligne correspondante à l'époque actuelle ; MN, une autre ligne indiquant l'époque la plus ancienne à laquelle les roches sédimentaires se sont produites ; on voit que :

Le *basalte* O'', a commencé à paraître vers le dernier quart des terrains de sédiment, c'est-à-dire à la hauteur de la partie supérieure de la craie ; il est fort rare à cette époque, et n'a commencé à se produire avec abondance que vers la fin des terrains tertiaires, comme l'indique la figure : il paraît même qu'il s'en forme encore.

Le *trachyte* O', a commencé à peu près à la même époque que le basalte ; il a été surtout abondant aux dernières périodes de la formation du globe, et il s'en produit encore.

Les *mélaphyres m*, ont commencé plutôt que le trachyte, et ont fini un peu avant l'époque actuelle.

Les *trapps d*, ont paru, pour la première fois, environ vers le premier quart des dépôts de sédiment. Les terrains houillers sont traversés par ces roches qui ont été très abondantes vers l'époque du grès rouge et avant le dépôt du calcaire magnésien (muschelkalk).

Les *serpentines* et les *euphotides* O, parcourent une partie plus étendue encore de l'échelle chronologique ; elles paraissent s'être produites dès les terrains de transition, et leur épanchement s'est continué jusqu'aux terrains tertiaires supérieurs.

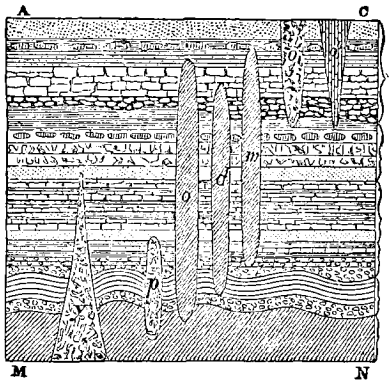
Les *porphyres quarzifères p*, ont commencé à paraître lors des dépôts des terrains de transition, principalement du terrain silurien ; et ils se sont prolongés à peu près jusqu'aux premières époques des éruptions des mélaphyres.

Les *granites y*, très abondants aux premières époques de la formation du globe, se sont prolongés assez avant dans le dépôt des terrains de sédiment ; toutefois, leur émission, considérable dans les premières périodes géologiques, a diminué très rapidement, comme l'indique la figure, à mesure que les terrains de sédiment ont acquis de l'épaisseur.

Les porphyres et les granites, arrivés au jour à l'état pâteux, n'ont point coulé et ne sont point accompagnés de scories ; les filons qu'ils constituent n'ont, en général, qu'une faible étendue, et sont ordinairement terminés en pointe. Les porphyres quarzifères forment cependant quelques filons assez étendus, quoique très minces, et par conséquent ont été plus fluides que les granites. Les porphyres constituent généralement des montagnes en dômes ; les granites affectent aussi quelquefois cette disposition ; mais, le plus ordinairement, ils se présentent sous la forme de chaînes longues et étendues, comme les Alpes et les Pyrénées : le phénomène qui les a produits est donc plus général, et s'est fait sentir sur des espaces plus considérables ; enfin, une grande différence entre le mode d'émission des porphyres et des granites, c'est que ces dernières roches ne sont pas accompagnées de conglomérats.

Les trapps et les basaltes sont ordinairement arrivés au jour par de simples fentes, et se sont étendus en nappes minces sur la surface du sol. Souvent aussi les basaltes se sont soulevés à l'état pâteux pour former des dômes. Ces roches sont accompagnées d'une quantité variable de scories.

Les trachytes présentent quelquefois des couches longues et étendues, qui forment de grandes assises presque horizontales : les monts Dores, et surtout le Cantal, en offrent des exemples re-



1096

EFERUS - Recherche & Classification numérique

marquables. Dans ce cas, cette roche est évidemment arrivée fluide à la surface du sol; dans d'autres circonstances, elle s'est soulevée à l'état de masse pâteuse, et a formé des montagnes arrondies, comme le Puy-de-Dôme; elle est toujours accompagnée d'une masse considérable de conglomérats et de scories presque toujours ponceuses.

DISPOSITION GÉNÉRALE DES MASSES QUI FORMENT LE SOL DE LA FRANCE.

Nous terminerons cet article en empruntant au savant travail (*Carte géologique de la France*, ouvrage actuellement en grande partie publié), exécuté de 1825 à 1835 par MM. Dufrénoy et Elie de Beaumont, sous la direction de M. Brochant de Villiers, et sous les auspices de l'administration des travaux publics, quelques détails sur l'ensemble de la constitution géologique de notre pays.

« Si l'on examine la carte géologique de la France, on remarque que les diverses formations du terrain jurassique y forment comme une large écharpe qui traverse obliquement la partie centrale de la carte, des environs de Poitiers à ceux de Metz et de Longwy.

« Cette écharpe se recourbe d'une part, vers le haut, du côté de Mézières et de Hirson, et, de l'autre, vers le bas, du côté de Cahors et de Milhau; mais en même temps il s'en détache deux branches, dont l'une, se repliant au nord-ouest, se dirige sur Alençon et Caen, tandis que l'autre, descendant au midi, suit d'abord la Saône et ensuite le Rhône depuis Lyon jusqu'au-delà de Privas, et tourne autour des Cévennes jusqu'au-delà de Montpellier, pour aller rejoindre la première branche dans le département de l'Aveyron.

« Ces bandes, recourbées, projettent en outre, dans différentes directions, des appendices irréguliers; mais ce qu'elles présentent de plus remarquable, c'est qu'en faisant abstraction de ces irrégularités et en les réduisant par la pensée à leur plus simple expression, on voit ces bandes former deux espèces de boucles, qui dessinent sur la surface de la France une figure dont la forme générale est celle d'un 8 ouvert par le haut.

« Ces assises du calcaire jurassique, qui nous présentent l'immense avantage de pouvoir être poursuivies à découvert, d'une manière sensiblement continue, d'un bout de la France à l'autre, suivant des contours variés qui en touchent presque toutes les parties, se prolongent souterrainement dans des espaces beaucoup plus étendus que ceux où elles forment la surface; mais la manière dont elles s'enfoncent ainsi pour s'étendre par-dessous terre n'est pas la même dans toutes les parties de leur contour apparent.

« Si les deux boucles supérieure et inférieure que présente la figure analogue à celle d'un 8, qu'elles dessinent sur la surface, ont entre elles une sorte de correspondance, elles présentent en même temps une opposition complète dans la manière dont les couches jurassiques y sont disposées relativement aux masses qui occupent les deux espaces qu'elles entourent vers le nord et vers le sud : en effet, la boucle inférieure ou méridionale circonscrit un massif proéminent, formé principalement de terrain granitique. C'est le massif montagneux de la France centrale, couronné par les roches volcaniques du Cantal, du Mont-Dore et du Mézenc. Cette boucle méridionale est ainsi moins élevée que l'espace qu'elle entoure, tandis que la boucle supérieure ou septentrionale, qui forme le contour d'un bassin dont Paris occupe le centre, est, en grande partie, plus élevée que le remplissage central de ce bassin. L'intérieur de ce bassin est occupé par une succession d'assises à peu près concentriques, comparables à une série de vases semblables entre eux, qu'on fait entrer l'un dans l'autre pour occuper moins d'espace.

« La différence la plus essentielle des deux boucles opposées de notre 8 est que l'une recouvre, et que l'autre supporte les masses minérales qui occupent l'espace qu'elle entoure. La boucle inférieure et méridionale est formée par des couches qui s'appuient sur le bord du massif granitique qui leur sert de centre, et, en quelque sorte, de noyau; la boucle supérieure et la plus septentrionale est formée, au contraire, par des couches qui s'enfoncent de toutes parts sous un remplissage central auquel elles servent de support, de bassin, de récipient, et dont elles excèdent généralement la hauteur.

« La disposition des couches jurassiques, dont nous venons de donner l'indication, est liée de la manière la plus intime à la structure, tant intérieure qu'extérieure, de la plus grande partie du territoire français. Nous pouvons le faire aisément comprendre, en esquissant rapidement les traits extérieurs par lesquels sa structure extérieure se décèle.

« Les deux parties principales du sol de la France, le dôme de l'Auvergne et le bassin de Paris, quoique circulaires l'une et l'autre, présentent, comme on vient de le voir, des structures diamétralement contraires. Dans chacune d'elles, les parties sont coordonnées autour d'un centre; mais ce centre joue, dans l'une et dans l'autre, un rôle complétement différent.

« Ces deux pôles de notre sol, s'ils ne sont pas situés aux deux extrémités d'un même diamètre, exercent en revanche, autour d'eux, des influences exactement contraires : l'un est en creux et attractif; l'autre, en relief, est répulsif.

« Le pôle en creux vers lequel tout converge, c'est Paris, centre de population et de civilisation. Le Cantal, placé vers le centre de la partie méridionale, représente assez bien le pôle saillant et répulsif. Tout semble fuir en divergeant de ce centre élevé, qui ne reçoit du ciel qui le surmonte que la neige qui le couvre pendant plusieurs mois de l'année. Il domine tout ce qui l'entoure, et les vallées divergentes versent leurs eaux dans toutes les directions. Les routes s'en échappent en divergeant comme les rivières qui y prennent leurs sources. Il repousse jusqu'à ses habitants, qui, pendant une partie de l'année, émigrent vers des climats moins sévères.

« L'un de nos deux pôles est devenu la capitale de la France et du monde civilisé, l'autre est resté un pays pauvre et presque désert.

« La structure de la plus méridionale des deux parties de territoire que nous venons d'opposer l'une à l'autre se dessine par des traits qui doivent frapper bien plus, au premier abord, que ceux de la partie septentrionale, puisque ces traits sont les montagnes les plus élevées de l'intérieur de la France. Cependant, lorsqu'on y regarde de plus près, la structure en forme de bassin de la partie septentrionale se dessine, de son côté, avec une netteté toute particulière, au moins dans sa partie orientale.

« La partie orientale est, en effet, celle dans laquelle le contour jurassique du bassin s'élève à la plus grande hauteur. Les différentes assises dont il se compose ont été usées inégalement par les révolutions du globe, et, suivant leurs divers degrés de dureté, elles forment comme une série de moulures concentriques les unes aux autres. Il est arrivé la même chose aux assises, de solidité diverses, qui se trouvent appliquées successivement l'une sur l'autre dans l'intérieur du bassin. De là une série de crêtes saillantes formées par les extrémités des couches les plus solides. Ces crêtes tournent parallèlement les unes aux autres autour de Paris, qui est leur centre commun. Les rivières qui, comme l'Yonne, la Seine, la Marne, l'Aisne, l'Oise, convergent vers le centre du bassin parisien, traversent les crêtes successives dans des défilés que les révolutions du globe ont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ouverts pour elles. Ces mêmes crêtes forment les lignes naturelles de défense de notre territoire, et les opérations stratégiques de toutes les armées qui l'ont attaqué ou défendu s'y sont toujours coordonnées par la force même des choses.

« Jamais cette vérité n'a été mise plus vivement en lumière que dans la mémorable campagne de 1814. Sur la crête la plus intérieure formée par le terrain tertiaire, ou tout près d'elle, se trouvent les champs de bataille de Montereau, de Nogent, de Sésanne, de Vauchamps, de Montmirail, de Champaubert, d'Épernay, de Craone, de Laon.

« Sur la deuxième, formée par la craie, se trouvent Troyes, Brienne, Vitry-le-Français, Sainte-Ménéhould. Là aussi se trouve Valmy !

« La troisième crête, beaucoup moins prononcée et plus inégale, présente cependant les défilés de l'Argonne.

« Près de la quatrième ligne saillante, qui déjà appartient au terrain jurassique, se trouvent Bar-sur-Seine, Bar-sur-Aube, Bar-le-Duc, Ligny.

« Près de la cinquième, qui est également jurassique, sont Châtillon-sur-Seine, Chaumont, Toul, Verdun.

« La sixième, déjà un peu excentrique, est formée par les coteaux élevés qui dominent Nancy et Metz, et qui s'étendent sans interruption, depuis Langres jusqu'à Longwy, Montmédy, et jusqu'aux environs de Mézières.

« Paris est placé au milieu de cette sextuple circonvallation opposée aux incursions de l'Europe, et traversée par les vallées convergentes des rivières principales.

« Vers le nord-est, la branche orientale du grand S jurassique ne se recourbe que souterrainement et cesse de saillir à la surface. Aussi a-t-on depuis longtemps senti la nécessité de suppléer à l'absence de lignes naturelles de défense, en renforçant, cette partie faible de nos frontières, par une triple rangée de places fortes.

« Du côté du nord-ouest, la ceinture jurassique s'interrompt ; elle est coupée par les rivages de la Manche, qui empiètent sur le bassin septentrional.

« A l'ouest et au midi de Paris, les traits principaux de sa forme reparaissent, quoique moins prononcés que vers l'est. On les retrouve, en grande partie, dans la structure intérieure du sol ; mais ils n'ont pas été mis aussi complétement à découvert par les phénomènes géologiques qui ont façonné la surface. Leur influence est, d'ailleurs, contre-balancée par certaines dispositions excentriques. Le calcaire grossier des environs de Paris reparaît près de Rennes, de Machecoul et de Bordeaux, ce qui semble faire du bassin de la Gironde un appendice naturel de celui de la Seine. De plus, le grand plateau du terrain tertiaire moyen qui s'étend de la Beauce à la Bretagne et à la Gascogne semble être une plate-forme naturelle jetée sur tous les accidents intérieurs du sol pour rendre plus faciles les communications du centre parisien avec l'est et le sud-ouest.

« On voit donc que l'emplacement de Paris avait été préparé par la nature, et que son rôle politique n'est, pour ainsi dire, qu'une conséquence de sa position. Les principaux cours d'eau de la partie septentrionale de la France convergent vers la contrée qu'il occupe, d'une manière qui nous paraîtrait bizarre si elle nous était moins utile et si nous y étions moins habitués. Enfin la nature, prodigue pour cette même partie de la France, l'a dotée d'un sol fertile et d'excellents matériaux de construction. Environnée de contrées beaucoup moins favorisées, telles que la Champagne, la Sologne, le Perche, elle forme au milieu d'elles comme une oasis. L'instinct qui a dicté à nos ancêtres le nom d'*Ile-de-France*, pour la province dont Paris était la capitale, résume d'une manière assez heureuse les circonstances géologiques de sa position.

« Ce n'est donc ni au hasard ni à un caprice de la fortune que Paris doit sa splendeur, et ceux qui se sont étonnés de ne pas trouver la capitale de la France à Bourges, ont montré qu'ils n'avaient étudié que d'une manière superficielle la structure de leur pays. Cette capitale n'a pris naissance et surtout n'a grandi, là où elle se trouve, que par l'effet de circonstances naturelles résultant, en principe, de la structure intérieure de notre sol. »

En terminant, nous ferons remarquer que l'élévation du centre de la France au-dessus du bassin septentrional est cause que notre pays présente, jusqu'à un certain point, dans tous les départements, la même température moyenne, égalité d'où résulte en grande partie l'homogénéité et l'unité remarquables que présente une réunion d'hommes aussi considérable que la nation française. La Gascogne et le littoral de la Méditerranée sont les deux exceptions les plus notables aux observations de position qui viennent d'être indiquées ; aussi remarque-t-on que les noms de *Gascons* et de *méridionaux* sont les distinctions les plus tranchées qu'on puisse signaler parmi les Français. P. DEBETTE.

GIROFLE (*angl.* clove, *all.* gewürznægelein). Fleur du *caryophillus aromaticus* de Linnée, petit arbre de la famille des myrthes, recueillie avant son épanouissement. Cet arbre est originaire des Moluques, et fut introduit en 1770, par Poivre, dans nos colonies orientales.

Les clous de girofle ont une odeur analogue à celle de l'œillet, mais beaucoup plus forte ; ils ont de 10 à 15 millimètres de longueur, et sont formés d'un calice prismatique, tétragone, légèrement aplati, rugueux, d'une couleur brune, étalé et divisé en quatre vers la partie supérieure. Là se trouvent les pétales encore réunis, formant une masse sphéroïdale tétragone, plus pâle que le calice et alternant avec ses divisions.

Dans le commerce on distingue trois sortes de girofle, qui sont, dans l'ordre de leur qualité : celui des Moluques, celui de Cayenne et celui de l'île Bourbon.

GLACE (*angl.* ice, *all.* eis.) Depuis quelques années, la glace est devenue un article de commerce entre les pays où elle se trouve en abondance et ceux où elle est rare ou ne se produit pas. C'est dans l'Amérique du Nord qu'est née cette intéressante industrie. Elle a commencé au lac Wenham, situé à 18 milles environ de Boston, aux Etats-Unis d'Amérique ; et dans ces dernières années, on a emprunté pour l'Europe, à quelques lacs de Norwége, de grandes quantités de glace.

On lira, nous pensons, avec intérêt, la traduction d'un article dans lequel l'*Illustrated London News* nous a fait connaître quelques détails sur la formation de la compagnie du lac Wenham et sur les procédés qu'elle emploie.

En septembre 1833 un chargement de glace fut embarqué à Boston et déchargé à Calcutta, où il fut vendu 3 pences la livre, tandis que celle du pays coûtait 6 pences. Elle avait été arrimée en larges cubes rapprochés avec soin les uns des autres, de manière à former une masse solide, dans des chambres à double plancher, avec une couche de tan de rebut ou d'écorce entre eux. La quantité embarquée avait été de 180 tonnes dont 60 fondirent dans le voyage et 20 en remontant la rivière de Calcutta. Mille tonnes partent maintenant chaque année de Boston pour les Indes, les Antilles et l'Amérique du Sud. La compagnie a établi de grandes glacières à Londres et à Liverpool, et s'est organisée pour importer en Angleterre 1,000 tonnes de glace chaque année. Les masses sont si grandes, que les surfaces exposées à l'air sont relativement petites, et par suite que la perte est très-faible. Il est d'ailleurs reconnu par l'expérience que la glace produite sur l'eau profonde est beaucoup plus dure et plus résis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tante que la glace de même épaisseur produite sur l'eau moins profonde, et fond plus lentement.

Dans l'Amérique du Nord, le climat assure la congélation des lacs chaque année; quand le froid de l'hiver est intense, le découpage, la récolte et le transport de la glace s'opèrent comme il suit.

Le lac Wenham occupe une position élevée, au milieu de collines rugueuses. Ses eaux n'ont pas d'issue régulière et paraissent filtrer par des fissures des rochers qui en forment le fond; sa profondeur est de 200 pieds. Une glacière pouvant contenir 20,000 tonnes de glace est construite sur ses bords; elle est en bois et entourée de deux murs distants de 2 pieds, intervalle qui est rempli avec de la sciure de bois.

Les appareils qui servent à couper la glace sont mus par des hommes et des chevaux. On balaie la neige quand on a vérifié que la glace s'est bien formée, qu'elle a atteint l'épaisseur convenable pour être exploitée, c'est-à-dire environ un pied d'épaisseur. On choisit alors un espace d'environ 2 acres qui, à cette épaisseur, fournit environ 2,000 tonnes, et deux lignes droites sont alors tracées à angle droit à travers le centre. Une petite charrue à main est poussée le long d'une de ces lignes, jusqu'à ce que le sillon creusé ait environ 3 pouces de profondeur et 1/4 de pouce de largeur; alors le *marker* (fig. 1096 *bis*) y est introduit. Cet appareil est traîné par deux chevaux et pratique deux nouvelles rainures parallèles à la première, distantes de 21 pouces. Le *marker* est alors transporté dans la dernière rainure et en trace deux autres nouvelles. Après avoir ainsi couvert la surface de lignes dans une direction, la même opération s'effectue dans une direction transversale et toute la surface de la glace est divisée en carrés de 21 pouces de côté. Alors une charrue traînée par un seul cheval repasse dans ces rainures et les creuse à la profondeur de 6 pouces. Une rangée entière de blocs est alors sciée entièrement et le reste détaché successivement à l'aide d'un lourd coin en fer dit *bêche à glace*, qu'on fait tomber dans la rainure et

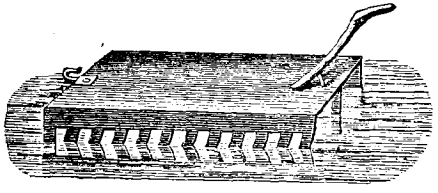


Fig. 1096 *bis*.

qui détache un bloc par un choc assez faible, surtout quand le temps est très-froid, le travail de la division de la glace étant facilité par une température convenable. Des plates-formes basses sont placées près de la partie de la glace où l'on travaille, elles portent des glissières en fer qui s'étendent dans de l'eau; un homme se place de chaque côté de ces glissières, armé d'un crochet à glace avec lequel il saisit les morceaux de glace, et, par une secousse brusque les élève le long des glissières sur la plate-forme. Dans un temps froid, tout ceci est rapidement couvert de glace par la congélation de l'eau sur les plates-formes, glissières, etc., et d'énormes blocs, dont le poids dépasse 2 quintaux, sont élevés le long de ces surfaces glissantes avec grande facilité. D'un côté de la plate-forme, on place un traîneau de hauteur égale, pouvant contenir environ 3 tonnes, et qui, quand il est chargé, est traîné sur la glace jusqu'au magasin, devant lequel est une grande plate-forme fixe de même hauteur, disposée pour recevoir la charge; elle y est rapidement placée et les blocs entrés en magasin.

Quarante hommes, employant douze chevaux, peuvent couper et enlever 400 tonnes en un jour. Quelquefois, quand le temps est favorable, 100 ouvriers travaillent en même temps. Quand le dégel ou la pluie survient, la glace devient poreuse et opaque; elle n'est plus de vente; quand la neige est suivie de la pluie, et celle-ci de la gelée, la glace de neige ainsi formée est enlevée à l'aide d'une *plane*.

L'opération de planer est à peu près semblable à celle de la taille. Un rabot-plan, guidé par les rainures faites par le traceur, et planant la glace à une profondeur de 3 pouces, est conduit par un cheval jusqu'à ce que toute la surface de la glace soit planée. Les copeaux produits sont enlevés, et si on n'est pas encore arrivé à la glace transparente, l'opération est renouvelée. Si elle rend la glace trop mince pour être coupée, on attend quelques nuits de forte gelée pour qu'il se reforme par-dessous une couche aussi épaisse que celle qui a été enlevée par-dessus.

Outre ces glacières près du lac et dans les grandes villes, la compagnie remplit un grand nombre de glacières privées pendant l'hiver; toute la glace nécessaire est transportée par les chemins de fer.

GLACIÈRE (*angl.* ice house, *all.* eiskeller). Il est très-important pour les besoins des sciences, de la médecine et de l'hygiène publique, de pouvoir se procurer de la glace en tout temps et à bas prix. Le procédé le plus économique et le plus usité consiste dans l'emploi de *glacières*, sortes de caves le plus ordinairement de grande dimension, où l'on entasse de la glace pendant l'hiver, en quantité suffisante pour la consommation de l'année, et dans des conditions convenables pour que la fusion ne s'y fasse pas, ou au moins soit assez lente pour que la perte ne soit pas très-grande. C'est surtout en ayant soin de protéger par des couches d'air stagnant les masses de glace contre l'action de la chaleur solaire qu'on y parvient.

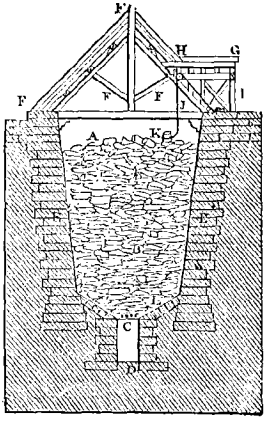


Fig. 1097.

La fig. 1097 représente, en coupe, une glacière construite d'après les règles les plus ordinaires, et dont les dimensions varient avec la quantité de glace à conserver : A B, amas de glace bien tassée, reposant sur une grille C, qui laisse passer l'eau, qui s'est formée par la fusion de la glace, dans le puisard D, d'où on la retire de temps à autre. E, E, parois en maçonnerie de la glacière supportant le chapeau protecteur, la charpente F F, qui est recouverte d'une couver-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture en chaume très épaisse; I, une des portes d'entrée située dans le corridor H G. On retire la glace à l'aide d'un tonneau K suspendu à une corde J, qui passe sur la poulie du palan M.

On remplit la glacière pendant les jours les plus froids de l'hiver, soit avec de la glace, soit à son défaut avec de la neige bien tassée, et l'on arrose aussitôt après avec un peu d'eau glacée qui se congèle, et qui en réunissant toute la glace en une seule masse empêche l'air de circuler aussi aisément dans son intérieur et retarde ainsi sa fusion. On recouvre la glace de paille, par dessus laquelle on met des planches que l'on charge de pierres.

Aux États-Unis, pays où la glace forme un article de consommation très important, on élève quelquefois les glacières au-dessus du sol, en plein air, en les composant de bâtiments en madriers à claire-voie, recouverts de tous côtés de plusieurs couches de paille.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a souvent proposé et maintient encore des prix pour la construction d'un appareil simple et peu coûteux qui puisse permettre à chaque ménage de s'approvisionner de glace pour l'été. C'est sûrement une bonne idée que celle de chercher à obtenir des appareils économiques, pouvant entrer dans l'économie des ménages et permettant de répandre l'usage de la glace, indispensable pour la médecine et l'économie domestique; c'est ce besoin qui a fait le succès des appareils propres à obtenir de la glace par procédé chimique, que nous avons décrit à l'article CONGÉLATION. Mais par ces procédés la glace revient à un prix élevé et ne saurait entrer dans la consommation de toutes les classes. Cependant, dans les pays chauds notamment, une glacière pour la conservation des substances alimentaires, pour en éviter la corruption, est d'absolue nécessité.

La solution de ce problème, que nous désirons vivement voir résoudre, l'établissement de petites glacières, nous paraît seulement exister dans l'emploi d'un vase servant de glacière, et entouré de plusieurs enveloppes concentriques d'air stagnant disposées d'une manière convenable et comprises entre des parois imperméables, métalliques ou non. On pourrait placer l'appareil de manière à pouvoir découvrir son abri le soir pendant l'été, afin de profiter du refroidissement par rayonnement qui produit le phénomène de la rosée. Nous serions heureux, si cette idée pouvait amener quelqu'un de nos lecteurs à la solution cherchée. On emploie déjà, dans quelques circonstances, avec beaucoup de succès, les enveloppes d'air stagnant pour éviter les pertes de chaleur; rien n'empêche qu'on ne les fasse servir à prévenir la propagation de celle-ci en sens contraire.

P. D.

GLU (*angl.* bird lime, *all.* vogelleim). La glu est une substance particulière, molle, d'un blanc verdâtre ou jaunâtre, fusible, combustible, qui s'attache fortement aux corps qu'elle touche. Elle est insoluble dans l'eau et les alcalis; l'alcool bouillant, les acides froids, et surtout l'éther, peuvent la dissoudre. On l'emploie pour enduire les *gluaux* qui servent à prendre les oiseaux à la *pipée*.

La glu se prépare avec l'écorce moyenne du houx (*ilex aquifolium*, Lin.). Pour cela, on la fait bouillir dans l'eau et on la bat dans un mortier jusqu'à ce qu'elle soit réduite en pulpe. On la porte alors dans une cuve ou dans tout autre endroit humide, où elle subit une espèce de putréfaction qui la transforme en une substance jouissant des propriétés qui ont été indiquées ci-dessus. Pour la purifier, il suffit de se mouiller les mains pour qu'elle ne s'y attache pas, et de la laver à grande eau en la malaxant. On la conserve dans l'eau ou du parchemin enduit d'huile.

GLU-MARINE. Dans ces dernières années on a trop vanté pour abandonner ensuite trop complétement peut-être une colle qui peut rendre des services importants dans les constructions navales; nous voulons parler de la glu-marine, inventée par M. Jeffery de Londres. On a pu voir à l'Exposition de 1844 l'exemple de plusieurs applications dans lesquelles son emploi est avantageux.

Cette colle consiste dans une dissolution de caoutchouc dans l'huile essentielle de goudron, à laquelle on ajoute de la gomme laque. Les proportions employées sont de 450 grammes environ de caoutchouc pour 18 litres d'huile essentielle de goudron. Quand le caoutchouc est entièrement dissous, et que le mélange a acquis la consistance d'une crème épaisse, ce qui a lieu après dix jours, on y ajoute deux ou trois parties en poids de laque, pour une partie de dissolution. La matière est ensuite chauffée et coulée en plaques. Elle s'emploie à une température assez élevée, à 120° centigrades environ.

La force d'adhésion de cette glu-marine est très grande, il est seulement à regretter que le prix des matières qui la composent soit un peu élevé. Cette colle, complétement insoluble dans l'eau, convient surtout pour les constructions navales, notamment pour les accidents qui arrivent en mer; étant employée à une assez haute température, elle ne coule pas par l'effet de la chaleur produite par l'action du soleil. Elle présente ce résultat bien remarquable de résister à une traction de 20 à 25 kilogr. par centimètre carré, tandis que la résistance pratique du sapin, en travers des fibres, ne dépasse pas 12 ou 15 kilogr., d'où il suit qu'avec la glu-marine les chances sont moindres de voir rompre une pièce de bois par le joint collé qu'à travers le bois lui-même; tout au moins les chances de rupture sont à peu près égales, en supposant quelque exagération dans les chiffres ci-dessus.

Disons enfin que la glu-marine ne peut s'appliquer que sur des bois préalablement séchés assez complétement, comme il est facile de le prévoir, puisqu'elle n'est bien liquide qu'à une température déjà assez élevée, capable par suite de faire dégager de nombreuses vapeurs au contact de bois humide.

GLUCINE (*angl.* glucina, *all.* beryllerde). Oxyde du métal terreux le *glucinium;* la glucine a été découverte par Vauquelin dans l'émeraude. C'est un corps blanc, analogue à l'alumine, et qui ne s'en distingue guère qu'en ce qu'elle est soluble dans le carbonate d'ammoniaque.

GLUCOSE. M. Dumas a désigné sous le nom de *glucose* les divers produits sucrés qui présentent une cristallisation confuse ou mamelonnée. Les sucres de raisin, de fruit, d'amidon, de diabètes, etc., auraient donc la même composition aux yeux de ce chimiste célèbre; et si les expériences de MM. Bouchardat et Biot tendent à prouver que l'espèce *glucose* comprend plusieurs variétés, il n'en est pas moins convaincu qu'on finira par trouver la glucose identique, quelle que soit son origine, quand on aura soumis toutes les variétés de sucre dont nous avons parlé à des expériences comparatives et multipliées.

La glucose desséchée à 100° paraît formée de :

Carbone.	36,8
Hydrogène.	7.0
Oxygène.	56,2
	100,0

Composition qui peut se représenter par la formule suivante :

$$C^{12}\ H^{28}\ O^{14}.$$

Soumise dans le vide à une température de 130°, ce corps perd deux atomes d'eau.

La plupart des fruits, le miel, l'urine des diabétiques, le suc des fleurs doivent à la glucose leur saveur sucrée. L'amidon, la cellulose, le sucre de canne, la gomme,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le sucre de lait, etc., sous l'influence des acides étendus, donnent naissance à ce produit, et tout semble prouver que le sucre de raisin a une composition identique à la sienne.

La glucose se distingue du sucre de canne non seulement par sa cristallisation, mais encore par l'action des alcalis qui la brunissent, tandis qu'ils n'agissent pas sur le sucre de canne; elle a, en outre, une grande tendance à s'emparer de l'oxygène, ce que ne fait pas le dernier. De là un procédé pour reconnaître si du sucre de canne renferme de la glucose. Si on dissout, par exemple, du tartrate de deutoxyde de cuivre dans une solution de potasse chauffée à 100°, le sucre de canne qu'on y projette ne donne lieu à aucun phénomène particulier, tandis que la présence de la glucose dans ce sucre, produit immédiatement un précipité d'hydrate de protoxyde de cuivre jaune, qui perd bientôt son eau pour produire du protoxyde de cuivre rouge et pulvérulent.

M. Barreswil, se fondant sur cette réaction, a imaginé un procédé pratique pour faire l'essai des sucres au moyen de liqueurs titrées.

La glucose entre en fusion à une température peu élevée; à 140°, elle se convertit en caramel; et, si on chauffe davantage, elle donne naissance aux mêmes produits que ceux qu'on obtient par la décomposition du sucre de canne dans les mêmes circonstances.

La glucose est moins soluble dans l'alcool que le sucre de canne; les acides concentrés la détruisent, et la transforment en acide saccharique et en acide oxalique. Dissoute dans l'eau, la glucose, en présence d'un ferment, éprouve immédiatement la fermentation alcoolique; on sait que tous les sucres ne se transforment en alcool qu'après s'être préalablement transformés en glucose.

Cette matière sucrée peut, comme le sucre de canne, donner naissance à des sels à bases de baryte, de chaux et de plomb; on a même découvert un glucosate de sel marin.

Nous avons dit qu'on pouvait obtenir la glucose de différentes manières; mais en grand, c'est de la fécule qu'on extrait cette matière.

La diastase et l'acide sulfurique peuvent également s'employer pour cette préparation; mais si le premier de ces deux agents donne des produits plus purs et plus agréables au goût, le second agit plus rapidement sur la fécule, et a, en outre, l'avantage de se trouver partout; aussi est-il le seul qui s'emploie industriellement.

En France, la fabrication de la glucose a fait de rapides progrès; dernièrement aussi, on préparait ce produit dans onze fabriques, qui en livraient au commerce 6,000,000 de kilogrammes.

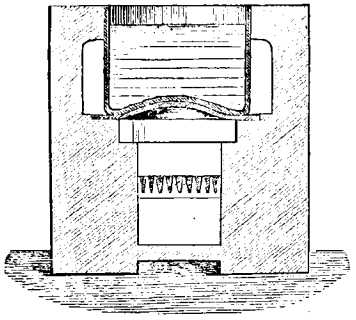
Les opérations qui ont lieu dans la fabrication du sucre de fécule sont au nombre de dix :

1° Saccharification;
2° Saturation;
3° Dépôt et soutirage au clair;
4° Première filtration sur du noir animal;
5° Première évaporation,
6° Seconde filtration;
7° Cuite du sirop;
8° Repos et refroidissement;
9° Cristallisation et clairçage;
10° Egouttage et séchage.

Le but de la *saccharification* est de désagréger rapidement la fécule, de la convertir en dextrine, puis en sucre, à l'aide de l'acide sulfurique étendu, chauffé à 100°, température qui doit rester la même pendant toute la réaction.

Sous l'influence de l'eau chaude, chaque grain de fécule se gonfle, se distend, et, en présence de l'acide, se transforme en dextrine et devient soluble; à son tour, la dextrine est transformée en glucose. On peut opérer à feu nu ou à la vapeur; le second mode de chauffage est généralement employé; le premier est défectueux, car, quand on l'emploie, il est bien difficile de rester dans les limites de la température voulue; et si on chauffe trop, il y a coloration du produit. Cependant, comme il est des circonstances où le chauffage à feu nu doit être employé, nous allons donner la description de l'appareil le plus généralement adopté dans ce cas.

Au-dessus d'un foyer ordinaire (fig. 1098), on dis-



1098.

pose un disque de fonte bombé, sur lequel repose une chaudière en plomb, dont le fond a la même forme que le disque destiné à la protéger d'un coup de feu trop violent. Dans cette chaudière, on met un poids d'eau quatre fois plus considérable que celui de la fécule qu'on veut saccharifier; on ajoute peu à peu à cette eau une quantité d'acide sulfurique égale à la cinquantième partie du poids de cette fécule, et on chauffe le mélange jusqu'à l'ébullition. On met alors la fécule pulvérulente et sèche dans le liquide bouillant, portions par portions, sans cesser le feu, et en agitant continuellement pour empêcher le mélange de s'épaissir, car une formation d'empois s'opposerait aux réactions et à la transmission facile de la chaleur.

La saccharification terminée, ce que l'on reconnaît à l'action de l'iode sur la dissolution, on arrête le feu et l'on sature l'acide sulfurique, dont l'action prolongée brunirait le liquide. Pour saturer cet acide, qui se trouve à l'état libre dans la dissolution, on emploie la craie de préférence à la chaux, car elle coûte moins cher que cette dernière. Les débris de pains de blanc de Meudon réduits en poudre sont excellents pour cet usage.

On ne doit ajouter que peu de carbonate de chaux à la fois, car si le dégagement de l'acide carbonique qui est mis en liberté était trop violent, comme le liquide est visqueux, tout déborderait et la chaudière serait vidée.

On doit aussi, pendant la saturation, agiter le mélange avec un râble, pour établir le contact, afin qu'il ne reste pas de craie non attaquée.

Quand l'effervescence cesse, on s'assure, à l'aide d'un papier de tournesol bleu, que tout l'acide sulfurique est saturé, et s'il ne l'était pas on ajouterait encore de la craie jusqu'à ce que le papier bleu cessât d'être rougi.

Quant au chauffage à la vapeur, son emploi nécessite des appareils différents. On fait usage alors d'une grande et forte cuve couverte, chauffée à l'aide d'un tuyau en cuivre ou en plomb qui décrit un cercle au fond de cette cuve.

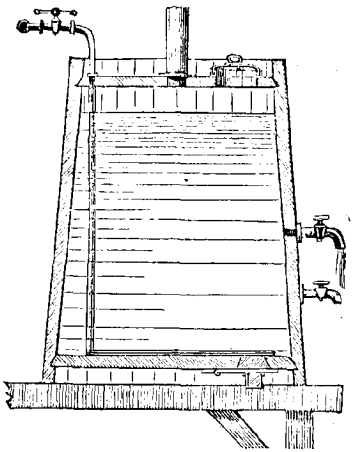
La vapeur est introduite dans l'appareil par des traits de scie disposés sur le côté du tuyau, car si elle arrivait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à plein jet dans le liquide, surtout au commencement d'une opération, sa condensation serait si rapide, qu'il y aurait absorption, et une partie du sirop pourrait remonter dans le tuyau de vapeur et se rendre dans le générateur; outre la perte de matière sucrée qui en résulterait, il se produirait des chocs nuisibles à la solidité de l'appareil.

A l'aide de la disposition employée, on évite ces deux inconvénients, car alors le liquide de la cuve ne peut remplir complétement le tuyau d'arrivée de vapeur.

Nous donnons ci-dessous le dessin d'une cuve à saccharification (fig. 1099).



1099.

Si l'on veut traiter à la fois 500 kilogr. de fécule l'appareil doit contenir 25 hectolitres : on commence par y verser 10 hectol. d'eau, puis 10 kilogr. d'acide sulfurique, en ayant soin d'agiter le mélange; on laisse alors arriver la vapeur. Dès que la température est à 100° on ajoute la fécule délayée dans son poids d'eau tiède, par portions de 50 kilogr. à la fois, on a soin d'agiter pour empêcher l'épaississement du mélange. Dans quelques fabriques on emploie des agitateurs mécaniques, mais le plus souvent l'agitation se fait à la main, au moyen d'un râble qu'on introduit dans la cuve, par un trou d'homme, à fermeture hydraulique percé dans le couvercle. On reste deux heures à introduire les 500 kilogr. de fécule dans l'eau acidulée; vingt minutes après la saccharification est complète.

On s'assure que toute la substance amylacée a disparu en puisant dans une soucoupe un peu de liquide, qu'on laisse refroidir; ce liquide doit être transparent, et, traité par une dissolution d'iode, il ne doit point se colorer.

On arrête alors l'introduction de la vapeur et on commence la saturation à l'aide de craie pesée d'avance, et délayée dans de l'eau, qu'on introduit lentement par le trou d'homme dont nous avons parlé. Pour saturer les 10 kilogr. d'acide employé, le calcul indique qu'il faut employer à peu près une égale quantité de craie; on en emploie 11 à 12 kilogrammes.

On doit néanmoins s'assurer, comme nous l'avons déjà indiqué, que l'acide sulfurique est complétement neutralisé.

On laisse déposer le sulfate de chaux qui s'est formé, pendant deux ou trois heures, au bout de ce temps on décante le liquide qui surnage à l'aide de deux robinets, en commençant à ouvrir le premier qui est à 1 mètre du fond; puis, quand le niveau supérieur du liquide sucré est arrivé à ce robinet, on ouvre le second, qui est $0^m,50$ à $0^m,60$ plus bas.

Le liquide décanté est conduit dans un réservoir doublé en plomb ou en zinc; quant au dépôt il est retiré de la cuve à l'aide d'une ouverture percée dans le fond, ouverture qui est fermée par une soupape pendant les opérations précédentes; ce dépôt est conduit sur une toile où il s'égoutte, on l'épure ensuite par un lavage à l'eau et on le presse afin d'en séparer tout le liquide sucré qu'il renferme.

La dissolution décantée provenant de la transformation de la fécule en glucose, est décolorée sur des filtres Dumont; ces filtres sont quelquefois formés d'une double enveloppe chauffée à la vapeur, disposition qui facilite le passage du sirop à travers la couche de noir animal en grains.

Le liquide filtré est reçu dans un réservoir destiné à alimenter une chaudière en cuivre chauffée par une grille tubulaire dans laquelle circule de la vapeur à quatre ou cinq atmosphères. Dans cette chaudière la dissolution sucrée est rapprochée à 25 ou 30° Beaumé; puis on la met en repos dans un réservoir où se dépose du sulfate de chaux précipité pendant l'évaporation.

Le sirop clair soutiré de ses réservoirs peut se vendre à cet état pour servir à la préparation des bières colorées ou à celle de quelques autres boissons communes, on l'emploie aussi dans les distilleries pour produire de l'alcool.

Pour la fabrication des bières blanches et pour d'autres usages, le sirop de fécule a besoin de perdre la coloration qu'il a prise par la concentration; pour cela, on le filtre de nouveau sur du noir neuf, ce qui achève de l'épurer en améliorant son goût.

Pour pouvoir expédier la glucose, il faut l'obtenir en masse ou en grains.

La *glucose en grains* s'obtient en concentrant de nouveau le sirop dans une chaudière tubulaire analogue à celles employées dans la fabrication du sucre de betterave (système Taylor et Martineau), on rapproche jusqu'à 35 ou 40°. Le liquide concentré à une température un peu supérieure à 100°, est conduit dans des rafraîchissoirs où il se refroidit, ce qui empêche la fermentation de se produire. Une fois le liquide refroidi à 20° on le tire au clair et on le met dans des tonneaux établis sur des chantiers d'une hauteur de $0^m,30$ posés sur des tables en plomb à rebords. Ces tonneaux, dont on a enlevé le fond supérieur et dont le fond inférieur est percé de 15 à 20 trous bouchés par des chevilles, remplacent ici les formes en terre que l'on emploie dans la fabrication du sucre indigène.

Au bout d'une semaine le sirop est aux deux tiers cristallisé, la mélasse est alors évacuée par les trous du fond qu'on débouche et elle tombe sur les tables en plomb qui se trouvent dessous; de là elle se rend dans un réservoir situé dans la cave à côté des rafraîchissoirs. Si l'égouttage a de la peine à s'effectuer, on ajoute de l'eau qui produit sur la masse cristalline les mêmes résultats que le clairçage sur le sucre ordinaire.

Pour achever l'égouttage, on incline les tonneaux, les uns sur les autres, sous un angle de 45°. Le liquide égoutté est plus amer que les cristaux; il est employé pour la fabrication de la bière brune.

Pour dessécher la glucose, il faut enlever les dernières traces de sirop qui pourraient s'accumuler dans la masse cristallisée.

Pour opérer cette dessiccation, qui présente quelques difficultés, on dépote les tonneaux qui renferment la glucose en grains, sur une aire en plâtre dont la propriété absorbante facilite beaucoup l'égouttage. Les blocs égouttés sont portés sur des dalles également en plâtre qui sont disposées autour d'une étuve chauffée à l'aide d'un calorifère, et où la dessiccation s'opère à une température qui ne doit pas dépasser 25° centigr.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La glucose séchée est réduite en poudre et emballée dans des tonneaux propres et solides dans lesquels on la livre au commerce.

La *glucose en masse* s'obtient en concentrant le sirop jusqu'à 42° ou 45° Beaumé, et on le coule alors dans des barriques où il se prend en masse. Les tonneaux remplis sont fermés, puis expédiés.

Ce dernier produit est d'un emploi beaucoup moins commode que la glucose pulvérulente, il sert, ainsi que cette dernière, à la préparation des confitures, du miel et des bières blanches.

La fabrication du sucre de fécule présente quelques inconvénients qu'il est bon de signaler. Pendant toutes les opérations qu'elle nécessite, et surtout pendant la saccharification, il se dégage une forte odeur empyreumatique due à l'huile essentielle de pommes de terre; cette odeur désagréable augmentée par l'action de l'acide sulfurique a souvent incommodé les habitants des maisons voisines des fabriques de glucose.

M. Chaussenot est parvenu à éviter ces graves inconvénients en condensant la vapeur qui se dégage des cuves dans un serpentin en cuivre, et utilisant la chaleur latente de cette vapeur pour commencer la concentration des sirops. Les produits condensés dans le serpentin sont dirigés dans des égouts ou des cours d'eau; quant aux gaz incondensables, ils sont brûlés sous les foyers.

Un impôt de 2 francs par 100 kilogr. a frappé dernièrement la glucose en sirop et en masse. Comme le sirop de glucose ne représente que 63 à 66 pour 100 de son poids de glucose en masse, il faudra donc supprimer le premier produit pour ne faire que de la glucose en masse; on pourrait même remplacer cette dernière par de la glucose desséchée complétement : on extrairait ainsi les 11 pour 100 d'eau qu'elle renferme qui paient par conséquent l'impôt comme la matière sucrée.

La glucose cristallisée a été imposée comme le sucre ordinaire, aussi ce produit ne pourra-t-il plus se soutenir, et sa suppression serait regrettable, si on ne l'avait souvent employé pour frauder le sucre ordinaire.

Nous terminerons en donnant le compte de fabrication du sirop et du sucre de fécule pour une production de 4500 kilogr. de sirop à 32° Beaumé ou de 3000 kil. de sucre solide.

Il faut dans ce cas :

3000 kilogr. de fécule à 22 fr. . . .	660f »
60 kilogr. acide sulfurique à 15 fr.	9 »
10 hectolitres d'eau.	» »
80 kilogr. de craie.	2 »
300 kil. noir animal en grains à 10 fr.	30 »
35 hectolitres de houille à 1f,10. .	38,50
7 ouvriers à 2f,50.	17,50
Loyer et direction	16 »
Capital, fonds de roulement. . .	5 »
Intérêts et réparations.	10 »
Éclairage et menus frais. . . .	5 »
Transports.	10 »
Escomptes et frais imprévus. . .	30 »
Total des dépenses.	833f »
Produits : 4500k sirop à 32° Beaumé, à 22 fr. les 100 kilogr. . . .	990 »
Bénéfice net. . . fr.	157 »
Si on fabriquait du sucre solide, la production ne serait plus que de 3000 k. à 35 fr.	1050 »
Il faudrait en déduire les frais de concentration, 4 hect. houille. . .	4,40
	1045,60
Le bénéfice net dans ce cas serait.	212f,60

GLUTEN (*anpl.* gluten, *all.* kleber). Nous avons déjà parlé du gluten et de ses propriétés nutritives à l'article FARINE; il nous reste encore à indiquer une application précieuse et assez nouvelle de ce produit due à MM. *Véron* frères de Ligugé (Vienne).

MM. *Véron* ont ajouté, dans leur usine, à la mouture du blé la fabrication de l'amidon, dont ils séparent le gluten, en employant pour cet usage le pétrin Fontaine (voyez PAIN). Voici comment ils opèrent :

On verse dans le pétrin environ 75 kilogrammes de farine première, avec une médiocre quantité d'eau, sans aucun levain; le mélange réduit en pâte est retiré du pétrin, et placé, en deux parties égales, dans deux amidonnières contiguës, espèces d'auges allongées dans chacune desquelles tourne un cylindre en bois cannelé. Ce cylindre, par le frottement sur la pâte et un arrosage continu et réglé à volonté, opère en peu de temps la séparation de l'amidon, qui est entraîné par divers conduits dans des récipients disposés exprès. L'amidon étant ainsi extrait de la pâte, il ne reste plus dans l'amidonnière que le gluten frais, formant un corps tendineux et élastique.

Le gluten ainsi préparé servit d'abord à la nourriture des animaux, puis plus tard à la fabrication des pains de luxe. Toutefois il était impossible d'écouler, à l'état frais, tout le gluten, produit d'une grande fabrication, au fur et à mesure de son extraction. MM. *Véron* cherchèrent d'abord à conserver ce produit important en le desséchant, puis le réduisant en poudre; mais lors même qu'ils y fussent parvenus avec économie, ils n'eussent encore obtenu qu'une sorte de farine propre à la fabrication du pain.

Une idée heureuse venue à MM. *Véron* a tranché la difficulté, en simplifiant toute l'opération, diminuant les frais, et donnant, au lieu d'une matière première, un produit d'une valeur plus grande et vendable directement aux consommateurs.

L'invention consiste :

1° A granuler et à dessécher le gluten : dès lors la réduction en poudre est inutile;

2° A séparer en trois ou quatre sortes, suivant leur grosseur, les grains tout formés;

3° Enfin, à livrer le gluten ainsi préparé pour être employé surtout à la confection des potages.

MM. Véron commencent par étirer le gluten frais, à sa sortie de l'amidonnière, dans deux fois son poids de farine de froment de première qualité; puis, le portent à une machine appelée *démêleur*, composée de deux cylindres concentriques, dont celui intérieur, armé de chevilles saillantes, tourne avec une grande vitesse, et celui extérieur, beaucoup plus lentement : le gluten est promptement divisé dans cette machine, et forme un tout homogène qui est ensuite réduit en grains allongés qu'on place dans une étuve à tiroirs montée à cet effet à côté des étuves à amidon et également chauffée. Le gluten y est desséché en une heure et demie, puis tamisé pour obtenir des grosseurs différentes. Les grumeaux restants sont concassés dans un moulin à noix et tamisés de nouveau.

L'amidonnerie de MM. Véron consomme, en 12 heures de travail, 800k de farines premières, lesquels, après séparation de l'amidon, donnent 250k de gluten frais; cette quantité, réunie à 500k de farine de froment, fournit, déduction faite de 24 p. 100 perdus par la dessiccation, 570k de produit sec.

On se rend aisément compte de la composition de ce produit par les nombres suivants :

100k de gluten frais, contenant 38k de gluten sec, divisés par 200k de farine, contenant 24k de gluten sec, en tout 300k, se réduisent par dessiccation à 228k, contenant 62k de gluten sec; ce qui donne, par 100k de ce produit granulé, 27k,2 de gluten sec, c'est-à-dire plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du double de la quantité contenue dans la farine employée.

Cette richesse en matière fort nutritive n'est pas le seul avantage que présente le produit nouveau, si on le compare avec les pâtes dites vermicelle, semoule, etc. Dans celles-ci, les préparations qui consistent à pétrir avec de l'eau bouillante, puis à étirer à chaud, ont coagulé le gluten et soudé les grains d'amidon. Les pâtes sèches ainsi obtenues acquièrent par suite une dureté et une cohésion telles, qu'une ébullition plus ou moins soutenue devient nécessaire pour les hydrater à point dans les potages, tandis que le gluten granulé, à froid et séché, sous l'influence d'une douce température, restant perméable, s'hydrate en deux minutes dans un liquide à 100°, et permet ainsi de conserver au bouillon tout son arome : 40 à 45 grammes suffisent pour un litre de liquide. On conçoit aisément que, le gluten étant ainsi uniformément hydraté, sans qu'il ait été nécessaire de prolonger l'ébullition, le potage obtenu soit plus agréable, plus nourrissant et plus léger.

GLYCÉRINE. Un des produits de la saponification de la stéarine; c'est un corps liquide, incolore, inodore, sirupeux, d'une saveur sucrée, et tout à fait incristallisable; soluble en toutes proportions dans l'eau; combustible; l'acide nitrique se change en acide azotique, et l'acide sulfurique en sucre. Sa composition à l'état de combinaison est représentée par la formule $C^3 H^6 O^2$, qui donne : carbone, 49.2; hydrogène, 8.0; oxygène, 42.8; à l'état libre, elle renferme, en outre, un équivalent d'eau $H^2 O$.

La glycérine se forme ou se sépare, toutes les fois que l'on soumet une graisse ou une huile à l'action des bases. Ordinairement, on met parties égales d'huile d'olives et de litharge en poudre fine dans une bassine avec de l'eau; on fait bouillir, en ajoutant de l'eau chaude à mesure qu'elle s'évapore, et remuant sans cesse avec une spatule. Peu à peu la litharge disparaît, ainsi que l'huile, et l'on obtient une masse d'un blanc jaunâtre, qui forme *l'emplâtre diapalme* des pharmaciens. On ajoute de l'eau chaude et on décante la liqueur aqueuse; on la filtre, et on y fait passer un courant d'hydrogène sulfuré qui en précipite du sulfure de plomb. On filtre de nouveau, et on fait évaporer au bain-marie : le résidu sirupeux est la glycérine.

GNEISS ou *Granite rubanné*. Voyez GÉOLOGIE.

GOMME (*angl.* gum, *all.* gummi). On appelle *gomme*, en général, un produit végétal solide, à cassure nette et souvent vitreuse, d'une saveur fade et douceâtre, plus ou moins soluble dans l'eau, et susceptible de lui donner de la viscosité, c'est-à-dire de produire avec elle un mucilage plus ou moins épais. Lorsque cette solution est étendue sur une surface quelconque, elle forme, par sa dessiccation, un vernis solide que la chaleur ordinaire ne ramollit point. Le sous-acétate de plomb précipite les gommes de leur dissolution aqueuse à l'état de combinaison; l'alcool les précipite également, mais à l'état de pureté et seulement par suite de leur insolubilité dans ce réactif. L'acide nitrique bouillant les change en *acide mucique*, blanc, pulvérulent, fort peu soluble. Par l'action du feu, elles fondent, se boursouflent et se décomposent avec résidu de charbon.

Dans le commerce, on confond sous la même dénomination de *gomme* des substances très diverses, ainsi : la *gomme* ÉLEMI, la *gomme* COPAL, etc., sont de véritables résines; la *gomme* AMMONIAQUE et la *gomme-gutte* sont des gommes-résines; la *gomme-élastique* ou CAOUTCHOUC est un corps particulier.

La plus importante des gommes est la *gomme arabique*, dont la plus estimée nous arrive du Sénégal, où elle est produite par le *mimosa senegal* de Linnée, arbre de 6 à 7^m de hauteur. Elle nous arrive de ce pays, en morceaux de forme variée, mais en général arrondie, incolores ou plus ou moins fortement colorés en jaune ou en rouge-brun, et contenant souvent des masses plus ou moins volumineuses, ou *marrons*, formée par l'agglomération de petits morceaux d'une gomme molle, empâtant des débris d'écorces et d'autres impuretés.

La gomme arabique est principalement composée d'*arabine*, principe soluble dans l'eau.

La gomme qui découle dans nos contrées sur les pruniers, les cerisiers, et autres arbres à noyaux, ressemble par ses caractères extérieurs à la gomme arabique, mais elle en diffère par ses propriétés. Traitée par l'eau, elle ne se dissout qu'en partie, et sa dissolution ne présente pas autant de viscosité. Elle renferme 52 p. 100 d'arabine et 35 p. 100 de *cerasine*, principe particulier insoluble dans l'eau, qui, par un ébullition prolongée dans ce liquide, finit par se convertir entièrement en arabine.

Les *gommes adrangante* et de *Bassora* qui découlent de deux arbrisseaux du genre *astragalus*, qui croissent dans l'Asie mineure, renferment plus de la moitié de leur poids d'un principe insoluble dans l'eau, qui porte le nom de bassorine. Ces gommes opaques ou légèrement translucides, blanches ou jaunâtres, se présentent en lanières ou filets élastiques et comme contournés. Elles sont fort peu solubles dans l'eau, mais elles forment avec elles des mucilages d'une grande consistance, ce qui fait que les pharmaciens et les confiseurs en font un usage très fréquent; on les emploie avec succès pour l'apprêt des rubans, des dentelles et de quelques autres tissus; enfin, on s'en sert, dans la fabrication des toiles peintes, pour l'application de certaines couleurs délicates.

GOMME ÉLASTIQUE. Voyez CAOUTCHOUC.

GOMME-GUTTE. Voyez GOMMES-RÉSINES.

GOMME LAQUE. Voyez LAQUE.

GOMMES-RÉSINES (*angl.* gums-resins, *all.* gummiharze). Les gommes-résines sont des produits végétaux qui, comme leur nom l'indique, participent à la fois de la nature des gommes et de celle des résines. La plupart d'entre elles étant décrites à leur nom, il ne nous en reste ici que quelques-unes à décrire; ce sont les suivantes :

ASSA-FŒTIDA. Gomme-résine produite par le *ferula assa-fœtida*, plante de la famille des ombellifères qui croît en Perse. On la récolte en faisant des incisions au collet de la racine; il en découle un suc laiteux assez épais qui se concrète à l'air. L'assa-fœtida, nous arrive en lames détachées et très pures, ou plus souvent en masses d'une consistance un peu molles, qui présentent dans leur cassure des lames d'un blanc-jaunâtre un peu transparentes, et qui, par le contact de l'air et de la lumière, ne tardent point à acquérir une couleur rosée.

Cette gomme-résine est très employée en médecine, à cause de ses puissantes propriétés anti-hystériques.

EUPHORBE. Cette gomme-résine est fournie par trois plantes de la même famille des euphorbiacées; elle exsude spontanément à la base des aiguillons géminés dont la plante est recouverte, et se concrète à leur surface; et de là vient que les lames de cette gomme-résine sont percées de trous dans toute leur longueur, où l'on retrouve encore ces aiguillons. L'euphorbe est ordinairement en petites larmes de la grosseur d'un pois, irrégulières, jaunâtres, demi-transparentes, sans odeur prononcée; mais si on en respire la poudre, en quelque faible quantité que ce soit, elle produit sur les membranes un effet excitant des plus violents; c'est ce qui rend sa pulvérisation très dangereuse.

L'euphorbe n'est usitée maintenant que comme un vésicant très énergique.

GOMME-GUTTE. Cette gomme-résine découle par incision du *stalagmitis cambogioides*, arbre qui croît surtout dans la presqu'île de Camboge et l'île de Ceylan. Elle nous arrive en gros morceaux cylindriques d'un brun-jaunâtre à l'extérieur, jaune-rougeâtre dans l'in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

térieur, sans odeur ni saveur, et à cassure nette, brillante, mais opaque; délayée avec l'eau, elle forme une émulsion de la même teinte, qui, appliquée sur le papier, s'y dessèche facilement et y forme un vernis d'un jaune doré éclatant; aussi l'emploie-t-on avec avantage pour la miniature et l'aquarelle. En médecine, on s'en sert comme d'un purgatif très-énergique.

SCAMMONÉE. Cette gomme-résine nous arrive du Levant, où on l'extrait, par incision, autour du collet de la racine du *convolvulus scammonia*; elle est en masse poreuse, d'un gris cendré, friable, ayant une odeur de laitage aigri, et donnant une émulsion verdâtre avec la salive; délayée dans l'eau, elle y reste presque entièrement en suspension, et ne laisse que fort peu de résidu lorsqu'elle est pure. C'est un excellent purgatif très-employé en médecine.

GONIOMÈTRE. Instrument servant à mesurer les angles des cristaux. Voyez INSTRUMENTS D'OPTIQUE. *Complément.*

GOUDRON. La distillation de la houille, pratiquée sur une grande échelle dans les usines à gaz, donne en quantité considérable du goudron regardé longtemps comme une substance inutile. Mais, depuis quelques années, cette substance, dont on cherchait surtout à se débarrasser, a trouvé plusieurs emplois fort importants, et est devenue la base de quelques curieuses industries; nous les passerons en revue à cause de l'intérêt qu'elles présentent en elles-mêmes, et aussi comme présentant un exemple frappant des progrès des industries fondées sur les sciences chimiques, par l'emploi des résidus obtenus dans certaines fabrications.

La proportion de goudron fournie par la distillation de la houille dépend de la nature de celle-ci et de la température de la distillation. Certaines houilles donnent 7 à 8 p. 100, et d'autres à peine 1 p. 100 dans les mêmes conditions; on peut compter en moyenne sur 5 à 6 par 100 kilogrammes de houille. Dans les usines à gaz, où l'on cherche naturellement à produire le plus de gaz possible, on opère à très-haute température pour transformer en gaz tous les produits de la décomposition du charbon de terre. A une température moins élevée, les produits goudronneux seraient plus considérables.

Pour la Compagnie parisienne, qui consomme, en nombres ronds, 440,000 tonnes de houille par an, c'est à 5 p. 100 de rendement, une production de 22 millions de kilogrammes. On voit qu'il y a, dans l'utilisation de ce résidu des usines à gaz seulement, la base d'une très-grande industrie.

L'industrie des goudrons, bien que nouvelle, est déjà importante; nous en donnerons une idée par la note ci-après, empruntée à un intéressant travail de M. Knab, qui offre la récapitulation historique des emplois qu'ils ont reçus directement, ou qu'on a faits des substances qu'on en a su extraire.

1° Le goudron minéral était inconnu avant l'éclairage au gaz (1820).

2° Première application comme peinture, à l'instar du goudron de bois, d'un produit encombrant et sans valeur.

3° Application au chauffage des cornues à gaz.

4° Application à la fabrication des asphaltes factices.

5° Application des huiles à la production du noir de fumée.

6° Application du goudron à la fabrication du charbon de Paris.

7° Application des brais à la fabrication des agglomérés de houille.

8° Conservation des bois par les huiles lourdes dites créosotées.

9° Application de la benzine au nettoyage et au dégraissage des étoffes.

10° Application de la benzine à la fabrication de l'essence de mirbane, succédané de l'essence d'amandes amères.

11° Benzine employée pour augmenter le pouvoir éclairant du gaz, pour sa carburation.

12° Transformation de l'acide phénique en acide picrique, matière colorante jaune.

13° Découverte par Perkins du violet qui porte son nom.

14° Application des huiles lourdes à l'éclairage par M. Dony, à la peinture, etc.

15° Découvertes successives des brillantes couleurs d'aniline : fuschine ou rose, bleu foncé et bleu lumière, noir d'aniline, vert lumière.

16° Acide phénique pur, application à la thérapeutique et à l'assainissement.

Si la production des usines à gaz devenait insuffisante, la production du coke métallurgique, exécutée dans des fours (en recueillant les goudrons), au lieu d'une carbonisation destructive à l'air libre, viendrait en fournir facilement des quantités considérables. Ce travail est facile, et des fours simples permettent d'atteindre le but, tel est celui que Pauwels a construit à Paris (Voyez ÉCLAIRAGE), et qu'on pratique déjà incomplétement à Saint-Étienne. Nous nous contenterons de dire qu'en fabriquant ainsi le coke métallurgique on pourrait obtenir 100 millions de kilogrammes de brai, 4 millions d'essences diverses et 10 millions de sels ammoniacaux.

Traitement des goudrons. Les goudrons de houille sont d'une composition très-complexe, comme le doit faire présumer leur provenance et le travail qui leur a donné naissance. On y trouve la plupart des carbures d'hydrogène condensables, ce qu'a fort bien expliqué Berthelot : 1° par la condensation moléculaire et la décomposition inverse; 2° par la décomposition directe des carbures avec l'hydrogène et la décomposition inverse; 3° par la combinaison des carbures les uns avec les autres.

Les plus précieux de ces carbures étant volatils de 40 à 200°, c'est par une série de distillations bien entendues qu'on parvient à les séparer.

La première distillation s'effectue près des usines à gaz, dans de grands alambics dont la contenance atteint parfois 20,000 litres. Les produits de la distillation passent à travers un serpentin refroidi par un courant d'eau. On fractionne en deux parties les produits de la distillation, chacune de ces parties étant reçue dans un récipient spécial, que l'ouvrier a soin de changer au moment convenable, qui lui est indiqué par la température d'ébullition.

Le premier fractionnement comprend, avec l'eau chargée de sels ammoniacaux que renferment toujours les goudrons, les essences les plus volatiles, qui distillent tant que le thermomètre, placé dans les vapeurs, n'indique guère plus de 150°, reste au-dessous de 200°. Les principales sont :

	Composition.	Point d'ébullition.
Benzine.	C^6H^6	82°
Tolnène.	C^7H^8	104
Xylène	C^8H^{10}	137
Cumène.	C^9H^{12}	166
Picoline	C^6H^7Az	134
Styrolène.	C^8H^8	146
Cymène	$C^{10}H^{14}$	180

Ce sont les *huiles légères* dont la densité moyenne est de 0,840. On obtient 6 p. 100 environ du poids du goudron en huiles légères.

En continuant à chauffer, on détermine la distillation des produits dits *huiles lourdes*, qui passent entre 200 et 220°; elles renferment surtout les substances suivantes :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	Composition.	Point d'ébullition.
Aniline	C^6H^7Az	182°
Phénol	C^6H^6O	188
Naphtaline	$C^{10}H^8$	212

Le goudron fournit environ 20 p. 100 de son poids d'huiles lourdes. Quelquefois on continue à chauffer jusqu'aux environs du rouge ; on obtient ainsi les hydro-carbures solides :

	Composition.	Point d'ébullition.
Acénaphtène . . .	$C^{12}H^{10}$	285°
Para-naphtaline. .	$C^{15}H^{12}$	
Chrysène	$C^{18}H^{12}$	350
Anthracène	$C^{14}H^{10}$	360
Paraffine		390

et il ne reste plus dans la cornue qu'un coke très-dur; mais, en général, on se garde bien d'opérer ainsi et de détruire la valeur du résidu, qu'on retire de la chaudière après l'extraction des huiles lourdes, et qui constitue le brai, employé avec succès et toujours produit en quantité insuffisante, pour la fabrication des agglomérés de houille.

Traitement des huiles lourdes. Les huiles lourdes renferment divers hydro-carbures liquides, de la naphtaline, du phénol, etc.

On soumet d'abord le produit brut à une rectification que l'on opère dans des chaudières cylindriques de 1,000 à 2,000 litres; on recueille à part :

1° Les produits distillant jusqu'à 120°, c'est-à-dire des huiles légères.

2° Les huiles distillant de 120 à 190°.

3° Le résidu de cette rectification qui retourne aux goudrons.

Les essences de 120 à 190° subissent les opérations suivantes : par un traitement acide, on en extrait l'aniline et les autres alcaloïdes; par un traitement alcalin, on en retire les phénols; dans cet état, et mélangées de naphtaline, elles peuvent servir à la conservation des bois, au graissage des machines, etc.; mais, lorsqu'elles doivent servir à l'éclairage, il faut les débarrasser de la naphtaline par une nouvelle rectification.

Préparation de l'acide phénique. Nous venons de dire que les huiles lourdes étaient traitées par un alcali; l'acide qui y existe s'y combine à la soude caustique et donne naissance au phénate de soude dont on retire l'acide phénique. Voici comment on opère :

On dissout ce phénate très-épais dans cinq ou six fois son volume d'eau chaude, en agitant vigoureusement la masse, puis on laisse refroidir; il se dépose de la naphtaline et quelques huiles émulsionnées par la soude et qui surnagent la dissolution de phénate de soude.

On soutire la partie claire de la dissolution dans un réservoir inférieur, et on la sature par un petit excès d'acide chlorhydrique ou sulfurique étendu d'eau; en laissant reposer, le sel de soude, plus dense, gagne le fond du réservoir, et l'acide phénique et autres acides organiques qui l'accompagnent surnagent.

On décante l'acide phénique dans un troisième vase inférieur, et on le lave énergiquement à deux eaux successives.

On le décante de nouveau, puis on le rectifie par distillation dans un alambic dont le chapiteau porte un thermomètre dont la boule plonge dans les vapeurs.

Les produits en petite quantité qui passent au dessous de 186° sont mis de côté, et tout ce qui se passe entre 186 et 189° est récolté comme acide phénique brut.

Par le refroidissement, l'acide cristallise; égoutté et comprimé, il est suffisamment pur pour la plupart des applications industrielles. Par une autre rectification où l'on ne conserve que les produits qui passent à 186° et une autre compression, on a l'acide pur.

Les usages de l'acide phénique, tant au point de vue thérapeutique qu'industriel, reposent sur ses propriétés désinfectantes à un plus haut degré que celles d'aucun autre corps connu. C'est sans doute à sa présence dans les produits pyrogénés que la créosote doit ses propriétés de même ordre.

Traitement des huiles légères. L'huile légère renferme, outre les hydro-carbures de la série de la benzine, du toluène, des hydro-carbures de diverses autres séries, ceux, par exemple, de la série de l'éthylène, des phénols, des alcaloïdes, etc. Tous ces produits doivent être éliminés pour obtenir le principal produit, le *benzol*, qui constitue la matière première de l'aniline.

La première opération consiste à mélanger les huiles légères avec 5 p. 100 de leur poids d'acide sulfurique. La liqueur est brassée à l'aide d'un agitateur, puis on laisse reposer pendant vingt-quatre heures, et on décante l'acide au moyen d'un robinet placé à la partie inférieure du réservoir. Par ce traitement, l'acide sulfurique s'est épaissi et coloré; il s'est en effet chargé, non-seulement des alcaloïdes en dissolution dans l'essence, mais encore des hydro-carbures qu'il dissout en se colorant fortement, de la naphtaline qui se trouve presque toujours dans ces huiles, entraînée par des substances plus volatiles qu'elle-même, etc. On lave ensuite à l'eau à deux reprises.

Au traitement acide doit succéder un traitement alcalin destiné à enlever les phénols et les divers acides qui peuvent se trouver mélangés aux huiles. On emploie pour cela 1 à 2 pour 100 de soude caustique à 40°, qu'on fait réagir sur l'essence, dans le même appareil, et de la même façon que l'acide sulfurique. Les solutions alcalines peuvent être utilisées pour la préparation de l'acide phénique.

Les huiles ainsi purifiées sont rectifiées par distillation, et constituent la benzine pure du commerce.

Préparation de la benzine. Un appareil très-convenable pour cette rectification est celui indiqué pour la première fois par Mansfield, et que représente la figure 1100.

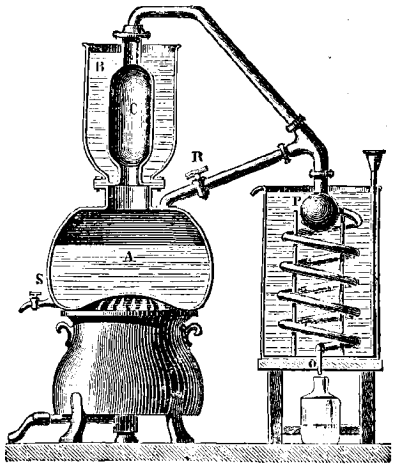


Fig. 1100.

L'huile légère est introduite dans le réservoir A et les différentes pièces de l'appareil ajustées, comme le montre la figure. Le vase B est rempli d'eau, puis on commence à chauffer. L'huile entre promptement en ébullition; les premières portions qui se vaporisent rencontrent les parois froides de la capacité C, s'y conden-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sent et retombent en A; mais, en se condensant, elles dégagent beaucoup de chaleur qui élève la température de l'eau du récipient B. Cet effet croissant progressivement, on atteint bientôt le degré de vaporisation des essences les plus légères; celles-ci ne se condensent plus alors en C, et elles arrivent dans le serpentin P, toujours refroidi par un courant d'eau fraîche, s'y liquéfient et sont reçues en O à l'état liquide. La température de l'ébullition des huiles contenues en A s'élevant peu à peu, et aussi celle de l'eau de B, bientôt cette dernière entre en ébullition; à ce moment, qui représente la dernière phase de l'opération, toutes les essences qui peuvent à 100° rester à l'état de vapeur, distilleront et seront recueillies en O; celles dont le point d'ébullition est supérieur se condenseront en C et retomberont dans la chaudière.

R est un robinet au moyen duquel on peut, après avoir séparé la benzine, rectifier les huiles qui distillent au-dessus de 100°. S est un robinet de vidange pour enlever les résidus des distillations.

La benzine ainsi obtenue n'est pas encore complétement pure, et on n'arriverait pas à la purifier davantage par distillation; mais la propriété qu'elle possède de cristalliser facilement permet de la séparer des hydrocarbures qui l'accompagnent et qui ne jouissent pas de cette propriété. On la fait donc congeler, et on soumet rapidement la masse solide, que l'on obtient ainsi, à une forte compression.

Nous renverrons au *Dictionnaire de Chimie* de M. Wurtz, pour la description que donne M. Ch. Lauth dans un excellent article benzine auquel nous avons emprunté la description de l'appareil ci-dessus, pour celle de l'appareil distillatoire combiné par M. Coupier pour séparer les divers hydrocarbures renfermés dans le goudron de houille, à un état de pureté presque absolu. Nous dirons seulement qu'il consiste en un alambic à colonnes dont l'analyseur (voyez DISTILLATION) est formé de boules munies de tubes de rétrogradation et immergées dans une cuve remplie d'une solution de chlorure de calcium, que l'on chauffe à volonté à une température voulue indiquée par un thermomètre.

Chauffe-t-on à 80°, la benzine arrive seule dans le serpentin; élève-t-on la température à 108, 109°, on a le toluène, et ainsi de suite.

Pour les propriétés et les emplois de la benzine, nous renverrons à l'article BENZINE du *Complément*.

Pour la préparation de l'acide picrique et des couleurs d'aniline, voir le travail si complet sur la TEINTURE de M. Salvetat, où ces préparations sont exposées en détail.

Emploi des résidus. Les brais qui forment le résidu de la première distillation des goudrons sont plus ou moins liquides, suivant qu'on a plus ou moins chauffé, car on en retire de 25 à 40 p. 100, selon qu'on les a plus ou moins chauffés, en raison des prix de vente des produits. On obtient ainsi :

1° Le brai liquide à froid ou au moins pâteux, qui est le résidu du goudron, dont on n'a extrait que les essences les plus volatiles renfermant les benzines.

2° Le brai gras, solide à la température ordinaire, mais qui s'amollit par les grandes chaleurs, ne peut s'expédier qu'en baril.

3° Le brai sec, très-dur et cassant, peut s'expédier en vrac, comme la houille, excepté pendant les grandes chaleurs. C'est lui qui sert à la fabrication des agglomérés.

Fabrication des houilles agglomérées. Dans l'exploitation des mines de houille, on tirait autrefois peu ou point de valeur des poussières et trop menus fragments, et cela en raison de la difficulté de les brûler sur des grilles au travers desquelles ils passent.

On est parvenu avec succès à en former des blocs qui offrent sur la houille en gros morceaux certains avantages. Pour cela, après avoir lavé la houille pour la débarrasser des parties schisteuses, comme nous l'avons vu à l'article COKE, on la chauffe vers 200° et on l'imprègne de brai gras; le mélange, comprimé fortement, prend la forme rectangulaire ou cylindrique du moule, et les particules de houille, enduites de goudron de houille concentré, contractent une adhérence assez grande qui s'accroît encore par le refroidissement. La machine la plus employée aujourd'hui pour fabriquer les agglomérés présente, sur un disque qui tourne, les moules successivement remplis à l'action d'un levier articulé qui comprime rapidement le mélange; chaque pain comprimé est repoussé ensuite de bas en haut par le fond même du moule, comme cela a lieu dans quelques machines à fabriquer les briques. Cette machine diminue les dépenses de main-d'œuvre, seul inconvénient du système, car les pérás bien fabriqués, c'est-à-dire ne renfermant pas assez de brai gras pour se ramollir et se souder entre eux, résistent mieux que la plupart des houilles. Ils sont plus faciles à arrimer dans les soutes des bateaux, et permettent d'économiser deux dixièmes de l'espace destiné au combustible.

Nous avons donné le dessin de cette machine à l'article BRIQUES, figures 17 et 18, car elle peut servir aussi à fabriquer des briques par compression.

L'emploi des agglomérés est très-fréquent pour le service des bateaux à vapeur et des locomotives. Plusieurs exploitations houillères emploient à cet usage 5 millions de kilogrammes de brai, ce qui répond à 100,000 tonnes d'agglomérés.

Charbon de Paris. Une industrie curieuse a été fondée à Paris par M. Popelin Ducarre, c'est celle de la fabrication d'un charbon moulé, composé de matières carbonisées agglomérées en cylindres analogues aux formes ordinaires du charbon de bois. Cette agglomération ne peut être produite qu'au moyen d'une substance susceptible, non-seulement de relier ces matières, mais encore de les maintenir après sa propre carbonisation. Le goudron provenant des usines d'éclairage au gaz remplit parfaitement ces conditions; de plus, il laisse 20 ou 25 centièmes de son poids de charbon, exempt de matières volatiles et de cendres, interposé entre les particules qu'il a servi à réunir.

Quant aux matières premières, l'inventeur a, nous croyons, dépensé inutilement beaucoup d'argent à vouloir réaliser le programme qu'il s'était proposé d'utiliser les bruyères, les brindilles des forêts, toutes substances de peu de valeur, il est vrai, à l'état brut, mais qui, devant être carbonisées dans des fours spéciaux, ne valent pas les frais de transport et de carbonisation. Il n'a pas été plus heureux en voulant employer dans une proportion considérable le tan épuisé, dont les tanneries de Paris n'ont qu'un débouché peu avantageux. L'énorme proportion de cendres que produit un semblable combustible, analogue à celui connu sous le nom de mottes, ne permet de l'employer que dans un petit nombre de cas. Les seules substances qui fussent à la disposition de l'inventeur pour fabriquer un charbon propre aux usages domestiques, et plus économique que le charbon de bois, étaient : 1° la poussière de charbon de bois ; 2° la poussière de charbon de tourbe, ces deux substances se concentrant comme résidus, des fonds de bateaux et des différents magasins; et enfin, 3° le coke. Les débris de charbon d'origine végétale, en assurant la facile combustion du charbon de Paris, ont permis le mélange d'une certaine quantité de coke, et par suite la fabrication d'un combustible assez économique, puisque toutes les substances qui en font partie sont toutes moins chères que le charbon de bois. On voit aussi que ce combustible, formé nécessairement en grande partie de charbon d'origine végétale, ne peut vraiment réussir qu'autant qu'on peut trouver à bon marché des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résidus de ce dernier; il ne peut donc répondre qu'à une partie seulement de la consommation, et les essais tentés, en diminuant la proportion de combustible végétal, n'ont donné que des produits trop voisins du coke fourni par les usines d'éclairage au gaz pour qu'on dût en donner un prix pouvant défrayer les frais de fabrication. Pour donner l'idée de la quantité de goudron employée dans cette fabrication, nous dirons que pour les produits de première qualité elle s'élève jusqu'à 60 kilogrammes pour 100 kilogrammes de combustible.

Ce moulage de la pâte charbonneuse se fait à l'aide d'une machine composée d'une série de tiges cylindriques, douées d'un mouvement rectiligne alternatif, qui viennent comprimer la pâte et la faire sortir des vides cylindriques dans lesquels elle a été versée. Les cylindres en sortant des moules restent à l'air trente-six ou quarante-huit heures, afin de prendre quelque consistance. On les porte alors dans des fours à moufles, où ils sont chauffés pendant six heures, la combustion des produits volatils suffisant pour opérer la carbonisation une fois que le four est en feu.

En résumé, cette fabrication nouvelle, trop prônée à son origine, n'en est pas moins très intéressante et indique chez celui qui est parvenu à la faire réussir de notables talents d'ingénieur et de fabricant.

GOUDRON VÉGÉTAL (*angl.* tar, *all.* theer). Voyez CARBONISATION et TÉRÉBENTHINE.

GOUGE. Ciseau cannelé en gouttière, à biseau extérieur ou intérieur, affûté, droit ou arrondi. Toutes les fois qu'on se sert d'une gouge dans l'intention de transmettre sa forme sur les matières ouvrées, le biseau du taillant doit être pratiqué en dedans de la cannelure; c'est ainsi que sont affûtées la plupart des gouges de menuiserie et de charpenterie. Quand on n'emploie la gouge que pour dégrossir plus promptement, le biseau doit être en dehors, comme cela se pratique pour la gouge du tourneur et certaines gouges de menuisier.

GRADUATION (BATIMENTS DE). Voyez SEL MARIN.

GRAINE D'AVIGNON. Baies du *rhamnus infectorius*, plante cultivée dans le midi de la France. On les arrache, avant leur maturité, lorsqu'elles ont acquis une couleur verdâtre. On les emploie dans l'IMPRESSION SUR ÉTOFFES et la TEINTURE.

GRAINE DE LIN (*angl.* linseed, *all.* leinsame). Elle contient, étant sèche, 11,265 p. 100 d'huile; 0,146 de cire; 2,488 d'une résine molle; 0,550 d'une matière résineuse colorante; 0,926 d'une substance jaunâtre analogue au *tannin;* 6,154 de gomme; 15,12 de mucilage végétal; 1,48 d'amidon; 2,932 de glu; 2,782 d'albumine; 10,884 d'extrait de *saccharine;* 44,382 d'enveloppes renfermant quelque mucilage végétal. Elle renferme aussi de l'acide acétique libre, un peu d'acétate, de sulfate, et de muriate de potasse, du phosphate et du sulfate de chaux, du phosphate de magnésie, et de la silice. (Voyez HUILES).

GRAISSAGE DES MACHINES ET DES VOITURES. De tout temps les graisses ont été employées pour adoucir, diminuer les frottements de tous les cylindres destinés à frotter sur leur axe, de tous les pistons, de tous les rouages des machines. Sous le nom de cambouis, de vieux-oing, de graisse noire, de graisse muciligne, etc., on emploie aussi des graisses composées de différentes matières pour graisser les essieux des voitures, et des wagons des chemins de fer; la fabrication de ces graisses a pris une nouvelle et grande importance depuis l'établissement des voies ferrées où les wagons ne sauraient rouler sans une boîte à graisse suffisamment garnie.

Graisses pour machines. Pour graisser les machines on se sert des compositions dont nous allons donner les formules :

1° D'un mélange d'environ parties égales de suif de Russie et d'huile d'olive; ce mélange qui entre en fusion à environ 30° est employé en Angleterre pour adoucir le frottement des pistons des machines à la Perkins;

2° D'un mélange de parties égales de suifs de mouton et de bœuf; ce mélange est très employé pour défendre les tiges des pistons des machines à vapeur de l'oxydation, qui, sans cette précaution, amènerait promptement leur destruction. A la partie supérieure des tiges est pratiquée une espèce d'entonnoir rempli de cette graisse que la chaleur de la machine maintient à l'état liquide. Cette graisse coulant peu à peu le long de la tige, revêt incessamment la surface d'une couche mince qui préserve le fer de l'humidité. C'est de cette même graisse que l'on imbibe le stuffen-box, ou la boîte à étoupes, c'est-à-dire du chanvre tordu qui est ensuite serré dans une sorte de boîte ou de gobelet par un écrou à vis, qui, la comprimant de plus en plus, lui fait rendre la quantité de graisse nécessaire à l'adoucissement du frottement des axes des cylindres. Dans la plupart des machines aujourd'hui employées, quelle que soit leur destination, on a eu soin, du reste, de placer de petits appareils qui d'eux-mêmes, par suite du jeu des machines, versent sur ces parties à graisser la quantité nécessaire de graisse sans que les ouvriers aient besoin d'intervenir autrement que pour remplir chaque jour ces appareils;

3° D'un mélange bien homogène de 16 parties de plombagine réduite en poudre très fine et de 84 parties de graisse de porc ou axonge;

4° Soude 125 grammes, eau 8 litres; on fait dissoudre la soude dans l'eau, et pour chaque litre de solution on prend 1 kilogr. 1/2 de suif bien pur, et 3 kilogr. d'huile de palme; on fait chauffer le mélange dans une marmite jusqu'à ce qu'il soit arrivé à 93°, en ayant soin de remuer sans cesse; on laisse ensuite refroidir jusqu'à une température de 15°; à ce moment, la masse doit avoir acquis une consistance analogue à celle du beurre. (Répertoire des patentes anglaises, 7 septembre 1834);

5° Solution de soude faite comme précédemment; huile de lin 8 litres, suif 75 grammes; on mêle, on fait chauffer le mélange jusqu'à 93°, en agitant, et on introduit dans des bouteilles; c'est ce qu'on appelle *graisse liquide;*

6° On trouve, dans le Journal des Connaissances usuelles, une autre formule imaginée par MM. Cowmeadon, Osborn et Valtoy. Nous craignons qu'elle ne donne un produit trop coûteux, qui de plus ne pourrait être employé pour les pièces en cuivre et en bronze que le mercure détériorerait :

Plombagine pulvérisée.	50
Saindoux.	50
Savon vert.	50
Mercure.	5

On fait d'abord amalgamer parfaitement ensemble le saindoux et le mercure; on ajoute, en mêlant, la plombagine, et enfin le savon vert.

Graisse pour wagons. Nous allons maintenant donner la composition d'une graisse importée d'Angleterre, et qui est employée dans plusieurs entreprises de chemins de fer :

Suif blanc.	120 kilogr.
Huile de poisson.	50
Résine.	20
Sel de soude.	18
Eau.	192
Total. .	400 kilogr.

On fait d'abord fondre la résine réduite en poudre fine dans la chaudière à suif où on ajoute le suif; la fusion étant complète, on verse l'huile de poisson et on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

introduit le tout dans un tonneau muni d'un agitateur; on ajoute l'eau un peu tiède qui tient en dissolution le sel de soude; on agite, et on laisse couler dans des vases où la masse s'épaissit en un ou deux jours selon la température du moment. (Voy. GRAISSAGE, *Complément.*)

Graisse pour voiture. Depuis longtemps on emploie du goudron, dans quelques provinces de l'Est, pour graisser les machines et surtout les essieux des voitures. On fait ce qu'on appelle de la graisse d'asphalte, en mélangeant de l'huile de pétrole et de naphte, extraite des usines qui sont situées dans l'Alsace, avec du savon gris. Cette fabrication remonte à plus d'un siècle. D'après Saussure on se sert en Suisse, de temps immémorial, d'une graisse noire qui n'est autre qu'un produit de la distillation d'un pétrole concrété par de la chaux.

En 1828, M. Dive, de Mont-de-Marsan, a pris un brevet pour « un procédé de fabrication d'un enduit économique propre à préserver les objets extérieurs des effets de l'humidité, et à remplacer avec avantage, pour le consommateur, tous les corps gras dont on s'est servi pour graisser les roues des voitures. » Ce procédé consiste à concréter les huiles pyrogénées, c'est-à-dire celles de goudron, de résine, de bitume, par divers sels, sous-sels, et oxydes métalliques; notamment, par le sous-acétate de plomb. M. Dive emploie 1 kil. d'huile pyrogénée de résine, à laquelle il ajoute la quantité de sous-acétate de plomb, qu'il fabrique, en faisant bouillir une dissolution de 3 kil. de sel de saturne dans 9 kil. d'eau distillée, et y projetant 2 kil. d'oxyde de plomb, demi vitreux, bien pulvérisé.

Tels sont les faits qui étaient connus, lorsqu'en 1837 MM. Payen et Buran prirent un brevet pour la concrétion des mêmes huiles de résine, de goudron, ou de bitume par la chaux, ce qui donne la *graisse noire*. Le principe de leur invention repose sur la distillation de la résine sur de la chaux introduite en même temps dans l'appareil distillatoire, afin d'enlever, disent-ils, l'acide acétique, qui, dans la distillation se forme en même temps que l'huile. Ils distillent la résine sur de la chaux en proportion de 5 à 10 p. 100 du poids de la résine; et il suffit ensuite, en opérant à froid, de mélanger à l'huile produite de 2 à 5 p. 100 de chaux, en remuant le tout ensemble, et en ne mettant la chaux que peu à peu, pour que toute l'huile se concrète.

Quoique MM. Payen et Buran prétendent avoir un produit suffisamment solide en employant une aussi faible quantité de chaux, il est arrivé, dans la pratique, que l'huile de résine coulait beaucoup trop facilement, et, pour obvier à cet inconvénient, certains fabricants ont forcé la proportion de chaux jusqu'à en mettre 40 p. 100. On comprend qu'une si grande quantité de matière solide, infusible à une température peu élevée, comme celle produite par le frottement des essieux, doit être nuisible et donner lieu à un dépôt énorme de cambouis.

MM. Payn et comp., de Belleville, ont obvié à cet inconvénient, dans la fabrication de la *graisse mucilagineuse*. Ils distillent la résine sans ajouter de chaux, et, séparant les premiers produits un peu acides et un peu aqueux, ils concrètent le reste avec 10 p. 100 de suif, 10 p. 100 de talc et 5 p. 100 de chaux. Ils versent l'huile dans un tonneau muni d'un agitateur, y ajoutent le suif fondu, puis le talc et la chaux. Après quatre à cinq minutes d'agitation, ils laissent couler le produit qui ne tarde pas à se solidifier dans les caisses. Le suif, disent les fabricants que nous venons de nommer, empêche que la graisse ne durcisse sur les essieux, et le talc qu'elle ne coule trop facilement.

Des graisseurs. Les dispositions qui servent à utiliser ces substances diverses pour le graissage se réduisent, en général, à les placer dans des boîtes à graisse ou cavités, placées au-dessus du point de contact où le frottement a lieu. La chaleur produite par celui-ci fait fondre successivement la graisse qui s'écoule sur la pièce en mouvement. Tel est le palier graisseur représenté fig. 1105.

Fig. 1101. Fig. 1102. Fig. 1103. Fig. 1104

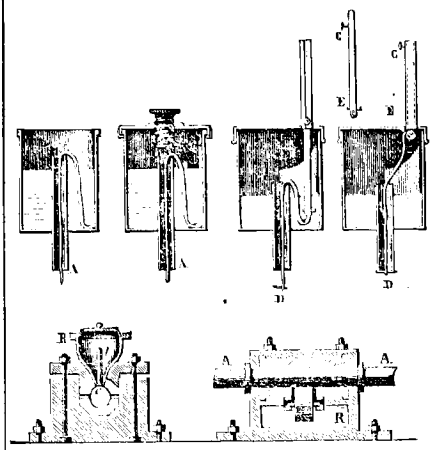


Fig. 1105. Fig. 1107

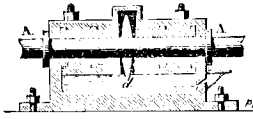


Fig. 1106.

Ce palier est disposé pour l'application des graisses solides au graissage des surfaces tournantes. Le coussinet supérieur est surmonté d'un récipient R, qui ne présente qu'une seule capacité et on lui donne la forme d'un entonnoir, dont le col *c* est traversé par un tube métallique *t*, qui repose sur l'arbre. La chaleur produite par le frottement de l'arbre dans les coussinets se transmet par le tube *t* au réservoir de graisse et fait fondre celle-ci sur son contour.

Pour l'emploi des huiles liquides spécialement propres aux mouvements très-rapides, comme ceux des essieux des roues des wagons de chemins de fer, il faut employer des appareils qui ne permettent qu'un écoulement lent. Nous citerons ici l'appareil suivant (fig. 1101 et 1102), dû à M. Wolsey, qui fonctionne de lui-même d'une manière continue, et qui est remarquable par sa simplicité. Un godet d'étain, représenté en coupe fig. 1102, porte un tube A ouvert par les deux bouts, qui s'élève jusqu'à une certaine hauteur au-dessus de son fond; on verse de l'huile dans le godet, et on prend une mèche de coton que l'on passe dans le tube A, et que l'on fait retomber dans l'huile (fig. 1101). Cette mèche forme syphon en vertu de sa capillarité, et l'huile s'écoule par son extrémité inférieure sur la pièce à graisser, avec une vitesse qui dépend de la longueur, de la grosseur et du plus ou moins de compacité de la mèche. Pour éviter que l'écoulement de l'huile ne se continue quand il n'est plus utile, on arrête l'écoulement de l'huile, en appuyant sur l'ouverture supérieure du tuyau A une vis qui traverse le couvercle du godet (fig. 1102). On a remplacé cette vis par la disposition représentée fig. 1103 et 1104; cette disposition consiste dans l'emploi d'une tringle, mobile dans une coulisse, et à laquelle on fixe en E l'extrémité supérieure de la mèche; pour arrêter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'huile, on soulève la tringle, en la saisissant par le bouton C, jusqu'à ce que la mèche ne trempe plus dans l'huile. L'extrémité inférieure de la mèche est traversée par un petit fil de métal, qui est arrêté en D, et qui sert plus tard à la retirer.

La pratique des chemins de fer a conduit à perfectionner ces appareils un peu primitifs, à rendre le graissage proportionnel à la rotation. L'un des systèmes les meilleurs, les plus justement renommés, est celui dû à M. De Coster.

Dans ce palier, inventé par ce mécanicien (fig. 1106), le réservoir d'huile est creusé au-dessous du coussinet inférieur qui présente, ainsi que le coussinet supérieur, une solution de continuité destinée à livrer passage au disque élévatoire *d*, calé sur l'arbre A. Ce disque, en tournant, puise de l'huile dans le réservoir, et la projette au-dessus et autour de lui, en vertu de la force centrifuge; l'huile se répand ainsi dans tout l'entre-deux des coussinets et de l'arbre. La quantité d'huile contenue dans le réservoir, étant assez grande, n'a besoin d'être renouvelée qu'à de longs intervalles; les impuretés tombent au fond de la cavité, et l'huile puisée par le disque reste longtemps pure; mais, malheureusement, elle entre en émulsion et s'altère assez rapidement à raison de son contact avec l'air par des surfaces très-multipliées.

C'est pour éviter cet inconvénient que M. Mesnier a imaginé la disposition représentée fig. 1107. Le palier qu'il a imaginé a sur le précédent l'avantage de moins agiter l'huile. Le réservoir R est aussi creusé au-dessous de l'arbre, et le graissage se fait simplement au moyen d'un disque en bois, qui flotte sur l'huile et que l'arbre fait tourner grâce à l'adhérence résultant de la poussée du liquide, en faisant un nombre de tours d'autant moindre que son diamètre est plus grand par rapport à celui de l'axe à graisser. C'est aussi cette adhérence qui amène l'huile sur l'arbre; l'action de la capillarité jointe à la rotation de l'arbre suffit ensuite pour la répandre sur toutes les surfaces frottantes. BARRAL.

GRAISSES (*angl.* fats, *all.* fette). Les graisses sont des substances qui se rencontrent dans les corps des animaux et sont composées le plus souvent d'*oléine*, de *stéarine*, de *margarine* et d'une faible quantité de principes odorants et colorants : elles renferment quelquefois de l'*hircine*, de la *butyrine* et de la *phocénine*.

La consistance, la couleur et l'odeur des graisses varient avec la nature des animaux qui les fournissent. Ainsi on a remarqué qu'elles sont fluides chez les cétacés, molles et d'une odeur forte chez les carnivores, solides et incolores chez les ruminants, ordinairement blanches et abondantes chez les jeunes animaux, jaunâtres et moins abondantes chez les animaux plus âgés; enfin, dans un même animal, la consistance de la graisse varie suivant la partie où on la prend, elle est plus ferme sous la peau et près des reins qu'à l'entour des viscères mobiles.

Les graisses sont, en général, blanches ou légèrement jaunâtres, peu odorantes, d'une saveur douce, et plus légères que l'eau, elles fondent toutes au-dessous de 100°. Chauffées au contact de l'air, elles répandent des fumées blanches et piquantes, et prennent une couleur plus ou moins foncée; soumises à la distillation, elles se décomposent à la manière des huiles et fournissent des produits analogues. Par l'action des alcalis, les graisses se transforment en acides gras, qui s'unissent avec les alcalis pour former les SAVONS. Exposées au contact de l'air, elles en absorbent l'oxygène, elles rancissent et s'acidifient.

Les graisses sont employées en très-grande quantité dans les arts. La graisse de porc ou *axonge* est employée comme aliment; elle forme la base des pommades cosmétiques et pharmaceutiques; les corroyeurs et hongroyeurs l'emploient pour donner de la souplesse aux peaux, etc. Les graisses de bœuf et de mouton servent à la fabrication des CHANDELLES, des BOUGIES *stéariques* et des SAVONS. Une foule d'autres graisses, celles d'oie et de veau, sont encore employées comme aliment. La graisse d'ours, la moelle de bœuf, etc., qui entraient autrefois dans la préparation des cosmétiques, sont actuellement remplacés par la graisse de veau, qui, très-blanche et peu disposée à rancir, convient bien pour cet emploi; comme elle est généralement trop consistante on la mélange avec une proportion variable d'axonge.

GRAVURE EN CREUX *ou en taille-douce*. Dans cette gravure les traits du dessin sont creusés dans une planche plate. Ces creux, remplis de noir, servent à donner sur une feuille de papier les épreuves par les procédés de l'IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE.

Le premier soin du graveur est de se procurer une planche de cuivre rouge, ou d'acier, parfaitement homogène, afin que les actions chimiques l'attaquent bien également. Ce cuivre lui est livré par le planeur, parfaitement dressé et poli.

Pour graver en taille-douce on emploie deux procédés, l'eau-forte et le burin; le plus souvent l'eau-forte sert à faire la plus grande partie du travail, et le burin sert à achever.

Gravure à l'eau-forte. Pour graver à l'eau-forte il faut couvrir la planche d'un vernis; on enlève ensuite sur ce vernis les lignes du dessin et on les creuse au moyen d'un acide.

Des vernis. Parmi les vernis nous citerons celui de M. Lawrence, qui est composé comme il suit : On prend de la cire-vierge et de l'asphalte, de chaque 2 parties; de la poix noire et de la poix de Bourgogne, de chaque, 1 partie. On fond la cire et la poix dans un pot de terre verni, et on y ajoute, par degrés, l'asphalte en poudre fine. On chauffe le tout jusqu'à ce qu'une goutte refroidie se brise, en la pliant deux ou trois fois entre les doigts. Le vernis étant alors ôté de dessus le feu, et un peu refroidi, doit être versé dans de l'eau chaude, où il peut être travaillé plus aisément avec les mains, de manière à être mis sous forme de boules, qui doivent être pétries et mises dans un morceau de taffetas pour l'usage.

Préparation du vernis fort, employé par Callot, et appelé communément vernis de Florence. Prenez une partie de bonne huile de graine de lin, chauffez-la dans un vase de poterie vernissée, mettez-y ensuite autant de mastic bien pulvérisé, remuez le mélange vivement jusqu'à ce que le tout soit bien mêlé, passez alors la masse à travers un morceau de toile, et conservez-la dans une bouteille bouchée à l'émeri.

Méthode d'appliquer le vernis sur la planche et de le noircir. La planche étant bien polie et brunie, nettoyée de toute crasse avec du blanc d'Espagne, on la serre dans un étau à main, sur le bord où il n'y a rien à graver, afin de pouvoir la manier lorsqu'elle est chaude. On la met ensuite sur un réchaud dans lequel il y a un feu modéré, et on couvre toute sa surface également d'une légère couche de vernis, avec un petit tampon fait de coton, enveloppé dans du taffetas, opération qui unit et distribue le vernis également sur toute la planche.

Lorsque cette plaque est ainsi uniformément et légèrement couverte de vernis, elle doit être noircie afin qu'on aperçoive bien les traits du dessin. On se sert d'un flambeau composé de huit ou dix brins de bougie, filée, tordus ensemble, qui produisent beaucoup de fumée. Le vernis doit être noirci avant d'être froid.

Des pointes. Pour enlever le vernis dans toutes les parties correspondantes aux traits du dessin, le graveur trace ceux-ci au moyen de pointes, aiguilles montées dans de petits manches de 12 à 15 centimèt. C'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ordinairement une virole de cuivre qui les unit au bois, au moyen d'un peu de mastic ou de cire d'Espagne. On appelle du nom de *pointe* en général toutes ces sortes d'outils; mais le nom d'*échoppes* distingue celles des pointes dont on aplatit un des côtés, de sorte que l'extrémité n'en soit pas parfaitement ronde, mais qu'il s'y trouve une espèce de biseau.

Quand on a tracé sur la planche, en ôtant le vernis, avec les pointes et les échoppes, tout ce qui peut contribuer à rendre plus exactement le dessin ou le tableau qu'on a entrepris de graver, il faut examiner si le vernis ne se trouve pas égratigné dans les endroits où il ne doit pas l'être, soit par l'effet du hasard, soit parce qu'on a fait quelques faux traits; et lorsqu'on a remarqué ces petits défauts, on les couvre avec un mélange de noir de fumée en poudre et de vernis liquide formé d'asphalte dissous dans de l'essence de térébenthine. Après avoir donné à ce mélange assez de corps pour qu'il couvre les traits qu'on veut faire disparaître, on l'applique avec des pinceaux à laver ou à peindre en miniature.

Morsure à l'eau-forte. L'eau-forte dont on doit se servir n'est pas la même pour le vernis dur et pour le vernis mou.

Quand on veut mettre l'eau-forte sur la planche dans le vernis de laquelle on a gravé le dessin, on commence par border la planche avec de la cire, afin qu'elle puisse retenir l'eau-forte. La cire dont les sculpteurs se servent pour leurs modèles est très propre à cet usage. On l'amollit assez aisément en la maniant, si c'est en été; si c'est en hiver, on l'amollit au feu. Avec cette cire ainsi ramollie, on fait autour de la planche un bord haut de 2 à 3 centimètres, en forme de petite muraille; en sorte qu'en posant la planche à plat et bien de niveau, et versant ensuite l'eau-forte, elle y soit retenue par le moyen de ce bord de cire, sans qu'elle puisse couler ni se répandre. On pratique à l'un des coins de cette petite muraille de cire une gouttière ou petit canal, pour verser plus commodément l'eau-forte.

La planche étant ainsi bordée, on y verse l'eau-forte affaiblie au degré convenable, jusqu'à ce qu'elle en soit couverte de 8 à 10 millimètres. Quand on juge que l'eau-forte a agi suffisamment dans les touches fortes, et qu'elle commence à faire son effet sur les touches tendres (ce qui est facile à connaître en découvrant un peu le cuivre avec un charbon doux), on verse l'eau-forte dans un pot de faïence, et l'on remet tout de suite de l'eau commune sur la planche, pour ôter et éteindre ce qui peut rester d'eau-forte dans la gravure.

La morsure se fait le plus souvent à plusieurs reprises, et à chaque fois le graveur recouvre de vernis mou les parties qui doivent être peu attaquées, dont les tailles doivent être peu profondes.

Pour ôter le vernis de dessus la planche, après que l'eau forte y a fait tout l'effet que l'on désire, on se sert d'un charbon de saule, que l'on passe sur la planche en frottant fortement, et en mouillant d'eau commune ou d'huile la planche ou le charbon.

Lorsque le vernis est ôté de dessus la planche, le cuivre demeure d'une couleur désagréable, qu'on fait aisément disparaître en la frottant avec un linge trempé dans de l'eau mêlée d'une petite quantité d'eau-forte. Ensuite, après l'avoir essuyée avec un linge sec et chaud, on l'arrose avec un peu d'huile d'olive; on la frotte de nouveau assez fortement avec un morceau de feutre de chapeau, et enfin on l'essuie avec un linge bien sec.

Parmi les nombreuses recettes d'eaux-fortes, nous nous contenterons de signaler les suivantes :

Acide nitrique.	1 partie.
Eau.	2 parties.
Nitrate de cuivre . . .	60 gram. par litre.

Pour une action moins énergique :

Acide nitrique.	1 partie.
Eau.	4 parties.

L'eau-forte employée par Callot pour terminer la planche après l'action de l'eau-forte, afin d'en foncer et d'en terminer les parties délicates, se compose de :

Fort vinaigre. .	8 parties
Vert-de-gris. .	4 —
Sel ammoniac. .	4 —
Sel marin. . . .	4 —
Alun.	1 —
Eau	16 —

Planches d'acier. L'acier se grave à l'eau-forte comme le cuivre, et ce genre de planche présente l'avantage de pouvoir supporter des tirages beaucoup plus considérables. Le mordant seul diffère. Nous rapporterons les composés suivants :

Eau distillée. .	15 parties.
Alcool. . . .	2 parties.
Acide nitrique. .	1 partie.
Nitrate d'argent.	1 gram. par litre du mordant.

Le mordant de Turrell, artiste anglais, pour la gravure à l'eau-forte sur acier, est préparé comme il suit :

Prenez :

Acide pyro-ligneux.	4 parties.
Alcool.	1 partie (mêlez et ajoutez).
Acide nitrique. . .	1 partie.

Cette liqueur mélangée doit être appliquée de 1 1/2 à 15 minutes, selon la profondeur désirée.

M. Deleschamps, dans son excellent *Traité de la gravure*, a établi théoriquement, d'une manière très nette, les conditions auxquelles doivent satisfaire les mordants. Nous en extrayons ce qui suit :

« Le problème à résoudre était celui-ci : obtenir une morsure à la fois nette et profonde, sans élargir sensiblement les tailles, sans ronger les parties latérales.

« Pour résoudre ce problème, nous nous sommes fondé sur la théorie physique et chimique que nous allons exposer.

« Nous avons pris un mélange de trois substances : l'une de ces substances dont la pesanteur spécifique est la plus considérable, est le principe le plus agissant, c'était de l'*acétate d'argent;* la deuxième est le principe non agissant, c'était de l'*éther nitreux hydraté;* enfin, le troisième est le principe revivifiant, c'était de l'*acide nitreux.*

« Aussitôt que le mélange de ces trois corps se trouve en contact avec les parties découvertes des planches métalliques, l'acétate d'argent, ou corps agissant, qui n'entre que pour un centième dans la dissolution, se précipite dans la partie inférieure de la taille, où il exerce une action très prompte et très énergique. Les quatre-vingt-dix-neuf parties supérieures de la même taille, étant occupées par l'éther nitreux, se trouvent garanties par sa présence. Ainsi, pendant l'action de la morsure, voici le phénomène qui a lieu :

« L'acétate se trouve précipité au fond des tailles : et par la grande facilité de sa réduction, lorsqu'il est en contact avec certains métaux comme l'acier, le cuivre et les alliages de celui-ci, il les creuse graduellement en profondeur, et se trouve revivifié successivement par l'acide nitreux pour que l'action de la morsure continue. »

Voici la composition du mordant dit *glyphogène,* que M. Deleschamps propose pour la gravure sur acier.

Prenez :	Acétate d'argent. . .	8 grammes.
	Alcool rectifié.	500
	Eau distillée.	500
	Acide nitrique pur. .	260
	Éther nitreux.	64
	Acide oxalique. . . .	4

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un contact d'une demi-minute entre le glyphogène et le métal suffit pour produire les tons légers, et le même liquide peut servir deux ou trois fois, si le travail exige plusieurs tons, en évitant toutefois de reverser sur la planche le précipité qui se forme pendant la morsure.

Gravure au burin. Le burin est une petite barre d'acier trempé, dont la section présente, soit un carré, soit un losange plus ou moins allongé. On affûte les burins en dressant sur une pierre à l'huile leur extrémité, suivant un plan plus ou moins incliné sur l'axe, d'où résulte une pointe plus ou moins soutenue formée par ce plan et deux faces du burin. Ainsi, pour la gravure sur acier, l'inclinaison doit être moindre que pour le cuivre; si le bec était trop aigu, le burin s'égrénerait à chaque instant.

La soie du burin s'enfonce dans un manche en forme de champignon, dont on enlève une partie qui empêcherait d'incliner suffisamment le burin.

Il est clair qu'en faisant agir le burin sur la planche de cuivre, on creusera un sillon et on enlèvera un copeau. En levant le poignet le burin s'enfoncera davantage, le trait deviendra plus large; ce sera le contraire en l'abaissant. Enfin, pour les parties circulaires, on trouve souvent avantage à faire mouvoir de la main gauche la planche, pendant que la main droite guide le burin.

On voit que pour graver au burin, soit qu'on fasse entièrement des planches par ce procédé, soit qu'on complète l'effet de l'eau-forte, il faut peu d'apprêt et peu d'outils. Une planche de cuivre rouge bien polie; un coussinet de cuir rempli de son ou de laine pour la soutenir; une pointe d'acier pour tracer; divers burins bien acérés pour inciser le cuivre; un outil d'acier qui a, d'un bout, un brunissoir pour polir le cuivre, et, de l'autre bout, un grattoir triangulaire et tranchant pour le ratisser: une pierre à huile, montée sur son bois pour affûter les burins; enfin un tampon de feutre noirci, dont on frotte la planche pour en remplir les traits, et les mieux distinguer à mesure que la gravure s'avance, sont tout l'équipage d'un graveur au burin, n'ayant besoin d'ailleurs d'aucun autre apprêt, pour préparer sa planche, ni pour la graver: le succès dépend d'un grand goût de dessin pour la disposition, et d'une main sûre et légère pour l'exécution.

Gravure en manière noire. Cette gravure a l'avantage d'être beaucoup plus prompte et plus expéditive que celle en taille-douce. La préparation du cuivre est longue et ennuyeuse, mais on peut se reposer de ce travail sur des gens qu'on aura dressés à cela; il ne s'agit que d'un peu de soin, d'attention et de patience.

Pour cette préparation, on se sert d'un outil d'acier appelé *berceau*, qui est d'une forme circulaire, afin qu'on puisse le conduire sur la planche sans qu'il s'y engage; il est armé de petites dents très fines, formées par les hachures que l'on a faites à l'outil en gravant dessus des traits droits, fort près les uns des autres et très également espacés.

On balance ce berceau sur la planche sans appuyer beaucoup, en sens horizontal, en sens vertical, et en diagonale. Il faut recommencer cette opération environ vingt fois, pour que le grain marqué sur le cuivre soit d'un velouté égal partout et bien moelleux; car c'est de l'égalité et de la finesse des hachures, marquées par l'instrument sur la planche de cuivre, que dépend toute la beauté de cette gravure. C'est cette finesse de hachures en tous sens que l'on appelle grain velouté et moelleux, parce que, si on imprimait avec cette planche ainsi préparée, elle donnerait au papier l'apparence d'un velours de la même couleur que celles qu'on aurait employées pour l'impression.

Cette opération se fait aujourd'hui très bien par procédés mécaniques.

Quand la planche est entièrement préparée, comme nous venons de le dire, on calque son trait sur le cuivre en frottant le papier du trait par derrière avec de la craie; comme elle ne tient pas beaucoup, on peut la redessiner ensuite avec de la mine de plomb ou de l'encre de la Chine.

La gravure se fait en grattant et usant le grain de la planche, de façon qu'on ne le laisse intact que dans les touches les plus fortes. On commence d'abord par les masses de lumières: on va peu à peu dans les reflets; après quoi l'on noircit toute la planche avec un tampon de feutre pour en voir l'effet.

Cette gravure n'est pas propre à toutes sortes de sujets comme celle au burin; ceux qui demandent de l'obscurité, comme les effets de nuit et les tableaux où il y a beaucoup de bruns, sont les plus faciles à traiter. Elle a le défaut de manquer de fermeté, et ce grain dont elle est composée lui donne une certaine mollesse qui n'est pas facilement susceptible d'une touche hardie. Elle est cependant capable de grands effets par suite de l'obscurité qu'elle laisse dans les masses.

Gravure à l'aquatinte. La gravure à l'aquatinte est une espèce d'eau-forte, qui offre un réseau très serré qui s'obtient par une action chimique.

La planche étant vernie, on recouvre avec un pinceau trempé dans un mélange d'huile d'olive, d'essence de térébenthine et de noir de fumée, les parties qui doivent recevoir le grain. Ce mélange dissout le vernis qu'on enlève facilement avec un linge.

Plaçant la planche, ainsi partiellement découverte, dans une caisse dans laquelle on soulève par un soufflet de la résine en poudre très fine, sa surface se trouve recouverte de grains que l'on fixe à la planche en la faisant chauffer un peu. On grave alors à la pointe, puis on fait mordre à l'acide, et, par la répétition de ces opérations, on obtient la gravure et les effets de tons foncés qui sont le propre de ce genre de gravure.

Gravure de la musique. On se sert pour cette gravure, de planches d'étain de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, planées, polies et préparées par le potier d'étain. Le graveur les reçoit ainsi prêtes à être gravées.

Il prend d'abord ses mesures pour déterminer la quantité de *portées* qu'il veut mettre sur la planche (on appelle *portées* les cinq lignes ou barres sur lesquelles on écrit les notes de musique); ensuite il prend la mesure des distances de ces lignes, et les pique de la pointe du compas.

Si l'on doit graver des paroles sous la musique, c'est par là qu'il faut commencer: l'on trace d'abord deux petites lignes très légères pour déterminer la hauteur des lettres; ensuite l'on trace de même les distances des lettres et des paroles, relativement à la quantité de notes de musique que l'on doit mettre sur chaque syllabe.

La planche étant ainsi préparée, on grave les lignes des portées avec un instrument appelé *couteau*, que l'on conduit le long d'une règle de fer ou de cuivre; ensuite, avec un instrument à trois quarres, appelé *grattoir*, l'on ébarbe ces lignes, après quoi on les polit avec un autre instrument d'acier très poli, que l'on appelle *brunissoir*. Cela fait, l'on pose la planche sur un morceau de pierre ou de marbre pour y frapper aux endroits convenables toutes les différentes figures de la musique, que l'on appelle *clefs*, *noires*, *croches*, *rondes*, *blanches*, *dièzes*, *bémols*, *bécarres*, *soupirs*, *demi-soupirs*, les *signes des renvois*, et même le *point*.

Toutes ces notes, ou figures, se frappent avec des poinçons, au bout desquels elles sont gravées en relief.

Le poinçon avec lequel on frappe la tête de la *noire*, sert aussi pour toutes les têtes de *croches et doubles croches*, etc., dont la figure ne diffère de celle de la *noire*, que parce qu'elles ont au bout de leur queue un crochet simple ou double, triple, etc. Le poinçon de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ronde sert de même pour frapper la *blanche*, qui ne diffère de la *ronde* qu'en ce qu'elle a une queue dont la ronde est privée.

Quand une note passe les cinq lignes gravées, on reprend, avec le compas, un entre-deux de ces lignes, que l'on reporte en haut ou en bas, autant de fois que la note qu'il s'agit de placer a d'intervalles au-dessus ou au-dessous.

Lorsque toutes les têtes des notes, et les autres figures, sont frappées, on plane la planche sur une espèce d'enclume ou tas très-poli, pour la redresser, et rendre plus nettes et plus unies toutes les figures qui ont été frappées. Les queues des *noires*, *blanches*, *croches* et *doubles croches*, se gravent avec le burin. Si plusieurs *croches* ou *doubles croches* sont liées ensemble, pour lors on se sert d'un instrument appelé *échoppe* pour graver les barres qui les lient ensemble. Les *pauses* et *demi-pauses* se gravent aussi avec l'*échoppe*. Certains demi-cercles, que l'on appelle *liaison*, se font avec le burin. Les *accolades*, que l'on emploie pour joindre deux ou trois *portées* ensemble, et quelquefois plus, se gravent avec l'échoppe.

Toutes ces opérations étant faites, on polit la planche avec le brunissoir et un peu d'eau, pour effacer tous les petits traits ou rayures qui peuvent y avoir été faits par ces différentes manœuvres, et qui empêcheraient la netteté de la gravure si on les laissait subsister; ensuite on envoie la planche chez l'imprimeur en taille-douce, qui en tire une épreuve. Si, en examinant cette épreuve, il se trouve quelques notes, principalement des têtes de noires, blanches, ou autres figures, qui aient été frappées mal à propos, on prend un compas, que l'on appelle *compas à repousser*, dont les deux pointes sont retournées en dedans, et se rejoignent ensemble. On pose une pointe de ce compas sur la fausse note, et, de l'autre pointe, on fait une marque à l'envers de la planche; ensuite on repousse cette note par l'envers avec un poinçon. Cette opération occasionne dans cet endroit de l'envers de la planche un creux assez considérable pour être obligé d'y faire couler de la soudure, ce que l'on fait en plaçant une chandelle allumée sous la planche, à l'endroit de la faute à corriger; et, à l'envers de la planche, on place un morceau de soudure sur le petit creux : aussitôt que la soudure est fondue, on ôte la lumière promptement; ensuite on plane cette place d'un côté et de l'autre, après quoi on y frappe la note telle qu'elle devrait être, et enfin on la plane de nouveau. Si la faute ne consiste qu'en une queue de note qui n'ait point été gravée profondément, il suffit, après l'avoir grattée avec le *grattoir*, de repousser à sa place l'envers de la planche avec le marteau, pour y graver ensuite la figure telle qu'on la désire.

Il y a quelques anciennes musiques gravées sur cuivre; mais l'ouvrage est plus long à faire, plus difficile à corriger, et la dépense des planches est beaucoup plus considérable. Le zinc est employé quelquefois aujourd'hui avec quelque succès, surtout pour donner quelques épreuves d'une grande netteté, qui servent à fournir des reports sur pierre, qui sont imprimés à bon marché au moyen de la presse lithographique mécanique.

GRAVURE PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES. Conté a inventé une machine à graver avec laquelle on fait, avec la plus grande régularité, des séries de lignes parallèles également espacées, comme cela est nécessaire pour les ciels des grandes gravures. Elle se compose essentiellement d'une règle ou d'un cylindre portant des ondulations que l'on fait mouvoir au moyen d'une vis de rappel d'un mouvement parfaitement régulier, et d'une pointe (en diamant, pour qu'elle ne puisse s'émousser), qui trace une ligne le long de cette règle.

En 1825, elle se vit tout à coup détrônée par un perfectionnement très-simple en apparence, mais dont l'adoption conduisit à des résultats inattendus.

La machine de Conté était composée, comme nous venons de le dire, d'une règle sur laquelle courait un chariot armé d'une pointe sillonnant le cuivre parallèlement à la règle. Cette règle reculait sur le cuivre après chaque ligne tracée. Un jeune mécanicien, M. Collas, renversa tout ce système. Au lieu de faire marcher la règle sur une planche immobile, ce fut la règle qu'il rendit fixe et la planche qu'il fit avancer par une vis de rappel qui en modérait la marche, avec une régularité parfaite et dans des proportions réglées à tous les degrés désirés par un cercle indicateur.

C'était une révolution complète, car bientôt le principe du tour à guillocher s'ajoutant à ce nouveau mécanisme, celui-ci ne se borna plus à des lignes droites ou ondulées, il produisit toutes les lignes bizarres que peut donner le guilloché.

Plus tard, le support de la planche put non-seulement avancer et reculer, mais tourner à pivot, et le cercle se fit aussi facilement que la ligne droite et la ligne serpentante; l'ovale, la spirale, l'épicycloïde et toutes les figures régulières sortirent à leur tour de cette disposition.

Quelques années s'étaient écoulées dans ces perfectionnements, lorsqu'un jour M. Collas désira imiter les nuages dans un ciel; il y réussit et au delà de ses prévisions, car il trouva en même temps le moyen de produire ces merveilleux effets de relief et de creux tant admirés en 1832 dans le *Trésor numismatique et de glyptique*.

Gravure de numismatique. Ce procédé de M. Collas n'a pas été décrit; voici à peu près comment on peut le concevoir d'après les résultats obtenus.

Qu'on suppose une plate-forme horizontale, susceptible de marcher, de quantités quelconques, mais égales, au moyen d'une vis à tête graduée, et à l'extrémité de celle-ci une plate-forme douée des mêmes propriétés, mais perpendiculaire au plan de la première, les mouvements des deux plates-formes étant d'ailleurs liés de telle manière que le mouvement imprimé à l'une entraîne celui de l'autre. Plaçons maintenant entre les deux plates-formes un chariot pouvant se mouvoir parallèlement aux plans de ces deux plates-formes, et armé de deux branches, dont l'une, horizontale, sera perpendiculaire à la plate-forme verticale, et dont l'autre, verticale, sera perpendiculaire à la plate-forme horizontale, la première portant une touche et la seconde un burin ou une pointe de diamant. Supposons enfin qu'outre son mouvement de translation parallèle aux deux plates-formes, le chariot puisse facilement se mouvoir dans une direction perpendiculaire à la plate-forme verticale, et nous aurons la matérialisation du principe constitutif de l'ingénieuse machine de M. Collas.

Fixons maintenant sur la plate-forme verticale le bas-relief à représenter; fixons aussi sur la plate-forme horizontale la planche de cuivre ou d'acier qui doit recevoir l'action du burin ou de la pointe du diamant, et amenons les plates-formes dans une position relative telle qu'en faisant marcher le chariot, la touche parcoure le bord extrême de l'un des côtés du bas-relief. Si ce côté est un plan, la touche et le burin se mouvront en ligne droite, et une ligne droite sera tracée sur la planche. Le déplacement des deux plates-formes, au moyen de la vis de rappel qui les commande, permettra de tracer sur la planche une seconde ligne droite parallèle et à une petite distance de la première, puis se succéderont autant de lignes droites que le comporteront l'écartement régulier donné aux lignes à tracer et la grandeur de la surface plane parcourue d'abord par la touche, qui, enfin, parviendra aux par-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ties sculptées du bas-relief. Alors la touche sera repoussée par les saillies et pénétrera dans les cavités de la sculpture, circonstance qui fera tracer au burin une ligne ondulée pour les portions correspondantes aux saillies et aux dépressions du bas-relief, et droite pour les portions entièrement planes. Les lignes suivantes parcourues par la touche sur les portions voisines du bas-relief, déterminent d'autres ondulations dans les lignes correspondantes tracées par le burin, et comme ces ondulations ne seront autre chose que le rabattement géométrique sur un plan des saillies et des dépressions du bas-relief, la juxtaposition d'une série de coupes successives, il en résultera une image du bas-relief.

L'invention de M. Collas, très-remarquable au point de vue de l'art, offre un grand intérêt pour la fabrication des billets infalsifiables, en tant que copie par la gravure.

En effet, qu'on soumette à la machine de M. Collas un bas-relief dont on ait enlevé irrégulièrement quelques parties, et qui fera par suite un type unique, on pourra reproduire ce bas-relief sur un billet, recouvert ainsi d'une quantité indéfinie de lignes variant d'écartement et d'intensité, et qu'aucun travail de gravure ne saurait reproduire avec une exactitude suffisante pour tromper l'œil le moins exercé. Cette voie n'a pas été suivie, et les recherches ont pris une autre direction, comme nous le verrons plus loin.

Gravure irisée. Avant de mettre au jour sa machine à graver, M. Collas s'était déjà fait connaître par un tour de force mécanique, la *gravure irisée.* Dans ses beaux travaux sur la lumière, le docteur Th. Young avait indiqué la cause des tons irisés qui chatoyent sur les surfaces métalliques polies, lorsqu'elles ont été rayées. Il avait démontré que ces iris sont dus à des interférences de rayons produites par des lignes de différents sens, tracées très-fines et très-rapprochées. Cette théorie, appliquée par M. Barton, de la Monnaie de Londres, produisit de brillantes parures métalliques à reflets irisés, dont les matrices d'acier offraient plus de 2,000 lignes par pouce carré anglais; M. Barton était même parvenu à en tracer jusqu'à 10,000 dans le même espace. Ce succès éveilla l'émulation de M. Collas, et, sans connaître la machine avec laquelle opérait M. Barton en grand secret, et qui n'est pas même encore connue, le mécanicien français fabriqua, à son tour, des boutons irisés; en 1825, il présentait à la Société d'encouragement une plaque ovale d'acier de 10 millimètres (8 lignes), dans laquelle il avait gravé 8,792 traits.

Gravure avec réduction. Une nouvelle application de la mécanique à la gravure se montra à l'Exposition de 1855. On connaît tout le parti que les dessinateurs tirent du pantographe pour réduire ou amplifier des dessins, et les services que cet instrument rend aussi aux graveurs pour leurs calques. Le génie inventif de M. Collas s'est tourné vers ce sujet. Pourquoi, s'est-il dit, ne graverait-on pas en même temps que l'on calque? De la pensée à l'exécution la distance fut bientôt franchie, et un ingénieux mécanisme fut créé, qui, obéissant à la main qui calque un dessin, le grave avec la fidélité d'une machine et dans les dimensions que l'artiste veut adopter.

Ce n'est pas tout : comprenant que l'industrie pourrait tirer parti de cette invention pour les dessins qu'elle a souvent à répéter, comme les chiffres, les lettres, les encadrements, pensant aussi que ce serait un avantage important de pouvoir faire exécuter, même par des mains inhabiles, ce travail de calque pour lequel il faut ordinairement autant d'adresse que de soin et d'attention, M. Collas a gravé en creux, sur du zinc, un grand assortiment de lettres et d'ornements, qu'il peut réunir pour en faire des modèles, comme le compositeur d'imprimerie réunit ses caractères, et un jeune enfant exécute, à l'aide de cette machine, des dessins avec précision et facilité, en faisant suivre par une pointe à calquer, les traits creusés dans les types de zinc, et que la pointe à graver répétait avec exactitude.

De là les applications les plus nombreuses. Au moyen d'une pointe en diamant, non-seulement les métaux, mais le bois et la pierre se gravent avec netteté, et l'orfévrerie, la tabletterie et tous les arts qui emploient si fréquemment le burin dispendieux du graveur pourront, dans nombre de cas, obtenir à peu de frais, et, ce qui souvent est plus précieux, en peu de temps, les ornements dont la gravure les forçait autrefois à porter trop haut le prix de leurs produits.

Une autre machine, inventée aussi par M. Collas, toujours d'après le principe du pantographe, produit à la fois cinq copies gravées du même dessin. C'est à l'aide de cet instrument qu'en 1849 ont été gravés, en quelques jours, dix exemplaires de chacun des 750 noms des représentants. Ces 750 noms étaient destinés au service des trémies à voter, qui, sans la gravure de M. Collas, seraient restées hors d'usage.

La gravure doit encore à cet ingénieux mécanicien, dit le rapporteur du jury de l'Exposition de 1855, auquel nous empruntons une bonne part de ce qui a rapport aux procédés de gravure mécanique, un nouvel instrument au moyen duquel disparaît une des grandes difficultés de l'art, la nécessité de graver à rebours. On sait que le tirage donne toujours des épreuves dans le sens opposé à celui de la gravure. Pour avoir des épreuves du même sens que le dessin original, il faut donc que la gravure soit en sens contraire de ce dessin. Le graveur y parvient en opérant sur un décalque, et, lorsqu'il veut comparer son travail au dessin, il regarde celui-ci dans une glace qui le renverse. Par une combinaison d'une simplicité remarquable, la machine de M. Collas grave en sens inverse et l'épreuve est identique au dessin. Ce moyen lui a permis de produire pour la banque pontificale un billet dont les deux moitiés du cadre et des ornements se répètent en se regardant et sont parfaitement identiques, bien qu'en sens contraire.

On sait que ce n'est pas dans la voie dont il vient d'être parlé que les travaux de M. Collas ont trouvé leurs plus belles applications; que c'est surtout dans la reproduction et la réduction des statues antiques. (Voy. PANTOGRAPHE.)

Gravure pour les banques. Une des principales applications qu'on fait aujourd'hui de la gravure mécanique est la confection des billets de banque, des papiers-monnaies, lettres de change, titres d'actions et autres papiers dont il est important de rendre la contre-façon sinon impossible, au moins facile à reconnaître, difficile à exécuter. Aussi les Etats-Unis, cette mère patrie du papier-monnaie et des banques, se sont-ils appliqués à cet objet, et c'est dans ce pays que l'invention de Perkins a pris naissance.

Le moyen de détourner le contrefacteur est de varier à l'infini l'irrégularité des lignes d'une gravure, pour qu'elle ne puisse être imitée qu'à la main, car la main n'a pas la sûreté d'un instrument, et il lui arrive toujours quelque infidélité qui trahit la contrefaçon. La répétition d'un même dessin placé différemment, autrement entouré, et qu'on peut changer de disposition à volonté, est encore un moyen certain de prévenir ou de découvrir la fraude. Lorsqu'une disposition nouvelle est donnée à la planche à chaque série de cent ou de mille billets, il devient difficile au faussaire de se conformer à cette grande variété, et l'imitation devient alors trop dispendieuse pour être profitable.

Ce furent sans doute ces considérations qui engagèrent Perkins à chercher à perfectionner les procédés qu'on avait employés en France pour la fabrication des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

assignats, et qui sont décrits très au long par Camus, dans son *Histoire de la stéréotypie*.

En France, à la suite de nombreux essais, Gengembre et Droz après lui s'étaient arrêtés à la méthode que voici : ils faisaient graver en creux un dessin sur acier, trempaient l'acier, et de cette gravure tiraient au balancier une contre-épreuve en relief, également sur acier. De cette contre-épreuve, trempée à son tour. Ils tiraient des planches en cuivre.

Perkins comprit que le balancier ne pouvait agir que sur des matrices de petites dimensions, et il songea au procédé usité de tout temps pour graver les molettes. Il résolut donc de remplacer la seconde planche d'acier, celle qui reçoit le relief, par un cylindre également d'acier. A cet effet, il dut s'occuper d'abord des moyens de donner à volonté à l'acier la mollesse du cuivre, et, quand il y eut réussi, son procédé fut trouvé. Une planche d'acier gravée en creux est durcie par la trempe; une presse, composée d'un très-fort cylindre inférieur et d'un cylindre supérieur d'acier mou, la reçoit entre ces deux cylindres, et, dans son mouvement circulaire sur cette planche, le cylindre dont l'acier n'est pas encore trempé reçoit en relief la gravure de la planche en creux. Ce cylindre, à son tour durci par la trempe, donne sur cuivre des tailles-douces identiques à la première.

Les Américains font aujourd'hui un usage général de ces reproductions pour leurs billets de banque, et l'on comprendra combien cette industrie doit être importante, quand on saura que chacun des États de l'Union a sa banque nationale, laquelle émet des billets de diverses sommes; qu'en outre, toutes les entreprises considérables ont aussi des banknotes de plusieurs valeurs, et que les grands négociants imitent ces banques.

L'industrie du graveur de billets y consiste à avoir de nombreux cylindres d'acier gravé pour les fonds, et un grand choix de petits dessins, portraits, costumes, vues, attributs, armoiries, chiffres, lettres, exécutés également sur des roulettes d'acier. Quand le banquier a désigné les dessins qu'il préfère, arrêté les dispositions de la planche entière, le graveur reporte sur cuivre ou sur acier mou toutes les parties du billet et livre la planche à l'acquéreur. Les matrices des petits dessins restant toujours dans les mains du graveur, il doit finir par avoir un assortiment très-varié, propre à fournir un nombre illimité de combinaisons nouvelles, composées des mêmes dessins. D'où il résulte qu'une planche très-chargée peut être confectionnée à un prix très-modéré.

En France, où cette méthode n'est pas usitée, chaque banque, chaque grande industrie fait faire une gravure qui est toujours plus dispendieuse, puisqu'elle est spéciale et que le travail doit être nouveau pour chaque personne, quand elle ne se contente pas d'une simple composition typographique qui n'offre aucune sécurité.

On préfère d'ailleurs dans notre pays l'impression en relief, qui permet mieux que l'impression en taille-douce de rentrer une impression dans une autre (condition importante aujourd'hui pour éviter les contre-façons par la photographie, très-dangereuse pour les impressions en noir, mais qui échoue sur les couleurs bleues et jaunes), et aussi d'imprimer également le recto et le verso avec une même gravure, par une impression faite d'abord sur le tympan de la presse, condition qui a longtemps paru la principale sauvegarde des billets de la Banque de France, et que l'on a eu tort, croyons-nous, d'abandonner, car elle offrait une grande difficulté à la contrefaçon par report sur pierre lithographique.

GRAVURE DES ROULEAUX ET DES PLANCHES POUR L'IMPRESSION SUR ÉTOFFES ET LA FABRICATION DES PAPIERS PEINTS.

On emploie plusieurs sortes de surfaces gravées pour imprimer, savoir :

1° *Le bloc ou la planche de bois de poirier*, parfaitement plate, sur laquelle on transporte et grave le dessin en relief;

2° *Le bloc ou la planche de bois de poirier*, sur laquelle on implante et fixe à la même hauteur de petites lames de cuivre laminé et recuit, qui forment tous les contours et les traits fins du dessin.

3° La *planche métallique* en relief, laquelle est formée par la réunion de clichés métalliques fondus sur une planche dite *matrice;*

4° La *planche plate* en cuivre, gravée au burin, ou à l'eau-forte, à la manière usitée pour l'impression en taille-douce;

5° Le *cylindre*, ou rouleau cylindrique, que l'on grave à la machine, ou à l'eau-forte, etc.;

6° Enfin, le *cylindre dit à surface*, en bois, gravé en relief, ou sur lequel sont gravés ou appliqués et fixés des clichés métalliques offrant la reproduction en relief d'un dessin.

Planches. Pour obtenir des blocs ou planches qui restent bien plates malgré l'action de l'humidité, on les forme de quatre couches de bois, bien dressées au rabot sur les deux faces. La couche du dessous est en bois de chêne de 12 à 13 millimètres d'épaisseur; les deux couches intermédiaires sont en bois blanc de même épaisseur, et la quatrième de 9 millimètres d'épaisseur est en bois de poirier ou de pommier, qui sont des bois compactes et dont le grain est fin. Ces couches de bois sont superposées, de manière que les fibres se croisent; elles sont jointes ensemble avec une colle dite au fromage, insoluble et inaltérable par l'humidité.

Voici la manière de préparer cette colle :

Choisissez du fromage blanc, appelé fromage à la pie; mettez-le dans une bassine en cuivre, et brouillez-le avec un peu d'eau. Faites cuire ce mélange sur un feu doux pendant une demi-heure pour enlever tout le petit-lait qu'il contient. Comprimez ensuite la composition dans un linge un peu serré pour en exprimer toute l'eau. Faites recuire de nouveau en remuant toujours avec une spatule en bois pour éviter qu'elle ne s'attache et ne se carbonise au fond du vase.

Lorsque la composition forme une pâte résiniforme et quasi élastique, vous la retirez du feu, et vous en formez des boules que vous pétrissez dans les mains; vous les faites ensuite sécher lentement à l'air ou dans un appartement un peu chaud.

Enfin, vous râpez ces boules lorsqu'elles sont sèches, et vous conservez la poudre pour vous en servir suivant le besoin.

Voici la manière d'employer cette poudre de fromage :

Vous prenez un vase quelconque dans lequel vous mettez de la poudre en quantité suffisante pour le collage que vous voulez faire; vous jetez dessus et peu à peu de l'eau de chaux, en ayant soin de bien remuer avec une spatule en bois pour dissoudre et lier la pâte avec l'eau et en former une colle de la consistance du miel. C'est dans cet état onctueux que vous employez cette colle, que vous étalez, égalisez sur la planche de bois avec la spatule elle-même, en employant cette colle aussitôt qu'elle est faite. Les deux planches de bois blanc et celle de chêne étant enduites seulement d'un côté, vous les superposez l'une sur l'autre, dans l'ordre que nous avons indiqué plus haut, en finissant toujours par la planche de poirier.

Vous comprimez enfin les planches collées par des serre-joints entre des madriers de bois, afin de faire adhérer la colle qui résiste à tous les efforts et ne craint pas l'humidité.

La gravure du dessin tracé sur la planche de poirier, dressée de fil, dans le sens de la longueur des fibres, est faite à l'aide d'une pointe, espèce de canif qui, tenu droit, coupe profondément le bois et avec lequel on obtient des gravures sans talus. On fait sauter avec la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pointe les intervalles du dessin coupés des quatre côtés, et on dresse les fonds avec des gouges et des butavants, ciseaux en forme de baïonnette, avec lesquels on atteint facilement les fonds. C'est de la gravure en relief sur bois de fil (Voir plus loin GRAVURE SUR BOIS), dont, par suite, les tailles se vident facilement, gravées très-creuses à l'aide d'un outil spécial, de la pointe tenue droite.

Les rouleaux en relief, en bois, très-employés pour l'impression mécanique des papiers peints, se gravent de la même manière.

La nécessité d'avoir une gravure sans talus et très-saillante se comprend facilement, si l'on réfléchit à la nature des couleurs à l'eau, épaissies seulement à la gomme, qu'on emploie dans l'impression. Cette condition est tellement nécessaire qu'elle a conduit à l'adoption, très-fréquente dans la pratique, d'un autre mode de gravure, à l'aide de petites lames de laiton, dont nous allons parler.

Pour faire un dessin au moyen de lames de laiton, on calque le dessin, puis on entaille tous les traits décalqués à l'aide d'une espèce de ciseau plat très-petit, qu'on enfonce bien verticalement et toujours à la même profondeur à l'aide d'un marteau. A cet effet, le petit ciseau porte sur l'une de ses faces un petit butoir ou arrêt. C'est dans les entailles ainsi formées qu'on enfonce les lames de laiton laminé et découpé d'une hauteur uniforme; on les contourne d'abord à l'aide de pinces ordinaires, suivant les contours du dessin: ensuite, on les met toutes à la même hauteur, au moyen d'un petit poinçon limé dans la moitié de son épaisseur, à une hauteur égale à celle du relief de la gravure.

Il est curieux qu'on ait osé tenter la solution du problème consistant à exécuter mécaniquement de semblables gravures représentant souvent des dessins fort compliqués et demandant beaucoup d'habileté. On y est assez bien parvenu en Angleterre, en opérant ainsi qu'il suit.

Le dessin qui doit servir à diriger la machine est amplifié un certain nombre de fois; il se compose, comme ceux qu'on emploie dans la tapisserie à la main, de carreaux régulièrement espacés et colorés de toutes les nuances du sujet à graver.

Sous la direction de l'ouvrier, la machine décompose le *dessin* en autant de planches qu'il y a de couleurs, et, pour chaque carré de l'une d'elles, fait mouvoir un fil de cuivre, qu'elle coupe à la longueur voulue, et qu'elle implante dans le bois à une profondeur nécessaire pour la fixer solidement. Le seul reproche qu'on puisse faire à cette machine, dont les produits ont, d'ailleurs, un cachet remarquable de netteté, c'est qu'elle ne permet pas de réaliser des *traits continus à contours réguliers*. En effet, ces *traits* ne pouvant être reproduits que par la juxtaposition de fils cylindriques ou lamellaires de même dimension, il y a inévitablement des solutions de continuité que le léger coulage de la liqueur durant l'impression ne fait jamais entièrement disparaître; en sorte que, au lieu d'obtenir un trait net, représentant une ligne droite ou courbe, on n'a qu'une suite de points formant une ligne dentelée.

Planche métallique en relief. C'est le plus souvent, aujourd'hui, par la reproduction du *cachet*, de l'élément d'une gravure, que s'obtiennent les planches d'une certaine étendue, dont la gravure serait fort chère, pour la Perrotine notamment.

Tous les procédés de reproduction employés dans la typographie, savoir la STÉRÉOTYPIE et la POLYTYPIE, sont utilisés maintenant pour l'impression pour étoffes, surtout le dernier qui n'offre pas l'inconvénient de donner des produits variant de dimensions en raison des températures. Nous n'avons qu'à renvoyer à ces articles pour la description des procédés. (Voir à l'article STÉRÉOTYPIE, *Gravure au gaz*, la description du plus intéressant procédé de ce genre.)

Pour les rouleaux en relief, on opère ainsi qu'il suit:

Sur un axe en fer on applique une couche de plâtre; quand elle est durcie, on la tourne pour en faire un cylindre sur la surface duquel on fixe des planches en alliage de plomb faites par le procédé de gravure au gaz, qui se laissent courber à la chaleur.

Planche plate. La planche plate est gravée par les anciens procédés employés depuis trois siècles pour la gravure en taille-douce.

ROULEAUX. On grave aujourd'hui les rouleaux de quatre manières différentes, que nous citerons en suivant l'ordre de la date de leur origine ou de leur exploitation industrielle en France :

1° Gravure au poinçon et au balancier, inventée par Gingembre et Fiesenger, qui ont fait les premières expériences à la Monnaie de Paris, en 1792 (Voyez *la Bibliothèque universelle de Genève*, tome XIV, page 58, année 1820);

2° Gravure au poinçon-molette, à l'aide d'une machine à graver inventée par Perkins, Américain, vers le commencement de ce siècle;

3° Gravure à la molette roulante, perfectionnée en Angleterre, par Perkins et Fairmann, en 1830, et importée en France, en 1825, par MM. Haussmann frères, de Mulhouse;

4° Gravure à l'eau-forte et au burin, ou au moyen d'un tour à guillocher, inventé par White, en 1840.

5° Gravure au pantographe et à l'aide de l'électricité.

Parmi ces diverses méthodes, la plus employée est la gravure à la molette roulante. La gravure à l'eau-forte sert pour des genres spéciaux; la gravure au burin est employée journellement pour gaufrer et imprimer des étoffes; on fait usage de la gravure au poinçon et au mouton pour la reproduction des petits dessins détachés, parce qu'elle est la plus facile et la plus prompte dans ce cas.

Nous allons décrire ces diverses méthodes, et montrerons comment à cause des avantages qu'offre le tour pour le travail des pièces cylindriques, la gravure mécanique des cylindres est devenue plus facile que celle de la planche plate.

Gravure au poinçon. Elle consiste à graver un poinçon en acier non trempé, dont l'extrémité de la courbure du cylindre est destinée à produire le dessin. On le grave, on le trempe, et on l'applique sur la surface du cylindre qui est placé sur un tour à graver. (Voir plus loin le dessin de cette machine.) Le poinçon gravé est tenu au-dessus, dans une presse qu'on fait mouvoir parallèlement au cylindre, d'une quantité voulue, au moyen d'une vis de rappel, dont la tête porte une plate-forme divisée qui règle la marche du poinçon. Cette même presse porte au-dessus du poinçon un petit mouton qu'on fait jouer à l'aide d'une pédale, et dont la chute peut être plus ou moins grande, suivant la force de percussion qu'il faut exercer sur le poinçon pour l'imprimer sur la surface du cylindre.

On imprime ainsi successivement le poinçon sur toute la surface du cylindre, et, si le dessin l'exige, on fait d'abord les contours avec un premier poinçon, et l'on revient avec un second poinçon pour remplir les *pleins*.

Gravure au poinçon-molette. Ce genre de gravure, comme son nom l'indique, participe tout à la fois de la gravure au poinçon et de celle à la molette. C'est tout simplement un poinçon gravé sur une portion de la circonférence d'une molette en acier, et qui en reproduit l'empreinte comme une molette.

Gravure à la molette. Le dessin est gravé d'abord en creux sur une molette ou cylindre en acier fondu, et non trempé. On tourne sa circonférence de manière que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

son diamètre soit dans un rapport exact avec celui du grand cylindre à graver, sur lequel on veut le répéter un grand nombre de fois.

Ce rouleau étant gravé, on le trempe en le chauffant au rouge cerise, après l'avoir préalablement renfermé dans une boîte en fonte remplie de suie calcinée ou de charbon végétal. On emploie aussi de la suie avec une addition d'os ou de charbon animal pour avoir une trempe plus forte. Enfin on le plonge dans l'eau froide pour opérer la trempe.

Lorsque la molette est refroidie, on la monte sur ses axes dans une espèce de laminoir dit *presse à relever*, où, à l'aide d'une pression considérable et d'un mouvement de rotation donné au rouleau gravé, on fait naître, on reproduit son empreinte en relief du dessin gravé en creux sur une molette détrempée et dont le diamètre est dans un rapport exact avec celui du cylyndre à graver. Le second cylindre est trempé à son tour par le procédé que nous avons indiqué plus haut.

Pour exécuter la gravure sur le cylindre en cuivre, on se sert d'une machine analogue à celle pour graver au poinçon, du tour à graver qui permet de presser fortement la molette, qui tourne sur ses axes, contre le cylindre à l'aide de deux leviers funiculaires, tellement disposés, qu'avec un poids de 100 à 150 kilogrammes, on exerce une pression de 10 à 15,000 kilogrammes, suivant la disposition du dessin, de la profondeur de la gravure et de la dureté du cylindre à graver. Cette molette est disposée de manière que son axe prenne, au besoin, une position parallèle, oblique ou perpendiculaire au cylindre, pour pouvoir graver circulairement ou en hélice, ou dans le sens longitudinal. Pour donner au cylindre à graver le mouvement continu ou simultané qui est nécessaire pour imprimer le dessin convenablement, ses axes sont supportés par des poupées liées à des arbres qui portent des roues d'engrenages. La même molette, transportée successivement dans la direction de l'axe du cylindre, de quantités parfaitement constantes, faciles à évaluer au moyen du plateau divisé fig. 1107, servira, on le voit, à reproduire, à l'infini, le même élément sur un rouleau. Enfin les parties très-étendues sont souvent enlevées au burin.

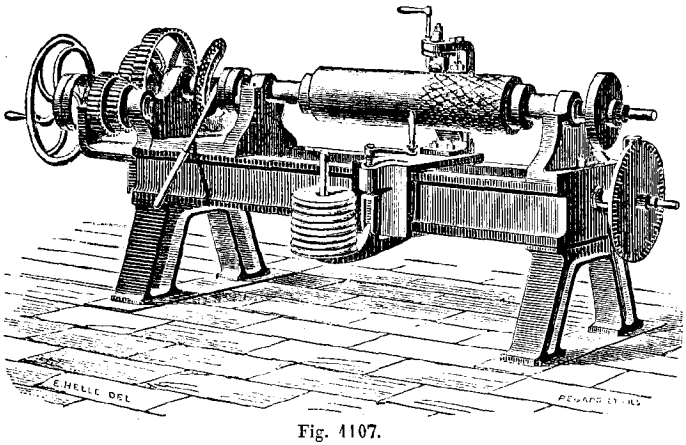


Fig. 1107.

Quand on a besoin de deux ou trois cylindres gravés et plus, pour imprimer en deux, trois et quatre couleurs, on grave les couleurs sur deux, trois ou quatre molettes semblables, de manière que les contours des dessins se raccordent parfaitement; il faut que les cylindres de cuivre, sur lesquels on veut graver, soient quelque peu plus gros les uns que les autres.

Ainsi, le rouleau qui doit fournir la première couleur sera le plus petit; le second rouleau qui doit fournir la deuxième couleur sera un peu plus gros, et le troisième rouleau encore un peu plus gros, et ainsi de suite; mais il n'en faut pas moins que le diamètre de chaque molette soit dans un rapport exact avec celui de chaque cylindre de cuivre.

Cette condition est indispensable, parce que l'expérience a démontré qu'une étoffe imprimée s'allonge et s'étend par l'humidité et par la pression.

Gravure à l'aide du tour à guillocher. Un des instruments les plus employés pour obtenir par action mécanique des ornements et décorations est le tour à guillocher, très-employé dans l'orfévrerie, l'impression sur étoffes, etc. Par la nature et son mouvement qui le rapproche du tour à graver, le tour à guillocher s'applique naturellement à la gravure des rouleaux surtout pour obtenir les fonds plus ou moins teintés. Ce tour diffère d'un tour ordinaire en ce que le rouleau peut se mouvoir suivant son axe, en même temps qu'il tourne. (Voyez TOURS COMPOSÉS. *Complément.*) Si l'on place à l'une des extrémités une roue qui porte une *rosette festonnée* (dont la fig. 1107 *bis* représente un élément) en raison de la nature et du nombre des sinuosités que l'on veut produire, un ressort ou

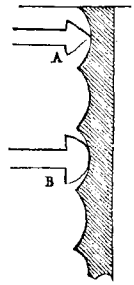


Fig. 1107 *bis*.

contre-poids pressant sur l'autre extrémité du cylindre pour le rapprocher de la rosette, tandis qu'une *touche* qui s'appuie sur celle-ci l'en éloigne plus ou moins brusquement; suivant encore que l'extrémité de la touche se termine en pointe aiguë comme en A, ou en courbe arrondie comme en B (fig. 1107 *bis*), le feston de la rosette se reproduira sur le cylindre en lignes formant zigzags, à contours plus ou moins accidentés, très-différents de ceux de la rosette, dans ce dernier cas, ou bien le feston toujours régulier se rapprochera de celui de la rosette dans le premier.

Pour compléter ce genre de gravure pour l'impression des étoffes, pour en obtenir des traits plus ou moins creusés (ce qui produit des ondulations, genre qui a été, un temps, fort à la mode et surtout pour réserver des sujets en blanc, condition nécessaire pour imprimer en plusieurs couleurs, on a employé un *sauteur* ou *patron*. On appelle ainsi un petit cylindre en bois sur lequel le dessin que l'on veut obtenir est gravé en relief, avec des parties creuses plus ou moins profondes. Ce cylindre est fixé à l'une des extrémités de celui qu'il s'agit de graver et en reçoit le mouvement. Pendant que ce mouvement a lieu, une pointe placée perpendiculairement à l'axe, et qui frotte sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la surface du petit cylindre, s'enfonce dans les traits gravés en creux, est relevée par ceux qui sont en relief, et communique ces mouvements au burin avec lequel elle est attachée au moyen d'un levier ; en sorte que ce burin, tantôt en s'enfonçant plus ou moins dans le cylindre, y produit des traits plus ou moins profonds, tantôt ne le touchant pas, y réserve des parties blanches.

Enfin ce genre de gravure a été complété par l'emploi du *pantographe*, à l'aide duquel une figure donnée est augmentée ou diminuée à volonté.

Ce que nous venons de dire pour le guillochage des cylindres s'applique également à des surfaces plates ou de forme quelconque, en modifiant le système, en remplaçant le tour par une espèce de machine à raboter. Le problème est toujours de trouver une *rosette correspondant à une courbe donnée*, problème dont nous avons indiqué la solution générale dans notre *Traité de Cinématique*.

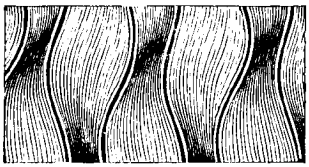


Fig. 1107 *ter*.

Il est facile de comprendre les ressources infinies que l'industrie retire d'un moyen de couvrir une surface métallique de traits soumis à une certaine loi. La figure 1107 *ter*, empruntée à M. Persoz, montre tout le parti qu'on peut en tirer pour l'impression des étoffes, comment on obtient mécaniquement les teintes dégradées, les effets dominants qui forment les fonds, et qui viennent se joindre à des rentrures produites par des rouleaux gravés par d'autres procédés.

Comme tous les outils à graver, le tour à guillocher peut servir à enlever seulement un vernis appliqué sur la surface. Le dessin obtenu, complété à la main ou par d'autres procédés mécaniques, est ensuite passé à l'eau-forte et donne une série de traits gravés plus ou moins profondément en raison de la durée de l'action et de la force de l'acide.

Tour de Locket. — Le célèbre graveur en cylindres pour impression sur étoffes, Locket, de Manchester, avait mis à l'Exposition de 1862 un très-beau spécimen du tour qu'il emploie pour utiliser le pantographe pour l'exécution de ces cylindres, que représente la fig. 1108, et qui est une des plus heureuses inventions que l'on pût faire pour effectuer rapidement et à bon marché la gravure de nombreux éléments répétés sur la surface d'un rouleau.

On connaît deux systèmes principaux de pantographes, dit le rapporteur du jury; dans celui de Multon, qui figurait à l'Exposition de 1855, on emploie comme patron un dessin amplifié, tracé à la pointe sur une lame de zinc, qui est ensuite recourbée de manière à représenter la surface creuse d'un tube cylindrique. Ce dessin-patron est exactement cinq fois plus grand que le dessin à réaliser, rapport qu'on obtient très-aisément au moyen d'un objectif grossissant placé à l'entrée d'une chambre obscure.

Le second système ne diffère absolument du précédent qu'en ce que le dessin-patron, au lieu d'avoir une forme concave, est sur un plan parfaitement horizontal. Ce pantographe, employé d'abord en Amérique, puis considérablement modifié et amélioré par le célèbre graveur de Manchester, M. Locket, aurait, dit-on, sur le premier, plusieurs avantages : on ne serait pas obligé de conserver toujours le rapport constant de

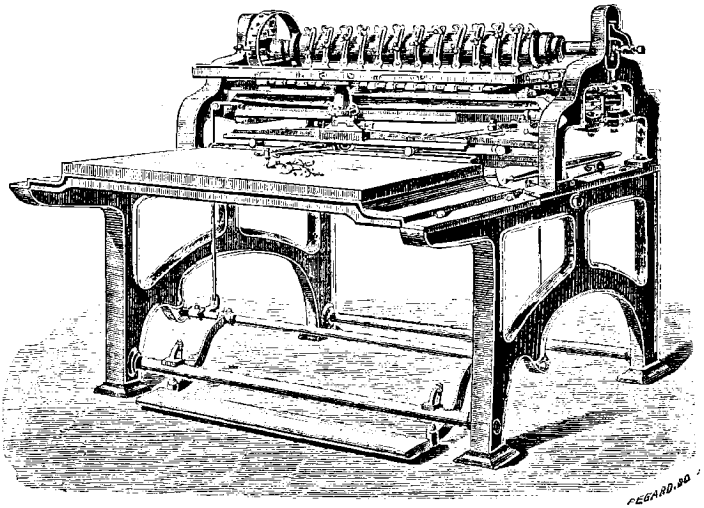


Fig. 1108.

un à *cinq* entre le dessin à réaliser et le patron ; les sujets à graver pourraient être renversés à volonté ; enfin l'ouvrier, qui, en faisant manœuvrer la machine, doit suivre avec une pointe tous les traits de la gravure du patron, pourrait prendre une position moins fatigante devant une table plane que devant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une espèce d'auge, comme celle où il est obligé de travailler dans le premier système.

Le principe de l'appareil se conçoit assez facilement : la pointe avec laquelle on suit le dessin sur la table est adaptée à l'extrémité d'une longue barre qui a une grande mobilité, grâce aux rouleaux d'acier interposés entre elle et les pièces qui la supportent. Par son mouvement les réductions se produisent à l'échelle voulue. Il faut pour cela que les mouvements soient réduits dans le rapport voulu, suivant les deux coordonnées de la courbe à tracer sur le cylindre, c'est-à-dire les sections circulaires et les génératrices rectilignes.

Les premières sont obtenues par le mouvement d'avant en arrière, ou inversement, de la barre qui fait engrener une véritable crémaillère qui se meut avec elle, avec deux roues à denture excessivement fine qui sont montées sur l'axe du cylindre et qui le font tourner dans le rapport voulu, d'après leur diamètre, devant les 10, 20, etc., pointes destinées à graver sa surface, à enlever le vernis qui protégera les parties où il existera contre l'action de l'acide. Pour l'autre coordonnée, c'est le support des porte-outils qui est entraîné par le mouvement latéral de la barre qui supporte la pointe traceuse agissant toujours en un même point de l'élément essentiel d'un pantographe, d'un parallélogramme qui commande le support des porte-outils mobile transversalement. Suivant la position du point d'attache de la barre et du parallélogramme, on peut varier le rapport des coordonnées rectilignes du dessin et de celles du modèle transversales au plan sur lequel il est tracé.

Cet ingénieux appareil, malgré le soin apporté à sa construction, exige une assez grande habitude de la part de l'ouvrier pour obtenir des tracés tout à fait satisfaisants, la main n'étant vraiment libre que dans deux directions rectangulaires, qui peuvent bien donner toutes les inclinaisons, mais à condition que la main résiste aux efforts d'inertie, surmonte les résistances qui tendent à se produire.

Gravure à l'aide de l'électricité. C'est sans doute ce motif qui a fait chercher à obtenir une semblable gravure sans intervention de la main de l'ouvrier, par la seule action d'un électro-aimant, procédé général que l'électro-magnétisme est venu fournir à l'industrie et qui tend à s'appliquer aux divers outils qui n'ont à effectuer qu'un faible travail et qui doivent être mus dans des conditions complexes. Nous donnerons idée de la disposition adoptée, qui consiste toujours, comme dans toutes les applications de ce genre, à déterminer des mouvements par des surfaces conductrices.

Si l'on fait passer un courant électrique par l'intermédiaire d'une petite pointe en cuivre à travers un cylindre très-court de même métal, portant une gravure en creux recouverte d'un vernis isolant, le courant sera interrompu ou rétabli par le mouvement du cylindre, suivant que la pointe en cuivre, qui est mobile de son côté sur la longueur du cylindre, passera sur des parties recouvertes ou non de vernis. Au moyen d'un électro-aimant, on pourra donc faire mouvoir un ou plusieurs styles en diamant ou en acier convenablement espacés, qui reproduiront le dessin avec la plus grande perfection sur le cylindre à graver, lequel est recouvert uniformément de vernis. Le métal étant mis à nu dans les parties atteintes par le stylet, il ne restera plus, pour terminer la gravure, qu'à passer à l'eau-forte.

M. Gaeff, habile graveur français, a construit, avec le concours de notre célèbre ingénieur Froment, une machine de ce genre qui a figuré avec distinction à l'Exposition de Rouen et à l'Exposition internationale de 1862.

Non-seulement le dessin est reporté sur le vernis, par l'effet d'une pointe, mais cet effet est multiplié en raison du nombre de ces pointes, que l'on peut rendre considérable, de telle sorte que 20, 30 fleurs, si l'on veut, sont gravées à la fois et réparties à volonté sur la surface du cylindre. De semblables dessins peuvent être ainsi entremêlés et malgré leur complication apparente être obtenus très-économiquement.

Nous ne croyons pas que le succès ait récompensé les efforts faits dans cette direction.

MM. Gaiffe de Paris ont eu l'idée d'employer de même l'électricité pour obtenir la gravure sur acier, dans un rapport déterminé, d'une gravure en taille-douce exécutée sur un métal quelconque, sur zinc par exemple. Les tailles étant remplies de substances isolantes, d'encre grasse séchée, par exemple, si on place les deux planches sur deux poupées parallèles, comme sur un tour à portrait, en faisant tourner simultanément les deux planches, les deux gravures seront dans le rapport des distances au point d'articulation. Quant à la gravure, elle résulte d'un courant électrique qui est interrompu quand la pointe qui parcourt la planche gravée rencontre dans les cercles que fait celle-ci des parties isolantes, ce qui fait agir la pointe qui grave la seconde planche.

Ce moyen de réduction tout automatique de planches gravées me paraît un fait intéressant, et je serais porté à croire qu'il pourra trouver des applications.

Coupage des fonds. Réserves galvanoplastiques. En dehors du poinçon et de la molette pour graver les rouleaux mécaniquement, des machines à guillocher et du pantographe pour obtenir les dessins en creux au moyen des acides, on peut encore citer deux procédés nouveaux et d'une assez grande importance, le coupage ou le rongeage des fonds des rouleaux et les réserves galvanoplastiques.

Supposons un rouleau à une couleur, par exemple, qui a reçu à la molette l'empreinte d'un plus ou moins grand nombre de bouquets détachés et répartis à des distances plus ou moins grandes sur la surface de ce rouleau. Il s'agit de faire à ce rouleau *un fond*, c'est-à-dire de pratiquer entre les bouquets des hachures diagonales, destinées à recevoir la couleur, de telle sorte qu'à l'impression toute la partie comprise entre les bouquets s'imprime en fond couvert avec la même couleur que les bouquets eux-mêmes et leurs contours.

Il existe des machines à *couper les fonds* à un seul burin, ce sont les plus généralement adoptées, et d'autres à plusieurs burins. Ces machines se composent d'un bâti et de supports analogues à ceux des tours sur lesquels on place le rouleau mandriné. Un porte-burin chemine le long du rouleau, tandis que celui-ci tourne d'une quantité déterminée par chaque course transversale du burin. Un ouvrier fait agir le burin à la main dans toutes les parties où il convient de couper. Cette opération exige une certaine habileté de la part de l'ouvrier.

Quant aux réserves galvanoplastiques très-employées depuis quelque temps, voici comment on procède. Lorsque les rouleaux sont gravés en *soubassements*, c'est-à-dire en dessins mille-raies, mille-points pour une couleur, et que le rouleau de la seconde couleur doit présenter, par exemple, un bouquet; lorsqu'on ne veut pas que le soubassement ou le fond passe sur le bouquet, il faut sur le premier rouleau *réserver* des parties blanches correspondantes aux bouquets disposés sur le second. On opère ces réserves en recouvrant le rouleau de vernis sur toutes les parties, sauf sur celles sur lesquelles le soubassement doit disparaître, puis on plonge le rouleau dans une dissolution d'un sel de cuivre. Le cuivre, réduit par un courant galvanique, se dépose dans les creux des parties non vernies.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GRAVURE.

Impression naturelle. Ce mode de gravure inventé par M. le conseiller Auer, directeur de l'imprimerie impériale de Vienne, et par M. Worring, prote de l'atelier de galvanoplastie de cet établissement, est d'une simplicité remarquable. Une plante, une feuille sèche, un morceau de dentelle ou tout autre objet d'un relief modéré, est placé sur une planche de fer ou d'un autre métal dur; par-dessus cet objet, on pose une planche de plomb, et l'on fait passer le tout entre les cylindres d'une presse en taille-douce. Le plomb en sort portant l'empreinte fidèle de l'objet qu'il recouvrait, et, soumis à la galvanoplastie, il donne une planche de cuivre où la gravure est en relief ; une deuxième planche de cuivre, tirée de ce relief aussi par l'électrotypie, donne un creux qui s'imprime en taille-douce et produit des épreuves qui sont la nature elle-même.

Si, en raison de sa fragilité ou de toute autre cause, l'objet à graver craint l'action de la presse, on en prend un moule en gutta-percha et celui-ci fait l'office de la planche de plomb.

Ce procédé a produit de très-beaux résultats, mais la priorité en a été revendiquée par le Danemark. Vers 1833, Kyhl, orfévre habile de Copenhague, eut, comme MM. Auer et Worring, la pensée de reproduire par la pression entre deux métaux de dureté différente la forme de divers objets naturels. Il y parvint et consigna le résultat de ses essais dans un mémoire manuscrit, accompagné d'épreuves des se planches; mais il mourut quelque temps après, et sa découverte resta enfouie dans ses papiers, inconnue de tous, et ce ne fut que par l'annonce de l'invention viennoise que l'on songea à Kyhl et à ses gravures.

Sans vouloir ravir à l'orfévre danois le mérite de ses essais, il est évident qu'on ne peut l'opposer à MM. Auer et Worring, pour les dépouiller de leur invention. Car, il faut le dire, celle-ci ne consiste pas seulement dans l'empreinte sur métal, empreinte qui n'amènerait pas des résultats meilleurs que ceux de Kyhl sans la galvanoplastie, qui vient leur donner la perfection qui manquait aux épreuves de Copenhague. Si le Danemark était fondé à contester à l'Autriche l'invention de l'impression naturelle, la France pourrait à son tour la contester au Danemark, puisque Gengembre, en 1792, exécuta les billets de la caisse patriotique au moyen de dessins tracés sur métal dur par une encre épaisse, dont l'empreinte se produisait sur un métal plus tendre, et l'on remonterait ainsi jusqu'à Franklin, qui avait essayé ce procédé avant 1777.

Laissons donc à chacun sa part de gloire, et, tout en accordant à Kyhl le mérite de ses essais, comme à Gengembre celui de ses procédés et à Franklin la priorité de la pensée d'une gravure directe par compression, reconnaissons qu'avant MM. Auer et Worring, personne n'avait réussi, comme ils l'ont fait, à mettre dans le domaine de l'art pratique ce procédé simple et facile de graver sans graveur et sur la nature même, dans quelques cas en assez petit nombre toutefois, parmi lesquels on doit citer la reproduction des algues-marines de peu d'épaisseur.

Gravure au poinçon. La gravure au poinçon, la production d'un creux de forme déterminée par l'enfoncement à l'aide d'une percussion d'un poinçon d'acier trempé, sur un métal malléable, est un des procédés les plus importants des arts d'ornement, un des moyens les plus employés dans l'industrie pour donner à un corps métallique une apparence déterminée, pour décorer sa surface d'ornements en creux ou en relief. Nous citerons, parmi les arts qui emploient ce procédé, l'orfévrerie, qui l'a employé la première, la bijouterie, la fabrication des rouleaux pour toiles peintes, la fabrication des boutons, et enfin la typographie. Nous allons décrire en détail cette dernière application, dont les procédés, pour ce qui est du travail et de la trempe de l'acier, ne peuvent être différents de ce qu'ils sont dans les diverses applications. Nous avons décrit plus haut la gravure des rouleaux servant à l'impression des étoffes, l'usage qu'on y fait d'un fort cylindre de cuivre creusé à l'aide d'un petit cylindre en acier, au moyen d'une *molette*, par roulement sous une forte pression, système qui a remplacé presque entièrement le poinçon concave en raison du rayon du cylindre. C'est une des plus belles conquêtes de la gravure sur acier, une application précieuse du principe de reproduction, qui rend si importants pour les progrès de l'industrie tous les procédés des arts d'imitation dont nous traitons ici.

GRAVURE EN TYPOGRAPHIE. S'il est un fait bien certain pour toutes les personnes qui ont étudié la typographie, c'est que celle-ci n'a été réellement inventée, n'est passée à l'état d'art mécanique, que le jour où les procédés de la fonderie en caractères ont été créés. Que l'on réfléchisse à l'immense travail qui serait nécessaire pour graver les caractères qui forment une seule feuille, pour dresser toutes les tiges, afin qu'elles remplissent toutes les conditions que nécessite la composition (voyez IMPRIMERIE), et on concevra que ce travail serait très-coûteux et d'une exécution presque impossible. Aussi paraît-il que Gutenberg fut arrêté longtemps par cet obstacle, qui ne fut levé que quand Schœffer, initié déjà comme orfévre à l'emploi du poinçon d'acier, eut inventé la fonderie.

Fig. 1408 *bis.*

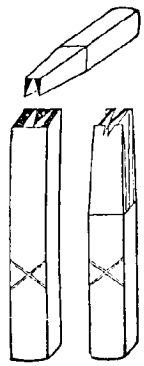


Fig. 1409. Fig. 1409 *bis.*

Cet article est destiné spécialement aux procédés de la gravure du poinçon d'acier, servant à produire par son enfoncement dans le cuivre le creux ou matrice nécessaire à la FONDERIE, seul moyen de faire un creux en cuivre dont le fond soit parfaitement pur, jusqu'à l'invention de la galvanoplastie, en même temps que la résistance de l'acier permet seule d'obtenir des fins très-déliés, des parties très-délicates.

Le travail du graveur, que ni le fondeur ni l'imprimeur ne peuvent modifier et qu'ils peuvent seulement reproduire, exige par cela même le plus grand soin.

Des poinçons et contre-poinçons. Le poinçon est une tige d'acier de 4 à 5 centim. de longueur. Sur une extrémité est gravée la figure d'un caractère (fig. 1409 *bis*), l'autre étant arrondie. Le poinçon doit représenter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la lettre retournée, car, par suite des deux opérations qui suivent la gravure, le caractère servant à l'impression étant disposé dans le même sens que le poinçon, il est bien clair que l'impression produit un retournement, qui donnera par suite le caractère imprimé dans son véritable sens.

Le contre-poinçon est une petite tige d'acier de 2 centimètres au plus de longueur (fig. 1108). Son extrémité aigue doit avoir la forme des parties évidées de la lettre qu'on doit graver et est destinée à les former par percussion.

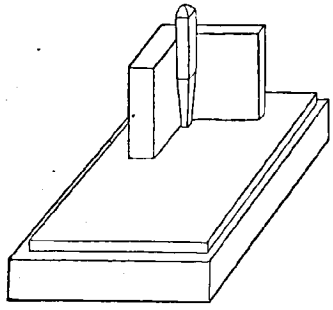
Ce qu'il faut d'abord considérer avant de procéder à la gravure est de choisir de l'acier de bonne qualité, qui prenne bien la trempe sans être sujet à s'égrener.

L'acier fondu Huntzmann satisfait très bien à ces conditions, sa trempe très dure ne laisse courir aucune chance de déformation des traits fins, et occasionne rarement la rupture de quelques parties. Néanmoins il faut prendre de l'acier de cémentation, dit *acier d'Allemagne*, de bonne qualité, pour les gros poinçons, les accolades, etc., qui ont à résister à des efforts plus considérables.

Pour travailler l'acier et l'amener à la forme voulue, le graveur emploie un certain nombre d'outils que nous allons passer en revue.

Pierre à l'huile et équerre, servant à polir la surface du poinçon, à user la partie défectueuse pour lui substituer une surface plus large.

Sur une pierre à l'huile (fig 1110) bien dressée, on



1110.

pose à plat une forte équerre en fer, ayant environ 3 centimètres de hauteur. Les faces qui reposent sur la pierre sont d'équerre avec les faces intérieures (qui sont elles-mêmes d'équerre entre elles).

Le poinçon étant un peu dégrossi à la lime tant à la surface sur laquelle doit être tracé l'œil de la lettre qui est dressé plat, que sur deux faces du poinçon amenées à être assez sensiblement d'équerre (l'acier en barres est le plus souvent ainsi en sortant du magasin du marchand) ; ces faces sont toujours celles qui sont appliquées au fond de l'équerre, afin que le poinçon se trouve toujours dans la même position.

Le poinçon étant donc placé dans l'équerre et y étant assujetti et en même temps pressé sur la pierre, par le pouce de la main qui tient l'équerre, est promené sur la pierre jusqu'à ce que sa surface soit bien polie.

Quand quelque imperfection dans la gravure, quelque tracé défectueux aura été fait sur la surface du poinçon, en le replaçant dans l'équerre, la surface portant bien à plat, dans la position identique à celle de cette première opération, la surface sera usée et diminuée également de manière à offrir une nouvelle surface ayant les traits du premier travail suffisamment engraissés pour qu'on puisse le reprendre de nouveau et faire disparaître le défaut reconnu.

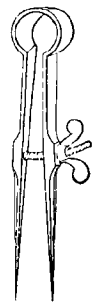
Petite équerre. Les graveurs emploient une petite équerre à arêtes très fines pour vérifier l'angle formé par les jambages des lettres avec leurs traits horizontaux, qui doit être parfaitement égal à un angle droit, afin que les traits formant une ligne horizontale, les jambages soient verticaux, ce qui est la première et la plus importante condition du caractère romain.

Outils tranchants et limes. Les limes servent à dresser les parties extérieures du poinçon, et doivent varier de grandeur et de finesse de taille suivant qu'il s'agit d'ébaucher ou de finir. Les burins qu'emploie le graveur sont affûtés *camards* pour ne pas refouler sur l'acier. Pour les parties très fines il est bon d'employer une lame affûtée sous un angle plus aigu, dit *canif* ou *échoppe plate*.

Tas. Le tas employé par les graveurs consiste en une masse de fer, percée d'un trou carré d'environ 0m,045 de côté dans lequel on peut placer un poinçon et l'y retenir par des vis placées sur les côtés. Souvent on fait ce tas rond par la partie inférieure, de telle sorte qu'en le plaçant sur un coussin percé dans son milieu, il peut servir à manier facilement un gros poinçon placé dans son centre. Cette disposition est souvent employée dans la gravure des grosses vignettes.

Loupe. Tout le travail du graveur est fait avec l'aide d'une loupe à court foyer, qui, augmentant toutes les dimensions, lui permet d'apprécier les moindres différences de graisse, de calibre, etc.

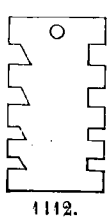
Pointe à tracer. Le graveur emploie la pointe à tracer pour dessiner sur la surface de l'acier les contours du dessin qu'il veut exécuter. Le dessin doit être arrêté avec assez de précision par le graveur, quand il s'agit d'objets un peu compliqués, pour qu'il ne soit pas exposé à recommencer son travail pour avoir enlevé quelque partie du dessin.



1111.

Compas. Servant à fixer les dimensions des tracés (fig. 1111).

Foret. Quelques graveurs emploient peu le contre-poinçon aujourd'hui. Il est en effet souvent assez long à faire, dans certains cas, pour ne donner cependant qu'assez grossièrement le vide qu'il s'agit d'obtenir, et a toujours l'inconvénient de fatiguer l'acier et de rendre les accidents plus fréquents lors de la trempe. Pour s'en dispenser on perce un trou, à l'endroit à creuser, au moyen d'un très petit foret mû par un archet, et on termine le vide à l'échoppe. Quelquefois même on peut se dispenser de cette opération, et après avoir enlevé un peu de matière avec un burin frappé par un marteau, terminer entièrement avec les outils tranchants. On opère toujours ainsi pour les gros caractères



1112.

Calibre. Le calibre (fig. 1112) est en général un petit morceau de tôle mince, sur les bords duquel on pratique des entailles égales aux hauteurs que doivent avoir les diverses lettres d'un même caractère, et sert à vérifier cette dimension. Si le caractère à graver est penché, on taille suivant cette pente le fond de l'entaille du calibre, afin de vérifier la pente en présentant le poinçon.

Pour éviter de tailler un calibre pour chaque caractère on emploie plusieurs systèmes de calibres pouvant donner toutes les dimensions par un mouvement de vis, dispositions que chaque graveur varie à sa guise. Nous donnerons seulement une idée d'un des plus complets.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Qu'on se représente deux montants traversant de petites barres, glissant parfaitement d'équerre sur eux. Qu'à chacune de ces barres soit fixée une vis ayant son écrou dans une des deux barres transversales qui assemblent les extrémités des montants; il est clair qu'on aura, en faisant marcher les vis, l'écartement voulu entre deux barres quelconques, écartement qui servira de calibre. — Pour l'italique, une barre droite fixée sur un des montants et pouvant tourner à volonté viendra rencontrer les calibres et pourra ainsi fournir l'inclinaison dont on a besoin.

Ce calibre a le défaut d'être lourd et peu maniable; aussi pratiquement se sert-on toujours soit du premier, soit d'un système consistant simplement en un calibre formé de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile au moyen d'une vis de rappel fixée sur la première partie

Travail du graveur. Le mode de travail du graveur au moyen des outils que nous venons de décrire, est maintenant facile à expliquer. Après s'être procuré de l'acier en barres carrées de grandeur convenable et de bonne qualité, il le découpe en longueurs de 4 à 5 centimètres, il fait recuire ces morceaux dans du poussier de charbon pour adoucir l'acier sans le désaciérer.

Dressant ensuite la face sur laquelle il doit graver, d'abord à la lime, puis sur la pierre à l'huile, au moyen de l'équerre, il dessine sur la surface avec la pointe à tracer le contour qu'il doit exécuter.

Il taille alors le contre-poinçon destiné à former les creux du dessin. Le contre-poinçon ne peut être gravé très droit, car il serait trop faible pour résister à la frappe dans l'acier et casserait; aussi n'est-il pas gravé de manière à présenter à son extrémité les dimensions de la surface du creux qu'il doit servir à faire; cette extrémité, au contraire, est aigue pour pouvoir s'enfoncer dans l'acier, et la forme telle, qu'étant enfoncé dans une lame de plomb que le graveur a à côté de lui, le vide de la surface soit celui qu'il s'agit d'obtenir.

Le contre-poinçon étant gravé est trempé très dur, puis enfoncé dans le poinçon avec une masse, il donne tous les creux de la surface, au moins d'une manière assez approchée pour que l'outil puisse facilement achever le travail. La fig. 1109 (voir plus haut) représente le poinçon après l'action du contre-poinçon. Le creux étant fait, on fait l'extérieur du poinçon à la lime, de manière à atteindre par des talus allongés le contour du dessin tracé sur la surface. En cet état le poinçon est ébauché. Pour le terminer, le graveur se servant d'échoppes et de burins pour l'intérieur, de petites limes pour l'extérieur, retouche les parties qui lui paraissent défectueuses, passe au calibre pour vérifier les grandeurs. Si le point convenable est dépassé, il use un peu du poinçon au moyen de la pierre à l'huile et de l'équerre, ce qui engraisse également tous les traits et reprend son travail.

Comme la forme des poinçons est destinée à être reproduite par l'imprimerie, on ne peut mieux juger leur effet qu'en les imprimant. Pour cela, quand le poinçon s'achève, on le passe, après l'avoir bien essuyé, dans la flamme d'une bougie. Il se recouvre de noir de fumée, qui se dépose sur une carte sur laquelle on l'imprime, en le guidant sur un équerre vertical.

Le contre-poinçon donne un creux net et profond, qui évite l'inconvénient que la lettre se remplisse d'encre; aussi les graveurs, qui emploient peu le contre-poinçon, créent difficilement des caractères exempts de ce défaut. Quant aux talus extérieurs, ils doivent être très allongés, afin que le caractère n'engraisse pas par la moindre usure. Cette condition n'est guère remplie que dans les fonderies qui font graver, et n'ont besoin d'obtenir qu'une frappe de leurs poinçons, mais ne l'est que rarement par les graveurs qui vendent des matrices, vu que les poinçons ainsi faits cassent bien plus fréquemment.

De la hauteur des lettres. La détermination de la hauteur des lettres qui doivent former un caractère de calibre est la première chose que doit faire un graveur qui commence son travail. Le caractère doit être fondu sur des prismes ayant une dimension constante, dite *force de corps*, pour tous les caractères d'une même ligne. Le problème à résoudre consiste à déterminer le rapport des lettres longues et courtes relativement à cette grandeur.

Les courtes sont les lettres a, m, c, e, etc.; les longues du haut b, h; du bas p, q, y. Fournier prescrit de diviser en quatre parties la force de corps, et d'en prendre deux parties pour les courtes, et trois pour les longues du haut et du bas. Cette division donne des caractères très petits d'œil, et l'adoption des compactes a mené à adopter pour les courtes un calibre plus grand, mais variable, suivant chaque caractère.

Les lettres de chacune de ces séries devant paraître exactement de la même grandeur, la lettre m étant gravée et le calibre monté sur celle-ci, les autres lettres n, etc. devront être bien justes à ce calibre. Les rondes o, e, c, etc. devront le dépasser quelque peu; car étant terminées par des parties rondes, il faut qu'elles dépassent quelque peu les lettres à traits pour paraître de même grandeur que celles-ci.

De la largeur des lettres. De même qu'on astreint à un même calibre la grandeur de toutes les lettres d'un caractère, il paraît *à priori* devoir être possible d'établir un calibre pour déterminer les largeurs proportionnelles des diverses lettres d'un même caractère; de telle sorte qu'une lettre d'un genre large ou serré étant donnée, toutes les autres pussent se déterminer.

A une époque où l'on n'admettait pas que les parties rondes des lettres pussent être formées autrement que par des arcs de cercle, on essaya à plusieurs reprises de tracer géométriquement les lettres au moyen de subdivisions du carré construit sur la hauteur de la lettre et de cercles tracés dans ces divisions.

On conçoit facilement qu'on ne pouvait tirer aucun résultat de ces constructions compliquées, et jamais les graveurs ne se sont assujettis à de semblables règles; l'œil leur est un guide plus sûr pour faire naître des formes agréables à la vue, condition vraiment essentielle de leur travail.

La règle fondamentale du travail du graveur et du fondeur est de faire en sorte que les jambages des lettres soient espacés régulièrement, que l'intervalle qui les sépare *paraisse* toujours le même, afin d'obtenir la plus grande régularité possible.

Nous disons *paraître*, parce que, pour qu'il en soit ainsi, il ne faut pas souvent que l'égalité des intervalles existe en réalité.

Ainsi l'n et l'u sembleraient devoir être identiquement de même largeur; pourtant l'u doit être une apparence plus serré, surtout du haut, que l'n; de même largeur, il paraîtrait trop large, son ouverture étant en haut et ses traits moins prolongés que ceux de l'n. Ces petites différences presque insensibles ne sauraient être mesurées par un outil, mais seulement par le goût et l'œil exercé du graveur.

On peut poser cependant quelques règles générales :

1° Les lettres à jambages droits, h, n, u, doivent être de même largeur, sauf l'observation que nous venons de faire relativement à l'n; leur écart est un peu plus grand que celui des jambages de l'm.

2° Le vide de l'o, mesuré dans son milieu, doit être une apparence plus grand que l'écart de l'n, pour paraître égal.

3° La rondeur des demi-rondes b, d, p, q, doit paraître exactement égale à celle de l'o du caractère. Or, l'expérience a indiqué qu'une même figure à droite d'un jambage droit doit être une apparence moindre que quand elle est placée à la gauche, pour lui paraître

EFERUS - Recherche & Classification numérique

égale. Ainsi les rondeurs du b et du p devront être tenues un peu moins larges que celles du d et du q.

4° La larme de l'r, le crochet du t, la tête de l'f, devront être tenus aussi rapprochés que possible du jambage droit pour diminuer l'excès d'écart que ces lettres forcent toujours à laisser à la fonte.

5° Les lettres a, s, ont été beaucoup élargies dans les caractères modernes, à l'imitation des Anglais. On leur donne presque la largeur des lettres à deux jambages.

Graisse des caractères. Il est évident que l'épaisseur une fois adoptée pour une lettre d'un caractère, tant pour les jambages que pour les traits, doit être suivie constamment la même pour toutes les lettres composant le même caractère. La seule observation à faire à ce sujet est que les lettres i, l, etc., composées d'un seul jambage, doivent être gravées un peu plus grasses que les jambages de l'n. Sans cette précaution, leur isolement les ferait paraître mesquines et plus maigres que les autres lettres.

De la forme des caractères et des variations que le goût y a introduites. On sait que ce fut Nicolas Jenson, élève de Schœffer, qui, au moyen des deux éléments que lui fournirent les inscriptions romaines, auxquelles il emprunta les capitales, et les manuscrits de l'époque, composa le caractère dit *Romain*. Ce travail, fait avec un grand talent, fut un pas immense. Nicolas Jenson débarrassa les lettres des parties inutiles, et avec un goût sûr réduisit le caractère à la combinaison la plus simple possible de parties droites et de parties circulaires. On conçoit les immenses services qu'a rendus un semblable travail à l'origine de l'imprimerie, en réfléchissant aux inconvénients qu'entraînerait aujourd'hui le changement de lettres qui seraient défectueuses, en rendant presqu'illisibles tous les ouvrages parus jusqu'à ce jour. Le point capital de ce travail fut de remplacer les parties anguleuses des lettres gothiques par des parties circulaires, et les extrémités pointues par des parties carrées; enfin de faire la plupart des changements nécessaires pour ramener à nos lettres la plupart de celles de l'alphabet allemand, qui est le dérivé de l'alphabet gothique.

Les seules modifications dans les formes des caractères qui aient persisté des divers essais tentés depuis un siècle, se réduisent :

1° A la suppression de l'f longue, toujours remplacée par l's courte;

2° A avoir redressé les traits des lettres m, i, autrefois obliques, ce qui détermine la ligne horizontale du haut des caractères et en a rendu l'aspect plus agréable.

Le travail des graveurs modernes, qui avec raison ne s'est pas porté vers la modification des formes générales du type romain, a cependant été considérable ; jamais le goût n'avait modifié aussi complétement le dessin des caractères.

Le travail le plus important, celui auquel les Didot ont attaché leur nom, a consisté à forcer l'opposition entre les pleins et les déliés, opposition précieuse, qui réunissant dans la même lettre des déliés extrêmement fins et des pleins assez gras, sans transition brusque, produisent à l'œil cet effet que, par un progrès analogue, l'on a tant apprécié dans l'écriture dite Anglaise, et qui a fait rejeter tous ces genres d'écritures dont on se servait autrefois, la bâtarde, la ronde, etc.

Depuis quelques années, au contraire, la tendance est de tout sacrifier à l'effet général de l'impression; ainsi on a maigri les pleins et engraissé les traits, pour donner un effet d'ensemble plus régulier et de plus obtenir des caractères bien alignés du haut et du bas qui produisent un effet très-agréable, pour se rapprocher des caractères gravés par Garamond qu'on admire tant dans les éditions des Elzevirs.

Les personnes étrangères à la typographie peuvent entrevoir, d'après ces observations, la tendance du progrès actuel; car dans la typographie, comme dans tout ce qui est soumis au goût, qui est essentiellement changeant dans tout ce qui est œuvre d'art, il n'est jamais donné à personne d'atteindre la perfection absolue.

Du reste, les besoins tout nouveaux de l'imprimerie, le développement des journaux, des éditions compactes, qui exigent des caractères pouvant faire tenir beaucoup de matières en peu de pages, pour économiser sur les frais de papier et de tirage, a indiqué des voies toutes nouvelles à la gravure, ce qui, en remplissant de nouveaux besoins, a indiqué de nouvelles ressources.

Essayons d'indiquer quelques divisions sous lesquelles on peut grouper les principaux caractères, divisions qui ne sont que des limites entre lesquelles la gravure peut faire naître un nombre infini de variétés.

De semblables divisions ne peuvent s'établir que par rapport à la seule base fixe, qui est la force de corps, la seule chose qui ne change pas, la dimension constante de la tige qui doit supporter des caractères de gravure différente.

1° *Les classiques anciens;* c'est ainsi que nous nommerons les caractères qui ont servi à faire les éditions de luxe, que l'on a pu faire depuis le commencement du nouveau mouvement de l'imprimerie jusque dans ces derniers temps, et que tout le monde connaît. Le corps est divisé le plus souvent en quatre parties : deux pour les courtes, m, n, etc., et trois pour les longues, b, p, etc. L'o est circulaire à l'intérieur, ou extrêmement voisin de cette forme. Ces caractères composés portant beaucoup de blanc entre les lignes, sont toujours assez gras

2° *Les classiques anciens gros œil.* Les courtes sont tenues un peu plus grandes que la moitié du corps, et le caractère est tenu plus gras, de sorte que le caractere entier paraît beaucoup plus gros.

Ces divers caractères sont évidemment ceux qui conviennent aux éditions de luxe, dans lesquelles on recherche avant tout la beauté de l'aspect général du livre, dont la lecture ne doit pas être fatigante.

3° *Les poétiques*, ainsi nommés parce qu'ils ont été inventés pour faire tenir le vers alexandrin entier dans une ligne d'un format donné, ce qu'on a obtenu en resserrant toutes les lettres; l'o se trouve donc oblong dans ce caractère.

4° *Les compactes.* Le désir de faire tenir beaucoup de matière dans un espace donné, qui avait fait imaginer les poétiques, a fait songer à un autre moyen, qui est de raccourcir les queues des lettres longues; sur un même corps les lettres courtes se trouvent donc grandir d'œil, ou pour la même grandeur d'œil on peut composer avec un corps inférieur, et par conséquent faire entrer bien plus de lignes à la page.

La longueur des minuscules peut alors aller jusqu'à 3/4 de la force du corps, ce qui est une limite extrême. Il est bien certain que la longueur qui reste aux longues est suffisante pour que l'œil n'éprouve aucune incertitude à les discerner ; mais le caractère perd toute grâce et la lecture en devient fatigante.

Aujourd'hui, le véritable caractère classique est le caractère demi-poétique et demi-compacte, intermédiaire entre les caractères classiques et les compactes, plus près des premiers que des seconds, rappelant la fermeté elzevirienne, à traits soutenus. L'œil du lecteur, habitué aux éditions compactes, ne désire plus pour les classiques les caractères anciens qui lui paraissent trop petits; un caractère demi-compacte lui suffit.

Trempe des poinçons. Frappe des matrices. Les poinçons étant terminés par le graveur, il faut leur donner

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par la trempe la dureté nécessaire pour pouvoir les enfoncer dans le cuivre sans que les arêtes vives s'émoussent.

Pour cela, on fait un feu très actif de charbon de bois, dans lequel on met une boîte en fer renfermant les poinçons recouverts de poussier de charbon; on active le feu, jusqu'à ce que le fer ait pris une couleur rouge-cerise tournant au rouge-blanc. On saisit alors le poinçon avec des pinces, et on le plonge dans l'eau froide, en n'y entrant d'abord que l'extrémité portant la gravure. On ne pourrait employer le poinçon dans cet état; il se briserait trop aisément, surtout dans les traits fins des lettres, quand on voudrait frapper le poinçon; il faut le faire revenir.

On commence par nettoyer les scories qui ont pu s'attacher aux poinçons, en les frottant avec de la pierre-ponce pulvérisée; puis on les chauffe par le gros bout, soit en le mettant au feu, soit en le plongeant dans une cuillère de fondeur, ce qui est plus commode. Quand on voit l'extrémité prendre une teinte pelure d'oignon, on le fixe à ce point, en le plongeant dans l'eau. Cette opération du recuit rend du corps à l'acier; il reste dur bien que beaucoup moins cassant.

Frappe des matrices. Comme nous l'avons dit, les matrices sont le premier produit de la reproduction du travail du graveur; il peut avec son poinçon frapper un nombre considérable de matrices, dont chacune pourra fondre des millions de lettres. La production de matrices est le but et le résultat du travail du graveur. Ce sont de petits morceaux de cuivre de 2 à 3 centimètres de longueur sur 1/2 centimètre d'épaisseur, et d'une largeur de 7 à 8 millimètres plus grande que la lettre.

On découpe ces petits morceaux dans des planches laminées de cuivre rouge de Suède bien doux, et dans lequel on ne peut rencontrer que bien rarement des grains cristallins qui forment des pailles sur l'œil des lettres. On les chauffe, et on les trempe dans l'eau, ce qui adoucit sensiblement le cuivre.

Il faut après cela le parer, c'est-à-dire polir à la lime douce la surface qui doit recevoir l'empreinte. On la lime en long, en ayant soin qu'elle soit un peu convexe vers le milieu. On passe après la lime un brunissoir qui efface les derniers traits de la lime.

On marque alors avec une pointe à tracer, sur chaque matrice, une ligne à l'endroit où la lettre doit être frappée, à environ 5 à 6 millimètres au-dessus d'une des extrémités.

La frappe des poinçons demande une main sûre et exercée; ce qui a fait dire qu'une matrice bien frappée est à moitié justifiée.

On a devant soi un tas, une masse en fer, sur lequel on place la matrice. On tient dans la main gauche le poinçon dont on a bien nettoyé la surface, et on le présente au milieu du cuivre; là, au moyen d'un marteau qu'on tient dans la main droite, on forme une empreinte peu profonde du poinçon. Si la lettre incline trop à droite ou à gauche, on tourne un peu le poinçon, et on fait une seconde empreinte au-dessus de la première; après celle-là, une autre, toujours en corrigeant la position du poinçon. On arrive ainsi au point où doit être frappée la matrice, et alors on enfonce le poinçon à coups de masse jusqu'à la profondeur nécessaire. On conçoit que si on porte un coup à faux, si on tient le poinçon obliquement, on fait éclater de suite les traits fins des lettres; accident auquel il n'y a d'autre remède que de refaire le poinçon.

La profondeur obtenue par la frappe doit être un peu plus grande que celle qui doit rester après la justification de la matrice; opération qui oblige à en limer la surface et à enlever les bourrelets produits par le refoulement du métal. On s'en assure au moyen de la pointe du justifieur dont nous parlons plus loin.

Les lettres qui portent des accents, comme les voyelles, le ç, etc., après avoir été frappées seules, le sont ensuite avec ces différents signes que l'on adapte au poinçon. Pour cela, on fait à celui-ci une petite encoche de 6 à 8 lignes du côté où l'accent doit exister; puis on grave chaque accent sur des petits morceaux d'acier qui se placent dans cette entaille. On trempe ces accents, qui servent ainsi à toutes les lettres; on les pose successivement sur chaque poinçon, auquel on les réunit au moyen d'un bon fil, dont on a préparé la place par de petites entailles transversales qui l'empêchent de glisser, et on serre fortement.

Frappe des gros caractères. La frappe des gros caractères est plus pénible, parce que la masse de cuivre à refouler, étant considérable, oppose une grande résistance. On frappe alors le cuivre à chaud; mais il ne faut pas le chauffer jusqu'au rouge, parce qu'alors le poinçon le chasserait trop de côté. On trouve avantage à frapper la matrice placée dans une boîte de fer, qui, en empêchant le cuivre de s'écarter, le force à remonter et à remplir le contre-poinçon. Ce procédé suffit pour les lettres de deux points et les gros caractères, jusqu'aux moyennes de fonte à peu près, en remplaçant toutefois le marteau par un balancier d'une force suffisante.

Fournier recommande d'enlever à l'outil la majeure partie du cuivre qui doit faire place à l'acier. Ce procédé n'est plus usité, et pour les très grosses lettres, les grosses de fonte, par exemple, gravées sur acier, on fait fondre la matrice en cuivre jaune, en donnant pour modèle au fondeur une matrice frappée en plomb. On enlève avec un acide étendu d'eau les scories du fond; puis on frappe à chaud le poinçon, qui unit le fond de la matrice.

On a été plus loin, dans ces derniers temps, pour la gravure des grosses lettres d'affiches de dimensions assez grandes pour qu'on les puisse travailler directement. Voici comment on opère.

On moule en argile la lettre dont on a le dessin devant les yeux; on en polit bien la surface; on fait alors cuire ce modèle, que l'on fond en cuivre. Ce cuivre sera donc la matrice non pas parfaite, mais suffisamment ébauchée, et un peu plus faible que le modèle par le retrait de l'argile. On achève alors la matrice avec les outils ordinaires du graveur, et on la corrige, après avoir tiré des essais que l'on compare au modèle. Ce procédé a donné quelques résultats passables; mais depuis que la galvanoplastie est inventée, il est évident que c'est celle-ci qui doit fournir les matrices en cuivre, pour tous les cas où la gravure sur métal à caractères peut suffire pour tracer un modèle convenable. A l'article MATRICE nous parlerons d'un procédé de fonte des matrices, usité surtout pour la bijouterie.

Justification des matrices (1). La matrice frappée, il faut la justifier, c'est-à-dire dresser la face et les côtés pour qu'elle puisse s'adapter convenablement sur le moule. La première condition essentielle consiste en ce que toutes les matrices d'un même caractère doivent toutes être enfoncées de la même profondeur, de manière qu'en les faisant se succéder sur le même moule toutes les lettres se trouvent toutes parfaitement de même hauteur.

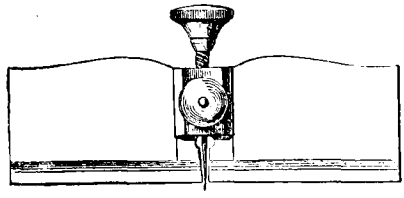
On justifie la lettre m au degré de profondeur correspondant à la hauteur qu'on veut donner à l'œil de la lettre, profondeur qu'on prend ordinairement dans une fonderie égale à celle qu'on a déjà pour les caractères de même nature, afin que les mêmes moules puissent servir indistinctement pour ces différentes frappes. On

(1) Nous avons réuni ici la justification et la gravure pour ne pas trop morceler l'exposition des procédés sur lesquels repose la typographie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fond sur cette matrice, trois m que l'on met sur un petit instrument appelé *justification* (voyez FONDERIE), et entre ces trois m on place successivement toutes les lettres, à mesure qu'on justifie les matrices pour retomber exactement sur la même hauteur. La hauteur s'estime avec une grande précision au moyen d'une petite règle d'acier, dite *jeton*, que l'on applique sur la surface de ces lettres.

Aujourd'hui on ne fait plus cette opération que pour vérifier le résultat définitif du travail. On se guide pour l'aplomb et la profondeur de l'œil, au moyen de la pointe, outil qui consiste dans une petite règle d'acier traversée par une vis terminée en pointe très fine, et qui est arrêtée en une position fixe par un écrou, qui presse sur la vis et la maintient en place (fig. 1114). Le



1114.

mieux est d'avoir deux pointes semblables, l'une fixée à la profondeur exacte qu'il s'agit d'obtenir, l'autre plus saillante. On approche au moyen de la seconde du point qu'il s'agit d'obtenir, et on vérifie avec la première.

Le premier soin que l'on doit prendre avant de dresser la surface de la matrice est de s'assurer si le poinçon a été tenu bien perpendiculaire à sa surface, ce qu'on vérifie au moyen de la pointe descendue jusqu'à toucher un point de l'œil, puis transportée en diverses places, ce qui indique de quel côté il faut enlever du cuivre.

Pour ce qui est de l'alignement, on se contente en général de mettre le pied bien d'équerre avec la surface antérieure. Si on veut que la lettre soit immédiatement de ligne, on vérifie si la lettre, étant bien de hauteur, se trouve en ligne avec les m. Si elle descend, c'est que la partie, depuis l'œil jusqu'au pied de la matrice, est trop grande; il faut donc en ôter à la lime. Si, au contraire, elle monte, ce qui ne doit pas arriver, on y remédie en refoulant le cuivre sur le bout de la matrice pour l'allonger un peu.

Pour ce qui est de l'approche, on doit ôter du cuivre sur les bords de la matrice pour ôter l'excès de l'épaisseur, de sorte qu'en remplaçant l'm sur un moule où celle-ci soit d'approche, par une autre matrice de la frappe, celle-ci soit aussi d'approche. C'est ce qu'on appelle justifier à registres arrêtés.

On se dispense souvent de justifier ainsi la matrice, mais il faut toujours avoir bien soin que les côtés de la matrice soient parfaitement parallèles aux jambages des lettres, de manière que la lettre soit parfaitement droite. C'est ce que l'on voit en faisant filer la lettre à 3, de la sorte : ⫍ ⫍ ⫍; il faut que les jambages forment une ligne parfaitement droite, autrement il faut redresser la matrice; on y parvient, en ôtant du cuivre d'un côté vers la tête de la lettre, et de l'autre côté vers le pied.

Il n'est pas besoin de dire que ces surfaces doivent être toutes parfaitement d'équerre entre elles, c'est du reste une chose évidente, à la seule inspection du moule, puisqu'elle doit se placer dans des parties qui sont toutes à angle droit entre elles.

Pour ce qui est de la partie postérieure de la matrice, on fait une entaille à peu près vis-à-vis l'œil de la lettre; la plus petite partie s'appelle le talon de la matrice. Cette entaille sert à fixer l'archet du moule; ressort qui applique fortement la matrice contre le moule.

On fait encore deux petits crans au haut de la matrice, l'un dessus, l'autre dessous, au moyen desquels on attache avec un fil un morceau de peau que l'on nomme *attache*, et qui sert à empêcher la matrice de tomber chaque fois qu'on ouvre le moule.

On lime le derrière de la matrice qui n'a pas besoin d'être dressé avec soin, de manière à ce que toutes les matrices d'une même frappe soient à peu près de même épaisseur; puis on passe la lime sur tous les angles afin de les rendre moins vifs, pour que le moindre coup donné sur un de ces angles n'empêche pas quelques faces de la matrice de porter sur quelques parties du moule.

Nous avons dit à l'article FONDERIE, de quelle importance est la justification à registres arrêtés dont nous parlons plus haut, qui a été malheureusement abandonnée en France. Disons pourtant que quant à la partie la plus importante de ce système, la fixité de la ligne, elle est peu avantageuse avec le moule actuel, à cause de l'usure qui se produit en cette partie, qui dérange le travail du justifieur. Il n'en serait plus de même dans un système dans lequel cet inconvénient serait évité.

Machine à justifier. Un habile justifieur, M. Jehl, ancien justifieur, puis chef des travaux de la fonderie de MM. Firmin Didot, n'a pas craint d'attaquer le problème d'effectuer mécaniquement le travail de la justification. Nous ne pouvons que donner une idée sommaire de cette ingénieuse machine, dont le vrai nom est *tour à justifier*.

Qu'on suppose la matrice placée sur le mandrin d'un tour et fixée, au moyen de vis, dans une boîte dont on peut faire varier l'inclinaison. Au moyen d'une pointe portant par ses extrémités sur le mandrin, on pourra faire mouvoir cette boîte de telle sorte que le fond de la matrice devienne perpendiculaire à l'axe du tour, et, alors, en faisant agir l'outil placé sur le chariot, on dressera la surface parallèlement au fond.

Pour les côtés, la même opération sera faite en donnant, par une règle parallèle au mandrin, une position convenable à la matrice, puis la retournant à plat sur le côté dressé, on fera, avec un support à chariot, la seconde face parfaitement parallèle à la première.

Passant sous silence beaucoup de détails ingénieux de ce curieux outil, nous avons voulu faire apprécier seulement combien il abrégeait le travail des grosses matrices. Pour les petites, il faut toujours mettre l'aplomb et l'équerre d'un côté à la lime; mais cela fait, le tour dresse les autres faces et termine la matrice avec une grande célérité, permettant d'opérer graduellement et d'enlever beaucoup ou aussi peu de cuivre que l'on désire.

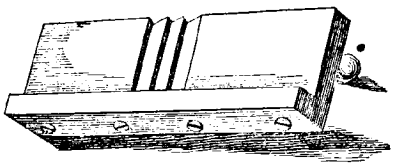
Justification de l'italique. La justification des caractères italiques est aussi aisée que celle des caractères romains, pour ce qui est de la hauteur et de la ligne, mais elle est plus difficile pour ce qui est de la pente. L'œil juge en effet assez aisément si les jambages d'une lettre sont bien perpendiculaires sur la ligne que forment les traits des m, entre lesquelles on la place; mais il ne peut juger que bien imparfaitement si un jambage oblique a précisément la pente qu'il doit avoir. Aussi les italiques laissent-ils toujours à désirer pour la régularité des pentes, quelque soin que l'on prenne pour corriger les défauts que l'emploi du caractère fait reconnaître.

Nous pensons donc avoir fait quelque chose d'utile en inventant un procédé qui rend géométrique la justification de l'italique, et dont nous avons tiré de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bons résultats. Il consiste à rétablir pour l'italique le procédé le plus exact pour reconnaître la pente du romain, qui consiste à appliquer le jeton sur trois lettres appliquées à plat sur la justification, comme n n n, et à voir si le haut de la lettre est en avant où en arrière de la ligne formée par les trois pointes du bas des trois lettres, ou si les trois jambages ne forment qu'une même ligne droite; auquel cas la justification est parfaite.

On ne peut évidemment avoir la même vérification pour l'italique puisque les lettres sont penchées sur leur corps; mais on y parvient en les redressant. Si l'on fait une justification dont la surface ait la forme représentée fig. 1115, c'est-à-dire dans la face de la-



1115.

quelle sont pratiquées trois entailles bien égales entre elles et bien égales dans toute la largeur de la justification; il est clair que si on place les lettres dans ces angles, les lettres seront redressées de la valeur de ces angles, et que si l'inclinaison des plans sur la surface de cette justification est égale à celle de l'italique sur son corps, il se retrouvera redressé, et les trois mêmes jambages d'une lettre bien justifiée formeront une ligne droite, comme cela arrivait sur une justification plate, pour le caractère romain.

Au moyen de cet instrument, les moyens de vérifier la pente d'une lettre qu'on justifie étant les mêmes que pour le romain, il ne reste donc plus qu'à opérer comme nous l'avons expliqué. CH. LABOULAYE.

GRAVURE SUR BOIS. La gravure sur bois est un art dérivant de la sculpture sur bois, art aussi vieux que le monde, qui n'a pris d'importance que le jour où l'on trouva moyen d'en multiplier le résultat par l'impression.

Son emploi pour la gravure des images, et surtout pour les titres de ces images, a fait concevoir la possibilité de l'imprimerie tabellaire, et a ainsi guidé vers des recherches dont est sortie la typographie.

La gravure sur bois et la gravure du poinçon sont des gravures de même nature, ce sont des gravures en relief, qui conservent en saillie les traits du dessin, et dont toutes les parties blanches sont creusées. On pourra donc employer simultanément pour la typographie les ressources de la gravure sur acier, et celles de la gravure sur bois. Ajoutez à cela que l'on a pour la gravure sur bois un moyen de reproduction analogue à celui que donne la fonderie pour reproduire la figure du poinçon (voyez POLYTYPIE, STÉRÉOTYPIE). Cet avantage de pouvoir être multipliée, et par suite de fournir un nombre indéfini d'épreuves, est la cause de la popularité et de l'extension qu'a pris dans ces dernières années ce genre de gravures employé pour les éditions dites *illustrées*.

Le rôle de chacune de ces gravures est bien distinct: la gravure sur acier plus lente et permettant des retouches multipliées convient bien pour la gravure des lettres, quand même la nécessité de frapper des matrices en cuivre ne ferait pas une nécessité de la gravure sur acier. En effet, la résistance de la matière sur laquelle on grave fixe la limite de la finesse des fins; et il est bien évident qu'on pourra amener les traits d'une partie saillante d'acier à un degré de finesse, auquel on ne pourrait amener un bois sans risquer de l'égrener.

De son côté, la gravure sur bois bien plus hardie, bien plus rapide, a permis de faire entrer dans l'impression des ouvrages de luxe des figures, qui, tirées en même temps que le texte, en facilitent singulièrement l'intelligence, sans en augmenter démesurément la valeur. Le présent ouvrage en est un exemple.

La gravure sur bois fut inventée ou introduite en Europe vers le commencement du quinzième siècle (1390-1430): il y eut à son apparition un grand cri de douleur et de scandale parmi les amis exclusifs de l'art. On était arrivé, à cette époque, au plus haut degré de perfection dans la miniature et dans l'écriture. Les Bibles étaient ornées de petites peintures fines, où resplendissaient les plus riches couleurs; les lettres, les mots, les lignes élégamment dessinés sur la chair délicate du parchemin semblaient vraiment vivre et parler aux yeux. Les cartes, inventées près d'un siècle avant, sous le règne de Charles VI, n'étaient pas moins admirables; mais les livres de dévotion et les cartes étaient rares, hors de prix, et seulement à l'usage des communautés religieuses, des châteaux et de quelques riches habitants des villes. Tout à coup on vit se répandre avec profusion, dans la bourgeoisie et parmi le peuple, de grossières images de saints rudement esquissées, aux figures contournées et barbares; des rois, des reines de cartes grotesquement croqués et dépouillés de leurs éclatantes robes; c'était la gravure sur bois qui faisait descendre l'art à la portée du plus grand nombre. Bientôt des légendes imprimées à l'aide de lettres taillées en relief, comme les figures sur les blocs de bois, accompagnèrent les gravures pour les expliquer, et de là le besoin de la lecture se propageant peu à peu, mena insensiblement à l'invention des caractères mobiles, et, enfin, à l'imprimerie perfectionnée, qui commença pour la popularité de la science la révolution que la gravure sur bois avait commencée pour la popularité de l'art.

La gravure sur bois, consacrée jusqu'alors à des représentations grossières, devint cependant un art entre les mains d'Albert Durer, né en 1471 à Nuremberg. Ce grand artiste, ami de Raphaël, grava des planches d'une admirable beauté; son estampe de la *Mélancolie*, ses *Vierges* font toujours l'admiration des artistes.

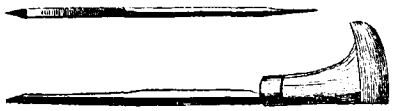
La France a possédé quelques artistes distingués qui se sont livrés avec succès à ce genre de gravure, tels furent Joliet le Suisse, l'Allemand Businck, Boutemont, les Lesueur, et en dernier lieu les deux Papillon. Depuis 1760, époque à laquelle vivait le dernier de ces artistes, la gravure sur bois, pratiquée par des artistes de peu de mérite, fut peu estimée. Elle se faisait sur bois de fil, à l'aide de pointes tranchantes, procédés qui se prêtaient mal à l'exécution de sujets de gravure très fine, comme doivent être ceux à intercaler dans les livres pour les éditions de luxe. Son emploi diminuait chaque jour, lorsque Thompson introduisit en France, vers 1815, la nouvelle gravure sur bois qui était née en Angleterre, et montra tout le parti qu'on pouvait tirer de son emploi pour obtenir les sujets les plus délicats. Ce procédé consistait à graver sur le bois debout par des procédés tout à fait analogues à ceux de la gravure en taille-douce sur cuivre, en profitant de la résistance des fibres dans le sens de leur longueur pour obtenir des traits fins, résistants.

Le graveur sur bois doit avoir au moins six burins et trois échoppes; les burins doivent être repassés sur les joues, de façon à ce qu'elles soient bien plates et bien polies, jusqu'à ce que les coups de lime du fabricant soient entièrement disparus (fig. 1116); ces burins doivent être aiguisés et gradués de grosseur, de manière à produire une teinte dégradée en coupant des tailles l'une près de l'autre.

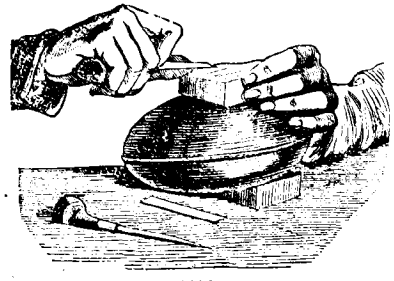
Alors le graveur, dans la position indiquée par la fig. 1117, commence par tracer avec son burin le plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fin tous les traits du dessin, à l'intérieur et à l'extérieur, jusqu'à ce que le dessin soit parfaitement découpé; dans les hachures croisées, il peut très finement tracer les hachures principales, et ensuite



1116.



1117.

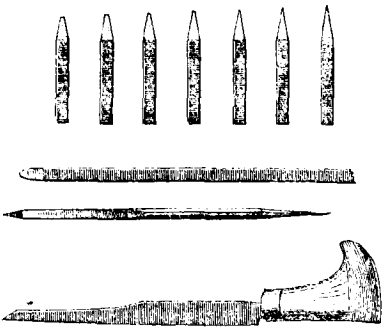
enlever les losanges : cette manière rend les lignes plus régulières, mais rend aussi la gravure plus sèche; il est donc préférable d'employer un moyen plus lent, il est vrai, mais qui donne des tons plus moelleux et plus doux; il consiste à tracer chaque losange en entrant le burin dans un angle du vide des hachures de manière à en couper la moitié, puis reprenant par l'angle opposé on coupe l'autre moitié et on fait sauter le bois Lorsque la gravure est ainsi tracée, on prend une échoppe ronde, et avec le secours du support, qui est un petit morceau de bois plat et poli, qu'on place comme point d'appui sous le dos de l'outil, on trace un fossé assez creux le long du sillon fait par le tracé, en évitant de laisser la moindre aspérité de bois qui puisse nuire à l'impression; ensuite on n'a plus qu'à enlever les grands blancs avec une gouge et un maillet. Alors seulement la gravure est terminée; on encre le bois avec un tampon, puis appliquant un morceau de papier de chine et le frottant avec un brunissoir ou un couteau à papier, on en tire une épreuve qui indique si le travail est achevé ou s'il y a des retouches à faire.

C'est ainsi qu'ont été faits nos plus beaux livres illustrés, tels que le Molière et le Don Quichotte (fig. 1118), dessinés par Tony Johannot, et gravés par Porret, qui sont assurément nos plus belles illustrations en gravures d'épargne ou de tailles-fermes, ainsi appelées à cause du soin que prenait le graveur de ne rien omettre ni ajouter, afin de rendre fidèlement le fac-simile du dessin.



1118.

Un autre genre de gravure sur bois, que l'on pourrait appeler le genre classique, pratiqué le plus souvent par Thompson, et qui offre peut-être plus de difficultés sous le rapport artistique, consiste à graver les dessins lavés ou estompés; c'est dans ce travail que le graveur en bois approche le plus du graveur en taille-douce. Les moyens ne sont pas tout à fait les mêmes que dans la gravure d'épargne; le graveur doit avoir, outre ses burins, des langues de chat (fig 1119) qui doivent être repassées comme nous l'avons dit pour les burins, et dont le nombre doit être de huit à dix, mais graduées



1119.

avec tant de soin qu'en faisant une teinte dégradée on ne puisse s'apercevoir du changement d'outil. Ainsi un graveur a un dessin représentant la fig. 1120, il



1120.

commence par baisser avec une échoppe plate tous les bords extérieurs de son ciel, ainsi que tous les traits isolés et fins; il a soin de les baisser de façon à avoir une pente douce et sans côtes; ceci évite à l'imprimeur une partie de la mise en train, et est un moyen excellent pour la conservation des bois. Alors le graveur fait son ciel, en ayant soin de changer d'outil à chaque ton différent, ensuite il prend le fond du paysage et arrive successivement aux premiers plans, en ayant soin de changer son travail à mesure qu'il représente des objets différents, afin que chaque chose soit bien distincte et que les travaux ne puissent se confondre. Dans ce genre de gravure on n'emploie guère que les langues de chat; le résultat de ce travail est infiniment plus doux que le travail exécuté par le burin, qui, lui, est plus convenable pour les figures et le croquis, sa coupe étant plus vigoureuse. Dans ce genre de gravure nous pourrions citer nombre d'artistes qui se sont distingués en France : Andrew, Brevière, Godard, Hébert, Gusman se sont fait une juste réputation d'habileté. Les gravures des machines qui demandent une grande fermeté de main se font également par ce procédé et doivent être rangées dans le genre classique. PÉGARD.

GRAVURE EN RELIEF A L'AIDE DES ACIDES. De nombreux essais ont été tentés pour obtenir la gravure en relief avec la même facilité qu'on exécute la gravure en taille-douce par l'eau-forte. *A priori* la chose paraît assez facile à obtenir. Ainsi en vernissant la planche, décalquant le dessin et enlevant à l'outil les parties placées entre les traits (procédé Carrez), ou plus simplement dessinant avec un vernis liquide (procédé Dembour), puis faisant mordre à l'acide, on creusera les intervalles du dessin et on obtiendra en relief les lignes destinées à le former. Mais, outre que ces deux procédés permettent difficilement d'obtenir une grande pureté de lignes, le premier parce qu'il sera plus difficile de conserver le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vernis en lignes fines que d'obtenir celles-ci sur le bois dont les fibres offrent de la résistance; le second parce que le vernis, assez liquide pour couler de la plume, s'étendra quelque peu sur la planche; on rencontre, pour tous les procédés analogues dans l'effet de la morsure de l'acide pour obtenir quelque saillie, un inconvénient énorme, c'est qu'il ne peut creuser un peu profondément sans fouiller en dessous des traits et les ronger.

Quelques artistes cependant ont obtenu des résultats assez satisfaisants par une habileté de main qui leur permet de recouvrir de petit vernis le tulus des tailles après la morsure de l'acide, soit au pinceau, soit avec un rouleau; mais ce travail est long et d'un emploi difficile. De nombreuses recherches n'ont amené beaucoup d'artistes qu'à considérer comme impossible, d'une manière commerciale, la solution du problème de la gravure en relief par les acides, vu la profondeur des entre-tailles qu'exige la typographie.

La résistance du cuivre, qui rend très-lente et par suite coûteuse la gravure de ce métal, à cause surtout du travail nécessaire pour enlever le métal dans les grands blancs, est cependant avantageuse pour les gravures qui exigent une grande pureté de lignes, les dessins géométriques, par exemple, parce que cette résistance permet des retouches multipliées pour amener le trait à une grande finesse, en raison de la résistance du métal, comme cela a lieu pour l'acier dans la gravure en typographie. Aussi quelques artistes ont-ils exécuté sur cuivre des œuvres très-remarquables, mais qui sont de véritables tours de force. M. Viesener, qui a fait en ce genre de fort beaux travaux, partait d'une gravure à l'eau-forte; puis, avant d'enlever le vernis, il dorait les fonds du dessin, dévernissait, puis faisait mordre toute la planche. L'acide n'attaquant pas les parties dorées, celles-ci restaient en relief, ce qui lui fournissait une ébauche qui s'appliquait heureusement à quelques travaux très serrés.

Il est assez facile de concevoir un outil qui creuserait très-rapidement les grands blancs; telle serait une petite fraise verticale mue avec une grande vitesse, qui permettrait d'enlever les intérieurs et d'approcher très-près des contours du dessin. M. Claudet est inventeur d'une machine qui satisfait aux conditions de ce problème d'une manière très-satisfaisante. Il a gravé par son procédé les figures en relief sur cuivre de plusieurs importantes publications. Les figures de cet article, relatives à la gravure en typographie, ont été gravées sur cuivre par ce procédé.

Paniconographie. Ce procédé, dû à M. Gillot, est fort simple, mais exigeait une grande pratique pour parvenir à des résultats de quelque valeur. Quelques mots suffiront pour faire comprendre ce principe.

Qu'on suppose encré, avec une encre suffisamment grasse, le dessin lithographié ou gravé sur pierre qu'il s'agit de reproduire. Rien ne sera plus facile que d'en prendre une épreuve sur du papier à report; et cette épreuve ainsi préparée, étant appliquée, avant d'être bien séchée, sur une planche de zinc bien poncée, bien polie, pourra fournir sur ce métal une contre-épreuve aussi pure que le dessin sur pierre. Pour obtenir ce dessin en relief, il s'agira donc de faire mordre toutes les parties du zinc qui n'auront pas été recouvertes par l'encre de la contre-épreuve. Or c'est précisément dans cette opération que gît toute la difficulté; car l'encre d'imprimerie par elle-même n'offre que bien peu de résistance à l'action des acides, et surtout d'acides assez énergiques pour fournir les reliefs nécessaires pour l'impression typographique. On pourrait croire, dit M. Du Moncel dans un rapport à la Société d'Encouragement auquel j'emprunte cette description, qu'en ménageant les morsures et en les faisant successivement, on pourrait, jusqu'à un certain point, résoudre cette difficulté; mais le problème est infiniment plus complexe, car le degré de ces morsures devant être différent suivant les teintes du dessin, il faut nécessairement mettre à l'abri les parties suffisamment préparées après chaque opération. Voici comment s'y prend M. Gillot pour obtenir ce résultat :

D'abord, pour donner plus de résistance à l'encre du report, il saupoudre sa planche de fleur de résine, qu'il étend délicatement sur le dessin avec un blaireau; après quoi, il place la planche dans la cuve de gutta-percha où doit se faire le mordançage.

Cette cuve doit avoir une disposition particulière, en raison du mouvement continuel qu'on est obligé de donner au liquide acidulé pour empêcher la stagnation des sels formés par l'acide et le zinc, et pour qu'il puisse réagir d'une manière nette et uniforme sur la planche. Cette cuve est disposée en bascule et pivote sur deux coussinets fixés sur le bâti qui la supporte, comme celles employées pour la gravure des rouleaux destinés à l'impression des tissus.

Le liquide acidulé qu'emploie M. Gillot n'est autre chose que de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique. Ce liquide doit être essayé à chaque opération, au moyen d'une pierre lithographique sur laquelle on jette quelques gouttes. Par le dégagement plus ou moins rapide des bulles de gaz acide carbonique qui se trouvent alors formées, il est facile de juger du degré de force du liquide.

On commence d'abord par une morsure très-légère, et cette morsure est destinée à attaquer seulement les petites parties blanches qui existent dans les teintes les plus foncées. Pour la faire, on fait basculer successivement la cuve pendant un temps plus ou moins long, et on achève l'extraction des sels formés par l'action de l'acide nitrique au moyen d'un blaireau. Ordinairement cette première morsure exige un quart d'heure environ. Quand on a jugé la morsure de ces parties claires des teintes foncées suffisante, on retire la planche de la cuve, on l'essuie, puis on la sèche et on la place au-dessus d'un gril chauffé en dessous au moyen de poussier de charbon enflammé qu'on a soin de répartir également sous de la cendre chaude. Sous l'influence de cet échauffement, la légère couche de résine répandue sur le dessin se fond doucement, ainsi que l'encre, et se déverse dans toutes les petites cavités formées par cette première morsure. Toutefois, comme cette couche n'est un peu épaisse que sur les noirs vifs et les teintes très-foncées, ce premier échauffement ne bouche que les petits points clairs qui se trouvent au milieu de ces teintes. Aussitôt que cet effet est produit, la planche est retirée de dessus le gril et refroidie à l'air libre; après quoi, on l'encre parfaitement avec le rouleau lithographique, comme si on devait en tirer une épreuve. On recommence ensuite à la saupoudrer de fleur de résine pour la mettre en état de subir une nouvelle préparation.

Cette nouvelle préparation doit attaquer les teintes un peu moins foncées du dessin, et en conséquence elle doit être un peu plus énergique. L'opération, d'ailleurs, se conduit exactement comme la première fois; seulement le degré d'échauffement de la plaque, quand elle est placée sur le gril, doit être un peu plus élevé; et, comme le dessin lui-même est plus chargé d'encre et de résine, la fusion de la couche s'étend davantage, ce qui bouche des cavités ménagées dans la première opération.

Après avoir de nouveau encré le dessin et l'avoir saupoudré, pour la troisième fois, de fleur de résine, on commence la troisième morsure, qui provoque un nouvel échauffement de la plaque, puis une nouvelle fusion de la couche protectrice, et on commence de la même manière quatre, cinq, six, sept morsures, jusqu'à ce que le dessin ne présente plus qu'une masse noire uniforme, sans distinction de demi-teintes. Alors on prépare la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

planche avec de l'eau acidulée très-fortement (une partie d'acide sur douze d'eau) qui creuse définitivement les parties complétement blanches. Cette dernière préparation se fait toute seule et dure trois quarts d'heure.

Quand les blancs occupent sur le dessin une surface un peu large, on les recouvre de gomme laque liquide avant la première opération, afin de maintenir davantage la force de l'acide et de donner du soutien au rouleau typographique, lorsqu'on encre la planche après chaque morsure. On découpe ensuite ces parties à la scie, avant d'appliquer sur bois la plaque de zinc qui est devenue un cliché.

Maintenant on comprendra quel soin il faut apporter à l'action du mordant pour que toutes les lignes délicates, les teintes faibles et les parties fines d'un dessin soient suffisamment ménagées, et c'est en cela surtout que M. Gillot a fait preuve d'une habileté rare.

C'est surtout à la reproduction des cartes géographiques en relief, dont la gravure sur bois est longue, difficile et coûteuse, que ce procédé a été appliqué avec succès; il a fourni, dans quelques cas, des résultats assez remarquables.

Gravure sur pierre lithographique. Les difficultés de la gravure en relief paraissent devoir être beaucoup moindres quand on opère sur la pierre lithographique. Le dessin lithographique obtenu avec un crayon gras pénètre un peu la pierre; il préservera donc des traits de l'action de l'acide, surtout en l'employant à appliquer un vernis, et à servir de véhicule pour faire pénétrer la matière grasse dans la pierre.

C'est sur cette propriété qu'est basé le procédé de M. Girardet. Il compose un vernis, qui adhère fortement à la pierre, et formé de : cire vierge, 2 parties; poix de Bourgogne et poix noire, de chaque 1/2 partie; poix grecque ou spalt, 2 parties. Cette dernière substance est ajoutée aux autres fondues et mélangées; puis le mélange est versé dans l'eau tiède, malaxé et réduit en boule, que l'on dissout dans l'essence de térébenthine pour obtenir le degré de liquidité convenable.

Le dessin tracé, on encre avec ce vernis ; puis, bordant la pierre avec de la cire, on fait mordre l'acide composé d'eau et d'acide nitrique en petite quantité; après cinq minutes, on retire l'acide, et on passe le vernis avec le rouleau, puis encore l'acide.

Le danger que l'acide ne creuse en dessous, ce qui empêcherait le moulage et la reproduction des pierres, ne permet pas que l'on obtienne dans les grands blancs un vide suffisant par ce procédé. M. Tissier était arrivé d'une manière assez remarquable à creuser la pierre par échelons, en éloignant ainsi l'action de l'acide des traits fins. Voy. LITHOGRAPHIE.

En général dans la pratique tous ces procédés ont échoué. Les gravures obtenues chimiquement, formées de traits mordus sur les contours, ne pourront jamais avoir de valeur artistique comparable au produit du burin d'un habile artiste qui apporte à chaque partie du dessin le soin convenable en raison de son degré d'importance dont chaque coup de burin contribue à rendre de la manière la plus convenable le travail du dessinateur. Mais même, en limitant les prétentions de tout procédé physico-chimique, à rendre le travail du dessinateur qui est aussi fréquemment défiguré par le graveur, tous les procédés ci-dessus ne fournissent pas de solution satisfaisante. Fondés sur l'action de l'eau-forte, celle-ci ne saurait être prolongée comme il est nécessaire pour la gravure en relief, qui ne peut se contenter des creux minimes suffisants pour l'impression en taille-douce; l'acide rongeant latéralement aussi bien que verticalement. C'est en vain que l'on a cherché dans l'électricité, dans la dorure, dans des encrages particls, etc., etc., les moyens d'éviter cet inconvénient grave, inhérent au procédé même. La multiplicité même des essais, comme l'habileté des artistes, a prouvé que les procédés de cette nature n'étaient susceptibles de s'appliquer qu'à quelques travaux imparfaits et à bon marché.

GRAVURE PAR DÉPOT *en creux ou en relief à l'aide de la capillarité. — Procédé Dulos.* C'est lorsque la question était parvenue à cet état que M. Dulos a eu l'honneur de trouver une voie toute nouvelle, toute autre que celle que l'expérience forçait à condamner, un procédé appelé à un grand avenir. Je fonde cette conviction sur le grand développement qu'a pris la lithographie, qui repose essentiellement sur le même principe que l'invention dont nous parlons. Pour la lithographie, c'est parce que la pierre se mouille par l'eau, dans les parties où il n'y a pas de dessin, et ne s'attache pas à celles où a passé le crayon gras du lithographe, que le rouleau couvert d'encre grasse dépose cette encre sur les parties dessinées de la pierre et nullement sur les autres. On va voir la similitude parfaite des deux procédés; mais, avant de reproduire la note si intéressante de l'inventeur, je ferai remarquer l'heureux emploi qui y est fait des procédés de la galvanoplastie. C'est par des applications de ce genre des ressources nouvelles procurées par les dernières découvertes que s'accomplissent les progrès importants, et il est certain que, grâce à la photographie, et à des inventions de la nature de celle dont nous parlons, utilisées par des artistes connaissant bien toutes les ressources des divers procédés comme M. Dulos connaît toutes celles des divers genres de gravure, les arts graphiques reçoivent de nos jours les développements les plus merveilleux et font des conquêtes admirables.

Le procédé Dulos repose sur l'observation suivante des phénomènes capillaires. Si l'on verse du mercure sur une surface d'argent posée de niveau, et sur laquelle on a préalablement tracé quelques lignes avec un vernis, il se forme à droite et à gauche de chaque ligne deux ménisques convexes, et le mercure s'élève d'une certaine hauteur au-dessus de la surface de l'argent. La même expérience peut se faire sur une feuille de verre dépoli en traçant des lignes avec un corps gras, et en jetant de l'eau sur toute la surface. On peut d'ailleurs dire que tout liquide mouillant une surface sur laquelle on a tracé des traits avec un corps qui ne se laisse pas mouiller lui-même se comporte de la même manière que le mercure sur l'argent et l'eau sur le verre.

On prend donc une plaque d'argent ou de cuivre argenté, on transporte ou décalque, ou l'on produit sur sa surface un dessin quelconque (tous les procédés de décalque ou de transport peuvent également servir). Pour mieux fixer les idées, supposons que ce soit un dessin fait directement sur la plaque avec un corps gras, tel que le crayon des lithographes.

On dépose sur cette plaque, au moyen de la pile, une couche très-mince de cuivre ou de fer; supposons que ce soit du fer; il est évident que le fer ne se déposera que sur les parties qui n'ont pas été touchées par le crayon; si l'on enlève le crayon avec de l'essence de térébenthine, on a une plaque où les parties blanches du dessin sont représentées par une couche mince de fer, et les traits du crayon par l'argent même. Si maintenant on jette du mercure sur la surface de la plaque, il ne s'attachera que sur l'argent, et en chassant avec un pinceau très-doux l'excès de mercure qui se trouve sur le fer, on a un relief à la place où se trouvait précédemment le crayon.

Dans le cas où on aurait déposé du cuivre au lieu de fer, il serait utile d'en oxyder la surface avant de jeter le mercure, et pour cela il suffirait de chauffer la plaque en dessous.

On n'a plus qu'à prendre une empreinte pour avoir une gravure en taille-douce, dont les creux sont re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

présentés par les saillies du mercure. Il n'est guère possible de prendre une empreinte pareille avec autre chose que du plâtre, de la cire fondue, etc., corps beaucoup trop mous pour donner une impression convenable; mais il est facile de métalliser la surface de cette empreinte, et d'y faire un dépôt de cuivre, qui, une fois détaché, sera la reproduction exacte de la planche qui contient les saillies formées par le mercure; on n'a plus qu'à se servir de cette plaque comme d'une matrice, pour faire en métal autant de planches que l'on voudra, pouvant servir à l'impression en taille-douce.

Si l'on veut faire une gravure en relief, on dessine sur une plaque de cuivre, on dépose au moyen de la pile une couche d'argent qui ne se met que sur les parties non touchées par le crayon; on enlève le crayon avec de l'essence de térébenthine ou de la benzine, on oxyde le cuivre qui se trouvait sous le crayon, et on continue les opérations indiquées plus haut.

La planche métallique destinée à l'impression se trouve alors avoir pour saillies les traits mêmes du dessin, et les vides sont représentés par l'épaisseur du mercure qui croît avec la largeur des traits, et par suite fournit des vides croissants avec la profondeur, terminés par des plans inclinés vers les traits saillants, comme dans le travail du burin.

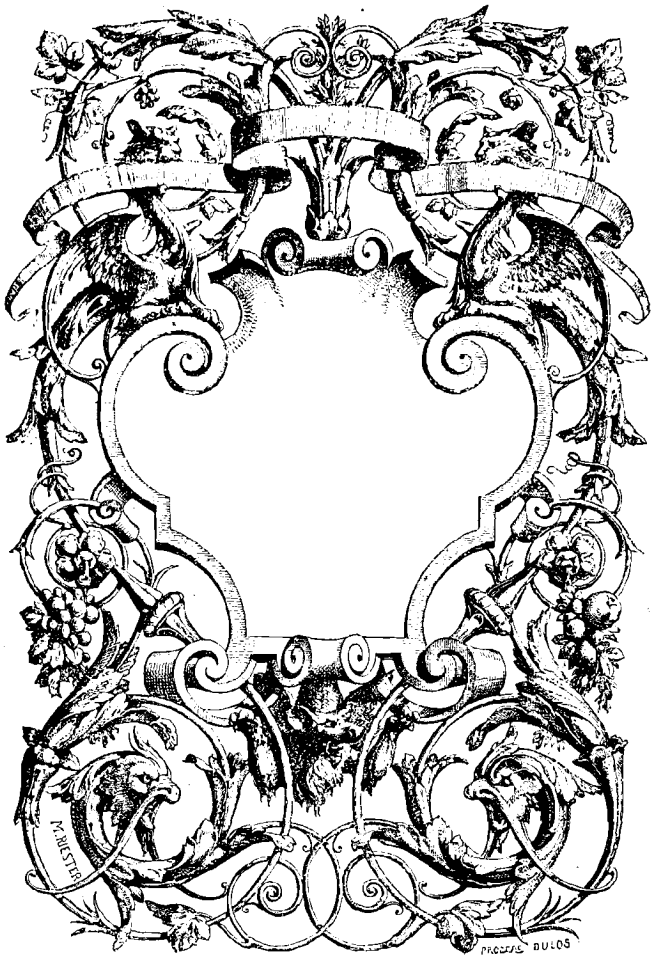


Fig 1121.

Voici un moyen plus simple d'opérer, qui supprime le moule en cire et la contre-empreinte en cuivre. Le mercure n'étant autre chose qu'un métal liquide à la température ordinaire, il est facile de le remplacer par un autre fondant à une basse température, tel que le métal Darcet, auquel on ajoute une petite quantité de mercure, ou par tout autre métal amalgamé; lorsqu'il est fondu, ce métal se comporte exactement comme le mercure. Après son refroidissement, on n'a plus qu'à faire un dépôt métallique au moyen de la pile pour avoir une planche bonne à imprimer et qu'il sera facile de remplacer en conservant la planche matrice.

Avec le métal fusible on ne doit pas opérer à l'air libre, il est préférable de mettre la plaque sous une couche d'huile, qu'on fait chauffer à une température de 80° environ, la température à laquelle se fond le métal; on évite ainsi l'oxydation qui se forme à l'air libre et nuit au succès de l'opération; de plus, le métal se met avec plus de facilité et s'élève à une plus grande hauteur au-dessus de la surface de la planche. De même on peut mettre le mercure sur la planche, sous la couche de cire fondue qui sert à prendre l'empreinte, et, dans ce cas, le mercure se place plus facilement sur l'argent.

Ces faits, qui paraissent extraordinaires au premier aspect, sont faciles à comprendre quand on sait que le mercure ou le métal fondu mouillent l'argent sans toucher le fer, et que la cire fondue et l'huile mouillent le fer sans mouiller le mercure ou le métal fondu.

La figure 1121 représente un bel échantillon des produits que ce procédé permet d'obtenir. C'est l'œuvre d'un habile dessinateur d'ornements, M. Riester, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'a dessiné directement avec une pointe sur une plaque métallique recouverte de vernis blanc, d'un enduit formé avec du blanc d'Espagne et du caoutchouc dissous. Sans intervention du travail du graveur, l'œuvre de l'habile dessinateur a été mise en relief et est ici tirée à la presse mécanique.

M. Dulos a encore fait progresser son procédé qui s'applique à la gravure en creux et en relief, surtout pour le premier cas, en employant un amalgame de cuivre qui durcit en peu de temps et qui, appliqué au rouleau et ne mouillant que l'argent, lui permet de relever le fonds avec une grande délicatesse et par suite d'obtenir très-rapidement des gravures en taille-douce d'une grande pureté. C'est, en général, en passant par une taille-douce ainsi formée, dont il peut tirer épreuve, qu'il arrive aujourd'hui aux gravures en relief. On peut faire aisément sur la première gravure toutes les retouches convenables, puis, remplissant les tailles en matière non conductrice, il élève les fonds du dessin, et, enfin, un moulage lui donne la gravure en relief.

Les ressources que fournit cette ingénieuse découverte pour obtenir des résultats entièrement nouveaux bien plutôt que pour lutter contre les anciens procédés de gravure, à cause de la cherté du dessin dont la perfection est nécessaire et de quelques retouches qu'il est difficile d'éviter, sont considérables. La facilité de superposer dessins sur dessins pour timbres-poste et gravures infalsifiables, la possibilité de graver directement des épreuves photographiques, à la seule condition que l'application par pression de celle-ci sur une plaque métallique change la conductibilité des surfaces suivant qu'elles ont été ou non impressionnées par la lumière, ce que fournissent plus ou moins complétement plusieurs procédés photographiques, font de cette ingénieuse découverte une des plus heureuses qui aient été faites depuis longtemps.

Gravure de pierres fines, cachets, etc. L'artiste commence par modeler en cire sur un morceau d'ardoise les figures qu'il veut graver; puis il fait choix d'une pierre fine taillée par le LAPIDAIRE; ensuite, il met en mouvement le *touret*, qui consiste principalement en une petite roue d'acier, placée dans une espèce de boule, laquelle est mise en mouvement par une autre grande roue de bois que le graveur fait aller avec le pied. La roue d'acier fait marcher, suivant le besoin, plusieurs petits outils de fer doux non trempé ou de cuivre jaune, qu'on enchâsse dans une espèce de tuyau. De ces outils, les uns ont à leur extrémité la forme d'une tête de clou tranchante sur les bords, on les appelle *scie;* les autres ont une petite tête exactement ronde comme un bouton : on les nomme *boutevolles.*

Les formes des outils qui se placent dans l'axe creux de la partie supérieure du touret ont des formes très-variées, en général celle d'un petit disque. Pour obtenir des lignes fines, il faut que l'outil soit tranchant, tandis que pour creuser des parties larges, il est arrondi et est quelquefois presque sphérique. L'outil arrondi coupe bien plus rapidement que celui qui agit par une partie plate; le premier est habituellement employé pour effectuer la grosse part du travail, tandis que le second ne sert qu'à dresser la surface.

Ces outils sont tellement petits qu'ils ne peuvent être faits à la lime seule, mais quand on les a faits à l'aide de celle-ci aussi petits que possible, on les use en les faisant travailler dans des rainures jusqu'à ce qu'ils atteignent la finesse convenable. Il faut veiller à ce que la surface des outils reste polie, autrement l'outil déchire au lieu de couper. Cet effet est prévenu par un fréquent usage d'une lime douce.

La poudre de diamant employée pour ce travail forme une espèce de pâte par son mélange avec de l'huile d'olive; la pâte est placée dans une petite coupe conique; on doit à chaque moment en appliquer sur l'outil, où le graveur manie avec l'index de la main droite une petite lame d'étain à laquelle sont soudés deux petits disques d'environ un demi-pouce de diamètre; l'un d'eux contient une très-petite quantité de pâte de diamant et l'autre une ou deux gouttes d'huile de poisson. La pâte de diamant est appliquée sur l'extrémité de l'outil pendant que l'outil est mû lentement; l'outil est ensuite humecté avec de l'huile et le travail se continue jusqu'à ce que l'huile soit disparue. L'outil ne doit pas travailler trop à sec, car la pâte de diamant se détacherait de l'outil qui peut alors s'user au lieu d'user la pierre.

La pierre qu'on veut graver est ordinairement montée sur la tête d'une petite poignée de bois, où elle est cimentée avec du mastic. Le graveur la prend de la main gauche, et la présente contre l'outil mis en action par le *touret*, et de la main droite il tient la petite spatule dont le bout a été trempé dans de l'huile d'olive, dans laquelle est délayée de la poudre de diamant.

Lorsque les pierres sont gravées, on les polit avec du tripoli sur des roues formées de brosses faites de poil de cochon.

Les *camées* sont des pierres dures, gravées en relief par un travail semblable à celui que nous venons de décrire. Les pierres que l'on choisit sont des agates onyx formées de deux couches, l'une blanche et l'autre noire, soit des cornalines qui présentent une succession semblable de rouge et de blanc. La figure est généralement gravée sur le blanc, le noir étant réservé pour le fond.

On fait à bien meilleur marché des camées que l'on grave sur des coquilles, matière bien plus facile à travailler, mais aussi bien moins durable. C'est alors une sculpture sur une matière assez tendre, à l'exécution de laquelle l'emploi du tour à portrait s'applique industriellement pour produire une précieuse ébauche. (Voyez TOURS COMPOSÉS, *Complément.*)

Gravure des monnaies, médailles, etc. Les coins au moyen desquels se frappe la MONNAIE (voir ce mot) ne sont pas gravés directement; ils sont obtenus par la frappe d'un poinçon-étalon trempé, dans le coin adouci, que l'on trempe ensuite pour frapper la monnaie.

Le travail du graveur en médailles, qui exige un si haut degré d'habileté pour rendre par de faibles inflexions des effets multiples, des figures demandant tant de pureté, peut difficilement s'analyser d'une manière quelque peu satisfaisante au point de vue de l'art qui est un annexe de la sculpture. Quant aux procédés, au travail de l'acier, ils se rapprochent de ceux analysés à GRAVURE EN TYPOGRAPHIE, le travail étant semblable, sauf qu'au lieu de surfaces plates, il faut obtenir des rondes-bosses.

La première opération du graveur consiste à dessiner ces figures, et ensuite les modeler de grande dimension en cire blanche, suivant le relief et la grandeur qu'il veut leur donner; on obtient ensuite une réduction de grandeur convenable à l'aide du TOUR A PORTRAIT, en partant d'un moulage en plomb antimonieux du type primitif. C'est ce travail qui rend toutes les indications que l'on a pu faire suffisamment sensibles sur le modèle, qu'il n'y a plus qu'à retoucher pour obtenir le poinçon en relief qui doit être reproduit en creux sur le coin.

Les outils qu'on emploie pour ce travail sont des ciselets, des burins, des échoppes, des rifloirs, etc.

Lorsque le poinçon servant à faire les coins qui doivent frapper la monnaie a été trempé et enfoncé dans l'acier destiné à former le coin, celui-ci est terminé, quant aux lettres, légendes, au moyen de poinçons isolés que l'on enfonce à la place et à la profondeur convenable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une des conditions les plus essentielles de succès consiste dans le choix de la meilleure espèce d'acier. On peut jusqu'à un certain point s'en rapporter à l'expérience du forgeron qui a préparé l'acier et qui, s'il est habile dans son art, sera en état de porter un jugement à peu près exact de la qualité du métal à employer, par la manière dont il se travaille sur l'enclume. L'acier doit être d'un grain plutôt fin que gros, et surtout tout uni, très-égal, et exempt de taches. L'acier très-fin avec une cassure soyeuse, estimé pour la coutellerie, n'est pas convenable, parce qu'il est sujet à se fendre ou à se casser. L'acier d'un grain très-gros est encore défectueux; il s'y fait des fentes sous le balancier, et rarement il se trempe également et convenablement. Le point principal est donc de choisir un acier d'une qualité moyenne quant à la finesse.

Après avoir ainsi choisi la meilleure qualité d'acier, et l'avoir convenablement forgé à une grande chaleur, le plus souvent en soudant l'une sur l'autre des lames d'acier, on fait recuire celui-ci très-soigneusement, et dans cet état on le polit extérieurement, on le dresse sur le tour, puis on le remet au graveur.

Le procédé pour faire recuire le poinçon consiste à le chauffer jusqu'au rouge cerise, et à le faire refroidir lentement. Pour le chauffer on le place dans un creuset de fer, entouré de poudre de charbon de bois. La gravure faite, il faut le tremper, c'est-à-dire après l'avoir chauffé au rouge, le plonger dans une grande quantité d'eau froide. Mais la masse d'acier étant considérable, l'opération de la tremper est d'une grande difficulté, d'autant plus qu'il faut en même temps prendre grand soin de ne pas endommager la surface gravée. On évite cet accident en couvrant la face gravée du coin d'un enduit composé d'huile épaissie avec de la poudre de charbon de bois : quelques personnes y ajoutent de la terre de pipe, d'autres emploient une gousse d'ail, mais l'huile remplit parfaitement l'objet. On en étend une couche mince sur le poinçon, qui, par précaution, peut encore être garni d'une virole de fer; le coin est alors placé, la face en bas, dans un creuset, et complétement environné de charbon de bois pulvérisé. On le chauffe à une température convenable, c'est-à-dire à peu près au rouge cerise, et une fois dans cet état on le retire avec des pinces, et on le plonge dans une masse d'eau suffisante pour qu'elle ne puisse s'échauffer beaucoup par l'action de l'acier porté au rouge; là le poinçon doit être remué avec rapidité, jusqu'à ce que tout bruit cesse, et ensuite on le laisse dans l'eau jusqu'à ce qu'il soit tout à fait froid. Dans cette opération il doit produire un bruit sifflant et bouillonnant; mais si au lieu de cela le bruit est chantant, on peut généralement craindre une cassure ou une fente.

Le poinçon étant gravé et placé sous un puissant balancier, est enfoncé dans le coin; celui-ci est ensuite trempé.

On n'a trouvé aucun procédé qui soit plus convenable pour durcir les coins, que la trempe exécutée comme il a été indiqué ci-dessus, quoique beaucoup de moyens aient été tentés inutilement.

Après la trempe on doit encore prendre quelques précautions pour protéger les coins; une d'elles consiste en un genre de recuit très-doux, qui se produit en les mettant dans de l'eau dont on élève graduellement la température jusqu'à l'ébullition, et que l'on laisse ensuite refroidir spontanément. Cette opération rend le coin moins sujet à se casser par un temps très-froid. On obtient aussi une très-grande sauvegarde en garnissant le coin froid d'un cercle de fer rouge, qui, se resserrant quand il se refroidit, en maintient toutes les parties, prévient l'extension des fentes extérieures, et donne surtout le moyen d'employer le coin pour faire à son tour un poinçon, ce qui le briserait en morceaux, sans le cercle protecteur.

Si le coin a été convenablement trempé, il faut le nettoyer et le polir, et dans cet état il constitue ce qu'on appelle en termes techniques MATRICE. Il peut être employé pour frapper les médailles, monnaies, etc., mais on ne se sert pas généralement du premier obtenu pour cet usage, de peur qu'il ne lui arrive quelque accident sous le balancier, et parce que l'artiste ne termine tout son travail que sur celui-ci. On s'en sert pour refaire, par une opération inverse de celle qui a produit le coin, un poinçon en relief, avec lequel on frappe un grand nombre de coins définitifs qui servent pour battre monnaie.

GRÈS (*angl.* sandstone, *all.* sandstein). Roche arénacée très-répandue dans la nature. Voyez GÉOLOGIE.

GRENADE. Sorte de petite bombe que l'on lance à la main.

GRENAT (*angl.* garnet, *all.* granat). Minéral d'une dureté à peu près égale à celle du quarz, ordinairement cristallisé en dodécaèdres rhomboïdaux ou en trapézoèdres et de couleurs variées. C'est un silicate multiple, fusible au chalumeau : sa densité varie de 3,35 à 4,25. Quelques variétés de hyacinthes, et surtout celle d'un beau rouge dite *pyrope* ou *escarboucle orientale*, sont employées dans la bijouterie. Les plus beaux pyropes viennent du royaume de Pégu et de l'île de Ceylan; en Europe, on en trouve aussi de très-beaux près de Mirowitz en Bohême, où ils donnent lieu à une exploitation assez considérable.

Les grenats se trouvent ordinairement entre les feuillets des schistes de transition les plus anciens.

On fabrique de beaux grenats artificiels, en fondant ensemble : 931 grammes de strass incolore (voyez VERRE); 477 grammes de verre d'antimoine; 1 gramme de pourpre de Cassius, et 1 gramme de peroxyde de manganèse.

GRILLAGE DES MINERAIS. Voyez MÉTALLURGIE.

GRILLAGE DES TISSUS (*angl.* singeing of webs, *all.* sengen). Quand on examine des fils de coton, on les trouve recouverts, sur toute leur surface, d'un duvet qui, après le tissage, se retrouve à la surface et dans les intervalles des fils. Pour que ces étoffes puissent être employées, surtout si elles doivent être soumises à l'impression, il est indispensable de détruire ce duvet. Dans quelques autres fabrications, il est aussi nécessaire, après l'action de ciseaux ou *forces*, pour obtenir une surface lisse, de détruire l'extrémité des filaments, dont l'inégalité de longueur produirait un effet très-désagréable. On y parvient à l'aide du grillage.

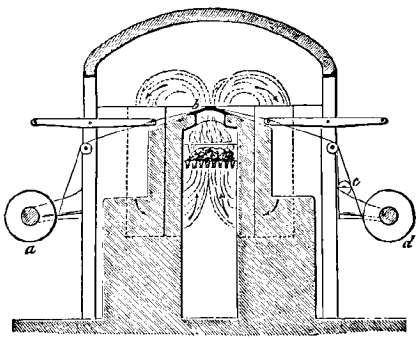


Fig. 1122.

Le premier mode de grillage est celui qui s'obtient en faisant passer d'une manière uniforme et rapide l'étoffe sur une plaque de fer ou de cuivre portée au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rouge. La fig. 1122 représente l'appareil perfectionné par M. Thown. *a* est un cylindre sur lequel est enroulée la pièce à griller; elle passe sur la plaque rouge *b*, où elle se grille, et de là vient s'appuyer sur un petit cylindre *c*, en partie immergé dans l'eau; par ce moyen, l'action du feu ne dépasse pas la limite voulue, puis l'étoffe est enroulée sur le cylindre *d*. Comme les produits du grillage sont quelquefois fort désagréables, ils sont entraînés dans le foyer au moyen de l'appel qu'il produit et y sont consumés. Les flèches montrent le chemin suivi par ces vapeurs depuis la surface de l'étoffe jusqu'à la partie inférieure du centre de l'appareil et de là dans le foyer.

Les plaques en cuivre rouge durant beaucoup plus que celles en fonte, et, étant moitié moins épaisses, produisant par suite une économie notable de combustible, doivent être préférées à ces dernières.

Le velours ne doit être flambé que sur une seule face; mais les toiles de coton, la dentelle, le sont en général des deux côtés.

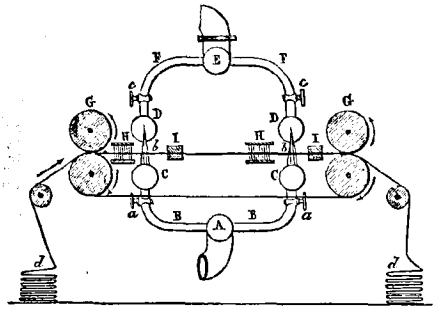


Fig. 1123.

La fig. 1123 est une coupe verticale du second système, de l'appareil de grillage au gaz, qui est un perfectionnement de la disposition originairement inventée par Haal, compliquée par l'emploi de petits gazomètres propres à fournir le gaz nécessaire pour le travail, que l'emploi du gaz courant, si répandu partout aujourd'hui, a rendu inutiles. Sa largeur doit être suffisante pour y passer des pièces de la plus grande dimension. Le tuyau A s'étend d'une extrémité à l'autre de la partie inférieure de la machine et amène du gaz d'éclairage; les tuyaux BB sont branchés sur lui et sont au nombre de cinq de chaque côté. Les tuyaux C, C, sont réunis avec ces branches et sont percés de trous fins, écartés les uns des autres de 1/8 de pouce; les tuyaux BB sont munis de robinets *a*. Au-dessus des tuyaux C, C, sont les tuyaux D, D, qui sont ouverts vers le fond, suivant la longueur, et communiquent par les branchements FF avec un large tuyau E, dans lequel un ventilateur produit une aspiration. Deux paires de cylindres G G de bois, couverts de futaine, tournent dans les directions marquées par les flèches et font avancer la pièce d'étoffe *d d*, avec une vitesse d'environ 1m.20 par seconde. La paire de rouleaux de droite G G est mue par une courroie et une poulie; l'autre paire est mue par une courroie qui passe sur les rouleaux inférieurs de chaque paire. H H sont des brosses doubles qui enlèvent tout corps étranger; les rouleaux I I de bois couverts de futaine servent à arrêter l'action du gaz qui, trop longtemps prolongée, altérerait l'étoffe.

Pour employer cet appareil, les deux rangées de becs de gaz sont allumées et les longueurs des flammes réglées avec les robinets pour qu'elles soient bleues, c'est-à-dire disposées pour brûler plutôt que pour éclairer; quand la ligne de feu est bien établie, le bout de la première pièce est engagé entre les cylindres de gauche et tiré à l'aide de rubans qui lui sont attachés, et l'opération marche rapidement une fois ce bout arrivé aux rouleaux de droite, les pièces à griller étant attachées les unes à la suite des autres, et par suite le travail ne s'arrêtant plus.

L'expérience a fait reconnaître que cet appareil à griller au gaz, avantageux pour la rapidité de la production, avait un défaut grave, à savoir de faire paraître l'étoffe plus mince qu'elle n'est en réalité, la flamme passant à travers les fils, brûlant les poils de l'intérieur du tissu et n'agissant pas seulement sur la surface; ce qui pour les étoffes légères surtout, était un défaut très-grave. C'est pour cela qu'il était moins employé jusque dans ces derniers temps que la plaque rougie qui ne modifie que l'aspect de la surface. Il en est autrement pour les fils à coudre qui, devant être parfaitement lisses, sont toujours flambés au gaz.

M. Tulpin aîné (de Rouen) a doté l'industrie d'un appareil à griller au gaz, qui est exempt de l'inconvénient signalé ci-dessus et qui conserve la rapidité et la sûreté d'action que procure l'emploi de la flamme.

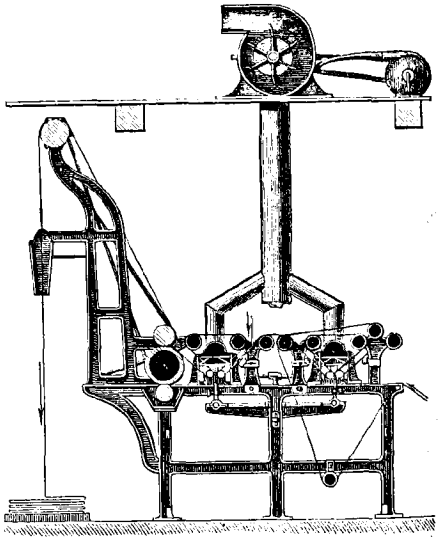


Fig. 1124.

Dans cet appareil (fig. 1124), le tissu n'est plus traversé par le dard de la flamme, c'est la partie latérale de celle-ci que vient raser le tissu pour brûler le duvet qui le recouvre; il passe, comme on le voit sur la figure, sur deux rouleaux placés latéralement à droite et à gauche de la flamme. Si un seul passage est insuffisant, l'appareil est disposé pour répéter deux ou quatre fois, à volonté, l'opération sur un même côté de l'étoffe. La fixité de la flamme est obtenue par l'action d'un ventilateur aspirant les produits de la combustion à travers des tuyaux placés au-dessus des becs. Un autre petit ventilateur envoie de l'air pour le mélanger au gaz, près de sa sortie, pour le faire brûler bleu, comme le produit l'affluence de l'air dans le brûleur de Bunsen, et par suite pour donner de la chaleur plutôt que de la lumière, ce qui rend l'appareil économique, et surtout fait disparaître toute fuliginosité susceptible de noircir l'étoffe. Aussi cet appareil donne-t-il les meilleurs résultats sous tous les rapports, et est-il maintenant généralement employé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GRUE (*angl.* crane, *all.* kranich). Pour définir de la manière la plus simple cet appareil, il suffit de dire qu'il est destiné à lever des fardeaux et à les transporter d'un point à un autre en leur faisant décrire une circonférence de cercle. Pour atteindre ce but, qu'on imagine une charpente en bois, en fer, ou en fonte, ou encore composée de ces trois matières; qu'on suppose que cette charpente, composée d'un axe vertical et d'une sorte de poutre armée en porte-à-faux, puisse être animée d'un mouvement de rotation, soit sur une crapaudine, soit sur des collets ou tourillons, soit dans des manchons, et l'on aura toutes les parties essentielles qui composent la charpente d'une grue, c'est-à-dire d'un appareil pouvant transporter des fardeaux d'un point à un autre d'une circonférence, et d'un point bas à un point élevé.

La seconde partie constituante d'une grue est le mécanisme; celui-ci doit être assimilé au mécanisme des tours ou treuils ordinaires : c'est un tambour mobile autour d'un axe horizontal sur lequel s'enroule une corde ou une chaîne portant le fardeau à soulever; ce tambour est mis en mouvement au moyen d'un système d'engrenages, qui, lui-même, le reçoit d'une manivelle ou de deux manivelles à angle droit. On reconnaît dans cet appareil toutes les parties constituantes du treuil. Le mécanisme et la charpente, ou squelette de la grue, sont intimement liés l'un à l'autre, et participent du même mouvement de rotation, en sorte qu'il convient de combiner ces deux parties de la grue, de manière à ce que chacune d'elles vienne en aide à l'autre, et de telle sorte que toutes deux viennent concourir à la solidité, au bon fonctionnement et à l'élégance de l'ensemble; ainsi bien souvent les grues sont composées de deux flasques entre lesquelles sont disposés les appareils servant au mécanisme.

Le poids à soulever est soutenu, en porte-à-faux, à l'extrémité de la partie inclinée de la charpente, qu'on appelle ordinairement le nez de la grue. On comprend en conséquence que le principal problème à résoudre est de contre-balancer le poids, qui est à l'extrémité d'un bras de levier assez long, de manière à donner toute stabilité à l'axe vertical. Cette stabilité est obtenue souvent au moyen d'un établissement solide de cet axe entre ses manchons, ses guides ou ses tourillons. Quelquefois aussi on maintient cette verticalité et l'on évite les efforts de traction qui s'exercent sur cet axe en contre-balançant partiellement ou en totalité le poids à soulever. Ces différentes méthodes varient avec l'usage auquel sont destinées les grues; nous les examinerons en passant en revue les différentes espèces de grues et leurs différents modes de construction.

Les usages auxquels s'applique cette machine sont nombreux.

Un des premiers usages auxquels elle a été employée sont les constructions des bâtiments, des ponts, des phares, des ports, etc., et en général de tous les travaux qui exigent l'emploi de lourds matériaux. Dans ce cas, la grue a une grande hauteur pour éviter son remplacement à mesure que la construction s'élève.

Dans ces derniers temps, elle a été mise de côté, et l'on a employé de préférence un système que nous devons décrire ici, usité particulièrement dans la construction des ponts; il se compose d'un chariot composé de deux fermes verticales en charpente, servant de support à un plancher solide situé à un niveau supérieur à la plus grande hauteur de la construction à établir. Ce chariot est mobile dans un sens longitudinal, sur un chemin de fer; il repose sur des galets ou sur des roues de wagon. Le plancher supérieur qui est de la largeur de la construction, est encore garni de chemins de fer dont l'axe est perpendiculaire à l'axe longitudinal sur lequel marche le chariot principal. Sur ce plancher et sur ces chemins de fer repose un treuil mobile qui sert à élever les matériaux, en sorte que ceux-ci peuvent être portés à l'aide de cet appareil à tous les points de la construction, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal. On voit donc que ce système est destiné à élever les fardeaux et à les transporter d'un point à un autre. Il remplirait donc une partie des conditions qui rentrent dans la définition de la grue; mais il en diffère essentiellement en ce qu'il n'est pas composé d'une charpente en porte-à-faux pouvant tourner autour d'un axe central. Nous avons décrit cet appareil parce qu'il a généralement remplacé les grues, depuis quelques années, dans la construction des ouvrages d'art.

Quelque variées que soient les dispositions des grues, on peut, d'une manière générale, les diviser en deux classes principales, savoir :

1° Les grues à simple volée;

2° Les grues à double volée.

Grues à simple volée. — Tous les systèmes de grues à simple volée peuvent être ramenés à trois genres, qui sont les suivants :

1° Grues à arbre tournant sur pivot et sur tourillon supérieur;

2° Grues à arbre tournant sur pivot inférieur et dans un collier;

3° Grues à arbre fixe.

L'énoncé seul de ces trois genres suffit pour en faire comprendre la disposition. Nous les décrirons succinctement :

I. — Les parties essentielles d'une grue du premier genre sont :

1° Un arbre vertical qui tourne sur un pivot dont la crapaudine est fixée dans un dé en pierre; à la partie supérieure, cet arbre porte un tourillon tournant dans un support fixé, soit à une poutre, soit à un mur;

2° Un ou deux tirants perpendiculaires ou inclinés à l'arbre et solidement assemblés avec lui;

3° Un ou deux bras assemblés d'un côté avec les tirants, et de l'autre, soit directement avec l'arbre, soit au moyen d'un système de pièces fixé solidement à l'arbre.

Le fardeau à soulever s'attache à une corde qui passe sur la poulie de tête et vient s'enrouler sur un treuil, qui est à double ou à simple engrenage, suivant les fardeaux que l'on a à soulever.

Nous ferons remarquer ici que dans ce genre de grue, comme dans tous les autres, l'arbre, les tirants et les bras doivent former un triangle invariable, condition essentielle de non-déformation de toute forme polygonale.

Ce premier genre de grue est simple et généralement employé lorsque l'on peut se procurer un point d'appui supérieur, comme dans l'intérieur des ateliers, dans les fonderies notamment.

II. — Les grues du deuxième genre ont une partie de leur arbre logée dans une espèce de puits réservé dans un massif de maçonnerie, le pivot de l'arbre tourne dans une crapaudine scellée dans la maçonnerie, le dessus du puits est couronné par une forte plaque à collier, en fonte, scellée solidement sur le massif; à la hauteur du collier, l'arbre de la grue porte un manchon alésé extérieurement. Ce manchon est placé sur l'arbre concentriquement avec le collier de la plaque de fonte : des galets cylindriques, dont les axes sont maintenus par deux cercles en fer placés dans l'espace qui se trouve entre la plaque et le manchon, diminuent le frottement considérable qui se produit quand la grue est chargée, par suite de la rotation du manchon sur les colliers.

Ce genre de grue est principalement employé sur les quais, dans les entrepôts et magasins et généralement partout où l'on ne peut avoir un point d'appui supérieur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 1125 représente une grue de ce genre, construite par M. Cavé; la fig. 1126 montre le mécanisme vu par derrière et à une plus grande échelle. A est le treuil sur lequel s'enroule la corde. B est une roue dentée

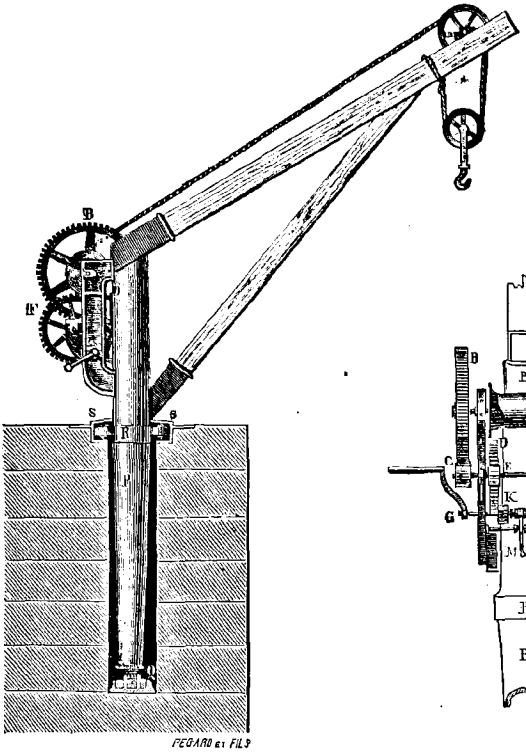


Fig. 1125.

Fig. 1126.

fixée à l'axe du treuil, et qui tourne en même temps que lui; elle porte 66 dents. Un pignon C engrène avec cette roue, il porte 11 dents. A l'axe de ce pignon est fixée une roue dentée D de 54 dents. Un pignon E, de 9 dents, engrène avec la roue D. Une autre roue dentée F de 54 dents est fixée à l'axe de ce pignon. Au-dessous est placé l'axe GH, muni d'une manivelle à chacune de ses extrémités, portant deux pignons K,L, chacun de 9 dents, qui dans la position actuelle n'engrènent avec aucune des roues D et F. Si on le fait glisser dans le sens de sa longueur, vers la gauche, le pignon K engrènera avec la roue D ; si, au contraire, on fait glisser cet axe vers la droite, le pignon L engrènera avec la roue F. Cela s'obtient au moyen du levier d'embrayage M.

Dans la position actuelle des pignons K, L, si l'on fait mouvoir les deux manivelles, le mouvement ne se transmettra à aucune roue et le treuil ne tournera pas. Lorsque le pignon K engrènera avec la roue D, les manivelles feront tourner le treuil par l'intermédiaire des roues B et D et des pignons C, K; le pignon E et la roue F n'agiront pas, tourneront à vide. Enfin, lorsque le pignon L engrènera avec la roue F, les manivelles feront tourner le treuil par l'intermédiaire des roues B, D, P et des pignons C, E, L.

Il sera facile de déduire de là la force qui devra être appliquée à chaque manivelle, pour soulever un fardeau donne (pour avoir le travail à dépenser, il faudrait compléter le calcul par celui des résistances passives, du frottement). Admettons que le bras de chaque manivelle soit égal à trois fois le rayon du treuil, et occu

pons-nous de l'état du système de roues dentées, lorsque le pignon K engrène avec la roue D.

Le fardeau étant soutenu par une poulie mobile, à cordons parallèles, la tension de la corde est la moitié du poids du fardeau. Si une seule des deux manivelles agissait directement sur le treuil, elle devrait être soumise à une force trois fois plus petite que la tension de la corde, c'est-à-dire au sixième du poids à soulever.

Si cette manivelle agissait sur l'axe du pignon C, la force qu'on devrait lui appliquer serait six fois plus petite, c'est-à-dire la trente-sixième partie du poids à soulever, puisque le pignon C a un nombre de dents qui est le sixième de celui de la roue B. Enfin cette manivelle agissant sur GH, et faisant tourner la roue D à l'aide du pignon K, la force qui doit lui être appliquée sera, par un motif semblable, six fois plus petite que la précédente, c'est-à-dire la deux cent sixième partie du poids du fardeau. Et comme l'axe GH est muni de deux manivelles, chacune d'elles devra donc recevoir l'action d'une force 432 fois plus petite que ce poids.

Dans la seconde disposition, lorsqu'on fait engrener le pignon L avec la roue F, la force qu'on devra appliquer à chaque manivelle ne sera que la sixième partie de celle qu'on doit appliquer dans la première disposition; c'est-à-dire seulement la deux mille cinq cent quatre-vingt douzième partie du poids du fardeau. On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

voit, qu'avec une pareille grue, deux hommes pourront soulever un poids énorme; avec des efforts de 10 kil. seulement aux manivelles, ils pourront soulever une locomotive d'un poids de 25,000 kilog.

Nous avons répété, d'après Delaunay, la description et le calcul des rouages de cette grue pour montrer comment elle rentrait dans la famille des cries, des treuils à engrenages, dont elle ne diffère que par le système de poutres qui permettent d'enlever le fardeau à une certaine distance et de le déposer en un point de la circonférence qu'elle peut décrire en tournant autour du pivot sur lequel repose l'arbre vertical, qui sert d'axe à toute la machine, et qui est maintenue par la crapaudine qui reçoit le pivot et les galets, à l'aide desquels elle s'appuie sur les parties supérieures de la maçonnerie, galets qui permettent de faire tourner facilement la grue chargée.

La vitesse d'ascension du fardeau est d'autant moindre que le système des roues dentées établit un plus grand rapport aux deux extrémités de l'appareil. Le travail normal d'un manœuvre agissant sur une manivelle étant de 8 kilogrammètres par seconde, soit 16 kilogrammètres pour 2, l'élévation de 4,320 kilog. à 1 mètre s'obtiendra en 4,320 : 16 ou 270 secondes, ou $4^m,5$. Pour un poids six fois plus considérable, qu'on pourra élever avec le même travail moteur en employant la seconde disposition, le temps sera six fois plus grand, ou égal à 27 minutes. L'appareil devient insuffisant pour des poids aussi considérables; il faut alors mettre quatre manœuvres qui forcent de travail pour réduire la durée de l'ascension.

III. — Les grues du troisième genre ont un arbre fixe encastré dans un massif de maçonnerie à sa partie inférieure ou ayant deux points d'appui; c'est autour de cet arbre fixe que tourne la charpente, en porte-à-faux, sur des galets à axe vertical formant collier sur cet arbre. Ces grues sont fréquemment employées dans les fonderies, elles coûtent moins cher d'établissement que les précédentes. Les bras et l'arbre se font généralement en bois et les tirants en fer. Si l'on avait à construire une grue de ce genre destinée à lever de lourds fardeaux, on pourrait adopter une disposition consistant en un bâti en fonte disposé en deux flasques tournant autour d'un arbre fixe. Sur ce bâti viendraient s'assembler les bras et les tirants de la grue. Quant au mouvement de rotation on pourrait l'opérer au moyen d'un petit chemin de fer disposé circulairement, le poids de la grue se reporterait sur trois ou quatre roues en fonte.

Grues à double volée. — Une grue à double volée se compose de deux grues à simple volée fixées sur un même arbre et diamétralement opposées; les deux volées présentent l'avantage de se faire équilibre mutuellement et permettent de n'opérer qu'une demi-révolution pour effectuer un chargement ou un déchargement, car le poids peut être appliqué à l'une quelconque des poulies, puisque les deux cordes s'enroulent en sens inverse sur le tambour; on peut même dans ces grues employer la pression d'un poids descendant pour en élever un autre.

Quand la grue ne fonctionne pas, les deux volées se font naturellement équilibre; mais quand on soulève un fardeau il faut l'équilibrer au moyen d'un contre-poids suspendu à la seconde volée.

Les grues à double volée sont toutes à arbre fixe; le moyen employé pour donner un mouvement de rotation à la charpente en porte-à-faux autour de cet arbre est variable suivant les cas. Nous en donnerons quelques exemples.

M. Albert avait construit sur le quai d'Orsay une grue à double volée du premier genre dans laquelle le mode d'application des hommes était très-avantageux et qui a rendu de grands services pour le déchargement des bateaux chargés de pierres de taille, jusqu'au jour où l'emploi de la vapeur l'a fait abandonner. Cette grue était toute en bois, les hommes agissaient sur les chevilles d'une grande roue de trois mètres de diamètre; de cette manière on évite les frottements des engrenages. La double volée était mobile autour de l'arbre au moyen d'un chariot à galets.

La grue de Saint-Ouen est de ce genre, seulement les charpentes en porte-à-faux au lieu d'être en bois sont composées de deux flasques en fonte.

La grue de Maudslay a le même mouvement de rotation, seulement le système repose sur un plateau muni de roulettes, qui permet de transporter l'appareil en un point quelconque de l'atelier.

Au lieu de faire reposer la double volée sur une plateforme inférieure à galets à axe horizontal, on peut la faire tourner autour de l'arbre, soit au moyen de galets à axe vertical, soit à l'aide d'un collier, ou bien on peut encore se servir d'un tourillon supérieur reposant sur l'arbre à son sommet et supportant tout le système.

On voit qu'on peut varier à l'infini ce système de construction et de rotation.

Souvent dans les ateliers de construction ou dans les usines, on emploie des grues dites à volée variable, c'est-à-dire que non-seulement elles peuvent prendre et déposer des fardeaux sur tous les points d'une circonférence, mais encore sur tous les points du rayon de cette circonférence. On comprend facilement l'utilité d'une pareille grue. MM. Manby et Wilson employaient une grue de ce genre; elle était en fonte, et la poulie sur laquelle passait la corde pouvait prendre un mouvement de translation sur un petit chemin de fer supporté par les tirants; le mouvement s'opérait par une crémaillère horizontale engrenant avec un pignon auquel on donnait le mouvement au moyen d'une chaîne à la Vaucanson. A l'établissement de Chaillot il y avait une grue disposée comme celle que nous venons de décrire.

La disposition propre à faire varier la volée de la grue n'offrait pas les conditions de solidité et de simplicité indispensables pour le genre d'appareils dont nous parlons; toutefois il est évident que c'était une idée heureuse pour diverses applications que de rendre variable à volonté la longueur de la volée. Bien que cette disposition soit quelquefois reprise, en remplaçant la crémaillère par des chaînes et des poulies, on en obtient une bien meilleure en formant le bras d'une pièce oblique, terminée par de forts tourillons et tournant dans de forts coussinets placés près du pied de la grue. L'inclinaison est donnée à volonté au moyen de chaînes et de moufles. Nous représenterons plus loin (voir GRUE A VAPEUR) une disposition de ce genre, qui est aujourd'hui assez fréquemment employée.

Dans ces derniers temps, on a remplacé en Angleterre les grues de beaucoup d'ateliers de construction par le mécanisme suivant, qui rappelle celui décrit au commencement de cet article; il se compose d'un chariot qui se meut sur un chemin de fer établi sur les deux murs de l'atelier; sur ce chariot se meut perpendiculairement un treuil.

Lorsque l'on a un fardeau à élever on fait d'abord marcher le chariot, puis on amène le treuil au-dessus de l'endroit où se trouve le fardeau, on le soulève au moyen du treuil, puis en faisant marcher le chariot on le transporte là où l'on veut.

Tel était encore le système que M. Arnoux avait construit au chemin de fer d'Orléans pour charger les diligences sur les wagons du chemin de fer, lorsque la construction des chemins de fer était peu avancée, que l'exploitation ne s'étendait qu'à de petites longueurs. Ces grues se composaient d'un bâti en charpente muni de rails sur lesquels se mouvait un chariot destiné à porter la diligence et les appareils de chargement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

A ce chariot était attenant un engrenage conduisant une chaîne horizontale fixée sur le bâti en charpente, mécanisme qui permettait de le faire marcher sur les rails, horizontalement, dans un sens ou dans l'autre. Les appareils de chargement se composaient : d'un treuil à manivelle, d'un frein pouvant agir sur ce treuil, d'un système de roues dentées de différents diamètres et de chaînes qui, s'enroulant en sens inverse sur le treuil, venaient passer sur des poulies ; aux extrémités de ces chaînes se trouvaient des tringles en fer rond qui venaient s'engager dans des trous traversant de petites pièces en fer recourbées, fixées à la caisse de la diligence. Celle-ci se trouvait ainsi suspendue aux tringles, et en donnant un mouvement aux engrenages dans un sens ou dans un autre, on faisait monter ou descendre la caisse; on pouvait ainsi l'enlever de dessus ses roues et la porter sur un wagon ou réciproquement.

Grues dynamométriques. — MM. Georges ont construit des grues qui permettent de soulever des fardeaux et de les peser en même temps; et qu'ils ont appelées grues dynamométriques. Cette grue est représentée en élévation dans la figure 1127; elle se compose

La grue abandonnée à elle-même s'appuie sur la semelle D; quand on veut peser un fardeau quelconque au moyen de cette grue-balance, on tare d'abord le poids des appareils nécessaires à la manœuvre, tels que cordes, chaînes, crochets, etc., puis on soulève la dragonne pour faire appuyer la grue sur la semelle D. On enlève le fardeau au moyen du treuil de la grue; quand il ne touche plus le sol on enlève la dragonne et on pèse ensuite; on soulève de nouveau la dragonne et on manœuvre comme avec une grue ordinaire.

Dans les grues de MM. George on pèse à la fois tous les appareils nécessaires à la manœuvre de la machine et le fardeau à soulever. M. Decoster avait proposé un système au moyen duquel on ne pèse que le fardeau.

Au lieu d'attacher directement au câble la pièce à soulever, il interposait une romaine (voyez BALANCE) entre le poids à soulever et le câble.

On a essayé de remplacer les grues par des leviers à bras inégaux; sur le bras le plus grand est disposé un poids, mobile à l'aide d'un chariot qui se meut sur un chemin de fer. Quand le chariot est à une distance du point d'appui, telle que son poids, multiplié par le bras

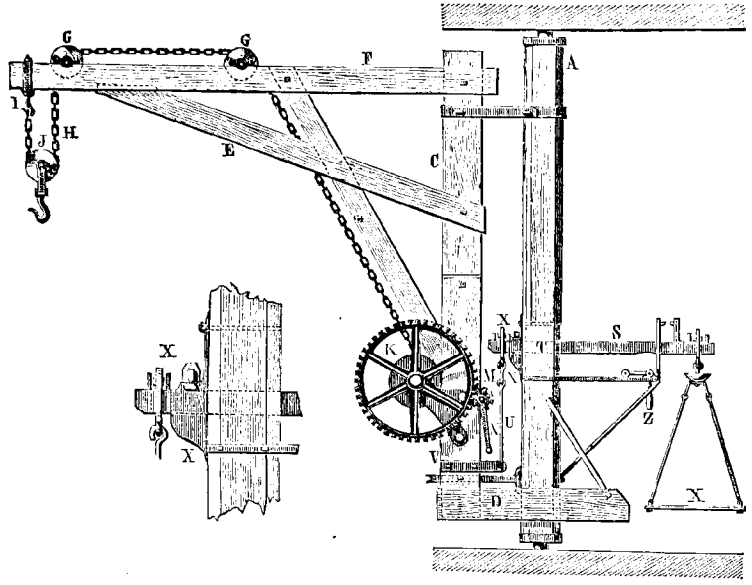


Fig. 1127.

de deux parties, la partie A formant l'axe qui tourne librement à la manière des grues du premier genre, et la partie C qui constitue la grue proprement dite et porte tout le mécanisme qui sert à l'élévation des fardeaux.

Le poteau C est réuni au poteau A par quatre pièces, dont les deux premières font fonction de tirants et les autres celle de butée; ces pièces constituent le parallélogramme qui donne le parallélisme au mouvement oscillatoire du poteau C; ce mouvement s'opère par l'intermédiaire du levier S, qui passant à travers le poteau pivotant A s'appuie sur un support X. Une tringle de suspension U s'attache d'un côté au petit bras du levier et de l'autre à la pièce V fixée solidement sur C. Une dragonne Z, semblable à celle des bascules ordinaires, soulève à volonté le plateau peseur et fait que la grue repose sur la semelle D.

de levier, soit plus grand que le poids à soulever, multiplié par son bras de levier, l'équilibre est rompu et le poids est enlevé.

Nous n'en dirons pas davantage de ces grues, parce qu'elles ne nous paraissent pas compenser par des avantages réels les nombreux inconvénients qu'elles présentent en raison du choc provenant de la vitesse acquise.

Théorie de la grue. — La grue n'étant qu'un treuil à engrenages dont la corde est portée à une certaine distance de la verticale tangente au cylindre d'enroulement, pour élever verticalement un fardeau, son étude dynamique ne diffère pas de celle du treuil. On déterminera de même, dans les deux cas, le rapport convenable des roues d'engrenages pour agir pour pouvoir enlever, avec un effort connu, un poids également déterminé, ainsi que le temps nécessaire pour l'amener

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à une certaine hauteur, connaissant la vitesse normale du moteur, par exemple d'hommes agissant sur les manivelles ; nous avons donné, plus haut, un exemple de ce mode de calcul.

Pour déterminer les pressions exercées sur les points

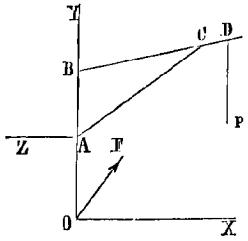


Fig. 4128.

d'appui, il suffit d'appliquer les conditions d'équilibre d'un système de forces situées dans un même plan. Soient X et Y les composantes horizontale et verticale de la réaction F qui s'exerce au point d'appui inférieur, et Z la réaction qui s'exerce au point A (au collier), réaction évidemment horizontale.

Soit P la charge appliquée en D, à une distance p de l'axe OB ; soit Q le poids de la grue elle-même, agissant à une distance q du même axe ; enfin, soit h la distance OA. En égalant à zéro la somme de la projection de ces forces sur l'horizontale OX et sur la verticale OY, et la somme des moments de ces mêmes forces, par rapport au point O, on trouvera :

$$X + Z = 0. \qquad Y - P - Q = 0.$$

$$Pp + Qq - Zh = 0.$$

$$\text{D'où l'on tire } Z = \frac{Pp + Qq}{h}, \quad Y = P + Q$$

$$\text{et} \qquad X = -Z.$$

La valeur de Z diminuant à mesure que h augmente, il y a avantage à rendre cette quantité aussi grande qu'il est possible, à employer de préférence les grues du premier genre ; c'est ainsi que généralement dans les ateliers on place le point d'appui A à la partie supérieure de l'appareil.

Quand on veut faire le projet d'une grue, il faut encore déterminer les pressions qui s'exercent aux différents points des assemblages de la machine, ABC, pour en déduire des dimensions des pièces largement suffisantes pour éviter toute chance d'écrasement ou de rupture. On y arrive facilement en établissant, comme ci-dessus, l'équation des conditions d'équilibre en ces divers points.

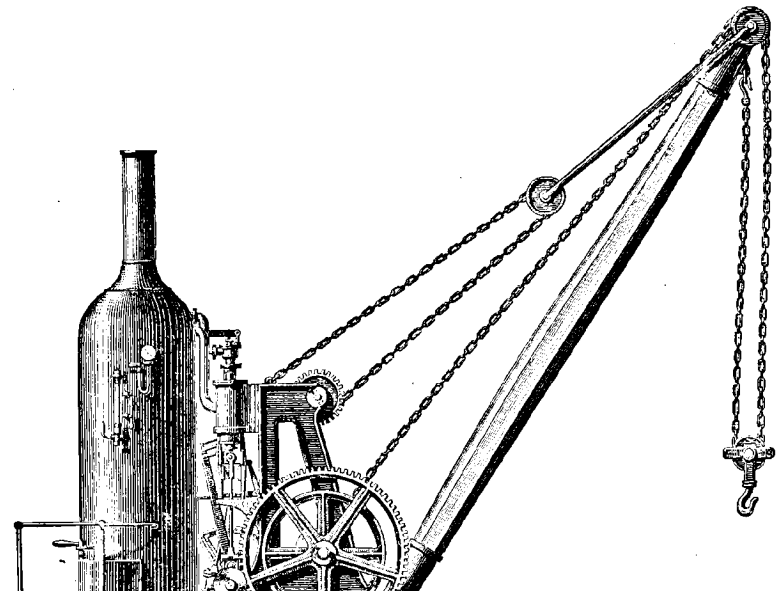


Fig. 4129.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GRUE A TRANSMISSION. Une modification importante dans la manière de mouvoir l'axe des grues a été introduite par Penn et fils, dans leurs beaux ateliers de Greenwich, et est imitée aujourd'hui dans tous les nouveaux ateliers que l'on construit, et notamment dans les fonderies de fer où elle offre beaucoup d'avantages. Elle consiste à se servir de la machine à vapeur motrice qui fait mouvoir les diverses machines-outils de l'atelier, pour agir sur les grues, au moyen de transmissions convenables. Celles-ci ne sont que des courroies et des engrenages ordinaires, sauf que l'arbre en fer vertical qui descend le long de l'arbre de la grue agit par une vis sans fin sur la première roue des engrenages qui mettent le treuil en mouvement; excellente application d'un organe qui transmet parfaitement le travail d'une force dans un sens et ne permet pas le mouvement de retour, lorsque c'est la roue dentée qui agit sur la vis sans fin. C'est ainsi que, dans les manœuvres dangereuses de la fonderie, la poche qui contient des milliers de kilogrammes de fonte incandescente peut être élevée à volonté, sans jamais pouvoir redescendre par son seul poids.

GRUE A VAPEUR. On a été naturellement conduit par les progrès de la construction de la machine à vapeur à monter le long des grues de grande dimension, une semblable machine chargée de faire tourner le treuil. On voyait à l'Exposition de Londres de 1862 plusieurs essais de ce genre, qui étaient tous des moyens différents de disposer la chaudière, naturellement verticale, et le cylindre à vapeur, sur le pied de la grue et le long de l'arbre. La multiplicité des essais indiquait que ce genre d'appareil était réclamé pour diverses applications et qu'il allait bientôt être appliqué fréquemment, comme on le voit aujourd'hui. En effet, leur emploi est très-économique dans tous les cas où le travail à effectuer est considérable. M. Maldant a établi à la Société des Ingénieurs civils que le chargement et le déchargement des navires, effectué sur les quais de Bordeaux avec des grues à vapeur, ne revenait qu'à 12 ou 13 centimes par tonne; bon marché incroyable dû surtout à la grande vitesse et par suite à la grande production des grues à vapeur.

Les grues à vapeur consistent essentiellement en une machine à vapeur, à action rapide, remplaçant avec une bien plus grande puissance les manivelles mues à bras; servant à enrouler sur le treuil la chaîne qui soulève les poids, la chaudière verticale faisant contre-poids au fardeau et aux bras de la grue. Telle est la grue de Garret, représentée fig. 1129, où la machine à vapeur à grande vitesse est du type dit à pilon, si commode et si simple. Le bras variable de la grue est obtenu bien simplement par le redressement ou l'abaissement au moyen de chaînes, d'une pièce tournant autour de forts tourillons placés à la partie inférieure, près des parties résistantes du bâti.

GRUE HYDRAULIQUE. On donne le nom de grues, dans les chemins de fer, à des appareils d'une forme analogue à celle des grues ordinaires, mais qui sont destinés à un usage tout à fait différent. Ils servent à amener l'eau nécessaire pour remplir les tenders des machines locomotives. Nous avons décrit leur disposition la plus convenable à l'article CHEMINS DE FER.

GRUE HYDRAULIQUE. On donne encore le nom de grue hydraulique à des appareils de la nature des machines à colonne d'eau, qui servent dans les docks à élever des fardeaux. Nous les décrivons à l'article TREUIL HYDRAULIQUE.

GUTTA-PERCHA. La gutta-percha est le résidu de l'évaporation du suc laiteux qui s'écoule d'incisions faites dans un arbre qui se rencontre dans les forêts des îles de la Malaisie.

Elle a été introduite par le commerce en Angleterre vers 1843. L'arbre dont elle provient, nommé par Hooker *Isonandra gutta*, s'élève à 15 ou 20 mètres de hauteur, et se rencontre non-seulement à Bornéo et à Singapour, mais encore en Chine qui en fournit les plus grandes quantités.

La gutta-percha a beaucoup d'analogie avec le caoutchouc; elle est imperméable et inaltérable à l'eau, inattaquable par les solutions alcalines, par les acides végétaux et les acides minéraux étendus d'eau. Elle est soluble dans le sulfure de carbone, la benzine, l'essence de térébenthine. Elle est très-mauvaise conductrice de la chaleur et de l'électricité. Elle diffère du caoutchouc et reçoit, par suite, des applications spéciales, en ce qu'elle est plus dure à froid, plus molle à chaud et bien moins élastique à toutes les températures. A partir de 50 degrés elle devient facile à pétrir et à mouler, elle prend des empreintes qu'elle garde après le refroidissement, tandis qu'à la température ordinaire elle constitue une substance dont on ne peut mieux donner une idée qu'en la comparant à du cuir. On voit donc avec quelle facilité on obtient avec cette substance des plaques, des tubes très-résistants et peu attaquables par la plupart des réactifs. On a fait de cette substance, douée de propriétés si précieuses, des applications aussi nombreuses qu'intéressantes.

Nous citerons d'abord celle si importante faite surtout pour la galvanoplastie, pour obtenir des moules, dont nous avons déjà parlé à l'article GALVANOPLASTIE.

En Angleterre, dans plusieurs fermes on a adopté des tuyaux de gutta-percha pour arroser les champs avec des engrais liquides substitués aux engrais ordinaires pour économiser la main-d'œuvre; progrès peut-être trop prôné à l'origine, mais sûrement applicable pour des cultures exceptionnellement riches, comme la culture maraîchère.

Enfin, l'application la plus remarquable de la gutta-percha, par l'importance des résultats obtenus est celle de servir à envelopper les fils métalliques qui transmettent dans la terre ou dans l'eau les courants des télégraphes électriques; c'est sans contredit à l'emploi de la gutta-percha qu'est dû le succès des télégraphes sous-marins, succès malheureusement incomplet, car la durée des câbles sous-marins paraît limitée à quelques années, les mouvements incessants de certaines parties du câble finissant sans doute par déterminer les fissures à travers la gutta-percha. Son origine végétale ne permet guère d'ailleurs d'espérer une conservation extrêmement prolongée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

H

HABITACLE. Sorte de petite armoire fixe, placée dans un navire, au milieu du gaillard d'arrière, et qui renferme la boussolle.

HACHE (*angl.* axe, *all.* beil). La hache est un outil servant aux charpentiers et aux bûcherons, dont le tranchant est placé en retour d'équerre autour d'un manche. Les grosses haches ou cognées destinées à débiter sont fermoir, leur tranchant est formé par la réunion de deux biseaux courts; celles destinées au dressage sont ciseau. Il importe que la mise d'acier pour les premières soit large, afin que l'oxydation du fer par le travail, surtout lors du débitage des bois verts, n'empêche pas l'outil de glisser, condition très-importante pour l'ouvrier.

La cognée, qui est lancée à toute volée et agissant par choc, de manière à faire de profondes entailles à chaque coup quand il est bien manié, est un outil dangereux. Il n'en est pas de même des haches-ciseau servant à dresser; il n'est pas nécessaire non plus que la mise d'acier soit aussi grande pour celles-ci que pour les premières, puisque c'est toujours la table d'acier qui, dans toute sa longueur, se trouve en contact avec le bois, le revers du biseau ne frottant que contre le bois déjà à demi détaché de la pièce.

Une hache ne doit pas être affutée droit, mais bien suivant une courbe dont la flèche sera plus ou moins longue, selon qu'elle débite plus ou moins; plus la flèche est longue, plus l'outil débite, l'inclinaison des éléments du tranchant étant plus grande, ils coupent sans refouler, mais aussi moins il marche régulièrement; c'est ce qui fait que, pour les doloirs et les haches à dresser, cette courbe doit être beaucoup moins sentie que pour les cognées.

L'acier employé pour la fabrication des haches doit être d'excellente qualité, dur et tenace en même temps. Il doit être revenu bleu à la trempe; à ce degré si l'acier n'a pas de corps, la hache est molle. Si, pour avoir de la dureté, on n'a fait revenir que jaune d'or ou gorge de pigeon, la hache s'ébrèche par éclats.

HACHE-PAILLE. Instrument servant, comme son nom l'indique, à hacher la paille que l'on donne comme aliment aux bestiaux, pour en rendre la digestion plus facile; les meilleurs sont ceux qui écrasent en même temps la paille, comme le fait la machine à battre. (Voy. INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.)

HAMEÇON (*angl.* fish-hook). La fabrication de ce petit article, qui demande beaucoup d'adresse et d'attention pour le choix de la matière et la manière d'opérer, n'est bien réussie que dans quelques pays où les ouvriers ont acquis une habileté traditionnelle.

Les hameçons de Limerick, longtemps estimés par les pêcheurs pour le saumon et la truite, sont faits d'acier fondu, forgé carré avec une saillie à l'extrémité dont on fait à la lime un crochet rentrant de forme convenable. La tige est alors arrondie à la lime et recourbée pour être amenée à la forme voulue. On trempe les hameçons pour les durcir, puis on les recuit; à cet effet, on les place sur une plaque de fer qui est chauffée jusqu'à ce qu'une goutte de suif qu'on laisse tomber sur elle fume ou flambe; on reconnaît ainsi le point convenable, suivant la qualité de l'acier employé.

Sir Humphry Davy, dans son « Salmonia, » décrit ainsi qu'il suit la fabrication des hameçons de Limerick qu'il avait examinée. On choisit du fer très-doux, comme celui des clous des vieux fers de cheval. On le convertit en acier et cet acier est réduit en barres ou en fils de diverses dimensions pour les différentes grandeurs d'hameçons, puis on le recuit. Chaque morceau de fer qui sert pour fabriquer deux hameçons ressemble à une pique double de 3, 4 ou 5 pouces de longueur; pour les petits hameçons, on se contente quelquefois d'aplatir au marteau les extrémités. L'ouvrier emploie deux limes, la plus fine sert à faire la pointe et à polir l'hameçon; il commence par faire le crochet, prenant soin de ne pas enlever trop de métal et limant sur une pièce de bois dur, de buis par exemple, dans lequel on a fait avec le côté de la lime une rainure qui reçoit la barre. Le crochet étant fait, la tige est polie à l'aide de la lime fine, et par un tour de poignet, à l'aide de pinces rondes, on lui donne la courbure convenable. L'hameçon est alors coupé de la barre, chauffé au rouge en étant tenu un moment dans un feu de charbon, puis plongé rouge dans l'eau froide. Il est recuit en étant placé sur une plaque de fer chauffée jusqu'à ce qu'il prenne la couleur bleu clair; il est aussitôt plongé dans du suif, où il prend la couleur noire. Il est alors terminé.

Le village de Redditch dans le Worcestershire, siége important du commerce des aiguilles, produit beaucoup d'hameçons anglais proprement dits, excellents pour la pêche du petit poisson, et qui y sont fabriqués à très-bas prix. Nous allons décrire le curieux mode de travail qui y est usité.

La première opération pour faire des hameçons est de couper le fil de longueurs qui varient d'après le numéro à produire. Le fil *a* est d'abord recuit. Un petit tas d'environ 2 pouces de hauteur, 1 pouce de longueur et 1/2 pouce de large est attaché au banc sur lequel l'ouvrier est assis. Sur la face supérieure de

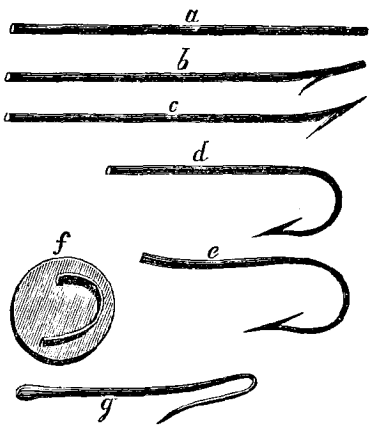


Fig. 3542.

cette enclume sont pratiqués trois trous, dans lesquels on engage les extrémités de trois fils. Les trois sont tellement disposés que les fils sont à égale distance l'un de l'autre et leurs extrémités sur une même ligne, de telle sorte que si l'on fait une marque transversale sur les trois fils placés dans les trous, la marque sera sur chacun à la même distance des extrémités. De la sorte, tous les fils originairement de même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

longueur peuvent recevoir une marque, également distante sur tous, de leurs extrémités.

Sur le côté du tas, il y a un boulon pouvant recevoir un outil tranchant que l'on peut mouvoir avec une certaine force dans une direction déterminée. L'ouvrier muni de cet outil prend trois fils de longueur convenable et engage leurs extrémités dans les trois trous; il adapte la lame de l'outil sur son support, et l'abaissant vers l'extrémité du fil et le long de la surface, il entaille en partie le métal comme en *b*. Appuyant et faisant l'entaille plus profonde, la barbe est faite; cet éclat de métal a une finesse, un mordant que le travail bien plus coûteux de la lime ne saurait atteindre. Retirant les trois fils, il les place de côté et recommence sur trois nouveaux. Il faut une habileté traditionnelle pour que les entailles soient convenables, le métal bien coupé et à la profondeur voulue. L'opération suivante consiste à faire la pointe de l'hameçon comme en *c* (*fig.* 3542); ce qui est pratiqué à la lime, le fil étant tenu avec une paire de pinces, et l'extrémité appuyée sur un morceau de buis.

Les hameçons sont alors courbés, ce qui se fait à l'aide d'un petit morceau de bois qui porte à son extrémité une pièce de laiton repliée vue en *f*. A une des extrémités est pratiquée une entaille dans laquelle on engage la barbe, le fil est alors tourné autour du laiton, et il prend les formes indiquées en *d* et en *e*. Le fil n'est pas courbé régulièrement en rond, il se redresse vers l'extrémité; aussi l'ouvrier doit enrouler avec précaution le fil autour du guide de laiton, et en approchant de l'extrémité maintenir la main. L'extrémité supérieure de chaque hameçon est alors aplatie comme en *e*, pour fournir une prise à la soie qui sert à attacher l'hameçon à la ligne; ce qui se fait en donnant sur l'extrémité de l'hameçon placée sur une enclume un coup bien appliqué d'un petit marteau.

Les hameçons sont alors durcis, trempés au moyen d'un bain de sable convenablement chauffé; ils sont ensuite nettoyés dans un tonneau tournant renfermant de l'émeri et du savon; enfin recuits au bleu dans le bain de sable.

HAQUET. Voiture à deux roues et à deux brancards longs, forts et très-rapprochés l'un de l'autre, sur laquelle on transporte, dans l'intérieur des villes, les marchandises en tonneaux. Cette voiture, à laquelle on attelle quelquefois plusieurs chevaux en file, a une limonière fixée à articulation contre une des extrémités des brancards; de sorte que ceux-ci, posés en équilibre sur l'essieu, peuvent s'incliner en arrière jusqu'à ce que leurs extrémités postérieures touchent à terre. C'est dans cette position inclinée qu'on charge et qu'on décharge le haquet, à l'aide d'une corde double, dont les bouts s'enveloppent sur un treuil placé horizontalement près de la limonière, sur le bout des brancards. Ce treuil, prolongé en dehors du brancard du côté du montoir où se tient toujours le *haquetier*, porte une tête frettée traversée en croix par deux forts bâtons servant de leviers, à l'aide desquels un homme seul fait monter un ou plusieurs tonneaux à la fois le long des brancards du haquet, jusqu'à ce que le centre de gravité de la charge se trouve à peu près au-dessus de l'essieu. Il l'arrête provisoirement à cet endroit avec une cheville de fer qu'il introduit dans un des trous pratiqués de distance en distance le long d'un des brancards. Lâchant le treuil, il va chercher de la même manière d'autres tonneaux, qui viennent à leur tour pousser les premiers. La charge glisse très-aisément sur les brancards, parce qu'ils sont garnis de fer poli, jusqu'à ce qu'ils reprennent leur position horizontale, dans laquelle le haquetier les maintient avec une forte cheville de fer qu'il introduit dans des trous correspondants percés à la fois dans les brancards et dans la limonière.

Le déchargement est encore bien plus facile, puisqu'il ne s'agit que de rendre aux brancards leur position inclinée en arrière, et de laisser glisser les tonneaux jusqu'à ce que le dernier chargé tombe à terre, le treuil servant de frein pour modérer leur vitesse. Alors, faisant avancer les chevaux, tous les autres tonneaux sont successivement mis à terre sans qu'on ait à craindre le moindre accident.

C'est au célèbre Pascal qu'on doit l'invention de cette voiture, qui offre un moyen extrêmement simple et commode de charger et de décharger les marchandises.

HARMONIUM. Instrument de musique au moyen duquel on s'est efforcé de donner en quelque sorte à l'orgue toutes les applications du piano.

Les tuyaux de l'orgue disparaissent de l'harmonium, grâce à l'invention de l'anche libre, c'est-à-dire d'une languette de métal vibrant sous l'action de l'air en mouvement, entre les parois d'un petit cadre sur lequel elle est fixée par une des extrémités. L'anche libre est d'origine chinoise, dit M. Boquillon, et son introduction dans l'industrie européenne remonte à 1810, époque à laquelle Grenié inventa son *orgue expressif*, parce qu'en effet, en agissant plus ou moins énergiquement sur la soufflerie, en comprimant plus ou moins l'air qui fait vibrer l'anche, on obtient l'expression, c'est-à-dire toutes les nuances possibles d'intensité entre le son à peine entendu et le son le plus énergique. Toutefois l'instrument eut peu de succès : d'abord, à cause de son prix assez élevé, Grenié ayant cru nécessaire de surmonter chaque anche d'un tuyau de forme particulière et d'une exécution coûteuse. D'un autre côté, le timbre était d'une monotonie extrême, et les sons ne se produisaient qu'avec une très-grande lenteur, parce que Grenié donnait une trop grande épaisseur aux lames de ses anches.

Beaucoup plus tard arrivèrent d'Allemagne, sous des noms divers, des instruments parlant plus rapidement et de beaucoup moins coûteux, parce qu'on avait supprimé les tuyaux de Grenié et qu'on se bornait à placer les anches sur des ouvertures pratiquées dans l'épaisseur d'une planche. Des tentatives du même genre furent faites alors en France : on adjoignit, au jeu unique, jusqu'alors employé, plusieurs jeux à l'unisson dans le but de renforcer, à volonté, l'exécution dans certains passages, mais encore sans succès; la monotonie fastidieuse d'un timbre nasillard opposant un obstacle invincible à la propagation de l'instrument, qui se réduisit, industriellement parlant, aux dimensions modestes de l'accordéon.

Enfin il se rencontra un inventeur, M. Debain, qui reprit l'œuvre de Grenié, et lui fit subir une de ces transformations radicales qui deviennent une véritable révolution industrielle.

A la monotonie des sons d'un seul jeu ou d'un seul timbre, comme on l'avait pratiqué jusqu'alors, M. Debain substitua une très-grande variété de timbres, qu'il sut créer en plaçant ses anches libres sur des cavités de formes et de dimensions diverses, en admettant ou faisant sortir le vent, soit vers le talon fixe de l'anche, soit vers son extrémité libre, soit enfin vers le milieu. D'autres dispositions ayant pour but d'adoucir ce que certains jeux pouvaient avoir de trop strident vinrent s'ajouter à ces conditions, et permirent de produire une variété considérable d'effets harmoniques. De là, le nom d'*harmonium* que M. Debain imposa à l'instrument, lorsqu'il l'eut complété dans ses parties essentielles.

A mesure qu'un progrès s'était accompli, de manière à constituer un nouvel instrument, celui-ci avait reçu un nom nouveau. De là les noms de *séraphine*, de *concertina*, de *mélodium*, etc., sous lesquels ils ont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fait successivement leur apparition dans le monde musical. Mais l'*harmonium*, avec les conditions essentielles que nous venons d'énumérer, est resté le type caractéristique de tous les instruments à anche libre auxquels, sous quelque nom qu'on les ait fait connaître, les modifications apportées par leurs auteurs ne sont que des perfectionnements de détail plus ou moins importants.

Parmi ces derniers, nous devons citer, comme un progrès sérieux, la *percussion* qui, sous le nom de M. Martin (de Provins), a apporté à l'harmonium ce qu'on appelle le *coup de langue* dans les instruments à bouche, et qu'on n'obtenait qu'après une assez longue pratique sur l'instrument de M. Debain. En effet, cette *percussion* résulte d'un coup de marteau plus ou moins accentué sur l'anche libre, au moment où la touche soulève la soupape qui continue à faire parler cette anche dans les conditions décrites.

HAUT FOURNEAU. Voyez FER.

HÉLICE. L'hélice, ou le tracé sur un cylindre d'un plan tournant autour de ce cylindre et incliné suivant un angle constant, est une des courbes les plus fréquemment utilisées dans les besoins des arts. Nous renverrons aux articles VIS, FILIÈRE, TARAUD, etc., pour ses applications.

HÉLICE PROPULSIVE. Voyez *Complément*.

HÉMATINE. Principe colorant du bois de campêche. Voyez BOIS DE TEINTURE.

HÉMATITE BRUNE. Minerai de fer oxydé hydraté en masse. Voyez FER.

HÉPATIQUE. Se dit des composés ou des liqueurs qui renferment des sulfures alcalins, et en particulier du sulfure de potassium dont la couleur est brun de foie; ce mot vient du latin *hepar*, qui veut dire foie : on donnait autrefois au sulfure de potassium le nom de foie de soufre.

HÉRISSON. Roue portant, sur son contour extérieur, des dents qui engrènent avec une lanterne, un pignon, ou une autre roue placée dans le même plan qu'elle; ou bien qui conduit une chaîne sans fin. On fait ordinairement ces roues en fonte avec des dents en bois ou *alluchons*, solidement plantés dans des mortaises ménagées dans la fonte, où on les retient avec des chevilles en fer.

HERSE. Instrument employé en agriculture pour unir et émietter la surface du terrain labouré, et pour enfouir la semence. C'est le rateau de la grande culture, permettant de remplacer le travail de l'homme par celui du cheval. (Voy. INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.)

HORLOGERIE. *Du temps et de ses unités. — Année. Jour. Heures.* — L'idée de temps est une notion première, une conception de notre esprit qui ne peut s'analyser. Lorsque deux phénomènes s'accomplissent successivement, nous sommes affectés différemment que s'ils se sont accomplis simultanément; on dit qu'il s'est écoulé entre eux un certain intervalle de temps. C'est cet intervalle qui peut être mesuré, par suite de la notion d'unité, d'égalité dans le temps, qui peut être définie ainsi :

Deux intervalles de temps sont égaux lorsque deux corps identiques placés dans des conditions identiques au commencement de chaque intervalle, soumis aux mêmes actions et influences de tout genre, auront parcouru le même espace.

La juxtaposition, la succession de mouvements semblables et leur enregistrement, permettent de mesurer le temps, de déterminer le nombre d'unités de temps contenues dans la durée d'un phénomène quelconque. Ainsi, supposons des sphères exactement semblables, et laissons-les tomber les unes après les autres d'une même hauteur, les durées de la chute de ces corps seront les mêmes, et on pourra additionner deux, trois, quatre semblables unités de temps.

C'est à réaliser de pareils instruments de mesure qu'est employé le travail de l'horloger; mais avant de parler des moyens qu'il emploie pour y parvenir, il faut établir quelle doit être l'unité de temps que ses appareils doivent fournir. On comprend en effet que deux appareils ne fournissent des résultats comparables qu'autant qu'ils marquent des unités semblables, et que les imperfections inhérentes à tout travail humain ne peuvent être reconnues qu'autant que des phénomènes périodiques, d'une régularité inaltérable, nous permettent de reconnaître la durée d'un certain nombre d'unités. C'est dans les phénomènes astronomiques que nous trouvons cette vérification nécessaire comme la principale subdivision qui met les fractions d'unités en rapport avec les conditions de notre existence, avec le phénomène du jour et de la nuit.

C'est dans les traités d'astronomie qu'il faut étudier les lois des phénomènes sur lesquels reposent les résultats qu'il nous importe de connaître, et que nous nous contenterons de résumer ici.

Le temps se mesure, en astronomie, par les mouvements apparents du soleil; la révolution diurne de cet astre ou la partie du temps écoulée entre deux de ses passages consécutifs au méridien du lieu, à son maximum d'élévation, forme le jour; la grande révolution de la terre ou le nombre de jours qui s'écoule entre l'instant où elle occupe un point de l'écliptique et celui où elle est de retour au même point, après avoir parcouru l'écliptique entier, fait une révolution entière autour du soleil, forme l'année.

Le temps solaire ou le temps vrai est formé de jours inégaux, en raison de la distance de la terre au soleil; le temps moyen adopté pour la vie civile où l'égalité des jours est indispensable, est mesuré par la valeur moyenne des révolutions diurnes apparentes du soleil. Il se compose donc de jours égaux, et diffère peu du jour sidéral, correspondant à la rotation quotidienne de la sphère céleste.

L'année astronomique, calculée sur le retour du soleil au point à partir duquel on a commencé à compter son mouvement apparent, est de 365 jours, 5 heures, 48 minutes, 51 secondes. On voit combien la correction d'un jour, ajouté tous les quatre ans, chaque année bissextile, aux 365 jours de l'année ordinaire, établit une correction d'une grande approximation.

Les déterminations fondées sur les mouvements astronomiques, nécessaires à la mesure du temps, et les relations entre le temps vrai et le temps moyen se traduisent dans la pratique : 1° en des moyens de déterminer le midi vrai; 2° dans le calcul propre à passer du midi vrai au midi moyen, ce qu'on appelle l'équation du temps.

Temps vrai. — Temps moyen. — Équation du temps. — Le jour solaire, pris pour base de la division du temps par tous les peuples, est l'intervalle entre deux passages consécutifs du soleil au méridien et n'a pas une durée constante. L'astronomie a étudié les causes, la marche et l'étendue des variations.

Dans sa course annuelle autour du soleil, la terre possède divers degrés de vitesse, en raison des diverses distances où elle se trouve de cet astre. Cette vitesse est à son maximum dans la partie de l'orbite la plus rapprochée du soleil, et à son minimum à la partie la plus éloignée. Comme nous transportons au soleil le mouvement de la terre, il nous paraît se mouvoir avec les vitesses variables de la terre. Or, la rotation de la terre autour de son axe, ou la rotation apparente de la voûte céleste qui en est la conséquence, s'effectuant toujours dans le même intervalle de temps, et le soleil ne pouvant se retrouver au méridien qu'après une révo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lution entière de la sphère, plus une petite partie de révolution proportionnelle à l'arc qu'il a décrit dans l'intervalle en sens inverse du mouvement diurne de la sphère, il est évident que la variation de grandeur de cet arc devient une cause d'inégalité pour la grandeur du jour solaire.

L'inclinaison de l'écliptique, du plan dans lequel se passe le mouvement apparent du soleil, est une seconde cause de variation, comme on peut en voir la démonstration dans tous les traités d'astronomie.

Pour comparer les jours *vrais* et inégaux au jour *moyen* toujours égal, pris pour unité de mesure, on conçoit un soleil qui tourne uniformément dans l'équateur et qui achève sa révolution exactement dans le même temps que le soleil réel achève la sienne dans l'écliptique. De cette manière, en supposant que le soleil moyen parte de l'équinoxe de printemps en même temps que le soleil réel, on dit qu'il est *midi moyen* toutes les fois que le soleil moyen passe par le méridien, et à cet instant, le soleil réel se trouvant placé de telle sorte qu'il soit plus ou moins de *midi vrai*, la différence forme l'*équation du temps*.

L'Annuaire du bureau des longitudes donne chaque année et pour chaque jour le résultat du calcul qui permet d'établir ces différences en temps, les intervalles compris entre les passages au méridien du soleil moyen et du soleil vrai. Voici un extrait de cette table pour 1859, qui donnera une idée de la manière dont varie l'avance ou le retard du temps moyen sur le temps vrai.

DATES	TEMPS MOYEN au midi vrai.	DATES	TEMPS MOYEN au midi vrai.
1 janv.	0h 3'58"	1 juillet.	0h 3'27"
11 dito.	0 8 21	11 dito.	0 5 8
21 dito.	0 11 43	21 dito.	0 6 3
1 février.	0 13 57	1 août.	0 6 0
11 dito.	0 14 34	11 dito.	0 4 56
21 dito.	0 13 54	21 dito.	0 2 54
1 mars.	0 12 34	1 sept.	11 59 49
11 dito.	0 10 12	11 dito.	11 56 30
21 dito.	0 7 19	21 dito.	11 52 59
1 avril.	0 3 55	1 oct.	11 49 37
11 dito.	0 1 2	11 dito.	11 46 45
21 dito.	11 58 38	21 dito.	11 44 41
1 mai.	11 56 56	1 nov.	11 43 42
11 dito.	11 56 9	11 dito.	11 44 12
21 dito.	11 56 18	21 dito.	11 46 5
1 juin.	11 57 29	1 déc.	11 49 18
11 dito.	11 59 16	11 dito.	11 53 34
21 dito.	0 1 23	21 dito.	11 58 25

L'équation du temps est nulle quatre fois par an, savoir: le 15 avril, le 15 juin, le 31 août et le 25 décembre. Du 25 décembre au 15 avril, le temps moyen avance sur le temps vrai; du 15 avril au 15 juin il retarde sur le temps vrai; du 15 juin au 31 août il avance de nouveau; et enfin, du 31 août au 25 décembre il retarde encore.

Le mouvement de déplacement du plan de l'écliptique, ou de la position de la courbe elliptique que la terre décrit dans ce plan, modifie la valeur de l'équation du temps. Mais la grande lenteur avec laquelle se produit ce mouvement fait qu'on peut regarder les résultats indiqués ci-dessus comme convenant pour un grand nombre d'années.

Détermination du midi vrai. — La détermination du midi par les observations astronomiques, à l'aide de la lunette méridienne, se mouvant rigoureusement dans le plan méridien du lieu, est obtenue avec une très-grande précision dans tous les observatoires, où les horlogers vont prendre l'heure exacte pour régler les horloges publiques. Sans observatoires, des moyens faciles et fréquemment employés dans les pays méridionaux permettent d'obtenir le midi vrai et même les heures; nous voulons parler des gnomons et cadrans solaires auxquels un article spécial est consacré dans cet ouvrage. La seule chose, en effet, qui importe à l'horloger éloigné d'un observatoire, c'est la détermination du midi vrai, du passage du soleil au méridien du lieu à l'aide des ombres projetées. Or, elle est assez facile, et résulte de ce que ce passage correspond à une ombre qu'il est facile de reconnaître.

Les obélisques d'Égypte, les gnomons formés de corps verticaux permettent facilement cette détermination. Décrivons la solution la plus simple pour la pratique.

Tracer une méridienne sur un plan horizontal. — Il faut d'abord tracer l'intersection du plan méridien avec un plan horizontal. Après avoir assujetti ce plan bien horizontalement à l'aide d'un niveau d'eau, on fixe vers l'extrémité située vers le soleil un style G, fig. 3543,

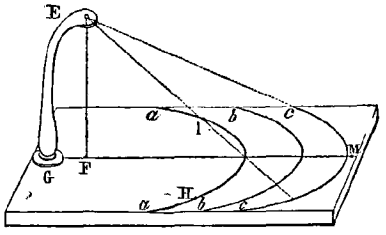


Fig. 3543.

surmonté d'une plaque ronde E, percée d'un petit trou d'environ 3 millimètres de diamètre. Le plan dans lequel se trouve inclinée cette plaque, et le plan horizontal du cadran, doivent former un angle à peu près égal au degré de la latitude du lieu où l'on construit la méridienne. Cet angle est, pour Paris, de 48°50 environ. Par ce moyen, l'image du soleil qui passe par le petit trou E est sensiblement ronde sur le plan horizontal.

La hauteur du style, c'est-à-dire la hauteur EF, au-dessus du plan horizontal, n'est pas arbitraire; elle dépend de la longueur FM du plan, afin d'avoir la méridienne la plus longue possible sans qu'elle sorte du plan les jours où, vers la fin de l'année, le soleil est le plus bas sur l'horizon. Ainsi, dans la supposition où la ligne FM aurait 65 centimètres, la ligne EF devrait avoir 20 centimètres. Si la ligne FM n'avait que 48 centimètres, la ligne EF n'aurait que 15 centimètres.

Lorsque le style est placé comme l'indique la figure, il s'agit de trouver le point F, qui doit être un des points de la méridienne. Pour cela on se sert du fil à plomb; on en introduit le fil dans le trou E du style, et par le milieu de ce trou, on laisse prendre l'aplomb au niveau de la pierre, et la pointe de cet aplomb indique la place où l'on doit marquer le point F.

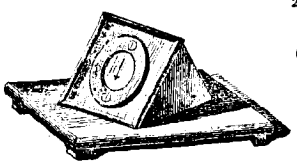
Du trou F bien marqué, de ce point, comme centre, on décrit plusieurs arcs de cercle *a*, *b*, *c*, concentriques, qui servent à trouver le second point de la méridienne. Pour cela, on examine, vers neuf heures du matin, le point où l'image du soleil est exactement partagée par l'arc *a*, par exemple, et l'on marque le point H; on remarque quelle heure marque l'horloge: supposons 9 heures 7 minutes, il restera donc 2 heures 53 minutes pour aller jusqu'à midi, ce qui annoncera

EFERUS - Recherche & Classification numérique

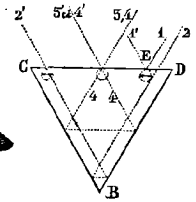
que la seconde opération doit se faire vers 2 heures 53 minutes après midi, si le régulateur est bien réglé. On pourrait donc attendre jusqu'à ce moment fixe; mais comme il peut y avoir quelque erreur dans le régulateur d'un côté, et à cause des variations du temps vrai de l'autre côté, on examine, vers 2 heures, si l'image du soleil est bien éloignée du même arc *a*. Lorsqu'elle en approche, on observe exactement et l'on marque sur cet arc le point I, de la même manière qu'on a marqué le point H. On prend exactement le milieu de cet arc III par les moyens connus, ce qui détermine le point M. Par les deux points F, M, on trace une ligne droite qui est la méridienne cherchée.

Dipléïscope. — M. Dent, habile horloger anglais, a combiné dans ces dernières années un petit appareil fort élégant (fig. 3544) pour déterminer le midi vrai, dont l'idée est due à M. J.-M. Bloxam, inventeur très-ingénieux.

La figure 3544 représente l'instrument disposé pour l'observation, la face antérieure étant perpendiculaire au méridien du lieu, le plan sur lequel il repose étant horizontal.



3544.



3545.

Le dipléïscope est fondé sur la propriété des surfaces polies de réfléchir les rayons solaires en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Il consiste en trois plans réflecteurs DC, DB et BC (fig. 3545). DC représente la face extérieure de l'instrument formée d'une glace qui couvre les deux miroirs à face opaque DB et BC, (il constitue donc un prisme à deux faces étamées.) Supposons DC placé de façon que le rayon marqué 1 tombant sur DC en E soit renvoyé à l'œil dans la direction 1', l'image du soleil paraît avancer dans la direction de D vers C. Le rayon n° 2 traversant DC est réfléchi par CB sur DB, et enfin revient à l'œil dans la direction 2', et cette seconde image du soleil paraît se mouvoir de C vers D, et à mesure que le soleil se meut, les deux images se *rapprochent* l'une de l'autre.

Supposons que le rayon n° 1 soit arrivé en 3, et le rayon n° 2 dans la position du n° 4, il est évident qu'ils seront réfléchis tous deux dans la direction commune 3' et 4', c'est-à-dire que les deux images coïncident, ce qui indique l'instant du midi vrai; puis les rayons continuant à avancer, les images se séparent de nouveau en changeant de position relative.

Cet instrument très-simple, très-facile à placer, est d'une grande précision et a été avec raison recommandé aux horlogers pour régler leurs appareils. En permettant d'observer le premier contact des deux images du soleil et celui de leur séparation avec beaucoup d'exactitude, il fournit facilement la bissectrice de cet angle sur laquelle se produisent la coïncidence des centres, la méridienne du lieu et le moment du midi vrai.

HISTOIRE DE L'HORLOGERIE.

Nous avons dit à l'article CADRANS SOLAIRES comment on pouvait obtenir à l'aide des ombres portées par une tige, non-seulement le midi vrai, mais encore l'indication des heures. Il est inutile d'indiquer tous les motifs qui en font des appareils totalement insuffisants pour satisfaire aux besoins d'une civilisation avancée. Aussi les anciens avaient-ils inventé encore à cet effet les horloges d'eau ou CLEPSYDRES, utilisant à cet effet le mouvement uniforme résultant d'un écoulement régulier de l'eau.

Ce système était encore bien imparfait et sujet à bien des inconvénients, et il semblait naturel de chercher quelque autre mouvement uniforme et par suite propre à la mesure du temps, qui fût d'un maniement plus facile. Ce problème simple en apparence est en réalité insoluble d'une manière absolue dans la pratique, les résistances passives venant toujours s'opposer à la prolongation de tout mouvement imprimé (qui serait uniforme si aucune autre force ne venait agir sur le mobile), d'où la nécessité de l'application du travail d'une puissance égale à celui des résistances produites en chaque instant.

Horloges à poids. — Dans le système de clepsydre le plus complet que nous ayons décrit (voir CLEPSYDRE), on voit poindre le mécanisme qui a conduit plus tard aux horloges à poids. L'emploi d'un poids pour faire tourner les aiguilles d'un cadran, à l'aide de roues dentées (dont parle déjà Aristote) devait être un progrès nécessaire; mais comment empêcher le poids de se dérouler avec une grande rapidité, comment prolonger la durée de son action? Il fallait, pour y parvenir, une découverte toute spéciale, une notion des effets d'inertie et la combinaison d'organes propres à la réaliser tout à fait remarquable. Nous la ferons connaître en donnant, d'après Julien Leroy, la description du balancier et de la roue de rencontre de l'horloge du Palais de justice, construite vers 1370 par Henri de Vic, venu d'Allemagne à la demande de Charles V.

Le moteur dans cette machine est un poids attaché à une corde enroulée sur un cylindre : le poids descendant, le cylindre tourne, le mouvement de rotation se transmet par engrenages à une dernière roue verticale en forme de couronne, portant des dents dont la face antérieure est perpendiculaire au plan de la roue, en un mot semblable à ce que nous appelons une roue de rencontre que nous aurons plus loin à étudier en détail. C'est sur cette roue qu'agit l'obstacle, qui se compose d'une tige armée de deux palettes placées à angle droit l'une sur l'autre. Quand une palette est repoussée, l'autre s'engage pour être repoussée à son tour, en arrêtant ainsi à chaque instant le mouvement de la roue et avec lui le déroulement du poids moteur. L'axe vertical des palettes porte à sa partie supérieure une barre appelée foliot chargée de poids, dont l'inertie forme une résistance qui s'oppose au mouvement de la roue, en raison de la grandeur de ces poids et de leur éloignement de l'axe. Ce foliot fut plus tard remplacé par une sorte de volant circulaire qui prit le nom de balancier, suspendu comme le foliot par une double corde dont la torsion facilitait l'alternance du mouvement des palettes.

Les chocs successifs produits dans cet échappement rendus plus sensibles par la fabrication imparfaite des rouages et les grandes résistances intérieures ne permettaient pas d'obtenir avec cette disposition, tout ingénieuse qu'elle était, un haut degré de précision; toutefois l'horloge à poids ne reçut pas de changement notable jusqu'au commencement du XVI^e^ siècle, par l'introduction dans son mécanisme d'un élément nouveau essentiellement propre à conduire à la précision. Nous voulons parler de la découverte des propriétés du pendule par Galilée.

Du pendule. — L'introduction du pendule dans les horloges comme perfectionnement des constructions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

anciennes fut le bouleversement des systèmes antérieurs. Tandis que l'impossibilité de produire des mouvements rectilignes d'une parfaite uniformité, et d'une longue durée pour un faible travail, était reconnue, le pendule vint offrir des mouvements périodiques d'une uniformité parfaite, difficilement altérable, en un mot tout spécialement propre à la mesure du temps.

Nous étudierons bientôt les lois du pendule; mais historiquement il importe d'établir que Galilée se servit du pendule seul pour la mesure du temps. Ayant reconnu 1° que les oscillations d'une sphère pesante suspendue à l'extrémité d'un fil avaient sensiblement la même durée, quelle que soit leur amplitude, pourvu que cette amplitude soit petite; 2° que les durées des oscillations des divers pendules sont entre elles dans un certain rapport avec les longueurs du pendule; il en déduisit la possiblité de se servir des oscillations du pendule pour mesurer le temps. Il suffit en effet pour cela de mettre le pendule en mouvement et de compter les oscillations qu'il effectue dans l'intervalle du temps qu'on veut évaluer. La diminution progressive de l'amplitude de ses oscillations n'empêche pas que leur durée reste la même, comme cela résulte de la première des lois ci-dessus; et par conséquent le mouvement du pendule réalise la succession de phénomènes ayant durée égale, condition, comme nous l'avons dit, de la mesure du temps. D'un autre côté, la seconde des lois trouvées par Galilée permet, en donnant au pendule une longueur suffisante, d'obtenir une durée d'oscillation précisément égale à l'unité de temps que l'on veut adopter.

Galilée et quelques astronomes après lui employèrent en effet le pendule comme moyen de mesurer le temps dans leurs observations astronomiques. Mais l'emploi de cet instrument, si simple en lui-même, présentait des difficultés à cause de la nécessité de suivre tous ses mouvements pour compter ses oscillatioins et aussi à cause du peu de temps au bout duquel un pendule abandonné à lui-même cesse d'effectuer des oscillations appréciables.

L'idée d'employer un moyen mécanique d'enregistrer le nombre d'oscillations du pendule dut se présenter à Galilée, et menait à une construction d'horloges voisines de celles employées aujourd'hui. M. Boquillon, en étudiant les *Memorie e lettere di Galileo*, publiés par Venturi, en 1818, desquels il résulte qu'un certain Dominique Balectri aurait travaillé à une horloge à pendule sous les ordres de Galilée et de son fils, et en réalisant avec succès la construction indiquée dans ces lettres, a démontré avec grande probabilité les droits de Galilée à la priorité.

Horloges à poids et à pendule. — Quoi qu'il en soit, ce système a été adopté généralement et l'horlogerie de précision véritablement créée, lorsqu'en 1673, Huyghens publia son admirable traité d'horlogerie *De horologio oscillatorio ex Christiano Huygenio*, dans lequel les propriétés et les conditions d'emploi du pendule sont établies scientifiquement. C'est dans ce bel ouvrage qu'il établit les lois de l'isochronisme, qu'il prouve que l'isochronisme n'existe avec le pendule ordinaire que pour les petites oscillations, qu'il n'existe pour de grandes amplitudes que si le pendule pesant décrit, au lieu d'un cercle, une cycloïde, courbe curieuse dont il analysa, d'une manière complète, les propriétés.

Ressort spiral pour montres et chronomètres. — Ce qu'avait été le pendule pour les horlogers, le ressort spiral le fut pour les montres et chronomètres, et c'est encore à Huyghens qu'est due cette admirable découverte. Voici comment il s'exprimait, dans une communication faite par lui à l'Académie royale des sciences, en 1675; nous citons textuellement :

« Le secret de l'invention consiste en un ressort tourné en spirale, attaché par son extrémité extérieure à l'arbre d'un balancier équilibré, mais plus grand et plus pesant qu'à l'ordinaire, qui tourne sur ses pivots, et par son autre extrémité à une autre pièce qui tient à la platine de l'horloge, lequel ressort, lorsqu'on met une fois le balancier en branle, serre et desserre alternativement ses spires, et conserve, avec le peu d'aide qui lui vient par les roues de l'horloge, le mouvement du balancier, en sorte que, quoiqu'il fasse plus ou moins de tours, les temps de ses réciproquations sont toujours égaux les uns aux autres. »

Ces éléments sont les bases sur lesquelles repose toute l'horlogerie moderne, et nous n'avons plus à continuer une étude historique qu'en rappelant, dans ce qui va suivre, les noms des inventeurs en même temps que les travaux accomplis. Nous nous contenterons, pour le moment, d'un tableau où nous reproduirons, dans l'ordre chronologique, les inventions les plus importantes sur lesquelles nous allons revenir.

Application du pendule aux horloges.	Galilée. — Huyghens.
Ressort spiral.	Huyghens, 1675.
Compensation du pendule à mercure. . . .	Graham.
— à grille.	Harrison.
Échappement à roue de rencontre.	Henri de Vic, 1370; les horlogers de Nuremberg.
— à ancre.	Clément (de Londres), 1700.
— à ressort	Graham.
— à cylindre.	Id.
— libre	Arnold.—Earnshaw.—Pierre Leroy.
Théorie des engrenages.	Lahire. — Camus.
Dentures hélicoïdes. . .	Hooke. — White, 1821. — L. Bréguet, 1835. (Taille).
Suspension à ressort. . .	J. Leroy (de Paris). — Clément (de Londres).
Remontoirs d'égalité. .	Leibnitz. — Huyghens.
Échappements à force constante	A. Bréguet, 1795.
— à tourbillon.	A. Bréguet, 1797.
Mouvements différentiels.	Mudge, 1767.-Pecqueur, 1827.
Équations.	Planétaire de Huyghens, — sa méthode de fractions contenues.
Montres à cylindre. . .	Lépine. — A. Bréguet.
— à répétition. .	Inventées par Barlow et Square, 1676.
Chronomètres pour la navigation	Harrison. — Mudge. — Arnold. — Pierre Leroy. — Berthoud. — A. Bréguet.
Pendules sympathiques.	A. Bréguet, 1793.
Emploi de l'électricité pour mettre à l'heure.	L. Bréguet, 1857.

Divisions de cette étude de l'horlogerie.

L'exécution des appareils chronométriques, des horloges, montres, etc., de ces ingénieuses machines dans lesquelles le travail moteur n'a d'autres fonctions que de surmonter les résistances intérieures, mais de manière à obtenir la plus grande régularité, cette exécution, disons-nous, est parvenue à un haut degré de perfection avant les derniers progrès de la mécanique moderne. On est étonné, en étudiant les timides essais de machines opératrices qui remontent à un siècle, de voir combien leur construction et leurs combinaisons étaient arriérées relativement à celles des produits de l'horlogerie, comme aussi il est facile de reconnaître combien les ateliers modernes ont utilisé, en les agrandissant, la plupart des perfectionnements appor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tés aux machines-outils servant dans l'horlogerie, les tours et les machines à diviser notamment.

L'horlogerie est restée pendant longtemps confondue en quelque sorte avec la science que nous appelons aujourd'hui la *cinématique*, et celle-ci ne s'en est dégagée, n'a cessé d'être en quelque sorte concrète, que depuis que les applications des divers organes mécaniques se sont multipliées à l'infini en dehors de l'horlogerie. Ce qui montre bien que la pratique de l'horlogerie exige l'assimilation, pour ainsi dire complète, de ce genre de connaissances chez l'horloger constructeur, c'est non-seulement la multitude de combinaisons plus ou moins équivalentes, inventées pour modifier les diverses parties des appareils chronométriques, mais surtout que, jusqu'à ces dernières années, c'était aux horlogers qu'incombait presque toujours l'exécution de petits appareils à mouvements multiples avec laquelle ils étaient familiarisés. C'est notamment ainsi que les choses se sont passées en Angleterre lors de l'invention des métiers à tulle ; c'est ce que nous avons vu en France pour les premiers appareils de télégraphie électrique.

Un appareil chronométrique étant une machine destinée à produire le mouvement parfaitement régulier d'aiguilles indicatrices pendant un long intervalle de temps, à l'aide des oscillations uniformes du pendule ou du ressort spiral, se compose nécessairement :

1° D'un appareil moteur, d'un récepteur emmagasinant le travail (peu considérable en chaque instant, puisque ces machines n'ont à surmonter que leurs frottements intérieurs), qui est produit par l'action de *remonter* l'appareil ;

2° D'un système propre à régler et à rendre régulier le mouvement produit par la puissance motrice, — c'est le *régulateur ;*

3° D'un système guidé par le régulateur, qui empêche le travail accumulé de se consommer en peu de temps, — c'est l'*échappement* ,

4° Enfin des communications du mouvement régulier ainsi produit avec les appareils indicateurs, pour que les quantités indiquées par ceux-ci soient en rapport avec le jour moyen déterminé par la rotation de la terre, — ce sont les *rouages*, la *minuterie*.

Déterminer les meilleures formes de ces diverses parties, pour les divers cas de la pratique : les grosses horloges, les pendules astronomiques, les pendules à l'usage civil, les montres, les chronomètres ; les grandeurs et positions relatives les plus convenables, dans chaque cas, ou les calibres ; enfin déterminer la forme des meilleurs outils propres au travail des diverses pièces, telles seraient les indications qu'il faudrait réunir pour guider complétement l'horloger dans son travail ; tel est le cadre d'un véritable traité d'horlogerie.

§ I. PUISSANCE MOTRICE.

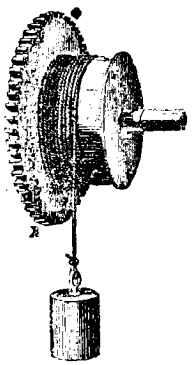
Dans les appareils d'horlogerie où la régularité absolue du mouvement forme le but à atteindre, la constance, l'invariabilité du travail moteur est le point de départ essentiel, et avec cette constance au départ, la constance dans la transmission de proche en proche dans les diverses parties du mécanisme.

En effet, pour chaque rouage intermédiaire entre la force motrice et les aiguilles, la force motrice est celle qui lui est communiquée par le rouage précédent. C'est assez dire combien le travail moteur des diverses machines d'horlogerie dépend des frottements et résistances qui s'y consomment et qui forment le seul emploi de ce travail ; aussi a-t-il beaucoup diminué depuis que les progrès de la construction ont réduit les frottements, fait disparaître des chocs intérieurs qui rendaient variable la force motrice que transmet le mécanisme.

Tout travail moteur comprend deux éléments, le poids soulevé, la résistance surmontée, d'une part ; et, de l'autre, le chemin parcouru par le point d'application.

Nous allons surtout nous occuper ici de la première question, du mode d'application de la force, ne pouvant guère traiter la seconde qu'en parlant des rouages, dont il sera question plus loin, à l'aide desquels on fait varier l'étendue du chemin parcouru.

Horloges à poids. — Les grosses horloges et les horloges astronomiques, tous les appareils d'horlogerie de précision qui ne doivent pas être déplacés sont toujours mus par des poids. Il n'est pas, en effet, de moyen plus simple de satisfaire à la condition de régularité absolue de l'effort moteur, condition essentielle et capitale.



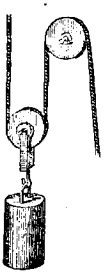
3546.

La corde qui supporte le poids moteur est enroulée, par l'action du remontage de l'horloge, autour d'un cylindre (fig. 3546). Ce poids agissant toujours tangentiellement au cylindre, par suite étant toujours situé à une même distance de l'axe, donne donc un effort constant. C'est là une des causes de la régularité du mouvement de ce genre d'appareils, ce qui fait, par exemple, que des horloges en bois, mal construites, ont souvent une marche bien supérieure à celle des montres dues à des artistes d'un grand mérite, qui ne peuvent avoir ce genre de moteur.

Si, d'après la position de l'horloge, le poids moteur P peut descendre d'une hauteur H, PH est le travail moteur disponible et $\frac{H}{2\pi r}$ r étant le rayon du cylindre, le nombre de tours que fera le cylindre moteur sans que l'horloge ait besoin d'être remontée. Comme sur le cylindre qui porte le poids est ajustée la première roue dentée qui met en mouvement les rouages de l'horloge, on voit que le calcul de ces roues indiquera la vitesse de descente du poids et par suite le temps qui pourra s'écouler entre deux remontages, comme les dimensions, les résistances intérieures de l'horloge, variables surtout aux imperfections de la construction, indiquent le poids convenable dans chaque cas.

Ils varient dans les constructions modernes :

Dans les horloges de clocher de 50 à 200 kilog., et descendent d'une hauteur de 1 mètre environ, en 24 heures. — Travail moteur disponible de 500 à 1,000 kilogrammètres.


3547.

Dans les horloges astronomiques, de 3 à 4 kilog., corde comprise, et une chute de $1^m,50$. Travail moteur disponible de 5 à 6 kilogrammètres.

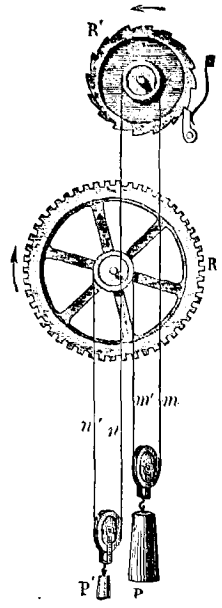
Lorsque la chute disponible est petite, on adapte souvent le poids moteur à une poulie mobile dont la gorge repose sur une corde s'enroulant d'une part sur le cylindre et attachée par l'autre extrémité à un point fixe (fig. 3547). On ne doit jamais moufler à plus de deux brins à cause des résistances résultant de la roideur de la corde.

Le poids de la corde a été négligé dans les considérations précédentes, à tort, surtout si on fait parcourir au poids moteur une grande longueur, puisqu'il vient s'ajouter à celui-ci à mesure qu'il descend.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On remédie par une même disposition à cet inconvénient et à la fois à une autre cause d'irrégularité, l'interruption du mouvement qui résulte du remontage.

En effet, dans le système le plus simple, le poids moteur d'une horloge est enroulé autour d'un cylindre portant une roue dentée qui fait tourner la première roue de l'horloge. Le cylindre porte un rochet qui agit seulement dans le sens de la descente du poids, mais qui ne s'oppose pas au mouvement quand on élève ce poids, quand on remonte l'horloge. Le mouvement de celle-ci est suspendu pendant cette opération, la force motrice n'agissant plus.



3548.

On évite cet inconvénient par la disposition représentée fig. 3548. On remplace le point fixe correspondant à l'extrémité de la corde par un second cylindre portant une roue à rochet R' montée sur un deuxième axe. Une corde sans fin s'enroule sur deux cylindres respectivement concentriques à ces roues, en passant sur le gorges de deux poulies mobiles. A la première est suspendu le poids moteur P, et à la deuxième un petit poids P' moindre, destiné surtout à tendre les cordons *n* et *n'* (qui font plusieurs tours sur chacun des cylindres).

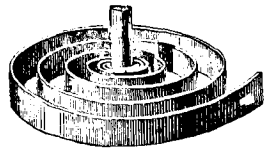
Quand le poids P descend, il fait tourner la roue R, et l'horloge marche. Quand il arrive au bas de sa course, le poids P' est au haut de la sienne. Pour remonter l'horloge, on fait tourner la roue à rochet R' dans le sens indiqué par la flèche; le cordon *m* s'enroule et le poids P remonte tandis que P' descend. Pendant cette opération, le poids P agit toujours sur le cylindre R pour le faire tourner, de sorte que la marche de l'horloge n'est pas suspendue.

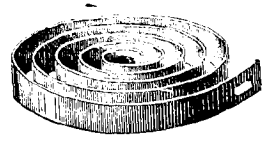
Il est clair que par cette disposition les variations de forces motrices par le changement de longueur de corde sont évitées et la force motrice 2P— 2P' reste constante. En effet, le poids P et le poids P' se meuvent inversement l'un de l'autre; l'un s'élève quand l'autre s'abaisse de quantités précisément égales puisqu'ils sont supportés par le même coude.

Ressort moteur pour montres et chronomètres. — Le seul genre de moteur qui remplisse les conditions de durée nécessaires pour les appareils d'horlogerie portatifs et peu volumineux, c'est le ressort enroulé, formé d'une lame d'acier longue et mince, convenablement trempée, qui a été travaillée de manière à s'enrouler d'elle-même en spirale, c'est-à-dire trempée en paquet et recuite sous cette forme.

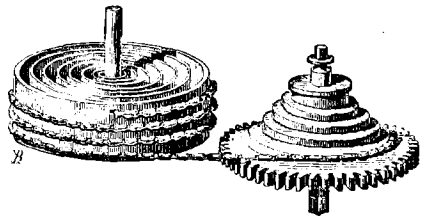
Supposons que l'extrémité extérieure du ressort étant attachée à un point fixe, son autre extrémité soit liée à un axe susceptible de tourner sur lui-même; lorsqu'on fera tourner cet axe dans un sens convenable, il entraînera avec lui l'extrémité intérieure du ressort, les spires se serreront de plus en plus autour de lui, et le ressort prendra la forme indiquée par la fig. 3549.

Si l'on abandonne ensuite l'axe à lui-même, le ressort qui tend à reprendre sa forme primitive (fig. 3550) imprimera un mouvement de rotation à un cylindre dans lequel est renfermé ce ressort appelé *barillet*. — Il faut évidemment qu'un rochet adapté à l'axe ne lui permette de tourner que dans le sens de l'enroulement des spires, du remontage, l'empêche de se dérouler par le centre après cette opération effectuée avec une clef à tête ou à poignée entrant dans le carré qui termine l'axe. Il faut en outre que l'extrémité extérieure soit assemblée avec le *barillet*, cylindre qu'il met en mouvement et qui constitue le point de départ de tout mouvement d'horlogerie qui n'est pas susceptible d'être mû par un poids.


3549.


3550.

De la fusée. — La loi de la variation d'action du ressort qui se déroule est complexe, mais il est bien évident qu'elle doit avoir des limites assez écartées pour un ressort de même épaisseur dans toute son étendue, forme qu'on lui donne naturellement au laminoir, pour amener l'acier à la faible épaisseur de (0mm,1 à 0mm,3) que ces ressorts ont en général. On a remédié à ce défaut par l'invention d'une fusée (figure 3551) consistant en un solide de révolution dont la section est à peu près parabolique et la surface entaillée d'une courbe hélicoïdale. Il est monté sur l'arbre de la grande roue et permet, par des formes convenables, d'égaliser parfaitement l'action motrice du ressort.


3551.

En effet, lorsqu'on vient de remonter la montre, ce qui se fait en tournant l'axe de la fusée avec une clef qui coiffe le carré qui le termine, le ressort moteur est complétement tendu, la chaîne est enroulée presqu'en totalité sur les spires de l'hélice de la fusée. En se détendant, le ressort fait tourner le barillet et communique le mouvement dans le même sens à la fusée, par l'intermédiaire d'une chaîne. Celle-ci se déroule sur la fusée et s'enroule sur le barillet jusqu'à ce qu'il n'en reste plus sur la fusée.

Il est clair que si la tension du ressort va sans cesse en diminuant, par contre cette tension agit à une distance de l'axe de la fusée d'autant plus grande que cette tension est moindre.

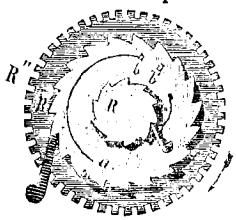
Le travail moteur, le produit de la tension par le chemin parcouru $Pr\omega$ (P la tension, r la distance de l'axe, ω la vitesse de rotation), pourra donc être parfaitement constant pour une même vitesse de la grande

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roue assemblée avec la fusée, c'est-à-dire fournir une vitesse angulaire constante si la fusée est entaillée de telle sorte que le produit Pr reste constant, que les variations de r soient inverses de celles de P.

Outil à ajuster les fusées. — Pour obtenir que la variation de force du ressort soit exactement et constamment contre-balancée par la forme de la fusée, on se sert *d'un outil à ajuster les fusées*, qui n'est autre chose qu'un levier avec un poids qui s'adapte au bout carré de la fusée. La forme est convenable lorsque le poids porté pour le levier fait équilibre au ressort dans tous les points des rotations successives de la fusée.

Remontage de la montre sans arrêter. — Une ingénieuse disposition ayant le même but que celle dont nous avons parlé pour les horloges est adaptée aux chronomètres à fusée pour éviter qu'ils s'arrêtent lorsqu'on les remonte, car si la fusée n'est assemblée avec la roue d'engrenage qui lui est concentrique que par une roue à rochet qui ne les rend solidaires que dans le sens du déroulement de la chaîne, mais non dans le sens de l'enroulement, par suite, pendant le remontage, le mouvement est arrêté. On obvie à cet inconvénient par la disposition représentée sur la fig. 3552.



3552.

A la fusée est fixée une première roue à rochet R qui tourne avec elle dans l'un et l'autre sens. Cette roue, à l'aide d'un arrêt, entraîne une deuxième roue à rochet concentrique R' (qui est soumise à l'action d'un arrêt disposé inversement de celui de la roue R), mais seulement quand la montre marche, et non quand on la remonte, auquel cas cette deuxième roue reste fixe. Cette deuxième roue, quand elle tourne, fait tourner avec elle une troisième concentrique et dentée R'', laquelle est la première du rouage. A cet effet, cette troisième roue, qui est superposée à la deuxième, porte dans une rainure pratiquée dans son épaisseur un ressort *a b* fixé à cette troisième roue par une de ses extrémités *a*, et dont l'autre extrémité *b* reste libre et porte une goupille saillante qui pénètre dans la deuxième roue. Quand cette deuxième roue tourne par le mouvement régulier de la fusée, elle tend le ressort et fait tourner la roue dentée; quand la seconde roue à rochet ne tourne plus, ce qui a lieu quand on remonte la montre, le ressort fait effort pour se détendre, et comme sa goupille *b* est engagée dans la roue R' qui ne peut tourner, le mouvement de la roue dentée R'' n'est pas interrompu. Cette action de ressort n'a lieu que pendant un temps assez court, mais suffisant pour le remontage de la montre.

Suppression de la fusée. — Malgré ce qu'offre d'ingénieux la disposition de la fusée et l'avantage de la régularité d'action qu'elle peut fournir, elle n'est pas toujours employée dans les constructions modernes. Dans les montres plates à cylindre, on n'a pas une hauteur suffisante; aussi ne pourrait-on atteindre une précision assez grande si l'échappement à repos n'offrait des ressources pour atteindre un bon résultat sans fusée. Il est à observer qu'en adaptant directement au barillet la première roue, on supprime les frottements et les résistances propres à la fusée, ce qui permet d'employer un ressort plus mince, plus long, dont on n'utilise qu'un moindre déroulement; mais surtout on fait disparaître les causes de ruptures fréquentes de la chaîne et même du ressort plus épais et, par suite, se cassant plus facilement.

Travail moteur. — Le travail moteur d'une montre peut facilement s'évaluer, connaissant les efforts que permet d'apprécier facilement l'espèce de balance donnée plus haut pour l'ajustement de la fusée. Berthoud a trouvé, pour une montre à fusée, l'effort du ressort égal à 12 grammes, à une distance de 108 millimètres de l'axe.

Soit le barillet de 0,0054 de rayon, l'effort sera de 221 gr. à sa circonférence, et s'il fait 6 tours en 24 heures, le travail dépensé pendant le déroulement sera :

$$221 \times 2\pi \times 0{,}0054 \times 6 = 0{,}023 \text{ kil. mét.}$$

On voit combien ces instruments emploient de minimes quantités de travail.

Des remontoirs d'égalité. — C'est au grand Leibnitz qu'est due la conception des remontoirs d'égalité, idée ayant quelque peu l'apparence de sophisme. On ne connaît pas complétement la disposition proposée par lui; elle paraît se rapprocher de celle proposée par Huyghens, à la même époque, qui est un peu mieux connue, et dont la plupart des systèmes tentés depuis sont des modifications.

Un remontoir est un mécanisme par lequel on cherche à mettre les parties importantes d'un appareil d'horlogerie, surtout le régulateur dont dépend la régularité de la marche, à l'abri de la variation de la force motrice, tant par suite des variations de puissance du moteur lui-même que des résistances passives que rencontre le mouvement des diverses pièces. Il consiste, en général, en un petit poids ou un ressort, qui agit directement sur les derniers mobiles; et comme l'action de ce moteur très-faible ne peut être que de peu de durée, il est remonté périodiquement par une course limitée du moteur principal, de telle sorte qu'il n'y ait pas d'interruption.

Il est évidemment bien difficile, quelque disposition que l'on imagine, de rendre certaines parties d'un appareil complétement étrangères aux pressions, aux forces qui s'exercent sur les autres parties avec lesquelles elles sont en communication, au moins momentanément. En imaginant une disposition qui fasse que cela soit théoriquement possible, le problème n'est pas encore résolu dans la pratique, il faut encore que ce soit par des moyens simples et peu compliqués, car il est des limites à la précision dans l'exécution, et des mécanismes accessoires qui ne sont pas absolument nécessaires, sont en général plus nuisibles qu'utiles. C'est la perfection du travail des pièces nécessaires, de manière à rendre les résistances passives constantes aussi bien que la force motrice, que l'on doit avant tout rechercher; c'est à éviter les chocs, les pressions considérables dans les pièces mues rapidement, d'où résultent les usures et altérations de surface, que l'on s'applique aujourd'hui bien plus qu'à multiplier des combinaisons de remontoirs fort ingénieux, mais pratiquement d'une utilité douteuse.

Cela explique comment les remontoirs sont peu employés aujourd'hui. Complétement abandonnés dans les constructions légères et petites, ce n'est guère que pour les grosses horloges, dans lesquelles des forces assez considérables sont en jeu, que l'on emploie fréquemment aujourd'hui des remontoirs.

Comme le jeu de ces remontoirs dépend souvent du mode d'action de l'échappement, que quelquefois tout l'effet est concentré dans l'échappement même (dit échappement à remontoir), nous étudierons ces systèmes après avoir parlé des échappements.

§ II. RÉGULATEUR.

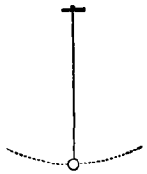
Tout mouvement parfaitement régulier peut devenir la base d'un système régulateur; mais nous ne devons considérer ici comme tels que les mouvements produits

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exclusivement dans ce but. Ils se réduisent à deux systèmes, le pendule et le ressort spiral, fondés l'un sur la gravité et l'autre sur l'élasticité.

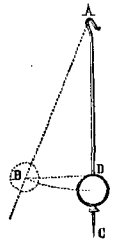
Ces systèmes, possédant un mouvement parfaitement régulier, forment la base de toutes les machines employées aujourd'hui à la mesure du temps.

Pendule. Si une masse sphérique (fig. 3553), que l'on peut considérer comme un point, est suspendue à un fil, et qu'on l'éloigne de la verticale, aussitôt qu'elle sera rendue libre, elle retombera à sa première position. Mais, en vertu de sa vitesse acquise, elle dépassera la verticale et viendra décrire un arc de cercle égal au premier, car elle est soumise à la force retardatrice de la gravité dans des conditions tout à fait identiques à celles dans lesquelles celle-ci lui a imprimé la vitesse qu'elle possédait au point le plus bas de sa course. Si on suppose qu'aucune résistance ne vient contrarier ce mouvement, ou, pour rentrer dans les conditions pratiques, que l'on restitue au pendule, à chaque oscillation, la force vive que les résistances ont pu lui faire perdre, on possédera un système doué d'un mouvement parfaitement régulier.



3553.

L'amplitude de l'oscillation ne pouvant pas être déterminée certainement d'après les moyens employés pour la faire durer malgré les résistances, en un mot la force motrice et la résistance ne pouvant être toujours rigoureusement constantes, le pendule ne serait d'aucune utilité pratique si la moindre variation des amplitudes faisait varier le temps des oscillations. Heureusement il n'en est pas ainsi. Entrons avec quelques détails dans l'importante théorie du pendule.



3554.

Une boule pesante (fig. 3554) suspendue à l'extrémité d'un fil (supposé inextensible et sans pesanteur), étant éloignée de la verticale AC et amenée en B, il est bien évident que dans la demi-oscillation, pour venir de AB en AC, la boule tombera de la hauteur ED = H, E le centre de la boule et D le pied de la perpendiculaire abaissée du point B sur AC, la vitesse en C sera :

$$V = \sqrt{2gH},$$ d'après les lois de la pesanteur.

Cette vitesse V est en chaque instant le rapport entre l'arc élémentaire parcouru S et le temps t mis à le parcourir. l étant la longueur du pendule, α l'angle décrit, la formule ci-dessus deviendra :

puisque $S = Vt$, $\frac{l^2\alpha^2}{t^2} = 2gH$ ou $t^2 = \frac{l^2\alpha^2}{2gH}$.

Soit un autre pendule de longueur l', faisant des oscillations d'un même angle α, on aura la même relation.

$$t'^2 = \frac{l'^2\alpha^2}{2gH'}.$$

Or les hauteurs H, H' sont entre elles comme les longueurs l' pour un même angle α; on a donc le rapport fondamental en horlogerie :

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{l^2\alpha^2}{l'^2\alpha^2} \times \frac{H'}{H} \text{ ou } \frac{t}{t'} = \sqrt{\frac{l}{l'}}.$$

Ou les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des longueurs des pendules.

Sachant que la longueur du pendule simple, qui bat les secondes à Paris, est $l = 0^m,993512$, on en déduira facilement la durée d'oscillation pour un pendule de longueur déterminée.

Cette durée doit pouvoir aussi se déduire de l'action de la pesanteur sur la chute verticale des corps pesants. En effet, la valeur de t est donnée par l'expression (a) $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ g étant égal pour Paris à $9^m,80896$ et pour une latitude quelconque.

$$g' = 9, (80557\ (1 - 0,002588 \cos 2\lambda)$$

λ étant la latitude, et comme $\cos 2\lambda = 2\cos^2\lambda - 1$, on voit que la diminution de la pesanteur, en allant du pôle à l'équateur, sera proportionnelle au carré du cosinus de la latitude. C'est à l'aide de la formule (a), en étudiant les longueurs variables du pendule qui bat la seconde dans chaque pays, que cette loi s'établit expérimentalement et prouve l'aplatissement de la terre vers les pôles.

Nous donnerons une idée de ces variations en donnant les longueurs du pendule sexagésimal, réduites au niveau de la mer pour quelques pays.

Paris.	$0^m,9935822$
Londres	$0^m,9941232$
Rio de Janeiro	$0^m,9917948 3$
Spitzberg.	$0^m,9959394 1$

La formule $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ étant indépendante de l'angle du plus grand écartement du pendule, on en conclut l'égale durée, *l'isochronisme* des oscillations, raison de son emploi dans l'horlogerie, base sur laquelle repose toute la précision de l'horlogerie moderne.

C'est la constatation expérimentale de cette loi qui frappa Galilée et le conduisit à la théorie du pendule. On raconte que dans sa jeunesse, regardant les balancements d'une lampe suspendue à la voûte dans l'église de Pise, il fut frappé de l'égalité de durée des mouvements d'amplitude différente.

Nous donnons plus loin une table souvent utile en horlogerie pour établir les premières pièces d'un rouage d'après un pendule donné ou pour résoudre le problème inverse.

S'il peut sembler extraordinaire à priori que des arcs inégaux soient parcourus dans le même temps, il faut remarquer que la pesanteur imprime une vitesse au mobile qui croît rapidement, pour un même angle, à mesure qu'il s'écarte en distance, et que son mouvement se rapproche en direction de la verticale, position pour laquelle son action est nulle, se réduit à une traction.

Au reste, si la formule (a) permet d'établir la loi *d'isochronisme*, il importe d'observer qu'elle n'est qu'approchée, dans le cas de suspension libre comme celles à fil ou à couteau (nous parlerons plus loin de celles à ressort dans lesquelles entre un nouvel élément, l'élasticité du ressort), et qu'en réalité on néglige des facteurs comprenant l'angle d'oscillation à cause de leur petitesse. On ne doit donc pas conclure de cette formule que le temps des oscillations est absolument indépendant de la grandeur des amplitudes; cela n'est vrai et la formule n'est applicable que pour des oscillations très-petites dont la demi-amplitude ne dépasse pas 4 ou 5 degrés, pour lesquelles les secondes puissances de l'angle α de la demi-amplitude sont négligeables. Avec ces restrictions on peut dire que les oscillations du pendule pour des amplitudes diverses sont isochrones, ont lieu dans le même temps.

Si l'angle α est un peu considérable, on devra prendre pour le temps de l'oscillation :

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{\alpha^2}{g}\right),$$

durée qui croît un peu avec la grandeur de l'amplitude.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Table de la longueur d'un pendule faisant un nombre donné d'oscillations par heure moyenne, à Paris, dans le vide, et suivant un arc infiniment petit.

NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.	NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.	NOMBRE d'oscillations.	LONGUEUR du pendule.
	millim.		millim.		millim.
3600	999.827	6500	304.85	9400	145.77
3700	940 83	6600	295.68	9500	142.71
3800	891.96	6700	286.92	9600	139.76
3900	846.84	6800	278.55	9700	136.89
4000	805.00	6900	270.53	9800	134.11
4100	766 30	7000	262.80	9900	131.42
4200	730.16	7100	255.50	10000	128.80
4300	696.59	7200	248.46	10100	126.26
4400	665.29	7300	241.70	10200	123.80
4500	636.05	7400	235.21	10300	121.41
4600	608.70	7500	222.99	10400	119.08
4700	583.07	7600	222.99	10500	116.83
4800	559.03	7700	217.24	10600	114.63
4900	536.44	7800	211.70	10700	112.50
5000	515.20	7900	206.38	10800	110.43
5100	494.19	8000	201.25	10900	108.41
5200	476.33	8100	196.31	11000	106.45
5300	458.53	8200	191.55	11100	104.54
5400	441.70	8300	186.96	11200	102.68
5500	425.79	8400	182.54	11300	100.87
5600	410.71	8500	178.27	11400	99.11
5700	396.43	8600	174.14	11500	97.39
5800	382.00	8700	170.17	11600	95.72
5900	370.01	8800	166.32	11700	94.09
6000	357.78	8900	162.61	11800	92.50
6100	346.14	9000	159.01	11900	90.95
6200	335,07	9100	155.54	12000	89.44
6300	324 51	9200	152.17		
6400	314.45	9300	148.92		

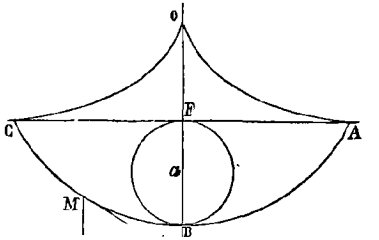
En prenant pour unité le temps d'une oscillation infiniment petite qui est toujours la même, les accroissements de durée en tenant compte du terme en α seront :

Pour un angle de 60° de 0,01675
30° 0,00426
20° 0,00190
10° 0,00042
05° 0,00003

On voit que pour un arc de 5° la différence est à peine sensible.

Pendule cycloïdal. — On peut construire un pendule qui demeure isochrone pour de grandes amplitudes, par un système bien remarquable théoriquement, s'il n'a pas donné d'importants résultats dans la pratique. En étudiant les propriétés de la cycloïde, de la courbe que décrit un point de la circonférence d'une roue qui roule sur une ligne droite, Huyghens lui a reconnu la propriété curieuse d'être la *brachistochrone*, c'est-à-dire la courbe de la plus vite descente pour un corps pesant. Si, par un moyen quelconque, on pouvait obtenir que la molécule pesante formant le pendule M glissât sur une cycloïde (fig. 3555), Huyghens a montré que le temps de son oscillation serait exactement $t = \pi\sqrt{\frac{2a}{g}}$ (a étant le diamètre du cercle générateur), quelle que fût l'amplitude de l'oscillation. Il a montré en même temps le moyen de réaliser cette disposition à l'aide de la propriété de l'enveloppe de cette courbe, c'est-à-dire de la courbe sur laquelle doit s'appliquer un fil constamment tendu pour que son extrémité trace une courbe donnée, courbe qui a une relation bien simple avec la

courbe primitive dans le cas actuel. En effet si on prend FO = FB et qu'on trace deux demi-cycloïdes semblables à la première de O en A et de O en C, on démontre que ces cycloïdes sont les enveloppées de la première. Si donc on prend le point O pour le centre d'un pendule dont la tige flexible puisse s'appliquer sur ces deux courbes, on aura un pendule cycloïdal qui pour toutes les amplitudes sera isochrone.

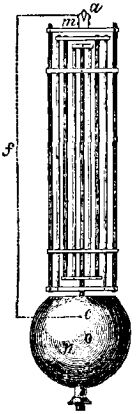


3555.


3556.

Cette élégante solution (fig. 3556) n'est pas restée dans la pratique ; la nécessité d'employer une grande longueur de fil flexible et hygrométrique, d'où résulte le changement de longueur du pendule, ou une chaîne articulée, à frottements intérieurs, pour s'appliquer sur les éléments courbes, a empêché d'appliquer la disposition imaginée par Huyghens. Mais en faisant bien apprécier tous les éléments du problème, les travaux de cet illustre savant ont conduit à la solution adoptée aujourd'hui, qui permet d'obtenir des oscillations parfaitement isochrones, en limitant à 2 ou 3 degrés l'arc parcouru et en obtenant une énergie régulatrice suffisante en donnant à la lentille un poids assez considérable.

DU CENTRE D'OSCILLATION. — Nous avons toujours parlé jusqu'ici du *pendule simple*, c'est-à-dire de l'appareil supposé réduit à une molécule pesante placée à l'extrémité d'un fil inextensible et sans pesanteur. Tels ne peuvent être les pendules dans la réalité, ce sont des *pendules composés*, c'est-à-dire formés de molécules pesantes placées à des distances différentes du point de suspension, et qui, par conséquent, tendent à effectuer leurs oscillations dans des temps différents, réagissant par suite les unes sur les autres.



3557.

Soit un régulateur (fig. 3557) semblable à ceux qui sont généralement employés, a est le point de suspension. Un point m situé dans son voisinage, marcherait très-vite s'il était seul, tandis qu'au contraire les points éloignés tels que n devraient marcher beaucoup moins vite. Les premiers sont donc retardés par l'effet d'entraînement qu'ils produisent sur les derniers, et le mouvement de ceux-ci accéléré par suite. Donc entre le point m et le point n, il y a un point c qui n'est ni retardé ni accéléré, et qui fait son oscillation exactement comme s'il était seul et librement suspendu à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'extrémité du fil f; ce point remarquable s'appelle le *centre d'oscillation*. La distance du centre d'oscillation au point de suspension est la *longueur du pendule*. Cette longueur est en effet égale à celle du pendule simple qui oscillerait avec la même vitesse que le pendule composé.

Le centre d'oscillation dépend de la forme du corps qui oscille, quand ce corps est homogène; et il dépend de la forme et de la densité de ses parties quand il est hétérogène. Un pendule en un seul métal aurait par exemple son centre d'oscillation en c si la tige était épaisse; il serait situé en d (centre de figure de la lentille), si elle se réduisait à une ligne mathématique.

Un petit poids que l'on placerait vers l'extrémité inférieure ferait descendre le centre d'oscillation, et il le ferait remonter si on l'ajoutait vers le haut. Aussi voit-on, dans quelques horloges, un *curseur* pesant qui peut glisser le long de la tige du pendule, et que l'on fait descendre ou monter pour faire avancer ou retarder l'horloge.

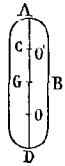
Le plus souvent cet effet se produit par la lentille elle-même qui peut être relevée ou abaissée par un petit mouvement de vis. C'est le moyen pratique de donner exactement au pendule une longueur voulue, après qu'on lui a donné une longueur approchée convenable à l'aide de mesures fournies par la formule établie plus haut.

La théorie du centre d'oscillation, du point dont la distance à l'axe de suspension détermine la longueur du pendule simple qui a même durée d'oscillation que le pendule composé, est assez difficile et donne trop peu de résultats applicables à la pratique de l'horlogerie pour que nous l'exposions en détail. Objet de très-beaux travaux de Huyghens, et ayant trouvé des applications très-heureuses à diverses théories mécaniques, cette théorie a pris une place importante dans la mécanique rationnelle, et c'est dans les traités de science pure qu'il faut l'étudier.

Nous dirons seulement qu'elle est fondée sur la considération de la valeur $MK^2 = \int r^2\, dm$, du produit de la masse du corps par le carré de la distance de l'axe autour duquel le corps effectue sa rotation à un point dit centre d'inertie, tel que ce produit soit égal à la somme totale, à l'intégrale du produit de la masse élémentaire de chaque point du corps par le carré de la distance de ce point à l'axe de rotation.

On détermine par le calcul la position du centre d'inertie pour les solides homogènes de forme régulière. Ainsi pour un cylindre ou une barre prismatique, tandis que le centre de gravité est au milieu, le centre d'oscillation est aux 2/3 de la longueur à partir du point de suspension placé à son extrémité. Pour un triangle isocèle suspendu par le sommet, aux 3/4 de sa hauteur. Pour une parabole ordinaire suspendue par le sommet, aux 5/7 de sa hauteur.

Le centre d'oscillation jouit, par rapport au centre de rotation, d'une importante propriété. Soit ABD, la section du pendule perpendiculaire à l'axe de rotation et passant par son centre de gravité, G ce centre et C le point où la section rencontre l'axe de suspension. On démontre que MK^2, étant le moment d'inertie par rapport à un axe passant par le centre de gravité, sera pour un axe parallèle au premier situé à une distance a du premier (fig. 3558) $M(K^2 + a^2)$. Si dans la donnée de la figure ci-dessus on prolonge CG jusqu'à une distance O telle que l'on ait $GO = \frac{k^2}{a}$ comme $CG = a$, et si la longueur du pendule simple isochrone avec le pendule composé est donnée par l'expression (I) $l = a + \frac{k}{a}$, on voit que O sera le centre d'oscillation.



3558.

Si, après avoir fait osciller le pendule autour de l'axe perpendiculaire à la section ABD et passant par le point C, on le renverse, et qu'on le fasse osciller autour d'un axe passant par le point O et perpendiculaire à la même section, le point C deviendra alors le centre d'oscillation, c'est-à-dire que les centres d'oscillation et de suspension sont *réciproques* l'un de l'autre.

En effet, dans les deux cas, le moment d'inertie MK^2 est le même, puisqu'il se rapporte toujours à l'axe perpendiculaire à ABD et passant par le point G; en sorte que la quantité K ne changera pas. De plus, soit O' le point du prolongement de OO' qui sera le centre d'oscillation quand O sera devenu le centre de suspension; en appelant l' la distance OO', sa valeur se déduira de la formule (I) en remplaçant a par

$$\frac{k^2}{a} = OG, \text{ donc } l' = \frac{k^2}{a} + a = l \text{ et } OO' = CO,$$

et le point O coïncide avec le point C.

La durée d'oscillations très-petites autour des deux axes perpendiculaires à ABD et passant par les points C et O, est la même et égale à $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, l étant toujours la distance CO. Réciproquement, si la durée des oscillations très-petites est la même autour de deux axes parallèles, dont le plan contient le centre de gravité G, leur distance mutuelle sera la longueur l du pendule simple qui oscille dans le même temps.

En effet, soient a et a' les distances inégales du centre de gravité à ces deux droites parallèles, et conséquemment $a + a'$ leur distance mutuelle; soit aussi MK^2 le moment d'inertie par rapport à l'axe parallèle passant par le centre de gravité. Puisque la durée des oscillations est la même autour des deux droites, il faudra que l'on ait :

$$a' + \frac{k^2}{a'} = a + \frac{k^2}{a},$$

d'où l'on tire $a = a'$ ou $a' = \frac{k^2}{a}$,

donc en rejetant la première valeur qui correspondrait à une symétrie parfaite des formes, nous aurons :

$$a + a' = a + \frac{k^2}{a}.$$

Par conséquent, si l'on mesure la distance $a + a'$ de deux axes synchrones, on aura la longueur du pendule simple qui correspond à la durée commune de leurs oscillations.



3559.

Ce moyen a été employé avec succès en Angleterre pour déterminer la longueur du pendule simple sans aucun calcul relatif à la forme du pendule composé.

La figure 3559 montre la disposition employée pour un semblable pendule à retournement, et l'on comprend facilement comment l'emploi des curseurs P et Q rend facile d'obtenir par tâtonnement le synchronisme pour les centres C et O, en assurant la position du centre d'oscillation en O, point déterminé d'abord par une approximation grossière.

L'emploi d'un semblable curseur sur la tige du pendule, pour faire varier d'une petite quantité la position du centre d'oscillation, est assez fréquent dans l'horlogerie de haute précision. Il permet de faire varier avec une grande délicatesse (on le fai-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sant mouvoir à l'aide d'une vis) la position du centre d'oscillation, ainsi que nous l'avons déjà dit, et par suite la longueur du pendule simple qui oscille dans le même temps que le pendule composé. Son effet, pour diminuer la longueur du pendule, sera très-grand, d'après la formule donnée plus haut, s'il est très-éloigné du centre de gravité primitif du système, de manière à diminuer beaucoup la valeur de a, sans toutefois être tout à fait rapproché de l'axe de suspension, ce qui annulerait la valeur de k^2 qui lui est propre.

M. Prony avait proposé d'adapter à la partie supérieure du pendule une barre portant deux boules, pouvant tourner autour de la ligne médiane de ce pendule et permettant, par les positions variables qu'on peut lui faire prendre par rapport au plan d'oscillation, d'arriver également à un règlement très-précis.

CONSTRUCTION DU PENDULE. — Le pendule des horloges se compose d'une lentille plate (forme préférable à la forme sphérique pour surmonter la résistance de l'air) suspendue par une tige. La suspension a lieu de deux manières. Dans la plupart des horloges, un peu anciennes, le pendule repose sur un plan très-dur, par l'arête d'un couteau, comme dans les balances.

Un autre système, exécuté pour la première fois en France par Julien Leroy, prévient les inconvénients qui peuvent résulter de l'oxydation du couteau. Le pendule est terminé à sa partie supérieure par une double lame (pour éviter toute torsion) plate et mince d'acier, située dans un plan perpendiculaire au plan de vibration. Cette lame est serrée à sa partie supérieure entre deux couteaux qu'on peut rapprocher à volonté à l'aide de vis.

Cette disposition fournit une ressource nouvelle pour régler exactement la longueur du pendule. En effet, la durée de l'oscillation variant avec la longueur du pendule, une horloge se réglera en faisant varier celui-ci ; ce qui s'obtient en remontant, ou en descendant, soit le point de suspension, soit la lentille sur sa tige, à l'aide de vis micrométriques pour pouvoir apprécier des variations minimes. On remonte le pendule quand l'horloge retarde, pour diminuer le temps de l'oscillation ; on opère inversement si elle avance.

Le grand avantage de cette disposition n'est pas seulement, par suite de la grande élasticité de la lame, de permettre au pendule d'osciller sans entraves et sans perte de force motrice, mais surtout de contribuer puissamment à assurer l'isochronisme des oscillations.

En effet, l'isochronisme résultant de ce qu'aux plus grandes amplitudes la vitesse du pendule est plus grande qu'aux petites, il est évident que cet effet sera accru par la résistance du ressort de dimensions convenables qui croît rapidement avec les amplitudes, et qui, s'ajoutant à l'action de la pesanteur, tendra à diminuer le temps des oscillations.

M. Laugier, d'après cette considération, détermine par expérience le poids de la lentille le plus convenable à l'isochronisme, pour une résistance du ressort et une longueur de pendule, au lieu de le laisser arbitraire comme on le fait trop souvent en se contentant de lui donner un assez grand poids pour que la résistance de l'air, qui croît comme le carré des dimensions quand le poids croît comme le cube, ait peu d'influence pour amoindrir les oscillations.

Nous donnerons ici quelques passages du savant mémoire de M. Laugier, pour faire apprécier l'importance de ce nouveau moyen d'assurer la perfection du pendule régulateur.

« L'horloge astronomique semble, dit-il, avoir atteint, de nos jours, le dernier degré de perfection ; les artistes consciencieux avoueront cependant qu'ils ne sont pas toujours certains de réussir dans l'exécution de ces machines délicates, et qu'après avoir pris les précautions les plus minutieuses, ils arrivent parfois à des résultats qui laissent encore beaucoup à désirer : au contraire, il n'est pas rare de rencontrer des pendules médiocrement exécutées qui offrent dans leur marche une précision tout à fait extraordinaire. Ces singulières anomalies sont attribuées à des compensations qui se produisent *accidentellement* entre le régulateur, le rouage et le moteur, dans des circonstances qui n'ont pas été suffisamment étudiées.

« Parmi les pièces qui composent une horloge, une des plus importantes est celle qui sert à suspendre le pendule ; elle a sur son mouvement une influence immédiate. Aussi, depuis l'époque où Huyghens appliqua le pendule aux horloges, le mode de suspension a-t-il été un sujet d'études pour les astronomes et les artistes. Dès ses premiers essais, Huyghens s'était aperçu que les oscillations du pendule n'étaient pas isochrones, de sorte qu'une diminution dans la force motrice, en rendant l'amplitude plus petite, faisait avancer l'horloge. Pour obvier à cet inconvénient, il imagina le pendule cycloïdal, qui offre dans la pratique des difficultés qui, malheureusement, n'ont pas été surmontées. Il a donc été abandonné. On imagina ensuite les suspensions à ressort et à couteau.

« L'idée de faire concourir le ressort de suspension à l'isochronisme des oscillations du pendule n'est pas nouvelle : elle se trouve exposée avec quelques détails dans l'*Histoire de la mesure du temps* par Ferdinand Berthoud ; mais on n'a pas fait jusqu'ici d'expériences concluantes pour en démontrer l'efficacité. Ferdinand Berthoud lui-même ne paraît pas avoir attaché une grande importance à cette idée, car il employait habituellement la suspension à couteau, et, dans son *Essai sur l'Horlogerie*, il rejette la suspension à ressort comme défectueuse et comme laissant au mouvement du pendule moins de liberté que la suspension à couteau.

« Guillaume Clément, horloger de Londres, auteur de plusieurs perfectionnements importants, paraît avoir employé le premier la suspension à ressort ; il rechercha toujours les ressorts les plus flexibles, afin de laisser au mouvement du pendule le plus de liberté possible. Cette flexibilité est encore aujourd'hui recommandée par les horlogers, et, pour l'obtenir, ils donnent au ressort de suspension une assez grande longueur ; son action est cependant d'autant plus sensible que sa longueur est plus petite, et cette seule considération aurait dû faire sortir de la voie ordinaire ceux qui préconisaient la suspension à ressort, à cause de l'influence même de ce mode de suspension sur le mouvement du pendule. Si l'on réfléchit à la manière dont s'exécute le mouvement du pendule, on voit que deux effets distincts concourent à son isochronisme : le premier tient à la flexion du ressort qui, à chaque instant, diminue d'autant plus la longueur du pendule, qu'il s'écarte davantage de la verticale ; le second, qui paraît être le plus considérable, est causé par la résistance du ressort ; il ajoute à l'intensité de la pesanteur un terme variable avec l'amplitude et augmentant sans cesse avec elle. Ce terme diminue toujours la durée des oscillations et a d'autant plus d'influence que l'amplitude est plus considérable ; on conçoit, d'après cela, qu'en choisissant convenablement le ressort de suspension, ce double effet, dû à sa flexion et à sa résistance, puisse en chaque point de l'arc décrit par le centre de gravité du pendule être égal à la différence qui ordinairement se manifeste entre les durées des oscillations suivant l'amplitude : en d'autres termes, on conçoit que ce double effet puisse varier de manière à rendre le pendule isochrone. Si la force du ressort est très-faible relativement au poids de la lentille, les oscillations auront une durée moindre dans les petits arcs que dans les grands, comme il arrive ordinairement ; mais si l'on augmente la force du ressort, il peut se faire que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

durée des oscillations diminue lorsque l'amplitude augmente dans de certaines limites, de sorte que l'on aura, pour ainsi dire, dépassé l'isochronisme.

« Nos expériences ont confirmé la justesse de ces considérations, car elles ont réalisé les différents cas qui viennent d'être énumérés : on peut s'en convaincre en jetant un coup d'œil sur le tableau où nous avons réuni tous les résultats de nos observations. Nous allons maintenant donner quelques détails sur l'appareil que nous avons employé et sur la méthode que nous avons suivie.

« Le pendule qui a servi pendant toute la durée des expériences est formé d'une règle de sapin de 1 mètre de longueur, de 5 centimètres de largeur et de 6 millimètres d'épaisseur. Une des extrémités de la règle, portant une pièce de cuivre taraudée, peut être fixée par une vis au centre même de la lentille; l'autre extrémité, également garnie de cuivre, peut s'accrocher à la pièce de suspension. On sait que le sapin éprouve de si légers changements de longueur par des variations de température assez considérables, qu'il a été proposé pour remplacer les grils métalliques destinés à produire la compensation : nous avons eu soin d'ailleurs d'opérer à des températures peu différentes, et des thermomètres placés dans la cage destinée à préserver le pendule des courants d'air n'ont varié qu'entre 18 et 23 degrés centigrades (c'est-à-dire de 4 degrés centigrades) pendant toute la durée de nos expériences. Ainsi l'on peut considérer notre pendule comme ayant été indifférent aux variations de température.

« L'appareil de suspension consiste en deux lames élastiques d'acier trempé, dont chaque extrémité, traversée par de petites goupilles, est pincée fortement entre deux plaques de cuivre vissées l'une contre l'autre; les deux plaques de l'extrémité inférieure du ressort portent un axe auquel le pendule peut être accroché, et celles de l'extrémité supérieure font corps avec un chevalet en cuivre, épais de 17 millimètres et dont le diamètre a 22 centimètres de longueur. Ce chevalet a été fixé au mur avec une extrême solidité, à l'aide d'un fort crochet en fer qu'on y avait profondément scellé, et de trois vis situées à 120 degrés de distance, qui, prenant leurs points d'appui sur le mur lui-même, maintenaient le chevalet contre la tête du crochet. Nous insistons sur ces détails pour qu'on ait une entière sécurité relativement à la fixité de la suspension, d'où dépend en grande partie l'exactitude des résultats.

« L'action du ressort de suspension est liée directement au poids de la lentille oscillante; aussi, afin d'étudier cette action, nous avons fait usage de quatre lentilles en cuivre, des poids de 2, 4, 6 et 8 kilogrammes, et de deux ressorts pris dans le même morceau d'acier trempé; comme nous venons de le dire, chaque *essai* de suspension se compose de deux lames élastiques. Celles qui constituent le premier *essai* ont 24/100es de millimètre d'épaisseur, 5 millimètres de largeur et 1 millimètre de longueur; ce ressort a été successivement combiné avec les quatre lentilles. Les deux lames qui forment le second *essai* ont même épaisseur et même largeur que les premières; leur longueur est de 3 millimètres : ce second ressort a été combiné avec les lentilles de 4, 6 et 8 kilogrammes. Nous avons eu ainsi sept pendules que l'on a fait osciller chacun un grand nombre de fois dans les amplitudes de 1, de 3 et de 5 degrés.

« Pour observer la durée des oscillations du pendule dans une amplitude déterminée, dans l'amplitude de 5 degrés, par exemple, on commençait l'expérience lorsque l'amplitude était de 7 degrés, et on la terminait lorsqu'elle était de 3 degrés; de sorte que le pendule pouvait être considéré comme ayant oscillé dans l'amplitude *moyenne* de 5 degrés. Nous nous sommes assurés, en scindant la série en plusieurs parties, que la petite erreur que l'on commettait en opérant ainsi, inférieure de beaucoup aux erreurs des observations, était tout à fait négligeable. Les amplitudes extrêmes que l'on a choisies étaient de 4 et 2 degrés pour l'amplitude moyenne de 3 degrés, et de 1 1/2 et 1/2 degré pour l'amplitude moyenne de 1 degré.

« La méthode que nous avons suivie pour déterminer exactement la durée du nombre d'oscillations que faisait le pendule libre dans une certaine amplitude, consiste à le comparer un grand nombre de fois, au commencement et à la fin de chaque série, avec une horloge dont la marche était déterminée par des observations astronomiques. Un compteur réglé sur le pendule en expérience et placé à côté de lui indiquait à chaque instant le nombre de ses oscillations. On peut se convaincre, d'après l'accord qui existe entre les différentes observations, de l'exactitude du résultat définitif. Le nombre des oscillations dans chaque expérience ne dépassant guère 2,000, nous avons choisi la durée de 2,000 oscillations pour terme de comparaison : de cette manière, les erreurs d'observation ont conservé leur véritable grandeur dans les résultats que nous publions, et la comparaison peut en être faite immédiatement.

« Ce sont les nombres exprimant la durée de 2,000 oscillations qui figurent dans le tableau que nous avons dressé. On y verra que, pour les quatre premiers pendules, la durée des oscillations est moindre dans les grandes amplitudes que dans les petites, et que la différence est d'autant moindre que le poids de la lentille est plus considérable. On aurait sans doute obtenu l'isochronisme si l'on eût opéré avec des lentilles de plus en plus lourdes.

« Les pendules numéros VI et VII, au contraire, exécutent des oscillations d'autant plus lentes que l'amplitude est plus grande, de sorte que les ressorts qui, combinés avec les lentilles de ces deux pendules, produiraient l'isochronisme, devraient, si l'expression nous est permise, avoir des propriétés intermédiaires entre celles des deux ressorts dont nous nous sommes servis. On remarquera enfin que le pendule n° V offre l'exemple d'un isochronisme presque rigoureux dans les amplitudes comprises entre 1 et 5 degrés. Quoique ce résultat n'ait été obtenu que pour un nombre d'oscillations peu différent de 2,000, il n'est pas douteux qu'on ne puisse l'étendre à un nombre quelconque d'oscillations, puisque, d'après nos observations, on peut, à volonté, se tenir en deçà de l'isochronisme, ou le dépasser de beaucoup.

« Il résulte donc de ces expériences que, le poids de la lentille fixé à une règle de sapin étant donné, on peut trouver un ressort de suspension qui rende le pendule isochrone.

« Il sera certainement très-intéressant de connaître la loi mathématique qui lie la force du ressort au poids de la lentille; mais, peut-être, ne dispensera-t-elle pas d'avoir recours à l'expérience pour déterminer le poids de la lentille qui, avec un ressort donné, rendra un pendule isochrone. En effet, la constitution moléculaire de ce ressort, et le degré de trempe qu'il a reçu, sont des éléments fort importants qu'il est bien difficile d'apprécier numériquement. Pour faire ressortir leur influence, nous prîmes un ressort dont les dimensions étaient exactement les mêmes que celles du deuxième ressort, et nous le substituâmes à celui-ci dans la cinquième expérience pour laquelle l'isochronisme existe à très-peu près : cette observation fut décisive. Avec ce ressort de même dimension, mais qui avait été tiré d'un autre morceau d'acier, la différence entre les durées de 2,000 oscillations, dans les amplitudes de 1 et de 5 degrés, s'éleva à trois dixièmes de seconde (en 3' 20").

« Quoi qu'il en soit, les artistes préféreront toujours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

procéder expérimentalement. Si l'on dirige bien les essais, on peut en quelques jours rendre un pendule isochrone. Comme il est indispensable que la position du ressort soit tout à fait invariable, il vaut mieux faire porter les tâtonnements sur le poids de la lentille, en conservant toujours le même ressort de suspension. Pour faire l'expérience plus commodément, on pourra se servir d'une lentille composée de plusieurs disques parallèles (et verticaux), que l'on remplacera à volonté par d'autres plus ou moins lourds. »

	Durée de 2,000 oscillations exprimées en secondes sidérales.		
	Amplit. de 1 degré.	Amplit. de 3 degrés.	Amplit. de 5 degrés.
Expérience n° 1 : Lentille de 2 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	1977,00	1975,86	1974,37
Expérience n° 2 : Lentille de 4 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2010,55	2009,84	2008,93
Expérience n° 3 : Lentille de 6 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2020,31	2019,80	2019,34
Expérience n° 4 : Lentille de 8 kilog. Ressorts (A). Moyennes. . .	2027,04	2026,68	2026,38
Expérience n° 5 : Lentille de 4 kilog. Ressorts (B). Moyennes. . .	2024,96	2024,99	2024,99
Expérience n° 6 : Lentille de 6 kilog. Ressorts (B). Moyennes. . .	2030,28	2030,34	2030,37
Expérience n° 7 : Lentille de 8 kilog. Ressorts (B). Moyennes. . .	2034,81	2034,81	2434,99

Les ressorts (A) ont 5 millimètres de largeur, 24/100 de millimètre d'épaisseur, et 1 millimètre de longueur, éloignés entre eux de deux à trois pouces.

Les ressorts (B) ont même largeur et même épaisseur que les premiers ressorts ; leur longueur est de 3 millimètres.

COMPENSATION DU PENDULE.

La longueur convenable, une fois réglée, doit rester parfaitement invariable, pour que la marche de l'horloge soit régulière. Il faut donc se mettre à l'abri de toutes les causes de variation de longueur, ce qui a lieu, en général, par la perfection de la construction. Il est cependant une variation à laquelle ces soins ne peuvent remédier directement, c'est celle qui provient des variations de température. Il est facile, par un calcul très-simple, d'apprécier combien cette cause d'erreur serait considérable si on n'y pouvait obvier.

Soit un pendule de $999^{mm},82$ de longueur (battant la seconde) formé d'une tringle d'acier.

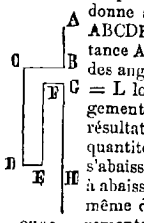
D'après Berthoud une verge d'acier se dilatera pour 27° de chaleur de $0^{mm},4$, la longueur du pendule deviendra 1,00032. Or, d'après la relation $t : T :: N : n :: \sqrt{l} : \sqrt{L}$, N étant égal à 3600 pour une heure, on déterminera n qu'on trouve égal à 3599″,442 par heure, c'est-à-dire que la chaleur fera retarder l'horloge de 0″,858 par heure, de 20″,592 par jour.

On voit combien cet effet est considérable et combien il importe d'appliquer les systèmes qui permettent de remédier à cet inconvénient, c'est-à-dire d'employer des pendules compensateurs.

Le remède le plus simple est de former la tige du pendule par une petite règle de sapin, à fil bien droit, séchée et vernie avec soin. Cette substance ne varie pas d'une manière appréciable.

Pendule à gril de Harrison.

Concevons qu'abandonnant la forme rectiligne, on donne à la tige du pendule la forme brisée ABCDEFGH (*fig.* 3560). On voit que la distance A H sera mesurée (tous les angles étant des angles droits) par AB + CD — EF + GH = L longueur totale du pendule. Le changement total de la longueur de la tige sera le résultat des changements partiels de ces quantités. Les longueurs AB, CD, GH, en s'abaissant par l'effet de la chaleur, tendront à abaisser la lentille ; mais il n'en est pas de même de EF qui par sa dilatation tend à la remonter. Cette partie étant faite en un métal plus dilatable que celui qui sert à faire les autres côtés du gril, soit K le coefficient de dilatation de ce dernier, K' celui du métal plus dilatable, la compensation sera établie si l'on a : (AB + CD + GH) K=EF × K' ou appelant C cette longueur EF et L la première LK = CK' ou enfin $L = C\left(\frac{K'}{K}\right)$.



3560.

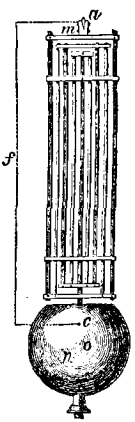
Les coefficients de dilatation des substances qui peuvent entrer dans de semblables appareils, leurs allongements pour 1° sont les suivants :

Verre	1/116100
Acier.	1/87000
Cuivre jaune.	1/53300
Zinc.	1/34000

On voit qu'un pendule peut parfaitement être exécuté dans le système de la figure ci-dessus en acier et zinc, car $\frac{K'}{K} = 2,60$ et par suite L = 2,60 C.

Si au contraire on voulait employer acier et cuivre, la disposition ci-dessus deviendrait insuffisante, car $\frac{K'}{K} = 1,66$ et on aurait L = 1,66 C, ce qui conduit à une proportion difficile à réaliser.

On peut remédier à cet inconvénient en multipliant le nombre des cadres. En en prenant quatre, deux en acier et deux en cuivre, comme dans le pendule représenté fig. 3561, on arrive, en raisonnant comme ci-dessus, à l'équation $a' + a'' = L = (C + C')\frac{K'}{K}$ C et C' étant les longueurs des côtés verticaux des cadres en cuivre, il devient plus facile de compenser le pendule.



3561.

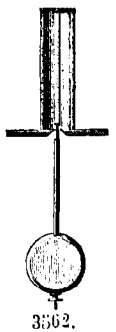
Ces calculs ne peuvent être qu'approximatifs, car l'addition du métal des tiges change la position du centre d'oscillation ; il faut donc faire quelques tâtonnements pour compléter la compensation. L'action du poids de la lentille sur les barres qui la supportent et les assemblages, ne s'établit pas en outre dès le premier jour. Enfin, il faut tenir compte des compensations qui s'établissent dans l'appareil, de l'action de la chaleur sur la masse de l'appareil, qui, dans ces cas, comme dans la plupart des cas de la pratique de l'horlogerie, exige quelques tâtonnements pour le règlement.

Julien Leroy a proposé, en 1738, un autre genre de pendule, en mettant à profit la facilité que donne la suspension à ressort de dépla-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

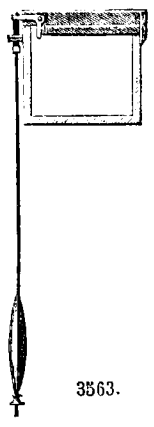
cer facilement le point de suspension du pendule.

Une traverse fixe supporte (fig. 3562) un tube de laiton qui supporte une barre de fer, dont la seconde partie, placée en dehors du tube, forme la tige du pendule. Ces parties sont réunies par une double lame d'acier mince et flexible, qui passe à travers une fente pratiquée dans la traverse fixe; les bords aigus de cette traverse représentent l'axe de suspension du pendule. Quand la température s'élève, le tube de laiton se dilate et tend à remonter la lentille, tandis que l'allongement de la tringle de fer tend à la faire descendre : f, f', étant les longueurs des tiges de fer, c celle du tube de laiton, K et K' les coefficients de dilatation du fer et du cuivre. La compensation sera obtenue si $(f+f')\,K = c\,K'$. Comme K est égal aux $\frac{3}{4}$ à peu près de K', et que $f = c$, cette équation revient à $\frac{3}{4} f = c$. On voit de suite que ce système a le défaut d'augmenter démesurément la hauteur de l'horloge.



3562.

On a cherché à réaliser une construction équivalente, en disposant horizontalement l'appareil compensateur (fig. 3563). Les lames flexibles d'acier qui portent le pendule traversent une fente pratiquée dans une pièce fixée au bâti et sont portées par le bras m d'un levier coudé, dont le second bras n s'appuie sur une barre métallique, formée par un métal plus dilatable que celui de la barre supérieure qui porte le levier. Si L et l sont les longueurs de ces barres, K et K' les coefficients de dilatation des métaux dont elles sont formées, pour qu'il y ait compensation, il faudra que l'on ait $L\,K = l\,K'\,\frac{n}{m}$. Inutile d'insister sur les imperfections de ce système; les dimensions du levier sont trop petites pour transmettre sûrement des effets minimes.



3563.

Système de Graham. — Emploi du mercure.

Graham, célèbre horloger anglais, paraît avoir été le premier qui ait proposé un moyen de compensation pour les pendules.

Son invention consistait à se servir d'une tige solide, et d'un tube de verre contenant du mercure pour former la lentille (fig. 3564). Si l'allongement de la tige produit par l'élévation de la température tend à abaisser le centre d'oscillation, la dilatation plus considérable du mercure tend à le relever; le problème se réduit à déterminer la quantité de mercure nécessaire pour opérer une compensation exacte.

Si l'on considère le centre d'oscillation comme se confondant avec le centre de gravité de la lentille, ce qui est peu différent de la réalité, la masse de la lentille étant très-grande relativement à celle de la tige, l étant la longueur de la tige, K le coefficient de dilatation de la substance dont elle est formée, LK sera l'allongement pour 1°, l'abaissement du centre de gravité de la masse de mercure. Mais, en même temps, le mercure occupant une hauteur h dans le tube, sa dilatation tendra à relever le même centre de gravité relativement au fond du tube de $K'\frac{h}{2}$, K' étant le coefficient de la dilatation linéaire de la colonne du mercure dans le verre qui le renferme, déduite de la dilatation apparente totale égale à $\frac{1}{6488}$ du volume d'après Dulong et Petit. On aura donc l'équation $LK = \frac{h}{2} K'$ pour déterminer la hauteur H du mercure dans le tube qui peut établir la compensation.



3564.

Soit $\pi r^2 h$ le volume du cylindre de mercure, sa dilatation pour 1° sera $(\pi r^2 h)\,\frac{1}{6480} = K'$, la formule ci-dessus revient donc à $LK = \frac{h}{2}\,\frac{\pi r^2 h}{6480} = \frac{\pi r^2 h^2}{2 \times 6480} = \frac{r^2 h^2}{4127}$.

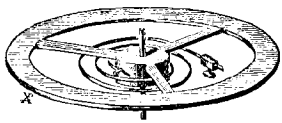
Le déplacement du mercure, lors des oscillations du pendule, fait quelque peu varier la position du centre de gravité, lorsqu'on renferme, comme Graham, le mercure dans un seul réservoir, si on voulait l'appliquer à des constructions de grande dimension. Il n'en est plus ainsi avec la disposition récemment imaginée et qui paraît faire préférer le pendule à mercure au pendule à gril, dont les barres ne peuvent varier de longueur sans faire naître des frottements considérables le long des barrettes qui maintiennent leur parallélisme. Elle consiste à diviser le mercure dans un faisceau de tubes parallèles, ce qui offre encore l'avantage qu'il se met plus rapidement en équilibre de température avec l'air ambiant, par l'accroissement des surfaces, dans le même temps que la tige d'acier qui le supporte.

C'est M. Duchemin, artiste français, qui paraît avoir eu le premier l'idée de cette disposition.

La non-conductibilité et la fragibilité du verre présentant quelques inconvénients, on a quelquefois renfermé le mercure dans un cylindre en fer; sa conductibilité rend les effets plus prompts, mais sa plus grande dilatation en diminue l'intensité.

RÉGULATEUR A RESSORT SPIRAL.

Le régulateur des montres et chronomètres se compose de deux pièces, le spiral et le balancier. Son invention fut inspirée sans doute à Huyghens par la corde tordue qui supportait le balancier des vieilles horloges. Le spiral étant un ressort d'acier tourné en spirale (fig. 3565), d'une élasticité parfaite, si l'extrémité extérieure étant fixe, on bande l'extrémité intérieure, celle du centre, d'une certaine quantité, aussitôt que l'effort cessera, le ressort reviendra à sa première position, puis la dépassera par une extension égale à la compression, comme le fait une lame élastique que l'on fait vibrer.



3565.

Ces oscillations seraient beaucoup trop promptes; c'est pour les ralentir qu'on introduit dans le système une masse à mouvoir par le spiral. Elle consiste en un balancier, une roue faisant effet de volant, dont la masse principale, disposée à la circonférence, tient au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

centre par trois ou quatre bras. Ce balancier doit être centré avec le plus grand soin; autrement, la force centrifuge en tout cas, et, dans la position verticale de la montre, la gravité viendrait augmenter ou diminuer la force de rotation du spiral en agissant comme force accélératrice ou retardatrice; toute régularité serait alors détruite.

Formes des spiraux. Pour que l'action du ressort spiral soit bien régulière, il faut qu'il agisse tout entier, et, pour cela, que sa courbure soit régulière, que l'inflexion du métal soit la même en chaque point.

Si la place ne manque pas, comme dans les chronomètres, le ressort se fait en hélice, avec une hauteur proportionnée à la résistance; dans une montre, les spires s'enroulent dans un même plan, le ressort à hélice est obtenu à l'aide d'une lame droite qu'on enroule autour d'une tige cylindrique pour le tremper, ce qui donne une inclinaison constante à ses éléments successifs, et une hélice dont le rayon de courbure est constant. En enroulant le petit fil d'acier sur lui-même, dans un même plan, on a dans le second cas une spirale d'Archimède.

Dans un curieux travail, M. Philips a formulé la théorie complète du spiral, et bien que les résultats pratiques de ce beau travail n'aient pas été aussi importants qu'on eût pu l'espérer, la pratique s'étant rapprochée antérieurement de la théorie, nous en reproduirons ici les parties capitales.

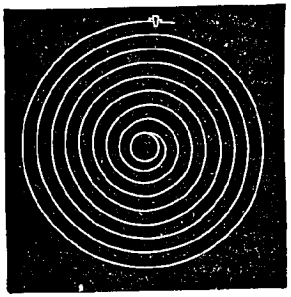


Fig. 3566.

Le premier spiral (fig. 3566), employé pour les montres, se compose d'une courbe spirale plane, formée d'un certain nombre de spires, généralement de huit à douze, se rapprochant, autant que possible, de la forme circulaire.

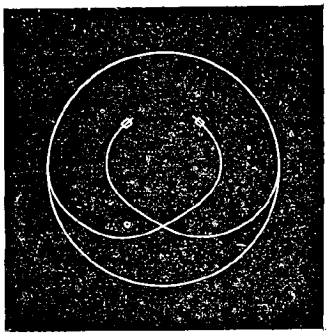


Fig. 3567.

Quant au spiral cylindrique (fig. 3567), dont on fait usage plus spécialement pour les chronomètres, ses spires affectent, en projection horizontale, la forme d'un cercle concentrique à l'axe du balancier, et il se termine en général par deux courbes adoucies, qui se rapprochent du centre à une distance ordinairement égale à environ la moitié des rayons. Sa forme rigoureuse est celle d'une hélice à pas extrêmement courts, d'où le nom de *spiral cylindrique*.

M. Philips se propose d'abord le problème suivant : « Le spiral et le balancier étant dans leur position naturelle et en équilibre, on suppose que l'on fasse décrire au balancier un angle de rotation α. On demande quel est le moment du couple qu'il faudrait appliquer au balancier pour le maintenir dans cette nouvelle position contre l'action du spiral? »

Pour résoudre ce problème, il rapporte le système à deux axes coordonnés rectangulaires, passant par le centre O du balancier, et dont l'un OY passe aussi par celle des extrémités du spiral qui est fixe.

Si l'on considère, dans la nouvelle position d'équilibre, le balancier et le spiral comme formant un tout solide, ce système doit être en équilibre sous l'action du couple appliqué au balancier et dont le moment, représenté par G, est précisément ce qu'il s'agit de déterminer. De plus, le centre du balancier étant fixe, rien n'empêche de le considérer comme libre, pourvu qu'on applique en ce point O une force égale et contraire à la pression qu'il peut exercer contre les parois du trou. Désignons par Y et X les composantes suivant OY et OX de la force ainsi appliquée au point O, point qu'on doit regarder comme libre.

B étant la position occupée par un point quelconque du spiral dans le nouvel état d'équilibre, j'appelle x et y ses coordonnées; s la longueur du spiral comprise entre ce point et l'extrémité fixe; L la longueur totale du spiral; M le moment d'élasticité de celui-ci; enfin ρ le rayon de courbure du même point B, dans la nouvelle position d'équilibre, et ρ_0 le rayon de courbure du même point B dans l'état naturel du spiral quand le moment G est nul.

Dans la nouvelle position d'équilibre, celui-ci ne serait pas troublé si l'on solidifiait toute la partie du spiral comprise entre le point B et l'extrémité engagée dans le balancier, et l'on a alors à considérer l'équilibre d'un corps solide formé de l'ensemble résultant de cette partie du spiral et du balancier, et soumis d'une part au couple G, qui agit sur le balancier, et aux forces X et Y, et d'autre part aux actions moléculaires exercées sur la section B par la partie non solidifiée du spiral. Si l'on transporte au point B les forces X et Y, ainsi que le couple G, le couple résultant doit faire équilibre à celui qui provient des actions moléculaires développées par la partie non solidifiée du spiral. Or le moment des actions moléculaires est

$$M\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right),$$

et par suite on a :

$$M\left(\frac{1}{\rho}-\frac{1}{\rho_0}\right)=G+Yx-Xy \qquad (1)$$

multipliant par ds, appelant x_1, y_1, les ordonnées du centre de gravité, enfin intégrons en remarquant que $\frac{ds}{\rho_0}$ n'est autre chose que l'angle compris entre les deux normales extrêmes dans la position initiale du spiral et $\frac{ds}{\rho}$ dans la position finale. Mais quand le spiral change de position, la normale relative à l'extrémité fixe reste invariable de direction à cause de l'encastrement qui a lieu en ce point; d'un autre côté, l'encastrement de l'autre extrémité dans le cercle de la virole du balancier fait que l'angle du dernier élément est également constant. De là résulte qu'en passant de la position naturelle à la position d'équilibre, la normale au spiral, à son extrémité correspondante du balancier, tourne d'un angle α. L'équation (1) donne donc après intégration :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(2) $$M\alpha = GL + L(Yx_1 - Xy_1).$$

Admettons, quant à présent, que le terme $L(Yx_1 - Xy_1)$, soit nul ou négligeable, l'équation (2) se réduit à $M\alpha = GM$ ou $G = \frac{M\alpha}{L}$. (3)

Dès lors, il devient facile de trouver la durée des oscillations du balancier. En effet, en appelant A le moment d'inertie et G le couple résistant, on a :

$$A\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -G = -\frac{M\alpha}{L}, \qquad (4)$$

d'où l'on tire en multipliant les deux membres de (4) par $2\,d\alpha$ et intégrant

$$A\frac{d\alpha^2}{dt^2} = \frac{M}{L}(\alpha_0^2 - \alpha^2). \qquad (5)$$

Cette expression fait voir que la vitesse angulaire du balancier $\frac{d\alpha}{dt}$ est nulle indéfiniment lorsque $\alpha = \alpha_0$ ou que $\alpha = -\alpha_0$, de sorte que, si ce n'étaient les diverses résistances passives, le balancier oscillerait en s'écartant toujours également de part et d'autre de sa position de repos.

Par intégration, cette formule conduit à la formule ci-après tout à fait semblable à celle que l'on connait depuis longtemps pour les petites oscillations du pendule, savoir : en désignant par T le temps d'une oscillation, L la longueur du spiral :

$$T = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}} \qquad (6)$$

relation fort simple qui donne la durée des oscillations pour un spiral donné, qui se trouvent isochrones, quelle que soit leur amplitude, l'expression étant indépendante de l'angle α.

Elle montre que, toutes choses égales d'ailleurs, la durée des vibrations d'un spiral est proportionnelle à la racine carrée de sa longueur. Ce rapprochement est d'autant plus intéressant qu'il n'existe dans les deux cas rien de semblable, soit dans le corps en mouvement, soit dans la nature de la force motrice. Pour le pendule, cette loi n'existe que pour les oscillations d'une très-faible amplitude, tandis que, pour le spiral, elle a lieu quelle que soit l'étendue des vibrations du balancier.

On peut d'après ce résultat dresser la table ci-contre qui fait connaître de suite comment varie la durée des vibrations avec la longueur du spiral. Il est à remarquer que, dans cette même table, on pourrait y considérer le rapport des longueurs comme remplacé par celui des moments d'inertie du balancier ou par le rapport inverse des moments d'élasticité.

Reprenant l'équation (2), dans laquelle on a négligé la partie $L(Yx_1 - Xy_1)$, examinons à quelles conditions on peut effectivement ne pas tenir compte de ce terme, d'où dépendent définitivement l'isochronisme des oscillations et l'exactitude de la formule (16).

En premier lieu, ce terme serait toujours nul si l'on avait constamment x_1 et y_1 égaux à zéro, c'est-à-dire si le centre de gravité du spiral restait toujours sur l'axe du balancier. De là résulte de suite la convenance de donner aux spires une forme sensiblement circulaire et concentrique à l'axe, de façon que le centre de gravité général soit sur cet axe et qu'il s'en écarte aussi peu que possible pendant le mouvement.

Deuxièmement, le terme $L(Yx_1 - Xy_1)$ s'évanouirait encore, si les composantes X et Y étaient nulles, et par conséquent si la pression exercée par l'axe du balancier était toujours nulle, ou encore si cette pression passait constamment par le centre de gravité du spiral.

Nous cesserons pour ce dernier point de poursuivre l'analyse de M. Philips, et renverrons à son savant mémoire inséré dans les *Annales des Mines*, 1861. Nous nous contenterons, pour l'indication de toutes les conditions moyennant lesquelles on peut atteindre rigoureusement le but indiqué, de suivre le résumé inséré par l'auteur dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement.*

Table donnant les rapports des nombres de vibrations du balancier, dans un même temps, pour des longueurs différentes d'un spiral.

RAPPORT des longueurs du spiral.	RAPPORT DU NOMBRE des vibrations dans un même temps.	RAPPORT des longueurs du spiral.	RAPPORT DU NOMBRE des vibrations dans un même temps.
0,99....	1,0050	0,59....	1,3019
0,98....	1,0101	0,58....	1,3131
0,97....	1,0153	0,57....	1,3245
0,96....	1,0206	0,56....	1,3363
0,95....	1,0260	0,55....	1,3484
0,94....	1,0314	0,54....	1,3608
0,93....	1,0370	0,53....	1,3736
0,92....	1,0426	0,52....	1,3867
0,91....	1,0483	0,51....	1,4003
0,90....	1,0541	0,50....	1,4142
0,89....	1,0600	0,49....	1,4286
0,88....	1,0660	0,48....	1,4434
0,87....	1,0721	0,47....	1,4587
0,86....	1,0783	0,46....	1,4744
0,85....	1,0846	0,45....	1,4907
0,84....	1,0911	0,44....	1,5076
0,83....	1,0977	0,43....	1,5250
0,82....	1,1043	0,42....	1,5430
0,81....	1,1111	0,41....	1,5618
0,80....	1,1180	0,40....	1,5811
0,79....	1,1251	0,39....	1,6013
0,78....	1,1323	0,38....	1,6222
0,77....	1,1396	0,37....	1,6440
0,76....	1,1471	0,36....	1,6667
0,75....	1,1547	0,35....	1,6903
0,74....	1,1625	0,34....	1,7150
0,73....	1,1704	0,33....	1,7408
0,72....	1,1785	0,32....	1,7677
0,71....	1,1868	0,31....	1,7960
0,70....	1,1952	0,30....	1,8257
0,69....	1,2058	0,29....	1,8570
0,68....	1,2127	0,28....	1,8898
0,67....	1,2217	0,27....	1,9245
0,66....	1,2309	0,26....	1,9612
0,65....	1,2403	0,25....	2,0000
0,64....	1,2500	0,24....	2,0412
0,63....	1,2599	0,23....	2,0851
0,62....	1,2700	0,22....	2,1320
0,61....	1,2803	0,21....	2,1822
0,60....	1,2910	0,20....	2,2361

En examinant plus spécialement le spiral cylindrique, j'ai démontré, dit-il, que la condition de l'annulation de toute poussée latérale contre l'axe du balancier peut être transformée en cette autre d'une réalisation plus simple, que le spiral, dans son jeu, s'ouvre et se ferme toujours bien concentriquement à l'axe.

Or on peut satisfaire à cette obligation par certaines formes des courbes terminales du spiral, formes dont j'ai déterminé la loi; et il est remarquable que les mêmes courbes remplissent la condition que le centre de gravité du spiral soit et reste toujours sur l'axe du balancier.

Il existe donc des types de courbes extrêmes, présentant d'ailleurs une infinité de formes différentes et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui satisfont à la fois à toutes les conditions indiquées. La loi de construction de ces courbes est très-simple et est relative à la position de leur centre de gravité.

Elle consiste en ce que (voir fig. 3568) :

1° Le centre de gravité G d'une telle courbe doit se trouver sur la perpendiculaire OG, menée par le centre O des spires au rayon extrême OC de cette courbe, là où elle se réunit aux spires;

2° La distance OG de ce centre de gravité au centre des spires doit être égale à une troisième proportionnelle à la longueur développée de la courbe et au rayon des spires, c'est-à-dire que l'on doit avoir :

$$OG = \frac{\overline{OC}^2}{ABC}.$$

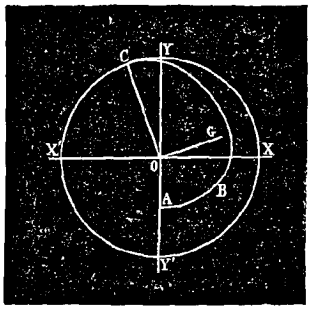


Fig. 3568.

M. Philips décrit, dans son mémoire, une méthode graphique propre à utiliser cette relation. Parmi les courbes qu'il indique, outre certains types analogues à ceux employés dans la pratique, plusieurs sont nouveaux, plusieurs aboutissent au centre des spires, et d'autres, au contraire, viennent se terminer en un point de la circonférence de ces dernières. Par exemple, on y voit (fig. 3569) une courbe formée de deux quarts de cercle réunis par une ligne droite, chacun de ces quarts de cercle ayant un rayon moitié de celui des spires; un autre type se compose (fig. 3569 *bis*) d'une demi-ellipse, dont le grand axe est le diamètre des spires et le demi-petit axe est les 0,58 du rayon.

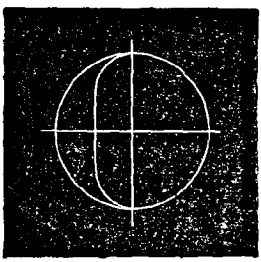


Fig. 3569.

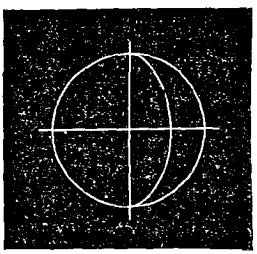


Fig. 3569 *bis*.

La forme des courbes extrêmes est complétement indépendante des dimensions transversales de la lame et même de la longueur totale du spiral; de sorte que, quel que soit l'angle suivant lequel se projetteraient, sur un plan perpendiculaire à l'axe, les rayons aboutissant aux naissances des courbes extrêmes d'un même spiral, celui-ci jouirait toujours des mêmes propriétés.

Mais il y a plus encore, ces courbes ont aussi pour résultat de faire disparaître certaines perturbations nuisibles pour l'isochronisme ou pour sa conservation. Ainsi l'absence de toute pression contre l'axe du balancier fait qu'elles réalisent le spiral libre, c'est-à-dire celui dans lequel cet axe, n'éprouvant aucune pression, est soustrait, autant que possible, au frottement et aux variations de celui-ci, résultant de l'épaisseur des huiles.

De plus, le spiral s'ouvrant et se fermant toujours bien concentriquement à l'axe, au lieu d'être jeté de côté et d'autre de celui-ci, dans les vibrations, comme cela a lieu ordinairement, on évite sensiblement par là la perturbation introduite par l'inertie du spiral.

Toutes les propriétés précédentes, dues à ces courbes, subsistant, quel que soit l'espace angulaire qui sépare en construction les deux courbes terminales d'un même spiral, on possède dans cet angle ou, ce qui revient au même, dans la longueur totale du spiral, un élément dont on peut disposer pour obtenir les dernières limites d'isochronisme pratique, en tenant compte des influences secondaires qu'il était impossible de faire entrer dans les calculs, comme les huiles, l'échappement, etc. Cet élément est, du reste, précisément celui dont on dispose ordinairement, et d'après la règle de Pierre Leroy, pour arriver, aussi exactement que possible, à l'isochronisme.

Cette loi que Pierre Leroy a déduite de l'expérience est que : *Il y a dans tous les ressorts spiraux d'une longueur suffisante une longueur où toutes les vibrations, grandes ou petites, sont isochrones. Pour une longueur supérieure, les grandes vibrations sont plus lentes que les courtes, et inversement pour une longueur moindre.*

Pour bien comprendre cette propriété, il faut remarquer que plus les arcs du balancier sont grands, plus le spiral est armé, plus il parcourt l'arc rétrograde avec vitesse. Si donc la force du spiral croît dans une proportion plus grande que celle de l'étendue des arcs (ce qui arrivera s'il est court, si ses éléments sont fortement infléchis les uns sur les autres par un petit enroulement), le spiral accélérera les grands arcs comparés aux petits; si, au contraire, la force du spiral augmente dans une proportion moindre que l'étendue des arcs (ce qui arrivera pour une grande longueur du spiral) pour une augmentation de force motrice, le spiral retardera les grands arcs comparés aux petits. Il existe donc pour les ressorts spiraux une certaine progression de force, en raison de petites variations de longueur qui peuvent rendre isochrones entre elles des vibrations d'inégale étendue, et par conséquent procurer une régularité qui, sans cela, est impossible. Le spiral isochrone est celui auquel on est parvenu à donner cette progression en en variant la longueur.

Les spiraux croissent en résistance à mesure qu'on les arme, mais cette résistance ne suit pas dans tous la même progression.

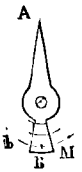
Un spiral en mouvement, remarque A. Bréguet, ne doit pas avoir de lames en repos, ou qui travaillent en sens contraire des autres, ou qui, sans mouvements dans une certaine étendue d'arc, finissent par en prendre un très-grand quand les arcs augmentent. Dans ces cas, le spiral n'agirait (ni en résistance ni en action) en progression arithmétique régulière.

On rencontre surtout cet inconvénient en assemblant le spiral avec le point fixe; le piton, dans son ajustement avec son support, doit se fixer sans causer aucun bridage au spiral, qui ne doit jamais éprouver

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'une tension d'élasticité, sans qu'aucune cause doive engendrer des frottements.

Raquette. — Puisque c'est la longueur du spiral qui détermine l'isochronisme, condition essentielle de sa perfection, il faut pouvoir faire varier très-lentement cette longueur pour régler l'appareil. Nous donnons ici la représentation de la raquette, qui permet de faire varier très-simplement la longueur exacte du spiral (fig. 3570). Elle se compose d'une petite pièce qui peut tourner à frottement doux autour du centre du balancier, quand on pousse la pointe A. En B sont placées deux goupilles très-rapprochées, qui serrent le spiral près de son extrémité fixe M. La partie comprise entre B et M ne vibre donc pas. Le spiral sera donc allongé ou diminué en raison du mouvement de la raquette, et amené ainsi à la longueur convenable.



3570.

Les mouvements en ligne droite n'altèrent pas la marche des ressorts spiraux ; mais il n'en est pas de même des mouvements circulaires qui ont lieu dans le plan du balancier et qui agissent évidemment en accélérant ou retardant son mouvement propre. C'est pour diminuer surtout cette cause d'erreurs qu'on rend très-grande la vitesse de vibration. Le nombre des vibrations est de cinq ou six par deux secondes dans les chronomètres.

Du balancier. — Disons encore quelques mots du balancier, du volant régulateur dont la masse détermine la vitesse du mouvement du spiral.

Nous venons d'observer que la vitesse du balancier était le grand moyen d'annuler l'influence des causes de perturbation auxquelles une montre peut être sujette. Sa force vive, sa masse multipliée par le carré de sa vitesse, doit donc toujours être très-grande.

Le moyen par excellence pour obtenir l'invariabilité du frottement qui est la condition de perfection essentielle, consiste à faire les pivots du balancier très-durs, très-polis, d'un diamètre minimum que comporte la solidité et de les faire rouler dans des trous extrêmement durs et parfaitement polis. On satisfait à cette condition en faisant l'axe du balancier en acier et les trous en pierres dures. Nous verrons quel degré de précision l'on réalise dans les chronomètres surtout; et cependant si les variations de résistance altèrent la durée d'une oscillation de $\frac{1}{86400}$, l'erreur sera de 1 seconde en 24 heures; 2 secondes le lendemain et ainsi de suite.

Il est difficile de régler théoriquement les rapports de la force du spiral et du poids du balancier que l'on doit imiter de constructions réussies ou déterminer par tâtonnement.

Pour analyser ces rapports, supposons qu'on règle une montre avec deux balanciers, l'un trop léger, l'autre trop lourd. Dans le premier cas, le tremblement seul du spiral suffira pour déranger fréquemment les oscillations, et dans le second cas, la masse énorme du balancier ayant peu de vitesse, le moindre mouvement dans le jeu du balancier altérera la durée des vibrations par l'excès de puissance qu'il aura sur le spiral. Nous verrons plus loin la confirmation du principe qu'il vaut mieux se rapprocher de la première limite que de la seconde, d'un balancier trop léger que d'un trop lourd, chercher le point qui correspond au maximum de force vive emmagasinée dans le système régulateur, et qui correspond évidemment à des arcs fort étendus.

De la suspension du balancier par des cônes. — Laissons la parole à A. Bréguet :

Un des plus grands obstacles à la conservation de l'isochronisme des oscillations du balancier est le changement dans les frottements de la suspension et par suite les degrés différents de liberté du régulateur dans son roulement sur ses pivots. On conçoit facilement que, l'isochronisme absolu étant atteint autant qu'il est possible, malgré l'effet des résistances et des impulsions de l'échappement et dans les diverses étendues d'arc, malgré les changements produits par les températures, le frottement des pivots du balancier, si l'une de ces données change, l'équilibre de ces effets si difficile à obtenir se trouve rompu, et l'isochronisme se perd. Or, les pivots du balancier ne peuvent rouler dans leurs trous, soit en métal, soit en rubis, sans une petite portion d'huile qui supprime le contact immédiat des surfaces et les empêche de s'entre-détruire. Cette précaution est inévitable; mais l'huile s'épaissit à la longue et malgré la réduction du diamètre des pivots qui au reste a des bornes et laisse encore trop de prise à l'épaississement de l'huile.

De fréquentes réflexions sur ce sujet me suggérèrent le moyen de réduire presqu'au dernier point le diamètre de la partie en contact des pivots, tout en leur conservant beaucoup plus de force qu'ils n'en ont ordinairement.

Ce moyen consiste à donner aux extrémités de l'axe une forme conique, sous un angle donné par l'expérience, et à faire rouler la pointe de ces cônes imperceptiblement arrondie dans les concavités sphériques de deux rubis, qui les reçoivent. Ces concavités sphériques doivent avoir aussi une dimension donnée, et sont pratiquées au fond d'un cône creux exécuté dans chaque rubis, sous un angle beaucoup plus ouvert que celui des cônes de l'axe.

Pour la précision des effets de l'échappement, on sait que les pivots du régulateur ne doivent avoir tout juste dans leurs trous que le jeu latéral nécessaire, pour qu'un peu d'huile s'y introduise, et que le pivot roule néanmoins librement. On donne aussi à l'axe un peu de jeu en hauteur, pour qu'il ne soit pas gêné par la pression des coquerets, ou des rubis plats sur lesquels le bout arrondi d'un des pivots s'appuie lorsque le balancier se trouve dans l'une des deux situations horizontales. Dans toutes ces dispositions, en un mot, on s'attache à donner aux pivots le plus de liberté possible, sans trop de jeu, et l'on n'eût jamais imaginé qu'ils fussent susceptibles d'éprouver une pression continue, un frottement direct, sans que le balancier perdît, inégalement, une grande partie de son mouvement et de sa vitesse, enfin sans faire évanouir toutes les propriétés de l'isochronisme et de l'équilibre général des effets par les variations si probables d'un tel frottement. Cependant, l'expérience de notre nouvelle disposition a prouvé le contraire. Il serait impossible, d'après ce que nous venons de dire, d'obtenir les effets si précis de l'échappement, dans les diverses positions, si les pointes des cônes de l'axe pouvaient occuper librement divers points de la concavité sphérique dans laquelle elles roulent. Il a donc fallu les contenir dans le centre par le procédé suivant. Les rubis creusés coniquement sont portés par des ressorts qui pressent sur les pointes de l'axe par une légère tension, réglée en raison du poids du balancier. Cette pression retient les pointes des cônes de l'axe au centre de la concavité pratiquée au fond des cônes de rubis, et il faut que dans toutes les positions du chronomètre l'axe du régulateur ne cesse pas d'être assez pressé et assez également par les cônes de rubis, pour que son poids ne puisse le faire sortir du centre des concavités sphériques, à moins d'une secousse qui, en faisant écarter les ressorts, porterait alors les pointes de l'axe sur les surfaces coniques des rubis. Il doit aussi y avoir pour ce cas des collets de sûreté qui environnent le tigeron, sans y toucher, afin que, par les secousses, les pointes ne puissent sortir du diamètre des cônes de rubis, et que l'action élastique des ressorts les fasse revenir au centre instantanément. Il doit aussi y avoir, en arrière des ressorts, des côtoirs avec rappel, qui bornent la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cession des ressorts dans le cas de ces mêmes secousses, dans le sens de la longueur de l'axe.

Nous avons éprouvé dans un grand nombre de pièces que le balancier pressé dans le sens de sa longueur par des ressorts est aussi libre que dans la suspension ordinaire; mais nous avons trouvé qu'il conservait plus constamment l'étendue de ses arcs, et que, exempt du ballottage inévitable des pivots ordinaires, par le jeu des trous que l'huile et la liberté nécessitent, il avait une action plus régulière, relativement aux pénétrations de l'échappement dans les diverses positions; que l'étendue de ces points de contact, réduite ainsi à la plus petite expression, laisse beaucoup moins de prise à l'épaississement de l'huile, et régularise les frottements; mais nous avouons que cette construction, lorsqu'on l'emploie pour la première fois, est difficile, qu'elle demande de grands soins, et qu'il faut plus d'une expérience pour en déterminer les formes et les dimensions.

De la compensation. — La nécessité qui fait employer des pendules compensateurs dans les horloges n'existe pas moins pour les appareils à ressort moteur que dans les horloges. La difficulté d'effectuer une compensation des effets de la chaleur est toutefois plus grande dans ce cas.

Berthoud s'était proposé d'opérer la compensation par le spiral, c'est-à-dire d'agir sur lui par un système analogue à la raquette, en raison de la dilatation d'une lame convenablement située. Ce système qui sacrifie l'isochronisme du spiral n'est pas admissible, et n'a jamais donné des résultats satisfaisants. C'est sur le balancier qu'on s'est efforcé de pratiquer la compensation, de corriger la variation des amplitudes résultant à la fois de la variation des diamètres du balancier et du spiral, produite par la chaleur. C'est à quoi l'on est parvenu par l'emploi de lames compensatrices pour le cas où la plus grande précision est nécessaire pour les chronomètres, car pour les montres à l'usage civil, la place manque pour corriger les erreurs par un semblable moyen.

Pour bien faire sentir l'effet de la chaleur sur le balancier qui ne paraît pas nécessairement devoir être le même que pour le pendule, nous rapporterons ici une expérience que nous trouvons dans les papiers de A. Bréguet.

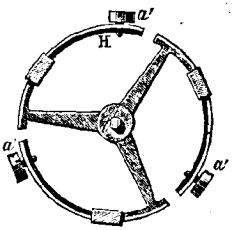
Un balancier de cuivre portant des spiraux d'égale force mis en opposition, sans échappement, a été armé à 180 degrés, successivement à trois températures différentes. On a compté le nombre des vibrations qu'il faisait avant que l'axe d'oscillation fût réduit à 60 degrés. On a eu ainsi les résultats suivants :

A zéro temp. le balancier a perdu			120°	d'étendue d'arc en 78 oscil.
A 10°	—	—	120° —	80 —
A 30°	—	—	120° —	83 1/2

Ainsi la température croissant, le rayon du balancier augmentant, sa force vive pour une même amplitude angulaire va en grandissant et les pertes d'amplitude sont moins rapides.

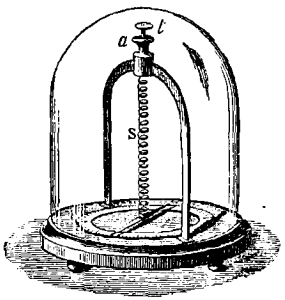
Lames compensatrices pour chronomètres. — Ce système est composé de deux lames inégalement dilatables, soit que ces lames aient été soudées ensemble, soit (ce qui est défectueux) qu'elles aient été clouées l'une sur l'autre par des rivets très-rapprochés. Supposons qu'une telle lame soit formée par exemple de zinc et de fer, et qu'elle soit droite à la température de 20 degrés, il est évident qu'au-dessus de 20 degrés elle devra se courber, le zinc étant sur la convexité puisqu'il s'allonge plus que le fer.

Si on compose la couronne d'un balancier de chronomètre d'arcs doubles construits ainsi que nous venons de le dire, il est clair qu'en même temps que la chaleur allonge les diamètres du balancier, elle fait recourber (fig. 3571) les lames de compensation assemblées aux extrémités de ces rayons, et que, par suite, les extrémités H de ces arcs se rapprochent du centre. On comprend comment cet effet peut compenser le premier en choisissant des positions convenables des masses a', a', fixées symétriquement vers les extrémités de ces arcs, et permet d'obtenir des oscillations isochrones malgré les variations de la température, autant du moins que peuvent concorder ces effets.



3571.

Thermomètre de Bréguet. — L'étude des propriétés des lames compensatrices a conduit A. Bréguet à construire son ingénieux thermomètre, le plus délicat et le plus commode des thermomètres métalliques (fig. 3572).



3572.

Il se compose d'un petit ruban de métal de 1 à 2 millimètres de largeur, qui est roulé en spire comme le représente la figure. La spire est attachée par son sommet à une pièce de cuivre qui la laisse parfaitement libre et isolée, et, à son extrémité inférieure, elle porte une aiguille horizontale, très-légère, dont la pointe parcourt la circonférence du cercle divisé cc'.

Le ruban de l'hélice est composé de trois couches métalliques superposées, argent, or et platine : la couche d'or qui est au milieu sert à souder les deux autres. Ce système, d'abord d'une certaine épaisseur, est réduit au laminoir à n'avoir plus que 1/60me de millimètre; la masse du métal étant si minime, l'instrument peut prendre rapidement la température de l'air ambiant.

Par l'inégale dilatation du platine et de l'argent, la spire se tord ou se détord, quand la température s'élève ou s'abaisse, et l'aiguille se meut pour obéir à ces mouvements. On gradue cet instrument en comparant sa marche à celle d'un thermomètre à mercure très-sensible, sans qu'on puisse jamais obtenir des marches proportionnelles. Mais laissons la parole à l'inventeur pour traiter la question des lames compensatrices.

Les effets de ces thermomètres ne sont pas semblables entre eux, ni proportionnels à celui du thermomètre à mercure. Ils ne paraissent pas libres dans leur action. Il est probable que la principale cause de cette différence de progression est causée par la résistance élastique qu'éprouvent continuellement les lames collées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ensemble qui ne produisent de mouvement dans les variations de température que par leur différence de tension, qui augmente d'autant plus que la température devient plus froide; et, en conséquence, il en résulte plus d'effort de la part des lames l'une sur l'autre, et plus d'action absorbée par l'élasticité, ce qui altère d'autant la progression naturelle qui existerait s'il n'y avait ni frottement, ni élasticité à vaincre dans l'action des lames au moment où la température varie leur longueur.

On s'en rendra compte mieux encore si l'on suit la construction de ces lames composées. On prend un morceau de platine d'une ligne et demie de largeur, et d'un quart de ligne d'épaisseur. On y applique avec une soudure forte une lame d'or à 24 karats, d'un huitième de ligne d'épaisseur, puis on y soude encore fortement une plaque d'argent fin d'une demi-ligne. On tire ce morceau composé de ces trois métaux jusqu'à ce qu'il soit arrivé à la dimension la plus mince, sans que le métal soit endommagé; ce qui permet de l'amener à $\frac{1}{44}$ de ligne d'épaisseur, et de la largeur qu'on juge à propos. Il suffit pour cela d'avoir des filières bien faites et décroissant lentement.

Les expériences sur ces nouveaux thermomètres m'ont démontré que mes craintes sur la fidélité de l'effet des balanciers compensateurs n'étaient que trop fondées, étant tous faits sur les mêmes principes, c'est-à-dire de deux ou trois lames de métaux de dilatation différente. Ces lames sont jointes ensemble par de la soudure, ou fondues l'une sur l'autre, ou goupillées. Elles ne peuvent agir que par un état forcé, et ne peuvent se fixer que dans un état d'équilibre; le malheur est que jamais l'équilibre n'est parfait. Le frottement d'adhérence est toujours auxiliaire d'une des lames. C'est un combat des lames toujours en tendance d'efforts pour se séparer, d'où résulte à la longue un sentiment de séparation et de déchirement, d'autant plus qu'elles ont été plus longtemps fixées plus près de leurs extrêmes de froid et de chaud, d'où résulte dans ce cas qu'en partant du froid pour arriver à 10 degrés, ou du chaud pour arriver également à cette même température, ces lames ne se fixeront pas au même point. En arrivant du froid, elles se fixeront à 9 degrés, et à 11 degrés en arrivant du chaud. Ce qui tourmente d'autant plus l'artiste, qu'après de longs et ennuyeux tâtonnements il ne sait si les variations qu'il observe lorsqu'on applique les lames bi-métalliques aux chronomètres tiennent au défaut d'isochronisme, ou à des frottements, ou aux lames de compensation, aux huiles, etc. Les procédés pour faire les lames les moins défectueuses sont connus, mais on n'est pas maître du degré de feu, de l'homogénéité de la matière.

L'effet du balancier compensateur ne peut pas être parfait, car sur un très-grand nombre de thermomètres métalliques il nous a été impossible de faire dans nos expériences que la même température, indiquée sur un thermomètre à mercure, ramenât constamment le pyromètre sur la même division, et cela se comprend assez d'après une observation de M. Arago, qui nous dit avoir remarqué, dans des barres métalliques dont il cherchait à mesurer la dilatation, qu'il fallait frapper légèrement la barre pour lui faire prendre la longueur qu'elle devait avoir. Autrement elle a une espèce de paresse à opérer son changement de dimension, tant dans un sens que dans l'autre. Aussi notre pyromètre marchait-il quelquefois par saccades de 4 à 5 degrés.

Exécution des balanciers compensateurs.—Expliquons le tour de main à l'aide duquel on exécute aujourd'hui les balanciers compensateurs.

Lorsque l'on veut exécuter un balancier compensateur, on prend un disque d'acier fin de deux millimètres environ plus grand que ne doit être le balancier définitif, et d'une épaisseur double de celui-ci. On perce un trou au centre de ce disque, on le met sur un arbre, et à l'aide du tour et du burin on creuse une rainure, sur une de ses faces, le plus près possible de l'extrémité de son diamètre. Il faut que cette rainure, qui doit être faite carrément, atteigne au moins les trois quarts de l'épaisseur totale du disque; puis, lorsqu'il est ainsi disposé, on remplit surabondamment la rainure de grenaille de laiton, on ajoute une quantité suffisante de borax, on pose le tout horizontalement dans le fond d'un creuset que l'on place sur un feu ardent, et bientôt la chaleur fait fondre le laiton qui remplit hermétiquement la rainure aux parois de laquelle il se soude naturellement. On remet le disque sur le tour et on diminue au burin son diamètre jusqu'à ce que l'on ait fait disparaître l'écorce d'acier restée en dehors et mis à découvert le cuivre qui remplit la rainure. Il faut diminuer alors l'épaisseur du disque du côté opposé à la rainure, jusqu'à ce que le cuivre paraisse de ce côté comme il paraît de l'autre. Cette opération étant terminée, on creuse au burin, carrément et d'un seul côté, toute cette partie du disque qui s'étend depuis le trou central jusqu'à son rayon extrême, en ne laissant subsister à sa circonférence qu'une épaisseur d'acier équivalente au plus à la moitié de celle de cuivre qui y adhère extérieurement. On met ensuite le fond à jour en y réservant seulement deux barrettes dont la largeur doit être proportionnée à l'étendue et à la pesanteur totale du balancier. On conserve autour du trou central une rondelle assez large de diamètre pour pouvoir y fixer l'axe au moyen de deux ou trois petites vis. Lorsque cette ébauche est faite, il faut poser les masses compensantes sur le cercle bi-métallique, comme on le voit dans la figure ci-jointe. C'est alors que l'on coupe ce cercle à une distance assez rapprochée de chaque barrette. Les lames bi-métalliques forment alors deux segments de cercle fixes par un bout et libres de l'autre, et chacun d'eux se rapproche ou s'éloigne du centre en proportion de la chaleur ou du froid qu'ils éprouvent. Le poids des masses compensantes est équilibré par les masses réglantes qui sont placées à vis sur les petites portions du cercle que l'on voit dans la figure. Les masses compensantes ne se placent pas indifféremment sur un point quelconque des segments de cercles bi-métalliques; c'est en éprouvant la marche de la montre par différentes températures que l'on parvient, souvent après bien des tâtonnements, à trouver définitivement la place où l'on doit placer ces masses.

Autres systèmes de balanciers compensateurs. — La compensation par lames bi-métalliques laisse quelque chose à désirer pour la construction des appareils auxquels il importe de donner la plus grande précision possible, les chronomètres. En effet, la courbure des arcs bi-métalliques varie suivant une loi bien difficile à saisir, qui n'est sûrement pas celle qui pourrait fournir une compensation exacte à toute température; elle varie avec l'état des métaux laminés, leur épaisseur relative, la force centrifuge qui tend à ouvrir les arcs. A l'aide des masses de position variable dont on garnit leurs extrémités, on parvient à les régler pour deux températures voulues, mais on ne remédie pas aux variations qui se passent en dehors ou même en dedans de ces limites.

Toutefois, avec le peu de place dont on dispose, avec la nécessité de ne pas compliquer, par des pièces juxtaposées, un petit balancier qui doit se mouvoir avec beaucoup de vitesse et rester toujours bien centré, on n'a encore rien trouvé qui fût préférable aux lames bi-métalliques.

Nous nous contenterons d'indiquer ici, en quelques mots, les principaux essais tentés en dehors de ces lames.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On a essayé de placer sur les rayons du balancier, fait entièrement en laiton, de petites tringles d'un métal moins dilatable que le laiton, d'acier par exemple, qui sont assemblées avec la couronne du balancier, à l'extrémité du diamètre qu'elles forment, et qui, assez longues, portent à leur extrémité des masses pesantes. Ces masses, se rapprochant du centre, lors de l'accroissement du rayon du balancier par la dilatation, paraîtraient, théoriquement bien construites, pouvoir fournir toute la régularité du pendule à gril, mais, en pratique, les résultats sont insuffisants. La longueur du rayon est trop petite, relativement aux différences de dilatation des métaux que l'on peut employer pour que ce système puisse suffire.

Un second système imité de Pierre Leroy, et procédant du compensateur à mercure appliqué aux chronomètres, a été tenté plusieurs fois. M. Loseby (de Londres) a mis à l'Exposition universelle de 1851 un balancier de cette nature pour compléter la compensation obtenue avec des arcs bi-métalliques. Il forme la masse de compensation avec le réservoir d'un petit thermomètre à mercure, dont la tige se dirige vers le centre du balancier en suivant une courbe d'autant moins prononcée qu'elle se rapproche plus du centre.

Un allongement d'un millimètre de la colonne de mercure aura une influence tout autre s'il se produit dans la partie du tube la plus courbée et qui fait presque partie du cercle du balancier, ou bien si, comme cela arrive, la température s'élevant, il se produit dans la partie la plus rapprochée du centre. — Ce système serait bon à cause de la possibilité de faire varier à volonté les mouvements du mercure par une proportion et une forme convenable du réservoir et de la tige, si la complication qui en résulte ne faisait naître d'autres inconvénients, si la difficulté de disposer symétriquement des appareils identiques autour de l'axe du balancier n'était très-grande.

§ III. — ÉCHAPPEMENT.

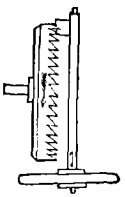
Nous avons vu comment il était possible de réaliser pratiquement l'isochronisme des oscillations d'un régulateur qui constitue l'âme de tout appareil chronométrique. Pour que cet isochronisme subsiste, une condition indispensable reste à remplir, c'est que le mouvement du régulateur ne diminue pas peu à peu; car par l'effet de la résistance de l'air, des frottements, tout pendule, tout balancier serait bientôt ramené au repos, si des impulsions successives ne venaient lui restituer une force vive égale à celle consommée en chaque instant par le travail des résistances. Telle est la fonction principale que remplit le genre d'organe constitutif de toute horloge dit échappement qui est chargé de communiquer au régulateur en chaque instant une quantité convenable du travail fourni par le moteur. Leur seconde fonction est de faire naître pour chaque oscillation un élément de chemin circulaire, une partie de rotation qui rend facile l'enregistrement sur un cadran du nombre des oscillations, par communication entre rouages successifs, et cela en suspendant la production du travail moteur, le déroulement du ressort ou du poids moteur par exemple, de telle sorte qu'au lieu d'être consommé en un instant, il suffise pendant une longue période de temps à surmonter les frottements et résistances intérieures de l'appareil à la vitesse normale des organes.

Satisfaire à ces conditions sans altérer l'isochronisme des oscillations du régulateur, tel est le problème à résoudre par les échappements. Comme ils consistent essentiellement en un système d'arrêt du mouvement de rotation imprimé par la force motrice, il est facile d'en combiner bien des dispositions, bien des systèmes. C'est une maladie de l'horlogerie moderne que chacun cherche l'échappement parfait capable d'agir sans huile, sans frottement, etc. Nous allons voir qu'il y a peu à faire dans cette voie, où tout ce qu'il était possible d'imaginer paraît avoir été fait et où les systèmes adoptés donnent les meilleurs résultats quand l'exécution est convenable, et paraissent se rapprocher beaucoup des limites de la perfection qu'il est possible d'obtenir dans les œuvres qui sortent de la main de l'homme.

1° *Échappement à recul.*

Nous parlerons d'abord de l'échappement imaginé le premier et qui servit longtemps et exclusivement pour tous les appareils servant à la mesure du temps. Cet échappement, dit à palettes, est essentiellement à recul, condition essentielle du mode d'action du balancier régulateur, employé pour modérer le déroulement du rouage par leur effet d'inertie. Décrivons son mode d'action.

Dans l'*échappement à palettes* (fig. 3573), le mouvement du balancier est communiqué à son axe placé à angle droit de la roue d'échappement et qui porte des palettes formant entre elles un angle d'environ 90°, en sorte que, lorsque échappe une dent de la roue sur laquelle agit l'une des palettes, l'autre se présente à une dent diamétralement opposée de la roue, qui l'écarte à son tour, tellement que la roue tournant toujours du même côté, le balancier va et vient sur lui-même, et ses vibrations règlent et modèrent la vitesse de la roue.



3573.

Cet organe était le seul régulateur des premières horloges ; n'agissant que par sa seule inertie, retardant le déroulement du rouage en raison de sa masse, il était bien imparfait jusqu'à ce que Huyghens eût muni le balancier d'un ressort spiral.

Nous ne parlerons ici que du cas où le balancier est armé d'un ressort spiral isochrone, et alors, bien que cet échappement soit maintenant abandonné et qu'on lui préfère celui à cylindre, il peut, bien construit, donner de bons résultats. Voici les règles qui doivent être suivies pour sa construction, d'après M. Wagner : proportion assurant, pour une montre, un mouvement suffisant du balancier :

1° Ouverture des palettes (angle qu'elles font entre elles), de 100 à 115 degrés ;

2° Longueur des palettes égale à la moitié de l'intervalle d'une dent à l'autre ;

3° Inclinaison de la face des dents de la roue par rapport à son axe, 30 à 35 degrés ;

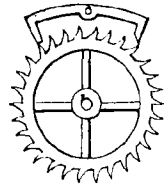
4° Levée totale de 40 degrés, c'est-à-dire que l'espace parcouru par l'échappement pendant la durée du contact d'une dent doit comprendre 20 degrés à droite et à gauche.

Nous n'entrerons pas dans d'autres détails relativement à cet échappement aujourd'hui abandonné avec juste raison. Les ébranlements résultant de chocs ne sauraient être le moyen d'action d'un appareil à mesurer le temps. Si le mode d'action de cet échappement convenait assez bien à des constructions imparfaites, grâce à des compensations d'erreurs qui s'y produisaient naturellement et si son fonctionnement était souvent assez satisfaisant sans renouvellement des huiles, les progrès de la construction ont rendu bien préférable l'emploi des échappements à repos dont nous allons traiter en détail. C'est surtout pour les horloges que ceci est vrai, l'échappement à palettes ne pouvant fonctionner avec un pendule décrivant de petits arcs, condition nécessaire, comme nous l'avons dit, de l'isochronisme du pendule.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° *Échappements à repos.*

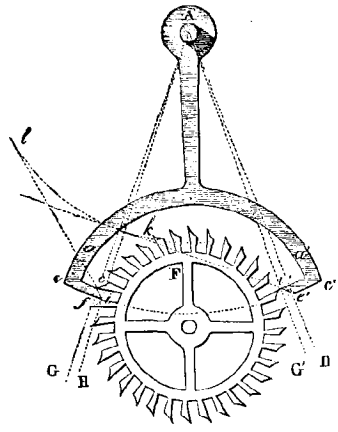
Échappement à ancre. — Un pendule oscillant dans des temps égaux et entraînant avec lui dans son mouvement deux arrêts réunis par une barre, une espèce d'ancre qui fait corps avec lui, telle est la forme la plus employée. Cet échappement offre cet avantage sur le précédent, que les palettes sont dans le plan de la roue d'échappement. Dans la position représentée dans la figure, la roue est arrêtée par le bec de gauche de l'ancre et l'action du moteur suspendue. Il en sera de même pour le bec de droite de l'ancre à l'oscillation inverse du pendule. En deux oscillations, il passe ainsi une dent devant chaque bec, et la roue fait un tour en une minute, si elle porte 30 dents et si le pendule est de la longueur convenable pour battre les secondes.



3574.

Entrons dans quelques détails relativement à la construction et au tracé de cet échappement en traitant de l'échappement de Graham, qui n'est qu'une variété de l'échappement à ancre souvent employée dans les horloges de précision.

L'ancre oscille autour du point A (fig. 3575) par



3575.

l'effet du pendule, qui se meut en arrière et est lié avec elle par une pièce dite *fourchette*, qui, faisant partie de l'ancre, embrasse la tige du pendule.

Les becs *ce*, *c'e'*, d'une épaisseur égale à l'intervalle entre deux dents de la roue pour éviter tout choc, sont formés d'un arc de cercle décrit du centre A; ce sont eux qui ont pour fonction d'arrêter les dents de la roue d'échappement.

Ils sont terminés par les plans inclinés *ei*, *e'i'* contre lesquels la roue F vient s'appuyer pour forcer le pendule à continuer son oscillation.

Si le bec se terminait par une ligne passant par le centre A (qui, d'après la construction, serait tangente à la roue), il est évident qu'aussitôt que la partie supérieure du bec atteindrait l'extrémité de la dent, la roue F, devenue libre, tournerait, et la seconde fonction de l'échappement ne serait pas satisfaisante. Mais en le terminant par un plan incliné, l'ancre est repoussée du petit arc *if*. Soit *e* l'épaisseur du bec, α l'angle du coin additionnel, on aura $if = e \text{ tang. } \alpha$, et l'angle supplémentaire β décrit (GAH sur la figure) sera obtenu, $l = A\,i$ étant la longueur du rayon de l'échappement, par l'équation $l\,\beta = if$, d'où $\beta = \frac{e \text{ tang. } \alpha}{l}$. Réciproquement l'angle β étant donné, cette formule pourra servir à déterminer tang. α.

On voit sur la figure comment on trace les becs d'après la grandeur assignée à cet angle β. Supposons qu'on veuille le faire de deux degrés (il varie en général de deux à trois degrés). On mène les droites AG, AG' tangentes à la circonférence de la roue F, points de tangence qui détermineront le tracé de l'ancre et la position de deux dents sur la roue, l'une quittée par l'un des becs, tandis que l'autre commence à être supportée par l'autre bec. Si on mène les deux lignes AH, AH' faisant un angle de deux degrés avec les tangentes AG, AG', les droites *ei*, *e'i'* qui joignent les points de rencontre de ces lignes avec celles qui limitent l'épaisseur des becs, formeront les plans inclinés correspondant à un angle β de deux degrés.

Il importe de remarquer que si on faisait tourner les lignes AG', AH' autour du point A, jusqu'à ce qu'elles coïncidassent avec les lignes AG, AH, il est évident que les lignes *ei*, *e'i'* coïncideraient également. Si donc on avait tracé du point A un cercle tangent à la première, la seconde prolongée, qui se confond alors avec elle, eût été tangente au même cercle.

Il résulte de cette observation le moyen de faire toujours des fuyants semblables, dans un même échappement ou des échappements différents, en s'assurant, à l'aide d'un cercle ou disque, si les deux fuyants se dirigent à une même distance du centre de l'échappement, et si, par suite, les moments des impulsions dues à la roue sont bien égaux : au reste cette égalité absolue n'est pas d'une extrême importance pour les deux becs d'un même échappement; ce qui importe surtout à la régularité, c'est que la somme des impulsions des deux becs soit constante.

L'échappement étant construit d'après ces données, il est évident que, pendant le mouvement de la roue F, la pointe de la dent placée au sommet du fuyant *ei* forcera l'ancre à se déplacer de droite à gauche de la quantité $e \text{ tang. } \alpha$ dont ce fuyant pénètre en dedans de la circonférence de la roue, et que l'autre fuyant pénétrera de la même quantité entre deux dents de l'autre côté de la roue ; de sorte que lorsque le fuyant *ei* laissera échapper la dent qui le pousse, une autre dent se trouvera en contact avec le sommet *e'* du fuyant *e' i'*; mais le mouvement acquis par le pendule, en vertu de l'impulsion qu'il vient de recevoir, continuera d'entraîner l'échappement dans la bonne direction ; de sorte que la pointe de la dent, au lieu d'agir immédiatement sur le fuyant *e' i'*, restera en contact avec la courbe *e' c'* pendant la continuation du mouvement de droite à gauche du pendule et de l'ancre, et pendant leur retour de gauche à droite, jusqu'à ce que le sommet *e'* du fuyant *e' i'* soit revenu à la pointe de la dent (cette quantité s'appelle arc additionnel ou supplémentaire) ; cette dent, agissant ensuite sur ce fuyant, donnera à l'échappement une impulsion de gauche à droite qui restituera le travail perdu par les frottements depuis l'impulsion précédente.

Nous avons admis dans ce qui précède que les becs de l'échappement étaient placés sur la tangente à la roue menée du point A. Il est aisé de montrer que cette position est la plus convenable. En effet, la roue en tournant ne peut agir que dans le sens de sa circonférence, perpendiculairement à la tangente au point de contact; si donc celle-ci ne passe pas par le point A, il y aura décomposition de la force autour du point de contact de la dent, et, par suite, emploi nuisible d'une

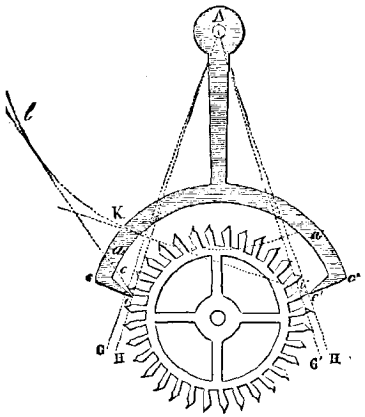
EFERUS - Recherche & Classification numérique

partie de cette force à faire naître des frottements sur les pivots, tendance à les déplacer.

Les arcs *ce*, *c' e'* étant décrits du centre d'oscillation A pris pour centre, il en résulte que, pendant la durée du contact de chaque dent avec ces arcs, la roue F n'a aucun mouvement. C'est pour cela qu'on dit, dans ce cas, que l'échappement est *à repos*. S'ils étaient remplacés par des lignes enveloppant ces arcs, l'échappement serait *à recul* : c'est-à-dire que l'action du pendule pendant l'arc supplémentaire ferait rétrograder la roue d'échappement.

Les parties essentielles de l'échappement sont donc ainsi déterminées, savoir : 1° l'épaisseur des becs déterminée par l'écartement des dents de la roue ; 2° le tracé du plan incliné ; 3° le tracé de l'arc de repos.

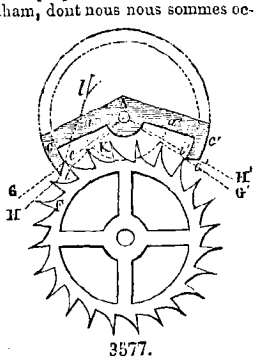
Hors ces points fondamentaux, tout le reste est arbitraire ; aussi voit-on varier à l'infini des dispositions fondées sur les mêmes principes, et non-seulement on peut modifier ainsi les formes générales, mais encore varier le tracé du fuyant en le plaçant sur les dents de la roue (fig. 3576) ; ou bien, ce qui se fait le plus



3576.

souvent, les faire porter moitié aux dents, moitié aux becs.

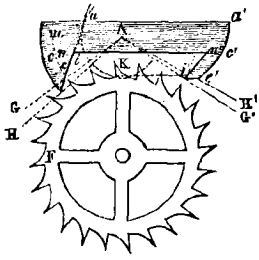
L'échappement à ancre proprement dit ne diffère de l'échappement de Graham, dont nous nous sommes occupés plus spécialement jusqu'ici, qu'en ce que son centre d'oscillation est beaucoup plus rapproché du centre de la roue. On l'exécute à repos et à recul.



3577.

La figure 3577 montre la première disposition ; la construction s'en fait suivant les principes déjà énoncés : l'obliquité du plan incliné se détermine en raison de l'angle d'oscillation supplémentaire ; la hauteur des becs par l'écartement des dents, et les courbes de repos sont des arcs de cercle décrits du centre d'oscillation de l'échappement pris pour centre.

La figure 3578 représente l'échappement à ancre à *recul* ; il est tracé de la même manière que le précédent, sauf que les arcs de repos sont remplacés par des courbes faisant un angle plus ou moins ouvert avec elles, suivant la quantité plus ou moins grande de recul qu'on veut donner à la roue pendant le parcours de l'arc supplémentaire.



3578.

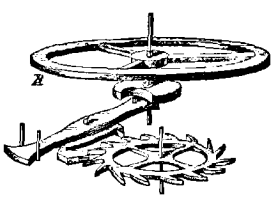
C'est une question fort controversée en horlogerie que celle de la supériorité relative des échappements à repos et à recul. Quelques horlogers préfèrent encore ces derniers, surtout avec des pendules courts, pour l'horlogerie commune ; il se produit, par les résistances du recul, une espèce de compensation entre les variations de la force motrice et résistante ; aussi rencontre-t-on encore bien des échappements à recul dans l'horlogerie commune. Mais dans l'horlogerie de précision, pour l'exécution des horloges astronomiques surtout, en employant des pendules de poids et de longueur suffisants, les échappements à repos sont bien préférables. En faisant les palettes en pierre dure, de manière à diminuer les frottements pendant le repos et à les rendre indépendants de l'épaississement des huiles, on arrive à une régularité admirable.

L'excellence de l'échappement à repos résulte de ce que l'effort transmis par l'échappement étant petit, son action se faisant sans choc, une faible variation de la force motrice a très-peu d'effet pour changer la durée d'une oscillation du pendule, bien qu'elle modifie sensiblement l'étendue de cette oscillation.

Le frottement uniforme pendant le repos se produit d'un côté de la verticale comme s'il s'ajoutait à la gravité, et de l'autre, en sens inverse. Mais toujours le travail consommé tend à diminuer l'arc du pendule en raison de la valeur du frottement diminué par l'emploi de pierres dures.

Une diminution de force dans un échappement à repos tend à produire de l'avance en diminuant les oscillations, et l'effet est d'autant moindre que le pendule est plus long et plus lourd.

Il importe d'observer qu'il ne peut être que désavantageux d'augmenter la grandeur de la roue d'échappement au delà de ce qu'exige la force en proportion du nombre des dents, parce que sa masse, son inertie augmentant plus rapidement que ses dimensions, elle ne suit plus les becs de l'ancre assez vite. Dans les horloges astronomiques ou régulateurs, la roue d'échappement a généralement un diamètre de 2 à 3 centimètres. Dans les horloges de clocher, 10 à 12 centimètres suffisent parfaitement pour le diamètre d'une roue d'échappement de trente dents.



3579.

Échappement à ancre pour les montres.— L'échappement généralement employé aujourd'hui en Angleterre pour les montres est l'échappement à ancre disposé comme

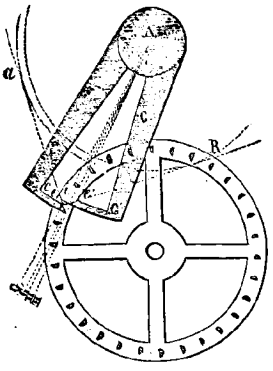
EFERUS - Recherche & Classification numérique

HORLOGERIE.

le représente la figure 3579; c'est le balancier qui, agissant sur l'extrémité d'un levier, fait engager et dégager le bec de l'ancre, comme le fait le pendule dans les systèmes précédemment décrits.

A. Bréguet a employé cette disposition dans beaucoup de ses montres et de ses meilleures, mais en employant une ancre embrassant la roue, les palettes étant placées sur les deux tangentes, condition essentielle pour arrêter les décompositions de force et ne pas fatiguer les pivots.

Échappement à chevilles. — Nous parlerons maintenant d'un autre genre d'échappement à repos, dont la figure 3580 peut donner une idée. On voit que le mouvement régulier du pendule sert à arrêter successivement les chevilles équidistantes fixées sur la face de la roue d'échappement.



3580.

La seule différence importante qui distingue cet échappement de celui dont nous venons de parler, c'est que par la forme des dents de la roue, les becs qui les arrêtent se trouvent placés d'un même côté de celle-ci ; cette disposition présente sur les autres l'avantage de ne pas agiter dans leurs trous les pivots de l'axe de l'échappement : aussi est-ce le système qui a le plus de durée pour les très-fortes horloges où les chevilles peuvent avoir de fortes dimensions.

La position des becs, le tracé des arcs de repos, des plans inclinés se déterminent comme dans le système précédent. Les chevilles, d'après leur forme même (elles sont demi-cylindriques), portant une partie du plan incliné, il faut dans la détermination de l'angle supplémentaire tenir compte du demi-diamètre des chevilles.

Lorsqu'on connaît le diamètre de la roue d'échappement et le nombre des chevilles, on a, par cela même, la hauteur des deux becs de l'échappement : car elle doit être égale à l'intervalle laissé entre deux chevilles, moins l'espace réservé entre eux pour laisser passage à ces mêmes chevilles, c'est-à-dire leur épaisseur.

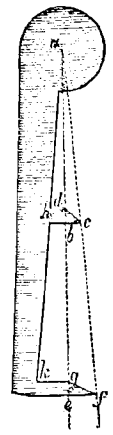
Il est clair que le prolongement du fuyant du plus long bras, toujours placé à l'extérieur de la roue, comparé à celui du petit bras, passera à une distance du centre plus grande de la différence de longueur entre les deux bras.

Nous allons voir par ce qui suit que les deux bras, bien qu'inégaux, tracés pour produire un même angle de levée, donnent des impulsions parfaitement égales.

De la longueur des bras des échappements. Il importe de considérer ce qui résulte de la variation de longueur des bras des échappements, dimension qu'on fixe souvent sans motifs. Pour une même levée *l'impulsion est la même que pour des longueurs quelconques des bras de l'échappement, puisque l'arc décrit est le même.*

Ce qui varie avec la longueur des bras de l'échappement, ce sont des frottements (fig. 3581).

En effet, pour un même angle de levée, les angles des arcs supplémentaires sont sensiblement les mêmes ; or, les arcs sont en proportion des rayons, et comme la pression de la roue d'échappement est constante, le travail du frottement croît donc sur les arcs supplémentaires proportionnellement à la longueur des bras. Pour les fuyants, il en est de même, puisque leur longueur est sensiblement proportionnelle à la longueur des bras. Par conséquent, afin de diminuer les frottements, on doit réduire autant que possible la longueur des bras des échappements, sans atteindre toutefois la limite où l'on rencontrerait d'autres inconvénients, tels que des fuyants trop rapides et avec lesquels la moindre usure, le moindre agrandissement des trous des pivots de l'échappement viendrait bientôt altérer très-sensiblement la durée des oscillations du pendule.

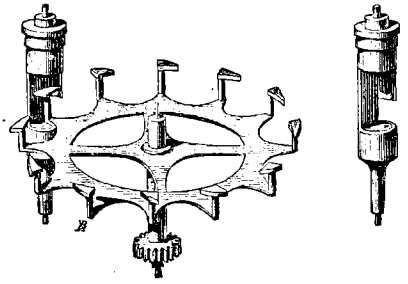


3581.

M. Wuilliamy, célèbre horloger anglais, a construit pour la grande horloge de Windsor un échappement à chevilles dans lequel les altérations qui peuvent résulter du contact des chevilles et des becs d'échappement sont habilement évitées.

Sachant que le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces, il a agrandi les plans inclinés de l'échappement et allongé les chevilles, et de plus, comme le moindre dérangement, la variabilité de dilatation des pièces suffit, dans le mode habituel de construction, pour être une cause d'usure, par suite de la moindre obliquité des surfaces en contact, au lieu de se contenter de garnir les chevilles de rouleaux, comme on le fait quelquefois pour ces grandes constructions, il a articulé les touches tant suivant un axe horizontal que perpendiculairement au plan de cette même touche. Comme elles sont ramenées en place par un ressort, il en résulte une très-grande douceur dans l'action de chaque cheville pour faire prendre à la touche l'inclinaison qu'elle réclame pour un contact parfait.

Échappement à cylindre (fig. 3582). Dans ce système,



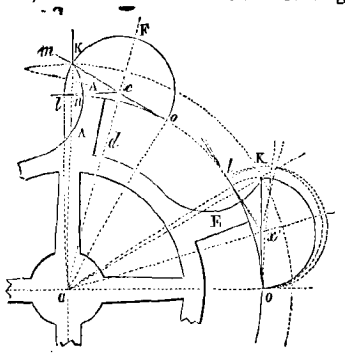
3582.

le plus employé aujourd'hui pour les montres, la roue d'échappement est garnie de plans inclinés saillants à sa partie supérieure. Le balancier est porté par un arbre cylindrique, dont une portion est creusée et forme un demi-cylindre creux. La roue, en y entrant, se trouve arrêtée par suite de la rotation du balancier, qui amène la partie pleine du demi-cylindre vers l'extrémité de la dent qui y est entrée. Le retour du balancier la laisse sortir, et ainsi à chaque oscillation, aller et retour, une dent entre et sort avec la régularité qui résulte de la perfection du ressort spiral qui entoure l'axe du balancier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cet échappement est à repos, en ce sens que l'action de la roue d'échappement est suspendue pendant que la dent est engagée dans le cylindre, et tout à fait analogue à celui de Graham ou celui à ancre, et n'en est qu'un cas particulier, celui où on suppose les bras réduits à leur moindre développement n'embrassant qu'une seule dent entre leurs becs. Nous allons donc pouvoir le tracer à l'aide des mêmes principes, mais en ajoutant toutefois la condition de faire décrire au balancier les oscillations les plus étendues possibles. Celui-ci agissant comme volant, c'est en lui donnant la plus grande vitesse qu'on le rend plus insensible à tous les dérangements provenant de causes extérieures, condition essentielle pour des pièces qui ne doivent pas rester en place. Aussi certains constructeurs lui font-ils parcourir jusqu'à 350°, c'est-à-dire la circonférence entière.

Supposons 6 dents à la roue; chaque dent sera contenue dans un douzième de circonférence. Soit *o* (fig. 3583) la naissance de la dent. C'est sur la tangente



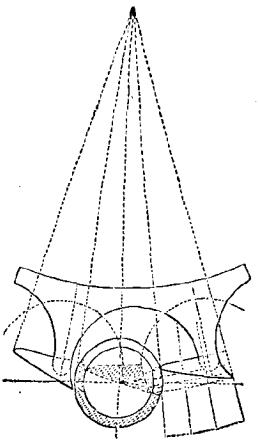
3583.

menée en ce point à la roue qu'il faut placer le centre de l'échappement; dans toute autre position, il y aura évidemment décomposition de forces autour des pivots du cylindre et fatigue pour ceux-ci. Cette tangente, terminée au rayon faisant avec *ao* un douzième de circonférence, est le diamètre du cylindre. L'action de l'inclinaison de la face de la dent, supposée terminée à la tangente *om*, sera évidemment de faire parcourir au cylindre l'arc *kl* (obtenu en prolongeant le cylindre jusqu'à la circonférence). Or, l'angle *mxl* (*xl* est une tangente au point *l*) est égal à *lao*, étant tous deux égaux à 180 degrés moins *lxo*, or *lao* est plus grand que *nao;* on peut donc prendre pour règle approchée pour la pratique, l'angle de levée d'un échappement à cylindre, la circonférence de la roue divisée par le double du nombre de dents qu'elle porte. Il est clair que l'arrondi des lèvres du cylindre doit être compté aussi bien que le plan incliné des dents. Cette portion d'arc varie de 5 à 10 degrés, suivant l'épaisseur des lèvres et l'arrondi plus ou moins prononcé. Pour augmenter l'angle de levée, il faut ou reculer en avant de la tangente le centre du cylindre, ce qui augmente les frottements sans accroître le travail de l'impulsion, ou ouvrir davantage le cylindre, ce qui diminue les oscillations.

Il faut remarquer que la levée déterminée d'après ce qui précède correspond à un arc plus grand que celui pendant lequel l'impulsion a réellement lieu. En effet, au moment où le fuyant d'une des dents pourrait commencer à agir, le cylindre a acquis par l'action du ressort spiral à peu près sa plus grande vitesse de mouvement; la roue, au contraire, passe, dans le même moment, de l'état de repos à celui de mouvement; elle a donc moins de vitesse que dans le cours de la levée. La dent ne peut donc atteindre la lèvre du cylindre, qui fuit devant elle en ce moment, par suite de l'excès de vitesse, qu'après avoir parcouru quelques degrés en avant. On doit donc ne pas rendre la levée trop faible pour que la partie ainsi perdue ne soit pas une fraction considérable de l'impulsion totale, et surtout construire la roue aussi légère que possible pour en diminuer l'inertie.

Courbe des dents. — La courbe des dents se trace d'après la condition que la rotation de la roue soit proportionnelle à celle du cylindre, afin de communiquer une impulsion constante pendant la durée de la levée : la résistance qu'oppose le cylindre étant supposée constante.

Divisons l'arc sous-tendu par la dent en trois parties égales (fig. 3584) et traçons les positions de la lèvre antérieure du cylindre à l'origine et dans ces trois positions par trois arcs de cercle partageant en trois parties égales la hauteur de la levée; la rencontre de ces arcs avec les premières lignes tracées donnera trois points de la courbe de la dent. On en obtiendra par la même méthode un nombre quelconque.



3584.

Cette courbe étant peu convexe a été remplacée par quelques horlogers par une ligne droite sans que dans la pratique il en résulte une différence sensible; ce qui s'explique suffisamment par la petitesse des organes. Toutefois, par ce tracé, l'impulsion est irrégulière et la convexité devrait être assez rapidement croissante près de l'origine, parce que le balancier fuit en ce moment devant la dent de la roue qui, malgré sa légèreté, met quelque peu de temps à se mettre en mouvement.

L'échappement à cylindre, construit de substances très-dures (le cylindre en pierre fine, la roue en acier) pour que les surfaces conservent leur poli, fonctionne très-bien et fournit l'avantage de permettre d'obtenir des montres de forme très-élégante et très-plates, les deux axes de la roue et du balancier étant parallèles et pouvant être montés par suite sur un même plan.

Échappement Duplex. — Le désir d'obtenir la majeure partie des avantages de l'échappement à cylindre en faisant disparaître les résistances plus ou moins irrégulières du repos à l'intérieur du cylindre, en laissant plus de liberté au balancier et assurant mieux l'impulsion du régulateur que par le plan incliné qui le termine, a fait combiner l'échappement Duplex, dont on s'était longtemps exagéré les avantages.



3585.

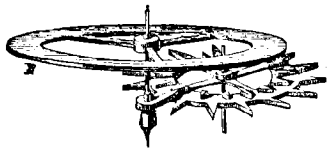
La figure 3585 en présente un fragment; ses

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dents sont taillées en rochet ou en étoile, mais très-longues et fortement espacées. Cet écartement d'une dent à l'autre est nécessaire, afin que, dans le milieu de cet espace, on puisse chasser une cheville dans le champ de la roue, perpendiculairement à sa surface. Ces chevilles sont implantées sur un cercle concentrique à cette roue, afin qu'elles se trouvent toujours à la même distance de l'axe du balancier.

L'axe du balancier porte un cylindre, qui est ordinairement un rubis, ayant une petite entaille, dans laquelle viennent se loger les pointes des longues dents en étoile de la roue. Au-dessus de ce rouleau est portée par le même axe du balancier une grande levée, qui arrive jusqu'aux chevilles, formées par la roue de champ qui fait corps avec la roue à étoile. Voici comment fonctionne cet échappement : il faut d'abord concevoir que la roue marche dans le sens qu'indique la flèche. La figure montre la dent, engagée dans l'entaille du rouleau; en même temps, la levée est remontée par la cheville, qui la pousse en arrière et imprime la vibration au balancier armé de son spiral; la dent sort aussitôt de l'entaile, et vient s'appuyer sur le rouleau; le balancier achève sa vibration, et le spiral le ramène ensuite jusqu'à ce que la petite entaille se présente devant cette dent; elle s'y engage. En même temps, la levée se présente devant la cheville, et elle pousse le balancier en agissant sur la levée, comme dans le premier cas. L'arc de levée est ici de 60 degrés. On voit que cet échappement 1° est à repos; 2° que le repos se fait sur le rouleau, du côté gauche; 3° que le balancier ne reçoit qu'une impulsion par chaque deux vibrations, ce que les horlogers appellent coup perdu.

Au lieu de chevilles rapportées, on emploie aujourd'hui un mode de construction qui donne bien plus de précision et de solidité, si elle ne peut être exécutée avec les outils les plus simples. Une couronne saillante sur le champ de la roue est réservée au tour et celle-ci



3586.

divisée en dents également espacées avec la machine à refendre, comme le montre la figure 3586.

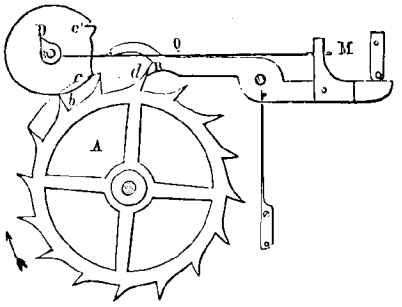
3° *Échappements libres.*

Échappement des chronomètres. — Dans les divers systèmes que nous avons passés en revue, la communication constante qui existe entre le rouage et le régulateur fait toujours participer celui-ci aux variations de la force motrice, par la variation qui en résulte dans les frottements et les résistances. L'isochronisme des oscillations du régulateur s'en trouve donc altéré, et pourtant c'est sur cet isochronisme que repose surtout la précision de la marche de l'appareil. Et si, pour les horloges, l'échappement à repos se trouve bien suffisant avec la régularité d'action des poids moteurs et de lourds pendules, il n'en est pas de même pour les appareils à ressort. Il était donc important de chercher un système d'échappement dans lequel le rouage et le régulateur fussent rendus indépendants, c'est l'échappement libre.

Cet échappement est à repos, mais ce repos diffère de celui des échappements précédents en ce que la roue, pendant le repos, ne touche ni ne s'appuie sur aucune partie mue par le régulateur. Elle est arrêtée par une pièce distincte de celui-ci, fixée aux parties fixes, de telle sorte que le régulateur achève sa vibration indépendamment de l'échappement.

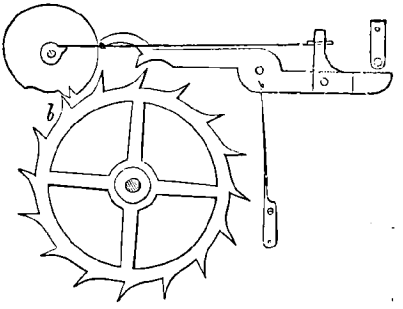
Voici comment il agit : le balancier, en faisant mouvoir l'axe auquel est fixée une petite saillie qui rencontre par-dessous un long ressort très-flexible, fait lever cet arrêt qui suspend le mouvement de la roue; quand il rencontre le ressort par-dessus, il ne fait que courber ce ressort, qui est très-fin, afin de s'ouvrir un passage pour terminer son oscillation.

La roue tourne d'une dent à chaque double vibration, et n'est en rapport avec le balancier que pendant qu'il décrit un arc peu étendu.



3587.

Les fig. 3587 et 3588, qui représentent les positions



3588.

de l'échappement pendant le repos et quand le mouvement a lieu, font bien voir comment les actions se succèdent.

Le ressort doit être très-flexible, puisqu'à chaque double vibration la dent D le rencontre deux fois, autrement il arrêterait, d'une manière sensible, le mouvement du balancier, et le spiral doit être fort; aussi se fait-il en spirale cylindrique dans les chronomètres. Par la même raison, la dent D doit être peu éloignée du centre B, pour que l'élasticité du ressort agisse sur l'axe par un bras de levier moins long et tende moins à nuire à ses vibrations. Si cependant elle était trop rapprochée de l'axe B, elle n'éprouverait, dans son mouvement, qu'un trop petit déplacement et ne dégagerait pas assez le ressort et la dent R pour produire sûrement la chute de l'arrêt *d*. Il faut donc adopter, par expérience, des proportions convenables.

Les deux circonférences A et B doivent se couper un peu; on fait le rayon de B moitié environ du rayon de A. Enfin la dent d'arrêt R est placée au point de contact de la tangente menée du centre de rotation de la pièce d'arrêt à la roue A, et le rubis ou talon d'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rêt R doit être incliné pour la sûreté de repos de la dent et le ressort MQ à peu près parallèle à la tangente menée par le centre de l'axe du balancier, pour que le dégagement de l'arrêt ait lieu sans presser sur la dent de la roue dans la direction de celle-ci.

Si les mouvements du balancier sont très-rapides, l'échancrure, et par suite la saillie *c'*, passe rapidement devant la roue d'échappement, et la dent *b* n'a pas le temps de l'atteindre. Il n'y aura donc pas d'impulsion, le mouvement du balancier ira alors en se ralentissant jusqu'à ce que la saillie *c'* passe assez lentement pour être choquée par la dent *b*; le moteur répare alors la force perdue à chaque double oscillation, et l'amplitude des oscillations du balancier devient constante.

On peut, avec grand avantage, faire parcourir au balancier de très-grands arcs, de 360°. On lui fait faire, en général, deux vibrations par seconde; la roue d'échappement, qui ne porte que 12 à 15 dents, marchant alors trop vite pour porter l'aiguille des secondes, on la monte sur l'axe d'une autre roue menée par la première.

Les chronomètres à échappement libre ont l'inconvénient de ne pas partir seuls quand on les monte, comme cela a lieu avec les autres échappements, tout l'effort se portant sur la dent R, qui résiste directement. Il faut, pour déterminer le mouvement, leur imprimer un mouvement rapide de rotation qui ébranle le balancier et la dent D et la fait, par suite, agir sur le ressort MQ.

La régularité que l'on parvient à obtenir à l'aide de l'échappement libre est vraiment admirable et s'explique aisément. En effet, l'isochronisme du spiral que rien ne vient altérer, puisqu'il se meut en liberté, est la base de cette précision. La variation de la force motrice, que l'on a soin de rendre la moindre possible, vient bien faire varier quelque peu l'effort nécessaire pour soulever l'arrêt; mais l'impulsion que reçoit le balancier croît aussi par suite du petit retard que cause l'accroissement de la résistance, d'où peut résulter une compensation parfaite.

Un motif de plus de l'excellence de l'échappement libre dit échappement d'Arnold, qu'il importe de signaler, c'est que, outre la liberté qu'il possède après l'impulsion donnée, il n'a pas besoin d'huile aux parties frottantes, surtout quand elles sont garnies de rubis d'Orient ou de saphirs, et quand ces pierres dures sont travaillées par d'habiles artistes qui n'y laissent subsister ni angles vifs, ni aucune aspérité. La liberté des oscillations du spiral, la douceur qui résulte de l'élasticité des ressorts, aident encore à l'excellence des résultats que fournit son ingénieuse combinaison. Toutefois il importe de bien se rendre compte de toutes les causes d'imperfection que peut présenter la pratique, et pour cela nous laisserons la parole au maître.

Quelques observations sur les échappements libres par A. Bréguet.

De toutes les communications de force d'un mobile à l'autre, la plus mauvaise, la plus destructible et celle cependant dont la pureté d'action est la plus importante, est celle transmise au régulateur pour réparer ses pertes. La raison de cette défectuosité insurmontable provient de ce que le plan incliné faisant partie du régulateur qui doit recevoir l'impulsion, étant toujours en oscillation, la dent de la roue qui l'attaque doit le frapper avant et après le centre (le point de tangence de la roue), 30° avant et 30° après environ, pour avoir 60° d'action, étendue nécessaire pour ne pas être exposé à voir le mouvement s'arrêter, et cependant ne pas prendre trop d'étendue pour courir la chance d'un renversement par suite de mouvements étrangers. La chute de l'impulsion de la roue d'échappement, sa traînée avant le centre que jusqu'à présent on n'a pu éviter, sont des causes de variation toujours existantes, qui donnent des résultats variables en raison de causes tellement insaisissables, qu'ils semblent dus au hasard. Car pour dix échappements construits de manière à obtenir l'identité la plus absolue, entre lesquels on ne pourra découvrir la moindre différence, il y aura dix contacts différents, tant pour le rappel de la force motrice que pour l'impulsion, les surfaces de contact qui se pénètrent auront plus ou moins d'adhésion; enfin il en est qui se détruisent. Il est facile de juger combien l'altération des surfaces, de la partie par l'intermédiaire de laquelle se transmet la force, produit de changement dans un garde-temps bien réglé. J'ai souvent fait pour le démontrer l'expérience suivante :

Si avec une petite pointe de bois imbibée d'huile de bonne qualité, on touche les dents d'une roue d'échappement à la partie qui agit sur la levée du régulateur, et qu'on la passe aussi sur le doigt de détente qui rappelle la force motrice, on obtient en général un changement de 7, 8, 10 secondes en 24 heures, et beaucoup davantage si les parties agissantes sont un peu dégradées.

L'échappement libre, qui est reconnu le meilleur avec raison pour les garde-temps, a pourtant encore beaucoup de défauts qui engendrent des anomalies continuelles, dont heureusement il en est qui s'entre-détruisent en partie, mais d'une manière très-variable.

On vient de voir les vices de l'impulsion sur la levée; nous allons voir ceux du rappel. On sait que dans tout échappement libre, après l'impulsion donnée, la roue va prendre son repos contre une pièce mobile qui s'y est placée pendant que la roue était en action sur la levée du régulateur. Cette roue, une fois en repos, ne peut se mettre en mouvement qu'autant qu'un corps en mouvement déplace cette pièce mobile, et comme il n'y a de pièce en mouvement que le régulateur, il faut que ce soit lui qui déplace la pièce mobile qui tient la roue en repos. Pour que le mouvement du régulateur n'éprouvât pas de variation de ce fait, il faudrait que la résistance de cette pièce mobile demeurât toujours la même. Mais la roue presse dessus inégalement à cause de la variation de la force motrice, des frottements des rouages, de la nature des parties qui se touchent et qui ont besoin de graisse. Si cette pièce mobile est un double ressort, il se trouve deux points d'appui qu'il faut détacher. Ces ressorts ont une résistance élastique suffisamment constante, mais l'adhésion des points d'appui ne l'est nullement; il s'en faut souvent de beaucoup, et ce qu'il y a de remarquable, c'est que l'usure est toujours sur les points d'appui sur lesquels ils tombent toujours avec une certaine vitesse, en produisant un ébranlement toujours à la même place. Au premier choc du rappel, il y a toujours une résistance d'inertie qui ébranle en raison du plus ou moins de vitesse du régulateur, c'est-à-dire en raison du plus ou moins d'étendue de ses arcs et aussi du plus ou moins de pression de la roue sur les repos et d'adhésion de la dent sur ledit repos.

Une foule d'anomalies naissent de tout ce jeu de transmission de la réparation sur ce régulateur qui devrait rester intact et viennent troubler les effets si simples, si parfaits que donne le régulateur isolé. Combien ai-je fait d'efforts pour perfectionner cette communication !

Cette analyse si délicate fait apprécier toutes les causes d'altération que le constructeur doit étudier avec soin pour éviter les causes d'usure par la régularité de l'exécution, la qualité des substances employées, la légèreté des mobiles, la parfaite élasticité des ressorts, en un mot une parfaite entente de la mécanique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

physique, une connaissance parfaite des corps dans son application à l'horlogerie.

Remontoirs d'égalité et échappements à remontoirs. — Nous avons déjà dit que les remontoirs d'égalité des horloges consistaient à employer le moteur principal à remonter périodiquement un poids constant qui devient seul moteur pour la durée d'un certain nombre d'oscillations du pendule. C'est sous cette forme qu'il avait été conçu par Leibnitz. Huyghens tenta de le réaliser en appliquant la force motrice directement à l'échappement au moyen d'un très-petit poids dont la soie était enroulée sur l'axe de la roue d'échappement, et comme les révolutions fréquentes de ce mobile dévidaient la soie très-rapidement, il donna à celle-ci la disposition d'une corde sans fin qu'il fit remonter à chaque demi-minute par le reste du rouage disposé en conséquence.

Ce genre de dispositions inspirées surtout par les imperfections de la taille des engrenages à l'époque de Huyghens n'a plus aujourd'hui le même intérêt, et cependant ils exercent encore chaque jour l'esprit d'inventeurs pour lesquels une combinaison parfaite de remontoir paraît une espèce de pierre philosophale.

Il serait impossible, en se renfermant dans des limites raisonnables, de décrire les diverses inventions applicables tant aux horloges qu'aux chronomètres. Pour ces derniers, ils ont toujours jusqu'ici complétement échoué, et il semble qu'il doit en être toujours ainsi, non-seulement à cause de l'extrême difficulté que présente leur construction sur une si petite échelle, mais parce que le rouage d'un chronomètre est si léger que la moindre complication de mécanisme entraîne des accroissements de frottement, d'usure, de résistances passives plus préjudiciables que la minime variation de la force qui pousse le ressort d'arrêt contre la roue d'échappement.

Aujourd'hui ce n'est que dans les grandes horloges que l'on rencontre des remontoirs, et que la grandeur des résistances intérieures du mécanisme peut en rendre l'action avantageuse pour obtenir une régularité satisfaisante.

Remontoirs d'égalité pour horloges. — C'est essentiellement en poids pouvant être relevés par une action d'étendue limitée, que consistent les remontoirs d'égalité.

Les deux principales dispositions, toutes deux d'ordre différentiel (Voir DIFFÉRENTIEL), en ce sens que les roues qui mettent le poids en mouvement ont la faculté de tourner autour d'une autre roue, se rapportent aux deux systèmes de rouages différentiels indiqués à l'article cité fig. 7 et 8.

Dans le premier cas, le poids remontoir adapté au levier est remonté d'une manière continue par une roue engrenant avec la roue du centre; mais cet effet ne peut avoir lieu qu'autant que la roue satellite s'appuie sur les dents de la roue d'échappement, c'est-à-dire que le poids agit seul sur l'échappement et par suite sur le régulateur.

Lepaute a adopté cette disposition pour les remontoirs de plusieurs de ses horloges publiques, mais il ne fait remonter le poids qu'après le passage d'un certain nombre de dents, et il régularise l'élévation du poids par l'intervention d'une résistance accessoire d'autant plus grande que le déroulement du ressort moteur est plus rapide. Le volant à ailettes satisfait à ces conditions.

Dans le deuxième système, on emploie une roue satellite placée entre deux roues parallèles.

La roue pesante montée librement sur l'axe tend à s'élever constamment par l'action d'une des grandes roues appartenant à l'horloge et à descendre en s'appuyant sur la roue parallèle en communication avec la roue d'échappement. Elle roule donc alternativement dans un sens et dans l'autre pour chaque dent de la roue d'échappement qui cesse d'agir, et celui-ci comme le pendule ne sont actionnés que par le poids du remontoir, c'est-à-dire d'une manière constante, pourvu que sa position moyenne ne varie pas.

S'il en est ainsi, des variations notables de la force qui conduit la roue motrice, ou de la résistance à surmonter, n'auront aucune influence sur la roue d'échappement et par suite sur le mouvement de l'horloge.

Reste à faire que la position de la roue reste constante, ce qui revient à détruire les excédants du travail moteur que l'on ne saurait faire disparaître complétement dans les grandes horloges où des résistances variables assez importantes peuvent se produire accidentellement par l'action du vent, par exemple, sur des aiguilles de grande dimension. C'est à quoi M. Wagner parvient par l'introduction de la résistance de l'air employé d'une manière nouvelle, par un système de modérateur particulier. A cet effet la roue satellite porte une espèce de cloche en forme de cylindre, suspendue à la cage du rouage satellite et destinée à recouvrir un petit ventilateur remplaçant le volant modérateur ordinaire; le petit ventilateur, mû par le rouage principal, tourne d'un mouvement continu, à la différence du volant ordinaire qui ne se meut que périodiquement après chaque dégagement. La vitesse du petit ventilateur est influencée par la position de la cloche et peut varier dans de grandes limites. Quand il est complétement recouvert et comme étouffé sous la cloche, il acquiert son maximum d'accélération; à mesure que la cloche le découvre, il se ralentit: il doit en être ainsi, puisque le travail du ventilateur est proportionnel à la masse d'air mise par lui en mouvement; dans le premier cas, il tourne rapidement dans une masse d'air qui ne change pas et à laquelle il a bientôt communiqué sa vitesse, tandis que, dans le second cas, il fonctionne dans un air sans cesse renouvelé par l'effet de la force centrifuge, qui exige de sa part un effort continu. La vitesse du ventilateur dépend donc de la position de la cloche par rapport à lui; or, nous avons dit que c'était le poids de la cloche suspendue à la cage du rouage satellite qui entretenait les vibrations du pendule; la cloche tendrait à s'abaisser à chaque oscillation, si le corps du rouage principal, qui se déroule en même temps que l'échappement fonctionne, ne la relevait incessamment en agissant de son côté sur le rouage intermédiaire qui la porte; il l'aurait bientôt relevée au delà du nécessaire pour compenser l'abaissement produit par les oscillations du pendule, si l'élévation de la cloche ne produisait pas immédiatement le ralentissement du ventilateur modérateur du déroulage du rouage principal; le ventilateur, en passant par toutes les vitesses qui dépendent de la position de la cloche, établit une si parfaite compensation entre son abaissement par le fait de l'échappement et son soulèvement opéré par le déroulage du gros rouage, moteur principal, que la cloche finit par entretenir, bien réellement par son poids, les oscillations du pendule en restant pourtant elle-même stationnaire.

Les changements de vitesse apportés dans le déroulage du rouage principal par les résistances variables, telle que menée d'aiguilles à grande distance, ou de grandes dimensions et exposées au vent, levée des marteaux de sonnerie, etc., ne peuvent modifier que pendant un temps fort court ce curieux état normal, puisqu'il tend sans cesse à se rétablir.

Remontoir à ressort. — M. Airy, le célèbre astronome anglais, a proposé un système de remontoir fort ingénieux. Pour prévenir les inégalités du rouage qui modifient l'impulsion communiquée au pendule, il emploie deux roues d'échappement, l'une servant pour l'arrêt et l'autre pour l'impulsion. La roue d'arrêt est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

celle qui fait partie du rouage, et la roue d'impulsion se meut sur le même arbre, montée sur un canon et réunie à l'autre par un ressort spiral.

Les palettes de la première, ne portant pas de plan incliné, abandonnent l'ancre qui rencontre alors la seconde, et l'impulsion est communiquée en raison de la roideur du ressort. L'avantage de cet échappement, c'est que l'impulsion est constante, ou du moins n'a pas de plus grande variation que celle de la force du ressort, variation provenant des changements de température, et qui est plus faible que les variations causées par le frottement du rouage; avec cet inconvénient, cependant, qui n'est pas sans importance, que la roue d'impulsion tourne avec plus de frottement, puisqu'elle se meut sur l'arbre de l'autre roue, que si elle tournait sur des pivots comme d'ordinaire. De plus le frottement du repos pour le même pendule est plus grand qu'avec la disposition ordinaire.

Cet accroissement de frottement contre-balance les avantages de cette disposition au point d'avoir empêché l'adoption de ce système. Il est absolument nécessaire pour un régulateur astronomique que le mécanisme en soit le plus simple possible. Tel qu'il est maintenant, il sera difficilement dépassé.

Montres. — Les observations sur les inconvénients de compliquer le mécanisme s'appliquent entièrement aux montres, et il n'y a pas à songer à y appliquer de remontoir d'égalité. Tout au plus une semblable construction est-elle admissible pour les pendules, et nous citerons à ce sujet la disposition suivante appliquée aux pendules de voyage.

Pendules. — Cette disposition est due à M. Boussard et combinée en vue d'améliorer les pendules de voyage, charmants petits appareils à échappement libre, dont le goût de la précision assure heureusement le succès. Il transforme les deux barillets de même puissance qui garnissent ordinairement les mouvements du commerce en deux barillets de puissance très-différente. Ainsi l'un de ces barillets est très-fort; le deuxième barillet, au contraire, est réduit aux dimensions du barillet d'une grosse montre et devient le remontoir; il est placé en porte à faux sur le prolongement de l'axe du premier mobile de la sonnerie, qui est en communication directe avec la denture du gros barillet. Le petit barillet n'a mission que de mouvoir les aiguilles, tandis que le gros doit, d'une part, actionner la sonnerie, et, d'autre part, remonter le petit barillet chaque fois que la sonnerie fonctionne. Dans ce mécanisme, la constance des efforts, envisagée par période de douze heures, est absolue, et l'uniformité et la régularité des pressions sont circonscrites dans moins d'un douzième du développement d'un ressort, qui donne de bons résultats dans une montre où il se développe des six tours entiers.

Ce résultat d'un remontage limité a été obtenu par un mécanisme très-simple, qui consiste à rendre à volonté l'axe du petit barillet indépendant de la bande ou noix d'arrêtage. Cette noix d'arrêtage porte d'un côté le rochet de retenue, et de l'autre le petit déclic qui isole le ressort dès qu'on veut lui faire dépasser le point déterminé auquel il doit fonctionner; en sorte que, quoi qu'on fasse extérieurement, le ressort du mouvement est toujours tendu au même point et fonctionne dans les mêmes limites de développement.

Observations sur les remontoirs. — Tous les systèmes décrits ci-dessus ne sont pas théoriquement, absolument parlant, des remontoirs parfaits, c'est-à-dire que l'action du moteur principal sur l'échappement et le régulateur ne disparaît pas complétement, et leur analyse détaillée montrerait que de notables variations de la force motrice s'y font sentir. Cela n'a pas d'importance dans la pratique pour les régulateurs de précision, la régularité de force motrice qu'il est possible d'obtenir étant assez grande pour rendre inutile le remontoir. Malgré cela, théoriquement parlant, la combinaison d'un remontoir parfait est une question curieuse.

Nous décrirons ici, comme particulièrement intéressant, l'échappement à remontoir, dit à force constante, imaginé par M. Vérité. Il emploie un système de balles et de fils qui ne permettent la variation de distance que dans un sens, combinaison qui mérite d'être étudiée à cause de la délicatesse des considérations sur lesquelles elle repose.

A est un excentrique monté sur l'axe du dernier mobile de l'horloge, qui porte également un levier ou volant CC' (fig. 3588 *bis*).

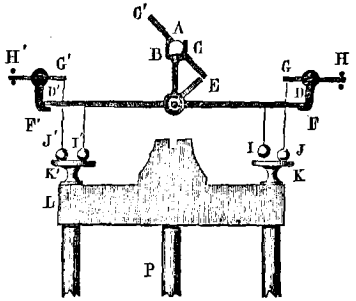


Fig. 3588 *bis*.

Un levier DD' porte, au-dessus de son centre de mouvement, une fourchette B dont les branches verticales reçoivent l'excentrique A. Une autre tige oblique E fait corps avec le levier DD', et reçoit sur son prolongement recourbé à angle droit l'extrémité C ou C' du levier fixé sur l'axe de l'excentrique A. C'est ce qui produit l'arrêt du rouage; la direction de la branche E est telle, que la pression du levier C C' soit perpendiculaire au rayon passant par le point de contact et le centre du levier DD'; ce dernier doit être parfaitement équilibré.

A ce levier sont suspendues deux boules I et I' qui doivent donner l'impulsion au pendule.

De chaque côté du levier DD' sont placés deux crochets mobiles autour d'un axe, et dont l'extrémité inférieure porte deux petits plans de repos sur lesquels viennent s'appuyer alternativement les extrémités du levier DD'. Deux boules métalliques J, J', sont suspendues aux bras G G' des leviers GH, G'H' fixés sur les mêmes axes que les repos F ou F', et dont le bras H ou H', plus lourd que le bras G ou G', est logé entre deux goupilles qui limitent son mouvement.

Enfin, à l'extrémité supérieure du pendule est une traverse LL, portant à ses extrémités les plans K, K' sur lesquels reposent alternativement les boules impulsives. Une petite cheville fixée verticalement sur chaque plan pénètre dans les boules I et I' pour les empêcher de faire de trop grandes oscillations latérales.

Voici comment fonctionne cet échappement.

La figure représente la fin de l'oscillation de droite à gauche. Les boules I' et J' sont déjà soulevées par le plan K'; la boule I ne repose plus sur le plan K, et la boule J va cesser de peser sur lui. A ce moment elle entraînera le levier G (maintenu jusque-là par l'excédant du poids de la branche H sur la branche G), dont la descente fera glisser le repos F de dessous l'extrémité D du bras de levier qui porte la boule I. Le poids de cette boule (isolée du pendule à ce moment) abaissera ce bras D et séparera les contacts de la branche oblique E et du bras C. Le rouage n'étant plus arrêté fera tourner l'excentrique A, qui, entraînant la fourchette dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

son mouvement de rotation, ramènera le levier DD', dont le bras D' viendra reposer sur l'arrêt F', au moment où le bras C', ayant fait une demi-révolution, viendra arrêter le rouage en se reposant sur la branche oblique E. Ce renversement du levier DD' aura déterminé la hauteur de la chute de la boule I' dans l'impulsion future de gauche à droite, puisqu'elle descendra plus bas que le point où elle avait été rencontrée.

L'oscillation de gauche à droite commençant, bientôt la boule I' cessera de peser sur le pendule, et il ne sera plus soumis à d'autre impulsion qu'à celle de la boule J', qui, à son tour, l'abandonnera pour rester suspendue au bras G'. Son poids fera alors basculer le repos F' qui supportait l'extrémité du bras D'. La boule J', n'étant plus retenue par la résistance de ce repos, fera faire au levier DD' un petit mouvement qui dégagera de nouveau les contacts de la branche oblique E et du bras C'; le rouage marchera, et avec lui l'excentrique A, dont le mouvement fera faire encore la bascule en sens contraire au levier DD'.

On voit, par cette description, que le pendule-régulateur est entièrement soustrait aux irrégularités de la force motrice. En effet, le travail qui, à chaque oscillation, lui restitue ce qu'a pu lui faire perdre la résistance de l'air ou toute autre, est celui résultant de la chute des boules I et I' qui, d'ailleurs chargées de dégager le rouage, ne remplissent cette fonction que quand elles ne peuvent plus agir sur le pendule.

Quant à l'action des boules J et J', on comprend que le pendule ayant à les relever de la quantité précise de leur chute, elles reçoivent exactement ce qu'elles restituent à l'impulsion; leur action est donc nulle.

Le même raisonnement peut s'appliquer au relèvement des courbes I et I' pendant le mouvement ascensionnel du pendule, la descente correspondante de ces boules compensant exactement l'effet produit par le relèvement. La seule impulsion *réelle* est donc celle due à la hauteur constante de chute des boules I et I', suspendues au levier DD' qui, changeant de position, fait abaisser toujours de la même manière les points d'attache des fils supposés de longueur *invariable*, ce qui malheureusement n'est pas tout à fait exact dans la pratique.

La variation de la force motrice, d'où résultent des variations de pression entre la branche oblique E et le levier CC', ne peut altérer en rien le mouvement du régulateur, ni par suite celui de l'horloge. En effet, lorsque les boules I ou I' produisent le dégagement du rouage, elles sont assez éloignées du pendule, pour ne pouvoir le rattraper dans la petite chute qu'elles font pour opérer ce dégagement; et elles sont immédiatement remontées par le renversement du levier DD' que l'excentrique A fait aussitôt basculer.

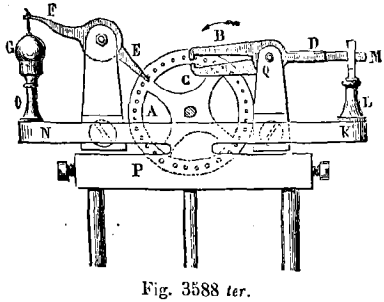


Fig. 3588 *ter*.

On voit que, par cette ingénieuse disposition, toutes les conditions de la question sont satisfaites, au moins théoriquement, grâce à l'emploi de fils qui, ne permettant à l'action de poids de se produire qu'à partir d'une certaine limite, soustraient complétement le mouvement du pendule à l'action du moteur.

La figure 3588 *ter* représente une disposition proposée par le même constructeur pour les horloges, dans laquelle la boule G, toujours également relevée par l'échappement, donne une impulsion constante au pendule, qui agit dans la seconde partie de son oscillation sur l'ancre qui retient les chevilles de la roue d'échappement, mais la solution n'est plus aussi complète que la précédente, car le frottement sur les chevilles n'est évidemment pas indépendant des variations de la force motrice.

§ IV. ROUAGES.

Rouages. — Ayant étudié les moyens de faire agir des forces motrices constantes à l'origine des mouvements d'horlogerie; ayant déterminé d'autre part les appareils régulateurs qui ayant un mouvement propre, uniforme, sont propres à assurer l'écoulement régulier de cette force constante, à l'aide des échappements, premier organe du système de mouvements circulaires, nous avons à étudier en détail le mécanisme proprement dit des horloges, les rouages, les systèmes de roues dentées qui communiquent le mouvement du point où est appliquée la force motrice à celui où agit le régulateur formant arrêt momentané, et font indiquer par des aiguilles, sur des cadrans, des nombres de divisions proportionnels aux nombres d'oscillations du régulateur, partie du mécanisme qui porte le nom de minuterie.

Cette partie du mécanisme des horloges a reçu de grandes améliorations depuis un siècle, grâce aux travaux des géomètres, de Lahire, Camus, etc., qui ont créé la théorie des engrenages jusque-là inconnue ou réduite à quelques principes pratiques tout à fait insuffisants. On en a donné le résumé aux articles MÉCANIQUE et ENGRENAGES de cet ouvrage. Nous dirons ici seulement quelques mots de l'application de cette théorie à l'horlogerie; elle doit être étudiée avec le plus grand soin, parce que non-seulement elle conduit à la précision, dans les cas où elle doit être appliquée, mais aussi parce que, quand cela n'est pas rigoureusement nécessaire à cause de la petitesse des organes, elle donne le moyen de n'employer que des simplifications convenables.

Du mouvement circulaire. — Remarquons d'abord que les rouages dont nous allons parler, comme les appareils adoptés pour communiquer le travail moteur, appartiennent tous au système tour, sont tous des cylindres maintenus dans leur rotation par des coussinets dans les grosses roues des horloges, par des pivots dans les appareils de petite dimension. Les premières notions de mécanique indiquent que ce genre de mouvement ne cause par les frottements qu'une destruction de travail extrêmement faible, celui-ci étant égal à fPl, f coefficient de frottement pour les substances en contact (réduit avec des huiles à 0,05 pour laiton et acier, de 0,25 à sec), P la pression, l le chemin parcouru. Or ce dernier facteur égal au chemin parcouru par le mobile, dans un mouvement sur une circonférence, est diminué dans une proportion énorme relativement au chemin parcouru par un tour de roue, puisqu'il ne représente plus que la petite circonférence du coussinet, est réduit à $fP\frac{r}{R}$, si $R\omega = l$, et plus encore pour les pivots. Disons de suite que les pivots dont le diamètre ne dépasse pas deux ou trois dixièmes de millimètre le plus souvent doivent être faits de l'acier le plus fin, trempé le plus dur possible, et montés sur trous et plaques en rubis ou autre pierre dure. L'huile est amenée par la capillarité entre la plaque et le trou, et l'air n'y peut avoir accès.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Rapport de vitesse constant. — Mais c'est moins encore la diminution des résistances qui importe dans un mouvement d'horlogerie, que la constance des résistances, et rien n'influe plus sur sa régularité que la non-variation des vitesses des divers éléments qui entrent dans sa composition. Sans parler des cas de chocs intérieurs à la prise des dents, qui causent des vibrations, des pertes de forces vives destructives pour tout mécanisme toute variation de vitesse et par suite de pression occasionne des effets d'inertie d'où résultent des consommations irrégulières de travail moteur, d'où accroissement de proche en proche des variations de pression, usure, et destruction des pièces. C'est ce qui arrive surtout bien sensiblement aux grosses horloges dont les roues, étant généralement jusque dans ces dernières années très-imparfaitement taillées, ont rendu nécessaires, malgré la régularité d'effort de la force motrice, des combinaisons de remontoir d'égalité. On doit donc poser, comme condition essentielle de la perfection des rouages, la constance de rapport des vitesses entre les roues, point de départ de la théorie des engrenages.

Inutile d'ailleurs de parler de la condition essentielle des engrenages, de leur propriété d'assurer des mouvements relatifs angulaires, sans possibilité de glissement, c'est-à-dire l'impossibilité de l'emploi de rouleaux, courroies, etc., dans les appareils d'horlogerie pour les remplacer, systèmes qui, pouvant permettre des glissements, sont tout à fait impropres dans ce cas, la certitude d'entraînement rendant les engrenages à dents tout à fait supérieurs à toute autre disposition.

Des engrenages. — Nous rappellerons ici en quelques mots les principes généraux des engrenages, seulement pour avoir l'occasion de passer en revue les questions relatives à leur application spéciale à l'horlogerie, n'ayant pas à revenir sur la théorie générale exposée ailleurs.

Deux axes parallèles étant donnés, si on divise la distance qui les sépare en deux parties qui soient en raison inverse de la vitesse angulaire que doivent posséder ces deux axes, des circonférences de cercles décrites avec ces parties pour rayons conduiront, en se déroulant l'une sur l'autre, les deux axes dans le rapport de vitesse voulue.

Pour que cette conduite ait lieu avec toute sécurité, sans possibilité de glissement, on garnit un des cercles de saillies qui s'engagent dans des cavités pratiquées dans l'autre. A l'aide de ce système qui constitue l'engrenage les mouvements des deux axes deviennent entièrement solidaires l'un de l'autre.

Pour que le mouvement ait lieu entre des roues d'engrenage munies de dents, comme si les circonférences dites primitives dont nous venons de parler se conduisaient par contact, il faut :

1° Que la courbe d'une des dents et la concavité correspondante sur l'autre roue soient engendrées par le roulement d'une même courbe sur les deux circonférences primitives, intérieurement sur l'une, extérieurement sur l'autre.

Cette courbe, étant le cercle d'un diamètre égal au rayon du plus petit cercle, engendrera, pour la concavité de la roue conduite, le flanc du pignon, un rayon du cercle, et pour la saillie de la roue menante des parties d'épicycloïde.

2° Que les dents soient également espacées, laissant entre elles libres des intervalles correspondant aux saillies de l'autre roue, ce qui fait que l'intervalle D, composé d'une dent et d'un vide, est le même sur chaque roue; par suite R et R' étant les rayons des circonférences primitives, ω, ω', les vitesses angulaires, n, n', les nombres des dents des roues, comme $\frac{R}{R'} = \frac{\omega'}{\omega}$, comme $2\pi R = nD$, $2\pi R' = n'D$, on a donc aussi $\frac{\omega'}{\omega} = \frac{R}{R'} = \frac{n}{n'}$.

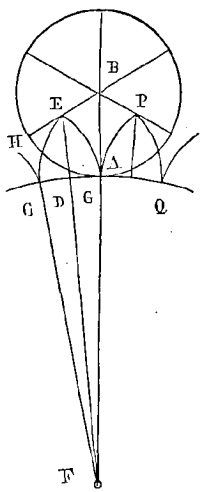
Dans la plupart des mécanismes dans lesquels les roues d'engrenage sont employées à transmettre des forces considérables, chaque roue est destinée tantôt à conduire, tantôt à être conduite, ce qui nécessite d'adapter à chaque roue des dents et des flancs.

Dans l'horlogerie, ce sont toujours les roues qui conduisent les pignons et toujours dans le sens de la progression des aiguilles. On doit arrondir avec soin les extrémités des dents des pignons pour supprimer tout angle qui pourrait opérer comme tranchant et altérer les surfaces de frottement.

L'aile du pignon grandit à mesure que le nombre des ailes diminue pour une roue d'un même nombre de dents, et par suite elle ne peut rester en prise sans choc qu'autant que cette prise commence beaucoup avant la ligne des centres.

Bien que l'exécution presque mathématique des dents qu'on obtient aujourd'hui avec les bonnes machines à diviser ait beaucoup diminué les arcs-boutements, les grippements qui peuvent se produire avant la ligne des centres (lorsque les faces élémentaires entre lesquelles se produit l'impulsion marchent l'une vers l'autre en formant des angles aigus, au lieu de s'éloigner en formant des angles obtus), il est toujours avantageux en horlogerie de donner très-peu d'étendue au contact avant la ligne des centres en donnant aux pignons un nombre d'ailes suffisant.

Mais, d'un autre côté, c'est en donnant aux pignons un petit nombre de dents relativement à celui des roues qu'on est parvenu à diminuer le nombre des roues; il faut atteindre une limite convenable, sans accepter, comme dans les anciennes constructions, des nombres d'ailes de pignons trop petits pour que la conduite puisse être régulière. Les pignons de six et même cinq ailes employés autrefois sont, à juste titre, repoussés aujourd'hui, et l'on n'admet pas avec raison, pour les constructions soignées, de pignons ayant moins de dix à douze ailes.



3589.

Nombre d'ailes des pignons. — Nous rapporterons ici la démonstration très-simple donnée par Camus, relativement à l'imperfection du pignon de sept ailes, conduit par une roue de 50 dents, pour montrer que la conduite ne peut avoir lieu uniformément, la poussée n'ayant lieu qu'après la ligne des centres.

Pour que les ailes du pignon de sept ne soient poussées qu'après la ligne des centres, il faut que la dent CEG (fig. 3589) conduise l'aile HB jusqu'à ce que l'aile suivante AB soit arrivée dans la ligne BF des centres, pour être conduite à son tour après cette ligne; et comme dans le pignon de sept ailes, l'angle ABH compris entre deux flancs est de 51°23'43", lorsque la dent CEG quittera l'aile HB, l'angle FBH sera le même, l'épaisseur de l'aile

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étant supposée réduite à une ligne mathématique.

En supposant que le rayon primitif AB du pignon de sept ailes soit divisé en sept parties, et résolvant le triangle ABE rectangle en E, on trouvera BE égal à 4 parties plus 0,364.

Le rayon primitif de la roue de cinquante dents sera de cinquante parties, et la distance AF des deux centres sera de cinquante-sept parties. Donc on connaîtra, dans le triangle EBF, les deux côtés BE et BF et l'angle EBF qu'ils renferment; et résolvant ce triangle, on trouvera l'angle EFB de 3° 35' 50" à très-peu près.

La roue étant supposée de 50 dents, l'angle BFC ou AFC qui doit former le plein et le vide d'une dent sera de 7° 12', et les épicycloïdes AE, EC étant semblables, égales et semblablement placées par rapport à EF (elles ne le seraient pas que la limite changerait peu, l'allongement de la dent qu'on emploierait pour faire conduire plus loin l'aile par la dent, empêcherait bientôt celle-ci d'entrer entre les ailes), la moitié de cet angle sera 3° 36', c'est-à-dire plus grand de 10" que celui trouvé. Il y a donc impossibilité de faire mener régulièrement un pignon de sept ailes par une roue de cinquante dents, quand même on réduit fictivement l'épaisseur de cette aile à celle d'une ligne mathématique.

Ceci, démontré pour une roue de cinquante dents, s'applique à plus forte raison aux roues d'un moindre nombre de dents. D'autre part, la différence notable trouvée ci-dessus décroît si lentement quand on fait croître le nombre des dents de la roue, ce qui n'influe que sur la convexité des épicycloïdes, qu'il est évident qu'on ne saurait trouver la différence signalée plus l'épaisseur nécessaire pour l'exécution d'un pignon.

On doit donc conclure que l'on ne peut faire mener un pignon de sept par une roue sans faire pousser ses ailes en partie avant la ligne des centres, et par suite, sans perdre les avantages de la menée après ce point qui supprime tout danger d'arc-boutement et de grippement.

Inutile de dire que ce qui précède s'applique à plus forte raison au pignon de six dents quelquefois employé.

Camus, répétant le même genre de calcul pour des pignons de huit et neuf ailes, conclut qu'il est impossible de donner à celles-ci une épaisseur convenable, si l'on veut conduire à partir de la ligne des centres, et qu'il faut nécessairement les conduire en partie avant. Cette partie devient, relativement à la seconde, assez petite pour le pignon de neuf.

Un pignon de dix ailes pourra être conduit uniformément par une roue de soixante-douze dents, qui poussera les flancs de ses ailes uniquement après la ligne des centres, pourvu qu'on donne à ce pignon un peu plus de vide que de plein.

Le calcul fait comme ci-dessus indique une différence qui permet une épaisseur raisonnable pour l'aile de pignon.

On trouve l'angle BFE de 3° 36' 22"; or celui d'écartement et d'un vide étant de 5° est moindre que le double de BFE; donc celui-ci doit comprendre avec la demi-dent un vide, soit la place d'une aile de pignon. Au-dessus de cette limite, par conséquent pour le pignon de douze, l'exécution devient facile. Cela concorde bien avec le progrès général de l'art de la construction qui a conduit dans tous les cas à multiplier les nombres de dents, et explique le bon fonctionnement, la faible usure des rouages composés de semblables éléments.

Nombre des dents des roues. — On a donné à l'article ROUES DENTÉES les méthodes à employer pour calculer les nombres des dents des roues d'une minuterie, disposée comme la pratique l'a indiqué, dans un système précieux surtout en ce qu'il occupe peu de place, c'est-à-dire formé de roues et pignons montés sur des axes communs, chaque roue engrenant avec le pignon de la roue suivante. C'est ainsi qu'on obtient à l'aide d'un mouvement de rotation très-lent, produit par le déroulement de la force motrice, un mouvement assez rapide de la roue d'échappement. Pour un appareil chronométrique quelconque, le problème de la détermination du système de roues et pignons le plus convenable se résoudra simplement, dans la pratique courante, par une décomposition en facteurs premiers.

Dans une horloge, on connaît le nombre des oscillations par heure du régulateur formé par le pendule d'après sa longueur donnée (voir le tableau, page 9), et, par suite, le nombre de tours de la roue d'échappement dont on connaît le nombre de dents. Le calcul se réduit donc à obtenir, d'après la formule générale, le nombre des dents des roues et pignons (trois en général) qui peuvent résoudre le problème, sachant que l'aiguille des minutes (qui correspond au rayon d'une roue) doit marcher douze fois moins vite que celle des heures, celle des secondes (si elle existe), douze fois moins vite que celle des minutes. Nous emprunterons la forme excellente de l'exposition suivante à un éminent auteur anglais, M. R. Willis. A l'exemple des meilleurs auteurs, nous représenterons les roues par leurs nombres de dents, en écrivant ces nombres sur diverses lignes horizontales, en plaçant sur une même horizontale les roues montées sur le même arbre, et celles qui engrènent l'une avec l'autre sur la même verticale.

Ainsi, pour une horloge dont le pendule bat la seconde, supposons le rouage ainsi composé :

Grande roue. .	48	25 . .	4
Pignon.	6	45	2e roue. . .	»	»
Pignon . . .	»	6	30 roue d'échappement. .	25	»
				aiguille des minutes.	
				48	
				aiguille des heures.	

Le rapport du mouvement de l'aiguille des heures à celle des minutes (qui n'est autre chose que celui des rayons des roues qui les conduisent) est bien celui de 1 à 12, puisque la vitesse de la première, rapportée à celle de l'arbre moteur de la grande roue, est $\frac{25}{25} = 1$ et celle de la seconde $\frac{48}{4} = 12$. La roue d'échappement fait par hypothèse un tour en une minute; l'arbre moteur doit donc tourner soixante fois moins vite que celui de la roue d'échappement; en effet, on a bien $\frac{48 \times 45}{6 \times 6} = 60$.

J'ai supposé ici déterminés à priori les nombres des dents des diverses roues; disons d'une manière générale comment on peut y parvenir dans les divers cas de l'horlogerie.

Si l'axe de la roue d'échappement fait un tour en une minute et celui de la grande roue en une heure, on a, pour le rapport des vitesses, $\frac{L_m}{L_e} = 60$; si D est le produit des roues et F celui des pignons, $D = 60\,F$ est une équation indéterminée, et tous les nombres qui y satisfont peuvent être pris pour nombres de dents des roues. Dans une horloge commune, six est le plus petit nombre d'ailes qui soit employé et soixante dents le plus grand qui soit attribué à une roue.

Le plus petit nombre d'axes étant 3, pouvant porter deux pignons de six dents, $D = 60 \times 6^2 = 2160$ sera dans ce cas le produit des nombres de dents des deux roues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut diviser ce nombre en deux facteurs convenables. La meilleure manière de les obtenir consiste à décomposer le nombre en ses facteurs premiers, en l'écrivant sous la forme

$$2160 = 2^4 \times 3^3 \times 5,$$

et il est alors facile de diviser ces facteurs en deux groupes, comme, par exemple :

$2^4.3 \times 3^2.5 = 48 \times 45$, ou $2^3.5 \times 2.3^3 = 40 \times 54$
ou $2^2.3^2 \times 2^2.3.5 = 36 \times 60$.

Le premier 48×45 est préférable à cause de la presque égalité des deux nombres; c'est celui indiqué ci-dessus :

$$\frac{D}{F} = \frac{45 \times 48}{6 \times 6},$$

devant être écrit, pour indiquer la disposition des roues, ainsi qu'il suit :

$$\begin{matrix} 48 \\ 6 \ - \ 45 \\ 6 \end{matrix}$$

Nous venons de voir que le nombre six pour les ailes du pignon était trop petit pour asssurer une action parfaite, pour une conduite convenable. Un pignon de huit dents est meilleur, mieux encore des pignons de dix à douze dents donnent une action parfaite.

Si on adopte le pignon de 8, $F = 8^2 = 64$ et $D = 60 \times 64$ qui forme un assez bon système de roues.

Dans les horloges de précision, on peut employer des roues de plus de soixante dents, cent ou cent-vingt sont des nombres très-admissibles. En employant trois arbres on aura donc :

$$\frac{D}{E} = \frac{(100)^2}{p^2} = 60, \quad \text{ou } p = 13 \text{ à peu près},$$

prenant $F = 12 \times 14$, $D = 60 \times 12 \times 14 = 96 \times 105$, ce qui donne le système : $\begin{matrix} 105 \\ 14 \ - \ 96 \\ 12 \end{matrix}$

Quand une horloge ne porte pas d'aiguille des secondes, il n'y a aucune utilité à ce que l'arbre de la roue d'échappement, qui porte cette aiguille, fasse une révolution en une minute; quand le pendule est court, cela est même impossible, à cause du grand nombre de dents qu'il faudrait faire porter à la roue.

Les vibrations de petits pendules sont habituellement exprimées par leur nombre en une minute. Soit p ce nombre, e étant le nombre de dents, $\frac{2e}{p}$ sera la durée de la rotation de la roue d'échappement en minutes, et comme l'arbre des heures fait sa révolution en 60 minutes, le rapport des deux vitesses, ou $\frac{D}{F} = 60 \times \frac{p}{2e} = \frac{30p}{e}$.

Exemple. Le pendule d'une horloge fait 170 vibrations en une minute, la roue d'échappement porte 25 dents et les pignons ont 8 ailes; on a pour les dents des roues :

$\frac{D}{8^2} = \frac{30 \times 170}{25}$, d'où $D = 13056 = 128 \times 102$.

Dans une montre, les vibrations du balancier sont bien plus rapides que celles du pendule des horloges; elles varient, suivant les constructeurs, de 270 à 360 par minute. De plus, d'après les petites dimensions des pièces, les roues ne sauraient porter un grand nombre de dents. La roue d'échappement porte de 13 à 16 dents, au lieu de 20 ou 40 dans les horloges, et les nombres de dents des roues varient de 40 à 80. Dans les chronomètres, on arrive jusqu'à 96, nombre bien inférieur à celui usité pour les grandes horloges, dans lesquelles on emploie, dans les mêmes conditions, le nombre 130.

Le nombre des ailes des pignons n'admettant pas de

réduction, il faut nécessairement un arbre de plus dans les montres que dans les horloges, et le système de roues entre l'arbre des heures et l'arbre du balancier consiste en trois roues et trois pignons.

Exemple. Le balancier d'une montre fait 360 vibrations par minute, la roue d'échappement a 15 dents et les pignons ont 8 ailes. On aura pour les roues, F étant $8 \times 8 \times 8$,

$$D = 8^3 \times \frac{30 \times 360}{15} = 368640 = 80 \times 72 \times 64.$$

Les exemples de rouages d'horloges donnés se rapportent seulement aux mouvements relatifs de la grande roue et de la roue d'échappement; c'est comme si on supposait le poids moteur adapté à la roue qui fait sa révolution en une heure. Mais, dans ce cas, l'horloge ne pourrait marcher que quelques heures, cinq ou six, sans être remontée. Il est nécessaire de placer le poids moteur sur un axe séparé, réuni par un rouage avec l'arbre des heures, de manière qu'il tourne très-lentement, et que par conséquent la descente du poids moteur ne se fasse qu'en un très-long espace de temps; d'autant plus qu'en même temps la corde, enroulée en spirale, fait un aussi grand nombre de tours qu'on le désire autour du cylindre suffisamment allongé.

Dans la pratique, on ne peut faire faire à la corde plus de seize tours sans que sa longueur devienne un inconvénient. Si donc on veut construire une horloge qui puisse marcher huit jours sans être remontée, il faut que chaque tour suffise pour douze heures. Toute paire de roues produisant un mouvement dans le rapport de 1 à 12 conviendra pour ce rouage; 96 et 8 sont les nombres habituellement employés, ce qui donne le rouage total ci-après :

ROUAGE POUR HORLOGE DE 8 JOURS.	PÉRIODES.
96.	12 h.
8 — 105.	1 h.
14 — 96	
12 — 30.	1 m.

Pour une horloge devant marcher un mois ou trente-deux jours sans être remontée, en supposant que le cylindre reçoive encore 16 tours, chaque tour du cylindre devra suffire pour 48 heures, et le rouage devra être déterminé par la relation $\frac{D}{F} = 48$, nombre trop grand pour une seule paire de roues, mais facile à obtenir avec deux. En employant des pignons de 9 ailes, on a :

$$D = 9 \times 9 \times 48 = 72 \times 54.$$

Si l'on voulait de plus gros pignons, de 12 et de 16 par exemple, on aurait :

$$D = 12 \times 16 \times 42 = 96 \times 96.$$

Ce qui donne le rouage suivant.

ROUAGE POUR HORLOGE D'UN MOIS.	PÉRIODES.
96.	48 h.
16 — 96	
12 — 105	1 h.
14 — 96	
12 — 30. .	1 m.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous avons supposé au début que l'arbre moteur faisait sa révolution en une heure, que la roue montée sur lui était égale à celle qui conduit l'aiguille des minutes. En faisant ces deux roues de nombres différents, on se débarrasse de l'obligation de faire en sorte que le premier arbre fasse sa révolution en une heure.

Par exemple, dans une horloge de huit jours, la roue d'échappement faisant un tour en une minute, soit le rouage qui réunit l'arbre du cylindre moteur avec celui des minutes $\frac{108 \times 108 \times 100}{12 \times 12 \times 10} = 810$, le cylindre faisant un tour en 810 minutes ou 13 heures et demie, cinq ou six tours de la corde seront suffisants.

La seconde roue de ce train fera sa révolution en $\frac{12}{108} \times 810$ minutes, ou en une heure et 1/2, ou 1/8 de 12 heures. C'est sur cet arbre que sont montées les deux roues E, F, conduisant celles e et f des minutes et des heures. Le rapport est par conséquent :

$$\frac{F}{f} = \frac{1}{8} \text{ et } \frac{E}{e} = \frac{3}{2}.$$

Il est avantageux de donner le même pas aux dents de ces deux paires de roues. Pour l'obtenir, appelons x le multiplicateur du premier rapport qui donne le nombre de dents, et y celui du second, x et $8x$ seront les nombres des dents de la première paire, et $3y$, $2y$ ceux de la seconde. Pour que les dents des deux paires aient le même pas, on doit avoir, puisque c'est un même axe de rotation qui conduit les aiguilles des minutes et des heures :

$$x + 8x = 3y + 2y, \text{ ou } 9x = 5y, \text{ ou } x = \frac{5}{9}y.$$

Soit $y = 9z$, $x = 5z$.

Si $z = 1$, $y = 9$, $x = 5$, on a : $\frac{5}{40}$ et $\frac{27}{18}$.

$z = 2$, $y = 18$, $x = 10$, on a : $\frac{10}{80}$ et $\frac{54}{36}$,

qui peuvent être adoptés.

ROUAGE POUR HORLOGE DE 8 JOURS.	PÉRIODES.
108.	810 m.
12 — 108. . . . . 54 40	
12 — 100 . .	
10 — 30. . . .	1 m.
(Aiguille des minutes) . 36. . . .	60 m.
(Aiguille des heures) 80	720 m.

Épaisseur des dents. — L'épaisseur des dents en bronze est déterminée dans les constructions mécaniques par la formule $b = 0{,}131\sqrt{P}$ la largeur de la jante étant de quatre fois l'épaisseur. Ces proportions ne sont pas celles de l'horlogerie ; mais elles démontrent comment on peut faire varier l'épaisseur à mesure que la pression diminue. Or, comme il en est ainsi dans un appareil d'horlogerie du cylindre moteur au dernier mobile, on pourra progressivement diminuer l'épaisseur et augmenter le nombre des dents des roues et des pignons, condition essentielle pour obtenir le minimum du frottement et le maximum de régularité. Observons toutefois que le moindre déplacement des pivots par leur jeu ne permet pas d'exagérer, au delà de toutes limites, la finesse des dentures ; il faut toujours tenir compte des résultats de l'expérience.

Frottement. — Le frottement des engrenages diminue avec le nombre des dents, comme le prouve l'expression du travail consommé par ce frottement en fonction de travail moteur T_m et des nombres de dents n, n'.

$$T_f = \pi f T_m \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}\right).$$

Il y a donc encore à ce point de vue avantage à employer des dentures fines ; on diminue ainsi le travail du frottement, mais surtout on obtient des mouvements plus doux, moins susceptibles de produire de l'usure.

Il peut paraître extraordinaire après cela que l'horlogerie n'emploie jamais les engrenages hélicoïdaux qui suppriment théoriquement les frottements. Mais il faut remarquer que ce résultat étant obtenu par l'obliquité des faces des dents qui sont en prise relativement à la direction des axes, ces engrenages augmentent les frottements des pivots et, ce qui est plus grave, les repoussent et tendent à les fausser. Or les pivots constituent la partie délicate des petits appareils d'horlogerie, et il faut bien se garder d'augmenter les causes de leur altération. Il n'en est pas de même des grosses horloges et de quelques constructions exécutées habituellement par les horlogers, dans lesquelles les efforts transmis sont considérables et dans lesquelles les axes sont guidés par des coussinets ; les engrenages hélicoïdaux à dentures doubles et de sens opposés peuvent y recevoir d'utiles applications.

Il faut encore excepter le cas où les vitesses qu'il s'agit d'obtenir sont beaucoup plus grandes que celles des pièces des mouvements d'horlogerie, lorsque le travail consommé par le frottement devient très-grand. Telle est l'application que j'en ai faite dans mon appareil de miroir tournant faisant jusqu'à deux mille tours par seconde demandé par M. Arago, et à l'aide duquel M. Fizeau a réalisé l'expérience curieuse imaginée par l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, expérience qui montre que la théorie des ondulations, à l'exclusion de celle de l'émission, peut seule être admise pour expliquer les variations de vitesse de lumière dans son passage à travers des corps de densité différente.

Axes non parallèles. — Dans les horloges de clocher, il faut souvent employer des roues d'angle et surtout des vis sans fin pour transmettre le mouvement entre des axes qui se rencontrent et des axes placés à angle droit. Nous ne voulons pas revenir ici sur la description de ces organes, mais seulement insister sur une propriété de la vis sans fin qui la rend très-précieuse en horlogerie.

On prouve que le frottement de la face d'une dent de la roue sur le filet de la vis ne permet de faire tourner celle-ci qu'autant que certaines limites d'inclinaison ne sont pas dépassées, que son angle est moindre que celui du frottement des surfaces en contact, tandis que la rotation de la vis entraîne toujours nécessairement et facilement la roue.

Lors donc que le mouvement d'une résistance considérable est à régulariser par un appareil d'horlogerie, l'interposition d'une vis sans fin, que cet appareil fait mouvoir, l'affranchit des réactions de cette résistance surmontée par quelque moteur auxiliaire, un poids, par exemple, dont la vis sans fin permet l'action.

J'ai fait l'application de cette disposition à un équatorial, et elle peut trouver de fréquentes applications.

Mouvements différentiels. — Dans ce qui précède nous ne nous sommes occupés que du mouvement angulaire produit à l'aide de deux roues dentées autour de deux axes fixes. Si l'un des axes devient mobile, le mouvement de rotation s'ajoute ou se retranche du mouvement de translation produit simultanément.

Ces systèmes ont été étudiés à MOUVEMENT DIFFÉRENTIEL et on a montré dans cet article, qui peut être considéré comme complémentaire de celui-ci, les ressources qui fournissaient ces mouvements pour la combinaison des rouages les plus compliqués que l'on puisse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avoir à construire, horloges avec équation du temps, planétaires, etc.

§ V. DES APPAREILS D'HORLOGERIE AU POINT DE VUE DE LA MÉCANIQUE.

Nous avons cherché, dans les études qui précèdent, à ne pas rester exclusivement, comme on le fait trop souvent dans les traités d'horlogerie, au point de vue des formes géométriques des pièces. Sans doute elles ont une importance capitale, mais on ne doit jamais oublier qu'un appareil chronométrique est une machine possédant seulement ce caractère spécial que les forces en jeu y sont minimes, et que les mouvements doivent s'y accomplir avec la plus grande régularité. Le cachet principal de ces petites machines, c'est qu'elles n'ont à produire aucun travail utile extérieur, c'est-à-dire que la puissance motrice n'a qu'à surmonter les résistances qui s'opposent au mouvement des pièces, comme nous l'avons établi en commençant. Nous insisterons un peu sur ces conditions mécaniques, trop négligées habituellement.

Frottement. — La résistance principale est celle qui se produit par les frottements, et ce qui importe le plus à la régularité de la marche, c'est, non, comme on le dit quelquefois à tort, la diminution des frottements, mais bien leur constance. Aussi dans quelques cas importe-t-il de les augmenter, bien loin de les réduire, quand par ce moyen on peut les rendre invariables.

Le travail consommé par les frottements dont nous parlons peut se diviser en divers modes d'action des corps en contact dans des circonstances diverses, savoir :

L'adhésion ou le frottement au départ, plus grand que le frottement ordinaire, suivant une loi analogue et n'en différant pas sensiblement lorsque les pressions sont minimes, ne se produisant que sur des corps passant du repos au mouvement.

Le frottement entre parties en contact dans un mouvement régulier, dont l'intensité est proportionnelle à la pression.

Enfin le frottement entre parties qui se choquent, où se produisent, par suite, momentanément, des pressions relativement considérables en quelques points, pouvant entraîner, dans certains cas, des altérations de surfaces.

Du système de succession des rouages dans un appareil chronométrique qui fait que pour un très-petit mouvement du moteur on obtient un mouvement considérable du dernier mobile, il résulte que les intensités des frottements directs proportionnelles aux pressions (variant en raison inverse des chemins parcourus dans le rapport de 1 à 600 pour le moins) vont en diminuant rapidement du moteur à l'échappement. Il suit de là :

1° Que les adhérences ne sont sensibles que près du moteur qui seul se meut très-lentement, ce qui prouve qu'il y a avantage à ne pas employer de moteur trop fort, qu'autant que possible on doit préférer un moteur léger parcourant plus de chemin à un moteur trop puissant; dans une montre, par exemple, il vaut mieux employer un ressort long très-flexible qu'un ressort court et fort.

Dans l'échappement libre il peut aussi se produire une adhérence pendant l'arrêt. On y obvie en partie par l'emploi pour l'arrêt de rubis très-durs qui diminuent beaucoup l'adhésion, et surtout celle résultant de la viscosité des vieilles huiles dont nous parlerons plus loin, huiles qu'on n'est plus obligé d'employer alors.

2° Les frottements proportionnels aux pressions, dont l'intensité décroît rapidement du premier au dernier mobile, doivent toujours s'exercer sur des surfaces assez grandes pour que l'usure ne puisse jamais avoir lieu par une action prolongée et répétée. Dans les grandes horloges, certaines parties doivent être étudiées à ce point de vue, mais on est en général bien au-dessus de cette limite dans les appareils à ressorts.

Si les pressions vont en se réduisant de proche en proche, les chemins parcourus par les frottements vont en croissant, tant ceux produits au contact des roues composant les rouages que ceux des pivots des axes qui portent les roues.

Le travail des frottements des dents des roues est d'autant moindre que le nombre des dents est plus grand, et de plus il est d'autant plus régulier. Il importe donc de bien profiter de la réduction des pressions transmises par chaque roue faisant partie du rouage, à mesure qu'elle se rapproche du dernier mobile pour en faire la denture aussi fine que possible, tout en restant bien au-dessus de la résistance suffisante et sans atteindre des épaisseurs telles que l'on puisse craindre que les contacts ne se fassent pas suivant la génératrice cylindrique.

Nul besoin de revenir ici sur les accidents graves qui peuvent résulter d'une mauvaise division des roues, des arc-boutements, etc., dont nous avons parlé en traitant des rouages. Ce sont des cas d'exécution défectueuse auxquels on ne peut remédier que par un changement complet.

Pivots. — L'emploi des pivots est le grand moyen qu'emploie l'horlogerie légère pour diminuer les frottements, et leur placement une des parties les plus délicates de l'exécution de l'horlogerie de précision.

Le frottement est sur un coussinet, comme dans le cas des horloges est $2\pi rPf$ par tour de roue, et seulement $\frac{4}{3}\pi rPf$ pour un pivot, le rayon du pivot étant bien moindre que celui du coussinet. De plus, par l'emploi de pierres dures pour recevoir le pivot, on diminue la valeur de f et par suite le travail du frottement. Toujours très-gros relativement au poids des pièces, quand on les compare à ceux employés dans d'autres machines, les pivots employés dans l'horlogerie ne peuvent produire tout au plus que pour les derniers mobiles (pour lesquels on emploie les pierres dures) l'usure du métal qui a forcé de les abandonner dans beaucoup d'autres cas.

Chocs. — Le principe fondamental est que l'on doit éviter les chocs; ainsi, par exemple, que la pulsion des échappements libres doit avoir une faible chute; le nombre de dents, le tracé, l'emploi de ressorts, tout doit concourir à ce but. Tout choc parvient, par sa répétition, à altérer les surfaces entre lesquelles il se produit et par suite à changer les conditions d'identité qui sont celles dont la réalisation assure la perfection des mécanismes qui servent à la mesure du temps.

Le choc produit à l'échappement, si on ne l'amoindrit par un tracé convenable et en faisant cet organe léger, se propage de proche en proche, fait fléchir les points d'appui, c'est-à-dire les dents d'engrenage, les pivots, etc.

De l'huile. — En parlant des frottements, nous devons traiter de l'huile dont l'emploi fournit le moyen par excellence de les diminuer et de les régulariser. L'introduction de l'huile entre des surfaces en contact substitue au frottement de glissement un roulement sur les petites sphères du liquide d'une parfaite régularité.

Ce résultat est bien certain pour les premiers temps de l'emploi de l'huile; mais, et c'est ce qui fait le désespoir des horlogers, il se produit à l'air une oxydation qui vient l'altérer et la remplacer par une substance collante qui tend à gêner les mouvements.

Bien qu'on ait essayé plusieurs compositions, la meilleure huile paraît être l'huile d'olive, extraite d'olives choisies d'une parfaite maturité. Elle doit être conservée plus d'une année avant de s'en servir, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placée dans un flacon bien bouché à l'abri de l'air et de la lumière.

Des pierres dures. — Pour leur travail, voir LAPIDAIRE et FILIÈRES EN PIERRES FINES.

Inertie. — L'inertie joue un grand rôle dans des appareils formés de pièces qui passent sans cesse du repos au mouvement et inversement. C'est surtout pour la roue d'échappement, qui se meut rapidement, que les effets d'inertie sont à considérer et on peut dire sans crainte que bonne partie des succès de l'horlogerie moderne sont dus à la légèreté qu'on a donnée à cette pièce.

Du régulateur et de l'isochronisme. — L'étude des résistances qui consomment le travail moteur permet de bien apprécier l'influence de la loi de l'isochronisme pour produire la grande régularité des bons appareils d'horlogerie moderne. Malgré l'isochronisme propre au pendule décrivant de petits arcs ou au spiral possédant une élasticité convenable, il est clair que les irrégularités du travail moteur, un excès momentané de puissance, par exemple (le raisonnement serait inverse pour sa faiblesse), tend à accélérer tous les mouvements qu'il fait naître de proche en proche, d'où résulte un accroissement du travail résistant, des pressions et du chemin parcouru, et la stabilité n'est acquise, le mouvement uniforme ne tend à se produire, que lorsque le travail résistant est devenu égal au travail moteur pour une nouvelle valeur de ces quantités et par suite une nouvelle vitesse.

Mais si c'est un appareil où cette constance est sensiblement établie dès les premiers instants d'action du moteur de manière à fournir, indépendamment de l'action du régulateur, un mouvement très-voisin du mouvement uniforme (car il ne faut pas supposer que le régulateur puisse suffire à tout), un appareil dont la bonne exécution, la perfection de la taille des roues et des pignons, le parallélisme des pivots, etc., assurent une marche régulière, alors on est certain de lui appliquer avec plein succès un système à vibrations isochrones.

Nous croyons devoir insister sur ce principe qui seul fait bien apprécier le rôle du régulateur qui ne consomme pas de travail en général, mais qui, étant isochrone, agit également bien entre certaines limites pour lesquelles il exerce une action régulatrice suffisante pour les variations secondaires. Ainsi dans une horloge astronomique, le poids de la lentille relativement considérable, ou l'élasticité du ressort spiral tendu dans les chronomètres, a une puissance de régularisation considérable. Or, c'est le régulateur qui vient agir sur une dent de la roue d'échappement qui exerce une pression qui n'est que $\frac{1}{600}$ ou $\frac{1}{800}$ de la pression exercée par le moteur, c'est-à-dire extrêmement minime. Mais, en principe, cet arrêt correspond à une suspension, mais non à une consommation de travail, et ne peut agir, à ce point de vue, que pour des effets minimes et périodiques en sens contraire.

En principe, c'est sur un système qui tend au mouvement uniforme et se déroule dans des conditions d'uniformité que le régulateur isochrone doit agir, et son action se conçoit facilement alors. Si on suppose, au contraire, faute d'y avoir suffisamment réfléchi, que le système isochrone remédie à tout, qu'il donne la régularité à tout rouage et à toute force motrice, à cause de ses vertus propres, on est dans l'erreur. La réaction de l'appareil mal combiné, éloigné du mouvement uniforme, réagit toujours sur le régulateur et en détruit l'isochronisme, quelque bien réglé qu'il ait été d'abord.

Des modèles à suivre.

Parler de bons modèles, de constructions éprouvées par l'expérience pour des machines si délicates que la théorie ne peut apprécier l'effet de chaque pièce, dont le poids, les frottements échappent, pour ainsi dire, à nos moyens de mesure, c'est ce que nous allons faire bientôt, et nous regrettons que la place nous manque pour multiplier les exemples que nous fournissent les nombreuses constructions de A. Bréguet, que nous avons été souvent assez heureux pour améliorer.

Comparaison de pièces semblables.

Les études d'anciens appareils pour en déduire les dimensions d'autres de même nature ne mènent pas à établir une simple proportionnalité entre les pièces semblables à une simple similitude géométrique. C'est ce que nous allons montrer en rapportant quelques théorèmes établis par Berthoud pour l'étude mécanique des appareils d'horlogerie. Ils peuvent fournir des applications précieuses, et l'on doit considérer comme un des plus grands désidérata des progrès de l'horlogerie, l'habitude de voir manier par les praticiens les théorèmes principaux de la mécanique physique, aussi bien que ceux de la cinématique.

On sait que le travail que peuvent effectuer des corps en mouvement, dont la force vive est en raison de leur masse et du carré de leur vitesse, est mesuré par l'expression $\frac{1}{2} mV^2$.

Comparons ensemble deux corps de dimensions différentes, l'un appartenant, par exemple, à une construction que nous voulons prendre pour modèle, et l'autre à celle à exécuter, de même nature, mais de dimensions différentes de la première. Soit un balancier A, par exemple, M sa masse, V sa vitesse, F sa puissance d'impulsion; a, m, v, f représentant ces quantités pour un second balancier, on aura $F : f :: MV^2 : mv^2$, ou en multipliant ensemble les moyens et les extrêmes, $fMv^2 = Fmv^2$. Appliquons cette équation à divers cas :

1° Si $f = F$, $MV^2 = mv^2$ ou $V^2 : v^2 :: m : M$, c'est-à-dire que les masses sont en raison inverse du carré des vitesses; ou si les masses sont en raison inverse du carré des vitesses, les puissances des balanciers sont égales. En effet, par exemple, si la vitesse de $A = 1$, et celle de $a = 2$, le carré de la vitesse de $A = 1$, et le carré de la vitesse de $a = 4$: si la masse du balancier $A = 4$ et celle de $a = 1$, on aura, en mettant ces nombres à la place des lettres de la dernière équation, $V^2 M = v^2 m$.

2° Si les masses des deux balanciers sont égales, c'est-à-dire s'ils ont le même poids et qu'on ait $m = M$, l'équation fondamentale $fV^2 M = F v^2 m$ devient $fV = F v^2$, en divisant les deux membres par des quantités égales $m = M$, d'où l'on tire cette proportion $f : F :: v^2 : V^2$, ce qui signifie que si deux balanciers ont des masses égales et sont mus avec des vitesses égales, leurs puissances sont entre elles comme les carrés de leurs vitesses. Substituons encore une fois les nombres aux lettres dans la proportion précédente, pour l'intelligence de ceux qui ne sont pas familiarisés avec cette forme de calcul. Supposons que la vitesse du balancier A, exprimée par $V = 1$, son carré ou $V^2 = 1$, que la vitesse du balancier a, exprimée par $v = 4$, son carré, ou $v^2 = 16$, la proportion précédente se transformera en celle-ci : $f : F :: 16 : 1$, ce qui signifie que la force requise pour entretenir le mouvement du balancier a est à celle requise pour entretenir le mouvement du balancier A, comme 16 est à 1, c'est-à-dire que ces forces sont entre elles comme les carrés de leurs vitesses.

3° Si les vitesses des deux balanciers sont égales, c'est-à-dire $v = V$, la proportion primitive deviendra $f : F :: m : M$, et, par conséquent, les forces seront entre elles comme les masses; par conséquent les actions requises pour entretenir les mouvements se-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ront aussi comme les masses ou comme les poids des balanciers.

4° En général, si les vitesses et les masses des deux balanciers sont inégales, leurs forces seront entre elles comme le rapport composé du produit des masses par les carrés des vitesses, ce qui est exprimé par la proportion primitive et fondamentale $f : F :: v^2 m : V^2 M$.

« D'après cela, connaissant la masse d'un balancier, sa vitesse, la force qui le met en mouvement, dans une montre parfaitement construite, longtemps éprouvée, et qui servira de terme de comparaison, on en déduira facilement toutes les conditions requises pour le balancier d'une autre montre, lorsqu'il doit avoir une masse différente, plus ou moins de vitesse, plus ou moins de force pour se mouvoir, etc.

« Pour comparer les vitesses de deux balanciers, il faut multiplier le nombre de vibrations pendant un temps donné par le diamètre de chaque balancier ; les produits exprimeront les vitesses, en supposant qu'ils décrivent des arcs semblables ; mais si cela n'est pas, il faudra faire pour chaque balancier un produit de ces trois choses : 1° du nombre de vibrations dans le même temps ; 2° du diamètre ou du rayon du balancier ; 3° de l'arc parcouru par le balancier.

« Pour trouver les dimensions d'une montre que l'on veut composer, il faut se servir, pour terme de comparaison, d'une bonne montre disposée le plus avantageusement possible, et qui soit tellement exécutée, que les frottements soient réduits à la moindre quantité ; en sorte que la force motrice ait la relation requise avec le régulateur, pour que la montre aille le plus juste qu'il est possible. Cela étant, on mesurera le diamètre du balancier, son poids ; on comptera le nombre de vibrations qu'il fait par heure ; l'étendue de ces vibrations ; on mesurera la force du grand ressort, et enfin on comptera le temps que met la fusée, ou l'arbre du barillet lorsqu'il n'y a pas de fusée, à faire une révolution. »

Problème.

« Les dimensions d'une montre de comparaison A étant données, trouver quelle doit être la pesanteur ou la masse d'un balancier d'une autre montre *a*, de laquelle on connaît le diamètre du balancier et le nombre de vibrations.

« Dans la solution du problème dont nous nous occupons, on suppose que dans la montre *a* les arcs de la force motrice sont de même grandeur que ceux de la montre de comparaison A, et l'on demande qu'il y ait même rapport de la force motrice de la montre *a* avec son régulateur qu'il y a entre la force motrice de la montre A avec son régulateur. »

Voici les dimensions rapportées par Berthoud de la montre de comparaison A, qui est à cylindre comme celle qu'on veut exécuter. Nous avons placé dans le même ordre toutes les données de la montre *a*. Nous avons mis devant chaque article les lettres qui correspondent à la formule générale pour la facilité de l'opération.

MONTRES DE COMPARAISON A.

M.	Poids ou masse du balancier. .	6,25 grains.
V.	Diamètre du balancier.	8,50 lignes.
	Vibrations par seconde. . . .	5
	Étendue des arcs de vibration.	240 degrés.
	Fusée en 5 heures.	1 tour.
F.	Ressort moteur fait équilibre à 10 centimètres (4 pouces) du centre de la fusée à.	5,75 gros.

MONTRE A EXÉCUTER *a*.

m.	Poids ou masse du balancier. .	x grains.
v.	Diamètre du balancier.	10,25 lignes.
	Vibrations par seconde. . . .	2
	Étendue des arcs de vibration.	240 degrés.
	Fusée en 5 heures.	1 tour
f.	Ressort moteur fait équilibre à 10 centimètres (4 pouces) du centre de la fusée à.	5,75 gros.

Puisque les forces des ressorts sont supposées égales, nous avons à résoudre la seconde proportion $V^2 : v^2 :: m : M$; mais m étant l'inconnue que nous cherchons, cette proportion devient $V^2 : v^2 :: x : M$, qui nous donne la valeur $x = \frac{V^2 \times M}{v^2}$.

Pour avoir en chiffres la vitesse du balancier A, il faut multiplier 8.50, qui exprime le diamètre du balancier, par 5 vibrations qu'il fait par seconde, ce qui donne 42.50. Multipliant ce nombre par lui-même, afin de l'élever au carré, on aura 1806.25 pour la valeur de V^2.

De même, pour avoir la valeur de v^2, il faut multiplier 10.25 par 2 vibrations par seconde, ce qui donne 20.50, dont le carré est de $420,50 = v^2$. En substituant aux lettres, dans l'équation précédente, les nombres que nous venons de trouver, cette équation deviendra $x = \frac{1806.25 \times 6.25}{420.50}$, équation qui donnera en grains le poids du balancier.

§ VI. APPAREILS CHRONOMÉTRIQUES. — DES DIVERS GENRES D'APPAREILS.

L'usage est de diviser les appareils chronométriques en deux séries : les appareils construits pour les usages ordinaires de la vie, comprenant les pendules d'appartement, les grosses horloges, les montres, dans lesquels le prix de revient joue un grand rôle, ne sauraient dépasser, surtout pour les pendules et les montres, une limite très-resserrée, dont le bon marché est une condition essentielle de succès. La seconde comprend les appareils dans lesquels, même au prix de grands sacrifices, on recherche la plus grande précision possible, et se compose des pendules astronomiques, des régulateurs, destinés surtout aux observatoires, et des chronomètres, appareils portatifs servant surtout aux navigateurs.

Nous traiterons des deux séries d'appareils dont nous avons à parler sous les deux divisions : Appareils réglés par pendule, — par balancier et ressort spiral.

Des calibres en général. — De la manière de les établir. — Du compas de proportion.

Avant de passer à l'étude de construction d'appareils chronométriques complets, nous dirons un mot des calibres et des moyens de les établir, du secours que prête à cet effet l'instrument connu sous le nom de compas de proportion.

Nous prendrons pour exemple de la manière d'opérer le tracé du calibre d'une montre.

Quand on a tracé un cercle qui représente la grandeur de la platine de la montre que l'on veut exécuter, on distribue les points principaux à la place où l'on désire qu'ils soient situés, tels que le barillet, le balancier, et le centre de l'aiguille des secondes s'il y en a.

Ces points une fois fixés, on dispose les roues qui doivent relier le moteur à la résistance de la manière la plus avantageuse et la plus gracieuse ; puis, tous les centres étant placés, comme on a déterminé d'avance le nombre des dents et des pignons, on trace leur grosseur respective au moyen du compas de proportion.

Cet instrument est des plus commodes pour tracer exactement les grosseurs des roues et pignons. Pour cela on prend le côté où l'on voit écrit parties égales, où

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il y a de chaque côté une suite de divisions très-rapprochées. Comme les diamètres sont proportionnels aux circonférences, et par suite aux nombres des dents, l'on prend avec un compas à pointes la distance de deux centres que l'on a déterminés d'avance, on ouvre le compas de proportion jusqu'à ce que les deux pointes du compas à pointes puissent se mettre chacune sur les nombres représentant sur chaque ligne la somme du nombre des dents de la roue et de celui du pignon. — Cela fait, on prend la distance qui existe entre les deux nombres de la roue sur les deux lignes divisées, ce qui détermine le diamètre de la roue, et l'on fait de même pour avoir le diamètre du pignon. Mais pour avoir de suite les rayons, afin de pouvoir tracer les circonférences de suite avec l'ouverture du compas, l'on prend non pas la somme des nombres des dents, mais la demi-somme, puisqu'en effet la distance des centres des deux mobiles est la somme des deux rayons et que les rayons sont proportionnels aux circonférences.

Il est essentiel dans un calibre de disposer les pièces de manière à ce que l'on puisse voir facilement les fonctions du mécanisme, et aussi que l'on puisse les démonter le plus possible indépendamment les uns des autres. — Plus on donne d'aisance, de facilité au travail, plus aussi l'ouvrier le fait plus facilement et mieux.

Les mêmes principes doivent être suivis pour établir les calibres des montres et des pendules.

1. *Régulateur astronomique.*

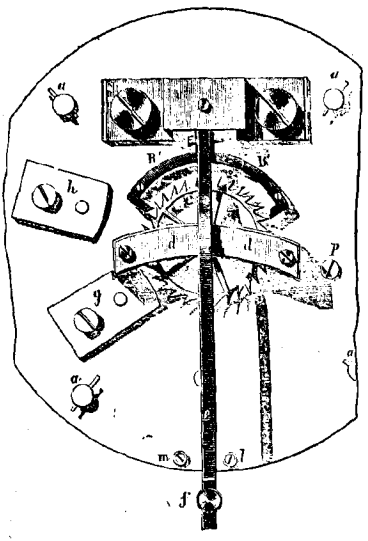
L'horloge astronomique est l'horloge de précision par excellence; c'est par elle que nous devons commencer, car elle offre l'application complète des principes exposés à des pièces d'une dimension assez grande pour que l'exécution géométrique soit possible et fournisse la plus grande précision qu'on peut espérer atteindre.

Nous décrivons ici le régulateur tel qu'il se construit dans la maison Bréguet, à peu de chose près, depuis A. Bréguet, dont nous allons suivre la description.

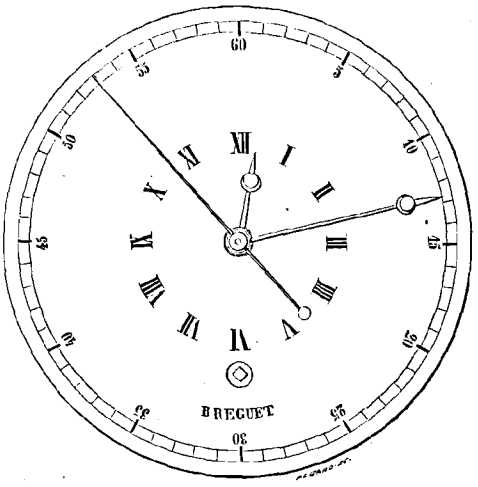
Horloge astronomique. — L'horloge astronomique à pendule (que l'on nomme communément pendule à secondes ou régulateur) est l'appareil le plus parfait et le plus simple pour la mesure du temps. Après ce que nous avons dit dans notre introduction sur les principes généraux de ces machines, on en reconnaîtra sans peine ici l'application; nous insérerons à l'occasion toutes les réflexions et les remarques utiles.

L'horloge astronomique et son mouvement sont représentés en élévation, prise en avant et en arrière (fig. 3590 et 3591), latéralement et intérieurement (fig. 3593 et 3594).

La force motrice est produite par un poids de 3 kilog. dont la corde mouflée en deux s'enroule sur un tambour garni de son ressort auxiliaire. L'horloge marche



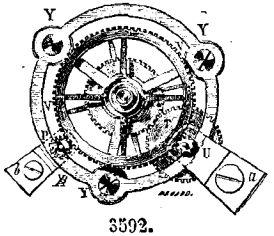
3591.



3590.

36 jours. Le *mouvement* se compose des mobiles suivants entre le cylindre moteur et la roue d'échappement :

96
12 — 100
10 — 80
10 — 75
10 — 30 aiguille des secondes montée sur l'axe de la roue d'échappement.



3592.

La minuterie placée en avant de la paroi antérieure (fig. 3592) de la cage, se compose des roues suivantes ; la première étant montée sur l'axe de la roue de 75 ci dessus qui, engrenant avec le pignon de 10 qui fait un tour en une minute, effectue sa rotation en 7,5 minutes :

12 — 96 aiguille des minutes.
8 — 48
48 aiguille des heures.

On voit que les mobiles sont distribués en cercles, afin qu'avec de grands diamètres ils occupent le moins de place possible. Les platines sont rondes et le tout est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

renfermé dans un cylindre de cuivre portant le cadran. Cette disposition est la plus économique. Le cylindre s'attache au moyen de trois oreilles à un fort *chevalet* de laiton fondu qui doit être accroché et maintenu en place par trois crochets et trois *vis à caler*, sur un mur bien solide, sans toucher à la boîte, ou mieux encore, sur un *étrier* de fer scellé dans le mur.

La suspension est formée par deux ressorts en acier ou en or, contenus dans la mâchoire ou pince établie sur le support. La compensation est à gril, et formée seulement de cinq branches, dont trois d'acier et les deux autres de zinc.

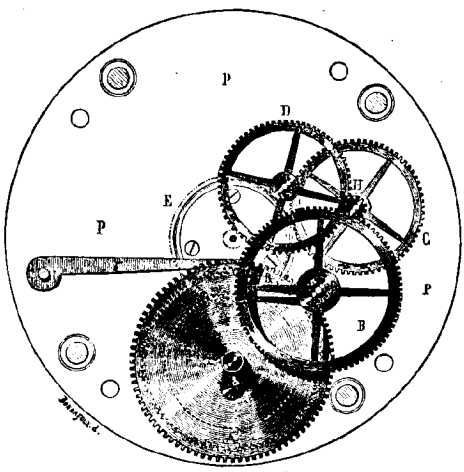
L'échappement est celui de Graham, à ancre; les levées et les repos de chaque bras de l'ancre sont formés d'un rubis.

La roue d'échappement est au centre du *mouvement* mais en dehors de la cage, ainsi que l'ancre, sur la platine postérieure, (fig. 3594); la longue tige de cette roue traverse les deux cages, pour porter l'aiguille des

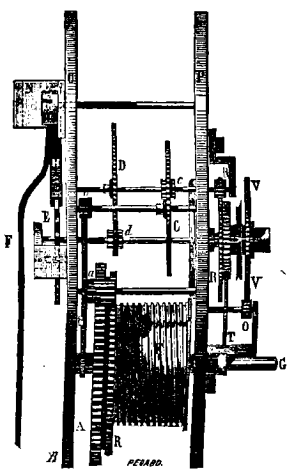
L'échappement est construit de telle manière que, dès qu'une dent quitte un des plans d'impulsion ou une levée, la dent opposée tombe presque juste sur le bord du repos, c'est-à-dire très-peu au delà de l'angle légèrement arrondi qui le sépare du plan de levée, et seulement de la quantité nécessaire pour la sûreté.

L'expérience prouve qu'en donnant aussi très-peu d'arc de supplément (0°,80 de levée et 0°,20 de supplément, le demi-arc étant d'un degré, ou l'arc total de deux degrés), les horloges ont plus de régularité et que la diminution des arcs par l'épaississement des huiles, lorsqu'elles sont de bonne qualité, ne peut faire arrêter l'horloge qu'après 7 ou 8 ans de marche. Or, l'on sait qu'une horloge bien entretenue ne doit pas être laissée aussi longtemps sans être démontée pour la nettoyer et renouveler les huiles. Ce n'est qu'avec une pareille réduction de l'arc de repos que l'échappement à ancre peut convenir pour un régulateur.

Il devient évident qu'avec cette réduction d'arcs et



3594.



3593

secondes au centre du cadran. La minuterie est de renvoi, ainsi qu'on le voit dans la petite figure qui montre notamment l'effet des roues de 48, pour reporter au centre du cadran le mouvement de l'aiguille des heures.

Ayant ainsi indiqué les positions relatives des principales pièces, entrons dans quelques détails sur la construction de chacune d'elles.

Le moteur dans l'horloge astronomique est plus simple et plus facilement constant que dans toute autre espèce de chronomètre, puisqu'il est formé d'un poids dont l'action directe est ce que nous connaissons de plus régulier.

Ce poids est mouflé pour obtenir une durée suffisante de la marche, sans trop élever l'horloge ou sans multiplier les mobiles. Ainsi lorsque la poulie est bien libre, bien ronde, ainsi que le tambour sur lequel on remonte le poids à l'aide d'une clef qui se monte sur le carré G, que la corde à boyau est bien égale, on est certain d'avoir une force motrice très-uniforme. La précision de l'horloge astronomique dépend principalement de l'échappement, de la suspension et de la compensation; les autres éléments, la régularité de la force motrice, l'isochronisme des oscillations du pendule, ne laissent rien à désirer.

cette précision dans l'échappement, la roue doit tourner parfaitement ronde, avoir ses dents bien justifiées et que l'ouverture des bras de l'ancre doit être constante dans les températures diverses, ce qui dépend beaucoup de la manière de la construire et des précautions dans l'écrouissage de la matière. L'on doit aussi laisser très-peu de jeu aux pivots de l'échappement, ainsi que dans la communication de la fourchette F, pièce qui sert à réunir le pendule avec l'ancre. La suppression de celle-ci que nous avons pu pratiquer dans notre pendule double et ailleurs, est une grande amélioration puisqu'elle rend les effets de l'échappement plus précis et plus purs. Mais cette construction exige des précautions contre les accidents presque inévitables pour mettre en marche ou régler la pièce, il faut alors que les levées puissent céder dans les arcs-boutements; elle augmente le travail et le prix; car il faut des vis de rappel pour mettre l'échappement et pour régler la pénétration des bras de l'ancre; Il faut aussi des ressorts, etc. C'est donc pour concilier l'économie avec l'emploi commun de ces régulateurs que nous avons conservé la construction ordinaire, en réservant les soins dont il s'agit pour des ouvrages plus recherchés et plus dispendieux, destinés à porter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au plus haut degré qu'il nous a été possible, la régularité des instruments d'observation.

La suspension à ressorts est préférable à toute autre. Nos ressorts sont presque toujours en or, et très-courts ; on peut les faire aussi en acier. Ces ressorts doivent être scrupuleusement ménagés, et surtout ceux en or, pour qu'ils ne soient pas forcés, lorsqu'on adapte le pendule à sa suspension, ou lorsqu'on l'en sépare.

La compensation du pendule est assez heureusement simplifiée par l'emploi du zinc que l'on a substitué, depuis 1822, au laiton ; nous avons adopté le principe de construction d'*Harisson*, parce que le gril présente des effets plus sûrs, plus simultanés, et que l'assemblage est plus simple : mais notre gril, au lieu d'avoir neuf branches, est réduit à cinq, dont trois d'acier et deux de zinc. Il est contenu par cinq traverses en laiton, plus une d'acier, dite mobile, parce qu'elle se déplace facilement en hauteur, pour augmenter ou diminuer la compensation, sans démonter le pendule. Trois des traverses de laiton ne sont que de sûreté, pour maintenir l'écartement des trois branches extérieures et garantir les branches de zinc dans le transport.

Nous relaterons ici le degré de précision auquel on a pu arriver par l'application des principes et la bonne exécution d'un mécanisme où rien ne gêne pour adopter la solution la plus satisfaisante des difficultés que peut présenter l'exécution. Un régulateur Bréguet, au dépôt de la marine, n'a pas varié, pendant plusieurs années, de trois secondes par an ! (Voir *Astronomie* d'Arago, la marche de plusieurs régulateurs.)

Ce résultat prouve surabondamment l'inutilité des recherches d'améliorations entraînant des complications considérables comme des échappements à remontoir de formes variées, pour un appareil parfait en quelque sorte déjà, et qui font perdre à l'appareil cette simplicité, cette régularité, mathématiques en quelque sorte, qui en assure le bon service et que donne un bon échappement à repos. On peut dire qu'ils ne sont pas nécessaires, et si, exécutés par un habile artiste qui y a mis tous ses soins, tout son amour-propre d'inventeur, ils ont pu donner de bons résultats, il est certain qu'ils n'offriraient aucun avantage à être reproduits et donneraient, la plupart du temps, des régulateurs dont la précision serait bien inférieure à celle du régulateur normal que nous venons de décrire.

DE LA SONNERIE.

La principale exigence de l'usage civil pour les pendules d'appartement, ainsi que pour les grosses horloges destinées à montrer l'heure à l'extérieur, c'est de leur faire sonner les heures. Les systèmes dits sonneries, dont nous allons parler, étant nécessairement en rapport avec les rouages des heures qui agissent sur eux à l'instant voulu pour leur faire sonner l'heure marquée, il en résulte pour ceux-ci, malgré l'adaptation de systèmes moteurs spéciaux pour produire une action nouvelle, une charge, une variation d'efforts nuisibles à la régularité de la marche. Aussi jamais on n'adjoint de sonneries aux appareils de précision et on ne les emploie que dans l'horlogerie pour l'usage civil où l'exactitude absolue n'importe pas autant que la satisfaction de diverses convenances.

Nous allons passer en revue les deux modes de sonneries qui se retrouvent dans les pièces diverses à l'usage civil ; mais nous ferons auparavant observer qu'on pourrait faire sonner *un coup* à chaque heure sans aucun mécanisme particulier, en mettant simplement une cheville à la roue qui fait sa révolution dans une heure, et en disposant convenablement la *queue d'un marteau* pouvant frapper sur un timbre.

Une disposition plus convenable consiste à placer sur la roue des heures une came, un excentrique qui n'est qu'une pièce de métal, taillée en forme de spirale, comme on le voit dans la figure 3595, et dont l'effet est que le travail d'élévation du levier se trouve produit pendant l'heure entière, au lieu d'être fait brusquement, mais avec beaucoup de frottement, le long du contour de la came.

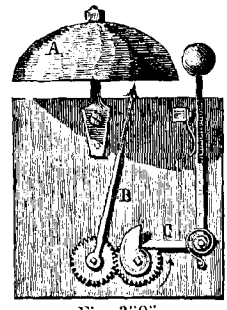


Fig. 3595.

Cet appareil exige que la force motrice soit peu augmentée. Cette disposition convient dans quelques cas, pour les tribunaux, par exemple, où la succession d'un grand nombre de coups est gênante. Elles suffisent parfaitement, puisqu'elles appellent l'attention sur le fait que l'heure vient de finir, et quiconque ne sait pas quelle heure il est, n'a qu'à regarder. Passons aux sonneries complètes.

Sonnerie à chaperon.

Sur une roue du mécanisme de l'horloge sont placées, en nombre convenable, des chevilles, pouvant lever la queue d'un marteau tournant autour d'un axe, l'une après l'autre. Au-dessus de la roue qui porte les chevilles pour la sonnerie, s'en trouvent ordinairement deux autres. La plus élevée fait mouvoir un modérateur à ailettes pour modérer la vitesse de déroulement du rouage, afin que les coups du marteau puissent se succéder convenablement. Celle au-dessus de la roue de la sonnerie doit accomplir exactement une révolution pour un ou plusieurs coups de marteau. Je supposerai que c'est une révolution pour chaque coup, comme cela a lieu ordinairement.

On verra par la figure 3596 sur quel principe repo-

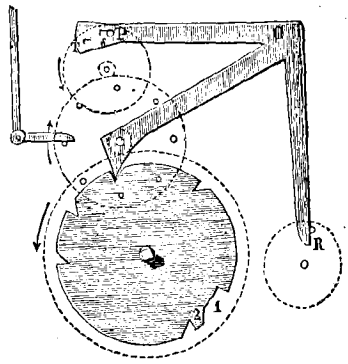


Fig. 3596.

sent les différentes manières de lâcher la sonnerie. Une cheville P, placée sur l'une des dernières roues du mécanisme, presse sur un point d'arrêt S placé sur un levier, lorsque l'horloge ne sonne pas. Ce levier courbé peut tourner autour d'un pivot et son autre bras peut être levé par une cheville R placée sur la roue des heures du mouvement, lorsque l'horloge est sur le point de sonner, et cela permet à la cheville P de franchir en glissant le point S ; mais elle ne peut aller loin, ne tardant pas à être arrêtée par un autre point T, situé soit sur la même pièce ou sur une autre qui s'y rattache ; le bruit qui en résulte se nomme *la préparation*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque l'instant de sonner est arrivé, la cheville R s'échappe entièrement de dessous la détente et la laisse tomber; de cette manière la roue à chevilles peut tourner jusqu'à ce que la cheville P soit revenue au point S. Mais avant que cela arrive on s'est arrangé, comme nous allons le dire, de telle sorte que l'arrêt S reste écarté si l'horloge a à sonner plus d'un coup.

Une grande roue appelée *chaperon* ou ROUE DE COMPTE, mue par le rouage et le moteur spécial de la sonnerie, fait sa révolution en 12 heures. Le bord du *chaperon* est partagé en 78 divisions, et il porte de profondes entailles aux distances successives de 1, 2, 3, etc., divisions, jusqu'à 12: l'on peut en voir quelques-unes sur le dessin. Un troisième bras de la détente s'étend jusqu'au chaperon et se termine par une dent qui peut pénétrer dans ses entailles. Lorsque le premier coup d'une heure quelconque sonne et que la roue à cheville P fait une révolution, le *chaperon* tourne aussi dans la direction indiquée sur la figure; la dent sortie de l'entaille vient reposer sur le bord jusqu'à ce qu'une autre entaille se présente pour qu'elle y tombe; la profondeur des entailles est telle que la détente est assez éloignée pour écarter les points d'arrêt S et T du passage de la cheville, après une révolution, et ils demeurent ainsi jusqu'à ce que l'horloge ait sonné le nombre de coups voulus par la rotation de la roue dont les chevilles agissent sur le marteau. Alors le mouvement de la sonnerie s'arrête, l'extrémité du bras de la détente tombe dans l'entaille suivante du chaperon, sa position étant bien celle convenable pour l'heure à sonner, et la cheville P, butant contre S, arrête le rouage de sonnerie. On voit que le chaperon serait (par des dispositions plus ou moins différentes de celles de la figure) un véritable cadran horaire, si les heures étaient marquées près des entailles, puisque le nombre indiqué par la partie supérieure du chaperon répond toujours au dernier nombre que l'horloge a sonné.

La sonnerie par chaperon est celle qui est employée pour les grandes horloges, pour les pendules d'appartement, dans tous les cas où la place ne manque pas pour installer le chaperon et le volant à ailettes qui règle le déroulement du rouage.

Pour en montrer l'application, nous décrirons le mécanisme complet d'une sonnerie à poids, celui-ci étant suspendu à la corde A qui s'enroule sur un cylindre B (fig. 3597). Le mouvement que tend à prendre celui-ci se communique à la roue dentée C montée sur le même axe, et, très-lent pour le premier mobile, devient très-rapide pour le dernier conduisant un régulateur à ailettes, qui retarde le déroulement des rouages, par l'effet de la résistance de l'air croissante comme le carré de la vitesse, ce qui conduit bien vite à un mouvement uniforme. C'est au moyen de roues et pignons montés sur le même axe (voy. ROUES DENTÉES), que s'obtient cette multiplication: Roue C engrenant avec pignon D. — Roue E avec pignon F. — Roue G avec pignon H. — Roue I avec pignon K. — Roue L avec pignon M dont l'axe porte les 2 palettes qui constituent le régulateur.

Pendant que ces rouages tournent par l'action du poids moteur, des chevilles *a a* fixées sur l'un des côtés de la roue G viennent successivement soulever le levier *b*, ce levier fait tourner l'axe *c*, auquel est attachée la queue du marteau *e*. Aussitôt qu'une des chevilles *a a* abandonne le levier *b*, après l'avoir soulevé, ce levier revient dans sa position primitive, en vertu de l'action d'un ressort, et le marteau se trouve ainsi ramené vers le timbre *f*.

Dans le cas actuel le marteau frappe le timbre, parce que, grâce à la flexibilité et à l'élasticité de sa tige et en vertu de la vitesse acquise, il dépasse en revenant la position du repos, et frappe un coup chaque fois qu'une des chevilles *a a* vient soulever le levier *b*.

Tant que l'horloge ne doit pas sonner, une cheville *i*, montée sur le plat de la roue I, vient buter sur l'extrémité *h* d'un levier *g h*. Ce levier, mobile autour de son extrémité inférieure, est soulevé par un appendice qui dépend du mécanisme de l'horloge, au moment

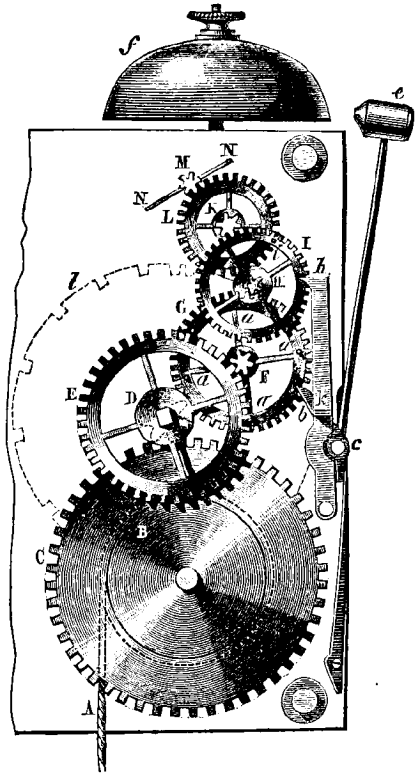


Fig. 3597.

où la sonnerie doit commencer à marcher. Si le levier *g h* retombe de suite dans sa position primitive, la roue I est arrêtée après avoir fait un seul tour; une seule cheville *a* est venue agir sur le levier *b*, et le marteau n'a frappé qu'un coup sur le timbre.

Pour que le marteau frappe le nombre de coups qui correspond à l'heure indiquée par les aiguilles, on fixe au levier *g h* un couteau transversal *k* qui s'appuie sur le contour de la roue ou chaperon placé en arrière. Fixé à l'axe de la roue E, le chaperon tourne avec une grande lenteur, quand la sonnerie marche et vient ainsi présenter successivement les divers points de son contour au couteau *k*. Si, au moment où le levier *g h* retombe, le couteau *k* entre dans un cran, l'extrémité *h* du levier arrête la cheville *i*; mais si ce couteau repose sur une portion de la roue *l* comprise entre deux crans, le levier *g h* ne peut arrêter la cheville *i*, et la sonnerie continue à marcher en raison de la longueur qui soutient le couteau, jusqu'à la rencontre d'un cran, c'est-à-dire donnera le nombre de coups voulu, si elle est de longueur convenable.

Le chaperon qui ne tourne que d'un petit arc chaque fois que la sonnerie se met en mouvement doit être tracé d'un rayon tel qu'il fasse un tour entier dans l'es-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pace de douze heures, qui forme la période de temps au bout de laquelle reviennent les heures de même nom. Pendant ce temps-là, la roue I doit faire autant de tours que le marteau doit frapper de coups, c'est-à-dire 78 tours, si le marteau ne sonne que les heures, et 90 tours si le marteau doit en outre frapper un coup aux demi-heures, comme dans les pendules de cheminée.

Sonnerie à râteau.

Un système, très-usité dans le siècle dernier, permet de faire répéter à une horloge la sonnerie de toute heure aussi souvent qu'on le veut, ou d'arrêter la sonnerie à volonté. Nous allons le décrire, vu que c'est à peu près le même système qui est adopté pour la construction des montres à répétition.

La roue de compte complète du système précédent est remplacée par une portion de roue LM (fig. 3598),

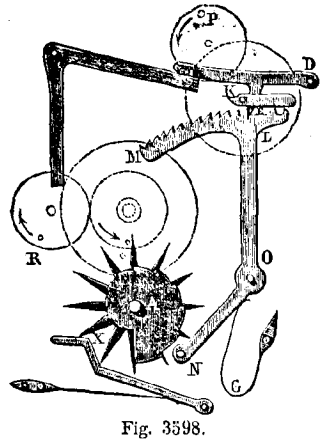


Fig. 3598.

appelée *râteau*, tournant sur un centre O et ayant 13 à 14 dents taillées en rochet. Un autre rayon ON de ce fragment de roue est muni d'une cheville, et sur une *étoile*, que nous décrirons bientôt et qui tourne en douze heures, se trouve fixé un *limaçon* ayant 12 gradins situés à des distances inégales du centre, sur lesquels s'appuie cette cheville, de manière à ce que, lorsque l'aiguille des heures indique, par exemple, 5, la cheville N puisse rencontrer le cinquième gradin du limaçon, par suite, à une profondeur telle que le *râteau* puisse tomber de l'espace de 5 dents. Le râteau est retenu par un cliquet DE fixé sur un axe au point D, dont l'action est combinée avec celle d'un ressort G placé à la partie inférieure. La bras du *cliquet* est prolongé et repose sur une détente dont le bras T faisant saillie en arrière est placé de manière que, lorsque la détente est poussée, la cheville P de la troisième roue du mécanisme de la sonnerie peut franchir le point d'arrêt T; mais lorsqu'elle est au repos, elle arrête la cheville, et, par conséquent, le mécanisme. Lorsque l'horloge donne l'avertissement, la cheville R de la roue horaire lève le cliquet, qui laisse le râteau retomber aussi loin que le permet le limaçon.

Au-dessus du râteau, il y a une espèce de crochet K, qui de fait n'est qu'un pignon d'une dent, placé sur l'arbre saillant de la seconde roue, c'est-à-dire au-dessus de la roue de la sonnerie, et à chaque révolution de cette roue, et par conséquent à chaque coup du marteau, il entraîne les dents du râteau, l'une après l'autre On voit que, quand l'horloge veut sonner, la détente se déplace, ce qui rend la cheville P libre, et laisse tomber le cliquet jusqu'au râteau, de manière à être prêt à saisir les dents et à les retenir à mesure que le pignon les repousse. Lorsque ce crochet a entraîné la dernière dent, sa queue tombe sur une cheville placée au bout du râteau, et, par suite, elle ne peut plus tourner davantage, et le rouage se trouve arrêté.

Si l'horloge doit pouvoir répéter à volonté la dernière heure sonnée, on prolonge le cliquet D en arrière; on y met un cordon qui descend dans la caisse de l'horloge, et lorsque ce cordon est tiré, l'horloge sonne. Mais si le cordon est lâché trop vite, le cliquet saisira le râteau avant qu'il soit tombé assez loin, et l'horloge ne sonnera pas assez de coups, et s'il n'est pas lâché assez vite, le cliquet ne saisira pas le râteau au premier coup, et elle sonnera trop de coups. Le cordon doit donc plutôt être fixé à la détente qu'au cliquet, comme on le fait habituellement.

La roue à étoile A, dont on se fait facilement une idée par notre dessin, tourne d'un douzième de tour chaque heure, au moyen d'une cheville fixée sur la roue des heures qui pousse un de ses rayons. Il est vrai que la cheville ne l'entraîne pas directement sur une longueur suffisante; mais, au moment où elle sera parvenue à la moitié de cette distance, le rayon placé au point X, dans le dessin, aura atteint l'angle de ce qu'on nomme le sautoir, placé en dessous, et aussitôt que la pointe du rayon aura passé l'angle, la pression d'un ressort fera le reste. Le sautoir agit ainsi à la fois pour maintenir la roue à étoile, et pour la faire arriver rapidement à la position qu'elle doit occuper.

2. *Grosses horloges.*

Les grosses horloges, dont la construction repose sur les mêmes principes que celle des horloges astronomiques, sauf la dimension plus grande des appareils et l'accroissement des résistances, sont en quelque sorte les grosses machines de l'horlogerie. Les forces motrices plus considérables, ainsi que les résistances des frottements, celles du vent sur des aiguilles de grande dimension, etc., conduisent à des pièces assez grandes et rendent nécessaire, pour obtenir de bons résultats, l'exécution des pièces suivant les principes de la science. La taille épicycloïdale des dents des roues, par exemple, est tout à fait indispensable, car les contacts s'y font suivant des longueurs notables, tandis que, dans les montres et appareils de même dimension, les contacts des petites roues à denture fine ne s'exercent, pour ainsi dire, qu'en un seul point, de telle sorte que la régularité de l'espacement de petites dents devient une condition presque suffisante, que la forme géométrique y devient d'importance secondaire.

Longtemps stationnaire en France, cette branche d'industrie n'a fait de véritables progrès que de nos jours. A quelques exceptions près, les grosses horloges avaient été bien plutôt des œuvres de serrurerie que des produits d'horlogerie; la substitution des moyens mécaniques de la fabrication aux procédés purement manuels a été la cause principale de leur amélioration. Jadis les grosses horloges étaient composées de roues de fer forgé, dont la denture était façonnée à la main, à l'aide de la lime et du burin, chaque dent l'une après l'autre; ces roues étaient montées sur des axes forgés et limés à pans. L'action rapide et précise du tour n'était pas toujours employée pour exécuter les pivots; des cages de fer forgé servaient à assembler les diverses parties; brutes de forge, ces cages ne recevaient d'ajustement qu'à leur point de réunion; les places où devaient être insérés les pivots n'étaient pas toujours, de prime abord, garnies d'un bouchon de cuivre; l'usure des contacts incessamment répétés des pièces composant l'échappement n'était combattue que par la présence de l'huile. Les vieilles horloges, dit M. Séguier, n'étaient, pour la plupart, que des espèces de grossiers tourne-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

broches réglés dans leur marche par un pendule oscillant, au lieu d'un volant à mouvement circulaire. La substitution du bronze au fer forgé pour les roues, la trempe en paquets, ou l'emploi de l'acier pour les pignons, la division mécanique des dentures, à l'aide de la plate-forme et de la fraise par les Hulot et les Salleneuve, la forme épicycloïdale donnée avec la hache à fendre ou crochet par les Pons, la fabrication des pignons par de semblables procédés, le tournage complet des axes par les Lepaute, les Janvier, les Wagner oncle et neveu, ont transformé en France ces machines. Nos vieilles horloges, dont les chocs fatiguaient les oreilles, ébranlaient même les planchers au moment des fonctions, sont désormais changées, grâce à ces habiles artistes, en admirables appareils de précision, cheminant avec douceur, n'interrompant le silence des lieux où ils sont installés que par le léger bruit inséparable de la chute de l'échappement et de la préparation de la sonnerie.

Nous donnons ici l'élévation (fig. 3599) et le plan (fig. 3600) d'une horloge de M. Wagner neveu; nous retrouverons dans cette construction l'application de la majeure partie des perfectionnements que nous venons d'énumérer.

Fig. 3599.

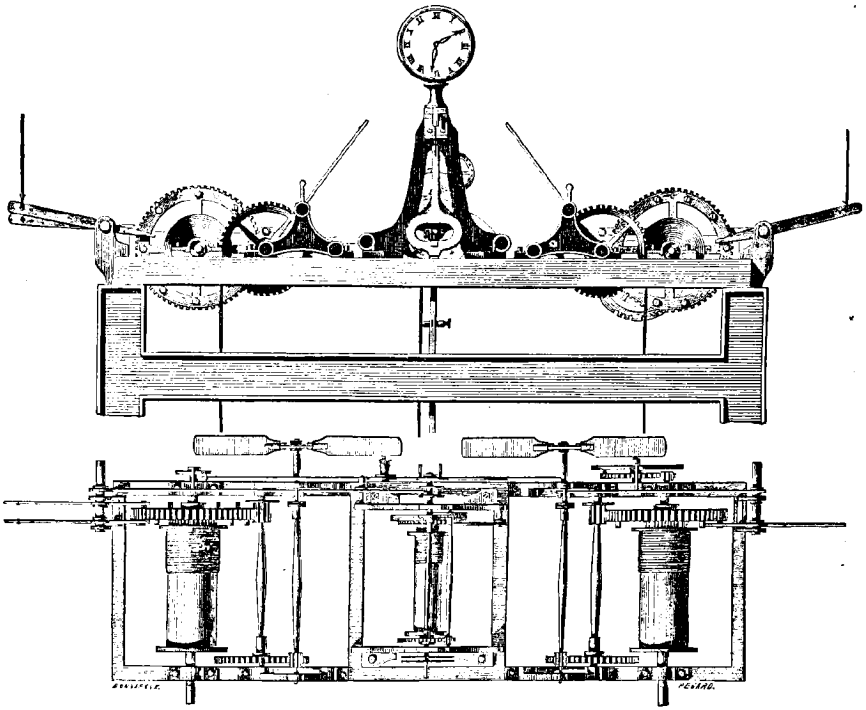


Fig. 3600.

Le châssis est un simple carré long, d'une seule pièce de fer fondu, ayant ses parois de champ, et portant toutes les roues et les détentes. Les roues sont épaisses et en laiton fondu; les plus grandes portent environ 30 centimètres de diamètre, quoique cette horloge soit des plus fortes et comporte des timbres ou cloches de cinq à six mille. La longueur du pendule est celle du pendule à secondes; les pignons de douze, dix et neuf; enfin, placées en arrière sont les roues dites de temps, qui ne contribuent qu'à la durée de la marche.

La tringle qui transmet le mouvement aux aiguilles du cadran ou des cadrans peut se projeter dans toutes les directions au moyen d'engrenages d'angle; la mise à l'heure de ces aiguilles est accusée par le petit cadran intérieur du haut de l'horloge représenté sur la figure.

Le mouvement étant groupé séparément des rouages de sonnerie, chaque partie se démonte à part, en levant les coqs qui tiennent les axes en cage. La sonnerie des heures est à droite, celle des quarts à gauche du mouvement de l'horloge.

Le mécanisme de cette dernière est le même que celui de la sonnerie des heures. Il suffit d'employer, pour compléter ainsi l'horloge, deux marteaux à la place d'un, et de placer une garniture de chevilles de plus sur la roue de la sonnerie pour les lever. S'il s'agit de faire sonner les quarts sur deux cloches, on peut construire cette roue parfaitement semblable à la roue de la sonnerie des heures, ayant seulement deux garnitures de chevilles placées sur ses côtés opposés, de manière à lever les deux marteaux alternativement. Mais s'il y a quatre cloches ou plus, la roue de sonnerie est rendue plus épaisse de manière à former un cylindre de carillon, avec des chevilles en ressortant comme le barillet d'une boite à musique, et ces chevilles lèvent suc-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cessivement les marteaux, qui sont tous placés sur un même axe.

La position des marteaux qui frappent sur les cloches est controversée : les uns veulent, pour faciliter le départ du rouage de sonnerie, que le marteau, au repos, pende perpendiculairement au bout de son levier, et qu'il présente, à mesure qu'il est soulevé, une résistance progressivement croissante pour venir ainsi en aide au volant à ailettes chargé de modérer le déroulage du rouage qui tend à s'accélérer; d'autres prétendent que la position du marteau au départ doit être telle, qu'il perde de sa pesanteur à mesure qu'il est soulevé pour compenser les inégalités d'effort que le rouage de sonnerie éprouve quand la résistance augmente et que la puissance diminue par suite des modifications de rapport entre les pièces des mécanismes agissant comme leviers (fig. 3601); d'autres encore veulent que les efforts restent constants, et remplacent les rouleaux par des cames calculées de façon à maintenir la résistance et la puissance dans une relation compensée: c'est ce que préfère le savant M. Denison, ce qu'il a fait appliquer dans l'horloge exécutée par M. Dent, sous ses inspirations, pour le palais de Westminster.

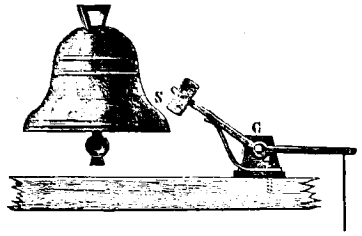


Fig. 3601.

Observations. — Nous signalerons encore, en terminant, quelques progrès dans la construction des horloges de clocher.

Nous avons déjà parlé de la diminution de la partie de l'appareil qui sert à la mesure du temps et par suite de l'accroissement de précision qui en résulte; et cela sans diminuer les proportions des sonneries qu'il s'agit surtout, le plus souvent, d'avoir très-fortes, sans l'inconvénient de réactions fâcheuses de ces deux parties de l'appareil mises en rapport par des roues dentées et des vis sans fin.

Le remontoir d'égalité de Lepaute, décrit plus haut, est généralement employé pour affranchir le mécanisme d'horlogerie des excès de pression causés par la grandeur des résistances.

Dans les dernières grosses horloges célèbres, on a adopté l'échappement à chevilles perfectionné, soit pour éviter les ruptures possibles, soit surtout pour diminuer l'usure, par le perfectionnement dû à M. Vulliamy, habile horloger de Londres, consistant à donner aux palettes de l'échappement une certaine mobilité, de telle sorte que les chevilles, qui ne peuvent être toutes absolument parallèles entre elles, s'appliquent sans produire d'usure sur des pièces qui, toujours en action, sont les premières usées.

Éclairage du cadran des grosses horloges. — M. Doré, du Havre, a trouvé la solution la plus satisfaisante, je dirais presque la plus merveilleuse de ce problème. Grâce à lui, les navigateurs peuvent, de plusieurs kilomètres de distance, voir l'heure que leur indique l'horloge de la municipalité du Havre, avec ses aiguilles de feu, sur un cadran à chiffres ardents. Pendant le jour cependant, le cadran de cette horloge n'offre d'autre aspect que des aiguilles et des chiffres blancs très-visibles sur un cadran à fond noir.

Cet éclairage est basé sur la propriété qu'ont les corps opaques d'arrêter la lumière à son passage, tandis que les corps transparents se laissent traverser. On forme le cadran d'un disque de glace sans tain sur lequel on fixe des chiffres découpés dans du verre dépoli ou opaque et maintenus en place par une très-légère sertissure métallique. Les aiguilles sont composées de même. On place derrière le cadran un écran de velours noir; on installe, dans un plan plus bas que le bord inférieur du cadran, entre l'écran et le cadran, un puissant éclairage dont les rayons lumineux sont dirigés vers le ciel; les aiguilles et les chiffres, arrêtant seuls la lumière à son passage, s'illuminent, le cadran transparent se laisse traverser, et, ne faisant voir que l'écran noir placé derrière lui, reste complétement obscur. Disons pourtant, et pour la faire mieux comprendre, que cette très-ingénieuse manière d'éclairer un cadran n'est praticable que pour des localités où le cadran ne doit être consulté d'aucuns points culminants, car pour ces points les rayons éclairants arriveraient directement du foyer d'éclairage à l'œil de l'observateur, et il ne pourrait plus y avoir de différence entre les aiguilles et le fond du cadran devenu, lui aussi, lumineux.

La durée d'éclairage d'un cadran doit égaler celle de la nuit; elle est donc variable, et plus longue en hiver qu'en été. Pour dispenser un surveillant de la double obligation d'allumer et d'éteindre quotidiennement, au moment convenable, l'appareil d'éclairage de l'horloge de Douvres, le bec de gaz, dont le robinet est établi de façon à ne pouvoir être jamais complétement fermé, reste constamment allumé; c'est l'horloge même, qui, par une courbe tracée suivant les moments du lever et du coucher du soleil pour la position de Douvres, manœuvre le robinet, l'ouvre complétement quand la nuit arrive, le ferme assez pour réduire le bec de gaz à l'état de veilleuse quand le jour reparaît.

3. *Pendules d'appartement.*

Le mouvement des pendules d'appartement est intermédiaire entre celui des régulateurs, des grosses horloges et celui des montres. Des premiers il tient le pendule et l'échappement à ancre, donnant des résultats certains avec une exécution un peu passable et de la montre le ressort moteur. C'est le défaut de place qui ne permet pas d'adopter les poids moteurs, et qui fait employer, au lieu de pendule battant la seconde, des pendules de 15 à 20 centimètres le plus souvent, donnant 8 à 10,000 oscillations à l'heure.

Le mouvement est représenté tel qu'il se présente en réalité fig. 3602; pour le mieux analyser, nous emprunterons au *Traité d'horlogerie* de Moinet la figure 3603 dans laquelle les pièces sont placées en ligne droite, le mouvement étant en quelque sorte déroulé. Il se compose essentiellement :

1° Du barillet renfermant le ressort moteur enroulé, portant 80 dents; ce barillet engrène avec le pignon de 12 monté sur l'arbre de la roue *de temps* de 75 dents. Le ressort est remonté à l'aide d'une clef qui se monte sur son axe, et son détournement est rendu impossible par l'effet d'un rochet monté à carré sur l'arbre et maintenu par un cliquet pressé par un ressort.

2° Des roues dentées qui, avec celles déjà indiquées, constituent la *minuterie*, à savoir: le pignon de 8 qui engrène avec la roue de temps de 75, et qui est montée sur la roue des *minutes* de 84 dents, dont un pivot prolongé et arrivant au-dessus du cadran est muni, au dehors de la platine, d'une roue dite de chaussée de 33, rivée à un canon qui se prolonge vers l'extrémité du pivot. Cette roue engrène avec une roue égale dont l'axe est porté par un pont, et cet axe est également celui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'un pignon de 7 qui mène de roue de canon ou *d'heure* de 84 dents, laquelle roule librement sur la chaussée; le canon prolongé de cette roue reçoit l'aiguille des heures, placée ainsi au-dessous de l'aiguille des minutes

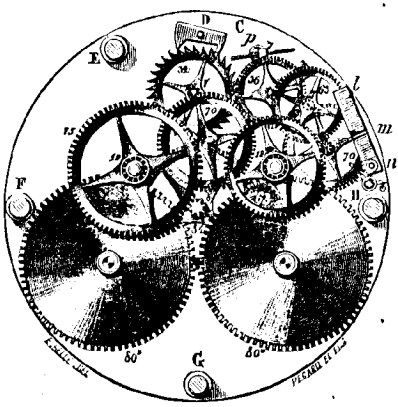


Fig. 3602.

et à fleur du cadran. Il est bien clair, sans établir le calcul de la minuterie, toujours à peu près la même dans tous les appareils d'horlogerie, que les roues égales 33,33 faisant nécessairement un tour dans le même temps, le pignon de 7 ne fera passer en un tour que sept dents de la roue des heures de 84 dents ou $^1/_{12}$ de son nombre, soit une heure, pendant que l'aiguille des minutes aura fait un tour complet, soit 60 minutes.

3° De l'échappement à ancre : composé de l'ancre D (fig. 3602) qui agit sur une roue d'échappement de 34 dents, dont l'axe porte un pignon de 7 dents, engrenant avec une roue de 70, enfin celle-ci, un même pignon de 7, engrène avec la roue de 84 des minutes.

L'ancre est fixée sur une tige montée sur deux pivots, et est mue par le pendule au moyen de la fourchette que traverse le pendule. Celui-ci est terminé par un crochet au moyen duquel il est suspendu à un fil de soie porté par une tige horizontale percée de deux trous; c'est du dessus de l'un de ces trous que la soie descend obliquement; puis, après avoir repassé par le second trou, il va s'enrouler autour d'une tige terminée par un bouton, et portant de l'autre bout un tourillon ou virole de laiton serrée à frottement doux de telle sorte que celui-ci serve à maintenir la soie et à l'enrouler ou la dérouler en faisant tourner le bouton. Il en résulte un mode de réglage très-simple, obtenu en faisant varier la longueur du pendule (qui doit se compter à partir de la tige qui reçoit le fil) et par suite la durée des oscillations. Cet avantage fait conserver généralement ce mode de suspension, malgré la supériorité de la suspension à ressorts.

La tige du pendule, formée d'un fil d'acier, porte vers sa partie supérieure un petit prisme de laiton de section rectangulaire appelée *la passe*, qui traverse l'ouverture de la fourchette dépendant de l'ancre, ployée d'équerre à cet effet. La lentille est circulaire et plate; ses bords sont taillés en biseau pour diminuer la résistance de l'air.

Sonnerie de la pendule. — La situation des mobiles a beaucoup d'analogie avec celle du mécanisme des heures. Un barillet se déroulant lentement est le moteur, et un volant à ailettes mû rapidement, le régulateur. La denture du barillet engrène avec le pignon de 12 de la roue de 63 dite *première de sonnerie*; celle-ci mène le pignon de 8 de la roue de 70, située près du bord de la platine et dite *de chevilles*, parce qu'elle en porte 10 également espacées et rivées sur le plat et au mi-

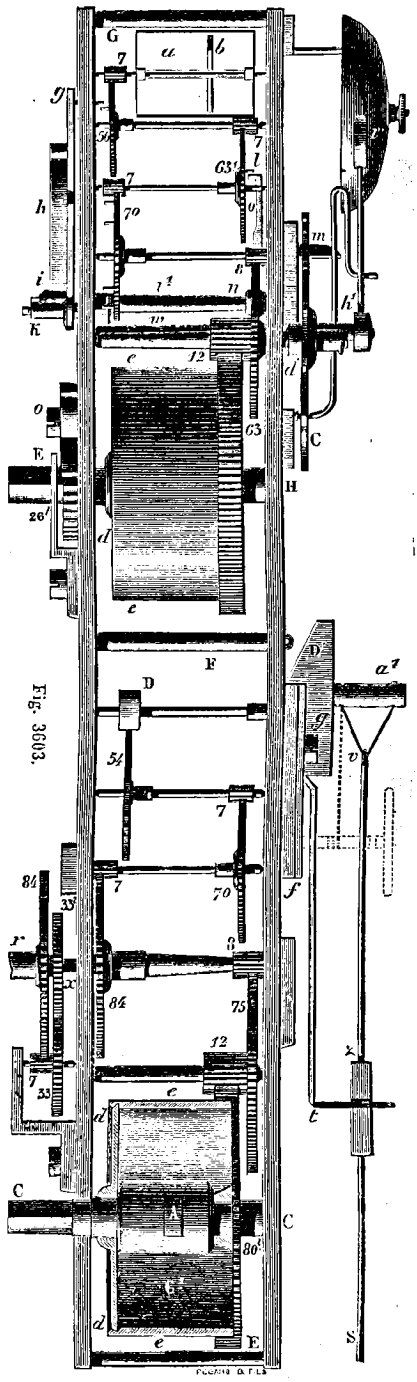


Fig. 3603.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lieu de son limbe; ces chevilles agissent sur un petit bras porté par l'arbre *h'* *i"* destiné à frapper sur le timbre du marteau.

La roue de chevilles 70 mène un pignon de 7 de la roue 63 qui est dite *d'arrêt* parce qu'elle porte une cheville pour arrêter le rouage après le dernier coup de chaque heure. Cette roue 63 engrène avec le pignon suivant de 7 de la roue 56 qui mène le dernier pignon de 7 monté sur l'arbre d'un volant à ailettes. La roue 56 dite *de volant* porte sur son plat une cheville qui est momentanément arrêtée par la détente de la minuterie mise en mouvement par celle-ci; une saillie méplate *g* appartenant à la détente traverse la platine.

Cette détente est placée sur la grande platine au-dessous du cadran; l'arrêt ou couteau (fig. 3602) est supporté par les parties pleines et élevées du chaperon, pendant que la pendule sonne, pour que le bout de détente *l* laisse passer la cheville de la roue d'arrêt 63 qui fait un tour par coup de marteau, jusqu'à ce qu'une entaille du chaperon permette au couteau *m* de s'y enfoncer et d'arrêter la roue 63 à la fin du nombre de coups de marteau convenable pour chaque heure; pour chaque demi-heure, le couteau n'est soulevé qu'un instant par la détente de minuterie, et ayant laissé passer une fois la cheville d'arrêt, il retombe dans la même entaille assez étendue pour cet effet.

La tige du marteau, assemblée avec lui par un carré, porte un bras rivé qui entre sous la roue à chevilles. Un petit bras de son axe est rencontré par la roue des chevilles. Cet axe porte au bout opposé un petit bras sur lequel presse un ressort mince qui renvoie le marteau sur le timbre; sous le marteau est un contre-ressort destiné à tenir le marteau un peu relevé aussitôt qu'il a frappé le timbre, pour qu'il n'y reste pas appuyé, ce qui en absorberait les vibrations sonores.

4. *Chronomètres.*

Nous avons consacré un article spécial à ces importants appareils; nous n'avons pas à y revenir ici.

5. *Montres.*

Bien des inventions se sont succédé pour perfectionner les montres, ce qu'explique l'importance de l'industrie de l'horlogerie, qui, en Suisse, à Genève surtout, a pris un admirable développement.

A. Bréguet classe toutes ces inventions sous trois divisions qui nous semblent précieuses à conserver:

1° Inventions de formes, de dispositions plus ou moins agréables, commodes ou séduisantes. Ces inventions ne produisent que des avantages commerciaux, donnent de l'activité aux ateliers momentanément, enrichissent quelques artistes, mais sans accroître en rien ni leur art ni leur réputation;

2° Inventions profitant à la solidité, c'est-à-dire de moyens qui font que les produits durent plus longtemps, sont moins sujets à se détruire par l'usage, que les accidents sont moins dispendieux à réparer, etc. Les inventions de ce genre restent et enrichissent l'art;

3° Inventions qui augmentent l'exactitude de la marche de la montre, qui combattent plus de causes d'irrégularité, telles que changements de température, variations du frottement, l'agitation et la diversité des positions, etc. Ces inventions forment la grande richesse de l'art, lui font faire des progrès pour atteindre son but le plus important, l'exacte mesure des temps.

Montres à échappement à cylindre. L'échappement à cylindre qui demande peu de hauteur a remplacé l'échappement à palettes, dont il serait inutile d'étudier les anciennes applications, et, en donnant une précision plus grande, a permis, en augmentant la longueur du ressort moteur, de supprimer la fusée, qui, dans la pratique, pour les ouvrages à bas prix, était aussi souvent cause d'irrégularité que de régularité. C'est à Lépine et à A. Bréguet que l'on doit les formes de construction simples et élégantes qui constituent les montres plates, auprès desquelles les anciennes paraissent lourdes et disgracieuses.

La figure 3604 présente le mouvement d'une montre

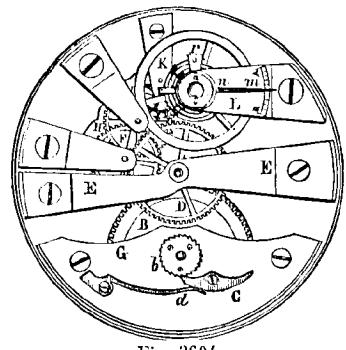


Fig. 3604.

moderne vu en dessous. On voit que la platine supérieure n'existe plus et que les axes des roues sont maintenus par la platine inférieure d'une part, et de l'autre par des ponts montés sur cette platine.

B est le barillet renfermant le ressort moteur et portant 80 dents, son axe est guidé par le pont C. Le rochet *b*, maintenu par un doigt pressé par le ressort *d*, est assemblé avec l'arbre du barillet et l'empêche de retourner en arrière lorsqu'on remonte le grand ressort à l'aide du carré placé au centre.

La grande roue moyenne D est la plus élevée de toutes. Son axe est porté par le pont E, qui traverse complétement la montre et forme un assemblage solide. Le pont L reçoit le pivot supérieur du balancier et porte la raquette *m* *n*, qui tourne à frottement doux autour de ce pivot. Le spiral fixé en *r* est, en outre, passé entre deux chevilles placées en *o* à l'extrémité de la raquette; le contact de ces chevilles détermine la longueur du ressort spiral qui vibre et, par suite, permet d'obtenir ainsi les corrections que la marche de la montre ferait désirer.

Le pivot de la roue d'échappement roule dans le pont K, et le cylindre est sur l'axe même du balancier.

Une des conditions essentielles de la régularité des montres, le moyen le plus certain de les rendre peu impressionnables à tous les petits accidents qu'elles peuvent éprouver dans l'usage civil consiste à donner une vitesse assez grande au balancier. Dans le système représenté dans la figure, il est facile de calculer que le nombre de ses vibrations s'élève à 18,000 par heure. En effet, le barillet B a 80 dents; la grande roue moyenne D a 64 dents; son pignon (monté sur le même axe et qui engrène avec le barillet) a dix ailes; la petite roue moyenne F a 60 dents, son pignon 8 ailes; la roue de champ H a pareillement 60 dents, son pignon 8 ailes; enfin la roue d'échappement a 15 dents et son pignon 6 ailes.

On peut donc représenter les rouages par le tableau suivant :

$$\begin{array}{r} 80 - 10 \\ 64 - 8 \\ 60 - 8 \\ 60 - 6 \\ 15 \end{array}$$

ce qui donne bien le rapport $\frac{8 \times 8 \times 6}{64 \times 60 \times 60 \times 15} = \frac{1}{9000}$ pour une vibration, ou 18,000 simples pour un tour de l'axe des minutes.

Les montres que le commerce produit en plus grand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

HORLOGERIE.

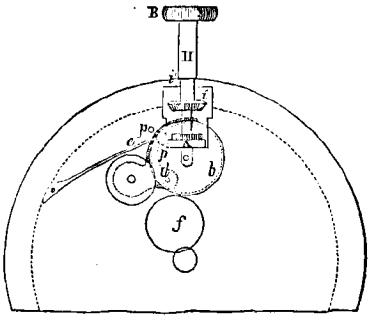
nombre sont toujours des montres à cylindres; la Suisse, centre principal de fabrication, en fait peu d'autres; la France également. En Angleterre on fabrique de préférence des montres avec l'échappement à ancre.

Des variétés nombreuses de formes, de grandeurs, se rencontrent dans le commerce, depuis des montres cachées dans un bracelet, dans lesquelles les organes arrivent à des proportions microscopiques, jusqu'à des montres dites demi-chronomètres, dans lesquelles les organes sont dans les conditions du meilleur fonctionnement.

Montres sans clef. — Une invention assez récente, que la consommation a accueillie avec assez de plaisir, consiste dans la suppression de la clef qui sert à remonter, ou plutôt dans l'emploi, dans ces montres sans clef, du *pendant* de la montre pour remonter le ressort, en faisant tourner l'axe du barillet à l'aide de roues d'anglés.

Nous décrivons ici la disposition employée dans la maison Bréguet, et qui en même temps permet de remettre les aiguilles à l'heure par le même bouton qui sert à monter le ressort, difficulté de cette construction.

La figure 3605 représente la remise à l'heure au



3605.

repos, c'est-à-dire dans la position qu'elle occupe quand la montre marche.

A, pignon de remise à l'heure fixée sur la tige de remontoir H.

b, roue de remise à l'heure.

cc, renvoi intermédiaire engrenant avec *b* et porté par une bascule qui a son centre de mouvement en *d'*.

ee', ressort fixé sur la platine en *e'*, et dont la tête en forme de sautoir appuie contre la bascule D près de *e* et la maintient en place.

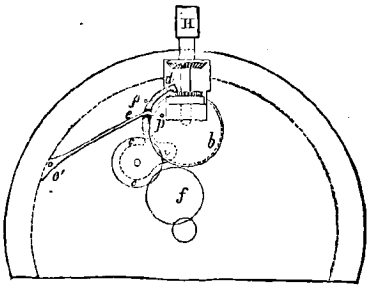
f, renvoi de minuterie.

n, pignon de remontoir fixé sur la tige H.

i i', deux gorges ou entailles pratiquées sur la circonférence de la tige H, et qui reçoivent le bec d'un ressort (pas figuré) qui maintient en place la tige en appuyant dans l'une ou l'autre entaille, selon que le remontoir ou la remise à l'heure est en prise.

Lorsque l'on veut remonter la montre, on s'assure que le bouton B est bien poussé à fond; alors le pignon *n* engrène dans une roue placée sur l'arbre du barillet, soit directement, soit par renvoi, suivant l'emplacement, puis on tourne le bouton de gauche à droite jusqu'à ce que l'on éprouve un arrêt.

Lorsque l'on veut remettre les aiguilles à l'heure, on tire en dehors le bouton B dont la tige est alors retenue par un ressort qui entre dans la gorge *i*; le pignon A de remontoir, suivant le mouvement de recul de la tige, vient appuyer sa face contre le bec de la bascule (fig. 3606), le repousse en arrière et fait passer le plan incliné ou dent du bras de la bascule sur le plan opposé du sautoir *e*; ce ressort étant convenablement



3606.

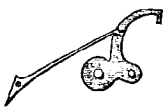
bandé continue le mouvement de la bascule et fait engrener le renvoi intermédiaire *c* avec la roue de minuterie *f*.

La tige H continue son mouvement jusqu'à ce que le ressort appuyant dessus ait trouvé la seconde gorge *i*, engage alors les dents du pignon A dans les dents de la roue de champ *b*; l'appareil est alors dans la position que nous montre la figure 3606, c'est-à-dire la minuterie en prise avec la mise à l'heure.

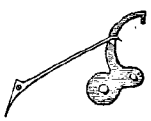
Pour opérer le dégagement de la minuterie, on fait rentrer, en la poussant, la tige H jusqu'à ce que le ressort, retrouvant la gorge *i*, arrête cette tige.

Le pignon A, en suivant le mouvement de la tige, dégage des dents de la roue *b* avant que la bascule ait commencé son mouvement, et ce n'est que quand le pignon de remontoir *n* vient appuyer derrière l'extrémité de la bascule en *d'*, que celle-ci commue le dégagement du renvoi intermédiaire qu'elle porte; le pignon *n* la conduit jusqu'à ce que le sautoir ait passé sur la dent opposée de la dent de bascule *c*; le sautoir achève alors son mouvement et la maintient à sa place, appuyée contre l'une des goupilles *pp* qui limitent son mouvement.

Les fig. 3607 et 3608 représentent la bascule D dans



3607.



3608.

ses deux positions; elle est au repos (fig. 3607) et elle est en prise pour la remise à l'heure (fig. 3608).

La roue de remise à l'heure étant parfaitement libre (quand la remise à l'heure n'est pas engagée) et la bascule faisant engager la roue de renvoi *cc* dans la minuterie, avant que le pignon A arrive dans les dents de la roue *b*, il s'ensuit que les aiguilles ne peuvent être déplacées par l'engagement du renvoi, dans le cas où les engrenages ne se présenteraient pas dans de bonnes conditions, parce que la chaussée offrant suffisamment de résistance, la roue de minuterie fera tourner les roues de remise à l'heure *b* et *cc'*, si un plein du renvoi *cc'* rencontrait un plein de la roue de minuterie *f*, quand la bascule, par son mouvement de rotation autour du centre *d'* fera engager le renvoi *cc'*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il en est de même quand on opère le dégagement de la remise à l'heure en repoussant le bouton de remontoir. Le pignon A, quittant la roue *b* avant que la bascule ait commencé son mouvement pour dégager la roue *b*, se trouve de nouveau libre et peut obéir s'il est nécessaire au mouvement du renvoi quand le dégagement de celui-ci se fait.

Ce système est employé et exécuté dans les montres à remontoir fabriquées dans nos ateliers, et répond parfaitement au but proposé, savoir :

1° Isoler la minuterie de tout renvoi ou engrenage (autres que les siens propres), qui sont toujours des résistances nuisibles et inutiles, et sont souvent des causes d'arrêt dans les montres où un renvoi est tantôt menant, tantôt mené, et reste toujours engagé avec la minuterie;

2° Obtenir par un moyen simple et facile un embrayage et désembrayage de remise à l'heure sans que les aiguilles puissent être dérangées dans cette opération.

La maison Bréguet construit toujours des montres qui ne se remontent pas ou plutôt se remontent, étant portées, par l'agitation d'un poids montant le ressort par l'intermédiaire d'un cliquet. A. Bréguet a varié souvent et avec grand succès cette ingénieuse disposition.

Montres à répétition. — Le mécanisme des montres à répétition se rapproche tout à fait des sonneries à râteau dont nous avons parlé plus haut.

Nous allons retrouver les principales pièces indiquées, remarquant que le marteau frappe ici sur un ressort circulaire, sorte espèce de timbre qu'on puisse employer sur le peu de place dont on dispose.

La pièce courbe *o* (fig. 3609), dite *tout ou rien*, est noyée

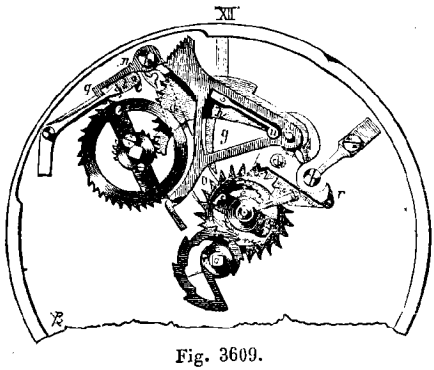


Fig. 3609.

dans l'épaisseur de la platine, sauf près de son centre de rotation *i* placé à sa partie supérieure à droite (une ligne ponctuée montre la place réservée pour le petit mouvement que peut lui faire faire un petit ressort qui la remet en place après qu'elle a été déplacée); le crochet qui la termine sert à dégager le verrou *nq*, comme nous le dirons. Il porte au centre de sa partie courbe l'axe du limaçon des heures et la roue à étoile; enfin le sautoir de cette roue.

Le râteau ou crémaillère *g* peut, par son extrémité, s'appuyer sur le limaçon des heures *b*, *b*. Elle porte un ressort, dont la tête pénètre dans une cavité pratiquée dans l'angle de la pièce des quarts, près de son centre de mouvement.

Cette pièce des quarts *c* tourne, comme la précédente, autour du même axe que le *tout ou rien*, au moyen d'un canon. Par son extrémité, elle peut s'appuyer sur le limaçon des quarts *a*, lorsque le mouvement de la crémaillère lui permet de descendre. La partie dentée n'est pas un râteau proprement dit, mais est destinée seulement à recevoir le verrou *nq*. Cette partie est terminée par une dent plus grosse que les autres.

La roue *e* est le rochet du marteau; elle porte douze dents pour les heures, plus, à distance, trois doubles dents pour les quarts frappés par les doubles coups du même marteau. Son axe, en tournant, enroule un ressort placé dans un petit barillet, et ce ressort, devenant libre d'agir, ramène le rochet avec rapidité, de manière à faire frapper le marteau. Cette vitesse est régularisée par un rouage de roues et pignons mus par une roue montée sur le même axe que le rochet, et agissant sur un petit échappement à recul.

La levée, solidaire avec le marteau, est en *t*, entre le verrou et le rochet. Elle porte une dent angulaire attaquée par celles du rochet pour faire lever le marteau. Elle est relevée ou abaissée par l'action de deux ressorts de sens opposés qui agissent ensemble.

Le limaçon des quarts est une pièce plate montée sur l'axe *a* de la roue des heures, et divisée en huit gradins, comme le montre la figure. L'embase, sur laquelle repose son canon, est entaillée pour laisser mouvoir de quelques degrés une courte goupille portée près du centre du limaçon. Il est percé dans l'épaisseur de son deuxième gradin, où il reçoit, à frottement dur, une longue cheville d'acier méplate, qui se prolonge jusque dans une autre entaille étroite faite à la portée du bas de la chaussée, goupille qui fonctionne comme ressort. Une cheville, tournant avec le limaçon, fait tourner, d'une dent à chaque heure la roue du sautoir (l'étoile), comme dans toute répétition à râteau.

Lorsque cet effet a lieu et que le ressort du sautoir agit, le limaçon des quarts reste quelque temps sans mouvement pendant que la chaussée, continuant de marcher, fait effort et met en jeu l'élasticité de la longue goupille du limaçon resté en arrière. Bientôt le limaçon et la chaussée commencent à marcher ensemble; mais lorsque la dent de la roue du sautoir échappe à celui-ci, instant où l'aiguille des minutes arrive vers 60' du cadran, alors le limaçon des quarts, avançant par le ressort de sa longue goupille, récupère l'intervalle dont il était resté en arrière, et présente tout à coup, au bras de la pièce des quarts, son entaille la plus profonde. Ici, l'effet du limaçon est inverse de celui des répétitions ordinaires; le degré le plus élevé fait sonner les trois quarts, et son gradin le plus enfoncé ne donne pas de quarts, parce que la pièce des quarts, lorsqu'elle descend aussi bas, est ramenée par la crémaillère aussitôt la dernière heure frappée, et que la première petite dent sur laquelle le bec du verrou s'appuie par l'accrochement complet du tout ou rien, relève assez le verrou pour faire baisser la levée subitement au dernier coup de l'heure; tandis que si la pièce des quarts se trouve retenue par le plus haut gradin du limaçon, pendant la descente de la crémaillère, c'est sur la dernière petite dent que le bec du verrou se trouve appuyé, et la pièce des quarts, ainsi que cette dent, étant ramenée plus tard par la crémaillère, puisque la pièce des quarts est très-peu descendue, le rochet a eu le temps de faire frapper les trois quarts avant le relèvement du verrou.

Le jeu des pièces étant ainsi indiqué, on comprendra bien l'ensemble des effets d'une répétition, que complique le désir de faire frapper les heures et les quarts par des mécanismes qui se commandent et qu'il faut faire tenir dans un espace minime. Lorsqu'on enfonce le poussoir, la crémaillère, sur laquelle il agit directement, obéit en faisant tourner le pignon et le rochet, et pousse la pièce des quarts jusqu'à ce qu'elle rencontre le limaçon des quarts, puis continue à descendre seule, ce que permet suffisamment l'ouverture trian-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gulaire de la pièce des quarts dans laquelle se trouve le ressort *u*, appuyé, pendant le repos des pièces contre la branche supérieure de la pièce des quarts, par la pression de sa tête contre l'angle de cette pièce, la séparation ne s'effectuant que lorsque celle-ci est appuyée sur son limaçon et y restant par la pression du ressort; enfin le mouvement de la crémaillère continue jusqu'à ce qu'elle atteigne le limaçon des heures.

A ce moment, elle fait reculer le tout ou rien portant le limaçon des heures, dégage le crochet qui maintenait un tenon placé dessous le verrou *nq*, et rend libre le fort ressort de dessous la levée jusqu'alors abaissée par la queue de celui-ci. Ce ressort remonte donc cette levée, malgré la faible opposition du ressort supérieur de force moindre, ce qui met en prise cette levée avec le rochet dont le mouvement rétrograde est alors terminé. La main ayant retiré le poussoir, comme il convient toujours de le faire, le marteau frappe les heures et les quarts, les heures en raison du nombre des dents du rochet, déterminé par la position du limaçon des heures, et les quarts en raison de la position où s'est arrêtée la pièce des quarts. Quand le dernier coup se frappe, ou plutôt auparavant, dès que la patte du ressort *u* a atteint la branche du haut de la pièce des quarts, la petite dent de l'extrémité large de cette pièce a déjà repoussé le verrou suffisamment sur l'entaille du fort ressort du levier pour l'abaisser, de sorte que la levée n'est plus retenue que par l'accrochement de la dernière dent du rochet qui doit faire frapper un dernier coup de marteau, et par la résistance de ce marteau. Il suit de là qu'aussitôt le coup frappé, la levée, n'ayant plus de support en dessous et étant sollicitée par le ressort supérieur, s'abaisse tout à coup au-dessous du rochet, où elle reste jusqu'à ce qu'un nouveau mouvement du poussoir la remette en prise.

6. *Horloges électriques.*

L'électricité fournit, par la rapidité avec laquelle son action se transmet, un moteur doué de propriétés particulières qui paraît *à priori* bien convenir à l'horlogerie pour laquelle il n'y a pas à redouter le défaut capital de ce moteur de se mal prêter à la production de grandes quantités de travail.

Nous avons déjà parlé, à l'article télégraphie, de cette curieuse application de l'électricité, nous compléterons ici ce que nous avons dit à ce sujet en passant en revue les deux modes d'application de cet agent : 1° Emploi de l'électricité comme moteur d'appareil d'horlogerie; 2° Emploi de l'électricité pour transmettre à distance et multiplier à l'infini les indications d'un régulateur.

1° *Emploi de l'électricité comme moteur.* — Le moyen employé avec le plus de succès consiste à utiliser l'électricité à assurer l'isochronisme d'un pendule; ce qui est facile à combiner avec l'action d'un petit poids pour surmonter les résistances de l'air ou autres qui s'opposeraient à la continuation de son mouvement. Le pendule allant de gauche à droite vient établir la communication d'un courant qui, introduit dans un fil qui se dirige sur une minuterie, fera avancer d'une dent une première roue à l'aide d'un levier Lagarousse et d'un électro-aimant. Ce même courant relève une boule placée à gauche par un petit électro-aimant, et cette boule, retombant aussitôt que le courant cesse, restituera au pendule, en s'appuyant sur lui lors de la seconde partie de son oscillation, la force vive qu'il aura pu perdre dans la première partie.

Bien qu'assez parfait en apparence, ce système n'a pas la précision d'un bon régulateur.

Le courant électrique est encore trop mal connu pour qu'on puisse prévoir toutes les causes d'erreur qui peuvent exister dans un semblable appareil.

2° *Transmission à distance de l'heure d'un régulateur.* — J'ai appliqué avec assez de succès à Lyon un système qui se rapproche beaucoup de la télégraphie, à une vingtaine de lanternes à gaz, et à Paris sur le Pont-Neuf. Il consiste à faire reporter sur les cadrans mis en communication avec un fil les mouvements d'un cadran régulateur; ce qui rend facile toute interruption et communication de mouvement déterminé par le pendule du régulateur, de transmettre ainsi par le seul fait de l'établissement du courant, au moyen de l'horloge-type, une rotation d'une seconde ou d'une minute.

Mais ce système d'horloge dont le principe est si séduisant ne peut être employé à de grandes distances, par la raison que les longs conducteurs, placés surtout le long des maisons dans l'intérieur des villes, étant sujets à mille et une causes de perturbation, il y a des contacts en plus comme il y en aurait en moins, et par suite erreur dans les indications.

Je me suis demandé si on ne pouvait atteindre le but proposé d'une manière pratique en employant l'électricité à remettre les horloges à l'heure seulement une fois ou deux chaque jour, par exemple, et, par suite, assurer une concordance de mouvements très-satisfaisants, en employant les mouvements que le commerce fournit à bas prix.

Voici comment j'y suis parvenu.

J'ai au point de départ un régulateur qui n'établit le courant électrique qu'une seule fois ou deux fois au plus en 24 heures pendant quelques secondes, 8 à 10, afin de bien donner le temps aux pièces mécaniques qu'il met en jeu de remplir leurs fonctions. Dans le circuit sont placés des pendules ou horloges ordinaires auxquels j'ajoute le mécanisme suivant :

La grande aiguille des minutes A (fig. 3609) est montée sur la chaussée qui est ajustée sur l'axe *a*. Cette roue de chaussée, comme on sait, est ajustée de manière à ce qu'elle puisse tourner pour pouvoir remettre les aiguilles à l'heure.

Cette roue porte au-dessus un levier A' qui tourne ainsi en même temps que l'aiguille; il est placé de telle sorte qu'il est dirigé de haut en bas quand au contraire l'aiguille A est sur midi.

Deux roues, G et G', de même diamètre et engrenant ensemble, sont placées au-dessus du centre *a*, de manière qu'elles soient toutes deux tangentes à la perpendiculaire qui passe par le milieu de A', au moment de 12 heures.

Ces deux roues portent chacune deux chevilles (g^1, g^2) (g^3, g^4). Ces chevilles sont placées de manière qu'elles doivent en tournant toujours rencontrer A', s'il n'est pas dans la verticale; si A' se trouve vers la gauche ou si la pendule est en avance, les deux roues en tournant, et au moyen de la goupille g^1, mettront l'aiguille sur 12 heures. Si au contraire A' avait été vers la droite, ou la pendule en retard, la goupille g^4 aurait placé A' dans la verticale, ou l'aiguille sur 12 heures.

Les roues G et G' font partie d'un rouage accessoire dont le moteur en G porte sur un axe un chaperon divisé en deux et quatre parties, suivant le nombre en rapport que l'on donne aux diverses roues, un volant R dont le pignon engrène avec la roue du moteur est arrêté par un levier L, dont le grand bras terminé en bec vient tomber dans une entaille du chaperon. Le petit bras C porte une plaque en fer doux au-dessus de piles d'un électro-aimant M.

Quand le courant passe, M attire la plaque de fer doux, le volant est dégagé et le rouage tourne jusqu'à ce que le bec ", venant à tomber dans l'entaille suivante à celle où il était, vient arrêter de nouveau la force motrice.

La figure 3610 donne la vue de côté de la minuterie.

On conçoit donc que si ce déclanchement électrique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a lieu tous les jours à midi et que si la pendule que nous venons de décrire n'est pas à l'heure juste, elle sera remise à l'heure par cet effet.

Le jeu du mécanisme, simple comme il est, comporte une erreur de 8 à 10 minutes, supérieure à la variation de la plus mauvaise horloge d'un jour à l'autre.

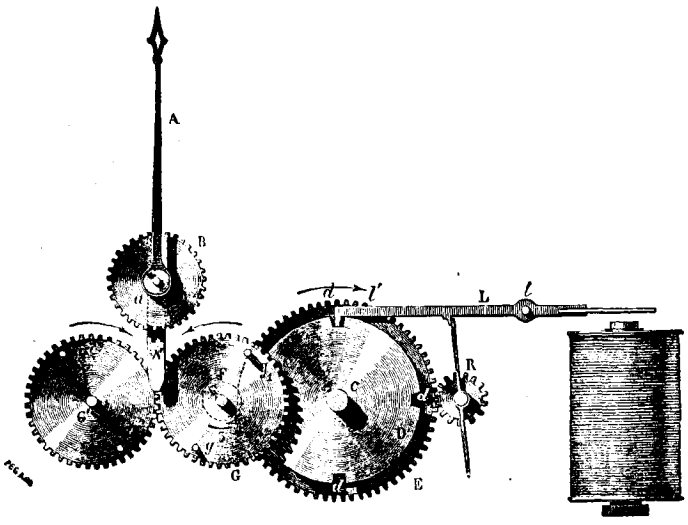


Fig. 3610.

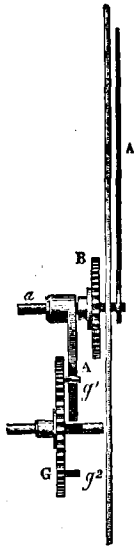


Fig. 3611.

Cet effet n'ayant lieu qu'une fois par jour et pendant un temps très-court, l'on conçoit qu'il ne doit jamais être dérangé par les causes atmosphériques, et que d'ailleurs, si cela arrivait ou si la pile venait à faire défaut, cela serait sans nul inconvénient, puisque l'horloge doit être assez bonne pour ne pas varier sensiblement d'un jour à l'autre. — On peut donc, avec ce système, faire ce qui est impossible avec l'autre, donner l'heure exactement à toutes les distances sans craindre d'erreur. BRÉGUET.

HOUBLON. Voy. BIÈRE.

HOUILLE; CHARBON DE TERRE (*angl.* coal, *all.* steinkohle). L'emploi de la houille, sur lequel repose toute l'industrie de nos jours, qu'on a nommée avec raison le *pain de l'industrie*, est moderne comme la création des grandes manufactures. Mais ce n'est pas seulement de son introduction dans celle-ci par suite de l'invention de la machine à vapeur, qui a fait reposer sur la houille la vie des usines, les transports des chemins de fer, que nous voulons parler, mais encore de l'emploi de la houille dans le chauffage domestique et la métallurgie. Nous trouvons, dans un ouvrage anglais, quelques curieux détails sur les débuts de cette consommation dans le pays classique du charbon de terre, dont nous donnerons un court résumé.

Ce n'est qu'à partir du XIII[e] siècle que l'on trouve des preuves de l'extraction régulière de la houille. Des documents établissent qu'en 1239 le roi Henri III accorda aux habitants de Newcastle-sur-Tyne des lettres patentes leur constituant un privilége d'exploitation. La consommation de Londres s'empara alors si rapidement du produit des houillères, qu'au commencement du siècle suivant, les habitants de la grande cité élevèrent des plaintes très-vives au sujet de l'abondance de la fumée qui, suivant eux, portait atteinte à la santé publique. Aussi voit-on, en 1306, le roi Édouard I[er], à la suite d'une pétition adressée au Parlement, rendre un édit défendant de brûler de la houille à Londres, ainsi que dans les faubourgs, pour éviter *les vapeurs de soufre et l'odeur de la fumée*; en même temps il est enjoint aux habitants de ne brûler que du bois. Le résultat d'une pareille prohibition devait, en augmentant la consommation du bois, amener peu à peu une pénurie inévitable, si bien que la houille ou charbon marin, précédemment proscrite, recommença bientôt à naviguer sur la Tamise, puis elle s'implanta de nouveau dans la capitale. Depuis lors, le commerce de la houille a été sans cesse croissant avec le développement de la population d'abord, puis plus rapidement avec les progrès de l'industrie.

Une des premières fabrications qui aient fait usage de la houille est celle de la fabrication du verre, entreprise vers 1619 sur les bords de la Tyne. Quinze ans plus tard, un édit du roi Charles, prohibant l'importation du verre étranger, proclame que « Sir Robert Mansell, en se servant de la houille ou charbon marin dans sa fabrication, a réalisé, au prix de grands sacrifices et grâce à son intelligence, un perfectionnement qui a pour résultat non-seulement de favoriser la conservation des bois du royaume, mais encore de permettre de faire toutes les espèces de verre, ce qui procure une économie d'argent importante et donne du travail à un grand nombre de nos sujets. »

Jusqu'à la fin du dix-septième siècle, la houille ne fut guère employée qu'à des usages domestiques. C'est de 1730 à 1735 que A. Darby, de Coalbrook-Dale dans le Shropshire, réussissait, par le moyen de la transformation de la houille en coke, à fondre le minerai de fer avec ce combustible. A dater de cette époque, l'industrie du fer, qui était tombée très-bas, se releva pour atteindre un développement admirable, quand M. Cort eût imaginé les procédés de puddlage à la houille.

Enfin, au dix-huitième siècle, le rôle de la vapeur apparaît, et la houille, qui n'avait jusqu'alors servi qu'à engendrer de la chaleur, sert à créer de la force. De ce moment et pour satisfaire à tous les besoins, date

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour l'extraction de la houille en Angleterre, secondée par la puissance de la vapeur, produite par sa combustion, l'immense développement de son exploitation.

Rappelons les principaux caractères des différentes substances qu'on classe parmi les houilles.

Anthracite. — Noire, cassure conchoïde, ne tache pas les doigts; pesanteur spécifique 1,3 à 1,75, difficile à allumer; décrépite souvent en brûlant, se compose presque entièrement de carbone (90 à 95 %) et de matières terreuses.

Houille. — Couleur de différentes teintes, avec veines tirant quelquefois sur le gris, cassure semi-conchoïde lamelleuse. La matière est souvent divisée, dans plusieurs sens, par des plans de clivage parallèles : pesanteur spécifique 1,25 à 1,4; renferme en général de 73 à 90 % de carbone, 8 à 22 % d'oxygène, d'hydrogène et d'azote; enfin une proportion variable, 3 à 30 % de matières terreuses, constituant ce qu'on appelle les cendres.

La houille brûle plus facilement que l'anthracite; plusieurs variétés donnent de longues flammes, propriété qui les fait rechercher et qui leur donne leur nom commercial.

Les houilles collantes sont celles qui se ramollissent en brûlant; leur combustion est accompagnée de jets de gaz et de fumée. Elles sont recherchées pour le chauffage domestique, en partie parce qu'elles donnent peu de cendres. Une seule et même couche renferme souvent différentes qualités de houille, qui, dans certains cas, peuvent être exploitées séparément les unes des autres, l'action de carbonisation s'étant produite progressivement dans la masse. Ces qualités varient quelquefois dans certains bassins d'un point à un autre. Une même couche, dit M. Gruner dans une étude des houilles de la Loire, change de nature d'un point à un autre du bassin. La plupart des couches, en passant d'un district à un autre, se modifient d'une manière très-notable. La même couche peut fournir tour à tour, mais en divers lieux, des charbons *raffaud*, des charbons gras, des charbons à courte flamme et des charbons à gaz. Les diverses couches d'un même district ont entre elles une analogie assez grande.

La variété de houille, connue sous le nom de *cannel-coal* et qu'on rencontre en veines parallèles au milieu de la houille, est très-recherchée pour la fabrication du gaz d'éclairage dont elle produit des volumes considérables par la distillation.

On doit rapprocher des houilles certains schistes bitumineux, le plus souvent sans valeur, mais dont quelques espèces, par suite d'une plus grande proportion de matière utile, sont très-recherchées: tel est le *boghead*. Il est d'un brun grisâtre, savonneux au toucher, et contient 9 % seulement de carbone pour 60 à 69 % de matières volatiles; la proportion de cendres qu'il renferme est si considérable, que, lorsqu'on a distillé la substance pour en extraire toute la partie volatile, on retire de la cornue une matière blanche dont le volume semble être le même qu'auparavant. Le boghead a beaucoup de valeur en raison de la grande quantité de gaz et d'hydrocarbone qu'on peut en extraire; en effet, une tonne de ce mineral peut donner jusqu'à 430 mètres cubes de gaz, tandis que les meilleurs *cannells* ne donnent que la moitié au plus.

Lignites. — Les lignites accusent leur origine d'une manière bien plus tranchée qu'aucune des variétés précédentes; certains genres de lignites ont, en effet, l'apparence de bois non décomposés. Leur couleur varie du brun au noir résineux; l'aspect est tantôt brillant et tantôt mat; la pesanteur spécifique est de 0,5 à 1,5; enfin ils brûlent facilement, en donnant beaucoup de fumée et une odeur désagréable. Ils renferment en général de 50 à 70 % de carbone, à peu près autant d'hydrogène et d'azote que les houilles bitumineuses, mais beaucoup plus d'oxygène et une forte proportion d'eau. Ils appartiennent à des formations plus récentes que la houille proprement dite.

Au reste, il a été traité en détail de la nature des houilles à l'article COMBUSTIBLES; nous n'avons pas à y revenir, et devons surtout étudier ici les circonstances principales de leur gisement dans le sein de la terre, ainsi que les méthodes d'exploitation qui leur sont spécialement propres, en renvoyant du reste, pour les principes généraux, à l'article MINES.

L'anthracite, la houille et le lignite se trouvent toujours en couches intercalées dans les différents étages des terrains de sédiment, et jamais en filons comme la plupart des substances métallifères, de sorte que ce que nous dirons ici de la houille pourra s'appliquer, à de faibles modifications près, aux autres combustibles minéraux, à l'exception de la TOURBE, qui est plutôt un combustible végétal, et dont nous décrirons l'extraction dans un article particulier.

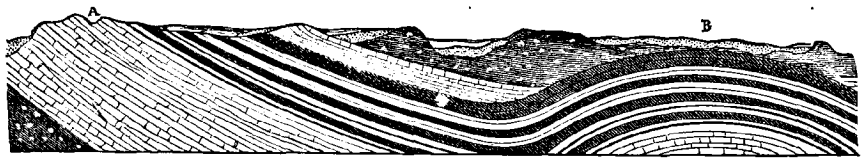


Fig. 1136.

La houille, proprement dite, appartient à un terrain particulier nommé pour cette raison *terrain houiller*, qui repose généralement, à stratification discordante, sur les terrains de transition ou même sur les terrains primitifs, et qui est principalement composé de couches alternantes de houille, de grès, de schistes et quelquefois de minerais de fer.

Les couches de houille sont rarement isolées; un même terrain en renferme ordinairement un certain nombre, qui sont parallèles et séparées par des couches de grès ou de schistes.

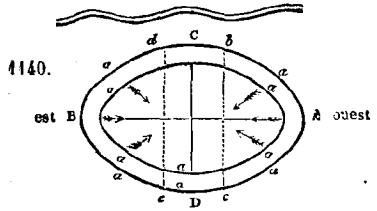
Les couches de houille qui n'ont que des épaisseurs insignifiantes, comme celles qui atteignent 2 ou 3 mètres, ne représentent toujours qu'une fraction minime de la couche au milieu de laquelle elles se trouvent interstratifiées.

Si l'on ne considère une couche de houille que sur une petite étendue, elle paraîtra comprise entre deux plans parallèles; mais en l'étudiant sur une grande portion de terrain, on ne tardera pas à reconnaître que les surfaces, qui nous avaient d'abord paru parfaitement planes, sont courbées et repliées dans tous les sens. Les bancs de grès, de poudingues ou de schistes, dans lesquels la houille se trouve intercalée, présentent les mêmes inflexions. Les couches de houille paraissant le plus communément moulées sur une dépression, on a donné aux dépôts carbonifères le nom de *bassins houillers*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fig. 1136 donne une idée de la manière dont se présentent ces dépôts reposant sur des masses de terrain plus ancien entièrement stérile A, recouverts par des grès houillers, puis du diluvium B; les couches de houille de qualités variables étant séparées par des schistes carbonifères qui altèrent souvent diverses couches.

La fig. 1140, qui représente le bassin houiller de Blairengone dans le comté de Perth, est un exemple remarquable de la disposition en bassin : la ligne sinueuse est la rivière Devon; ABCD est l'affleurement de la couche inférieure de charbon; l'ellipse intérieure, l'affleurement de la couche supérieure; ces deux couches plongent dans le sens indiqué par les flèches; la fig. 1141 est une coupe du bassin suivant AB; et la fig. 1142, une coupe suivant CD.



Quelquefois cependant, les couches de houille, au lieu de former un bassin, ont été postérieurement soulevées en forme de selle, comme le montre le profil ci-joint (fig. 1143) du terrain houiller du Staffordshire, près de Castlehill.



Fig. 1143.

Outre le contournement si fréquent des couches, le terrain houiller présente souvent des fentes qui portent le nom de *failles*, lorsqu'elles ont une épaisseur à peine appréciable, et de *dykes*, dans le cas contraire : elles sont alors remplies, soit d'une roche ignée que l'on peut supposer avoir été injectée à l'état liquide ou pâteux de bas en haut, soit de débris des terrains avoisinants. Ces fentes rejettent les couches de terrain, de sorte qu'en les traversant on retrouve, de l'autre côté, des couches supérieures ou inférieures à celles que l'on vient de quitter; si le rejet est faible et ne dépasse pas l'épaisseur de la couche, on lui donne le nom de *ressaut;* dans tous les cas, l'expérience a démontré qu'il a généralement lieu de telle sorte, que le *toit* de la faille ou du dyke a glissé sur le *mur*, ce qui conduit à rechercher la couche rejetée, dans l'angle obtus formé par la direction de la couche et celle du plan de la faille.

Les fig. 1150 et 1151 donnent le plan et la coupe du bassin houiller du Clackmannshire, un des plus importants de l'Angleterre, qui est elliptique et séparé en trois portions par deux grandes failles *x y;* les couches qui le composent se relèvent en *b*, pour s'appuyer contre le terrain de transition qui constitue la chaîne des montagnes Ochill. A l'extrémité du bassin, les couches sont relevées par une proéminence du terrain inférieur, et se repliant sur cette proéminence sous forme de *selle*, prennent une inclinaison en sens inverse de celle qu'elles avaient.

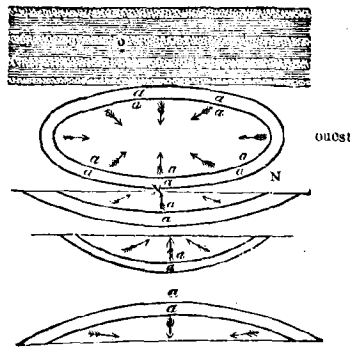


Fig. 1150.

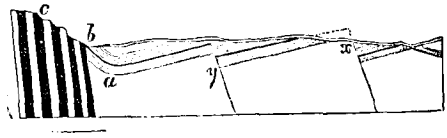


Fig. 1151.

La figure 1155 est un exemple du rejet de couches horizontales *a*, *b*, *c*, par des failles CD, EF, suivant la loi que nous avons indiquée; ces couches sont, en outre, traversées par un dyke vertical B, qui ne les rejette pas.

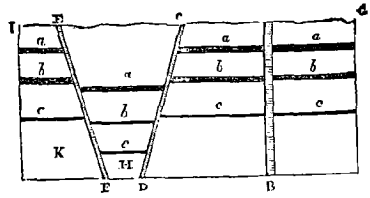


Fig. 1155.

La figure 1156 indique deux ressauts et un rejet produits, dans le filon ABCEGIK, par trois failles CD, EF, HK.

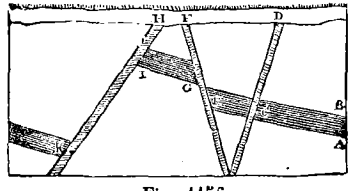


Fig. 1156.

Enfin, la figure 1157 nous représente une série de ressauts produits dans une couche de houille par plusieurs failles qui la coupent sous des angles voisins de 90°.

Nous avons déjà dit que les dykes étaient remplis, soit de roches ignées, soit de sables et de débris de terrains sédimentaires. Les dykes de sables sont fort

EFERUS - Recherche & Classification numérique

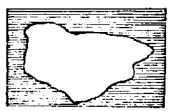
dangereux par les amas d'eau qu'ils renferment; ils sont fréquemment la cause d'inondations, qui exigent des moyens d'épuisement très-puissants. On trouve souvent aussi à l'approche des failles de grands amas d'eau ou de gaz inflammables.

Lorsque les dykes sont composés de sable coulant, d'argile ou de débris du terrain houiller, il est rare que la houille qui les avoisine soit notablement altérée; les dykes remplis de roches ignées, au contraire, produisent dans la nature des houilles des altérations plus sensibles. Dans ce dernier cas, et jusqu'à une distance variable du dyke, le charbon perd son éclat, devient noir mat, et enfin se change, près du dyke, en un véritable coke, très-fortement calciné, qui ne peut s'enflammer, et qui a la plus grande analogie avec le coke et le charbon que l'on retire par le creuset des hauts fourneaux; il passe quelquefois à l'anthracite.

Outre les accidents que nous venons de signaler, il en est de plus locaux, qui portent le nom de *brouillages*. Outre les brouillages qui altèrent la qualité de la houille, soit dans sa nature même, soit par un mélange intime et en forte proportion de matières terreuses, pierreuses ou pyriteuses, nous citerons les suivants :

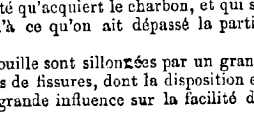
Pierres en bancs irréguliers. De simples fissures parallèles à la stratification, et d'abord à peine perceptibles, croissent quelquefois peu à peu, de manière à atteindre quelquefois plusieurs mètres; et alors les portions de couches séparées par les bancs de pierres, ou sont abandonnées comme étant sans valeur, ou sont exploitées isolément.

Contact du toit et du mur. Cet accident, heureusement fort rare, consiste en un rapprochement graduel du toit et du mur, comme l'indiquent le profil, figure 1158, et le plan, fig. 1159, de telle façon que la couche de houille finit par disparaître entièrement sur une certaine longueur.

1158  1159 

Enfin, nous dirons un mot des *culs de lampe*, masses pierreuses ou argileuses, placées au toit, dont les faces sont généralement très-unies et sillonnées dans le sens vertical, de sorte qu'elles n'ont qu'une très-faible adhérence avec le toit, dont elles se détachent avec la plus grande facilité et souvent spontanément, lors de l'exploitation, en ne donnant que trop fréquemment lieu, par leur chute, à de graves accidents, lorsque leur volume est un peu considérable. Le mineur s'aperçoit ordinairement de l'approche des culs de lampe par la dureté et la compacité qu'acquiert le charbon, et qui se maintiennent jusqu'à ce qu'on ait dépassé la partie altérée du toit.

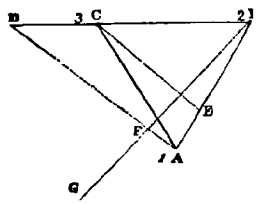
Les couches de houille sont sillonnées par un grand nombre de systèmes de fissures, dont la disposition et la nature ont une grande influence sur la facilité de l'exploitation et la proportion de charbon gros et menu que l'on en retire. Les principales fissures sont celles parallèles au toit et au mur, et celles qui, leur étant perpendiculaires, sont parallèles, soit à la direction, soit à l'inclinaison de la couche.


Fig. 1160.

Soit, par exemple, ABCDEFG (figure 1160), une partie d'une couche de houille; ABCD, le toit, et EFG, le mur, *abc*, *def*, seront des fissures de stratification; *ml*, *ki*, *hg*, des fissures de direction; et *opq*, *rst*, *uvw*, des fissures ou joints d'inclinaison.

Exploration du terrain houiller. Lorsqu'on se trouve dans un pays où il n'existe pas encore de mines de houille, il faut d'abord, en étudiant la constitution géologique de ce pays, chercher à y reconnaître la présence du terrain houiller, s'il est à nu, et l'épaisseur des *terrains morts* qui le recouvrent, s'il plonge sous une formation plus récente. Lorsqu'on a ainsi constaté son existence, il est nécessaire de s'assurer qu'il renferme des couches de houille exploitables, reconnaître leur direction, leur nombre, leur puissance, et la profondeur des puits qu'il faut foncer pour les atteindre. C'est ce qu'on fait au moyen de plusieurs trous de sonde, que l'on fait faire ordinairement à l'entreprise par des ouvriers particuliers payés à prix fait par mètre courant, et tenant un journal de la nature des diverses couches que l'on traverse, et de la profondeur à laquelle on les rencontre. Nous décrirons les outils dont ils se servent, et leur manœuvre à l'article SONDAGE.

Lorsqu'on ne connaît pas la direction générale des couches du terrain houiller, on pratique trois trous de sonde formant un triangle que l'on continue jusqu'à ce que chacun d'eux ait rencontré une même couche de ce terrain; connaissant les profondeurs auxquelles cette rencontre a lieu pour chacun de ces trous et la position respective de ceux-ci par un levé de plan et un nivellement à la surface, on peut aisément déterminer la *direction* générale des couches, c'est-à-dire la direction de l'intersection de leur plan avec un plan horizontal, et leur inclinaison sur ce même plan. Soient, par exemple, A, B, C (fig. 1161), trois trous de sonde dont les orifices sont situés au même niveau et forment un triangle équilatéral, dont le côté soit égal à *d*; soient *a*, *b*, *c*,


Fig. 1161.

les profondeurs auxquelles ces trous atteignent une même couche de houille; *a* étant plus grand que *c*, et *c* plus grand que *b*; la différence de niveau de la couche de B en A est de $a - b$ et de B en C, $c - b$, de sorte que si l'on fonce un trou de sonde au point E, tel que l'on ait $BE : d :: c - b : a - b$, ce trou rencontrera la couche à la profondeur c. De même, le trou de sonde foncé en D, sur BC, et tel que $BD : d :: a - b : c - b$, rencontrera la couche à la profondeur *a*. Les lignes AD, CE, ainsi déterminées, seront parallèles entre elles et à la direction de la couche, et leur perpendiculaire BFG sera parallèle à l'inclinaison de la couche. Maintenant, comme dans le triangle ABD on connaît deux côtés AB, BD, et l'angle compris, on pourra calculer l'angle BAD, et par suite BE qui est égal à *d* sin. BAD; F étant sur la ligne de direction AD, un trou percé en ce point rencontrera la couche à une profondeur $= a$, et le sinus de l'inclinaison de la couche sur l'horizon sera égal au quotient de $a - b$ par BE. Tous les éléments de la couche seront donc ainsi déterminés.

Cela fait, on reconnaît la position des couches de charbon, et les failles ou rejets, soit au moyen des affleurements que l'on découvre dans les escarpements A (fig. 1162), soit au moyen d'une série de trous de sonde également espacés et placés en ligne droite dans un plan normal à la direction des couches. Supposons qu'un premier trou de sonde t rencontre une couche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de houille à la profondeur de 60m, et qu'on s'arrête à cette profondeur. Si l'inclinaison des couches est de 1/3, l'espacement des divers trous de sonde devra être au plus de trois fois 60m ou 180m, pour qu'on reconnaisse tout le terrain. Les trous de sonde étant placés à cette distance les uns des autres, les couches déjà rencontrées dans un des trous, le n° 3, par exemple, devront se rencontrer dans le trou suivant, le n° 4 (en suivant l'inclinaison), à un niveau inférieur de 60m; si cela n'a pas lieu, comme dans le n° 5, ce sera dû à l'existence d'une faille qui aura rejeté les couches vers le bas ou le haut, ce dont on jugera par la nature des couches traversées.

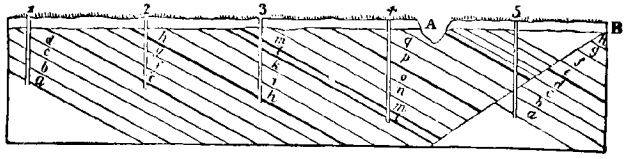


Fig. 1162.

Puits et galeries à travers bancs. Le terrain étant exploré, on rejoint la couche à exploiter par un puits ou une galerie à travers bancs, suivant les circonstances. Dans les pays de plaine, on fonce toujours des puits : dans les pays de montagnes, on pratique des galeries servant en même temps pour l'écoulement des eaux et pour l'exploitation des portions de couches situées au-dessus du fond des vallées, et des puits pour atteindre le combustible minéral à un niveau inférieur.

Il faut toujours conduire les travaux de manière à rendre facile l'exploitation de la masse la plus riche.

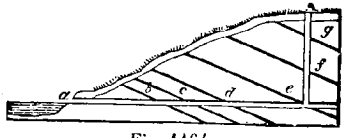


Fig. 1164

Les puits ou galeries à travers bancs rencontrent d'ailleurs généralement plusieurs couches de houille parallèles, comme l'indiquent les fig. 1164 et 1165. Il

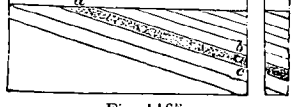


Fig. 1165.

faut avoir soin à cet effet de pousser, autant que possible, les galeries à travers bancs dans un plan normal à la direction des couches.

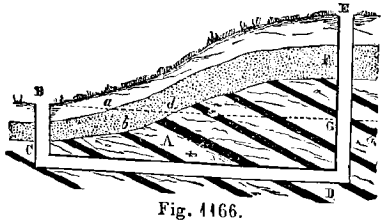


Fig. 1166.

Lorsque tout le terrain est recouvert sur une certaine épaisseur de sable coulant *b* (fig. 1166), l'exécution des galeries à travers bancs devient très-difficile; on fait alors descendre au point le plus bas une tour en maçonnerie ou en fonte BC (voyez MINES), que l'on prolonge un peu au-dessous du sable coulant; ensuite, après s'être assuré par un trou de sonde ED, que le sable coulant est à un niveau plus élevé en F qu'en C; on perce à partir du pied du puits BC, une galerie CD, normale à la direction des couches et qui s'étend sous toute la longueur du champ d'exploitation : le puits BC sert pendant ce temps à l'extraction des déblais et des eaux; on laisse ensuite remonter l'eau qui s'écoule par l'orifice du puits BC, et la mine se trouve ainsi asséchée jusqu'au niveau BG.

Pour retenir en partie les eaux de la surface et les terrains meubles qui la composent, on forme à l'orifice du puits un cône renversé (fig. 1167), qui se prolonge jusqu'à une couche solide et imperméable, et on remplit le vide qui existe entre les parois et la maçonnerie cylindrique du puits avec de l'argile bien tassée.

Nous n'entrerons pas ici dans les détails du fonçement des puits et galeries, pour lesquels nous

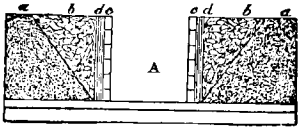


Fig. 1167.

renverrons à l'article MINES, afin de ne pas faire double emploi.

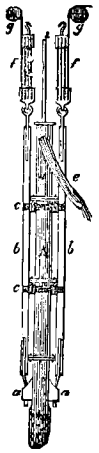


Fig. 1168.

L'épuisement des eaux se fait au moyen de *pompes élévatoires* A, supportées par des palans et que l'on descend au fur et à mesure de l'approfondissement des puits (fig. 1168). Lorsque ceux-ci sont achevés, on emploie tantôt des pompes élévatoires, tantôt des pompes à plongeur (plunger-pumps), et l'on soutient les colonnes de tuyaux, au moyen de crampons qui se fixent contre les parois des puits.

Quand le terrain est solide et donne peu d'eau, on laisse les parois des puits à nu; lorsque le terrain est peu solide et donne peu d'eau, on a recours pour maintenir la poussée au muraillement en briques ou à un simple boisage, suivant la durée probable du service de ce puits. Enfin, quand il y a beaucoup d'eau, on est obligé de recourir au cuvelage en fonte ou en bois. Ce dernier, le plus employé, consiste en plusieurs *trousses* ou cadres ordinairement décagones, supportés par une ou plusieurs *trousses picotées* placées sur une banquette *cc* (fig. 1170), ménagée dans la couche imperméable *aa*, qui se trouve sous la couche perméable. Ces trousses sont ainsi nommées parce qu'on place derrière les pièces de chaque cadre des planches ou *lambourdes*, placées de champ; on garnit le vide, entre les lambourdes et la roche, d'étoupes ou de mousse; l'on chasse ensuite entre les lambourdes et les pièces du cadre jusqu'à refus, d'abord les coins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plats en bois blanc, puis des coins pointus ou picots, etc., en bois blanc et en chêne, auxquels on fait une entrée au moyen d'aiguilles ou *agrappes* en fer. Il devient alors impossible que l'eau, malgré la forte pression qu'elle exerce, filtre derrière le cadre et passe en dessous. Le cuvelage se termine, également au-dessus de la couche perméable, par une trousse picotée horizontalement contre une banquette *dd*. Les trousses ordinaires se trouvent ainsi fortement serrées les unes contre les autres.

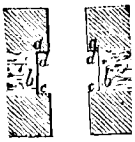
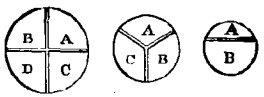


Fig. 1170.

Quand une couche mince aquifère est comprise en deux couches imperméables, ou quand le terrain, étant solide, mais fissuré, donne beaucoup d'eau, on peut arrêter celle-ci en pratiquant dans la couche aquifère ou la fissure une rainure horizontale dans laquelle on exécute un picotage également horizontal.

On divise toujours les puits, au moyen de cloisons, en deux compartiments au moins (fig. 1173), dont le plus petit A renferme les pompes, et le plus grand B sert à l'extraction : ces puits doivent au moins avoir 3m de diamètre. Les puits à trois compartiments (fig. 1174), dont l'un A sert aux échelles, et les deux autres B et C à l'extraction, doivent avoir au moins 4m de diamètre; enfin les puits à quatre compartiments A, B, C, D (fig. 1175), dont l'un renferme les échelles, un second sert à l'aérage et les deux autres à l'extraction, ne peuvent avoir moins de 5m de diamètre.



1175. 1174. 1173.

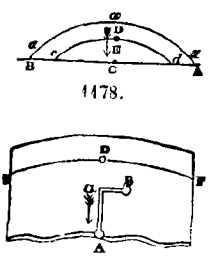
Dans le foncement des puits, arrivé à une profondeur variable, on se trouve souvent forcé de recourir à un aérage artificiel, soit en recouvrant l'un des compartiments du puits d'une voûte *b*, qui débouche dans une chambre renfermant une haute cheminée, où l'appel est déterminé par un foyer, soit, ce qui est préférable, au moyen d'un ventilateur aspirant. Nous décrivons en détail ces divers systèmes à l'article VENTILATION. (Voir plus loin AÉRAGE.)

Exploitation proprement dite des mines de houille. Prenons d'abord le cas le plus simple, celui d'une seule couche de houille.

Dès que l'on a foncé dans le terrain carbonifère un puits jusqu'à la profondeur que l'on veut exploiter, il est encore nécessaire, avant de procéder à l'exploitation proprement dite, de se livrer à une série de travaux préparatoires qui consistent : 1° Dans le foncement d'un second puits qui atteint la couche à une moindre profondeur que le premier puits; 2° dans le percement d'une galerie montante qui joint les pieds de ces deux puits; et 3° dans l'exécution d'une galerie horizontale, dite *galerie d'allongement*, qui, partant du fond du premier puits, s'étend jusqu'aux limites du champ d'exploitation, en suivant toujours la direction de la couche.

La galerie montante a 2m à 2m,50 de largeur; elle suit quelquefois la ligne directe menée d'un puits à l'autre; d'autres fois sa direction fait un angle droit avec celle des fissures naturelles du charbon, jusqu'à ce qu'on arrive au niveau du puits n° 2, que l'on rejoint par une seconde galerie parallèle aux fissures que l'autre coupe, comme l'indique la fig. 1179 : A, puits n° 1; B, puits n° 2, A*a*, galerie montante normale aux joints, B*a*, galerie de niveau parallèle aux mêmes joints.

Dès que les deux puits sont mis en communication, il s'établit un courant d'air qui descend par l'un d'eux et remonte par l'autre. On procède alors au percement de la galerie d'allongement qui part du puits n° 1; comme la couche n'est pas rigoureusement plane, cette galerie est généralement sinueuse; si la couche *aa* (figure 1178) a la forme du bassin, la galerie d'allongement *cd*, partant du puits D, aura une forme elliptique et sera prolongée jusqu'aux limites du champ d'exploitation ou jusqu'à la rencontre d'une faille AB.



1178.

Cela fait, on peut commencer les travaux d'exploitation proprement dits. Les procédés que l'on suit à cet égard varient principalement avec l'épaisseur ou l'inclinaison des couches, la profondeur à laquelle on les rencontre, le plus ou moins de consistance du toit et du mur, et le plus ou moins d'abondance des matières que l'on peut employer pour remblayer.

Prenons d'abord le cas le plus fréquent, celui de couches d'une inclinaison et d'une puissance moyennes.

Dans ce cas, on suit ordinairement la méthode par piliers et galeries, ou la méthode par grandes tailles.

Pour exploiter par *piliers et galeries* (fig. 1180), on commence par ouvrir dans la houille même, sur toute la hauteur de la couche, des galeries parallèles dites tailles, séparées par des murs de charbon, et l'on recoupe ces murs par des galeries transversales, de manière à former des piliers, soit dans une portion de la couche seulement, soit dans toute la partie que l'on veut exploiter. Tantôt on ne donne aux piliers que les dimensions strictement nécessaires pour soutenir le toit, et on les abandonne dans la mine; tantôt, et le plus souvent, on leur donne des dimensions bien supérieures, et à la fin de l'exploitation, on les abat complétement, en partant de celui qui est le plus éloigné du puits principal, et en revenant vers ce puits, ce qui s'appelle *dépiler*. Dans ce cas, l'ouvrier empêche la chute immédiate du toit à l'aide d'étais, qu'il retire ensuite avec précaution, de manière à faire ébouler peu à peu le terrain à mesure qu'il se retire.

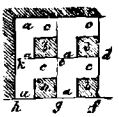


Fig. 1180.

La méthode par *grandes tailles*, qui ne s'applique qu'aux couches de 1m,50 à 2m,00 de puissance, consiste à abattre entièrement le charbon au fur et à mesure que l'on avance, sans laisser de piliers. On empêche la chute immédiate du toit par des étais; on remblaie derrière soi, et l'on se ménage des galeries, à travers les remblais et les éboulis, pour retourner au puits d'extraction.

Lorsque le mur est mauvais et que la couche et le toit sont solides, il faut que les piliers aient de grandes dimensions pour ne pas pénétrer dans le mur, ce qui produirait un gonflement ou soulèvement du sol des galeries (fig. 1181).

Fig. 1181.

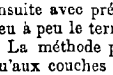


Fig. 1182.

Lorsque la couche est tendre et présente un grand nombre de fissures larges, il faut aussi des piliers de grandes dimensions; sans cela, la pression des couches supérieures écraserait ces piliers, ce qui produirait un éboulement du toit (fig. 1182).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si le toit est mauvais, les piliers doivent encore être de grandes dimensions et les galeries étroites.

Il est important dans l'exploitation par piliers et galeries, afin que les premiers offrent le maximum de résistance, que les galeries croisées soient parallèles à la direction de deux systèmes de fissures naturelles.

La galerie d'allongement coupe souvent ces systèmes des fissures suivant des angles très-variables. On doit alors calculer les dimensions des piliers voisins de cette galerie (fig. 1184), de manière à ce qu'ils présentent une résistance suffisante, eu égard à l'obliquité d'une de leurs faces sur celles des galeries. On conserve en outre, près de cette galerie, un rang de piliers plus épais, afin de la conserver dans le cas où un accident viendrait à faire ébouler les parties voisines de la mine.

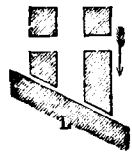


Fig. 1184.

Donnons maintenant quelques exemples d'exploitations basées sur les principes que nous venons de développer.

Méthode par piliers et tailles. Fig. 1185. A, puits

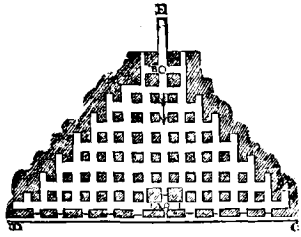


Fig. 1185.

n° 2; CD, galerie principale d'allongement; AB, galerie principale d'inclinaison. Les tailles sont ouvertes tantôt dans le sens de l'inclinaison, comme l'indique la figure, tantôt dans le sens de la direction, suivant que le charbon paraît s'abattre plus facilement dans un sens que dans l'autre, de telle façon que les tailles les plus voisines du puits principal sont toujours les plus avancées; on recoupe ensuite les murs de charbon qui les séparent par des tailles transversales.

Les galeries ou tailles se terminent tantôt à la crête des couches, tantôt dans des parties où le charbon perd sa bonne qualité : tantôt, enfin, elles s'arrêtent à la rencontre de failles ou dykes qui donnent lieu à des rejets considérables, ou à la limite du terrain houiller.

Quand la profondeur de la couche est peu considérable, on multiplie les puits, ce qui facilite beaucoup l'extraction et l'aérage; mais, lorsqu'elle est très-grande et que les terrains morts sont très aquifères, le percement des puits est très-coûteux, et, dans ce cas, on se sert souvent d'un seul puits divisé en plusieurs compartiments pour le service des machines d'épuisement et d'extraction. D'affreux accidents ont prouvé que cela n'était pas admissible, qu'un accident dans une partie du puits interceptant souvent toute communication, deux puits au moins sont toujours indispensables pour assurer la sécurité des mineurs.

Lorsque les couches sont à de grandes profondeurs, la pression sur les piliers devient considérable, et il devient extrêmement difficile de régler l'éboulement lors du dépilage : la quantité de houille perdue s'élève à 1/3 et même à 1/2 de celle qu'on aurait pu extraire. M. J. Buddle, de Newcastle, est parvenu à remédier à ce grave inconvénient, par l'invention de la méthode dite *à piliers* et *à compartiments*, qui s'applique aux couches profondes, et consiste, au lieu de diviser toute l'étendue de la couche par des piliers et des galeries croisées en échiquier, à la partager en un certain nombre de compartiments rectangulaires ou carrés formant aussi échiquier, mais entourés de tous côtés par des murs de charbon de 40 à 50 mètres d'épaisseur : des galeries et canaux d'aérage établis dans ces murs permettent d'exploiter l'intérieur des compartiments, comme l'indique la fig. 1186. A, puits n° 1, subdivisé en trois parties; l'une pour les pompes, les deux autres pour l'extraction : ces deux dernières servent aussi pour l'aérage; l'air froid descend par l'une d'elles, et l'air chaud s'élève par l'autre, au fond de laquelle se trouve un foyer; BC, galerie principale d'allongement; AE, galerie montante; D, compartiment dans lequel les tailles ne sont pas encore entièrement percées; F, G, compartiments prêts à dépiler; H, compartiment entièrement dépilé; K, murs des compartiments; chaque compartiment a au plus 4,000 mètres carrés de surface. On fait ébouler au fur et à mesure du dépilage; puis, après avoir dépilé, on abat successivement les murs des compartiments, en revenant vers le puits principal A.

Méthode par grandes tailles. Cette méthode, dont nous avons déjà donné les principes plus haut, consiste d'abord à ouvrir une galerie d'allongement principale, en laissant autour des puits de forts piliers. On soutient également le toit de la galerie d'allongement par des murs de charbon ou de maçonnerie, recoupés suivant les besoins de l'aérage ou de l'exploitation. On exploite ensuite par larges tailles dirigées dans le sens qui offre le plus de facilité pour l'abattage du charbon, en remblayant autant que possible derrière soi

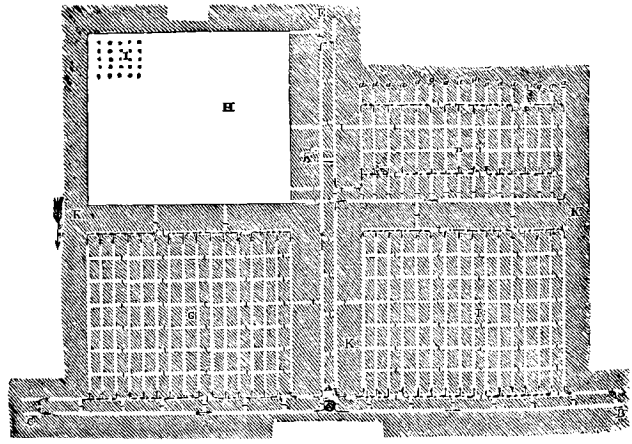


Fig. 1186.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec le mauvais charbon et les déblais. On soutient provisoirement le toit, près du front de la taille, par des étais et de petits murs en pierre sèche.

Lorsque les déblais sont rares et que le toit est solide, on se contente de former de petits tas de déblais, s'élevant du mur jusqu'au toit, sur des lignes perpendiculaires au front de la taille, et séparés par des espaces vides; ces tas s'affaissent avec le toit et comblent les vides.

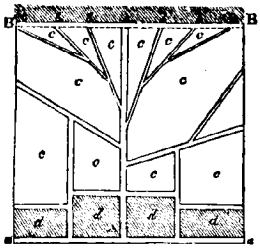


Fig. 1187.

La fig. 1187 représente la disposition la plus usitée dans le Shropshire : les galeries ménagées à travers les remblais, pour revenir du fond des tailles au puits d'extraction, sont disposées en éventail.

La fig. 1188 représente une autre disposition plus régulière, mais moins répandue.

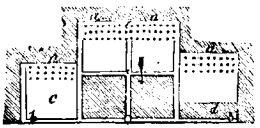


Fig. 1188.

Une autre disposition de la méthode par grandes tailles, dite méthode par gradins, consiste (fig. 1189) à ouvrir successivement une série de tailles *b*, *b*, de 2 à 4 mètres de large, à côté les unes des autres, de telle sorte que les fronts de ces tailles soient disposés par gradins.

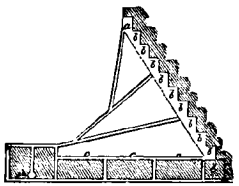


Fig. 1189.

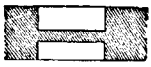
Un ouvrier est placé devant chaque gradin. Dans ce cas, on ménage des galeries à travers les remblais, ou bien on remblaie entièrement l'espace excavé, sauf la partie où se tiennent les ouvriers et la galerie principale d'allongement AB, et le charbon abattu suit le front des tailles pour arriver à la galerie d'allongement : on donne souvent assez de largeur aux tailles pour placer dans chacune d'elles deux à trois ouvriers.

La méthode par grandes tailles est très-employée en France et en Belgique ; elle peut s'appliquer à toutes les couches de houille, quelle que soit leur épaisseur, pourvu que l'on ait assez de remblais : elle est actuellement généralement adoptée dans les mines de Rive-de-Gier, que l'on exploite en deux étages superposés en remblayant au fur et à mesure.

Les diverses méthodes que nous venons d'exposer s'appliquent également à l'exploitation des couches minces ; il est rare qu'on exploite une couche dont l'épaisseur soit au-dessous de 0m,50. Lorsque les couches n'ont pas plus de 6 mètres d'épaisseur et que le toit est très-solide, on les exploite quelquefois par les mêmes méthodes ; mais si le charbon est tendre et friable, on établit deux étages de travaux, et on perd beaucoup de charbon laissé dans la mine.

Tantôt on commence par exploiter l'étage supérieur par tailles et piliers abandonnés, puis l'étage inférieur, que l'on a sous les pieds, comme on le ferait dans une carrière à ciel ouvert, en disposant l'exploitation simultanée des deux étages sous forme de gradins ; tantôt on exploite un banc inférieur de 1m,50 à 2m d'épaisseur, et l'on fait ensuite tomber les bancs supérieurs.

Quand le charbon est très-friable et de nature à se déliter promptement à l'air, on exploite d'abord la portion supérieure de la couche, puis la partie inférieure, en laissant, entre les deux étages de travaux, un banc ou *estau* (fig. 1190) de 0m,80 à 1m,00 d'épaisseur, en ayant soin que les piliers des deux étages se correspondent exactement ; on finit par exploiter l'estau qui sépare les deux étages et l'on dépile autant que possible.


Fig. 1190.

Lorsque le toit est tendre, il est nécessaire de le soutenir en laissant subsister un banc supérieur ou *faux-toit* de charbon.

La fig. 1191 représente le mode d'exploitation suivi à Dudley, dans le Straffordshire, pour l'exploitation d'une couche de 10 mètres de puissance : on divise la mine en compartiments, comme dans la méthode inventée par M. Buddle ; A, A, murs d'un compartiment de 12 mètres d'épaisseur ; *a*, *a*, piliers de 8 mètres de côté ; *c*, *d*, tailles de 11 mètres de large ; *e*, galerie qui sert à pénétrer dans le compartiment et à en sortir. La couche est divisée en bancs par des fissures ou des petits lits de pierre qui en facilitent l'exploitation. On commence d'abord par attaquer la couche par la méthode en gradins, en exploitant un banc inférieur de 0m,70 d'épaisseur seulement ; lorsque les piliers et le mur d'enceinte sont dégagés, on *have* de bas en haut, le long de leurs parois et on fait tomber les bancs supérieurs par plaques plus ou moins épaisses, suivant la disposition des joints naturels de la couche. On soutient provisoirement les bancs de charbon, au moyen d'étais et de piliers en pierre sèche.

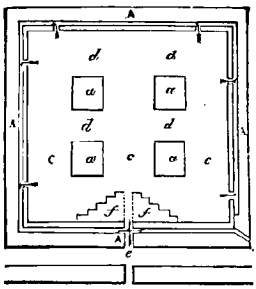


Fig. 1191.

Le charbon laissé dans les piliers et le menu perdu dans la mine forment environ les 0,4 du charbon que renferme la couche.

A Johnstone (Écosse), on exploite par estaus, une couche dont la puissance atteint 20 et 30 mètres. Le toit étant très-mauvais, on laisse environ 1 mètre de houille comme faux-toit ; on donne 2 mètres à chaque étage et 1 mètre aux estaus : on exploite ainsi 10 assises.

Les couches très-inclinées sont exploitées par piliers et galeries ou par gradins. Les tailles principales sont toujours percées dans le sens de la direction, afin d'exposer les ouvriers à moins de risques, et de faciliter le transport au puits d'extraction. Quand les couches sont verticales, ou à peu près, l'ouvrier est placé sur le charbon, ayant le toit et le mur à ses côtés. Le puits principal A (fig. 1192) est percé dans la roche du toit ou du mur, suivant que l'une ou l'autre est plus consistante. On


Fig. 1192.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rejoint les couches par des galeries à travers bancs *bb*, *cc* : toutes les tailles menées dans les couches épaisses, suivant la direction, sont réunies, au fur et à mesure que l'on avance, par de petites galeries transversales qui servent à la ventilation.

La meilleure méthode pour l'exploitation des couches épaisses et très-inclinées, celle du Creusot par exemple (fig. 1193), où on l'emploie avec succès, est celle dite par *ouvrage en travers*.

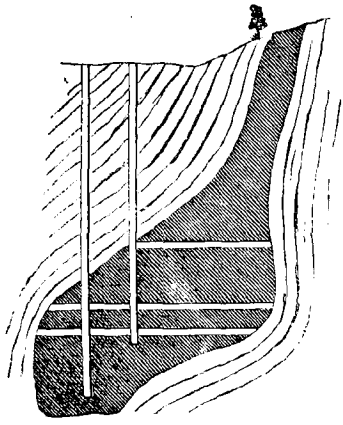


Fig. 1193.

On fonce un puits dans le mur; parvenu à une certaine profondeur, on rejoint la couche par une galerie à travers bancs. Dès qu'on l'a atteinte, on ouvre une galerie d'allongement contre le mur; à l'extrémité de cette galerie prolongée, à une grande distance de la galerie à travers bancs, on perce dans le charbon une galerie horizontale, du mur au toit, à laquelle on donne même hauteur qu'à la galerie d'allongement, puis on la remblaie en revenant du toit au mur. On abat ainsi successivement une série de tranches de charbon en revenant vers la galerie à travers bancs. Au-dessus de ces remblais, on exploite un nouvel étage, exactement de même, et ainsi de suite, de sorte que l'on parvient à exploiter entièrement la couche, sans abandonner le charbon. La principale difficulté qu'offre cette méthode est celle de se procurer des remblais : tantôt on en amène de la surface, tantôt on s'en procure en ouvrant de grandes excavations en cloches dans le toit ou le mur et faisant ébouler.

On commence également à exploiter les couches très-épaisses et peu inclinées par une méthode analogue; on exploite d'abord les assises inférieures en remblayant, puis les assises supérieures en montant sur les remblais : les tailles suivent alors le mur, au lieu d'être percées du mur au toit.

Lorsque plusieurs couches de houille se trouvent placées les unes au-dessus des autres, et séparées par des bancs de rochers épais et consistants, on commence par exploiter les couches inférieures. Le charbon des couches supérieures devient un peu plus fragile; mais souvent aussi il s'exploite avec plus de facilité.

Quand les bancs de rocher n'ont pas une grande épaisseur, ou qu'ils sont peu consistants, on commence par les couches supérieures. Voy. MINES.

Transport de la houille dans l'intérieur de la mine. Le transport de la houille du fond des tailles au puits d'extraction s'opère de diverses manières. Quelquefois encore il se fait à dos d'hommes, d'autres fois en brouette, mais le plus souvent on emploie des bennes placées sur des plates-formes portées sur des roues très-basses roulant sur des rails plats en fonte ou saillants, en fer méplat, et traînées ou poussés par des enfants, du fond de la taille aux galeries principales : arrivé à l'une de celles-ci, on transporte les bennes, au moyen de petites grues, sur de nouveaux chariots semblables aux premiers, mais de plus grandes dimensions, de sorte qu'on peut y placer 2 à 4 bennes; un cheval traîne ordinairement un ou deux chariots à la fois, portant en tout 8 à 10 quint. métriq. de houille. On se sert alors de rails saillants, en fer méplat, ou à champignon comme ceux des chemins de fer établis à la surface. La figure 1194 est prise dans une exploitation du Lancashire, elle représente le passage de la benne près d'une porte qui doit rester fermée pour assurer la direction du courant d'air. (Voir plus loin AÉRAGE.)

Lorsque la pente de la couche est forte, le transport du charbon à la galerie principale se fait ordinairement au moyen de plans auto-moteurs, munis de freins pour régulariser la vitesse : l'excès de poids des chariots pleins descendants fait alors remonter les chariots vides

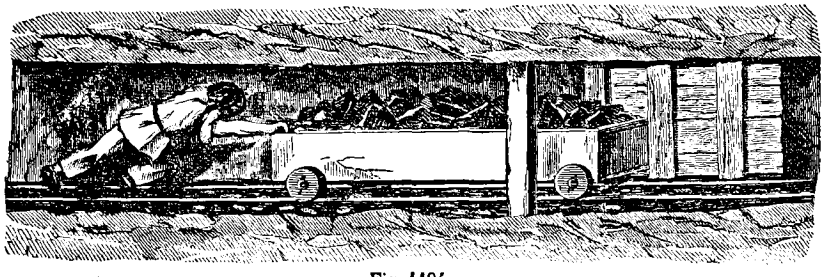


Fig. 1194.

Dans certaines mines, le transport souterrain s'exécute en partie dans des canaux placés à différents étages.

Extraction par les puits. Le charbon est élevé au jour par des roues hydrauliques, ou, le plus souvent, par des machines à vapeur, qui font tourner des tambours sur lesquels s'enroulent les cordes ou câbles plats, en chanvre ou en fil de fer, auxquels la charge est suspendue, on emploie quelquefois aussi à cet effet des BALANCES D'EAU, ce qui est très-convenable lorsque la disposition des lieux le permet. Dans les mines profondes, la puissance des machines d'extraction qui enlèvent la houille est considérable. Comme elle limite la production de la mine, on a trouvé grand avantage à l'augmenter beaucoup dans ces dernières années, afin d'enlever plus rapidement de plus fortes charges. Voy. HOUILLE, *Complément*.

Le plus souvent les bennes, en arrivant à la place

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'accrochage, sont suspendues par deux, l'une au-dessus de l'autre, au câble, par des crochets et des bouts de chaîne. Quelquefois on amoncèle le charbon sur un plancher ou plate-forme suspendu au câble et guidé par 2 ou 4 longuerines verticales.

On divise souvent les puits d'extraction en deux compartiments, par une cloison, afin d'éviter le choc des bennes, paniers ou plates-formes, montante et descendante.

La figure 1195 est un croquis de la disposition des appareils d'exploitation d'une houillère anglaise. La coupe passe par l'axe des deux puits, supposés rapprochés l'un de l'autre pour réunir les principaux détails dans le cadre assigné.

ment des câbles plats sur des bobines coniques, effectués toujours simultanément pour un vase plein et un vide.

L'enroulement suivant une spirale des câbles plats sur eux-mêmes est l'origine de la variation des rayons ou bras de leviers à l'extrémité desquels agit le fardeau, et par suite il suffit d'examiner les diverses phases de ces accroissements pour apprécier la position relative des vases dans le puits, leurs divers degrés de vitesse et les résistances variables qu'ils opposent au moteur. La vitesse d'ascension et la longueur du bras de levier sont au minimum lorsque le vase plein quitte la chambre d'accrochage et commence à s'élever dans le puits; alors la résistance étant égale à la charge et au poids du câble développé sur toute la hauteur du puits, le mo-

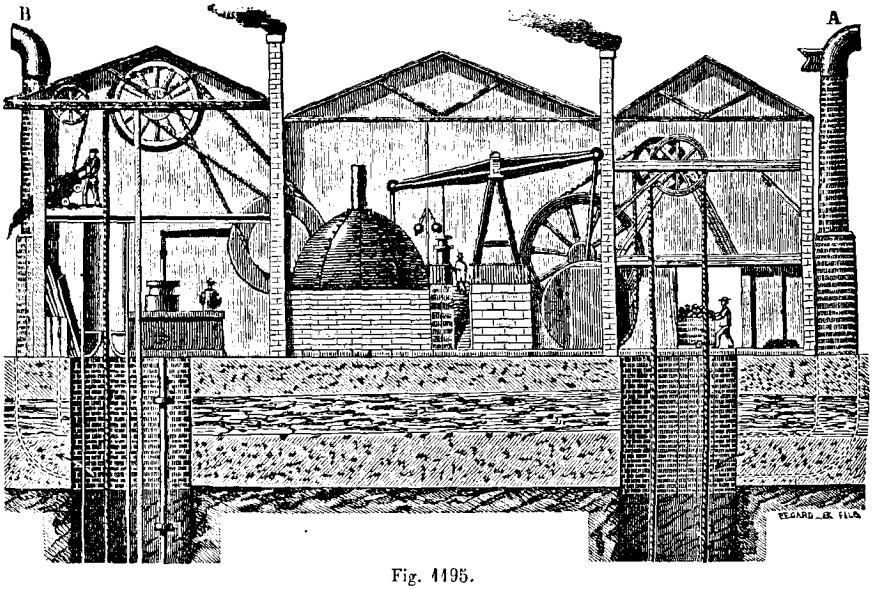


Fig. 1195.

Le puits de droite est celui par lequel entre l'air pur qui doit ventiler la mine (en appliquant les dispositions que nous allons décrire ci-après); afin de ne pas gêner l'extraction, l'introduction de l'air a lieu, dans ce puits, à un certain niveau au-dessous du sol, par un conduit A, surmonté d'une cheminée.

Le puits de gauche est le puits d'appel, par lequel sort le courant ventilateur qui entraîne tous les gaz de la mine; de même que pour l'entrée, la sortie a lieu par un conduit latéral B, surmonté également d'une cheminée. Il est divisé en deux parties, l'une consacrée aux pompes d'épuisement, l'autre à la ventilation ; tous deux servant d'ailleurs aussi à l'exploitation.

La vapeur fournie à la machine motrice par une grande chaudière, cette machine souvent très-puissante, d'une part fait mouvoir les tiges des pompes et de l'autre fait tourner un tambour de grand diamètre sur lequel s'enroule le câble qui supporte les bennes ou cages qui amènent la houille à la surface.

Pour les grandes exploitations on emploie des bobines, des tambours coniques sur lesquels s'enroule un câble plat en faisant croître le diamètre, pendant qu'un autre se déroule en le faisant diminuer.

Nous emprunterons au bel ouvrage de M. Ponson sur l'exploitation des houillères quelques observations sur ce qui se passe lors de l'enroulement et du déroule-

teur est appelé à produire un grand effort. Le vase vide, au contraire, dont le poids n'est augmenté que d'un bout de corde égal à la distance comprise entre la margelle et les molettes, marche avec la plus grande vitesse et agit sur un levier offrant le maximum de longueur. Le mouvement de rotation continuant, l'un des rayons s'accroît, à chaque révolution, d'une longueur égale à l'épaisseur du câble, tandis que l'autre diminue d'autant. Les vases se rapprochent : celui qui descend vient de plus en plus en aide au moteur, par suite de l'allongement du câble correspondant; la résistance du câble ascendant, au contraire, ne cesse de décroître. Enfin les rayons sont égaux; les deux vases, suspendus à des câbles de même longueur, se trouvent au point désigné par le nom de *rencontre*, et comme jusqu'alors la vitesse du vase ascendant a toujours été moindre que celle du vase descendant, cette rencontre a lieu au-dessous du milieu de la hauteur du puits. Les deux vitesses sont égales en ce moment, et comme les câbles et les tonnes se font mutuellement équilibre, le moteur, abstraction faite des frottements, n'éprouve d'autre résistance que celle de la charge de houille.

Lorsque le câble correspondant au vase vide s'est encore déroulé d'une longueur telle que son poids soit équivalent à la moitié du poids de la houille, il y a équilibre parfait. A partir de cet instant, la force qui agit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le sens du mouvement tend à faire tourner l'arbre des bobines en sens contraire; elle s'accroît de plus en plus, de même que la vitesse du vase ascendant, et souvent alors les effets du moteur n'ont d'autre but que d'empêcher le mouvement de se faire avec trop de rapidité. Enfin le vase plein arrive à la hauteur de la margelle et la différence des deux leviers est égale au produit de l'épaisseur du câble par le nombre de révolutions que l'arbre a dû faire pour transporter le premier du fonds du puits à son orifice.

S'il n'est pas possible d'établir un équilibre parfait entre les divers moments des forces résistantes et mouvantes des deux vases, on peut, toutefois, choisir un noyau d'un diamètre tel, que les efforts réclamés du moteur se trouvent resserrés dans des limites assez étroites.

Aérage des mines de houille. La combustion des lumières, la respiration des ouvriers, et surtout le dégagement d'acide carbonique ou d'hydrogène carboné de l'intérieur du charbon, exigent que l'on détermine dans l'intérieur de la mine un courant d'air suffisant pour délayer et entraîner ces gaz au dehors au fur et à mesure qu'ils se dégagent.

L'acide carbonique se rencontre surtout dans les terrains bouleversés par des roches ignées, et, à cause de sa densité, se rassemble dans les parties inférieures de la mine et des galeries montantes; le contraire a lieu pour l'hydrogène carboné ou *grisou*. Ce dernier, mélangé avec l'air en certaines proportions, donne naissance à des mélanges explosifs dont l'inflammation produit trop fréquemment encore des accidents terribles. On s'oppose à l'inflammation du mélange détonant par l'emploi de LAMPES DE SURETÉ; mais le meilleur moyen est encore de prévenir la formation de ces mélanges par une ventilation suffisamment énergique. C'est surtout à l'approche des failles et des anciens travaux que l'on rencontre le grisou avec le plus d'abondance; il s'y accumule et suit les variations de la pression atmosphérique: ainsi, lorsque le baromètre est bas, il sort des anciens travaux par toutes les issues; aussi est-il nécessaire d'interroger le baromètre pour régler la ventilation.

Lorsque des puits ou galeries (fig. 1196), dont les orifices se trouvent à des niveaux différents, sont mis en communication par des galeries souterraines, comme la température de ces puits et galeries est sensiblement constante aux mêmes points, variable du reste avec la profondeur, et généralement différente de celle de l'air extérieur, il arrive qu'un courant d'air s'établit naturellement entre ces puits ou galeries qui constituent de véritables syphons renversés à branches inégales. Cette circulation d'air se produit encore lors même que les puits ont leurs orifices au même niveau, parce que jamais la température, et par suite la densité de l'air, ne sont parfaitement égales dans l'un et dans l'autre. L'air étant plus froid en été et plus chaud en hiver dans l'intérieur de la mine qu'à l'extérieur, le courant suit un sens dans l'une de ces saisons et le sens inverse dans l'autre; il est d'ailleurs plus actif en hiver qu'en été.

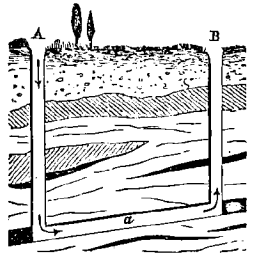


Fig. 1196.

L'aérage naturel est souvent insuffisant pour ventiler convenablement les mines de houille où il se présente des dégagements d'acide carbonique ou de grisou. On y supplée alors, soit en plaçant sur l'un des puits une machine aspirante, soit au moyen d'un foyer placé ordinairement au fond de l'un des puits, qui raréfie l'air dans ce puits, en élevant la température d'un grand volume de cet air de quelques degrés.

Les machines aspirantes fort usitées aujourd'hui sont de divers systèmes étudiés en détail à l'article VENTILATION.

Les foyers d'aérage sont ordinairement séparés du puits, comme l'indique la figure 1197, et sont quelquefois alimentés par un courant d'air frais n'ayant pas circulé dans la mine: dans ce cas d'ailleurs, les gaz produits de la combustion n'arrivant qu'à une température peu élevée, en *d*, dans le puits en contact avec l'air vicié qui a parcouru les travaux, il ne peut y avoir inflammation de ce dernier, quelque chargé qu'il soit de grisou. Quelquefois, lorsqu'il n'y a qu'un puits, divisé en deux compartiments, servant à l'aérage et à l'extraction, on adopte la disposition représentée figure 1198, qui consiste à les faire communiquer avec des cheminées latérales surmontées de gueules de loup, ayant pour but de s'opposer à l'action des vents sur le tirage.

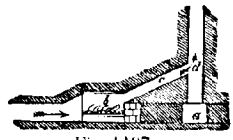


Fig. 1197.

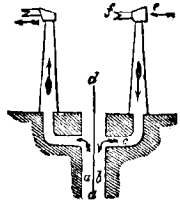
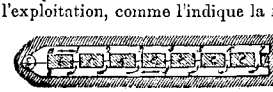


Fig. 1198.

Le courant d'air tend naturellement à suivre le plus court chemin que lui présentent les galeries souterraines qui réunissent l'un et l'autre puits ou l'un et l'autre compartiment; on le force à pénétrer dans toutes les parties de la mine que l'on veut ventiler au moyen de portes battantes ou de cloisons, qui l'empêchent de suivre le chemin direct. Lorsque ces cloisons sont établies dans des galeries de roulage, on emploie de doubles portes battantes, que l'on ouvre successivement, et qui permettent de circuler, sans apporter de perturbations dans le sens du courant.

Lorsqu'on fonce une galerie, avant que les puits ne soient en communication, on emploie souvent un petit conduit en bois placé autour de la galerie, et qui se recourbe pour monter verticalement le long des parois du puits; on produit l'aspiration, soit au moyen d'un petit foyer placé à la partie supérieure de la gaîne d'aérage, soit simplement en exhaussant cette gaîne de quelques mètres au-dessus de l'orifice du puits. La conduite des courants d'air au moyen de cloisons et de portes, de manière à faire disparaître toutes traces de grisou, est l'objet du plus grand soin de l'ingénieur.

Lorsque la mine n'a qu'un puits à deux compartiments, on fait parvenir l'air au fond des tailles, en commençant l'exploitation, comme l'indique la figure 1201,


Fig. 1201.

au bas du puits; on ouvre en même temps deux galeries parallèles, dont une part du compartiment chauffé, et l'autre du compartiment froid. Arrivé à une faible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

distance du puits, on met ces galeries en communication par une galerie de traverse ; on continue à foncer les galeries parallèles ; dès que le besoin d'air se fait de nouveau sentir, on perce une nouvelle galerie de traverse, on ferme la première galerie de traverse au moyen d'un petit mur en briques, et l'air vient de nouveau lécher le front des tailles.

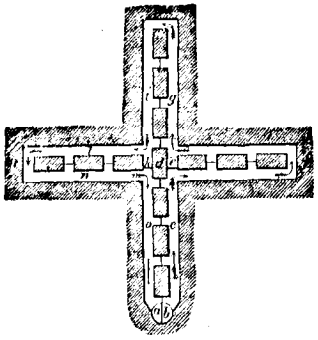


Fig. 1202

La fig. 1202 indique comment on peut ouvrir et ventiler en même temps deux systèmes de doubles galeries ou tailles en croix.

Lorsque l'hydrogène se dégage en grande abondance du charbon, on force le courant à lécher constamment le fond des tailles, en construisant, au fur et à mesure que l'on avance, une cloison.

Dans les mines peu profondes et où le gaz est en faible abondance, on opère la distribution de l'air comme l'indique la figure 1204 : le courant, réglé par les barrages *a*, *b*, *c*, *d*, *f*, *g*, *h*, descend d'abord par le puits A, puis se subdivise en deux courants C, C, qui se réunissent de nouveau en *a*, pour remonter par le puits B, après avoir léché le front des tailles et s'être répandus dans toute l'étendue des travaux.

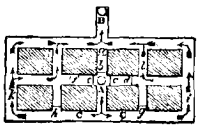
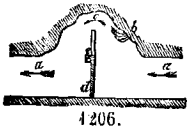


Fig. 1204.

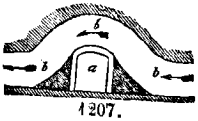
Dans les mines profondes, où il se dégage une grande abondance de grisou, le courant lèche d'abord le front des tailles où l'on travaille, et parcourt ensuite les galeries ou tailles déjà percées.

Les principaux barrages sont fortifiés par des constructions en pierres, afin de conserver, en cas d'explosion, le courant d'air dans les principales directions.



1206.

Quelquefois le grisou, sortant du toit en abondance par des fissures nommées *soufflards*, produit de grandes cavités coniques dans lesquelles il se loge : on construit alors, pour le balayer, une cloison *e* (fig. 1206), qui force le courant d'air *aa* à raser le toit *c*; *d*, est une porte battante à travers cette cloison ; *b*, est le soufflard.



1207.

Enfin la figure 1207 montre la disposition qu'on emploie pour laisser agir deux courants d'air *a*, *b*, qui se croisent.

Nous renverrons pour plus de détails sur l'aérage à l'article MINES, où nous indiquerons aussi les effets terribles des explosions, malheureusement trop fréquentes, qu'occasionne la présence d'un grisou dans les mines, et des moyens de les atténuer, autant que possible, lorsque cet accident a lieu.

De la formation de la houille. Nous reproduirons ici un intéressant rapport, fait en 1842 à l'Académie des sciences par M. Dufrénoy, sur un mémoire de M. A. Burat, intitulé *Description géologique du bassin houiller de Saône-et-Loire*, qui montre les difficultés de la question et indique les deux principales théories proposées relativement à la formation de la houille aux époques géologiques. Il nous fera connaître en même temps un des bassins les plus irréguliers de la France.

On suppose presque toujours, dit-il, une trop grande régularité aux bassins houillers. La houille forme, dans certains cas, des couches continues et d'une épaisseur à peu près uniforme sur de grandes longueurs, comme cela a lieu dans les bassins de Newcastle en Angleterre, de la Belgique et du Nord de la France. Mais ce fait ne doit pas être généralisé : il faut, sous ce rapport, distinguer deux classes de terrains houillers, séparés d'une manière nette les uns des autres ; savoir : le terrain houiller de haute mer et ceux qui ont été déposés dans des lacs. C'est à cette seconde classe que l'on doit rapporter la plupart des bassins houillers de la France. Ils sont en général circonscrits de tous côtés, et si, sur une carte géologique, on les coloriait en bleu, ils simuleraient les lacs qui font un des ornements des pays de montagnes.

Ces bassins houillers, quoique isolés les uns des autres, appartiennent à une même époque géologique. Lorsque la série des couches est complète, ils reposent sur les terrains de transition désignés sous le nom de *devonien*, et partout ils sont inférieurs au *grès rouge*. Il résulte de leur isolement une certaine indépendance dans leur allure. L'étude d'un bassin houiller éclaire sur la nature de ceux qui existent dans la même contrée, mais elle ne fait connaître ni la disposition de leurs couches, ni la nature de leur combustible ; et toutes ces données, si importantes à la science et à l'industrie, varient d'une localité à une autre. Les bassins houillers circonscrits offrent encore une circonstance particulière, c'est que souvent la houille ne constitue pas de couches continues ; de sorte que, quoique formées par la voie neptunienne, les combustibles échappent dans ce cas aux lois si régulières et si remarquables de la stratification, lois qui ont permis d'asseoir sur des bases certaines la géologie moderne, et de transformer la théorie des soulèvements en un des faits les mieux constatés.

Cette circonstance, trop souvent inconnue, a entraîné dans de grandes erreurs sur le calcul de la richesse des terrains houillers, que l'on établit généralement en attribuant aux couches de houille une puissance moyenne que l'on cube ensuite dans toute l'étendue du terrain, que, d'après des indices insuffisants, on vient à considérer comme un bassin unique.

Le bassin houiller de Saône-et-Loire appartient à la classe des bassins-lacs ; il est déposé dans une vaste cavité ouverte dans le terrain ancien de la Bourgogne, et l'on voit sur tout son pourtour les couches de grès reposer sur les parvis granitiques du vase qui les renferme. Sa forme est celle d'une ellipse allongée du nord-est au sud-ouest, dont le grand axe est d'environ 50,000 mètres et le petit de 15,000.

Sur toute cette superficie le terrain houiller ne se montre à découvert que sur le périmètre du bassin, formant ainsi une zone ellipsoïdale large au plus de 2,000 mètres, et marquant les limites du terrain houiller, ainsi que celles des roches primitives qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'encaissent. La partie centrale est recouverte par des grès et des conglomérats dépendants de la formation des trias.

La plus grande partie du pourtour de cette zone ellipsoïdale a été explorée par des travaux de recherches, et il y existe de nombreuses mines. Les exploitations du Creusot, qui ont donné naissance aux premières forges anglaises construites en France, et à la célèbre cristallerie de Montcenis, sont sur le bord nord du bassin; les mines de Montchanin et de Blanzy, si remarquables par la puissance des masses de charbon de terre qu'on y exploite, existent sur le bord sud. Une circonstance qui a toujours fixé l'attention des exploitants, c'est que les couches du Creusot, c'est-à-dire celles situées au nord du bassin, plongent vers le sud, et que l'inclinaison des couches de houille de la lisière sud est au contraire vers le nord. Il en résulte que ces couches se regardent et qu'elles semblent s'appuyer sur les bords du vase primaire qui les renferme. Cette disposition a fait généralement penser que les couches de houille étaient continues, qu'elles affectaient la même forme que le bassin; que les exploitations placées sur les bords étaient ouvertes sur les affleurements de ces mêmes couches; enfin que des puits placés au centre de la vaste ellipse du terrain houiller atteindraient ces couches à une certaine profondeur. Si cette continuité venait à se vérifier, la richesse houillère du bassin de Saône-et-Loire, déjà considérable, serait immense, et la marche des travaux à faire serait toute tracée; mais c'est précisément cette continuité que M. A. Burat vient attaquer : déjà nous-même nous n'avions pas cru devoir l'admettre complétement dans la description des terrains houillers que nous avons donnée dans le premier volume de l'*Explication de la carte géologique de la France*.

Les raisons invoquées par M. Burat sont d'abord, que l'opposition *d'inclinaison* des couches du terrain houiller, quoique fréquente, n'est pas constante, et si le pendage des couches du Creusot regarde effectivement celui de Montchanin, il n'en est pas de même dans toutes les exploitations de Blanzy. En effet, dans les mines du Montceau et dans celles des Communautés, les couches affectent une double pente, et viennent ainsi contrarier la règle qu'on a voulu depuis longtemps établir.

La différence de nature entre le charbon des mines de la lisière nord-ouest et de celles situées sur la lisière sud-est, est une seconde raison qui fait supposer à l'auteur que ces affleurements n'appartiennent pas aux mêmes couches. Ainsi, au Creusot, la houille grasse et collante donne un excellent coke, tandis que les exploitations de Blanzy, Longpendu, Saint-Bérain, Montchanin, fournissent des houilles sèches, *quoique très-flambantes*, le plus souvent impropres, pour la plus grande partie, à la fabrication du coke. Les roches qui accompagnent la houille présentent souvent des différences notables, et si l'on compare sous ce rapport les exploitations de Saint-Eugène et de Blanzy, placées en regard l'une de l'autre, on trouve entre les grès et les schistes houillers de ces deux mines des différences aussi grandes qu'elles pourraient l'être dans des bassins situés aux deux extrémités de la France.

Une dernière considération que M. Burat fait valoir pour la non-continuité des couches sous tout le bassin de Saône-et-Loire, c'est que, dans chaque groupe de mines, les couches de houille présentent des épaisseurs très-variables; dans plusieurs même elles semblent former des amas allongés dans le sens du grand axe de l'ellipse. Ainsi, à Montchanin, où le charbon présente dans quelques parties une épaisseur de 70 mètres, on voit sa puissance diminuer graduellement, et les coupes horizontales, construites à différentes hauteurs au moyen des plans de la mine, montrent avec évidence que cette exploitation a lieu sur une vaste lentille parallèle à la stratification.

Cette disposition, qui se représente dans plusieurs exploitations, fait penser à M. Burat que le bassin houiller de Saône-et-Loire se compose pour ainsi dire de plusieurs petits bassins enchâssés dans le grand, auquel ils sont coordonnés; il en résulte que la stratification générale est la même dans tout ce terrain houiller, que les grès et les schistes peuvent être continus, sans que pour cela les couches de houille se prolongent dans toute son étendue. Guidé par ces considérations, M. Burat distingue le bassin du Creusot, celui de Saint-Eugène, de Blanzy, de Montchanin, etc. Il pourrait exister de semblables petits bassins dans le centre de l'ellipse, mais rien ne l'indique quant à présent.

D'après ce que nous venons de dire, la formation des terrains houillers analogues à ceux de Saône-et-Loire serait due à deux causes différentes : l'une, agissant sans cesse, aurait présidé à la formation des grès et des schistes dont la stratification est continue; l'autre, renaissant périodiquement en un point donné du bassin, aurait donné naissance à la houille qui forme des couches irrégulières, des amas allongés, coordonnés aux roches de sédiment. M. A. Brongniart et M. Elie de Beaumont sont arrivés tous deux, par des considérations différentes, à adopter une opinion analogue. Ils pensent que, dans beaucoup de cas, la houille s'est formée sur place, à la manière des tourbières, comme l'avaient déjà pensé Deluc et plusieurs autres géologues, tandis que les roches arénacées qui l'accompagnent sont des dépôts sédimentaires. M. de Beaumont, en évaluant les proportions de carbone contenues dans un volume donné de matières végétales, nous paraît avoir surtout rendu évidente l'impossibilité de la formation de la houille par l'effet d'un transport opéré par les eaux, tel que l'admettent généralement les partisans de l'hypothèse contraire à celle dont nous venons de parler. En effet, d'après ses calculs (qui se réduisent à l'évaluation de quantités égales de carbone dans la houille ou dans un végétal) des couches de houille de 1, 2... 30 mètres, comme il en existe dans les bassins de l'Aveyron et du Creusot, exigeraient des radeaux de 26, 52,... 788 mètres de hauteur, suppositions qui dépassent les limites de la vraisemblance et même celles du possible. Calculant, d'un autre côté, les éléments de la production sur place due au simple développement des végétaux, M. de Beaumont a conclu : 1° qu'un taillis bien garni renferme à peu près la même quantité de carbone qu'une couche de houille de la même surface, et de 2 millimètres d'épaisseur; 2° que la plus belle futaie ne renferme pas plus de carbone qu'une couche de houille de la même étendue et de 6 millimètres d'épaisseur. Un siècle de végétation forestière, dans des circonstances très-favorables, pourrait produire sur place, au plus, par sa transformation, 16 millimètres de houille. Cette hypothèse exige un laps de temps considérable pour la formation des puissantes couches de houille dont le bassin de Saône-et-Loire nous offre des exemples, mais elle ne renferme en elle-même aucune des impossibilités qui accompagnent la supposition qui les attribue à l'enfouissement d'immenses radeaux de bois échoués dans les lieux où sont situés les dépôts de combustible fossile.

Nous ferons observer que cette théorie est loin d'être généralement admise et d'avoir renversé celle qui considère la houille comme due à des transports de végétaux enfouis. Elle rencontre cette objection, que jamais une tourbière n'a dû sa naissance qu'à des végétaux aquatiques et n'a pu être formée de fougères arborescentes qui ont surtout formé les houil-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les, végétaux qui ne poussent que dans les terrains siliceux, comme était la surface du sol à l'époque de la formation du grès houiller. Quelques arbres trouvés debout dans les houillères du pays de Galles doivent faire présumer qu'il s'est produit un remplissage à côté d'eux, par apport de la végétation développée sur des surfaces bien plus étendues que celles occupées par les houillères, sans que cette action ait été nécessairement instantanée. Quant à la durée de la formation de la houille, on doit penser que les lois du développement des végétaux qui ont formé les houilles étaient autres que celles que nous voyons aujourd'hui, au milieu de l'atmosphère très-chargée d'acide carbonique des époques géologiques.

Statistique.

ANGLETERRE. La Grande-Bretagne est la contrée la plus favorisée de l'Europe pour la production de la houille. En 1872, avant que les exigences des ouvriers et les ardeurs de la spéculation n'en eussent fait tripler le prix, l'extraction a atteint le chiffre énorme de 125,000,000 de tonnes métriques!

Les principaux dépôts houillers de l'Angleterre sont: le grand bassin houiller de Newcastle; le bassin de Yorkshire; les deux bassins du Staffordshire, et les nombreux bassins du pays de Galles. En Écosse, nous citerons les bassins houillers de Clackmanshire et de Glascow.

Plusieurs de ces bassins, outre la houille, renferment de puissantes couches subordonnées de fer carbonaté lithoïde; c'est à leur présence que certaines parties de l'Angleterre, telles que le Staffordshire et le pays de Galles, sont redevables de l'immense développement qu'y a pris l'industrie du fer.

BELGIQUE. Aucun pays après l'Angleterre n'est aussi richement doté en combustible minéral que la Belgique; il s'y rencontre surtout dans les trois districts de Mons, de Charleroi et de Liége. On compte en Belgique:

Près de Mons.	69	mines de houille.
— Charleroi. . . .	85	—
— Namur	38	—
— Liége.	88	—
— Huy	25	—
Total. . .	304	mines de houille,

qui produisent annuellement environ 90 millions de quintaux métriques de houille.

FRANCE. Parmi les nombreux bassins houillers qui existent en France, nous citerons d'abord celui de *Valenciennes*, qui est le prolongement du bassin houiller de Mons en Belgique, et qui est recouvert de *terrains morts*, d'une épaisseur de 50 à 100 mètres à Anzin, et jusqu'à 200 mètres près d'Aniches, terrains qui sont traversés par de puissants *niveaux* ou couches aquifères.

Ce bassin renferme un grand nombre de couches de houille, dont une douzaine seulement sont assez épaisses pour pouvoir être exploitées avec bénéfice: leur puissance dépasse rarement 0m,70.

Les charbons d'Anzin sont gras, collants, en général peu sulfureux; ceux de Denain sont plus flambants, moins collants, et meilleurs pour la grille. Les mines de Raismes fournissent un charbon de grille maigre; celles de Fresnes et du vieux Condé un charbon sec anthraciteux. Le charbon d'Aniches est assez analogue à celui d'Anzin.

Le bassin houiller le plus important de France est celui de *la Loire*, qui repose sur le terrain primitif, et se divise en deux parties distinctes ayant pour centres, l'une *Saint-Étienne*, l'autre *Rive-de-Gier*. Le terrain houiller affleurant partout à la surface du sol, il n'y a pas de *niveaux* comme en Belgique et dans le Nord; en outre, le grisou y est rare et peu abondant.

Ce terrain houiller, dont la superficie est de 200 kil. carrés, est très-accidenté, et se divise naturellement en un grand nombre de bassins partiels, en forme de *cul-de-bateau*, qui constituent autant de centres isolés d'exploitation. La puissance des couches est très-variable; elles sont souvent accidentées par des renflements qui leur donnent subitement une épaisseur considérable jusqu'à 15 à 20 mètres, ou par des rétrécissements, qui souvent les réduisent tout à coup à un simple filet charbonneux, ou même ne conservent plus aucune trace de combustible. La puissance moyenne des couches exploitées varie de 1 à 5 ou 6 mètres. Elles fournissent deux variétés de houille: l'une est de la houille grasse maréchale de première qualité; l'autre, moins collante et plus solide, est très-recherchée comme charbon de grille. Dans les mines du bassin de la Loire, la proportion du menu dépasse souvent les 2/3 de la quantité de houille extraite; on en vend une partie en cet état, et le reste est transformé sur les lieux en coke.

Les environs de *Brassac*, en Auvergne, contiennent plusieurs couches de houille qui fournissent du charbon de bonne qualité.

Sur les bords du canal du Centre il existe une vaste étendue de terrain houiller qui présente deux centres d'extraction importants, le *Creusot* et *Blanzy*.

L'exploitation du Creusot porte principalement sur une couche de houille presque verticale de 15 à 20 mètres d'épaisseur, et propre à la fabrication du coke.

A Monceau, qui dépend de Blanzy, on n'exploite également qu'une couche verticale près du jour, et ensuite très-peu inclinée, dont l'épaisseur va jusqu'à 20m dans la profondeur. Elle est divisée en trois parties par deux bancs de schiste de 1m environ de puissance. Ce charbon est impropre à la fabrication du coke, et n'est employé que comme charbon de grille. Lorsqu'on veut produire une forte chaleur, comme dans le puddlage de la fonte et le réchauffage du fer, il faut le mélanger avec des charbons gras comme ceux de la Loire.

Les mines de *Decize*, près de la Loire, ne renferment que deux couches exploitées, de 1m,20 à 1m,50 de puissance; elles fournissent un charbon flambant et sulfureux comme celui de Blanzy, mais plus collant et plus durable au feu.

Les mines de *Fins*, dans l'Allier, donnent du charbon de forge comparable à celui de Saint-Étienne. Les mines de *Commentry*, dans le même département, donnent un charbon de bonne qualité, très-propre à la fabrication du coke.

Épinac, dans le département de Saône-et-Loire, fournit des charbons de grille très-chauds; mais qui encrassent plus la grille que ceux de la Loire.

Alais, *Decazeville*, etc., produisent également une grande quantité de houille consommée sur les lieux par les usines métallurgiques. Alais et Graissessac envoient leurs charbons vers la Méditerranée.

Les Alpes, le Maine et l'Anjou produisent une grande quantité d'anthracite employé à la cuisson de la chaux et des briques.

Enfin, le Midi renferme beaucoup de lignites.

De la production et de la consommation de houille en France. M. J. Burat a publié un intéressant travail sur la production de la houille, auquel nous empruntons ce qui suit, et qui est toujours vrai, malgré le changement des nombres qui se rapportent à 1857.

La production de la France en houille a été de 79 millions de quintaux métriques en 1857.

A combien s'élevait autrefois cette production et quels ont été ses progrès? Nous ne remonterons pas au seizième siècle, où une ordonnance, rendue à Paris à l'occasion d'une maladie épidémique, défendait aux maréchaux, sous peine d'amende et de prison, d'employer le charbon de pierre et de terre dans leurs ateliers. Nous nous contenterons de dire qu'en 1789,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire à l'époque où commençaient en même temps une révolution politique et une révolution industrielle, l'extraction de la houille en France n'atteignait pas 2 millions de quintaux et demi, c'est-à-dire qu'elle ne représentait pas même la trentième partie de ce qu'elle est actuellement.

Nous produisions déjà 8 millions et demi de quintaux en 1802; mais l'exploitation resta stationnaire les années suivantes, et nous étions encore en 1815 à peu près au même chiffre qu'au début du siècle. C'est à partir du rétablissement de la paix que le mouvement s'accéléra et prit de grandes proportions. Ainsi l'extraction monta successivement à 18 millions de quintaux en 1830, à 30 millions en 1840, à 44 millions en 1850, pour arriver à un chiffre de 79 millions en 1857.

On voit donc que, durant l'intervalle des quarante-deux années qui se sont écoulées de 1815 à 1857, la production indigène a presque décuplé.

Les bassins houillers qui concourent à cette production sont au nombre de 62; mais sur ce nombre la plus grande partie n'a qu'une très-faible importance, et l'on peut considérer, au moins actuellement, la richesse houillère de la France comme concentrée dans une vingtaine de bassins tout au plus.

Il faut citer en première ligne six bassins qui fournissent à eux seuls les quatre cinquièmes de l'extraction totale; ce sont :

Bassin de la Loire	22,426,000 q. m.
— du Nord et du Pas-de-Calais	19,600,000
— d'Alais.	7,540,000
— de Blanzy.	5,806,000
— de Commentry	4,845,000
— d'Aubin	4,635,000

Viennent ensuite onze bassins, qui produisent chacun moins de 2 millions de quintaux métriques, et dont le dernier n'en produit même qu'un peu plus de 400,000; ce sont ceux d'Épinac, d'Aix, de Carmaux, de Brassac, du Maine, de la basse Loire, de Decize, de Graissessac, de Ronchamps, de Vouvant et de Chatonnay (Vendée) et de Saint-Éloi (Puy-de-Dôme).

Quelle que soit notre richesse houillère, quelque progrès qu'ait fait l'exploitation de nos mines, il s'en faut de beaucoup cependant que la production indigène suffise à l'alimentation du pays. L'importation étrangère y contribue également pour une bonne part, et l'on doit même constater qu'elle a pris une extension considérable pendant ces dernières années.

La quantité des houilles importées en France ne dépassait guère 2 millions de quintaux métriques en 1815; elle s'élevait à plus de 6 millions en 1830, à près de 12 millions en 1840, et elle a atteint, en y comprenant l'importation sous forme de coke, un chiffre de près de 60 millions en 1860.

Il en résulte que, dans l'espace des quarante-cinq années écoulées de 1815 à 1860, l'importation étrangère a augmenté dans la proportion de un à trente, tandis que, comme nous l'avons vu plus haut, l'extraction indigène a seulement décuplé durant le même intervalle de temps.

Trois nations étrangères concourent presque seules à cette importation : c'est la Belgique, qui nous a envoyé en 1860 34 millions de quintaux, l'Angleterre 15 millions, et l'Allemagne 11 millions. Les houilles belges alimentent plus particulièrement le nord de la France, les houilles anglaises le littoral, les houilles allemandes les départements de l'Est.

Si maintenant on additionne les quantités produites et les quantités importées, en négligeant nos exportations, qui sont insignifiantes, on obtiendra la consommation totale du pays; on verra que cette consommation, qui était d'environ 11 millions de quintaux métriques en 1815, a passé successivement à 24 millions en 1830, à 42 millions en 1850, et qu'elle peut être évaluée aujourd'hui à 139 millions; de telle sorte qu'elle est actuellement douze fois plus considérable qu'elle n'était il y a quarante-cinq ans.

Ainsi donc, en résumé, la consommation actuelle de la France en combustible minéral est de 139 millions de quintaux métriques, dont 79 millions sont fournis par la production indigène et 60 millions par l'importation étrangère.

Lorsque l'on remarque la proportion considérable que l'importation étrangère prend dans notre approvisionnement, proportion qui était moindre d'un cinquième en 1815, qui est maintenant de plus des deux cinquièmes, et qui semble devoir être bientôt de moitié, on est tout naturellement conduit à se demander s'il n'y aurait pas moyen d'accroître la part de la production indigène dans la consommation du pays.

Quelle que soit la doctrine économique que l'on professe en matière de commerce international, tout le monde cependant est d'accord sur ce point : que toute nation doit chercher autant que possible à mettre en valeur les forces productives que la nature lui a départies.

Cela est surtout vrai quand il s'agit d'une matière, comme la houille, qui est pour l'alimentation de l'industrie ce que le blé est pour l'alimentation humaine, et qui est le grand agent du travail manufacturier.

Ainsi, la question est de savoir si nous possédons dans les entrailles de notre sol des richesses que nous n'ayons pas encore utilisées, et, dans le cas où il en serait ainsi, quels seraient les moyens à prendre pour obtenir tout l'effet utile qu'on peut en tirer.

Dans l'enquête sur les houilles faite en 1832, la direction générale des mines répondait à cette question, lorsqu'après être entrée dans quelques développements sur les dépôts carbonifères qui existent en France, elle concluait dans les termes suivants : « Cette courte revue suffit pour prouver que la France peut puiser dans ses propres mines tout le combustible minéral qu'elle consomme ou qu'elle est susceptible de consommer. »

On ne peut espérer cependant que la France soit jamais approvisionnée d'une manière exclusive par la production indigène. Ce qui est en jeu, ce n'est pas seulement la possibilité de produire, c'est la possibilité de vendre. Or, il est bien certain que la Belgique, en raison de sa situation même, devra toujours concourir dans une certaine proportion à l'approvisionnement de nos départements du Nord, de même que l'Angleterre à celui de nos départements du littoral, de même que l'Allemagne à celui de nos départements de l'Est. Mais du moins devons-nous faire nos efforts pour retenir dans nos mains tout le rayon d'approvisionnement qui semble devoir légitimement nous appartenir.

Lorsque l'on classe les différentes nations en raison de leur production houillère, on trouve, d'après les données approximatives qui ont pu être réunies, que nous ne viendrions qu'au cinquième rang. Voici, en effet, comment les nations se rangeraient :

	q. m.	
Iles-Britanniques	650	millions.
Amérique du Nord.	210	—
Prusse, Saxe	120	—
Belgique.	89	—
France . :	79	—
Autriche.	15	—

On peut dire, à la simple inspection de ce tableau, que nous n'y occupons pas une place en rapport avec notre développement industriel. Il y a une dizaine d'années à peine, nous venions encore au troisième rang. Nous n'avions au-dessus de nous que les Iles Britanniques et l'Amérique du Nord. Mais, depuis

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lors, quels qu'aient été nos progrès, la Prusse et la Belgique ont marché plus vite que nous, et elles nous ont devancés.

D'où vient cette infériorité? Si elle provenait de circonstances naturelles, par exemple de notre indigence en terrains houillers, nous n'aurions qu'à l'accepter, en regrettant d'avoir été traités aussi défavorablement par la nature. Mais il n'en est rien. Nous avons rappelé tout à l'heure l'opinion émise à ce sujet par la direction générale des mines. Quelques faits suffiront à la justifier.

Les terrains carbonifères qui ont fait l'objet de concessions embrassent chez nous une superficie de plus de 500,000 hectares; il y a dans cette surface concédée des terrains de transition pauvres et stériles, des terrains à lignites qui ne donnent que des produits insignifiants; si l'on en fait abstraction, on arrive à évaluer notre domaine houiller à 350,000 hect. environ.

Si cette étendue n'est guère que le quart ou le cinquième de celle que possèdent les Iles-Britanniques, elle est plus considérable que celle de la Prusse, elle est plus du double de celle de la Belgique.

Ajoutons que nous sommes loin de connaître toutes nos richesses, et que de nouvelles découvertes viennent sans cesse accroître notre domaine houiller.

C'est ainsi que le bassin du Nord a vu, dans ces dernières années, presque doubler la superficie qui lui était assignée. On sait que ce bassin est le prolongement de la zone houillère qui traverse la Belgique depuis Mons jusqu'à Liége. Les couches sont recouvertes, vers la frontière française, par des terrains secondaires; comme leur direction était la même, on avait pu les retrouver et les exploiter, notamment à Anzin, à Douchy et à Aniches, en fonçant des puits à travers ce que les mineurs appellent les morts-terrains; mais toutes les tentatives faites pour les rejoindre au delà de Douai en suivant leur direction normale avaient été infructueuses, et l'on avait fini par croire qu'on avait atteint leur extrême limite, lorsqu'un sondage, entrepris pour rechercher des eaux artésiennes dans une propriété des environs de Dourges recoupa des schistes analogues à ceux des terrains houillers, et donna l'idée que les couches pourraient bien, à partir de Douai, subir une inflexion vers l'ouest. On se mit à l'œuvre avec ardeur, et, depuis les premiers travaux qui ont eu lieu en 1847, il s'est révélé à nous un nouveau bassin houiller, celui du Pas-de-Calais, qui fournit déjà 5 à 6 millions de quintaux métriques.

C'est ainsi encore que l'on a constaté, par de nombreuses recherches, le prolongement des couches de houille de Sarrebruck, sous le territoire du département de la Moselle; et si les exploitations qui s'y sont établies n'ont pas pris de développement, c'est qu'on rencontre dans les terrains supérieurs des niveaux d'eau encore plus difficiles à franchir que ceux des bassins du Nord et du Pas-de-Calais, parce que les grès aquifères de la Moselle ne contiennent pas de couches imperméables qui facilitent les moyens d'isoler ces niveaux et de les traverser successivement.

Nous pourrions également citer le bassin de la Loire, dont le domaine tend à s'agrandir sous l'influence de recherches persévérantes. Jusqu'en ces derniers temps on avait été porté à considérer les exploitations de Saint-Étienne et celles de Rive-de-Gier comme appartenant à deux bassins distincts, séparés par le territoire stérile de Saint-Chamond. Or des fonçages, dont quelques-uns ont déjà été couronnés de succès, semblent prouver que ces deux bassins n'en forment qu'un en réalité, et que les couches de Rive-de-Gier s'étendent, non-seulement sous le territoire de Saint-Chamond, mais sous celui de Saint-Étienne, où des puits d'une profondeur suffisante pourront les atteindre un jour. Voilà donc la richesse du bassin de la Loire qui acquiert de nouvelles et plus grandes proportions.

Enfin, si nous voulions poursuivre cet historique de nos conquêtes houillères, les bassins de Saône-et-Loire, de l'Allier, de Brassac, de l'Aveyron et du Gard pourraient aussi nous fournir des exemples de nature à montrer que nous sommes loin d'être en possession ou du moins en jouissance de tout le domaine houiller qui existe sous notre sol.

D'où vient donc l'infériorité de notre production, puisqu'elle ne résulte pas de circonstances naturelles? D'où vient que nous ne tirons pas un meilleur parti de nos terrains houillers?

C'est qu'il ne suffit pas d'extraire la houille, mais qu'il faut encore la vendre, et que, pour lui trouver des débouchés, on doit lui faire subir des transports dont les frais entrent pour une proportion toujours considérable dans les prix sur les lieux de consommation.

Or, sous ce point de vue, il faut bien le reconnaître, la plupart de nos bassins houillers rencontrent, dans leur position même, des obstacles au développement de leur production; ils sont situés dans des contrées montagneuses, d'un accès difficile, où les voies de communication n'ont pénétré que lentement, et à des distances plus ou moins éloignées des grands centres d'industrie et de population.

Les bassins des nations concurrentes ont, sous ce rapport, des avantages manifestes que l'on pourra apprécier sans que nous ayons besoin de descendre dans les détails.

L'Angleterre, qui est la contrée la plus favorisée relativement à l'étendue et à la richesse des terrains houillers, est également celle que la nature a le mieux dotée en ce qui concerne la facilité des débouchés. Ses deux bassins les plus riches, celui de Newcastle et celui du pays de Galles, sont en partie coupés par la mer, de telle sorte que les exploitations peuvent en quelque sorte déverser leurs produits dans les navires mêmes qui doivent les transporter par la voie la plus économique sur tous les points du littoral des Iles-Britanniques et du continent européen. Ils en expédient même plus de 3 millions de quintaux métriques aux États-Unis. Ajoutons que, le tonnage des importations de marchandises de toute nature dépassant de beaucoup en Angleterre le tonnage des exportations, la houille sert en quelque sorte de lest pour les voyages d'aller, et par conséquent se transporte à des prix d'autant plus réduits.

Si les bassins houillers de la Belgique ne disposent pas d'une voie aussi économique que la mer, ils ont l'avantage d'être placés à la frontière même de la partie la plus industrielle et la plus riche de la France; et comme la Belgique possède un système de canaux et de chemins de fer qui se relie, qui se confond même avec le système français, ils ont trouvé ainsi, à leurs portes, un débouché tel que les expéditions du Hainaut (Mons et Charleroy) pour la France représentent presque la moitié de ses extractions.

Quelle est, au contraire, la situation de nos principaux bassins houillers? A l'exception de celui du Nord et du Pas-de-Calais, la plupart sont disposés autour du pâté de montagnes qui occupe le centre de la France. Ils sont plus ou moins éloignés des centres de consommation qui peuvent absorber leurs produits, et leurs charbons n'y arrivent que surchargés de frais de transport qui en augmentent le prix dans des proportions considérables.

Ainsi il résulte de documents officiels publiés à diverses époques que :

En 1850, la houille était payée par les consommateurs au prix moyen de 2 francs le quintal métrique,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tandis qu'elle n'était vendue que 0,93 sur les lieux de production;

En 1857, le prix dans les centres de consommation était de 2 fr. 53 c., tandis qu'il n'était que de 1 fr. 25 c. sur le carreau de la mine.

On voit donc que les frais de transport font plus que doubler le prix du combustible consommé.

Mais ce n'est là qu'une moyenne, et, par conséquent, si l'on fait abstraction des quantités consommées sur place ou à proximité des mines, il s'ensuit que la proportion de l'accroissement de prix est bien autrement considérable pour beaucoup de centres de consommation.

On en jugera par les faits suivants, consignés dans les documents officiels: Le bassin de la Loire a expédié, en 1850, ses produits dans quarante-neuf départements, et pendant que le prix de vente sur place était, à cette époque, de 0,87 c. par quintal métrique, le prix de vente était de plus de 5 fr. dans les départements d'Eure-et-Loir, du Loiret, de la Meuse, de la Mayenne, de la Sarthe, de Seine-et-Oise et des Vosges; de 4 à 5 fr. dans les départements de l'Aube, de l'Indre, de la Vienne, de l'Yonne; de 3 à 4 fr. dans quatorze autres départements qu'il serait trop long d'énumérer; de telle sorte que plus de la moitié des départements qui consomment la houille de la Loire la payaient à un prix quatre, cinq et six fois plus élevé que le prix de vente sur les lieux d'extraction.

La question du développement de nos houillères, qui n'est autre que la question de la houille à bon marché, est donc essentiellement une question de transport, et la solution s'en trouve dans l'abaissement des frais que les charbons supportent pour se rendre du carreau de la mine aux lieux où ils doivent être consommés.

ALLEMAGNE. La Prusse est le pays de l'Allemagne le plus riche en houille. On y remarque surtout les bassins de Sarrebrück, de la Ruhr, d'Eschweiler et de Silésie. On y trouve également beaucoup de lignites.

La Hesse Électorale renferme de la houille grasse très-collante, à Obernkirchen, dans le comté de Schaumbourg, et beaucoup de lignite à Habichtswald et à Meisner, près de Cassel. Ces mines ont produit en 1858 2/5 millions de quintaux métriques de houille et 1/2 million de lignites.

La Saxe en produit à peu près autant, et beaucoup de lignite; le reste de l'Allemagne, Bavière, Wurtemberg, etc., est très-pauvre en combustibles minéraux.

AUTRICHE. La Bohême est très-riche en combustibles minéraux. On y trouve trois bassins houillers principaux: ceux de Rakonitz, de Radnitz et de Pilsen. Le premier renferme plusieurs couches de $0^m,60$ à $1^m,50$ de puissance; le second, beaucoup plus limité, possède une couche de 10^m d'épaisseur, qui fournit un charbon solide et très-pur, d'excellente qualité pour la grille, mais impropre à la fabrication du coke; enfin, le troisième bassin est analogue au premier, pour la puissance des couches et la qualité du charbon qu'elles fournissent.

La Bohême est surtout riche en lignite d'excellente qualité appartenant à la formation de l'argile plastique, et qui constitue dans la partie nord-ouest un vaste bassin qui s'étend d'Éger à Tœplitz, et présente une surface de plus de 2,000 kilomètres carrés. L'épaisseur des couches, qui est fréquemment de plus de 6 mètres, atteint souvent 20 et même 30 mètres.

La Bohême produit annuellement 3 à 4 millions de quintaux métriques de houille; la production en lignite est plus considérable.

Le reste de l'empire d'Autriche ne produit que 6 à 7 millions de quintaux métriques de houille.

ÉTATS-UNIS. — Par une singulière coïncidence, les États-Unis de l'Amérique du Nord, formés de colonies anglaises et devenus depuis leur séparation, et par suite de leur rapide développement, des rivaux redoutables de la mère-patrie, possèdent les plus vastes formations houillères connues, assez considérables pour qu'on doive penser qu'un jour l'Amérique devra envoyer de la houille en Europe.

Les terrains houillers des États-Unis, qui s'étendent sur une superficie d'environ 510,000 kilomètres carrés, sont surtout remarquables dans les régions suivantes:

1° *Région des Alleghanys.* — Elle comprend une série de districts productifs en Pensylvanie, dans l'Ohio, le Maryland, la Virginie, le Kentucki et le Tennessée. Le terrain houiller se développe dans une direction N.-E. et S.-E. suivant une ligne continue de 1,408 kilomètres. Plusieurs couches, d'anthracite le plus souvent, atteignent des épaisseurs de 15 et 20 mètres. A Pitsburg la houille bitumineuse forme 8 ou 10 couches exploitables, sur une profondeur de 600 mètres;

2° *Région de l'Illinois et de l'Indiana.* — Superficie 132,000 kilomètres carrés, presque aussi étendue que la précédente, bien moins exploitée; les dislocations des couches y paraissent bien plus fréquentes.

Dans la région de l'Iowa, du Missouri et de l'Arkansas, le terrain houiller occupe plus de 189,000 kilomètres carrés. Les couches sont moins riches que celles des régions précédentes.

Dans un pays où les forêts étaient si considérables et la population si peu dense, on fut longtemps sans se préoccuper de la houille. C'est en 1820 seulement que les mines de Pensylvanie ont fait un premier et modeste envoi de 370 tonnes!

P. DEBETTE.

HUILES (*angl.* oil, *all.* öhl). On distingue deux genres d'huiles : les unes sont visqueuses, fades ou presque insipides ; les autres sans viscocité, caustiques et volatiles. Les premières sont les *huiles grasses*, les secondes sont les *huiles volatiles ou essentielles.*

HUILES GRASSES.

Les huiles grasses sont presque toutes liquides à la température ordinaire, leur viscocité les empêche de couler facilement: 1° leur saveur est souvent désagréable; 2° leur odeur est toujours légère. La plupart sont colorées en jaune ou en jaune verdâtre. Toutes sont spécifiquement plus légères que l'eau.

Exposées à l'air, ces huiles perdent peu à peu leur limpidité, s'épaississent et quelquefois durcissent. Celles qui s'épaississent au point de ne plus tacher le papier sur lequel on les applique prennent le nom d'*huiles siccatives :* telles sont les huiles de lin, d'œillette, de noix, de chenevis, de faîne. Celles qui ne s'épaississent point assez pour cela s'appellent *huiles non siccatives :* ce sont les huiles d'olive, de colza, d'amandes douces, de noisettes, de ricin, d'acajou. Dans ce changement d'état l'oxygène de l'air est absorbé et il se produit de l'acide carbonique. (De Saussure, *Annales de chimie et de physique*, XIII, 350.)

Les huiles grasses sont insolubles dans l'eau: la plupart sont plus ou moins solubles dans l'alcool et dans l'éther.

Le soufre et le phosphore se dissolvent dans les huiles à l'aide de la chaleur: l'iode et le chlore leur enlèvent de l'hydrogène et forment, le premier de l'acide hydriodique, le second de l'acide hydrochlorique.

Les huiles grasses sont combustibles. Traitées par les alcalis et l'eau, elles forment des acides gras qui, s'unissant aux oxydes, produisent des SAVONS.

L'acide hypo-nitrique solidifie toutes les huiles non siccatives.

Soumises à l'action du froid, les huiles grasses s'épaississent et finissent par se prendre en masse; si on les comprime dans du papier buvard, celui-ci s'imprègne d'une matière grasse huileuse, et il reste une substance solide plus ou moins analogue au suif.

Les applications des huiles sont très-nombreuses: elles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

servent à l'éclairage, à la fabrication des savons, à la nourriture, au travail des laines et à la peinture.

Les matières propres à leur fabrication se divisent en deux classes qui sont : les olives et les graines oléagineuses ; chacune de ces classes exige un mode d'extraction particulier.

Comme les appareils employés pour l'extraction de l'huile des graines oléagineuses sont plus perfectionnés que ceux qui servent à la fabrication de l'huile d'olive, nous commencerons par les décrire.

EXTRACTION DE L'HUILE DES GRAINES OLÉAGINEUSES. L'extraction des huiles de graines exige une série d'opérations dont la plupart sont du ressort de la mécanique. L'établissement dans lequel se trouvent toutes les machines nécessaires à cette extraction se nomme *tordoir*, *moulin à huile*, ou huilerie. Les machines y sont mises en mouvement par des manéges, par le vent, par l'eau ou par la vapeur, suivant l'importance de la fabrication.

Les graines oléagineuses sont d'une qualité supérieure dans les années chaudes. Dans les années qui manquent d'eau les graines sont petites, et enfin si les pluies sont abondantes elles ne mûrissent pas.

Le colza, pour être de bonne qualité, doit avoir le grain plein, noir, lisse et glissant dans la main, écrasé sous l'ongle, l'huile doit en sortir abondamment. On conserve longtemps ces graines dans des greniers bien aérés. Une faible dessiccation fait un peu rider la surface du grain, mais la qualité et la quantité de l'huile ne sont pas changées.

Lorsque les graines se trouvent dans un grenier on doit avoir soin de les remuer à la pelle pour les aérer, et pour empêcher l'attaque de très petits insectes qui se mettent souvent dans le colza. Dans les grandes huileries on pourrait mettre les graines dans des *greniers mobiles* de M. Valéry.

Lorsqu'un tas de colza ou de navette est attaqué par les insectes dont nous venons de parler, il faut le mettre de suite au travail, pour éviter que le reste du grenier n'en soit infecté.

La détermination exacte de la proportion des principes gras contenus dans les graines oléagineuses est une opération facile, il suffit de traiter les semences par l'éther sulfurique qui dissout à froid les matières grasses. On broie la graine et on la met en digestion avec de l'éther qu'on renouvelle de temps en temps ; la dissolution éthérée est mise dans une capsule, on la chauffe un peu au *bain marie* afin de chasser les dernières traces d'éther ; le résidu huileux est traité par l'eau pour enlever les matières solubles dissoutes par l'éther. On sèche ensuite, et ce qui reste représente la proportion de matières grasses contenue dans la graine.

La quantité d'huile rendue par une graine soumise au pressoir est toujours moindre que celle qui y est contenue ; et la proportion d'huile retenue dans le tourteau est d'autant plus considérable que l'amidon, le ligneux, les principes albumineux, etc., sont plus abondants. Nous donnons, dans un tableau, les produits des principales graines oléagineuses en les supposant de bonne qualité, à l'article OLÉOMÈTRE.

La fabrication de toutes les huiles de graines repose sur les deux opérations suivantes : le broyage de la graine et le pressage ou extraction proprement dite. Ces deux opérations se succèdent en s'entremêlant, et pour qu'elles atteignent leur but, on a recours à quelques précautions spéciales dans le détail desquelles nous entrerons bientôt.

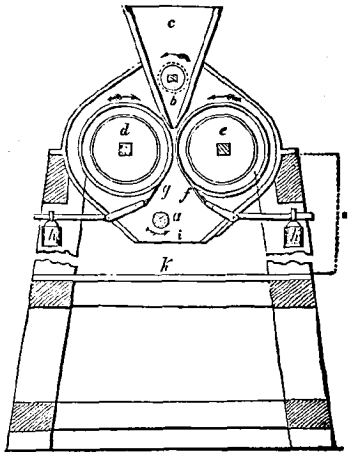
En résumé, le détail des opérations nécessaires pour l'extraction des huiles de graines peut s'établir de la manière suivante :

1° Nettoyage de la graine ;
2° Écrasage et froissage de la graine ;
3° Chauffage de la graine à feu nu ou à la vapeur ;
4° Première pression ;
5° Second écrasage des graines pressées ou *rebat*
6° Nouveau chauffage ;
7° Seconde pression.

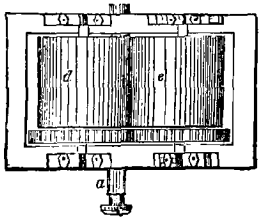
Avant de broyer les graines il est nécessaire de leu faire subir un nettoyage complet en les passant au tarare, afin de chasser tous les corps étrangers qui pourraient s'y trouver.

On emploie plusieurs appareils pour écraser et froisser les graines. Dans le département du Nord on emploie des pilons de bocard mis en mouvement par des moulins à vent. Ce procédé est simple et économique, mais il ne peut être appliqué en grand. Dans les huileries bien montées le broyage de la graine se produit successivement avec deux machines différentes. La première concasse la graine pour l'empêcher de glisser sous les meules qui doivent terminer le broyage.

La machine la plus employée au concassage des graines, se compose de deux cylindres creux *d*, *e*, bien tournés, marchant en sens inverse avec une vitesse égale, et conservant entre eux une distance que l'on peut faire varier à volonté (fig. 1208 et 1209) ; l'un des cylindres reçoit



1208.



1209.

le mouvement du moteur et le transmet à l'autre au moyen d'un engrenage. Une trémie en bois *c*, continuellement pleine de graines, alimente uniformément les cylindres, au moyen d'un petit rouleau cannelé *b*, dont on fixe à volonté la vitesse au moyen d'une poulie à plusieurs gorges. Une machine de ce genre dont les cylindres ont 0m,60 de longueur, 0m.13 de diamètre et une vitesse de 40 à 50 tours à la minute, broie par jour 40 décalitres de graines, et alimente deux paires de meules ; elle consomme une force motrice de 1 cheval-vapeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

HUILES.

La graine étant concassée on la porte au moulin à meules verticales : cet appareil, représenté en élévation et en coupe par les fig. 1210 et 1211, se compose de 2 meules verticales A, A, montées sur un essieu commun B, passant dans une entaille *a*, pratiquée dans l'arbre vertical C; disposition qui permet aux meules de monter ou de descendre suivant la résistance qu'elles rencontrent. L'arbre C porte un ramasseur J, que l'on élève ou que l'on abaisse au moyen du levier K, et deux râcloirs H et I, destinés à ramener sous les meules la graine qui s'en écarte: l'un est en tôle, l'autre en bois. Les deux meules A, A' tournent sur une meule dormante D, fixée sur un massif de maçonnerie et percée à son centre d'un trou qui laisse passer la pièce *p* portant la crapaudine *c* de l'arbre C; cette pièce *p* repose sur un pont O supporté par les vis *e*, *e*, qui servent à l'élever ou à l'abaisser suivant que l'on veut ou non engrener l'arbre M; la meule D est entourée d'un rebord en bois F, encastré dans la meule et qui n'en laisse à nu que la partie sur laquelle tournent les meules verticales. Enfin le mouvement est donné à l'arbre C au moyen d'un engrenage conique L.

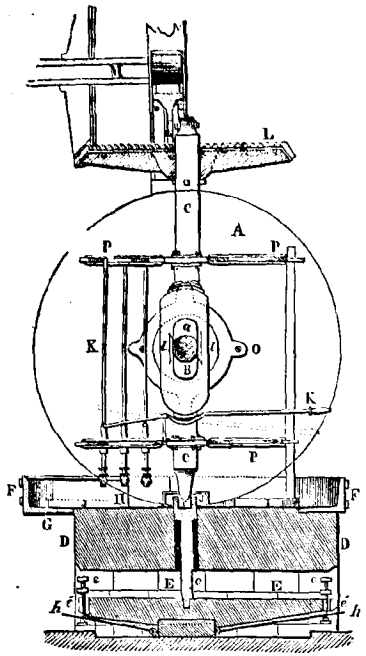


Fig. 1210.

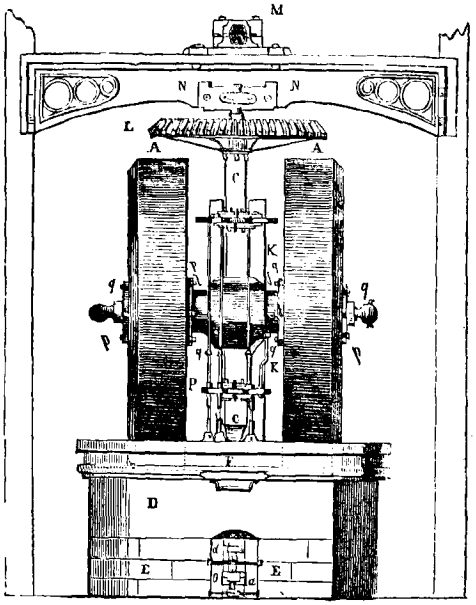


Fig. 1211.

Les meules étant en mouvement, on jette, dans l'auge circulaire où elles se meuvent, une charge de graines concassées (de 60 à 80 kil. suivant la graine). L'arbre des meules pouvant se mouvoir dans l'entaille *a*, elles pourront monter ou descendre suivant l'obstacle qu'elles rencontreront, elles agiront alors par leur propre poids, mais comme elles sont cylindriques et qu'elles tournent sur une surface plane, il s'ensuit que dans leur rotation autour de l'arbre, elles doivent glisser: ainsi donc la graine se trouve écrasée par un poids très-considérable, et en outre elle se trouve froissée. Ce froissage produit un mouvement de torsion qui la renvoie vers les deux bords. Les râcloirs H et I servent à ramener, le premier la graine refoulée vers le centre, l'autre la graine qui s'écarte vers la circonférence. Pendant toute la marche de l'opération, le râcloir J a été soulevé. Lorsque la graine est suffisamment écrasée on abaisse le râcloir J, et on fait écouler la pâte par une ouverture que l'on ferme ensuite au moyen de la vanne G. On relève le râcloir J, et on recharge l'appareil qui fonctionne comme précédemment.

Les meules sont en granit: elles ont de 2^m à $2^m,50$ de diamètre, sur $0^m,40$ à $0^m,45$ d'épaisseur, leur vitesse est de 13 tours à la minute. Une paire de meules pèse de 7 à 8,000 kil., et écrase par jour de 2,500 à 3,000 kil. de graine. Cette machine absorbe une force de 4 chevaux-vapeur.

Lorsque la graine est suffisamment broyée, elle forme une pâte dont l'huile est la partie liquide. Quelquefois on l'extrait de suite en soumettant la pâte à une pression énergique, on obtient alors une *huile vierge* d'un goût agréable, et plus propre à l'apprêt des aliments: mais le rendement est moindre et le travail plus long.

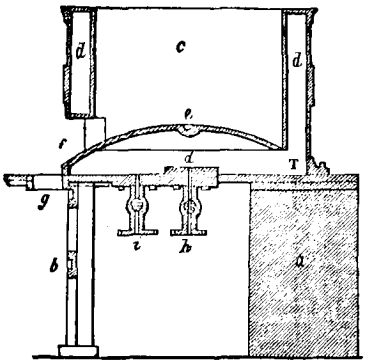
On obtient des résultats différents si la matière pâteuse a été préalablement chauffée dans des appareils nommés *chauffoirs*. Cela se conçoit facilement, car les huiles se trouvent mélangées soit avec de l'albumine, soit avec de la légumine, qui en s'écoulant à froid donnent un liquide visqueux difficile à épurer. En faisant chauffer, tous ces inconvénients disparaissent, l'albumine est congulée et l'huile devenant plus fluide s'écoule plus facilement.

Ce chauffage, il est vrai, altère un peu la saveur des huiles, mais cela n'a aucun inconvénient pour celles qui sont destinées à l'éclairage et à la fabrication des savons.

Les appareils que l'on emploie pour le chauffage de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la graine sont des vases en fonte ou en cuivre, chauffés à feu nu ou à la vapeur. Le chauffage à feu nu a ici tous les inconvénients qu'il présente lorsqu'il s'applique à des substances altérables par une température peu élevée ; au moyen d'un agitateur on peut, il est vrai, diminuer les chances d'altération : en Allemagne on remédie en partie aux inconvénients que présente le chauffage à feu nu en chauffant la graine au *bain marie;* mais dans les huileries bien montées et qui ont la vapeur pour moteur, il vaut mieux employer le chauffage à la vapeur ; de cette manière on n'a qu'un seul foyer à surveiller, celui du générateur, tandis qu'à feu nu chaque chauffoir a un foyer. La fig. 1212 montre la coupe



1212.

transversale d'un chauffoir à vapeur. L'appareil porte d'un côté sur le massif *a* et de l'autre sur le châssis *b; c*, est une bassine en fonte dont le fond est convexe, et porte à son centre une crapaudine, dans laquelle s'engage le pivot de l'agitateur G (figures 1213 et 1214) ; *d*, enveloppe de la bassine *c* pour la circulation de la vapeur. La bassine et son enveloppe sont fondues d'une seule pièce et fixées sur la plaque T au moyen de boulons. La vapeur est admise dans la double enveloppe par le tuyau *h*, et l'eau de condensation s'écoule par le tuyau *i*.



1213.



1214.

Quand la graine a atteint une température de 50 à 55° C, l'ouvrier retire la double porte *f* (fig. 1215), et reçoit la pâte dans des sacs disposés, pour la recevoir, au-dessous de l'ouverture *g*.



1215.

Lorsque le sac est rempli, il le pose sur une *étreindelle* de crin doublée en cuir, puis il y répartit la graine le plus uniformément possible afin de lui donner une épaisseur égale d'un bout à l'autre ; car si la couche était plus épaisse dans un endroit que dans un autre, la pression se répartirait inégalement, l'huile resterait dans les parties les plus faibles, et dans les parties épaisses le sac serait coupé. Quand l'ouvrier a bien disposé son sac il l'enveloppe dans l'étreindelle et le porte dans l'appareil destiné à extraire l'huile.

Plusieurs systèmes de presses ont été employés ; ce sont *les presses à vis*, *les presses à coins* et *les presses hydrauliques*. Toutes ces presses doivent donner une pression énergique dans le moins de temps possible, sinon le tourteau, formant éponge, retient l'huile.

Les presses à vis ne donnent généralement qu'un effet peu considérable et ne peuvent être employées que dans les petites huileries.

Les presses à coins sont le plus généralement employées, surtout dans les moulins à vent du Nord, mais ces machines produisent un bruit insupportable, ce qui rend impossible leur établissement dans les villes.

Du reste ces appareils sont simples et économiques à établir, ils fonctionnent avec une grande régularité et donnent de bons résultats.

Une bonne presse à coins de *Maudslay* presse deux tourteaux à la fois et produit sur chacun d'eux un effort de 50 à 75 000 kil.

Mais dans un établissement bien monté et à la portée des mécaniciens on doit employer les presses hydrauliques.

Les presses hydrauliques verticales sont avantageuses, car elles produisent une pression considérable; mais elles le sont moins que les presses hydrauliques horizontales qui tout en produisant une pression énergique rendent la manœuvre plus facile.

Récemment on a employé, pour la seconde pression, des presses hydrauliques horizontales à double paroi chauffées par la vapeur. Quelques-unes de ces presses sont doubles, de sorte que quand un plateau serre l'autre desserre.

La première pression opérée on retire le tourteau du sac qui l'enveloppait, on le casse grossièrement, et on le fait passer de nouveau sous les pilons ou sous le moulin à meules verticales ; ce second écrasage s'appelle *le rebat*. Lorsque la pâte est suffisamment rebattue on élève de nouveau la température dans les chauffoirs ; on la reçoit ensuite dans des sacs et on la soumet à une seconde pression.

L'huile qui en provient est moins pure que la première, et en est généralement séparée ; les tourteaux qu'on retire sont durs, secs, solides et ont environ 1 centim. 1/2 d'épaisseur.

Epuration des huiles. En sortant des presses, les huiles entraînent du mucilage et d'autres matières étrangères; un repos prolongé les clarifie en partie en laissant déposer les matières en suspension ; mais ce repos ne suffit pas, il reste toujours des matières étrangères qui, mêlées à l'huile, la rendent impropre à bien des usages. Ces matières ne peuvent être enlevées que par un moyen chimique ; c'est ce qui constitue *l'épuration des huiles*.

L'épuration des huiles consiste à les battre avec de l'acide sulfurique à 66°, à les agiter avec de l'eau, à les laisser reposer quelques jours, à les décanter et à les filtrer.

On emploie 2 centièmes du poids de l'huile en acide sulfurique. Souvent même on n'emploie que 0,5 p. 100 d'acide, si on chauffe les huiles à 60 ou 70° C. L'huile chauffée se travaille mieux.

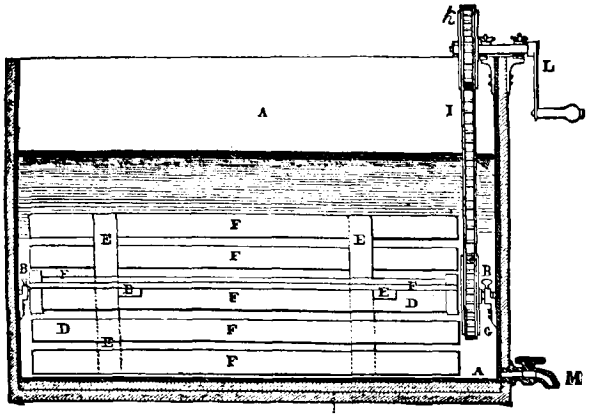
Dans la plupart des fabriques le battage de l'huile se fait avec un *bouloir* formé d'un plateau cylindrique en bois de chêne de 15 centim. de diamètre fixé à un manche de 1m,50. Un ouvrier verse l'acide, l'autre bat le mélange avec son bouloir. Dans d'autres fabriques on a employé un agitateur mécanique composé d'un axe vertical armé de palettes inclinées, pour former des courants de bas en haut, mais dans ces appareils l'huile prend un mouvement horizontal qui fait que ce battage est moins bon que celui opéré à la main.

MM. Grouvelle et Jaunez ont construit un appareil qui donne de bons résultats (fig. 1216).

En voici la description : A, bac à fond cylindrique, doublé en plomb, pouvant contenir de 7 à 8 hectolitres d'huile jusqu'aux 2/3 de sa hauteur totale. Au fond de ce bac est ajusté sur de petits coussinets en cuivre B, tenus par des vis et soudés au plomb, un agitateur horizontal C formé d'un arbre D, avec des tourillons et des pattes en cuivre (car le fer serait attaqué par l'acide sulfurique), armé de quatre palettes en bois E, E, formées de planches espacées F, F, pour briser les courants de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'huile. La hauteur de cet agitateur ne doit pas excéder la moitié de celle du bac, afin que, dans tous les cas, il soit constamment recouvert de liquide; car, s'il le dépassait en partie, son mouvement enlèverait une masse d'huile qu'il projetterait en dehors. Noyé au contraire dans l'huile, quand on lui donne une vitesse de 15 à 20 tours par minute, il y produit des bouillonnements très rapides qui ramènent sans cesse l'huile de bas en haut; la mêlent et l'agitent en tous sens; le battage est si parfait qu'en 25 minutes un enfant peut l'opérer complétement. L'agitateur C est mis en mouvement au moyen des poulies G et K et de la chaîne sans fin I.



1816.

On verse lentement l'acide dans l'huile en faisant manœuvrer l'agitateur, on bat ensuite jusqu'à ce que le mélange ait une teinte verte. On laisse reposer environ 24 heures, temps pendant lequel l'acide s'empare de toutes les matières étrangères. On ajoute ensuite un volume d'eau pure, à 45 ou 55° C, égal au 2/3 de celui de l'huile, et on agite de nouveau jusqu'à ce que le mélange ait une apparence laiteuse. Si on a une machine à vapeur on bien des chauffoirs à la vapeur, on pourra employer l'eau de condensation pour cette opération; dans le cas contraire, on a une chaudière qui peut contenir de 40 à 50 litres et qu'on chauffe au moyen du fourneau de l'établissement. Lorsque le mélange est assez battu on le laisse reposer pendant deux ou trois semaines; l'huile s'éclaircit, et un dépôt noirâtre se forme au fond du tonneau. On décante l'huile surnageante au moyen d'un robinet, et on la reçoit dans des cuves dont le fond est percé de trous garnis de mèches de coton.

On pourrait remplacer les mèches de coton par plusieurs dispositions de filtres. Quelquefois on emploie une couche de tourteaux d'œillette en poudre, ou des lits alternatifs de paille et de charbon. M. Grouvelle a employé avec avantage une couche de mousse recouverte d'un lit de tourteau. M. Dubrunfaut s'est servi d'un filtre, dont la matière en couches plus ou moins épaisses était maintenue entre deux treillages en bois. Enfin on a essayé d'employer des pompes, mais elles s'engorgent rapidement. Les huiles épurées par ce procédé perdent de 2 à 5 p. 100 de leur poids.

Le procédé d'épuration que nous venons de décrire est long; de plus, l'huile ainsi épurée retient une forte proportion d'eau, on remédie à ces inconvénients en saturant l'acide par du carbonate de chaux.

On ajoute les 2 p. 100 d'acide sulfurique, comme nous l'avons dit; puis, quand le dépôt s'opère, on ajoute de la craie; le papier de Tournesol indique quand la saturation est complète; on laisse reposer quelques heures et on soutire l'huile dans les filtres.

Au lieu de terminer par une filtration on peut employer le procédé suivant indiqué par M. Dubrunfaut et qui donne de bons résultats.

Dans une futaille de 6 hectolitres, on verse 50 kil. de tourteaux de graine, on bat le mélange et on laisse déposer; après 8 ou 9 jours on soutire 4 hectolitres d'huile parfaitement claire, qu'on remplace par une égale quantité d'huile trouble; 3 jours après on retire 4 hectolitres et on continue ainsi jusqu'à ce que les 50 kil. de tourteaux ne clarifient plus. Ces 50 kil. de tourteau peuvent clarifier 200 hectolitres d'huile.

Une fois épurées les huiles de graines peuvent être livrées à la consommation; lorsqu'on ne peut les débiter de suite, on les conserve dans de vastes citernes en briques bien cimentées.

L'huile bien épurée doit brûler sans noircir ni charbonner la mèche, ni la couvrir de champignons; elle doit être limpide et n'avoir rien perdu de sa viscosité. On reconnaît qu'une huile n'a pas été épurée en y versant de l'acide sulfurique, il s'y forme aussitôt un dépôt noir; dans le cas contraire, le dépôt est blanc.

Emploi des résidus. Les résidus d'huilerie sont : 1° les tourteaux; 2° les fèces épaisses et brunes qui se trouvent entre l'huile claire et l'eau acidulée; 3° les eaux acides provenant de l'opération.

Les tourteaux servent à la nourriture des bestiaux, on les emploie aussi comme engrais; dans ces derniers temps, M. Payen a proposé de les employer pour dénaturer le sel qui doit servir à la nourriture des bestiaux, espérant par ce moyen éviter toute fraude préjudiciable au trésor public.

Dans le nord de la France les *fèces* sont vendues aux savonniers pour en faire du savon mou, on peut aussi les employer pour préparer du gaz d'éclairage, enfin dans quelques fabriques on leur fait subir un traitement spécial pour en retirer l'huile qui s'y trouve.

Les eaux acides servent pour décaper la tôle; *la glycérine* qui s'y trouve fait que l'acide sulfurique dissout l'oxyde de fer sans attaquer le fer.

EXTRACTION DE L'HUILE D'OLIVES. Les olives à leur maturité sont réduites en pâte au moyen d'un moulin composé d'une seule meule verticale; au sortir du moulin, la pâte est mise dans des *cabas* ou *scoufins* et portée sous un pressoir, l'huile que l'on obtient est une *huile vierge* recherchée pour la préparation des aliments. Après cette première pression la pâte contient encore une forte proportion d'huile, on dépresse, on enlève les cabas, on les ouvre et on verse dans chacun un mesure d'eau bouillante; on replace les babas sous le pressoir que l'on fait fonctionner une seconde fois.

Les tourteaux qui sortent de la deuxième pression contiennent encore une si forte proportion d'huile qu'on les traite dans des ateliers spéciaux appelés *recenses;* là on sépare les noyaux, on recueille les pellicules, on les chauffe et on les presse ensuite.

Quand l'huile est extraite par la première pression

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on la met dans des *jarres* en grès placées dans des appartements exposés au midi et où l'on maintient une température de 14 à 15° C. Lorsque l'huile est transparente on transvase la partie claire dans d'autres vases et on laisse déposer encore la partie trouble. Lorsqu'on en a de grandes quantités à conserver, on la met dans des fosses bien cimentées que l'on appelle *piles*.

L'huile d'olives est employée comme aliment, elle sert à fabriquer du savon; en médecine, elle entre dans la composition de certains emplâtres: mêlée avec la cire et l'eau elle forme le cérat. Les horlogers s'en servent pour adoucir les frottements.

Le prix élevé de l'huile d'olives fait qu'on la falsifie avec celle d'œillette et quelquefois avec celle de faine; on reconnaît cette fraude au moyen de l'acide hypo-nitrique qui solidifie l'huile d'olives et laisse liquides les autres huiles. On mêle 5 grammes de l'huile à essayer avec un centigramme d'acide hypo-nitrique dissous dans 3 centigrammes d'acide nitrique à 35°; si l'huile essayée contient 1/100e d'huile d'œillette la solidification sera retardée de 40 minutes, elle le serait de 90 pour 1/20e d'huile d'œillette. (Boudet, *Annales de chimie et de physique*, LV, 391.)

Nous passerons maintenant à l'étude des propriétés principales des autres huiles que l'on rencontre le plus fréquemment dans le commerce.

Huile de navette. Cette huile, non siccative, a une odeur agréable, une couleur jaune et une viscosité assez grande; on l'extrait des semences du *brassica napus*, à 15° sa densité est de 0,9128. Cette huile sert surtout à l'éclairage, à la fabrication des savons verts, dans le foulage des étoffes de laine et la préparation des cuirs.

Huile de colza. Cette huile a les plus grands rapports avec l'huile de navette; elle s'extrait du *brassica campestris*, à 15° sa densité est de 0,9136, elle est employée aux mêmes usages que la précédente.

Huile de moutarde. Cette huile s'extrait de la graine de moutarde (*sinapis alba et nigra*). Elle est inodore, épaisse, d'une saveur douce et ambrée à 15°; la densité de l'huile de graine de moutarde noire est de 0,9170. Cette huile donne un savon très-solide. On commence maintenant à l'employer aux mêmes usages que les précédentes.

Huile d'œillette ou de pavot. Siccative, d'une saveur douce rappelant celle de la noisette, sans odeur, d'une couleur jaune pâle. Pesanteur spécifique 0,9243.

Huile de lin. Siccative, couleur jaune clair, si elle a été exprimée à froid, et jaune-brun si elle l'a été à chaud; d'une odeur forte et d'une saveur désagréable. Densité, 0,9347. Cette huile rancit très-facilement; on s'en sert pour la préparation des vernis gras, des couleurs à l'huile, de l'encre d'imprimerie, dans l'éclairage et la médecine, etc.

Huile de chenevis. Siccative, jaune-verdâtre à l'état frais et jaunissant avec le temps; odeur fade, saveur assez agréable quand elle a été préparée avec soin. Densité, 0,9276. On s'en sert en peinture, dans la fabrication des savons noirs, etc., etc.

HUILES ESSENTIELLES.

Presque toutes les huiles essentielles sont âcres, caustiques, sans viscosité, et, généralement, plus légères que l'eau. Plusieurs sont colorées, les unes en jaune, d'autres en vert, d'autres en bleu. Quoique douées d'une forte odeur, elles n'entrent pas en ébullition si facilement que l'eau.

Sous le rapport de la composition elles se divisent en deux classes: 1° celles qui renferment de l'oxygène, de l'hydrogène et du carbone; 2° celles qui ne contiennent que ces deux derniers éléments.

Si on en verse une certaine quantité dans une capsule, et qu'on en approche un corps en combustion, elles s'enflamment promptement et répandent une fumée noire et épaisse.

Introduites sous une cloche avec de l'oxygène elles en absorbent une certaine proportion. Quelques-unes s'épaississent tellement qu'elles se solidifient. Elles sont insolubles dans l'eau, très-solubles dans l'alcool, et d'autant plus, qu'elles sont plus oxygénées. Enfin les huiles essentielles se combinent avec les huiles fixes, dissolvent les résines, le camphre et même le caoutchouc.

Les huiles essentielles se trouvent dans tous les végétaux aromatiques, ce sont les huiles qui leur communiquent l'odeur qu'ils exhalent: elles se trouvent répandues dans toutes les parties des végétaux.

Presque toutes les huiles essentielles peuvent s'obtenir par la distillation; on l'exécute en distillant de l'eau dans un alambic, et en mettant avec l'eau la plante qui contient l'huile essentielle. Ici ce liquide sert à maintenir la température constante et à empêcher la plante de brûler, de plus il favorise la vaporisation de l'huile essentielle.

Suivant sa densité on emploie deux moyens pour recueillir l'huile. Si elle est plus dense que l'eau on reçoit tout le liquide dans un flacon de forme ordinaire, l'eau déverse par les bords et l'huile se réunit au fond. Si elle est plus légère que l'eau il faut donner au vase une forme telle que l'huile reste dans le vase en même temps que l'eau s'écoule. On emploie pour cela le *récipient florentin* (fig. 1217) qui se compose d'un vase A

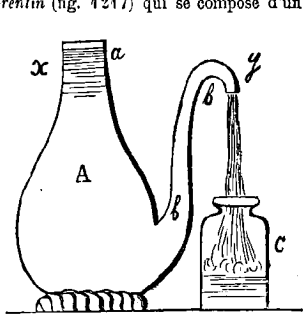


Fig. 1217.

de la base duquel part un tube recourbé en syphon *b*. L'huile forme toujours à la surface une couche *a* et l'eau s'écoule par le tuyau *b* aussitôt que le niveau est arrivé en *xy*. On extrait ensuite l'huile en versant le liquide dans un entonnoir effilé qui ne laisse couler que l'eau.

On peut encore se procurer certaines huiles essentielles par la pression, mais ce procédé n'est praticable que sur les zestes dont la partie charnue de quelques plantes est enveloppée.

Certaines huiles essentielles sont employées comme aromates dans la fabrication des savons de toilette, d'autres pour dissoudre des résines, d'autres en médecine, d'autres pour enlever les taches.

Nous examinerons succinctement les principales huiles essentielles.

Huile essentielle de térébenthine. Cette essence se retire, par la distillation, de la térébenthine que fournissent les arbres résineux et surtout le *pinus maritima*.

Celle du commerce est toujours colorée en jaune; elle contient toujours une résine qui vient de l'action de l'air sur l'huile. Pour la purifier on la redistille avec de l'eau et on l'agite ensuite avec du chlorure de calcium.

Purifiée, l'essence de térébenthine est incolore d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

odeur forte et désagréable. Sa densité à 22°,5 est de 0,86.

L'essence de térébenthine est employée en médecine et dans la préparation des vernis.

Huile essentielle de citron. Cette essence s'extrait par pression de l'écorce du citron (*citrus medica*). On prend des citrons bien frais et bien murs, on en râpe l'écorce, et on la soumet à la presse. L'huile volatile se sépare : on la garde en repos pendant quelque temps, ensuite on la décante et on la conserve dans des vases fermés.

Pour l'avoir très pure on est forcé de la distiller. L'huile distillée est incolore et a une pesanteur spécifique de 0,847.

Cette essence s'emploie principalement pour la toilette et pour enlever les taches d'huiles grasses de dessus le linge et toutes sortes d'étoffes.

Essence de rose. L'essence de rose est incolore, plus légère que l'eau, solide à la température ordinaire, se liquéfie entre 29 et 30°. Elle s'extrait, par la distillation, des pétales de la rose muscate (*rosa sempervirens*) et vient du Levant dans de très petits flacons; on l'emploie comme cosmétique. Respirée en grande quantité, cette huile blesse l'odorat.

Essence de bergamotte. Cette essence est jaune, plus légère que l'eau, ne se congèle qu'à plusieurs degrés sous zéro; s'extrait ordinairement par la pression de l'écorce de bergamotte (*citrus limetta bergamotta*). Pour cela on choisit des bergamottes bien saines et bien mûres; on en râpe l'écorce et on la soumet ensuite à la presse. L'huile qui s'écoule est reçue dans des vases, où on la laisse en repos quelques jours; puis, on la décante et on l'enferme dans des vases fermés; on la distille ensuite, pour l'avoir tout à fait pure. On l'emploie en médecine et comme cosmétique.

Huile essentielle d'anis. L'huile d'anis est extraite par distillation des graines d'anis (*anisum pimpinella*); elle est blanche ou faiblement jaunâtre; sa densité est de 0,287; elle est soluble dans l'alcool absolu; on l'emploie en médecine et dans l'économie domestique. Dans ces derniers temps on a vendu de l'huile d'anis falsifiée. Le mélange était composé, d'après M. Dubail, d'essence d'anis, d'essence de citron et d'alcool.

Essence de lavande. Elle s'obtient par la distillation des fleurs de lavande (*lavandula spica*). On l'emploie en médecine et dans la parfumerie. Rectifiée par une nouvelle distillation, elle donne un produit qui a une densité de 0,877.

Huile volatile de fleurs d'oranger. Liquide d'un jaune orangé, plus léger que l'eau; se retire des fleurs d'oranger (*citrus aurantium*). On l'emploie en médecine et comme cosmétique. Elle est composée de deux huiles, l'une concrète, l'autre liquide à la température ordinaire. (*Annales de chimie et de physique*. XL, 83).

Essence de girofle. L'essence de girofle employée comme assaisonnement, comme parfum, et en médecine, se retire des clous de girofle. Celle du commerce est jaune-orange et impure; distillée, elle devient incolore; sa densité = 1,061. L'essence de girofle forme avec les bases de véritables combinaisons cristallisables.

Essence de jasmin. Cette huile d'une odeur très fugace ne peut s'obtenir et se conserver qu'au moyen du procédé suivant : au fond d'une boîte en fer-blanc on étend un drap de laine blanche imprégné d'huile d'olive; on le recouvre d'un lit de fleurs récentes de jasmin (*jasminum officinale*). Sur ces fleurs on étend un deuxième drap que l'on recouvre d'une deuxième couche de fleurs et ainsi de suite jusqu'à ce que la boîte en soit remplie, et on comprime le tout au moyen d'un couvercle. Au bout de vingt-quatre heures on retire les fleurs, on les remplace par de nouvelles que l'on dispose de la même manière; et qu'on renouvelle jusqu'à ce que l'huile fixe soit bien chargée d'odeur. Alors on met les morceaux de drap dans l'alcool, on les exprime bien et on distille au bain-marie ce mélange d'alcool et d'huile odorante, l'alcool se volatilise et se rend dans le récipient chargé de vapeurs de jasmin; il prend chez les parfumeurs le nom d'*essence de jasmin*.

Huile volatile de l'eau-de-vie de pommes de terre. C'est à cette huile que les eaux-de-vie de pommes de terre doivent l'odeur et la saveur désagréables qu'on leur connaît. Elle se trouve renfermée dans la partie tégumentaire de la fécule et passe à la distillation avec les vapeurs d'alcool; elle s'en sépare à mesure qu'on le rectifie. Cette huile parfaitement pure est limpide, incolore, d'une odeur nauséabonde. (*Annales de chimie et de physique*, LVI, 314). A. CURTEL.

HYDRACIDES. Acides non oxygénés, dans les quels l'hydrogène joue le rôle d'élément électro-positif. Les principaux, sont les acides hydro-chlorique, hydrobromique, hydriodique, hydro-fluorique et l'hydrogène sulfuré, dont nous nous occuperons dans autant d'articles distincts.

HYDRATES. Combinaisons des oxydes métalliques, avec une quantité d'eau déterminée.

HYDRATÉS. Se dit des acides, oxydes et sels qui renferment de l'eau de combinaison en proportions définies.

HYDRAULIQUE. L'hydraulique comprend l'étude des phénomènes que présentent les fluides en mouvement et des moyens d'en tirer un parti utile. Nous ne parlerons ici que des fluides incompressibles, tels que l'eau, auxquels on donne quelquefois le nom de liquides. Cette étude se divisera en quatre parties, savoir : des lois de l'écoulement de l'eau contenu dans un réservoir; des eaux courantes; de l'emploi de l'eau comme moteur; et enfin, des machines à élever l'eau.

I. DES LOIS DE L'ÉCOULEMENT DE L'EAU CONTENUE DANS UN RÉSERVOIR.

Supposons d'abord que le réservoir soit constamment plein d'eau.

L'ouverture par laquelle l'eau s'écoule est tantôt entièrement recouverte par le fluide et prend alors le nom d'*orifice*, tantôt elle n'est pas limitée à sa partie supérieure et constitue un *déversoir*. On dit qu'un orifice est en *mince paroi*, lorsqu'il est pratiqué dans une paroi dont l'épaisseur est au-dessous de la moitié de sa plus faible dimension; d'autres fois, il est garni d'un *ajutage*, court tuyau, tantôt *cylindrique*, le plus souvent *conique et convergent*, et rarement *divergent*. La distance verticale du fluide, dans le réservoir, au centre de gravité de l'orifice, est ce qu'on nomme la *charge d'eau* sur l'orifice à laquelle est dû l'écoulement.

Soit H, la charge d'eau sur l'orifice,

V, la vitesse moyenne de l'eau,

Et $g = 9,8088$, la vitesse acquise par les corps graves, soumis à l'action de la pesanteur, à la fin de la première seconde de leur chute,

Dans le cas d'un orifice en mince paroi, on aura :

$$V = \sqrt{2gH}$$

C'est-à-dire que les vitesses sont proportionnelles aux racines carrées des charges;

Soit Q la dépense d'eau par seconde,

m, un coefficient constant,

S, la surface de l'orifice,

On aura :

$$Q = mVS = mS\sqrt{2gH}.$$

m étant égal à 0,62 dans les orifices en mince paroi. Ce qui donne :

$$Q = 2,75\,S\,\sqrt{H}.$$

Dans les orifices munis d'un ajutage cylindrique, d'une longueur égale à trois ou quatre fois au moins la plus faible dimension de l'orifice, et où l'écoulement se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fait à *gueule-bée*, c'est-à-dire à plein tuyau, la vitesse d'écoulement est :

$$V = 0,82\ \sqrt{2g\,H}.$$

Et la dépense :

$$Q = 0,82\,S\ \sqrt{2g\,H} = 3,62\,S\ \sqrt{H}.$$

Les ajutages coniques et convergents employés dans les usines, et dont l'angle est de 10 à 12°, diminuent très peu la dépense et la vitesse effective, qui sont environ les 0,98 de la dépense et de la vitesse théorique.

Les ajutages coniques et divergents peu employés, peuvent donner une dépense double des orifices en mince paroi.

Lorsque la charge sur le centre de l'orifice est très faible, par rapport à la hauteur de cet orifice, la vitesse moyenne d'écoulement est un peu plus faible que celle donnée par les formules ci-dessus.

Si, à la partie supérieure d'une des parois d'un bassin, on pratique une échancrure rectangulaire dont la base soit horizontale, l'eau du bassin, qu'on suppose toujours entretenu constamment plein, sortira en se déversant sous forme de nappe par dessus cette base ou *seuil*, ce qui a fait donner le nom de *déversoir* à une telle ouverture.

Soit H la charge d'eau sur le seuil,
l, la largeur du déversoir,
L, la largeur d'un bassin,
Q, la dépense par le déversoir,
Pour l plus petit que 1/3 L, on aura :

$$Q = 1,77\,l\,H\ \sqrt{H}.$$

Pour $l = L$, ce qui est le cas d'un barrage proprement dit :

$$Q = 1,96\,L\,H\ \sqrt{H}.$$

Et pour des valeurs de l intermédiaires, le coefficient de l'expression de Q variera de 1,77 à 1,96.

Passons maintenant au cas où le réservoir se vide.

Les problèmes qui se rapportent à ce cas se résolvent facilement à l'aide des données précédentes et du théorème suivant : le volume d'eau sorti par un orifice quelconque d'un vase prismatique, qui se vide jusqu'à ce qu'il le soit entièrement, n'est que la moitié de celui qu'on aurait eu, pendant le temps que le vase a mis à se vider, si l'écoulement s'était effectué constamment sous la charge primitive.

Si donc l'on connaît cette charge et la section horizontale du bassin supposé prismatique, on pourra aisément déterminer le temps que le bassin mettra à se vider, en traduisant le théorème précédent par une équation.

On trouvera de même le temps que le niveau mettra à baisser d'une quantité donnée, en prenant la différence des temps qu'il mettrait à se vider étant au niveau primitif, et à un niveau inférieur de l'abaissement donné.

En transformant l'équation qui donnera le temps que le niveau met à baisser d'une quantité donnée, on pourra en tirer l'expression du volume d'eau écoulée dans un temps donné.

Enfin, il nous reste à envisager l'écoulement lorsque le fluide passe d'un réservoir dans un autre, disposé de manière à ce que l'orifice de communication soit en totalité noyé.

Lorsque les niveaux seront constants dans chacun des deux réservoirs, ce qui arrive, par exemple, lorsqu'un bief de canal fournit l'eau au bief immédiatement inférieur, par un pertuis placé au-dessous du niveau de ce dernier, on adoptera pour la dépense d'eau les formules données plus haut pour l'écoulement à l'air libre, en prenant pour H la différence du niveau de l'eau dans les deux réservoirs.

Lorsque le niveau est constant dans le réservoir supérieur et variable dans l'autre, ou réciproquement, ce qui est le cas des sas d'écluses, par rapport aux biefs supérieur et inférieur, on pourra déterminer le temps qu'il faudra pour remplir ou pour vider le sas d'écluse, par les calculs indiqués plus haut dans le cas d'un réservoir qui se vide à l'air libre, en y remplaçant la section horizontale du réservoir par celle du sas, et la charge d'eau par la différence entre le niveau primitif de l'eau dans le sas et son niveau dans le bief supérieur ou inférieur.

II. DES EAUX COURANTES.

DES CANAUX. Les canaux diffèrent des rivières en ce qu'ils ont un lit régulier, ayant partout même pente et même profil.

La vitesse moyenne de l'eau y est, à très peu près, les 8/10es de celle à la surface.

Soit : p, la pente de la surface liquide, que l'on détermine par un nivellement à la surface.

c, le périmètre mouillé de la section $= l + 2h$ pour un canal rectangulaire, et $l + 2h\ \sqrt{t^2 + 1}$ pour un canal trapèze : t étant le talus à donner aux berges et qui est déterminé par la nature du terrain.

s, l'aire de cette section $= lh$ pour un canal rectangulaire, et $(l + th)\,h$ pour un canal trapèze.

Le rapport $\frac{s}{c}$ de l'aire au périmètre mouillé de la section $= n$,

v, la vitesse moyenne du courant,
Q, la dépense,
On aura entre ces quantités, les relations
$Q = vs$; et $np = 0,00036554\ (v^2 + 0,0664v)$ qui, résolue par rapport à v, donne $v = \sqrt{2736np} - 0,033$.

Équations qui, étant données toutes les quantités qu'elles renferment, une exceptée, serviront à déterminer cette dernière.

Pour les canaux rectangulaires, *aqueducs* et *coursiers*, il convient de leur donner des dimensions telles, que la largeur soit à peu près double de la profondeur de l'eau, c'est-à-dire que $l = 2h$; d'où $c = 4h$, $s = 2h^2$ et $n = h/2$; h sera donné, en fonction de la dépense, par la formule $Q = vs$, qui devient ici $Q = 2vh$, la vitesse v étant une donnée arbitraire qui dépend de la pente et de la nature du canal.

Dans le cas d'un canal trapèze, soit m le rapport de la largeur au fond l, à la profondeur h, $l = mh$ et $s = h^2(m + t)$, équations qui permettent de déterminer l et h, m étant donné.

La valeur de t, doit être de 1/2 (1 de base sur 2 de hauteur), pour les talus en pierres sèches, 1 pour ceux en terres franches, et 2 pour les sables en terres coulantes.

L'aire s se détermine en divisant la dépense du canal par la vitesse moyenne que l'eau doit y prendre. Cette vitesse moyenne doit être telle que la vitesse au fond, qui en est, à très peu près, les 3/4, soit assez faible pour ne pas dégrader les parois du canal. Le tableau suivant indique les limites supérieures de la vitesse que l'eau peut prendre au fond des canaux, selon leur nature, sans les dégrader.

Nature du fond.	Limite de la vitesse.
Terres détrempées.	0m,076
Argiles tendres.	0m,152
Sables.	0m,305
Graviers.	0m,609
Cailloux.	0m,614
Pierres cassées, silex.	1m,220
Cailloux agglomérés, schistes tendres.	1m,520
Roches en couches.	1m,830
Roches dures.	3m,050

La vitesse au fond, et par suite la vitesse moyenne, étant ainsi prises arbitrairement et inférieures aux li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mites maximum que nous venons d'indiquer, on en déduit, au moyen des formules précédentes, la forme à donner au canal, puis ses dimensions en fonction de la quantité d'eau qu'il doit débiter.

Dans les grandes vitesses, celles de 1m et au-dessus, on remplace la valeur de Q que nous avons donnée, par la suivante :

$$Q = 51\,s\,\sqrt{n\,p}.$$

Prise d'eau des canaux.

Les canaux, à l'exception des canaux de navigation à point de partage, prennent leurs eaux dans des réservoirs, bassins ou retenues, placés à leur tête, et qui sont le plus souvent des portions de rivière dont le niveau est élevé à cet effet par un barrage.

La tête du canal, au point de prise, est ou entièrement ouverte, ou bien elle est garnie d'un vannage.

Canal libre à son entrée. L'eau, à son entrée dans un canal ouvert, forme une chute : son niveau baisse jusqu'à une certaine distance, puis il se relève un peu, par de légères ondulations, au-delà desquelles la surface fluide prend et conserve une forme à peu près plane et parallèle au fond du lit, sa pente et son profil étant toujours censés constants. La vitesse s'accélère depuis le haut jusqu'au bas de la chute; elle diminue ensuite, pendant le relèvement de la surface, et bientôt après le mouvement se continue d'une manière sensiblement uniforme.

Soit H, la hauteur de l'eau dans le réservoir au-dessus du seuil de l'entrée du canal; h, la profondeur constante du courant après que le mouvement y est devenu uniforme; et v, la vitesse de ce mouvement; soit en outre D, la différence de niveau entre la surface de l'eau dans le réservoir et à l'extrémité du canal, et L, la longueur de ce dernier; on aura :

$$H - h = 0{,}06225\,v^2; - p\,L = D - (H - h);$$

$$v = \sqrt{2736\,n\,p - 0{,}033}; \text{ et } Q = s\,v;$$

Au moyen de ces équations on pourra déterminer la dépense, la pente ou une des dimensions du canal, les autres quantités étant connues.

La plupart du temps, les prises d'eau ont pour but d'utiliser celle-ci comme moteur; or la force qu'a un courant pour mouvoir des machines dépend non seulement de la quantité d'eau qu'il mène, mais encore de la hauteur dont elle peut tomber, c'est-à-dire de la différence de niveau entre la surface de la retenue à l'extrémité du canal, et le point de la rivière où cette eau peut lui être rendue en aval de l'usine : cette force est mesurée par le produit de la quantité d'eau par la hauteur de la chute. Plus on donnera de pente au canal, et plus on augmentera la quantité d'eau, un des facteurs du produit; mais, en même temps, on diminuera l'autre facteur, la chute; et il arrivera que le produit, après avoir d'abord augmenté avec la pente, diminuera ensuite, lorsqu'elle continuera à augmenter : il y a donc un maximum de force qu'il importe de déterminer, ce qu'on fera par tâtonnement, en déterminant chacun des facteurs du produit et par suite ce dernier, pour une série de pentes croissant, par exemple, par millièmes, et s'arrêtant aussitôt qu'il commence à diminuer.

Canal avec vannage. Lorsqu'un canal reçoit l'eau par l'ouverture d'un vannage établi à sa tête, ce qui est le cas de presque tous les coursiers des usines, et que sa charge sur le centre de l'orifice est forte et dépasse deux ou trois fois la hauteur de cet orifice, son bord supérieur n'est pas recouvert par l'eau de l'aval, et la dépense est donnée par la formule :

$$Q = 3{,}1\,l\,h\,\sqrt{H}$$

H, étant la charge sur l'orifice, l et h, la largeur et l'ouverture de la vanne.

HYDRAULIQUE.

Il suffira alors de donner au coursier une pente telle que l'eau débitée puisse s'écouler, ce que l'on calculera aisément par les formules que nous avons indiquées en parlant du mouvement de l'eau dans les canaux.

Si l'eau s'élève en aval de la vanne à une hauteur notable au-dessus du bord supérieur de l'orifice, la charge d'eau H de l'équation ci-dessus, sera égale à la différence du niveau de l'eau en amont et en aval de la vanne.

DES RIVIÈRES. Nous n'entrerons pas ici dans le détail du régime des rivières, des effets des remous, de l'affouillement des berges et du fond en aval des ponts et des barrages, dont il sera parlé dans des articles séparés : nous ne parlerons ici que du jaugeage des cours d'eau.

Indiquons d'abord le moyen de déterminer la vitesse d'un cours d'eau.

Le procédé le plus simple consiste dans l'emploi d'un flotteur qui, placé sur l'eau, en prend la vitesse. On se sert ordinairement de morceaux de bois ou autres corps d'une densité presque égale à celle de l'eau, et l'on compte le nombre de secondes qu'ils emploient à parcourir une distance préalablement mesurée. On les place sur le plus fort du courant, et assez en amont du point où commence l'observation, pour qu'en y arrivant ils aient déjà acquis la vitesse du fluide dans lequel ils sont plongés. La vitesse moyenne du cours d'eau sera approximativement les 0,8 de la vitesse ainsi observée.

On se sert très fréquemment du *moulinet de Woltmann* qui présente un arbre tournant, communiquant par un pas de vis avec un COMPTEUR (voir ce mot), et qui porte quatre petites ailes disposées comme celles d'un moulin à vent. Le courant les fait tourner, et du nombre de révolutions N, faites en un certain temps T, lequel est indiqué par l'instrument même, on conclut directement la vitesse $v = a\,\frac{N}{T}$, a étant un coefficient constant pour un même moulinet, et que l'on détermine en faisant parcourir au moulinet un certain espace dans une eau stagnante, dans un bassin, par exemple, et divisant l'espace parcouru par le nombre de tours de l'arbre.

Pour jauger les grandes rivières, on y prend une station en un point quelconque, on mesure l'aire de la section transversale, ainsi que la vitesse moyenne de cette section, et on multiplie ces deux quantités l'une par l'autre : à cet effet, transversalement à la rivière, à la station choisie, on jette plusieurs sondes : elles divisent la section en trapèzes, et on calcule l'aire de chacun d'eux. Puis, à peu près à égale distance entre les points de tendage, on conduit et fixe successivement un bateau d'où, avec un moulinet de Woltmann, on détermine plusieurs vitesses sur la même verticale; on en prend la moyenne, et on la multiplie par l'aire du trapèze respectif. La somme de tous ces produits donne la dépense de la rivière.

Dans le cas des petits cours d'eau, ceux par exemple qui ne mènent que de 1 à 2 mètres cubes d'eau par seconde, on pratique un barrage dans le cours d'eau, par dessus lequel l'eau tombe en déversoir soit sur toute la largeur du barrage, soit une largeur inférieure; puis mesurant la charge d'eau H sur le seuil, la largeur du déversoir l, et celle du barrage L, on calculera la dépense par la formule

$$Q = 1{,}77\,l\,H\,\sqrt{H}$$

lorsque l sera plus grand que 0m,09 et moindre que 1/3 L, et lH plus faible que la cinquième partie de la section du courant immédiatement en amont du réservoir.

Lorsque l sera égal à L, et que H sera plus grand que 0m,06 et plus faible que le quart de la profon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dour du courant derrière la digue, on emploiera la formule

$$Q = 1{,}96\,L\,H\,\sqrt{H}$$

Lorsque H sera supérieur au quart de la profondeur d'eau, on emploiera la formule

$$Q = 1{,}92\,L\,H\,\sqrt{H + 0{,}115\,v^2}$$

v étant la vitesse de la surface du courant à son arrivée au déversoir, que l'on détermine par expérience, ordinairement au moyen d'un flotteur.

La vitesse d'une rivière est faible lorsqu'elle se trouve au-dessous de $0^m{,}50$, elle est ordinaire de $0^m{,}60$ à 1^m, grande au-delà, et fort grande si elle dépasse 2^m. La vitesse de la Seine, aux environs de Paris, est de $0^m{,}60$ à $0^m{,}65$, celle du Rhône et du Rhin de 2^m environ.

Un cours d'eau prend déjà place parmi les rivières lorsque, dans son état ordinaire, il mène de 10 à 12 mètres cubes d'eau par seconde. De 30 à 40, c'est ordinairement une rivière navigable; à 100 mètres et au-dessus, c'est un fleuve : ainsi, la Seine, à Paris, sur une largeur moyenne de 130 mètres et une profondeur moyenne de $1^m{,}50$, mène environ 130 mètres cubes d'eau; la Garonne, à Toulouse, en a 150, dans son état ordinaire; le Rhône plus de 600, à Lyon; et le Rhin 950 à Strasbourg, et 1700 à Nimègue, avant sa jonction avec la Meuse.

DU MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX DE CONDUITE. Prenons d'abord le cas d'une conduite simple : si nous désignons par H la charge de la conduite ou la hauteur verticale entre l'orifice de sortie et la surface du fluide dans le réservoir; D, étant le diamètre de la conduite; L, sa longueur; et Q le débit par seconde, on aura :

$$(1)\quad Q = 21{,}22\sqrt{\frac{HD^5}{L}} - 0{,}0216\,D^2$$

Qui, pour les vitesses supérieures à $0^m{,}60$ se réduira avec une approximation suffisante, à

$$(2)\quad Q = 20{,}3\sqrt{\frac{HD^5}{L}}$$

Très souvent on donne la dépense et la charge d'eau et on demande le diamètre que doit avoir la conduite.

On détermine d'abord D par la formule (2) qui donne

$$D = 0{,}298\sqrt[5]{\frac{LQ^2}{H}}$$

et qui suffit pour les vitesses au-dessus de $0^m{,}60$. Lorsque la vitesse $\frac{4Q}{\pi D^2}$ est moindre, la valeur de D ainsi trouvée sera un peu trop faible; on l'augmentera graduellement, en la substituant chaque fois dans la valeur (1) de Q jusqu'à ce que l'on arrive à une valeur du second membre supérieure à celle du débit à avoir.

Nous avons admis dans ce qui précède que les conduites étaient entièrement ouvertes à leur extrémité; mais, presque toujours, elles sont terminées par des bouches d'eau, des robinets, ou des ajutages qui en rétrécissent l'ouverture. Dans ce cas, pour des vitesses au-dessus de $0^m{,}50$, ce qui est le cas le plus ordinaire, on a :

$$Q = 20{,}73\sqrt{\frac{HD^5}{L + 35{,}47\,\frac{D^5}{m^2d^4}}}$$

$$\text{et } D = 0{,}298\sqrt[5]{\frac{LQ^2}{H - 0{,}0826\,\frac{Q^2}{md^2}}}$$

d étant le diamètre de l'ajutage à son orifice de sortie, et m le coefficient de contraction qui le concerne.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de l'établissement d'un système de conduites d'eau, destiné, par exemple, à l'alimentation d'une ville, cas dans lequel on emploie généralement une maîtresse conduite alimentant dans sa longueur, par divers branchements, autant d'écoulements d'un volume déterminé. On tracera d'abord un plan de la conduite et de ses branchements, on multipliera par 3/2 le volume de chaque dépense d'eau, afin de subvenir aux obstructions, coudes et autres résistances accidentelles, puis, prenant une conduite d'un diamètre donné, on calculera les *pertes de charges* partielles occasionnées par le transport successif des volumes que chaque portion de la conduite doit débiter. On ajoutera toutes ces pertes pour avoir la perte totale, jusqu'au dernier orifice, et on s'assurera si la charge restante est suffisante pour assurer l'écoulement du volume d'eau à débiter par cet orifice; on arrivera ainsi à déterminer par tâtonnement d'abord le diamètre de la conduite principale, puis celui de ses embranchements : la perte de charge est la différence entre H et la *charge effective* ou la hauteur $\frac{v^2}{2g}$, à laquelle serait due la vitesse à l'extrémité de la partie de la conduite que l'on considère, et est représentée par l'expression $H - \frac{v^2}{2g} = H - \frac{2Q^2}{g\pi D^5}$. On abrége ces calculs en se servant de tables qui donnent cette valeur par mètre courant et d'après le diamètre de la conduite et son débit. Ces tables se retrouvent dans les traités d'hydraulique, l'aide mémoire de A. Morin, etc...

Souvent, lorsqu'on a une charge motrice suffisante, l'économie engage à rétrécir le diamètre des conduites, à mesure que le volume d'eau qu'elles doivent débiter diminue. Il faut alors s'assurer, par le calcul des portions de charges consommées par chaque partie de la conduite, que l'eau s'élèverait, à l'emplacement de chaque orifice, à une hauteur suffisante pour assurer l'écoulement, avec le volume demandé.

Les coudes ou changements de direction doivent toujours être formés de parties arrondies; on peut alors négliger les pertes de charge qui en proviennent et qui sont fort peu de chose par rapport à celles que produit le frottement.

Dans l'établissement des conduites d'eau, M. D'Aubuisson recommande en outre : 1° au lieu d'une seule conduite ou file de tuyaux, menant un certain volume d'eau, d'en établir deux, l'une à côté de l'autre, et dont chacune mène la moitié de ce volume, disposition qui augmente, il est vrai, d'environ 25 à 30 p. 100 les frais de premier établissement, mais qui présente le grand avantage d'assurer, en tout temps, la continuité du versement sur tous les points principaux; 2° de faire aboutir de part et d'autre ces doubles conduites à un tambour en fonte, ou petite cuve de distribution, d'où partent ensuite les divers branchements; 3° enfin, de placer les conduites principales dans des galeries souterraines, ce qui rend leur inspection et leur réparation très facile; quant aux conduites secondaires, on se contente de les enterrer à 1^m environ au-dessous du pavé des rues.

On place ordinairement, aux points culminants des conduites, des soupapes à flotteur, afin de donner issue à l'air qui se rassemble en ces points : les bornes-fontaines qu'on établit sur les points culminants des rues à double pente, à l'effet d'en laver les deux versants, remplissent également très bien l'office d'évents.

Aux parties basses des conduites et au sommet des angles rentrants, on adapte de *gros robinets de décharge*, que l'on ouvre de temps à autre pour nettoyer les tuyaux, en y faisant passer le plus d'eau possible.

L'entrée de toutes les conduites, à partir des réservoirs ou des cuves, ainsi que celles des branchements, doivent être munies d'un robinet destiné à refuser ou a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

livrer à volonté passage à l'eau ; pour les tuyaux d'un diamètre supérieur à 0m,10, on se sert de *robinets-vannes*, dont l'ouverture se ferme à l'aide d'une pelle convenablement disposée et qu'on lève ou baisse à l'aide d'une vis. Au-dessous de 0m,10, on a des robinets à tournant.

Dans les diverses formules que nous avons indiquées les longueurs étant toutes rapportées au mètre, la dépense Q est exprimée en mètres cubes, par seconde ; si on veut l'avoir en *pouces d'eau* des fontainiers, unité indépendante du temps dont nous parlons ci-après, il faut le multiplier par 4320.

Du jaugeage des distributions d'eau. Pour la vente de l'eau, il importe d'évaluer en chaque instant les quantités dépensées par les orifices de distribution, de faire pour l'eau ce qui se fait pour le gaz par un compteur. Cependant on s'en est tenu jusqu'ici, dans la pratique, au moyen suivant pour les petits orifices :

On mesure exactement la dimension de l'orifice de sortie du tuyau, que l'on suppose plein d'eau, sous une pression constante, et on en conclut, comme résultat fourni par des expériences, qu'il doit donner tant de mètres cubes dans l'unité de temps.

On se sert alors d'une unité toute spéciale, dite pouce d'eau. Celle adoptée aujourd'hui a été ainsi déterminée par M. Prony. Si on pratique dans une paroi un orifice circulaire de 2 centimètres de diamètre, muni d'un ajutage cylindrique de 17 millimètres de longueur, le niveau de l'eau dans le réservoir étant maintenu à une distance de 3 centimètres au-dessus de la partie supérieure de l'orifice, la quantité d'eau qui s'écoule par cet orifice est de 20 mètres cubes en vingt-quatre heures.

Cuvettes de jauge et de distribution. Voyons maintenant comment on trouve le nombre de pouces d'eau qu'amène dans un réservoir central un conduit, une pompe. Pour cela, il nous suffira de décrire la cuvette de jauge qui est établie en haut de l'aqueduc de Marly, et qui est destinée à évaluer le produit des diverses pompes, les unes mues par des roues hydrauliques, les autres par une machine à vapeur qui élève les eaux de la Seine jusque sur cet aqueduc.

La figure 1204 représente le plan de cette cuvette de jaugeage. La figure 1205 en est une coupe faite suivant la ligne G G du plan.

L'eau élevée par les pompes arrive en A, où elle tombe sous forme de nappe dans un réservoir rectangulaire. Deux cloisons B, C, enveloppent la partie N de ce réservoir, sans descendre jusqu'au fond, afin d'empêcher que les mouvements occasionnés sur la surface par l'eau qui arrive en A, ne se transmettent dans la partie restante L ; l'eau se rend de N en L, en passant sous ces deux cloisons, et sa surface libre, dans toute l'étendue de cette dernière partie L de l'appareil, est ainsi rendue parfaitement tranquille. La cloison D, qui sert de limite au réservoir et qui s'étend dans trois directions différentes, porte dans toute sa longueur un grand nombre d'orifices H ; l'eau sort du réservoir par ces divers orifices, et tombe dans une rigole qui existe en dehors de la cloison D et dans toute sa longueur ; de là elle tombe en F dans un canal couvert qui la conduit à l'autre extrémité de l'aqueduc. Une cloison E E divise le réservoir L N en deux parties entièrement distinctes ; celle de droite reçoit les eaux qui viennent des pompes mues par les roues hydrauliques, celle de gauche reçoit les eaux fournies par les pompes de la machine à vapeur.

Par cette disposition, les eaux qui viennent de ces deux systèmes de pompes ne se réunissent qu'après avoir traversé les orifices de la cloison D, c'est-à-dire après avoir été jaugées ainsi que nous allons l'expliquer.

Si l'on suppose que l'eau sorte du réservoir L N en passant toujours par le même nombre de trous de la cloison D, on conçoit que le niveau qu'elle prendra

Fig. 1204.

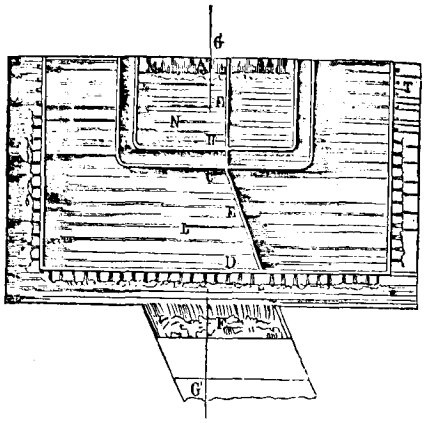




Fig. 1205

dans le réservoir sera plus ou moins élevé au-dessus de ces trous, suivant que les pompes fourniront plus ou moins d'eau dans un même temps. En effet, ce niveau s'établit de manière à donner au liquide une vitesse d'écoulement, par les orifices, qui soit telle que la quantité d'eau qui les traverse, dans un temps donné, soit précisément égale à celle que les pompes amènent dans le même temps. Si, au contraire, on ferme un certain nombre des orifices de la cloison D à l'aide de bouchons de liége, on fera monter le niveau de l'eau dans le réservoir L N, pour une même quantité d'eau fournie par les pompes ; car, à mesure qu'on diminuera le nombre des orifices d'écoulement, la vitesse avec laquelle l'eau traversera chacun d'eux devra s'accroître pour qu'il en sorte toujours la même quantité. On peut donc faire varier à volonté la position du niveau de l'eau dans le réservoir L N, en fermant un nombre plus ou moins grand des orifices, et on en profite pour faire en sorte que ce niveau coïncide avec un repère fixé à la cloison D, en A. Lorsque cette coïncidence du niveau de l'eau avec le repère est établie d'une manière permanente depuis quelque temps, il suffit de compter les trous qui restent ouverts pour avoir immédiatement le nombre de pouces d'eau que fournissent les pompes.

Dans la cuvette de jauge de l'aqueduc de Marly, la partie du réservoir qui sert à jauger les eaux amenées par les roues hydrauliques est munie de soixante orifices ; la partie qui correspond aux eaux fournies par la machine à vapeur en contient quatre-vingt-dix. Si l'on trouvait, par exemple, que les pompes mues par les roues hydrauliques élèvent 60 pouces d'eau sur l'aqueduc, ce qui doit avoir lieu lorsqu'elles fonctionnent bien, cela voudrait dire qu'elles y élèvent soixante fois 20 mètres cubes, ou 1,200 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures.

La distribution des eaux entre les divers quartiers d'une ville, et même entre les divers particuliers qui ont des concessions d'eau, se fait à l'aide de cuvettes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entièrement analogues aux cuvettes de jauge. Toute la masse d'eau à distribuer se rend dans un réservoir, d'où elle sort par des orifices pratiqués sur tout son contour, et on dispose les tuyaux ou conduits entre lesquels doit se fractionner cette masse d'eau, de manière que chacun d'eux reçoive l'eau qui s'écoule par un nombre déterminé d'orifices.

Compteurs. Les systèmes qui précèdent sont insuffisants dans beaucoup de cas, pour lesquels, comme nous l'avons dit en commençant, il faudrait un appareil analogue au compteur à gaz, pouvant tenir compte de toutes les circonstances diverses qui peuvent survenir.

Ainsi, si une consommation soumise à des intermittences, à des variations considérables, a lieu par un tuyau embranché sur une conduite principale, en partant d'un réservoir à niveau très variable, il importerait de construire un appareil qui pût donner dans tous les cas la quantité d'eau consommée en vingt-quatre heures. Tel est le problème qu'il importe de résoudre, et dont on commence à trouver des solutions. Voyez JAUGEAGE, *Complément*.

Nous distinguerons deux cas : celui où l'écoulement a lieu par un tuyau toujours plein d'eau et celui où il n'en est pas ainsi.

Dans le premier cas on peut déterminer la vitesse de l'eau en suspendant au milieu du tuyau une petite hélice très légère, dont la vitesse mesure celle de l'eau; le nombre de mètres cubes débités par le tuyau sera proportionnel au nombre de tours de l'hélice. Si donc on enregistre le nombre de tours de l'hélice par un compteur simple, obtenu à l'aide de roues dentées et de vis sans fin, l'axe de la première roue étant monté sur l'axe de l'hélice, on pourra lire sur un cadran le nombre de mètres cubes qui aura traversé le tuyau.

Ce système a été proposé par M. Lapointe, et on peut le voir au Conservatoire, où est déposé l'appareil qu'il avait construit. Il avait proposé ce système pour jauger un cours d'eau préalablement barré. Les résultats lui avaient paru assez réguliers pour être applicables, même pour des différences assez sensibles de niveau.

Dans le second cas, quand le tuyau n'est pas toujours plein, on peut combiner un appareil un peu plus compliqué, qui permettrait l'évaluation du volume d'eau écoulée en un certain temps.

En effet, si on dispose sur la tige d'un flotteur porté à la surface de l'eau un petit pignon libre comme dans le système du dynamomètre totalisateur (voyez DYNAMOMÈTRE), et que d'un autre côté on dispose un système à hélice analogue au précédent et faisant tourner un cylindre denté partiellement, il est clair qu'un deuxième cylindre denté mû par le pignon enregistrera un nombre de dents proportionnel à la fois à la position du flotteur et à la vitesse de l'eau; au produit du chemin que l'eau a parcouru, par la section de celle-ci, et par suite proportionnel au volume d'eau écoulé, si les sections du cylindre denté sont proportionnelles à la surface de la section de l'eau que renferme le tuyau.

Jets d'eau.

Les orifices en mince paroi sont ceux qui portent les jets à la plus grande hauteur, et leur donnent la forme la plus unie : en les examinant sortir, on croit souvent voir un barreau du cristal le plus diaphane : aussi emploie-t-on de préférence ces orifices lorsqu'on n'a en vue que l'élévation et la beauté du jet. Les ajutages coniques donnent aussi des jets unis et transparents, mais dont la hauteur n'est plus que 0,8 à 0,9 de celle des précédents. Enfin, les ajutages cylindriques donnent des jets troubles dès la sortie, et qui n'ont que les 2/3 de la hauteur qu'on aurait eue, sous la même charge, par un orifice en mince paroi.

Soit h la charge effective, h' la hauteur du jet avec un orifice en mince paroi, cette dernière sera donnée par la formule $h' = h - 0{,}01\ h^2$.

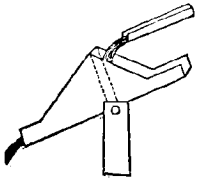
III. DE L'EAU EMPLOYÉE COMME MOTEUR.

Les machines mues par l'eau sont dites *machines hydrauliques;* on peut les diviser en deux classes : les unes, telles que la *machine de Schemnitz*, la *balance d'eau*, le *bélier hydraulique* et la *machine à colonne d'eau*, qui sont douées d'un *mouvement alternatif*, et les autres, telles que les *roues hydrauliques*, en y comprenant les *turbines* et les *roues à réaction*, qui possèdent un *mouvement de rotation continu*.

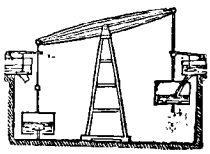
MACHINES HYDRAULIQUES A MOUVEMENT ALTERNATIF.

MACHINE DE SCHEMNITZ. Voyez FONTAINE DE HÉRON.

BALANCIER HYDRAULIQUE. Cette machine, dans laquelle l'eau agit par son poids, offre les inconvénients des machines à mouvement alternatif où l'eau possède encore sa vitesse lors du changement de sens du mouvement. La plus simple (fig. 1206) consiste en un déversoir mobile en son milieu autour d'un axe et divisé en deux par une cloison : l'eau tombe successivement dans chaque compartiment jusqu'à ce que son poids l'entraîne et le fasse basculer.

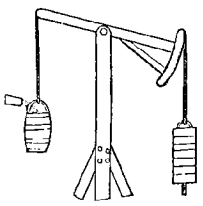


1206.



1207.

Un système plus complet, mais toujours défectueux, est représenté fig. 1207 : lorsqu'une des caisses renferme une quantité d'eau suffisante, elle descend en vertu de l'excès de son poids, et la soupape s'ouvrant de bas en haut, placée à son fond, venant à buter contre un obstacle, s'ouvre et donne écoulement au liquide qu'elle renferme; pendant ce temps, la caisse placée à l'autre extrémité du balancier est remontée; un arrêt placé sur la bielle qui la porte soulève la vanne du fond du réservoir d'alimentation correspondant, de sorte que cette caisse se remplit à mesure que l'autre se vide.



1208.

Le seul emploi sérieux de systèmes semblables, vraiment précieux à cause de sa simplicité, est la BALANCE D'EAU employée pour faire mouvoir des pompes dans quelques mines ; il n'y a qu'une seule caisse, que remonte un contre-poids placé à la partie supérieure de la tige des pompes. Il y a moins à s'occuper ici de l'imperfection des appareils précédents, essentiellement intermittents, donnant lieu à des chocs qui entraînent à des destructions de travail moteur et à la désorganisation d'appareils qui, par tous ces motifs, ne sont pas employés dans l'industrie.

BÉLIER HYDRAULIQUE. Ingénieuse machine due à Mongolfier, à la fois motrice et opératrice. Elle a été décrite à l'article BÉLIER. Nous renverrons le lecteur à cette étude.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A COLONNE D'EAU. La véritable machine hydraulique à mouvement alternatif pouvant fournir un travail considérable, et donnant de bons rendements à la condition de ne pas fonctionner à une trop grande vitesse de piston, est la machine à colonne d'eau. Ce genre de machine, analogue dans sa forme générale à la machine à vapeur à simple effet (fig. 1209), consiste en un cylindre ou gros corps de pompe, dans

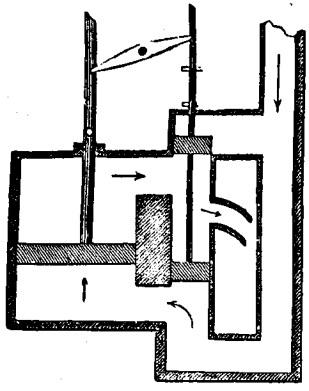


Fig. 1209.

lequel se meut un piston poussé par le poids d'une haute colonne d'eau contenue dans un tuyau montant. On adapte à la tige du piston de ces machines, surtout employées pour les épuisements, un balancier qui met ordinairement des pompes en mouvement; rarement on transforme le mouvement de va-et-vient en un mouvement de rotation au moyen d'une bielle et d'une manivelle, en faisant alors la machine à double effet, ce que l'inertie de l'eau rend peu avantageux.

La machine à simple effet règle elle-même la distribution au moyen de tiroirs ou de robinets qui sont mis en mouvement par la tige du gros piston de la machine. Nous entrons dans les détails circonstanciés qu'exige cette intéressante machine à l'article MINES, où elle est souvent employée, surtout quand des galeries d'écoulement faites en vue d'assécher les mines permettent de disposer de chutes très-considérables, bien supérieures à celles pour lesquelles les roues hydrauliques conviennent. Les applications de ce genre sont souvent des merveilles de l'art de l'ingénieur, en fournissant le moyen de créer des sources abondantes de travail dans des conditions inaperçues auparavant. Très-recommandée par Bélidor, elle a été appliquée avec succès par Reichenbach dans les salines de Bavière. Une puissante machine de ce genre avait été établie à Huelgoat, en Bretagne, par M. Juncker.

ÉVALUATION DE LA PUISSANCE DYNAMIQUE DES COURS D'EAU.

Pour la plupart des exemples précédents, la chute verticale de l'eau dans la machine montre clairement quelle est la quantité de travail à utiliser. Cela n'est pas toujours aussi simple, et nous insisterons un instant sur cette question très-importante dans la pratique.

Expression générale de la puissance dynamique.— La puissance dynamique d'un cours d'eau est, pratiquement, la quantité de travail moteur dont on peut disposer dans chaque seconde de temps, en employant ce cours d'eau pour faire marcher les machines motrices d'une usine, machines qui sont généralement des roues hydrauliques. Dans ce travail, la force motrice est le poids de l'eau, et si nous désignons par

Q le débit du courant, ou volume liquide qu'il fournit dans chaque seconde, exprimé en mètres cubes;
D le poids du mètre cube du liquide;
H la hauteur de la chute disponible, exprimée en mètres;

la puissance dynamique dont il s'agit est DQH en kilogrammètres. La densité de l'eau des courants différant très-peu de celle de l'eau pure, on prend généralement D = 1000 kil. Si l'on veut exprimer la puissance en chevaux, on emploie donc la formule

$$\frac{1\,000\,Q\,H}{75}$$

Exemple. Supposons que le débit du cours d'eau soit de $1^{mc},125$, et la chute disponible de 2 mètres : dans chaque seconde, un poids de 1125 kil. tombe de cette hauteur, de sorte que la puissance dynamique disponible est 2250 kilogrammètres, ou 30 chevaux.

Évaluation de la chute disponible. Pour se rendre compte de cette évaluation, plus exactement qu'on ne le fait ordinairement, il faut connaître une condition essentielle de l'établissement des usines. Les cours d'eau, dans leur état naturel, ont généralement une faible pente, de sorte que, pour obtenir, au point où l'on veut placer les roues hydrauliques, une chute suffisante, il faut y établir un barrage qui élève la surface liquide en ce point jusqu'à la hauteur à laquelle elle se trouve à une distance, souvent considérable, en amont. Or, la faculté d'user d'un cours d'eau ne peut être accordée qu'à la condition de n'apporter aucun préjudice aux terrains environnants, ainsi qu'aux établissements déjà existants. Soit B C D (fig. 1210) un cours d'eau sur lequel

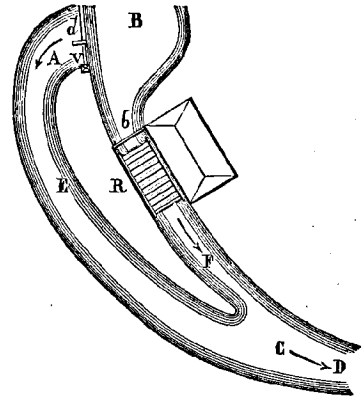


Fig. 1210.

on veut placer la roue hydraulique R: on établira un barrage b dans lequel seront pratiqués les orifices destinés à l'alimentation de l'usine, et le niveau auquel ce barrage élèvera la surface liquide en amont ne devra, en aucun temps, dépasser une certaine hauteur appelée *point d'eau* : c'est l'autorité administrative qui fixe cette hauteur, après une enquête, et sur les conclusions du rapport d'un ingénieur. Pour assurer la condition dont il s'agit, elle prescrit d'établir, à quelque distance en amont, un déversoir *d* et des vannes de décharge V. Le déversoir est fixe, ordinairement en maçonnerie, et son sommet est à la hauteur du point d'eau. On doit lever les vannes de décharge quand le niveau dépasse ce sommet, et elles doivent être assez ouvertes pour que la surface liquide ne puisse s'élever accidentellement à plus de $0^{m},10$ au-dessus du point d'eau, limite ordinaire de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tolérance accordée par l'administration départementale. Nous ajouterons que le volume liquide qui s'écoule par les divers orifices précités doit être ramené dans le cours d'eau par un *canal de décharge* AEC.

Quand le cours d'eau est dans la catégorie de ceux dits *navigables* ou *flottables*, il n'est pas permis de s'y établir immédiatement, et alors on place les roues hydrauliques sur un canal artificiel *d'arrivée* ou *d'amenée* auquel s'appliquent les prescriptions réglementaires précitées et dans lequel le liquide entre par un orifice appelé *prise d'eau;* on pratique en outre en aval des roues un *canal de fuite* qui va rejoindre le cours d'eau, et y reconduire tout le volume liquide qui lui a été emprunté en amont.

Il résulte de ces conditions qu'en réalité la chute disponible H est la hauteur du point d'eau au-dessus de la surface du courant dans son état primitif, à l'endroit où doivent être établis les moteurs hydrauliques, puisqu'en aval de ces moteurs le cours d'eau reprend son état et son niveau naturels. Pour connaître à peu près quelle sera la hauteur de cette chute, on exécute un nivellement de la surface du cours d'eau en amont, et l'on peut se guider sur la condition que le point d'eau fixé par l'administration restera à $0^m,10$ environ en contre-bas des parties les plus déprimées des terrains riverains.

Dans les contrées où la puissance des cours d'eau est peu utilisée, un nivellement fait sur une petite étendue permet souvent de reconnaître la possibilité d'établir un moteur hydraulique de quelque importance, là où la chose n'était pas soupçonnée.

Lorsqu'il s'agit d'une usine établie, la chute H est nécessairement la hauteur du niveau dans le réservoir alimentaire B au-dessus de la surface du courant dans le canal d'aval F, au pied du barrage de retenue *b*.

MACHINES HYDRAULIQUES A MOUVEMENT CONTINU.

Les machines hydrauliques à mouvement continu, à l'aide desquelles on utilise la puissance motrice de l'eau, en produisant un mouvement circulaire continu, se divisent en deux grandes classes: les roues verticales à axe horizontal ou les roues hydrauliques proprement dites, et les roues horizontales à axe vertical ou turbines.

Jusqu'à l'invention de la machine à vapeur, les roues hydrauliques formaient, à bien peu près, le seul moyen d'utiliser le travail des forces naturelles pour accomplir les opérations les plus pénibles de l'industrie; on peut voir à l'article MOULINS de quelle importance est leur emploi pour la seule mouture des grains. L'immensité des puissances hydrauliques à partir des pays de montagnes, sur les sommets desquelles viennent se condenser les nuages que l'évaporation solaire forme sur les océans, leur renouvellement gratuit et incessant, rend leur aménagement et l'étude des meilleurs moyens de les transmettre le plus complétement possible à des récepteurs, une des plus importantes applications de la science. Ajoutons qu'au point de vue de la mécanique les conditions d'emploi sont parfaitement déterminées; on le verra par l'étude ci-jointe.

Examinons d'abord les conditions générales auxquelles on doit satisfaire dans l'établissement de ces roues, de telle manière que l'eau de la chute leur transmette la totalité de travail moteur, ou au moins approche autant que possible de cette limite supérieure.

Pour cela, il faut satisfaire à deux conditions essentielles. La première, c'est que l'eau agisse sans choc, c'est-à-dire que, depuis le moment où celle-ci est sur le point d'entrer dans la machine et jusqu'au moment où elle l'a abandonnée complétement, il ne doit pas y avoir de changements brusques, soit dans la direction, soit dans la grandeur de la vitesse des molécules liquides. La seconde, c'est que l'eau doit sortir de la machine avec une vitesse nulle, ou au moins très-petite, car si elle conservait une vitesse notable, elle serait encore susceptible de produire une certaine quantité de travail en raison de cette vitesse, et par conséquent elle n'aurait pas transmis à la machine motrice la totalité du travail moteur naturel.

Nous traiterons d'abord du cas le plus simple et le plus fréquent, celui où il s'agit d'utiliser des chutes de quelques mètres, cas pour lequel les roues hydrauliques à un axe horizontal conviennent parfaitement.

ROUES VERTICALES.

Ces roues comprennent les roues à augets, les roues à palettes planes se mouvant dans un coursier ou dans un fluide indéfini, et les roues à aubes courbes.

Roues à augets. Ces roues, dans lesquelles l'eau agit à peu près exclusivement par son poids, par l'effet statique en quelque sorte de sa descente d'un niveau supérieur à un niveau inférieur, sont les plus économiques et celles qui rendent le plus d'effet utile. Aussi sont-elles fréquemment employées, et doivent-elles généralement l'être, de préférence à toute autre roue, pour des chutes comprises entre 3 et 12 mètres. On les divise en deux classes, suivant qu'elles reçoivent l'eau au sommet ou au-dessous.

Roues recevant l'eau au sommet. Ces roues dites *roues en dessus* sont ou en fonte ou, le plus souvent, en bois. Elles consistent (fig. 1211) en un *arbre tournant* relié par

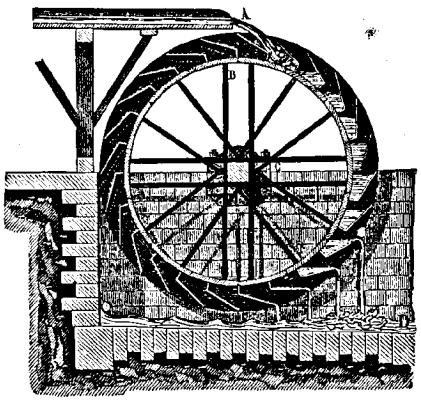


Fig. 1211.

des *bras* à une *couronne* munie d'un fond et de cloisons brisées qui forment les *augets*. Les joues latérales de la couronne sont en bois ou en fonte, le fond est souvent en tôle, ainsi que les augets. La profondeur des augets est généralement de $0^m,30$ et leur distance, mesurée sur la circonférence de la roue, de $0^m,32$, quel que soit le diamètre de la roue; du reste, le nombre des augets à employer, par rapport au diamètre des roues, est donné par le tableau suivant :

Diamètre en mètres.	Nombre des augets.
3.	24
4.	36
5.	44
6.	56
8.	76
10.	96
12.	108

Pour tracer les augets, on marque sur les joues les rayons correspondants aux augets dont l'écartement est donné par le tableau précédent, et on trace la cir-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conférence moyenne située à égale distance des deux cercles qui limitent la couronne : les parties des rayons qui seront comprises entre cette circonférence moyenne et la circonférence intérieure de la couronne forment les *fonds des augets;* on achève le profil de ces derniers en joignant les extrémités des rayons, qui se trouvent à la circonférence moyenne, avec chacun des points de division de la circonférence extérieure qui correspondent aux rayons précédents. Lorsque les augets doivent être en tôle, on leur donne la forme d'un arc de cercle normal à la circonférence intérieure et tangent à la circonférence extérieure.

Dans les roues en dessus on doit distinguer deux cas : celui où le niveau est à peu près constant, et celui où il présente d'assez grandes variations.

Dans le premier cas, à 1 ou 2 décimètres en contre-bas du niveau, on établit le coursier, auquel on donne une largeur à peu près égale à celle de la roue. A son origine il est évasé de manière à éviter la contraction ; et, à l'extrémité de l'évasement, on établit une vanne qui sert à régler l'écoulement de l'eau. Au delà le coursier se dirige en ligne droite vers la roue, avec une pente de 1/10e environ : il passe à quelques centimètres seulement au-dessus de son sommet : il se continue encore sur une longueur telle que la lame qu'il mène tombe librement dans le deuxième ou troisième auget à partir du sommet, et en se rétrécissant graduellement, de manière à ce que sa largeur, à l'extrémité, soit d'un centimètre environ plus petite que celle des augets.

Si le niveau du réservoir est variable, on adapte au fond de ce dernier un coursier fermé par le haut, dont la face supérieure est inclinée, et qui se termine par une buse pyramidale, dont l'axe est dirigé de telle sorte que l'eau vienne frapper normalement le fond de l'auget qui se trouve en face, et qui est ordinairement le troisième à partir du sommet. La largeur de l'orifice de la buse doit être de 0m,05 environ plus faible que celle des augets et sa hauteur au plus de 0m,10.

Afin que l'eau contenue dans les augets ne se verse pas trop tôt, on donne à ceux-ci des dimensions telles, qu'en passant sous la lame d'eau ils ne se remplissent qu'au tiers : soit alors Q le volume d'eau sortant du coursier par seconde; M, le nombre d'augets de la roue; N, le nombre de tours qu'elle fait par minute; S, la section transversale des augets, et *l* la largeur entre les deux joues, on aura :

$$l = 180\ \frac{Q}{MNS}.$$

Si on donne aux augets la profondeur et l'équidistance que nous avons indiquée, la valeur de *l* deviendra :

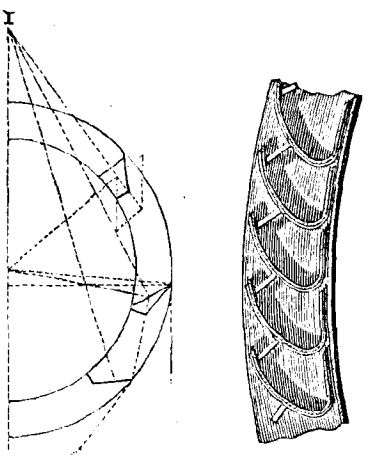
$$l = 270\ \frac{Q}{ND},$$

D, étant le diamètre de la roue.

N, est ordinairement déterminé par la condition que la vitesse à la circonférence soit de 1m à 2m,50 par seconde.

Dans les roues à augets qui mettent en mouvement les marteaux des grosses forges, les chocs ne permettant guère d'employer des engrenages, on est obligé de faire faire à ces roues trente à quarante tours par minute, et de leur imprimer des vitesses à la circonférence de 4 à 5m, ce qui exige des charges d'eau de 1m à 1m,20 au moins. En outre, comme le jeu des marteaux est intermittent, on emmagasine l'eau, pendant l'intermittence, dans un réservoir établi un peu en amont, qui livre alors, dans le temps du travail, une force double et même plus de celle du courant naturel; il en résulte que souvent son niveau s'abaisse de 1 à 2m, du commencement à la fin de chaque période de travail. De là vient qu'en plusieurs endroits on voit des roues de 2m de diamètre avec des chutes de 4m.

Il n'est pas besoin d'entrer dans de grands détails pour montrer que ces roues à grande vitesse sont tout à fait défectueuses ; aussi sont-elles abandonnées aujourd'hui dans les usines bien établies. En effet, l'eau contenue dans chaque auget est soumise à deux forces : la gravité et la force centrifuge. Si on détermine la résultante de ces deux forces, celle-ci rencontrera la verticale passant par le centre de la roue en son point I (figure 1212), et les arcs de cercle décrits de ce point indiqueront les surfaces de l'eau dans chaque auget. On voit donc que le versement de l'eau commencera très haut; que la capacité des augets se trouve en quelque sorte considérablement réduite par les conditions du travail, que l'effet utile sera par suite minime.



1212.

1213.

De l'air dans les augets. Le mouvement de l'eau dans les augets est souvent contrarié par l'air enveloppé par l'eau et qui s'oppose à l'entrée de celle-ci. Dans les roues en bois, on se contente le plus souvent de percer quelques trous vers la partie supérieure de la couronne. La figure 1213 représente le mode de construction des augets en tôle pour les grandes roues hydrauliques, adopté par M. Fairbain de Manchester. On voit que l'air s'échappe par le fond quand l'eau entre dans l'auget, et ne peut plus s'opposer à son mouvement.

Roues recevant l'eau au-dessous du sommet. Les roues en dessus tournent en sens inverse du courant dans le canal de fuite, de sorte que si une cause accidentelle vient à y faire refouler les eaux, il en résultera une résistance notable. On évitera cet inconvénient en changeant le sens des augets et en versant l'eau motrice sur le derrière de la roue, de sorte que celle-ci se mouvant dans le même sens que le courant de fuite, peut y plonger de quelques centimètres sans qu'il en résulte une perte de force sensible. En outre, on peut donner à ces roues dites *roues par derrière*, qui reçoivent l'eau en dessous du sommet, mais au-dessus de leur axe, un diamètre supérieur à celui de la chute, ce qui est avantageux dans certains cas pour les chutes de 2m,50 à 8m.

Dans ces roues, l'eau est ordinairement versée dans les augets, ou immédiatement par le coursier d'amenée, qui est alors ouvert à son extrémité, ou par une buse analogue à celle dont nous avons déjà parlé plus haut.

Lorsque ces roues peuvent être construites et entretenues avec beaucoup de soin, comme le sont les grandes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roues en fonte et tôle, on donne aussi l'eau en la laissant déverser tranquillement sur un seuil établi immédiatement au-dessus des augets. La pelle régulatrice au lieu de se lever comme dans les vannages ordinaires, se baisse, et d'autant plus qu'on veut fournir plus d'eau. Lorsqu'elle est baissée, son bord supérieur constitue le seuil du déversoir ; après l'avoir dépassée, l'eau tombe dans une sorte de râtelier ou système d'entonnoirs, qui la dirigent dans les augets, et, à cet effet, on dispose les grandes palettes de ceux-ci, de manière à ce qu'en arrivant vis-à-vis des cloisons du râtelier elles soient dans leur direction, laquelle est généralement verticale.

Le calcul des dimensions de ces roues se fait exactement comme celui des roues précédentes.

La force d'un courant moteur est égale au produit, par la hauteur de chute, de la dépense par seconde, ou à Q H, expression qu'on transformera en chevaux-vapeur, Q étant exprimé en mètres cubes et H en mètres, en la multipliant par 13 1/3. Ce sera la force motrice : soit E, l'effet utile, c'est-à-dire la partie de la force motrice réellement employée par la machine, on aura $E = m Q H$, m étant un coefficient inférieur à l'unité et variable avec chaque genre de machine.

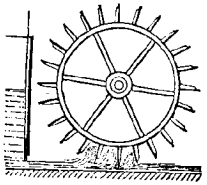
De cette équation on tirera

$$Q = \frac{E}{m H}$$

qui donnera la dépense d'eau, et par suite la largeur à donner à une roue hydraulique qui doit produire un effet donné. le diamètre et les autres dimensions de la roue étant déterminés par sa nature et la disposition des lieux :

Pour les roues en dessus *ordinaires*. $m = 0{,}75$
Pour les roues en dessus à grandes vitesses, telles que les roues de marteaux de forges. . . . . $m = 0{,}35$ à $0{,}55$
Pour les roues de derrière. . . $m = 0{,}70$

Roues à aubes planes contenues dans un coursier rectiligne. Ces roues encore très usitées à cause de leur simplicité, consistent (figure 1214) en un arbre tournant, assemblé par des bras ou rayons à deux, ou même trois jantes ou cercles, suivant la largeur de la roue ; sur ces jantes sont implantées de fortes chevilles en bois sur lesquelles on cloue ou on boulonne les aubes ; enfin on ferme souvent une partie de l'intervalle d'une aube à l'autre par des contre-aubes ou planches fixées à plat contre les jantes.



1214.

L'eau motrice est menée à la roue par un coursier, dont les parois touchent presque les aubes, ne laissant que le jeu nécessaire au mouvement ; elle est fournie au coursier par un vannage, dont la pelle se lève à une plus ou moins grande hauteur selon que l'on veut en donner plus ou moins.

Tandis que dans les roues à augets l'eau agit seulement par son poids, ici elle agit seulement par son choc, et, par conséquent, il y a une vitesse de la roue par rapport à celle due à la charge d'eau, qui donne un effet utile maximum ; on admet que l'effet utile $E = 0{,}25\ Q H$, pour ce maximum, qui a lieu lorsque la vitesse du centre des aubes est les 0,45 de celle de l'eau qui vient les choquer.

Au lieu d'avoir un vannage à angle droit, comme l'indique la figure, il vaut mieux l'incliner autant que possible, afin de diminuer les effets dus à la contraction.

Immédiatement après la vanne, le coursier se dirige, avec une légère inclinaison, vers la roue, il passe dessous, et il se continue en ligne droite. Sa largeur se détermine par le volume d'eau qu'il doit conduire : l'épaisseur de la lame fluide doit être comprise entre $0^m{,}15$ et $0^m{,}25$. Afin de diminuer la perte d'eau qui a lieu entre les parois du coursier et le bord des aubes, on ne donne à cet intervalle que $0^m{,}01$ à $0^m{,}02$.

Maintenant, on ne fait plus guère de coursiers rectilignes. Leur fond ou *radier* arrive au niveau du bord inférieur de la deuxième aube en amont du diamètre vertical ; là, il se courbe concentriquement à la roue jusqu'à l'aplomb de ce diamètre ; puis il baisse subitement de $0^m{,}10$ au moins, et se poursuit ensuite avec une pente convenable. Sa largeur, immédiatement avant d'arriver aux aubes, est un peu plus faible que la leur ; elle augmente ensuite et vient embrasser les aubes au-delà du diamètre vertical. Par ces dispositions, il n'y a pas de perte d'eau latéralement en amont des aubes et on facilite son dégagement à l'aval.

La hauteur des aubes doit être environ le triple de l'épaisseur de la lame d'eau dans le coursier, sans toutefois dépasser $0^m{,}65$; si cela ne peut avoir lieu, on emploie des contre-aubes. La distance d'une aube à l'autre, mesurée sur la circonférence extérieure de la roue, est un peu moindre que leur hauteur : leur nombre dépend donc du diamètre de la roue, qui, lui-même est déterminé le plus ordinairement, de telle sorte que la transmission du mouvement à la partie de la machine qui opère le travail utile et qui doit en conséquence avoir une certaine vitesse, s'effectue avec le moins d'engrenages et d'intermédiaires possibles, si toutefois on ne peut se dispenser d'en employer. Lorsque l'on désire seulement avoir le maximum d'effet utile, il faut que les aubes aient une vitesse qui soit les 0,45 de celle de l'eau dans le coursier, ce qui donne pour le diamètre de la roue $\frac{32}{N}\sqrt{H}$, H, étant la charge d'eau sur le centre de l'aube verticale, et N, le nombre de tours que la roue fait par minute.

Des roues de cette espèce en bon état donnent un effet utile de 0,25.

Roues emboîtées dans un coursier circulaire ou *roues de côté.* Ces roues (fig. 1215) ne diffèrent des précédentes qu'en ce que le coursier circulaire embrasse la roue sur la presque totalité de la chute. Il y a presque tou-

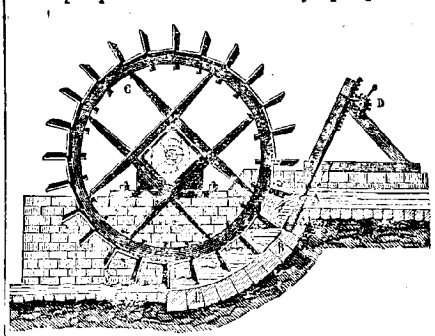


Fig. 1215.

jours des contre-aubes. On dispose le vannage de manière à ce que l'eau arrive aussi normalement que possible sur les palettes qu'elle choque. Lorsqu'on le peut, il est préférable d'y faire tomber l'eau en la faisant simplement déverser par-dessus un seuil établi au sommet du coursier. L'eau agit par son poids et son choc à la fois.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'effet utile de ces roues est de 0,40 à 0,50, quand elles reçoivent l'eau par un vannage, et 0,50 à 0,60 environ, quand elles la reçoivent en déversoir.

Roue à aubes emboîtées dans un coursier annulaire, de M. Mary. Cette roue, que M. Mary a fait construire aux bassins de Chaillot, est montée sur un axe horizontal; elle est formée d'aubes ou palettes elliptiques adaptées à la circonférence d'un cylindre de $0^m,12$ d'épaisseur et de $2^m,28$ de rayon, accompagné de deux disques annulaires ou plans de $0^m,30$ de largeur, perpendiculaires à l'axe et fixés au moyen par six bras renforcés de nervures et masqués par des feuilles de tôle. On sépare les eaux d'amont de celles d'aval, au moyen de deux plaques de fonte en partie noyées dans la maçonnerie, et qui forment, dans la partie inférieure, les lèvres d'un coursier annulaire en ciment romain, calibré avec les palettes elles-mêmes, qui s'y emboîtent ainsi très-exactement. Ce coursier se prolonge au delà du plan vertical mené par l'axe de la roue d'une longueur à peu près égale à la moitié de l'intervalle entre deux aubes; du côté d'amont, il s'évase en entonnoir pour faciliter l'entrée de l'eau qui en couvre ainsi l'orifice, et y pénètre comme elle le ferait dans une conduite placée au fond d'un réservoir. Il résulte de cette disposition que l'eau de la retenue agit sur les palettes par son poids comme elle agirait sur le piston d'un cylindre. Avec des vitesses à la circonférence de 1^m à $1^m,30$, cette roue a donné un effet utile de 0,75 à 0,80.

Pour diminuer la résistance de l'eau sur les aubes, elles sont taillées en forme de proue par-dessous, et en forme de poupe par-dessus.

Les difficultés et les frais qu'entraîne l'établissement des roues de ce genre en restreindront considérablement l'emploi, quoiqu'elles donnent des résultats très-satisfaisants.

Les diverses roues à aubes planes dont nous venons de nous occuper ne sont guère employées que pour des chutes de $2^m,50$ et au-dessous.

Roues à aubes courbes. Ces roues, dues à M. Poncelet, sont accompagnées d'un vannage incliné à un de base sur un ou deux de hauteur, et emboîtées dans leur partie inférieure par une portion très-courte de coursier circulaire et par les bajoyers du canal de fuite. L'eau arrivant à leur partie inférieure monte sans choc le long des aubes, en vertu de la différence entre leur vitesse propre et celle due à la charge d'eau, jusqu'à ce que son mouvement soit détruit par l'action continue de la pesanteur, qui la fait ensuite redescendre et se dégorger dans le canal de fuite (fig. 1216). L'effet utile maximum correspond évidemment au cas où elle quittera les aubes avec une vitesse relative égale à la leur, c'est-à-dire avec une vitesse absolue nulle; cela a lieu pour une vitesse des aubes égale à la moitié de celle due à la charge d'eau : l'effet utile est alors de 0,50 à 0,60.

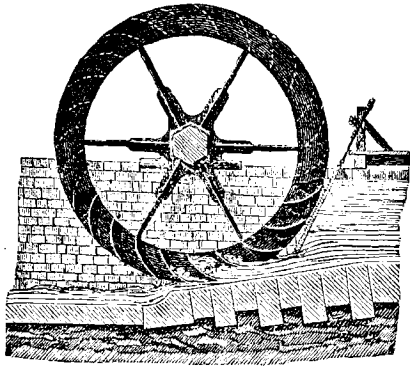


Fig. 1216.

Avec ces données, l'établissement de ces roues n'offrira aucune difficulté en remarquant que le nombre des aubes sera double de celui que nous avons indiqué pour les roues à aubes planes, et que leur hauteur, mesurée sur un rayon, devra toujours être au-dessus du quart de la chute effective : on lui en donnera le tiers dans les chutes de $0^m,40$, et la moitié dans celles qui sont au-dessous.

Roues se mouvant dans un fluide indéfini. Ces roues, dites *roues pendantes*, sont surtout employées dans les *moulins à nef*, ou moulins sur bateaux, que l'on amarre au milieu des rivières (figure 1217). Le diamètre de ces roues est de 4 à 5^m; on donne aux aubes le quart ou cinquième du rayon de la roue, et une largeur de 2 à 5^m; elles sont le plus souvent planes et dirigées suivant les rayons; en les inclinant un peu, on augmente leur effet. Dans des roues pendantes bien établies, l'effet utile est de 0,30 à 0,32.

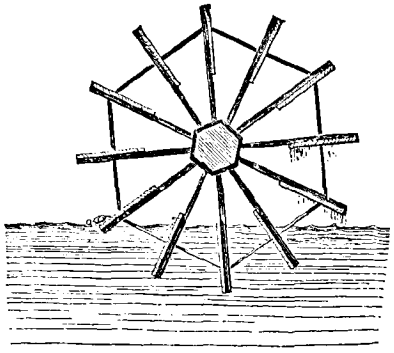


Fig. 1217.

Roues horizontales.

Depuis longtemps on emploie dans le midi de la France des roues horizontales dans les moulins. Ces roues ont l'avantage de réduire ceux-ci à leur plus simple expression : le même arbre qui porte la roue à sa partie inférieure porte la meule mobile à sa partie supérieure. Cet arbre tourne sur pivot dans une crapaudine enchâssée au milieu d'un *palier* que l'on élève ou baisse à volonté, suivant que l'on veut augmenter ou diminuer l'intervalle entre la meule tournante et la meule gisante. Ces roues ont été depuis perfectionnées par MM. Burdin, Fourneyron, etc., et ont donné les turbines.

Roues mues par le choc d'une veine isolée. Ces roues sont très-communes dans les pays de montagnes, où elles portent le noms de *roues à trompe* ou *à cannelle*, parce que l'eau est lancée sur les aubes, soit par une *trompe* ou buse pyramidale peu inclinée, soit par une *cannelle* ou auge inclinée de 20 à 45°. Elles ont de faibles dimensions, de $1^m,60$ environ de diamètre et $0^m,20$ de hauteur; les aubes ou *cuillères* n'ont que $0^m,40$ de longueur dans le sens du rayon, et sont concaves et à surface gauche du côté où elles reçoivent l'eau, qui n'agit guère sur elles que par le choc, dû à une vitesse acquise de 7 à 8^m et même plus : avec une vitesse de 110 tours par minute, l'effet utile de ces roues est de 0,30 à 0,31.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Roues placées dans une cuve. Les roues à cannelle sont principalement employées pour de petits cours d'eau et de grandes chutes; mais sur les rivières, où l'on a beaucoup d'eau et peu de chute, on emploie des roues à cuve. Celles-ci n'ont d'ordinaire que 1m de diamètre et 0m,20 de hauteur, elles portent neuf aubes en bois ayant à peu près la même forme que celles des roues à trompe. La cuve a généralement 1m,02 de diamètre et 2m de profondeur; la roue y est placée presque au fond. On ménage dans la maçonnerie, au-dessus du niveau de la roue, une entaille dont l'une des parois est tangente à la paroi intérieure de la cuve, et qui n'a plus que 0m,22 de large lorsqu'elle y débouche : cette entaille sert de coursier d'amenée.

L'eau motrice, après avoir passé sous la vanne qui est à l'entrée du coursier, se porte, avec rapidité, sur la partie adjacente de la paroi cylindrique de la cuve; elle s'y applique, s'y élève d'abord fortement; puis, en suivant le pourtour et en tournoyant ainsi, elle descend et atteint les aubes, sur lesquelles elle agit par son impulsion et par son poids, et qu'elle entraîne dans son tournoiement.

Dans ces roues une grande partie de l'eau passe, en vertu de la force centrifuge, entre la cuve et la roue, dans l'intervalle que nécessite le jeu de la machine; aussi ne rendent-elles que 0,10 à 0,16 d'effet utile.

Actuellement on place la roue immédiatement au-dessous de la cuve, en lui donnant un diamètre un peu supérieur, de sorte que presque toute l'eau motrice arrive sur les aubes. Quoiqu'elle y agisse après avoir perdu une partie de sa vitesse, cette disposition double presque l'effet utile, qui atteint 0,20 et 0,25.

Turbine Fourneyron. Dans la turbine dont il s'agit (fig. 1218 et 1219), l'auteur, au lieu de mettre,

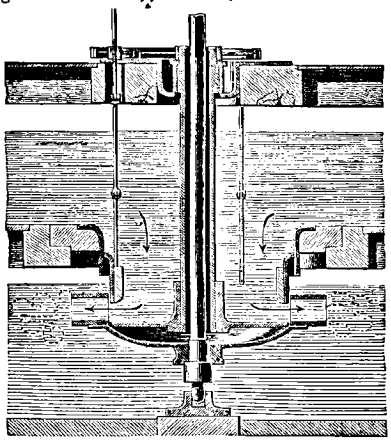


Fig. 1218.

comme aux moulins à cuve, la roue dans un cylindre, l'a placée en dehors. Pareille à un anneau, elle en entoure la partie inférieure, en laissant un faible jeu pour le mouvement : cette partie est munie de cloisons directrices fixes qui dirigent l'eau sur les aubes courbes de la roue, dont l'axe traverse le cylindre alimentaire dans un fourneau placé à son centre. Les aubes mobiles de la turbine paraissent se présenter presque perpendiculairement à la direction du mouvement de l'eau; il semble qu'il devrait y avoir choc. Cependant il n'en est rien, à cause de la rapidité avec laquelle ces aubes fuient devant les filets fluides. La vitesse régulière de la turbine doit être telle que l'entrée de l'eau ait lieu sans choc. Celle-ci se meut ensuite le long des aubes courbes, de l'intérieur à l'extérieur, et exerce une pression en chaque point, son mouvement changeant de direction. Enfin elle sort de la turbine avec une vitesse relative, dirigée en sens contraire du mouvement des aubes, et si la turbine a un mouvement absolu tel que la vitesse absolue à la

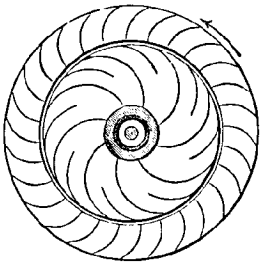


Fig. 1219.

circonférence soit égale à cette vitesse relative, l'eau sortira sans mouvement, et tout le travail qu'elle pouvait produire aura été utilisé. On comprend, d'après cela, comment dans la pratique l'effet utile de ces turbines est de 0,60 et même quelquefois plus.

Ces turbines constituent d'excellentes machines; non-seulement en ce qu'elles donnent un effet utile considérable, et parce que leur disposition les rend très-propres à certaines usines, notamment aux moulins; mais surtout à cause de leur propriété de fonctionner sous l'eau. On comprend de quelle importance est cette propriété dans un pays froid où les gelées et les crues d'eau viennent souvent arrêter les roues hydrauliques. Ces turbines, dans lesquelles l'eau agit par sa force centrifuge, sont extrêmement légères; l'eau ne pèse pas sur l'axe, et ne fait pas naître par suite des frottements considérables. Aussi peut-on les faire marcher à des vitesses très-considérables, comme cela doit être pour les grandes chutes. Ainsi M. Fourneyron a établi à Saint-Blaise, dans la Forêt-Noire, une turbine qui est mise en mouvement par une chute de 108 mètres de hauteur. Cette turbine, dont le diamètre n'est que de 0m,55, fait 2,300 tours par minute, et a une force de 40 chevaux-vapeur : elle utilise les 0,75 de la force de la chute.

On calcule le diamètre du cylindre par la formule

$$D = \sqrt{\frac{5,5\,Q}{V}},$$

Q étant le volume d'eau à dépenser par seconde et V la vitesse due à la charge d'eau; le diamètre intérieur de la roue est d'environ 0m,04 plus grand, et le diamètre extérieur les 4/3 du précédent; la hauteur de la roue se calcule d'après cela de telle sorte qu'elle puisse débiter la quantité d'eau qu'elle reçoit. Lorsque cette quantité d'eau diminue, M. Fourneyron diminue l'ouverture des cloisons directrices par un vannage vertical; mais, comme l'a fait remarquer M. Combes dans un travail remarquable sur les roues à réaction, présenté à l'Institut, ce vannage est peu convenable, parce qu'il devrait en même temps diminuer la hauteur des aubes de la roue.

Les seuls inconvénients que l'expérience ait fait reconnaître à ces turbines consistent dans l'immersion du pivot inférieur, qu'on ne peut visiter, et en ce que, comme nous venons de le dire, quand on donne trop peu d'eau, les remous qui résultent de ce que l'intervalle compris entre les aubes n'est pas rempli d'eau à la même vitesse diminuent l'effet utile.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fig. 1220 montre la disposition adoptée par M. Fontaine pour placer le pivot hors de l'eau, sur l'extrémité d'une tige cylindrique fixe, dans sa turbine qui est une

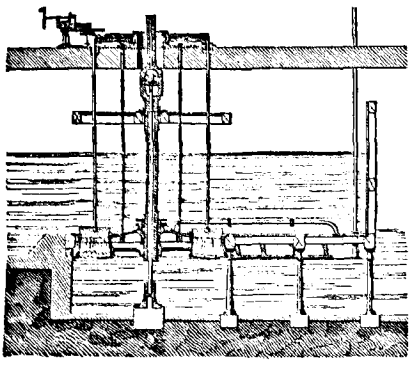


Fig. 1220.

modification de la précédente. Dans la turbine de ce constructeur, l'eau, au lieu d'entrer par le centre, y entre par une ouverture annulaire dans laquelle se trouvent des directrices inclinant les filets liquides et assurant un rendement avantageux, malgré les variations de la quantité d'eau débitée par seconde.

Hydropneumatisation. On voit dans cette même figure la disposition proposée par MM. Callon et Girard, pour diminuer par de l'air la résistance que l'eau oppose au mouvement, en appliquant une idée fort ingénieuse due à ce dernier, idée analogue au système proposé par M. Laboulaye à l'article BATEAU A VAPEUR.

A l'aide d'un tuyau qui débouche d'une part à l'air libre et de l'autre à la partie inférieure d'une caisse qui enveloppe librement l'ensemble de la turbine, et d'une petite pompe ou d'un soufflet, on chasse de l'air dans

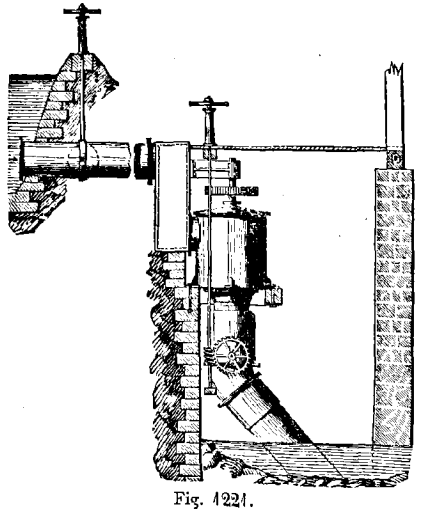


Fig. 1221.

cette partie. L'air restant ainsi au-dessus de l'eau, ne pouvant s'échapper, les frottements de la couronne

HYDRAULIQUE.

contre l'eau disparaissent; la roue est pour ainsi dire *dénoyée* et la résistance passive résultant du frottement de l'eau, notable à de grandes vitesses, supprimée.

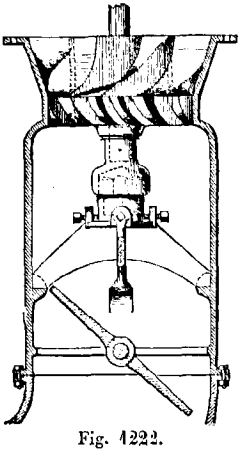


Fig. 1222.

Turbine Jonval. Les figures 1221 et 1222 représentent la turbine Jonval. On voit que l'appareil moteur se compose de palettes courbes verticales, figurées en détail fig. 1222, et est placé entre le bief d'amont et celui d'aval. Suivant l'inventeur, cette turbine peut être placée en un point quelconque de la chute, et pourvu que l'eau quittant l'hélice ne soit mise en communication avec l'atmosphère qu'après être arrivée au bief inférieur, elle produira par la vitesse d'écoulement due à la hauteur de chute une aspiration en raison de cette hauteur, complémentaire de la pression résultant de la hauteur de la surface de l'eau dans le bief d'amont au-dessus de l'appareil moteur. L'expérience a confirmé assez bien cette manière de voir.

Turbine Girard. Dans cette turbine, l'eau, comme dans la turbine Fourneyron, chemine horizontalement sur les aubes courbes de la roue mobile et y entre par la circonférence intérieure, mais elle n'y est pas amenée par des cloisons directrices : un manchon fixe D (fig. 1223), à base circulaire plane et à surface courbe, fait arriver les filets liquides horizontalement et suivant la direction des rayons. Ce manchon est suspendu à un fourreau dans lequel passe l'arbre creux de la turbine : au-dessus se trouve un autre manchon B disposé dans un réservoir cylindrique, et auquel Girard a donné une forme destinée à faciliter la déviation, sans tourbillonnements ni remous, du liquide qui arrive par le tuyau d'alimentation A. La dépense d'eau est réglée par une vanne cylindrique munie intérieurement d'une surface courbe G G ; le tracé de cette surface et ceux des précédentes sont combinés avec une connaissance parfaite des causes de perte de force vive qu'il faut éviter dans le mouvement des fluides, surtout lorsqu'il s'opère avec une grande vitesse.

Les aubes courbes sont assemblées entre deux plateaux concaves vers l'extérieur, de manière à donner aux canaux F, F formés par ces aubes, des hauteurs croissantes de l'entrée à la sortie, suivant une progression combinée avec la diminution de leur largeur horizontale, de manière que les sections transversales successives de ces canaux soient proportionnées, conformément à un principe posé par l'illustre Poncelet, aux vitesses de l'eau soumise à l'action de la force centrifuge : les canaux de la roue peuvent ainsi être remplis sans engorgement par le liquide qui les parcourt sans faire naître d'autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cause de perte de force vive que son frottement sur les parois, après y être entré avec le moins de choc possible. L'extrémité des aubes vers la circonférence exté-

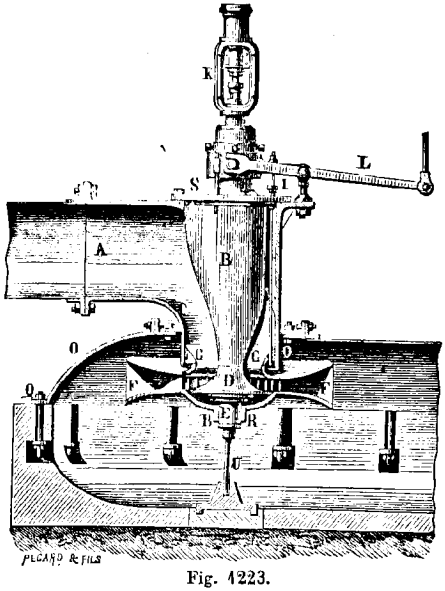


Fig. 1223.

rieure est tracée de manière que la vitesse relative v' de l'eau fasse un très-petit angle avec cette circonférence, de sorte que sa vitesse absolue w à la sortie est à peu près égale à la différence $v' - v$ entre celle v de la roue et cette vitesse relative. Girard, suivant l'exemple que Poncelet avait donné dans le tracé d'une turbine où l'eau cheminait de la circonférence extérieure à la circonférence intérieure, a obtenu la variation la plus avantageuse de la distance horizontale entre deux aubes consécutives, au moyen d'un renflement variable de l'épaisseur de ces aubes.

On a effectué, au Conservatoire des arts et métiers, sous des chutes de $3^m,88$ à $12^m,16$, des expériences très-précises sur une turbine de ce genre, qui ont conduit aux résultats suivants:

Lorsque la vanne ouvrait entièrement les orifices d'entrée sur la roue, le rendement de la turbine s'est élevé à 0,762, résultat supérieur à ceux des autres systèmes. A mesure que la vanne était plus abaissée, ce rendement, comme dans les autres turbines, diminuait; mais il était encore de 0,69 quand la hauteur d'introduction était réduite de moitié, et de 0,64 lorsqu'elle était diminuée des deux tiers.

Si l'on ajoute que la turbine employée dans ces expériences avait été construite pour une chute de 50 mètres, on reconnaîtra que les roues dont il s'agit ont l'avantage de pouvoir utiliser les chutes les plus variables. En résumé, les ressources que ces moteurs présentent sont au moins aussi étendues, leur rendement peut être plus avantageux et leur construction est plus simple que ceux de la turbine Fourneyron, dont ils sont un utile perfectionnement. Girard a proposé et réalisé avec succès l'idée de les appliquer en petites dimensions à l'utilisation des conduites d'eau des villes, ayant des distributions convenables, pour procurer à de petits ateliers la force motrice dont ils ont besoin et qu'ils sont généralement obligés d'emprunter aux bras d'un ou de plusieurs manœuvres.

Roue-hélice Girard. Les figures 1224 et 1225 représentent la turbine Girard fonctionnant en lit de rivière, placée

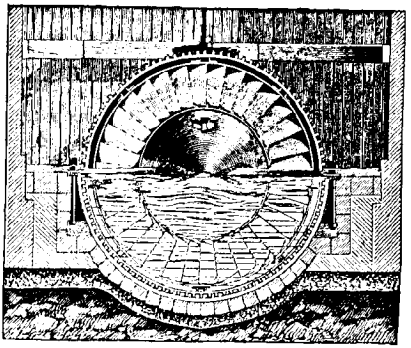


Fig. 1224.

au centre d'un barrage. Sous cette forme on l'appelle roue-hélice. Celle-ci peut servir pour des cours d'eau à

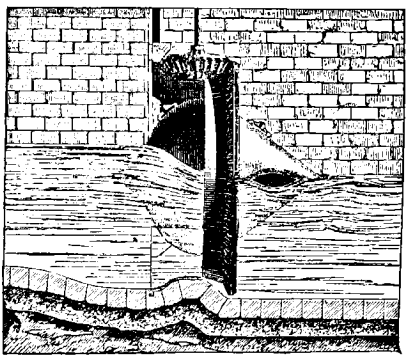


Fig. 1225.

régime variable, pour les plus puissants comme pour les plus minimes. On en trouvera une excellente analyse due à L. Foucault, le savant physicien et l'ardent écrivain, à l'article MACHINE A VAPEUR du *Complément*, ce qui nous empêche d'entrer ici dans plus de détails.

Turbine Thomas. Pour de très-fortes chutes, les turbines ordinaires se réduisent à des dimensions tellement exiguës et tournent avec une vitesse si considérable, qu'il en résulte une perte de force notable par les engrenages qu'il faut employer. M. Thomas, ingénieur des mines hessois, a imaginé, dans ce cas, d'employer des turbines dans lesquelles l'eau arrive en dessous, et qui ne reçoivent l'eau que sur un ou plusieurs points de leur circonférence; ce qui permet d'augmenter considérablement leur diamètre et de leur faire prendre une faible vitesse. Ainsi la turbine représentée figures 1226 et 1226 *bis*, et établie à Veckerhagen par ce constructeur, a 1,20 de diamètre, et fait 160 tours par minute sous une chute de 20 mètres; on ouvre 1, 2, 3 ou 4 des ajutages qui amènent l'eau sur les aubes, selon que l'effort à surmonter est plus ou moins considérable, et de cette manière l'effet utile ne change pas notablement pour des dépenses d'eau variable du simple au quadruple. Il diminue, au contraire, très-rapidement, si on ouvre un ou plusieurs nouveaux aju-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tages sans augmenter la quantité d'eau alimentaire. Dans les figures ci-contre, on voit que l'eau arrive par le canal *a*, dans le tambour fixe en fonte A, d'où elle sort par

Fig. 1226.

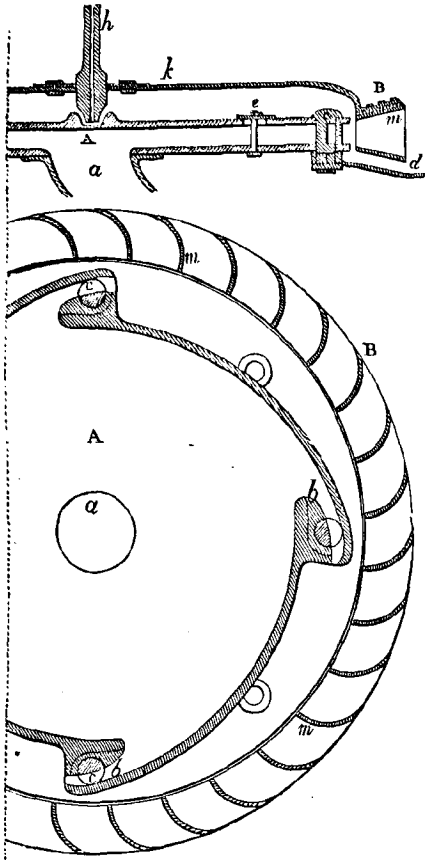


Fig. 1226 *bis*.

les ajutages *b*, garnis de robinets *c*, que l'on manœuvre au moyen des tiges *d*, et vient frapper les aubes *m* de la roue R, qui est portée par quatre bras *k*, montés sur l'arbre *h*, tournant dans la crapaudine *f*, venue à la fonte avec la partie supérieure du tambour A. *e* est une ouverture formée par une plaque qui sert à nettoyer l'intérieur du tambour. L'expérience a montré au constructeur qu'il était convenable d'évaser les aubes.

Roues à couloirs. Burdin, antérieurement aux turbines précitées, à l'invention desquelles il a pris une grande part (Fourneyron se déclarait son élève), avait construit des roues horizontales à aubes courbes, actionnées par le poids de l'eau; il a aussi composé ses machines de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile; mais, au lieu de les placer concentriquement l'une à l'autre, il a mis la seconde au-dessus de la première, en leur donnant à chacune la moitié de la chute totale (voyez *Annales des Mines*).

Nous citerons, comme type des roues de ce genre, la roue à couloirs sur noyau conique, dite *roue à poire*

(fig. 1227). Cette roue est une espèce de tambour ayant la figure d'un cône renversé. Les aubes sont appliquées

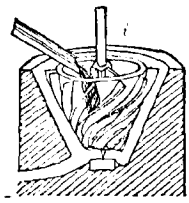


Fig. 1227.

obliquement sur la surface du tambour, où elles forment des portions de spirale. Pour cette disposition la roue doit tourner avec une extrême vitesse. En entourant les aubes d'une enveloppe concentrique à la surface du noyau, on aurait alors une véritable *danaïde*.

Celle-ci consiste en une cuve à cloisons intérieures, ordinairement planes et verticales, contre lesquelles arrive l'eau sous une faible inclinaison et tangentiellement à la surface intérieure de la cuve. Manoury d'Ectot avait annoncé de grands résultats de cette invention; mais sa machine n'a jamais été exécutée en grand.

Roues à réaction. Ces roues inventées par Segner, étudiées et modifiées par Euler qui s'appliqua à en formuler la théorie, sont applicables plus souvent qu'on ne le suppose généralement. Elles se composent essentiellement de deux tuyaux *ab*, *ac* en fonte (figures 1228 et 1229), coulés d'une seule pièce avec un

Fig. 1228.

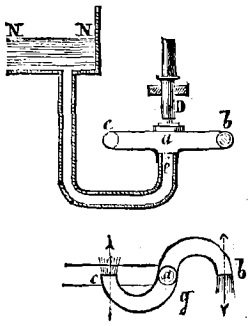


Fig. 1229.

tambour central ou moyeu creux *a* par où l'eau s'introduit : ces tuyaux sont courbés comme les aubes d'une turbine, et le mouvement de rotation est communiqué à un arbre D assemblé à l'extérieur du tambour central. L'eau du réservoir supérieur NN est amenée par un tuyau fixe recourbé qui vient entrer à frottement doux dans le manchon inférieur de ce tambour mobile.

Les roues de cette catégorie ont ordinairement un axe vertical, mais elles peuvent tourner autour d'un axe horizontal; leur établissement présente le maximum de simplicité qu'il soit possible d'obtenir. En faisant arriver l'eau de bas en haut, on diminue, et l'on supprime même, dans la plupart des cas, la pression de leur pivot sur sa crapaudine; enfin, la construction en est beaucoup moins dispendieuse, à égalité de force, que celle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

HYDRAULIQUE.

des turbines. Ces avantages pratiques justifient les études dont elles ont été l'objet. La suivante est extraite d'une des leçons de M. Boileau à l'École d'application de l'artillerie et du génie.

L'idée d'utiliser la réaction produite par l'écoulement de l'eau a été émise, il y a plus d'un siècle, en Allemagne et en Amérique: le célèbre géomètre Euler a montré qu'il fallait courber les tuyaux. Postérieurement, en France, les ingénieurs Mathon de la Tour et Manoury-d'Ectot ont proposé de faire arriver l'eau de bas en haut par un gros tuyau recourbé; toutefois, les roues à réaction n'ont pris rang parmi celles que l'industrie emploie, que vingt ou trente ans plus tard, après qu'un ingénieur écossais, M. Stiratt, eût donné d'utiles règles pratiques pour le tracé des tuyaux.

Les auteurs des théories antérieurement émises au sujet des roues à réaction ont généralement supposé que les molécules d'eau entrant dans les tuyaux mobiles s'y précipitaient suivant des rayons; mais il paraît bien plus conforme aux propriétés des fluides de penser qu'à partir d'une section e du tube adducteur fixe, voisine du tambour mobile a, elles prennent un mouvement hélicoïdal par suite de leur liaison avec celles qui sont déjà entraînées dans le mouvement de rotation des tuyaux de la roue. En l'absence des données physiques qui seraient indispensables pour tenir compte de la direction suivant laquelle elles se présentent à l'entrée de ces tuyaux et des difficultés d'une théorie complète, il paraît à propos de se borner aux considérations nécessaires pour pouvoir établir ces roues dans de bonnes conditions, et de s'appuyer principalement sur des résultats d'expérience.

Considérant d'abord le mouvement de l'eau dans les tuyaux, nous désignerons par

A leur vitesse angulaire;
r et R les rayons des circonférences décrites par les centres de leurs orifices d'entrée et de sortie;
O la somme des aires des deux orifices de sortie;
U la vitesse moyenne de l'eau dans ces derniers orifices;
H la chute totale;
V la vitesse due à cette chute;
Q le volume d'eau dépensé par seconde.

En supposant que la vitesse V ne subisse pas de diminution ni d'augmentation dans le tambour central, le travail d'inertie par seconde est, en désignant par M la masse du volume Q,

$$\frac{1}{2} M (U^2 - V^2).$$

D'un autre côté, on prouve, par l'analyse mathématique, que le travail de la force centrifuge est

$$\frac{1}{2} M A^2 (R^2 - r^2).$$

Quant au travail du frottement de l'eau sur les parois des tuyaux, en l'absence des données expérimentales qui seraient nécessaires pour l'évaluer, et considérant qu'il ne peut avoir qu'une valeur très-faible en comparaison des quantités précédentes, nous en ferons abstraction, et, appliquant le principe des forces vives, nous poserons:

$$\frac{1}{2} M (U^2 - V^2) = \frac{1}{2} M A^2 (R^2 - r^2);$$

d'où il résulte, en remarquant que $V^2 = 2gH$,

$$U = \sqrt{2gH + A^2 (R^2 - r^2)};$$

et, si l'on désigne par K un coefficient expérimental,

$$Q = K O \sqrt{2gH + A^2 (R^2 - r^2)}.$$

Pour déterminer le coefficient K, M. Boileau a employé des résultats de quelques expériences effectuées en 1845 par M. Kraft sur deux roues à réaction établies à l'usine de Zinswciler (Bas-Rhin), et dont l'une fait marcher des martinets, l'autre une soufflerie. Les orifices des sorties des tuyaux de ces deux roues étaient armés, comme cela a lieu dans les roues anglaises, de plaques rectangulaires en tôle glissant dans des rainures le long du plan du rebord de ces orifices et faisant l'effet de vannes régulatrices par suite de leur liaison avec une lame de ressort qui tendait à les ouvrir, mais qui leur permettait de rétrécir plus ou mois les orifices de sortie des tuyaux, en cédant à l'action impulsive de la force centrifuge d'une masse fixée à ces ressorts. Le but de ces vannes ou soupapes à glissement était, comme on le voit, de régler la dépense d'eau de manière à maintenir entre des limites restreintes les écarts de la vitesse de la roue quand les résistances de l'usine ou le niveau d'amont variaient. Lorsque ces deux turbines ont été posées, M. Kraft a fait sur l'une et sur l'autre quelques expériences au frein; la dépense d'eau avait été jaugée au moyen d'un barrage vertical en madriers placé en travers du canal de fuite, en mesurant l'épaisseur de la nappe d'eau au-dessus du seuil du déversoir.

Bien que le nombre de tours par minute ait varié de 69 à 84, la moyenne 0,935 des valeurs du coefficient K ne diffère que de $\frac{1}{135}$ de celle qui s'en écarte le plus. On peut donc regarder ce coefficient comme sensiblement constant, d'où il résulte que la dépense de la turbine dont il s'agit peut être représentée par la formule

$$Q = 0{,}935\ O \sqrt{2gH + A^2 (R^2 - r^2)}.$$

A la rigueur cependant on voit, par le tableau des résultats et expériences, que, à l'exception de la première valeur, les autres paraissent manifester une tendance à diminuer à mesure que la vitesse angulaire de la roue augmente, ce qui, pour des roues exécutant 150 à 200 tours par ', pourrait entraîner à une notable diminution du coefficient K.

Rendement. D'après les expériences précitées, le rendement de la roue de la soufflerie, qui était tracée suivant les règles données par M. Stiratt, a été, sous une chute de $3^m,44$, 0,664 à la vitesse de 76 tours qui donnait un effet utile de 544^{km} ou 7,25 chevaux, avec une dépense d'eau de 240 litres; mais cette vitesse était un peu supérieure à celle du maximum d'effet, et, en outre, les vannes régulatrices des orifices de sortie n'étaient pas entièrement ouvertes, circonstance qui occasionne un déchet de travail moteur: en conséquence, le rendement dont cette roue était capable peut être évalué à 0,68.

Pour d'autres vitesses, dans la même série, on a obtenu les résultats suivants :

Nombre de tours par minute.	76	80	84	96
Rendement.	0,664	0,640	0,590	0,506

Ainsi, ces roues hydrauliques seraient désavantageuses, dans des circonstances où elles seraient fréquemment exposées à des causes de grandes variations de vitesse. (Voir Boileau, APPLICATION DE LA MÉCANIQUE AUX MACHINES.)

On voit, par ce qui précède, que l'ingénieur possède aujourd'hui des moyens variés pour utiliser le plus convenablement possible les puissances hydrauliques, richesses naturelles qui doivent être et sont la base de la richesse de certaines contrées, de la Suisse par exemple et des pays voisins, auxquels les glaciers des Alpes fournissent des puissances indéfinies, moins coûteuses que celles dues à la combustion de la houille et à la machine à vapeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

HYDRAULIQUE.

IV. MACHINES A ÉLEVER L'EAU.

Nous ne parlerons ici que des plus usitées.

POMPES. Les pompes sont les machines le plus souvent employées pour élever l'eau; elles fonctionnent, en général, pour partie au moins de leur effet, en faisant le vide, ce qui constitue les *pompes aspirantes*, dans lesquelles l'eau est élevée par la pression de l'atmosphère. On distingue, en outre, les *pompes élévatoires*, où l'eau est soulevée par le piston, les *pompes à plongeur*, où l'eau est élevée par pression. Nous consacrons un article spécial (voy. POMPE) à ces systèmes, dont l'importance est si grande dans la pratique.

VIS D'ARCHIMÈDE. Considérons d'abord une vis formée par un tube contourné sur un cylindre. Plaçons-le d'abord horizontalement: si par l'orifice de la partie inférieure on introduit une petite boule, en roulant comme sur un plan incliné elle s'avancera vers l'autre extrémité du tube, et elle s'arrêtera sur le point le plus bas de la première spire; mais si on fait tourner la machine, le plan incliné s'élèvera derrière la boule, et aussi le point sur lequel elle reposait; elle l'abandonnera, et, en descendant, passera sur les points subséquents. Elle parcourra ainsi toute l'arête horizontale du cylindre en s'avançant vers l'autre orifice du tube, qu'elle finira par atteindre et franchir.

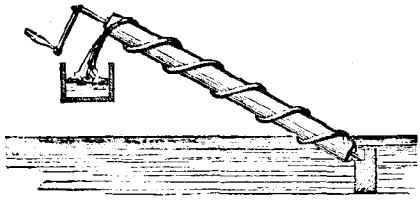


Fig. 1229 *bis*.

Supposons maintenant que l'on incline l'axe sur l'horizon d'une petite quantité (fig. 1229 *bis*), que cette inclinaison soit telle qu'il existe sur chaque spire deux points M, *m* (figure 1230), où les tangentes à l'hélice soient parallèles au plan horizontal; l'un des points M sera le plus élevé de la spire, et l'autre *m* le plus bas au-dessus du plan horizontal.

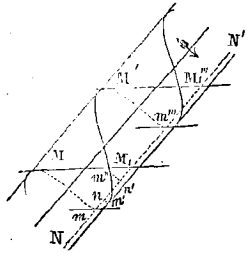


Fig. 1230.

Une boule introduite par l'orifice inférieur se placera sur ce deuxième point, et y restera en repos si le cylindre n'éprouve pas de mouvement.

Par ce point *m* menons une droite indéfinie NN' parallèle aux génératrices du cylindre, et supposons-la fixe dans l'espace. Faisons tourner le cylindre autour de son axe, un point voisin *m'* de l'hélice viendra se placer en un point *n* sur la droite indéfinie NN' (*n* est obtenu en menant sur le point *m'* le plan perpendiculaire aux arêtes contenant le cercle que décrit chaque point de la surface); la tangente en ce point *n* à l'hélice dans sa nouvelle position sera parallèle à la tangente en *m*, car elle fera le même angle avec la même droite NN', puisque celle-ci se confond avec une génératrice du cylindre; la tangente au point *n* sera donc parallèle au plan horizontal; conséquemment, ce point *n* sera le plus bas de la spire, et la petite boule qui était primitivement en *m* sera passée en *n*.

Si l'on continue de faire tourner le cylindre, la petite boule passera successivement sur les différents points du tuyau qui viendront se placer sur la droite NN': elle s'élèvera donc en parcourant cette droite. On aura ainsi produit un mouvement ascensionnel de ce corps suivant une droite inclinée à l'horizon, par le moyen d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe parallèle à cette droite, l'inclinaison de l'hélice formant un plan incliné sur lequel la boule sera montée, pour ainsi dire, en descendant successivement le long d'éléments consécutifs.

Ce que nous disons d'une petite boule s'applique à une petite masse d'eau qu'on aurait introduite dans la première spire; elle s'élèvera dans le tuyau en suivant la direction de la droite NN' quand on fera tourner le cylindre. Et si, après que cette petite masse d'eau a passé dans la deuxième spire, on en introduit une nouvelle dans la première spire, on élèvera les deux à la fois. On pourra ainsi en élever autant qu'il y a de spires dans le tuyau.

Quant à la quantité qu'on pourra introduire dans chaque spire, elle dépendra de la distance verticale entre les deux points M, *m*, de chaque spire, pour lesquels les tangentes à l'hélice sont parallèles au plan horizontal, c'est-à-dire de la hauteur du point M au-dessus du point *m*. Car M_1 étant le point où le plan horizontal mené par le point M rencontre l'autre branche de la spire, il est clair qu'on pourra remplir d'eau toute la partie MmM_1 du tuyau, qu'on appelle pour ce motif l'arc *hydrophore*.

La vis d'Archimède peut servir à élever l'eau à une hauteur arbitraire qui dépend de la longueur du cylindre et de son inclinaison. Le travail, tout étant égal d'ailleurs, est en proportion de la longueur de l'arc hydrophore.

Si sur la surface d'un cylindre en bois on trace une hélice à plusieurs circonvolutions ou *spires*, et que dans une rainure entaillée suivant cette courbe on

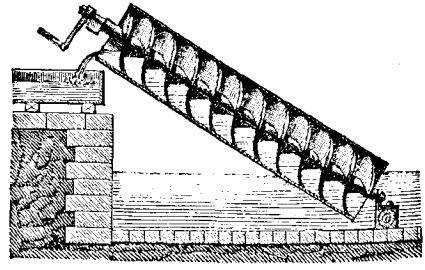


Fig. 1231.

implante de petites planches jointives de même hauteur, et si ensuite on revêt le tout d'une enveloppe cylindrique en douves, on aura construit assez facilement une *vis d'Archimède*. L'enveloppe est dite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

canon, les planches formant le filet de vis sont les *marches*, et le cylindre plein, le *noyau*; l'espace compris entre le canon, les marches et le noyau, forme un canal hélicoïde.

Dans les vis ordinaires, on a sur le même noyau 3 filets équidistants et par conséquent 3 canaux. Le diamètre intérieur du canon varie de $0^m,33$ à $0^m,66$; celui du noyau en est le tiers; et la longueur de la vis est de 12 à 18 fois le diamètre, selon qu'il est plus ou moins fort. L'angle d'inclinaison de l'hélice sur l'axe est ordinairement de 55 à 60°.

La simplicité de la vis, le peu d'espace qu'elle occupe, la facilité avec laquelle on la transporte et on l'établit, celle avec laquelle on peut en installer plusieurs presque sur le même point, la font généralement employer à l'épuisement des eaux dans les endroits où l'on veut poser à sec les fondations de constructions hydrauliques, piles de ponts, radiers d'écluse, etc.

On emploie encore aux épuisements des vis dénuées de canon, consistant simplement en un noyau sur lequel sont les filets hélicoïdes. On les établit sur un canal demi-cylindrique en bois ou en maçonnerie et ayant une inclinaison convenable, en ne laissant que le moins de jeu possible. Ces machines, appelées *vis hydrauliques* ou *vis hollandaises*, sont très-usitées en Hollande, où elles sont souvent mues par des moulins à vent. Il est nécessaire de leur donner une assez grande vitesse pour diminuer les pertes d'eau entre les filets hélicoïdes et l'enveloppe fixe. Elles ont l'avantage d'être indépendantes, dans leur produit, de la hauteur de l'eau du réservoir comparativement à leur extrémité, et sans changer de place, elles épuisent un réservoir dont le niveau baisse graduellement.

NORIA. La noria est une machine très-employée dans le midi de la France et qui produit environ 0,60 d'effet utile. Elle consiste en une chaîne double sans fin articulée, portant une série de seaux équidistants, et qui passe sur un tambour ou lanterne polygonal, établi au-dessus du réservoir d'où l'on veut tirer l'eau. L'extrémité inférieure de la chaîne, ainsi que les seaux qu'elle porte, plongent dans cette eau. Leur ouverture est tournée vers le haut, sur la branche ascendante, et vers le bas de l'autre branche. La chaîne et les seaux sont mis en mouvement au moyen d'une manivelle ou d'un engrenage placé sur l'axe de la lanterne. Les seaux, en passant dans le puisard, s'y remplissent d'eau, puis, arrivé en haut, ils s'inclinent en passant sur le tambour et versent l'eau qu'ils contiennent dans une auge ou bassin inférieur destiné à la recevoir.

CHAPELET. A la corde sans fin on peut attacher des rondelles traversant un cylindre creux. Cette machine est dite chapelet. Le corps de pompe dans lequel se meut l'eau peut être vertical ou incliné, et dans ce cas la partie supérieure des palettes peut ne pas flotter contre la partie supérieure du tuyau; le poids de l'eau cesse, par suite de cette inclinaison, de presser sur les axes de rotation et d'y faire naître un frottement considérable.

ROUE A GODETS. Cette roue consiste en deux couronnes circulaires, entre lesquelles on place ou on suspend, à l'aide de traverses horizontales, des seaux ou godets qui puisent l'eau au bas de la roue et l'élèvent jusqu'au sommet de celle-ci, où ils versent leur eau dans une auge ou bâche destinée à la recevoir. On met la roue à godets en mouvement au moyen d'une roue montée sur le même arbre. Les ingénieurs ont varié les dispositions de cette roue, assez employée pour les irrigations. Elle offre l'avantage d'élever directement l'eau de toute la hauteur du diamètre de la roue.

ROUE A TYMPAN. Le tympan de Vitruve consiste en deux plateaux circulaires réunis par une enveloppe cylindrique à laquelle ils servent de base. L'intérieur est divisé par des cloisons planes passant par l'axe en huit compartiments. L'arbre de rotation est très-gros et porte autant d'entailles ou cannelures qu'il y a de compartiments. Lorsque cette machine est convenablement établie sur l'eau à puiser, et qu'on la met en mouvement, chaque ouverture, en passant sous le niveau de l'eau,

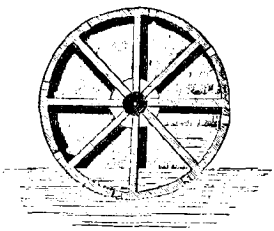


Fig. 1232.

en puise une certaine quantité, qui entre dans le compartiment, et va sortir par l'entaille correspondante de l'essieu.

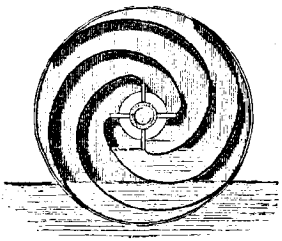


Fig. 1233.

Tympan de Lafaye. Dans le système précédent, la distance du centre de gravité de l'eau soulevée à l'axe varie, et par suite la résistance varie suivant la position des cloisons. Cet inconvénient est évité dans le tympan de Lafaye (figure 1233), dont le mode d'action repose, plus complétement encore que dans le cas précédent, sur le mode d'action du plan incliné. Il est formé de canaux courbes dont les profils sont les développantes du cercle formant le noyau. La tangente verticale de ce cercle étant la normale commune à toutes ces développantes, la perpendiculaire à toutes les tangentes horizontales, les centres de gravité des volumes d'eau contenus dans les canaux, égaux pour chacun, resteront sensiblement tous sur cette ligne. L'élévation du centre de gravité des volumes n'est cependant pas constante pour un même angle de rotation. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que le profil des conduits fût, non pas une développante de cercle, mais une spirale d'Archimède $\rho = a\,\omega$ (forme défectueuse en pratique à cause de son trop grand développement), courbe qui produit un mouvement rectiligne uniforme à l'aide d'un mouvement circulaire uniforme dans un même plan; mais alors la résistance ne resterait pas constamment sur la même verticale.

Cette régularité de progression est obtenue dans des plans différents à l'aide de l'hélice tracée sur la surface d'un cylindre, ou, si l'on aime mieux, par l'enroulement d'une droite sur un cylindre. C'est sur cette disposition que repose la machine la plus usitée et la plus parfaite pour les épuisements d'une profondeur notable, la vis d'Archimède dont il a été parlé plus haut.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les tympans sont assez peu employés parce qu'ils occupent beaucoup de place et n'élèvent l'eau qu'à une faible hauteur, moindre que moitié de celle de la roue.

AÉROMÉTRIE.

L'aérométrie, science du mouvement des fluides aériformes, et qu'en conséquence on nommerait plus convenablement *aérodynamique*, peut être divisée en trois parties distinctes : 1° le mouvement des fluides sortant d'un réservoir dans lequel ils sont comprimés ; il en sera traité en parlant des MACHINES SOUFFLANTES ; 2° les mouvements de l'air dans les conduits, la mesure de sa vitesse, qui sont les objets principaux des recherches relatives à la VENTILATION ; enfin 3° l'emploi de l'air comme moteur, pour lequel nous renverrons à MOULIN A VENT.

La parfaite élasticité de l'air, sa légèreté, son rapide échauffement par la compression, source de consommation de travail mécanique non utilisé mécaniquement, font que les lois de l'aérométrie sont assez différentes de celles de l'hydraulique, ou, si l'on aime mieux, que celles-ci ne peuvent fournir qu'une première approximation.

P. DEBETTE.

ACIDE HYDRIODIQUE ou IODHYDRIQUE. Se prépare en décomposant l'iodure de phosphore par l'eau, ou l'hydrogène sulfuré par l'iode. N'est pas employé dans les arts.

ACIDE HYDRO-BROMIQUE ou BROMHYDRIQUE. S'obtient par la décomposition du bromure de phosphore par l'eau. Sa préparation exige beaucoup de précaution. Il n'a du reste aucun emploi.

HYDROCARBURES LIQUIDES (FABRICATION DES). La fabrication des hydrocarbures liquides destinés à l'éclairage, et sur l'emploi desquels nous nous sommes étendus (voir l'article ÉCLAIRAGE) est toute récente, elle date à peine de quelques années. Aussi tous les jours les procédés et les méthodes dont elle fait usage s'améliorent, et c'est tout au plus si les fabricants eux-mêmes ont pu en bien apprécier la portée ; de plus, loin de vouloir faire connaître au public les perfectionnements qu'ils ont apportés dans leur travail, quelques-uns prennent un soin extrême à les tenir aussi secrets que possible. Nous ne leur en faisons pas un crime, pas même un reproche, car avec la loi qui régit les brevets, le parti le plus avantageux peut-être pour un inventeur est de cacher son invention autant qu'il le peut. Ces circonstances réunies rendront notre tâche difficile et nous empêcheront de donner sur les prix de revient des chiffres réels et positifs.

Les propriétés des hydrocarbures liquides destinés à l'éclairage, car c'est d'eux seuls que nous voulons parler, sont à peu près les mêmes que les propriétés des huiles essentielles tirées des végétaux. C'est qu'à vrai dire, les huiles essentielles extraites des schistes bitumineux et de la houille, directement ou indirectement, ont aussi une origine végétale ; seulement les conditions de nature, l'existence des végétaux qui ont pu leur donner naissance, étaient toutes différentes des conditions où vivent les végétaux d'aujourd'hui ; nous n'allons donc pas énumérer ces propriétés.

Deux espèces de matières premières ont été employées jusqu'à présent pour fabriquer ou plutôt pour en extraire les hydrocarbures liquides. 1° La houille soit en nature, soit à l'état de goudron provenant des usines à gaz ; 2° les schistes bitumineux. Nous ne parlons pas de la térébenthine, car l'essence qu'on en extrait et dont la fabrication est d'ailleurs connue depuis longtemps ne peut rivaliser ni avec les huiles de houille ni avec les huiles de schistes, sinon pour le prix actuel, du moins pour celui auquel on espère pouvoir les livrer. Du reste, les inventeurs des nouveaux systèmes d'éclairage avouent qu'ils renoncerient à tout espoir d'un éclairage économique s'ils étaient réduits à l'essence de térébenthine.

Parlons d'abord de l'extraction des hydrocarbures de la houille et de son dérivé le goudron.

Voici, à peu près, le procédé suivi jusqu'à présent pour l'extraction des huiles essentielles, ou hydrocarbures liquides, du goudron de GAZ.

L'appareil distillatoire se compose d'une chaudière en tôle chauffée inférieurement et latéralement, au moyen de carneaux montant jusqu'au niveau le plus bas du liquide. Dans sa partie supérieure, ordinairement disposée en dôme, cette chaudière est entourée de substances très peu conductrices du calorique pour empêcher que l'air, en venant refroidir les parois supérieures, ne produise la condensation des vapeurs dont la chaleur spécifique est très faible. Un tuyau partant de l'extrémité du dôme conduit dans un serpentin entouré d'eau froide les vapeurs, qui, entièrement condensées à sa sortie, sont reçues dans des vases disposés *ad hoc*. Avant de se rendre dans la cheminée, les produits de la combustion vont chauffer une chaudière, avec un couvercle mobile, placée en contre-haut de la chaudière distillatoire, de manière à pouvoir l'alimenter de son contenu. Cette chaudière accessoire reçoit le goudron froid, pour que d'abord sa température s'élève au moyen de la chaleur perdue, et, surtout, ensuite pour qu'en chauffant, l'eau ammoniacale, qu'il retient toujours englobée dans sa masse en plus ou moins grande quantité, puisse se séparer. Cette séparation s'explique très bien par la fluidité qu'acquiert le goudron chauffé ; l'eau, en vertu de sa légèreté, monte alors facilement à la surface du goudron où elle s'évapore sinon en totalité, du moins en partie. Si l'évaporation n'est pas complète, la couche d'eau surnageant ne s'introduit pas dans la chaudière distillatoire avec le goudron, et, au bout d'un certain nombre d'opérations, cette couche est assez épaisse pour être enlevée d'une manière quelconque. Cette disposition n'est pas indiquée dans la fig. 1234, qui représente au contraire une disposition dont je parlerai tout à l'heure.

Si l'eau interposée dans le goudron était introduite avec lui dans la chaudière distillatoire, chauffée rapidement, elle tendrait à se réduire en vapeur au sein de la masse et y occasionnerait un boursouflement assez considérable pour faire sortir le mélange de la chaudière malgré une capacité double du volume du goudron.

On doit se garder de faire dans la conduite de la chaudière au serpentin une soudure à l'étain, car la haute température des dernières vapeurs distillées la ferait infailliblement fondre.

La chaudière distillatoire porte une vidange à soupape ou à robinet, pour laisser écouler le résidu de l'opération. Si dans l'atelier où s'opère cette distillation il se trouve du feu ou même une lumière, il faut laisser refroidir le brai dans la chaudière jusqu'à 180 degrés avant de le tirer, car les huiles essentielles restant dans ce brai, iraient infailliblement s'allumer, et formant avec l'air un mélange détonnant, occasionneraient à la fois incendie et explosion.

Les vapeurs qui s'échappent pendant la distillation ont des densités différentes suivant les divers instants de l'opération. Les premières huiles essentielles que l'on recueille mélangées avec de l'eau, marquent de 28 jusqu'à 35 degrés à l'aréomètre quand on distille la crème des goudrons. Peu à peu cette légèreté spécifique diminue, et les dernières huiles obtenues sont plus denses que l'eau, si on chasse par la chaleur 25 p. 100 du goudron employé. C'est ce qui a lieu quand on veut obtenir spécialement du brai-gras, matière première des bitumes et asphaltes artificiels.

Avant qu'on eût songé à l'emploi des hydrocarbures liquides pour l'éclairage, et surtout au moment de la fièvre de spéculation bitummière, il y a une dizaine d'an

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vées, alors qu'on était arrivé à distiller de la houille rien qu'en vue du goudron, et alors que les goudrons des usines à gaz se vendaient à raison de 10 et 12 francs les 100 kil., c'est tout au plus si on utilisait en partie minime les huiles essentielles les plus légères pour les employer à la dissolution du caout-chouc ; tout le reste constituait un résidu dont le fabricant de brai était souvent embarrassé et qu'il était quelquefois heureux de vendre à raison de 2 à 5 fr. les 100 kil., pour être employé comme combustible ou dans la fabrication du noir de fumée.

Généralement dans la fabrication du brai-gras on retire 17 à 20 p. 100 d'huile essentielle en mélange presque aussi dense que l'eau, 2 p. 100 d'eau, 75 p. 100 de brai, la perte étant de 5 à 8 p. 100. Si on veut avoir du brai sec il faut chasser 30 p. 100 de matières volatiles.

Le brai-gras en sortant de la chaudière Z (fig. 1234) est ordinairement reçu dans une chaudière inférieure, où il doit être mélangé avec une certaine quantité de chaux ou de craie et soumis alors à l'action de la chaleur.

Dans ces dernières années, même en fabricant le brai gras, quelques fabricants ont pris soin de fractionner les produits de la distillation. Ainsi ils recueillent toutes les premières huiles qui, mélangées, pèsent 16 degrés environ à l'aréomètre de Beaumé, en rangeant dans la catégorie des huiles lourdes tout ce qui passe ensuite. Les huiles légères sont destinées à être traitées spécialement pour le service de l'éclairage.

En adoptant la base de ce procédé de distillation, il serait très possible, à notre avis, d'y apporter quelques améliorations. Le serpentin devrait être entouré, au lieu d'eau, de goudron placé dans un tonneau de tôle muni à sa partie supérieure d'un tuyau pour la sortie des vapeurs. Ce réfrigérant ainsi disposé permettrait la suppression de la chaudière accessoire de tout à l'heure, et apporterait nécessairement de l'économie et de la simplicité dans le travail. A cause de la faible chaleur spécifique des essences il serait probablement inutile de faire suivre le réfrigérant à goudron d'un réfrigérant à eau. Les vapeurs s'échappant du réfrigérant à goudron seraient de l'eau et les essences les plus légères.

A la fin de la distillation, du goudron froid arrivant à la partie inférieure du réfrigérant ferait passer dans la chaudière le goudron chaud et presque bouillant, de manière à produire une distillation presque continue.

Les huiles lourdes, distillées les dernières, sont très riches en naphtaline, et il nous a été dit par un fabricant de brai-gras, que de la naphtaline se volatilisait quelquefois à la fin de l'opération en venant cristalliser dans le serpentin qu'elle obstruait.

Nous avons maintenant pour épuiser l'ancien procédé, le seul, à vrai dire, encore suivi par les rares fabricants d'hydrocarbures pour l'éclairage, à parler de la rectification et de l'épuration, soit de la totalité des huiles recueillies pendant la distillation, soit des essences légères pesant 16 degrés. Car outre que ces produits soient loin d'être au degré voulu par les appareils d'éclairage, ils sont impurs et contiennent d'abord un peu des principes ammoniacaux contenus dans les eaux de condensation, puis une matière colorante qui leur communique une teinte brune qui augmente d'intensité par l'exposition à la lumière, à tel point que des essences obtenues presque blanches se colorent très sensiblement et très rapidement, abandonnées dans des vases transparents et souvent même dans des vases opaques.

Des distillations dans lesquelles on fractionne les produits fournissent assez facilement des hydrocarbures à la densité désirée pour l'éclairage comme pour les autres usages, la dissolution du caoutchouc par exemple ; mais l'épuration de ces substances a présenté longtemps des difficultés qui paraissent aujourd'hui surmontées.

M. Barral est, à ce que je pense, le premier qui ait indiqué un procédé convenable pour cette épuration : la position d'ingénieur qu'il occupait alors, près la compagnie formée pour l'exploitation des brevets de MM. Busson et Rouen, relatifs à l'éclairage par les hydrocarbures liquides, ayant appelé naturellement son attention et ses études sur ce point. Il ne suffisait pas à cette compagnie de présenter des lampes destinées à brûler les hydrocarbures, il fallait en même temps offrir le liquide éclairant, ou indiquer les moyens les plus simples de fabrication, à ceux qui voulaient bien se charger de préparer ces hydrocarbures.

Voici les moyens qu'employait M. Barral : Toute l'huile, marquant 1000° (densité de l'eau) au densimètre, et provenant de la distillation du goudron, telle que nous l'avons indiquée pour la fabrication du brai-gras, est traitée par 1/100e d'acide sulfurique à 66°. L'acide étant versé, on agite fortement la masse pendant 1 heure, avec un agitateur quelconque, un balai, par exemple. Ce battage peut être sans inconvénient prolongé pendant 2 heures, puis on laisse reposer ; l'acide se dépose entraînant avec lui les matières qu'il a charbonnées, attaquées. En se laissant guider par le procédé suivi dans l'épuration des huiles de graine destinées à l'éclairage, M. Barral, après l'action de l'acide, ajoutait une certaine quantité d'eau, battait une seconde fois, laissait reposer, puis décantait l'huile.

A cause de la présence des produits ammoniacaux dans cette eau, il serait peut-être avantageux, à mon avis, de traiter cette huile par une dissolution métallique neutre avant l'action de l'acide.

Après le traitement par l'acide, M. Barral distillait les hydrocarbures sur de la chaux qu'il employait à raison de 4 p. %. Cette distillation, il l'opérait sur de petites quantités de liquide dans des cornues en fer, d'une capacité de quelques litres seulement, placées en certain nombre et en deux rangées parallèles sur un même fourneau de forme allongée. Le feu étant poussé modérément, le premier tiers des huiles qui passent les premières à la distillation a une densité spécifique de 840 à 850° ; cette densité augmente bientôt, car le deuxième tiers a une densité de 900 à 950°. Le troisième tiers marque 1000°, et est mis à part pour être traité de nouveau par l'acide sulfurique, qui par son action fait baisser la densité de 1000 à 970°. La perte par cette rectification est de 20 p. % à peu près. Le mélange de deux premiers tiers marque un peu au-dessous de 900° au densimètre, soit 26° environ à l'aréomètre de Beaumé. M. Barral préfère des cornues de petite dimension pour cette rectification, à cause des soubresauts qui s'opèrent dans une masse plus forte, soubresauts pouvant donner lieu à une projection d'hydrocarbures ; ce qui, vu la grande inflammabilité de la matière, serait une chance d'incendie.

Les hydrocarbures provenant de cette distillation passent, au sortir des cornues, dans un serpentin pour être refroidies convenablement. Il est bon que ce serpentin débouche en dehors de l'atelier où se trouve le fourneau, car les vapeurs qui seraient, par hasard, incomplétement condensées pourraient aller s'allumer au foyer.

Une deuxième distillation est considérée comme nécessaire par M. Barral, pour obtenir des produits de très bonne qualité ; elle s'opère sans chaux. La perte dans cette deuxième distillation est peu importante. Le résidu des distillations sur la chaux est une combinaison de cet alcali avec une matière grasse, combinaison qui a, pour son état et ses propriétés, beaucoup d'analogie avec la graisse noire qu'on fabrique depuis plusieurs années avec les résidus analogues de la distillation des huiles de résine. Cette nouvelle combinaison, cette nouvelle graisse, peut aussi très bien servir au graissage des voitures ; elle exhale, il est vrai, une odeur assez désagréa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ble ; mais comme l'ancienne graisse noire elle peut très bien servir au graissage des voitures, l'odeur ne présentant pour cet emploi aucun inconvénient.

Les procédés de M. Barral nous semblent très rationnels ; seulement nous pensons que la distillation dans de petites cornues serait une condition gênante pour une fabrication en grand, à cause de la multiplicité des appareils nécessaires à la rectification d'une quantité un peu considérable d'hydrocarbures ; comme les soubresauts sont probablement dus à la présence de la chaux, on remédierait, je pense, à cet inconvénient en adoptant une chaudière distillatoire munie d'un agitateur ; on pourrait peut-être aussi remplacer le chauffage à feu nu par le chauffage au bain d'alliage, ou d'huile grasse, ou bien encore mélanger aux hydrocarbures une dissolution saturée d'une substance saline choisie de telle manière que l'ébullition se produisît à une température ne dépassant pas le degré d'ébullition de la liqueur saline, tandis que pour la distillation des hydrocarbures seuls, le degré d'ébullition varie avec les divers instants de l'opération. Ce qui permettrait d'obtenir seulement les hydrocarbures dont le degré d'ébullition est au-dessous du degré d'ébullition de la solution saline. C'est ce moyen qu'a employé Selligue dans sa fabrication d'hydrocarbures, extraits des schistes, fabrication dont il va être question tout à l'heure.

On a proposé de distiller le goudron à la vapeur, ce moyen nous paraît plus dispendieux que la distillation à feu nu, et cela sans utilité bien reconnue ; il faudrait d'ailleurs, pour arriver à l'extraction de 25 p. 100 d'huile, pousser la température à peu près jusqu'à 300°, et la vapeur n'acquiert pas cette température par le mode ordinaire de génération, il faudrait donc de la vapeur surchauffée.

M. Kuhlmann a proposé, si je ne me trompe, de produire dans le vide la rectification des hydrocarbures, sinon la distillation du goudron ; je ne sais pas bien les résultats plus avantageux qu'il espère obtenir par ce procédé.

Je dois mentionner ici des modifications, indiquées par M. Payen, dans une de ses leçons, au système de distillation du goudron, sans savoir d'ailleurs si ces perfectionnements proposés sont ou non de l'invention du célèbre professeur et s'ils ont été appliqués.

D'abord, il dit que dans la distillation du goudron lui-même, on pourrait immédiatement séparer sans frais les divers hydrocarbures, en mettant à la place du condenseur ordinaire trois ou quatre vases entourés d'eau. Le premier vase le plus éloigné de l'alambic serait en contact avec de l'eau froide renouvelée continuellement; le deuxième vase n'aurait pour d'autre réfrigérant que l'eau chauffée par le premier condenseur, l'eau chauffée par le deuxième passerait au troisième et ainsi de suite. D'après M. Payen, on opère de cette manière une séparation d'hydrocarbures qui nécessite ordinairement un appareil à part.

Je ne sais si cette disposition serait avantageuse ; son application seule pourrait donner une idée de sa portée. Comme d'après M. Barral, le traitement par l'acide sulfurique, des hydrocarbures, obtenus de la dissolution directe du goudron, a une influence très grande sur le rendement des huiles à faible densité, rendement qu'il favorise, cette séparation directe des hydrocarbures indiquée par M. Payen, semblerait devoir diminuer ce rendement.

Les produits obtenus par la distillation du goudron ne sont pas encore bien définis jusqu'à présent, et leur étude bien détaillée appelle l'attention sérieuse des chimistes ; mais on sait très bien cependant que les uns se vaporisent à une température qui ne dépasse pas 70°, que d'autres entrent en ébullition de 100 à 120°, que pour d'autres enfin, la température doit être poussée à 180°. Il paraît certain qu'il y a parmi ces hydrocarbures un assez grand nombre d'espèces distinctes l'une de l'autre, non seulement pour le degré de l'ébullition, mais aussi pour les propriétés. On sait déjà que ce ne sont pas les hydrocarbures les moins denses, ceux qu'on obtient les premiers dans la rectification, qui conviennent le mieux à la dissolution du caoutchouc, tandis qu'ils sont très avantageux pour l'éclairage. Cette remarque est applicable non seulement aux produits de la distillation du goudron, mais aussi à ceux qu'on obtient en distillant l'essence de térébenthine.

Voici, d'après M. Barral, les degrés d'ébullition pour des huiles à densité différente :

Degrés d'ébullition.	Densités à 8 degrés.
130	0,885
150	0,894
140	0,900

L'huile bouillant à 140° est presque inodore, et convient très bien à la dissolution du caoutchouc.

C'est en se basant sur ces divers degrés d'ébullition des divers hydrocarbures qu'on emploie, d'après M. Payen, pour la rectification de ces produits, un appareil de séparation présentant pour son principe de l'analogie avec celui que nous avons indiqué tout à l'heure.

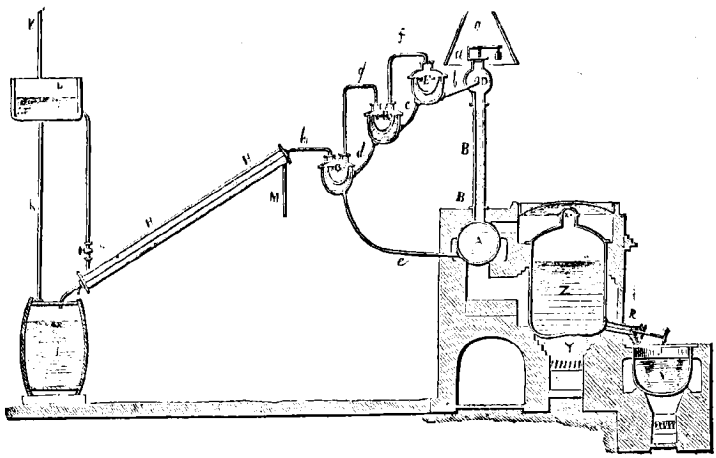
A la suite de l'appareil à distiller le goudron (figure 1234), on dispose un générateur A chauffé par la chaleur perdue du foyer Y. Ce générateur se prolonge en un tube ou colonne B, ayant 3 ou 4^{m} de longueur et terminée par un réservoir D, dans lequel on peut régler la température du liquide, et de la vapeur qu'il tend à produire, au moyen d'une soupape maintenant une pression constante, soit 4 atmosphères pour 140°. La vapeur qui serait produite en excès par une augmentation de la pression normale, se dégagera par une petite cheminée *c*, après avoir soulevé la soupape *a*.

Du réservoir D part un tube *b*, communiquant avec le double fond ou plutôt la chemise d'une chaudière E, ayant le cinquième de la surface de la chaudière principale A. Deux autres chaudières semblables et d'égale capacité F et G se trouvent à la suite de la première. Leurs chemises et celle de la chaudière E communiquent entre elles par les tubes C et D, de telle sorte que le générateur A, le tube B, le réservoir D, et les chemises des chaudières ne forment qu'un espace continu plein d'eau chaude où la circulation peut s'établir de haut en bas d'après la différence de température. Les produits à rectifier sont placés dans la chaudière E; la vapeur qui s'y produit passe dans la deuxième F, par le tube *b*, et s'y condense en partie ; la partie qui échappe à cette condensation renferme les hydrocarbures les plus volatils qui se dirigent dans la chaudière G, où une autre condensation se produit encore. Les vapeurs qui s'échappent de la chaudière G et qui contiennent la quintessence des hydrocarbures, passent dans un condenseur final entouré d'eau qui se renouvelle continuellement. Cette eau est fournie par un réservoir supérieur L, et s'échappe par le tuyau M, lorsqu'elle est devenue chaude. L'hydrocarbure est recueilli dans un récipient I, et les gaz non condensables, s'il y en a, se dégagent par un conduit K, qui débouche au-dessus du toit. Comme on le voit, après chaque opération, les vases E, F, G, I, contiennent des hydrocarbures de plus en plus volatils selon qu'ils sont plus distants de la colonne B D ; la séparation qu'on veut obtenir est donc effectuée.

M. Delafont, qui fabrique un liquide propre à l'éclairage, indique la recette suivante de fabrication pour la nature, la quantité des matières qu'il emploie, et le procédé d'épuration qu'il suit :

Esprit de fécule ou de vin, à 37°.	400 litres.
Esprit de bois, à 30°.	400
Essence de goudron, à 26°. .	400
Essence de térébenthine, à 30°.	100
	1,300

EFERUS - Recherche & Classification numérique



1234

On ajoute aux 1,000 litres 10 kilogrammes d'acide sulfurique à 66; on brasse le mélange qu'on abandonne pendant 12 heures à lui-même, en remuant seulement de temps en temps. Puis on traite le liquide par un mélange de chaux, d'hydrochlorate et de carbonate d'ammoniaque; on décante, on redistille, et on a la matière propre à l'éclairage.

Ce procédé d'épuration a beaucoup d'analogie avec celui qu'a employé M. Barral. Nous ferons seulement remarquer que le mélange de chaux, d'hydrochlorate et de carbonate d'ammoniaque, doit donner lieu à un dégagement d'alcali volatil, qui se retrouve nécessairement, en partie du moins, dans le liquide qui distille. Nous ne savons pas précisément dans quelle intention se fait ce mélange; serait-ce pour empêcher toute acidité de se développer dans un ou plusieurs des quatre principes constituant le liquide d'éclairage de M. Delafont. Ce liquide est livré par lui au commerce au prix de 1 fr. 20 c. le litre, pouvant éclairer au plus pendant 20 heures.

Comme les carbures d'hydrogène gazeux obtenus par la distillation de la houille, dans la fabrication du gaz, sont, en partie du moins, le résultat de la décomposition par le feu des hydrocarbures proprement dits que renferme la houille; si la décomposition ne peut s'opérer par le fait d'une température trop basse, les hydrocarbures sont simplement vaporisés, et se condensent par le refroidissement : alors, on n'obtient presque pas de gaz, mais beaucoup de goudron léger, riche en huiles très volatiles qu'on peut appliquer à l'éclairage après une épuration et une rectification convenables. Ainsi on peut, par une distillation de houille dans certaines conditions, obtenir des hydrocarbures liquides en quantité bien plus grande que celle qui se trouve dans les goudrons de gaz. Avant de parler des procédés à suivre pour arriver à ce résultat, je dois dire que, dans un pareil traitement de la houille, le produit qui a le plus de valeur est, sans contredit, le coke, et que sa qualité et son rendement doivent préoccuper spécialement au point de vue commercial, auquel il faut, en définitive, toujours sacrifier dans toute exploitation industrielle

Il est incontestable qu'on peut, dans la fabrication du coke, disposer tellement les fours, qu'une très grande partie des produits volatils généralement perdus aujourd'hui soit condensée, et devienne par conséquent utilisable; mais ce à quoi il faut s'attacher, et je dois insister sur ce point, c'est à conserver d'abord au coke ses propriétés, et seulement ensuite à obtenir le plus possible de ces produits volatils, et ce qu'on obtiendra sera presque tout bénéfice. Mais si, en voulant obtenir le deuxième résultat, on modifie les propriétés ou la qualité du coke, de telle sorte que les consommateurs ne le trouvent plus, à tort ou à raison, propre à leurs besoins, on commettra, à mon avis, une imprudence très grave, et l'industrie en question périclitera comme péchant par sa base.

Ce n'est pas tout. Les usines à gaz, qui augmentent tous les jours en nombre et en importance, ont, pour un certain nombre du moins, du goudron à écouler, soit parce qu'elles vendent difficilement leur coke, soit parce qu'elles ne peuvent ou ne veulent pas brûler leur goudron à cause de la détérioration assez rapide que la combustion de ce dernier occasionne dans les fours, surtout s'ils ne sont pas convenablement disposés.

Toujours est-il, et c'est un fait incontestable aujourd'hui, que des usines à gaz assez nombreuses, tant à Paris que dans les départements, pour une cause ou pour une autre, vendent leur goudron à raison de 6 francs les 100 kilogrammes rendus à Paris. Ces goudrons, lorsqu'ils sont frais, rendent environ 10 p. 100 d'hydrocarbures propres à l'éclairage (1). Lorsqu'ils sont anciens, les substances les plus volatiles qu'ils contiennent ont pu s'échapper en partie au contact de l'air; aussi quelquefois le rendement est-il réduit considérablement. Ainsi il pourrait se faire qu'il fût plus profitable dans ce moment-ci, du moins pour extraire les hydrocarbures destinés à l'éclairage et autres emplois, de distiller les goudrons dont bon nombre d'usines

(1) C'est le chiffre indiqué par M. Barral, la densité de ces hydrocarbures étant 0,900. Des fabricants prétendent ne pas arriver à plus de 6 ou 7. Nous ne pouvons prononcer entre ces deux assertions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à gaz ont à se débarrasser que de traiter directement de la houille.

Enfin, dans la fabrication de ces hydrocarbures, même sans passer par la fabrication du gaz, on obtient des produits qu'il faut écouler, savoir : 1° du brai-gras qu'on emploie dans la fabrication des bitumes et asphaltes artificiels, mais qui jusqu'à présent ont été, à tort ou à raison, regardés comme inférieurs aux asphaltes et bitumes naturels dans la confection des trottoirs et des travaux hydrauliques. Or, quand on distille des goudrons de gaz, on obtient 70 à 75 p. 0/0 de brai-gras, dont le prix aujourd'hui est de 8 fr. environ les 100 kil., mais qui tomberait bientôt à 4 ou 5 fr. si on en produisait en grande quantité. Cette quantité de brai-gras serait probablement un peu moindre pour le goudron qu'on pourrait recueillir, en condensant les produits volatils qui s'échappent des fours à coke, mais la diminution de brai ne serait pas assez importante pour modifier les conséquences de notre observation. 2° Des hydrocarbures à densité se rapprochant de celle de l'eau (on les appelle assez souvent les huiles lourdes), et qu'on n'a pu encore, jusqu'à présent du moins, faire servir à l'éclairage, et dont les emplois aujourd'hui sont assez restreints.

Ainsi on le voit, ici comme partout, à côté de la question technique, il y a la question commerciale qui pèse de tout son poids; et spécialement ici, il y a, à côté de la substance que l'on veut produire, d'autres matières résultant nécessairement de la fabrication, et ayant, sous le rapport du prix, beaucoup plus d'importance que cette substance elle-même. Il est nécessaire d'ajouter que ces substances, n'ayant aujourd'hui qu'un emploi très limité, trouveront peut-être, et même très probablement plus tard, par suite des recherches des chimistes, un écoulement plus facile pouvant venir changer les données et, partant, la solution du problème.

Nonobstant ces observations, disons quelques mots des procédés proposés jusqu'à présent pour extraire des hydrocarbures de la houille, sans avoir recours aux goudrons que fournit la fabrication du gaz.

En 1839, MM. Thomas et Laurens prirent un brevet pour la distillation des combustibles au moyen de la vapeur surchauffée ou de gaz chauds, mais dépourvus d'oxygène libre, en donnant pratiquement la préférence à la vapeur, qui, même pour certains buts, a des avantages spéciaux. La vapeur surchauffée, après sa formation, au-dessous de 400°, pénètre avec une faible pression effective de 1/4 à 1/2 atmosphère dans une enceinte fermée, où se trouve accumulé le combustible. Il n'y a pas de dispositions particulières ; cependant il faut placer les entrées et les sorties de vapeur de façon à faire circuler partout le fluide. Les hydrocarbures entraînés par le courant sont condensés par les moyens ordinaires de condensation.

Tous les combustibles sont ainsi carbonisés à 300 degrés à peine. Rien n'est plus facile à conduire que cette opération; on règle la pression à l'aide de robinets. La vapeur est chauffée dans un serpentin en fer qui ne s'use que très peu et dure longtemps, si on prend quelques dispositions capables d'annihiler l'effet des dilatations et contractions. Ce moyen de chauffage opère à une température bien inférieure à celle qu'exigent les mêmes opérations effectuées par un chauffage extérieur (1).

Ce procédé n'a jamais été appliqué en grand d'une manière suivie; une fois le problème résolu, MM. Thomas et Laurens ne s'en sont plus occupés, distraits qu'ils étaient par le succès de leurs applications des gaz des hauts-fourneaux dans les forges. Au point de vue technique ce procédé nous semble devoir donner de très bons résultats; mais il y a encore ici la question de la qualité du coke. MM. Thomas et Laurens avancent que le coke obtenu est de bonne qualité pour la fonderie et le haut-fourneau, si on conduit l'opération modérément. S'il en est ainsi, si le coke obtenu est aussi bon à l'emploi que celui des fours ordinaires, l'exploitation de ce procédé nous semble devoir offrir beaucoup de chances de succès. L'application peut seule résoudre la question d'une manière définitive.

Ce chauffage par la vapeur surchauffée pourrait être, ce nous semble, appliqué avec avantage à la distillation du goudron ainsi qu'à la rectification des hydrocarbures, d'autant plus que ce mode de chauffage permettrait d'éloigner les ateliers de distillation des foyers, et par conséquent, ferait disparaître toute chance d'incendie.

Plus récemment, M. Rouen, qui comprenait la nécessité, pour pouvoir donner de l'extension à son système d'éclairage, de fournir au commerce des hydrocarbures à bas prix, a songé à fabriquer ces hydrocarbures sur le carreau des mines en même temps que le coke. D'abord il a voulu condenser purement et simplement les produits qui s'échappent des fours à coke; puis, si nous sommes bien informé, il a voulu opérer la distillation dans des cornues ; enfin, nous avons entendu dire qu'il était revenu aux fours et qu'il avait obtenu des bons résultats à Saint-Etienne. Ne connaissant pas les procédés particuliers qu'il peut employer, il nous est impossible d'entrer, à propos de sa fabrication, dans quelques détails qui probablement devraient rentrer dans ceux qui ont été indiqués dans le cours de l'article. J'ai seulement appris de M. Rouen qu'il avait reconnu dans ses nombreux essais de distillation que plus la houille est fraîchement extraite et plus le rendement en hydrocarbures est grand, et qu'il y a une grande différence pour ce rendement entre la houille fraîche et la houille ancienne. Cette remarque est bonne, sans aucun doute, mais je crois que la différence de rendement n'est pas aussi grande que celle indiquée par M. Rouen.

Il y a longtemps d'ailleurs que cette remarque a été faite, non pas pour les hydrocarbures, mais pour le rendement du gaz, et tout le monde sait que la houille perd de sa qualité par l'exposition à l'air, surtout sous l'influence successive de la chaleur et de l'humidité. M. Rouen annonce qu'il obtient par ses procédés, pour 1 hect. de houille, 10 litres d'hydrocarbures bruts qui se réduisent à 5 au maximum, par suite de l'épuration et des rectifications nécessaires qu'il opère à la vapeur. Voici des résultats que m'a communiqués M. Barral d'après ses expériences.

Pour une distillation assez vive qui a duré 8 heures pour 261 kil., il a obtenu pour 100 kil. de houille de Douchy :

Coke.	70
Eau et gaz.	7
Goudron.	23
	100

Ce goudron étant analogue à celui des usines à gaz, mais contenant moins d'eau.

Pour une distillation lente qui a duré 3 jours, pour 300 kil. il a obtenu pour 100 kil. :

Coke.	82
Eau et gaz.	8
Essence.	10
	100

Cette essence était à la densité de 1,050 et a donné 5 d'huile à 0,900 et 5 de brai ou huile lourde.

Dans une distillation de charbon d'Anzin M. Barral n'a obtenu que 3,76 p 100 d'essence à 0,900.

(1) En 1853, MM. Thomas et Laurens avaient déjà proposé l'emploi de la vapeur surchauffée dans les machines à vapeur. En 1858 eut lieu la première application de la vapeur surchauffée pour la revivification du noir animal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si on parvient à établir des distilleries d'hydrocarbures dans les fabriques de coke, un nouvel incident viendra surgir dans la question, ce sera le transport de ces hydrocarbures.

Si le transport en fûts ne peut avoir lieu à cause des pertes de liquides, le transport en touries présentera certains inconvénients qui doivent être signalés. La tare de touries dans les transports doit être évaluée à 3 p. 100 en moyenne, de plus, leur tare, à cause du panier et du torquage nécessaire, doit être évaluée à 25 kil. pour un contenu de 50 kil., ce qui augmente de 50 p. 100 les frais de transport de la marchandise, en supposant qu'on n'ait pas d'ailleurs à effectuer le retour des emballages au lieu de fabrication, ce qui les augmenterait alors de 100 pour 100. Et cette dernière hypothèse n'a rien que de très admissible, car les touries qui auraient renfermé ces hydrocarbures seraient, nous le pensons, impropres à tout autre emploi.

Avant de terminer ce qui regarde les hydrocarbures extraits de la houille, disons que leur prix ne paraît pas devoir descendre jusqu'à présent au-dessous de 60 à 70 fr. les 100 kil., ainsi que nous l'avons déjà dit d'ailleurs à l'article ÉCLAIRAGE. A. MALLET.

Comme le prévoyait M. Mallet, les progrès de la chimie ont modifié le prix des goudrons en apprenant à en retirer de nouveaux produits. C'est dans les huiles légères qui passent les premières à la distillation que se trouve la benzine qui sert à préparer l'aniline et par suite la fuchsine, et toutes ces admirables matières colorantes qui sont venues révolutionner la teinture.

Les hydro-carbures extraits du goudron auraient donc laissé triompher l'HUILE DE SCHISTE (voy. *Complément*), pour tous les cas où l'éclairage minéral pouvait s'appliquer, si un nouveau concurrent n'était apparu, produit sur une échelle formidable. Je veux parler du PÉTROLE d'Amérique.

PÉTROLE. Les liquides naturels que fournit le commerce varient selon leur origine. Leur rectification produit un peu de gaz; des essences très-légères, qui sont achetées au jour le jour par l'industrie, sans qu'on sache au juste quelles sont leurs applications, mais que le prix élevé de l'essence de térébenthine fait supposer être employées à la peinture en bâtiment, et dont une partie est employée à la purification de la paraffine; des essences plus lourdes employées pour l'éclairage; des huiles paraffinées; enfin un liquide peu volatil qu'on laisse dans le vase distillatoire, et qu'on décompose ensuite par le feu, jusqu'à ce qu'on les utilise mieux, à la manière des huiles lourdes de la houille, pour en retirer différents produits riches en paraffine, des huiles à graisser, et un coke semblable au charbon provenant du brai de houille.

Au point de vue de l'éclairage minéral, ce sont les huiles légères, les essences les plus lourdes, qui servent dans des lampes indiquées à l'article ÉCLAIRAGE, l'air extérieur étant amené latéralement de manière à passer avec la vapeur de pétrole par une fente pratiquée dans une lame en métal.

On a ainsi établi de petites lampes à bon marché qui se propagent rapidement, grâce surtout au bon marché du liquide qui sert à les alimenter, et qui se trouve déjà au détail à moins de 1 fr. le kil.

L'importance de la production des puits par lesquels s'écoule l'huile de pétrole était pour les États de Pensylvanie et de New-York, en 1861, de plus de 80 millions de gallons (quatre litres et un quart). Il a été d'environ 15 millions de gallons pour d'autres États, et on fonce tous les jours de nouveaux puits. Cette huile brute, prise aux puits, se vend 1 fr. 25 le gallon. C'est donc pour le tout une valeur de 125 millions de fr. sur place. Transportée sur le marché de New-York, elle vaut 2 fr. et purifiée 3 fr. 75 le gallon. Ces huiles s'accumulent sur les marchés intérieurs, attendu la presque impossibilité de les expédier pour l'exportation dans des barils ordinaires, qu'elles traversent par suintement après peu de jours.

Aussi des compagnies de navigation en Angleterre ont-elles réalisé d'importants bénéfices en faisant construire des navires munis de vastes réservoirs en tôle pour effectuer ce transport.

Je dirai quelques mots de l'histoire de cette découverte en Pensylvanie, où elle a donné les plus merveilleux résultats, car elle tend à réduire encore le prix de l'éclairage en fournissant une substance toute formée dans le règne minéral, n'exigeant pas ou demandant peu de travail.

Les habitants de la partie occidentale de la Pensylvanie remarquaient depuis plusieurs années que des matières huileuses apparaissaient de temps à autre à la surface du sol. On se bornait à recueillir ces matières telles qu'elles se présentaient, et plutôt par curiosité que pour en faire usage. Dans le courant de l'été 1859, un fermier nommé Drake entreprit le forage d'un puits. La ferme de M. Drake est située sur le bord d'une rivière, à 1 mille et demi d'un petit village appelé Titusville, et à 28 milles de Meadville. Lorsqu'on forent on eut atteint une profondeur de 69 pieds, on trouva, au lieu de l'eau qu'on cherchait, une huile abondante; on la recueillit à l'aide d'une pompe, et, en l'examinant, on reconnut qu'elle était de très-bonne qualité. D'autres puits furent creusés à côté du premier et donnèrent les mêmes résultats. Les curieux affluèrent par centaines, et l'attention publique fut surexcitée par divers incidents. Ainsi on vit l'huile jaillir avec force d'un trou creusé dans le roc. Un puits appelé *Chase*, du nom de son propriétaire, eut par moment de véritables éruptions d'huile. Jusqu'alors on n'avait plus rencontré de puits d'où l'huile jaillît spontanément et d'une façon continue. Le puits de Tidioute, qui jouit de la plus grande réputation, n'a plus que par intervalles un débit qu'on peut évaluer à 40 gallons par minute.

Cette découverte a complétement transformé les bords paisibles de l'Oil-Creek. Cette rivière traversait un pays primitif très-pittoresque, mais presque inhabité. Les fermes y étaient clair-semées, et l'on n'y voyait guère d'autres étrangers que les bûcherons, qui profitaient des hautes eaux pour descendre sur leurs trains de bois et rejoindre la rivière Alleghany. Quelques mois ont suffi pour tout changer; le puits de Drake a été ouvert en août 1859, et les plus importants ne datent que de l'été de 1860.

Le centre de la région ainsi exploitée est Clintockville, à 12 milles de Titusville. La profondeur à laquelle on rencontre l'huile varie de 30 à 400 pieds; la moyenne est de 150. L'huile se rencontre dans les fissures des roches qui forment le sol; à mesure qu'on la recueille elle est conduite, au moyen de canaux grossièrement faits, jusqu'à d'immenses cuves qu'on a soin de placer à une assez grande distance du puits. Cette précaution est indispensable, à raison de l'excessive inflammabilité de l'huile; les incendies fréquents et d'affreux accidents ont fait à tout le monde une loi de la prudence.

ACIDE HYDRO-CHLORIQUE. — *Acide* CHLORHYDRIQUE. — *Acide* MURIATIQUE (*angl.* muriatic acid, *all.* salzaüre). Glauber, chimiste allemand, qui vivait dans le dix-septième siècle, paraît être l'auteur de la découverte de cet acide; du moins, c'est lui qui, le premier, le retira du sel marin. Appelé d'abord *esprit-de-sel*, *acide marin*, puis *acide muriatique* (de *muria*, nom latin du sel), il fut regardé pendant longtemps comme un oxyde à radical inconnu. MM. Gay-Lussac, Thénard et H. Davy démontrèrent par de nombreuses expériences qu'il était formé de volumes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

égaux d'hydrogène et de chlore, composition qui lui valut le nom d'acide *hydrochlorique* récemment changé en celui d'acide *chlorhydrique*. Cette découverte importante créa la classe des acides sans oxygène.

L'acide hydrochlorique est toujours gazeux à la température et à la pression ordinaires ; il est incolore, mais à l'air humide il donne naissance à d'épaisses vapeurs blanches en absorbant de l'eau. Il éteint les corps en combustion et rougit fortement la teinture de tournesol, comme les acides les plus énergiques. Sa densité est de 1,247 ; son odeur piquante est si forte qu'il est impossible de le respirer sans danger. Un froid de 50° au-dessous de zéro ne le fait point changer d'état. Faraday, en le soumettant à une pression de 40 atmosphères à 8° au-dessus de zéro, est parvenu à le liquéfier. Indécomposable par la chaleur, l'acide hydrochlorique est décomposé par l'électricité ; ce gaz a une excessive affinité pour l'eau qui, à 20° au-dessus de zéro, sous une pression de 0m,76, en dissout 464 fois son volume, c'est-à-dire les 3/4 de son poids. La dissolution saturée qu'on obtient présente une densité de 1,21, et marque 26°,5 à l'aréomètre de Beaumé ; elle a toutes les propriétés de l'acide gazeux ; on l'appelle *acide hydrochlorique liquide*. A cet état elle répand des vapeurs qui ne cessent d'apparaître que si on l'étend d'eau ; cette dissolution saturée bout à 60° C. en perdant une partie de son gaz ; il arrive cependant un moment où, si on continue à la chauffer, elle distille sans changement : elle bout alors à 110°.

Le tableau suivant, dû à M. Ed. Davy, fait connaître les quantités réelles d'acide hydrochlorique gazeux contenues dans 100 parties d'acide liquide à diverses densités, pour une température de 7°,22 C., et sous la pression de 0m,76.

DENSITÉ	QUANTITÉ d'acide.	DENSITÉ	QUANTITÉ d'acide.	DENSITÉ	QUANTITÉ d'acide.
1,21	42,43	1,14	28,28	1,07	14,14
1,20	40,80	1,13	26,26	1,06	12,12
1,19	38,88	1,12	24,24	1,05	10,10
1,18	36,36	1,11	22,22	1,04	8,08
1,17	34,34	1,10	20,20	1,03	6,06
1,16	32,32	1,09	18,18	1,02	4,04
1,15	30,30	1,08	16,16	1,01	2,02

L'acide hydro-chlorique se prépare à l'aide du sel marin et de l'acide sulfurique. En mélangeant ces deux corps, l'eau de l'acide sulfurique se trouve décomposée, son hydrogène se combine avec le chlore du chlorure de sodium, pendant que son oxygène se porte sur le sodium, et, la soude formée se combinant avec l'acide sulfurique, il y a production de sulfate de soude, tandis que l'acide hydrochlorique se dégage. Si l'on veut avoir cet acide gazeux, il faut le recueillir sur le mercure ; si, au contraire, on veut l'obtenir liquide, on le reçoit dans une série de vases à moitié pleins d'eau.

Anhydre, l'acide hydrochlorique est formé de .

1 équivalent de chlore	442,650	ou bien	97,26
1 équivalent d'hydrogène	12,479	—	2,74
1 équivalent d'acide	455,129	—	100,00

Voici le tableau de la réaction qui a lieu quand on prépare l'acide sec.

Équivalents employés.

1 équiv chlorure de sodium. . . .	733,56
1 équiv d'acide sulfurique à 66° .	613,64
	1347,20

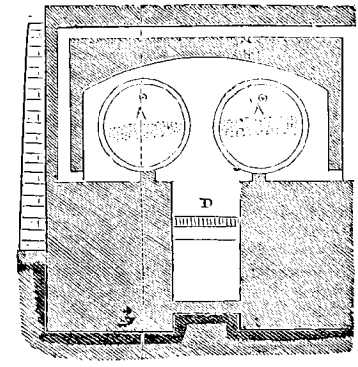
Équivalents obtenus.

1 équiv. sulfate de soude.	892,08
1 équiv. acide hydrochlorique. . . .	455,12
	1347,20

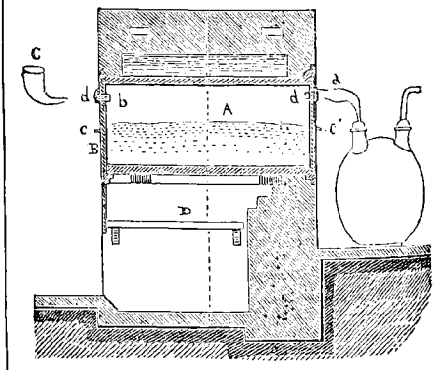
L'acide hydrochlorique du commerce se prépare à l'aide d'appareils formés de deux parties principales : 1° De vases producteurs ; 2° de vases condenseurs.

Cette préparation a lieu par deux procédés différents : dans l'un, on fait usage des *fours* ou *bastringues*, comme nous le verrons plus tard en parlant de la fabrication de la soude où la production de l'acide hydrochlorique n'est, pour ainsi dire, qu'accessoire. Dans l'autre procédé, on fait usage des *cylindres*, et ces appareils s'emploient dans les localités où cet acide trouve un débouché facile ; dans ce cas, l'acide hydrochlorique est le produit principal. Nous ne parlerons ici que de ces derniers appareils.

Les fig. 1235 et 1236, représentent les coupes longitudinale et transversale. Dans ces deux figures les mê-



1235.



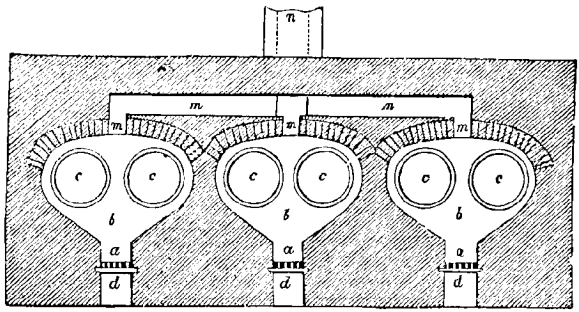
1236.

mes lettres indiquent les mêmes objets. Chaque appareil se compose de 2 vases cylindriques horizontaux A, A', en fonte grise ; ils ont 1m,66 de longueur, 0m,66 de diamètre intérieur, et 0m,03 d'épaisseur. A l'une des extrémités, qui se trouve bouchée, est placé le tube de dégagement *a*, qui sert à conduire les gaz dans les condenseurs. L'autre extrémité est fermée à volonté par un fond mobile *b*, qu'on ôte pour introduire dans chaque

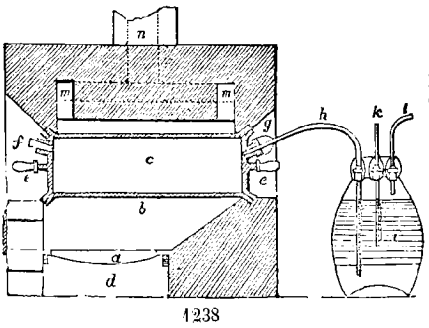
EFERUS - Recherche & Classification numérique

cylindre le sel marin et enlever les résidus. Ces disques qui ferment ainsi les ouvertures des cylindres sont également en fonte de 0m,03 d'épaisseur; ils sont munis d'une poignée extérieure *c* venue à la fonte, et portent à leur partie supérieure un bout de tuyau *d* qui sert à fixer une allonge en grès au disque du fond, et à introduire l'acide sulfurique de l'autre côté.

Les cylindres sont placés deux à deux dans des fourneaux distincts, mais réunis en un seul massif et n'ayant qu'une seule cheminée. Le plus souvent on réunit dans le même massif trois appareils dont on fait quelquefois communiquer les cheminées comme l'indiquent les fig. 1237 et 1238. Dans la construction de ces appareils, il faut s'arranger de telle manière, que les cylindres soient sur toute leur surface en contact immédiat avec la flamme qui circule tout autour, pour que tous les points du métal soient également chauffés, afin de rendre les dilatations uniformes et éviter les ruptures.



1237.



1238

Tous les joints de l'appareil producteur étant bien lutés avec de l'argile mêlée de crottin de cheval et recouverte de terre franche, le bout antérieur seul étant ouvert, on charge à la pelle le sel marin, on adapte ensuite l'obturateur B (fig. 1235 et 1236), puis on introduit dans son ouverture *d* un entonnoir courbe C en plomb, à l'aide duquel on verse l'acide dans le cylindre. Cela fait, on retire l'entonnoir et on bouche l'ouverture avec un tampon en grès qu'on lute avec soin. Le feu est mis alors au foyer D, on a soin de ne l'augmenter que peu à peu. On emploie, de préférence à la houille, de la tourbe et du bois qui donnent une température plus uniforme dans toutes les parties des cylindres.

La réaction s'opère peu à peu et l'acide hydrochlorique qui se dégage par les allonges *a*, *a'*, entraîne avec lui un peu de vapeur aqueuse; ces gaz rencontrent dans chaque vase de condensation de l'eau à une température plus basse que la leur, aussi se condensent-ils rapidement. Lorsqu'il ne se dégage plus rien, quoique la température des cylindres soit au rouge-brun, on enlève les disques B, B', qui bouchent l'entrée des cylindres, et on ôte le sulfate de soude avec des pinces, pour recharger de nouveau l'appareil et recommencer une autre opération.

Les appareils de condensation se composent de bonbonnes en grès. Chaque cylindre, comme l'indique la fig. 1236, est réuni par une allonge avec une bouteille à deux tubulures servant à laver le gaz qui se dégage; chacune des bonbonnes de lavage communique par un tube recourbé avec une seconde bonbonne où se rendent les gaz non condensés dans la première. Toutes les secondes bonbonnes communiquent entre elles, et les gaz non dissous dans cette rangée de bouteilles, se rendent dans une autre rangée semblable, jusqu'à entière dissolution. Afin de mieux condenser l'acide hydrochlorique, on fait quelquefois plonger les premières bouteilles dans un bassin plein d'une eau qui se renouvelle continuellement; cette disposition est mauvaise, car la dissolution acide obtenue dans ces bouteilles est la plus impure, et les gaz qui y arrivent étant très chauds, il pourrait y avoir rupture des bonbonnes. Il serait de beaucoup préférable de refroidir la seconde rangée de bouteilles où se condense l'acide hydrochlorique le plus pur; celui dissous dans les laveurs contenant toujours du perchlorure de fer qui colore en jaune sa dissolution, de l'acide sulfurique et du sulfate de soude.

Une fois que les bonbonnes sont saturées, il faut les remplacer par d'autres à moitié pleines d'eau, de là un dérangement continuel qui nécessite beaucoup de main-d'œuvre. Pour éviter cet inconvénient on a essayé l'emploi de condenseurs fixes formés d'une double rangée de bonbonnes où, comme dans les condenseurs ordinaires, le gaz passe sans pression : chaque bouteille porte à sa partie inférieure une tubulure ordinaire garnie d'un bouchon en liége, ou mieux, d'un robinet en grès. Une gouttière en bois bitumé, à laquelle on donne une légère pente, se trouve entre les deux rangées de bouteilles, de telle manière qu'on peut y faire couler le liquide de chacune d'elles pour le recueillir dans un réservoir. Quand l'une des bonbonnes est saturée, on la vide par l'ouverture inférieure, et on remplace le liquide acide par de l'eau pure qu'on introduit par une tubulure libre qui se trouve au sommet de la bouteille, et qu'on bouche ensuite soigneusement. Par cette disposition on n'a pas besoin de luter et déluter continuellement les joints, aussi les fait-on d'une manière plus solide en employant le soufre fondu qu'on recouvre, quand il s'est solidifié, d'une couche d'argile broyée avec de l'huile de lin lithargirée.

Ce nouvel appareil de condensation nécessite des bonbonnes plus coûteuses, en raison de leur plus grand nombre de tubulures; en outre, pendant la vidange, la coulotte en bois qui reçoit l'acide concentré, n'étant pas fermée, il se dégage des torrents de vapeurs acides qui gênent les ouvriers et incommodent le voisinage. Il serait bon de remplacer la conduite en bois goudronné par une rigole en grès qui ne serait pas attaquée par l'acide, si toutefois on ne préférait la supprimer et soutirer directement l'acide concentré de chaque bonbonne dans une tourie d'emballage. On a essayé, dans ces derniers temps, un appareil de condensation stable et méthodique, dans lequel les gaz marchaient en sens contraire de l'eau. Cette disposition représentée fig. 1239

EFERUS - Recherche & Classification numérique

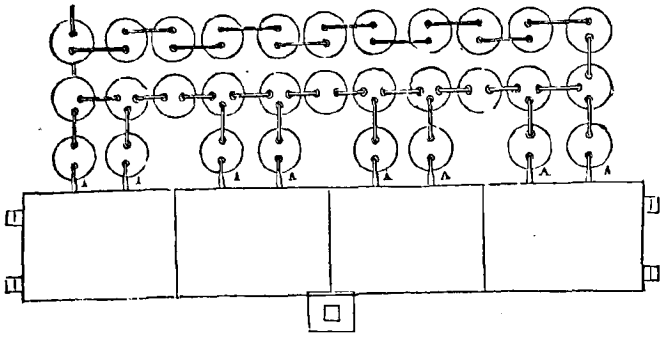
était obtenue à l'aide de syphons à branches égales et continuellement amorcés, qui mettaient en communication le liquide de toutes les bouteilles, et par conséquent y établissaient le même niveau. Des tubes recourbés conduisaient les gaz d'une bouteille dans l'autre : la bouteille en communication directe avec les cylindres était évidemment la première saturée ; une fois le point de saturation obtenu dans cette première bouteille, on la vidait à l'aide d'un syphon-robinet, d'un diamètre plus grand que celui des syphons de communication ; cette bonbonne vidée, le liquide de la seconde y était amené par le syphon qui les réunissait ; celui de la troisième passait dans la seconde, et ainsi de suite ; la dernière bouteille était en communication avec un réservoir d'eau, à niveau constant, qui la remplissait à moitié. De cette manière le travail des ouvriers était réduit considérablement, l'acide concentré n'était point exposé à l'air ; on évitait ainsi les émanations délétères d'acide hydrochlorique.

Il n'est pas à notre connaissance que l'emploi de ce dernier procédé ait complétement réussi, et qu'il soit employé aujourd'hui.

En Angleterre, on fait usage depuis quelques années de bouteilles en grès cylindriques ayant à peu près le diamètre des bonbonnes, mais d'une hauteur de près d'un mètre. Sans tenir plus de place que ces dernières, elles offrent, en raison de leur forme et de leur élévation, une capacité beaucoup plus considérable, ce qui est toujours d'un grand avantage dans une fabrique de produits chimiques, surtout quand l'espace manque.

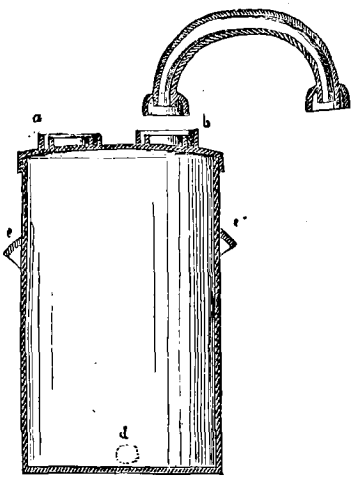
Ces vases, représentés en coupe verticale par la figure 1240, et en plan par la fig. 1241, sont percés, à leur partie supérieure, de trois ouvertures. Les deux grandes *a*, *b*, sont garnies d'une gorge circulaire dans laquelle vient s'engager l'une des extrémités des tubes de communication qui servent à l'arrivée et à la sortie du gaz. La fig. 1242 représente la coupe d'un de ces tuyaux ; l'intérieur de la gorge est rempli d'eau, ce qui produit une fermeture hydraulique. La troisième ouverture *c*, est destinée à placer un entonnoir en grès pour remplir d'eau la bouteille. A la partie inférieure se trouve un ajutage auquel on fixe un robinet en grès pour la vidange de l'appareil : deux anses *c*, *c'*, facilitent la manœuvre de ces bouteilles.

Dans la fabrication de l'acide hydrochlorique, l'appareil producteur a une durée limitée ; aux environs de la ligne de niveau du mélange, la fonte des cylindres est attaquée facilement : là, en présence de l'eau et de l'air, l'oxydation est plus facile que partout ailleurs ; une fois que les cylindres sont usés en cet endroit, on les retourne d'un quart de révolution de manière à changer la ligne de niveau. Dans une ou deux fabriques on a remplacé les cylindres ordinaires par d'autres dont la disposition est indiquée par la fig. 1243. Comme on le voit le cylindre est partagé en 2 parties, la partie supérieure est garnie d'une voûte en brique réfractaire ; de cette manière le niveau du liquide n'est plus en contact avec la fonte. Les cylindres ainsi disposés résistent beaucoup plus longtemps que les autres. Pour éviter autant

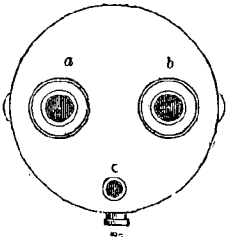


1239.

1242.



1240.

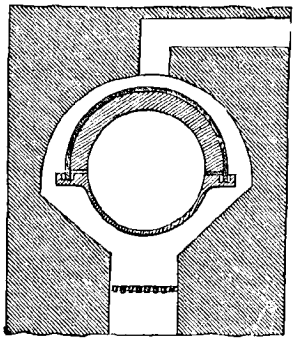


1241.

que possible la destruction de ces cylindres, on emploie de l'acide sulfurique concentré qui agit peu sur le fer ; il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est vrai qu'alors l'attaque du sel est moins complète, mais cet inconvénient n'est pas grave, car le sulfate de



1253.

soude, résidu des opérations, est employé pour la préparation de la *soude salée*, dite *des blanchisseurs*, ce qui fait qu'on emploie, même avec intention, un excès de sel marin.

Dans chaque cylindre, on met 160 kilogr. de sel, et 130 kilogr. d'acide sulfurique à 66° Beaumé. On obtient de 100 parties de sel, 130 p. d'acide hydrochlorique, ce qui fait à peu près 39 p. d'acide gazeux; comme, d'un autre côté, le sel, livré aux fabricants, contient des matières étrangères et un peu d'eau, il ne représente que 9,95 de sel pur, qui équivalent à 43 p. 100 d'acide réel : on en obtient 39; il n'est donc guère possible en grand, d'arriver à un résultat plus avantageux.

Il est utile de remarquer que le sel marin, qui se trouve en cubes juxta-posés, présentant des lamelles entre lesquelles se trouvent des vides nombreux, est, par cette raison, facilement attaquable par l'acide sulfurique : il n'en est point ainsi du sel gemme, qui, dans les mêmes circonstances, se décompose fort mal, même quand il est en poudre, aussi ne rend-il que les 2/3 de son équivalent d'acide hydrochlorique, en même temps qu'une partie de l'acide sulfurique passe, en distillant, dans les condenseurs.

Pour éviter cette double perte, on trouve qu'il est avantageux, quand on est forcé d'employer le sel gemme, pour la production de l'acide hydrochlorique, de le dissoudre, et d'employer dans ce but, les dissolutions concentrées.

Nous terminerons ce que nous avions à dire sur l'acide hydrochlorique en rappelant brièvement ses principales applications.

Cet acide sert à la préparation du chlore, à celle des chlorures décolorants et désinfectants; l'extraction de la gélatine des os en consomme d'énormes quantités; la fabrication du sel ammoniac et celle du protochlorure d'étain l'utilisent également. Enfin, la préparation de l'eau régale, la destruction des incrustations calcaires qui se déposent dans les conduites de distribution des eaux calcaires, et la fabrication des eaux gazeuses, en emploient aussi de notables quantités.

F. CH. KNAB.

ACIDE HYDRO-FLUORIQUE. Voyez FLUORURES.

ACIDE HYDRO-SULFURIQUE. Voyez HYDROGÈNE SULFURÉ.

HYDROGÈNE (*angl.* hydrogen, *all.* wasserstoff). Corps simple gazeux, l'un des principes constituants de l'eau. Il est inodore, incolore, insoluble dans l'eau, très inflammable, et lorsqu'il est pur il brûle dans l'air ou l'oxygène, avec une flamme bleuâtre très pâle, en donnant de l'eau. Sa densité est de 0,0688 ou 1/14 environ de celle de l'air, ce qui l'a fait employer pour gonfler les aérostats. On le prépare en décomposant l'eau et en la faisant passer en vapeur sur de la tournure de fer chauffée au rouge qui absorbe l'oxygène pour former de l'oxyde de fer magnétique, ou, le plus souvent, en faisant réagir un acide étendu d'eau sur un métal facilement oxydable. On emploie ordinairement de l'acide sulfurique étendu et de la grenaille de zinc ou du fer; l'affinité de l'acide pour l'oxyde métallique détermine la décomposition d'une certaine quantité d'eau dont l'oxygène se porte sur le métal pour former un oxyde qui se combine avec l'acide en donnant un sel, tandis que l'hydrogène mis en liberté se dégage.

L'hydrogène, en se combinant avec d'autres corps simples, donne naissance à une classe très importante d'acides dits HYDRACIDES.

HYDROGÈNE CARBONÉ. On distingue un grand nombre de combinaisons de l'hydrogène avec le carbone, telles sont beaucoup d'huiles essentielles, etc., nous ne parlerons ici que des deux plus importants, l'*hydrogène proto-carboné* ou *gaz des marais* et l'*hydrogène bi-carboné*, qui sont tous deux gazeux.

Hydrogène proto-carboné. Gaz incolore, insipide, insoluble dans l'eau, et brûlant avec une flamme jaunâtre; sa densité = 0,559. Il se dégage des marais ou eaux stagnantes lorsqu'on en remue la vase. Il s'en forme une grande quantité par la distillation de la houille, et en général des matières organiques, et il constitue en majeure partie le gaz d'éclairage. Il se dégage même souvent, à la température ordinaire, dans l'intérieur des mines de houille, où il est connu sous le nom de *grisou*, et en se mêlant à l'air donne quelquefois lieu à des mélanges explosifs dont l'inflammation produit de terribles désastres. Voyez HOUILLE et LAMPE DE SURETÉ.

Hydrogène bi-carboné. Gaz incolore, d'une odeur empyreumatique, très peu soluble dans l'eau, inflammable et brûlant avec une flamme blanche fuligineuse. Sa densité est de 0,986. On le prépare en chauffant ensemble 1 partie d'alcool et 4 p. d'acide sulfurique concentré, puis purifiant le gaz qui se dégage en l'agitant successivement avec une dissolution de potasse, de l'alcool faible et de l'eau.

HYDROGÈNE SULFURÉ. Gaz non permanent, incolore, d'une saveur et d'une odeur fétide tout à fait les mêmes que celles des œufs pourris. Sa densité = 1,1912. Il est inflammable et brûle avec une belle flamme bleue; il est très délétère. Lorsqu'on le mêle avec la moitié de son volume d'acide sulfureux, surtout en présence de l'eau, ces deux gaz se détruisent complétement, et il se forme de l'eau et du soufre. Il est soluble dans l'eau qui en dissout trois fois son volume.

Le chlore, l'iode et le brôme, le décomposent spontanément en donnant lieu à un dépôt de soufre et à la formation d'acides hydrochlorique, hydriodique et hydro-bromique. La meilleure manière de désinfecter l'air chargé d'hydrogène sulfuré est d'y répandre du chlore; c'est aussi le moyen le plus sûr de rappeler à la vie les personnes asphyxiées par le gaz, comme cela n'arrive que trop souvent dans la vidange des fosses d'aisances.

On le prépare en décomposant un grand nombre de sulfures par des acides. Le plus souvent on se sert de sulfure de fer et d'acide sulfurique étendu d'eau, ou de sulfure d'antimoine et d'acide hydrochlorique concentré.

HYDROGRAPHIE. L'hydrographie embrasse dans son ensemble l'étude de tous les faits produits par les eaux à la surface du globe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans son application à la navigation, elle fournit aux marins les cartes hydrographiques, et des mémoires explicatifs qui servent de complément aux cartes marines, et dans lesquels se trouvent annotées toutes les circonstances qu'il importe aux navigateurs de connaître.

La géométrie démontre que la surface d'une sphère n'est pas développable sur un plan, il en résulte donc qu'il est impossible de reproduire par une même projection plane, le figuré exact du terrain sans en altérer, soit les formes, soit les dimensions. Devant cette impossibilité de construire des cartes reproduisant d'une manière complète tous les accidents du sol, les besoins de chaque service ont conduit à des systèmes de projections différentes.

Les projections sont *perspectives* ou par *développements*. Les premières ne sont employées que fort rarement, et lorsque l'on veut projeter sur une même carte l'étendue entière de tout un hémisphère. Dans les secondes viennent se ranger toutes les cartes géographiques et hydrographiques destinées au service de la guerre et de la marine.

Dans les *projections perspectives* on suppose la sphère creuse et l'œil placé soit en dehors, soit sur un point de la surface. La projection est formée par la rencontre successive de tous les rayons, partant de l'œil et allant aboutir à chacun des points du globe, avec le plan de projection qui est en général lui-même un des grands cercles de la sphère. Dans le premier cas, ces sortes de projections sont dites *orthographiques;* dans le second cas, elles prennent le nom de *stéréographiques*. En général, dans les projections stéréographiques, on suppose l'œil placé à une distance infinie; alors tous les rayons visuels sont parallèles et l'on choisit pour plan de projection le grand cercle de la sphère perpendiculaire à tous ces rayons.

Les *projections par développements* sont les seules employées lorsque la portion de terrain que l'on veut projeter est circonscrite dans des limites assez rapprochées. Elles sont *coniques* ou *cylindriques*, suivant que l'on suppose la zone que l'on veut projeter, enveloppée par un cône ou un cylindre dont la base est, en général, le parallèle moyen, c'est-à-dire le petit cercle de la sphère parallèle à l'équateur et qui passe par le milieu de la zone qu'il s'agit de projeter.

Les *projections coniques* représentent le développement d'un cône tronqué, inscrit ou circonscrit à la zone qu'il s'agit de projeter. Les méridiens y sont représentés par des lignes droites allant toutes concourir vers un même point; les parallèles y sont projetés suivant des arcs de cercle concentriques, dont le point de concours des méridiens est le centre commun.

Il est facile de comprendre que dans ce système de projection tous les contours de terrain sont fidèlement reproduits sur la carte. Si, en effet, on divise par la pensée la surface du sol en petits quadrilatères rectangles, formés par la rencontre de deux méridiens et de deux parallèles très rapprochés, on voit que ces rectangles que l'on peut multiplier autant qu'on le voudra, en les faisant très petits, s'y trouveront projetés suivant des quadrilatères aussi rectangulaires, formés par deux lignes droites et deux arcs de cercle; leur contour ne sera donc point déformé; mais les distances des différents points entre eux se trouveront fortement altérées. Si, en effet, la projection résulte du développement d'un tronc de cône inscrit, ayant pour bases les deux parallèles extrêmes de la zone, les distances y seront projetées suivant leur véritable grandeur vers les extrémités de la carte, tandis que dans le centre elles seront trop petites. Si la projection résulte du développement d'un tronc de cône circonscrit s'appuyant sur le parallèle moyen tangentiellement à la zone, les distances ne sont exactement reproduites que vers le centre de la carte, tandis qu'elles sont toutes trop grandes vers les extrémités.

Pour obvier à cet inconvénient des projections coniques par développements, on leur a fait subir plusieurs modifications. Dans le système dit *projection de Flamsteed*, un seul méridien se projette suivant une ligne droite, c'est le méridien qui passe par le centre de la zone dont on veut dresser la carte. Les parallèles y sont représentés par des lignes droites perpendiculaires à la projection du méridien central. Les autres méridiens y sont projetés suivant des courbes interceptant entre elles des parties de parallèles qui représentent la grandeur réelle des arcs de petits cercles compris entre ces méridiens. Dans ce nouveau système, les distances des différents points du globe entre eux sont conservées, mais à mesure que l'on s'éloigne du méridien central; les courbes représentant les autres méridiens, coupent les parallèles sous des angles de plus en plus aigus; les petits rectangles de la sphère se trouvent projetés suivant des quadrilatères obliquangles, et les contours se trouvent déformés.

Dans le système de projection adopté pour la nouvelle carte de France, dressée par les officiers du dépôt de la guerre, le méridien central se projette encore suivant une ligne droite, mais les parallèles sont des arcs de cercle concentriques; les autres méridiens sont, comme précédemment, représentés par des courbes interceptant entre elles des parties de parallèles circulaires qui représentent la grandeur réelle des petits cercles de la sphère compris entre ces méridiens. Ce système reproduit tous les avantages et une partie des inconvénients du précédent; cependant les petits rectangles de la sphère sont projetés par des petits quadrilatères qui restent sensiblement rectangulaires lorsque l'on ne s'éloigne pas trop du méridien central; il est connu sous le nom de *projection de Flamsteed modifiée* ou *du dépôt de la guerre*.

Le système de projection employé pour la construction des cartes hydrographiques diffère totalement des précédents. Ce qu'il importe surtout aux marins, c'est de pouvoir toujours fixer sur une carte, par des moyens faciles, la position que le vaisseau occupe à la surface des eaux, et de consulter ensuite la direction qu'ils doivent suivre pour arriver sûrement à leur destination. La possibilité d'y mesurer d'une manière exacte les distances n'est plus, pour les cartes marines, qu'une qualité secondaire, et si, pour satisfaire à tous les besoins de la navigation, le système de projection que l'on emploie doit encore reproduire d'une manière exacte les contours des côtes et les positions respectives des différents points de la terre qui s'aperçoivent de la mer, il faut aussi qu'il satisfasse à des conditions tout exceptionnelles.

Toutes les cartes marines sont des *projections par développements cylindriques*. On en distingue deux espèces désignées sous le nom de *cartes plates*, et *cartes réduites*.

Cartes plates. Lorsque la zone terrestre que l'on veut projeter sur un plan est comprise entre deux parallèles fort rapprochés, on peut le considérer comme étant un élément d'un cylindre droit qui aurait pour base le parallèle moyen; et alors, en déroulant cet élément cylindrique suivant une de ses génératrices, les méridiens et les parallèles se trouvent projetés suivant deux systèmes de lignes parallèles et perpendiculaires entre elles. Les projections des parties de parallèles comprises entre deux mêmes méridiens sont toujours trop grandes ou trop petites vers les extrémités de la carte, tandis que les arcs de méridien compris entre les mêmes parallèles sont toujours projetés proportionnellement à leur grandeur réelle. Il en résulte que, dans ce système de projection, qui est celui employé pour les cartes plates, les contours du terrain, ainsi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les distances des différents points, se trouvent fortement altérés si l'on veut y représenter un espace assez étendu de terrain. Aussi le système des cartes plates n'est employé par les marins que lorsque la partie du globe que l'on veut projeter est suffisamment petite, pour qu'elle se confonde sensiblement avec le plan mené tangentiellement à la sphère au point central. Dans ce cas-là, on se dispense même, en général, de tracer les méridiens et les parallèles. Une échelle placée dans un coin de la carte suffit pour pouvoir mesurer les distances, et la carte prend le nom de *plan*.

Cartes réduites. Le système des cartes plates ne présente un degré suffisant d'exactitude que lorsque les deux parallèles extérieurs de la zone que l'on veut projeter sont excessivement rapprochés. Il n'a plus d'utilité, lorsque l'on veut figurer sur une même carte des étendues considérables. C'est pour cela que l'on a eu recours au système de *projection* dit de *Mercator*, et qui est en usage pour la construction des *cartes réduites*.

Supposons qu'il s'agisse de projeter la moitié d'un hémisphère, on pourra toujours la diviser en tranches déterminées par des plans parallèles à l'équateur, interceptant entre eux des arcs égaux de méridien d'une minute par exemple, et ensuite projeter chacune de ces tranches suivant le système des cartes plates, de manière à ce que la projection de chaque partie de parallèle comprise entre deux mêmes méridiens, représente en longueur une même portion de l'arc réel. Chacune de ces petites cartes plates formera un rectangle très allongé, mais dont les bases seront nécessairement inégales, puisque toutes ces cartes auront la même échelle, et que les parallèles développés dans chacune d'elles deviendront de plus en plus petits, à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur. Si actuellement nous voulions, sans déformer tous ces rectangles, les agrandir, de manière à ce que chacune des bases représentant un parallèle différent devînt égale à la ligne représentant la projection de l'équateur, il faudrait faire croître dans la même proportion que la base, le petit côté représentant la projection d'une minute de méridien; et alors toutes ces cartes plates partielles réunies bout à bout formeraient une seule et même carte, dans laquelle tous les contours des terres seraient encore fidèlement reproduits. Mais il est évident aussi qu'une même grandeur, celle de l'arc de méridien d'une minute, se trouvant représentée en projection sur chacune de ces cartes plates par une ligne de grandeur différente, les distances seront projetées sur chacune d'elles, suivant une proportion différente.

Nous avons supposé que l'arc de méridien intercepté par les parallèles était d'une minute; mais actuellement nous pouvons le supposer infiniment petit, et supposer de même le nombre des tranches qu'ils interceptent infiniment grand, et nous aurons une carte composée d'une infinité de petites cartes plates ayant toutes des échelles différentes. C'est ce qui constitue la *carte réduite*.

Ainsi les propriétés particulières au système de projection de Mercator employé dans les cartes réduites sont celles-ci : les méridiens et les parallèles se projettent suivant deux systèmes de lignes parallèles perpendiculaires entre elles. Les contours du terrain y conservent leurs formes; mais l'échelle de la carte ne reste uniforme que sur un même parallèle. Les lignes suivant lesquelles se projettent les arcs de même grandeur d'un même méridien vont constamment en croissant, suivant une loi dite des *latitudes croissantes;* et l'on ne peut obtenir au moyen de la carte la distance de deux objets qui y sont projetés que d'une manière imparfaite, en se servant de l'échelle de latitude comprise entre les deux parallèles passant par ces deux points. Aussi, comme il est facile de le voir, ce système de projection ne réunit qu'une partie des qualités qu'offre le système de Flamsteed modifié; mais ce qui le rend très précieux pour les marins, ce sont les deux propriétés suivantes qui lui sont particulières : 1° les méridiens et les parallèles se projetant suivant des lignes droites; 2° la courbe dite *loxodromie*, qui est celle que parcourt un vaisseau lorsqu'il va d'un point à un autre (voyez NAVIGATION), et qui jouit de la propriété de faire toujours le même angle avec tous les méridiens, se projette toujours suivant une ligne droite, et de plus l'angle que fait la projection des méridiens avec celle de la loxodromie est égal à celui que cette courbe fait sur le globe avec chacun des méridiens qu'elle rencontre. Ces deux propriétés sont, en effet, d'autant plus précieuses pour les marins que, lorsqu'ils ont calculé leur longitude et leur latitude, il leur suffit de tracer deux lignes droites pour fixer sur leur carte le point que le navire occupe à la surface des eaux, et ensuite en joignant ce point avec celui où ils veulent arriver; l'angle que cette ligne fait avec les projections des méridiens leur fait connaître la direction que doit suivre le navire pour atteindre le port.

En général, les positions de tous les points du globe pouvant être déterminées par leur longitude et leur latitude, on peut construire une carte dans un système de projection quelconque dont on sait tracer les méridiens et les parallèles. Dans toute construction de carte un peu étendue, on procède, en effet, de cette manière. Toutefois ce mode de tracer une carte étant, en général, très long, on se contente de fixer les points principaux, et les détails s'intercalent ensuite par des réductions partielles.

Lorsque l'on veut lever une carte, on établit sur le terrain des lignes de triangles ayant tous au moins un côté connu; la mesure d'une base et l'observation des angles de ces triangles permettent ensuite de fixer la longitude et la latitude des points qui sont à leurs sommets. Ces triangles ne sont jamais suffisamment grands pour que l'on ne puisse considérer la partie du terrain que chacun d'eux embrasse, comme étant un plan dont les détails sont levés à la planchette. Pour construire la carte, on procède, en général, d'une manière analogue. On dresse le plan de chaque partie séparée; ce qui présente peu de difficultés, attendu que ces zones sont toujours assez petites pour qu'elles se confondent sensiblement avec le plan mené tangentiellement à la surface du globe par leur centre. Ensuite, on réunit tous ces plans pour les réduire sur la carte par parties séparées, en s'appuyant sur les points principaux que l'on a placés à l'avance, au moyen de leurs longitudes et latitudes.

Le travail qui se fait à la mer pour la construction des cartes marines est assujetti à la position des points saillants de la côte, et qui s'aperçoivent de la mer; il consiste à fixer sur la carte la position des dangers de toute espèce, qui ne sont nulle part aussi nombreux qu'aux approches des terres, à indiquer aux marins la profondeur de l'eau, et la nature du fond qu'elle recouvre. En général, ces données ne sont importantes à connaître pour la navigation que près du rivage. Cependant il arrive quelquefois qu'il existe des dangers au large et hors de vue de toute terre; souvent aussi le fond de la mer présente peu de profondeur à des distances considérables du rivage, et il est important que les marins puissent en connaître à l'avance le barrage. Pour tout le travail qui se fait à la mer, en dehors de la vue du rivage, on est obligé de préciser la longitude et la latitude pour ainsi dire de chaque sonde. Toutefois comme ces déterminations sont toujours longues, difficultueuses, et qu'elles exigent toujours des circonstances toutes particulières pour présenter un caractère suffisant d'exactitude, on y a recours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rarement, et seulement lorsqu'il s'agit de fixer la position de un ou plusieurs points isolés. On tâche autant que possible de réunir sur le même lieu plusieurs bâtiments que l'on mouille à des distances calculées les uns des autres, lorsque l'on a de grands espaces à sonder. Ces bâtiments, dont on fixe la position en les joignant par une triangulation, et dont on détermine la longitude et la latitude, servent ensuite à fixer les sondes faites par les embarcations de la même manière que les points saillants du rivage.

Il n'est pas possible, du reste, de décrire, si ce n'est d'une manière très générale, toutes les opérations au moyen desquelles on peut parvenir à lever et à dresser une carte marine; car elles varient nécessairement suivant les circonstances et les moyens dont peut disposer l'hydrographe. Lorsque le pays dont on veut lever la carte marine laisse toute facilité pour y pénétrer et y établir un réseau géodésique, toutes ces opérations hydrographiques s'y rattachent facilement, et on peut espérer arriver à des travaux aussi parfaits que possible. Le travail hydrographique des côtes de France, exécuté de nos jours par les ingénieurs hydrographes de la marine, peut servir de modèle en ce genre; c'est le travail le plus complet que l'on connaisse en hydrographie. Mais il arrive aussi que le navigateur ne peut aborder nulle part sur la côte qu'il lui importe de reconnaître, et alors tout le travail doit s'exécuter de la mer avec des procédés beaucoup moins parfaits.

Dans les cartes hydrographiques, la profondeur des eaux est exprimée par des chiffres. Sur les anciennes cartes, ces chiffres indiquent des brasses et des pieds de France; mais aujourd'hui les indications sont données en mètres et en décimètres, lorsqu'il importe aux marins de connaître le brassiage avec beaucoup d'exactitude. Pour reconnaître la nature du fond, les ingénieurs hydrographes qui vont sur les lieux emportent de longues barres en fer appelées *lances*, surmontées d'un poids considérable, et garnies d'échancrures destinées à retenir des petites parties du terrain dans lequel elles ont pu pénétrer. Enfin, afin de faciliter au marin la possibilité de reconnaître le point sur lequel il veut atterrir, un grand nombre de cartes marines sont garnies de projections orthogonales, espèces de panoramas où la côte est représentée avec ses formes, telle qu'on la voit de la mer à une distance déterminée et dans une direction ou rhumb de vent fixe. En général, les détails topographiques que l'on ajoute aux cartes marines n'ont point pour but de figurer d'une manière exacte, par des courbes de niveau, le relief du terrain, comme dans les cartes géographiques; on exagère avec intention tous les points saillants du rivage qui s'aperçoivent de la mer; car ce sont les seuls qu'il importe au navigateur de connaître.

Pour les cartes géographiques, on a adopté depuis longtemps des échelles fixes; les cartes marines ne sauraient être astreintes aux mêmes règles d'une manière absolue. D'abord les cartes réduites n'ont jamais l'échelle uniforme; les distances égales sont toujours projetées suivant des lignes inégales et dépendantes de la latitude. Les cartes plates et les plans ne sont employés que pour donner avec beaucoup de détails les parties de la mer, telles que les entrées des ports, les embouchures de rivières, où les écueils sont nombreux, les passages souvent étroits et sinueux. Par suite, l'échelle de proportions ne saurait être fixée d'une manière précise à l'avance; elle est d'autant plus grande que la carte doit comporter plus de détails.

Il est toujours difficile de contrôler à l'avance l'exactitude d'une carte marine, et souvent ses défauts ne sont constatés que par des accidents graves. Aussi presque de tout temps le gouvernement, en France, s'est réservé le droit exclusif de les publier. Toutes les cartes marines, dressées au dépôt général de la marine, sont livrées au commerce à un prix tellement modique qu'il couvre à peine les déboursés faits pour le tirage et l'achat du papier. Le corps des ingénieurs hydrographes s'occupe exclusivement de leur construction. Plus de mille planches en cuivre, sur lesquelles sont gravées les cartes marines formant le Recueil de l'hydrographie française, composent le matériel de l'imprimerie du dépôt de la marine : elles embrassent l'étendue entière de toutes les mers du globe; et à mesure qu'un danger ou une découverte quelconque pouvant intéresser la navigation se trouve signalé, on se hâte de l'inscrire sur la planche en cuivre de la carte. Plusieurs nations, telles que l'Angleterre et l'Espagne, possèdent aussi des dépôts hydrographiques; mais, dans aucun pays du monde, le commerce ne peut se procurer des cartes à un prix aussi bas qu'en France, grâce à la libéralité du gouvernement qui en fait les frais.

Voici les principaux signes conventionnels adoptés par les ingénieurs hydrographes de la marine, et employés pour les cartes et plans du nouveau Neptune français :

Les profondeurs de l'eau sont rapportées au niveau des plus basses mers observées sur les principaux points de la côte.

Les élévations des plages, ainsi que celles des dangers isolés qui couvrent et découvrent au-dessus du niveau des basses mers, sont toujours exprimées par des chiffres soulignés. On écrit les élévations des petits dangers isolés, entre parenthèses, près de leurs positions.

Les diverses natures du fond de la mer sont exprimées ordinairement au moyen des abréviations suivantes :

S. — Sable.
S. f. — Sable fin.
S. bl. — Sable fin blanc
S. gris — Sable fin gris.
g. S. — gros Sable.
Gr. — Gravier.
g. Gr. — gros Gravier
Gal. — Galets.
Pi. — Pierres.
g. Pi. — grosses Pierres.
R. — Roches.
R. inég. — Roches inégales
R. déc. — Roches qui sont en état de décomposition, et que les marins nomment roches pourries et roches molles.
Ard. — Ardoises ou roches schisteuses.
T. — Tuf.
Cor. — Corail.
Mad. — petits Madrépores ramifiés de couleur rouge, que l'on trouve ordinairement sur les fonds argileux.
Mad. j. — petits Madrépores roulés et décolorés, formant une espèce de gravier jaunâtre.
Coq. — petites Coquilles.
g. Coq. — grosses Coquilles.
Coq. br. — Coquilles brisées.
Coq. moul. — Coquilles moulues

NOTA. On indique l'espèce des coquilles rapportées par le plomb de sonde, lorsque la même espèce se trouve en masse sur une grande étendue du fond de la mer.

Arg. — Argile bleue compacte
V. — Vase verdâtre.
V. j. — Vase jaunâtre.
V. n. — Vase noirâtre.
V. d. — Vase dure.
V. m — Vase molle.
F. v. — Fange verte ou vase molle fétide.
F. n. — Fange noire.
S. V. c. — Sable vaseux compacte.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Goé. — Goëmon. On désigne sous ce nom toutes les plantes marines qui croissent sur les roches et les pierres.

Al. — Algue. On désigne sous ce nom l'espèce de plante marine, mince et longue, qui croît dans les fonds de sable vaseux, et qui empêche souvent les ancres de prendre et de tenir.

Herb. — Herbier. Fond vaseux couvert par de petites plantes marines, dans lequel les ancres prennent facilement et tiennent bien.

Quand le plomb de sonde a rapporté un fond mélangé, on écrit d'abord la qualité de fond qui domine. Ainsi *S. V.* indique un mélange de sable et de vase dans lequel le sable domine, et *V. S.* un mélange de même nature dans lequel la vase domine.

Un trait mis au-dessous de l'indication d'une qualité de fond signifie peu. Ainsi S. V indique du sable mêlé d'une petite quantité de vase, et V. S. de la vase mêlée d'une petite quantité de sable.

Lorsqu'on a reconnu, au moyen des lances, que la qualité vraie du fond diffère de la qualité apparente donnée par le plomb de sonde ordinaire, on écrit la qualité vraie entre parenthèses. Ainsi, pour exprimer que l'on a trouvé, avec une lance, des roches couvertes par de la vase molle, sur un point où le plomb de sonde ordinaire indiquait seulement de la vase molle, on écrit, près du chiffre de sonde, *V. m (V. m. R.)*; et, pour exprimer que l'on a trouvé de l'argile au-dessous d'une couche de petits madrépores ramifiés rouges, on écrit *Mad. (Mad. Arg.)*.

On limite, sur les cartes et sur les plans dressés sur une grande échelle, les fonds de sable et de vase sur lesquels il reste moins de 9 mètres d'eau de basse mer par des traits fins interrompus. On subdivise les grands plateaux que donne cette limite, qui est celle des parties navigables pour des vaisseaux, au moment de la basse mer, en trois classes de bancs, en raison du brassiage.

La première classe est formée des parties sur lesquelles il reste moins de 3 mètres d'eau.

La deuxième classe, des parties sur lesquelles il reste depuis 3 mètres d'eau jusqu'à 6 inclusivement

La troisième classe, des parties sur lesquelles il reste depuis 6 mètres d'eau jusqu'à 9 mètres inclusivement.

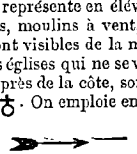
On met ordinairement sur les bancs de cette espèce des teintes plates, de forces différentes, qui facilitent l'intelligence des cartes et des plans.

Lorsque deux objets terrestres remarquables se trouvent dans la même direction qu'un danger, dont il est important de faire connaître avec exactitude la position aux navigateurs, on indique cette direction par une ligne.

On indique les directions des passes par deux lignes très-rapprochées l'une de l'autre.

On représente en élévation les églises, tours, phares, balises, moulins à vent, et autres objets remarquables qui sont visibles de la mer.

Les églises qui ne se voient pas de la mer, quoique situées près de la côte, sont représentées par le signe suivant ☩. On emploie encore les signes suivants :



Directions des courants.

Mouillages.

Bouées.

Tonnes.

Tonnes.

Enfin les roches sont figurées par des signes divers suivant qu'elles ne couvrent jamais, elles sont alors ombrées et surmontées d'une barre verticale; qu'elles découvrent aux basses mers, elles sont ombrées seulement; enfin qu'elles ne découvrent jamais, pouvant causer l'échouement des bâtiments, on les figure par des croix entourées de points. La vue d'une carte fait comprendre de suite le sens de ces signes.

VINCENDON-DUMOULIN.

Nous renverrons les personnes qui voudraient étudier complétement les questions qui se rapportent à la manière de dresser les cartes marines, au *Traité d'hydrographie*, si clair et si précis, de l'ingénieur hydrographe Boutroux, le collaborateur de Vincendon-Dumoulin, qui fait partie du *Guide du marin*

HYDROMEL L'hydromel des anciens, dont le nom grec donne la composition (eau-miel), était un simple mélange d'eau et de miel, et cette boisson n'aurait pu offrir une certaine ressemblance avec les produits de la fermentation que si elle avait été conservée et abandonnée au travail fermentatif, dont on n'avait anciennement qu'une connaissance très-imparfaite. On considérait cette transformation comme une véritable altération, et l'on ne préparait l'hydromel qu'au moment de le consommer. Il est vraisemblable que l'usage de l'eau miellée a été familier aux anciens peuples, et notamment aux Grecs et aux Romains, mais c'est surtout chez les nations du Nord, chez les peuples privés de la vigne, que l'hydromel fut en haute faveur à une époque fort reculée.

Le savant M. Chéruel, dans son ouvrage si remarquable sur les *Institutions, mœurs et coutumes des Francs*, donne au sujet de l'hydromel un résumé historique fort intéressant, malgré sa brièveté.

« L'hydromel, dit-il, est un breuvage fait avec de l'eau et du miel, qu'on laisse fermenter pendant plusieurs jours et auquel on mêle souvent du vin ou des liqueurs alcooliques. L'*hydromel* était en grande estime dans les premiers siècles de l'empire franc L'abbé Théodemar, écrivant à Charlemagne, lui raconte qu'en été sa coutume est d'accorder quelques fruits à ses religieux, et que, quand ils sont occupés à couper les foins, il leur donne une potion au miel. Au treizième siècle, le miel entrait pour un douzième dans la composition de l'*hydromel*, et, pour ôter à ce breuvage la fadeur du miel et lui donner du piquant, on y mêlait quelques poudres d'herbes aromatiques L'*hydromel*, ainsi préparé, se nommait *borgérase, borgérafe*, ou *bogéraste*. Dans un festin que l'auteur du *roman de Florès et de Blanchefleur* fait donner à son héros, on sert de la *borgérase*. Chez les moines, on en usait dans les jours de grande fêtes. « *C'est un breuvage très-doux (potus dulcissimus)*, » disent les coutumes de l'ordre de Cluni. On faisait aussi une espèce de piquette d'*hydromel*, qu'on appelait *bochet* ou *bouchet*, et qui servait aux paysans et aux gens de service. On obtenait cette liqueur quand après avoir mis les rayons des ruches sous la presse, afin d'en exprimer le miel, on jetait le marc dans l'eau. »

L'hydromel est déchu aujourd'hui de cette antique réputation. C'est à peine s'il est encore employé dans quelques pays du Nord, ou si quelques paysans de nos provinces les plus reculées en préparent avec les déchets de la récolte du miel. Son rôle est devenu presque entièrement pharmaceutique, dit M. Basset, dans son excellent *Guide du fabricant d'alcools*.

Il y a deux sortes d'hydromel vineux : la *boisson des ménages* et l'*hydromel alcoolique*....

Le premier de ces produits, appelé *miod* par les peuples du Nord, se fabrique le plus ordinairement avec les résidus des cires grasses et avec les eaux de cire fondue par un procédé analogue à celui décrit ci-après.

Voici, d'après M Hamet, le mode à suivre pour préparer un hydromel alcoolique:

« Il faut mettre dans un chaudron de cuivre le miel et l'eau nécessaires, c'est-à-dire un demi kilogramme de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

miel par litre et demi d'eau pure; faire bouillir à petit feu, jusqu'à réduction d'environ un tiers de liquide; avoir soin d'enlever l'écume à mesure qu'elle se forme et veiller à ce que le feu soit régulier et peu fort. Au bout de trois ou quatre heures d'ébullition modérée, il faut verser la boisson dans un cuvier, la laisser refroidir et la décanter. On l'entonne alors dans un tonneau bien propre et sans mauvais goût, que l'on a soin de bien emplir. On place ce tonneau dans un lieu dont la température est de 15 à 20 degrés centigrades. Au bout de deux ou trois jours la fermentation tumultueuse s'établit. Elle est tumultueuse d'abord; mais, au bout de quelques jours, elle se calme, et l'on a soin de remplir le tonneau avec de la boisson que l'on a mise en réserve dans quelque cruchon. Après six semaines, toute fermentation apparente est terminée, et l'on peut placer le tonneau dans un cellier ou une cave sèche. Quelquefois on provoque la fermentation en ajoutant un peu de levûre de bière; mais cela n'est pas indispensable. On peut aussi modifier le goût de la liqueur en plaçant dans la chaudière quelques *fleurs* à arome prononcé, de la coriandre, de la cannelle, etc. Plus l'hydromel est vieux, plus il acquiert de qualité, lorsqu'il a été fait dans de bonnes conditions. On peut en user au bout de deux ou trois mois, mais il est alors très-sirupeux, sentant trop son origine. Au bout d'un an, il a pris un goût vineux très-agréable. »

HYGROMÈTRES. Instruments servant à mesurer l'humidité de l'atmosphère, la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air. Très-employés pour la météorologie, ils sont nécessaires pour diverses applications industrielles, notamment lorsqu'il s'agit du séchage des étoffes, des papiers, etc. Ils permettent de constater, par une observation, l'*état hygrométrique* de l'air, c'est-à-dire le rapport de la quantité d'humidité qui existe dans l'air, à celle qui existerait s'il était complétement saturé.

Hygromètres d'absorption. — Ces hygromètres sont fondés sur les changements de dimensions qu'éprouvent certaines substances sous l'influence de l'humidité. Tel est le plus employé de ces instruments, l'hygromètre de *Saussure* (fig. 1), qui consiste en un cheveu dégraissé dans une faible solution de potasse ou de soude. Ce cheveu se raccourcit par la sécheresse et s'allonge par l'humidité, sous la même température. On le suspend par un bout à une pince, et on le fixe par l'extrémité inférieure à une petite poulie sur laquelle il s'enroule et est tendu à l'aide d'un petit contre-poids. Par suite des variations de l'état hygrométrique de l'air le cheveu varie de longueur et fait tourner, dans un sens ou dans l'autre, la poulie sur l'axe de laquelle se trouve une aiguille qui se meut sur un arc gradué.

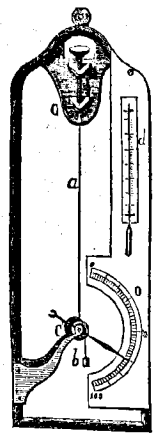


Fig. 1.

On règle cet instrument en le plaçant successivement sous une cloche saturée d'humidité et sous une cloche dont l'air a été complétement desséché avec du chlorure de calcium. On marque 0 à l'extrême sécheresse, 100 à l'extrême humidité, et on divise en 100 parties égales la portion comprise entre ces deux points de l'arc sur lequel se meut l'aiguille.

Cet hygromètre sert à présager les changements de temps, en reproduisant les mêmes indications quand les circonstances redeviennent les mêmes. Pour en conclure la quantité pondérable de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, il faut avoir égard à la température, qui est donnée par un thermomètre dont l'instrument est muni, il faut en outre recourir à une table, donnée à l'article VENTILATION, qui indique la relation entre ces deux indications et le degré réel de saturation.

Dans l'hygromètre de *Deluc*, le cheveu est remplacé par une petite bande de baleine.

Les hygromètres les plus communs sont composés de cordes à boyaux qui, pincées par un bout, portent à l'autre un indicateur normal aux cordes. Les variations hygrométriques faisant tordre ou détordre ces cordes par suite du gonflement des filets membraneux dont elles sont composées, l'indicateur tourne dans un sens ou dans l'autre. Ordinairement, la corde à boyau est supportée horizontalement par un tube, et l'indicateur qui tourne verticalement représente le bras d'une petite figure qui se couvre ou se découvre à l'approche de la pluie.

Ce dernier appareil est évidemment bien plutôt un jouet qu'un instrument de physique. L'hygromètre à cheveu de Saussure n'est guère plus exact; les indications d'un instrument ne sont pas comparables à celles d'un autre construit avec un cheveu qui ne saurait être identique avec celui du premier, et les divisions n'ont aucun rapport avec la véritable inconnue du problème, la quantité de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air.

Méthode chimique. — M. Brunner a imaginé la véritable méthode qui y peut conduire, et qui ressemble à une analyse chimique. Voici en quoi elle consiste: A l'aide d'un tube de caoutchouc, on va chercher l'air dans l'atmosphère au point que l'on veut étudier, et un aspirateur plein d'eau qui s'écoule lentement provoque un courant d'air qui traverse trois tubes pleins de ponce sulfurique réunis d'une part avec le tube de rentrée d'air, et d'autre part avec l'aspirateur. Le gaz dépose la presque totalité de sa vapeur dans le premier tube et achève de se dessécher dans le second; le troisième est destiné à empêcher l'humidité de l'aspirateur de revenir en sens inverse du courant gazeux On a pesé les deux premiers avant l'opération; on les pèse de nouveau quand elle est terminée, et l'augmentation qu'ils ont éprouvée est le poids de la vapeur d'eau. D'un autre côté, l'aspirateur exactement jaugé permet de déterminer le volume de l'air. Cette méthode, dite *chimique*, est à l'abri de toute objection, son seul défaut est de ne pas se réduire à une simple lecture sur une échelle, d'être assez longue et assez délicate. On a donc dû chercher des moyens plus simples d'atteindre le but, par l'observation de quelques-uns des phénomènes qui peuvent résulter de la présence de l'eau dans l'air. Telle est l'absorption par un corps hygrométrique pour l'appareil décrit plus haut; tels sont les phénomènes d'évaporation ou de condensation sur lesquels sont fondés les suivants.

Hygromètres de condensation. — Psychomètre. — Le psychomètre consiste en deux thermomètres bien concordants et bien sensibles, placés l'un près de l'autre sur une même planchette. Le réservoir de l'un d'eux *f* est enveloppé d'une gaze toujours humectée par l'eau qui provient d'un réservoir (fig. 2), et par suite toujours refroidi par l'évaporation de cette eau, qui se produit d'autant plus vite que l'air ambiant est plus éloigné du point de saturation. La température *t'* du thermomètre mouillé est inférieure à celle *t* du thermomètre sec, et est introduite dans la formule

$$t - t' = \frac{A}{H}(F' - x).$$

F' étant la tension maximum de la vapeur d'eau pour la température *t*, que l'on trouve dans la table

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donnée plus loin, ω celle cherchée, H la pression atmosphérique, A une constante qui dépend de l'instrument.

Dans la pratique, les résultats fournis par le psychomètre sont moins exacts qu'on pourrait l'espérer, tant parce qu'il n'est pas exact que l'air en contact avec le thermomètre mouillé lui communique la température qui correspond à l'état de saturation, quelle que soit la vitesse de l'air, que parce qu'il y aurait à tenir compte dans chaque cas de l'influence des parois rayonnantes voisines.

Hygromètre de condensation de M. Regnault. — C'est pour se mettre à l'abri de ces incertitudes que M. Regnault a cherché, en perfectionnant les hygromètres à condensation, à construire un instrument exact qui fût d'une observation assez facile. C'est celui que représente la figure 3.

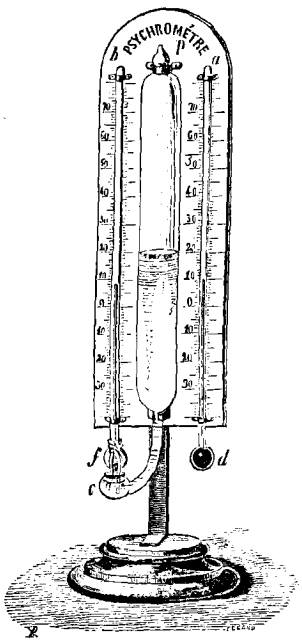


Fig. 2.

Un tube de verre B, terminé par un dé d'argent très-mince et parfaitement poli, contient de l'éther. Le bouchon qui le ferme donne accès, d'abord à un tube M qui communique avec un aspirateur, enfin à un thermomètre qui marque la température intérieure.

Quand l'aspirateur marche, le courant d'air qui traverse l'éther détermine une évaporation et un refroidissement, et bientôt la rosée se dépose sur le dé d'argent.

Cette action intérieure ne change pas l'état de l'air ambiant, et comme le dé d'argent est très-mince et formé d'un métal bon conducteur, ses deux faces sont à la même température. Le thermomètre plongé dans le liquide pourra donc servir à donner la température de l'air au moment où la rosée se dépose, et en réglant le jeu de l'aspirateur, on peut à volonté produire un refroidissement lent ou rapide, et s'arrêter au moment où le vide de rosée se forme.

Pour en bien juger, M. Regnault dispose à côté du premier dé, un second dé B' en tout semblable au premier, qui renferme un thermomètre pour mesurer la température de l'air, mais dans lequel on ne met pas d'éther. L'observateur se place à 10 mètres environ

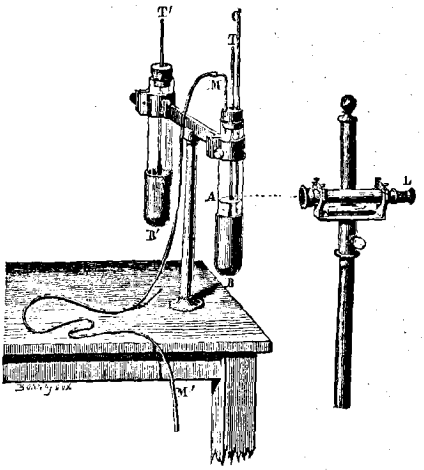


Fig. 3.

pour éviter toute action sur l'air, avec une lunette L qui vise les deux tubes à la fois et qui, avant l'opération, permet de constater la parfaite égalité de leur poli. Il fait alors fonctionner l'aspirateur; bientôt la rosée se forme, et grâce au grossissement de la lunette, on en est aussitôt averti par la différence d'éclat des deux dés. On ferme aussitôt le robinet de l'aspirateur et on lit la température t'. L'appareil se réchauffe ensuite, et après un temps très-court la surface réfléchissante redevenant claire, on note t'' qui est très-sensiblement égal à t'.

Le point de rosée détermine bien la force élastique x de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la température t et le poids de celle-ci.

En effet, si la rosée se forme à t', c'est qu'alors l'air commence à être saturé, et que la force élastique x de la vapeur qu'ils contient est un peu plus grande que la tension maximum F' qui correspond à t'. De même pour t'' elle est un peu moindre, et on peut poser

$$x = \frac{F' + F''}{2},$$

si la différence entre t' et t'' est sensible.

Tension de la vapeur d'eau. — Je terminerai par quelques valeurs de la tension maximum de la vapeur d'eau dans le vide ou dans les gaz, à diverses températures, dont on a besoin pour tirer parti des observations.

	mm		mm		mm
— 10°	2,078	5°	6,534	18°	15,357
— 8	2,456	6	6,998	19	16,346
— 6	2,890	7	7,492	20	17,391
— 5	3,131	8	8,017	21	18,495
— 4	3,387	9	8,574	22	19,659
— 3	3,662	10	9,165	23	20,888
— 2	3,955	11	9,792	24	22,184
— 1	4,267	12	10,457	25	23,550
0	4,600	13	11,162	26	24,988
+ 1	4,940	14	11,908	27	26,505
+ 2	5,302	15	12,692	28	28,101
+ 3	5,687	16	13,536	29	29,782
+ 4	6,097	17	14,421	30	31,548

HYGROMÉTRIQUES (CORPS). Substances qui absorbent l'humidité, comme les bois, les cordes, etc,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

I

ICHTHYOCOLLE. Voyez COLLE DE POISSON.

ÉTOFFES IMPERMÉABLES (*ang.* water proof cloth, *all.* wasserdichte zeuge). Nous avons déjà parlé, à l'article CAOUTCHOUC, des étoffes rendues imperméables au moyen de l'application d'un enduit de caoutchouc, et connues sous le nom d'étoffes masintosh ; ces étoffes étant également imperméables à l'eau et à l'air, empêchent la transpiration de se répandre au dehors, de sorte que lorsqu'on quitte un pardessus de cette étoffe, on est en sueur et on court le risque d'attraper des fraîcheurs. Pour parer à cet inconvénient on a cherché à rendre les étoffes imperméables à l'eau tout en les laissant perméables à l'air : tous les procédés employés à cet égard consistent à les tremper dans une dissolution d'ACÉTATE D'ALUMINE seul ou mélangé de savon, de colle de poisson, etc.

IMPRESSION SUR ÉTOFFES. On comprend sous cette dénomination l'art d'imprimer ou de peindre mécaniquement tous les genres de tissus avec des couleurs qui résistent au lavage à l'eau et au frottement.

Suivant l'opinion de certains auteurs modernes, l'art d'imprimer les étoffes était déjà connu des peuples de l'antiquité, dit M. Rouget de Lisle dans un intéressant article sur l'impression, inséré dans les premières éditions de cet ouvrage, et auquel nous empruntons cette notice historique fort complète. « Dans l'Inde on savait, déjà du temps d'Alexandre, recouvrir les tissus de dessins diversement colorés, et, suivant Hérodote (livre I^er^), les habitants de la mer Caspienne imprimaient sur leurs vêtements des figures de différents animaux à l'aide de mordants, et de couleurs si solides qu'elles duraient autant que l'étoffe elle-même. » (Voir Girardin, 36^e^ *leçon de Chimie élémentaire.*)

Strabon rapporte que les Indiens portaient des toiles imprimées. (Livre XV de *India.*)

Toutefois, les peuples de l'antiquité se bornaient à peindre les étoffes blanches avec divers excipients, puis à les tremper dans un bain de teinture.

Nous rapporterons ici un curieux passage de Pline à ce sujet : « En Égypte, dit-il, on peint jusqu'aux habillements, par un procédé merveilleux. Pour cela, on emploie un tissu blanc sur lequel on applique, non point des couleurs, mais des substances sur lesquelles mordent les couleurs. Les traits ainsi formés sur le tissu ne se voient pas, mais, quand on l'a plongé dans la chaudière de teinture bouillante, on le retire au bout d'un instant chargé de dessins; et ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que, quoique la chaudière ne contienne qu'une seule matière colorante, le tissu prend des nuances diverses, la teinte variant selon la nature de la substance qui s'imprègne de couleur : ces couleurs ne peuvent s'effacer par l'eau. Il est clair que si le tissu était chargé de dessins coloriés quand il entre dans la chaudière, toutes les couleurs seraient brouillées quand on le retirerait. Ici toutes les couleurs se font par une seule immersion; et il y a en même temps coction et teinture. Le tissu modifié par cette opération est plus solide que s'il ne la subissait pas. » (Pline, liv. XXXV, chap. 61 du tome XX, édition de Panckoucke, 1833.)

Les anciens n'ignoraient pas, sans doute, l'art de peindre des empreintes; mais ils ne paraissent pas avoir employé de semblables procédés pour imprimer les étoffes.

Ce qu'il y a de certain et de bien positif, c'est qu'en 1730, on ne connaissait pas encore en France l'art de fabriquer les toiles de coton, peintes à l'instar de celles des Indes, qui, depuis quelques années seulement, avaient été importées de ce pays et de la Perse, par la Compagnie des Indes. Pour s'en convaincre, on peut consulter à la Bibliothèque royale, salle des estampes, la riche collection des étoffes en usage, en France, pendant les années 1720 à 1730. On n'y trouve que des étoffes de soie et de coton, dont les dessins sont peints à la main, avec des couleurs ternes et qui n'ont généralement aucune fixité. Ce ne fut réellement qu'à la fin de l'année 1736 ou vers le commencement de l'année 1737, que Beaulieu, capitaine de vaisseau, décrivit, pour la première fois, les procédés usités dans l'Inde pour fabriquer les toiles peintes. Il avait été chargé par Dufay, membre de l'Académie des sciences, de s'informer de tout ce qui était relatif à la manière de peindre les toiles; il fit peindre à Pondichéry, par un ouvrier intelligent, une pièce d'étoffe; il eut le soin de prendre, après chaque opération, un morceau de la pièce, qu'il a rapporté en France, avec des échantillons de toutes les matières qui avaient servi. Beaulieu répéta ces opérations dans le laboratoire de Dufay; elles réussirent parfaitement. Ce fait est consigné dans un ouvrage fort intéressant, intitulé : *Art de peindre et d'imprimer les toiles en grand et en petit, par B...* Paris, 1800; mais l'histoire ne nous dit pas si la fabrication des indiennes fut exploitée alors en grand.

En 1742, le R. P. Cœurdoux fit connaître de nouveau, dans les Lettres édifiantes, tome XXVI, édit. 1711, les procédés employés alors par les Indiens pour faire les toiles peintes. Ces procédés sont encore aujourd'hui, à peu de chose près, ce qu'ils étaient dans l'antiquité, et l'on peut s'en assurer, en comparant la description donnée par Pline lui-même, avec celle faite par les auteurs modernes.

Voici, du reste, comment on procède aujourd'hui :

« Les moutchys (coloristes en toile) de l'Inde utilisent quelques minéraux impurs ou complexes qui ont beaucoup d'influence sur la fixité de leurs couleurs, et l'analyse de quelques-uns de ces minéraux a été très-utile pour les bien apprécier. Ces habiles et patients ouvriers n'emploient pas des agents chimiques aussi parfaits et aussi nombreux que les nôtres; mais on a reconnu dans le système de leurs opérations des principes qu'il était très-utile d'étudier, de suivre et d'appliquer dans notre industrie. Ces coloristes, dont les ouvrages sont admirables, sous quelques rapports, ne paraissent toutefois dirigés dans leurs procédés et dans leurs opérations par aucun principe de la chimie; la pratique, et surtout une patience imperturbable, leur font surmonter tous les obstacles et suppléent à nos mille et une inventions de machines; ils appliquent et pointillent leur mordant à la main avec une espèce de tire-ligne en jonc, garni à l'extrémité d'une petite éponge ou d'un tampon en drap, qui contient la composition, et qu'ils pressent légèrement et à mesure du besoin, etc. Pour faire des fonds mats, ils se servent de plaques en carton convenablement découpées à jour; et ils tamponnent les couleurs avec un gros pinceau, comme le font nos afficheurs; pour faire les *réserves*, ils plaquent toute la pièce de cire, puis ils dessinent dessus en enlevant la cire avec un poinçon de bois dans les endroits qui doivent être teints dans la cuve

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en bleu, etc., etc. Ils mettent tant d'adresse, de précision, de persévérance dans ces procédés si simples, qu'ils parviennent de même à une grande netteté de dessins dans leurs plus riches tapis. (*Extrait d'un mémoire sur un nouveau procédé de teinture et d'impression, par M. Gonfreville. — Paris, 1845, page 7.*)

Tout ce que nous pouvons dire à l'égard de l'origine des manufactures de toiles peintes en France, c'est qu'on y imprimait vers l'année 1746 des étoffes coloriées pour la tapisserie, soit à l'aide de planches de bois gravées en relief, soit à l'aide de planches gravées en taille-douce. Les premières fabriques de ce genre furent établies d'abord à Paris, puis à Versailles, à Orange, à Marseille, etc.; on n'y employait, toutefois, que des couleurs à l'huile ou à l'eau qui s'altéraient en peu de temps, et ne résistaient pas à une simple immersion dans l'eau.

Les Hollandais, à cette époque, et les fabricants suisses principalement, versaient en France, avec profusion, des toiles peintes en couleurs vives et solides qui diminuaient, dit-on, prodigieusement la consommation et par conséquent l'activité des manufactures de Reims, d'Amiens, Rouen, Lyon, etc. Les historiens nous apprennent même que des réclamations énergiques s'élevèrent alors de tous les points de la France contre la fabrication et l'usage des cotonnades imprimées, qui devaient, disaient les chambres de commerce, ruiner les industries appliquées à la confection des autres tissus. Le gouvernement, pour mettre fin à ces plaintes, prohiba, sous des peines très-sévères, l'entrée et l'usage des toiles de coton blanches ou imprimées étrangères. Cette rigueur fut portée si loin que les employés de la ferme étaient autorisés à mettre publiquement en pièces les vêtements de toiles de Suisse dont les femmes étaient parées.

Il n'y avait même que la Compagnie des Indes qui pût introduire des toiles de coton blanches, avec certaines conditions et réserves. Mais cette prohibition fut abolie et commuée, par arrêt du 7 septembre 1759, en un droit de 10 p. 100 sur la valeur, qui fut bientôt porté à 15 p. 100, et fixé, le 19 juillet 1760, à 90 fr. par quintal pour les toiles blanches, et 150 fr. pour les toiles peintes. Par suite de cet arrêt, l'usage et la fabrication des toiles de coton imprimées furent possibles en France, à cause de la facilité de pouvoir se procurer à l'étranger les tissus de coton blanc qu'on ne fabriquait pas encore d'une manière régulière.

Toutefois, les chambres de commerce protestèrent encore contre cette innovation; mais le gouvernement fut sourd à toutes les plaintes; et il prit le meilleur parti, celui de protéger les manufactures de toiles peintes, et de leur donner une consistance réelle par des encouragements soutenus. Déjà il avait envoyé en Angleterre, en 1751, un agent spécialement chargé de rechercher les meilleures méthodes de fabrication; et c'est quelques années après, que le nommé Cabanes, Anglais, créa, en vertu d'un arrêt du Conseil, une fabrique d'impression sur coton, dans les cours de l'Arsenal. Mais il paraît bien démontré que Cabanes était peu initié aux secrets de fixer les couleurs sur le coton; et B..... dit dans son traité, page IX : « J'ai aussi des échantillons des premières productions d'un établissement formé à Paris, en 1754, par deux négociants nommés Cottin et Cabanes; on ne pourrait jamais croire qu'un tel barbouillage ait pu porter le nom de toiles peintes. »

Cet auteur avait dit, précédemment, en parlant des échantillons de toiles peintes, apportés d'Angleterre et remis au gouvernement en 1751 : « J'ai été autant frappé de la beauté des couleurs que de l'exécution du dessin : des fabriques très-accréditées s'en feraient honneur aujourd'hui. »

Un pareil témoignage prouve suffisamment que les Anglais l'emportaient alors sur nous dans l'art d'imprimer les étoffes, par l'exécution du dessin et la beauté des couleurs qu'ils fixaient sur le coton. Mais aujourd'hui c'est bien différent; nos manufacturiers ont fait un grand pas, sous le rapport du fini du travail et de la régularité des opérations mécaniques. Les couleurs de nos étoffes sont belles et solides; et nous pouvons même ajouter, sans crainte d'être accusés de trop d'orgueil national, que nous l'emportons sur nos voisins par le goût et la création des choses nouvelles.

C'est aux savants coloristes et aux artistes de nos manufactures que l'art de la fabrication des impressions sur étoffes doit les immenses progrès qu'elle a faits depuis 40 ans. C'est à Berthollet, à Chaptal, à M. Chevreul particulièrement, que l'on doit les observations les plus curieuses et les plus essentielles dans l'art d'imprimer les étoffes. C'est à M. Chevreul, enfin, que l'on doit d'avoir expliqué le rôle que jouent les agents chimiques et la vapeur dans les opérations qui ont pour but de fixer les matières colorantes sur les tissus.

Les étrangers eux-mêmes reconnaissent notre supériorité sur ce point; et l'Anglais Home, dans son *Histoire du commerce*, s'exprime ainsi : « C'est à l'Académie des sciences que les Français doivent la supériorité qu'ils ont dans les arts, et surtout dans celui de la teinture. »

Il paraît bien prouvé par les écrits des écrivains de l'époque, qu'en 1750, on imprimait déjà en Angleterre beaucoup de toile de fil de coton. Ces toiles étaient fabriquées à Manchester, comme elles le sont encore aujourd'hui. On évaluait, à cette époque, à près de cent cinquante mille le nombre de pièces que l'on y faisait annuellement. Ces pièces étaient envoyées en écru à Londres, et elles étaient blanchies et imprimées dans ses environs. Les historiens nous apprennent aussi qu'en Angleterre, comme en France, les tisserands en soie, en laine et en fil de lin, manifestèrent l'opposition la plus vive contre l'usage des toiles imprimées, soit importées de l'étranger, soit faites dans le pays.

Ainsi, dès l'année 1680, les ouvriers tisserands pillèrent la maison de la Compagnie des Indes, pour se venger, disaient-ils, des importations qu'elle avait faites de plusieurs milliers de pièces d'indiennes. Ils amenèrent ensuite le gouvernement, par des demandes incessantes, à exclure complétement des marchés anglais tous les tissus de coton imprimés pour robes et ameublement. Néanmoins, les indiennes furent toujours importées, en vertu d'un privilége, par la Compagnie des Indes orientales; et, à l'abri de ce privilége, la majeure partie des toiles entraient en contrebande, malgré les peines excessives auxquelles étaient exposés les contrebandiers ou importateurs. Cette contrebande suffit pour susciter l'alarme parmi la population manufacturière de Spitalfields; et les hommes d'État d'alors intimidés, disent les auteurs anglais, par la population turbulente de la partie Est de Londres, rendirent, en 1720, une loi absurde, et qui défendait de porter toutes sortes d'indiennes, quelle que fût leur origine. Cet édit sévère força les manufacturiers en ce genre de fermer immédiatement leurs établissements; et des milliers de personnes furent jetées sur le pavé, presque sans asile et sans pain.

En 1730, enfin, cet arrêt du parlement fut aboli par des législateurs un peu plus sages et qui permirent la fabrication des toiles dites *calicots britanniques*, mais les toiles imprimées devaient être formées de fil de chanvre et de coton, et payer une taxe de 60 centimes par mètre carré. Il est facile de présumer qu'avec une pareille taxe et le régime rigoureux des vérifications des commis de l'accise pour asseoir cette taxe, la fabrication des impressions sur calicot, en Angleterre, ne pouvait faire des progrès bien rapides; aussi 50,000 pièces à peine de cette étoffe mixte furent-elles imprimées dans tout le royaume de la Grande-Bretagne pendant l'année 1750, principalement dans le voisinage de Londres. En 1840, la seule manufacture de M. Toast,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à Manchester, produisait près de vingt fois cette quantité, et il y a même plusieurs manufactures qui produisent aujourd'hui plusieurs centaines de mille de pièces dans le cours d'une année.

Ce n'est qu'en 1766, que cette industrie fut portée dans le Lancashire, où elle a pris depuis cette époque un développement extraordinaire. Après l'année 1774, elle commença à s'étendre et à grandir beaucoup par suite de l'abolition d'une grande partie de l'arrêt de 1730, qui exigeait le mélange du fil avec le coton dans la fabrication des toiles. Depuis cette époque seulement, les imprimeurs de calicot ont fait des affaires immenses et productives, quoique forcés d'acquitter une taxe de 30 centimes par mètre carré, taxe qui était restituée, du reste, à la sortie des marchandises du royaume, sous le nom de *drawback*.

Les fabricants commencèrent alors à imprimer sur le coton seul des couleurs plus riches, plus vives et plus solides, tandis qu'autrefois ils étaient forcés d'imprimer sur des tissus de fil et de coton mélangés, et qui différaient essentiellement dans leurs affinités réciproques pour les principes colorants.

C'est aussi par suite de l'abolition de la prohibition en France que la manufacture de Jouy, près de Versailles, fut créée, en 1759, par le célèbre Oberkampf, d'origine suisse, dessinateur, coloriste et imprimeur chez Cabanes; et presque en même temps, Frey, de Genève, et Abraham Pourchet, de Bolbec, fondèrent une fabrique d'indiennes à Bondeville, près de Rouen. Plus tard, Pierre Roger éleva une fabrique à Deville; Maromme, Bapaume, Darnetal et Bolbec, possédèrent ensuite des manufactures d'indiennes; mais, il faut le dire, presque toutes les entreprises en ce genre ont été dirigées par des étrangers.

Bonvalet fut le premier qui imprima des étoffes de laine en relief, à Amiens, vers l'année 1755. Il fut le seul pendant longtemps qui exerça cet art avec une rare perfection (voir l'*Art de préparer et d'imprimer les étoffes en laine*, par Roland de la Platrière, et l'*Art du fabricant de velours de coton*, par le même). Cette réputation d'habileté s'est conservée jusqu'à ce jour dans la famille Bonvalet; l'arrière-petit-fils, qui exploite aujourd'hui l'industrie de son aïeul, est encore celui qui a le plus perfectionné la pratique : c'est de lui que nous tenons la composition des couleurs pour l'impression en relief sur les étoffes de laine et sur le velours de coton.

En 1760, Massac et MM. Lemarcis frères établirent à Bolbec une manufacture d'étoffes de laine imprimée dites *gaufrées*; on n'y employait que des ouvriers allemands, hollandais, suisses ou génevois.

Roland de la Platrière prétend que MM. Lemarcis apportèrent d'Angleterre les premiers outils et ustensiles, la composition de quelques couleurs, les secrets enfin d'imprimer les étoffes de laine; mais tout prouve, au contraire, que Bonvalet avait trouvé et exploité ces secrets plusieurs années auparavant.

Au reste, la fabrication des étoffes unies et gaufrées remonte à une époque déjà ancienne, comme le prouvent les fragments d'étoffes de ce genre trouvés dans les fouilles des deux tombeaux de l'église de Saint-Germain des Prés (voir *Mémoire* de Desmarest, inséré dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 2me semestre de 1806, page 119).

Nous ne pouvons entrer ici dans l'histoire de toutes les machines et inventions qui se sont accumulées surtout depuis le commencement de ce siècle. C'est aussi à partir de cette époque qu'on a commencé à introduire dans les fabrications l'usage des matières minérales pour colorer les tissus, ainsi que l'emploi des machines cylindriques, et de celles dites *à planche plate*, pour imprimer les tissus ou indiennes. Mais, parmi les fabricants du siècle dernier qui ont laissé la réputation la plus glorieuse, par la hardiesse et la constance dans les entreprises, nous devons citer au premier rang le célèbre Oberkampf, qui a porté les procédés du garançage sur les toiles de coton au plus haut degré de splendeur, et l'infatigable Bonvalet, qui a inventé un grand nombre d'ingénieuses machines à imprimer et apprêter les étoffes.

Dès le début du dix-neuvième siècle Mulhouse et le Haut-Rhin commencèrent à prendre une part active dans la fabrication des toiles peintes. C'est aux travaux des Hausmann, des Koechlin (Daniel et ses fils), des Dollfus, des Hartmann, des Schlumberger (Henri), des Schwartz (Édouard et Léonard), et de bien d'autres encore, que la capitale industrielle du Haut-Rhin doit la prééminence maintenue depuis si longtemps dans la fabrication des tissus de coton imprimés.

Quant aux savants technologues, dont les travaux et les écrits ont contribué puissamment à répandre et à accréditer les meilleurs procédés de fabrication, dans les ouvrages desquels on trouvera la description de tous les essais qui ont amené cette industrie à son état actuel, nous donnerons la liste de leurs ouvrages, suivant la date où ils ont paru. Nous engageons nos lecteurs à les consulter.

Mémoires de Dufay, sur la Teinture, p. 244, t. VIII. p. 319, t. IX de l'Histoire de l'Académie. Paris, 1737-1738

Lettres du R. P. Cœurdoux, sur la fabrication des Toiles peintes des Indes; t. XXVI des Lettres édifiantes, p. 172. Paris. 1742

Traité des Toiles peintes, par Q. Paris. 1760

Dictionnaire raisonné des Arts et Métiers, de l'abbé Jaubert, art. Toiles peintes. Paris. 1766

Art de faire les Toiles peintes à l'instar d'Angleterre, par Delormois. Paris. 1770

Encyclopédie pratique, par le chevalier de W. Liége. 1772

L'Art de la Teinture des fils et Étoffes de coton, par Lepileur d'Apligny. Paris. 1776

Article Toile peinte du Dictionnaire encyclopédique. Paris. 1778

L'Art de préparer et d'imprimer les Étoffes de laine, par Roland de la Platrière. 1780

L'Art du Fabricant de Velours, suivi d'un Traité de la Teinture et de l'Impression des toiles, par le même. 1780

Instruction sur l'usage et l'emploi du Quercitron dans la teinture et les imprimeries d'indiennes, par Édouard Banchroff, traduite en français, et insérée dans les Annales des Arts et Manufactures, t. XII, p. 48, 131, en 1805. 1785

Essai sur l'Art de la Teinture, par Scheffer. Paris. 1787

Mémoire sur l'Indigo, par Hausmann, Journal de Physique. Paris. 1788

Théorie de la Teinture, par Hausmann, Annales de Chimie, t. VII, p. 237. 1790

Éléments de l'Art de la Teinture, par Bertholet. 1791

Art du Blanchiment des toiles, fils et cotons, par Pajot-des-Charmes. Paris. 1798

Note de Rapp, sur le Blanchiment des Toiles de coton, publiée dans les Mémoires de la Société de Manchester en 1798, et mentionnée dans les Annales des Arts et Manufactures, t. I. 1799

Cours théorique et pratique sur l'Art de la Teinture et de la Fabrication des indiennes, par Homassel. 1799

Art de Peindre et d'Imprimer les toiles, par Goery. 1800

Art de Peindre et d'Imprimer les indiennes, par B. 1800

Mémoires sur l'Art du Teinturier-Dégraisseur,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par Chaptal, t. VI des Mémoires de l'Académie des Sciences. 1800

Mémoire sur un procédé pour le Blanchiment qui vient du Levant, par le même; Annales des Arts et Manufactures, t. VI, p. 68. 1801

Observation de Henry, sur la Nature de la laine, de la soie et des cotons, comme objets de teinture; Annales des Arts et Manufactures, t. III, p. 260; suite du même Mémoire, t. IV, p. 31. 1801

Procédés pour la composition d'un Apprêt et d'une gomme à l'usage des fabricants, article par O'Reilly; même volume, p. 84. 1801

Article d'O'Reilly, sur une nouvelle Méthode de blanchir la laine et la soie par l'acide sulfureux ; Annales des Arts et Manufactures, t. IV, p. 61. 1801

Observations sur le Garançage et le rouge d'Andrinople, par Hausmann; même ouvrage, t. VII, p. 248, 1802; même ouvrage, t. XVI, p. 178. 1803

Essais chimiques de Parkes et de Hartin, traduits en français par Delaunay. Paris. 1820

Cours élémentaire de teinture, par Vitalis. 1823

Article Impression des toiles, par Em. Molard; dans le Dictionnaire technologique. 1827

Traité complet de la Préparation et de l'Emploi des matières tinctoriales, par Leuchs, traduit en français par Peclet. 1829

Manuel du fabricant d'étoffes imprimées, par Séb. Lenormant. 1830

Manuel du Fabricant d'indiennes, par Thillaye. 1834

Cours de Chimie appliquée à la Teinture, par M. Chevreul. 1834

Leçons de Chimie élémentaire, par Girardin, 1re édit., XX; 2me édit., p. 519 et suivantes. 1836

Recherches sur la Teinture, par M. Chevreul; Mémoires lus à l'Académie des Sciences, 4 janvier, 21 mars 1836; 27 janvier, 17 août, 16 juillet. 1838

Sur la Nature et les Causes des taches qui se produisent sur les étoffes de laine pendant qu'on les fixe, par le même; Mémoire lu à l'Académie des Sciences, le 26 décembre 1837

Mémoires lus à l'Académie des Sciences de Rouen, années 1807, 1808, 1810, 1812, 1814, 1816, 1831, 1835, 1840, 1841

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.

Enfin, indépendamment des bulletins des sociétés savantes, le Traité de l'impression des étoffes de M. Persoz, travail complet sur les procédés modernes de l'impression et le Traité des matières colorantes, publié sous les auspices de la Société industrielle de Mulhouse, par M. P. Schützenberger.

ÉTABLISSEMENT D'UNE FABRIQUE D'ÉTOFFES IMPRIMÉES.

Il nous semble naturel de parler d'abord des principales dispositions que doit réaliser une fabrique de toiles peintes et d'indiquer sommairement les conditions à remplir pour amener le tissu écru à la forme qu'il doit avoir pour être livré comme marchandise achevée.

Nous ne chercherons pas à faire un projet complet d'un semblable établissement, en prenant pour exemple une des grandes fabriques de l'Alsace ou de la Normandie. La manière de grouper les divers bâtiments destinés à des usages variés et multiples dépend de trop de conditions de convenances personnelles, de goût, de terrain et d'économie pour pouvoir être liée par des règles fixes.

Voici, en résumé, les principales parties dont se compose une fabrique de toile peinte un peu complète :

1° Un laboratoire d'essai et de recherches, convenablement outillé et muni des ustensiles nécessaires. Ce laboratoire, qui peut être considéré comme le point de ralliement des chefs et des employés supérieurs, représente l'élément de progrès, le centre scientifique de ce petit monde. Son importance grandit de jour en jour, et nos jeunes coloristes qui tous, avant d'aborder la pratique industrielle, ont travaillé quelques années dans les laboratoires d'enseignement de Paris, de Mulhouse, de Rouen, etc., ne se laisseraient plus, comme autrefois, reléguer dans quelque coin obscur et inutile de la fabrique.

Ce laboratoire ayant pour dépendances un cabinet de travail contenant les ouvrages techniques et les livres de fabrication, devra être anssi central que possible.

A côté de lui se trouveront la cuisine aux couleurs, la chambre de réserve des couleurs, le magasin des drogues et des matières colorantes brutes, ainsi qu'une salle destinée à diverses opérations préliminaires, telles que pilage de la gomme et des substances à employer dans la confection des couleurs.

2° Un ensemble de bâtiments destinés au blanchiment des tissus de coton et de laine, avec tous les accessoires. (Voir BLANCHIMENT.)

3° Les ateliers de gravures sur bois et sur rouleaux; un atelier de dessin.

4° Des magasins de planches et de rouleaux.

5° Un magasin de blanc et un magasin pour les pièces achevées.

6° Des ateliers de bousage, de teinture, de savonnage et de lavage. Ces opérations exigeant l'emploi de beaucoup d'eau, s'exécutent dans les pièces situées au rez-de-chaussée, au-dessus d'un cours d'eau. Le plus souvent le bâtiment affecté au bousage et à la teinture constitue un grand hangar fermé.

7° Le bâtiment destiné à l'impression à la planche, contenant de longues salles bien éclairées, et souvent superposées en plusieurs étages.

8° Le bâtiment consacré à l'impression mécanique avec la machine à une ou plusieurs couleurs (rouleau). Des séchoirs à chaud correspondant à chaque machine occupent l'étage supérieur, tandis que les rouleaux se trouvent à l'étage inférieur.

9° Des étendages à froid et à chaud (chambres d'oxydation).

10° Des rames pour redresser la position des fils altérée par les manipulations subies par les tissus.

On rame tantôt à une douce température, tantôt à chaud.

11° Une pièce pour chlorer ; une pièce pour vaporiser.

12° Une pièce pour apprêter, cylindrer, calandrer, plier et presser les pièces.

13° Enfin les bureaux.

Il est aussi convenable que la fabrique dispose d'une vaste étendue de prés pour l'étendage des pièces. (Cependant les procédés suivis actuellement ont diminué beaucoup l'importance de l'exposition sur pré; l'effet de la lumière et de l'humidité combiné avec l'action de l'oxygène de l'air pourra être remplacé, la plupart du temps, par une action chimique plus prompte.)

Bien des détails sont restés dans l'ombre dans cette énumération sommaire; nous en parlerons en temps et heure.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA FIXATION DES COULEURS.

Les produits dont se sert l'industrie pour colorer les fibres textiles et les tissus sont de nature très-diverse et peuvent être classés de plusieurs manières, suivant le point de vue où l'on se place.

Les uns ne jouent qu'un rôle secondaire et ne restent pas dans la composition de la couleur une fois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'elle est définitivement fixée : tels sont les épaississants, les acides qui servent de rongeants ou de réserves, ou de dissolvants, les oxydes, les réducteurs, les substances saturantes, les matières hygroscopiques et bien d'autres encore, dont l'utilité consacrée par la pratique ne peut être théoriquement expliquée.

L'étude de ces produits ne rentre pas dans le cadre de cet article. Cependant, en raison de leur importance, nous consacrerons tout à l'heure quelques lignes aux épaississants.

Les autres concourent en tout ou en partie à la constitution de la couleur qui reste sur la fibre. Ainsi l'indigotine se fixe intégralement, tandis que l'acétate d'alumine, le chromate de potasse n'interviennent dans la production de la laque rouge de garance et du jaune de chrome (chromate de plomb) que par l'alumine et l'acide chromique qu'ils renferment. Toutes les substances de cette classe peuvent être réunies sous le nom de *matières tinctoriales*.

Dans le rouge de garance, l'alumine est aussi nécessaire au développement de la nuance que l'alizarine, qui est naturellement d'un jaune rougeâtre pâle.

Si cependant on envisage que l'oxyde d'aluminum donne généralement des composés incolores, tandis que l'alizarine colorée elle-même transmet cette propriété à toutes les combinaisons qu'elle est susceptible de former, on doit admettre que le rôle dominant revient à cette dernière. Aussi convient-il d'établir une distinction entre les matières tinctoriales, en appelant plus particulièrement matières colorantes celles qui, comme l'alizarine, ont la plus large part dans la teinture du tissu.

Parmi les produits de ce groupe, nous en trouvons qui sont par eux-mêmes des couleurs achevées et qui communiquent directement leur teinte propre à la fibre; l'indigotine, l'acide carthamique, la bixine, les oxydes de fer, de chrome, le bleu d'outremer, le noir de fumée, etc., sont de ce nombre; tandis qu'un grand nombre d'autres exigent la combinaison préalable avec un second corps appelé mordant.

Dans la teinture en garance, par exemple, l'alumine est le mordant, l'alizarine la matière colorante.

Le rôle du mordant est complexe et multiple, suivant le cas: tantôt il rend la matière colorante insoluble et sert à la fixer sur le tissu, pour lequel elle n'a par elle-même qu'une médiocre affinité; tantôt il modifie en outre la nuance. Souvent aussi il lui communique un degré de solidité qu'elle n'aurait pas sans lui (mordant gras dans le rouge et le violet d'Andrinople).

Nous insisterons plus tard avec détails sur les fonctions du mordant. Ce que nous venons de dire suffit pour justifier la division des matières colorantes en deux groupes, qui sont :

1° Les matières colorantes qui se fixent avec leur couleur propre et à l'état de liberté;

2° Celles qui se fixent avec le concours d'un intermédiaire (mordant) et en se combinant avec lui.

Un tissu n'est réellement teint qu'autant que la couleur résiste au frottement et à l'action de l'eau. Cette couleur doit donc être physiquement ou mécaniquement adhérente aux diverses parties de la fibre, ou chimiquement combinée avec elle.

Il est impossible de réduire à un principe unique la théorie de la fixation des couleurs. Elle varie avec la nature de la couleur et celle de la substance filamenteuse.

Dans aucun cas, une couleur insoluble ne peut être simplement déposée sur le tissu. Le moindre frottement suffirait pour la détacher et la faire tomber. En appliquant le produit en poudre délayée dans une solution de gomme ou de gélatine ou de tout autre corps visqueux, l'épaississant en se desséchant forme à la surface des filaments un vernis qui empêchera la chute immédiate de la couleur, mais alors le lavage à l'eau enlève tout. Il n'en sera plus de même si, par un moyen quelconque, on parvient à rendre insoluble la substance agglutinative; elle agit alors comme le vernis formé par l'oxydation de l'huile de lin cuite, dans la peinture.

Pour les toiles peintes, le procédé de ce genre qui, jusqu'à présent, a fourni les meilleurs résultats, est fondé sur la propriété que possède l'albumine de se coaguler vers 100°. La fixation des couleurs à l'albumine a acquis dans les dernières dix années une grande importance.

Veut-on fixer une couleur ou toute autre substance insoluble autrement que par simple application, il est indispensable de la dissoudre préalablement, afin que sous cette forme elle puisse pénétrer dans tous les pores perméables de la fibre et se répandre uniformément à sa surface. A ce moment, deux cas peuvent se réaliser :

1° Le corps insoluble est faiblement retenu par le dissolvant, et si l'attraction moléculaire exercée sur lui par la fibre est plus forte que celle du dissolvant, il y a précipitation sans l'aide d'un agent étranger. M. Walter-Crum désigne ce phénomène par le nom d'attraction de porosité ou attraction de surface. C'est ce qui arrive avec une solution alcaline d'indigo réduit; en y plongeant du coton, il s'exerce une force de décomposition et de précipitation par laquelle l'indigo blanc est attiré successivement de sa solution, de sorte que si l'immersion dure un quart d'heure, la fibre se charge de beaucoup plus d'indigo blanc que si elle était retirée au bout d'une minute. Aussi peut on épuiser une cuve d'indigo en y laissant une grande partie de l'eau qui avait servi à la monter.

2° Dans le cas contraire, si l'affinité du dissolvant l'emporte sur celle de la fibre, il faut, par un moyen convenable, déplacer le composé insoluble en présence de la fibre. Mais, quoi qu'il en soit, le résultat est le même; la substance est énergiquement retenue et ne peut se détacher par le frottement et les actions mécaniques.

Quelle est la cause de cette résistance? Les opinions sont partagées à cet égard.

Pour les uns, la fixation de la couleur est purement mécanique; les molécules solides qui ont pénétré en solution et par endosmose dans les pores et les cavités de la fibre ont perdu, en se précipitant, leur mobilité et la possibilité de reprendre la route qu'elles ont suivie; elles sont emprisonnées en un mot.

Pour les autres, M. Chevreul entre autres, il y a combinaison chimique entre la substance filamenteuse et la couleur.

Après un examen attentif et approfondi de la question, nous sommes très-porté, en ce qui touche la fixation des couleurs et des corps insolubles sur tissus, à admettre la théorie mécanique, telle que la conçoit M. Walter-Crum, en ajoutant toutefois que l'attraction moléculaire doit aider à maintenir l'adhérence.

Passant à un autre ordre de faits, nous observons que la laine et la soie possèdent la remarquable propriété de précipiter de leurs dissolutions et de retenir énergiquement un grand nombre de couleurs solubles, telles que l'acide sulfindigotique, les dérivés colorés de l'aniline, etc. La cause de ce phénomène intéressant pour la pratique ne réside pas uniquement, comme on pourrait être tenté de le croire, dans la structure poreuse de la fibre, car toutes les matières azotées de la classe des composés protéiques albuminoïdes offrent cette réaction à des degrés plus ou moins marqués. L'albumine coagulée, par exemple, se rapproche d'une manière remarquable de la laine, au point de vue des propriétés tinctoriales.

On a cherché la raison de l'attraction qu'exercent la laine et la soie sur les couleurs solubles dans l'existence d'un mordant organique spécial que renfermeraient ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

produits; mais évidemment c'est la fibre elle-même qui joue le rôle de mordant; elle se combine *chimiquement* à la couleur, puisqu'elle lui fait perdre un de ses caractères, la *solubilité*. De cette union résulte une véritable laque, différant des laques ordinaires en ce que l'oxyde métallique est remplacé par une substance organique.

CHAPITRE PREMIER.

APERÇU GÉNÉRAL DES MÉTHODES EMPLOYÉES POUR FIXER LES COULEURS SUR TISSUS.

En pratique, on divise les couleurs, d'après le procédé employé pour les fixer, en couleurs de teinture, couleurs vapeur, couleurs d'application.

Cette classification est un peu arbitraire; les expressions employées n'ayant pas reçu de définitions rigoureuses. Aussi est-on souvent embarrassé pour assigner à un procédé sa véritable place. Tel fabricant peut ranger l'outremer albumine parmi les couleurs vapeur, s'il entend par là toutes celles qui se fixent à la vapeur; tel autre le considérera comme une couleur d'application, s'il a en vue la manière dont la couleur est située par rapport à la fibre, sur laquelle elle est simplement appliquée sans la pénétrer.

Un autre inconvénient de ce mode de classification, c'est que tous les cas ne peuvent rentrer dans ces trois catégories. Tels sont les bleus solides et faïencés, les bistres et bien d'autres encore.

La fixation des couleurs s'obtient par de véritables réactions chimiques, dont l'espèce varie avec la nature de la fibre et de la matière colorante. Tantôt cette réaction est simple et unique; d'autrefois, on fait intervenir simultanément ou successivement plusieurs phénomènes chimiques; de là, la difficulté de coordonner tous les procédés et de les ranger d'une manière générale en sections bien définies.

Bien qu'une innovation ait peu de chances de prévaloir sur l'usage établi par une longue pratique, nous tenterons un essai de classification rationnelle des procédés de coloration des fibres, dans le but surtout de donner au lecteur une idée sommaire des moyens dont dispose l'industrie.

Classification.

A. Fixation mécanique des couleurs insolubles. *Couleurs d'application mécanique.* Une couleur insoluble est appliquée en poudre impalpable sur le tissu et fixée par l'intermédiaire d'un corps qui devient solide et généralement insoluble en présence de la fibre.

Exemples : Outremer, vert Guignet, laques diverses, noir de fumée fixés par l'albumine, le gluten, la caséine, la gomme laque.

B. La matière colorante se combine à la fibre; la couleur résulte de cette union. *Teinture simple.* Cette méthode peut se diviser en deux espèces.

a) Le tissu ou la fibre sont plongés dans un bain ou solution de matière colorante portée à une température suffisamment élevée. La fibre textile enlève peu à peu la matière colorante au bain, par une véritable attraction chimique; on obtient ainsi des unis, à moins d'imprimer préalablement une préparation qui s'oppose à la teinture (réserve), ou de détruire la couleur par places, en appliquant après teinture une préparation appropriée, capable de détruire localement la couleur fixée (enlevage).

Exemples : Teintures de la laine et de la soie avec les couleurs d'aniline, l'acide sulfindigotique, l'acide picrique, etc.

b) La matière colorante est imprimée en dissolution épaissie et on détermine la teinture en exposant le tissu à une chaleur humide, généralement à l'action de la vapeur d'eau. C'est une véritable teinture sur place, par l'intermédiaire de laquelle on peut réaliser tous les effets de dessins désirables. Ce genre comprend une partie des couleurs vapeur sur laine et soie.

C. La couleur fait corps avec la fibre qu'elle imprègne, mais elle n'est pas combinée chimiquement avec elle.

a) Fixation, par attraction de surface, de la couleur au moment où elle se sépare d'un dissolvant (carthamine); ou même précipitation par attraction de porosité de la couleur faiblement unie à un dissolvant (rocou, indigo).

NB. Le développement de la couleur exige, dans le cas de l'indigo, une oxydation subséquente, qui, toutefois, n'ajoute rien à la fixité de la matière colorante, sous le rapport de son insolubilité dans un véhicule pareil à celui qui la tenait en dissolution.

b) Fixation par attraction chimique exercée, par la fibre mordancée, sur une matière colorante en solution. La seule différence entre cette méthode et celle de B, c'est qu'en raison de l'absence d'affinité entre la matière colorante et la fibre, on a dû pénétrer celle-ci d'une substance insoluble, douée du pouvoir de combinaison qui lui manque et qui, faisant corps avec elle, lui communique les qualités requises pour la teinture. Les mordants ne fonctionnent pas toujours comme fixateurs purs et simples, mais encore comme moyens de varier et de régler la coloration en nuance, aussi bien qu'en intensité. La laine retirée d'une dissolution de cochenille, par exemple, ne présenterait qu'un ton allant du vineux au grenat, tandis qu'avec un sel stannique qui la mordancerait avant, pendant ou après la teinture, ce ton serait celui de l'écarlate. Du coton montrera dans un même bain de teinture, la garance, par exemple, du violet, du noir, du rouge, du grenat, selon que ce coton portera des empreintes de fer, d'alumine, ou de mélange de ces mordants.

On procède également par immersion ou par impression. Dans le premier cas, il est possible de réaliser des dessins en n'appliquant le mordant que par places. Dans l'impression de la matière colorante, le mordant est fixé uniformément, et la teinture se fait sous l'influence de la vapeur d'eau (ce genre comprend certaines couleurs vapeur sur coton).

c) *Fixation par oxydation.*

La matière colorante, ou plutôt colorable, est appliquée en solution sur la fibre (immersion, impression) et soumise ensuite à une action oxydante qui la précipite, et développe en même temps la nuance.

Exemples : Fixation du cachou, du campêche, du noir d'aniline.

L'oxydation est provoquée : 1° par l'exposition à l'air avec ou sans influence alcaline; 2° par le passage du tissu dans un bain oxydant (chromate); 3° par l'introduction dans les couleurs à imprimer d'agents oxydants dont on détermine l'effet par une élévation de température (vaporisage, exposition à la chambre chaude).

d) La couleur est dissoute dans un dissolvant physique ou chimique, susceptible de se volatiliser spontanément, par exposition à l'air, dans la chambre chaude ou par le vaporisage. Cette méthode s'applique aussi à la fixation de certains mordants (acétates d'alumine, de fer), et se complique quelquefois d'une oxydation simultanée. Dans le cas des mordants la chaleur doit être humide.

e) La couleur se forme sur la fibre par double échange ou déplacement opéré entre deux sels, un sel et un hydrate d'oxyde alcalin ou un carbonate alcalin. L'un des composés est appliqué en solution sur le tissu : c'est ordinairement celui qui renferme l'élément essentiel; l'autre se trouve dans un bain à travers lequel on passe le tissu.

Exemples : Fixation des oxydes de fer, de chrome, de cuivre, de manganèse, de plomb, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce procédé sert aussi à fixer certains mordants; il achève souvent la fixation restée incomplète par la méthode précédente (bousage des tissus mordancés en acétate d'alumine ou de fer). L'oxydation consécutive est quelquefois nécessaire pour développer la nuance (bistre).

f) Les éléments constituants d'une couleur sont mis en présence de la fibre, en solution chimique et dans un état tel que sous l'influence de la chaleur humide (vaporisage, une grande partie des couleurs vapeur) ou du temps (un grand nombre de couleurs dites d'application), ils se réunissent pour former la couleur insoluble qui deviendra en même temps adhérente.

A cette catégorie peut se rattacher la dissociation des acides ferro et ferri-cyanhydriques, sous l'influence de la chaleur. Il est vrai que le composé qui résulte de cette décomposition doit encore être oxydé pour se teindre en bleu de Prusse.

Malgré les divisions, assez nombreuses, que nous avons introduites dans cette classification, un certain nombre de méthodes échappent encore à ce cadre : ce sont celles dont les réactions sont trop multiples ou trop spéciales pour pouvoir être généralisées.

CHAPITRE II.

COULEURS POUR L'IMPRESSION DES TISSUS.

Parmi les substances qui font partie intégrante des couleurs à imprimer sur étoffes, nous trouvons en première ligne et par ordre d'importance et de généralité les épaississants.

Les épaississants sont destinés à donner du liant et de la viscosité à la couleur. De leur choix convenable, suivant les autres principes constitutifs, dépend entièrement la netteté du dessin et le succès de l'opération mécanique de l'impression.

On peut diviser les épaississants, d'après leur nature chimique, en épaississants minéraux, épaississants végétaux, épaississants d'origine animale.

Épaississants menéraux.

Les seuls épaississants minéraux sont la terre de pipe et le kaolin.

Ces espèces d'argiles ne sont jamais employées seules; on les mélange indistinctement, et dans certains cas, avec les épaississants végétaux en général et en particulier avec la gomme, pour empêcher les coulages et pour faciliter la fourniture plastique.

La terre de pipe et la gomme, ou l'amidon grillé, donnent les couleurs avec lesquelles on imprime le mieux les dessins les plus difficiles. Mais ces préparations exigent beaucoup de soins; elles servent plus particulièrement pour la planche et quelquefois aussi au rouleau. La terre de pipe entre surtout dans la composition des réserves pour bleu d'indigo uni, par exemple; elle joue alors un certain rôle en préservant physiquement le tissu des atteintes de la solution colorante. Elle rend encore des services dans l'impression du chlore et des substances acides employées comme rongeants, enlevages.

Avec la terre de pipe on peut diminuer notablement la proportion de gomme nécessaire pour épaissir une couleur; ainsi on épaissit très-bien avec 500 grammes de terre de pipe et 500 grammes de gomme par litre. Les couleurs vapeur épaissies à la terre de pipe perdent de 35 à 50 pour 100 de leur intensité sur laine, et fort peu sur coton. Il convient de la laver avant de s'en servir.

Épaisssissants végétaux.

Les principaux épaississants végétaux servant dans l'impression des tissus, sont : l'amidon, la fécule, la farine (mélange d'amidon et de gluten); les diverses variétés d'amidon désagrégé et rendu soluble, telles qu'amidon grillé, leïocome, dextrine, gommeline, gommeine, gomme Tissot, gomme Lefebvre, gomme indigène; les gommes proprement dites, gomme arabique et du Sénégal, gomme adragante, gomme de Bassora, gomme du pays, gomme Salabreda; le salep, le sagou, la graine de lin, le lichen Carragahen.

L'amidon est un des corps qui épaississent le plus fortement, eu égard au poids; aussi convient-il pour les nuances foncées, surtout quand les impressions doivent être fines, ce qui est le cas pour le rouleau. Souvent on le mélange à l'amidon grillé. On l'emploi beaucoup, pur ou avec ce dernier, pour épaissir les mordants.

Pour cuire une couleur à l'amidon, on délaye ce corps à froid avec le liquide, on élève peu à peu la température, en remuant toujours. Arrivée à 100°, la couleur devient très-épaisse; par une cuisson plus prolongée, elle s'amincit un peu et peut alors servir. Il faut éviter d'y ajouter des acides forts qui dissoudraient l'amidon en le convertissant en dextrine. La soude et les couleurs alcalines désagrégent l'amidon à froid et le transforment en empois.

Dans les couleurs pour planche, la proportion d'amidon est environ de 100 grammes par litre de liquide. Pour rouleau elle est de 150 à 200 grammes.

La fécule de pomme de terre n'est jamais employée que pour les apprêts, car elle épaissit mal les couleurs. On peut dire la même chose de la fécule de riz.

Dans certains pays, on fait usage du sagou véritable qu'on a soin de blanchir préalablement au chlore.

Le salep, le sagou et la farine sont des épaississants du même ordre que l'amidon. Cette dernière se distingue des autres par la présence du gluten, qui donne aux couleurs un grand degré d'épaississement

Amidon grillé. Son pouvoir épaississant est d'autant plus faible qu'il est parfaitement grillé. Si la transformation en dextrine est complète, il en faut cinq à six fois autant que d'amidon pour épaissir au même degré le même volume de liquide. Ce corps se rapproche de la gomme. Il sert surtout à épaissir les mordants, pour imprimer de grandes masses, telles que fonds. Il est inutile de cuire les couleurs avec cet épaississant qui est, en grande partie, soluble à froid. Comme il est coloré, il ne convient pas pour les nuances claires qu'il altère; il n'a pas tout à fait la cohésion de la gomme, et s'emploie surtout pour le rouleau.

Leïocome ou *fécule grillée* : se rapproche beaucoup de l'amidon grillé par ses qualités, mais est plus gommeuse. Fortement grillée, elle donne une solution presque limpide et pourrait remplacer la gomme dans beaucoup de cas, si elle n'était pas si colorée. On ne peut en faire usage que pour les couleurs foncées. Par exemple, les couleurs vapeur sur laine, telles que le noir, le grenat, le puce, le bois, etc. Elle remplace alors la gomme sans toutefois l'égaler. On s'en sert aussi pour épaissir les mordants, surtout ceux de fer. Le leïocome se dissout mieux que l'amidon grillé.

La dextrine, la gommeline, la gommeine et autres préparations de même espèce, n'ont qu'un emploi assez restreint dans la confection de quelques couleurs (bleus vapeur, par exemple), car elles ont l'inconvénient de produire facilement des coulages.

Tous les dérivés de l'amidon et de la fécule agissent comme réducteurs et empêchent l'oxydation des couleurs. Le leïocome plus que l'amidon grillé. Les couleurs à la dextrine ne se conservent pas toujours aussi bien que celles à la gomme. Ce sont les apprêts qui en consomment les plus fortes proportions.

Gomme du Sénégal. La gomme du Sénégal est l'épaississant par excellence, surtout pour l'impression à la main qui exige, en général, des couleurs plus liquides, et par conséquent ayant plus de cohésion que celles au rouleau. L'impression sur laine et soie en consomme de grandes quantités.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il y a des dessins fins au rouleau qui ne peuvent se faire qu'à la gomme. Son emploi est des plus commodes; réduite en poudre, on peut l'ajouter telle quelle aux couleurs. Elle se dissout, en effet, à froid, ou mieux sous l'influence d'une légère élévation de température.

Pour étendre les couleurs, on se sert de l'eau de gomme préparée à l'avance, en dissolvant la gomme entière avec de l'eau, à 60 ou 100 degrés, et en laissant déposer les impuretés, puis en tamisant. Les dosages employés sont de 700 à 750 grammes de gomme pour 1 litre d'eau. On prépare aussi des solutions d'un kilogramme de gomme par litre d'eau, pour ajouter à des mélanges trop fluides, ou de 500 grammes par litre pour des couleurs trop épaisses.

Souvent on ajoute de l'eau de gomme à l'eau albumineuse, mais on fait perdre ainsi à l'albumine une partie de son efficacité comme fixateur plastique.

La gomme se mélange mal aux autres épaississants, sauf la terre de pipe. Sa nature acide ne la rend pas propre à épaissir toutes les couleurs. Les mordants, par exemple, deviennent plus faibles sous son influence, et souvent ne prennent pas du tout. La gomme du Sénégal permet, mieux que toute autre substance, d'étendre les couleurs pour fonds. Elle a des propriétés différentes selon qu'elle est dissoute directement dans une couleur. ou employée en solutions préparées d'avance. Ainsi dans les fonds laine, l'usage de l'eau de gomme donne lieu à des accidents qui ne se présentent pas si l'on procède par dissolution directe. Cet effet est certainement une conséquence de la rapidité avec laquelle l'eau de gomme s'acidifie. Car on l'évite en se servant d'eau de gomme fraîche.

Il convient d'observer ici que l'eau de gomme bouillie ne fermente plus.

Les acides végétaux qui précipitent la chaux donnent dans l'eau de gomme des dépôts très-sensibles, observés lorsque ces acides interviennent dans la préparation d'une couleur.

La gomme ajoutée à l'empois d'amidon le rend immédiatement beaucoup plus fluide, et, en général, tout épaississant visqueux ajouté à des épaississants gélatineux les amincit.

Gomme adragante. Dans les applications de la gomme adragante comme épaississant on ne se contente pas de la faire gonfler, on l'abandonne vingt-quatre heures, à froid, avec de l'eau, puis on la fait cuire plusieurs heures (4 à 6), jusqu'à ce que le liquide épais soit bien homogène et liant.

Pour un litre d'eau on emploie 60 à 100 grammes de gomme adragante. La solution est épaisse, presque incolore, mais elle n'a pas beaucoup de cohésion. Aussi ne peut-elle pas remplacer l'eau de gomme dans la plupart de ses usages. Par contre, elle sert très-avantageusement en mélange avec l'albumine; les nuances sont moins opaques qu'avec la gomme Sénégal, plus solides et les couleurs moussent moins.

Employée dans les couleurs-vapeur ou d'application, elle donne plus de solidité à l'impression: les couleurs déchargent moins au lavage. Pour certains genres, on peut même négliger le lavage.

Le mélange de gomme adragante et d'albumine convient pour le rouleau. L'eau de gomme adragante se mêle aussi bien à l'albumine du sang. Pour cet usage, il convient de neutraliser par de l'ammoniaque l'acide faible qu'elle renferme. En mélange avec la gomme Sénégal, elle sert pour fondus.

Au lieu de cuire la gomme adragante à la pression ordinaire, on peut opérer en chaudière close à quatre ou cinq atmosphères. Au bout d'un quart d'heure à vingt minutes, on atteint le résultat voulu.

Cette remarque s'applique aussi à la préparation de l'empois.

Il est difficile de préciser la proportion des épaississants nécessaires pour la préparation des couleurs; cette proportion se graduant non-seulement sur le plus ou moins de viscosité naturelle des dissolutions et sur leur densité, mais encore sur l'action chimique de ces dissolutions sur les épaississants.

Ainsi, tandis qu'il faudrait 125 à 160 grammes d'amidon pour des dissolutions indifférentes ou rendues simplement acides après cuisson, il en faudrait moitié moins s'il s'agissait de sels coagulants, tels que les dissolutions concentrées de sesquioxydes, ou encore si la dissolution était caustique (soude, etc.).

D'un autre côté, avec des sulfates il n'y aurait aucune épaisseur, mais liquéfaction complète même avec 300 grammes d'amidon,

Avec la gomme, 200 à 300 grammes sont souvent plus que suffisants, lorsqu'il s'agit de dissolution de sesquioxydes (qui forment généralement la classe des mordants), tandis qu'il faut le double de cette quantité pour les cas normaux des dissolutions indifférentes, sels de protoxydes.

Un sel est d'autant plus coagulant qu'il est plus basique. Les sesquioxydes sont coagulants, les sels de protoxydes ne le sont pas.

Il faut éviter, en général, l'état de coagulation à quelque degré qu'il soit et ne pas le rechercher comme question d'économie, en raison de son influence peu favorable à la pénétration dans les pores du tissu.

Les épaississants, et cela se conçoit, annulent une grande partie du composé destiné au tissu. On dirait même qu'ils se teignent et se saturent en premier. On obtiendra donc d'autant plus foncé ou d'autant plus intense, ou enfin on fixera d'autant plus sur le tissu qu'on aura pu incorporer le moins de substance épaississante dans la couleur.

Malheureusement les épaississants les plus forts, tels que la gomme adragante et l'amidon ne fournissent pas, en raison de leur état gélatineux, d'impressions aussi bonnes que les épaisssissants visqueux et fluides, tels que les gommes naturelles et artificielles.

Au sujet de cette soustraction, proportionnelle à la quantité en poids des épaississants, on peut citer une anomalie assez singulière : c'est que la gomme dont il faut de un tiers à un quart de moins en poids que d'amidon torréfié, et qui, pour cette raison, abstraction faite de l'action réductrice dont elle est privée, donne déjà des nuances plus intenses, se comporte d'une manière toute différente lorsqu'il s'agit de mordants d'acétate. Ainsi l'acétate ferreux fournit des tons plus pâles avec la gomme qu'avec les amidons torréfiés. Cette action ne paraît être due qu'à un effet hygrométrique. Car, pour peu que l'on ajoute à la couleur gommée de la glycérine ou du sel ammoniac, on restitue à la gomme toute sa supériorité.

Épaississants d'origine animale.

Le règne animal fournit également des substances, capables de jouer le rôle d'épaississants : tels sont l'albumine, la caséine, le gluten, la gélatine. Mais dans l'emploi qu'on en fait dans l'impression des tissus, ces produits remplissent un double but : 1° Ils donnent à la couleur la viscosité nécessaire à l'impression; 2° et c'est là leur principale application, ils fonctionnent comme fixateurs plastiques des couleurs insolubles.

L'impression des couleurs insolubles, et leur fixation au moyen de l'albumine ou de ses congénères a pris un grand développement et tend de plus en plus à se généraliser. Nous croyons donc devoir lui consacrer un chapitre spécial.

CHAPITRE III.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE MODE D'EMPLOI DES SUBSTANCES ALBUMINOÏDES DANS LA FIXATION DES COULEURS.

Envisagées comme moyen de fixer les couleurs sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tissus, les matières albuminoïdes fonctionnent de deux manières distinctes.

Tantôt il se produit, en vertu d'une affinité spéciale, une véritable combinaison chimique entre la matière colorante et le composé azoté. Ainsi, en imprimant sur coton une dissolution aqueuse de violet d'aniline et d'albumine, la couleur, après dessiccation, est terne et sans éclat, de plus, elle n'est pas fixée; mais vient-on à soumettre l'étoffe à l'action de la vapeur d'eau, il se produit, en même temps que la coagulation, une véritable teinture de l'albumine, et la belle nuance violette se développe. Dans ce cas, l'albumine fonctionne comme mordant.

D'autres fois, mélangée en dissolution à une couleur insoluble réduite en poudre impalpable, elle est coagulée par la chaleur en présence de la fibre textile et forme alors une espèce de vernis fortement adhérent qui tient emprisonnées les petites particules de matière colorée. Celles-ci sont alors fixées par une action purement mécanique. Dans ce dernier cas, la manière d'agir de l'albuminoïde est indépendante de la nature de la couleur, qui ne doit remplir qu'une seule condition, l'insolubilité.

Dès 1820, M. Blondin, à la Glacière, employait le blanc d'œufs pour imprimer sur étoffes la belle couleur bleue connue sous le nom d'outremer naturel. Ces premières tentatives étaient restées sans imitateurs, à cause du prix élevé de la matière colorante. La découverte de l'outremer artificiel vint donner subitement une extension remarquable à ce genre de fabrication. On a ensuite employé l'albumine à la fixation d'une foule d'autres produits.

Tels sont : le vert Guignet, le peroxyde de fer anhydre, les ocres jaunes et rouges, le vermillon, le blanc de zinc, le gris de charbon, les métaux en poudre, etc. On a même trouvé le procédé si sûr et si commode qu'on l'a appliqué à d'autres couleurs susceptibles d'être fixées sur fibre par des moyens chimiques; ainsi les chromates de plomb et les laques végétales.

De toutes les substances protéiques proposées et employées, l'albumine est de beaucoup préférée par le fabricant, et si ce n'était son prix élevé, elle n'aurait jamais connu de rivales.

On emploie tantôt le blanc d'œuf, tantôt et plus fréquemment l'albumine sèche du commerce.

Le blanc d'œufs frais est dans un état gélatineux qui le rend impropre à l'impression. Cet état se modifie en 24 heures; la dissolution a passé alors à l'état visqueux. On peut arriver à ce résultat instantanément, en ajoutant de l'acide acétique qui fera passer l'état alcalin naturel à une réaction légèrement acide.

La dissolution de l'albumine sèche en plaques est par elle-même une opération simple; elle peut néanmoins être notablement abrégée en prenant quelques précautions particulières. Ainsi, il convient d'employer l'eau tiède, à une température bien inférieure au point de coagulation. Au lieu de verser l'eau sur le produit en remuant, ce qui donnerait lieu à des agglomérations difficiles à dissoudre, on verse l'albumine dans l'eau, peu à peu, et en remuant très-doucement, puis on abandonne au repos pendant vingt-quatre heures.

Dans le cas de l'outremer, il est préférable de faire usage d'albumine d'œufs, l'albumine du sang ayant une coloration jaune trop prononcée. Cependant, en incorporant $0^{lit}.5$ d'essence de térébenthine dans un litre de couleur préparée avec l'albumine du sang, on obtient d'aussi bons résultats.

La dissolution d'albumine se fait ordinairement à raison de 500 grammes par litre; on sépare par tamisage les particules insolubles qui accompagnent toujours en plus ou moins grandes quantités les produits du commerce. Il est évident qu'une couleur foncée, renfermant beaucoup d'outremer ou de poudre insoluble, demande, pour

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

être fixée avec la même solidité qu'une couleur claire, une plus forte proportion d'albumine.

Dans ce genre on fait ordinairement intervenir d'autres épaississants; ceux-ci sont de différente valeur. Plus le résidu qu'ils laissent sur le tissu après vaporisage résiste au lavage, plus ils sont avantageux.

Le léiocome et l'amidon grillé doivent être rejetés à cause de leur coloration. La gomme est trop rapidement enlevée au lavage et diminue la solidité des couleurs après le fixage; elle a de plus l'inconvénient de s'acidifier, d'opérer alors la décomposition de l'outremer et de verdir les bleus. La gélatine fait prendre le liquide en gelée; elle se mélange mal à l'albumine et se putréfie trop vite. De plus, les couleurs qui ont travaillé ne se séparent pas en mousse qu'on peut enlever et en couleur qu'on soutire pour l'employer de nouveau. Son principal avantage consiste dans un ton bleu pur qu'elle conserve aux bleus clairs et dans une plus grande intensité qu'elle donne aux foncés.

L'amidon et la gomme adragante sont, dans ce cas, les produits les plus convenables, quoiqu'ils donnent des couleurs moins homogènes que la gomme du Sénégal et s'impriment moins bien.

Ordinairement on emploie l'eau de gomme adragante, et l'on ajoute un peu d'eau de gomme ordinaire pour rendre la couleur plus visqueuse et plus homogène.

Ces additions, faites par économie et pour faciliter le travail de l'impression, doivent être telles que l'albumine reste toujours dans un rapport convenable avec la quantité de poudre insoluble à fixer.

Les couleurs renfermant de l'albumine possèdent plus que les dissolutions gommeuses la fâcheuse propriété de mousser par l'agitation à laquelle elles sont soumises dans le châssis du rouleau. Cet inconvénient est assez grave, en ce sens surtout qu'une couleur devenue ainsi mousseuse occupe un plus grand volume que la primitive, et donne par conséquent des nuances plus claires. On arrive à atténuer cet effet en ajoutant de l'huile d'olive ou de l'essence de térébenthine.

En raison de la prompte putréfaction qu'elles sont susceptibles de subir, on ne peut conserver longtemps les préparations albumineuses, à moins d'y ajouter de l'arsénite de soude ou de l'acide arsénieux, dans la proportion de 1/100 du poids de l'albumine.

Outremer. — Les qualités recherchées pour l'outremer, sont la parfaite ténuité de la poudre, la beauté de la nuance et une résistance convenable à l'action des acides. Cette dernière propriété ne peut se trouver d'une manière absolue, mais l'industrie fournit plusieurs variétés d'outremer qui sont plus ou moins sensibles à l'action des acides. Cette altérabilité ne permet pas de le fixer à côté d'autres préparations susceptibles de dégager des quantités appréciables d'acides.

L'addition du blanc de zinc est extrêmement favorable pour les bleus moyens et clairs, la couleur devient ainsi plus couvrante et plus brillante.

Quant à la composition quantitative des couleurs outremer albumine au rouleau, on ne peut donner aucune règle précise; tout dépend naturellement de la qualité et de la nuance du produit, et du plus ou moins de solidité que l'on veut donner à la marchandise.

On obtient un bleu moyen d'une solidité suffisante en prenant parties égales d'eau d'albumine à 500 grammes par litre, d'eau de gomme, et en y délayant par litre de mélange 300 grammes d'outremer moyen et 30 grammes de blanc de zinc.

Pour une couleur outremer foncée à deux couleurs, il faut, par litre, 200 gr. d'albumine et 400 gr. d'outremer foncé.

Le clair doit être quatre ou cinq fois plus clair que le foncé; mais il vaut mieux le préparer avec un outremer clair et y mélanger beaucoup de blanc de zinc (1 partie de blanc pour 2 parties d'outremer).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les outremers foncés s'impriment souvent assez mal au rouleau, par suite de la grande quantité de poudre insoluble qu'ils contiennent et d'albumine qu'il faut y mettre pour leur donner la solidité convenable; ils sont de plus imparfaitement essuyés par la racle. Il faut donc veiller tout particulièrement à avoir pour ces tons un outremer en poudre bien impalpable.

On dissout quelquefois, dans ce cas, l'albumine dans de l'empois, au lieu d'eau; le produit est alors moins collant et se racle mieux.

Lorsqu'on coupe un outremer foncé renfermant assez d'albumine pour lui donner une solidité convenable, pour en composer un outremer plus clair, on ne peut le faire avec de l'eau de gomme seule; mais il faut avoir toujours soin d'ajouter en même temps de l'eau albumineuse, autrement la solidité de la couleur fixée serait considérablement diminuée.

Après l'impression et la dessiccation sur le tissu de la couleur, dont nous venons de parler et de décrire rapidement la composition, il s'agit de coaguler l'albumine. La meilleure méthode est le vaporisage. Une assez forte pression de vapeur, ou, ce qui revient au même, une vapeur assez sèche paraît être favorable pour rendre la couleur bien résistante au lavage; par contre, les mêmes conditions nuisent à la beauté de l'outremer qui perd de sa vivacité par un vaporisage trop fort ou trop prolongé. Il arrive souvent que les pièces sortent avec une nuance terne et grisâtre de la cuve à vaporiser; un simple chlorage leur rend alors leur fraîcheur. Ainsi les conditions les plus favorables sont : fixage aussi léger, aussi court et aussi aéré que possible.

Il est bon de faire précéder le vaporisage d'une exposition dans un endroit frais, surtout en été. Quelques variétés d'albumine jaunissent les bleus d'outremer au vaporisage, probablement parce qu'elles renferment un acide libre; elles doivent être rejetées pour cette application.

Dans certaines fabriques on fixe les outremers par un passage en eau bouillante, en employant exclusivement de l'albumine. La nuance est alors plus belle.

L'outremer, et en général toutes les autres couleurs à l'albumine, ont sur les autres le grand avantage de ne plus exiger de lavage après la fixation. En effet, les substances qu'elles renferment sont adhérentes à la fibre et n'ont pas besoin d'être détachées, comme cela arrive avec les préparations épaissies avec la gomme, la dextrine, etc. On est arrivé ainsi, en y joignant les couleurs d'aniline dans lesquelles l'albumine fonctionne comme mordant, à réaliser la presque totalité des nuances nécessaires; encore sont-elles pour la plupart beaucoup plus vives que celles qu'on obtient par d'autres moyens.

Il n'est donc pas étonnant, surtout pour certains tissus légers d'une grande finesse, que cette fabrication ait prévalu sur l'ancienne. On peut maintenant, grâce à l'albumine, imprimer et fixer toutes les couleurs en même temps, sans avoir seulement besoin d'un lavage subséquent, de sorte que chaque fil gardant sa position primitive, les moindres détails du dessin sont respectés.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer à propos de l'outremer, nous dispensent d'être aussi long pour les autres couleurs qui se fixent également à l'albumine, les opérations reposant toutes sur les mêmes principes.

Oxyde de fer. — On trouve quelquefois de l'avantage à fixer l'oxyde de fer par ce procédé. Ce sont ordinairement les différentes variétés d'ocres et de terres d'ombre que l'on emploie. On réalise avec ces substances, soit isolées, soit en mélange avec d'autres, des tons modes et bois, que l'on utilise surtout dans les genres où, par une raison ou une autre, on cherche à n'introduire que des couleurs à l'albumine.

Jaunes et oranges de chrome. — *Ils* présentent sur ceux fixés par voie chimique l'avantage d'un traitement plus simple et plus rapide. Ils réclament cependant des soins particuliers, en raison de la facilité avec laquelle le plomb se sulfure. On doit donc exclure l'huile, les corps acides ou acidifiables, qui tendent à dégager le soufre de l'albumine. Le fixage des oranges de chrome à l'eau bouillante acidifiée les fait tourner au bistre; il en est de même avec l'eau alcalinisée et les oxydants.

Vert Guignet. — C'est une des plus difficiles parmi les couleurs albumine. Elle a, en effet, une grande tendance à encrasser les gravures.

Lorsque le vert n'est pas très-bien lavé, il coagule facilement plusieurs épaississants; mais ces inconvénients résultent uniquement de ce que le vert Guignet est un produit nouveau. Les progrès réalisés dans sa préparation industrielle permettent déjà de les éviter en grande partie, et ils ne tarderont pas à disparaître tout à fait.

Vert Schweinfurt.— Les verts Schweinfurt exigent les mêmes précautions que les jaunes et orangés de chrome, pour éviter la sulfuration.

Blanc de zinc. — On a imprimé du blanc de zinc à différentes époques, par-dessus d'autres couleurs, ordinairement en picots ou en hachures serrées, et on obtenait ainsi des effets de doubles teintes. Cette impression est difficile, la poudre encrassant la gravure.

Gris de charbon.— Le noir de fumée ordinaire renferme une notable proportion d'huiles empyreumatiques qui rendent difficile son empâtement avec les épaississants. Si cette opération est imparfaitement exécutée, on n'obtient que des nuances raclées et picotées. Aussi fait-on subir au noir une ébullition préalable à la soude caustique qui dissout les matières huileuses, puis un lavage à l'eau; ou, ce qui vaut mieux encore, un traitement à l'acide sulfurique concentré, suivi d'une dessiccation.

Les gris de charbon sont en moyenne plus solides que les outremer; le pouvoir colorant de la poudre de charbon est, en effet, beaucoup plus fort, et ce sont les tons clairs plutôt que les foncés que l'on cherche à obtenir.

Ici l'albumine du sang peut remplacer sans aucun inconvénient celle des œufs.

On mélange ordinairement le noir à son poids d'outremer, pour remplacer le gris jaunâtre, qu'il donnerait seul, par un gris bleuté.

Pour les différentes nuances modes on fait encore intervenir le jaune de chrome, l'ocre, le blanc de zinc, les laques végétales et même les couleurs d'aniline. En variant la nature et les proportions de ces additions, on peut reproduire à volonté une nuance quelconque.

Violet albumine. — Avant l'invention des violets d'orseille et d'aniline, on imprimait beaucoup de violets albumine, formés par un mélange d'outremer et d'une laque de cochenille. Ce genre, de même que celui qui résulte de la fixation mécanique des laques végétales, ne présente rien de particulier.

Vermillon. — Le sulfure de mercure dans sa variété rouge et belle (vermillon) peut s'imprimer à l'albumine et donne d'assez beaux rouges quoiqu'un peu ternes.

Rouge au carmin. — Depuis quelques années on imprime, surtout dans les articles meubles, un rouge à l'albumine qui imite parfaitement le rose garancé; la base colorante est le carmin de cochenille.

Celui-ci est ordinairement dissous dans l'ammoniaque, et c'est cette dissolution que l'on mélange à l'eau albumineuse. Par le vaporisage l'ammoniaque se dégage et le carmin devenu insoluble est fixé par l'albumine coagulée.

On dissout environ trois parties de carmin dans deux parties d'ammoniaque caustique, et on mélange avec plus ou moins d'eau d'albumine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

L'albumine peut être remplacée par une solution ammoniacale de caséine. On emploie aussi le carmin en pâte sans dissolution préalable. L'addition de tartrate d'ammoniaque augmente l'éclat de la nuance. Après le vaporisage, la fixation est complète; la couleur est passablement solide à la lumière.

CHAPITRE IV.

DES SUBSTANCES QUI PEUVENT REMPLACER L'ALBUMINE COMME FIXATEURS MÉCANIQUES ET PLASTIQUES.

L'albumine n'a pas encore été remplacée; les composés présentés de divers côtés comme devant la détrôner n'offrent en général que l'avantage de l'économie, mais ne peuvent rivaliser avec elle ni pour la solidité, ni pour la pureté des nuances.

On a successivement cherché à tirer parti de la caséine, du gluten, de la fibrine.

La caséine est, comme on le sait, soluble dans les liqueurs alcalines, dont elle est reprécipitée intacte par les acides.

La solution ammoniacale l'abandonne même par l'évaporation seule, en même temps que l'ammoniaque se dégage. C'est ordinairement cette dernière propriété que l'on utilise pour la fixation des couleurs insolubles. La caséine donne avec l'ammoniaque une dissolution très-homogène, de consistance gommeuse, fournissant des couleurs qui s'impriment très-bien : aussi les emploie-t-on de préférence pour les dessins difficiles qui demandent une préparation homogène.

Le vaporisage est nécessaire pour la complète élimination de l'ammoniaque. L'impression ne résiste pas au savon et aux alcalis. Les nuances sont plus opaques qu'avec l'albumine. Les matières colorantes que l'on peut imprimer avec une solution alcaline de caséine sont restreintes à celles qui ne sont pas modifiées par les alcalis; l'outremer est du nombre.

La couleur dite argentine (étain métallique en poudre) s'imprime spécialement à la caséine. On délaye environ 360 grammes d'argentine dans un litre de dissolution ammoniacale de caséine et on imprime au rouleau ou à la planche, après avoir légèrement apprêté le tissu, afin que la couleur reste, autant que possible, à la surface.

Après l'impression la couleur est grise. L'éclat métallique s'obtient en passant plusieurs fois le tissu par une calandre à friction, à chaud.

L'argentine a été principalement employée dans l'article doublure; imprimée en petits filets sur des fonds diversement colorés, elle imite assez bien la soie.

Gluten. — On a tenté bien des efforts pour rendre ce produit applicable à la fixation des couleurs; s'ils n'ont pas abouti d'une manière absolue, ils ont cependant amené quelques résultats intéressants. Le gluten est, comme la caséine, soluble dans les alcalis; seulement ces dissolutions sont moins stables et se coagulent spontanément avec la plus grande facilité. On conçoit que si une poudre insoluble se trouve incorporée à de semblables liquides elle sera entraînée au moment de la séparation du gluten et par cela même fixée. Ces couleurs au gluten alcalin sont donc de véritables couleurs d'application que l'on n'a qu'à laisser séjourner quelque temps après l'impression pour pouvoir les laver, en se passant du vaporisage.

Il va sans dire que les dissolutions de gluten doivent être employées fraîches. On a proposé une foule de recettes pour la préparation de semblables dissolutions. On s'est servi tour à tour de la soude caustique, de l'ammoniaque, de la chaux, du sucrate de chaux, du carbonate de soude, d'acide acétique. Quand on fait intervenir la chaux, il est essentiel de n'ajouter que la quantité de lait de chaux strictement nécessaire à la dissolution du gluten. Lorsqu'il n'y en a pas assez, il reste du gluten en pâte; dans le cas contraire, la couleur est plus instable et plus sujette à mousser.

M. O. Scheurer a utilisé, pour obtenir des dissolutions de gluten, l'action remarquable qu'exerce sur lui, aussi bien que sur la fibrine musculaire une eau chargée de quelques millièmes d'acide chlorhydrique. Macéré pendant 24 heures avec son poids d'une semblable liqueur, il est complétement désagrégé et se délaye avec la plus grande facilité dans l'eau acide qui le baigne; une addition d'acide acétique complète la liquéfaction. Les couleurs préparées ainsi se fixent par simple application, et mieux par vaporisage; on ne peut en faire usage que pour les produits colorés que n'altèrent pas les acides faibles.

La fibrine de la chair est employée, quoique très-rarement, de la même manière que le gluten.

Dissolution ammoniacale de caséine.

Caséine sèche 7ᵏ500
Eau tiède . . . . . 18 litres.
Ammoniaque caustique (à 20 pour 100) 1 kilog.
Remuer jusqu'à homogénéité complète.

Dissolution de gluten à la soude, donnant de bons gris de charbon d'application.

Gluten sec en poudre . . . . . 5 kilog.
Eau . . . . . 36 litres.
Bien délayer et ajouter :
Soude caustique à 25°. 2ᵏ,500

Dissolution de gluten à la chaux.

Gluten en pâte . . . . . 20 kilog.
Lait de chaux à 250 gr. chaux vive par litre . . . . . 1 à 2 lit.

Dissolution de gluten à l'acide.

Eau tiède . . . . . 5 litres.
Acide chlorhydrique . . . 180 grammes.
Mélanger et ajouter :
Gluten frais . . . . . 5 kilog.
Puis, quand la masse est devenue homogène, ajouter
Acide acétique à 8° . . . . . 2 litres.

En dehors des substances albuminoïdes, on a proposé comme fixateurs plastiques :

1° La dissolution ammoniacale de gomme laque;

2° Le copal ramolli dans l'acétone et dissous dans l'essence de lavande;

3° La dissolution de caoutchouc dans l'essence de goudron, l'huile de naphte ou de pétrole; employée surtout sur laine avec l'outremer;

4° L'huile siccative, employée sur laine;

5° Une dissolution de résine dans l'huile de lin;

6° La sandaraque et le mastic dissous dans l'acide acétique.

Le meilleur moyen pour apprécier le degré de solidité d'une couleur fixée avec un fixateur plastique consiste à passer le tissu en savon bouillant, puis à exercer sur lui une légère friction.

CHAPITRE V.

MORDANTS. — GARANÇAGE.

A propos des principes généraux, nous avons eu l'occasion de définir le mordant. Passant à un ordre d'idées plus immédiatement pratique, nous prendrons comme exemple très-important et bien propre à nous fixer sur le mode d'emploi de ces corps, les opérations qui précèdent le garançage ou la teinture en garance.

Les pigments de la garance ne se fixent directement sur aucune fibre; ils exigent le concours des mordants; ceux-ci, le plus souvent, sont des oxydes métalliques,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et principalement des hydrates d'alumine, de peroxyde de fer ou de sesquioxyde de chrome.

Les oxydes peuvent être incorporés à la fibre comme toute substance insoluble susceptible de lui être présentée à l'état soluble, et d'être ensuite précipitée dans ses pores. Le tissu ainsi préparé étant plongé dans un bain renfermant en solution la matière colorante, l'oxyde métallique attire la substance tinctoriale, et se combine avec elle, en vertu d'une affinité qui lui est propre et que ne modifie nullement la présence de la fibre. Il se forme une laque colorée adhérente comme le mordant lui-même. La couleur de cette laque varie avec la nature de l'oxyde; elle est rouge ou rose avec l'alumine; noire, violette ou lilas avec l'oxyde de fer; puce avec le mélange des deux. De sorte que le bain monté avec une seule matière colorante peut produire simultanément des effets très-distincts sur un même échantillon imprimé avec des mordants divers. On fait quelquefois intervenir, concurremment avec le mordant métallique, un corps gras modifié dans le but de communiquer à la laque une plus grande stabilité et plus d'éclat. Cette manière de procéder constitue un genre spécial connu sous le nom de rouge d'Andrinople.

Le garançage ordinaire dirigé dans le but d'obtenir des rouges, des roses, des noirs, des violets et lilas aussi vifs que possible, soit isolément, soit simultanément, se compose d'une série d'opérations que nous pouvons diviser en :

1° Blanchiment aussi parfait que possible du calicot;
2° Impression des mordants dissous dans un véhicule convenable;
3° Fixation de ces mordants;
4° Teinture et garançage;
5° Avivage;

Le blanchiment a été traité dans un autre article; disons seulement qu'il doit être aussi complet que possible.

Nous nous occuperons plus tard des procédés d'impression en eux-mêmes, et nous traiterons ici de la fixation des mordants.

Mordants pour rouge et rose. — La base fixatrice des rouges et des roses garancés est toujours et partout l'alumine hydratée ou un sous-sel d'alumine insoluble.

Bien des moyens se présentent à l'esprit pour fixer l'hydrate d'alumine sur tissu. La nature de la fibre influe notablement sur la facilité de cette opération; parmi tous les moyens possibles, le fabricant choisira ceux qui exigent les manipulations les plus simples.

L'alumine peut être obtenue en solution : 1° à l'état de sel saturé; 2° à l'état de sel basique; 3° sous forme d'alumine soluble; 4° en combinaison avec les alcalis.

Sels saturés. — Certains de ces sels peuvent être mis en présence de la fibre (coton), sans subir la moindre décomposition, soit par l'effet du temps à la température ordinaire, soit sous l'influence de la chaleur. Lors donc que l'on veut faire intervenir dans le mordançage de semblables composés (sulfate, nitrate, alun), il est nécessaire de passer ultérieurement le tissu imprégné de leur solution dans un bain saturant capable de précipiter l'hydrate d'alumine.

D'autres sels aluminiques se décomposent par la chaleur humide, en cédant à la fibre tout ou partie de leur oxyde terreux ou un sel basique, tandis que l'acide devient libre et se volatilise (chlorure, acétate, hyposulfite).

Pour ce genre de corps on fixe le mordant par impression de la solution et par une exposition dans une atmosphère chaude et humide.

Sels basiques. — Les sels non saturés ou basiques d'alumine abandonnent assez facilement à la fibre leur excès d'alumine, en se convertissant en sels saturés. La chaleur humide peut développer le phénomène dans une solution d'un pareil corps, mais l'attraction de porosité exercée par la matière textile le favorise singulièrement.

Aluminates alcalins. — Les solutions alcalines d'alumine laissent précipiter l'alumine sous l'influence des acides. Un tissu portant des impressions d'aluminate de soude se mordance par conséquent : 1° par simple exposition à l'air, sous l'influence de l'acide carbonique de l'air; 2° par un passage en bain acide assez faible pour que l'oxyde précipité ne puisse se redissoudre; 3° par un passage en sel ammoniacal : la soude sature l'acide du sel ammoniacal, tandis que l'alumine se sépare et l'ammoniaque se dégage; 4° par une immersion dans un sel métallique dont l'oxyde forme avec l'alumine un aluminate insoluble.

Ainsi l'aluminate de soude, mis en présence de l'acétate de zinc, donne de l'aluminate de zinc insoluble et de l'acétate de soude.

Le mordant rouge ordinaire des indienneurs se prépare en mélangeant des solutions convenablement concentrées d'alun ou de sulfate d'alumine exempt de fer et d'acétate ou de pyrolignite de plomb. Il se forme un dépôt de sulfate de plomb insoluble que l'on sépare le plus souvent par décantation. En employant l'alun, il est dans tous les cas inutile d'ajouter assez d'acétate de plomb pour précipiter non-seulement l'acide sulfurique du sulfate d'alumine, mais encore celui du sulfate alcalin qui s'y trouve combiné. Pour précipiter la totalité de l'acide sulfurique du sulfate d'alumine il faut employer pour 100 parties d'alun, 125 parties d'acétate de plomb cristallisé.

Or, M. Dan. Koechlin Schouch a nettement reconnu que les résultats pratiques, au point de vue de la force du mordant, sont les mêmes en n'employant que 75 parties d'acétate pour 100 d'alun. Comme conséquence de ces observations, qui s'appliquent aussi au sulfate d'alumine seul, mais avec d'autres rapports, nous pouvons dire en toute certitude qu'il n'est point nécessaire d'atteindre le point de saturation dans le double échange.

Que renferme le mordant des indienneurs préparé avec 75 parties d'acétate? On ne saurait le dire exactement. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que les deux acides en présence se partagent la base, proportionnellement à leur masse. Nous aurons donc du sulfate basique d'alumine en quantité variable, suivant la dose d'acide sulfurique non précipité, de l'acétate d'alumine basique et de l'acide acétique libre, à la faveur duquel les deux sels basiques sont maintenus en dissolution. Ce liquide imprimé dégage de l'acide acétique volatil, tandis que les sels basiques insolubles se séparent et se fixent au tissu. Dans les proportions indiquées, on déplace à peu près les deux tiers de l'acide sulfurique du sulfate d'alumine. La solution représente donc réellement une liqueur préparée en dissolvant une molécule de sulfate tribasique dans deux molécules d'acide acétique. Qu'il y ait partage ou non de la base entre les deux acides, le résidu sur la toile, après l'exposition à la chambre chaude, sera du sulfate basique. Cette opinion est d'autant plus probable que d'après une expérience directe de M. D. Koechlin Schouch, on obtient d'excellents résultats par l'impression d'une solution acétique de sulfate basique.

Dans la fabrication des mordants, il convient de choisir l'alun pur, blanc et surtout exempt de fer. Le sel de saturne doit être blanc et cristallisé. L'alun et l'acétate de plomb étant pesés, et l'alun réduit en poudre, on met celui-ci dans un baquet profond; on verse dessus la quantité convenable d'eau chaude et quand il est dissous, on y ajoute souvent un dixième de son poids de cristaux de soude pour saturer l'excès d'acide. On y mêle alors l'acétate de plomb, et, comme ce sel se dissout très-vite, la réaction a lieu à l'instant même; on doit remuer pendant une heure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. D. Koechlin a publié les trois formules suivantes, pour le mordant rouge.

Mordant fort n° 1.

375 parties d'eau, dont 75 de décoction de bois pour marquer à l'impression.
450 parties alun,
45 — cristaux de soude.
450 — acétate de plomb.

Mordant n° 2.

375 parties eau, dont 75 de décoction.
400 — alun.
40 — cristaux de soude.
75 — acétate de plomb.

Mordant n° 3.

375 parties eau, dont 75 de décoction.
75 — alun.
7,5 — cristaux de soude.
50 — acétate de plomb.

Ces mordants datent de 1828.
En voici d'autres plus récents.

Mordant fort.

11 kilog. alun.
8k,250 pyrolignite de plomb.
32 litres eau bouillante.

Mordant 5/4.

625 parties alun.
450 — pyrolignite de plomb.
2000 parties eau bouillante.

Autres mordants.	(*a*)	(*b*).
Alun.	16 kil.	8
Pyrolignite de plomb . .	12 . .	8,5
Eau bouillante.	62. . . .	60
Extrait de Lima à 20° .	2. . . .	4—3
Alun.	10 kilog.	
Acétate de plomb.	10 —	
Eau	20 —	

Mordant rouge pour garancine à 14° Baumé.

Alun	25 kilog.
Pyrolignite de plomb. .	10 —
Eau.	80 —

Au lieu d'avoir un seul mordant mère pour en tirer toutes les nuances en l'étendant plus ou moins d'eau, les fabricants préfèrent en composer plusieurs qui diffèrent par leur densité et les proportions d'alun et d'acétate de plomb, selon le genre d'impression auquel on les destine.

En effet, un mordant fort ne se conserve pas aussi longtemps qu'un autre de densité moyenne. Tous les mordants, du reste, finissent par déposer du sous-acétate d'alumine ou du biacétate insoluble de Walter-Crum.

L'acétate d'alumine pur peut être porté à l'ébullition sans se décomposer, tandis que les mordants à base de potasse se troublent quand on les chauffe, et donnent un précipité qui se redissout par le refroidissement.

On obtient de bons résultats pour rouge, en dissolvant dans l'acide acétique le précipité formé par l'ébullition d'une solution d'alun saturé par la potasse.

Pour préparer l'acétate d'alumine avec le sulfate d'alumine, on commence par former une solution de ce sel marquant 31 à 33 degrés Baumé, et on précipite 110 à 115 parties d'acétate de plomb dissous dans 30 parties d'eau. Le liquide filtré pèse 15 à 16 degrés Baumé, et renferme de 18 à 19 pour 100 d'acétate d'alumine. C'est le maximum de richesse que l'on puisse obtenir.

En teinture, cet acétate donne les mêmes résultats que le mordant à l'alun.

On remplace quelquefois par économie l'acétate ou le pyrolignite de plomb par l'acétate ou le pyrolignite de chaux; 100 parties d'alun, 100 parties d'eau et 150 parties de pyrolignite de chaux à 11°,5 Baumé donnent un acétate d'alumine marquant 12°,5. Il faut éviter un excès de chaux qui ternirait les nuances.

Le mordant dit à l'aluminate de potasse se préparait autrefois en dissolvant à l'ébullition 60 livres d'alun dans 126 livres de lessive caustique de potasse à 35 degrés Baumé. Après cristallisation du sulfate de potasse, on soutire le liquide clair. On peut aussi employer l'aluminate de soude, fabriqué au moyen de la bauxite.

M. E. Kopp a fixé l'attention des industriels sur les applications que pourrait recevoir l'hyposulfite d'alumine dans le mordançage des tissus. Ce sel se décompose en effet vers 100°, en présence de l'eau, en soufre, acide sulfureux et alumine hydratée. (Pour la préparation de ce mordant, voir Bullet. Soc. indust. de Mulh., tome XXVIII, page 239, et *Traité des matières colorantes*, de M. P. Schützenberger, tome II, p. 215.)

Le mordant à l'hyposulfite serait plus économique; il se fixe plus rapidement et plus complétement. Enfin il empêche, jusqu'à un certain point, la fixation du fer.

Épaississage des mordants d'alumine.

Un même mordant épaissi au même degré de viscosité avec les divers épaississants ne donne pas en teinture des résultats de même valeur. La gomme Sénégal s'oppose plus particulièrement à la fixation du sous-sel alumineux.

On remarque qu'un mordant épaissi à l'amidon se combine plus facilement à l'étoffe et fournit des teintes plus foncées que le même mordant épaissi à la gomme. Cependant pour certaines couleurs la gomme est préférable, parce qu'elle communique aux nuances plus de transparence, une partie de l'amidon restant toujours avec le mordant, malgré le dégorgeage.

Un mordant fort et acide ne s'épaissit pas facilement à l'amidon, et la couleur ne conserve pas la consistance convenable. Il vaut mieux épaissir ce mordant avec de la gomme ou de l'amidon grillé. Un mordant qui contient un excès d'alun (deux parties d'alun pour une partie d'acétate) tire de l'eau au bout d'un jour s'il est épaissi à l'amidon.

Les épaississants les plus généralement employés pour les mordants rouges et roses sont l'amidon blanc et l'amidon grillé. Avec l'amidon, il est nécessaire de cuire la couleur à imprimer. Dans ce cas, il se précipite un sous-sel d'alumine qui reste en suspension, grâce à la viscosité du liquide, et se redissout par le refroidissement, surtout si l'on a soin de remuer la préparation jusqu'à complet refroidissement.

Lorsqu'on est dans le cas d'étendre de beaucoup d'eau le mordant, il convient d'épaissir d'abord l'eau et d'y ajouter ensuite le mordant presque froid.

Voici quelques exemples de mordants rouges et roses épaissis et prêts à être imprimés au rouleau.

	Rouge foncé.	Rouge moyen.	Rouge clair.
Acétate d'alumine à 9°.	1 lit.	1 lit.	1 lit.
Eau	1 —	4 —	15 —
Amidon.	240 gram.	0 kil.	0
Amidon grillé	60 —	2 kil.	6 kil.
Huile tournante	30	«	«
Décoction de Lima. . .	164	«	«

Mordant pour rouge garance foncé (fin rouge n° 2.)

Eau	6 litres.
Décoction de Fernambouc . . .	10 —
Vinaigre à 2° Baumé	5 —

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Alun	2k,500
Pyrolignite de plomb	2 500
Amidon blanc	3 kil.
Huile tournante	375 grammes.
Nitrate de cuivre à 52° Baumé.	375 —

Le sulfate de plomb formé reste dans la couleur et sert à lui donner plus de corps, pour la régularité de l'impression des dessins fins.

Rouge intermédiaire.

Fin rouge n° 2	1 partie.
Eau d'amidon grillé à 500 gram. par litre.	2 —
Eau	1 —

Mordant rouge clair.

Mordant fort à 11° Baumé pour garance (voir plus haut).	1 litre.
Vinaigre à 2° Baumé	4 —
Eau d'amidon grillé à 750 grammes	9 —
Eau de terre de pipe à 1 kil. par litre	5 —

Autre mordant pour rouge garance.

Mordant à 11° Baumé	1 litre.
Amidon blanc	110 gr.
Amidon grillé clair	75 —

Mordant rouge. (a)

Amidon blanc	2 kil.
Amidon grillé	4 —
Mordant fort à 11°	10 —
Extrait de Lima à 20°	1/2 —
Acide pyroligneux	5 —
Acide chlorhydrique	1/4 litre.
Pyrolignite de chaux	1 kilog.

Ajoutez, à froid :

Sel d'étain	750 gram.
Azotate de zinc à 40° Baumé	125 —
Eau	2 litres.

Mordant rouge n° 4.

Mordant *a*	20 litres.
Amidon blanc	6 kil.
Huile tournante	250 gr.
Térébenthine	250 —

Rouge 5/4.

Mordant *a*	24 litres.
Eau	6 —
Amidon blanc	6 kil.
Huile tournante	250 gr.
Essence de térébenthine	250 —

Roses.

	n° 4.	n° 5.
Eau bouillante	30 1/2 lit.	38 lit.
Acide acétique à 8°	1 1/2 —	2 —
Mordant 5/4	8 lit.	2 1/2 lit.
Amidon grillé foncé	20 kil.	20 kil.
Huile tournante	375 gr.	375 gr.
Térébenthine	375 —	375 —

N° 5.

Rose n° 5	2 lit.
— n° 4	22 —

N° 6.

Rose n° 5	4 lit.
— n° 4	20 lit.

N° 11.

Rose n° 5	11 lit.
n° 4	10 lit.

N° 12.

Rose n° 5	16 lit.
— n° 4	8 lit.

Rose (b).

Mordant (*a*)	2 lit.
Eau	8 lit.
Farine	2 kilog.
Huile tournante	120 gr.
Térébentine	120 —

Lorsqu'on imprime plusieurs mordants pour teintes différentes les uns sur les autres, on doit éviter qu'ils se dissolvent et se confondent aux points de superposition. Ainsi, lorsqu'on recouvre d'une grande masse de mordant un dessin délicat, la première impression qui représentera la nuance la plus forte devra reposer quelques jours avant l'application de la seconde. On peut aussi, dans ce cas, varier les épaississants; la première nuance sera, par exemple, épaissie à l'amidon, et la seconde à l'amidon grillé. Le mordant dit à l'aluminate de soude s'épaissit à l'amidon grillé.

Mordants pour noirs, violets et lilas.

La base des noirs, violets et lilas, obtenue avec les matières colorantes de la garance est l'hydrate de peroxyde de fer ou un sel ferrique basique et insoluble. Comme pour l'alumine, le sel qui sert à fixer l'oxyde de fer sur tissu est généralement l'acétate ou le pyrolignite; mais ici il y a une distinction à établir qui tient aux deux degrés d'oxydation du fer.

Convient-il de prendre un sel au minimum ou au maximum d'oxydation ? L'expérience et la pratique ont consacré l'usage du pyrolignite ou de l'acétate ferreux. Les mordants peroxydes ne se combinent plus à la toile et s'en détachent en grande partie ou même complétement pendant le bousage. Les acétates ou pyrolignites ferreux imprimés donnent lieu, par une exposition dans une atmosphère chaude et humide, à un dégagement d'acide acétique accompagné d'une absorption d'oxygène, de sorte que le résultat final est le dépôt sur la fibre d'hydrate ferrique. On peut obtenir de bons résultats avec l'acétate ferreux obtenu :

1° par double décomposition (sulfate ferreux et acétate ou pyrolignite de plomb);

2° par dissolution du fer dans l'acide acétique ou l'acide pyroligneux.

Généralement on emploie le pyrolignite de fer épuré, obtenu avec de l'acide pyroligneux séparé par une distillation de la plus grande partie de goudron et marquant 10° Beaumé.

La nature de l'épaississant a une influence bien marquée sur la fixation de l'oxyde de fer. Toutes choses égales d'ailleurs, l'amidon fixe plus d'oxyde que la gomme d'amidon et celle-ci plus que la gomme du Sénégal.

L'état de viscosité du mordant épaissi n'a pas une moindre action sur la réussite. Il faut donc donner à chaque couleur le degré de viscosité que réclame le genre de dessin et d'impression.

	Violet 8.	*Violet* 32.
Eau bouillante	48 litres.	48 litres.
Pyrolignite ferreux 10° B.	6 —	1 1/2 —
Lécome	36 kilog.	30 kilog.
Essence de térébenthine	375 gr.	375 gr.

Violet 10.

Violet 32	2 parties.
— 8	22 —

Violet 12.

Violet 32	4
— 8	20

Violet 16.

Violet 32	8
— 8	16

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Violet 20.

Violet 32.	1 partie.
— 8.	1 —

Violet 22.

Violet 32.	14 parties.
— 8.	10 —

Violet 24.

Violet 32.	16
— 8.	8

Noir.

Pyrolignite de fer à 10°.	32 litres.
Amidon grillé.	10 kilog.
Eau.	24 litres.
Quercitron à 17°.	2 —
Campêche à 18°.	2 —
Huile d'olive.	1/4 —

Autrefois, on ajoutait au mordant pour noir destiné à l'impression à la planche un sel de cuivre, notamment de l'acétate, qui peut favoriser la combinaison de l'oxyde de fer avec le tissu.

On faisait aussi intervenir une préparation pour violet obtenue avec :

Eau de chaux.	68 litres.
Arsenic blanc.	1 1/2 —
Sulfate de cuivre.	1 1/2 —

(Faire bouillir et laisser déposer avant de s'en servir.)

On a également proposé l'emploi de l'hyposulfite de fer.

Mordants puce.

Le mordant puce résulte du mélange du mordant pour rouge et de celui pour violet. En variant les proportions respectives des deux agents, on modifie la teinte intermédiaire.

En appelant mordant A la préparation pour rouge suivante :

Alun.	10 kilog.
Acétate de plomb.	10 —
Eau.	20 litres

et mordant puce la préparation pour rouge suivante :

Alun.	144 kilog.
Pyrolignite de plomb. . .	144 —
Eau.	660 —
Cristaux de soude.	4 —

on obtient des puce en prenant :

Mordant A.	8 litres.
Pyrolignite de fer 10° B. .	4 —
Extrait quercitron 20°. . .	1/2 —
Amidon blanc.	2k 500
Léicome.	250 gr.
Huile tournante.	50 —

ou

Mordant puce.	12 litres.	16 litres.
Pyrolignite de fer 10°. . . .	2 —	4 —
Extrait quercitron 20°. . . .	3/4 —	1/2 —
Amidon blanc.	3 kilog.	4 kilog.
Léicome.	375 gr.	500 gr.
Huile tournante.	125 —	125 —

Impression des mordants.

L'impression des mordants s'exécute le plus souvent au rouleau (voir plus loin), quelquefois à la planche; surtout pour les meubles et les grands dessins.

Immédiatement après l'impression au rouleau de divers mordants, le tissu est séché en glissant le long de plaques en tôle chauffées à la vapeur. Pendant cette opération, l'acide acétique se dégage en partie, et il reste sur le tissu un sel basique. Après l'impression à la planche, la dessiccation se fait à une température moins élevée; aussi la déperdition d'acide acétique est-elle moindre.

Fixation des mordants.

Cette opération importante comprend deux phases distinctes. Dans la première, les pièces sont suspendues dans une chambre dont l'atmosphère est maintenue à un degré convenable de température et d'humidité.

On donne à ces étendages le nom de chambres d'oxydation. La température s'y élève à 22 ou 27° Réaumur. L'humidité est distribuée à la salle, d'une manière régulière, par une disposition simple. Les tuyaux de chaleur sont placés au-dessus de rigoles remplies d'eau qui se vaporise lentement. On peut à volonté augmenter la quantité de vapeur, en laissant barboter celle des tuyaux dans le liquide sous-jacent, au moyen de petits tubes latéraux, munis de robinets et distribués sur le parcours des tubes de chauffage. Le degré hygrométrique s'évalue au moyen d'un hygromètre d'Auguste. On s'arrange de façon à ce que le thermomètre, dont la boule est mouillée, marque 18°, l'autre marquant 22° Réaumur.

Lorsque l'atmosphère de la chambre est remplie de vapeurs d'acide acétique, il convient d'introduire de l'air chaud pour les expulser. Une trop forte proportion d'acide nuit à la beauté des teintes, et en laissant rentrer de l'air froid, on condenserait de l'eau sur les pièces qui seraient ainsi gâtées par les coulages.

La durée de cette opération est plus ou moins longue, suivant la nature des mordants et des dessins.

Elle est de :

72 heures pour les cachous et puce.
60 — pour les violets et les puce.
48 — pour du noir et du rouge.
26 — pour les rouges et roses seuls.

Dans ces conditions, le mordant d'alumine se décompose en laissant de l'alumine ou du sous-sulfate. Le mordant de fer qui s'oxyde laisse de l'hydrate de peroxyde ou du sous-acétate ferrique.

Dégommage et bousage.

Si, au sortir des chambres d'oxydation, les sesquioxydes étaient complétement fixés, il ne resterait plus, avant teinture, qu'à laver en eau tiède et à rincer pour éloigner les épaississants.

L'expérience prouve au contraire que le dégommage à l'eau seule ne peut que donner des résultats défavorables. Prenons comme exemple le mordant rouge ordinaire dans lequel on a précipité, par l'acétate de plomb, la moitié seulement de l'acide sulfurique de l'alun. En tenant compte des résultats observés par M. Schiffert, on peut admettre qu'il y a sur le tissu prêt à être dégommé de l'alun et de l'hydrate d'alumine. Que se passera-t-il pendant le lavage à l'eau? L'alun se dissoudra et entraînera consécutivement la corrosion d'une partie de l'alumine déjà fixée. Cette corrosion se fera irrégulièrement, et par conséquent les nuances perdront en intensité et en uniformité. D'autre part, les fonds blancs réservés par la gravure, se trouvant en présence d'une solution d'alun basique fixeront du sulfate basique d'alumine et attireront ultérieurement en bain de teinture. Un effet analogue se produit avec les mordants de fer. Le sous-acétate ferrique, incomplétement fixé, se partage en acétate neutre soluble et sesquioxyde de fer, et cet acétate dissous vient mordancer les parties blanches environnantes.

Ces effets sont encore augmentés par l'incomplète décomposition qu'éprouvent en certains points les mordants sur tissu.

Si la chaleur et l'humidité ne sont pas très-réguliè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rement réparties dans la chambre d'oxydation, il peut arriver, en effet, que certaines places de la pièce ne subissent qu'une altération peu avancée, qui laissera au mordant une grande partie de sa solubilité.

Ainsi le simple dégommage à l'eau expose : 1° à la production de nuances râclées, irrégulières; 2° à l'altération des blancs.

Depuis longtemps, les fabricants d'indiennes sont parvenus à neutraliser les inconvénients du dégommage, en remplaçant l'eau par un bain tiède de bouse de vache. Celle-ci, par l'action des sels minéraux et des matières organiques fixes qu'elle renferme, détermine la saturation complète du mordant, la précipitation des oxydes métalliques, et s'oppose en outre à ce que l'oxyde qui se détache ne puisse venir adhérer et altérer les blancs.

L'usage de la bouse de vache semble déjà ancien. Les indienneurs suisses l'employaient au milieu du 18e siècle et J.-M. Hausmann signale les avantages de ce produit dans le dégommage vers 1790. (Lettre à Berthollet, *Ann. de Chimie*, XII, p. 111.)

D'après M. D. Koechlin, l'opération du bousage a pour but :

1° De déterminer l'entière combinaison des sous-sels alumineux avec l'étoffe, en séparant l'acide acétique non volatisé pendant la dessiccation;

2° De dissoudre et d'enlever une partie des substances qui auraient servi d'épaississant;

3° De séparer de l'étoffe la partie du mordant non combinée et qui se trouve interposée dans l'épaississant;

4° D'empêcher, par la nature des substances qui composent la bouse, que le mordant non combiné, ainsi que l'acide acétique dont le bain finit par être chargé, ne se portent sur les parties blanches de la toile.

M. Camille Koechlin explique ces résultats par la double intervention des matières organiques albuminoïdes qui possèdent le pouvoir de masquer les propriétés précipitantes des sels alumineux et des sels de fer. Lorsque ce pouvoir masquant est saturé, les phosphates de la bouse précipitent le mordant qui se dissout; enfin, lorsque les phosphates solubles ont eux-mêmes disparu, le bain de bouse cesse lui-même d'être actif. Il ne faut pas négliger dans la théorie du bousage l'effet utile des parties insolubles de la bouse, dont le rôle peut être à la fois chimique ou saturant par les phosphates et carbonates alcalinoterreux et mécanique.

Le bain de bouse se monte ordinairement avec 30 litres de bouse de vache pour 1600 à 2000 litres d'eau. La bouse provenant d'une nourriture verte et surtout de betteraves est moins avantageuse que celle des fourrages secs.

Il est difficile de déterminer le nombre des pièces que l'on peut passer dans un volume donné de bain. Il dépend de la force et de l'acidité des mordants ainsi que de la nature des dessins, et varie de 20 à 60. La durée de l'immersion doit être modifiée suivant la concentration des mordants et la nature de l'épaississant. La température se règle aussi d'après les mêmes données. Ainsi, avec l'amidon et la farine, elle doit être plus élevée que pour les gommes. Elle varie de 45 à 100 degrés centigrades.

Les genres dont l'impression est chargée et dont les mordants sont épaissis à l'amidon ou à la farine sont ordinairement bousés à deux reprises, avec un dégorgeage intermédiaire.

Un mordant fort et acide est plus difficile à bouser et à dégorger qu'un mordant neutre.

Dans certains cas, lorsqu'on passe en bouse des toiles plaquées de mordants forts ou à dessins chargés, on ajoute de temps à autres un peu de craie ou de bicarbonate de potasse; autrement, lorsque le bain est devenu acide, le mordant des dernières pièces est en partie redissous.

Une température trop élevée du bain et une trop grande quantité de bouse nuisent aux mordants faibles, notamment aux roses.

La manière d'immerger les toiles en bouse est une opération importante. Il est nécessaire que les pièces passent d'une manière régulière et continue, sans plis, bien étendues, et aussi vite que possible. Il en résulterait autrement des inégalités et des teintes appauvries.

On a cherché à remplacer la bouse par divers produits tels que le son de froment, le sel à bouser (phosphate ou arséniate de soude, 50-80 gram. par hectolitre).

Dans ces derniers temps, le *silicate de soude* a réussi à détrôner la bouse. Son action est essentiellement saturante. Il fixe toute l'alumine du mordant en la précipitant sur les fibres avant qu'elle ait eu le temps de se détacher.

Exemples de bousage au silicate pour les articles garancés.

Les pièces passent en deux minutes par deux cuves chauffées à 40° Réaumur et contenant chacune : 1° pour les fonds blancs avec puce et rouge, noir et rouge, puce seul, rouge seul, roses :

2800 litres eau, 85 litres silicate de soude à 10° Baumé,

2° pour les violets et noirs, les noirs seuls et les violets seuls :

2800 litres eau, 60 litres silicate de soude à 10° Baumé.

Si après teinture les pièces devaient devenir trop foncées, on leur ferait subir un deuxième bousage dans une cuve de teinture avec 36 litres de bouse pour 500 mètres de tissus en laissant 30 minutes à 30 ou 45° Réaumur.

Exemples de bousage à la bouse pour les articles garancine.

On bouse deux fois toutes les pièces oxydées de l'article garancine pour noir, violet, gris, cachou, rouge et puce.

1er *bousage*. La pièce passe successivement par trois cuves à roulettes en deux minutes, montées avec :

La première :	La deuxième et la troisième :
1400 litres eau.	2800 litres eau.
12k,60 craie.	35k bouse.
40k bouse.	11-14k quercitron.
30° Réaumur.	65° Réaumur.

2e *bousage*. Il se fait dans une seule cuve dans laquelle on peut prendre 12 pièces à la fois pendant une 1/2 heure à 50° Réaumur. Elle renferme :

1200 litres d'eau.
20 kilog. de bouse.
6 kilog. quercitron.
2 kilog. sumac.

Pour puce seul, noir seul, gris et puce seuls, rouge et noir seuls, puce et rouge seuls, puce et noir, puce et cachou, puce et violet, le premier bousage se donne dans les trois cuves à roulettes montées avec :

La première :	La deuxième et la troisième, chaque
1400 litres d'eau.	2800 litres d'eau.
30 kil. de bouse.	25 kil. de bouse.
10 kil. de craie.	23k,50 de quercitron.
30° Réaumur.	65° Réaumur.

Le second bousage se fait dans une cuve, douze pièces à la fois :

1200 litres eau.
25 kil. bouse.
10 kil. quercitron.
59° Réaumur 1/2 heure.

Pour puce et violet seuls, on prend un peu moins de quercitron.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quant aux cuves qui servent au bousage, un simple coup d'œil sur les figures 1 et 2 donnera une idée de leur disposition.

Figure 1. Coupes verticales et horizontales de deux cuves à bouser accouplées.

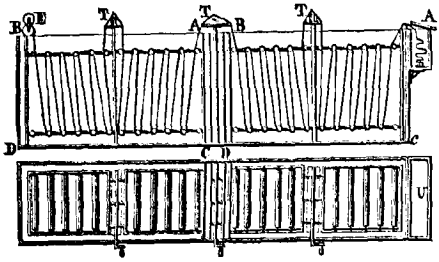


Fig. 1.

ABCD, ABDC, cuves en bois rectangulaires contenant 8 à 10,000 litres de liquide chauffé à la vapeur. Le tissu tendu passe dans les bains sur une série de rouleaux tenseurs et conducteurs.

A l'extrémité de la dernière cuve se trouvent deux cylindres en bois E et B entre lesquels le tissu doit passer et qui, avec les tourniquets T, déterminent la circulation.

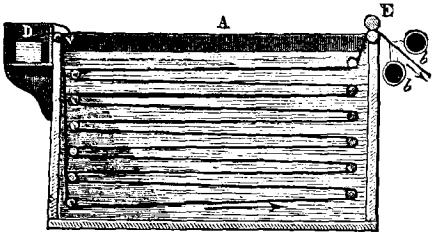


Fig. 2.

Dans l'appareil de la figure 2, le tissu circule horizontalement dans le bain de bouse ou de silicate A. Il est également tendu par des roulettes et passe entre deux cylindres exprimeurs E.

Garançage ou teinture en garance.

La teinture en garance réclame des soins tout particuliers, et il est nécessaire, lorsqu'on opère en grand, de bien connaître toutes les conditions de succès pour obtenir les nuances les plus nourries, les plus vives, les plus unies et les plus solides, tout en utilisant la matière colorante. Dans la pratique, lorsqu'il s'agit de réaliser une nuance déterminée et d'une intensité constante, le fabricant doit tenir compte des variables qui ont une influence sur le résultat, telles que la composition des eaux dont il se sert, la richesse et la nature des matières tinctoriales.

En remplaçant la garance par la fleur et la garancine, on évite les dangers résultant des irrégularités dans le mode de chauffage, de la nature des vases et d'une foule d'autres circonstances.

Généralement, la fleur peut remplacer la garance pour tous les genres destinés à l'avivage. Cependant, pour certains d'entre eux, on préfère la garance; ainsi pour les triples roses. La fleur sert à la teinture des violets et des noirs. Pour les rouges et noirs, on emploie un mélange de fleur et de garance. La fleur mélangée de garance donne un noir plus intense que si elle est seule.

Le garançage se fait dans des caisses de bois chauffées à la vapeur et surmontées d'un tourniquet animé d'un mouvement de circulation continu et sur lequel la pièce passe au large, afin de renouveler les points de contact entre le bois et la toile. Cette cuve, dont les dessins ci-contre donnent une idée, sert également pour le bousage, le passage en son et en savon.

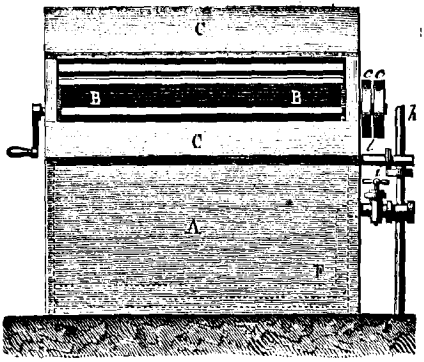


Fig. 3.

Figure 3. Vue perspective de la cuve de teinture.
Figure. 4. Coupe verticale perpendiculaire à l'axe.

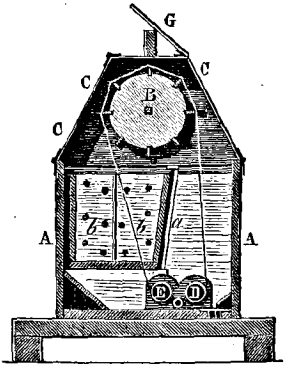


Fig. 4.

A, caisse rectangulaire en bois ou en fer de 2 à 3 mètres de long sur 1 mètre à 1m,5 de large, de 2 mètres de hauteur. B, tourniquet. La cuve est partagée, dans le sens de sa longueur, en deux compartiments communiquants au moyen de la closion incomplète *a*. Des planches *b b b* percées de trous partagent l'espace longitudinal en plusieurs compartiments transversaux.

C C, couvercles à charnières pouvant se relever ou s'abaisser. D E, rouleaux mobiles et creux en cuivre sur lesquels passent les pièces après avoir quitté les compartiments *b*. F, tuyau de vapeur percé de trous. I, robinet régulateur du chauffage. A chaque compartiment correspondent deux pièces liées bout à bout et passant en haut sur le tourniquet, en bas sur les rouleaux E D. Pendant la teinture, les pièces sont constamment mises en mouvement de circulation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 5 représente une coupe d'une cuve à teindre analogue à la précédente, mais dans laquelle, vu la lon-

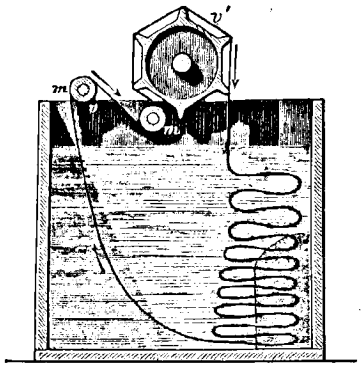


Fig. 5.

gueur des pièces, le mouvement de circulation est favorisé par l'addition de deux rouleaux supplémentaires *m m*.

Genres garancés ordinaires.

Le tissu bousé est lavé au clapot pendant une demi-heure.

1° Fond blanc avec dessins rouges et noirs.

Sur 900 mètres de tissus (9 pièces de 100 mètres se teignent à la fois dans une cuve).

10 kil. de fleur de garance.
10 kil. de garance.
1200 litres d'eau.

Faire monter la température régulièrement de 15 à 65° Réaumur durant 2 heures et maintenir une demi-heure au point extrême. Pour un dessin plus chargé, on prendra 25 kil. fleur et 25 kil. garance pour la même quantité d'eau.

2° Fond blanc, impression pure très peu chargée.

900 mètres de tissu.
7k,200 fleur de garance.
7k,200 garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures, en montant de 30 à 65° Réaumur.

3° Puce et rouge, fond blanc non chargé.

900 mètres de tissu.
20 kil. fleur.
20 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures, en montant de 30 à 65° Réaumur.

4° Fond blanc, rose, peu chargé.

900 mètres de tissu.
35 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 3 heures, en montant de 30 à 60° Réaumur.

5° Fond blanc, avec rose assez chargé.

900 mètres de tissu.
25 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 3 heures, de 30 à 60° Réaumur.

6° Rose, fond rose.

900 mètres de tissu.
72 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 3 heures, de 30 à 60° Réaumur.

7° Fond blanc avec violet et noir, dessin peu chargé.

900 mètres de tissu.
15 kil. fleur de garance.
15 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures et demie, de 30 à 70° Réaumur.

8° Fond blanc avec violet et noir, dessin peu chargé.

900 mètres de tissu.
16k,600 fleur.
16k,600 garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures 1/2 de 30 à 70° Réaumur.

9° Fond violet avec violet et noir.

900 mètres de tissu.
22 kil. fleur de garance.
22 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures 1/2 de 30 à 70° Réaumur.

10° Violet fond blanc, dessin peu chargé,

900 mètres de tissu.
12 kil. fleur de garance.
12 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures 1/2 de 30 à 70° Réaumur.

11° Fond violet.

900 mètres de tissu.
40 kil. fleur.
40 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures 1/2 de 30 à 70° Réaumur.

12° Violet, rouge, noir et fond blanc, dessin peu chargé.

900 mètres de tissu.
14 kil. fleur de garance.
14 kil. garance.
1200 litres d'eau.

13° Violet, rouge, noir, fond violet.

900 mètres de tissu.
18 kil. fleur.
18 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures 1/2 à 65° Réaumur.

14° Rouge fond blanc, dessin peu chargé.

900 mètres de tissu.
21k,60 fleur.
1200 litres d'eau.

Teindre en 2 heures de 30 à 65° Réaumur.

Plus la température du bain est élevée, plus les rouges prennent une nuance désagréable; c'est pour cette raison qu'on ne monte jamais plus haut qu'à 65° Réaumur avec les pièces contenant du rouge.

15° Noir, fond blanc peu chargé.

900 mètres de tissu.
9 kil. fleur.
9 kil. garance.
1200 litres d'eau.

Teindre en 1 heure 1/2 de 30 à 70° Réaumur.

Dans toutes ces opérations, on peut substituer la fleur à la garance sans inconvénient majeur, en se rappelant que la fleur a un pouvoir tinctorial double de la garance. Après la teinture, on lave une heure au clapot.

Genre garancine. — Dans la teinture en garancine, on ajoute souvent par économie une certaine proportion de bois de lima, de sapan et de sumac.

Les pièces qui renferment beaucoup de puce restent deux heures dans la cuve; celles où le rouge, le violet, le gris, le noir et le cachou dominent y restent deux heures et demie.

On prend pour 12 pièces, impression chargée :

120 litres d'eau.
120 kil. garancine.
6 kil. de lima.
2k,5 quercitron.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On monte de 30 à 60° Réaumur.
Pour noir avec fond cachou :
1200 litres d'eau.
4k,5 garancine.
4k,5 lima.
2 kil. 1/2 quercitron.
1k,5 sumac.
Monter de 30 à 52° Réaumur.
Pour fond rouge avec noir et puce.
9 kil. garancine.
6 kil. de bois de sapan.
3 kil. sumac.
Monter de 30 à 62° Réaumur.
Pour fond puce seul :
6 kil. garancine.
20 kil. lima.
4 kil. quercitron.
4k,5 écorce.
1200 litres d'eau.
Monter de 30 à 40° Réaumur.

On lave au clapot après teinture pour enlever les parties de poudre adhérentes.

La teinture en alizarine commerciale se fait dans les mêmes conditions qu'avec la garancine; on ne l'emploie que lorsque les violets dominent.

Avivage.

Les couleurs obtenues avec la garancine et l'alizarine commerciales sont assez pures et assez belles pour se passer d'opérations dirigées dans le but d'en rehausser l'éclat.

Il suffit de bien laver et d'amener le fond blanc à toute la pureté désirable.

Les articles garancine sont passés en son ou en savon.

On passe en son les pièces à fond puce sans autre couleur, et les fonds blancs sans violet. Cette opération sert à rendre les couleurs plus belles.

Pour fond puce sans violet on prend, pour 18 pièces :
1200 litres d'eau.
9 kil. de son.
2k,5 de bouse.

La température est de 45° Réaumur, la durée de passage est de 30 minutes. Le bain de son se donne dans une cuve semblable à celles qui servent à la teinture. Pour les pièces à fond blanc sans violet, pour 18 pièces :
1200 litres d'eau.
9 kil. son.
1k,5 de bouse.
Température, 30 à 45° Réaumur, 30 minutes.
Les pièces passées en son ne sont pas savonnées.
Après le son, on lave pendant 30 minutes au clapot.

Passages en savon. — On savonne toutes les pièces de l'article garancine qui ont du violet, tant pour le mieux fixer que pour le rendre plus vif.

Pour les pièces qui sont imprimées avec beaucoup de violet, on prend :
1320 litres d'eau.
8 kil. savon blanc.
Température, 80° Réaumur; durée, 1 minute.
Pour les pièces qui ont moins de violet, on prend :
1320 litres d'eau.
4 kil. savon blanc.
Température, 80° Réaumur; durée, 1 minute.

Chlorage. — Le lavage, le passage en son ou en savon ne suffisent pas pour blanchir complétement les parties non mordancées réservées par la gravure, et qui ont fixé, néanmoins une certaine proportion de matière colorante, moindre il est vrai qu'avec la garance.

Les pièces de l'article garancine sont chlorées deux fois. Le premier chlorage, dit à la vapeur, consiste à imprégner la fibre d'une solution très faible de chlore; le tissu passe ensuite par une grande cuve ou caisse contenant de la vapeur d'eau.

La chaleur humide détermine l'action oxydante du chlore et la destruction de la faible proportion de matière colorante qui adhère au blanc. Le bain de chlore doit être assez faible pour que le tissu ne puisse être attaqué et que l'intensité des couleurs n'en souffre que d'une manière inappréciable.

Dans le deuxième chlorage, la pièce, humectée une seconde fois au chlore, passe tendue sur une douzaine de tambours chauffés à la vapeur; elle se sèche et achève ainsi de se blanchir.

1° Pièces renfermant beaucoup de violet.

Solution pour le 1er chlorage.

50 litres eau; eau de chlore, 2 litres; 16 gr. bleu outremer.

Solution pour le 2e chlorage.

Eau 16 litres, eau de chlore 2 litres, 2k,240 bleu outremer.

2° Fond puce.

1er chlore. 12 litres eau, 2 litres eau de chlore, 15 gr. bleu outremer.

2e chlore. 16 litres eau, 2 litres eau de chlore, 1k,120 outremer.

3e Double gris.

1er chlore. 24 litres eau, 2 litres eau de chlore, 15 gr. outremer.

2e chlore. 120 litres eau, 2 litres eau de chlore, 1k,120 outremer.

4e Pièces avec beaucoup de rouge.

1er chlore. 40 litres eau, 2 litres eau de chlore, 15 gr. outremer.

2e chlore. 40 litres eau, 2 litres eau de chlore, 1k,120 outremer.

5° Pièces imprimées avec beaucoup de cachou.

1er chlore. 24 litres eau, 2 litres eau de chlore. 15 gr. outremer.

2e chlore. 60 litres eau, 2 litres eau de chlore, 1k,12 outremer.

Les mêmes couleurs ci-dessus mentionnées, avec fond blanc, reçoivent le même chlorage, mais on supprime l'outremer.

Le chlorage des articles garancine a été employé pour la première fois dans la maison Blech, Steinbach et Mantz dès 1847.

Dans le blanchiment par le chlore des pièces teintes en garancine, une circonstance heureuse a permis d'opérer avec une grande régularité. On observe que les parties non imprimées se mouillent plus que celles qui sont teintes. Il en résulte que le chlore agit avec plus d'intensité sur le blanc.

Souvent on remplace l'eau de chlore par une solution de chlorure décolorant en fournissant en moyenne 12 centilitres de chlorure à 8° Baumé par mètre de tissu.

Il est plus avantageux de plaquer au rouleau mille points que de fouler.

Le chlorure est employé à 1/2, 2 ou 3 degrés Baumé, suivant la gravure et le mode de séchage.

Après le chlorage, il ne reste plus qu'à apprêter avec de l'empois de fécule, d'amidon ou des deux à la fois.

Avivage des articles garancés.

Au sortir du bain de garançage, les fonds sont chargés de couleur et les nuances sont ternes. Pour arriver aux beaux produits de l'industrie moderne, on fait subir aux pièces garancées une série d'opérations connues sous le nom d'avivage.

A la fin du siècle dernier, les pièces dégorgées étaient exposées durant des semaines sur pré, à l'action de la lumière et des influences atmosphériques. Lorsqu'elles commençaient à s'affaiblir, on les reprenait pour les faire bouillir en eau de son.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce n'est que par des découvertes successives amenées par de nombreux essais, quelquefois par le hasard, que l'on a été conduit aux procédés usités généralement de nos jours, et dont nous allons donner une courte description.

1° Avivage des roses et des rouges seuls.

Il varie d'une fabrique à l'autre. On fait cependant généralement intervenir les bains de savon, le passage en bain acide de nitromuriate d'étain et l'on termine par une ébullition en chaudière close avec des cristaux de soude et du savon.

Exemple :

1° Passage au savon.

1200 litres eau, 900 mètres tissu, 4 kil. de savon blanc de Marseille, 45° Réaumur, 5 quarts d'heure.

2° Lavage au clapot.

3° Passage au nitromuriate d'étain.

800 litres eau, 300 mètres tissu, 1l,5 de nitromuriate, 45 à 50° Réaumur, 15 à 20 minutes.

4° Passage au clapot.

5° Deuxième savon. Comme le premier, en prenant 3 kil. savon pour 1200 litres eau et 900 mètres tissu, 75° Réaumur, 3 quarts d'heure.

6° Lavage au clapot.

7° Troisième savonnage, comme le deuxième.

8° Lavage au clapot.

9° Ébullition en chaudière close.

1200 litres eau, 2l,500 cristaux de soude, 2l,500 savon, pendant 2 heures.

10° Lavage au clapot.

11° Passage en eau chaude à 40° Réaumur, 30 minutes.

L'exposition sur pré se pratique encore pour les triples roses meubles; on obtient des nuances plus transparentes.

Au premier savon, la pièce se dégorge et cède au bain une certaine quantité de matière colorante; en même temps, une partie de l'acide gras se précipite sur le tissu en communiquant à la laque une plus grande solidité.

Le traitement au nitromuriate fait virer à l'orangé les rouges et les roses; mais par le passage ultérieur en savon, les teintes reviennent avec un éclat qu'elles ne possédaient pas auparavant.

Avivage des violets, des puces et des noirs sans rouge.

Cet avivage ne comporte pas l'emploi du nitromuriate d'étain.

1° Passage en chlorure de chaux.

900 mètres tissu, 800 litres eau, 4 litres chlorure de chaux à 8° Baumé, 30 à 40° Réaumur, 1/4 d'heure.

2° Lavage au clapot.

3° Savonnage, 900 mètres tissu, 1200 litres eau, 4l,500 savon, 70° Réaumur, 3/4 d'heure.

4° Lavage au clapot.

5° Passage au chlorure de chaux, 20 minutes, à 40 ou 50° Réaumur, comme le premier.

6° Lavage au clapot.

7° Deuxième savonnage, 500 mètres tissu, 1200 litres eau, 2 kil. savon, 75° Réaumur, 20 minutes.

8° Lavage au clapot.

9° Passage au chlorure de potasse.

1200 litres eau, 500 mètres tissu, 4 kil. carbonate de soude, 10 litres chlorure de potasse, 45° Réaumur, 20 minutes.

10° Lavage au clapot et séchage.

Avivage des rouges avec puce et noir.

1° Passage au chlorure de chaux.

300 mètres tissu, 800 litres eau, 4 litres chlorure de chaux à 8° Baumé, 25 à 35° Réaumur, 15 minutes.

2° Lavage au clapot.

3° Premier passage en savon. 900 mètres tissu, 1200 litres eau, 4 kil. savon, 35 à 45° Réaumur, 3/4 d'heure.

4° Lavage au clapot.

Si le noir est encore assez fort, on donne un passage en nitromuriate d'étain, sinon on passe en chlorure de chaux, comme il suit :

5° 800 litres eau, 300 mètres tissu, 4 litres chlorure de chaux à 8° à 35° Réaumur, 20 minutes.

6° Lavage au clapot.

7° Deuxième savonnage. 1200 litres eau, 900 mètres tissu, 3 kil. savon, 75° Réaumur, 3/4 d'heure.

8° Lavage au clapot.

9° Troisième passage en savon, comme le deuxième.

10° Lavage au clapot.

11° Quatrième passage en chlorure de chaux.

800 litres eau, 300 mètres tissu, 1250 gr. cristaux de soude, 5 litres chlorure de chaux à 8° Baumé, 40° Réaumur, 30 minutes.

12° Lavage et séchage.

L'avivage des violets, rouges et noirs est le même; seulement, au lieu de donner le dernier passage en chlorure de chaux, on donne le passage en chlorure de potasse suivant :

1200 litres eau, 900 mètres tissu, 4 kil. cristaux de soude, 10 litres chlorure de potasse à 6° Baumé, 30 à 35° Réaumur, 20 minutes.

Les pièces séchées sont cylindrées, puis apprêtées avec de l'empois de fécule et du bleu d'outremer; on sèche et on cylindre une seconde fois. Pour les fonds violets, on prend plus d'outremer que pour les autres couleurs.

APPLICATION DE LA MATIÈRE COLORANTE DE LA GARANCE PAR VOIE D'IMPRESSION.

Ce genre représente un mode tout spécial d'obtenir les couleurs garancées sur tissu. Au lieu de fixer le mordant sur certains points de la pièce et d'immerger celle-ci complétement dans un bain de teinture, on s'arrange de façon à imprimer la matière colorante dans un état de solution convenable.

Dans ce cas, la couleur à imprimer peut ne renfermer que la matière colorante, et le tissu doit être uniformément préparé au mordant.

2° La couleur contient la matière colorante et l'oxyde qui servira de mordant, c'est-à-dire les éléments de la laque qui doit se fixer.

3° La couleur renferme la laque insoluble préparée d'avance, avec un fixateur plastique qui la fera adhérer.

Dès 1827, on a tenté des efforts en vue d'appliquer directement par impression les matières colorantes de la garance. MM. Robiquet, Colin, Lagier, Persoz, Gastard, Fauquet ont successivement abordé la question.

En 1855, M. A. Hartmann de Mulhouse a fait, avec le concours de la maison Schwartz Huguenin, des essais sérieux dans cette voie. Mais ce n'est que depuis quelques années que, grâce aux travaux des chimistes de la maison de Cosmanos et de la fabrique de M. Scheurer, grâce aussi à la production des extraits de garance très-purs livrés par MM. Kopp, Schaaff et Lauth et Meissonier que l'on imprime couramment les matières colorantes de la garance sur tissu non mordancé.

La couleur à imprimer se compose d'une solution acétique d'alizarine additionnée d'acétate d'alumine ou de fer et épaissie à l'amidon. Après l'impression, on laisse quelque temps les pièces suspendues à l'air, puis on vaporise. Ce genre rentre donc dans les couleurs vapeurs.

Rouge turc ou rouge d'Andrinople.

Il nous reste à parler, pour compléter l'histoire des genres dérivés de la garance, du rouge turc, qui occupe une place à part par la nature des éléments qui concourent à sa formation et par l'éclat et la solidité de la nuance.

Ce mode de teinture à pris naissance dans l'Inde.

Avant de mordancer en alumine, on prépare le tissu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au moyen d'un corps gras (huile tournante) que l'on modifie ensuite convenablement par l'action combinée ou successive des carbonates alcalins, de la chaleur, de la lumière et des influences atmosphériques.

Le produit de l'altération spéciale de l'huile tournante fonctionne déjà comme mordant et attire en bain de garance pour donner un rouge moyen qui, après avivage, passe au rouge pur. Combiné avec l'alumine ou l'oxyde de fer, il communique à la laque des caractères remarquables de solidité qui permettent un avivage très-intense. Dans la plupart des procédés de rouge turc, l'alunage ou mordançage à l'alumine est suivi d'un engallage.

La teinture en garance n'offre rien de particulier.

L'avivage est beaucoup plus énergique et plus long que l'avivage ordinaire. Il se donne en chaudière close avec du savon ou du carbonate alcalin et du chlorure stanneux. Ce traitement, que ne supporteraient pas les garancés non huilés, a pour résultat de communiquer à la couleur une nuance feu extraordinairement belle.

La figure 6 représente la chaudière close servant à l'avivage des rouges d'Andrinople.

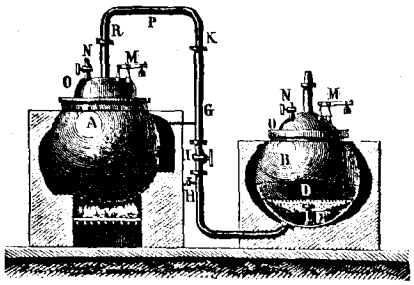


Fig. 6.

A côté de la chaudière principale A, s'en trouve une autre mise en communication avec elle par le tube coudé P, muni du robinet I. Les chaudières A et B contiennent un double fond D supporté en E.

La vapeur, pénétrant au-dessous du fond D traverse les orifices dont il est percé et se répand dans le tissu superposé. M M, soupapes de sûreté. N, robinet pour l'écoulement de la vapeur au dehors. Chaque chaudière présente en outre un robinet de vidange.

En résumé, cette appareil fonctionne comme deux chaudières closes d'avivage, dont l'une est chauffée à feu nu, et l'autre par la vapeur issue de la première.

La clef de la fabrication du rouge d'Andrinople réside donc dans l'intervention d'un corps gras et dans la modification toute spéciale qu'on lui fait subir.

Cette altération s'obtient par une série d'opérations longues et dispendieuses. Quelques fabricants, notamment M. Steiner de Manchester, sont parvenus à abréger beaucoup la durée du traitement et à réaliser ainsi une grande économie de temps, tout en produisant des nuances supérieures.

On ignore encore quelle est la nature exacte de l'altération de la graisse et par quelle série de transformations elle devient apte à jouer un rôle aussi utile.

Voici comment on procède généralement :

Les pièces blanchies sont foulardées dans une émulsion d'huile tournante et de carbonate alcalin, appelée bain blanc. On dessèche à l'étuve chaude, puis on expose sur pré. Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que le tissu soit suffisamment chargé de corps gras modifié. On le débarrasse de l'excès de graisse en le foulant dans une solution de carbonate alcalin, puis on mordance à la manière ordinaire; on passe en bain de noix de galle ou de sumac; on lave et on teint en garance. Reste l'avivage. On avive plusieurs fois (2 ou 3 fois) toujours en chaudière close et à une pression convenable. Le premier avivage se donne dans un bain de savon et de carbonate de potasse; les deux autres, dans un bain de savon et de sel d'étain.

Voici un exemple de fabrication pour 1000 kil. coton, 585 à 650 kil. huile tournante, 1500 litres eau et 9 à 10 kil. carbonate de potasse :

Après l'immersion, on met les pièces en tas dans un endroit frais pendant 10 à 12 heures, puis on sèche à l'étendage à 60°.

Ces opérations se répètent de 7 à 8 fois.

Dégraissage. — Macérer à 2 reprises pendant 24 heures dans une solution de carbonate de potasse à 2°; exprimer, rincer à l'eau, foularder à 70° dans un bain monté avec 300 kil. de décoction de noix de galle (10 kil.) et 16 kil. d'alun. Ces proportions suffisent pour 500 kil. de coton. Suspendre à l'étendage à 45° deux jours. Passer en bain de craie. Teindre 20 pièces à la fois avec 3 à 4k,5 de garance par pièce, 15 à 1800 litres d'eau. Monter en 2 heures 3/4 à l'ébullition que l'on maintient 1/2 heure.

Second engallage et mordançage, comme le premier.

Seconde teinture, comme la première.

Premier avivage en chaudière close. 8 heures d'ébullition, 6 kil. savon, 1k,50 carbonate de potasse.

Deuxième avivage en chaudière close. 6k,5 savon, 0,375 sel d'étain.

Troisième avivage, comme le précédent. Passage en son.

COULEURS SOLIDES.

A la suite de la fabrication des articles garancés qui forme la base de l'industrie de l'indienne, nous traiterons de l'application de quelques autres couleurs solides sur coton, telles que le cachou, l'indigo, le noir d'aniline, le quercitron, la gaude, les couleurs métalliques.

Genres dérivés du cachou.

Le cachou fut employé pour la première fois en Europe en 1806, par MM. Schœppler et Hartmann, comme couleur brune, pour accompagner les nuances garancées. Leur procédé, publié par Dingler, ne fut pas adopté, et ce n'est qu'en 1829 que l'usage de ce produit pour l'impression du coton commence à prendre de l'importance.

Les principes sur lesquels repose la fixation du cachou sont les suivants :

Le cachou du commerce renferme comme principe essentiel une matière incolore, soluble dans l'eau, les lessives alcalines et l'acide acétique. La catéchine, c'est le nom qu'on lui donne, étant soumise à divers actions oxydantes, se convertit en principes insolubles bruns. On conçoit donc qu'en imprégnant la fibre textile d'une solution de ce principe colorable, et en la soumettant ensuite à l'influence des oxydants convenables, la matière brune insoluble se formera dans les pores mêmes du tissu et se trouvera parfaitement fixée.

Cette oxydation peut s'effectuer :

1° Par simple exposition du tissu à l'air.

2° D'une manière plus rapide par le vaporisage.

Dans les deux cas, on favorise l'oxydation en introduisant dans la couleur à imprimer des agents oxydants qui ne produisent leur effet qu'à la longue ou pendant le vaporisage (sels de cuivre).

3° Par un passage en solution alcaline qui exalte l'affinité de la catéchine pour l'oxygène.

4° Par un passage en solution de bichromate.

5° Quelquefois on combine deux de ces procédés.

Ainsi, le vaporisage et le passage en chromate, l'aérage et le vaporisage.

Il est évident que, pour des impressions avec cachou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seul, le fabricant choisira le mode opératoire le plus prompt et le plus complet, qui est sans contredit le passage au chromate; mais si le cachou est associé à d'autres nuances, il faut nécessairement adopter le procédé convenant à ce cas complexe, c'est-à-dire celui qui ne peut pas nuire à l'intégrité des couleurs associées. On modifie la nuance propre donnée par le cachou en introduisant divers sels ou préparations métalliques, telles que les sels de fer, de manganèse, etc.

D'après les expériences de MM. C. Koechlin et Mathieu Plessy, le chlorhydrate d'ammoniaque favorise beaucoup l'oxydation des matières colorantes par les sels de cuivre. Les plus anciennes formules de cachou renferment déjà, comme moyen de fixation, un mélange de sel de cuivre et de chlorhydrate d'ammoniaque. Il se forme probablement par double décomposition du chlorure cuivrique. La matière colorable réduit celui-ci à l'état de chlorure cuivreux, qui reste en solution à la faveur du sel ammoniac. Il se réoxyde à l'air et devient susceptible d'agir sur une nouvelle portion de matière organique.

C'est vers 1832 que l'on commença à oxyder le cachou par le bichromate de potasse dans la maison Frère Koechlin.

Les nuances foncées sont vaporisées avant d'être foulardées en chromate. La dissolution de ce sel doit être assez active pour empêcher le coulage de la couleur. On atteint ce résultat par une concentration et une élévation de température convenable. Pour les nuances claires, on remplace le vaporisage par une simple exposition à l'air.

Le passage en chaux pour oxyder les pièces imprimées en cachou est moins favorable que les autres procédés. On l'emploie dans le cas où l'on imprime en même temps d'autres nuances se fixant à la chaux, telles que le bleu solide. Les couleurs cachou s'associent souvent aux nuances dérivées de la garancine; elles sont remarquables par leur solidité, leur résistance aux alcalis, au savon, aux acides, au chlore.

Voici quelques exemples de couleurs cachou d'impression :

Cachou.	6 kil.
Soude à 10° Beaumé. .	8 litres.
Eau.	8 —

Épaissir à la gomme, vaporiser et oxyder par un passage en chromate (5 à 7 gram. de bichromate par litre d'eau, température 60 à 70° Réaumur, 20 minutes).

Cachou.	6 kil.
Acide acétique, 7° Beaumé. . . .	12 litres.
Eau.	4 —

Épaissir avec de la gomme, vaporiser et oxyder en chromate.

Cachou.	10 kil.
Acide pyrolygnite.	12 litres.
Acétate de chaux à 7° Beaumé	5 —
Acétate de manganèse à 30° Beaumé.	5 litres.
Gomme.	7k,500

Vaporiser et oxyder en chromate.

Cachou.	3 kil.
Acide pyroligneux.	6 litres.
Sel ammoniac.	360 gr.
Verdet.	31 —
Eau de gomme à 700 gr. par litre. .	6 litres.
Acétate de chaux.	1,50

Se passe en eau de chaux après aérage, ne se vaporise pas et ne se passe pas en chromate.

Cachou à garancer.

Cachou.	14 kil.
Eau.	18 litres.
Sel ammoniac.	5 kil.
Azotate de cuivre.	3k,375
Acide acétique 7° Baumé. . .	13 litres.
Acétate de chaux.	9 —
Gomme.	15 kil.
Pyrolignite d'alumine à 10° B.	1 litre.

On fixe à la chambre à oxyder, on bouse, puis on teint en garance. Ce cachou s'imprime à côté des mordants.

Pour les fonds cachou, on peut procéder de quatre manières différentes : 1° on imprime un mélange de décoction acétique de cachou et de pyrolignite de fer; on laisse oxyder pendant 24 heures et on passe en chromate.

Couleur mère.

Cachou jaune.	100 gr.
Eau.	2 litres.
Acide acétique à 8° Baumé.	100 gr.
Gomme.	1 kil.

Sur 100 litres couleur mère, on prend 1 litre pyrolignite de fer à 10°. Pour une nuance plus claire, on étend encore de 4 litres eau de gomme. Après l'impression du fond on laisse oxyder 24 heures et on passe en chromate (1 litre eau, 5 gr. bichrom., 75° Réaumur, 2 minutes dans une cuve à roulettes); laver une demi-heure au clapot.

2° Imprimer une décoction de cachou sans fer et procéder comme ci-dessus.

3° On imprime le mordant nankin suivant :

Sulfate ferreux. .	2 kil.
Acétate de plomb. .	1k,500.
Eau.	2 litres.

A 2 litres de cette préparation, séparée du sulfate de plomb, on ajoute 1k,250 léiocome et l'on a la couleur mère que l'on étend de 7 à 45 litres d'eau de léiocome selon la nuance. Après l'impression, on oxyde pendant 24 heures à l'étendage, on passe en silicate, on lave et on teint en cachou. Pour 50 mètres de tissu, on prend :

Eau.	150 litres.
Décoction de cachou à 180 gr. par litre.	3 —

On monte de 15 à 60° Réaumur, on passe au chromate, on lave et on sèche.

4° On imprime et on fixe par les procédés ordinaires un mordant rouge; on teint en cachou et on passe au chromate.

Pour les fonds modes : 1° on imprime un mélange de cachou ou de pyrolignite de fer et l'on passe dans un bain de bichromate à 45° Réaumur; ou 2° on imprime le mordant nankin, on teint en cachou comme ci-dessus, mais on ne passe pas en chromate.

5° On imprime un mélange de cachou et de mordant nankin; après l'impression, on laisse oxyder pendant 24 heures, on vaporise 1/2 heure à deux atmosphères on lave au clapot et on sèche.

Les procédés de fixation du cachou, au moyen des sels de cuivre ou du chromate s'appliquent aussi à la teinture et à l'impression de la soie et de la laine. Les teintes que l'on peut réaliser avec le cachou sont les diverses nuances de brun, l'olive, les bois foncés et clairs, les carmélites, les jaunes plus ou moins brunâtres.

Genres dérivés de l'indigo.

L'indigotine ou matière colorante de l'indigo ne peut se fixer qu'à condition d'être amenée à l'état soluble. On atteint ce but de deux manières : 1° l'indigotine bleue est transformée en indigo blanc soluble à la faveur des alcalis ou de la chaux. Cette solution, étant mise en présence de la fibre, lui cède l'indigo blanc, qui se fixe et passe au bleu par une oxydation ultérieure; 2° on combine l'indigotine avec les éléments de l'acide sulfurique pour former l'acide sulfindigotique. A vrai dire, on obtient ainsi une nouvelle matière colorante, qui n'est plus apte à régénérer l'indigotine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les méthodes de réduction varient avec la nature de la fibre. Pour le coton on emploie toujours l'oxyde ferreux, et l'on monte, les cuves de teinture avec un mélange d'indigo broyé à l'eau, de vitriol de fer exempt de sulfate de cuivre et de la chaux éteinte.

La chaux déplace l'oxyde ferreux en formant du sulfate de chaux. L'oxyde ferreux réduit l'indigotine en passant lui-même à l'état d'oxyde ferrique; enfin l'indigo blanc blanc réduit se dissout à la faveur d'un excès de chaux. Le dépôt des cuves se compose donc, si l'opération est bien menée, d'oxyde ferrique hydraté et de sulfate de chaux. C'est dans le liquide clair surnageant que l'on plonge les pièces à teindre.

Pour la laine on fait usage de cuves où la réduction de l'indigo se fait par suite d'une fermentation butyrique, provoquée par un mélange de matières sucrées et azotées en présence d'un alcali.

Ainsi on fait intervenir le pastel, le vouède, le son, la garance, les alcalis, la chaux, l'ammoniaque.

Ces cuves fonctionnent à chaud.

Avec le sulfate de fer et la chaux la réaction s'opère à froid, mais elle est favorisée par une légère élévation de température. Quant aux proportions employées, elles sont variables, et dans chaque établissement on trouve d'autres règles admises. Lorsqu'une cuve doit servir à la teinture, il convient d'exagérer les quantités de chaux et de sulfate de fer indiquées par la théorie; l'excès de chaux et d'hydrate ferreux restés dans le dépôt servent, chaque fois que l'on remue la cuve, à réparer les pertes éprouvées par l'oxydation au contact de l'air. Les proportions généralement employées, sont:

Indigo.	1 partie,
Sulfate ferreux crist.	3 —
Chaux vive (éteinte après la pésée). .	3 —

ou

Indigo.	2 parties.
Sulfate ferreux. .	5,5 —
Chaux vive	5 —

On mélange l'indigo bien broyé à l'eau avec le lait de chaux et on y verse peu à peu en remuant la dissolution de sulfate ferreux. On peut aussi délayer l'indigo dans la dissolution ferrugineuse et y verser peu à peu le lait de chaux. Le mélange opéré on le laisse en repos pendant quelques temps, en remuant jusqu'à ce que la nuance olivâtre de la masse annonce une réduction parfaite.

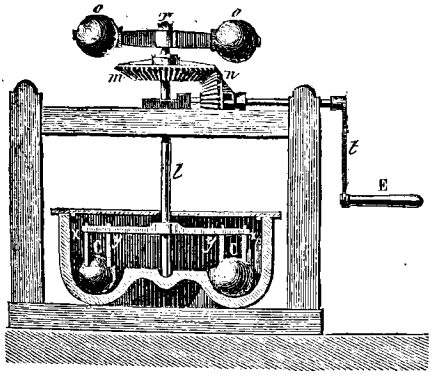


Fig. 7.

Le broyage de l'indigo se fait dans des appareils analogues à ceux de la figure 7, au moyen de boulets en fer c, mis en mouvement dans une chaudière à fond relevé vers le centre par l'intermédiaire d'un agitateur xy l.

E, manivelle, mn, roue d'engrenage conique, r et o, balancier, l, axe de rotation, xy, bras de l'agitateur.

Les figures 8 et 9 représentent deux coupes d'un autre genre de moulin. Le réservoir a est demi-cylindrique, en fer, à bords élevés; il est fermé par un couvercle b offrant une fente médiane et transversale, dans

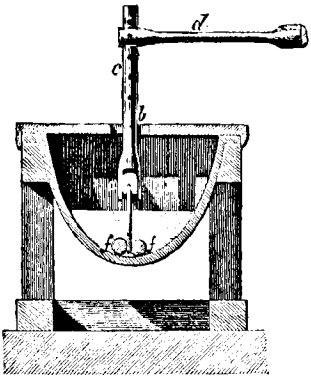


Fig. 8.

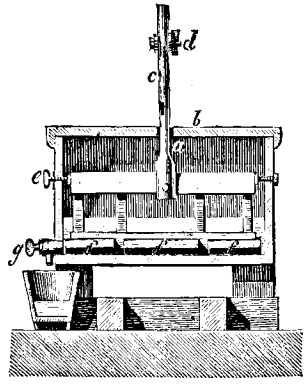


Fig. 9.

laquelle la tige c peut aller et venir. La tige c reçoit son mouvement de balancier par l'intermédiaire de d. Elle porte à son extrémité inférieure un cadre e, sur lequel s'appuient six rouleaux en fer, trois de chaque côté. Le mouvement de va et vient imprimé au cadre pousse alternativement en avant l'un ou l'autre système de rouleaux, dont la friction détermine la pulvérisation.

Nous n'entrerons pas dans la description détaillée des dispositions que l'on peut donner à une cuve à la couperose et aux cadres destinés à l'immersion des pièces. Elle se compose ordinairement soit d'un grand cuveau en bois, soit d'une citerne en maçonnerie au ciment, enfoncés en terre; les bords ne dépassant que de $0^m,40$ la surface du sol. Leur forme est cylindrique ou parallélipipédique. Leur profondeur doit être suffisante pour que la pièce tendue sur le cadre d'immersion, dans le sens de sa largeur, reste encore à une certaine distance du dépôt.

Les bleus unis s'obtiennent par une simple immer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

sion dans la cuve montée avec l'indigo réduit, comme il a été dit plus haut, et une quantité suffisante d'eau. Cette immersion est suivie d'une exposition à l'air (déverdissage). En variant la force de la cuve, ainsi que le nombre et la durée des immersions, on obtient à volonté des gradations de nuances, depuis le bleu le plus clair jusqu'à celui qui paraît presque noir. Après les cuvages et déverdissages on passe en acide sulfurique à 1 ou 2° Beaumé, et on rince à l'eau. Les fonds bleus cuvés peuvent être combinés avec des impressions blanches ou diversement colorées, et cela par deux méthodes distinctes. Tantôt on imprime, avant le cuvage, une préparation (réserve) capable de s'opposer à la fixation de l'indigotine. Tantôt, au contraire, on détruit l'indigo fixé en certains points déterminés par l'impression, au moyen d'agents chimiques convenables (enlevage.)

Réserve pour :	Gros bleu.	Bleu moyen.
Eau.	4 litres.	4 litres.
Sulfate de cuivre.	1k,210	500 gr.
Acétate de cuivre.	500 gr.	250 —
Azotate de cuivre.	875 —	500 —
Alun.	240 —	240 —
Terre de pipe.	2k,125	2 kil.
Amidon grillé.	1k,250	1 —

Les sels de cuivre oxydent l'indigo blanc avant qu'il n'ait pu pénétrer dans la fibre, la terre de pipe agit mécaniquement. Après le cuvage, qui exige quelques précautions particulières, on lave et on dissout la couleur réserve qui laisse du blanc.

Pour enlevage on plaque les pièces cuvées en solution de chromate :

Eau.	2 litres.
Chromate jaune.	500 gr.

On sèche et on imprime la préparation suivante :

Acide tartrique.	3 kilog.
— oxalique.	250 gr.
Amidon grillé.	4 kil.
Acide azotique.	500 gr.
Eau.	4 litres.

Les acides chromique et azotique oxydent l'indigo fixé et le décolorent. On met les pièces à l'eau de craie aussitôt que le blanc paraît.

Procédés au moyen desquels on fixe l'indigo par voie d'impression.

1° Bleu faïence. La théorie de ce bleu d'impression est fort simple. On imprime de l'indigo bleu et on passe le tissu alternativement dans des cuves au vitriol vert et à la soude, qui produisent une réduction et une solution sur place de l'indigotine; enfin on passe en acide sulfurique et on laisse oxyder.

Composition de la couleur à imprimer.

1° Bleu de provision.

Indigo broyé. . .	4 kil.
Acétate de fer. . .	10 lit.
Sulfate de fer. . .	1 kil.
Eau. . .	10 lit.
Gomme Sénégal. . .	6 kil.

2° Couleurs à imprimer.

Bleu de provision.	1 k.	3 k.	4 k.
Acétate de fer à 7°, avec 700 gr. gomme par litre. . .	2 k.	1/2 k.	1/2 k.
Eau de gomme à 600 gr. par litre .	16 k.	1/2 k.	1/2 k.

On laisse tremper le tissu imprimé et séché un quart d'heure dans une cuve à la chaux (12k,500 de chaux, eau quantité suffisante pour remplir la cuve); un quart d'heure dans le sulfate de fer à 7° B.; 1/4 d'heure dans une seconde cuve à la chaux; un quart d'heure dans le sulfate de fer; cinq minutes en soude caustique à 14°; une demi-heure en acide sulfurique (500 gr. par mesure d'eau); enfin on rince à l'eau.

2° Bleus et verts solides.

Le bleu solide est exclusivement employé de nos jours pour fixer l'indigo par voie d'impression. On commence par précipiter la partie claire d'une cuve forte à la couperose par une solution acide de protochlorure d'étain; ou bien on monte une forte cuve à l'étain et on la précipite par l'acide chlorhydrique. Le précipité est recueilli sur des chausses en laine et lavé.

La pâte épaissie à la gomme est imprimée et le tissu passé à la chaux, puis à l'eau. La chaux dissout momentanément l'indigo réduit, lui permet de pénétrer dans la fibre où l'oxydation ultérieure le fixera. Nous pourrions nous étendre beaucoup sur les effets qui sont à réaliser avec l'indigo, mais nous dépasserions les bornes que comporte un ouvrage de ce genre.

Noir d'aniline. — Le noir d'aniline d'impression sur coton ne rentre pas comme manipulation dans l'application des couleurs d'aniline en général. Il appartient aux couleurs éminemment solides, et par son mode de formation il peut se placer à côté de l'indigo. Il se forme directement sur tissu de coton par l'oxydation d'un sel d'aniline, dans des conditions spéciales se rapprochant beaucoup de celles qui donnent l'émeraldine. La découverte de cette nouvelle couleur est due à John Lightfoot, son emploi a été perfectionné par M. Lauth.

Pour l'impression on commence par préparer de l'empois d'amidon à 120 grammes par litre; on y dissout à chaud du chlorate de potasse et du sulfate de cuivre; après refroidissement on ajoute du chlorhydrate d'aniline et de l'acide acétique ou tartrique.

Eau. . .	2k,250
Amidon. . .	275
Cuire pour empois et y dissoudre à chaud:	
Sulfate de cuivre. . . .	56 gr.
Chlorate de potasse. . .	56 gr.
Remuer jusqu'à refroidiss. et ajouter :	
Chlorhydrate d'aniline. . .	175 gr.

Imprimer, sécher à une douce température et exposer 36 à 48 heures dans une chambre humide chauffée à 30° centigrades; enfin passer dans un bain de bichromate à 6 pour 100. Ce noir est très-beau et très-solide, mais il offre dans l'application des inconvénients graves : 1° la couleur à imprimer ne se conserve pas; 2° elle attaque les racles; 3° elle brûle facilement le tissu. M. Lauth, en substituant le sulfure de cuivre précipité au sulfate, a réalisé un perfectionnement important.

On prend, d'une part:

Amidon. . .	500 grammes.
Sulfure de cuivre. . .	150 —
Eau. . .	250 —

Cuire ensemble.

D'autre part:

1/2 litre de gelée de gomme adragante.	
Amidon grillé. . .	650 grammes.
Eau. . .	925 —
Chlorate de potasse. . .	150 —
Sel ammoniac.	50
Chlorhydrate d'aniline.	400 grammes.

Cuire ensemble.

Mélanger les deux préparations à froid. L'oxydation et le développement du noir après l'impression est facile et se fait à la température normale des chambres d'oxydation (20 à 30°). Le noir obtenu est très-solide.

Couleurs solides minérales.

1° Rouille et nuances dérivées du peroxyde de fer.

Les nuances rouille, nankin, aventurine, chamois, etc., dérivées de l'application du peroxyde de fer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hydraté sur tissu, s'obtiennent par deux procédés. On imprime un sel de peroxyde de fer et on déplace l'hydrate par un passage en soude caustique ou en chaux. On imprime sur le tissu de coton une solution épaissie d'acétate ferreux, que l'on traite comme lorsqu'il s'agit de fixer un mordant de fer pour violet garancé.

2° *Bistre.* — Le bistre résulte de la formation sur tissu du peroxyde de manganèse brun. On imprime une solution épaissie de chlorure de manganèse; on passe en soude qui précipite de l'hydrate manganeux. Une exposition à l'air ou un passage en bain de chlorure de chaux développe la nuance brune. Sur fond uni bistre on réalise facilement des dessins blancs, en imprimant une préparation contenant du protochlorure d'étain acide; celui-ci réduit le peroxyde et le ramène à l'état de sel de protoxyde soluble incolore.

3° *Jaunes* et *orangés de chrome.* — Pour l'impression des jaunes et des orangés de chrôme, on commence par imprimer une couleur contenant de l'acétate et du nitrate de plomb, épaissie avec de la gomme ou un mélange d'amidon et d'amidon grillé. Après la dessiccation, on fixe l'oxyde de plomb par un passage en sulfate de soude à 9° Baumé et 80° centigrade ou en ammoniaque (3 litres amm. caustique, 6 litres eau) à froid, ou encore en carbonate de soude à 10° Baumé et 67° centigrade; on lave, on passe en bichromate froid contenant 5 à 20 gr. de sel par litre (15 minutes). Le fond est toujours jaunâtre, mais on arrive à le blanchir par une immersion en acide chlorhydrique tiède à 2° Baumé.

Ce procédé donne le jaune qui n'est guère usité. Pour faire tirer à l'orangé, il suffit de passer le tissu dans un bain bouillant contenant, pour 2600 litres d'eau, 20 litres de lait de chaux à 200 gr. de chaux par litre et 2 kil. de bichromate (2 minutes). Le bain doit être clair. On peut même négliger la teinture en jaune et passer immédiatement en chromate calcaire.

4° *Sulfure de cadmium.* — On imprime une solution épaissie de sel de cadmium et on passe en solution de sulfure alcalin qui développe du sulfure jaune de cadmium.

5° *Sulfure orangé d'antimoine.* — En imprimant du sulfure double d'antimoine et de soude et en passant dans un bain acide, le tissu se charge aux parties imprimées de sulfure orangé d'antimoine.

6° *Sulfure jaune d'arsenic.* — On imprime une solution ammoniacale d'orpiment ou trisulfure d'arsenic. Le tissu est exposé à l'air. A mesure que l'ammoniaque s'évapore, le sulfure d'arsenic se précipite et se fixe.

7° *Vert de chrome.* — On obtient un vert pâle par la fixation de l'hydrate de chrome par voie de déplacement. Étant donné un sel de chrome, il suffit d'en imprégner la fibre et de mettre l'hydrate en liberté par un passage en carbonate de soude à 3° Baumé, à 40° centigrade. Le mordant arseniate suivant donne un vert plus vif qui se fixe par simple aérage :

Bichromate de potasse.	100 p.
Acide arsenieux.	98
Acide sulfurique.	80
Eau.	200

Il marque 66° Baumé. Étendu de 20 fois son volume d'eau il se décompose à 78° centigrade.

8° *Bleu vapeur.* — Le bleu vapeur d'impression sur coton se forme par la décomposition de l'acide ferrocyanhydrique sous l'influence de la vapeur d'eau et par l'oxydation ultérieure du composé blanc formé dans cette circonstance. Les pièces sont préalablement foulardées en stannate de soude à 6 ou 15° Baumé suivant la nuance; on laisse reposer quelques heures, puis on passe en acide sulfurique à 1°,5 ou 3° et on lave. La couleur à imprimer sur ce tissu préparé renferme :

Prussiate rouge.	1 p.
— jaune.	2 p.
Acide tartrique.	3 p.
Acide oxatique.	1/4 p.
Prussiate d'étain en pâte.	6 p.

Le vert vapeur est une réunion de bleu et de jaune vapeurs. Ce dernier renferme une matière colorante jaune organique, quercitron ou graine de Perse et un sel d'alumine ou d'étain pour la fixer.

Une couleur composée de ferro et de ferricyanure, ammoniques, de prussiate d'étain et d'acide tartrique, donne une très-belle nuance sur tissus stannatés. Après l'impression, on vaporise et on lave; quelquefois on passe après le vaporisage en bain oxydant de chromate.

Vert Havraneck. — Ce vert vapeur se compose de :

Prussiate rouge.	1 p.
— jaune.	4 p.
Alun de chrome.	2 p.
Prussiate d'étain en pâte.	9 p.
Acide tartrique.	1 p.
Eau épaissie à l'amidon.	24 p.

Couleurs qui se fixent à la vapeur.

Sous cette dénomination, nous comprenons toutes les préparations qui, imprimées sur un tissu quelconque, n'ont besoin, pour développer une nuance capable de résister au lavage, que d'être soumises plus ou moins longtemps à l'action de la vapeur à 100° ou au-dessus. Les genres vapeur se divisent eux-mêmes en plusieurs groupes, qui sont :

1° Les couleurs insolubles fixées à l'albumine, dont il a été question plus haut. L'action de la vapeur se borne à coaguler l'albumine.

2° Les couleurs nouvelles dérivées de l'aniline.

Suivant que les matières colorantes préalablement dissoutes sont imprimées sur fibre végétale ou sur fibre animale, la préparation doit varier dans sa composition.

Ainsi sur la laine et la soie, qui possèdent par elles-mêmes la propriété de se combiner avec des matières colorantes, il suffit d'appliquer par voie d'impression sur la fibre une dissolution de fuchsine, de bleu ou de violet d'aniline et de vaporiser.

Sous l'influence de la vapeur à 100°, il s'opère une véritable teinture sur place en tout comparable à celle que l'on réalise en immergeant le tissu dans un bain de couleur. Avec le coton, au contraire, qui ne possède qu'une médiocre affinité pour les sels de rosaniline et de ses dérivés, le tissu aura dû être préalablement préparé de manière à lui faire acquérir cette qualité qui lui manque, ou bien on aura ajouté à la couleur d'impression de l'albumine qui, se *coagulant* et se *teignant* simultanément, amènera la fixation.

3° Les anciennes couleurs vapeur, dans lesquelles entrent (*a*) les matières colorantes naturelles susceptibles de se fixer avec le concours de mordants minéraux (cochenille, bois rouges, campêche, quercitron, pastel, graine de Perse, gaude, garance, etc.); (*b*) une préparation métallique capable de fournir à la laque l'élément basique qui lui est nécessaire.

Dans ce cas, la matière colorante et le mordant se trouvent en présence dans la couleur à imprimer à l'état de dissolution. La vapeur d'eau détermine la précipitation de la laque dans les pores de la fibre. Il y a donc à la fois mordançage et teinture.

Pour appuyer cette explication d'un exemple, supposons qu'il s'agisse d'un rouge vapeur au bois. On prend par exemple :

Décoction de Sainte Marthe à 3°. . 9 litres.
— de graine de Perse à 8°. . 1 —

Représentant l'eau et la matière colorante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Amidon. . . . . 1k,500. Épaississant
Mordant rouge (acétate d'alumine). 1l,5
Nitrate de cuivre à 50°. . . . . 0k,125. Oxydant.

Cette couleur renferme, on le voit, à l'état de dissolution, la matière colorante et l'alumine. La vapeur d'eau dissocie l'acétate d'alumine et permet en même temps à l'hydrate ferreux précipité sur la fibre d'attirer la brésiline.

De même dans le noir vapeur au campèche, nous trouvons comme éléments essentiels : l'extrait de campèche, le pyrolignite de fer, l'acide pyroligneux et le pyrolignite d'alumine. Dans beaucoup de cas, les couleurs composées d'après les principes précédents se fixent spontanément lorsqu'on les applique sur tissus et qu'on abandonne le tout à lui-même dans un espace tiède et aéré pendant un certain temps. On comprend en effet que les mêmes réactions peuvent se produire à des températures différentes en faisant varier l'élément TEMPS.

Il résulte de là qu'un certain groupe de couleurs d'application se rapproche beaucoup des couleurs vapeur, la différence résidant plutôt dans les conditions de temps et de température qui déterminent la fixation. Ajoutons cependant que la couleur d'application ne jouira pas de la même solidité que la couleur vapeur correspondante.

Le rôle fixateur de la vapeur d'eau a été étudié par M. Chevreul. Il résulte des observations du savant chimiste qu'elle n'agit pas uniquement comme moyen calorifique, car on n'arrive pas à la remplacer par la chaleur sèche, l'application d'un fer à repasser par exemple. On comprend en effet que l'eau doit jouer un rôle important dans les réactions qui déterminent la fixation. D'un autre côté, une vapeur trop humide chargée d'eau condensée nuirait à la pureté du dessin en produisant des coulages inévitables. Le fabricant doit donc savoir graduer l'emploi de la vapeur de manière à arriver à une bonne fixation. Il importe aussi de faire remarquer que l'on doit éviter avec soin l'impression simultanée de couleurs qui, au vaporisage, pourraient se nuire mutuellement par la nature des vapeurs acides ou alcalines qui sont susceptibles de se dégager.

Ainsi, on ne peut fixer et imprimer sans inconvénient un rouge vapeur et un bleu outremer, vu que pendant le vaporisage du rouge il y a mise en liberté de vapeurs acides qui détruiraient le bleu outremer.

S'agit-il d'impressions sur laine, on aura encore à tenir compte de la présence du soufre dans cette matière textile et de l'action sulfurante qu'il peut exercer sur certaines préparations métalliques.

Appareils pour fixer les couleurs à la vapeur.

Les figures 10, 11, 12, 13 donnent une idée des appareils employés au vaporisage.

Un des plus anciens est la colonne (fig. 10). Elle se compose d'un cylindre en cuivre A percé de trous sur toute sa surface et terminé par des tubes plus étroits c munis de robinets R et R'. Ce cylindre communique par sa base inférieure avec un générateur à vapeur. Une sphère creuse *g* sert à retenir l'eau condensée dans le trajet. Le tissu muni d'un doublier est enveloppé autour de A et recouvert d'une forte étoffe de laine qu'on fixe par ligature autour des deux tubes extrémités, On commence par ouvrir les robinets R et R', et lorsque le cylindre est suffisamment chauffé par le passage de la vapeur, on force celle-ci à traverser le tissu en fermant R'.

Le vaporisage à la gueritte (*fig.* 11) se fait dans une chambre en bois A, rectangulaire, plus haute que large, recouverte d'un double toit incliné. La vapeur arrive par le tube R à la partie inférieure de la chambre A ; elle est uniformément répandue dans l'espace au moyen d'une espèce de pomme d'arrosoir percée de trous. Un double fond D percé de trous et recouvert d'une

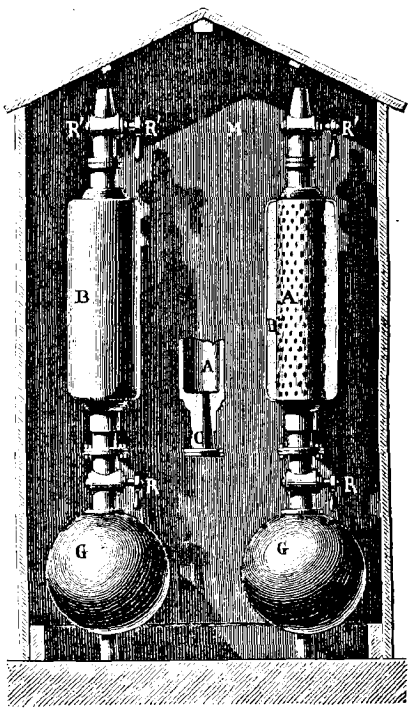


Fig. 10.

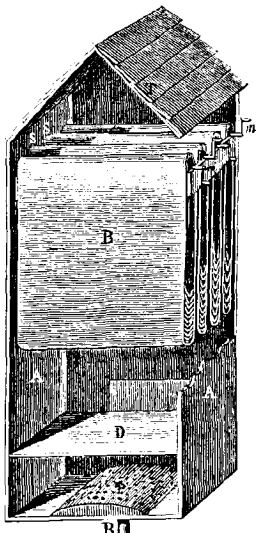


Fig. 11.

toile arrête les gouttelettes d'eau entraînées. Les pièces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

B sont suspendues avec doubliers et enroulées en spirales allongées à des rouleaux horizontaux S que l'on peut mettre en mouvement du dehors avec des manivelles *m*. En imprimant aux rouleaux un mouvement lent de rotation, on met successivement toutes les parties de la pièce dans les mêmes conditions de température.

La fig. 12 réalise une autre disposition connue de-

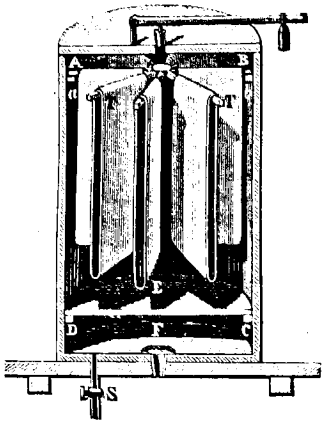


Fig. 12.

puis longtemps sous le nom de tambour à vaporiser. A B C D, cylindre ou tambour en bois blanc. Le fond du cylindre est percé de trous pour donner passage au tuyau de vapeur terminé par une pomme d'arrosoir F. E, double fond formé par une toile bien tendue pour arrêter les gouttes d'eau liquide. *a b*, appui circulaire cloué dans le pourtour supérieur et interne du tambour pour supporter le cadre T T, aux branches horizontales duquel on suspend les pièces à vaporiser. Pour faire fonctionner l'appareil, on enlève le couvercle supérieur et le cadre T sur lequel on dispose les étoffes. Le cadre étant mis en place, le couvercle est solidement et hermétiquement fermé; on donne accès à la vapeur, en ayant soin de laisser échapper l'air par la soupape supérieure.

S est un tuyau muni d'un robinet pour la vidange de l'eau condensée.

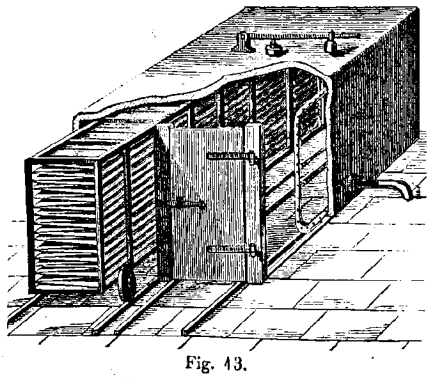


Fig. 13.

La *chambre à vapeur* (fig. 13) constitue un espace clos dont les parois sont formées de fortes plaques de fonte. Elle a 5 à 6 mètres de long, 3 mètres de large et de haut. Les pièces sont fixées horizontalement au moyen d'un cadre ou d'une rame mobile sur des rails. Le tuyau de vapeur est disposé parallèlement à la paroi verticale, en longueur. Ce tuyau est ramifié et percé de petits trous afin de permettre l'introduction égale et le partage régulier de la vapeur. Les portes peuvent être fermées hermétiquement, ce qui permet de travailler à une pression suffisamment élevée. L'appareil est du reste muni d'une soupape de sûreté.

COMPOSITION DES COULEURS POUR L'IMPRESSION DES TISSUS DE COTON. (Genre vapeur.)

Rouge. — 5 litres bain de Sainte-Marthe à 5°; 1 litre bain de grain de Perse à 6°; 2 litres acétate d'alumine à 12°; 500 gr. alun; 62 gr. acide oxalique; 93 gr. nitrate de cuivre; 93 gr. dissolution d'étain.

Petit-rouge. — 8 litres bain de Sainte-Marthe à 1/2 degré; y faire fondre, à la chaleur de 50°, 1 kil. alun. Quand l'alun est entièrement fondu, on ajoute 750 gr. acétate de plomb; puis on laisse reposer et on soutire le clair. On épaissit ensuite avec 1 kil. 1/2 gomme. Enfin on ajoute à froid 150 gr. deuto-chlorure d'étain liquide.

Jaune. — 1 litre bain de graine de Perse à 6°; 62 gr. alun; 16 gr. protochlure d'étain; 375 gr. gomme de Sénégal.

Bleu. — 6 litres eau tiède; 562 gr. prussiate de potasse; 187 gr. acide oxalique; 250 gr. alun; 1k,750 gr. gomme.

Orangé. — 4k,500 gr. cendre gravelée, qu'on fait bouillir à quatre reprises différentes, et pendant 1/4 d'heure dans 6 litres d'eau; on a soin, après chaque cuisson, de laisser reposer et de décanter la liqueur claire; on délaye ensuite dans le bain formé par la réunion des quatre cuissons 1k,750 gr. rocou; et on fait réduire le mélange, par l'ébullition, jusqu'à 10 litres; on épaissit à l'amidon grillé à raison de 375 gr. par litre.

Vert. — 1 litre bain de graine d'Avignon; 31 gr. alun à chaud. Quand l'alun est fondu, on divise le bain en deux parties : dans l'une, on fait fondre à chaud 70 grammes prussiate de potasse, et 187 gr. gomme; et dans l'autre, 8 gr. protochlorure d'étain (sel d'étain), et 8 gr. deuto-chlorure d'étain.

Lorsque les deux mélanges sont refroidis, on les réunit.

Puce. — 3/4 litre bain de Sainte-Marthe à 5°; 1/4 litre bain de campêche à 8°; 62 gr. alun; 16 gr. sulfate de cuivre; 8 gr. acide oxalique; épaissir avec 375 gr. amidon grillé.

Noir. — 7/8 litre bain de campêche; 1/8 litre de pyrolignite de fer à 15°; on fait chauffer avec :

93 gram. amidon blanc;
47 gram. amidon grillé;
31 gram. acétate de cuivre.

En sortant du feu, on ajoute 62 gr. alun, et, quand le mélange est froid 16 gr. nitrate de fer à 50°.

Bain pour lilas. — 8 litres bain de bois d'Inde à 3°; 4 litres bain de Sainte-Marthe à 4°; 1 kil. 500 gram. alun; faites chauffer à 50°. Quand l'alun est bien fondu, ajoutez : 1 kil. 250 gram. acétate de plomb; remuez jusqu'à ce que le mélange soit entièrement froid, laissez reposer et tirez le clair.

Lilas. — 1 litre bain ci-dessus; 1 litre eau; 750 gr. gomme de Sénégal; 16 gr. dissolution d'étain.

IMPRESSION DU COTON ET DES FIBRES VÉGÉTALES AVEC LES COULEURS D'ANILINE.

Ce n'est pas la fibre qui se teint comme avec la laine; elle n'est que le dépositaire de la laque colorée dont on détermine la formation à sa surface. Les affinités de l'albumine congulée pour les matières colorantes sont à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

peu près les mêmes que celles de la laine. Sur ce fait est fondé le meilleur procédé d'impression du coton avec les couleurs nouvelles. Il suffit d'épaissir à l'albumine et à la gomme une solution aqueuse, alcoolique ou acétique du principe tinctorial, d'imprimer, de sécher et de vaporiser pour déterminer simultanément la coagulation et la teinture de l'albumine. Ainsi on obtient un rose passablement foncé avec 3 gr. de fuchsine dissous dans 1 litre d'eau épaissie avec 200 gr. de gomme et 300 gr. d'albumine.

Pour le violet, on prend environ 3 gr. de rosolane en pâte pour 10 gr. d'alcool, 100 gr. d'eau de gomme et 150 gr. d'eau d'albumine par litre (toutes deux à 500 gr. de gomme ou d'albumine). Les diverses préparations de caséine et de gluten, dont il a été question au chapitre des fixateurs plastiques, peuvent remplacer l'albumine avec un certain avantage au point de vue économique, mais avec une infériorité très-marquée sous le rapport de la beauté des nuances et de la facilité du travail d'impression.

L'albumine est quelquefois employée comme mordant pour la teinture du coton. La fibre foulardée dans une solution albumineuse est soumise à l'action de la vapeur d'eau qui coagule la matière protéique. Il ne reste plus qu'à teindre en bain colorant, comme si l'on opérait avec de la laine.

Le tannin forme avec la mauveine (rosolane) la rosaniline et tous ses dérivés colorés des combinaisons insolubles et colorées. Sur ce fait est fondée une méthode d'application souvent usitée. Le précipité tannique formé d'avance, en pâte et bien lavé, est dissous dans l'acide acétique, l'alcool, ou un mélange des deux. La solution est épaissie à la gomme ou à l'empois, et la préparation imprimée, il ne reste plus qu'à vaporiser pour chasser le dissolvant et fixer la laque insoluble.

Plus simplement, on mélange dans la même couleur le tannin, la matière colorante, l'acide acétique et l'épaississant; on imprime et on vaporise.

Exemple : Violet au tannin.

Violet en pâte.	500 gr.
Acide acétique.	500 —
Tannin.	500 —
Eau bouillante.	4 kil.
Eau de gomme épaissie. .	4k.500

Au lieu d'imprimer sur calicot ordinaire, on emploie souvent un tissu stannaté, aluminé ou imprégné d'une solution étendue de gluten, de caséine, de gélatine ou de certains sels susceptibles de précipiter par le tannin (acétate de plomb, sublimé corrosif, tartrate ou chlorure double de potassium et d'antimoine).

M. Wischine a proposé l'arsénite d'alumine comme moyen de fixer les couleurs d'aniline. On imprime un mélange épaissi d'arsénite de soude, d'alumine et de rouge ou de violet, on vaporise et on savonne. La couleur est plus belle après le savonnage. C'est le procédé qui donne les résultats les plus solides au lavage.

On peut aussi fixer le violet, le rouge et ses dérivés par l'aluminate de soude. A cet effet, on fait macérer le coton dix à douze heures dans une solution de soude à 4 ou 5° Baumé; puis, sans le laver, on le porte dans une solution d'aluminate de soude où il séjourne autant de temps. L'alumine est fixée par une solution chaude de sel ammoniac. On imprime la matière colorante sur le tissu ainsi préparé et on vaporise.

Le bleu soluble imprimé sur coton avec de l'acétate d'alumine et vaporisé se fixe complétement. Nous signalerons encore comme mordants capables de fixer les dérivés de l'aniline : 1° l'oleate de plomb. On fixe sur la fibre uniformément ou par places de l'hydrate de plomb ou un sel basique et on teint dans une solution de savon contenant du violet; le coton huilé, mordancé ou non d'alumine et engallé, attire également les couleurs d'aniline.

COMPOSITION DES COULEURS POUR IMPRIMER LES TISSUS DE PURE LAINE.

Noir à l'amidon. — 10 litres bain de campêche à 3°; 2 litres bain de noix de galle à 6°; 2k,250 amidon; 93 gr. verdet cristallisé (acétate de cuivre); faire bien cuire pendant cinq minutes, au moins. Quand la couleur est presque froide, on ajoute 1k,250 nitrate de fer à 48°; et quand elle est tout à fait froide, on y mélange 1 kil. acétate d'indigo.

Noir à la gomme. — Il faut réduire 4 litres bain de campêche à 2 litres; y mêler 1 litre bain de noix de galle à épaissir avec 1 kil. gomme, ajouter ensuite à chaud 125 gr. alun, et 375 gr. sulfate de fer calciné.

Noir-bleu. (recette anglaise). — 12 litres décoction de bois de campêche à 4°; 1k,250 gr. amidon blanc; 1k,125 amidon grillé; 375 gr. carmin d'indigo; 375 gr. alun; 1k,375 gr. nitrate de fer.

Gris-poussière (recette anglaise). — 2 litres cachou à 1° 1/2; 500 gr. gomme; 62 gr. alun; 31 gr. acide tartrite; 47 gr. cochenille ammoniacale à 3°; 16 gr. acétate d'indigo à 10°; 31 gr. acide acétique, ou vinaigre.

Gris-bleu. — 6 litres eau; 31 gr. carmin d'indigo; 31 gr. cochenille préparée. On filtre cette solution, après parfait mélange; on ajoute 2 kil. gomme; 187 gr. alun; 31 gr. acide oxalique; 62 gr. deuto-chlorure d'étain.

Gris fin. — 3 litres eau; 750 gr. gomme; 93 gr. alun; 24 gr. acide oxalique; 24 gr. cochenille ammoniacale à 1°; 32 gr. acétate d'indigo à 10°.

Gris ordinaire. — 6 litres bois jaune à 1/2; 2 litres cochenille ammoniacale à 3°; 156 gr. carmin d'indigo; 312 gr. alun; 156 gr. acide oxalique; épaissir avec 2 kil. gomme.

Rouge fin. — 500 gr. cochenille en poudre, bouillie dans une quantité d'eau suffisante, et dont on retire, après trois bouillons et par évaporation, 2 litres 1/2 que l'on épaissit avec 312 gr. amidon presqu'à froid, et auquel on ajoute 93 gr. d'acide oxalique; on laisse reposer jusqu'au lendemain; et on ajoute encore 156 gr. deuto-chlorure d'étain liquide.

Rouge ordinaire. — 500 gr. cochenille en poudre, dont on retire, par l'ébullition, 6 litres de bain; épaissir à froid avec 2k,750 gr. gomme en poudre, et y ajouter 250 gr. acide oxalique pilé, et, le lendemain, 250 gr. deuto-chlorure d'étain liquide.

Ponceau à la gomme. — 3 kil. cochenille en poudre que l'on fait bouillir dans l'eau, pour en retirer 16 litres de bain, que l'on épaissit avec 8 kil. gomme, presqu'à froid; y ajouter 500 gr. acide oxalique; et, le lendemain, 1 kil. deuto-chlorure d'étain liquide.

Ponceau à l'amidon. — 2 kil. cochenille en poudre, que l'on fait bouillir pour en retirer 16 litres pots de bain; épaississez avec 2 kil. amidon blanc, presqu'à froid, et ajoutez-y 500 gr. acide oxalique; et, le lendemain, 750 gr. deuto-chlorure d'étain.

Ponceau (composition anglaise). — 4 litres eau dans lesquels on délaye 3 kil. amidon blanc, et on ajoute 3 kil. cochenille en poudre, que l'on fait bouillir pendant 1 heure dans 20 litres eau; faites cuire le mélange et ajoutez-y presque à froid 750 gr. d'oxalate de potasse (sel d'oseille); et 93 gr. protochlorure d'étain.

Jaune à l'amidon. — 2 litres, décoction de graines de Perse; 1 kil. d'amidon délayé dans 1 litre d'eau; ajoutez à froid 1 kil. de deuto-chlorure d'étain liquide.

Jaune à la gomme. — 4 litres, décoction de graines de Perse que l'on épaissit avec 1k,500 de gomme; et l'on ajoute 500 gr. de deuto-chlorure d'étain liquide.

Bleu foncé (recette anglaise). — 6 litres d'eau; 750 gr. de cochenille humide; 750 gr. de carmin d'indigo; 2k,500 de gomme; 375 gr. d'alun; 157 gr. d'acide oxalique.

Bleu foncé (recette française). — Faire fondre ensemble : 1k,500 gr. de gomme; 125 gr. d'alun dans 4 li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tres d'eau à moitié refroidie; on y ajoute ensuite à froid 93 gr. d'acide oxalique et 375 gr. de carmin d'indigo.

Bleu ordinaire. — 1k,500 gr. de gomme; 125 gr. d'alun que l'on fait dissoudre dans 4 litres d'eau; ajoutez 125 gr. d'acide oxalique et 250 gr. de carmin d'indigo.

Petit-bleu. — 1k,500 gr. de gomme; 126 gr. d'alun; 4 litres d'eau à moitié refroidie; 167 gr. d'acide oxalique à froid; 125 gr. de carmin d'indigo.

Bleu dit bleu de France. — C'est M. Petit coloriste à Saint-Denis, qui a découvert cette belle couleur bleu-violeté au mois de mars 1842; et depuis cette époque les fabricants français s'en servent, préférablement à l'indigo, qui produit toujours une couleur bleu-verdâtre.

Préparation de la couleur. — 1 litre du prussiate rouge ci-dessus; 32 gr. acide sufurique; 15 à 25 gr. sel ammoniac (une quantité plus considérable fait couler); de 62 à 126 gr. sel anglais ou sel pour rose, variant de 2 à 4° selon la nuance que l'on veut obtenir; de 500 à 575 gr. gomme de Sénégal suivant la nature du dessin et le degré de température.

Ainsi, lorsque les traits du dessin sont fins, il faut ajouter une plus grande quantité de gomme. Lorsque les traits du dessin sont plus forts ou mats, et pour un fond, on met moins de gomme.

Quand la température est humide, on augmente la quantité de gomme; mais quand le temps est très-sec on peut imprimer avec une couleur presque liquide.

La préparation du bleu sur tissus de laine et coton est la même, seulement on ajoute 31 gr. de sel ammoniac en plus et 125 gr. prussiate jaune pur. On mordance à froid les tissus, avant l'impression, dans le bain dont nous avons donné la composition plus haut.

On avive encore ce bleu en passant la pièce imprimée fixée et lavée dans un bain d'acide sulfurique à 1°.

Orangé au rocou. — 5 kil. de rocou sans feuilles, 16 litres de lessive caustique à 6°; chauffer en remuant sans cesse pendant l'espace d'une heure à 60° de chaleur seulement, et faire fondre ensuite 5 kil. gomme pilée, sans dépasser la chaleur de 60° au thermomètre centigrade.

Dans certaines fabriques, on emploie : rocou, potasse, ammoniaque et amidon.

Orangé à l'amidon. — 2 litres couleur jaune à l'amidon; 1/2 litre ponceau à l'amidon.

Orangé à la gomme. — 3 litres couleur jaune à la gomme; 1/2 litre ponceau à la gomme.

Grenat. — 8 litres bain d'orseille que l'on épaissit à froid avec 2 kil. gomme; on y ajoute ensuite 4 litres couleur orangée au rocou, et 1 kil. carmin d'indigo.

Bois à l'amidon. — 2 litres ponceau à l'amidon; 4 litres jaune à l'amidon; 250 gr. acétate d'indigo.

Bois à la gomme. — 2 litres ponceau à la gomme; 3 litres jaune à la gomme, et 250 gr. acétate d'indigo.

Bois à l'orseille (recette anglaise). — 5 litres orseille à 6°; 312 gr. alun; 93 gr. acide oxalique; 93 gr. sulfate de fer; 3 litres bain de graines d'Avignon et de fustet par égale portion, à 8°; et pour épaissir 750 gr. amidon.

Vert ordinaire. — 10 litres bain de quercitron et 10 litres bain de graines de Perse, que l'on réduit ensemble à 10 litres; puis on épaissit avec 7k,500 gomme, sans faire bouillir; on ajoute ensuite, en sortant du feu, 500 gr. acide oxalique; et à froid 1k,500 carmin d'indigo, et 10 litres mordant de rouge.

Vert foncé. — 2 litres vert ordinaire; plus 125 gr. carmin d'indigo.

Petit-vert. — 2 litres bain de quercitron et 2 litres bain de graines de Perse, que l'on mélange et réduit ensemble à 2 litres; on épaissit ce bain avec 1 kil. gomme et on y ajoute à froid 125 gr. acide oxalique, 1 litre mordant de rouge, et 1 litre vert ordinaire.

Vert d'eau. — 2 litres bain de quercitron; 1 kil. gomme; 62 gr. acide oxalique, à froid; 1 litre mordant de rouge; 31 gr. acétate d'indigo.

Vert myrthe (recette anglaise). — 5/8 litre bain de campêche à 3°; 2 litres bain de graine d'Avignon et de fustet à 8°; 157 gr. carmin d'indigo; ajouter 312 gr. gomme par litre; 187 gr. alun; 57 gr. nitrate de cuivre; on laisse reposer et vieillir cette couleur à laquelle on ajoute encore un peu d'alcool qui fait un bon effet.

Amaranthe. — 3 litres cochenille ammoniacale, et 1 kilog. 500 gram. gomme que l'on fait fondre ensemble; puis on ajoute, en sortant du feu, 125 gram. alun pulvérisé, et, presque à froid, 157 gram. acide oxalique.

Violet-rouge à l'orseille. — 1 litre bain d'orseille à 7°; 250 gram. gomme; 31 gram. protochlorure d'étain; 16 gram. carmin d'indigo ordinaire.

Violet foncé. — 2 litres couleur amaranthe; 157 gr. acétate d'indigo.

Mauve. — 2 litres cochenille ammoniacale; 2 kilog. gomme fondue dans 2 litres eau; en sortant du feu, ajoutez 157 gram. alun; et presque à froid 157 gram. oxalique.

Lilas. — 2 litres couleur mauve; plus 62 gram. acétate d'indigo.

Rose fin. — 1 kilog. 500 gram. gomme en poudre que l'on fait fondre à chaud dans 4 litres eau; lorsque la solution est à moitié refroidie, on y ajoute 312 gram. acide oxalique; et à froid 6 litres de couleur mauve.

Rose pour l'impression au rouleau (recette anglaise).— 5/8 litre cochenille ammoniacale à 3°; 1/8 litre eau; 47 gram. alun; 2 gram. acide oxalique; 2 gram. acide hydrochlorique

Puce. — 2 litres bain de Sainte-Marthe; 125 gram. bain de Campêche à 3°; 62 gram. acétate de cuivre (verdet cristallisé); 375 gram. farine; faites cuire le tout ensemble et ajoutez à cette composition, et à froid, 250 gram. mordant de rouge, et 250 gram. nitrate de cuivre.

Chamois. — 2 kilog. gomme pilée que l'on fait fondre dans 6 litres eau; et on ajoute ensuite à froid 2 litres couleur orangée au roucou.

Abricot (recette anglaise). — 1 litre bain de fustet à 3°; 250 gram. alun; 31 gram. deutochlorure d'étain; 312 gram. couleur ponceau de la recette anglaise.

COULEURS POUR FOND SUR LAINE.

Écru. — 6 litres d'eau dans lesquels on fait fondre 1 kil. gomme et 125 gram. sulfate de cuivre (couperose); puis il faut ajouter 1/2 litre couleur orangée au roucou, et 1 litre couleur.

Autre écru au cachou. — 1/2 litre bain de cachou; 1 litre eau de gomme; 1 litre mordant de rouge; 1 litre eau, et ajouter 31 gram. nitrate de cuivre.

Lilas. — 2 litres bain de bois de Campêche à 1°; épaissir avec 1 kilog. gomme; y faire fondre à froid 93 gram. acide oxalique, et ajouter ensuite à froid 2 litres mordant de rouge.

Gris. — 4 litres d'eau et 1 kilog. 500 gram. gomme; ajouter à froid 47 gram. sulfate de fer, et de plus 2 litres de lilas pour fond.

Autre gris. — 1 litre lilas pour fond; 1 litre écru pour fond; 1/2 litre mordant de rouge; 1/2 litre eau de gomme; 125 gram. nitrate de cuivre, et 62 gram. deutochlorure d'étain.

Vert foncé (recette anglaise). — 6 litres bain de bois jaune à 12°; 1/2 litre bain de bois de Campêche à 5°; 500 gram. carmin d'indigo; 375 gram. amidon; 2 kil. amidon grillé; 375 gram. alun; 63 gram. acide oxalique; 32 gram. deuto-chlorure d'étain; 375 gram. acétate d'indigo à 10 ou 11°.

Vert-olive. — 3 litres gris pour fond, et 2 litres vert-d'eau.

Vert-pistache. — 2 litres bain de graines de Perse, épaissi avec 500 gram. gomme; 16 gram. acide oxali-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que que l'on ajoute à froid; 2 litres couleur gris pour fond.

Tourtercelle. — 1/2 litre couleur grenat; 1 litre eau gomme; 1 litre eau.

Couleurs dites de fantaisie pour fond, no 1. — 1/2 litre mordant de rouge; 1/2 litre eau; 1 litre eau de gomme; 2 litres couleur écru au cachou.

Autre, no 2. — 2 litres couleur vert-d'eau; 2 litres couleur mauve.

Autre, no 3. — 2 litres couleur jaune pour fond; 2 litres couleur lilas ordinaire.

Autre, no 4.— 2 litres eau; 500 gram. gomme; 125 gr. sulfate de cuivre que l'on ajoute à froid; 1/2 litre couleur orangée au roucou.

COULEURS POUR TISSUS DE LAINE AVEC CHAINE DE COTON (recettes de M. Sieber, de Manchester).

Rouge-ponceau. — 6 litres cochenille (250 gram. par litre d'eau); 564 gram. amidon; 187 gram. acide oxalique à froid; 225 gram. deuto-chlorure d'étain; 24 gram. proto-chlorure d'étain.

Jaune. — 1 litre bain de graine d'Avignon; 62 gram. alun; 8 gram. proto-chlorure d'étain; faire chauffer jusqu'au bouillon; 375 gram. gomme ou amidon torréfié.

Bleu ordinaire. — 1 kilog. 500 gr. prussiate de potasse jaune; 875 gram. acide tartrique; 6 litres eau chaude; laissez déposer, et vous soutirerez environ 5 litres de liqueur claire à laquelle vous ajouterez 500 gram. carmin d'indigo dissous dans 4 litres d'eau; de plus 63 gr. alun; 16 gram. acide oxalique; 375 gram. gomme par litre.

Bleu foncé. — 1 litre eau; 500 gram. prussiate de potasse; 500 gram. acide tartrique; vous laisserez déposer jusqu'au lendemain; vous ajouterez ensuite 250 gr. gomme par litre; 125 gram. carmin d'indigo; 62 gram. alun; 93 gram. sulfate d'indigo.

Bleu ordinaire pour l'impression au rouleau. — 1/2 litre eau; 93 gram. prussiate de potasse; 62 gram. acide tartrique; 31 gram. acide oxalique; 8 gram. acide sulfurique : on laisse déposer; on soutire la liqueur, à laquelle on ajoute 1/2 litre eau; 62 gram. carmin d'indigo; 16 gram. alun; 16 gram. acide tartrique.

Grenat. — 1 litre bain de Brésil à 4° 1/2; 255 gram. bain de fustet à 10°; 31 gram. bain de Campêche à 4°; 47 gram. alun; 31 gram. sel ammoniac, un peu d'alcool; 47 gram. nitrate de cuivre; 93 gram. amidon; 157 gr. amidon grillé.

Marron. — 1 litre 1/4 bain de Fernambouc à 4°; 1 litre 1/4 bain de bois jaune à 8°; 3/4 litre bain de Campêche à 2° 1/2; 410 gram. amidon grillé; 156 gr. alun, 87 gram. sel ammoniac; 172 gram. nitrate de cuivre.

Autre grenat. — 20 litres bain de Sainte-Marthe à 6° 1/2; 7 litres 1/2 bain de Campêche à 4°; 2 litres 1/4 bain de quercitron à 10°; 2 litres 1/2 acide acétique (vinaigre) à 3° : on épaissit avec 2 kilogr. 250 gram. amidon ordinaire, et 3 kilog. 750 gram. amidon grillé; puis on ajoute presque à froid 1 kilogr. 250 gram. alun; 312 gram. sel ammoniac; 1 kilogr. 93 gram. nitrate de cuivre; on peut remplacer le vinaigre par 1/2 litre d'alcool.

Vert ordinaire. — 20 litres bain de graines de Perse à 8°; 6 kilogr. 155 gram. bain de bois jaune; 3 kilogr. 600 gram. prussiate de potasse; 1 kilogr. 200 gram. acide oxalique; 640 gram. deuto-chlorure d'étain; 2 kil. carmin d'indigo délayé dans 500 gram. acide acétique à 10°; épaissir avec 10 kilogr. gomme.

Vert foncé. — 6 litres bain de Cuba à 10°; 153 gram. alun; 1 kilogr. 688 gram. prussiate de potasse; 575 gr. acide oxalique; 188 gram. acide tartrique; 500 gram. sulfate d'indigo; 62 gram. acétate d'indigo : épaissir avec 4 kilogr. 250 gram. gomme pilée.

Lilas. — 4 litres cochenille préparée avec 125 gram. par litre d'eau; 2 litres bain de Campêche à 5°; 1 litre acétate d'alumine à 12°; 250 gram. alun; 3 gram. acide oxalique; 24 gram. bleu soluble; 31 gram. deuto-chlorure d'étain; 375 gram. gomme par litre.

Violet foncé. — 1 litre couleur bleu foncé; 4 litres couleur lilas.

Noir. — 42 litres 1/2 bain de Campêche à 6°; 5 kilog. amidon; 32 gram. saindoux; 3 kilogr. 800 gram. nitrate de fer; 2 litres 1/2 pyrolignite de fer; 2 kilogr. 150 gram. acétate d'indigo.

Gris deuil pour impression au rouleau. — 1 litre bain de Campêche à 1°; 47 gram. dissolution du bleu Raymond; 250 gram. gomme par litre.

COMPOSITION DES COULEURS SUR TISSUS DE SOIE FOULARDS, ETC. (genre vapeur).

Rouge. — 2 litres 1/2 bain de Sainte-Marthe à 5l9 1 litre mordant de rouge; 3/4 litre bain de graine d'Avignon à 10°; 125 gram. alun; 16 gram. nitrate de cuivre; 31 gram. acide oxalique; 125 gram. nitrate d'étain; 1 kilogr. gomme.

Jaune. — 1 litre bain de graine de Perse à 8°; 62 gr. alun; 31 gram. proto-chlorure d'étain (chauffer jusqu'au commencement du bouillon; épaissir avec 375 gram. gomme.

Bleu ordinaire. — 1 litre eau; 31 gram. alun; 31 gr. acide tartrique; 93 gram. carmin d'indigo; 437 gram. gomme du Sénégal.

Bleu clair (recette anglaise). — 1/2 litre eau; 93 gr. carmin d'indigo; 312 gram. gomme; 16 gram. alun; 16 gram. acide oxalique; 31 gram. dissolution physique violette à 10°. (Composé de bain de Campêche à 3° et de deuto-chlorure d'étain pour amener au degré voulu).

Gros bleu (recette anglaise). — 1/4 litre acétate d'albumine à 10°; 1/4 litre bain de Campêche frais à 4°; 156 gram. gomme; 16 gram. acide tartrique; 1/16 litre acétate d'indigo à 10°; 93 gram. carmin d'indigo; 16 gr. deuto-chlorure d'étain.

Orangé. — 1 kilog. 500 gram. cendre gravelée; 1 kilogr. 500 gram. roucou : on prépare cette couleur, comme il est dit pour l'orangé sur coton (genre vapeur), et on la réduit par l'évaporation à 6 litres; puis on l'épaissit avec 375 gram. amidon grillé.

Vert. — 14 litres décoction de graine de Perse; 5 kilog. gomme; 1 kilogr. 500 gram. alun à froid; 1 kilogr. 500 gram. carmin d'indigo.

Lilas (recette anglaise). — 1/2 litre bain de Campêche à 4°; 16 gram. cochenille ammoniacale; 2 gram. carmin d'indigo; 31 gram. gomme; 24 gram. alun; 8 gr. acide oxalique; 4 gram. deuto-chlorure d'étain.

Autre lilas (recette française). — 1/2 litre bain de Campêche à 3°; 4 litres mordant de rouge, y faire fondre 1 kilogr. gomme, et ajouter à chaud 31 gram. acide oxalique, et à froid 16 gram. nitrate de cuivre.

Vert pour imprimer. — 1 litre bain de graine de Perse à 8°, dans lequel on fait dissoudre à chaud 62 gr. alun et 500 gram. gomme, et délayer ensuite 125 gram. carmin d'indigo; puis 62 gram. acétate de cuivre à 15°. Si l'on veut obtenir un vert plus foncé, on concentre davantage le bain de graine de Perse, et on augmente la quantité de carmin et d'acétate d'indigo; pour former un vert plus clair, on diminue la densité du bain, en ajoutant de l'eau de gomme, ainsi que la quantité de carmin et d'acétate d'indigo.

Violet. — 1 litre bain de Campêche à 4°; 1/4 de litre bain de cochenille ammoniacale à 3°; faire cuire le tout ensemble pour réduire à un litre, et ajouter 62 gram. alun; 312 gram. gomme; 62 gram. dissolution d'étain.

Rose ou petit rouge. — 3 litres eau; 125 gram. cochenille en poudre; 31 gram. cochenille ammoniacale à 3°; on réduit le mélange à 2 litres par la cuisson, et on ajoute 31 gram. bi-oxalate de potasse (sel d'oseille); et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

après le repos, on tire le clair que l'on épaissit avec 375 gram. gomme par litre, et on ajoute à froid 16 gr. proto-chlorure d'étain ; 16 gram. bi-oxalate de potasse.

Ponceau pour imprimer. — 1 litre bain de cochenille fait à raison de 187 gr. cochenille par litre; 1 1/6 bain de quercitron à 6° que l'on cuit avec 125 gr. amidon blanc; puis on ajoute, en sortant du feu. 20 gr. bioxalate de potasse, et lorsque le mélange est tiède, 15 gr. proto-chlorure d'étain; 13 gr. de oxy-muriate d'étain; et à froid 10 gr. dissolution d'étain.

Noir pour impression. — 1 litre bain de campêche à 5°, dans lequel on délaye 93 gr. amidon blanc; 47 gr. amidon grillé; on fait cuire; en sortant du feu, on mêle 47 gr. sulfate de cuivre et à froid 62 gr. nitrate de fer à 55°

Noir pour fond. — 1 litre bain de campêche à 77°; 47 gr. sulfate de cuivre; 62 gr. acétate d'indigo; 47 gr. nitrate de fer à 55°; 470 gr. amidon grillé.

COULEURS SUR TISSUS DE LAINE ET SOIE (genre Thibet).

Rouge fin. — 4 litres bain de Sainte-Marthe; 250 gr. cochenille moulue, il faut réduire ensemble à 2 litres; épaissir avec 2 kil., ajouter à chaud 125 gr. acide oxalique, et à froid 4 litres de mordant rouge, n° 1.

Petit-rouge. — 1 litre eau de gomme; 1 litre eau, dans laquelle on fait fondre 31 gr. acide oxalique, et à froid 16 gr. deuto-chlorure d'étain; ajouter 1/2 litre de la couleur rouge fin sur Thibet.

Autre (recette anglaise). — 3/4 litre bain de cochenille à 250 gr. par litre d'eau; 1/4 litre bain de quercitron (recette anglaise) à 3°; 93 gr. amidon; 31 gr. acide oxalique; 16 gr. proto-chlorure d'étain.

Puce rougeâtre sur Thibet. — Réduire 4 litres bain de Sainte-Marthe à 2 litres; épaissir avec 1k,500 gomme; puis ajouter 1/2 litre mordant de rouge et à froid 125 gr. muriate de zinc; plus 500 gr. nitrate de cuivre.

Bois foncé sur soie et coton (recette anglaise). — 1/2 litre cachou à 6°; 93 gr. amidon grillé; 16 gr. acétate de cuivre; 4 gr. sel ammoniac.

Bois clair (recette anglaise). — 1 litre cachou à 6°, 250 gr. gomme; 32 gr. nitrate de cuivre.

COULEURS POUR L'IMPRESSION DES ÉTOFFES DE LAINE EN RELIEF.

L'épaississement de toutes les couleurs est ainsi composé : 100 gr. farine de blé noir ou sarrazin, 1 litre de bain colorant.

Rouge. — 1 litre bain de Fernambouc; 31 gr. alun; 10 gr. nitrate de cuivre.

Jaune-serin ou paille. — 1 litre bois jaune ou de fustet; 70 gr. curcuma; 70 gr. alun que l'on met en sortant du feu. Le curcuma doit être cuit avec la farine.

Jaune-orangé. — 90 gr. proto-chlorure d'étain (sel d'étain); 70 gr. curcuma.

Vert. — 1 litre bain de fustet; 70 gr. curcuma; 10 à 40 gr. sulfate d'indigo, suivant l'intensité de la couleur qu'on veut avoir. Pour obtenir les tons foncés on met plus ou moins de sulfate d'indigo.

Bleu. — De 10 à 50 gr. carmin d'indigo, suivant l'intensité, de 5 à 25 gr. pour les tons intermédiaires; on ajoute un peu de sulfate d'indigo pour donner du mordant à la couleur.

Rose. — Dégradation du rouge.

Ponceau mélangé de 1/10 de rouge et 9/10 jaune-orangé.

Amaranthe. — 90 gr. cochenille ammoniacale par litre; on fait bouillir à trois reprises différentes, on réunit les trois bains que l'on réduit, par l'évaporation, à 1 litre. Avec ce bain on fait le *violet*, en ajoutant de 50 à 60 gr. carmin d'indigo.

Grenat. — 1 litre bain de Sainte-Marthe, auquel on ajoute 5 gr. nitrate de cuivre à 48°, et à froid.

Bois. — 4 litres bain de Fernambouc; 1 litre Sainte-Marthe; 5 à 15 gr. de nitrate de cuivre, suivant l'intensité de la couleur qu'on veut avoir.

Puce. — On le fait comme le bois, mais on remplace le nitrate de cuivre par 300 gr. alun.

Noir. — 1 kil. sulfate d'indigo; 100 gr. carmin d'indigo; 5 litres bain d'orseille à 1° ou 1° 1/2.

Autre. — 100 gr. nitrate de fer; 1 litre bain de campêche épaissi; 25 gr. sulfate d'indigo que l'on ajoute après le refroidissement. On fait aussi du noir à la noix de galle et au sulfate de fer, ou à l'acétate de fer. Mais ce noir rougit à l'air.

Gris. — Dégradation du noir; on l'obtient en ajoutant du blanc au noir, c'est-à-dire de la farine épaissie à l'eau.

Couleur jaune rongeant sur le rouge, le ponceau, l'amaranthe, le bleu, le vert, et sur toutes les couleurs qui ne contiennent point de sel de fer ou de cuivre. — 100 gr. farine pour litre d'eau; ajouter à froid de 100 à 300 gr. acide nitrique pur, et laisser le mélange en contact pendant huit jours au moins avant de s'en servir. Le rongeant est encore bien meilleur s'il est préparé plusieurs mois à l'avance.

COULEURS POUR L'IMPRESSION DES VELOURS DE COTON (genre vapeur).

Rouge. — 1 litre bain de Fernambouc à 6°, chauffez à 35° et faites dissoudre 500 gr. alun; 250 gr. acétate de plomb; 65 gr. sel marin. Laissez reposer le mélange pendant 24 heures et tirez le clair; préparez séparément 2 litres 1/2 bain de Fernambouc à 6°, mélangé avec 125 gr. cochenille en poudre; faites bouillir et réduire à 2 litres. Lorsque ce bain est froid et filtré, vous le mélangez avec la première solution dans la proportion de 1 partie sur 3 parties de la première solution; vous ajoutez ensuite : 375 gr. gomme pour épaissir; 31 gr. bi-chlorure d'étain; 5 gr. nitrate de cuivre.

Jaune. — 1 litre graine de Perse à 10°; 375 gr. gomme; 75 gr. proto-chlorure d'étain; faites bouillir pendant 5 minutes.

Bleu. — 1 litre 1/2 eau; 3/4 litre acétate d'alumine à 10°; 750 gr. gomme; faites bouillir et laissez refroidir à 45°; vous ajoutez 325 gr. prussiate de potasse, et 75 gr. acide oxalique.

Vert. — 1 litre graine de Perse à 10°; 500 gr. prussiate de potasse; on fait bouillir le mélange à la température de 50°. Après le refroidissement, vous mettez dans la solution 250 gr. acide tartrique; vous prenez 1/4 litre de ce bain dans lequel vous faites dissoudre 125 gr. alun et 20 gr. bichlorure d'étain à 50°. D'un autre côté, vous épaississez les 3/4 litre qui restent avec 375 gr. gomme, que l'on fait fondre à 50° et vous ajoutez ensuite le 1/4 de litre du bain précédent.

Violet. — Dans 4 litres acétate d'alumine à 10°, on ajoute du bois de campêche en copeaux autant que le liquide peut en contenir; on fait bouillir pendant 1/4 d'heure et on filtre le mélange au travers d'un tamis; on fait réduire à moitié le bain tiré à clair, en y ajoutant petit à petit 31 gr. d'acide oxalique et 700 gr. gomme en poudre; puis, à froid, 16 gr. prussiate de potasse dissous dans une petite quantité de bain froid.

Noir. — 2 litres bain de campêche à 4°; 1/2 litre bain de pyrolignite de fer à 5°; 50 gr. amidon blanc; 160 gr. amidon grillé; on fait bouillir pendant 5 minutes environ, et on laisse refroidir à 45°; on ajoute ensuite à froid 325 gr. nitrate de fer; et vous remuez le mélange jusqu'à l'entier refroidissement.

On emploie ces couleurs, comme dans l'impression sur les tissus de coton (genre vapeur), en ayant toujours la précaution de mordancer et d'exposer les étoffes imprimées pendant 24 heures, dans une atmosphère un peu humide, avant et après le fixage.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

IMPRESSION DES TISSUS DE SOIE (genre garancé).

Pour garancer une pièce de cinquante foulards on fait bouillir pendant un quart d'heure, dans une quantité d'eau suffisante, 6 kilogr. son; 93 gram. agaric; 825 gram. colle forte, et on verse cette dissolution dans la cuve où l'on doit garancer, et qui doit être préalablement remplie d'eau froide. On verse ensuite 3 litres sang de bœuf frais, et on mêle bien; on passe la pièce de cinquante foulards, dont les deux bouts sont attachés pour ne former qu'une pièce sans fin, dans ce bain pendant un quart d'heure, en ayant soin de la tenir bien au large sur le tourniquet, puis on relève la pièce en dehors de la chaudière dans laquelle on met 5 kil. garance d'Alsace, et 375 gram. sumac.

Lorsque la dissolution est opérée, on fait retomber les pièces dans la chaudière, que l'on chauffe insensiblement pendant 1 heure, jusqu'au bouillon qui ne doit durer, du reste, que 5 à 10 minutes au plus. On retire ensuite les foulards de la chaudière, et on les fait battre et laver jusqu'à ce que l'eau s'écoule très-claire. Cette pièce, en sortant du garançage, est très chargée en couleur; pour la blanchir, on la fait bouillir dans un bain de son pendant une 1/2 heure, on la rince et fait sécher.

Mordants, couleurs et diverses préparations pour faire des dessins sur tissus de soie, soit au moyen des couleurs rongeantes, soit au moyen des réserves.

Nous donnerons seulement quelques exemples pour faire bien comprendre les différents procédés.

Dessins bleus et blancs. Mordant pour bleu. — Acétate de fer ou mordant de bleu Raymond (voyez TEINTURE) étendu avec une suffisante quantité d'eau pour obtenir 4° : on passe les pièces de foulard dans ce mordant pendant une heure; puis on les eulève pour exprimer l'excès du mordant, soit par le tordage dans un filet, soit par tout autre moyen; et on les fait sécher sur le mordant pendant 24 heures; on donne ensuite un passage en bouse ou en craie à la température de 40°, pour enlever toute la roideur de l'étoffe; puis on les rince à l'eau claire, et on les bat bien.

On les passe ensuite à froid dans un bain de prussiate de potasse, auquel on ajoute un peu d'acide sulfurique; on les travaille dans ce bain à l'aide d'un trinquet pendant trois quarts d'heure ou une heure; enfin, on les rince, et on les étend pour les faire sécher.

Rongeant pour imprimer ou former le dessin blanc. — 1 litre potasse caustique à 24°; 375 gram. amidon grillé.

Quand les pièces imprimées avec la couleur rongeante ci-dessus ont reposé pendant 24 heures, on les lave bien sans les tordre et sans les battre; on les passe ensuite dans un bain d'acide sulfurique pour enlever la couleur rouille du mordant jusqu'à ce que l'on s'aperçoive que le blanc du dessin est net et pur.

Dessin rouge et noir. — On passe les pièces dans l'eau fraîche pour les faire tremper et les disposer ainsi à prendre le mordant, et on les tord. On prend du mordant de bleu Raymond, auquel on ajoute moitié de son poids d'eau pour l'amener à une densité moindre; on y passe les pièces pendant une heure; on les tord; les pièces sont ensuite séchées sur le mordant pendant 24 heures, lavées soigneusement, battues, essorées, séchées, et imprimées enfin avec la couleur rongeante suivante :

Couleur rongeante. — 1 litre eau bouillante; 375 gr. sel d'étain; 125 gram. bi-oxalate de potasse (sel d'oseille); 125 gram. dissolution d'étain. On laisse reposer cette dissolution pendant 24 heures, et on en soutire le clair qu'on épaissit avec 375 gram. amidon grillé par litre. Ensuite on passe les étoffes dans un bain de son à 30° de chaleur pendant 10 minutes; on les rince et bat bien. Puis on les teint en rouge dans un bain de Fernambouc, fait avec 1/5 bain et 4/5 eau, et auquel on ajoute un peu de son; on entrera les pièces dans le bain à 20° de chaleur, et on le chauffera peu à peu, jusqu'à ce qu'on s'aperçoive que la couleur soit assez montée; mais on ne fera pas bouillir. Sans cette précaution indispensable, le rouge deviendrait obscur et terne. Cette opération doit durer trois quarts d'heure ou 1 heure au plus; lorsqu'elle est terminée, on rince les pièces, et on les bat jusqu'à ce que l'eau en sorte très-claire.

Si l'on veut avoir des nuances plus ou moins violetées, on passe les étoffes dans un bain léger d'ammoniaque.

Dessin orangé par l'acide nitrique, appelé communément *mandarin*. — *Réserve* : 1ᵏ térébenthine de Venise; 2ᵏ colophane; 1ᵏ suif épuré; 1ᵏ cire. On fait fondre ces drogues sur un feu doux, en commençant par le suif et la cire, puis la colophane, et enfin la térébenthine de Venise.

Les pièces sont imprimées avec cette réserve, puis séchées pendant un ou deux jours; ensuite, on les passe pendant deux minutes dans le bain acide formé d'une partie eau pure, deux parties acide nitrique, et que l'on chauffe à 50°; en sortant du bain, on les jette immédiatement dant l'eau claire, où on les rince bien pendant un quart d'heure. Après cette opération, on les fait bouillir pendant un quart d'heure dans un bain de savon, composé de 630 gram. savon et de 31 gram. potasse ordinaire par coupe de 7 mouchoirs. On rince et bat les pièces, et on les trempe de nouveau dans un bain de potasse, à raison de 16 gram. par coupe de mouchoirs, et à la température de 40 à 50°; on les lave et on les étend pour les faire sécher.

COMPOSITION DES COULEURS POUR L'IMPRESSION SUR TISSUS DE SOIE (genre garancé).

Rouge. — 1 litre mordant de rouge sur soie; 500 gr. gomme du Sénégal; 1/16 litre bain de graine de Perse à 500 gram. pour 2 litres.

Puce. — 1/2 litre mordant de rouge; 1/2 litre pyrolignite de fer à 8°, épaissir avec 375 gram. amidon grillé.

Violet. — 1 litre pyrolignite de fer à 2°, dans lequel on fait fondre 31 gram. amidon grillé; 16 gram. acétate de cuivre.

Cramoisi bon teint. — 1 litre mordant rouge; 16 gr. dissolution d'étain; 1/16 litre bain de Sainte-Marthe à 2°; 375 gram. gomme.

CHAPITRE VI.

DES PROCÉDÉS A L'AIDE DESQUELS ON IMPRIME LES TISSUS.

Cuisine à couleur.— On appelle cuisine à couleur l'atelier dans lequel on prépare les couleurs devant servir à l'impression des tissus.

La division du travail à simplifié beaucoup les manipulations qui s'y pratiquent. Aujourd'hui, le fabricant n'est plus obligé de faire lui-même les sels et les extraits colorants dont il a besoin, de sorte que, dans la cuisine aux couleurs, on se borne le plus souvent à réunir dans les proportions convenables les ingrédients que comporte une recette et à les dissoudre aux températures convenables. La dissolution de l'épaississant constitue l'opération importante, surtout pour l'amidon.

Pour cuire les couleurs, on se sert de chaudières à double fond en cuivre, munies d'agitateurs mécaniques et pouvant basculer autour de leurs tourillons de support.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 14 représente une batterie de semblables chaudières E offrant diverses dimensions. A et B, bâtis en fonte pour supporter les chaudières E.

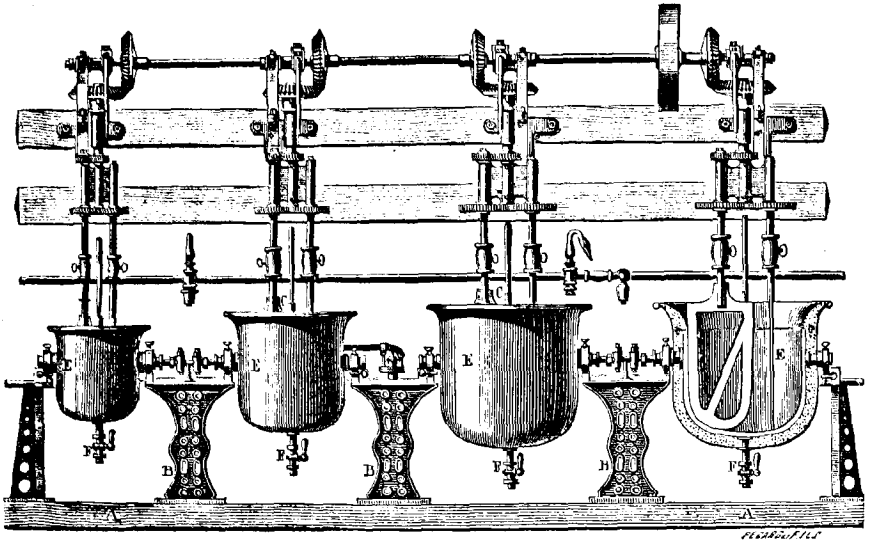


Fig. 14.

Le degré de viscosité se détermine au moyen de divers appareils appelés viscosimètres. Les figures 15 et 16 en représentent deux modèles différents.

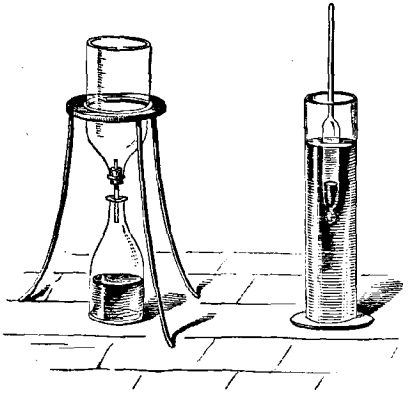


Fig. 15. Fig. 16.

L'appareil de la figure 15 se compose d'une espèce d'entonnoir cylindrique fixé sur un support au-dessus d'une bouteille. On mesure la durée d'écoulement d'un certain volume de la couleur comparativement à celle d'un égal volume d'eau.

Le viscosimètre de M. Schlumberger (fig. 16) se compose d'une espèce d'aréomètre lesté offrant à la partie inférieure un petit orifice à travers lequel pénètre le liquide visqueux dont on mesure aussi l'épaississement par la durée du remplissage.

Avant de recevoir l'impression, les tissus subissent diverses opérations préliminaires qui sont le blanchiment, le flambage ou grillage et le tondage. Ces opérations sont décrites dans des articles spéciaux. (Voir BLANCHIMENT, FLAMBAGE, et GRILLAGE.)

Pendant les manipulations souvent nombreuses que supportent les pièces, la position relative des fils est sujette à se déplacer, surtout quand il s'agit de tissus légers. Ces déformations offrent des inconvénients graves, surtout lorsqu'il s'agit de rentrer des couleurs vapeur et d'applications après garançage. Il est évident en effet qu'il est impossible de tenir compte de cette altération du tissu dans la disposition des planches ou rouleaux multiples que nécessite la mise en train d'un dessin à plusieurs couleurs. Il en résulte que les diverses planches ou rouleaux qui se rapporteraient exactement, si rien n'avait été changé, ne fourniront plus qu'un dessin incorrect. De là la nécessité de redresser en temps opportun la position des fils d'une pièce.

Les appareils chargés de ce travail portent le nom de rames.

La chambre à ramer se compose ordinairement d'une salle rectangulaire ayant la longueur d'une pièce (80 à 100 mètres); un cadre, dont les côtés sont mobiles, sert à tendre la pièce au moyen de petits crochets ou pointes fixés sur les côtés latéraux. Le tissu étant légèrement humecté et fixé, on écarte les deux parties latérales du cadre de manière à tendre les fils qui, en se desséchant dans cette position sous l'influence d'une douce température, reprennent leurs rapports normaux. Dans certaines fabriques, pour gagner de la place, on rame sur une longueur beaucoup moindre en faisant revenir la pièce plusieurs fois sur elle-même par des rouleaux tenseurs et en superposant plusieurs rames. J'ai également vu fonctionner des rames continues formées de pièces articulées.

On hâte quelquefois la dessiccation par des ventilateurs à palettes mises en mouvement au-dessus de la pièce.

Impression. — Les procédés d'impression des tissus peuvent se diviser en trois groupes, savoir :

1° L'impression à la main, au moyen de planches gravées en relief.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° L'impression à la planche plate en relief, mécaniquement et d'une manière continue.

3° L'impression continue au rouleau gravé en creux.

Impression à la main. — Le principe de ce procédé est très-simple. Étant donnée une planche plate qui porte en relief le dessin colorié qu'il s'agit d'appliquer, on recouvre le relief d'une couche uniforme de couleur, puis on porte la planche sur le tissu tendu sur une table. Au moyen d'une pression convenable, on force la couleur à s'appliquer sur la fibre et à quitter la planche au moment où on enlève celle-ci.

Il y a plusieurs sortes de planches gravées :

1° Le bloc ou la planche de bois de poirier parfaitement plate, sur laquelle on transporte et grave le dessin en relief.

2° Le bloc ou la planche de bois de poirier sur laquelle on implante et fixe à la même hauteur de petites lames de cuivre laminé et recuit qui forment tous les contours et les traits fins du dessin.

On fait les pleins ou mats en remplissant les intervalles formés par les lames de cuivre avec du bois de tilleul qu'on enfonce solidement en frappant dessus avec un petit marteau, puis on coupe avec un instrument tranchant le bois qui dépasse.

3° La planche métallique en relief, laquelle est formée par la réunion de clichés métalliques fondus sur une planche dite matrice.

4° La planche plate en cuivre, gravée au moyen d'un poinçon ou à l'aide d'un burin.

On fait les blocs ou planches de quatre couches de bois, bien dressées au rabot sur les deux faces. La couche de dessous est en chêne de 12 à 13 millim. d'épaisseur. Les deux couches intermédiaires sont en bois blanc de même épaisseur, et la quatrième, de 9 millim. d'épaisseur, est en bois de poirier ou de pommier. Ces couches de bois sont superposées de manière que les fibres se croisent. Elles sont jointes ensemble avec une colle dite au fromage insoluble et inaltérable par l'humidité.

Nous n'entrerons pas dans les détails de la gravure et de la préparation des planches plates. La description des procédés usités trouvera mieux sa place à l'article GRAVURE.

Table d'impression. — Les tables d'impression varient beaucoup dans leurs dimensions. Leur largeur doit toujours être supérieure à celle de la pièce. Pour les petits dessins qui se répètent sur toute la toile, on pourra employer des tables courtes. Pour les grands dessins des étoffes pour meuble, on fera usage de tables très-longues sur lesquelles les pièces sont tendues.

La figure 17 donne une idée des principales dispositions adoptées. La table T est faite en bois dur et épais; elle doit être solidement établie.

On recouvre la surface de deux ou trois couvertures

Fig. 17. Fig. 19.

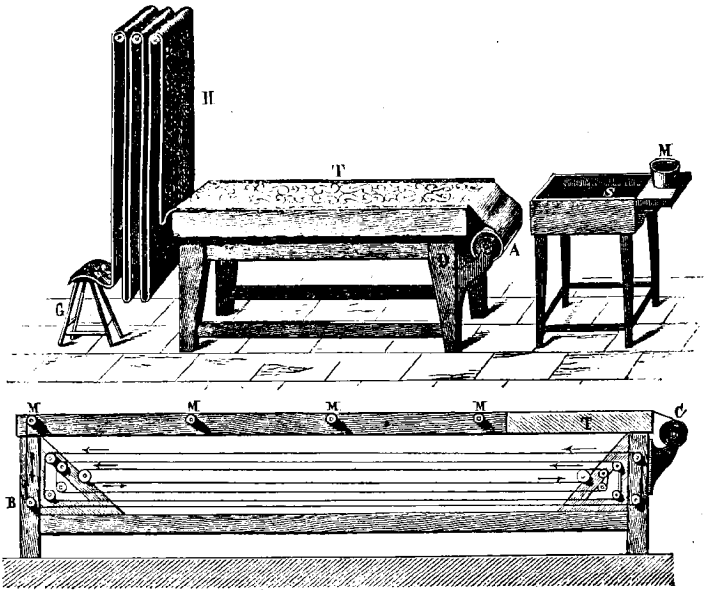


Fig. 18.

en laine destinées à faire matelas. L'une des extrémités porte un rouleau A sur lequel la pièce à imprimer est enroulée. L'ouvrier tire à lui une portion du tissu, l'étale sur la table, et lorsque l'impression est terminée, le fait passer sur les roulettes H pour imprimer une nouvelle portion et ainsi de suite.

La figure 18 représente une autre disposition dans laquelle le tissu couvert de couleur sur la table M circule horizontalement au-dessous sur une série de roulettes, de manière à atteindre le moment où l'impression est suffisamment sèche pour que le rapplicage ne soit pas à craindre.

Il nous reste à parler des moyens de fournir la couleur à la planche. On se sert à cet effet d'un châssis représenté en S (figure 19). Ce châssis se compose d'une caisse rectangulaire en bois, goudronnée intérieurement; on la remplit, jusqu'à un niveau convenable, d'une dissolution très-épaisse de gomme destinée à former matelas élastique. Sur cette solution repose un cadre plus petit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que la première caisse et fermé en dessous par une toile cirée ou caoutchouquée imperméable. Enfin, un troisième cadre plus petit que le second, portant une toile épaisse en laine, repose sur la toile cirée. C'est sur ce tissu spongieux que l'ouvrier étend la couleur contenue dans la terrine M, au moyen d'une brosse. L'expérience apprend qu'elle est la quantité de couleur qu'il convient de répandre pour que la planche appliquée sur la laine se charge également et suffisamment. C'est aussi à la pratique de l'atelier à dire quelle pression il convient d'employer, aussi bien pour enlever la couleur au châssis que pour l'appliquer convenablement sur le tissu.

Il va sans dire qu'à chaque couleur ou nuance d'un dessin correspond une planche spéciale, et que les divers dessins des planches gravées se rapportent de manière à former le dessin colorié qu'il s'agit de reproduire. Le travail de l'imprimeur est guidé dans ce cas par des picots placés sur le pourtour des planches. Si le dessin polycolore se compose de bandes ou raies parallèles, il est possible de les appliquer en une fois. Les couleurs sont contenues dans des caisses en fer blanc disposées sur une rangée en nombre équivalent aux nuances. Au moyen d'une brosse, on porte sur le châssis, suivant une ligne et l'une à côté de l'autre, des masses égales de chaque couleur dans l'ordre voulu, que l'on étale parallèlement à elles-mêmes par le mouvement d'un rouleau garni de toile. En donnant au rouleau étaleur un mouvement ondulatoire, on produira des effets de fondus, d'irisation par la superposition aux lignes de jonction des couleurs voisines.

L'appareil des figures 20, 21 et 22 réalise les conditions de l'impression simultanée et en bandes de plusieurs nuances.

A (figure 20), baquet à couleur en bois partagé en



Fig. 20.

plusieurs compartiments par les cloisons *a* en cuivre ou en verre.

B (figure 21) représente le couvercle du baquet. C'est



Fig. 21

une planche sur laquelle sont fixés autant de fils de cuivre, qui sont reliés deux à deux par d'autres fils métalliques ou en chanvre. Ces fils, en plongeant dans la

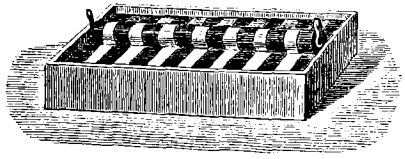


Fig. 22.

couleur, en emportent une certaine quantité lorsqu'on soulève le couvercle. On peut ainsi transporter sur le châssis D (figure 22) des épaisseurs variables de diverses couleurs que l'on étale uniformément au moyen du rouleau C (figure 22). Une disposition analogue (figures 23, 24 et 25) permet de réaliser des bandes ondulées.

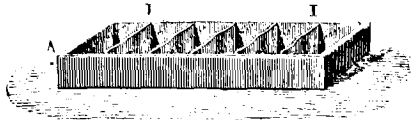


Fig. 23.

Certaines couleurs sont très-altérables à l'air; tel es par exemple le bleu solide à l'indigo réduit.



Fig. 24.

La condition de l'étaler sur une toile, sur une grande surface, est donc très-défavorable à la réussite



Fig. 25.

de l'opération. Pour obvier à cet inconvénient, on peut employer le châssis représenté dans la figure 26. A, caisse

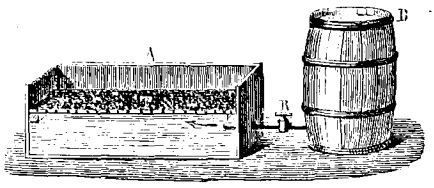


Fig. 26.

rectangulaire en cuivre communiquant, par la partie inférieure, à un tonneau fermé B dans lequel se trouve la couleur. T, toile tendue à mi-hauteur du châssis A. En ouvrant le robinet de communication R, la couleur s'élève par la pression au-dessus de la toile T. On peut ainsi régler à volonté l'arrivée de la couleur qu'on distribuera proportionnellement aux besoins.

Les figures 27 et 28 donnent une idée d'une disposition analogue pour plusieurs couleurs. Chaque compartiment du châssis à imprimer communique, par un tuyau spécial, avec un réservoir de couleur (figures 27 et 28 coupes horizontale et verticale). Soient par exemple à imprimer quatre couleurs : sur deux côtés du châssis se trouveront quatre réservoirs à couleur A A A A. Le châssis lui-même est partagé par des bandes mobiles en plomb ou en gutta-percha en autant de compartiments de formes variées qu'en réclame le dessin. Les fonds de ces compartiments communiquent, par des tuyaux mobiles en caoutchouc ou de plomb, avec les réservoirs A. La toile du châssis repose, dans l'une ou l'autre de ces dispositions, non sur une fausse couleur comme dans le châssis ordinaire, mais sur la couleur à imprimer elle-même qui l'imbibe de bas en haut.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Certaines couleurs ne conservent leurs qualités propres à l'impression qu'à une température plus élevée que

Fig. 27.

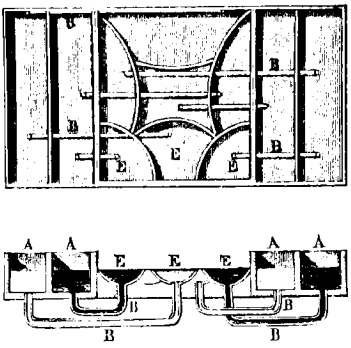


Fig. 28.

celle de la salle. On fera usage dans ce cas de l'appareil de la figure 29. C'est un châssis ordinaire B R G avec

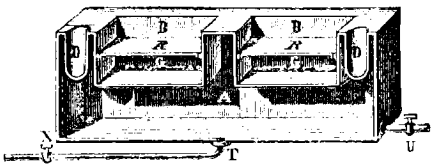


Fig. 29.

son réservoir de couleur D; le tout est entouré d'une enveloppe métallique qui forme double fond et qui permet l'introduction de la vapeur d'eau dans l'espace resté libre. U, tuyau d'arrivée de la vapeur; T, tuyau d'écoulement de l'eau condensée.

Dans la plupart des salles d'impression, l'ouvrier imprimeur est secondé dans son travail par un tireur, ordinairement un enfant chargé d'étaler la couleur à la brosse sur le châssis. On a fait différents essais pour remplacer le tireur par une disposition mécanique. La figure 30 représente un châssis à tireur mécanique. Le

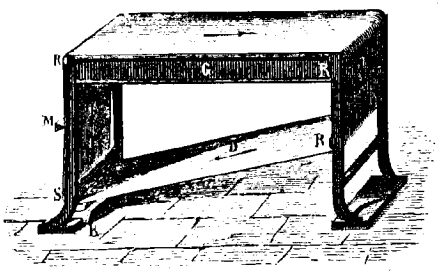


Fig. 30.

châssis G repose sur un pied en fonte ou en bois épais. Il est rempli de fausse couleur et recouvert d'une toile cirée bien tendue. La toile du châssis forme une toile sans fin D qui circule dans la direction des flèches sur les rouleaux R. La couleur est fournie par le réservoir B placé au bas de la table; dans ce réservoir se trouve un rouleau mobile. La toile sans fin passe entre ce rouleau et S; une racle M égalise la couleur en enlevant le superflu.

Lorsque la table d'impression est longue, elle nécessite le transport du châssis que l'on fait glisser sur des rails à côté de la table, à mesure que le travail avance.

M. Godefroy, à Puteaux, a adopté le système des figures 31 et 32, qui constitue un châssis mobile roulant sur la table d'impression elle-même. M M, réservoirs à couleur en forme de ballons. Ils offrent un orifice à la partie inférieure latérale. Tant que le niveau de la couleur dans le châssis K est au-dessous de cet orifice, il ne peut rien s'écouler; dans le cas contraire, l'écoulement a lieu. C'est donc un moyen d'avoir un niveau constant

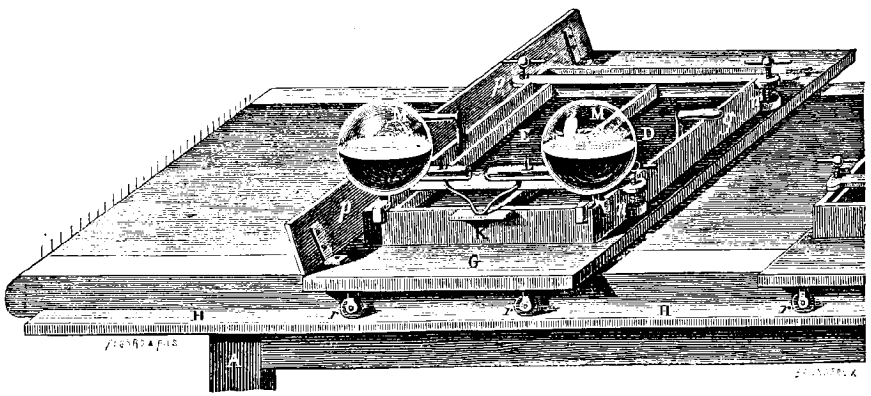


Fig. 31.

G F G, agitateur. C D (figure 32), seconde pièce du châssis renversée; elle porte la toile de laine et se place sur la couleur dont elle s'imprègne et que l'on étale avec des rouleaux.

Manière d'imprimer en bloc. — L'ouvrier imprimeur étend la pièce sur la table à imprimer qu'il a recouverte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

préalablement, à 1 ou 2 centimètres du bord, d'une

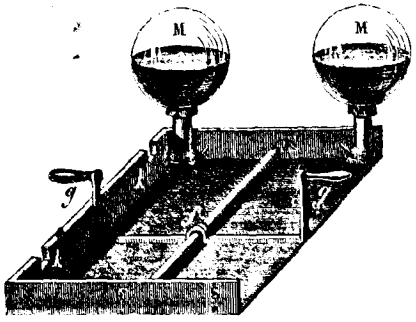


Fig. 32.

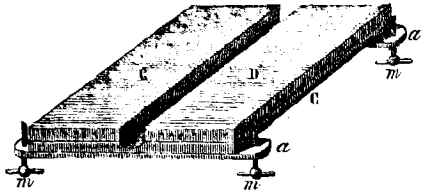


Fig. 33.

toile de coton, appelée *doublier*, plus large que l'étoffe

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

leur que l'on imprime presque toujours au-delà des lisières.

L'imprimeur pose la planche dans le châssis qui est placé derrière lui ou à sa droite, puis il la retourne lestement entre ses doigts pour prendre du mordant une seconde fois. Cette méthode a aussi un autre but, celui de distribuer plus également le mordant sur la planche; il porte aussitôt la planche sur la toile, en appliquant les deux points de repères *c a* sur la ligne de rapport A B, comme la figure l'indique. Il frappe dessus avec un marteau ou maillet garni en plomb (fig. 33 *bis*).

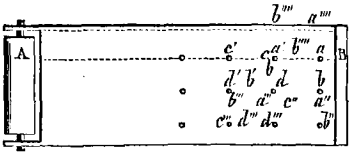


Fig. 33 *bis*.

Il prend de nouveau le mordant sur le châssis, et fait tomber, par le deuxième coup de planche, les picots sur *b d*, et la planche marque sur l'étoffe l'empreinte *b*, *d*, *b'*, *d'*.

Il prend encore de la couleur pour le troisième coup, et applique les picots *c a* sur *d' b'*, et forme une troisième empreinte *b*, *d*, *a''*, *b''*.

La première rangée étant finie, il en recommence une seconde en recouvrant, par le quatrième coup de planche, les picots *c d* par ceux *a b*, et formant l'empreinte *a'*, *b'*, *c'*, *d'*; puis, par un cinquième coup de planche, il

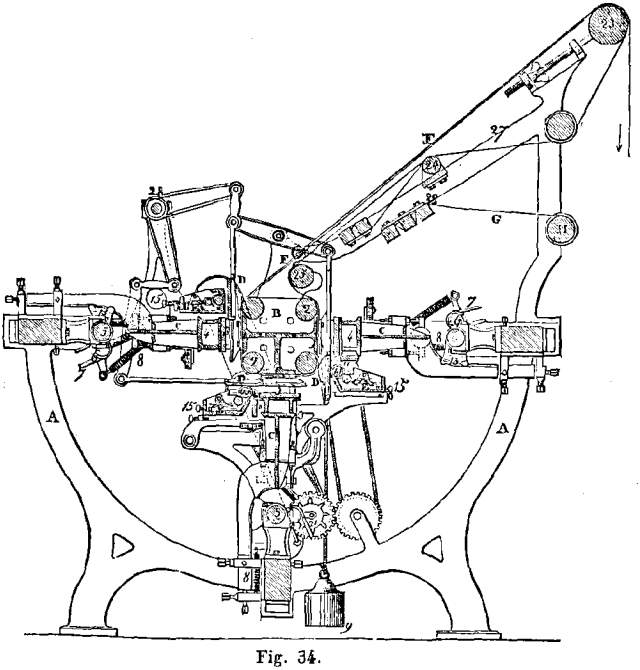


Fig. 34.

à imprimer. Cette disposition est indispensable pour éviter que la couverture ne soit salie par la couleur

reporte les picots par *b b''* sur ceux *d d''*, et forme l'empreinte *b'*, *d'*, *c''*, *d''*. Il revient ensuite à la partie com-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prise entre la ligne de rapport A B et la lisière, et il pose les picots *d' b'* sur ceux *c' a'*.

Il recommence une troisième rangée de la même manière qu'il a exécuté la deuxième rangée, et ainsi de suite.

Lorsque toute l'étendue de la table est imprimée, l'imprimeur déroule la bobine E, tire l'étoffe imprimée vers le quatrième rouleau d'en haut F; il étend ensuite une nouvelle portion de l'étoffe qui n'est pas imprimée, et il procède pour l'impression comme nous l'avons indiqué.

La pièce étant imprimée entièrement avec un premier mordant, par exemple de première main et séchée de même, on procède, s'il y a lieu, à l'application d'un second mordant, puis d'un troisième et jamais plus. Nous avons déjà dit, en traitant de la gravure sur blocs, que les planches de rentrures portent des picots qui doivent coïncider avec ceux de la première planche dite d'impression. Il suffit donc de faire tomber, en imprimant, les picots de rapports des planches de rentrures sur ceux de la première planche d'impression. Si l'impression a été bien faite, le dernier coup de planche recouvrira et cachera tous les picots de rapports qui se prennent ordinairement dans le dessin même.

2° *Machine, dite Perrotine, propre à imprimer trois couleurs à la fois* (publiée dans le tome XLVIII, des *Brevets expirés*). — La machine due à M. Perrot, que nous allons décrire, a pour objet de remplacer le travail manuel de l'application de la planche par le mouvement mécanique de celle-ci.

2° La table en fonte B (figure 35), qui a trois faces bien dressées 1, 1, 1, sur lesquelles s'opère l'impression; elle porte à ses quatre angles des rouleaux 2, 2, 2, 2, garnis de pointes d'aiguilles rayonnantes à leur surface et saillantes de 4 à 5 millim., afin d'empêcher le glissement des toiles qui passent dessus.

3° Les chariots C, C', C'', portant les planches gravées 3, 3, 3, qui sont en bois; elles pourraient être en cuivre ou autre métal. Ces planches sont vissées sur des plateaux 4, 4, 4, montés à coulisse sur les chariots; la manipulation pour les changements de planches est alors très-facile.

Les chariots glissent dans des coulisses; le mouvement leur est imprimé par des arbres à manivelle 5, 5, 5, dont les supports reposent sur le bâti; les manivelles 6, 6, 6, jouent dans les fourches 7, 7, 7, articulées par une vis à crapaudine avec les chariots. La queue de ces chariots glissant entre des vis de réglage, on peut lui donner la direction convenable pour que les planches gravées se présentent bien parallèlement aux tables. Des ressorts 8, 8, liés au chariot, en opèrent le mouvement rétrograde toutes les fois que les arbres 5, 5, ne les poussent pas en avant. Quant au chariot inférieur C'', il prend son mouvement rétrograde naturellement par son propre poids, qu'il faut d'ailleurs équilibrer au moyen du contre-poids 9.

4° Les châssis à couleur D, D' D'', sont articulés avec des leviers qui reçoivent du moteur général le mouvement qui convient à leur fonction. Ces châssis, qui sont mobiles dans des coulisses placées sur les côtés de la

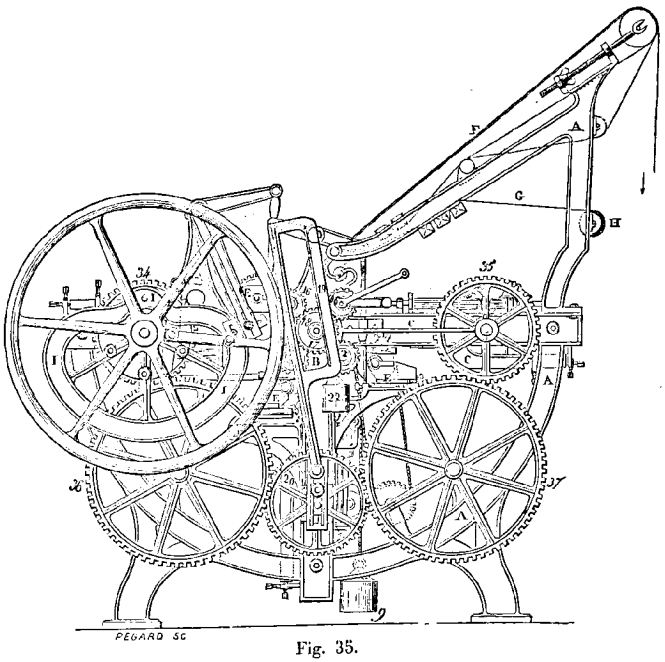


Fig. 35.

La figure 35 est une élévation latérale du côté de la manivelle.

La figure 34 représente la section verticale de la machine.

1° Le bâti en fonte A sur lequel sont attachées les pièces fixes.

table B, prennent la couleur sur les rouleaux 10, 10, des distributeurs en glissant tangentiellement à ces rouleaux; la couleur est étendue bien uniformément par les brosses fixes 11, 11. C'est de cette manière que les planches viennent prendre leur couleur sur les châssis dont le fond bien plat est garni de drap.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

5° Les distributeurs mécaniques E, E', E'', composés chacun d'une auge en bois remplie de couleur, d'une paire de rouleaux en cuivre 10, 10, et d'autres rouleaux 12, 12, qui se chargent de matière colorante dans l'auge et en donnent aux rouleaux 10, 10, couverts de drap. C'est en passant sur ces rouleaux que les châssis, dont le fond est une étoffe de laine, se chargent d'une quantité convenable de couleur qui est étendue par les brosses 11, 11. On donne plus ou moins de couleur suivant qu'on fait plonger plus ou moins les rouleaux 12, 12, dans la boîte, ce qui se fait aisément, puisque les coussinets qui portent ces rouleaux sont fixés à l'extrémité d'un levier mobile autour de son point d'appui; les boîtes E sont fixes, et on règle leur position au moyen des vis à caler 16.

6° Le régulateur ou appareil de division destiné à délivrer convenablement la toile qu'on veut imprimer. Le mouvement de cette toile n'est pas continu, car il y a nécessairement arrêt chaque fois que la toile doit avancer exactement de la largeur de la planche gravée, largeur qui varie avec les dessins.

Dans ce but, les axes des rouleaux 2, 2, 2, fixés à la table B, sortent de cette table; ils portent quatre roues 16 (figure 34), ayant chacune le même nombre de dents et recevant leur mouvement d'une roue centrale 17 montée sur un prisonnier fixé sur le bâti; cette roue est placée derrière une autre roue 18 qui reçoit un mouvement alternatif d'une crémaillère droite fixée dans une pièce 19, qui monte et descend alternativement parce qu'elle est attachée à un des rayons de la roue 20, ce qui forme manivelle. En variant la course de cette pièce, c'est-à-dire la position du point d'attache, on obtiendra le passage de plus ou moins de dents de la roue 18, ce qui fera varier la marche de la toile.

Un encliquetage à rochet 21, à chaque tour (figure 33), règle la marche chaque fois, et pour qu'il n'y ait point de recul, un frein composé d'une poulie montée sur l'axe de la roue 18, et d'un fil de laiton qui fait un tour et demi à deux tours dessus, puis est tendu par le poids 22, offre une résistance suffisante pour empêcher tout recul.

7° La toile sans fin, le doublier et les pièces propres à les recevoir.

La toile sans fin F, ordinairement en drap, embrasse un rouleau 23, garni de pointes d'aiguilles rayonnantes à la surface, afin d'empêcher le glissement des diverses toiles qui passent dessus; cette toile vient, en descendant, passer sur un rouleau 24, garni de drap, qui l'étend parfaitement et ne lui laisse aucun pli; de là elle vient s'appuyer sur un rouleau 25, puis embrasse la table B, en s'appuyant sur les quatre rouleaux 2, 2, 2, 2, aussi garnis de pointes d'aiguilles; de là elle remonte vers le rouleau 23, d'où elle était descendue. Pour entretenir toujours la même tension de la toile sans fin, le rouleau 23 est mobile perpendiculairement à son axe au moyen des deux vis de réglage 26.

Le doublier 27 est aussi une toile sans fin en gros drap ou forte étoffe de laine; il passe à travers les barres fixes 28, 28, qui l'étendent, puis s'appuyant sur le rouleau 25, il s'y réunit à la toile sans fin F, chemine avec elle sur les rouleaux 2, 2, puis remonte avec elle vers le rouleau 23.

L'étoffe à imprimer G est enroulée sur une ensouple H, et passe entre les barres qu'elle rencontre, ce qui fait disparaître tous les plis; alors elle arrive sur le rouleau 25, s'y réunit au doublier 27 et à la toile sans fin F; puis chemine avec eux, embrassant ainsi les trois faces de la table B, remonte aussi avec eux jusqu'au rouleau 23, d'où elle est reçue dans un étendage ou dans des paniers.

Le mouvement est imprimé à la machine par un homme appliqué à une manivelle fixée à l'arbre 5. Cette manivelle met en mouvement directement le chariot C'', puis elle communique le même mouvement aux deux autres chariots, au moyen des roues 34, 35, et des roues intermédiaires 36 et 37. Quant au mouvement du châssis, il résulte de celui de l'excentrique I placé également sur un arbre moteur 5. Cet excentrique met en mouvement l'arbre 38, lequel, au moyen de bras diversement articulés avec les châssis, les fait avancer tous trois; enfin le régulateur ou appareil de division se meut par la roue 20, l'excentrique 19 étant placé sur son arbre.

Telles sont les principales pièces de cette machine dont nous allons actuellement décrire les fonctions.

Supposons qu'on vienne de donner un coup de planche, et remarquons que tous trois se donnent au même instant. Aussitôt ce coup de planche donné, trois mouvements ont lieu à la fois, l'étoffe s'avance d'une largeur de planche et avec elle la toile sans fin et le doublier.

Les châssis D viennent prendre la place qu'on voit dans la fig. 34, et se mettent en mouvement, c'est-à-dire que le châssis D descend, celui D'' s'élève, et celui D' s'avance de gauche à droite.

Pendant ce trajet, les chariots C, C', C'', reculent, parce qu'ils cessent d'être pressés par les manivelles 6 (les arbres 5 continuent leur mouvement uniforme), et que d'ailleurs ils sont attirés par les ressorts 8, 8; ils s'arrêtent alors dans la position décrite, en s'appuyant sur des butoirs. Pendant le mouvement des châssis D, ils pressent légèrement sur les rouleaux distributeurs 10, 10, et y prennent de la couleur qui est étalée uniformément par les brosses 11, de telle sorte que les châssis s'arrêtant vis-à-vis des planches 3, 3, celles-ci n'ont plus qu'à y venir prendre la couleur dont elles ont besoin pour le coup de planche suivant.

C'est alors que les chariots C, C', reviennent en avant, mais cette fois il ne sont plus poussés par les manivelles; ils le sont par les touches 13, 13, qui leur sont diamétralement opposées, mais fixées comme elles sur les arbres 5, 5; ils s'avancent alors, et les planches 3, 3, pressent sur les châssis, puis ils reculent un peu; mais la touche 13 étant double, ils avancent de nouveau, et pressent encore une fois sur les châssis. Bien entendu qu'entre ces deux contacts le châssis a légèrement changé de place, afin de présenter d'autres points de contact, ce qui a été opéré par une courbure convenable I' de l'excentrique I.

Lorsque les touches 13, 13, cessent d'agir, les chariots, toujours appelés par les ressorts 8, 8, reculent de nouveau jusqu'à ce qu'ils soient arrêtés par les butoirs, et les châssis se mettent en mouvement; ils reviennent prendre la position qu'ils occupaient auparavant.

Bientôt après, les manivelles se retrouvent en position de pousser en avant les chariots; ceux-ci avancent et l'impression se fait; puis les arbres 5, 5, continuant de tourner, les chariots reculent encore et l'opération se continue.

Tel est le jeu de cette machine qui a eu un très-grand succès dans l'industrie française, surtout pour les impressions en mousseline-laine, chargées en couleur. Elle s'est moins répandue en Angleterre, où domine le principe de produire à bon marché et rapidement, ce que donne le rouleau plus cher à établir dans ces cas que la gravure de la perrotine; mais cette différence disparaît si le nombre de pièces à fabriquer est très-considérable. Le développement de la production dans nos ateliers lui est de même peu favorable aujourd'hui, malgré sa convenance dans quelques cas.

Machine à imprimer avec un cylindre qui présente le dessin en relief.

Cette machine, qui est plus connue en Angleterre sous le nom de *Métier à surface*, et en France sous le nom de *Plombine, d'Hemetine*, etc., se compose d'un cylindre ou rouleau en bois dur, sur lequel sont appliqués des clichés métalliques représentant les dessins en re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lief. Ce cylindre est disposé sur un bâti analogue à celui de la machine du rouleau; mais la couleur lui est fournie par le contact immédiat d'un drap sans fin qui passe continuellement dans une auge remplie de la matière colorante.

A vrai dire, le métier à surface n'est autre chose que la machine inventée par Nicholson, en 1790, mais perfectionnée par MM. Parkinson-Duffey, de Dublin, Church, Hémet et autres (voir les *Essais chimiques* de Parkinson, traduits en français, 1820; London, Journal, 1824, page 57; Technologiste, juin 1841, page 385).

Déjà, en 1870, on imprimait, en France, les toiles et les velours de coton, avec un cylindre de bois sur lequel on enfonçait des fils et des lames de laiton qui formaient le dessin en relief. On trouve, dans l'*Art du fabricant de velours*, par Roland de la Plâtière, le dessin et la description d'une machine en ce genre. Mais on ne peut se dissimuler que ces rouleaux, façonnés en métal, sont d'un prix élevé; qu'il en faut un assortiment très-dispendieux, qu'ils se détériorent par l'effet de l'humidité et de la pression qui les met promptement hors de service.

Cependant, un nommé Ebinger, de Saint-Denis, prit un brevet, en 1800, pour imprimer d'une manière continue avec des cylindres gravés en relief. En 1805, James Burton, ingénieur de la maison Peel, a appliqué également le rouleau à l'impression des tissus. On emploie peu cette machine en France, tandis qu'elle est assez usitée en Angleterre, tant pour imprimer à elle seule des dessins que pour enluminer des dessins imprimés au rouleau gravé en creux. On y a remplacé la gravure en bois par des cachets (clichés) en alliage fusible qu'on cloue sur les cylindres en bois, comme on le fait pour les planches de la perrotine. Ce changement, outre qu'il apportait une grande diminution dans les prix de gravure, permet d'obtenir des dessins plus délicats et plus nets; enfin le cylindre en bois, recouvert de vernis, n'étant plus en contact avec la couleur, était moins sujet à se déformer.

Les cylindres composés de clichés métalliques sont sans doute un progrès, à cause de la rapidité et de l'économie de la main-d'œuvre. Toutefois, leur construction nécessite encore des soins tout particuliers. Ainsi, il faut que les types soient tellement bien ajustés qu'ils ne forment pour ainsi dire qu'un seul morceau; que le pied ou la queue de tous ces types appuie d'aplomb sur la périphérie du rouleau; que tous les clichés forment entre eux une surface circulaire parfaite, et que leurs reliefs viennent, quand on fait tourner l'axe, toucher parfaitement la même tangente au cercle; que tous les clichés successifs aient rigoureusement la même forme, le même rayon et la même fixité.

La fabrication des clichés fondus ne présente aucune difficulté. Il suffit de faire un modèle en bois, que l'on reproduit autant de fois que l'on en a besoin, par le procédé du clichage en alliage fusible, que nous avons déjà indiqué. On pourrait cependant employer l'alliage ordinaire des cliqueurs, qui est plus résistant et plus durable.

Quand les clichés sont ainsi fondus, il s'agit de les ployer, et de leur donner la forme d'un segment de cercle qui s'adapte parfaitement sur la périphérie du cylindre destiné à le recevoir.

Plusieurs procédés, plus ou moins compliqués et difficiles, ont été inventés et employés depuis vingt années pour remplir ce but. Mais le moyen le plus simple et le plus facile est encore celui qui a été employé par Bonvalet, vers l'année 1770, pour ployer les planches de cuivre gravées en relief et leur donner la forme cylindrique (voir l'*Art de préparer et d'imprimer les étoffes de laine*, par Roland de la Plâtière).

On pose le cliché, un peu amolli par la chaleur, horizontalement sur une pièce de bois creusée en gouttière, de la forme d'une portion du cylindre sur lequel on veut l'appliquer; on descend ensuite une autre pièce de bois appelée *mandrin*, dont la forme en dessous est convexe, et semblable au segment de cercle que l'on veut avoir. Le mandrin est adapté à la vis d'un balancier.

Nous citerons encore Hoffmann, qui a pris le premier en France, en 1792, un brevet d'invention pour un moyen de faire des dessins pour l'impression des toiles au moyen du polytypage. (Voyez tome II, *des Brevets expirés*.)

En 1814, Straubard prit aussi un brevet pour un procédé analogue à celui de Hoffmann. Quoi qu'il en soit, tous ces procédés du clichage, déjà connus et publiés depuis longtemps, n'ont pu empêcher plusieurs personnes, fort honorables du reste, de se donner récemment pour les inventeurs réels de la méthode d'imprimer au cylindre en relief, dont la première idée appartient à Nicholson.

Burton, puis ensuite M. Howton, de Manchester, ont construit des machines, dites *mule-machine*, qui ne sont que la réunion, dans un même système, de cylindres en cuivre gravés en creux et de cylindres en bois gravés en relief.

Les Anglais ont apporté à cette machine un perfectionnement important pour le succès de l'impression. Dans les plombines françaises, le cylindre gravé se chargeait directement de couleur sur un rouleau fournisseur; la surface gravée n'était donc tangente qu'à un petit nombre de points de la couche de couleur étendue. Au contraire, dans les plombines anglaises ou *métiers à surface*, la couleur est portée par les cylindres du baquet ou réservoir sur un drap sans fin, où elle est uniformément répartie et duquel la reçoit le cylindre gravé.

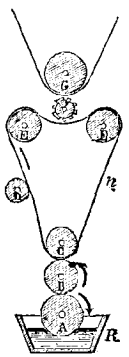


Fig. 36.

La fig. 36 représente cette disposition. Le drap sans fin *n* reçoit la couleur du baquet R par les rouleaux A, B, et est tendu par les trois cylindres C, D, E, en sorte que le rouleau prend la couleur sur la partie concave entre les deux cylindres E E.

Les fabricants français préfèrent à ces plombines la perrotine, qui a reçu tant de perfectionnements, et cela surtout, dit M. Persoz, parce que la couleur appliquée sur le tissu par une surface courbe étant toujours plus ou moins étendue, altère nécessairement plus ou moins la régularité des formes dont se compose le dessin.

Nous ne partageons pas cette manière de voir, et croyons que la simplicité de ces machines pour imprimer à plusieurs couleurs, à l'avantage qu'elles offrent sur le cylindre gravé en creux de ne pas écraser les premières couches déposées, en rendrait l'emploi profitable, si le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cylindre pouvait être fabriqué dans de bonnes conditions d'économie et de perfection. A cet égard, nous rappellerons ici l'essai de M. Laboulaye, de former un cylindre en relief par des pièces fondues et assemblées par un simple écrou, cylindre qui a figuré à l'Exposition de 1849. Les progrès des procédés de la fonderie en caractères nous font croire que ce procédé a de l'avenir.

Ce système, appliqué soit à des cylindres, soit à des planches de perrotine, permettrait, en économisant tout le temps employé au placement des cachets, de transporter aux gravures servant à l'impression des toiles peintes tous les avantages de variation à l'infini des dessins, par les compositions et décompositions successives qu'utilise si bien la typographie. Nous souhaitons qu'un fabricant fasse l'essai de ce système, dont nous avons vu depuis longtemps un spécimen, à l'état de pièce curieuse, dans le cabinet de l'inventeur.

Impression au rouleau. — Comme nous l'avons dit dans l'historique, on doit à Bonvalet la première idée d'imprimer les étoffes de laine au rouleau, vers 1755; cette méthode a été étendue, depuis, à l'impression de toutes les étoffes, et singulièrement perfectionnée par Oberkampf, N. Hobson, etc. La fig. 37 représente la

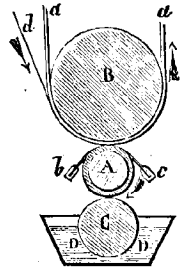


Fig. 37.

coupe verticale d'une machine à imprimer au rouleau à une seule couleur, sans le bâti et les accessoires.

A, cylindre gravé, maintenu par son axe dans une position horizontale.

B, cylindre de pression en fonte de fer dont la moitié de la circonférence est enveloppée par un drap sans fin *d*, afin de donner un léger degré d'élasticité à la pression. Ce drap sans fin est recouvert, en outre, par une toile sans fin appelée doublier, qui circule avec lui, suivant la direction de la flèche, et le garantit de l'impression des couleurs.

On rend considérable la pression du cylindre, au moyen de leviers appuyant sur son axe et auxquels on suspend des poids.

C, cylindre en cuivre, recouvert en drap. Il roule dans l'auge en cuivre D qui contient la couleur, et la transmet au cylindre gravé A.

b, racle ou docteur en acier fondu, maintenue dans toute sa longueur dans une pince à vis, au moyen de laquelle, et des vis de pression, on la fait appuyer contre le cylindre gravé, en même temps qu'on lui donne, dans le sens de sa longueur, un mouvement de va-et-vient.

c, autre racle semblable à la première, mais placée derrière le cylindre, où elle n'a d'autre fonction que de débarrasser les filaments qu'il entraîne quelquefois avec lui, et qui viendraient se mêler à la couleur.

On conçoit aisément le jeu de la machine qui est mise en mouvement par une force mécanique.

La pièce de toile à imprimer, à chaque bout de laquelle on a cousu une vieille toile, est enroulée sur une bobine, comme nous l'avons déjà dit ; on pose cette bobine au point *d*, en arrière des cylindres ; on engage un bout de la vieille toile cousue avec la pièce entre les cylindres A, B, suivant la direction indiquée par la flèche, et on l'accroche à une tringle en bois de la largeur de la pièce. Cette tringle est maintenue horizontalement et parallèlement aux cylindres par une ficelle qui entraîne la pièce verticalement, lorsque la machine est mise en mouvement; alors la toile, pressée entre les deux cylindres A, B, vient successivement se faire imprimer en dessous par le cylindre gravé A, dont les creux sont remplis de la couleur qui est fournie par le cylindre C, qui trempe continuellement dans l'auge D.

La toile monte verticalement et se dessèche en même temps sur un appareil à vapeur, composé d'une série de cylindres horizontaux et creux, qui sont disposés derrière le drap sans fin.

La figure 38 représente une coupe transversale d'une machine à imprimer à quatre couleurs : A A est l'un des deux châssis latéraux en fonte de la machine, qui sont réunis l'un à l'autre au moyen de boulons à écrous *a*, *a*; B est un grand rouleau de pression en fonte, dont les tourillons portent sur des coussinets qui peuvent se mouvoir dans les coulisses verticales ménagées dans les châssis A; A ; de fortes vis en fer *b*, qui traversent des écrous en laiton fixés à la partie supérieure des châssis A, A, viennent buter contre les coussinets qui portent les tourillons du rouleau de pression, et permettre à ce dernier de résister à la pression de bas en haut, qu'exercent sur lui les rouleaux qui servent à l'impression des couleurs placées au-dessous. C, D, E, F sont les quatre rouleaux gravés servant à l'impression des couleurs, dans l'ordre indiqué ; le premier et le dernier, C et F, sont portés par des coussinets en laiton mobiles dans les coulisses horizontales pratiquées dans les châssis A, A, et doivent venir s'appuyer sur le rouleau de pression B, un peu au-dessus de son axe ; leur pression est déterminée au moyen de vis *c* et *d*, qui traversent des écrous en laiton fixés d'une manière invariable au châssis. La partie de ce dernier, dans laquelle les coussinets et les vis se trouvent, a une forme curviligne, ce qui facilite la mise en place des rouleaux C et F, et leur donne une sorte d'élasticité qui leur permet de se prêter aux inégalités de l'étoffe à imprimer. Les coussinets des rouleaux D et E sont également mobiles dans des rainures dont l'axe converge vers celui du rouleau B, et sont pressés dans cette direction par un système de leviers et de poids : les coussinets du rouleau D sont portés par des tiges cylindriques, qui passent dans les fourreaux fixés au châssis A A, et dont l'extrémité est armée de montants qui s'appuient sur les petits bras de leviers *g* mobiles autour des points *h*, et chargés de poids qui à l'autre bout déterminent la pression. Les coussinets du rouleau E portent sur les bras de leviers I, mobiles autour des points *b*, et pressant par des vis *m* sur les pièces *n*, qui agissent à leur tour sur les petits bras du levier K, mobile autour du point *o*, et chargé à l'autre bout de poids L, qui déterminent la pression.

Indiquons maintenant en quelques mots la manière d'opérer de cette machine. Nous avons déjà dit que le rouleau gravé C était porté par des coussinets mobiles dans des glissières ménagées dans les châssis A, A. Ces coussinets sont formés, comme à l'ordinaire, de deux parties : l'une en laiton porte les tourillons du rouleau C; l'autre en fer, extérieure, mobile dans les glissières, et portant l'auge à couleur *g* et le rouleau fournisseur M. Le fond et les parois longitudinales de l'auge *g* sont en cuivre laminé ; les côtés en bronze coulé forment en même temps les coussinets du rouleau fournisseur M;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une vis *r* sert à la presser, ainsi que le rouleau M, contre le rouleau C. *s* est un racloir pour enlever l'excès de couleur, et *t* un autre racloir, pour enlever les filaments de l'étoffe. La position du premier est déterminée par une vis à écrou *u*, qui fixe son extrémité en un point d'une glissière, et sa pression contre le rou-

e' e'' est l'étoffe sans fin qui s'enroule sur le rouleau de pression B, et qui forme l'enveloppe élastique sur laquelle viennent s'appuyer les rouleaux C, D, E, F. Cette étoffe, primitivement enroulée sur le cylindre R, porté par les bras Q, passe sur le rouleau B ; sur l'une des extrémités du rouleau R se trouve une poulie sur la

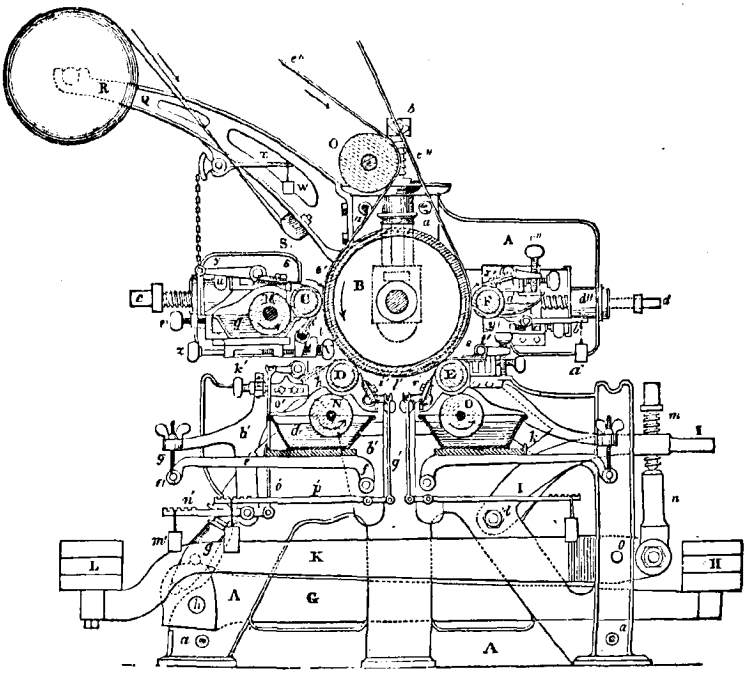


Fig. 38.

leau est réglée par deux petits poids *n'*, suspendus aux extrémités des leviers *x*, liés par des chaines au levier *y*, qui porte le racloir *s*. La pression du racloir *t*, porté également par un levier, est réglée par la vis V, qui vient buter contre l'autre bras de ce levier.

Les coussinets du rouleau D portent des tiges *b, b'*, qui supportent l'auge à couleur *d*, et le rouleau fournisseur N; sur cette partie est fixé le levier *e*, mobile autour du point f, solidaire avec *b'*, et dont l'autre extrémité *f* est portée par la vis *g*, qui permet de presser plus ou moins le rouleau N sur le rouleau D. *h'* et *i'* sont les deux racloirs, l'un pour la couleur, l'autre pour les filaments, fixés au moyen des vis *k'* et *l'*; la pression du premier est déterminée au moyen du poids *m'*, placé sur le levier *n'*, qui est lié par la tringle *o'* avec le levier fixé au racloir; la pression du second est réglée au moyen d'un poids suspendu au levier *p'*, qui est lié par la tringle *y'* avec le levier fixé au racloir.

La disposition de l'auge et du rouleau à couleur O du rouleau E est absolument la même que pour le rouleau D, à cela près que la pression du second racloir *s* est réglée par la vis *i'*.

Le rouleau F n'a pas de rouleau à couleur correspondant ; le racloir inférieur *y'* porte un appendice *d*, qui forme l'auge à couleur, et est pressé contre le rouleau par l'action du poids *a''*, suspendu au levier *b''*; la pression du racloir supérieur *x'* est réglée par une vis *c''*.

gorge de laquelle passe une courroie sans fin fortement tendue, qui fait naître une certaine résistance et maintient l'étoffe à un degré de tension convenable. On s'oppose à ce que l'étoffe se plisse en s'enroulant sur le rouleau R, en la faisant d'abord glisser sur une ou plusieurs barres en bois S, portant des rainures en spire, les unes dans un sens, les autres dans l'autre, comme l'indique la figure 39.

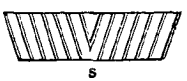


Fig. 39.

La figure 41 représente une coupe transversale à une plus grande échelle de la machine à quatre couleurs, afin de montrer en détail le mode de construction usité aujourd'hui.

On a supprimé les contrepoids, assez gênants, et la pression est donnée au moyen des vis G et des engrenages M, N, O, L, K, qui servent à faire mouvoir des systèmes articulés. On est ainsi bien plus maître d'appliquer les rouleaux gravés sur le cylindre imprimeur, comme les cylindres fournisseurs de couleur sur les cylindres gravés.

L'étoffe à imprimer repose sur un doublier en calicot

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui lui-même repose sur un drap sans fin, formant matelas élastique. Elle passe sous une pression assez forte

Cette pression force le tissu à pénétrer dans les creux de la gravure et à se charger de la couleur qui y était

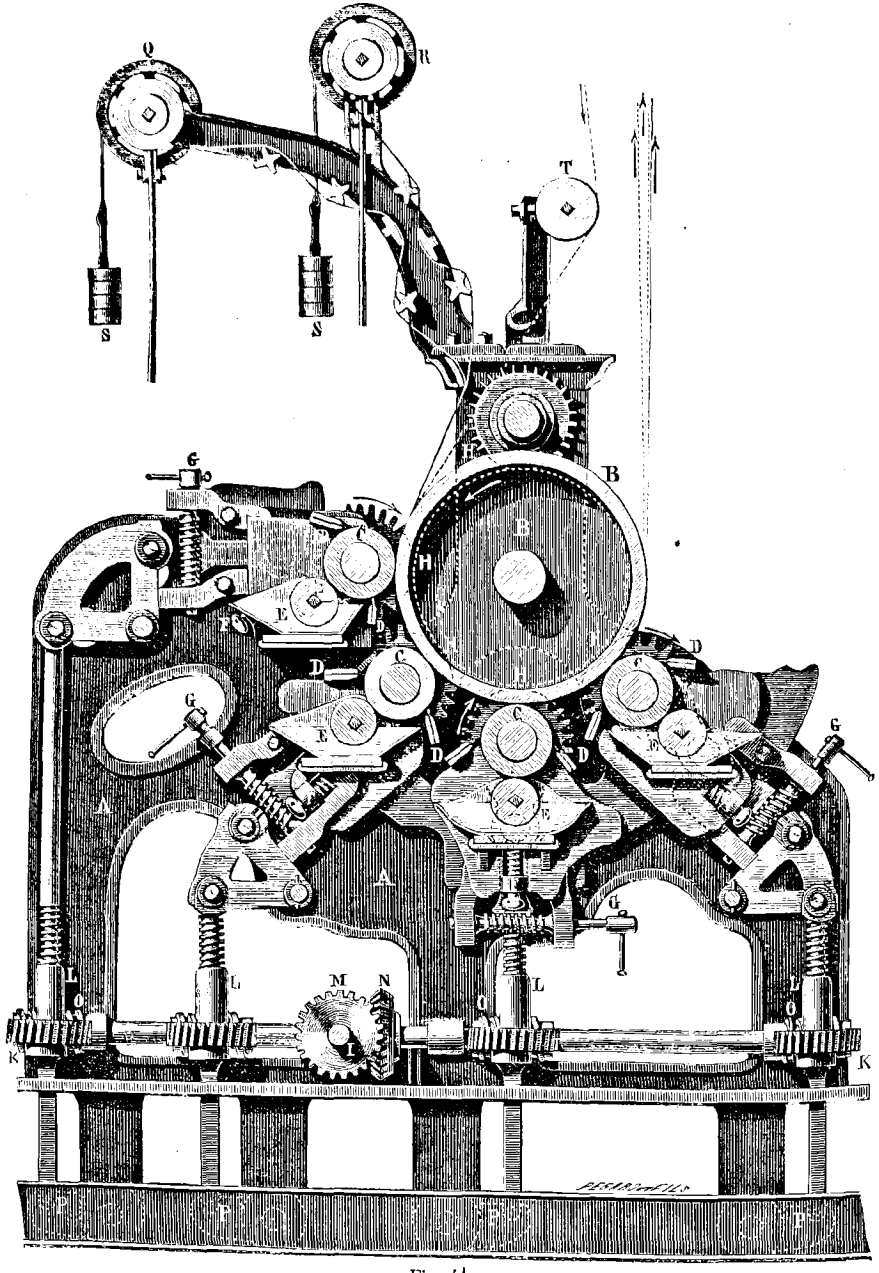


Fig. 41.

entre le cylindre B et le cylindre gravé, animés de mouvements de rotation inverses.

déposée.

Le tissu et le doublier se déroulent d'une manière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

continue et régulière, et vont après l'impression dans les chambres à dessiccation, dont il sera parlé plus loin.

Enfin la figure 42 donne une simple vue perspective d'une machine analogue, à dix ou 12 couleurs.

Il est évident que le cylindre de pression augmente de diamètre à mesure que l'on multiplie les couleurs à imprimer simultanément.

Impression par la planche-plate. — Nous ne donnerons pas la description détaillée de la planche-plate qui ne diffère, d'ailleurs, de la machine à imprimer au rouleau, que par la forme de la planche gravée qui est plate, et par le mode d'étendre la couleur sur cette planche. Du reste, l'impression s'exécute à la manière usitée pour l'impression en taille-douce.

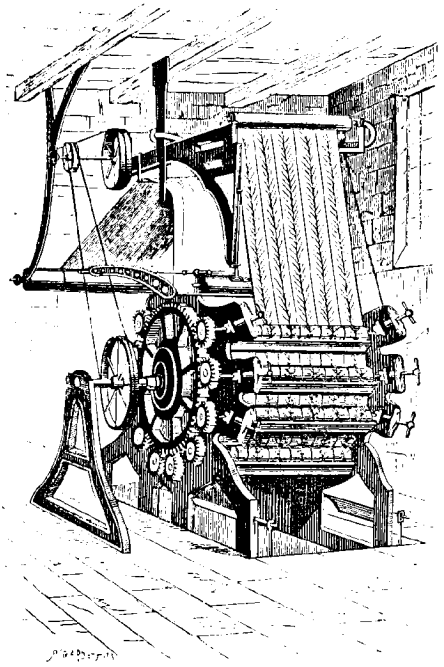


Fig. 42.

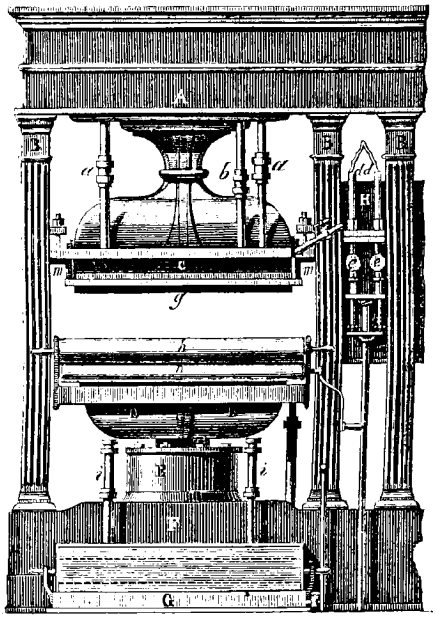


Fig. 43.

On prend la couleur, à l'aide d'une brosse en poil de sanglier, dans une bassine en cuivre placée un peu au-dessous du chariot sur lequel repose la planche gravée, et on l'étend avec célérité sur la planche gravée. On pousse aussitôt le chariot sous le rouleau de pression; et, dans ce mouvement, la planche est essuyée par une lame d'acier ou docteur, qui enlève toute la couleur, à l'exception de celle qui remplit les creux de la gravure.

Presse écossaise pour enlevages. — La figure 43 représente une presse hydraulique (de M. Montheith, de Glascow) vue de face, en élévation. A est le sommet ou l'entablement; B, B, les pilastres ou jumelles; C, le chapeau auquel est attachée la planche supérieure; D, le plateau mobile; E, le cylindre ou corps de pompe; F, le sommier de la presse; G, un réservoir plein d'eau dans lequel tombe l'étoffe en sortant de la presse; H, récipient contenant la liqueur décolorante.

a, a, tuyaux qui conduisent l'eau sur le tissu; *b,* tuyau à air; *c,* robinet qui permet à la liqueur de passer du réservoir H sur le tissu; *d, d,* tubes de verre gradués pour indiquer la hauteur de la liqueur dans le récipient; *e, e,* robinets de verre pour admettre la liqueur dans le récipient; *f, f,* robinets d'introduction de l'eau; *g, g,* les planches en plomb découpées suivant les contours du dessin que l'on veut réserver en blanc; *h, h,* rouleaux placés en avant de la presse, et entre lesquels l'étoffe est pressée, après avoir été soumise à l'action de la liqueur, pour tomber ensuite dans le réservoir G; *i, i,* tuyaux de décharge pour l'eau et la liqueur; K, robinet pour remplir d'eau le réservoir G; *l,* tuyau qui conduit la liqueur dans le réservoir H; *m, m,* repères adaptés à chaque angle du plateau supérieur, et dans lesquels s'engagent des broches fixées sur les planches inférieures; *n, n,* vis pour régler la parfaite horizontalité des planches de plomb, de manière à ce qu'elles correspondent exactement l'une avec l'autre.

On réunit habituellement plusieurs presses semblables pour éviter toute perte de temps, et la machine à vapeur qui les fait mouvoir peut agir successivement sur chacune à l'aide de deux pompes différentes.

La presse est mue par deux pompes, afin d'éviter les pertes de temps et remplir rapidement le corps de la presse; le piston du plus gros cylindre, de 22 centimètres de diamètre, a une course de 70 centimètres; sa tige passe dans une boîte à étoupes, et il est mû par une force équivalente à 5,000 kilogrammes; le piston du second cylindre n'a que deux centimètres 1/2 de diamètre; il est également mû par une force de 5,000 kilogrammes, et sa course est aussi de 70 centimètres.

Les pistons étant au bas de leur course, on fait agir,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au moyen de la machine à vapeur, de petites pompes foulantes, dont deux servent à élever le grand piston, et deux autres le petit piston. Aussitôt il s'introduit dans les tuyaux une quantité d'eau assez considérable pour que les pistons arrivent à leur point le plus élevé; alors ils sont disposés pour faire agir la presse hydraulique. La pression hydrostatique se communique par des tuyaux en cuivre d'un petit calibre situés au-dessous du plancher, et d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression.

Cette presse est munie de robinets : l'un ouvre la communication entre le grand tuyau et le corps de pompe de la presse; l'autre établit la communication avec le petit tuyau. Le premier permet d'élever le plateau mobile et de le mettre en contact avec le plateau supérieur; l'objet du second est d'opérer la pression nécessaire; le troisième robinet, dit *de décharge*, est destiné à faire écouler l'eau quand on veut desserrer la presse.

Douze à quatorze pièces d'étoffe, préalablement teintes en rouge d'Andrinople, sont étendues et pliées l'une sur l'autre, aussi également que possible, à l'aide d'une machine appropriée à cet usage. Les pièces sont ensuite enroulées sur un tambour en bois, placé derrière la presse. On place une certaine portion des pièces enroulées sur la planche inférieure, et on fixe des crochets aux deux lisières. On trouve ensuite le robinet communiquant avec le grand tuyau; l'eau, en pénétrant dans le corps de pompe, élève aussitôt le plateau mobile du dessous, de manière que l'étoffe dont elle est chargée s'applique exactement contre la planche supérieure, puis on ferme ce robinet, et on ouvre le second; le poids de 5,000 kilogr. que porte le petit piston du tuyau, étant multiplié par le rapport de la section du cylindre de la presse et la surface du petit piston, donnerait la mesure de la pression énorme avec laquelle l'étoffe est comprimée contre les planches de métal.

L'opération suivante consiste à faire arriver sur l'étoffe la liqueur destinée à enlever la couleur. Cette liqueur, composée de chlore liquide, qu'on obtient en ajoutant à une solution de chlorure de chaux d'une pesanteur spécifique de 1,010 un centième de son poids d'acide sulfurique à 1,846 de densité, est tenue dans un grand récipient placé dans une pièce contiguë, d'où elle est amenée dans de petits réservoirs de plomb H.

A mesure que la liqueur sort du réservoir en plomb, elle passe, en traversant les figures découpées dans les planches supérieures, sur l'étoffe qu'elle pénètre, et dont elle enlève la couleur rouge; de là elle se rend par les trous de la planche inférieure dans le tuyau de décharge.

Immédiatement après le passage de la liqueur, on laisse arriver sur l'étoffe de l'eau qui enlève le chlore qui y adhère encore, et empêche en même temps son action corrosive. Si on négligeait cette précaution, il arriverait qu'en desserrant la presse le contour du dessin serait inégal, et que l'étoffe se trouverait altérée. On peut faciliter le passage de la liqueur, ainsi que l'eau à travers l'étoffe, au moyen d'un appareil pneumatique ou d'une machine soufflante composée d'un grand gazomètre, d'où l'air, soumis à une pression modérée, s'échappe et agit dans la direction des liquides entre les planches et l'étoffe. En tournant le robinet à air, l'ouvrier peut aussi s'assurer de l'égalité de la distribution de la liqueur décolorante sur tous les vides de la planche supérieure. Lorsque les commandes sont nombreuses et pressées, on se sert fréquemment de l'appareil à air, parce qu'il permet à l'ouvrier de doubler son travail.

Le temps nécessaire pour opérer l'enlevage, dans la première presse, suffit aux ouvriers qui ont aidé à charger pour mettre en jeu d'autres presses. Celui qui est chargé de l'enlevage passe ainsi d'une presse à l'autre; il introduit la liqueur, l'air et l'eau, et il est suivi, à des intervalles réguliers, par les autres ouvriers qui desserrent les presses, déposent sur les planches une nouvelle couche d'étoffe, et opèrent ensuite la pression. Toute l'opération dure dix minutes seulement, temps pendant lequel 224 mouchoirs (16 × 14) sont décolorés.

La quantité d'étoffe enroulée sur le tambour est successivement déroulée pour être soumise au même traitement.

En sortant de la presse, elle passe entre deux rouleaux *h*, *h*, placés en avant, et de là elle plonge dans un réservoir d'eau disposé au-dessous; finalement, on la transporte à la blanchisserie, où les blancs réservés acquièrent encore plus d'éclat.

Préparation des planches de plomb (fig. 44). — Les

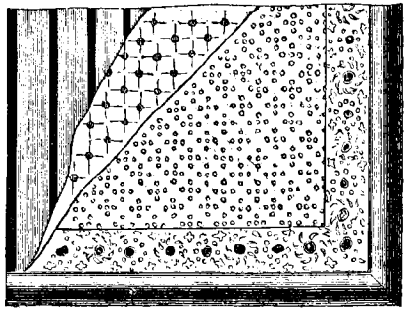


Fig. 44.

planches de plomb, destinées à produire les dessins réservés en blanc sur l'étoffe, sont préparées de la manière suivante. On fixe solidement dans un châssis de fonte de fer à jour, de 2 centimètres d'épaisseur, à l'aide de vis et d'écrous, une planche de plomb de 15 millimètres environ d'épaisseur; on soude sur les bords de ce châssis une feuille mince de plomb, qui doit recouvrir toute la surface extérieure, afin que le fer ne soit point en contact ni avec l'étoffe ni avec la liqueur. On forme ainsi une espèce de bassine de 2 centimètres de profondeur, qui sert à retenir la liqueur. On soude ensuite au fond de cette bassine une seconde feuille mince de plomb. Les feuilles de plomb seront parfaitement planes et unies, ce qu'on obtiendra en les battant d'abord à coups de marteau sur une table de pierre bien lisse, et en les finissant ensuite avec un rabot. On décalque sur cette feuille de plomb, par les méthodes que nous avons déjà indiquées (voy. DESSIN), le dessin qu'on veut produire, et on le remet à l'ouvrier chargé de le découper à jour. Celui-ci procède à cette opération avec les petits outils généralement en usage parmi les graveurs sur bois. Il coupe perpendiculairement à travers la feuille même. Les morceaux de plomb, découpés par l'outil tranchant, sont aisément enlevés, et c'est ainsi que se forment les vides qui produisent les figures blanches sur le tissu rouge. On pratique au fond de ces vides, et à travers les planches épaisses de plomb, un nombre suffisant de petits trous, à travers lesquels la liqueur décolorante passe sur l'étoffe. Une des planches étant ainsi préparée, on en tire une épreuve qui est décalquée sur l'autre planche, laquelle est découpée de la même manière.

APPAREILS DIVERS SERVANT DANS L'IMPRESSION DES TISSUS DE COTON.

Chambre à sécher. — Les tissus imprimés au rouleau à une ou plusieurs couleurs passent, avons-nous dit, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une chambre à dessiccation. La figure 45 représente les principales dispositions de cette chambre. Le tissu *d'*,

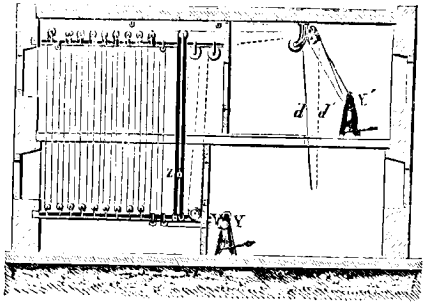


Fig. 45.

accompagné du doublier, passe sur une série de roulettes disposées sur deux rangées horizontales. Après un certain parcours, le doublier abandonne le tissu et vient s'enrouler en Y, tandis que le tissu, continuant son chemin, va s'enrouler en Y'. La chambre est portée à une température plus ou moins élevée qui peut atteindre jusqu'à 50° centigrades.

On donne le nom de hot-flue à un appareil (fig. 46)

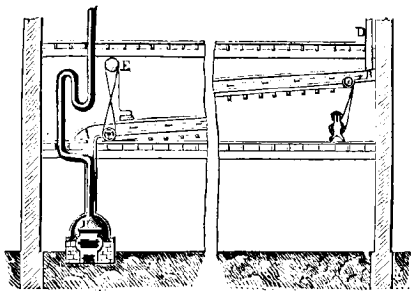


Fig. 46.

destiné à sécher rapidement, à une température élevée, les tissus imprimés. Cet appareil fonctionne encore dans beaucoup d'imprimeries de tissus.

H, fourneau en fonte dont la partie supérieure est entourée d'une enveloppe qui débouche dans le conduit A. Ce conduit est légèrement incliné et se prolonge sur une étendue de 30 à 40 mètres. Sa largeur doit être supérieure à celle de la pièce; l'épaisseur du conduit est de 40 à 50 centimètres.

L'air chaud, arrivant par la partie inférieure de ce conduit, s'élève progressivement pour s'écouler par la cheminée D. Une toile sans fin maintenue par des rouleaux circule en dedans et en dehors du conduit. La pièce Y pénètre par la partie supérieure; elle est fixée par des crochets à la toile sans fin, et lorsqu'elle est arrivée à la partie inférieure, elle sort de la chambre à dessiccation pour remonter en dehors du conduit jusqu'à l'ouvrier qui la détache.

Machine à fouler. — Cette machine sert surtout à la fixation des couleurs minérales ou oxydes métalliques colorés. Elle a pour but de déterminer l'imprégnation du tissu aussi également que possible avec une solution d'alun ou autre. Comme l'oxyde tenu en dissolution à la faveur d'un acide doit être déplacé en présence de la fibre, ce déplacement peut être réalisé en certains points seulement en imprimant l'agent saturant, ou sur toute la surface du tissu en repassant celui-ci au foulard.

La machine à fouler (*fig.* 47) se compose d'une caisse pour le liquide et de rouleaux.

E, F, cylindres en bois recouverts de tissu qui reposent par leurs tourrillons *a* et *b* sur un support placé au-dessus de la caisse A. Le cylindre P exerce sur le cylindre E une pression en raison de son poids et par le levier *e f*

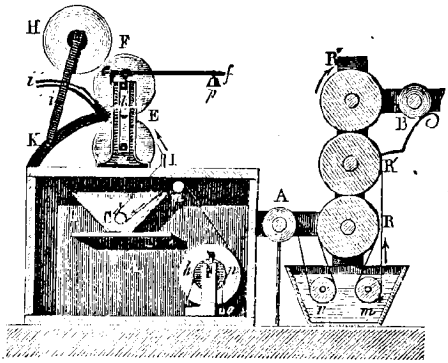


Fig. 47.

Fig. 48.

muni du poids *p*. Le tissu est enroulé en *h n*; il est tendu par le contre-poids O; il passe sur le rouleau tenseur *m*, de là dans le réservoir G, passe sur le rouleau C, puis sur la règle élargisseuse I pour se rendre entre E et I et s'enrouler en H. Le rouleau H repose sur un support mobile M autour de l'arc *i'*. Le rouleau E est mis en mouvement; il fait tourner F et celui-ci agit sur H pour déterminer l'attraction et l'enroulement du tissu.

L'appareil de la *fig.* 48 permet de faire passer plusieurs fois le tissu dans le bain.

La pièce, en effet, se déroule en A, passe dans le liquide sur le rouleau *n*; de là elle se rend entre les rouleaux exprimeurs garnis de toile R et R', repasse dans le bain sur la roulette *m*, monte entre les rouleaux R et R' et vient s'enrouler en B.

Après le foulardage, les pièces humides restent quelques heures humides sur le rouleau afin de favoriser une complète imprégnation. On les sèche ensuite à une température de 90 à 100 degrés. Cette opération est très-importante. La fig. 49 donne une idée d'une chambre à sécher les étoffes foulardées.

Elle se compose d'un espace assez étendu qui est voûté (longueur 30 mètres, largeur 4 mètres, hauteur 3 mètres). Une série de petites voûtes partagent cet espace en deux parties à peu près égales.

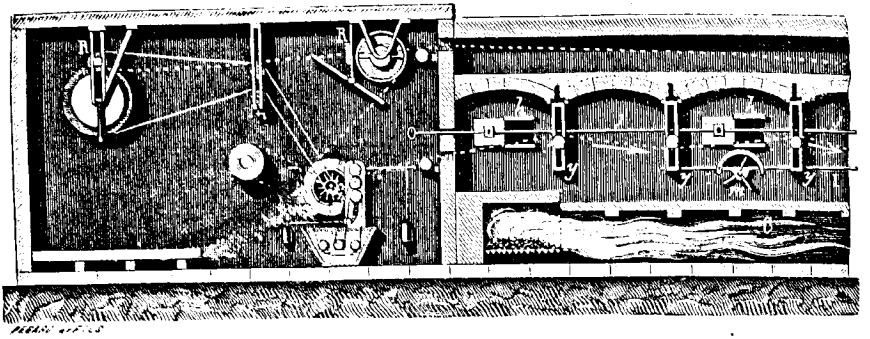
C C, fourneau allongé formant le plancher de la chambre; il est recouvert de plaques en fer juxtaposées et qui s'échauffent au rouge.

F, entrée. *h h*, orifices de ventilation avec registres que l'on peut ouvrir plus ou moins au moyen de la tige *j*. K K, cylindres de cuivre étamé reposant sur les appuis *y*. I, tige mobile servant à régler la position des ventilateurs *m*. Ces ventilateurs se composent de plaques en toiles métalliques animées d'un mouvement de rotation de 300 tours par minute. Le tissu foulardé dans la chambre de gauche entre dans le séchoir en suivant la ligne ponctuée dans le sens des flèches; il se dessèche par l'action de la chaleur rayonnée par les plaques et par les voûtes. Cette dernière action est moins intense.

Machine à enrouler (fig. 50). — Cet appareil est formé d'un bâti en bois qui supporte, à sa partie supérieure,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une série de petites barres en bois parallèles et fixes, séparées à des distances voulues par de petits rouleaux en bois, dont les axes tournent librement dans des cous-



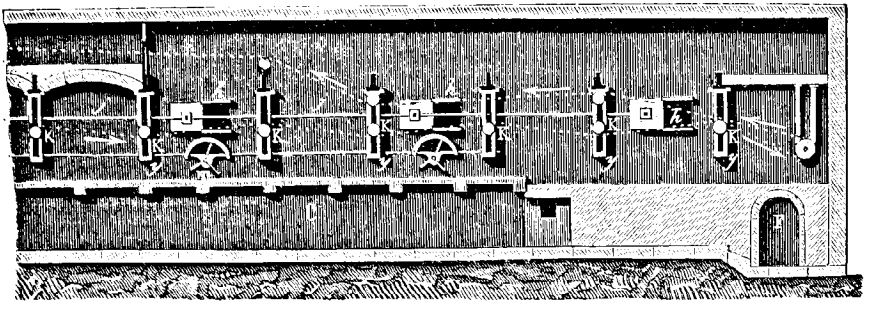


Fig. 49.

sinets. Ces barres et rouleaux sont destinés à maintenir les pièces au large et à effacer les plis.

La pièce qui est posée sur le plancher à gauche, comme l'indique la ligne en spirale, passe alternative-

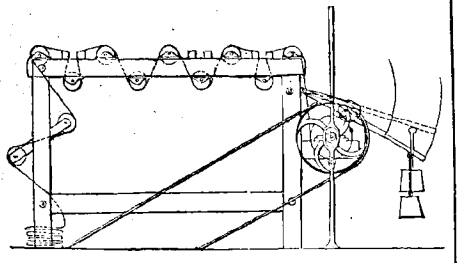


Fig. 50.

ment dessus et dessous les barres et les rouleaux; elle enveloppe la demi-circonférence d'un tambour mû par le moteur de l'établissement. Elle s'enroule ensuite sur la bobine en bois, qui reçoit son mouvement continu par le contact du tambour.

L'axe de la bobine est fixe, carré, et mobile à volonté. Il est maintenu et pressé sur ses extrémités arrondies par deux leviers, auxquels sont suspendus des poids très-pesants; le point d'appui de ces leviers est sur le bâti de la machine.

L'opération de l'enroulage est une des parties les plus essentielles pour imprimer au rouleau, à la Perrotine, et généralement pour tous les genres d'impression à la mécanique; aussi faut-il éviter de laisser passer les plis.

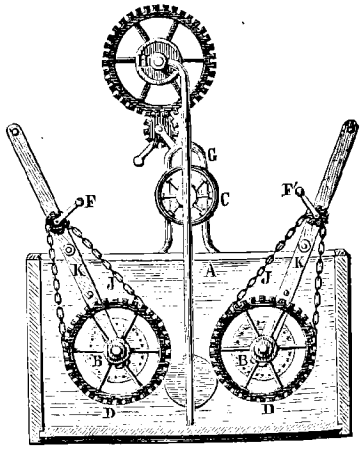


Fig. 51.

La teinture des étoffes de soie exige une circulation continue de la pièce accompagnée d'une tension conve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nable. L'appareil de MM. Jandin et Duval réalise ces conditions. Les étoffes de soie soumises au dégommage et à la teinture sont constamment maintenues à un certain degré de tension, aussi bien dans le sens de la longueur que dans celui de la largeur. On évite ainsi la cassure fréquente de la soie, et l'on obtient des produits plus solides, à couleurs plus vives, présentant le même aspect que les étoffes tissées avec de la soie teinte. La tension en longueur et en largeur se donne en faisant passer la pièce d'un tambour sur un autre par l'intermédiaire d'un troisième tambour tenseur en large.

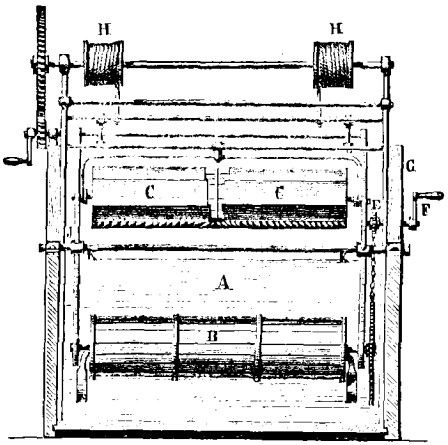


Fig. 52.

Les figures 51 et 52 représentent deux coupes de l'appareil à dégommer.

A, cuve chauffée à la vapeur.

B, B, tambours ou rouleaux sur lesquels le tissu s'enroule et se déroule.

C, tambour intermédiaire sur lequel passe la pièce pour aller de B en R, et que l'on peut élever ou abaisser.

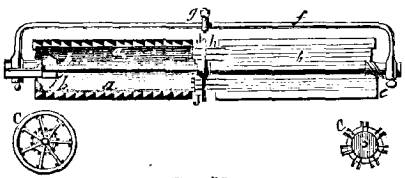


Fig. 53.

La fig. 53 donne les détails des dispositions de ce tambour.

a, *a*, segments en laiton portant des entailles en forme de dents de scie à leur face externe.

Les segments de l'une des moitiés du tambour ont leurs dents dirigées de gauche à droite ; ceux de l'autre moitié ont leurs dents dirigées de droite à gauche.

Après dégommage, le tissu est lavé dans l'appareil de la figure 54.

A, A, coussinets pour les rouleaux.

B, rouleau extenseur, semblable au rouleau extenseur de la figure 53.

C, C, tambours sur lesquels s'enroulent et se déroulent les pièces.

Ces tambours sont mis en mouvement par des manivelles.

E, F, bras du bâtis mobile sur lequel reposent les tambours.

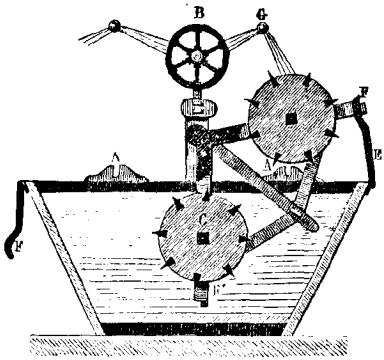


Fig. 54.

E, supports pour maintenir les bras F dans une position convenable.

G, tube percé de trous pour l'arrosage des pièces.

Le tissu lavé est teint dans l'appareil de la figure 55.

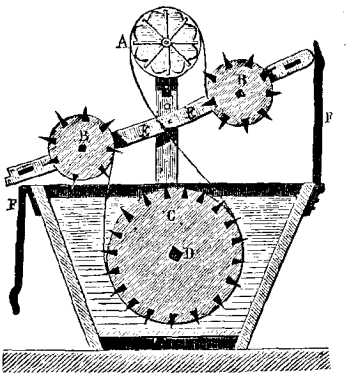


Fig. 55.

A, tambour extenseur en bois.

B, tambours servant à enrouler et à dérouler le tissu, alternativement de l'un à l'autre. Dans le trajet il passe à travers le bain sur le tambour extenseur C.

E, E, leviers mobiles supportant les tambours B, maintenus par les pièces F à des distances variables de A.

Voici maintenant comment on procède : six à huit pièces sont enroulées sur un rouleau mobile, que l'on fixe dans l'appareil de la figure 52 pour faire passer de là les pièces sur les rouleaux B. On introduit de l'eau de savon dans la cuve, de manière à recouvrir les rouleaux. La température étant amenée à 100° par injection de vapeur, les pièces passent pendant cinq minutes d'un rouleau à l'autre sur le tenseur C.

Chaque fois que l'on change le sens du mouvement, on doit retourner le rouleau C, afin que les rainures de droite et de gauche se présentent au tissu dans la même position. Après le passage en savon, les pièces sont de nouveau enroulées sur le rouleau mobile ; celui-ci est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

porté dans l'appareil de la figure 53 sur les appuis A ; on passe le tissu sur le rouleau extérieur B et de là sur le tambour C. Le support E, qui maintient le bras F, est enlevé, de manière à faire immerger ce tambour. On lave d'abord avec de l'eau tiède additionnée d'un peu de carbonate de soude, puis avec de l'eau froide. Le tissu ainsi lavé est prêt à la teinture ; on l'enroule une troisième fois sur le rouleau mobile pour le porter dans la cuve de teinture.

Appareil pour laver les étoffes de laine imprimées et vaporisées. — Le lavage des laines imprimées se fait le mieux dans un appareil du genre de celui de la figure 56.

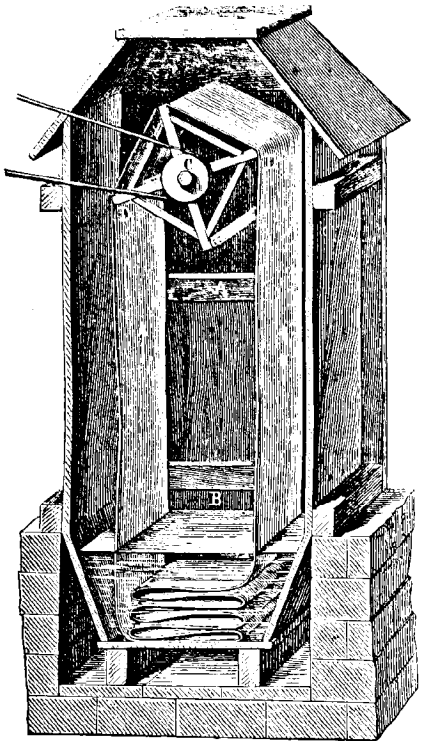


Fig. 56.

A, bâti en bois supportant l'axe C du tourniquet D, mis en mouvement par une courroie.

B, cuve remplie d'eau.

Les pièces forment une chaîne sans fin, et se meuvent avec rapidité dans le sens des flèches sous l'influence du tourniquet.

Après le lavage, on enlève la plus grande partie de l'eau par la turbine et on sèche dans des appareils à rames.

QUELQUES FABRICATIONS SPÉCIALES.

Conversion opérée mécaniquement. — On appelle ainsi un changement de teinte produit par l'application sur une teinte plate, obtenue à l'aide d'une planche plate comprenant tout le contours du dessin, d'une planche gravée chargée d'une solution gommeuse fortement frappée. La couleur déposée en premier est forcée de s'enfoncer dans les pores de l'étoffe et diminue d'intensité. Ce genre a pris le nom de *frappé*.

Conversion opérée chimiquement. — Toutes les fois que deux sels d'alumine ou deux sels de fer sont mélangés, et que l'un des deux seulement est apte à céder par lui-même sa base à la fibre, on a un moyen sûr de développer les effets de double teinte. Il suffit d'imprimer sur le tissu un tel mélange, et de recouvrir les points qu'on veut rendre plus foncés d'un agent propre à déterminer la fixation de celui des deux sels qui n'abandonne sa base que par l'intervention d'un intermédiaire que M Persoz appelle *blanc conversion*. Ainsi, si on imprime au rouleau des bandes en mordant rose, additionné de nitrate d'alumine qui ne cède pas sa base au tissu ; si, après cette impression, on s'était contenté de laver et de teindre, on aurait obtenu une bande rose de couleur uniforme. Mais si, avec un autre rouleau, on recouvre certaines parties des bandes d'acétate de soude, on sature le nitrate et on provoque la fixation à l'étoffe d'une plus grande quantité d'alumine. Bouant alors, teignant et dégorgeant, on réalise une impression fin rouge sur bandes roses.

Ce genre a eu un grand succès et a permis de réaliser de très-beaux produits. On varie dans plusieurs fabriques le mode d'opérer : ainsi, souvent on se contente de rendre acides les mordants ordinaires, qui, ne pouvant céder qu'une partie de leur base au tissu, sont ensuite saturés par l'intervention d'un corps salin.

Teinture ombrée sur étoffes de laine, d'après le système breveté de MM. Jourdan et Cie.

La pièce d'étoffe, préparée comme pour la teinture ordinaire, est enroulée sur un cylindre placé à une extrémité de la machine. Cette machine se compose d'une cuve carrée chauffée par un serpentin de vapeur, et sur laquelle il se trouve un jeu de petits cylindres ou molettes en étain, placés horizontalement en ligne droite, et accouplés deux par deux, l'un supérieur, pressant de son poids sur l'inférieur.

Ce dernier est garni d'un drap et se plonge à moitié dans la cuve qui contient le bain de teinture. On place autant de rangées de ces petits cylindres que l'on veut obtenir de rayures ombrées, et on les met ordinairement sur huit de profondeur.

Ces cylindres ont environ 10 centimètres de diamètre et 10 à 15 millimètres d'épaisseur. La laine de teinture étant au degré convenable, on engage la pièce entre les molettes inférieures et supérieures, et on commence à l'enrouler sur un second cylindre placé à l'autre extrémité de la machine. A mesure que la pièce avance, elle fait tourner les molettes. Les molettes inférieures qui plongent dans le liquide colorant et chaud l'apportent à l'étoffe. La molette supérieure qui presse dessus aide le tissu à se pénétrer de teinture, et le dirige. C'est ainsi qu'à la fois et en même temps commencent à se former toutes les rayures que l'on a voulu obtenir.

Lorsque la pièce entière, quelle que soit sa longueur, a opéré ainsi son premier passage, il s'est formé des rayures inégales en largeur, en intensité ; mais il faut remarquer que cette étoffe s'est enroulée sur un cylindre dont chaque rayure a trouvé à se superposer sur la rayure déjà formée, et que la pression qui résulte de cette superposition, la chaleur concentrée dans l'étoffe aident alors puissamment au développement de la capillarité et commencent à régulariser les rayures.

Le premier cylindre abandonné par la pièce est mis alors en mouvement ; cette dernière repasse entre les molettes, se charge de nouveau de colorant, et s'enroule dans les mêmes conditions que précédemment.

N'oublions pas que la vapeur qui se dégage de la cuve de teinture frappe l'étoffe pendant ces passages successifs et concourt à l'opération, qui se termine quand les nuances ont acquis le degré d'intensité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

voulu, et les rayures ombrées la largeur que l'on a désiré leur donner. Cet effet de la vapeur abrége l'opération, qui sans elle demanderait un plus grand nombre de passages. Aussi, le 5 avril 1845, MM. Jourdan ont demandé un certificat d'addition et ajouté à leur invention un réservoir plus élevé que la cuve, rempli de colorant chauffé par la vapeur, et garni d'autant de robinets qu'il y a de rangées de molettes. Les robinets s'ouvrent et se ferment tout à la fois. Ils sont intérieurement garnis d'une éponge, et ne laissent s'échapper qu'une petite quantité de liquide qui tombe sur l'étoffe, tandis que les mollettes l'apportent par dessous. Du reste, même système d'enroulement et passages successifs d'un cylindre sur l'autre.

Au mois de juin 1845, ils ont pris un autre certificat d'addition, et, par une nouvelle disposition des molettes, le partage de la cuve en deux pour la remplir de deux bains de couleur différente, ils obtiennent des rayures à deux ou trois nuances fondues, d'un effet vraiment extraordinaire, guidés par cette idée première que, quand une goutte de colorant tombe sur un tissu, elle s'étend et se dégrade d'elle même par la capillarité propre aux tissus.

C'est de cette observation que MM. Jourdan partirent pour trouver un moyen quelconque de déposer le colorant sur l'étoffe en ligne droite, et qu'ils ont imaginé de faire enrouler l'étoffe chargée de colorant chaud et liquide, afin d'opérer la régularisation de l'ombre et la fixation de la couleur

Impression des foulards. — Ancienne pratique.— Les tables qui servent à l'impression de foulards sont disposées de manière à recevoir l'étoffe dans toute sa largeur. Vers la partie comprise entre le baquet et la table est placé le rouleau, sur lequel est enveloppée la pièce à imprimer A B (fig. 57); elle porte une rainure dans toute sa longueur. Dans cette rainure entre une baguette, qui sert à maintenir le chef de la pièce. La tête

Fig. 57.

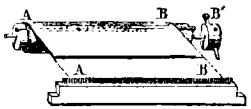


Fig. 58.

B du rouleau est percée de plusieurs trous, dans lesquels on passe une tige en fer pour l'arrêter d'une manière fixe, comme l'indique B'. A l'autre extrémité de la table, on place un peigne AB (fig. 58), qui est maintenu dans des tasseaux; les dents du peigne sont au niveau du drap. On dispose la pièce pour l'imprimer de la manière suivante: on la déroule, et l'on amène le chef sur les dents du peigne, dans lesquelles on la fait entrer en frappant légèrement dessus avec une brosse. On tend ensuite la pièce, en serrant le rouleau que l'on fixe avec la pointe, et enfin on imprime. On doit faire attention, pendant le travail, à placer les dents du peigne toujours dans l'entre-deux de deux foulards.

On fait sécher les foulards pendant 24 heures, avant le fixage, que l'on exécute pendant le temps que nous avons déterminé. On les lave à l'eau courante, et on les sèche très-rapidement. On apprête les foulards des Indes ou façon des Indes, en les enroulant fermement sur un cylindre, lorsqu'ils sont encore un peu humides. Les foulards légers de Nîmes et d'Avignon sont empesés avec une solution légère de colle de poisson ou de gomme adragante; on les tend par leurs chefs sur deux cylindres parallèles, et l'on promène dessous un fourneau allumé pour sécher rapidement l'encollage que l'on applique avec une brosse de velours de laine.

Impression sur soie par l'emploi de l'acide nitrique.

Ce genre de fabrication, que l'on appelle *mandarinage*, tire son nom de celui des étoffes qu'on a livrées au commerce sous le nom de *mandarins;* il repose sur la propriété que possède l'acide nitrique de colorer en jaune solide les étoffes de soie et de laine. Au reste, comme nous avons décrit plus haut la manière de procéder, nous parlerons seulement des appareils.

Appareil servant à mandariner, c'est-à-dire à passer l'étoffe dans le bain d'acide nitrique (fig. 59 et 60).—

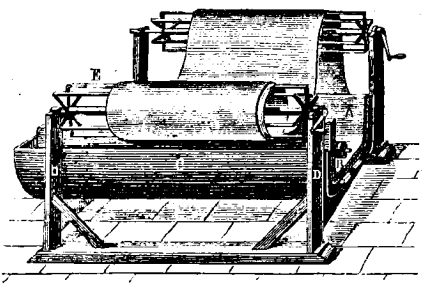


Fig. 59.

A B C D, auge en grès qui contient l'acide nitrique ; sur les deux côtés de l'auge sont fixées deux planches percées d'un trou, à un pouce du fond, pour recevoir le

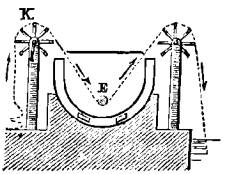


Fig. 60.

rouleau E sous lequel passe la pièce. En avant et en arrière sont placés deux trinquets K, L: l'un sert à guider la pièce à son entrée dans l'auge; l'autre sert à la guider à sa sortie. Elle tombe de suite dans l'eau courante, ou, à son défaut, dans un grand baquet qui contient un mélange d'eau et de craie.

Impression des étoffes de laine en relief pour ameublement. — Nous avons dit précédemment que l'usage des étoffes gauffrées était déjà connu anciennement ; mais les différents tissus sur lesquels on imprimait étaient très-légers et d'une seule couleur. L'impression, du reste, s'exécutait alors comme aujourd'hui, soit à l'aide de différentes plaques de métal, soit à l'aide de cylindres de métal gravés en creux ou en relief, pour produire des dessins en relief durables. On fait chauffer la plaque gravée, on l'applique sur l'étoffe mouillée que l'on presse fortement, au moyen d'une presse à vis verticale. Par l'effet de la compression et de l'humidité, il arrive que le tissu s'allonge et s'enfonce en même temps dans les parties de la planche qui sont gravées. La chaleur saisit l'étoffe, qui prend d'une manière invariable l'empreinte des dessins gravés en creux.

En 1755 environ, Ponvalet imprimait de cette façon les serges d'Aumale, les pannes, les velours de laine, les camelots, les draps, etc.; il imprimait même différentes couleurs qui étaient fixées sur l'étoffe par l'action de la chaleur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est là, sans contredit, l'origine de l'impression et du fixage des couleurs sur laine par l'effet de l'humidité et de la chaleur réunies; et l'on doit s'étonner que l'action remarquable de la vapeur n'ait été appliquée que depuis vingt années à la fabrication des étoffes imprimées.

Comme les impressions ordinaires sur étoffes, l'impression en relief nécessite une gravure, des couleurs spéciales, et une presse ou *machine à imprimer*.

Nous avons donné précédemment la composition des couleurs, et il ne nous reste plus, pour compléter nos renseignements techniques, qu'à parler des planches gravées et de la manière de pratiquer l'impression.

Les planches d'impression sont en laiton, plané et dressé au marteau. On les grave plus ou moins profondément, afin d'obtenir des reflets ou effets de lumière les plus agréables possible. Le plus ordinairement, ces planches sont gravées de toute la largeur de l'étoffe qu'on veut imprimer. On laisse aux deux extrémités, sur la longueur, un espace sans être gravé, de deux millimètres, pour empêcher la couleur de baver ou couler; ainsi on n'entaille jamais la bordure, on ne coupe jamais les petites figures d'un dessin; il faut que celles-ci rentrent les unes dans les autres pour qu'on ait un dessin courant, parce que le raccord ne se fait pas sur la bordure, mais toujours un peu en avant.

Pour l'impression des châles et des tapis de table, on grave une planche, qui, répétée quatre fois en carré, produit un dessin régulier sur l'étoffe.

Les dessins pour tabouret, pour siége et dossier de fauteuil, pour cabas, sont gravés exactement dans leurs dimensions.

En 1840, M. Pourchet a pris un brevet pour un nouveau système de production de gravure et de disposition de planche.

Il grave d'abord une fraction de la planche, en la choisissant de manière à ce que les contours puissent se replacer et former l'enchaînement du dessin désiré. Il moule sur cette matrice autant de planches semblables qu'il est nécessaire pour composer une grande planche. Il ajuste avec beaucoup de précision tous les morceaux les uns à côté des autres; il les soude deux à deux, puis trois à trois, quatre à quatre, etc., suivant que l'exigent le dessin et les couleurs à reproduire.

Ces soudures se pratiquent dans la longueur ou la largeur de la planche, suivant la nature du dessin; ces mêmes soudures peuvent être faites sur toute la longueur du joint ou par parties; l'on peut aussi recouvrir les joints par de petites bandes métalliques, afin qu'ils disparaissent entièrement lorsque le raccord du dessin est fait.

Mais ce procédé est presque aussi long et presque aussi dispendieux que celui de graver de suite la grande planche.

Impression.—La couleur est renfermée dans une gamelle en grès placée sur une table à la portée de l'imprimeur. Celui-ci en prend une ou deux cuillerées sur la planche gravée, et il l'étend dans les creux avec une brosse; il enlève ensuite l'excédant de la couleur avec une racle qu'il promène dans tous les sens, entraînant la pâte sur la planche pour la garnir entièrement.

Si l'on veut imprimer plusieurs couleurs à la fois, on les met les unes après les autres avec une spatule en bois dans les différents creux ou endroits qu'elles doivent occuper; on enlève l'excédant avec la racle en acier.

La planche étant garnie de couleur, on la place sur le plateau de la presse, de l'invention de M. Pourchet (fig. 61 et 62).

Mais, pour faire bien comprendre les opérations qui suivent, nous commencerons par la description de cette presse :

a, *a*, bâti de la presse en fonte de fer.

b, table de fonte en forme de boîte fermée, recevant la vapeur dans l'intérieur pour l'échauffer.

c, tuyau pour l'arrivée de la vapeur.

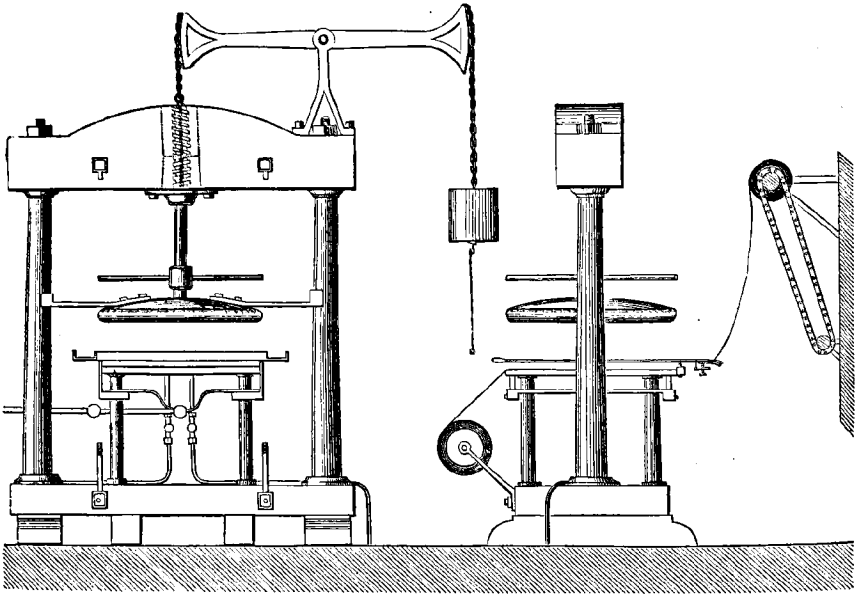


Fig. 61.

Fig. 62.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d, tuyau de sortie de la vapeur et de l'eau condensée; ces deux tuyaux *c* et *d* sont munis de robinets.

La partie supérieure de la table ou plateau *b*, de la presse, est recouverte d'une feuille de tôle dont la périphérie repose sur un châssis en fer *ee*, et que l'on élève à volonté à l'aide du levier *h*, qui a son point fixe en *g*, et son articulation en *f*.

La plaque de tôle, portée par le châssis *e*, reçoit la planche gravée, qui est maintenue et pressée sur ses quatre faces par des vis buttant sur des règles en cuivre.

Cette disposition permet de maintenir la planche éloignée de la chaleur pendant les préparations; on évite ainsi l'évaporation des acides et des différents liquides destinés à fixer la couleur sur l'étoffe. Deux ouvriers, placés de chaque côté de la presse, tiennent l'étoffe bien tendue et la posent carrément sur la planche. Ils la repèrent avec des épingles qu'ils enfoncent dans des trous ménagés aux coins et au milieu des côtés parallèles de la planche gravée.

Ils posent ensuite sur l'étoffe deux couvertures de laine grossière qui excèdent la planche de part et d'autre sur la longueur: ces couvertures molles et à longs poils pressent la pâte dans la gravure.

On abat le plateau de la presse *l*, jusqu'à ce que la vis s'engage dans son écrou, et on sert fortement en tournant le levier, afin d'obtenir la pression nécessaire pour faire pénétrer l'étoffe dans la gravure. Toutes ces opérations doivent se faire avec beaucoup de célérité pour profiter de la chaleur.

On maintient la pression pendant 5 à 6 minutes, pour faire cuire ou adhérer la couleur sur l'étoffe et lui faire prendre le relief de la gravure. Il y a cependant des dessins qui exigent une cuite plus prolongée, eu égard à la profondeur de la gravure et à la quantité de couleur employée.

On peut juger de l'effet de la cuite en soulevant l'étoffe par l'un des côtés et touchant à la plaque avec le doigt mouillé; si la dessiccation est subite et qu'il se fasse un petit bruit que les ouvriers appellent *friser*, on peut supposer que l'impression est cuite; on desserre alors la vis *o*, et on remonte le plateau *l* en tirant la corde suspendue au contre-poids. Si l'on s'aperçoit que la vapeur humide qui s'élève ne s'évapore pas sur-le-champ partout également, et qu'en portant la main sur les parties qui fument encore, lorsque les autres cessent de fumer, on sente de l'humidité, on double l'une des deux couvertures sur les endroits les moins cuits; ou l'on remet également les deux, si la cuite de la planche entière n'est pas encore au point convenable, on abat de nouveau le plateau qu'on relève un instant après.

Il est indispensable de refroidir la planche dans l'eau à chaque opération; autrement l'acide du mordant s'évaporerait, et la couleur ne se fixerait pas.

On change encore les couvertures de laine à chaque coup de planche, et on les fait sécher. Lorsqu'elles ont servi plusieurs fois, elles deviennent empâtées et dures; on les fait alors tremper pendant 24 heures dans l'eau froide, et on les fait bouillir; on les lave ensuite dans l'eau courante, on les bat, on les essore, on les fait sécher et on les emploie de nouveau.

Les étoffes, après l'impression, sont dures au toucher; les couleurs en sont mates et écailleuses; il faut les gratter avec une racle en acier ou une carde pour rendre à l'étoffe sa douceur naturelle, et faire ressortir les couleurs.

Observation.—La couleur comprimée et cuite fait adhérer fortement l'étoffe au cuivre; on l'en détache par une prompte et forte secousse, et on l'enroule sur un cylindre disposé à cet effet.

On enlève la planche gravée de dessus le plateau *b* avec des poignées en morceaux d'étoffe grossière qu'on tient dans chaque main, et on la coule aussitôt dans un baquet rempli d'eau froide. Cette eau se colore bientôt; elle s'échauffe et il faut la rafraîchir, et la renouveler même à tous les changements de couleur.

Pendant la cuite, l'un des deux ouvriers nécessaires pour servir une presse prépare une planche, si l'on en a plusieurs du même dessin; dans le cas contraire, on retire de l'eau la même planche, on l'éponge et on la remplit de couleurs; puis on redonne un second coup de presse, et ainsi de suite jusqu'à la fin de la pièce.

DE L'IMPRESSION SUR ÉTOFFES — Nous avons tenté, dans les pages précédentes, d'analyser les principaux procédés usités de nos jours dans cette belle industrie. Bien des découvertes dues aux nombreux chimistes, qui se vouent si heureusement à l'étude des corps organiques, sont venues fournir, comme nous l'avons vu, des ressources importantes à cette belle industrie, que les progrès de la mécanique n'ont pas moins bien servi. La plus importante de ces dernières est, la multiplication du nombre des rouleaux gravés (voir l'article GRAVURE pour leur fabrication) qui ont fait passer en quelques années des machines de deux ou quatre rouleaux à des machines à huit et dix et même bien plus. On est arrivé jusqu'à vingt-quatre rouleaux et vingt-quatre couleurs; nous donnons (fig. 63) la perspective d'une machine de ce genre.

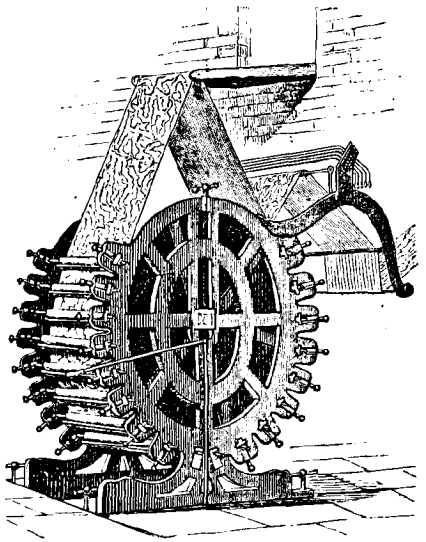


Fig. 63.

L'industrie de l'impression est sans contredit une de de celles qui font le plus d'honneur à notre pays, où elle grandit sans cesse en conquérant une véritable supériorité et dont les succès sont les plus flatteurs, reposant à la fois sur la science de nos mécaniciens, et surtout de nos chimistes, et sur le goût, le sentiment artistique de nos artistes dessinateurs.

P. SCHUTZENBERGER[1].

1. En reprenant l'excellent article publié par M. Rouget de Lisle, sur l'impression des étoffes, dans la première édition, M. Schützenberger a conservé une partie du texte primitif. La comparaison des deux éditions laissera voir facilement ce qui appartient à l'un et à l'autre auteur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRIMERIE (*Angl.* Printing, *allem.* Buchdruckerdunst). L'art d'imprimer, ou de représenter les objets, les paroles, par des lignes, figurant souvent des signes conventionnels, se pratique aujourd'hui par trois procédés différents : la *typographie*, la *chalcographie* ou *taille-douce* et la *lithographie*. Le premier sert plus particulièrement à l'impression des textes ; les deux autres rivalisent entre eux pour la représentation des estampes, cartes, plans, etc., ce qui ne les empêche pas d'empiéter souvent sur le domaine de la typographie, qui, à son tour, s'en venge quelquefois avec succès. On trouvera aux articles IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE, GRAVURE, LITHOGRAPHIE, l'analyse des derniers modes de l'art d'imprimer. Nous n'avons à nous occuper ici que de la *typographie* proprement dite, c'est-à-dire de l'impression par le moyen des types en relief.

Il n'entre pas dans notre plan de remonter ici à l'origine de l'imprimerie, ni de suivre les phases de ses progrès jusqu'à nos jours (Voy. ART INDUSTRIEL). Nous dirons seulement que le principe de l'imprimerie tabellaire était connu de temps immémorial en Chine, que les Romains savaient aussi tirer des empreintes, et que les images et les cartes à jouer, inventées vers l'an 1392, multipliées par la gravure sur bois, représentaient des figures et des caractères, lorsque Jean Gensfleisch, dit GUTENBERG, bourgeois de Strasbourg, conçut vers 1445, l'idée de créer l'admirable industrie de la reproduction des manuscrits par des procédés mécaniques, dont ces dernières productions fournissaient le point de départ. Il est probable qu'à cette époque, où les connaissances étaient si peu répandues, Gutenberg n'avait aucune notion positive de ce qui s'était fait avant lui; ses ébauches grossières prouvent suffisamment que son invention fut un effet spontané de son génie, sans aucun précédent. Au reste, ce fut surtout son admirable et entièrement nouvelle conception de la mobilité des types, qui donna naissance à la typographie et en fit le plus puissant instrument de la civilisation moderne.

Furst et *Schœffer*, ses collaborateurs, apportèrent, il est vrai, quelques perfectionnements aux premiers procédés, surtout *Schœffer*, qui, ouvrier orfévre, put réaliser la gravure et la fonte des types en métal; mais il serait injuste de dépouiller le premier inventeur de son mérite pour en revêtir ses deux compagnons, ainsi que quelques auteurs le prétendent, car, avant qu'il ne leur eût révélé ses secrets, ils n'avaient rien imaginé. De temps à autre, les nombreux successeurs de Gutenberg ont aussi perfectionné son œuvre, et de nos jours, plus qu'à aucune autre époque, les plus heureuses innovations y ont été ajoutées; mais personne que je sache, sauf un imposteur hollandais, n'a eu l'orgueilleuse prétention de détrôner le prince de la typographie pour lui substituer chaque homme de génie qui est venu apporter une pierre au monument.

Les articles GRAVURE et FONDERIE ont déjà fait connaître, dans les plus grands détails, comment s'opère la fabrication des caractères au moyen desquels on imprime typographiquement, avec le degré de précision dont ce qui suit va montrer l'absolue nécessité. Cependant, pour éviter d'y recourir et pour l'intelligence de ce qui va suivre, il n'est pas inutile de rappeler ici que le *caractère* usuel ou la *lettre* est un parallélipipède d'environ 24 millimètres de haut, sur une épaisseur et une largeur qui varient, selon le *corps* et la nature de la lettre.

D'un bout, cette pièce porte en relief l'*œil* de la lettre. C'est cette partie qui imprime. L'autre bout, ou le *pied*, porte une petite échancrure ou *gouttière*, que le fondeur y fait pour enlever les inégalités produites par la rupture du jet et en assurer l'aplomb. Le *dessous* de la lettre, la partie où le pouce se pose quand on la tient pour la lire, est toujours marqué d'une entaille ou *cran* qui en désigne le sens. Le *dessus* est le côté opposé et ne porte aucune marque. Les deux autres faces de cette tige se nomment la *frotterie*, à cause de l'opération qu'on leur fait subir dans les ateliers de fonderie.

La matière dont sont formés les caractères d'imprimerie est un alliage de plomb et de régule d'antimoine ; dans certains cas on y ajoute de l'étain, du cuivre, etc. Voici la figure d'une lettre (fig. 1270).



Fig. 1270.

La *force de corps* détermine la grosseur du caractère; elle se prend du *dessus* au *dessous* de la lettre, et varie selon que l'œil a besoin d'être ou plus petit ou plus gros. Les dimensions, ainsi que toutes les proportions typographiques, s'évaluent en *points*. Les forces de corps les plus courantes, pour les caractères de *labeur*, varient depuis 5 points jusqu'à 12 points; celles qui dépassent cette dernière proportion sont des caractères d'affiche ou de fantaisie. Nous en avons donné la nomenclature avec les anciennes dénominations à l'article FONDERIE.

Le *point*, qui sert de mesure typographique, est la sixième partie de la ligne du pied-de-roi, ou est égal à deux points géométriques, ancienne mesure. Nous sommes encore obligés de nous servir de cette base, par l'impossibilité d'établir un rapport simple entre les anciennes et les nouvelles mesures, et pour reculer, autant que possible, la perturbation que jetterait dans toutes les imprimeries l'adoption du système métrique; exemple curieux d'un cas où celui-ci n'a pas encore été appliqué, alors qu'il a triomphé, en France, de résistances en apparence bien plus difficiles à surmonter.

Etant bien entendu que chaque type est un petit prisme de hauteur et de force constantes, d'épaisseur variable en raison de la largeur de chaque lettre et du demi-intervalle qui doit séparer chacune d'elles, leur juxtaposition par les faces parallèles qui limitent cette largeur, quand on les réunira pour produire des mots, formera des lignes comprises entre des plans parallèles, dont la longueur sera déterminée à volonté par le travail du compositeur, ainsi que nous allons l'expliquer. C'est toujours par assemblages rectangulaires complets que l'on doit opérer; c'est, par exemple, la condition du mélange accidentel de types de grandeurs différentes dits *parangonnages*.

Passons à la description des diverses manipulations qu'on fait subir à ces caractères pour parvenir à l'impression des livres. Nous entrerons de suite en matière, en partant du moment où le caractère sort des ateliers du fondeur et arrive dans ceux de l'imprimeur.

Les caractères s'expédient d'une ville à une autre, *composés* en paquets, c'est-à-dire assemblés régulièrement les uns contre les autres, en lignes formant des pages ou paquets, bien ficelés et empaquetés dans du fort papier. Quand ils sont livrés dans la ville même où ils sont fondus, on se contente quelquefois de les mettre dans des cornets. On a peut-être tort, car les caractères ainsi mêlés subissent toujours un premier effet de détérioration.

L'imprimeur, en recevant un caractère, doit s'assurer par un examen attentif s'il est complet, bien fondu, et si chaque lettre est répartie dans les proportions voulues.

Toutes ces conditions se trouvant remplies, on procède à la *mise en casse*, c'est-à-dire au placement de chaque sorte de lettre dans les divers compartiments dont la casse est composée.

Une *casse* est l'assemblage de deux boîtes, ordinairement en bois, dont l'une, appelée *haut de casse*, contient surtout les lettres *capitales* ou majuscules, l'autre, appelée *bas de casse*, contient les lettres courantes ou minuscules. Chaque partie de la casse a environ 90 cen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

timètres de long sur environ 35 centimètres de large. Les petites cloisons qui séparent les compartiments, que l'on nomme *cassetins*, ont environ 33 millimètres de hauteur; les pourtours ainsi que la traverse du milieu ont 5 millimètres de plus. Toutefois la dimension des casses varie suivant la grosseur des caractères qu'elles doivent contenir; les chiffres ci-dessus conviennent aux caractères de 8 à 11 points. La fig. 1271 représente la

MODÈLE DE LA CASSE FRANÇAISE.

A	B	C	D	E	F	G	a	b	c	d	e	f	g	
H	I	K	L	M	N	O	h	i	k	l	m	n	o	
P	Q	R	S	T	V	X	p	q	r	s	t	v	x	
à	é	ê	ô	ù	Y	Z	u	j				y	z	
œ					;		É	È	Ê	Æ	OE	Ç	!	
â	ë	î	ò	û	( )	W	é	è	ê	æ	oe	ç	?	
«		U	J	]		—	fl	«	i	u			§	

*	ç	é	-	'		1	2	3	4	5	6	7	8
, . .	b	c	d	e		a		f	g	h		9	o
z												æ	œ
y	l	m	n	i		o	p	q	2 pl.	w	k	½ c.	
x	v	u	t	espaces.		a	r		1 pl.	fi	:	c. in	
												cadrats	

Fig. 1271.



Fig. 1272.

casse avec l'indication des lettres réparties dans leurs cassetins respectifs.

Il y a certaines localités, Lyon et quelques villes du Midi, où l'on ne suit pas exactement la disposition de cette casse. Ne pouvant donner ici ces variations, qui d'ailleurs sont en petit nombre et diminuent chaque jour pour faire place au modèle parisien, nous nous sommes borné à représenter la disposition la plus généralement suivie, telle qu'elle est usitée dans les imprimeries de Paris.

Pour diminuer la place occupée par les rangs et surtout dans les imprimeries de journaux, on a adopté dans plusieurs maisons une casse d'une seule pièce, en supprimant le haut de casse et augmentant le bas de casse d'une triple rangée de petits cassetins, les petites capitales, qui sont d'un usage peu fréquent, étant placées alors dans un casseau séparé.

Au premier examen, on se demande pourquoi les cassetins du bas de casse sont inégaux et ne suivent pas l'ordre alphabétique, comme dans le haut de casse; mais bientôt on comprend que ces dimensions doivent varier selon le plus ou moins grand nombre de lettres dont on fait usage dans le discours, et être en rapport avec la police des caractères (voy. FONDERIE); de même que le rapprochement de certaines lettres vers le centre a pour but de mettre sous la main du compositeur celles de ces lettres dont l'emploi est le plus fréquent, telles que les voyelles, etc., afin d'économiser les mouvements et le temps de l'ouvrier.

Pour les divers caractères qui ont un autre alphabet que l'alphabet latin, pour le grec, l'arabe, etc., il se fait des casses spéciales en raison du nombre et de l'emploi des types.

La casse se pose sur un tréteau fait en forme de pupitre.

Composition. —L'ouvrier *compositeur* se place devant cette casse, ayant à sa droite le texte, la copie à reproduire, pour en lever successivement les lettres qui doivent servir à la composition des mots, ce qui s'appelle *composer*, comme le montre la fig. 1272, qui représente le metteur en pages de cet ouvrage à son travail. Cette opération se fait avec beaucoup de célérité, d'adresse et de légèreté. Le compositeur est muni d'un petit instrument nommé *composteur* (fig. 1273), qu'il tient de la main gauche. Ce composteur est une petite



Fig. 1273.

lame de fer, dont le bord est relevé en équerre dans toute sa longueur. D'un bout il est fermé à demeure par un petit pan carré; de l'autre, on introduit une clavette à coulisse qui porte un pan parfaitement parallèle au précédent. On fixe cette clavette par une vis, au point où l'on veut déterminer la longueur des lignes. Cela s'appelle *prendre sa justification*. Cette justification est donnée, le plus souvent, par des interlignes, petites réglettes en métal, moins hautes que les caractères, d'épaisseur et de longueur variables, qui se placent entre les lignes pour les écarter les unes des autres (Voy. FONDERIE EN CARACTÈRES).

Le compositeur va chercher successivement, dans son cassetin, chaque lettre d'un mot qu'il a lu sur sa copie en l'épelant et les saisit l'une après l'autre. Il attaque la lettre par la tête, et la place, le cran en dessous, dans son composteur comme l'indique très-exactement la fig. 1274. En même temps qu'il pose ainsi la lettre qu'il tient, il vise celle qu'il va prendre ensuite; c'est le moyen d'aller vite et de bien *lever la lettre*. Lorsque le compositeur a ainsi rassemblé toutes les lettres d'un mot, il met une *espace* pour séparer ce mot de celui qui va suivre. Cette espace est une petite lame de métal, mince (il y en a de plusieurs épaisseurs), semblable à une lettre dont on aurait coupé la tête, et qui, se trouvant plus basse que les lettres, ne produit aucune marque à l'impression et fait naître les petits blancs qui séparent les mots. Les grands blancs qui terminent les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

alinéas s'obtiennent à l'aide de cadrats, pièces de métal de la force de corps du caractère et de la hauteur des espaces, ayant des largeurs de 1, 2, 3 cadratins, c'est-à-dire 1, 2 et 3 fois la force de corps du caractère. En général, on désigne sous le nom de *blancs* d'un caractère les cadrats, les espaces, les cadratins (qui servent notamment à rentrer la première ligne des alinéas), et les demi-cadratins, épaisseur des chiffres, prise uniforme pour rendre possible leur alignement dans le sens vertical.

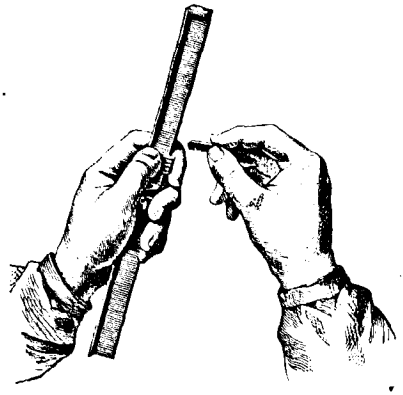


Fig. 1274.

La régularité de l'espacement est une des règles capitales auxquelles est assujetti le travail du compositeur. Les espaces qui séparent les mots d'une même ligne doivent être uniformes pour que la composition paraisse régulière. L'espace d'un point et demi est la plus fine de celles qu'on puisse employer entre les mots; celle de trois quarts de cadratin la plus forte.

Justification. — Lorsque tous les mots qui entrent dans la ligne sont rangés dans le composteur, il arrive presque toujours que cette ligne n'est pas *pleine*, c'est-à-dire n'atteint pas exactement la longueur de la justification. On la lui donne en serrant ou en écartant également les mots, au moyen d'espaces de différentes épaisseurs; c'est ce qu'on appelle *justifier*.

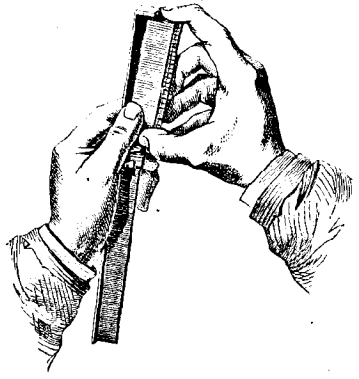


Fig. 1275.

On dit d'une justification qu'elle est bonne, si les lettres sont solidement maintenues dans le composteur, sans être trop serrées, et si la dernière s'enfonce sans effort.

La ligne ainsi justifiée, on met dessus une interligne et on compose une nouvelle ligne, puis ainsi de suite, jusqu'à ce que le composteur soit plein; alors on le survide en enlevant ces lignes pour les placer dans une *galée*, soit en les prenant avec deux doigts, s'il s'agit d'un composteur étroit qui ne contient qu'une ou deux lignes (fig. 1275), soit, si le composteur est large, en serrant rectangulairement aux deux extrémités entre les deux mains (fig. 1276) les lignes que l'on place

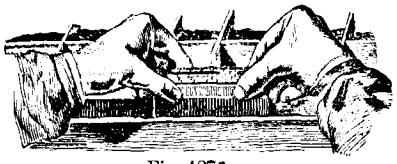


Fig. 1276.

dans la galée. Quand il y en a assez pour former une page, on lie fortement celle-ci par trois tours de ficelle (fig. 1277). Alors on manie aisément cette page;

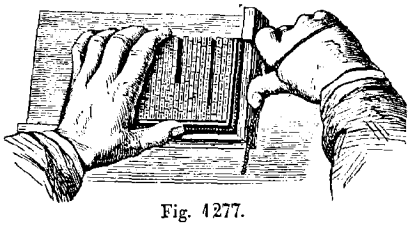


Fig. 1277.

mais, pour plus de sécurité, on la met sur un *porte-page* en papier épais, et on la tient en réserve jusqu'à ce que le metteur en pages vienne la chercher.

La *galée* représentée fig. 1277 est une petite planchette ayant un rebord en équerre, sur laquelle on dépose les lignes au fur et à mesure qu'on les compose.

Celles qui doivent contenir de grands formats ont le fond à coulisse. On tire cette coulisse et la page avec; puis, par un mouvement prompt, on la retire en maintenant la page, qui, de cette manière, se trouve déposée sur un porte-page, ou à nu sur le *marbre*.

Les figures 1276 et 1277 montrent comment les mains du compositeur doivent être placées pour saisir la composition et manier comme un tout, en exerçant dans les directions rectangulaires des deux faces des types une légère pression, un ensemble composé souvent d'un millier de lettres. Cette possibilité, qui étonne la première fois qu'on visite une imprimerie, résulte de la précision que peut fournir la FONDERIE EN CARACTÈRES, à l'aide de moules en métal; mais, toutefois, elle n'existe que pour des mains exercées et en s'y prenant comme l'indiquent les figures que nous reproduisons d'après celles données par M. Théotiste Lefèvre dans son excellent *Guide du compositeur*.

Nous avons établi dans ce qui précède les principes du travail du compositeur, c'est-à-dire sa reproduction des lettres, des mots de la copie, avec des types formant des lignes d'égale longueur, pour obtenir ainsi un paquet de forme rectangulaire. Mais les mots ne peuvent pas toujours se terminer avec la ligne; de là souvent la nécessité de les couper, ce qui ne peut se faire d'une manière arbitraire.

Division. — La division des mots doit se faire à la fois d'après l'étymologie et aussi d'après les convenances de la lecture; ce qui fait poser la règle qu'on ne peut cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par les syllabes qui forment dans la prononciation un ensemble indivisible.

Conformément à l'étymologie, on ne doit pas former les divisions ainsi qu'il suit : *cons-titution, ins-cription,* mais bien *con-stitution, in-scription.* Toutefois, la division étymologique ne peut dominer qu'autant qu'elle n'est pas contraire à la prononciation ; ainsi on ne coupera pas *de-scription, mon-arque,* etc. Il faut remarquer que les divisions ne sont fréquentes, si ce n'est pour des lignes très-courtes, qu'autant qu'on s'applique à espacer très-régulièrement, c'est-à-dire à séparer les mots par une espace de même épaisseur; c'est une condition qu'il faut faire quelquefois fléchir pour éviter le mauvais effet d'un trop grand nombre de lignes terminées par des divisions, paraissant à l'œil, remplir imparfaitement la justification.

Distribution. — Le paquet achevé, le travail du compositeur est terminé et celui du metteur en pages commence. Avant d'en parler, comme ce sont ces paquets fournis par le compositeur pour l'impression qui lui sont rendus, après que celle-ci a été effectuée, pour remplir sa casse et continuer l'ouvrage, parlons de cette partie de son travail, de la décomposition des lettres réunies, de la *distribution.* Voici comment elle se fait (fig. 1278).

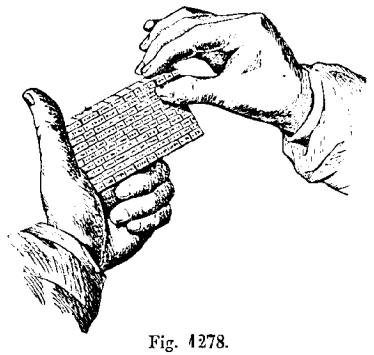


Fig. 1278.

La composition étant débarrassée des titres courants et autres ajoutés par le metteur en pages, on jette un peu d'eau avec une éponge sur cette lettre, si elle n'est déjà mouillée, pour lui donner du liant. Le compositeur enlève alors une certaine quantité de lignes appelée *poignée,* qu'il place entre le pouce et les premiers doigts de la main gauche : alors avec les deux premiers doigts et le pouce de la main droite, il prend un ou deux mots, et, après les avoir lus, par suite sans regarder successivement chaque lettre dont ils se composent, il en sépare les lettres pour les laisser tomber une à une avec plus de facilité dans leurs cassetins respectifs. Cette opération se fait ordinairement avec autant de légèreté que de célérité, grâce à la délicatesse de toucher qu'acquiert l'ouvrier pour faire glisser et déposer successivement chaque lettre dans son cassetin, tant pour ne pas heurter l'œil de la lettre en la jetant trop rudement, que parce qu'elle est aisée et une des charges de l'ouvrier; cependant il faut y apporter assez d'attention pour ne pas déposer une lettre dans un cassetin qui ne serait pas le sien, ce qui ferait faire une *coquille* (placer une lettre pour une autre).

Quand l'ouvrier a ainsi rempli sa casse, il laisse sécher la lettre avant de l'employer de nouveau, car, lorsqu'elle est mouillée, la ligne est très-difficile à justifier. Aussi, pour ne point perdre de temps, est-ce ordinairement par cette opération que le compositeur finit sa journée.

Mise en pages. — La composition placée sous son rang par le compositeur, est enlevée par le *metteur en pages* chargé de la direction du travail de composition de l'ouvrage, qui est le véritable sous-officier de l'imprimerie. C'est lui qui donne à chaque page une longueur uniforme; il met les folios ou titres courants en tête des pages, intercale les titres des livres, des chapitres, etc., distribue les blancs, place les notes, etc.; puis, lorsqu'il a ainsi préparé le nombre de pages que doit contenir la feuille de papier de grande dimension qu'il est possible d'imprimer d'un seul coup, nombre qui varie suivant le format, il procède à son imposition.

L'imposition consiste à disposer convenablement sur une table en pierre ou en fonte, appelée *marbre,* les pages d'une feuille. Elles sont disposées en deux parties égales que l'on désigne par *côté de première* et *côté de seconde,* répondant aux deux côtés de la feuille de papier sur laquelle elles doivent s'imprimer. Chaque côté s'appelle *forme.* Les pages sont placées dans un ordre tel que la feuille de papier étant imprimée et pliée, ces pages se suivent dans leur ordre numérique naturel.

Il faut **4** pages pour une feuille *in-folio,* **2** de chaque côté.

Il faut **8** pages pour une feuille *in-quarto,* **4** de chaque côté.

Il faut **16** pages pour une feuille *in-octavo,* **8** de chaque côté.

Il faut **24** pages pour une feuille *in-douze,* **12** de chaque côté.

Il faut **36** pages pour une feuille *in-dix-huit,* **18** de chaque côté, etc.

Tous les autres formats : l'in-**16**, l'in-**24**, l'in-**32**, etc., ne sont que des dérivés des précédents.

Pour vérifier s'il ne s'est pas trompé dans le placement de ses pages, dont nous représentons à la page suivante le placement convenable pour les principaux formats, l'impositeur n'a qu'à faire l'addition des folios de la première et de la dernière page de la feuille, qui sont toujours l'une auprès de l'autre, l'impair à gauche, le pair à droite, comme dans l'in-8°, le folio de la page **1** et celui de la page **16** font **17**; de même ceux des autres pages accolées deux à deux dans le même ordre, doivent produire le même nombre ; **13** et **4**; **3** et **14**; **15** et **2**; **7** et **10**; **11** et **6**; **5** et **12**; **9** et **8**, font toujours également **17**. Ce n'est toutefois un moyen de vérification que pour la transposition d'une page; si deux pages côte à côte étaient transposées, on s'en apercevrait par les folios, qui doivent toujours être aux extrémités extérieures.

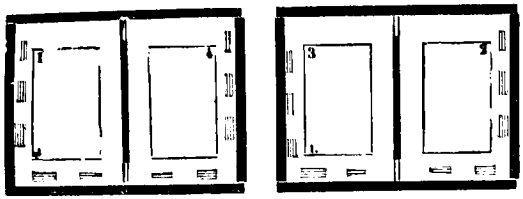
Quand les pages sont reconnues bien placées, on enlève les porte-pages, on met entre chacune d'elles une *garniture,* pièce de plomb à jour, établie par la fonderie en série croissante en largeur et longueur, qui détermine la place fixe que chaque page doit occuper sur la feuille de papier, afin que le pliage et la reliure soient bien réguliers.

Le placement des garnitures n'est point une chose indifférente; elles doivent être réparties en raison de la grandeur des pages et de celle du papier. A cet effet, on plie exactement une feuille en huit (supposons un in-8°). On pose, sur cette feuille ainsi pliée, une page de composition, absolument comme si on la mettait sur un porte-page; on marque avec une pointe ou une interligne, la place de la page sur le papier et on l'ôte; ensuite on pique un trou aux quatre coins de cette marque et on déploie la feuille. Les garnitures se trouvent déterminées dans tous les sens par la distance qu'il y a d'un trou à l'autre. On place alors le *châssis,* cadre en fer dans lequel les pages doivent être serrées; on les dégage de la ficelle qui les liait, en les consolidant provisoirement avec la main puis à l'aide des garnitures elles-mêmes, en les rapprochant vers le centre. Des deux côtés et au bas du châssis (le haut servant de point

EFERUS - Recherche & Classification numérique

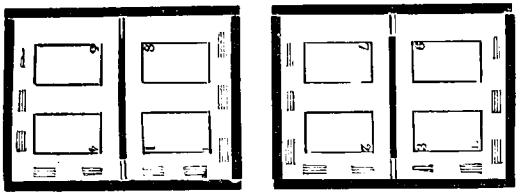
IN-FOLIO.

Côté de première. Côté de seconde.



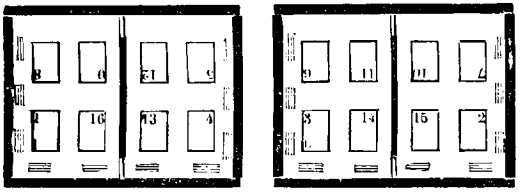
IN-QUARTO (in-4°).

Côté de première. Côté de seconde.



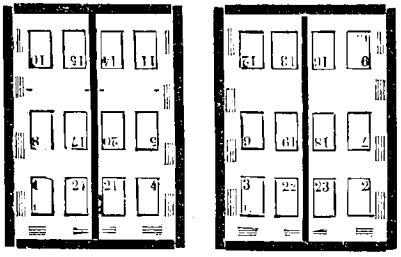
IN-OCTAVO (in-8°).

Côté de première. Côté de seconde.



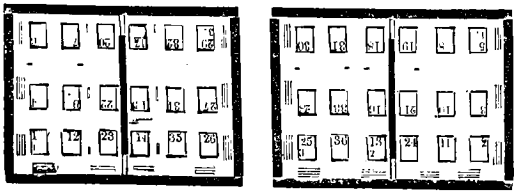
IN-DOUZE (in-12).

Côté de première. Côté de seconde.



IN-DIX-HUIT (in-18).

Côté de première. Côté de seconde.



d'appui) on met contre les lettres une petite pièce de bois taillée en *biseau*, puis entre ce biseau et le fer du châssis on pose, à des distances égales, deux ou trois *coins*, de chaque côté, que l'on chasse légèrement avec le marteau pour maintenir les pages pendant que l'on promène le *taquoir* sur la forme, afin d'en niveler les lettres. Le taquoir est un petit instrument de forme rectangulaire, composé de deux planchettes superposées, l'une en bois dur sur laquelle on frappe avec le marteau, l'autre en bois tendre, très-uni, qui porte sur l'œil des lettres.

Lorsque toutes les pages sont bien taquées, on en achève le serrage au moyen des coins et du décognoir, de façon que la *forme* devient aussi solide qu'une planche et s'enlève tout d'une pièce pour être portée à la presse aux *épreuves*.

Pour remédier à l'inconvénient de l'emploi embarrassant et sujet à accidents du marteau et du décognoir (morceau de bois allongé que l'on emploie pour chasser les coins à l'aide du marteau, en éloignant celui-ci de la composition), on a imaginé de faire usage de petits disques à tourillons excentrés, agissant au moyen d'une clef, invention due à un ouvrier belge, ou d'un autre système à tourillons non excentrés, s'engrenant dans une partie dentée formant saillie sur l'une des faces du biseau en fonte ou encore de simples biseaux portant leurs coins ou de vis les remplaçant.

Ces nouveaux modes de serrage sont les plus rapides, et généralement adoptés maintenant dans les imprimeries à journaux, où l'on est obligé de tenir compte du temps.

Correction. — Le maniement de toutes les lettres qui entrent dans une feuille ne saurait avoir lieu sans bien des erreurs; aussi, avant d'imprimer, est-il nécessaire de lire plusieurs *épreuves*, afin de corriger toutes les fautes qu'auraient pu faire les ouvriers en composant, ou en exécutant les changements indiqués par l'auteur. Ces corrections demandent un soin très-minutieux. Voici comment on y procède.

L'épreuve de la feuille imposée par le metteur en pages étant faite, elle est remise au *correcteur* avec la *copie*. On appelle *copie* le texte qui a été copié par le compositeur. Le *correcteur* doit être un homme de lettres, versé dans l'art typographique, et qui ne saurait avoir sur tous sujets des connaissances trop étendues. La feuille lui est remise pliée, mais non coupée, pour qu'il puisse s'assurer d'abord de la régularité des marges; ensuite, il vérifie la *signature*, les *folios* et les *titres courants*. On appelle *signature* le numéro de la feuille ou du carton; *folios* les numéros des pages, et *titres courants* les titres placés en tête des pages, avec les folios, indiquant les divisions de l'ouvrage et les sujets dont il est question dans le texte au-dessous. Pendant ce temps-là, le *teneur de copie* met la copie en ordre. C'est lui qui est chargé de lire la copie; il le fait à haute et intelligible voix, sans se presser, faisant sentir la ponctuation, les différences de genre et de nombre, ainsi que les temps des verbes,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quand il peut y avoir doute. Le correcteur le suit en silence sur son épreuve, marquant les fautes au fur et à mesure qu'il en rencontre, et l'arrêtant, lorsqu'il est nécessaire, pour avoir le temps d'écrire les fautes les plus importantes. Ce travail est appelé *lecture en première ;* il requiert tout le recueillement et toute l'attention de celui qui en est chargé. Il ne saurait en être distrait que pour des cas d'urgente nécessité. Son cabinet est ordinairement retiré dans un lieu exempt de tout bruit, et garni des livres nécessaires.

Les fautes se marquent à la marge extérieure, c'est-à-dire celle du côté du folio, la première contre le texte, les suivantes en s'écartant vers les bords, de quelque côté qu'on les inscrive. Il y a des signes de convention pour indiquer les corrections, signes qui évitent de surcharger les épreuves d'écriture qui ne pourrait qu'embrouiller l'ouvrier chargé de corriger sur le marbre. Les auteurs qui auront à revoir leurs épreuves feront bien de prendre connaissance de ces signes et de s'y conformer. A cet effet, nous croyons à propos de leur en donner la figure et l'application dans le formulaire suivant.

FORMULAIRE POUR LA CORRECTION DES ÉPREUVES.

Folio verso.

Lettres ou mots à changer. — L'INVENTION de l'Imprimerie n'est pas aussi moderne qu'on le ~~dit~~ communément. A la Chine, l'*impression tabellaire* est en usage depuis plus ~~de~~ 1600 ~~ans~~ les Grecs et les Romains connaissaient les *sigles*, ou types mobiles ; et les livres *d'images*, qui parurent au commencement du 15e siècle, servirent de modèle aux essais tentés par Gutenberg, à Mayence, | 1450, sur des planches | bois fixes. Ces planches étant sujettes à se déjetter cet homme s'industrieux, aidé de Fust, qu'il s'associa à cet effet, imagina de les clicher en métal ; ~~sinon~~ il fallait autant de planches qu'il y avait de pages à imprimer ; ce moyen lent et pénible, joint de corriger, à l'impossibilité leur suggéra l'idée de sculpter les lettres de corps et de hauteur, capable de les maintenir encore à vaincre une grande difficulté, celle de donner à ces tiges une parfaite égalité de l'alphabet sur des tiges mobiles. Il leur restait

Lettres grêles à changer.

A mettre en italique.

Supérieure à rehausser.

Lettres ou mots à ajouter.

Lettres ou mots à supprimer.

Lettres ou mots à retourner.

Lettres ou mots à transposer.

Lignes à transposer.

Addition à remonter.

Folio recto.

Lignes à remanier. — sous les efforts de la presse ; ils ne purent y parvenir que par des moyens irréguliers, lors-

Blanc à jeter. — que Schœffer trouva celui de les fondre dans

Blanc à diminuer. — des moules, ou *matrices ;* et, par cette ingéni-

Pour espacer. — euse découverte, donna enfin la vie à l'art ty-

A rapprocher. — po gr a phi que.

Alinéa. — Abandonné aux ébauches tabellaires de

Corrections d'accents. — Guttenberg, l'art n'eut probablement pas été

au-delà ; et sous le rapport de la mobilité des

Blanc à supprimer. — types, connue bien des siècles avant lui,

Espaces à baisser. — nous ne lui devons presque rien, car elle

Ponctuation à changer. — ne lui permit de rien exécuter ; l'existence de

Ligne à redresser. — la Typographie ne date de ce véritablement

Lettres à nettoyer. — que de la connaissance de la *matrice-poinçon,*

Corrections d'apostrophe. — puisque c'est par elle seule qu'on multiplie

Lettres basses. — mobiles et parfaitement proportionnés ; or le

Lettres hautes. — mérite de cette invention est entièrement dû

Gr et petites à p. Capitales. — à P. Schœffer.

Bourdon. — *à l'infini des types identiques, qu'on les rend.*

voy. copie.

L'épreuve, étant lue, est rendue au metteur en pages, qui remet les formes sur le marbre, les desserre et appelle successivement chaque compositeur qui a contribué à leur confection, pour qu'il ait à corriger la portion qu'il a composée. Voici comment il s'y prend (fig. 1279). Il lève d'abord toutes les corrections de sa composition marquées sur l'épreuve, et les rassemble dans un petit composteur en bois à ce destiné. S'il n'a qu'à remplacer une lettre par une autre, il enlève la mauvaise (appelée *coquille*) à l'aide d'une petite pince dite brucelle ou d'une *pointe*, et met à sa place celle indiquée sur l'épreuve par le correcteur. Si cette lettre est plus mince ou plus épaisse que celle remplacée, il change quelques-unes des espaces de la ligne, en en mettant de plus fortes ou de plus faibles, de manière à rétablir la parfaite justification de cette ligne.

Mais lorsqu'il y a *bourdon*, c'est-à-dire quand un mot ou une partie de phrase a été omise par le compositeur, ce dernier est obligé d'avoir recours au *remaniement* de tout ou partie de l'alinéa où doit être réintégré le texte omis. Dans ce cas, il reprend chaque ligne l'une après l'autre et rejette, de ligne en ligne, les mots nécessaires pour faire place à ceux qu'il a intercalés. Si, au contraire, il s'agit d'un *doublon*, c'est-à-dire, comme le mot l'indique, si le compositeur a composé deux fois le même mot ou la même phrase, il *remanie* encore, mais en sens inverse, et reprend dans les lignes suivantes les mots nécessaires pour combler le vide qui a été fait par la suppression des mots *doublés*.

Dans les deux cas, l'opération est aussi longue, car elle oblige à changer l'espacement et à justifier de nouveau. On fait entrer dans ces *remaniements* le nombre de lignes nécessaires pour que le travail soit presque insensible ; c'est-à-dire pour que les lignes où il s'opère

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne paraissent pas beaucoup plus serrées ni plus espacées que les autres.

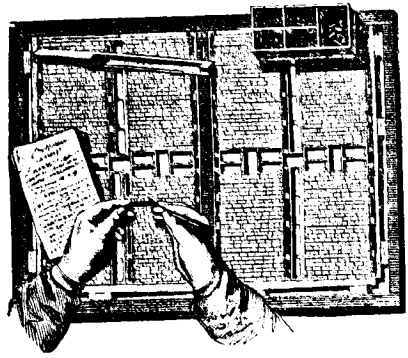


Fig. 1279.

Ces corrections *sur le marbre*, toujours très-pénibles pour le compositeur, sont fort coûteuses et nuisent souvent à la bonne exécution du travail. A notre avis, messieurs les auteurs ne s'en préoccupent point assez. Aussi, quand les épreuves sont *très-chargées*, c'est-à-dire ont de nombreux changements, la correction s'en fait *en galée* (fig. 1280), ce qui est moins fatigant pour l'ou-

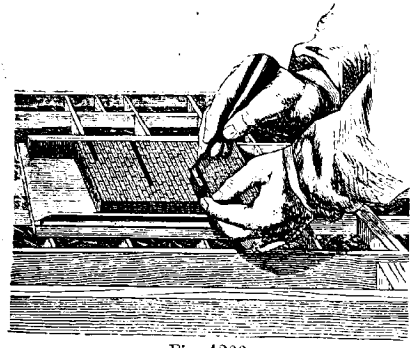


Fig. 1280.

vrier, qui alors n'est plus obligé de *s'aplatir* sur le marbre, selon l'énergique expression en usage. Dans ce cas, il désimpose la feuille, lie les pages, les porte sous son rang, et recommence, en quelque sorte, une nouvelle composition. Nous saisissons donc cette occasion pour engager les personnes qui font imprimer, à fournir une bonne copie, et à éviter surtout de faire de trop nombreuses corrections sur les épreuves.

Lorsque les *formes* sont corrigées, on les livre à la presse.

Journaux. — Pour la composition des journaux, il s'agit d'aller vite. Dans ce but, le metteur en pages divise la copie par morceaux ou *cotes* de 15 à 20 lignes ; si les alinéas sont trop longs, il coupe au hasard, en recommandant au compositeur de *tomber en ligne*, c'est-à-dire de finir sa composition au bout d'une ligne, ce que celui-ci parvient à faire en *espaçant* ou *resserrant* les mots. Chaque cote est numérotée, mais comme il y a toujours plusieurs articles en composition en même temps, on les distingue en ajoutant une lettre ou un mot au chiffre d'ordre : soit 1 *a*, 2 *a*, 1 *d*, 2 *d*, 1 *Bulletin*, 2 *Bulletin*, etc.

Le compositeur qui a la cote n° 1 appelle le n° 2, et s'il trouve en réunissant les deux compositions assez de lignes pour en former un paquet, il lie ce paquet, remet son excédant de composition sur la galée de celui qui a la cote suivante et l'avertit qu'il *marche en tête;* puis il fait épreuve du paquet, le range sur le marbre et dépose l'épreuve et la copie dans une corbeille destinée à cet usage. Le compositeur qui *a la tête* à la suite on fait autant, jusqu'à ce qu'enfin tout l'article soit lié et les épreuves faites.

Le correcteur prend ces épreuves, les met en ordre, les cote en répétant la lettre ou le mot distinctif sur chacune d'elles, réunit les copies article par article, et lorsque les épreuves sont lues, il les remet au metteur en pages.

Pour s'assurer de la quantité de matière composée, le metteur en pages mesure la longueur que donnent les paquets mis à la suite les uns des autres ; il se sert pour cela d'un ruban métrique. Les 24 colonnes d'un grand journal donnent environ 14 mètres.

La mise en pages d'un journal se fait sur le marbre, le châssis fait l'office des bords de la galée. Le premier article étant presque toujours composé le dernier, il est rare que la mise en page commence par la tête du journal. Le metteur en pages laisse alors en blanc la place de cet article, et telle est son habitude qu'il se trompe à peine de quelques lignes sur sa longueur, qu'il compense facilement par un peu plus ou un peu moins de blancs dans les titres. Il agit de même si un article qui vient en ordre ou un paquet en correction ne sont pas terminés, afin de ne pas perdre une minute.

Lorsque le metteur a pu compléter une page, il appelle le *morassier* (compositeur chargé de fonctions spéciales, que chaque ouvrier remplit à tour de rôle); celui-ci garnit cette page, en fait épreuve et la porte au correcteur pour vérifier si les paquets ont été bien mis dans leur ordre et s'assurer si les corrections indiquées ont été exécutées. Le *morassier* corrige les quelques fautes qui ont été retrouvées, serre la forme et la remet au conducteur de la machine.

Aussitôt la réception d'une page, le conducteur la place sur la machine, la taque, la lave à la potasse et l'essuie avec un linge sec ; pendant ce temps les margeurs placent le papier, mettent de l'encre aux encriers, etc. Toutes ces fonctions sont faites avec la plus grande activité, de manière que, la dernière page livrée, il ne faut plus que 2 ou 3 minutes pour fournir des exemplaires.

Le temps nécessaire à la composition d'un grand journal est environ de 4 à 5 heures ; la correction, la mise en pages demandent 2 heures ; en tout 6 à 7 heures.

Tableaux. — On désigne sous le nom de *tableaux* les travaux à colonnes, avec têtes, séparées par des filets, des réglettes ou des accolades, et le plus souvent encadrés de filets, tels que registres, états, tarifs, prix-courants, etc. La composition des tableaux, en général, offre plus de difficultés que celle des labeursp; our cette raison, elle est confiée à des ouvriers spéciaux qui doivent calculer rapidement les quantités de points qui entrent dans les diverses parties de chaque tableau, de manière à en faire rentrer les longueurs dans des séries systématiques préparées à l'avance en filets, accolades, etc. Cette composition systématique, possible dans la plupart des cas, épargne à l'ouvrier la coupure des filets et des interlignes, et par suite est une cause de rapidité et d'économie. Après avoir soigneusement pris ses justifications, c'est-à-dire donné à chaque colonne la largeur qui lui est propre, le compositeur met en équerre, dans une galée à coulisse, les deux premiers filets d'encadrement, puis il compose toutes les têtes de colonne du tableau en les séparant provisoirement par une interligne. Ces têtes se composent comme des titres, c'est-à-dire en lignes de différents caractères

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et de différentes longueurs, le blanc partagé des deux côtés. Sous chaque tête, le compositeur place un filet séparatif, puis il remplit tout le reste de la colonne, soit avec du texte, soit avec des chiffres, soit même avec des garnitures, si la colonne doit rester blanche. Il remplace alors par un filet vertical de toute la longueur de la colonne l'interligne qui séparait provisoirement la tête, et compose une seconde colonne sur la première ; il continue ainsi jusqu'à la fin, et termine en fermant, avec des filets, l'équerre ouverte en commençant, ce qui complète l'encadrement.

Les *ouvrages de ville* ou *bilboquets*, qui comprennent les avis, cartes d'adresse, etc., demandent également une main exercée. Ce qui plaît dans ces petits travaux, c'est une grande variété de caractères disposés avec goût et intelligence. Lorsqu'on veut faire tourner des lignes, on les assujettit entre deux interlignes qu'on a courbées selon la forme qu'on veut leur donner, et s'il est nécessaire, on garnit les interstices avec du papier mâché, du plâtre ou du bois.

Titres. — C'est encore un genre de travail sur lequel s'exerce la fantaisie du compositeur, et comme dans toutes les opérations où le goût est en jeu, les principes font défaut. C'est par l'étude des bons modèles, la recherche du mieux, que l'on peut parvenir au bien. La seule règle est de plaire à l'œil en faisant bien saillir les lignes importantes, par l'emploi de gros caractères de forme convenable, lignes bien placées au milieu (on supprime à cet effet la ponctuation), les extrémités des lignes s'encadrant dans une courbe gracieuse.

Pour les vignettes et ornements de styles divers nous renverrons à l'ART INDUSTRIEL.

IMPRESSION. La *presse* est la machine au moyen de laquelle on imprime. Elle est ordinairement servie par deux compagnons : l'un commence par laver les formes dans une bonne dissolution de potasse, pour enlever l'encre des épreuves, les crasses et ordures qui pourraient nuire à la netteté de l'impression ; il les rince à grande eau et les laisse ensuite sécher au grand air ou à la chaleur du poêle; l'autre, pendant ce temps-là, trempe le papier, car il doit toujours avoir un certain degré d'humidité pour bien recevoir l'impression. Voici comment on s'y prend. On étale une poignée de quelques feuilles sur un *ais*, planche de 2 centimètres d'épaisseur, et d'environ 3 centimètres plus large en tous sens que le papier. On prend un peu d'eau dans un baquet avec la pointe d'un petit balai de bouleau, et on asperge le papier étendu sur l'ais. On met une seconde poignée sur la première, et on l'asperge de même, ainsi de suite jusqu'à ce que tout le papier qui doit servir à l'impression de cette feuille soit trempé de cette manière. On met un autre ais pardessus le tout et on le charge d'un fort poids. On laisse pendant quelques heures le papier en cet état; peu à peu l'eau y pénètre partout. Pour répandre l'humidité plus également on *remanie* ce papier, c'est-à-dire on le retourne sur lui-même, pincée à pincée, tantôt de gauche à droite, tantôt de bas en haut; à chaque fois on le lisse avec la main, pour l'étendre et en effacer les rides. On le met ensuite dans un pressoir, où on lui fait éprouver, par degrés, jusqu'à la plus forte pression possible. De cette manière l'humidité se trouve tellement répandue dans la masse, qu'à peine si chaque feuille s'en ressent un peu. Cela suffit cependant, et c'est dans cet état que le papier doit être pour recevoir une bonne impression. Souvent même on lui fait encore subir une autre opération : chaque feuille est placée entre deux feuilles de zinc et celles-ci passées entre des cylindres d'acier poli. Alors la surface du papier est aussi unie qu'une glace, aussi est-il dit *glacé*. Cette opération se fait toujours pour les impressions de luxe et surtout lorsqu'il y a des vignettes. L'ouvrier porte alors le papier sur son *banc* et se dispose à imprimer.

Pour nous mieux faire comprendre dans la description que nous voulons donner de la manœuvre d'une presse, nous croyons à propos de représenter ici (fig. 1281) une Stanhope, la presse à vis la plus usitée,

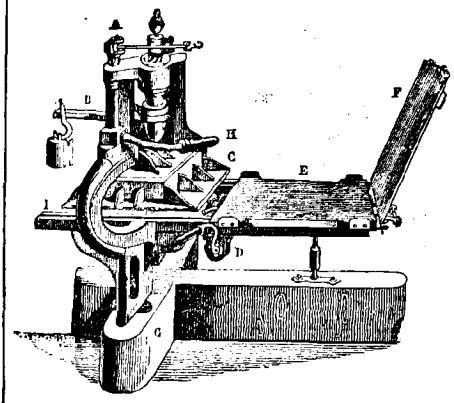


Fig. 1281.

bien que dans quelques pays on rencontre encore des presses à levier, à genou, qui n'ont pas la même stabilité.

A, jumelles; B, contre-poids; C, platine; D, rouleau de la manivelle; E, marbre; F, tympan; G, patin; H, barreau; I, bandes.

La presse étant *déroulée*, l'imprimeur met sa forme sur le *marbre;* il l'ajuste bien au milieu et l'arrête solidement, de manière qu'étant roulée sous la platine, celle-ci la couvre bien également et donne des marges parfaitement égales à la tête et au pied et sur les deux côtés.

Ensuite il fait sa *marge*. C'est une feuille du papier de l'ouvrage mise à demeure sur le *tympan*, et sur laquelle on pose de repère la feuille qui doit être imprimée. Il faut que cette marge se rencontre avec bien de la précision sur la forme. Voici comment on s'y prend (supposons encore un in-8°) : on plie la feuille dans le dos en deux parties égales; on la place soigneusement sur le côté gauche de la forme de manière que la marge se trouve bien également répartie dans tous les sens. On met un peu de colle aux deux coins de la feuille, puis on abaisse doucement le tympan et on appuie légèrement avec la paume de la main sur la partie où la feuille doit s'attacher. On relève alors le tympan et l'on fixe avec de la colle les deux autres coins de la marge, mais on écorne celui du bas, afin de ne pas déchirer la marge en enlevant la feuille.

On met ensuite les *pointures*. Ce sont deux espèces d'ardillons qui se fixent sur le bord du tympan, à des repères précis, et qui font de petits trous dans la feuille, de telle sorte qu'en la retournant pour l'imprimer du second côté, la feuille *rentrant dans les mêmes pointures*, ou, pour mieux dire, les pointures rentrant dans les trous qu'elles ont déjà faits, l'impression des deux côtés *tombe* exactement l'une sur l'autre, ligne sur ligne, page sur page, sans la moindre déviation. C'est cette parfaite précision qu'on nomme le *registre*.

Il y a deux manières de faire le registre : c'est d'ajuster les pointures, 1° pour retourner la feuille sur elle-même, de bas en haut, ce qui se dit *retourner in-quarto* ou *in-octavo;* alors on cherche le véritable axe de la feuille, en faisant mouvoir peu à peu, soit en haut, soit en bas, le petit bout de l'une ou de l'autre pointure; 2° pour la retourner sur les côtés, d'une pointure à l'autre, ce qui se dit *retourner in-douze*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parce qu'en effet, le papier de ce format ne peut pas se retourner autrement; alors le point de repère se cherche en avançant ou reculant les pointures et en faisant mouvoir la pointe, soit en haut, soit en bas.

Lorsque le registre est bon, on fixe au *tympan* la *frisquette*, cadre léger assemblé à celui-ci par une charnière à pointes ; on *touche* un peu la forme, puis on abaisse la *frisquette* sur le *tympan*, et ces deux parties ensemble sur la *forme ;* puis on tire alors un léger coup, suffisant pour marquer sur la frisquette ce qui doit être *découpé*. On *déroule* la presse, on enlève la frisquette du tympan pour en faire tomber toutes les parties imprimées et on réserve les blancs. La frisquette, ainsi découpée, sert à garantir les marges de la feuille de tout barbouillage sans empêcher la lettre de parvenir au papier.

Ensuite on met *en train*. Voici ce que c'est : une première feuille est tirée avec précaution; on examine si la platine ne foule pas plus d'un côté que de l'autre; ce serait un signe que la forme ne serait pas bien au milieu; il serait facile d'y remédier, mais il faudrait recommencer tout ce qu'il y aurait de fait. S'il n'y a, par-ci, par-là, que quelques petits endroits qui viennent ou trop *forts* ou trop *faibles*, cela peut provenir de beaucoup de causes que nous ne nous proposons pas de rechercher ici, mais il est aisé d'y remédier en enlevant avec des ciseaux la partie de la marge ou la pression est trop forte, ou en y ajoutant un petit morceau de papier supplémentaire, qu'on appelle une *hausse*, aux endroits qui viennent trop faibles. Cette expérience peut se répéter sur quelques autres feuilles, jusqu'à ce qu'on soit pleinement satisfait de l'égalité du foulage et de la netteté de l'impression, mise en train qui exige un véritable talent pour les illustrations, pour bien interpréter convenablement l'œuvre de l'artiste, en faisant naître une pression considérable sur les parties noires et faible sur les parties légères du dessin. Alors on peut *rouler*.

Pendant que l'un des deux compagnons s'acquitte de la fonction délicate de la mise en train, son camarade dispose l'appareil d'encrage. Cet appareil consiste en une table portant, à l'une de ses extrémités, un encrier dans lequel peut tourner un cylindre en fer, et en un rouleau de gélatine (fig. 1282), composé d'une mixtion

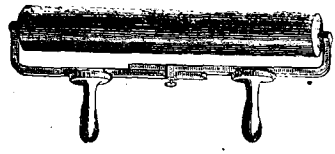


Fig. 1282.

de mélasse et de colle-forte et tournant autour d'un axe porté par une armature munie de poignées.

Pour fondre un rouleau, on fait détremper de la colle-forte, hachée en petits morceaux, pendant vingt-quatre heures, en ne mettant que la quantité d'eau strictement nécessaire. Lorsque l'eau, versée à fleur de la colle, a été absorbée par elle, on place la marmite qui la contient dans une autre marmite, pour que la colle fonde au bain-marie. On l'écume, et lorsqu'elle est entièrement dissoute, on y verse une quantité à peu près égale de mélasse, à mesure que la pâte s'épaissit, et on remue le tout pour bien mélanger les deux substances. La composition, fondue à point, est versée dans un moule cylindrique, en fonte ou en zinc, dont l'axe est occupé par le rouleau en bois à surface rugueuse, appelé *mandrin*, qui doit traverser l'arbre du rouleau.

La température et l'humidité agissant beaucoup sur les rouleaux, il faut diminuer, l'été, la quantité de mélasse, et l'augmenter l'hiver.

La découverte d'une substance élastique, et sur laquelle l'encre s'étale parfaitement, a rendu le travail de l'encrage, fort difficile autrefois avec des tampons dits *balles*, beaucoup plus facile, et a fait disparaître le grand obstacle qui s'opposait à l'invention de la presse mécanique.

L'encre qui sert à l'impression est, comme nous l'avons dit en analysant cette fabrication (voy. ENCRE), un composé de vernis et de noir de fumée. Elle est étalée sur la table, qui doit être tenue bien propre, exempte de toute ordure, poussière, poils, graisse, etc. A cet effet, le compagnon charge d'encre le cylindre de l'encrier et l'étend également par deux ou trois tours de manivelle; il examine si son rouleau peut faire un bon service, et, après l'avoir bien nettoyé et dégraissé, il prend un peu d'encre, en l'approchant du cylindre, et la *distribue* sur la table; il répète cet exercice jusqu'à ce que le rouleau soit bien *pris*. *Distribuer*, ici c'est répartir également sur toute la surface de la table l'encre qu'on a prise au cylindre en appuyant le rouleau dessus, ce qui se fait en faisant courir, dans tous les sens, le rouleau sur la table. Plus la distribution est étendue avec le moins d'encre possible, mieux cela vaut. Alors le compagnon *touche* la forme; autrement dit, il passe deux ou trois fois le rouleau sur toute la surface de la forme, pour charger l'œil de la lettre de l'encre nécessaire à l'impression, et se remet aussitôt à distribuer de nouveau sur la table, pour reprendre autant d'encre qu'il en a été dépensé.

Les imprimeurs disent : *Toute forme encrée doit être tirée*. Celui qui est au barreau prend une feuille sur le pupitre où est déposé le papier blanc, et la pose bien de repère sur la marge. De la main droite il abat la frisquette sur le tympan qu'il abat également sur la forme du même mouvement; cela s'appelle faire le *moulinet*. Par un tour de manivelle, donné de la main gauche, le train est presque aussitôt rendu sous la platine. La main droite se trouve toute portée pour saisir le barreau; l'imprimeur l'attire à lui jusqu'à fin de résistance; ce mouvement fait descendre la platine sur le train, fait *fouler* le papier sur la forme et engendrant une pression énorme, en raison de la finesse du pas de la vis et de l'effort exercé, produit l'impression, but de tout ce qui précède. Le barreau est reconduit à son repos en partie par l'effet du contre-poids. La main gauche, qui n'a pas quitté la manivelle, déroule immédiatement le train; la droite, par un mouvement analogue au précédent, relève d'un même coup le tympan et la frisquette. Enfin, de la main gauche, il soulève par un coin la feuille de dessus la marge, et de la droite l'emporte et la met en depôt sur le banc, à côté du papier blanc. Tout cela se fait en douceur, avec adresse et célérité. De cette manière, une presse peut *tirer* (imprimer) environ 2,000 feuilles par jour, mais d'un côté seulement, et pour imprimer de l'autre côté, ce qui se dit *en retiration*, il faut mettre une autre forme sous presse, en place de la précédente, retourner le papier sur le pupitre, et répéter l'opération de tout à l'heure, en plaçant la feuille retournée dans les *pointures* qui servent de repère.

Lorsque les deux côtés de la feuille sont tirés, les imprimeurs lavent les formes avec une brosse dans une bonne dissolution de potasse, et les rincent grandement jusqu'à ce qu'elles ne rendent plus d'eau noire. Alors ils les rendent au metteur en pages, qui les donne en distribution, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Nous avons terminé la description des travaux manuels qui s'exécutent dans une imprimerie. Il nous reste à traiter des conquêtes de la mécanique pour l'exécution rapide et à bon marché des journaux et des impressions en général, et surtout des presses mécaniques, une des plus belles machines de l'industrie moderne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRIMERIE MÉCANIQUE. L'imprimerie se compose, comme nous venons de le voir, de deux opérations distinctes, la composition et l'impression. De ces deux opérations, la seconde seule paraît pouvoir être entièrement du domaine de la mécanique, aussi allons-nous voir qu'on est arrivé à l'exécuter par procédés presque entièrement automatiques. Nous parlerons ensuite des tentatives destinées à faire rentrer la composition, autant que faire se pouvait, d'une opération exigeant nécessairement l'intervention intelligente du compositeur, dans le domaine de la mécanique.

IMPRESSION MÉCANIQUE.— La première personne qui ait rendu public le projet d'une presse mécanique, fut William Nicholson, l'éditeur du *Journal philosophique*, qui prit un brevet d'invention en 1790: 1° pour placer les types sur une surface cylindrique; 2° pour étaler l'encre à la surface des types, en faisant rouler sur eux la surface d'un rouleau enduit d'encre. Quant au moyen de répandre l'encre également sur ce cylindre, il proposait pour cela d'appliquer trois rouleaux distributeurs, ou davantage, longitudinalement au cylindre

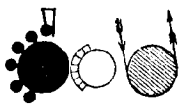


Fig. 1283.

à encre, de manière qu'ils pussent rouler sur eux-mêmes par le mouvement de ce dernier. « J'opère, disait-il, toutes mes impressions par l'action d'un cylindre, ou d'une surface cylindrique: c'est-à-dire que je fais passer le papier entre deux cylindres, sur l'un desquels est fixée la forme des types qui constitue ainsi une partie de sa surface; l'autre cylindre est garni de drap, il sert à presser le papier de manière à lui faire recevoir l'impression; ou bien encore je fais passer la forme des types, préalablement encrée, successivement en contact avec le papier enveloppant le cylindre garni de drap. »

Dans cette description, Nicholson indique assez clairement les principales parties qui entrent dans les machines à imprimer d'aujourd'hui. On voit que tous ses efforts tendaient à attacher les types à un cylindre, problème résolu depuis par M. Hoë (en 1847); Nicholson n'avait pas songé à courber les formes stéréotypées, inventées à peu près à la même époque, mais son étude théorique lui faisait bien fixer les principes de la solution du problème de l'impression continue, par suite la plus rapide possible, telle qu'elle a été obtenue dans ces derniers temps pour l'impression de quelques journaux, et qu'elle a été réalisée depuis longtemps pour l'impression des étoffes.

MM. Donkin et Bacon s'occupèrent plus tard des machines à imprimer et cherchèrent à tourner la difficulté qui avait arrêté Nicholson, à savoir de disposer les types sur un cylindre. Il est certain que, dès 1813, ils avaient pris une patente pour un appareil dans lequel les types étaient placés sur les côtés d'un prisme tournant sur lui-même. L'encre y était appliquée par un rouleau, qui s'élevait et s'abaissait par l'effet de l'excentricité de la surface prismatique, et la feuille était placée sur un autre prisme dont la section était de la forme géométrique convenable pour l'appliquer, par rotation, sur la surface du prisme à types. Une pareille machine fut construite pour l'université de Cambridge (fig. 1284). Ce fut un beau modèle, d'une invention ingénieuse et d'une parfaite exécution, mais trop compliqué, insuffisant dans la partie du mécanisme qui fournissait l'encre, et d'un maniement difficile pour obtenir de bonnes impressions.

La première machine à imprimer qui ait fonctionné utilement a été, sans contredit, inventée par Kœnig,

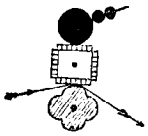


Fig. 1284.

horloger saxon, et construite sous sa direction; dès l'année 1804, Kœnig s'occupait de perfectionner les presses d'imprimerie. N'ayant pu réussir à intéresser à ses vues les imprimeurs du continent, il vint à Londres bientôt après cette époque; il soumit ses plans à M. T. Bensley, célèbre imprimeur, et à M. Taylor.

Ces messieurs fournirent libéralement des fonds à Kœnig et à son aide Bauer, mécanicien allemand. En 1811, Kœnig obtint une patente pour une méthode par laquelle il faisait marcher par un moteur une presse ordinaire à bras; mais après beaucoup de dépenses et de travail, il fallut renoncer à ce projet. Il dirigea alors son attention vers l'emploi d'un cylindre, au lieu d'une surface plane, pour communiquer la pression; il réussit enfin, quelque temps avant le 28 novembre 1814, à compléter son *automate* à impression, et ce jour-là, les éditeurs du *Times* annoncèrent à leurs lecteurs qu'ils lisaient pour la première fois un journal imprimé par une machine à vapeur; c'est donc là un jour à jamais mémorable dans les annales de la typographie.

Dans cette machine, la forme à types était disposée de manière à se mouvoir horizontalement au-dessous du cylindre à impression sur lequel la feuille de papier était tenue appliquée au moyen d'une série de cordons de fil, sans fin. L'encre était placée dans une boîte cylindrique, d'où elle était chassée au moyen d'une vis qui pressait sur un piston parfaitement ajusté : elle tombait ensuite entre deux rouleaux de fer, qui par leur mouvement de rotation la transmettaient à plusieurs autres rouleaux subjacents, lesquels avaient non-seulement un mouvement autour de leurs axes, mais encore un mouvement alternatif en travers. Ce système de rouleaux *égalisateurs* se terminait par deux autres garnis de cuir qui appliquaient l'encre sur les types (fig. 1285). Cette manière d'égaliser et d'appliquer l'en-

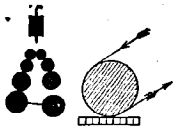


Fig. 1285.

cre était évidemment un mécanisme compliqué, et par conséquent difficile à conduire; il exigeait quelquefois deux heures avant qu'il pût être mis en train, sans jamais donner un encrage tout-à-fait satisfaisant, surtout avec des rouleaux de cuir. Aussi le succès ne fut-il définitif qu'après l'invention des rouleaux de gélatine, qui fut faite peu de temps après.

La seconde découverte de Kœnig fut de construire une machine capable d'imprimer les deux côtés d'un journal chaque fois que les formes complétaient leur passage au-dessous des cylindres. L'appareil (fig. 1286) se composait de deux machines simples, complètes, placées l'une vis-à-vis l'autre, les deux marbres étant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

réunis en un seul, vers les extrémités duquel se trouvaient les encriers.

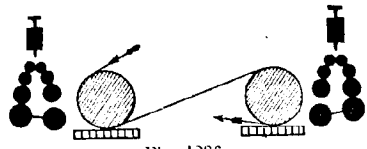


Fig. 1286.

La feuille était portée d'un cylindre à l'autre comme auparavant, par le moyen de rubans, et le chemin qu'elle parcourait ressemblait à la lettre S, couchée horizontalement ∞. Ainsi la feuille était tournée sens dessus dessous, pendant la course même d'un cylindre à l'autre. Sous le premier cylindre elle recevait l'impression de la première forme, et sous le second celle de la deuxième. Ainsi disposée, la machine put imprimer 750 feuilles d'impression des deux côtés en une heure. Ce nouvel appareil à registre fut construit en 1815 pour M. T. Bensley. Ce fut la seule machine construite par Kœnig pour imprimer des deux côtés, tandis que la maison fondée en Allemagne par Kœnig et Bauer, y multiplia, en les perfectionnant, les machines en blanc, imprimant la feuille de papier d'un seul côté.

Dans l'année 1815, M. Cowper dirigea son esprit inventif vers les machines à imprimer, qu'il porta depuis avec son associé M. Applegath, à un grand degré de perfection. Mais avant de parler de sa grande presse, qui a été l'outil par excellence des imprimeries de France et d'Angleterre pendant 30 ans, disons quelques mots de ses travaux dans la voie ouverte par Nicholson. M. Cowper obtint, cette même année, une patente pour courber les formes stéréotypées dans le but de les fixer à un cylindre. Douze machines de ce genre furent construites pour les directeurs de la banque d'Angleterre, quelque temps avant la reprise des payements en or.

Ainsi tandis que Nicholson voulait établir une presse continue en donnant au corps de chaque type la forme d'un voussoir, Donkin et Bacon, en attachant les types sur les côtés d'un prisme tournant; Cowper, avec plus de succès, y parvint en courbant toute la forme stéréotypée, ce qui toutefois était une opération difficile alors qu'on ne connaissait que la stéréotypie en plâtre (Voy. STÉRÉOTYPIE). Dans ces machines (fig. 1287), M. Cowper plaçait deux cylindres côte à côte, et contre

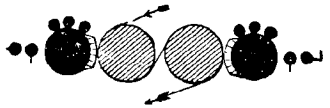


Fig 1287.

chacun d'eux un cylindre sur lequel étaient ajustées les formes. Chacun de ces quatre cylindres avait à peu près $0^m,60$ de diamètre. Sur la surface du cylindre supportant la forme stéréotypée, étaient appliqués quatre ou cinq rouleaux encreurs d'environ $0^m,08$ de diamètre; ils étaient portés par un châssis placé à chaque extrémité dudit cylindre, leurs axes se trouvant dans des ouvertures verticales pratiquées dans le châssis; par ce moyen les rouleaux étaient libres, et agissant par leur propre poids, n'exigeaient aucun ajustement.

Le châssis porteur des rouleaux encreurs était fixé par des gonds au bâti de la machine. Le cylindre portant la forme stéréotypée frottait contre ce châssis en l'écartant successivement, et par suite en imprimant aux rouleaux un mouvement transversal. Ces rouleaux distribuaient l'encre sur les trois quarts de la surface du cylindre, l'autre quart étant occupé par les formes courbes stéréotypées. L'encre était contenue dans un récipient parallèle au cylindre, formé d'un rouleau en métal tournant contre le bord d'une plaque de fer; dans sa révolution, il se couvrait d'une couche mince d'encre qui était transmise au cylindre à forme par un rouleau distributeur qui tournait entre les deux. Les formes, en passant sous les rouleaux, se chargeaient d'encre; elles arrivaient au contact de la feuille de papier, placée sur le premier cylindre et qui, de là, était portée par le moyen des rubans sur le deuxième cylindre à papier, où elle recevait l'impression sur le côté opposé de la forme placée sur un autre cylindre.

Cette machine a beaucoup contribué au succès de la machine à impression de caractères mobiles de MM. Cowper et Applegath, en leur montrant la meilleure manière de fournir, de distribuer et d'appliquer l'encre sur les types.

Presses à gros cylindres. — Grâce aux tentatives de Kœnig et à celle dont nous venons de parler, MM. Cowper et Applegath utilisant la méthode de distribution de l'encre à une machine à formes plates, appliquant sur un plan ou sur une table ce qu'ils avaient fait pour une surface cylindrique d'une certaine étendue, construisirent une machine à imprimer les deux côtés d'une feuille.

Construire une machine qui imprime les deux côtés d'une feuille, avec un registre exact, c'est-à-dire avec les pages du second côté placées exactement sur celles du premier, est un problème fort difficile. Il est comparativement facile de construire une machine en blanc, c'est à-dire qui imprime d'abord un côté de la feuille et ensuite l'autre, au moyen de pointures, après avoir changé la forme. Un registre correct exige que la feuille, après avoir reçu la première impression d'un cylindre, passe par la périphérie des cylindres et des tambours et faisant leur révolution exactement dans le même temps que le marbre; il résulte de là que la moindre inexactitude dans l'exécution doit produire une typographie si défectueuse qu'elle ne serait pas admissible pour l'impression des livres.

La machine représentée dans la figure 1288 est celle construite par MM. Applegath et Cowper avec la solidité et la précision nécessaire. Décrivons son fonctionnement. Le papier humide étant empilé sur la table A, l'enfant qui se trouve sur la plate-forme voisine, présente les feuilles l'une après l'autre au rouleau preneur B. Ce rouleau s'abaissant à intervalles réguliers par l'effet d'un excentrique, saisit la feuille qui se trouve engagée, et avance entre deux séries de cordons sans fin qui passent autour du rouleau de tension. Ces cordons sont placés de manière à tomber dans les marges. Ils restent en contact avec les deux côtés de la feuille de papier pendant que celle-ci avance à travers la machine. Le papier est ainsi conduit du premier cylindre d'impression F au second cylindre G, par un mouvement régulier et continu, sans que rien puisse déranger la coïncidence de l'impression des deux côtés. Ces deux grands cylindres sont en fonte, et parfaitement dressés, tournent par l'action de grandes roues d'engrenage. Ils sont recouverts dans les parties qui correspondent à l'impression d'un drap fin dit *blanchet*, et tournent sur des axes qui reposent sur des coussinets fixés au bâti de la machine.

Les tambours H et I sont en bois, ils servent à retourner et à conduire la feuille de papier d'un cylindre à l'autre, dans le temps convenable. Suivons le mouvement des cordons, qui feront bien comprendre celui de la feuille de papier.

Le *cordon intérieur*, tournant autour d'un cylindre d'introduction E, reste en contact avec le côté droit et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la surface inférieure du cylindre à impression F passe ensuite par-dessus le tambour H, et au-dessous du tambour I; alors, entourant le côté gauche et la partie inférieure du tambour à impression G, il passe sur de

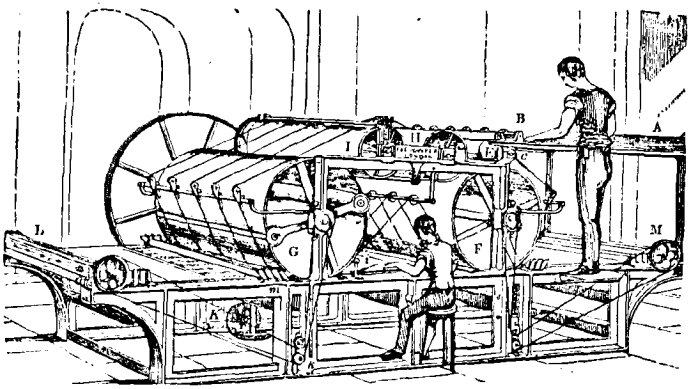


Fig. 1288.

petites poulies de tension *a*,*b*,*c*,*d* (fig. 1289); et enfin revient sur le rouleau E.

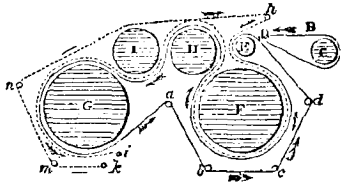


Fig. 1289.

Le *cordon extérieur* vient passer sur les poulies qui se mettent en contact avec le rouleau d'introduction E, pour entraîner la feuille. A ce moment, les deux séries de cordons coïncident, puis ils avancent ensemble sous le cylindre à impression F, puis sur H, sous I, et autour de G, jusqu'à ce qu'ils arrivent au rouleau *i* (fig. 1289), où ils se séparent après être restés en contact, excepté dans l'intervalle où la feuille de papier s'est trouvée entre eux. La feuille se trouve ainsi abandonnée. Les rubans descendent du rouleau *i*, à un autre rouleau placé en *k*, et, après avoir passé en contact avec les rouleaux en *l*, *m*, *n*, ils arrivent finalement au rouleau *h*, où ils sont censés commencer. Par là, les deux séries de rubans agissent continuellement en contact, sans se croiser.

Les différents cylindres et tambours tournent régulièrement au moyen de roues d'engrenages montées à leurs extrémités. Deux formes de composition, horizontales, sont placées séparément à une certaine distance sur le marbre en fonte M, sur le prolongement duquel se trouve, de chaque côté, une table à encre. Le marbre commun, portant les deux formes de types et les deux tables à encre, est poussé en avant et en arrière d'une extrémité de la machine à l'autre, sous des rouleaux fixés au bâti, et dans son passage, il met les types en contact avec la feuille de papier retenue en place par les rubans qui entourent les surfaces des cylindres à impression. Ce mouvement alternatif est dû à un pignon qui agit alternativement sur les côtés opposés d'une crémaillère placée sous la table. Le pignon est conduit par les roues d'angle K.

Le mécanisme pour fournir l'encre et la distribuer sur les formes fonctionne à chaque extrémité, de manière que chacun d'eux fournit l'encre à la forme qui se trouve placée de son côté. Le cylindre en fer L apporte le supplément d'encre nécessaire par un mouvement lent de rotation que lui communique une corde à boyau qui passe autour d'une petite poulie placée à l'extrémité de l'axe du cylindre imprimeur G. Une plaque horizontale de métal, avec un rebord en équerre, est ajustée par une suite de vis, de manière à se trouver à peu près en contact avec le cylindre L. Cette plaque fait partie de l'encrier et régularise l'épaisseur de la couche d'encre. Un rouleau ordinaire est levé, à chaque mouvement de va-et-vient, et va toucher le rouleau de l'encrier un seul instant, et lui enlève une couche très-mince d'encre, pour la transporter sur la table en retombant. Il y a trois ou quatre rouleaux de distribution qui traversent la table, un peu obliquement; ils sont munis d'axes longs et minces, qui reposent dans des entailles verticales, où ils peuvent en même temps effectuer librement leurs révolutions et se mouvoir en travers. Par ce mouvement composé, ils peuvent effacer toute espèce d'inégalité à la surface de la table, et effectuer une distribution parfaite. L'encre étant étalée d'une manière uniforme sur la table, celle-ci passe sous les trois ou quatre rouleaux encreurs, leur donne une couche d'encre uniforme très-mince que ceux-ci transmettent immédiatement aux types qui succèdent à la table. Par cette disposition, chaque fois que les formes complètent leur course d'un côté à l'autre, ainsi que l'exige l'impression de chaque feuille, les types ne sont pas touchés moins de huit fois par les rouleaux encreurs. Les rouleaux de distribution, comme les rouleaux toucheurs, tournent dans des entailles qui leur permettent de s'élever et de retomber de manière à peser de tout leur poids sur la table-encrier, ainsi que sur les formes, de sorte qu'ils n'exigent aucun ajustement et sont toujours prêts à opérer.

Tout le système de l'appareil reçoit son mouvement d'une courroie, mue à l'aide d'une machine à vapeur, qui entoure une poulie placée à l'extrémité de l'axe, derrière le bâti; la puissance d'un cheval-vapeur est plus que suffisante pour mouvoir une semblable machine, donnant à l'heure environ 800 feuilles imprimées des deux côtés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'opération de l'impression se fait donc comme il suit :

La feuille de papier, étant placée avec soin sous le rouleau preneur, se trouve saisie par le mouvement imprimé à celui-ci au moyen d'un segment de roue qui ne fait qu'une portion de révolution. Ce mouvement fait avancer la feuille de papier suffisamment pour l'introduire entre les deux séries de rubans sans fin, au point où ceux-ci se rencontrent sur le rouleau d'entrée E. Aussitôt que la feuille se trouve enlacée par les rubans, les rouleaux C et D sont ramenés à leur première position, au moyen d'un contre-poids, afin de se retrouver prêts à introduire une autre feuille dans la machine. La feuille, s'avançant entre les rubans sans fin, s'applique contre le drap du cylindre à impression F, et à mesure qu'elle tourne, elle rencontre la première forme des types, et en reçoit l'impression. Après s'être ainsi imprimée d'un côté, elle est portée en passant sur H et sous I, contre le drap du cylindre à impression G, où elle se trouve placée dans une position inverse de la première; le côté imprimé étant maintenant en contact avec le drap, et le côté blanc étant en dehors, elle rencontre la deuxième forme de types à l'instant convenable pour recevoir la deuxième impression, et se trouve par là complétement imprimée. La feuille arrive aussitôt après au point *i*, où les deux séries de rubans se séparent; elle en est dégagée par l'effet de la force centrifuge, et tombe dans les mains d'un enfant qui se trouve là pour la recevoir.

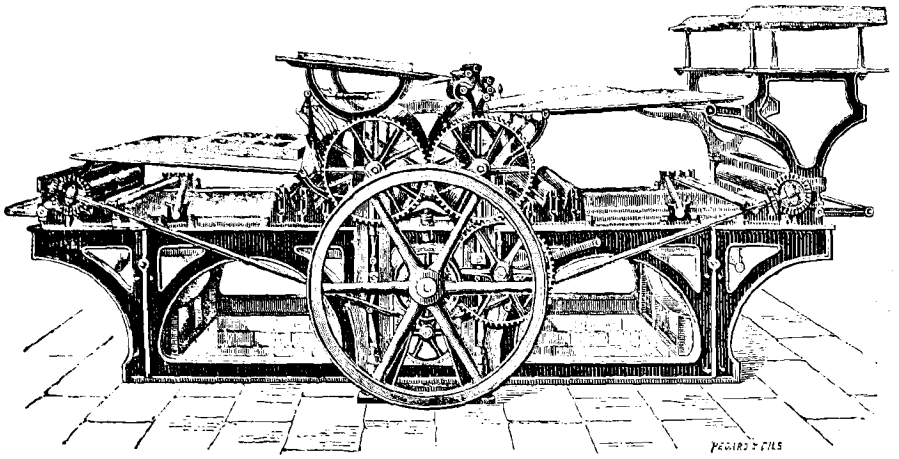


Fig. 1290.

Presses en retiration à petits cylindres. — Les presses mécaniques de Cowper, dites à gros cylindres, ne donnent pas plus de 800 feuilles à l'heure; la masse des pièces qui les composent, grandes roues d'engrenage, gros cylindres, et surtout marbre d'une dimension et d'un poids considérable à mouvement alternatif, ne permettent pas une plus grande vitesse sans danger de rupture. On a été conduit, pour augmenter la vitesse, à remplacer les gros cylindres imprimeurs par des cylindres d'un diamètre plus petit, à diminuer le plus possible les dimensions et les poids des diverses parties de la machine, notamment les grandes roues d'engrenage qui transmettaient le mouvement aux divers organes. Toutefois, la diminution de diamètre du cylindre dont nous venons de parler ne saurait avoir lieu pour un cylindre à axe fixe; car, après avoir été imprimée, la forme ne rencontrerait plus, pour revenir vers l'encrier, une partie du cylindre d'un diamètre plus petit que celle qui imprime, comme cela a lieu pour les gros cylindres. Il faut alors donner au cylindre la liberté d'être relevé pendant le retour de la forme, condition dont la réalisation offrait des difficultés assez grandes dans la pratique, à cause de la nécessité de maintenir bien constante la position de l'axe du cylindre pendant le foulage. On y parvint d'abord en relevant le cylindre à l'aide d'un levier comme le montre la fig. 1291 qui représente un système de presse, que construisit Applegath et qui ne tirant qu'en blanc sur papier double, par suite avec un registre défectueux, ne s'appliquait qu'aux journaux. Ce n'est réellement que par le redressement d'une articulation, d'un genou arrivant en ligne droite pour le foulage, commandant le talon inférieur du châssis porte-axe du cylindre, qu'on y est parvenu d'une manière tout à fait satisfaisante dans la pratique, dans les derniers systèmes que nous allons décrire.

D'un autre côté, la diminution du cylindre avait une limite forcée dans la condition que sa circonférence, son développement, fût au moins égal à celui de la forme à imprimer, afin qu'un même point de sa surface revienne toujours presser sur un seul et même point de la forme. Cela est indispensable pour la pratique d'une impression même seulement passable, pour pouvoir, au moyen de hausses de papier convenablement découpé, collé sur le cylindre, égaliser le foulage, compenser les différences de hauteur qui peuvent exister, et qui, dans la pratique, existent toujours sur la surface à imprimer.

C'est en 1824, que M. Smith importa d'Angleterre la presse à petits cylindres oscillants, dans lesquels se trouvait placé, au lieu de cordons, un système de pinces pour opérer la translation des feuilles d'un cylindre à l'autre. Ce système, abandonné au début, fut repris en 1834 par M. Rousselet, qui l'a continué jusqu'en 1838, concurremment avec un autre système analogue, permettant toujours quelques glissements, par lequel une brosse à mouvement rapide, placée entre les deux cylindres, remplissait la fonction des pinces.

En 1840, M. Normand, comprenant l'importance de la suppression des cordons, persista dans le système des machines à pinces et parvint à les faire adopter, d'abord en diminuant le diamètre du pignon, tout en maintenant le genou de Smith, en ralentissant son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement au moyen d'un excentrique, remplaçant la fourchette flexible qui opérait ce mouvement pendant le temps très-court du passage du croissant. En 1844, M. Normand y remédia en forçant la rotation des rouleaux au moyen d'engrenages à coin. Nous avons vu depuis, à l'exposition de 1867, un système analogue et

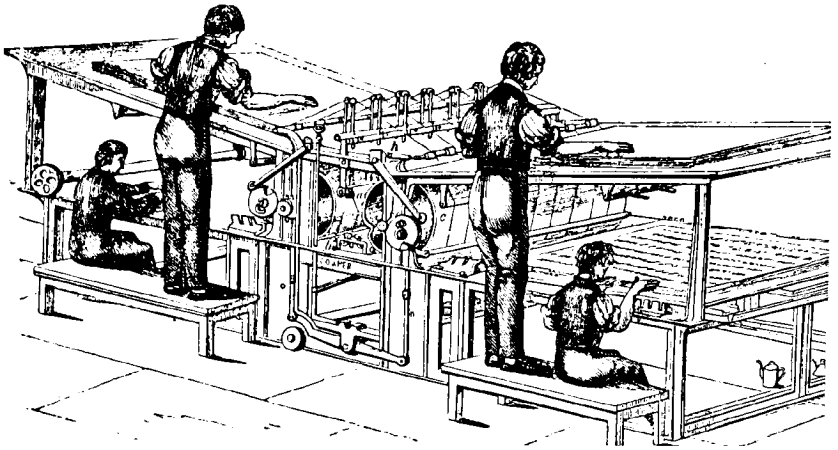


Fig. 1291.

il construisait la première machine de ce système avec l'emploi de l'appareil à passer les décharges, pour éviter le maculage du recto, que nous décrirons plus loin. Le système d'engrenages, déjà employé pour faire tourner les cylindres des encriers, remplaçait les cordes, et les excentriques de prise d'encre étaient à plusieurs feuilles en forme d'éventail, pour augmenter ou diminuer la couleur, en faisant varier la durée du contact du rouleau preneur, sans dérégler les encriers (voy. fig. 1292). En 1855, cette presse ainsi établie fut la

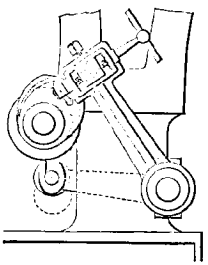


Fig. 1292.

première presse française qui pénétra en Angleterre, où elle fut immédiatement imitée et préférée à cause de sa légèreté, et parce qu'elle permettait, en outre des avantages déjà signalés, de pouvoir s'appliquer aux plus grands formats sous un volume considérablement réduit.

A la création des publications périodiques illustrées et à grands nombres, vers 1857, on s'aperçut d'un défaut capital qui se produisait à tous les systèmes de presses et que l'on n'avait pu soupçonner jusqu'alors : l'usure du caractère, dont l'écrasement semblait provenir d'une pression métallique, était due à l'inertie des rouleaux encreurs, quoique ceux-ci soient composés d'une matière molle et élastique. Ce défaut ayant été signalé dans les presses à grand format du *Journal pour tous*, où l'on était obligé de remplacer les dernières lignes des pages après un tirage de 30,000 exemplaires, plus complet de M. Dutartre, qui a appliqué à l'une de ses presses une commande continue au moyen d'engrenages à dents.

Dans les presses en retiration, l'inconvénient fréquent du papillotage, inacceptable pour travail soigné, venait souvent brouiller l'impression de certaines lignes. Ce défaut, plus sensible avec les machines à petits cylindres qu'avec celles à gros cylindres, bien que général, faisait penser que leur vitesse était trop grande, et les bons imprimeurs tendaient à se servir de plus en plus, pour les impressions soignées, de presses en blanc, seules exemptes de ces défauts, où la commande par la crémaillère est plus rigide, mais qui répondent à une fabrication bien plus coûteuse, par suite de leur production moindre, puisqu'elles ne donnent l'impression que d'un côté par chaque mouvement de va-et-vient et qu'il est nécessaire de margor deux fois pour imprimer la feuille des deux côtés.

C'est alors que M. Normand, qui avait multiplié avec un grand succès le genre de machines dont nous parlons, en assura la perfection et la supériorité en montrant le vice radical que l'on avait laissé subsister dans les presses mécaniques et indiqua le moyen d'y remédier.

Le mécanisme au moyen duquel on communique le mouvement alternatif au marbre des presses à retiration rapides, mécanisme précieux par l'élasticité des pièces et le repos prolongé qui a lieu lors du changement de sens du mouvement, est composé essentiellement d'une crémaillère à fuseaux assemblée avec le marbre, sur laquelle vient agir un pignon mobile, alternativement par-dessus et par-dessous; de cette disposition résulte le mouvement rectiligne alternatif du marbre en deux sens opposés, pour un mouvement circulaire continu et toujours de même sens du pignon. Ce dernier reçoit son mouvement par un arbre de rotation sur lequel il est monté; mais pour qu'il puisse se déplacer, passer d'un côté à l'autre de la crémaillère, il faut que cet arbre soit brisé, c'est-à-dire qu'en un point il porte une articulation formée par un joint de Cardan. On a trouvé grand avantage à remplacer par cette disposition la crémaillère horizontale qui se déplaçait d'un côté à l'autre d'un pignon fixe (voyez le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Traité de cinématique de M. Laboulaye), système qui se voit dans toutes les anciennes presses de Cowper, mais qui, à cause du poids des pièces en mouvement, était inadmissible pour de grandes vitesses. Mais si le système était bien préférable au point de vue du déplacement des organes, il avait un défaut grave. En effet, si le pignon tournant avec l'axe fait un tour dans le même temps que celui-ci, tout en se retrouvant après un tour dans la position initiale, la vitesse n'est pas constante en chaque instant lorsque les deux parties de l'arbre ne sont pas en ligne droite; elle varie avec la position du croisillon, et par conséquent elle diminue et augmente alternativement pendant la durée d'une révolution. Nous donnons à l'article JOINT DE CARDAN la formule qui exprime la variation de ces vitesses en fonction de l'angle décrit.

De là cette conséquence : tandis que les cylindres, mus par des engrenages qui les font tourner avec l'axe moteur, se meuvent d'une manière parfaitement régulière, de manière que la feuille de papier s'enroule sur les cylindres, et passe de l'un sur l'autre sans glissement ni dérangement aucun, le marbre se meut irrégulièrement et par suite aussi la forme qu'il porte, c'est-à-dire que le papillotage en certains points, le manque de netteté de l'impression, résulte nécessairement de la construction des machines, toujours construites sur une donnée vicieuse, et dans lesquelles des glissements relatifs de la forme sur papier se produisent naturellement.

Ce défaut constaté, M. Normand y a remédié d'une manière simple et complète, qui réduit à peu de chose le rôle des supports, des bois à l'aide desquels on s'efforçait d'établir dans la pratique une solidarité entre les cylindres et le marbre, en faisant naître des efforts destructeurs qui entraînaient la torsion des arbres, mais au moins qui procuraient une bonne impression, si l'élasticité de la machine était assez grande pour que les pièces cèdassent suffisamment. Il lui a suffi à cet effet de faire varier la longueur des rayons du pignon, précisément en raison inverse de la vitesse de l'arbre. En rendant ce pignon ovale, pendant que la denture de la crémaillère reçoit une forme ondulée, il restitue une uniformité parfaite au mouvement rectiligne du marbre. L'excellence théorique de la solution a été démontrée expérimentalement d'une manière incontestable par M. Normand, au moyen d'un modèle dans lequel les roues ovales ou circulaires agissent sur deux pièces différentes, et donnent des impressions parfaites dans le premier cas, défectueuses dans le second.

Une conséquence précieuse de cette construction théoriquement exacte est de permettre d'augmenter notablement les dimensions du pignon moteur, que l'expérience avait appris à faire petit pour amoindrir dans la pratique les défauts d'un système vicieux. Il en résulte que, pour une même durée de changement de sens du mouvement du passage du pignon d'un côté à l'autre de la crémaillère, la vitesse de la machine peut être augmentée et qu'elle fournit facilement 1200 feuilles imprimées à l'heure. C'est là un résultat capital qui a contribué aussi au succès de ces presses, dont la supériorité est admise généralement aujourd'hui.

Complétons la description de quelques-uns des mouvements des principales pièces de cette machine, aujourd'hui d'un emploi universel.

Lorsque la courroie amenée de la poulie folle sur la poulie fixe met en mouvement la machine, la feuille placée par le margeur est saisie par les pinces qui se ferment, et enroulée sur le cylindre sous lequel le marbre amène la feuille qui est imprimée du côté de deux. Elle est transmise ensuite aux pinces du côté de première qui la conduisent sur l'autre cylindre et sur la seconde forme. La transmission de la feuille du cylindre du côté de deux sur le cylindre du côté de première se fait au point de jonction des deux cylindres au moment où les cames se sont avancées pour être en contact avec le galet des leviers, ou manivelles, qui font ouvrir et fermer précipitamment les pinces de chaque cylindre. Celles du côté de deux lâchent la feuille, et celles du côté de première la prennent et l'entraînent.

C'est dans cette position que le conducteur doit s'assurer de l'état d'avancement de la feuille qui ne doit jamais toucher par le bout sur les pinces lorsqu'elles sont ouvertes toutes les deux et se croisent à angle droit par rapport à la feuille ; la moindre variation de marge pourrait avoir une influence sur la régularité du registre, selon que le papier serait plus ou moins résistant. L'ouverture des pinces ne doit pas être exagérée, afin de diminuer autant que possible le moment indispensable de l'abandon de la feuille. Cette ouverture peut encore diminuer par l'usure des cames et des galets, et surtout par des facettes qui peuvent se former aux galets et qu'il serait important de supprimer si ces facettes avaient atteint la profondeur d'un millimètre. C'est alors qu'a lieu le soulèvement des cylindres qui se produit chaque fois que la forme du côté de deux passe sous le cylindre du côté de première et *vice versa*. Sans ce mouvement, qui doit élever le cylindre invariablement à 4 *ou* 5 *millimètres* au plus, pour ne pas fatiguer les organes et diminuer les chances de variations de registre, la forme serait rabotée. Disons comment se produit ce mouvement.

Un excentrique fait mouvoir deux fortes tiges, appelées entretoises mouvantes, traversant la machine et ses bâtis jusqu'à fleur des supports ou montants des cylindres. Chaque extrémité est recourbée et s'emboîte dans les quatre rotules fixées aux bâtis, et formant chacune une articulation qui permet au support des cylindres de se relever lorsque ces deux pièces s'inclinent en se raccourcissant, n'étant plus en ligne droite. Les deux montants sont reliés par deux balanciers oscillants appelés *chapeaux de gendarme*, à cause de leur forme. Le centre de ces pièces repose sur des ressorts à boudin assez forts pour les brider et faire adhérer la rotule en limitant le soulèvement. Le moindre jeu dans la rotule serait nuisible et dangereux, et indiquerait que le ressort a besoin d'être tendu. L'excès de tension, en dehors du jeu supprimé, n'aurait aucun autre résultat que de fatiguer inutilement le ressort et de le mettre hors de service, s'il se rompait.

Presses en blanc. — Nous avons dit plus haut que les premières presses à retiration avaient un défaut grave qui faisait préférer celles en blanc, n'imprimant que d'un seul côté, dans lesquel le marbre et le cylindre engrènent ensemble, pour les travaux soignés. La correction de ce défaut n'en fait pas disparaître un autre qui semble inhérent au système de la presse à retiration, à savoir le maculage produit par l'encre, qu'une feuille fraîchement imprimée laisse sur l'étoffe contre laquelle elle est pressée et qui vient salir la feuille suivante. Et cependant on est encore arrivé à corriger ce défaut par le système de passage de décharges que nous allons décrire.

La fig. 1293 représente cette presse qui, à cause de sa précision quand elle est bien construite, de la facilité avec laquelle elle donne un encrage parfait, par une touche double au besoin, est souvent employée pour les travaux de grand luxe, malgré l'ennui du pointage et sa faible production. La figure se rapporte à l'emploi de cette presse pour l'impression de la lithographie, mais elle ne diffère guère de celle employée pour la typographie que par les mouilleurs placés à l'arrière.

Décharge. — On voit sur le dessin de la machine Normand (fig. 1290) deux marges, c'est-à-dire un système préparé pour faire passer sur les cylindres deux feuilles, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière.

L'une de ces feuilles est celle à imprimer, l'autre est la décharge, c'est-à-dire une feuille servant un grand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nombre de fois, qui, conduite par des cordons, parvient aux pinces du second cylindre au moment où elles saisissent, en même temps qu'elle, la feuille lâchée par les pinces du premier. Elle empêche tout maculage de l'étoffe qui garnit le cylindre par la pression du côté fraîchement imprimé.

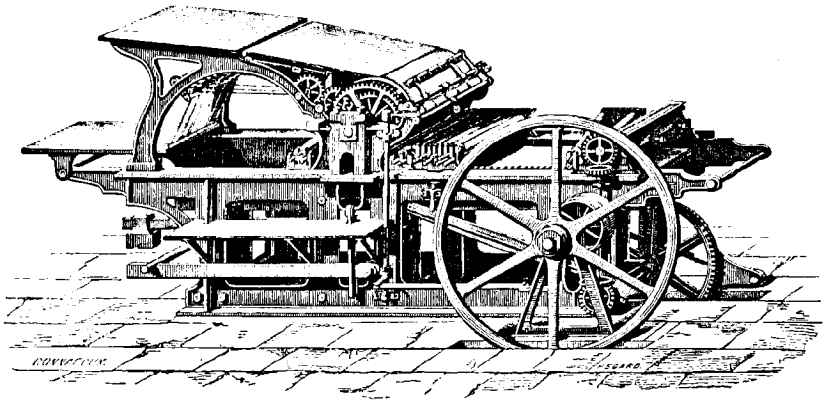


Fig. 1293.

On peut dire que, grâce à tous ces progrès, la presse mécanique de Normand est devenue un excellent outil, produisant beaucoup quand il marche, quand il n'est pas arrêté par la longueur des mises en train, des collages de hausses sur les cylindres, surtout pour faire venir les parties basses, direction où il y a un progrès important à réaliser aujourd'hui.

Presses rapides, à réaction, pour l'impression des journaux.— En 1833, M. Rousselet avait trouvé le moyen de doubler le tirage en interrompant la continuité des cordons, ce qui permettait de passer successivement deux feuilles simples de la dimension du format, l'une s'imprimant sur les pages 1 et 4 du recto, et l'autre sur les pages 2 et 3 du verso. Ces deux feuilles se retournaient sur un tambour supérieur pour se représenter sur les pages opposées. La machine produisait ainsi deux exemplaires en retiration par chaque révolution; en employant du papier double, il y avait alors économie d'un poseur de feuilles. La division des journaux se faisait ensuite par un ouvrier au moyen d'un couteau ordinaire, ce qui a lieu encore aujourd'hui. Cette idée de faire retourner la feuille, aussi simple qu'ingénieuse, étant trouvée, il était tout naturel de l'utiliser pour un seul cylindre en donnant à celui-ci un mouvement de rotation alternatif ou de réaction identique à celui de la table qui supporte les caractères. Dès 1822, M. P. Taylor, puis en 1838, M. Joly, prenaient des brevets pour des presses à un cylindre, mais ce n'est que de 1838 à 1840 que M. Normand, construisit la première presse à deux cylindres *à réaction*, qu'il livrait au journal *le Siècle* en 1840. Le succès de cette presse fut rapide et complet. La simplicité du mécanisme, la disposition des cordons, les tringles mobiles pour tendre les feuilles, les vis sans fin pour tendre et remplacer les étoffes, les tasseaux de différentes épaisseurs pour la répartition de l'encre aux rouleaux intermédiaires, afin que la table à encre fût en partie réservée à ceux-ci dans le court passage des tables au centre de la machine, les tables mobiles articulées, avec appareil de sortie de feuilles perfectionné en 1850, toutes ces combinaisons, conçues et exécutées par M. Normand, sont évidemment les causes qui constituent la supériorité de ce système, qui est préféré encore aujourd'hui pour l'impression des journaux.

En 1846, l'agrandissement des formats nécessitait l'emploi de machines plus diligentes. M. Applegath, persistant dans le système en blanc, construisit des machines à quatre cylindres (fig. 1294), donnant quatre feuilles imprimées d'un seul côté, mais reproduisant

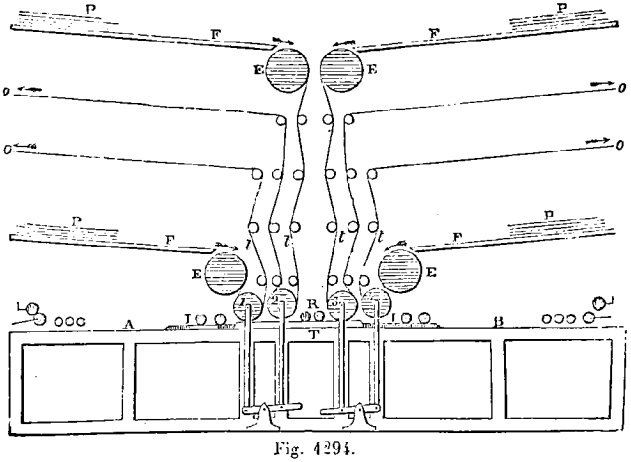


Fig. 1294.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

toute la composition en employant du papier double, par chaque va-et-vient du marbre. Dans la même année, M. Little, de Londres, se faisait breveter en France pour une machine semblable, à quatre cylindres, en employant le système à réaction pour les deux cylindres intermédiaires, qui imprimaient à l'allée et au retour avec deux margeurs supplémentaires, ou plus, superposés à un étage supérieur.

M. Normand et M. Gaveaux prenaient également des brevets en 1848, en maintenant le système de réaction aux quatre cylindres, dont la multiplicité fournit un accroissement évident de la vitesse de production, rapproché de l'impression continue. Dans la machine de M. Gaveaux on remarque une disposition nouvelle pour le passage des feuilles, et un mécanisme produisant un temps d'arrêt aux cylindres de registre supérieurs, dans le but de diminuer la hauteur. Ce système compliqué a été abandonné.

M. Normand, au contraire, utilisait toute la course de la feuille en élevant les cylindres de registre pour conserver un mouvement continu; il apportait ainsi plus de précision, diminuait le nombre de feuilles gâtées et donnait plus de facilité aux fonctions. Cette machine fonctionne depuis 1849, sans avoir subi de changements. Ces presses, relativement d'un prix très-bas, n'ont pas laissé pénétrer en France les systèmes de M. Applegath et de M. Little. Les presses de ce système se construisent à deux, trois et quatre cylindres; celles à quatre cylindres tirent 6,500 exemplaires à l'heure en employant un pignon de grand diamètre, ce qui diminue le choc au passage du croissant.

La disposition pour l'encrage est toujours celle indiquée dans la figure 1294, c'est-à-dire que des rouleaux encreurs placés entre les cylindres font que la forme parvient toujours encrée à chacun d'eux; ces machines impriment aussi bien à l'aller qu'au retour, chaque cylindre tournant alternativement dans un sens ou dans l'autre. En disposant les cordons de telle sorte que la feuille retournée par deux rouleaux revienne par son autre extrémité sur le cylindre imprimeur du second côté, les quatre pages étant disposées en long sur le marbre, il s'ensuit que la feuille, d'abord imprimée d'un côté, revient en second lieu imprimer le côté opposé à la tête de la première impression, c'est-à-dire fournir deux exemplaires sur papier double.

Nous décrivons ici cet ingénieux retournement de feuille, dans la figure 1295, qui représente la moitié

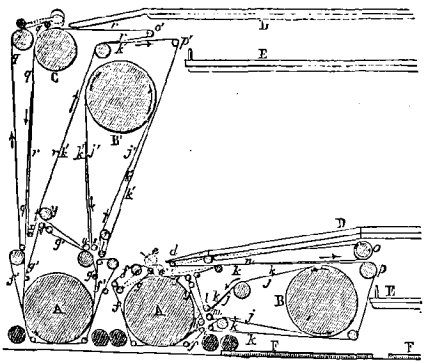


Fig. 1295.

gauche d'une machine à quatre cylindres, partie capitale de ces machines, trop surchargées de cordons et tringles pour qu'une vue en perspective, à une petite échelle, soit intelligible.

Considérons d'abord le mouvement du cylindre A. Lorsque la feuille est margée en *d*, elle est saisie par la boule *e*; au moment où celle-ci s'abaisse sur le cylindre A, la feuille s'engage dans le jeu de cordons *f g*, passe entre la tringle mobile *h* et la tringle fixe *i*, après la première impression, et entre dans le deuxième jeu de cordons *j k*, conduit par le cylindre B de registre, qui tourne toujours dans le même sens et suivant les flèches indiquées sur la figure. Quand la feuille est arrivée entre les deux tringles fixes *l m*, la tringle mobile *h* s'est soulevée, les formes FF et le jeu de cordons *f g* ont réagi, c'est-à-dire qu'ils possèdent le mouvement de retour; la feuille repasse en deuxième impression en s'enroulant autour du cylindre A; elle s'engage alors entre les cordons *n k*, et sort entre les deux rouleaux *o p*; le receveur la saisit et la dépose sur la table E.

L'effet est semblable pour le cylindre de pression A', mais le passage de la feuille entre les cordons s'effectue différemment en raison de la position élevée des cylindres de marge et de registre et du chemin plus long à parcourir.

La feuille est margée sur le cylindre C; elle s'engage entre les deux cordons *q r* et s'introduit entre le jeu *f' g'* qui la conduit en première impression; en quittant le cylindre A', elle passe entre les tringles *s t* qui portent les cordons *j' k'*, puis elle vient se retourner sur le registre B' et redescend en passant entre les tringles *u s* pour s'introduire entre les cordons *f' g'*, qui ont réagi; elle passe en deuxième impression sous le cylindre A', s'introduit alors entre les tringles *x v* et de là sur le rouleau *y*, entre les cordons *r k'*, pour sortir entre les deux rouleaux *o' p'*.

Sauf l'imperfection de l'encrage fourni par des rouleaux en trop petit nombre, et qui au milieu ne prennent de l'encre que sur une moitié de la table-encrier, l'autre moitié servant pour les rouleaux extérieurs, sauf aussi la nécessité d'employer de l'encre faible pour amoindrir la résistance de l'encrage et ne pas déchirer, à une aussi grande vitesse, le papier d'assez mauvaise qualité généralement employé pour les journaux français, ces presses fonctionnent fort bien. Aussi ont-elles été adoptées par tous les journaux et suffisent-elles généralement dans les conditions actuelles de la presse politique en France.

Presse rotative de Hoë. — Il n'en est pas de même en Angleterre et surtout en Amérique, où les journaux ont pris tant de développement; aussi est-ce dans ce pays qu'on a fait les plus grands efforts pour obtenir le maximum de vitesse possible en revenant à l'impression continue, point de départ des travaux de Nicholson, comme nous l'avons dit en commençant. C'est en effet l'impression continue, ou au moins des résultats sensiblement équivalents à ceux qu'elle fournirait, qui ont été obtenus par M. Hoë, habile constructeur de New-York. Le succès de son système, pour les grands journaux de New-York et de Londres, le service excellent et non interrompu d'une semblable presse pour l'impression quotidienne, pendant plusieurs années, à Paris, du journal *la Patrie*, ne laissent aucun doute sur son emploi possible pour l'impression des journaux à colonnes étroites.

La composition est placée dans des fractions de cylindres à rebords formant châssis à vis, dans lesquels se fixe fortement la composition, formée de colonnes étroites séparées par des filets aigus du bas, en lame de couteau, pour retrouver la cylindricité. Les rouleaux encreurs rencontrent alternativement les tables à encre et la composition, de telle sorte que, dans le mouvement continu et sans chocs, l'encrage et l'impression se succèdent d'une manière continue (fig. 1296). Avec les machines à 6 cylindres et 6 margeurs, la vitesse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

atteint 8,000 exemplaires à l'heure ; avec 4 cylindres, on est limité par la difficulté de marger assez vite pour dépasser habituellement 4 ou 5,000 exemplaires. Construites avec 10 cylindres imprimeurs, deux de ces presses ont donné au *Daily Telegraph*, à Londres, en tirant sur papier double, près de 20,000 exemplaires à l'heure Il est clair que la retiration n'est pas produite avec ces presses, et qu'elles ne donnent qu'un registre approché, obtenu en replaçant la feuille retournée contre les mêmes guides que pour le premier côté, ce qui est acceptable seulement pour des journaux.

On remarque dans les machines de M. Hoë, l'in-

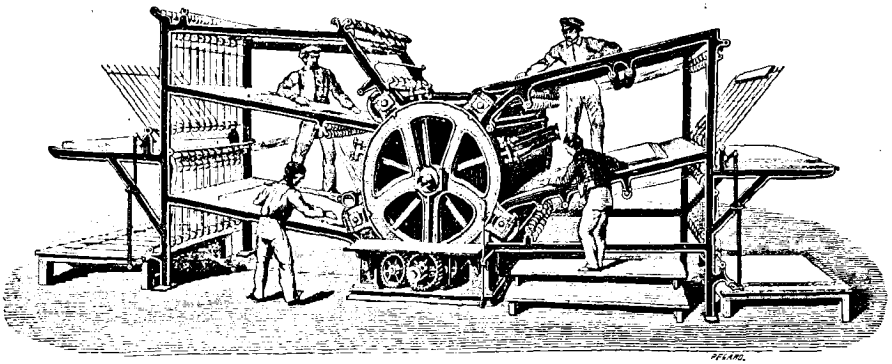


Fig. 1296.

génieuse invention des receveurs mécaniques, formés de grilles mues par des cames, servant à recevoir les feuilles imprimées et à les mettre en paquets ; elles dispensent des ouvriers releveurs de feuilles.

Presse rotative à doubles clichés. — Les propriétaires du *Times*, toujours désireux d'avoir les machines les plus rapides, ont adopté les presses à cylindre-type horizontal concurremment avec des machines d'Applegath, fondées sur le même principe, mais dont le cylindre est vertical, que ce constructeur avait essayé antérieurement, et pour lesquelles la difficulté d'une bonne distribution de l'encre est très-grande ; mais toujours inquiets des accidents qu'ils considéraient comme possibles lors de la révolution des formes autour d'un axe horizontal, malgré les résultats obtenus dans la pratique, ils sont entrés dans une voie nouvelle de l'exécution rapide des journaux, à savoir, la reproduction rapide de la composition au moyen du clichage au papier, qui se fait aujourd'hui si facilement et si rapidement. Le *Times*, combinant les deux systèmes, s'imprima donc en 1862, partie sur des clichés faits au papier (voir STÉRÉOTYPIE) en une demi-heure, qui permettent d'imprimer sur deux compositions coulées le plus souvent dans le même moule en papier, placé dans un moule cintré suivant le rayon du cylindre.

Le secours prêté ici par la stéréotypie paraît modifier tout à fait le problème de l'exécution rapide des journaux. En effet, du moment qu'on a un moyen facile de multiplier les formes, on aimera mieux employer plusieurs machines simples, d'un prix modéré, que des machines énormes, d'un très-haut prix, employant beaucoup de monde, et dont un dérangement paralyse toute l'opération.

La facilité du clichage, comme les progrès dans les systèmes servant à marger et à relever les feuilles, devaient conduire directement à reprendre la solution théorique de Nicholson, à employer un cliché courbe, du rayon du cylindre, obtenu directement en courbant le moule en papier, et ainsi imprimer d'une manière continue. Ce problème a été complétement résolu en France.

Déjà, en 1838, M. Justin perfectionnait le clichage au papier, et, en 1845, MM. Worms et Philippe prenaient un brevet pour une presse à clichés curvilignes. En 1855, M. Giraudot fils exposait la même presse en petit format, et, par conséquent, avec un petit cylindre, ce qui était une difficulté pour la réussite des clichés. M. Hoë imagina, pour atténuer cette difficulté, de placer deux compositions clichées sur le même cylindre, c'était la vraie solution du problème, plusieurs clichés ne demandant d'ailleurs guère plus de temps à faire qu'un seul.

C'est ainsi que nous avons pu voir à l'exposition de 1867 deux machines établies d'après ce principe, exposées, l'une par M. Marinoni, avec quatre margeurs; l'autre par M. Derriey, avec deux margeurs. Ces machines, dont les cylindres sont réduits au développement des doubles formes, paraissant fournir le maximum de vitesse possible, en employant le papier coupé en feuilles.

M. Marinoni a commencé à les employer depuis le commencement de 1868 pour l'impression du *Petit Journal* et pour celle de diverses autres feuilles dont le tirage d'exemplaires se fait à grand nombre.

Presses rotatives à papier continu.— Les essais rappelés ci-dessus avaient pour objet de réaliser l'invention de Nicholson, c'est-à-dire d'obtenir le maximum de vitesse possible, le plus économiquement possible, en employant le papier continu, tel qu'il s'enroule à l'extrémité de la machine à papier, pour être séparé en feuilles en même temps qu'imprimé par la machine. La nécessité du timbre a fait renoncer à suivre cette route en France; mais, en Amérique et en Angleterre, en multipliant les clichés pour éviter leur trop grande courbure, on est arrivé au succès. Le *Times* emploie la machine de Walter qui, assez simple et peu volumineuse, imprime 20,000 feuilles à l'heure, et le *Daily Telegraph* obtient le même résultat avec la machine américaine de Bulloch en économisant 17 margeurs qui lui étaient nécessaires avec les machines de Hoë. La suppression du timbre en France y amènerait sans doute l'emploi de machines de ce genre, tandis que sa conservation en rend l'adoption à peu près impossible.

COMPOSITION MÉCANIQUE. Malgré le peu de succès obtenu jusqu'à ce jour par les machines au moyen desquelles on a tenté d'obtenir la composition par procédés mécaniques, nous avons cru intéressant de nous y arrê-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRIMERIE.

ter quelque peu, tant à cause de la dépense d'intelligence qui a été faite pour leur construction, que surtout parce qu'il nous semble très-utile d'indiquer les limites dans lesquelles on peut espérer la solution du problème et de faire voir combien les résultats se trouvent bornés par l'impossibilité d'effectuer la composition d'une manière entièrement automatique, impossibilité provenant de la nature même du travail.

La composition, en tant que lecture du manuscrit et choix des lettres qui doivent former les mots, étant une opération de l'intelligence, le rôle de la mécanique appliquée à la composition ne peut évidemment consister que dans un moyen qui abrége le temps nécessaire pour prendre la lettre dans le cassetin et la porter dans le composteur. On ne peut donc espérer qu'une économie limitée de l'emploi d'une machine compliquée et coûteuse, et jamais le bas prix de revient qui peut résulter seulement d'une fabrication toute automatique. En un mot, ce qu'on appelle improprement machine à composer ne peut être qu'un outil facilitant le travail du compositeur et nullement une machine proprement dite, pouvant le remplacer.

La première idée qui a dû se présenter à l'esprit a été de chercher à lever la lettre au moyen d'un clavier, comme celui d'un piano, qui répond au problème semblable de disposer les touches sous la main de l'artiste, de manière à ce qu'il puisse les mouvoir avec la plus grande rapidité. Tous les essais ont en effet pris le clavier pour point de départ, notamment celui fait par M. Ballanche, le philosophe, alors imprimeur à Lyon, vers 1815; et on comprendra aisément tout ce que cette idée a de séduisant, si l'on compte le nombre de notes que touche par heure un habile exécutant, et qui dans certains morceaux atteint peut-être 12 à 15,000. Nous verrons bientôt les raisons qui forcent à rester loin en arrière d'une telle vitesse, dans l'application du clavier à la composition. Nous commencerons par donner une idée de la machine à composer de MM. Young et Delcambre, la plus ancienne de celles que nous étudierons.

Cette machine suppose la distribution faite par les procédés ordinaires, puis les sortes retirées des cassetins et composées sur des composteurs en bois, sorte à sorte, comme dans la fonderie, façon accessoire toute particulière que nécessite ce système.

Clavier mécanique de MM. Young et Delcambre. Cette machine à composer (fig. 1297) peut se subdiviser en quatre parties principales, savoir :

1° Un clavier horizontal portant autant de touches qu'il y a de lettres (chaque touche porte l'empreinte de la lettre qu'elle doit faire mouvoir). A chacune correspond une tige verticale qui fait mouvoir horizontalement un couteau placé dans un plan supérieur, à chaque mouvement imprimé à la touche. Les voyelles et les consonnes sont placées au milieu, les autres lettres, accents, capitales, etc., sont disposées sur les côtés en rapprochant aussi du milieu les lettres les plus fines, comme le point, la virgule, afin de diminuer la longueur de la course qu'elles ont à faire sur le plateau dont nous parlons plus loin.

2° Un plan supérieur, sur lequel se meuvent les couteaux dont nous venons de parler. A gauche de chacun d'eux est une bande de cuivre presque verticale, creusée à l'intérieur. Dans ce vide se placent les caractères d'une sorte, posant sur leur frotterie, et composés tous du même sens. Chaque mouvement de touche faisant mouvoir le couteau correspondant (un peu moins épais que la lettre de la rainure voisine), une lettre sera poussée, et celle-ci tombera dans le vide qui est pratiqué à côté de l'endroit où elle posait.

3° Un grand plateau en cuivre incliné à 45°, placé en avant du plan sur lequel posent les caractères. Dans ce plateau sont pratiquées autant de rainures qu'il y a de lettres, et celles-ci les parcourent quand elles viennent de quitter le composteur. (Ce système est remplacé dans une machine postérieure, d'un autre inventeur, par des rainures verticales qui font disparaître les arrêts qui peuvent survenir sur le plan incliné.) Ces rainures, se réunissant toujours de deux en deux successivement, viennent aboutir à une rainure unique, percée à son extrémité d'un trou par lequel vient passer la lettre pour entrer dans le composteur.

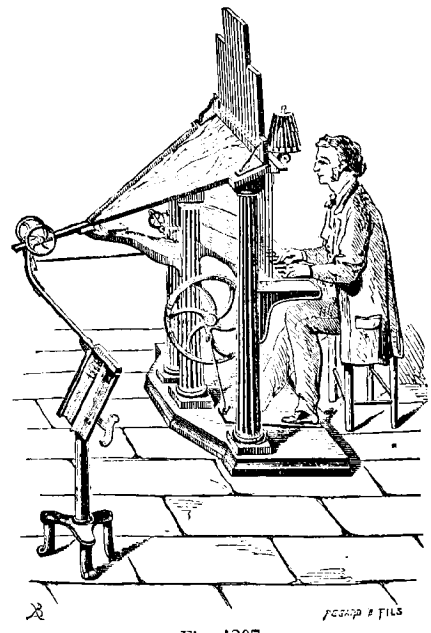


Fig. 1297.

4° Un long composteur, commençant par un quart de cercle dont l'extrémité est ajustée au-dessous du vide dont nous venons de parler. La partie circulaire est double, afin que les lettres ne puissent tomber. Une petite roue à excentrique, placée au-dessus du vide, et qu'un enfant ou le compositeur font mouvoir au moyen d'une pédale, pousse les lettres arrivées sur le composteur, et fait avancer la composition sur la partie horizontale. A l'extrémité se trouve un compositeur qui prend la composition, en forme des lignes qu'il justifie, place les cadrats, etc., et qu'il dépose dans une galée à vis presque verticale, dans laquelle on fait descendre à volonté la composition d'une ligne en faisant faire un tour à la poignée qui se voit sur la figure.

Cette machine, construite avec grand soin, fonctionne assez bien. Son mécanisme est fort simple, et, sauf des accidents qui arrivent à l'entrée des lettres dans le composteur, et dont la répétition résulte nécessairement du grand nombre de caractères en mouvement, remplit assez bien son but de machine à composer. (Disons que dans les derniers modèles, pour éviter cet inconvénient et diminuer le prix de ces machines, M. E. Delcambre a réduit le clavier aux sortes courantes, disposant celles qui servent rarement sur de petits tambours annexes que l'on fait tourner à la main pour amener la sorte demandée, au-dessus d'un conduit unique. Il y a là perte de temps, mais simplification et fonctionnement plus assuré de la machine.)

Cherchons maintenant à apprécier les avantages de cette machine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Vitesse du travail. — Dans les expériences faites en public sur un quart d'heure de travail, la machine n'a guère fait plus de 6,000 à l'heure. Cette vitesse de près de deux lettres par seconde nous paraît celle qu'on aura en travail courant, sur un clavier dont on ne peut toucher qu'une note à la fois, pour que la succession des lettres ait lieu dans l'ordre convenable; car si le compositeur peut en faire davantage dans un moment de travail assidu, il faut calculer sur la moyenne d'une journée de dix heures. De plus, les lettres fines qui ont peu de poids étant plus retardées par le frottement (surtout quand elles sont encrassées) que les lettres lourdes, et descendant moins vite, il faut laisser entre chaque appel un léger intervalle pour que la plus pesante n'arrive pas avant la plus légère, quoique ayant été appelée en dernier. C'est exagérer que porter le travail d'une journée de dix heures à 70,000 lettres, qui coûtent actuellement 35 fr., à 50 c. le mille.

Prix de revient. Pour que la machine fonctionne régulièrement, il faut :

Un compositeur au clavier, d'une habileté toute spéciale, dont nous estimons la journée d'un travail aussi fatigant à	7 fr.
Un justificateur fort habile	6
Un ouvrier et un apprenti pour distribuer, et c'est le moins pour fournir 7,000 à l'heure. .	8
Deux femmes pour vider les cassetins et composer les sortes. La composition de 70,000 en fonderie coûterait au moins 3 fr. 50 c., nous compterons.	4
Une personne pour remplir les réservoirs et surveiller la descente des lettres dans ceux-ci.	3
Un enfant pour surveiller l'entrée des lettres dans le composteur, que ne voit pas le compositeur.	2
Total.	30 fr.

C'est-à-dire, en admettant un bon fonctionnement, une économie de 1/7 en ne tenant pas compte de la correction en première sur le plomb qui est actuellement à la charge du compositeur et pour laquelle il faudrait peut-être la moitié de la journée d'un ouvrier, ce qui mettrait le prix de revient à 33 fr.

L'économie obtenue est donc insuffisante pour compenser le prix d'achat de la machine, les dépenses d'entretien, les chances d'un avantage nul et même de perte, toutes les fois que le compositeur serait obligé de ralentir ou d'arrêter par difficulté de lire la copie, ou par un accident quelconque. Aussi, quoique essayée en France depuis 1841 ou 1842, cette machine n'a pu prendre place dans les imprimeries.

Machine à distribuer de M. Gaubert. Le projet de distribuer les caractères, par l'effet d'une force mécanique et inintelligente, paraît certainement au premier abord un des plus extraordinaires qu'on puisse imaginer. L'habitude de voir l'ouvrier lire le mot, dont il partage les éléments dans les cassetins, est cause que l'on considère habituellement cette opération comme une œuvre d'intelligence ; en y réfléchissant cependant, on conçoit qu'il est possible de distinguer les caractères, soit par leurs épaisseurs, soit par des crans, de telle sorte qu'on puisse les classer indépendamment de la lettre qu'ils représentent. C'est ainsi qu'a opéré M. Gaubert.

Les caractères provenant de la distribution étant tous rangés les uns à la suite des autres, et à plat dans les rainures d'une plaque (nous dirons plus loin comment on parvient à leur assigner cette position), entrent un à un dans un premier compartiment, que nous pourrions comparer au sas d'écluse d'un canal de navigation; la porte d'amont s'ouvre, un caractère entre. Les dimensions de l'écluse sont réglées de façon à ce qu'un seul caractère puisse être reçu à la fois. La porte d'amont (en forme de coulisse) se referme, la porte d'aval s'ouvre à son tour pour le laisser descendre; les portes manœuvrent sans cesse (par un mouvement de va-et-vient) et tous les caractères franchissent l'écluse à leur rang. Voici à quel traitement le caractère est soumis à son passage dans l'écluse : chaque caractère ainsi momentanément parqué dans le sas de l'écluse est comme exploré dans toute sa longueur, nous pourrions dire, plus exactement encore, est comme sondé dans toutes ses parties par des aiguilles verticales, que des ressorts appuient sur toute sa surface. Le caractère se trouve ainsi soumis, dans toute son étendue, à l'action des aiguilles, comme les cartons de la Jacquart, sur lesquels s'appuient de nombreuses tiges métalliques, toujours prêtes à s'engager dans les ouvertures donc ils sont convenablement percés pour opérer la levée de certains fils de chaîne et former le dessin de l'étoffe. Comme le carton, le caractère a ses ouvertures ; seulement elles ne consistent qu'en de simples encoches pratiquées sur ses flancs (des crans), elles varient en nombre et en distance entre elles pour chaque lettre. Une partie des aiguilles buttent contre la masse solide du caractère, quelques-unes tombent sur le vide des encoches et s'y enfoncent. Le nombre et la situation des aiguilles pénétrantes, en assignant une position particulière à un canal mobile de raccordement entre l'écluse et les réceptacles, règle la case dans laquelle le caractère ira forcément se rendre à la sortie de l'écluse. Le problème d'une direction spéciale et certaine à donner à de nombreux caractères vers le seul réceptacle qui leur convient, tout compliqué qu'il est, se trouve cependant ainsi résolu simplement par l'action de telle ou telle aiguille, dans telle ou telle encoche.

Il ne nous reste plus qu'à expliquer comment l'inventeur parvient à disposer les lettres d'une manière convenable à leur entrée dans l'écluse ou plutôt se proposait de le faire, car cette machine n'a jamais été complétement construite.

Imaginons des masses de caractères pris et jetés au hasard sur un plan incliné, garni de petits canaux longitudinaux; un léger mouvement de sassement suffit pour ébranler les caractères, ils se désunissent, se couchent, tombent dans les canaux, les uns parallèlement à leur direction, les autres formant avec les rigoles des angles divers. Les premiers caractères, bien engagés dès leur principe, continuent leur descente ; les autres heurtés par leurs extrémités contre des obstacles verticaux entre lesquels ils sont contraints de passer, prennent bientôt une position semblable à celle des premiers. La superposition longitudinale, et dans le sens des canaux, de plusieurs caractères tombés les uns sur les autres, peut se présenter; elle doit être détruite : il suffit pour cela de les faire passer pendant leur descente dans une portion de canal doublement incliné, et sur le sens longitudinal et sur le sens transversal. Les rebords de cette partie sont plus bas que le plus mince des caractères ; tous ceux qui, jusque-là, ont cheminé superposés, ne pouvant éviter, en cet endroit, d'être entraînés latéralement par le seul fait de leur propre masse. Ils tombent dans un récipient spécial, d'où ils sont repris pour courir plus efficacement, une seconde fois, les chances d'un meilleur engagement dans les canaux du plan incliné.

Nous avons décrit l'opération à laquelle est soumis le caractère arrivant par le plan incliné, dans une position normale : celui-ci, son espèce reconnue, est de suite dirigé par le canal de raccordement vers son réservoir définitif. Il en est autrement des caractères arrêtés dans l'écluse dans une position vicieuse ; il importe de la rectifier : les aiguilles par rapport avec les crans, s'acquittent de cette fonction avec une rigoureuse fidélité ; un cran spécial, dit *cran de retournement*, est pratiqué dans tous les caractères, et à la même place. Suivant la position du caractère dans la première écluse, ce cran correspond à des aiguilles différentes ; or, le caractère peut être mal tourné de trois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

IMPRIMERIE.

façons; il peut être couché l'œil en bas, sur l'un ou l'autre flanc, ou bien encore l'œil en l'air, mais sur le mauvais côté. Pour détruire chacune de ces trois fausses positions, la pénétration d'une aiguille spéciale dans chacun de ces cas particuliers fait prendre au canal de raccordement une position telle que le caractère, au lieu d'être dirigé vers son récipient définitif, est conduit à une série de trois écluses nouvelles, toutes trois à sas mobiles, mais chacune suivant un mode particulier : le sas de la première écluse (l'écluse tout entière), tourne sur lui-même suivant un axe longitudinal ; celui de la seconde, suivant un axe vertical; le troisième pivote sur un axe transversal. Par une féconde et constante application du principe du rapport des aiguilles aux encoches, c'est le vice lui-même du caractère qui détermine le choix du sas d'écluse dans lequel il sera détruit. Le caractère versé d'un flanc sur l'autre, tourné ou culbuté bout pour bout, sort du sas rectificateur pour continuer sa descente, et aller rejoindre dans son réceptacle propre les caractères de son espèce.

Il est difficile de rien trouver de plus ingénieux que ces moyens de faire prendre aux caractères une position déterminée. Néanmoins, ils ne nous semblent pas suffisants. Quel est l'obstacle qui s'oppose à ce que des caractères glissent sur leur force de corps ? Quelle est la cause qui fera glisser un *moins* ou une lettre large plutôt sur un sens que sur l'autre ? Comment les lettres collées ensemble se sépareront-elles? De plus est-il bien prudent de soumettre le caractère à un mouvement de sassement, qui fasse frotter l'œil de la lettre contre des parties dures, et l'usure du caractère n'en deviendra-t-elle pas bien rapide?

Il nous semble qu'on est parti d'un principe trop général en voulant distribuer le caractère mis en pâte. Ce n'est pas ainsi qu'il se trouve dans l'imprimerie, mais bien à l'état de composition devenue inutile par le tirage, et par conséquent tous les crans tournés du même côté. Ne serait-il pas possible, en rangeant les lignes de la distribution dans la rainure d'une longue règle dans laquelle une pression les ferait avancer, de faire successivement tomber chaque lettre qui vient se présenter à l'extrémité de ce composteur, par une pression exercée sur le côté. De cette manière, les caractères se trouveraient de suite bien disposés, et toujours séparés; ce qu'on n'obtiendra jamais sans un certain effort pour vaincre l'adhérence qui réunit toujours plusieurs lettres après le lavage de la forme.

Prix de revient du travail fait avec cette machine. Cherchons à évaluer approximativement les résultats probables de la réunion de cette machine, supposée réussie, avec la précédente.

Evaluant à 70,000 lettres le travail de la machine en dix heures de travail, il faut pour le travail :

Un compositeur au clavier, d'une habileté spéciale, par jour.	7 fr.
Un justificateur fort habile pouvant relever l'ouvrier qui est au clavier. . .	6 fr.
Un apprenti qui place la distribution sur le plan incliné, ôte les cadrats, les interlignes.	3 fr.
Une personne intelligente qui surveille la descente des lettres, fait arrêter dès qu'un dérangement a lieu, ce que ne pourrait faire le compositeur sans perdre beaucoup de temps.	4 fr.
Correction nécessaire pour les erreurs commises, soit par le compositeur, soit par la machine, 1/2 journée.	3 fr.
Force motrice nécessaire, à un homme pour trois machines.	1 fr. 50 c.
Augmentation du prix des fontes résultant de la nécessité de faire les crans, évaluée (autant qu'il est possible) au plus bas à	50 c.
Total. . . .	25 fr.

C'est donc une économie d'un peu plus du quart, qui serait assez notable, en admettant, bien entendu, que le travail sera régulier, et exempt d'accidents et de dérangements fréquents ; car ce n'est que de ce jour-là que la machine existera, commercialement parlant. Or, elle n'a jamais été amenée à cet état ; la multiplicité des éléments sur lesquels il faut agir doit bien faire douter qu'il soit possible d'y parvenir.

Machine Sörensen. Nous avons cherché à apprécier les efforts tentés pour obtenir ou plutôt pour aider la composition par procédés mécaniques, car une opération qui exige la lecture d'un texte exige nécessairement l'intervention incessante de l'intelligence humaine. Nous avons vu que quelque succès ne pouvait être espéré que d'une machine qui produirait la décomposition et le classement des caractères par procédé entièrement mécanique. La réalisation de ce progrès pour les milliers de caractères nécessairement placés sur une machine à composer, qui paraissait presque impossible, a été obtenue par une machine qui, à bien juste titre, a excité l'admiration universelle à l'Exposition de 1855, car l'auteur paraissait avoir résolu, autant et aussi bien qu'il est possible, le problème de la composition mécanique. Cet inventeur est un Danois, M. Sörensen, qui, d'abord compositeur et par suite familiarisé de bonne heure avec toutes les difficultés de la pratique, est devenu, excité par le désir de donner un corps à des idées que lui inspirait un véritable génie pour la mécanique, un très-habile mécanicien.

Décrivons son ingénieuse machine. Elle comprend :

1° Une table en forme de piano, renfermant à sa portion antérieure un clavier alphabétique, et à son centre un cône renversé ;

2° Un double cylindre, s'ajustant sur ce cône ou entonnoir; sur ce cylindre sont placés les types qui portent des crans variables qui permettent de les distinguer, et tous, vers le milieu, une rainure à queue d'aronde qui permet de les embrocher sur des baguettes de forme convenable. Le type cessant d'être entièrement libre sur la machine, on n'a plus l'inconvénient capital des autres machines, le grand nombre d'accidents qui arrivent nécessairement dans une multitude de types en mouvement.

Revenons au cylindre qui, formant, à proprement parler, le fond même, l'essence de l'invention de Sorensen, nécessite une description détaillée.

Il est formé de deux parties superposées : l'une fixe (une fois qu'elle est ajustée sur l'entonnoir), porte le nom de cylindre compositeur; l'autre, supérieure à la première, et opérant à volonté un mouvement concentrique de rotation, reçoit le nom de cylindre distributeur et est chargé d'alimenter le premier.

Le cylindre distributeur est un peu moins haut que le cylindre compositeur ; mais les parois de tous les deux sont composées du même nombre de baguettes verticales en cuivre blanc fixées solidement, pour l'un comme pour l'autre, sur deux plaques circulaires. La masse des types ou caractères destinés à la composition est rangée en piles le long des baguettes en question et ils y sont retenus par des entailles pratiquées dans les types.

A chaque tour du cylindre distributeur, mis en mouvement par le pied de l'ouvrier agissant sur une pédale, les types qui se trouvent aux extrémités des baguettes passent, s'il y a lieu, par des ouvertures pratiquées dans la plaque supérieure du cylindre compositeur. La forme de ces ouvertures correspondant exactement à celle des types de chaque lettre ou signe d'imprimerie, avec leurs crans et entailles particulières pour chacun, il y a impossibilité mathématique à ce qu'une lettre passe à la place d'une autre.

Le cylindre compositeur est, comme le distributeur,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

formé de baguettes placées verticalement en cercle, entre deux plaques métalliques et circulaires. Les types sont attachés aux baguettes circulaires de cuivre par des rainures triangulaires correspondantes aux entailles des types, avec assez de jeu pour qu'ils glissent facilement, poussés par le poids de la colonne de types le long des baguettes, sans être exposés à aucune déviation.

Le cylindre compositeur chargé des types est, ainsi que nous l'avons dit, posé verticalement sur un entonnoir dont la partie supérieure est munie de petits ressorts en nombre égal à celui des baguettes. Le ressort, mû par la touche du clavier alphabétique, agissant comme couteau, pousse transversalement et fait glisser le type correspondant, qui tombe dans l'entonnoir, où il est conduit forcément dans la position voulue jusqu'au tuyau spiral qui est au fond du cône. De ce tuyau il est poussé par un ressort dans une ligne continue, que reçoit un grand composteur ou règle fixée sous la machine. Lorsque le grand composteur est rempli, on le remplace par un autre, et ainsi de suite jusqu'à entière composition. L'ouvrier n'a plus ensuite qu'à justifier et mettre en pages.

Un homme intelligent et un aide suffisent pour faire manœuvrer la machine, distribuer, composer, justifier et mettre en pages.

Les lettres ayant toutes un chemin égal très-court à parcourir dans l'entonnoir, sur un plan presque vertical, et y étant appelées tour à tour, il y a peu de chances d'encombrement ou d'enjambement à redouter.

Inutile de parler de diverses difficultés prévues par l'inventeur et auxquelles il a parfaitement remédié. C'est ainsi que, par un mouvement alternatif produit par un excentrique, il secoue les colonnes de distribution pour éviter que de la crasse ne vienne gêner la descente des types, et les forcer à se placer d'équerre sur les baguettes.

Les types particuliers nécessités par l'emploi de la machine Sorensen exigeant moins de métal pour leur fabrication que les caractères ordinaires d'imprimerie, leur prix de revient ne dépasse pas de beaucoup celui de ces derniers, l'inventeur ayant combiné un moule qui lui permet de fondre ses caractères sur les machines à fondre allemandes (voir FONDERIE, *Complément*). L'accroissement de dépense de cette fabrication, relativement à la fabrication ordinaire, ne portant que sur le moule, serait peu sensible pour une grande fabrication. Par ce progrès, pour lequel j'ai été heureux de l'aider, il avait encore levé une objection opposée à l'adoption de sa machine.

La machine Sorensen coûtait 6,000 fr., et on pouvait, avec son aide, composer et distribuer 5,000 lettres par heure avec facilité, ce qui équivalait au travail ordinaire d'environ trois ou quatre ouvriers compositeurs. L'inventeur nous a dit qu'il pouvait composer jusqu'à 15,000 lettres par heure, mais qu'il ne pourrait toutefois le faire que pendant une courte durée de temps.

Si nous continuons les calculs déjà faits dans le précédent article, évaluant à 20 ou 25 fr. la composition produite par jour pour une machine, à 6 et 5 fr. les salaires du compositeur à la machine et du justificateur, à 10 pour cent par an, soit 2 fr. par jour, l'intérêt du prix de la machine, et 2 fr. pour réparations et surveillance du contre-maître, nous arriverons à une dépense de 15 fr.

Il semble donc que le succès devrait être immédiat et certain; cependant il se fait bien attendre, et ne sera jamais, nous le craignons, tout au plus que partiel, disions-nous en 1855. Cela ne se comprendra que des personnes qui connaissent l'état économique de l'imprimerie. La quantité de travaux consistant en simples réimpressions a beaucoup diminué par suite du clichage, qui éternise en quelque sorte les compositions des classiques; les tableaux et ouvrages de ville, dans lesquels entrent une foule de caractères différents et qui ne sauraient être composés utilement a l'aide de machines, forment la majeure partie du travail de l'atelier de composition du plus grand nombre de maisons. De plus, dans beaucoup de cas, l'économie du prix de composition n'est pas seule à considérer; ainsi les compositions sur manuscrits, dans le prix de revient desquelles entrent pour une forte part les remaniements et corrections diverses, sont faites, pour la convenance des auteurs et à cause de la difficulté du travail, bien plus souvent dans les ateliers de grandes villes, où le prix de la composition est élevé, que dans des ateliers de petites villes, où la composition est faite par des femmes, avec un rabais de 20 ou 25 pour cent. La machine, travaillant à bon marché (dans les cas où la difficile lecture du manuscrit n'en rendra pas la production insignifiante et pour les rares travaux où le compositeur produit tout ce qu'il peut produire), rencontrerait la double concurrence de la convenance qui attache la clientèle à certains ateliers organisés en vue de travaux spéciaux, et du bon marché produit par diminution de salaire. Nous croyons donc, comme nous l'avons déjà dit, que le succès de ces machines, qui ne seront jamais que des outils venant aider le travail manuel, dont le seul effet est d'accélérer la prise de la lettre indiquée par la lecture, ne pourra jamais rappeler celui des presses mécaniques, où le travail manuel est remplacé entièrement par l'action automatique de la vapeur, ce qui leur permet de produire, avec une grande rapidité et une économie énorme, les impressions.

Le cas où l'adoption de ces machines aussi coûteuses semblerait le mieux indiqué, serait le plus admissible, est celui de la composition des journaux, qui exigent chaque jour une quantité de composition importante. Cela ne paraît pas douteux, et, à Copenhague, un journal s'est composé quelque temps à l'aide de cette machine. Une grave objection, qui s'applique surtout aux journaux, c'est que la machine dont il s'agit, peut difficilement employer de petits caractères; la nécessité d'une grandeur notable de l'entaille à queue d'aronde, combinée avec celle de ne pas dépasser l'épaisseur convenable, en arrière de cette entaille, pour que le caractère conserve de la résistance, paraît limiter au corps huit le plus petit type qui puisse être employé sans accident ou ruptures fréquentes. Le corps sept serait certainement la dernière limite possible, avec une excellente fabrication de caractères très-résistants.

Il est à observer, conséquence qui paraît avoir échappé à l'inventeur, que la possibilité d'assembler les caractères sur des baguettes fournit la solution du problème de les maintenir sur la surface d'un cylindre (en encastrant les extrémités des baguettes dans des rainures cylindriques), et par suite de résoudre simplement, en employant des caractères mobiles et pour tous formats, le problème de l'impression continue fournissant le maximum de rapidité possible, résolu seulement, pour les étroites colonnes des journaux, jusqu'au moment où l'on a utilisé les ressources fournies par la stéréotypie.

Nous ferons remarquer, en terminant, que les inventeurs de semblables machines auraient à étudier un système qui, essayé sans succès pour simplifier la composition à la main, pourrait leur offrir quelques ressources. Je veux parler des *logotypes* ou lettres doubles. En fondant, ce qui est aujourd'hui facile et peu coûteux, à l'aide de la galvanoplastie et des machines à fondre, des syllabes, comme *ce*, *de*, *me*, *ne*, etc., on peut presque doubler la vitesse du travail, en levant deux lettres au lieu d'une, en composant par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

syllabes et non par lettres, dans le même espace de temps. Si la multiplicité des casseaux complique le travail du compositeur, de manière à faire disparaître tout avantage de ce système dans la composition à la main, on comprend qu'il peut n'en être d'un clavier semblable à celui d'un piano, dont on ne peut frapper une touche sans pousser latéralement et faire tomber une lettre déposée dans un composteur vertical, par l'intermédiaire d'une tringle et d'un mouvement de sonnette. Mais au lieu de tomber sur

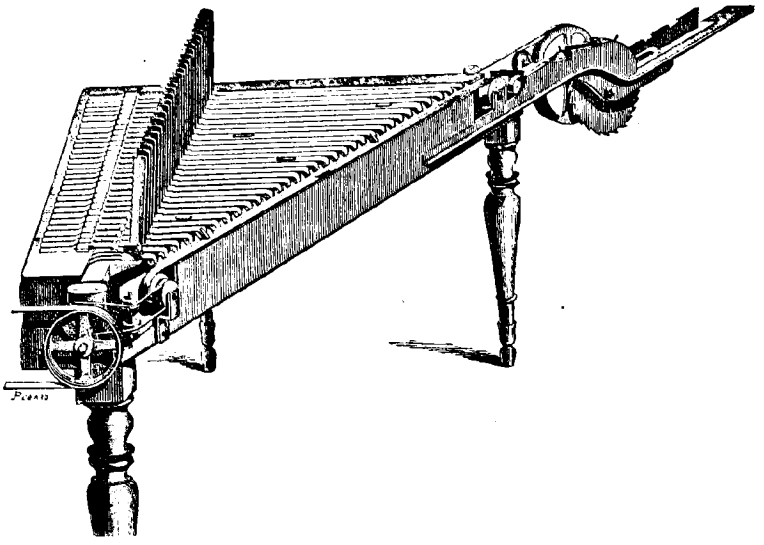


Fig. 1298.

pas de même quand il s'agit de toucher des claviers supplémentaires convenablement disposés.

L'expérience a encore trop justifié nos craintes pour cette belle machine. Son prix élevé a empêché même son essai sérieux, et l'inventeur est mort tristement à Paris, n'ayant retiré de tous ses travaux que la médaille d'or que lui avait bien justement accordée le jury de l'Exposition, pour le génie mécanique qu'il avait montré dans son ingénieuse invention.

Machine américaine de Mitchell. La machine américaine à composer, qui a figuré à Londres à l'Exposition de 1862, constitue une tentative intéressante, dans une voie assez différente de celle suivie pour les machines précédentes. Il était certain que l'intervention des Américains devait faire avancer cette question; car le cachet distinctif des inventions qu'engendre l'esprit actif, la ténacité de la démocratie industrielle aussi bien que politique aux États-Unis, c'est de se rapporter surtout aux travaux qui exigent beaucoup de main-d'œuvre. Les machines à coudre, qu'on avait abandonnées en France après quelques essais obscurs, malgré l'étendue des applications possibles, et dont l'emploi s'est multiplié sur une immense échelle depuis qu'elles nous sont revenues d'Amérique amenées à un haut degré de perfection, fournissent une démonstration bien convaincante de cette thèse. C'est au point de vue de la simplicité, de la facilité, et par suite de l'économie de construction qui distinguent les inventions américaines dont nous parlons, mais non d'une plus grande perfection, comparativement à la belle machine de Sorensen, que le système de machines à composer que nous allons décrire, nous semble intéressant.

La *machine à composer*, représentée figure 1298, est, comme toutes les autres, essentiellement formée un plan incliné, pour se rendre au composteur par le seul effet de la gravité, comme dans les machines précédentes, le type vient se placer sur un ruban sans fin, toujours en mouvement, grâce à un emprunt de force insignifiant fait à la machine à vapeur (qui dispense l'ouvrier de tout mouvement de pédale qui le préoccupe dans la machine Young), et est amené ainsi sur un cordon transversal, disposé obliquement par rapport à ceux sur lesquels tombent les lettres. Cette disposition, analogue à celle des cordes d'un piano, fait que toutes les lettres parviennent dans le même temps à l'extrémité de la machine, quelque faible que soit leur poids, et permet une rapidité de travail plus grande que les anciens systèmes, dans lesquels les lettres très-légères, comme l'*i*, l'*l*, peuvent souvent être notablement retardées dans leur descente par le moindre grain de poussière, et par suite être devancées par l'*m*, ou quelque lettre pesante qui aura été touchée après, si l'ouvrier allait un peu vite.

Arrivées sur le cordon transversal, qui se meut assez rapidement, les lettres viennent aboutir, dans l'ordre voulu, sur une espèce de roue à rochet, peu large, qui reçoit chacune d'elles sur un de ses talons, et la vient placer sur le composteur en repoussant la composition déjà obtenue.

La *machine à distribuer*, figure 1299, complément de la précédente, consiste essentiellement en un tambour horizontal tournant, dont la base fixe est entourée de composteurs devant recevoir les diverses lettres de l'alphabet, et dans lesquels se meuvent à chaque tour de petits pousseurs mis en mouvement par un excentrique monté sur l'arbre qui fait tourner le tambour. Les lettres de la ligne de distribution sur laquelle on opère viennent successivement se placer dans les rainures dont est munie la circonférence du tambour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tournant, et chacune d'elles est successivement entraînée, son pied frottant sur un plan incliné, et en descendant, jusqu'à ce que le cran qui lui est spécial venant au-devant d'une petite pointe, elle s'y accroche et continue son mouvement ainsi suspendue. Mais comme au-dessus de chaque composteur sont de petits

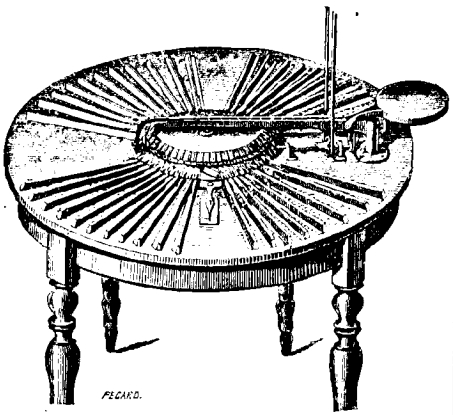


Fig. 1299.

arrêts, disposés depuis le point le plus bas jusqu'au point le plus haut, cette lettre vient dans l'intervalle d'un tour rencontrer l'arrêt correspondant à la hauteur à laquelle elle est suspendue, par suite de la hauteur du cran sur sa tige que cette lettre porte seule à cet endroit; se trouvant décrochée par cette rencontre, elle entre dans le composteur placé au-dessous qui est celui qui lui est destiné.

Cette dernière machine, peu volumineuse, assez simple, nous a paru mal fonctionner, sans doute un peu par la faute de l'enfant qui la conduisait, mais aussi par suite de l'instabilité des lettres suspendues en l'air.

Les attestations fort exagérées d'un imprimeur de New-York annonçaient que cette machine allait révolutionner la typographie. Il n'en a été nullement ainsi; toutefois un imprimeur de Londres, chez lequel nous avons vu deux de ces machines, nous a paru satisfait d'obtenir de la composition qui ne lui coûtait pas plus cher qu'à la main, en employant de curieuses machines. Avoir obtenu un semblable résultat, si l'expérience l'avait confirmé, serait en effet déjà quelque chose de très-remarquable, au point de vue de la solution d'un problème compliqué, en ouvrant la porte aux perfectionnements de la machine, en permettant d'apprécier la moindre usure des caractères qui cesseraient d'être jetés dans des casses, enfin en fournissant le moyen d'apprécier à quel degré d'habileté pourraient parvenir des ouvriers intelligents s'appliquant à ce nouveau mode de production; en un mot, en permettant d'étudier si dans quelques cas un avantage particulier ne pourrait résulter de cette modification du travail du compositeur. Il n'y a pas là de causes suffisantes pour rien qui ressemble à une révolution capitale, mais peut-être approchons-nous du moment où des machines à composer très-simplifiées produiront, dans quelques circonstances, des résultats dignes d'intérêt. Ce ne seront pas les efforts ingénieux qui auront fait faute pour y parvenir; en tous cas, on peut dire qu'ils auront conduit à une élégante et curieuse machine, qui attirera fortement l'attention de quiconque la verra fonctionner pour la première fois.

Nous donnons à l'article IMPRIMERIE du *Complément* les essais curieux qui ont figuré à l'Exposition de 1867, fondés sur l'emploi de la stéréotypie. Ce n'est pas la voie qui peut conduire à quelques succès dans la pratique usuelle.

IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE. — Ce genre d'imprimerie a pour but de tirer des épreuves des planches gravées en creux, au moyen des procédés que nous avons indiqués à l'article GRAVURE *en taille-douce*. Ce résultat est obtenu par deux opérations qui consistent : 1° à remplir de noir les tailles de la planche, à encrer; 2° à exercer une pression sur la feuille de papier placée sur la planche, à la faire passer sous une presse.

Encrage de la planche. — Nous n'avons plus à revenir ici sur la composition de l'encre propre à la taille-douce, que nous avons décrite à l'article ENCRE.

On distingue deux procédés pour encrer, au chiffon et à la main.

1° *Encrage au chiffon.* — Pour déposer l'encre sur la planche et la faire pénétrer dans les tailles, on se sert d'un tampon fait avec des linges enroulés les uns autour des autres. On le promène sur la planche, après l'avoir garni d'encre, en appuyant assez fortement sur les tailles, et balançant constamment la main de gauche à droite et de droite à gauche.

Pour les parties où les travaux sont larges et profonds, il convient de faire pénétrer pour les premières épreuves l'encre avec le doigt pour qu'elle arrive bien au fond.

L'encre étant d'autant plus ferme que le tirage doit être plus parfait, on facilite le *bourrage* de la planche en la posant sur un gril posé au-dessus d'un fourneau contenant du poussier de charbon, qui donne un feu doux qui chauffe la planche.

La planche étant ainsi couverte d'encre, il faut essuyer toutes les parties qui doivent rester blanches sur l'épreuve, pour qu'il ne reste d'encre que dans les tailles. Pour cela, avec un premier chiffon à moitié sale, que l'on passe légèrement sur la planche, on enlève la majeure partie du noir; puis avec un chiffon demi-gras, on essuie les bords, en appuyant et promenant franchement le chiffon d'une extrémité à l'autre de la planche. On ôte celle-ci de dessus le gril, et on la place sur la boite d'essuie. On jette alors sur la planche quelques gouttes d'eau, dans laquelle on a dissous un peu de potasse et de chaux, et prenant deux chiffons légèrement humides, le premier déjà un peu sale, le second propre, on essuie successivement avec ces deux chiffons la surface de la planche. Il faut bien remarquer que l'imprimeur ne doit jamais essuyer dans le sens des tailles, mais bien transversalement, pour ne pas *dépouiller* celles-ci, ne pas enlever le noir.

2° *Encrage à la main.* — L'encrage à la main est employé surtout pour les gravures très-soignées, et pour lesquelles par suite ou emploie de l'encre forte; on applique celle-ci avec le doigt sur les principaux travaux. On l'étale ensuite avec le tampon. Cela fait, on essuie les bords et on dégrossit avec un chiffon sec, puis, avec une poignée de mousseline sale, on éclaircit les blancs. Cela fait, on passe la paume de la main par un mouvement brusque et on enlève ainsi l'encre qui reste sur les plats avec une grande perfection, en *coupant* franchement l'encre qui se trouve dans les tailles. L'ouvrier a soin d'avoir toujours la main sèche en l'essuyant avec un chiffon et la dégraissant en la passant sur un pain de blanc d'Espagne.

Du tirage. — La figure 1300 représente la presse en taille-douce, qui est restée jusqu'à ce jour dans son état primitif, peu digne à première vue de l'industrie moderne, mais elle donne des résultats assez bons pour qu'on n'ait pas cherché à la modifier bien sérieusement jusqu'ici. On voit qu'elle se compose essentielle-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment de deux rouleaux en bois, entre lesquels passe une table également en bois. Ces deux rouleaux étant plus ou moins rapprochés au moyen de cales placées dans les rainures des deux montants de la presse, renfermant les boîtes dans lesquelles tournent les tourillons, donneront une pression plus ou moins considérable sur la table. Plaçant donc sur celle-ci la planche gravée après l'avoir encrée, puis posant dessus le papier humecté, et par-dessus plusieurs langes pour donner du foulage, l'impression s'obtiendra en faisant passer le tout entre les rouleaux, au moyen des bras de la *croisée* assemblée à l'extrémité du rouleau supérieur.

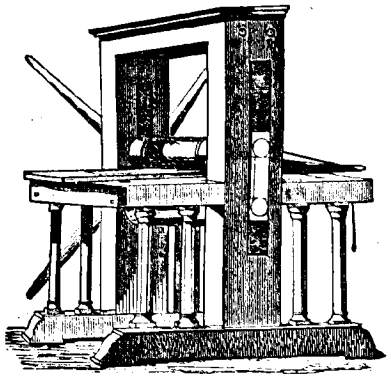


Fig. 1300.

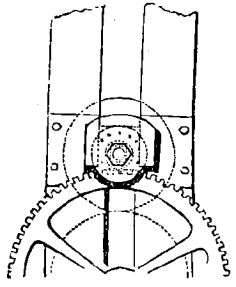


Fig. 1301.

La figure 1301 représente la disposition employée pour faire mouvoir les rouleaux sous une pression beaucoup plus forte à l'aide d'un engrenage. Ce genre de presse est dit *presse mécanique*.

INCENDIE. — Les feux les plus communs sont ceux qui ont lieu dans les tuyaux de cheminées, où il s'est formé une accumulation de suie par suite d'un ramonage trop peu fréquemment répété.

Lorsque le feu se manifeste dans une cheminée, si elle est munie inférieurement d'une trappe, on baisse immédiatement celle-ci pour intercepter la communication de l'air, ce qui suffit souvent pour arrêter l'incendie. S'il n'y a pas de trappe, on retire du foyer le feu qui s'y trouve, et on ferme aussi bien que possible l'ouverture de la cheminée avec un drap mouillé. Quelquefois, au lieu d'enlever le feu, on l'étale dans le foyer, on jette dessus une certaine quantité de soufre, en fermant aussitôt après la partie antérieure de la cheminée. Le soufre brûle en absorbant de l'oxygène et formant de l'acide sulfureux, qui éteint le corps en combustion.

Quand l'incendie est très-intense, et qu'il est urgent de détacher toute la suie enflammée, on place un drap mouillé sur l'ouverture de la cheminée, de manière qu'il pende tout autour; on l'assujettit sur la tablette avec des corps pesants; et le saisissant au milieu avec la main, on l'enfonce profondément et on le retire avec vivacité. On produit ainsi une aspiration qui fait tomber une grande quantité de matières en combustion que l'on éteint avec de l'eau et qu'on retire du foyer, et l'on recommence la même manœuvre autant de fois qu'il est utile.

Lorsqu'il est nécessaire de faire parvenir de l'eau sur des parties élevées d'un édifice, ou d'inonder des murs, etc., pour éviter que l'incendie ne s'y développe, on se sert de POMPES dites *à incendie*, qui doivent être simples, d'une manœuvre et d'un transport faciles, et à jet continu, ce que l'on obtient facilement au moyen d'un réservoir à air comprimé.

Lorsqu'un puits, une borne-fontaine, ou tout autre réservoir d'eau est voisin, on alimente la pompe en y adaptant un tuyau qui plonge jusqu'au dessous du niveau de l'eau. Dans le cas contraire, on apporte l'eau, en faisant la chaîne, dans des seaux en osier doublés en cuir ou en toile goudronnée, ou faits avec un tissu de corde de chanvre très-serré, et on la verse dans la bâche d'alimentation.

L'eau doit pouvoir être lancée dans toutes les directions, et conduite sur tous les points où son action devient nécessaire. On y parvient, en adaptant à la pompe des boyaux de 5 à 6 centimètres de diamètre, et d'une longueur convenable : ces boyaux se font ordinairement en cuir cousu avec du fil de cuivre. On les forme de bouts munis à l'une de leurs extrémités d'un pas de vis extérieur, et à l'autre d'une douille à vis, qui s'ajustent facilement et avec rapidité. Enfin, à l'extrémité des boyaux, on adapte un ajutage conique, par le moyen duquel on dirige l'eau sur tous les points nécessaires avec une force de quatre atmosphères environ.

Nous décrivons à l'article POMPES les puissantes pompes à vapeur si appréciées en Angleterre et en Amérique.

Nous terminerons cet article en disant un mot des moyens de sauvetage employés à Paris : ce sont d'abord des échelles en frêne de 4 mètres de longueur, à douze échelons, se repliant par moitié pour le transport, et portant à leur partie supérieure un demi-cercle en fer, qui puisse embrasser la tablette des fenêtres et s'y fixer solidement. Quand il s'agit de porter secours à des individus placés à la partie supérieure d'un édifice, ou d'en enlever des objets quelconques, le sapeur-pompier fixe son échelle sur la pierre d'appui de la fenêtre du premier étage, en brisant la vitre au moyen de l'arc en fer si la croisée n'est pas ouverte, et s'en sert pour s'élever à cette hauteur; il arrive successivement de la même manière jusqu'aux étages supérieurs. Arrivé au point où doit avoir lieu le sauvetage, il élève l'appareil de sauvetage proprement dit, qui se compose d'un sac en forte toile de 16 mètres de longueur et de $0^m,50$ de diamètre, qui porte à sa partie supérieure un châssis formé de quatre fortes barres de bois servant à en tenir l'entrée ouverte; deux de ces barres sont plus longues que les autres, et peuvent se rapprocher pour le transport. La partie inférieure du sac est fermée par une coulisse, et peut s'ouvrir à volonté. Un petit cordage est fixé au châssis. Quand le pompier est arrivé à la fenêtre où le sauvetage doit avoir lieu, il attire à lui le châssis, pose les deux grandes barres en travers de l'embrasure, et les fixe en arrêtant la courroie qui y est attachée. Il introduit alors dans le sac les individus qu'il s'agit de sauver et que l'on fait sortir en desserrant la coulisse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inférieure; le frottement qui s'exerce par le passage dans l'intérieur du sac, pourvu qu'on écarte un peu les coudes, suffit pour modérer la descente. On descend de même les objets dont le volume permet de les introduire dans le sac. Enfin, deux hommes placés sur le sol soulèvent l'extrémité inférieure du sac pour prévenir le choc auquel pourraient sans cela être exposés les individus ou les objets qui y parviennent. (V. POMPE. *Compl.*).

INCRUSTATIONS. Une incrustation, c'est un dépôt qui en s'effectuant sur un corps se moule parfaitement sur lui et y adhère fortement. Pour que ce dépôt, cette incrustation se produise, il faut que le corps incrusté ait été en contact avec un liquide, et que ce liquide, soumis à certaines influences, ait abandonné ou laissé précipiter une substance solide qu'il tenait auparavant en dissolution.

Comme on le voit, les cas d'incrustation peuvent être très nombreux; mais nous n'allons nous arrêter qu'à ceux qui présentent le plus d'intérêt, et qui sont produits par l'eau telle que la nature nous la fournit, et qui alimente, soit les fontaines naturelles, soit les puits.

Tout le monde sait que les eaux qui alimentent les puits et les fontaines renferment plus ou moins de matières salines, dont la quantité et la nature dépendent évidemment des terrains qu'elles ont rencontrés sur leur passage, et à travers lesquels elles ont filtré. Ces matières sont, en général, du carbonate (1) et du sulfate de chaux pour la plus grande quantité, les sels correspondants de magnésie en quantité moindre, des chlorures de sodium (sel marin), de calcium et de magnésium, et du carbonate de fer. On sait aussi que les carbonates ne sont solubles dans l'eau qu'à la faveur de l'acide carbonique qu'elle renferme en plus ou moins grande quantité, suivant les conditions dans lesquelles elle se trouve. Si, par une cause quelconque, telle que l'agitation, la diminution de pression, l'élévation de température, ou même le seul contact de l'air par le passage de l'eau sur des feuilles, des plantes, du bois, cet acide carbonique se dégage, le carbonate de chaux, devenu alors insoluble, se dépose. Quant aux autres sels, les sulfates et les chlorures, il faut une évaporation prolongée pour que le dépôt se produise, car l'eau est loin d'en être saturée.

C'est par ces principes que s'expliquent très facilement les phénomènes si curieux et si intéressants des fontaines incrustantes, parmi lesquelles nous devons citer celle de Saint-Allyre, près de Clermont-Ferrand; celle de Saint-Nectaire, en Auvergne; celle de San-Felippe, en Toscane; et celle d'Orcher, près du Havre.

On a tiré parti de la propriété incrustante de ces eaux qui sont, pour ainsi dire, saturées de carbonate de chaux, pour mouler toute espèce d'objets et imiter des pétrifications. Ainsi, près de la fontaine de Saint-Allyre on incruste des grappes de raisin, des corbeilles de fleurs, des nids d'oiseaux; on fait des matrices de médailles qu'on peut ainsi reproduire en carbonate de chaux légèrement ferrugineux, tout cela pour satisfaire et amuser la curiosité des voyageurs.

La fontaine de Saint-Allyre doit surtout sa réputation à ce que l'ancienne source a formé un dépôt, qui, en se prolongeant successivement, a jeté sur le petit ruisseau où ses eaux viennent se rendre un pont naturel d'un admirable effet, et qu'on dirait construit par la main des hommes; le dépôt qui précède le pont est une muraille énorme de 80 mètres de long sur une hauteur de 6 à 7 mètres.

Les grands dépôts formés à la surface de la terre dans toute espèce de position, se nomment *tufs calcaires*, ou *travertins*, du mot italien *travertino*.

Si nous supposons à la partie supérieure d'une grotte ou caverne, des fissures par lesquelles s'infiltrent des eaux saturées de carbonate de chaux, des gouttes de cette dissolution calcaire s'attacheront à la voûte interne, l'acide carbonique se dégagera, l'eau même pourra s'évaporer, tandis que le sel de chaux restera fixé. Cette filtration se renouvelant à chaque instant finira par produire des cônes renversés, dont la base est fixée au plafond; et si enfin le poids de l'eau qui s'écoule est trop considérable, elle tombera sur le sol pour former un cône en sens inverse du premier; après quelques siècles les extrémités de ces cônes se toucheront pour former des colonnes d'une hauteur vraiment remarquable; le milieu des colonnes, le point de jonction des deux cônes présente une transparence complète; on imagine du reste facilement que la forme des dépôts ainsi produits puisse varier avec différentes circonstances, qu'au lieu de cônes il se produise des cylindres et des tubes. Quelquefois, les colonnes se liant aux *stalactites* (1) plus courtes forment des espèces de portiques par lesquels la caverne se trouve partagée en plusieurs salles. Ces dépôts donnent aux grottes des terrains calcaires un intérêt particulier qui pique singulièrement la curiosité. Elles offrent toujours un spectacle imposant, relevé souvent par tout ce que l'imagination peut y ajouter, et tout ce que la crédulité superstitieuse a suggéré aux gens du pays qui servent de conducteurs. Plusieurs grottes ont, sous ce rapport, une grande célébrité : telles sont celles d'Antiparos où Tournefort crut voir les pierres végéter à la manière des plantes; celles d'Auxelle en Franche-Comté; de Pool's-Hole en Derbyshire; de Caumont près Rouen; on voit aussi une de ces grottes à Albert (Somme).

Le carbonate de fer contenu dans les eaux à la faveur de l'acide carbonique se dépose aussi dans les tuyaux de conduite, et il y a, dit-on, engorgement total tous les quinze ans environ, pour des tuyaux de fonte, de 4 centimètres de diamètre; outre le départ de l'acide carbonique, on peut signaler à ce dépôt une autre cause, c'est une action électrique qui se développe aux points de contact des deux métaux hétérogènes, et cette hétérogénité peut très bien se présenter dans les tuyaux de fonte. Il est nécessaire d'ajouter que cette opinion n'est pas unanimement adoptée. M. Mary, ingénieur en chef du service municipal de Paris, pense que les oxydations tuberculeuses des tuyaux correspondent aux soufflures qui se trouvent dans la fonte. Il a remarqué aussi, qu'arrivés à un certain point de développement, ces tubercules n'augmentent plus. Ainsi, d'après lui, les conduites d'eau de la ville de Grenoble ne débitent pas aujourd'hui moins qu'il y a dix ans, époque à laquelle on s'est aperçu, par la diminution du débit, de la formation des tubercules, qu'on craignait de voir obstruer bientôt entièrement les tuyaux.

D'après cette opinion de M. Mary, que ses fonctions ont mis à même de vérifier souvent le fait, le développement d'électricité serait dû à l'oxydation plus active en certains endroits des tuyaux qu'en d'autres. On sait, en effet, que l'oxyde au contact du métal forme un couple galvanique. C'est une explication que nous proposons sous toutes réserves.

Divers moyens ont été indiqués pour remédier à cet inconvénient, qui peut avoir, et qui a eu, en effet, des conséquences très importantes pour la distribution de l'eau dans les villes.

Les uns sont curatifs. M. Mary pense qu'en faisant rouler une boule de fer garnie d'aspérités dans les tuyaux, partie par partie, en donnant alors à l'eau une vitesse d'écoulement plus grande que celle ordinaire, on

(1) Nous ne parlons pas des eaux minérales.

(1) On appelle *stalactites* (du grec *stalador*, tomber goutte à goutte) les dépôts qui se forment à la partie supérieure des cavités, et *stalagmites* ceux produits par les gouttes qui tombent sur le sol.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arriverait à détacher assez facilement les oxydations tuberculeuses qui n'ont qu'une très faible consistance et sont très friables.

Un autre moyen consisterait à faire passer de l'acide hydro-chlorique dans les tuyaux pour dissoudre le carbonate de fer qui se trouve dans les tubercules (1). Il est très probable que ce lavage des tuyaux conduirait au but proposé, mais l'acide attaquerait la fonte.

Les autres sont préservatifs, ils doivent autant que possible être employés de préférence. Nous allons les énumérer rapidement.

On a conseillé de verser dans l'eau, avant son introduction dans les conduites, une quantité de chaux suffisante pour saturer l'acide carbonique, faire déposer le carbonate de fer et prévenir par là la formation des tubercules. Ce moyen simple, en théorie, n'est guère praticable. En effet, il faudrait d'abord, que la quantité de chaux nécessaire pour la précipitation du carbonate de fer fût bien calculée à l'avance, car un excédant de cet alcali resterait en dissolution dans l'eau, qui, destinée à l'alimentation d'une ville, deviendrait alors impropre aux besoins domestiques à cause de sa saveur insupportable. De plus, le précipité produit dans l'eau, par l'addition de la chaux, devrait aussi être entièrement déposé avant l'introduction de l'eau dans les tuyaux, afin que cette eau ne fût pas louche ou laiteuse.

Ce moyen donc ne présente en somme aucun avantage bien marqué, et nous ne sachions qu'il ait jamais été employé; un autre moyen proposé assez récemment par M. Mary, et appliqué par lui aux tuyaux de distribution des eaux de la ville d'Amiens, nous paraît bien préférable.

Ce procédé consiste à tremper les tuyaux de fonte lorsqu'ils ont été essayés à la presse hydraulique dans un bain d'huile de lin lithargirée et de cire jaune (2), porté à la température de 100 à 150°, et à les y laisser immergés jusqu'à ce qu'ils aient acquis sa température. L'eau, dont la surface de ces tuyaux pouvait être imprégnée ainsi que celle logée dans les pores de la fonte, se vaporise nécessairement à cette température, de sorte que les corps gras pénètrent jusqu'à un certain point la substance du tuyau, et les deux surfaces se trouvent recouvertes d'un vernis gras qui ne tarde pas à sécher au contact de l'air. De cette manière la surface extérieure du tuyau est préservée de l'oxydation ordinaire, et la surface intérieure de l'oxydation tuberculaire.

Ce moyen, proposé par M. Mary, nous paraît devoir être très efficace; outre cet avantage, il a celui d'être peu coûteux; en effet, d'après l'adjudication faite à Amiens, pour l'entreprise de la distribution des eaux, le prix moyen (eu égard aux divers diamètres des tuyaux) ne s'est élevé qu'à 23 ou 24 centimes par mètre courant.

Nous avons cependant entendu exprimer la crainte que cet enduit gras ne s'oppose à la jonction bien hermétique des tuyaux, jonction qui se fait en matant du plomb. On dit que ce vernis remplissant jusqu'à un certain point les cavités que la fonte présente à sa surface, le plomb ne pourra plus alors faire, pour ainsi dire, corps avec la fonte.

L'emploi des tuyaux de verre a été aussi proposé et adopté, je le pense du moins, dans quelques villes assez rapprochées des verreries alimentaires; la nature de ces tuyaux s'oppose évidemment à la formation des tubercules ferrugineux; cette remarque peut s'appliquer aux tuyaux de grès (3), et très probablement aussi aux tuyaux Chameroy, qui, pour les grandes dimensions, présentent sur les tuyaux de fonte une économie de 30 à 40 p. 100.

Occupons-nous maintenant des dépôts et incrustations qui se forment dans les chaudières à vapeur. Nous n'avons pas besoin de rénumérer ici les divers sels calcaires ou autres existant dans les eaux; disons seulement que par l'ébullition de l'eau, l'acide carbonique se dégage et les carbonates se précipitent presque aussitôt; les autres sels ne se déposent qu'après une ébullition prolongée, car l'eau est loin d'être saturée.

Le dépôt des sels calcaires (nous disons calcaires, les sels de chaux en constituant la plus grande partie) forme, pour ainsi dire, corps avec la chaudière sur les parois de laquelle il se moule et s'incruste. Les inconvénients qu'il présente sont graves : d'abord, il empêche le passage du calorique dont il est très mauvais conducteur, de là perte notable de combustible; de plus, les parois de la chaudière n'étant plus sans cesse humectées par le contact de l'eau, peuvent rougir assez facilement, de sorte que si une fissure s'opère dans la croûte calcaire incrustante, par le fait même de la haute chaleur, et que l'eau, à une température bien plus basse que le métal, vienne à le toucher, elle peut le faire éclater; enfin, en rougissant, le fer des parois brûle assez rapidement.

Les morceaux de calcaires incrustés et détachés d'une chaudière se montrent formés de couches parallèles superposées, bien nettes et bien tranchées, variant d'épaisseur et souvent aussi de couleur. M. Kuhlmann, pense que la couche ne s'incruste qu'aux moments de repos, la nuit par exemple, et que pendant l'ébullition le dépôt reste en suspension.

Ce n'est pas seulement dans la chaudière même que se forment les incrustations, les tuyaux d'alimentation de la chaudière en sont quelquefois obstrués. Nous en avons vu dont le diamètre, de 3 centimètres, était réduit, pour la partie plongeant dans la chaudière, à 5 millimètres au plus après une marche de deux à trois mois. Quinze jours ou un mois de plus de marche produisaient une obstruction complète qui aurait pu être la source d'accidents plus ou moins graves. Ce fait d'incrustation dans un tuyau d'alimentation n'a rien qui doive étonner; voici comment nous l'expliquons : la portion du tuyau d'alimentation plongeant dans la chaudière participe à la température de l'eau qui s'y trouve; l'eau donc qui y séjourne, quand la pompe alimentaire ne marche pas, l'eau qui est bouillante doit laisser déposer le carbonate de chaux qu'elle renferme; de là l'incrustation en question.

Ce n'est pas tout, ces dépôts et incrustations se forment aussi dans les condenseurs des machines à vapeur (bien entendu quand elles sont à condensation), et dans tout condenseur où de l'eau froide est en contact avec la vapeur surtout sous l'influence du vide; et l'expérience est encore la même que tout à l'heure, avec cette différence qu'ici l'eau n'est plus bouillante, mais que le départ de l'acide carbonique est déterminé plus encore par l'aspiration de la pompe à air que par l'élévation de la température due à la condensation de la vapeur Nous avons vu des condenseurs *littéralement* obstrués par ce fait d'incrustation, et nous relaterons en particulier ce qui s'est passé dans la raffinerie de sucre de MM. Jacquemin et compagnie, à Saint-Quentin en l'année 1839 ou 1840. Cette raffinerie possède un appareil de Pelletan, à cuire dans le vide, appareil muni d'un condenseur, mais différent par sa disposition du

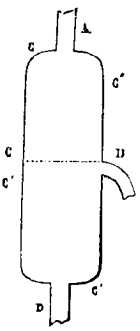
(1) Je suppose, à tort ou à raison, que les tubercules ne contiennent que du fer carbonaté; du reste, s'il n'en était pas ainsi, l'acide ne ferait que peu ou pas d'effet.

(2) On pourrait peut-être, ce nous semble, remplacer la cire jaune par de l'acide stéarique.

(3) Les tuyaux de grès vernisses, et par conséquent dépourvus de porosité, pourraient être employés, au point de vue de la faible dépense qu'ils occasionnent, avec beaucoup d'avantage, car ils sont quatre fois moins chers que ceux de fonte. Les jonctions pour les conduites d'eau pourraient admettre la présence dans le lut d'un mastic bitumineux qui empêcherait toute fuite.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

condenseur des machines à vapeur. Qu'on se figure un cylindre en métal CC C' C' (fig. 1302), dans la partie supérieure duquel arrive à chaque instant, par le tuyau A, une grande quantité d'eau froide élevée au moyen de pompes foulantes; vers la partie moyenne se trouve le tuyau B d'arrivée de la vapeur à condenser, et à la partie inférieure le tuyau D d'écoulement d'eau de condensation, écoulement qui s'effectue spontanément; le condenseur étant placé à 10 mètres au moins au-dessus d'un baquet qui sert de cuvette à ce véritable tube barométrique, rempli continuellement d'eau au lieu de mercure. Il arriva, quelques années après la mise en train de l'appareil, que le tuyau D s'obstrua; on ouvrit le condenseur pour trouver la cause de cette obstruction, et on trouva la partie supérieure C C C B, tapissée d'incrustations de carbonate de chaux ferrugineux, de 3 centimètres au moins d'épaisseur; quelques fragments détachés de ces incrustations étaient tombés dans le tuyau D qu'ils avaient obstrué.



1302.

Parmi les faits remarquables d'incrustation, citons-en encore un, n'ayant d'ailleurs que l'embarras du choix. Dans une des filatures de MM. Cambronne frères, à Saint-Quentin, se trouve une machine à vapeur de Cavé, à cylindre oscillant et sans condensation, de la force de 16 chevaux. Ce moteur possède deux générateurs, au milieu desquels se trouve un réservoir cylindrique, plus petit qu'un bouilleur où l'eau d'alimentation va se chauffer, avant d'être introduite dans les chaudières qu'il n'est pas convenable d'alimenter avec de l'eau froide. Ce tube, ou réservoir, remplissait son emploi depuis plusieurs années, sans avoir été nettoyé, ou du moins sensiblement, vu son petit diamètre qui ne permet pas, même à un enfant, d'y entrer, quand un matin on le trouva exactement plein de calcaire, et force fut d'arrêter la machine pour établir un nouveau mode d'alimentation, en attendant la désincrustation du réservoir en question.

Ce n'est pas tout encore pour ces incrustations, si désagréables sous tous les rapports. Les cylindres eux-mêmes des machines à vapeur en sont quelquefois garnis, et ces dépôts sont produits, soit par la vaporisation de l'eau, qui est entraînée jusque-là par la vapeur, soit par l'agglomération des poussières calcaires en suspension dans le générateur, et que la vapeur emporte avec elle. A plus forte raison, les dépôts calcaires pénétreront dans les tuyaux de chauffage, dans les conduits de vapeur de la chaudière à la machine, sous les soupapes, partout enfin où la vapeur circule, et il n'est pas rare de voir les tiroirs des boîtes de distribution encrassés de ces dépôts, et quelquefois rodés, usés par les particules calcaires les plus dures.

Comme on le voit, les inconvénients sont graves. Depuis longtemps, on a proposé divers moyens pour y remédier; d'abord on a songé à enlever ces dépôts plus ou moins souvent, suivant la richesse saline des eaux d'alimentation, et il en a déjà été question à l'article *Chaudières à vapeur*. Le plus souvent, quand on n'emploie pas de moyens préservateurs d'incrustations, on fait usage de burins, pour enlever la couche de dépôts incrustés. Mais, ce burinage attaque toujours plus ou moins le métal, il prend beaucoup de temps; il est de plus très incommode pour les ouvriers forcés d'entrer dans les chaudières encore très chaudes, et d'y travailler dans une position gênante. Quelquefois aussi, mais très rarement cependant, on attaque le dépôt calcaire par de l'acide hydro-chlorique (muriatique du commerce), qui dissout les carbonates, s'il est employé en quantité suffisante, et désagrége la croûte adhérente aux parois. Nous ne considérons pas ce moyen comme applicable avantageusement dans une usine. Il est très coûteux, assez lent, et demande des soins assidus de la part d'ouvriers non habitués aux manipulations chimiques. Nous n'insisterons pas d'ailleurs sur ces moyens de nettoyer les chaudières, car il est bien plus simple, plus rationnel et plus avantageux de s'opposer à la formation des dépôts qui s'incrustent et changent, pour ainsi dire, les chaudières en carrières de pierres calcaires.

Plusieurs procédés ont été proposés pour arriver à ce but, pour rendre les incrustations nulles ou moins abondantes; nous allons les énumérer et discuter leur efficacité.

Un des plus anciens consiste à établir sur la chaudière un tube de 4 centimètres de diamètre, muni d'un robinet, jusqu'au dehors de la chambre de la chaudière. Ce tube pénètre dans le générateur et va, en se bifurquant, plonger jusque dans les bouilleurs. Lorsque le feu est arrêté, depuis une demi-heure à peu près, on ouvre le robinet du tube en question; la pression intérieure chasse avec violence au dehors toute la portion d'eau qui se trouve au bout du tuyau plongeur, et celle-ci entraîne avec elle les dépôts qui se sont rassemblés au fond des bouilleurs. En renouvelant cette opération facile une fois par semaine, on réduit de beaucoup la quantité de dépôt formé entre deux nettoyages. Ce moyen n'est pas, rigoureusement parlant, un préservatif contre les incrustations, qu'il a seulement pour but et pour effet de rendre moins fortes.

Le hasard indiqua, en 1820, à un chauffeur anglais, un moyen bien simple d'empêcher les incrustations. Après avoir vidé sa chaudière, il y avait placé, pendant qu'elle était encore bien chaude, des pommes de terre pour les faire cuire; mais il les oublia, et elles restèrent dans le générateur quand on remit en marche. Quand, après le laps de temps d'habitude, il arrêta la chaudière pour enlever le dépôt calcaire, il le trouva remplacé par un liquide très épais et boueux. Il se rappela alors les pommes de terre laissées dans l'appareil, et leur attribua ce résultat si remarquable; l'expérience qu'il répéta plusieurs fois vint confirmer son opinion. Depuis cette époque, on a employé ce procédé dans beaucoup d'usines anglaises; on met dans une chaudière, qui doit être nettoyée tous les mois, un litre de pommes de terre par force de cheval. Par l'ébullition prolongée, à une température qui varie suivant la pression, sous laquelle travaille le générateur, mais qui dépasse toujours 100 degrés, la fécule contenue dans les pommes de terre se transforme très probablement en dextrine, qui lubréfie les surfaces de la chaudière et des particules des sels calcaires devenus insolubles, empêche leur adhérence et la formation des croûtes incrustantes. Toutes les matières amylacées produiraient évidemment le même effet. Ce moyen présente un inconvénient, d'après les observations de plusieurs ingénieurs. Les matières amylacées par leur transformation en dextrine donnent à l'eau de la chaudière une certaine viscosité qui la dispose à monter dans les tuyaux de sortie de vapeur, et jusque dans les cylindres. M. Grouvelle dit avoir examiné l'eau d'une chaudière qui avait marché le temps voulu avec des pommes de terre, et avoir trouvé l'eau bien limpide et pas plus dense que l'eau distillée. Je ne pense pas que le fait remarqué par M. Grouvelle contredise l'observation ci-dessus. En effet, la dextrine formée diminue à fur et à mesure de la précipitation des matières salines dont elle lubréfie les surfaces, et doit avoir été complètement absorbée lorsqu'on vide la chaudière.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un troisième procédé qui paraît avoir été employé en Angleterre avec quelque succès, est celui d'Antony Scott, qui consiste à placer dans l'eau du générateur un vase de bois ou d'étain suspendu, plus étroit à l'entrée qu'au fond. Une bonne partie des dépôts qui se forment dans la chaudière sont renvoyés, par l'ébullition, dans le vase, d'où on les enlève, soit en ouvrant la chaudière pour la nettoyer, soit au moyen du tube plongeur déjà décrit, que l'on fait descendre dans le fond de ce vase, pour en chasser le dépôt par la pression de la vapeur. Ce procédé ne nous semble qu'une application, pour les chaudières à vapeur, de ce qu'on fait depuis longtemps pour éviter les dépôts boueux dans les chaudières où on concentre les eaux de lavage des plâtras dans la fabrication du salpêtre.

Nous donnerons plus loin la description du déjecteur Duméry, la plus élégante disposition de ce genre d'appareil.

Pour empêcher les incrustations, on frotte quelquefois aussi l'intérieur des tubes bouilleurs et de la chaudière avec une mixtion de graisse et de mine de plomb. Ce moyen, qui a pour but d'interposer entre les parois de la chaudière et le dépôt qui se forme une matière sur laquelle il ne puisse adhérer fortement, et qui est encore une lubrifaction de surfaces, a le grave défaut d'empêcher l'eau de mouiller les surfaces, ce qui peut être un danger lors d'une vaporisation active, et doit le faire absolument rejeter; nous y reviendrons. La friction ne peut d'ailleurs s'exécuter qu'avec une grande difficulté dans les tubes bouilleurs, et nécessite un chômage de deux jours, quand on n'a pas de chaudière de rechange; car il faut laisser refroidir convenablement, pour qu'un ouvrier puisse aller opérer ce travail.

On dit aussi que les matières gélatineuses préviennent assez bien les incrustations, et qu'on en obtient en Angleterre des résultats satisfaisants. Ces matières doivent nécessairement agir comme les substances amylacées, toujours en lubrifiant les surfaces de contact.

Cette manière d'agir doit être aussi attribuée, à mon avis, à la couche d'huile ou de suif d'un centimètre d'épaisseur, qu'on a conseillé de placer au-dessus de l'eau dans la chaudière. Pour admettre l'efficacité de ce moyen assez coûteux il faut admettre aussi que les parties salines précipitées par le fait de l'ébullition viennent se baigner et se lubrifier dans la couche d'huile, ce qui n'est pas d'ailleurs impossible.

ARGILE. En 1824, M. Pelouze père conseilla de placer dans les chaudières de l'argile bien délayée. Ce moyen avait été peu connu jusqu'en 1836, lorsque M. Chaix, de l'île Maurice, vint le signaler de nouveau avec une plus grande publicité. Plusieurs expériences de ce procédé ont été faites sous les auspices de la Société d'encouragement, à laquelle Payen a fait un rapport favorable d'après les résultats obtenus. On l'a aussi essayé sur les paquebots à vapeur, pour empêcher l'incrustation des dépôts de sel marin, et on s'en est bien trouvé. La quantité d'argile employée doit être de 1 kil. environ par force de cheval, avec l'eau de la mer. Elle ne conserve pas sa puissance pendant plus de 15 jours de service actif, d'après Grouvelle; il faut donc la renouveller fréquemment. De plus, l'argile délayée ne doit être jetée dans la chaudière qu'au moment où l'ébullition va commencer; car, sans cette précaution, elle s'attacherait au fond, et formerait une croûte pouvant quelquefois faire brûler la chaudière. Enfin une partie de cette argile, entraînée par la vapeur, encrasse, fatigue et use les tiroirs et les pistons des machines, en se déposant aussi en quantité notable dans le tuyau conducteur de vapeur, ce qui a fait renoncer à son emploi. L'argile agit comme matière préservatrice de la même manière que les matières inertes dont nous allons parler; c'est, à proprement parler, un moyen mécanique.

VERRE PILÉ. On a conseillé le verre pilé pour empêcher l'adhérence des dépôts, mais cette substance, en atteignant le but désiré, a le grave inconvénient d'être entraînée jusque dans les boîtes et les cylindres, qu'elle use comme si on y jetait de l'émeri.

ROGNURES DE TÔLE, DE ZINC. Depuis assez longtemps, en Angleterre, on place dans les chaudières des rognures angulaires de tôle, de zinc, ou de fer blanc, et on s'en trouve assez bien. On a été jusqu'à employer des morceaux de verre, mais comme on peut avoir besoin de faire descendre des ouvriers dans la chaudière ou les bouilleurs, ce moyen doit être complétement prohibé; les rognures métalliques présentent un peu aussi cet inconvénient. Du reste, à mon avis, les moyens mécaniques dont il est question, ne doivent être employés que quand les moyens chimiques présentent des inconvénients dont j'aurai occasion de parler tout à l'heure. En effet, les moyens mécaniques sont impuissants pour empêcher les incrustations qui se forment partout ailleurs que dans la chaudière, par exemple dans les tuyaux d'alimentation, incrustations qui ont aussi leurs dangers.

BOIS DE TEINTURE. En 1838 MM. Néron et Kurtz vinrent annoncer un autre procédé de leur invention. C'est une simple remarque raisonnée qui les conduisit à cette découverte; et c'est encore une preuve de plus de cette vérité, que, dans les sciences d'application, on doit attacher de l'importance à la plus simple observation.

Ces messieurs avaient alors, je crois, une fabrique d'impression et de teinture. L'usine était placée sur une petite rivière, qui recevait les eaux de décharge et où on puisait l'eau d'alimentation pour les chaudières à vapeur.

Cette eau était nécessairement colorée par les décoctions de bois de teinture, et ces messieurs remarquèrent, non sans étonnement, que leurs chaudières étaient totalement exemptes d'incrustations, tandis que celles des usines, bordant ce même cours d'eau, et surtout des usines en amont, présentaient des incrustations. Ils pensèrent alors que cet effet remarquable était dû à la matière colorante, et, pour s'en assurer, ils firent une expérience qui vint justifier pleinement leur opinion. C'est alors qu'ils prirent un brevet pour tirer parti de leur découverte, et engagèrent les propriétaires de chaudières à vapeur à souscrire pour l'usage de leur procédé.

Les moyens que MM. Néron et Kurtz indiquaient, dans le premier mémoire qu'ils adressèrent à leurs souscripteurs, étaient au nombre de deux, l'un chimimique, l'autre mécanique. (Je cite leurs expressions.)

« Le moyen chimique consiste à introduire dans la chaudière une décoction de bois de campêche ou de tan, en la plaçant dans un baquet où viendrait puiser la pompe alimentaire. Cette décoction doit avoir de 10 à 20 degrés de concentration, et être introduite dans la proportion de 1 litre au moins sur 1000 litres d'eau au plus.

« Le moyen mécanique consiste à garnir le fond de la chaudière de morceaux de verre de bouteille; ces morceaux, devant produire sur les parois de la chaudière un curage continuel, rendent toute adhérence impossible. »

Ce dernier moyen, les inventeurs le recommandaient surtout pour les chaudières alimentées par l'eau de mer, en préférant d'ailleurs aux morceaux de verre des billes produisant le même effet que le plomb de chasse dans le rinçage des bouteilles.

Depuis, et probablement pour rendre leur procédé encore plus simple et d'une application plus facile, ils conseillèrent le bois de campêche en nature, et en firent usage en le plaçant dans la chaudière, soit en poudre, soit en copeaux et en effilures; 1 kilogramme de bois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par force de cheval devant suffire pendant six semaines ou deux mois, sans qu'on pût craindre le moindre dépôt incrustant.

Ayant assisté aux nombreuses expériences que firent MM. Néron et Kurtz à Saint-Quentin, en qualité de délégué de la Société industrielle qui existait alors dans cette ville (c'était en 1839), et ayant suivi la marche des opérations d'une manière continue, je puis en rendre un compte exact et fidèle.

Les expériences se firent chez M. Bauchart-Demarolle, membre du conseil général des manufactures, et chez MM. Lehoult et Cie. On employa du bois de campêche en poudre; et les chaudières ayant marché six semaines, on ne put voir sur les surfaces, préalablement nettoyées avec de l'acide hydrochlorique, aucune trace d'incrustation. M. Bauchart et moi descendîmes dans sa chaudière, ne voulant ne nous en rapporter qu'à nos yeux pour apprécier convenablement les résultats obtenus.

Depuis lors, MM. Bauchart et Lehoult ont laissé marcher leurs chaudières pendant trois mois avec la même dose de campêche, et, en les vidant, il y avait absence complète d'incrustation...

L'eau en s'écoulant entraîne avec elle un dépôt boueux, dont une petite quantité resterait dans la chaudière, mais sans adhérence aucune, si on ne prenait soin de promener un balai sur le fond de la chaudière et des bouilleurs, quand il s'y trouve encore un peu d'eau.

Dans la fabrique dite des Anglais, appartenant à M. Hatcoath, aussi à Saint-Quentin, le campêche fut introduit en décoction, et on s'en est très-bien trouvé; les chaudières ont pu marcher trois mois sans être vidées.

Voilà les faits tels que je les ai observés; passons maintenant à leur discussion.

On a prétendu dans quelques villes, et à Saint-Quentin entre autres, que le bois de teinture, placé dans des chaudières et arrivant nécessairement dans les bouilleurs, peut s'attacher à la tôle et la faire brûler. Que cette prétention soit ou non fondée, admettons-la; car, pour faire adopter généralement en industrie un procédé, même quand son emploi doit être profitable à ceux qui s'en servent, il faut aller au-devant des appréhensions peu fondées. Aussi je pense que le bois en nature doit être laissé de côté, la décoction n'étant susceptible d'aucun inconvénient semblable dans son emploi. D'ailleurs il est bien plus rationnel, plus naturel, pour éviter les incrustations, de placer dans la chaudière un liquide qu'un solide non entièrement soluble; car, en définitive, la matière solide augmente le dépôt.

Il n'est pas nécessaire d'employer la décoction de campêche à 10 ou 20 degrés de concentration : seulement, avec une concentration moindre, la quantité devra être proportionnellement plus grande. Je regarde comme trop forte de moitié la dose de décoction indiquée par MM. Néron et Kurtz (1 litre sur 1000 d'eau qu'on introduit dans la chaudière). Du reste, cette quantité n'est pas absolue, mais elle dépend essentiellement de la nature des eaux qui alimentent une chaudière; c'est à la personne qui fait usage du procédé à fixer la dose de décoction, d'après le temps qu'elle veut faire marcher sa chaudière sans la vider. On trouve aujourd'hui, dans le commerce, à Paris, des extraits colorants très-riches en matières résineuses, par cela même impropres à la teinture et à l'impression, mais qui conviennent très-bien comme désincrustants (1). Tout manufacturier peut aussi, et très facilement, préparer chez lui, s'il y trouve un avantage pécuniaire, la décoction nécessaire. Voici la manière de faire cette décoction.

(1) J'ai entendu parler d'extraits de campêche solidifiés pour cet usage, qui se vendent de 2 fr. 50 à 3 fr. le kil.; il en faut 1 kil. par semaine par force de 10 chevaux.

INCRUSTATIONS.

Dans un baquet, tonneau ou cuve en bois, on place le campêche réduit en poudre ou en effilures (1), qu'on recouvre d'eau ; on fait arriver dans le liquide un jet de vapeur qui détermine l'ébullition, et on épuise le bois de sa matière colorante par plusieurs bains, si c'est nécessaire; en un mot, on pousse jusqu'à ce que l'eau cesse d'être colorée.

La décoction obtenue, le meilleur moyen de l'introduire dans la chaudière à vapeur est de l'y faire parvenir par la pompe alimentaire, sinon toutes les fois que cette pompe marche, ce qui serait préférable, du moins par portions égales et quotidiennes. Par ce moyen, les incrustations ne pourront pas se former dans ledit tuyau d'alimentation qui donne passage à la substance préservatrice. Comme dans certaines usines on fait chauffer, au moyen de la chaleur perdue du fourneau, l'eau nécessaire à l'alimentation, ce qui est très rationnel, c'est dans cette chaudière préparatoire, quand elle existe, qu'il faut placer la décoction ou l'extrait solide qui s'y dissout alors spontanément.

Quelques blanchisseurs et apprêteurs de tissus, qui se servent souvent de la vapeur pour faire bouillir des lessives où plongent des toiles à blanchir, ou pour faire cuire de l'empois, ont trouvé que la vapeur sortait colorée d'une chaudière, quand on y avait placé du campêche, bois ou décoction. Cela est très possible; car la vapeur entraîne assez souvent avec elle du liquide du générateur, surtout quand la chambre de vapeur de la chaudière est très restreinte. Je dois cependant ajouter que, dans l'établissement précité de M. Hatcoath à Saint-Quentin, où on emploie la vapeur du générateur pour le blanchiment et l'apprêt des tulles fabriqués dans ce bel établissement, cet effet de coloration ne s'est jamais présenté pendant trois ou quatre mois, temps pendant lequel j'ai suivi les expériences.

Examinons maintenant quel est le mode d'action de la matière colorante sur les sels calcaires qui se trouvent en dissolution dans l'eau. Voici les expressions dont se servent les inventeurs à ce sujet :

« Les parcelles calcaires, en passant de l'état de dissolution à l'état solide, se trouvent enveloppées de matière colorante, qui a pour elles une certaine affinité. Cette enveloppe les empêche de se joindre et d'adhérer entre elles, ainsi qu'au fer de la chaudière. Cette espèce d'habit de la molécule calcaire est un préservatif de l'affinité d'agrégation. »

Ainsi, d'après cette explication, ce n'est qu'au moment où les parties calcaires se déposent que l'affinité de la matière colorante s'exerce pour former avec elles une espèce de *laque*.

J'ai, pour m'assurer de ce fait, expérimenté de la manière suivante. D'abord j'ai préparé une décoction de campêche, marquant 1°,5 au pèse-sel de Beaumé; j'en versai un décilitre dans 20 litres d'eau de puits bien calcaire; le mélange fut soumis à l'ébullition pendant un quart d'heure. Après ce temps, la couleur du liquide était un peu brune, et l'analyse nous fit reconnaître que la liqueur renfermait encore du chlorure de calcium et du sulfate de chaux, mais plus de carbonate.

L'expérience fut répétée, en triplant la dose de décoction de campêche. Après un quart d'heure d'ébullition, le mélange était d'un rouge violet, mais renfermant toujours du sulfate de chaux et du chlorure de calcium.

J'en ai conclu que les matières colorantes n'exercent

(1) Nous rappelons que 2 kil. suffisent, par force de cheval, pour six semaines à deux mois d'une marche continue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aucune action sur les sels de chaux, tant qu'ils sont en dissolution; et si aucune trace de carbonate de chaux n'a été retrouvée dans le liquide, c'est que, par l'ébullition, l'acide carbonique qui le maintenait en dissolution s'était volatilisé. Ainsi l'explication des inventeurs me paraît satisfaisante

Comme complément de leur procédé de désincrustation, MM. Néron et Kurtz, qui ont réellement étudié à fond la question (et ils avaient intérêt à le faire), conseillent quelques moyens ou précautions qui ne sont pas à dédaigner : 1° pour empêcher les incrustations qui peuvent se former dans les condenseurs (ces incrustations sont bien moins fortes et moins à redouter que dans les chaudières); 2° pour éviter l'introduction, dans la chaudière, du sable et des matières terreuses qui ne sont plus en dissolution, mais qui pourraient être en suspension dans l'eau des puits alimentant les machines.

Ces moyens, les voici : 1° placer dans la bâche ou réservoir d'eau où se fait l'aspiration du condenseur un sac contenant du campêche en poudre ou en effilures; la température de l'eau étant basse, la dissolution de la matière colorante s'opère très lentement, de sorte que l'eau aspirée par le condenseur (ou pompe à air), en contient peu, mais assez cependant pour former *laque*, se combiner avec la petite quantité de carbonate de chaux qui peut s'y précipiter. MM. Néron et Kurtz conseillent aussi de placer dans cette même bâche, des bottes de foin contenues dans un panier d'osier assez serré, pour qu'elles ne s'éparpillent pas, foin que l'eau doit traverser nécessairement, et qui forme une espèce de filtre. D'après eux, ce foin prendrait à l'eau de l'acide carbonique qu'elle tient en dissolution, et déterminerait ainsi la précipitation du carbonate de chaux. Je sais bien, comme tout le monde, que les parties vertes des plantes en végétation, ont la propriété, sous l'influence de la lumière, d'absorber l'acide carbonique, mais je ne pense pas que cette explication puisse s'étendre au foin; 2° suivant ces messieurs, et ici nous sommes pleinement de leur avis, il ne faut point placer verticalement la succion de la pompe du puits, mais bien horizontalement en la garnissant d'une tête d'arrosoir qu'on fera arriver jusqu'au point supposé devoir être le niveau le plus bas dans les grandes sécheresses; alors l'aspiration ne peut plus mettre en mouvement toutes les parties terreuses et les graviers qui se trouvent au fond de l'eau.

CARBONATE DE SOUDE. Quelque temps après les applications du procédé Néron et Kurtz, suivies comme on le voit de bons résultats, M. Kuhlmann, le savant chimiste de Lille, bien connu dans le monde scientifique et industriel, vint proposer un autre moyen d'empêcher les incrustations des chaudières. Ce moyen tout à fait chimique n'est autre que celui conseillé et employé depuis longtemps, pour précipiter les sels calcaires en dissolution dans l'eau qu'on veut rendre propre au savonnage. Il présente cette particularité, qu'il détermine la précipitation des sels calcaires aussitôt l'introduction dans la chaudière. Cette précipitation immédiate a pour effet, d'après M. Kuhlmann, de s'opposer à la cristallisation des sels qui ne manquerait de s'opérer si le dépôt se faisait lentement. Il faut remarquer que le dépôt et la cristallisation lente ne pourraient s'opérer que pour le sulfate de chaux, si l'ébullition avait lieu à l'air libre, car alors la précipitation du carbonate se fait au bout de quelques minutes; mais dans un générateur de vapeur, surtout s'il marche à haute pression, l'acide carbonique se dégage-t-il comme à l'air libre? je ne le pense pas. Ainsi, dans une chaudière à vapeur le carbonate de chaux ne se dépose que lentement, et d'autant plus que la pression est plus forte; c'est ainsi que le procédé de M. Kuhlmann atteint le but proposé.

M. Kuhlmann se sert donc de carbonates alcalins de soude ou de potasse. Voici les réactions auxquelles donnent lieu les sels de chaux ou de magnésie contenus dans l'eau : 1° Le sulfate de chaux qui s'y trouve, produit avec le carbonate alcalin une double décomposition; il y a précipitation de carbonate de chaux et du sulfate de soude ou de potasse reste en dissolution; 2° le chlorure de calcium dont la quantité dans l'eau est souvent assez notable agit aussi par double décomposition; c'est là, nous devons l'avouer, un léger inconvénient du procédé de M. Kuhlmann, en ce sens que le chlorure, corps éminemment soluble, déliquescent même, et ne pouvant jamais donner lieu à incrustation, produit avec un carbonate alcalin un dépôt dont l'effet doit être plutôt nuisible que neutre (en admettant même le dépôt comme non cristallisable ni susceptible d'adhérence) ; de plus, il décompose sans résultat utile une quantité proportionnelle de carbonate alcalin, ce qui est une cause de dépense ; 3° enfin, le carbonate de chaux qui n'est soluble que par un excès d'acide carbonique, se dépose aussitôt que le sel alcalin a saturé ledit excès, sans que pour cela le carbonate de soude ait perdu son effet utile : en effet, le carbonate alcalin passe à l'état de sesqui-carbonate, puis de bi-carbonate qui, par le fait de l'ébullition, perd une partie de son acide pour revenir à l'état de sesqui-carbonate, et repasser encore une fois à l'état de bi-carbonate. Et cette suite de transformations doit se reproduire indéfiniment, de sorte qu'avec une petite quantité de carbonate alcalin on peut déterminer la précipitation du carbonate de chaux dans une quantité d'eau presque indéfinie, en supposant d'ailleurs cette eau exempte de sulfate de chaux et de chlorure de calcium.

Pour des eaux de puits très riches en carbonate calcaire la quantité du préservateur d'incrustation proposé par M. Kuhlmann est minime : savoir, 100 à 150 grammes de sel de soude, par force de cheval, et par mois de travail. Dans cette circonstance, qui est, nous le pensons, la plus générale, le procédé est bien peu coûteux, et c'est à lui qu'on doit donner la préférence. Nous nous demandons seulement s'il ne vaut pas mieux introduire le sel de soude quotidiennement et en parties égales dans la chaudière, au moyen de la pompe alimentaire, comme nous l'avons déjà dit à propos des matières colorantes pour éviter les incrustations dans le tuyau d'alimentation.

M. Kuhlmann, après avoir fait l'essai de son procédé dans ses usines, en conseilla l'application à M. Hallette d'Arras, qui s'en trouva bien aussi. Sachant que nous nous étions occupé, à Saint-Quentin, assez sérieusement de la question des incrustations, il nous demanda de vouloir apporter de nouvelles preuves aux bons résultats déjà obtenus; nous nous rendîmes avec empressement à sa demande, et une application se fit sous notre surveillance, dans l'usine de MM. Cambronne frères, filateurs. Le succès vint confirmer nos prévisions, et nous fîmes à la Société industrielle un rapport sur ce nouveau procédé. Nous y disions, et notre opinion n'a pas varié depuis lors, que dans les conditions où se trouvaient les puits de Saint-Quentin le procédé de M. Kuhlmann l'emportait même sur celui de MM. Néron et Kurtz, et ne pouvait en aucune manière colorer la vapeur, dont la pureté est si nécessaire aux blanchisseurs et apprêteurs de tissus.

Ce rapport ayant été publié et répété par plusieurs journaux de la capitale, M. Pâris, fabricant de cristaux, à Bercy, très-désireux de se débarrasser des incrustations de ses chaudières, voulut aussi appliquer le procédé de M. Kuhlmann; mais sans apporter une attention convenable aux indications et aux recommandations très précises, relatives à la nature des eaux, sans songer que la quantité de carbonate de soude, employée à Lille, à Saint-Quentin, à Arras, pouvait bien ne plus être suffisante pour produire les mêmes effets à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Paris, où l'eau renferme, c'est connu de tout le monde, une quantité notable de sulfate de chaux. Il plaça donc dans une des deux chaudières de sa machine, forte de dix chevaux, chaudière préalablement bien nettoyée, 20 kilog. de sel de soude, et mit en marche. Après douze jours de travail, une fuite s'étant déclarée dans la chaudière, on arrêta, et on remarqua qu'il s'était formé dans la chaudière une incrustation aussi forte qu'à l'ordinaire. L'incrustation soumise à l'analyse fut trouvée ne contenir que du sulfate de chaux, plus 1 1/2 à 2 p. 100 de sulfate de soude, mais point de carbonate de chaux. L'eau du puits renfermait 1 gr. 316 de sulfate de chaux par litre, plus des quantités notables de carbonate et de chlorure de calcium. L'énorme quantité de plâtre contenu dans les eaux du puits de M. Pâris indique suffisamment qu'il ne pouvait obtenir un résultat satisfaisant avec la dose de sel de soude employé.

En égard à la nature des eaux du département de la Seine, et des environs, dans le voisinage des carrières à plâtre, nous pensons que le procédé de M. Kulhmann, très-applicable d'ailleurs avec succès, ne doit pourtant pas présenter dans ce cas les avantages incontestables signalés dans le nord de la France, et qui existeront pour tous les pays où les eaux alimentant des puits traversent seulement des terrains crayeux. Le savant chimiste de Lille le savait parfaitement bien, en conseillant le nouveau procédé, et il n'a jamais eu la prétention de lui attribuer plus de vertu qu'il n'en a réellement.

Nous pensons donc que les procédés: 1° des carbonates alcalins; 2° des matières colorantes, ont résolu d'une manière complète et très-heureuse le problème de désincrustation des chaudières à vapeur; et il faut savoir gré à M. Kulhmann d'avoir fait à l'industrie une communication gratuite de sa découverte, qui a bien son importance.

Avant d'abandonner le sujet qui nous occupe, nous demanderons s'il y a réellement impossibilité de purifier l'eau d'alimentation avant de l'introduire dans les chaudières. Les procédés qui viennent d'être indiqués sont bons, sans nul doute, mais ne peut-il pas, en industrie, se présenter des circonstances où la formation de tout dépôt serait nuisible.

Signalons superficiellement les moyens qui pourraient être employés. D'abord, le carbonate de chaux pourrait être précipité par l'ébullition chassant l'acide carbonique; on pourrait aussi saturer l'excès de cet acide, soit par un peu de chaux, soit par du carbonate de soude; ce moyen, même avec le dernier alcali, serait peu coûteux, car les eaux de la chaudière augmenteraient, d'après ce que nous avons dit à propos du procédé Kulhmann, en richesse alcaline, au fur et à mesure de l'alimentation, et pourraient très-bien servir elles-mêmes, au bout d'un certain temps, pour saturer l'acide carbonique. Il suffirait d'avoir des cuviers où s'opérerait le dépôt de carbonate de chaux.

Comme on peut décomposer aussi le sulfate de chaux et le chlorure de calcium en dissolution dans les eaux, le procédé n'est plus aussi économique que là où les eaux ne contiennent que de faibles quantités de ces deux derniers sels. C'est, en effet, le procédé Kulhmann, mais appliqué antérieurement à l'alimentation. Tout le monde sait que c'est le mode employé pour rendre les eaux calcaires propres au savonnage.

Quant à la quantité d'eau à purifier, on sait qu'un cheval de vapeur exige environ, par heure, 6 kilogr., de vapeur, et partant, 6 kilog. d'eau; marchant douze heures, 720 kilogr. d'eau; c'est-à-dire 7 hect. 2, soit, avec les pertes, 9 à 10 hectolitres.

Dans les usines où la vapeur sert au chauffage, on a généralement soin de recueillir attentivement toute l'eau de condensation, qui est de l'eau distillée, et cette cuve sert partiellement à l'alimentation de la chaudière, si elle n'a pas, toutefois, d'emploi plus profitable.

S'il est encore aujourd'hui des industriels qui n'emploient aucun moyen préservateur d'incrustations pour leurs chaudières à vapeur, il faut qu'ils soient bien peu soucieux de leurs intérêts et bien peu curieux des progrès de la science. A. MALLET.

Le travail excellent qu'on vient de lire doit être complété par l'indication de nombre d'essais postérieurs, qui ont augmenté les ressources qui permettent de s'affranchir des incrustations de la manière la plus simple dans chaque cas déterminé, en raison de la composition de l'eau qu'on est contraint d'employer.

Payen rangeait en trois classes les moyens de prévenir ou d'attaquer les incrustations :

1. Dans la première se place l'action des matières solubles ou très-divisées, capables de s'interposer entre les particules calcaires aussitôt qu'elles se précipitent, de les lubrifier et d'empêcher l'adhérence entre elles et avec les parois des générateurs.

2. Dans la deuxième sont placés les agents mécaniques qui, par les chocs et les frottements, divisent les dépôts et s'opposent à leur réunion par couches.

3. Dans la troisième se placent les réactifs chimiques qui décomposent le sulfate de chaux ou les autres substances incrustantes.

A ces trois classes, il convient d'ajouter :

4. Les systèmes propres à empêcher l'oxydation des surfaces des générateurs, cause de la grande adhérence des dépôts.

5. Les appareils permettant de recevoir les dépôts ailleurs que sur les surfaces de chauffe, et ceux servant à leur donner issue avant qu'ils n'aient contracté d'adhésion.

6. Enfin les modes d'épuration de l'eau d'alimentation, avant ou au moment d'entrer dans la chaudière, par des procédés physiques ou chimiques, et l'emploi de filtres, lorsque les matières incrustantes sont mises en suspension dans l'eau, cessant, par suite de réactions convenables, d'y rester dissoutes.

Passons en revue ces diverses natures de procédés, pour indiquer les progrès accomplis et les nouveaux systèmes proposés.

I. Les procédés reposant sur l'emploi des bois de teinture, du tannin, de la mélasse, etc., sont toujours au premier rang des substances désincrustantes. On peut varier de bien des manières ces compositions.

TARTRIPHAGE. Nous donnons ici la composition d'un des extraits qui réussissent le mieux dans la pratique: le tartriphage Constant, qui, disent les inventeurs, étant chimiquement neutre, ne peut nuire en rien aux générateurs et aux organes des machines. Son prix est peu élevé (1 fr. le litre), et il est adopté à Paris pour un nombre assez notable de chaudières. On recommande d'employer un litre, par 5 chevaux de force, tous les huit jours, pour éviter toute incrustation adhérente, pour les eaux de Seine.

Voici cette composition, dont tous les éléments n'ont pas sûrement le même degré d'utilité :

50 kilog.	écorce de chêne cuite dans	30 lit. d'eau.
5 »	bois de gaîne	15 »
5 »	cachou	15 »
10 »	mélasse	10 »
10 »	colle-forte	15 »
5 »	extrait de bois de campêche	10 »
Mélange de lessive savonneuse, de glycérine, de décoction de margarine		10 »

RACLURES DE CORNES. Ce produit, proposé par M. Saintgert, paraît, dit M. V. Bois (rapport à la Société d'encouragement, 1879), appartenir à la première classe; il est en partie soluble; il est divisé, il peut lubrifier les parties calcaires. Il paraît agir de la même façon que la pomme de terre, le son, le sirop de fécule, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En employant 4 kilog. par semaine pour un générateur d'assez forte dimension, les plaques de tartre cessent d'être adhérentes, s'enlèvent sans effort; sur les parties de tôle mises à nu par le détachement naturel du tartre, il existe une sorte de vernissage noirâtre. C'est, pensons-nous, là surtout que se doit trouver l'explication du bon effet du procédé, la matière animale, décomposée en petite quantité, empêchant par sa présence l'attaque de la tôle.

Pour éviter la mauvaise odeur qui résulte de la nature de la substance employée, il y a avantage à ne l'introduire dans le générateur que peu à peu, par petites quantités.

La glycérine qui agit sans doute d'une manière analogue, paraît avoir donné quelques bons résultats.

Des matières grasses. Un résultat important obtenu par des recherches auxquelles ont donné lieu des fuites survenues à des chaudières tubulaires établies avec le plus grand soin, mais qui ont de nombreux joints, c'est qu'une légère incrustation est souvent une condition de bon service. De l'eau distillée et aérée peut donner lieu à une détérioration rapide, et les chaudières marines, alimentées avec l'eau provenant des condenseurs à surface, donnent des fuites auxquelles on ne remédie qu'en alimentant quelque temps avec de l'eau de mer. Divers accidents qui auraient eu lieu au contact des parois métalliques cessent d'être possibles. Tels sont ceux qui peuvent résulter de la présence des matières grasses, que l'on doit proscrire de toute composition désincrustante. Celles-ci, comme les composés qu'elles forment avec le carbonate de chaux des eaux, peuvent bien empêcher les dépôts d'adhérer, mais elles peuvent en même temps empêcher les dépôts de mouiller les tôles, ce qui empêche la bonne transmission de la chaleur, occasionne des décrépitations et des soubresauts par l'ébullition; réalise en un mot la condition convenable pour que l'eau puisse passer à l'état sphéroïdal, et par suite constitue un danger d'explosion.

II. Nous avons dit combien des fragments de gros volume, de corps solides, étaient insuffisants pour empêcher l'adhérence des incrustations. Il paraît n'en pas être de même d'une poussière très-fine, d'un corps pesant, inaltérable par la chaleur. Tel semble être le mode d'opérer du talc.

Talc. Le talc a été proposé et étudié par M. Vigier, pharmacien à Paris, et M. Arragon, propriétaire au Bourg-d'Oisans (Isère) d'une carrière de cette substance.

Le chemin de fer de Lyon à la Méditerranée fait très-grand usage de ce procédé pour le service de ses machines. La quantité de talc à introduire dans une chaudière est environ le dixième du poids du dépôt qui se produit entre deux lavages consécutifs.

C'est un emploi intéressant d'une matière minérale très-abondante et de peu de valeur, douée de propriétés curieuses, notamment d'une grande inaltérabilité et se réduisant en poussière d'une extrême finesse. C'est sans doute en faisant matelas sous les incrustations qu'elle s'oppose à l'adhérence de celles-ci, et, par suite, à leur durcissement par l'action de la chaleur, lorsqu'elles sont en contact avec les parois de la chaudière.

Brosses métalliques. Des brosses métalliques tournant de manière à balayer le fond des chaudières, faisant un tour à intervalles de 6 ou 7 minutes, empêchent bien l'adhérence des dépôts, mais constituent un système peu commode.

III. L'emploi des sels de soude dans la chaudière a été analysé plus haut, et il n'y a pas été fait de tentatives d'autre nature pour agir chimiquement dans la chaudière. Il semble plus naturel d'employer les actions chimiques, pour séparer de l'eau les matières incrustantes avant de procéder à l'alimentation, ainsi que nous le dirons plus loin.

IV. *Systèmes propres à éviter l'oxydation des surfaces des chaudières et par suite l'adhérence des dépôts.*

Anti-incrustateur magnétique de Baker. Ce curieux appareil attira, en 1857, l'attention publique; il eut un moment assez de succès pour qu'il soit difficile d'admettre qu'il n'ait pas une certaine efficacité quand il est convenablement établi. M. R. Sabine, l'électricien anglais a cherché à en analyser l'effet.

L'anti-incrustateur consiste en un système de pointes métalliques disposées dans la chaudière de manière à recueillir l'électricité dégagée par la vapeur, à constituer une machine hydro-électrique. Dans la disposition adoptée par M. Baker, une étoile formée de pointes métalliques, dont les extrémités sont dorées, est supportée par un collier isolant et mise en communication avec la chaudière par un fil de cuivre. Lorsque la vapeur s'écoule, elle électrise cette étoile, qui, à son tour par l'intermédiaire du fil métallique, charge la chaudière d'électricité. Celle-ci, par suite, ne doit pas être mise en communication avec de grandes masses métalliques.

Il doit résulter de ceci que les particules de matière solide en suspension dans un liquide mauvais conducteur, au moment où elles touchent le métal de la chaudière, se chargent de l'électricité du même nom, et sont, par conséquent, repoussées.

Zinc. L'utilité du zinc dans les chaudières marines ayant été indiquée par le hasard, des expériences directes furent faites par M. Lesueur, qui constata son bon effet tant avec l'eau de mer qu'avec l'eau de la Loire.

Le zinc se ronge et disparaît; les matières déposées restent boueuses et s'enlèvent par un lavage. M. Lesueur pense que de l'eau se trouve décomposée, l'oxygène se portant sur le zinc, et se demande si ce n'est pas l'hydrogène se dégageant de la surface inférieure de la surface de la chaudière qui brise les dépôts, et empêche leur contact immédiat avec la surface de celle-ci.

Il n'est guère admissible qu'il se produise une action aussi énergique, qui ferait que l'action du zinc serait bien peu durable. Les expériences faites permettent de fixer à 20 kilogrammes, pour 100 chevaux-vapeur et une durée de trois mois de marche, la proportion de zinc à introduire à l'état de rognures et de débris de peu de valeur.

L'explication la plus probable de l'effet du zinc est celle du docteur Reinmann. Le zinc s'oxydant avant le fer, une eau acidulée n'attaquera pas le fer d'une chaudière et ne formera pas d'oxyde de fer si on met du zinc en présence. Celui-ci s'oxyde et le fer reste intact. Probablement cette action est beaucoup favorisée par le courant galvanique qui se produit au contact des deux métaux et l'action de l'oxygène dissous dans l'eau, le zinc formant le pôle positif et le fer de la chaudière le pôle négatif.

Les parois de la chaudière restent donc lisses, et non couvertes de rugosités composées d'oxyde de fer, qui sont la cause principale de la grande adhérence des dépôts; ceux-ci restent sous forme de boues.

L'emploi du zinc est donc indiqué surtout toutes les fois que les eaux d'alimentation sont acides.

V. Déjecteur Dumery. Lorsque l'eau bout, elle entraîne à sa surface les molécules solides qui restent en suspension, et qui ne peuvent, au moins pour la très-majeure partie, revenir se fixer à la partie inférieure qu'après s'être élevées à la surface, poussées par les bulles de la vapeur qui se forme. M. Dumery a pensé à utiliser ce phénomène pour débarrasser les chaudières des molécules solides à mesure qu'elles se forment. Nous reproduirons ici la description de l'appareil qu'il a combiné dans ce but et auquel il a donné le nom de déjecteur.

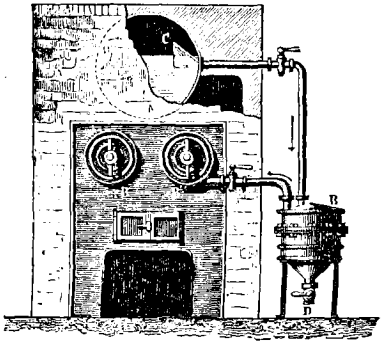
Les fonctions de cet appareil découlent toutes des lois de la physique, et se produisent d'elles-mêmes sans le secours d'aucun auxiliaire mécanique. Elles reposent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INCRUSTATIONS.

presque exclusivement sur cette remarque, que les matières étrangères à l'eau sont, tant que dure l'ébullition, soulevées et maintenues à la surface de l'eau par les bulles de vapeur qui cheminent toutes de bas en haut; il se forme entre les bulles de vapeur et les matières calcaires une sorte de jeu de raquette relevant incessamment celles des molécules solides qui voudraient descendre. Or, ceci établi, si l'on perce à la chaudière un trou à la partie supérieure, à la hauteur précisément où la vapeur maintient les matières solides; si l'on perce également un trou à la partie la plus basse des bouilleurs, et que, par un tuyau reliant ces deux trous, on établisse entre ces deux ouvertures un mouvement de circulation, toutes les matières qui se trouvent à la surface seront entraînées dans ce courant, et entreront indéfiniment dans la chaudière avec l'eau qui les charrie, si on ne les arrête en chemin. Mais si, dans l'intervalle de ce circuit, on place un appareil qui ait pour résultat de les retenir, il n'y aura que l'eau complétement débarrassée de ces matières qui retournera à la chaudière. Tel est le but du récipient qui est représenté sur le dessin (fig. 1303), à côté du générateur.

Fig. 1303.



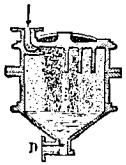


Fig. 1304.



Fig. 1305.

C'est donc, comme nous l'avons expliqué, par une circulation établie dans le plan vertical que les matières sortent de la chaudière; — c'est, de même, par un circuit, mais dans le plan horizontal, qu'elles sont empêchées d'y rentrer. Voici comment: l'eau chaude est plus légère que l'eau froide et se maintient au-dessus de celle-ci. Or, l'eau de la chaudière recevant l'action de la chaleur, tandis que celle du récipient n'est pas chauffée, c'est l'eau sortant de la chaudière qui surnage, c'est-à-dire qui occupe la partie supérieure du récipient. De la sorte, l'eau chargée des matières calcaires sortant de la chaudière, circule au-dessus de l'eau contenue dans le récipient, et c'est dans le trajet qu'elle a à faire au sommet du récipient que les matières trouvent le temps de graviter. Or, si le récipient représentait une simple boîte unie à l'intérieur, le chemin à parcourir depuis le point d'entrée jusqu'au point de sortie serait trop court pour que les matières eussent le temps de se précipiter, et elles rentreraient encore à la chaudière; mais si, sous le couvercle de ce récipient, on a appendu des cloisons qui forcent l'eau à parcourir un chemin suffisamment long pour que les matières solides aient le temps d'abandonner l'eau qui les charrie (fig. 1304 et 1305), celles-ci iront occuper le fond du récipient, et il n'y aura que l'eau complétement débarrassée de matières calcaires qui rentrera à la chaudière : c'est ce qui a lieu. On le voit donc, ce petit appareil, en tant que réalisation matérielle, se compose tout simplement de deux circuits : l'un dans le plan vertical, faisant sortir les matières de la chaudières; l'autre dans le plan horizontal, les capturant, les empêchant d'y rentrer : la vapeur, de son côté, se chargeant, d'une part, de provoquer le mouvement de tout le système; d'autre part, de soulever les matières et de les porter à la surface.

Cet élégant appareil est d'un emploi un peu délicat, ce qui a empêché sa propagation.

VI. Épuration préalable des eaux. Lorsque es eaux sont très-chargées de matières incrustantes, pour l'alimentation des locomotives des chemins de fer, par exemple, c'est bien souvent à l'épuration préalable des eaux qu'il faut avoir recours. L'emploi de réactifs chimiques convenables et peu coûteux permet d'y parvenir assez simplement pour les eaux renfermant en abondance du carbonate ou du sulfate de chaux. Pour l'eau de mer, renfermant une si grande quantité de chlorures, la chose devient à peu près impossible, et il a fallu avoir recours à la solution radicale, mais coûteuse, d'alimenter à l'eau distillée, à l'adoption des condenseurs à surfaces.

Eaux carbonatées. Le carbonate de chaux étant insoluble, il suffit, pour l'enlever, de dégager l'excès d'acide carbonique qui tient ce sel en solution. Il suffit pour cela de saturer l'acide carbonique par l'eau de chaux.

On commence par essayer la quantité d'eau de chaux nécessaire en en versant 1, 1 1/2, 2... centimètres cubes dans des verres renfermant, par exemple, 50 centilitres d'eau à essayer, et recouverts d'une glace pour éviter le passage de l'air. Une demi-heure après, on prend, avec un tube, une goutte du liquide de chaque verre, et on la met en contact avec du papier de curcuma. Toutes les gouttes qui s'entourent d'un petit cercle brun, sur ce papier, indiquent un petit excès de chaux, et l'on considère comme convenable la dose d'eau de chaux qui vient immédiatement après En grand, il vaut mieux mettre trop peu que trop de chaux.

Les dimensions des cuves et réservoirs doivent être déterminées, dans les divers cas, selon l'emplacement dont on dispose.

Il faut attendre 24 heures que le dépôt soit complet, et, mieux encore, compléter l'opération par un filtrage qui est devenu le complément indispensable de tous les procédés d'épuration préalable des eaux.

Eaux sulfatées. Le chlorure de baryum, qui se trouve aujourd'hui à bon marché dans le commerce, permet de précipiter avec facilité le sulfate de chaux des eaux qui fournissent les incrustations les plus tenaces. Le carbonate de baryte pourrait aussi servir; son action serait moins rapide que celle d'un sel soluble, et exigerait une agitation du liquide, mais il offrirait l'avantage de ne pas laisser dans l'eau des chlorures qui exercent une action nuisible sur le fer, si on les laisse arriver à un degré de concentration trop élevé.

Le carbonate de soude précipite la chaux à l'état de carbonate de chaux, en n'introduisant dans la chaudière qu'une substance qui s'oppose, comme nous l'avons dit plus haut, à la formation des dépôts adhérents, si l'épuration est incomplète.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Eau de chaux et soude. C'est sur les réactions qui viennent d'être indiquées, et aussi sur l'emploi de la soude caustique, que repose la méthode qu'ont appliquée les premiers, avec succès, MM. Bérenger et Stingl. Ils ont reconnu par de nombreux essais, que:

1° Le bicarbonate de chaux dissous dans l'eau est précipité par l'eau de chaux, à l'état de carbonate de chaux simple;

2° Les carbonates et sulfates de magnésie, le chlorure de magnésium ainsi que les oxydes de fer, dont une très-faible partie seulement est précipitée par l'eau de chaux à la température ordinaire, sont précipités par les bases alcalines comme la soude et la potasse caustiques;

3° Le sulfate de chaux et une certaine quantité de chlorure de calcium que contiennent presque toutes les eaux, sont précipités par les carbonates alcalins sous forme de carbonate de chaux.

Ils emploient par suite des dissolutions caustiques de soude ou de potasse obtenues avec les bases alcalines elles-mêmes, ou mieux, et à meilleur marché, en mélangeant une quantité déterminée d'une solution de carbonate alcalin avec de l'hydrate de chaux. Le mélange doit contenir un excès d'hydrate de chaux servant à précipiter le carbonate de chaux, l'acide silicique, les matières grasses, ainsi que toutes les substances organiques.

La disposition des cuves des bassins de dépôt est nécessairement variable avec les emplacements, leurs dimensions peuvent être très-réduites par l'agitation, par un déplacement méthodique. Nous n'avons pas à insister sur ces détails, mais nous donnerons la description des filtres qu'ils emploient.

Chaque filtre se compose d'un corps cylindrique en tôle, terminé à sa base par une calotte mi-sphérique, et surmonté d'un couvercle en fonte de même forme. Une cornière couronne le corps du filtre et permet de faire un joint étanche pouvant résister à la pression de plusieurs atmosphères.

Le liquide arrive par la partie centrale du couvercle, traverse les substances filtrantes et sort par une ouverture inférieure; comme on marche sous pression on peut encore envoyer le liquide par le bas et le faire évacuer par les tuyaux adaptés aux couvercles. Dans un sens ou dans l'autre le résultat est absolument le même.

La matière filtrante se compose d'un mélange en proportion variable suivant la pression, de copeaux de bois et de déchets de coke. Les copeaux de bois peuvent être remplacés par de la mousse végétale, des varechs, du foin, de la paille hachée ou par toute autre substance ayant une certaine élasticité et pouvant, sans décomposition, rester plusieurs mois en contact avec l'eau à filtrer.

Les copeaux de bois sont employés tels qu'ils sortent de l'atelier. La mousse et les varechs doivent être préalablement séchés et débarrassés des substances terreuses qu'ils contiennent. Les autres substances doivent être coupées en brins de 25 à 35 millimètres.

Quelles que soient les matières employées il faut avoir soin de les débarrasser des poussières par un bon tamisage, afin quelles ne puissent s'agglomérer sous une forte pression, ce qui interromprait l'opération. C'est d'ailleurs pour s'opposer à cette agglomération qu'on mélange avec les copeaux ou autres matières filtrantes, des déchets de coke, des scories de four ou même des cailloux lavés.

Le chargement d'un filtre se fait avec le plus grand soin afin de ne pas être renouvelé trop souvent.

On commence par placer au fond une grille horizontale en fer et une seconde grille également métallique et horizontale à 25 ou 30 centimètres au-dessus de la première. L'intervalle qui sépare ces deux grilles est rempli de matières filtrantes fortement tassées. Sur la seconde grille on place un cercle plein en planches de sapin et on remplit la partie supérieure du filtre de mélange filtrant, tassé le mieux possible avec les pieds; puis on fait le joint.

M. Tellier a combiné un filtre formé de cylindres percés de trous et entourés de feutre, qui fonctionne bien.

En résumé le procédé Bérenger et Stingl consiste à traiter l'eau, au fur et à mesure des besoins, au moyen de réactifs ajoutés en quantités exactes et d'une manière convenable; à éliminer ainsi, sans donner naissance à de nouveaux composés nuisibles, toutes les impuretés de l'eau, en formant des précipités insolubles, et à filtrer. Grâce à cette méthode, l'eau la plus mauvaise devient en peu d'instants, *pure, claire* et *limpide.*

Échauffement de l'eau. Un échauffement médiocre de l'eau fait évaporer l'acide carbonique et, par suite, précipiter les carbonates; s'il devient considérable, avant 150°, le sulfate de chaux cesse d'être soluble et se précipite à son tour.

M. Cousté a proposé de tirer parti de cette propriété pour épurer l'eau d'alimentation; c'est sur elle que reposent divers appareils de purification que l'on chauffe aisément avec la vapeur d'échappement de la machine à vapeur à alimenter.

Surchauffe de l'eau. M. Cousté a proposé de chauffer l'eau à 150° (sans la laisser se vaporiser), puis de la filtrer avant de la faire puiser par la pompe alimentaire. La disposition qu'il a proposée à cet effet nous paraît d'une application pratique assez difficile, et le nettoyage du surchauffeur presque aussi compliqué que celui de la chaudière; mais l'idée n'en est pas moins parfaitement logique, et il n'y a pas théoriquement de perte de chaleur à échauffer l'eau qui doit être vaporisée ensuite.

C est par un effet de cette nature que peuvent s'expliquer les curieux effets de la chaudière à diaphragmes construite par M. Boutigny, d'Évreux, à la suite de ses études sur l'état sphéroïdal, qui fournit peut-être le moyen pratique cherché par M. Cousté. L'eau, tombant sur les premiers diaphragmes, paraît chauffée assez brusquement, pour que toutes les matières incrustantes se déposent sur ceux-ci, et que, par suite, leur facile changement effectue le nettoyage de la chaudière.

Le premier effet de l'échauffement de l'eau est de faire déposer d'abord les carbonates, tenus en dissolution dans l'eau par l'acide carbonique qui se dégage, ensuite se déposent les sulfates, si on atteint des températures plus élevées. C'est ce qui se produit, par exemple, dans les tubes réchauffeurs des chaudières Farcot. Il semble, d'après cela, qu'en prenant pour l'eau d'alimentation partie de celle du condenseur, puis la réchauffant par un jet de vapeur, enfin en faisant traverser à l'eau un filtre convenable avant de la faire arriver à la pompe alimentaire, on arrivera à une solution complète de l'important problème de supprimer les incrustations dans presque tous les cas.

Hydro-purificateur Wagner. C'est par l'échauffement de l'eau avant son mélange avec celle de la chaudière que fonctionne cet appareil. Dans le modèle appliqué pour la première fois à une locomobile, toute l'action se passait dans le dôme de vapeur; l'eau d'alimentation y était déversée sur une série de plaques, où elle se vaporisait au milieu même de la vapeur déjà formée, en laissant la presque totalité de son limon sur les plaques. Celles-ci peuvent s'enlever toutes ensemble et être remplacées par une autre série de plaques, lorsque les incrustations y ont acquis une certaine épaisseur, 2 à 3 centimètres, par exemple. Il suffit de voir des dépôts de cette émission pour ne conserver aucun doute sur l'efficacité de cet appareil. Les dépôts ainsi recueillis se seraient évidemment formés dans la chaudière même, si l'on ne les avait en quelque sorte obligés à accepter la place qu'on leur a assignée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour que les résultats soient satisfaisants, il n'est pas nécessaire que l'eau se vaporise entièrement sur les plaques; il suffit qu'elle y acquière la température à laquelle le sulfate de chaux cesse d'être soluble.

Dans l'appareil isolé qui doit servir à l'alimentation d'un grand système de générateurs, les plaques sont placées dans une boîte rectangulaire AB (fig. 4306)

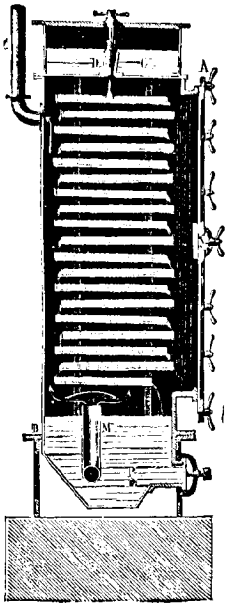


Fig. 4306.

parfaitement étanche. L'eau froide contenue dans la bâche supérieure C, vient tomber sur la première plaque en bois lorsqu'on ouvre le robinet, et de là sur les plaques successives, où elle dépose son limon, sous l'action de la vapeur introduite par le tuyau M, et à laquelle on peut donner issue par la tubulure N. Les différentes parties de cette capacité peuvent être visitées au moyen de regards fermés comme des trous d'homme; l'eau est recueillie dans le fond de la caisse, et de là, portée dans les générateurs au moyen d'une pompe alimentaire exerçant son action par le tuyau d'aspiration P.

L'effet de cette disposition sera complet si la vapeur introduite dans la boîte est à une température élevée. Peut-être n'en serait-il pas de même si l'on voulait, comme l'a dit l'inventeur, se servir exclusivement de la vapeur d'échappement de la machine : la température de cette vapeur serait le plus souvent trop peu élevée pour qu'on fût assuré de la précipitation des dépôts dans une proportion suffisante.

Peu après la date du brevet de M. Wagner, M. Schau, en Autriche, a fait connaître un appareil semblable, et, en le plaçant dans le dôme de vapeur, il l'a appliqué à un certain nombre de locomotives.

Les dépôts de plaques ont été pesés après un service de quelque durée, et l'on a ainsi reconnu que leur poids total représentait 311k,80; l'appareil a donc permis d'éliminer 311k,80 sur 414 kilog. de matières incrustantes que l'analyse indiquait exister dans la quantité d'eau vaporisée, soit 0,76, les sept dixièmes des incrustations avaient été évitées par l'emploi de ces quelques plaques.

La composition des eaux est notablement modifiée

quant à la proportion relative des sulfates et des carbonates; ce fait est mis en lumière avec beaucoup de précision, par les expériences de M. Durenne sur l'appareil Wagner à basse pression, dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

COMPOSITION DE L'EAU DE LA SEINE PAR LITRE.		PROPORTION de matières éliminées de l'appareil.
Avant son introduction dans l'appareil.	A sa sortie de l'appareil.	
gr	gr	gr
1. 1.140	0.180	0.84
2. 0.643	0.160	0.75
3. 0 042	0.025	0.40
1.825	0.365	0.80

1. Bicarbonate de chaux et de magnésie.
2. Sulfate de chaux et de magnésie.
3. Silice, chlorures, matières végétales et pertes.

On voit que l'on retire plus de carbonate que de sulfate, et l'eau introduite dans la chaudière renferme, à la suite de son épuration, la même petite teneur à peu près, de chacun de ces genres de sels.

Ces chiffres suffisent pour montrer toute l'importance des appareils de cette nature.

M. Wagner joint, en outre, à son appareil un élément important: c'est un filtre en bourre de soie, disposé dans un vase communiquant avec la caisse à plateaux et destiné à arrêter les sels solidifiés qui ne se seraient pas déposés.

Au point de vue de la purification absolue, on doit observer que l'efficacité plus ou moins complète de l'appareil purificateur, à haute ou à basse pression, dépend de la nature des eaux employées. Les sels très-solubles, comme les chlorures de sodium, de calcium, de magnésium, qui se trouvent en abondance dans l'eau de mer et dans les eaux saumâtres, que bien des machines sont réduites à employer, ne se déposent en quantité notable, que lorsque l'eau en est chargée à un point voisin de la saturation; heureusement qu'il n'en est pas de même des sulfates de chaux et de magnésie, auxquels tant d'eaux doivent leur dureté et leur propriété incrustante. Ces sels, bien moins solubles à toute température que les précédents, paraissent se déposer presque avec la même facilité que les carbonates calcaire et magnésien. C'est ce que montrent l'aspect et l'analyse des dépôts retirés de l'appareil Schau, et qui sont en grande partie formés de sulfate de chaux.

Il est bon de mentionner encore que, dans l'appareil à basse pression, on peut employer pour échauffer l'eau, en dehors de la vapeur d'échappement ou de la vapeur prise directement sur la chaudière, tout courant gazeux à haute température dont on peut disposer; l'appareil devient alors un appareil de réchauffage, de même qu'il est déjà un appareil de purification et de condensation. Enfin, cet appareil peut servir d'une façon générale à diverses opérations de séchage, de concentration, d'extraction des corps dissous dans des liquides, de distillation. La disposition adoptée, qui met en contact, dans un espace relativement restreint, un liquide et un gaz sur un très-grand nombre de points et pendant un temps très-long, peut être féconde en applications.

INCRUSTATIONS DES CHAUDIÈRES MARINES. — M. Cousté a trouvé que le dépôt incrustant, dans les chaudières marines, était formé presque complétement de sulfate de chaux qui, se déposant hydraté, devient anhydre par l'effet de la chaleur qu'il éprouve quand il est déposé sur la paroi métallique. Il devient amorphe par la cuisson, et contracte une grande dureté et une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grande adhérence avec le fond des chaudières. Il a trouvé que ces dépôts étaient composés de 0,81 à 0,85 de sulfate de chaux, 0,022 à 0,032 de carbonate de magnésie libre, d'un peu de fer, d'alumine et d'eau.

On concevra facilement tout l'intérêt que mérite la question des incrustations à la mer, quand on aura remarqué la rapidité effrayante avec laquelle elles se forment; leur épaisseur s'élève à 5 ou 6 millimètres après quelques jours. On voit de suite le ralentissement de la vaporisation, la difficulté pour la transmission de la chaleur qui résulte de l'interposition de cette couche terreuse. Il est tel qu'il est reconnu que, pour les transatlantiques, le nombre de tours de roue par minute diminue au moins de 1/5e, trois jours après avoir quitté le port où s'est effectuée la désincrustation totale de la chaudière.

Nous allons passer en revue, en profitant des travaux de M. Cousté, les moyens employés pour combattre les incrustations à la mer, ou pour supprimer l'emploi de l'eau de mer dans les chaudières, solution complète du problème de se mettre à l'abri des inconvénients qui s'attachent à l'emploi de l'eau salée.

1° *Pompe à désaturation.* L'eau de mer renferme 1/33e environ de matières salines et laisse déposer des cristaux lorsqu'elle en contient 12,33e. Après peu de temps, la vaporisation n'entraînant que de l'eau pure, on voit que, si rien ne s'y opposait, de grandes quantités de matières solides viendraient remplir la chaudière. Le moyen qui a été employé exclusivement bien longtemps, pour éviter cet inconvénient, consiste à enlever, à l'aide d'une pompe, une suffisante quantité d'eau saturée de sels, en la puisant au fond de la chaudière où se réunit l'eau saturée et par suite très-dense. Il suffirait, au point de vue de la saturation, que cette pompe enlevât deux ou trois douzièmes de l'eau apportée par la pompe alimentaire, mais il n'en est pas de même pour les incrustations. L'expérience a prouvé que lorsque la pompe de désaturation n'enlevait pas une proportion bien plus considérable de l'eau fournie par la pompe alimentaire, les incrustations se produisaient avec une très-grande rapidité. C'était dans ces faibles proportions, indiquées ci-dessus, qu'était réglée la marche de la pompe de désaturation, il y a quelques années, et les incrustations étaient telles, que les premiers essais de chaudières tubulaires, tentés par M. Gingembre, furent abandonnés, par suite des incrustations qui réunissaient bientôt tous les tubes en une seule masse.

Lorsqu'au contraire on s'est décidé à faire enlever à la pompe de désaturation moitié de l'eau envoyée dans la chaudière par la pompe alimentaire, le sulfate de chaux, de moins en moins soluble avec la chaleur, et insoluble dans l'eau à 150°, se trouve en suspension et entraîné en partie au dehors, d'où résultent une diminution de l'incrustation sur les surfaces directement exposées à l'action du feu, incrustation malheureusement encore bien notable, et la suppression des incrustations sur les surfaces indirectes de chauffe, sur celles qui ne sont chauffées que par la circulation de la fumée.

Ce résultat très-considérable fera toujours maintenir le jeu de la pompe de désaturation plus étendu qu'il n'est indispensable pour purger l'eau de mer des sels solubles, quel que soit, dans l'avenir, le sort des découvertes de matières anti-incrustantes qui pourront être faites pour combattre avec quelque succès les incrustations. D'où cette conséquence, au point de vue même de ces découvertes, qu'elles peuvent difficilement consister dans l'addition de substances solubles, puisqu'elles devraient s'appliquer à une grande quantité d'eau et être répandues en grande partie dans la mer en pure perte, au lieu de se combiner avec les substances incrustantes.

En second lieu, il est évident qu'il faut reprendre à l'eau expulsée la chaleur qu'elle renferme; car la quantité en devient importante. On y parvient en faisant sortir l'eau chaude par des tubes placés au centre des tuyaux qui conduisent l'eau froide à la pompe alimentaire; dans ce mouvement en sens inverse, s'il est suffisamment prolongé, il y a échange, déplacement de la chaleur. Dans la pratique, les incrustations qui se produisent par le moindre échauffement de l'eau salée, par suite du dégagement de l'acide carbonique qu'elle tient en dissolution, ce qui cause la précipitation de matières terreuses, s'opposent au bon échange de la chaleur entre les deux colonnes d'eau. La pompe de désaturation, comme les incrustations qui rendent dangereux un chauffage énergique, a été longtemps le grand obstacle à l'emploi de la haute pression à la mer; elle peut difficilement puiser de l'eau à une température un peu élevée, celle-ci se réduisant en vapeur qui remplit le corps de pompe à chaque coup de piston.

2° *Condenseur à surface.* Le remède radical consiste à condenser la vapeur d'eau, non plus par le contact direct de l'eau de mer, mais par son action indirecte, par l'intermédiaire de surfaces métalliques refroidies par cette eau. Le produit de la condensation, c'est-à-dire de l'eau distillée, retournant dans la chaudière pour l'alimenter, toute la question des incrustations est résolue, toutes les difficultés qui peuvent résulter de l'emploi de l'eau de mer, comme celles qui se rapportent à l'usage de la haute pression à la mer, se trouvent levées, puisque c'est une même quantité d'eau distillée, successivement vaporisée et condensée, qui effectue le travail dans la machine.

Haal, qui expérimenta le premier avec persévérance ce système, disposait son condenseur sous forme de longs tubes enroulés (de plusieurs milles de longueur pour de puissantes machines), recevant la vapeur à condenser à l'intérieur et plongés dans l'eau enlevée à mesure de l'échauffement par la partie supérieure. Il pensait avoir reconnu qu'une surface condensante de 1m.68 était suffisante par force de cheval. Un laborieux inventeur, M. Sauvage, a établi un condenseur de ce genre, dans lequel une surface de 0m.50 était suffisante par force de cheval, en faisant marcher l'eau condensante en sens inverse de la vapeur renfermée dans un tube placé à l'intérieur du tube qui contenait l'eau. Nous avons donné à l'article BATEAU A VAPEUR tous les détails relatifs aux dimensions adoptées pratiquement et à la construction des condenseurs à surface.

Il n'y aurait rien à désirer de mieux que ce système, s'il fonctionnait toujours, après quelque temps de service, comme lors de la mise en train, et il offre de tels avantages que son adoption est devenue une nécessité pour les navires à hélice; on ne peut que lutter contre les inconvénients qu'offre son emploi. Les dépôts que l'eau de mer fait sur les tuyaux, et aussi la graisse qui tapisse leur intérieur et qui provient de la vaporisation de celle qui a servi à lubrifier les organes de la machine, font, en effet, que le refroidissement de la vapeur par l'eau n'est plus seulement retardé par le passage de la chaleur à travers des corps métalliques bons conducteurs, mais encore à travers des substances qui la conduisent fort mal et qui s'opposent à une rapide condensation. Des lavages au carbonate de soude sont absolument nécessaires.

3° *Refroidissement de l'eau de condensation.* M. Cousté a proposé, s'il n'était pas possible d'abandonner le condenseur à eau, de chercher les moyens de refroidir l'eau de condensation, qui resterait toujours la même. Ce système semble peu acceptable, puisqu'on agirait sur des poids d'eau considérables, et, qu'en réalité, tout refroidissement produit mécaniquement, correspond à un travail résistant, à une consommation de travail; toutefois il n'est pas impossible que, dans certaines circonstances et avec certains systèmes de réfrigérants peu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dispendieux, empruntant surtout leur effet à l'atmosphère ou à la mer, il puisse être applicable. La conception est assez heureuse pour être notée comme un progrès industriel peut-être réalisable quelque jour. Cela deviendra d'autant plus possible, que la plus parfaite utilisation du travail mécanique que peut produire la vapeur aura entraîné la consommation d'une plus grande quantité de chaleur, et que par suite l'eau de condensation sera moins échauffée ou sera en quantité moindre.

INCUBATION ARTIFICIELLE. Voyez RÉGULATEUR DU FEU, la description complète de cette curieuse industrie.

INDIGO (*angl.* indigo, *all.* indig.) Substance tinctoriale bleue, très-solide, provenant de diverses plantes herbacées ou de petits arbustes croissant dans les pays chauds et cultivés dans des terres humides. Les principales espèces sont : l'indigotier tinctorial, sous-arbrisseau élevé à peine de 1 mètre, cultivé sur une très-grande échelle dans l'Inde; l'indigotier anil, également originaire des Indes Orientales, cultivé surtout au Guatémala; l'indigotier argenté dont les feuilles sont couvertes d'un duvet blanc et soyeux, cultivé en Égypte.

Aux Indes on sème soit au printemps, soit en automne, suivant l'espèce de la plante, les unes poussant plus lentement et ayant besoin de rester en terre plus longtemps que les autres. On coupe la plante entière aux mois de mai et de juin, alors que les fleurs commencent à s'ouvrir. Elle repousse assez rapidement, et on obtient ainsi une seconde, une troisième et quelquefois une quatrième coupe; la quantité du produit va d'ailleurs en diminuant.

Les paquets sont portés de suite à l'indigoterie pour obtenir l'indigo, qui ne se produit que par la fermentation du tissu spécial des plantes indigotifères.

On met les feuilles fraîches ou séchées dans une grande cuve dite *trempoir*, et on les recouvre de 4 à 5 centimètres d'eau; il s'y établit bientôt une fermentation active qui dure 10 à 14 heures; la liqueur se colore en jaune, et se recouvre d'une mousse qui passe bientôt; elle renferme une substance qui est séparée par décantation. On la chauffe pour arrêter la fermentation, et la matière, au contact de l'air, s'oxyde, bleuit et se précipite. Dans cet état, elle constitue l'indigo. La liqueur qui surnage est décantée dans une autre cuve découverte, et battue avec un agitateur; elle absorbe de l'oxygène, se trouble, et laisse déposer une nouvelle quantité d'indigo. On jette l'indigo sur un filtre de toile serrée; on le lave, et on le fait sécher. On ajoute souvent un peu d'eau de chaux à la liqueur chargée d'indigo, dans le double but d'accélérer sa précipitation et de rendre sa filtration plus facile.

Le *pastel* (isatis tinctoria), traité de la même manière, fournit également de l'indigo, mais en quantité beaucoup moindre.

L'indigo se trouve, dans le commerce, sous la forme de morceaux de grosseur très-variable, quelquefois irréguliers, d'autres fois cubiques ou plats, dont la nuance varie du bleu violet au bleu noirâtre. Ces fragments sont légers, faciles à rompre; ils n'ont point de saveur, mais ils happent plus ou moins à la langue, en raison de leur sécheresse et de leur porosité; ils ont une légère odeur, qui devient plus sensible lorsqu'on les chauffe; enfin leur cassure, de terne qu'elle est ordinairement, devient brillante et d'un rouge cuivré, lorsqu'on la frotte avec l'ongle ou avec tout autre corps dur. Les principales espèces sont les indigos de Java, les indigos du Bengale et ceux de Guatémala.

Plus l'indigo est léger, et plus la couleur cuivrée qu'il prend par frottement est brillante, est prononcée, meilleure est sa qualité.

Le procédé le plus exact pour reconnaître la valeur d'un indigo du commerce consiste à en faire dissoudre un poids donné dans 9 parties d'acide sulfurique concentré, à l'étendre d'eau, et à déterminer par expérience la quantité d'une dissolution titrée de chlorure décolorant qu'il faut y ajouter pour obtenir une décoloration complète; cette quantité sera proportionnelle à celle de la matière colorante contenue dans l'indigo essayé.

On se sert aussi quelquefois du *colorimètre* de M. Labillardière, dont l'emploi est basé sur ce que la quantité d'eau nécessaire pour amener au même degré deux dissolutions colorées, est proportionnelle à celle de la matière colorante qu'elles renferment. (Voyez TEINTURE).

L'indigo, soumis à une forte chaleur, répand des vapeurs pourpres qui se condensent aisément en petites aiguilles brillantes, d'un aspect métallique et de couleur cuivrée : ce produit est la matière colorante pure ou *indigotine*, dont la proportion est différente dans les diverses espèces d'indigo, et qui ne forme que les 0,45 de l'*indigo flor* de Guatémala, regardé comme le plus riche de tous.

L'indigo est insoluble dans l'eau et dans l'éther; un peu soluble dans l'alcool bouillant. Le chlore le décolore; enfin il se dissout sans altération dans 8 à 10 parties d'acide sulfurique concentré, ou 2 à 3 parties d'acide sulfurique fumant. Cette dissolution est d'un bleu noir extrêmement intense; étendue d'eau elle est d'un beau bleu, et constitue le *bleu de Saxe* employé à la teinture des laines.

L'acide nitrique détruit rapidement l'indigo et le convertit en une série de produits remarquables, parmi lesquels nous citerons les acides *indigotique* et *carbazotique*.

Tous les corps doués d'une grande affinité pour l'oxygène, qui sont mis en contact à la fois avec de l'indigo et un alcali, de la chaux par exemple, s'oxydent au dépens de l'indigo même et le changent en *indigo blanc*, réduit ou désoxygéné, insoluble dans l'eau, mais soluble dans les dissolutions alcalines; c'est à ces dissolutions alcalines d'indigo qu'on donne le nom de *cuve d'indigo* dans les ateliers de TEINTURE. Les corps qui sont le plus souvent employés pour produire, sous l'influence de l'eau, la désoxydation de l'indigo sont le protosulfate de fer et la chaux, l'orpiment et la potasse, la potasse et le protoxyde d'étain. La couleur du bleu de cuve est beaucoup plus solide que celle du bleu de Saxe.

L'indigo blanc a une telle affinité pour l'oxygène, qu'on n'a pu jusqu'ici l'obtenir pur à l'état solide, à cause de la difficulté d'opérer hors du contact de l'air, pour peu que la dissolution alcaline qui le renferme rencontre d'air ou d'oxygène, elle bleuit et laisse précipiter de l'indigo.

CUVE A FROID. — A l'article TEINTURE, nous décrivons les diverses cuves qui servent pour teindre à l'aide de l'indigo; nous ne donnons ici que quelques renseignements spéciaux dûs à M. D. Gonfreville, praticien expérimenté, qui décrit ainsi qu'il suit le montage d'une cuve à froid d'indigo :

1° Pour l'*indigo* belle qualité, on met dans une quantité d'eau bouillante suffisante pour le faire tremper à l'aise, le quart de son poids de potasse, et lorsque l'alcali est dissous, on tire à clair et on verse sur l'indigo qui se fendille et craque; on le laisse tremper quelques jours, on le broie et on le tamise.

2° *Potasse.* On la fait dissoudre simplement dans l'eau pour l'employer.

3° *Sulfate de fer.* On doit le choisir bien vert, à l'état de protoxyde, sans rouille qui fait un dépôt inutile dans la cuve, non bleu ni bleuâtre, parce qu'il contient alors du sulfate de cuivre nuisible à la désoxygénation de l'indigo, ni noir, parce qu'il contient alors un peu de principe astringent avec lequel on le fraude ainsi pour la convenance de quelques acheteurs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

4° *Chaux*. Doit être vive, légère, pure : il faut la bien déliter, même à l'eau chaude, avant de la mettre dans la cuve.

Pour monter la cuve : 1° on met 750 à 800 kil. ou litres d'eau pure et froide dans une cuve convenable et aux trois quarts pleine pour la manœuvre; on fait des cuves carrées en ciment, qui sont plus commodes pour cela que les pièces rondes en bois dont on se sert; 2° on met le sulfate de fer, et on le laisse dissoudre; il suffit pour cela de 10 à 15 minutes; on pallie pour aider; 3° on met de suite la chaux délitée et grossièrement passée à travers un charrier ou châssis de grosse toile; on pallie; enfin, 4° on ajoute immédiatement l'indigo broyé avec soin très-fin; on pallie. La cuve doit se trouver alors presque pleine; on laisse 24 heures la cuve agir ainsi en la palliant de temps en temps, et alors elle doit être parfaitement *venue* et verte sur un fond jaune, veinant bien et couverte d'une belle et abondante fleurée violette; on la remplit avec les lavures des ustensiles, on lui donne un dernier palliement, on la couvre, ce que beaucoup de teinturiers ne font pas, et 24 heures après, on peut teindre.

Pour *passer*, on écume la fleurée abondante qui tacherait le coton, et on le met sur la cuve voisine; après l'emploi de 40 à 50 kil., on pallie la cuve; on remet la fleurée qui peu à peu se redissout. On teint en une série de passes selon les nuances.

Après la teinture, on passe dans un bain acidulé, soit à l'acide sulfurique, mais plutôt par l'acide hydrochlorique, préférable en ce qu'il fait un sel de chaux soluble.

Nous sommes heureux de pouvoir compléter cet article par l'étude précise d'un nouveau procédé perfectionné pour l'application de l'indigo, que nous devons à l'obligeance d'un de ses auteurs.

EMPLOI DE L'HYDROSULFITE DE SOUDE DANS LA RÉDUCTION DE L'INDIGO. — Il y a quelques années, MM. P. Schutzenberger et F. de Lalande ont utilisé les propriétés énergiquement réductrices de l'hydrosulfite de soude pour transformer l'indigotine bleue en indigo blanc et la rendre, par ce moyen, soluble dans les alcalis et par conséquent susceptible de teindre. L'usage de ce nouveau moyen réducteur a conduit à des applications industrielles intéressantes et constitue un progrès réel dans la teinture et l'impression en bleu solide à l'indigo; aussi les fabricants de drap et les fabricants de toiles peintes, aussi bien en France qu'à l'étranger et notamment en Angleterre, n'ont-ils pas tardé à installer les nouvelles méthodes de réduction. Ces procédés fonctionnent avec avantage à Lille, Roubaix, Amiens et en Normandie.

L'acide hydrosulfureux découvert par M. Schutzenberger se forme toutes les fois que l'acide sulfureux se trouve en présence de l'hydrogène naissant, dans certaines conditions. Il diffère de l'acide sulfureux par de l'oxygène en moins. A l'état de liberté, il est très-peu stable et ne peut guère se manier ni s'isoler à l'état de pureté. Il se forme au début, lorsqu'on met du zinc en présence d'une solution d'acide sulfureux. Dans ces conditions, la liqueur prend une teinte jaune et acquiert la propriété de décolorer instantanément une solution d'acide sulfindigotique.

En remplaçant la solution d'acide sulfureux par une solution de bisulfite de soude à 30° Baumé, on obtient, au bout de quelques minutes de contact avec du zinc en copeaux ou en poudre, un mélange de sulfite de zinc, de sulfate de soude et d'hydrosulfite de soude, d'après l'équation :

$$\underset{\text{Bisulfite de soude.}}{3\,(SO\,Na\,OH\,O)} + Zn^2 = \underset{\text{Sulfite de soude.}}{SO\,(Na\,O)^2} +$$

$$\underset{\text{Sulfite de zinc.}}{SO\,(Zn\,O)^2} + \underset{\text{Hydrosulfite de soude.}}{S\,(Na\,OHO)} + H^2O,$$

Le liquide versé dans trois ou quatre fois son volume d'alcool, donne un précipité immédiat liquide qui se fige en quelques instants en une masse cristalline composée d'un mélange de sulfite de soude et de sulfite de zinc; la solution alcoolique décantée se prend au bout de cinq minutes en un magma cristallin formé de longues et fines aiguilles feutrées que l'on filtre rapidement sur un linge, que l'on exprime et sèche dans le vide. Ces aiguilles représentent l'hydrosulfite de soude.

En pratique, il est inutile de séparer l'hydrosulfite des sulfites au moyen de l'alcool et l'on emploie directement le liquide provenant de l'action du zinc sur la solution de bisulfite.

La préparation industrielle de l'hydrosulfite de soude pour la réduction de l'indigo constitue donc une opération fort simple. Pour la réussir, il faut néanmoins tenir compte de quelques conditions indispensables, qui sont : 1° Emploi d'un bisulfite marquant de 30 à 33° à l'aréomètre de Baumé, bien saturé d'acide sulfureux et exempt de sulfate de soude qui augmenterait le titre aréométrique du bissulfité au détriment du pouvoir réducteur qu'il peut acquérir sous l'influence du zinc.

2° Le contact du bisulfite avec le zinc doit se faire sur une large surface et à l'abri de l'air qui oxyderait l'hydrosulfite d'abord formé et diminuerait d'autant le pouvoir réducteur. Il ne doit pas, non plus être trop prolongé, car l'hydrosulfite s'altère spontanément assez rapidement, même à l'abri de l'air, en se changeant en hyposulfite.

On peut procéder de deux manières : avec le zinc en feuilles ou en grenailles, et avec le zinc en poudre.

Avec le zinc en feuilles ou en grenailles, on emploie des vases pouvant être bien bouchés, par exemple, des tonneaux en bois munis d'une ouverture à la partie supérieure et d'un robinet à la base, ou encore de grands flacons en verre ou des récipients en grès. On remplit complétement le vase avec des rognures de zinc coupées en lanières de 1 à 2 centimètres de largeur, sur 40 à 50 centimètres de longueur. Les lanières sont tordues sur elles-mêmes de manière à ce que, dans le vase, elles ne s'appliquent pas les unes sur les autres, et que tout en le remplissant, elles laissent disponibles pour un liquide la plus grande partie du volume réel. La surface du zinc étant propre et décapée, on remplit le vase avec du bisulfite de soude. On laisse la réaction s'opérer à l'abri de l'air pendant 35 à 40 minutes. Le liquide, soutiré au bout de ce temps et qui s'est notablement échauffé en perdant l'odeur d'acide sulfureux, peut servir directement à la réduction de l'indigo, dans ce cas il doit être utilisé immédiatement comme nous le verrons plus loin. Veut-on au contraire le conserver, il est nécessaire de le traiter par une quantité suffisante d'un lait de chaux qui donne lieu à la précipitation de l'oxyde de zinc et du sulfite de chaux. Le liquide filtré et exprimé ou simplement décanté doit avoir une réaction faiblement alcaline. Il peut être alors conservé plusieurs jours dans des vases bien bouchés à l'abri de l'air.

Pour 1 kilogramme d'hydrosulfite, tel qu'il résulte de l'action du bisulfite à 35 degrés Baumé sur le zinc, on emploie environ 350 grammes d'un lait de chaux à raison de 200 grammes de chaux vive pour un litre de lait.

Le zinc qui a servi à une première opération peut être utilisé à nouveau, à condition d'avoir été bien lavé et décapé avec de l'eau acidulée à l'acide chlorydrique.

La préparation de l'hydrosulfite de soude brut au moyen du zinc en poudre est plus simple. Il suffit de verser dans un vase fermé, muni d'un agitateur, la quantité de bisulfite liquide sur laquelle on veut opérer et d'ajouter par un orifice, que l'on bouche ensuite, la quantité de zinc en poudre nécessaire (7 à 10 p. 100 de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bisulfite à 35 degrés Baumé). On agite quelques minutes (10 à 12), et le liquide peut être immédiatement employé ou saturé à la chaux comme il est dit ci-dessus.

Réduction de l'indigo. — L'hydrosulfite de soude préparé par les procédés décrits plus haut, mis en présence de l'indigo bleu broyé et d'une quantité suffisante d'un alcali (soude, potasse, chaux), réduit l'indigo instantanément ou en très-peu de temps, surtout à une température de 50 à 60 degrés. Si la quantité d'alcali employée est non-seulement suffisante pour saturer le bisulfite de soude qui tend à se former par l'oxydation de l'hydrosulfite, mais encore pour dissoudre l'indigo blanc formé, on obtient une cuve ou dissolution d'indigo de couleur jaune clair, qui peut être plus ou moins concentrée suivant la force de l'hydrosulfite et la quantité d'indigo mis en œuvre pour une même proportion d'eau. Si au contraire, on n'a fait intervenir que la dose d'alcali nécessaire pour la saturation du bisulfite, l'indigo réduit reste au fond du vase sous forme d'une poudre blanche, dense, facile à séparer par décantation, soluble dans les lessives alcalines. La réaction est exprimée par l'équation

$$\underset{\text{Hydrosulfite de soude.}}{S\,Na\,O\,(HO)} + \underset{\text{Indigo bleu.}}{Na\,HO + 2\,C^8\,H^5\,Hz\,O} =$$

$$\underset{\text{Sulfite neutre.}}{SO\,(Na\,O)^2} + \underset{\text{Indigo bleu.}}{2\,(C^8\,H^6\,Az\,O)}.$$

Pour la teinture de la laine, il est nécessaire de faire usage d'une cuve claire.

A cet effet, on commence par réduire l'indigo au moyen de l'hydrosulfite clair saturé à la chaux. Celui-ci préparé comme ci-dessus est étendu de 3 à 4 volumes d'eau et abandonné au repos; le liquide clair surnageant est soutiré.

Pour 1 kilogr. d'indigo, on emploie 1000 à 1300 grammes de lait de chaux (à 200 gr. de chaux par litre) et la quantité d'hydrosulfite saturé à la chaux correspondant à 8 ou 10 kilogr. de bisulfite concentré. On chauffe vers 70 à 75° cent. jusqu'à réduction complète.

Pour monter la cuve, on en chauffe l'eau vers 45 à 50° avec un serpentin à vapeur, on enlève l'oxygène dissous en y versant de l'hydrosulfite saturé, puis on ajoute la solution calcaire concentrée d'indigo réduit, en quantité suffisante pour amener le blanc à la force voulue et l'on teint à la manière ordinaire, en remplaçant l'indigo enlevé par des additions successives de bain concentré. La cuve doit renfermer toujours un excès d'hydrosulfite, être jaune et claire. La durée de la trempe varie de 10 à 15 minutes, généralement au bout de quinze minutes, la laine n'attire plus de matière colorante. La laine retirée du bain est égouttée rapidement et même au besoin exprimée entre deux rouleaux presseurs, puis déverdie en l'éventant à l'air. Si on laissait le liquide alcalin et encore réducteur, qui imprègne la fibre au moment où on la sort du bain, filtrer trop longtemps à travers la laine chargée d'indigo blanc, celui-ci serait partiellement dissous par l'alcali et la couleur serait rongée et affaiblie sur certains points. On peut obvier à cet inconvénient en plongeant la laine égouttée rapidement dans un bain légèrement acidulé à l'acide sulfurique.

Si par accident, le blanc verdit, il est nécessaire avant d'en faire usage, d'ajouter de nouveau de l'hydrosulfite et au besoin de l'alcali, et de chauffer quelque temps à 75 degrés pour le ramener au jaune par la réduction de l'indigo. Pendant le travail, l'alcalinité de la cuve augmente peu à peu, au point de gêner la teinture et d'attaquer le fibre; il est alors nécessaire de neutraliser partiellement l'alcali libre par des additions convenables d'acide chlorhydrique. La teinture des draps de laine peut s'effectuer dans des cuves montées à l'indigo réduit par l'hydrosulfite, semblables à celles qui servent à la teinture au moyen des cuves de fermentation; mais il est plus avantageux de faire usage de cuves rectangulaires dans lesquelles plonge un cadre portant deux rangées de roulettes horizontales disposées sur deux plans horizontaux dont l'un serait à quelques centimètres au-dessus du fond et l'autre à quelques centimètres au-dessous du niveau du liquide. Les pièces circulant d'une manière continue dans la cuve tendues sur les roulettes, vont se faire exprimer entre deux cylindres presseurs garnis de drap placés au-dessus de l'extrémité la cuve, puis se déverdissent en passant exposées à l'air sur une seconde série de roulettes.

La teinture du coton avec les cuves montées à l'hydrosulfite s'effectue comme celle dans les cuves au vitriol, seulement les cuves sont claires, sans dépôt et leur force peut être maintenue par des additions successives d'indigo réduit.

Procédé d'impression de l'indigo réduit par l'hydrosulfite. — 1° Réduction de l'indigo. On introduit 20 litres d'indigo Bengale de bonne qualité, broyé à l'eau et contenant 2 kilogr. d'indigo sec dans une chaudière en cuivre à double enveloppe de 60 à 80 litres de capacité et l'on ajoute :

5 à 5 1/4 kilogr. de soude caustique à 33° B;
44 kilogr. hydrosulfite de soude fraîchement préparé et non saturé à chaux.

On chauffe vers 75° C. pendant 15 à 20 minutes. Lorsque la réduction est complète, on ajoute par un entonnoir à long col allant jusqu'au fond de la chaudière et en remuant sans cesse 3 1/2 à 3 3/4 de litres d'acide chlorydrique, de manière à rendre la liqueur légèrement acide. Après quelques heures de repos, on décante la liqueur claire qui surnage le précipité d'indigo blanc. Celui-ci est lavé une seconde fois par décantation, puis filtré et égoutté. On obtient ainsi 7 kilogr. de pâte d'indigo réduit que l'on incorpore dans 20 kilogr. d'eau de gomme contenant 1400 gr. de gomme du Sénégal par litre d'eau. Cette préparation que l'on appelle bleu gommé peut se conserver longtemps, même au contact de l'air.

Pour préparer la couleur à imprimer, on prend :

(1) 20 kil. bleu gommé;
40 3/4 kil. d'hydrosulfite de soude saturé à la chaux;
1866 de lait de chaux à 200 gr. chaux vive par litre;
2 kil. d'eau de gomme;

(ou 2) 10 kil. bleu gommé;
6 kil. d'eau de gomme;
7 kil. d'hydrosulfite de soude saturé à la chaux;
950 gr. lait de chaux à 200 gr. chaux vive par litre.

(ou 3) 4410 gr. bleu gommé;
8 kil. hydrosulfite de soude saturé;
6 kil. eau de gomme ordinaire;
420 gr. soude caustique à 36 degrés Baumé.

On peut aussi préparer la couleur d'impression directement avec l'indigo bleu, en versant dans une chaudière :

3 3/4 kil. indigo bleu broyé à l'eau, contenant 2 kil. indigo sec pour 15 litres;
3 kil. gomme en poudre; puis, après solution,
5 kil. hydrosulfite de soude saturé;
450 gr. lait de chaux à 200 gr. chaux vive par litre.

On chauffe pendant 20 minutes à 70 degrés cent.; on laisse refroidir à 35° cent. et on ajoute :

1 1/2 kil. hydrosulfite de soude saturé, puis
450 gr. lait de chaux à 200 gr. chaux vive par litre.

Au delà de 40 gr. d'indigo bleu par kilogr. de couleur, il est impossible d'augmenter l'intensité du bleu.

Les couleurs précédentes se coupent facilement avec de l'eau gommée additionnée d'une certaine quantité d'hydrosulfite de soude saturé.

Pendant l'impression, il est convenable de maintenir les couleurs à 30 ou 35 degrés centigrades.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Plus les couleurs sont minces, plus les résultats définitifs sont bons.

Après l'impression des pièces, on étend celles-ci jusqu'au lendemain dans un endroit aéré, puis on lave à la rivière et dans un clapot, et on savonne 3/4 d'heure, à 50 ou 60 degrés centigrades.

Si le bleu à l'hydrosulfite est imprimé à la machine à plusieurs couleurs avec d'autres couleurs, pour des fabrications spéciales, on fait ensuite subir aux pièces les opérations indiquées pour ces dernières, sans tenir compte d'une manière notable du bleu qui figure sur les pièces ; car il est démontré que les passages en cristaux ou sel de soude, en acide sulfurique à divers degrés de concentration, en bichromate de potasse chaud ou froid, en silicate de soude, en bouse, n'ont pas d'influence sensible sur le bleu fixé. Le bleu à l'hydrosulfite peut donc être associé au noir d'aniline, au puce de naphtylamine, à l'orange de chrome, au cachou, aux rouges de garancine et aux violets de garance et d'alizarine artificielle.

L'emploi de ce bleu réalise sur celui de l'ancien bleu solide, pour la même intensité, une économie de 50 p. 100 environ sur la dose d'indigo nécessaire.

INDUCTION. Voy. *Complément*.

INJECTEUR. L'injecteur Giffard (voir ce mot au *Complément*) a ouvert la voie à l'utilisation industrielle des phénomènes d'entraînement des fluides, encore incomplétement étudiés. Outre l'application que nous venons de rappeler et qui est si curieuse par le grand changement de densité des corps en mouvement, par la liquéfaction de la vapeur, ce qui conduit au résultat en apparence paradoxal de faire rentrer de l'eau dans une chaudière par l'effet de la pression même qui existe dans l'intérieur de celle-ci, on doit citer encore l'insufflateur Siemens (voy. TIRAGE) comme une autre et intéressante utilisation des mêmes phénomènes.

Les recherches de Venturi sur les ajutages, celles sur les contractions des veines fluides, sont les premières faites relativement à des phénomènes trop souvent considérés longtemps à un simple point de vue d'expérimentation curieuse, et dont la théorie mécanique attend d'utiles compléments.

Entraînement de l'air. M. de Romilly a fait, au sujet de l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur des expériences qui l'ont conduit à d'intéressants résultats. Dans ces expériences nombreuses, le jet d'air, sortant d'un réservoir où il est comprimé par un ajutage lanceur, entraîne avec lui une certaine quantité d'air ambiant, qui entre dans une capacité par un ajutage récepteur.

Cette capacité consiste dans un gazomètre bien équilibré, mis en communication avec l'ajutage récepteur par des tuyaux à grande section. L'air, passant librement, soulève et emplit la cloche en un temps observé au compteur à secondes. Cette durée et le volume du gazomètre permettent de mesurer la quantité d'air entraîné et sa vitesse à l'orifice. Quand la cloche du gazomètre est immobilisée, celui-ci forme récipient clos. Un manomètre indique les pressions qui se produisent dans son intérieur.

On commençait l'expérience en introduisant et lutant le lanceur dans le récepteur. On séparait ensuite le lanceur du récepteur, et l'on déduisait de la durée du temps d'emplissage les effets de l'éloignement et de l'excentration à toute distance.

Nous empruntons au mémoire original l'indication des effets les plus curieux qui ont été ainsi observés.

Effet du jet lancé dans l'orifice du récepteur. L'ajutage récepteur qui donne le maximum d'effet est le conique de 5 à 7 degrés (petite section regardant le lanceur), ayant le même angle de divergence que l'ajutage, que Venturi avait reconnu le plus avantageux dans ses expériences hydrauliques. Le lanceur doit être placé à l'extérieur, éloigné d'une distance qui croît en raison de la section du récepteur, et peu avec la pression au lanceur, dans les limites des pressions expérimentées, toujours assez peu différentes de 1 atmosphère.

Dans ce cas, la quantité d'air reçu (q) est dans la proportion des diamètres du récepteur et du lanceur $q = \frac{D}{d}$, D diamètre du récepteur, d diamètre du lanceur. Il en résulte la conservation intégrale de la quantité du mouvement, en se servant du présent ajutage dans les conditions du maximum.

Les nombres suivants, fournis par quelques expériences, montreront bien les effets d'entraînement d'air ainsi obtenus. Le lanceur étant à mince paroi (diamètre = 0,001, réduit à 0,0008 par contraction de la veine; pression 1 atmosphère), tandis qu'avec le lanceur luté au bout du récepteur, le gazomètre de 58 litres était rempli en 173 secondes, soit 0lit,282 à une vitesse de 564 minutes, d'où $mv = 159$, on a avec dans l'air:

Diamètre du récepteur.	Temps du remplissage (48 lit.)	Quantité par seconde.	Vitesses.	Quantité de mouvement.
		lit.	m.	
0,004	34″	1,41	112,09	158
0,008	17″	2,82	56,40	159
0,016	8″,5	5,64	28,20	159
0,032	4″,2	11,00	14,25	162

On voit combien l'entraînement croît rapidement avec le diamètre récepteur, pour une même quantité d'air sortant du lanceur.

Distance de l'extrémité du lanceur et de l'orifice du récepteur. L'expérience la plus curieuse que l'on puisse faire avec la disposition qui vient d'être décrite, celle qui peut le mieux indiquer comment se passent les phénomènes, consiste à placer successivement le lanceur à l'extrémité du récepteur, puis à des distances croissantes. On obtient ainsi bientôt un maximum parfaitement déterminé, une distance pour laquelle le remplissage du gazomètre se fait avec une rapidité surprenante, 40 ou 50 fois moindre que lorsque le lanceur était près de l'orifice.

Nous ne parlerons pas des autres formes d'ajutages, toutes défectueuses auprès de celle décrite ci-dessus ; l'ajutage cylindrique est le moins imparfait, mais sa perte, relativement à celui de Venturi, est de 25 p. 100.

Pressions. Les expériences relatives aux pressions dans le récipient clos n'ont pas été nombreuses et sont à compléter. Elles n'ont donné que de faibles accroissements de pression dans le récipient, sans que les conditions du maximum aient été analysées. Il y a là une importante série de recherches à faire, en variant les pressions motrices, les longueurs et les diamètres des tuyaux de communication avec le reservoir. Comprimer l'air par l'action directe de la vapeur, constituer avec une faible dépense de travail un mélange d'air et de vapeur sous pression, ce qui n'est possible qu'avec un travail résistant considérable quand on emploie des pompes, ce serait résoudre un problème pouvant conduire à d'importantes applications. Un gaz comprimé produisant un courant animé d'une force vive égale au travail de la compression, il doit être possible, à l'aide de ce courant, de rétablir pour une part importante, l'état de compression, et ce n'est que par l'étude des phénomènes à l'état de mouvement et probablement par la bonne utilisation des effets d'entraînement de l'air qu'on pourra résoudre sans trop d'imperfection le problème.

INJECTION DES BOIS. Voy. *Complément*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INSTRUMENTS D'AGRICULTURE. La situation faite à l'agriculture par le système économique de la société moderne, dont les conséquences sont le renchérissement de la main-d'œuvre et l'avilissement des produits par la libre concurrence et par la facilité des transports, tend à faire atteindre un très-grand développement à la mécanique agricole.

Les machines permettent seules en effet de résoudre le problème posé, et de produire à de moindres prix avec une main-d'œuvre mieux salariée; d'appliquer au façonnage du sol une grande quantité de travail mécanique, non en multipliant la fatigue du laboureur, mais en utilisant les forces des animaux et même les puissances motrices fournies par la houille et les forces naturelles.

Dans cette étude des instruments employés en agriculture, nous chercherons à faire bien comprendre les principes généraux, d'ailleurs peu nombreux, sur lesquels repose la construction de tous ces appareils.

L'ordre des travaux de la ferme servira de cadre au classement adopté, qui comprendra :

1° Les instruments destinés à la préparation mécanique du sol;

2° Les semoirs;

3° Les appareils destinés à la récolte;

4° Les machines pour les préparations données aux produits dans les fermes.

Chacun de ces groupes sera subdivisé en deux ou trois sections, suivant la nature du moteur employé.

PREMIER GROUPE. INSTRUMENTS DESTINÉS A LA PRÉPARATION DU SOL.

La bonne préparation du sol, son émiettement parfait, pour que l'air et l'eau puissent le pénétrer, rendre assimilables par les racines des plantes les matières fertilisantes qu'il renferme, est le plus puissant moyen d'obtenir d'abondantes récoltes. Mais elle ne peut résulter que de façons coûteuses, dont le bon marché est d'importance extrême, puisqu'il est une cause d'abaissement du prix de revient des produits qui sont forcément la base de l'alimentation des hommes.

Première section. — Instruments à bras d'homme. Ces instruments sont de deux sortes : ceux où l'homme agit, en partie au moins, par son poids, et ceux où il emploie seulement sa force musculaire à développer une puissance vive dans l'outil.

Le type de la première classe est la *bêche*, que tout le monde connaît. C'est un fer trapézoïdal, coupant par sa base, fixé à un manche en bois. L'ouvrier appuie son pied sur l'arête supérieure du fer de la bêche, et, par son poids, le fait pénétrer dans le sol. Ensuite, en agissant sur le manche comme sur un bras de levier, il détache des parties voisines la motte découpée. Enfin, il soulève cette motte et la retourne.

Des observations faites avec soin ont indiqué les résultats suivants pour le travail d'un homme employant la bêche. D'après M. de Gasparin, un homme peut bêcher un hectare en 51 jours dans un terrain de résistance moyenne. A Blois on emploie pour le même travail 88 journées environ. Dans le Puy-de-Dôme 72. Dans des terrains très-compactes, avec sol mélangé de racines, la durée du travail peut aller jusqu'à 120 et 130 jours.

Lorsque la terre est très-meuble, on remplace la bêche par la *pelle* en bois ou en fer, qui n'est autre chose qu'une bêche plus légère.

Si le terrain est pierreux et que la bêche n'y puisse descendre, on la remplace par une *fourche* à deux ou trois dents, dont les pointes évitent ou dérangent les obstacles.

Dans la seconde classe, comprenant les outils qui agissent par la puissance vive qui leur a été imprimée, se rangent le pic, la pioche et la houe.

INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.

Le *pic* est une grosse pointe de fer fixée perpendiculairement à l'extrémité d'un manche en bois. L'ouvrier le soulève au-dessus de sa tête, puis le laisse retomber sur la pointe, en ajoutant l'impulsion de ses muscles à celle de la pesanteur.

La *pioche* est disposée come le pic, mais au lieu de finir en pointe, elle s'aplatit en forme de tranchant.

Quelquefois, la lame plate de la pioche est remplacée par une fourche à deux dents; c'est comme un assemblage de deux petits pics fixés au même manche, et faisant entre eux un angle de quelques degrés.

Enfin, on rencontre presque partout l'instrument appelé *fournée*, qui présente, à l'extrémité du manche, d'un côté un pic, et, de l'autre, une pioche.

Lorsqu'il s'agit d'enlever les gazons ou d'ameublir un terrain peu tenace, comme pour les binages, on a recours à la *houe*. C'est une sorte de large pioche, à lame très-plate, fixée sur le manche, non plus perpendiculairement, mais à angle aigu. On peut dire encore que c'est une bêche légère dont la douille serait recourbée à angle aigu. L'ouvrier qui s'en sert se tient courbé, et découpe les mottes horizontalement. La houe prend quelquefois le nom d'*écobue*.

Enfin, pour les binages légers, les sarclages et autres travaux analogues, l'instrument se transforme en *binette*, en *serfouette*, etc., sortes de petites houes, simples ou prolongées par des dents.

Deuxième section. — Instruments mus par les animaux. Les outils à bras d'homme font, en général, un travail très-perfectionné, mais leur lenteur et le prix auquel ils font monter les façons ne les rendent propres qu'à la petite culture. Dans la grande et la moyenne culture, la préparation du sol se fait au moyen d'instruments mus par les animaux, qui réduisent des 9/10 le prix de revient des labours. Ces instruments sont très-variés; mais ils se rapportent tous à quelques types peu nombreux.

1° *Charrue.* La charrue est le plus ancien comme le plus usuel des instruments agricoles. Elle a pour objet, comme la bêche, de découper la terre et de la retourner; mais, au lieu de mottes, elle produit des bandes continues. Ses trois organes essentiels sont le *coutre*, qui tranche verticalement, le *soc* qui tranche horizontalement, et le *versoir* qui retourne les bandes découpées par les deux autres outils. Ces trois organes sont portés sur un bâti, auquel s'ajustent d'autres organes accessoires. Toutes les pièces élémentaires des diverses charrues sont toujours les mêmes, en principe, et ne varient que par leurs dispositions de détail. Nous pouvons donc donner comme exemple un seul modèle de charrue, et nous choisirons celle de Dombasle, l'une des plus répandues en France.

Bâti. Le bâti comprend d'abord une pièce GF (fig. 1) généralement en bois, quelquefois en fer, placée en dessus de toute la machine, faisant avec le sol un angle aigu, ou quelquefois restant horizontale. C'est ce qu'on appelle l'*age* ou la *haie* de la charrue.

Le *sep* C est une pièce horizontale, en fonte ou en bois, progressant sur le fond du sillon.

Il est relié à l'age au moyen de montants E, en fer, en fonte ou en bois, que l'on nomme les *étançons*.

Coutre. Le coutre B est une sorte de couteau, emmanché dans l'age, et présentant sa tranche en avant. Sa forme générale est celle d'un solide d'égale résistance. Sa section horizontale est, comme dans les couteaux, celle d'un coin, dont la bissectrice est dirigée parallèlement au sillon.

Le coutre n'est pas fixé dans une position verticale. Il s'incline en avant du côté de la pointe. Cette disposition s'oppose à la tendance que l'outil aurait autrement à sortir de terre, par suite de la résistance du sol.

L'arête antérieure, le tranchant du coutre, est généralement une ligne droite. Quelquefois il se recourbe

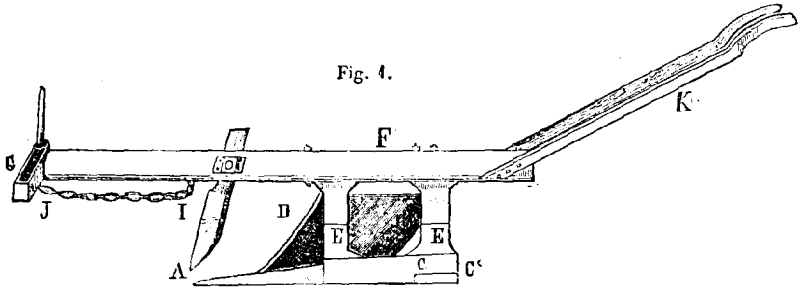
EFERUS - Recherche & Classification numérique

vers la pointe, en forme de serpette ou de faucille, afin de mieux couper les herbes ou les racines. Mais alors l'entretien de cette pièce devient difficile, ce qui est un grave inconvénient dans les campagnes.

Le tranchant du coutre est généralement dans un plan vertical. Quelquefois, lorsqu'il est emmanché atéralement à l'age, on le dirige un peu obliquement, afin de ramener le point d'application de la résistance dans l'axe général de l'appareil.

Le mode d'attache du coutre avec l'age est très-variable. Autrefois on se contentait de percer dans l'age une mortaise, où le manche du coutre était maintenu en place par des coins en fer ou en bois. Cette disposition avait l'inconvénient d'affaiblir l'age. On essaya ensuite d'introduire le manche du coutre dans une boîte en fonte, fixée latéralement à l'age par des boulons. Aujourd'hui, on préfère serrer le manche du coutre contre l'age au moyen d'étriers en fer dont les tiges ne traversent pas l'âge. La charrue Howard dont il est question plus loin présente un exemple de cette disposition.

Fig. 1.



Soc. Le soc A, destiné à trancher la terre horizontalement, a la forme d'un demi-fer de lance, ou d'un triangle rectangle, dont l'hypothénuse est tranchante, et dont les deux autres côtés sont l'un parallèle, l'autre perpendiculaire à l'axe de la charrue. Cette partie triangulaire est ce qu'on nomme l'*aile* du soc. Elle se prolonge par une sorte de douille, nommée *souche*, qui embrasse l'extrémité du sep. Au lieu d'une souche, on adapte quelquefois à l'aile du soc une tige, qui pénètre dans une douille faisant partie du sep. Mais l'une et l'autre de ces dispositions tendent à disparaître. Les socs aujourd'hui le plus en usage, dits Américains, n'ont ni souche, ni tige. Leur forme est trapézoïdale, et le côté opposé à la pointe est fixé, au moyen de boulons, à la partie antérieure du sep, ou plutôt du versoir, avec lequel ils se raccordent en formant une surface gauche.

Les anciens socs étaient en fer forgé, avec une mise en acier pour le tranchant et pour la pointe. Quand la mise était usée, il fallait remplacer l'outil tout entier. Les socs américains sont entièrement en acier, et ils ne sont renouvelés qu'après s'être à peu près entièrement usés. En Angleterre, on fabrique beaucoup de socs en fonte, qui s'usent assez vite, mais coûtent très-peu.

La largeur du soc, c'est-à-dire le côté du triangle rectangle perpendiculaire à l'axe de la charrue, est égale à la largeur de la bande de terre que l'on veut retourner. Quelques constructeurs anglais la font un peu moindre, sans qu'on puisse se rendre compte de l'avantage de cette disposition. Le tranchant de l'aile forme avec le côté parallèle à l'axe un angle s'éloignant peu en général de 45°.

La pointe du soc se trouve très-légèrement au-dessous et en arrière de celle du coutre. Dans les meilleurs modèles, les deux pointes sont au même niveau et se touchent presque.

Versoir. Le versoir ou oreille D est l'organe destiné à renverser la bande de terre découpée par le coutre et par le soc. Il présente la forme d'une surface gauche, hélicoïde ou paraboloïde, fixée à la fois au sep, aux étançons et quelquefois à l'age. Son arête antérieure est horizontale et perpendiculaire à l'age de la charrue. Elle se raccorde avec le talon du soc. La surface gauche se relève ensuite en s'éloignant du soc, jusqu'à devenir verticale. Enfin elle dépasse cette position et s'incline sens dessus dessous, de façon à projeter vers le sol la bande de terre sur laquelle le versoir agit.

Les versoirs peuvent être en bois, en fonte, en tôle de fer ou d'acier. Les premiers s'usent vite et sont peu employés. Les versoirs en fonte sont lourds et cassants, quoique d'un bon usage. On semble préférer aujourd'hui les versoirs en tôle.

Régulateur. Le régulateur a pour objet de maintenir la charrue dans la position où le sep est horizontal, et d'enfoncer le soc à la profondeur voulue dans le sol. Pendant la marche de l'instrument, les résistances de la terre, appliquées au coutre, au soc et au versoir, ont une résultante dont la direction et le point d'application varient suivant la nature du sol. La charrue forme d'ailleurs un système rigide, auquel est appliquée, à la partie antérieure de l'age, en G, la force motrice des bêtes qui travaillent. Si la direction de cette force, qui n'est autre que celle des traits de l'attelage, passe au-dessus du point d'application de la résultante des résistances, il se produira un couple qui tendra à faire piquer le soc en terre. Si elle passe en dessous, le soc tendra à sortir. Il faut donc toujours que la direction des traits rencontre exactement ce centre de résistance : en d'autres termes, il faut que ce centre, le point d'attache du trait, et le collier des animaux soient en ligne droite. De ces trois points, l'attache du trait est le seul arbitraire. C'est donc lui qu'on fait varier au moyen du régulateur. La fig. 2 représente à une plus grande échelle celui de la charrue de Dombasle. Le crochet d'attache D est fixé à la partie inférieure d'une tige verticale portant une crémaillère AC, qu'une clef peut faire monter ou descendre à volonté dans une boîte en fonte A. Cette boîte peut

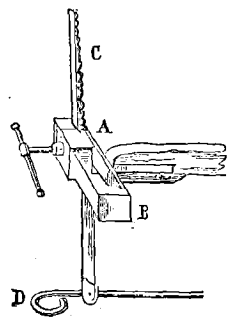


Fig. 2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'ailleurs se mouvoir elle-même horizontalement dans une autre boîte qui lui sert de glissière, et est fixée à l'extrémité de l'age. Cette disposition permet de déplacer latéralement le point d'attache et de s'opposer ainsi à la déviation transversale qu'éprouverait la charrue, par suite de la résistance éprouvée par le versoir lors du retournement de la bande de terre. Si

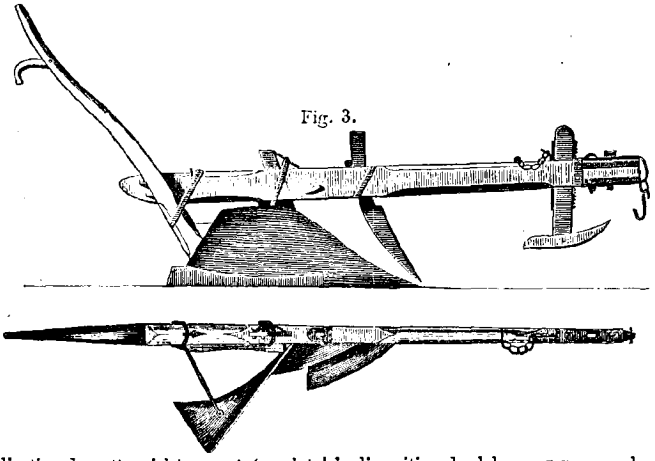


Fig. 3.

le point d'application de cette résistance et le point d'attelage au collier des animaux n'étaient pas en ligne droite avec le point d'attache du trait, ce mouvement serait, en projection horizontale, exactement le même que celui que nous avons expliqué plus haut pour le plan vertical.

Il y a un nombre infini de systèmes de régulateurs. Ce que nous venons de dire suffit pour en faire comprendre l'objet et le principe. Nous reviendrons sur ce sujet à l'occasion des avant-trains.

Manche. Le régulateur que nous venons de décrire, ou tout autre analogue, sert à fixer, une fois pour toutes, pour une nature donnée de terrain, et pour l'entrure, c'est-à-dire la profondeur de labour que l'on veut adopter, la position relative des deux extrémités du trait de l'attelage. Mais s'il survient des résistances accidentelles, si le sol n'est pas parfaitement homogène et qu'il présente des parties plus faciles ou plus difficiles à ouvrir, la position relative des pièces ne se trouve plus en rapport avec les efforts à vaincre. Pour parer à ces dérangements accidentels, on met à la disposition du laboureur un manche K, fixé à la partie postérieure de l'age ou du sep, et pouvant servir de levier pour soulever la pointe du soc, en appuyant sur le talon du sep, ou, au contraire, pour faire piquer cette pointe en soulevant le talon. Lorsque le manche est double, chacune de ses branches est un *mancheron*.

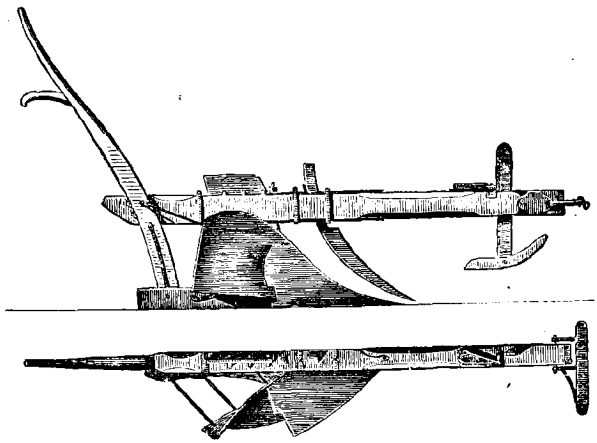


Fig. 4.

Sabot. Rouelle. Le maniement des mancherons, outre qu'il exige une certaine adresse, est un travail pénible. On en décharge le plus souvent le laboureur en reportant ce travail sur les bêtes de trait. A cet effet, la partie antérieure de l'age repose sur un petit chariot ou avant-train, porté par une ou deux roues, ou même simplement sur une pièce de bois, nommée *sabot*, fixée à une tige verticale qui se relie à l'age. La charrue de Brabant (fig. 3) et celle de Flandre (fig. 4) présentent toutes deux des exemples de l'emploi du sabot. Au moyen d'une crémaillère ou d'une tige à trous, on fait descendre le sabot jusqu'à ce qu'il touche le sol. Le soc de la charrue ne peut plus donner du nez, puisqu'il y a un point d'appui en avant.

La tige du sabot sert de régulateur. En la soulevant plus ou moins, on règle l'entrure de la charrue.

Le sabot est quelquefois remplacé par une *rouelle*, petite roue pleine en bois, dont l'essieu est fixé sous la tige à trous, et qui donne des frottements moindres que le sabot.

Avant-train. Dans la plupart des charrues perfectionnées, l'age porte sur un avant-train à deux roues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On en voit un exemple dans la figure 5, qui représente la charrue de M. Howard. Les deux roues sont de diamètre inégal, l'une devant rouler dans le sillon, et l'autre sur le sol non encore attaqué. Chaque roue est portée par une tige indépendante qui peut se fixer à une hauteur variable et sert de régulateur. Cette

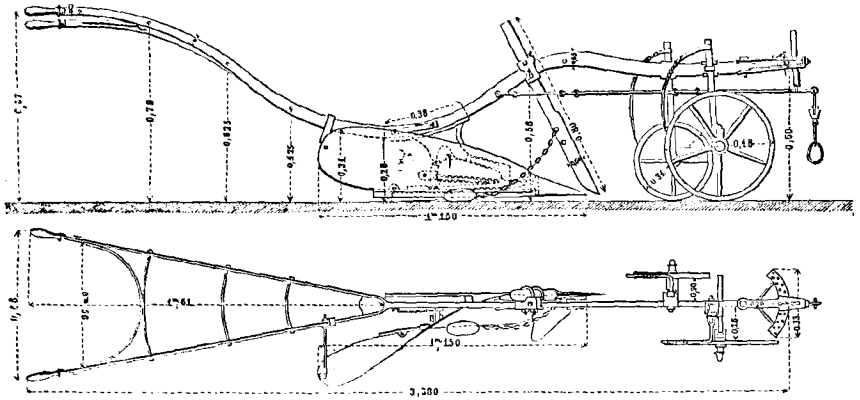


Fig. 5.

tige porte un grattoir qui nettoie la roue.

Nous allons donner quelques détails sur cette remarquable charrue, l'une des plus perfectionnées que l'on connaisse, dont M. Howard fabrique et débite 5 à 6,000 par an et dont toutes les dimensions (rapportées avec soin sur la figure) sont le résultat d'une étude attentive, d'une expérience consommée. L'age de cette charrue est en fer forgé de forme ondulée. Presque horizontal au-dessus de l'avant-train, il se recourbe vers le sep, de façon à réduire presque à rien les étançons. Les mancherons également en fer viennent s'adapter à l'age, tout auprès du sep. Celui-ci est une pièce de fonte directement fixée à l'age. Le versoir en tôle est relié

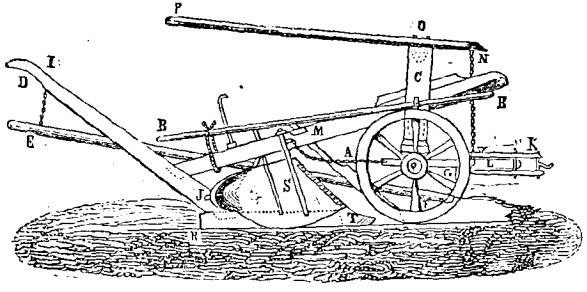


Fig. 6.

au sep par des boulons et par une tige de fer au mancheron de droite. Le coutre est fixé par deux étriers à une boîte en fonte qui peut glisser sur l'age, et est maintenue en place par une vis de pression. On peut le déplacer et faire varier son inclinaison, qui est toujours normale à la portion de l'age où il est attaché. La barre d'attelage est fixée à l'age, un peu en arrière du coutre, c'est-à-dire à peu près au-dessus du centre des résistances. De cette façon, le travail des pièces du bâti est aussi faible que possible. Le régulateur vertical consiste, ainsi que nous l'avons dit, dans un avant-train composé de deux roues inégales. Le régulateur horizontal est un secteur circulaire en fer avec trous, dont le rayon central porte une tige avec étrier embrassant la barre d'attelage.

Traînoire. Lorsque l'on transporte la charrue de la ferme aux champs, on ne peut laisser traîner le soc, qui labourerait les chemins. Beaucoup de charrues peuvent se retourner sens dessus dessous, et alors elles portent sur l'avant-train et sur les mancherons, qui se détérioreront assez vite. Dans les charrues perfectionnées, on soulève le sep et on le place sur une sorte de sabot en bois ou en fonte, que l'on appelle traînoire. Le dessin ci-dessus représente la charrue Howard, placée sur sa traînoire, qui est attachée au coutre au moyen d'une chaîne.

Charrues à dispositions particulières. La charrue *Grangé*, qui a fait beaucoup de bruit il y a une trentaine d'années, présentait un système de leviers mis à la disposition du laboureur au moyen desquels il pouvait faire varier, en cours de labour, les régulateurs ordinairement fixes. Nous ne donnerons pas la description de cette machine, représentée d'ailleurs par la figure 6, parce qu'elle paraît abandonnée aujourd'hui, soit qu'elle n'ait jamais été construite avec le soin voulu, soit plutôt parce qu'elle exige du laboureur une attention trop soutenue pour le choix du levier qui doit être manœuvré.

On a également essayé de diminuer les variations de résistance et de faciliter la régulation de la charrue en y adaptant, dans le même plan horizontal, plusieurs socs pourvus de versoirs qui éprouvent chacun des résistances variables, mais dont la moyenne est à peu près constante. Ces machines, dites *polysocs*, sont également abandonnées. Elles avaient une très-grande tendance au renversement et faisaient osciller les avant-trains de droite et de gauche d'une façon très-préjudiciable.

Lorsque l'on veut défoncer le sol, c'est-à-dire l'ameublir à une profondeur plus grande que celle des labours, on a recours à des charrues spéciales, dites *défonceuses*.

Quelquefois ce sont des charrues armées de deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

socs superposés verticalement l'un à l'autre. Le premier ouvre le sillon, le second l'approfondit. Mais ce système exige un travail plus considérable que celui de deux charrues isolées, et on préfère généralement avoir deux instruments distincts, se suivant dans le même sillon.

Dans ce cas, le meilleur modèle pour le second trait est celui de la charrue *Bonnet*. Son versoir présente un plan incliné qui soulève la terre au niveau de la bande retournée par la première charrue, et la renverse ensuite par-dessus cette bande. On peut ainsi creuser jusqu'à 0m,60 de profondeur

Enfin on emploie pour les défoncements des charrues de forme ordinaire, mais de plus fortes dimensions. Nous citerons, entre autres, la charrue *Rozé*, qui retourne la terre sur 0m,36 à 0m,40 de profondeur, et dont l'attelage consiste ordinairement en quatre chevaux ou trois paires de bœufs. Nous citerons surtout la charrue *Vallerand* (fig. 7), qui creuse un large fossé

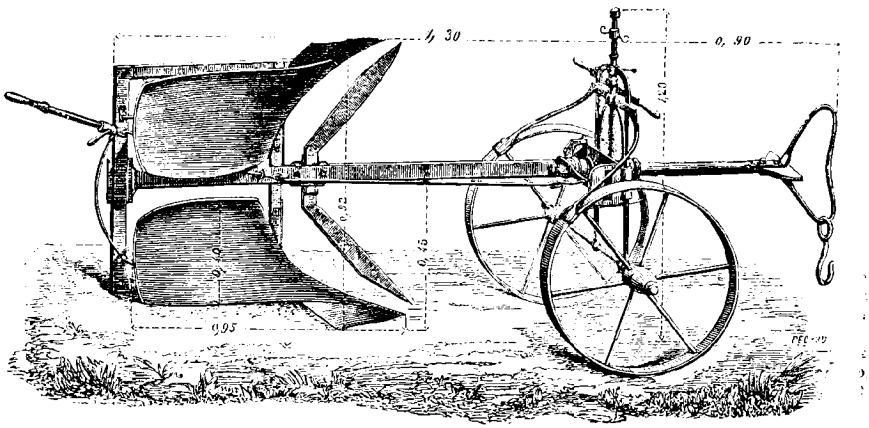


Fig. 7.

de 0m,45 à 0m,55 de profondeur, et retourne parfaitement la terre extraite de cet énorme sillon. Il faut généralement six paires de bœufs pour la mettre en mouvement.

Lorsqu'on ne peut disposer de ces appareils et des attelages qu'ils exigent, et qu'on n'a pas de charrue Bonnet, on peut avoir recours au *pelleversage*, qui consiste à faire suivre la charrue par des hommes armés de bêches, qui défoncent dans le sillon.

Quelquefois on veut ameublir le fond du terrain sans le ramener à la surface. On se sert alors de la charrue *sous-sol*. C'est une charrue ordinaire, mais sans versoir, qui trace au-dessous de la profondeur labourée par une première charrue des traits verticaux et horizontaux, au moyen du coutre et du soc. Celui-ci a alors la forme d'un fer de lance complet.

Enfin, on avait proposé l'emploi de la *charrue-taupe*, espèce de charrue sous-sol, dont le soc était prolongé par une sorte de versoir conique, représentant assez bien la forme d'une taupe sans pattes, pour ouvrir sous terre des conduits horizontaux. Le drainage a rendu ce type de charrue sans application.

La charrue ordinaire renverse la terre toujours du même côté, à la droite du laboureur. Cette disposition oblige à labourer en billons assez étroits, ou bien à perdre beaucoup de temps en va-et-vient inutiles. Dans certaines terres en forte pente, cette disposition est très-gênante. On a essayé de remédier à cet inconvénient en disposant des charrues qui puissent verser à droite ou à gauche, à volonté. C'est ce qu'on appelle des charrues *tourne-oreille*.

La charrue Vallerand (fig. 7), dont nous avons déjà parlé, appartient à cette catégorie. Elle a deux systèmes de socs, de versoirs et de coutres, fixés symétriquement sur l'age : l'un au-dessus, l'autre au-dessous. L'age peut d'ailleurs exécuter un mouvement de révolution autour de son axe horizontal. Lorsque l'on est arrivé à l'extrémité d'une raie, on soulève le système par la partie postérieure, on lui fait faire une demi-révolution, et le versoir supérieur s'abaisse et vient occuper la droite, s'il était à gauche, ou réciproquement.

La *charrue-navette* de Valcourt obtient le même résultat d'une façon différente. Pour en concevoir la disposition, imaginons deux charrues ordinaires, versant l'une à droite, l'autre à gauche, dont on aurait enlevé les mancherons, et dont les ages auraient été assemblés bout à bout par leur talon. On a ainsi un appareil qui peut être traîné, soit par un bout, soit par l'autre. Les deux oreilles versent alors du même côté, que l'on traîne dans un sens ou dans l'autre. Quand on est à l'extrémité d'une raie, on dételle les bêtes de trait et on les rattelle à l'autre brancard. Les deux versoirs, qui se touchent par leur talon, sont fondus en une seule pièce.

On a amélioré ce système en faisant reposer sur une cheville ouvrière, fixée au versoir double, un châssis portant le coutre, l'age et les mancherons. Pour changer de sens, il suffit de faire tourner les chevaux sans les dételer. La charrue Dufour présente une disposition de cette espèce.

Dans la charrue Rozé, le soc est unique et composé d'un fer de lance entier, mais dont les deux moitiés forment un angle dièdre, de telle sorte que, lorsque l'une d'elles est à plat, l'autre se relève et forme coutre. A ce soc est adapté un versoir dressé symétriquement, par rapport au plan bissecteur de l'angle du coutre, en sorte qu'il puisse verser, soit à droite, soit à gauche, suivant que l'une ou l'autre moitié du coutre se trouve à plat. Cet organe peut tourner autour d'un axe horizontal.

Nous citerons enfin la charrue tourne-oreille de Smith (de Deanston), qui possède un seul soc, en forme de fer de lame ordinaire, et un versoir double, présentant deux oreilles symétriques, comme un buttoir (fig. 13). Ce versoir est mobile autour d'un axe vertical Lorsque l'on veut verser à droite, on le ramène vers la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

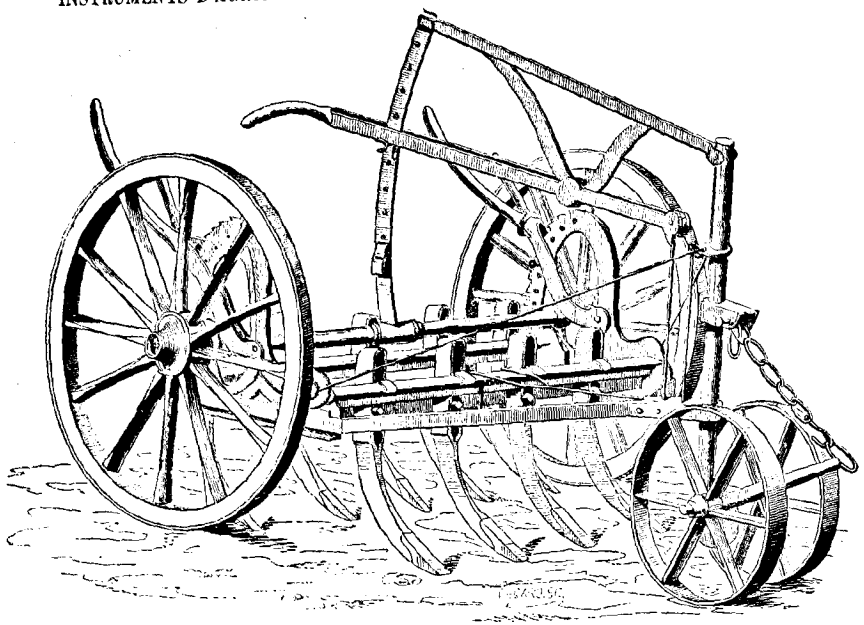


Fig. 8.

droite, au moyen d'une crémaillère; l'aile gauche s'efface complétement derrière l'aile droite, qui fonctionne seule.

Pour terminer ce que nous avions à dire des charrues, nous rappellerons qu'on les distingue quelquefois en charrues proprement dites et en *araires*. L'araire antique était la charrue sans avant-train et sans coutre. Dans les temps modernes, on a désigné par le mot araire les charrues sans avant-train. Mais comme on a fait des araires à sabots ou à roulettes remplissant exactement le rôle des avant-trains, la distinction entre ces deux expressions s'efface chaque jour et ne peut produire que confusion dans le langage.

2° *Scarificateurs, extirpateurs, buttoirs.* Les organes essentiels de la charrue, au lieu d'être réunis en un seul appareil, peuvent être employés isolément, comme nous l'avons déjà vu dans la charrue sous-sol. On a ainsi trois classes d'instruments, dont l'usage se répand de plus en plus avec celui des plantes sarclées, car ils ont fourni la solution du problème de sarcler, d'ameublir la terre couverte de plantes, dont toutefois il a fallu semer les graines en lignes, ce qui a conduit

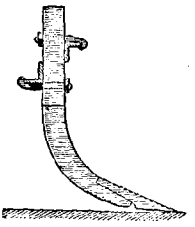


Fig. 9.

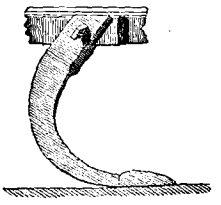


Fig. 10.

à l'adoption des semoirs dont nous parlons ci-après. Au commencement du siècle, l'emploi général de ces machines agricoles constitua un grand progrès accompli par l'agriculture anglaise, qui obtint, avec

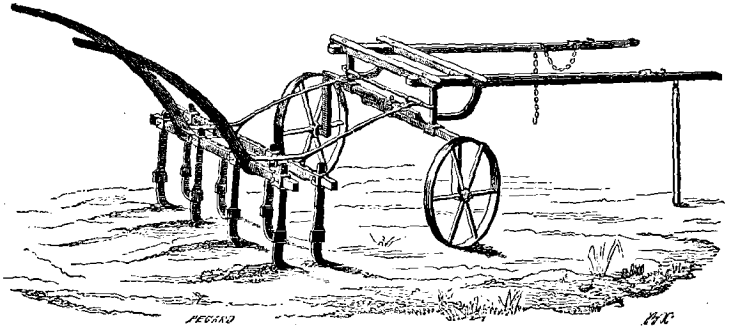


Fig. 11.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur aide, de riches récoltes de racines, à bon marché.

Les *scarificateurs* se composent d'une série de coutres plantés verticalement sur un bâti en charpente ou en fer. Le scarificateur le plus répandu est celui de Briddle (fig. 8). L'entrure des coutres est réglée au moyen de leviers glissant sur des secteurs de cercle à trous. Cet instrument possède neuf dents placées sur deux rangs. La figure 9 donne la forme de ces dents. La figure 10 donne celle des dents ou coutres du scarificateur d'Uley, qui en porte six, dont une en flèche et les cinq autres sur deux rangs. Sa disposition diffère peu, du reste, de celui de Briddle.

Nous citerons encore l'appareil construit par M. Smith (de Kettering), représenté par la fig. 11, dont la disposition est très simple et qui produit un bon travail. L'entrure y est réglée par les tiges à trous qui supportent les coutres.

On voit que tous les scarificateurs sont pourvus de mancherons, comme les charrues, et de régulateurs.

Les *extirpateurs* sont disposés comme les scarificateurs, mais les coutres sont remplacés par des socs. Ces instruments sont souvent désignés sous le nom de houes à cheval, parce que leur travail est analogue à celui que l'on fait avec la houe.

Le modèle le plus simple de ces instruments est représenté par la fig. 12. Il se compose de trois socs dont un en flèche; il est d'ailleurs pourvu de mancherons, d'un sabot et d'un régulateur.

La tendance actuelle est de faire du scarificateur et de l'extirpateur un seul instrument. On remplace seulement le coutre par un soc, ou réciproquement, suivant les besoins. Le scarificateur de Smith (fig. 11) fait comprendre avec quelle facilité cette substitution peut se faire.

Le *buttoir* est un instrument qui dérive du versoir. Il a pour objet de relever la terre en buttes continues, pour recouvrir des plantes en ligne, ou butter leurs tiges. Il se compose d'un double versoir, présentant deux ailes symétriques. Il est le plus souvent accompagné d'un ou de plusieurs socs, et quelquefois d'un coutre, et se rapproche alors beaucoup de la charrue. Tel est le buttoir d'Hohenheim, représenté par la fig. 13.

Fig. 12.

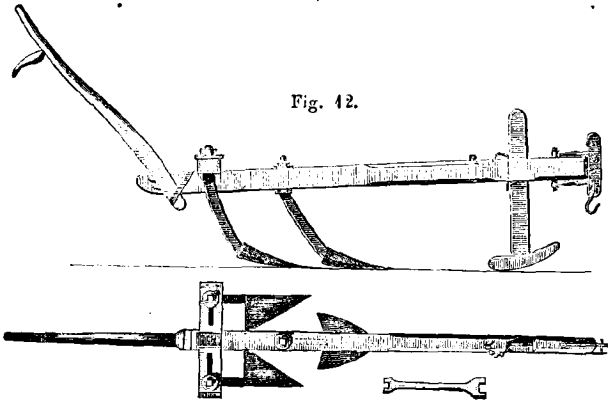
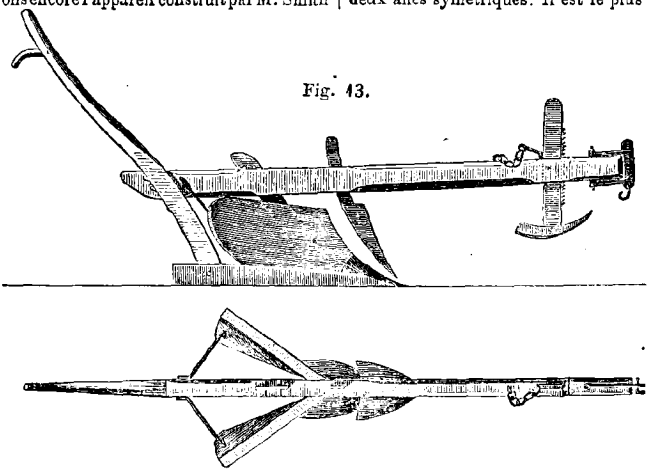


Fig. 13.



3° *Herses*. Les herses sont des sortes de scarificateurs, sans roues et sans régulateurs, mais dont les dents sont beaucoup moins fortes et plus rapprochées. Elles servent à la fois à émietter les mottes et à enlever les herbes et racines, à la façon d'un râteau.

Le modèle le plus répandu en France est la herse de Valcourt (fig. 14). Il se compose d'un châssis en bois formé de cinq traverses portant chacune six dents en fer. On attelle le cheval à une chaîne fixée aux deux traverses extrêmes. Si le point d'attelage est au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

milieu de la chaîne, les dents se recouvrent sur chaque traverse, et on obtient seulement cinq raies ayant l'espacement des traverses. Si on place le point d'attelage

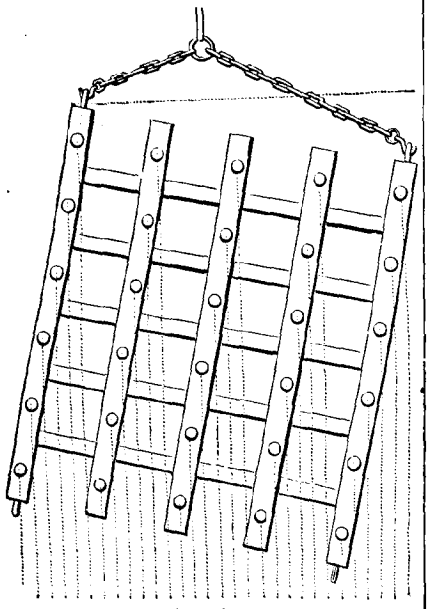


Fig. 14.

sur le côté, le châssis se place obliquement et chaque dent trace une raie. En changeant le point d'attache, on fait varier l'obliquité du châssis et l'écartement des raies.

Les herses anglaises sont en fer. La fig. 15 repré-

cottes de maille à larges chaînons, que l'on traîne sur le sol ; leur emploi est encore peu répandu.

Enfin, un autre système, très-employé dans le nord de l'Europe, est la herse norvégienne, composée de deux ou trois hérissons en fonte ou en fer, à pointes très-aiguës, tournant librement sur un arbre en fer, porté par un châssis garni de roues.

4° *Rouleaux*. La dernière des opérations pour préparer la terre, c'est le roulage, qui comprime légèrement le sol, en même temps qu'il brise les dernières mottes.

Le rouleau ordinaire se compose d'un cylindre en bois, de 0m,40 à 0m,45 de diamètre, et de 2 mètres à 2m,60 de long, avec un axe en fer pouvant tourner dans les coussinets d'un bâti traîné par un cheval. Ces rouleaux sont trop légers pour les terres un peu fortes, et trop longs pour les terres billonnées. On y a remédié en employant des rouleaux plus courts en pierre. Dans le Midi, on fait de ces rouleaux qui ont jusqu'à 0m,80 et 1 mètre de diamètre, sur une longueur de 1m,20 à 1m,40.

Mais aujourd'hui on fabrique de préférence les rouleaux en fonte. La fig. 16 représente un de ces appareils. On voit qu'il est divisé en trois tambours indépendants. Cette disposition en facilite le retournement, lorsque l'on change de direction.

Tous ces rouleaux, très-bons pour comprimer le sol, sont souvent sans action sur les mottes de terres fortes que l'on veut briser. On a essayé d'augmenter leur puissance, à ce point de vue, en les garnissant de saillies. On a donc armé de fortes pointes les rouleaux ordinaires. Mais ces pointes se brisaient et exigeaient un entretien continuel.

M. de Dombasle fit construire des rouleaux dits *squelettes*, composés de 14 ou 15 disques coupants en fonte, enfilés sur un même arbre. Entre ces disques coupants, pour les maintenir séparés, on interpose des rondelles non coupantes, d'un diamètre plus petit. Chacun de ces éléments tourne librement et indépendamment des autres. Cet appareil fonctionne bien.

Le système le meilleur pour les terres fortes est le

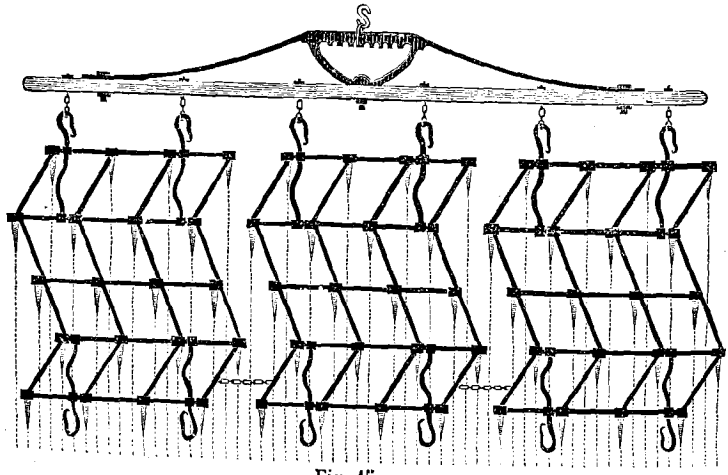


Fig. 15.

sente trois herses du système Howard, accouplées sur une forte traverse en bois. Cette traverse porte un régulateur en fer à crémaillère, qui permet également de donner plus ou moins d'obliquité à l'appareil.

On fabrique aussi des herses à anneaux, sortes de

rouleau Croskill (fig. 17). L'élévation de son prix l'empêche seule de se répandre davantage. Il se compose d'une série de disques indépendants, enfilés dans l'arbre de l'appareil, et portant des dents à leur pourtour.

Pour les terres billonnées, il convient de donner au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rouleau une forme qui lui permette d'épouser la surface convexe des planches. On peut y parvenir en remplaçant la forme cylindrique de l'instrument par une surface de révolution, ou par deux troncs de cône réunis par leur petite base. Cette disposition est bonne avec des rouleaux Croskill ou squelettes; mais, dans les rouleaux unis, elle donne lieu à des frottements considérables.

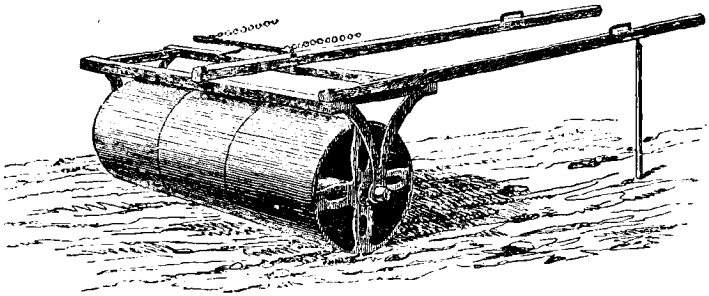


Fig. 16.

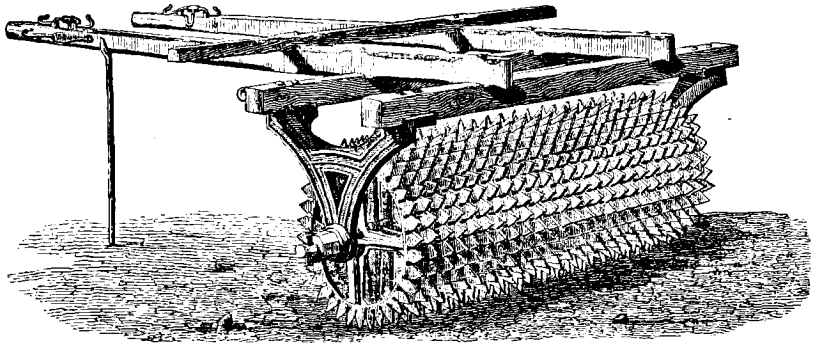


Fig. 17.



Fig. 18.

Troisième section. — Instruments mus par la vapeur. Depuis que l'utilisation des forces naturelles transforme toute l'industrie, on a bien souvent cherché les moyens de réaliser un progrès semblable en agriculture. Toutefois pour les travaux à l'intérieur des fermes, on a employé souvent les forces hydrauliques, dans quelques conditions particulières, sans compter les moulins, mais sur une échelle restreinte et seulement dans des cas tout particuliers; enfin la machine à vapeur est venue prendre place dans la plupart des grandes exploitations, pour exécuter divers genres de travaux, ainsi que nous le verrons plus loin. Or, comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est sous la forme de la locomobile, c'est-à-dire d'appareil construit pour se déplacer facilement, que la machine à vapeur s'est introduite presque nécessairement dans l'agriculture, il était naturel de chercher à appliquer la grande puissance qu'on peut obtenir avec celle-ci, à la préparation du sol. On devait y trouver économie, rapidité, possibilité de labourer à très-grande profondeur. Ces résultats ont été atteints, grâce surtout aux recherches et inventions successives de J. Fowler, par l'emploi de locomobiles exerçant une traction énergique, sur une forte charrue, à l'aide de câbles métalliques très-flexibles et très-résistants.

Avant de décrire le système qui a réussi, nous ferons observer que le poids considérable de la machine à vapeur unie à sa chaudière, a rendu infructueuses les tentatives nombreuses, faites jusqu'à ce jour, pour opérer avec des machines se déplaçant, comme la charrue, au milieu des terres labourées.

Système Fowler. Le système adopté par M. Fowler est le suivant (fig. 18). Une puissante charrue est fixée à une chaîne sans fin qui s'enroule sur deux poulies à axe vertical. L'une de ces poulies fait corps avec une machine à vapeur placée à l'une des extrémités de la raie à ouvrir; l'autre est solidement maintenue à l'autre extrémité au moyen d'un appareil appelé ancre. La machine à vapeur, en imprimant à la première poulie un mouvement de rotation, dans un sens ou dans l'autre, fait faire à la charrue un mouvement de va-et-vient.

Au lieu d'une charrue, on peut adapter à la chaîne un scarificateur, une herse, un arracheur de betteraves ou tout autre appareil analogue, utile au travail agricole.

La machine à vapeur (fig. 19) est une locomobile d'une série de pinces mobiles, pouvant tourner sur des axes verticaux. Il y a deux couronnes de ces pinces mobiles, l'une adaptée au plateau supérieur, l'autre au plateau inférieur de la poulie. Quand le câble s'appuie sur cette gorge, il se trouve saisi en chaque point entre les deux pinces mobiles superposées, comme entre les mâchoires d'un étau, et d'autant plus fortement que la tension est plus élevée. En un mot, il forme coin, et par suite l'adhérence croît avec la résistance.

Le câble est en fil d'acier, avec une âme en chanvre. Ses deux extrémités sont fixées à des tambours adaptés au bâti de la charrue. La tension entre la poulie motrice et la charrue est celle que détermine la résistance du terrain. Mais il importe également que le reste du câble soit suffisamment tendu, afin de maintenir la charrue dans une direction rectiligne, et afin aussi d'éviter que le câble ne traîne sur le sol, ou ne sorte de la gorge de la poulie de renvoi. A cet effet, les deux tambours de la charrue que nous allons décrire dans un instant, sont reliés entre eux par une chaîne disposée de telle façon que le tambour où s'enroule le câble moteur fasse, dans un même temps, moins de tours que le second tambour. Supposons que le câble soit trop lâche au moment où l'on se met en marche. Le câble moteur fera tourner le premier tambour, et il s'en déroulera une certaine longueur. Mais, en même temps, le second tambour tournera plus vite que le premier, et enroulera une longueur plus grande de l'autre bout du câble. En somme, le câble se raccourcira, et cet effet se prolongera jusqu'à ce que la tension soit égale de part et d'autre.

Le câble est d'ailleurs supporté, de distance en distance, par de petites poulies verticales en fonte, montées sur de légers chariots, que des enfants déplacent suivant les besoins. Sans cette précaution, le cable, traînant par terre, s'userait rapidement, et, surtout, produirait une résistance de frottement énorme, que l'expérience indique être dix fois plus grand que celui du câble supporté.

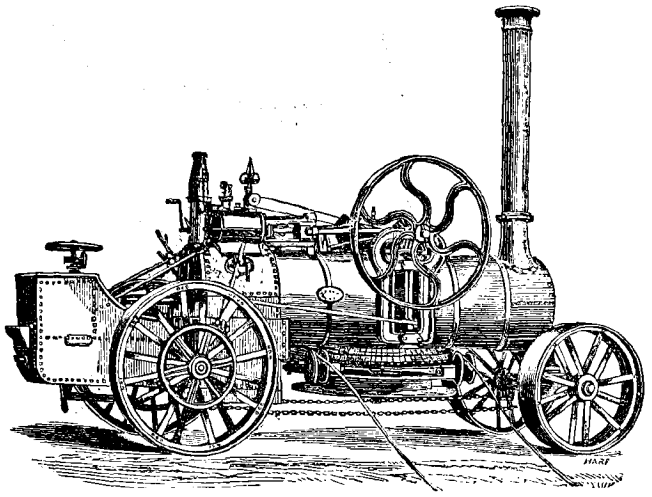


Fig. 19.

ordinaire, de la force de 12 à 14 chevaux. Elle porte deux cylindres conjugués et une coulisse Stephenson, pour le changement de marche et le réglement de la détente. La poulie motrice est placée sous la chaudière entre les deux essieux. Elle est horizontale et a $1^m,50$ de diamètre. L'avant-train peut s'incliner sur la direction générale de la machine, en sorte qu'on peut la faire tourner, même dans des courbes de faible rayon.

L'une des plus grandes difficultés était d'obtenir entre la poulie motrice et le câble sans fin une adhérence assez forte pour éviter les glissements. Pour atteindre ce but, Fowler a formé la gorge de la poulie au moyen

La charrue à vapeur de Fowler est un polysoc-navette reposant sur l'essieu de deux fortes et grandes roues à large jante. Les corps de charrues, généralement au nombre de quatre, de chaque côté de l'essieu, sont fixés à un châssis présentant en coupe verticale la forme d'un V, dont la pointe repose sur l'essieu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque l'une des branches du châssis est horizontale et que les charrues qu'elle supporte sont entrées, l'autre branche se relève de 30°, et les charrues qu'elle supporte sont complétement hors de terre. C'est ce qu'on

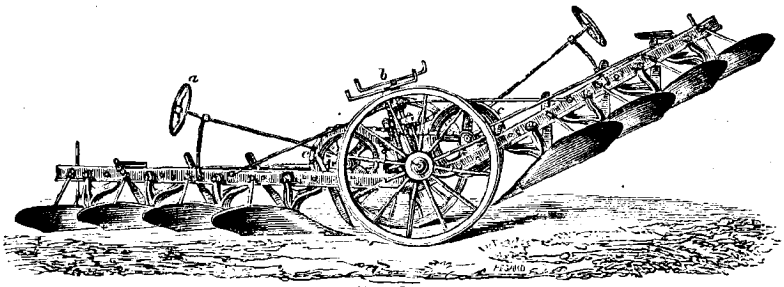


Fig. 20.

voit sur la figure 20. Les coutres et les pointes des socs sont tournés vers l'essieu. Le laboureur est placé à l'arrière, sur un siége, et a des régulateurs à levier à sa disposition. A l'extrémité de la raie, il n'a qu'à changer

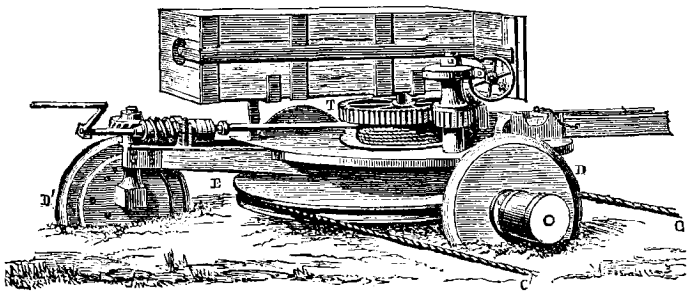


Fig. 21

de siége pour faire basculer le châssis. La charrue est aussitôt prête à fonctionner dans une direction opposée à la précédente. L'entrure est réglée en élevant ou en abaissant les roues, manœuvre rendue facile par deux vis, qui commandent chacune l'une des roues.

L'ouvrier qui dirige la charrue est assis sur un siége placé sur le côté du bâtis et tient à la main une espèce de gouvernail *a*, dont l'arbre, terminé par une vis, permet d'incliner plus ou moins l'essieu des roues sur l'axe de la charrue et, par conséquent, de diriger celle-ci avec une grande précision : la manœuvre de ce puissant engin est facile et tout laboureur ordinaire la conduit fort bien après quelques heures d'apprentissage.

La poulie de renvoi, nommée ancre E (fig. 21), est montée sur un chariot bas, dont les roues D D' sont des disques tranchants, sortes de coutres circulaires mobiles autour de leur axe. Ces disques s'enfoncent dans le sol et assurent la stabilité de l'appareil à la façon des ancres qui maintiennent un navire.

Lorsque la charrue a tracé sa raie quadruple, il faut qu'elle se déplace pour en tracer une autre voisine. Il faut donc que la locomobile et l'ancre se déplacent également. La première se met elle-même en mouvement. Quant à l'ancre, elle est reliée à un point fixe, arbre ou piquet, placé sur la ligne qu'elle doit parcourir, au moyen d'un câble qui s'enroule sur un treuil T, muni de dents. Ce treuil est commandé par un pignon porté par l'arbre de la poulie, et que l'on peut à volonté embrayer avec le treuil. Il suffit alors de faire tourner la poulie pour que l'ancre se remorque d'elle-même.

Le système Fowler fonctionne très-bien : il présente cependant deux inconvénients : il nécessite une locomobile spéciale, d'un modèle plus lourd que ceux qu'on a ordinairement dans les fermes, et il laisse sans culture les chemins parcourus par la locomobile et par l'ancre, qui doivent être repris ensuite par la charrue ordinaire. Enfin la résistance de l'ancre n'est généralement suffisante qu'autant qu'on charge d'une grande quantité de pierres ou de terre, la caisse montée sur son bâti, ce qui exige encore un travail supplémentaire.

Emploi des deux locomobiles. On doit considérer comme la solution complète du problème du labourage à vapeur le système définitif de M. Fowler, qui consiste dans l'emploi de deux machines qui se déplaçant simultanément sur les deux rives opposées du champ à labourer, ce qui fait disparaître les difficultés du mouvement et du fonctionnement imparfait de l'ancre, du frottement du câble à terre, etc. Chacune des machines, d'un poids suffisant pour résister par son poids, porte un tambour



Fig. 22.

horizontal sur lequel peut s'enrouler un câble en fil d'acier allant d'une machine à l'autre. Ainsi le système,

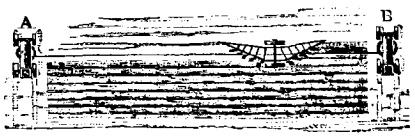


Fig. 22 *bis*.

fig. 22, exigeant un câble tournant autour de la poulie de l'ancre, devient celui indiqué fig. 22 *bis*. Quand la charrue va de gauche à droite, la machine de droite B (fig. 22 *bis*) travaille, et le câble s'enroule sur son tambour et se déroule librement du tambour de la machine de gauche A qui ne travaille pas. Quand, au contraire, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

charrue doit se transporter de droite à gauche, la machine de droite est arrêtée, son tambour est rendu libre et la machine de gauche travaille en enroulant à son tour le câble sur son tambour. Après chaque voyage de la charrue, les machines motrices avancent d'une quantité égale à la largeur de la bande attaquée par celle-ci. A cette effet les machines sont pourvues d'un mécanisme analogue à celui des LOCOMOTIVES ROUTIÈRES.

Le tambour du treuil du câble de traction est muni d'un appareil qui assure l'enroulement héliçoïdal du câble. Il consiste en un système de deux poulies à gorge qui reçoivent le câble et qui sont montées sur une barre guidée par une courbe directrice héliçoïdale, portée par le même axe que le tambour et se déplaçant lentement par l'action d'un engrenage différentiel.

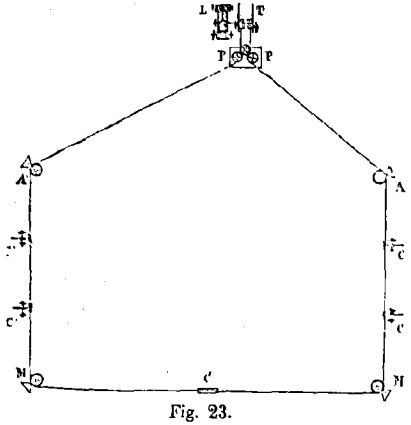


Fig. 23.

Système Howard. M. Howard a poursuivi longtemps un système supprimant le déplacement de la locomobile. Il dispose (fig. 23) aux quatre coins de la pièce à labourer quatre poulies, dont deux A A' sont fixes, et les deux autres M M' peuvent se déplacer dans le sens MA, M'A', comme les ancres Fowler. En C, C' sont des poulies-supports. La charrue est fixée au câble et se meut sur la ligne MM'. Les deux brins du câble vont des poulies A à d'autres poulies P, P, montées sur un même chariot, qui les renvoient sur deux tambours T, mis en mouvement par une locomobile ordinaire. Le système de la locomobile, des tambours et des poulies P peut être placé en dehors de la pièce à cultiver.

Les tambours sont portés sur une sorte de charrette (fig. 24). Ils sont mis en mouvement par une poulie P, recevant par une courroie l'action de la locomobile, et tournant toujours dans le même sens. Au moyen d'un embrayage, on peut faire commander par la poulie, tantôt le premier, tantôt le second des deux tambours, l'autre devenant libre. On opère ainsi le mouvement de va-et-vient du câble. Lorsque la raie est terminée, on déplace les ancres M et M' de la quantité voulue. Ce système n'est plus appliqué.

Un inconvénient sérieux du labourage à vapeur, avec une seule locomobile, c'est que, à la fin de chaque raie, le laboureur est obligé de faire au mécanicien un signal, de déployer un drapeau rouge, par exemple, pour lui ordonner d'arrêter la machine précisément à l'instant voulu. De là une cause d'accidents, une grande fatigue d'attention pour le mécanicien, et l'impossibilité de labourer par les temps de brouillards.

Prix de revient. Nous terminerons par quelques renseignements sur la dépense du labourage à vapeur.

La charrue Fowler parcourt environ 1m,30 par seconde. Il faut ajouter les temps perdus, qui peuvent se réduire à peu de chose, grâce aux détails ingénieux des appareils. Pour un labour de 0m,16 à 0m,18 de profondeur dans une terre moyenne, il faut une machine ayant une puissance de 11 à 13 chevaux-vapeur.

Dans une terre légère, au concours de Leeds, en 1861 on a labouré 3 hectares 04 ares en 10 heures en employant 1 homme à l'ancre, 1 mécanicien, 1 laboureur, 2 enfants aux poulies-supports. Il avait fallu 1 cheval et 1 homme pour les approvisionnements d'eau. On avait

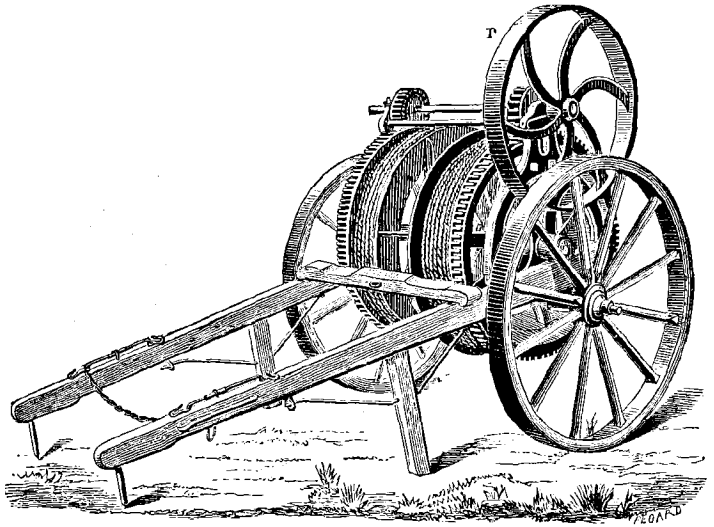


Fig. 24.

usé pour 1 fr. 25 d'huile et 860 kil. de charbon. La dépense de tous ces éléments était évaluée à 42 fr. 30. Il fallait y ajouter l'intérêt et l'amortissement du matériel,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

évalués ensemble à 3,609 fr. 35 pour un an, et 18 fr. 05 pour un jour, à raison de 200 jours de travail par an. La dépense totale était ainsi de 60 fr. 35, soit de 19 fr. 85 par hectare. Dans un terrain très-résistant, la dépense a été évaluée à 24 fr. 11.

Il est clair que ce prix est variable suivant les circonstances de la culture; ainsi si l'on n'avait pas l'emploi de la charrue pour 200 jours, le prix de l'amortissement serait plus élevé. Pour une machine travaillant seulement 100 jours, la journée augmenterait de 18 fr., et la dépense, par hectare, de 6 fr. Elle serait alors de 25 à 30 fr.

Conclusion. M. Hervé-Mangon termine la belle étude sur le labourage à vapeur qui se trouve dans son *Traité de Génie rural*, par les conclusions suivantes:

Le labourage par la vapeur, appliqué dans des conditions convenables, est plus économique que le labourage avec les animaux. L'économie est d'autant plus grande que les labours sont plus profonds, et que la terre est plus résistante.

Le travail est plus profond et plus efficace que celui fait avec les instruments ordinaires. Les labours peuvent se faire plus vite et en choisissant mieux le temps opportun. On pare ainsi à l'accumulation des travaux à une même époque, une des grandes difficultés de l'agriculture. Les récoltes sont plus abondantes avec la même fumure, surtout dans les terres fortes et argileuses, et dans les sols qui réclament une aération énergique.

L'assainissement du sol est plus parfait, les sillons d'égouttement sont inutiles, même dans les terrains les plus mouillés habituellement.

L'appareil à vapeur permet de diminuer le nombre des animaux de trait de la ferme, et ceux qui restent, n'ayant plus à supporter les rudes fatigues des gros labours, s'entretiennent mieux et à moins de frais.

En Angleterre, il existe un assez grand nombre d'entrepreneurs et d'associations de labourage à vapeur. Quelques-unes de ces entreprises sont très-puissantes, et possèdent jusqu'à vingt appareils complets à deux machines, qui cultivent ensemble par an plus de 24,000 hectares. Toutes les Sociétés bien administrées et qui ont pris la précaution de s'assurer à l'avance une clientèle suffisante autour du lieu de dépôt de chaque machine, ont parfaitement réussi. Tel est l'exemple à imiter pour les régions de la France livrées à la grande culture.

DEUXIÈME GROUPE. SEMOIRS.

Lorsque l'on a besoin de semer en ligne et qu'on ne peut jeter la semence à la volée, on a recours à des appareils particuliers. Les semoirs peuvent être portés et manœuvrés par un homme; d'autres sont installés sur une brouette poussée par l'ouvrier. La plupart sont d'une grande dimension et se traînent au moyen de chevaux. Nous n'en ferons pas la distinction à ces différents points de vue; ce n'est là qu'une question de proportions, et les principes mécaniques restent les mêmes.

Semoirs à barillet. Ce sont les plus simples des semoirs. Ils consistent simplement en un cylindre mobile en tôle, à axe horizontal, percé de trous en des points de la surface régulièrement disposés. Quand on fait tourner ce cylindre, après y avoir placé des graines, une de ces graines passe par chacun des trous lorsqu'il se trouve sur l'arête inférieure. Elle se rend de là sur le sol, soit en tombant, soit en suivant des tubes convenablement disposés.

Semoirs à cuillers. Dans ces semoirs, la graine est encore versée dans un cylindre ou demi-cylindre à axe horizontal, mais fixe et non percé de trous. Dans ce cylindre tournent des disques, ayant même axe que lui, et armés à leur pourtour de petites cuillers.

La figure 25 représente l'organe essentiel d'un de ces instruments. Les cuillers *b* y sont montées aux extrémités de quatre tiges en croix. Lorsque les cuillers plongent dans le fond du cylindre, elles y ramassent la graine provenant de la trémie A, et elles la

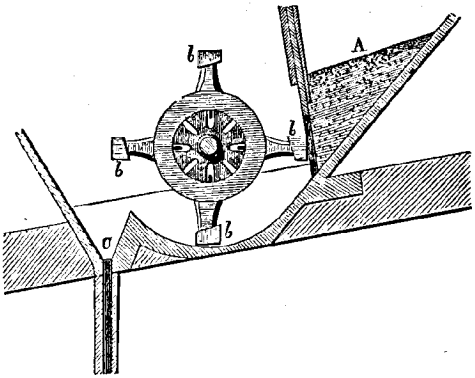


Fig. 25.

projettent ensuite dans le tube vertical C, qui la conduit au sol.

La figure 27 représente le semoir Smith, fort répandu en Angleterre. Il est traîné par un cheval, et les roues, par un engrenage, communiquent le mouvement de rotation aux disques à cuillers. La graine est mise dans une grande caisse ou trémie supérieure, d'où elle s'écoule lentement dans le cylindre.

Les cuillers sont implantées perpendiculairement au plan des disques, et elles versent la graine dans de petites trémies qui forment la tête des tubes semeurs. Ces tubes sont armés à leur partie inférieure de petits coutres qui ouvrent la raie où doit tomber la semence. Dans certaines machines, de petits versoirs la recouvrent immédiatement. Un système de leviers permet d'ailleurs de régler l'entrure de la graine. Pour faire varier l'écartement des lignes de semis, on met à l'appareil un très-grand nombre de tubes, mais on les supprime à volonté, soit de deux en deux, soit deux sur trois. On a renoncé à faire varier la position des tubes, à cause des complications qui en résultaient.

Semoirs à entailles. Dans cette catégorie de semoirs, la grande trémie porte à sa partie inférieure une fente horizontale, fermée par un cylindre mobile et plein, à axe horizontal. Ce cylindre porte seulement sur sa circonférence une série d'alvéoles dans lesquelles se loge la graine lorsqu'elles se présentent devant la fente. Quand elles se trouvent à la partie inférieure, la graine tombe et est dirigée par des tubes sur le sol.

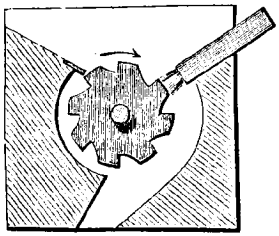


Fig. 26.

Semoirs à brosses. Le fond des trémies de ces semoirs est formé en partie par une brosse dure, et en partie par un cylindre mobile portant des dents ou des creux (fig. 26). Quand un creux ou une saillie passe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à travers la brosse, quelques graines tombent en même temps et vont aux tubes semeurs.

Semoirs à soupapes. Le cylindre à dents des semoirs précédents, au lieu d'agir sur une brosse, peut rencontrer une touche qui fait ouvrir une petite soupape par où s'échappe la graine. On a alors un mécanisme analogue à celui des orgues organisées.

Tous ces semoirs peuvent être employés, et le sont effectivement, pour répandre les engrais pulvérulents en même temps que la graine. On les y mélange dans la proportion convenable, ou bien on les amène au cylindre par une trémie spéciale.

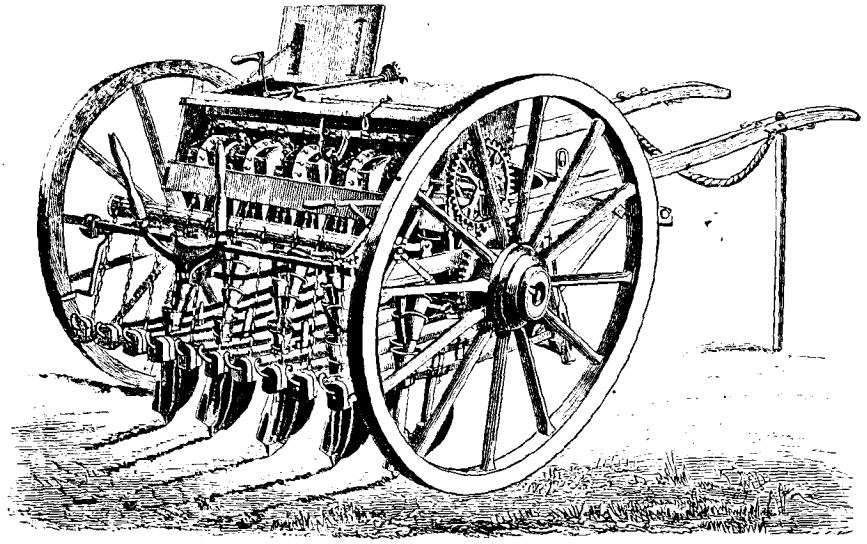


Fig. 27.

TROISIÈME GROUPE. INSTRUMENTS POUR LA RÉCOLTE.

On emploie un grand nombre d'instruments pour la récolte des produits agricoles. Ainsi la bêche, la fourche, la charrue sont utilisées pour l'arrachage des racines; toutes les voitures et charrettes de la ferme pour les transporter, etc. Nous ne nous occuperons ici que des instruments spéciaux pour les récoltes, et surtout des plus importants employés pour faucher les prairies et les céréales.

1re section. — Instruments à bras d'homme. Ces instruments sont la faucille, la faux et la sape (ou faux flamande). On trouvera à l'article FAUX de ce Dictionnaire tous les renseignements sur ces outils. Nous ferons seulement observer que l'emploi de la faux à râteau est devenu général pour les moissons.

2e section. — Instruments mus par les animaux. La rareté croissante de la main-d'œuvre, surtout au moment des récoltes, donne un intérêt particulier à ces machines. Elles se divisent en deux grandes classes : les faucheuses et les moissonneuses.

Nous entrerons d'abord dans quelques détails historiques sur une invention qui, à juste titre, a si fort attiré l'attention publique dans ces dernières années.

L'histoire nous apprend que les Gaulois employèrent longtemps, pour opérer la récolte des blés qu'ils cultivaient, une moissonneuse mue par les animaux. D'après la description qu'en a donnée Pline, cette machine était montée sur deux roues, et sa partie antérieure, à une hauteur de 1 mètre environ, était armée d'une longue série de petites dents écartées et destinées à couper les tiges de blé. C'était lorsque cette moissonneuse était poussée par un bœuf contre le blé encore debout, que les épis tombaient dans une caisse placée en arrière des parties tranchantes.

Cette moissonneuse, très-appréciée dans la Gaule très-commune, au rapport de Palladius, dans les plaine où la paille n'était pas nécessaire à l'existence des animaux domestiques, dut être entièrement abandonnée le jour où l'agriculture reconnut qu'elle devait récolter la paille pour l'employer comme aliment ou comme litière. C'est ce qui eut lieu en effet.

Dix-huit siècles plus tard, elle fixa de nouveau l'attention des agriculteurs anglais, auxquels la main-d'œuvre faisait défaut à l'époque de la moisson.

Smith de Deatson, et l'Écossais Bell eurent le mérite d'apprécier les avantages que présente une moissonneuse bien construite, et d'avancer, par de premiers essais, la solution du problème.

Le manque de bras, dont les Américains avaient à se plaindre bien plus encore que les Anglais, conduisit Mac-Cormick à perfectionner la moissonneuse de Bell. Cette dernière machine était poussée par les animaux contre le blé sur pied, comme celle des Romains. La moissonneuse modifiée, métamorphosée avec tant de bonheur par Mac-Cormick, est au contraire traînée par deux chevaux. En outre, dans cette moissonneuse, les dents, en fer de lance, traînent, pour ainsi dire, sur la couche arable, afin de pouvoir couper les céréales aussi bas que possible, et ménager par cette disposition toute la paille.

Toute roue qui est traînée sur le sol de manière à y rouler autour de son axe est un organe pouvant servir à transmettre le travail développé par la traction. Que la résistance provienne d'un fardeau placé sur une voiture portée par la roue, ou qu'elle soit due à un organe mécanique prenant son mouvement sur le même axe et chargé d'exécuter diverses fonctions, les conditions d'équilibre dynamique sont les mêmes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est ainsi que la roue met en mouvement les organes qui coupent la moisson et ceux qui servent à former et rejeter la javelle sur le sol à côté de la machine.

Les tiges des plantes sont coupées par des scies soumises à un mouvement rectiligne de va-et-vient à travers des guides convenables, ayant en général la forme de fer de lance, propres à réunir les tiges et à écarter les obstacles qui endommageraient les scies. La vitesse dont est animé l'organe tranchant est, en général, la plus grande dans les machines qui ont eu le plus de succès, et beaucoup moindre dans celles de MM. Crosskill, Laurent et Moody, toutes les trois construites en imitation de celle imaginée en 1818 par l'inventeur écossais Bell. On peut donc affirmer que l'idée d'augmenter la vitesse de l'appareil chargé de couper la moisson a contribué à résoudre le problème posé; c'est là un des perfectionnements dus à M. Mac-Cormick, dont l'invention date de 1831. Le mouvement de va-et-vient est infiniment supérieur, pour obtenir le résultat cherché, à un mouvement circulaire continu tel que celui que Smith de Deatson avait employé dans sa machine de 1808. Malgré la grande vitesse dont il cherchait à douer la scie dont il se servait, Smith n'avait qu'une machine imparfaite, qui avait besoin d'être *lancée* pour faire sa fonction et qui, par conséquent, s'engorgeait au moindre obstacle. Il faut que les sécateurs, dans les machines à moissonner, aient une vitesse considérable, même lorsque la roue motrice ne marche que lentement. Sous ce rapport, il y a encore perfectionnement dans la machine de M. Mac Cormick par rapport aux inventions antérieures.

C'est M. Bell qui a imaginé de prendre sur l'arbre de couche principal que nous avons indiqué un mouvement nécessaire pour faire tourner l'appareil destiné à courber les tiges de la récolte à faucher. Cet appareil consiste en un moulinet à ailes héliçoïdales qui s'engagent entre les tiges debout, et en tournant, les infléchissent vers la plate-forme, sur laquelle elles tombent en vertu de la pesanteur, après avoir été coupées par le pied.

Il y a tantôt trente ans, lorsque M. Mac Cormick eut fait ses premières machines, elles furent importées en Europe. Dans les vastes domaines de quelques parties de l'Autriche, on les employa même avec succès, mais non régulièrement, parce qu'elles se dérangeaient facilement; elles étaient comme une sorte de réponse toute prête aux exigences des ouvriers moissonneurs. Mais l'Amérique, qui, n'ayant pas de bras en quantité suffisante, était trop heureuse de faire sa moisson, même imparfaitement, après avoir été souvent dans la nécessité de laisser les récoltes pourrir sur pied, se mit à employer sur une grande échelle les machines de M. Mac Cormick, qui en a vendu trois mille cinq cents de 1831 à 1855.

Dans ces machines à moissonner, qui avaient été si appréciées en 1855, les tiges coupées devaient être immédiatement ramassées à l'aide d'un râteau, pour faire glisser la javelle derrière les chevaux, afin que, dans le tour suivant, elles ne fussent pas foulées aux pieds par l'attelage passant à l'endroit coupé précédemment. Cette manœuvre, qui exige une quantité de travail considérable au moment même du travail de la moissonneuse, et qui, par suite, en diminue les avantages, a encore été reportée sur la machine par les habiles constructeurs anglais Burgess et Key. Il fallait employer des organes bien légers et bien simples pour ne pas surcharger l'axe moteur et ne pas trop compliquer la machine. C'est un problème qu'ils ont parfaitement résolu de la manière suivante.

Les tiges, à mesure qu'elles sont coupées, tombent sur une plate-forme inclinée, placée à l'arrière de la machine, et sur trois hélices horizontales et parallèles, situées à des niveaux différents, mues par des courroies partant de l'arbre. Les tiges coupées reçoivent ainsi un mouvement de translation horizontal qui les conduit presque sur le sol, où elles sont renversées perpendiculairement au chemin que parcourt l'attelage. Ce renversement est dû à la plus grande longueur de la dernière hélice, qui continue à agir sur la partie supérieure des tiges coupées, alors que les autres hélices ont cessé d'agir sur les parties inférieures de ces tiges. Les arbres de ces hélices sont en bois, les spires en métal.

Un cône placé vers l'extrémité de la machine, terminé par un sabot en fer, sépare les tiges qui doivent être coupées, et aide au mouvement de celles qui sont coupées en les rejetant, par sa rotation obtenue au moyen de courroies qui le mettent en communication avec l'arbre moteur, sur les hélices au-dessus desquelles il se trouve placé. (*Voir ci-après.*)

Le seul reproche sérieux que l'on puisse adresser aujourd'hui aux moissonneuses perfectionnées, c'est de demander une assez grande habileté au conducteur, tant à cause de la complication du mécanisme que des ralentissements que peut produire dans les mouvements tout glissement, tout arrêt de la roue. L'expérience de ces machines fera disparaître le premier inconvénient, et le second s'amoindrit avec les progrès de l'agriculture, le parfait nivellement du sol, l'épierrement, etc. Malgré cela toutefois, ce serait un progrès souhaitable que d'ajouter quelque travail moteur à celui fourni par la traction, pour assurer contre toute irrégularité. Les chevaux le fourniraient facilement, mais sa communication aux organes en mouvement, par une disposition simple, est assez difficile à réaliser, mais nous paraît loin d'être impossible.

Revenons à l'examen détaillé de ces machines :

1° *Faucheuses.* L'appareil de coupage aujourd'hui généralement adopté, tant pour les faucheuses que pour les moissonneuses, consiste ne une série de lames triangulaires *s*, *s* (fig. 28), reposant à plat presque sur l

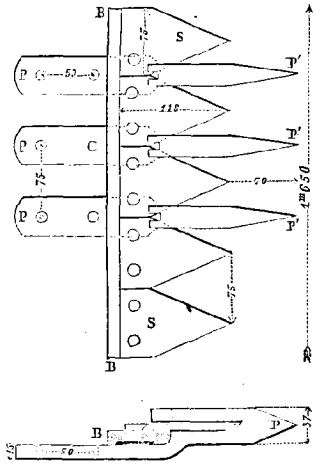


Fig. 28

sol, et toutes fixées à une même souche horizontale B, à qui les roues impriment un mouvement rapide de va-et-vient dans le sens perpendiculaire à la marche de la machine. Le châssis de cette lame de scie porte des tiges P, terminées par des pointes P', qui divisent la masse de l'herbe à faucher en une série de faisceaux ou gerbes compactes, faciles à attaquer par l'outil.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la faucheuse de Wood, perfectionnée par M. Peltier (fig. 29), la lame de scie reçoit son mouvement de l'essieu des deux roues en fonte qui portent l'appareil par l'intermédiaire d'une bielle *b* fixée à un excentrique *m*, dont l'axe, incliné à l'horizon, porte un pignon engrenant avec une roue d'angle *r*. Celle-ci est commandée par un autre pignon engrenant avec une grande roue dentée R, fixée à l'une des roues de

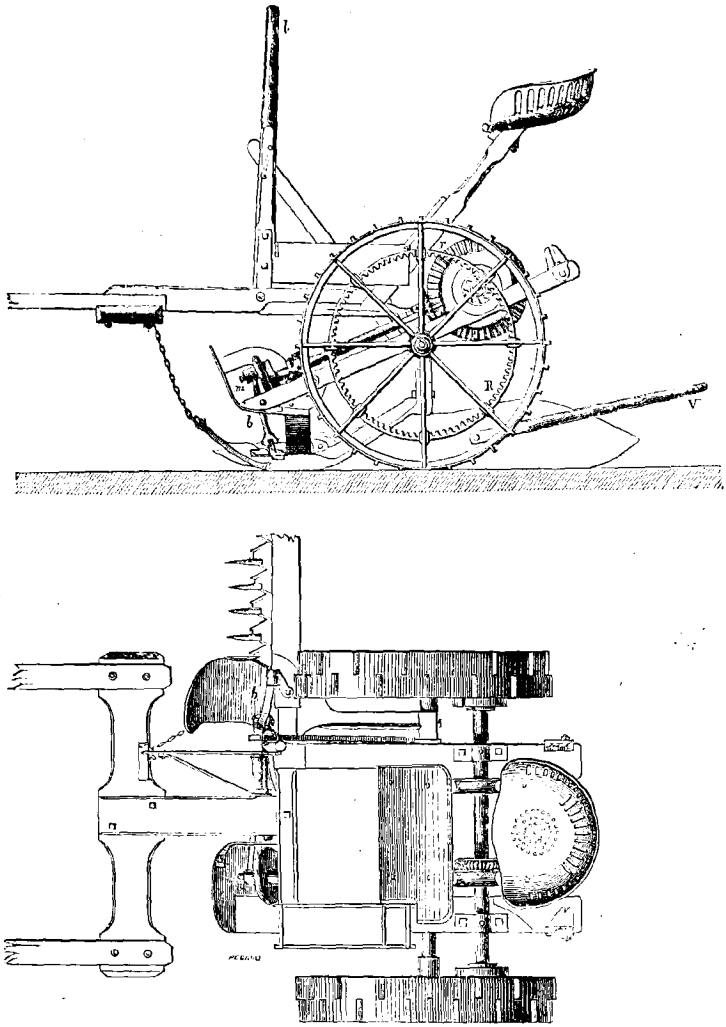


Fig. 29.

a machine. Le châssis de cet appareil d'engrenages repose sur le sol au moyen de sabots en fer. Le châssis de la lame de scie est soutenu par une chaîne fixée au petit bras d'un levier coudé, dont le manche *l* est à la disposition du conducteur placé sur son siége. En manœuvrant la grande branche de l'équerre, le conducteur peut placer la scie à la hauteur voulue; cette branche porte une bride en fer sur laquelle vient reposer un levier d'arrêt muni d'une crémaillère et fixé au châssis, de telle sorte que, lorsqu'on a réglé la position de l'équerre, cette position ne change plus.

La faucheuse de Wood, d'après des expériences auxquelles elle a été soumise dans le département du Bas-Rhin, a donné lieu aux observations suivantes de M. le général Morin. Deux chevaux attelés ensemble ne peuvent, dans un pré donnant plus de 3,000 à 3,500 kil. de foin par hectare de première coupe, faucher plus de deux hectares par jour. Deux hommes sont nécessaires, l'un pour manœuvrer et surveiller la machine, l'autre pour conduire les chevaux et aider à débarrasser la scie quand elle s'engage.

La faucheuse Wood pour la coupe des regains travaille d'une manière peu satisfaisante; les regains frais sont beaucoup plus tendres et plus difficiles à couper que le foin. Ils échappent, quand ils sont courts, à l'action de la scie, et lorsqu'ils sont touffus et abon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dants, ils engagent l'outil. En outre, pour peu que le terrain soit humide, et qu'il y ait des taupinières nouvelles ou des fourmilières, la terre empâte la scie, se loge dans ses angles rentrants et l'empêche de couper l'herbe. Il en résulte qu'il y a sur la récolte du regain faite par la faucheuse une perte notable par rapport au produit obtenu par la faux. Le travail moteur nécessaire pour faire fonctionner la faucheuse de Wood sur les regains exige deux bons chevaux comme la coupe du foin; attendu que la plus grande partie de ce travail est absorbée par les résistances passives. Ces chevaux ne peuvent guère travailler plus de huit heures par jour et faire plus de 2 hect. 40.

Des essais faits en Angleterre en 1861, au concours de Leeds, ont donné des résultats plus avantageux. On

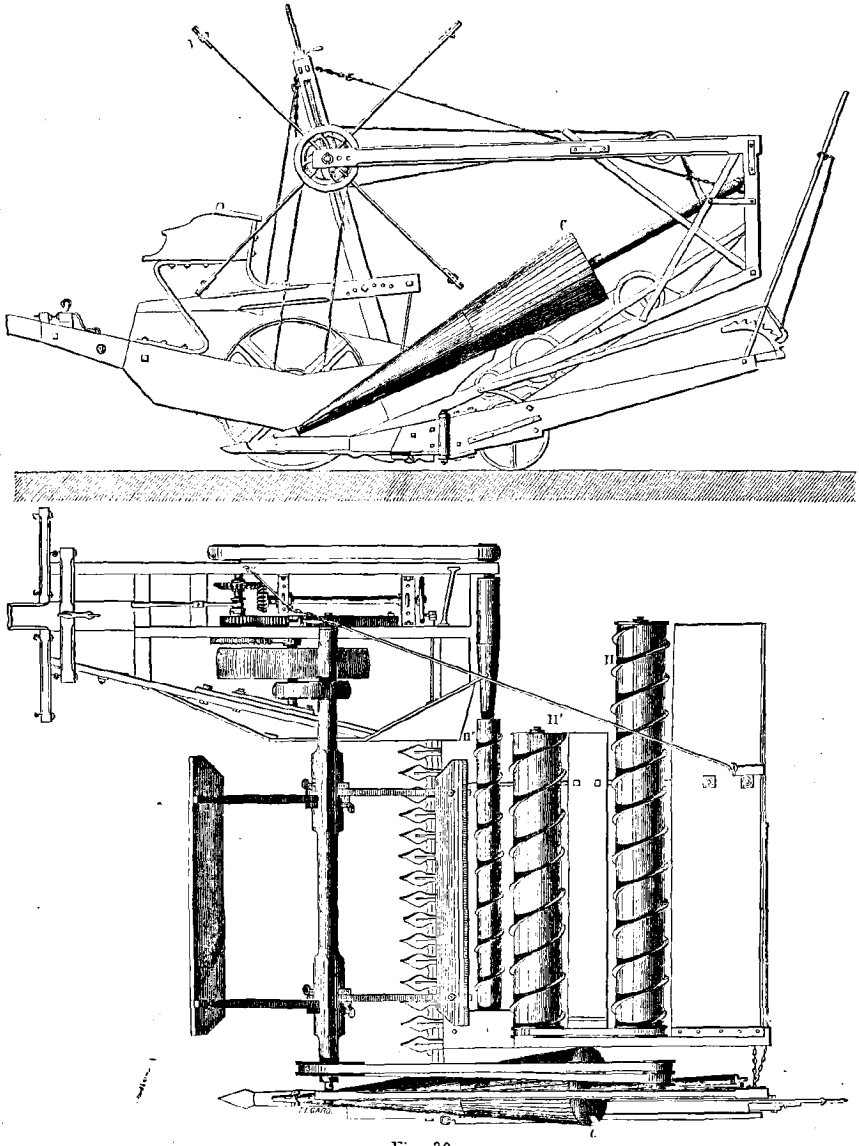


Fig. 30

a coupé 54 ares par heure. Le travail mécanique était de 92/100 de cheval-vapeur.

2° *Moissonneuses.* L'appareil coupeur des moissonneuses est le même que celui des faucheuses. Il fonctionne plus facilement, puisque les tiges sont rigides; mais la machine se complique de l'organe nécessaire à la formation de la javelle ou de l'andain.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la moissonneuse de Burghess et de Key (fig. 30), les tiges à couper sont inclinées vers le centre de l'appareil par un cône C armé d'un petit soc. Lorsqu'elles ont été coupées par la scie, elles sont couchées en arrière par les ailes d'un volant V, et tombent sur une série d'hélices H, H', H''' qui les transportent sur le côté opposé au cône, et les font tomber en andains réguliers. La machine est portée à l'avant par une grande roue, qui sert de roue motrice, et à l'arrière par une roue de moindre diamètre. Les divers leviers que l'on voit sur le dessin servent à régler la direction de l'appareil ou la hauteur du coupage.

D'après les expériences faites à Leeds, cette machine, marchant à la vitesse de 4 kilomètres à l'heure, exige un effort de traction de 200 kil. et exige un travail de trois chevaux-vapeur. Elle peut moissonner trois quarts d'hectare par heure.

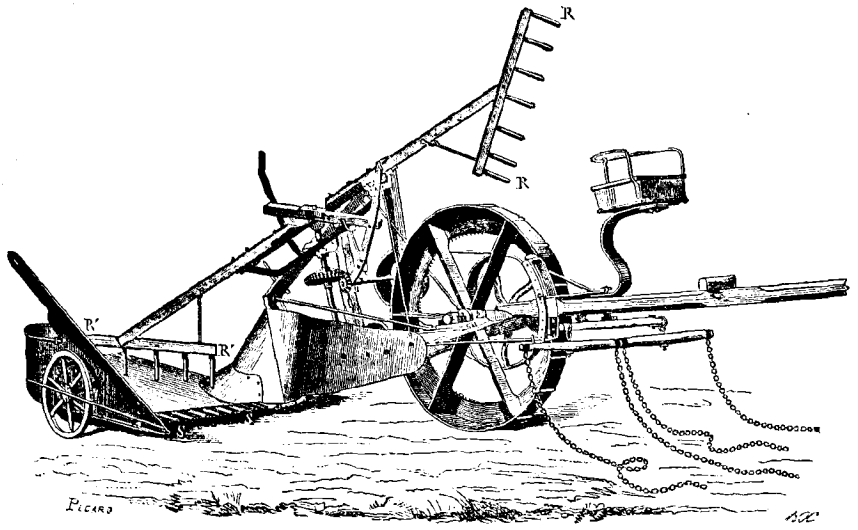


Fig. 31.

Dans la machine américaine de Mac Cormick (fig. 31), les tiges, après avoir été coupées par la scie S, S, tombent sur un plateau en tôle. Là elles sont reprises à intervalles égaux par deux râteaux RR, R' R', fixés aux deux extrémités d'un grand bras, mobile autour d'un axe. Chaque coup de râteau dépose une javelle sur le sol.

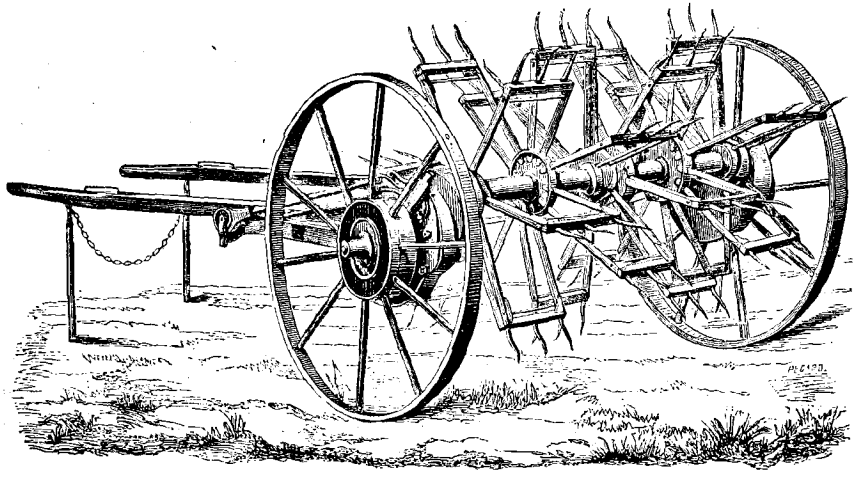


Fig. 32.

3° *Faneuses et râteaux.* Le fanage des foins se fait habituellement à bras d'homme, au moyen de fourch

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en bois. On se sert maintenant avec succès de faneuses mécaniques, qui se composent essentiellement d'une série de fourches dont les manches sont implantés dans un tambour à axe horizontal, monté sur un essieu que portent des roues lui communiquant son mouvement de rotation.

La faneuse de Nicholson, perfectionnée par Howard (fig. 32), est formée d'une série de châssis isolés, portant chacun trois dents. Ils sont implantés sur des galets en fonte calés sur un arbre qui reçoit son mouvement des roues motrices, au moyen d'engrenages renfermés dans des boîtes en fontes. Ces engrenages sont disposés de façon qu'on puisse à volonté faire varier le sens du mouvement de la faneuse.

Les râteaux à cheval sont composés d'une série de longues dents montées sur un même axe, servant d'essieu aux roues. Dans le râteau de Howard (fig. 33), toutes les dents sont indépendantes les unes des autres.

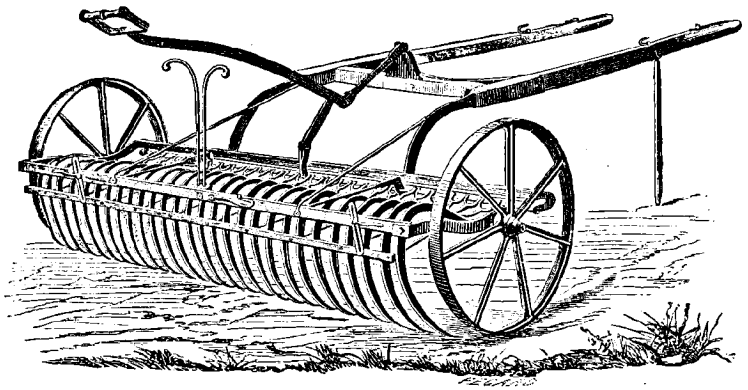


Fig. 33.

Lorsque l'on a ramassé assez de foin, on soulève, au moyen d'un levier, toutes les dents à la fois, puis on les laisse retomber lorsqu'elles sont dégagées.

QUATRIÈME GROUPE. INSTRUMENTS POUR LA PRÉPARATION DES PRODUITS DANS LES FERMES.

Ce groupe comprendrait, à la rigueur, tous les appareils agricoles que l'on rencontre dans les fermes,

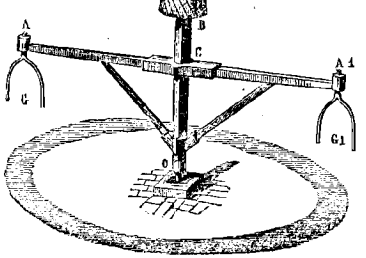


Fig. 34.

tout ce qui constitue les distilleries, sucreries, féculeries, laiteries, etc. Mais nous ne nous proposons pas de traiter du matériel de ces diverses industries, décrites dans cet ouvrage aux articles spécialement consacrés à chacune d'elles. Nous parlerons seulement des instruments qui donnent aux récoltes les premières façons nécessaires pour les porter au marché, ou pour les consommer dans la ferme.

MOTEURS. Comme dans le premier groupe, le moteur n'appartient pas seulement ici aux agents qui peuvent se déplacer; ce n'est plus seulement la force musculaire de l'homme, celle des animaux ou leur poids qui peut s'employer, mais encore la vapeur ou la chute de l'eau.

La force humaine n'est presque plus employée dans ces préparations. Son prix, six fois plus grand au moins que celui du travail fourni par les animaux, y ferait renoncer même si ce n'était la marche de la civilisation d'affranchir le travailleur d'un effort brutal, pour utiliser surtout son intelligence. Voyez TRAVAIL (PRIX DU.)

La force des animaux est généralement appliquée à des manéges qui transmettent par des courroies leur mouvement de rotation aux appareils mécaniques. La figure 34 représente le manége ordinaire. L'un des meilleurs modèles modernes est celui de M. Pinet (fig. 35). Les chevaux sont attelés à des barres B fixées

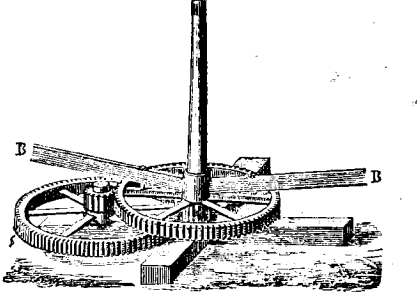


Fig. 35.

à une grande roue dentée horizontale, placée presque sur le sol. Cette roue engrène avec le pignon d'une autre grande roue horizontale qui fait tourner, avec une grande vitesse, un deuxième pignon. Celui-ci est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fixé à la base de l'arbre vertical, à l'extrémité duquel est calée la poulie motrice. La hauteur de l'arbre est suffisante pour que les hommes et les chevaux passent sous la courroie.

Lorsque l'on dispose d'une chute d'eau, on peut se servir avantageusement de sa force motrice pour les travaux de la ferme; elle est pour ainsi dire gratuite, ne coûte que des frais d'établissement et d'installation d'appareils simples, de roues hydrauliques établies par le charpentier du village. Malheureusement il est rare que les cours d'eau soient suffisamment proches des établissements agricoles, pour que les frais de transport ne compensent, et au delà, l'économie due au système moteur. Les récepteurs à employer, dans ce cas, sont décrits à l'article HYDRAULIQUE.

On pourrait enfin utiliser la force du vent. Mais l'irrégularité de cette force l'a fait abandonner, même pour la préparation de la farine, et, à plus forte raison, pour les travaux qui doivent être faits à un instant déterminé.

LOCOMOBILES. Le but de tous les efforts faits de nos jours pour faire exécuter tous les travaux par l'action des forces naturelles, qui ont produit les merveilleux résultats au milieu desquels nous vivons, a été longtemps poursuivi infructueusement lorsqu'il s'agit d'opérations qui doivent se faire en des endroits différents en chaque instant, comme nous l'avons vu précédemment pour le labourage. Les moteurs animés semblèrent longtemps donner la seule solution, et il ne paraissait pas possible, par exemple pour labourer la terre, d'aller au delà de la charrue traînée par des bœufs ou des chevaux.

L'application de la vapeur aux transports sur les chemins de fer a montré la voie à suivre et le problème a été résolu en imitant une disposition qui donne à la machine à vapeur la mobilité nécessaire; telle est la locomobile qui transforme de nos jours l'agriculture en mettant en mouvement les machines à battre, les concasseurs, etc., dans la ferme, de puissantes charrues dans les champs, et augmente, dans des proportions énormes, la puissance et la rapidité des constructions, la puissance des chantiers établis temporairement près du travail à effectuer.

Par suite de leur origine qui vient d'être rappelée, les locomobiles se rapprochent beaucoup des locomotives des chemins de fer, aussi simplifiées que possible; on les munit quelquefois d'un mécanisme qui permet de les mettre en mouvement par l'action de la vapeur sur les roues, que nous décrirons plus loin en parlant des LOCOMOTIVES-ROUTIÈRES, et non de les faire traîner par des chevaux, comme on fait le plus souvent.

Il serait inutile de décrire dans ses moindres détails une locomobile (fig. 36); ce serait reprendre la description de tous les organes bien connus de la machine à vapeur; nous préférons passer en revue les parties principales, en posant en principe la nécessité de donner la plus grande simplicité possible aux organes. Les locomobiles sont le plus souvent employées dans les fermes, dans des localités fort éloignées d'un atelier de construction, et il importe que les réparations courantes puissent être faites par un serrurier.

Chaudières. Les chaudières tubulaires, semblables à celles des locomotives, sont généralement admises, toutefois on cherche par diverses dispositions à les rendre facilement nettoyables, l'incrustation des tubes étant susceptible de mettre rapidement la machine hors de service, surtout quand on emploie des eaux séléniteuses que l'on n'a pas le soin d'épurer préalablement. Le système le plus radical est celui de Thomas et Laurens, les tubes en U qui y sont employés, permettent de rendre amovible le foyer et le faisceau de tubes; en démontant un joint mastiqué et boulonné, on peut les retirer et les nettoyer complétement.

INSTRUMENTS D'AGRICULTURE.

On n'emploie dans les locomobiles de tubes qu'en nombre restreint, et jamais d'un diamètre inférieur à 65 ou 70 millimètres, écartés de 30 à 50 millimètres. Le tirage est habituellement activé par le jet de vapeur sortant des cylindres dans la cheminée en tôle, formée en général de deux pièces pour pouvoir rabattre la partie supérieure.

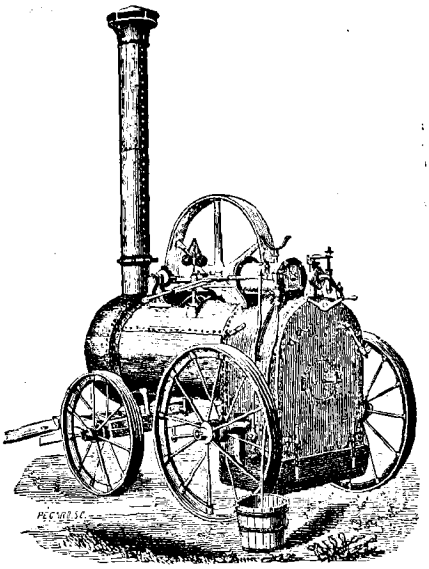


Fig. 36.

Alimentation. Elle est faite par une petite pompe à plongeur mue par un excentrique; un tube flexible lui permet d'aspirer l'eau que l'on verse dans un baquet posé sur le sol. Beaucoup de constructeurs contournent le tuyau d'aspiration pour le faire passer à travers la boîte à fumée et chauffer ainsi l'eau avant son introduction dans la chaudière.

Mécanisme. Le cylindre à vapeur est généralement horizontal; la tige du piston, guidée par des glissières, est articulée à la bielle qui actionne directement l'arbre coudé qui porte le volant, lequel sert habituellement de poulie de commande; la vitesse du mouvement du piston rend son action régulatrice assez grande bien que son poids soit peu considérable. Les constructeurs anglais montent directement le mécanisme sur la chaudière, d'où résulte, après un temps plus ou moins long, une dislocation générale; les constructeurs français préfèrent la faire porter sur une plaque de fondation, qui augmente la solidité, mais avec quelque accroissement de poids et de dépense.

Distribution. Le mécanisme de distribution se compose d'un simple tiroir à coquille mû par un excentrique.

Train de roulement. La locomobile est habituellement montée sur quatre roues, dont le moyeu est en fonte et les rais tantôt en bois, tantôt en fer rond. On ne la suspend guère sur ressorts que quand elle est complétée par un mécanisme qui permet de la transformer en LOCOMOTIVE ROUTIÈRE.

La figure 37 représente une locomobile alimentée avec de la paille, solution précieuse pour des pays, comme la Russie méridionale, où la paille est sans valeur et les communications difficiles. Le chauffage se fait très-bien et ne coûte pas le tiers de la paille battue. Un ouvrier dépose la paille sur une espèce de table à étaler

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et l'engage entre les rouleaux mus par des courroies. Elle produit une flamme intense qui enveloppe les tubes,

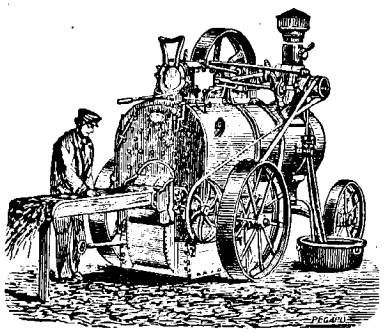


Fig. 37.

sur lesquels se déposent les cendres siliceuses adhérentes, ce qui nécessite des nettoyages assez fréquents.

Observations. La locomobile est, il faut l'avouer, d'un maniement bien compliqué pour le personnel de nos exploitations agricoles, le nettoyage de la chaudière est peu commode, enfin son poids rend son passage difficile dans les terres cultivées. C'est un problème qui se pose aux constructeurs, de simplifier encore cette utile machine pour favoriser l'extension de son emploi.

L'emploi des tubes Field a déjà conduit à quelques résultats précieux dans cette voie. On les a appliqués aux petites machines verticales adhérentes aux chaudières, et qui, facilement transportables, se rencontrent déjà dans nombre d'exploitations agricoles. La simplicité de celles-ci, dont la chaudière n'a souvent qu'un gros bouilleur traversant le tuyau vertical qui surmonte le foyer, tend à leur faire gagner du terrain sur la locomobile à tubes horizontaux, plus compliquée et plus coûteuse.

Après avoir rappelé les moteurs dont se sert l'agriculture, nous allons examiner les appareils qu'ils mettent en mouvement:

1° *Battage des grains.* Le battage à bras d'homme se fait au moyen d'un instrument simple, connu de tout le monde, le fléau. Il est composé de deux pièces de bois, l'une courte, l'autre beaucoup plus longue servant de manche. Ces deux bâtons sont réunis par des courroies. Un batteur au fléau peut obtenir de 2 hect. à 2 hect. 50, on voit que l'hectolitre peut revenir de 1 fr. à 1 fr. 25.

La séparation du grain et de son enveloppe se fait dans le Midi au moyen du *dépiquage*, qui utilise pour cet objet le poids des animaux. Le dépiquage consiste à faire marcher des chevaux ou des mulets sur les gerbes étendues sur le sol. Ce procédé n'est pas moins coûteux que le précédent; car un cheval ne produit pas par jour plus de 5 hectolitres de grain, et en outre, le dépiquage emploie environ un homme par deux chevaux. D'après M. de Gasparin, en supposant la journée des hommes occupés au battage fixée à 2 fr. 50, le dépiquage par les chevaux revient à 1 fr. 11 l'hectolitre.

Au lieu de placer les gerbes sous les pieds des chevaux, on les soumet, dans quelques départements du midi, à la pression de rouleaux unis ou cannelés présentant la forme de troncs de cône. On dispose les gerbes sur le parcours du rouleau. Ce parcours est d'ailleurs très-variable. Tantôt c'est une bande annulaire; dans d'autres cas, on recouvre l'aire de gerbes; alors pour amener le rouleau à passer sur toutes les gerbes, on attache à la tête du cheval qui conduit ce rouleau une longe qui s'enroule sur un pieu planté au centre de la surface, de sorte que le cheval décrit une spirale. Quelquefois sur une aire rectangulaire, on fait décrire au cheval une courbe telle que l'action s'exerce successivement sur toute la surface. Bien que ce mode de séparation soit plus rapide que le précédent, M. de Gasparin donne pour le prix de revient de l'hectolitre obtenu par le dépiquage au rouleau 1 fr. 15, en admettant toujours 2 fr. 50 pour la journée de l'ouvrier.

Quelquefois enfin, l'animal traîne une sorte de traîneau, armé de saillies, sur lequel se place le conducteur. Ce traîneau, en passant par les différents points de l'aire, comprime l'épi et fait sortir le grain de la balle.

Machine à battre. L'organe essentiel des machines à battre est le batteur. C'est un cylindre horizontal, armé de barres en bois dirigées suivant ses génératrices, qui tourne rapidement. La fig. 38 fait voir la disposition du

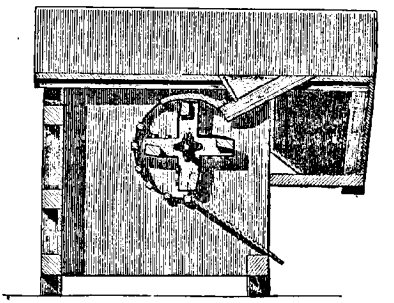


Fig. 38.

batteur de Ransome, à quatre bras. Le batteur est enveloppé d'un autre cylindre à claire-voie, nommé contre-batteur. On introduit les gerbes entre le batteur et le contre-batteur par un plan incliné placé à la partie supérieure. La paille et l'épi sont broyés entre ces deux surfaces dures, et le grain sort de la balle. Il tombe par les vides du contre-batteur, tandis que la paille est entraînée au dehors, sur un plan incliné, par le mouvement de l'appareil.

Dans cette machine, les gerbes sont présentées par le bout au batteur. La paille est donc entièrement brisée. Lorsqu'on la destine à la nourriture des animaux, ce n'est là qu'un avantage. Si on veut avoir la paille entière, on a des batteurs aussi longs qu'elle, et on présente les gerbes transversalement. Les tiges de paille sortent sans être brisées.

Dans les grandes exploitations, on se sert de machines à battre de plus grandes dimensions et plus compliquées, mais reposant toujours sur le même principe. La fig. 39 donne la coupe verticale de la machine Duvoir. Elle est établie à demeure. Le plus souvent, les machines à battre sont montées sur quatre roues et peuvent se déplacer.

Dans cette machine, le mouvement est fourni par une roue dentée *m*, qui commande, au moyen d'un pignon, un volant *m'*, à l'axe duquel sont adaptées les différentes poulies qui mènent les courroies de la machine. La force motrice qui fait tourner la roue dentée peut être la vapeur ou un manége à chevaux.

Les gerbes sont placées sur une tablette E, où un manœuvre les pousse entre deux petits cylindres qui les entraînent contre le batteur B. Après avoir passé sur le contre-batteur B', les gerbes égrenées arrivent sur une claie S, secouée par les articulations *o* qui la soutiennent. La paille descend sur le plan incliné P au bas duquel on la recueille. Le grain, au contraire, passe à travers la claie et tombe dans la trémie T, avec les balles et la poussière. En sortant de la trémie, il traverse une autre claie ou crible, puis il tombe par l'ori-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fice G, où on le recueille. Dans ce dernier parcours, il est soumis à l'action d'un ventilateur V, qui chasse à travers une fenêtre, réservée à cet effet, les balles et des grains et les matières légères sont entraînées par les courants d'air, et le grain, plus pesant, retombe dans le panier. Ce mode de purification, assez coû-

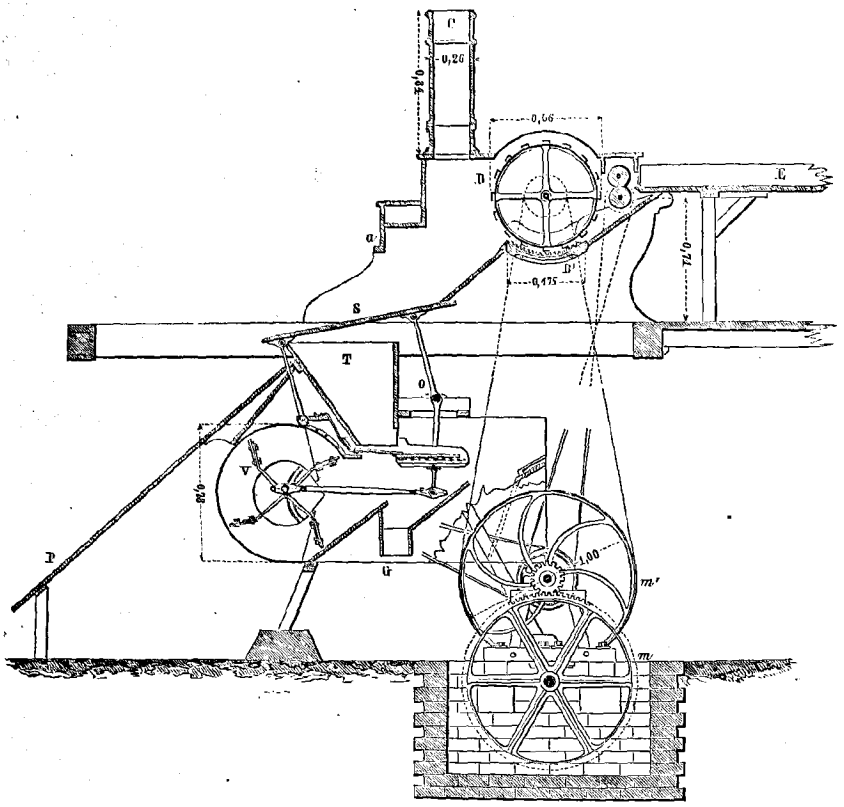


Fig. 39.

poussières. Le grain arrive en G parfaitement propre. Une cheminée C est placée à la partie supérieure, pour évacuer les poussières qui remplissent l'appareil et n'arrivent pas au ventilateur, celles notamment que soulève le batteur dans son mouvement.

Cette machine, pour le modèle de la force de six chevaux-vapeur, bat 2.400 kil. de gerbes à l'heure.

Les machines habituellement employées rendent de 25 à 30 hectolitres de grain par jour.

Leur introduction dans les fermes a été une véritable révolution en agriculture. Grâce à la promptitude de leur action, on peut préparer le grain et le porter au marché à telle époque que l'on veut, sans être retardé par le manque d'espace ou de main-d'œuvre. Les opérations commerciales sur les grains ont acquis ainsi une grande facilité.

2° *Machines à nettoyer les grains.* On donne, à l'article MOULIN, la description des appareils qui font subir au grain, avant sa mouture, un dernier et complet nettoyage; mais, avant de le livrer au commerce, il doit être déjà en grande partie débarrassé de la balle et des diverses impuretés qu'il peut renfermer : ce nettoyage s'opère à bras au moyen d'un van, espèce de grand panier plat, à l'aide duquel on agite le grain en le projetant à une certaine hauteur. Les enveloppes teux, est de moins en moins employé. On paye dans le Midi 25 cent. par hectolitre pour le vannage. Les machines appelées ventilateurs ou tarares, qui effectuent maintenant ce travail, peuvent l'exécuter pour le tiers de ce prix : ces ventilateurs (fig. 40) se construisent maintenant partout pour un prix qui ne dépasse pas 100 fr. Quatre ailes en bois mince, animées d'un mouvement rapide de rotation, produisent un courant d'air au milieu duquel on fait passer le grain, qui s'écoule régulièrement d'une trémie supérieure; les pailles s'échappent au dehors, et le grain tombe sous la machine. Nous avons déjà vu cet appareil faisant partie de la machine à battre décrite ci-dessus. Le grain, en sortant de la trémie, traverse une série de cribles ou de grillages, qui séparent successivement le bon grain des différents corps étrangers qu'il peut renfermer : ces grillages sont plus ou moins nombreux, suivant le degré de nettoyage que l'on veut atteindre. Dans tous les cas, ils reçoivent un mouvement de trépidation d'un excentrique, ou de tout autre mécanisme placé sur l'arbre moteur.

Les ventilateurs ordinaires sont servis par deux hommes, l'un occupé à mettre en jeu la machine, et l'autre à charger le grain et à recueillir les différents produits séparés par l'appareil. Ces hommes se relayent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de demi-heure en demi-heure, la mise en mouvement nécessitant un assez grand effort. Quand on dispose d'un moteur inanimé, on peut l'appliquer au ventilateur, et on réalise ainsi une grande économie.

moyen d'une transmission de mouvement qui varie d'un hache-paille à l'autre; dans les meilleurs instruments de ce genre, un second mécanisme, dépendant du premier, saisit la paille lorsqu'elle quitte les cylin-

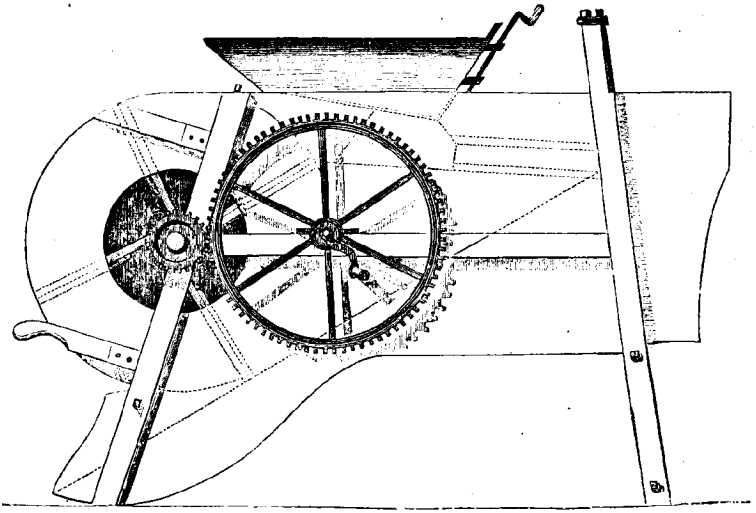


Fig. 40.

Il est inutile de décrire les *cribles* ordinaires, que tout le monde connaît. M. Vachon a construit un trieur mécanique bien disposé, dont le plus petit modèle est approprié aux besoins de la moyenne culture. La partie essentielle de cet appareil, dont la figure 41



Fig. 41.

indique la coupe, est une toile métallique percée de trous et fixée sur une seconde feuille de métal qui bouche les ouvertures pratiquées dans la première. Les cavités ainsi formées sont telles qu'un grain de blé bien conformé ne peut s'y loger, tandis que les petits grains et les mauvaises graines s'y arrêtent facilement. En disposant une pareille toile métallique sous une faible inclinaison, et versant sur cette surface une certaine quantité de blé, que l'on fait descendre peu à peu en imprimant au système un mouvement de trépidation, le bon grain roule jusqu'au bas du plan incliné, et les mauvaises graines s'arrêtent dans les cavités de la toile. On s'en débarrasse en renversant et secouant vivement la plaque. Le plus petit modèle du trieur Vachon est d'un prix peu élevé, et facile à transporter. Il peut épurer 10 hectolitres de grains pour semence, en douze heures.

3° *Machines diverses.* Parmi les diverses machines dont l'usage tend à se répandre de plus en plus dans les fermes, nous citerons les hache-paille, les coupe-racines et les concasseurs.

Hache-paille. Les hache-paille, dont la figure 42 représente un bon modèle dû à MM. Hill et Smith, se composent essentiellement de couteaux, généralement placés suivant les bras d'un volant.

La paille disposée sur une longue caisse est entraînée par deux cylindres cannelés sous les couteaux; le mouvement de rotation des cylindres conducteurs de la paille est déterminé par le mouvement du volant au

dres et la presse avant de la soumettre à l'action du couteau, dont le travail est ainsi rendu beaucoup plus facile. Le résultat suivant donnera une idée du travail que l'on peut exécuter avec le hache-paille. On a reconnu que l'effort moyen exercé sur la manivelle de

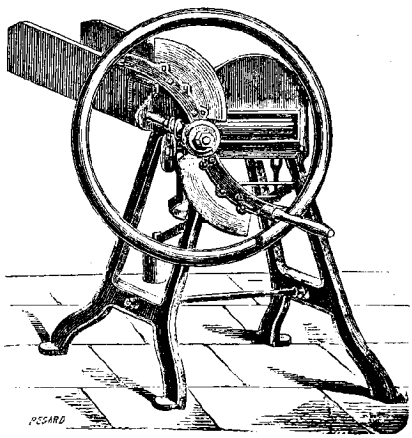


Fig. 42.

0m,35 de longueur d'un hache-paille de Dombasle était de 8k,25 quand la machine marchait à charge avec une vitesse de 35 à 40 tours par minute, et coupait la paille par bouts de 0m,01. A vide, la vitesse était de 33 tours par minute, et l'effort moyen sur la manivelle était de 1k,88. Le travail dépensé était de 1,233 kilogrammètres par kil. de paille hachée. On pouvait donc

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans une journée de dix heures, hacher 330 kil. de paille.

Coupe-racines. Les meilleurs modèles de coupe-racines sont également à mouvement rotatoire continu. La figure 43 représente celui de Valcourt, qui se re-

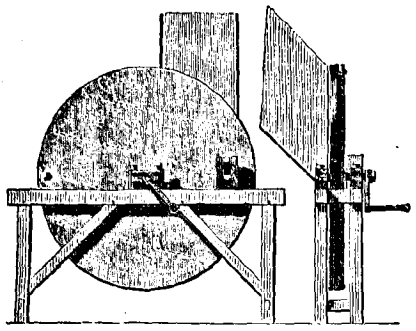


Fig. 43.

commande par sa grande simplicité. C'est un disque en bois tournant sur son axe et portant deux couteaux, dont la lame est parallèle à son plan, et qui y sont fixés par l'intermédiaire de tasseaux Les racines, jetées dans une trémie, viennent s'appuyer sur le disque maintenu postérieurement par une petite roulette que l'on voit sur la figure. A chaque demi-tour du disque, un des couteaux enlève une lamelle à chaque racine.

D'autres coupe-racines, nommés dépulpeurs, ont pour objet, non de découper des lamelles, mais de mettre les racines en bouillie grossière. Ce sont généralement des cylindres pleins, armés de dents, qui écrasent la pulpe contre une paroi également pourvue de saillies.

Concasseurs. On désigne sous ce nom une série d'instruments destinés à écraser plus ou moins complétement les grains ou légumes dont on nourrit les animaux. Le principe de tous ces instruments est le même. La graine à moudre est jetée dans une trémie, d'où elle tombe entre une ou plusieurs paires de cylindres broyeurs. La figure 44 représente le modèle du concasseur de M. Turner. La descente de la graine par le col de la trémie est réglée par un registre qu'une vis permet de fermer plus ou moins. La graine descend régulièrement, grâce à un cylindre à alvéoles, analogue à celle des semoirs à entailles. Les cylindres broyeurs sont de dimension inégale. On peut faire varier leur écartement au moyen d'une vis qui commande le palier de l'arbre du plus petit.

Les cylindres broyeurs sont le plus souvent cannelés et striés. Ils déchirent alors la graine. Quand ils sont unis, ils ne font que l'aplatir plus ou moins complétement.

Les cylindres broyeurs sont quelquefois remplacés par des surfaces coniques emboîtées, analogues aux moulins à café.

Nous terminerons ici cet exposé des instruments

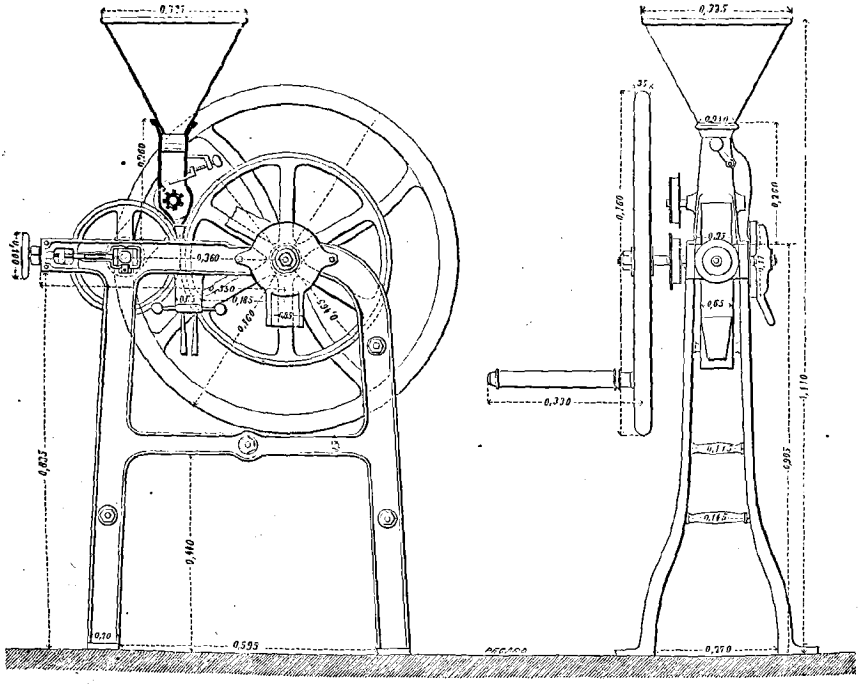


Fig. 44.

d'agriculture. Il aurait dû recevoir de bien autres dimensions, si on voulait décrire tous les essais qui ont été faits et que la pratique n'a pas adoptés. Mais ce qui importait bien plus et ce que nous avons cherché à indiquer, ce sont les principes féconds que l'on a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

su appliquer à la construction des machines agricoles, susceptibles de diminuer le prix de revient des denrées, et par suite d'augmenter le bien-être universel. L. DURAND CLAYE.

INSTRUMENTS DE MUSIQUE. (*Rapport des ouvriers parisiens à l'Exposition de* 1862.)

INSTRUMENTS A VENT EN BOIS. Nous essayerons de donner en peu de mots un aperçu sur l'histoire des instruments à vent sans bocaux. Comme ancienneté, la *flûte* a la priorité et compte au moins trois ou quatre mille années d'existence. Son origine paraît être égyptienne, et des monuments historiques de la plus haute antiquité viennent à l'appui de cette assertion. Les savants ont rencontré maintes fois l'image de cet instrument dans des gravures sur pierre, et principalement sur les tombeaux des pharaons. Elle se fabriquait alors, dans ces contrées, avec le *tibia* de certains animaux.

Les poëtes de la Grèce avaient attribué l'invention de la flûte à plusieurs de leurs dieux. Apollon, Pallas, Mercure et Pan avaient, selon eux, eu la première idée de cet instrument, qu'ils avaient ensuite communiqué aux mortels. Selon Pausanias, la flûte serait due à un nommé Ardale, et l'on a tout lieu de croire que si cet Ardale n'en fut pas l'inventeur, il en étendit du moins beaucoup l'emploi, et propagea dans la Grèce l'art de s'en servir pour accompagner la voix humaine. Il existait déjà, de son temps, une grande variété de flûtes, et elles se divisaient en *courbes, longues, courtes, moyennes, simples, doubles, égales, inégales*, etc. Elles s'employaient dans les représentations théâtrales, les festins, les sacrifices, les funérailles, dans les cérémonies de toute espèce. On se servait aussi beaucoup de la flûte pour la musique militaire, et nous la trouvons mentionnée dans l'*Iliade* comme ayant été employée au siége de Troie; les Spartiates surtout affectionnaient la flûte, trouvant la trompette trop stridente et trop aiguë. Les Crétois, les Thébains, les Lydiens, les Arcadiens et quelques autres peuples grecs en faisaient également usage pour guider leurs phalanges dans la bataille.

La flûte grecque était, dans son enfance, fabriquée avec des roseaux, dont les meilleurs, selon Pline, provenaient du lac *Orchoménien*. Ce n'est que par la suite qu'on en fit en os, en ivoire et même en argent. Sa construction primitive était de la plus grande simplicité; les *flûtes doubles* n'avaient probablement dans le principe qu'une seule et commune embouchure, mais, plus tard, on les sépara totalement, et chacune des deux fut jouée d'une seule main. Il existe de nos jours, dans différents musées d'antiquité, plusieurs échantillons des plus anciennes flûtes; elles sont longues de sept à quinze pouces, et, chez quelques-unes, l'embouchure est formée par un tuyau de paille dont l'ouverture trop étroite présente beaucoup de difficultés à l'introduction de l'air. Elles ont, en outre, trois ou quatre trous, et sont garnies, vers leurs extrémités, de plusieurs chevilles dont le but semble être d'amener des changements de ton et de procurer des notes supplémentaires.

D'après les anciens historiens, c'est le musicien grec Alexandride qui, le premier, modifia la flûte en y perçant des trous. Plus tard, Diodore de Béotie continua à la perfectionner, augmenta le nombre des trous et imagina une ouverture latérale pour l'embouchure. Clonas établit des règles et composa des airs spéciaux pour cet instrument. Enfin, Pronomus, de Thèbes, réunit sur une seule flûte les effets différents des flûtes dorienne, phrygienne et lydienne. Notons en passant que le *pipeau* ou *flûte de Pan*, instrument composé de petits tuyaux d'inégale grandeur et que tout le monde connaît, est évidemment d'invention grecque; son origine se perd dans la nuit de temps.

Les Romains, à l'exemple de Sparte et d'Athènes, dont ils se montraient les pâles imitateurs en toutes choses, se servirent aussi de la flûte, mais ne la perfectionnèrent pas. Il y a toute apparence que cet instrument ne fit nul progrès pendant des siècles, ou du moins rien ne constate ces progrès. Nous retrouvons la flûte droite au moyen âge, avec sa forme et ses dimensions presque primitives, et sous les noms de *pipe, sublet, flaros de saus, muse de blé*, etc. Elle a déjà toutefois plusieurs variétés dont les plus connues sont l'*arigot* ou *flûte à six trous*, qui avait un bec et servait quelquefois d'accompagnement au tambour militaire; le *galoubet* provençal, instrument encore en usage de nos jours dans le midi de la France, et qui est percé de trois trous seulement; la *flûte à neuf trous* et les *basses*, longues de sept à huit pieds, et qui s'embouchaient au moyen d'un serpentin descendant le long du corps de l'instrument, jusqu'à l'endroit où les lèvres de l'exécutant pouvaient le plus commodément s'y appliquer.

La flûte dite *traversière* se distinguait des précédentes par son embouchure, qui était latérale au lieu d'être verticale. Cette embouchure consistait en un trou rond percé d'un côté du tube; six autres trous servaient au mouvement des doigts, et dans la suite il y en eut un septième que l'on ouvrait au moyen d'une clef. La flûte traversière reçut successivement plusieurs modifications. Ainsi, en 1722, on en allongea le corps pour avoir un trou de plus dans le bas, et l'on ajouta une clef pour avoir l'*ut dièze;* plusieurs années après, Quantz y apporta encore de nouveaux perfectionnements, en la dotant d'abord d'une seconde clef, laquelle était courbe et servait à faire sentir la différence qui existe entre le *ré dièze* et le *mi bémol;* puis, en 1745, on imagina, afin de hausser ou baisser le ton, l'emboîtement de la tête qu'on nomme aujourd'hui *pompe*, et le bouchon mobile avec sa vis de rappel. Bref, en 1789, la flûte avait déjà trois petites clefs : *fa naturel, la* et *si bémol*. Il est bon de noter ici que la petite flûte ou *fifre* était en usage dans l'infanterie française depuis le règne de Louis XIII.

La flûte est donc un des plus anciens instruments que l'on connaisse; la plupart des autres instruments à vent sans bocaux sont d'invention beaucoup plus moderne, et datent de quelques siècles au plus. Nous allons donner une énumération rapide des principaux instruments, en constatant, autant qu'il nous sera possible, leur origine et les perfectionnements dont ils ont été l'objet jusqu'à l'époque de la Révolution.

La *clarinette*, qui n'est autre chose que le chalumeau allemand perfectionné, fut imaginée en 1690 par Denner de Murember, et figura bientôt dans les orchestres. Elle n'avait à son origne que sept trous et deux clefs, une pour le *la* et une pour le *si*. Une troisième clef y fut ajoutée en 1788 seulement, dans le but d'obtenir l'*ut dièze*, et c'est un nommé Lefebvre qui fut l'auteur de cette amélioration.

Une variété de la clarinette fut le *cor de basset*, inventé à Pessan (Bavière) en 1770, et perfectionné douze ans plus tard par Lotz de Presbourg. Cet instrument donnait un chant doux et sombre, qui avait un caractère tout particulier. Son doigté et son embouchure ne différaient pas de ceux de la clarinette, mais ses dimensions étaient plus grandes et sa forme un peu recourbée.

Le *chalumeau* portait autrefois le nom de *chalemée, chalemelle, calamel, muse*. Cet instrument est très-ancien, et avait ordinairement de six à neuf trous sans aucune clef. Le *hautbois* lui ressemblait beaucoup, mais était plus grand et portait des clefs. Il y en avait de différentes sortes qui se distinguaient entre elles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par les noms de *hautbois ordinaire*, *hautbois de Poitou*, *hautbois des forêts*, *hautbois d'amour*, *bombarde*, etc. Il existait également des dessus de hautbois, hautes-contres et tailles. Les *gros-bois* ou *basses* avaient parfois jusqu'à cinq pieds de longueur. Le *cromorne* ou *tournebouts*, instrument fait en forme de crosse, servait aussi de basse au hautbois.

L'origine du hautbois remonte au seizième siècle, et peut-être au delà, mais il se répandit surtout en 1725, grâce aux frères Besozzi, qui le perfectionnèrent et en tirèrent un parti merveilleux.

Afranio, chanoine de Pavie, fut en 1539 l'inventeur du *basson*, lequel eut peu de succès à son apparition. En 1578, un Allemand, Sigismond Scheltzer, améliora cet instrument et parvint à lui donner plus de vogue. Il portait dans le vieux français les noms de *dulcian* ou *doucine*, à cause de la douceur de son timbre, et s'appelait en italien *fagotto*. En 1659, il n'avait encore que trois clefs, celles de *si* bémol, *ré* et *fa* grave; ce ne fut qu'en 1751 qu'il lui fut ajouté une quatrième clef. Le basson eut plusieurs dérivés connus sous les dénominations de *courtauds* et de *cervelas*, lesquels servaient de basses aux musettes.

Le *cor anglais* est également d'origine italienne, et c'est Ferlandis qui en fit la découverte à Bergame, il y a soixante ans environ. Cet instrument ne sort pas de la famille des bassons; il sonne seulement une quinte plus bas, et l'on s'en sert presque uniquement pour l'exécution des soli.

Depuis la fin du dix-huitième siècle jusqu'à nos jours, il s'est accompli de nombreux et importants changements dans les instruments à vent sans bocaux. Le flageolet fut d'abord perfectionné par l'addition de trois clefs, puis la flûte se vit l'objet de grandes modifications tentées par Rioeck, médecin hanovrien, l'Anglais Kusder et Cromlitz. On porta d'abord le nombre des clefs à cinq, puis on s'appliqua à donner au tube la forme conique. En 1793, Gresner, facteur de la cour de Saxe, offrit le premier modèle de la clarinette basse, perfectionnée plus tard par Dumas, et garnie par lui de treize clefs. En 1804, nouveau progrès de la clarinette, grâce aux travaux de Janssen, qui changea totalement la disposition des clefs et imagina de garnir celles de *si* et d'*ut* de pièces cylindriques mobiles sur leur axe, et nommées *rouleaux*. En 1812, perfectionnement du cor de basset, ou *clarinette alto*, par Muller. En 1817, amélioration du basson par Simiot, de Lyon, qui donna dans cet instrument un plus libre cours à la colonne d'air, et ajouta les coulisses dites *coulisses d'accord*. En 1828, essai par ce même Simiot, devant une commission de l'Académie des Beaux-Arts, d'une nouvelle clarinette portant dix-neuf clefs.

C'est en 1832 que M. Boëhm importa en France son système, si bien compris et si habilement imaginé. Cet inventeur avait enfin résolu l'important problème dont on cherchait depuis si longtemps la solution. Il s'agissait de fermer successivement tous les trous du corps sonore dans un ordre régulier pour une gamme descendante, et de les ouvrir de la même manière pour une gamme ascendante, ce qui donnait le moyen de faire disparaître les fourches. M. Boëhm avait fabriqué, à cet effet, une flûte à quatorze trous, fournissant une échelle chromatique de sons. Le pouce de la main droite servait exclusivement à soutenir l'instrument, et une heureuse disposition de clefs à anneaux permettait de faire deux fonctions avec le même doigt, en faisant agir l'essieu d'une clef ouverte par le mouvement du doigt qui bouche le trou. Par le même mécanisme, des trous qui, percés à leur place normale, ne pouvaient être atteints par les doigts, se fermaient au moyen de longues tiges tournantes attachées aux anneaux, et dès lors il n'était plus nécessaire de glisser d'une clef à l'autre ou sur un trou, comme dans l'ancienne flûte.

Le système Boëhm, bientôt reconnu supérieur à tout ce qui avait été exécuté jusqu'alors, fut l'objet des plus sérieuses études de la part des facteurs, qui cherchèrent à en faire l'application sur différents instruments. M. Auguste Buffet, entre autres, fit plusieurs essais de ce genre, et avec le concours de M. A. Lavigne, premier hautbois du théâtre Italien, il parvint, en 1840, à l'appliquer sur cet instrument. Déjà, l'année précédente, un autre facteur, M. Jullien, avait tenté, mais en vain, de se servir du système Boëhm pour la clarinette, et ce fut encore à M. Buffet jeune, aidé des conseils de M. Klosé, professeur au Conservatoire, qu'on dut la réussite de ce nouvel essai. Plus tard, M. Boëhm fit lui-même, sur le hautbois, une perce pour M. A. Lavigne; mais cette innovation n'obtint pas tous les bons résultats qu'on espérait d'elle. Disons enfin qu'une foule d'améliorations furent basées sur ce système, et qu'il produisit ainsi une véritable révolution dans la facture des instruments à vent en bois.

En 1844, M. A. Buffet, sans cesse à la recherche de nouvelles conceptions, fut une fois de plus breveté pour son application d'anneaux mobiles aux clarinettes et aux hautbois.

En 1847, M. Boëhm reconnut l'avantage de la perce cylindrique pour le tube des flûtes, et adopta la perce conique vers l'embouchure, contrairement à ce qui avait été usité jusqu'alors. Le brevet que M. Boëhm prit à cet effet lui fut acheté par MM. Lot et Godfroy, facteurs, qui, depuis, ne cessèrent de travailler à ce système et d'y apporter de nouveaux perfectionnements.

En 1851, M. Adolphe Sax remplaça la contre-basse de symphonie par une *clarinette-contre-basse* en cuivre, en *mi-bémol*, dont les avantages sur la première ne sauraient être contestés.

Enfin, en 1855, MM. Boëhm et Triebert construisirent un basson dans de nouvelles proportions fournies par le premier de ces inventeurs, et muni de son système de clefs. Ce basson était au-dessus de tout ce qu'on avait vu jusqu'à ce jour; il faisait le plus grand honneur à M. Boëhm pour son imagination inventive, et à M. Triebert pour les soins intelligents qu'il avait apportés à la fabrication de l'instrument.

INSTRUMENTS EN CUIVRE. Les peuples de l'antiquité la plus reculée, tels que les Égyptiens et les Hébreux, et, plus tard, les Troyens, les Grecs et les Romains, connaissaient la *trompette* et en faisaient usage, soit pour exciter leurs guerriers au combat, soit pour la célébration de leurs cérémonies religieuses, soit enfin dans les fêtes publiques et les cérémonies de tous genres. Le *cor* n'est pas moins ancien, et son origine, quoique moins constatée peut-être que celle de la trompette, remonte certainement à une époque très-reculée. L'invention de ces deux instruments doit appartenir aux premiers peuples guerriers et chasseurs, comme celle de la flûte est évidemment due aux pâtres et aux agriculteurs primitifs.

La forme des premiers instruments munis de bocaux et la matière employée pour leur fabrication variaient selon le goût et les usages des nations dont ils étaient connus. La longueur de la trompette antique était d'environ dix-huit pouces; les dimensions du cor primitif sont plus difficiles à établir, parce que ce dernier instrument variait infiniment plus de formes et présentait tantôt celle d'une corne, tantôt celle d'une *S*. Le bois, l'airain, l'argile, la corne et l'ivoire, par suite, servaient à fabriquer le cor de la trompette. La *buccina* latine n'était même, à son origine, qu'une sorte de coquillage percé à son extrémité, laquelle servait d'embouchure à l'instrumentiste. Les Grecs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comptaient six espèces de trompettes; les Romains quatre seulement.

Les trompettes et les cors primitifs n'étaient percés d'aucuns trous latéraux, et cette imperfection, jointe à la grossièreté de travail de l'embouchure, en rendait, paraît-il, l'usage fort incommode et très-fatigant. Ce n'est qu'au moyen âge qu'on imagina de doter les cors de plusieurs ouvertures, à l'exemple des flûtes et des hautbois. C'est la première amélioration qu'il nous soit possible de constater dans l'histoire des instruments à vent munis de bocaux.

Les mots servant à dénommer ces instruments sont en grand nombre dans le vieil idiome français. C'est ainsi qu'on les trouve désignés par les dénominations de *cor, corne, cornet, tube, trompe, trompette, buccin, buccine, clarine, claronceau, araine, menuel, gresle, huchet, saquebute, oliphon*, etc., etc. Quelques-uns de ces noms sont restés à nos instruments modernes. Les mots de *horne* (corne) et *bugle* (buffle), employés également dans la facture actuelle, sont tirés des vieux langages germain et britannique.

Au moyen âge comme dans l'antiquité, divers matériaux s'employaient pour la fabrication des trompettes; les métaux, toutefois, semblaient prévaloir; les bois venaient ensuite. Les cors et les cornets, instruments de chasse et de fantaisie, étaient généralement en corne et très-souvent en ivoire. Sous Charles V, on vit pour la première fois des trompettes en argent; c'étaient les musiciens de sa garde qui en étaient munis. Cet exemple somptueux fut suivi par la plupart des successeurs de ce prince, et les grands seigneurs du royaume ne tardèrent pas à l'imiter.

A cette époque, les trompettes étaient de forme droite et longues de près de six pieds. Les incommodités entraînées par de telles dimensions se faisaient vivement sentir, sans qu'on eût pu jusqu'alors y apporter aucun remède. C'est seulement sous Louis XII, à la fin du quinzième siècle, qu'un Français nommé Maurin eut l'heureuse idée de replier le tube sur lui-même, afin que l'air eût autant de parcours dans l'instrument, sans que pourtant celui-ci embrassât tant d'espace. Cette modification fut également appliquée aux grands cors, qui commencèrent à former plusieurs anneaux. Remarquons que, vers ce temps, le mot *trompe*, qui avait jusqu'alors signifié *grande trompette*, c'est-à-dire instrument de forme droite, commença à s'appliquer aux instruments recourbés et les désigna bientôt spécialement.

La courbure des tiges est donc la seconde amélioration introduite dans la fabrication des instruments munis de bocaux; cette courbure s'exécutait de diverses façons, et quelquefois elle ne formait dans la trompette qu'un simple anneau en tortille, ou bien se repliait plusieurs fois en zigzags; de sorte que la seconde courbure était toujours en sens inverse de la première; les parties de cette tige ainsi repliée portaient le nom de *branches*, et l'endroit marqué par la courbure s'appelait *potence*.

Au dix-huitième siècle, on chercha en Allemagne les moyens de modifier les sons de la trompette et du cor, pour les approprier au ton des orchestres, et l'on y parvint en adaptant des tuyaux mobiles appelés *cors de rechange*, ou *tons*, puis cette idée en amenant une autre, on fit l'emploi des *clefs*, et ce fut aux frères Braun qu'on dut, en 1770, l'introduction de ce nouveau système en France. Dix ans auparavant, un autre Allemand, nommé Hampl, avait déjà découvert qu'il était possible d'obtenir des modifications de sons en bouchant en partie, avec la main, le pavillon de l'instrument. Enfin, Haltenhoff compléta ces différentes améliorations en y ajoutant une pompe à coulisse, au moyen de laquelle on régla d'une manière satisfaisante la justesse de l'intonation. On voit que les progrès commençaient déjà à se succéder d'une manière assez rapide, quand la formation du Conservatoire de musique vint à propos (1794) leur donner un nouvel essor.

De 1794 à 1816 on s'occupa spécialement de perfectionner les instruments à clefs, tels que bugles et trompettes. Bon nombre de brevets furent pris à cet effet; mais nous ne pouvons citer ici que les principaux.

En 1811, on vit paraître une nouvelle trompette avec *cors de rechange*, ou *additions*, mis en communication par des clefs. Ce système parut d'abord si compliqué qu'il fit crier à l'impossibilité et qu'on l'abandonna après quelques essais. C'était l'œuvre d'un apothicaire anglais nommé Guillaume Close; et, malgré son peu de succès, nous devons le considérer comme un acheminement remarquable vers la découverte du *piston*.

Le Silésien Bluhmel paraît, malgré de nombreuses contestations, être le véritable inventeur des pistons ou, pour mieux dire, des *registres* des instruments en cuivre. Stœlzel et Wieprecht ont seulement perfectionné ce système et concouru d'une manière active à son application. Malgré l'importance de son innovation, Bluhmel mourut pauvre et laissant une veuve et des orphelins dans l'indigence; Stœlzel lui-même ne fut pas mieux récompensé de ses efforts et vieillit dans la misère. Tel est le plus souvent le triste sort des inventeurs! C'est en 1816 qu'on entendit parler du piston pour la première fois, et c'est seulement en 1823 qu'il fut introduit en France par le compositeur Spontini. Cette découverte ouvrit une voie nouvelle à notre facture instrumentale, et ce fut elle qui, par la suite, donna naissance au *clavicor*, inventé par Dunaïs, puis, plus tard et successivement, au cor et au *trombone* à pistons, et enfin au *saxhorn* et au *saxotromba*. Les premiers pistons étaient, toutefois, d'un emploi très-incommode et demandaient plus d'une amélioration avant d'atteindre à leur perfectionnement actuel. Leurs principaux défauts étaient ceux-ci : 1° des angles droits; 2° du vide dans le corps sonore ; 3° une certaine difficulté dans la marche des pompes. Le piston à doubles pompes qui parut ensuite avait la perce droite pour le corps sonore; mais, une fois baissé, il présentait des courbes trop rétrécies, et avait besoin d'un mécanisme pour le faire marcher. Le cylindre à rotation, invention allemande, fut un progrès sur le piston double, en ce qu'il donnait une plus grande égalité de son. Mais la plus importante des améliorations en ce genre fut le piston Périnet, qui fit son apparition en 1839. Périnet trouva le moyen, en évitant les angles, de donner plus d'étendue au son, tout en conservant les proportions ordinaires de l'instrument. Son système est resté l'un des meilleurs, et, de nos jours encore, c'est celui que l'on emploie le plus dans la fabrication.

L'Exposition de 1839 fut la première où l'on vit paraître des instruments munis de pistons. Celle qui suivit en 1844 fut encore plus féconde en produits de même genre, et les progrès accomplis par les fabricants furent l'objet d'un long rapport. En 1845, M. Sax fit connaître la famille des saxhorns et saxotrombas, qui amena une grande réforme dans la musique militaire. L'apparition de ces instruments tout nouveaux fut vivement sentie dans la facture, et l'impulsion qu'elle en reçut augmenta bientôt son importance commerciale.

Voici ce qu'en dit le rapporteur du jury de l'Exposition de 1855 :

Le saxophone est un cône parabolique en cuivre, dans lequel les intonations se modifient par un système de clefs. Ces clefs sont au nombre de 19 à 22, suivant les individus de la famille. Essentiellement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

différent de la clarinette par les nœuds de vibration de sa colonne d'air, le saxophone est accordé par octaves; en sorte que toutes les octaves sont justes, ce qui n'a pas lieu dans la clarinette. Ajoutons toutefois que, dans une grande partie de son étendue, il jouit ainsi de la faculté de donner l'harmonique de la douzième, ou octave de la quinte.

L'instrument se joue avec facilité, car le doigter, semblable à celui des instruments qui octavient, est peu différent de celui de la flûte ou du hautbois. Les clarinettistes parviennent en peu de temps à le bien jouer, à cause de l'analogie d'embouchure avec leur instrument habituel.

Le son du saxophone est le plus beau, le plus sympathique qu'on puisse entendre. Son timbre n'est celui d'aucun autre instrument. Mélancolique, il est mieux adapté au chant ou à l'harmonie qu'aux traits rapides, quoique son articulation soit très-prompte, et que nous ayons entendu le très-habile clarinettiste Wuille exécuter sur le saxophone un solo rempli de grandes difficultés avec beaucoup de succès. Susceptible de toutes les nuances d'intensité, le saxophone peut passer du *pianissimo* le plus absolu au son le plus énergique et le plus puissant.

Ce bel instrument, dont on n'a pas compris jusqu'à ce moment toutes les ressources, compose une famille complète, qui se divise en huit variétés, lesquelles sont toutes à la quinte ou à l'octave les unes des autres. On trouve en effet dans cette famille les individus répartis de cette manière :

1° Saxophone aigu en *mi* bémol (étendue chromatique de deux octaves et une tierce);

2° Saxophone *soprano* en *ut* ou en *si* bémol (même étendue);

3° *Idem alto* en *fa* ou en *mi* bémol (étendue chromatique de deux octaves et une quinte);

4° Saxophone *ténor* en *ut* ou en *si* bémol (même étendue);

5° *Idem baryton* en *fa* ou *mi* bémol (même étendue);

6° *Idem basse* en *ut* ou *si* bémol (même étendue);

7° *Idem contre-basse* en *fa* ou *mi* bémol (étendue de deux octaves et une seconde);

8° Saxophone *contre-basse* en *ut* ou *si* bémol (même étendue).

L'examen attentif de la famille des saxophones révèle des faits de haute importance; car cet instrument est nouveau par les proportions de ses tubes, par sa perce, par son embouchure, et particulièrement par son timbre. Il est complet, car il embrasse toute une famille de huit variétés, de l'aigu au grave, qui, dans leur ensemble, renferment tout le diagramme des sons perceptibles. Enfin il est parfait, soit qu'on le considère au point de vue de la justesse et de la sonorité, soit qu'on l'examine dans son mécanisme. Tous les autres instruments ont leur origine dans la nuit des temps; tous ont subi de notables modifications à travers les âges et dans leurs migrations; tous enfin se sont perfectionnés par de lents progrès; celui-ci, au contraire, est né d'hier; il est le fruit d'une seule conception, et, dès le premier jour, il a été ce qu'il sera dans l'avenir. (Voy. MUSIQUE.)

INULINE. Fécule que l'on retire des racines de l'*inula helenium*, du dahlia, du topinambour et de plusieurs autres plantes de la famille des radiées. On râpe ces racines, on les lave, on les exprime, on les fait bouillir avec de l'eau, et on filtre la dissolution bouillante à travers un linge. Si elle est trouble, on la clarifie avec du blanc d'œuf: on l'évapore ensuite jusqu'à pellicule et on la laisse refroidir. L'inuline s'en dépose sous forme pulvérulente; on la recueille sur un filtre, on la lave bien et on la sèche.

L'inuline ainsi obtenue est amorphe, blanche, pulvérulente, très-fine, sans saveur, inodore, d'une densité = 1,3, ayant la même composition et à très-peu près les mêmes propriétés que l'*amidon*. Elle s'en distingue surtout en ce que l'iode, au lieu de la colorer en bleu, la jaunit et la rend insoluble dans l'eau froide.

INVENTION INDUSTRIELLE.

I. *De l'importance de l'invention dans l'industrie.*

Le grand défaut de notre système industriel, celui auquel il ne peut pas plus échapper que toute institution humaine, mais auquel le progrès doit apporter des correctifs par des institutions convenables, c'est que le succès et la fortune ne sont pas toujours, à beaucoup près, la récompense de la capacité et du travail. Toute institution qui réagit contre une semblable tendance est évidemment digne d'approbation.

Jetons un coup d'œil sur les causes du succès dans l'industrie. Outre la capacité et l'habileté dans la fabrication, qui seules permettent à l'industriel d'accomplir d'une manière satisfaisante sa véritable fonction sociale, on reconnaît comme généralement prédominantes : l'habileté dans les transactions; l'abondance des capitaux et l'influence du crédit; enfin, pour quelques habiles, l'exploitation des vendeurs, tant de marchandises que de salaires, qui se poussant les uns les autres viennent par l'effet de la concurrence remplir à bas prix les magasins et les ateliers de celui qui ayant des capitaux peut attendre et offrir de l'argent comptant.

Plusieurs de ces moyens de succès qui, au point de vue individuel, ont beaucoup de valeur, en ont peu au point de vue de l'utilité de la société. Si le producteur diminue les salaires, il produira bien à meilleur marché, mais aux dépens de l'ouvrier. Si, à cause de la pénurie du vendeur, il achète la matière première à vil prix, au-dessous de ce qu'a dépensé le producteur, il gagne précisément ce que perd celui-ci; pour la société le résultat est nul. Le changement de main de la valeur n'indique pas forcément une création de richesse; ainsi l'usurier qui parvient à s'approprier la fortune d'un fils de famille n'a, certes, été d'aucune utilité à la société.

Sans discuter dans quelle proportion les divers genres de travaux sont utiles à la création de la richesse sociale, nous nous contenterons de considérer, ce qui ne peut être contesté, comme éléments fondamentaux de la production industrielle, comme ceux que l'on doit désirer voir dominer les autres, le capital combiné avec le travail et l'habileté du producteur.

Le premier devoir de la société est donc de multiplier les institutions qui permettent à la capacité industrielle de trouver le capital dont elle a besoin pour pouvoir produire. Pour cela il faut que les capitaux soient abondants, afin que les détenteurs, cherchant à les placer à un modique intérêt, soient forcés de considérer comme une garantie réelle la probité et la capacité de l'industriel peu fortuné, et même de s'efforcer de le découvrir pour lui fournir les moyens de se produire. C'est par les institutions de crédit de tout genre, et surtout les banques qui augmentent beaucoup la masse du capital circulant, que la société satisfait en partie à ce besoin.

Si nous suivons le capital dans la production, nous voyons, que grâce à l'habileté du producteur, il agit surtout en se convertissant pour la plus forte part en outils, machines et appareils de tout genre, et que son rôle devient d'autant plus important que le nombre de ces outils augmente. C'est donc l'invention de ces moyens de production, le produit le plus saillant de la capacité industrielle, qui fournit le champ dans lequel s'exerce l'action du capital; c'est elle qui le crée rapidement en concourant puissamment à la production de la richesse.

Considérons l'effet de l'introduction d'une machine dans une industrie, par exemple, dans l'exploitation de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la houille. Un puits est creusé; au haut de ce puits est un treuil (c'est déjà une machine), que fait mouvoir un homme pour amener à la surface un panier de charbon d'un poids peu considérable. Bientôt la profondeur augmente, et le travail de l'homme devient presque improductif.

Mais qu'une machine à vapeur vienne remplacer l'homme, comme cela a eu lieu en Angleterrre lorsqu'elle a été inventée, à l'instant, sous l'effort des machines puissantes (souvent de cent à deux cents chevaux, c'est-à-dire équivalant au travail de cinq cents à mille travailleurs en un seul point), d'immenses masses de charbon sont enlevées avec une facilité extrême; l'eau qui tendait à envahir la mine est pompée et amenée à la surface, et le travail d'élévation de la houille, qui correspondait à une dépense considérable, n'a plus qu'une valeur minime, ne coûtant plus qu'une faible partie du combustible extrait : le prix du charbon se trouve très-réduit.

Or le bon marché et la production abondante d'une denrée produits par la diminution du travail de l'homme remplacé par les machines et les combinaisons des forces naturelles, n'est-ce pas là le plus véritable accroissement de richesses? N'est-ce pas l'avancement général de l'espèce humaine dans la voie du bien-être matériel, au moins en négligeant la question de la répartition des produits, qui est d'un tout autre ordre d'idées que celles que nous traitons ici? Mais d'où provient cet important résultat? N'est-ce pas surtout de l'invention, que le capital n'a pu être appelé à réaliser qu'après qu'elle a été créée, et à laquelle il est subordonné? L'abondance d'inventions est donc encore plus désirable que l'abondance de capitaux pour la société; elle doit chercher à développer par l'association la réunion des efforts, cette première base de la création des richesses, comme elle y parvient pour la seconde par les banques et les institutions de crédit.

N'ayant pas à nous occuper ici des questions relatives aux capitaux, nous nous résumerons en disant : Que l'invention a une influence immense sur l'abondance de la production et le bas prix des objets fabriqués, et par suite sur la richesse sociale; que son incessant développement est un des grands intérêts de la société; car, bien qu'en économie politique on définisse la valeur le rapport entre l'offre et la demande, comme néanmoins le producteur ne produit qu'autant que le prix offert dépasse le prix de revient, et en quantité d'autant plus abondante que la différence est plus grande, c'est en réalité le prix de revient qui forme la base fondamentale du prix de vente.

II. *Moyens de développer l'invention.*

Les progrès de l'invention trouvent leur base la plus solide dans les découvertes scientifiques, bientôt traduites dans la pratique manufacturière et agricole. Ce sont donc d'abord les travaux de science pure qu'il faut encourager; mais il y a peu à faire dans cette direction dans notre pays, où on compte un nombre croissant d'institutions excellentes, où l'édifice scientifique porte à son sommet l'Académie des sciences et dont la base repose sur l'École polytechnique.

Nous ne voulons parler ici que de la forme la plus habituelle que revêt l'invention dans l'industrie, très-distincte en général de la science pure; nous voulons parler de l'invention des machines. Néanmoins presque tout ce que nous dirons pourra s'appliquer aussi bien aux inventions qui ont pour base les sciences physiques et chimiques qu'à celles qui dérivent de l'application des lois de la mécanique, et dont la multiplication est la base du progrès de l'humanité, progrès qui peut bien être discuté quand il s'agit de la moralité ou de l'intelligence, mais qui est tout à fait incontestable au point de vue de la production matérielle, de la vulgarisation des objets de consommation produisant le bien-être pour des populations plus nombreuses chaque jour.

C'est la concurrence, le désir de la fortune, qui excite les inventeurs et fait multiplier les projets. La société assure à leurs auteurs le bénéfice des résultats de leurs travaux, ou pour mieux dire fait respecter leur droit au moyen du privilége des brevets d'invention. Cette organisation est-elle suffisante pour activer le progrès, au point de vue de l'application des découvertes? Elle est fondamentale, sans elle rien n'est possible (voyez ÉCONOMIE INDUSTRIELLE, BREVETS). Mais ne peut-on aider à son efficacité, la faire fonctionner pratiquement, avec toute la perfection, tous les avantages qu'on lui suppose théoriquement? La réponse est facile à faire, en étudiant ce qui se passe dans l'industrie.

Une observation attentive fait bientôt reconnaître le peu de cas que font généralement les industriels des inventions et des nouveaux procédés comme moyen de succès, et combien ils préfèrent les autres moyens dont nous avons parlé. Il est presque admis que c'est folie de chercher la fortune par l'expérimentation d'une découverte, quelque séduisante qu'elle soit en apparence. N'est-ce pas là une cause suffisante d'avortement pour bien des projets utiles?

D'où peut naître cette opinion? Sans doute en partie du grand nombre d'idées fausses, ne pouvant conduire à aucun résultat utile, qui se montrent souvent; cependant, ces idées fausses, en appelant à son aide la science et l'expérience, on peut presque toujours les écarter, et éviter une cause de ruine et de déperdition de travail utile. Mais n'est-ce pas bien plutôt parce qu'on voit trop fréquemment les auteurs des plus belles inventions se ruiner, faute d'avoir pu atteindre un heureux résultat avant d'avoir épuisé leurs ressources?

En laissant de côté le peu de sécurité que procurent les brevets, ce qui appelle une réforme urgente dont il a été traité ailleurs, on peut dire que, sauf quelques cas rares de succès immédiats et qui seuls entretiennent l'énergie des chercheurs, généralement les inventeurs qui créent de bonnes choses se ruinent à exécuter leur invention, et à reconstruire les machines qui, débarrassées des défauts que conservent presque nécessairement les premières construites, n'atteignent souvent pas la perfection avant que les fonds soient épuisés. Quelquefois celui qui reprend cette machine déjà arrivée à un assez grand degré de perfection peut, en l'achevant, y trouver la fortune; quant à l'inventeur, il n'y arrive pour ainsi dire jamais. L'application se fait trop lentement et la carrière de l'industriel est trop courte pour qu'il puisse jouir du succès.

Tel est le tableau bien affaibli des principaux accidents de la vie de l'inventeur. Au reste, qu'on se rappelle que Watt, après avoir inventé la machine à vapeur, était ruiné, que son brevet était près d'expirer sans qu'il eût tiré aucun résultat de la plus admirable découverte industrielle des temps modernes, quand il rencontra Bolton. Mais, nous dira-t-on, par cette association il vit la fortune, juste récompense de ses travaux, sourire enfin à ses efforts, et il put passer ses dernières années dans la richesse, à admirer l'immense développement industriel qu'il avait tant contribué à créer.

Mais si Watt eût été en France, eût-il trouvé un Bolton? La chose est loin d'être certaine.

Il faut bien le répéter ici, comme on devrait peut-être le faire pour bien d'autres cas. Ce qui se passe en Angleterre est rarement ce qui se passe en France, et la raison en est simple. L'Angleterre, avec son sol inamovible, la liberté de tester si favorable à la conti-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nuité des grands établissements, où l'on voit tant d'exemples d'immenses fortunes créées par l'industrie, a toujours disponible une grande quantité de capitaux, cherchant des placements avantageux et ne s'effrayant même pas des plus aventurés. Aussi peut-on se fier en Angleterre à l'industrie privée du soin de développer toutes les inventions profitables, et voit-on aujourd'hui tous les inventeurs du monde entier, y compris les Français, y courir pour chercher à réaliser les inventions pour lesquelles l'industrie trop morcelée jusqu'ici de leur pays, comptant trop peu d'établissements riches, ne leur offre pas toujours assez d'appui, et contribuer à y faire prospérer l'industrie de nos concurrents, quand, par d'heureuses institutions, on en eût profité pour développer notre industrie française.

En France, les conditions sont bien différentes. Avec la division du sol, le partage égal des patrimoines, les grandes fortunes sont rares, et plus utilement que partout ailleurs il est nécessaire d'aider par des associations l'action de puissantes individualités trop peu nombreuses.

Avant tout, et précisément à cause de la grande difficulté de tirer parti d'une invention même privilégiée, il est urgent que l'institution des brevets soit complétée. En effet, ce privilége, sans sanction aucune, qui s'accorde à quiconque peut payer la taxe, n'offre aujourd'hui qu'une médiocre utilité à l'inventeur pour exécuter sa découverte et faire jouir la société des avantages qui pourraient en résulter; le plus souvent il ne peut y arriver. C'est pourquoi nous réclamons des fondations qui fournissent à l'inventeur capable les moyens d'exécution quand il ne les possède pas, et l'affranchissent des chances d'une ruine qui ne doit jamais être la récompense de celui qui a découvert à la société une nouvelle source de richesses.

C'est dans des associations de durée indéfinie, possédant des capitaux toujours disponibles pour les appliquer à de nouvelles découvertes, reposant sur l'espoir de partager les grands bénéfices que procurent les inventions de premier ordre, que se trouverait le remède à un mal bien connu (après les moyens d'assurer la propriété des brevetés et de faire connaître leurs découvertes par la publication immédiate des patentes (questions traitées dans l'essai d'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE placé à la fin de ce volume); car, pour prix de l'aide que des sociétés pourraient prêter à l'inventeur qui la réclamerait pour réaliser sa conception, il serait juste qu'elles profitassent d'une partie des bénéfices que pourrait fournir son exploitation.

L'importance et l'utilité de pareilles institutions ne sont pas douteuses. Disons quelques mots de la manière dont nous comprenons qu'elles pourraient fonctionner, décrivons les institutions qui en résulteraient au profit de l'industrie, et dont la valeur nous paraît certaine, quelle que soit l'organisation qui les mette en mouvement. Au reste, peut-être en verrons-nous naître une de ces sociétés quelque jour, car on l'a déjà tenté en Angleterre et en France, et les fondateurs, qui ne voulaient opérer que sur une très-grande échelle, s'ils n'ont pas réussi complétement, avaient rencontré de vives sympathies pour leur œuvre.

III. *Jury d'examen.*

La première chose à faire serait d'apprécier l'invention qu'il s'agirait de réaliser, pour ne pas dépenser inutilement les sommes disponibles sur des inventions inutiles, de juger la validité du brevet qui peut permettre une exploitation privilégiée et, par suite, rémunératrice. Or nous soutenons et croyons que tous les gens instruits seront de notre avis, qu'un premier examen fait par des hommes compétents élaguerait facilement toute la masse d'inventions oiseuses qui se pressent dans les listes des brevets d'invention. La science industrielle a fait des progrès admirables depuis quelques années, et chaque jour elle assujettit à des règles mathématiques et certaines les portions du travail industriel qui paraissaient ne pouvoir jamais s'y plier. Qu'est-ce que la science, sinon la connaissance des lois physiques, et, par suite, de l'effet de combinaisons nouvelles non encore expérimentées? Qu'un jury préparatoire renferme dans son sein des hommes comme M. Poncelet, croit-on qu'un nouveau moteur hydraulique dénué de sens pourra recevoir son approbation? Croit-on qu'un nouveau procédé de teinture que M. Chevreul croira bon d'expérimenter sera sans valeur? Qu'aux savants qui ont créé et admirablement développé la science industrielle on adjoigne d'anciens fabricants qui, après une laborieuse carrière, auront tant de plaisir à s'intéresser aux travaux de leurs successeurs, et à voir réaliser des inventions dont ils ont pressenti les avantages; qui ont souvent passé devant leurs yeux sans que le torrent des affaires leur ait permis de s'y arrêter; et nous sommes convaincu qu'un jury ainsi composé pourra, dans les inventions qui lui seront soumises, déterminer :

Celles qui devront avoir des résultats utiles et importants pour la société, et qui répondent à un besoin réel de l'industrie à laquelle elles ont rapport;

Celles dont l'expérimentation serait curieuse et utile (après qu'un mémoire étudié avec soin aura bien déterminé la question, et que des dessins bien établis auront permis d'étudier les dimensions de toutes les pièces), au double point de vue de l'industrie et de la science, lorsque celle-ci n'est pas assez avancée pour prévoir le résultat avec quelque certitude;

Enfin, mettre de côté tous les projets reposant sur des erreurs, comme aussi ceux simplement curieux, ou n'ayant pour objet que des perfectionnements de peu d'importance, et réduire à un nombre fort modéré d'inventions très-probablement utiles la masse totale des brevets.

Ce jugement de la science et de l'expérience, que nous demandons ici, n'est que l'application à l'industrie d'institutions qui existent déjà dans tous les corps savants, le génie, les ponts et chaussées, où l'on a reconnu l'avantage de faire revoir par un comité composé de toutes les sommités du corps, tous les projets formulés par les ingénieurs, avant de passer à la construction.

Remarquons que, dans le cas qui nous occupe, les erreurs de ce jury, si par hasard il refusait son approbation à quelque invention utile (ce qui, à cause des lumières des personnes qui le composent, ne pourrait être que fort rare), n'atteindraient nullement les droits de l'inventeur, toujours réservés par un brevet qui lui assurerait les bénéfices résultant de son exploitation, au moyen des mêmes ressources dont il disposerait aujourd'hui.

Quant aux inventions que ce jury approuverait, et qui seront bien loin d'être en nombre infini, nous le répétons : ou la science les aura jugées bonnes *à priori*, et alors l'effet en sera certain; ou elle n'a pu se prononcer d'une manière positive et n'a pu que promettre un succès possible : alors l'attention des corps savants sera provoquée, et tendra à faire réaliser une expérimentation d'autant plus précieuse que, ne s'attachant qu'à la partie douteuse du problème, elle tendra à fournir un nouvel élément à la science, et, par suite, devenir la source de nouveaux progrès. Au contraire aujourd'hui, un essai infructueux, fait à la dérobée par un inventeur et entièrement ignoré, n'empêche pas souvent un successeur de venir tenter le même essai. Les résultats précieux que la société eût pu tirer de ces travaux sont habituellement perdus.

Peut-être devrions-nous borner à la création d'un pareil jury, que représente assez bien l'utile *Société*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'Encouragement pour l'industrie, l'institution nouvelle que nous demandons, bien persuadé que les capitaux viendraient en foule au-devant des projets qui auraient reçu son approbation, que la société dont nous devons parler n'ose apprécier le plus souvent avant de les voir appliqués; nous croyons que c'est à tort qu'elle craint de s'avancer dans cette voie, sans qu'on puisse se dissimuler que ce serait mettre la science trop près de l'agio'age, et que beaucoup de savants fuiraient des fonctions chargées d'une trop grande responsabilité morale. Il faut l'ardeur du profit pour que des sociétés guidées par des hommes compétents osent s'avancer hardiment au-devant des projets nouveaux. Mais en restant au seul point de vue d'une réunion donnant son avis sur les inventions, il nous paraît possible de compléter cette création d'une manière plus heureuse, et qui permettrait d'atteindre plus efficacement les résultats qu'on en peut espérer.

IV. *Expérimentation.*

Il faudrait, pour y parvenir, que le jury, que nous considérerons un instant comme une institution publique, pût disposer de sommes de quelque importance pour accélérer le passage de l'état de projet à l'état pratique de toutes les inventions utiles. Ne pourrait-il rendre d'immenses services en affectant à l'occasion un crédit spécial, chez un habile mécanicien, à l'inventeur d'une machine qui n'a pas assez de ressources pour l'exécuter? N'assurerait-il pas ainsi la mise au jour d'une foule de combinaisons utiles, et cette large expérimentation, exécutée sous les yeux de personnes capables, ne viendrait-elle pas jeter de grandes lumières sur toutes les parties insuffisantes de la science et fournir une base de plus en plus large à de plus fréquentes inventions?

Mais, de plus, ceci pourrait avoir lieu d'une manière profitable. Si, comme il est probable, une grande partie des inventions reconnues bonnes à expérimenter par le jury réussissent, et si l'encouragement pécuniaire qu'il donne à leur réalisation n'est qu'une avance de fonds remboursable avec bénéfice par l'inventeur en cas de succès, cette assurance mutuelle des inventions pourrait produire des résultats considérables; il est d'autant plus juste qu'il en soit ainsi, que le succès sera dû bien souvent en partie aux conseils et aux avis des membre du jury, dont l'expérience évitera à l'inventeur de faire fausse route, comme cela aurait pu lui arriver, s'il eût été livré à ses seules lumières.

C'est sur cette probabilité que peuvent reposer les sociétés dont nous avons parlé.

Nous ne savons si le lecteur partagera nos idées sur un genre d'institutions qui peuvent aider puissamment aux progrès de notre industrie; mais il nous paraît qu'il y a dans la voie que nous indiquons un important progrès à réaliser. Il nous a paru fort inutile de donner aucun détail d'organisation, car l'exécution serait facile si l'idée était jugée bonne. L'École des mines, qui forme pour l'industrie métallurgique une institution fondée pour atteindre en partie un but analogue, dans une voie spéciale, pourrait servir de modèle pour une grande part de cette organisation, et démontrer la grande utilité d'une institution de cette nature. Tous les terrains métallifères qu'on veut mettre en exploitation sont analysés dans son laboratoire; les ingénieurs rapportent chaque année de leurs tournées les résultats des nouveaux procédés pour l'expérimentation desquels leur capacité les fait rechercher; dans chaque cas nouveau qui se présente, le concessionnaire d'une mine vient y apprendre ce qu'il peut espérer de son exploitation, quels procédés il doit employer. Croit-on qu'un semblable établissement ne soit pas un bienfait pour l'industrie métallurgique? Qu'on consulte les exploitants à cet égard, et nous ne craignons pas de dire que leur éloge sera unanime. Pourquoi quelque chose d'analogue n'existerait-il pas pour les principales divisions de l'industrie, fournissant un centre pour toutes les recherches, au grand profit de toutes les personnes qui les exercent?

IODE (*angl.* iodine, *all.* iod). L'iode, découvert en 1813 par M. Courtois, est un corps simple, solide, que l'on obtient sous la forme de lames rhomboédriques d'un gris d'acier, dont la densité = 4,946. Il est friable, d'une saveur âcre, fusible à 100° et volatil à 175°. Sa vapeur, dont la densité est de 8,716, est d'un violet magnifique. Appliqué sur la peau, il y forme une tache jaune qui disparaît au bout de quelque temps. L'eau en dissout environ 1/700 en se colorant fortement en jaune; il est au contraire très-soluble dans l'alcool, et, lorsqu'on étend d'eau cette dissolution, l'iode se précipite sous forme d'une poudre très-divisée. Mis en digestion avec de l'ammoniaque, puis étendu d'eau, il donne naissance à un composé pulvérulent très-fulminant, l'iodure d'azote, dont le maniement est extrêmement dangereux.

L'iode, et quelques-unes de ses combinaisons, surtout l'iodure de potassium ioduré, sont employés avec succès dans le traitement des maladies scrofuleuses et des goîtres. La propriété qu'il possède de colorer l'amidon en bleu très-intense est très-précieuse pour reconnaître les traces de cette substance.

On extrait l'iode des eaux mères des soudes de varech, qui le renferment à l'état d'iodure de potassium, en les chauffant dans une cornue avec de l'acide sulfurique concentré, seul, ou mieux mélangé d'un peu de peroxyde de manganèse. L'iodure de potassium est décomposé, il se forme du sulfate de potasse et du protoxyde de manganèse, et l'iode mis en liberté se volatilise et vient se condenser dans le col de la cornue. On le sèche en le comprimant entre des feuilles de papier buvard, et on le purifie par sublimation.

L'iode a la plus grande analogie avec le chlore et le brome. Il forme avec l'oxygène plusieurs combinaisons acides que l'on ne peut obtenir que par des moyens indirects. Il a une beaucoup plus grande affinité pour l'hydrogène, avec lequel il forme l'*acide* HYDRIODIQUE. Il s'unit avec les autres corps simples pour former des *iodures*.

IRIDIUM. Métal découvert en 1803, par Descotils, dans les minerais de platine, et qui doit son nom à ce que les sels offrent des dissolutions très-variées. C'est peut-être le plus réfractaire de tous les métaux; il ne donne pas le plus léger indice de fusion à la température à laquelle le platine fond complétement. Cependant Children est parvenu à le fondre à l'aide d'une décharge de sa batterie électrique. Il a obtenu un globule brillant d'une densité = 18,68. Ordinairement, on l'obtient à l'état d'une poudre grise, semblable à la mousse du platine, et dont la densité = 15,683. Lorsqu'il a été calciné, il est insoluble même dans l'eau régale, mais celle-ci l'attaque avec facilité et le dissout lorsqu'il est allié à une certaine proportion de platine. Il forme avec l'oxygène quatre oxydes, que l'on obtient en décomposant les chlorures correspondants par un alcali. Nous indiquerons sa préparation en parlant du platine.

IRRIGATIONS. Voyez AGRICULTURE.

IVOIRE (*angl.* ivory, *all.* elfenbein). Substance blanche, dure, de la même nature que les os, et qui constitue les *défenses* d'éléphant. Plus dur et d'un grain plus serré que l'os, dont on le distingue aisément par le tissu formé de losanges que présente sa coupe transversale, l'ivoire est susceptible de recevoir le plus beau poli, et se rapproche, par la facilité et la netteté de ses coupes, des métaux les plus ductiles; aussi les arts mécaniques, et surtout celui du tourneur, emploient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette substance à la confection de pièces d'une délicatesse et d'un fini réellement extraordinaire. On fait à Dieppe un commerce étendu d'objets en ivoire, et trop souvent en os, à cause du prix élevé de cette substance. Les Chinois travaillent l'ivoire sur une très-grande échelle; l'adresse manuelle et la patience de leurs ouvriers sont vraiment remarquables.

On sait que les anciens employaient l'ivoire non-seulement pour la confection de menus objets, mais encore pour en faire des statues, (celle de Minerve par Phidias était ivoire et or), des siéges, des tables, des lits, des chars; ils en revêtaient les murailles et les portes de leurs palais.

L'ivoire qui provient des éléphants d'Afrique est préférable à celui des éléphants de l'Inde; il est plus dur, d'un grain plus serré, et les défenses sont plus grosses; il n'est pas rare d'en trouver de 2 mètres à $2^m,25$ de longueur et de $0^m,15$ à $0^m,20$ de diamètre à la base. L'ivoire de Siam est le plus apprécié par les Chinois qui l'emploient pour la fabrication des objets de luxe, qui doivent rester très-blancs; celui de Bombay sert pour la fabrication des jeux d'échecs, dont la moitié doit être colorée en rouge. Les dents d'hippopotame fournissent une sorte particulière d'ivoire qui surpasse en finesse et en dureté celui qui provient des défenses d'éléphant; mais comme ces dents sont fort creuses, on ne peut l'employer que pour de petits objets; les dentistes l'emploient presque exclusivement à la confection des dents artificielles. Les défenses du morse et celles du narval fournissent aussi une espèce d'ivoire.

On emploie l'ivoire en feuilles minces pour la peinture à l'aquarelle et pour la marqueterie; on est parvenu, au moyen d'une scie cylindrique, à obtenir des manchons d'ivoire qui, fendus sur leur longueur et étendus à la manière du verre à vitre, donnent des feuilles de $0^m,30$ à $0^m,40$ de largeur, qu'on emploie au placage des meubles de grandes dimensions, tels que les caisses de piano, etc.

L'ivoire se ternit assez rapidement au contact de l'air et de la poussière, en prenant une couleur jaunâtre. M. Spengler de Copenhague avait remarqué qu'il suffisait de l'enfermer sous une cloche ou une cage de verre hermétiquement close pour l'empêcher de jaunir. Les objets ainsi conservés acquièrent même une blancheur plus grande que celle qu'ils avaient primitivement, lorsqu'ils sont exposés aux rayons du soleil; il se produit, sans doute, un blanchiment par l'action de l'ozone.

On possède maintenant pour le complet et rapide blanchiment de l'ivoire, un excellent procédé dû à M. Clocz. Consulté par son savant collègue au Jardin des Plantes, Gratiolet, sur les moyens de faire disparaître la couleur jaunâtre et graisseuse, ainsi que l'odeur désagréable que répandent les squelettes, il conseilla les dissolvants des corps gras, et principalement l'essence de térébenthine. Comme l'odeur qui en émanait incommodait, il mit dehors les vases où les objets à désinfecter trempaient dans l'essence, et il fut très-surpris de voir qu'en très-peu de temps l'odeur cadavéreuse avait disparu, mais, que de plus, les os étaient devenus d'une blancheur éblouissante. Le même procédé, appliqué à l'ivoire, donne un blanchiment parfait. Une exposition de trois à quatre jours au soleil, dans de l'essence de térébenthine rectifiée ou non, suffit pour un blanchiment complet; à l'ombre, il faut un peu plus de temps. Mais une précaution essentielle à prendre est de placer les objets qu'on veut blanchir sur de petits chevalets en zinc, qui les soutiennent à quelques millimètres au-dessus du fond de la caisse vitrée dans laquelle on les place pour ce bain. L'essence de térébenthine est, en effet, un oxydant très-puissant, et c'est en vertu de cette propriété qu'elle agit; le produit de cette combustion forme un liquide acide qui s'étend en couche mince au fond de la caisse, et si les objets mis à blanchir trempaient dans cette liqueur acide, ils seraient promptement attaqués par elle.

Cette action de l'essence ne s'exerce pas seulement sur les os et l'ivoire, elle s'exerce encore sur le bois et d'autres corps. Le hêtre, le charme, l'érable fournissent d'excellents résultats; le liége est blanchi très-rapidement. L'essence de térébenthine n'est pas la seule qui jouisse de cette propriété; l'essence de citron et les autres isomères de l'essence de térébenthine produisent le même effet.

On teint aisément l'ivoire en différentes couleurs; mais, pour que la teinture soit solide, il faut laisser tremper, pendant six à huit heures, dans du vinaigre, ou mieux dans une dissolution d'alun, les pièces que l'on veut colorer. On les teindra alors en beau rouge, en les plongeant dans une décoction de bois de Brésil; en jaune, avec une décoction alunée de safran ou d'épine-vinette; en vert, avec un mélange de trois parties de vert-de-gris et de une partie de sel ammoniac dissous dans du vinaigre; en un beau bleu, en les plongeant à plusieurs reprises alternativement dans le bain de vert qui précède et dans une lessive chaude de potasse; enfin le noir s'obtient au moyen d'un bain dans une décoction chaude de bois d'Inde, puis dans une dissolution d'acétate de fer.

Darcet, en traitant l'ivoire par l'acide hydrochlorique étendu d'eau, a obtenu de la gélatine flexible et résistante; Charrière a employé cette substance pour des instruments de chirurgie. Ayant, après l'avoir façonnée, soumis cette gélatine brute à l'action d'une dissolution de tan, elle devint parfaitement insoluble et inaltérable par l'air et par l'eau, et en la veinant au moyen d'une dissolution d'or et d'argent, il obtint un produit tout à fait semblable à l'écaille rouge, si chère aujourd'hui, et si recherchée pour les beaux ouvrages de tabletterie.

La gélatine ainsi préparée peut se travailler et se souder comme l'écaille. Au moyen de quelques précautions, on peut réduire en gélatine des objets d'ivoire préalablement façonnés, sans qu'ils se déforment, puis les tanner et leur donner l'apparence de l'écaille, de manière à produire une illusion complète.

En calcinant au rouge, en vases clos, des râpures et rognures d'ivoire, on obtient un charbon d'une belle couleur noire qui, broyé à l'eau est employé en peinture sous le nom de *noir d'ivoire*.

Nous donnerons en terminant, la nomenclature des diverses sortes d'ivoire que l'on trouve dans le commerce :

Ivoire de Guinée. Réputé le meilleur, très-dur, très-pesant, d'un grain fin et serré. D'abord d'un blond jaunâtre légèrement transparent, il possède la propriété de devenir de plus en plus blanc et opaque, au contraire des autres ivoires, qui jaunissent toujours plus ou moins avec le temps.

Ivoire du cap de Bonne-Espérance. Plus tendre que le précédent, tantôt jaunâtre, tantôt d'une blancheur mate.

Ivoire du Sénégal, d'Abyssinie, etc. Il ne diffère pas sensiblement du précédent; seulement les dents sont souvent fendues dans leur longueur, ou brisées et tronquées à leur extrémité, ce qui en diminue beaucoup la valeur.

Ivoire des Indes. Il est ordinairement blanc. La plus belle variété est l'ivoire de Ceylan, qui est d'un blanc rosé et d'une grande valeur, mais dont les échantillons se trouvent difficilement; puis viennent l'ivoire de Siam, dont il a été parlé ci-dessus, et celui de Bombay.

Ivoire bleu. Ivoire fossile fourni par les dents de mammouth, qui se sont lentement pénétrées de sels de fer qui les ont colorées. Cet ivoire, pour ainsi dire pétrifié, est très-dur et d'un aspect souvent agréable. On l'emploie dans la bijouterie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

J

JACHÈRE. On était autrefois persuadé qu'il fallait laisser reposer la terre de temps en temps. Les terres laissées en friche étaient labourées à plusieurs reprises; la végétation des mauvaises herbes fournissant un engrais vert qui n'est pas sans valeur.

La question des jachères a été traitée à l'article AGRICULTURE, en parlant des assolements; nous n'avons pas à y revenir ici. On a montré comment la jachère devait disparaître de l'agriculture intensive; ce n'est que dans des cas particuliers qu'elle peut être de quelque utilité (Voy. ASSOLEMENTS, *Complément*).

JACQUARD (*métier à la*). Voyez TISSAGE.

JAIS ou JAYET. Variété de LIGNITE jouissant d'un éclat très-vif, quand il est taillé et poli; il est employé pour la confection de parures de deuil, etc. La mode l'a adopté de nouveau dans ces dernière années, après l'avoir fait presque oublier.

JARDINAGE. A mesure que l'agriculture devient plus intensive, qu'elle prodigue davantage les façons, les engrais, les arrosages, elle se rapproche de plus en plus du jardinage. Celui-ci comprend en effet tous les travaux propres à assurer le développement des végétaux, sans qu'il y ait à se limiter, comme dans la grande culture, à un petit nombre de journées par hectare pour assurer la récolte d'une année.

C'est cet élément d'un travail considérable et de soins incessants qui font surtout que le jardinage, en tant qu'industrie, est exploité surtout par le petit propriétaire, qui ne ménage pas ses soins; mais par suite aussi, les procédés du travail (la seule chose dons nous devions nous occuper ici) sont d'une grande simplicité, et la pratique d'un art qui exige chez les maîtres des connaissances botaniques très-étendues, une appréciation souvent très-difficile des conditions de santé des plantes, consiste principalement en travaux simples à peine utiles à décrire, et que tout le monde a vu pratiquer. Toutefois, l'étendue si considérable des applications rend le moindre progrès très-important, car il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une part considérable des industries alimentaires, qui sont les plus importantes de toutes, qui les dominent quant à la quantité des produits, autant que les besoins de l'alimentation dominent tous les autres chez les consommateurs.

On distingue habituellement trois espèces de jardins: le jardin potager ou MARAICHER, le jardin FLEURISTE, le jardin FRUITIER ou verger, qui exigent des travaux différents.

Pour les opérations de l'horticulture on dispose de tous les éléments propres à favoriser le développement des végétaux: abondance de fumiers, arrosages, abris, concentration de la chaleur solaire par des cloches, des châssis vitrés, etc. Du temps d'Olivier de Serres, la pratique des semis et des plantations sur couches était déjà connue et appliquée; mais ce sont surtout les enseignements de La Quintinie, jardinier en chef du potager de Versailles sous Louis XIV, qui firent progresser les méthodes que suivent nos jardiniers-maraîchers pour obtenir des primeurs et multiplier la production.

Plus encore que le jardin maraîcher, le jardin fruitier exige des connaissances multiples chez le praticien. La greffe, la taille des arbres doivent être pratiquées avec intelligence pour parvenir à une production abondante de fruits de bonne qualité. Les pêches de Montreuil, les chasselas de Fontainebleau sont des exemples de ce que peut produire la culture perfectionnée.

JAUGEAGE. Voyez HYDRAULIQUE.

JAUNE. Voyez COULEURS MATÉRIELLES.

JAUNE MINÉRAL ou JAUNE DE NAPLES. Belle couleur solide, employée non seulement dans la peinture à l'huile, mais encore dans la peinture sur porcelaine et sur émail. Sa préparation a été longtemps tenue secrète, et encore actuellement peu de recettes publiées donnent de bons résultats. L'une des meilleures, dit-on, consiste à mélanger intimement 3 parties d'antimoine métallique avec 2 parties de minium et 1 partie d'oxyde de zinc, à fondre le tout ensemble, puis à le réduire en poudre très-fine. Malgré ce qui a été dit à COULEURS MATÉRIELLES, cette couleur constituée par un mélange d'oxydes, résiste imparfaitement mal aux émanations d'acide sulfhydrique.

Le jaune de cadmium, qui est un sulfure parfaitement inaltérable, le remplace avantageusement.

JETS D'EAU. Voyez HYDRAULIQUE.

JOINT UNIVERSEL. Combinaison de deux charnières, de deux articulations, permettant la rotation autour d'un axe.

(Nous reproduisons ici le travail de Willis. Ce sont les dernières pages écrites par le fondateur de la cinématique en Angleterre, et son travail, aussi intéressant que complet, est bien l'œuvre d'un maître.)

I. HISTOIRE ET EMPLOIS. — Le joint universel est employé surtout dans les deux cas suivants:

Premièrement, pour suspendre, réunir à un support un objet tel qu'une lampe, une boussole, un chronomètre, une voiture, de telle manière que quand le support prend diverses inclinaisons, l'objet pesant conserve l'horizontalité.

Secondement, pour permettre toute inclinaison d'un arbre tournant assemblé avec un autre, et de telle sorte

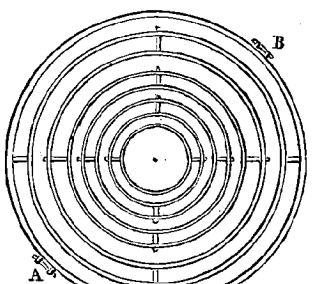


Fig. 1.

que la rotation du premier autour de son axe force l'autre à tourner aussi autour du sien.

La disposition, propre à atteindre le premier but, remonte à des temps très-anciens. Dans un manuscrit de Wilars de Honecort, architecte du treizième siècle,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on trouve le croquis et la description d'un appareil de ce genre. La figure 1 est une réduction du dessin qui est accompagné de la notice explicative suivante:

« Si vous voulez faire une chaufferette ou chauffoir à mains, construisez une espèce de pomme en laiton en deux moitiés, pouvant s'ajuster ensemble; à l'intérieur de la pomme, placez six cercles de cuivre, chaque cercle ayant deux pivots, et au milieu un petit réchaud porté aussi par deux pivots. Ceux-ci sont placés successivement dans des directions opposées. Si on réalise cette disposition, on pourra incliner le réchaud en tous sens, sans que le charbon tombe. On peut ainsi l'apporter de loin, sans inconvénient. »

Il faut remarquer qu'un seul anneau intermédiaire entre l'objet qu'il s'agit de maintenir dans une position horizontale, et la paroi extérieure suffit pour permettre l'inclinaison en tous sens, ainsi que nous le montrerons ci-après.

Une disposition de ce genre fut proposée dans le quinzième siècle à propos de la recherche de moyens de construire des voitures inversables. Il est remarquable que lorsque Hooke fut nommé curateur de la Société royale en 1662, et s'engagea à faire connaître à chaque réunion trois ou quatre de ses inventions, une des premières se rapporta à une voiture chinoise à une seule roue; et dans l'année suivante il montra le plan d'une machine ou voiture à une seule roue et un seul cheval, qui ne pouvait verser et restait verticale quelle que fût la pente de la route. Il s'occupa de ces projets plusieurs années, et prit un brevet pour ces nouveaux genres de voitures, le 31 août 1664.

Considérons maintenant l'histoire du joint universel dans son application à la réunion des deux axes de rotation, dont la direction se rencontre en un point, que des écrivains attribuent à Cardan qui vécut de 1501 à 1576, sans que, dans ses œuvres, on trouve rien de plus que la disposition de Honecort.

La plus ancienne représentation de ce mécanisme se trouve dans la « Technica curiosa » du jésuite Schottus, publiée en 1664, dans laquelle on trouve, planche VII, un dessin que j'ai reproduit en fac-simile (fig. 2).

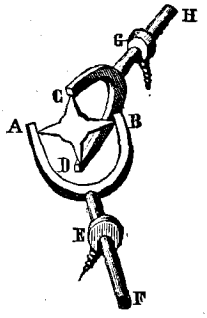


Fig. 2.

On trouve dans le neuvième livre intitulé « Mirabilia Chronometrica » qui, comme Schottus nous en informe dans sa préface, est composé d'extraits d'un manuscrit inédit intitulé: « Chronometria Mechanica nova, » ouvrage d'un écrivain qui signe Amicus, et dont il parle de manière à faire penser qu'il était mort depuis longtemps.

Le joint universel représenté dans la figure a donc été inventé plusieurs années avant la publication de la « Technica curiosa, » mais non nécessairement par cet « Amicus » dont je vais reproduire le texte:

« Dans les horloges de clocher, il arrive souvent, par défaut de place, qu'il est impossible de placer le cadran dans la même partie du bâtiment que le mécanisme de l'horloge. Par suite, le mouvement doit être transmis aux aiguilles du cadran dans toutes directions, obliquement, en haut, en bas, ou de côté.

« Cela peut être effectué au moyen d'axes munis de roues coniques, mais bien plus simplement par la curieuse invention que je vais décrire (*paradoxum*). Il faut dire de suite qu'elle repose sur la combinaison bien connue d'anneaux concentriques, chacun d'eux étant réuni au suivant par deux pivots, employée pour la construction de lampes qu'on peut faire rouler sur une surface plate sans répandre l'huile. Notre *paradoxe* n'est pas différent de celui-ci, et est un peu son frère jumeau, comme le montrera sa description.

« ABCD est une croix consistant en quatre bras réunis par une boule ou pièce d'autre forme. Les bras opposés AB sont engagés dans les extrémités des dents d'une fourche ABF. Les bras de l'autre paire CD sont reçus semblablement par la fourche CDH, et les fourches sont supportées par les anneaux fixes G, E.

« Si l'extrémité H d'une des fourches reçoit la rotation du mécanisme d'une horloge, l'autre fourche, par suite du mode de réunion décrit, *tourne nécessairement et exactement avec la même vitesse. Par suite, si l'une des fourches reçoit un mouvement circulaire uniforme, l'autre fourche sera mue aussi uniformément.* » Il faut observer que cette malheureuse remarque finale est contraire à la vérité, comme nous allons le montrer ci-après, elle montre que l'auteur n'avait pas examiné, avec assez de soin, les lois de sa combinaison.

Notre auteur ajoute encore « qu'une série d'axes peut être disposée, chacun étant réuni au suivant par un joint de cette espèce. Ces axes peuvent être disposés en zigzag, ou suivant les côtés d'un polygone, ou en s'éle-

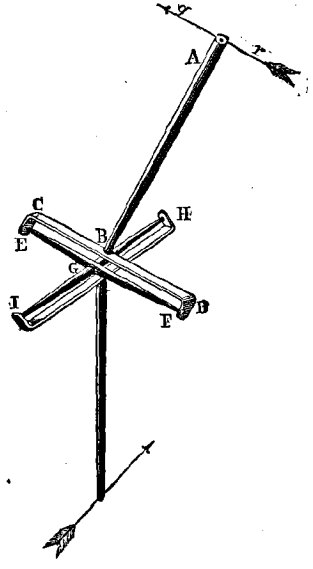


Fig. 3.

vant graduellement en spirale le long des côtés d'un prisme polygonal, de manière à transmettre le mouvement de la base au sommet d'une tour. Ils peuvent aussi être disposés en chaîne sans fin. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Trois ans après cette publication du joint d'Amicus, le 14 mars 1667, dans la réunion de la Société royale, Hooke montra une disposition propre à faire marcher une aiguille d'horloge simultanément avec l'ombre du style d'un cadran solaire, et en offrit la démonstration, affirmant que le même instrument était applicable dans tous les plans, pouvait servir à tracer toutes sortes de cadrans solaires, etc.

Il avait précédemment annoncé (en novembre 1663) qu'il s'occupait d'une machine propre à atteindre ce but, et produisit dans la réunion du 21 mars 1667, la description de cette machine, avec un dessin dont la figure 3 est une réduction. L'original existe sur les registres de la Société royale.

Cet instrument est le même, en principe, que celui d'Amicus, bien que la forme des bras et celle de la pièce du milieu soient différentes; la preuve que la loi des mouvements était connue de Hooke, résulte de l'usage qu'il en a fait.

Enfin dans ses Animadversions en 1674, et dans sa Description des Héliosccopes, 1676, il emploie des joints universels dans lesquels la forme demi-circulaire des branches est la même que celle d'Amicus, et le milieu semblablement un disque, avec quatre pivots ou une croix, comme on le voit dans la figure que nous donnons plus loin. On peut supposer que, dans un intervalle de six ou sept ans, l'ouvrage de Schottus s'était répandu en Angleterre, et avait vulgarisé cette forme améliorée du joint.

Il est difficile de découvrir, dans les mémoires de l'époque, si Hooke pensait être l'inventeur du joint universel, ou s'il l'a employé comme une invention connue, qu'il a améliorée afin d'atteindre des buts déterminés. Amicus parle du joint comme étant de la famille des charnières des lampes roulantes, et Hooke, comme je l'ai dit, dès le début de ses fonctions de curateur, en 1662, s'occupa de la disposition de voitures inversables, en s'appuyant sur le principe des charnières, ce qui le conduisit à la forme du joint universel, qu'il a donnée dans sa machine à cadran solaire, 1667.

Ce qui est certain, d'ailleurs, c'est que tandis qu'Amicus, en 1664, écrivait que la vitesse était communiquée uniformément par le joint, Hooke au contraire, en l'appliquant, non-seulement reconnut l'existence de variations dans le rapport des vitesses, mais en détermina les lois géométriques. Ce savant, qui vécut de 1635 à 1703, fut un professeur de mathématiques éminent; élevé à l'Université d'Oxford, et très-habile en mécanique pratique, il construisait habituellement lui-même ses inventions et appareils.

Les sujets favoris de cette période étaient la construction des cadrans solaires, des sphères armillaires et autres mécanismes comprenant des arcs gradués et des lignes pour la solution graphique des problèmes de trigonométrie sphérique et de gnomonique. C'était donc faire une intéressante découverte que de montrer que le mouvement relatif des axes du joint universel est identique avec celui de l'ombre d'un style parallèle à l'axe de la terre, sur un cadran plan, en toute place sur la surface de la terre.

En juillet 1683, seize ans après la publication de la première forme du joint universel, fut communiqué à la Société royale le moyen de réunir deux axes par un double joint universel, de manière qu'un mouvement uniforme de l'un produise un mouvement également uniforme de l'autre, les axes étant dans des positions relatives quelconques. La combinaison convenable fut simplement exposée sans démonstration, mais celle-ci se déduit facilement du rapport des vitesses dans le joint simple de Hooke, comme nous le dirons plus loin.

Après Hooke, il n'a rien été publié sur le joint, jusqu'à ce que Gray donnât les dessins du simple et double joint dans son ouvrage sur les moulins, en 1804; le premier fut copié par Imison, vers le même temps. Jervas Wright employa un joint universel (avec un anneau pour milieu), dans un semoir breveté en 1784.

Bétancourt et Bréguet l'employèrent dans leur télégraphe, en 1808, et donnèrent à la vieille formule une forme moderne, en établissant cette propriété géométrique: que « les angles décrits autour de deux axes réunis « par un joint sont ceux qui peuvent être décrits, à « partir de la verticale, par deux rayons dont l'un est la « projection orthogonale de l'autre, sur le plan de son « mouvement. » C'est, comme je l'explique plus loin, ce qu'on avait reconnu pour le tracé des anciens cadrans solaires.

Poncelet a démontré les mêmes formules par la trigonométrie sphérique, et obtenu les expressions différentielles du rapport des vitesses, qui n'avait pas été déterminé antérieurement.

Enfin Lanz et Bétancourt ont introduit le joint brisé dans leur « Essai sur la composition des machines » (O. 8, Pl. n° 6), 1808, en l'attribuant à Schottus, et en faisant connaître que M. Droz l'avait appliqué à un laminoir de son invention.

II. FORMES ET THÉORIE DU JOINT UNIVERSEL. — La figure 4 représente une des formes les plus simples du joint universel employé pour communiquer la rotation. Toute forme peut être comprise dans la nomenclature de Hooke, qui distingue dans cet organe cinq parties différentes savoir : deux axes A*a*, B*b*; leurs extrémités se terminant par deux bras ou fourches C A*c*, D B*d*, qui se réunissent par quatre points ou pivots C, *c*, D, *d*, à une croix C D *c d*. Chacun des bras demi-circulaires porte deux trous dans lesquels pénètrent les quatre extrémités de la croix formant pivots ou tourillons.

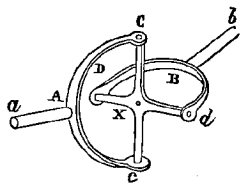
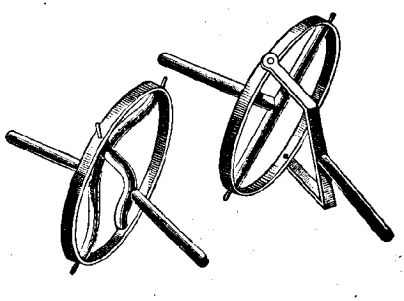


Fig. 4.

Il importe que ces quatre points soient bien dans un même plan, et ceux opposés également distants du centre; que les deux lignes d'axes se coupent à angle


Fig. 5. Fig. 6.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

droit; le point de rencontre étant le milieu de la croix ou de la plaque, quel que soit l'angle d'inclinaison.

La forme de la pièce du milieu peut en effet être soit une croix avec quatre bras terminés chacun par un tourillon, soit être faite avec une planche épaisse de laiton, dont les extrémités forment quatre pivots qui servent à faire tourner les arbres (comme fig. 2). Les trois figures 5, 6 et 7 représentent des formes que j'ai employées pour de légers mécanismes.

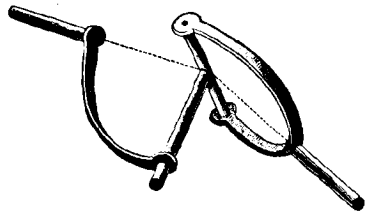


Fig. 7.

La figure 8, réduite d'après Hooke (Description des

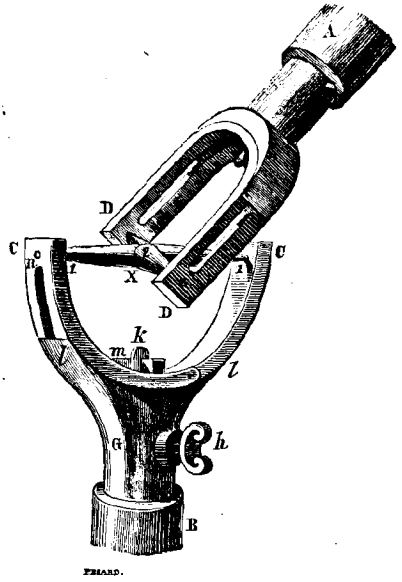


Fig. 8.

Hélioscopes), montre la forme complète du joint employé pour ces instruments. On doit, dans ce cas, construire les bras de manière que la ligne de flexion telle que C, C, puisse être inclinée et fixée, quel que soit l'angle de l'axe du fût, en restant toujours dans le plan qui contient cet axe et les bras. Cela est nécessaire pour placer l'axe 11 du milieu de la croix à l'inclinaison voulue par la déclinaison du soleil « de sorte que les bras C, C de l'extrémité du premier axe puissent, par suite de la révolution de la ligne 11 de la croix, décrire un cône autour du premier axe, semblable à celui du mouvement du soleil autour de l'axe de la terre, en faisant du centre de la terre le sommet de ce cône, ce qui sera fait si l'on meut les bras semi-circulaires, pour obtenir la déclinaison du soleil en ce jour. » Cette disposition est employée, par exemple, en décrivant un cadran elliptique par projection orthographicale pour obtenir « les lignes qui divisent l'ellipse aux deux tropiques, » et aussi quand le joint est employé pour faire tourner l'aiguille d'une horloge dans l'ombre d'un style perpendiculaire à sa face, quand l'inclinaison des bras doit varier chaque jour, par le mouvement de l'horloge même, en correspondance avec la déclinaison du soleil.

Mais la science moderne a abandonné la gnomonique, à laquelle les savants de l'époque de Hooke s'appliquaient avec ardeur, et le seul emploi du joint universel, dans les observatoires modernes, est de servir à attacher les longs bras pendants des vis de règlement des grands instruments, qu'on ne pourrait autrement atteindre sans échelle. Il est aussi employé, dans la construction des machines, pour réunir des séries d'arbres, et transmettre uniformément le mouvement d'un bâtis de machine à une autre, comme on le verra plus loin.

La première application faite par Hooke, du joint universel (fig. 3 et fig. 9), fut la construction d'une machine propre à graduer les cadrans solaires, fondée sur ce théorème: quand deux axes AO, BO se rencontrant au point O, sont assemblés par un joint et montés sur un bâti, de telle sorte que l'un de ces axes, AO soit parallèle à la direction du style du cadran proposé, et l'autre, BO perpendiculaire au plan D de ce cadran; si le premier est mû par une horloge, de manière à faire un tour en vingt-quatre heures, l'autre fait mouvoir un index sur le cadran avec la même vitesse que l'ombre du soleil dans ce plan. En conséquence, pour graduer un cadran, on doit monter sur le premier axe une aiguille qui parcourt la surface du cadran, divisé en vingt-quatre heures H, et plaçant celle-ci successivement à chaque heure, il n'y a plus qu'à marquer la position alors occupée par l'aiguille du bas *h*, sur le cadran D, qui est ainsi facilement divisé.

Dans la fig. 9, j'ai représenté la forme du joint uni-

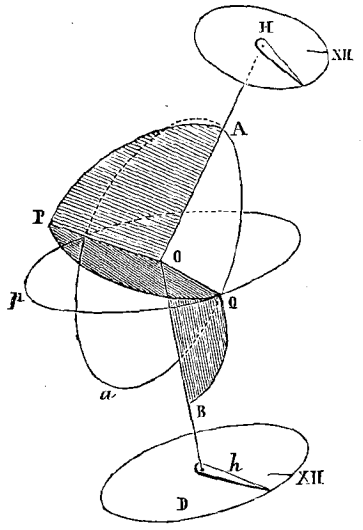


Fig. 9.

versel de mon invention, que j'appelle solide-angulaire. Il est composé d'un plan radial conducteur AOP fixé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à l'axe horaire AO; d'un plan radial conduit OQB fixé à l'axe du cadran BO et du plan-bielle POQ réuni aux deux plans radiaux par les lignes de flexion (les charnières) OP, OQ. Les angles AOP, AOQ, POQ sont droits en O, OQ est perpendiculaire à l'axe OB, et se meut dans un plan parallèle au cadran à tracer D.

Considérons l'axe AO comme l'extrémité du style, le plan AOQ passe par le soleil, et OQ est l'ombre de cette extrémité, et donne l'heure sur le cadran. Or l'aiguille *h* qui est fixée à l'axe OB et qui parcourt le cadran E, est parallèle à OQ.

J'ai extrait cette manière d'indiquer l'identité des lois qui expriment le rapport de vitesse de deux arbres réunis par un joint universel, et la vitesse de l'ombre d'un style sur un cadran solaire, du mémoire de Hooke « sur les instruments propres à tracer toute espèce de cadrans solaires plans, » en rendant le texte plus moderne et le rendant plus facile à comprendre par une nouvelle figure.

Rapport des vitesses. Les rapports des vitesses dans le joint universel étant ceux indiqués ci-dessus, on peut employer, pour les mesurer, une construction simple, semblable à celle du tracé des positions angulaires relatives qui se succèdent, pour les lignes horaires d'un cadran solaire. Elle a été employée pour la première fois par Clavius, en 1581, pour des cadrans dont le style était parallèle à l'axe de la terre, et depuis, par Foster, en 1654, dans son « Horologiographie elliptique et azimutale. »

Autour du centre C décrivons deux cercles avec les rayons CB, C*b*. Divisons les deux circonférences en un même nombre de parties égales aux points BI, II, III, IV et *b*1, 2, 3, 4, etc. (fig. 10.)

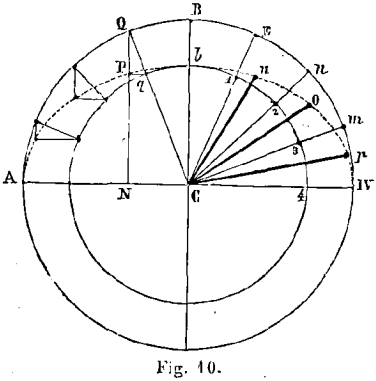


Fig. 10.

Par les premiers points, menons des lignes parallèles à BC, et par les seconds, des lignes parallèles à AC; elles se rencontreront deux à deux aux points *n*, *o*, *p*, et ces points seront évidemment sur une ellipse, dont le plus grand et le plus petit axe seront les rayons des deux cercles, car $\frac{QN}{PN} = \frac{QC}{qC} = \frac{BC}{bC}$.

Donc, pour un cadran solaire, si $bC = BC\frac{\sin \text{lat.}}{\text{rayon}}$, et si le cercle intérieur est divisé en vingt-quatre parties égales, les lignes C*b*, C*n*, C*o* seront les lignes des heures, comme avec le joint de Hooke représenté dans la figure précédente. Les rayons C*b*, C*n*, C*o*, qui passent par des points de l'ellipse, représentent les positions angulaires du rayon conducteur, qui correspondent respectivement aux positions CB, CI, CII, CIII, du rayon conduit. Il est évident que l'ellipse et ces rayons sont une projection orthographique du demi-cercle, et des rayons sur un plan qui coupe celui du cercle, suivant le diamètre AN et fait avec lui un angle dont *b*C est le cosinus.

Il n'est pas douteux que, quand Hooke appliqua son joint à la construction d'un cadran solaire, il a connu cette formule, et que ses contemporains furent familiers avec elle; car il ajoute que son mouvement « est géométrique et exact, *comme le reconnaîtra quiconque est un peu versé en géométrie*, et j'en donnerai, dit-il, la démonstration complète quand je montrerai l'emploi du joint comme instrument universel pour la gnomonique, pour égaliser le temps, pour faire que l'aiguille d'une horloge se meuve dans l'ombre d'un style, et pour exécuter une foule d'autres opérations mécaniques. »

Il a en effet employé le joint « pour diviser et décrire tout genre d'ellipses, suivant toute projection analemmatique et tracer toute espèce de cadrans elliptiques, « semblables à ceux de M. Foster », faisant allusion à la méthode indiquée ci-dessus. Samuel Foster, qui mourut en 1652, avait été professeur d'astronomie à Gresham-College, avant que Hooke ne fût nommé curateur de la Société royale, en 1662. La figure ci-dessus est la base de la construction donnée dans son ouvrage, où se trouve évidemment l'origine de l'expression employée par Hooke, quand il dit que le mouvement d'un axe est communiqué à l'autre « suivant un rapport que j'appelle elliptique ou oblique. »

Dans la page 22, il mentionne d'autres usages du *joint pour tracer des ellipses, percer et creuser des trous courbes, tourner elliptiquement*, mais il n'a pas donné de détails sur les mécanismes employés ou dont il se proposait de faire usage.

Méthode analytique. Les formules donnant les rapports de vitesse peuvent être établies directement d'après la construction précédente, qui peut être simplifiée ainsi qu'il suit:

Soient *a*M, *b*M les moitiés des deux axes perpendiculaires l'un à l'autre et solidaires, l'ellipse *a*B*a'* représentera la projection sur le plan décrit par la droite *a*M du chemin décrit par l'extrémité de la droite *b*M égale et perpendiculaire à *a*M. Lorsque la première a décrit un angle $aMa'' = \alpha$, la seconde a décrit dans le plan qu'elle parcourt un angle β, qui se projette sur *b*"M, perpendiculaire à *a*'M*a*" et $bMb'' = \alpha$. Pour trouver la grandeur réelle de cet angle, il faut par B' élever la droite FB'D, elle donnera en F le rabattement du point projeté en B', en supposant que l'on ait rabattu sur ce plan de projection le cercle décrit par le point dont B' est la projection, et *b*MF représentera en vraie grandeur l'angle β. Les deux angles simultanément décrits sont donc représentés en vraie grandeur (fig. 11).

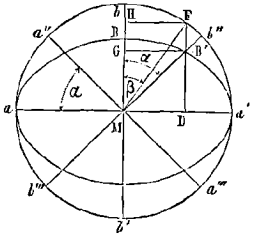


Fig. 11.

L'un suivant $aMa'' = bMb'' = \alpha$.

L'autre suivant $bMF = \beta$.

Abaissant des points B' et F des perpendiculaires sur *b*M, on a:

$$\frac{B'G}{MG} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tang } \alpha,$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et $$\frac{FH}{MH} = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \text{tang}\,\beta;$$

d'où $$\frac{\text{tang}\,\alpha}{\text{tang}\,\beta} = \frac{B'G}{MG} \times \frac{MH}{FH},$$

mais FH = B'G et comme HM = FD et MG = B'D, on peut écrire

$$\frac{\text{tang}\,\alpha}{\text{tang}\,\beta} = \frac{FD}{B'D}.$$

Mais entre les mêmes ordonnées d'un cercle et d'une ellipse ayant le diamètre de celui-ci pour grand axe, on a (Voyez *Traités de géométrie analytique*):

$$\frac{FD}{B'D} = \frac{bM}{BM},$$

bM étant le rayon du cercle décrit sur le grand axe et BM le petit axe de l'ellipse.

Appelant θ l'angle des deux plans, le même que celui des deux axes prolongés, on a $bM\cos\theta = BM$ ou

$$\frac{bM}{BM} = \frac{1}{\cos\theta} = \text{constante},$$

donc enfin $\text{tang}\,\beta = \text{tang}\,\alpha\cos\theta$.

Pour trouver le rapport des vitesses des axes, il faut différencier l'équation fondamentale:

$$\text{tang}\,\beta = \text{tang}\,\alpha\cos\theta, \qquad (1)$$

ce qui donne $$\frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{\cos^2\beta}{\cos^2\alpha}\cos\theta, \qquad (2)$$

ou $$= \cos\theta\,\frac{1+\text{tang}^2\alpha}{1+\text{tang}^2\beta}. \qquad (3)$$

Éliminant successivement α et β de (3) au moyen de (1), on a:

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{\cos\theta}{1-\sin^2\alpha\sin^2\theta}, \qquad (4)$$

$$= \frac{1-\cos^2\beta\sin^2\theta}{\cos\theta}, \qquad (5)$$

expressions qui donnent la valeur maximum de ce rapport ($= \cos\theta$), quand $\sin\alpha = 0$, ce qui a lieu quand $\alpha = 0, \pi, 2\pi$, etc.

Le minimum est $\frac{1}{\cos\theta}$, obtenu pour $\beta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$, et $\cos\beta = 0$.

Les successions des vitesses V de l'arbre conduit, pour les diverses valeurs de α de l'angle de rotation de l'arbre conducteur animé de la vitesse constante v, sont par suite:

Pour $\alpha = 0^0$ $V = v\cos\theta$.

$\alpha = 90^0$ $V = \frac{v}{\cos\theta}$

$\alpha = 180^0$ $V = v\cos\theta$

$\alpha = 270^0$ $V = \frac{v}{\cos\theta}$

$\alpha = 360^0$ $V = v\cos\theta$

Le rapport de ces limites est $\cos^2\theta$.

On voit que dans chaque quadrant le rapport des vitesses va en augmentant et en diminuant entre les mêmes limites, l'égalité des vitesses ne se trouvant qu'en quatre point semblablement placés, que les équations ci-dessus permettent de déterminer comme nous allons le voir.

En partant de B, l'axe conduit se meut d'abord plus rapidement que l'axe conducteur, mais ensuite son mouvement se ralentit jusqu'à ce qu'il arrive en a, dans le plan des bras conducteurs; puis il parcourt le quadrant suivant, se mouvant d'abord moins vite que le conducteur, puis s'accélérant quand celui-ci est passé au delà de b'. Le mouvement, dans la seconde demi-circonférence, est évidemment le même que dans la première. Le retard et l'accélération dépendent de la valeur de θ, et par suite, avec un simple joint, des variations quelconques de vitesse peuvent être obtenues en inclinant convenablement les axes l'un sur l'autre.

Des équations (3) et (1) on tire pour déterminer le point où les vitesses angulaires sont égales:

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{\cos^2\theta + \text{tang}^2\beta}{\cos\theta\,(1+\text{tang}^2\beta)} = 1,$$

d'où,

$$\text{tang}^2\beta = \cos\theta.$$

Éliminant d'autre part α entre (1) et (3), on a:

$\frac{d\beta}{d\alpha} = \cos\theta\,\frac{1+\text{tang}^2\alpha}{1+\text{tang}^2\alpha\cos^2\theta} = 1$ pour les points où les vitesses sont égales,

ou $$\text{tang}^2\alpha\,(\cos\theta - 1) = \frac{(\cos\theta - 1)}{\cos\theta}.$$

Ou enfin: $\text{tang}^2\alpha = \frac{1}{\cos\theta}$.

Par conséquent l'égalité de vitesses a lieu quand les bras conduits ont décrit un arc dont la tangente $= \sqrt{\cos\theta}$ et les bras conducteurs un arc dont la tangente est $\frac{1}{\sqrt{\cos\theta}}$, θ étant l'inclinaison d'un axe sur l'autre.

C'est la conséquence écrite de la relation (1), puisque pour $\text{tang}\,\beta = \sqrt{\cos\theta}$ on a $\sqrt{\cos\theta} = \text{tang}\,\alpha\cos\theta$ ou $\text{tang}\,\alpha = \frac{1}{\sqrt{\cos\theta}}$.

Angle des deux axes. L'inclinaison d'un des axes sur l'autre ne doit pas dépasser certaines limites. Si l'angle des deux axes approche de 90°, il est clair que la rotation d'un axe tend à tordre les tourillons et nullement à faire tourner la croix, l'appareil ne peut plus servir. Bien avant cette limite, quand l'angle n'est pas bien supérieur à 90°, les frottements et les torsions qui se produisent dans cet appareil le rendent défectueux pour tansmettre de grands efforts. On ne doit pas l'admettre quand l'angle d'un axe et de l'autre prolongé dépasse 45° ou que l'angle mesuré entre les deux axes est inférieur à 135°.

Joints multiples. Au moyen de deux joints (fig. 12),

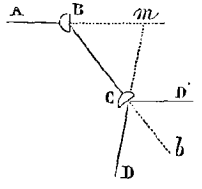


Fig. 12.

on peut communiquer le mouvement entre deux axes disposés l'un par rapport à l'autre de manière à faire un angle inférieur à 135°, et avec une grande variété de vitesses du mouvement, à l'aide d'un axe intermédiaire réunissant les deux premiers.

Soit AB l'axe conduisant, assemblé avec un second axe CB par un joint universel en B, lequel est réuni semblablement avec un autre axe CD; le plan ABC étant différent du plan BCD. Soient α, β, γ, les rota-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tions des trois axes AB, BC, CD, les angles successifs étant de grandeur convenable. Le mouvement du second joint C résultera du mouvement du premier B, pour lequel on a (θ étant l'angle des deux axes AB, CB):

$$\text{tang. } \beta = \frac{\text{tang. } \alpha}{\text{cos. } \theta}$$

L'angle de rotation correspondant de CD étant γ et θ_1 son inclinaison sur BC, on a de même:

$$\text{tang } \gamma = \frac{\text{tang } \beta}{\cos \theta_1} = \frac{\text{tang } \alpha}{\cos \theta \cos \theta_1};$$

et enfin pour des séries de joints réunissant des axes dont les inclinaisons mutuelles seraient $\theta\theta_1 \ldots \theta^n$, δ étant le chemin angulairement parcouru par le dernier, pour l'angle α parcouru par le premier, on aurait:

$$\text{tang } \delta = \frac{\text{tang } \alpha}{\text{cos. } \theta \cos \theta_1 \ldots \theta_n}.$$

Dans un système de genre, toute variation de vitesse peut être obtenue, quels que soient l'angle et la variation de direction du dernier, en employant des axes intermédiaires convenablement disposés.

Soit l'axe B de la première articulation de BC (fig. 12) dans le plan ABC, pendant que le second axe C de BC est dans le plan BCD; outre la relation

$$\text{tang. } \beta = \frac{\text{tang. } \alpha}{\cos \theta},$$

comme d'après la disposition supposée les angles du second axe doivent être mesurés à partir d'un rayon écarté de 90° du premier, on a la seconde relation pour le second axe, en partant du même point initial:

$$\text{tang } \gamma = \frac{\text{tang}\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right)}{\cos \theta_1}, \text{ or tang}\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) = \frac{1}{\text{tang } \beta},$$

donc enfin $$\text{tang } \gamma = \frac{\cos \theta}{\text{tang } \alpha \cos \theta_1}.$$

Si on fait $\theta_1 = \theta$, il vient:

$$\text{tang } \gamma = \frac{1}{\text{tang } \alpha},$$

c'est-à-dire que, dans ces conditions, quand les inclinaisons des axes sont égales, les variations de mouvement se balancent de telle sorte que le rapport des vitesses angulaires des axes AB, CD, reste constant.

Quand on ne peut disposer d'un axe intermédiaire, et que l'angle des deux axes est inférieur à 130°, on emploie la disposition dite double joint de Hooke pour corriger les variations des vitesses angulaires. Il se compose de deux joints complets (fig. 13).

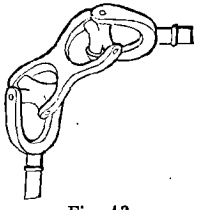


Fig. 13.

Les relations ci-dessus se transforment en chaque instant, l'axe intermédiaire variant de position, et par suite les valeurs θ, θ_1. On peut, en les disposant convenablement, diminuer beaucoup les écarts de la vitesse moyenne, et le double joint communiquera même à deux axes qui ne seront ni concourants, ni parallèles, une même rotation en chaque instant, comme l'indique la symétrie de la figure, si l'on a soin de faire en sorte que les deux axes fassent le même angle avec la pièce intermédiaire.

Modèle pour la démonstration. — Pour démontrer les propriétés du joint universel, j'emploie un modèle répondant à la figure 12, dans lequel les axes conducteur et conduit sont indépendants des supports montés sur une planche, dans laquelle sont percés deux trous à une distance égale à BC, pour recevoir deux pièces formant boulons à vis avec écrous, à large embase, à l'aide desquels les supports séparés sont fixés sur la planche. Les trous sont percés verticalement au-dessous des points B et C. De la sorte, les axes AB, DC peuvent faire des angles horizontaux quelconques avec la direction de l'arbre de jonction BC.

Une des deux fourches des paires de bras, B par exemple, est fixée à l'arbre. L'autre C lui est adaptée au moyen d'un collier et d'une vis de serrage; de sorte que les fourches sont à volonté dans le même plan ou dans des plans différents. Chaque extrémité extérieure A et D porte un cadran circulaire, divisé par des rayons noirs, et en outre, chaque quart est partagé en deux par un trait rouge. Les degrés sont mesurés par des index fixés aux pieds qui soutiennent les axes, de manière à s'approcher du contour des circonférences. Quand l'appareil est vu en long, les deux cadrans et les index sont vus simultanément, et il est ainsi facile de reconnaître que quand l'axe conducteur et l'axe conduit font des angles égaux avec l'arbre intermédiaire, et que les fourches-bras de ce dernier sont dans un même plan, les cadrans tournants amènent en même temps leurs lignes noires et rouges au-devant de leurs index respectifs; mais si les fourches de l'arbre intermédiaire ne sont pas disposées dans un même plan, les lignes noires se présentent simultanément sous les axes, mais les rouges montrent les variations établies sur la figure 11.

Arbres parallèles. Le joint universel permet de réunir deux arbres parallèles, de telle sorte que la rotation de l'un d'eux puisse être transmise à l'autre.

Soient deux axes parallèles B*n*, E*m* (fig. 14), mon-

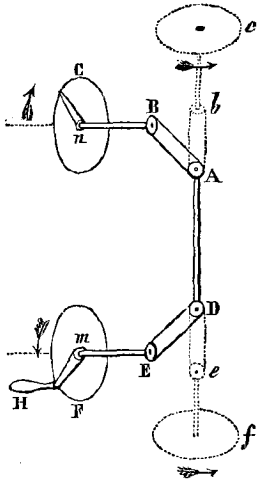


Fig. 14.

tés sur un bâti (non figuré sur le dessin) et leurs extrémités respectives réunies par des doubles joints BA, ED avec l'arbre AD. L'axe supérieur porte à son extrémité un index *n*, et l'inférieur, une manivelle H. Par suite des propriétés du double joint de Hooke, le mouvement de rotation imprimé par la manivelle à *m*E sera transmis par le double joint ED à DA, puis par le double joint AB à B*n*.

La direction des rotations sera de sens opposés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme le montrent les flèches, et comme on peut l'expliquer ainsi qu'il suit :

Supposons la chaîne formée par les axes disposés en ligne droite, comme l'indiquent les lignes ponctuées *fe*, *bc*. Si *ef* tourne dans la direction de la flèche, toute la chaîne et par suite *bc* tournera dans la même direction.

Replaçons ABC dans sa véritable position, *b* vient en B et *c* en C, et la flèche qui marque la direction de la rotation se dirige en haut du côté C, comme elle se dirigeait du côté c dans la première position.

De même quand D*e*f est ramené dans la position DEF, *f* passe du bas du disque en F, et la pointe de la flèche, qui, dans la position en ligne droite, se dirigeait horizontalement vers *f*, se trouve placée de côté vers F, ce qui montre le retournement.

On a donc ainsi une méthode pour communiquer la rotation d'un axe à un autre axe parallèle, de manière que la direction de la rotation soit renversée ; quant à la vitesse de rotation du bras conducteur ou de la manivelle H*m* elle est exactement communiquée à l'index conduit n C.

III. — JOINT UNIVERSEL MOBILE. — Nous allons maintenant revenir sur la propriété du joint universel, de permettre de réunir les extrémités de deux arbres, de telle sorte qu'en supposant l'un fixe de position, et l'autre placé de manière à ce que sa direction coïncide avec une position voulue, la réunion des extrémités permette à l'arbre mobile de se disposer suivant tout angle avec l'arbre fixe et dans tout plan donné qui renferme celui-ci.

Toute flexion de l'arbre mobile a lieu nécessairement autour d'un axe de flexion, qui passe par le point de rencontre des deux arbres et est normal à leur plan. Par conséquent on doit examiner la théorie de la composition de petits mouvements angulaires autour d'axes qui se rencontrent en un point, et elle peut être directement établie ainsi qu'il suit :

Soient CA_1, CA_2 (fig. 15) les deux axes se rencontrant en C et formant un angle quelconque, C*a* leur normale commune au point d'intersection.

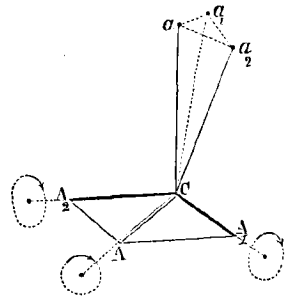


Fig. 15.

Soit donnée une rotation autour de CA_1 d'un petit angle, ce qui transporte la normale C*a* en Ca_1, puis ensuite autour de CA_2 aussi d'un petit angle, Ca_1 est transporté en Ca_2. Comme ces angles sont petits, on peut considérer ces mouvements comme produits dans un plan parallèle à celui qui renferme les axes CA_1, CA_2.

L'effet de ces mouvements successifs est de placer C*a* dans la même position que si *a* était passé directement de *a* en a_2, suivant le troisième côté du triangle, dont les deux autres côtés représentent les mouvements séparés. D'ailleurs les deux côtés aboutissant à C*a* sont respectivement proportionnels aux vitesses angulaires autour de CA_1, CA_2 par lequel ils ont été décrits, et le troisième côté est la vitesse angulaire résultante. Dans le plan CA_1, CA_2 menons CA perpendiculaire au plan Caa_2 et A_2A parallèle à CA_1.

Maintenant puisque les lignes CA, CA_1, CA_2 sont respectivement perpendiculaires aux plans Caa_2, Caa_1, Ca_1a_2, le triangle CA_2A est semblable au petit triangle a_2a_1a et dans un plan parallèle ; par suite ses côtés sont respectivement proportionnels aux vitesses angulaires, décrites autour des axes représentées en direction par ces lignes.

Donc si deux lignes rayonnant d'un point représentent en direction et en grandeur les axes et les vitesses angulaires de deux petites rotations élémentaires, la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux lignes, dont les rotations sont de même sens, représente en direction et en grandeur la rotation résultante.

Dans ce mode de jonction de deux barres par un axe de flexion, le joint est dit *joint de flexion*. Quand un autre axe de flexion des deux axes est introduit, qui n'est pas contenu dans le même plan que le premier, on obtient un mode de réunion des barres au moyen duquel, non-seulement des ploiements transversaux sont possibles dans toutes les directions, mais encore des rotations de l'une des barres autour du point de connexion, comme autour d'une rotule. Ce joint peut être appelé joint mobile universel. Cherchons à en établir la théorie.

Une petite rotation autour de l'axe CP (fig. 16), dans

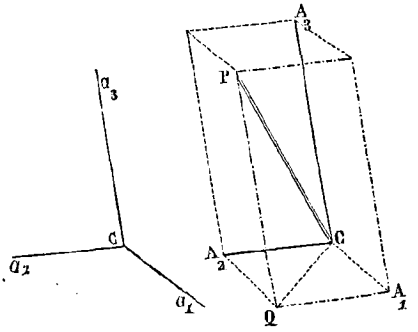


Fig. 16.

toute position, peut être remplacée par trois rotations composantes autour des trois axes qui concourent en C, parallèlement aux trois lignes données ca_1, ca_2, ca_3 qui ne sont pas dans le même plan.

Soit la ligne CP représentant la rotation donnée en direction et en grandeur, et soit un plan parallèle à deux de ces lignes, comme Ca_1, Ca_2 passant en C. De P menons PQ parallèle à a_3C ; cette ligne rencontre le plan en Q. Joignons CQ et construisons sur cette ligne, comme diagonale, le parallélogramme CA_1 QA_2 dont les côtés sont Ca_1 Ca_2. La rotation CP peut être décomposée en CQ, QP et la première en CA_2, A_2Q.

On obtient ainsi un parallélipipède dont la diagonale représente la rotation en position et en grandeur, les rotations composantes étant respectivement représentées par les côtés du solide.

La figure 17 représente mon appareil destiné montrer les compositions et décompositions des rotations des axes de flexion.

Une base circulaire porte un tube de laiton vertical, solidement assemblé en son centre. Ce tube supporte un système composé de la tige C*c* fixée au quadrant *r*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

assemblé par une charnière à un plan L réuni à un second plan quadrantiel R, porté par une tringle qui entre

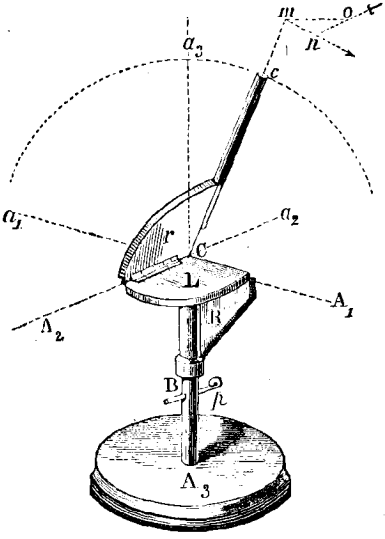


Fig. 17.

dans le tube de laiton, dans lequel elle tourne librement ou est rendue fixe à volonté, au moyen d'une broche *p* qui la traverse en même temps que le tube.

Dans cette condition, la tringle C*c* peut être infléchie sur le plan L, par l'effet de la charnière CA_2, de manière à amener le point *m*, situé sur le prolongement de la tringle, à la position de *n*, *mn* étant par suite un petit arc de cercle renfermé dans un plan perpendiculaire à l'axe CA_2. Si maintenant la tringle et le quadrant *r* sont inclinés autour de l'axe CA_1 sans changer l'angle *m*CA_1, le point *n* décrira un petit arc de cercle *no*, dont le rayon est une perpendiculaire abaissée sur CA_1. Dans ces mouvements, l'extrémité *m* se meut sur la surface de la sphère de rayon C*m*, et l'arc *mo* est un arc de grand cercle de cette sphère, qui est décrit en mouvant directement la tringle C*m*, de C*m* en C*o*.

Si on veut faire tourner la tringle C autour de son axe propre, cet axe n'étant pas dans le plan des deux autres A_1a_1, A_2a_2, il faut, d'après ce qui précède, introduire un troisième axe CA_3 dans le système, en enlevant la clé *p*, ce qui permet à la tringle R de tourner dans le tube. Si avec la main on fait tourner C*c* sans changer son inclinaison, tout le système tourne autour d'un axe vertical. Durant ce mouvement, par l'effet des connexions, la rotation de C*c* se décompose autour des trois axes de flexion A_2a_2, A_1a_1 et de rotation CA_3, c'est-à-dire peut prendre absolument toute position voulue.

APPLICATIONS DU JOINT UNIVERSEL. La propriété du joint universel de permettre, sans interruption de mouvement, de faire varier les inclinaisons d'un des axes, a été utilisée pour réaliser des inventions fort remarquables.

Pendule Foucault. La plus curieuse, sans aucun doute, est celle de l'expérience du pendule de Foucault, par laquelle il a su rendre palpable le mouvement de la terre, pour des corps soumis, comme tout ce qui se trouve à sa surface, à un entraînement universel, en mettant à profit le principe de la permanence des mouvements de rotation, si bien établi par Poinsot, et le combinant avec la suspension par un point unique, que fournit le joint universel. Le point unique étant le point de rencontre de l'axe fixe et de l'axe mobile du pendule, on voit la terre tourner autour de ce plan, l'extrémité du pendule paraît progresser le long du sable déposé à terre. Son expérience du Gyroscope est fondé sur les mêmes principes, en augmentant la vitesse de rotation et par suite la stabilité du plan dans laquelle celle-ci a lieu.

Crémaillère Normand. La seconde se rapporte à une combinaison utilisée pour transmettre le mouvement de va-et-vient aux marbres des presses mécaniques d'imprimerie, pour convertir le mouvement circulaire continu d'un arbre moteur en mouvement rectiligne alternatif, au moyen d'un pignon, dont l'axe est articulé par un joint universel avec l'arbre moteur, et susceptible, par suite, d'osciller, de passer alternativement dessus et dessous une crémaillère à fuseaux.

L'irrégularité du mouvement ainsi obtenu a été longtemps une cause d'imperfection inaperçue jusqu'à ce que la régularité nécessaire à un bon travail ait été obtenue par une disposition imaginée par M. Normand (voyez IMPRIMERIE), consistant dans l'emploi d'un pignon ovale conduisant une crémaillère ondulée, les rayons successifs du pignon étant déterminés de manière que les irrégularités de la vitesse qui lui est imprimée par le joint soient ainsi compensés, de manière à obtenir l'uniformité du mouvement de la crémaillère. Pour que celle-ci ait une vitesse constante *u*, il faudra donc que l'on ait en chaque instant $u = \rho\omega$, ρ étant le rayon vecteur du pignon, et ω la vitesse angulaire.

Cette dernière est égale à la vitesse V, donnée plus haut, divisée par le rayon constant *r*; elle est donc connue en chaque instant, et par suite on peut déterminer les valeurs successives à donner à ρ, et tracer la courbe du contour du pignon ovale, corriger les variations résultant de la loi du mouvement par sa forme elliptique.

Mécanique animale. Les articulations des crustacés et de divers insectes peuvent être citées comme un exemple curieux de combinaisons auxquelles s'appliquent les principes précédents, et il est bien intéressant d'y retrouver des organes qui n'ont été découverts par les mécaniciens que depuis un assez petit nombre d'années.

Les articulations de ces animaux sont, en général, des espèces de charnières n'ayant qu'un axe de flexion; mais ces joints sont souvent groupés de manière à produire des joints composés ayant deux ou trois axes de flexion, et formant par suite des joints universels analogues aux précédents.

Comme exemple nous décrirons la patte antérieure du crabe commun, et donnerons ici la substance d'une communication sur ce sujet faite par nous à la *Philosophical Society* de Cambridge en mars 1841.

Cette patte consiste en réalité en cinq pièces séparées A, B, C, D, E (en négligeant le joint de la pince F), chaque pièce étant réunie à la précédente par une charnière. Mais on peut également la considérer comme consistant en deux parties C et E, dont la première est réunie au corps de l'animal par un joint universel qui a trois axes de flexion, et le second réuni au premier par un joint à deux axes ou joint de Hooke.

Cette pièce C est réunie à la pince E par la pièce intermédiaire D, et les axes des joints qui forment cette réunion sont représentés par les lignes 5, 5, entre D et E, et 4, 4, entre C et D. Ces axes se coupent en un point, et par suite, d'après ce qui précède, E se meut, par rapport à C, autour de ce point et peut se mouvoir autour de tout axe de flexion passant par ce point et situé dans le plan 55 44. C'est en fait un joint de Hooke.

Le joint composé qui réunit la pièce C au corps de l'animal est plus compliqué, et, pour montrer sa dispo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sition, nous emploierons deux plans perpendiculaires entre eux, se coupant suivant la ligne *mn*. La figure 18 étant le plan et la figure 19 l'élévation.

Fig. 18.

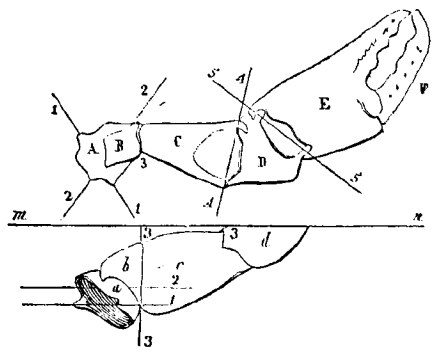


Fig. 19.

L'anneau A est réuni au corps de l'animal par un joint dont l'axe est en 1, 1, dans le plan et en 1, 1, dans l'élévation. Celui-ci est joint au second anneau B ou *b* par un axe 2 2, et B est réuni à C par un troisième axe vertical 3, 3 dans l'élévation qui sur le plan se projette sur le point 3. C est donc réuni au corps de l'animal par un joint à trois axes dont les directions ne se rencontrent pas et ne sont pas comprises dans des plans parallèles. Cette pièce a donc la liberté de se mouvoir autour d'un axe faisant un angle quelconque avec le corps. Ce joint composé répond en réalité à l'articulation de l'épaule des animaux. Ses mouvements ne sont limités que par l'angle que peut faire chaque charnière.

Le croquis ci-dessus est la réduction d'un dessin fait avec beaucoup de soin. J'ai trouvé que l'axe 2,2, est dans un plan très-voisin d'un plan perpendiculaire à 3, et que quand l'anneau A est placé dans sa position moyenne, l'axe 1, 1, est aussi dans un plan perpendiculaire à 3. C'est ce qui a déterminé le choix des plans de projection.

Celui du plan est parallèle aux joints 1 1, 2 2, et par suite perpendiculaire au joint 3, qui ne paraît par suite que par un point. Celui de l'élévation est parallèle à la charnière 3.

Quant aux joints 4 4, 5 5, le joint 4, 4 est dans le dessin un peu trop étendu pour permettre à 5, 5 de demeurer parallèle, dans son mouvement, avec le plan du papier et 4, 4, n'est pas en réalité exactement perpendiculaire à 3. D'ailleurs il faut bien comprendre que mon but n'a pas été de montrer les relations du membre de l'animal avec son corps, mais seulement le principe de l'arrangement des joints.

La pince E est représentée dans sa position extrême extérieure par rapport à C; dans sa position moyenne elle est à angle droit avec le papier; à l'extrémité de son mouvement en dedans, E et C viennent se toucher, ce que permet la forme de la pièce intermédiaire et la remarquable disposition des charnières.

Ainsi, mes séries d'études sur les combinaisons mécaniques m'amènent à un exemple des nombreuses et merveilleuses constructions qui caractérisent la mécanique des formes animales dont l'univers a été peuplé par le Créateur; c'est dans l'étude attentive de ses œuvres merveilleuses que nous pouvons puiser toute notre science pratique, sous sa protection toute-puissante, qui ne manque jamais à ceux qui l'implorent humblement, dans un esprit de sincérité et de vérité. WILLIS.

JUTE. Filaments tirés d'arbustes appartenant à l'espèce *corchorus* et qui sont employés en quantité considérable dans l'Inde. Une grande partie des sacs qui y servent à l'emballage du sucre et du riz, et qu'on appelle *sacs de gunny*, sont faits avec le jute. La population pauvre de ce pays, porte des habits de jute, et la toile commune appelée *mégilli*, que les femmes tissent à cette fin, est aussi solide et plus agréable à porter que ne le serait une étoffe de coton d'égale valeur.

On voit que le jute était une matière première produite abondamment par l'Inde, la Chine, Siam, etc., à laquelle l'industrie européenne avait à appliquer ses procédés mécaniques de filature et de tissage; c'est ce qui n'a eu lieu qu'à une époque assez rapprochée en Angleterre, et plus récemment encore en France.

Le jute, préparé par un rouissage semblable à celui que nous faisons subir au chanvre et dont il serait important de connaître les détails, car il serait probablement possible de l'améliorer, nous vient de Calcutta, par voie d'Angleterre. Les marchés principaux sont Dundee (Écosse), Hull et Londres (Angleterre), Dunkerque et le Havre (France).

Son prix extrêmement modique l'a fait d'abord employer en Angleterre, avec succès, pour la fabrication des toiles d'emballage. La consommation étant devenue plus grande, les prix ont naturellement été toujours en augmentant. En 1840, cette matière s'obtenait facilement à 28 francs les 100 kil. pour la première qualité; aujourd'hui il faut la payer de 70 à 80 francs.

En France, deux filatures traitaient bien cette matière, la société anonyme d'Amiens et MM. Malo et Dickson, de Dunkerque, qui étaient presque seuls jusqu'en 1845. Depuis cette époque, beaucoup d'établissements se sont montés, principalement depuis le traité de commerce qui a procuré aux Français le même avantage que possédaient les Anglais, par suite de l'abolition des droits d'entrée et de la possibilité de se procurer cette matière dans les entrepôts anglais ci-dessus dénommés, ce qui n'existait pas autrefois. L'infériorité de la France sur l'Angleterre pour cette fabrication, jusqu'au traité de commerce, était due à l'impossibilité de se procurer les matières premières aux mêmes conditions.

Ainsi la France avait à subir un droit d'entrée de 6 fr. 05 les 100 kil., y compris le décime. Il fallait affréter des navires français directement pour Calcutta, de sorte que la marchandise avait à supporter l'aller et le retour. Les Anglais, ayant avec les Indes des relations très-étendues, avaient leur fret payé par l'aller, et rapportaient cette marchandise au lieu de revenir sur lest. Du moment où cette différence a disparu, nos fabriques ont pu lutter avec celles de l'Angleterre.

Décrivons maintenant les opérations de la filature du jute. Cette plante étant extrêmement sèche présente de grandes difficultés pour la filature mécanique. Afin de donner aux fibres plus d'affinité entre elles, et leur permettre de se souder par les différentes opérations de la filature, les Anglais ont trouvé indispensable de les traiter préalablement par de l'huile et de l'eau.

On procède de la manière suivante: le jute est étendu par terre dans toute sa longueur, par lit de 3 à 4 mètres carrés et de 8 à 10 centimètres d'épaisseur. Chaque lit de cette épaisseur est arrosé, avec un arrosoir de jardin, d'un mélange d'eau et d'huile dans la proportion de 22 à 25 pour 100 d'eau et 3 à 5 pour 100 d'huile de phoque ou de baleine, soit donc de 25 à 30 pour 100 de mélange pour 100 kil. de jute. On fait des tas de 1 à 2 mètres de hauteur suivant la consommation journalière. On laisse fermenter suivant la température de vingt-quatre à quarante-huit heures. Plus l'air est sec, plus la fermentation est lente.

Ainsi préparé, il se traite de deux manières : *par le peignage* ou *le cardage*, méthodes qui diffèrent tota-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lement l'une de l'autre pour les premières opérations.

1° *Peignage* appelé long brin.

L'on prend le jute sur le tas où la fermentation est complète, et on le coupe en deux ou trois parties suivant sa longueur, la qualité et le numéro que l'on veut obtenir.

Généralement les jutes peignés sont destinés à filer les numéros les plus élevés, soit purs, soit mélangés avec du chanvre ou du lin.

Le pied, étant de qualité inférieure à la tête et au milieu, est affecté à faire les plus gros numéros; comme qualité, la tête vient ensuite, puis le ou les milieux, suivant le nombre de coupes. La coupe ne se fait pas à l'aide d'un couteau, attendu que les extrémités des parties coupées carrément ne conviennent pas, les brins se soudent mal, et la qualité du fil s'en ressent. On emploie tout simplement, pour faire cette opération, une roue en fonte sur laquelle sont vissés des bouts d'acier trempé de forme elliptique qui ont pour but de déchirer au lieu de couper. L'opération se trouve très-bien faite par suite de la grande vitesse donnée à cette roue qui a 0m,80 de diamètre, et qui fait de 1,000 à 1,200 révolutions à la minute. Cette façon facilite le peignage qui se fait à la main ou à la machine comme pour le lin et le chanvre.

Après le peignage, les opérations de la filature commencent.

La première machine est la table à étaler, sur laquelle le jute est placé horizontalement par une ouvrière, poignée par poignée, la grosseur de celle-ci variant suivant la grosseur du numéro qu'on veut produire, ou constante suivant le procédé de fabrication adopté; la poignée d'une grosseur constante est, à mon avis, préférable. En sortant de cette machine où le ruban se trouve déjà formé, on le fait passer successivement par un premier étirage, deuxième étirage et banc à broches, puis sur le métier à filer à sec qui termine l'opération.

Le passage sur ces différentes machines fait disparaître les irrégularités des rubans sortant de la table à étaler. Ce résultat est obtenu par suite d'un grand nombre de doublages successifs; plus il y a de doublages, plus le fil a de chances d'être régulier (Voyez COTON).

2° *Cardage*. Le deuxième procédé n'a pas de dénomination bien positive, mais on peut lui donner le nom de procédé par *cardage*.

Au lieu de couper le jute comme pour le peignage, on prend sur le tas fermenté une poignée qu'on soumet à ce qu'on appelle un loup, qui n'est autre chose qu'un tambour en bois de 1 mètre de diamètre et 0m,80 de largeur, sur lequel sont fixées des pointes très-fortes de 4 à 5 centimètres de longueur. La vitesse de ce tambour étant de 12 à 1,500 révolutions à la minute, lorsque le jute est engagé dans la machine et qu'il avance progressivement, étant retenu par des cylindres cannelés, il se trouve arraché et réduit à une longueur de 0m,08 à 0m,40. Une fois les fibres ainsi raccourcies, on les passe sur une carde qui remplace la table à étaler et forme le premier ruban, puis de là celui-ci passe aux étirages, banc à broches et métier à filer à sec.

Les machines employées pour les opérations dites de préparation et de filature se composent de *table à étaler, étirages, banc à broches, métier à filer à sec*, pour procédé long brin; de *loup, carde, étirages, banc à broches, métier à filer à sec* pour procédé de cardage.

Elles sont toutes construites sur le même principe exactement que celles destinées au chanvre. Les principaux constructeurs de ces machines, en France, sont *Windsor, de Lille; Walker, de Lille*. En Angleterre et en Écosse, c'est à Leeds et à Dundee que se trouvent les plus grandes maisons.

Afin de faire bien saisir les progrès que l'industrie sait accomplir, je dois dire qu'en 1855 on filait peu de fils de jute au-dessus du n° 14 (1). Aujourd'hui on est parvenu à obtenir jusqu'au n° 25. Il y a vingt-deux ans, on ne produisait que jusqu'au n° 8.

Depuis quelques années, le jute est entré dans la confection de beaucoup de produits en France, car depuis fort longtemps déjà les Anglais, nous ayant devancés, avaient introduit cette matière comme mélange dans un grand nombre de leurs tissus. Ainsi le fil de jute se mélange avec le fil de chanvre, de coton, de lin, même quelquefois de laine et de soie. Généralement on l'utilise en France à la production de tissus mixtes. Ainsi, pour les toiles, on met les chaînes en fil de chanvre ou de lin et l'on tisse en trame de jute; de même pour le coton, etc.

Il se fait également des articles dont la chaîne et la trame sont entièrement en jute, tels que les sacs à blé, toiles d'emballage chaînes doubles et simples, tapis, etc.

Actuellement, on mélange à la filature des parties de jute par 1/4, 2/4, 3/4 avec lin ou chanvre. Le jute étant extrêmement cassant, la partie de chanvre ou lin introduite lui donne de la solidité et permet d'employer ce fil pour chaîne. Le mélange se fait d'une manière fort simple, soit à la première opération des préparations à la table à étaler, soit derrière le premier étirage au premier doublage.

Je suis partisan d'opérer le mélange sur la table à étaler comme suit. Il y a quatre toiles sans fin sur lesquelles on place les poignées donnant un seul ruban en avant; suivant la proportion du mélange, on étale séparément sur chacune des toiles soit lin, chanvre ou jute. De cette manière, on est certain que, dans toute la longueur du ruban, chacune des matières figurera proportionnellement pendant toutes les opérations, et qu'à la filature le fil contiendra uniformément la quantité qu'on a voulu introduire.

Quelques filateurs opèrent autrement et à mon avis ils ont tort. Ils placent alternativement sur la même toile sans fin une poignée de chanvre, une poignée de jute. Il me semble que le fil doit avoir moins d'homogénéité et que sa résistance ne saurait être régulière.

Le haut prix des chanvres et des lins a fait multiplier beaucoup ces mélanges du jute avec d'autres matières. Un grand obstacle pour l'introduction de ce textile dans les tissus de laine et soie, c'est la teinture. Jusqu'alors cette matière, comme le chanvre et le lin, a été rebelle aux procédés appliqués pour teindre les cotons, soies et laines. La pénurie des cotons pouvait faire espérer que les grands teinturiers s'occuperaient très-sérieusement de chercher à teindre dans les mêmes conditions les fibres ci-dessus désignées; malheureusement personne n'a pris la peine d'étudier la question. Je ferai la même observation pour le blanchiment.

Si ces deux difficultés étaient vaincues, j'ai l'intime conviction que l'emploi de jute prendrait des proportions considérables. Ce serait d'autant plus heureux que, dans des temps de disette de chanvre et de lin, cette matière rendrait de grands services.

Je prends la liberté d'attirer sur cette question l'attention la plus sérieuse des grands industriels s'occupant de chimie, persuadé que le jute rend, a rendu et rendra de très-grands services à l'industrie des tissus en général.

---

(1) Numérotage anglais, n° 1, de 360,000 yards, pesant 1,200 livres anglaises, ou n° 1, de 329,040 mètres, pesant 544 kil.

Pour avoir le numéro du fil, diviser 544 kil. par le numéro, on aura le poids du paquet, qui a une largeur constante de 329,040 mètres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Disons toutefois que les toiles en jute n'ont pas de durée, lorsqu'elles sont soumises à des lavages répétés comme ceux auxquels on soumet les toiles de chanvre ou de lin. L'humidité, et surtout les lessives alcalines les détériorent promptement. Elles ne sauraient donc remplacer les toiles ordinaires pour les usages les plus habituels de celles-ci.

TRICHOT (de Pont-Remy).

K

KALEIDOSCOPE. Cet instrument, qui est fort ancien, car il paraît avoir été inventé par Porta, et est décrit dans son livre de la *Magie naturelle*, publié en 1565, nous a été en dernier lieu rapporté d'Angleterre, où il a été perfectionné par le docteur Brewster. On sait que cet instrument se compose essentiellement de miroirs inclinés qui reproduisent et multiplient l'image de l'objet placé en avant, de manière à former des rosaces. La multiplication des objets est en raison de l'angle des miroirs ; ainsi pour avoir 5, 6, 10 images du même objet, il faudra donner à l'angle des miroirs 1/5, 1/6, 1/10 des circonférences, mais que le rapport s'exprime toujours par un nombre entier, autrement les images se superposeraient et deviendraient confuses. En remuant l'instrument les petits objets placés à l'extrémité, entre deux verres, se remuent et le dessin change.

Il paraîtrait que cet instrument, qui fournit ainsi une infinité de dessins analogues à ceux convenables à l'impression des étoffes, devrait être fréquemment employé par les dessinateurs ; quelques-uns l'emploient en effet, mais la nécessité où l'on est de dessiner d'après l'image comme d'après un tableau et l'inconvénient de placer à chaque instant son œil à l'oculaire du tube, ont fait sinon renoncer entièrement, du moins beaucoup restreindre son emploi.

M. Rouget de Lisle a cherché à rendre plus commode l'emploi de cet instrument; il a adapté au kaléidoscope ordinaire une lampe à réflecteur qui éclaire l'image, et, au moyen d'une chambre noire, il transporte l'image sur une glace dépolie, où il est facile d'en décalquer, sur un papier transparent, et les couleurs et les contours, de plus, M. Rouget de Lisle a perfectionné le kaléidoscope en disposant les miroirs de manière à avoir des images de rosaces plus ou moins grandes, des images en ligne droite ou *bordures* plus visibles et des images en *coin* : le *coin* s'obtient en plaçant les miroirs à angle droit.

Jusqu'à présent, par le kaléidoscope, on n'obtenait que la rosace en plaçant les deux miroirs sous un angle aigu, et la bordure en rendant les miroirs parallèles entre eux.

La fig. 1310 représente une élévation latérale de l'instrument.

Fig. 1311. Coupe verticale du mécanisme intérieur.

Fig. 1312. Section horizontale du même mécanisme.

Les mêmes lettres indiquent les mêmes objets dans ces trois figures.

a, kaléidoscope de 20 centimètres de longueur sur 4 1/2 centimètres de diamètre.

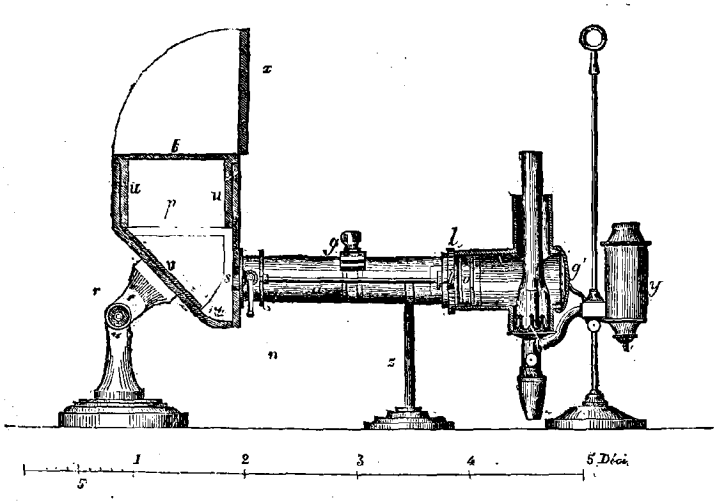
i, *k*, portions de cercle dentées et fixées à charnière en *c*, *d* sur l'arête des miroirs *e*, *f*, fig. 1311.

g, bouton emmanché sur l'arbre *h* servant à faire mouvoir en sens contraire les deux portions de cercle *i*, *k*, fig. 1312, par l'intermédiaire du pignon *m*.

l, cercle denté mû par le pignon *b*, lorsqu'on tourne la manivelle *n* afin de faire varier les éléments colorés du dessin, lesquels sont placés dans la boîte catoptrique *o*.

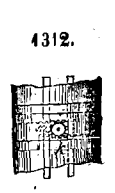
p, chambre obscure montée sur un socle en bois recevant deux tiroirs *q*, *q* : elle est mobile à volonté autour du bouton à oreilles *r*.

s, objectif achromatique dont le foyer se trouve sur



1310.





EFERUS - Recherche & Classification numérique

une glace transparente ou dépolie *t* placée horizontalement dans un châssis à coulisse *u*.

v, glace étamée, ou mieux, prisme plan convexe, destiné à réfléchir les images ou dessins sur la glace horizontale *t*.

x, écran en bois formant le couvercle de la chambre obscure et dressé pour intercepter les rayons lumineux qui ne partent pas du kaléidoscope ; un bouton à vis fixe la position du châssis *u* et celle de la glace *v* qui reçoit l'image réfléchie.

y, lampe à double courant d'air avec un réflecteur *y'* : elle est disposée pour éclairer les éléments du dessin, c'est-à-dire pour que les images soient vues plus nettes et plus vives.

z, support à coulisse destiné à soutenir le kaléidoscope lorsque celui-ci est fixé sur la chambre obscure.

Fonctions de l'appareil. Après avoir placé toutes les pièces de l'instrument, on met au foyer en élevant le châssis à coulisse *u*. Lorsque l'image est au point, c'est-à-dire lorsqu'elle est nette et vive, on arrête le châssis au moyen d'un bouton à vis, afin de prévenir tout dérangement ; ensuite on recouvre la glace polie d'une feuille de papier transparent, verni et quadrillé, sur laquelle on imite toutes les couleurs de l'image produite, à la façon des dessinateurs metteurs en carte.

Toutefois on peut enlever la glace polie et la remplacer par une glace dépolie sur laquelle les images se peignent avec une grande netteté ; alors on copie l'image sur une feuille de papier ordinaire ou quadrillé, et on lui donne du premier coup les formes et les dimensions voulues.

Pour avoir une image circulaire, il faut incliner les miroirs en tournant le bouton *g*, fig. 1311, de gauche à droite, lorsque les miroirs sont parallèles. Si l'on veut, au contraire, former une bordure ou un dessin continu et rectangulaire, on dispose les miroirs parallèlement l'un à l'autre, comme on le voit fig. 1311, en tournant de droite à gauche lorsque les miroirs sont inclinés.

Enfin, si l'on place dans la boîte catoptrique *o* un dessin rectangulaire et transparent de manière à former avec la glace *e* ou *f* un angle de 45°, on obtient, par réflection, une image formant un coin ou triangle rectangle.

Observations. Au besoin, la chambre obscure *p*, seule pourrait servir à réduire et à simplifier des dessins placés verticalement à une distance voulue et éclairés directement ou par transparence à l'aide d'une lampe munie d'un réflecteur concave. Dans ce cas, on supprime le verre dépoli qui ferme la boîte catoptrique ainsi que les éléments colorés et les dessins eux-mêmes servant d'éléments.

On peut former des images multipliées au moyen des dessins eux-mêmes en se servant du kaléidoscope.

KAOLIN. Voyez ARGILE.

KERMÈS (*angl.* kermes-grains, *all.* kermes kœrner). On désigne sous ce nom les corps desséchés des femelles du genre *coccus ilicis*, insecte qui croît sur les feuilles du *quercus ilex*, et qui fournit une matière colorante rouge. Le kermès était déjà connu en Orient du temps de Moïse, et on l'emploie dans l'Inde, depuis l'antiquité la plus reculée, dans la teinture des soies ; il était également connu des Grecs et des Romains, et Pline rapporte que les habitants de la péninsule ibérique payaient aux Romains la moitié de leur tribut en kermès. Actuellement le principal centre de production de kermès est le département des Bouches-du-Rhône.

Du 9e au 14e siècle, les paysans étaient obligés, dans beaucoup de parties de l'Allemagne, de livrer chaque année aux couvents une certaine quantité de kermès plus foncé et plus gros que le précédent ; c'était le *coccus polonicus*, qui s'attache surtout aux racines du *scleranthus perennis*, de la potentille, de la tormentille et de la pimpinelle. Ce kermès était principalement expédié à Venise, où il alimentait les teintureries d'écarlate. Actuellement on n'en récolte plus guère que dans les plaines sableuses de la Pologne et de l'Ukraine.

On trouve en Sibérie, sur les racines de fraisier, une variété particulière, le *coccus fragariæ*.

Enfin, dans le sud de la Russie, on trouve le *coccus uræ ursi*, qui est presque deux fois aussi gros que le *coccus polonicus*, et qui, avec l'alun, donne une belle couleur rouge.

Le kermès ordinaire se présente sous la forme de grains ronds légers, de 2 à 3 millim. de diamètre, d'un rouge-brun, ayant une saveur piquante et une odeur qui n'est pas désagréable. La matière colorante qu'il renferme est soluble dans l'eau et l'alcool ; les acides la rendent brunâtre, et les alcalis la font tourner au violet ou au rouge carmin. Avec les dissolutions de fer, elle donne sur la laine une couleur noire, du rouge de sang avec l'alun, du gris vif avec un mélange de sulfate de fer et de crème de tartre, de vert-olive avec un mélange de sulfate de cuivre et de crème de tartre, du brun de cannelle très vif avec un mélange de sel d'étain et de crème de tartre, et du violet avec un mélange de sulfate de zinc et de crème de tartre. Les couleurs d'écarlate et de cramoisi obtenues avec le kermès sont très solides.

Les bonnets rouges, importés en si grande quantité de France en Turquie, sont généralement teints avec un mélange à parties égales de garance et de kermès.

Depuis la découverte de l'Amérique, le kermès a été presque entièrement remplacé dans la teinture par la COCHENILLE, qui fournit une couleur plus riche.

KERMÈS MINÉRAL. Sulfure d'antimoine préparé artificiellement, en dissolvant du sulfure d'antimoine natif dans une dissolution bouillante de carbonate de potasse filtrant à chaud. Par le refroidissement, le kermès se dépose sous la forme d'une poudre d'un brun rouge employée en médecine.

KIRCHWASSER. Liqueur spiritueuse d'un goût très agréable, dû à une faible quantité d'acide hydrocyanique ou acide prussique, et que l'on prépare dans la Forêt-Noire, ainsi qu'il suit : on choisit les merises les plus pures et les plus saines ; on en enlève les queues ; on les écrase sur une corbeille d'osier, et on en reçoit le jus dans un cuvier ; on pèse le marc, on en pile le quart seulement que l'on mêle avec le jus, et l'on abandonne le tout à la fermentation, à une température de 15 à 30°, en ayant soin de couvrir imparfaitement le cuvier. Quand la fermentation est achevée, on tire la liqueur au clair, et on la distille comme à l'ordinaire.

KOUMISS. Liqueur que les Kalmoucks préparent en faisant fermenter du lait de jument, et qui, soumise à la distillation, donne une liqueur spiritueuse d'une odeur désagréable à laquelle ils donnent le nom de *rack*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L

LABDANUM. Le *labdanum*, ou *ladanum*, est une résine onctueuse d'une odeur agréable qui se trouve sur les feuilles et les branches du *cystus creticus*, plante qui croît dans l'île de Candie et dans la Syrie. Naturellement c'est une substance molle et d'une couleur brune foncée; mais elle devient dure quand on la conserve; sa densité = 1,1006; elle a un goût amer. On s'en sert principalement en médecine pour faire des emplâtres.

LACET (*machine à faire le*). Voyez CORDONNET.

ACIDE LACTIQUE. Cet acide, découvert par Scheele dans le petit lait, et retrouvé depuis dans beaucoup d'autres substances fermentées, se prépare ordinairement en réduisant le petit lait à 1/8 de son volume, filtrant, ajoutant de la chaux, filtrant de nouveau, faisant cristalliser le lactate de chaux, le purifiant par cristallisation, et enfin le décomposant par l'acide oxalique et filtrant.

Pur et concentré dans le vide, l'acide lactique constitue un liquide incolore et sirupeux, renfermant deux équivalents d'eau, et dont la composition est représentée par la formule $C^6\ H^5\ O^5 + 2\ H^2\ O$.

L'acide lactique forme, avec les bases, des sels qui portent le nom de *lactates;* le seul de ces sels qui ait quelque importance, au point de vue qui nous occupe, est le *lactate de fer*, très-employé en médecine contre les pâles couleurs, etc., et qui se prépare en grand par double décomposition, au moyen du lactate de chaux et du sulfate de fer.

LACTOMÈTRE. Voyez LAIT.

LAINES (FABRICATION DES ÉTOFFES DE). — *Des laines et de leur emploi.* La laine est une des matières textiles qui présente au plus haut degré les propriétés les plus recherchées dans la confection des tissus; sa finesse, sa douceur, sa résistance si puissamment développée par sa propriété feutrante, son affinité pour les couleurs, sa faible conductibilité de la chaleur, et ses propriétés évaporatoires et hygrométriques, concourent à donner aux étoffes qu'elle produit la légèreté, la souplesse, la richesse des nuances et les qualités hygiéniques si nécessaires aux vêtements, tentures et tapis.

Ces caractères qui sont plus ou moins développés, suivant les nombreuses variétés de laines qu'on rencontre, ont permis à l'industrie de modifier les propriétés des tissus qu'elle sert à fabriquer, de manière à les rendre d'un usage convenable à tous les climats, en utilisant une matière première que presque tous fournissent, et qui a dû, dès les temps les plus reculés, offrir aux peuples pasteurs les ressources qu'en retire l'agriculture moderne. On peut donc considérer l'industrie des laines comme une des plus anciennes et des plus universelles.

La recherche de son origine nous conduirait nécessairement à répéter ce que la plupart des auteurs, sur la matière, ont déjà dit, et à prouver que les livres les plus anciens qui nous soient parvenus mentionnent les tissus de laine.

Nous nous bornerons à citer les lois de Manou, qu'on considère comme antérieures à la *Bible*, et dans lesquelles il est question d'étoffes de laines et de draps en poils de chèvres[1]; mais rien ne nous apprend si ces étoffes de laines étaient feutrées et foulées; tout fait présumer le contraire. Le foulage diminuant la souplesse des tissus, en augmentant leur propriété conservatrice de la chaleur, a, par cette raison, dû être évité par la plupart des peuples de l'Orient.

Mais quoique l'application de la propriété feutrante de la laine, qui lui donne un caractère si tranché parmi les matières textiles, paraisse plus récente et être due aux peuples du Nord, on n'est pas plus fixé sur le temps, les lieux et les circonstances qui lui ont donné naissance, qu'on ne l'est sur l'origine de la plupart des industries en général. Pline parle du foulage et le fait remonter à une haute antiquité.

Ce qu'il y a de remarquable et ce qui doit d'ailleurs être encore une preuve de l'ancienneté de la fabrication des étoffes de laine drapées, c'est que les premières traces que nous pouvons découvrir des procédés employés nous montrent que l'on se servait alors de tous ceux pratiqués encore aujourd'hui.

Les statuts, ordonnances, lettres patentes, sur la draperie et la foulonnerie, remontant au douzième siècle; de précieux vitraux de couleur que les églises d'Elbeuf doivent aux premières corporations des drapiers; des échantillons d'étoffes de la même époque que nous avons pu examiner nous ont confirmé ce fait, et prouvent que non-seulement tous nos procédés d'aujourd'hui étaient en usage, mais qu'on les appliquait déjà avec beaucoup d'habileté.

Le progrès moderne se borne donc exclusivement à l'amélioration et au perfectionnement des machines qui ont contribué à fabriquer plus vite, plus régulièrement et plus facilement.

Production de la laine. On sait que la laine employée par l'industrie est une matière cornée, sécrétée à travers une quantité innombrable de pores ou de filières, de formes plus ou moins régulières, dont l'épiderme du mouton est parsemé; que cette substance flexible et cassante se prolonge à l'extérieur de la peau par des développements qui partent de la base et vont se dessécher en s'accumulant au sommet; qu'elle a une constitution et des fonctions analogues à celles des cheveux, poils, plumes, etc.

Elle est le plus précieux rapport du mouton vivant, dont on la récolte annuellement dans la saison chaude (courant de juin)[1]; on la désigne alors sous le nom de *laine en toison*, pour la distinguer de celle provenant des animaux morts à la boucherie, ou par suite de maladie, que l'on connaît indifféremment sous le nom d'*écouilles*, *pelures*, ou *pélades*: cette dernière dénomination est plus spécialement usitée dans le Midi pour les laines de Provence.

Les laines de bêtes mortes à la boucherie sont moins estimées que celles de toison, et plus que celles provenant d'animaux qui ont péri par maladie; à la cause d'infériorité naturelle vient quelquefois s'ajouter celle du mode de dépouillement qui consiste à enlever la laine par une eau de chaux qui l'énerve encore.

On distingue aussi la *mère-laine* de la *laine d'agneaux;* cette dernière, moins mûre et plus tendre, ne convient qu'à certaines spécialités, à celles qui ont besoin d'un foulage prompt et qui demandent peu d'apprêts.

La laine, telle que la fournit le mouton, est enduite d'une quantité plus ou moins considérable de matière nommée *suint* ou *surge*, sécrétée par le mouton. Elle

(1) 120e verset, Ve livre des lois de Manou, traduites du sanscrit, par M. Munk.

(1) Dans certains pays la tonte a lieu deux fois par an, au printemps et en automne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

adhère d'une manière si intime aux brins qu'ils ne peuvent en être complétement débarrassés que par un dégraissage chimique qu'on doit lui faire subir avant sa mise en œuvre; jusque-là la laine conserve le nom de *laine* en *suint* ou *surge*. Nous traitons dans un autre article du *désuintage* (voyez BLANCHIMENT).

Les caractères, la quantité et les qualités de laine fournis par les animaux, diffèrent considérablement suivant la race des moutons, les climats, la nourriture, les soins, l'état hygiénique, les années et les parties du corps de l'animal.

La quantité ou poids de la toison fournie par chaque animal varie de 1 kilogr. 1/2 jusqu'à 8 kilogr.

La figure 1312 représente des brins de laine vus au microscope et montre bien leur constitution.

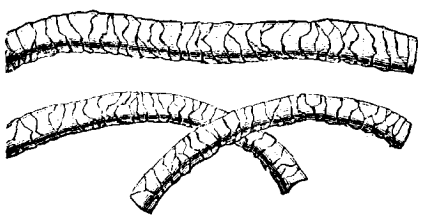


Fig. 1312.

La longueur naturelle des filaments contournés ou non, tels que les produit le mouton, est comprise moyennement entre $0^m,08$ et $0^m,30$.

La finesse du diamètre du brin présente des différences de 27 à 18 millièmes de millimètre environ, c'est-à-dire qu'une surface d'un millimètre de diamètre pourrait contenir de 37 à 50 filaments.

A ces variations il faut ajouter celle de la forme qui diffère d'une manière sensible de celle des cheveux, poils, etc., auxquels nous avons assimilé cette matière; et qui, au lieu de présenter des brins d'une longueur développée, à surface lisse comme eux, présente, au contraire, des filaments plus ou moins *ondulés* ou *frisés*, et hérissés de petits crochets recourbés en dehors sur toute sa longueur comme s'ils étaient formés d'une série de petits dés à coudre microscopiques emboîtés les uns dans les autres et allant en s'amincissant de la racine à la pointe.

L'illustre Monge attribua, le premier, la propriété feutrante, que la laine possède presque exclusivement à un degré si développé, à la présence de ces espèces de petites dents de scie qui facilitent l'accrochage et l'enchevêtrement des brins les uns aux autres d'une manière intime.

Mais le foulage complet sur tous les sens ne pourrait avoir lieu si les filaments, outre les caractères que nous venons d'indiquer, n'étaient en même temps éminemment élastiques comme le sont surtout les laines fines dont les brins ont le plus d'ondulations, ce qui les rend d'autant plus propres à la belle draperie foulée, car ces frisures peuvent se comparer, pour la forme, et jusqu'à un certain point pour les fonctions, aux hélices des ressorts métalliques.

Les filaments doués de ces ondulations peuvent, comme eux, être comprimés sous une certaine pression sans rien perdre de leur élasticité naturelle.

C'est cette propriété réunie à celle qu'ont les filaments de s'entrelacer et de pouvoir s'accrocher pendant qu'ils sont comprimés sur leur longueur et leur grosseur, qui détermine le foulage dans tous les sens. Sans la réunion de ces trois caractères, l'élasticité due à la forme, la présence des petites aspérités de la surface du brin, et sa propriété de pouvoir se ramollir et être comprimé sous certaines conditions, comme les matières cornées en général, le foulage ne pourrait s'opérer régulièrement. La laine longue en offre une preuve; son peu de disposition au feutrage provient sans doute de l'absence de l'une des conditions, de celle des ondulations qui forment ressort dans les laines fines spécialement employées pour les étoffes foulées.

Rapport entre les différents caractères de la laine. Il existe une corrélation assez régulière entre la longueur, la grosseur, les ondulations, la douceur, la flexibilité, et la quantité de *suint* de la laine.

On a remarqué que la finesse était généralement en raison inverse de la longueur, et directement proportionnelle au nombre des frisures, et par conséquent à l'élasticité; que le nombre de courbes qui constituent le frisé ou l'ondulé était variable avec l'unité de longueur; qu'il était d'autant plus régulier que la laine était plus fine. Nous avons constaté avec MM. Girod (de l'Ain) et Perrault de Jotemps, qui se sont occupés avec tant de zèle et de connaissance de ces intéressantes questions, que le nombre des petites spires qui composent le frisé varie dans une longueur de $0^m,27$, de 8 à 36 et même au-delà, que cette variation reste circonscrite de 28 à 38 pour les plus belles laines.

Qu'à nombre égal dans une longueur de brin donnée, celui-là sera le plus fin dont les ondulations seront plus petites, plus verticales, et suivront une ligne plus directe.

Il serait difficile de bien déterminer ces différents caractères, si on ne débarrassait, au préalable, la laine de l'énorme quantité de corps étrangers qui la recouvrent, ce qui a lieu par le *désuintage*.

Cette opération se fait tantôt et le plus ordinairement, par partie, en baignant le mouton, avant la tonte, dans une rivière ou un étang, dans lesquels on le savonne; on dit alors que la laine a été *lavée à dos;* tantôt ce lavage se fait à chaud, par le marchand de laine, après la tonte, c'est ce qu'on nomme le *lavage marchand;* tantôt enfin l'opération du désuintage se fait une fois seulement et à fond par le fabricant, avant la mise en œuvre de la laine.

Les limites dans lesquelles varient les quantités de *suint* sont très-grandes; elles sont en général proportionnelles à la finesse.

Les laines les plus fines, telles que les laines d'Allemagne dites de *Saxe-Électorale*, en contiennent jusqu'à 80 p. 100 de leur poids; les laines les plus communes en contiennent rarement moins de 20 p. 100; nos belles laines de la Brie en sont chargées de 60 à 75 p. 100.

Comme le fabricant n'achète jamais sa laine entièrement désuintée, il est important pour lui de pouvoir estimer, approximativement au moins, la quantité de corps étrangers dont elle peut être chargée, et le déchet qu'elle devra éprouver.

L'expérience acquise par un grand nombre d'observations peut seule initier à cette connaissance et à celle nécessaire pour distinguer tous les caractères qu'il est important d'apprécier dans cette matière première.

Mais si l'expérience est indispensable pour acquérir ces connaissances délicates, il existe cependant des caractères très-tranchés pour les laines, qui sont beaucoup plus faciles à constater, et dont il est indispensable de dire quelques mots.

La qualité de la laine est un des éléments essentiels de la question de l'élevage du mouton, si capitale pour l'agriculture, et traitée complétement à l'article MOUTON de cet ouvrage.

Emploi des laines suivant leurs caractères. L'industrie a d'abord classé toutes les laines, sous le point de vue des produits qu'elle en tire, en deux grandes catégories: en *laines courtes* et en *laines longues*.

Les premières comprennent les laines plus ou moins ondulées ou frisées, des plus fines aux plus communes,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et dont la longueur des brins ne dépasse généralement pas 0m,12.

Ces laines qui, par leur nature, sont plus propres aux étoffes foulées, sont, par conséquent, dès leurs premières préparations, travaillées de manière à les prédisposer à cet effet, et à faciliter leur adhérence qui sera un maxima lorsque les brins s'engrèneront de façon que les pointes et les racines se rencontreront dans des directions opposées.

Le travail des cardes étant le plus propre à produire cet effet, c'est à ces machines que ces laines doivent par conséquent être préparées, ce qui les fait désigner sous le nom de *laines à cardes*.

On classe dans les laines longues celles dont la longueur est comprise entre 0m,12 et 0m,25, et même 0m,30.

On recherche ici les qualités opposées à celles dont doivent être douées les précédentes; il faut donc que les filaments soient aussi droits que possible, et que l'on fasse disparaître complétement les propriétés feutrantes en les redressant parallèlement entre eux.

Le travail du peigne, si propre à produire ce résultat, a fait donner aux laines qui subissent son opération le nom de *laines à peigne*.

La spécialité des laines cardées comprend au premier rang par son importance toutes les espèces d'étoffes de laine plus ou moins feutrées ou foulées pour vêtements, depuis la draperie la plus légère et la plus élégante, jusqu'à la plus corsée et la plus chaude; depuis les plus riches et les plus brillantes étoffes de fantaisie, jusqu'aux draps pilote et à la couverture commune. Elle s'étend aux tissus pour ameublements: du modeste tapis de pied, produit exclusivement par les propriétés feutrantes de la laine, aux magnifiques tapis en fils de laine non feutrée, qui rivalisent avec la peinture monumentale.

Le travail des laines peignées produit toutes les variétés d'étoffes rases et moelleuses, telles que *mérinos, flanelles, mousselines-laines, stoffs, serges, satins de laines, châles*, etc.

La science rendrait un service signalé à l'industrie si elle parvenait à établir une classification rationnelle des laines, basée exclusivement sur leur provenance, sur les races qui les ont fournies, et sur leurs nombreux caractères plus exactement définis; une grande partie des progrès à attendre désormais dans l'industrie du lainage est subordonnée, à notre avis, à la conquête de ces connaissances.

En attendant cette amélioration, nous adoptons la classification commerciale qui nous paraît la plus simple et la plus logique.

Toutes les laines peuvent être rangées en trois grandes classes, savoir: les *laines communes*, les *laines métis* et les *laines mérinos*.

Des laines communes. Ce sont les moins ondulées et frisées; leur caractère est plus habituellement lisse ou crépu. Les plus fines d'entre elles sont aussi les plus ondulées et les plus courtes. Leurs longueurs réelles varient entre 0m,08 et 0m,12. Leur caractère le plus distinctif est leur susceptibilité d'extension. De toutes les races communes, ce sont celles qui portent cette espèce de laines qui sont les plus faciles à améliorer au moyen d'étalons mérinos.

Les laines communes les plus plates ou lisses sont en général très-grossières et peu susceptibles d'être employées au cardage et au foulage; mais comme elles sont assez unies et douces, elles conviennent au peigne. Leur longueur varie de 0m,018 à 0m,27. Les laines de Rio de la Plata présentent cette longueur, et sont de toutes les plus grossières; elles sont employées à faire des chaussons. Les laines plates et lisses les plus courtes sont celles de *Soyabe;* il en existe qui n'ont que 0m,08 de longueur. En France, la *Normandie*, la *Picardie*, la *Lorraine*, le *Berry* et le *Roussillon* fournissent les laines communes; ces dernières provinces procurent les meilleures.

La *jarre*, qui n'est point proprement une laine, mais une espèce de poil sans élasticité, qui se termine en pointe, et dont la laine doit être débarrassée, se mêle le plus fréquemment aux laines communes.

Des laines métis. Le classement des laines métis, en ne comprenant même sous ce titre que les laines provenant de croisement entre des béliers mérinos et des brebis de race commune, serait évidemment impossible, attendu leurs innombrables variétés, dont la plupart se confondent avec les laines mérinos. Ce qui va être dit de ces dernières leur sera donc applicable, sauf quelques exceptions de métisage non réussi, qu'il sera facile de reconnaître à l'inégalité de finesse et à l'irrégularité de crue.

Des laines mérinos. Les laines mérinos peuvent être divisées en quatre classes, ainsi qu'il suit :

1re Classe. — Laines de haute finesse.
2e Classe. — Laines de belle finesse.
3e Classe. — Laines de finesse médiocre.
4e Classe. — Laines de finesse inférieure.

Les finesses que l'on peut attribuer à chacune de ces classes sont les suivantes :

1re Classe, de 1/60e à 1/40e de millim.
2e Classe, de 1/40e à 1/35e de millim.
3e Classe, de 1/35e à 1/30e de millim.
4e Classe, de 1/30e à 1/25e de millim.

La longueur moyenne des laines de la première classe, dans leur état naturel et non redressées, paraît être environ de 0m,054; c'est celle qui a les ondulations les plus régulières, variant de 28 à 38 par 0,027 de longueur, ou d'une ondulation à une 1/2 par millimètre.

La deuxième classe présente des brins d'à peu près la même longueur, mais les ondulations varient de 24 à 27 par 0m,027.

Les ondulations de la troisième classe sont de 16 à 23, et sont bien moins régulières dans leur forme; la longueur naturelle du brin varie de 0m,054 à 0m,10, et leur longueur réelle de 0m,108 à 0m,122.

La longueur de la quatrième classe est la même, et les ondulations sont de 15 environ par 0m,27.

Si l'on réfléchit à tout ce que de semblables observations peuvent présenter de délicat, en l'absence de tout instrument applicable avec exactitude à la détermination des diamètres des brins de laine, on comprendra que ces classifications ne doivent être considérées que comme des approximations.

Presque toutes les localités de France fournissent des laines plus ou moins fines. De nombreuses tentatives ont été faites depuis bien longtemps pour améliorer les qualités de nos laines, et augmenter le revenu qu'elles offrent à l'agriculture.

On a remarqué, en comparant le mouton domestique au mouton qu'on trouve encore à l'état sauvage dans les montagnes de la Sardaigne, de la Grèce, de l'Asie Mineure et de la Barbarie, que l'éducation avait une très-favorable influence sur la laine de l'animal, qui, à l'état sauvage, ressemble plutôt à des poils grossiers qu'à de la laine. L'amélioration est plus prompte et plus sensible pour la laine du mâle que de la femelle. (Voir CROISEMENT.)

On a cherché à perfectionner constamment la laine, en croisant nos troupeaux indigènes avec des béliers étrangers produisant les laines les plus estimées.

La première tentative heureuse date du règne de Louis XVI, qui confia au naturaliste Daubenton la direction de 200 brebis et béliers de race pure, provenant de Léon et Ségovie; cette première tentative fut bientôt suivie d'une nouvelle acquisition de 367 moutons de la même race, qui formèrent la souche du troupeau de Rambouillet. Plus tard, en 1797, la France, par le traité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de Bâle, obtint de nouveau de l'Espagne 5,500 brebis et béliers, choisis dans les plus beaux troupeaux de la Castille, qui servirent à former six établissements nouveaux sur le modèle de Rambouillet.

Tous les gouvernements continuèrent dès lors à propager l'amélioration des races, et furent activement secondés par quelques célèbres industriels, au premier rang desquels nous devons citer Ternaux, dont tout le monde connaît les services rendus à l'industrie des laines et du cachemire.

Malgré tous ces efforts, et quoique nous produisions presque toutes les qualités de laine, nous sommes loin encore de pouvoir nous suffire à nous-mêmes. Sur les 300 millions de francs de laines environ qui se fabriquent en France maintenant, il nous en vient pour 90 millions des différentes contrées étrangères, principalement de l'Australie.

L'Allemagne nous expédie de la laine de première finesse, dit laine de *Saxe-Électorale*, employée à la plus belle draperie.

L'*Espagne*, qui, il y a un demi-siècle à peine, avait encore presque tout le monopole des laines fines employées pour notre belle draperie, ne nous fournit plus aujourd'hui que des laines pour la draperie commune et pour le peigne.

Les importations de la Russie prennent tous les jours plus d'extension, depuis que la draperie de fantaisie, dite *nouveauté*, a pris du développement; cet article n'étant que légèrement foulé emploie avantageusement les laines tendres que produit plus spécialement ce pays.

L'Afrique, les *Échelles du Levant*, *Buénos-Ayres*, importent des laines généralement communes, employées pour matelas, lisières, bonneteries et grosses étoffes.

Centres de fabrication. Les principaux centres qui emploient les laines en France sont par ordre de quantités :

Le Nord, Reims et ses environs pour les laines peignées;

Elbeuf, où se fabriquent toutes les espèces de draperies, depuis les plus communes jusqu'aux plus fines;

Sedan et son arrondissement pour la draperie et les nouveautés. Cette localité est encore le principal point pour les beaux draps noirs; c'est elle qui a donné naissance aux plus beaux articles de nouveautés en laine cardée.

Louviers, qui s'est livré plus spécialement aux qualités fines et à la filature des laines d'Elbeuf;

Dans le midi, Carcassonne, Lavlanet, Mazamet, Castres, Lodève, Bédarrieux, Saint-Pont, Saint-Chignan, Saint-Calombe, Clermont, Lodève, etc.

Ces dernières localités produisent de la draperie commune, des draps de troupe, et pour l'exportation des échelles du Levant.

Dans le centre, Châteauroux fait les mêmes articles; une seule maison très-importante fait des draps plus chers et pour la fourniture des officiers.

Limoges produit une quantité assez considérable d'étoffes généralement rayées, à très-bas prix, non foulées, tirées à poil et tissées avec chaînes en fils de coton retors et trames en laine.

Aubusson fabrique presque exclusivement les tapis produits avec des laines communes, doublées et tordues après le filage.

Il en est de même de Beauvais.

Il existe encore quelques autres points moins importants.

Vienne, Nancy, Orléans pour la draperie commune et la couverture; Paris et quelques localités du Nord pour les laines peignées et les couvertures.

Quoiqu'il y ait peu de différence dans le mode de travailler la même spécialité dans les différentes localités françaises et étrangères, il existe cependant quelques modifications pour certaines opérations principales, que nous aurons soin d'indiquer lorsque nous nous occuperons de chacune d'elles.

Le travail des laines constitue deux industries différentes, celle des laines peignées et celle des laines cardées, que nous étudierons successivement.

FILATURE DES LAINES LONGUES PEIGNÉES.

Du peignage. Le peignage de la laine d'une qualité convenable, l'opération caractéristique de la fabrication dont nous traitons, a beaucoup d'analogie avec celui du lin; le but est le même, si les moyens sont modifiés. C'est à la différence des caractères de ces matières, que ces modifications sont dues; mais pour l'une et l'autre substances, il s'agit de redresser les filaments, de les ranger aussi parallèlement que possible, en les débarrassant de corps étrangers, et de remplir par conséquent les fonctions analogues à celle de nos peignes par rapport aux chevelures. Dans la laine, les filaments sont distincts, tandis que dans le lin ils sont encore agglutinés, et il faut les séparer les uns des autres et les rendre flexibles, car ils sont loin d'avoir l'élasticité et l'onctuosité des fibres de la laine, qui sont telles qu'elles se condensent et se collent entre elles, de façon que le peigne ne pourrait pénétrer dans la masse si, au lieu de l'employer à froid et à sec, comme cela a lieu pour le peignage des matières végétales, on ne chauffait préalablement les aiguilles du peigne à un certain degré pour ramollir la matière cornée et si on n'employait la laine qu'après l'avoir graissée et conservée légèrement humide, afin de lui donner une flexibilité suffisante pour la mettre à l'abri des ruptures que les dents pourraient occasionner sans cela.

Nous décrirons d'abord les anciennes manières d'opérer. Le peignage de la laine se fait tantôt à la main et tantôt mécaniquement.

Peignage de la laine à la main. Trois ustensiles sont nécessaires à cette opération: 1° une paire de peignes par ouvrier; 2° un poteau auquel on peut fixer l'un des peignes; 3° un petit poêle ou réchaud pour chauffer les dents du peigne. Chaque peigne est composé de deux ou trois rangs de dents d'acier coniques et pointues *a b* (fig. 1313), disposées sur deux ou trois plans parallèles,

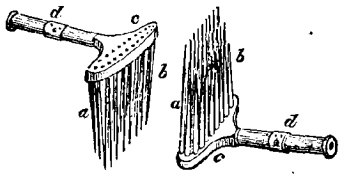


Fig. 1313.

chaque rang étant un peu plus long que le précédent, elles sont fixées à une tête de bois *c*, qui est recouverte de corne, et munie d'un manche *d*, placé à angles droits avec les lignes des dents.

Les espaces entre les deux ou trois plans de dents sont d'environ 6 millimètres à leur partie inférieure, et d'un peu plus à leur sommet; on commence d'abord par peigner, lorsque les fibres sont les plus mêlées, avec le peigne à deux rangs, puis on finit avec celui à trois rangs.

Un poteau est planté dans l'atelier (fig. 1314) pour y mettre de temps en temps les peignes pendant l'opération.

A ce poteau est fixée une tige de fer horizontale *g* relevée à son extrémité de manière à être introduite dans le trou du manche du peigne. A son point d'intersection dans le poteau, il y a une autre pointe *h* péné-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trant dans le bout creux du manche, qui, entre ces deux crochets, est fortement maintenu au poteau.

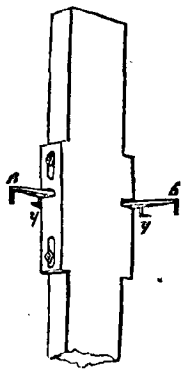


Fig. 1314.

Le poêle consiste ordinairement en une plaque de fer, chauffée par le feu ou par la vapeur, et surmontée d'une plaque semblable, placée à un intervalle suffisant pour permettre d'introduire les dents entre ces plaques par un côté qui reste ouvert, tandis que l'espace contenu entre leurs bords sur leurs autres côtés est fermé pour retenir la chaleur.

Lorsque l'ouvrier peigne la laine, il la prend par mèches d'environ 12 grammes chaque, l'arrose d'huile ou graisse avec du beurre, et la roule dans ses mains afin de rendre tous les filaments également onctueux. Quelques laines dures et sèches demandent un seizième de leur poids d'huile, d'autres n'en demandent qu'un quarantième.

Il attache ensuite au poteau un peigne chauffé les dents tournées en haut, saisit une moitié de la mèche de laine dans ses mains, la jette sur les dents en la faisant passer à travers, et cela à plusieurs reprises, laissant à chaque fois quelques filaments adhérents au peigne. Quand le peigne a ainsi recueilli toute la laine, il est introduit dans le poêle avec ses pointes chargées de la laine pendant en dehors et exposée à l'influence de la chaleur; l'autre peigne, qui vient d'être retiré chaud du poêle, est placé sur le poteau et garni des 8 à 10 grammes de la laine qui reste, après quoi il remplace celui qui est dans la poêle. Ayant alors les deux peignes chauffés, il en tient un de la main gauche sur son genou, étant assis sur un tabouret peu élevé; et saisissant l'autre de la main droite, il peigne la laine sur le premier, introduisant les dents de l'un des peignes dans la laine fixée dans l'autre, et les tirant en travers.

Cette manipulation se répète jusqu'à ce que les fibres soient parallèles comme une mèche plate de cheveux. Il est convenable de commencer par peigner le bout de la mèche et d'avancer progressivement d'une extrémité à l'autre jusqu'à ce que les dents s'engagent ensemble autant que possible, sans qu'il y ait froissement; si l'ouvrier agissait autrement, il risquerait de briser les filaments, ou arracherait tout à fait leurs bouts de l'un des peignes. Les flocons qui restent à la fin de l'opération, parce qu'ils sont trop courts pour pouvoir être saisis par la main du peigneur, se nomment *blouses*, tandis que la laine peignée se nomme *cœur*.

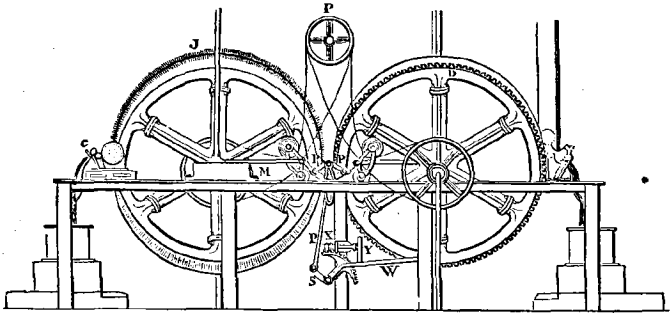
Les blouses ne peuvent être filées comme laines rases à une grande finesse; elles sont réservées pour la fabrication du gros drap.

Quand la laine est finalement tirée du peigne, on la laisse refroidir; on la dispose ensuite en paquets de dix ou douze poignées.

Beaucoup de tentatives ont été faites pour exécuter le peignage de la laine mécaniquement; celle qui parut longtemps être aussi satisfaisante que possible, vu la difficulté, était la peigneuse, qui fut inventée par J. Collier, en 1827, et qui mérite une description sous le rapport de l'intérêt que présente sa conception mécanique, dont le principe paraît avoir été conçu par M. Godart d'Amiens, qui prit un brevet d'invention en 1825, pour une machine analogue, dont il céda la propriété à M. Collier. La fig. 1315 représente le plan; la fig. 1316 une vue de côté, et la fig. 1317 une coupe transversale de cette machine.

Les mêmes lettres indiquent les mêmes parties dans les trois figures.

Fig. 1316.



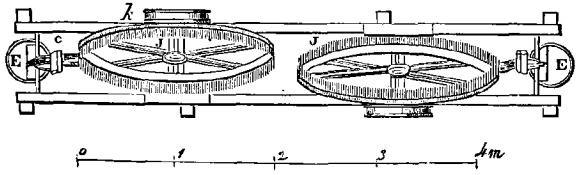


Fig. 1315.

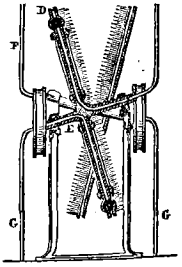


Fig. 1317.

On voit que les peignes se composent chacun d'un grand cercle creux en fonte D, assemblé avec six bras également creux, et réunis à un moyeu commun.

La coupe, fig. 1317, indique que les plans des cercles forment un certain angle avec la verticale, et que l'axe creux E n'est pas horizontal, mais forme un angle d'en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

viron 140 avec elle. Cet axe communique avec la chaudière à vapeur par le tuyau recourbé G, et avec l'air extérieur par le tuyau T; le tuyau G laisse arriver la vapeur dans la jante en passant par 5 bras de la roue afin de chauffer les dents du peigne, le sixième bras laisse échapper la vapeur qui a servi, par le tuyau T. Chaque peigne circulaire porte une double rangée de dents ou broches en acier de forme conique, très-aiguës et implantées dans la jante; la rangée intérieure est moins longue que l'autre, et correspond aux vides de celle-ci. Ces dents ou aiguilles doivent avoir une inclinaison telle, que lorsque les deux peignes sont rapprochés l'un près de l'autre, les dents en contact sont horizontales; de chaque côté des roues se trouvent une paire de cylindres lamineurs et étireurs *c* qui reçoivent la laine qui a été peignée pour la transformer en un ruban continu qui se rend dans le cylindre qui lui sert de récipient.

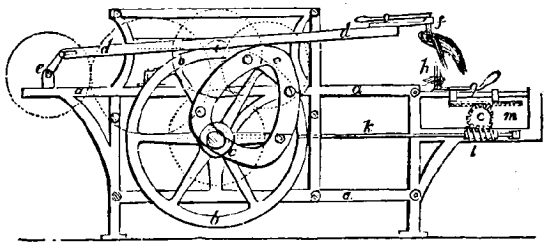


Fig. 1318.

Les deux roues peigneuses sont disposées de manière à pouvoir s'écarter et se rapprocher à volonté, afin de travailler progressivement toutes les parties engagées dans les dents, au moyen d'une combinaison de leviers que l'on voit en M, P, S, W.

Les peignes circulaires reçoivent par conséquent deux mouvements: un mouvement de rotation autour de leur axe par la poulie *k*, qui reçoit elle-même son mouvement de la poulie motrice P; et un mouvement de translation en avant ou en arrière, de manière à se rapprocher ou à s'écarter à volonté. Mais l'axe des roues peigneuses étant incliné, et devant être commandé par une courroie qui doit rester constamment dans un plan vertical, on conçoit qu'il faut une disposition spéciale pour que la poulie de commande *k* reste toujours dans le même plan. Il faut donc qu'elle ne fasse pas corps avec l'arbre; ce qui a lieu au moyen d'un assemblage à rotule.

Pour opérer le *peignage*, on rapproche les roues l'une de l'autre, après avoir garni leurs dents chauffées de laine, et après avoir engrené la poulie motrice *k*; le rapprochement entre les roues a lieu au moyen du volant V, qui agit sur le système de leviers disposés à cet effet. Ce mouvement est réglé de manière à se ralentir à mesure que l'opération touche à sa fin; ce qui arrive après un nombre de tours de roue déterminé pratiquement. Les roues se sont alors enlevé réciproquement leur laine, en la faisant passer dans leur double rangée de dents, ce qui a produit le peignage. Ce travail terminé, on écarte les roues, et on rapproche les chariots qui portent les cylindres lamineurs; un pignon leur communique le mouvement, celui-ci engrène avec une roue disposée à cet effet sur les roues peigneuses, qui reçoivent alors un nouveau mouvement qui sert à faire passer la laine de leurs peignes entre les cylindres étireurs, après que l'on a commencé à y engager une mèche à la main.

On a cherché à construire, en Angleterre, une machine à peigner pouvant servir au travail de la laine et du lin. Cette machine, pour laquelle M. James Noble, filateur à Kalifon, s'est fait breveter en 1834, est représentée en coupe dans la figure 1318.

Le bâti *a a* supporte l'arbre de la roue *b b*, sur des appuis convenables qui se trouvent de chaque côté; sur le devant de cette roue est fixée la roue excentrique en cœur *c c*.

A la partie supérieure de la circonférence de cette dernière roue, un levier *d d* se maintient par son seul poids. L'un des bouts de ce levier est fixé par une articulation à la manivelle *e*. Par la rotation de la manivelle *e*, on voit que le levier *d* glissera, par un mouvement de va-et-vient, sur la partie supérieure de la circonférence de la roue en cœur ou excentrique *c*; le bout extérieur de ce levier *d*, portant le peigne mobile supérieur ou série d'aiguilles *f*, décrira dans son mouvement une courbe elliptique, laquelle courbe dépendra de la position de la roue en cœur *c* qui dirige le bout du levier.

Un cadre mobile *g* porte une série de pointes *h*, qui constituent le second peigne.

La main de l'ouvrier place entre ces aiguilles la laine brute, pour qu'elle soit tirée et peignée par les mouvements du peigne mobile supérieur.

Comme il est important, pour qu'il n'y ait pas de perte, que les bouts de la laine soient d'abord peignés, et que les pointes pénètrent progressivement dans la laine, on commence par reculer aussi loin que possible le cadre mobile *g*, et l'action du levier *d*, pendant toute l'opération, est dirigée par les différentes positions de la roue en cœur, de manière à ce que le peigne supérieur pénètre d'abord peu profondément dans la laine; mais, à mesure que l'opération avance, on rapproche par degrés le cadre du peigne inférieur, et les positions relatives de l'excentrique *c* étant aussi changées par degrés, les aiguilles supérieures peuvent alors être toutes amenées à travers la laine, pour peigner et rendre droites les fibres dans toute leur longueur.

Pour imprimer les mouvements nécessaires à la machine, elle est munie de roues d'engrenage et de pignons montés sur des tourillons fixés au côté du bâti, lesquels roues et pignons sont indiqués dans la figure par des points, afin d'éviter la confusion. Le mouvement est communiqué au moyen d'une courroie passant dans une poulie qui se trouve sur l'axe, lequel axe porte un pignon s'engageant dans une des roues. C'est cette roue qui meut la manivelle *e*, qui fait agir le levier *d*, et c'est aussi de ce même pignon que l'arbre de la roue *b*, portant la roue excentrique *e*, reçoit son mouvement, qui est moins rapide que celui de l'axe de la manivelle.

Au bout de l'arbre de la roue *b* et de l'excentrique *c* est fixé un pignon conique en rapport avec un pignon semblable, qui se trouve sur le bout de la tige latérale *k*; le bout opposé de cette tige est garni d'une vis sans fin *l* s'engageant dans une roue dentée *m*, et cette dernière s'engage dans une crémaillère à la partie inférieure du cadre *g*.

De ce qui précède, il est facile de concevoir que, par les mouvements du système de roues, une impulsion lente est imprimée au cadre *g*, par suite de laquelle les pointes inférieures portant la laine sont avancées progressivement pendant l'opération, et que l'excentrique reçoit un mouvement de rotation, qui donne différentes directions aux coups du levier qui glisse sur sa circonférence et au peigne mobile, de manière à ce qu'il opère par degrés sur la laine à mesure qu'elle lui est présentée.

La construction des cadres qui contiennent les aiguilles et la manière de les fixer dans la machine n'offrent rien d'important à remarquer.

Ces tentatives, qui n'ont conduit qu'à des résultats

EFERUS - Recherche & Classification numérique

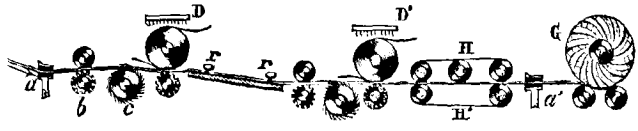
évidemment insuffisants, montrent combien on était loin de la belle invention de Heilmann, de sa PEIGNEUSE (Voy. *Complément*), dont l'introduction dans l'industrie des laines peignées a été un immense progrès. Mais précisément parce que cette belle machine rend en ruban la matière qu'elle a reçue en cet état, le peignage n'est plus la première opération de la filature. Nous allons décrire leur succession, en faisant un emprunt sur ce sujet à l'intéressant livre de Poiré d'Amiens. (*La France industrielle.*)

Cardes et défeutreur. La laine, après avoir reçu une certaine quantité d'huile d'olive qui a pour but de la lubrifier et de faciliter son glissement dans les machines, subit un cardage destiné à commencer le parallélisme des fibres, à l'ouvrir et à l'épurer des matières étrangères. La carde à laine peignée n'est point munie de chapeaux comme les cardes à coton ; le grand tambour est entouré sur toute sa surface de paires de cylindres plus petits tournant en sens contraire et appelés l'un travailleur et l'autre nettoyeur. (Voir plus loin, à LAINES CARDÉES, la description détaillée des cardes à laine.) Le tambour prend les filaments aux cylindres alimentaires et les amène à la rencontre d'un travailleur qui commence à les peigner ; mais dans cette rencontre une certaine quantité de brins sont restés entre les dents du travailleur : ces brins sont repris par le nettoyeur, qui les rend lui-même au tambour. De proche en proche la laine arrive vis-à-vis d'un cylindre de cardes, nommé volant. La garniture de ce cylindre est armée de dents plus souples qui, pénétrant dans la denture du tambour, ramènent à la surface les filaments entrés plus ou moins profondément dans les intervalles des dents, et un dernier travailleur reprend au tambour la laine qu'elle lui présente. Un peigne battant détache les filaments sous forme d'une nappe qui se transforme en ruban comme dans les cardes à coton. Ce ruban ainsi formé se compose de filaments ayant subi un commencement de parallélisation, avec l'inconvénient de la carde que nombre de fils se sont repliés autour des dents, et renferment encore des nœuds, des boutons et des filaments courts qu'il faut en extraire : c'est l'opération du peignage qui devra terminer l'opération. Pour diminuer le déchet qu'occasionne le peignage, il importe de préparer mieux encore le ruban.

Cette préparation se fait à l'aide de machines dans esquelles la laine subit à la fois des doublages et des étirages. La première machine est le défeutreur. Elle est analogue aux machines d'étirage employées pour le coton, mais elle a subi des modifications nécessitées par la nature des filaments. En raison de leur longueur supérieure à celle des brins de coton et de leur tendance à se contourner, on a disposé entre les deux paires de cylindres lamineurs et étireurs des peignes cylindriques dont les dents entrant dans les rubans isolent les fibres, les empêchent de se recourber et les présentent aussi droites que possible à l'action des cylindres étireurs. Les figures 1319 et 1320 montrent le détail du travail d'un défeutreur étireur. Deux rubans provenant de bobines placées sur un râtelier traversent les entonnoirs placés à gauche sur les figures, passent entre des cylindres dont l'un est cannelé, de là sur un peigne cylindrique c, ensuite entre les étireurs. Après ce premier étirage, ils se doublent en venant se confondre sur une table rrr, subissent l'action d'un système d'étirage semblable au précédent, et le ruban unique, après s'être laminé entre deux toiles sans fin H H', passe dans l'entonnoir a' pour aller s'enrouler sur la bobine G.

Peignage de la laine. C'est alors qu'intervient la peigneuse Heilmann, appelée souvent dans l'industrie peigneuse Schlumberger, du nom de son habile construc-

Fig. 1319.



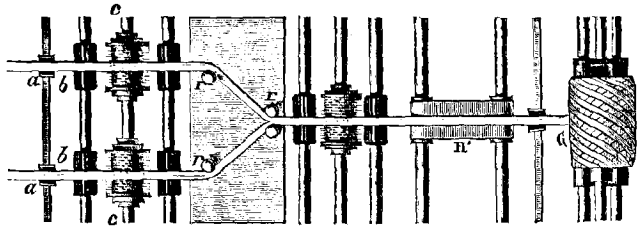


Fig. 1320.

teur d'Alsace. Nous donnerons ici seulement le détail des modifications apportées à la machine primitive pour l'appliquer au travail de la laine (Voy. PEIGNEUSE HEILMANN, *Complément*), et surtout la manière de maintenir et de faire progresser le ruban.

Les rubans de laine provenant des bobines placées derrière la machine sont engagés, au commencement de l'opération, dans une boite B, plate et à jour, formée par la superposition à petite distance de deux plaques de fer dans lesquelles on aperçoit des fentes disposées parallèlement et dans le sens de la longueur. On voit sur la figure que la laine entre par la partie supérieure de la boite ; elle en sortira par une autre ouverture parallèle et formée, comme l'ouverture d'entrée, par l'intervalle que laissent entre elles les deux plaques, qui sont ajustées de manière que les fentes de chacune soient en face des fentes de l'autre. Près de cette boite et au-dessus d'elle est une plaque A, munie d'autant de rangées de dents qu'il y a de fentes dans la boite précédente. Cette plaque est animée d'un mouvement de bascule qui fait entrer ses dents dans les fentes de la boite et les en fait sortir alternativement. L'ensemble formé par la plaque et par la boite est aussi animé d'un mouvement de va-et-vient qui le fait glisser sur une tablette de fer R (fig. 1321) et le porte tantôt en avant, tantôt en arrière de la machine. Enfin, un peu en avant de la boite se trouve disposée une pince P qui est parallèle à son bord inférieur et dont les mâchoires, garnies de caoutchouc, peuvent s'ouvrir et se fermer alternativement.

Avant d'aller plus loin dans la description de cette admirable machine, voyons comment elle s'alimente elle-même et comment la laine y entre peu à peu pour venir à sa sortie se présenter aux organes qui doivent la peigner. Au début de l'opération, on engage les rubans de laine dans la boite de manière à les faire sortir et pendre un peu en dehors de cette boite, que nous supposerons à l'arrière de sa course. En ce moment les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dents de la plaque A entrent dans la boîte et, par suite, traversent les rubans qu'elle renferme; si la boîte se

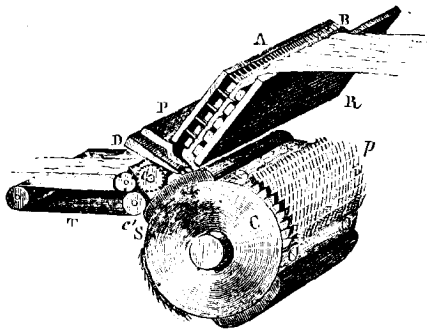


Fig. 1321.

porte d'arrière en avant, les rubans retenus par les dents la suivront dans son mouvement et feront tourner les bobines qui laisseront dévider une petite quantité de laine. Arrivée en avant, à l'extrémité de sa course, la boîte présente la portion de laine qui pend au-dessous de son ouverture inférieure à l'action de la mâchoire; celle-ci se ferme (fig. 1321), laissant pendre en dehors d'elle l'extrémité des rubans qui va être peignée. Supposons maintenant que la boîte se reporte d'avant en arrière, et qu'avant de commencer ce mouvement la plaque A bascule de manière que ses dents sortent des fentes où elles s'étaient engagées: il est évident que, les rubans ne pouvant retourner en arrière, puisque leur extrémité est prise dans la pince, et se trouvant libres par la sortie des dents de la plaque A, la boîte va glisser le long de ses rubans et avaler en quelque sorte la quantité de laine qui s'est dévidée des bobines au mouvement précédent, pendant qu'une quantité égale sortira par l'ouverture inférieure.

Voyons maintenant comment s'effectue le peignage. Au-dessous de la mâchoire se trouve un cylindre C horizontal, dont la surface est formée par des segments alternés, les uns garnis de dents, les autres de cuir, et laissant entre eux des intervalles vides; ce cylindre est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe. Pendant que l'extrémité du ruban serrée entre les mâchoires de la pince pend en dehors d'elle, un segment denté *p* (fig. 1321 *bis*) vient la peigner et lui prendre les

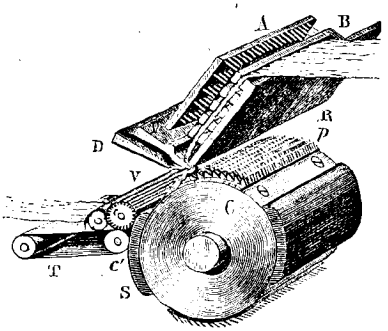


Fig. 1321 *bis*.

boutons et les filaments courts. Quand le segment a passé, la mâchoire s'ouvre et la partie peignée, appuyée sur le segment en cuir S, se trouve en présence de deux cylindres *c*, *c'* qui tournent en sens inverse et dont l'un est cannelé; ces cylindres saisissent dans leur intervalle les brins peignés, les entraînent dans leur mouvement de rotation et les déposent sur un tablier sans fin T, situé en avant d'eux et qui tourne d'un mouvement continu. Avant que toute une mèche arrachée par les cylindres soit passée sur le tablier sans fin, une autre mèche vient se superposer sur la partie postérieure de la précédente, se soude à elle, et, à la sortie des cylindres, ces mèches successives constituent un ruban continu qui, après avoir passé dans un entonnoir, s'engage entre deux cylindres lamineurs chargés de le verser dans un grand pot de tôle situé sur le devant de la machine.

Ajoutons qu'au moment où les cylindres saisissent la mèche peignée et entraînent ses filaments, il pourrait arriver que l'extrémité postérieure de ceux-ci encore engagée dans la partie non peignée du ruban entraînât avec eux des boutons. Pour éviter cet inconvénient, un peigne rectiligne D se présente à eux et arrête les boutons qu'ils emportent.

On comprend que, pendant que la pince est restée ouverte, la boîte d'alimentation dont nous avons parlé a reculé, a descendu un peu, et une nouvelle longueur de ruban est venue se placer entre ses mâchoires qui se referment, et ainsi de suite.

Quant au peigne C, qui par son travail se remplirait bientôt de filaments courts et de boutons, il est nettoyé par une brosse cylindrique placée à la partie inférieure qui les lui prend et les cède à un cylindre muni d'une garniture de carde. Celui-ci en tournant les présente à un peigne battant, d'où ils tombent sur un plan incliné chargé de les conduire dans une boîte située au-dessous de la machine.

Peigneuse Donisthorpe-Holden. Le désir d'avoir une machine produisant plus a fait chercher une autre solution du problème: une machine agissant d'une manière continue. C'est à ce résultat qu'était parvenu, vers 1851, M. Donisthorpe en perfectionnant le système Noble, mais il faut ajouter, surtout en profitant de la solution d'Heilmann en un point capital. Nous ne saurions mieux faire, pour établir ce point essentiel dans l'histoire d'une invention qui joue un grand rôle dans les progrès de la belle industrie des laines longues, que de rapporter le passage suivant du grand ouvrage de Poncelet, sur l'histoire des inventions, qui élucide la question avec une précision, une fermeté qui n'appartiennent qu'à cet illustre savant.

Afin de se convaincre, dit-il, de l'identité, du moins quant au principe, des peigneuses Heilmann et Donisthorpe, il suffit de faire remarquer que la machine exposée par ce dernier à Londres, en 1851, se compose de deux parties distinctes: l'une, déjà anciennement connue en Angleterre et en France, dans laquelle on aperçoit une grande roue ou couronne horizontale à rotation très-lente, contenant plusieurs rangées circulaires de peignes ou d'aiguilles étagées en hauteur et en grosseur, du centre à la circonférence; roue chargée, sur une portion quelconque de son pourtour, de la laine déjà peignée, qui y arrive continuellement en l'un de ses points, par petites portions, au moyen de la seconde partie de la machine, mais dont cette roue est délivrée au fur et à mesure par un couple de cylindres parallèles étireurs qui lui enlèvent du dehors les fibres longues, pour en former un ruban continu à la manière ordinaire, tandis qu'un autre système débourreur et à brosse cylindrique tournante, agissant un peu plus loin, mais intérieurement à la couronne de la grande roue, débarrasse les sérans des courtes fibres ou blouses restées entre les aiguilles, à peu près comme cela avait lieu dans l'ancienne peigneuse de John Collier, dans laquelle la laine longue et la blouse étaient primitivement enlevées à la main par des enfants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'autre partie de la machine Donisthorpe ou Lister, beaucoup plus intéressante par sa nouveauté et sa ressemblance, quant au but, avec celle de Heilmann, présente une table à étaler suivie de rouleaux cannelés alimentaires, qui font arriver la mèche, le ruban de laine, entre les aiguilles mobiles d'un peigne à vis jumelle du système Westley, d'où ensuite ce ruban est attiré et maintenu sur la partie supérieure, plane, d'un cuir sans fin, au moyen d'un grand cylindre ou tambour, également cannelé, roulant sur cette partie mobile, et glissant sur la large tête cylindrique d'un levier ou secteur presque vertical, à contre-poids de recul, susceptible d'osciller, de tourner d'une certaine quantité autour d'un axe horizontal inférieur, de manière à entraîner, dans ce léger déplacement, tout le cuir sans fin qui enveloppe aussi, vers le bas du secteur, le contour extérieur d'un galet concentrique à cet axe fixe et horizontal.

Supposant, en outre, le cylindre cannelé muni d'un butoir radial repoussé du dedans au dehors par un ressort à boudin, on verra sans difficulté que ce butoir, venant successivement, et à des intervalles réglés par le jeu de la machine, pincer la mèche en avant du cuir ou près du peigne à vis, dont la marche progressive est dès lors suspendue, la fixera en ce point même du cuir, et, par suite, l'arrachera du peigne en vertu des mouvements simultanés du cylindre cannelé, du butoir-pince et du cuir sans fin entraîné avec le levier oscillant qui en soutient la tête ou partie plane élevée. Dès lors, cette portion détachée de la mèche, déjà peignée en un sens ainsi que toutes ses semblables, est bientôt aussi détachée du cuir par la rotation simultanée du tambour cannelé et du secteur oscillant, pour être ensuite saisie et enlevée au moyen d'un autre levier ou bras à bascule, armé de deux larges brosses tournantes, qui viennent la déposer alternativement sur le grand peigne circulaire et horizontal à étironneuses mentionné ci-dessus, où elle est de nouveau peignée et séparée de la blousse, etc.

Toute cette dernière partie, en effet, est conforme à la patente de 1850, commune à MM. Donisthorpe et Lister; mais elle se trouvait déjà bien simplifiée dans la machine exposée à Londres, en 1851, et construite principalement d'après le système de la patente délivrée à M. Lister dans le mois de février de la même année: le secteur vertical de soutien du cuir, la roue de pression remplissant la fonction de butoir, ainsi que le levier à brosse, y étaient notamment remplacés par un simple levier à fourche oscillant, d'une disposition à peu près verticale, et servant à enlever par portions, successivement détachées, la laine au système alimentaire, pour la livrer ensuite à la roue horizontale à sérans, au moyen d'une combinaison de leviers articulés, de pièces à mouvement excentrique ou de bascule assez difficile à décrire.

Mais en voilà assez pour faire comprendre et reconnaître, avec le tribunal de Londres chargé d'établir la comparaison entre les deux genres de peigneuses, que, si les combinaisons mécaniques sont en réalité très-différentes, le but et le principe fondamental sont au contraire les mêmes, attendu qu'il y a peignage, étirage ou arrachage en avant, à l'aide d'une pince ou butoir mobile, étirage et peignage en sens contraire, par des cylindres étironneurs qui séparent la longue laine de la blousse, etc. Aussi les jurés anglais, pensant avec raison qu'une nouvelle idée, qu'un nouveau principe en fait de machines-outils, sont en eux-mêmes plus importants que leurs accessoires ou moyens de réalisation et que les perfectionnements divers auxquels ils peuvent donner lieu ensuite, ont-ils accordé à la demande de M. Heilmann fils, continuateur intelligent de son père, un verdict entièrement favorable contre M. Donisthorpe, exposant à Londres, et contre M. Lister, propriétaire, dit-on, de la dernière peigneuse, dont, comme on l'a vu, la date ne remonte pas au delà de l'année 1850. Toute l'industrie européenne était dans l'attente de la décision de la justice anglaise, qui fut universellement acclamée comme équitable, comme faisant honneur à la loyauté de l'industrie de l'Angleterre.

Complétons cet intéressant historique en montrant que la reconnaissance du droit n'a pas été une cause de ruine pour les propagateurs de l'invention rivale. MM. Lister et Holden, après avoir éteint l'action des héritiers Heilmann en achetant les droits de ceux-ci (au prix de 1,200,000 fr.), se sont faits peigneurs à façon, à Saint-Denis d'abord, puis à Reims et à Roubaix. M. Holden, resté seul, produit 12,000 kilogrammes de laine peignée par jour, à Reims, et 8,000 à Croix, près Roubaix.

Il construit dans ses ateliers ses peigneuses et cherche sans cesse à les perfectionner, sans leur faire perdre le cachet de produire beaucoup, en restant fidèle à la disposition primitive. Voici, en effet, ce que nous trouvons dans l'ouvrage de M. Turgan, qui les a vues à Reims: Ces machines nous ont paru essentiellement composées d'un peigne circulaire à dents hérissées verticalement, et sur lequel l'alimentation vient se faire au moyen de grands bras articulés, qui apportent et laissent entre les dents l'extrémité du ruban de laine préparé par la carde et l'étirage; un appareil divisé composé de peignes et de brosses sépare de la blousse le cœur qui est recueilli dans des pots en tôle; un gill-box complète le travail en parallélisant les fibres. La laine peignée s'engage, immédiatement au sortir du gill-box, dans une lisseuse-dégraisseuse très-simple.

Quelques mots sur l'organisation de ces ateliers qui ont inauguré une division du travail d'abord fort contestée. Leur succès a prouvé que le peignage bien fait et à bon marché rendait la fabrication tellement simple et sûre, qu'il y avait avantage à le confier à des entrepreneurs employant toujours les machines les plus parfaites, dirigeant les ouvriers les plus capables, exclusivement livrés à un travail spécial.

Chez M. Holden, les laines envoyées par chaque client sont triées; chaque ballot, chaque paquet reçoit un papier timbré d'un numéro qui suit la laine pendant tout le temps de son traitement. A la fin, lorsque la dernière mèche a été peignée, on arrête toutes les machines d'un assortiment, la fabrique étant divisée en assortiments bien distincts, le cœur et la blouse sont réunis, les balles reformées et reportées chez le client.

Dégraissage. Avant de passer à la filature en fin de la laine peignée, il est nécessaire de la dégraisser, c'est-à-dire de la débarrasser de l'huile dont elle a été imprégnée dans l'ensimage. Le moment choisi pour le dégraissage n'est pas le même dans tous les établissements: tantôt on y procède après le cardage, tantôt après le peignage.

Quoi qu'il en soit, il faut qu'avant la filature la laine subisse un dégraissage énergique, afin qu'aucune trace d'huile ne vienne dans le tissu final faire tache et altérer les couleurs.

Outre ce dégraissage, il convient, pour rendre la laine apte à être filée, de dresser et lisser ses filaments, de s'opposer à leur tendance naturelle à se friser, à se feutrer et à se contourner.

C'est pour exécuter cette double opération du dégraissage et du lissage que l'on emploie actuellement les machines dites *lisseuses*.

Avant l'emploi de ces machines, les rubans de laine après avoir été peignés ou préparés, soit à la main, soit à la machine, étaient dégraissés et lavés isolément, soit en tresses, soit en écheveaux, puis séchés dans cet état, travail très-dispendieux qui avait l'inconvénient d'emmêler la laine après le peignage et de la feutrer toujours plus ou moins.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ensuite, pour la dresser et la lisser, on avait recours à divers moyens, tels que le tortillonage pour forcer la laine à s'étendre et perdre son élasticité naturelle et le passage à la vapeur libre.

Mais tous ces procédés détérioraient quelque peu la laine et ne la rendaient jamais parfaitement lisse. Aussi ont-ils été partout remplacés par la lisseuse, qui comprend cinq parties principales :

1° Un râtelier alimentaire;

2° Un dégraissoir-laveur formé de deux bassines étagées et de rouleaux-presseurs;

3° Une paire de forts cylindres extracteurs;

4° Un système de quatre cylindres-sécheurs chauffés à la vapeur;

5° Un cannelier récepteur.

Tous les organes mobiles sont solidaires dans leurs mouvements, qui proviennent d'une même et unique poulie motrice. Les engrenages de transmission sont calculés pour établir les rapports de vitesse produisant la tension proportionnelle au degré voulu de lissage des brins. Les pressions sont graduées d'après les effets respectifs qu'elles ont à produire dans le dégraissage, le lavage et le dressage de la laine.

Le râtelier alimentaire étant chargé de bobines de laine fournies par les cardes ou les peigneuses, les rubans progressent mécaniquement et traversent la première bassine où ils sont pressés successivement dans l'eau savonneuse par les rouleaux-presseurs.

La dernière paire de rouleaux exprime, d'une manière énergique, l'eau de savon dont les rubans sont imprégnés. Ceux-ci entrent alors dans la seconde bassine où ils sont comprimés par d'autres rouleaux-presseurs; ils sont lavés et rincés dans de l'eau légèrement savonneuse pour terminer leur dégraissage.

De là, les rubans s'engagent entre les rouleaux-extracteurs qui, par une pression de 5 000 à 6 000 kilogrammes, expulsent le liquide, et les transmettent aux quatre gros cylindres-sécheurs. Ces cylindres sont chauffés à la vapeur, et les rubans passant sur leur pourtour se sèchent au fur et à mesure qu'ils avancent vers le cannelier, où ils se renvident sur de fortes bobines, qui, en même temps qu'elles tournent sur elles-mêmes avec une vitesse uniforme à leur circonférence, reçoivent un mouvement rectiligne de va-et-vient dans la direction de leur axe, de manière à effectuer un envidage convenable.

Étirage de la laine. La laine étant préparée au peigne comme nous venons de l'indiquer, il faut continuer ses transformations jusqu'à ce qu'elle soit arrivée à l'état de fil cylindrique, d'une ténuité voulue et définie à l'avance, d'une longueur qui n'est limitée que par la vitesse de l'appareil sur lequel il est destiné à être enroulé, et d'une homogénéité parfaite, présentant par conséquent la même ténacité sur tous les points de sa longueur.

Les matières textiles ne peuvent atteindre ce but que par des préparations successives convenablement ménagées, de manière à n'agir que graduellement sur le ruban, qui ne peut être converti en fil parfait qu'après avoir passé par un certain nombre de grosseurs déterminées, allant en diminuant depuis le ruban élémentaire, produit après le peignage de la laine ou le cardage du coton, jusqu'au fil en fin obtenu, en général, par le métier dit Mull Jenny.

Cette seconde espèce de préparation s'exécute au moyen de deux paires de cylindres métalliques animés d'une vitesse différente, remplaçant, comme on sait, les doigts de la fileuse, et entre lesquels on fait passer le ruban, qui s'y trouve légèrement comprimé par une pression qui agit sur les axes des cylindres supérieurs.

Le ruban engagé entre ces cylindres est obligé de se mouvoir avec leur vitesse, et par conséquent de s'allonger, si la paire de cylindres par laquelle le ruban se dégage marche plus vite que celle par laquelle il entre; et en répétant successivement ce travail, le ruban s'étire indéfiniment, si on a soin à chaque fois d'en ajouter de nouveau, afin de le consolider et d'empêcher la rupture, d'obtenir l'uniformité par la multiplicité des doublages, qui amènent à une compensation absolue des irrégularités que la perfection des machines et les soins de l'ouvrier tendent à limiter. (Voyez pour tous les détails, *Étirage* de l'article COTON.)

Quoique les étirages de la laine peignée tendent au même but que celui du coton, les machines employées doivent recevoir une modification basée sur les différences des caractères naturels de ces matières premières.

La laine, quoique choisie pour le peigne, présentant toujours une certaine résistance à se développer complétement, à cause de la tendance qu'ont les fibres à se contourner, il est important qu'elles se présentent aussi droites que possible à l'action des cylindres, qui doit les condenser dans cet état et les allonger encore; et comme ces filaments ont une longueur sensiblement plus grande que ceux du coton, ils pourraient se recourber et se présenter irrégulièrement aux cylindres étireurs, s'ils n'étaient rangés convenablement, maintenus et présentés parallèlement à l'action des cylindres étireurs.

Ce résultat s'obtient (comme on l'a vu déjà) en disposant des peignes métalliques entre les deux paires de cylindres; ces peignes, dont la forme peut être variable suivant la disposition des bancs à étirer, sont aujourd'hui généralement de petits cylindres armés d'aiguilles ou broches aiguës inclinées, dont la finesse et le nombre de dents va en augmentant, à mesure que l'opération arrive à sa fin, pendant que le diamètre du cylindre du peigne va, au contraire, en diminuant. On voit, en un mot, que la grosseur des peignes est en raison inverse du nombre et de la finesse des dents, qui sont eux-mêmes inversement proportionnels aux diamètres des rubans.

L'espacement des deux paires de cylindres, leurs pression et grosseur doivent être déterminées par des considérations analogues à celles qui guident pour le travail du coton; car, ainsi que nous venons de le dire, sauf l'emploi du cylindre garni d'aiguilles, l'appareil est semblable à celui employé dans le même but pour le coton.

Les établissements les mieux montés se servent ordinairement de cinq machines à étirer, garnies de six paires de cylindres chaque : la dernière ne servant qu'à guider le ruban à sa sortie, et à continuer son laminage, peut avoir la même vitesse que la seconde paire, de manière à ce que les quatre premiers rubans se forment en un à la sortie de la première machine ou défeutreur; la seconde reçoit quatre rubans composés de quatre chacun, de sorte que le ruban unique qui en sort se trouve composé de $4 \times 4 = 16$, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière; on double des quantités considérables de fois comme pour le coton. Il n'est pas rare d'arriver à produire définitivement un fil d'une ténuité telle que 1 kilogramme de matière produit une longueur de 100 000 mètres, qui est composé lui-même d'un million de rubans primitifs formés, à leur tour, par la réunion d'une quantité innombrable de filaments de chaque.

Filature en fin. — Lorsque la laine a été doublée, étirée en passant par toutes les machines composant l'assortiment, le ruban s'est tellement aminci, qu'on ne pourrait continuer à le travailler sans le rompre si l'on n'augmentait sa cohésion, ce qu'on obtient tantôt par une légère torsion imprimée au ruban, comme cela se pratique au moyen des bancs à broches employés pour le coton; tantôt en soumettant le ruban en même temps à un frottement de roulement sur sa grosseur, et à un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frottement de glissement sur sa longueur. Ce dernier moyen a été souvent appliqué à la laine peignée, de préférence à celui de la torsion, dans la crainte que cette opération ne prédispose au feutrage qu'on a tant intérêt à éviter.

Le filage en fin peut se faire au métier continu pour les laines longues et seulement au métier Mull-Jenny ou au self-acting pour les laines dites mérinos, métiers décrits à l'article COTON. On ne fait subir à ces machines que de légères modifications, telles que des écartements entre les cylindres proportionnels à la longueur des fibres de la matière première, et plus grands, par conséquent, dans les Mull-Jenny pour la laine que pour ceux du coton; quant à l'étirage qui, dans les autres industries textiles, a lieu tantôt en partie par les cylindres, et en partie par l'accélération de vitesse du chariot, il se fait généralement pour la laine peignée, par la différence de vitesse des cylindres seulement, le mouvement du chariot restant constant.

M. Villeminot-Huard, de Reims, construit et fait fonctionner avec succès dans ses ateliers de magnifiques métiers self-acting de 900 broches. Le chariot est à courbe parabolique avec une forte nervure au milieu allant en diminuant vers les extrémités. Ces métiers ont une grande rigidité bien que leur longueur atteigne 40 mètres. Les broches marchent par engrenages. Cet exemple montre combien le travail de la laine longue se rapproche de celui du coton; aussi obtient-on avec cette substance des fils d'une grande finesse, qui servent à fabriquer des étoffes que l'on désigne souvent sous le nom générique de cachemires, l'étoffe de l'Inde étant un type de douceur et de finesse.

Dévidage. Le dévidage, qui se pratique après le filage, tout en disposant le fil sous une forme plus convenable pour sa mise en œuvre ou en paquets, en transformant les bobines ou broches en écheveaux, sert en même temps à vérifier si le fil a été produit au titre ou aux numéros voulus, c'est-à-dire si le rapport demandé de la longueur au poids a été observé.

L'unité qui est employée pour terme de comparaison, basée sur le système métrique dans certaines industries, comme dans celle du coton, par exemple, où le numéro indique la longueur ou nombre de 1000 mètres à laquelle un kil. a été filé, cette unité, malgré sa simplicité et sa régularité, n'a pu triompher des anciennes habitudes conservées dans bien des industries; pour la laine peignée qui nous occupe, le numéro indique combien il y a de longueurs de 700 mètres qui est la longueur d'un écheveau, par 500 grammes: ainsi donc le n° 100 est un fil tel que 500 grammes de ce fil doivent avoir une longueur égale à 100 fois 700 mètres (longueur de l'écheveau), ou 70,000 mètres.

En Angleterre, l'unité de poids est la livre et l'unité de longueur le yard, et l'écheveau, pour la laine peignée, a une longueur de 560 yards.

Le numéro indique le nombre d'écheveaux: ainsi le n° 24, par exemple, indiquerait que 1 livre de poids anglaise contient 24 écheveaux qui ont une longueur de 560 yards chacun, ce qui donnerait pour la livre 13,440 yards.

Le dévidage français ou anglais se fait toujours d'après les mêmes principes.

La circonférence de la machine à dévider a un développement égal à l'unité, et sur son axe se trouve un compteur communiquant à un timbre qu'une détente fait sonner après un nombre de révolutions déterminé qu'on nomme un *son*.

La longueur de l'écheveau est mesurée par un nombre de *sons* également déterminé; si le fil a été produit au titre voulu, et si l'ouvrière n'a pas fait d'erreur, il faut que son dévidage corresponde parfaitement au rapport entre le poids et la longueur qu'on lui avait désigné.

Étoffes en laine peignée. — Le travail de la laine peignée en se perfectionnant, en produisant des fils fins, soyeux, élastiques, a été le point de départ de la création d'un grand nombre de tissus extrêmement remarquables qui ont fait le plus grand honneur à l'industrie française, car ils sont dus presque tous à l'esprit créateur de nos fabricants. Leur caractère principal est d'être des étoffes légères, tandis qu'autrefois les étoffes de laine étaient à peu près toutes lourdes et chaudes comme les draps, et d'être soyeuses, de se rapprocher des étoffes de soie.

Nous citerons ici seulement les tissus qui donnent lieu aux fabrications les plus considérables et qui se distinguent de celles dont nous allons étudier ci-après la fabrication, en ce qu'elles ne sont pas foulées ou sont très-légèrement foulées: les mérinos, étoffe croisée en laine peignée; la mousseline-laine, toile de laine, à chaîne-coton le plus souvent, servant aux impressions; les reps, les tartans, les barèges, les châles, les flanelles, les molletons et étoffes légèrement foulées, les étoffes peignées-cardées, obtenues par un mélange de fils peignés et de fils cardés, etc., etc.

FABRICATION DES LAINES CARDÉES.

Travail des laines courtes, dites laines à carde. — Le fil qu'il faut produire pour la fabrication de la draperie a besoin de bien moins de préparations que celui des laines à peigne pour étoffes lisses.

Battage. — Le premier travail auquel on soumet la laine consiste dans un battage mécanique pour la débarrasser des corps durs et des impuretés qu'elle peut contenir, et aussi pour rendre en même temps aux filaments l'élasticité qu'ils ont pu perdre, soit par leur compression en balles, soit par leur immersion dans la matière tinctoriale.

Ce battage se répète quelquefois deux fois dans une machine cylindrique ou conique, armée de dents auxquelles est livrée la matière au moyen d'une paire de cylindres délivreurs qui l'ont prise d'une toile sans fin, sur laquelle l'ouvrière a soin de répandre la laine en couche d'égale épaisseur.

Louvetage. — A la sortie de la machine à battre ou *batterie*, la laine est passée au *loup*.

Cette machine ne diffère de la première que par un plus grand nombre de dents, ou par une plus grande vitesse qu'on lui imprime.

La fig. 1322 donne une coupe verticale de la machine et la fig. 1323 le plan du cylindre F.

La machine se compose d'un cylindre F, armé d'un certain nombre de rangées de dents *e,e,e*, disposées obliquement à l'axe du cylindre, afin de mieux saisir la laine et de ne pas en laisser échapper; *c, d*, est une paire de cylindres garnis de cardes qui reçoivent la laine de la toile sans fin T.

M, D (fig. 1322), rangées de dents disposées sur un fond concentrique au cylindre F, entre lesquelles la laine est obligée de passer pour être travaillée.

E, caisse percée de trous pour laisser échapper les corps étrangers.

L, ouverture par laquelle la laine est chassée en vertu de la force centrifuge après avoir été parfaitement ouverte, c'est-à-dire après que les nœuds et les entrelacements ont disparu.

Graissage. — Après avoir soumis la laine à un premier louvetage, il faut la lubréfier avec une forte proportion d'huile qui varie du 1/4 au 1/5 du poids de la laine, suivant sa finesse, sa nature et les localités. On employait généralement de belles huiles d'olives pour les draperies que l'on fait à Sedan, en Normandie et dans le Midi. Les huiles de graines étaient employées pour les étoffes plus communes, mais il en faut alors une proportion plus forte, et le dégraissage est plus difficile encore que lorsqu'on a employé les huiles d'olives; on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comprend que la matière grasse qui n'a été introduite que pour neutraliser l'effet des aspérités, et pour faciliter le glissement des fibres au filage, et à ses préparations doit disparaître tantôt avant et tantôt après le tissage, suivant que la laine est déjà teinte, ou qu'on doit la teindre en fil ou en pièce; l'opération de la teinture ou des apprêts serait impossible sans cela.

On avait cherché pendant longtemps à s'affranchir de cette opération très coûteuse du graissage, non seulement à cause de la dépense, l'huile étant entièrement perdue, mais aussi à cause des difficultés et de la perte de temps que présentait l'opération du dégraissage; les huiles végétales étant insolubles dans les alcalis, ne s'enlèvent que par une opération mécanique, longue, coûteuse et pouvant détériorer le tissu. Ces huiles végétales ont de plus l'inconvénient de fermenter facilement, surtout en présence de la laine condensée et humide, comme cela n'a lieu que trop souvent dans les usines, d'où ont malheureusement fréquemment résulté des incendies dus à une combustion spontanée.

C'est pour remédier à tous ces inconvénients, que MM. Alcan et Péligot ont cherché à propager la substitution de l'acide oléique convenablement épuré, à tous les anciens modes de graissage; son onctuosité le rend très propre à cet usage. Son caractère acide met la laine à l'abri de la fermentation, si dangereuse, et le rend soluble dans les alcalis; on obtient alors au dégraissage un savon liquide qui peut être utilisé ultérieurement au foulage.

Nous ne mentionnons succinctement ce procédé, que pour n'oublier aucun progrès de la spécialité dont nous nous occupons; ce nouvel emploi étant aujourd'hui universellement répandu dans l'industrie des laines, quoique le progrès ait été lent, comme pour la propagation de toutes les nouvelles applications. Il n'est cependant pas une localité industrielle tant en France, qu'en grande partie à l'étranger, où les maisons les plus importantes n'en fassent usage.

Lorsque la laine à filer a été graissée par couches, et aussi régulièrement que possible, on lui fait ordinairement subir un second louvetage pour continuer l'effet produit par le premier; on la porte ensuite aux cardes.

Cardage. — Il a le même but pour la laine que pour le coton; nous renverrons donc à la définition donnée dans cet article. Les machines à carder la laine diffèrent cependant de celles pour le coton, par la substitution de cylindres aux chapeaux décrits dans la carde à coton.

La disposition (fig. 1324) représente la partie modifiée de la carde; on voit à la place des chapeaux mentionnés, les cylindres *a* et *b*, répétés un plus ou moins grand nombre de fois; ordinairement ces cylindres sont au nombre de cinq, disposés sur la demi circonférence supérieure du gros cylindre ou tambour.

Leurs fonctions sont les suivantes :

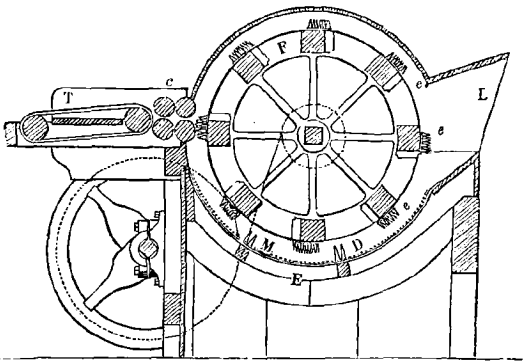
Le cylindre *a*, a un mouvement et les dents disposées en sens inverse du mouvement et des dents du gros tambour, de manière à lui enlever la laine qui lui a été fournie par les cylindres délivreurs *c*,*c*, auxquels la toile sans fin l'a amené.

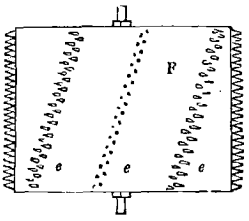
Le cylindre *b*, plus petit que *a*, et marchant plus vite a un mouvement, et la direction de ses dents, par rapport à celle du cylindre *a*, et de celle du gros tambour, de façon à dépouiller le premier de sa laine pour la restituer au second, et la faire reprendre ensuite de la même manière par les cylindres suivants jusqu'au dernier.

Les cylindres *a*, sont nommés *travailleurs*, et les cylindres *b*, *nettoyeurs* ou *débourreurs* à cause de leurs fonctions; on voit, en effet, qu'ici il n'y a plus de chapeaux à débourrer.

A la suite du cylindre que nous venons de décrire est disposé, à une distance un peu plus éloignée, un cylindre *k*, d'un diamètre plus grand, garni de dents de cardes presque droites et se mouvant avec une plus grande vitesse. Ce cylindre, auquel on a donné le nom de *volant*, à cause de sa vitesse, a pour fonction d'amener la laine cardée des racines aux pointes des dents, à mesure que le gros tambour, dans sa révolution, en présente, de manière à faciliter son dépouillement qui est opéré par le peigneur cylindrique *e*, d'où elle passe dans un petit tube ou sifflet conique, qui reçoit un mouvement de rotation pour donner un léger tors

1322.





1323.

à la laine, avant de la faire enrouler sur des cylindres *o*,*o*, après son passage entre deux cylindres lamineurs qui l'égalisent.

La fig. 1325 représente une légère modification dans la manière de détacher le fil; un petit cylindre *h*, détache la laine du gros peigneur *f*, et la fait passer dans le sifflet et entre les petits cylindres lamineurs *m*,*n*, d'où elle passe sur le cylindre *t*, en passant par le cylindre *z*. La fig. 1326 est un plan de cette disposition où les mêmes parties sont désignées par les mêmes lettres.

Si on observe un instant ce qui se passe dans le cardage de la laine, on s'assurera facilement que le travail a été combiné de manière à faire arriver les filaments dans le plus de directions opposées possible, afin de les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prédisposer à l'enlacement et de la prédisposer par conséquent au feutrage et au foulage.

Le cardage de la laine, comme celui du coton, a besoin d'être répété pour être parfait ; on fait ordinairement passer la laine successivement entre trois cardes qui portent des noms différents ; la première, qui commence l'opération, porte le nom de *carde briseuse*, la seconde de *repasseuse*, et la troisième se nomme la *finisseuse* ou carde *à loquettes* ; les trois cardes ensemble constituent *l'assortissement*.

Elles ne diffèrent entre elles que par la finesse des dents et leur rapprochement qui augmente de la première à la troisième, à mesure que la matière est plus nettoyée et plus velue.

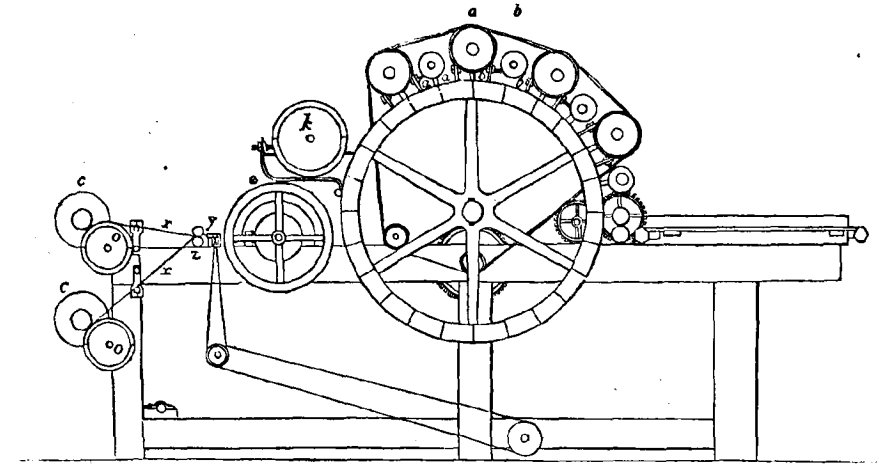
à peau de mouton; ces nappes sont ensuite portées aux cardes suivantes pour être retravaillées.

La carde *finisseuse*, qui doit fournir la laine au filage, la dispose sous une forme différente.

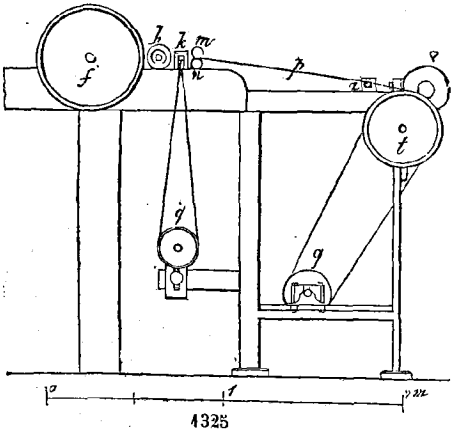
Naguère encore la laine détachée par le peigne se rendait dans des petites cannelures concaves disposées sur la circonférence d'un cylindre ; elle prenait, par conséquent, la forme de ces cannelures, et était débitée sous forme de petits cylindres qui avaient la grosseur de ces cannelures et une longueur égale à celle du cylindre et, par suite, de la carde.

C'est à ces petits cylindres qui tombaient dans une auge qu'on donnait le nom de *loquettes*.

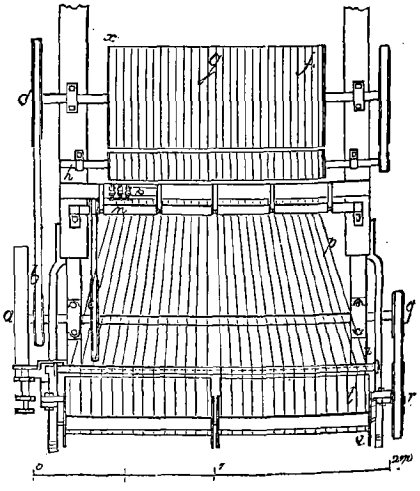
Ces loquettes étaient ensuite portées à un premier



1324.



1325



1326.

A la sortie des cardes briseuses et repasseuses, la laine se trouve détachée par un peigne à mouvement alternatif ou cylindrique, et enroulée sous forme de nappe autour d'un gros cylindre qu'on nomme *tambour* métier à filer, où des enfants les attachaient les unes aux autres pour en former un ruban continu auquel le métier, qui n'était autre que la *jeannette*, inventée par Arkwright ou plutôt par Highs (fig. 1327), venait en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suite donner un premier étirage. Nous allons décrire le mode d'opérer de cette machine.

A,A est la monture en bois, dans laquelle est renfermé le chariot mobile D,D, qui roule sur des rainures en fonte *a*,*a*, au moyen des roues de frottement 1, 2, pour le faire avancer et reculer doucement d'un bout du métier à l'autre. Le chariot contient un certain nombre de broches d'acier, marquées 3, 3, lesquelles reçoivent un mouvement rapide d'un long cylindre F, au moyen de cordes séparées qui passent autour de la poulie de chaque broche. Le cylindre F est un long tambour de fer-blanc de six pouces de diamètre recouvert de papier, et qui se prolonge sur toute la largeur du chariot. Les broches sont maintenues presque verticalement dans un châssis, à une distance de quatre pouces les unes des autres : leurs extrémités inférieures ont des pointes coniques, et tournent dans des crapaudines de cuivre. La roue qui imprime le mouvement est placée en dehors du corps principal de la machine; son arbre pose sur des montants verticaux, fixés sur le chariot D. La roue est tournée par le boudineur placé en Q; sa main droite est appliquée à une manivelle (comme on le voit dans la gravure), qui fait mouvoir le tambour, et tourner les broches avec la plus grande vitesse.

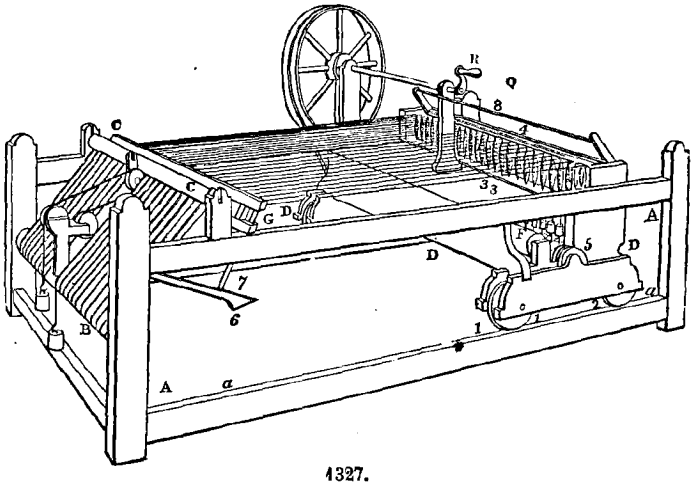
Chaque broche reçoit une portion de la mèche tendre qui sort de dessous un rouleau de bois C, C, à l'une des extrémités du métier. Les mèches passent de là à la rangée de broches qui sont placées dans le chariot, de sorte qu'elles s'étendent sur une ligne presque horizontale. Le mouvement alterné du chariot rapproche ou éloigne les broches du rouleau C, de manière à donner aux boudins le degré de longueur requise.

Les cardées ou rubans de laine qui doivent être filées en mèches sont posées en lignes droites à côté les unes des autres sur un tablier sans fin, tendu sur un plan incliné entre deux rouleaux horizontaux, dont l'un B se voit dans la figure. Une cardée est assignée à chaque broche, et le nombre de broches peut varier de cinquante à cent dans une seule machine. Le rouleau C repose sur les cardées qui avancent le long du tablier; et comme il doit les presser légèrement, il est fait en bois léger. Vis-à-vis de ce rouleau est une longue barre de bois G, avec une autre au-dessous, fixée horizontalement en travers du métier. La cardée est conduite entre ces deux barres, la barre supérieure ou mobile étant levée pour la recevoir. Lorsque la barre est abaissée, elle pince fortement la cardée. La barre supérieure ou mobile G est guidée entre des supports à coulisses, et un fil d'archal 7 la joint à un levier 6. Lorsque le chariot D est arrivé au bout de la machine, une roue 5 soulève le bout 6 du levier; et celui-ci, au moyen du fil d'archal 7, lève la barre supérieure G, de manière à dégager toutes les cardées. Dans cet état de choses, si l'on retire le chariot d'auprès de la barre, il tire nécessairement les cardées en avant sur leur plan incliné. Il y a un petit crochet qui reçoit la barre supérieure G, et l'empêche de tomber jusqu'à ce que le chariot se soit éloigné à une certaine distance, et ait tiré une longueur d'environ huit pouces de cardées; un arrêt sur le chariot vient alors toucher le crochet, et l'enlever de manière à laisser tomber la barre supérieure pour pincer la cardée. En même temps on a tourné la roue pour tenir les broches en mouvement, et pour donner aux cardées la torsion convenable, à mesure qu'elles sont étirées, afin de les empêcher de casser.

On pourrait croire que les mèches tendres ont une tendance à s'entortiller autour des broches; mais comme elles se présentent dans une direction oblique, elles ne reçoivent que le mouvement de torsion, et tournent toujours autour des pointes des broches sans s'y dévider. Lorsque le boudineur a donné aux mèches le degré de torsion convenable, il se prépare à les envider sur les broches en forme de cône, en pressant du bas, avec la main gauche, la baguette à fil de cuivre 8, de manière à l'éloigner des pointes des broches, et à la placer vis-à-vis de leur milieu. Il fait alors tourner les broches, et pousse en même temps le chariot lentement, de manière à envider les mèches sur les broches en forme de canettes coniques.

Le fil d'archal ou baguette 8, doit régler l'envidage de toute la rangée de mèches à la fois; il est incliné, à cet effet, par sa connexion avec la barre horizontale 4, qui tourne sur des pivots à ses extrémités, dans des coussinets fixés sur les montants qui sortent du chariot D. En tournant cette barre sur ces pivots, le fil d'archal 8 se lève ou s'abaisse à tous les degrés d'inclinaison désirés. Le boudineur, en saisi-sant la barre 4 de la main gauche, fait par là sortir les broches; mais à son retour il baisse la baguette en même temps qu'il pousse le chariot devant lui.

Comme les rubans ou cardées sont extrêmement tendres, ils seraient bientôt étendus ou rompus si on les



4327.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entraînait au-dessus du plan incliné. Pour éviter la nécessité de cette traction, on applique une corde autour d'une cannelure au milieu du rouleau supérieur, et, après l'avoir passé sur les poulies convenables, comme il est représenté dans la figure ; on suspend un poids à l'un de ses bouts, et un autre plus petit à l'autre ; le plus petit poids ne sert qu'à tendre la corde, mais le plus gros tend à faire tourner les rouleaux avec leur tablier sans fin, de manière à transporter les cardées sans leur imposer aucune contrainte. Chaque fois que le chariot arrive à son point de départ, le gros poids se monte au moyen d'un morceau de bois qui sort du chariot, et qui frappe un nœud de la corde à l'endroit où elle est horizontale ; ce morceau de bois pousse la corde à une certaine distance, de manière à faire monter le gros poids ; mais le tablier sans fin ne peut revenir en arrière, parce qu'il est retenu par un cliquet, à l'extrémité de l'un de ses cylindres, et la corde glisse ainsi autour du cylindre. Lorsque le chariot se retire, le plus gros poids fait tourner le cylindre, et avancer le tablier sans fin, de manière à livrer les cardées à mesure que le chariot, en sortant, les étire ; mais lorsqu'une quantité suffisante est livrée, le nœud de la corde arrive à un arrêt qui l'empêche d'avancer plus loin ; et au même instant la roue 5 quitte le levier 6, et laisse tomber la barre supérieure G, qui pince fortement la cardée. La roue E, étant alors mise en mouvement, fait tourner les broches ; et le chariot, étant sorti, étend les mèches, qui sont en même temps soumises au tordage. En envidant les mèches, l'ouvrier doit avoir soin de pousser le chariot en avant, et de tourner la roue de manière que les broches n'envident pas plus vite que le chariot ne roule sur les rainures, autrement les mèches en souffriraient.

L'enfant qui sert cette machine apporte les rubans de la carde et les dépose sur le tablier incliné entre C et B ; il doit avoir soin de joindre les nouveaux rubans à la suite des derniers.

Ce mode de travailler est encore usité dans les établissements qui existent d'ancienne date, mais dans toutes les filatures nouvelles qu'on a montées depuis la loi sur le travail des enfants, on a substitué aux cardes dont nous avons parlé plus haut le système des cardes fileuses dit *américain*, qui n'en diffère que par la transformation de la laine en fil en gros que la dernière carde opère d'une manière analogue à la formation du ruban aux cardes à coton.

Il existe plusieurs modifications de ce mécanisme pour la transformation en fil en gros. Celle que nous venons d'indiquer à la suite de la carde à laine est une des plus simples et des plus généralement adoptées. On comprendra facilement les autres par la description de celle-ci ; à la dernière carde, les fils, au lieu de s'enrouler autour de cylindres, s'envident sur des bobines, afin d'être mieux disposés pour le filage en fin.

La laine, arrivée à cet état, est enfin filée au métier *Mull-Jenny*, décrit pour le coton, sauf les modifications suivantes :

L'étirage, au lieu de se faire uniquement par la différence de vitesse des cylindres délivreurs, ou par ces cylindres, et la course du chariot, se fait, dans la laine cardée, par la course du chariot seulement ; le métier, au lieu de deux paires de cylindres, n'en possède qu'une paire destinée à guider, à la sortie des bobines, le fil en gros qui se trouve attaché aux broches et étiré par l'avancement du chariot. Les autres temps du filage, c'est-à-dire la torsion et le renvidage, se font exactement d'après les mêmes principes que ceux décrits pour le *Mull-Jenny* ordinaire. Ce métier, d'après nous, pourrait parfaitement être approprié au filage en fin de la laine cardée, quoique nous n'ignorions pas les motifs que l'on fait valoir contre son emploi. Ils consistent à dire, avec raison, que, pour la laine cardée, le fil doit être moins laminé, afin de pouvoir s'effilocher plus facilement lors du foulage ; mais comme ce laminage qu'on redoute tient plus aux nombreuses préparations qu'on fait subir au coton et à la laine peignée, et qu'on évite pour la laine cardée, l'inconvénient dont on parle ne serait certainement pas à craindre, et on serait bientôt convaincu que si on emploie le métier que nous nous permettons de critiquer, c'est uniquement parce que l'on a l'habitude de l'employer depuis l'origine de l'introduction des machines dans cette spécialité.

Après le filage, la laine est dévidée pour être transformée, soit en écheveaux destinés à la chaîne, soit en bobines ou canettes propres à être disposées dans la navette pour la trame. Le dévidoir employé est le même que celui pour la laine peignée, mais le numérotage ou titrage du fil cardé n'est pas le même ; il va paraître bien barbare, si on le compare au système décimal qu'il serait si convenable d'établir enfin.

L'unité de longueur adoptée est de 3,000 aunes ou 3,600 mètres ; l'unité de poids la livre ou 1/2 kilogramme.

Les 3,600 mètres portent le nom d'une livre de longueur ; cette livre se partage en quatre parties ou quatre quarts, qui se divisent chacun en dix sons.

Ainsi une laine cardée, filée à quatre quarts, a 3,600^{m} de longueur par 1/2 kilogramme ; celle de six quarts aura $900 \times 6 = 5{,}400^{m}$ par 1/2 kilogramme ; celle de 6 quarts 5 sons aura 5,850^{m} ; celle de 21 quarts 18,900^{m}.

La laine pour trame, au lieu d'être disposée en écheveaux, est dévidée en canettes sur des petits cylindres ou fûts de dimensions convenables pour entrer dans la chasse ou creux de la navette.

On remet au tisserand la quantité de laine pour chaîne et trame, convenablement assortie suivant l'espèce de drap que l'on veut produire ; c'est lui qui est chargé d'ourdir et d'encoller la chaîne selon les indications qu'il a reçues.

Nous renvoyons, pour la description de l'ourdissage et de l'encollage, au TISSAGE, dont ils sont les préparations.

Foulage. Le but du foulage est d'augmenter la solidité, de diminuer la conductibilité en ménageant l'élasticité des tissus dans tous les sens, et de donner, par conséquent, au drap les caractères particuliers qui le distinguent.

Ces propriétés précieuses s'obtiennent par une compression des fibres, par une liaison plus intime des fils et des filaments de leurs surfaces, par un plus grand rapprochement entre ces fils que celui que le tissage a pu opérer de manière à rendre le tissu à peu près imperméable à l'air. Cette condensation des fils composant le tissu ne peut nécessairement s'opérer que par une diminution de sa surface, diminution qui sera plus ou moins sensible suivant le degré de foulage, et, par conséquent, de force que l'on voudra donner au drap.

Le fabricant a le soin de disposer la longueur et la largeur de la chaîne en conséquence.

Pour les draps d'une finesse moyenne, les chaînes sont ordinairement ourdies de manière à ce que l'étoffe, avant le foulage, ait une longueur de 1/3 et une largeur de moitié environ plus grande que celle que le drap doit avoir après sa confection.

Il devra donc rentrer de 1/3 sur la longueur et de moitié sur la largeur.

Il est évident que, pour les tissus légers, ces quantités seront moindres, et qu'elles augmenteront encore pour les draps corsés, comme les *castors*, les *cuir-laines croisés*.

Le moment d'opérer le foulage varie avec les localités et les genres d'étoffes fabriquées. Tantôt, comme à Sédan où l'on fabrique plus spécialement de beaux draps noirs, l'on foule immédiatement après le tissage

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et avant d'avoir débarrassé le tissu de l'huile qui a servi à la filature : on ne dégraissant qu'après cette opération, on a pour but de la fatiguer moins et de ménager le plus possible la douceur de la laine que la teinture du noir durcit toujours plus que ne le font les autres nuances.

Tantôt, au contraire, comme dans toute la Normandie, on commence par débarrasser l'étoffe de sa graisse et on la foule ensuite ; les fabricants normands procèdent de cette manière, même pour les draps noirs.

Tantôt, enfin, quand il s'agit de draps communs, comme les draps de troupes ou les tissus à bas prix du Midi pour l'exportation, le dégraissage et le foulage se font simultanément. La graisse est alors utilisée au foulage en saponifiant l'alcali qu'on ajoute dans ce but pour former le savon indispensable à l'opération.

Cette troisième méthode, qui est, comme on le voit, la plus économique, ne pourrait s'appliquer aux draps d'une qualité plus élevée, qui ont besoin d'être visités avec beaucoup de soin entre le dégraissage et le foulage, afin de les débarrasser de toutes les ordures et matières étrangères, par *l'épinçage* ou *épinetage*, et de réparer par le rentrayage les défauts ou accidents qui auraient pu se présenter dans le courant du travail, et qui doivent disparaître avant le foulage, afin qu'on ne puisse plus en retrouver de traces dans l'étoffe finie.

Que le dégraissage s'opère avant ou après le foulage, il se pratique en imbibant le tissu d'une dissolution de terre argileuse, lorsque le graissage a été fait par une huile végétale, et d'une dissolution d'alcali, lorsque l'on a employé l'acide oléique ; on le fait ensuite passer entre deux cylindres en bois qui accélèrent l'opération, en faisant pénétrer davantage l'émulsion et en imprimant à l'étoffe un mouvement de rotation convenable ; lorsque le dégraissage se fait à la terre, il faut plusieurs heures. Lorsque l'acide oléique permet d'employer un alcali, le carbonate de soude par exemple, vingt minutes suffisent.

Une fois que toute la graisse est extraite, ce que l'on reconnaît avec un peu d'habitude par le toucher et l'odorat, il faut procéder au dégorgeage ou lavage, qui consiste à continuer à faire tourner la pièce dans une dissolution, en l'y plongeant jusqu'à ce qu'elle soit complétement immergée, par une disposition semblable à celle donnée fig. 4216, c'est-à-dire en la faisant passer entre deux cylindres en bois ; le cylindre inférieur est ordinairement cannelé pour augmenter un peu l'adhérence.

Ces cylindres sont renfermés dans une caisse également en bois, solidement assemblée ; cette caisse est fermée sur le devant par les volets ; la première ouverture servant à introduire le drap, et la seconde la dissolution.

Un rouleau disposé près des parois de la caisse sert à guider la pièce pour qu'elle marche plus régulièrement et ne se déchire pas ; les deux fonds ont chacun un orifice qu'on peut déboucher à volonté pour laisser écouler les eaux sales ou lorsqu'on veut vider la machine. Cette machine est généralement disposée pour dégraisser deux pièces à la fois et quelquefois trois ; mais cette dernière disposition est vicieuse, elle cause des inégalités de pression sur les tissus.

Quelquefois, pour faciliter le dégraissage, qui est assez difficile à opérer lorsqu'on s'est servi d'huile de graines ou d'olives, on prédispose au dégraissage en faisant tremper l'étoffe dans l'eau vive ; si on a une rivière ou un canal à sa disposition, il faut alors avoir soin de la faire complétement immerger, s'il s'agit de pièces teintes, sans quoi la couleur exposée à l'air ou au soleil pourrait être altérée ; c'est ce qu'on nomme *flamme* en terme de fabrique.

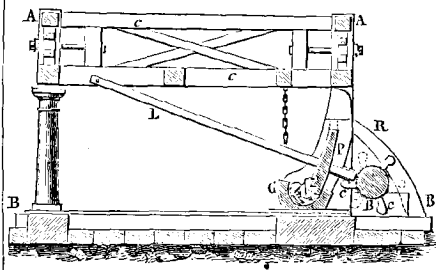
En Angleterre, pour faciliter le dégraissage, on a encore l'habitude de tremper le tissu dans de la fiente de porc. Outre les désagréments faciles à comprendre d'une telle pratique, elle doit exposer les tissus à être altérés par la fermentation qui doit se développer.

Travail du foulage. Que le tissu soit dégraissé ou non lorsqu'on le foule, les moyens employés, à cet effet, sont les mêmes ; on y arrive toujours par une action mécanique prolongée et assez énergique sur l'étoffe imprégnée d'une dissolution alcaline ou savonneuse.

La présence de la dissolution a pour but de faciliter le glissement ou le rapprochement, la compression et le ramollissement des fibres et des fils de la matière qu'elle imprégne, et d'empêcher leur altération par le choc et la pression.

L'effet simultané de la force mécanique et de l'action physique de la dissolution développe une température assez élevée qui facilite l'opération et qu'il faut avoir soin de ménager pendant sa durée.

Les machines à fouler employées restèrent, sans la moindre modification, jusques il y a quelques années ; ce furent toujours ces moulins à pilons verticaux ou inclinés, importés chez nous par les Hollandais dont ils ont conservé le nom. La fig. 1328 est une coupe verticale représentant un pilon seulement.



1328.

A B, représente un bâti solidement fixé dans l'établissement, et assujetti sur d'excellentes fondations analogues à celles des laminoirs et autres machines qui doivent être soumises à des ébranlements.

A la partie inférieure du bâti, ordinairement en bois de chêne, se trouve pratiquée une auge creuse G, dont la courbure doit être très régulière, sans angle rentrant ni saillant, afin de faciliter le glissement et le roulement de l'étoffe que cette auge est destinée à recevoir ; elle doit être également solidement assemblée, car elle reçoit les chocs assez rapidement répétés du pilon ou maillet P, qui est soulevé par l'arbre R, muni de cames *c,c,c*, destinés à ce soulèvement du maillet, qui retombe sur l'étoffe lorsque chaque came l'abandonne.

La partie saillante du pilon par laquelle il est soulevé est ferrée pour résister à la prompte détérioration qui aurait lieu si on ne prenait ce soin.

La tête du pilon du côté qui agit sur le drap est découpée en gradins pour aider le mouvement de rotation que le drap doit prendre dans la pile.

L'inspection de ces machines suffit pour démontrer leur défectuosité, quelle que soit d'ailleurs l'autorité que peut leur donner un emploi séculaire. On voit, en effet, qu'elles ont une forme qui ne change pas, et qu'elles agissent avec une vitesse invariable, sous une pression à peu près constante (1), soit qu'on y foule des étoffes légères, des draps ordinaires et des cuirs-laines qui demandent cependant des degrés de foulage si différents.

(1) Je dis à peu près, car au besoin on pourrait faire varier le bras du levier du pilon, ainsi que cela a quelquefois lieu

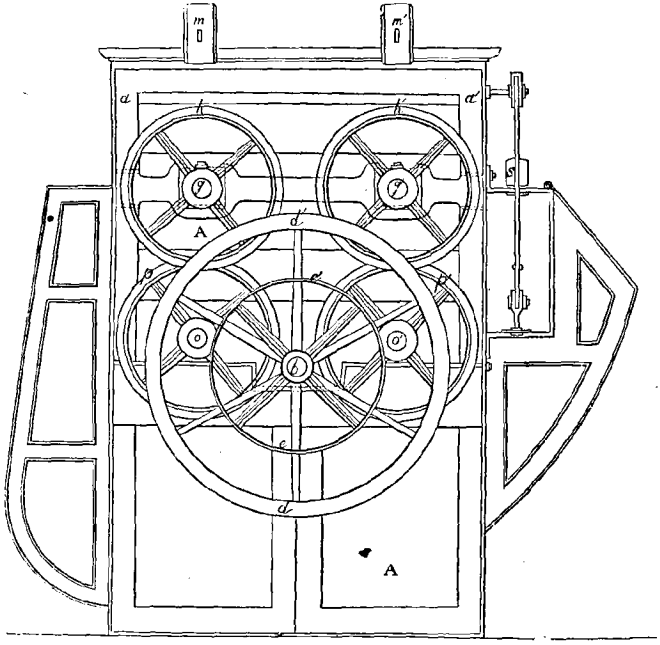
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les piles étant ouvertes, la chaleur ne s'y développe que lentement et ne s'y conserve que difficilement.

Rien ne réglant le degré de foulage, l'ouvrier est obligé de sortir souvent le drap de la machine, pour le vérifier et mesurer son retrait, ce qui nécessite une intermittence fâcheuse, tant pour la perte de temps, qu'à cause du refroidissement qui en est la conséquence. L'opération ne peut se conduire que par tâtonnement, et exige, par conséquent, un foulonnier habile et expérimenté, si on ne veut exposer le tissu à des avaries très préjudiciables ou à un foulage mal fait, qui déprécie considérablement l'étoffe.

Ce vieux système de moulins à fouler a d'ailleurs les inconvénients de demander beaucoup d'emplacement, d'occasionner un bruit désagréable, d'exiger, par conséquent, des frais d'entretien assez considérables et d'absorber une grande quantité de force ; sans cependant pouvoir arriver à certains caractères et à ce degré de foulage très recherché pour bien des articles, et surtout pour la draperie fine.

C'est pour chercher à obvier à tous ces inconvénients, qu'on fait, depuis quelques années, l'essai de nouveaux systèmes de machines à fouler qui commencent à se propager.



1329.

Ces machines ont des avantages évidents sur celles que nous venons de décrire; plusieurs systèmes différents ont été proposés; nous ne parlerons que de ceux qui ont été sérieusement adoptés par la pratique.

La première de ces machines nous vient d'Angleterre ; elle fut importée vers l'année 1838, par MM. Hall fils, Powels et Scott, de Rouen.

La fig. 1329 représente l'élévation dans le sens de la longueur de la machine ; la fig. 1330 une coupe transversale, et la fig. 1331 la face antérieure de la machine par laquelle le drap sort après être foulé. Ces deux vues suffisent pour faire saisir le principe de la machine.

On voit que la machine se compose de quatre cylindres n, n', f, f', ou poulies à gorges qui ont leurs axes horizontaux et superposés deux à deux comme des cylindres de laminoirs, et de deux cylindres verticaux g', g, renflés par leur milieu et disposés sur le devant de la machine; ces six cylindres sont contenus dans une caisse en fonte parfaitement fermée. Les cylindres horizontaux et verticaux sont soumis à des pressions qui agissent, les premiers par l'entremise des leviers verticaux j, k, dont la partie supérieure est percée pour recevoir un levier horizontal auquel est fixé un poids que l'on peut faire glisser de manière à faire varier le bras du levier.

Le poids s sur les cylindres verticaux agit par l'entremise des leviers w; on peut également diminuer ou augmenter ce poids.

Le foulage s'opère en introduisant le drap entre les poulies à gorge, après l'avoir fait passer sur les petits rouleaux-guides y, y, puis on réunit les deux extrémités que l'on coud ensemble, de manière à former une espèce de chaîne sans fin; cela fait, on met la machine en mouvement au moyen de la poulie de commande e fixée sur l'arbre b.

Le drap replié sur lui-même, de manière à pouvoir passer entre les gorges des poulies, est entraîné par elles et se trouve foulé sur la largeur par un véritable laminage opéré par les pressions qui agissent sur les poulies horizontales, pendant que sa longueur est foulée par un frottement de roulement qu'il éprouve entre les cylindres verticaux g, g', lors de son passage.

On voit que cette machine obvie en effet aux prin-

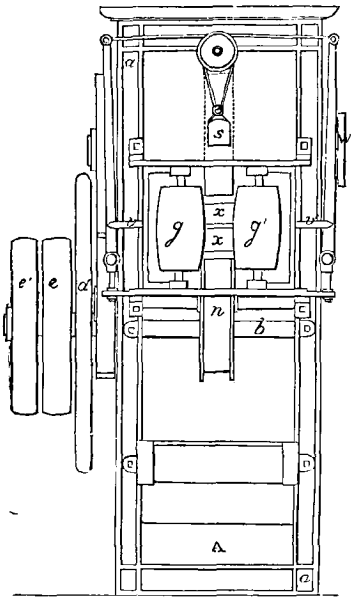
EFERUS - Recherche & Classification numérique

cipaux inconvénients signalés précédemment ; elle conserve parfaitement la chaleur, évite les chocs réitérés, donne les moyens de diriger le foulage et de faire varier les pressions à volonté ; elle prend peu de place et peut recevoir son mouvement d'un moteur quelconque ; malgré cela, on a fait quelques reproches à cette machine ; on prétendait que les accidents étaient fréquents, qu'elle tarait beaucoup, que le foulage était trop serré, trop coûteux pour certains genres d'étoffes.

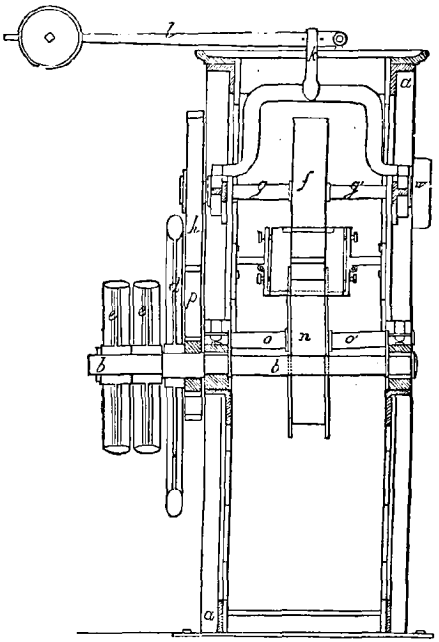
ber dans la grande auge circulaire formant la partie inférieure du bâti de la machine.

D, autre sabot fixé dessous la traverse *dd*; ce sabot est renversé, il touche sans frottement la surface du cylindre B^1, fait le dessus d'un conduit dont le sabot *cc'* est le dessous et force le drap à prendre sa direction vers *c'*.

EE', EE', plaques en bois, cannelées dans le sens de leur longueur et sur leur face tournée du côté des cylindres AA, et B^1 B^2



1330.



1331.

M. Benoit, de Nimes, et MM. Vallery et Lacroix, de Rouen, ont cherché, chacun de leur côté, à modifier le système cylindrique et à éviter les défauts qu'on lui reprochait. Les fig. 1332 et 1333 représentent la machine Vallery et Lacroix. Nous dirons en quoi elle diffère de celle de M. Benoit qu'on comprendra d'après celle-là, sans que nous ayons besoin de multiplier les figures.

Fig. 1332, élévation latérale de la machine à fouler vue extérieurement.

Fig. 1333, même élévation en coupe, laissant voir les dispositions intérieures.

Les mêmes lettres indiquent les mêmes pièces dans les deux figures.

AA, grand cylindre, mû par une roue d'engrenage, recevant à sa circonférence et dans la gorge que forment les deux joues, la pièce de drap que l'on veut fouler.

B^1, B^2, B^3, cylindres beaucoup plus petits que le précédent ; ils s'emboîtent dans le cylindre AA, et pressent le drap qui est enroulé sur le pourtour de ce même cylindre.

e, sabot qui, porté sur la traverse NN, enlève le drap de dedans la gorge du cylindre AA, et le fait tom-

FF, FF, petites plaques en fonte sur lesquelles sont fixées, au moyen de vis, les plaques en bois EE, EE'. Ces petites plaques sont portées sur les pivots G, G, sur lesquels elles tournent librement.

f, f, petits tirants en fer servant à maintenir, à un écartement convenable, des joues du cylindre AA, l'extrémité E' des plaques en bois EE', EE'; ils sont fixés d'un bout au bâti par deux écrous et joints de l'autre aux plaques EE', EE', au moyen d'une goupille.

HHH', HHH', pièces à retour d'équerre un peu contournées vers leur extrémité H', où se trouve fixé le pivot G; elles sont portées comme les pièces FF, FF, sur des pivots I, I, sur lesquels elles peuvent se mouvoir.

L L, corde dont les extrémités sont nouées aux leviers KK' KK'; cette corde, qui passe sur les deux poulies de renvoi M, M, est chargée en son milieu par le poids M, et tirée sur les deux leviers KK', KK', en tendant à rapprocher l'une de l'autre leurs extrémités K'.

N N, traverse fixée au bâti de la machine portant et le sabot CC' et les pivots I, I, des pièces HHH', HHH'.

DD, autre traverse également fixée au bâti soutenant le sabot D.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1, **2**, **3**, **4**, arbres sur lesquels sont montés les cylindres AA, B^1, B^2, B^3.

P, P, P, crémaillères munies de coussinets sur lesquels sont portés les arbres **2**, **3**, **4**. A leur extrémité inférieure est une tige cylindrique qui passe à frottement doux dans les coussinets S, S, S, en forme de bague, boulonnés sur le bâti de la machine.

p, *p*, *p*, segments dentés, fixés deux à deux sur les arbres O', O', O', et engrenant avec les crémaillères P, P, P.

L', L', L', leviers fixés sur les arbres O', O', O'.

P', P', P', poids pouvant glisser au long des leviers L', L', L', et déterminer ainsi une plus ou moins grande pression sur les dents des crémaillères, au moyen des segments *p*, *p*, *p*, qui les commandent, sur les cylindres B^1, B^2, B^3. et faire appuyer ceux-ci contre le cylindre AA, puisque les arbres **2**, **3**, **4**, sur lesquels ils sont montés, sont portés sur les crémaillères P, P, P, et éprouvent, en même temps qu'elles, toutes les pressions qui leur sont transmises.

Q, Q, Q, galets montés à demeure deux à deux, sur les arbres *n*, *n*, *n*, recevant dans une gorge pratiquée sur leur circonférence le dos des crémaillères P, P, P, et servant de points d'appui et de guides à l'extrémité supérieure de ces crémaillères dans le mouvement longitudinal qu'elles éprouvent.

RR, espèce de conduit porté sur une traverse qui est fixée avec des boulons en dedans du bâti, servant à resserrer la pièce de drap, pour qu'elle puisse passer facilement dans la gorge du cylindre AA.

R'R'. planche percée d'un trou ovale livrant le drap au conduit R R.

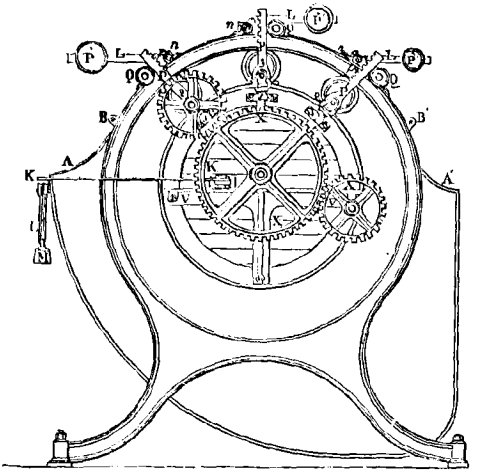
SS, rouleau qui se trouve entre le conduit R R, et la planche R' R', et sert à faciliter le passage du drap de R' R' en RR.

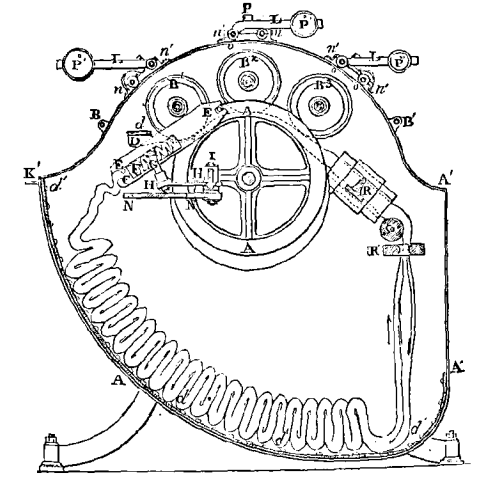
X X, roue dentée montée sur l'arbre **1**, sur lequel se trouve aussi le cylindre AA. Cette roue dentée transmet à ce même cylindre le mouvement qu'elle reçoit d'un pignon X'X', monté sur le même arbre que les poulies L, L', mues par une courroie.

X'' X'', pignon monté sur l'arbre **2**, portant le cylindre B^1, et communiquant à ce même cylindre le mouvement qu'il reçoit de la roue XX avec laquelle il engrène.

V, V, traverses recevant les coussinets sur lesquels est posé l'arbre **1**. Ces traverses, en forme de T, sont fixées au bâti avec des boulons.

1332.





1333.

A' A' A' A', bâti de la machine composé de deux joues jumelles.

B', boulon à embases servant à assembler et à maintenir d'écartement convenable les jumelles A'A', A'A', du bâti.

d',*d'*,*d'*, douves qui closent le pourtour de la machine.

Fonctions de la machine. — On passe la pièce de drap que l'on veut fouler dans la planche R'R'; dans le conduit R R; puis on l'introduit entre les cylindres A A et les cylindres B^1, B^2, B^3; enfin, on en coud les deux extrémités.

La machine étant mise en activité, la pièce est entraînée par le mouvement et l'action des cylindres entre lesquels elle se trouve pressée, et, dans ce mouvement, elle se présente successivement et indéfiniment à l'action foulante de chacun d'eux. La pièce de drap, laminée pour ainsi dire par les cylindres, se trouve foulée dans le sens de sa largeur

Le foulage, dans le sens de sa longueur, est produit au moyen des deux planches EE', EE'. Ces deux planches mobiles sur les deux pivots G, G, qui leur servent d'axes, peuvent, à l'aide des pièces HHH', HHH' des leviers KK', KK' et du poids M, qui agit sur ces derniers, s'ouvrir et se fermer vers leur extrémité E, et, au contraire, elles sont toujours maintenues vers leur extrémité E', à une distance fixe des joues du cylindre AA, par les petites tringles en fer *f*, *f*.

En se fermant vers leur extrémité E, les planches EE', EE', s'opposent à la libre sortie du drap de dessous les cylindres A et B^1, il en résulte qu'il s'amasse, en se repliant sur lui-même, dans le canal formé par les deux sabots C et D et les planches EE', EE', emplit complétement ce canal, et s'y tasse jusqu'à ce qu'il puisse vaincre la résistance des planches EE', EE' qui le pressent sur les côtés. Alors il les écarte pour leur faire prendre une position parallèle ou presque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parallèle, s'échappe mollement et tombe d'une manière continue et régulière dans l'auge circulaire qui forme la partie inférieure du bâti de la machine.

Les planches EE', EE', sont cannelées, pour que les plis du drap, suivant les cannelures comme autant de guides, ne puissent se déranger dans leur trajet le long de ces planches.

Comme d'un côté on peut, au moyen des leviers L,L,L, et des poids de pression P', P', P'', faire peser plus ou moins les cylindres B', B', B', sur le cylindre AA, et déterminer plus ou moins de foulage dans le sens de la largeur, et comme d'un autre côté, on peut, en variant la pesanteur du poids M, opposer une plus ou moins grande résistance à la sortie du drap, et accélérer ou retarder ainsi à volonté son foulage dans le sens de la longueur, il résulte que l'on a la faculté de maintenir constamment les deux foulages dans le rapport le plus convenable.

On voit que cette machine diffère surtout de celle de MM. Halle-Powels et Scott, en ce que l'écartement entre les gorges peut varier non seulement avec le changement de poids ; mais encore avec la même pression lorsque l'étoffe vient à s'accumuler et à former obstacle, grâce à l'ingénieuse disposition des crémaillères. Une autre modification importante est celle du mode de foulage en longueur. Il se fait ici par les joues cannelées longitudinalement, donne un caractère particulier et fait facilement reconnaître le tissu foulé par ce procédé, qui n'a pas les inconvénients de celui produit exclusivement par le laminage, ni ceux que fait éprouver le système qui n'agit que par la percussion.

Le système Benoît combine également la pression à la percussion pour opérer le travail.

La pression pour le foulage en largeur se fait par des poulies ou cylindres alimentaires sans rebords, la percussion pour fouler en longueur a lieu par un fouloir rotatif à galets ; ce sont deux galets tournant autour de leur axe qui sont entraînés dans la rotation de deux bras en fonte et qui viennent alternativement frapper sur le drap replié sur lui-même, sur *une table de foulage* qui se trouve à la sortie des poulies ; cette machine ingénieuse a été décrite en détail dans la publication de M. Armengaud.

Un drap bien foulé doit avoir les dimensions exigées : être rentré par conséquent suivant les proportions indiquées, sa largeur doit être de 3 centimètres environ moindre que celle de la pièce terminée, les apprêts par les tensions réitérées ramènent ordinairement cette largeur, qui doit être la même sur toute la longueur.

Les plis du drap doivent avoir disparu ; il doit être exempt de taches et d'échauffures.

On procède à une visite de la pièce après son foulage pour s'assurer si toutes les conditions ont été réalisées

Apprêts. Toutes les opérations et manipulations que l'on fait subir au drap, à partir du foulage pour le terminer, sont rangées dans la spécialité des apprêts, qui a pour but, comme le nom l'indique, de donner les apparences si recherchées dans les tissus et surtout dans les étoffes de luxe ; aussi ces apprêts sont-ils proportionnés dans la draperie à sa finesse.

Lainage ou *garnissage*. Le duvet formé par les filaments qui se trouvent à la surface des fils de laines a été énergiquement froissé pendant le travail du foulage ; la première opération des apprêts a pour but : de tirer ces filaments à la surface de l'étoffe, de la ranger parallèlement de manière à la garnir de façon à former une couche de duvet homogène, d'égale hauteur, et qui recouvre autant que possible les traces laissées par le croisement des fils au tissage.

Ce travail doit être exécuté avec ménagement, de manière à ne pas rompre les filaments.

Les chardons naturels, disposés comme nous le verrons plus loin, ont été considérés jusqu'ici comme parfaitement propres à opérer cette espèce de peignage du duvet formé par les filaments, qui garnissent la surface des fils.

Tondage. Lorsque ces filaments ont été relevés et tirés suivant leur longueur naturelle ils forment une sorte de fourrure composée d'une quantité innombrable de filaments d'inégales dimensions sur toute la surface de la pièce. Cette fourrure doit être égalisée de façon à rendre l'aspect de l'étoffe plus net, plus fin, plus moelleux et plus brillant ; c'est en coupant les filaments tous à la même hauteur avec des machines, que nous allons décrire, qu'on les égalise.

Cette opération se nomme le *tondage*, elle est pratiquée alternativement avec le lainage et d'autant plus répétée qu'on l'exécute sur des draps plus fins.

Pour ménager les filaments et ne pas les rompre, il faut avoir soin de mouiller complétement le drap et de lainer pendant qu'il est encore humide. Cette humidité a de plus l'avantage de faire contracter le tissu, et, par conséquent, de dégager davantage les filaments. Le passage de toute la surface d'une pièce sur les chardons se nomme une *voie*.

La répétition successive de ces passages pendant un lainage est ce qu'on a désigné par donner *une eau*.

Un drap ordinaire est lainé jusqu'à cinq fois, c'est-à-dire reçoit cinq eaux à des périodes différentes ; le nombre des courses, de passages ou de voies, varie et va en augmentant, excepté pour la dernière que l'on nomme *gitage* et qui n'a pour but que de démêler les filaments.

Voici, d'ailleurs, le nombre de voies tel qu'on l'applique le plus généralement pour des draps, dans les prix de 18 à 20 francs le mètre.

Pour la première eau, on donne	40	voies
— deuxième, —	60	—
— troisième, —	80	—
— quatrième, —	100	—
— cinquième ou gitage, —	20	—

Le chardon, pendant ces opérations, s'use, comme on le conçoit, et a besoin d'être changé ; comme il ne travaille que d'un côté, on le retourne de l'autre, lorsque le premier est hors de service, ce qui arrive ordinairement après dix voies, et on le change complètement après vingt courses.

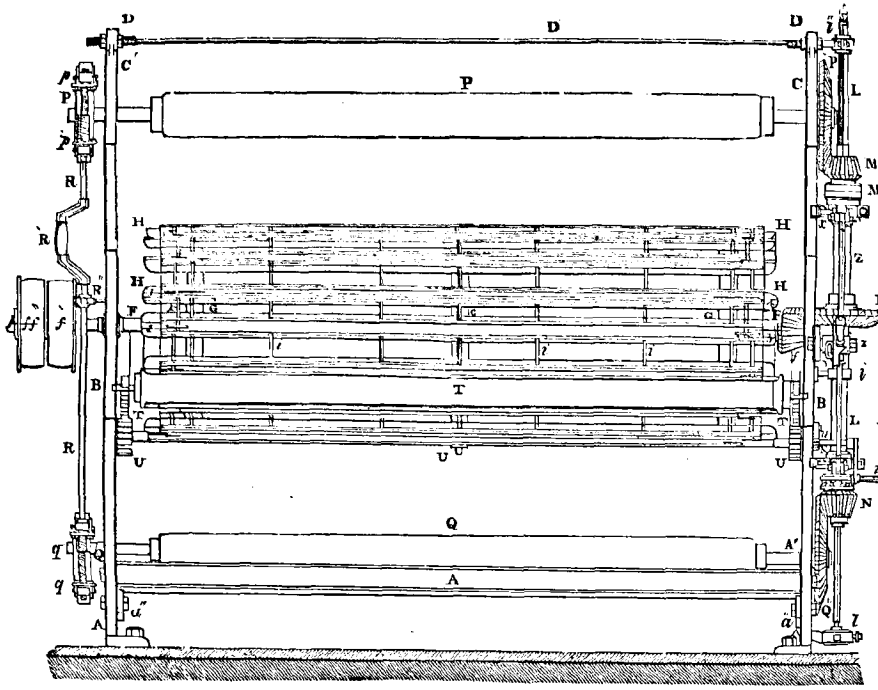
Le *tondage* s'opère sur le drap sec, et après chaque lainage. La tonte de toute la surface de la pièce se nomme une coupe.

On procède généralement, après la première eau, par donner deux coupes, à l'endroit, puis à l'envers, pour enlever la bourre formée par le foulage et rendre l'envers très propre et net. Après la deuxième eau, l'on ne tond plus qu'à l'endroit, on continue à ne donner que deux coupes, jusqu'après la quatrième eau ; l'opération se finit complétement après la cinquième, et lorsque le drap est retiré de la rame on donne alors au moins trente coupes.

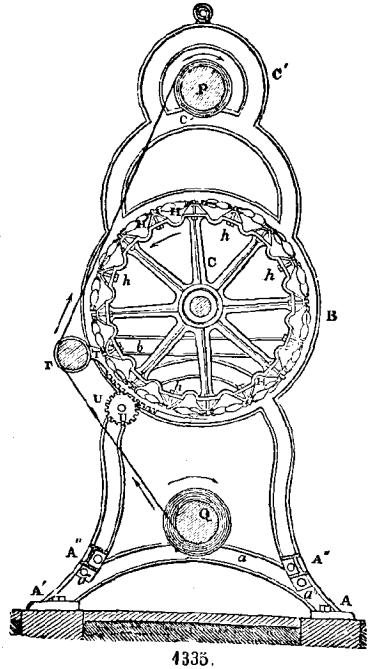
Jusqu'alors, c'est-à-dire tout le temps que le drap n'est pas ramé, on le dit à l'état de *traversage*, et les opérations ne prennent réellement le nom d'apprêts qu'à partir de ce moment.

Les coupes doivent être données le plus régulièrement possible et de manière à arriver graduellement le plus près qu'on peut du tissu, sans cependant l'attaquer assez près pour saisir et laisser entrevoir les croisements des fils, ce qui serait un défaut. Pour les couleurs vives et éclatantes, telles que l'écarlate, la jonquille, les bleus-clairs, on a soin de tondre un peu moins près, afin que la lumière qui est plus réfléchie par le duvet donne plus de brillant aux nuances ; les couleurs foncées qui absorbent la lumière doivent au

EFERUS - Recherche & Classification numérique



1334.



1335.

contraire être tondues le plus court possible, afin de donner un grain plus fin.

Le lainage et le tondage, comme la plupart des opérations, se firent exclusivement à la main, jusqu'à l'introduction des machines de Douglas, pour la fabrication des draps, qui fut provoquée et protégée par le gouvernement de la République et de l'Empire; cette introduction comprenait déjà une machine à lainer, mais le tondage se faisait encore avec de grands ciseaux nommés *forces*.

La machine à lainer par Douglas fut successivement modifiée, tout en conservant son premier principe, et elle est devenue aujourd'hui une excellente machine que nous allons décrire; nous donnerons ensuite également la description des ingénieuses machines à tondre qui ont été inventées quelques années plus tard et dont on se sert généralement aujourd'hui.

Les fig. 1334 et 1335 représentent une élévation de face et une section de la machine à lainer. A B C D A' B' C' D', est le cadre solide en fonte d'une pièce, ayant ses pieds un peu plus larges en dedans qu'en dehors et boulonnés à des blocs engagés dans le socle de pierre.

Les deux piliers sont unis en bas par deux traverses A'' fixées par de grosses vis aux oreilles a'', a'', et en haut par la barre de fer D, dont les bouts sont maintenus par des écrous aux points D', D'. Le tambour est monté sur un axe de fer F, qui porte à son extrémité de droite (fig. 1334), extérieurement au cadre, les poulies fixes f', f', qui font mouvoir la machine par une courroie sans fin venant du moteur.

A son extrémité de droite, en dedans du cadre, l'axe F porte un pignon conique F', pour transmettre le mouvement au drap comme on l'expliquera ensuite. Trois croisillons G, dont l'un est représenté dans la section (fig. 1335), sont comme d'ordinaire fixés par une clavette sur l'axe F. Leur contour est une bande sinueuse avec vis à cavités à demi-cylindriques, séparées par autant de portions de la circonférence.

L'un de ces trois croisillons est placé au milieu de l'axe F,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

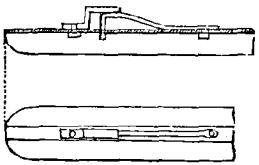
et les deux autres vers ses extrémités. On peut juger de leurs dimensions par la figure.

Ces côtés sont formés de feuilles de fer courbées, en forme de gouttière (fig. 1335), mais arrondies au bout et chacun d'eux est fixé aux trois jantes des croisillons par trois boulons *h*. La partie élastique de la plaque de fer permet de les ajuster assez bien, pour que leurs portions plates, les plus éloignées du centre puissent presque s'étendre sur une surface cylindrique dont l'axe coïnciderait avec celui de l'arbre F.

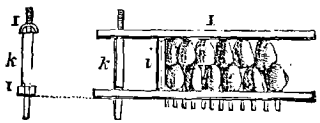
Entre les seize côtés, il y a seize intervalles qui correspondent aux seize cavités de chacun des croisillons. Dans ces intervalles sont ajustés, avec les précautions convenables, seize cadres portant les chardons qui doivent agir sur le drap ; ils sont disposés de la manière suivante :

Chacun d'eux a la forme d'un rectangle, d'une longueur égale à celle du tambour, mais d'une largeur seulement assez grande pour contenir deux têtes de chardon placées bout à bout, formant ainsi deux rangs

1336.



1337.



1338.

de chardons parallèles dans toute la longueur. La fig. 1338 représente une portion du cadre.

Le large côté I, contre lequel posent les extrémités supérieures des chardons, est creusé en demi-cylindre, et son côté opposé est fendu dans toute son étendue, pour recevoir les queues des chardons qui y sont placées et comprimées.

Il y a de plus des traverses *i* qui servent à maintenir les côtés du cadre I, à une distance invariable, et à former de petits compartiments pour tenir les chardons serrés les uns contre les autres. Les bouts sont fortifiés par des barres plus fortes K, K, avec des boulons en saillie, pour fixer les cadres entre les côtés.

La distance des côtés du cadre I I', doit être telle, que si un cadre est posé sur le tambour, dans l'intervalle de deux côtés, le côté I posera sur le plan incliné de l'un des côtés, et le côté I', sur le plan incliné de l'autre, pendant qu'en même temps les barres K, des deux bouts du cadre, posent sur la partie plate des côtés mêmes Ce point étant assuré, il est évident que si les bouts des barres *k* sont arrêtés, le cadre sera fixé ; mais il n'est pas besoin qu'ils soient fixés d'une manière permanente, puisqu'il faut les enlever et les replacer fréquemment. Ils sont attachés par une espèce de clanche (fig. 1336), qui est fermée à un bout, et fournie à l'autre d'un ressort, qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté. 2 et 4 dans la fig. 1335 (près du bout de droite de l'axe F), montrent la place occupée par cette clanche, en levant son autre bout, puisqu'on baisse le cadre dans le croisillon de gauche.

Le drap est roulé sur le rouleau inférieur Q, figure 1335, de là il passe en contact avec un cylindre de bois T, tournant sur un axe, et s'avance vers le rouleau supérieur P, sur lequel il est roulé par un mouvement contraire; le drap retourne du rouleau P à Q, en passant sur le cylindre T, et peut ainsi aller de l'un à l'autre autant de fois qu'il le faudra. Dans ces différents circuits, il est présenté à l'action des chardons, sous certaines conditions.

Pour que l'opération soit faite d'une manière convenable, il faut que le drap soit également tendu dans toute largeur pendant qu'il se meut : il faut qu'il soit plus ou moins en contact avec le tambour, suivant la nature du drap et le progrès de l'opération. Ne décrivant parfois qu'une tangente sur la surface, et parfois embrassant une portion plus ou moins grande de son contour, il faut qu'il se meuve avec une vitesse déterminée, dépendant de la rapidité du tambour, et calculée de manière à produire le meilleur résultat. La machine elle-même doit faire passer alternativement l'étoffe d'un rouleau à l'autre.

Dans la fig. 1334, à droite de la machine, se trouve un arbre vertical L, aussi haut que le bâti qui tourne avec une grande facilité dans le pivot du bas *l*; le tourillon du milieu *l'* et du tourillon du haut *l''* dans le prolongement de la barre D; sur cet arbre vertical sont montés : 1° une roue conique L ; 2° un pignon aussi conique M avec son manchon M' ; 3° un pignon inférieur conique N avec également un manchon N'.

La roue L est fixée sur l'axe L, et lui communique le mouvement de rotation qu'elle reçoit du pignon *f* avec lequel elle est en rapport; mais le pignon *f*, qui est monté sur l'arbre F du tambour, participe au mouvement de rotation que cet arbre reçoit du premier agent par le moyen de la poulie fixe *f'*. Le pignon supérieur M est indépendant sur l'arbre L, c'est-à-dire qu'il peut glisser le long, de haut en bas, sans être mû par lui ; mais on peut l'engrener ou désengrener à volonté au moyen d'un manchon d'embrayage M'.

Le pignon N et son manchon sont, par un mode semblable, mis en rapport l'un avec l'autre ou séparés.

Les manchons à embrayage ou débrayage M' et N' doivent être mus simultanément, afin de désengrener l'un pendant que l'autre engrène.

L'arbre L sert à mettre le drap en mouvement, au moyen des roues coniques P'' et Q'', qui se trouvent sur les extrémités des barres P et Q, et qui s'engagent dans les pignons M et N.

Le mécanisme destiné à étendre le drap est placé à l'autre bout de la machine, où les axes des rouleaux P et Q, sont prolongés au delà du cadre et portent à leurs extrémités les poulies P'' et Q', dont chacune est armée d'un frein.

Le rouleau P (fig. 1334) tourne dans une direction opposée au tambour, par conséquent le drap est roulé sur P et déroulé sur Q; si, pendant que cela se passe, la poignée R de l'axe des freins est tournée de manière à fermer le frein de la partie Q' et à relâcher celui de la poulie P', il est évident qu'il y aura une résistance plus grande ou plus petite dans le rouleau Q, et le drap qui le tire en se déroulant ne pourra le faire tourner que lorsqu'il aura acquis la tension nécessaire; il faudra donc, pour accroître ou diminuer la tension, tourner le manche R' plus ou moins dans la direction qui arrête le frein de la poulie Q', et comme le serrage agit d'une manière très uniforme, il y aura également une tension très uniforme, pendant tout le temps que le drap passera.

De plus, si la diminution du diamètre du rouleau Q rend la tension moins efficace, il faut desserrer faiblement le frein pour rétablir la tension primitive.

Lorsque le drap doit passer du rouleau P au rouleau Q, il faut baisser Z pour désengrener l'arbre L et engrener M'; alors le rouleau de drap Q, étant mû par cet arbre vertical, tournera dans la même direction que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le tambour, et roulera le drap autour de sa surface.

Afin que cela puisse être fait avec une tension convenable, il faut laisser libre la poulie Q' en fermant le frein de la poulie P', de manière à opposer une résistance proportionnée.

Le drap est mis plus ou moins en contact avec le tambour de la manière suivante. Il existe pour cela un rouleau de bois T, contre lequel il porte en passant du rouleau Q au rouleau P, dont on peut changer la position relativement au tambour.

Il est évident, par exemple, qu'en partant de la position représentée dans la fig. 1335, où le drap décrit presque une tangente sur le tambour, si le rouleau T est haussé, le drap cessera de le toucher et que si au contraire il est baissé, le drap embrassera le tambour sur une position plus ou moins grande de sa circonférence. Pour produire ces effets, le rouleau est porté à chacune de ses extrémités par des goujons de fer qui se trouvent sur les têtes d'une crémaillère en arc T" où il est simplement tenu par des goupilles; ces crémaillères ont la même courbure que le cercle du cadre auquel ils sont ajustés par deux boulons, et au moyen de fentes que traversent ces boulons, ils peuvent glisser de haut en bas, et par conséquent hausser ou baisser le rouleau T.

Mais pour graduer les mouvements et les rendre égaux dans les deux crémaillères, il existe un arbre V, soutenu par les piliers du cadre, et qui porte à ses deux bouts des pignons V', V", qui communiquent avec les deux crémaillères T', T.

Cet arbre s'étend sur le devant du cadre et porte à son extrémité une roue à déclic *v* et un manche Y'. L'ouvrier n'a donc besoin que de saisir le manche, et de le tourner dans la direction de la roue à déclic pour hausser les crémaillères et le rouleau T qu'ils portent, ou de lever le cliquet, et de tourner le manche dans la direction contraire, quand il veut baisser le rouleau de manière à appliquer le drap sur une portion plus grande du tambour.

Les têtes de chardons dont on se sert pour le lainage sont celles de la plante que les botanistes connaissent sous le nom de *dipsacus fullorum*. Les petites pointes recourbées comme un hameçon, leur dureté et leur élasticité les rendent parfaitement propres au travail qu'elles ont à exécuter; mais le chardon le plus recherché par les fabriques du nord est en grande partie récolté dans le midi, quoique presque tous les terrains puissent cependant en fournir, mais sans que leur production offre les mêmes avantages dans les différentes localités : c'est donc une matière dont le prix est variable avec l'abondance et la rareté de sa récolte.

Cette circonstance, les soins de séchage qu'on est obligé de leur donner après chaque lainage pour empêcher la détérioration des pointes, le travail qui ne se fait que par les parties culminantes du chardon, le nettoyage qu'ils exigent pour enlever la laine qui s'y est attachée pendant le travail, sont autant de raisons qui ont dû provoquer des recherches pour substituer une autre mode de lainage ou pour arriver à créer des chardons artificiels en métal. De nombreuses et ingénieuses tentatives en France et en Angleterre jusqu'à ce jour sont demeurées sans succès, aucune d'elles ne réalisant autant de conditions favorables que le chardon naturel, malgré les inconvénients que nous avons signalés.

On a fait aussi des essais, et pris des brevets pour des machines circulaires dans lesquelles au lieu de faire agir les pointes des chardons perpendiculairement aux fils de la trame comme cela se pratique, on les faisait travailler circulairement et obliquement sur la surface du drap.

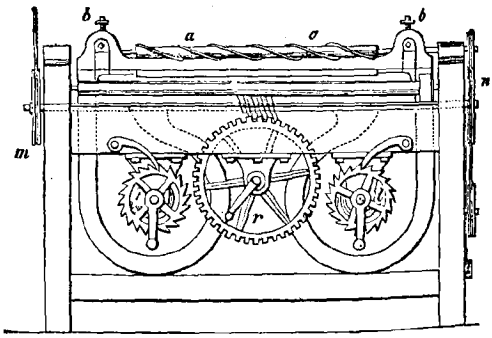
D'autres essais ont été faits qui avaient pour but de soutenir le drap du côté opposé à celui du lainage pendant qu'on pratiquait ce travail.

On a aussi tenté de combiner des applications de vapeur avec l'action du lainage, en disposant des tuyaux de vapeur sur le cylindre à chardons dans le sens de la longueur des cadres qui les portent et entre ces cadres, l'étoffe serait ainsi soumise alternativement à la chaleur et à l'humidité. Nous ne croyons pas devoir nous arrêter à la discussion de ces différents procédés aucun d'eux n'ayant survécu et ne devait à notre avis survivre.

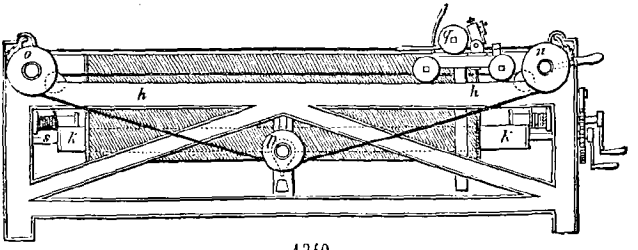
Tonte du drap. Parmi les machines pour tondre les tissus de laine, celles de Lewis et de Davis ont été très généralement employées. Ces machines ont été introduites en France par G. Collier où elles sont connues sous son nom.

La fig. 1339 représente le bout et la fig. 1340 un profil de la machine de Lewis pour tondre le drap d'une lisière à l'autre.

La fig. 1341 représente le chariot avec la table de la machine sur une échelle plus grande; *a*, est un cylindre de métal, sur lequel est fixée une lame d'acier triangulaire; ce fil est préalablement plié autour du cylindre



1339.



1340.

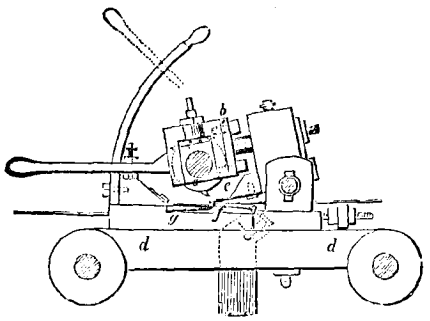
en forme d'hélice comme le représente *a a*, dans la fig. 1339.

Cette lame est en acier trempé et constitue le couteau destiné à raser le drap.

L'axe du cylindrique *a* tourne dans le cadre *b*, qui, ayant des ajustements convenables, est monté sur des pivots *c*, qui se trouvent dans le montant du chariot *d d*, *e*, est la lame fixe attachée à la barre *f* qui constitue l'autre bord du coupeur, c'est-à-dire la lame station-

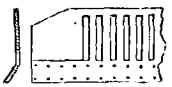
EFERUS - Recherche & Classification numérique

naire qu'on nomme lame femelle et contre laquelle agissent les bords du coupeur tournant auxquels on donne

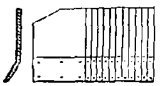


1341.

le nom de lame mâle ; *f* et *g*, sont des ressorts plats destinés à tenir le drap indiqué par des points contre les



1342.



1343.

bords coupants. On voit par les fig. 1342 et 1343 que ces ressorts *f* et *g* sont des plaques minces de métal coupées en bandes étroites ou percées de longs trous. Leur but est de soutenir le drap qui doit passer entre, et d'opérer comme un lit à ressorts, appliquant la surface du drap contre les coupeurs, de manière à ce que le duvet ou poil puisse être tondu, à mesure que le chariot *d* est tiré le long des rails supérieurs du bâti de la machine *h h*, au moyen de courroies commandées convenablement.

La pièce de drap que l'on veut tondre est roulée sur le rouleau *k*, et son bout dirigé à travers la machine, entre les ressorts plats *f g*, (comme on le voit dans la fig. 1344), vers l'autre rouleau *l*, puis attaché ; les côtés ou lisières du drap étant tenus étendus par de petits crochets. Le drap ainsi placé dans la machine et fortement tendu est maintenu dans cette position au moyen de roues à rochets qui se trouvent sur les bouts des rouleaux *l* et *l*. Au commencement de l'opération de la tonte, le chariot *d* doit être ramené en arrière, comme dans la fig. 1340, de manière à ce que les coupeurs soient tout près de la lisière ; le cadre des coupeurs est levé sur ses pivots, quand il recule, afin de ne pas endommager le drap, mais on le baisse ensuite avant de le faire agir. Une manivelle est appliquée à la poulie *m* qui, au moyen d'une corde sans fin, passée autour de la poulie *n* à l'extrémité opposée de l'axe *m* et autour des autres poulies *o* et *p* et de la petite poulie *q* sur l'axe du roupeur cylindrique, donne à ce coupeur un mouvement de rotation très rapide ; pendant ce temps une vis sans fin qui se trouve sur l'axe de *m* et *n* s'engageant dans les dents de la grande roue *r*, fait tourner cette roue, et un petit tambour *s* placé sur son axe pour rouler la corde, de manière que le chariot *d* avec les coupeurs *a* et *e*, et le lit à ressorts *f* et *g*, sont lentement, mais progressivement, avancés, et portent les coupeurs sur la surface du drap d'une lisière à l'autre, la rotation rapide du cylindre coupant *a* effectuant l'opération de la tonte.

Sur le cylindre coupant, entre les lames en spirale, on a proposé de placer des bandes de panne, en guise de brosses, pour relever le duvet ou poil à mesure que le cylindre agit, et par conséquent mettre les pointes de la laine en contact avec les coupeurs.

La même invention a été adaptée à une machine pour tondre le drap dans le sens de sa longueur.

La fig. 1344 représente une élévation géométrique de l'un des côtés de la machine établie par M. Davis. La fig. 1345, est un plan horizontal de la même machine, vue d'en haut, et la fig. 1346 une section prise verticalement en travers de la machine, près du milieu, afin de montrer les parties actives mieux que dans les deux autres figures précédentes. Ces trois figures représentent une machine complète fonctionnant, les coupeurs agissant par un mouvement de rotation et le drap étant placé sur le chariot, de manière à être tondu d'un côté à l'autre ; *a a a*, est le cadre de bois ou de fer, parfaitement assemblé par des traverses aux deux bouts et au milieu sur les côtés supérieurs du cadre. Il y a une série d'axes portant les rouleaux-guides, *b, b, b*, sur lesquels passent les barres latérales *c, c*, du cadre qui porte le drap, lorsqu'il passe sous les coupeurs dans l'opération de la tonte. Les côtés latéraux *c, c*, sont des barres de fer droites, ayant à leur partie inférieure des tranchants qui se meuvent facilement sur les rainures des rouleaux *b, b, b*. Ces côtés latéraux sont fortement unis par les traverses du bout. Le cadre glissant est muni des deux rouleaux inférieurs *e, e*, sur lesquels est roulé le drap que l'on veut tondre, des deux rouleaux supérieurs et latéraux *f, f*, sur lesquels le drap est conduit et soutenu, et des deux rouleaux du bout *g, g*, au moyen desquels les barres *h, h*, sont tendues.

Quand on se prépare à tondre une pièce de drap, toute la longueur de la pièce est d'abord roulée fortement sur l'un des rouleaux inférieurs *e*, qui doit être un peu plus long que la largeur du drap d'une lisière à l'autre.

On lève ensuite le bout de la pièce et on le passe par dessus les rouleaux latéraux *f, f*, d'où on le ramène sur l'autre rouleau *e*, et l'on attache ce bout à ce rouleau. Les crochets des barres *h, h*, sont alors engagés dans les lisières, et les deux rouleaux inférieurs *e, e*, ainsi que les deux rouleaux *g, g*, sont tournés afin de tirer le drap et de le tendre, laquelle tension est maintenue par des roues à rochets fixées aux bouts des rouleaux respectifs, ayant des cliquets qui s'engagent dans leurs dents.

On fait glisser avec la main, sur les barres du haut, le cadre qui porte le drap, de manière à ce que la lisière soit presque près du coupeur *i i*, prêt à commencer l'opération de la tonte ; on hausse alors le lit qui présente le drap aux tranchants des ciseaux.

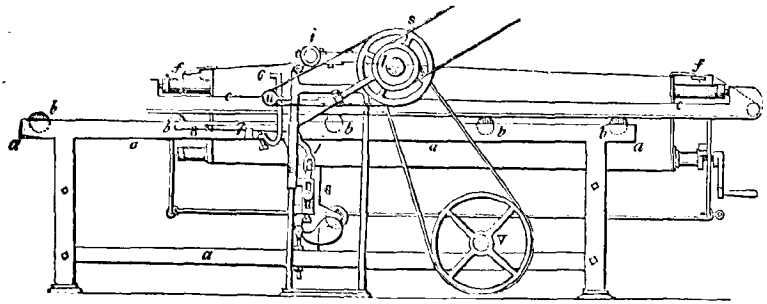
En considérant la section transversale, fig. 1346, on aura une idée de la construction du lit. Il est composé d'un rouleau de fer ou d'un autre métal *h, h*, ayant la forme d'un cylindre parfait, et recouvert de drap ou de cuir, afin que l'élasticité existe à un faible degré. Ce rouleau est monté sur des pivots dans un cadre *l l*, et il est soutenu par un rouleau plus petit *m*, monté de la même manière, lequel rouleau a pour but simplement de prévenir toute courbure ou dépression de la partie centrale du rouleau supérieur ou lit *k k*, de manière à ce que le drap soit tenu en contact avec toute la longueur des lames coupantes.

Afin que le lit *k* puisse se lever et tomber, pour présenter aux coupeurs le drap qui doit être tondu, ou pour le baisser après l'opération, le cadre *l l*, peut glisser du haut en bas dans le support, ou table à rainure *n n*, indiquée par des points.

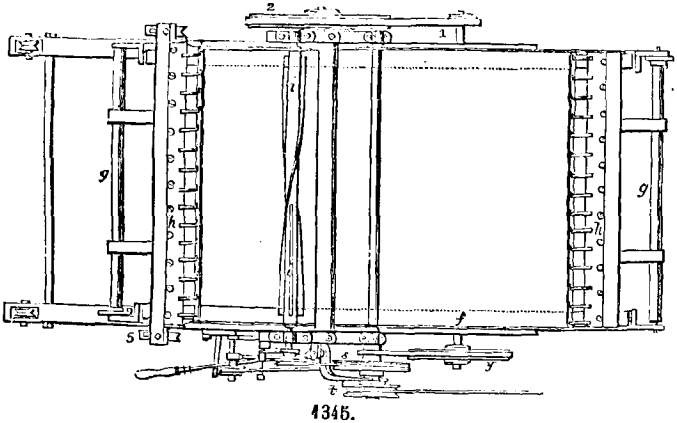
Ce support est situé vers le milieu de la machine, la traversant précisément sous les coupures, et il est fixé au cadre *a* par des boulons et des vis. Il y a un levier *o*, fixé à la barre transversale du support, qui tourne sur un axe qui lui sert de point d'appui. Le bout du bras le plus court de ce levier agit sous le centre du cadre glissant, de sorte qu'à l'aide du levier *a*, le cadre glissant ainsi que le lit, ceux-ci sont haussés ou baissés, et quand ils sont haussés, retenus par un cliquet à ressort *j*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

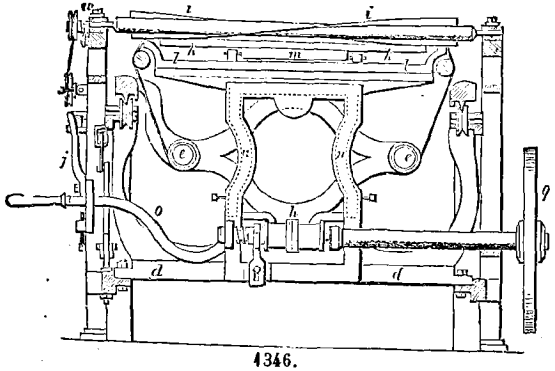
Après avoir expliqué la construction du lit qui supporte le drap, et comment il est levé de manière à tenir le drap en contact avec les coupeurs pendant l'opération de la tonte, il est nécessaire maintenant de décrire la manière dont sont construits les coupeurs et comment ils fonctionnent ; ce coupeur est représenté sur une plus grande échelle dans la fig. 1347.



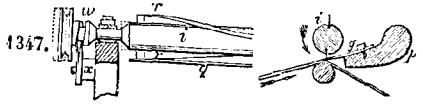
1344.



1345.



1346.



1347.

1348.

Dans cette figure on représente une partie des coupeurs dans la même position que dans la fig. 1346, et à côté (fig. 1348) se trouve une section des mêmes coupeurs, prise à angles droits. Dans la première, *p*, est une barre ou côté métallique, ayant un peu la forme d'un coin, qui est fixée au sommet du support ou table *a a*, et qu'on voit mieux dans la fig. 1344. A cette barre est attachée, au moyen de vis, une lame droite d'acier *g*, dont le tranchant s'avance parallèlement au centre du coupeur cylindrique *i*, et forme le tranchant inférieur fixe des ciseaux. Cette lame reste stationnaire, et se trouve en contact avec le poil ou duvet du drap, quand on hausse le lit *h*, de la manière que nous avons décrite plus haut.

Le coupeur ou lame supérieure mâle des ciseaux est formé par l'insertion dans les rainures du cylindre métallique *i i*, de deux lames d'acier *r*, *r*, disposées dans des directions telles qu'elles s'entrelacent ; les tranchants de ces lames *r*, pendant le mouvement du cylindre *i*, passent le long du tranchant de la lame fixe *g*, et par leur obliquité coupent comme des ciseaux, les tranchants des deux lames saisissant le poil ou duvet, lorsque le drap passe dessous, rasent les bouts de laine superflus et laissent la surface unie.

Le mouvement de rotation imprimé au cylindre *i*, au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

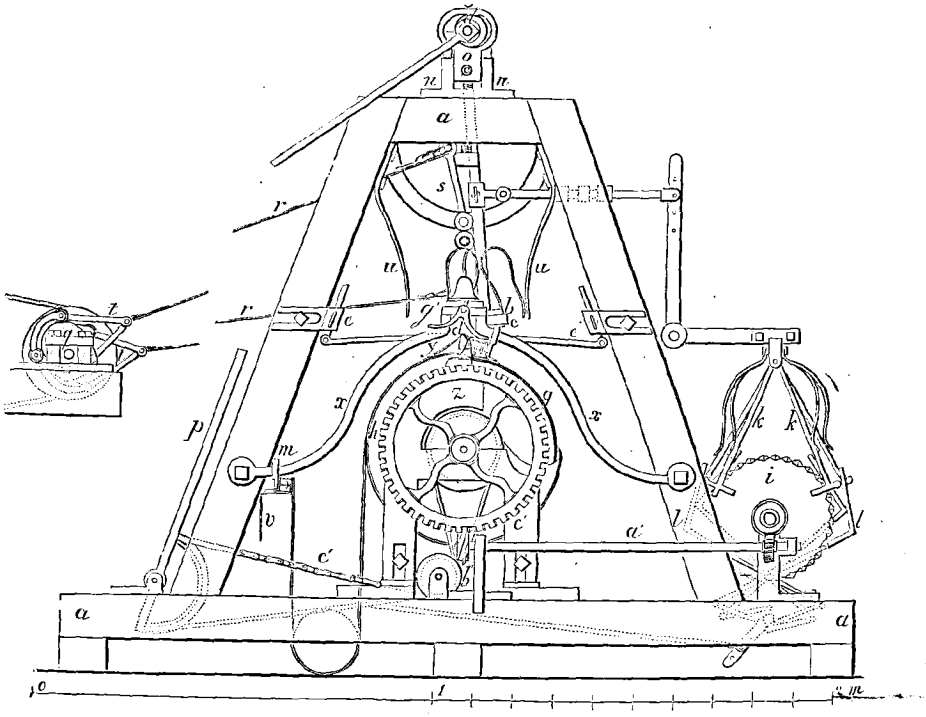
moyen d'une courroie venant d'une roue *s*, qui passe autour de la poulie fixée au bout du cylindre *i*, la roue *s* étant mue par une bande venant du métier et passée autour de la poulie *t*, fixée sur l'axe *s*.

Cette courroie est tendue par une poulie de tension *u*, montée sur une pièce mobile *v*, qui peut s'ajuster et qui est fixée au bâti par une vis, et ce bâti ou support peut être haussé ou baissé, par conséquent mis en rapport ou hors de rapport par un embrayage et un levier, ce qui met en mouvement la machine ou l'arrête.

Pour donner au coupeur un coup allongé, dont l'effet est de mieux tondre le drap, le coupeur supérieur a une action légèrement latérale, provenant de ce que l'axe du cylindre coupeur est assez long pour pouvoir glisser latéralement d'environ 0m,02 dans ses coulisses ; ce mouvement est effectué par un manchon à gorge inclinée fixé à l'un des bouts. Ce manchon est formé par une rainure oblique taillée autour de l'axe (voyez *w*, figure 1347) et une dent *x*, fixée au cadre, et qui s'y engage quand le cylindre tourne. C'est par le moyen de cette dent que le cylindre glisse latéralement, d'une distance égale à l'obliquité de la rainure *w*, ce qui produit le coup allongé de la lame supérieure. Pour que la rotation du cylindre coupeur ne soit pas arrêtée par le frottement, la dent *x* est faite de deux pièces un peu séparées, de manière à ce qu'il y ait un faible degré d'élasticité.

Le drap passe progressivement sous les coupeurs de la manière suivante ; sur l'arbre de la roue (fig. 1345), et immédiatement derrière cette roue, il y a une petite poulie de laquelle passe une courroie sur une roue *g*, montée sur un arbre tournant dans des supports sur la barre latérale inférieure du bâti *a*. A l'extrémité opposée de cet axe se trouve une autre petite poulie 1, de laquelle une courroie passe à une roue 2, fixée sur l'axe 3, qui traverse près du milieu de la machine, et que l'on voit dans la fig. 1344. Sur cet axe se trouve une poulie autour de laquelle passe plusieurs fois une corde, dont les bouts sont attachés aux extrémités du chariot *d*. Lorsque cette poulie est donc attachée à l'axe, ce qui a lieu au moyen d'un embrayage, les mouvements de la machine que nous avons décrite font tourner la poulie 4, et au moyen de la corde passée autour, attirent progressivement et lentement sous les coupeurs le cadre et le drap.

Il nous reste seulement à indiquer comment la machine cesse définitivement quand la lisière arrive aux coupeurs.



1349.

Au bout de l'une des barres *h*, se trouve un arrêt fixé par un écrou 5, qui, lorsque le chariot est avancé, est amené à presser un levier 6 ; alors un bras de ce levier agissant sous un cliquet 7, lève ce cliquet et permet au levier à main, que presse un fort ressort, de dégager le manchon de la roue 8, ce qui arrête le mouvement de la machine.

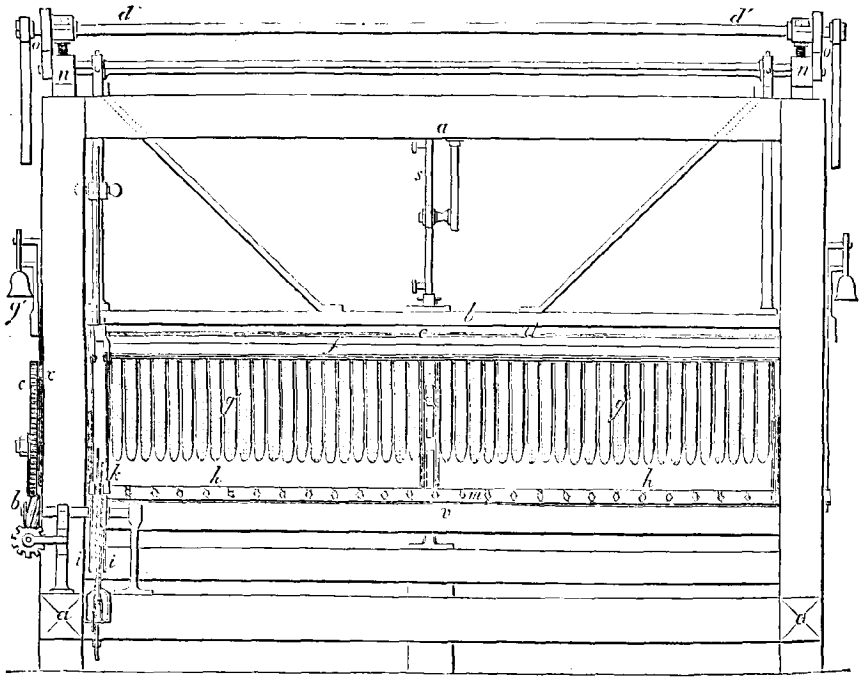
La partie inférieure du levier 6, étant jointe par une articulation au sommet du levier *j*, le levier 5, en se retirant, retire le cliquet inférieur *j*, et permet au cadre glissant *l l*, de descendre. En tournant alors les rouleaux inférieurs *e*, *e*, une nouvelle portion du drap se présente pour être tondue, et lorsqu'elle est convenablement tendue par les moyens décrits plus haut, on glisse le chariot en arrière, et toutes les parties de la machine étant mises en jeu, l'opération a lieu comme auparavant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

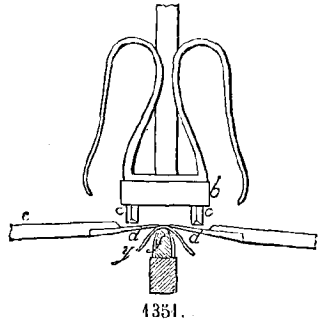
M. Abraham Poupart, de Sédan, inventa une machine remarquable, qui est moins en usage que celles que nous venons de décrire, mais dont on fait encore un assez fréquent emploi aujourd'hui.

La fig. 1350 représente une vue de face de cette machine. La fig. 1349, une élévation latérale, et la fig. 1351, une élévation particulière sur une plus grande échelle de la table et des lames qui opèrent la tonte, ainsi que du balancier.

a, assemblage pyramidal en bois d'environ 2 mètres de long sur 1m,66 de haut et 1m 75 de largeur moyenne, formant le bâti qui supporte et réunit toutes les pièces qui composent la machine.



1350.



1351.

b, balancier en fer de 0,66 de haut sur 1,66 de large, portant à la partie inférieure des lames d'acier fondu *c*. Le mouvement de ce balancier fait passer ces lames sur deux autres lames *d*, fixes ou dormantes, parallèles, dites femelles, qui produisent la tonte à double effet, c'est-à dire qu'elle a lieu sur tous les mouvements de va-et-vient du balancier. Le nombre de lames que porte ce balancier est indéterminé ; il peut être de quatre, six et plus, suivant qu'on désire abréger plus ou moins la tonte.

La tonte opérée sur tous les mouvements du balancier par les lames *d*, produit un effet très avantageux, en ce que les coupes étant données successivement de droite à gauche et de gauche à droite, le poil du drap s'arrondit, se divise et acquiert une grande douceur.

e, bras portant les lames femelles *d*.

f, table élastique en fer recouverte d'un cuir et soutenant le drap sous les lames; ses dimensions aussi bien que celles de toute la machine en général permettent de tondre le drap longitudinalement ou transversalement.

g, deux cylindres en bois cerclés, ou enveloppés de cardes, qui accrochent le drap en dessous de la table élastique pour l'entraîner et le diriger à la tonte; le mouvement de ces cylindres dans la tonte transversale fait marcher le drap jusqu'à ce que les lisières se trouvent sous les tranchants des lames fixes; le mouvement rétrogradant alors soustrait la lisière à l'action de la tonte, sans néanmoins que cette tonte cesse d'avoir lieu sur le drap, quoique marchant en sens contraire.

Il est à remarquer ici que le drap n'étant que légèrement tendu dans la partie qui forme une ligne tangente du point des lames fixes à celui de la courbe des cylindres où le drap s'accroche, il en résulte que le drap ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'élargit point, qu'il conserve sa force et sa qualité, que la distance du point des lames fixes à celui de la courbe des cylindres étant invariable, produit une marche régulière, et par conséquent une tonte parfaitement égale.

h, chapes en tôle demi circulaires et mobiles, enveloppant une partie des cylindres *g*, détachant le drap et empêchant qu'il ne roule sur ces cylindres ; des dents courbes qui terminent ces chapes, plongeant dans l'entre-deux des rubans de cardes qui garnissent les cylindres *g*, font, par le mouvement de ces cylindres, monter le drap sur les chapes et le détachent des cardes.

i, deux rochets imprimant le mouvement circulaire et rétrograde aux cylindres au moyen de cliquets *k*, communiquant au balancier; ces rochets sont fixés sur un même axe, leurs dentures sont en sens contraires; les cliquets s'engagent alternativement par un mouvement de leviers croisés *l*, sur l'un ou l'autre des rochets changent le mouvement circulaire suivant le sens des dents, l'arbre qui communique les divers mouvements aux cylindres est encore construit de manière à ce que le mouvement augmente ou diminue de vitesse, pour accélérer ou ralentir la marche du drap.

m, deux coulisses en tôle dirigeant les lisières pour les soustraire à la tonte; dans l'intérieur de ces coulisses se trouvent des molettes placées à des distances très rapprochées, de manière qu'en y introduisant la lisière elles la pénètrent et la maintiennent latéralement, et qu'en tirant par les extrémités, les molettes en tournant la laissent venir et produisent ainsi un crochetage continu.

n, palier du balancier, mû par le secours d'un arbre excentrique, un mouvement vertical règle la pression des lames mobiles sur les lames fixes et fait cesser la tonte à volonté. Ces paliers ont leurs coussinets en cuivre *o*, qui forment chapes à l'arbre excentrique qui les unit.

p, levier servant à opérer tous les changements de mouvement de la machine en simplifiant la manœuvre au point qu'un enfant peut la diriger.

q, excentriques montés sur un arbre tournant et changeant le mouvement circulaire continu du moteur en mouvement alternatif et d'oscillation.

Ces excentriques tournent dans des chapes à galets *l*, qui communiquent au moyen de courroies à une bascule *s*, qui transmet ce mouvement d'oscillation au balancier.

u, ressorts de renvoi réglant la course du balancier et détruisant la force d'inertie dans les changements de mouvement.

v, étoffe fixée aux coulisses *m*, qu'elle entraîne suivant le mouvement des cylindres *g*.

x, guides et supports des coulisses *m*.

y, drap fixé par les lisières dans les coulisses *m*, et prêt à recevoir la tonte transversalement.

z, support en fonte portant l'axe des cylindres *g*, et la table élastique *f*.

d, arbre horizontal communiquant le mouvement vertical aux coussinets *o*, du balancier pour régler la pression des lames mobiles sur les lames fixes ou dormantes et faisant cesser la tonte à volonté.

a', arbre horizontal communiquant le mouvement des rochets *c'* aux cylindres *g*, à l'aide d'une vis sans fin *b'* qui engrène une roue dentée *c'* fixée sur l'axe de ces cylindres.

e', chaîne fixant la position des chapes *h*, suivant la marche du drap sur les cylindres.

f', tirant faisant mouvoir les petits leviers qui mettent en jeu les cliquets des rochets ; *g'*, détentes avec sonnettes indiquant le moment où la lisière du drap arrive sous les lames fixes *a*, pour arrêter ou changer le mouvement.

La pièce de drap à tondre est conduite par un cylindre *e*.

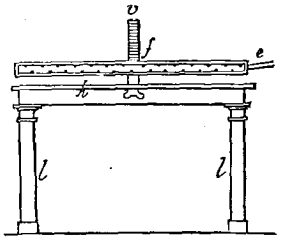
Pour arriver à une tonte parfaite, l'opération est non seulement réitérée avec la même machine à tondre, mais il est bon encore de changer de système de machine, et de tondre alternativement avec la tondeuse à hélices longitudinale et transversale, et de donner les dernières coupes avec la tondeuse Poupart ; on arrive de cette manière à la faire plus uniformément et le plus près possible.

Après le tondage, comme après chaque opération, on procède à une nouvelle visite pour s'assurer si le travail a été convenablement exécuté, si le drap a été tondu bien également et assez court, s'il n'est pas creux ; car, dans ce cas, on le ferait passer à la vapeur, en donnant un peu de pression, pour pouvoir ensuite le travailler à la lainerie. Si, au contraire, il était trop fort, trop dur, s'il ne présentait pas assez de moelleux à la main, on le repasserait à la vapeur, à la pression ordinaire, et on recommencerait également une opération de lainage avec une faible tension.

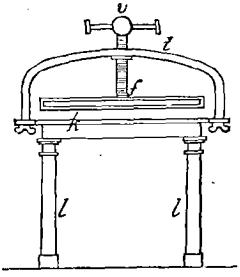
DERNIERS APPRÊTS.

Apprêts à la chaleur et à la vapeur. Quand le drap a été trouvé réussi à point, on l'expose simultanément à une certaine température et à une pression considérable, pour bien coucher le duvet de la surface et lui donner le brillant recherché. Cet apprêt se fait maintenant généralement chez nous, en disposant le drap replié sur lui-même entre des cartes très lisses, qui sont chauffées par des plaques métalliques, dont la température a été élevée, soit par un chauffage direct soit par la vapeur qu'on introduit dans ces plaques, elles doivent par conséquent être creuses dans ce cas. Une planche

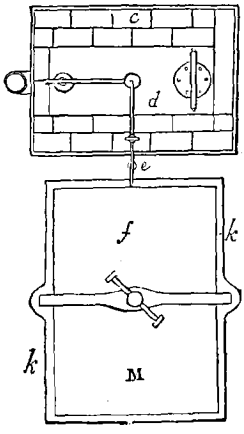
1352.



1353.



1354.



1355.

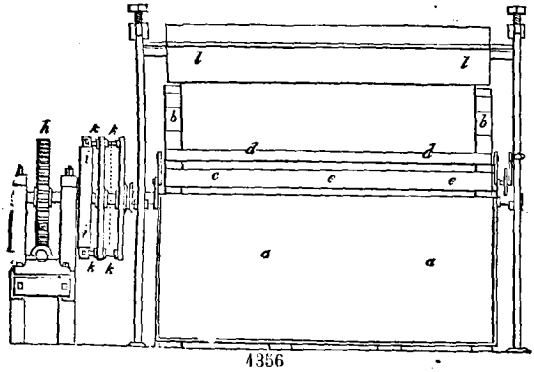
assez épaisse en bois est placée entre les cartes dont nous venons de parler et cette plaque chaude ; on forme de cette manière une pile de plusieurs pièces les unes sur les autres, recevant sur toute la hauteur trois à quatre plaques chaudes, autant qu'il y a de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

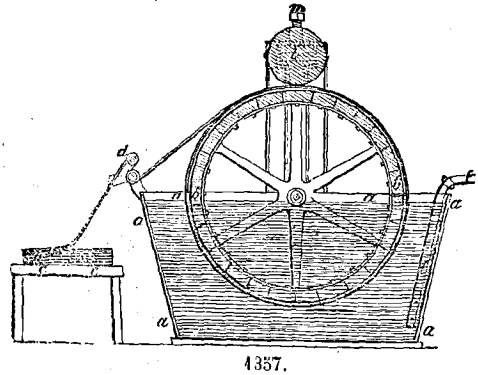
pièces d'étoffes. Ayant obtenu ainsi une pile d'une hauteur suffisante, on l'expose entre les deux plateaux d'une presse hydraulique, en la soumettant pendant quelques heures à une pression qui est rarement au-dessous de 200,000 kilogr. Cependant elle est bien moindre pour les draps fins que pour les draps communs.

Après le pressage, le drap a acquis un grand lustre, qui ne serait ni résistant ni agréable à l'œil, si on ne le décatissait en le faisant passer à la vapeur à basse pression, qui l'imprègne complétement. Cette opération est extrêmement simple : le drap se trouve étalé par couche sur une table, où il est fixé par une pression plus ou moins forte. La fig. 1352 représente cette table, dont *l*, *l*, sont les pieds ; le drap se place entre les deux surfaces *h* et *f*; la vapeur arrive par l'orifice *s*, et se dégage par les petits trous à travers les plis du drap, que l'on a eu soin de recouvrir d'une flanelle pour mieux concentrer la vapeur. La pression dont nous avons parlé s'opère ici assez facilement à la main, au moyen de la vis *v* qui a son écrou dans une traverse recourbée *t* sur la table, qui est ajustée de chaque côté par des vis, comme le font voir les vues M de la table, fig. 1353 à 1355.

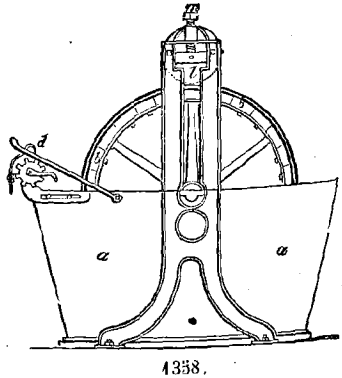
On a cherché, en Angleterre, à substituer à l'action de la vapeur, ou de l'eau bouillante qu'on emploie ordinairement, celle de l'eau chaude et de l'eau froide avec ou sans pression. Voici l'appareil inventé dans ce but par M. Hirst.



1356



1357.



1358.

La figure 1388 représente l'appareil complet et prêt à fonctionner, vu de face.

La figure 1357 est une section transversale, prise dans le milieu de la machine dans la direction de la figure 1358, et la figure 1358 représente le bout de la même machine : *a a a*, est un vaisseau de bois ou de fer, ou de toute autre matière convenable, incliné par devant et par derrière et perpendiculairement aux deux bouts. Il faut que ce vaisseau soit assez grand pour recevoir la moitié du diamètre du cylindre ou du tambour *b b b* qui y plonge, lequel cylindre a environ 1m,30 de diamètre et environ 2 mètres de long, ou quelque chose de plus que la largeur de la pièce de drap sur laquelle on doit opérer. On construit ce cylindre ou tambour *b b*, en réunissant des segments de bois taillés en cannelures sur leurs bords, et maintenus par des boulons à vis sur le cercle des croisillons de fer, ayant des bras et un axe qui en traverse le milieu.

Le cylindre ou tambour étant ainsi fait, rendu uni sur sa circonférence, et monté sur son axe dans la cuve, on y roule aussi fortement que possible la pièce de drap ; ce qui se fait de la manière suivante :

On place le drap plié sur un tabouret, comme dans la figure 1357. On en fait passer le bout dessus et entre les rouleaux à tension *d*, *e*; et puis le fixant au tambour, on attire progressivement le drap entre les rouleaux de tension retenus par un rouleau serré à vis sur la circonférence du tambour, en faisant tourner celui-ci sur son axe, jusqu'à ce que toute la pièce de drap soit roulée et serrée, puis on l'entoure de la toile ou de toute autre enveloppe pour la maintenir.

Si la cuve n'a pas d'abord été remplie d'eau pure et claire, on la remplit alors, comme on le voit dans la figure 1357, et on ouvre le robinet du tuyau *f*, qui vient d'une chaudière ; on permet à la vapeur de parcourir le conduit et de se décharger à la partie inférieure, ce qui élève la température de la cuve à environ 100° centigr. Avant que la température de l'eau ait monté, on imprime au tambour un mouvement de rotation lent, pour que le drap puisse être également chauffé dans toutes les parties. Le drap, par l'immersion dans l'eau chaude et par le passage à l'air froid, répétés successivement pendant l'espace de huit heures, acquiert, dit l'inventeur, une surface unie et douce sans que le tissu devienne dur ou soit endommagé d'une autre manière.

Le mouvement uniforme de rotation est indiqué par la figure 1358, dans laquelle *y* est une vis sans fin placée horizontalement, et mue par une machine à va-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peur ou tout autre premier mobile dont on se sert dans la fabrique. Cette vis sans fin s'engage dans les dents de la roue verticale *h*, et meut cette même roue sur l'axe de laquelle est fixée *e e*, et par conséquent tourne continuellement avec. Au bout de l'axe du tambour se trouve monté un manchon d'embrayage glissant *k k*, qui, lorsqu'il est dans la position indiquée par les points dans la figure 1358, produit la jonction; le débrayage s'opère en sens inverse.

Après avoir opéré sur le drap de la manière décrite, en le passant dans l'eau chaude pendant le temps requis, il faut tirer l'eau chaude par un robinet qui se trouve placé au fond de la cuve, ou par un autre moyen, et la remplacer par de l'eau froide. On tourne le drap dans cette eau froide, de la manière indiquée plus haut, pendant 24 heures, ce qui fixe le lustre que la surface du drap a acquis par son immersion dans l'eau chaude, et laisse le duvet doux et soyeux au toucher. Dans l'opération à l'eau froide, M. Hirst emploie quelquefois un lourd rouleau de pression *l*, qui, disposé dans des montants sur le cadre, tourne avec le grand tambour roulant sur le drap à mesure qu'il passe. On peut faire agir le rouleau sur le drap avec la pression que l'on désire, en baissant les vis *m*, *n*, ou par l'emploi de leviers chargés de poids, si on le juge nécessaire.

Après l'apprêt dont nous venons de parler, on soumet de nouveau le tissu à l'action du chardon, dans le but seulement de démêler la surface des filaments que la vapeur a trop condensés. Cette opération, que l'on nomme *gitage*, se pratique avec du chardon en partie usé, afin de produire un effet moins énergique.

Tension à la rame. On rame un drap en l'étendant humide sous la tension nécessaire pour donner à la surface les dimensions voulues, et on ne le retire de la rame que lorsqu'il est parfaitement sec. On lui fait subir, sous cette tension, un fort brossage dans la direction du poil.

Les dimensions ordinaires adoptées pour la draperie sont de 45 à 50 mètres sur 1m,50 pour une pièce entière. Quelquefois on fabrique par demi-pièces qui ont une longueur moitié; certains articles spéciaux se font aussi parfois sur une largeur moindre.

Ce séchage à la rame s'opère le plus communément, et lorsque le temps le permet, à l'air libre, et, dans le cas contraire, dans des séchoirs chauds dans les deux circonstances. Voici les dispositions généralement employées.

L'appareil habituellement employé se compose de deux montants supportant un sommier fixe. Une traverse, placée à la partie inférieure, peut glisser le long des montants; elle est arrêtée au moyen de boulons entrant dans des trous correspondants aux diverses positions de cette pièce le long des montants. Celle-ci est articulée en plusieurs points ce qui permet de tendre plus ou moins certaines parties, afin de redresser plus également les inégalités que la pièce pourrait représenter sur la largeur, et tendre un peu plus les parties étroites, *et vice versâ*.

Les deux traverses sont garnies sur toute leur longueur d'une ligne horizontale de petits crochets ou traverses qui existent également sur toute la hauteur d'un montant vertical; l'autre extrémité est terminée par un montant, à côté duquel se place le cylindre vertical sur lequel le drap est enroulé.

On commence par dérouler le drap et par l'accrocher sur sa largeur au montant vertical; puis on le tend sur sa longueur, au moyen du cylindre vertical dont nous venons de parler. Cette tension en longueur étant terminée, on l'accroche au haut et au bas à sa lisière; l'accrochage terminé, la tension opère sur sa largeur, en faisant descendre plus ou moins la traverse inférieure, comme nous l'avons indiqué; on brosse ensuite l'étoffe ainsi apprêtée, au moyen d'une brosse circulaire qui a toute la largeur de la pièce.

On laisse sécher l'étoffe tendue avant de la décrocher; une tension trop forte ne peut faire gagner en longueur qu'au détriment de la solidité.

Cette tension en largeur, par partie, est longue, serait difficilement applicable dans les séchoirs chauds, qui sont ordinairement à une température extrêmement élevée et où il y a peu de place.

Nous avons fait construire des rames pour lesquelles la tension s'opère en une seule fois par un mouvement mécanique placé à l'extérieur du séchoir, et pour plus de commodité nous avons rendu le chapeau supérieur mobile.

Dans notre système, c'est la traverse supérieure qui est mobile le long de deux guides verticaux, et la traverse inférieure qui est fixe. Le mouvement s'opère à l'aide de chaînes passant sur des poulies, et venant s'assembler horizontalement à une tringle à laquelle le mouvement est imprimé; l'extrémité filetée de cette tringle (guidée pour ne pouvoir tourner), passant dans un écrou, mû par un engrenage.

L'appareil à ramer de M. Tulpin de Rouen est bien plus expéditif que ceux dont il vient d'être parlé. Il se compose essentiellement d'un tambour de quatre mètres de diamètre, formé de douze plaques creuses en tôle. Chacun de ces segments est chauffé par un tuyau de vapeur distinct et muni d'un tuyau de retour pour l'eau condensée, de manière à établir, par l'intermédiaire de l'axe en fonte cloisonné en deux parties égales, une circulation constante. Le tissu fixé à l'entrée de l'appareil par deux ouvriers s'enroule et se tend simultanément, par l'écartement qui se produit entre les bords, à mesure que le tambour tourne et livre une nouvelle longueur séchée. Cet appareil consomme peu de vapeur et produit beaucoup, grâce à la continuité du travail et à la rapidité de son action. C'est un excellent outil, tout à fait convenable pour les manufactures, pour une production considérable.

Tonte en apprêts. Après le séchage et le décrochage du drap de la rame, on le reporte de nouveau aux tondeuses pour donner les dernières coupes qu'on nomme tonte en apprêts. C'est surtout ce tondage qui doit se faire alternativement sur les différents systèmes de tondeuses. Le drap est ensuite fortement brossé par une brosse mécanique. A cette période du travail, on le soumet une seconde fois à la presse hydraulique, en chauffant des plaques comme la première fois, et enfin à un courant de vapeur pour décatir. Ce dernier décatissage est suivi d'un dernier pressage à froid, c'est-à-dire que le drap est disposé entre des cartes lisses qui ne sont plus chauffées; mais alors on donne la plus forte pression.

Cette pression à froid termine la série des opérations. L'étoffe est alors prête à être mise en toile et à être emballée.

DRAPS-FEUTRES. Se servir exclusivement des propriétés feutrantes de la laine pour en former des surfaces flexibles de dimensions indéterminées sans le secours du filage et du tissage, tel est le problème qui a été résolu par l'inventeur des machines à produire du drap feutre.

La tentative de faire des étoffes feutrées n'est pas nouvelle. Desmarest, dans un intéressant mémoire adressé en 1806 à l'Académie des sciences, sur différentes étoffes anciennes trouvées à Saint-Germain-des-Prés, dit qu'il pense que les étoffes en laines feutrées ont dû précéder les étoffes tissées. Il ajoute : « On a voulu, dans ces derniers temps, introduire dans le commerce des étoffes produites par le feutrage seulement, dont on vantait le bon marché et le bon usage; mais, dans les habits, on a bientôt reconnu les inconvénients de ces fabrications imparfaites; car on a vu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

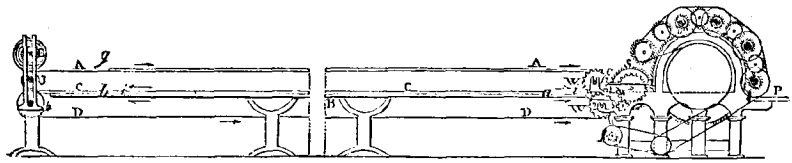
qu'un grand nombre de laines, même celles du Berry, qu'on feutrait avec la plus grande facilité, perdaient aussi aisément les effets du foulon, en sorte que les étoffes se décomposaient après un usage de peu de durée. D'ailleurs il est fort difficile d'obtenir des feutres d'une force égale dans toutes leurs parties. Je ne doute donc pas que les anciens, s'ils se sont attachés d'abord au travail des laines simplement feutrées, comme Pline semble l'indiquer, ne les aient abandonnées comme des produits d'une fabrication fort imparfaite, et n'aient pris pour base de leurs feutres des toiles de laines plus disposées à recevoir également l'action du foulon, que l'échantillon ancien de drap foulé trouvé dans les tombeaux de Saint-Germain-des-Prés. Ce sont ces avantages que les anciens n'auront sans doute pas méconnus. »

On se rappelle sans doute encore la sensation que causa naguère la nouvelle de cette invention dans le monde industriel et surtout dans l'industrie des laines, lors de son apparition, et les merveilles racontées par

qui l'engage dans la machine où, après avoir été cardée convenablement, elle est enlevée par un cylindre déchargeur S A C, est une grande toile sans fin supérieure qui passe sur les rouleaux 1 et 3. BD, une deuxième toile sans fin inférieure semblable, menée par les rouleaux 2 et 4.

Ces rouleaux tournent au moyen des roues d'engrenage W, W, W, qui sont fixées, la première sur le cylindre déchargeur de la carde, et les deux autres sur les rouleaux 1 et 2. Sur toute la longueur et la largeur de la toile sans fin inférieure, il existe une table en bois mince. Les deux toiles sans fin, ainsi que les rouleaux, tournent dans la même direction, ainsi que le font voir les flèches du dessin, c'est-à-dire que les deux surfaces *a* et *b* de ces toiles sans fin s'avancent dans le même sens et avec une vitesse dépendante de celle du cylindre déchargeur de la machine à carder.

La laine cardée est enlevée au cylindre déchargeur par un peigne mis en mouvement alternatif par la manivelle ordinaire *k*, et délivrée sous forme de nappe



1359.

les cent bouches de la Renommée. Qui eût pu prévoir qu'avant peu l'indifférence sur cette remarquable invention serait aussi complète que sa réputation avait été grande? Et cependant nous ne pouvons que répéter aujourd'hui ce que nous nous sommes permis d'écrire alors dans une petite note.

Nous disions que cette nouvelle application ne méritait certes pas la réputation et n'avait pas la portée que ses partisans intéressés ou non cherchaient à lui donner, mais que nous l'estimions également bien plus digne de fixer l'attention des hommes sérieux que ne le prétendaient ses détracteurs.

L'expérience a démontré que ses produits ne pouvaient, à cause de leur inégale élasticité dans les divers sens et surtout du danger de parties peu épaisses, peu résistantes, être employés pour vêtements, mais on a trouvé une application heureuse dans les tapis imprimés à bon marché. Pour trouver de nouvelles applications en diminuant les inégalités possibles, on a eu l'idée de réunir au moyen d'une piqûre un nombre plus ou moins grand de nappes de laine pure ou mélangée. Ces surfaces piquées sont foulées et apprêtées par les moyens ordinaires. La réalisation pratique du nouveau procédé exigeait la combinaison d'un système propre à l'exécution rapide et économique de la piqûre longitudinale et transversale de nappes de grandes dimensions. MM. Imbs ont imaginé dans ce but une machine portant 300 aiguilles qui manœuvrent simultanément et rapidement.

Passons à la description des machines servant à produire les feutres. Ces machines sont restées, sauf quelques légères modifications, ce que l'inventeur les avait faites dès leur mise au jour; nous n'avons donc qu'à reproduire les figures de ces machines, qui ont été données, lors des premières publications de cette invention, par plusieurs journaux spéciaux.

La fig. 1359 présente une vue latérale d'une carde ordinaire, et telle qu'on en fait usage dans la fabrication du drap-feutre. La laine étant bien purgée, sèche et suffisamment ouverte, est mise sur une toile sans fin

aux deux toiles sans fin qui, a-t-on dit, tournent dans le même sens.

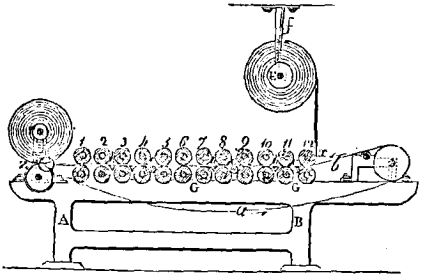
Celles-ci la conduisent entre les rouleaux 3 et 4, à la sortie desquels on la relève pour la faire passer entre les rouleaux 3 et E, et circuler sur la partie A, de la toile sans fin supérieure où elle s'avance vers la carde, arrivée en ce point, on la fait tourner autour du rouleau 1, puis on la double entre les rouleaux 1 et 2, d'où elle continue son mouvement dans le même sens. On superpose ainsi des couches successives les unes sur les autres, jusqu'à ce que la nappe ainsi doublée ou réunie ait acquis l'épaisseur convenable. Dans ce travail, la nappe reste constamment en contact ou adhérente à la toile sans fin A C, au moyen de celle inférieure B D, dont c'est la principale destination. On peut donner à cette toile A, C, une longueur et une largeur correspondantes à celles de la carde dont on fait usage, et par conséquent y travailler un poids déterminé de laine, afin de produire une nappe d'une épaisseur ou d'un poids donné par mètre courant.

Lorsque la nappe a acquis une épaisseur suffisante, on la coupe transversalement en *g*. Une des extrémités coupée est repliée sur le rouleau E, où, par suite de la pression de celui-ci sur la toile sans fin A C, elle s'enroule fortement. Ce rouleau attire ainsi peu à peu toute la nappe doublée, qui entraîne avec elle une nouvelle portion de laine qui lui est délivrée par la carde, et destinée à former une autre nappe; cette portion, après que la nappe est enlevée, monte à son tour sur la partie supérieure de la toile sans fin A C, et là recommence ainsi un nouveau doublage qui donne la nouvelle nappe, laquelle est enlevée comme la première. C'est de cette manière qu'on produit successivement des nappes les unes après les autres.

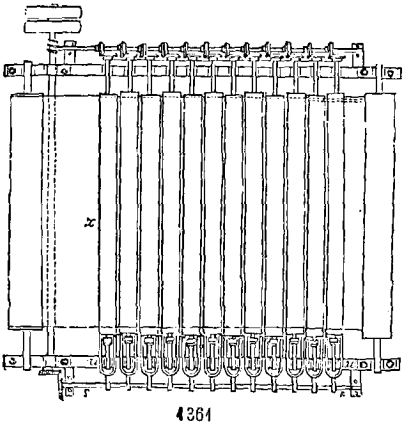
Le rouleau E, avec la nappe qui s'est enroulée dessus, est transporté sur une autre machine (fig. 1360), qu'on nomme machine à feutrer, et placé entre les crochets *f*. A B, indique le bâti de cette machine, et 1, 2, 3, 4, 5, sont les cylindres feutreurs rangés en deux séries longitudinales superposées l'une à l'autre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces cylindres sont habillés d'une étoffe élastique, et sur les inférieurs passe une toile sans fin mobile A B. Il y a aussi quelques tubes à vapeur C, C, C, entre les cylindres inférieurs et le dessous de la nappe. Ces tubes se prolongent d'un côté à l'autre de cette nappe et sur toute sa largeur, et sont percés supérieurement de petites ouvertures qui livrent le passage à la vapeur lorsqu'elle est destinée à humecter et réchauffer le feutre.



1360.



1361

bre S, S, (fig. 1361) placé transversalement à ces cylindres, ou suivant la longueur de la machine.

Cet arbre porte des excentriques qui produisent un mouvement alternatif longitudinal de 9 à 10 millimètres dans les cylindres supérieurs par le moyen des fourchettes à coussinets n, n, qui portent un des tourillons de ces cylindres.

Les cylindres feutreurs tournent avec lenteur au moyen d'une disposition simple qu'on voit dans la figure, en entraînant dans leur marche la toile sans fin. Entre plusieurs de ces cylindres, on a placé des tubes creux en métal qui sont chauffés par la vapeur et ont pour destination de favoriser par la chaleur l'action par laquelle les brins de laine pénètrent les uns dans les autres ou se feutrent.

Le rouleau E, chargé de la nappe, ayant été placé entre les crochets, ainsi qu'il a été dit, on introduit l'extrémité de cette nappe en x, entre la première paire de cylindres de la machine à feutrer.

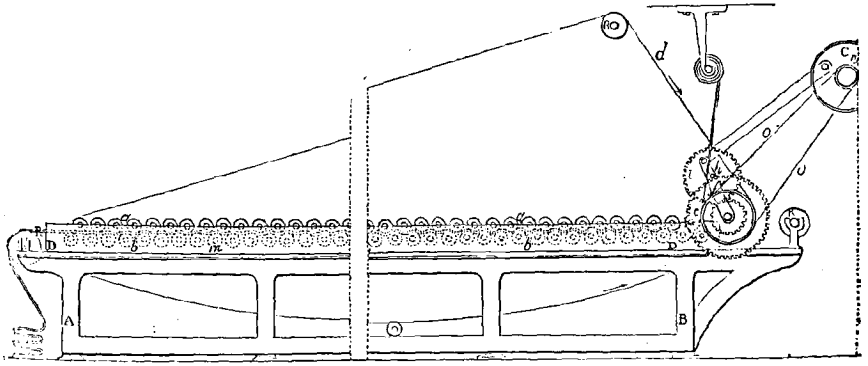
Cette nappe se déroule entre les deux séries de ces cylindres qui la transforment, par suite du frottement dû au mouvement alternatif qui a lieu suivant la longueur, de ceux de la série supérieure, ainsi que de l'humidité et de la chaleur, en un feutre épais, lâche et qui commence à rentrer.

Ce feutre, qui n'est pas en effet complétement formé, s'enroule après ce passage, en quittant la toile A R, sur un rouleau F d'où, après que celui-ci est complétement chargé, on le déroule aux machines suivantes

Le feutre en sortant de la machine à feutrer a besoin d'être soumis à un nouveau travail dans une machine à fouler qui achève le feutrage de la nappe et la transforme en drap. Cette machine est établie ainsi qu'il suit :

A B (fig. 1362), est un bâti entre les montants duquel est placée une auge DD, remplie d'une dissolution propre à favoriser le feutrage.

Sur le fond de cette auge rampe un serpentin percé de trous qui sert à porter, au moyen de la vapeur, la liqueur à l'ébullition ; l'auge est en bois et doublée en plomb; elle a une profondeur double à la grosseur des cylindres, de façon que les cylindres inférieurs tout entiers et la moitié de ceux supérieurs se trouvent plongés dans la liqueur. Sa longueur est déterminée par le nombre des cylindres qui ne doit pas être moindre de soixante. Tous ces cylindres sont en fonte. Ceux de la série supérieure a,a,a, sont placés entre les intervalles qui laissent entre eux ceux b,b,b, de la série inférieure, ce qui produit pour chacun d'eux une double ligne de contact. Les cylindres supérieurs sont mis en mou-



1362.

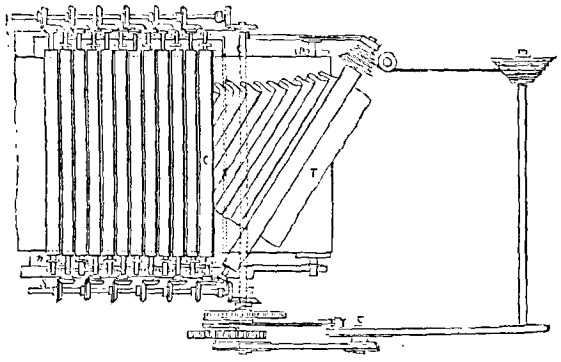
La série supérieure des cylindres reçoit un mouvement de va-et-vient longitudinal, au moyen d'un arvement par des roues d'angle que commandent d'autres roues du même genre portées par des arbres S, S,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

disposées alternativement de part et d'autre de la machine. Ces cylindres font mouvoir les inférieurs par le secours des roues dentées *m*, *m*, *m*, montées sur les tourillons de ces cylindres et alternativement opposés aux engrenages coniques. Les arbres S, S, s'étendent des deux côtés sur toute la longueur de la machine, et sont en communication à l'une de leurs extrémités, et également au moyen de roues d'angle avec un gros arbre transverse G. Chaque cylindre supérieur pèse de tout son poids sur ceux inférieurs.

Afin de pouvoir conduire le feutre d'une extrémité de la machine à l'autre, on fait passer sur les rouleaux R,R, deux toiles sans fin *d*, *d*, l'une supérieure, l'autre inférieure, qui circulent par frottement sur les cylindres en métal, et lors de leur entrée dans la première paire de cylindres *c*, *c*, saisissent le feutre entre elles, et ne l'abandonnent que lorsqu'il est parvenu à l'extrémité postérieure de la machine, où l'une des toiles se relève pour revenir par la partie supérieure, tandis que l'autre descend pour retourner par la partie inférieure.

A cet arbre principal *c* se trouve lié un appareil dont le but est de donner aux deux séries de cylindres un mouvement alternatif en avant et en arrière, et en même temps de faire marcher successivement en avant le feutre qui se trouve ainsi alternativement pressé entre eux et abandonné à lui-même, ce qui accroît l'action de la machine sur le feutre et peut dispenser, en outre, de le faire passer plusieurs fois. G, est une poulie qui reçoit un mouvement d'une vitesse convenable du mécanisme moteur; sur cette poulie est un bouton excentrique *e* qui fait mouvoir une manivelle *f*, *f*. Cette manivelle n'est pas fixée sur le grand arbre *c*, mais sur la grande roue *g*. *h* est un pignon placé d'un côté de cette manivelle et qui engrène dans la grande roue *g*. De l'autre côté de la manivelle se meut, par son entremise, une roue dentée *i*, assujettie sur l'arbre du pignon *h*. Cette roue commande une autre roue dentée *m*, qui tourne librement sur l'arbre principal et sur laquelle on a vissé concentriquement une poulie *x*. On voit par cette disposition comment on parvient à produire avec la poulie et la roue dentée un mouvement alternatif qui ne sert toutefois en rien à porter le feutre en avant.



1363.

Pour donner cette marche en avant au feutre, on a établi une petite poulie *n*, sur l'arbre de la poulie G, et sur laquelle passe la courroie *o o*, qui mène la poulie *x*, et est destinée à donner le mouvement en avant alternatif continu.

Afin de produire un feutre ou drap aussi solide que possible dans toutes ses parties, il est nécessaire de fouler la matière suivant plusieurs directions. Or, le mouvement alternatif de la machine ne produit qu'un foulage suivant la longueur, afin de le faire aussi rentrer suivant la largeur; on a besoin de le soumettre à l'action d'une deuxième machine à fouler (fig. 1363), disposée de la même manière que la première, mais pourvue d'autres cylindres qui travaillent par dessous, et qui produisent un frottement suivant la largeur. Ces cylindres, placés dessous, sont disposés de telle façon qu'ils font, avec la toile sans fin inférieure, un angle d'environ 45°, et se meuvent avec une vitesse quatre à cinq fois plus grande que la toile sur laquelle le feutre est étendu.

L'un de ces cylindres T, est indiqué dans la figure 1363; ce sont eux qui servent à faire rentrer sur sa largeur ou à fouler dans ce sens l'étoffe qui a été plissée à l'avance en plis assez larges, et présentés obliquement aux cylindres entre lesquels on l'a fait passer plusieurs fois de suite jusqu'à ce qu'on ait atteint le but.

Le feutre étant préparé ainsi, il ne reste plus pour lui donner toute sa perfection, qu'à le passer au moulin à foulon ordinaire; mais peut-être serait-il mieux de le terminer à la machine à fouler, attendu que le foulon lui donne assez souvent une surface rude et inégale.

Nous devons ajouter à la description des machines employées pour les tissus feutrés, que, dans l'état actuel des choses, cette industrie ne peut avoir la prétention de produire de la draperie, même ordinaire, car elle ferait certes moins bien et sans avantage de prix, les dépenses pour le filage et le tissage se trouvant à notre avis compensées par les éléments qui constituent les frais à faire pour le nouveau procédé qu'on leur a substitué, et qui ne peut donner à sa draperie les caractères essentiels si recherchés dans celle manufacturée par le tissage.

FILS FEUTRÉS. Au lieu de feutrer l'étoffe, un inventeur, M. Vouillon, s'est proposé d'obtenir les fils même par feutrage, par une action de roulement du fil à l'aide d'une machine qui rappelle le Rota-frotteur employé pour la filature du coton. On ne peut méconnaître que le fil obtenu par le feutrage n'ait des propriétés spéciales qui doivent permettre d'obtenir dans le tissage des nouveaux effets.

Tandis que, dans un fil obtenu par torsion, la partie la plus grossière des fibres se porte à la surface par l'action de la force centrifuge, et enveloppe la partie la plus fine (par le même motif que les boutons et les matières étrangères lourdes vont se loger dans les chapeaux d'une carde), le roulement par lequel se produit le fil feutré concentre dans l'axe de ce fil les fibres les plus longues et les plus grossières qui se trouvent enveloppées par la partie la plus fine. Le feutrage du fil n'empêche pas le feutrage de l'étoffe.

Il reste à voir aujourd'hui comment ces étoffes se comporteront à l'usage, mais s'ils ne sont pas appelés à entrer dans la fabrication des draps lisses très-fins, ils conviendront sans doute pour certains articles de nouveauté et de fantaisie.

LAIT (*angl.* milk, *all.* milch). Le lait est un liquide opaque, d'un blanc mat et d'une odeur agréable, d'une saveur douce et légèrement sucrée, et qui est sécrété par les glandes mammaires des femelles de divers animaux.

Lorsqu'on abandonne du lait au repos dans un lieu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frais et tranquille, il se forme, au bout de quelque temps, à sa surface, une couche d'une matière légère, épaisse, onctueuse, agréable au goût, d'un blanc mat, souvent un peu jaunâtre, qui porte le nom de *crème*. Le lait qui reste après l'enlèvement de la crème a une plus grande densité qu'auparavant, une couleur moins opaque et une consistance moins onctueuse, c'est alors du *lait écrémé*. La crème soumise à l'agitation à une température de 15°, se prend en partie en une masse jaunâtre, de consistance ferme, qui constitue le BEURRE. La partie de la crème qui ne se concrète pas et qui ressemble à du lait écrémé porte le nom de *lait baratté* ou *lait de beurre*.

Lorsqu'on abandonne à lui-même le lait écrémé, qu'on élève sa température ou qu'on y ajoute certains corps acides, il s'y forme un coagulum blanc, mou, opaque et floconneux, qui se sépare d'un liquide jaunâtre et transparent : la partie solide forme la *matière caséeuse*, le *caséum*, le *fromage;* la partie liquide est le *sérum* ou *petit-lait*.

Enfin, en faisant évaporer le petit-lait, on obtient un corps cristallisé, d'une saveur douce et sucrée, auquel on a donné le nom de sucre de lait, et qui forme les 0,035 du lait.

Les seuls laits dont on fasse usage dans l'économie rurale en France sont ceux des femelles des ruminants en domesticité, telles que la brebis, la chèvre et la vache, et celui de l'ânesse.

Le *lait de brebis* ne diffère pas, à simple vue, de celui de vache; c'est de tous les laits le plus riche en beurre : celui qu'il fournit est jaune-pâle, de peu de consistance, et se rancit aisément. Le caillé est abondant, gras, visqueux et moins ferme que celui de vache.

Le *lait de chèvre* est plus dense que celui de vache, et moins gras que celui de brebis. Il conserve une odeur et une saveur propres à l'animal, surtout lorsque la chèvre entre en chaleur. C'est celui qui fournit le moins de beurre, mais le plus de fromage : le beurre, constamment blanc, est ferme, d'une saveur douce et agréable et se conserve longtemps frais; le fromage très abondant est assez consistant et comme gélatineux.

Le *lait de vache*, qui est le plus fréquemment employé, contient moins de beurre que celui de brebis et plus que celui de chèvre. Son fromage est aussi moins abondant; mais les principes se séparent avec plus de facilité.

Le *lait d'ânesse* a beaucoup d'analogie avec celui de femme; il donne une crème qui n'est jamais épaisse ni abondante. Il contient aussi moins de matière caséeuse que ceux de vache, de chèvre et de brebis, et cette matière est plus visqueuse.

Le meilleur lait de vache n'est ni trop clair ni trop épais; il est d'un blanc mat, d'une saveur douce et agréable. Au-dessus de 15° il s'aigrit en peu de temps; cette acidification s'opère dans l'espace de quelques heures au-dessus de 20 à 25°. Par cette prompte coagulation la matière caséeuse enveloppe et entraîne la crème, qui se précipite en même temps qu'elle et ne peut plus monter à la surface. La température la plus favorable à la séparation de la crème est celle de 10 à 12°.

Les variations que présente le lait de vache sont extrêmement nombreuses; elles portent surtout sur la couleur, la saveur, l'odeur, la consistance ou la densité, la quantité des principes constituants et leurs rapports entre eux; elles peuvent être dues à des causes extérieures ou à l'animal lui-même. Les phénomènes extérieurs qui peuvent changer la qualité du lait après son extraction sont : toutes les variations brusques de température, l'état électrique de l'atmosphère, l'humidité, les émanations insalubres, etc. Les variations dues à l'animal sont encore plus nombreuses : ainsi certaines races donnent un lait de qualité différente de celui des autres races. Cette différence s'observe aussi entre les animaux d'une même race, dans ceux d'une même famille et même jusque dans le même individu, dont le lait peut changer à chaque saison, chaque jour, à chaque traite et à chaque instant par une foule de causes souvent difficiles à apprécier. Les principales sont l'organisation et l'état physiologique de l'animal, son âge, les soins et l'alimentation dont il est l'objet : ainsi il paraît certain que cette altération si fréquente du lait, par suite de laquelle la crème se colore en bleu, est due à diverses variétés de plantes dont les vaches se nourrissent accidentellement.

Le lait, de même qu'un grand nombre de substances organiques, se conserve très bien et pendant longtemps, lorsqu'il est chauffé pendant un certain temps à 100°, dans un vase qui en est rempli le plus complétement possible, puis fermé hermétiquement; mais le beurre s'en sépare malgré tout par l'agitation qu'occasionne le transport; conservé par ce moyen, le lait n'offre pas la saveur qu'il présente à l'état naturel, à cause de l'élévation de température à laquelle il a été soumis; mais il est agréable et peut devenir d'une grande utilité dans une foule de circonstances.

Suivant M. Braconnot, un litre de lait chauffé à 45°, dans lequel on verse l'acide hydro-chlorique très faible, en quantité suffisante pour le cogguler, donnera un caillé qui, traité à une douce chaleur, par 2 grammes de carbonate de soude, fournit 1/2 litre d'une espèce de crème ou de frangipane qui peut être employée à la préparation de divers mets, et qui, dissoute et sucrée, donne une liqueur plus agréable que le lait.

Suivant le même chimiste, lorsqu'on chauffe pendant quelques instants à 100°,1000 parties de fromage blanc, on obtient une masse élastique, qui lavée à plusieurs reprises à l'eau bouillante, puis bien divisée, chauffée avec de l'eau et 2 p. 1/2 de bi-carbonate de potasse, et évaporée en agitant continuellement, donne une masse molle qui se dessèche à l'air en passant à l'état de lames d'un blanc jaunâtre, demi-transparentes, d'une saveur agréable. Cette matière est extrêmement soluble dans l'eau et se conserve très bien à l'air; sucrée et aromatisée elle pourrait servir de nourriture. La dissolution chaude colle très solidement la porcelaine, le verre, le bois, la pierre, le papier; on peut s'en servir pour lustrer les étoffes.

On a proposé comme moyen de conserver le lait sans empêcher d'en extraire la crème et de préparer du bon beurre, d'y mêler par litre une cuillerée à bouche d'une eau préparée, en distillant 6 litres d'eau avec 6[k] de radis sauvage et retirant 9 litres du produit. Le lait se conserve huit jours sans altération et les insectes ne peuvent en approcher.

Enfin, on trouve dans le commerce sous le nom de *lactoline* ou *lactéine*, du lait réduit en pâte sèche, par l'évaporation au moyen de l'air froid qu'on y fait passer. Il suffit de délayer cette matière dans l'eau pour reproduire le lait.

A Paris, où la fraude s'exerce sur le lait d'une manière extrêmement étendue, on ne vend ce liquide qu'après l'avoir écumé, et on y ajoute souvent une émulsion d'amandes ou de graines de chénevis; souvent aussi on y mêle de la farine pour lui donner de la consistance, et on le colore au moyen du jus de carottes, ou d'une petite quantité de curcuma ou de safran.

LACTOMÈTRE. Le lactomètre, ou instrument propre à mesurer la quantité de crême fournie par le lait, est d'un emploi bien précieux dans une ferme. C'est ainsi qu'il permettra d'apprécier la richesse en crême et en beurre de tout le lait qu'on recueille, ainsi que celle du produit de chaque animal en particulier, suivant la saison, l'état de santé, la bonne ou mauvaise condition, le régime alimentaire, etc.; de mêler des laits de richesses diverses pour en obtenir des produits particuliers; de mesurer la quantité de crême fournie par un lait qu'on achète, et de ne le payer exactement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'à un prix proportionnel à cette quantité; de constater si l'on recueille, dans ses manipulations en grand, toute la matière butyreuse indiquée par les essais en petit; d'apprécier, dans les laiteries banales, la richesse du lait apporté par chaque associé, afin de répartir les bénéfices proportionnellement à la quantité de matière utile et marchande qu'il apportera, etc.

Le lactomètre, inventé en Angleterre par Banks, et importé en France par M. de Valcourt, ou celui de M. Schubler, est un tube de verre de 16 centimètres de hauteur, 40 millimètres de diamètre intérieur, ouvert par le haut, fermé par le bas, et porté sur un pied circulaire. Ce tube peut contenir un peu au-delà de 2 décilitres. A partir de sa base, on a désigné, par un cercle gravé au diamant, chaque demi-décilitre, c'est-à-dire la hauteur à laquelle atteindraient 1/2, 1 1/2 et 2 demi-décilitres de liquide, si on les versait dans le tube. La hauteur du tube, depuis le fond jusqu'auprès du quatrième cercle qui marque 2 décilitres, a été partagée en 100 parties égales, et, à partir de ce dernier cercle où se trouve marqué le 0° ou zéro de l'échelle, c'est-à-dire le point où elle commence, on a gravé sur le verre, en descendant, 30 de ces degrés ou parties égales. Voici maintenant l'usage qu'on peut faire de cet instrument. On verse dans le tube, et avec précaution, du lait jusqu'au cercle supérieur ou bien au point marqué 0°, et on l'abandonne à lui-même pendant 24 heures plus ou moins. La crème monte peu à peu; et lorsque son épaisseur est stationnaire, on lit sur l'échelle le nombre de degrés ou centièmes qu'occupe cette partie butyreuse, et cette proportion indique la richesse en crème du lait, ou sa valeur vénale. Par exemple, si, après avoir mis du lait en expérience, on trouve, après 24 heures, que la crème montée occupe 14 parties ou degrés de l'échelle graduée, on en conclura que ce lait fournit 14 pour 100 de crème, ce qui permet d'apprécier sa valeur. Des expériences comparatives ont, en effet, prouvé que dans un même lait pur, puis mélangé avec un quart, moitié et trois quarts d'eau, l'épaisseur de la couche de crème diminue proportionnellement à la quantité de lait enlevé et remplacé par de l'eau, ou que le nombre de centièmes occupé par cette crème indiquait très approximativement la richesse du lait. On peut faire monter la crème plus promptement, en plongeant le lactomètre dans un bain-marie maintenu à une température de 30 à 36 degrés; mais il vaut mieux attendre sa séparation spontanée à la température ordinaire. Il importe de remarquer, quand on en fait usage pour le lait, que la quantité de crème n'est pas la mesure de celle du beurre, les quantités égales de crème donnant souvent un poids fort différent en beurre.

Les aréomètres, les galactomètres, et autres instruments qu'on emploie souvent pour mesurer la qualité du lait au moyen de la densité ou pesanteur spécifique de ce liquide, sont, sous ce rapport, des instruments infidèles, la densité du lait n'étant nullement la mesure de sa richesse en crème, et pouvant d'ailleurs être modifiée par une foule de moyens qui altèrent la qualité du lait, et sont destinés à en imposer à l'acheteur ignorant ou indifférent.

LAITIER. On donne ce nom aux scories terreuses que l'on obtient dans le travail des minerais métalliques, et particulièrement des minerais de fer, au haut-fourneau. On les emploie dans beaucoup de localités pour faire des briques, etc., en les moulant au sortir du fourneau. Déjà, en 1838, M. Gaultier de Claubry proposait de diminuer la fragilité de ces matières vitreuses en les soumettant à un refroidissement très lent, et conseillait d'appliquer la chaleur perdue des hauts-fourneaux à exécuter ce recuit. Tout récemment, il a été pris un brevet d'invention à ce sujet; les auteurs ignoraient probablement les faits que nous venons de rappeler; ils avaient principalement pour but de mouler les laitiers, sous forme de pavés, qui pussent offrir une résistance de beaucoup supérieure à celle des pavés de grès ordinairement employés, et une forme bien plus régulière.

LAITON, CUIVRE JAUNE (*angl.* brass, *all.* messing). Le cuivre allié avec des quantités convenables de zinc forme le laiton; cet alliage renferme presque toujours de petites quantités de plomb, de fer et d'étain, qui lui communiquent des propriétés particulières. Le laiton est d'un jaune d'or plus ou moins vif, ductile et malléable à froid, cassant à chaud, aisément fusible et se moulant avec facilité. Sa densité varie de 8,20 à 8,90, suivant sa composition. Sa dureté, sa ténacité, et sa densité diminuent par la trempe; il est moins altérable à l'air que le cuivre rouge.

Le laiton destiné au tour doit être un peu sec afin de ne pas graisser les outils : il se compose de 64 à 65 de cuivre, de 36 à 38 de zinc, 2,15 à 2,5 de plomb et 0,25 à 0,40 d'étain.

Le laiton pour la tréfilerie doit surtout être très tenace, et se compose de 64 à 65 de cuivre, 33 à 34 de zinc, 0,8 d'étain et de plomb.

Le laiton qui doit être travaillé au marteau doit renfermer environ 70 de cuivre et 30 de zinc.

Dans les fonderies de la marine, la composition de laiton est comme suit : première qualité, cuivre 76, zinc 24; deuxième qualité, cuivre 85, zinc 14, plomb 1

Les alliages dits similor, pinschbech ou métal du prince Robert, etc., varient beaucoup de composition, mais les principaux qu'on emploie sont : 1° cuivre 80, zinc 20, composé tendre, à cassure luisante et d'un beau jaune; 2° cuivre 84, zinc 16, alliage d'un jaune plus beau que le précédent; 3° cuivre 86, zinc 14, composé d'un jaune brillant; 4° cuivre 88, zinc 12, mélange d'un grain plus fin que les précédents et d'une couleur d'or. En introduisant dans tous ces alliages un peu de plomb, on arrive à leur donner, lorsqu'ils sont polis, un certain reflet qui les fait ressembler à l'or vert.

Le tombac ou cuivre blanc se compose de cuivre 97, zinc 2, arsenic 1; il est d'autant plus cassant qu'il renferme plus d'arsenic; il se lime et se polit bien, on s'en sert pour fabriquer des instruments de physique, des boutons, etc. D'abord blanc, lorsqu'il vient d'être poli, il se ternit promptement à l'air et prend une couleur grise. On fait encore du cuivre blanc qui peut servir pour les miroirs de télescopes, en ajoutant au cuivre et à l'arsenic une faible proportion de platine.

Enfin, on donne le nom de chrysocale à un alliage, ordinairement formé de 92 de cuivre, 6 de zinc et 6 d'étain, qui se lamine en feuilles très-minces à l'usage des fabricants de bijoux faux, et prend bien la dorure.

Il existe un autre alliage de cuivre et de zinc, objet de recherches assez multipliées, et qui présente des propriétés bien connues et dignes d'intérêt : il contient 40 de zinc au lieu de 33; on l'appelle *laiton malléable* ou *laiton patenté*, etc.; mais sous ces différents noms, c'est toujours le même alliage. Il offre cette particularité que, bien que la quantité de métal blanc soit augmentée, il est beaucoup plus jaune que le laiton ordinaire. Cet alliage est destiné à doubler les navires, et à Birmingham on en produit une grande quantité. Il présente plusieurs propriétés qui méritent l'attention : il a une très-belle couleur; il cristallise avec une extrême facilité, ce qui le rend très-fragile, et empêcherait de l'employer si l'on n'avait le moyen de corriger ce défaut en le refroidissant rapidement après le coulage et le trempant.

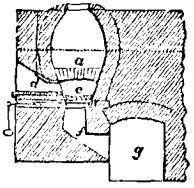
L'alliage qui contient 50 de cuivre et 50 de zinc est souvent employé sous le nom de soudure forte, pour souder le cuivre rouge. Quand on veut avoir une soudure capable de résister à une température assez élo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vée, il faut prendre un alliage plus fusible que le cuivre; aussi en fait-on un qui présente une fusibilité convenable, une texture cristalline, et qui est formé, en proportions définies, d'un équivalent de cuivre et d'un équivalent de zinc; il est facile à pulvériser, et on l'emploie sous forme de poudre. Il en est de même du laiton malléable; dans les conditions ordinaires, il est moins doux.

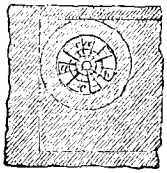
Le laiton se fabrique soit en alliant directement le zinc et le cuivre, soit en fondant le cuivre avec de la calamine (carbonate de zinc ordinairement mélangé de silicate de zinc) grillée, des cadmies zincifères ou kiess, ou de la blende (sulfure de zinc) grillée.

1368.



La fonte du laiton se fait habituellement dans des creusets placés dans des fourneaux à vent.

Les fig. 1368 et 1369 représentent en plan et coupe les fourneaux à laiton de Hegermühle, en Prusse; ces fourneaux sont chauffés à la houille et renferment quatre creusets. *a*, voûte à jour en briques sur laquelle on place les creusets; *c*, grille sur laquelle on charge le combustible par la porte *d*; *e*, registre servant à régler l'arrivée de l'air à travers la grille; *f*, canal qui conduit la cendre et les escarbilles dans le cendrier *g*.



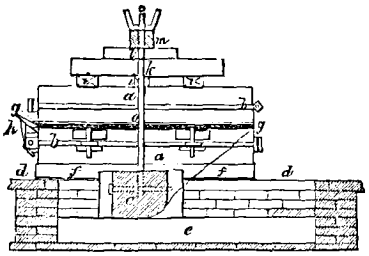
1369.

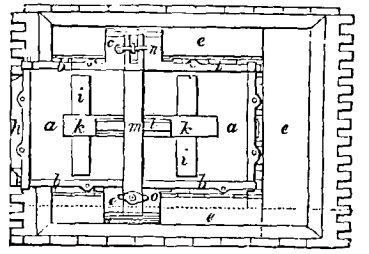
Les pots ou creusets, légèrement coniques, ont une hauteur à peu près double de leur diamètre à la partie supérieure et reçoivent une charge de 60 à 90 kil. de matières.

Enfin, dans quelques usines françaises on fabrique le laiton dans des fours à réverbère, ce qui procure une économie en combustible, mais donne lieu en revanche à un déchet plus considérable sur les matières premières.

Lorsque le laiton est fondu, on le coule dans des moules en granite. Ces moules, représentés en coupe et en plan fig. 1370 et 1371, consistent en deux plaques de *a*, *a*, de $1^m,70$ de long sur $0^m,95$ de large et $0^m,30$ d'épaisseur, enveloppées de cadres en fer *b b*, et maintenues à une distance convenable l'une de l'autre par l'interposition des barres de fer latérales *g*, dont l'épaisseur est celle de la plaque à couler. La plaque de granite inférieure est encastrée dans un fort plancher *f f*, solidement fixée au madrier *c*, qui est arrondi à l'un de ses angles de manière à pouvoir tourner sur les poutres *e*, placées au fond de la fosse *d d*. Avant de couler, on recouvre les deux faces du moule d'une couche d'argile grasse très mince, que l'on unit bien et que l'on fait sécher d'abord à l'air et ensuite avec des charbons rouges, puis on les barbouille avec une bouillie de bouse de vache : ce dernier enduit se carbonise à chaque coulée, et par suite doit être répété chaque fois, tandis que la couche d'argile peut servir à 15 et même 20 coulées sans avoir besoin d'être renouvelée. Cela fait, on place les règles *g*, on abaisse la plaque de granite supérieure par un mouvement de bascule à charnière facilité par un contre-poids, on les réunit solidement au moyen des longs boulons *o*, *o*, et des pièces *m*, *i*, *k*, *l*, on fait tourner le moule avec le madrier *c* sur les poutres *e*, de manière à lui donner une inclinaison d'environ 30° sur l'horizon, et l'on coule le laiton par l'orifice *h*, à ce destiné. Aussitôt après la coulée on ramène le moule dans la position horizontale, on ouvre le moule, on retire la feuille de laiton, on enduit de nouveau de bouse de vache les

1370.





1371.

plaques de granite, et on les assujettit de nouveau pour une nouvelle coulée.

Lorsque l'on prépare le laiton au moyen de la calamine, il n'est pas possible d'y faire entrer plus de 27 à 28 p. 100 de zinc : si la proportion de ce métal doit être plus grande, on en ajoute une certaine quantité à la fonte; généralement même on fait l'opération en deux fois, en fabricant d'abord un alliage à 20 p. 100 de zinc, connu sous le nom d'*arcot*, et le traitant de nouveau comme du cuivre neuf. On fond ensemble, par exemple, dans chaque pot, à l'usine de Jemmapes, 30^k de cuivre rosette de Drontheim, 20^k de calamine grillée, 10^k de kiess, et 16^k de charbon de bois pour réduire la calamine, et on obtient 37^k 1/2 d'arcot; on emploie ensuite les mélanges suivants, selon que l'on veut obtenir un laiton sec ou un laiton gras : pour le laiton sec que l'on coule en planches, dites *plates*, ou en bandes de $0^m,015$ d'épaisseur, dites *bandes de fil*, on emploie : cuivre rosette 42^k, mitraille jaune (vieux laiton) 9^k, arcot 20^k 1/2, calamine grillée et kiess 30^k, charbon de bois 16^k, et quand la matière bien fondue est réunie dans un seul pot, on y ajoute 3^k de zinc en fragments : on obtient 51^k de laiton renfermant 65 1/2 p. 100 de cuivre et 34 1/2 p. 100 de zinc. Pour le laiton gras, qui sert surtout à faire les épingles, on emploie : cuivre rosette 15^k, mitraille jaune 5^k, arcot 20^k, calamine grillée et kiess 30^k, charbon de bois 16^k, et on ajoute à la fin 4^k de zinc. Du reste, ces proportions varient suivant la nature des matières premières et la composition du laiton que l'on veut obtenir.

La fonte de l'arcot et celle du laiton s'exécutent de la même manière : le fourneau étant chauffé au rouge, on retire successivement les creusets pour y introduire la charge voulue, en ayant soin de placer le cuivre et l'arcot à la partie supérieure. Les creusets chargés et remis dans le fourneau on remplit celui-ci de houille, puis on ferme l'ouverture supérieure de celui-ci avec la plaque à ce destinée. On ménage la chaleur pendant 6 à 7 heures; au bout de ce temps, les creusets sont au rouge-blanc; on ranime alors le feu en chargeant de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nouvelle houille. Peu de temps après avoir donné ce coup de feu, la fumée de zinc commence à paraître et indique que la réduction de la calamine s'opère ; on ralentit alors un peu le feu, afin que le cuivre ne fonde pas trop rapidement et qu'il ait le temps, en tombant goutte à goutte, de se combiner avec le zinc qui se réduit. Au bout de dix heures environ, la fonte est terminée, il ne se dégage plus de vapeurs des creusets, et l'alliage s'est réuni au fond ; on retire alors chaque creuset du fourneau ; on enlève avec une espèce de cuillère en fer les escarbilles qui recouvrent le bain métallique, et l'on réunit dans un seul creuset l'alliage qui se trouve dans chacun des huit ou quatre creusets. On laisse ensuite reposer pendant quelque temps, pour que les impuretés se portent à la surface de l'alliage ; on les enlève alors avec une cuillère en fer fixée à un long manche en bois, et on coule le laiton dans le moule que nous avons décrit : on consomme environ 3 parties de houille pour 1 de laiton obtenu.

Quand on fabrique le laiton au moyen du cuivre et du zinc métallique, comme cela a lieu en France et en Angleterre, on met au fond des creusets le zinc en morceaux, et on le recouvre de cuivre en morceaux ou mieux grenaillé : tantôt on fabrique alors le laiton en une seule opération, tantôt en deux ; on opère du reste tout à fait comme dans le cas précédent. La fonte dure un peu moins longtemps et la perte en zinc est peu considérable.

Les plaques de laiton sont ordinairement découpées en bandes à la cisaille, puis laminées ; ce laminage s'exécute à froid ; après deux ou trois passes, le laiton doit être recuit avant d'être laminé de nouveau par trousses de 2, 4 ou 8 feuilles, comme la tôle et le cuivre.

P. DEBETTE.

Je reproduirai ici un tableau dressé par M. R. Mallet, ingénieur civil anglais, qui renferme, sous une forme simple, l'indication des propriétés physiques et chimiques des diverses espèces de laitons.

N°s	COMPOSITION chimique.	COMPOSITION en poids pour 100 parties.	Poids atomique H = 1	Pesanteur spécifique	Fracture (1).	COULEUR de la FRACTURE.	Poids de rupture par pouce anglais.	Ordre inverse de ductilité.	Ordre de malléabilité à 200°.	Ordre inverse de dureté.	Ordre inverse de fusibilité.
							tonne anglaise.				
1	Cu.	100,00 + 0	31,6	8,667	T	Rouge brique..	24,6	8	1	22	15
2	10 Cu + Zn...	90,72 + 9,28	348,3	8,605	GC	Jaune rougeâtre	12,1	6	13	21	14
3	9 Cu + Zn...	89,80 + 10,20	316,7	8,607	FC	Id.	11,5	4	11	20	13
4	8 Cu + Zn...	88,60 + 11,40	285,1	8,633	FC	Id.	12,8	2	10	19	12
5	7 Cu + Zn...	87,30 + 12,70	253,4	8,587	FC	Id.	13,2	9	9	18	11
6	6 Cu + Zn...	85,40 + 14,60	221,9	8,591	FF	Jaunâtre rouge.	14,1	5	8	17	10
7	5 Cu + Zn...	83,02 + 16,98	190,3	8,451	FC	Id.	13,7	11	2	16	9
8	4 Cu + Zn...	79,65 + 20,35	158,7	8,448	FC	Id.	14,7	7	3	15	8
9	3 Cu + Zn...	74,58 + 25,42	127,1	8,397	TC	Jaune pâle....	13,1	10	4	14	7
10	5 Cu + 2 Zn.	71,43 + 28,57	222,6	?	—						
11	2 Cu + Zn...	66,18 + 33,82	95,5	8,299	TC	Jaune franc...	12,5	3	6	13	6
12	19 Cu + 12 Zn	60,00 + 40,00	988,0	8,200	C	Id.	1,9	1	3	15	6
13	Cu + Zn...	49,47 + 50,53	63,9	8,230	CC	Id.	9,2	12	5	12	6
14	Cu + 2 Zn.	32,85 + 67,15	95,2	8,283	CC	Jaune foncé...	19,3	1	7	10	6
15	8 Cu + 17 Zn	31,52 + 68,48	801,9	7,721	C	Blanc d'argent.	2,1	0	22	5	5
16	8 Cu + 18 Zn	30,30 + 69,70	834,2	7,836	VC	Id.	2,2	0	23	6	5
17	8 Cu + 19 Zn	29,17 + 70,83	866,6	8,019	C	Gris d'argent..	0,7	0	21	7	5
18	8 Cu + 20 Zn	28,12 + 71,88	898,8	7,603	V	Gris cendré...	3,2	0	19	3	5
19	8 Cu + 21 Zn	27,10 + 72,90	931,1	8,058	C	Gris d'argent..	0,9	0	18	9	5
20	8 Cu + 22 Zn	26,24 + 73,76	936,4	7,882	C	Id.	0,8	0	20	8	5
21	8 Cu + 23 Zn	25,39 + 74,61	995,7	7,443	FC	Gris cendré...	5,9	0	15	1	5
22	Cu + 3 Zn.	24,50 + 75,50	128,5	7,449	FC	Id.	3,1	0	16	2	4
23	Cu + 4 Zn.	19,65 + 80,36	160,8	7,371	FC	Id.	1,9	0	14	4	3
24	Cu + 5 Zn.	16,36 + 83,64	193,1	6,605	FC	Gris noir.....	1,8	0	17	11	2
25	+ Zn	0 + 100,00	32,3	6,895	LC	Gris bleu.....	15,2	13	12	23	1

OBSERVATIONS. — N°s 2, 3, 4, 5, 6, Similor, crysocale, etc. Plusieurs de ces alliages sont malléables à haute température. — 8, Laiton allemand. — 10, Laiton normal. — 11, Laiton anglais. — 12, Métal de Muntz. — 14, Laiton pour les horlogers. — 15 à 20, Alliages très-cassants, trop durs pour la lime et le tour, prenant le poli des miroirs métalliques. — 21, Un peu malléable. — 22, Cassant. — 23, Métal blanc pour boutons.

(1) T, veut dire terreux. — GC, cristallisation grossière. — FC, cristallisation fine. — FF, fibres fines. — C, conchoïdal. — V, vitreux. — VC, vitreux conchoïdal. — LC, cristallisation lamellaire.

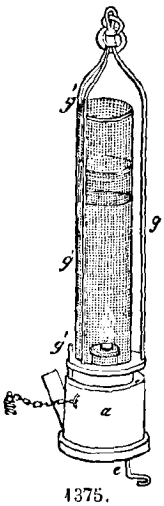
LAMPE. Voyez ÉCLAIRAGE.

LAMPE DE SURETÉ. La découverte des lampes de sûreté est due au célèbre Davy, qui remarqua que la flamme produite par la combustion du gaz de l'éclairage, obtenu par la distillation de la houille, mêlé à quelque proportion d'air que ce soit, est interceptée par une toile métallique en fil de fer de 100 à 140 mailles au centimètre carré, et que le gaz qui se dégage dans les mines de houille est toujours moins inflammable que celui qui sert à l'éclairage. Ainsi, quand on a vissé sur le réservoir d'une lampe ordinaire un cylindre formé d'une semblable toile métallique, le mélange d'air et de gaz inflammable peut brûler à l'intérieur sans que l'inflammation se propage au dehors. Davy constata, toutefois, qu'un courant d'air un peu vif pourrait faire passer la flamme à travers du treillis métallique, et transmettre alors l'inflammation au dehors ; aussi conseilla-t-il de la mettre à l'abri des courants au moyen d'écrans, ce qui ne se fait presque jamais et a quelquefois donné lieu à de graves accidents. A cela près, cette lampe est réellement une lampe de sûreté très-efficace, et est universellement employée dans les mines à grisou. En

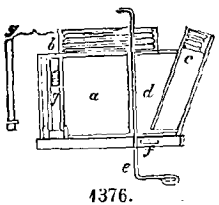
EFERUS - Recherche & Classification numérique

France, les règlements de police souterraine en prescrivent l'emploi, toutes les fois que l'administration des mines le juge nécessaire.

La fig. 1375 donne une élévation de la lampe de Davy : *a d*, réservoir d'huile, traversé par un tube dans lequel passe à frottement un fil de fer recourbé *e*, qui sert à moucher la mèche ; *b*, pas de vis sur lequel on visse le cylindre en toile métallique ; *c* (fig. 1376), ouverture fermée par une vis, et servant à verser de l'huile dans le réservoir, avec lequel elle communique par un tube qui plonge jusqu'en *f* près du fond de ce réservoir. Le cylindre en gaze métallique est entouré et protégé par quatre ou six gros fils de fer, qui se réunissent au-dessus de la lampe pour former l'anneau qui sert à la suspendre. Le cylindre est fermé à la partie supérieure, soit par une feuille de cuivre amboutie et percée de petits trous de 1 millim. de diamètre environ, autour de laquelle le cylindre en gaze est attaché au moyen d'un fil de fer, logé dans une gorge rentrante ménagée à cet effet, soit, le plus souvent, par un double cylindre en toile métallique semblable à celle de la paroi cylindrique, comme l'indique la fig. 1375.



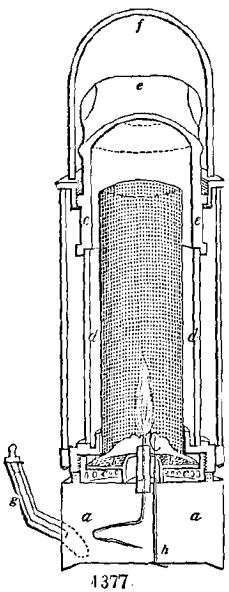
1375.



1376.

Ces lampes ont de 0m,20 à 0m,25 de hauteur ; on donne environ 0m,06 de diamètre au cylindre métallique, ayant 120 à 140 mailles au centimètre carré.

Ces lampes éclairent assez peu, et, dans les couches de houille puissantes, le mineur court risque d'être victime d'éboulements subits, qu'il aurait prévus s'il eût pu apercevoir les fissures de la roche. D'un autre côté, si par suite du mouvement de la lampe, lorsqu'elle est renversée par exemple ou par toute autre cause, il vient à se répandre de l'huile sur le treillis métallique, le poussier du charbon s'y attache, et la lumière déjà faible que répand la lampe se trouve encore considérablement diminuée. En outre, comme nous l'avons fait remarquer, un courant d'air un peu vif peut faire passer la flamme à travers l'enveloppe.



1377.

Pour remédier à ces inconvénients, Roberts imagina d'entourer le cylindre en gaze métallique, sur la moitié ou les deux tiers de sa hauteur, d'un cylindre en cristal *dd* (fig. 1377), et de faire arriver l'air nécessaire à la combustion par une rangée circulaire de trous percés tout autour de la partie supérieure du réservoir, à la hauteur du porte-mèche. L'air traverse deux rondelles annulaires superposées et en gaze métallique très serrée *b b*, puis est conduit de manière à raser la mèche, au moyen d'un tronc de cône métallique qui environne celle-ci et est coupé à la hauteur du porte-mèche. Cette lampe est plus sûre que la précédente, et la vitesse du courant ou l'agitation de la lampe au milieu d'un mélange explosif, ne déterminera jamais le passage de la flamme au dehors ; néanmoins elle est peu usitée dans les mines, parce qu'elle donne encore moins de lumière que la lampe de Davy.

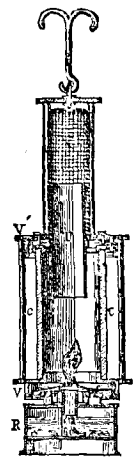
Dans la lampe de M. du Mesnil, essentiellement différente des précédentes, le réservoir d'huile est latéral ; la mèche est plate, et l'air nécessaire à la combustion est amené sur les deux faces par deux conduits inclinés coiffés d'une gaze métallique ; le cylindre en toile métallique est supprimé et remplacé par un cylindre très épais en cristal recuit, qui est serré entre deux plates-formes et partagé par des tiges en fil de fer, assez écartées pour ne pas intercepter une portion notable de la lumière. Au-dessus de la plate-forme supérieure s'élève une cheminée d'un diamètre moindre que celui du cylindre en cristal, et dont la hauteur est assez grande. Elle est à double paroi : la paroi interne descend un peu dans le corps de la lampe, où elle s'évase en forme d'entonnoir renversé. La cheminée se termine par un orifice rétréci, qui n'est garni d'aucune toile métallique. Cette lampe offre le même degré de sûreté que celle de Roberts, tant qu'elle est intacte, et éclaire à peu près trois fois autant qu'une lampe de Davy consommant la même quantité d'huile ; mais à côté de ces avantages, elle a l'inconvénient d'être d'un transport difficile et souvent impossible dans les galeries basses, à cause de sa grande hauteur, qui, y compris la cheminée, est de 0m,40 à 0m,45, et de s'éteindre très facilement par le transport, par suite de la position latérale du réservoir.

M. Muesseler essaya de remédier à ces inconvénients en adoptant une disposition particulière, qui lui permit de réduire la hauteur de la lampe à 0m,25 environ. Cette lampe, qui est actuellement assez répandue dans les mines de Belgique, et qui éclaire comme deux lampes Davy, a son réservoir d'huile disposé de la même manière, ainsi que le porte-mèche et la tige servant de mouchette. L'enveloppe est formée, à sa partie inférieure et sur les 2/5es environ de sa hauteur totale, d'un tube en cristal recuit, garanti des chocs intérieurs par six tiges verticales, ajustées inférieurement sur une virole qui se visse sur le contour du réservoir, et supportant à leur partie supérieure un cercle en cuivre. Au-dessus de ce tube est un cylindre en gaze métallique, fermé en haut par un chapeau en cuivre rouge percé de trous. A la jonction de ces deux cylindres est un disque en toile métallique, traversé en son milieu par un tube cylindrique ou légèrement conique, en tôle mince ou en fer-blanc, qui sert de cheminée, et descend à peu près jusqu'au milieu de la hauteur du cylindre en métal, en s'évasant à son orifice inférieur ; il se prolonge au-dessus du disque jusqu'à la moitié environ de la hauteur de l'enveloppe en gaze métallique. L'air qui alimente la combustion arrive ainsi par la partie supérieure, descend le long des parois du cylindre en cristal, et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produits de la combustion s'échappent en majeure partie par le tube central qui sert de cheminée. Cette lampe est au moins aussi sûre que les précédentes; mais elle s'éteint aisément par l'agitation, quoique moins facilement que la lampe du Mesnil, et elle a en outre le désavantage de ne projeter la lumière que dans une zône d'une très petite hauteur, par suite de la nécessité où l'on se trouve de tenir l'orifice inférieure de la cheminée en tôle très rapproché de la mèche, afin d'isoler le courant ascendant des gaz brûlés du courant d'air, qui descend le long des parois du cylindre en cristal pour venir alimenter la combustion. Cet inconvénient est surtout très grave dans les galeries d'une grande hauteur et peut donner lieu à de graves dangers.

Le savant professeur M. Combes a cherché à réunir les avantages des lampes précédentes dans une nouvelle lampe, représentée en coupe (fig. 1378). Le réservoir d'huile est disposé comme dans la lampe de Davy; il est surmonté d'un rebord cylindrique percé, dans la partie contiguë au couvercle du réservoir, de quatre ouvertures rectangulaires qui l'embrassent sur presque tout son pourtour, et offrent une surface de 8 à 8 centimètres 1/2 carrés, et par lesquelles arrive l'air nécessaire à la combustion. Cet air traverse une ou deux rondelles superposées, en toile métallique, de 150 à 200 ouvertures au centimètre carré, posées par leur contour sur une saillie ménagée dans le rebord au-dessus de la rangée de trous. Ces rondelles sont maintenues, ainsi que le porte mèche, par une virole vissée dans une petite tubulure filetée qui entoure le trou du porte-mèche. Un disque *o s*, embouti en forme de pavillon de cor, percé d'une ouverture circulaire concentrique à la mèche, est posé par-dessus les rondelles, et amène au centre de la lampe et au contact de la flamme la totalité de l'air qui a traversé les toiles métalliques. Ce disque est maintenu en place par la cage qui contient l'enveloppe supérieure de la lampe; celle-ci est formée de six fils de fer verticaux assemblés dans deux viroles en cuivre V, V'. La virole inférieure V se visse dans la partie supérieure du rebord du réservoir. L'enveloppe, qui est un cylindre en cristal *c c*, s'appuie sur une rondelle de drap ou de cuir collée sur le contour de la virole inférieure. Elle est maintenue en place par la partie supérieure de la lampe, qui se compose d'une cheminée cylindrique en toile métallique K, protégée par quatre tiges en fil de fer, d'une virole en cuivre portant une rondelle en toile métallique, et filetée extérieurement pour qu'elle puisse se visser dans l'intérieur de la virole V', et venir presser les bords supérieurs du cylindre en cristal, qui est ainsi maintenu en place. Une couronne de drap est collée au fond d'une gorge annulaire, dans laquelle pénètrent les rebords de ce cylindre. Enfin, la rondelle en toile métallique supporte à son centre un petit tuyau T en cuivre, qui s'enfonce dans l'intérieur du cylindre en cristal, sert de cheminée, et active le tirage et l'aspiration de l'air par les ouvertures percées au-dessus du réservoir. Les gaz brûlés passent par ce tube, arrivent dans l'enveloppe en toile métallique K, et se répandent finalement dans l'atmosphère. La rondelle en toile métallique, au centre de laquelle est fixé le tuyau T, permet aux gaz produits par la combustion de s'échapper entre le pourtour du tuyau T et le cylindre en cristal, de sorte qu'ils ne peuvent pas s'accumuler dans cet espace; ce qui fait que l'on peut agiter fortement cette lampe dans l'air sans l'éteindre. Cette lampe est aussi sûre que les précédentes; sa hauteur, qui n'est que de 0m.27, en rend le transport facile, et elle donne une clarté supérieure aux lampes de Davy et Muesseler. La seule précaution à prendre est d'avoir soin d'enlever la rondelle en gaze métallique placée sous le pavillon *o s* pour remplir le réservoir d'huile; car une seule goutte d'huile répandue sur cette toile suffit pour boucher un grand nombre de mailles : alors la lampe fume, et le verre est bientôt noirci.



1378.

P DEBETTE.

LAPIDAIRE (ART DU) (*angl* art of lapidary, *all.* steinschleiferei). La taille de toutes les pierres fines n'est pas très différente de celle du diamant; seulement, pour ces pierres, on n'a pas besoin de les cliver pour les amener à la forme voulue, parce qu'étant moins dures que le diamant, elles se laissent très bien tailler sur une meule avec de l'*égrisée* (poussière de diamant), et même la plupart avec de l'émeri.

Le tour du lapidaire se compose d'un disque métallique placé horizontalement et tournant avec une grande vitesse; ce disque est de fer ou d'acier non trempé pour les diamants, pour les autres pierres de cuivre ou de plomb qu'on recouvre près du bord d'un mélange d'huile et d'égrisée ou d'émeri, et sur lequel on presse la pierre à tailler suivant l'inclinaison convenable. La fig. 1388 représente une vue perspective de ce tour; l'axe H, qui porte la meule horizontale I, est terminé par deux pointes, qui tournent entre deux poupées *a*, *a*, que l'on fixe au moyen de coins *b*, *b*; sur la partie inférieure de l'axe H, est monté un mandrin à plusieurs gorges, sur l'une desquelles passe la courroie sans fin qui embrasse la roue de volée; la pierre à tailler est fixée avec un peu de soudure d'étain ou de mastic à l'extrémité d'un cylindre dit *bâton à ciment*, retenu dans les mâchoires d'un instrument appelé cadran. L'ouvrier, en s'appuyant sur un support *u*, placé près de la meule, présente la pierre à l'action de cette dernière en l'inclinant suivant la pente qu'il veut donner aux facettes. Cette opération présente quelques difficultés si l'on veut arriver à une régularité essentielle pour multiplier les réflexions et les réfractions de la lumière; on se sert, pour y arriver plus sûrement, d'un cadran divisé que reçoit le bâton à ciment; celui-ci y passe à frottement. Il consiste en un cylindre creux, terminé par un cercle divisé, et porte une aiguille, qui, par sa correspondance avec les degrés de ce cercle, permet de diviser exactement la circonférence de la pierre en faisant tourner le bâton à ciment dans son tube.

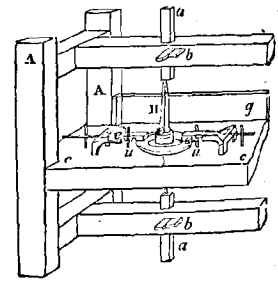


Fig. 1388.

LAPIS LAZULI ou LAZULITE. Voyez OUTREMER.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

LAQUE (*résine* ou *gomme*). Sorte de résine ou de gomme qui exsude de plusieurs arbres de l'Inde, par suite des piqûres faites par les femelles d'un insecte hémiptère, le *coccus lacca*. La couleur rouge de la résine vient de ces insectes.

Le principal de ces arbres est le *croton lacciferum*. L'insecte s'y multiplie, se fixe à l'extrémité des jeunes branches, les pique et s'enseveli dans le suc qui en sort. C'est en coupant les tiges et les branches enduites de résine et de couvée, qu'on récolte la laque. Il est préférable de récolter la laque plutôt avant qu'après la sortie de l'insecte.

On connaît dans le commerce trois espèces de laques : la laque en bâton, la laque en grains et la laque en écailles.

La *laque en bâton* est celle qui adhère aux extrémités des branches de l'arbre. Elle y forme une couche d'un brun foncé d'une épaisseur variable, et renferme de 8 à 10 p. 100 d'une matière colorante rouge analogue à celle de la cochenille. Elle est transparente sur les bords et présente une cassure brillante. Elle offre à l'intérieur un grand nombre de cellules disposées circulairement autour du bois, et dont plusieurs contiennent encore l'insecte entier. Cette laque possède une saveur astringente, et colore la salive lorsqu'on la mâche pendant longtemps. Projetée sur des charbons, elle brûle en répandant une odeur forte et agréable.

La *laque en grains* n'est autre que la laque en bâton, qui s'est brisée et détachée des branches, que l'on réduit en poudre grossière, et que l'on fait bouillir ensuite avec une faible dissolution de carbonate de soude pour en extraire la matière colorante.

Le *laque en écailles* se prépare en faisant fondre les deux autres espèces, après les avoir fait bouillir dans de l'eau pure ou légèrement alcaline, les passant à travers une toile et les coulant sur une pierre plate. Cette laque ressemble beaucoup au verre d'antimoine, mais elle varie de couleur, suivant qu'elle a été plus ou moins privée de son principe colorant; de là, les noms de laque en écaille, *blonde*, *rouge* ou *brune*.

La laque est employée comme dentifrice ; on s'en sert dans la préparation des vernis, pour luter les pièces de terre et de faïence et pour la fabrication de la cire à cacheter.

La cire rouge de qualité supérieure s'obtient en faisant fondre à une douce chaleur 48 parties de laque en écaille, 12 p. de térébenthine de Venise et 1 p. de baume du Pérou, et mêlant à la masse, lorsqu'elle est en fusion, 36 p. de vermillon. Lorsque la masse en se refroidissant commence à devenir pâteuse, on la roule en cylindre ou on la comprime dans des moules en laiton. Dans la fabrication de la cire commune, on remplace une grande partie de la laque par de la colophane, et le vermillon par du minium.

La matière colorante rouge de la laque en bâton est employée dans la TEINTURE (voyez ce mot).

LAQUES (*couleurs*) On comprend sous ce nom toutes les couleurs matérielles formées par la combinaison d'une matière colorante organique, avec une base terreuse ou métallique, qui est ordinairement l'alumine ou l'oxyde d'étain. On les prépare de deux manières principales, soit en mélangeant la décoction de la matière colorante avec une dissolution d'alun, et ajoutant du carbonate de soude, qui décompose l'alun et donne lieu à un précipité d'alumine qui entraîne avec elle la matière colorante, soit, lorsque la matière colorante est susceptible de s'altérer par l'action des alcalis, en agitant sa décoction avec de l'alumine en gelée, qui détermine la précipitation de la matière colorante.

Les laques les plus employées sont les laques rouges, qui ont pour base le bois de Brésil, la garance et la cochenille.

Pour préparer la laque de garance, on fait macérer cette substance dans l'eau froide, on exprime fortement le résidu, on le délaie dans l'eau, et on recommence quatre ou cinq fois ce traitement ; on fait ensuite bouillir le résidu avec une dissolution d'alun, et l'on précipite la liqueur filtrée par le carbonate de soude.

Quand on a préparé le CARMIN, les liqueurs encore très colorées dont il s'est précipité, et la décoction des marcs bien filtrée, servent à préparer la laque carminée. On y mêle 2 parties d'alun pour 1 p. de cochenille, et on ajoute quelques gouttes de dissolution d'étain, puis une quantité suffisante de carbonate de soude dissous dans l'alun.

L'oxyde d'étain se combine très bien avec les matières colorantes. mais en faisant virer leurs teintes naturelles ; ainsi, en ajoutant un excès de sel d'étain dans un bain de cochenille, on obtient une laque cramoisie très belle.

La graine d'Avignon sert à préparer la laque qui porte le nom de *stil de grain*. L'excès de carbonate alcalin, que l'on emploie pour la précipitation, fait virer la couleur au brun-jaunâtre.

LARMES BATAVIQUES. Voyez VERRE.

LATITUDES ET LONGITUDES. La latitude d'un point est l'angle que fait la ligne zénithale passant par ce point avec le plan de l'équateur; elle est mesurée par l'arc de méridien compris entre le point et l'équateur.

La longitude d'un point est l'angle que fait le méridien passant par ce point avec un autre méridien servant de point de départ, celui de l'Observatoire de Paris, par exemple. Cet angle est mesuré par l'arc de l'équateur compris entre ces deux méridiens.

Jadis les navigateurs prenaient toujours pour premier méridien celui passant par l'île de Fer, la plus occidentale des îles Canaries ; mais aujourd'hui les Français prennent, en général, pour premier méridien celui passant par l'Observatoire de Paris, tandis que les Anglais et les Espagnols placent le 0 des longitudes sur le méridien passant par Greenwich ou par Madrid. La réduction de toutes ces longitudes à un même méridien est du reste facile, lorsque l'on connaît exactement la différence des deux méridiens ayant servi de points de départ.

La position d'un point quelconque du globe est toujours parfaitement connue, lorsque l'on a sa longitude et sa latitude. Aussi, lorsque les navigateurs veulent connaître la position qu'occupe leur vaisseau sur la mer, il faut qu'ils calculent ces deux ordonnées ; c'est ce que l'on appelle *faire son point*.

En vue des côtes, et à l'aide de bonnes cartes, les marins font leur point avec des relèvements pris à la bousole sur les différents points du rivage, qui servent à fixer sur la carte la position du vaisseau, et par suite sa longitude et sa latitude ; mais lorsqu'ils se trouvent hors de la vue de la terre, c'est toujours aux astres à qui ils sont obligés de s'adresser pour connaître d'une manière exacte, soit la longitude, soit la latitude.

Pour obtenir la latitude à la mer, les marins emploient trois procédés différents :

1° Ils observent la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, lorsque cet astre se retrouve dans le méridien du lieu, c'est-à-dire à l'heure du midi vrai.

Le soleil obtient sa hauteur maximum au-dessus de l'horizon, précisément au moment de son passage au méridien. Pour reconnaître cet instant, il suffit, lorsque les chronomètres du bord annoncent les approches de midi, d'observer la hauteur du soleil d'une manière continue. Après avoir vu cet angle grandir, il arrive un moment où il diminue ; alors l'observation est terminée, et la hauteur maxima observée est celle que l'on emploie pour le calcul de la latitude.

2° Lorsque quelque obstacle, tel que le passage d'un nuage, peut empêcher d'observer le soleil au moment

EFERUS - Recherche & Classification numérique

précis de son passage au méridien, les marins prennent sa hauteur au-dessus de l'horizon plusieurs fois avant ou plusieurs fois après ce passage, en ayant soin de noter à chaque fois l'heure précise de l'observation qui est accusée par un chronomètre dont la marche est connue.

3° Deux observations de hauteur du soleil au dessus de l'horizon, séparées par un intervalle mesuré par un bon chronomètre, suffisent pour le calcul de la latitude. Ce troisième procédé comporte, du reste, des calculs différents, suivant que l'intervalle de temps qui s'écoule entre ces deux observations est grand ou très petit.

La première de ces trois méthodes comporte l'observation et les calculs les plus faciles; elle est d'une grande exactitude; aussi on n'a généralement recours à la seconde que lorsqu'on ne peut employer la première. Le calcul de la latitude par deux hauteurs de soleil et l'intervalle est aussi compliqué; il est rare que l'on y ait recours, à moins de circonstances pressantes.

Enfin, les marins peuvent encore déterminer la latitude, soit par des hauteurs lunaires, soit par les hauteurs simultanées de deux astres; mais ces observations entraînent après elles tant de difficultés, qu'ils y ont à peu près renoncé. Il est rare, en effet, que l'horizon de la mer pendant la nuit soit suffisamment éclairé pour que l'on puisse obtenir la hauteur des astres avec une grande exactitude. Lorsque, dans le jour, l'on aperçoit le disque lunaire, alors, en général, on peut faire des observations sur le soleil qui sont toujours préférées.

Le soleil, dans son mouvement apparent autour de la terre, passe momentanément par tous les méridiens et y marque le midi de chaque jour. Il en résulte que la différence de temps qui s'écoule entre le midi, de deux lieux placés sous deux méridiens différents, représente en temps la différence de ces deux méridiens, c'est-à-dire la différence des deux longitudes, en temps qu'il est toujours facile de convertir en degrés.

Pour trouver la longitude d'un point il suffit donc de mesurer la différence en temps des deux méridiens passant, l'un par le point de départ (l'Observatoire de Paris, par exemple), et l'autre par le lieu de l'observateur, c'est-à-dire déterminer la différence des heures entre deux lieux. Les marins y parviennent par deux méthodes différentes :

1° Par le transport direct du temps au moyen de chronomètres qui ont été parfaitement réglés sur l'heure du lieu de départ dont la longitude était connue. Des observations de hauteur au-dessus de l'horizon permettent de calculer l'heure du lieu, et sa comparaison avec l'heure du lieu de départ indiquée par le chronomètre fait connaître la différence des longitudes en temps.

L'exactitude de ce procédé dépend uniquement de celle des mouvements du chronomètre; malgré toute la perfection que l'on est parvenu à donner à ces instruments nautiques, ils ont besoin d'être réglés très souvent dans des lieux dont la longitude est connue, afin de déterminer surtout leurs marches, c'est-à-dire leur avance ou leur retard dans les 24 heures. Grâce à la multiplicité des voyages scientifiques, il existe aujourd'hui à peu près, dans toutes ces mers, des lieux dont la longitude est assez bien déterminée pour que les marins puissent y rectifier leurs chronomètres et poursuivre leur navigation avec sécurité.

2° On sait que les distances angulaires de certains astres varient à chaque instant en suivant des lois définies par l'astronomie. Par suite des calculs qui se font à l'avance dans les observatoires, les distances angulaires de certains astres, tels que ceux qui existent entre le soleil et la lune, sont données aux marins pour chaque heure des jours de l'année où il est possible de les observer. Il en résulte que les navigateurs peuvent, en observant directement ces distances, connaître exactement l'heure de Paris, par exemple, au moment de l'observation. Si eux-mêmes ils ont observé l'heure exacte du lieu où ils se trouvent, la différence des heures nous donnera la différence en temps des longitudes.

Cette deuxième méthode nécessite des calculs beaucoup plus compliqués que la première. En outre, comme les distances entre les deux astres ne varient que très lentement, elle exige des observations très précises; car une différence légère dans les heures entraîne des erreurs considérables pour la longitude. Enfin, le soleil et la lune qui sont les deux astres les plus commodes pour ce genre d'observations ne sont pas toujours visibles à la fois. Toutefois, cette méthode d'observer la longitude est fréquemment employée même à bord des vaisseaux munis de chronomètres; car c'est le seul moyen de reconnaître dans les longues navigations si les horloges n'ont pas éprouvé de dérangement dans leur mécanisme.

En outre de ces diverses méthodes de faire le point, on calcule aussi à bord de chaque navire ce que l'on appelle la longitude et la latitude estimée.

Un vaisseau part d'un point dont la longitude et la latitude sont connues; si au bout d'un certain temps l'on connaît la direction qu'il a suivie et le nombre de milles qu'il a parcourus, on en déduira facilement la longitude et la latitude du point d'arrivée; or, ces données sont fournies par le loch et la boussole (voyez NAVIGATION), instruments de peu de précision. Une grande partie des navires de commerce n'ont souvent pas d'autre moyen de reconnaître leur position, car le prix élevé des instruments nautiques, la difficulté des observations et des calculs font que souvent les capitaines renoncent à en faire usage. Voyez LOCH, *Compliment* et BOUSSOLE.

Dans tous les cas, les marins sont obligés d'avoir recours à la longitude et la latitude estimées pour les calculs astronomiques; et enfin la comparaison de la position estimée avec celle qu'occupe réellement le navire sert à faire reconnaître au navigateur la direction et la force des courants qui agissent sur son bâtiment. Il est vrai que cette appréciation n'est jamais qu'approximative à cause du peu d'exactitude des instruments qui servent à estimer la route; mais on connaît toujours à peu près les limites d'erreurs qui peuvent provenir du peu de précision du loch et de la boussole, et dans la comparaison des chiffres provenant de l'estime et de l'observation, il est toujours possible de faire la part des erreurs de celle que l'on doit attribuer aux courants.

LAVAGE. Voyez *méthode par* DÉPLACEMENT, FILTRATION, MÉTALLURGIE.

LAVAGE DES LAINES. Voyez LAINES.

LEIOCOME, *amidon torréfié*, gomme-fécule. Voyez AMIDON et DEXTRINE.

LEVAIN (*angl.* leaven, *all.* gaehrungstoff). La pâte servant à la confection du pain, abandonnée à elle-même, acquiert des propriétés de plus en plus acides, et devient susceptible de déterminer la fermentation d'une nouvelle quantité de pâte; c'est un moyen que l'on met chaque jour en usage pour faire lever la pâte qui sert à confectionner le PAIN.

Dans les pays où l'on fabrique de la BIÈRE, on remplace la levure de pâte par de la *levure de bière*, agent beaucoup plus énergique, mais on doit en ménager la quantité, sans quoi elle communiquerait au pain un goût désagréable.

En Angleterre on se sert d'une sorte de levain dont l'effet ne dépend nullement de la fermentation; c'est du sous-carbonate d'ammoniaque que l'on incorpore dans la pâte, et qui, en se dégageant, lors de la cuisson, détermine dans toutes les parties de la pâte une foule de cavités semblables à celles produites par l'acide carbonique résultant de la fermentation.

LEVÉ DES PLANS. Cette opération a pour but de représenter la position d'un terrain et des divers accidents qui s'y trouvent, au moyen de leur projection

EFERUS - Recherche & Classification numérique

horizontale, à une échelle déterminée, et de courbes de niveau qui permettent d'en tracer le profil dans une direction quelconque.

L'instrument le plus simple que l'on puisse employer pour des levés d'une faible étendue est *l'équerre d'arpenteur*. C'est un prisme à huit pans ou un cylindre creux vertical, monté sur un piquet armé à sa partie inférieure d'un sabot en fer qui sert à l'enfoncer dans le sol. Huit fentes placées au pourtour du cylindre déterminent quatre plans diamétraux qui font entre eux des angles de 45°. On peut ainsi diviser le terrain à lever en triangles dont les angles ont 45 ou 90°, et dont on détermine les côtés en tout ou en partie en les chaînant, ce qui permet de les tracer sur le papier et d'en calculer la surface, ce qui est l'objet principal des toiseurs-vérificateurs qui font surtout usage de cet instrument.

Dans le cadastre on se sert beaucoup de la *planchette*, qui consiste en une simple planche montée à genou sur un pied à trois branches, et sur laquelle on tend une feuille de papier. On mesure une base horizontale sur le terrain, et on prend comme stations les deux extrémités de cette base, ainsi qu'un nombre de points suffisants tels que l'on puisse autant que possible apercevoir tous les accidents du terrain, de deux de ces points, en les marquant au moyen de jalons. Arrivé à une station on pose le point de la station sur la planchette sur le trou du jalon, au moyen du fil à plomb, en faisant tourner la planchette de manière à l'orienter, c'est-à-dire de manière à ce qu'en visant avec une alidade à pinnules ou à lunette l'une des stations précédentes, la règle de l'alidade coïncide avec le trait qui, sur le papier, indique cette direction; enfin il faut la placer exactement horizontale, ce qui se fait à l'aide d'un niveau à bulle d'air. On fait alors passer l'alidade par le point de station et on vise successivement tous les points dont on veut déterminer la position et que l'on aperçoit, en traçant sur le papier les positions correspondantes de la règle de l'alidade; on détermine ensuite ces points soit par recoupement au moyen des rayons visuels partant d'une autre station, soit au moyen d'un chaînage que l'on reporte sur la direction de la ligne de visée, d'après l'échelle de réduction adoptée.

Pour les plans de peu d'étendue on se sert aussi souvent d'une boussole à pinnules ou à lunette montée sur un pied, en notant à chaque station les angles que l'aiguille aimantée fait avec les rayons visuels dirigés vers les points d'observation. L'aiguille aimantée ayant une direction sensiblement constante dans le même lieu, les angles des rayons visuels sont les différences des indications de la boussole et peuvent être aisément tracés sur le papier au moyen d'un rapporteur. En y joignant un certain nombre de chaînages, on a tous les éléments nécessaires pour le tracé des plans.

Enfin on mesure les angles avec plus d'exactitude au moyen de deux lunettes, l'une fixe, l'autre mobile; ce sont le *graphomètre* et le *cercle répétiteur*. Le théodolite n'en diffère qu'en ce que les deux lunettes ont un mouvement dans le sens vertical qui permet de réduire immédiatement les angles à l'horizon.

Au moyen des instruments que nous venons de décrire on obtient une projection horizontale du terrain. Pour achever d'en avoir une représentation exacte, il faut y tracer des courbes de niveau, ce qui se fait au moyen de la détermination des cotes de hauteur d'un certain nombre de points. On se sert à cet effet de mires glissant sur des tiges graduées, que l'on transporte aux différents points, dont l'on veut déterminer la différence de hauteur, et d'un niveau à bulle d'air et à lunette, qui sert à fixer ces mires.

Dans quelques cas, on détermine la hauteur des montagnes au-dessus du niveau de la mer au moyen d'observations barométriques. Voy. NIVELLEMENT.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que du levé des plans à la surface; il nous reste à dire quelques mots sur le levé des plans de mines.

Ordinairement, dans ce cas, on fixe dans les galeries, alternativement de chaque côté, des clous sur lesquels on tend une ficelle; on observe entre chaque station la largeur et la hauteur des galeries, leur état, etc., et la longueur d'un clou à un autre, en la chaînant. On prend ensuite la direction, en accrochant au milieu de la ficelle une boussole ayant un double système de suspension, autour de deux axes, de sorte qu'elle demeure toujours horizontale; puis on mesure l'inclinaison en suspendant près de chaque clou un demi-cercle divisé et portant en son centre un fil à plomb, et prenant la moyenne des deux observations, pour avoir l'inclinaison moyenne. Les longueurs mesurées multipliées par les cosinus des inclinaisons observées donneront les projections horizontales, et on aura les différences de hauteur en les multipliant par les sinus des mêmes angles; il sera donc facile de tracer les projections horizontales et verticales des galeries.

Dans les mines qui renferment du fer oxydulé ou des chemins de fer, on ne peut se servir de la boussole à cause de la déviation que la présence du fer ferait éprouver à l'aiguille aimantée. Dans ce cas, on se sert d'un théodolite muni de deux lunettes pour mesurer les angles de direction et dont la lunette supérieure se meut le long d'un limbe vertical gradué qui permet de mesurer les inclinaisons. Comme cette lunette est excentrique, on mesure de nouveau les angles en retournant l'instrument et on en prend la moyenne, ce qui corrige l'erreur d'excentricité. On se sert comme points de visée de lampes placées sur des pieds de même hauteur que celui du théodolite.

LEVIER. C'est la plus simple des machines; elle consiste en une verge inflexible droite ou courbée, assujettie à tourner autour d'un point fixe ou point d'appui, et sollicitée par deux forces qui tendent à lui imprimer chacune un mouvement *en sens contraire*, et auxquelles on donne ordinairement le nom de puissance et de résistance.

Quand le point d'appui est situé entre la puissance et la résistance, le levier est dit de la première espèce. Dans le levier de la seconde espèce la résistance est placée entre le point d'appui et la puissance. Enfin, dans le levier de la troisième espèce, la puissance est placée entre le point d'appui et la résistance.

La condition pour que la puissance et la résistance se fassent équilibre, est que ces forces soient situées dans le même plan et en raison inverse de leurs bras de levier, c'est-à-dire de leur distance au point d'appui, ou en d'autres termes que leurs moments, par rapport à ce point, soient égaux : on entend par moment d'une force par rapport à un point, le produit du nombre qui exprime cette force par la perpendiculaire abaissée du point sur la direction de la force.

LICHEN. Nom d'une famille de végétaux cryptogames de forme très variée, mais qui sont faciles à distinguer à leur consistance particulière, sèche et coriace, jamais charnue ni véritablement foliacée. Ils absorbent promptement l'humidité de l'air et le laissent échapper avec la même facilité, aussi sont-ils généralement secs et friables par un temps sec, mous et flexibles par un temps humide. Ils végètent sur les troncs des arbres, les pierres, la terre humide, les vieux bois, en un mot sur toutes les surfaces humides, et se fixent sur ces corps par des sortes de crampons et non par de véritables racines.

Les plus employés sont : 1° le *lichen parellus* ou *parelle d'Auvergne*, et le *lichen roccella* qui se trouve aux îles Canaries, qui servent tous les deux à la fabrication de l'ORSEILLE; et 2° le lichen d'Islande ou *cetraria islandicus*, qui est employé comme médicament et comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

substance alimentaire, après l'avoir toutefois dépouillé de son amertume en le laissant macérer pendant quelque temps dans de l'eau. On en a retiré, ainsi que de plusieurs autres espèces de lichen, le *lichen carragheen* surtout, une matière gommeuse qui peut être employée avec beaucoup d'avantage dans la préparation du *parement* dont les tisserands enduisent les chaînes de leurs pièces, et donne à ce parement une souplesse et une élasticité qui permettent aux ouvriers de travailler dans des lieux secs, et de se soustraire par là aux inconvénients qui résultent pour lui de travailler constamment dans des lieux humides.

LEVURE DE BIÈRE. Voyez BIÈRE.

LIÉGE (*angl.* cork, *all.* kork). Le liége est l'écorce d'une espèce de chêne qui croît dans les terrains arides du midi de l'Europe et du nord de la Barbarie. On rencontre le *quercus suber* en France, dans les départements du Var, des Landes, de Lot-et-Garonne et des Pyrénées orientales où l'on fabrique beaucoup de bouchons; le liége de Barbaste est le plus beau de France; la Corse possède beaucoup de *chênes-liége*, mais il n'y est presque pas exploité, ce qui fait qu'il est dur et cassant, car le liége a besoin d'être en exploitation pour s'améliorer; celui qu'on récolte régulièrement tous les six à huit ans, acquiert la qualité voulue; c'est par défaut d'exploitation que les forêts de la Calle et de Bone en Afrique, ont donné d'abord des produits assez défectueux. L'exploitation a beaucoup amélioré la qualité de cette richesse de notre colonie algérienne, et la récolte se fait de plus en plus dans des conditions convenables; malheureusement des incendies allumés par les Arabes viennent souvent détruire les espérances de récolte. L'Italie aussi possède des chênes-liége, mais l'Espagne et le Portugal sont les pays les plus favorisés sous ce rapport; le liége de la province de Lérida est le plus estimé, aussi le gouvernement de Madrid vient-il d'en interdire l'exportation en planches, attendu qu'il peut être à peu près entièrement façonné par les bouchonniers du pays. Séville expédie beaucoup de liége à l'Angleterre qui en tire aussi de Sétubal, de Porto et de tout le Portugal. L'Estramadure possède de très grandes forêts de liéges, mais elles n'ont pas encore été mises en valeur. La Toscane, la Calabre, la Sardaigne, la Sicile fournissent du liége à la France; mais si celui d'Espagne et de Portugal venait à manquer au commerce, il y aurait disette de bouchons.

Il y a deux espèces de chêne-liége, le blanc et le noir; le blanc croît en France, le noir en Espagne.

La récolte du liége n'est pas une opération difficile, et cependant, quand elle est faite brutalement, elle peut déterminer la perte de l'arbre qui, sans cela, peut être dépouillé dix à douze fois pendant sa vie.

On pratique deux incisions annulaires, au-dessus et au-dessous de la portion d'écorce que l'on veut obtenir, on la fend ensuite par des incisions perpendiculaires et parallèles, au nombre de deux ou trois, et par l'application du feu ou de la flamme à l'extérieur, les planches se détachent aisément; mais il faut avoir soin de respecter les couches de *liber* nécessaires à l'existence de tous les végétaux.

Les planches de liége les plus légères, d'un grain fin, sans nœuds ni crevasses, d'un ton gris-jaunâtre, sont les meilleures, mais il est fort rare de rencontrer une planche un peu grande sans défauts. Le liége de Portugal est gratté soigneusement, le charbon en est enlevé, ce qui le rend, comme on dit, plus marchand.

Nous ne ferons pas l'énumération des nombreux emplois du liége, mais on serait fort en peine de le remplacer, si cette substance venait à manquer dans le commerce; car on n'a rien encore trouvé qui pût en tenir lieu, pour conserver hermétiquement et économiquement les liquides. On peut fabriquer d'énormes bondes en collant des pièces de liége ensemble à l'aide d'une colle indélébile dont la base est la gomme-laque; on en fait des semelles contre l'humidité et les garnitures de filets de pêche. On assouplit les bouchons trop durs à l'aide d'une mâchoire et d'un levier, de manière à les introduire aisément dans de petits goulots: les bouchons de Champagne donnent un exemple de la réduction de volume auquel on peut amener le liége, et ce qu'il y a de singulier, c'est qu'on peut faire reprendre à ces bouchons, ainsi écrasés, leur forme première, en les traitant par la vapeur.

On conçoit que le travail à la main ne produit jamais deux bouchons parfaitement semblables, et il faut qu'ils soient assortis pour le consommateur qui a souvent des parties de bouteilles neuves, du même diamètre de goulot; c'est en faisant ce simple travail d'assortiment que certaines maisons bien connues ont amassé des fortunes colossales à Paris.

Les bouchons fabriqués à la mécanique tombent tout assortis, de tous les diamètres et de tous les degrés de conicité voulus. C'est la routine ancienne qui veut encore des bouchons coniques; les bouchons cylindriques dont on comprime un bout pour leur donner de l'*entrure* ferment beaucoup mieux les bouteilles, témoin les bouchons à vin de Champagne qui sont tous cylindriques. Le goulot des bouteilles étant légèrement étranglé sous la bague, le liége s'épanouit quand il a passé le défilé, il fermerait comme un piston de presse hydraulique si l'extrémité du bouchon était un peu évidée.

Le goulot des bouteilles anglaises est encore plus rationnellement fabriqué que celui des nôtres, son entrée est évasée en entonnoir, puis vient l'étranglement suivi d'un nouvel évasement; l'intérieur du goulot représente, en un mot, deux cônes tronqués opposés par le sommet.

L'introduction du bouchon cylindrique a lieu dans ces bouteilles, sans autre précaution qu'un grand coup de maillet; la bouteille reposant perpendiculairement sur un bloc de bois placé au centre d'une cuvette, résiste parfaitement à ce choc direct. La casse est infiniment moindre, ainsi que par le bouchage à main levée c'est-à-dire sans appui pour la bouteille.

Nous profiterons de cette occasion pour répéter un conseil que nous avons déjà plusieurs fois adressé aux fabricants de vin mousseux, pour éviter entièrement la casse et simplifier leur travail d'épuration. Il nous semble qu'au lieu de traiter leur vin bouteille par bouteille, il serait plus simple de le traiter par mille et même par dix mille bouteilles à la fois. Il suffirait pour cela d'avoir de grands cylindres en tôle, étamés en dedans et suspendus sur un axe transversal qui permettrait de les incliner sous tous les angles, jusqu'à la verticale; ces cylindres, semblables à des chaudières à vapeur, seraient munis de soupapes de sûreté pour laisser échapper les gaz, dont la formation dépasserait la pression voulue, pendant la fermentation. Ces cylindres, dont l'extrémité se terminerait par un cône muni d'un fort robinet, seraient, comme les bouteilles, inclinés graduellement, et laisseraient échapper la lie jusqu'au dernier atome. Quand le vin commencerait à sortir clair, on procéderait à la mise en bouteilles sous pression et à la mécanique, comme cela se pratique pour l'eau gazeuse.

Le prix d'achat de ces réservoirs serait bientôt couvert par l'absence de toute casse, l'économie de la main-d'œuvre et celle des bouchons perdus par les opérations de la double purge. Ce n'est pas une petite dépense pour la Champagne que celle des bouchons, car elle en consomme annuellement pour près de quatre millions de francs; ce sont des bouchons spéciaux du liége le plus fin, et qui coûtent aujourd'hui de dix à onze centimes la pièce.

Les mécaniciens les plus distingués de France, d'Angleterre et d'Allemagne, n'ont cessé de faire des efforts

EFERUS - Recherche & Classification numérique

inouïs, pour remplacer par la mécanique les nombreux ouvriers bouchonniers qui vivent de ce travail, mais ils ont rencontré des obstacles insurmontables dans l'emploi mécanique des lames tranchantes ; tant à cause des corps étrangers, du sable et des résines durcies qui se trouvent dans les pores du meilleur liége, qu'à cause de la variété considérable de grandeurs et de sortes de bouchons qui exigerait une infinité de machines compliquées dont les tranchants, bien qu'aiguisés continuellement, ne peuvent faire un service assez long sans s'émousser. Il a donc fallu s'en tenir au couteau primitif, dont le fréquent graissage dépose toujours un peu d'huile dans les pores de quelques bouchons, qui communiquent aux vins un goût de rancidité, dont on ne sait découvrir la cause.

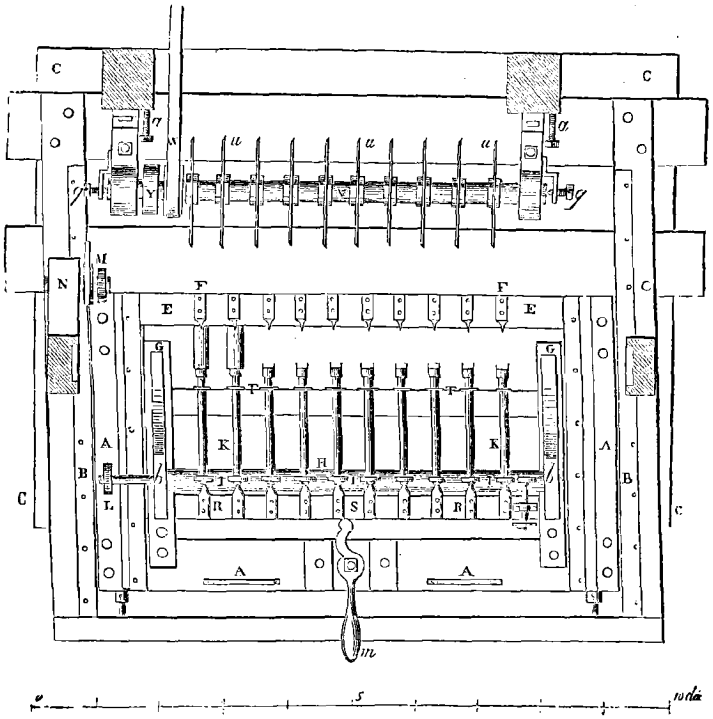
C'est après être passé par toutes les phases de cette fabrication difficile et avoir dépensé beaucoup d'argent, que M. Moreau s'est avisé de retourner la question de fond en comble. Abandonnant les routes battues où il n'avait rien trouvé de bien supérieur à ses prédécesseurs, il est parvenu depuis peu à construire une machine sans tranchants, dans laquelle il suffit d'introduire le liége, qui en sort tout façonné en bouchons de toutes grandeurs, parfaitement cylindriques ou coniques, polis et veloutés, sans que la graisse ni la main de l'ouvrier les ait touchés et salis.

Le principe découvert par M. Moreau, l'usure par la friction rapide, nous semble si fécond, qu'il nous est permis d'en attendre chaque jour des résultats plus considérables. Par exemple, le liége se façonne entre ses mains en bouchons à tête profilée, avec netteté. Chaque grande maison aura peut-être un jour ses bouchons de luxe, portant la silhouette de son chef.

Pour ne pas nous éloigner de la partie utile, nous dirons que les déchets de cette nouvelle fabrique ont trouvé des applications que ne présentent pas les déchets des anciennes, qui sont d'ailleurs trop disséminés, et qui coûteraient trop à réunir. Par exemple, il résulte de la friction une farine de liége qui sert à polir les métaux, et qui, brûlée en vase clos, donne le plus beau noir d'imprimerie que l'on connaisse; cette poudre trouvera bientôt une multitude d'emplois dans les arts industriels. On fait avec les copeaux de liége des ceintures, des gilets et des matelas de sauvetage, les premiers ont été embarqués sur le *Constant* parti d'Anvers pour le Brésil. Ce navire a péri dans la nuit du 12 au 13 octobre de l'an passé, à douze milles de Saint-Thomas, et tout l'équipage a été sauvé.

Il serait difficile de donner une idée bien juste de la consommation des bouchons; mais on sait qu'elle est énorme. La Champagne seule en emploie 40 millions, au prix de 80 à 100 francs le mille. L'Angleterre en emploie, tant pour elle que pour ses envois aux colonies et en Amérique, plus de 20 millions par jour. Aussi les docks de Londres sont-ils toujours pourvus de montagnes d'écorces, qui se démolissent et se reforment sans cesse, par les arrivages d'Espagne, de Portugal et d'Italie.

Les bouchons se vendent de 4 fr. à 100 fr. le mille. l'importance de ce commerce pour la Grande-Bretagne



EFERUS - Recherche & Classification numérique

est d'environ 20 millions par an. Il est de près de 50 millions pour l'Europe. Il ne faut donc pas s'étonner des fortunes colossales faites dans ce commerce, par presque toutes les maisons qui s'y sont livrées.

L'écorce de liége qu'on emploie pour la fabrication des bouchons se présente ordinairement sous la forme de larges planches courbes. Avant d'être transformée en bouchons, elle subit plusieurs opérations que nous allons décrire :

1° On divise l'écorce en bandes d'une largeur égale à la longueur des bouchons qu'on veut obtenir ;

2° On subdivise ces bandes en parallélipipèdes rectangles. Ces deux opérations préparatoires se font à la main et au couteau ; on présente ces parallélipipèdes à l'entrée d'un instrument facile à comprendre, puisqu'il ne se compose que d'un tube creux animé d'une grande vitesse de rotation, contre lequel il suffit d'appuyer l'extrémité des parallélipipèdes de liége qui le traversent et sortent cylindriques, de carrés qu'ils étaient entrés, parce que le tube est armé à son ouverture d'un anneau tranchant.

Machine pour rendre les bouchons coniques. Cette machine se compose de deux parties principales :

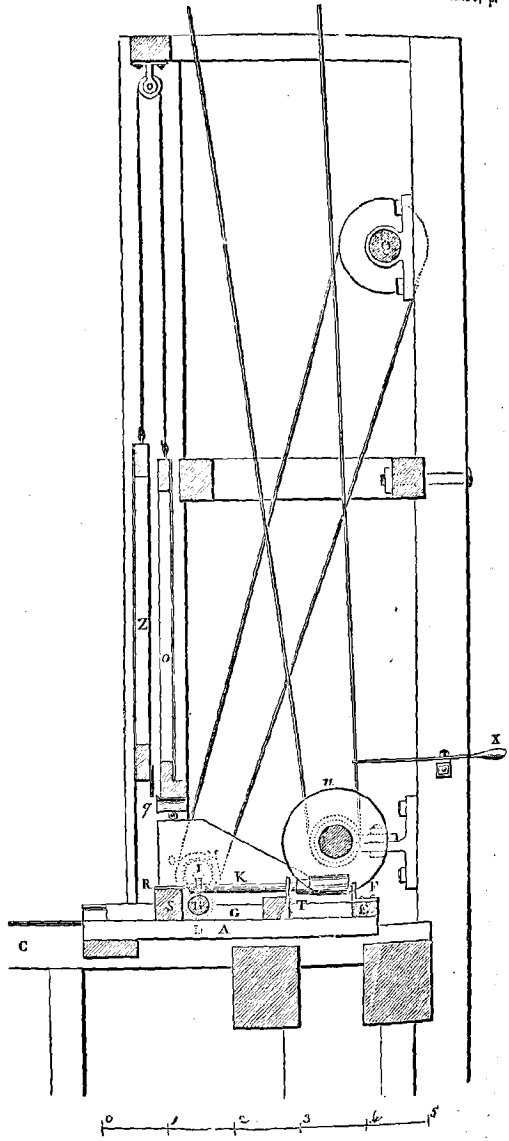
1° D'un chariot glissant horizontalement dans les coulisses d'un bâti, et muni de broches portant chacune un morceau cylindrique de liége de la longueur d'un bouchon ;

2° De meules fixées sur un même axe, tournant dans des coussinets d'about, et qui, par leur grande vitesse de rotation, usent et polissent par une vive friction les morceaux cylindriques de liége que les broches leur présentent obliquement en accomplissant un mouvement de rotation lent et uniforme.

Il y a une troisième partie moins importante, mais qui complète l'ensemble de cette machine ; ce sont deux cadres en bois, glissant dans des coulisses ménagées dans les montants du bâti et suspendus sur une poulie fixée au milieu d'une traverse, à l'aide d'une corde. L'un de ces cadres est muni en dessous de godets en fer-blanc, dans lesquels on place le liége préparé, et de deux pieds munis de roulettes ; l'autre cadre porte des morceaux de tôle, découpés en forme de fer à cheval qui servent, en s'abaissant, à faire tomber les bouchons terminés, quand on retire le châssis qui porte les tiges, lesquelles tiges en reculant abandonnent les bouchons qui butent contre les fers à cheval et se détachent des pointes qui les retenaient.

Description de la machine à friction. Cette machine est représentée en plan fig. 1390, et en coupe fig. 1391 : Le chariot se compose de deux châssis en bois. Le premier, celui de dessous A, qui glisse obliquement dans des coulisses en fer B, fixées sur le bâti en bois C, porte sur la traverse de derrière E, de petites équerres en fer F, munies chacune à leur extrémité d'une pointe. Le second châssis, celui de dessus G, qui glisse aussi horizontalement dans le premier, A, porte une vis sans fin H, qui commande les pignons I, lesquels font tourner les broches K, armées de deux pointes. Cette vis est munie à l'une de ses extrémités d'un pignon L, commandé par un autre M, dont le support est fixé sur le montant N. Sur l'axe du pignon M est fixée une poulie O, qui reçoit son mouvement d'une autre poulie placée sur l'arbre Q.

Les broches K sont supportées à l'une de leurs extrémités par les pointes de petits fers R assujetties à la traverse S du châssis intérieur G, et vers l'autre, par



1391.

de petits supports en fer percés T, dans lesquels ils tournent librement. Ces broches sont munies, comme nous l'avons déjà dit, à leur extrémité de deux pointes.

Meules. Les meules *u*, chacune de 20 centimètres de diamètre, sont en liége ou de tout autre matière flexible, et enduites, d'un côté, de colle-forte mêlée d'émeri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Elles sont fixées sur l'arbre V, qui, à l'aide de vis *q*, *q*, peut être avancé ou reculé horizontalement à droite ou à gauche, selon l'épaisseur que l'on veut donner aux bouchons. L'arbre est en outre muni, à l'une de ses extrémités, d'une poulie fixe W, qui imprime aux meules un mouvement d'environ deux milles tours par minute. A côté de cette poulie fixe se trouve une poulie folle Y X, est une fourche qui sert à transmettre la courroie d'une poulie sur l'autre.

Marche de la machine. On avance d'abord le chariot A, à fond ; sa course est déterminée par des têtes de vis *a*, *a*, fixées dans le bâti. En même temps le cadre O, qui est pourvu de roulettes, s'élève sur le talus *bb* que porte le châssis G, et présente les godets *p* pour recevoir le liége préparé cylindriquement ; cette opération faite, on retire le chariot, tandis que le cadre O, descendant des talus, s'abaisse et les godets se placent entre les pointes des broches et celles fixées sur la traverse E. On ferme ensuite, à l'aide d'un levier courbé M, le châssis intérieur G, alors le liége qui se trouvait dans les godets est poussé par les broches K et est saisi entre les pointes de ces broches et celles fixées sur la traverse du châssis A. Enfin, en avançant de nouveau le chariot jusqu'au fond, le liége se présente obliquement contre la partie des meules garnies d'émeri ; en même temps le pignon L engrène le pignon M, mis en jeu par la poulie O, et communique un mouvement de rotation à la vis sans fin et par conséquent aux broches qui portent le liége, lequel se présentant contre les meules reçoit de ces dernières, par la friction, une forme conique proportionnée à l'obliquité du cadre.

Le rapport entre la vitesse des meules et celles des broches est comme 1 à 2,000. JOBARD.

La machine décrite par M. Jobard fondée sur la friction n'est pas restée dans l'industrie ; il a fallu revenir à couper le bouchon pour avoir la netteté exigée par le consommateur. On a remarqué à Londres, en 1862, une machine américaine de ce genre. Des pièces de liége, préalablement divisées, y sont présentées à l'action d'un large disque tournant d'acier fondu ; les pièces de liége pour former les bouchons reçoivent un mouvement de rotation sur elles-mêmes pendant que le disque les travaille ; leur axe de rotation fait un angle avec le disque ; la conicité des bouchons en résulte, et elle peut être réglée à volonté. La perfection de coupe de la surface de ces bouchons taillés coniques ne laisse rien à désirer ; la possibilité d'entretenir le tranchant du disque sans qu'il cesse d'agir est une condition essentielle de continuité de travail.

LIGNEUX. Voyez BOIS.

LIGNITE. Voyez COMBUSTIBLES et HOUILLE.

LIMAILLE DE FER. M. Vennin a imaginé de construire, pour les ateliers dans lesquels on travaille à la fois du fer et du cuivre, un petit appareil destiné à opérer la séparation des limailles mélangées de ces deux métaux, afin de tirer parti de celle de cuivre.

Les matières à trier sont versées dans une trémie, d'où elles s'écoulent sur un plan incliné, dont l'action est facilitée par les chocs légers et fréquemment renouvelés d'un véritable babillard. Au-dessous de l'orifice de sortie elles tombent sur un tambour cylindrique en cuivre, à la surface duquel viennent effleurer les extrémités d'un certain nombre d'aimants en fer à cheval.

La limaille de fer doit être retenue par ces aimants, jusqu'à ce qu'elle soit détachée par l'action d'une brosse, tournant autour d'un axe parallèle à celui du tambour : celle des autres métaux tombe, isolée, dans une boîte spéciale, où on la recueille après chaque opération.

Pour apprécier, dit M. Tresca (*Annales du Conservatoire*), le fonctionnement de sa machine, nous l'avons fait tourner à raison de 32 tours par minute, l'alimentant avec un mélange formé de 23k,60 de tournures de fer et de fonte et de 12k,00 de limailles et de tournures de cuivre. Les copeaux de fer avaient été à dessein conservés entiers, et lors du mélange, des fragments de cuivre s'étaient en grand nombre engagés dans leurs spires.

Diverses opérations ont successivement été faites pour arriver à une plus complète séparation.

Dans la première, on a recueilli 12k,20 de cuivre, mélangé de quelques gros copeaux de fer, particulièrement de fragments en partie couverts en rouille, et 23k,40 de limaille de fer.

On n'a opéré, en second lieu, que sur ce dernier produit, dont on a extrait à la seconde passe 2k,40 de limaille de cuivre à peu près pure.

Dans une troisième opération on a traité les 21 kil. restants, ce qui a produit environ 1k,80 de cuivre.

Le cuivre ainsi recueilli n'étant pas parfaitement pur, on l'a soumis de son côté à deux opérations complémentaires, qui ont fourni respectivement 3k,10, et ensuite 2 kil. de limaille de fer.

Les premières opérations ont duré 20 minutes chacune ; les suivantes n'ont employé qu'un temps proportionné au poids de la matière soumise à l'action de la machine. On peut compter d'une manière générale sur une préparation de 100 kil. par heure.

La séparation n'était pas encore tout à fait complète : les morceaux de fonte rouillés et les gros copeaux de fer restaient mélangés avec le cuivre ; mais, en les enlevant à la main, on a obtenu un lotissement très-satisfaisant des deux métaux primitivement mélangés, avec perte de 0k,70 seulement de limaille de cuivre.

Le cuivre ainsi recueilli était complétement exempt de tout mélange de fer.

Pour se servir avec avantage de la machine de M. Vennin-Deregnaux, il est nécessaire d'enlever les plus gros fragments par un tamisage préalable, de briser les spires des copeaux, afin que les parcelles plus petites ne puissent être retenues entre ces spires ; à l'aide de ces précautions, une seule passe sera généralement suffisante.

34 kil. de limailles ainsi préparées nous ont, du premier coup, fourni 11k,70 de cuivre, et 22k,30 d'un mélange de fer et de fonte, retenant à peine quelques parcelles, presque impondérables, de cuivre.

La machine de M. Vennin ressemble beaucoup comme principe à celle que M. Froment a depuis longtemps construite, à la demande de M. Chenot, pour le triage, en grande exploitation, des minerais de fer. Cette machine dont plusieurs exemplaires fonctionnent industriellement, particulièrement en Toscane, peut trier par jour jusqu'à 4 à 5,000 kil. de minerai. L'aimantation beaucoup plus puissante est déterminée par un courant électrique, qui agit en temps convenable sur chacune des 48 bobines qui constituent l'appareil, et dont l'action cesse aussitôt que les parcelles, attirées d'abord, peuvent être abandonnées à l'action de la pesanteur. M. Vennin ne s'est pas proposé des résultats aussi considérables ; son appareil n'est qu'un outil de plus dans un atelier, et s'il était possible de le construire à bon marché, cet outil rendrait certainement dans la pratique de très-bons services.

La figure ci-jointe représente l'appareil dont s'agit.

A est le tambour formé par les aimants *a*, en fer à cheval, qui ne sont vus sur le dessin que par leur épaisseur.

B brosse cylindrique chargée de détacher les limailles de fer : elle est animée d'un mouvement continu de rotation, qui lui est transmis par la poulie *b* de l'arbre du tambour.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C bâti de la machine.

D table inclinée, constamment agitée par le babillard *d*.

E trémie dans laquelle tombent les limailles, avant de venir au contact des aimants du tambour.

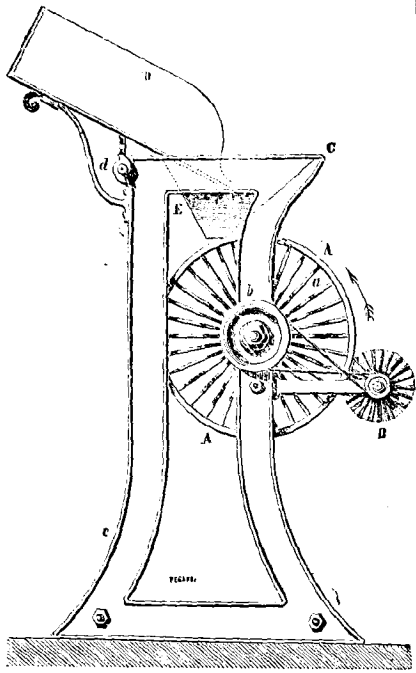


Fig. 1392.

Le tambour tourne dans le sens qui est indiqué par la flèche : les parcelles non retenues tombent à gauche de l'appareil : le fer et la fonte se recueillent à droite, au-dessous de la brosse B.

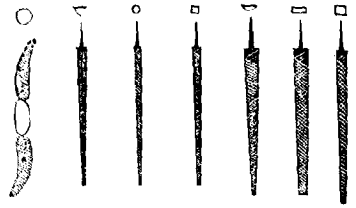
LIME (*angl.* file, *all.* feile). Outil d'acier bien connu, dont la surface est couverte d'entailles qui servent à couper ou à user les métaux, l'ivoire, le bois, etc.

Lorsque les entailles ont été faites au moyen d'un ciseau rectiligne, tranchant, tenant tout le travers du morceau de fer à tailler, ces outils s'appellent proprement des limes; mais si les dents en ont été taillées avec un poinçon en forme de pyramide triangulaire, on leur donne plus particulièrement le nom de râpes. Les premières servent à travailler les métaux, l'ivoire, les os, la corne et le bois; on se sert des dernières plus spécialement pour le bois et la corne.

Les limes sont de deux sortes, selon la forme de leurs entailles. Lorsque celles-ci forment une série de saillies tranchantes produites par le ciseau plat, et présentant des sillons parallèles faisant des angles droits avec l'axe de la lime, ou bien dirigés obliquement par rapport à cet axe, on les appelle, dans ce cas, écouennes; mais si elles offrent une deuxième série d'entailles qui croisent les premières, elles portent alors le nom de limes.

Les premières servent à limer le plomb, les corps mous, parce que les entailles se remplissent moins rapidement que celles des limes proprement dites, qui conviennent bien mieux pour les métaux plus durs, tels que le fer fondu ou forgé, et l'acier. Les dents, les dimensions et les formes des limes, la finesse de leur taille varient

beaucoup suivant les divers usages qu'on en doit faire depuis la grosse lime d'Allemagne qui sert à ébaucher jusqu'à la lime douce, dont la taille est quelquefois tellement fine qu'elle ne sert qu'à dresser les surfaces déjà dressées.



1393.

Les grosses limes sont taillées très rudes et les tailles en sont profondes. Leur section est habituellement un parallélogramme et va en diminuant du milieu à l'extrémité. Ces limes doivent être assez pesantes pour que l'action de leur masse vienne aider à l'impulsion de l'ouvrier limeur. Comme elles se trouvent en général former un paquet entouré de paille, du poids de 8 à 9 hectogrammes, on les désigne sous le nom de limes *de une au paquet*, *deux au paquet*, etc. Ces limes nous viennent en assez grande quantité de l'Allemagne, où elles sont fabriquées avec l'acier naturel des fontes spathiques du Rhin : sous le rapport de l'usage et de la qualité cette lime est inférieure à celle en acier fondu, mais elle a l'avantage du meilleur marché et se vend à peu de perte après son usé pour l'aciérage des outils de taillanderie. Cette considération est d'une grande influence sur la vente de cet article dont on fabrique aujourd'hui, en France, de grandes quantités, mais qui ne pourra être établi aussi avantageusement qu'en Allemagne, qu'autant qu'on se placera dans des conditions de fabrication analogue en employant des aciers naturels d'égale qualité.

Les limes moyennes sont taillées plus finement et varient de 0m,15 à 0m,30 de longueur.

Les principales sont :

La lime bâtarde, taillée sur trois côtés seulement, le quatrième permettant d'opérer dans un angle en n'attaquant qu'un des côtés. La largeur est généralement égale d'une extrémité à l'autre, mais l'épaisseur diminue vers le bout de manière à donner un peu de convexité à la surface.

Le tiers-point ou trois-quarts dont la section est triangulaire et qui sert particulièrement à affûter les scies. *La queue de rat* est ronde, pointue par son extrémité, se trouve comme le tiers-point sur toute grandeur, sert à agrandir les trous.

La demi-ronde a une de ses faces dressée suivant un arc de cercle. Enfin, *les limes Coutelles*, minces d'un côté, servent à fendre les têtes de vis, etc. On emploie souvent aussi les *sciottes*, qui ne sont taillées que sur l'épaisseur.

Les petites limes ont toutes les formes déjà indiquées, et toutes celles que le besoin fait naître et qui force quelquefois à recourber les manches. La taille de ces limes est demi-douce et quelquefois très douce, vu qu'elles servent le plus souvent à finir.

Les meilleures limes sont obtenues en employant l'acier fondu provenant de l'acier cémenté, obtenu au moyen des excellents fers de Suède, extraits des mines de Danemora, et dont les Anglais ont su s'emparer par de longs marchés, tandis que nos lois de douanes les repoussent de France. Le fer de Russie portant la marque CCMD, est aussi très bon. Il faut que l'acier employé pour les limes ait à la fois une très grande dureté et une certaine ténacité, afin que les dents n'écla-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tent pas. Enfin, il doit être parfaitement homogène, et c'est à cette condition que satisfait parfaitement l'acier fondu toujours exempt des pailles qui se rencontrent fréquemment dans l'acier cémenté.

La forge d'un fabricant de limes se compose de grands soufflets et d'un foyer où l'on brûle du coke pour combustible. Le bloc qui supporte l'enclume, particulièrement à Sheffield, est une grande masse de pierre de grès; l'enclume est d'une grosseur considérable, elle est solidement assise dans la pierre. A l'un de ses bouts est le trou dans lequel on met le tranchet qui sert à couper les limes dans des barreaux d'acier. L'enclume est également munie d'une rainure assez profonde, qui reçoit les étampes au moyen desquelles on donne aux différentes limes leurs formes particulières.

Les limes plates et carrées sont entièrement façonnées au marteau. Un ouvrier tient d'une main le barreau chauffé, et de l'autre il le bat avec un petit marteau; un autre ouvrier se tient devant l'enclume, armé d'un marteau à deux mains. Ce dernier est un marteau généralement très-lourd, avec une large face pour les grosses limes. Les deux ouvriers battent le barreau d'acier de manière à en rendre la surface unie et plate, ce qui ne peut être obtenu que par la grande habitude que ces ouvriers ont acquise en répétant ce travail. La rapidité avec laquelle ils opèrent, et qui provient de la même cause, n'est pas moins remarquable.

Les limes demi-rondes reçoivent leur forme au moyen d'une étampe fixée dans la rainure de l'enclume dont nous venons de parler. Lorsque le barreau d'acier a été suffisamment étiré, on le fait entrer dans le creux arrondi de l'étampe, et on le bat à coups de marteau jusqu'à ce que le creux se trouve rempli.

Les tiers-points sont également façonnés au moyen d'une étampe, dont le creux se compose de deux faces qui forment un angle dans le fond. On forge d'abord la barre d'acier carrément, puis on l'introduit par l'une de ses arêtes dans le creux de l'étampe, dont les deux côtés s'ajustent avec ceux du barreau, tandis qu'on aplatit à coups de marteau la partie qui doit faire le troisième côté de la lime. Quant aux limes rondes, on n'emploie pas pour les arrondir d'autre moyen que celui qu'emploient en pareil cas les forgerons ordinaires, seulement la forme est ici un peu conique.

La lime sortant de la forge est polie et dressée, s'il y a lieu; puis, on passe à l'opération de la taille.

L'enclume du tailleur de limes est plus ou moins grande, selon la grosseur des limes; elle doit avoir une surface aussi plate et aussi unie que possible. Les marteaux dont cet ouvrier se sert pèsent d'un à deux ou trois kilos. Les ciseaux avec lesquels il fait les entailles sont un peu plus larges que la lime qu'il doit tailler; ils sont affûtés sous un angle d'environ 20 degrés. Leur longueur est juste suffisante pour qu'ils puissent être tenus solidement entre l'index et le pouce, et ils doivent être assez forts pour ne pas fléchir sous les coups de marteau, dont l'intensité doit se régler sur la profondeur des entailles. La lime est d'abord placée à nu sur l'enclume, de manière que l'un de ses bouts en dépasse le bord antérieur et l'autre le bord opposé. On fait alors passer sur chaque extrémité de la lime une courroie de cuir, qui descend de chaque côté du bloc jusqu'au pied de l'ouvrier ; celui-ci appuie alors sur chacun des côtés de cette courroie comme sur un étrier, et maintient la lime solidement arrêtée sur l'enclume, tandis qu'il frappe ses coups pour faire les entailles. Lorsqu'il s'agit de tailler l'extrémité même de la lime, il faut passer la courroie sur un seul point de celle-ci, dont la pointe porte alors sur l'enclume, tandis que la queue porte sur un appui placé de l'autre côté de la courroie. Lorsque l'un des côtés de la lime ne doit avoir qu'une simple taille, on passe légèrement dans chaque taille une lime fine pour en ôter les aspérités; si la lime doit être à double taille, on frappe une autre série de dents à travers les premières, et presque à angle droit. La lime est alors terminée de ce côté; on conçoit que le côté taillé ne doive pas reposer à nu sur l'enclume pendant qu'on taillera l'autre côté. On interposera donc alors entre l'enclume et le côté taillé un morceau plat d'alliage de plomb et d'étain, qui garantit complétement les entailles déjà faites d'un côté, tandis qu'on frappe celles de l'autre. On se sert de semblables morceaux de plomb et d'étain, avec des rainures angulaires ou arrondies, pour tailler les tiers-points et les demi-rondes.

Les râpes sont taillées précisément de la même manière, mais en employant un poinçon triangulaire au lieu d'un ciseau plat. Le grand art de bien tailler une râpe consiste à placer chaque nouvelle dent qu'on fait de manière à ce qu'elle corresponde, autant que possible, au milieu de l'intervalle de deux autres.

La lime est un outil d'un emploi coûteux, puisqu'elle ne peut fonctionner qu'à la main et que son affûtage est impossible; aussi cherche-t-on chaque jour à remplacer son travail par celui des burins (voyez MACHINES A RABOTER, etc.); mais son emploi n'en restera pas moins toujours très-considérable pour le travail des pièces de petites dimensions. On a donc dû chercher à en diminuer le prix, et un des moyens les plus simples paraît être d'obtenir la taille par procédé mécanique. Toutefois, on a à peu près renoncé à cette idée, par suite de la complication des machines nécessaires à cet usage pour remplacer une façon peu coûteuse, et surtout parce que les produits ont toujours été bien inférieurs à celui de la taille à la main, l'habitude de l'ouvrier lui permettant de proportionner son coup de marteau à la résistance qu'il rencontre et à l'état du ciseau, à l'inclinaison de ses faces à chaque affûtage.

Ce n'est que pour des limes très-fines, comme celles qu'emploie l'horlogerie (et dont la taille est souvent confiée à des ouvrières), que les machines pourraient s'appliquer avec quelque succès, donner des produits comparables à ceux fabriqués à la main; et comme ici il s'agit d'un outil, c'est la qualité bien plus que le bon marché qui importe.

Les conditions d'exécution d'une semblable machine sont simples, et il suffit de les indiquer pour donner une idée des diverses machines qui ont été tentées et qui ne sont que des moyens, faciles à trouver, d'y satisfaire. La première consiste à faire progresser le chariot, sur lequel la barre d'acier dressée est fixée, d'intervalles égaux; la seconde de faire tomber un marteau sur la tête du ciseau, ne pouvant que glisser verticalement, enfin de relever le marteau, avant de recommencer l'opération. Le choc rend tout ceci moins simple, dans la pratique, qu'on ne pourrait croire, car il produit rapidement la destruction du mécanisme qui produit la progression.

Trempe des limes. C'est la dernière et la plus importante opération de la fabrication des limes.

Trois choses doivent être considérées dans la trempe: la première, c'est de préparer la surface de la lime de manière à prévenir l'oxydation par le contact de l'air, lorsque la lime est chauffée au rouge, ce qui aurait pour effet, non-seulement d'émousser les dents, mais aussi de rendre toute la surface de la lime tellement raboteuse, qu'en peu de temps toutes les tailles se trouveraient obstruées par les débris de la substance sur laquelle on la ferait agir. Deuxièmement, la chauffe doit être portée à un rouge parfaitement uniforme dans tout le corps de la lime, et l'eau dans laquelle on la trempe doit être récente et froide, afin d'obtenir le degré de dureté convenable. Troisièmement, enfin, la manière d'immerger est d'une grande importance, pour empêcher les limes de se déjeter; ce qui, pour les limes minces et longues, offre beaucoup de difficulté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On atteint le premier but en recouvrant la surface de la lime d'une substance qui, lorsqu'elle est en fusion, forme une espèce de vernis qui garantit le métal de l'action de l'oxygène de l'air. Autrefois, le procédé consistait, en Angleterre, à mettre d'abord à la surface de la lime une première couche de lie de bière, et à recouvrir ensuite celle-ci avec du sel de cuisine réduit en poudre. Lorsque ces matières étaient sèches, on chauffait les limes presqu'au rouge, et on trempait; après cela on brossait légèrement la surface avec de la poussière de coke, ce qui donnait à la lime un aspect blanc et métallique, comme si elle n'avait pas passé au feu. Ce procédé a été récemment perfectionné, du moins, sous le rapport de l'économie du sel, qui, à cause de la quantité qu'il en fallait, était devenu un objet important. Ceux qui ont adopté la méthode perfectionnée dont il est question, ne consomment plus aujourd'hui que le quart environ du sel qu'on employait dans l'ancien système. Le procédé consiste à dissoudre le sel dans l'eau, jusqu'à saturation, ce qui exige à peu près 1 kilogr. de sel pour 3 litres d'eau; et à épaissir la dissolution avec de la lie ou avec de la farine, à bon marché, et d'en mettre jusqu'à ce que le mélange ait acquis la consistance d'une crème épaisse. Il suffit de plonger les limes dans cette substance, on les met ensuite immédiatement à chauffer et on les trempe. La lie, ou la farine, n'ont d'autre but que de donner de la consistance à la masse, et de permettre par là, à une plus grande quantité de sel de se déposer à la surface de la lime. Par ce moyen le sel forme immédiatement une enveloppe solide. Aussitôt que l'eau s'est évaporée, tout le sel entre en fusion et adhère à la surface du métal. Dans l'ancienne méthode, lorsque la couche saline était sèche, elle était si peu adhérente, que la plus grande portion s'en détachait dans le feu, et se sublimait dans la cheminée sans produire aucun effet.

On suppose que la matière charbonneuse de la lie de bière n'est pas sans influence sur la trempe, en se combinant avec l'acier, et en rendant celui-ci plus carboné. Toutefois, l'expérience démontre que le carbone végétal ne se combine pas avec le fer, et avec assez de facilité pour produire un pareil effet, dans un aussi court espace de temps que celui pendant lequel la lime est mise à chauffer pour la tremper. Quelques fabricants de limes sont dans l'habitude de faire usage de charbon de cuir brûlé, lequel produit réellement un certain effet.

Depuis quelque temps les fabricants de limes ont mis à profit les propriétés des prussiates alcalins, de produire une cémentation extrêmement rapide, et de recouvrir la surface du fer même (avec lequel on fait quelquefois des limes communes) d'une couche d'acier qui prend par la trempe une grande dureté. La composition souvent employée est celle-ci : parties égales de lie de bière et de sel marin et un peu de prussiate.

Pour chauffer les limes on fait généralement usage d'une forge. L'ouvrier tient la lime par la queue, avec des tenailles, et on l'introduit dans le feu, composé de petits fragments de coke; on y pousse plus ou moins la lime afin de la chauffer bien régulièrement. On doit l'en retirer souvent pour observer s'il n'y a pas de parties qui chauffent trop. Lorsqu'on voit qu'elle est uniformément chauffée dans toute sa longueur, qu'elle est partout d'un rouge-cerise, elle est bonne à tremper. Aujourd'hui, pour les grosses limes, on fait usage d'un four en briques réfractaires, dans lequel on dirige la tuyère du soufflet; ce four est ouvert par une de ses extrémités pour pouvoir y introduire les limes et le charbon. Près du sommet du four sont deux barres de fer placées en travers sur lesquelles on place des limes pour sécher l'enduit. Dans la trempe des grosses limes une pareille disposition économise considérablement le temps, et permet aussi de chauffer les limes d'une manière plus uniforme dans toute leur longueur.

Lorsque la lime se trouve convenablement chauffée, pour lui donner la trempe la plus dure possible, elle doit être refroidie le plus promptement qu'il se peut. La méthode la plus ordinaire consiste à la plonger dans une eau très froide. Quelques fabricants ont l'habitude de mettre dans leur eau différentes substances, dans le but d'augmenter sa vertu pour la trempe. Une addition d'acide sulfurique à cette eau a été longtemps un grand secret pour la trempe des limes Coutelles : toutefois, à tout bien considérer, on trouvera qu'une eau de source bien pure, exempte de matière animale et végétale, et aussi froide que possible, est encore le meilleur moyen pour obtenir une bonne trempe pour toute espèce de limes.

En plongeant les limes dans l'eau, il y a certaines précautions à prendre. Toutes les limes, excepté les demi-rondes, doivent être immergées verticalement, aussi lentement que possible, de façon que la queue ne soit pas trempée et ne se refroidisse pas. Cette précaution empêche la lime de se déjeter. Les demi-rondes doivent être plongées avec le même ménagement, mais en même temps qu'on les tient perpendiculairement à la surface de l'eau, on doit les faire mouvoir un peu horizontalement dans la direction de la face arrondie, sans cela elles se courberaient en arrière.

Lorsque les limes ont été trempées on les brosse avec de l'eau et de la poussière de coke, et elles acquièrent une surface métallique parfaitement nette. On doit aussi les passer avec soin dans deux et trois eaux pures pour leur enlever tout le sel; pour peu qu'il en restât, la lime serait susceptible de se rouiller. On doit, de plus, les tremper dans de l'eau de chaux, les faire sécher rapidement devant le feu, et tandis qu'elles sont encore chaudes on les recouvre d'une couche d'huile d'olive mêlée à un peu d'huile de térébenthine, et on en fait des paquets pour la vente.

LIN. L'origine de l'emploi du lin remonte à des temps aussi reculés que celui de la laine. Nous pourrons en donner les preuves que nous avons citées en parlant de celle-ci, et ajouter que les étoffes de lin étaient considérées par les anciens comme les plus pures, et par conséquent les plus convenables aux vêtements de la caste sacerdotale.

L'examen des bandelettes qui enveloppaient les momies égyptiennes, et la description détaillée que donne l'Ancien Testament des habits pontificaux, ne peuvent laisser aucun doute sur l'ancienneté de l'usage du lin.

Nous ne pouvons non plus nous empêcher de faire remarquer que plus tard, du temps de *Pline*, déjà on était parvenu à faire servir le lin à des emplois très variés. Si nous l'en croyons, il entrait dans le tissage des toiles à voiles et des toiles les plus légères.

Les passages suivants qui concernent ce sujet sont trop curieux pour que nous ne les reproduisions ici.

« ..... Une autre merveille qui me frappe dans le lin, c'est qu'une plante qui fait la communication réciproque des différentes parties de l'univers, soit produite d'une si petite graine, et qu'elle ait une tige si basse et si mince; encore ne l'emploie-t-on pas lorsqu'elle est dans toute sa force, mais seulement après qu'elle a été bien battue bien brisée, et rendue par ce moyen douce comme de la laine; c'est après l'avoir ainsi détériorée que l'homme fait avec elle d'aussi audacieuses tentatives.

« Un autre malheur de cette pernicieuse culture, c'est que rien ne croît plus aisément que le lin, et ce qui nous fait voir que cela arrive contre l'intention de la nature, c'est qu'il brûle et amaigrit la terre qu'il occupe. »

On voit que Pline ne considérait ici le lin que comme la matière première propre aux toiles à voiles dont il déplorait l'invention en tant qu'elles servaient à porter des armées, et à faciliter les guerres lointaines et ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ritimes; mais il est remarquable de voir dans le même paragraphe que de son temps les préparations premières de lin étaient ce qu'elles sont encore généralement aujourd'hui et qu'on y faisait déjà les objections qu'on leur oppose encore.

Dans le même livre, Pline parle des tissus légers en disant :

« La première personne qui trouva la manière de filer ces toiles natives pour en composer de nouveaux tissus fut Pamphile de Céos, fille de Latoüs; car le moyen de passer sous silence le nom de l'inventrice d'un habillement qui montre une femme à nu sous prétexte de la vêtir (1). »

Le travail par procédés mécaniques s'est appliqué en dernier au lin, la création de cette industrie a coûté de nombreux sacrifices et de grands efforts. Il a fallu, comme on sait, le génie de l'empereur pour la provoquer, et le talent, l'énergie et la persévérance de Philippe de Girard pour la réaliser.

Nous ne nous étendrons pas ici sur la question d'invention qui n'est plus discutée aujourd'hui, et dont on trouvera l'histoire parfaitement exposée dans le grand ouvrage de M. Poncelet. (Travaux de la commission française, Exposition de 1851.)

L'aptitude mécanique des Anglais était restée impuissante devant la solution de ce problème; mais s'ils ont été réduits à nous emprunter l'invention de Girard, leur activité nous a bientôt laissés en arrière pour les grands résultats qu'ils ont su tirer de notre découverte.

On sait que la première filature mécanique pour le lin a été établie, d'après les procédés de Ph. de Girard, à Leeds (Angleterre), par Marshall, de 1820 à 1822. Les machines de préparation et de filature construites par Maclea et Marsh, de Leeds, étaient du système dit à chaîne pour le long brin et à soleil pour les étoupes. Plus tard, ce système de machine a été remplacé par celui dit à vis d'Archimède, appliqué par Peter Fairbairn, de Leeds, et exploité exclusivement pendant de longues années, par suite d'un brevet.

Ce système de machines pour la préparation long brin et étoupes est le seul employé aujourd'hui.

La gloire d'avoir donné naissance à l'industrie mécanique du lin, telle qu'elle existe aujourd'hui, aurait dû peut-être provoquer moins de débats; car, si les machines qu'elle emploie offrent d'admirables et ingénieuses combinaisons, elles sont loin encore de produire les résultats satisfaisants qu'on est en droit d'espérer, et que l'industrie du coton, elle, a si promptement réalisés.

La lenteur des progrès de l'industrie du lin peut paraître étrange : on ne comprend que difficilement comment une matière, dont les brins peuvent se diviser à l'infini pour donner naissance à des fibrilles longues, minces, droites, solides, soyeuses et élastiques, est aussi rebelle lorsqu'il s'agit de la transformer mécaniquement en fil, c'est-à-dire continuer à faire pour ainsi dire ce que la nature a si bien commencé, et d'imiter ce que font avec tant de perfection les modestes ménagères de nos campagnes.

Le laborieux enfantement de la filature mécanique du lin offre un contraste remarquable, si on le compare aux progrès rapides de celle du coton qui s'est développée presque tout à coup et qui a grandi comme par enchantement. Peut-être même le progrès phénoménal de celle-ci n'a-t-il pas été complétement étranger aux difficultés éprouvées par la première. L'idée d'employer indistinctement les mêmes machines pour des matières qui, après un examen peu approfondi, paraissent présenter assez d'analogie, a dû venir naturellement à l'esprit des premiers inventeurs; et ils n'ont été détrompés dans leurs tentatives qu'après d'infructueux efforts, qui leur eussent été probablement épargnés, si la science technologique avait été plus avancée, et les caractères des matières premières mieux définis.

C'est ce que l'on reconnaît bien par la lecture des brevets de Ph. de Girard, que M. Poncelet analyse ainsi qu'il suit :

Dans le *deuxième certificat d'additions*, relatif à la filature du lin en gros et dont la demande est antérieure à février 1812, Philippe de Girard, dans un préambule de quelques pages très-remarquable, met en complète lumière les vices des anciens procédés d'étirage appliqués aux fibres longues, droites et inégales du lin et du chanvre; il expose ses idées théoriques et expérimentales sur la formation des nœuds ou boutons dont la présence, dans les premiers rubans, se maintient jusqu'aux dernières opérations, où elle altère gravement la qualité des fils les plus fins; il insiste, pour la première fois, sur la nécessité d'accompagner chacun des étirages que l'on fait subir aux nappes, rubans et mèches de filasse, d'un peignage ou redressement des fibres au travers de sérans mobiles, montés sur de petites barres métalliques distinctes, en plomb ou étain, que l'on fixe, soit sur des tambours, soit sur des cuirs ou des chaînes sans fin, interposés entre les cylindres fournisseurs et étireurs de chaque machine. Enfin il observe que, si la filasse s'engage facilement à son entrée dans ces peignes, il n'en est pas ainsi à la sortie, et que l'usage des rouleaux de pression ou des lanternes à fuseaux mobiles placés aux extrémités ne prévient pas entièrement cet inconvénient. C'est pourquoi il propose diverses combinaisons ayant pour but de faciliter l'expulsion de la filasse à la sortie des peignes, dont les aiguilles sans coudes sont ici légèrement inclinées sur les tambours pour faciliter la prise et le dégagement de la filasse. Ces dispositifs, imités dans des brevets postérieurs, consistent à placer dans les intervalles libres des sérans et sous la filasse de petites *tringles* ou *traverses mobiles* qui la soulèvent et la détachent d'entre les peignes, dans le voisinage des rouleaux étireurs, où elles éprouvent, avec les branches extrêmes et coudées du fer à cheval qu'elles forment et qui les unit au tambour ou à la nappe sans fin des sérans, un mouvement de bascule, forcé, dans ce dernier cas, par leur direction tangentielle, et déterminé, dans l'autre, par leur propre poids et par des guides extérieurs fixes contre lesquels les tringles élévatoires viennent glisser progressivement, et les unes après les autres.

On voit apparaître ici le principe vraiment nouveau et caractéristique de la filature du lin, dont nous allons voir toute l'importance.

Aux découvertes de Philippe de Girard qu'elle perfectionna, savoir le passage des rubans des machines préparatoires à travers des peignes animés d'un mouvement dirigé dans le sens de la marche de ces rubans, et la dissolution par l'eau chaude de la gomme qui rend les filaments rebelles à l'étirage sur le métier à filer (voir ci-après), l'industrie anglaise ajouta la préparation des étoupes par des procédés et à l'aide des machines analogues, mais de dimensions plus grandes que celles qui servent à la préparation du coton.

La filature du lin était complète en 1826; Philippe de Girard, étant venu en Angleterre pour revendiquer ses droits d'inventeur, réussit facilement à prouver que tous ses procédés étaient décrits dans la patente prise en 1815 par M. Hall, auquel ils avaient été communiqués par les premiers associés de M. de Girard, et par suite à faire rentrer cette industrie dans le domaine public.

La filature du lin était devenue une industrie manufacturière; mais les industriels anglais, qui, après avoir plusieurs fois bouleversé leur matériel, étaient enfin

(1) Pline, livre XI^e.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arrivés à de bons résultats, environnaient leurs procédés de fabrication d'un tel mystère, que ce fut surtout par l'apparition des fils de lin anglais sur le continent que l'industrie française fut avertie qu'un champ nouveau et bien vaste lui était ouvert.

Ce fut en Angleterre, à Leeds, berceau de la filature du lin, que les filateurs et les constructeurs français allèrent chercher à grand'peine, en 1833 et 1834, les machines employées dans les filatures de MM. Marshall, Hives et Atkinson et quelques autres.

Leeds était alors le principal centre de l'industrie linière. Depuis cette époque, Dundee et Aberdeen en Écosse, et surtout Belfast en Irlande, se sont aussi approprié cette industrie, et cette dernière ville, secondée par une production agricole à laquelle les efforts du gouvernement et ceux des particuliers ont donné une vive impulsion, est devenue le centre le plus important de la filature anglaise et de la fabrication des tissus de lin.

Après la France, la Belgique s'était lancée dans la filature du lin, que son sol produit en si belle qualité et avec tant d'abondance. Tout le monde connaît les magnifiques établissements de la Lys à Gand, et de Saint-Léonard à Liége.

L'Allemagne et le Zollverein ont suivi, et aujourd'hui la filature de lin mécanique s'étend depuis Belfast jusqu'à l'extrémité de la Bohême, jusqu'aux rives de la Vistule et de la Néva.

Presque tous les tissus de lin qui figurent aux expositions sont fabriqués avec des fils mécaniques, depuis les toiles à voiles et les chemises de nos soldats, jusqu'aux cretonnes, aux mouchoirs de Chollet, aux tissus fins de Cambrai, aux toiles d'Irlande, au linge de table de Saxe et des manufactures françaises.

Les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, de l'Eure et du Calvados contiennent en France le plus grand nombre des filatures de lin et de chanvre; le département du Nord surtout, parfaitement servi par la production agricole, par la facilité de se procurer le combustible, par une population nombreuse et habituée au travail des fabriques, par les besoins d'un tissage qui se développait aussi vite et à moins de frais que la filature, a pris le pas sur tous les autres; il possède autant de broches de filature de lin que tout le reste de la France, et sa capitale, déjà le centre d'une production considérable pour la filature de coton dans les numéros fins, est devenue, pour la filature du lin, le Belfast de la France.

Les besoins extraordinaires d'une industrie dont l'accroissement a dépassé en rapidité celui de toutes les industries connues, qui, à peine née il y a vingt-cinq ans, compte aujourd'hui ses produits par centaines de millions de valeur, provoquèrent, en Angleterre et sur le continent, la création de vastes ateliers pour la construction des machines nécessaires à cette industrie.

Leeds, Belfast, Dundée, Aberdeen, Manchester en Angleterre; Lille, Guebwiller, Paris en France; Gand en Belgique, sans parler des ateliers plus récemment établis en Allemagne, possédèrent bientôt des établissements considérables, munis d'un outillage magnifique et capable de produire d'excellentes machines avec la plus grande rapidité. Dans les mains de mécaniciens habiles, les machines à lin furent plusieurs fois transformées en quelques années; les principes restèrent les mêmes, c'étaient, ce sont encore aujourd'hui ceux découverts par de Girard : mais les proportions furent mieux adaptées à la nature des filaments que ces machines avaient à travailler. On s'écarta davantage, et avec raison, des formes des machines à coton, que l'on n'avait pas assez oubliées dans les premières années. Le peignage mécanique fit de grands pas. La filature du lin eut un matériel qui lui était propre et bien adapté aux filaments qu'elle avait à travailler et à chaque classe de numéros qu'elle devait produire.

Les machines travaillant le lin dans toute sa longueur furent spécialement consacrées à la filature des gros numéros, c'est-à-dire des numéros au-dessous de 40 anglais, 24,000 mètres au kilogramme.

Pour les numéros moyens de 40 anglais jusqu'à 70 anglais, ou 42,000 mètres au kilogramme, on emploie surtout les machines qui travaillent le lin coupé en deux, et dont toutes les proportions sont réglées pour des filaments d'une longueur moyenne de 30 à 35 centimètres.

Pour les numéros plus fins, afin d'arriver à plus de régularité dans la longueur des filaments, on a adopté le lin coupé en trois, le lin coupé en quatre, en choisissant pour les numéros les plus élevés, pour les fils de première qualité, les parties du milieu, et en employant le pied et la tête pour les numéros inférieurs. Les machines destinées à la préparation et à la filature de ces numéros fins sont de véritables chefs-d'œuvre de construction pour l'exactitude mathématique des pièces et le fini des moindres détails.

C'est ainsi que la filature mécanique a réussi à produire les numéros 100, 200, 300 du numérotage anglais (sans parler des numéros 400 anglais, qui n'ont pas, d'ailleurs, d'emploi dans l'industrie, soit 60,000, 120,000, 180,000, 242,000 mètres au kilogramme.

Les fils mécaniques, numéros 100 à 200 anglais, sont devenus d'un emploi courant à Belfast en Angleterre, à Cambrai et à Chollet en France, et les tisserands les emploient presque avec la même facilité qu'ils tissaient il y a quinze ans les numéros propres à la fabrication des toiles communes.

Les progrès de la filature mécanique du lin ont eu le fâcheux effet d'enlever une part, plus grande chaque jour, du travail des ouvrières de la campagne, et déjà aujourd'hui on peut dire que la filature à la main se trouve complétement absorbée par celle mécanique. Il reste bien encore quelques vieilles femmes filant de gros numéros dans les pays principalement où l'on cultive le chanvre. Quant au lin, excepté aux environs de Cambrai, où se file le fil destiné aux dentelles et très-fines batistes, cette industrie a disparu entièrement. Toutefois avec le développement qu'a pris l'industrie en général, et celle du lin en particulier depuis une quinzaine d'années principalement, l'introduction des procédés mécaniques est loin d'avoir causé le mal qu'on pouvait craindre; elle a fait augmenter les salaires dans toutes les contrées où ont été créées les filatures à la mécanique. Le prix de revient par procédé mécanique du fil et de la toile étant considérablement au-dessous de celui qu'on pouvait obtenir à la main et donnant des produits beaucoup plus beaux et plus réguliers, il en est résulté une grande consommation de toiles et de fils.

Anciennement une bonne fileuse employant toute sa journée, filant un numéro moyen, réalisait 50 cent. environ par jour; il faut remarquer que, pour faire une bonne fileuse, plusieurs années d'apprentissage étaient nécessaires. Aujourd'hui, dans les établissements affectés à cette industrie où les femmes, les hommes et les enfants peuvent être employés, leur salaire est pour les hommes de 3 à 4 fr. par jour; pour les femmes de 1f,25 à 2 fr.; et pour les enfants de dix à douze ans de 75 c. à 1 fr. pour huit heures de travail. Ces prix varient suivant les localités. L'introduction de la filature mécanique a donc été favorable au bien-être matériel de la classe ouvrière, en général, dans les contrées où elle est exploitée.

Du lin. Le lin ou *linum* appartient à la famille des *caryophyllées*. Les botanistes en considèrent un très-grand nombre d'espèces, mais nous ne mentionnerons que l'espèce ordinaire, le *linum usitatissimum*, en usage dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arts mécaniques. C'est une plante annuelle originaire du grand plateau de la haute Asie; elle croît et se propage par la culture, dans les champs et les jardins; sa racine est assez menue, peu fibreuse; sa tige est ordinairement simple, et varie de 0m,70 à 1 mètre de hauteur et quelquefois plus; elle est creuse, grêle, branchue vers le sommet; cette tige est formée d'une série de tubes musculaires réunis entre eux par une matière gommo-résineuse et enveloppés d'une espèce d'écorce extérieure qui durcit pendant la végétation et qu'on désigne sous le nom de *chénevotte*.

Culture du lin. — Le lin est cultivé dans presque toutes les parties de la France, mais plus particulièrement dans les départements du Nord, qui produisent le plus estimé; la réputation des lins de la Flandre et de la Belgique est également connue.

Le lin se sème à deux époques, en mars et en mai, et se récolte vers la fin de juillet et la fin d'août; celui semé en mars est préféré.

Cette plante est doublement utile, comme on sait; la graine fournit une huile estimée et sert à une infinité de préparations industrielles et pharmaceutiques; c'est avec sa tige convenablement préparée qu'on produit des toiles, des batistes, des dentelles et du papier.

Nous n'aurons à nous occuper dans cet article que de la production des fils employés à cet état, ou à la confection des différents tissus.

L'industrie du lin donne naissance à des fils capables de produire depuis les toiles communes à 40 cent. le mètre jusqu'à nos magnifiques batistes françaises qui ne connaissent pas de rivales à l'étranger, et dont le prix peut s'élever à 20 fr. et au delà par mètre. On lui doit aussi les fils si estimés pour la plus riche dentelle dont la finesse étirée à la main va jusqu'à 200 kilomètres ou 50 lieues métriques par kilogr.

Cette grande différence de prix tient à la qualité de la matière première, comme au travail soigné de sa transformation; il est donc nécessaire de pouvoir constater les caractères principaux de cette matière première et de pouvoir les classer suivant les qualités.

Les qualités provenant de la nature de la matière première dépendent des conditions atmosphériques du terroir plus ou moins propice et de la culture bien entendue.

Le choix du terroir et le meilleur mode de culture qui dépendent seuls de l'art ont occasionné de longues recherches et de nombreuses observations. On est généralement d'accord que les terres les plus favorables à la culture du lin sont les terres glaises, profondes, fermes, un peu humides, labourées comme il convient.

Les terres graveleuses et légères donnent en réalité du lin plus fin, mais en plus petite quantité, et d'une moins grande hauteur, et la graine dégénère la deuxième année.

Les Hollandais, dont la vieille réputation comme producteurs des plus belles toiles est si méritée, sont dès longtemps fixés sur ce point. Aussi n'est-ce pas de leur terroir léger et sablonneux qu'ils retirent le lin de leurs toiles les plus estimées, mais bien des terres glaises, lourdes, fermes et humides de la Zélande.

La culture du lin appauvrissant le sol qui le produit, comme l'avait déjà fait remarquer *Pline*, il est bon de ne pas le cultiver plus d'une fois dans un bail de neuf années. Quelques fermiers en sèment tous les six ans, c'est déjà trop. De préférence, l'on doit ensemencer après une récolte de trèfle.

Le lin brut, considéré tel qu'on le détache de la tige qu'il compose, se présente en filaments plus ou moins longs, forts, nerveux, souples, doux au toucher et nuancés suivant les terrains qui l'ont produit.

La Belgique est le pays qui produit le meilleur lin pour les fils fins principalement. Dans aucun pays du monde on n'a pu obtenir les mêmes qualités. La nature du sol et les soins apportés à la culture sont les deux causes principales de cette supériorité. L'Angleterre, la France, etc., etc., sont tributaires absolues de ces lins pour les numéros élevés. La Hollande donne également des lins de bonne qualité, mais qui ne peuvent se filer dans des numéros aussi élevés.

La principale qualité des lins hollandais qui ont une couleur grise très-foncée, c'est cette couleur même, fort utile pour certains genres de fabrication; ils sont extrêmement nerveux, et sont employés en filature comme mélange pour donner de la force aux fils faits avec des lins faibles.

On les utilise principalement pour les fils à coudre, comme étant plus nerveux, et pour fils de cordonnier.

Après la Belgique vient la France qui, elle aussi, donne de bons lins. En lin jaune, Saint-Quentin, Mouy et les environs, où le rouissage se fait comme à Courtray et Saint-Nicolas (par le procédé dit au ballon); en Normandie, à Bernay, l'on obtient des lins verdâtres et jaunes d'excellente qualité et se rapprochant pour la force des lins de Hollande. On peut obtenir avec eux des numéros de fils élevés et de bonne qualité. Vient ensuite le département du Nord, où la culture se fait sur une grande échelle; ses deux voisins, le Pas-de-Calais, la Somme, puis l'Aisne, l'Oise, et le pays de Caux. L'on récolte bien aussi des lins dans les autres parties de la France, mais ils ne sont pas de bonne nature et les cultivateurs, étant peu au courant de ce genre de culture, ne soignent pas la cueille et les opérations préliminaires, telles que le labour, sarclage, etc.; il en résulte qu'ils livrent le lin mélangé de beaucoup de plantes parasites qui le déprécient.

Après la France vient l'Irlande, où l'on cultive le lin et où l'on obtient de très-bonnes qualités qui donnent un fil nerveux.

La Russie est le pays où cette culture se pratique sur la plus grande échelle; à elle seule elle pourrait approvisionner toutes les filatures du monde. Ses produits présentent une grande variété, suivant les parties de l'empire où ils ont été récoltés. La qualité la plus estimée est celle de la mer Blanche dite d'Arkangel. Ce lin est extrêmement fin, et il se comporte parfaitement dans toutes les opérations de la filature. Viennent ensuite les lins de la Courlande, de la Lithuanie et de la Livonie : plus vous vous rapprochez de la Prusse et moins le lin a de qualités. La Prusse et l'Allemagne produisent aussi le lin; il en est de même de la Saxe, de la Silésie, du Hanovre, etc.; enfin de presque tous les États de la Confédération germanique.

On voit donc que le lin se plaît plutôt dans le nord et les pays tempérés que dans le midi. Cela se comprend d'autant mieux qu'il lui faut un temps couvert; trop de soleil ou trop de pluie nuit. La quantité et la qualité du produit qu'on récolte en dépendent beaucoup. La chaleur, la sécheresse, le vent du nord, le froid hors de saison détruisent cette plante. Le climat contribue autant que le sol à la qualité de la récolte.

Classement des lins. Les lins sont classés suivant leur couleur, en *lin blanc*, *lin gris*, et suivant leur grosseur en *lin tétard*, *lin grand*, *lin moyen* et *lin de fin*.

Le *lin blanc* est généralement le plus estimé et est d'autant meilleur que sa nuance se rapproche plus du blanc argenté; cette variété comprend les nuances jaunes blondes. Il se récolte à *Courtray*, *Saint-Nicolas* (Belgique); il est généralement recherché à cause de sa force. Ceux de même provenance gris argenté peuvent être filés dans des numéros plus élevés, mais sont moins nerveux. Les lins de Lokeren, Malines, Gand, Ypres, Bruges, qui viennent après ceux ci-dessus désignés, sont presque généralement gris et donnent également d'excellents fils, seulement l'on ne peut obtenir de numéros aussi élevés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les lins dits ramés qui se cultivent dans le nord de la France aux environs de Cambrai, et en Belgique, Courtrai et Saint-Nicolas, sont destinés à faire les fils à dentelles et batistes très-fines. Leur cueille se fait avec un soin tout particulier brin par brin, et le choix étant extrêmement important pour la suite des opérations, rouissage, peignage et filature, la plus grande attention est apportée à la cueille.

Le *lin gris*, qui vient ensuite, comprend les différentes nuances de gris depuis la plus foncée jusqu'au gris le plus argenté; ce lin est plus souple, plus soyeux et plus fin, mais moins nerveux que le précédent.

Le *lin de fin* est composé du premier choix fait dans le lin ramé, on réunit les brins les plus blancs, les plus longs et les plus fins; il compose par conséquent la classe la plus parfaite.

Le *lin moyen* est le second choix parmi les lins ramés et la première qualité de lin gris; cette sorte blanche ou grise s'emploie encore pour les beaux fils.

Le *lin têtard* est la dernière qualité composée de lins gris et blancs; il s'emploie pour les toiles communes.

Ces trois dénominations ne s'appliquent qu'aux lins ramés, culture extrêmement restreinte.

L'odeur des lins est un caractère essentiel pour constater qu'ils sont dans un bon état de conservation. Il faut que cette odeur soit franche, sans indiquer d'échauffure ni de moisissure.

Le classement des lins est fait de différentes manières. En Belgique en chiffres romains; en Russie, Prusse, Allemagne, par lettres qui indiquent la qualité. Il en est ainsi pour ces pays à cause de leurs relations avec l'Angleterre. Quant à la France, pas de marques; les lins sont dénommés par les contrées de production, et le nom des villages indique suffisamment à celui qui les emploie la qualité et la nature.

Travail mécanique du lin. Les opérations que l'on fait subir au lin depuis la récolte jusqu'après la transformation en fil peuvent se distinguer en deux classes: en *préparations agricoles* qui se pratiquent presque toujours sur les lieux de la récolte, et en *opérations manufacturières*, qui ne se font que dans les usines qui doivent produire le fil.

Les préparations agricoles comprennent :

1° Le rouissage;
2° Le teillage.

Les opérations manufacturières se composent :

1° Du peignage du long brin;
2° Du cardage des étoupes;
3° De l'étalage;
4° De l'étirage et laminage;
5° Du filage en gros ou préparation;
6° Du filage en fin;
7° Du dévidage et numérotage du fil.

Dans tout ce que nous avons dit, nous n'avons pas parlé du *chanvre*, que nous pouvons considérer sous le rapport de ses transformations mécaniques comme du lin commun, dont les fibres n'auront besoin que d'être ramollies pour pouvoir être traitées ensuite absolument par les procédés employés pour le lin.

Nous allons décrire successivement chacune des opérations dans l'ordre de son exécution.

Du rouissage. On a vu que le lin est formé d'une série de tubes réunis intimement entre eux par une matière gommo-résineuse; nous avons dit également que la partie extérieure, ou espèce d'écorce qui durcit pendant la végétation, avait reçu le nom de *chènevotte*.

On donne le nom de *filasse* aux filaments lorsqu'ils se présentent souples et déliés, débarrassés de la matière gommo-résineuse qui les réunit et de la partie solide qui les enveloppe.

Le rouissage a pour but de dissoudre la partie gommo-résineuse, et de détacher les fibres centrales de la tige qui doit former la filasse, de l'écorce, afin de facili leur séparation qui a lieu par le travail subséquent broyage et teillage.

Le rouissage s'opère par l'exposition du lin ou chanvre, pendant un temps qui varie suivant la te pérature et la nature de la matière, à l'action d'une e courante ou stagnante, jusqu'à ce que la chènevotte détache de la filasse.

Avant d'être mis à rouir, le lin doit être trié, d'ap la longueur, la grosseur et les qualités de sa tige d'après son état de maturité; plus la plante est mû plus le rouissage doit durer. Le séjour dans l'eau d'u matière végétale en présence d'une substance gor meuse sous l'influence d'une température convenabl provoque une certaine fermentation qui fait dissoud la matière gommeuse et fait fendiller la chènevot dans tous les sens. Ces effets se manifestent bient par la teinte jaunâtre et l'altération de la limpidi de l'eau.

La température ayant de l'influence sur toutes l réactions analogues à celles du rouissage, on conço que sa durée varie avec celle-ci; cinq à huit jou sont moyennement nécessaires pour que l'effet ait lie dans de l'eau stagnante.

Les conditions dans lesquelles cette opération s'exe cute rendent la réussite parfaite assez difficile et récla ment une attention intelligente de la part du pra ticien.

En effet, la matière à rouir est immergée par couche superposées; on conçoit que les premières couches d fond plus chargées et moins exposées à la tempé rature extérieure, sont plus longtemps à rouir et n sont ordinairement pas à point lorsque les couche supérieures commencent déjà à s'altérer par un rouis sage poussé trop loin; cette opération présentant le caractères de la putréfaction des substances organique peut non-seulement énerver et affaiblir la matière tex tile lorsqu'elle n'est pas arrêtée à point, mais elle offre aussi des inconvénients graves pour l'économie ani male, car maintenu même dans les limites convenables le rouissage répand une odeur infecte et nuisible, et on admet généralement que les eaux dans lesquelles il a eu lieu altèrent la santé des bestiaux et font mourir le poisson. *Parent-Duchâtelet*, seul parmi les hommes compétents, a cherché à démontrer l'innocuité du rouissage par des expériences qu'il a faites sur lui-même et sur sa famille avec des eaux ayant servi au rouissage.

Les quelques considérations qui précèdent peuven faire comprendre ce que cette question du rouissage a d'important, et pourquoi on a cherché dès longtemps à remédier aux différents inconvénients que présente le rouissage par immersion; bien des tentatives ont été faites pour le supprimer. Les seuls résultats impor tants qui aient été obtenus sont ceux du procédé irlandais appliqué aujourd'hui par plusieurs manufac turiers et qui consiste : 1° à déposer le lin dans des cuves avec de l'eau qu'on chauffe avec de la vapeur à 32° centigrades : la fermentation est rapide et com plète en soixante heures; 2° à sécher à l'air d'abord et ensuite dans un séchoir. On a proposé, en outre, les différentes modifications suivantes du procédé ordi naire :

L'action de l'eau froide ou chaude tombant d'une certaine hauteur;

Celle de la vapeur à diverses pressions, l'enfouisse ment des tiges;

La mise en tas et l'arrosage des tiges, en aidant l'opération au besoin par une addition de ferment;

Le traitement des tiges soit à froid, soit à une cer taine température par de la chaux délayée dans de l'eau.

L'emploi des dissolutions alcalines caustiques ou car-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bonatées ou celui d'une dissolution de savon vert chauffée de 90 à 94 degrés;

Enfin, la substitution d'une préparation mécanique à l'action chimique qui a lieu dans les phénomènes du rouissage.

Aucun de ces procédés n'a été adopté jusqu'ici par la pratique; quelques-uns même n'ont probablement pas été expérimentés; plusieurs l'ont été sans doute d'une manière imparfaite et sans y donner toute l'attention suivie nécessaire à une semblable application, qui, à notre avis, présente plutôt des difficultés rurales et pratiques que des difficultés scientifiques. Rien ne nous paraît plus certain, en effet, que la possibilité de parvenir à faire rouir convenablement et à point une certaine quantité de lin ou de chanvre confiée au chimiste dans son laboratoire, ou même à un mécanicien habile qui, pour une fois, arrivera par des préparations mécaniques convenablement entendues à se passer de l'opération préliminaire du rouissage (1).

Mais là n'est pas la question; il s'agit de trouver un moyen très-économique, d'une application excessivement simple, et pouvant se faire en petit, à la portée des habitants de la campagne, ne leur présentant pas plus de difficultés que ne leur en apporte l'emploi des instruments ou des procédés ordinaires dont ils ont l'habitude de se servir; car il est important que le rouissage se pratique sur place, afin de n'avoir pas à transporter inutilement le poids assez considérable de la chènevotte.

Comme exemple de procédé chimique qui a produit des filasses de bonne qualité, avec un bien faible accroissement de dépenses, je citerai celui proposé par M. Rouchon, il y a quelques années.

Ce procédé consiste à faire rouir le chanvre et le lin dans une petite quantité d'eau très-légèrement acidulée.

L'opération peut se faire, soit en plein air, soit dans une écurie, sous un hangar ou tout autre endroit, en toute saison; il est seulement bien, quand on opère en plein air, de couvrir le chanvre ou le lin avec des feuilles, de l'herbe ou de la paille, de manière à éviter la trop prompte dessiccation des couches supérieures. Pour opérer, on procède de la manière suivante :

Il faut avoir une auge, une caisse ou un récipient quelconque en bois, d'une dimension telle que l'on puisse facilement y plonger une ou plusieurs bottes de chanvre à la fois. Dans ce récipient, on verse l'eau, et on ajoute à cette eau-de l'acide sulfurique du commerce, dans la proportion de 1 kilogramme d'acide pour 200 litres d'eau quand il s'agit du chanvre, et 400 litres lorsqu'il s'agit du lin, et on agite le tout fortement (2).

La liqueur doit être telle, qu'une petite quantité mise dans la bouche agace seulement les dents.

On plonge successivement les bottes, une ou plusieurs à la fois, dans le bain ci-dessus indiqué, en ayant soin, avant l'immersion, d'agiter de nouveau la masse du liquide pour que le mélange de l'acide avec l'eau soit bien intime.

Les bottes doivent être complétement submergées, de manière que le liquide les pénètre dans toutes leurs parties; puis on les retire et on les replace en pile. Pour rendre plus uniforme l'action de l'acide, il est bon à chaque fois que l'on immerge le chanvre de changer la position relative des bottes, en mettant dessus celles qui étaient dessous, *et vice versâ*.

Cinq ou six heures après, on arrose avec de l'eau ordinaire; le lendemain matin, on donne une nouvelle immersion dans le bain acidulé, de la manière ci-dessus expliquée, et le soir on arrose. On continue chaque jour les mêmes immersions et arrosages, dans le même ordre, jusqu'au parfait rouissage.

On cesse alors les immersions dans l'eau acidulée; mais on arrose copieusement avec de l'eau ordinaire pour laver la plante et arrêter l'effet de l'acide; ce qui peut aussi se faire en donnant une immersion dans une lessive alcaline; puis, à la suite de cette lessive, il faut arroser avec de l'eau ordinaire pour laver les tiges.

L'eau de lessive se fait indifféremment avec des cendres ou une très-faible dissolution de soude ou de potasse de commerce; elle peut servir tant qu'elle conserve une saveur urineuse.

Quand, dans le cours des opérations, le bain acidulé a diminué de volume, de manière à ce qu'on ne puisse plus facilement y immerger les bottes de chanvre, on ajoute, dans l'auge, une nouvelle quantité de liqueur préparée comme il a été dit précédemment, et suffisante pour que l'immersion puisse toujours avoir lieu convenablement.

On peut prendre indistinctement pour les opérations du rouissage les eaux de pluie, de fontaine, de puits ou de mare, quand même elles seraient troubles.

Il est bon de placer sous les piles de chanvre des morceaux de bois, de manière à éviter le contact des bottes avec l'humidité du sol. Le rouissage terminé, on fait sécher et on macque par les moyens ordinaires.

Un homme et un enfant suffisent pour faire rouir 8,000 kilogrammes par jour.

Dès que le rouissage est arrivé à point, on fait sécher les tiges au soleil, ou dans un four après la cuisson du pain; puis on procède au broyage ou macquage.

En résumé le rouissage est jusqu'ici resté défectueux et abandonné aux mains inhabiles des producteurs de la campagne, n'ayant aucun bon vouloir de faire mieux ou n'en ayant pas la possibilité par défaut d'instruction. Si cette opération était bien faite, elle faciliterait et simplifierait beaucoup toutes les autres, le teillage d'abord, puis les différentes phases auxquelles est soumise une plante textile qui a rendu, rend et rendra encore de si grands services.

Les moyens d'accroître la production d'une plante croissant sur le sol français avec facilité et succès, utile à tant de branches d'industries, d'un si grand secours à la population agricole pendant les journées d'hiver, où elle occupe dans les campagnes tant de bras inactifs, devraient attirer l'attention des savants.

Macquage ou *broyage*. L'opération qui consiste à briser le brin pour le séparer de ses fibres s'appelle *macquer*, *broyer*, et l'instrument dont on se sert pour cela porte le nom de *macque* ou de *broie*.

Afin de donner au brin un plus grand degré de fragilité et de le rendre par là plus facile à se séparer de ses filaments, le lin doit être mis à sécher au soleil, ou, ce qui est encore mieux, dans une étuve, si l'on se trouve vers la fin de l'année. C'est pourquoi il y a souvent une de ces étuves réunie aux fours des boulangers en Allemagne, et dans les autres contrées où l'on cultive le lin. La température de ces étuves ne doit jamais dépasser 48 degrés. Une chaleur plus éle-

(1) Il est bon de faire remarquer que l'opération mécanique paraît en tous cas impropre à enlever la matière gommeuse qui adhère si intimement aux fibres; elle parvient quelquefois à la faire disparaître momentanément par une espèce de broyage qui la confond avec les fibres végétales et paraît donner un rendement de filasse et de fil supérieur au résultat ordinaire; mais bientôt le blanchiment et le lessivage des toiles font disparaître la matière étrangère, et le poids et la force de la toile diminuent; elle représente les caractères d'une toile creuse et molle.

(2) La pesanteur spécifique de l'acide étant plus forte que celle de l'eau, il tend à se précipiter au fond du vase; il est donc essentiel de bien agiter, pour que le mélange soit homogène.

On doit, pour faire ce mélange, employer spécialement des vases et objets en bois, les pierres et la plupart des métaux étant attaquables par les acides.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vée rend le lin cassant, facile à se mettre en charpie, et lui fait produire beaucoup d'étoupes. Avant de soumettre le lin à l'action de la broie, on doit en bien égaliser les tiges, les mettre bien parallèles entre elles, ce qui se fait à la main, et tout ce qui se trouve entremêlé doit être redressé avec un peigne grossier.

La broie employée pour le chanvre est un instrument construit presque partout de la même manière; elle se compose de deux parties principales, du châssis ou fourreau et d'une mâchoire mobile. Dans les broies les plus simples, le châssis *e* (fig. 1400) est une pièce de bois divisée par le milieu, dans le sens de sa longueur, et supportée par les montants *a* et *c*. La mâchoire *f* est aussi en bois dur; elle est façonnée dans sa partie inférieure sous forme de tranchant, et elle tourne autour d'un axe de rotation placé en *q*. On la saisit par le manche *h*, et on la fait mouvoir de bas

Fig. 1403.

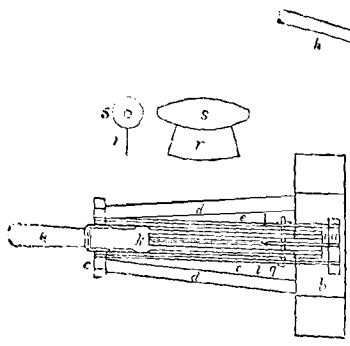


Fig. 1402.

Fig. 1400.

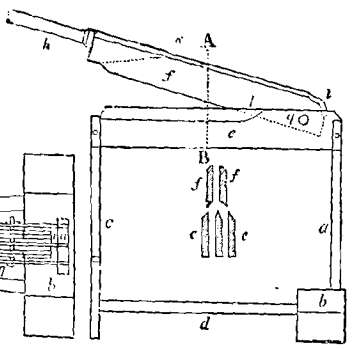


Fig. 1401.

en haut. Lorsqu'elle descend, elle entre dans la fente du châssis, en brisant la chènevotte des tiges qu'on y a placée transversalement, dont elle disperse les débris.

Il y a des broies qui sont pourvues d'une double fente ou d'un triple rang de longues dents ou mâchoires fixes, et de deux mâchoires mobiles; elles offrent plus d'avantages que les broies simples.

On comprendra cette construction, en jetant les yeux sur les figures 1400, 1401 et 1402. La figure 1400 offre la section d'une broie vue du côté où se place l'ouvrier. La figure 1401 en est une coupe dans le sens de la longueur, et la figure 1402 en est le plan géométral. Toute la machine est construite en bois dur, ordinairement en bois de hêtre rouge. Deux planches *a* et *c* forment les deux jambes de l'appareil; *a* est assemblé à mortaise dans un bloc assez lourd *b* pour donner de la stabilité à l'instrument.

Deux traverses *d* assujettissent solidement ensemble *a* et *c*. Le châssis *e* consiste en trois planches minces, qui sont placées de champ, et sont fixées par leurs extrémités dans *a* et *c*. La mâchoire *f* est une pièce de bois cannelée de *l* en *k*, de manière à présenter la forme d'une fourche et à embrasser la pièce du milieu du châssis; elle a pour centre de mouvement la cheville de bois *q*. Sur le devant, on voit le manche *h* que l'ouvrier saisit de sa main droite; les joues, tant du châssis que de la mâchoire, sont affilées depuis *l* jusqu'à leur extrémité antérieure, ainsi qu'on le voit dans la fig. 1401. Toutefois les taillants ne doivent pas être trop aigus, afin de ne pas endommager le lin, et, pour la même raison, la mâchoire ne doit pas pénétrer trop avant dans les joues du châssis.

Des broies ainsi faites sont pénibles à manier, et souvent elles arrachent les filaments et les mettent en étoupes. L'ouvrier ou plutôt l'ouvrière, car c'est généralement une femme, quand elle est occupée à ce travail, saisit de sa main gauche une poignée de chanvre, elle la place transversalement sur le châssis, et la frappe vivement à coups répétés avec la mâchoire, en passant continuellement de nouvelles portions de sa poignée de lin sous la machine; elle commence du côté des racines; elle retourne immédiatement les bouts, et elle continue selon la longueur des tiges.

La fig. 1403 représente une espèce de racloir servant à racler la filasse pour la débarrasser des fragments ligneux. Dans ce procédé fort employé en Westphalie, l'ouvrier couvre un de ses genoux avec le tablier destiné à cet usage, et y place la poignée de lin qu'il tient de la main gauche; il ratisse de la main droite. Nous allons revenir sur ce nettoyage.

L'appareil décrit précédemment est employé pour le chanvre dont la fibre a une grande longueur. Quant au lin, qui généralement ne dépasse pas 80 à 100 centimètres au plus, lorsqu'il a été roui et soumis à l'action dite du réchauffoir, c'est-à-dire exposé à la fumée d'un feu sans flamme obtenu au moyen de la chènevotte de lin ou de chanvre, ou bien sortant d'un four à pain après la fournée faite, on l'étend sur terre sur une mince épaisseur et avec un battoir semblable à celui de la fig. 1406; on le bat de manière à briser la paille, puis on rassemble par poignées le lin étendu, on le pétrit un moment entre les mains en tenant les deux extrémités, la tête et le pied, que l'on approche et écarte alternativement. Ceci est le procédé purement agricole,

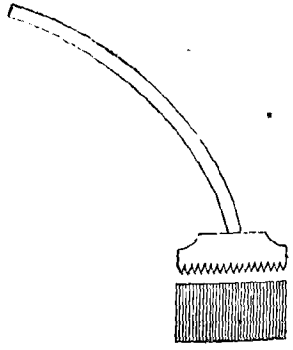


Fig. 1406.

c'est celui pratiqué en Belgique, et ce battage paraît contribuer à l'excellence des lins de ce pays.

On voit que l'écrasement de la chènevotte qui est l'objet du macquage peut se faire aussi par le battage; mais, par ce procédé, la séparation du ligneux et des fibres textiles s'opère en général d'une manière beaucoup moins complète. En Angleterre, au lieu de broyer à la macque, il est d'usage d'employer un maillet de bois et une pierre unie, entre lesquels on bat le lin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans les contrées où la culture et le *teillage* du lin se font sur une grande échelle, on se sert de rouleaux profondément cannelés, superposés, de 0m,20 de diamètre, en fonte de fer. Les cannelures des cylindres étalent entre elles les filaments du lin, et elles en brisent le brin, sans faire supporter à la fibre les efforts qu'on est exposé à lui faire subir avec les broies à la main.

La chénevotte, ainsi broyée, tombe par fragments extrêmement ténus, et la filasse reste aplatie en bandes parallèles. On la soumet ensuite à la machine à teiller.

Voici les avantages qu'on fait valoir en faveur de l'emploi de cette machine à broyer :

Elle exige peu de place, et elle est d'une simplicité telle, qu'elle peut être construite facilement et à bon marché; elle n'exige pas plus de force pour la faire fonctionner qu'une broie ordinaire à la main; elle n'arrache aucun filament et n'écrase autre chose que la chénevotte, par la raison que les cannelures des cylindres pénètrent beaucoup moins profondément l'une dans l'autre que les mâchoires.

Elle prévient toute espèce d'embrouillement de la filasse, d'où il résulte que, quand ensuite on la sérance il y a moins de fibres courtes et moins d'étoupes.

Elle permet de nettoyer le lin, même le plus court, ce qui ne peut jamais se faire convenablement avec les broies à la main.

Teillage. L'opération qui consiste à espader la filasse a le même but que le raclage, elle est même beaucoup plus généralement adoptée que ce procédé pour bien nettoyer la filasse. Deux pièces bien distinctes constituent l'appareil qui sert à l'effectuer : ce sont le support

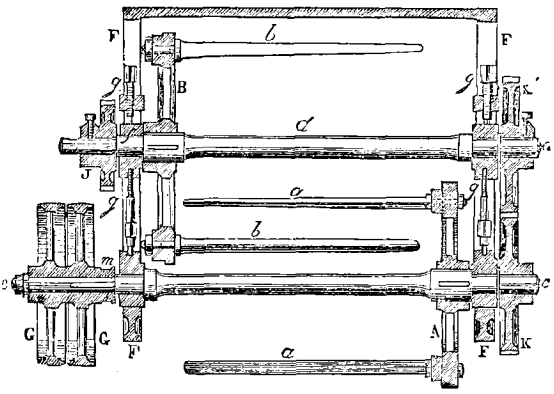


Fig. 1411.

ou chevalet, et *l'espade*. Le premier consiste en une planche debout, avec une large entaille sur le côté, dans laquelle on passe une poignée de filasse, de manière à la tenir suspendue sur la moitié de la surface antérieure de la planche. Tandis que de la main gauche on tient la poignée de filasse fermement fixée par le haut, la main droite tient *l'espade*, espèce de sabre de bois, de 0m,40 à 0m,60 de long, dont le bord convexe est aminci, sous forme taillante, et qui est garni d'une poignée; avec cet instrument, on frappe sur la filasse, parallèlement à la surface du support, en donnant des coups verticalement, de manière à racler et à enlever toutes les aspérités ligneuses. La largeur de l'espade est un point important de sa construction; si elle est trop étroite, elle est cause que le lin s'entortille autour d'elle; et alors une partie des fibres se trouvent arrachées. On a trouvé que la largeur la plus convenable à lui donner était celle de 0m,20 à 0m,25

Des espades en fer ne pourraient servir à cet emploi, elles briseraient les filaments.

Les fig. 1408 et 1409 montrent la meilleure disposition à donner au chevalet à espader.

Fig. 1408. Fig. 1410.

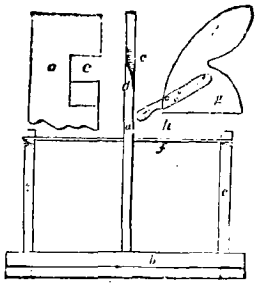


Fig. 1409.

La planche *a* s'appuie sur un bloc de bois pesant *b*, qui lui sert de base, et dans lequel sont fixés deux bâtons debout. La corde tendue d'un bâton à l'autre sert à régler les mouvements de l'espade, et empêche que l'ouvrier ne se blesse les pieds. Le bord inférieur de l'entaille *c*, sur lequel la poignée de filasse est maintenue et appuyée, est scié obliquement et arrondi (V. *d*, fig. 1409).

On voit par là que l'espade ne peut jamais frapper contre le bord de manière à y couper le lin.

La fig. 1410 montre la forme de l'instrument employé en Belgique. C'est une espèce de hachoir en bois qui n'a pas plus de 6 à 7 millimètres d'épaisseur, et qui, sur le bord *g h*, est réduit à l'épaisseur du dos d'un couteau.

Le raclage et l'espadage enlèvent la plus grossière étoupe, en séparant et en abattant les fibres les plus courtes, et celles qui viennent à se casser. Cette étoupe sert à faire les sacs de qualité inférieure, car elle est mêlée avec beaucoup de fibres ligneuses.

Nous pouvons admettre, en général, que 100 kil. de tiges de lin rouies et séchées rendent de 45 à 48 kil. de lin broyé; lesquels, après l'espadage ou un léger *teillage*, donnent à peu près 24 kil. de lin et 9 ou 10 kil. de brins d'étoupes; tout le reste n'est que paille et débris.

Le broyage de 100 kil. de tiges par la routine ordinaire d'un double-broie à la main exige environ 40 heures, et avec la machine que nous avons décrite il faut de 30 à 36 heures pour teiller 100 kil. de lin broyé et nettoyé.

En Picardie, un ouvrier ne produit que 6 kil. de lin teillé y compris le broyage, le réchauffage, etc., par jour.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce que nous avons dit du rouissage peut encore aujourd'hui s'appliquer au teillage; malgré tous les essais et malgré les nombreuses machines qui fonctionnent en France, en Angleterre et ailleurs, aucune ne peut donner des produits aussi satisfaisants que

dés et montés sur des arbres en fer *c* et *d*, qui tournent en sens inverse et amènent presque en contact les barres, animées d'un mouvement rapide de rotation, entre lesquelles le lin est battu et froissé. C'est l'arbre inférieur *c* qui reçoit le mouvement par une courroie

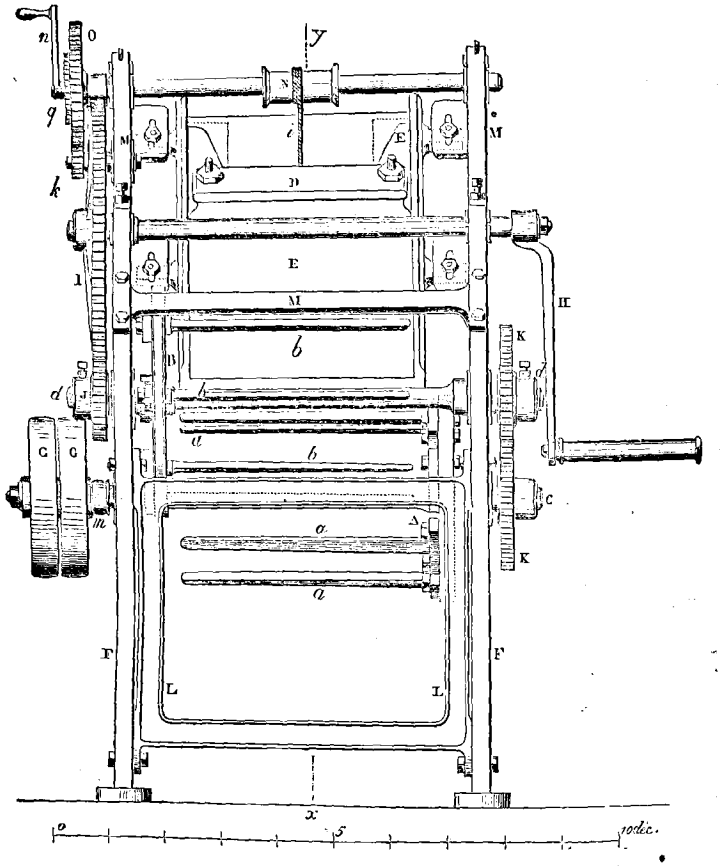


Fig. 1412.

ceux obtenus par le teillage à la main ordinaire et avec les deux seuls outils de la figure 1409. Partout où les machines ont cherché à s'implanter, elles ont eu le dessous. Si en Irlande elles persistent, c'est une question de main-d'œuvre, mais pas de supériorité dans le produit.

Toutefois nous décrirons ici une des meilleures machines qui aient été construites, celle inventée en Belgique, importée en France par M. Mertens, et construite par MM. Chapelle et Montgolfier.

Cette machine, d'après son auteur, peut teiller de 80 à 100 kil. de lin brut, avec la force de deux hommes en douze heures de travail; son rendement est également de 20 à 25 p. 100 de lin ou de chanvre teillé.

La fig. 1412, une projection verticale vue de face;

La fig. 1413 est une section verticale faite par le milieu;

La fig. 1411 donne une coupe verticale des portelames A et B. On voit que les deux plateaux sont évi-

ou une manivelle, suivant que la machine est mue par un moteur ou à la main. Le mouvement est transmis à l'autre arbre *d* au moyen des roues d'engrenage droites de même diamètre K, K'.

La matière filamenteuse à teiller est fournie aux dents à broyer par les mâchoires C et D, dont la première inférieure est en fonte, et la supérieure est en bois, afin de pouvoir serrer suffisamment la matière sans la briser.

Ces mâchoires, qui livrent la matière, s'avancent lentement et à mesure que le travail l'exige.

Ce mouvement s'effectue par des rapports de commande entre l'arbre des mâchoires C et D, et les poulies motrices dont nous avons parlé.

On voit, en effet, que les mâchoires C et D sont entourées en *i*, par une corde qui passe sur l'arbre N, lequel reçoit à l'une de ses extrémités la roue d'engrenage O qui communique avec le pignon K, qui communique, à son tour, avec les roues I, K, K'. Rien de plus simple que d'établir le rapport voulu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre cette commande et les disques (fig. 1412). Pour enlever la matière à teiller ou la changer de

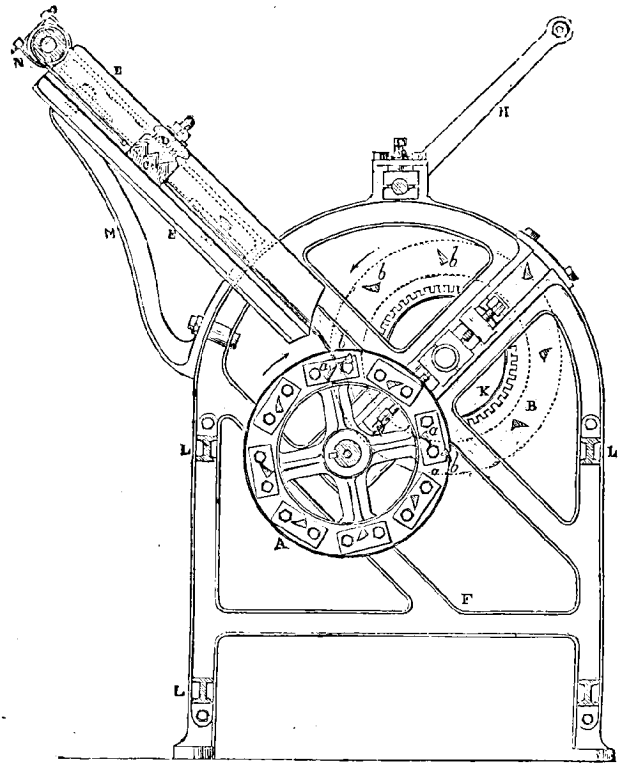


Fig. 1413.

bout, on fait tourner de nouveau N en sens opposé, au moyen d'une manivelle fixée dans le bout de l'arbre.

On conçoit qu'on peut établir cette machine de dimensions variées en raison de la force qu'on a à sa disposition et de la quantité de matières à traiter. Toute ingénieuse que soit cette machine, son emploi s'est peu propagé; elle est encore trop compliquée pour pouvoir être considérée comme un véritable ustensile rural, mais elle pourrait être utilisée par des entrepreneurs de teillage qui s'installeraient dans chaque centre de production de lin ou de chanvre, et qui travailleraient à façon.

Préparations manufacturières. Si on se rappelle les propriétés naturelles du coton et du lin, et si on compare les états différents dans lesquels ces matières arrivent aux usines, on appréciera facilement les motifs qui ont fait adopter des préparations spéciales à chacune d'elles.

Rappelons-nous, en effet, que le coton présente un brin tout formé, assez court, fortillé, et d'une douceur extrême, qu'il arrive aux filatures ayant au plus besoin d'être nettoyé.

Le lin et le chanvre, au contraire, présentent des brins toujours très-droits, d'une longueur plus considérable, dont il faut former et assouplir les filaments.

Le but principal des préparations du lin et du chanvre consiste à séparer les brins pour former des filaments, à les adoucir, à les rendre aussi flexibles que possible en les rangeant parallèlement entre eux.

Les opérations analogues à celles du battage du coton deviennent évidemment inutiles, et le cardage, si nécessaire et si convenable pour redresser et diviser les brins si courts du coton, serait inapplicable à des matières formées de brins d'une certaine longueur; il les briserait irrégulièrement.

Il a donc fallu avoir recours à des moyens nouveaux pour arriver à des préparations convenables. L'opération du *peignage*, que nous allons décrire, en forme le travail essentiel et le premier dont l'ouvrier ait à s'occuper lorsqu'il s'agit du lin.

Dans les préparations du chanvre, on fait précéder le peignage d'un traitement que nous devons indiquer en quelques mots, afin de n'avoir plus à revenir sur le chanvre et de pouvoir confondre son travail avec celui du lin. Comme il est sensiblement plus long et surtout bien moins souple encore que le lin, il a besoin, pour être travaillé par les mêmes machines que celui-ci, d'être diminué de longueur et d'être assoupli par un traitement spécial.

Coupage du chanvre et du lin. Le coupage du chanvre a pour objet de faciliter les opérations de la filature en le divisant en trois parties : on sépare le milieu des deux extrémités; on obtient, par conséquent, des mèches de qualité différente, à cause de l'épaisseur variable de la tige sur la longueur. On coupe quelquefois aussi le lin, mais seulement pour la fabrication des numéros élevés, à partir du n° 50; on y a presque généralement renoncé pour les lins ordinaires.

Le coupage doit se faire de manière à ne pas présenter une coupure carrée, c'est-à-dire ayant une section perpendiculaire à la longueur des filaments; il faut au contraire que la division se fasse plutôt par arrachement, afin que, lors de la suture des brins les uns aux autres qui aura lieu ultérieurement, pour former les rubans, les jonctions ne soient pas sensibles par leur épaisseur.

On emploie quelquefois une machine consistant en une espèce de scie circulaire d'environ 20 pouces anglais de diamètre, mais formée, au lieu d'une simple lame, de trois ou quatre contigues. Elles tournent très-rapidement, pendant que le lin avance vers la scie, fermement tenu par chaque extrémité, à l'aide de deux paires de poulies à rainures pressées l'une contre l'autre par des poids considérables. On opère ainsi à la fois un sciage et un broyage.

Comme nous l'avons dit, on coupe souvent aussi le lin en deux, trois et quelquefois quatre parties, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi on enlève les fibres dures, celles qui se trouvent fréquemment aux deux extrémités pour les traiter avec les étoupes, ainsi que nous le dirons plus loin.

Assouplissage du chanvre. Afin d'assouplir le chanvre, opération qui doit être faite avant de le couper, on en forme des tresses qu'on entasse les unes sur les autres dans une auge, puis on les bat dans tous les sens avec une espèce de pilon; ce froissement des filaments les uns contre les autres les assouplit.

Le procédé mécanique le plus usité, et encore le meilleur, consiste à le soumettre à l'action de deux meules verticales en pierre de granit tournant autour d'un axe sur un plateau circulaire fait avec la même pierre. Cette machine, qui présente les mêmes dispositions que les machines à huile, donne des résultats assez satisfaisants. Jusqu'à présent du moins aucun procédé préférable n'a été trouvé.

Le chanvre, tout en subissant les mêmes préparations que le lin, présente beaucoup plus de difficultés dans toutes les opérations. Il se file comme le lin, à sec et mouillé. A sec on ne dépasse pas le numéro 20, mouillé le numéro 30 et encore fort difficilement arrive-t-on à cette limite. La cause de cette différence provient de ce qu'il est de toute impossibilité, avec les procédés actuels de la filature, d'arriver à diviser suffisamment les fibres.

Peignage. Lorsque le lin arrive aux ateliers, il est loin d'avoir tous les filaments élémentaires de ses brins complétement détachés, d'avoir la souplesse et la douceur au toucher qui répondrait à un facile glissement des uns sur les autres. Le peignage est l'opération qui a pour but de diviser les brins autant que faire se peut, sans briser les filaments; de les assouplir sans les fatiguer, de les détacher parfaitement les uns des autres, afin de faciliter leur glissement au contact et de les ranger aussi parallèlement que possible.

Pour arriver à ces résultats, on fait passer à plusieurs reprises la mèche à peigner sur des dents métalliques plus ou moins fines et plus ou moins rapprochées entre elles; ces dents sont fixées sur une pièce ou semelle, elles doivent être d'autant plus serrées et plus fines que la matière à peigner est plus fine, ou que l'opération est plus avancée. Il y a donc nécessité, pour que l'outil soit bon, de pouvoir changer les dents et de les rapprocher au besoin.

Ce peignage, comme l'on voit, ressemble en quelque sorte à celui d'une chevelure, dans lequel on a également pour but de démêler, d'adoucir et de ranger les cheveux; mais pour le travail qui nous occupe il s'agit de prendre en considération, en outre, les conditions manufacturières qui consistent à produire bien, beaucoup, et à bas prix : nous allons voir jusqu'à quel point ces conditions ont été remplies dans l'état actuel des choses.

Quoiqu'on ait inventé diverses machines à peigner à la mécanique, depuis que Philippe de Girard a le premier présenté sa peigneuse, si habilement conçue, on n'est cependant pas encore parvenu à peigner le lin complétement à la mécanique, et sans le secours des peigneurs à la main; dans plusieurs établissements de médiocre importance, l'opération du peignage se fait même encore exclusivement par des hommes.

Peignage à la main. Le peigne dont on se sert pour le travail à la main est formé (fig. 1422 et 1423), d'une pièce de bois rectangulaire à laquelle s'adapte une pièce métallique dans laquelle sont fixées des aiguilles en acier trempé plus ou moins fines, plus ou moins rapprochées entre elles, suivant la qualité de la matière à traiter. Ce peigne est fixé d'une manière invariable, au mur, à une hauteur convenable du sol, 0m,75 environ, de manière à faciliter le travail de l'ouvrier, qui doit avoir à sa disposition une série de trois peignes de rechange dont les dents doivent aller graduellement en se serrant et en augmentant de finesse.

Fig. 1422.



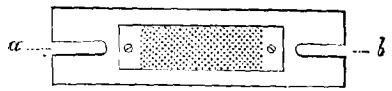


Fig. 1423.

L'ouvrier exécute le peignage en faisant passer une mèche de lin ou une poignée d'environ 0k,12 à 0k,15 sur les dents, un nombre de fois suffisant pour produire complétement l'effet qu'on se propose et que nous avons décrit plus haut.

On conçoit qu'il est nécessaire que l'ouvrier retourne la mèche pendant le travail, de manière à peigner également les deux extrémités, celle qu'il tient à la main aussi bien que celle qui flotte; et que, vers la fin, la partie qu'il est obligé de tenir dans la main doit être le moins serrée possible, afin que les fibres ne soient pas comprimées et que la mèche se présente carrément et non en pointe. Et, pour que ces filaments ne soient pas brisés ni affaiblis au peignage, l'ouvrier a bien soin de piquer et de repiquer la mèche perpendiculairement à ses fibres, et de la faire marcher successivement de l'extrémité libre à celle qu'il tient en main, de manière à les fendre seulement et à les séparer, suivant la direction de leur adhérence, sans effort nuisible.

Le travail du peignage fait subir un déchet assez considérable au lin; ce déchet est de deux sortes : celui provenant des corps étrangers et ordures que la matière filamenteuse contenait encore, et qui constitue une perte réelle; et celui qui provient de brins très-courts mêlés en tous sens entre eux et qui restent engagés dans les pieds des dents.

C'est cette dernière partie qui constitue les *étoupes*, tandis que la partie de la mèche qui se trouve peignée dans sa longueur forme les *longs brins*.

Les étoupes sont employées à peu près aux mêmes usages que les longs brins, mais pour former des produits plus communs que ceux que l'on retire des longs brins qui les ont fournies.

Tandis que les longs brins sont peignés, comme nous venons de l'indiquer, les étoupes sont soumises à un cardage sur des cardes analogues, sauf quelques modifications, à celles employées pour le travail de la laine (Voy. l'article LAINE).

La quantité d'étoupes retirées du lin peut varier de 30 à 40 p. 100 suivant la nature des lins et suivant que l'on a poussé le peignage plus ou moins loin.

La poussière et l'évaporation peuvent être estimées de 2 à 4 p. 100.

A mesure que l'ouvrier forme des étoupes, pendant son travail il les retire du peigne et les dépose à côté de lui, sur une place réservée d'un banc disposé à cet effet, et dont la partie antérieure est destinée aux longs brins. Il dépose successivement des mèches jusqu'à ce qu'il en ait une quantité suffisante pour former un paquet d'environ 10 kil.

Il est bien entendu que, dans un atelier de peignage, les choses sont disposées suivant les quantités que l'on veut produire et par conséquent le nombre d'ouvriers à employer.

Les peignes et les bancs de service sont adaptés de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

manière à être convenablement éclairés et à laisser un espace suffisant entre eux pour le service.

On serait loin de se douter, par le simple énoncé théorique des conditions qu'un bon peignage doit remplir, des difficultés nombreuses que l'on a rencontrées lorsqu'on a voulu substituer le peignage mécanique, qui ne saurait être vraiment continu, à celui exécuté à la main.

On se rendra mieux compte de ces difficultés et des complications que présente cette opération mécanique, en la voyant exécuter et en remarquant que l'ouvrier habile possède certain tour de main pour présenter la gerbe de lin épanouie, et par conséquent aussi mince que possible à l'action des aiguilles, pour la piquer et fendre seulement les brins, sans prolonger leur action d'une manière continue sur toute leur longueur, ce qui augmenterait les étoupes sans améliorer le travail.

Que pour retirer cette gerbe des aiguilles du peigne il emploie plus ou moins de force selon que la mèche est plus ou moins fortement engagée, mais n'exerce, en tous cas, que l'effort nécessaire pour dégager le brin sans le rompre.

Qu'il dégage les étoupes avec le plus grand soin pour les conserver légères et maniables, afin de faciliter également leur préparation.

Si, à ces conditions, on ajoute la nécessité de faire varier la finesse et le rapprochement des aiguilles, de ne pas affaiblir les filaments, de tirer le plus possible de longs brins d'une quantité donnée de lin, de débarrasser facilement la machine de ses étoupes sans la détériorer à mesure qu'elles se produisent, et enfin de réaliser ce travail à bon marché; on s'étonnera moins que le problème pratique du peignage mécanique ne soit pas complétement résolu encore.

Parmi les nombreuses machines à peigner proposées, nous ne parlerons ici que des plus remarquables.

Au premier rang, vient naturellement se placer l'ingénieuse machine de Philippe de Girard; ce rang lui est dû, autant par sa simplicité, ses qualités, que par son ancienneté.

Peigneuse Girard. La fig. 1424 représente une coupe

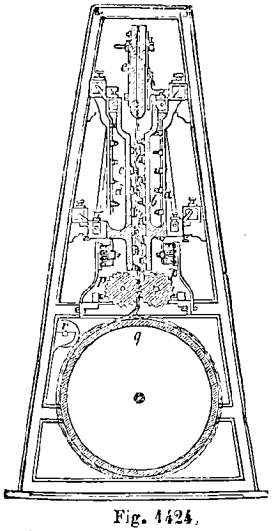


Fig. 1424.

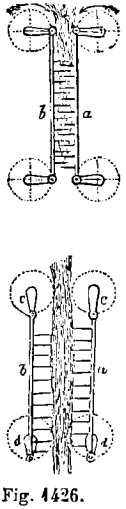


Fig. 1426.

verticale de la machine faite par le milieu; des montants verticaux forment les côtés de la machine, ils sont assujettis ensemble par des traverses longitudinales consolidées par des tenons. Les pointes ou aiguilles du peigne ou séran qui doivent agir sur le lin sont montées sur les châssis *a*, *b*, *c*, *d*, et les bouts de filasse maintenus par des pinces ou mordaches *e*, sont ainsi suspendus à la barre qui leur sert d'appui et de guide à travers la machine.

Afin de rendre évidents les principes de cet appareil et son mode d'action, il est peut-être nécessaire d'exposer, sous une forme abstraite, la manière dont les peignes sont amenés pendant l'opération sur la filasse, et nous avons dessiné dans ce but les fig. 1425 et 1426.

Supposez deux séries de peignes ou de pointes montées sur les châssis *a* et *b*, tels qu'on les voit dans les figures. Chaque châssis étant rendu mobile au moyen des manivelles *c*, *c*, et *d*, *d*, disposées de manière à ce qu'elles tournent toutes deux avec la même vitesse dans des directions opposées; il est évident que chaque partie des châssis et des peignes décrira des cercles correspondants à ceux décrits par les manivelles, les aiguilles marchant dans les directions des flèches et décrivant les cercles ponctués.

Durant ce mouvement, tandis que les manivelles descendent le premier quart de révolution, les châssis se rapprochent et se pénètrent, ainsi qu'on le voit fig. 1425, ils commencent ensuite à se séparer en décrivant le deuxième quart de révolution et viennent dans la position de la fig. 1426; en continuant ainsi à tourner, ils s'éloignent l'un de l'autre en décrivant le premier quart de cercle ascendant, et ils arrivent ainsi dans la position où ils sont l'un de l'autre à la plus grande distance possible; ils décrivent enfin le deuxième quart de cercle ascendant et reprennent leur troisième position.

Si donc il y a une mèche de filasse suspendue entre les deux châssis garnis de pointes, comme dans la fig. 1424, et si l'on continue le mouvement de rotation pendant un temps suffisamment long, le lin se trouve peigné dans toute la longueur qui aura été soumise à l'action des aiguilles, quoique chaque aiguille considérée séparément n'ait agi que dans un petit espace. Pour diminuer la quantité de longs brins que les étoupes produites par cette peigneuse entraînent avec elles, on y a apporté les modifications suivantes, représentées fig. 1427, 1428 et 1429.

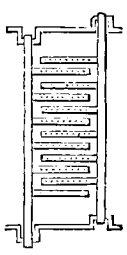


Fig. 1427.

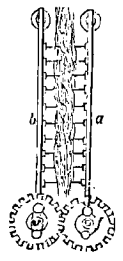


Fig. 1428.

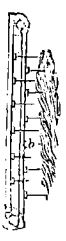


Fig. 1429.

L'appareil consiste en deux séries de peignes (fig. 1428) fixées aux deux châssis mobiles représentés en *a* et *b*. Chaque châssis est formé de montants verticaux *a*, *b*, portant des branches latérales garnies de dents de peignes; ces branches ou bras sont parallèles et à égale distance les uns des autres, mais ils sont fixés à chaque châssis de manière à occuper les espaces intermédiaires, quand les châssis sont réunis l'un à l'autre comme l'indique la fig. 1429. Les châssis sont mis en mouvement au moyen de manivelles tournantes qui y sont adaptées, ainsi que le représente

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a fig. 1427, et lorsque les manivelles tournent sur leurs axes.

Les bras de l'un des montants passent entre ceux de l'autre sans se toucher, cela constitue ce qu'on appelle une monture de peignes; mais dans une machine perfectionnée il y a deux systèmes semblables, les pointes de l'une s'y trouvant opposées à celles de l'autre.

La manière dont les séries de pointes qui constituent une machine agissent sur le lin est indiquée par la fig. 1427, qui représente l'appareil vu de profil. Lorsque les manivelles tournent dans la direction des flèches, les montants viennent dans une autre position, et c'est alors que les pointes ou les peignes de l'un d'eux *a* commencent à pénétrer dans le lin, et qu'en descendant ces pointes peignent ou divisent les fibres. Le mouvement de rotation des manivelles continuant, les deux montants *a* et *b* viennent dans la position indiquée par la fig. 1429. Les pointes du montant *a* se retirent de la filasse, tandis que celles du montant *b* s'en rapprochent, et poussent les fibres en dehors des premières pour qu'elles soient peignées par l'effet du mouvement descendant des secondes.

On voit par là qu'à mesure que les peignes du châssis *a* et *b* s'avancent chacun à son tour, ils poussent en dehors l'un de l'autre la totalité de la filasse, et rendent impossible l'entraînement et l'embrouillement des filaments, puisque chaque montant, en s'avançant, nettoie de toutes les fibres qui ont pu s'y attacher les pointes du montant qui vient d'agir.

Toutefois, une simple monture de peignes semblables n'agissant que d'un seul côté de la filasse n'opérerait qu'imparfaitement la division des fibres; il est donc nécessaire, pour atteindre le but d'une manière plus efficace, d'employer deux montants et de les placer à l'opposé l'un de l'autre, de chaque côté de la filasse, comme on le voit par la disposition de la figure 1427.

Les manivelles des deux montants opposés, *a*, *b*, et *c*, *d*, sont liées l'une à l'autre au moyen des roues dentées *e*, *f*, comme dans la fig. 1428, ou bien par quatre roues dentées qui permettent aux peignes d'agir en même temps, les deux montants se mouvant en sens contraire, mais avec des vitesses égales, et la filasse se trouvant par ce moyen peignée ou sérancée de la manière indiquée par la dernière figure.

Jusqu'ici nous n'avons considéré que deux montants garnis de pointes, et constituant une double monture opérant de chaque côté de la bande de filasse interposée. Mais si l'on veut produire une plus grande quantité d'ouvrage, on peut établir dans la même machine plusieurs montures semblables, travaillant l'une à côté de l'autre, et s'étendant dans le sens de la largeur de la machine. Les peignes peuvent alors être placés sur trois châssis, dont celui du milieu peut avoir ses branches ou ses bras s'étendant de chaque côté, tandis que les bras des deux autres châssis viendraient seuls pénétrer dans les intervalles de ce châssis intermédiaire, ou mettre en mouvement un système de peignes ainsi disposés; il faut que les montures soient reliées entre elles par de triples manivelles.

Tel est le principe sur lequel repose la machine à peigner perfectionnée, et représentée par les diverses figures ci-contre, dont nous allons maintenant reprendre la description. La machine ou l'appareil représenté par la fig. 1424 a quatre séries de peignes, dont deux opèrent sur le lin par devant et deux par derrière : *a* et *b* sont les deux séries de devant, et *c*, *d*, les deux séries placées en arrière; *e*, *e*, sont les poignées auxquelles sont suspendues les bandes de filasse, préalablement espadée. Ces poignées sont accrochées à la barre, qui leur sert d'appui et de guide.

Les montants des peignes sont fixés en haut et en bas aux hirondelles *g*, *g*, qui sont toutes en communication au moyen de roues dentées, et mises en mouvement par la courroie d'une roue conductrice.

Les peignes, une fois mis en action de la manière que nous avons décrite, opèrent sur les bandes de filasse suspendues au milieu d'eux, et en divisent les fibres. Ainsi que nous l'avons dit, ces bandes de filasse sont progressivement conduites à travers la machine au moyen des crampons qui les tiennent suspendues, et qui glissent sur leur guide par l'action de la chaîne sans fin, à laquelle les crampons sont séparément attachés au moyen d'un crochet qui s'implante dans un des chaînons.

La chaîne est conduite par une roue à cames tournant sur l'axe d'une roue d'angle, à laquelle on imprime un mouvement lent de rotation au moyen d'un pignon d'angle placé sur l'axe d'une roue semblable, mise en mouvement à son tour par un autre pignon fixé à l'extrémité de l'axe de la manivelle supérieure. Par ce moyen, les crampons garnis de filasse et placés sur le bord de la barre qui leur sert de guide, sont conduits lentement à travers la machine, où le lin se trouve graduellement soumis d'abord à l'action des aiguilles d'un peigne grossier, placées à distance les unes des autres, et finalement à celle de pointes plus fines et plus rapprochées entre elles; ensuite chaque crampon et la filasse qu'il porte sont retirés de la machine, à l'extrémité opposée de la barre sur laquelle il a glissé pendant l'opération.

Mais si l'ouvrier néglige d'enlever la pince arrivée à l'extrémité de la barre, la machine s'arrête au moyen d'un levier articulé et fourchu à son extrémité, lequel pousse la courroie et la fait passer de la poulie conductrice fixe sur une autre qui est folle et suspend ainsi l'action de la force motrice.

A mesure que les peignes en agissant sur le lin pour en diviser les filaments en déchirent les fibres, et en réduisent une partie en étoupe, celle-ci est séparée de la masse, descend et est enfin engagée entre deux rouleaux sans fin *p*, *p* (fig. 1424). Ces rouleaux la conduisent au grand tambour *q* placé par dessous, autour duquel elle s'enroule en deux lames sans fin, l'une d'étoupe grossière, l'autre d'étoupe fine, leur adhérence étant favorisée par un rouleau *r*; et lorsqu'une certaine quantité de cette étoupe se trouve accumulée autour de la périphérie du tambour, on l'en retire en la coupant par bandes. Les rouleaux cannelés, ainsi que le grand tambour, sont mis en mouvement au moyen de courroies. Lorsque chaque bande de filasse a été ainsi conduite à travers la machine à peigner, on ouvre les mâchoires des mordaches, on change les bouts de la filasse et on introduit de nouveau celle-ci entre les mâchoires de l'instrument, de manière que l'extrémité de la bande qui n'a pas été soumise à l'action de la machine le soit à son tour de la même façon. Afin d'empêcher une partie quelconque du lin de s'attacher aux branches des châssis mobiles, chacun de ceux-ci est garni d'un bouclier ou plaque de fer poli ou de cuivre, qui recouvre une partie des peignes ainsi que les têtes des vis qui tiennent ceux-ci fixés aux branches. Comme la plaque de métal est courbée en forme de bouclier, elle glisse sur les branches des châssis qui portent les peignes, et elle est suffisamment élastique pour y produire une forte pression.

Mais il faut faire observer que les bords des boucliers doivent varier selon la position dans laquelle on doit les placer. Ceux qui doivent garantir les branches supérieures des peignes ne doivent s'avancer que fort peu, de manière à ne pas recouvrir les pointes et à les laisser libres de pénétrer dans la filasse. Mais les boucliers des peignes inférieurs doivent se projeter considérablement vers les pointes, afin de les empêcher de pénétrer trop avant dans les filaments, ce qui a pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

but de faciliter la chute de l'étoupe, laquelle autrement ne serait retirée que difficilement des peignes si elle était poussée trop avant vers la base de leurs dents.

Comme il est avantageux que chaque bande de filasse soit peignée à son extrémité inférieure avant de l'être vers le milieu de sa longueur, il est nécessaire pour produire cet effet d'enlever quelques-unes des dents des peignes qui sont adaptées aux branches supérieures. Par ce moyen, l'action des peignes sur le lin commence et se continue par degrés, et se termine de la même manière à l'autre extrémité de la machine, ce qui est très-avantageux, en ce que cela permet de nettoyer complétement le lin de son étoupe.

On voit combien sont ingénieuses les dispositions à l'aide desquelles Philippe de Girard est parvenu à remplir les conditions qu'il s'était imposées dans son brevet, à savoir : « Que deux séries de peignes agissent alternativement sur la nappe de filasse, de manière que, dans leur mouvement circulaire commun, les peignes de chaque série s'avancent et se retirent successivement, en passant toujours entre les intervalles de ceux de l'autre série; les peignes qui pénètrent dans cette nappe, repoussant les fibres en avant, empêchent ainsi, *infailliblement*, qu'il puisse en rester un seul brin dans ceux-là mêmes qui se retirent. »

Philippe de Girard indique dans son brevet un moyen ingénieux pour arrêter spontanément la marche progressive des pinces sur la coulisse horizontale supérieure par un débrayage à déclic et à poulie folle, s'il arrivait que l'ouvrier oubliât d'enlever à temps la dernière d'entre elles, au moment où elle échappe à l'action des peignes. Il remarque, en outre, que, au lieu de les faire mouvoir horizontalement, on pourrait leur imprimer un mouvement d'abaissement et d'élévation vertical.

Philippe de Girard s'est efforcé constamment de perfectionner sa peigneuse. C'est ainsi, dit Poncelet, que M. Decoster avait été adressé, au commencement de 1834, par la famille Girard à M. Evans, de Birmingham, pour l'aider dans le montage d'une grande peigneuse verticale oscillante que Philippe de Girard lui avait envoyée de Varsovie, et qui devint le type de celles qui furent ensuite construites dans les ateliers de MM. Roberts et Sharp, de Manchester, déjà célèbres alors pour les ingénieux perfectionnements qu'ils avaient apportés aux machines à filer le coton. Cette circonstance donna à M. Decoster la facilité d'étudier sur place les procédés et l'outillage des plus habiles industriels de l'Angleterre, et à son retour en France, au commencement de 1835, il éleva sous le patronage de MM. Liénard et Giberton, gérants des filatures de Pont-Remy et du Blanc, ces beaux ateliers de la rue Stanislas, à Paris, dont la variété, la légèreté et la rigoureuse précision des machines-outils sont devenues rapidement le caractère distinctif.

Les peigneuses oscillantes, les étireuses à chaîne sans fin exécutées par M. Decoster, avec quelques modifications dans les détails, dès 1835 ou 1836, mais principalement d'après le système et les idées de Philippe de Girard, eurent chez nous un succès non moindre que celui obtenu en Angleterre par MM. Evans, Sharp et Roberts, dont les peigneuses, directement introduites en France, firent concurrence à celles de notre compatriote, grâce surtout à leur moindre prix de revient. Les attestations de nos plus habiles filateurs de lin prouvent de plus qu'à l'époque précitée, et jusqu'en 1842, les peigneuses mécaniques de Girard étaient considérées comme supérieures à toutes celles que l'on possédait alors dans l'un ou dans l'autre pays, et qu'elles pouvaient suppléer avec avantage, si ce n'est remplacer complétement, le peignage à la main, notamment pour le chanvre et les lins forts de Russie, de Berghes, etc., où elles rendaient jusqu'à 65 et 70 pour 100: ces avantages étant beaucoup moins prononcés d'ailleurs pour les lins tendres et courts, ceci explique en partie les causes pour lesquelles on n'obtint pas de meilleurs résultats dans les expériences faites en 1833, devant les Commissaires de la Société d'encouragement de Paris, au moyen du modèle adressé de Varsovie par Philippe de Girard, et dont on peut aujourd'hui encore étudier le mécanisme au Conservatoire des arts et métiers.

MM. Schlumberger (Nicolas) à Guebwiller, André Kœchlin à Mulhouse, Debergue et Spréafico, à Paris, David, à Lille, tous anciens constructeurs de machines à filer le coton, favorisés d'ailleurs par la loi anglaise qui interdisait la libre exportation des machines, ne tardèrent pas à se lancer dans la carrière où M. Decoster s'était, le premier, aventuré sans, pour ainsi dire, aucunes ressources en capital et en matières premières. On doit citer tout particulièrement M. Schlumberger, qui, à l'instar des plus grands constructeurs de l'Angleterre, avait pu de bonne heure réunir à la fabrication des machines la filature complète du lin.

Nous répéterons qu'on a pour habitude de faire précéder le peignage mécanique par une préparation de sérançage à la main, qui consiste à démêler grossièrement la matière filamenteuse, à l'ébaucher, pour continuer le travail à la machine. Et lorsque celle-ci rend la mèche travaillée, la partie qui a été saisie la dernière par la peigneuse mécanique ayant été comprimée a par conséquent également besoin d'être retouchée à la main; c'est ce dernier coup de main qu'on désigne sous le nom d'affinage.

Autres peigneuses. La très-ingénieuse machine à peigner de Philippe de Girard méritait d'être mentionnée, car elle a rendu des services autrefois. Aujourd'hui elle n'a plus la même valeur. Celle de Worstworth, de Leeds, fondée sur l'emploi de peignes tournants, a été abandonnée également, ainsi que bien des modifications des deux machines que nous venons de citer. La machine dite verticale de Philippe de Girard a été modifiée, et le mouvement alternatif donné aux peignes au moyen de manivelles a été remplacé par un mouvement continu au moyen de deux toiles sans fin, sur lesquelles les peignes sont fixés. Sur ce principe, le meilleur au surplus pour les lins fins, ont été établies des machines à une seule chaîne sans fin, mais inclinée, dont on peut faire varier l'angle d'inclinaison suivant les qualités de la matière.

La figure 1430 est une vue de cette machine et la

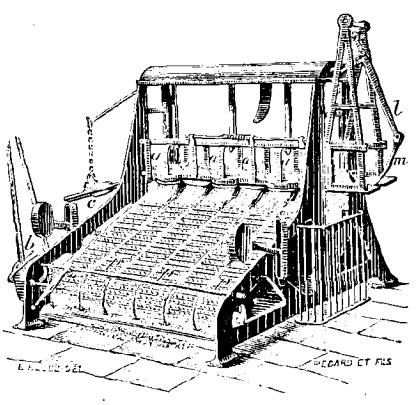


Fig. 1430.

figure 1431 représente la pince dans laquelle on engage l'extrémité d'une poignée de lin. Ces pinces *a*, *a* sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placées par un enfant à l'origine d'une coulisse, dans laquelle elles glissent poussées par le mouvement intermittent d'une tige *m* articulée à un levier *l*. Pendant les moments d'arrêt, la poignée de lin qui pend au-dessous d'elle est travaillée par les peignes *p, p* dont le mouvement est rapide. Les dents sont de plus en plus fines, de manière que le peignage soit de plus en plus parfait. Il va sans dire que l'opération est répétée, c'est-à-dire qu'on peigne dans un second passage sur la machine la partie qui était serrée par la pince, lors du premier passage.

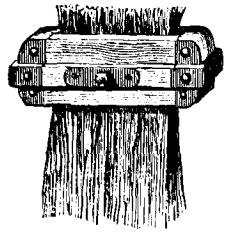


Fig. 1431.

Un autre système appelé circulaire, soit à deux, soit à un seul cylindre portant les peignes, comme celui déjà ancien de Worstworth, a également été exploité par beaucoup de constructeurs. Cette machine est de préférence employée pour la fabrication des lins coupés en deux ou trois. Suivant les besoins, le diamètre des tambours est plus ou moins grand. Les deux systèmes ont chacun leur utilité, et donnent des résultats aussi satisfaisants que le travail à la main, lorsqu'ils sont employés avec intelligence.

Avec ces machines la filature n'est plus soumise aux caprices des peigneurs à la main, dont la conduite était fort difficile à régler avant l'introduction du peignage mécanique. Malgré le prix élevé des peigneuses, l'obligation d'un moteur, etc., etc., il y a encore avantage à les adopter, attendu que le travail peut être fait bien et économiquement avec le concours d'enfants de douze à dix-huit ans, complétement étrangers à la mécanique, tandis qu'il faut deux années pour faire un bon peigneur de lin à la main et encore en le prenant jeune, de douze à seize ans.

Cardage des étoupes. Quel que soit le mode de peignage adopté, qu'il ait été exécuté complétement à la main, ou partie à la main et partie aux machines que nous venons d'indiquer, il y a toujours un certain déchet qu'on évalue moyennement de 5 à 6 p. 100, provenant de la poussière des corps étrangers, ce qui constitue une perte réelle. Les 94 à 95 p. 100 du poids que livre le peignage se divisent en lin peigné, qu'on désigne sous le nom de longs brins, et d'étoupes. Ainsi donc 100 kilogrammes de lin avant le peignage donnent après cette opération :

En longs brins de	50 à 60
Étoupes.	45 à 34
Déchet.	5 à 6

Les étoupes sont portées à des machines à carder qui ne diffèrent de celles employées pour la laine que par les dimensions des cylindres et la grosseur des dents qui sont généralement plus fortes, enfin par la forme de celles-ci qui sont plus droites et disposées pour produire un travail qui tient, pour ainsi dire, le milieu entre le cardage et le peignage. Pour ce travail des étoupes, qui participent des filaments discontinus par leur peu de longueur, et du lin par la direction rectiligne des fibres, on a construit, dans ces derniers temps, des cardes à étoupes ayant des dimensions extraordinaires, et disposées de façon à séparer les étoupes en trois classes à leur sortie de la machine, afin de pouvoir les classer en autant de qualités.

Ces machines sont les seules employées.

A la sortie des cardes, les étoupes sont livrées sous forme de rubans, toujours comme cela se pratique pour le cardage de la laine. Ce sont ces rubans qui sont ensuite préparés pour le filage par les mêmes moyens qu'on emploie pour les longs brins.

Opérations proprement dites de fabrication pour le lin et les étoupes. Lorsque le lin sort de la peignerie soit traité mécaniquement, soit à la main, pour long brin ou coupé, il passe par la même série de machines de préparation qui sont *la table à étaler, un premier, un deuxième et un troisième étirage, le banc à broches*, enfin le métier *à filer à sec ou à l'eau chaude*, suivant les numéros. La seule différence qui existe pour obtenir les gros ou fins numéros consiste dans la finesse des gills, des aiguilles fixées sur un soc en cuivre, et entre le lin long et le coupé dans la distance qu'il faut établir entre le fournisseur et l'étireur, beaucoup plus courte pour le coupé que pour le long. Les machines de préparations pour les étoupes, à l'exception de la carde, sont exactement les mêmes que celles pour lin coupé en *deux ou trois*.

Le principe de la table à étaler aujourd'hui exclusivement employée, exactement le même pour les étirages et le banc à broches, a été appliqué à la filature de lin par Peter Fairbairn, de Leeds, vers 1834, en vertu d'un brevet. Nous allons essayer de le faire comprendre. La machine est représentée dans son ensemble figure 1432.

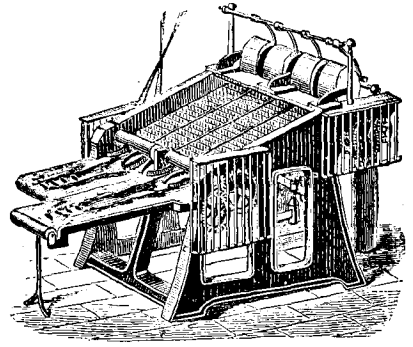


Fig. 1432.

C'est sur celle-ci que commence à être appliqué le système de peignes ou gills, l'invention capitale permettant de décoller les fibres adhérentes du lin, qui a conduit à la solution du problème de la filature mécanique du lin. Il se compose essentiellement de quatre vis d'Archimède, deux de chaque côté, superposées comme l'indique la fig. 1433. Fixées dans des collets aux deux extrémités, elles reçoivent leur mouvement par un pignon conique. Dans leur mouvement de rotation, elles entraînent des barrettes en fer sur lesquelles sont fixées ce qu'on appelle des gills. L'extrémité desdites barrettes se trouvant engagée dans chacune des spires de la vis, elles suivent l'impulsion donnée à la vis, étant soutenues par un petit rail en fer qui leur permet de suivre un mouvement rectiligne horizontal jusqu'à l'extrémité *b* de ladite

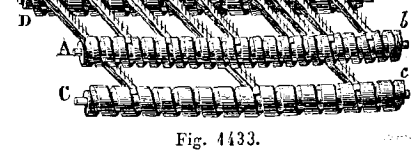


Fig. 1433.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vis. Là par l'action de la pesanteur, la barrette tombe sur un autre rail qui, à l'aide d'une came placée en *c*, la force à s'engager dans la vis du dessous qui la ramène en *d*, où une autre came la soulève pour l'engager de nouveau dans la vis supérieure. La vis du dessous n'ayant d'autre utilité que de ramener les barrettes vers la partie utile, c'est-à-dire celle supérieure, on a trouvé plus simple de faire son pas plus allongé, afin d'avoir moins de barrettes d'abord et moins de frottement, par conséquent une résistance moindre à vaincre pour la marche de la machine.

Les gills empêchent le lin de passer d'une manière inégale. Si la vitesse d'entrée égalait celle de sortie, il est évident qu'il n'y aurait pas étirage, et qu'alors l'inconvénient que je signale n'aurait pas lieu; mais comme la différence des deux développements est dans un rapport (*pour la table à étaler*) qui varie de 1 à 25, 30, 35 et 40; pour les étirages de 1 à 12, 15 et 20; pour le banc à broches de 8, 10, 12 et 15; il s'ensuit qu'il est d'absolue nécessité que le lin qui se trouve engagé dans les gills fixés sur les barrettes puisse, entre les deux extrémités de la machine, s'allonger d'une manière régulière, afin de donner en avant un ruban, autant que possible, régulier. Si lesdites barrettes sur lesquelles les gills sont fixées étaient immobiles, l'opération se ferait fort mal, le glissement se produirait mal entre les fibres. Il en est tout autrement par suite du mouvement donné aux barrettes; leur vitesse doit être proportionnelle à l'étirage à peu de chose près.

Il me semble maintenant qu'il est facile de comprendre que l'écartement entre ce qu'on appelle le cylindre fournisseur (derrière de la machine) et le cylindre étireur (devant de la machine) doit varier proportionnellement à la longueur des brins qui s'y trouvent engagés. Cette modification est obtenue en diminuant ou augmentant la longueur des vis. Il est également fort important que les gills soient aussi en rapport avec la finesse de la fibre à traiter; les pointes qui forment les gills doivent être plus rapprochées les unes des autres, quand le degré de finesse du lin est plus grand, par conséquent quand le numéro s'élève.

Ces conditions sont les mêmes pour toutes les autres machines de préparation.

La table à étaler étant la première machine qui commence les opérations de la filature proprement dite, voici comment elle fonctionne : Derrière la machine se trouve une table horizontale divisée en quatre parties, sur lesquelles marche une toile sans fin : on place sur cette toile les poignées l'une après l'autre, de manière que les bouts de la deuxième poignée correspondent seulement au milieu à peu près de la première; ce qui permet d'obtenir toujours un ruban uniforme. Cette manière de procéder est nécessaire, puisque, comme chacun sait, les poignées de lin sont toujours épaisses au milieu et minces aux extrémités. Le lin étant engagé dans les rouleaux de derrière, est attiré par l'effet de leur mouvement, et il est en même temps subdivisé par l'action des gills entre les dents desquels il se trouve engagé de la base à l'extrémité des pointes. Arrivé au rouleau dit étireur (celui de devant), il est détaché de ce rouleau par ce qu'on appelle le paralléliseur, qui a pour but de réunir en un seul les quatre rubans qui se trouvent déversés dans un pot en fer blanc pour aller de là suivre les phases successives d'étirage.

Cette première opération est la plus sérieuse de toutes et celle qui donne en résumé le fil plus ou moins régulier, suivant le soin apporté par l'ouvrier qui place les poignées sur la table. Le reste ne consiste plus qu'en doublages et étirages exactement comme dans tous les genres de filatures pour laine, soie et coton. Doubler, doubler et toujours doubler, voilà le principe afin d'éviter les irrégularités.

Reprenons en détail la description de machines du système à vis, qui a remplacé l'ancien système dit à chaîne et qui a été exploité avec grand succès par P. Fairbairn; il avait été breveté d'abord au nom de MM. Westley et Lawron, au mois d'août 1833.

Comme il a été dit, les barrettes portant les peignes sont mues alternativement d'arrière en avant par la vis supérieure, puis d'avant en arrière par la vis inférieure; il restait, par l'action de cames, d'organes convenables, à assurer la bonne réalisation pratique du système. C'est ainsi que quand les peignes sont arrivés à l'extrémité des rails, qui correspond à l'arrière de la machine, ils se trouvent soumis à l'action de cames tournantes, qui les soulèvent et les conduisent encore jusqu'à leurs rails-huides horizontaux supérieurs, où leurs pas de vis s'engrènent de nouveau avec les filets des vis; ils sont entraînés en avant comme au commencement.

Par ce moyen, il y a une succession continuelle de peignes qui s'avancent sur les rails supérieurs, dont les pointes opèrent constamment entre les filaments de la matière textile, et qui ont une position verticale assurée pendant toute la durée de leur course.

La figure 1451 offre la représentation horizontale

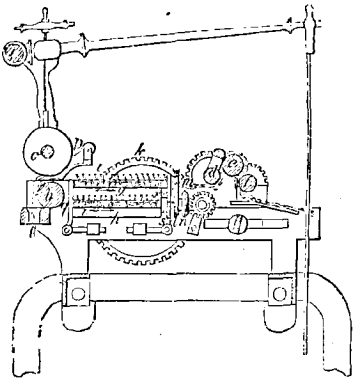


Fig. 1450.

d'un banc perfectionné d'après ce système; mais quelques-unes des parties supérieures de la machine en ont été écartées, afin qu'on en pût voir les parties agissantes plus distinctement. La fig. 1452 représente un banc vu de côté, et la fig. 1450 en est une section verticale prise longitudinalement. La roue conductrice ou poulie *a* est fixée au cylindre antérieur *b*, ordinairement appelé le laminoir d'étirage, parce que lorsqu'il est pressé par le cylindre supérieur de bois *c*, il entraîne les filaments entre les deux cylindres.

Les laminoirs *d*, *e*, *f*, sont les cylindres ordinaires de l'arrière ou les laminoirs de retenue, parce qu'ils retiennent, en effet, les fibres lorsque celles-ci éprouvent l'effort de traction des laminoirs *b*, *c*, contre les pointes des peignes. On voit dans la figure 1452 le rail-guide sus-mentionné sur lequel les barreaux des peignes glissent, et le rail-guide inférieur. La série des barreaux-peignes, garnis de leurs pointes, est indiquée par les lettres *i*, *i*.

Les vis supérieures *k*, *k*, sont montées dans des écrous rendus immobiles sur les côtés du châssis; celles de dessous *l*, sont fixées de la même manière.

Ces vis sont en communication au moyen des roues dentées *m*, et sur les axes des vis inférieures se trou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent fixés les pignons d'angle *n*, qui engrènent dans d'autres pignons d'angle correspondants, placés sur l'axe transversal o. Cet axe étant en communication avec un système de roues dentées, engrène avec l'axe du cylindre d'étirage *b*, ainsi que l'indiquent les fig. 1450 et 1451.

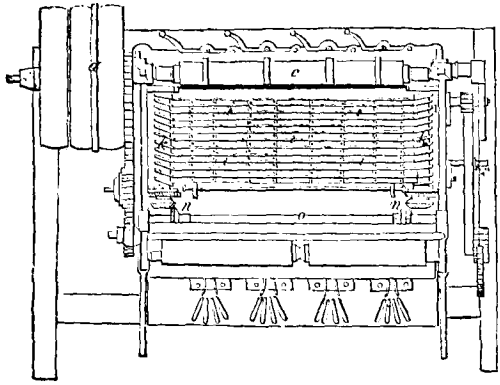


Fig. 1451

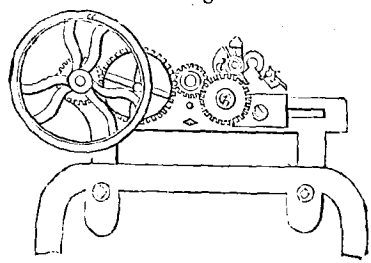


Fig. 1452.

On peut voir par la fig. 1451 que les extrémités des barreaux-peignes *i*, sont des mentonnets qui entrent dans les pas de la vis et qu'étant soutenus par-dessous par leurs rails guideurs, à mesure que les vis *k*, *k*, tournent, le rang supérieur des barreaux-peignes progresse vers l'avant de la machine.

En jetant les yeux sur la fig. 1450, on verra qu'à mesure que chaque barreau-peigne arrive à l'extrémité antérieure du rail-guide *g*, un gros levier ou came *p*, placé sur l'axe *k*, le fait tomber sur les guides inférieurs *h*, et, afin que sa descente s'opère tout à fait verticalement, des leviers à poids *q*, *q*, placés sur le devant, viennent presser contre la face antérieure du barreau-peigne, à mesure que celui-ci descend. Ce barreau, étant ainsi arrivé sur les rails-guides inférieurs *h*, reçoit à ses extrémités le pas des vis inférieures *l*, dont le mouvement de rotation fait rétrograder le barreau-peigne, c'est-à-dire le fait revenir vers l'arrière de la machine. Lorsque le barreau-peigne est ainsi parvenu à l'extrémité postérieure du rail-guide *h*, une autre came r, placée sur la vis inférieure, vient se placer au-dessous de lui et le soulever, guidé qu'il est encore ici par les leviers à poids de l'arrière *s*, ainsi que l'indique la fig. 1450, jusqu'à ce qu'il ait atteint le niveau du rail-guide supérieur *g*, où les filets des spirales supérieures donnent entrée à ses extrémités, et l'entraînent en avant sur le rail-guide, ainsi qu'on vient de le décrire.

C'est ainsi que le mouvement de rotation continue des vis *k*, *k*, et *l*, *l*, fait marcher toute la série des barreaux-peignes le long des guides, et que les cames *p* et *r*, en les abaissant et en les soulevant alternativement lorsqu'elles arrivent aux extrémités des rails, font faire à ces barreaux-peignes un circuit régulier tout en leur conservant une position toujours verticale.

Filage en gros ou dernière préparation. Lorsque les rubans formés par les machines à étaler et les machines à étirer sont arrivés à une certaine finesse, qui n'est cependant pas encore la limite qu'il faut atteindre, et qu'ils deviennent trop minces pour qu'on puisse continuer l'étirage sans les rompre, et trop longs pour les recevoir dans les pots sans les mêler et causer du déchet, il faut leur imprimer un léger degré de torsion pour augmenter leur cohésion et la résistance de l'étirage, et remplacer les pots par des bobines autour desquelles ils viennent s'enrouler aussi uniformément que possible. Les métiers dits bancs à broches sont employés à cet effet.

On voit que la nature des opérations que nous avons décrites pour le lin, depuis le peignage jusqu'ici, sont identiques avec celles employées dans les mêmes conditions pour le coton; il n'y a de différence que dans les modifications apportées dans les machines.

Dans le travail du coton pour la formation, l'étirage et le doublage des rubans, les cylindres seuls, convenablement réunis, suffisent. Pour le lin, il faut, en outre de tous les éléments usités dans les machines à coton, les additions des peignes ou gills pour continuer l'étirage et maintenir le parallélisme des fibres entre les cylindres qui doivent être beaucoup plus écartés à cause de la plus grande longueur des brins. Les peignes ou gills, constituent les organes particuliers qui caractérisent l'invention des machines à lin, et sont dus complétement, comme nous l'avons dit au début, à Philippe de Girard.

La même modification des peignes va se représenter pour le banc à broches pour lequel il est indispensable d'employer les peignes pour ne pas rompre ou déformer le ruban; on voit par conséquent que le banc à broches, ici, ne diffère absolument des machines à étirer que par la substitution des bobines et broches aux pots dans lesquels tombaient les rubans précédemment.

Les bancs à broches employés aujourd'hui ne diffèrent pas, sauf l'observation précédente, de ceux employés pour le coton; seulement ils ont un nombre de broches qui varie seulement de 24 à 72.

Les rubans enroulés sur les bobines sont portés aux métiers qui ont pour but de finir le fil. Ces métiers ne sont plus garnis de peignes pour guider le fil; le doublage n'a plus lieu. Ces machines portent spécialement le nom de *métiers à filer*.

Les métiers à filer le lin sont aujourd'hui de deux sortes : Les *métiers à filer à sec* et les *métiers à eau chaude*.

Les premiers servent spécialement à filer les fils communs et grossiers dont la finesse ne dépasse pas le n° 25 du *titrage* des fils de lin.

Le métier à eau chaude sert aux fils qui dépassent le n° 25. Cette finesse est obtenue par l'intermédiaire de l'eau chaude.

On opérait naguère encore le filage à l'eau froide pour les numéros intermédiaires, mais on ne paraît pas avoir trouvé d'avantage par cette méthode; nous nous bornerons donc à la description des deux systèmes que nous venons d'indiquer.

Le filage, soit en gros, soit en fin, a lieu pour le lin sur des métiers qui, pour la disposition et les organes mécaniques, ont la plus grande analogie avec les mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tiers dits continus, employés dans certain cas pour filer le coton; la seule modification importante consiste dans l'emploi de l'eau chaude pour les fils de lin fins. Le fil passe dans une eau chauffée à une certaine température (60 à 80 degrés) avant de s'enrouler sur la bobine.

C'est encore à Philippe de Girard qu'est due la première idée de l'application de l'eau chaude pour pouvoir arriver au filage en fin.

Les causes qui ont motivé l'emploi de l'eau chaude se trouvent clairement indiquées dans la description du brevet d'invention pris par Philippe de Girard au mois de juillet 1810, et publié dans le *Recueil des Brevets expirés*, tome XII, page 114. Nous ne saurions mieux faire que de laisser parler l'inventeur lui-même, en donnant l'extrait suivant de la description de son brevet :

« Les brins de lin ne sont qu'un assemblage de petites fibres collées l'une contre l'autre, se recouvrant mutuellement et dont les plus longues n'ont guère que 9 à 10 centimètres de longueur, et la plupart beaucoup moins.

« La substance qui unit ces fibres peut être facilement enlevée par divers agents. L'eau pure la ramollit et la dissout avec le temps, surtout si l'air se joint à son action.

« Les lessives alcalines chaudes l'enlèvent presque constamment; il suffit même de plonger un brin de lin dans une parcelle de lessive pour le rendre divisible presque à l'infini. Si après cette opération on le tire par ses deux extrémités, on le sépare sans effort sensible en deux parties qui glissent l'une sur l'autre avant de se séparer, et qui se terminent en pointes très-effilées. En saisissant l'extrémité d'une de ces pointes et en tenant le reste du brin à $0^m,10$ ou $0^m,12$ de distance, on retire une fibre extrêmement fine, qui quelquefois peut se diviser encore de la même manière que le brin primitif. En continuant ces divisions, on obtient enfin des fibres presque imperceptibles, qu'on ne peut plus diviser qu'en les cassant, et qui opposent une résistance beaucoup plus grande qu'on ne l'aurait attendue de leur ténuité. On s'aperçoit alors qu'on est arrivé aux fibres que l'on pourrait appeler *élémentaires*, et qui n'ont que de $0^m,04$ à $0^m,06$ de longueur.

« La facilité avec laquelle les parties d'un même brin glissent les unes sur les autres avant de se séparer, leur ténuité extrême, et par conséquent leur multiplicité, offrent le moyen d'étirer, d'allonger presque indéfiniment un brin sans le casser, et à plus forte raison un assemblage de brins. La forme des fibres élémentaires paraît faciliter le succès de cette opération. Leurs extrémités effilées sont propres à rendre leur jonction convenable et à être retenues dans le fil, tant par l'effet de l'entrelacement que par celui de la torsion.

« Si l'on prend un fil quelconque, pourvu qu'il ait été lessivé, qu'on en détourne un bout de $0^m,40$ à $0^m,12$, qu'on essaie de le casser, il n'oppose qu'une très-petite résistance; si on le mouille, en répétant l'expérience, la résistance devient absolument nulle, ce qui prouve que celle qu'on éprouvait d'abord n'était qu'un frottement des fibres entrelacées et tortillées; l'humidité en les rassemblant les redresse, et fait cesser cette résistance.

« Telle est la base sur laquelle repose le nouveau procédé. »

On voit toute la théorie sur laquelle le premier inventeur avait basé ses procédés, qu'il exécuta en conséquence, comme il est facile de s'en convaincre, par les plans joints au même brevet. Depuis lors la filature fine du lin s'est constamment faite à l'aide de l'eau chaude, mais la dépense de ce mode de filage, les inconvénients qu'il entraîne naturellement en ont fait limiter l'emploi aux numéros élevés.

Le filage à sec s'est maintenu pour les numéros ordinaires.

Il est facile de se convaincre que ni l'un ni l'autre de ces deux modes de filage n'est arrivé à la perfection.

Le filage en gros qui a lieu sur un ruban qui n'est plus soutenu par les peignes, ni mouillé par l'eau chaude, se fait irrégulièrement, parce que l'étirage a lieu sur une trop grande longueur sans que le ruban soit maintenu; comme les filaments ne sont qu'enchevêtrés, ils se séparent facilement aux points les moins soutenus, et par conséquent les plus écartés des points d'appui ou cylindres étireurs; aussi les produits fournis par ces métiers sont-ils très-imparfaits et ne sauraient rivaliser pour la force et la régularité avec les fils produits à la main.

Quant aux fils produits par l'eau chaude, ils ont, il est vrai, un aspect plus régulier que ceux filés au rouet, mais ils sont en réalité moins résistants, et ils n'ont pas comme les fils extra-fins pour belle batiste et dentelle, filés à la main, un aspect brillant qu'il a été impossible jusqu'ici d'obtenir pour les fils à la mécanique.

Ces raisons d'imperfection du filage du lin par les machines, qui ne sont pas controversées, ont donné lieu à de nombreuses recherches et à bien des tentatives pour améliorer les procédés en usage; elles ont échoué jusqu'ici.

Nous citerons dans cet ordre d'idées les tentatives qui ont été faites en Angleterre, en 1835, par MM. Hope et Dew Hurt, puis reprises dans ces derniers temps par le chevalier Clausen qui s'est proposé de *cotoniser* le lin. On fait séjourner le lin dans une dissolution d'acide sulfurique d'une certaine force et pendant un certain temps proportionné à la qualité de matière fibreuse; le lin le plus grossier exige une action plus intense.

La matière gommeuse et l'écorce extérieure du lin se trouvent dissoutes par ce moyen, et se détachent facilement. On doit ensuite faire passer le lin entre des cylindres de compression, le rincer avec soin, et le faire bouillir dans une dissolution de savon et d'eau pendant quelques heures, enfin finalement le faire passer de nouveau entre les cylindres. On doit répéter ces opérations jusqu'à ce que le lin ait acquis le lustre qu'on désire, et que les fibres se soient séparées les unes des autres. Ensuite on le bat et on le passe une fois ou deux sur un peigne ordinaire ou sur une brosse rude. Le succès n'a pas répondu aux espérances exagérées des inventeurs, la substance trop affinée s'est trouvée énervée, sans résitsance.

En résumé, nous donnons dans les figures 1459 et 1460 les deux systèmes de métiers en présence aujourd'hui dans la filature du lin et du chanvre.

La fig. 1459 représente une coupe verticale des éléments qui constituent le métier à filer à sec.

La fig. 1460, une coupe semblable du métier à eau chaude.

Si nous examinons et comparons les figures 1459 et 1460, qui donnent les deux systèmes généralement employés, nous remarquons que tous deux possèdent une bobine B, contenant la mèche de préparation provenant des broches, le système de cylindres c, c, et c', c', entre lesquels la mèche est étirée. En sortant la mèche est tordue par les broches R, puis enfin enviée autour du fût ou bobine b.

Nous n'avons pas à dire comment le mouvement est imprimé à ces différentes parties, ce qui n'offre rien de particulier.

Il n'y a de différence entre les deux systèmes que nous venons de décrire succinctement, que dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

présence de l'auge à eau chaude A, qui se trouve dans le métier à filer en fin et dont le métier en gros est privé, et dans l'écartement entre les cylindres c et c'; on voit qu'il est bien plus grand pour le métier à filer à sec que pour le métier à eau chaude. Aussi ajoute-t-on des cylindres intermédiaires pour soutenir la mèche et empêcher qu'elle ne se détorde; on diminue ainsi les chances d'irrégularité.

Cette différence est indispensable : on le comprendra, en se rappelant que cette distance entre les cylindres délivreurs et étireurs doit toujours être réglée suivant la longueur sensible des filaments de la matière à étirer; la raison de la nécessité de conserver ces rapports entre la distance des cylindres et la longueur de la matière première est évidente.

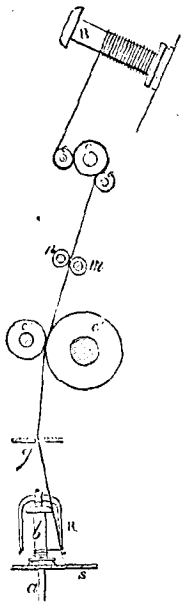


Fig. 1459.

Un ruban ou une mèche de préparation n'est que la réunion d'une quantité innombrable de filaments élémentaires, réunis par des glissements successifs et condensés par la pression entre les cylindres que nous venons de décrire; or, si la distance entre ces cylindres était sensiblement moindre que la longueur primitive des fibres, il s'ensuivrait que l'étirage se ferait sur ces fibres déjà suffisamment redressées, et ne pourrait s'opérer que par un allongement forcé de la matière elle-même, ce qui l'affaiblirait nécessairement ou la romprait. Si au contraire le rapport entre l'écartement des cylindres et la longueur des filaments de la matière première est suffisante, l'étirage s'opère par un simple glissement entre eux, tout en évitant les inconvénients dont nous venons de parler.

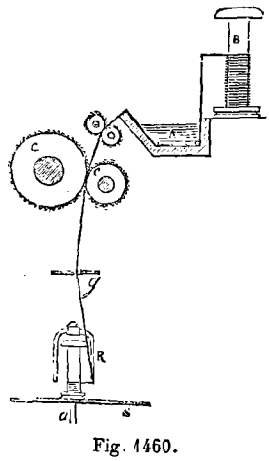


Fig. 1460.

La conséquence de ces considérations a été, pour le filage à sec, l'écartement considérable qu'on remarque entre les cylindres étireurs dans la fig. 1459; mais cette disposition, en faisant en effet éviter ces inconvénients que nous venons de signaler, n'avait pas pu jusqu'ici mettre à l'abri de ceux que nous allons signaler.

Si l'on considère le ruban ou la mèche lorsqu'elle arrive au métier à filer, on remarque que, quelque bien préparée qu'elle soit, elle n'est pas encore parfaitement homogène, il existe immanquablement des parties plus ou moins régulières, et plus ou moins disposées à résister ou à se prêter au glissement des fibres, et par conséquent à l'étirage, ce qui est une première cause d'irrégularité; à celle-ci vient s'ajouter celle de la plus grande force qu'il faut employer pour étirer sur une plus grande longueur, qui n'est pas soutenue et n'est qu'imparfaitement homogène. La force étirante ne se transmet pas alors intégralement en tous les points de la masse, et sur tout le trajet que parcourt le ruban, et il en résulte forcément des inégalités dans l'étirage qui donne pour résultat final un fil irrégulier.

Les inconvénients que nous venons de signaler ont toujours été l'écueil de la filature du lin; ils sont tellement sérieux, qu'il a été impossible jusqu'ici de produire des fils au delà du n° 25 par le système du filage à sec. C'est pour pouvoir pousser la finesse du fil au delà de ces limites, que Philippe de Girard, le premier, eut l'idée de l'emploi de l'eau chaude, afin d'arriver à désagréger les fibres qu'on considérait comme élémentaires, et qui ne sont elles-mêmes qu'une réunion de fibres plus petites, naturellement agglutinées entre elles par une matière que l'eau détruit : mais il paraît que l'on ne peut atteindre ces fibrilles rudimentaires qu'au détriment de leur force, car les fils fins produits de cette façon sont généralement moins solides et moins brillants que ceux produits par le filage ordinaire. On voit donc que ni l'un ni l'autre des deux procédés usités n'est à l'abri de reproches, et que nous avions raison de dire que dans l'état actuel des choses, la filature du lin à la mécanique ne paraissait pas être complétement dans le vrai. Ce qui nous fortifie surtout dans cette pensée, c'est de voir que les plus beaux fils de lin, comme les plus solides, sont produits par la modeste fileuse au rouet, sans autre secours qu'un peu d'eau fraîche lorsqu'elle ne se borne pas à la salive.

Matériel d'une filature. Nous croyons devoir, avant de terminer cet article, ajouter quelques données pratiques sur la composition du mobilier industriel d'une filature mécanique de lin, cette spécialité étant nouvelle encore, et les renseignements de ce genre moins répandus que s'il s'agissait d'une industrie de vieille date.

Une fois que l'on a déterminé la localité et l'emplacement où doit se trouver l'usine, ainsi que son importance, d'après des considérations basées sur la production de la matière première, sur les calculs des frais à faire, sur la facilité des débouchés et la certitude d'obtenir une population ouvrière convenable, toutes questions dont la solution est indispensable pour un établissement de nature quelconque; il faut alors s'occuper de la composition de l'assortiment des machines. Cette composition dépend nécessairement du genre et des quantités de produits que l'on se propose de fabriquer. On sait que jusqu'ici pour la filature du lin il y a d'abord deux distinctions tranchées à établir dans les méthodes du filage, suivant que ce travail doit avoir lieu pour du fil ne dépassant pas une finesse du n° 15 anglais, ou 9,000 mètres au kilogr., et pour les finesses dépassant ce titre. Dans le premier cas, le filage se fait avec des machines qui filent sans le secours de l'eau. Dans le second cas on file à l'eau chaude.

Le nombre des machines nécessaires à filer la même quantité de matière, dans les deux cas sera différent.

Le filage à sec, ne produisant que des fils ordinaires, peut produire considérablement plus que le filage à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

décomposition, qui atteint une vitesse plus grande et nécessite une force plus considérable.

Pour donner de suite une idée des résultats du travail à sec et à l'eau chaude, nous résumerons les résultats de la pratique dans le tableau suivant :

Force en chevaux-vapeur pour 100 broches de filature y compris tous les accessoires :

Filature à sec.

N° 0 à n° 10 étoupes ou long brin	6	chevaux vapeur.	
N° 10 à n° 20	—	5	—
N° 20 à n° 30	—	4	—

Filature à l'eau.

N° 16 à n° 30 étoupes ou long brin	4	chevaux vapeur.	
N° 30 à n° 50	—	4	—
N° 50 à n° 100	—	3	—

Ces 100 broches fileront une quantité très-variable de chanvre ou de lin, suivant la longueur des fils qu'elles devront produire par kilogramme.

Voici quelques nombres principaux sur ces variations.

Pour du fil mécanique du n° 6 anglais, 100 broches pourront produire par jour de 12 heures, en défalquant les heures d'arrêt : . . 120 kilogrammes.

Pour des fils, n° 12, à sec. . .	68	—	
— n° 16, — . . .	58	—	
— n° 30, à l'eau. .	33	—	
— n° 60, — . .	16	—	

Ce tableau démontre combien il est nécessaire d'être fixé au préalable sur le genre de fil à produire.

Mais il arrive très-rarement qu'une usine n'ait qu'une seule qualité de fil à produire. Les établissements sont montés généralement pour filer les lins qu'offre le commerce, et qui ne sont que grossièrement peignés ; quelquefois seulement les matières sont achetées complétement préparées par le peignage.

Dans l'un ou l'autre cas, la masse de la matière filamenteuse présente assez de choix pour en tirer des fibres de différents degrés de finesse. Cela arrive surtout lorsqu'on doit faire subir un peignage à la fabrique, car alors les brins courts ou étoupes sont destinés à des fils communs.

Il faut donc, dans une manufacture convenablement établie, disposer les machines de manière à pouvoir produire au besoin tous, ou à peu près tous les numéros que réclament les affaires courantes.

L'ensemble de la collection de ces machines est ce qu'on nomme un *assortiment*.

La détermination des appareils composant un assortiment peut, suivant les circonstances, présenter également quelques légères variations, surtout pour ce qui concerne les machines à étirer, suivant qu'on étire et qu'on double plus ou moins ; mais nous croyons que la composition suivante sera convenable dans la plupart des cas.

Composition d'un assortiment complet pour peigner le long brin, pour carder les étoupes qui en résultent et les transformer en fil.

Une machine à peigner du système de Laury ou Combs ;

Une table à étaler pour quatre rubans, système à vis ;

Premier étirage, à deux têtes, à quatre rubans, système à vis ;

Deuxième étirage, à vis, à deux têtes, à six rubans par tête ;

Un banc à broches, à mouvement différentiel de 60 broches ;

Quatre métiers à filer pouvant travailler du n° 16 à 30, de 140 broches ;

Trois métiers à filer pouvant travailler du n° 30 à 40, de 154 broches ;

Sept dévidoirs pouvant travailler du n° 16 à 60, de 25 broches ;

Une presse à faire les paquets.

Machines pour la filature des étoupes.

Une carde circulaire de 1m,66 sur 2 mètres, avec 9 débourreurs, 8 travailleurs et 3 cylindres peigneurs ;

Premier étirage, à vis, à deux têtes et deux rubans ;

Deuxième étirage, à vis, à deux têtes et quatre rubans par tête ;

Un banc à broches, à mouvement différentiel de 60 broches ;

Trois métiers à filer pouvant donner du n° 8 au n° 10, de 144 broches ;

Trois dévidoirs de 25 broches.

Le personnel d'ouvriers qu'exige chaque assortiment peut être évalué à trois hommes et vingt enfants.

Connaissant, d'après ce qui a été dit précédemment, le rendement moyen de la matière brute, en filaments à longs brins et en étoupes, sachant, d'après ce tableau, ce qu'une broche peut filer pour une finesse déterminée, il sera facile de déterminer le nombre d'assortiments dont on aura besoin pour arriver à un résultat demandé.

Quant à l'emplacement des machines dans les différents ateliers, il est nécessairement subordonné à l'importance de l'usine : il y a cependant quelques règles fixes à observer dans tous les cas.

Il faut, comme dans toute filature de matières textiles, que les métiers soient coordonnés, de façon à ce que le travail se fasse d'une manière continue, avec le moins d'interruption et de manipulation possibles. Cela est convenable non-seulement pour éviter des pertes de temps inutiles, mais aussi afin d'éviter de trop manier la matière et les rubans qui pourraient se déformer.

Il faut, en outre, que l'agencement soit tel que la surveillance soit facile, et la commande des mouvements disposée de manière à présenter le moins de frottement et le plus de régularité possibles.

On peut diviser l'ensemble de l'établissement en trois parties. La première, comprenant les ateliers du peignage et du cardage qui doivent être disposés suivant que le travail du peignage s'exécute à la main ou à la mécanique.

La seconde renfermant toutes les machines à préparer, telles que tables à étaler et têtes d'étirages ; les différents métiers à filer doivent comprendre la troisième. Il faut reserver à chaque partie un cabinet de surveillance pour le contre-maître. Il faut de plus, à la suite des métiers à filer, ménager un emplacement pour le dévidage. Comme les métiers à filer ont besoin de recevoir des tuyaux de vapeur pour chauffer l'eau, on les place assez généralement au rez-de-chaussée, et le service est coordonné de manière à se faire régulièrement de haut en bas des ateliers. On conçoit cependant que l'on ne peut rien indiquer d'absolu dans ces distributions qui dépendent réellement des conditions particulières où l'on se trouve ; il faut, dans chaque cas, faire une étude préparatoire convenable de tous les éléments à prendre en considération dans ce genre de combinaison.

De l'avenir de la filature du lin. Nous terminerons en insistant sur la nécessité d'amoindrir autant que possible les difficulté propres au travail du lin et du chanvre, par le perfectionnement des préparations qui doivent rendre leur filature et leurs transformations presqu'aussi faciles et économiques que celles des autres matières filamenteuses, tout en conservant aux produits leurs caractères spéciaux les plus recherchés.

Dans l'état actuel des choses, il y a une grande disproportion de frais pour la transformation d'un même poids de matière, suivant qu'il s'agit du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coton, de la laine ou du lin : la dépense pour ce dernier est sensiblement plus élevée. Pour filer, par exemple, 1,000 mètres de fil de laine au n° 50, la dépense sera de 1 1/2 à 2 centimes; 1,000 mètres de coton, de 1 à 1 1/3 centimes; 1,000 mètres de lin, de 3 à 4 centimes.

Si, au lieu de considérer les prix de façon, on compare les cours des produits, dans les temps normaux, pour un certain nombre de finesses différentes, ramenées aux mêmes titrages, l'augmentation du prix des des produits liniers sera plus sensible encore.

Comparaison entre les prix de 1,000 mètres de fil de coton et 1,000 mètres de fil de lin de même finesse.

TITRES.	Prix du coton.	Prix du lin.	Différence.
	fr.	fr.	fr.
N° 18, mille mèt.	0,14	0,17	0,030
N° 24, — ...	0,11	0,153	0,043
N° 36, — ...	0,083	0,132	0,049
N° 60, — ...	0,060	0,136	0,076
N° 80, — ...	0,050	0,145	0,095
N° 100, — ...	0,049	0,150	0,100

Ainsi donc, pendant que dans les cours normaux, que nous avons pris pour base de ces comparaisons, le prix de revient de l'unité de longueur diminue sensiblement avec la finesse du coton, ce qui est rationnel, puisque la quantité de matière va également en diminuant et que les frais de filage restent à peu près constants, les prix du fil de lin, dans des conditions identiques, vont au contraire en augmentant, parce que les difficultés augmentent à mesure que l'on veut arriver à des finesses plus élevées avec des matières insuffisamment désagrégées. C'est comme si, pour le coton, on voulait atteindre des finesses extra avec des fibres ordinaires, du louisiane par exemple, à la place du jumel et du géorgie longue soie. Il est bon de faire remarquer que l'on ne peut expliquer les différences de prix du tableau précédent par une différence de valeur entre les matières premières, attendu que, toutes choses égales d'ailleurs, cette valeur est à peu près la même pour le lin et le coton destinés aux mêmes finesses; s'il y a un écart, il est plutôt en faveur du lin. Notons encore que le lin n'est pas, par sa nature, plus rebelle au filage que le coton; mais seulement au mode de travail adopté; c'est ce qu'indique la finesse extrême des fils de lin produits à la main.

Si donc les machines à travailler la filasse ont un poids et nécessitent une force motrice anormale, c'est évidemment parce que les fibres qui leur sont soumises ont des caractères anormaux, et qu'elles ne sont pas suffisamment épurées. Pures, débarrassées de la gomme et des corps hétérogènes qui les enveloppent, elles rivaliseront de finesse et de brillant avec la soie, et devront se travailler comme la bourre de cette précieuse matière. Le problème consiste donc à faire, désormais, subir aux filaments de lin un rouissage plus complet et plus parfait que par le passé; à substituer au rouissage campagnard, dont les inconvénients sont bien connus, une préparation rationnelle, dont diverses tentatives semblent faire entrevoir le succès, au moins près des grands centres de production. Peut-être est-ce dans l'emploi de nouveaux produits chimiques à bas prix, propres à dissoudre les matières gommeuses que se rencontrera la solution..

LITHOGRAPHIE. C'est à proprement parler l'art d'écrire, de dessiner, de graver sur une pierre quelconque; mais on a donné plus particulièrement ce nom à l'art d'imprimer, à l'aide d'un nouveau procédé, inventé par Senefelder, Bavarois, vers l'année 1799, les dessins et les écritures tracés avec un corps gras sur une pierre calcaire appelée, pour cette raison, *pierre lithographique*.

Voici la manière générale d'opérer :

1° On prend une pierre calcaire d'une pâte fine et uniforme, et dont les deux faces opposées sont parfaitement planes. L'une des deux surfaces est brute, et l'autre est unie avec une pierre ponce, sans être polie, on écrit sur la surface unie à l'aide d'une plume d'acier trempé, avec une encre grasse, liquide et miscible à l'eau (voyez ENCRE *lithographique*).

2° Pour dessiner, on forme sur la surface de la pierre des cavités *ou grains* réguliers avec du sable fin, que l'on écrase avec une seconde pierre que l'on frotte dessus et l'on dessine sur la surface grenée avec un crayon gras.

3° Lorsque l'écriture ou le dessin au crayon est terminé, on en fixe l'empreinte par un lavage superficiel à l'eau de gomme rendue acide par une petite quantité d'acide nitrique ou d'acide hydrochlorique, ou d'un sel neutre soluble tel que le nitrate ou l'hydrochlorate de chaux, etc. Le lavage a pour effet, comme nous l'expliquerons plus loin, de rendre le dessin insoluble, de pénétrer la portion non dessinée de la pierre et de la rendre incapable de recevoir et de retenir facilement les corps gras, mais susceptible, au contraire, de retenir l'eau.

4° *Pour imprimer*, on place la pierre dans une espèce de caisse appelée *chariot*, où elle est maintenue solidement à l'aide de vis en fer ou de coins en bois; on la mouille avec de l'eau propre et on enlève ensuite l'écriture, faite à l'encre grasse, avec de l'essence de térébenthine.

5° On humecte de nouveau et très légèrement toute la surface de la pierre avec une éponge fine et de l'eau propre qui est imbibée et retenue sur la portion de la pierre qui n'a pas reçu de dessin.

6° On étend aussitôt avec un rouleau élastique, recouvert d'un manchon en cuir, de l'encre ordinaire d'imprimerie (voyez ENCRE *d'imprimerie lithographique*), qui ne se fixe point sur la partie humide et qui s'attache seulement sur le dessin qui a été tracé à l'encre ou au crayon gras.

7° L'encre d'imprimerie étant ainsi distribuée convenablement et proprement sur tout le dessin, on place une feuille de papier blanc un peu humide sur la surface de la pierre.

8° On recouvre cette feuille d'une seconde, dite de *maculature*, et on pose dessus un *châssis en fer* garni d'un cuir fort qui est bien tendu sur les deux côtés opposés et parallèles.

9° On soumet la pierre, ainsi disposée, à la pression d'un rouleau ou d'un *rateau en bois* qui agit perpendiculairement sur la surface; la pierre glisse et frotte sous ce rateau, lorsqu'on imprime le mouvement rectiligne au chariot.

10° Enfin, on enlève la feuille de papier qui a *happé* le corps gras qui offre ainsi la reproduction identique du sujet tracé sur la pierre.

Senefelder avoue (voir son *Traité de l'Art de la Lithographie*, pages 8 et 12) qu'il n'est pas l'inventeur de la gravure sur pierre, ni le premier qui en ait fait usage pour imprimer; que c'est seulement la manière de s'en servir qui rend la découverte nouvelle.

Il dit lui-même : « Il y avait déjà des siècles qu'on gravait à l'eau forte sur pierre; et ce ne fut que lorsque j'eus imaginé, en 1799, de passer de la méthode creuse à la méthode en relief, et de me servir de mon encre nouvelle, que je pus me considérer comme inventeur d'un art nouveau qui me décida à abandonner tous mes autres essais pour ne m'occuper que de lui. »

Engelman nous apprend, en effet, dans son *Traité com-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plet de la Lithographie, 1842 : « qu'il existe à Munich, au Musée de l'École gratuite de dessin, un astrolabe fait par ce procédé, et qui date de 1580. On voit dans le cabinet royal des antiquités à Munich une grande table ronde, faite d'une pierre de Solenhofen, sur laquelle sont représentés en relief les portraits des anciens ducs de Bavière, avec plusieurs inscriptions, et une chanson accompagnée de notes. Enfin, en dehors de l'église de Notre-Dame de la même capitale, on voit une pierre sépulcrale, portant la date de 1709, et présentant différents caractères en relief. Il suffit, dit-il, de la plus simple inspection pour se convaincre que toutes ces pierres ont été gravées par le moyen des acides. C'est par le même procédé qu'on parvient à graver sur une coquille d'œuf, dont les éléments chimiques sont les mêmes que ceux des pierres lithographiques : écrivez sur une coquille d'œuf avec du suif fondu, laissez figer le suif, plongez l'œuf dans un acide faible, du vinaigre par exemple. Cette expérience que chacun peut répéter se trouve décrite dans des ouvrages fort anciens.

Mais il est une chose importante pour l'histoire de l'art de la gravure sur pierre, que les lithographes ignorent peut-être, et qu'aucun auteur n'a publiée encore, c'est que Dufay, Français, membre de l'Académie des sciences, a publié, le premier, un procédé rationnel et facile pour graver le marbre et autres pierres, à l'aide d'un acide (voir les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1728, page 64).

Au reste, nous donnons ici la copie textuelle du moyen décrit par Dufay lui-même :

Gravure en relief sur le marbre et plusieurs autres pierres, par Dufay.

« Il faut tracer sur le marbre avec un crayon le dessin que l'on veut mettre en relief, et couvrir délicatement, avec un pinceau, du vernis suivant les endroits qu'on veut épargner. Ce vernis n'est autre chose que de la gomme laque dissoute dans l'esprit de vin et mêlée avec du noir de fumée ou du vermillon, pour reconnaître plus facilement les endroits où on en a mis. Pour rendre l'opération plus simple, il n'y a qu'à pulvériser un morceau de cire d'Espagne et la faire dissoudre dans une quantité suffisante d'esprit de vin ; ce vernis sera sec en moins de deux heures.

« De tous les dissolvants que j'ai essayés, celui qui m'a paru le meilleur est un mélange de parties égales d'esprit de sel et de vinaigre distillé ; il ne diminue en rien l'éclat du marbre et le dissout très également.

« Le vernis étant bien sec, on versera de cette liqueur sur le marbre ; lorsqu'elle y aura demeuré quelque temps et qu'elle aura entièrement cessé de fermenter, on pourra y en remettre de nouvelle, et la laisser agir jusqu'à ce que le fond soit suffisamment creusé. S'il y a dans le dessin des traits délicats, comme des feuillages, on ne les tracera pas d'abord sur le vernis ; mais lorsque le rond sera creusé à peu près de moitié de ce qu'il doit l'être, on ôtera le dissolvant, on lavera bien le marbre, et avec la pointe d'une aiguille on enlèvera le vernis à l'endroit de ces traits délicats, on remettra ensuite de nouveau dissolvant, et on le laissera autant qu'on le jugera à propos ; cette précaution est nécessaire, parce que lorsque l'acide a agi dans les endroits découverts, il ronge par-dessous le vernis et élargit les traits à mesure qu'il les approfondit ; cet inconvénient demande aussi qu'on fasse les parties qui doivent être épargnées un peu plus fortes, afin que cette action latérale de l'acide les mette au point où elles doivent être. Au reste, cette opération ne demande ni beaucoup de soin ni beaucoup d'expérience, et les ouvriers les moins intelligents pourront facilement en venir à bout. Lorsque l'ouvrage sera entièrement fini, on enlèvera le vernis avec un peu d'esprit de vin, et comme les fonds seraient trop longs à polir, on pourra les pointiller avec des couleurs ordinaires délayées dans le vernis de gomme laque, de la même manière que l'étaient les ouvrages de cette espèce qui ont paru depuis quelques années.

« J'ai fait aussi diverses expériences de l'effet de acides sur plusieurs autres pierres ; il y en a quelques unes auxquelles on donne le nom de pierres précieuses qui se dissolvent dans l'esprit de nitre. »

Au résumé, si Senefelder n'a pas inventé réellement le mode de dessiner sur pierre avec une encre liquide, et de graver le dessin en relief à l'aide des acides, il doit être considéré, avec raison, comme le premier et le seul inventeur de l'impression lithographique, proprement dite ; méthode qui est fondée, comme nous l'avons dit, sur un jeu d'affinités chimiques, et d'attractions moléculaires, dont personne, avant lui, n'avait remarqué l'influence et l'application.

1° DES PIERRES LITHOGRAPHIQUES. — On emploie, communément en France, deux espèces de pierres, que l'on désigne principalement par le nom du pays d'où elles proviennent. Ainsi, on distingue les pierres d'Allemagne ou de Munich, et celles de France, qui sont également formées de carbonate de chaux. Parmi ces dernières, la pierre de Châteauroux est la seule employée, et pour l'écriture seulement.

Pour faire des dessins au crayon, ou des écritures d'un travail fini, on emploie généralement les pierres de Munich, qui réunissent, pour la plupart, les caractères généraux d'une bonne pierre lithographique, savoir : une pâte bien homogène, dure, serrée, et s'imbibant peu d'eau.

Mais, parmi les pierres de Munich, un choix est encore à faire : voici des renseignements que nous avons extraits du *Manuel de Lithographie*, par MM. Chevalier et Langlumé.

« *La blanche* est toujours tendre et ne convient pas pour les longs tirages, parce que le crayon pénétrant plus avant dans la pâte, il en résulte une disposition du dessin à l'*empâtement*.

« *La jaune* est souvent bonne.

« *La gris-perle* est la meilleure parce qu'elle est la plus dure et la plus serrée, qu'elle prend par l'opération du grainage un grain plus fin et plus saillant qui résiste plus longtemps à la pression, ou plutôt à l'impression.

« *La grise-ardoise* est toujours bonne, mais elle est rare et difficile à grener.

« *La grise-roussâtre* est mauvaise, elle lâche l'encre quand on dépasse deux mille épreuves, et demande encore beaucoup de soin et de précaution pour arriver à ce nombre.

« Les pierres tendres qui absorbent beaucoup d'eau, celles qui reçoivent rapidement le poli, sont de mauvaise qualité.

« Il faut exclure aussi les pierres trop dures, car alors, les pores étant trop fins ou trop serrés, le crayon, la gomme et l'eau ne les pénètrent pas suffisamment, et le tirage est d'une courte durée.

« Les meilleures pierres pour graver à la pointe sèche sont les pierres dures et parfaitement homogènes.

« Les défauts qui se rencontrent le plus souvent dans les pierres de Munich de deuxième choix, sont : les veines, la tigrure, les points blancs, les taches de sapin, les fissures et les cristallisations.

« *Les veines* nuisent à la qualité de la pierre, surtout les rouges, dans lesquelles l'eau s'infiltre assez promptement, et occasionne la rupture de la pierre.

« Mais la tigrure, les *taches de sapin*, et les fissures, ces dernières par leur peu d'étendue, ne nuisent pas à l'impression.

« Il en est de même des points blancs lorsque leur dureté est égale à celle de la pierre.

« *Les cristallisations et les points blancs tendres* doi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent faire rejeter les pierres sur lesquelles elles se trouvent en assez grande quantité.

« La pierre de Châteauroux est excellente pour l'écriture, mais elle est généralement remplie de taches de rouille, de marne et de trous, ce qui empêche d'en faire usage pour le crayon. Elle est très cassante.

« Celle de Bellay est trop dure et cassante ; celle de l'Aube est de mauvaise qualité.

« Toutes les pierres françaises, d'une couleur sale ou terne, sont mauvaises. »

Moyen de reconnaître les qualités d'une pierre lithographique. Pour s'assurer des qualités d'une pierre, il faut passer sur toute sa surface une éponge mouillée ; si elle renferme des taches ou des fissures elles apparaissent aussitôt.

On juge alors de l'homogénéité de la pâte à l'uniformité de sa couleur, qui doit être sans nuances.

La pâte serrée se reconnaît à la dureté et au poids de la pierre. A volume égal, la pâte serrée est beaucoup plus lourde que la pierre tendre.

Pour juger de la qualité spongieuse, on verse quelques gouttes d'eau sur la pierre, et l'eau doit être absorbée de suite. Lorsque l'argile est en grande proportion dans la pierre lithographique, elle retient l'eau plus longtemps, tout en l'absorbant ; c'est la meilleure qualité. Les veines et les nuances dans la couleur de la pierre étant toujours d'une intensité différente du ton local, les variations qu'elles occasionnent s'expliquent par ce que nous venons de dire sur la qualité dure ou tendre. Ainsi, le crayon ne restera pas fixé sur les veines dures, et il pénétrera trop dans les veines tendres.

« *Dressage des pierres.* Lorsqu'une pierre n'a pas servi, il faut, avant de la dresser, prendre une lime, et arrondir les angles de la pierre dessus et dessous : dessus, afin que, pendant le dressage ou grainage, il ne se détache pas d'éclats qui pourraient faire des raies très profondes ; pour que l'éponge ne se déchire pas en s'accrochant aux angles, et afin que les bords ne prennent pas le noir et ne coupent pas le rouleau ;

« Dessous, pour que l'artiste et l'imprimeur ne courent point les risques de se blesser en portant la pierre, et qu'elle ne coupe pas les cartons sur lesquels on la pose dans le chariot pour imprimer.

« Cette opération terminée, on met la pierre sur la table à grainer ; et, avec un tamis de toile métallique, on passe du grès jusqu'à ce qu'elle en soit couverte ; puis on mouille le grès avec un peu d'eau : ensuite, on prend une autre pierre de même dimension que l'on met dessus, et on les frotte en tournant jusqu'à ce que le grès soit usé ; on lave ensuite les pierres, et on recommence huit ou dix fois la même opération, en ayant soin de changer les pierres à chaque nouveau grain, c'est-à-dire de mettre dessous celle qui était dessus, et ainsi de suite.

« Quand les pierres ont été ainsi préparées, il faut les laver et les mettre sécher, afin de voir si elles sont bien droites, ce qui a toujours lieu lorsqu'elles n'accrochent pas pendant le dressage, et si leur surface présente un grain égal. Il est bien essentiel de faire une marque aux deux pierres que l'on dresse ensemble, afin de ne pas les confondre ; car il arrive fort souvent que des pierres très droites ne le sont plus lorsqu'elles sont grainées avec d'autres.

« *Ponçage.* Quand une pierre est dressée, il faut la frotter d'un bout à l'autre avec un morceau de pierre-ponce préalablement uni à la lime, et que l'on mouille de temps en temps. Il faut, avant de poncer, laver la pierre, afin qu'il ne reste aucun grain de sable, autrement elle serait rayée ; et il faudrait recommencer.

« *Grainage.* Après que l'on s'est assuré, au moyen d'une règle servant de niveau, que la pierre est droite, il faut prendre du sable passé dans un tamis, très fin, que l'on saupoudre bien également sur la pierre ; on le mouille avec une éponge que l'on exprime avec la main. Le reste de l'opération s'exécute comme pour le dressage, en ayant soin seulement de ne pas appuyer sur la pierre qui est dessus.

« On use trois sables (plus ou moins) : les deux premiers jusqu'à ce que les pierres restent adhérentes, pour étendre le gros grain occasionné par le grès, et le dernier un peu moins, selon la qualité que l'on veut donner au grain.

« Après avoir lavé les pierres avec de l'eau très propre, on les met égoutter dans un endroit où elles ne puissent recevoir de taches, et, lorsqu'elles sont bien sèches, on passe sur la surface grainée une brosse en blaireau pour en faire disparaître les grains de sable ; puis à l'aide d'une loupe, on regarde si le grain est aussi fin qu'on le désire. S'il en est ainsi, on pose sur les pierres une feuille de papier de soie, une autre de papier gris ; et on les enveloppe soigneusement jusqu'au moment de leur emploi, en évitant de les déposer dans un endroit humide.

« *Effaçage des pierres dessinées.* L'effaçage des dessins diffère peu du mode de dressage ; mais il est très important de les bien effacer, surtout si elles sont destinées à recevoir un dessin au crayon ; faute de cette précaution, l'ancien travail reparaîtrait sous le nouveau et le dessin serait perdu.

« Il faut, pour éviter cet accident, continuer d'effacer jusqu'à ce qu'on ne voie plus de traces de l'ancien dessin ; il n'est pas rare d'user de trois à quatre grès avant d'obtenir ce résultat, car, tant que l'on voit sur la pierre la marque du dessin, comme une tacheblanche, c'est signe qu'il n'est pas effacé parfaitement.

« L'essence de térébenthine qui dissout l'encre, sert à faire disparaître les faux traits ; mais elle n'est pas toujours suffisante. » (Extrait du *Manuel de l'Imprimeur-lithographe*, par Auguste Bry).

2° ENCRES ET CRAYONS LITHOGRAPHIQUES, *leur composition.* — Nous avons déjà décrit (voyez ENCRE) la composition et le mode de fabrication de l'encre lithographique de M. Lemercier, en y joignant des observations, dans le but de guider les idées théoriques et pratiques sur le choix et l'emploi des matières ; mais cette encre n'étant bonne que pour l'usage du pinceau, nous indiquerons quelques compositions nouvelles, dont la manipulation, du reste, est exactement la même que pour celle que nous avons décrite.

Composition de l'encre lithographique, publiée dans le Manuel de M. Auguste Bry, 1835, page 44 : 93 gram. de savon animal ; 125 gram. de cire vierge ; 62 gram. de suif de mouton ; 93 gram. de gomme laque blonde, ajouter du noir de fumée calciné, en poudre, jusqu'à ce qu'elle soit bien noire.

Cette encre se délaie à chaud ou à froid, mais préférablement à chaud.

Composition de l'encre de M. Desmadryll aîné, dessinateur lithographe au ministère de la guerre, décrite par feu Engelman père dans son Traité complet de la Lithographie, 1842, page 249 : 40 parties de cire vierge pure, ou à son défaut de cire jaune, 10 p. de mastic en larmes ; 28 p. de gomme-laque ; 22 p. de savon blanc ; 9 p. de noir de fumée léger.

Encre lithographique de MM. Chevalier et Langlumé (voir leur Manuel, 1838, page 57) : 4 parties de cire ; 4 p. de suif de mouton ; 4 p. de savon ; 3 p. de gomme laque ; noir pour colorer suffisamment.

CRAYONS LITHOGRAPHIQUES, *leur nature et leurs propriétés.* — Dans son Traité de Lithographie, édition 1834, M. Tudot a publié une bonne recette de crayons, comme étant celle de M. Lemercier. Cette recette, qui a été transcrite depuis dans le Manuel de Lithographie de MM. Chevalier et Langlumé, p. 223, est la suivante :

32 parties de cire jaune ; 4 p. de suif épuré ; 24 p.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de savon blanc ; 1 p. de sel de nitre ; 7 p. de noir calciné et tamisé.

M. Tudot ajoute : « M. Lemercier a admis le sel de nitre dans son crayon sur l'avis qui lui en a été donné ; l'auteur de cette innovation est resté inconnu. » M. Engelman père prétend que le premier emploi du sel de nitre a été fait dans son établissement ; que la recette du crayon Lemercier est la sienne, et qu'elle lui a été communiquée, sans doute, par quelqu'un de ses élèves.

Certes nous ne pouvons pas dire le nom de celui qui eut le premier l'idée d'employer le sel de nitre dans la composition du crayon, mais d'après les règles établies en pareille matière, le mérite de l'invention ou plutôt de la publication appartient à M. Lemercier. Nous pouvons même affirmer que M. Engelman n'a pas dit un mot de l'emploi du nitre dans les diverses éditions de son Manuel de Lithographie, publiées en 1823, 1824 et 1831. Seulement dans son Traité complet de Lithographie, publié en 1842, c'est-à-dire trois ans après sa mort, Engelman a commencé à donner quelques recettes relatives à l'art, mais de son vivant il n'a jamais rien dit de bien positif sur les procédés techniques de la lithographie.

Nous citerons cependant, comme lui appartenant en propre, la note suivante, qui explique l'action du sel de nitre sur les corps gras qui composent le crayon lithographique :

« Quelques personnes mettent dans leurs crayons de la potasse, ou même encore de la soude. Dans nos ateliers, nous préférons le sel de nitre (salpêtre ou chimiquement parlant, nitrate de potasse), parce qu'il donne aux crayons plus de dureté que la soude. Comme on le met dans la matière, lorsqu'elle est parvenue à une haute température, ce sel se décompose et cède sa potasse aux acides gras pour achever de les saponifier, tandis que l'acide nitrique, se décomposant, a abandonné une partie de son oxygène aux corps gras, a contribué encore à les faire passer à l'état acide, et les a rendus plus facilement saponifiables. De plus, une partie de l'eau qu'on introduit dans ce mélange, après la première et la plus forte flamme, y reste combinée, et donne aux crayons une élasticité qu'ils n'auraient pas sans ce mélange. »

Fabrication des crayons (recette de MM. Lemercier et d'Engelman). « Le feu étant plus aisé à conduire quand la quantité des matières est de plusieurs hectogrammes, on réussira mieux en prenant par 31 gram. les proportions déjà rappelées ; cependant, avec de l'attention, on pourra opérer sur une quantité moindre. Supposant ces parties par hectogrammes, il faut une casserole en cuivre ou en fonte, de 40 centimètres de diamètre et de 15 centimètres de profondeur environ ; il est nécessaire qu'elle ait son couvercle dont on se sert pour éteindre le feu après l'avoir mis au produit ; on doit encore avoir une spatule en fer pour agiter la masse ; on coupe par petits morceaux le savon pour en hâter la fusion. Le sel de nitre doit être, avec la proportion d'eau, dans une petite casserole, pour être mis sur du feu lorsque l'opération sera commencée.

« Les préparatifs faits, on allume du charbon, et on commence par faire fondre dans la casserole la cire, puis le suif ; ensuite on jette peu à peu le savon coupé très mince ; il ne faut pas en mettre beaucoup, car l'eau que contient le savon nouveau cause une tuméfaction qui ferait répandre une partie de la matière, si on le mettait trop précipitamment (1) ; il faut donc en mettre peu, et avec une spatule de fer agiter continuellement, de manière à faciliter la fusion. Lorsqu'elle est complète, on remue plus doucement ; l'agitation est nécessaire pour rendre la chaleur égale dans toutes les parties de la masse ; en allant vivement, on diminue sensiblement cette chaleur, et en allant doucement on la laisse augmenter. Lorsqu'une fumée blanchâtre succède à la fumée grise qui se dégage pendant la fusion du savon, on retire la casserole du feu, puis on commence à verser la dissolution de nitre. Quelques minutes avant, on a dû mettre l'eau nitrée sur un peu de feu, afin de l'avoir bouillante au moment de s'en servir ; on a une cuillère à café pour prendre de la dissolution dans la petite casserole qui la contient : on commence par en laisser tomber quelques gouttes sur la matière ; il s'opère une tuméfaction : on continue à verser goutte à goutte, puis progressivement on en laisse tomber davantage, et enfin on augmente jusqu'à ce que le tout soit versé. Il est très important de prendre ces précautions pour faire entrer la dissolution dans la masse, car, si on mettait tout à la fois, cela produirait une explosion qui lancerait la matière de tous les côtés si l'eau était froide, et lorsqu'elle est chaude la tuméfaction peut faire répandre tout le produit.

« La dissolution versée, la tuméfaction vient quelquefois jusqu'au bord de la casserole, suivant le degré de la chaleur où était la matière lorsqu'on a fait cette addition d'eau nitrée. Plus il est élevé, plus le gonflement est grand et mieux la dissolution s'incorpore. On remet ensuite la casserole sur le feu, et avec une spatule on bat la mousse qui s'est formée pour la faire diminuer ; la chaleur agissant à son tour, la matière redescend à son premier niveau ; on fait chauffer le produit jusqu'à ce qu'en approchant l'extrémité d'un fer que l'on a fait rougir au feu la matière s'enflamme. Quand elle a pris feu, on ôte la casserole de dessus le réchaud et on la laisse brûler une minute : alors on couvre la casserole avec son couvercle pour éteindre la flamme et empêcher que la température ne s'élève trop ; immédiatement après, on lève le couvercle et on laisse la fumée se dégager, puis en agitant la masse avec la spatule, le feu reprend ; s'il ne reprend pas, il suffit d'approcher de nouveau le fer rouge. Supposant par 31 grammes chacune des parties des proportions ci-dessus indiquées, on laisse brûler encore pendant deux minutes, et on éteint la flamme. Si à la surface du produit il restait une espèce d'écume, il faudrait faire brûler encore une minute ; mais quand le mélange a été bien fait et la chaleur bien soutenue, trois minutes sont suffisantes, et la pâte du crayon est moins cassante que lorsqu'on a laissé brûler plus longtemps. Quand on opère sur une quantité moins forte que celle précitée, on doit réduire proportionnellement la durée de cette combustion, et surtout étouffer le feu plus souvent pour éviter une trop haute élévation de température, qui, en ne permettant pas d'éteindre la flamme, carboniserait une grande partie du produit. Ayant éteint la flamme et ôté le couvercle, on laisse refroidir le tout quelques secondes ; alors on ajoute le noir en le faisant tomber peu à peu et le délayant avec la spatule jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de grumeaux ; le noir étant bien mêlé, on remet la casserole sur le feu ; et lorsque la pâte est ramenée à l'état liquide, on la laisse cuire quinze minutes environ.

« C'est ici particulièrement qu'il faut de l'habitude pour diminuer ou augmenter la durée de cette cuisson suivant l'activité du feu ; car la différence du feu lent à un feu vif, pendant toute l'opération, nécessite un changement à ces données. Deux ou trois minutes avant la fin de la cuisson, on met fondre dans cette nouvelle pâte les bavures qui restent chaque fois que l'on coule des crayons. Un fait singulier est que cette ancienne pâte, ajoutée à la première qui cuit, lui donne une qualité moins cassante que celle qu'elle a lorsqu'on n'y a pas fait cette addition. Peut-être les bavures contiennent-elles de l'humidité prise après avoir subi la cuisson nécessaire, mais toujours est-il qu'elles lui donnent

(1) On éviterait jusqu'à un certain point cet inconvénient, en employant du savon très sec et réduit en poudre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un peu de l'élasticité qu'elles ont gagnée et que le crayon acquiert presque toujours avec le temps, et qu'il n'a pas lorsqu'il est récemment fait.

Quand cette addition est faite en agitant toujours, et qu'on a parfaitement mêlé cette ancienne pâte avec la nouvelle, on retire la casserole du feu et on agite la masse tout en la laissant un peu refroidir; alors on approche le moule (fig. 1469) (1) et on le coule en versant sur le milieu de toute son étendue; si ce moule est trop petit pour recevoir tout le produit, une seconde personne doit remettre la casserole sur un feu doux et l'entretenir à la chaleur convenable pour que la pâte ne refroidisse pas. Immédiatement après avoir coulé, on ajuste le dessus du moule, puis on exerce une pression pour former les crayons, et de suite on coupe avec un couteau les bavures de chaque côté du moule; on enlève le dessus, puis on dégage les crayons qui tiennent encore au moule par leur moitié inférieure; ils ne se dégagent facilement que lorsqu'on a coulé au degré de chaleur et au degré de cuisson convenables. Avant de couler les crayons, on peut avec la spatule faire tomber sur un morceau de verre quelques gouttes de pâte et essayer de l'enlever pour voir si elle tient au verre; dans le cas où elle tiendrait, on élève le degré de chaleur jusqu'à ce que la pâte puisse prendre feu; on laisse brûler quelques secondes; et ayant éteint la flamme, on attend que la masse soit refroidie jusqu'au degré convenable pour couler; il ne faut pas que ce degré soit trop abaissé, car alors le crayon se gerce et n'est pas lié dans toute sa longueur; et si la pâte est coulée à un degré trop élevé, le crayon devient poreux au même instant. C'est au degré convenable qu'il faut s'arrêter, et l'expérience seule peut le préciser. On peut frotter le moule avec du savon; mais le meilleur moyen est de couler au degré de cuisson et à la chaleur convenables, alors les crayons s'enlèvent aisément. On a vu que les coulées doivent se succéder promptement.

Si le noir n'a pas été bien délayé, la pâte est grumeleuse et il faut la faire refroidir; alors elle se mêle beaucoup mieux. Plusieurs fabricants emploient ce moyen pour rendre la pâte très fine. Ils la font peu cuire d'abord, la laissent refroidir complétement et la font refondre ensuite; ce moyen est très bon (extrait du *Traité de Lithographie*, par A. Tudot).

Moulage des crayons. Le moule (fig. 1469) se compose de deux pièces ou jumelles de bois ou de cuivre fondu, jointes par une charnière fixée avec des vis. Ces deux jumelles portent des cavités ou rigoles juxtà-posées, qui ont chacune le diamètre du crayon qu'on veut avoir; la jumelle inférieure est armée d'un boulon à vis, et celle supérieure est terminée par une poignée.

Avant de couler les crayons, on fixe de chaque côté du moule une petite règle de bois que l'on assujettit au moyen de deux clous à crochets. Ces petites règles sont destinées à retenir la matière lorsqu'on la verse dans le moule; elles doivent avoir un peu de jeu pour laisser échapper l'air et l'excédant de la matière coulée, que l'on presse fortement pour augmenter son homogénéité et sa densité.

En 1838, M. Fichtenberg a publié dans le journal *le Lithographe*, page 297, un nouveau procédé de fabrication des crayons lithographiques, qui peuvent être moulés, dit-il, de plusieurs manières :

1° On se procure un petit châssis en cuivre de 5 à 15 centimètres de longueur sur 8 centimètres de largeur, et de 6 à 7 millimètres d'épaisseur; on place ce cadre sur une planche unie et recouverte d'une toile fine ou d'un taffetas; on le remplit de composition que l'on bat avec un maillet pour l'entasser convenablement, c'est-à-dire pour la rendre exempte de soufflures, puis on unit la surface avec la lame d'un couteau; enfin, on repousse la matière hors du châssis avec une planchette de la même dimension. Les tablettes sont ensuite divisées en crayons à l'aide d'une lame mince, ou bien avec un fil de laiton très fin :

2° Au lieu de châssis, on peut dresser la pâte entre deux planches dans une presse, jusqu'à ce qu'elle ait l'épaisseur désirable; on en forme ensuite des crayons de longueur assez irrégulière, il est vrai, mais d'une matière très compacte. Les crayons moulés par ces deux manières sont carrés; il serait trop long de les arrondir.

La troisième manière est extrêmement ingénieuse, et le moulage se fait avec une grande rapidité. L'appareil consiste en un cylindre; le corps du cylindre est en cuivre, d'environ 30 centimètres de longueur sur 8 à 10 centimètres de diamètre intérieur. Un chapeau de même métal est vissé solidement à une extrémité. Ce chapeau retient une petite plaque, percée d'un trou de la grosseur que l'on veut donner au crayon.

On emplit ce cylindre de la pâte à crayon, que l'on a pressée au moyen d'un piston à vis que l'on meut à l'aide d'une manivelle ou d'un moulinet. Le piston se visse dans un écrou fixé sur un établi, et maintenu à un écartement fixe du cylindre au moyen de forts crampons en fer. La pâte est bientôt refoulée dans le chapeau, de manière que le crayon se moule en passant par cette sorte de filière. On reçoit les crayons sur une tablette en les maintenant avec les doigts. On les dispose ainsi sur la tablette, où, après les avoir bien égalisés, on les coupe de la longueur que l'on veut.

Mais M. Fichtenberg n'a pas dit, et M. Desportes lui-même, rédacteur en chef du *Lithographe*, n'a pas ajouté que ces trois manières de mouler les crayons étaient déjà connues et employées depuis longtemps dans la fabrication des crayons noirs (voir les *Brevets expirés* de Conté, et le *Manuel du papetier*, par Julia de Fontenelle et Poisson, 1828, pages 213 et suivantes).

Disons aussi qu'à l'aide du troisième moule à cylindre on obtient des crayons défectueux, tortus et très cassants; que la première manière est la seule employée aujourd'hui, et encore la meilleure, sinon la plus prompte.

Propriétés et qualités d'un bon crayon lithographique. D'après les compositions que nous avons données ci-dessus, et surtout d'après les résultats de l'expérience et de la pratique, il résulte que le meilleur crayon peut être considéré comme composé de trois parties essentielles, et susceptibles de bien s'unir ensemble en proportions définies :

1° D'une partie savonneuse ou grasse propre à pénétrer et à se fixer sur la pierre lithographique, et à former avec elle un savon calcaire susceptible d'attirer et de retenir l'encre d'imprimerie. Engelman dit donc avec une certaine raison, qu'il faut éviter d'employer le savon ou la dissolution de gomme-laque partout où on peut s'en passer, parce qu'elle ne se combine pas avec la pierre calcaire, et ne forme pas avec elle de savon calcaire;

2° D'une substance grasse, compacte, qui lui donne du liant, de la solidité, pour qu'on puisse le tailler finement sans le rompre, ni le casser, et assez de fermeté, afin que la pointe puisse résister à la pression de la main quand on dessine;

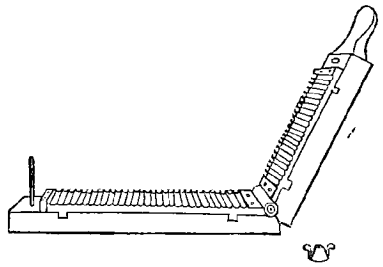
3° Enfin d'une matière colorante noire, en quantité suffisante, afin que le dessinateur puisse juger de l'effet de son dessin, et que ce dessin soit rendu identiquement par l'impression.

Aussi, dit Engelmann, lorsque dans le crayon la pro-

(1) M. Engelman s'attribue à tort (voir son *Traité complet de la Lithographie*, 1842, page 243) l'invention de ce moule, que le célèbre Conte employait déjà au commencement de ce siècle pour former des crayons cylindriques noirs. D'autres l'accordent à M. Brisset père, qui est un constructeur habile, mais exécutant généralement d'après les modèles connus.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

portion des parties graisseuses est trop forte, relativement à la quantité de matières colorantes, l'épreuve vient au tirage plus noire que le dessin ne paraît sur la pierre. Si, au contraire, il y a plus de noir, le dessin présente une épreuve plus pâle.



1469.

Mais, d'après les confidences qui nous ont été faites par M. Philippon, fondateur du *Charivari*, on peut parvenir à faire avec un seul corps gras acide des crayons d'une bonne qualité, toujours semblables, possédant l'avantage d'être peu sensibles à l'influence de l'humidité, comme à celle de la chaleur, et de résister plus fortement à la préparation de la pierre par la dissolution d'eau gommeuse et acide. Nous dirons même que cet artiste distingué compose pour ses besoins personnels des crayons excellents, qui ne contiennent ni suif, ni cire, ni résine, ni savon. Ce fait, qui renverse toutes les théories ou conjectures existantes, peut guider l'opinion sur le choix des matières à employer, et épargner ainsi des essais coûteux à ceux qui voudraient faire des recherches pour perfectionner les crayons.

3° LAVAGE DE LA PIERRE AVEC UNE SOLUTION D'EAU DE GOMME ET D'ACIDE. — *Composition décrite par M. Tudot* : 20 parties de gomme du Sénégal dissoute à froid dans 75 à 80 parties d'eau distillée, ou, à son défaut, d'eau clarifiée ; une partie d'acide nitrique à 34°. On applique cette composition sur la pierre avec un pinceau de putois, dit *queue de morue*.

Manipulation. « On fait fondre la gomme dans l'eau; et, quand la dissolution est complète, on la fait passer au travers d'un linge fin. Cette solution, ainsi préparée, doit marquer 10° environ au pèse-acide de Baumé. Si le degré est plus élevé, on ajoute de l'eau ; et, s'il est moindre, on ajoute de la gomme.

« On verse, dans cette solution, la partie d'acide nitrique qui doit augmenter sa densité d'un degré de plus que celui donné par l'eau de gomme seule.

« Cette préparation se conserve peu de temps sans altération, et le plus prudent est de ne faire le mélange que quelques heures auparavant de s'en servir. En outre, avant de verser l'acide dans l'eau gommée, il faut s'assurer, avec du papier de tournesol, si elle n'est pas un peu acide ; et, dans ce cas, on recommencerait à faire d'autre eau de gomme non acide. Si on fait chauffer l'eau pour activer la solution, il est important de la laisser ensuite refroidir ; car, la chaleur diminuant la densité de la liqueur, on s'exposerait à commettre quelque erreur, surtout si le refroidissement avait lieu dans l'intervalle de la pesée de l'eau gommée et de celle de l'acide. Le refroidissement ayant augmenté la densité de la solution de gomme, on pourrait attribuer à l'addition d'acide l'augmentation qui serait causée par le refroidissement. »

Autre préparation qui ne s'altère pas. 125 grammes de gomme arabique ; 500 grammes d'eau distillée ; 25 grammes d'acide hydro-chlorique.

M. Ridolphi, imprimeur lithographe à Turin, emploie tout simplement une légère dissolution de nitrate de chaux parfaitement neutre. Ce sel liquide jouit de la propriété de décomposer le savon contenu dans l'encre ou dans le crayon, sans exercer aucune action sur la pierre, et il n'endommage nullement le dessin qu'on y a tracé.

M. Ridolphi prépare le nitrate de chaux dont il fait usage, en mettant dans de l'acide nitrique du commerce des éclats de pierres lithographiques, en continuant d'y en ajouter jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'effervescence, étendant ensuite le liquide avec de l'eau de puits, filtrant et conservant la liqueur pour l'usage.

Préparation de MM. Chevalier et Langlumé. On prend 187 gram. de chlorure de calcium sec que l'on fait fondre dans 593 gr. d'eau ; on passe la solution à travers un filtre de papier gris. Lorsque la liqueur est passée, on y ajoute un mucilage de gomme arabique fait avec 125 gram. de gomme en poudre, et on mêle. Lorsque le mélange est complet, on y ajoute 31 gram. d'acide hydro-chlorique pur. On conserve ensuite dans des bouteilles de verre.

Voici les avantages que les auteurs ont cru reconnaître dans l'emploi de cette préparation : « 1° elle offre, disent-ils, une certitude que la préparation à l'acide nitrique n'offre pas, puisque le lithographe même le plus exercé n'emploie cette dernière qu'avec une juste défiance. 2° Répandue à l'aide d'un pinceau, elle prépare également, et d'une manière uniforme, toutes les parties de la pierre ; n'étant pas saturée au moment où on l'applique, elle agit avec la même énergie sur toutes les parties de la surface, et son action est égale. 3° Elle peut être employée avec autant de facilité sur les grandes pierres que sur les petites. 4° Elle n'exige pas que la pierre soit retournée, ensuite immergée à l'aide d'une grande quantité d'eau ; opération désagréable, qui rend les ateliers insalubres, nuit à la conservation des planches et à la santé des ouvriers ; de plus, elle dispense encore de recouvrir la surface de la pierre d'une couche de gomme arabique, cette gomme faisant partie de la composition. 5° Les teintes les plus vigoureuses, de même que les plus légères, viennent également bien, lorsque les pierres ont été acidulées de cette manière. 6° Cette préparation peut être étendue sur les pierres avec la plus grande facilité, et l'opération peut être confiée même à un enfant, pourvu qu'il soit intelligent. 7° La pierre préparée reste constamment humide ; effet dû à ce que la préparation contient une grande quantité d'un sel déliquescent qui pénètre la pierre, et lui conserve pendant longtemps l'humidité indispensable.

« Cette propriété est d'un grand avantage ; car on a remarqué qu'une pierre qui sèche trop vite est plus difficile à encrer, et donne beaucoup plus de peine à l'imprimeur, forcé d'employer alors un noir d'impression plus dur. Coupée avec de l'eau gommée, la préparation devient encore d'un grand secours pendant l'été ; elle empêche la pierre de sécher et par-là prévient les difficultés que l'ouvrier rencontrerait pour tirer son dessin pur et d'un noir bien frais, difficultés que quelques imprimeurs lithographes cherchent à vaincre en employant des substances diverses (telles que l'urine, le vinaigre, l'acide nitrique, la salive, etc.) dont l'inconvénient est d'endommager souvent les dessins. La pierre, recouverte de préparation, rend au travail sa première fraîcheur ; il ne faut, pour cela, que la laisser reposer un quart d'heure après lui avoir fait subir cette opération. 8° Elle procure une grande économie ; car l'ouvrier, n'ayant pas besoin d'employer un noir aussi dur, obtient dans le même espace de temps, et sans être fatigué, un plus grand nombre d'épreuves beaucoup plus régulières (on a reconnu qu'il pouvait en tirer un tiers en plus). 9° Cette préparation sert encore à enlever des taches qui se seraient formées sur la pierre pendant l'impression, taches

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dues à ce que certains endroits ont été graissés par le crayon ou par la chaleur de la main. Ces taches paraissent au tirage et sont détruites par l'usage de la liqueur saline acide. »

Malgré tous ces avantages que nous n'avons pas été à même de constater jusqu'à présent, les plus habiles imprimeurs accordent la préférence à l'acide nitrique pour la composition du liquide destinée à la préparation des pierres dessinées.

Effets de la solution d'eau de gomme et d'acide ou d'un sel neutre soluble. — Déjà nous avons dit pourquoi on se servait de cette solution, dans le but ; 1° d'enlever au crayon et à l'encre l'alcali qu'ils contiennent, et de les rendre ainsi insolubles à l'eau ; 2° de rendre la pierre plus poreuse et susceptible de retenir l'eau avec plus de facilité.

L'eau acidulée par l'acide nitrique ou hydrochlorique, ainsi que la solution de nitrate de chaux ou de chlorure de calcium, avec ou sans addition d'acide, sont les solutions généralement employées ; chacune a une action différente sur la pierre. Ainsi le chlorure de calcium ou le nitrate de chaux agissent sur l'encre seule sans altérer la pierre. Les acides nitrique et hydrochlorique agissent tout à la fois sur l'encre et la pierre à laquelle ils donnent un grain particulier. Ils remplissent ce double but de décomposer l'encre ou le crayon, d'augmenter leur adhésion sur la pierre, et de déterminer en même temps la décomposition de cette dernière en donnant naissance à un composé particulier d'où résulte la solidité du dessin.

Les acides atteignent encore un autre but, que d'attaquer la pierre calcaire soumise à leur action, et de former à sa surface un poli grenu, des vacuoles qui retiennent l'eau gommée et facilitent ainsi l'application de l'encre d'impression et le tirage proprement dit. Ces effets, du reste, sont parfaitement définis dans un excellent mémoire de M. Houzeau, intitulé : *Aperçu chimique sur la Lithographie*, et publié dans le tome XII, page 174, année 1826, du *Journal de Pharmacie*. Nous engageons les personnes qui désirent s'instruire à le lire en entier.

« L'immersion de l'acide, dit M. Houzeau, a un but très important, c'est de mettre le dessin un peu en relief, et surtout de changer la surface de la pierre calcaire en nitrate, et de la rendre ainsi imperméable aux corps gras. En effet, quelque soluble que soit le nitrate de chaux, il en reste cependant une couche mince intimement unie à la pierre. Cette couche est très lisse ; et si, lorsqu'elle est légèrement humide, on la touche avec un corps gras, elle n'est pas tachée ; tandis qu'une surface de carbonate de chaux, placée dans les mêmes circonstances, absorbe ce corps avec beaucoup de facilité. C'est une propriété qu'on observe à chaque instant dans la pratique lithographique ; car si l'on gratte une portion de la pierre préparée, et qu'on oublie d'y passer de nouveau l'acide nitrique, on voit cet endroit, quelque bien mouillé qu'il soit, prendre le noir d'impression et salir les épreuves. Les acides sulfurique et hydrochlorique agissent à peu près de même, mais l'acide nitrique est préférable, parce que le sel qu'il forme étant plus soluble que le sulfate et moins que le chlorure, laisse sur la pierre une couche suffisamment épaisse, tandis que le chlorure serait enlevé en entier, et que le sulfate, n'adhérant que très faiblement à la pierre, s'en détacherait par l'action de la presse et du rouleau et laisserait à nu le carbonate calcaire. »

Suivant l'explication donnée par Senefelder et rappelée depuis par M. Tudot, comme la pression, agissant perpendiculairement sur les traits du dessin, tend à écraser l'encre et à l'étendre au-delà du point où elle est fixée par l'impression, la gomme seule s'oppose à ce que l'extension de l'encre aille progressivement ; et, s'il n'y avait pas de gomme, après quelques épreuves, le dessin aurait perdu toute sa pureté, en admettant même qu'on ait pu l'encrer, ce qui exigerait beaucoup de talent. La gomme est retenue mécaniquement dans les pores de la pierre par leur capillarité ; lorsque, après les épreuves d'essai, on gomme de nouveau, elle remplit les pores agrandis et colore en jaune la surface de la pierre.

« Enfin, le mélange d'acide et de gomme a l'avantage de retenir l'acidulation sur les parties foncées, au lieu que sans ce moyen la graisse repousse constamment l'acide, ce qui s'oppose à son action sur ces parties, et expose à aciduler trop fortement les parties claires. Un fait bien observé est que l'acide nitrique agit avec énergie sur la pierre, et qu'il faut, pour que cette action ait lieu, qu'elle soit prolongée quelque temps ; mais soit que cet acide neutralise complétement la partie superficielle du crayon sur laquelle il peut agir, soit qu'il n'agisse pas sensiblement, il ne présente aucun inconvénient sur ce point ; son action sur la pierre n'étant pas simultanée, on a le temps d'étendre la préparation sur toute la surface du dessin, la solution de gomme diminuant sa fluidité, l'empêche de pénétrer profondément dans les pores de la pierre, rend son action superficielle, et par conséquent meilleure. C'est donc cet acide que l'on doit employer. »

4° ENCRE D'IMPRESSION. Sa composition est : huile de lin brûlée, et noir de fumée ou de résine calcinée (voyez ENCRE D'IMPRIMERIE).

Nous n'insisterons pas davantage sur cette matière qui est décrite suffisamment, page 1340, mais nous persistons toujours dans l'opinion que nous avons émise précédemment, sur le mode de fabrication d'une bonne encre d'impression, composée de suif, de résine, de baume-résine, de cire, de savon de résine, etc., qui sèche ou se carbonise beaucoup moins que l'huile de lin cuite.

Nous sommes conduits à cette conclusion, en examinant les effets de l'influence réciproque de l'air et de l'huile ; quand on imprime, les résultats de ces effets sont de plusieurs sortes, et très pernicieux. Le premier résultat est que l'encre d'imprimerie ordinaire, qui est un composé d'oxygène, d'hydrogène et de carbone a une tendance naturelle à se combiner avec l'oxygène de l'atmosphère, et à former promptement, lorsqu'elle est étendue en couche mince, une combinaison particulière, une résine plus ou moins noire et dure, qui perd plus ou moins son affinité pour les corps gras ; de là vient la difficulté que l'imprimeur éprouve souvent pour prendre l'encre d'impression sur la table au noir et la distribuer également et uniformément sur le dessin.

Le second vice se retrouve à un haut degré dans l'impression des lithographies en couleurs. Ainsi, la couleur jaune du vernis altère et modifie la nuance et la vivacité de certaines matières colorantes. On peut faire, sans doute, un vernis gris-blanc, en y ajoutant après la cuisson, du chlorure de zinc, de chaux ou une petite quantité de lait de chaux ; mais ce vernis offre d'autres inconvénients dans la pratique, par exemple, celui de s'étendre, de se distribuer difficilement sur le rouleau d'encrage, et sur la pierre, etc. Il détruit les couleurs végétales.

Les oxydes de plomb, de fer surtout, mélangés avec l'huile, se désoxydent au contact de l'air et prennent différentes teintes noirâtres. Les couleurs composées d'acide carbonique ou de chaux, et d'un corps métallique, le chrôme, la cendre bleue ou verte, par exemple, forment avec l'huile un savon métallique, et les substances perdent la plus grande partie de leur couleur. Le bleu d'outre-mer factice mêlé avec l'huile prend une teinte terne et plus foncée.

DE LA ZINCOGRAPHIE. Senefelder a fait de nombreux essais pour remplacer la pierre lithographique par des planches de zinc, d'un emploi beaucoup plus commode, surtout pour l'autographie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'impression sur zinc n'est peut-être pas aussi facile et aussi certaine que sur les pierres lithographiques, et c'est là son principal défaut, auquel on remédiera sans doute, mais il présente les avantages suivants :

1° Prix d'achat 5 fois moindre que celui des pierres de Munich, premier choix, et 3 fois moindre que celles de Châteauroux, premier choix.

2° Grain plus dur, plus serré, et par conséquent plus facile à l'exécution et plus résistant à l'acidulation et à la pression.

3° Résistance au choc et à la chaleur.

4° Transport facile et beaucoup moins fatigant pour l'ouvrier.

5° Vente certaine et valeur réelle que l'on peut réaliser sur l'heure au prix de 20 fr. à 30 fr. les 100 kilogrammes, c'est-à-dire avec une perte de 20 à 30 pour 100; tandis que la valeur de la pierre est fictive et d'une réalisation difficile.

6° Les planches de zinc exigent la centième partie de l'emplacement que nécessite le classement des pierres lithographiques.

7° Elles exigent moins d'embarras, moins de soins et de précautions de la part des ouvriers pour garantir les dessins des ravages du temps et de l'humidité.

Choix et propriétés du zinc laminé et propre à imprimer. — On trouve dans le commerce du zinc laminé de deux qualités différentes que l'on distingue sous les noms de *zinc dur* et *zinc mou* (effets dus à la fusion, au recuit et au refroidissement au contact de l'air froid). Le zinc dur doit être préféré pour l'impression, et on le reconnaîtra facilement par le *bruissement aigu* et sonore qu'il rend lorsqu'on lui fait éprouver des *oscillations saccadées*.

Un dessin fait sur zinc mou ne donne que des épreuves faibles ; peu à peu le trait graisseux disparaît *ou se dépouille* comme sur la pierre tendre.

Le prix modique de ce métal doit le faire préférer à tous les autres (cuivre jaune, bronze, cuivre rouge) qui présentent, d'ailleurs, une densité plus considérable et qui exigeraient encore une main-d'œuvre et une préparation plus coûteuses.

En tout état, le zinc a de *l'affinité* pour les corps gras; lorsqu'il est poli, il est mouillé très difficilement par l'eau, mais, usé à sa surface simplement par le sable mêlé avec de l'eau, c'est-à-dire grainé, ou lorsqu'il a été attaqué par un acide faible ou affaibli par l'eau ou par un sel soluble, il se mouille presque aussi facilement que la pierre lithographique, et les aspérités dont il est couvert retiennent les particules liquides.

Sa *dureté* est plus grande que celle de la pierre, elle augmente lorsqu'il a été écroui et laminé, et son grain est surtout bien différent; il est plus serré, plus distinct et plus uni.

On diminue et on corrige en partie les défauts de compressibilité, de ductilité, de flexibilité, de dilatabilité et de contractilité du zinc laminé en doublant l'une de ses surfaces, préservée, au besoin, de l'oxydation, par une couche d'une dissolution concentrée de tannin, avec plusieurs feuilles de papier ou de carton que l'on fixe avec de la colle de pâte, ou mieux de la colle au fromage ou de la céruse ; on dresse ensuite les surfaces et on régularise les épaisseurs en les soumettant successivement sur toutes les dimensions à l'action d'une presse à imprimer ou d'une machine plus puissante. On évite encore l'oxydation du zinc en le couvrant d'un corps gras non acide.

On augmente l'attraction du zinc pour les corps gras, l'eau et les liquides mucilagineux, en usant et en attaquant sa surface à l'aide d'un grainoir en zinc dont la surface frottante est composée de plusieurs rainures qui se coupent à angles aigus avec du grès fin tamisé et de l'eau mêlés avec un peu de dextrine et de carbonate de potasse ou de l'essence de térébenthine, qui a pour effet de diviser les particules et de les empêcher de rayer le métal. On forme ainsi sur sa surface des *vacuoles*, des *grains*, des *aspérités* aiguës, fines et uniformes qui facilitent le travail de l'écrivain ou du dessinateur et qui retiennent très facilement les corps gras et les liquides.

On plonge la feuille de zinc, après l'avoir dégagée de toute malpropreté, dans de l'eau de chaux ou autre dissolution alcaline (carbonate de potasse, de soude ou d'ammoniaque) qui décompose complétement le fer et facilite, au contact de l'air, l'oxydation et la combinaison du plomb qui est contenu dans le zinc. On lave la planche à grande eau, on l'essuie avec un linge, et on la fait sécher très promptement en la plongeant dans de la sciure de bois blanc légèrement chauffée.

Manière de préparer la planche de zinc dessinée. — On prépare l'empreinte de l'écriture à l'encre et du dessin au crayon faite sur le zinc, par un lavage superficiel à l'eau saturée de chlorure de zinc ou d'un acide affaibli (nitrique, hydrochlorique, phosphorique) qui le rend insoluble, décape la portion non dessinée du métal et enlève l'oxyde qui la recouvre.

On lave ensuite la planche dans l'eau claire et on l'enduit aussitôt, avec un pinceau de putois, dit queue de morue, d'une décoction tiède et concentrée de noix de galle qui se fixe sur les parties qui n'ont point été dessinées, qui contracte avec elles une adhésion, une cohésion intime. Cette couche insoluble de tannin garantit le zinc du contact immédiat de l'eau et le rend plus susceptible de recevoir, sans altération sensible, l'eau et les liquides mucilagineux.

Pour imprimer proprement, et pour éviter ce qu'on appelle en terme d'imprimerie l'*empâtage* ou l'*empâtement*, il est essentiel de mouiller la planche convenablement, ni trop, ni trop peu, à l'aide d'une éponge fine, avec de l'eau rendue un peu visqueuse par la dextrine blonde, à laquelle on a ajouté un peu d'alcool pour la disposer à la dissolution.

La grande difficulté, nous le répétons, est de passer le rouleau d'impression sur toute la surface du dessin, de manière que l'encre ne s'attache qu'aux traits. On y arrive, cependant, avec un peu de pratique et de précaution. Une amélioration utile serait, nous le croyons, de recouvrir le rouleau d'une couche très légère de caoutchouc, et d'employer surtout une encre spéciale, comme nous l'avons dit précédemment, dans laquelle il n'entrerait que peu ou point d'huile cuite. Nous avons fait des essais qui nous permettent de prédire des résultats avantageux à qui voudra bien nous comprendre.

Le 4 juin 1834, M. Brugnot, géographe, a pris un nouveau brevet d'invention de quinze ans, pour un moyen de remplacer la pierre lithographique par le zinc. Ce brevet est exploité aujourd'hui par M. Kœpplin, imprimeur lithographe à Paris ; mais le seul procédé susceptible d'être breveté, ne peut consister que dans la formule ou composition propre à préparer ou aciduler le zinc.

A la rigueur, l'invention de cette composition, qui n'est autre chose que le résultat de la combinaison des trois acides (gallique, nitrique, hydrochlorique), peut être contestée à M. Brugnot, puisque M. Tudot avait dit, avant lui, en indiquant le mode de la préparation des pierres : « On essaiera les combinaisons d'acides, car les acides peuvent se combiner entre eux sans s'altérer, et donner naissance à de nouveaux acides doués de propriétés particulières. »

Il y a quelques années, M. Laurent, sous-préfet de Neufchâteau (Vosges), a imaginé un moyen tout différent de celui qu'on employait jusqu'à ce jour pour préparer ou aciduler le zinc, et le rendre propre à imprimer un grand nombre d'épreuves autographiques.

Il s'avisa, avant de transporter l'empreinte de l'au-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tographie, de laver la planche de zinc poncée avec de l'eau légèrement saturée d'acide hydrochlorique, de manière que cette dissolution marquât 2 à 3° à l'aréomètre. Il lavait cette planche à plusieurs eaux, l'essuyait bien avec un linge propre et doux et la faisait sécher promptement. Ensuite il transportait l'autographie par les procédés ordinaires; il acidulait et lavait de nouveau la planche de zinc, puis il la recouvrait d'une couche de gomme non acide et la faisait sécher devant un feu doux. Après cela, il imprimait comme à l'ordinaire.

Nous avons appris ce procédé par l'employé lui-même qui opérait la préparation et les tirages, et qui nous a affirmé qu'il avait imprimé avec facilité jusqu'à 3,000 circulaires, suivant le besoin du service administratif.

Il est facile de comprendre le but de l'acidulation préparatoire, qui a pour effet : 1° d'enlever et de dissoudre l'oxyde qui recouvre la surface du zinc, de se combiner avec lui pour former un chlorure de zinc soluble; 2° de décaper le zinc en attaquant sa surface, et produisant des cavités qui reçoivent et retiennent plus facilement les corps gras.

Emploi d'une planche de cuivre plané, et doublée d'une seconde planche de zinc laminé. L'assemblage de ces deux planches forme un véritable couple voltaïque, qui est très propre à l'impression lithographique, comme nous l'avons expérimenté nous-même.

La première idée de cette application appartient à M. Legey, ingénieur-opticien, qui a adressé ses premiers essais à la Société d'encouragement en 1833 (voir le *Bulletin* de cette Société, décembre 1834). Nous avons fait imprimer sous nos yeux, en 1840, un millier d'exemplaires sur une pareille planche qui avait été disposée par M. Legey lui-même dès 1834. Nous pouvons attester que les épreuves n'ont pas été inférieures à celles qu'on obtient journellement sur la pierre lithographique.

Manière de procéder : On prend une planche de cuivre planée, polie, et on la double d'une planche mince de zinc que l'on fixe, en retournant seulement les angles, sur la planche de cuivre, sans les souder, afin de conserver aux deux métaux la faculté de se dilater et de s'allonger sous la pression et selon la température.

On décape la surface du cuivre avec de la cendre de bois tamisée et délayée dans de l'eau, en frottant doucement, et toujours dans le même sens, avec un chiffon de linge ou d'étoupe. On essuie ensuite la planche avec un linge propre pour enlever la poussière qui, dans l'action du décapage, a sali sa surface; puis on décalque l'autographie, on l'acidule et on l'imprime par les procédés ordinaires.

L'effaçage de l'autographie s'opère avec de la cendre et de l'eau; mais on pourrait l'effectuer plus aisément et plus convenablement avec de la pierre ponce en poudre très fine et de l'essence de térébenthine : c'est un moyen que nous avons employé sur zinc et qui nous a réussi parfaitement.

Emploi des compositions pierreuses et calcaires. Senefelder avait pris un brevet, en 1819, pour diverses compositions de cette espèce; la Société d'encouragement lui a accordé, en 1820, une mention honorable, particulièrement pour cette invention (voir le tome XIX, p. 212).

Le 30 mars 1819, M. Joseph Guilloud et Laprevôte ont obtenu un brevet pour un procédé de fabrication d'une pierre factice pour la lithographie.

En 1838, M. Berhend a demandé un brevet d'invention, actuellement déchu, pour des pierres artificielles.

Nous donnons textuellement la composition d'après l'original du brevet lui-même, déposé au Conservatoire, et dont le titre seul est publié (voir la publication des Brevets expirés).

On prend : 1° caséine pure (la matière caséeuse du lait); 2° Albumine; 3° Céruse (carbonate de plomb); 4° Chaux vive; 5° Potasse ou soude caustique; 6° Sulfate de zinc ou de cuivre; 7° Alun cristallisé.

« On mêle toutes ces substances dans des proportions variables selon la dureté et la consistance que l'on désire donner à la masse pierreuse. On met une couche mince de cette masse sur une planche de zinc, de cuivre, d'étain ou sur une feuille de papier, et on la laisse sécher auprès du feu; ensuite on presse chaque planche qui est encore polie ou grenée. »

Nous empruntons au journal *le Lithographe* (4e année, page 226) la manière de traiter ces planches pour l'impression; mais le rédacteur en chef, M. Desportes, nous apprend que les détails lui ont été communiqués par M. Berhend lui-même.

« Lorsque le travail du dessinateur ou de l'écrivain est terminé, on fait subir un lavage d'alun à la planche, s'il y a eu des grattages pendant l'exécution. Ce lavage se fait en laissant la planche environ dix minutes dans un bain d'eau alunée, on la lave ensuite à grande eau, puis on l'acidule avec un peu d'acide hydrochlorique, étendu d'eau; c'est là le point le plus délicat et le plus important de l'opération, celui qui exige le plus d'expérience. Le degré de l'acide ne peut être indiqué que par le genre de travail confié à la planche artificielle; il faut tenir compte, 1° de la qualité de l'encre ou du crayon; 2° de la fermeté du dessin ou de l'écriture; le dessin à l'encre supporte une bien plus forte acidulation. On peut, par approximation, juger du degré de force de l'acide en en faisant tomber une seule goutte sur le bord de la planche; l'apparition de petites bulles, au bout de quelques secondes, indique généralement le degré nécessaire. C'est au praticien à estimer la rapidité du dégagement des bulles et de leur nombre suivant les circonstances. On ajoute à l'acide une dissolution de gomme arabique; on étend le mélange sur la planche et on le laisse ainsi trois ou quatre minutes.

« Après cette acidulation on lave la planche comme précédemment, et on la plonge dans une décoction de noix de galle contenue dans un vase assez étendu pour pouvoir la contenir tout entière. La planche reste dans ce bain deux ou trois heures; après, on la lave sans frottement, et on la couvre d'une forte dissolution de gomme arabique, à laquelle on ajoute une petite décoction d'acide gallique.

« Il est nécessaire que la planche reste dans cet état trois ou quatre heures.

« Pour encrer la planche artificielle de M. Berhend, on la fait tremper dans de l'eau; on l'essuie légèrement; on la pose sur une pierre lithographique calée dans la presse; on prend avec une éponge un peu d'essence de térébenthine et de l'encre d'impression délayées ensemble; on fait avec cette éponge de légères frictions sur la planche, jusqu'à ce que l'encre ou le crayon du dessin soit remplacé par l'encre de l'éponge. Pendant cette opération, il ne faut pas négliger de tenir de l'eau sur la planche; enfin, on passe légèrement le rouleau, et on tire les épreuves : la pression ne doit pas être forte, surtout pour commencer.

« Si la planche faisait mine de s'empâter, ce qui dénoterait une acidulation trop faible, il faudrait l'encrer à l'encre de conservation, et la couvrir avec la dissolution de gomme arabique mêlée à la décoction de noix de galle.

« Si, au contraire, le dessin prenait difficilement l'encre, défaut qui provient d'une acidulation trop forte, il faudrait le frictionner légèrement avec un morceau de flanelle ou de drap imprégné d'huile de pied de bœuf et d'encre d'impression. Pendant l'opération, il est essentiel de tenir la planche mouillée.

« Pour fixer ces planches sur la pierre pendant le tirage, on les enduit par derrière d'un mélange composé de parties égales de colophane, de térébenthine et d'esprit de vin. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la séance du 10 mai 1841, M. Kuhlmann, de Lille, a communiqué à l'Académie des Sciences un procédé pour la fabrication des pierres artificielles :

« On fait bouillir, dit-il, pendant deux heures, des tables de craie de 5 à 6 centimètres d'épaisseur dans une dissolution de silicate de potasse d'une densité de 1,15 à 1,20. La quantité de silice absorbée dans cette opération est celle qui se trouve dans le calcaire siliceux qui constitue la pierre lithographique naturelle, c'est-à-dire 5 à 6 pour 100 du poids de la pierre. L'auteur n'a pas indiqué le mode de préparation ou d'acidulation avant l'impression, et c'est là un point très important à connaître. Nous pensons, du reste, que cette préparation doit être un peu différente de celle qu'on emploie généralement sur la pierre; et, à l'appui de notre opinion, nous pouvons citer les essais infructueux qui ont été faits par des lithographes distingués, sur les pierres calcaires et siliceuses que M. Petit a découvertes dans la commune de Mirecourt, département des Vosges. »

ÉCRITURE ET DESSIN SUR PIERRE.

A la plume. On emploie généralement pour écrire et dessiner sur pierre des plumes faites avec une lame d'acier très mince que chaque artiste taille avec un canif et une paire de ciseaux. On dissout l'encre lithographique dans un godet avec un peu d'eau, comme on le fait pour l'encre de Chine. (Voyez ENCRE LITHOGRAPHIQUE).

Au crayon. Le dessinateur emploie pour manier le crayon des porte-crayons en cuivre pour les teintes vigoureuses; des porte-crayons en carton ou en roseau, ou même un cylindre de papier roulé autour du crayon, pour les demi-teintes.

Le dessinateur doit avoir aussi : 1° un grattoir pour rectifier les fautes qu'il peut commettre, enlever les *blancs vifs*, et nettoyer les marges de la pierre. Le grattoir doit être en acier; sa forme varie selon l'idée du dessinateur.

2° Une *pointe*. C'est un instrument destiné à enlever du noir dans des parties trop vigoureuses. Il doit être en acier et monté sur un petit manche; enfin, semblable en tout à celui dont se servent les graveurs.

3° Un *blaireau*, pour nettoyer la pierre. On doit avoir soin de le tenir très propre et éloigné des corps gras. Cette espèce de brosse ou pinceau sert à enlever la poussière et les morceaux de crayon qui pourraient tomber ou rester sur la pierre pendant le travail du dessinateur.

4° Un ou plusieurs *canifs* pour tailler les crayons.

5° Du *papier-verre*. Ce papier est destiné à faire la pointe du crayon lorsqu'elle est émoussée. Son usage évite l'emploi trop fréquent du canif et une perte de temps. Il faut que ce papier soit très fin.

6° Un *miroir*. Cet instrument varie selon la grandeur de la pierre qui doit recevoir le dessin : il est nécessaire au dessinateur qui copie toujours dans un sens inverse.

7° Des petits *pinceaux* en poil de blaireau (ou une plume d'acier), un bâton d'encre lithographique et un godet. Ces pinceaux sont destinés à donner des touches vigoureuses. Pour cela, on fait chauffer le bâton d'encre à la chandelle, et comme si l'on voulait cacheter une lettre; lorsque l'encre est presque fondue, on porte le bâton dans le godet et on remue de manière à garnir les parois intérieures de cette encre; ensuite, à l'aide d'une petite quantité d'eau distillée, on la fait dissoudre en remuant la solution au moyen d'un petit tube de verre ou avec le doigt : on obtient de suite de l'encre bien liquide. Si elle s'épaissit trop, ce qui arrive souvent dans l'été, on y ajoute une petite quantité d'eau distillée, en la faisant chauffer, et en agitant l'eau chaude avec le bâton d'encre qui se dissout et qui fournit l'encre liquide. Le mélange de cette encre avec le crayon offre des ressources précieuses pour le dessin, et particulièrement pour le genre du paysage; mais il faut avoir soin de ne jamais l'employer que pour le trait, car on ne pourrait s'en servir pour faire un lavis. On doit avoir aussi le soin de laver son pinceau chaque fois que l'on s'en est servi : sans cela il serait perdu. (*Extrait du recueil de MM. Chevalier et Langlumé*, page 58).

Taille-crayon mécanique pour dégrossir et affiler la pointe du crayon gras (fig. 1470). Ce taille-crayon suggérera peut-être à un autre plus habile l'idée de faire un meilleur instrument; et comme le disait l'illustre inventeur de la lithographie, qui a cherché aussi un taille-crayon mécanique : « Si un autre le découvre avant moi, il aura de justes titres à la reconnaissance de tous ceux qui emploient le crayon lithographique, et il leur donnera beaucoup de facilité pour exécuter des bons ouvrages. »

A, A, bâtis ou supports dont le socle est muni d'un tiroir, dans lequel on renferme les crayons.

C, poulie à gorge adaptée sur axe horizontal, dont l'une des pointes *tourne à pivot* dans la vis creusée F, et dont l'autre extrémité reçoit la fraise ou taille-crayon E.

E, fraise ou taille-crayon, composé de quatre lames d'acier se coupant à angles droits et formant à l'intérieur un cône régulier, suivant la forme de la pointe que l'on veut donner au crayon.

D, grande roue que l'on met en mouvement à l'aide d'une manivelle pour faire tourner le taille-crayon E.

G, rainure dans laquelle on élève ou on abaisse l'axe de la grande roue D, pour tendre plus ou moins la corde à boyau qui transmet le mouvement à la poulie C ainsi qu'au taille-crayon.

L, règle servant de point d'appui à la main lorsqu'on veut tailler un crayon; ainsi on tient le crayon de la main gauche, on enfonce l'une de ses extrémités entre les lames du taille-crayon E, et on tourne simultanément la manivelle de la grande roue D.

Les lames du taille-crayon E rabotent et débitent la pâte du crayon en copeaux minces, qui s'engagent en partie dans les intervalles à jours ménagés entre les lames contiguës. On enlève ces copeaux de temps en temps, pendant l'opération, à l'aide d'un pinceau en poils de sanglier. Cette précaution est indispensable pour éviter la cassure du crayon. On nettoie souvent les lames avec de l'essence de térébenthine, que l'on met avec un pinceau, et on les essuie bien avec un linge propre.

Comme les copeaux sont projetés autour du taille-crayon, en vertu de la force centrifuge, il est bon de les arrêter et de les recueillir; pour cela, on pose la petite boîte en fer-blanc (fig. 1471), H I J, sur le taille-crayon, de manière que la rainure J glisse sur la règle R, et la fraise E s'engage ainsi dans le trou K.

Au moyen de cette disposition, le taille-crayon est renfermé; mais on peut toujours voir le travail, en regardant au travers des verres à vitre I, qui forment les dessus de la boîte.

On présente le crayon à la taille de la fraise, en l'engageant dans un petit trou pratiqué sur la face opposée au côté K.

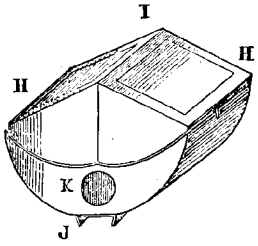
Pour tailler les crayons carrés, on commence par les arrondir un peu, en les passant dans une espèce de filière, formée d'une plaque de cuivre portant un trou de la grosseur du crayon que l'on veut avoir. Cette plaque de cuivre est montée, avec des vis, sur un morceau de bois également troué dans toute sa longueur pour laisser passer le crayon arrondi.

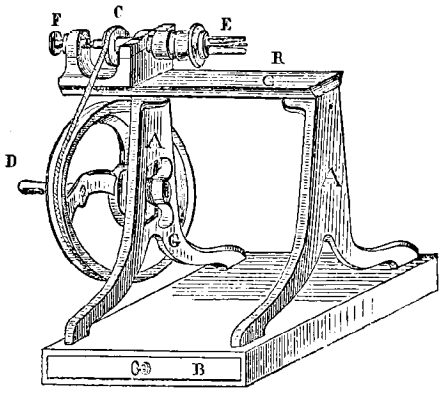
Taille-crayon circulaire de M. Coursier, mécanicien (fig. 1472). Cet instrument sert spécialement à tailler les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

crayons noirs à dessiner, le fusain, les crayons de mine de plomb et de pastel, et il remplit convenablement le but; le taille-crayon, proprement dit, consiste en deux limes circulaires E, juxtà-posées de manière à former un angle dans lequel on engage le crayon pour faire la pointe. Les organes qui donnent le mouvement

1471.





1470.

au taille-crayon sont les mêmes, d'ailleurs, que ceux du taille-crayon lithographique. On fixe cet appareil sur le dessus de la table à dessiner B en serrant la vis C. Antérieurement, M. Boucher, chef de bataillon au corps des ingénieurs géographes, a imaginé un taille-crayon composé d'une lime en plan incliné, qui se meut le long de ce plan, tandis que le crayon, placé suivant la longueur de la lime, tourne sur son axe (voir le Bulletin de la Société d'Encouragement, 1821, page 164).

Le bulletin de la même Société (1831, page 107), donne la description et le dessin d'un taille-crayon inventé par M. Lahausse; il consiste en une espèce de rigole angulaire ou demi-cylindrique en bois, dans laquelle est placée une seule lime.

Un artiste anglais a inventé aussi un taille-crayon, qui est composé de deux limes qui se réunissent longitudinalement, de façon à former un angle dans lequel, après avoir disposé le crayon, on le frotte légèrement en le tournant sur tous les côtés.

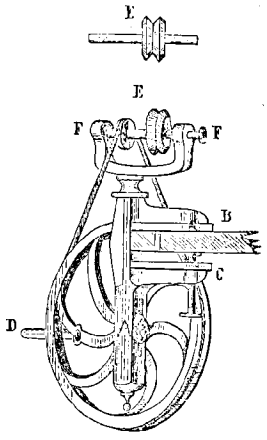
Au pinceau. L'écriture et le dessin au pinceau se font à peu près de même qu'on les fait à la plume, seulement on emploie une encre moins fluide et plus alcaline. D'abord l'écriture est tracée au crayon, de droite à gauche, en prenant ses espaces, et en commençant par la première lettre du premier mot de la ligne, et en finissant par la dernière lettre du dernier mot. Ensuite on recharge ou reprend les lettres au pinceau et à l'encre; mais on commence par le côté opposé, et on écrit le trait en allant de gauche à droite.

Avec le pinceau, on peut faire de suite les pleins; mais il est plus facile de se borner d'abord au trait délié pour faire plus tard le plein de la lettre.

Certains genres de dessins, l'architecture, l'ornement, les plans linéaires, par exemple, peuvent être exécutés au pinceau avec la perfection désirable et surtout avec une grande facilité.

Les pinceaux de martre brune que l'on emploie pour peindre la miniature et sur la porcelaine sont bons pour le dessin lithographique.

Mode d'effacer les dessins par les agents chimiques. En 1828, la Société d'encouragement a accordé une



1472.

médaille d'or à MM. Chevalier et Langlumé, pour un mode d'effaçage général ou partiel des dessins, au moyen d'une solution alcaline préparée avec 5 kilogr. d'eau et 500 gram. de potasse à la chaux (pierre à cautère). (Voir *Bulletin* de cette Société, novembre 1828, pages 357, 360).

Moyen d'employer cette solution, décrit par les auteurs eux-mêmes dans leur *Manuel de Lithographie*, page 156.

« La solution s'emploie de la manière suivante : pour opérer l'effaçage complet, on lave la pierre à grande eau, en se servant d'une éponge; on la recouvre ensuite de la solution alcaline, en se servant pour l'étendre, d'un chiffon fixé à un bâton. On laisse réagir pendant 4 ou 5 heures. Ce temps écoulé, on enlève, au moyen d'un chiffon, la liqueur qui a dissous le dessin; on lave la pierre avec de l'eau, on la laisse sécher, on recouvre une deuxième fois la pierre avec la préparation, on la laisse encore en contact pendant 4 heures, puis on répète le lavage. On peut encore aciduler la pierre après ce lavage, puis la passer à l'eau. Par mesure de précaution, on peut laisser séjourner davantage la liqueur sur la pierre avant de la laver. Lorsqu'on veut effacer une partie du dessin seulement, on lave la pierre à l'eau, puis on la laisse sécher; on trace ensuite au crayon les endroits à enlever; on la recouvre, en se servant d'un morceau de bois effilé, de la liqueur de potasse caustique; on laisse en contact, comme nous l'avons dit, et on continue l'opération de même que pour l'effaçage complet. On doit, lorsque la pierre est lavée, avoir soin de la faire bien sécher avant de dessiner de nouveau : le dessin ne tiendrait pas sans cette précaution. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quelques auteurs ont affirmé cependant qu'on ne peut effacer convenablement avec la préparation de MM. Chevalier et Langlumé. Le fait est exact, si l'encre qui recouvre le dessin à effacer est composée d'huile de lin seule, ou d'un corps gras, parmi lesquels l'huile de lin domine. Cette encre, étant anciennement apposée sur le dessin, est trop oxydée, et difficile alors à enlever en la saponifiant.

D'un autre côté, si le dessin est en relief, ce qui arrive souvent par suite d'une acidulation trop forte et de l'impression très prolongée elle même, il est indispensable de frotter la pierre avec du sable ou de la pierre-ponce pour unir sa surface.

Autre moyen d'effaçage, par M. Knecht, auquel la Société d'encouragement a décerné une médaille d'or en 1828 (voir *Bulletin* de septembre 1828, page 356).

Ce moyen, applicable principalement à l'effaçage partiel d'un dessin, consiste à enlever avec de l'essence de térébenthine la partie du dessin qu'on veut effacer, en y revenant à plusieurs reprises et jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de traces anciennes; on lave ensuite à l'eau simple, on acidule avec du vinaigre la partie nettoyée avec de l'essence et de l'eau; on laisse sécher la pierre, et on raccorde ou on termine le dessin.

Il faut avoir soin surtout de ne pas attaquer la partie dessinée qui ne doit pas être effacée, et de ne dessiner sur la pierre que lorsqu'elle est bien sèche.

Senefelder avait déjà indiqué, dans son ouvrage, le moyen d'effacer les dessins avec de l'essence et du vinaigre, et nous saisissons avec empressement cette occasion pour restituer l'invention à son véritable auteur.

Autres moyens d'effacer des dessins incisés ou gravés en creux dans la pierre. (Extrait d'un rapport fait à la *Société d'encouragement*, par M. Gauthier de Claubry. Voir le *Bulletin* de décembre 1830).

« L'acide acétique enlève bien les traits superficiels · mais il pénètre mal dans le fond des tailles profondes, et enlève difficilement la portion du dessin sur laquelle il agit.

« L'acide sulfurique attaque fortement la pierre, la recouvre d'une couche mince de sulfate de chaux, sur lequel on grave mal ensuite.

L'acide nitrique efface bien, mais il donne à la pierre un grain particulier; son action doit être prolongée quelque temps.

« L'acide hydrochlorique efface avec la plus grande facilité; les traits les plus fins disparaissent et la pierre ne change pas de grain dans le point attaqué; l'action de cet acide demande à être bien dirigée pour ne pas attaquer la pierre.

« Mais l'acide phosphorique enlève parfaitement le dessin; son action est modérée, facile à borner aux points où il est nécessaire de la produire, et le grain de la pierre n'est pas changé. C'est cet acide que MM. Knecht et Girardet avaient indiqué, et dont ils font usage dans la correction de la *Flore du Brésil*.

« Il est nécessaire que la pierre soit mise préalablement à l'encre grasse avant d'enlever à l'essence le dessin qui est tracé, et détruire ensuite, par le moyen de l'acide, les traits à remplacer. Par ce moyen, on ménage les parties environnantes et on ne risque pas de fatiguer la planche.

« La potasse ne produit que très difficilement un effet sur la pierre incisée; elle n'attaque que très peu le fond des tailles, son usage aurait d'ailleurs l'inconvénient d'être long. »

Senefelder avait dit aussi, dans son ouvrage, p. 147, que l'acide phosphorique est encore meilleur que l'eau forte pour effacer; et la *Société d'encouragement* a accordé, en 1830, un prix de 1,000 fr. à MM. Knecht et Girardet, *pour l'emploi de cet agent à effacer*, sans même citer Senefelder, le premier inventeur.

GRAVURE EN CREUX A LA POINTE SÈCHE.

Procédé décrit par MM. Chevalier et Langlumé. « On choisit une pierre grise, d'une pâte bien homogène et dure et dont les deux faces sont parfaitement unies; on la polit à la pierre ponce. Lorsqu'elle est bien poncée, on l'acidule comme s'il y avait un dessin dessus; on laisse agir la préparation pendant 25 à 30 minutes, on la lave ensuite à grande eau, et on la laisse égoutter un moment; on la gomme très légèrement une seconde fois avec une éponge pour ne pas éprouver de peine en faisant agir le burin, qui, sur une couche épaisse, glisserait et n'atteindrait pas. Il faut que cette couche soit seulement assez forte pour que la main ne puisse l'enlever entièrement, lorsqu'on l'appuie dessus, et que le souffle (l'haleine) ne la détrempe pas. Lorsque la gomme est sèche, ce qui ne demande que quelques instants, on la noircit et on la rougit (selon la volonté de l'artiste) en jetant sur la couche de gomme de la poudre de sanguine, de vermillon ou de noir de fumée; à l'aide d'un léger frottement, et en se servant de coton, on étend la couleur sur toute la surface; elle est nécessaire pour qu'on puisse apercevoir le travail que fait la pointe. On procède ensuite au décalque du dessin, en se servant d'une encre opposante à celle qui est sur la pierre, en passant sur tous les traits du dessin avec une pointe émoussée, afin de ne pas égratigner la couleur de gomme ou la pierre; on peut aussi, et sans faire de décalque, tracer directement son dessin sur la pierre. (Voy. DESSIN).

« Le calque terminé, ou l'esquisse faite au crayon, le dessinateur, muni de pointes et de burins de différentes sortes, grave son dessin, qui doit paraître en blanc, pour faire opposition à la couche noire ou rouge. Il faut avoir soin de ne pas trop creuser les lignes fines. Sans cela, le dessin ne viendrait pas au tirage, le papier ne pouvant pénétrer au fond de ces lignes. Les lignes larges se pratiquent, soit avec un burin qui donne d'une seule fois toute la largeur du trait, soit avec de petites pointes, en y revenant à plusieurs reprises. A mesure que l'on grave la pierre, il y a production de poussière blanche, qu'on doit enlever, soit avec une petite brosse, soit avec un blaireau, ou bien encore en soufflant dessus avec un soufflet; il ne faut pas se servir de l'haleine, dans la crainte de donner au travail une humidité qui lui serait nuisible. Lorsqu'on s'occupe de graver sur pierre, il faut éviter de laisser tomber sur la pierre, en travaillant, des corps gras, et même d'y porter les mains. Le travail, lorsque la pierre a été salie par de la graisse ou de l'huile, devient très difficile; la pointe est sujette à glisser et peut donner lieu à des accidents dans le dessin; en outre, la couche de gomme étant très mince, elle peut être pénétrée par le corps gras, ce qui, lors du tirage, donnerait lieu à des taches.

« On doit aussi éviter de laisser tomber de l'eau sur la pierre, ou de la mouiller de toute autre manière; l'eau dissolvant la gomme, la solution pourrait s'introduire dans les traits et les rendre impropres à prendre le noir. La gravure sur pierre offre quelques difficultés pendant les temps froids. La pierre plus froide que la température du lieu, se couvre d'eau qui dissout la gomme et donne lieu à des accidents qui empêchent le travail. On doit donc, pour éviter ces accidents, tenir la pierre dans un lieu dont la température soit égale, afin que l'eau ne se condense pas sur la surface de la pierre et ne dissolve la gomme.

Corrections. « Il est difficile de corriger les faux traits qui auraient pu échapper à l'artiste dans la gravure de la planche. On est obligé, pour ces corrections, de gratter; et si l'on n'y prend garde, on forme alors une concavité dans laquelle on trace une partie du dessin qui ne vient pas au tirage : pour éviter cet inconvénient grave, il faut donc avoir soin de gratter légèrement, en

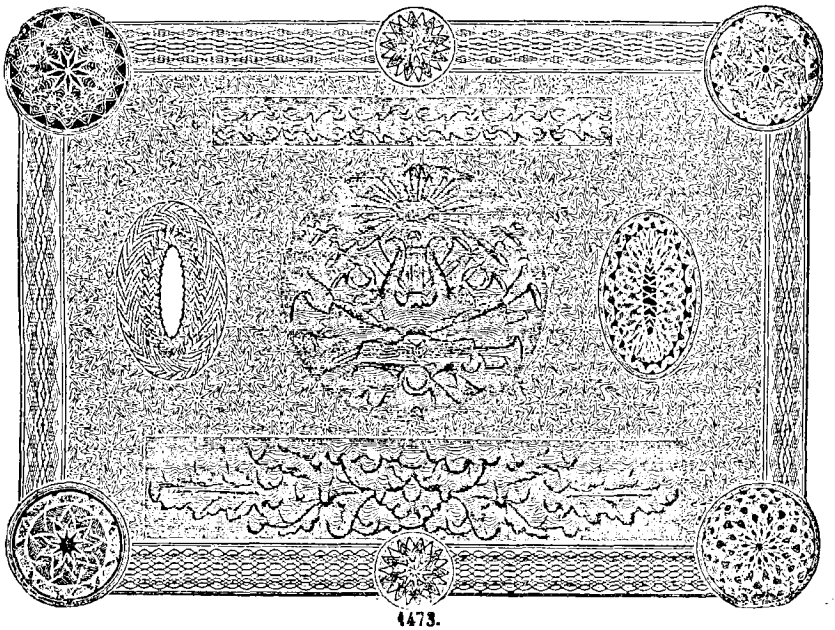
EFERUS - Recherche & Classification numérique

prenant d'un peu plus loin, pour venir en mourant, afin de ne point faire un trou, mais seulement une concavité peu apparente, peu sensible; lorsque le grattage est terminé, on acidule l'endroit gratté, à l'aide d'un petit pinceau; on gomme ensuite, et lorsque la couche gommeuse est sèche, on noircit ou rougit cette place, et on raccorde à la pointe le dessin pour le lier aux parties environnantes. Si on ne devait pas faire de dessin à la place qui a été grattée, il faudrait seulement passer un peu de préparation qui empêcherait les faux traits, qu'on aurait effacés, de prendre le noir lors du tirage.

De l'encrage de la pierre. « Avant de procéder à l'encrage, il faut s'assurer que la pierre n'est point humide. On prend une encre faite avec un vernis léger (l'encre qui sert pour les écritures), on y ajoute un peu de suif et de noir de fumée; on broie le tout sur un marbre avec un couteau à palette, on le passe le plus promptement possible sur toute la surface de la pierre avec une petite brosse à peindre; on fait entrer ce noir dans les traits de la gravure; ensuite on prend un morceau de flanelle trempée dans l'eau de gomme, on frotte légèrement la surface de la pierre, et tout le noir ou le rouge disparaît par ce lavage; le dessin qui avant cette opération se détachait en blanc sur un fond de couleur, se détache alors en noir sur un fond blanc. »

GRAVURE EN CREUX A L'AIDE DE LA MACHINE DITE A GUILLOCHER.

Ce genre de gravure consiste à reproduire avec des lignes d'une régularité mathématique, des fonds de ciel, des eaux, des grisés de plusieurs genres, des moirés, des hachures dans tous les sens, des ondulations, des portraits, des cercles et des ellipses concentriques et excentriques tellement rapprochés et si ténus qu'il est souvent difficile, pour ne pas dire impossible, à l'œil le mieux exercé de pouvoir les compter. Ces dessins peuvent être imprimés soit au moyen de la presse lithographique, soit à l'aide de celle employée dans l'imprimerie en taille-douce.



1473.

Le dessin (fig. 1473) réunit quelques-uns des effets que l'on peut produire par ce genre de gravure d'une exécution très facile et très prompte. La matrice ou *le type* de ce dessin a été gravé d'abord en creux sur une pierre dure de Munich, à l'aide d'une machine à guillocher, considérablement simplifiée et perfectionnée par M. Neuber, très habile mécanicien. Sur ce type, on a tiré une épreuve qu'on a transportée ensuite sur une seconde pierre lithographique; puis M. Neuber a préparé et gravé, à l'aide de l'acide nitrique, le dessin en relief, qui a été cliché par les procédés ordinaires.

GRAVURE EN RELIEF AU MOYEN DES ACIDES. — Dufay décrivit le premier, en 1738, le procédé à suivre pour ce genre de gravure (comme nous l'avons dit précédemment). C'est le même procédé que Senefelder a ressuscité, en 1796, et qui se trouve compris dans le brevet d'invention qu'André a pris en France en 1802.

En 1840, Duplat a demandé un brevet pour un autre moyen de gravure qui comprend les opérations suivantes :

1° La méthode de vernir la pierre calcaire, ce qui s'exécute absolument de la même manière qu'on le pratique pour les planches en cuivre; mais, au lieu d'enlever à la pointe le dessin qu'on a décalqué sur la pierre, on fait disparaître au contraire tout ce qui doit rester blanc à l'impression, et on ne laisse que le trait;

2° Da manière de faire mordre au moyen de l'acide nitrique affaibli au point de ne marquer que 2° à l'aréomètre de Beaumé. Quand les parties serrées du dessin que l'on fait mordre sont assez profondes, on lave la pierre dans l'eau claire; on enlève le vernis avec de l'essence; on laisse bien sécher cette pierre, on la recouvre ensuite avec du vernis en liqueur pareil à celui dont se servent les graveurs en taille-douce, et on recommence à faire mordre, jusqu'à ce que chaque partie soit arrivée à la profondeur desirée. On recouvre ainsi de suite toutes les parties, dont les blancs ne sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas suffisamment profonds ; on les creuse encore à l'échoppe ou au burin d'une quantité suffisante pour que l'imprimeur, avec ses balles, ne puisse atteindre le fond de la gravure, ce qui noircirait le papier.

Comme on voit, le procédé de Duplat diffère peu de celui déjà décrit par Dufay, et il lui est même inférieur sous le rapport de la promptitude et la sûreté des opérations. On comprend aisément qu'il est plus long et plus difficile de creuser la pierre avec un burin, comme l'a fait Duplat, que de dessiner et d'écrire dessus avec un pinceau ou une plume, comme Dufay l'a pratiqué.

Au résumé, le point difficile de la gravure en relief est de composer un vernis susceptible de s'employer facilement, de s'attacher fortement à la pierre, et de

« On y ajoute peu à peu 62 grammes de poix grecque, ou asphalte réduit en poudre fine (1).

« On laisse cuire le tout jusqu'à ce que le mélange soit bien fait : on retire alors le vase du feu ; on le laisse un peu refroidir, et on verse la matière dans l'eau tiède, afin de la manier facilement : on en fait de petites boules que l'on dissout au fur et à mesure du besoin dans de l'essence de lavande en quantité suffisante pour obtenir un vernis du degré de consistance convenable.

« Ce vernis s'applique avec la plus grande facilité sur la pierre, en se servant du rouleau à la manière ordinaire. Quand la quantité que l'on juge convenable y a été fixée, on borde la pierre avec de la cire comme



1474.

ne pas se détacher par l'action de l'acide ; en un mot, le meilleur moyen consiste à dessiner et à écrire à la manière lithographique ordinaire sur la pierre, à couvrir les traits avec un vernis, à attaquer ensuite celui-ci par le moyen d'un acide, et à obtenir des traits assez en relief pour qu'il soit possible d'en tirer des épreuves.

Voilà le problème que M. Girardet a résolu, et pour lequel la Société d'Encouragement lui a décerné un prix de 2,000 francs en 1831 (voir le rapport fait à la Société d'Encouragement par M. Gauthier de Claubry, *Bulletin* de décembre 1831).

« C'est à la confection d'un vernis facile à préparer et peu coûteux, dit le rapporteur, qui s'applique avec une grande facilité sur le dessin lithographique et qui adhère tellement à la pierre qu'il peut supporter l'action d'un acide assez fort pour la creuser profondément sans qu'il s'en détache, même dans les plus petits détails, que M. Girardet a dû le succès qu'il a obtenu.

« Voici le procédé qu'il a suivi pour sa préparation. On fait fondre dans un vase neuf en terre vernissée en dedans :

62 grammes de cire vierge,
16 grammes de poix noire,
16 grammes de poix de Bourgogne.

pour une eau-forte, et on verse dessus de l'eau à la hauteur de quelques lignes, puis de l'acide nitrique étendu d'eau en quantité suffisante pour que l'action ne soit pas trop vive ; au bout de cinq minutes, la liqueur ayant été retirée et la pierre lavée, on la laisse sécher et on passe de nouveau le rouleau imprégné du même vernis, de manière à bien garnir les caractères ou les traits du dessin, et, après qu'elle a été bordée de nouveau, on l'acidule une seconde fois, pendant trois à quatre minutes, et on lave comme la première fois.

« Par cette seconde application, le vernis, qui adhère fortement aux traits, forme un relief assez considérable pour que l'on puisse tirer des épreuves à sec.

« Les essais faits en présence de vos commissaires ont prouvé que des traits faits sur une pierre et encrés avec le vernis dont nous nous occupons viennent dans toute leur intégrité, lorsqu'après l'action de l'acide

(1) La recette de ce vernis est exactement la même que celle qui a été publiée en 1775 dans un livre intitulé : *L'Art de graver au pinceau, par Stapart*, qui l'avait puisée, comme il l'avoue lui-même, dans l'*Encyclopedie*. C'est ce qui a fait dire, depuis, à plusieurs auteurs, que M. Girardet n'avait rien inventé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur relief leur permet d'agir comme caractères typographiques.

« Ainsi, on peut dessiner sur la pierre une carte de géographie ou tout autre objet, y tracer des lettres ou des chiffres, écrire ou dessiner sur papier autographique et faire le transport sur pierre, puis donner ensuite aux traits une saillie qui permette de mouler le tout et de le clicher avec la plus grande solidité. »

M. Tudot, dans son *Traité de Lithographie*, 1834, page 124, ajoute :

« Mais il est indispensable, après avoir fait mordre, de retoucher au dessin avec un burin, pour donner de la netteté à quelques traits, et avec l'échoppe de creuser dans les parties larges pour obtenir un bon cliché.

«L'acide hydrochlorique serait peut-être préférable à l'acide nitrique, en ce qu'il agit d'une manière plus uniforme. »

Depuis quelques années, M. Tissier, chimiste distingué, a perfectionné les procédés chimiques de la gravure sur pierre, et nous sommes heureux de publier un de ces travaux (fig. 1474) qui met nos lecteurs à même de juger le degré de perfection auquel il est parvenu. Disons, en passant, que la gravure sur pierre, exécutée par ses procédés, présente une économie d'au moins 30 p. 100 sur la gravure sur bois; et voici les perfectionnements qu'il a imaginés pour arriver à ce résultat.

Il débite mécaniquement les pierres suivant la grandeur du dessin et la hauteur que le type doit avoir pour être imprimé avec des caractères typographiques. L'artiste lithographe dessine sur la surface polie de la pierre à la manière accoutumée, et M. Tissier applique sur ce dessin, par un procédé qui lui est propre, un vernis très adhérent; ensuite il fait mordre la pierre pendant un temps plus ou moins prolongé suivant la nature du dessin, avec une préparation qui est, dit-on, composée d'acide pyroligneux rectifié, d'acide hydrochlorique et d'alcool en proportions définies; puis il lave la pierre et la fait sécher.

Lorsque la pierre est parfaitement sèche, il applique sur le dessin une deuxième couche d'un vernis liquide qu'il étend sur les deux côtés des traits en relief par des procédés particuliers : les uns assurent qu'il étend d'abord le vernis avec un rouleau de gélatine et qu'il le fait fondre ensuite sur les côtés des traits par l'action d'un fer à repasser chaud qu'il promène sur toute la surface de la pierre; les autres prétendent, non sans raison, qu'il emploie des femmes dont le travail consiste à étendre le vernis avec un pinceau.

Cela fait, M. Tissier fait mordre la pierre une seconde fois, puis une troisième, et quelquefois même une quatrième, en ayant soin de bien recouvrir chaque fois les traits en relief avec du vernis. On peut compter facilement le nombre des morsures qu'il emploie par le nombre des crans ou escaliers qui sont formés sur les deux côtés des traits

Enfin, M. Tissier fait clicher ses gravures par les procédés connus; généralement les gravures elles-mêmes sont imprimées avec les textes sous la presse typographique.

Le procédé de M. Neuber diffère un peu de celui de M. Tissier. Ainsi M. Neuber fait mordre la pierre d'un seul coup en la trempant dans un bain d'acide nitrique marquant de 3 à 5° suivant la nature du dessin (3° pour les dessins fins et légers, et 5° pour les dessins plus larges et plus fermes) et à la température moyenne de 15 à 16°. La dureté plus ou moins grande de la pierre influe beaucoup aussi sur le degré de la préparation. On laisse agir l'acide pendant un temps variable de 5 à 25 minutes, en ayant égard à la nature du dessin, au degré de dureté de la pierre et au relief qu'on veut avoir; on surveille pendant ce temps l'action de l'acide; on enlève et détruit, avec la barbe d'une plume, les bulles qui se forment à la surface de la pierre.

Lorsqu'on croit que l'acide a agi suffisamment, on retire la pierre du bain, on la lave dans l'eau propre et on la fait sécher.

M. Neuber emploie un vernis particulier, mais dont les principes constituants sont toujours, quoiqu'il ne les dise pas : la cire en plus grande quantité, le suif, la poix noire de Bourgogne, la colophane et le bitume de Judée purifié que l'on fond ensemble sur un feu doux.

DESSIN AU LAVIS. *Imitation de l'aquatinta.* Sénéfelder a encore indiqué, dans son ouvrage, les principes essentiels de ce genre de dessin, et nous allons donner un aperçu des différents perfectionnements qui ont été apportés depuis.

En 1819, Engelman a pris un brevet pour un moyen de faire des dessins au lavis, en appliquant successivement les différentes teintes dégradées sur la pierre préparée, comme pour le crayon, au moyen d'un tampon fabriqué avec de la peau de mouton blanche que l'on remplit de coton, en laissant le côté de la chair à l'extérieur. On étend préalablement une légère couche de gomme, avec un pinceau, sur les parties claires que l'on veut réserver.

Lorsque la gomme est sèche, on frotte le tampon dans une encre lithographique mêlée avec de la térébenthine de Venise (voir sa composition dans le tome XI des Brevets expirés, page 287); on l'essuie sur une pierre lithographique pour enlever l'excédant de l'encre. Quand le tampon ne retiendra plus que l'encre nécessaire au ton local que l'on veut donner au dessin, on commence à tamponner les teintes du fond.

Lorsque les teintes du fond sont sèches, on passe une seconde couche de gomme sur ces teintes, et on renforce les autres, en les tamponnant de nouveau jusqu'à ce qu'elles aient atteint le ton désiré; aussitôt qu'elles sont sèches, on lave toute la pierre pour enlever la gomme. On la laisse sécher parfaitement, et on dessine ensuite par-dessus les teintes tamponnées avec un crayon lithographique.

M. Devéria s'est avisé depuis de faire des dessins au lavis, en lavant d'abord la pierre avec une encre lithographique; puis il a modifié les teintes foncées, posées du premier jet sur la pierre, en les usant avec un chiffon de flanelle (1).

De son côté, M. Dorschwiller a fait une application heureuse au dessin au crayon du procédé d'enlevage employé par M. Devéria, en enlevant le crayon fixé sur la pierre avec du papier végétal; cet artiste distingué, doué d'une persévérance admirable, est parvenu, avec succès, à modifier les teintes, et, ce qui est plus difficile encore, à les faire avec précision. Voici en quoi consiste son moyen : On prend un morceau de papier végétal; on l'applique sur le dessin; et avec une pointe en bois on trace sur ce papier les parties que l'on veut enlever, en appuyant assez pour le faire adhérer au crayon; on soulève alors le papier pour emporter la portion du crayon qui s'y est attachée; on reporte ensuite une partie blanche du papier sur le contour; et on recommence à frotter avec la pointe en bois pour enlever une nouvelle partie de crayon, et on répète plusieurs fois la même opération jusqu'à ce qu'on soit parvenu à enlever convenablement le crayon. La transparence du papier permet de tracer plusieurs fois à peu près dans le même contour.

Le principal mérite de ce procédé est de ne pas détruire le sommet des aspérités du grain et d'éviter le frottement que la flanelle exige pour enlever le crayon auquel elle adhère trop. Seulement il ne faut pas chercher à enlever le crayon d'une seule fois en

(1) Ce moyen est dû, dit-on, à M. Motte, imprimeur lithographe, et M. Lemercier a inventé le procédé de laver la pierre avec le crayon dissous dans l'essence de térébenthine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

appuyant fortement, parce que, au lieu de s'attacher davantage au papier, le crayon ne fait que pénétrer plus profondément dans le grain de la pierre, et on ne peut plus l'enlever.

« Au lieu du chiffon de flanelle employé par M. Devéria pour modifier les teintes lavées du premier coup sur la pierre avec de l'encre lithographique, quelques artistes font usage de brosses à peindre coupées à la longueur de 4 à 5 millimètres. On emploie aussi des patrons découpés pour couvrir les parties qu'on craint de salir, et on brosse plus ou moins fort, suivant qu'on veut éclaircir. Ainsi que pour les flanelles, plus les brosses sont propres et mieux on éclaircit les teintes; la brosse agit plus efficacement sur les parties claires; la flanelle suffit pour user les tons foncés. Avec l'un ou l'autre de ces moyens, lorsqu'on a obtenu une ébauche convenable, on continue l'exécution du dessin en reprenant l'encre et les pinceaux pour faire les détails; s'ils se détachent en vigueur sur un fond clair, on les fait à l'encre, et pendant que la touche d'encre est encore humide on peut, avec un petit chiffon de toile, enlever l'encre en quelques parties et les modeler. Les détails faits avec une couche d'encre épaisse se modifient aisément; si ces détails se détachent en clair sur un fond vigoureux, on ne prend que de l'eau dans le pinceau, on silhouette la partie qu'on veut enlever en clair et aussitôt l'encre est amollie; on l'enlève avec un morceau de toile, en s'y prenant de la même manière qu'avec la flanelle; enfin, on termine en enlevant avec le grattoir des lumières vives que la teinte générale n'a pas permis de conserver. »

Tel est l'exposé du moyen de faire un dessin au lavis avec l'encre lithographique qui, suivant M. Tudot, réussit le plus souvent; mais il faut qu'il soit employé par des artistes d'une adresse extraordinaire; ce moyen ne laissant que la facilité de dégrader un ton sans permettre de l'effacer entièrement et d'en refaire un autre à la place.

En 1834, M. Gingembre a publié des lithographies lavées, par un procédé analogue et plus sûr, sur une pierre grise de Munich, avec un pinceau et deux encres d'une composition différente. Nous allons indiquer le procédé publié par l'auteur lui-même (voir *Manuel de Lithographie*, de Tudot, 1834, page 152).

« On peut employer deux espèces d'encre pour le lavis : 1° l'encre de M. Lemercier pour les teintes claires, parce qu'il est facile de la modifier, de la modeler et même de l'enlever presque entièrement; la teinte légère qui adhère à la pierre est fine et transparente, et ne peut nuire; 2° l'encre de M. Desmadryll pour les teintes vigoureuses. On l'applique, en dernier lieu, quand il reste peu de chose à faire; elle présente l'avantage de ne point s'empâter au tirage, et les noirs conservent de la transparence sans perdre de leur vigueur. »

La teinte d'encre est enlevée ou étalée, soit à l'aide d'une brosse à peindre le velours, soit à l'aide d'une estompe de flanelle; enfin, les demi-teintes et les blancs s'obtiennent à l'aide du grattoir.

Manière noire, par M. Tudot (1). La manière noire de M. Tudot consiste à couvrir de crayon la surface de la pierre, puis à diminuer la quantité de crayon formant un ton uniforme noir, pour en obtenir la dégradation jusqu'à la teinte la plus claire (voir son *Traité de Lithographie*, 1834, p. 178).

Les principaux moyens d'enlever le crayon de la surface de la pierre sont :

1° La flanelle;

2° L'égrainoir, espèce de *gratte-bosse* de doreur, composée de fils d'acier très minces, désignés dans le commerce sous le nom de cordes de Nuremberg;

3° Les pointes en buis et en ivoire.

M. Lemercier s'est approprié, en 1842, le genre de lavis inventé en 1838 par M. Hummandel de Londres, mais il l'a tellement changé, qu'il peut, sous beaucoup de rapports, être considéré comme inventeur.

Pour parvenir à imiter le lavis, ou plutôt l'aquateinte au pinceau, ce qui est plus vrai, cet artiste habile a imaginé de laver la pierre grenée et préparée avec une encre composée, dit M. Boquillon (1), « de différents corps intimement mélangés, mais non combinés, avec une substance d'une extrême divisibilité, et facilement attaquable par l'acide employé à la préparation de la composition, ou pouvant s'éliminer par le lavage. Les doses de cette substance varient avec la nature du dessin à faire, et plus elle est abondante, moins l'épreuve a de vigueur. »

Cette substance, extrêmement divisible, est tenue secrète par l'auteur; mais les lithographes les plus érudits prétendent que ce n'est pas autre chose qu'une solution de savon plus ou moins concentrée. Quelques-uns assurent que cela pourrait être aussi bien du carbonate de soude ou de potasse. D'autres disent qu'on pourrait faire des aqua-teintes au pinceau, en lavant la pierre soit dans une composition de galipot ou de résine ordinaire et d'arcanson, que l'on fait dissoudre à froid dans quatre fois son volume d'alcool anhydre, soit avec une espèce d'encre lithographique, à laquelle on mêlerait, en proportions définies, du sable fin ou de la pierre-ponce très fine, ou de la poussière de pierre lithographique ou de cendre tamisée, ou des os de mouton calcinés et pulvérisés, etc. Disons, à notre tour, que ce dernier moyen se rapproche beaucoup de celui employé ordinairement par les graveurs en taille-douce pour faire des fonds d'aqua-teintes; et tout porte à croire qu'il pourrait être employé ainsi et fort utilement sur la pierre et sur le zinc, sauf à achever ensuite le dessin par les procédés ordinaires de la gravure à l'aqua-teinte. Nous doutons cependant que ce moyen soit goûté par les artistes lithographes, habitués seulement à dessiner avec une plume ou un crayon sans jamais s'occuper de faire mordre la pierre par l'acide.

Au résumé, nous répétons qu'avec le lavis sur pierre il est difficile de produire un nombre d'épreuves un peu considérable, et dans un état de perfection satisfaisant. M. Lemercier lui-même se rend à cette opinion, et il ne s'occupe même aujourd'hui que de vulgariser le dessin à l'estompe, qui offre beaucoup plus de ressources sous le point de vue de l'art et peu ou point de difficultés à l'impression.

Dessin à l'estompe. — La première idée du dessin à l'estompe appartient encore à Sénéfelder, qui a décrit ses premiers essais dans son *Traité*, page 257. Son crayon était composé de vitriol (sulfate de protoxyde de fer), de tartre (tartrate acide ou bi-tartrate de potasse) et de noir de fumée. Il dessinait sur une pierre polie, grossièrement préparée avec de l'acide nitrique et une infusion de noix de galle, lavée et séchée, avec une estompe en papier frottée de ce crayon.

Le dessin fait, il opérait comme nous l'avons dit plus haut.

Le crayon de M. Lemercier, au contraire, est très dur et formé de plusieurs corps gras résineux unis ensemble par la cuisson. Nous n'en connaissons pas bien au juste la composition, et nous n'avons pas même besoin de la connaître ou de la faire connaître aux ar-

(1) En 1851, la Société d'Encouragement a décerné à M. Tudot un prix de 2,000 fr., pour l'emploi des instruments qui concourent à son exécution.

(1) Voir ses études techniques sur l'exposition de l'industrie en 1844, publiées dans la Revue scientifique et industrielle de Quenesville, 8 octobre 1845.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tistes, puisque M. Lemercier, mû par un sentiment de générosité digne des plus grands éloges, donne ses crayons à qui veut dessiner, et ne les vend jamais. Cependant nous croyons devoir dire en passant qu'on peut fabriquer chez soi des crayons propres à l'estompe, avec de la bougie stéarique à laquelle on mêle à chaud du noir de fumée en quantité pour colorer, ou avec du crayon noir de Conté que l'on imprègne de suif de mouton et d'un peu de savon, en les faisant bouillir dans cette solution pendant un certain temps.

Dessin au frottis avec des lumières ou rehauts en blanc et en relief, par M. Lemercier. Vous décalquez le dessin sur une pierre, acidulée et enduite d'un vernis mou, dans lequel on mêle du suif, ou du mastic en larmes, ou du vernis gras au copal. Le vernis étant un peu transparent, laisse voir le dessin ; et l'artiste dégrade les blancs à l'aide d'un grattoir ; l'imprimeur fait mordre ensuite la pierre par l'acide nitrique plus ou moins fort et à plusieurs reprises, afin d'obtenir des blancs plus ou moins en relief ; les fonds de ciel, s'il y en a, sont faits en dégradant la couche de vernis, soit avec de la pierre-ponce en poudre, soit, ce qui vaut mieux, avec de la sèche ; puis, à l'aide du crayon d'estompe, on modèle tous les nuages que l'on veut avoir en vigueur, et, au moyen du grattoir, on enlève les parties que l'on veut produire en blanc.

Au moyen de points de repères et de deux impressions successives, on obtient des estampes qui semblent faites à l'estompe avec des rehauts en relief mis au pinceau.

TRANSPORT *des écritures ou dessins à la plume ou imprimés.* On fait remonter seulement jusqu'à Sénéfelder l'emploi de ce procédé. Cependant un usage antérieur en avait été fait en France, vers l'an 1642, par Bosse, graveur du roi, pour composer des planches différentes, propres à imprimer des estampes en plusieurs couleurs (voir son livre de la manière de graver à l'eau forte, édit. de 1778, pages 165 et 173).

Sénéfelder a inventé, cependant, et c'est là le point important, la meilleure manière de faire les transports, *au moyen du papier autographique et d'une encre spéciale*, etc. Nous donnerons plus loin les préparations du papier autographique que l'on peut adopter avec assurance.

Procédé pour transporter sur pierre des gravures en taille-douce, des gravures sur bois, des caractères typographiques, etc., par M. Kœpplin (extrait d'une note adressée à la Société d'encouragement, par l'Auteur lui-même ; voir *Bulletin* de 1842, page 223). — « Voici comment je procède : je fais les épreuves des planches-mères, soit lithographiques, soit typographiques, avec de l'encre grasse ordinaire, dite de transport ; c'est-à-dire une encre qui n'a rien de particulier de celle des autres lithographes ; je n'ai donc pas besoin de la décrire ici, puisque ces encres sont connues. Quant aux épreuves-mères, de taille-douce, je les fais avec une encre grasse que je compose expressément pour ce travail, afin que les tailles qui ont une certaine épaisseur ne soient pas écrasées par la pression au moment du décalquage. »

« Cette encre est composée de 12 parties de cire, 4 p. de cire, 4 p. de savon d'huile, 16 p. de colophane, 12 p. de vernis lithographique faible.

« Je fais fondre tous ces ingrédients ensemble, et je broie le tout avec du noir de Francfort qui me sert à tirer mes gravures. Après avoir mis mes épreuves-mères sur du papier autographe, je fixe sur une feuille de papier ordinaire, avec de la colle à bouche, ces différentes épreuves, à la place qu'elles doivent occuper ; je porte alors le tout sur la pierre lithographique, et je fais le décalque, et le reste de l'opération, comme pour une simple autographie. »

Diverses manières de contre-épreuver des estampes anciennes. On lit dans le *Traité pratique de la gravure*, par Papillon (édit. de 1766), la méthode suivante, qui est excellente pour contr'épreuver :

« On prend du savon de Venise qu'on coupe en petits morceaux, une pareille quantité de cendres de bois de chêne, et autant de chaux vive (1) ; on fait bouillir le tout dans un pot, on frotte légèrement avec une plume trempée dans cette liqueur, l'estampe dont on veut tirer la contre-épreuve ; on aura aussi préparé une feuille de papier. Lorsqu'elle est bien humectée, on l'applique sur l'estampe, et on la met sous la presse d'un imprimeur en taille-douce ; à défaut de la presse on peut se servir d'un *lissoir*. »

Sénéfelder est le premier qui ait songé à contre-épreuver une vieille gravure sur pierre, et à s'en servir ensuite comme d'un type original pour imprimer. Ses premiers essais datent, dit-on, de 1810 (voir son *Traité*, page 188).

M. Marcel de Serres a publié le premier en France, en 1814, dans une notice sur l'*art de la Lithographie*, un procédé possible de transporter et de reproduire une vieille gravure en la colorant de nouveau avec une encre typographique ordinaire ou résineuse (voir t. LII, page 79, des *Annales des arts et manufactures.*)

« Il faut, dit-il, humecter le papier avec des acides étendus d'eau, qui attaquent la colle du papier pour le rendre plus perméable à ce dernier liquide, en empêchant le papier de recevoir le noir du tampon. Mais, pour que l'encre ne se mêle point avec les acides, on passe sur la planche une couche légère de gomme qu'on a soin d'étendre avant de tirer des épreuves. »

En 1839, MM. Dupont frères ont pris un brevet d'invention pour un moyen de reproduire les vieilles impressions ; ce procédé offre de l'avantage, en ce qu'on peut reproduire l'original sans l'altérer sensiblement ; mais son emploi, comme tant d'autres, est difficile et ne réussit pas toujours. Depuis, une foule de lithographes de tous les étages se sont ingéniés à vouloir reproduire les vieilles gravures sur bois par l'impression lithographique. Aussi les procédés ont-ils été variés à l'infini, et chaque artiste a-t-il un prétendu secret pour arriver au but avec plus ou moins de succès.

Ce qu'il y a de certain et de bien positif, c'est que personne encore n'a reproduit des gravures en taille-douce, et la difficulté tient à plusieurs causes que nous expliquerons plus tard, en indiquant les procédés que nous avons essayés, sans les porter au degré de perfection dont ils sont susceptibles.

Autre moyen de transporter et d'imprimer sur le zinc une gravure ou impression quelconque, que l'on appelle en Allemagne *impression anastatique* (voir le *Polytechnische Journal de Dingler*, Ier cahier de juin 1833).

« Il faut que la surface du zinc soit d'abord polie à l'émeri et à l'eau, puis, après l'enlevage de la boue avec un papier brouillard, bien propre, on polit à sec avec de l'émeri ou du papier fin, jusqu'à ce qu'elle présente un poli parfait. Pendant le polissage il faut avoir soin de ne frotter que dans un sens, afin que le frottage produise sur la plaque une foule de lignes parallèles qui soient coupées le moins possible par d'autres, le parallélisme facilitant beaucoup l'application de l'encre.

« Lorsque l'impression, ou ce qu'on appelle l'original, n'a pas plus de deux mois de date, il est encore suffisamment frais pour donner une impression, en le préparant de la manière suivante :

« On le presse entre deux feuilles de papier, et on le lisse avec un brunissoir ; alors on le place sur une feuille de papier brouillard et on l'humecte à l'envers

(1) Cette composition est remplacée aujourd'hui par un produit similaire que l'on nomme dans le commerce potasse caustique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec un mélange d'acide et d'eau, dans la proportion de 1 partie d'acide nitrique pour 8 parties d'eau.

« Quand l'original date de plus de deux mois, on l'introduit dans un vase de verre ou de porcelaine contenant un mélange d'acide nitrique, pendant un espace de temps qui varie de 4 heures à 7 jours; l'expérience seule servant à décider le temps qu'un original doit demeurer dans la liqueur.

« Quand on a, par ce moyen, obtenu un original imprégné d'acide, on le comprime entre deux feuilles de papier brouillard, afin d'y faire répartir l'acide et d'enlever ce qui pourrait être superflu. En cet état, l'original est prêt à donner une impression, et on le presse sur une plaque de zinc. L'acide attaque cette plaque, excepté dans les points où elle est protégée par l'encre et produit ainsi une *eau forte négative*.

On voit que le succès de ce procédé repose sur la propriété que possède l'encre de résister à l'acide, et que cette encre doit être de nature grasse ou savonneuse comme l'encre lithographique, et avoir été chargée en quantité suffisante; par conséquent ce procédé serait peu applicable aux vieilles gravures ou impressions chez lesquelles l'encre se serait altérée. Pour remédier à ce défaut, on encre de nouveau l'original par un procédé chimique.

« On trempe la feuille imprimée dans une solution d'abord de potasse, et ensuite d'acide tartrique. Il résulte de là que toute la partie non imprimée s'imprègne de petits cristaux de bi-tartrate de potasse. Comme ce sel repousse l'huile, on peut passer le rouleau chargé d'encre sur la surface du papier, et l'encre ne s'attache qu'aux parties imprimées. On enlève ensuite le tartre par un lavage à l'eau, et l'on contre-épreuve l'impression sur la plaque de zinc. On la laisse reposer pendant quelque temps (1).

« On acidule, on prépare ensuite la planche de zinc avec une solution de gomme et d'acide phosphorique affaibli par de l'eau, et l'on imprime comme à l'ordinaire. Mais au bout d'un certain nombre d'épreuves, les lignes s'épaississent et le dessin s'altère; cet accident est évité en frottant de temps en temps la planche avec une solution d'acide phosphorique affaibli. »

Procédé de M. Knecht, pour transporter les vieilles gravures (extrait du *Technologiste*, décembre 1840). « Imbibez la feuille à réencrer de gomme arabique, posez-la sur un marbre, versez dessus de la soude caustique de 12 à 15 degrés. Laissez cet alcali de quinze à vingt minutes, en essayant de temps en temps sur un mot, si le corps gras commence à revivre. Aussitôt que vous verrez que la soude aura assez agi sur les caractères, jetez de l'eau sur la feuille pour enlever l'alcali, versez-y de l'essence de térébenthine, elle doit se fixer sur les caractères. Laissez séjourner l'essence pendant un quart-d'heure; tenez cependant la feuille constamment humide.

« Préparez une encre composée de : 1/2 partie de cire-vierge, 1/2 p. de suif, 1 p. de vernis faible, 1/4 p. de térébenthine de Venise, 1/4 p. d'essence de térébenthine, 1/2 p. de vermillon.

« Garnissez un petit cylindre de drap fin (ou un tampon) de cette encre, et cherchez à encrer doucement les caractères.

« C'est de cette opération que tout dépend. Si on s'y prend mal, le corps gras ou le noir quittera le papier pour se marier à l'encre rouge. Si on laisse sécher le papier, le rouge les salira. Si l'on tamponne, ou promène le rouleau avec peu d'attention, on déchirera le papier.

« Il faut, pour cette opération, une grande patience, de la pratique; mais avant tout, du jugement pour comprendre les modifications à apporter dans l'encre et ce mode d'encrage.

« On fera bien d'avoir un second petit rouleau garni de drap pour nettoyer et enlever la surabondance d'encre.

« Lorsqu'on verra que l'encre rouge sera fixée sur les caractères, on mettra la feuille entre des maculatures, et on ne la transportera que très faiblement humide.

Les transports d'impressions fraîches sur cuir, tôle vernie, toile cirée, etc., se font de même que les autographies; mais ceux sur porcelaine nécessitent que le dessin soit imprimé avec une encre qui contienne, au lieu de noir de fumée, un oxyde métallique susceptible de se vitrifier.

Les procédés, du reste, sont parfaitement décrits par Brongniart, directeur de la manufacture de porcelaine, à Sèvres. (Voir son Traité des arts céramiques, tom. II, page 648). Nous en extrayons quelques détails qui peuvent donner lieu à des applications ingénieuses, entre les mains de lithographes habiles.

Impression sur papier et transport sur porcelaine faïence. « Le tirage sur papier n'a rien de particulier, mais le choix et la qualité du papier sur lequel on tire les épreuves, sont très importants; ce doit être du papier dit Joseph, c'est-à-dire du papier fin, absolument sans colle et humecté convenablement. On lui faisait subir autrefois diverses préparations avec du sel marin, du savon, etc.; mais on a reconnu l'inutilité de ces procédés. Aussitôt que le dessin a été transporté de la planche sur le papier, on place ce papier dans l'eau, ou plutôt sur l'eau.

« On prépare alors la pièce à imprimer avec une espèce de mordant qu'on nomme *mixtion*, composé d'essence de térébenthine, à laquelle on a ajouté environ un douzième de vernis de copal, on fait complétement sécher cet enduit à l'étuve. La pratique a fait connaître que cet enduit n'est pas indispensable sur la faïence, ni même sur la porcelaine, mais il rend plus certain *le succès du décalcage*. On peut remplacer cette mixtion qui exige un séchage à l'étuve, par une mixtion saline, comme l'a fait à Sèvres le chef imprimeur *Tristan;* elle est composée simplement d'une eau d'alun très faible, qui sèche assez promptement sans qu'on ait besoin d'étuve.

« On prend alors le papier qui porte l'épreuve de la planche, et dont on a enlevé l'eau en excès, en le faisant égoutter sur du papier buvard et sur de la flanelle, on mieux encore sur une plaque de dégourdi de porcelaine, et on l'applique sur la pièce de poterie, de manière que le dessin ou la gravure soit uni dans la place qui lui convient; on décalque cette gravure en appuyant sur le papier au moyen d'un tampon de feutre ou à l'aide d'un petit rouleau.

« *Impression à la gélatine avec augmentation et réduction.* Un graveur en taille-douce, le sieur Gonord, a su donner, en 1818, une remarquable application à ce procédé d'impression, en tirant de la même planche, et au moyen de la gélatine, des épreuves plus petites et plus grandes que la gravure originale et parfaitement régulières. Il a tenu son procédé secret tant qu'a duré son brevet d'invention, et personne que je sache n'a pu le deviner. A son échéance, en 1833, il a été publié dans le tome 24 des brevets d'invention; mais cette description est tellement obscure, le procédé est tellement compliqué qu'on n'y voit qu'une chose, c'est la propriété qu'a une plaque de gélatine de gonfler régulièrement dans l'eau froide et de se rétrécir régulièrement dans l'esprit de vin.

« D'après cette propriété, nous avons mis, à Sèvres, à exécution le procédé Gonord, mais d'une manière beaucoup plus simple, et par conséquent plus expéditive.

(1) Il conviendrait de la faire chauffer à un feu doux, pour augmenter l'adhérence de l'encre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« On fait une dissolution de gélatine de rognures de parchemin, c'est la meilleure, elle est limpide. Lorsqu'elle a pris la consistance d'un sirop, on l'étend en couches minces sur une plaque de cuivre; on se refroidissant elle se réduit en une feuille qui n'est pas plus épaisse qu'une feuille de papier fort, et qui donne ce qu'on nomme le papier glacé.

« On charge comme à l'ordinaire, avec des couleurs vitrifiables, la planche gravée dont on veut avoir des épreuves, on tire une épreuve sur papier non collé, comme il est dit; on pose cette épreuve très humide sur la feuille de gélatine, et l'on décalque la gravure avec une roulette. Si on veut avoir une épreuve de la grandeur de la gravure, on pose immédiatement la feuille de gélatine sur la pièce de poterie vernissée, dont la surface a reçu la mixtion, et on opère le décalcage par simple pression à la main ou à la roulette. Mais si on veut avoir des épreuves plus grandes ou plus petites que l'original, on procède comme il suit :

« *Pour l'augmentation de l'épreuve.* On met la feuille de gélatine sur l'eau, ayant soin de tenir la partie imprimée en dessus. Il se forme un bord de relèvement qui empêche l'eau de recouvrir cette surface et qui permet à la feuille de gélatine de surnager. On la voit s'étendre en tous sens avec une grande régularité, et au bout d'une heure elle a pris toute son extension qui peut être de plus d'un tiers. Pour l'enlever, on passe dessous une feuille de papier à décalquer, on enlève ainsi la feuille sans mouiller la face imprimée. On pose cette face de la feuille de gélatine sur la pièce de poterie mentionnée, et on décalque au moyen de la roulette, ou même avec la main comme on l'a fait pour les autres décalcages. Pour enlever la gélatine, on met la pièce dans l'eau très chaude; la gélatine s'y dissout entièrement et l'épreuve de la gravure reste nette sur la pièce de porcelaine ou toute autre poterie à glaçure.

« *Pour la réduction de l'épreuve.* On procède exactement comme dans l'opération précédente, mais on place avec les mêmes précautions la feuille de gélatine imprimée sur un bain d'esprit-de-vin; on voit cette feuille se rétrécir avec régularité, et en moins d'une demi-heure, elle a pu être réduite d'environ un quart.

« Il faut éviter que la partie de la feuille de gélatine qui porte la gravure et qui doit être placée sur la pièce mixtionnée, soit mouillée d'esprit-de-vin, car ce liquide dissoudrait la mixtion et s'opposerait au décalcage. On décalque de même et on enlève de même la gélatine au moyen de l'eau chaude.»

INSTRUMENTS NÉCESSAIRES A L'IMPRESSION.

Presses. Sénéfelder écrivait en 1809 : « On aurait besoin d'un volume presque aussi considérable que celui ci, si l'on voulait décrire clairement toutes les presses lithographiques dont on s'est servi jusqu'à ce jour. »

Aujourd'hui, il faudrait des volumes pour ne donner même que la description de celles qui ont été exécutées en France; nous renvoyons donc pour les connaître aux descriptions des brevets, et nous engageons nos lecteurs à les consulter, car il y en a plusieurs, telles que celles de MM. de la Morinière, Engelman, Clouet, Traschelle, Bénard, Tardy de Montavel, etc., qui renferment des dispositions mécaniques particulières et fort ingénieuses. Nous nous bornerons, pour le moment, à donner une idée exacte des presses qui sont généralement adoptées dans les divers ateliers de Paris.

Presse à moulinet et à rateau tournant. La première presse, dite à rouleau et à rateau à bascule, a été inventée par le professeur Mitterer vers l'année 1805. Elle est décrite dans l'ouvrage de Sénéfelder.

Cette presse est le type de celles dont on se sert le plus généralement aujourd'hui dans les imprimeries lithographiques; toutefois elle a reçu quelques additions ou perfectionnements importants sous le rapport de l'aisance et de la facilité des mouvements.

Au reste, comme la presse à moulinet de M. Mitterer, telle qu'elle a été perfectionnée jusqu'à ce jour par diverses personnes, ne diffère de la presse à rateau tournant de M. Roussin que par le mouvement donné au porte-rateau, qui se baisse et s'élève à la main (figure 1476), nous ne parlerons que de cette dernière, qui est beaucoup plus facile et moins fatigante à manier (fig. 1475).

A, A, montants ou bâtis en bois ou en fonte, parallèles sur le dessus desquels glisse le chariot.

B, chariot destiné à recevoir la pierre, que l'on pose à plat sur deux ou trois cartons pour éviter les accidents de rupture, et augmenter surtout l'élasticité de la pression.

C, châssis en fer. Son extrémité inférieure est fixée au chariot par deux plates-bandes à fourchette, maintenues solidement au moyen de boulons avec écrous à oreilles. Ce châssis est garni d'un cuir *maigre*, que l'on tend au moyen d'écrous que l'on fait tourner sur les vis qui terminent les tringles latérales et perpendiculaires de l'encadrement. A l'autre extrémité supérieure sont disposées deux vis qui servent à hausser et à baisser le châssis, et à le maintenir au niveau sur la pierre lorsqu'il est placé dessus.

D, porte-rateau à charnière en E, qui reçoit le sommier dans lequel on fixe, au moyen d'une vis, un rateau en bois taillé en biseau. Le sommier tourne autour d'un point fixe servant de point d'appui, et le rateau peut ainsi prendre l'inclinaison de la pierre. De plus, l'extrémité inférieure de la tige verticale E, autour de laquelle tourne le porte-rateau, est liée avec un ressort à boudin, qui a pour effet de donner de l'élasticité au porte-rateau et de le relever après l'impression.

G, vis à oreilles servant à élever ou à abaisser à volonté le porte-rateau suivant l'épaisseur des pierres.

H, bride à laquelle on accroche le porte-rateau lorsque le châssis est abaissé sur la pierre. Elle plie au moyen d'une charnière, et on peut l'élever ou la baisser, pour donner une pression plus ou moins forte, en tournant l'écrou à oreilles I.

Une traverse en fer sur laquelle glisse un curseur sert à régler la longueur de la course du chariot. A cet effet, on fixe le curseur, au moyen d'une vis, à la place qui doit borner la course du chariot.

M, cordes attachées à l'une des côtes à gauche du chariot, et à laquelle est suspendu un poids très pesant L. Ce contre-poids est destiné à ramener le chariot au point de départ, après l'impression opérée.

K, sangle liée au chariot et à l'arbre en fer N.

N, arbre ou axe en fer garni d'une bobine en cuivre sur laquelle s'enroule la sangle K, lorsque l'on fait tourner le moulinet O, pour faire marcher le chariot de gauche à droite, et opérer ainsi l'impression dite.

P, ficelle, munie d'un contre-poids R, elle s'enroule sur l'arbre N, lorsqu'on donne le mouvement au chariot; et elle se déroule ensuite, lorsqu'on a opéré l'impression. Le contre-poids R a pour objet d'aider seulement le rappel du chariot, au point de départ, en facilitant le déroulement de la sangle K.

S, barre ou levier pour donner la pression nécessaire; à cet effet, on élève ou abaisse la bride H, au moyen de la vis à oreilles, et on fait monter ou descendre ainsi le collier T, qui sert de point d'appui au levier; puis on allonge ou on raccourcit la longueur de la crémaillère en fer U, et on la maintient dans la position convenable, à l'aide de broches en fer.

X, pédale liée au levier S, et servant à donner la pression, lorsqu'on appuie le pied dessus.

Y, système de bascule avec un contre-poids Z, servant à faire remonter la barre de pression S.

Presse à engrenage, de M. *Clouet*. Cette presse renferme les changements suivants : le moulinet est rem-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placé par deux roues d'engrenage, qui, mises en mouvement à l'aide d'une manivelle, font tourner l'arbre de la presse. L'axe de la manivelle est à pompe, de telle sorte qu'on engrène en la poussant sur la presse, et qu'on désengrène en la tirant à soi; lorsque la pression est faite, un contre-poids ramène le chariot à son point de départ.

vers l'année 1810; depuis, plusieurs imprimeurs de Londres l'ont utilisée d'une manière différente dans la construction de diverses presses, qui marchent encore aujourd'hui dans leurs ateliers.

Au mois de mars 1835, M. Quinet, imprimeur lithographe à Paris, a pris un brevet d'invention de cinq ans, pour une presse qui réunit aujourd'hui, par

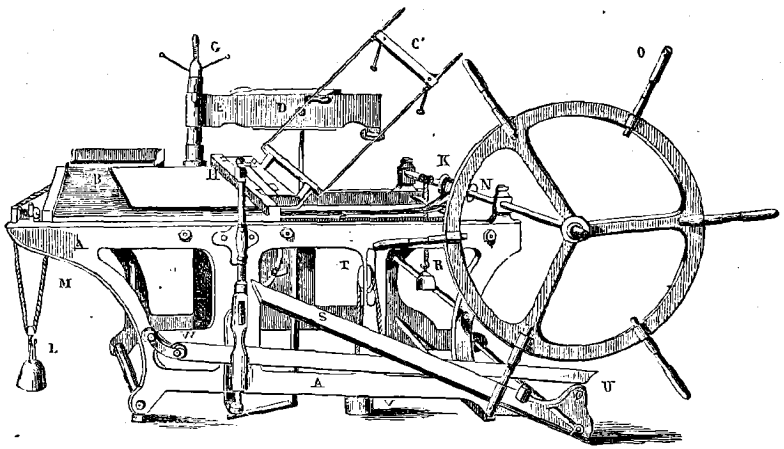


Fig. 1475.

Cette presse n'a point de pédale, et la pression est donnée au moyen d'une roue excentrique liée à un levier très-court. On la règle d'ailleurs au moyen d'une vis à oreilles, qui élève ou abaisse la bride, laquelle accroche le porte-rateau, par une disposition semblable à celle qui figure dans le dessin de la presse représentée fig. 1475.

Presse à pression fixe et à rateau mobile, par M. Qui-

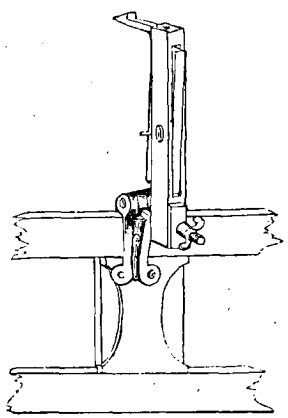


Fig. 1476.

net. Le principe de la pression fixe a été appliqué, pour la première fois, par M. Schelicht, de Manheim, suite des additions et changements apportés par l'auteur lui-même, l'emploi déjà connu de la pression fixe, et l'application toute nouvelle d'un rateau mobile dont l'effet agit et cesse de lui-même, sans l'emploi d'aucune autre force que celle nécessaire pour entraîner le chariot, et opérer l'impression.

Avec la presse de M. Quinet, pour tirer une épreuve, l'imprimeur n'a plus que trois mouvements à faire : 1° d'abaisser le châssis; 2° de tourner le moulinet; et 3° de relever le châssis après l'impression opérée. Tandis qu'avec les presses à moulinet, par exemple, il y a dix mouvements à faire, qui sont : 1° d'abaisser le châssis; 2° d'abaisser le porte-rateau; 3° d'agrafer le porte-rateau; 4° de prendre la pédale avec la main pour la porter sous le pied qui doit opérer la pression; 5° de poser le pied sur la pédale; 6° de tourner le moulinet; 7° d'ôter le pied de dessus la pédale, pour faire cesser la pression; 8° de dégrafer le porte-rateau; 9° de relever le porte-rateau et de le mettre dans la position perpendiculaire; 10° de relever le châssis.

Il y a donc sept mouvements de moins dans cette nouvelle presse, et, par conséquent, une grande économie de temps et de fatigue pour l'ouvrier. On en peut prendre une idée exacte par l'inspection du dessin (fig. 1477), qui représente la coupe en long de cette presse.

Il est facile de voir par l'inspection du dessin que par l'ingénieuse disposition du rateau articulé seulement en avant, son action a lieu sans qu'il y ait à mouvoir aucune pédale. La pression convenable est donnée en tournant la vis à oreilles figurée au-dessus du montant vertical.

Observations. « Il est facile, ajoute Engelmann, de se convaincre que, par la disposition de cette presse, plusieurs mouvements se trouvent économisés, et que son action est plus prompte que celle des presses à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moulinet ordinaire. » En vérité cette presse convient très-bien pour le tirage des écritures qui n'exigent pas une forte pression, et pour lequel la promptitude de ses mouvements procure une économie sensible.

Presses lithographiques mécaniques. La première presse lithographique mécanique a été inventée en 1814, par Marcel de Serres, qui en a publié les dessins (voir son livre intitulé : *Essais sur les Arts et Manufactures de l'empire d'Autriche*; et le tome LII des *Annales des Arts et Manufactures,* pages 119 et 267).

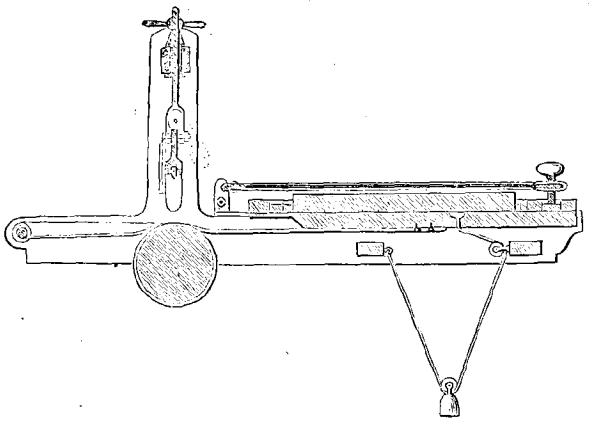


Fig. 1477.

Dans son ouvrage, publié en français, en 1819, page 120, Sénéfelder nous apprend aussi qu'il avait soumis à l'Académie royale des sciences de Munich le plan d'une presse, dans laquelle il existait un mécanisme faisant les fonctions de noircir; et il ajoute : « Mais elle n'a pas encore été exécutée en grand, et c'est pour cela qu'on ne peut en apprécier le mérite avec exactitude. »

En 1833, M. Villeroy, ingénieur à Paris, a pris un brevet d'invention pour une presse mécanique qu'il a nommée typo-lithographique, dont l'objet, dit l'auteur, est d'opérer le tirage accéléré, l'encrage mécanique, et l'impression à plusieurs couleurs par le même tirage, sur le papier, le cuir, la toile, etc. (voir tome XXXIV, page 115, *des Brevets expirés*).

Cette presse, qui n'est qu'une copie fort imparfaite de celle de Marcel de Serres, n'a pas même le mérite de réunir des organes mécaniques susceptibles d'opérer l'impression ordinaire, outre le grand désavantage qu'elle partage avec la première de nécessiter l'emploi des cylindres en pierre sur lesquels le dessin doit être transporté.

On a repris plusieurs fois cette idée de presses mécaniques fondées sur l'emploi d'un cylindre en pierre, mais sauf pour quelques cas particuliers d'impressions fort simples et devant être multipliées indéfiniment, la fabrication, le grainage, etc., d'un cylindre en pierre, sont bien trop coûteux pour qu'on ait adopté une semblable solution. On peut même poser en principe que la presse mécanique lithographique doit essentiellement s'appliquer à l'impression des travaux exécutés sur des pierres plates. C'est de cette seule espèce de presse que nous parlerons ici.

En 1840, M. Perrot, l'ingénieur distingué qui a créé la belle machine à imprimer les étoffes à plusieurs couleurs (voyez IMPRESSION SUR ÉTOFFES), a pris un brevet d'invention pour une presse mécanique propre à imprimer la lithographie. Cette presse est disposée de telle manière que la pierre lithographique étant posée à plat sur un chariot qui doit la faire marcher, le mouillage, l'encrage, la pose du papier sur la pierre, l'impression au moyen de la pression fixe, comme dans la presse Quinet décrite ci-dessus, enfin l'enlèvement des épreuves sont effectués mécaniquement et d'une manière continue.

Une machine de ce genre a marché plusieurs années dans les ateliers de M. Thierry, imprimeur-lithographe, pour le tirage de la musique que les perfectionnements des procédés de la lithographie font rentrer davantage chaque jour dans le domaine de la lithographie, l'impression toujours coûteuse de la taille-douce se réduisant à fournir les épreuves de report que l'on transporte sur pierre.

Ce genre de presse est d'une grande importance. C'est de son emploi et des perfectionnements réalisés chaque jour dans les procédés de transport que peut résulter, dans quelques cas, l'empiètement des procédés de la lithographie sur ceux de la typographie.

La difficulté du tirage de la lithographie, de ses surfaces plates où le dessin n'existe guère que par la propriété d'être rebelle au mouillage par l'eau, comparée à la facilité des tirages des types à relief saillant de la typographie, a toujours semblé rendre bien difficile l'application aux tirages de la lithographie des machines analogues aux presses mécaniques, et, par suite, le prix de ce genre d'impression a semblé devoir demeurer toujours élevé. Le problème a été heureusement résolu dans une autre voie que celle suivie par M. Perrot, dont les machines, malheureusement chères et compliquées, étaient une première solution du problème, obtenue en s'écartant peu du mode d'impression adopté pour les presses à bras de la lithographie.

Les perfectionnements apportés aux presses en blanc pour la typographie, qui en ont fait une machine aussi simple que précise dans son action, ont conduit à trouver dans l'application de ces machines, convenablement complétées, à l'impression lithographique, la solution du problème. C'est dans cette voie qu'ont été dirigés les efforts heureux de MM. Huguet, Dupuy, Voirin, etc.; nous allons étudier spécialement la presse mécanique lithographique, justement appréciée, de ce dernier constructeur, passer en revue les divers détails ajoutés à la presse typographique, pour l'approprier à ce nouvel emploi. La fig. 1478 représente cette machine.

Trois rouleaux mouilleurs en molleton épais, (visibles sur la figure près du cylindre imprimeur,) déposent de l'eau sur la pierre; ils sont, jusqu'ici, alimentés à la main avec des éponges; mais on pourrait, au besoin, les alimenter avec un système de mouilleur capillaire. La solution de ce problème est évidemment possible ; elle offre un intérêt assez limité dans la pratique. Comme le conducteur, en surveillant son tirage, doit mouiller la pierre de loin en loin, l'excédant d'eau est repris par les rouleaux mouilleurs, qui n'ont guère besoin de recevoir directement de l'eau que toutes les heures, surtout depuis qu'on a trouvé,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans l'addition de la glycérine à l'eau, le moyen de rendre l'alimentation encore moins fréquente.

La distribution de l'encre, l'encrage de la forme, l'impression de la feuille par son passage entre le cylindre et la pierre se produisent exactement comme dans la presse typographique en blanc, pour laquelle toutes ces opérations ont été parfaitement étudiées et s'exécutent avec une grande perfection par les moyens adoptés (voyez IMPRIMERIE).

La pierre étant continue ne permet pas, comme la forme de typographie, grâce aux vides qui existent entre parfaitement exécutés avec de semblables machines habilement conduites.

Impression des estampes, gravures et lithographies en plusieurs couleurs. Chromo-lithographie.

L'impression des estampes en couleurs, avec plusieurs planches, n'est pas une chose nouvelle. Plusieurs auteurs disent même qu'on imprimait déjà, en 1457, des dessins ou figures en deux couleurs, dites en camaïeu, avec deux planches de bois gravées en relief; mais nous ne possédons aucune épreuve ayant une date

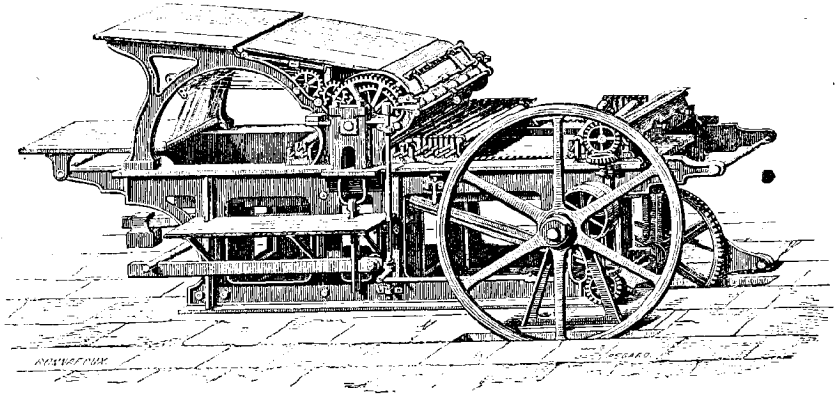


Fig. 1478.

les pages, de guider la feuille de papier avec des cordons qui la détachent du cylindre après l'impression, de loger des pointures qui permettent de la soumettre à des impressions successives.

La feuille de papier est seulement maintenue par des pinces qui la forcent à s'enrouler autour du cylindre. Pour la détacher de ceux-ci après l'impression et l'introduire entre les cordons qui la conduisent sur une table, le constructeur emploie de petites lames qui sont fermées lorsque le margeur place la feuille, et qui, s'ouvrant au moment convenable, au moyen d'une came et d'une manivelle formant un système fonctionnant à l'inverse des pinces auxquelles elles ressemblent, engagent la feuille entre des cordons. Les extrémités de l'une des séries de celui-ci, repliés sur des poulies creuses, sont placées au point où la feuille est repoussée, et l'entraînent. Inversement les pointures saillantes, lorsqu'on place la feuille, rentrent en dedans du cylindre imprimeur, lorsqu'il se met en mouvement, après un court temps d'arrêt, et après que les pinces ont saisi la feuille.

Ajoutons enfin que, pour éviter le bris des pierres, la pression à laquelle elles sont soumises au contact de la génératrice horizontale du cylindre et du marbre est limitée par le système connu sous le nom de pression mobile. Il consiste en ce que le cylindre est porté par des fourchettes sur lesquelles agissent des leviers formant romaine, et par suite que le cylindre est soulevé par la pierre si la pression dépasse une limite déterminée, qu'elle ne peut par suite être brisée par le cylindre. Imité des machines à imprimer les étoffes au rouleau, ce système répond à une très-grave objection que l'on faisait aux presses mécaniques lithographiques.

Dans ces conditions, les presses mécaniques lithographiques ont un grand et juste succès; leur adoption par tous les ateliers se produit rapidement, et des travaux délicats, des impressions en couleurs, sont bien certaine. Nous savons seulement que Hugo de Carpi, qui vivait vers la fin du quinzième siècle, perfectionna la manière d'imprimer les camaïeux; et Sandrat nous apprend qu'il a vu de pareilles images qui datent de l'année 1503.

Le procédé de Hugo exigeait alors, dit Papillon, trois sortes de planches en bois gravées en relief, lesquelles se tiraient l'une après l'autre sous la presse, pour imprimer une même estampe; l'une de ces planches servait pour les jours et les grandes lumières, que l'on formait avec du blanc de plomb; l'autre était destinée à former les demi-teintes; et la troisième servait pour imprimer les contours et les ombres.

En 1540 environ, François Mazzuoli, dit le Parmesan, perfectionna cette méthode en gravant les traits du dessin à l'eau-forte sur une planche de cuivre, et les imprimant ensuite sur les couleurs par les procédés ordinaires de l'impression en taille-douce (voyez IMPRIMERIE EN TAILLE-DOUCE).

François Périer, peintre et graveur, qui vivait en 1641, fut le premier qui exécuta, en France, à l'aide de plusieurs planches gravées en taille-douce, des camaïeux qui furent tirés sur du papier gris un peu brun, et dont les contours et les hachures étaient imprimés avec de l'encre noire, et les rehauts avec du blanc de plomb.

Cette méthode (*De la Manière de graver à l'eau-forte et au burin*, Paris, 1645, page 69) parut, au rapport de M. Bosse, graveur du roi, non-seulement nouvelle, mais encore si belle, qu'il s'appliqua à la perfectionner.

« Il faut, dit-il, avoir deux planches de pareille grandeur, exactement ajustées l'une sur l'autre; l'on peut, sur l'une d'elles, graver entièrement ce que l'on désire, puis la faire imprimer de noir sur un papier gris et fort. Et ayant verni l'autre planche, comme ci-devant, et l'ayant mise le côté verni dans l'endroit de l'empreinte que la planche gravée a faite en imprimant sur cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

feuille, la passer de même entre les rouleaux, ladite estampe aura fait sa contre-épreuve sur la planche vernie. Après quoi, il faut graver sur cette planche les rehauts et les faire fort profondément creuser à l'eau-forte. On peut faire la même chose avec le burin et même plus facilement.

« Or, la plus grande difficulté que je trouve encore est de trouver du papier et une huile qui ne fasse point jaunir ni roussir le blanc ; le meilleur est de se servir d'huile de noix très blanche, et tirée sans feu, puis de la laisser dans deux vaisseaux de plomb et de la mettre au soleil tant qu'elle soit épaissie à proportion de l'huile faible dont nous allons parler, et, pour l'huile forte, on laissera un de ces vaisseaux bien plus de temps au soleil.

« Ensuite, il faut avoir de beau blanc de plomb bien net, et l'ayant lavé et broyé extrêmement fin, le faire sécher et en broyer avec de l'huile faible bien à sec, et après l'allier avec de l'autre huile plus forte et plus épaisse, comme on fait pour le noir. Puis, ayant imprimé de noir ou autre couleur sur du gros papier gris la première planche qui est gravée entièrement, vous en laisserez sécher l'impression pendant dix ou douze jours ; alors, ayant rendu ces estampes humides, il faut encrer de ce blanc la planche où sont gravés les rehauts, de même façon qu'on imprime, et l'essuyer à l'ordinaire, puis la poser sur la feuille de papier gris déjà imprimée, en sorte qu'elle soit justement placée dans le creux que la première planche y a fait, et prenant garde de ne point la mettre à l'envers ou le haut en bas. Étant ainsi bien ajustée, il ne s'agit plus que de la faire passer entre les rouleaux, comme on a dit pour l'impression sur l'enluminure.

« Quant à imiter le travail des enlumineurs, au lieu d'appliquer les couleurs sur l'impression, je m'avisai de faire en sorte que cette impression fût sur les couleurs.

« Supposons que vous ayez une planche toute gravée d'une figure que vous voulez vêtir de deux ou trois couleurs ; par exemple, le chapeau gris, les cheveux un peu bruns, le manteau rouge, l'habit d'une couleur, les bas d'une autre, etc.

« Premièrement, vous aurez une planche de cuivre toute polie, ajustée et limée de la même grandeur de l'autre, de sorte qu'étant appliquée dessus, elle s'y rapporte exactement de tous côtés, et ayant verni la planche d'un vernis blanc (voyez VERNIS), et prenant une épreuve toute fraîche tirée de la planche gravée, mettez cette planche vernie blanc sur ladite impression, précisément dans la même place où la planche gravée a fait son empreinte, ayant étendu auparavant sur la table deux linges par-dessous l'estampe, et deux ou trois autres par-dessus la planche, vous ferez passer le tout entre les rouleaux, après quoi vous verrez que la figure ou estampe imprimée sur le papier aura fait une empreinte sur la planche vernie en forme de contre-épreuve.

« Ensuite vous graverez sur la planche vernie avec une pointe bien fine les simples contours du chapeau, des cheveux, du manteau, etc., et les ferez creuser fort peu à l'eau-forte ; puis vous en ôterez le vernis et en ferez tirer des estampes sur du papier fort et aluné, ou sur du carton très mince et battu que vous aurez humecté en le mettant à la cave pendant quelques nuits, ou bien en le laissant quelque temps en presse entre des papiers mouillés. Ces contours étant imprimés et le papier ou carton étant bien sec, il faut coucher à plat de rouge toute la place renfermée dans le contour du manteau, mettre une couche de bistre dans la place du chapeau, et ainsi du reste.

« Cela étant fait, vous mettrez encore cette feuille ainsi colorée à la cave pour la rendre humide, comme on vient de le dire, puis ayant bien étendu quelques linges sur la table de la presse, vous l'y poserez le côté de la couleur en dessus, et après avoir encré la première planche qui est entièrement gravée, vous la mettez sur cette feuille, le côté gravé en dessous, précisément dans l'enfoncement que la planche des contours y a déjà fait, puis deux ou trois linges par-dessus, et vous la ferez passer entre les rouleaux. Alors, en relevant la feuille, vous trouverez l'estampe imprimée par-dessus ces couleurs, ce qui les rend plus transparentes et infiniment plus belles que les enluminures ordinaires.

« Vers le commencement du dix-neuvième siècle, Jacques Leblon, peintre, natif de Francfort-sur-le-Mein, a inventé le véritable moyen de faire des copies de tableaux et des estampes en couleurs, à l'aide du mélange des trois couleurs primitives et par le moyen de trois planches de cuivre gravées à la manière noire.

« Suivant Leblon, l'art d'imprimer en couleur se réduit :

« 1° A représenter un objet quelconque avec trois couleurs et par le moyen de trois planches qui doivent se rapporter sur le même papier ;

« 2° A faire dessiner sur chacune des trois planches, de façon que les trois dessins s'accordent exactement ;

« 3° A graver les trois planches à la manière noire et de façon qu'elles ne puissent manquer de se rapporter ;

« 4° A trouver les trois vraies couleurs primitives, et à les préparer de manière qu'elles puissent s'imprimer, être belles et durer longtemps ;

« 5° Enfin à tirer les trois planches avec assez d'adresse pour que l'on ne s'aperçoive pas, après l'impression, de la façon dont elles sont tirées.

« Une quatrième planche donne le moyen d'opérer plus promptement, et une cinquième rend la transparence à certaines parties du tableau, comme les vitraux d'architecture, voiles dans les draperies, nuées dans le ciel. »

Le rédacteur de l'article *Gravure en couleurs*, dans le *Dictionnaire encyclopédique* de 1777, indique cette méthode ; mais il trouve que le mélange des trois couleurs est dur et mal entendu.

Cette critique n'est pas très exacte, et tout porte à croire que l'auteur n'avait pas vu les belles productions de Leblon.

Au résumé, il est certain qu'en appliquant ainsi à l'impression, comme Leblon l'a pratiqué avec succès, le mélange des trois couleurs primitives (*rouge, jaune et bleu*) avec du blanc, pour éclaircir les teintes, et la terre de Sienne pour les brunir, on peut réunir tout ce que l'on peut désirer de mieux dans une estampe coloriée (Voyez COULEUR et DESSIN). Pourtant, l'emploi de ce mélange est peu ou point en usage dans l'impression lithographique, et l'on préfère généralement aujourd'hui imprimer en couleurs par teintes plates, méthode qui a été indiquée en 1814, par Marcel de Serres (voir tome LII des *Annales des arts et Manufactures*, pages 66 et 117).

La manière de procéder, c'est-à-dire de décalquer le sujet sur la pierre, est la même que celle déjà décrite par Bosse et Leblon ; seulement, il faut employer autant de pierres que de couleurs différentes et nécessaires pour exprimer le modelé des formes. Le dessinateur remplit d'encre lithographique chaque portion du sujet qui doit fournir une couleur distincte, en ayant soin de suivre les contours, de manière que tous les tons soient imprimés exactement les uns à côté des autres, sans se confondre ni se mêler, et sans laisser entre eux aucun intervalle ou blanc qui nuirait à l'effet général du dessin.

On acidule les pierres comme à l'ordinaire, et l'on encre chaque teinte avec un rouleau en cuir, dont le côté de la chair est placé en dedans, avec une encre préparée d'avance suivant le ton que l'on veut avoir.

Pour obtenir la juxta-position ou la superposition

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exacte des teintes, on se sert d'une machine dite à repérer, et l'on imprime sur du papier sec et laminé. Tel est le procédé pour lequel Engelmann avait pris un brevet d'envention de dix ans, le 31 août 1837.

Ainsi donc le dessinateur en chromo a besoin de plusieurs pierres pour exécuter son travail. Sur la première il dessine les contours de toutes les parties colorées de son dessin, sans les accentuer par aucune ombre. Cette première pierre est donnée à l'imprimeur qui en fait, sur d'autres pierres, autant de décalques que l'artiste lui en aura demandé. Ces décalques se font simplement en plaçant une épreuve fraîche sur une pierre préparée avec soin, c'est-à-dire bien grainée, et placée préalablement sur le chariot de la presse; le côté imprimé de l'épreuve touche la surface de la pierre; l'imprimeur abat son châssis et son porte-râteau, et donne plusieurs coups de presse; il enlève ensuite l'épreuve, et le dessin se trouve décalqué sur la pierre. On répète cette opération sur autant de pierres que l'artiste l'aura jugé nécessaire, et, quel que soit le travail qu'il aura à exécuter sur chacune d'elles, il sera sûr qu'il cadrera parfaitement avec celui des autres, quel qu'en soit le nombre puisqu'un seul et même tracé a servi à former tous les décalques. Ceux-ci sont donc naturellement tous égaux entre eux.

Le dessinateur ou peintre en chromo dessine ensuite au moyen du crayon lithographique ou avec l'encre, selon que le travail l'exige, chaque couleur sur chacune des pierres qu'il a choisies; il pourra composer ses couleurs mixtes en faisant retomber une couleur sur une autre, c'est-à-dire en dessinant sur une pierre la couleur dont l'impression, retombant sur l'impression d'une autre pierre, produira la nuance voulue. C'est ainsi qu'une impressoin en rose retombant sur une impression bleue, produira une teinte violette. Quand il aura achevé ce travail, qui demande des études spéciales et un grand talent, ses pierres seront reportées chez l'imprimeur qui leur fera subir les mêmes préparations que j'ai précédemment décrites, et qui les imprimera tour à tour sur la même feuille de papier, avec la couleur que l'artiste aura assignée à chaque pierre; de sorte que chaque couleur devra, à l'impression, se retrouver à sa place, et que l'épreuve finale représentera le dessin colorié dans toutes ses parties avec la plus scrupuleuse exactitude.

Les couleurs au vernis sont malheureusement trop épaisses pour que les modifications des teintes par superposition intégrale des couleurs sur un même espace soient d'un très-grand secours, dans le plus grand nombre de cas, et cependant l'absence de dégradation des teintes limiterait beaucoup les ressources du procédé, au moins sans multiplier outre mesure le nombre des planches et des tirages, ce qui conduirait à des prix de revient trop élevés, à des œuvres impossibles commercialement parlant. Les artistes ont inventé un moyen ingénieux de tourner la difficulté, consistant à remplacer la teinte unie par un pointillé formé de grains plus ou moins gros; ainsi le rose chair d'une figure ira en se dégradant vers le point brillant, en étant déposé sur un pointillé de plus en plus fin, formé de points de plus en plus écartés. La proportion de blanc et d'une même couleur variant pour un même espace, donne à l'œil le sentiment très-net de demi-teintes successives, d'une dégradation très-satisfaisante entre les mains d'un artiste expérimenté.

Quant aux procédés pour faire des impressions lithographiques, en bronze, en or ou en argent, ils sont absolument les mêmes que ceux employés pour imprimer le dessin à la plume; seulement, on encre les traits avec du vernis faible dans lequel on mêle une certaine quantité de vernis gras au copal. On laisse ensuite sécher l'impression pendant un certain temps; et, lorsque le vernis happe ou poisse encore le doigt, on

applique la feuille d'or ou d'argent, ou le bronze en poudre avec un tampon en coton, et on enlève l'excédant de l'or, de l'argent ou du bronze non fixé, à l'aide d'un blaireau. (Voy. POUDREUSE).

On fait sécher les épreuves pendant 24 heures, au moins, et on les soumet alors à l'action de la presse à satiner.

Châssis à répérer. Dans son *Traité de Lithographie*, Sénéfelder a donné la description, un peu confuse peut être, d'un châssis à repérer que M. Brisset a perfectionné ou modifié depuis d'une manière assez heureuse.

La figure 1479 représente cette machine à repérer, dans la position qu'elle occupe sur la presse. Cet appareil consiste en un cadre rectangulaire en fer, qui est adapté à charnières sur le côté du chariot, en face de l'imprimeur.

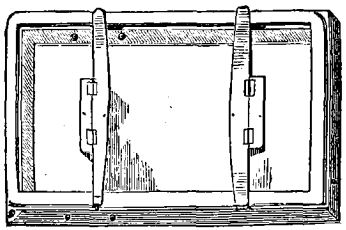


Fig. 1479.

Sur les deux grands côtés parallèles, glissent à frottement deux règles en cuivre très-minces que l'on fixe à la distance convenable, au moyen de vis, suivant le format du papier à imprimer. Ces règles sont armées d'aiguilles d'acier, servant de points de repères, sur lesquelles on pique et accroche carrément la feuille de papier, comme sur une frisquette d'imprimerie typographique. On recouvre les côtés parallèles de la feuille de papier par des bandes de cuivre à charnières qui la maintiennent dans une position fixe, et garantissent aussi les pointes d'aiguilles de tout accident. On imprime ensuite comme à l'ordinaire.

On met en rapport les points de repère tracés d'avance sur les différentes pierres, avec ceux qui sont gravés sur les bandes transversales en cuivre, en avançant ou en reculant la pierre, au moyen de vis liées avec des règles en fer, que l'on serre ensuite fortement pour éviter tout dérangement.

Historique. Je donnerai ici quelques détails sur le développement qu'a pris la chromo-lithographie.

C'est en 1837, ainsi qu'il vient d'être dit, que la maison Engelmann père et fils, de Mulhouse, prit un brevet pour l'invention de la chromo-lithographie, et au mois de septembre de la même année, M. J. Engelmann fils vint à Paris pour y fonder cette nouvelle industrie.

Lorsque la maison Engelmann père et fils prit son brevet d'invention, elle ne voulait que bien fixer les conditions d'une exécution sûrement bonne, savoir: l'emploi d'une mécanique à repérer convenable, d'un système de décalcage pour guider l'artiste exécutant et enfin le tirage sur papier sec en remplaçant l'humectage par le glaçage.

La chromo-lithographie est sans contredit le plus beau fleuron qui ait été ajouté à la couronne de la lithographie depuis son origine. Plus de la moitié des établissements lithographiques de Paris lui doivent leur prospérité actuelle. Elle a donné l'impulsion à la chromo-typographie, ainsi qu'à la taille-douce en couleurs, dont les progrès ont été aussi fort remarquables.

Les planches archéologiques ont été l'objet des plus beaux travaux des lithographes français. On peut dire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que la chromo-lithographie est le moyen qui a permis le développement des travaux d'archéologie artistique, qui est une des gloires de notre époque.

C'est surtout dans l'imitation des enluminures des anciens manuscrits que les artistes français se sont distingués. Nous citerons les Heures d'Anne de Bretagne d'après les manuscrits de la Bibliothèque, les Statuts de l'Ordre du Saint-Esprit, enfin les Heures du moyen âge.

Les imprimeurs anglais ont beaucoup développé l'imitation de l'aquarelle, et les Allemands l'imitation de la peinture à l'huile. (Voy. ART INDUSTRIEL.)

Les travaux en chromo, cet emploi d'une palette spéciale pour obtenir de petits tableaux fort agréables à l'œil, s'est développé considérablement grâce aux talents des artistes qui ont appris à faire produire au procédé, par des travaux simples, tout ce qu'il pouvait donner, mais aussi surtout grâce à l'emploi et au perfectionnement de la presse mécanique lithographique. Une bonne disposition des pointures, et des pinces fixant solidement la feuille de papier sur le cylindre, permet d'obtenir un repérage aussi exact sur la presse mécanique que sur la presse à bras, en réduisant à un quart au plus le prix et la durée des tirages. La chromolithographie a donc pu ajouter le bon marché aux éléments de succès que lui fournissait le charme du dessin et de la couleur, au moyen la multiplication des types par un procédé également peu dispendieux ; aussi arrive-t-elle de plus en plus chaque jour à l'état de grande industrie, étendant sans cesse le cercle de ses applications.

AUTOGRAPHIE. Nous terminerons cet article par la description des procédés servant à obtenir des autographies. (Voyez ÉCRITURE et ENCRE autographiques.)

Papier autographique et transport. On emploie de préférence pour encoller le papier le tapioca de première qualité.

Préparation. On met avec une éponge la couche d'empois qui doit être assez légère pour pouvoir s'étendre également sur le papier. Cette couche d'empois étant sèche, on applique sur le papier une couche de gomme-goutte pilée récemment et dissoute dans l'eau. Lorsque le papier est sec, on le lisse avec de la gomme-ponce.

L'empois a l'avantage de ne pas s'étendre lorsqu'il est humecté; mais on ne pourrait l'employer seul, parce qu'il s'attache trop au papier, qu'il absorbe l'encre, et que les transports seraient imparfaits si, pour obvier à cet inconvénient, on n'employait la couche de gomme-gutte.

La couche de gomme-gutte seule réussit quelquefois, mais est d'un emploi moins sûr que le procédé que nous indiquons.

Le calque s'effectue en dessinant avec de l'encre lithographique dissoute dans l'eau.

Pour le transport, ce papier est humecté entre des feuilles de papier moite, puis appliqué sur la pierre; ensuite on lave, on passe à la gomme et enfin à l'eau.

Le tirage s'opère à la manière ordinaire.

L'autographie a fait assez de progrès pour venir lutter aujourd'hui avec la lithographie, avec cet avantage que le travail du dessinateur est bien simplifié, qu'il n'a plus à tracer la figure symétrique de celle qu'il veut reproduire, qu'un seul dessin est à faire par le dessinateur, travaillant à bien peu près dans les conditions ordinaires. Aussi l'autographie gagne chaque jour de terrain sur les autres procédés de reproduction; il n'est plus guère de publication tirée à un nombre peu considérable d'exemplaires qui emploie d'autre mode de reproduction de dessins. ROUGET DE LISLE.

LITRE. Mesure de capacité, de forme cylindrique, dont la contenance est d'un décimètre cube. Pour le mesurage des matières sèches, le litre est un cylindre dont la hauteur égale le diamètre = 0m,1084; pour les liquides, sa hauteur, qui est de 0m,172, est le double de son diamètre, qui est de 0m,086.

LOCH. Instrument dont on se sert en mer pour mesurer la vitesse d'un navire, et qui consiste en un morceau de bois, ayant la forme d'un triangle isocèle ou d'un secteur de cercle, de 0m,10 à 0m,30 de hauteur qu'on leste à la base pour qu'il se tienne debout dans l'eau, la pointe en haut. Le lest est un morceau de plomb d'un poids tel que la pointe du loch sorte à peine au-dessus de la surface de l'eau, afin que le vent n'ait pas de prise, et qu'il demeure aussi immobile que possible, pendant que se déroule du navire la corde qui lui est attachée, et dont la longueur, en un temps donné, mesure la vitesse. (Voy. *Complément* LOCH.)

LOCOMOTIVE. On donne le nom de *machine locomotive*, ou simplement de *locomotive*, à un ensemble formé d'une chaudière et d'une machine à vapeur dont la force est appliquée à mettre en mouvement les voitures d'un chemin de fer: ensemble, monté sur un bâti porté lui-même sur des roues, qui marche avec le convoi qu'il remorque.

Le chemin de fer est tout entier dans la locomotive.

C'est dans l'application de la houille aux transports, dans la substitution du combustible minéral aux moteurs animés, dans la constitution de puissants moteurs qui ne se fatiguent pas en proportion de la vitesse produite, que réside la cause capitale des grands résultats obtenus par les chemins de fer, plus encore que dans la diminution de résistance produite par l'emploi des rails. (Voy. CHEMINS DE FER.)

Nous donnons ci-après, à l'article LOCOMOTIVES-ROUTIÈRES l'historique des essais des voitures qu'on essaya infructueusement et à bien des reprises de faire fonctionner sur les routes ordinaires. Plusieurs de ces essais précédèrent la création de la locomotive à grande vitesse, mais n'eurent qu'une influence indirecte sur la création de la locomotive des chemins de fer, qui procéda, grâce au génie de Stephenson, de celle successivement améliorée, employée pour effectuer, à petite vitesse, en Angleterre le service des mines de houille.

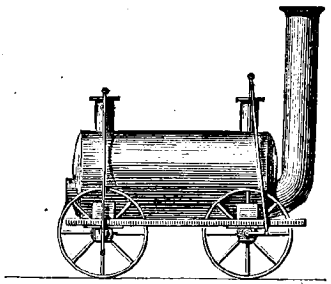
A l'origine, l'opinion dominante était que l'on rencontrerait des difficultés insurmontables dans le défaut d'adhérence des roues sur la surface polie des rails. C'est sous cette impression que Blenkinsop construisit, en 1811, pour le chemin de fer de Middleton à Leeds, les premières locomotives qui aient fait un service régulier. L'un des rails de la voie avait reçu latéralement une crémaillère, sur laquelle agissait une roue dentée mue par deux pignons armés chacun d'une manivelle mise en mouvement par une bielle rattachée à la tige du piston d'un cylindre vertical placé sur la chaudière; les deux manivelles étaient croisées à angle droit pour faciliter le passage des points morts. La chaudière, ainsi que toutes celles qui furent employées jusqu'en 1827, renfermait un tube intérieur dans lequel était placé le foyer, et qui débouchait dans la cheminée.

Ce ne fut qu'en 1813 que Blakett, ingénieur anglais, fit voir, par de nombreux essais exécutés sur le chemin de fer de Wylam, que l'opinion précitée était inexacte et que le frottement ou l'*adhérence* des roues sur les rails fournissait un point d'appui suffisant pour la locomotion. Ce principe, combiné avec l'emploi des deux cylindres de Blenkinsop, forma dès lors le point de départ du système actuel des locomotives.

Dès 1814, Georges Stephenson construisit, pour le transport des houilles de la mine de Killingworth, une locomotive (fig. 1) à quatre roues accouplées par le moyen d'une chaîne sans fin passant sur deux roues dentées montées sur le milieu de chaque essieu; un cylindre vertical, placé sur la chaudière au-dessus de chaque essieu, lui communiquait le mouvement au moyen de deux bielles verticales appliquées aux extrémités d'une traverse fixée à la tige du piston; les ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nivelles de l'un des essieux étaient croisées, par rapport à celles de l'autre essieu, afin d'éviter l'influence des points morts. La chaudière, de 2m,44 de long et d'une capacité de 6m.cub.,135, était à foyer intérieur cylindrique et présentait une surface de chauffe de 4m carrés seulement, ce qui correspondait au plus, sans tirage artificiel, à une force de deux chevaux; toutefois, cette machine put remorquer sur une pente de 0,002 un poids utile de 30 tonnes 1/2 avec une vitesse de 6 kilom. 1/2 à l'heure.



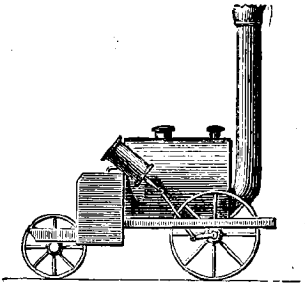
1.

Peu après, G. Stephenson, avec l'aide de l'ingénieur Dodd, imagina de suspendre la chaudière sur les essieux au moyen de cylindres renfermant chacun un piston solidaire avec la boîte à graisse, et pressé à sa surface supérieure par l'eau de la chaudière. Tout ingénieux que fut ce système de ressort de suspension, les auteurs ne tardèrent pas à en reconnaître les inconvénients, et ils le remplacèrent par des ressorts en acier analogues à ceux actuellement employés : ils substituèrent également à la chaîne sans fin, reliant les deux essieux, des bielles d'accouplement extérieures; enfin, ils assurèrent l'alimentation de la chaudière par une pompe foulante mue par le mécanisme moteur lui-même, et puisant l'eau dans une caisse placée sur un *tender* ou chariot d'approvisionnement attelé à la suite de la locomotive. Ces machines, ainsi perfectionnées, pesaient environ 10 tonnes (locomotive, tender, eau et charbon) et remorquaient sur chemin de fer 30 tonnes, poids des wagons compris, avec une vitesse de 10 kilomètres à l'heure.

En 1825, Hacworth apporta une amélioration importante au mécanisme des locomotives en disposant les cylindres latéralement à la chaudière, les faisant agir tous deux sur le même essieu, et conservant les bielles d'accouplement extérieures pour renvoyer le mouvement à l'autre essieu et utiliser ainsi toute l'adhérence des roues.

C'était un grand pas de fait, mais on se trouvait encore arrêté par la faible puissance vaporisatrice des chaudières; cette difficulté ne tarda pas à disparaître. G. Stephenson, par l'injection dans la cheminée d'un jet de vapeur, parvint à donner au tirage l'activité que l'on ne pouvait demander dans l'espèce à un exhaussement de la cheminée, et, dès 1827, M. Seguin aîné, sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, imagina de remplacer la partie du tube intérieur placée au delà du foyer par un grand nombre de tubes calorifères d'un petit diamètre et d'une faible épaisseur; les chaudières tubulaires étaient créées et la surface de chauffe augmentée dans des proportions considérables.

En 1829, au concours ouvert par les directeurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester, l'application de ces deux découvertes procura à Georges Stephenson et à la locomotion à la vapeur un éclatant triomphe. *La Fusée* (fig. 2), c'était le nom de la machine présentée par G. Stephenson, était montée sur quatre roues et pesait 4,316 kilogr.; elle remorquait, sur niveau, à la vitesse de 22 kilomètres 1/2 à l'heure, un poids brut de 12,942 kilogr.; la chaudière, de forme cylindrique, avait 1m,83 de longueur, y compris une boîte à feu

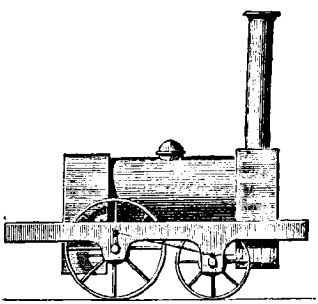


2.

cubique de 0m,91 de côté, et la flamme, en sortant du foyer, traversait vingt-cinq tubes calorifères de 0m,076 de diamètre; le tirage était activé par l'injection dans la cheminée de la vapeur qui avait fonctionné dans les cylindres placés latéralement à la chaudière, et sous une inclinaison de 45°. Cette machine comprenait la plupart des dispositions de mécanisme que l'on retrouve dans les locomotives actuelles, et Stephenson, le premier, a pris une large part aux perfectionnements qu'elle a reçus depuis.

La Fusée n'offrait, il est vrai, qu'une surface de chauffe de 12 mètres carrés, mais le principe était posé et, en le développant, on obtint successivement des surfaces de chauffe de 30, 50, 70, 100, et même dans ces derniers temps de 125 et 180 mètres carrés; ce qui, joint à l'élévation de la pression de la vapeur dans les chaudières, portée aujourd'hui de 4 à 7, 8 et 9 atmosphères, a donné, sous le rapport de l'effort de traction que ces machines sont susceptibles de développer, des résultats dont l'influence sur les progrès de la civilisation sont incalculables.

Des cylindres extérieurs et inclinés, on arriva bientôt aux cylindres horizontaux, puis, pour leur restituer l'enveloppe de chaleur qu'ils avaient perdue en sortant de la chaudière, et en même temps pour donner à la machine une plus grande stabilité, on imagina de les placer dans la boîte à fumée entre les roues (fig. 3), ce



3.

qui exigea que l'essieu moteur fût doublement coudé à angle droit pour recevoir les bielles des pistons; la fabrication de ces essieux coudés présenta d'abord de grandes difficultés, qui firent plus tard revenir les con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

structeurs aux cylindres extérieurs; ces difficultés n'existent plus, et l'on construit également des machines de l'un et l'autre système suivant la nature du service qu'elles sont appelées à remplir.

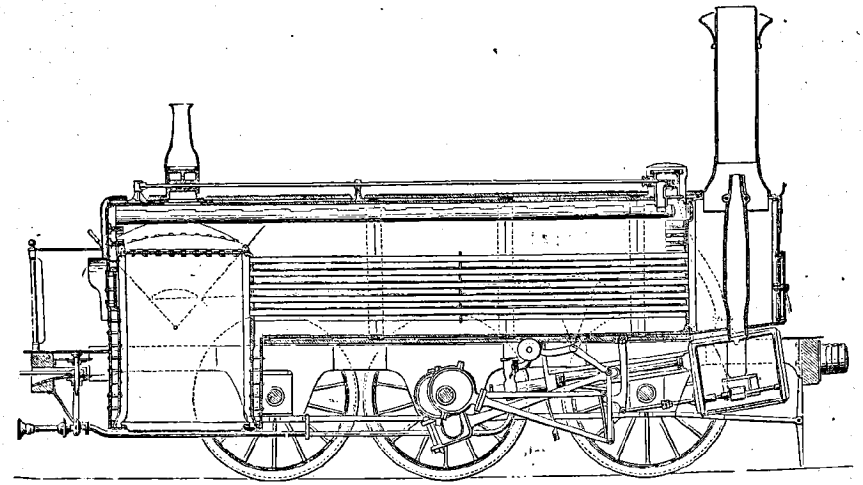
Après cet exposé succinct de l'histoire des locomotives, décrivons les machines actuelles.

Une locomotive se compose de trois parties distinctes : la chaudière ou appareil de vaporisation, le mécanisme ou appareil moteur, et le véhicule comprenant le châssis, les supports et les roues. Elle comprend en outre, comme accessoire, le tender ou magasin d'eau et de combustible, ordinairement séparé et attelé immédiatement à la suite de la locomotive.

Appareil de vaporisation. La chaudière se compose d'un foyer intérieur, de tubes calorifères, d'une enveloppe extérieure ou chaudière proprement dite, d'une boîte à fumée et de la cheminée.

Le foyer ou boîte à feu (fig. 4 et 5) est de forme parallélipédique et construit en feuilles de cuivre rouge; à la partie inférieure il reçoit la grille qui supporte le combustible. L'une des parois, celle qui se trouve placée vers l'arrière de la machine, est percée d'une ouverture fermée par une porte, qui sert au chargement du combustible; la paroi opposée, dite *plaque tubulaire*, est percée de trous dans lesquels s'engagent les tubes calorifères, qu'on y fixe ordinairement au moyen de bagues ou viroles en fer ou en acier, et quelquefois par un simple mandrinage et matage soigné. Ces tubes sont ordinairement en laiton, toutefois on commence à employer des tubes en fer. La partie postérieure de la boîte à feu est reliée avec la boîte à fumée par des tirants en fer. Quelques constructeurs suppriment avec raison ces tirants et consolident ces parois planes avec des poutrelles ou des fers d'angle. Le *ciel* ou plafond du foyer est soutenu par des poutrelles ou armatures en fer, calculées pour lui permettre de résister à l'énorme pression qu'il éprouve. Ces poutrelles, tantôt d'une seule pièce, tantôt formées de deux feuilles de tôle placées de champ et assemblées entre elles au moyen de rivets enveloppés d'anneaux servant à empêcher leur rapprochement, sont disposées de telle sorte que l'eau puisse circuler entre leur surface inférieure et le ciel de la boîte à feu. Elles sont placées dans le sens de l'axe de la locomotive et généralement espacées de $0^m,10$ d'axe en axe; elles sont reliées au ciel du foyer

6.



5.

par de forts boulons vissés dans son épaisseur et présentant le même espacement.

Les parois latérales de la boîte à feu sont également reliées à l'enveloppe extérieure par des entre-toises, ordinairement en cuivre rouge, espacées également de $0^m,10$, assemblées à vis avec la boîte à feu et avec son enveloppe extérieure, et en outre rivées.

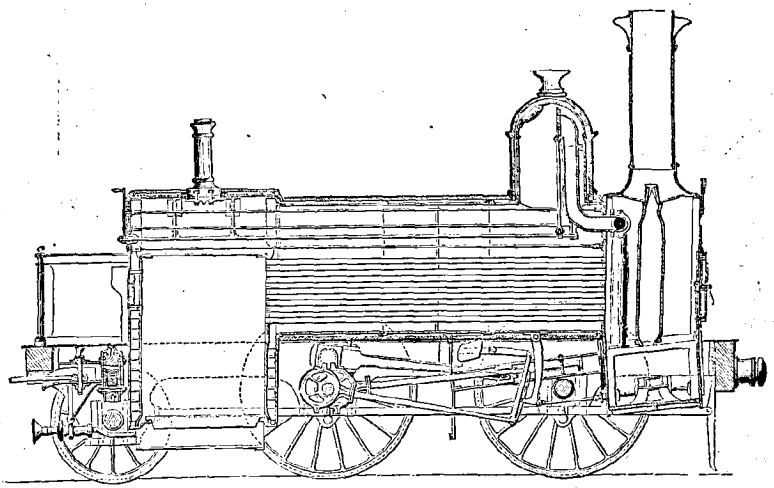
Dans les machines les plus récentes construites en Angleterre et dans le but d'augmenter la proportion de la surface de chauffe directe, on fait usage d'un bouilleur longitudinal, formant une cloison qui divise la boîte à feu en deux et qui s'élève jusqu'au plafond, à l'exception d'une échancrure ménagée dans la partie qui avoisine les tubes pour faciliter leur pose et leur nettoyage, et en même temps pour éviter d'en réduire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le nombre. Cette disposition est imitée de celle des chaudières tubulaires construites pour les bateaux à vapeur du Rhône, d'abord par l'établissement du Creusot, puis adoptée ensuite par beaucoup de constructeurs lyonnais. On établit actuellement, pour le service de ces bateaux à vapeur, des chaudières tubulaires à haute pression formées d'une seule boîte à feu renfermant trois foyers et portant à la suite trois corps de chaudières cylindriques et un réservoir de vapeur longitudinal situé au-dessus. Entre les foyers et la plaque tubulaire se trouve un espace dit chambre à fumée où s'opère un brassage énergique de l'air aspiré et des produits gazeux et de la fumée qui ont échappé à la combustion; celle-ci devient plus complète, et les plaques tubulaires ainsi que les tubes calorifères ont beaucoup moins à souffrir des effets destructifs des jets de chalumeau auxquels ils sont exposés. Ce mode de construction, qui n'a pas encore été appliqué aux locomotives, permettrait avec des roues d'un certain diamètre qui s'élèveraient alors entre les corps cylindriques, d'obtenir tout à la fois et une surface de chauffe beaucoup plus considérable que celle atteinte jusqu'à ce jour et une pression de vapeur très-élevée, sans être

L'enveloppe du foyer ou *boîte à feu extérieure* épouse exactement la boîte à feu à sa partie inférieure et moyenne, et leurs parois planes sont reliées entre elles, comme il est dit ci-dessus, au moyen d'entretoises équidistantes convenablement espacées. En général, la partie supérieure se termine par une portion de cylindre qui se raccorde tangentiellement avec les deux parois latérales. Elle est alors tantôt de même diamètre que le corps cylindrique (fig. 7), tantôt d'un diamètre un peu supérieur et se raccorde avec lui au moyen d'une pièce intermédiaire (fig. 6). Dans les anciennes machines Stephenson, on prolonge les faces verticales de la boîte extérieure jusqu'au niveau de l'arête supérieure du corps cylindrique, puis on les raccorde deux à deux par des portions de surfaces cylindriques qui se coupent en arc de cloître et constituent ce que l'on appelle les chaudières *à dôme carré*. On obtient ainsi au-dessus du foyer une capacité assez considérable qui sert de dôme de prise de vapeur.

L'enveloppe extérieure des tubes ou corps cylindrique est un cylindre horizontal à base généralement circulaire, et parfois elliptique; on en a aussi construit à base en forme de 8 afin d'augmenter la capacité du



6.

obligé d'une part de dépasser les épaisseurs de tôle qu'il convient d'employer dans la construction des chaudières à vapeur, et d'autre part de donner aux chaudières et par suite aux tubes calorifères une longueur qui présente de graves inconvénients, tant sous le rapport de l'écartement des essieux que surtout sous celui de la dénivellation qui se produit sur les rampes d'une certaine déclivité et qui, découvrant les ciels de foyers ou les tubes, les exposent à des coups de feu, que sous celui de la diminution qu'en éprouve le tirage artificiel qui ne peut être établi qu'en sacrifiant une partie de l'effet utile de la vapeur et produisant à l'échappement une plus forte contre-pression sur les pistons.

Les tubes calorifères ont de 40 à 50 millimètres de diamètre intérieur; leur épaisseur varie de 2 à 2 1/2 millimètres et leur écartement de 15 à 20 millimètres. Leur surface de chauffe totale doit, d'après les résultats de l'expérience, être de neuf à onze fois celle du foyer.

L'enveloppe extérieure ou la chaudière proprement dite est toujours construite en tôle de fer, et se compose de trois parties : l'enveloppe du foyer, celle des tubes dite corps cylindrique et la prise de vapeur.

réservoir de vapeur. Elle est fermée, vers l'avant de la machine, par une seconde plaque tubulaire qui reçoit l'extrémité antérieure des tubes calorifères et qui forme l'une des parois de la boîte à fumée. Les deux plaques tubulaires du foyer et de la boîte à fumée sont ainsi reliées par les tubes qui forment entretoises et, à la partie supérieure, la plaque tubulaire de la boîte à fumée est entretoisée par des tirants en fer avec la face postérieure de l'enveloppe du foyer.

Lorsque les chaudières ne sont pas à *dôme carré*, le dôme de prise de vapeur est formé par un tronc de cylindre surmonté d'une calotte courbe, et se place tantôt sur le corps cylindrique (fig. 6), tantôt sur la portion de cylindre qui recouvre le foyer. Quelques constructeurs emploient deux dômes de prise de vapeur, d'autres les suppriment complétement (fig. 4 et 7).

Pour diminuer les pertes de chaleur, l'enveloppe extérieure est entourée d'une doublure en bois cerclée et même souvent recouverte d'une autre enveloppe en tôle (fig. 4 et 6).

La boîte à fumée (fig. 4, 6 et 7) reçoit les gaz chauds produits par la combustion et sert de raccor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dement entre les tubes, qu'ils traversent, et la cheminée par laquelle ils s'échappent. Elle est garnie d'une porte qui sert pour la pose, les réparations et le nettoyage des tubes et de diverses autres pièces. Lorsque la disposition de la machine le permet, on ménage, à la partie inférieure de la boîte à fumée, une ouverture fermée par une porte pour vider les cendres.

La cheminée se compose d'un cylindre en tôle qui surmonte la boîte à fumée et dont la hauteur *au-dessus des rails* est généralement limitée à 4m,25, la hauteur minimum des ouvrages d'art étant ordinairement fixée à 4m,30. On la surmonte presque toujours d'un clapet ou capuchon mobile que l'on ferme ou abaisse durant les stationnements pour détruire tout tirage (fig. 7).

Les règlements de police, en France, prescrivent d'intercaler sur le passage des gaz chauds, soit dans la boîte à fumée, soit dans la cheminée, un treillis ou une grille métallique destiné à prévenir l'entraînement des flammèches qui pourraient occasionner des incendies, soit sur les trains, soit sur les talus et abords des chemins de fer. Cette grille se place ordinairement dans la boîte à fumée, immédiatement au-dessus des tubes et au-dessous de l'échappement de vapeur.

Dans le même but, et afin de recueillir les escarbilles et fragments de coke incandescents qui passent à travers la grille et qui, lancés parfois par les roues à de grandes distances, sont une cause fréquente d'incendies, on place généralement au-dessous du foyer un cendrier ou boîte en tôle (fig. 6) souvent garnie sur le devant d'une porte qui sert à régler le tirage. Sur quelques chemins, on y a renoncé, afin de conserver sous les machines une hauteur suffisante, pour qu'elles puissent passer sur un homme couché ou renversé entre les rails sans le toucher, et parce que leur emploi nécessite des fosses pour vider les cendres.

Les appareils de sûreté dont sont munies les chaudières des locomotives sont :

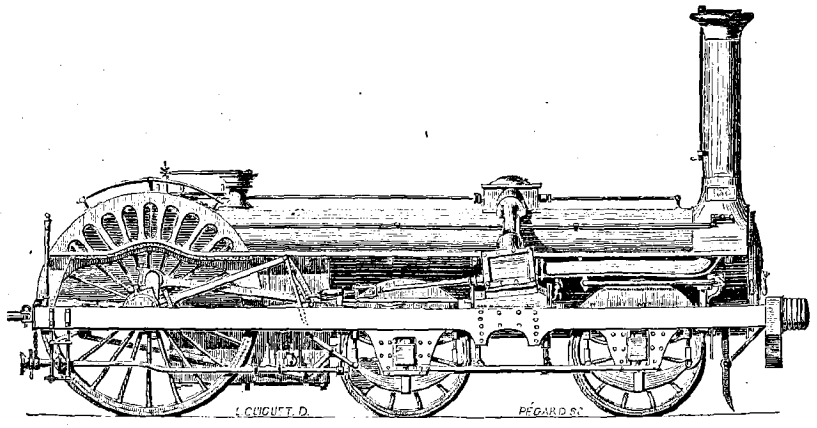
1° Deux soupapes de sûreté, chargées par l'intermédiaire d'un levier, au moyen de ressorts ou balances (fig. 7) dont la tension est réglée à volonté;

2° Un tube en verre, indicateur du niveau de l'eau et des robinets d'épreuve placés sur la partie postérieure de la chaudière de l'un et de l'autre côté de la porte du foyer;

3° Un manomètre. Actuellement on préfère les manomètres métalliques dits MANOMÈTRES BOURDON; toutefois, lorsqu'on place le tuyau du manomètre dans la vapeur, il s'encrasse facilement par l'entraînement mécanique des écumes qui se forment à la surface de l'eau. L'expérience a fait voir que, pour les chaudières locomotives, il était préférable de placer le tuyau du manomètre à 0m,20 environ en contre-bas de la ligne d'eau.

On ajoute souvent aux moyens de sûreté décrits ci-dessus un appareil très-simple et qui finira probablement par devenir obligatoire; cet appareil consiste en un écrou en fer vissé dans l'épaisseur du ciel du foyer, et dans lequel on coule du plomb; ce bouchon de plomb fond lorsque le niveau de l'eau baisse accidentellement dans la chaudière jusqu'au point de découvrir le foyer : la vapeur s'échappe et éteint le feu. On évite ainsi de brûler les foyers.

La chaudière porte en outre des *robinets de vidange* placés à la partie inférieure de la boîte à feu extérieure, quelquefois des *robinets de purge* à la ligne d'eau pour vider le trop plein et surtout pour faire sortir les écumes qui se forment à la surface, des *robinets réchauffeurs* qui servent, pendant les stationnements, à utiliser l'excès de vapeur produite pour échauffer l'eau alimentaire contenue dans le réservoir placé sur le tender, et un sifflet à vapeur (fig. 7) disposé comme celui décrit à MACHINE A VAPEUR, sauf qu'il est adapté à l'extrémité d'un tuyau que le mécanicien ouvre à la main.



7.

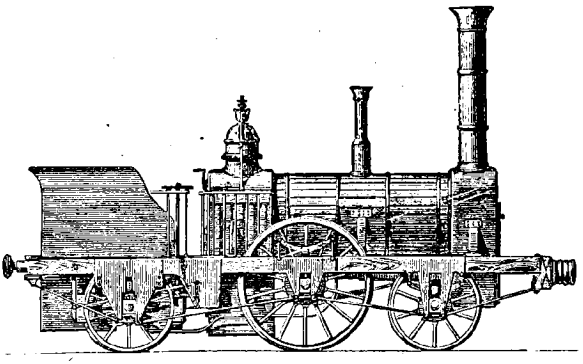
L'alimentation d'eau de la chaudière est assurée par deux pompes alimentaires correspondant à chacun des cylindres à vapeur. Les pompes sont toujours à simple effet et à plongeur, c'est-à-dire qu'elles se composent d'un corps de pompe en fonte ou en bronze, dans lequel se meut un plongeur en métal, cylindrique, commandé par la tête de la tige du piston (fig. 5) ou par l'un des excentriques montés sur l'axe des roues motrices. Le plongeur passe à travers un presse-étoupes qui ferme toute issue à l'eau. Au corps de pompe se trouve fixée une boîte à clapets ou à soupapes; très fréquemment ces soupapes sont fermées par des boulets creux et portent le nom de soupapes à boulets. L'eau amenée par un tuyau qui part du tender s'introduit dans le corps de pompe en soulevant la soupape d'aspiration, puis est refoulée dans la chaudière en soulevant le clapet de refoulement. Pour assurer le jeu des soupapes de refoulement, on en place deux à la suite l'une de l'autre et entre les deux un robinet d'épreuve qui sert à amorcer les pompes et à purger l'air qui, en s'accumulant entre les soupapes, peut en empêcher le jeu lorsqu'on vient à rouvrir le robinet placé sur le tuyau d'alimentation. On place en outre sur le tuyau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'injection et près de la chaudière un clapet de retenue ou un robinet.

Dans certaines machines dites *machines-tenders* (fig 8), le réservoir d'eau est placé sur le même bâti que la machine, et le tuyau d'alimentation est métallique et rigide.

Dans le cas le plus général, le tender constitue un véhicule complétement distinct de la locomotive; pour raccorder alors la partie du tuyau d'aspiration fixée à la machine avec celle fixée au tender, on s'est longtemps servi d'un tuyau en toile très serrée, attaché sur le bout du tuyau dépendant du tender et portant à l'autre extrémité un écrou s'emmanchant sur l'extrémité filetée de la portion du tuyau attachée à la machine. Actuellement on remplace ordinairement les tuyaux en toile par des *tuyaux à rotule*, composés de deux parties glissant l'une dans l'autre, la partie mâle étant exactement tournée à la surface, la partie femelle portant un presse-étoupes qui forme joint; ces deux pièces sont en outre réunies à chacune des parties fixes du tuyau d'aspiration par un joint à rotule, de telle sorte que la pièce entière puisse se prêter à tous les mouvements relatifs du tender et de la machine. La partie femelle de ce raccord se termine par un entonnoir ou pavillon conique (fig. 4, 6 et 7), qui permet d'y engager la partie mâle par le simple rapprochement de la machine et du tender, les deux parties étant soutenues par des chaînettes qui les maintiennent à peu près dans la position qu'ils doivent occuper habituellement.



8.

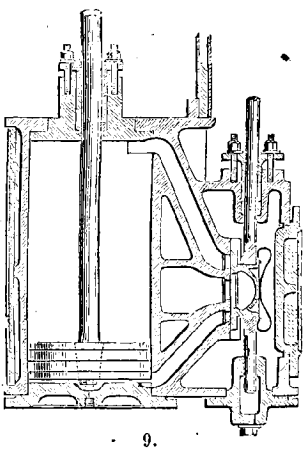
L'alimentation des chaudières entrées dans les gares et stationnements se faisait autrefois exclusivement soit en faisant tourner les roues motrices sur place sur des galets, soit en faisant courir la machine sur des voies spéciales ou sur les voies de service, soit au moyen de machines à vapeur fixes, lorsqu'il y en avait au point de stationnement. On commence à remplacer ces moyens imparfaits par une pompe alimentaire mue par une petite machine spéciale accolée à la chaudière et analogue à celles employées pour le même usage sur les bateaux à vapeur.

Dans les machines qui ont un dôme de prise de vapeur (fig. 6), la prise de vapeur se fait à la partie supérieure dudit dôme et se trouve réglée par un *régulateur* formé par un tiroir à rotation ou à glissement placé ordinairement à l'orifice du tuyau de prise de vapeur et manœuvré par un levier, ou une manivelle, placé sous la main du mécanicien.

Dans les machines qui n'ont pas de dôme de prise de vapeur (fig. 4 et 7), le tuyau de prise de vapeur est horizontal, occupe toute la longueur de la chaudière, et se raccorde dans un point voisin de l'extrémité d'avant avec une boîte en fonte placée à l'extérieur et qui comprend le régulateur placé à l'orifice du tuyau plein qui conduit la vapeur aux cylindres; en dessus du premier tuyau se trouve pratiquée une fente longitudinale qui règne sur toute sa longueur, ou une série de petites fentes (fig. 4), et par suite, il puise la vapeur dans toute l'étendue de la chaudière.

Le tuyau de conduite de vapeur, à la sortie de la chaudière, se bifurque pour se rendre aux deux cylindres (fig. 6 et 7), à moins toutefois qu'il ne s'agisse d'une machine à cylindres intérieurs ayant une boîte de tiroirs commune.

Appareil moteur. Les cylindres à vapeur sont en fonte à double effet (fig. 9) et à distribution par tiroirs. Chaque cylindre est percé à ses extrémités de deux lumières pour l'introduction et l'échappement alternatifs de la vapeur. Les orifices extérieurs de ces lumières viennent déboucher dans une capacité fermée qui porte le nom de *boîte à tiroir*. Entre ces deux derniers orifices se trouve un orifice intermédiaire qui communique avec le *tuyau d'échappement* de la vapeur. Le piston est toujours métallique; il se compose de deux plateaux enfilés sur la tige et comprenant entre eux une garniture qui se compose habituellement de 2 segments, cercles ou anneaux en fonte entiers, coupés sur un point de leur circonférence, et dont les joints se recouvrent; leur élasticité propre et à défaut l'action de ressorts intérieurs les maintient constamment appliqués contre les parois alésées du cylindre. Il convient de faire ces cercles en fonte un peu plus douce que les cylindres, afin qu'ils ne les ovalisent pas.



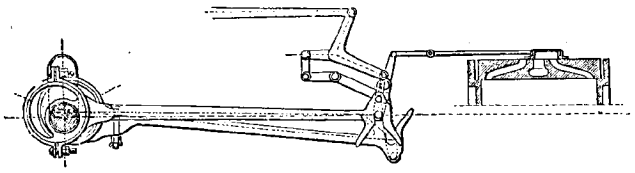
9.

La tige du piston traverse le fond du cylindre à travers un presse-étoupes et est fixée à son extrémité extérieure dans une *tête* ou *coquille*, pièce parallélipédique armée de deux *patins* ou *coulisseaux* glissant entre deux guides parallèles qui portent le nom de *glissières* (fig. 4, 5 et 6). La coquille reçoit également la petite tête de la bielle motrice simple (fig. 7) ou à fourchette (fig. 4 et 5), qui transmet le mouvement du piston à l'essieu moteur.

Lorsque les cylindres sont intérieurs aux roues (fig. 4, 5, 6 et 8), les bielles motrices agissent sur des manivelles formées par des coudes de l'essieu des roues motrices, et lorsqu'ils sont extérieurs aux roues (fig. 7), elle agit sur des boutons de manivelle fixés sur des renflements du moyeu de chacune des roues motrices.

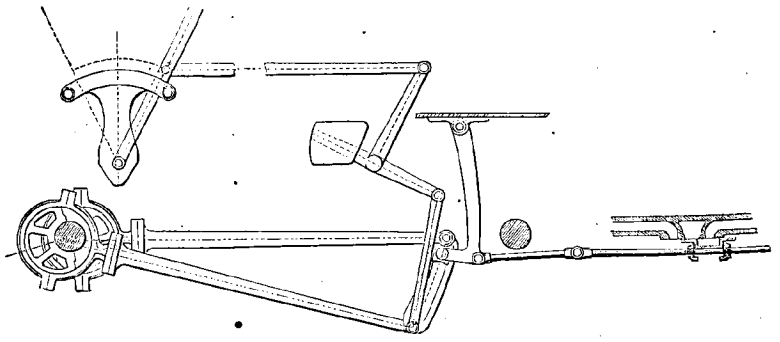
EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'essieu moteur porte, pour chaque cylindre, deux *excentriques*, l'un pour la marche en avant, l'autre pour la marche en arrière; les *colliers* qui les enveloppent portent les *barres d'excentriques* droites et parfois coudées pour éviter des arbres de rotation, qui transmettent aux tiroirs le mouvement de va-et-vient qui



10.

produit la distribution. Dans les anciennes machines (fig. 10), chaque barre d'excentrique se terminait par un V ou *pied de biche* de dimensions suffisantes pour embrasser dans toutes les positions le bouton placé à l'extrémité inférieure du levier de distribution; les deux barres d'excentrique étaient liées entre elles par une entretoise articulée, et pouvaient être abaissées ou relevées au moyen de l'appareil de changement de marche, de telle sorte que le mécanicien pût embrayer pendant la marche le levier de distribution avec l'un ou l'autre des excentriques et faire marcher la machine en avant ou en arrière; dans ce mouvement, l'une des deux branches du pied de biche vient s'appuyer sur le bouton du levier de distribution, le fait glisser jusqu'à ce qu'il vienne se loger au fond dudit pied de biche en déplaçant le tiroir. Dans les nouvelles machines on rem-



11.

place le système à pieds de biche qui vient d'être décrit par une coulisse en arc de cercle (fig. 11) dite *coulisse Stephenson*, qui relie les extrémités des deux barres d'excentriques et dans laquelle se trouve engagée à frottement la tête de la bielle qui commande la tige du tiroir.

L'appareil de changement de marche se compose d'un levier placé sous la main du mécanicien, d'une bielle de renvoi et d'un arbre de changement de marche portant trois manivelles ou leviers, l'un attaché à l'extrémité de la bielle du levier du mécanicien, les deux autres reliés chacun par une bielle articulée à ses extrémités avec le système des pieds de biche ou avec la coulisse qui le remplace, ainsi que l'indiquent les fig. 10 et 11. On donne toujours aux tiroirs un certain recouvrement extérieur, ce qui exige, pour que la vapeur puisse arriver sur le piston, aussitôt qu'on change le sens de sa marche, que l'on donne de l'avance à l'admission en calant l'excentrique par rapport à la manivelle sur laquelle agit le piston, sous un angle qui diffère de l'angle droit d'une quantité correspondant à la largeur dudit recouvrement. De ce calage angulaire de l'excentrique, il résulte par contre que l'admission de la vapeur se trouve interceptée avant que le piston n'ait atteint l'extrémité de sa course, et pendant la fin de la course la vapeur n'agit que par sa détente; il est également facile de voir qu'il en résulte (fig. 10) une avance à l'échappement de vapeur, ce qui réduit d'autant la contre-pression derrière le piston. Pour remédier au défaut de montage des pièces et au jeu qu'elles prennent par l'usure, on donne également un très léger recouvrement aux bords intérieurs du tiroir et on augmente un peu le calage angulaire de l'excentrique, de manière à ce que l'admission de la vapeur ait lieu derrière le piston, un peu avant la fin de sa course.

On obtient donc ainsi par l'avance à l'admission et le recouvrement extérieur des bords du tiroir une *détente fixe*. Pour produire une *détente variable* au gré du mécanicien, on a d'abord employé deux tiroirs superposés; le plus usité de ces systèmes à détente variable par deux tiroirs est celui de Meyer de Mulhouse, qui est appliqué sur un assez grand nombre de locomotives en Allemagne. Dans ce système, le tiroir supérieur se compose de deux taquets en forme d'écrous montés sur un même axe fileté en sens inverse, de telle sorte qu'en faisant tourner cet axe dans un sens ou dans l'autre, on écarte ou rapproche à volonté les deux taquets, et on fait ainsi varier la période pendant laquelle les taquets laissent arriver la vapeur de la boîte des tiroirs aux lumières du tiroir inférieur.

On peut également employer la coulisse à produire une détente variable, et ce procédé est actuellement le seul employé à cause de sa simplicité. En effet, en déterminant, soit par le calcul, soit par une épure ou tracé graphique, la position de la coulisse pour chaque position de la manivelle motrice et celle d'un quelconque de ses points, on reconnaît qu'en changeant la position, dans la coulisse, du coulisseau qui agit sur la tige du tiroir, au moyen de l'appareil de relevage ou de changement de marche, la course du tiroir varie; que cette course est à son maximum lorsque le coulisseau est aux extrémités de la coulisse et à son minimum lorsqu'il est au milieu, et que dans ce dernier cas le recouvrement est en général suffisant pour que le faible déplacement du tiroir, qui existe encore par suite de la rotation de l'essieu moteur, ne puisse plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

découvrir les lumières d'admission et permettre par suite à la vapeur de pénétrer dans les cylindres.

On constate de la même manière, en faisant varier la position du coulisseau, que le rapport existant entre la marche du tiroir et celle du piston varie également et donne par suite lieu à une détente variable. On modifie les conditions de cette détente en faisant varier le rayon d'excentricité ou la course des barres d'excentrique, l'angle de calage des excentriques, la position des points d'attache des barres d'excentrique à la coulisse, le rayon de courbure de la coulisse, etc., de manière à obtenir une distribution de vapeur aussi régulière que possible dans les limites de la détente et du service habituel de la machine. A cet effet, on détermine ordinairement les conditions des divers éléments ci-dessus au moyen d'un modèle en bois représentant les diverses pièces du mécanisme ci-dessus, que l'on fait marcher à la main et dont l'on peut modifier à volonté les éléments, de manière à étudier par des tâtonnements la distribution de vapeur produite par chacune de ces modifications.

Nous avons déjà parlé du tuyau d'échappement de vapeur. En Allemagne, les constructeurs de locomotives conservent fréquemment, complétement distincts, les tuyaux d'échappement correspondant à chacun des cylindres; en France et en Angleterre, on les réunit immédiatement, au sortir des cylindres, en un seul tuyau qui monte au milieu de la boîte à fumée (fig. 4 et 6), jusqu'à la base de la cheminée, ou bien on n'effectue cette réunion qu'à l'origine de la cheminée, afin d'éviter en majeure partie la contre-pression dans les cylindres résultant d'un tuyau d'échappement commun, réaction notable il est vrai, mais dont toutefois on s'est exagéré un peu l'importance.

En général, en France et en Allemagne, on rend la section de l'orifice d'échappement variable, en terminant cet orifice (fig. 4 et 6) par un ajustage rectangulaire dont deux des faces sont mobiles autour d'axes horizontaux, formant charnières, placés à leur partie inférieure et commandés par un système de tringles, leviers ou secteurs dentés, qui viennent aboutir à la plate-forme du mécanicien. On peut ainsi faire varier à volonté la vitesse d'échappement de la vapeur dans la cheminée et par suite l'activité du tirage à travers le foyer et la contre-pression.

Véhicule. Le bâti ou *châssis* de la locomotive se compose de deux pièces longitudinales dites *longerons*, en bois recouvert de tôle et le plus ordinairement en fer forgé méplat, posé de champ, reliés entre eux par des *traverses* en bois et en fer, de manière à former un cadre qui supporte la chaudière et tout le mécanisme. Il est porté lui-même par l'intermédiaire de ressorts, de plaques de garde et de boîtes à graisse, sur les essieux des roues.

La rigidité du châssis est complétée par des entretoises qui relient entre elles la partie inférieure des plaques de garde et par les pièces qu'il supporte, chaudière, etc. Les plaques de garde qui embrassent les boîtes à graisse sont parfois venues à la forge avec le longeron même (fig. 6), parfois formées de deux plaques de tôle appliquées de part et d'autre du longeron (fig. 4, 7 et 8), et assujetties au moyen de rivets.

Les châssis sont tantôt intérieurs, tantôt extérieurs aux roues. Dans quelques cas on emploie deux châssis, l'un intérieur, l'autre extérieur aux roues. Dans ce cas, qui ne s'applique généralement qu'à des machines à voyageurs à roues non accouplées et à cylindres extérieurs, le châssis intérieur porte les boîtes à graisse de l'essieu moteur, et le châssis extérieur porte celles des deux autres essieux et sert en même temps à assurer l'immobilité des cylindres à vapeur. Dans quelques cas cependant (fig. 5) on emploie un châssis intérieur portant toutes les plaques de garde et un faux châssis extérieur, qui sert seulement à augmenter la rigidité du bâti et à supporter une galerie extérieure pour la visite et le service de la machine en marche. La traverse d'avant est toujours en bois de chêne et porte en avant, au milieu, un crochet ou anneau avec un bout de barre d'attelage, et en regard des longerons deux *tampons de choc* (fig. 4, 5, 6, 7 et 8) rembourrés en chanvre, feutre ou caoutchouc.

La traverse d'arrière est en bois ou en fer. Elle porte la barre d'attelage et des anneaux qui reçoivent les crochets des chaînes de sûreté, si celles-ci sont attachées au tender, ou ces chaînes elles-mêmes.

Les accessoires du châssis sont les *chasse-pierres* placés à l'avant de la machine (fig. 4, 6 et 7), une *plate-forme* qui règne tout autour de la machine, ou seulement à l'arrière à l'endroit où se trouve le mécanicien, et qui, dans cette partie, est munie d'un *garde-corps*, de *marchepieds* placés à l'arrière, etc.

Le châssis et toute la machine, chaudière et appareil moteur qui s'y rattachent, sont portés par des roues dont le nombre varie de quatre à huit. Les roues sont montées deux à deux sur un essieu en fer forgé avec lequel elles sont rendues complétement solidaires. Les *fusées* de ces essieux tournent dans des coussinets, ordinairement en bronze, enfermés dans des boîtes à graisse encastrées dans les plaques de garde, et dont les parties supérieures sont reliées aux longerons par l'intermédiaire de ressorts placés tantôt au-dessus de la boîte à graisse (fig. 8), tantôt au-dessous (fig. 7).

Les roues des locomotives sont complétement en fer forgé, à l'exception du moyeu qui se fait encore habituellement en fonte. La partie extérieure de la *jante* porte le nom de *bandage* et est garnie d'une saillie intérieure dite *mentonnet* ou *boudin*, destinée à empêcher la machine de sortir de la voie; cette saillie est de $0^m,03$ à $0^m,04$ et le profil du bandage présente de l'extérieur à l'intérieur de la voie une inclinaison de $1/20^e$ à $1/16^e$.

Les bandages sont en fer dur aciéreux, et quelquefois en acier fondu. En général, on élève la jante à l'extérieur et le bandage à l'intérieur, et on cale ce dernier à chaud sur la jante. Enfin on les relie l'un à l'autre au moyen de rivets ou de boulons noyés dans l'épaisseur du bandage. Sur le chemin de Saint-Etienne, on intercale entre la jante et le bandage un cercle en bois que l'on picote ou serre contre ces deux pièces, en y chassant des coins en bois puis en fer. Ce dernier mode d'assemblage est très solide, permet de cintrer exactement les bandages sans qu'il soit nécessaire de les reporter sur le tour, évite les bris qui résultent souvent d'un serrage à chaud trop fort, et procure à la roue une élasticité favorable à sa conservation et à celle de la voie. Les parties des essieux sur lesquelles sont fixées les roues portent le nom de *parties de calage*. On monte les roues sur leurs parties de calage, à frottement dur, à l'aide d'une presse à vis ou d'une presse hydraulique, et quelquefois au moyen d'un simple mouton, et on achève de les y fixer par des clavettes engagées partie dans les moyeux, partie dans les parties de calage et suivant leurs génératrices.

On donne aux fusées des essieux des diamètres un peu plus faibles ou un peu plus grands que ceux des parties de calage, suivant que les châssis sont extérieurs ou intérieurs aux roues. Pour les essieux droits, au lieu de les faire cylindriques on même légèrement renflés à leur milieu, il est nécessaire de leur donner en ce point une épaisseur notablement moindre, afin d'augmenter leur résistance à la rupture et de leur procurer un peu d'élasticité.

Tender. On donne le nom de *tender* à un véhicule attelé à la suite de la machine et portant l'eau et le coke nécessaires pour l'alimentation de la machine. Il porte une *caisse à eau* ordinairement en forme de fer à cheval, dans l'intérieur duquel se place le coke sur un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plancher en tôle; le tout repose sur un châssis porté par deux ou trois paires de roues munies d'un frein que manœuvre au besoin le chauffeur. La traverse d'arrière du tender porte des tampons de choc, ordinairement élastiques, un crochet de traction et des chaines de sûreté pour l'attelage qui le relie avec le convoi.

Comme nous l'avons dit plus haut, certaines machines destinées à desservir exclusivement de faibles parcours, les environs des grandes villes par exemple, portent avec elles leur eau et leur coke, ce qui simplifie beaucoup la manœuvre du changement de voie, à l'arrivée et au départ (fig. 8).

De la stabilité des machines locomotives. L'instabilité que présentent en marche certaines machines tient à un grand nombre de causes, qui donnent lieu à diverses oscillations longitudinales ou transversales, dans le sens vertical ou horizontal, connues sous les noms de mouvements de galop, de roulis, de tangage et de lacet. Un bon établissement de la voie et, en ce qui concerne la machine, un parallélisme aussi exact que possible des essieux et une égalité parfaite des roues du même essieu, une répartition convenable de la charge sur les essieux, un écartement suffisant des essieux extrêmes, rendent peu sensibles une partie de ces oscillations. Mais le vrai remède réside dans l'application de contre-poids aux jantes ou entre les rais des roues motrices, pour équilibrer les parties tournantes ainsi que les pièces animées d'un mouvement alternatif. Cette application des contre-poids existant depuis longtemps sur des machines fixes et des machines de bateaux, a été étudiée dans son application aux locomotives d'abord par M. Nallau, puis par M. Lechâtelier, et depuis l'usage des contre-poids est devenu à peu près général pour les locomotives. Toutefois, comme afin de réduire ces contre-poids on les place ordinairement sur la jante même des roues motrices, et qu'alors leur puissance augmente en raison de la vitesse, il faut toujours (comme on doit le faire pour l'exhaussement du rail extérieur dans les courbes) les calculer pour la vitesse maximum que peuvent prendre les machines, sous peine de s'exposer à soulever la machine et à la jeter en dehors de la voie, ce qui est arrivé à plusieurs machines à grande vitesse.

L'expérience a ramené à comprendre un point de la construction des locomotives qui avait été négligé. Les machines à vapeur qui les constituent, sont assemblées sur un châssis qui remplit absolument le même rôle que le bâtis des machines fixes, mais on n'avait pas songé à la différence essentielle dont il y avait à tenir compte, à savoir la mobilité du châssis simplement posé sur la voie et la solidité d'un bâti assemblé solidement avec les masses que forment les fondations sur lesquelles il repose. Tandis que ce dernier annulle par sa résistance les actions verticales dans les deux sens, tant de traction que de pression, le châssis ne résiste directement qu'aux actions qui tendent à l'appliquer sur la voie, tandis qu'il peut être soulevé par les actions de bas en haut. Aussi, tandis que les machines à cylindres intérieurs, dans lesquelles ceux-ci sont placés à l'intérieur du châssis, dans le voisinage de l'axe, offraient une stabilité suffisante, les premières machines à cylindres extérieurs au bâti ont-elles donné des mouvements de roulis, insupportables aux grandes vitesses, dangereux même, et pouvant occasionner des déraillements, par suite de la diminution de la pression exercée sur la voie par les roues de devant.

Il y avait donc un intéressant problème à résoudre, qu'on n'avait pas seulement posé pendant les quinze premières années de l'exploitation des chemins de fer, à équilibrer l'action des forces perturbatrices, problème résolu par l'application des contre-poids aux roues, mais qui ne pouvant l'être pratiquement que d'une manière approchée en chaque instant, puisque les pièces employées dont les effets sont opposés ne sont pas animées de mouvements qui suivent les mêmes lois (ce qui ne peut guère s'obtenir pratiquement que par des contre-poids symétriques, identiques aux pièces en mouvement, mais inversement placées par rapport aux axes de rotation), il est toujours important de rendre minimum l'effet des forces perturbatrices.

Flexibilité des machines. — La question des courbes, si capitale au point de vue de l'exécution économique des CHEMINS DE FER, se ramène principalement à celle de la flexibilité des locomotives, toujours à six roues aujourd'hui pour éviter les graves accidents qu'occasionnent les ruptures d'essieu dans celles à quatre roues, qui augmentent de poids et de longueur en raison de l'accroissement du trafic, et passent de plus en plus difficilement dans des courbes de faible rayon. Le danger des déraillements, aux grandes vitesses, croît avec rapidité et contraint, pour assurer la sécurité des voyageurs, à tous les frais nécessités par les courbes d'un grand rayon.

Tous les perfectionnements qui accroissent la flexibilité des locomotives, sans faire courir de chances de déraillement, sont autant de moyens de faciliter le tracé économique des lignes de chemins de fer, ce qui importe au plus haut degré pour faire profiter des avantages de ce moyen perfectionné de communication, les villes de second ordre, les pays accidentés.

Le moyen le plus simple consiste à donner aux roues extrêmes une certaine mobilité transversale, en laissant du jeu, soit entre les joues des boîtes à graisse et les plaques de garde, soit entre les coussinets et les collets des fusées de l'essieu. Ce jeu a été fixé pour diverses machines de 15 à 25 millimètres de part et d'autre de la position moyenne; ces machines de 3 à 4 mètres d'empâtement circulent dans des courbes de 250 à 300 mètres de rayon. Le rail extérieur de la courbe agissant sur le boudin fait mouvoir l'essieu latéralement, mais cette mobilité des essieux augmente nécessairement l'instabilité de la machine, ceux-ci tendant à se déplacer par toute irrégularité de la voie.

On cherche à éviter cet inconvénient par des dispositions qui augmentent la résistance que rencontre tout déplacement transversal et qui ramène l'essieu dans sa position moyenne quand il s'en est écarté. M. Caillet a employé avec succès des ressorts plats et horizontaux, bandés à 12 ou 1500 kilogrammes, que l'essieu doit repousser pour se déplacer. M. Polonceau a préféré employer directement le poids de la machine à cet effet, au moyen de l'ingénieux organe dit *osselet*.

Il consiste en un triangle isocèle (fig. 12), dont les arêtes sont fortement arrondies, dont le sommet

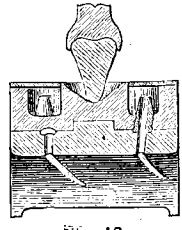


Fig. 12.

repose sur la boîte à graisse, et dont la base, placée transversalement à la machine, supporte la tige de pression du ressort de suspension. Si la boîte vient à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se mouvoir latéralement entre ses glissières, le triangle ne porte plus que sur une des extrémités de sa base; ce point se rapproche de la projection du sommet du triangle et s'élève en supportant la charge entière transmise par le ressort de suspension. Le travail de la résistance au déplacement est égal à cette charge multipliée par le chemin parcouru et tend énergiquement à ramener le système à son état initial.

On fait en sorte que ce produit soit égal à un effort de 500 kil. multiplié par le déplacement latéral de l'essieu.

M. Beugniot s'est rapproché de l'ingénieuse solution de M. Arnoux, sans rendre les roues indépendantes des essieux, en transmettant l'effort d'un boudin d'une roue à un essieu autre que celui des roues d'avant, par l'intermédiaire d'un balancier.

Puissance des machines. La puissance des machines dépend de deux conditions principales : la surface de chauffe et le poids servant à l'adhérence.

En Angleterre, dit E. Flachat, où l'on n'est pas sorti des anciens types, le poids servant à l'adhérence est de 14 tonnes au maximum, pour les machines à un seul essieu moteur qui font exclusivement le service des grandes vitesses sur les lignes à faibles inclinaisons. Il est de 11t,5 par essieu, pour les machines à deux essieux moteurs qui font le service des voyageurs sur les lignes à profil accidenté.

Il est de 10t,5 à 11 tonnes par essieu pour les machines à trois essieux couplés faisant le service des marchandises.

Il n'existe pas en Angleterre, à notre connaissance, de machines à quatre essieux couplés.

En France, le poids servant à l'adhérence est le même pour les mêmes types, à l'exception des machines à un seul essieu moteur, où il atteint rarement 13 tonnes.

Plusieurs chemins de fer français ont adopté un type de machine à marchandises à quatre essieux couplés, dans lequel le poids servant à l'adhérence est de 10 à 11 tonnes par essieu : le chemin de fer du Nord a même construit (voir plus loin) des machines à quatre cylindres et à deux groupes de trois essieux couplés, dont le poids servant à l'adhérence est de 54 tonnes en moyenne.

Le procédé employé pour augmenter dans une grande proportion le poids servant à l'adhérence est d'intéresser à ce poids les approvisionnements d'eau et de combustible que la machine doit indispensablement transporter avec elle. Il est, en effet, logique d'utiliser ce poids, et il existe déjà un très-grand nombre de machines express, mixtes et à marchandises, sur lesquelles cette disposition est heureusement réalisée. Engerth l'a tentée pour les machines de grande puissance, ainsi que nous le verrons plus loin; mais il a échoué dans les moyens de transmettre la puissance motrice aux essieux du tender.

Si on rapproche l'accroissement du poids servant à l'adhérence, qui est adopté en France, de l'augmentation de surface de chauffe dont elle a également pris l'initiative, il sera facile de reconnaître que ce pays est poussé dans cette voie par des besoins spéciaux et des intérêts différents de ceux qui sont le mobile des ingénieurs anglais; qu'en ce cas encore, les éléments économiques déterminent les solutions techniques.

Des divers types de machines locomotives.

Machines à voyageurs. Les machines à voyageurs à grande vitesse des express sont, en général, à roues indépendantes. Les roues motrices ont un diamètre aussi grand que possible; elles sont souvent placées au milieu (fig. 6), mais comme la chaudière empêche de relever suffisamment l'essieu, d'adopter de très-grandes roues, on les place quelquefois à l'arrière, comme dans les machines Crampton (fig. 7), lorsqu'on veut obtenir de très-grandes vitesses (80 kilomètres à l'heure et au-dessus), machines excellentes dont le défaut est une trop faible adhérence qui ne permet de les employer que pour des trains peu chargés.

Machines mixtes. On donne le nom de machines mixtes aux machines destinées à desservir les *trains omnibus* sur des lignes à peu près de niveau, et tous les trains de voyageurs sur des rampes un peu fortes. Pour augmenter l'adhérence de ces machines, on relie l'axe des roues motrices, qui est toujours placé au milieu, avec l'axe des roues d'arrière ou avec l'axe des roues d'avant, au moyen de bielles d'accouplement extérieures aux roues, et articulées sur des boutons fixés directement sur les roues ou sur des manivelles placées aux extrémités des deux axes. Les roues accouplées doivent avoir le même diamètre; l'usure variable est une cause de glissement qui exige une surveillance incessante. Quelquefois ces machines sont à cylindres extérieurs, mais en général, et en partie pour éviter un porte à faux trop considérable des bielles d'accouplement, on les construit à cylindres intérieurs placés dans la boîte à fumée, essieu moteur coudé et châssis intérieur aux roues.

Par les progrès de la construction, les machines à deux essieux d'arrière couplées, sont devenues l'outil principal de l'exploitation des chemins de fer les mieux exploités, qui laissent les trains occuper la voie le moins de temps possible, sans trop multiplier les types de machines.

Machines à marchandises. Pour les machines à marchandises, les roues sont encore plus petites que pour les machines mixtes; elles sont toutes égales et rendues solidaires par des bielles d'accouplement qui relient l'essieu moteur avec les deux autres essieux (fig. 4 et 5). Le châssis est intérieur aux roues et les cylindres sont ordinairement intérieurs, ce qui exige un essieu moteur coudé. Le travail de la machine à vapeur étant proportionnel au nombre de tours de roues, la puissance des machines est d'autant plus grande que leur diamètre est moindre. Le bon marché qui résulte de l'accroissement de poids des trains avait conduit à augmenter singulièrement les dimensions des machines à marchandises sur beaucoup de lignes, comme nous le dirons plus loin, mais on est revenu de ce système d'exploitation pour les lignes sans cesse parcourues par des trains à grande vitesse.

Machines-tender. On donne ce nom aux machines desservant un faible parcours, et qui portent avec elles leur eau et leur coke (fig. 8).

Machines américaines. Les machines américaines diffèrent des machines ordinaires en ce que l'avant des machines est supporté par un train de quatre roues mobiles autour d'une cheville ouvrière, afin de faciliter le passage dans les courbes d'un très-faible rayon ; y compris les quatre roues d'avant, elles sont à six ou à huit roues. On a pu, grâce à cette disposition, leur donner une grande puissance sur des lignes à fortes courbes. En Europe on renonce à leur emploi, parce qu'elles fatiguent plus que les locomotives ordinaires et donnent lieu à de fréquentes ruptures d'essieu.

La figure 13 représente une de ces locomotives à puissante chaudière et grand foyer; les tôles ont 8 millimètres ; elle a quatre grandes roues couplées et quatre petites roues libres groupées en avant-train mobile. Ces roues sont en fonte, mais avec bandages en acier Krupp. Le châssis est intérieur et n'a plus rien de commun avec nos longerons en tôle découpée; il est composé de pièces rapportées à soudure. Tout le mécanisme moteur et distributeur est en dehors et analogue à celui des locomotives usuelles en Europe, sauf quelques formes insolites de pièces. La chaudière est alimentée par des pompes à grande course directe. La charge sur les roues est distribuée ainsi qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suit: sur le truc d'avant, 7,8 tonnes, et 20 tonnes également sur les roues couplées, entre lesquelles il y a des balanciers d'équilibre. Le tender qui suit la machine est de très-grande dimension et porté sur huit roues en fonte, groupées en deux trains articulés, dit *bogie* ou *truck*. La richesse décorative dépasse tout ce que nous pourrions imaginer, les peintures, festons, sculptures et dorures abondent; le corps tubé a une enveloppe en maillechort poli; la cheminée elle-même est polie. Un énorme phare est à l'avant de la machine, et une cloche d'avertissement est sur la chaudière. La sablière est en forme de dôme, est semblable et symétrique au réservoir de vapeur, placé au-dessus du foyer. A l'avant de la machine est un *chasse-bœuf*, suivant l'usage du pays.

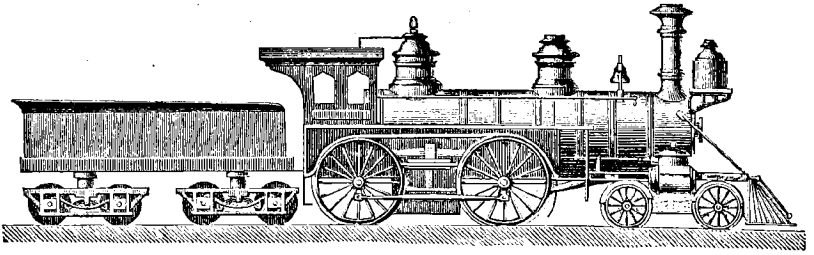


Fig. 13.

Machines pour les fortes rampes. Pour gravir la rampe de Rive-de-Gier à Saint-Étienne, qui a 0.14, M. Verpilleux avait imaginé d'utiliser l'adhérence des roues du tender en les accouplant entre elles, et les faisant mouvoir par deux cylindres à vapeur placés sur ce véhicule et recevant comme ceux de la locomotive la vapeur de la chaudière.

Avec de fortes machines à six roues couplées, on gravit aisément des rampes de 0,015, 0,025, et même 0,030, surtout en jetant du sable sur les rails pour augmenter l'adhérence.

L'inconvénient d'employer de fortes machines ordinaires à six roues couplées, et qui par suite ont de très-longues chaudières, est de deux natures. D'un côté l'écartement des essieux extrêmes peut dépasser les limites que comporte le faible rayon des courbes que l'on est conduit à adopter dans le tracé d'un chemin pour diminuer la raideur des rampes; d'un autre côté la longueur des chaudières produit nécessairement sur les rampes très-fortes, suivant le sens du mouvement, l'émersion de l'extrémité des tubes ou, ce qui est infiniment plus grave, celle du ciel du foyer et de la partie supérieure de la plaque tubulaire. Ces pièces n'étant plus recouvertes d'eau, reçoivent des coups de feu, rougissent et se détériorent, ce qui donne lieu à des réparations très-coûteuses. Pour obvier à ces inconvénients, on avait construit à Seraing, pour le passage des Alpes, sur le chemin de Vienne à Trieste, une locomotive qui mérite une mention particulière. Cette locomotive (fig. 14) offrait à peu près l'aspect de deux locomotives à quatre roues couplées adossées dos à dos; toutefois les deux chaudières, qui étaient fixées sur un seul et même bâti, étaient en communication d'eau et de vapeur en ce sens que l'on avait enlevé les parois postérieurs des deux boites à feu, suivant lesquelles se faisait la jonction. Les foyers et les tubes formaient deux systèmes indépendants, et il y avait deux portes de chargement placées latéralement et du même côté. La plate-forme postérieure des machines ordinaires y était remplacée par deux galeries latérales, affectées l'une au mécanicien et l'autre au chauffeur. Le châssis général s'appuyait sur deux trains, chacun à quatre roues couplées mobiles sur chevilles ouvrières; chacun de ces trains portait deux cylindres à vapeur agissant sur les roues. En résumé, cette machine était à huit roues couplées et quatre cylindres à vapeur; elle passait facilement dans des courbes d'un très-faible rayon, avait une puissance considérable, et sur les rampes on ne courait pas le risque d'émerger les foyers; cela n'arrivait tout au plus que pour l'extrémité des tubes caloriferes supérieurs, ce qui est peu dangereux; enfin, la symétrie complète de la machine dispensait de toutes manœuvres sur les plaques tournantes, etc.

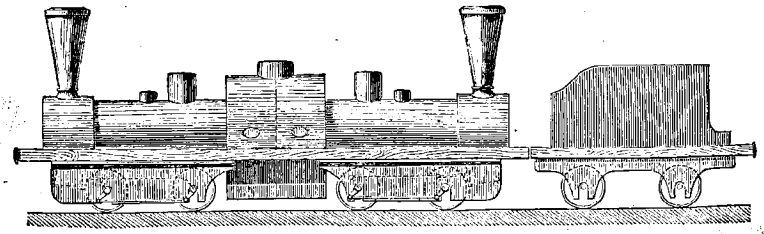


Fig. 14.

L'ingénieuse machine construite à Seraing n'a pas réussi, comme on l'avait espéré, et l'exploitation du Sœmmering adopta comme supérieure à toute autre la locomotive Engerth, sur laquelle nous devons donner quelques détails, car elle représente un progrès important fait dans la construction de puissantes locomotives.

Locomotive Engerth. C'est après le concours ouvert pour la construction des machines qu'exigeait l'exploitation du chemin de fer si accidenté du Sœmmering qui joint Vienne à Trieste, et en présence des résultats insuffisants qu'il avait donnés, que M. le conseiller Engerth fit construire les locomotives qui portent son nom.

Ces machines sont des machines à train articulé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

portées sur cinq paires de roues de même diamètre, pouvant toutes concourir à produire l'adhérence au moyen d'un engrenage de trois roues dentées, interposé entre les deux trains articulés et qui communique le mouvement de rotation des roues du premier train aux roues du second train dans toutes les positions de convergence des deux trains. La roue du milieu du triple engrenage est disposée pour être débrayée à volonté.

Le poids total de la machine et du tender en service est de 56,000 kil., dont 39,000 reposent sur les trois paires de roues d'avant.

Pour donner au système toute la flexibilité convenable dans tous les sens, savoir : mouvement de *convergence*, mouvement de *torsion* ou de *roulis*, mouvement d'*inflexion* dans le sens vertical, M. Engerth a combiné un support de chaudière du bâti du train mobile des plus ingénieux.

Ce support fixé très-solidement à la boite à feu, en un point convenablement choisi pour une répartition déterminée du poids de la machine sur le train articulé, envoie au-dessus du châssis du tender, qui doit le recevoir, une branche horizontale sous laquelle est venue de forge une *demi-sphère saillante*, parfaitement tournée et ajustée.

D'un autre côté, sur le châssis articulé se trouve fixée, précisément au-dessous de la branche horizontale du support, une large plaque parfaitement dressée et formant une véritable *glissière horizontale*.

Entre la branche du support et la glissière est interposée une pièce convenablement ajustée et trempée, dont le dessous, qui est *plan*, repose sur la glissière, et dont le dessus, qui porte une *demi-sphère en creux*, reçoit la *demi-sphère en relief* du support.

Dès lors, quand la chaudière, ou pour mieux dire quand le train d'avant *roule* ou se *tord* sur le train d'arrière et réciproquement, ou bien encore lorsque l'un des deux trains *s'incline* verticalement sur l'autre, il est facile de voir que les surfaces sphériques jouent l'une dans l'autre. Quand, au contraire, c'est le mouvement de *convergence* qui se produit, les surfaces planes glissent l'une sur l'autre en décrivant des arcs de cercles concentriques à la cheville ouvrière.

Quand les mouvements de torsion, d'inclinaison et de convergence se produisent à la fois, il y a aussi à la fois mouvement entre les surfaces sphériques et entre les surfaces planes du support.

Pour que la cheville ouvrière ne devint pas un obstacle à tous ces mouvements, M. Engerth lui a donné une forme sphérique et l'a renfermée dans un coussinet intermédiaire, aussi sphérique à l'intérieur, et cylindrique à l'extérieur, de manière à permettre à l'articulation d'épouser tous les mouvements des deux trains.

C'est en employant ces ingénieuses combinaisons que l'auteur de la machine du Sœmmering est parvenu à faire constamment reposer l'arrière de la chaudière sur le bâti du tender, dans toutes les positions relatives des deux trains.

Le succès de la locomotive Engerth a été très-grand, et dès 1855 les chemins de fer de l'Europe centrale étaient parcourus par 7 ou 800 locomotives Engerth, bien que ce type fût encore assez récent. Elle constitua l'instrument de traction par excellence pour les trains pesamment chargés, pour les chemins qui ont à transporter d'immenses quantités de marchandises. On conçoit, d'après cela, qu'elle ait été adoptée par le chemin de fer du Nord, qui a à transporter d'immenses quantités de houille de la Belgique et du Nord pour l'approvisionnement de la capitale, et qui lutte avec les canaux et la batellerie.

L'usage a fait reconnaître que, si plusieurs des dispositions appliquées dans la locomotive Engerth étaient excellentes, on s'était fait illusion sur les moyens de remplacer les articulations essentiellement propres à transmettre, sans accidents, des efforts variables, dans des moteurs mécaniques comme dans les corps animés, par des organes tels que les engrenages, dans lesquels la puissance ou la résistance n'agissent pas directement l'une sur l'autre, et qui par suite sont altérés par toute variation brusque de l'une d'elles. Aussi, après divers essais, fallut-il reconnaître que l'accouplement par engrenages ne pouvait être réalisé dans des conditions pratiques, et dut-on y renoncer.

Une autre innovation capitale de ce système, à savoir la possibilité d'un vaste foyer dû à l'appui sur le tender, dont la largeur est bien plus grande que dans les machines ordinaires, étant comprise entre les longerons du tender au lieu de l'être entre les boudins des roues, a été reconnue aussi indispensable que l'accroissement du poids qui produit l'adhérence pour la construction des machines de grande puissance. Aussi l'a-t-on conservé dans les modifications diverses du système Engerth, qui reviennent, en général, à faire porter le foyer en porte-à-faux en l'équilibrant par un poids de 3 ou 4,000 kil. à l'avant, et à faire supporter la machine par quatre roues couplées, ce qui conduit à une machine très-puissante et ayant un poids produisant l'adhérence de 46 à 49 tonnes.

Les changements apportés au type Engerth ont ainsi conduit à une machine à quatre essieux accouplés, placés entre le foyer et la boite à fumée. Comme il est difficile d'obtenir une répartition parfaitement égale de la charge sur les roues pendant la marche, et une dureté bien égale des divers bandages et que plusieurs causes viendraient encore différencier les conditions du fonctionnement des diverses roues, on ne peut espérer que les bandages s'usent uniformément et conservent longtemps le même diamètre de roulement. Or, toute altération dans l'égalité de ces diamètres entraîne des glissements partiels et une grande fatigue pour les bielles. Telles étaient les raisons qui faisaient hésiter les ingénieurs devant l'addition d'une quatrième paire de roues et qui, comme nous l'avons dit, retiennent encore les constructeurs anglais, qui ne s'écartent pas des types de machines à trois essieux couplés pesant de 35 à 36 tonnes au maximum.

Pour accroître la puissance sans avoir plus de deux ou trois essieux couplés, il faut faire quelque chose de plus ou moins équivalent à la réunion de plusieurs machines, multiplier les cylindres moteurs, comme M. Petiet l'a fait pour les puissantes machines destinées à remorquer, sur le chemin du Nord, de pesants convois de houille.

Grosses locomotives du Nord. Ces machines destinées à circuler à faible vitesse ont six essieux parallèles portés sous un même bâtis rigide et actionnés trois par trois par deux groupes de mécanismes; ils peuvent, sans trop surcharger la voie, porter jusqu'à 60 tonnes de charge, ce qui permet d'établir pour alimenter les quatre cylindres une chaudière d'une énorme surface de chauffe, et aussi de porter des approvisionnements d'eau et de combustible suffisants pour un long parcours.

Le réservoir de vapeur est remplacé par un long tube sécheur qui garnit l'espace que la chaudière laisse disponible à la partie supérieure, l'échappement de la vapeur permettant de faire disparaître la cheminée (fig. 15).

Les roues ont $1^m,065$ de diamètre. Ce petit diamètre, suffisant pour la faible vitesse de ces machines, était imposé par la nécessité de placer le foyer au-dessus des roues pour lui donner une largeur suffisante.

Les roues extrêmes ont un jeu latéral de 30 millimètres dans leurs coussinets. Le deuxième et le cinquième essieu sont les essieux moteurs, les bandages

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ces paires de roues sont à boudins minces. Les boutons d'accouplement sont cylindriques, mais les bielles

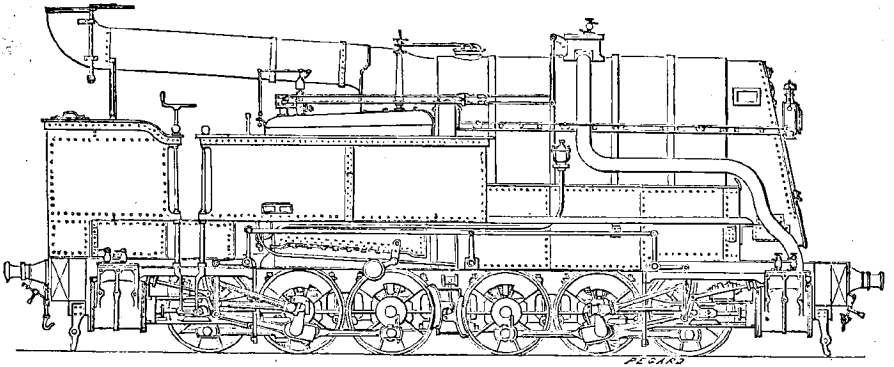


Fig. 15.

d'avant et d'arrière sont à double articulation rectangulaire sur les bielles du milieu.

Les quatre cylindres sont extérieurs au bâti et sont placés deux à l'avant et deux à l'arrière ; ils ont 0m,44 de diamètre et 0,44 de course. Les mécanismes, qui sont légers en raison de ces dimensions assez faibles, sont entièrement extérieurs.

Il y a un régulateur pour chaque paire de cylindres, mais un seul levier de changement de marche pour les deux distributions.

Les caisses à eau sont situées sur la chaudière et à l'arrière, elles contiennent 5,000 litres d'eau.

Voici quelle est, au départ, la répartition de la charge :

1er	essieu avant.	9,000k
2e	—	10,400
3e	—	8,600
4e	—	10,000
5e	—	11,000
6e	— arrière	10,500
	Ensemble. . . .	59,500

Ces machines traînent régulièrement 45 wagons de 10 tonnes chaque. On n'a pas multiplié ce type qui fatigue la voie. P. DEBETTE.

LOCOMOTIVE ROUTIÈRE. L'emploi de la machine à vapeur pour faire mouvoir les voitures sur les routes ordinaires a été proposé bien avant l'invention des locomotives pour chemins de fer, avant même l'époque où Watt en faisant de la machine à vapeur autre chose qu'une pompe à épuisement, l'appliquait à donner le mouvement aux mécanismes des manufactures; aussi, dans sa patente de 1784, en réserve-t-il nettement l'application à faire tourner les roues des voitures, en indiquant les dispositions propres à la rendre portative, ce qu'il n'essaya jamais de réaliser, la condensation et la basse pression lui paraissant les conditions du bon emploi de la vapeur.

On doit tenir compte des tentatives faites alors même que la machine à vapeur, c'est-à-dire la pompe de Newcomen, était telle que le succès était impossible, car elles ont eu une influence indirecte sur la solution du problème qu'a fournie plus tard la locomotive de chemin de fer.

La plus ancienne doit immortaliser le nom de son auteur Cugnot, dont les efforts furent encouragés par le maréchal de Saxe, qui l'aida à construire un premier modèle vers 1765 (15 ans avant Watt), qui marcha avec une vitesse de 4 kilomètres à l'heure, mais qui devait s'arrêter tous les quarts d'heure pour alimenter la chaudière.

Le duc de Choiseul chargea alors Cugnot de construire une machine plus puissante, c'est celle que l'on voit au Conservatoire des Arts-et-Métiers et que représente la figure 16. La trop grande violence de ses mouvements, dit un rapport du temps, ne permettait pas de la diriger, et dès la première épreuve, elle démolit un pan de mur qui se trouvait sur son chemin, et fut

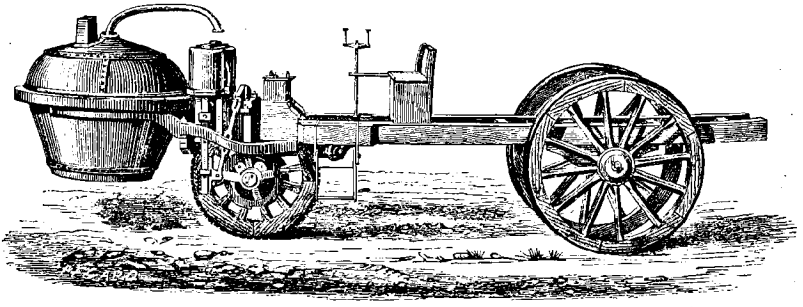


Fig. 16.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

renversée. Le duc de Choiseul, d'ailleurs, ayant été exilé, on cessa de s'en occuper.

Cugnot obtint alors du gouvernement sur la proposition du général Gribeauval, qui avait apprécié son mérite, une petite pension de 600 livres. Il en jouit jusqu'au moment de la Révolution, époque à laquelle il en fut momentanément privé. Dénué de toutes ressources, il serait mort de misère si une dame de Bruxelles n'avait pris soin de lui.

Le ministre Rolland, cependant, avait donné un avis favorable sur son nouveau mode de locomotion, et il proposa de le soumettre à l'examen d'une réunion d'hommes compétents.

La proposition de Rolland n'eut pas de suite; au moment de la Terreur, un comité révolutionnaire voulut démolir la machine de Cugnot pour en faire de la ferraille, et ne s'arrêta que devant l'opposition formelle des officiers d'artillerie.

Le général Bonaparte, revenant d'Italie après avoir signé le traité de paix de Campo-Formio, fut informé de l'existence de cette machine. Il exprima à l'Institut l'opinion qu'en perfectionnant le mécanisme on pourrait *en tirer un grand parti*, et fut, en conséquence, nommé commissaire, avec Perrier, Coulomb et Prony, pour l'étudier et faire un rapport à cette Société savante. Brezin, fils de l'artiste qui l'avait exécutée, la considérant comme un chef-d'œuvre de forge, proposa alors de

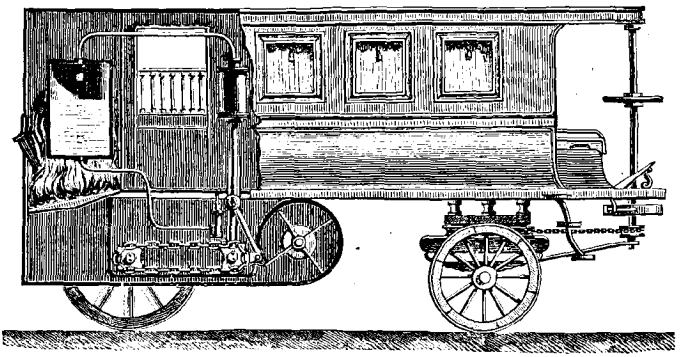


Fig. 17.

la réparer gratuitement; mais le départ du général Bonaparte pour l'Égypte empêcha qu'on l'essayât de nouveau et que le rapport fût présenté à l'Institut.

Le 27 juillet 1799, le citoyen Molard, directeur du Conservatoire des Arts-et-Métiers, écrivit au ministre de l'intérieur pour le prier d'inviter le ministre de la guerre à faire transporter la machine de Cugnot de l'Arsenal au Conservatoire, comme modèle utile aux artistes.

Cugnot était alors âgé de soixante-quinze ans. Bonaparte, devenu premier consul, à la suite d'un rapport très-favorable sur ses travaux, fait par une commission de l'Institut, composée de Prony, Lalande et Messier, non-seulement lui rendit sa pension de 600 livres, mais il l'augmenta de 400 livres. En 1804, Cugnot mourut, âgé de soixante-dix-neuf ans. A ce moment les premières locomotives commençaient à marcher sur les chemins de fer des mines de Newcastle.

Vers 1804 Olivier Évans, dont les travaux sur l'emploi de la vapeur à haute pression sont si remarquables, construisit une voiture à vapeur à Philadelphie, qui n'eut d'intérêt que comme objet de curiosité. Trevitick et Vivian firent un essai semblable en Angleterre à la même époque. J. Montgolfier fit, dit-on, une tentative analogue.

Nous avons vu plus haut comment ces essais vinrent s'appliquer aux chemins de fer des mines de houille et s'y perfectionnèrent grâce surtout au génie de Stephenson.

Les essais de voitures à vapeur sur routes ordinaires ont démontré d'une manière irréfutable qu'elles ne pouvaient réussir qu'à la condition de donner aux routes les qualités des chemins de fer, à savoir: résistance très-grande, planimétrie parfaite, pentes très-douces. En l'absence de ces conditions, la vitesse ne saurait être quelque peu grande, sans que des chocs destructeurs des mécanismes, ne viennent détruire la lourde machine; les pentes sont difficilement gravies, les roues patinent, font des trous le plus souvent. C'est ce que l'insuccès de nombreuses tentatives a surabondamment prouvé.

Dès 1825 M. Gurney, en Angleterre, dont les chaudières légères, à tubes pleins d'eau, étaient remarquables, dépensa beaucoup pour maintenir en service de semblables voitures; l'opinion publique en Angleterre croyait à leur succès, et les actions des Compagnies se souscrivaient. La Société fondée par Hancok vers 1831 et 1832 exploita régulièrement la ligne de Londres à Paddington. La figure 17 est une coupe d'une des voitures qui furent alors construites. En faisant agir la machine sur un faux essieu, on soustrayait le mécanisme aux chocs, la voiture dont il faisait partie étant montée sur des ressorts. L'essieu moteur était actionné par une chaîne sans fin; une autre faisant tourner un ventilateur activant la combustion du coke, ce qui permettait d'abandonner à l'air la fumée et la vapeur sans bruit, par de larges orifices. En France, M. Pecqueur, dès 1828; M. Galy-Cazalat, en 1833; M. Dietz, en 1835, firent des efforts inutiles dans cette voie.

Depuis, les progrès accomplis dans la construction des locomobiles et des locomotives, ont permis de résoudre le problème lorsqu'il s'agit de traîner seulement de lourds fardeaux en terrain horizontal, et la locomotive routière que les Anglais appellent Traction-Engine, a reçu d'assez nombreuses applications, et peut être plus avantageuse, plus commode que les chevaux pour traîner, à petite vitesse, de lourdes charges; c'est ainsi qu'elle est employée régulièrement pour le service de l'arsenal de Wolwich.

A Londres même ces machines fonctionnent dans les rues, mais pendant la nuit seulement; et il résulte des expériences faites, que certains transports opérés avec ces machines coûtent beaucoup moins cher que par les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chevaux. A de petites vitesses, l'emploi de locomotives sur les routes ordinaires n'a pas d'inconvénients graves; les chocs destructeurs de la machine, notamment, perdent beaucoup de leur intensité.

la main la barre horizontale de ce gouvernail et détermine avec la plus grande facilité tous les changements de direction nécessaires; si l'on avait occasionnellement à transporter la machine par des chevaux, il suf-

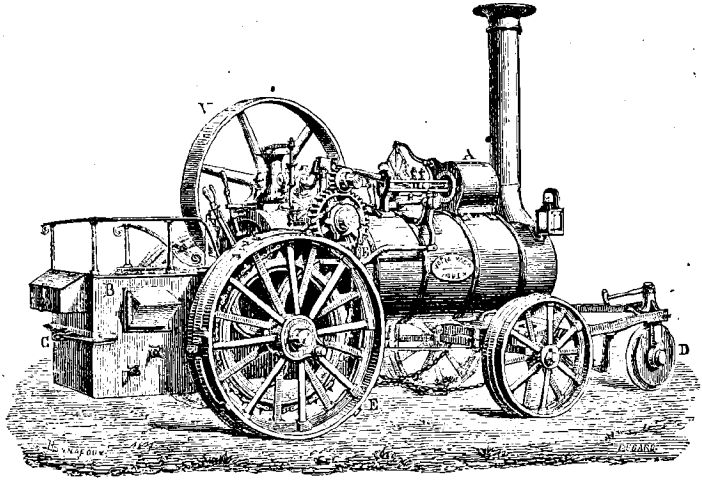


Fig. 18.

La figure ci-jointe (fig. 18) représente une des *traction-engines* de MM. Aveling et Porter de Rochester.

A Cylindre à vapeur avec enveloppe, placé de manière à échapper directement dans la cheminée.

B Tender pouvant contenir l'eau et le charbon nécessaires pour un voyage de 12 à 15 kilomètres.

C Crochet d'attelage.

D Roue en biseau servant de gouvernail et solidaire avec l'avant-train.

E Chaine sans fin transmettant le mouvement à la roue motrice E', après un premier ralentissement obtenu par l'intermédiaire des deux engrenages.

Les roues motrices sont folles sur l'essieu; elles peuvent être rendues indépendantes par l'enlèvement de la forte goupille *e* mobile à la main, et elles ont leurs jantes doublées avec de fortes nervures en fer, interrompues de distance en distance et destinées à s'imprimer sur le sol.

V Volant destiné à transmettre le mouvement aux machines opératoires lorsqu'on se sert de la machine à poste fixe comme de locomobile, car c'est un emploi que reçoivent souvent les machines dont nous parlons, et il est clair qu'inversement les locomobiles seraient avec avantage modifiées de manière à pouvoir au besoin effectuer des transports au profit de l'agriculture notamment.

Deux hommes sont nécessaires pour la manœuvre en route: le chauffeur, qui ne s'occupe de rien autre chose que de la surveillance du foyer, et le conducteur, qui se place dans le triangle formé entre la roue gouvernail et l'avant-train.

Ces locomotives étant destinées à remorquer de fortes charges sur des rampes qui peuvent aller jusqu'à un sixième (0,16) il faut aussi qu'elles puissent les descendre, et elles sont à cet effet munies de freins puissants qui fonctionnent sous la main du mécanicien.

La roue en biseau, placée à l'avant de la locomotive est une heureuse disposition; le conducteur assis tranquillement sur une planchette, qui correspond à la place occupée ordinairement par la barre d'attelage, tient à

firait de démonter, en même temps que la roue gouvernail, les pièces par l'intermédiaire desquelles on lui transmet le mouvement, et deux chevaux s'attelleraient alors à la manière ordinaire aux crochets d'attelage du banc du conducteur.

Les constructeurs français ont fait des machines qui rivalisent avec les précédentes. Nous ne citerons ici que celles de M. Lotz (de Nantes) qui reprenant en 1867, à tort selon nous, la voie du service de voyageurs, a permis des expériences qui ont servi de déterminer quelques nombres intéressants pour l'emploi de machines semblables. On a constaté qu'on doit évaluer à 1/25e le coefficient de traction en terrain horizontal.

L'adhérence permet de traîner, en terrain horizontal un peu compressible, un poids double de celui de la locomotive routière. Pour une rampe pavée de 1/8e d'inclinaison, le poids à remorquer doit être compris entre la moitié et les deux tiers de celui de la machine. A une faible charge, pour obtenir une vitesse notable, la majeure partie du travail produit sert à mouvoir la locomotive, ce qui indique encore, outre les observations faites plus haut, que c'est seulement pour des transports à faible vitesse qu'elle peut convenir.

Le poids mort était d'environ 500 kilogrammes par force de cheval, et serait difficilement diminué notablement.

L'approvisionnement d'eau le long de la route est une des difficultés du service, la voiture ne pouvant être chargée d'une grande quantité de charbon et d'eau sans devenir trop lourde, et l'eau devant être fournie à un niveau assez élevé.

En résumé le rapport de la traction à la charge étant 1/25 quand il est 1/300 sur les chemins de fer, la grande vitesse étant destructive des organes et les rampes difficiles à franchir, bien qu'on ait obtenu une grande amélioration, à ce point de vue, par un double système d'engrenages qui permet de ralentir le mouvement de roues sans diminuer le travail moteur, il n'y a rien à espérer de la traction à la vapeur sur les routes ordinaires pour le service des voyageurs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

LOCOMOTIVES POUR TRAMWAYS. L'expérience bien des fois repétée du mauvais usage des routières à grande vitesse n'entraine pas condamnation de leur emploi sur les tramways. S'il ne s'agit pas ici de chemins de fer établis dispendieusement dans des conditions de planimétrie toutes spéciales, toutefois les tramways ne sont habituellement établis que sur des chemins à faible pente (autrement la diminution du nombre des chevaux n'existerait pas, ainsi qu'il a été dit à l'article TRAMWAYS), mais surtout le roulement sur rails assure contre les secousses et dislocations du mécanisme, qui empêchent absolument l'emploi des machines sur les routes ordinaires.

Cet emploi est-il possible et avantageux pour remorquer non des files de voitures, mais le plus souvent une seule voiture plus ou moins longue sur des routes parcourues par des chevaux? Doit-il faire renoncer à l'emploi des chevaux dans la plupart des cas?

Nous ferons remarquer à cet égard, qu'en plaçant des rails au milieu des routes, on construit des tramways qui, suivant les cas, doivent être exploités d'une manière très-différente. Les uns doivent être assimilés à des lignes d'omnibus, les autres à des chemins de fer. Les premiers ne réunissant des voyageurs que grâce à des passages de voitures fréquents, traversant des rues étroites et fréquentées, où l'arrêt brusque par des chevaux bien attelés est une condition presque indispensable d'exploitation, se prêtent mal comme économie et comme sécurité à l'emploi de moteurs mécaniques. Les seconds, au contraire, parcourant de larges avenues, traversant les campagnes, recevant à certains jours des milliers de voyageurs se portant à des fêtes, des courses, etc., ne pourront accomplir souvent le service qu'exige le public, qu'avec des voitures multiples ou au moins de très-grande capacité et des moteurs mécaniques, dont l'application se trouve bien indiquée.

Trois solutions du problème ont été proposées pour remplacer les chevaux par des machines susceptibles de faire un service continu, sans relais: 1° emploi direct de la machine à vapeur; 2° emploi d'eau surchauffée prise au départ; 3° emploi de l'air comprimé, emmagasiné également à la station.

1° MACHINE A VAPEUR. Une petite machine à vapeur verticale, chauffée au coke pour diminuer les inconvénients de la fumée, suffit parfaitement pour conduire une voiture de 50 voyageurs. On la place rarement dans la voiture même, le plus souvent dans une caisse de voiture ordinaire, de petite dimension, dont elle peut actionner directement les roues. C'est le système le plus simple, le plus économique, susceptible par une étude attentive de tous les détails, de fournir une solution satisfaisante dans des circonstances convenables.

Lorsqu'il s'agit de traîner une seule voiture, que le petit nombre des voyageurs, le rayon des courbes, ne permettent pas un convoi de 2 ou 3 voitures à voyageurs, la machine peut être assez faible et la chaudière assez peu volumineuse, proportionnée toutefois aux parties les plus inclinées de la route, mais pendant que le service est assez difficile, pour arrêter surtout avec des freins, l'économie obtenue relativement aux chevaux est peu importante, vu la nécessité d'employer outre le conducteur, un ouvrier chauffeur.

La projection dans l'air de la fumée et de la vapeur, la chute des escarbilles incandescentes, sont des inconvénients sérieux pour l'adoption de ces moteurs sur les routes très-fréquentées. On néglige ces inconvénients en Amérique; on admettrait difficilement ce système à l'intérieur des grandes capitales. Les accidents jadis causés par les voitures à vapeur, les ont fait interdire par le Parlement pour les rues de Londres.

A Bruxelles, on a expérimenté un modèle assez élégant, dans lequel la vapeur met en mouvement un moteur à trois cylindres, du système Brotherhood, qui communique l'action aux roues par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'un arbre accessoire.

Parmi diverses constructions, nous citerons celle de Merrywheater de Londres qui utilisant l'expérience acquise dans la construction des POMPES A VAPEUR, a expérimenté à Paris, un modèle de machine légère et puissante, grâce à l'emploi de la chaudière Field.

2° LOCOMOTIVE SANS FEU, A EAU CHAUDE. Un curieux système a été inventé et appliqué en Amérique, par Lamm, il a été combiné en vue de faire disparaître les inconvénients qui résultent de l'emploi d'un foyer, et employé à Chichago et à la Nouvelle-Orléans.

Le charriot faisant fonction de locomotive, porte simplement un réservoir d'assez grande capacité, pouvant résister à une pression de dix à quinze atmosphères au maximum. La vapeur à haute pression est produite dans des chaudières établies vers une des extrémités de la ligne; au moyen d'un serre-joint, le réservoir rempli d'eau aux trois quarts environ, est mis en communication avec les chaudières. Lorsque par l'ouverture d'un robinet, la vapeur à haute pression pénètre dans un tuyau percé d'ouvertures et traversant le réservoir, elle se condense dans l'eau violemment agitée, et l'équilibre de température et de pression est rapidement établi.

Supposons que le réservoir de la locomotive puisse recevoir deux mille litres d'eau, que l'on échauffe par un courant de vapeur provenant d'une ou de plusieurs chaudières fixes. On peut le charger jusqu'à la température correspondant à 12 atmosphères, en une heure lorsque l'eau est froide, et en dix minutes lorsque celle-ci, après avoir fonctionné, est encore au-dessus de 100 degrés.

En pratique, dans les limites de 10 et 3 atmosphères avec 2,000 litres d'eau, le réservoir pourra laisser échapper sur les pistons de la machine environ 150 kilogrammes de vapeur à la pression régulière de 3 atmosphères. Cette quantité de vapeur, peut exercer un travail de près de 6 *chevaux-vapeur* pendant *une heure*.

Cette puissance, sauf les pertes par refroidissements, est facile à déterminer. 1,000 kil. d'eau à 170° renfermant de plus que le même poids à 3 atmosphères ou 120°,

$$1{,}000\,(606{,}5 + 0{,}305 \times 170 - 606{,}5 - 0{,}305 \times 120) = 1{,}000 \times 0{,}305 \times 50 = 1{,}500 \text{ calories},$$

c'est-à-dire en négligeant la petite variation de température de la vapeur, pour 2,000 kil., en divisant 3,000 par 646, au plus 46 kil. de vapeur disponible. C'est donc à 8 kil. de vapeur par force de cheval et par heure, la force de 5,6 chevaux pendant une heure, sans tenir compte des refroidissements. Le système ne doit donc guère s'appliquer qu'à des trajets assez peu étendus, dont les stations pour les prises d'eau chaude ne sont pas trop éloignées.

Les inconvénients de ce système fort ingénieux introduit en France et amélioré par M. Francq, sont: d'avoir un dégagement de vapeur desagréable, quelque soin que l'on prenne de la diviser et d'essayer d'en condenser une partie par des actions de surface; d'exiger un remorqueur d'un poids assez grand, enfin de donner lieu à des pertes par refroidissement, que l'hiver au moins, seraient fort notables dans nos contrées.

Le bon usage de la vapeur à pression variable exige l'emploi d'un distributeur-régulateur analogue à celui dont nous allons parler.

3° LOCOMOTIVE A AIR COMPRIMÉ. L'emploi de l'air comprimé pour actionner une locomotive est indiqué lorsque, dans une autre but, une conduite pleine d'air comprimé court parallèlement aux rails. Tel est le cas des longs tunnels dont le percement mécanique et l'aération durant le travail sont obtenus avec de l'air comprimé. L'idée de cette application était venue à plusieurs ingénieurs, mais c'est au percement du Saint-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Gothard qu'elle a été faite pour la première fois, et qu'on a pu, au moyen de l'air comprimé à l'aide des chutes d'eau de la montagne, remplacer les 2 ou 300 chevaux qui, au Mont-Cenis, étaient employés à la sortie des déblais.

Essayé par S. Wright, en 1828, pour voitures sur les routes ordinaires, ce système n'avait pu triompher des inconvénients qui résultaient de l'amoindrissement de pression à mesure de la consommation de l'air comprimé dans le réservoir. Repris sans plus de succès, malgré d'ingénieuses combinaisons, par MM. Andraud et Tessié du Motay, il a réussi pour l'application spéciale dont nous avons parlé, grâce aux dispositions imaginées par M. Ribourt, ingénieur employé au percement du Saint-Gothard.

Système Ribourt. La pratique a amené cet ingénieur à la recherche des conditions suivantes, pour une locomotive à air comprimé : introduire l'air à basse pression dans les cylindres de façon à ne faire la détente que dans les rapports de 1/2 ou 2/3 ; avoir un appareil qui maintienne automatiquement la pression d'introduction constante, quelle que soit la pression de l'air accumulé dans le réservoir.

Ces conditions ont été réalisées dans deux locomotives du tunnel du Gothard ; elles ont été construites dans les ateliers de MM. Schneider et Compagnie au Creuzot, d'après les indications qui leur ont été communiquées au mois de mai 1874.

Le châssis avec les cylindres, les bielles, le mouvement de distribution, les roues, etc., est exactement le même que celui des autres locomotives.

Le châssis porte, en place de la chaudière, un réservoir cylindrique en tôle d'acier, d'un volume considérable, dans lequel on emmagasine l'air à la plus forte pression possible.

Cette pression est limitée par le fonctionnement du compresseur, par la possibilité de maintenir pratiquement les joints étanches dans les conduites. De plus, quel que soit le système de régulation de l'introduction dans les cylindres, tiroirs, cylindres à frottement doux, etc., il se produit, même à basse pression, une fuite, par le contact des deux surfaces, aussi bien rodées qu'elles soient. Cela n'a pas d'importance tant que la différence des pressions est de 7 ou 8 atmosphères, mais il est probable que si l'on se proposait de charger le réservoir principal à des pressions très-élevées, comme certains inventeurs le prétendent, ces fuites correspondraient à une fraction importante de la quantité d'air introduite dans les cylindres.

Au tunnel du Gothard, on s'est fixé à 14 atmosphères ; une disposition spéciale permet, si les compresseurs ont un rendement trop défectueux depuis 1 jusqu'à 14 atmosphères, de leur faire aspirer l'air déjà comprimé à sept atmosphères pour le porter à 14, conditions dans lesquelles le fonctionnement est assuré, la compression se faisant dans le rapport de 2 à 1.

A la sortie du réservoir principal de la locomotive, l'air comprimé passe par l'appareil régulateur dans lequel il se détend, et que représente la fig. 19, il en sort à

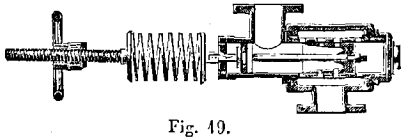


Fig. 19.

la pression d'introduction dans des cylindres. Un petit réservoir est interposé entre ces derniers et le régulateur, afin d'éviter les mouvements brusques au démarrage ou à l'arrêt de la machine.

L'écoulement du gaz a lieu à travers des orifices de dimensions variables qui sont déterminées par la pression de sortie agissant sur un piston, au besoin équilibrée par la tension d'un ressort dont la puissance détermine justement le degré de cette même pression. En réglant la tension du ressort au moyen d'une vis manœuvrée à la main, on modifie à volonté les passages de l'air en raison de la correspondance des ouvertures du piston creux et de celles du cylindre qui l'enveloppe; on peut ainsi faire varier, dans certaines limites, l'intensité de la pression.

Au point de vue de l'utilisation du travail moteur primitif qui, au tunnel du Gothard, est une chute d'eau, il est intéressant de considérer les résultats acquis par les expériences de traction à l'air comprimé.

Si l'on prend le chiffre de 50 pour 100 comme rendement du travail théorique de l'air introduit dans les cylindres de la locomotive, transformé en travail de traction; les compresseurs actuels à 7 atmosphères rendant, en air comprimé, 70 pour 100 du travail de la chute d'eau motrice ; enfin si l'on calcule, par analogie, le travail qu'il faudra dépenser par cette chute d'eau, pour obtenir l'air à 14 atmosphères alimentant les locomotives; le rapport entre le travail de traction et le travail moteur primitif, c'est-à-dire l'utilisation, après avoir passé par la série d'organes : turbine, compresseur, régulateur de détente, cylindres de la locomotive, se trouve être 23 pour 100.

Ce chiffre est digne de remarque; il est de beaucoup supérieur à celui que l'on trouve pour les diverses machines à air comprimé employées actuellement; les perforatrices, par exemple, ne permettent de recueillir en travail de percussion, au fond de la galerie, que 4 à 6 pour 100 du travail dépensé en chute d'eau à l'extérieur.

Ce chiffre de 23 pour 100, malgré les imperfections que présentent les machines desquelles il résulte, peut être mis avec avantage en comparaison avec celui de l'utilisation des locomotives à vapeur, si l'on part du travail correspondant à la quantité de calories contenues dans le charbon dépensé.

Aujourd'hui que le passage en longs tunnels à la base des montagnes semble devoir l'emporter sur les lignes à hautes altitudes et à fortes rampes ; que la question de traction dans ces grands souterrains commence à préoccuper les esprits, vu la difficulté de l'aérage ; la locomotive à air comprimé peut présenter une solution avantageuse en dehors d'autres applications spéciales, mais moins importantes. Elle supprime du coup la question de ventilation artificielle.

Système Mékarski. L'inventeur s'est proposé d'appliquer l'air comprimé au service des tramways, de remplacer les appareils présentant les inconvénients attachés à l'emploi de la vapeur, dégagement de vapeur et de fumée, projection de flammèches, bruit, dangers d'explosion, etc.

Outre une grande souplesse, au point de vue de la variation des efforts moteurs, qui est la qualité obligatoire du moteur pour tramway, il serait désirable qu'il en réunît un certain nombre d'autres que l'on peut énumérer comme suit :

Ne déverser dans l'atmosphère ni fumée, ni flammèches, ni panache de vapeur ;

Fonctionner avec peu ou pas de bruit ;

Ne présenter aucun danger ni pour les voyageurs eux-mêmes ni pour les riverains ;

Enfin permettre la réunion sur le même châssis de la voiture et du remorqueur, pour à la fois causer moins d'encombrement sur la voie publique, passer facilement dans les courbes, et posséder une grande adhérence nécessaire pour gravir les fortes rampes.

« Toutes ces conditions nous ont paru, dit M. Mékarski, être remplies par l'emploi de l'air comprimé comme force motrice au moyen de procédés nouveaux que nous allons exposer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous nous sommes tout d'abord déterminé à emmagasiner l'air sur les machines à une pression assez élevée pour leur permettre d'accomplir un parcours suffisant sans qu'il fût nécessaire de donner au réservoir des dimensions exagérées. Nous nous sommes arrêté à 25 ou 30 atmosphères, pression qu'il n'a pas été difficile d'atteindre d'une manière tout à fait industrielle au moyen d'appareils de compression combinés pour agir successivement sur la même masse d'air.

Lorsqu'on peut fournir théoriquement la détente complète, c'est-à-dire jusqu'à la pression atmosphérique, d'un mètre cube d'air à 25 atmosphères, si l'on fait en sorte que la température se maintienne constante, le travail étant de. . . . . 831,706^k

Le travail résistant de la pression atmosphérique sur le piston moteur étant de 248,000

on voit que dans ces conditions on disposerait d'un travail utilisable de. 583,700

Si, au contraire, on ne combat, par aucune restitution de chaleur, l'abaissement de température qui tend alors à se produire, la pression baisse beaucoup plus rapidement et le travail diminue très-notablement.

Pour le même volume à la même pression initiale, il n'est plus que de. . . . . 428,400^k

et, en déduisant la résistance atmosphérique, de. 313,200

un peu plus de moitié de la valeur précédente.

Ce phénomène, qu'on explique fort simplement aujourd'hui par la consommation de chaleur qui correspond à toute production de travail, fait voir qu'il n'est pas absolument exact de considérer l'air comprimé comme un ressort parfait susceptible de restituer intégralement l'action qu'on a exercée sur lui. Ce n'est, en réalité, qu'un corps placé dans des conditions dynamiques convenables pour développper un travail, mais ne pouvant le faire qu'en dépensant du calorique; lorsqu'on ne lui en fournit pas, il dépense celui qu'il possède en propre, et comme sa capacité calorifique est très-faible, ainsi que sa densité, l'effet qu'il peut ainsi produire est considérablement diminué.

On voit d'ailleurs que ce n'est pas avant la détente, mais au fur et à mesure de cette détente qu'il faut communiquer au fluide le calorique nécessaire, un réchauffement préalable ne pouvant avoir pour effet d'augmenter beaucoup la quantité de chaleur emmagasinée dans la masse.

On n'obtiendrait pas un meilleur résultat en chauffant d'une façon quelconque l'enveloppe dans laquelle agit le gaz, la mauvaise conductibilité de celui-ci et la rapidité obligée de l'action ne permettent pas de supposer qu'il puisse rester en équilibre de température avec cette enveloppe.

Le moyen qui nous a paru devoir être le plus efficace a été de combiner l'air comprimé, au moment de l'emploi, avec une certaine proportion de vapeur d'eau dont la condensation au fur et à mesure de la détente restituerait au fluide la chaleur absorbée par le travail.

Ce procédé a en outre pour effet de rendre les joints mobiles de l'organisme moteur plus étanches, en les tenant garnis d'eau de condensation.

Il n'entraîne d'ailleurs pas la présence d'un foyer, ce qui ferait disparaître l'un des avantages de l'emploi de l'air comprimé, mais conduit simplement à ajouter à l'approvisionnement d'air une assez petite quantité d'eau chaude fournie au départ par un générateur fixe. Cette eau est contenue dans un récipient que l'air traverse sous forme de bulles fines de manière à s'y saturer de vapeur.

La température de l'eau et la pression de l'air baissant en même temps pendant la marche, on conçoit que les choses puissent être réglées de telle sorte que la proportion relative des deux éléments du mélange qui est envoyé au cylindre ne varie pas d'une manière très-sensible. Le fluide moteur est donc, dans ce système, de l'air comprimé saturé de vapeur d'eau et dont la pression à chaque instant est celle des réservoirs d'approvisionnement, pression essentiellement décroissante.

Le travail à fournir varie d'une façon toute différente suivant les résistances accidentelles de la voie. Il faut non-seulement que la puissance développée ne diminue pas au fur et à mesure de la dépense, mais encore qu'elle puisse rapidement être augmentée ou réduite.

Pour arriver à ce résultat, il nous a paru nécessaire d'interposer entre les réservoirs et les cylindres moteurs un régulateur de pression maintenant automatiquement constante la pression à laquelle l'air est introduit dans les cylindres moteurs et permettant par une manœuvre simple de la faire arbitrairement varier suivant les besoins.

Je donnerai maintenant quelques détails sur la construction de la voiture automobile que nous avons fait établir sur ces principes, et qui a été l'objet d'expériences suivies sur le tramway de l'avenue de Neuilly.

Cette voiture, pesant 7000 kilog., se compose d'une caisse de forme analogue à celle des voitures ordinaires employées par la Compagnie des Tramways-Nord, et d'un châssis auquel est suspendu un organisme moteur double, en tout point semblable à celui des locomotives à vapeur.

L'air comprimé est emmagasiné sous le châssis dans des réservoirs cylindriques en tôle d'un diamètre variable entre 0^m,30 et 0^m,40. Quelques-uns de ces récipients sont entièrement soudés : d'autres en fer ou en acier sont rivés. Par l'un et l'autre procédé on est arrivé à une étanchéité parfaite.

Les réservoirs communiquent ensemble au moyen de tubulures en cuivre rouge auxquelles, en raison des trépidations qui se produisent pendant la marche, on a donné une forme propre à leur conserver une certaine élasticité.

Ils sont divisés en deux séries : l'une d'une contenance totale de 1,500 litres constitue la *batterie principale*, l'autre de 500 litres constitue la réserve.

Le réservoir d'eau chaude ou bouillotte de forme cylindrique est posé verticalement à l'avant de la voiture sur la première plate-forme, sa contenance est d'environ 400 litres : il est rempli d'eau au départ sur les 3/4 de sa hauteur, la partie supérieure constituant une sorte de chambre de vapeur. L'appareil est surmonté par le régulateur de pression qui se compose de deux chambres en bronze superposées, séparées par un diaphragme en caoutchouc. La chambre inférieure qui communique avec les cylindres moteurs pendant la marche est traversée par l'air qui s'écoule du réchauffeur. La chambre supérieure contient le ressort d'air par l'action duquel est réglée la pression de débit.

La plate-forme d'avant est réservée exclusivement au mécanicien à la portée duquel sont groupés tous les organes sur lesquels il doit agir. La plate-forme d'arrière est destinée aux voyageurs debout.

La cherté d'établissement des appareils qu'il faudra dans la pratique faire lourds et volumineux, car ceux de la machine d'essai déjà fort lourde, répondant seulement à quatre chevaux vapeur pendant une heure, sont sûrement insuffisants; la sujétion de mettre la voiture en rapport avec des réservoirs d'air comprimé à haute pression, à chaque voyage, la cherté de cette compression, comme de la construction et de l'entretien d'appareils délicats, sont des difficultés pratiques graves, qui n'ôtent rien à l'ingéniosité des dispositions que nous venons d'analyser. C'est peut-être en se rapprochant du système précédent, en augmentant la quantité et la température de l'eau chaude, que le problème serait le mieux résolu, lorsque les règlements empêcheront l'usage d'une machine à vapeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M

MACHINE A VAPEUR (HISTORIQUE ET NOTIONS GÉNÉRALES). L'importance si grande dans l'industrie moderne de la machine à vapeur nous engage à exposer sous forme historique, dans l'ordre chronologique de leur découverte, les inventions successives qui ont constitué la machine à vapeur telle que nous la voyons de nos jours. L'intérêt qui s'attache à la question de l'invention de la machine à vapeur, ainsi que le talent de l'auteur, expliquent l'éclatant succès qu'obtint la célèbre notice publiée par Arago dans l'*Annuaire du bureau des longitudes, pour* 1830. Nous ferons de fréquents emprunts à ce remarquable travail, que nous ne saurions trop engager nos lecteurs à lire en entier.

Posons d'abord avec Arago : « qu'on a eu tort de considérer la machine à vapeur comme un objet simple dont il fallait absolument trouver l'inventeur... Dans la machine à vapeur, il existe plusieurs idées capitales qui ne peuvent être sorties de la même tête. Les classer par ordre d'importance, donner à chaque inventeur ce qui lui appartient, rapporter exactement les dates des diverses inventions, tel doit être l'objet de l'historien. »

Quelles sont les idées capitales qui ont joué le plus grand rôle dans l'invention de la machine à vapeur? Ce sont évidemment celles qui se rapportent aux propriétés de la vapeur d'abord, puis celles relatives aux organes et aux dispositions mécaniques qui permettent d'utiliser ces propriétés.

On peut diviser en deux parties les notions principales relatives à la vapeur d'eau; celles qui résultent de la première inspection de tout vase plein d'eau qui est placé sur le feu, et celles qui exigent des recherches, des mesures, c'est-à-dire :

1° Les premières, celles qui résultent de l'observation de la pression, de la force qu'acquiert l'eau en se vaporisant, de la propriété qu'elle acquiert de soulever des poids, de la vitesse avec laquelle elle s'élève dans l'air;

2° Les secondes notions se rapportant à l'observation du volume considérable qu'occupe la vapeur, relativement à celui de l'eau qui a servi à la produire; à la conversion rapide de la vapeur en eau lorsqu'on la refroidit, du vide qui en résulte, et par suite de l'action que produit la pression atmosphérique en présence de ce vide. Ces dernières propriétés devaient nécessairement être postérieures aux grandes découvertes de Galilée et Torricelli sur la pression de l'atmosphère.

En réalité, ces dernières notions figurent seules dans les écrits des inventeurs de la machine à vapeur, car les premières sont pour ainsi dire connues de toute antiquité, et nous allons voir que plusieurs anciennes inventions, fort différentes de la machine à vapeur moderne, reposaient sur celles-ci.

Le plus ancien ouvrage grec dans lequel on trouve la description d'appareils dont le jeu est fondé sur l'emploi de la vapeur, sur ses propriétés facilement reconnues, est celui de Héron d'Alexandrie, né cent vingt ans avant Jésus-Christ, dont le traité est connu sous le nom de *Spiritalia*. Il décrit en ces termes l'effet d'un jet de vapeur vertical sur un corps léger qu'on y plonge :

« Les boules dansent de cette manière : une marmite contenant de l'eau, et munie d'une ouverture, est soumise à l'action du feu; de l'ouverture sort un tube terminé à son extrémité supérieure par une demi-sphère creuse (fig. 1). Si nous jetons une petite boule légère dans la demi-sphère creuse, la vapeur qui sortira par le tube soulèvera la petite boule qui paraîtra danser. » (*Vet. Math.*, p. 198.)

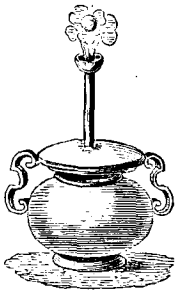


Fig. 1.

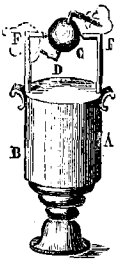


Fig. 2.

Les appareils à réaction étaient fort en honneur chez les Grecs, et il était naturel que l'on essayât de remplacer l'eau en mouvement par la vapeur. Tel est le cinquantième appareil décrit par Héron, qui présente une application ingénieuse, quoique stérile, de la force motrice de la vapeur (fig. 2). Laissons parler l'auteur grec :

« Faire mouvoir une petite sphère sur des pivots au moyen d'une marmite échauffée.

« Soit AB une marmite contenant de l'eau et soumise à l'action de la chaleur. On la ferme au moyen d'un couvercle que traverse le tube recourbé F F, qui traverse la petite sphère creuse CD suivant un diamètre. De la sphère sortent deux tubes placés suivant un diamètre, et recourbés à angles droits en sens inverse l'un de l'autre. Lorsque la marmite sera échauffée, la vapeur passera par le tube FF dans la sphère, et sortant par les tubes infléchis fera tourner la sphère. »

La propriété de la vapeur de fournir un courant rapide était aussi utilisée dans un petit appareil dont les anciens faisaient usage, nous voulons parler des éolypiles (Voy. ÉCLAIRAGE, p. 7). Voici comment les décrit Vitruve :

« Les éolypiles, dit-il, sont des boules d'airain qui sont creuses et qui n'ont qu'un très-petit trou par lequel on les remplit d'eau. Ces boules ne poussent aucun air avant d'être échauffés, mais étant mises devant le feu, aussitôt qu'elles sentent la chaleur, elles envoient un vent impétueux vers le feu, et ainsi enseignent, par cette petite expérience, des vérités importantes sur la nature de l'air et des vents. »

On voit par ce passage que les anciens faisaient confusion entre la nature de l'air et celle de la vapeur; mais toujours est-il que le mouvement de celle-ci leur paraissait pouvoir fournir l'explication de nombreux phénomènes de la nature. C'est ainsi que Sénèque cherche à expliquer les tremblements de terre par les effets que peut produire la vapeur d'eau.

En suivant les travaux qui se rapportent à l'utilisation de la pression et de la vitesse de la vapeur sortant par un orifice d'un vase dans lequel elle est produite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par l'action de la vapeur, nous trouvons le projet d'un canon à vapeur, découvert dans les manuscrits de Léonard de Vinci. Il est assez remarquable que l'auteur rapporte à Archimède l'invention de *l'architonnerre*, comme il appelle sa machine. Comme le remarque M. Lalanne, dans une notice intéressante publiée dans le *Magasin pittoresque*, il y a en effet une liaison intime entre l'appareil de Héron, que nous avons rapporté en commençant, et le canon à vapeur que Léonard de Vinci attribue à Archimède, dont le nom est probablement pour lui une personnification de l'époque grecque. Il suffit en effet d'ouvrir brusquement à l'aide d'un robinet le passage de la vapeur renfermée dans une chaudière, pour que la balle placée dans un long tube, dans lequel passe cette vapeur soit lancée avec force, et qu'on obtienne un appareil très-voisin de celui de l'ingénieur italien. Léonard de Vinci, né en 1452, mourut en 1519.

Nous renvoyons à la notice d'Arago pour la description d'un essai d'application de la vapeur à la navigation, qui paraît avoir été fait en 1543, à Barcelone, par Blasco de Garay. Arago montre que, suivant toute probabilité, le capitaine espagnol ne fit que tenter une application ingénieuse de l'éolypile de Héron, qui n'eut et ne pouvait avoir qu'un intérêt de curiosité.

En 1629, Giovanni Branca, ingénieur et architecte distingué, publia un volume intitulé: *Le macchine del Sig. Branca*. Dans les machines décrites dans ce livre, il en est une qui consiste en une tête creuse qui se remplit d'eau, et qui, chauffée, lance par la bouche un jet de vapeur qui vient pousser les palettes d'une roue horizontale et la fait tourner. Cette machine a presque été reprise vers 1835 ou 1839 par M. Pelletan, qui, s'exagérant les effets de la vapeur en mouvement, avait cru que des dispositions ayant quelque analogie avec celles de la machine de Branca, en augmentant la masse et diminuant la vitesse par un appel d'air (avant toutefois qu'on eût expérimenté les avantages que peuvent fournir des formes d'injecteurs convenables), pourraient être utilisées pour les machines de force minime. L'expérience a démontré, une fois de plus, la difficulté d'obtenir des résultats avantageux au moyen de la vapeur non emprisonnée.

Revenons à la voie suivie par les inventeurs de la machine à vapeur moderne, qui ont utilisé les propriétés de la vapeur d'eau que nous avons énumérées en second lieu.

Dans un livre devenu célèbre et actuellement fort rare (1), Salomon de Caus montre qu'il connaît les principales propriétés de la vapeur. Il sait que la vapeur se condense par le froid, de manière à réformer précisément le volume de l'eau qui s'était vaporisée. Ailleurs il dit qu'une balle de cuivre d'un pied ou deux de diamètre, et épaisse d'un pouce, étant remplie d'eau par un petit trou que l'on bouche ensuite, éclate avec fracas lorsqu'elle est chauffée sur un grand feu. Enfin, notre fig. 3 représente un appareil qui, tout imparfait qu'il est, peut être considéré comme le germe de celui qu'employa plus tard le capitaine Savery. Cette figure est insérée dans le théorème V de l'ouvrage de Salomon de Caus, ainsi conçu: « *L'eau montera par suite du feu plus haut que son niveau...*

« Le troisième moyen de faire monter l'eau par l'aide du feu, dont il se peut faire diverses machines. J'en donnerai ici la démonstration d'une:

« Soit une balle de cuivre marquée I, bien soudée tout alentour, à laquelle il y aura un soupirail marqué D par où l'on mettra l'eau, et aussi un tuyau marqué BC qui sera soudé en haut de la balle; et dont le bout approchera près du fond, sans y toucher; après, il faut emplir ladite balle d'eau par le soupirail, puis le bien reboucher et la mettre sur le feu; alors la chaleur, donnant contre ladite balle, fera monter toute l'eau par le tuyau BC. »

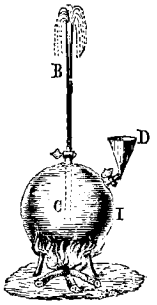


Fig. 3.

On ne peut supposer, d'ailleurs, que Salomon de Caus ignorât la cause de l'ascension du liquide par le tuyau BC. Car, dans son théorème I, à l'occasion d'une expérience toute semblable, il dit que « la violence de la vapeur (produite par l'action du feu) qui cause l'eau de monter est provenue de ladite eau, laquelle vapeur sortira après que l'eau sera sortie par le robinet avec grande violence. »

Il est juste de dire que Salomon de Caus ne paraît pas avoir pensé à tirer parti dans un but pratique de sa découverte. Toutefois, on doit considérer que le passage de l'idée qu'il exposait à la conception d'une machine d'épuisement agissant par la vapeur n'était plus infranchissable.

Nous ne parlerons pas du marquis de Worcester, que, par un patriotisme exagéré, les Anglais ont voulu s'obstiner longtemps à considérer comme l'inventeur de la machine à vapeur. Mais ils ont dû y renoncer, sa publication, faite en 1663, ne renfermant qu'une description d'un système analogue à celui publié par Salomon de Caus cinquante ans auparavant. Il n'a d'ailleurs pas appliqué ou construit en grand sa machine, et n'a pu être considéré par suite comme ayant utilement coopéré à l'invention de la machine à vapeur.

1690-1695. — *Premières machines à vapeur à piston et à cylindre par Denis Papin.* Les *Actes* de Leipzig de 1690 renferment un mémoire en latin, traduit en français quelques années plus tard par l'auteur lui-même, Denis Papin.

Celui-ci avait aidé le célèbre Huyghens dans des expériences curieuses pour élever l'eau à l'aide d'un vide produit par l'explosion de la poudre à canon, afin de tirer parti de la grande découverte de Torricelli. C'est une chose curieuse que les recherches pour l'utilisation des matières explosives à mouvoir des machines, problème encore posé aujourd'hui, aient précédé l'invention de la machine à vapeur sur laquelle repose le développement industriel du dix-neuvième siècle. Voici en quoi consistaient ces expériences: Une petite quantité de poudre était placée au bas d'un corps de pompe vertical, dans une chambre à ce destinée. On mettait le feu à la poudre; l'explosion soulevait jusqu'au haut du corps de pompe un piston équilibré par un contre-poids, et chassait en même temps l'air et les gaz contenus dans ce corps de pompe, à travers deux tuyaux latéraux en cuir flexible faisant office de soupape. Le vide une fois fait à l'extérieur, le piston pressé par le poids de l'atmosphère redescendait en soulevant une certaine charge additionnelle au contre-poids.

« Mais, dit Papin, nonobstant toutes les précautions qu'on y a observées, il est toujours demeuré dans le tuyau environ la cinquième partie de l'air qu'il contient d'ordinaire, ce qui cause deux différents inconvénients: l'un est que l'on perd environ moitié de la force qu'on devrait avoir; l'autre est qu'à mesure que le piston descend, la force qui le pousse de haut en bas diminue de plus en plus...

« J'ai donc tâché, ajouta-t-il, d'en venir à bout d'une autre manière, et comme l'eau a la propriété, étant par le feu changée en vapeur, de faire ressort comme l'air, et ensuite de se recondenser si bien *par le froid*, qu'il ne lui reste plus aucune apparence de cette force de ressort, j'ai cru qu'il ne serait pas difficile de faire des machines dans lesquelles, par le moyen d'une chaleur

(1) *Les raisons des forces mouvantes.* Francfort, 1615.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

médiocre et à peu de frais, l'eau ferait ce vide parfait qu'on a inutilement cherché par le moyen de la poudre à canon. »

L'appareil dont la fig. 4 est le *fac-simile* est figuré et décrit dans les termes suivants dans les *Actes* de Leipzig : « AA est un tuyau égal d'un bout à l'autre, et bien fermé par en bas; BB est un piston ajusté à ce tuyau; N est le manche attaché au piston; G une verge de fer qui peut se mouvoir autour d'un axe, un ressort presse la verge de fer G, en sorte qu'elle entre dans l'échancrure de N sitôt que le piston avec son manche est élevé assez haut pour que ladite échancrure paraisse au-dessus du couvercle; M tige qui se visse dans un trou pratiqué au piston par où l'air peut sortir du fond du tuyau AA, lorsque l'on y enfonce le piston pour la première fois.

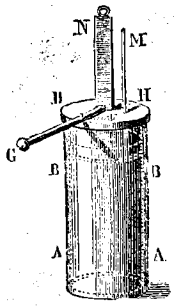


Fig. 4.

« Pour se servir de cet instrument, on verse un peu d'eau dans le tuyau AA jusqu'à la hauteur de trois ou quatre lignes (8 à 9 milimètres) ; on y fait ensuite entrer le piston et on le pousse jusqu'au bas, en sorte que l'eau qui est au fond du tuyau regorge par-dessus. Alors on ferme ledit trou avec la verge MM, et on adapte le couvercle H qui a autant de trous qu'il en faut pour entrer sans obstacle. Ayant ensuite mis un feu médiocre sous le tuyau AA, il s'échauffe fort vite, parce qu'il n'est fait que d'une feuille de métal fort mince, et l'eau qui est dedans se changeant en vapeurs fait une pression si forte qu'elle surmonte le poids de l'atmosphère et pousse le piston BB en haut, jusqu'à ce que l'échancrure paraisse au-dessus du couvercle H, et que la verge de fer G soit poussée par le ressort qui y est attaché, ce qui ne se fait pas sans bruit. Alors il faut incontinent éloigner le feu, et les vapeurs dans ce tuyau se condensent bientôt en eau par le froid, et laissent le tuyau absolument vide d'air; alors il n'y a qu'à tourner la verge G autant qu'il est nécessaire pour la faire sortir de l'échancrure et laisser le piston en liberté descendre, et il arrive que le piston est incontinent poussé en bas par tout le poids de l'atmosphère, et produit le mouvement qu'on veut avec d'autant plus de force que le diamètre du tuyau est plus grand. Et il ne faut point douter que l'air n'agisse sur ces tuyaux avec toute la force dont la pesanteur est capable ; car j'ai vu par expérience que le piston ayant été élevé par la chaleur jusqu'au haut du tuyau AA, est ensuite redescendu jusque tout au fond, et cela plusieurs fois de suite; en sorte qu'on ne saurait soupçonner qu'il y ait eu aucun air pour le presser au-dessous et résister à sa descente... »

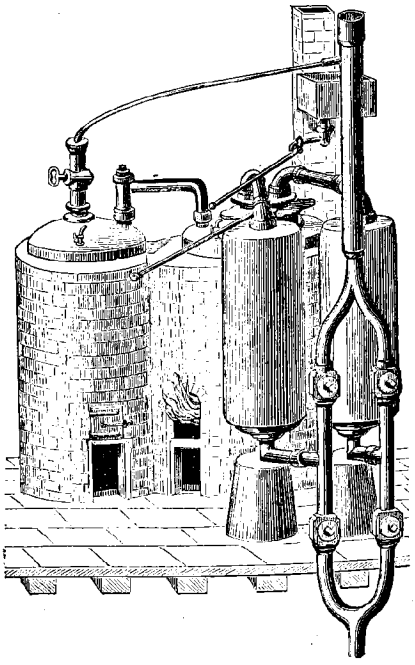
Voilà bien la description la plus claire, la plus méthodique de la machine appelée plus tard *atmosphérique*, parce qu'elle met en jeu la pression de l'atmosphère. Dans les appareils de Héron d'Alexandrie, de Salomon de Caus, de Branca, la vapeur avait un mode d'action tout différent ; ici elle agit dans un corps de pompe contre un piston mobile qui s'y meut à frottement doux, alternativement de bas en haut et de haut en bas. C'est là le principe de la machine à vapeur telle qu'on l'emploie encore de nos jours, et l'on voit clairement comment cette admirable invention procédait de la découverte de la pression atmosphérique, des travaux de Galilée et Toricelli.

Papin n'avait pas moins bien compris quelle force on pouvait attendre de ce nouveau moteur, et les applications qu'on en pourrait tirer. « L'on voit, disait-il, combien cette machine, qui est si simple, pourrait fournir de prodigieuses forces et à bon marché. » Et plus loin : « Il serait trop long de rapporter ici de quelle manière cette invention se pourrait appliquer à *tirer l'eau des mines*, *jeter des bombes*, *ramer contre le vent*, et à plusieurs autres usages de cette sorte : mais il faut que chacun, selon les besoins qu'il en aura, imagine les constructions les plus propres pour ses desseins. Je ne puis pourtant m'empêcher de remarquer ici, en passant, combien cette force serait préférable à celle des galériens pour aller vite en mer... »

Ainsi, tout en cherchant avant tout à tirer de sa machine atmosphérique un moyen nouveau d'élever l'eau, Papin avait bien vu que le mouvement alternatif du piston dans le corps de pompe pouvait recevoir d'autres applications, et devenir un moteur universel. Il avait particulièrement proposé l'emploi de la vapeur pour la navigation.

Ce magnifique ensemble d'idées fondées sur des expériences positives se trouve consigné, comme nous l'avons dit, dans les *Acta eruditorum*, publiés à Leipzig en août 1690. Il n'y occupe que l'intervalle compris de la page 410 à la page 414. Ce fut seulement cinq ans plus tard, en 1695, qu'elles furent reproduites avec quelques développements dans un petit volume publié à Cassel, en français, sous le titre : *Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines;* et à Marbourg, en latin, sous le titre : *Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis*, etc.

Nous avons dit que Salomon de Caus n'avait pas exécuté sa machine ; Papin n'a, lui, exécuté qu'un petit modèle qui ne pouvait servir qu'à la démonstration. Il paraît cependant résulter d'une lettre récem-


Fig. 3.

ment découverte, adressée à Leibnitz, que Papin avait employé ses dernières ressources à construire un ba-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

teau mû par sa machine. Il fut mis en pièces par les bateliers du Weser, et l'inventeur, vieux et ruiné, paraît avoir vécu dans ses dernières années des secours de la Société royale de Londres.

Machine de Savery. En 1698, le capitaine Savery tenta la construction d'une machine dont l'idée était empruntée à la fois à Salomon de Caus et à Papin, elle était destinée aux épuisements. Il eut l'heureuse idée de séparer le vase servant à la formation de la vapeur de celui qui renfermait l'eau à élever, et en outre, utilisant l'idée de Papin qui consistait à faire le vide par le refroidissement de la vapeur, par sa condensation après qu'elle avait rempli le vase, et, par ce moyen, aspirait l'eau d'un réservoir placé à moins de 10 mètres au-dessous des récipients par atmosphère de pression. Le refroidissement se faisait au moyen d'eau froide que l'on projetait sur les parois du vase. La figure 5, qui représente cette machine, fait facilement comprendre comment les effets alternatifs d'élévation ou d'aspiration pouvaient être utilisés à l'aide d'un jeu de robinets. Au moyen de cette machine on pouvait élever l'eau à une hauteur quelconque, mais la résistance des vases devait croître en proportion de la hauteur à laquelle devait monter l'eau, ce qui pouvait occasionner de graves accidents par la rupture des vases. (Fig. 5.)

Cette machine, outre l'inconvénient que nous venons de signaler, avait encore le désavantage de dépenser les 11/12 de la vapeur produite à échauffer les parois du vase et l'eau qu'il contenait avant de l'élever: ce qui était un énorme défaut, sauf dans le seul cas exceptionnel où l'eau doit être chauffée plus tard, comme, par exemple, pour alimenter les chaudières de bains; c'est ainsi que Manoury d'Ectot, au commencement du siècle, a cherché à perfectionner la machine de Savery pour l'employer dans de semblables circonstances; encore pour diminuer la perte de vapeur condensée que nous venons de mentionner, proposa-t-il de recouvrir la surface de l'eau d'un flotteur pour empêcher le contact immédiat de la vapeur avec l'eau. Malgré les désavantages de la machine de Savery, elle fut employée utilement à élever l'eau à une hauteur de 60 mètres, la pression de la vapeur étant de six atmosphères.

Nous allons actuellement nous occuper de la première machine qui ait réellement rendu des services à l'industrie; c'est la *machine de Newcomen* ou *machine atmosphérique*.

En 1705, Newcomen, forgeron de Darmouth en Devonshire, connaissant le digesteur de Papin et la condensation de la vapeur par l'eau froide de Savery, comprenant les avantages de l'emploi d'un piston, qui lui permettait de conserver les pompes ordinaires d'épuisement, conçut l'idée d'établir une machine basée sur ces deux principes, et s'associa à un vitrier de la même ville, J. Cawley, pour la construire : voici en quoi consistait son appareil (fig. 6). Un corps de pompe, fermé par en bas et ouvert par en haut, contenait un piston armé d'une tige ; un autre cylindre enveloppait celui-ci, et avait pour effet de contenir l'eau servant à refroidir la vapeur de manière à la condenser; le refroidissement se communiquait peu à peu à toute l'épaisseur du métal, et atteignait bientôt la vapeur elle-même. Quant au jeu de la machine, il était le même que celui du digesteur de Papin; seulement la vapeur arrivant dans le cylindre était fournie par des chaudières placées à part sur des foyers.

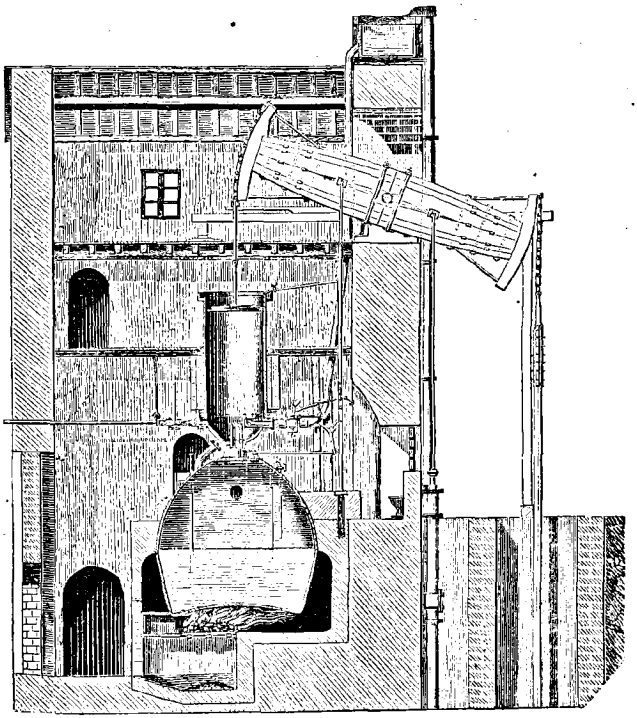


Fig. 6.

A cette époque où l'art de construire de semblables machines était encore dans l'enfance, il était très-difficile d'avoir des cylindres ou corps de pompe bien alésés, de telle sorte qu'il n'y eût pas de fuite entre leurs parois et celles du piston. Aussi, pour remédier à cet inconvénient, les auteurs (Newcomen, Cawley et Savery qui s'était réuni aux deux autres inventeurs) recouvrirent leur piston d'une couche d'eau qui pénétrait dans tous les vides et les remplissait. Un jour qu'une machine de cette espèce fonctionnait devant les inventeurs, ils virent avec surprise le piston descendre plusieurs fois de suite beaucoup plus vite que de coutume. Cet effet était d'autant plus étonnant, que, d'après le procédé qu'ils employaient, la vapeur ne pouvait se condenser que lentement. En recherchant la cause de ce mouvement plus rapide, ils remarquèrent que cela provenait de ce qu'une petite ouverture pratiquée dans le piston laissait tomber l'eau goutte à goutte à l'intérieur du cylindre, et que cette eau divisée condensait la vapeur plus rapidement. Appliquant de suite ce moyen à leurs machines, ils supprimèrent le cylindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

enveloppant, et le remplacèrent par une pomme d'arrosoir lançant l'eau, dans le corps de pompe, en une gerbe très-divisée. Ce fut une importante amélioration, puisqu'elle détermina une plus grande rapidité dans la marche du piston.

Cette machine présentait sur celle de Savery d'immenses avantages : 1° l'eau qu'on élevait n'était plus chauffée ; 2° la tension de la vapeur ne devant être que faiblement supérieure à celle de l'atmosphère, on n'était pas forcé de faire des vases très-résistants ; on n'en craignait plus la rupture ; 3° le piston ayant un mouvement de va-et-vient, on pouvait le communiquer à toute espèce de machine.

Ainsi dans cette machine, sous sa forme définitive, la vapeur arrivait directement à la partie inférieure du cylindre par un tuyau vertical fermé par un robinet ; un autre tuyau se terminant dans le corps de pompe par une pomme d'arrosoir aboutissait, par son autre extrémité, à un réservoir d'eau froide situé à la partie supérieure de l'édifice. Lorsqu'on voulait mettre la machine en mouvement, on fermait le robinet d'eau froide et on ouvrait celui de la vapeur ; le piston étant arrivé au haut de sa course, pour le faire descendre, il suffisait d'ouvrir le robinet d'eau froide et fermer celui de la vapeur. Un enfant était chargé du soin de faire mouvoir ces robinets. Un d'eux, nommé Humphry Potter, contrarié de ne pouvoir jouer avec ses camarades, imagina d'attacher les extrémités de deux ficelles aux manivelles des robinets, les autres extrémités étant liées au balancier. Les tractions que celui-ci occasionnait, en montant et descendant, remplaçaient les efforts de la main. L'ingénieur Breigthon perfectionna cette idée en fixant au balancier des tiges verticales en bois. Ces tiges, armées de chevilles, venaient alternativement ouvrir et fermer les robinets ou soupapes.

Dans le principe, le système de Newcomen n'était appliqué qu'à produire un mouvement de va-et-vient ; on essaya de le transformer en mouvement de rotation ; c'est à quoi l'on parvint, théoriquement plutôt que pratiquement, en faisant agir la tige du piston sur un système de doubles roues à rochet. Déjà Papin, voyant le défaut de continuité d'action de la machine atmosphérique, avait proposé, pour que la roue, mue de la sorte, ne marchât pas par secousses trop brusques, d'agir sur le balancier à l'aide des tiges de deux ou plusieurs pistons appartenant à des corps de pompe distincts, et disposés de manière que la tige du premier descendit pendant que l'autre monterait, et réciproquement. Cette idée est précisément celle de la machine à double effet, avec cette différence que l'action se produisait dans deux cylindres différents.

La machine atmosphérique ne put être employée que dans les lieux où l'on peut sans inconvénient dépenser une immense quantité de charbon sans valeur, comme sur les mines de houille, où le menu ne trouve pas de débouchés. L'effet utile théorique de ces machines est égal à la surface du piston multipliée par le poids d'une colonne d'eau de 10 mètres, c'est-à-dire par la pression atmosphérique ; mais en pratique, l'effet utile réel n'atteint qu'une fraction de ce produit.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur la machine de Newcomen ; elle existait cependant encore il y a quelques années dans plusieurs houillères de l'Angleterre. Afin que l'on puisse comparer cette machine avec celles que nous décrivons plus loin, nous donnerons quelques résultats moyens. Dans ces machines, l'effet utile produit par la combustion d'un kilogramme de charbon atteignait 24,000 kil. mét. ou 3 kil. mét. par calorie ; la quantité de charbon brûlé par heure et par force de cheval était de 13 kil. ; enfin, la tension moyenne de la vapeur 1 atm., 15.

Dans la machine de Newcomen, telle qu'elle a été construite dans son plus grand degré de perfection

MACHINE A VAPEUR.

par le célèbre ingénieur anglais Smeaton, on rencontre l'appareil ingénieux qui est resté appliqué avec grand succès aux machines qui servent aux épuisements, nous voulons parler de la cataracte (fig. 7). Cet appa-

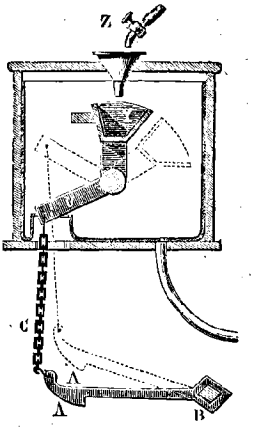


Fig. 7.

reil, qui sert à faire varier la quantité de travail à effectuer par la machine, comprend un petit robinet Z, par le moyen duquel l'eau d'un réservoir supérieur peut se déverser dans un vase Y placé dans une boîte, et disposé de manière à pouvoir tourner autour d'un axe et à entraîner le levier U avec lequel il est assemblé. Le levier U fera remonter le vase Y, lorsque le vase sera vide, et sera au contraire entraîné dans la position qu'indiquent les lignes ponctuées lorsque le vase sera plein. Dans ce second cas, ce levier soulève le loquet AB au moyen de la chaîne C ; le vase C se vide alors, et reprend sa première position. Le loquet en se soulevant fait descendre un poids qui ouvre la soupape d'injection qui donne le mouvement à la machine, puis reprend sa place primitive.

On voit qu'ainsi, en variant l'ouverture du robinet, on varie le nombre des coups de piston par seconde en raison de l'abondance des eaux à épuiser. Cet ingénieux appareil a été modifié, quant à sa forme, dans les machines modernes, mais est toujours établi d'après les mêmes principes.

Machine de Watt. Nous allons maintenant passer en revue les différentes machines perfectionnées et inventées par Watt, qui fut dans sa jeunesse constructeur d'instruments de mathématiques à l'Université de Glasgow. Cet habile mécanicien ayant appris par les expériences et les communications du docteur Black, quelle grande quantité de chaleur latente était absorbée par l'eau pour se vaporiser, remarqua que la machine de Newcomen exigeait pour marcher avec avantage deux conditions, qui dans le mode de construction de la machine se détruisaient l'une l'autre : 1° à l'instant où le mouvement descendant du piston commence, il devait y avoir un vide parfait sous le piston ; 2° quand le mouvement ascendant s'effectue, la vapeur de l'eau devait ne pas perdre de sa force élastique.

La première condition exige de refroidir les parois du cylindre, et la seconde, qu'ils conservent leur température.

Watt, pour satisfaire en même temps à ces deux nécessités, imagina de condenser la vapeur hors du cylindre par un procédé semblable à celui de Newcomen ; c'est sans contredit la plus belle invention de Watt. Ce condenseur consiste en une capacité où l'eau se préci-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pite en gerbe, divisée de manière à liquéfier la vapeur. L'esprit inventif de Watt ne s'arrêta pas là : il fallait ensuite enlever, à mesure que la vapeur était liquéfiée, l'eau servant à la condensation, aussi bien que l'air provenant de la vapeur et contenu dans l'eau échauffée, qui nuisaient au mouvement de la machine; c'est à quoi il parvint, en adjoignant au condenseur une pompe, qu'à cet effet il appela pompe à air, et qui est mise en mouvement par le balancier même de la machine.

Pour atténuer autant que possible le refroidissement du cylindre, occasionné par l'air qui venait en frapper la face intérieure quand le piston descendait, Watt imagina de fermer le cylindre par en haut, par une boîte à étoupes permettant seulement à la tige du piston de glisser librement, sans laisser passer la vapeur, ce qui permet de faire agir la vapeur sur la face supérieure du piston pour le faire descendre, l'attirail de la pompe servant ensuite à le soulever.

Voici quel est le jeu de la machine (fig. 8) : supposons le piston au haut de sa course, la vapeur arrivant de la chaudière par le tuyau E, la soupape R étant ouverte et la soupape S fermée; la vapeur pénètre au-dessus du piston, et le vide étant fait au-dessous, celui-ci tend à descendre par la pression de la vapeur. Lorsque le piston est au bas de sa course, la soupape S s'ouvrant, les soupapes R et T se fermant, la vapeur cesse d'agir; mais celle qui vient de faire descendre le piston se porte au-dessous de celui-ci et dans le condenseur, de manière que la pression étant la même au-dessus et au-dessous du piston, ce dernier remonte, entraîné par l'attirail des pompes fixé à l'autre extrémité du balancier.

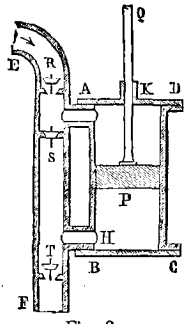


Fig. 8.

La condensation se fait au moyen d'eau froide, injectée dans une bâche dans laquelle débouche le tuyau F. Cette eau, échauffée par la condensation, la vapeur condensée et l'air provenant de la vapeur et de l'eau échauffée, sont à chaque coup de piston expulsés par la pompe à air, puis de là l'eau est transportée par une autre pompe aux chaudières; cette dernière s'appelle *pompe d'alimentation des chaudières*. Ces deux pompes sont mises en mouvement par le balancier auquel leurs tiges sont adaptées. L'alimentation de la chaudière avec cette eau échauffée est très-avantageuse, car elle y parvient déjà avec une température de 40°; par conséquent toute la chaleur qu'il faudrait dépenser pour l'élever à cette température est économisée.

Mais là ne s'arrêtent pas les inventions de Watt, et nous ne pouvons mieux faire pour montrer quel pas immense il a fait faire en un instant à la machine à vapeur, qui avant lui n'était qu'une pompe coûteuse et imparfaite, que de rapporter le texte de sa première patente, prise en 1769 :

« Ma méthode pour diminuer la consommation de la vapeur, et par suite la dépense de combustible dans les machines à feu, consiste dans les principes suivants :

« 1° Le vase dans lequel la force de la vapeur doit être employée pour faire marcher la machine doit, pendant tout le temps que la machine est en mouvement, être maintenu au même degré de chaleur que la vapeur qui s'y introduit. A cet effet, je l'enferme d'abord dans une enveloppe en bois, puis je l'entoure de vapeur ;

« 2° Dans les machines qui doivent être mues soit en totalité, soit en partie, en employant la condensation de la vapeur, ce fluide doit être condensé dans des vases séparés des cylindres à vapeur, mais qui au besoin peuvent communiquer ensemble. J'appelle ces vases condenseurs ;

« 3° La portion d'air ou tout autre gaz qui n'est pas condensé par l'action du condenseur, et qui peut être un obstacle au mouvement de la machine, doit être expulsé des condenseurs à l'aide de pompes ;

« 4° Je me propose d'employer dans plusieurs cas la force expansive de la vapeur pour agir sur les pistons, de la même manière que l'on se sert aujourd'hui de la pression atmosphérique pour les machines à feu ordinaire. Dans le cas où l'on ne peut se procurer toute l'eau nécessaire, les machines peuvent être mises en mouvement par la force de la vapeur seule en laissant échapper la vapeur dans l'air, après qu'elle a fonctionné. »

Ainsi, le condenseur et l'enveloppe de vapeur étaient indiqués dans la première patente, qui montre chez l'inventeur une notion parfaite des effets de la vapeur.

Si l'on ajoute à cela que Watt, habile constructeur d'instruments de physique, ne trouvait pas à sa disposition les moyens de construire ses admirables machines, l'on comprendra le génie de l'homme qui, en quelques années, accomplit l'œuvre immense d'amener à un si haut degré de perfection la machine à vapeur, de la rendre propre à toutes les applications, tout en créant en même temps l'art du constructeur de machines. Il arriva ensuite à construire ses machines donnant jusqu'à 90,000 kil. mét. par kil. de charbon.

Laissant de côté la machine atmosphérique qu'il a tant perfectionnée, arrivons à la machine à double effet.

Machine de Watt à double effet. Si les machines à vapeur n'avaient dû jamais être employées que pour l'extraction des eaux, la machine à simple effet, où la vapeur agit uniquement pendant la course ascendante ou descendante du piston, eût été la solution définitive. Mais Watt, sentant la nécessité d'appliquer ce moteur à des travaux continus, eut la pensée d'employer un seul corps de pompe, de manière à obtenir l'effet que Papin produisait avec deux appareils analogues à la machine de Newcomen.

Dans une patente prise en 1782, Watt définit nettement la machine à double effet, dans les termes suivants:

« 3° Je me propose d'employer la vapeur alternati-« vement dessus et dessous le piston, en faisant le vide « tantôt dessous et tantôt dessus ce piston; une machine « de cette espèce fera deux fois plus de travail qu'une « machine à simple effet de même cylindre. »

C'est ce qu'il réalisa en faisant passer la tige du piston dans une boîte à étoupes dites *Stuffing-box*, qui empêche le passage de la vapeur et faisant agir la vapeur alternativement au-dessus et au-dessous du piston. La fig. 9 montre l'ensemble de la machine de Watt à double effet.

La vapeur agit successivement sur chaque face du piston au moyen de quatre robinets ou soupapes. La vapeur arrivant de la chaudière par le tuyau T, se rend dans une capacité où débouche la soupape A', mue par le déclic F (fig. 9), la vapeur se rend au-dessus du piston, le dessous de celui-ci étant en communication avec le condenseur par l'ouverture D'. A la fin de la course du piston, par le jeu inverse de l'autre déclic, lors de la descente du balancier, et l'ouverture des soupapes B' et C', le dessus du piston se trouve à son tour en communication avec le condenseur et le dessous avec la vapeur venant de la chaudière. Les oscillations se succèdent ainsi régulièrement. Le tiroir mû par un excentrique qui a remplacé, dans la plupart des machines à rotation, le système des soupapes est dû à Williams

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Murdock, qui prit la direction de l'usine de Soho après la retraite de Watt, vers 1800 ou 1802.

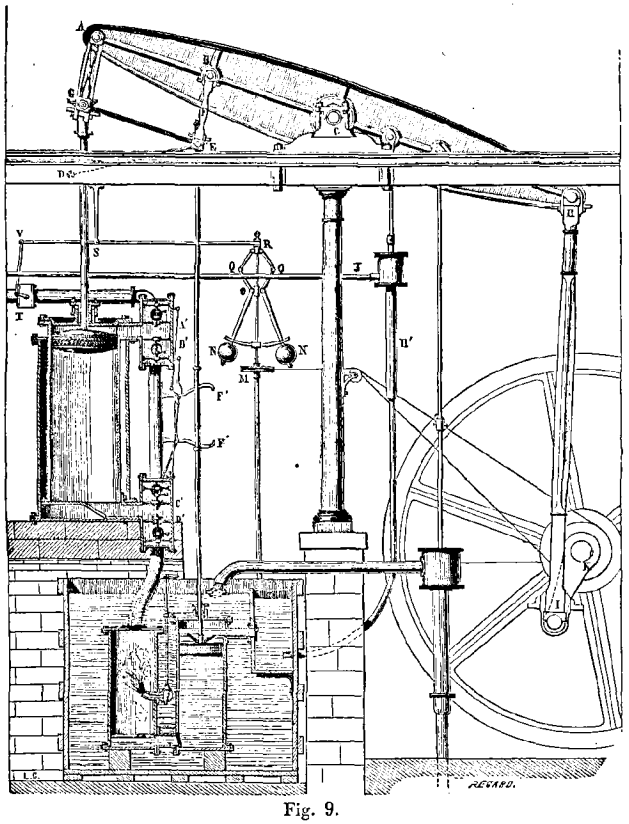


Fig. 9.

La tige du piston fait mouvoir le balancier, qui à son tour fait monvoir la pompe à air. Deux autres pompes sont encore mues par le balancier, ce sont la pompe d'alimentation des chaudières, et celle d'alimentation de la bâche d'eau froide. Dans ces machines, le jet d'eau de condensation étant continu, n'est plus réglé par une soupape, mais par un robinet.

Pour transformer le mouvement rectiligne alternatif en un mouvement circulaire continu, ne pouvant employer la manivelle à laquelle il avait songé, mais qu'un certain Washbrough avait fait breveter, Watt imagina *la mouche* ou roue *solaire et planétaire*, qui jouit de cette propriété qu'elle fait faire deux tours au volant pour une oscillation du balancier (voyez MOUVEMENT DIFFÉRENTIEL); il l'employa jusqu'à ce que le brevet pris pour la manivelle fût expiré, et qu'il pût l'adapter à ses machines. Le grand avantage de la manivelle (voy. BIELLE), à laquelle Watt revint aussitôt qu'il le put, est de supprimer toute espèce de roues d'engrenage, organe qui peut occasionner plus facilement des ruptures que ceux qui transmettent directement les efforts, mais surtout de faire correspondre une vitesse nulle au point de changement de sens du mouvement alternatif du piston et du balancier, ce qui fait disparaître la perte de travail qui parait devoir être nécessairement causée par l'inertie, lors du changement de direction.

La plus grande difficulté qu'il restait à vaincre était de lier d'une manière fixe la tige du piston et l'extrémité du balancier, de manière à transmettre l'action dans les deux sens, en conservant à la tige du piston une marche rectiligne; c'est à quoi Watt parvint encore au moyen du *parallélogramme* qu'il fit breveter en 1784.

Deux parallélogrammes égaux et parallèles embrassent le balancier de part et d'autre de ses faces verticales; ceux-ci articulés à chacun de leurs angles sont reliés par des pièces de fer transversales. La tige du piston est traversée par celle qui lie les deux angles les plus éloignés du balancier. Celle qui réunit les deux autres sommets inférieurs est articulée à une barre tournant autour d'un axe assemblé au bâti. De cette façon, l'extrémité de la tige du piston se meut sensiblement sur une même verticale. On n'arrive pas toutefois ainsi au mouvement rectiligne rigoureux, mais on peut faire en sorte d'obtenir une déviation qui ne dépassera pas 2 ou 3 millimètres. (Voy. PARALLÉLOGRAMME.)

Bien que moins employé aujourd'hui, le balancier disparaissant de la plupart des constructions modernes, le parallélogramme mérite d'être étudié comme une très-belle solution d'un problème difficile de cinématique. En n'exigeant que des articulations qui ne se meuvent angulairement que d'une petite étendue, le travail du frottement y est réduit au minimum.

Enfin il faut encore citer l'emploi du volant dû à Fitzgerald, et la disposition du régulateur conique que Watt emprunta à des régulateurs de moulins pour faire que la machine se réglât elle-même. Il y parvint en employant ce régulateur à ouvrir ou à fermer le robinet d'entrée de la vapeur, quand la vitesse devenant trop petite ou trop grande, les boules se rapprochent ou s'écartent par la force centrifuge ou inversement. Il réalisa ainsi fort heureusement un système de régulateur extrêmement ingénieux, par l'emploi simultané de la force centrifuge croissant avec la vitesse des pièces de la machine et la force constante de la pesanteur des boules. La résultante des deux forces variant constamment de direction avec la vitesse permet de faire naître, par des articulations, un mouvement alternatif, d'où résulte l'effet que nous avons indiqué. (Voir RÉGULATEUR.)

Emploi de la détente. Watt ayant remarqué que, dans la machine où la vapeur agissait en plein, la pression constante et la force vive acquise par le mouvement donnaient au piston une vitesse croissante, eut l'idée de profiter de cette accélération de mouvement pour dépenser une moins grande quantité de vapeur, en utilisant la puissance que peut développer la vapeur en se détendant. Ce n'était qu'une vue incomplète de l'action

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la détente : aussi Watt ne l'employa pas sur une grande échelle, et n'y eut recours dans les machines qu'il fit construire à Soho que pour rendre le mouvement du piston à peu près uniforme.

Examinons quel doit être le jeu de la machine pour que la détente se produise; supposons que l'on ferme la communication du corps de pompe avec la chaudière avant que le piston soit arrivé à l'extrémité de sa course, celui-ci continuera à marcher en vertu de l'action que la vapeur déjà introduite continuera à exercer par l'effet de sa pression propre. Celle-ci deviendra de moins en moins forte pendant le reste du mouvement du piston, attendu que la vapeur se dilatera graduellement, et qu'elle occupera des espaces plus grands. En faisant agir la vapeur qui afflue de la chaudière pendant une partie de la course du piston seulement, on diminuera donc l'accélération qu'il faudra détruire presqu'aussitôt pour changer le sens du mouvement, ce qui donne lieu à des chocs et par conséquent à des ébranlements nuisibles à la solidité de l'appareil, et par suite le travail pourra être plus grand, pour une moindre quantité de vapeur, que si on avait laissé affluer celle-ci jusqu'au moment où doit être produit le changement de sens du mouvement. C'est surtout à ce point de vue que Watt et les ingénieurs de son école comprirent l'utilisation de la détente, et qu'ils donnèrent à leurs machines une supériorité longtemps incomprise, comme nous l'avons dit à l'article BATEAU A VAPEUR.

Machines de Woolf. Nous venons de voir que Watt avait utilisé la détente de la vapeur pour régulariser la marche du piston de la machine. Plus tard Woolf pensa à utiliser la détente dans une forte proportion, pour tirer un meilleur parti de la puissance motrice de la chaleur, puisque le travail produit par celle-ci vient s'ajouter à celui de l'action directe; c'était là un nouveau progrès théorique qui, précisément à cause de la perfection apportée par Watt à ses machines, ne fût pas rapidement apprécié. Les machines que Woolf inventa ne diffèrent de celles de Watt qu'en ce qu'elles se composent de deux cylindres moteurs distincts; dans l'un d'eux, la vapeur agit tout à fait en plein à la pression de 3 à 4 atmosphères, et dans l'autre, elle n'exerce d'effort que par sa détente en sortant du premier cylindre. Pour produire cet effet, on fait communiquer le dessous du piston du premier cylindre avec le dessus du second cylindre, et *vice versâ*, le cylindre à détente communiquant seul avec le condenseur, comme on le voit sur la figure 17. On démontre, comme nous le verrons plus loin, que le travail de la vapeur est absolument le même que si la même détente se produisait dans un seul cylindre.

Dans les machines à deux cylindres, on donne au corps de pompe où se fait la détente un diamètre plus grand qu'à celui dans lequel la vapeur agit en plein, afin qu'il n'y ait pas lieu de trop augmenter la course du second piston. Woolf indiqua d'envelopper les cylindres d'un troisième et de faire circuler la vapeur dans ce dernier, afin d'écarter les corps de pompe moteurs du contact de l'air; disposition dont l'expérience a démontré les avantages. La limite de la détente était ordinairement, dans la plupart des machines de ce constructeur, de trois fois le volume primitif de la vapeur.

Des machines à vapeur au point de vue de l'emploi de la vapeur. Insistons sur l'emploi de la détente, qui est sans contredit le principe le plus important auquel aient conduit les recherches théoriques.

On doit distinguer, à ce point de vue, les classes suivantes de machines:

1° La machine de Watt, sans détente ou à détente minime, à condensation, dans laquelle la vapeur est généralement employée à basse pression. Ces machines simples, encore employées dans les mines, où le combustible est à bon marché, sont théoriquement défectueuses, et ne peuvent, supposées en parfait état, produire plus du dixième du travail que la chaleur peut engendrer, ce qui se conçoit bien *à priori*, puisque la vapeur est envoyée au condenseur à la température même à laquelle elle sort de la chaudière.

2° La machine à longue détente et à condensation disposée de la manière la plus avantageuse dans la machine de Woolf à deux cylindres. Elle est plus fréquemment réalisée de nos jours sous la forme d'une machine à un seul cylindre, d'une construction moins coûteuse. Les puissantes machines de Cornwall, si économiques, rentrent dans cette classe.

La machine de Woolf est fort répandue dans les manufactures et prévaut notamment dans les grands établissements, tels que ceux de Lille, Rouen, etc., où l'on se préoccupe plus d'avoir de bonnes machines que de faire, sur les frais d'achat et d'installation, une économie qui est insignifiante devant le capital à immobiliser dans l'établissement tout entier.

Dans ce système on peut détendre avec moins d'irrégularité dans les efforts que les pièces ont à supporter qu'avec un seul cylindre. On évite en même temps, pour le petit cylindre, le refroidissement qui résulte de la mise en communication d'un cylindre à vapeur avec le condenseur ; effet très-nuisible dont on appréciera plus loin la gravité.

Ce qui constitue essentiellement la machine de Woolf, c'est le travail successif de la vapeur dans deux cylindres ; aussi on s'écarte quelquefois de la disposition qui consiste à accoler les deux cylindres, en les séparant au contraire avec un réservoir intermédiaire. Nous avons décrit à BATEAU A VAPEUR la machine Compound, qui est une machine de ce genre qui s'applique avec un grand succès à la navigation.

Nous citerons encore quelques types de machines, construites en grande quantité dans l'industrie, qui seront étudiées ci-après, aussi bien que la précédente, plus en détail tant au point de vue de l'action de la vapeur qu'à celui de leur disposition et de leur construction.

Machines oscillantes. Les machines que nous avons examinées jusqu'ici exigent un balancier, souvent gênant à cause de l'emplacement qu'il occupe, dont les supports ont besoin d'une grande solidité, exigent une assez grande élévation pour que la hauteur de la bielle

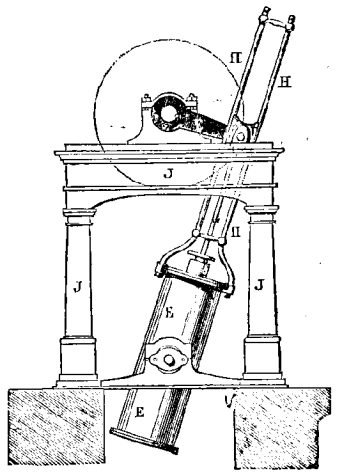


Fig. 10.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soit suffisante, sont des machines d'un prix élevé; aussi plusieurs constructeurs ont-ils cherché les moyens de se dispenser de son emploi, et cependant d'avoir des longueurs de bielles suffisantes pour éviter des vibrations nuisibles. Cavé imagina le type des machines oscillantes, formées d'un corps de pompe oscillant autour de deux tourillons creux, laissant passage pour l'arrivée et la sortie de la vapeur, et s'inclinant par suite de telle sorte que la tige du piston agisse toujours convenablement sur la manivelle. Les divers systèmes ne diffèrent que par la position du centre d'oscillation, placé plus haut ou plus bas sur le cylindre et le mode de distribution de la vapeur. La figure 10 représente la machine oscillante de Cavé, remarquable par sa simplicité.

Machines à glissières. Maudslay montra le premier qu'on pouvait s'affranchir de l'emploi du balancier dans les machines fixes, surtout pour les petites forces (voyez CONSTRUCTION), en remplaçant le parallélogramme par des glissières de divers genres, destinées à guider la tige du piston. La solution cinématique du problème de transformer le mouvement de va-et-vient du piston en mouvement circulaire continu, au moyen de la bielle, exige seulement que la tige du piston soit guidée en ligne droite. Tous les moyens d'y parvenir peuvent donc être employés; le parallélogramme de Watt est une de ses solutions, combinée pour amoindrir le travail de frottement. Il n'est par suite indiqué que pour les grandes machines, et les glissières sont bien plus commodes pour les petites. Les machines peuvent même, par leur simplicité, entrer en parallèle avec les machines oscillantes, dont nous venons de parler, et sont bien plus durables.

Machines horizontales. Dans ces machines, un cylindre fixe horizontal dont la tige du piston porte une pièce qui glisse dans des coulisses, et à l'extrémité de celle-ci est articulée une bielle qui va faire mouvoir la manivelle d'un arbre sur lequel est monté le volant (fig. 11). La solidité des machines horizontales, principales formes qu'elle a reçue, il nous reste à parler d'un genre de machines qui a bien fréquemment exercé l'imagination des inventeurs : nous voulons parler des machines à rotation immédiate.

Considérons un tuyau cylindrique dans lequel peut se mouvoir un piston tournant autour de l'axe du cylindre, et représentant une moitié de plan diamétral; si la capacité placée d'un côté du piston est en communication avec la chaudière à vapeur, et que celle placée de l'autre côté communique avec le condenseur (une cloison empêchant d'ailleurs ces deux capacités de communiquer entre elles), on aura une machine à vapeur dans laquelle la pression sur le piston engendrera un mouvement circulaire. Ce mouvement sera continu si la séparation des deux capacités peut disparaître un instant pour livrer passage au piston, si par un moyen quelconque l'action de celui-ci peut se continuer.

La machine rotative la plus simple et qui réalise, à peu près le système qui vient d'être indiqué, est celle de Watt, que représente la fig. 12. On voit que le piston



Fig. 12.

est remplacé par une espèce de dent adaptée à l'axe; un clapet assemblé sur l'enveloppe extérieure, et qui s'appuie contre la partie cylindrique de l'axe, forme la cloison qui sépare la chaudière du condenseur. Dans son mouvement la dent repousse le clapet dont l'axe

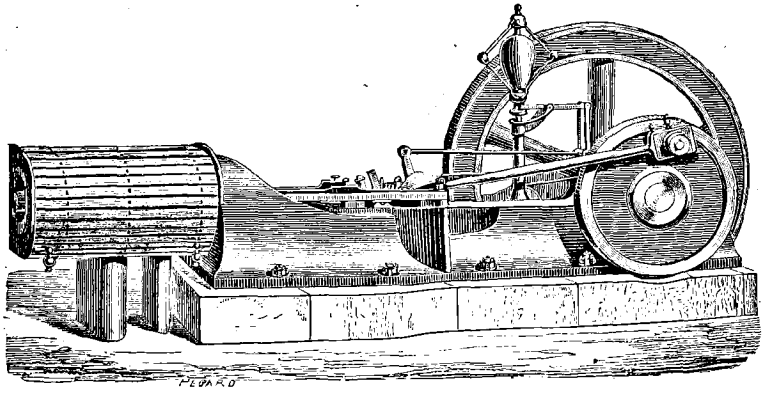


Fig. 11.

pui par leur disposition peuvent s'établir sur des solides massifs en maçonnerie et par suite sont à l'abri des mouvements vibratoires, auxquelles on peut donner facilement une grande longueur de bielle, qui amoindrit le frottement dans les glissières, fait adopter presque généralement cette disposition par les constructeurs de nos jours, surtout pour les machines de moyenne puissance.

Machines rotatives. Pour compléter cet aperçu de l'histoire de l'invention de la machine à vapeur et des

de rotation est sur la circonférence, il s'efface dans une cavité, puis reprend sa position habituelle par l'effet d'un ressort.

Les chocs brusques de la dent contre le clapet sont un inconvénient de cette machine, la plus simple des machines rotatives qui ont été inventées depuis en si grand nombre. S'il peut être évité par d'autres dispositions, on ne peut dans aucune des machines de ce genre éviter les fuites de la vapeur à la circonférence décrite par le piston tournant autour d'un axe. On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'est pas parvenu jusqu'ici à établir des garnitures qui puissent tenir la vapeur comme celles des machines ordinaires.

Quel est l'avantage que poursuivent les nombreux inventeurs de machines rotatives? Il faut le dire, c'est pour le plus grand nombre, une impossibilité, par suite de fausses notions de mécanique. Faute de comprendre la manière dont la bielle et la manivelle transforment le mouvement rectiligne alternatif de la tige du piston en circulaire continu, de voir que le travail est transmis en entier, et ne s'attachant qu'à l'effort variable transmis en chaque instant par la bielle, confondant le travail et l'effort, ils ont à tort attribué des avantages illusoires à la machine à rotation directe.

Ainsi donc, la question capitale étant de partir d'un récepteur qui permette d'utiliser le mieux possible l'action de la vapeur d'eau, et le corps de pompe cylindrique est jusqu'à ce jour le seul appareil convenable, aucun système de rotation ne pouvant utiliser aussi convenablement la pression et la détente de la vapeur, il y a peu à chercher dans cette voie. Le problème de transmettre l'action de la vapeur sans perte de travail importante; de transformer le mouvement obtenu, quel qu'il soit, en un mouvement de rotation continu, comme cela est le plus souvent nécessaire, n'est plus qu'un problème simple dont on a des solutions théoriquement satisfaisantes.

S'il y a quelques résultats curieux obtenus un jour avec des machines à rotation directe, on peut dire avec certitude que ce ne peut être que dans la voie de l'éolypile, de l'utilisation de l'impulsion de la vapeur qu'on peut espérer de les obtenir. Cette voie est en effet nouvelle et mal étudiée jusqu'ici; la machine à mouvement alternatif se prête mal à une très-grande vitesse, bien que d'importants résultats aient été obtenus dans cette voie, en augmentant beaucoup la vitesse du piston, à l'imitation des résultats fournis par la locomotive.

Les machines à rotation directe, au contraire, sont d'autant moins désavantageuses qu'elles tournent plus vite. En effet, elles font alors un travail d'autant plus grand pour un même poids et un même volume que la vitesse est plus considérable; elle peuvent dispenser de roues d'engrenage et de volants très-lourds pour effectuer certaines opérations industrielles.

S'il ne paraît donc pas absolument impossible de tirer quelque parti de machines mises en action par l'impulsion de la vapeur, de les utiliser pour de très-petites forces et produire des mouvements extrêmement rapides, on n'a toutefois pas trouvé jusqu'ici de solution satisfaisante de ce problème, qui ne procurera en définitive, s'il est résolu, que des avantages secondaires, ne donnera jamais qu'une machine fort inférieure à la machine à vapeur ordinaire, quant à l'économie de la production du travail moteur. Nous renvoyons au *Complément* (MACHINES ROTATIVES), pour la discussion des recherches faites dans cette voie.

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE). La théorie mécanique de la chaleur est assez avancée pour qu'on puisse aujourd'hui l'appliquer utilement au calcul des effets de la chaleur employée à produire du travail mécanique en l'appliquant à la vaporisation d'un liquide. J'essayerai de le montrer dans le *Complément* de cet ouvrage, où je tente de formuler nettement les principes et où je passe en revue les nombreuses et utiles applications pratiques que l'on peut faire de cette théorie. Je me contenterai ici de rapporter la théorie de Poncelet, très-commode pour les applications, et montrerai comment on peut la corriger à l'aide de la notion fondamentale du maximum théorique du travail d'une calorie.

Le travail de la vapeur ou plutôt de la chaleur qui a servi à la produire, le nombre de kilogrammètres, obtenu, doit s'évaluer de deux points de vue différents, savoir: 1° le point de vue théorique, qui donne la valeur de la machine abstraite, la quantité, le nombre de kilogrammètres que par suite du mode d'action et des lois physiques, doit engendrer une calorie, l'unité de chaleur égale à l'élévation de température de 1 degré d'un kil. d'eau à zéro, ou la combustion d'un kilogramme de charbon; 2° le point de vue pratique, celui de l'emploi industriel qui peut être fait de la machine, pour vaincre la résistance opposée par les machines opératrices qu'elle peut mettre en mouvement, après avoir surmonté toutes ses résistances intérieures, en tenant compte de toutes les pertes qu'on ne peut éviter. Cet effet s'évalue en chevaux-vapeur, le cheval-vapeur étant une unité qui représente 75 kilogrammes élevés à 1 mètre en une seconde. Nous aurons soin de nous placer successivement à ces deux points de vue.

LOIS PHYSIQUES QUI SERVENT DE BASE A LA THÉORIE DES MACHINES A VAPEUR.

Quantité de chaleur renfermée dans la vapeur d'eau. La détermination de la quantité de chaleur qu'abandonne la vapeur lorsqu'elle se liquéfie et fournit de l'eau à 0°, a été l'objet des recherches de plusieurs physiciens.

Clément Desormes avait conclu de ses expériences la vérité de la loi admise par Watt, qu'à toutes les températures et à toutes les pressions la quantité de chaleur contenue dans un kilogramme de vapeur d'eau était de 650 calories, 550 calories étant la chaleur latente de la vapeur d'eau à 100°, quantité qui, si cette loi était exacte, diminuerait par suite à mesure que la chaleur sensible augmenterait.

Des expériences faites avec une grande précision par Régnault ont démontré que cette loi était erronée, et que la quantité de chaleur contenue dans 1 kil. de vapeur ayant à saturation la température de T, était égale à (606 + 0,305 T) calories.

Poids de vapeur formé par une calorie ou par un kil. de houille brûlée. De la quantité de chaleur contenue dans un poids de vapeur, il est facile de déduire la quantité de vapeur que peut engendrer une calorie. En effet, cette quantité de chaleur à communiquer à de l'eau à une température initiale T' pour produire de la vapeur à la température T, est d'après les expériences de Régnault:

$$606 + 0{,}305\ T - T' \text{ calories,}$$

par chaque kil d'eau et pour un poids Q.

$$Q\,(606 + 0{,}305\ T - T').$$

Si donc on égale cette quantité à l'unité, les températures T et T' étant données, on en déduira les poids de vapeur saturée produits par une calorie à diverses températures. Ainsi soit T' = 40°, température ordinaire de l'eau de condensation, si on fait successivement T' égal à 100°, 125°, 150°, 200°, on a:

Et pour 7,000 calories ou 1 kil. de houille.

$$T = 100, Q = \frac{1}{606+30-40} = \frac{1}{596} = 0^k{,}0017.. \quad 11^k{,}90$$

$$T = 125, Q = \frac{1}{606+38-40} = \frac{1}{604} = 1^k{,}00165. \quad 11^k{,}55$$

$$T = 150, Q = \frac{1}{606+45{,}7-40} = \frac{1}{611{,}7} = 0^k{,}00163. \quad 11^k{,}41$$

$$T = 200, Q = \frac{1}{606+61-40} = \frac{1}{627} = 0^k{,}00159. \quad 11^k{,}13$$

Il faut remarquer que l'évaluation de 7,000 calories pour le pouvoir calorifique d'un kilogramme de houille, c'est-à-dire ne donnant pas beaucoup de cendres (la combustion du carbone pur donne 8000 calories), se rapporte à un appareil qui, comme le calorimètre, emploie *toute* la chaleur du combustible. Or, il n'en saurait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

être ainsi pour les fourneaux de l'industrie exposés à des pertes de chaleur, non-seulement par l'effet de leurs imperfections, mais par leur nature même. Le tirage notamment, qui ne peut avoir lieu qu'autant que les produits de la combustion conservent une température élevée en arrivant dans la cheminée, en consomme une quantité importante. Aussi dans les foyers ordinaires n'obtient-on guère le plus souvent que 6 à 7 kil. de vapeur par kil. de houille brûlée, ou de 0,50 à 0,60 de l'effet théorique.

Ce résultat, est évidemment trop faible; il montre combien il importe de perfectionner la construction des foyers et des chaudières, pour améliorer l'ensemble de la machine à vapeur.

Loi de Mariotte. Lorsqu'un gaz change de volume et par suite de pression, *sa température restant constante*, les pressions sont en raison inverse des volumes. C'est la loi dite de Mariotte qui a été vérifiée pour tous les gaz permanents, et qui s'exprime par l'égalité $PV = P'V'$, P, V étant la pression et le volume primitif, P', V' la pression et le volume qu'il prend ensuite.

La vapeur saturée ayant la forme de gaz, on a pensé qu'on pouvait lui appliquer la loi de Mariotte, pourvu qu'on ait égard à la condition que la température reste constante. Même avec cette restriction, la loi de Mariotte n'est pas applicable à la vapeur saturée, travaillant dans un cylindre de machine, pour une réduction de volume ou une augmentation de pression, puisqu'il en résulte une précipitation de liquide. Exposons la théorie fondée sur cette loi hypothétique, incomplète.

Représentation de cette loi. Si sur une ligne droite nous portons des abscisses proportionnelles aux volumes de la vapeur, et qu'en chacun des points correspondants nous élevions des ordonnées de longueur proportionnelle aux pressions de la vapeur d'après la loi de Mariotte, la courbe passant par les extrémités de ces ordonnées sera une branche d'hyperbole équilatère ayant pour asymptote la ligne des x, qui correspond à la pression nulle.

x étant l'abscisse et y l'ordonnée, on voit que cette courbe a pour expression $xy = \text{const.}$, ce qui est bien l'équation de l'hyperbole équilatère.

Loi de la dilatation du gaz. D'après les observations de Gay-Lussac, on admettait que tous les gaz se dilataient de la même quantité et de $\frac{1}{267} = 0{,}00375$ de leur volume pour un degré du thermomètre centigrade.

Régnault, en vérifiant cette loi pour divers gaz et à diverses pressions, a trouvé qu'elle ne se vérifiait pas d'une manière absolue; toutefois les différences sont tellement minimes qu'elles sont tout à fait négligeables dans l'application.

Le coefficient de dilatation, qui résulte de ses expériences, est égal à 0,003665. Celui de la vapeur d'eau n'a pas été déterminé; ce n'est que par analogie qu'on peut lui appliquer celui de l'air, sa densité étant d'ailleurs le plus souvent supérieure à celle de l'air; nous adopterons le coefficient bien peu différent 0,00368.

Combinaison de la loi de Mariotte et de celle de Gay-Lussac. Il résulte de la loi de Gay-Lussac qu'un volume V_0 de vapeur à la température zéro et à la pression P_0, passant à la température T en restant à la même pression, prendra le volume:

$$V_0 (1 + 0{,}00368\ T).$$

S'il reste à la température T et est soumis à la pression P, son volume V sera, d'après la loi de Mariotte:

$$V = V_0 (1 + 0{,}00368\ T)\ \frac{P_0}{P}.$$

Densité. La densité d'une même quantité de vapeur étant en raison inverse des volumes qu'elle occupe, VD étant une quantité constante, on a, en remplaçant dans la formule ci-dessus V par $\frac{1}{D}$, entre les densités D_0 et D correspondant aux volumes V_0 et V la relation:

$$D = D_0 \frac{1}{(1 + 0{,}00368\ T)} \frac{P}{P_0}.$$

Si l'on veut comparer entre eux les volumes et les densités à deux températures T et T' et deux pressions P et P', en divisant respectivement l'une par l'autre les valeurs de V et V' en fonction de V_0 et P_0, on a:

$$V = V' \frac{1 + 0{,}00368\ T}{1 + 0{,}00368\ T'} \frac{P'}{P}, \qquad (1)$$

et

$$D = D' \frac{1 + 0{,}00368\ T'}{1 + 0{,}00368\ T} \frac{P}{P'} \qquad (2)$$

En général, on prend pour terme de comparaison la vapeur à 100° et à la pression de l'atmosphère, ce qui donne $T' = 100°$, $P' = 1^k{,}0330$ par centimètre carré, $D' = 0^k{,}5915$ d'après une détermination directe de Gay-Lussac.

La formule (2) devient alors:

$$D = \frac{0{,}7835}{1 + 0{,}00368\ T} P.$$

Le poids Q d'un volume de vapeur à la température T et à la pression P sera donc:

$$Q = VD,$$

et le volume d'un poids donné de vapeur sera:

$$V = \frac{Q}{D} = 1{,}276\ \frac{1 + 0{,}00368\ T}{P} Q. \qquad (3)$$

Relations entre la pression et la température des vapeurs saturées. Les expériences de Régnault, dont nous donnons le tableau à l'article VAPEUR, montrent comment sont liées les températures et les pressions des vapeurs saturées. On peut en comprendre les résultats dans des formules par interpolation; malheureusement celles-ci sont trop compliquées pour pouvoir être introduites dans le calcul de l'effet des machines à vapeur, de manière à pouvoir être d'une utilité pratique.

Dulong et Arago avaient conclu de leurs expériences la formule:

$$T = \frac{\sqrt[5]{P - 1}}{0{,}7153}, \text{ ou } P = (1 + 0{,}7153\ T)^5,$$

dans laquelle P représente la pression en atmosphères et T l'excès de la température sur 100° exprimé en fractions de 100°.

Combes a trouvé que les résultats des expériences de Régnault étaient donnés d'une manière satisfaisante par la formule:

$$1000\ P = (1{,}300172 + 0{,}0187437\ T)^{6{,}10077}$$

T étant la température en degrés centigrades, P la pression en kilogrammes, sur un centimètre carré de surface.

CALCUL DU TRAVAIL.

Travail de la vapeur à pression pleine. Soit P la pression de la vapeur par centimètre carré, ou 10,000 P par mètre carré, dans le cylindre à vapeur au moment où il est mis en communication avec la chaudière; pression supposée constante pendant l'admission, comme cela a lieu pour les machines dans lesquelles les tuyaux de conduite, et surtout les orifices d'admission, sont de dimensions convenables.

Soit L la partie de la course du piston pendant laquelle l'admission a lieu.

S la surface de ce piston en mètres carrés.

Il est clair que la pression de la vapeur étant 10,000 P

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur la surface S et le chemin parcouru L, elle produira le travail:

$$10{,}000\ PS \times L = 10{,}000\ PV$$

en appelant V le volume égal à SL engendré par le piston durant cette période.

Travail de la détente. A partir du moment où la communication entre la chaudière et le cylindre est interceptée, le piston qui continue son mouvement ne cesse pas d'être pressé par la vapeur. La force élastique de celle-ci diminue comme celle d'un ressort qui se débande, et la loi de la décroissance de pression est pour un gaz, à température constante, la loi de Mariotte, qui s'applique par analogie à la vapeur, c'est-à-dire qu'en un instant quelconque pour lequel le volume V sera devenu V" et la pression P, P", on aura $PV = P''V''$ et $P'' = \frac{PV}{V''}$.

Si l'on considère un déplacement infiniment petit l du piston, pendant lequel cette pression P" peut être considérée comme constante, on aura comme précédemment pour le travail:

$$10{,}000\ P''\,S\,l = 10{,}000\ P\,V\,\frac{v''}{V''}.$$

en appelant v'' la variation Sl du volume V".

Le travail total développé pendant la détente, depuis l'instant où l'admission a cessé et où la pression était P et le volume V, jusqu'à la fin de la détente où le volume sera devenu V_1 et la pression P_1, est donc la somme d'une infinité de termes semblables à $\frac{v''}{V''}$, multipliant le facteur commun 10,000 PV.

Cette somme est l'intégrale du rapport de l'accroissement du volume V au volume V_1, c'est-à-dire que l'on a:

$$\int_{V_1}^{v} \frac{dV}{V} = \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V}.$$

Cette valeur est précisément égale à l'aire comprise entre une portion d'arc d'hyperbole, les deux ordonnées correspondantes aux pressions extrêmes et la ligne de x, c'est la somme des produits des volumes engendrés par les pressions successives et variables.

VOLUME après la détente.	QUANTITÉ de travail correspondant.	VOLUME après la détente.	QUANTITÉ de travail correspondant.
m. c.	k.m.	m c.	k.m.
1.00	10,333	3,00	21,686
1,01	10,436	3,20	22,353
1,02	10,538	3,40	22,979
1,03	10,639	3,60	23,570
1,04	10,739	3,80	24,128
1,05	10,837	4,00	24,658
1,06	10,935	4,50	25,875
1,07	11,032	5,00	26,964
1,08	11,129	5,50	27,949
1,09	11,224	6,00	28,848
1,10	11,318	6,50	29,675
1,20	12,217	7,00	30,441
1,30	13,044	7,50	31,154
1,40	13,810	8,00	31,820
1,50	14,523	8,50	32,447
1,60	15,190	9,00	33,038
1,70	15,816	9,50	33,597
1,80	16,407	10,00	34,127
1,90	16,966	15,00	38,317
2,00	17,496	20,00	41,289
2,20	18,481	25,00	43,505
2,40	19,380	50,00	50,758
2,60	20,207	100,00	57,920
2,80	20,973		

Au lieu de donner le tableau des logarithmes hyperboliques nécessaires pour employer cette formule, nous donnerons un tableau des résultats du calcul, forme très-commode pour calculer le travail produit pour 1 atm. par l'action directe et la détente de 1 mètre cube de gaz, qui peut servir à calculer le travail pour une pression et un volume quelconque à température suppposée constante.

Travail moteur total développé par la vapeur dans une course du piston. En ajoutant le travail produit par un volume V de vapeur pendant la période d'admission à celui qu'il développe pendant la détente, on a pour le travail moteur total:

$$10{,}000\ PV\left(1 + \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V}\right).$$

Mais cette expression du travail de la vapeur ne serait celui de la machine que si le piston ne rencontrait aucune résistance, tandis que dans la réalité il doit surmonter, sur la face opposée à celle sur laquelle agit la vapeur qui vient de la chaudière, la résistance produite par la force élastique de la vapeur envoyée au condenseur ou dans l'air. Si l'on désigne par P' cette pression sur le centimètre carré, et en admettant qu'elle demeure constante, ce qui n'est qu'à peu près exact, ou qu'on en prenne la valeur moyenne, on aura pour expression du travail résistant:

$$10{,}000\ P'SL' = 10{,}000\ P'V_1 = 10{,}000\ PV\,\frac{P'}{P_1},$$

à cause de (L' étant la course totale du piston):

$$SL' = V_1 = \frac{PV}{P_1}.$$

Cette quantité doit être retranchée de celle ci-dessus, et le travail moteur réel produit par le piston dans une course aura pour expression:

$$10{,}000\ PV\left(1 + \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V} - \frac{P'}{P_1}\right)^{\text{k.m.}} \qquad (4)$$

Cette expression s'applique à tous les genres de machines à vapeur, notamment à celles à deux cylindres, ainsi que nous l'établirons plus loin surabondamment, car cela résulte du principe général, établi par les raisonnements ci-dessus, à savoir: que le travail développé par un gaz qui se détend est indépendant du diamètre du cylindre de la forme du vase qui le renferme, et ne dépend que du volume qu'il occupait au commencement et de celui qu'il occupe à la fin.

Quantité de travail produit en 1" par la vapeur. Si l'on nomme n le nombre des courses simples du piston en 1" (course pendant laquelle il engendre le volume V_1), le travail développé en 1" sera:

$$\frac{n}{60}\,10{,}000\ PV\left(1 + \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V} - \frac{P'}{P_1}\right).$$

Force en chevaux. Le cheval vapeur étant égal à $75^{\text{k.m.}}$ en 1", la force en chevaux d'une machine à vapeur sera donc obtenue en divisant la formule précédente par 75, c'est-à-dire égale à:

$$\frac{n}{60}\,\frac{10{,}000\ PV}{75}\left(1 + \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V} - \frac{P'}{P_1}\right)$$
$$= 2{,}222\,n\,PV\left(1 + \text{log. hyp. } \frac{V_1}{V} - \frac{P'}{P_1}\right).$$

Quantité de travail théorique par unité de chaleur. Nous avons trouvé une formule (3) qui nous donne le volume d'un poids de vapeur. Cette formule est:

$$V = \frac{Q}{D} = 1{,}277\,\frac{1 + 0{,}00368\ T}{P}\,Q.$$

Nous pouvons introduire cette expression du volume V dans celle du travail qu'il produit (4), et le poids y figurera seul.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

D'autre part, un poids Q d'eau exige pour être réduit en vapeur saturée à la température T :

$$Q\,(606 + 0{,}305\,T - T')\ \text{calories.}$$

Divisant donc l'expression du travail d'un poids Q de vapeur par le nombre de calories qu'a exigé sa production, nous aurons le travail d'une calorie. Cette expression est donc :

$$12760\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - T'}\left[1 + 1.\,\text{hyp.}\,\frac{V_1}{V} - \frac{P'}{P_1}\right]^{k.\,m.} \quad (5)$$

L'application de cette formule générale, qui est indépendante d'un système particulier, à ceux qui sont les plus usités, nous permettra d'apprécier leur valeur relative.

On peut partager les systèmes connus de machines à vapeur en quatre classes :

1° *Les machines à détente et à condensation*, les plus parfaites de toutes, telles que les machines de Woolf et quelques machines de Watt, supposées détendre jusqu'à la pression du condenseur. L'eau extérieure n'étant pas en général au-dessous de 10°, nous prendrons pour limites $T' = 10$ $P' = P_1 = 0^k{,}013$ pression du condenseur correspondant à 10°. L'expression générale qui donne le travail théorique devient dans ce cas $\left(\text{en remplaçant } \frac{V_1}{V} \text{ par } \frac{P}{P_1}\right)$:

$$12760\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - 10}\left(\log.\,\frac{P}{0{,}013}\right)^{k.\,m.}$$

2° *Les machines à condensation sans détente*, ce qui comprend celles de Newcommen et les premières machines de Watt; on a alors pour limites :

$$T' = 10°,\ (P_1 = P),\ P' = 0^k{,}013,$$

et l'expression du travail devient dans ce cas :

$$12760\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - 10}\left(1 - \frac{0^k{,}043}{P}\right)^{k.\,m.}$$

3° *Les machines à détente sans condensation*, où la vapeur s'échappe dans l'air après avoir agi. Dans ce cas on les a limitées : $P_1 = 1^k{,}033$, $P' = P_1$, $T' = 10°$, et la formule devient :

$$12760\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - 10}\left(\log.\,\frac{P}{1{,}033}\right)^{k.\,m.}$$

4° Enfin, *les machines sans détente ni condensation*. Dans ce cas, on aurait $P_1 = P$, $P' = 1^k{,}033$, $T = 10°$, pour limites, et la formule :

$$12760\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - 10}\left(1 - \frac{1^k{,}033}{P}\right)^{k.\,m.}$$

En faisant varier la pression dans ces quatres classes de machines, depuis une jusqu'à trente-deux atmosphères en progression géométrique dont la raison soit deux, on forme le tableau suivant des quantités de travail théorique dues à une unité de chaleur, d'où l'on peut déduire par une simple multiplication celles dues à un kilog. d'un combustible quelconque :

Tensions de la vapeur en atmosphères..	1	2	4	8	16	32
Températures correspondantes.....	100°	121°	144°	172°	203°	240°
Valeurs du facteur : $\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,T - 10}$..	0,00201	0,00228	0,00236	0,00245	0,00267	0,00280
1° Machines à détente et condensation..	111	154	171	203	241	278
2° Machines sans détente à condensation.	27,5	28,3	30,0	31,0	34,0	34,0
3° Machines à détente sans condensation.	0	16,7	40,5	64,6	91,8	116,6
4° Machines sans détente ni condensation.	0	14,3	22,5	27,7	32,3	33,3

Observations sur les résultats du tableau ci-dessus. Ce tableau permet de comparer les systèmes divers de machines à vapeur et d'apprécier la valeur de la formule elle-même, grâce aux principes que nous avons établis relativement au travail théorique de l'unité de chaleur, en posant quelques principes fondés sur les premières notions sur la nature de la chaleur.

Nous remarquons d'abord combien les machines sans détente (2 et 4) sont défectueuses, combien leur travail théorique est faible comparativement à celui des autres classes.

Pour celles des première et troisième classes, une observation qui ressort naturellement de la vue du tableau, c'est que la valeur du facteur $\frac{1 + 303688}{606 + 305\,(T - T')}$ croit peu avec la température; par conséquent l'effet utile théorique ne croit guère plus rapidement que le logarithme de la pression, c'est-à-dire très-lentement. Comme les difficultés de la construction, les pertes de chaleur et de vapeur augmentent beaucoup avec la tension, on a cru pouvoir en conclure qu'il y a peu d'avantages à attendre de l'emploi de la vapeur à très-haute pression. Ce résultat est conforme aux résultats de la pratique, mais non à ceux de la théorie incomplète qui vient d'être exposée, si on en déduit toutes ses conséquences logiques. En effet, cette formule conduit à ce résultat évidemment impossible, et qui montre qu'elle est insuffisante, que le travail de la vapeur dans les machines à détente et condensation peut être supérieur au travail théorique de la chaleur, en supposant la détente poussée très-loin, en prolongeant suffisamment les chiffres du tableau donné plus haut, que l'on peut amener à dépasser toute limite donnée. Cette quantité, infiniment croissante avec la valeur de la pression initiale, a fait conclure trop souvent que *théoriquement* l'unité de chaleur peut donner un travail infini. C'est admettre le mouvement perpétuel. Il est beaucoup plus raisonnable d'admettre, ce qui est bien certain, que la *théorie* est incomplète et de chercher à lui faire embrasser toutes les données de la question. C'est ce que nous allons tenter.

Chaleur absorbée par la détente. Ce qui rend les résultats de la théorie nécessairement différents de ceux qu'on obtient dans la pratique, c'est qu'on néglige un élément important, c'est qu'on admet une constance de température qui ne saurait exister, ainsi qu'il a été observé.

Remarquons d'abord que la chaudière à vapeur renferme de la vapeur à saturation, c'est-à-dire de la vapeur qui s'est dégagée de l'eau aussitôt qu'une quantité de chaleur a été incorporée avec elle en quantité suffisante pour que sa tension puisse contrebalancer celle qui s'exerce à la surface du liquide.

Or, quand la vapeur arrive dans le cylindre, elle s'y trouve d'abord (pourvu que les ouvertures et les conduites de vapeur soient de grandeur suffisante) sensiblement à la même pression que dans la chaudière; mais, lorsque la détente a lieu, lorsque la communication entre la chaudière et le cylindre à vapeur est interceptée, la pression diminue, et comme, d'après une loi physique très-fréquemment vérifiée, tous les gaz se refroidissent en augmentant de volume, on en doit con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

clure que la correction qui doit être apportée à la formule générale consiste à tenir compte de l'abaissement de température produit par la détente. Cet abaissement de température de la vapeur saturée cause nécessairement, en même temps qu'une diminution de pression, la précipitation d'une certaine quantité de vapeur, dont la chaleur latente empêche, par son dégagement, un plus grand abaissement de température. Nous avons vu à ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR que le fait pouvait être constaté expérimentalement.

Correction à apporter au calcul de la détente. Essayons d'introduire dans la formule la correction que l'on peut déduire de l'observation précédente de calculer directement la quantité de vapeur condensée, la fraction de vapeur qui disparaît pour le travail produit.

De la sorte le travail de la détente croissant moins rapidement, et ne croissant plus du tout après la détente de m fois le volume primitif, les résultats évidemment erronés du tableau précédent ne sont plus contenus dans la formule corrigée. Un travail infini ne se trouve plus possible pour une quantité finie de chaleur, et la formule sera en rapport avec l'expérience.

Il faut nécessairement partir de la théorie mécanique de la chaleur pour évaluer la quantité de vapeur condensée en raison du travail produit, théorie qui conduit à une théorie physique de la machine à vapeur différente de la présente, comme nous avons essayé de le faire voir à l'article MACHINE A VAPEUR du *Complément*.

Pour obtenir approximativement la chaleur consommée par doublement de volume, admettant la constance de PV et la loi de Mariotte, et par suite VP log. hyp. $2 = 10{,}330 \times 1{,}70 \times 07$ pour un kilog. de vapeur, et $\frac{1}{A} = 370$, environ 33 cal., soit enfin pour 460 à 480 calories, différence moyenne de la chaleur renfermée dans de la vapeur ou de l'eau à même température 0,07 à 0,06 de la chaleur totale. On peut donc admettre qu'un doublement de volume entraîne la précipitation de 0,06 à 0,07 du volume primitif. La vapeur qui se condense ainsi ne travaille plus, et c'est à tort que l'on évalue son effet au moyen des formules précédentes, en admettant que la totalité de la vapeur continue à agir; ce qui entraîne à des erreurs d'autant plus grandes qu'il s'agit de détentes plus étendues.

L'action directe $\frac{1}{A}$ PV répondant à 48 calories, on voit que pour des détentes de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 fois le volume à action directe, en l'évaluant en une seule fois, tandis qu'on devait tenir compte des condensations successives, on aura transformé en travail mécanique 81, 114, 147, 180, 213, 246, 280 calories, y compris l'action directe.

En introduisant la correction qui vient d'être calculée dans la formule déjà obtenue, et en raison des moindres pressions on arriva à la formule suivante, donnant le travail d'une calorie et, par suite, d'un combustible quelconque, pour tout système de machine à vapeur:

$$12777\,\frac{1 + 0{,}00368\,T}{606 + 0{,}305\,(T - T')} \times \left[1 + (1 - 0{,}07\,n)\,\text{log. hyp.}\,\frac{V_1}{V} - (1 - 0{,}07\,n) - \frac{P'}{P}\right]$$

n étant déterminé par l'équation $2^n = \frac{V_1}{V}$, n étant le nombre des doublements successifs de volume.

Ainsi, pour une détente de quatre volumes ou $n = 2^2$ le terme entre parenthèses (indépendamment de $\frac{P'}{P}$) au lieu de $1 +$ log. hyp. $4 = 1 + 1{,}38 = 2{,}38$ prend la valeur $1 + 0{,}86$ log. hyp. 4 (0,86), c'est-à-dire

$1 + 0{,}86 \times$ log. hyp. $3{,}52 = 1 + 1{,}05 = 2{,}05$.

Pour $n = 4$ et $\frac{V_1}{V} = 16$, on aurait 3,77 d'une part, et 2,80 de l'autre.

En prenant quelques exemples d'application, on reconnaîtra facilement que la formule ainsi corrigée, bien qu'incomplétement, représente mieux les phénomènes que la formule primitive qui exagère beaucoup les effets de la détente prolongée.

Du réchauffement de la vapeur. Le principal résultat des considérations qui précèdent, est d'arriver à constater théoriquement l'influence si avantageuse des moyens de réchauffer la vapeur, et notamment des enveloppes, des capacités remplies de vapeur dont on entoure le cylindre, pour des machines dans lesquelles la détente est très-grande. La vapeur, lorsqu'elle se détend, doit absorber avec rapidité la chaleur que fournit l'enveloppe remplie de vapeur dont on entoure le cylindre, et permet d'obtenir la même quantité de travail avec une moindre consommation de combustible que sans enveloppes.

Cette quantité de chaleur de réchauffement qui cause des accroissements de pression utilisés au moyen de la détente produit tout son effet théorique, travaille par suite d'une manière extrêmement avantageuse. C'est dans la voie de la bonne disposition des enveloppes et des moyens de réchauffement équivalents qu'ont été réalisés les derniers perfectionnements les plus importants de la machine à vapeur, ainsi que nous le verrons plus loin.

Échauffement et refroidissement du cylindre. Les expériences, comme les inductions de la théorie, rendent bien compte d'un phénomène curieux dont on n'avait pas assez tenu compte, et dont l'influence se fait sentir différemment, en général, suivant que le cylindre est ou n'est pas garni d'une enveloppe:

1° Les parois se refroidissant lors de la détente, la vapeur y arrivant se condense en partie sur les parois refroidies.

2° Lorsque le cylindre est chauffé par une source de chaleur extérieure, lorsqu'il est muni d'une enveloppe renfermant de la vapeur, comme on a soin de le faire aujourd'hui pour toutes les machines qui emploient la détente, la vapeur emprunte au cylindre de la chaleur et les pressions successives sont plus grandes.

Combes, dans son traité de l'exploitation des mines, s'est occupé de la question que nous traitons.

Il rapporte d'abord des expériences de M. Wicksteed à ce sujet, expériences qui n'ont qu'une valeur d'approximation, et ne sont nullement faites dans des conditions réellement scientifiques. Dans la première, faite sur une machine de Cornwall, la vapeur qui entourait le cylindre et remplissait l'enveloppe sortait, après avoir été condensée, par un tuyau adapté à la partie inférieure. L'eau condensée fut environ 4/100e de la quantité totale d'eau envoyée par la chaudière à l'état de vapeur, et comme elle sortait à 130°, la chaleur ainsi consommée pour chaque kilogr. de vapeur utilement employée était $4/100^e\ (650 - 130) = 20{,}80$, tandis que celle de la vapeur était $650 - 30 = 620$, c'est-à-dire environ 1/30e. La détente était de deux fois le volume.

Pour une machine de Watt, il a trouvé le rapport des poids de vapeur de 22/1000e. Or, dans cette machine la vapeur était supprimée seulement aux 5/8e de la course. La correction pour une détente d'un volume eût donc dû être de 1/27e environ.

Résumé historique. J'ai montré que le principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur suffit pour faire apprécier pourquoi la théorie précédente faisait prévoir des phénomènes tout différents de la réalité, ce que ne permettait pas de constater d'une manière irréfutable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la complexité des observations. Ainsi Regnault ayant déterminé avec une grande exactitude la chaleur totale de la vapeur aux diverses pressions, et ayant établi que cette quantité croissait avec la pression, il fallait en conclure, lorsqu'on considérait les phénomènes calorifiques comme indépendants des phénomènes mécaniques, que la vapeur à haute pression, admise saturée dans le cylindre, cessait de l'être après la détente, qu'elle était alors surchauffée, puis qu'elle possédait plus de chaleur qu'il n'en fallait pour la constituer à l'état de vapeur saturée à la pression qu'elle a alors. C'était en vain que l'on voyait des quantités d'eau s'accumuler souvent dans le cylindre des machines à détente, que jamais on n'apercevait trace d'un phénomène de surchauffe ; on cherchait à tout expliquer par un entraînement d'eau par la vapeur, difficile à mesurer.

J'avais cependant fait remarquer, dès 1845, que la déduction que l'on tirait des chiffres obtenus par Regnault était en opposition directe avec la loi physique bien certaine, la production du froid qui accompagne la détente d'un gaz, et je hasardais timidement à cette place, l'opinion que la détente de la vapeur ne pouvait se poursuivre sans qu'il n'y eût liquéfaction de partie de celle-ci.

Je rapportais ici l'expérience faite par un savant pour lequel l'opinion du monde savant a été, nous ne savons pourquoi, assez peu bienveillante en France, pendant que ses travaux sur les locomotives, dès leur apparition, et sur la machine à vapeur, ont été fort appréciés dans toute l'Europe, M. de Pambour. Il disait avoir fait des expériences en plaçant des thermomètres et des manomètres à l'entrée et à la sortie de la vapeur dans des cylindres de locomotives, et avoir reconnu que pour des variations de pression de 4 atmosphères à 1 atm. 20, les variations de température étaient celles indiquées par les expériences de Dulong, c'est-à-dire que la vapeur à la sortie était non de la vapeur à la température de celle à 4 atmosphères détendue à 1 atm. 20, mais de la vapeur saturée à 1 atm. 20 ; c'est-à-dire que la vapeur qui s'était refroidie par la détente devait être mélangée d'eau à l'état vésiculaire. Il est juste d'ajouter que les entraînements d'eau avec la vapeur sont trop fréquents dans les locomotives pour que cette expérience fût tout à fait probante, mais il faut reconnaître aujourd'hui qu'elle était d'une grande valeur.

Nous verrons plus loin qu'on peut tirer les conséquences les plus intéressantes, de cette observation fondamentale ; mais avant de le faire nous terminerons l'étude de la théorie de Poncelet. Pour expliquer les différences que nous allons constater entre le calcul et l'expérience, on avait pensé aux résistances inférieures. Nous allons les examiner et nous verrons que cette cause est insuffisante pour justifier leur grande valeur.

Éléments négligés dans les calculs précédents. Les formules que nous venons d'établir ne se rapportent qu'au phénomène physique de l'action de la vapeur sur le piston, même avec la correction que nous proposons; elles ne sont pas complètes en ce sens qu'elles n'embrassent pas les résistances de différente nature de l'appareil qui constitue une machine à vapeur ; elles ne tiennent pas compte des résistances inférieures de la machine, négligent même quelques phénomènes qui naissent lors du mouvement de la vapeur. Cherchons à les énumérer et nous verrons que les calculs auxquels entraîne l'évaluation des résistances, s'ils sont possibles et même assez faciles dans chaque cas particulier, ne peuvent entrer dans une formule générale ; que de plus ils exigent que l'on connaisse le poids et les dimensions exactes des principales pièces, ce qui ne peut se faire que pour chaque cas particulier.

Frottement du piston et de la tige du piston. Le piston dont le contour doit être appliqué avec assez de force, par l'effet des ressorts intérieurs ou de sa garniture, sur le cylindre à vapeur, pour que la vapeur ne puisse jamais passer d'une face à l'autre du piston, consomme une quantité de travail assez notable. Ce travail a pour expression $2\pi RPe$, P étant la pression de la vapeur que doit égaler la pression du piston contre les parois du cylindre, e l'épaisseur du piston. Le travail consommé par chaque course l du piston sera $2\pi RPe \times fl$, f étant le coefficient du frottement. Ainsi si $P = 1^k,25$, $R = 0,50$, $e = 0,1$, $l = 1^m$; $f = 0,10$, le travail consommé par course du piston sera $0,031 \times 1,25$ ou 37^{km}, soit un demi-cheval-vapeur, si la course de 1 mètre s'accomplit en une seconde.

Ce que nous venons de dire du piston s'applique également à la tige du piston qui passe dans une boîte à étoupes, et y est assez pressée pour que la vapeur ne puisse passer.

Dans la pratique, et surtout lorsque la garniture du piston a été remise à neuf, la pression est en général bien plus forte que nous ne l'avons supposé, et le travail consommé plus considérable.

Mais c'est surtout lorsque par l'usure ou quelque défaut dans l'alésage, le piston laisse passer de la vapeur d'une face à l'autre, qu'il se produit des pertes de travail très-important. Il est impossible de l'évaluer; mais au reste elles ne sauraient être notables sans que la machine ne perde rapidement de sa force, que le condenseur ne s'échauffe et que la machine ne soit mise en réparation.

Le frottement des tiroirs pressés par la vapeur peut encore donner lieu à des considérations semblables à celles que nous exposons ici en traitant du piston. Nous avons consacré un article spécial à cette question. (Voy. TIROIR ÉQUILIBRÉ.)

Volant. La nécessité de transformer le mouvement rectiligne alternatif de la tige du piston en mouvement circulaire continu, dont la vitesse soit sensiblement uniforme, fait employer un volant d'un poids considérable. Cet organe de régularisation du mouvement consomme par son frottement une quantité importante de travail, facile à mesurer dans chaque cas, car pour chaque tour du volant correspondant à une double oscillation du piston, il est égal au coefficient du frottement multiplié par le poids considérable du volant et par la circonférence de l'axe qui le supporte.

Ainsi, pour un tour par seconde et un volant de 2,500 kil. supporté par des axes de 0,10 de rayon, si $f = 0,1$, le travail absorbé par le frottement sera $0,1 \times 2,500 \times 2\pi \times 0,10 = 157$ kil. mét. $= 2,10$ cheval-vapeur.

Le travail absorbé par le volant est en proportion de son poids, et celui-ci est d'autant plus grand que l'action de la vapeur présente plus d'irrégularités. C'est ainsi que les machines à un cylindre, dans lesquelles la détente est poussée fort loin, sont celles qui ont les volants les plus pesants. Remarquons que la rapidité de la course du piston permet de diminuer le poids du volant en augmentant de sa vitesse.

Pompe alimentaire. — Pompe à air. Nous verrons en traitant de la construction de la machine à vapeur comment doivent être construites ces pompes. Dans chaque cas, le travail qu'elles exigent pourra être déterminé par les mêmes procédés que pour toute pompe.

Leur travail sera une fraction d'autant moindre du travail total de la machine que la détente y sera poussée plus loin ; la quantité d'eau employée pour alimenter la chaudière et le condenseur sera d'autant moindre pour un même travail, que 1 kil. d'eau produira un plus grand travail.

Du régulateur de Watt, ou gouverneur. Dans tout ce qui précède nous sommes partis de la pression de la vapeur indiquée par le manomètre adapté à la chaudière, et avons supposé qu'elle agissait à cette même pression dans le cylindre de la machine. Dans la pra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tique il n'en est pas ainsi. Non-seulement il faut qu'il y ait une différence de pression entre la vapeur de la chaudière et celle du cylindre pour que cette vapeur passe de la première capacité dans la seconde, quantité assez faible pour pouvoir être négligée dans la pratique, mais encore cette différence est augmentée par des dispositions de la machine elle-même.

Cette différence de pression fait naître des remous qui causent une perte de travail, et il importe donc de recevoir la vapeur dans le cylindre à la pression la plus voisine possible de celle qu'elle a dans la chaudière, et de faire qu'elle se dilate dans le cylindre et non dans le trajet de la chaudière au cylindre.

La première précaution à prendre pour éviter cet inconvénient est de faire les tuyaux de vapeur et les orifices d'admission assez grands pour que la vapeur ne soit pas arrêtée au passage. Il en est ainsi pour toutes les machines bien construites, pour tous les orifices réguliers, car la vitesse de la vapeur est très-grande pour une petite différence de pression, comme le montrent les formules qui servent à calculer la vitesse du mouvement des fluides élastiques. Mais les passages vont en diminuant lorsque fonctionne la soupape mue par le régulateur à force centrifuge, qui peut fermer presque entièrement le passage de la vapeur lorsque la vitesse du piston est un peu trop grande.

Il faut même observer que la bonne marche d'une machine exige que, par la fermeture partielle de la soupape à gorge, il y ait dans le générateur un léger excès de pression sur le cylindre, moins pour soutenir les excédents d'une charge, qui, très-souvent, reste constante, que pour maintenir la marche de la machine régulière lors du moindre affaiblissement de la combustion dans le foyer et dans la tension de vapeur. Mais il faut bien se garder pour appliquer les formules de prendre la pression dans le générateur avec la soupape à gorge à moitié fermée, c'est-à-dire avec une différence importante et inutile de pression.

Si la machine est à son maximum de charge, la pression doit être élevée au degré de règle de la chaudière et l'observation donnera le travail correspondant. Quand la machine est peu chargée, il faut laisser tomber la pression de la vapeur, jusqu'à ce qu'elle enlève exactement à sa vitesse normale la charge actuelle de la machine, qui devient ainsi une charge maximum pour une pression donnée.

Toujours est-il que dans l'emploi habituel des machines à vapeur, la soupape à gorge est une cause de perte de travail mécanique, au point de vue du bon emploi de la vapeur, bien que très-utile au point de vue de l'économie de la vapeur; aussi doit-on considérer comme un des plus grands progrès apportés de nos jours à la construction de la machine à vapeur le perfectionnement de cet appareil pour lui faire régler des systèmes de détente variable, en proportion de la résistance à surmonter.

On fait ainsi, par les systèmes décrits à l'article DÉTENTE, varier la quantité de vapeur qui agit dans le cylindre, sans jamais altérer les conditions de production d'un bon travail de celle-ci, et au contraire en le faisant croître pour une même quantité de vapeur, quand la charge décroît au-dessous de la charge régulière de la machine.

COMPARAISON DES RÉSULTATS DU CALCUL AVEC CEUX DE L'OBSERVATION.

Toutes les remarques qui précèdent nous conduisent à ce résultat: Puisque les formules que nous avons trouvées ne tiennent compte que du phénomène physique de la pression et de la détente de la vapeur d'eau, qu'il est très-difficile d'évaluer plusieurs des résistances négligées, les formules ne deviennent applicables directement qu'autant qu'on fait subir aux résultats auxquels elles conduisent une correction en rapport avec les éléments négligés. Poncelet emploie à cet effet des coefficients qui ne peuvent être déterminés qu'autant qu'on connaît, à l'aide d'expériences, le travail utile réellement produit par chaque genre de machines. Celui-ci s'obtient à l'aide du frein de Prony.

Frein de Prony. Nous avons déjà décrit cet instrument. En l'adaptant à l'axe de rotation que la machine à vapeur fait tourner, il donne la mesure exacte du travail utile que la machine est susceptible d'opérer. Les observations au frein étant malheureusement peu précises, à cause des mouvements et oscillations de l'appareil, les résultats ne peuvent être considérés que comme des approximations, ce qui est d'autant plus fâcheux que la méthode qui consiste à comprendre en bloc dans un coefficient plusieurs résistances de natures diverses est déjà assez imparfaite. Voyons à quoi conduit l'application de ce système, en prenant en grande considération les résultats obtenus dans la pratique des constructeurs.

1° *Machines de Watt* (à condensation sans détente). Dans ces machines, on a, en général :

$$P = 1^{atm},25 = 1^{k},291\ T = 106°,3.\ T' = 35°$$
$$P' = 0^{atm},100.$$

La formule précédemment trouvée pour le travail produit par une calorie devient :

$$12{,}760\,\frac{1 - 0{,}00368\ T}{6{,}6 + 0{,}305\ T - T}\left(1 - \frac{0{,}100}{1{,}250}\right) = 25{,}85^{km}.$$

On voit, ainsi que nous l'avons déjà dit, combien cette machine est défectueuse, puisque chaque calorie ne peut théoriquement produire qu'une minime fraction de sa valeur réelle.

Pour ces machines, on peut admettre que le fourneau utilise moitié de la chaleur que peut produire le combustible. 1 kil. de houille pourrait donc produire $3{,}750 \times 25{,}85^{km} = 96937^{km}$.

L'expérience des machines de Watt, ou de celles construites sans modifications importantes sur les modèles du célèbre constructeur, indique une consommation de 5 à 6 kil. de houille par force de cheval et par heure. C'est la condition à laquelle les constructeurs s'engagent de satisfaire par leur traités. Le kil. de houille produit donc en pratique de $\frac{75 \times 60 \times 60}{5}$ $= 54000^{km}$ à $\frac{75 \times 60 \times 60}{6} = 45000^{km}$.

Le rapport de l'effet utile réel à celui indiqué par la formule est donc:

Pour les machines en très-bon état d'entretien. . . $\left\{\frac{54{,}000}{96{,}937} = 0{,}55;\right.$

En état ordinaire. . . . . $\frac{45{,}000}{96{,}937} = 0{,}46.$

Les résultats des expériences au frein (voir *Leçons de mécanique* de Morin) confirment tout à fait ces valeurs pour des machines construites par d'habiles mécaniciens.

Une seule observation à faire est celle qui se rapporte aux grandes machines. Les frottements et résistances diverses ne croissent guère que comme le carré du rayon du piston, tandis que la quantité de vapeur croit comme le volume du cylindre, c'est-à-dire à peu près comme le cube de ce rayon. Il en résulte que le coefficient doit être augmenté pour les fortes machines. D'après des expériences de la Société industrielle de Mulhouse, pour des machines de 30 à 50 chevaux, il doit être porté à 0,60 pour un très-bon état d'entretien, et à 0,50 pour un état ordinaire.

Machines à détente et à condensation. Prenons quelques exemples dans la pratique pour appliquer les formules

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que nous avons indiquées, et déterminer les coefficients applicables dans la pratique.

Machines de Woolf. Nous empruntons les chiffres des données de l'exemple suivant à Morin.

$$P = 3^{atm},50\ P_1 = 0^{atm},875$$

$$\frac{P}{P_1} = 4\ \frac{P'}{P_1} = \frac{0,100}{0,875} = 0,11429\ T = 140^{c},6\ T' = 35.$$

La formule du travail pour une calorie devient:

$$12760\ \frac{1 + 0,00368 \times 140,6}{606 + 0,305 \times 140 - 35}$$

$$(1 + \text{log. hyp. } 4\,(1 - 0,12) - 0,114) = 66^{km},53,$$

et pour 1 kil. de houille, soit 3,750 calories à des pressions et des températures élevées les pertes de chaleur sont plus grandes que pour les chaudières de Watt, on a 249,375 kil. mèt. Ces machines consommant, en général, 3 kil. de houille par force de cheval et par heure, c'est-à-dire produisant $\frac{75 \times 60 \times 60}{3} = 90,000^{km}$. Le coefficient à appliquer aux résultats de la formule est 0,36.

Un semblable coefficient rend la théorie presque insignifiante, et ne peut s'expliquer que par l'intervention d'effets intérieurs négligés dans la formule, par des résistances considérables et une imperfection des détails de la construction, qui n'existe plus chez nos meilleurs constructeurs. Effectivement, dans ces dernières années, des résultats bien positifs permettent de le doubler hardiment pour des machines bien établies, auxquelles on donne de très-longues détentes et dont les admissions et sorties de vapeur notamment sont convenablement réglées. Une machine à deux cylindres indépendants de Legavrian et Farinaux de Lille, et une machine de Farcot à détente considérable, comme la précédente, n'ont, dans des essais faits avec soin par Le Châtelier, consommé que $1^{k},50$ par force de cheval. L'emploi d'une pression de 4 à 5 atmosphères et d'une détente de dix à douze fois le volume primitif a conduit Farcot à obtenir couramment le résultat d'une consommation inférieure à $1^{k},50$. Disons qu'il y est aussi en partie parvenu par l'amélioration des chaudières.

Machines de Cornwall. Dans les machines de Cornwall les résultats obtenus sont depuis longtemps aussi avantageux que les précédents, et même un peu supérieurs, car certains expérimentateurs admettent une consommation de moins de 1 kil. de charbon par force de cheval et par heure; mais il est juste d'observer que les chaudières fort longues qui fournissent la vapeur à ces machines permettent de vaporiser 6 à 8 kil. d'eau par kil. de vapeur, c'est-à-dire d'utiliser de 4,000 à 5,000 calories. Ce résultat est obtenu en dépouillant les produits de la combustion de la majeure partie de leur chaleur.

Machines à détente sans condensation. Pour ce genre de machines, qui, comme nous l'avons vu, sont théoriquement défectueuses, que l'on n'emploie qu'à cause de leur simplicité, des expériences nombreuses au frein ont montré à Morin que la formule de Poncelet était applicable, en en multipliant les résultats par le coefficient moyen 0,40. On a vu que cette formule ne correspondait qu'à une fraction minime du travail utile théorique d'une calorie. Les calculs refaits avec la correction de détente que nous avons proposée montrent que le coefficient à adopter dans ce cas doit être 0,50 au moins, et même supérieur à ce chiffre si la machine est à longue détente et le cylindre muni d'une enveloppe.

Ces dernières machines retrouvent par la détente une partie des avantages que l'absence de condensation ne permet pas d'obtenir. De là la nécessité d'y employer des pressions un peu élevées.

Nous allons revenir sur cette question des hautes pressions, sur les limites de celles qu'il est possible d'employer et qui permettent de construire des machines d'autant plus économiques que la détente y est poussée plus loin, et non parce que la vapeur y est employée à une pression plus élevée.

Évaluation du travail à l'aide de l'indicateur de Watt.

Il est d'une grande importance de pouvoir évaluer directement le travail moteur engendré par le piston et de connaître le mode d'action de la vapeur dans le cylindre.

C'est ce résultat qu'on obtient à l'aide de l'indicateur de Watt, instrument dont nous avons déjà donné la description; à l'aide des tracés ou *diagrammes* qu'il fournit, on peut déduire le travail produit par la vapeur *sur la tige du piston*, c'est-à-dire plus grand que celui disponible sur l'arbre de rotation, du travail de toutes les résistances intérieures de la machine.

Nous avons vu que l'indicateur de Watt consistait en un tube qui se vissait sur le robinet à graisse du cylindre. Dans ce tube se meut un piston que la vapeur du cylindre fait monter en repoussant un ressort à boudin, et ces mouvements correspondent à des pressions qui sont indiquées par la tare antérieurement faite de l'instrument. Le crayon adapté à la tige du piston se meut donc verticalement en raison de la pression de la vapeur, et son développement vertical donne la mesure de cette pression. (Voy. *Indicateur*, à l'article DYNAMOMÈTRE.)

Quant au cylindre sur lequel le papier est enroulé, il fait un tour par chaque oscillation du piston, entraîné par un cordon qui vient s'attacher au balancier, et qui s'enroule sur une poulie fixée sur l'axe du tambour, d'un diamètre différent de celui-ci quand il y a lieu, et tel que la course du piston fasse faire au tambour de l'indicateur un peu moins d'un tour complet. Un ressort spiral fait revenir le tambour, lors de l'oscillation descendante, à la position qu'il occupait primitivement.

Mesure du travail. D'après ce qui précède, les diagrammes ou courbes tracées sur le papier, ayant des ordonnées proportionnelles à la pression de la vapeur et des abscisses proportionnelles au chemin parcouru par le piston, ont une aire proportionnelle au travail de la vapeur sous le piston, et la quadrature de cette aire en fournira la mesure à une certaine échelle.

Ces courbes sont fermées et comprises entre deux lignes parallèles entre elles et perpendiculaires à la ligne des tensions nulles ou ligne atmosphérique que le crayon a tracée, lorsque le cylindre de l'indicateur était isolé du cylindre de la machine. Les ordonnées de la courbe comptées à partir de la ligne atmosphérique indiquent à l'échelle de l'indicateur, les excès de pression de la vapeur sur la pression atmosphérique, ou les excès de la pression atmosphérique sur celle de la vapeur contenue dans le cylindre, suivant que ces ordonnées sont en dessus ou en dessous de la ligne atmosphérique.

Le diagramme accuse donc les pressions de la vapeur sur la face supérieure du piston de la machine; si les pressions se succèdent de la même manière et dans le même ordre sur la face inférieure, et il doit en être à peu près ainsi dans une machine à double effet, la distribution de la vapeur se faisant symétriquement dans le haut et dans le bas du cylindre, on pourra admettre que la partie inférieure du diagramme donne les pressions qui s'exercent sur la face inférieure du piston pendant la course descendante; seulement, pour avoir les pressions qui ont lieu aux mêmes instants sur les deux faces, il faudra supposer que la courbe inférieure est retournée bout pour bout. La longueur d'une ordonnée, terminée de part et d'autre à la courbe, représenterait alors, à l'échelle de l'indicateur, la mesure de la différence des pressions sur les deux faces du piston,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.

c'est-à-dire de la pression motrice. Comme d'ailleurs le retournement de la partie inférieure de la courbe ne modifie point l'aire renfermée dans son périmètre, on peut prendre pour mesure du travail moteur la surface du diagramme tel qu'il est donné par l'instrument.

Il est bon de remarquer que la tige du piston doit donner lieu à une correction. En effet, lorsque le piston descend, la vapeur n'agit pas sur la section occupée par la tige; lorsqu'il monte, au contraire, la vapeur fait remonter la tige du piston, au mouvement de laquelle s'oppose la pression atmosphérique qui avait agi inversement à la descente. On peut donc prendre pour travail moyen transmis au piston pendant une excursion simple $\left(S - \frac{s}{2}\right) A$, A étant l'aire du diagramme, S la surface totale du piston, s celle de la tige, la section du piston de l'indicateur étant l'unité.

La nature géométrique des courbes tracées par le crayon de l'indicateur n'importe nullement pour la mesure du travail, mais il est curieux de constater que dans la plupart des machines munies d'enveloppes (voir ci-après), ces courbes se rapprochent beaucoup des branches d'hyperbole qui répondent à la loi de Mariotte. C'est ainsi que Morin voulant, dans son travail sur la machine à vapeur, justifier l'application que faisait son maître Poncelet des lois de Gay-Lussac et de Mariotte dans la théorie qu'il reproduisait, donne des courbes relevées sur des machines et montre qu'elles diffèrent peu des courbes théoriques.

Ainsi une loi adoptée au début par une analogie erronée avec la détente isothermique des gaz, et qui ne donnait avec les anciennes machines que des résultats inexacts, s'est trouvée grâce aux enveloppes, aux actions des parois des cylindres, l'expression rapprochée de la réalité des faits. Les coefficients trouvés ci-dessus montrent pourtant son insuffisance.

L'erreur considérable qui infirme tous les calculs que l'on fait en s'appuyant sur l'observation des pressions, porte sur le volume de la vapeur admise dans le cylindre, que l'on suppose mesurée par le volume de celui-ci, tandis qu'il est toujours plus grand, quelquefois de moitié, par suite de la condensation de la vapeur saturée sur les parois réfroidies, comme nous allons le voir ci-après.

Pour montrer la manière d'opérer avec l'indicateur, nous emprunterons à Morin un calcul qu'il donne relativement aux machines à basse pression des premiers paquebots transatlantiques, *le Canada*, pour des courbes obtenues en faisant varier la détente, et qui mettent bien en évidence l'immense avantage que procure l'emploi de la détente pour l'économie de la vapeur, et par suite du combustible dépensé.

La fig. 13 montre les courbes obtenues avec 6 degrés de détentes différentes. On fait la quadrature de

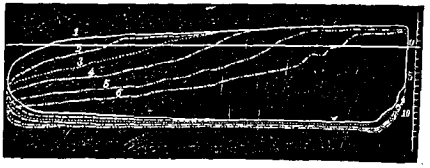


Fig. 13.

ces courbes, soit à l'aide du planimètre (voyez MACHINES A CALCULER et PLANIMÈTRE), soit en les décomposant en petits trapèzes, soit même en pesant le papier après avoir découpé avec des ciseaux l'aire inscrite dans la courbe.

On savait que chaque division de l'instrument égale à 3 millimètres correspondait à une pression de $1^k,15$ sur le piston de l'indicateur, ou chaque millimètre de flexion du ressort à $0^k,3833$; que le piston de la machine avait $1^m,927$ de diamètre, et que sa surface était $1844,17$ fois celle du petit piston de l'indicateur; le chemin parcouru par la pression, ou la course du grand piston était de $2^m,3055$, et celui du cylindre de l'instrument de l'indicateur de $0^m,1795$ ou 179 millim. 5. Il faut par suite multiplier la surface trouvée en millimètres carrés par:

$$0{,}3833 \times 1844{,}17 \times \frac{2305{,}5}{179{,}5} = 9079{,}8,$$

pour avoir le travail développé par la vapeur à chaque course simple du piston, par l'action de la puissance $0{,}3833 \times 1844$ par millimètre d'ordonnée, agissant suivant un chemin multiplié par le rapport de 2,305 à 179,5 par millimètre d'abscisse.

La courbe fournit d'ailleurs la valeur de l'excès de la pression moyenne pendant l'admission sur celle de l'atmosphère, et en y ajoutant cette dernière la valeur de la pression dans le cylindre.

Enfin on peut relever à peu près, sinon tout à fait exactement, sur les courbes, la portion de la course du piston pendant laquelle la vapeur est admise, et déduire de ces données le poids de vapeur dépensé à chaque course, pour le comparer au travail produit par cette même quantité de vapeur.

Le tableau ci-après montre les résultats des calculs à l'aide des courbes représentées ci-dessus, pour six détentes différentes que la machine permet d'obtenir, et met en évidence les grands avantages que procure l'emploi de la détente pour l'économie du combustible.

Quadrature de la courbe en millimètres carrés.	7,126	6,504	6,192	5,699	4,793	3,447
Travail développé par la vapeur par course...	$64,702^{km}$	$59,052^{km}$	$56,221^{km}$	$51,747^{km}$	$43,721^{km}$	$31,298^{km}$
Pression moyenne pendant l'admission par centimètre carré.....	$1^k,19$	$1^k,20$	$1^k,23$	$1^k,25$	$1^k,23$	$1^k,20$
Course du piston pendant l'admission.....	$1^m,952$	$1^m,676$	$1^m,317$	$0^m,927$	$0^m,617$	$0^m,321$
Poids de vapeur dépensé par course.....	$5^k,015$	$4^k,307$	$3^k,448$	$2^k,474$	$1^k,611$	$0^k,825$
Travail développé par kilogramme de vapeur.	$12,902^{km}$	$13,715^{km}$	$16,307^{km}$	$20,966^{km}$	$27,019^{km}$	$38,018^{mk}$
Travail par calorie.....	20	20	25	32	43	58

C'est sur les avantages des détentes prolongées que repose les grands progrès de la construction moderne. Ils sont rendus évidents par le tableau ci-dessus, en comparant les premières et dernières colonnes. Celles-ci indiquent un résultat bien plus avantageux de la vapeur, mais aussi que la consommation de travail intérieur de la machine doit être bien plus grand de ce qu'elle est pour les premières, le travail moteur étant bien moindre par course du piston.

Distribution de la vapeur. Le diagramme tracé par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le crayon de l'indicateur ne donne pas seulement la mesure du travail moteur total transmis au piston d'une machine, mais de plus, il fait connaître les pressions successives qui se produisent pendant que l'espace, dont ce piston forme la paroi mobile, communique soit avec la chaudière, soit avec le condenseur ; il met en évidence toutes les circonstances de la distribution de la vapeur et les vices qu'elle peut présenter. Cette étude a conduit à de grands progrès accomplis dans l'emploi de la vapeur, à l'amélioration de la distribution dont nous avons parlé à l'article AVANCE DU TIROIR.

Aujourd'hui toutes les machines sont réglées de manière à fournir des diagrammes analogues à ceux représentés ci-dessus, c'est-à-dire de manière à ce qu'il y ait *avance à l'échappement* et *avance à l'admission*. En effet, on voit que la courbe supérieure s'infléchit assez brusquement, ce qui résulte de ce que la sortie de vapeur est ouverte avant la fin de la course, de ce qu'il y a avance à l'échappement.

D'une autre part, on voit la ligne inférieure qui indique la pression résistante, provenant du condenseur, se relever rapidement avant la fin de la course rétrograde; ce qui provient de ce que l'orifice d'admission est ouvert un peu avant que le piston ne soit parvenu au bout du cylindre et recommence une nouvelle course. Par l'effet de cette avance à l'admission, l'espace nuisible est rempli et le piston marche un instant à *contre-vapeur;* par suite l'inertie des pièces, dont le mouvement va changer de sens, ne produit aucun choc dans les articulations ; enfin l'inertie de la vapeur, qui ne se met pas en mouvement instantanément, ne produit aucune résistance ou perte de pression.

L'avance à l'échappement peut avec avantage être poussée assez loin pour affranchir la machine des effets d'inertie de la vapeur à sa sortie, cause de consommation inutile de travail dans beaucoup de machines.

Il résulte d'une réglementation convenable, économie de travail, moindre usure de la machine. Il est clair, toutefois, que l'avance à l'admission qui fait naître un travail résistant, doit être renfermée dans des limites très-resserrées. L'examen des courbes tracées par l'indicateur montrera si on n'a pas dépassé le but. Il suffit en effet qu'à l'origine de la course la pression ait sensiblement la valeur normale qu'elle conserve pendant l'admission.

Eau entraînée avec la vapeur. Les courbes des diagrammes présentent très-souvent des irrégularités qui s'expliquent par une circonstance qui se renouvelle plus fréquemment qu'on n'eût pu le prévoir sans des observations directes sur le cylindre, nous voulons parler de la présence d'eau dans le cylindre, attribuée toujours autrefois à un entraînement de l'eau à l'état vésiculaire par la vapeur.

On conçoit que lorsque la soupape d'admission est brusquement ouverte, au moment où le mouvement du piston va changer de sens, si surtout le volume de l'espace nuisible, précédemment en communication avec le condenseur, est un peu considérable, le vide produit en un point de la chaudière fait naître une ébullition tumultueuse, fait dégager une multitude de bulles qui entraînent mécaniquement une grande quantité d'eau à l'état vésiculaire. Cette eau, dont la quantité augmente lorsque l'eau est séléniteuse naturellement, ou lorsqu'on a mis dans la chaudière, comme on le fait quelquefois, des substances visqueuses, se dirige vers le cylindre. Si donc, en outre, le réservoir de vapeur, la proportion du volume occupé par la vapeur dans la chaudière au volume occupé par l'eau n'est pas considérable, il entre une proportion notable d'eau liquide dans le cylindre.

Cette eau cause de fréquentes erreurs dans l'appréciation de la quantité d'eau vaporisée par une quantité déterminée de houille, qu'on suppose alors, à tort, égale à celle qui disparaît de la chaudière. C'est surtout par des proportions convenables de la chaudière, par la diminution de l'espace nuisible et la compression dans cet espace d'une petite quantité de vapeur, qu'on évite l'entraînement d'une quantité notable d'eau et le bouillonnement tumultueux qui lui donne naissance.

MACHINE A VAPEUR.

Farinaux, de Lille, a employé un appareil qui, d'après Le Châtelier, dessèche parfaitement la vapeur, et est infiniment supérieur aux boules et cloches percées de trous souvent essayées, qui laissent passer le mélange de vapeur et d'eau.

Cet appareil se compose d'un cylindre de $0^m,22$ de diamètre sur $0^m,80$ de hauteur, dans lequel la vapeur arrive, vers le haut, par un tuyau qui se recourbe verticalement pour descendre jusqu'à la partie inférieure; la vapeur est reprise par la partie supérieure du cylindre et conduite à la machine. Les gouttelettes d'eau entraînées, d'une plus grande densité que la vapeur, en sont séparées mécaniquement par leur projection de haut en bas et rentrent dans la chaudière, à la partie supérieure de laquelle est monté cet appareil, par un tuyau de retour d'eau, appliqué sur le fond inférieur du cylindre descendant dans l'eau de la chaudière.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS A LA MACHINE A VAPEUR.

L'étude théorique et pratique de la machine à vapeur, les efforts de nombre de constructeurs et de savants éminents ont conduit à de magnifiques résultats. Voyons comment on est y arrivé, et dans quelle voie il faut s'avancer pour faire mieux encore.

On peut considérer comme le résultat obtenu par les derniers progrès réalisés par la science des constructeurs, de dépenser environ 8 kilog de vapeur, par force et par cheval, avec des pressions de 5 à 6 atmosphères. Avec des générateurs très-bien établis on arrive à produire couramment cette quantité de vapeur surchauffée en brûlant 1 kilogramme de houille de bonne qualité, ne laissant pas au-delà de 10 pour 100 de cendres. Ce poids de vapeur représente environ 5,000 calories, et, comme le travail de 75 kilogrmmètres par seconde répond en une heure où 3600 secondes à

$$75 \times 3600 = 270\,000 \text{ kilogrammètres,}$$

on a $$\frac{270\,000}{5\,000} = 54 \text{ kilogrammètres}$$

pour le travail fourni par une calorie.

Tel est, dit M. Hirn, le travail le plus élevé qu'on ait pu obtenir jusqu'ici et qu'aient réellement constaté des expériences d'un caractère scientifique et consciencieux, comprenant la quantité de travail que le moteur a absorbé pour sa propre marche.

Nul doute que cette valeur pourra être dépassée notablement un jour; c'est ce que montre bien la théorie que nous cherchons a établir, mais ce ne sera qu'en surmontant de sérieuses difficultés pratiques.

Limites des pressions et de la détente. Le calcul fait plus haut, en essayant de corriger la formule du travail, conduit à déterminer l'étendue de la détente qui serait nécessaire pour utiliser aussi complétement que possible la chaleur incorporée dans la vapeur. Mais avant de montrer comment on y parvient, nous dirons qu'on établit généralement aujourd'hui, dans les ouvrages de thermodynamique, l'expression $\frac{t_2 - t_1}{a + t_2}$ pour la valeur de la fraction de chaleur maximum qu'on peut utiliser, t_2, t_1 étant les températures de la vapeur dans la chaudière et le condenseur, $a = 273$, c'est-à-dire la formule obtenue pour l'AIR CHAUD. Pour les limites $t_2 = 180°$, $t_1 = 0$, l'utilisation théorique possible n'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.

donc, d'après Hirn, que $\frac{180}{453} \times 425 = 169$ kilogrammètres par calorie.

On arrive directement à la formule précédente, sauf une plus grande valeur de a, en remarquant que la chaleur d'un kilogramme de vapeur dans la chaudière est de $606,5 + 0,305\ t_2$, et dans le condenseur $606,5 + 0,305\ t_1$; le rapport de la chaleur convertie en travail à la chaleur totale est donc égale à la différence de ces deux nombres, divisée par le premier, ou a :

$$\frac{0,305\ t_2 - 0,305\ t_1}{606,5 + 0,305\ t_2} = \frac{t_2 - t_1}{1970 + t_2} = \frac{t_2 - t_1}{A + t_2}.$$

On conclut de cette formule que l'utilisation complète de la chaleur ne serait complète que pour une valeur infinie de t_2, vis-à-vis de laquelle t_1 et A disparaîtraient, et le coefficient d'utilisation égal à 1. Celui-ci serait d'ailleurs d'autant plus grand que l'on adopterait de plus grandes valeurs pour t_2, celle de t_1 n'étant pas susceptible de variations étendues.

Mais ici, comme pour l'air chaud, pour un gaz permanent, on suppose que, malgré toute détente, toute la vapeur persiste à l'état gazeux, ce que l'expérience directe montre être faux. (Voy. ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR.) Voyons comment on doit raisonner pour la vapeur.

Partons d'une pression permettant deux doublements de volume, une détente de six fois le volume primitif, tout en conservant une pression supérieure à celle du condenseur, une pression de 5 atmosphères, par exemple.

Le travail théorique, en admettant la constance de la température et de la quantité de vapeur, c'est-à-dire la loi de Mariotte, serait

$$PV\ (1 + \log.\ 6) = 0,355 \times 5 \times 10330\ (1 + 1,80)$$

pour 1 kil. de vapeur, dont le volume de 0,355, on en effectuant le calcul 49,700 kilogrammètres. La chaleur de cette vapeur est $606,5 + 0,305 \times 152 = 652$ calories. Or, en divisant le nombre de kilogrammètres produit par l'équivalent mécanique de la chaleur, on a le nombre de calories consommées, soit dans ce cas $\frac{49700}{370} = 134$ calories, près du 5e de la chaleur totale. Cette évaluation est très-grossière, puisque la pression finale au lieu d'être 5/6 est inférieure à 5/6 $\left(1 - \frac{134}{652}\right)$, ou 4/6; mais elle suffit pour montrer comment *théoriquement* on pourrait utiliser toute la chaleur de la vapeur par une détente limitée, par suite de la propriété de la vapeur de se condenser quand elle travaille en se détendant. Admettant, par exemple, que la détente de l'exemple précédent utilise le 6e de la chaleur totale de la vapeur; si, au lieu d'employer de la vapeur seulement, on employait un mélange de 5/6 d'air chaud à cette pression, et 1/6 de vapeur, toute la chaleur de la vapeur serait utilisée par une détente de 6 volumes. Ce système nécessitant la compression préalable de l'air est défectueux pratiquement (nous en parlerons plus loin); nous ne le citons que comme indication d'un système tel qu'avec une détente limitée, on peut arriver à utiliser toute la chaleur de la vapeur, le travail de compression préalable de l'air étant théoriquement restitué, ses effets calorifiques pouvant être supposés utilisés.

Voyons quelles détentes on peut employer dans la machine usuelle.

Sans parler des températures de 5 à 600°, du rouge naissant, où les chaudières et les machines s'altéreraient par oxydation à l'air, ni de celle de 400°, qui détruit les huiles et par suite bientôt les pièces frottantes, une température de 300°, donnant une pression d'au moins 40 atmosphères, est presque impossible à utiliser avec des chaudières rivées de diamètre un peu notable. Ce n'est guère qu'avec des tubes en fer qu'on peut y parvenir, comme on l'a fait avec des chaudières Perkins, et malgré les difficultés du maniement des pressions considérables, il semble admissible que l'on puisse, un jour, arriver à une pression de 20 atmosphères correspondant à une température de 210°. On n'a toutefois réalisé pratiquement jusqu'ici que des pressions de 12 à 14 atmosphères, correspondant à des températures de 188 à 192°.

Les limites de la détente utile ne paraissent pas, d'après cela, devoir dépasser 20 fois le volume primitif pour ces pressions fort élevées, et être moindres pour des pressions moins considérables. Pour les plus fortes usitées, une détente de 12 à 14 fois, le volume primitif peut être considéré comme un maximum, d'autant plus que pratiquement il n'y a point lieu de pousser la détente jusqu'à la limite théorique indiquée par la température du condenseur, et il y a avantage à rester notablement en deçà du point où la puissance effective, c'est-à-dire l'excès de la pression sur la contre-pression, fait équilibre, sur le piston, aux résistances propres à la machine à vapeur.

Théorie fondée sur la consommation de la chaleur. Le mode de calcul indiqué plus haut peut servir à calculer le travail de vapeur de la machine, en partant des pressions pour calculer la chaleur disparue, qu'on cherche à constater directement dans les méthodes fondées sur la théorie mécanique de la chaleur. (Voy. MACHINE A VAPEUR, *Complément.*)

En réduisant en tableaux les pressions successives de la vapeur d'eau saturée et les quantités de chaleur correspondantes qu'elle possède (les lois physiques dont il s'agit ici sont trop complexes pour qu'on puisse comprendre les phénomènes dans une formule algébrique simple, comme la formule logarithmique qui résulte de la loi de Mariotte), on pourra tracer le graphique dont l'aire mesurera le travail, si on avait le volume exact de la vapeur admise. Un mode précis de la mesurer serait le plus grand service que l'on pourrait rendre aujourd'hui aux études sur la machine à vapeur, cette mesure viciant la plupart des calculs.

Influence des parois. La mesure des effets qui se produisent au contact de la vapeur et des parois métalliques du cylindre et des conduits de vapeur peut seule y conduire.

MM. Hirn et Leloutre ont rendu un grand service en déterminant, par des expériences délicates et difficiles, cet élément dont, avant eux, on méconnaissait l'importance. Je rapporterai ici les chiffres qu'ils ont obtenus.

1. *Machine à vapeur saturée de Watt (sans enveloppe).* Diamètre du cylindre $0^m,605$, course $1^m,702$, 1 coup par seconde. Pression 37773, température 140°,78. Le volume total offert à la vapeur est $0^{mc},1259$; la densité de la vapeur saturée à 140°,78 est $2^k,0409$. La dépense de vapeur devrait donc être de $0^k,2571$; elle était de $0^k,36947$. Il se condense donc

$$(0,36947 - 0.2571) : 0,36947 = 0,304,$$

soit 30 pour 100.

Voici l'analyse des faits donnée par M. Hirn:

Pendant la période d'admission, la vapeur qui afflue de la chaudière se trouve dans le cylindre en contact avec des parois parfaitement décapées, qui ont toujours et nécessairement une température inférieure à celle du gaz aqueux. La vapeur se condense donc contre elles par contact immédiat et non parce que toute sa masse se refroidit: sa pression, en conséquence, tend à baisser; mais, si les lumières et les conduites ont assez de section, la vapeur peut affluer assez vite pour que cet abaissement soit peu considérable, en dépit de l'accroissement rapide du volume engendré par le mouvement du piston et malgré la condensation partielle.

Lorsque l'afflux de la vapeur est coupé, les parois se trouvent donc recouvertes d'une couche d'eau plus ou moins considérable. Lorsque la détente commence et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que, par conséquent, la pression diminue, cette eau se met à bouillir vivement aux dépens de la chaleur que viennent de recevoir les parois pendant l'admission : il se produit donc plus de vapeur; mais en même temps la masse de la vapeur initiale, dont la pression diminue rapidement, *se trouble*, la quantité diminue. D'un autre côté, il est visible que le milieu du cylindre, c'est-à-dire la partie la plus éloignée des deux extrémités où se fait l'afflux de la vapeur, est nécessairement à une température inférieure aux températures maxima de ces extrémités; lorsque le piston est arrivé au milieu, ou l'a franchi, il peut se condenser de la vapeur contre ces parois et la masse diminuer par cette nouvelle cause. Ces changements de température relèvent visiblement de l'intervention des parois. Celle-ci se fait par un acte de contact direct, et nullement par une propagation de chaleur de proche en proche dans la masse totale de vapeur.

Lorsque la détente est terminée et que le tiroir d'échappement s'ouvre, la pression dans le cylindre s'abaisse instantanément. L'eau qui peut encore tapisser les parois du cylindre possède, ainsi que ces parois mêmes, une température de beaucoup supérieure à celle du condenseur; elle entre donc en ébullition et s'empare rapidement de la chaleur des parois. Cette cession de chaleur dérive donc enfin encore d'un effet de contact direct et non d'un effet de proche en proche dans la vapeur.

2. *Machine à vapeur à enveloppe ou chemise de vapeur.* La première machine de Watt, sans enveloppe, consommait 10^{k},5728 de vapeur par heure et par cheval. Une seconde machine, sous tous les rapports exactement semblable en dimension, en vitesse, en détente, en pression, etc., et ne différant de la précédente que par l'enveloppe de vapeur qu'elle avait de plus, n'a plus consommé que 8^{k},0617 par cheval et par heure. En d'autres termes, à égalité de travail produit, la seconde consommait 24 pour 100 de vapeur de moins que la première. Et, chose essentielle à faire ressortir, cette économie ne résultait point d'une diminution dans la dépense de vapeur en un temps donné, mais d'un accroissement dans le travail fourni; toute l'économie dérivait d'un surcroît de travail donné par la détente sous l'influence de l'enveloppe. Dans le premier cas, en effet, les diagrammes de l'indicateur constataient 2417^{km},4 par coup de piston pour le travail de la détente; dans l'autre cas, ils donnaient 3,317 kilogrammètres.

M. Hirn, poursuivant l'analyse des causes de ce résultat considérable, a trouvé que dans la première machine 28 pour 100 de la chaleur étaient envoyés au condenseur en pure perte, et qu'avec la machine à enveloppe 5 pour 100 seulement étaient ainsi sacrifiés. Il s'agit ici, bien entendu, seulement de la chaleur cédée par les parois et non de celle que la vapeur, en toute hypothèse, apporte naturellement au condenseur.

Ceci montre bien clairement le rôle et les grands avantages de l'enveloppe. Que l'enveloppe fonctionne ou non, une partie très-notable de la vapeur admise au cylindre se condense pendant l'admission et cède de la chaleur aux parois. Cette chaleur est employée ensuite : 1° pendant l'acte de la détente; 2° pendant celui de la condensation. Quand l'enveloppe fonctionne, *elle avance le moment de la vaporisation de la vapeur condensée*, et la plus grande partie de cette chaleur est consacrée à augmenter le travail de la détente. Quand l'enveloppe est supprimée, la plus grande partie de cette chaleur est, au contraire, dépensée en pure perte pendant la condensation.

M. de Frominville, dans son *Cours de machines à vapeur marines*, a rendu palpables ces effets de la condensation sur les parois en posant des chiffres. Nous lui emprunterons le passage qu'il consacre à ce sujet.

Supposons, dit-il, que le cylindre renferme une certaine quantité d'eau, et voyons ce qui va se passer pendant un tour complet de la machine, en laissant de côté, pour le moment, ce qui concerne l'action des parois métalliques que nous supposerons complétement inertes.

Soient n le nombre de litres d'eau contenus dans le cylindre à la fin de la course;

T la température de cette eau, qui est évidemment celle de la vapeur affluente;

t' la température du condenseur;

λ la chaleur totale de la vapeur d'eau.

Pendant le temps que le cylindre communique au condenseur, la masse d'eau n, en contact avec un milieu à une faible pression et à une température relativement basse, entre en ébullition, et il s'en évapore une quantité x telle que la masse restante $(n - x)$ soit à la température t' du condenseur, et l'on a, entre les quantités de chaleur, l'égalité suivante :

$$n\,T = (n - x)\,t' + x\,\lambda;$$

d'où

$$x = n\,\frac{T - t'}{\lambda - t'};$$

il reste au fond du cylindre une masse d'eau $(n - x)$ à la température t', et à cet instant on introduit de nouveau la vapeur; celle-ci étant en contact avec de l'eau relativement froide, il s'en condense une certaine quantité x', jusqu'à ce que la température de la masse finale $n - x + x'$ soit égale à T, et l'on a entre les quantités de chaleur la nouvelle :

$$(n - x + x')\,T = (n - x)\,t' + x'\,\lambda;$$

d'où

$$x' = (n - x)\,\frac{T - t'}{\lambda - T};$$

mais de la relation précédente on tire :

$$(n - x) = \frac{\lambda - T}{T - t'}\,x;$$

par suite :

$$x' = x\,\frac{\lambda - T}{T - t'} \times \frac{T - t'}{\lambda - T} = x;$$

par conséquent, la quantité de vapeur condensée lors de l'arrivée dans le cylindre, est égale à la quantité d'eau vaporisée pendant la communication au condenseur, et la masse d'eau existante primitivement dans le cylindre reste constante.

Si, dans l'expression de x, on fait $T = 110^{0}$, $t' = 50^{0}$, $\lambda = 650^{0}$, il vient : $x = n\,\frac{60}{600} = 0{,}1\,n$; le poids de vapeur condensé à chaque introduction et envoyé au condenseur sans avoir produit aucun travail, est égal au dixième de la masse d'eau restante dans le cylindre. Voyons, par exemple, qu'elle serait l'importance de la perte de la vapeur dans une machine dont les dimensions principales et les conditions de régime seraient les suivantes :

Diamètre du cylindre	1^{m},40
Surface du piston	1^{m2},50
Course du piston	1^{m},40
Fraction de cours d'introduction	0,50
Tension de la vapeur à la fin de l'introduction (en sus de l'atmosph.	0^{m},14
totale	0^{m},90
Poids de 1^{m3} de vapeur à cette pression	700 gr.
Volume de vapeur dépensé à chaque coup de piston 1^{m2},50 × 0,70 =	1,050 lit.
	700 gr.
Poids	0^{l},7
Volume d'eau correspondant	

Supposons que sur le fond du cylindre il existe une couche d'eau de 5 millimètres, c'est une hypothèse bien admissible, cette couche d'eau répartie sur la surface de 1^{m2},50 représente 7 litres; d'après ce que nous avons établi, la quantité de vapeur condensée à chaque coup de piston sera le dixième de cette quantité, ou 0^{l},7 ou 700 grammes, précisément la quantité de vapeur nécessaire pour alimenter le cylindre. Par conséquent,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans ces conditions, *la dépense de vapeur sera doublée*. On comprend donc combien il importe de prévenir l'accumulation d'aucune quantité d'eau dans l'intérieur du cylindre, ce qui a fait adopter des appareils purgeurs, pour la plupart des grandes machines des navires mues par des hélices notamment. On a percé sur la paroi du cylindre, aux extrémités de la course, de petits orifices susceptibles d'être mis en communication avec le condenseur au moyen de tiroirs spéciaux recevant le mouvement du tiroir principal, et réglés de manière à tenir l'orifice fermé pendant tout le temps de l'introduction, et de l'ouvrir en grand dès le commencement de la communication au condenseur, de cette manière les eaux s'échappent immédiatement à l'état liquide et s'écoulent au condenseur sans avoir le temps de se vaporiser en refroidissant les parois métalliques.

Pour que les condensations de vapeur aient toute l'importance que nous venons de signaler, il n'est pas nécessaire que la quantité d'eau condensée dans les cylindres soit aussi grande que nous l'avons supposée tout à l'heure, il suffit que le poids de cette eau soit égal seulement à celui de la vapeur débitée à chaque coup de piston; dans cette hypothèse, si l'on suppose la couche d'eau répartie sur la surface du cylindre, y compris le fond et le piston, elle devient d'une ténuité excessive. Ainsi, dans l'exemple précédent, ce serait 7 dixièmes de litre répartis sur une surface de 9 mètres carrés, ce qui lui assignerait une épaisseur de 8 centièmes de millimètre; c'est quelque chose de comparable à l'épaisseur de la brume que l'haleine dépose contre une vitre. Une semblable couche d'eau pourra se produire toutes les fois que la température des parois du cylindre sera légèrement inférieure à celle de la vapeur affluente, ainsi que cela a toujours lieu dans la marche régulière. Supposons donc toute la paroi intérieure du cylindre tapissée de cette couche d'eau de 0,08 de millimètre d'épaisseur; pendant la communication au condenseur, les choses se passeront d'abord comme dans le cas précédent, c'est-à-dire que 1 dixième de la masse d'eau se vaporisera aux dépens de sa chaleur initiale et que les 9 dixièmes restants seront ramenés à la température du condenseur; mais à cet instant le phénomène de la vaporisation ne s'arrêtera pas, la couche d'eau froide empruntera de la chaleur à la paroi métallique qui se trouve primitivement à la température de la vapeur, et se vaporisera jusqu'à ce que toute la masse métallique soit ramenée à la température du condenseur, ou, tout au moins, jusqu'à ce que cette masse métallique soit refroidie pour que la quantité de chaleur abandonnée suffise à la vaporisation de toute la masse liquide.

Les choses étant en cet état lorsque la vapeur pénètre de nouveau dans le cylindre, elle se condense en abandonnant de la chaleur qui réchauffe le métal jusqu'à ce que toute la masse refroidie et l'eau de condensation soient ramenées à la température de cette vapeur affluente; la quantité de chaleur restituée ainsi provient de la condensation d'un poids de vapeur, qui est évidemment égal au poids d'eau vaporisée antérieurement et, par conséquent, dans l'hypothèse où nous sommes placé, cette quantité condensée sera précisément égale à celle que consommerait le cylindre dans sa marche régulière.

Cet effet n'aurait pas lieu si, au moyen d'une source de chaleur indéfinie, on parvenait à maintenir les parois métalliques du cylindre à une température égale à celle de la vapeur affluente. C'est dans ce but qu'on emploie les enveloppes de vapeur.

Enveloppes à circulation de vapeur. Je compléterai cette étude par une note lue par moi à ce sujet à la Société d'Encouragement.

L'utilité des enveloppes de vapeur, autour des cylindres des machines à vapeur à détente, est parfaitement constatée aujourd'hui, et des économies de 20 à 25 pour 100 résultent, le plus souvent, de leur emploi dans des machines où la détente de la vapeur est portée à trois ou quatre fois le volume primitif. J'ai donné à l'article MACHINES A VAPEUR du *Complément* un expérience de M. Hirn, faite sur une machine de Woolf de 100 chevaux, où la vapeur entrait à une pression de 3,75 atmosphères, où la détente était de 4,32 du volume primitif, dans le grand cylindre, une économie de 23,5 pour 100, lorsqu'on faisait passer de la vapeur de la chaudière dans l'enveloppe.

L'eau condensée dans l'enveloppe, à la température de 142 degrés, était de $0^k,0381$ par coup de piston, répondant à 19 calories, pendant que la vapeur reçue par le petit cylindre en renfermait

$$0^k,4125 \times 644 = 266 \text{ calories},$$

c'est-à-dire que la valeur de la chaleur de la vapeur reçue dans le cylindre produisant 79 chevaux est à celle de l'enveloppe produisant 24 chevaux dans le rapport de $\frac{266}{15} = 14$, pendant que celui du travail est $\frac{79}{24} = 3,3$, c'est-à-dire que cette dernière donne des résultats *quatre fois plus grands* que celle qui agit dans une bonne machine à vapeur à détente, mais sans enveloppe de vapeur. Et encore la détente est-elle, dans ce second cas, moins prolongée qu'elle ne pourrait l'être.

On voit donc que les enveloppes, dont l'utilité est nettement établie par les chiffres ci-dessus, fournissent le moyen, à l'aide de la vapeur qui y est renfermée, de transmettre aux parois du cylindre et à la vapeur qui s'y détend et s'y refroidit par suite, pour atteindre plus tard la pression limite déterminée par celle du condenseur, une quantité de chaleur qui peut être considérée comme *très-bien utilisée*, comme presque complétement convertie en travail mécanique.

Pour établir cet important principe, il faut analyser la production du travail mécanique par la détente de la vapeur.

Lorsque celle-ci se produit, elle pousse le piston avec des pressions décroissantes, et il disparaît une quantité de chaleur équivalente au travail engendré. Dans une machine à air chaud (et c'est là la grande cause d'infériorité de ce genre de machines) la température et la pression baissent rapidement. Dans une machine à vapeur, l'effet est différent; la vapeur saturée ne peut se refroidir en produisant du travail, sans qu'une petite partie se liquéfie et la chaleur latente que dégage celle-ci rend plus lent l'abaissement de température et la diminution de pression.

Si l'on suppose le cylindre à vapeur suffisamment long, cette action se continuera avec la détente, de manière à utiliser la presque totalité de la chaleur latente de la vapeur, à la convertir presque entièrement en travail mécanique.

Mais ceci n'est que purement théorique; les pressions minimes et les volumes énormes dont il s'agit ici ne sont nullement utilisables. La machine travaille dans un milieu à une pression déterminée, et, par suite, les pressions inférieures à celle-ci sont absolument inutilisables. De plus, les pressions initiales sont également limitées par diverses conditions, notamment la nature du métal qui sert à fabriquer les chaudières où se forme la vapeur et qui est exposée à l'action du feu. Une pression initiale ne dépassant guère 5 atmosphères, et une pression finale d'une atmosphère ou 0,50, suivant qu'on emploie ou qu'on n'emploie pas de condenseur, sont des limites dont on sort peu. Des détentes de trois à quatre fois le volume primitif sont les seules qui se rencontrent un peu fréquemment et des détentes de huit ou dix fois les volumes primitifs, les plus grandes qu'il paraisse possible de réaliser pratiquement.

Il n'est pas besoin d'insister sur ce point pour en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déduire que la machine à vapeur *pratique* ne permet pas d'utiliser toute la détente *théorique* qui répond à la conversion complète de la chaleur en travail mécanique.

Ceci établi, il est facile de reconnaître ce qui arrive si, par l'action d'une source extérieure de chaleur, on réchauffe les parois du cylindre rapidement refroidies par l'effet de la détente, d'autant plus qu'elles se sont recouvertes d'eau condensée à leur surface, lors de l'arrivée de la vapeur, à cause de la perte de chaleur subie par la vaporisation de celle-ci, lorsque la pression est devenue presque nulle, lors de l'établissement de la communication avec le condenseur. Si on réchauffe la vapeur à mesure qu'elle se détend pendant qu'elle est en pression, il est évident que la température et la pression augmentant par suite de cet échauffement, le travail sera plus grand pour une même course du piston, mais, de plus, la détente pourra être poussée plus loin, avant d'atteindre la limite fixée par la pression au condenseur, ce qui permettra d'utiliser une plus grande partie de la chaleur appartenant à toute la vapeur du cylindre. De ce fait, on obtiendra *pratiquement* un véritable gain de travail et de chaleur inutilisée auparavant. C'est ce que le tracé des courbes de détente, dans les deux cas, permet de reconnaître bien clairement: *ab* (fig. 14) étant la courbe de détente sans enveloppe, *ac* la courbe avec enveloppe, *bd* la pression finale, *be* une horizontale, *abdec* sera le travail produit par le réchauffement et l'accroissement de détente que l'augmentation de pression rend possible.

On voit comment la quantité de chaleur transmise à travers les parois pendant la détente, peu considérable par rapport à la chaleur latente de la vapeur qui remplit le corps de pompe, mais non par rapport à celle qui est réellement utilisée, doit être considérée comme convertie presque complétement en travail, tant par les accroissements *relatifs* de pression qu'elle fait naître que par une plus longue détente que le réchauffement permet d'obtenir et qui utilise un travail de toute la vapeur du cylindre, ce qu'il eût été impossible de faire sans ce réchauffement; enfin parce quelle diminue la quantité de vapeur inutilement admise dans le cylindre, par suite de sa condensation à l'entrée, sur les parois refroidies.

Il est difficile de déterminer les pressions successives avec assez de précision pour calculer l'effet et la dépense des enveloppes; mais ce qui précède nous paraît démontrer l'exactitude de la proposition énoncée plus haut: *que, en employant toute la détente possible, la chaleur de réchauffement transmise par les enveloppes est parfaitement utilisée.*

Ce serait un grand progrès que celui qui permettrait d'augmenter l'action des enveloppes de vapeur, car c'est la seule voie que nous connaissions pour obtenir une aussi bonne utilisation d'une certaine quantité de chaleur. A cela on doit ajouter que la disposition actuelle est reconnue être insuffisante dans la pratique pour les machines à longue détente. Ainsi, tandis que des machines de Woolf, où la vapeur agit en pleine pression sur le petit piston et se détend sous le grand de trois à quatre fois le volume initial donnent d'excellents résultats, dans lesquels l'action de l'enveloppe entre pour une bonne part, bien nettement constatée, des machines semblables dans lesquelles on commence la détente dans le petit cylindre, de manière à obtenir des détentes de huit à dix fois le volume primitif, ne donnent pas des résultats meilleurs pour la même quantité de vapeur.

Il nous semble difficile de ne pas conclure de ce fait d'expérience qu'il est dû à l'action trop limitée de la vapeur de l'enveloppe; que si son effet de réchauffement pouvait être augmenté dans le second cas, surtout pour de gros cylindres dont le volume croît plus rapidement que les surfaces, de plus longues détentes produiraient une grande économie, relativement à celles assez peu étendues auxquelles l'expérience a montré qu'il y avait avantage à se limiter dans l'état actuel des constructions mécaniques.

Nous poserons donc, comme un *desideratum* démontré, l'augmentation de l'action de réchauffement, déjà si utile, à obtenir de la vapeur renfermée dans les enveloppes. La chose est-elle possible?

Cherchons d'abord comment les phénomènes se produisent avec la disposition actuelle:

L'enveloppe consiste en un cylindre en fonte entourant le corps de pompe dans lequel se meut le piston. L'intervalle de section circulaire qui règne entre les deux cylindres est rempli de vapeur arrivant de la chaudière par un tuyau assemblé avec la chemise extérieure. La vapeur stationnaire dans cet espace, lorsque la machine est au repos, enveloppant le tiroir, se précipite par le conduit que vient d'ouvrir le mouvement de celui-ci. Quel chemin suit la vapeur? Évidemment elle se précipite du tuyau d'arrivée vers le tiroir, parcourant en général la section du milieu du cylindre et laissant les extrémités enveloppées d'une vapeur stagnante à demi refroidie, surtout au voisinage du cylindre, et n'ayant plus qu'une faible action de réchauffement. En un mot

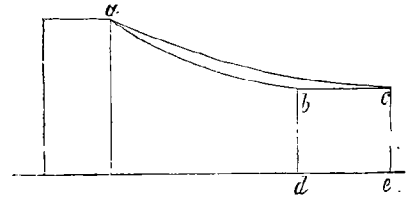


Fig. 14.

on se trouve tout au plus dans la condition des appareils de chauffage à la vapeur, dans lesquels on fait arriver celle-ci dans un double fond. Or cette disposition dans laquelle la première couche d'eau condensée arrête la transmission de la chaleur, est très-inférieure à celle d'un serpentin, et Péclet rapporte une expérience de Thomas et Laurens, dans laquelle un serpentin produit un effet quadruple de celui d'un double fond pour une même chaudière, résultat confirmé par les expériences faites sur les tubes des condenseurs à surface. Dans le cas actuel où l'on ne peut changer l'étendue de la surface de chauffe, ni simplement au moins, la différence des températures (inutile de parler des gaz de la combustion, qui n'ont qu'une faible chaleur spécifique et dont l'emploi n'a donné que des mauvais résultats), c'est évidemment dans le remplacement de la vapeur stagnante par de la vapeur en mouvement que l'on doit chercher le moyen d'augmenter l'effet des enveloppes.

Le progrès qui vient d'être indiqué sera facilement réalisé et les habiles constructeurs de machines à vapeur trouveront aisément les dispositions les plus convenables pour les divers systèmes, encore bien qu'il y ait ici des difficultés d'exécution.

Leur point de départ commun devra consister en cloisons héliçoïdales fondues avec le cylindre à vapeur et qui, tournées et enveloppées par la chemise extérieure, d'un plus grand diamètre qu'aujourd'hui, formeront les spires du serpentin que devra parcourir la vapeur, ces cloisons augmentant d'ailleurs la surface de chauffe, comme le font les ailettes dans le calorifère Gurney.

Nous ne parlerons que de deux systèmes principaux de machines. Le premier (fig. 15) sera celui des machines ayant deux tiroirs d'admission aux extrémités du cylindre à vapeur. L'arrivée du tuyau venant de la chaudière devra déboucher au milieu du cylindre et y rencontrera deux spires, l'une ascendante, l'autre descendante,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour fournir la vapeur circulant sans difficulté dans de larges conduits à chacun des deux tiroirs.

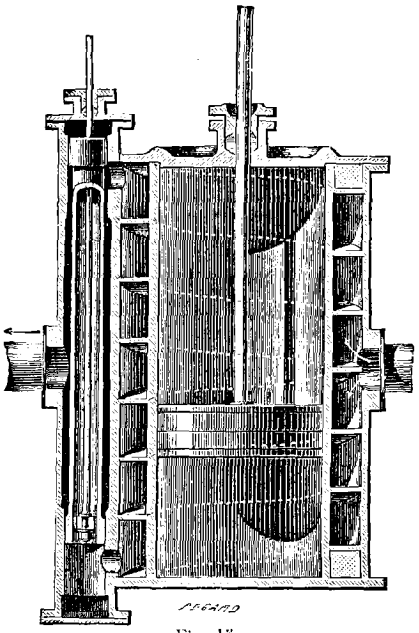


Fig. 15.

Le second système (fig. 16) est celui des machines qui

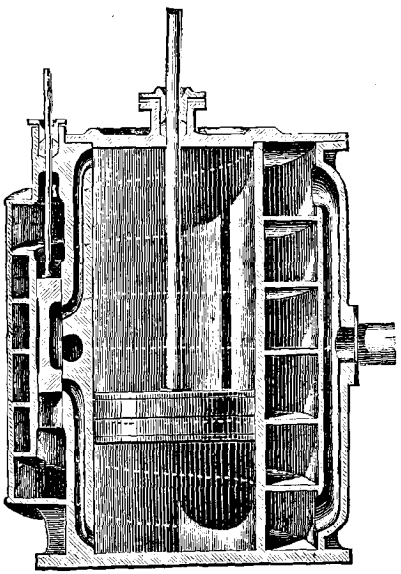


Fig. 16.

n ont qu'un tiroir au milieu du cylindre. L'arrivée de la vapeur sera placée de même, seulement les deux hélices

voisines seront coupées pour permettre de pratiquer un conduit vertical amenant la vapeur vers les fonds du cylindre. De là partiront deux spires inversement inclinées et se terminant toutes deux, après un nombre de révolutions en raison de la hauteur du cylindre, vers le tiroir interceptant les communications entre les deux séries de spires.

Par suite de la vitesse considérable donnée aujourd'hui aux pistons des machines cette disposition répond à une circulation rapide de la vapeur. Ainsi un conduit hélicoïdal adapté à un cylindre de 0m,75 de diamètre, aura 2,35 par tour, soit 11m,35 pour cinq spires. C'est le chemin que parcourra la vapeur par seconde pour une vitesse d'un coup de piston dans le même temps. Dans quelques cas, on pourra rendre continu le mouvement de la vapeur, l'employer, par exemple, à alimenter un injecteur Giffard, quand celui-ci est employé pour l'alimentation de la chaudière.

Machine de Woolf. Tout ceci se rapporte aux machines à longues détentes, et nous reviendrons à ce propos sur la machine de Woolf, décrite à la partie historique, qui est éminemment propre aux longues détentes, et peut être prise comme le type le plus propre à les utiliser, offrant entre autres avantages que le petit cylindre n'étant jamais en rapport avec le condenseur, le refroidissement dû à cette cause est supprimé. Ce n'est pas seulement le grand volume des cylindres qui rend la machine de Woolf propre aux longues détentes, car il suffit d'allonger la course du piston ou le diamètre du cylindre d'une machine à un seul cylindre pour obtenir le même effet, c'est encore parce que les deux tiges des pistons agissant en même temps sur le balancier, l'effort moyen est bien plus régulier, varie dans d'étroites limites et par suite la régularité du mouvement est très-grande. C'est ce qui a fait le succès de ces machines pour les filatures et autres usines où les variations de vitesse sont nuisibles à la perfection de l'opération industrielle.

La figure 17 donne l'ensemble de cette machine :

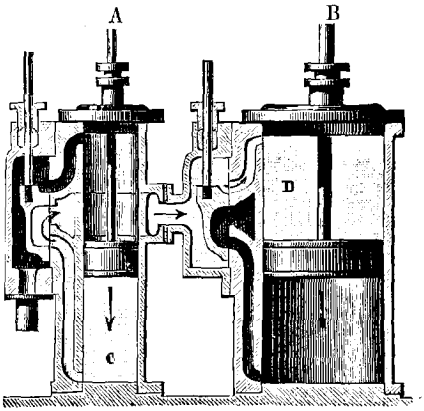


Fig. 17.

entrons dans quelques détails sur son fonctionnement.

Soit A le premier cylindre qui reçoit seul la vapeur venant du générateur: la vapeur qui en sort, au lieu de s'échapper à l'air ou dans un condenseur, est conduite à la boîte de distribution d'un second cylindre B d'une plus grande capacité que le premier A, et qui seul communique le condenseur. Les deux pistons étant habituellement réunis à un même parallélogramme accomplissent leur course simultanément.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est presque évident que le travail développé par une même quantité de vapeur est le même, que l'on fasse usage, pour obtenir le même degré de détente, d'une machine à un cylindre ou d'une machine à deux cylindres. On peut le démontrer très-simplement.

A et B étant les deux cylindres, C et D les espaces dans lesquels est confinée la vapeur. Pour un petit mouvement des pistons pendant lesquels ils s'avancent chacun de quantités infiniment petites, h et h', la vapeur développe, dans le même temps, sur le grand piston une certaine quantité de travail, et une autre sur le petit, dont on doit diminuer celle engendrée par le grand comme résistance, pour avoir l'expression du travail réellement utilisable.

Appelant :

S la superficie du grand piston ;

h' l'étendue rectiligne de son mouvement ;

s la superficie du petit piston ;

h l'étendue rectiligne de son mouvement ;

p la pression commune, par unité de surface, pendant cet avancement infiniment petit des deux pistons;

P la pression de la vapeur agissant par action directe sur le petit piston venant du générateur.

La quantité de travail développée sera :

$$Psh - psh + pSh' = Psh + p\,(Sh' - sh).$$

Or le facteur $Sh' - sh$ exprime précisément l'accroissement de volume de la vapeur au moment considéré ; par conséquent, chaque quantité partielle de travail développé par la détente de la vapeur est bien proportionnelle, dans la machine à deux cylindres, à son accroissement partiel du volume, ce qu'il s'agissait de démontrer.

Donc, que l'on fasse usage de deux cylindres ou d'un seul, la quantité de travail sera la même, pour un même accroissement de volume de la vapeur, en partant, bien entendu, d'une même pression initiale.

Espace nuisible. Système Combes. Lorsque la communication s'établit entre les deux cylindres, la pression éprouve un abaissement subit par suite de la grandeur des conduits qui conduisent la vapeur du petit cylindre au grand ; il n'y a pas là de travail résistant, mais perte de pression, forçant à limiter la pression plus qu'on ne le ferait sans cela.

Les conduits ne sont pas seuls cause de cet effet ; la nécessité de laisser un certain intervalle notable entre les positions extrêmes du piston et les fonds du cylindre, pour que par le moindre défaut d'ajustement, par le moindre desserrage il n'y ait pas choc et rupture, contraint à laisser dans les machines un volume d'espace nuisible, qui dans les machines les mieux établies s'élève encore à $\frac{1}{48^e}$ ou $\frac{1}{20^e}$ du volume total engendré par le piston.

Cet espace nuit, d'une part, en faisant perdre le travail mécanique dû à la pression initiale et au volume de la vapeur qui le remplit, et, d'autre part, en ce qu'il rend impossible de porter fort loin la détente. Ainsi, quand il s'élève à $\frac{1}{10^e}$ du volume engendré par le piston, le volume final de la vapeur ne peut dépasser dix fois son volume primitif.

Dans la pratique, l'existence forcée de l'espace nuisible ne permet guère de laisser la vapeur se dilater au delà de douze fois son volume primitif dans les machines qui n'ont qu'un seul cylindre. On trouve peu d'avantage à trop se rapprocher de la limite possible, car on augmente proportionnellement au volume de vapeur employée, la perte de travail due à la pression initiale de la vapeur, dont la plus grande partie est alors logée dans l'espace nuisible.

On peut dans les machines à deux cylindres, par une ingénieuse disposition proposée par M. Combes, annuler l'influence nuisible de l'espace compris entre le piston arrivé à la limite de sa course et la soupape d'admission.

« Je suppose, dit M. Combes, auquel nous empruntons cette théorie, que l'espace nuisible du petit cylindre soit la fraction $\frac{1}{\mu}$ du volume engendré par la course complète du petit piston, et que la vapeur soit admise pendant la fraction $\frac{1}{m}$ de cette course. L'espace engendré par la course du petit piston étant pris pour unité, le volume occupé par la vapeur au moment où l'admission sera supprimée sera $\frac{1}{\mu} + \frac{1}{m}$, et le rapport entre la quantité de vapeur occupant l'espace nuisible et la vapeur totale, sera de $\frac{1}{\mu}$ à $\frac{1}{\mu} + \frac{1}{m}$ ou de m à $m + \mu$.

« Or, si l'on conçoit que pendant la course du piston en sens opposé, on ferme la communication entre l'extrémité du petit cylindre et l'extrémité opposée du grand, au moment où le volume compris entre le petit piston et la soupape placée dans le tuyau de communication sera au volume total occupé par la vapeur dans les deux cylindres et le tuyau de communication dans le rapport de m à $m + \mu$, les deux pistons continuant à avancer, la vapeur enfermée dans le petit cylindre sera comprimée par le piston et réduite dans un espace de plus en plus rétréci, jusqu'à ce que le piston ayant rempli sa course rétograde, elle n'occupe plus que le volume $\frac{1}{\mu}$. Durant cette compression, sa force élastique aura été en croissant, et il est clair qu'à la fin de la course du piston, lorsqu'elle sera confinée dans l'espace nuisible $\frac{1}{\mu}$, sa force élastique sera devenue égale à la force élastique initiale, puisqu'il y aura, d'après l'hypothèse, sous le même volume, précisément la même quantité de vapeur.

« Si les choses se passent ainsi, l'espace nuisible se trouve en fait annulé et la vapeur affluente occupera simplement le volume $\frac{1}{m}$ comme si l'espace nuisible n'existait pas. »

Remarquons aussi que le travail nécessaire pour la compression de cette vapeur est restitué par la détente de celle-ci, qu'elle opère comme le ferait un ressort successivement bandé et détendu.

Machine à vapeur surchauffée. M. Hirn a fait fonctionner la machine de Woolf, dont il est parlé plus haut, dans des conditions identiques, c'est-à-dire sans rien changer à la détente, à la vitesse, à la pression, etc., successivement avec de la vapeur saturée et de la vapeur surchauffée. La condensation de la vapeur par contact des parois se produisait également dans les deux cas, la perte au condenseur était seulement un peu moindre avec la vapeur surchauffée. (V. SURCHAUFFE, *Complément.*)

MACHINES A VAPEURS COMBINÉES.

Une des tentatives les plus curieuses de perfectionnement de la machine à vapeur est celle qui a été tentée par M. Du Tremblay. Sous le nom de Machine à éther, à chloroforme, à vapeurs combinées, il a établi un genre de machine à vapeur devant procurer une économie de moitié du combustible actuellement nécessaire avec la machine à vapeur ordinaire, pour produire une même quantité de travail.

Disons d'abord en quoi consiste cette machine : nous emprunterons ensuite au prospectus de la Société qui exploitait l'invention de M. Du Tremblay l'indication des résultats qu'on espérait en obtenir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Soit une machine à vapeur ordinaire dont le condenseur à eau est remplacé par un condenseur de Hall, c'est-à-dire formé d'une capacité fermée, traversée par un faisceaux de nombreux tubes parallèles. Si dans ceux-ci se trouve un liquide pouvant se réduire en vapeur à une basse température, tel que l'éther, le chloroforme, le sulfure de carbone, la chaleur de la vapeur étant absorbée par la chaleur latente de ce liquide qui se réduit en vapeur, la vapeur d'eau est condensée. Le condenseur devient une véritable chaudière de vapeur d'éther, de chloroforme, et cette vapeur, après avoir servi à faire marcher le piston d'une seconde machine, sera reçue dans un condenseur analogue au premier, sauf que ce sera à l'aide d'eau froide que la vapeur d'éther sera condensée. Par le jeu d'une pompe, le liquide sera ramené au premier condenseur et l'opération se continuera indéfiniment.

« La machine à vapeurs combinées, disent les inventeurs dans un de leurs prospectus, marche par l'action de deux vapeurs distinctes, dont l'une est produite par la condensation de l'autre, et a pour but l'économie du combustible. Ces deux vapeurs agissant isolément et sans jamais se mélanger, cette machine se compose nécessairement soit de deux cylindres accolés comme dans le système connu de Wolf, ou isolés comme dans la machine de MM. Clément-Desormes et C°, soit de deux machines conjuguées comme celles dont on se sert pour la navigation. Dans l'un ou l'autre cas, l'un des pistons est mû par la vapeur d'eau, et le deuxième par la vapeur auxiliaire d'un liquide plus facilement vaporisable, bouillant à une température qui ne doit pas dépasser 72 degrés centigrades, et doit remplir certaines conditions que j'indiquerai plus bas. La vapeur d'eau est produite et employée comme dans les machines ordinaires à condensation ; seulement, au lieu d'être envoyée à son échappement dans un condensateur à injection, elle est amenée dans une boite parfaitement étanche, contenant un appareil appelé vaporisateur, lequel se compose d'un certain nombre de petits tubes métalliques remplis d'un liquide facilement vaporisable, tel que l'éther sulfurique, le chloroforme, le chlorure de carbone, etc. Cette vapeur remplit l'espace qui les divise, et entre en contact avec la totalité de leur surface. La faculté que possèdent les liquides de la nature ci-dessus d'absorber avec une extrême rapidité le calorique en passant en vapeur à une basse température, leur fait remplir vis-à-vis de la vapeur d'eau qui les environne le véritable office d'un condenseur. Ils lui enlèvent, à travers les surfaces qui les contiennent, le calorique latent et spécifique qui la fait subsister, et la réduisent à l'état de vapeur sous une pression proportionnelle à la température de la vapeur chauffante. La vapeur d'eau ainsi condensée est retirée au moyen d'une pompe à air qui maintient le vide dans l'enveloppe du vaporisateur où elle se condense, et reportée sans mélange et parfaitement distillée comme alimentation à la chaudière d'eau. La vapeur du liquide qui a servi à condenser la vapeur d'eau est amenée sous le piston du deuxième cylindre, d'où, après avoir exercé sa force élastique, elle s'échappe dans un condensateur par contact qui la réduit à l'état liquide. Le résultat, ramené par le moyen d'une pompe au vaporisateur, lui sert d'alimentation constante et est alternativement vaporisé et condensé. On voit donc que dans ce système la vapeur d'eau agit d'une double manière: la première, comme moteur par sa force élastique; la seconde, comme chauffage d'un liquide produisant lui-même par sa vaporisation une nouvelle force motrice, qui vient ajouter son travail à celui déjà produit de la vapeur d'eau.

« Les différentes épreuves qui ont été faites par des commissions nommées soit par le gouvernement, soit par l'industrie particulière, ont constaté que la deuxième vapeur produite par l'un des trois liquides ci-dessus nommés, par la condensation de la vapeur d'eau, était toujours en quantité et à pression au moins égales à celle-ci; d'où il résulte clairement ou une augmentation de force du double pour la même dépense, ou un bénéfice de plus de 50 p. 100 dans l'emploi du combustible pour une force donnée. On comprend aussi que l'économie annoncée étant le résultat de l'emploi nouveau de la chaleur de la vapeur d'eau, à l'instant même de sa condensation, qui passe dans un liquide plus facilement vaporisable dont elle développe la force expansive, on conçoit, dis-je, que cette économie est indépendante des chaudières, fourneaux et divers systèmes plus ou moins parfaits de machines. Le liquide à employer doit bouillir au-dessous de 72 degrés centigrades, et plus son point d'ébullition sera peu élevé, plus son emploi sera avantageux; il ne doit pas se décomposer au-dessous de 110 à 120 degrés centigrades, ne contenir aucun acide capable de corroder les divers métaux qui composent la machine, et autant que possible ne donner lieu à aucuns mélanges inflammables ou explosibles. Jusqu'ici le chloroforme, dont l'application est due à M. Lafond, et le chlorure de carbone, employé pour la première fois à Londres par M. Du Tremblay, remplissent seuls toutes ces conditions; sauf la dernière, l'éther sulfurique leur est bien préférable, et sera avantageusement employé partout où l'on pourra aérer ou isoler les machines. Le prix de ces liquides, celui du chlorure de carbone surtout, est assez peu élevé (2 fr. 50 c. le litre) pour que la légère perte qu'on en fait ne puisse entrer en ligne de compte; cette perte, pour une machine de 25 chevaux travaillant douze heures par jour, a été justifiée, pendant dix-huit mois de marche, avoir été de trois quarts de litre par jour. Du reste, la chimie trouvera sans doute ou de nouveaux liquides, ou le moyen d'abaisser le prix de ceux qui sont actuellement en usage.

« Cette invention peut s'appliquer à peu de frais à toutes les machines existantes, à haute ou basse pression, avec ou sans détente, avec ou sans condensation, soit qu'on veuille en doubler la puissance sans augmenter la dépense du combustible ni changer les chaudières et foyers, soit qu'on préfère réduire ces derniers et la combustion de moitié en conservant la même puissance. »

Si nous étudions à l'aide des principes théoriques établis précédemment, la machine à vapeurs combinées, il nous sera facile d'établir la valeur d'une invention qui a causé de fâcheuses illusions à quelques personnes qui n'en avaient pas bien apprécié la portée.

Replaçons-nous au point de vue auquel nous nous sommes placés pour calculer le travail théorique qui peut être produit par l'unité de chaleur. Supposons qu'une certaine quantité de vapeur soit renfermée entre le fond d'un corps de pompe, d'un tube indéfini, et un piston. Si les résistances qui s'opposent au mouvement du piston vont sans cesse en décroissant, il avance continuellement, poussé par la vapeur. Pendant ce temps, la température de celle-ci baisse et une partie repasse à l'état liquide pour fournir la chaleur nécessaire à la détente, à l'augmentation de volume de l'autre partie.

Si cet effet est poussé assez loin, si le piston n'est plus mis en mouvement que par de la vapeur à une très-faible tension, celle qui correspond à une température de 50 degrés, par exemple, après une extension de volume extrêmement considérable, que sera devenue la vapeur qui était d'abord à 200°, par exemple? Évidemment de l'eau et de la vapeur, cette dernière étant dans un état de dilatation extrême, d'un poids à peu près nul. Si dans cette supposition, un peu éloignée de la pratique, mais théoriquement possible, on met cette vapeur en contact avec un condenseur à éther, il ne pourra y avoir aucun effet produit, puisque la chaleur sensible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la vapeur d'eau sera peu élevée, inférieure à 72°, température d'ébullition de l'éther.

Si, au lieu d'atteindre cette limite extrême, la vapeur d'eau était seulement amenée à une température voisine de 72°, il serait impossible de faire produire une quantité notable de vapeur d'éther au faible poids de vapeur d'eau subsistant, dont la condensation n'a lieu qu'en raison de l'excédant de sa température sur 72°.

Il nous semble que le raisonnement précédent fait bien apprécier la valeur de l'invention de M. Du Tremblay; *elle permet d'utiliser partie de la chaleur qui n'est pas utilisée dans une machine à vapeur ordinaire;* si celle-ci est très-imparfaite, si elle est à haute pression et sans condensation, comme dans quelques cas où le nouveau système a paru réussir, la machine à éther produira un travail considérable et entièrement gagné.

Si, au contraire, la machine à vapeur est à détente et à condensation, si elle se rapproche, quant à l'effet utile, des machines de Cornwall, la machine à éther pourra encore théoriquement s'appliquer et donner une faible tension dans son cylindre, puisque la détente n'est pas ordinairement poussée aussi loin qu'il le faudrait pour que la vaporisation de l'éther n'eût plus lieu, mais assez cependant pour que la température se rapproche de cette limite. Alors eu égard aux résistances considérables du condenseur d'éther, à la multiplicité des pompes, aux résistances passives de tout genre du système, le travail consommé sera en général plus grand que le travail produit par une tension peu élevée. En un mot, avec une machine à vapeur amenée à un haut degré de perfection, la machine à éther sera inutile, quand elle ne sera pas nuisible.

MACHINE A VAPEUR ET A AIR CHAUD, SYSTÈME WORSOP. Nous dirons un mot d'un essai intéressant, d'une machine mixte à vapeur et air chaud, réalisée en injectant de l'air dans la chaudière. On a annoncé à l'origine d'heureux résultats de cette ingénieuse disposition. L'oubli dans lequel elle est tombée, surtout parce qu'elle rend impossible l'emploi du condenseur, ne doit pas nous empêcher de montrer ce qu'elle offre d'intéressant au point de vue théorique.

L'économie considérable de combustible que l'on avait dit avoir obtenu par cette invention du seul fait de la présence de l'air, était une illusion. La résistance que rencontre la pompe pour injecter l'air à m atmosphères dans la chaudière, ne peut différer du travail que cet air à m atmosphères peut engendrer: pratiquement il y a une perte considérable, de moitié aux deux tiers du travail de la pompe de compression.

Mais il a y un autre élément à considérer. Le cylindre qui consommerait un poids π de vapeur pure, n'en reçoit plus que $\frac{1}{n}\pi$ avec de l'air, et la détente qui, pratiquement passera sensiblement par les mêmes pressions pour deux fois le volume primitif par exemple, utilisera une quantité de chaleur AT dans les deux cas. Or si elle est par exemple $\frac{1}{10}$ de la chaleur de la vapeur, cette chaleur sera fournie dans le second cas par une petite quantité de vapeur, un volume n fois plus grand du mélange répondant à une même quantité de vapeur. Comme nous l'avons dit déjà, c'est là une voie nouvelle qui pourrait fournir des résultats intéressants.

Pratiquement la question nous paraît avoir été mal posée en partant de la vapeur pour y injecter un peu d'air et en cherchant ainsi à améliorer la machine à vapeur, en perdant la faculté de condensation, mais le système mériterait d'être repris comme machine à air chaud, recevant de l'injection d'une petite quantité de vapeur à haute pression, venant accroître la pression d'air déjà comprimé, et de l'échauffement produit par une enveloppe remplie de vapeur, la faculté de pouvoir travailler par détente, en utilisant la majeure partie, sinon la *totalité* de la chaleur incorporée dans la vapeur en conservant, par suite de la condensation successive de celle-ci, ce qui est impossible avec l'air seul, des pressions un peu notables à mesure que la détente s'effectue.

CH. LABOULAYE.

MACHINE A VAPEUR (CONSTRUCTION). La construction des machines à vapeur qui a conduit à presque tous les progrès accomplis dans l'art de la construction des machines, à l'invention de la plupart de machines-outils, est restée entre les mains des constructeurs les plus habiles. Il est étrange que les nombreux ouvrages écrits sur la machine à vapeur laissent de côté la construction. C'est une lacune fâcheuse que nous voulons essayer de combler.

Toute machine est formée de *parties* qui remplissent isolément l'une des fonctions dont l'ensemble constitue le travail propre de l'appareil auquel elles appartiennent. Ces parties sont formées d'éléments appelés pièces des machines.

Composer une *machine*, c'est *disposer* convenablement les différentes parties de cette machine, préalablement composées. Composer une *partie*, c'est *disposer* convenablement les différentes pièces de cette partie, préalablement composées. Composer une *pièce*, c'est déterminer les *formes* et *dimensions* de cette pièce d'après le genre de travail qu'elle doit effectuer et les résistances qu'elle doit vaincre.

La composition d'une machine comprend donc les trois opérations fondamentales suivantes: 1° composition des pièces; 2° composition des parties; 3° composition de la machine.

C'est suivant cet ordre naturel que nous allons procéder en ce qui concerne les machines à vapeur.

LIVRE PREMIER.

Composition des pièces des machines à vapeur.

Une réunion de pièces disposées de manière à effectuer un travail déterminé, soit comme appareil complet, soit comme partie d'appareil, peut se partager en deux groupes distincts, savoir: Premier groupe, pièces d'usage général; Deuxième groupe, pièces d'usage spécial.

Les premières, qui se retrouvent dans toutes les machines pour des fonctions analogues à remplir, sont déterminées de formes et dimensions d'après la nature et l'importance du travail qui est propre à chacune d'elles.

Les secondes, qui n'existent que dans le genre d'appareil où on les rencontre, sont déterminées de formes et dimensions d'après la composition même dudit appareil.

Il résulte de là que: 1° la composition des pièces d'usage général découle naturellement de la composition générale des machines; 2° la composition des pièces spéciales découle nécessairement de la composition spéciale des machines à vapeur.

CHAPITRE Ier. PIÈCES EMPLOYÉES GÉNÉRALEMENT DANS LES MACHINES.

Titre Ier. — Assemblages.

Toute machine qui fonctionne est un ensemble de pièces de formes simples, cylindriques ou prismatiques, intimement liées entre elles, dont les unes sont fixes, les autres maintenues par des guides, ne sont mobiles que dans des directions déterminées.

Union des pièces. Quelles que soient les formes et dimensions des pièces des machines, on ne connaît guère, en pratique, que trois sections pour les points de ces pièces où elles se réunissent, savoir:

La section rectangulaire;

La section carrée;

La section circulaire.

La réunion de deux pièces se nomme assemblage.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme celui des sections, le nombre des assemblages admis en pratique, eu égard à la position des pièces à réunir, est infiniment restreint, puisqu'il se compose de deux seulement, savoir :

L'assemblage bout à bout;

L'assemblage d'équerre.

Le premier, s'employant toutes les fois que l'on veut réunir deux pièces situées sur le prolongement l'une de l'autre; et le second, toutes les fois que les pièces à réunir sont perpendiculaires entre elles.

Remarquons encore que les pièces peuvent être fixes ou mobiles, on voit qu'il se peut présenter les trois cas suivants d'assemblage, savoir :

1° Assemblage de deux pièces fixes entre elles;

2° Assemblage d'une pièce fixe avec une pièce mobile;

3° Assemblage de deux pièces mobiles.

I. Assemblage de deux pièces fixes.

§ 1er. *Assemblage bout à bout.* — 1° Sections rectangulaires. La section rectangulaire constitue la série des pièces que l'on nomme plates, telles que tôles, brides, plaques.

L'assemblage de ces pièces se fait de la manière suivante :

On superpose (fig. 18) en quantité suffisante les extré-

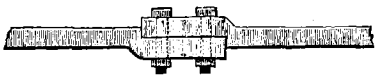


Fig. 18.

mités à assembler, puis on les perce de trous dans lesquels on passe, soit des rivets, soit des boulons. Pour assembler au moyen des rivets, on aplatit la queue du rivet; pour assembler au moyen des boulons, on serre un écrou.

2° Section rectangulaire et section carrée. Dans ce cas, on modifie la forme de l'une des deux sections, et l'assemblage est le même que quand deux pièces sont rectangulaires ou carrées;

3° Section rectangulaire et section circulaire. La même observation que ci-dessus a lieu;

4° Sections carrées. Si les pièces sont exposées à un effort de traction longitudinale, l'assemblage se fait à traits de Jupiter, comme en charpenterie avec manchon (fig. 19). Si les pièces ne sont pas exposées à un effort

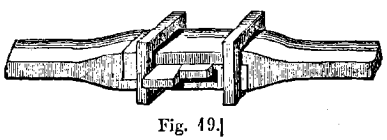


Fig. 19.

de traction longitudinale, l'assemblage se fait au moyen d'un manchon seulement;

5° Section carrée et section circulaire. Dans ce cas, on ramène l'assemblage à celui de deux pièces carrées ou deux pièces rondes, à volonté, en modifiant l'une des deux sections;

6° Sections circulaires. Si les pièces sont exposées à un effort de traction longitudinale, l'assemblage se fait au moyen d'une douille à clavette ou à vis (fig. 20).



Fig. 20.

Si les pièces ne sont exposées aucun effort de traction longitudinale, l'assemblage se fait au moyen d'un manchon à prisonnier.

§ 2. *Assemblage d'équerre.* — 1° Sections rectangulaires. On ramène ce cas à l'assemblage bout à bout, pour ces pièces, en coudant l'une des deux pièces à assembler;

2° Section rectangulaire de la pièce la moins épaisse. On perce dans la pièce épaisse (fig. 21) un trou plus

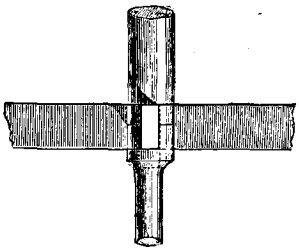


Fig. 21

grand que celui de la pièce à assembler, puis on cale.

D'autres fois, et c'est le plus souvent, on ramène ce cas à celui d'une section rectangulaire avec une section circulaire.

3° Section rectangulaire et section circulaire. On termine la pièce ronde par un tronc de cône entrant exactement dans un trou pratiqué dans la pièce plate de même forme et de même inclinaison que les génératrices du cône, la fermeture a lieu au moyen d'une clavette, ou au moyen d'une rondelle et d'un écrou, taraudé dans le prolongement de la pièce ronde.

D'autres fois, on munit la partie cylindrique d'une embase, sans cône, et la fermeture a lieu de l'autre côté au moyen d'une clavette ou d'une rondelle et un écrou.

4° Section carrée. L'assemblage se fait dans ce cas au moyen d'un étrier, ou chape à clavettes sans coussinets.

5° Section carrée et section circulaire. Dans ce cas, l'assemblage se fait comme ci-dessus, quelle que soit celle des deux pièces qui butte sur l'autre; si c'est la pièce ronde qui butte, sa section est modifiée et rendue carrée.

6° Sections circulaires. L'assemblage se fait au moyen d'un *T*.

Tous les assemblages usités, non-seulement dans les machines mais dans les constructions en fer sont étudiés en détail à l'article GROSSE SERRURERIE.

II. Assemblage d'une pièce fixe et d'une pièce mobile.

Les pièces mobiles sont douées de l'un des deux mouvements : rectiligne ou circulaire.

§ 1er. *Mouvement rectiligne.* Lorsqu'une pièce est douée d'un mouvement quelconque, elle exerce un frottement sur les pièces fixes qu'elle touche et qui lui servent de guides. Ce frottement peut être de deux natures différentes savoir :

Frottement de glissement; frottement de roulement.

Dans le premier cas, la pièce est munie de *glissoirs* se mouvant dans des *glissières.*

Dans le second cas, la pièce est munie d'*axes* sur lesquels sont montés des cylindres roulants dans des *coulisses.* Ces cylindres portent le nom de *galets* ou de *roulettes*, suivant qu'ils sont en métal ou en bois.

Dans le cas où les deux milieux dans lesquels se meut la pièce mobile sont hétérogènes, la séparation a lieu au moyen d'un *stuffing-box.*

§ 2. *Mouvement circulaire.* Lorsqu'une pièce est douée d'un mouvement circulaire, elle est toujours montée sur un arbre, dont la communication avec les pièces fixes a lieu à l'endroit des tourillons, dans des pièces appelées supports, lesquelles sont munies ou non munies de coussinets.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

III. Assemblage des pièces mobiles entre elles.

Ces assemblages varient non-seulement comme ceux des pièces fixes entre elles, suivant les sections aux points à réunir et les dispositions relatives des deux pièces, mais encore suivant le mode de mobilité des pièces.

Néanmoins on peut dire, en thèse générale, que, si les pièces sont douées de mouvements différents, comme cela a lieu toutes les fois qu'il y a assemblage avec une tête de bielle, la seule modification que subissent les assemblages ci-dessus mentionnés pour pièces fixes, c'est l'addition de charnières ou de coussinets.

Titre II. — Composition des pièces générales des machines.

Les éléments utilisés pour l'établissement des organes de communication et de transformation du mouvement que nous rencontrons dans les machines à vapeur, en raison du mouvement rectiligne alternatif du piston et du mouvement circulaire continu qu'il faut généralement obtenir, sont en nombre assez limité, quand on laisse de côté, comme nous le ferons d'abord, les pièces spéciales qui entrent dans la composition de la machine à vapeur, et qui seront par suite étudiées dans la division suivante ; ce sont :

Les arbres, les manivelles et leurs boutons, les bielles, les balanciers et leurs axes, les parallélogrammes, les excentriques et leurs mouvements, les glissoirs et glissières, les galets et coulisses, les rivets, les manchons. Quelques-uns sont traités avec trop de détails dans divers articles de cet ouvrage pour que nous y revenions longuement ici; c'est notamment ce qui a lieu pour les roues d'engrenage, les crémaillères, les vis, les cames, etc.

Les pièces générales que nous rencontrons dans les machines à vapeur, forment la série suivante, savoir:

1° Boulons et écrous;
2° Charnières;
3° Douilles;
4° Les T;
5° Tourillons;
6° Chapes, coussinets et clavettes;
7° Supports et coussinets;
8° Leviers;
9° Stuffing-box;
10° Poulies.

I. Boulons et Écrous.

Les boulons (fig. 22 et 23) sont des pièces employées aux assemblages des faces planes.

Ils se composent de trois parties distinctes, savoir: Le corps, la tête, l'écrou.

Le corps *a* des boulons est une partie cylindrique tantôt brute de forge, tantôt tournée, dont la longueur est toujours plus grande que la somme des épaisseurs des deux parties à assembler.

L'une des extrémités du corps est soudée à la tête; l'autre est taraudée sur une certaine longueur pour recevoir l'écrou.

La tête *b* est tantôt à quatre, tantôt à six pans; à quatre pans dans les boulons qui ne sont pas en vue; à six pans dans les autres; quelquefois, par luxe, on fait la tête cylindrique terminée par une calotte sphérique peu prononcée. Dans ce cas, il est important que l'on ait un moyen particulier pour empêcher que le boulon ne tourne quand on serre l'écrou. Ce moyen consiste à faire carrée la portion du corps qui touche à la tête, ainsi que le trou percé dans la bride correspondante, ou à munir simplement cette partie du corps d'un prisonnier pénétrant à la fois et dans le corps et dans une mortaise pratiquée sur la bride. La disposition du carré s'emploie fréquemment pour les boulons à tête quelconque, quand ils sont destinés à assembler des pièces de fonte; dans ce cas, on fait venir à la fonderie les trous carrés correspondant aux diverses positions des boulons.

L'écrou est donc à quatre pans ou à six pans: à quatre pans pour boulons ordinaires et cachés; à six pans pour tous les autres. Parmi les écrous, on distingue.

L'écrou à quatre pans ordinaire;
L'écrou à six pans ordinaire;
L'écrou à six pans paré;
L'écrou à six pans tourné;
L'écrou à six pans à chapeau.

Les dimensions proportionnelles des boulons sont les suivantes:

Le diamètre du corps non fileté étant 1;
Les épaisseurs de la tête et de l'écrou sont 1;
La diagonale des têtes carrées est 2,25;
Le diamètre du cercle circonscrit aux têtes à six pans est 2;

Le pas de vis du filet varie entre 1/6 et 1/10 du diamètre suivant la grandeur de ce dernier, c'est-à-dire toujours à forte inclinaison, les boulons devant par dessus tout, ne pouvoir se desserrer spontanément (Voy. Vis).

Nous avons donné à l'article SERRURERIE une étude complète sur les diverses formes que reçoivent les boulons, et le réglement adopté dans les arsenaux de la marine pour les proportions des filets, à l'imitation de ce qui a été fait en Angleterre sous l'influence de J. Whitworth.

Le serrage des écrous se fait au moyen de clefs. On distingue deux espèces de clefs, savoir:

Les clefs à mâchoires fixes;
Les clefs à mâchoires mobiles.

Les premières, qui sont les meilleures, consistent en une pièce de fer plat terminée par une tête dont l'épaisseur est égale à environ les 0,75 du diamètre du boulon à l'écrou duquel elles sont destinées. Dans cette tête est pratiqué un vide dont le contour est tantôt un polygone complet, tantôt, et le plus souvent, c'est une portion de polygone exactement égale à celui formant le contour des écrous auxquels elle doit servir. Dans le cas où ce vide ne forme pas un polygone complet, le nombre des faces qu'il présente est au moins de trois, dont deux, celles formant les extrémités du fer à cheval portent le nom de mâchoires. Pour les écrous à six pans, le nombre des faces du vide est généralement quatre.

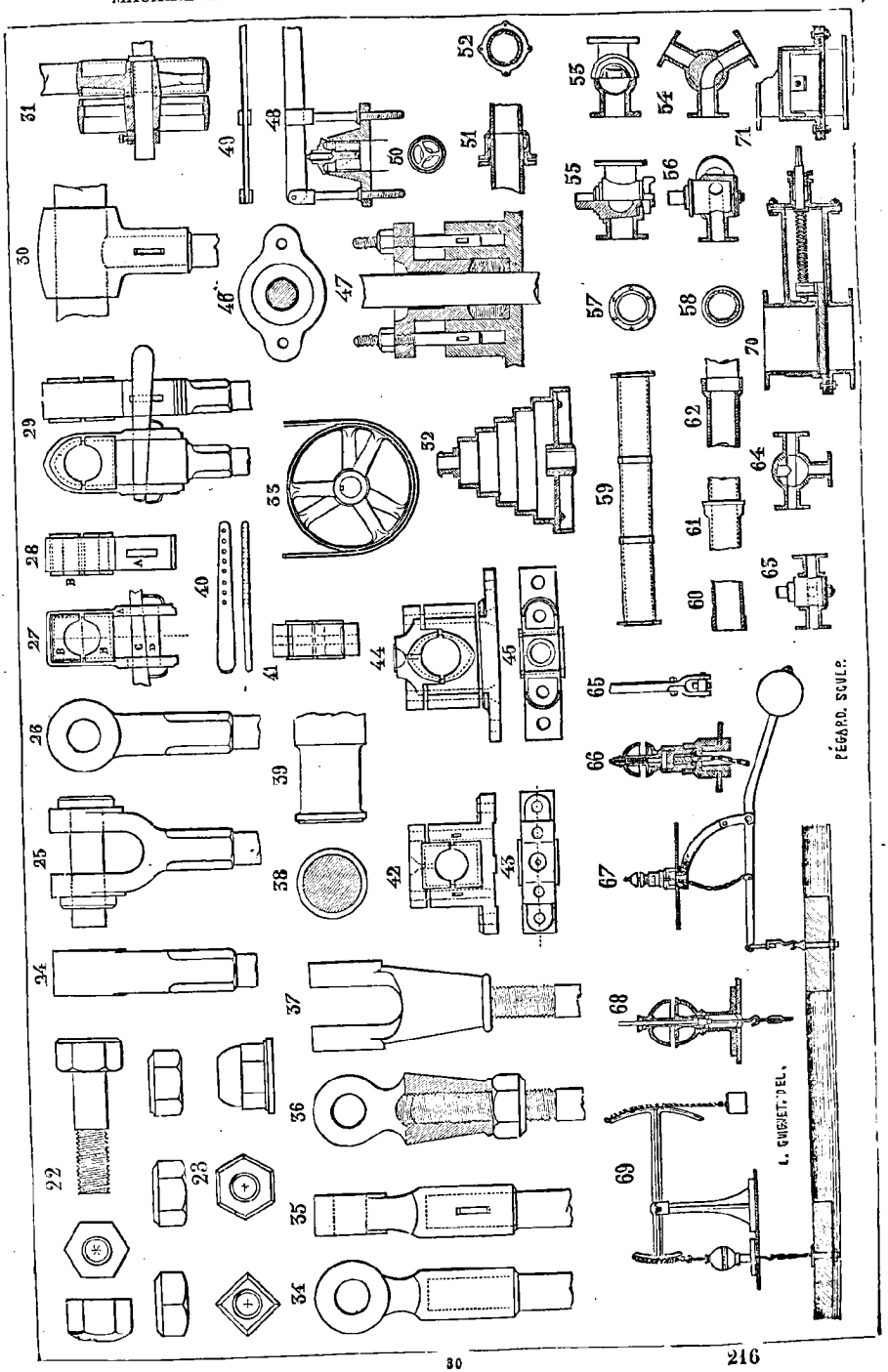
Les secondes, dites clefs anglaises, sont toujours munies de têtes à trois faces rectangulaires. Elles ne diffèrent des précédentes qu'en ce que l'une des mâchoires est mobile et permet ainsi le serrage de toute espèce et de toute dimension d'écrous. Elles se construisent de différentes manières qui ont été décrites par l'habile praticien Paulin Desormeaux à l'article CLÉ; tantôt l'écartement des mâchoires se fait au moyen d'une simple coulisse munie de points d'arrêt diversement combinés; tantôt, et c'est le plus souvent, il se fait au moyen d'une vis.

Ces clefs, qui sont fort lourdes et ne peuvent pas toujours s'employer, sont bonnes pour le démontage des machines, quand on ne peut s'en procurer d'autres. En général, elles ne conviennent nullement pour l'usage journalier, attendu qu'employées dès qu'elles agissent, avant d'être montées à la largeur exacte, elles abîment les écrous.

On peut presque dire, à propos de ces clefs, que l'on juge de l'ordre qui règne chez le mécanicien qui a construit une machine, d'après l'emploi plus ou moins fréquent que fait de la clef anglaise, l'homme qui est chargé de l'entretenir.

En effet, ce qui contribue le plus à donner aux conducteurs des machines l'habitude de la clef anglaise, c'est la diversité des dimensions des écrous qu'ils ont à

EFERUS - Recherche & Classification numérique



EFERUS - Recherche & Classification numérique

manier. Or, cette diversité provient de deux causes, savoir :

La multiplicité des diamètres de boulons employés ;

La mauvaise confection des écrous.

En ce qui concerne la première cause, nous dirons qu'il n'est pas rare de voir encore aujourd'hui des centaines de diamètres différents de boulons dans un atelier de construction, tandis qu'avec douze ou quinze au plus on peut satisfaire à tous les cas de l'emploi de ces pièces dans les machines ; pour cela, il suffit d'adopter les diamètres suivants en millimètres, savoir :

6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Le mécanicien qui sait le nombre et les diamètres de ses différents boulons, peut faire fabriquer d'avance des clefs pour chaque numéro et n'oublie pas de livrer toutes celles qu'il doit avec chaque machine qu'il vend.

Dans le cas contraire, il n'en livre aucune ou en livre qui ne vont pas.

En ce qui concerne la seconde cause, nous dirons que, pour être bien faits, il faut que les écrous aient leurs faces taillées mécaniquement.

Si donc on rencontre, dans une machine, des boulons dont les dimensions varient pour un même travail à effectuer, et des écrous dont les dimensions varient pour des boulons de même diamètre, on peut dire que le mécanicien qui a construit cette machine n'a pas d'ordre, et sa machine doit être défectueuse. Alors, en examinant attentivement cette dernière, on trouve des pièces qui se meuvent en dehors du plan de leur mouvement normal et partant des coussinets qui s'usent irrégulièrement, ou bien des joints faits en mastic de fonte ou en mastic de plomb, etc.

II. Charnières.

On donne le nom de charnières (figures 24, 25 et 26) à l'assemblage employé pour réunir deux tiges cylindriques ou autres douées de mouvements différents, l'une d'elles étant nécessairement douée d'un mouvement circulaire alternatif autour du centre de la charnière.

Une charnière se compose de trois parties, savoir :

La fourchette simple ou mâle (fig. 24 et 25) ;

La fourchette double ou femelle (fig. 25 et 26) ;

Le goujon et sa rondelle.

Ces pièces se construisent comme le représentent les figures. Quant aux dimensions proportionnelles, elles sont les suivantes :

Le diamètre des tiges étant 1, celui du goujon est 1 ; l'épaisseur du fer autour du goujon est 0,6 (nous retrouverons cette donnée dans beaucoup d'autres cas) ; les autres dimensions sont indiquées par la figure.

Une difficulté se présente pour la composition normale de la charnière ; cette difficulté est la suivante :

Il faut, pour faciliter la besogne de l'ajustage, que l'on puisse donner un coup de tour de chaque côté des têtes des fourchettes de manière à bien indiquer le rond extérieur concentrique avec le trou du goujon.

Ce coup de tour se donne facilement dans la tête de la fourchette double, parce que l'épaisseur de 0,6 des coudes se trouve portée à 0,75 à l'endroit des têtes ; mais il n'en est pas de même dans la fourchette simple, parce que l'épaisseur 1,2 est suffisante pour l'assemblage. Or, la tige ayant 1 pour diamètre, si le raccordement polygonal a 1,2 de diamètre intérieur, comme dans la fourchette double, la tête, ayant 1,2 l'épaisseur, ne dépasse pas le raccordement, et alors le coup de tour est impossible.

Nous avons cru devoir trancher la difficulté en ne donnant que 1,1 d'épaisseur au raccordement de la fourchette simple, lui laissant 1,2 dans l'autre sens, comme à la fourchette double. On pourrait peut-être, au lieu de cela, augmenter l'épaisseur de la tête et la porter à 1,4 ; puis diminuer l'épaisseur des têtes de la fourchette et les réduire à 0,70 chaque. Dans ce cas, l'épaisseur totale serait de 2,8, tandis qu'ici elle n'est que de 2,7. Le seul inconvénient que nous verrions dans la seconde disposition, c'est que l'épaisseur totale de la tête double ne serait pas plus grande que celle de la tête simple, ce qui n'est pas bon, parce que le travail de la première est souvent inégalement réparti, tandis que celui de la seconde ne peut l'être.

Ces détails paraîtront minutieux à quelques personnes, mais non pas à celles qui s'occupent de construction.

III. Douilles.

Les douilles (fig. 34, 35, 36 et 37) sont, comme charnières, des pièces destinées à l'assemblage de deux tiges cylindriques situées sur le prolongement l'une de l'autre, seulement elles s'emploient dans le cas spécial où l'une des tiges s'enfilant dans un *stuffing-box*, ou tout autre évidement ayant exactement son diamètre, n'en peut sortir que par l'extrémité où elle s'assemble avec l'autre tige. Alors on munit la tige libre d'une douille dans laquelle pénètre l'extrémité de la tige captive. Cette disposition est le plus souvent employée pour l'assemblage des tiges de piston.

Les douilles sont à vis ou à clavettes. Les douilles à vis ne s'emploient que dans quelques cas particuliers ; généralement on préfère les douilles à clavettes.

Les douilles sont généralement à charnières ; dans ce cas, elles portent la fourchette simple. Quelquefois, cependant, comme cela a lieu pour les tiges de pompe à air, quand les tiges assemblées ne doivent plus faire qu'une seule et même tige douée d'un seul mouvement, on soude la douille à la tige libre, ce qui en rend l'exécution toujours moins facile. Nous ne sommes pas très partisan de cette disposition, quoiqu'elle soit plus économique que celle d'une douille et une charnière.

Les dimensions proportionnelles des douilles sont les suivantes :

Le diamètre de la tige étant 1, l'épaisseur autour est 0,25 ; la longueur intérieure est 2, 8, de manière que, la clavette ayant 0,8 de haut, il y ait dans la douille une hauteur de un diamètre en dessus et en dessous.

IV. T.

Les T, pièces semblables aux précédentes, diffèrent des douilles en ce qu'ils sont destinés à assembler d'équerre des tiges avec des axes sur lesquels elles buttent.

Ils se construisent tantôt en fer, tantôt en fonte. Les premiers sont de beaucoup préférables ; mais ils sont difficiles à bien faire, surtout en ce qui concerne les directions perpendiculaires des trous qui ne sont pas alésés et s'ajustent tels qu'ils sortent de la forge.

Les dimensions proportionnelles de ces pièces sont les suivantes, savoir :

Le diamètre de la tige étant 1, les proportions de la douille dans laquelle son extrémité se loge sont les mêmes que celles des douilles ordinaires.

Le diamètre de l'axe, dans sa partie où la tige vient butter contre lui, est d'environ 1,70 ; quelquefois, cependant, mais pas dans les machines à vapeur, il peut être supérieur. On donne à la largeur de la partie du T qui l'enveloppe trois fois le diamètre de la tige

V. Tourillons.

Les tourillons (figures 38 et 39) sont les points d'assemblage des arbres ou axes avec les pièces fixes ou les pièces mobiles dont le mouvement est différent du leur.

Ils sont cylindriques et terminés par des collets cylindriques comme eux, auxquels ils se raccordent par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un congé, de manière à ne pas changer trop brusquement le diamètre. Leur longueur est 1,2 de leur diamètre ; le diamètre des collets est égal à leur longueur.

VI. Chapes, Coussinets, Clavettes

Les chapes, coussinets et clavettes (figures 27, 28, 29 et 40), s'emploient dans tous les assemblages d'axes, fixes ou mobiles, avec des pièces mobiles.

Les coussinets servent à adoucir le mouvement de rotation de l'axe dans leur intérieur et à le maintenir toujours serré.

La chape sert à maintenir les coussinets en place.

Les clavettes servent à fermer la chape et à opérer le serrage.

§ 1er. *Coussinets.* — Les coussinets B, B (fig. 27, 28), sont en *plomb et régule*, *laiton*, *bronze*, *maillechort*, *fonte* ou *acier*, suivant les cas de leur emploi.

On les fait en *plomb et régule* lorsque le mouvement est lent et que l'on tient essentiellement à ne pas user la pièce qui se meut dans leur intérieur, mais qui ne sont pas soumis à des efforts considérables.

On les fait en *laiton*, dans les machines à vapeur, pour plusieurs raisons, savoir :

La première, c'est que souvent on ne peut se procurer de bronze de bonne qualité.

La seconde, c'est qu'ils sont un peu plus économiques que ce dernier, ce qui est un pauvre motif.

La troisième, c'est qu'ils s'alésent infiniment plus facilement et plus vite, les coussinets en bronze usant promptement la lame d'alésoir surtout s'ils sont soufflieux ou siliceux.

La quatrième, c'est qu'ils usent moins le tourillon que le bronze, quand ce tourillon est en fer.

Le coussinet en *bronze* est le meilleur, quels que soient les motifs qui lui fassent préparer le précédent; il est, comme la clef anglaise, un indice de bon ou mauvais constructeur.

Le *maillechort* n'a été employé comme coussinets, que dans certains cas particuliers, plutôt comme luxe qu'autrement.

La *fonte* joue un grand rôle aujourd'hui comme métal de coussinets; fonte blanche, fonte grise, l'une et l'autre réussissent parfaitement; la fonte blanche seulement se casse et s'échauffe plus facilement que la grise. Il viendra une époque où on n'emploiera plus d'autre métal pour coussinets.

L'acier ne convient que pour les axes en acier, c'est-à-dire pour les cas où il y a une grande vitesse de rotation.

Les coussinets peuvent se construire de différentes manières, savoir :

1° A contour extérieur en ogive (fig. 29);

2° A contour extérieur octogonal;

3° A contour extérieur carré (fig. 27 et 28).

Le contour en ogive, qui est le plus généralement répandu, présente le grave inconvénient de ne pas fixer le coussinet dans sa chape d'une manière assez stable pour l'empêcher de tourner. D'autre part, comme il faut toujours un coussinet carré, cette disposition a l'inconvénient d'exiger deux modèles.

Le contour octogonal est bon; il emploie plus de cuivre que le précédent, mais le coussinet ne tourne pas; seulement, si on veut que les deux coussinets soient égaux, il faut ajouter à la tête de la tige qui reçoit la chape deux saillies triangulaires, servant à embrasser le coussinet intérieur, et dont le prix de revient dépasse de beaucoup la différence qui existe entre le coussinet octogonal et le coussinet carré. Si alors on met l'un des coussinets octogonal et l'autre carré, on retombe dans l'inconvénient des deux modèles signalés plus haut.

Les coussinets carrés présentent l'inconvénient de prendre plus de matière que les autres; mais, en définitive, ce sont les meilleurs; ils n'exigent qu'un modèle pour les deux, s'exécutent de même l'un que l'autre et ne peuvent jamais tourner.

Ces coussinets, les seuls employés dans l'enfance de la construction des machines, puis abandonnés pour les précédents, ont revu le jour pour la première fois dans les locomotives, où il est si important que ces pièces restent en place. Nous applaudissons fort à cette résurrection, aussi nous sommes-nous empressé de l'adopter.

§ 2. *Chapes.* — Les chapes A (fig. 27, 28) sont toujours en fer; elles ont le minimum d'épaisseur nécessaire pour la résistance qu'elles ont à vaincre et la facilité de l'exécution. A l'endroit où est percée la mortaise des clavettes, l'épaisseur est plus considérable. Si les chapes étaient en fonte, on se contenterait de faire régner cette épaisseur seulement dans l'entourage de cette mortaise; mais, en fer, cette opération serait infiniment plus coûteuse que la différence de poids du fer qu'on y laisse.

§ 3. *Clavette.* — Les clavettes C, D (fig. 27, 40) sont toujours en fer; on distingue : la *clavette* C, la *contre-clavette* D.

La *contre-clavette* sert à empêcher l'écartement des deux branches de la chape et, au besoin, la désunion de la chape avec la bielle d'assemblage dans le cas où la clavette viendrait à tomber.

La *clavette* est pour le serrage des coussinets uniquement; ce serrage s'obtient au moyen d'une légère inclinaison des clavettes entre elles.

La figure indique les dimensions proportionnelles des coussinets, chapes et clavettes, le diamètre du tourillon intérieur étant un. Ces pièces sont, sans contredit, celles qui peuvent le mieux se mettre en dimensions proportionnelles.

VII. Supports.

Les supports (figures 41, 42, 43, 44 et 45) sont les pièces d'assemblage entre arbres ou axes mobiles.

Comme les chapes, ils possèdent des coussinets; seulement les pièces employées à maintenir ces coussinets en place changent de formes et de noms.

Dans un support, on considère : les coussinets, le corps, le chapeau, le patin, les boulons.

Les coussinets peuvent être de l'une des trois formes que nous avons envisagées précédemment; seulement, pour nous, nous préférons les coussinets carrés, d'autant plus que, si on trouve qu'ils prennent trop de matière, on peut les faire en fonte.

Le corps, le chapeau et le patin des supports varient singulièrement suivant la position des pièces fixes auxquelles on les relie.

En effet, on considère deux classes de supports, savoir : les supports d'arbres horizontaux, les supports d'arbres verticaux.

Parmi les premiers on considère : les paliers, les chaises.

Les *paliers* sont ceux dans lesquels le chapeau est situé au-dessus du patin.

Les *chaises* sont ceux dans lesquels le chapeau est situé au-dessous du patin.

Les premiers sont destinés à être assemblés avec des pièces horizontales inférieures, comme le sol; les seconds sont destinés à être assemblés avec des pièces horizontales supérieures, comme les plafonds.

Ce qui fait que les formes diffèrent dans les deux cas, c'est que, quand le support s'assemble avec le plafond, il faut, pour faire usage d'un palier, le retourner et confier ainsi au chapeau, c'est-à-dire aux boulons, la charge de l'arbre dont il reçoit le tourillon, ce qui n'est pas prudent. On emploie alors des chaises, espèces de supports de forme très variée qui maintiennent le cha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peau au-dessus de l'arbre et, au moyen d'un ajustage plus ou moins long, relient le corps au patin, en contact avec le plafond. Ces pièces ne peuvent, du reste, être considérées comme pièces générales des machines à vapeur.

Les supports d'arbres verticaux se nomment *crapaudines*. Leurs formes diffèrent complétement de celles des autres; ce sont plutôt des pièces spéciales pour certains cas particuliers que des pièces générales; nous n'en parlerons pas ici.

Pour qu'un support soit bien fait, il faut que les coussinets soient encastrés dans le corps de manière à ce qu'il ne puisse y avoir de mouvement chez l'un qui soit étranger à l'autre, sans quoi ils cesseraient bientôt de tenir le tourillon en place.

Pour y arriver, il y a deux méthodes suivant la forme des coussinets :

S'ils sont carrés, la meilleure disposition est celle de la fig. 25 ; le chapeau se trouve alors indépendant, il ne sert qu'au serrage. S'ils sont en ogive ou octogonaux, il faut alors faire pénétrer le chapeau dans le corps (fig. 44) en lui faisant embrasser la totalité du coussinet supérieur;

En outre les boulons d'assemblage du chapeau avec le corps ne doivent pas avoir de tête, mais être à clavettes, afin que si pendant le serrage l'un d'eux vient à casser, il soit facile de le retirer sans soulever l'arbre et le support. Cette disposition n'est, bien entendu, recommandée que pour les supports où le soulèvement de l'arbre entraînerait des difficultés, c'est-à-dire les grands supports. Dans les petits, on peut, sans difficulté, donner une tête aux boulons; on peut même les faire servir à l'assemblage du support avec la partie fixe.

VIII. Leviers.

Les leviers, dans les machines, sont des pièces en fer qui dérivent, suivant leur forme, de la *manivelle* ou du *balancier*.

Ils dérivent de la manivelle quand ils n'ont, comme elle, qu'une *tête* et un *moyeu*. Dans ce cas, il y a transmission du mouvement de l'arbre à la tête du levier, ou réciproquement, et alors l'arbre est soumis à un effort de torsion.

Ils dérivent du balancier quand ils ont, comme lui, deux *têtes* et un *moyeu*. Dans ce cas, il y a transmission du mouvement d'une tête à l'autre et l'arbre n'a plus qu'à résister aux efforts de flexion transversale exercés aux deux têtes.

Dans le premier cas, les diamètres intérieurs du moyeu et de la tête se calculent de la même manière que pour la manivelle.

Dans le second cas, les diamètres intérieurs du moyeu et des têtes se calculent de la même manière que pour les balanciers.

Nous renvoyons en conséquence à ces deux pièces pour ces divers calculs.

Les dimensions proportionnelles des têtes des leviers sont en tout conformes à celles des charnières qui sont leur assemblage naturel.

Quel que soit le mode de fonctionnement des moyeux leur épaisseur est égale au tiers du diamètre intérieur, et leur longueur égale à 1, 2 fois ce diamètre.

Quant à l'épaisseur des plats du levier, elle est la même pour tous les 0, 6 du diamètre du trou de la tête à l'extrémité et les 0,6 du diamètre du trou du moyeu, au centre, ce diamètre étant celui de l'arbre pour éviter la torsion.

IX. Stuffing-box.

Les *stuffing-box* (fig. 46 et 47) (boîtes à étoupes) sont des pièces destinées à intercepter la communication entre deux milieux dans lesquels se meut une tige. Ils se composent de deux parties, savoir :

La *boîte* et le *chapeau*.

La boîte est généralement coulée avec la cloison qui sépare les deux milieux; elle est d'un diamètre suffisant pour recevoir des étoupes que l'on comprime au moyen du *chapeau* qui, pour cette raison, porte aussi le nom de *presse-étoupes*.

Le chapeau, qui est tantôt en bronze, tantôt en fonte s'assemble avec la boîte au moyen de deux ou trois boulons, suivant ses dimensions; l'assemblage à deux boulons est plus convenable dans les machines à vapeur, parce qu'il permet au chapeau d'osciller légèrement avec la tige que le parallélogramme ne conduit pas exactement en ligne droite.

On emploie quelquefois, pour les pompes, le stuffing-box; cette disposition n'est bonne qu'autant que la boîte est elle-même en bronze, avec la fonte, un pareil assemblage n'est jamais durable.

Il est bien difficile de donner au diamètre extérieur du chapeau une dimension proportionnelle au diamètre de la tige, parce que l'épaisseur à donner aux étoupes ne varie pas proportionnellement aux diamètres; cette épaisseur augmente fort peu avec chaque augmentation dans le diamètre de la tige. Faute de formules convenables, nous donnons ci-dessous, pour différents diamètres de tiges, le tableau des dimensions les plus convenables pour le diamètre extérieur du chapeau de stuffing-box; nous y joignons en même temps le diamètre des boulons correspondants :

Tableau des diamètres des tiges, chapeaux et boulons pour stuffing-box, en millimètres.

Diamètres des tiges.	Diamètres des chapeaux.	Diamètres des boulons.	Diamètres des tiges.	Diamètres des chapeaux.	Diamètres des boulons.
10	30	10	55	95	18
12	35	10	60	110	21
15	40	10	65	110	21
18	45	12	70	120	21
21	50	12	75	130	25
25	55	12	80	130	25
30	65	15	85	140	25
35	70	15	90	150	30
40	75	15	95	150	30
45	85	18	100	160	30
50	90	18			

X. Poulies.

Les poulies (figures 31, 32 et 33) sont de trois espèces distinctes, suivant qu'elles sont destinées à supporter des chaînes, des cordes ou des courroies. Les poulies destinées à supporter des chaînes ou des cordes portent le nom de *Poulies à gorge*; celles destinées à supporter des courroies portent le nom de *Poulies plates*. Les poulies à gorge, pour cordes, se composent d'une gorge à section semi-circulaire maintenue en place sur son moyeu par quatre, cinq, six ou huit bras, suivant son diamètre. Les bras sont munis de nervures qui leur donnent pour section la forme d'une croix. Ces nervures ont pour but d'empêcher la rupture transversale par suite de mauvaise direction de la corde, et aussi par suite de retrait de la fonte après la coulée.

Souvent, quand les poulies sont d'un grand diamètre, on coule le moyeu en trois parties séparées par des petites plaques de tôle auxquelles on en ajoute d'autres, après le refroidissement, pour remplir l'espace laissé par le retrait; ces trois parties sont reliées par deux frettes en fer posées à chaud, une sur chaque face.

Les poulies plates se font généralement plus légères

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les poulies à gorge; leurs bras sont très souvent à section ovale, comme le représente la figure 34. Pour éviter la casse résultant du retrait de la fonte, on donne souvent aux bras la forme d'un S; alors le moyeu est toujours d'un seul morceau avec le reste de la pièce.

Les poulies plates diffèrent essentiellement des poulies à gorge en ce que ces dernières sont destinées à soulever des poids, tandis que les premières s'emploient uniquement pour transmettre un mouvement de rotation à un arbre.

La largeur des poulies étant généralement la même que celle des courroies qui les embrassent, on calcule cette largeur au moyen de la même formule qui sert pour les courroies. Savoir :

$$l = \frac{128\,F}{D\,N\,e}$$

dans laquelle on représente par :

l, la largeur en centimètres,
F, le travail transmis en chevaux,
D, le diamètre de la poulie,
N, le nombre de tours de la poulie par minute,
e, l'épaisseur de la courroie en centimètres;

et, si l'on admet pour *e* la valeur :

$$e = 0{,}40,$$

il vient pour le cas des courroies ordinaires

$$= \frac{320\,F}{DN}.$$

XI. Décomposition des pièces générales en séries.

C'est déjà une bonne besogne de faite pour l'ingénieur, que d'avoir des dimensions proportionnelles adaptées à toutes les pièces générales des machines, parce qu'il n'a plus à s'en préoccuper dans ses projets; mais cela ne suffit pas. En effet, il est un point capital sur lequel tout mécanicien doit porter son attention; ce point c'est l'adoption d'un certain nombre de dimensions pour chaque pièce, afin qu'il ne lui arrive jamais de confectionner des outils pour la fabrication de deux ou plusieurs pièces semblables, dont les dimensions sont tellement rapprochées, que toutes peuvent être employées indistinctement au même usage, ce qui crée un matériel coûteux et inutile et jette de la confusion dans le travail. Toute pièce, de quelque métal qu'elle soit, exige des outils spéciaux pour sa fabrication : si elle est en *fer*, ce sont des *mandrins* et des *calibres* qu'il faut à la forge; si elle est en *fonte* ou en *cuivre*, ce sont des *modèles* qu'il faut à la fonderie, sans compter les lames d'*alésoirs* et autres outils qu'il faut à l'ajustage.

Or plus sera grand le nombre des cas où telle dimension de pièce générale pourra être employée, moindres seront les frais d'outils qu'entraîne nécessairement la fabrication de cette pièce; le mécanicien doit donc porter ses soins à l'adoption d'un certain nombre de dimensions pour chaque pièce, assez grand pour satisfaire à tous les cas qui se présentent, et assez petit pour que les frais d'outils soient largement couverts par leur usage.

Quant aux dimensions, il peut paraître difficile au premier abord de les spécifier; mais il suffit de jeter les yeux sur les divers dessins de pièces générales que renferme la planche 2 pour reconnaître de suite qu'ils ont quelque chose de commun, à savoir une partie cylindrique pleine ou creuse dont le diamètre est l'unité de dimensions proportionnelles.

Si donc on adopte une série de diamètres pour les parties cylindriques, toutes les pièces générales se trouvent immédiatement décomposées en séries, par suite de la série de dimensions dont les diamètres de leur partie cylindrique ne peuvent sortir.

L'expérience seule pouvait prononcer sur les différences successives qui peuvent exister entre les divers diamètres des parties cylindriques sans qu'il y ait insuffisance. Il résulte des observations d'un grand nombre de mécaniciens habiles, que la série suivante satisfait complétement à toutes les exigences de la construction pour machines à vapeur, depuis les plus petites jusqu'aux plus grandes forces.

Tableau de la série des diamètres des tiges cylindriques exprimés en millimètres.

5	25	65	110	190	350	700	1200
6	30	70	120	200	375	750	1300
8	35	75	130	220	400	800	1400
10	40	80	140	240	450	850	1500
12	45	85	150	260	500	900	
15	50	90	160	280	550	950	
18	55	95	170	300	600	1000	
21	60	100	180	325	650	1100	

On comprend que ces dimensions, bien que poussées assez loin, n'ont d'importance réelle que jusqu'à 200 millimètres environ. Au-delà il n'y a plus guère que des cylindres à vapeur et des corps de pompe, dont les alésages sont plus rares, et pour lesquels on peut déroger à la loi, bien que, à notre avis, il soit plus convenable de s'y soumettre, comme pour les petits diamètres.

Muni de dimensions proportionnelles pour les pièces générales et du tableau ci-dessus pour les séries, ce que le mécanicien a de mieux à faire, c'est de faire dessiner d'avance chacune des pièces générales, avec les diamètres de la série où elle est le plus employée. Il en résulte pour lui les avantages suivants, savoir :

1° Point de dessins de pièces générales à faire pour les ateliers, et partant plus prompte exécution des projets de machines;

2° Fabrication à l'avance, et en quantité aussi considérable qu'il le juge convenable, des pièces générales sur les diamètres les plus employés, et partant économie sur la main-d'œuvre de ces pièces, qui sont les plus coûteuses des machines;

3° Exécution plus prompte des commandes, puisqu'une partie des pièces est toujours faite d'avance, et partant possibilité de plus fabriquer dans un même temps, sans augmentation de matériel.

CHAPITRE II. PIÈCES SPÉCIALEMENT EMPLOYÉES DANS LES MACHINES A VAPEUR.

Titre Ier. — Composition générale des machines à vapeur.

Les machines à vapeur sont des appareils destinés à utiliser la force motrice de la vapeur d'eau.

Nous avons vu, dans la description historique de ces machines, quels sont les divers moyens qui ont été successivement employés pour utiliser cette force motrice.

Jusqu'ici, de tous ces moyens, un seul a généralement prévalu, à savoir : l'action alternative de la vapeur sur les faces opposées d'un piston se mouvant dans un cylindre.

Dans ce cas, une machine à vapeur se compose de sept parties principales, savoir :

1re partie. Le générateur de la vapeur;

2e partie. L'appareil de distribution de la vapeur dans le cylindre;

3e partie. Le cylindre à vapeur;

4e partie. L'appareil de transmission et régularisation du mouvement du piston;

5e partie. L'appareil de condensation de la vapeur utilisée;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

* partie. L'appareil d'alimentation du générateur;
7e partie. Le bâti de la machine.

Dans le générateur, on distingue :
1° La chaudière à vapeur;
2° Les appareils de sûreté;
3° Les tuyaux de conduite de la vapeur à la distribution.

Dans l'appareil de distribution, on distingue :
1° Le distributeur;
2° Le mouvement du distributeur;
3° Le modérateur de la distribution.

Dans le cylindre à vapeur, on distingue :
1° Le cylindre et ses fonds;
2° Le piston;
3° La tige.

Dans l'appareil de transmission de mouvement, on distingue .
1° Le guide de la tige du piston;
2° Le balancier;
3° La bielle;
4° La manivelle;
5° L'arbre;
6° Le volant.

Dans l'appareil de condensation, on distingue :
1° Le condenseur;
2° La pompe à air et son piston.

Dans l'appareil d'alimentation, on distingue :
1° La pompe d'eau fraîche et son piston;
2° La pompe alimentaire et son piston;
3° Les tuyaux de conduite de l'eau.

Dans le bâti, on ne distingue aucune pièce spéciale, ses formes variant suivant la disposition des autres parties.

Total, 20 pièces spéciales.

Observant que, parmi ces vingt pièces plus ou moins compliquées, il en est plusieurs dont les études présentent de l'analogie entre elles, nous les classerons dans l'ordre suivant, savoir :
1° Chaudières à vapeur,
2° Appareils de sûreté;
3° Tuyaux de vapeur et d'eau;
4° Distributeurs;
5° Mouvements des distributeurs,
6° Modérateurs;
7° Cylindres et corps de pompe;
8° Pistons à vapeur, à eau et à air;
9° Tiges;
10° Guides de tiges;
11° Balanciers;
12° Bielles;
13° Manivelles;
14° Arbres;
15° Volants.

Titre II. — Composition des pièces spéciales des machines à vapeur.

I. Chaudières à vapeur.

(Voir pour ces appareils les articles de ce Dictionnaire, intitulés CHAUDIÈRE et CHAUDRONNERIE).

II. Appareils de sûreté.

Les appareils de sûreté prescrits par l'ordonnance royale du 22 mai 1843 sont les suivants, à quelques modifications près pour les chaudières de locomotives et de bateaux (voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR et MANOMÈTRE).

Soupapes de sûreté. Les poids étaient, lors de l'autorisation, vérifiés, mais non poinçonnés, d'où résultait que, après vérification, les propriétaires mettaient tels poids qui leur convenaient sur leurs soupapes, et il était impossible, dans les inspections annuelles, de reconnaître la fraude, parce que, pour déterminer si une soupape est convenablement chargée, il faut connaître son diamètre, son poids propre, le rapport entre les bras du levier, le poids du levier rapporté à son extrémité, et le poids placé à cette extrémité; mesures qui ne peuvent être prises que quand la chaudière n'est pas en vapeur.

D'après la nouvelle ordonnance, toutes les soupapes sont vérifiées et poinçonnées par les *garde-mines*, ainsi que leurs leviers et poids; mais il est résulté de ce fait un inconvénient grave, qui ne peut être que momentané, et sur lequel nous appelons l'attention de messieurs les mécaniciens, chaudronniers et acheteurs de machines :

« Il n'est pas une seule soupape, dont les poids aient été réglés par l'administration, qui ne lève bien avant la pression pour laquelle elle a été poinçonnée. »

Quand nous disons il n'est pas une seule, nous voulons parler des soupapes de pacotille, dont les 999/1000 des chaudières à vapeur sont munies.

Cela tient à ce que le point par lequel le levier produit sa pression sur la soupape n'est jamais exactement situé au centre de cette dernière, et la direction du levier est elle-même quelquefois oblique; ce qui fait que la pression verticale n'est plus qu'une composante de cette dernière. Il résulte du premier vice que la soupape est plus chargée d'un côté que de l'autre; qu'alors le côté le moins chargé se soulève, et donne issue à la vapeur en quantité d'autant plus considérable que la différence de pression est plus grande; le second vice tend aussi à faire lever plus tôt la soupape.

Les industriels, qui ont besoin de toute la pression qui leur est accordée, n'ont d'autres moyens, pour empêcher les fuites par leurs soupapes, que de les surcharger, et s'exposent par là aux amendes et à l'interdiction. Cet état de choses ne peut durer; et, s'il n'y a d'autres moyens pour les industriels, qui ont actuellement des chaudières à vapeur, de se mettre en règle avec l'ordonnance royale qu'en changeant leurs soupapes, il y a un moyen pour les propriétaires à venir de s'éviter tous les désagréments des contraventions; ce moyen est le suivant :

Dans tout marché de chaudières munies de soupapes, il suffit de stipuler que les soupapes, quand elles auront été vérifiées et poinçonnées par l'administration, ne lèveront pas avant la pression pour laquelle elles ont été poinçonnées.

Alors il faudra que messieurs les chaudronniers se décident à apporter dans la construction des soupapes de sûreté les soins qu'apportent MM. Sorel, Chaussenot et autres dans la construction des leurs qui lèvent exactement.

Après avoir indiqué le mal, il serait peu généreux de laisser ignorer le remède à ceux dont l'état est de construire ces appareils.

Il est un moyen bien simple de faire une soupape qui ne lève exactement que sous la pression pour laquelle elle a été poinçonnée. Pour cela, il suffit de lui donner une forme analogue à celle représentée dans la figure (fig. 64).

Cette soupape diffère essentiellement de celle faisant partie des dessins annexés à l'ordonnance royale du 22 mai 1843 par divers points, savoir :

La soupape de l'ordonnance royale est à ailettes; celle que nous indiquons est à lanterne. La soupape à ailettes n'est pas mise sur le tour pour l'ajustage des ailettes; c'est à la lime que cette opération se fait; sur le tour, l'outil ne produirait rien de régulier, à cause des chocs successifs qu'il éprouverait de la part des ailettes. De là, que le dessus soit tourné ou non, il est certain que son axe de rotation n'est pas le même que celui de la surface extérieure des ailettes; et alors, quand ces dernières entrent dans leur orifice, l'axe de la soupape ne coïncide pas exactement avec celui de l'orifice.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand la soupape est à lanterne, on tourne le tout ensemble ; donc déjà les axes coïncident.

Le second point par lequel notre dessin diffère du dessin précité, c'est que la tête de la soupape est munie d'une tige terminée par un cône renversé, dont le sommet est au-dessous du plan de contact de l'anneau de recouvrement. Dans ce cône se loge un petit cylindre terminé par deux cônes, dont le sommet supérieur vient porter sur le levier en un point marqué au pointeau, et d'une profondeur suffisante.

De cette manière, la pression du levier sur la soupape a lieu exactement au centre, et la soupape lève avec une précision mathématique.

Notons que cette disposition n'augmente nullement le prix de revient pour le fabricant.

Une dernière précaution à prendre pour les supports de soupapes de sûreté est de donner une épaisseur suffisante à la bride, sans quoi elle se voile par le serrage des écrous, et l'orifice devient ovale.

§ 2. *Flotteur d'alarme.* — Nous n'avons aucune observation à faire sur les manomètres et les indicateurs du niveau de l'eau. Nous allons seulement dire quelques mots sur le flotteur d'alarme.

Le système de flotteur d'alarme de M. Bourdon (fig. 65, 66 et 67), proposé par l'administration, présente l'inconvénient d'avoir tout son mécanisme à l'intérieur de la chaudière.

Pénétré de la difficulté qu'éprouvent quelquefois les industriels à faire usage d'un appareil de ce genre, quand les eaux qu'ils emploient déposent beaucoup, nous avons proposé le flotteur d'alarme représenté dans les fig. 68 et 69, dont tout le mécanisme est à l'extérieur de la chaudière.

Depuis, la plupart des mécaniciens ont adopté cette disposition, qui est préférée par les chauffeurs, et coûte moins cher que la précédente.

III. Tuyauterie et robinetterie.

Les tuyaux sont des conduits à l'usage des liquides et des gaz ou vapeurs.

Ils se construisent généralement en métal ; quelquefois cependant on en rencontre en bois et même en béton pour la conduite des eaux.

Les métaux les plus usités pour construction des tuyaux sont les suivants : la fonte, le cuivre, le fer, le plomb.

Les tuyaux en fonte sont les seuls qui nous occuperont ici, attendu que les autres sont l'objet de fabrications spéciales, tandis que les premiers se confectionnent dans les ateliers de construction, et jouent un grand rôle dans les machines à vapeur.

On distingue deux espèces de tuyaux en fonte, savoir : les tuyaux à brides (fig. 57 et 59) ; les tuyaux à emboîtures (fig. 60, 61, 62 et 58).

Les tuyaux à brides (fig. 54, 52) s'emploient toutes les fois que l'on n'a pas à craindre l'influence de la dilatation ou de la contraction du métal par les variations de température.

Les tuyaux à emboîtures s'emploient dans le cas contraire.

Souvent une conduite se compose de tuyaux à brides et à emboîtures, les derniers se trouvant placés de distance en distance pour annuler les effets de la dilatation ou de la contraction sur une longueur donnée.

Quel que soit le système d'assemblage des tuyaux entre eux, il faut avoir soin, quand on en fabrique, de les munir, de demi-mètre en demi-mètre environ, de bagues extérieures, dont le but est, tout en les consolidant, de lutter contre l'influence du retrait après la coulée.

Les brides se font de la manière représentée dans la figure 54. A la partie extérieure de la bride est une partie tournée destinée à joindre exactement avec la partie de la bride d'assemblage, et à rendre le joint parfaitement étanche. L'épaisseur de la bride est un peu plus forte que celle du tuyau, et le raccordement intérieur se fait au moyen d'un petit congé, qui empêche la rupture de la pièce en cette partie délicate au moment du retrait.

Les tuyaux à emboîtures se font de trois manières :

1° S'ils sont destinés simplement à conduire de l'eau, on les assemble en bourrant l'intervalle que laisse leur jonction au moyen d'étoupes et de plomb fondu ou mastic de fer.

2° S'ils sont destinés à conduire de la vapeur, on leur donne la forme représentée dans les fig. 60, 61, 62 et 58 ; les parties qui emboîtent sont tournées et alésées juste, de manière qu'il suffit d'une quantité très faible de mastic de minium pour opérer la fermeture exacte.

3° Lorsqu'ils sont destinés à établir la communication entre des prises de vapeur très rapprochées, on leur donne la forme représentée dans les fig. 51 et 52 C'est un véritable stuffing-box, dont les surfaces en contact peuvent être tournées et alésées ou brutes à volonté.

Tous les calculs n'aboutiraient à rien pour déterminer l'épaisseur à donner aux tuyaux, par la raison que cette épaisseur est principalement déterminée par la fonderie et la fragilité de ces pièces. Néanmoins, il est bon de dire que, pour les gros diamètres, lorsqu'il y a de fortes pressions à supporter, il faut calculer cette épaisseur. Alors on a recours, pour la vapeur, à la règle prescrite par l'instruction ministérielle qui accompagne l'ordonnance royale du 22 mai 1843, relative aux appareils à vapeur en général. Dans cette instruction, il est dit que l'épaisseur de la fonte doit être égale à cinq fois ce que serait celle d'un tuyau en tôle destiné au même usage. Or, pour déterminer l'épaisseur à donner aux parois des chaudières en tôle de fer, on a la formule :

$$e = \frac{48\,d\,(n-1) + 3000}{1000}$$

dans laquelle on représente par e, l'épaisseur en millimètres ; d, le diamètre intérieur du tuyau en mètres ; n, la pression intérieure en atmosphères.

Pour une conduite d'eau, ce résultat est certainement trop fort ; mais nous ne pouvons prendre sur nous de spécifier exactement dans quelle proportion il doit être réduit.

Les tuyaux seuls ne suffiraient pas à tous les cas de conduite des fluides. Lorsqu'il y a des changements de direction de la conduite, on emploie des coudes. Lorsque l'on veut relier un tuyau à bride avec un tuyau à emboîture, on emploie des emboîtures. Les coudes et les emboîtures sont des pièces dont toutes les proportions sont les mêmes que celles des tuyaux ; seulement, chez les premiers, la direction forme un arc de cercle ; chez les seconds, la longueur est aussi petite que possible.

Parmi les coudes, on distingue : les coudes à deux brides ; les coudes à emboîtures ; les coudes à bride et emboîture.

Nous dirons peu de mots sur la robinetterie, qui comprend tous les appareils propres à établir ou intercepter la communication entre deux portions d'une conduite.

Pour la vapeur, on emploie, suivant les cas, les robinets représentés dans les fig. 53 et 55, 54 et 56, 63, 64, dits à deux ou trois eaux, suivant le nombre des tubulures ; on emploie aussi fréquemment, pour de grandes conduites de vapeur, les soupapes analogues aux robinets des grandes distributions d'eau.

Les robinets pour eau diffèrent peu de ceux pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conduites de vapeur dans les petites dimensions; la clef et le boisseau sont plus longs, et l'œil est moins large. Dans les grandes conduites d'eau, on emploie le robinet représenté fig. 70 et 71, lequel porte le nom de robinet à vanne. Pour la vapeur, dans les machines, on emploie peu les robinets, on les remplace par les appareils suivants.

IV. Distributeurs.

On distingue trois espèces de distributeurs, savoir :
Les tiroirs en coquille;
Les tiroirs en D couché;
Les soupapes.

Dans l'origine des machines à vapeur la distribution se faisait au moyen de robinets, d'abord simples, un pour chaque orifice d'introduction de la vapeur dans le cylindre; puis ensuite doubles, c'est-à-dire à quatre voies, servant à la fois aux deux orifices. M. Maudslay a conservé longtemps cette dernière disposition (figure 89) dans ses machines; puis enfin, l'a abandonnée pour le tiroir.

Après lui, M. Cavé a employé aussi pendant longtemps les robinets (fig. 89) pour distribuer la vapeur dans les machines oscillantes; puis, comme son devancier, a fini par se rendre au tiroir.

Le robinet serait sans doute le distributeur le plus simple et le plus économique; mais le frottement énorme qu'il faut faire subir à la clef, dans son boisseau conique, pour qu'il n'y ait pas de fuites, ne tarde pas à faire gripper les deux parties l'une sur l'autre et à les user considérablement; alors la vapeur s'échappe de toutes parts et il faut arrêter la machine pour roder. Afin d'éviter l'inconvénient des robinets, on a d'abord essayé de les remplacer par des portions de robinets se mouvant dans une boîte à vapeur dont l'une des parois était cylindrique et avait pour axe l'axe même du distributeur; mais cette disposition, plus vicieuse que la précédente, en ce qu'elle était fort difficile à exécuter, rendait impossible le rodage des deux parties frottantes et tenait encore moins la vapeur.

C'est alors qu'on fit le tiroir à coquille, qui serait certainement le meilleur distributeur s'il pouvait s'appliquer à tous les cas; mais, malheureusement, ce qui fait son mérite pour les petites machines devient un défaut quand on l'applique aux grandes.

Tiroir à coquille pour machines sans détente (fig. 72). Le tiroir à coquille consiste en une plate-forme A mobile, sur une seconde plate-forme B fixe, avec laquelle elle coïncide parfaitement.

Dans la plate-forme B sont pratiqués trois orifices, dont deux, *a* et *b*, correspondent avec les extrémités du cylindre; et le troisième, *c*, avec le condenseur ou l'atmosphère. Ces orifices portent le nom de lumière du tiroir. Le tiroir A est évidé intérieurement d'une quantité suffisante pour établir la communication entre l'orifice *c* et l'un des deux orifices *a* ou *b*. La longueur totale du tiroir est telle que, quand l'un des orifices *a* ou *b* communique avec l'orifice *c*, l'autre communique avec l'intérieur de la boîte à vapeur C.

Le contact des surfaces a lieu par la seule pression qu'exerce la vapeur sur le tiroir; si ces surfaces sont bien rodées, il ne se perd pas la moindre quantité de vapeur, et si par hasard il s'en perd, cette vapeur ne s'échappe pas dans le local de la machine.

On conçoit maintenant que le tiroir en coquille n'admette pas de grandes dimensions. En effet, la pression de la vapeur sur cette pièce, étant proportionnelle à sa surface, il arrive un point où cette dernière est assez grande pour que le frottement résultant de la pression de la vapeur, rende impossible la manœuvre du tiroir à la main; ce qui indique déjà que le travail, absorbé par la distribution, est assez considérable; inconvénient qu'il faut éviter autant que possible.

Le célèbre Watt a alors imaginé le tiroir, représenté dans les fig. 86 et 87, qui, par sa disposition, jouit de la propriété de n'éprouver aucun frottement par suite de la pression de la vapeur.

C'est un cylindre creux à base demi-circulaire muni de deux plates-formes mobiles sur deux autres plates-formes fixes, correspondant chacune à une lumière de distribution. En A et B sont deux garnitures d'étoupes interceptant la communication entre la portion de la boîte à vapeur que comprennent les garnitures et les portions extérieures de ladite boîte.

L'arrivée de la vapeur ayant lieu par l'orifice E, la sortie ayant lieu par l'orifice H, et les lumières de distribution étant D et G, on voit d'après la figure, qui représente le tiroir en bas et en haut de sa course, comment la distribution se fait.

Ce tiroir a longtemps été employé dans les machines à vapeur, puis on a fini par y renoncer à cause d'un inconvénient grave qu'il présente, savoir :

Quand on a suffisamment rodé à froid le tiroir sur ses plates-formes, il y a coïncidence parfaite, et il semble que la distribution va se faire d'une manière très satisfaisante. Eh bien, il arrive fort souvent que le contraire a lieu; le tiroir perd de la vapeur, quelque soin que l'on mette à serrer les garnitures. Cela tient à ce que, en s'échauffant, il ne se dilate pas régulièrement et se voile, d'où résulte qu'il n'y a plus qu'un côté qui porte en plein sur sa plate-forme.

Quand ce défaut a été bien constaté, on a imaginé de couper le tiroir en deux et de rendre ainsi les deux plates-formes mobiles indépendantes; de là est résulté le tiroir en D couché.

Dans les machines à détente et à tiroir, la détente s'effectue de trois manières principales, savoir :

1° Au moyen d'un tiroir à recouvrement;
2° Au moyen de deux tiroirs;
3° Au moyen d'un tiroir et une soupape.

Les fig. 73, 74, 75, 76, 77, 78 et 85 représentent une détente par tiroir à recouvrement employée dans les locomotives par MM. Sharp et Roberts, de Manchester.

Le vide du tiroir est égal à la distance entre les deux lumières d'introduction; le plein est égal à une fois et demie la largeur des lumières d'introduction. La course est de 105 millimètres, l'avance est de 25 avec recouvrement total; ce qu'indiquent bien les deux figures 73 et 77, représentant le commencement de l'exhaustion et le commencement de l'introduction. La lumière d'exhaustion est très large et prend sur les deux pleins qui la comprennent.

Quand le piston part, la lumière qui correspond avec l'exhaustion est déjà ouverte à moitié, alors elle s'ouvre tout entière, et celle d'introduction s'ouvre aux trois quarts (fig. 73 et 74). Arrivé à ce point, le tiroir change de direction : on voit par là que l'exhaustion est toujours très libre.

La détente, au moyen d'un seul tiroir à recouvrement, est généralement fixe. Quelques mécaniciens de Paris l'ont rendue variable, mais seulement quand la machine est arrêtée; pour cela ils ont disposé leurs excentriques de manière à pouvoir changer de formes en faisant marcher une pièce glissante ou de rotation.

La détente, au moyen de deux tiroirs, s'effectue de deux manières, savoir :

1° Ou les tiroirs sont chacun dans une boîte à vapeur;

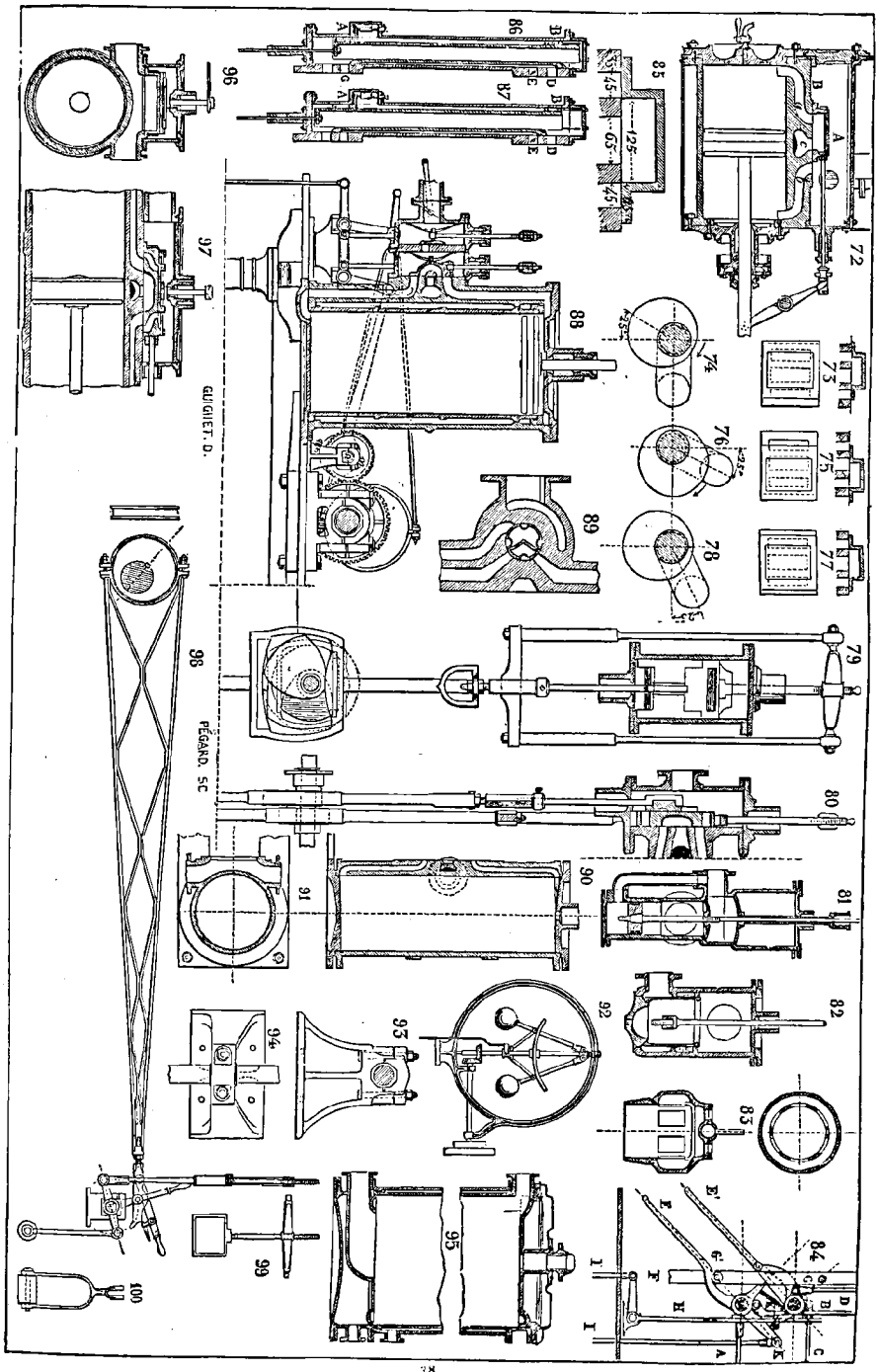
2° Ou les tiroirs sont superposés dans la même boîte.

La première (fig. 88) a été exécutée pour la première fois par M. Saulnier (de la Monnaie), et existe dans toutes les machines à détente de cet habile mécanicien.

La seconde, dont MM. Tamizier et Charpin se dispu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

tent l'idée première, a été exécutée pour la première fois par MM. Tamizier, en 1830, puis perfectionnée par MM. Farcot, Edwards, Pauwels, Galafent, Trésel, Meyer et Jullien.

On a vu à l'article DÉTENTE les systèmes de MM. Farcot et Meyer, nous n'y reviendrons pas. Le système de M. Edwards, qui n'y figure pas, quoique bien connu, a été abandonné comme augmentant sans avantage la difficulté et le prix *de revient de l'exécution*.

Les systèmes de MM. Pauwels, Galafent, Trézel (fig. 79, 80), sont à peu près identiques. Ils diffèrent des systèmes Farcot et Edwards, en ce que le tiroir supérieur a une tige et est mû par un excentrique comme l'autre; la détente est variable, dans ces systèmes, par le changement de position de l'excentrique du petit tiroir.

Quant à notre système, il diffère peu de celui de M. Farcot, quand la machine est horizontale (fig. 96 et 97); pour les machines verticales, il en diffère essentiellement, comme on va le comprendre.

Le grand inconvénient qu'a toujours présenté le système de détente à deux tiroirs superposés, dont un libre, c'est de n'avoir aucun moyen certain de maintenir à sa place normale le tiroir supérieur, quand le cylindre est vertical. MM. Farcot et Edwards emploient des ressorts; nous les avons aussi employés et y avons renoncé, parce qu'il arrive toujours un moment où les ressorts se détendent, et alors le tiroir tombe.

Pour éviter cet inconvénient qui met la machine dans l'impossibilité de marcher régulièrement et l'expose à des chômages continuels pour réparation du tiroir, nous avons fixé (fig. 97) le petit tiroir à une tige située à l'intérieur de celle du gros tiroir. La partie supérieure de cette dernière tige est munie d'un stuffing-box dans lequel la petite tige glisse à frottement plus ou moins doux, suivant le besoin. L'appareil de mouvement du petit tiroir se trouve alors relégué en dehors, et non seulement le petit tiroir n'est plus exposé à tomber, mais encore, si par hasard cela lui arrive, on peut le voir de suite et y remédier en serrant le chapeau du stuffing-box sans même arrêter la machine.

Notre tiroir supérieur diffère de celui de M. Farcot, en ce qu'il est d'une seule pièce, et de celui de M. Edwards, en ce qu'il est à recouvrement de l'une des lumières quand l'autre est ouverte. Cette particularité nous paraît indispensable, par la raison que, quand on détend seulement au 1/4, il y a rentrée de la vapeur à la fin de la course avec le tiroir sans recouvrement.

On voit, dans la fig. 97, que les lumières du cylindre ont une largeur double de celle des lumières du tiroir inférieur. Il suffit d'une épure pour se convaincre que plus les lumières du cylindre sont grandes, les autres restant fixes, plus le point auquel on peut détendre avec ce système est élevé. Mais l'augmentation de largeur des lumières du cylindre amène une augmentation de course du tiroir et une augmentation de toutes les dimensions, ce qui fait qu'on s'en tient au double.

La détente, par les tiroirs superposés, présente cet avantage qu'elle peut varier à chaque instant sans qu'il y ait nécessité d'arrêter la machine. En effet, il suffit pour cela de changer la position du taquet qui limite la course du petit tiroir, soit à la main, soit au moyen du pendule conique. Dans ce cas, on supprime la valve de gorge, et la vapeur entre toujours dans le cylindre à la même pression.

La détente par tiroir et soupape s'est faite de plusieurs manières; la plus remarquable est celle de M. Meyer. Elle consiste en un tiroir ordinaire dont la boîte reçoit la vapeur d'une soupape mise en mouvement par la tige du pendule conique. Cette tige est munie d'un manchon conique, mobile par le pendule, et muni, sur deux de ses génératrices opposées, de renflements qui sont destinés à agir sur un collier fixé à l'extrémité de la tige de la soupape. Quand le pendule marche lentement, le grand diamètre du cône est dans le collier, et alors l'ouverture de la soupape est grande et de longue durée; quand le pendule, au contraire, marche vite, le manchon lève et ne présente plus au collier que son petit diamètre, ce qui produit une ouverture de soupape étroite et de courte durée.

Tiroir en D couché. Ce tiroir ne diffère du tiroir de Watt, décrit déjà précédemment, qu'en ce qu'il ne sert que pour une seule lumière de distribution, est employé dans la plupart des machines fixes dont la force dépasse trente chevaux, et notamment dans les machines de bateaux. Muni d'une bonne garniture, ce distributeur est excellent; son seul inconvénient, par rapport au tiroir en coquille, c'est d'être obligé d'avoir une garniture. On le construit, tantôt en fonte, tantôt en bronze; pour la marine c'est toujours en bronze qu'il le faut, à cause des eaux salées.

Soupapes. Le mouvement des tiroirs est généralement communiqué par des excentriques montés sur l'arbre principal de la machine. Or, quand les machines sont destinées à mouvoir des pompes ou des soufflerie à piston, en un mot, lorsqu'elles n'ont pas d'arbre à mettre en mouvement, il faudrait, pour le cas de distribution par tiroirs et excentriques, en ajouter un exprès, muni de tous ses accessoires, c'est-à-dire, une bielle, une manivelle et un volant. Non seulement cette disposition serait coûteuse, prendrait une place quelquefois nécessaire pour autre chose, mais, ce qui est le plus grave, condamnerait à un mouvement continu des pièces qui ont quelquefois besoin d'un repos à chaque extrémité de la course comme nous le verrons plus tard.

Il serait bien un moyen fort simple de mouvoir les tiroirs par d'autres appareils que des excentriques, ce serait de leur appliquer l'appareil de mise en mouvement de soupapes; on ne le fait pas généralement, bien que ce soit une assez bonne disposition.

Ce sont les soupapes que l'on emploie pour effectuer la distribution de la vapeur dans les cylindres des machines sans rotation.

Il existe trois espèces de soupapes généralement admises pour cette opération, savoir :

Les soupapes *plates*, dites soupapes *enfilées*;

Les soupapes à *garniture*;

Les soupapes à *lanterne*.

Les *soupapes enfilées* (fig. 81), dont on comprend le mode d'action, à l'examen seul de la figure, sont des soupapes ordinaires munies de tiges concentriques se levant alternativement pour faire communiquer successivement l'orifice de distribution du cylindre, tantôt avec la chambre, dans laquelle arrive la vapeur de la chaudière, tantôt avec la chambre par laquelle la vapeur se rend au condenseur.

Ces soupapes ferment très bien et résistent assez longtemps, aussi sont-elles employées dans bon nombre de fortes machines; mais elles présentent un inconvénient résultant de leur disposition même : la vapeur opère sur leur surface une pression qui nécessite une certaine dépense de travail pour leur manœuvre.

A basse pression, ce travail est peu de chose, et elles sont préférables, avec leur inconvénient, à toutes celles qu'on pourrait leur substituer; mais à haute pression, elles ne sont pas tolérables; aussi est-ce pour cela que l'on a imaginé les deux autres espèces sus-mentionnées.

On remédie, en partie, à la difficulté de la manœuvre de ces soupapes par l'addition d'un piston, sur la tige de la soupape inférieure, et d'un tuyau de communication entre la chambre et la partie inférieure de l'axe. Il résulte de là que les pressions sur la soupape et le piston étant égales et contraires, il y a équilibre, et le soulèvement de cette soupape n'absorbe presque pas de force.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les soupapes à garnitures (fig. 82) consistent en un cylindre vertical, creux et mobile, dont la partie inférieure porte sur une embase conique.

La vapeur arrive dans la chambre supérieure et entre dans le cylindre par l'orifice inférieur, quand la soupape est levée. Une soupape absolument semblable à celle de la figure sert pour l'envoi de la vapeur au condenseur.

Bien que la manœuvre des soupapes à garniture soit presque nulle, et que leur mode de fermeture soit assez satisfaisant, elles sont fort peu employées. Cela tient beaucoup à ce qu'elles ressemblent un peu au tiroir en D couché qui leur est de beaucoup préférable.

Les *soupapes à lanternes* (fig. 85) ont été employées pour la première fois dans les machines d'épuisement des mines du Cornwall. Comme celle des précédentes, leur manœuvre ne subit en rien l'influence de la pression de la vapeur, l'ouverture ayant lieu latéralement.

Il serait difficile de dire positivement laquelle des deux soupapes, à *garniture* ou à *lanterne*, est préférable pour haute pression; car, pour basse pression, il n'y a rien de mieux que les soupapes enfilées. Si, d'une part, la soupape à garniture présente l'inconvénient d'exiger le soulèvement plus ou moins fréquent du couvercle de la boîte à vapeur, soit pour le serrage, soit pour la visite de ladite garniture; d'autre part, la soupape à lanterne en présente un autre qui provient précisément de l'absence de garniture, à savoir, d'être munie de deux parties coniques pour opérer la fermeture.

Avec les soupapes à garniture la fermeture est toujours exacte, parce qu'il n'y a qu'à presser pour l'obtenir, tandis qu'avec les soupapes à lanterne, la fermeture n'est exacte qu'autant que le contact du cône supérieur a lieu en même temps que celui du cône inférieur. Il est facile, certainement, d'obtenir ce résultat par le rodage ; mais pendant combien de temps ce rodage est-il efficace? c'est ce qu'il est bien difficile de dire, la constatation des pertes de vapeur n'étant possible que quand ces pertes sont considérables.

V. Mouvements des distributeurs.

Les appareils de mise en mouvement des distributeurs varient nécessairement suivant la nature de ces pièces.

Pour les tiroirs, qu'ils soient à coquille ou en D couché, l'appareil de mise en mouvement est toujours le même; dans le cas le plus compliqué, il se compose de :

Un excentrique ;
Un crochet d'excentrique ;
Une manette ;
Un arbre du tiroir ;
Deux leviers du tiroir ;
Deux bielles du tiroir ;
Une traverse du tiroir ;
Une tige du tiroir ;
Un cadre du tiroir ;
Un contre-poids du tiroir ;
Une bielle de dito ;
Un levier de dito.

Toutes ces pièces sont représentées dans les fig. 98, 99 et 100, disposées pour une machine à balancier, de 12 chevaux.

La fig. 84 représente un appareil à déclic, par *règle*, pour machine sans *détente*. Dans la position où le dessin représente les différentes pièces, le piston à vapeur est au milieu de sa course et monte; on a :

A, bielle pour mouvement de la soupape d'exhaustion du bas;

B, bielle pour mouvement de la soupape d'introduction du haut;

C, bielle pour mouvement de la soupape d'introduction du bas;

D, bielle pour mouvement de la soupape d'exhaustion du haut;

E, E', manettes de mise en mouvement des soupapes;

F, tige de la pompe à air manœuvrant les manettes;

G, taquet de la manette E;

G', taquet de la manette E';

H, règle;

I, I, I, contre-poids;

K, K, bagues à courroies pour limiter l'ouverture des soupapes.

VI. Modérateurs.

On donne le nom de modérateurs, en général, aux appareils destinés à maintenir la vitesse des machines entre deux limites plus ou moins rapprochées.

Parmi les modérateurs, il en est qui agissent en augmentant les résistances quand la puissance devient prépondérante; il en est d'autres, au contraire, qui modifient la puissance selon les quantités de travail absorbées par les résistances.

Les modérateurs des machines à vapeur sont de cette dernière classe. Le plus généralement employé est le modérateur de Watt, dit pendule conique à force centrifuge (fig. 92)

Il a pour but de faire ouvrir ou fermer une clef ou registre placé dans le tuyau d'arrivée de la vapeur, de manière que la quantité de celle-ci qui arrive dans le cylindre diminue quand la vitesse augmente son inversement.

Cet ingénieux appareil a été combiné par Watt en employant simultanément la force constante de la gravité de deux boules et la force centrifuge variable avec la vitesse de l'axe mû par la machine auquel sont assemblés les leviers qui supportent les boules. Ces leviers s'écartant, en raison de la vitesse, enleveront à l'aide d'articulations la tige qui fait mouvoir le *gouverneur*.

On appelle ainsi une clef qui forme, étant en partie fermée, un étranglement, qui est une cause de perte de force vive; que par suite, à la vitesse normale de la machine, le régulateur doit être ouvert; ou mieux encore qu'il y a économie à s'en servir pour accroître la proportion de détente de la vapeur, en l'employant à faire varier la position d'un des tiroirs dans les machines à détente variable, un des perfectionnements les plus notables apportés dans ces dernières années aux machines à vapeur, au point de vue de l'économie du combustible.

Pour la détermination des dimensions du pendule, on se laisse ordinairement guider par des habitudes des constructeurs, ce qui n'offre aucun inconvénient, parce qu'on munit l'arbre qui communique le mouvement au pendule conique d'une poulie à différents diamètres; celui pour lequel les boules ne s'écartent pas pour le mouvement normal est le bon.

On pourrait théoriquement déterminer le poids des boules d'après la résistance qui s'oppose au mouvement du régulateur, mais jamais on n'y a recours dans la pratique, parce que, surtout après quelque temps de service de la machine, on ignore toujours qu'elle est la charge exacte du manchon; on préfère donner, comme nous l'avons dit, plusieurs diamètres à la poulie motrice du pendule conique et chercher par plusieurs essais la meilleure position de la courroie.

Cette incertitude dans laquelle on est sur les résultats du pendule conique, qui tantôt fonctionne bien tantôt fonctionne mal, a suggéré à M. Molinié l'idée de le remplacer par un modérateur à soufflet. Voyez RÉGULATEUR.

L'appareil de M. Molinié n'a qu'un défaut, c'est d'être fort cher; du reste, il fonctionne parfaitement. Sa durée est-elle grande? C'est ce que nous ne pouvons affirmer; c'est un soufflet en cuir qu'il faut éloi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.

gner autant que possible de la chaleur. Le pendule conique, sur ce point, a l'avantage, parce qu'il ne s'use pas ou à peu près pas.

VII. Cylindres et corps de pompe.

Nous comprenons sous cette dénomination la série des pièces alésées cylindriquement pour recevoir un piston se mouvant dans leur intérieur.

De tous les cylindres et corps de pompes, le plus difficile à exécuter est le cylindre à vapeur (fig. 90, 91 et 95).

Quand les machines sont à tiroir, il est muni de conduits pour la vapeur qui se coulent avec lui (fig. 90, 91).

Quand les machines sont à soupapes, ces conduits n'existent plus; mais alors ce sont généralement de grands diamètres et de grandes courses qui augmentent la difficulté.

Dans les cylindres, pour tiroir à coquille, il est important de donner aux conduits des sections égales à celles des lumières; pour cela, au lieu de leur donner même largeur et même épaisseur qu'à ces dernières, ce qui nécessiterait des noyaux très minces et occuperait trop de place extérieurement, on leur donne moins de largeur et plus d'épaisseur.

Le conduit de l'exhaustion est celui qu'il est le plus difficile de faire suffisamment grand; alors on prend un peu sur l'épaisseur du cylindre, ce qui se fait bien aussi pour les conduits, et, autant que possible, on permet à la vapeur de s'échapper des deux côtés de la boîte à vapeur.

Quand un cylindre est alésé assez profond pour qu'il n'y ait plus de soufflures apparentes, on tourne les parties des brides extérieures pour recevoir le fond et le couvercle préalablement tournés aussi. Cette disposition a non seulement l'avantage de rendre inutile l'emploi du plomb et du mastic pour faire la fermeture; mais encore de rendre le montage plus facile, les positions relatives du cylindre et du fond étant déterminées.

Quand on veut mettre des enveloppes aux cylindres, la meilleure disposition est celle de la fig. 95.

VIII. Pistons.

Il existe trois espèces de pistons, savoir :

Les pistons à vapeur; les pistons à eau; les pistons à air.

Dans les trois cas, il existe deux parties principales, savoir :

Le corps du piston; la garniture du piston.

§ I^er^. *Pistons à vapeur.* — Dans l'origine, ces pistons se construisaient en fonte avec garniture en chanvre (fig. 101 et 102). Tant que l'on n'a fait usage que de machines à basse pression, ils ont donné des résultats satisfaisants, bien que la garniture se déchirât souvent aux soufflures que l'alésage du cylindre rend apparentes, et qu'il n'est pas toujours possible de boucher avec du plomb.

Mais quand on a voulu appliquer ce genre de pistons à la haute pression, la surface du chanvre se carbonisant légèrement, l'action des éraillures du cylindre était bien plus active, et il fallait changer les garnitures beaucoup trop souvent.

Alors on imagina d'employer les pistons à garniture de chanvre recouverte d'un cercle de fonte (fig. 103, 104).

Cette disposition, qui est encore exclusivement employée par beaucoup de constructeurs, est fort bonne en ce que :

1° Elle est peu coûteuse;

2° Elle ne manque jamais;

3° Quand l'obturation n'est plus assez complète, il suffit de changer la garniture.

Aussi la préférons-nous de beaucoup pour les usines éloignées des ateliers de construction.

Les cercles superposés à la garniture sont en fonte, tournés sur toutes les faces, d'un diamètre supérieur à celui qu'ils doivent avoir dans le cylindre, afin que coupés et réduits au diamètre nécessaire, ils aient une certaine élasticité.

Le serrage du piston de la fig. 103 diffère de celui du piston précédent, en ce que les boulons se vissent dans des écrous en fer rapportés, ce qui est bien préférable au taraudage dans la fonte.

Pour empêcher les têtes des boulons de tourner, au lieu d'un cercle de fer que l'on met ordinairement, nous avons mis une plaque de fonte, percée de trous disposés pour recevoir les têtes de boulons; de cette manière, le vide que laissent ces têtes au-dessus du piston est comblé, ce qui est autant d'économisé pour la vapeur.

Après les pistons à garniture mixte vinrent les pistons à garniture métallique. Ces derniers, qui sont sans contredit les meilleurs, quand ils sont bons, ont été construits et se construisent encore de diverses manières.

La première et la plus ancienne des garnitures métalliques, est celle dite à ressorts à boudins (fig. 105, 106).

Elle consiste en deux anneaux superposés et composés chacun de deux rangs de segments en acier serrés contre le cylindre par des ressorts à boudins en acier.

Ce mode de garniture est bon, bien que souvent les ressorts perdent de leur élasticité. Ce qu'il faut surtout éviter, dans ce genre de pistons, c'est l'encrassage qui rend à la longue les segments immobiles.

Ensuite est venu le piston à cercles (fig. 107, 108), analogue au piston à garniture mixte, et composé de deux cercles concentriques tournés sur un diamètre plus fort et coupés de manière à être rendus élastiques.

Ce système de garniture ne présente pas, à notre avis, assez de stabilité pour ne pas occasionner des fuites de la vapeur au travers de la garniture.

On a ensuite imaginé la disposition des fig. 113 et 116, qui est une légère modification de celui de la figure 105, mais présente l'inconvénient de rayer le cylindre.

Une des meilleures dispositions pour garnitures métalliques est celle des fig. 114 et 115, qui dérive à la fois et de la précédente et de celle de la figure 105. La garniture est moins susceptible de s'encrasser que celle de la fig. 105, seulement elle coûte cher.

Enfin, depuis quelque temps on semble revenir à la disposition de la fig. 113 qui avait été délaissée. Elle a été adoptée pour les pistons des appareils moteurs de 450 chevaux de la marine de l'État.

§ 2. *Pistons à eau.* — Les pistons à eau se divisent en pistons pleins, pistons à clapets.

Les pistons pleins, dits aussi pistons foulants, se construisent des deux manières, suivant leurs diamètres.

Pour de petits diamètres, comme ceux employés à l'alimentation des chaudières, on emploie les pistons pleins sans garniture. L'obturation a lieu dans ce cas au moyen d'un stuffing-box adapté au corps de pompe.

Pour de grands diamètres, on les fait en fonte, d'une ou deux pièces, et on les munit d'une garniture en chanvre.

Les pistons à clapets, dits aussi pistons élévatoires, se construisent de différentes manières, suivant les diamètres des corps de pompe.

Pour les petites pompes à eau, on emploie les pistons à garniture de chanvre ou les pistons à garniture de cuir.

Pour des diamètres un peu grands, on emploie les pistons à garniture de cuir embouti, ou encore les pistons à garniture de cuir découpé.

Pour les pompes à air, on emploie généralement le piston à garniture de chanvre et à clapets métalliques.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

§ 3. *Pistons à air.* — Il n'existe qu'une forme pour les pistons à air se mouvant dans des cylindres en fonte, c'est celle représentée dans la fig. 1484. (Voy. MACHINES SOUFFLANTES).

Le corps du piston est en fonte ; la garniture est en cuir, maintenue en place par des segments en bois que serrent des boulons à deux écrous assemblés à baïonnette avec le corps du piston.

Le but des boulons à deux écrous est le suivant. Comme il arrive souvent qu'un écrou se desserre, si les boulons étaient à tête et à écrou, l'écrou se desserrant, la tête ne serrerait plus, et au lieu d'une portion de la garniture mal serrée on en aurait deux. Avec l'emmanchement à baïonnette, l'un des écrous peut se desserrer sans que l'autre cesse d'agir de son côté ; il est bon néanmoins, pour que cela arrive comme nous le disons, que la saillie du boulon n'ait pas de jeu de haut en bas dans la mortaise où elle vient se loger.

IX Tiges.

Ce sont généralement des pièces cylindriques en fer forgé, destinées à transmettre le mouvement soit d'un piston à vapeur, soit à un piston de pompe. A cet effet, elles se terminent le plus souvent, d'une part, par une embase conique percée d'un trou de clavette destinée à se loger dans l'épaisseur du piston ; d'autre part, par une tête propre à recevoir une douille.

Les tiges ont à résister tantôt à la traction seulement, tantôt à la traction et à la pression. Dans le second cas elles doivent être d'un diamètre beaucoup plus fort que dans le premier.

La formule de *Tredgold*, relative aux pièces soumises à l'écrasement, exprimée en mesures françaises, devient, pour le fer :

$$P = \frac{267\ d^4}{1{,}24\ d^2 + 0{,}00034\ l^2}$$

Dans cette formule P est la charge réelle exprimée en kilogrammes ; d est le diamètre et l la longueur de la tige exprimée en centimètres.

De plus on a trouvé par expérience que le diamètre d'une tige de piston à vapeur de machine à basse pression devait être égal au $\frac{1}{10}$ du diamètre de ce piston. Si nous comparons ces deux résultats nous trouvons que : $0{,}785\ D^2$ étant la surface d'un piston à basse pression en centimètres carrés, et d le diamètre de la tige.

La pression de la vapeur sur cette surface est $1^k{,}032 \times 0{,}785\ D^2$.

La longueur d'une tige de piston à basse pression est égale à trois fois le diamètre de ce piston 3.D.

On a, d'après la formule ci-dessus :

$$0{,}811\ D^2 = \frac{267\ d^4}{1{,}24\ d^2 + 0{,}00034 \times 9\ D^2}$$

Si la formule est d'accord avec le résultat pratique, la valeur $d = \frac{1}{10}\ D$ substituée dans cette équation doit lui satisfaire ; or, on a, pour $d = \frac{1}{10}\ D$:

$$0{,}811\ D^2 = \frac{0{,}0267\ D^4}{0{,}0124\ D^2 + 0{,}00306\ D^2}$$

ou : $$0{,}811 = 1{,}7$$

Nous déduisons de là que la valeur affectée au diamètre d de la tige du piston à basse pression est supérieure à celle que donnerait la formule de Tredgold. Cela tient à ce que la tige du piston est mobile, tandis que la formule est pour des pièces fixes.

Si les tiges n'ont à résister qu'à la traction on calcule leur section au moyen de la formule :

$$S = \frac{3\ P}{4300} = \frac{P}{1433}$$

Dans laquelle S représente la section en centimètres carrés, P la charge à supporter, 4300 la charge moyenne, par centimètre carré, correspondant à la rupture ; si on remplace S par $0{,}785\ d^2$, on trouve :

$$d = \frac{\sqrt{P}}{33} \text{ en centimètres.}$$

Si la tige était en bronze, il faudrait remplacer, dans la formule, le nombre 4300 par 2550.

Si la tige était en acier de cémentation par 2790
en fonte grise par 1420

L'extrémité d'une tige destinée à entrer dans une douille est toujours d'un diamètre inférieur à celui de la tige, afin que la saillie provenant de la différence des diamètres, vienne butter contre l'entrée de la douille par le serrage de la clavette et évite ainsi le buttage contre le fond de la douille qui est généralement moins résistant. Cette disposition n'a aucun inconvénient pour les tiges calculées d'après la première formule, le milieu de la longueur nécessitant seul le diamètre qu'elle indique ; mais elle en aurait un très grand, si on n'y avait égard en calculant le diamètre de la tige d'après la seconde formule.

L'inclinaison de l'embase varie suivant les constructeurs. Mais comme les tiges ne sont pas les seules pièces qui donnent lieu à des assemblages coniques, il est bon d'avoir une inclinaison générale pour tous les cas, afin de rendre aussi peu nombreux que possible le matériel en *lames d'alésoir coniques*.

Nous avons trouvé que, de tous les assemblages à embases coniques, ceux qui présentent le plus d'avantage comme solidité, économie de main-d'œuvre, etc., correspondent à une inclinaison de 1/15.

A 1/10, l'inclinaison est trop forte, l'alésage est difficile et le serrage moins bon ; à 1/20 c'est le contraire, le serrage se fait trop facilement et le fer se passe à la filière dans le trou conique.

X. Guides.

Les guides sont des appareils destinés à maintenir rectiligne le mouvement longitudinal d'une tige.

On distingue plusieurs espèces de guides suivant l'importance de la tige qu'il faut maintenir dans sa ligne de mouvement.

Pour tiges de tiroirs on emploie le guide représenté (fig. 110). C'est tout simplement une pièce de cuivre percée d'un trou dont le diamètre est égal à celui de la tige à guider.

Pour tige de soupapes, l'appareil est en fonte et muni d'un petit manchon en cuivre dans lequel se meut la tige et pouvant se changer facilement (fig. 109).

Pour tige de piston à vapeur, la forme des guides varie singulièrement suivant la disposition et la puissance de la machine.

Pour machine horizontale au-dessous de 10 chevaux on emploie un support ordinaire à deux coussinets comme pour un arbre de rotation.

A dix chevaux et au-dessus, on emploie deux barres parallèles et une traverse (fig. 111 et 112).

Dans les locomotives on se sert avec avantage des glissoirs et glissières (fig. 117 et 118).

Dans les machines à cylindre vertical, sans balancier, on se sert d'un ou deux galets (fig. 119 et 120) mobiles dans des coulisses. Dans plusieurs machines on a préféré les glissoirs et glissières aux galets, parce que l'effet de ces derniers, sur les joues de la coulisse, est le même que celui des glissoirs, s'ils n'ont pas un jeu suffisant pour pouvoir ne toucher que d'un côté.

Dans les machines à balancier on emploie le parallélogramme dit parallélogramme articulé de Watt, c'est le cas des machines très puissantes ; quelquefois, mais bien plus rarement, le parallélogramme d'Olivier Evans.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le premier, qui est le plus employé, ne gouverne pas la tige rigoureusement en ligne droite; il fait décrire à son extrémité une courbe dite, à cause de sa forme, courbe à longue inflexion, qui se rapproche tellement d'une droite que, en pratique, la différence est insensible.

Le parallélogramme d'Olivier Evans guide la tige parfaitement en ligne droite, mais il nécessite que l'axe principal du balancier, outre un mouvement circulaire alternatif sur lui-même, puisse en prendre un rectiligne alternatif. Il faut alors placer cet axe sur un support mobile, ce qui nuit à la solidité de la machine tout en la compliquant inutilement; aussi ce parallélogramme est-il fort peu employé.

Il est bien évident que ce système composé d'articulations, dans lequel les mouvements autour des points de rotation sont peu étendus, entraîne des frottements bien moindres que les systèmes à glissières, à frottement de glissement; pour de puissantes machines surtout ces systèmes séduisant par leur simplicité ne seraient pas admissibles.

Il est bon de tenir compte également des vibrations et ébranlements qui résultent souvent de la disposition de ces guides à une grande hauteur, mais ceci rentre dans l'examen des dispositions d'ensemble des machines, dont nous traiterons ci-après.

Nous n'avons plus à donner ici la démonstration des propriétés du parallélogramme articulé; on les trouvera à l'article DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT). Nous renverrons également à cet article pour la démonstration de ce fait, qu'il existe sur le parallélogramme un second point qui, comme le sommet, l'extrémité, peut servir à guider une tige en ligne droite. Ce point sert en général pour attacher l'extrémité de la tige de la pompe à air.

Le sommet du parallélogramme de Watt, le seul dont nous parlions ici, qui guide la tige du piston, décrit, comme nous l'avons déjà dit, une courbe dite courbe à longue inflexion, qui se rapproche suffisamment d'une ligne droite; les écarts restent dans les limites permises par l'élasticité des pièces, à la condition toutefois que les diverses parties du système soient convenablement déterminées. Ainsi, en donnant au balancier, comme on le fait ordinairement, une longueur égale à trois fois la longueur de la levée du piston, la déviation de la tige est de 2,5 millimètres.

Le parallélogramme de Watt se compose de cinq parties principales, savoir :

Deux grandes chapes, deux chapes de pompes à air, deux guides, deux contre-guides, une lunette.

Les grandes chapes se construisent d'après les mêmes principes que les chapes de bielles. Elles n'en diffèrent que par les dimensions, mais les formes et épaisseurs principales sont les mêmes. Entre les deux coussinets intermédiaires est un remplissage tantôt en fonte, tantôt en cuivre, au goût des constructeurs. Les chapes de pompes à air diffèrent des grandes chapes en ce qu'elles portent trois axes dont un, celui de la lunette, n'a pas besoin de coussinets. A cet effet, elles affectent la même forme que les précédentes, seulement renversée, et ont la tête munie d'un prolongement, en forme de levier, venant recevoir l'axe de la pompe à air dans une tête ronde située à l'extrémité.

La lunette est un axe au milieu duquel est ménagé un vide au travers duquel passe la tige de la pompe à air, de là le nom de lunette.

Nous renverrons également à l'article DIFFÉRENTIEL (MOUVEMENT) pour la démonstration du principe sur lequel repose le parallélogramme d'Olivier Evans, qui ne figure plus aujourd'hui dans aucune machine à vapeur de construction moderne. En effet, même en obtenant le petit mouvement rectiligne que doit prendre l'axe du balancier à l'aide d'une articulation autour d'un point fixe, ce système, où rien en quelque sorte n'est fixe, devient bientôt incapable d'un bon service. Applicable seulement aux faibles machines il ne vaut pas les glissières avec ou sans galets dont nous avons parlé ci-dessus. Il consomme bientôt à peu près autant de travail en frottements, sans avoir tous les avantages de simplicité et de solidité qu'offrent ces derniers, presque exclusivement employés aujourd'hui dans la pratique de l'industrie pour les machines d'une faible puissance.

XI. Balanciers.

On donne le nom de balanciers à de grandes pièces longues, mobiles, portées sur un axe placé en leur milieu, dont les extrémités sont animées d'un mouvement circulaire alternatif.

Les balanciers s'emploient pour transmettre le mouvement rectiligne alternatif d'une tige à d'autres tiges ou à une bielle, et réciproquement.

On distingue deux formes principales de balanciers, savoir :

Le balancier droit (fig. 133, 134, 135, 136, 137 et 138), qui s'emploie dans les machines à cylindre vertical, dites machines à balancier.

Le balancier à trois branches (fig. 144), qui s'emploie pour machines horizontales transmettant le mouvement à une tige de pompe; ce dernier ne se rencontre guère que dans les mines.

Le premier est tantôt d'une seule pièce, tantôt de deux, appelées *flasques*; le second est généralement à deux flasques, ce qui simplifie l'assemblage de ses tourillons extrêmes avec les têtes des tiges de communication.

Balanciers à une flasque.—Ces balanciers s'emploient généralement pour les machines dont la force est au-dessous de 100 chevaux; cela tient à ce que, dans beaucoup d'usines, on n'a pas de fourneaux assez grands pour couler des balanciers de cette force en une seule flasque. On pourrait croire que la question des transports est pour quelque chose dans l'emploi des balanciers à deux flasques; mais il n'en est rien, attendu que, si on veut qu'un balancier à deux flasques arrive sain et sauf à destination, il faut avoir soin de l'assembler avant de l'expédier, même quand les flasques doivent voyager verticales. Il résulte de là qu'il n'y a pas de raison sérieuse pour ne pas faire tous les balanciers à une seule flasque.

Parmi les balanciers à une flasque, on distingue :

Les balanciers à têtes plates :

Les balanciers à boules.

Les balanciers à têtes plates (fig. 139 et 140) consistent en une plaque de fonte aussi mince que possible, munie, de distance en distance, de renflements dans lesquels sont pratiqués les trous où se logent les axes. Le contour extérieur de la plaque représente deux paraboles dont les foyers sont très rapprochés des sommets (forme du maximum de résistance d'une pièce soutenue en son milieu), lesquels sont situés en regard l'un de l'autre au milieu du balancier; des nervures de formes variées relient ensemble les divers renflements de part et d'autre et, de plus, règnent tout autour de manière à donner à la flasque une certaine résistance à la rupture transversale.

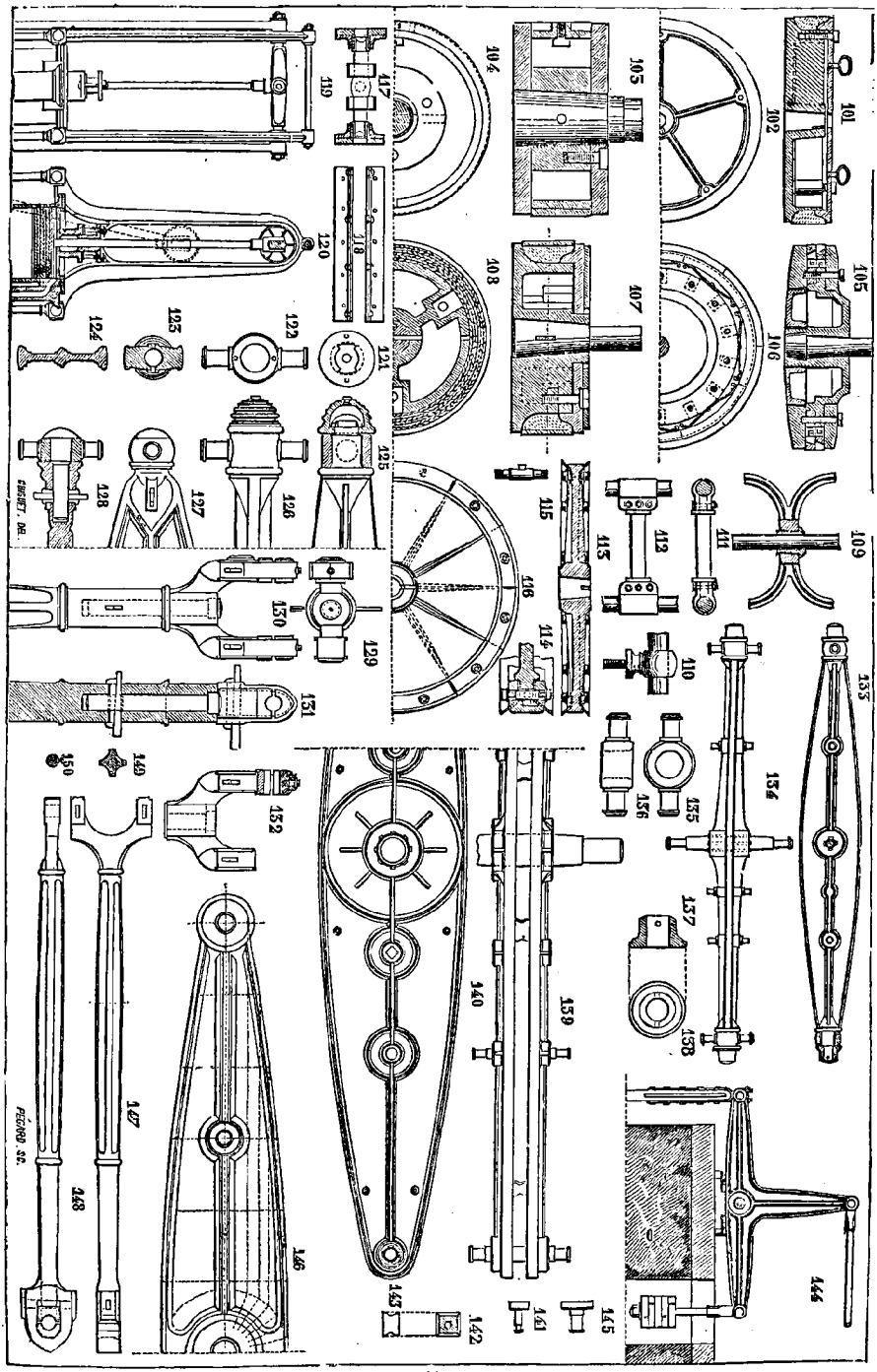
Les balanciers à boule diffèrent des précédents en ce que les tourillons extrêmes sont mobiles autour d'un axe (fig. 133 et 134) formant l'extrémité du balancier.

Cette disposition a pour but d'éviter la rupture de l'une des pièces d'assemblage, dans le cas où le plan du mouvement du balancier n'est pas exactement le même que celui des tiges ou bielles avec lesquelles il communique.

Il existe plusieurs modes d'assemblage des tourillons extrêmes avec le balancier; dans tous, ils font saillie sur un manchon en fer forgé avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans les fig. 133, 134, 135, 136, 137 et 138, le manchon est maintenu en place par une virole et un goujon en fer. — Les fig. 125, 126, 121 et 122 représentent un emmanchement dit à baïonnette. — Enfin les fig. 117, 128, 123 et 124 représentent un emmanchement à axe mobile et clavettes qu'employait M. Edwards, à Chaillot.

De tous ces emmanchements, celui des fig. 133 et 134 nous paraît le meilleur et le plus économique.

Balanciers à deux flasques. — Les balanciers à deux flasques sont moins employés que les précédents; ils exigent évidemment plus de travail, d'ajustement, coûtent par suite plus cher sans procurer d'avantage spécial, au contraire en présentant des chances d'altération de forme extrêmement nuisibles. Ces balanciers (fig. 139 et 140) sont tous à têtes plates; les axes sont tantôt à un seul, tantôt à deux tourillons, suivant que l'assemblage a lieu avec une bielle ou un parallélogramme.

Les flasques sont reliées entre elles au moyen de boulons carrés à deux écrous et d'entretoises en fonte A; les trous des boulons dans les flasques étant ronds et du même diamètre que les parties taraudées, par conséquent plus petits que le corps des boulons, il en résulte que l'un des deux écrous peut se desserrer et s'en aller sans que l'autre en fasse autant et expose ainsi l'entretoise à tomber sur la tête de quelqu'un.

Calculs du balancier. — Le balancier est doué d'un mouvement circulaire alternatif.

Il est supporté en son milieu par un axe.

Il reçoit son mouvement de la tige du piston par un axe situé à l'une de ses extrémités et communique le mouvement à la bielle par un axe situé à l'autre extrémité.

Il possède, en outre, aux deux quarts de sa longueur deux axes servant à mouvoir l'un la pompe à air, l'autre les pompes d'alimentation.

Sa longueur est égale à trois fois la course du piston, donc six fois le diamètre du cylindre sans détente à condensation.

Diamètres des tourillons des axes.—Les diamètres des tourillons des axes du balancier se déterminent d'après les considérations suivantes :

Le diamètre de la tige du piston étant égal au dixième du diamètre du cylindre à basse pression, la tige du piston supporte une charge de pression et de traction alternatives, égale à $103^k,3$, net 105^k par centimètre carré de section. Si d représente son diamètre en centimètres, elle supporte une charge représentée par

$$105 \times 0{,}785\, d^2 = 82{,}5\, d^2.$$

Tourillons des axes extrêmes.—Soit δ le diamètre des tourillons de l'axe extrême du balancier, si on le calcule par la formule de Robertson :

$$\delta = 3{,}2 \left(\frac{9}{14} \times Q \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dans laquelle Q est la charge totale supportée par l'axe en quintaux métriques, on obtient en substituant :

$$\delta = 2{,}6\, d^{\frac{2}{3}} \qquad (a).$$

Si, au contraire, on le calcule par la formule

$$P\, l = \frac{R\, \pi\, r^3}{4} = \frac{R\, \pi\, \delta^3}{32}$$

relative aux pièces rondes encastrées par une extrémité et dans laquelle on a :

P, charge quintuplée $= 1/2\, 82{,}5\, d^2 \times 5 = 206{,}25\, d^2$;

l, longueur extérieure de l'axe $= 2{,}5\, \delta$ environ.

R, coefficient pour le fer $= 6{,}000$.

$\pi = 3{,}1415926$.

On obtient.

$$\delta = 0{,}935\, d. \qquad (b).$$

Pour déterminer laquelle des deux formules (*a*) et (*b*) est la meilleure, posons :

$$2{,}6\, d^{\frac{2}{3}} = 0{,}935\, d.$$

Nous en déduisons :

$$d = 21^c,5.$$

Pour $d = 21^c,5$, les deux formules donnent, pour δ, une même valeur, qui est :

$$\delta = 20^c,15.$$

Faisant $d = 1$ centimètre, il vient :

1° Par la formule (*a*) $\quad \delta = 2^c,6.$

2° Par la formule (*b*) $\quad \delta = 0^c,935.$

Nous en déduisons que, au-dessous de $d = 21^c,5$, les valeurs de δ données par la formule (*a*) sont plus fortes que celles données par la formule (*b*).

Remarquant que :

1° La formule (*a*) est pratique et convient particulièrement aux petits diamètres, en ce sens qu'elle a égard, en les renforçant, aux défectuosités du métal qui, chez ces derniers, se manifestent plus promptement que chez les gros; mais que les dimensions qu'elle donne pour ces diamètres sont trop considérables, comme l'expérience le prouve.

2° Si, dans la formule (*a*), on remplace le coefficient 2,6 par 2,00, les résultats que l'on obtient sont tout à fait conformes à ceux que l'expérience seule a consacrés.

3° La formule (*a*), employée pour les gros diamètres, donne des valeurs de δ inférieures à celles que donne la formule (*b*), qui est théorique, et fait supporter les mêmes charges aux mêmes sections.

Par ces motifs, nous proposons l'adoption de la formule :

$$\delta = 2\, d^{\frac{2}{3}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (c)$$

Pour les diamètres des tourillons extrêmes du balancier, jusqu'à la valeur de d, pour laquelle les deux formules (*b*) et (*c*) en donnent une même pour δ, et que nous trouvons en posant, comme ci-dessus :

$$2\, d^{\frac{2}{3}} = d$$

Dans laquelle on remplace le coefficient 0,935 de (*b*) par 1, et d'où on tire :

$$d = 8 \text{ centimètres.}$$

Ainsi, pour $d < 8$ centimètres,

$$\delta = 2\, d^{\frac{2}{3}}$$

Pour $d > 8$ centimètres,

$$\delta = d$$

On obtient ainsi, en ayant soin de remplacer les nombres qui ne sont pas dans la série des diamètres adoptée par ceux de ces derniers qui en approchent le plus :

Diamèt. du cylindre à basse press. D	Diam. de la tige du piston. d	Diamètre des tourillons extrêmes du balancier. δ	Diamèt. du cylindre à basse press. D	Diam. de la tige du piston. d	Diamètre des tourillons extrêmes du balancier. δ
m.	mm	mm.	m.	mm.	mm.
0,05	5	12 pr 13,6	0,45	45	55 — 54,6
0,10	10	20 — 20,0	0,50	50	60 — 58,5
0,15	15	25 — 26,2	0,55	55	60 — 62,4
0,20	20	30 — 31,8	0,60	60	65 — 66,0
0,25	25	35 — 36,8	0,65	65	70 — 69,6
0,30	30	40 — 41,6	0,70	70	75 — 73,2
0,35	35	45 — 46,1	0,75	75	75 — 76,6
0,40	40	50 — 50,4	0,80	80	80 — 80,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tourillons de l'axe du milieu. En ce qui concerne le diamètre du tourillon de l'axe qui supporte le balancier, la charge sur cet axe se compose de :

1° La charge sur l'axe du cylindre à vapeur;
2° La charge sur l'axe de la bielle;
3° La charge sur les axes des pompes;
4° Le poids du balancier.

Les deux premières charges sont égales chacune, à la charge sur la tige du piston à vapeur. Si on évalue à une fois cette même charge les deux dernières charges du balancier, il en résulte que l'axe du milieu doit supporter une charge égale à trois fois celle que supportent les axes extrêmes. On a alors les formules:

1° Tourillons des axes extrêmes en fer:,

$$\delta = 3{,}2 \left(\frac{9}{14} Q\right)^{\frac{1}{3}};$$

2° Tourillons de l'axe du milieu en fer:

$$\delta' = 3{,}2 \left(\frac{9}{14} 3Q\right)^{\frac{1}{3}};$$

d'où

$$\frac{\delta}{\delta'} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Et $\delta' = 1{,}444\ \delta.$

En nombres ronds : $\delta' = 1{,}44\ \delta$ . . . (*d*).

Tourillons des axes des pompes. En ce qui concerne les tourillons des axes des pompes, il est d'usage de leur donner pour diamètre la moitié de celui du gros axe. On a donc :

$$\delta'' = 0{,}5\ \delta. \ldots\ldots\ (e).$$

Forme du balancier. Le balancier doit être considéré comme sollicité à ses deux extrémités par une force verticale et égale à P. Les composantes, dans le sens de la longueur de l'axe, qui naissent lors de ses inclinaisons limitées, sont toujours très-faibles, et il est inutile de s'en occuper. Les sections rectangulaires du balancier se calculent par la formule ordinaire (voy. RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX) et en désignant par a son épaisseur constante, par y sa hauteur et par x la distance d'une section quelconque à son extrémité, on aura pour sa valeur théorique :

$$Px = R\frac{ay^2}{6},$$

c'est-à-dire que sa forme mathématique est une parabole, celle de solide d'égale résistance, ayant son sommet au point d'application de la force 1/2 P.

On ne s'écarte de cette forme qu'aux endroits où sont pratiquées les articulations. Ainsi, au centre, le passage de l'axe exige une large ouverture qui affaiblit la section résistante, et il est nécessaire de la renforcer en augmentant soit la hauteur, soit l'épaisseur de la matière; c'est ce dernier moyen qui est employé de préférence, parce qu'il permet de former le manchon qui traverse l'axe; aux extrémités, on doit également conserver des renforts de matière pour porter les tourillons.

Largeur et épaisseur. En ce qui concerne l'épaisseur et la largeur *maxima* du balancier, on a la formule :

$$5Pl = \frac{Rab^2}{6}.$$

Dans laquelle :
$5P = 5 \times 82{,}6\ d^2$,
$l = 3D = 30\ d$,
$R = 2800$ pour la fonte,
$a = 0{,}5\ d$ épaisseur par expérience,
$b =$ largeur inconnue.
On en déduit :

$$b = 7{,}27\ d = \frac{7{,}27}{30} l = \frac{1}{4{,}13} l.$$

MACHINE A VAPEUR.

En nombres ronds, $b = \frac{1}{4} l = \frac{1}{8} 2l.$ . . . . . (*f*)

C'est-à-dire $\frac{1}{8}$ de la longueur.

Les trois dimensions du balancier exprimées en fonctions de D et d sont donc :

DIMENSIONS.	En fonction du diamètre du cylindre. D	En fonction du diamètre de la tige du piston. d
Longueur.	6,00	60,0
Largeur.	0,75	7,5
Épaisseur.	0,05	0,5

Moyeux des axes. Le diamètre intérieur du moyeu, qui est le diamètre du corps des axes, est égal à 1,2 fois le diamètre des tourillons de ces axes. L'épaisseur de la fonte autour est égale au diamètre du tourillon; le diamètre extérieur du moyeu est donc égal à : $1{,}2 \times 1 \times 2 = 3{,}2$ fois le diamètre des tourillons de leur axe.

L'épaisseur des moyeux est au moins égale à deux fois le diamètre du tourillon correspondant. Comme il est nécessaire que les moyeux des axes des pompes fassent saillie sur les nervures, on leur donne les mêmes épaisseurs qu'aux moyeux extrêmes. En voici, du reste, le tableau.

ÉPAISSEUR DES

Moyeux des axes extrêmes.	Moyeux des axes des pompes.	Moyeu de l'axe du milieu.
2,4 δ.	2,4 δ'.	2 δ'.

L'épaisseur 2,4 δ' des moyeux des axes extrêmes est égale à la largeur T des tiges.

Nervures. Au point de vue de la résistance, il y a tout avantage à augmenter le rapport de la hauteur à l'épaisseur; aussi, au milieu de la longueur, la hauteur du balancier est-elle portée jusqu'à seize fois son épaisseur, mais dans ces conditions il devient nécessaire de le consolider transversalement au moyen de nervures qui contournent son profil extérieur. Ces nervures concourent d'ailleurs puissamment à la résistance à la flexion dans le sens de la hauteur. Considérons, en effet, un balancier dans lequel la hauteur y soit égale à dix fois l'épaisseur a, et supposons rapportée le long de ses arêtes extrêmes, une nervure latérale dont l'épaisseur soit a et la saillie $2a$; calculons séparément la résistance de la section rectangulaire primitive et de celle portant des nervures; on aura pour la première :

$$R\frac{ay^2}{6} = R\frac{100\,a^3}{6},$$

et pour la deuxième :

$$R\frac{5a}{6}(10\,a)^2 - R\frac{4a}{6}(8\,a)^2 = R\frac{244\,a^3}{9}.$$

La résistance des nervures considérée isolément est environ une fois et demie celle de la section primitive; par conséquent, par leur addition, la résistance de la pièce sera plus que doublée, tandis que son poids n'augmentera que des huit dixièmes. Si la saillie de la nervure était égale à une fois seulement l'épaisseur du balancier, la résistance additionnelle serait moitié moindre, et l'on aurait pour moment final :

$$\frac{100\,a^3 + 72\,a^3}{6}.$$

La résistance de la pièce serait augmentée d'environ les trois quarts, et son poids de quatre dixièmes seule-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment. Cet exemple fait bien comprendre toute l'importance des nervures horizontales dans les cas analogues, leur efficacité étant d'autant plus grande qu'elles sont plus éloignées du centre.

XII. Bielles.

Les bielles sont des vergos inflexibles, dont les extrémités sont généralement douées de mouvements différents, ce qui rend oscillatoire le mouvement du corps; elles sont de plus successivement soumises aux deux efforts de traction et d'écrasement, dans le sens de leur longueur.

Suivant l'espèce de machine dans laquelle elles doivent figurer, les bielles affectent plusieurs formes différentes; de plus, elles se construisent tantôt en fonte, tantôt en fer.

Aujourd'hui, les bielles en fonte ne sont presque plus employées que pour les machines fixes à balancier; dans tous les autres cas, elles sont en fer.

§ 1er. *Bielles en fonte.* Les bielles en fonte (fig. 147, 148) sont généralement à fourchette; quelquefois, quand le balancier est à deux flasques, on préfère, si la chose est possible, les faire à deux têtes; mais cela est rare.

L'assemblage de la fourchette A avec les tourillons de l'axe extrême du balancier, se fait au moyen de chapes, coussinets et clavettes.

Le corps B de la bielle, au lieu d'être plein, comme dans les bielles en fer, a pour section (fig. 149) quatre nervures, décroissant paraboliquement depuis le milieu jusqu'aux extrémités, qui ont pour but de rendre nul le fouettement qui résulterait infailliblement du mouvement oscillatoire de cette pièce, si elle était cylindrique et d'un diamètre moindre, quoique pleine.

La tête C de la bielle se fait quelquefois à chape et coussinets rapportés; mais le plus souvent elle se coule avec le corps même. Elle porte un évidement suffisamment grand pour loger les coussinets et permettre leur enlèvement facile; elle se relie au corps par une partie légèrement conique, à section circulaire ou ovale, suivant le cas. Cette partie est d'une longueur suffisante, pour que la manivelle passe au-dessous de la baguette qui indique l'origine du corps.

La bielle étant souvent exposée à un effort de torsion, par suite du déplacement ou de la mauvaise pose des supports de l'arbre du volant, M. Edwards, l'habile ingénieur de l'ancien établissement de Chaillot, construisait la bielle en deux parties (fig. 129, 130, 131 et 132), la fourchette et le corps reliés entre elles par un boulon en fer, qui permettait au corps de tourner sur lui-même pendant le mouvement de la machine.

Sans nous prononcer positivement contre cette disposition coûteuse, nous pensons qu'il est préférable, pour la solidité de l'ensemble, de faire en sorte qu'il n'y ait pas à craindre l'effort de torsion dont elle a pour but de détruire l'effet.

§ 2. *Bielle en fer.* La bielle en fer est tantôt à deux têtes, tantôt à une tête et une fourchette, comme la bielle en fonte.

La fourchette qu'emploient encore quelques mécaniciens, sans qu'il y ait nécessité, non-seulement coûte fort cher, mais encore expose la bielle à se rompre par flexion à l'origine du corps, du côté où elle se trouve. Depuis longtemps elle a été abandonnée par les constructeurs habiles pour tous les cas où elle n'est pas indispensable, et réservée seulement pour les petites machines, dans lesquelles la tige du piston est guidée par un support ou tout autre appareil qui rend impossible l'assemblage avec une tête de bielle.

Les têtes de la bielle en fer sont tantôt rapportées, tantôt forgées avec le corps. Dans le premier cas, ce sont des chapes, coussinets et clavettes qui les forment; dans le second cas, ce sont des renflements évidés intérieurement pour recevoir des coussinets serrés par une clavette.

Pendant longtemps, on a donné aux bielles des locomotives la forme ronde légèrement renflée au milieu. Ces bielles présentaient le grave inconvénient de casser près de la grosse tête, pour peu qu'il y eût du grippement dans les coussinets des coudes de l'essieu moteur. MM. Sharp et Roberts, et, après eux, tous les constructeurs, ont substitué à cette disposition vicieuse la bielle dite plate, qui a donné d'excellents résultats. Depuis, MM. Allcard et Buddicom ont été plus loin. Si l'on n'avait plus à craindre la casse des bielles, on avait à craindre la chute des clavettes qui entraîne avec elle celle d'une tête, et peut amener des accidents. Pour éviter cela, ils ont forgé les têtes avec le corps. Ces bielles ont une grande analogie avec les guides des parallélogrammes; la forme seule en est changée.

Frottement des têtes de bielles. La question du frottement des têtes de bielles, en raison de leur longueur, relativement à celle de la manivelle, ou, ce qui est la même chose, de leur inclinaison, est importante à analyser, puisqu'elle a un rapport intime avec les combinaisons qui constituent les divers systèmes de machines à vapeur, en vue d'éviter les destructions de travail et les vibrations engendrées par les bielles courtes. Pour une vitesse V et une pression P, le travail du frottement pendant l'unité de temps sera f P V, et il s'exerce sur une surface s, l'altération de cette surface, comme l'élévation de température aux points de contact, sera en raison de $\frac{f\,\mathrm{P\,V}}{s}$.

Considérons un guide rectiligne de la tige de la bielle une glissière. Il supporte à chaque instant l'effort P tang α qui provient de l'inclinaison α de la bielle. Le travail absorbé sera f P tang α V, et l'altération des surfaces proportionnelles à $\frac{f\,\mathrm{P}\ \text{tang}\ \alpha\ \mathrm{V}}{s}$.

Pour des machines horizontales, il convient de disposer les choses pour que dans la marche de la machine (en avant pour les bateaux) la composante P tang α soit dirigée de haut en bas. Alors la glissière est toujours appliquée sur le guide, soit par l'action réunie de la pesanteur et la force P tang α, soit par la pesanteur seule aux extrémités de la course, lorsque α est égal à zéro. Si, au contraire, la composante P tang α était dirigée de bas en haut, vers le milieu de la course, cette force étant plus considérable que le poids de la bielle, la glissière serait appliquée contre le guide supérieur, tandis qu'aux extrémités de la course, la pesanteur étant seule en jeu, elle porterait contre le guide inférieur, et comme l'ajustage de la glissière entre les deux guides ne saurait être rigoureusement exact, il en résulterait un ballottement incommode qui pourrait réagir sur la presse-étoupe de la tige du piston et occasionner des rentrées d'air.

Il convient donc de faire travailler le guide inférieur et l'on y parviendra en combinant convenablement le mouvement de rotation et la position des cylindres à vapeur.

Supposons que l'arbre moteur d'un navire à hélice soit animé d'un mouvement de rotation de gauche à droite, par rapport à un observateur tourné vers l'arrière du bâtiment; pour un cylindre de machine à connexion directe placé à la droite de l'observateur et par conséquent à babord, la composante normale ou guide sera dirigée de haut en bas; mais pour un cylindre placé à tribord, la pression sur le guide aurait la direction inverse. On ne pourra donc satisfaire à la condition voulue, qu'en plaçant les deux cylindres du même côté du bâtiment, et à babord, si le mouvement de rotation a lieu dans le sens que nous venons d'indiquer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En étudiant semblablement ce qui se passe pour une machine à bielle renversée, on reconnaît que c'est la direction contraire qui convient; les cylindres devront donc être reportés à tribord, ou, en général, en supposant que le sens de rotation de l'arbre reste le même, les deux cylindres des machines marines doivent être placés du même bord, et celui-ci est différent suivant qu'il s'agit de l'un ou de l'autre des systèmes dont il a été parlé.

XIII. Manivelles.

Les manivelles sont des pièces douées d'un mouvement circulaire continu autour de l'axe d'un arbre auquel elles sont fixées et auquel elles transmettent un effort de torsion qu'elles reçoivent d'une bielle, par l'intermédiaire d'une pièce appelée *bouton* de la manivelle, qui décrit une circonférence plus ou moins grande autour de l'axe de rotation.

D'après la définition du mode d'action de la manivelle, on voit que le plan du mouvement du bouton doit être perpendiculaire à l'axe. A cet effet, elle se compose d'une plate-forme en fonte terminée d'une part par un moyeu, destiné à recevoir l'extrémité de l'arbre avec lequel elle s'assemble, et, d'autre part, par une tête destinée à recevoir le bouton.

Le corps de la manivelle est tantôt en fonte, tantôt en fer; le bouton est toujours en fer.

Les manivelles en fer forgé présentent sur celles en fonte l'avantage de tenir moins de place et de ne pas se rompre sous l'influence d'un choc; mais elles coûtent plus cher.

Quelque soin que l'on apporte dans le montage d'une machine pour mettre l'axe de l'arbre moteur perpendiculaire au plan du mouvement, il est rare qu'il n'y ait pas toujours un peu de gauche, soit parce que le monteur s'est trompé, soit parce qu'il survient des tassements au bout de quelque temps dans les maçonneries fraîches.

Il en résulte que quelques constructeurs donnent à leur bouton la forme sphérique ou légèrement ovale au lieu de celle cylindrique que nous avons indiquée.

Sans nous déclarer positivement contre ces dispositions qui peuvent avoir pour conséquence l'affaiblissement du bouton, si on ne le fait pas d'une grosseur proportionnée, nous préférons le bouton cylindrique par la raison suivante :

Lorsqu'il y a du gauche dans l'arbre par rapport au plan du mouvement, ce n'est pas seulement sur le bouton de la manivelle qu'il influe, c'est encore sur la fourchette de la bielle et les tourillons du balancier. En effet, si le bouton sort du plan du mouvement, quand la manivelle est verticale, la bielle s'incline sur ce plan et la fourchette tire verticalement d'un côté et pousse de l'autre le tourillon extrême du balancier.

Si le bouton sort du plan du mouvement, quand la manivelle est horizontale, la fourchette de la bielle agit horizontalement sur le tourillon du balancier comme elle avait agi verticalement dans le premier cas.

Il faut donc non-seulement un bouton de manivelle sphérique pour éviter l'influence du gauche, mais encore une bielle articulée et un balancier à boule, toutes pièces qui coûtent fort cher.

Pour ces diverses raisons, nous préférons conserver à ces pièces leurs formes primitives et rendre les supports de l'arbre moteur solidaires de la machine, ce que nous obtenons facilement en montant le tout sur une seule et même plaque de fondation.

La longueur de la manivelle est égale à la moitié de la longueur du cylindre; c'est la condition de la continuité de son mouvement.

Dimensions du bouton. Le diamètre du bouton se détermine de la manière suivante :

La charge à laquelle il est soumis est double de celle à laquelle est soumis chacun des tourillons de l'axe extrême du balancier; il suffit donc de poser :

1° Tourillon du balancier

$$\delta = 3{,}2\left(\frac{9}{14}\,Q\right)^{\frac{1}{3}};$$

2° Tourillon de la manivelle

$$\delta' = 3{,}2\left(\frac{18}{14}\,Q\right)^{\frac{1}{3}};$$

d'où

$$\delta' = \delta\sqrt[3]{2} = 1{,}26\,\delta.$$

La valeur de δ a été donnée précédemment.

Quant à la longueur du bouton, elle varie suivant la nature du métal de la bielle.

Quand la bielle est en fonte, la longueur du bouton est $1{,}5\,\delta$; à cause de la tête qui a besoin d'une certaine force.

Quand la bielle est en fer, le tourillon de la manivelle se logeant dans une chape à coussinets ordinaire n'a que $1{,}2\,\delta$ de long.

Pour déterminer le diamètre du trou du moyeu, qui doit être au moins égal à celui des tourillons de l'arbre du volant, nous remarquons que cet arbre est exposé à la torsion, tandis que le bouton n'est exposé qu'à l'effort de traction transversale. Nous allons examiner les deux cas d'un arbre du volant en fer et d'un arbre du volant en fonte.

1° *Arbre du volant en fer.* On a pour déterminer le diamètre du tourillon de l'arbre, la formule de Robertson :

$$D^3 = 2{,}3\,\frac{A}{n}\,\frac{9}{44} \qquad (1)$$

dans laquelle D représente le diamètre cherché, A la quantité d'action à transmettre par minute en kilogrammètres, et n le nombre de tours de l'arbre par minute.

Si R est le rayon de la manivelle, et Q la charge sur le bouton, rapportée tangentiellement à la circonférence, on a : travail transmis par minute $A = 2\pi\,R\,n\,Q$.

Pour déterminer le diamètre du bouton, nous pouvons poser comme précédemment :

$$\delta' = 3{,}2\left(\frac{9}{14}\,Q\right)^{\frac{1}{3}}.$$

Q étant alors la charge totale sur le bouton :

$$Q = \frac{14\,\delta'^3}{32{,}8 \times 9};$$

d'autre part, on a : $Q = \dfrac{A}{2\pi\,R\,n}$,

en égalant ces deux valeurs de Q, on en déduit

$$A = \frac{2\pi\,R\,n \times 14\,\delta'^3}{3{,}28 \times 9}$$

remplaçant A par cette valeur dans l'expression (1) et réduisant, il vient :

$$D = 0{,}76\,\delta'\sqrt[3]{R}$$

formule dans laquelle D, δ' et R sont exprimés en centimètres.

Le nombre de tours n ayant disparu, on voit par là que le rapport entre D et δ' est le même, quelle que soit la vitesse.

2° *Arbre du volant en fonte.* Dans ce cas, il n'y a de changement que dans la formule donnant D, qui devient

$$D = 2{,}3\,\frac{A}{n},$$

on a $$D = 0{,}88\,\delta'\sqrt[3]{R}.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si nous appliquons cette formule à quelques cas particuliers, nous trouvons :

Rayons de la manivelle.	Diamètres du bouton.	Diamètres minima de l'arbre	
		en fer.	en fonte.
c. m.	Nombr. abstr.	Nombr. abstr.	Nombr. abstr.
5	1	1,30	1,50
10	1	1,80	1,79
15	1	1,90	2,17
20	1	2,10	2,38
25	1	2,22	2,57
30	1	2,36	2,71
35	1	2,50	2,87
40	1	2,60	3,02
45	1	2,70	3,13
50	1	2,80	3,25
55	1	2,90	3,35
60	1	3,00	3,45
65	1	3,05	3,54
70	1	3,14	3,63
75	1	3,21	3,72
80	1	3,30	3,80
85	1	3,35	3,87
90	1	3,40	3,95
95	1	3,47	4,01
100	1	3,54	4,08
110	1	3,65	4,20
120	1	3,75	4,35
130	1	3,85	4,46
140	1	3,95	4,58
150	1	4,05	4,69
160	1	4,14	4,78
170	1	4,22	4,89
180	1	4,30	4,96
190	1	4,37	5,08
200	1	4,45	5,15

La largeur et l'épaisseur de la manivelle peuvent se calculer comme celles du balancier; mais on arrive à un résultat trop faible, attendu que la manivelle est sujette à des vibrations qui tendent constamment à la rompre, et nécessitent une augmentation de force que la pratique seule indique.

XIV. Arbres.

Ce sont des pièces destinées à transmettre un mouvement de rotation autour d'un axe.

Les arbres sont en fonte ou en fer. Ces derniers sont généralement préférés pour de petites forces à transmettre, ou pour de grands chocs à supporter.

Les arbres sont tantôt à section circulaire, tantôt à section polygonale, au choix du constructeur ; ils sont munis, de distance en distance, de parties cylindriques dont les unes, en saillie, sont les portées des roues, volants ou autres pièces montées sur les arbres, les autres, en retraite, sont les tourillons au moyen desquels on assemble les arbres avec leurs supports.

Les arbres ont à résister à la torsion; c'est pourquoi, dans certains cas où le diamètre peut être fort sans inconvénient, on les fait creux.

Ils ont aussi quelquefois à résister à la pression, lorsqu'ils supportent la charge d'engrenages lourds ou d'une roue hydraulique.

Dans le cas de résistance à la torsion seulement, le diamètre des tourillons se calcule au moyen de l'une des deux formules suivantes données par Robertson, savoir :

pour la fonte

$$d = 4{,}32\sqrt[3]{\frac{A}{n}};$$

pour le fer

$$d' = 4{,}14\sqrt[3]{\frac{A}{n}},$$

dans lesquelles A représente la quantité d'action, en kilogrammètres, transmise par minute, n le nombre de tours de l'arbre dans le même temps, d et d' les diamètres extérieurs exprimés en centimètres.

En général, ces formules donnent des résultats plus forts que ceux que l'on constate sur des arbres fonctionnant et transmettant des quantités d'action connues, quand les forces dépassent 20 chevaux; néanmoins, il n'y a aucun inconvénient à les employer, si ce n'est que le poids des arbres est supérieur à ce qu'il pourrait être sans inconvénient.

Dans le cas de résistance à la pression seulement, le diamètre des tourillons se calcule au moyen de l'une des deux formules suivantes données par Robertson, savoir :

pour la fonte

$$D = 3{,}2\,Q^{\frac{1}{3}},$$

pour le fer

$$D = 2{,}76\,Q^{\frac{1}{3}},$$

dans lesquelles Q représente la charge totale supportée par les deux tourillons, exprimée en quintaux métriques, et D le diamètre des tourillons en centimètres.

On est dans l'usage d'ajouter au diamètre un huitième en sus du résultat obtenu pour l'usé.

Les valeurs de D obtenues par les formules sont aussi trop fortes lorsque la machine dépasse 20 chevaux.

Quand les deux tourillons ne sont pas également chargés, Q doit exprimer le double de la charge qui pèse sur le tourillon le plus chargé.

Quand la longueur d'un arbre est petite, on ne calcule pas sa section; elle est la même que celle du tourillon ou celle d'un polygone régulier circonscrit à ce tourillon. Mais cette longueur est égale à 12 fois le diamètre des tourillons, alors il faut avoir recours à la formule suivante :

$$\frac{P\,m\,n}{l} = \frac{R\,\pi\,r^3}{4}$$

dans laquelle on représente par P, 3, 4 ou 2 fois la charge supportée par l'arbre, suivant sa nature, en kilogrammes.

l, la distance entre les tourillons, en centimètres.

m, n, les distances, en centimètres, du point chargé aux tourillons, d'où $m + n = l$.

R, un coefficient de résistance, qui est

Pour le fer.	6000
Pour la fonte. . .	2800
Pour le chêne. . .	690
Pour le sapin. . .	610

r, le rayon du cercle inscrit, dans le périmètre de l'arbre, exprimé en centimètres.

Lorsque les arbres sont en bois, les tourillons sont toujours en métal.

Les tourillons en fer se construisent de la manière suivante: on fait dans l'arbre une entaille dans laquelle on loge le tourillon, consistant dans une barre de fer carrée, recourbée d'une part, et terminée, de l'autre, par une partie ronde, puis on remplit le vide avec du bois, et on serre par des frettes en fer posées à chaud sur l'arbre rendu conique à ses extrémités.

Quand les arbres métalliques sont pleins, les tourillons font corps avec eux; mais quand ils sont creux, et surtout d'un grand diamètre, il est de toute nécessité de faire les tourillons à part; alors l'assemblage se fait à brides comme pour les tuyaux.

Les assemblages des arbres bout à bout se font au moyen de manchons ou de prisonniers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand les arbres sont ronds on emploie le manchon composé de deux joues égales assemblées à boulons.

Quand les arbres sont carrés on emploie le manchon carré à deux faces analogue au précédent.

Quant on veut établir et interrompre à volonté la communication entre deux arbres, on emploie les embrayages. (Voy. MÉCANIQUE.)

XV. Volants.

Les volants sont des pièces destinées à rendre régulière la vitesse de rotation, en rendant insensibles les variations périodiques du travail moteur ou du travail résistant. Ils se composent d'une masse de fonte annulaire d'un diamètre suffisant, appelée jante, montée sur l'arbre de la manivelle par l'intermédiaire de plusieurs bras et d'un moyeu.

On distingue en construction plusieurs espèces de volants, savoir:

Les volants d'une seule pièce;

Les volants de plusieurs pièces;

Les volants articulés.

Les premiers s'emploient pour machines à vapeur jusqu'à 12 chevaux, force pour laquelle ils ont 3 mètres de diamètre.

Pour forces au-dessus de 12 chevaux, on emploie avec avantage les volants en deux ou trois morceaux. Ces derniers se moulent comme pour être coulés d'une seule pièce, puis au moment de fermer le moule, on établit des séparations dans les noyaux d'assemblage, au moyen de plaques de tôle disposées à cet effet.

Ces volants, outre qu'ils coûtent fort peu d'assemblage, ont le grand avantage de pouvoir se transporter facilement.

L'assemblage des portions des jantes se fait au moyen d'un tirant et de deux clavettes en fer. L'assemblage des portions du moyeu se fait au moyen de deux *frettes* placées de chaque côté, en dehors.

Les volants articulés s'emploient pour les grandes machines. Ces volants non-seulement coûtent fort cher d'assemblage, mais encore sont dangereux, en ce qu'ils ne présentent pas la même garantie de liaison intime des pièces que les précédents.

Dans ces volants, la jante est coulée en plusieurs morceaux; chaque bras est coulé séparément et le moyeu est coulé seul.

L'assemblage de ces diverses pièces entre elles doit être tel que:

1° La jante ne puisse s'échapper des bras et causer des accidents;

2° L'ajustage des points de contact coûte le moins cher possible.

On fait aussi des volants dont les bras sont coulés avec le moyeu. L'assemblage des portions de jantes entre elles est, comme nous l'avons dit plus haut, à tirants et clavettes; seulement, ici, les bras n'étant pas d'une seule pièce avec la portion de jante correspondante, la résistance de cet assemblage doit être beaucoup plus forte. Les assemblages des bras avec la jante sont à queue d'hirondelle.

On détermine le poids du volant des machines à vapeur par la formule

$$P = \frac{m V^2}{4645\, n N},$$

dans laquelle on désigne par:

P, le poids de l'anneau du volant;

V, la vitesse de la circonférence moyenne;

m, le nombre de tours de l'arbre du volant par minute;

N, la force de la machine en chevaux-vapeur;

et n, un nombre variable avec le degré de régularité que l'on veut obtenir;

On fera:

$n = 20$ à 25, pour les machines à vapeur faisant mouvoir des moulins, des pompes, etc.;

$n = 35$ à 50, pour les filatures où l'on fabrique du coton des numéros 40 à 60;

$n = 50$ à 60, pour les filatures où l'on file les numéros très-fins. (Voy. VOLANT, *Complément.*)

Contre-poids. Le volant est un élément essentiel de la machine à vapeur à rotation, mais il ne peut plus s'appliquer lorsque l'action de la vapeur n'est plus continue, lorsque le mouvement est intermittent, comme pour certaines pompes d'épuisement des mines. C'est alors à l'aide de contre-poids qu'on établit l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant. Le déplacement angulaire d'un contre-poids peut aussi être utilisé dans la machine à rotation. (Voy. RÉGULATEUR.)

LIVRE II.

Composition des parties des machines à vapeur.

Une machine à vapeur peut se diviser en sept parties pricipales, savoir:

1° La vaporisation;
2° La distribution;
3° Le travail;
4° La transmission du mouvement;
5° La condensation;
6° L'alimentation;
7° Le bâti.

CHAPITRE I^er^. VAPORISATION.

La vaporisation comprend tous les appareils nécessaires pour la transformation en vapeur d'une quantité d'eau donnée, et pour la conduite de cette vapeur jusqu'à la distribution. A cet effet, on distingue dans la vaporisation:

1° Le fourneau;
2° Le générateur.

Le fourneau comprenant la série des appareils propres à la combustion.

Il en a été traité avec trop de développements à l'article CHAUFFAGE pour que nous y revenions ici. Les bonnes proportions d'un fourneau sont d'importance capitale pour le bon fonctionnement d'un appareil à vapeur, pourvu bien entendu, qu'il soit remis aux soins d'un chauffeur soigneux et expérimenté.

Le générateur comprenant la série des appareils propres à la vaporisation proprement dite.

L'article CHAUDIÈRES A VAPEUR est consacré à l'étude des divers systèmes de chaudières. Nous n'avons rien à y ajouter, si ce n'est de faire remarquer que ce n'est qu'à partir de la quantité de vapeur transmise à la machine, que la perfection de celle-ci doit être estimée, et que quand on l'évalue par le travail produit par unité de poids du combustible, on englobe dans une même évaluation la chaudière et la machine. De là l'importance pour les constructeurs de machines, de surveiller avec soin l'établissement des fourneaux et des chaudières, s'ils ne l'entreprennent pas eux-mêmes.

Nous renvoyons le lecteur aux articles spéciaux que nous venons de rappeler, pour éviter des répétitions inutiles.

CHAPITRE II. DISTRIBUTION.

La distribution comprend:

Les tuyaux d'admission;

Le distributeur;

Le mouvement du distributeur;

Le modérateur;

Les tuyaux d'exhaustion.

Nous n'avons à parler ici que des dimensions des tuyaux et lumières, les formes de ces différents appareils ayant été envisagées précédemment.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En pratique on a remarqué que:

1° Les tiroirs n'ouvrent pas instantanément les lumières d'introduction, il faut donc que la section de ces lumières soit très-grande.

2° La vapeur se refroidit et se condense bien plus rapidement dans des petits que dans des grands tuyaux.

3° Les coudes ralentissent considérablement la vitesse de la vapeur.

Par ces motifs, on donne aux lumières les dimensions suivantes, D étant le diamètre du pistôn à vapeur:

1° Pour $h = 0{,}76$, basse pression.
Longueur 0,5 D;
Largeur 0,1 D.
Ce qui fait pour section 0,05 D^2.

2° Pour $h = 3^m{,}04$, haute pression.
Longueur 0,6 D;
Largeur 0,1 D.
Ce qui fait pour section 0,06 D^2, d'où pour les tuyaux:

$$d = 0{,}3\ D$$

en nombre rond.

On donne aux tuyaux d'introduction et d'exhaussion la même section.

Nous aurions à étudier ici les questions de régulation si nous n'y consacrions des articles spéciaux; nous ferons seulement une observation importante sur la distribution par tiroirs, qui justifie des dispositions déjà étudiées et celles que nous allons rencontrer plus loin. Quand on tient compte de toutes les circonstances de la régulation, du mouvement des tiroirs, on reconnait que leur mouvement par des excentriques circulaires donne de bons résultats pour de grandes admissions et de faibles détentes; par exemple pour des introductions 0,80 ou 0,75 de la course, mais pour des introductions plus faibles, comme 0,65, 0,60 et 0,55, les régulations deviennent de moins en moins bonnes, les refoulements et les avances au condenseur sont beaucoup trop considérables, tandis que l'ouverture de la vapeur se fait dans de mauvaises conditions, et l'on peut poser en principe que pour des introductions de moins de 0,6, le tiroir ordinaire ne convient plus et qu'il faut alors recourir à un autre système, tiroir haut et bas, soupapes etc. Le plus ordinairement, dans ce cas, on dispose le tiroir ordinaire avec une grande admission, et par conséquent dans de très-bonnes conditions pour l'évacuation, puis pour faire la détente, on intercepte le passage de la vapeur à son entrée dans la boîte de distribution, au moyen d'un tiroir spécial mû par un excentrique distinct et complétement indépendant du premier; de cette manière on est maître de pousser la détente aussi loin qu'il est nécessaire sans nuire en rien à l'évacuation.

CHAPITRE III. TRAVAIL.

La quantité de travail à produire conduit à la détermination des pièces suivantes: le cylindre à vapeur; le piston à vapeur; la tige du piston.

Nous avons envisagé ces diverses pièces sous le point de vue de leurs formes, nous renverrons pour l'établissement des formules approchées que l'on a à utiliser pour déterminer leurs dimensions, à l'article qui précède celui-ci.

Nous avons vu précédemment que la formule générale de ce travail était:

$$40{,}000\ P\,V\left(1 + \log.\text{hyp.}\frac{V_1}{V}\right)^{km.}$$

Le rapport $\frac{V_1}{V}$ et le volume V se trouvent donc déterminés pour chaque système de machines, pour la quantité de travail industriel qu'il s'agit de produire, en multipliant, bien entendu, le résultat théorique par le coefficient pratique que fournit l'expérience, et en se tenant toujours très-sensiblement au-dessus de la limite inférieure que fournit le calcul.

Soit T_m le travail que peut produire un poids P de vapeur.

t_r, le travail absorbé par la résistance qu'oppose le milieu avec lequel communique le côté du piston non soumis à l'action de la vapeur.

t'_r, le travail absorbé par la résistance qu'opposent au mouvement les frottements des parties mobiles de la machine.

T_u, le travail réellement utilisable.

On aura l'équation:

$$T_m = t_r + t'_r + T_u.$$

Le constructeur doit surtout s'efforcer de faire t'_r un minimum; nous verrons les résultats de ces efforts en étudiant les divers systèmes de machines.

CHAPITRE IV. TRANSMISSION DU MOUVEMENT.

Les calculs relatifs à la transmission du mouvement sont ceux qui ont pour but de déterminer les diamètres des tourillons extrêmes du balancier, du bouton de la manivelle et de l'arbre en fonction de la tige du piston à vapeur. Or, tous ces calculs ont été faits précédemment, lorsqu'il a été question de chacune de ces pièces spéciales des machines à vapeur.

Nous verrons, dans la composition proprement dite des machines, les diverses combinaisons des pièces de transmission de mouvement, depuis le mouvement rectiligne alternatif du piston à vapeur jusqu'au mouvement circulaire continu de l'arbre de rotation, qui ont été adoptées, grâce aux progrès de l'art de la construction, pour les diverses positions du cylindre à vapeur et de l'arbre moteur.

CHAPITRE V. CONDENSATION.

L'appareil de condensation comprend:
Le condenseur;
La pompe à air;
La bâche à eau froide;
La bâche à eau chaude.

Le condenseur est un espace dans lequel existe un vide aussi complet que possible, et où la vapeur sortant du cylindre se précipite et se condense par contact avec l'eau froide injectée en une infinité de gerbes très-minces.

La pompe à air est une pompe à trois compartiments de clapets destinée à enlever du condenseur l'eau qui s'accumule à la partie inférieure, et l'air qui se dégage à chaque instant de cette eau par suite de la faible pression à laquelle elle est soumise.

La bâche d'eau froide est le récipient de l'eau venant du puits et destinée à l'injection dans le condenseur.

La bâche d'eau chaude est le réservoir de la pompe alimentaire; elle reçoit son eau de la pompe à air. Comme une faible partie de cette eau seulement est absorbée par la pompe alimentaire, cette bâche est munie d'un dégorgeoir et d'une conduite menant le trop plein dans la rue.

La valeur de T_u, trouvée précédemment pour les machines à condensation est d'autant plus considérable que celle de la pression de la vapeur, au moment de l'envoi au condenseur, h' est plus petite.

Si on veut déterminer h', il faut avoir recours aux considérations suivantes:

Pour avoir une pression aussi faible que possible dans l'espace communiquant avec le côté du piston opposé à la vapeur, on injecte de la vapeur dans cet espace, d'abord rempli d'air, jusqu'à tant que tout ce dernier soit parti par un orifice ménagé à cet effet. Cela fait, on ferme les communications de cet espace avec l'air et avec le générateur, et on y injecte de l'eau froide; cette eau se chauffe au détriment de la chaleur contenue dans la vapeur remplissant l'espace et la con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR.

dense; de là le nom de condenseur appliqué à l'appareil dans lequel cette opération a lieu.

Par suite de la condensation de la vapeur et de l'abaissement de température qu'a produit l'injection d'eau froide, la tension intérieure de l'appareil se trouve n'être plus que celle correspondant à la température du mélange. Plus il y a d'eau froide injectée, plus la température du mélange est basse, plus, par conséquent, la tension intérieure est faible.

Remarquons actuellement qu'il n'est pas possible de supposer que le piston avance indéfiniment dans le même sens, et qu'il faut pratiquement que, après avoir avancé d'une certaine quantité, il revienne en arrière, soit par l'action d'une puissance quelconque qui ne se manifeste que quand la vapeur cesse d'agir soit par l'action d'une autre quantité de vapeur venant agir sur lui en sens inverse de la première; il faut, dans les deux cas, que l'espace dans lequel était tout à l'heure la vapeur, communique avec le condenseur, que se produise l'injection dans ce dernier de la vapeur qui a servi.

Ainsi il ne suffit pas d'avoir établi un vide plus ou moins parfait dans le condenseur pour que le piston avance convenablement; il faut maintenir ce vide que tendent à détruire les quantités de vapeur qui y sont injectées à chaque changement de direction du piston. Il faut donc introduire de nouvelle eau de condensation, et comme, en s'accumulant dans l'appareil, elle finirait elle-même par le remplir, il faut avoir une pompe spécialement chargée de purger le condenseur du mélange d'eau froide et vapeur condensée qui se trouve à sa partie inférieure.

Soit P le poids de la vapeur employée par seconde à faire mouvoir le piston; toute cette vapeur passant au condenseur, la quantité d'unités de chaleur qu'elle y porte est représentée par l'expression :

$$P \times 650.$$

Soit P' le poids de l'eau employée à condenser cette vapeur; soit t la température de cette eau avant le mélange et t' la température du mélange.

La quantité de chaleur gagnée par l'eau en entrant dans le condenseur est :

$$P'(t' - t).$$

La quantité de chaleur perdue par la vapeur en se condensant est :

$$P(650 - t').$$

Ces deux quantités sont évidemment égales et on a :

$$P(650 - t') = P'(t' - t).$$

On en déduit :

$$P' = P\,\frac{650 - t'}{t' - t}. \qquad (1)$$

Plus t' est grand, plus le numérateur de la fraction est petit, plus son dénominateur est grand, plus par conséquent la fraction est petite. De là, plus la quantité d'eau à injecter est faible et moins est considérable le travail à produire pour retirer cette eau du condenseur.

Ainsi d'un côté il y a avantage, de l'autre il y a inconvénient à faire t' très-grand.

Comme, en définitive, si l'on fait la dépense d'un appareil de condensation c'est pour avoir une pression contre le piston aussi petite que possible par rapport à la pression atmosphérique, il faut donner la préférence à la condition qui correspond à h' très-petit, pour cela il faut faire t' aussi petit que possible.

Pour des valeurs décroissantes de t', P' augmente. Or, il faut remarquer que l'eau prise à la surface du sol jouit de la propriété de dissoudre une quantité d'air que l'on évalue au $\frac{1}{20}$ de son volume à la pression ordinaire. Il en résulte que plus on injecte d'eau dans le condenseur, plus on y introduit de cet air, qui, se trouvant à une faible pression, se dégage de l'eau et vient ajouter sa tension à celle de la vapeur qui y est contenue.

Ainsi en donnant à t' une petite valeur, la pompe chargée de purger le condenseur a à effectuer un travail qui croît dans une proportion très-considérable.

En admettant que l'eau froide de condensation est à 10°,00, température ordinaire des eaux de puits, on a :

TABLEAU *de la condensation à 1 kil. de vapeur à différentes températures.*

Valeurs de t'.	Valeurs de h' en eau.	Valeurs de P'.	Volumes de l'air injecté.		Volumes à retirer du condenseur.
			à la pression ordinaire.	dans le condenseur.	
	m.	k.	litres.	litres.	litres.
12°	0,146	319,00	15,950	1135,00	1455,00
31	0,430	29.90	1,495	35,90	66,80
38	0,645	22,00	1,100	17,55	40,55
51,45	1,300	11,42	0,721	5,72	21,14

De ces quatre valeurs de t', c'est $t' = 38°$ que l'on prend ordinairement; dans ce cas $h' = 0,645$ ou $\frac{1}{1,6}$ d'atmosphère environ.

Si on pose $h = 20\,h'$ il vient :

$$h = 20 \times 0,645 = 12^m,90,$$

correspondant à 1 atmosphère 1/4, qui est la pression à laquelle fonctionnent généralement ces machines qui, pour ces motifs, sont dites *machines à basse pression.*

En ce qui concerne le condenseur, nous dirons qu'il n'existe pas de calculs théoriques pour en déterminer les dimensions. S'il est très-grand, il devient difficile de le purger d'air et de faire parvenir l'injection d'eau dans toutes les parties où il y a de la vapeur; s'il est trop petit, au contraire, quelque prompte que soit la condensation, il s'opère à chaque exhaussion, contre le piston, une résistance de la vapeur qui a travaillé, par suite de la difficulté qu'elle éprouve à pénétrer dans le condenseur. Il y a donc une moyenne à adopter; cette moyenne, si on s'en rappopte aux meilleurs systèmes anglais, est un volume égal à celui de la pompe à air.

Quant à la pompe à air, nous remarquons d'abord que la course de son piston est, dans les machines à balancier où elle convient spécialement, moitié de la course du piston à vapeur; de plus, elle est à simple effet. Ainsi sur deux coups de piston à vapeur elle donne un coup seulement.

Le volume de vapeur lancée au condenseur en deux coups de piston est théoriquement:

$$0,785\,D^2 \times 2\,C$$

et, si on observe qu'il y a environ $\frac{1}{10}$ de ce volume introduit en plus par les pertes des conduits et du jeu du piston, on a en réalité:

$$1,1 \times 0,785\,D^2 \times 2\,C.$$

Le volume occupé par un kilogr. de vapeur, sous la pression de 13 mètres d'eau, est 1425 litres; le poids du mètre cube de cette vapeur est donc $\frac{1000}{1425} = 0^k,700$.

Le poids de la vapeur à condenser pour deux coups de piston est par conséquent:

$$1,1 \times 0,785\,D^2 \times 2\,C \times 0^k,700 \qquad (1)$$

Nous avons vu plus haut que pour condenser 1 kilogr. de vapeur à 38°, il fallait dépenser une quantité d'eau représentée par:

$$c = \frac{1^k(650 - 38)}{38 - 10} = 22^k.$$

Chaque kilogr. de vapeur entrant dans le cylindre entraîne avec lui 1 kilogr. environ d'eau en suspension, et quelquefois plus avec les chaudières à petit réservoir de vapeur; la condensation de cette eau chaude exige

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donc une quantité d'eau froide représentée par:

$$\frac{1^k(107-38}{38-10} = 2^k,500$$

La quantité d'eau à introduire dans le condenseur pour 1 kil. de vapeur est donc en réalité de $2^k,500$.

La quantité d'air introduit par cette eau dans le condenseur est aussi égale, après dilatation, à environ 2 litres 1/2.

Le volume à retirer du condenseur par la pompe à air, pour 1 kil. de vapeur condensée, est donc:

1° 2,2 litres eau et vapeur condensée;
2° 24,5 — eau introduite pour condensation;
3° 24,5 — air dégagé par l'eau de condensation;
4° 2,2 — air dégagé par l'eau et la vapeur condensée venant de la chaudière.

Total. 53,4, net 54 litres.

De ce que pour chaque kil. à condenser, il faut retirer 54 litres d'eau du condenseur, on obtient le diamètre de la pompe à air, en posant l'équation:

$$0,75 \times 0,785\, d^2 \times \frac{1}{2}\,C$$

$$= (1,1 \times 0,785\, D^2 \times 2\,C \times 0,700)\ 0^{mc},054.$$

Le premier membre donnant le volume pratique, engendré par le piston de la pompe à air, lequel volume est égal aux $\frac{3}{4}$ du volume théorique; le second membre donnant le volume à retirer du condenseur pour deux coups de piston à vapeur, la partie entre parenthèse étant, d'après la formule (1), le poids de la vapeur à condenser pour deux coups de piston.

Effectuant les réductions et calculs indiqués, nous obtenons:

$$0,75 \times d^2 = 2 \times 1,1\ D^2 \times 2 \times 0,700 \times 0,54$$

d'où

$$d^2 = \frac{2 \times 1,1 \times D^2 \times 2 \times 0,700 \times 0,054}{0,75} = 0,22\ D^2$$

et

$$d = 0,47\ D.$$

Ce chiffre 0,47 n'est pas celui que l'on adopte. Est-ce routine, est-ce expérience? Nous croyons qu'il est plus sage d'admettre cette dernière hypothèse. Watt faisait $d = 0,666$ D; nous avons eu occasion de faire $d = 0,6$ et nous nous en sommes bien trouvés. Il est probable que, par les perfectionnements que l'on apporte tous les jours dans la construction, on parviendra à faire descendre ce coefficient au moins à 0,50. Quant à présent, nous ne pouvons prendre sur nous d'en conseiller un inférieur à 0,60.

L'appareil de condensation s'exécute de deux manières principales: tantôt le condenseur et la pompe à air sont séparés dans une même bâche à eau froide, tantôt ils sont réunis et ne forment qu'une seule pièce. La première est sans contredit la meilleure; elle s'exécute ainsi pour les machines fixes.

Le condenseur est un cylindre de même diamètre que la pompe à air; (fig. 152) tous deux sont montés sur une boîte en fonte dont le milieu porte une chapelle dans laquelle est un clapet; l'appareil complet est souvent dans une grande bâche en fonte, dite bâche à eau froide, où le niveau de l'eau est toujours au-dessus du stuffing-box de la pompe à air.

La pompe à air est munie à sa partie supérieure d'une tubulure qui vient s'assembler avec l'une des parois de la bâche d'eau froide, au travers de laquelle elle déverse l'eau de condensation dans une boîte, dite boîte à eau chaude, dont elle est séparée par des clapets. Cette boîte est munie de deux prises d'eau, dont l'une va à la pompe alimentaire, et l'autre, dite de trop plein, dans la rue.

Le piston de la pompe à air étant muni de clapets pour l'aspiration, on voit que l'eau de condensation

passe par trois milieux différents avant d'être jetée au dehors, ce qui n'a pas lieu dans les pompes ordinaires.

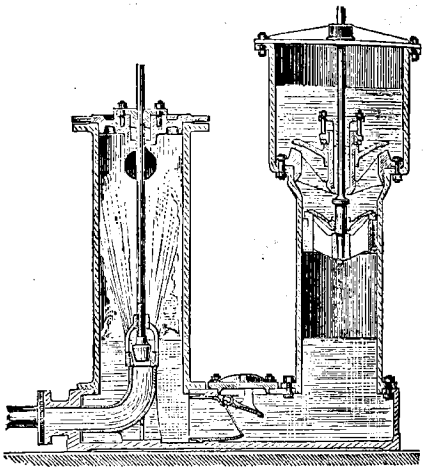


Fig. 152.

Pour se rendre compte de cette disposition, il suffit de remarquer que quand le piston monte, il ne commence à faire ouvrir le clapet du condenseur que quand la pression du milieu qui est au-dessous de lui est devenue moindre que celle du condenseur. Or, s'il n'y avait pas de clapet à la boîte d'eau chaude, les clapets du piston descendant ne lèveraient, pour livrer passage à l'eau et à l'air qui sont au-dessous, que quand le milieu aurait atteint une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui retarderait considérablement la levée du clapet du condenseur pour le coup suivant. Si, au contraire, il y a un clapet à la boîte à eau chaude, le piston descendant raréfie l'espace qui est au-dessus de lui, et ses clapets se lèvent beaucoup plus tôt, ce qui permet à une grande masse d'air de passer dans la chambre supérieure.

Dans les machines des bateaux, l'appareil de condensation diffère quelque peu de celui des machines fixes, en ce qu'alors la plaque de fondation sert à former une partie du condenseur.

CHAPITRE VI. ALIMENTATION.

L'alimentation comprend les deux pompes dites d'eau fraîche et d'eau chaude, ou alimentaire, leur mouvement, ainsi que tous les tuyaux de conduite d'eau nécessaires.

Dans les machines à balancier, qu'il faut toujours prendre pour point de départ dans la détermination des dimensions proportionnelles, la course des pompes alimentaires est égale à la moitié de celle du piston à vapeur; ces pompes sont à simple effet.

Les consommations d'eau sont:

1° Pour la pompe alimentaire, ce qu'il faut pour conserver le niveau constant dans la chaudière;

2° Pour la pompe d'eau fraîche, ce qu'il faut pour la pompe alimentaire et la condensation.

1° *Pompe alimentaire.* Les genres de machines où la consommation de vapeur est la plus grande, pour un effet utile déterminé, sont le machines sans détente; pour ces machines, l'expérience a conduit à donner à la pompe alimentaire, qui est à simple effet, un diamètre au moins égal à 1/10e de celui du piston à vapeur.

2° *Pompe d'eau fraîche.* La quantité d'eau, en poids,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'elle doit produire pour deux coups de piston est, d'après le résumé de la page précédente, de 25 litres pour 1 kil. de vapeur, c'est-à-dire 25 fois aussi grande que celle produite par la pompe alimentaire.

On lui donne un diamètre égal au tiers, au moins, du diamètre du piston à vapeur sans détente, à condensation.

La pompe alimentaire est aspirante et foulante ; la pompe d'eau fraîche est aspirante et élévatoire ou foulante à volonté.

La première, vu son petit diamètre, est à piston plein ; elle se construit de diverses manières.

La pompe d'eau fraîche, pouvant être foulante ou élévatoire, se construit de deux manières.

Quand elle est de petit diamètre, comme pour machine sans condensation, il est préférable de la faire foulante. Lorsqu'au contraire son diamètre est assez grand, comme pour machine à condensation, on la fait à piston muni d'une garniture.

Dans tous les cas, les tiges des pistons des pompes s'assemblent avec les bielles qui leur transmettent le mouvement du balancier, au moyen de douilles à charnières.

Pour les locomotives, on emploie la pompe d'alimentation à piston plein. Elle ne diffère de l'autre que par les soupapes qui sont à boulets.

Cette disposition a pour but d'éviter les arrêts qui se manifestent souvent dans les soupapes des pompes ordinaires, et qu'il serait impossible de corriger sur le chemin quand la machine marche ; mais, d'autre part, les boulets ferment moins bien que les soupapes, et s'arrêtent quelquefois comme elles quand il se trouve des ordures dans leurs boîtes.

Nous renvoyons à l'article INJECTEUR pour la description de cet appareil d'alimentation qui, à cause de la sûreté de son emploi, de son fonctionnement pendant les arrêts, a été adopté pour toutes les locomotives. L'eau rentrant dans la chaudière par le seul effet de la force vive de la vapeur qu'elle condense, on peut dire que l'injecteur est la pompe alimentaire la plus simple qu'il soit possible d'imaginer et en même temps la plus économique, puisque toute la chaleur de la vapeur condensée rentre dans la chaudière. Son seul défaut est de ne pouvoir employer l'eau d'alimentation très-chaude.

CHAPITRE VII. BATI.

Le bâti est la partie fixe d'une machine ; c'est lui qui sert à maintenir en place les autres parties et à les relier entre elles ; ses formes et dimensions sont nécessairement assujetties aux dispositions adoptées pour l'emplacement des diverses parties ; la composition du bâti se trouve donc bien plutôt appartenir à la composition même des machines qu'à celle de leurs parties, considérées isolément. Néanmoins il est, dans la composition du bâti, quelques principes qui se rencontrent toujours les mêmes, quelle que soit la disposition adoptée ; ce sont ces principes que nous allons passer en revue ici.

On considère trois espèces de bâtis, savoir :

Les bâtis pour machines fixes ;

Les bâtis pour machines de bateaux ;

Les châssis pour locomotives.

1° *Bâti pour machine fixe.* Partout où il y a une machine fixe, il y a une fondation et des murs.

On peut se proposer l'un des buts suivants, savoir :

1° Ou faire servir autant que possible ces fondations et murs à relier les diverses parties de la machine entre elles, quelle que soit la place de chacune, auquel cas le bâti est à peu près nul ;

2° Ou faire un usage modéré de la stabilité qu'offrent ces maçonneries, pour donner plus de force au bâti ;

3° Ou s'affranchir complétement du joug des maçonneries, afin de pouvoir déplacer plus facilement la machine.

Dans le premier cas, quelle que soit la disposition des parties de la machine, on a à lutter contre une propriété des maçonneries bien nuisible en mécanique, à savoir : le *tassement*. Aussi n'est-ce généralement pas une bonne chose que mélanger la maçonnerie avec les machines. Il est cependant des circonstances où toute autre disposition serait très-coûteuse et même vicieuse si on n'y avait pas recours ; c'est lorsque les machines sont puissantes et à balancier. Alors rien ne vaut un bon mur en pierre de taille pour supporter le balancier. Dans ce cas, les supports du balancier sont montés sur une même plaque traversée, ainsi que le bâtiment de la machine, par deux poutres qui servent à relier le mur du milieu avec les deux murs de face qui leur sont parallèles, ainsi qu'à supporter le plancher et les boutons des guides du parallélogramme. Ces supports sont en outre munis de boulons de fondation dont le but est de les relier à un poids suffisant de maçonnerie pour que les actions simultanées et contraires du piston et de la bielle sur les extrémités du balancier ne puissent le soulever.

Dans le second cas, on ne laisse d'action aux maçonneries que dans le sens où le tassement ne peut nuire, c'est-à-dire dans le sens horizontal ; alors on se trouve dans les meilleures conditions de l'établissement des machines pour certaines dispositions que l'on ne peut rendre indépendantes des murs qu'à l'aide de complications, souvent infructueuses, dans le bâti ; telles sont les machines à entablement.

Dans ces machines, on fait un usage fréquent de l'entablement toscan ou autre à deux colonnes. Nous croyons utile d'observer que, alors, le diamètre des colonnes, au lieu d'être de deux modules, comme dans les colonnes en pierre de taille, n'est que d'un module, dimension suffisante pour la fonte et donnant à l'appareil une apparence de légèreté fort satisfaisante pour l'œil.

Le troisième cas est tantôt la conséquence de certains systèmes, tantôt essentiellement antipathique avec certains autres ; en général il ne convient que lorsque l'arbre moteur est situé près du sol, ce qui ne veut pas dire qu'il convient toutes les fois que cette disposition a lieu.

Dans ce cas, la pièce principale du bâti est la plaque de fondation qui doit communiquer avec toutes les parties par des pièces invariables.

2° *Bâtis pour machines de bateaux.* Les bâtis pour machines de bateaux sont de la troisième catégorie des bâtis que nous venons de passer en revue. Il faut que les machines se supportent elles-mêmes ; aussi, dans ce cas, leurs bâtis consistent-ils généralement en une forte plaque de fondation, dont une partie sert à agrandir le condenseur, sur laquelle s'élèvent, de part et d'autre, des supports de dimensions convenables, après lesquels viennent se fixer les différentes parties.

3° *Châssis pour locomotives.* Dans les locomotives, la chaudière remplit en quelque sorte les fonctions de plaque de fondation, par la quantité de parties qu'elle supporte. Elle se relie à un châssis, espèce de cadre en bois recouvert de tôle sur ces faces verticales, servant à poser tout le système sur les essieux des roues, par l'intermédiaire de puissants ressorts (Voir LOCOMOTIVE.)

Conclusions.

Après avoir déterminé les dimensions proportionnelles des différentes pièces et parties, nous avons cru utile de les réunir dans le tableau suivant, qui renferme les dimensions de toutes les pièces importantes, pour trente forces différentes de machines, c'est-à-dire depuis un quart de cheval environ jusqu'à cinq cents chevaux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° VAPORISATION.

N° d'ordre.	FORCES en chevaux correspond à peu près aux vitesses à donner aux mach. selon leurs dim.	Surfaces totales des chaudières en mètres carrés.	Nombres de chaudières strictement nécess.	Diamètres des chaudières en mètres.	Longueurs des chaudières en mètres.	Nombres des bouilleurs.	Diamètres des bouilleurs en mètres.	Longueurs des bouilleurs en mètres.	Prescriptions de l'Ordonnance royale du 22 mai 1843. 2 atmosphères. Numéro de la catégor.	2 atmosphères. Diam. des soupapes de sûreté en centim.	5 atmosphères. Numéro de la catégor.	5 atmosphères. Diam. des soupapes de sûreté en centim.
1	0,25	0,5	1	0,20	0,80	0	»	»	4e	1,00	4e	0,50
2	0,50	1,0	1	0,30	1,06	0	»	»	4	1,00	4	0,80
3	0,75	1,5	1	0,40	1,19	0	»	»	4	2,00	4	1,00
4	1,00	2,0	1	0,40	1,03	1	0,20	1,13	4	2,10	4	1,30
5	2,00	4,0	1	0,50	1,65	1	0,25	1,82	4	2,92	4	1,72
6	3,00	6,0	1	0,50	2,48	1	0,25	2,73	4	3,60	3	2,10
7	4,00	8,0	1	0,50	2,44	2	0,25	2,68	4	4,13	2	2,50
8	6,00	12,0	1	0,65	2,80	2	0,33	3,08	4	5,10	2	3,10
9	9,00	18,0	1	0,65	4,22	2	0,33	4,64	3	6,20	1	3,70
10	12,00	24,0	1	0,80	4,55	2	0,40	5,00	3	7,20	1	4,20
11	16,00	32,0	1	0,80	6,10	2	0,40	6,71	2	8,30	1	4,90
12	20,00	40,0	1	1,00	6,10	2	0,50	6,71	2	9,25	1	5,45
13	25,00	50,0	1	1,00	7,60	2	0,50	8,36	1	10,32	1	6,10
14	30,00	60,0	2 de 16 chevaux.			»	»	»	1	»	1	»
15	35,00	70,0	1 de 16 et 1 de 20.			»	»	»	1	»	1	»
16	40,00	80,0	2 de 20 chevaux.			»	»	»	1	»	1	»
17	50,00	100,0	2 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
18	60,00	120,0	3 de 20 id.			»	»	»	1	»	1	»
19	75,00	150,0	3 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
20	100,00	200,0	4 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
21	125,00	250,0	5 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
22	150,00	300,0	6 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
23	175,00	350,0	7 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
24	200,00	400,0	8 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
25	250,00	500,0	10 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
26	300,00	600,0	12 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
27	350,00	700,0	14 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
28	400,00	800,0	16 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
29	450,00	900,0	18 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»
30	500,00	1000,0	20 de 25 id.			»	»	»	1	»	1	»

2° DISTRIBUTION.

N° d'ordre.	DIMENSIONS DES LUMIÈRES DES TIROIRS. sans détente à condensat. Long.	Larg.	sans détente ni condensation. Long.	Larg.	à détente. Longueur.	Largeur.	DIAMÈTRES des soupapes et tuyaux de conduite. sans détente à condensat.	sans détente ni condens.	à détente	DIAMÈTRES DES Tiges des tiroirs ou soup.	Arbres des tir. ou soup.	Boutons des man. d'exc.	Boutons de la distr. en gén.	Épaisseur des fontes.
	m.	m.	m.	m.	m	m.	m.	m	m.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	0,025	0,005	0,0125	0,0025	0,01875	0,00375	0,01	0,005	0,0075	5	8	8	5	5
2	0,050	0,010	0,0250	0,0050	0,03750	0,00750	0,02	0,010	0,0150	6	10	10	8	7
3	0,075	0,015	0,0375	0,0075	0,06275	0,01125	0,03	0,015	0,0225	6	12	12	10	9
4	0,100	0,020	0,0500	0,0100	0,07500	0,01500	0,04	0,020	0,0300	8	15	15	10	11
5	0,125	0,025	0,0625	0,0125	0,09375	0,01875	0,05	0,025	0,0375	8	18	18	12	13
6	0,150	0,030	0,0750	0,0150	0,11250	0,02250	0,06	0,030	0,0450	10	21	21	12	14
7	0,175	0,035	0,0875	0,0175	0,13125	0,02625	0,07	0,035	0,0525	10	25	25	15	15
8	0,200	0,040	0,1000	0,0200	0,15000	0,03000	0,08	0,040	0,0600	12	30	30	15	16
9	0,225	0,045	0,1125	0,0225	0,16875	0,03375	0,09	0,045	0,0675	12	35	35	15	17
10	0,250	0,050	0,1250	0,0250	0,18750	0,03750	0,10	0,050	0,0750	15	40	40	15	18
11	0,275	0,055	0,1375	0,0275	0,20675	0,04125	0,11	0,055	0,0825	15	45	42	18	19
12	0,300	0,060	0,1500	0,0300	0,22500	0,04500	0,12	0,060	0,0900	18	50	44	18	20
13	0,325	0,065	0,1625	0,0325	0,24375	0,04875	0,13	0,065	0,0975	18	55	46	18	21
14	0,350	0,070	0,1750	0,0350	0,26250	0,05250	0,14	0,070	0,1050	21	60	48	18	22
15	0,375	0,075	0,1875	0,0375	0,28125	0,05625	0,15	0,075	0,1125	21	65	50	18	23
16	0,400	0,080	0,2000	0,0400	0,30000	0,06000	0,16	0,080	0,1200	25	70	52	21	23
17	0,425	0,085	0,2125	0,0425	0,31875	0,06375	0,17	0,085	0,1275	25	75	54	21	24
18	0,450	0,090	0,2250	0,0450	0,33750	0,06750	0,18	0,090	0,1350	30	80	56	21	24
19	0,475	0,095	0,2375	0,0475	0,35625	0,07125	0,19	0,095	0,1425	30	85	58	21	25
20	0,500	0,100	0,2500	0,0500	0,37500	0,07500	0,20	0,100	0,1500	35	90	60	21	25
21	0,550	0,110	0,2750	0,0550	0,41250	0,08250	0,22	0,110	0,1650	35	95	62	25	26
22	0,600	0,120	0,3000	0,0600	0,45000	0,09000	0,24	0,120	0,1800	35	100	64	25	26
23	0,650	0,130	0,3250	0,0650	0,48750	0,09750	0,26	0,130	0,1950	40	100	66	25	27
24	0,700	0,140	0,3500	0,0700	0,52500	0,10500	0,28	0,140	0,2100	40	100	68	25	27
25	0,750	0,150	0,3750	0,0750	0,56250	0,11250	0,30	0,150	0,2250	40	110	70	25	28
26	0,800	0,160	0,4000	0,0800	0,60000	0,12000	0,32	0,160	0,2400	45	110	72	30	29
27	0,850	0,170	0,4250	0,0850	0,63750	0,12750	0,34	0,170	0,2550	45	110	74	30	29
28	0,900	0,180	0,4500	0,0900	0,67500	0,13500	0,36	0,180	0,2700	45	120	76	30	30
29	0,950	0,190	0,4750	0,0950	0,71250	0,14250	0,38	0,190	0,2850	50	120	78	30	30
30	1,000	0,200	0,5000	0,1000	0,75000	0,15000	0,40	0,200	0,3000	50	120	80	30	30

Propriété de la Bibliothèque nationale

3° TRAVAIL.

N°s d'ordre.	Diamètres des cylind. à vap. sans détente à condensation.	Diamètres des cylind. à vap. sans détente sans condensation.	Diamètres des cylind. à vap. à détente	Courses des pistons.	Épaisseurs des cylindres.	Épaisseurs des pistons au centre.	Épaisseurs du jeu des pistons.	Épaisseurs de l'entrée des fonds.	Longueurs des cylindres.	Diamètr. des tiges des pistons.	Diamètr. des boulons des cylindres.	Rapports entre les surfaces des pistons. celle du 1er étant 1.	Rapports entre les surfaces des pistons. successifs.
	m.	m.	m.	m.	mm.	mm.	mm.	mm.	m.	mm.	mm.		
1	0,05	0,025	0,0375	0,10	8	50	20	20	0,190	12	6	1	1,000
2	0,10	0,050	0,0750	0,20	10	60	24	24	0,308	15	8	4	4,000
3	0,15	0,075	0,1125	0,30	12	70	28	28	0,426	18	10	9	2,250
4	0,20	0,100	0,1500	0,40	14	80	32	32	0,544	21	12	16	1,780
5	0,25	0,125	0,1875	0,50	16	90	36	36	0,662	25	12	25	1,560
6	0,30	0,150	0,2250	0,60	18	100	40	40	0,780	30	15	36	1,440
7	0,35	0,175	0,2625	0,70	20	110	44	44	0,898	35	15	49	1,360
8	0,40	0,200	0,3000	0,80	22	120	48	48	1,016	40	18	64	1,305
9	0,45	0,225	0,3375	0,90	24	130	52	52	1,134	45	18	81	1,265
10	0,50	0,250	0,3750	1,00	26	140	56	56	1,252	50	21	100	1,235
11	0,55	0,275	0,4125	1,10	28	150	60	60	1,370	55	21	121	1,210
12	0,60	0,300	0,4500	1,20	30	160	64	64	1,488	60	25	144	1,190
13	0,65	0,325	0,4875	1,30	32	170	68	68	1,606	65	25	169	1,175
14	0,70	0,350	0,5250	1,40	34	180	72	72	1,724	70	25	196	1,160
15	0,75	0,375	0,5625	1,50	36	190	76	76	1,842	75	30	225	1,145
16	0,80	0,400	0,6000	1,60	38	200	80	80	1,960	80	30	256	1,140
17	0,85	0,425	0,6375	1,70	40	210	84	84	2,078	85	30	288	1,125
18	0,90	0,450	0,6750	1,80	42	220	88	88	2,196	90	35	324	1,122
19	0,95	0,475	0,7125	1,90	44	230	92	92	2,314	95	35	361	1,120
20	1,00	0,500	0,7500	2,00	46	240	96	96	2,432	100	35	400	1,110
21	1,10	0,550	0,8250	2,20	48	250	100	100	2,650	110	40	484	1,205
22	1,20	0,600	0,9000	2,40	50	260	104	104	2,868	120	40	576	1,190
23	1,30	0,650	0,9750	2,60	52	270	108	108	3,086	130	40	676	1,175
24	1,40	0,700	1,0500	2,80	54	280	112	112	3,304	140	45	784	1,160
25	1,50	0,750	1,1250	3,00	56	290	116	116	3,522	150	45	900	1,145
26	1,60	0,800	1,2000	3,20	58	300	120	120	3,740	160	45	1024	1,138
27	1,70	0,850	1,2750	3,40	60	310	124	124	3,958	170	50	1152	1,123
28	1,80	0,900	1,3500	3,60	62	320	128	128	4,176	180	50	1296	1,120
29	1,90	0,950	1,4250	3,80	64	330	132	132	4,394	190	50	1444	1,115
30	2,00	1,000	1,5000	4,00	66	340	136	136	4,612	200	50	1600	1,105

4° TRANSMISSION DU MOUVEMENT.

N°s d'ordre.	Balanciers à une seule flasque. Dimensions. Long. en mètres.	Larg. en mètr.	Épais. en mill.	Diamètres en millim. des tourill. en fer. extrême	au milieu.	au quart.	Dimensions des parallélogram. en mètres. Long.	Larg.	Longueurs des bielles en mètres.	Manivelles. Rayons en mètres.	Diam. des entrées des arb. en fonte.	Diam. des boutons en fer.	Arb. des volants en fonte: diam. du tour.	Volants. Poids des jantes en kil. sans détente.	à détente sans condens.	à détente à condens.	Diam. en mètr.
											mm.	mm.	mm.				
1	0,30	0,05	4	12	18	9	0,075	0,05	0,25	0,05	30	15	25	30	45	60	0,30
2	0,60	0,10	6	20	30	15	0,150	0,10	0,50	0,10	50	21	40	58	86	114	0,60
3	0,90	0,15	9	25	35	18	0,225	0,15	0,75	0,15	65	25	55	86	127	167	0,90
4	1,20	0,20	13	30	45	21	0,300	0,20	1,00	0,20	80	30	70	112	164	216	1,20
5	1,50	0,25	15	35	50	25	0,375	0,25	1,25	0,25	100	35	90	220	320	420	1,50
6	1,80	0,30	18	40	55	30	0,450	0,30	1,50	0,30	120	40	110	324	467	611	1,80
7	2,10	0,35	23	45	65	30	0,525	0,35	1,75	0,35	130	45	120	424	607	790	2,10
8	2,40	0,40	25	50	70	35	0,600	0,40	2,00	0,40	150	50	140	624	884	1145	2,40
9	2,70	0,45	28	55	75	35	0,675	0,45	2,25	0,45	170	55	160	920	1297	1675	2,70
10	3,00	0,50	30	60	80	40	0,750	0,50	2,50	0,50	190	60	180	1200	1650	2160	3,00
11	3,30	0,55	33	60	85	40	0,825	0,55	2,75	0,55	220	65	200	1585	2212	2835	3,30
12	3,60	0,60	35	65	90	45	0,900	0,60	3,00	0,60	240	75	220	1960	2720	3480	3,60
13	3,90	0,65	38	70	95	45	0,975	0,65	3,25	0,65	260	80	240	2420	3350	4270	3,90
14	4,20	0,70	40	75	100	50	1,050	0,70	3,50	0,70	280	85	260	2880	3960	5040	4,20
15	4,50	0,75	43	75	110	55	1,125	0,75	3,75	0,75	325	90	300	3330	4540	5780	4,50
16	4,80	0,80	45	80	120	60	1,200	0,80	4,00	0,80	350	100	325	3760	5130	6500	4,80
17	5,10	0,85	48	85	120	60	1,275	0,85	4,25	0,85	375	100	350	4650	6290	7950	5,10
18	5,40	0,90	50	90	130	65	1,350	0,90	4,50	0,90	400	110	375	5500	7420	9350	5,40
19	5,70	0,95	55	95	130	65	1,425	0,95	4,75	0,95	450	120	400	6825	8662	11500	5,70
20	6,00	1,00	60	100	140	70	1,500	1,00	5,00	1,00	500	130	450	9000	12000	15000	6,00
21	6,60	1,05	65	110	150	75	1,650	1,10	5,50	1,10	550	140	500	11100	14750	18400	6,60
22	7,20	1,10	70	120	160	80	1,800	1,20	6,00	1,20	600	150	550	13200	17400	21600	7,20
23	7,80	1,15	75	130	180	90	1,950	1,30	6,50	1,30	650	160	600	15200	19950	24700	7,80
24	8,40	1,20	80	140	200	100	2,100	1,40	7,00	1,40	700	170	650	17200	22400	27600	8,40
25	9,00	1,25	85	150	220	110	2,250	1,50	7,50	1,50	750	180	700	21300	27850	33800	9,00
26	9,60	1,30	90	160	220	110	2,400	1,60	8,00	1,60	800	190	750	25200	32400	39600	9,60
27	10,20	1,35	95	170	240	120	2,550	1,70	8,50	1,70	850	200	800	29000	37400	45200	10,20
28	10,80	1,40	100	180	240	120	2,700	1,80	9,00	1,80	900	220	850	32800	41550	50300	10,80
29	11,40	1,45	110	190	260	130	2,850	1,90	9,50	1,90	950	240	900	36500	45850	55200	11,40

	5° CONDENSATION. DIAMÈTRES théoriq. des pist. des pompes à air. sans dét.	à detente.	des robinets et tuyaux d'inject.	des tig. des pist. des pompes à air.	des boulons en millimètres. pompes à air.	bâches.	Épaisseurs en millim. des cylindres et boites à clapets.	bâches.	LARGEURS en mètres des clapets pour long. égales aux diam. des pompes à air. s dét.	à dét.	6° ALIMENTATION. DIAMÈTRES EN MÈTRES des pompes pour 1/2 course. Eau fraiche. condens.	alimen.	OBSERVATIONS.
	m.	m.	mm.	mm.									
1	0,03	0,025	5	9	6	6	8	6	0,01	0,010	0,025	0,009	Les dimensions que nous donnons ici conviennent particulièrement pour machines fixes à balancier. Nous indiquons ailleurs les modifications qui y sont apportées quand la position du cylindre est changée, ou quand les machines sont destinées à fonctionner dans des bateaux ou dans des locomotives
2	0,06	0,050	10	10	7	7	10	7	0,02	0,020	0,030	0,010	
3	0,09	0,075	15	12	8	7	12	8	0,03	0,025	0,035	0,015	
4	0,12	0,100	21	15	9	8	14	9	0,04	0,035	0,040	0,021	
5	0,15	0,125	25	18	10	8	15	10	0,05	0,045	0,060	0,025	
6	0,18	0,150	30	21	12	9	16	11	0,06	0,050	0,070	0,030	
7	0,21	0,175	35	21	12	9	17	12	0,07	0,060	0,080	0,035	
8	0,24	0,200	40	25	15	10	18	13	0,08	0,070	0,090	0,040	
9	0,27	0,225	45	25	15	10	19	14	0,09	0,075	0,100	0,045	
10	0,30	0,250	50	30	18	12	20	15	0,10	0,085	0,120	0,050	
11	0,33	0,275	55	30	18	12	21	16	0,11	0,095	0,140	0,055	
12	0,36	0,300	60	35	18	12	22	17	0,12	0,100	0,160	0,060	
13	0,39	0,325	65	35	21	15	23	18	0,13	0,110	0,180	0,065	
14	0,42	0,350	70	40	21	15	24	19	0,14	0,115	0,200	0,070	
15	0,45	0,375	75	40	21	15	25	20	0,15	0,120	0,220	0,075	
16	0,48	0,400	80	45	25	18	26	21	0,16	0,130	0,240	0,080	
17	0,51	0,425	85	45	25	18	27	22	0,17	0,140	0,260	0,085	
18	0,54	0,450	90	50	25	18	28	23	0,18	0,150	0,280	0,090	
19	0,57	0,475	95	50	30	21	29	24	0,19	0,160	0,300	0,095	
20	0,60	0,500	100	55	30	21	30	25	0,20	0,170	0,325	0,100	
21	0,66	0,550	110	55	30	21	31	26	0,22	0,180	0,350	0,110	
22	0,72	0,600	110	60	30	21	32	27	0,24	0,200	0,375	0,120	
23	0,78	0,650	120	65	35	25	33	28	0,26	0,215	0,400	0,130	
24	0,84	0,700	120	70	35	25	34	29	0,28	0,230	0,450	0,140	
25	0,90	0,750	130	75	35	25	35	30	0,30	0,250	0,500	0,150	
26	0,96	0,800	130	80	35	25	36	31	0,32	0,265	0,550	0,160	
27	1,02	0,850	140	85	40	30	37	32	0,34	0,285	0,600	0,170	
28	1,08	0,900	140	90	40	30	38	33	0,36	0,300	0,650	0,180	
29	1,14	0,950	150	95	40	30	39	34	0,38	0,320	0,700	0,190	
30	1,20	1,000	150	100	40	30	40	35	0,40	0,340	0,750	0,200	

LIVRE III.

Composition des machines à vapeur.

Dans la composition d'une machine à vapeur, il faut envisager trois choses, savoir :

Le mode d'application ;

La force à transmettre ;

Le genre le plus convenable.

La composition résultant de l'examen de l'ensemble de ces trois choses constitue ce qu'on nomme un *système*.

Il existe un grand nombre de systèmes de machines à vapeur à *cylindre* et *piston*, abstraction faite des autres, non seulement parce que les trois conditions d'établissement, citées plus haut, donnent lieu à un grand nombre de cas, mais encore parce qu'il y a plusieurs manières de résoudre certains d'entre eux, comme nous allons le voir.

1° *Modes d'application.* On considère cinq cas principaux d'application de la force motrice de la vapeur, savoir :

1° A l'élévation de l'eau ;
2° A l'insufflation de l'air ;
3° A des machines outils ;
4° A la rotation d'un arbre de couche, comprenant les machines fixes et les machines mobiles.

Les machines destinées à l'élévation de l'eau portent le nom de *machines hydrauliques* ou *d'épuisement*.

Les machines destinées à dilater ou condenser l'air portent le nom de *machines soufflantes*.

Les machines destinées à transmettre un mouvement de rotation à un arbre de couche portent le nom de *machines à rotation*.

Les machines destinées à la navigation portent le nom d'*appareils moteurs pour bateaux*.

Les machines destinées au transport sur terre portent le nom de *locomotives*.

2° *Forces.* Il existe aujourd'hui des machines à vapeur de toutes forces, depuis celle de 1/4 de cheval jusqu'à celle de 1000 chevaux.

Ces formes peuvent, d'après leur influence sur le choix du système, se classer en sept catégories, savoir :

1re	catégorie	de 1/4	de cheval	à	6 chevaux.
2e	—	de 6	chevaux	à	12 —
3e	—	de 12	—	à	25 —
4e	—	de 25	—	à	50 —
5e	—	de 50	—	à	100 —
6e	—	de 100	—	à	500 —
7e	—	de 500	—	à	1000 —

3° *Genres.* Les genres sont au nombre de quatre, dont deux dits *à détente*, et deux *à condensation*.

La détente seule s'emploie toutes les fois que l'on veut économiser la vapeur motrice. La condensation seule s'emploie toutes les fois que l'on veut faire travailler la vapeur à basse pression.

La détente et la condensation réunies s'emploient toutes les fois que l'on veut tirer de la vapeur motrice le plus d'effet utile possible.

On peut toujours employer la détente. On ne peut faire usage de la condensation qu'autant que l'eau est en abondance dans la localité où l'on établit la machine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces données posées, nous allons examiner successivement les différents cas auxquels donnent lieu les divers modes d'application de la force motrice de la vapeur, suivant les quantités de travail à effectuer, les genres adoptés et les autres circonstances qui peuvent se présenter.

CHAPITRE Ier. MACHINES A VAPEUR HYDRAULIQUES OU D'ÉPUISEMENT.

Lorsqu'on applique la force motrice de la vapeur à l'élévation de l'eau, la machine sert généralement à mouvoir des pompes.

Quand la force à transmettre n'est pas considérable, il arrive souvent que le mouvement est communiqué à ces pompes par une machine à rotation; mais quand cette force est supérieure à celles comprises dans les quatre premières catégories, il est convenable de communiquer directement le mouvement du piston à vapeur à ceux des pompes. Comme alors ces dernières sont à simple effet, les machines à vapeur employées, dans ce cas, le sont aussi.

Ce sont ces machines que l'on désigne le plus particulièrement sous le nom de machines hydrauliques ou d'épuisement et dont nous allons parler.

La théorie des machines à simple effet est la même que celle des machines à vapeur à double effet, seulement leur travail n'en est que la moitié, pour un même nombre de coups doubles de pistons.

Quand on les applique au mouvement des pompes, il se présente deux cas principaux, savoir :

1° Ou les pompes sont aspirantes et élévatoires ;

2° Ou les pompes sont aspirantes et foulantes.

1er *cas*. Si les pompes sont aspirantes et élévatoires, la charge à soulever se compose de :

1° L'eau contenue au-dessus des pistons des pompes;

2° Les tiges et pistons des pompes.

Dans ce cas, la descente des pistons et des tiges a lieu en vertu de leur poids seul, sans effectuer de travail; il faut alors que leur poids ne soit que juste équivalent à la charge nécessaire pour produire cette descente, sans quoi la machine effectuerait un travail inutile à chaque coup de piston.

Pour que le poids effectif des pistons et des tiges ne soit pas supérieur à la charge nécessaire pour produire leur descente, il faut, le plus souvent, les attacher à l'extrémité d'un balancier dont l'autre extrémité est chargée de contre-poids.

Ce genre de pompes n'est donc pas très-convenable, quand le puits est profond, c'est-à-dire quand le poids des tiges et pistons est considérable.

On est cependant obligé d'y avoir recours, sinon pour toute la hauteur du puits, du moins pour les pompes inférieures qui sont exposées à être noyées, et ne pourraient se réparer si elles étaient à refoulement.

2e *cas*. Si les pompes sont aspirantes et foulantes, la charge à soulever se compose seulement des tiges et des pistons des pompes.

Dans ce cas, la montée de l'eau dans les tuyaux d'ascension et la descente des tiges et pistons a lieu, en vertu du poids de ces pièces. Quand, par hasard, ce poids n'est pas assez considérable, ce qui est fort rare, on peut en ajouter facilement, sans addition d'aucune espèce de pièces.

Ce genre de pompe est donc le plus convenable pour les épuisements; aussi est-ce celui que l'on emploie de préférence, le précédent étant, comme nous avons dit plus haut, réservé pour les étages inférieurs seulement.

Par le fait seul que les machines d'épuisement sont comprises dans les trois dernières catégories, il est de la plus haute importance de leur donner toutes les dispositions qui peuvent apporter de l'économie dans la dépense de vapeur, attendu que la consommation du combustible y est considérable. Aussi ces machines sont-elles toutes à détente et condensation ; à détente parce qu'on peut appliquer ce mode de distribution à toutes les machines ; à condensation, parce que l'eau ne peut manquer d'être en abondance là où la force motrice est spécialement employée à l'extraire.

C'est ainsi que pour les machines d'épuisement des mines du Cornwall, on est arrivé depuis longtemps à ne brûler que 2 kilogr. au plus de houille par force de cheval et par heure, tandis que dans les autres modes d'application de la force motrice de la vapeur, cette consommation était au moins de 4 kilogr. et s'élevait quelquefois à 6 kilogr.

La transmission du mouvement du piston moteur aux tiges et pistons des pompes s'effectue de trois manières principales, savoir :

1° Par l'intermédiaire d'un balancier droit ;

2° Par l'intermédiaire d'un balancier d'équerre ;

3° Sans balancier.

§ 1er *Machines d'épuisement à balancier droit.* Ces machines, qui sont les mieux disposées pour la condensation, par la facilité qu'elles offrent pour la mise en mouvement des pompes, conviennent spécialement pour les pompes aspirantes et foulantes,

Elles consistent en un balancier porté sur un mur, et communiquent, par chacune de ses extrémités, d'une part à la tige du piston moteur, d'autre part à la *maîtresse tige* des pompes.

La course des pistons est limitée, d'une part, par les fonds des pompes contre lesquels frappent accidentellement les pistons ; d'autre part, par une traverse en fer, passée dans l'oreille du balancier et venant accidentellement aussi frapper contre des poutrelles élastiques avant que le piston n'ait atteint le fond du cylindre.

Nous disons accidentellement, en parlant des arrivées du piston moteur à chacune des extrémités de sa course, parce que le poids des tiges, la pression de la vapeur dans le cylindre et les ouvertures des soupapes sont réglées de manière à ce que ces chocs n'aient pas lieu, dans l'état normal de la machine. La distribution des machines d'épuisement se fait généralement au moyen de soupapes. Nous avons vu comment elle a eu lieu pour machines à double effet; nous allons expliquer en quoi celle des machines à simple effet en diffère.

Dans ce cas, il n'y a que trois soupapes, savoir :

La soupape d'admission ;

La soupape d'équilibre ;

La soupape d'exhaussion.

La première permet à la vapeur d'entrer dans le cylindre au-dessus du piston.

La seconde établit la communication entre le dessus et le dessous du piston.

La troisième permet à la vapeur, contenue sous le piston, de se rendre au condenseur.

La première et la troisième s'ouvrent ensemble, quand la seconde vient se fermer. Alors le piston descend et, comme la machine est à détente, la soupape d'admission se ferme pendant le trajet de ce dernier depuis le haut jusqu'au bas du cylindre. Quand le piston est arrivé à ce point, la troisième se ferme et la seconde s'ouvre.

La communication ayant lieu entre le dessus et le dessous, la pression devient égale de part et d'autre, et le piston remonte en vertu du poids des tiges. A peine est-il arrivé en haut que la soupape d'équilibre se ferme, après quoi les deux autres s'ouvrent et ainsi de suite.

La vitesse des machines d'épuisement se règle au moyen d'un petit appareil, appelé *cataracte*.

La cataracte est une pompe à piston plein mis en mouvement par un levier chargé à son extrémité d'un contre-poids. Ce levier est prolongé de l'autre côté de son centre d'oscillation de manière à être rencontré

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par la tige de la pompe à air quand cette dernière descend.

Nous avons vu que quand le piston à vapeur arrive au bas de sa course, la soupape d'équilibre s'ouvre et le piston remonte par l'action du poids des tiges.

Le contre-poids ayant été soulevé par l'action de la tige de la pompe à air sur l'extrémité opposée du levier, tend à redescendre quand la tige est remontée ; mais il est retenu par le piston qui presse sur l'eau aspirée dans le corps de pompe, laquelle s'écoule dans la bâche par un robinet qui se manœuvre à la main. Plus le robinet est ouvert, plus le contre-poids descend facilement et vite ; plus il est fermé, au contraire, plus le contre-poids met de temps à descendre.

Entre la soupape d'admission et la chaudière à vapeur existe une quatrième soupape, dite soupape régulatrice. Cette soupape est mise en mouvement par le levier ; son ouverture est donc plus ou moins fréquente suivant le plus ou moins de vitesse que met le contre-poids à descendre.

Au moyen de la cataracte on proportionne le nombre de coups de piston de la machine et des pompes d'épuisement à la quantité d'eau qu'il y a à extraire dans un temps donné.

Les machines employées dans le comté de Cornouailles forment le type le plus parfait du genre de machines d'épuisement qui nous occupe. Les principes sur lesquels repose la construction de ces machines et la supériorité de travail qu'elles donnent, sont :

1° Des chaudières de dimensions colossales, avec de très grandes surfaces de chauffe, trois ou quatre fois plus grandes que dans les machines ordinaires, et qui donnent au moins $8^k,25$ de vapeur pour 1^k de houille ;

2° L'emploi de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères avec des détentes considérables, que l'on porte quelquefois à dix fois le volume primitif de la vapeur, et que l'on varie en raison du travail à faire ;

3° De larges soupapes d'admission et d'émission ouvertes presque instantanément ;

4° L'introduction de la vapeur à une température élevée dans la chemise qui enveloppe le cylindre ; introduction qui produit une notable économie de combustible, et sert à vaporiser l'eau entraînée par la vapeur.

Les résultats réels des machines de Cornouailles sont très remarquables ; elles rendent, d'après les expériences faites avec soin par l'ingénieur anglais Wicksteed, plus du double de travail que les machines de Watt, pour la même quantité de charbon. Ainsi il a obtenu, en employant la vapeur à 3 atmosphères 1/2 et détendant de 1 à 3,20, près de $30,000,000^{km}$ pour 100 kil., d'excellente houille du pays de Galles, soit 300,000 kil.-mèt. par kil. de charbon ; résultat qui avait été exagéré d'après les rapports de quelques ingénieurs, mais qui est bien suffisant pour déterminer l'adoption de ce genre de machines pour les grands épuisements de mines, lorsque l'on doit recourir à l'emploi de la machine à vapeur.

§ 2. *Machines d'épuisement à balancier d'équerre.* — Le balancier d'équerre est indispensable, pour les machines d'épuisement, toutes les fois que les pompes sont aspirantes et élévatoires. L'extrémité porte une tige en fer à laquelle sont suspendus des poids en quantité suffisante pour faire équilibre à l'excédant de poids des tiges sur le poids rigoureusement nécessaire à leur descente, lequel est peu considérable.

Le cylindre à vapeur est alors horizontal et communique le mouvement au balancier, par l'intermédiaire d'une bielle dont l'une des têtes s'assemble avec l'extrémité du balancier.

Nous ne connaissons pas d'application de ce genre de machines à simple effet pour les mines. Nous avons vu fréquemment employer le balancier d'équerre pour les petits épuisements, mais alors il fonctionnait dans une circonstance particulière que nous allons relater

Il arrive souvent dans les mines qu'un puits cesse de donner des produits, ou cesse de servir à l'épuisement ; en d'autres termes, qu'une machine reste sans usage près d'un puits. Dans ce cas, si on a percé un puits dans le voisinage, pour faire un épuisement, au lieu d'y transporter la machine qui chôme, on établit une communication de mouvement, au moyen d'une série de bielles consécutives, entre elle et un balancier d'équerre situé à l'orifice de ce puits. Pour cela il suffit d'adapter une manivelle à l'autre extrémité de l'arbre moteur de cette machine qui, quoique à double effet, sert à manœuvrer des pompes à simple effet.

Ce n'est point une situation régulière de machine, il est vrai, mais cela suffit pour servir provisoirement dans une exploitation.

§ 3. *Machines d'épuisement sans balancier.* — Dans ces machines, le cylindre à vapeur est vertical et la tige de son piston est située directement sur le prolongement de celle des pompes.

Ce système convient dans les mêmes circonstances que le système à balancier droit, c'est-à-dire pour pompes aspirantes et foulantes ; seulement le poids du piston à vapeur, au lieu de contrebalancer une portion du poids des tiges, s'ajoute à ce poids, et il faut une disposition accessoire pour équilibrer l'excédant de poids des tiges dans le cas où il y en a.

Nous avons vu une machine de ce genre, de la force de 300 chevaux, établie à *Ougrée*, près de *Liége*, dans l'usine de M. *Michiels*. Elle sert à la fois à souffler les hauts-fourneaux et à épuiser la mine. Elle est d'une remarquable simplicité ; mais c'est là, à notre avis, le seul mérite de ce système.

CHAPITRE II. MACHINES SOUFFLANTES.

Les machines soufflantes se composent de deux grandes parties principales, savoir : la machine à vapeur ; la soufflerie.

De tous les systèmes de soufflerie qui existent, le seul dont nous parlerons ici est celui à cylindre et piston.

Avant d'entrer dans les détails de diverses dispositions employées pour transmettre le mouvement du piston à vapeur au piston soufflant, nous croyons devoir donner quelques renseignements sur la détermination des dimensions relatives de ces deux pistons.

Soit h la hauteur manométrique, en mercure, correspondant à la différence des pressions intérieure et extérieure de la soufflerie.

La pression sur le piston soufflant est égale à :

$$0,785\ D^2 \times h \times 13590.$$

D étant son diamètre et 13590 le poids du mètre cube de mercure.

Par suite des frottements qui s'opèrent dans le mouvement de l'appareil, le travail produit n'est que les 0,90 du travail dépensé ; il faut donc, pour qu'il y ait équilibre entre le piston à vapeur et le piston soufflant, que la pression sur le piston à vapeur soit égale à $\frac{1}{0,90}$ de celle qui existe sur le piston soufflant, c'est-à-dire :

$$1,11 \times 0,785\ D^2 \times h \times 13590.$$

Si d est le diamètre du piston à vapeur à basse pression, sans détente à condensation, la pression de vapeur sur sa surface est :

$$0,785\ d^2 \times 0,76 \times 13590.$$

Admettant qu'il n'y a que les 0.60 du travail produit qui soient utilisés, et les courses étant égales de part et d'autre, on a :

$$1,11 \times 0,785\ D^2 \times h \times 13590 = 0,6 \times 0,785\ d^2 \times 0,76 \times 13590.$$

Réduisant, il vient :

$$1,11\ D^2 h = 0,6\ d^2 \times 0,76$$

d'où $$D = d \sqrt{\frac{0,41}{h}}$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'où l'on tire pour des valeurs croissante de h:

Pour $h = 0^m,025$	$D = 4,08\ d.$
$0^m,050$	2,88
$0^m,075$	2,34
$0^m,100$	2,04
$0^m,125$	1,82
$0^m,150$	1,68
$0^m,175$	1,54
$0^m,200$	1,44

Nous traitons de ces machines dans un article spécial qui suit celui-ci; nous y renvoyons pour la description des divers systèmes de machines soufflantes.

CHAPITRE III. MARTEAU-PILON A VAPEUR ET AUTRES MACHINES-OUTILS.

L'emploi direct du mouvement de va-et-vient de la tige du piston, a été appliqué avec succès par Cavé à divers outils agissant par mouvements alternatifs, à des machines à percer, à river les tôles, par exemple (voy. CHAUDRONNERIE); il a trouvé sa plus utile application dans le puissant appareil qui a transformé le travail des forges, dans le marteau-pilon. Nous le prendrons pour type dans cette étude, les autres systèmes pouvant se traiter de la même manière en remplaçant le poids du pilon par la résistance que rencontre l'outil travaillant.

Un pilon d'un poids P devant être élevé à une hauteur H pour donner un travail $PH = \frac{P}{2g} V^2$, ($V^2 = 2gH$) convenable pour le travail de forge à exécuter, peut être relevé par l'action de la vapeur à une pression p, au moyen d'un piston d'un cylindre à vapeur de section telle que Sp soit supérieur au poids P. Lorsque ces deux quantités sont égales, le pilon est simplement en équilibre; l'ascension n'a lieu qu'en raison de l'excédant de la première sur la seconde. Habituellement on la fait double de celle qui équilibrerait le poids du marteau, on pose:

$$n S p = 2P,$$

d'où

$$S = \frac{2P}{np},$$

n étant un coefficient pratique correspondant aux pertes d'action de la vapeur, et au travail des frottements.

La levée se fait alors dans le même temps que la descente, la moitié de la pression de la vapeur pouvant être considérée comme annulant le poids du pilon, et la seconde moitié lui imprimant, en sens inverse, une vitesse égale à celle que lui imprimerait la gravité. On a donc, pour la vitesse répondant à la levée H, comme pour la chute $V = \sqrt{2gH}$, et pour la durée, comme $V = gt$, $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

La durée totale d'une action du marteau sera donc le double de cette quantité, plus la petite perte de temps occasionnée par le changement de sens du mouvement.

Les résistances dues au frottement peuvent s'évaluer pour ces appareils d'après les règles connues, mais non la plus grande cause de perte de travail, celle due aux espaces nuisibles qui varient avec le volume des pièces à forger. En effet quand celui-ci est petit, que le piston arrive presque jusqu'au fond du cylindre, les espaces nuisibles sont peu importants; mais ce cas ne se présente presque jamais, et à cause de la dimension de la pièce, le piston s'arrête à une fraction de sa course qui laisse une distance assez grande entre le piston et le fond du cylindre. L'espace ainsi rendu libre et qui est tout à fait inutile, ne se remplit pas moins nécessairement de vapeur à la fin de chaque course; d'où résulte une perte de vapeur considérable.

Marteaux à double action. Nous n'avons parlé jusqu'ici que des marteaux à simple action, dans lesquels le poids du pilon, que la vapeur sert seulement à relever, est uniquement utilisé. Sauf pour des travaux de forge simples, on emploie plus souvent des marteaux à double action, dans lesquels la vapeur n'est pas seulement reçue en dessous pour relever le piston, mais est encore envoyée au-dessus de lui, pour augmenter l'action par la force vive qu'elle lui imprime.

Sp étant l'action de la vapeur, SpH sera, pour une chute H, le travail égal à sa force vive; PH étant celui du marteau, le travail total sera égal à $H(P + Sp)$, c'est-à-dire qu'au poids propre du marteau, il faut ajouter la pression exercée sur la surface supérieure du piston. On voit donc que la puissance du marteau-pilon peut être beaucoup accrue sans augmentation de poids de métal, et la vapeur employée à lancer plus vite le pilon, et non-seulement employée à remonter son poids. La consommation de la vapeur reçue au-dessus du piston, peut souvent, dans la pratique, être beaucoup réduite en employant la détente, lorsque la puissance maximum du marteau n'est pas nécessaire.

La facilité d'augmenter la vitesse de chute qui résulte d'un envoi d'une quantité plus ou moins grande de vapeur est un des avantages du marteau-pilon à double action.

Des mouvements automatiques. La manœuvre automatique des marteaux-pilons se prête à une foule de combinaisons diverses, dit M. Chrétien dans une très-bonne étude sur les marteaux-pilons qui fait partie de son traité des *Machines-outils;* en France on n'attache pas une grande importance à ces mouvements, mais on a des idées tout à fait opposées en Angleterre où les industries métallurgiques et mécaniques sont portées à un degré si avancé.

Dans les ateliers où l'on se livre spécialement à la fabrication de pièces de forge, les marteaux-pilons qui servent à exécuter ce travail sont soumis à des irrégularités forcées dans leur marche, qui n'a d'ailleurs jamais besoin d'être très-rapide; dans ce cas alors les mouvements automatiques n'ont pas grande importance, et si l'ouvrier est habile, s'il a la main sûre, la manœuvre à la main sera souvent la plus convenable.

Mais dans grand nombre de cas, il est bon de régler mécaniquement la marche des marteaux-pilons. La manœuvre à la main est limitée à 60 ou 80 coups de marteau à la minute, au plus, tandis qu'avec les manœuvres automatiques on obtient facilement 100 coups à la minute.

C'est surtout dans certaines applications spéciales, comme par exemple la fabrication des ressorts, des articles de coutellerie, etc., que ces mouvements rapides sont pour ainsi dire indispensables; là, en effet, plus le marteau frappe de coups dans un intervalle donné, plus le travail se fait convenablement, et on fait frapper par de petits marteaux-pilons jusqu'à 7 ou 800 coups par minute. Ce sont là évidemment des conditions qui ne sauraient être remplies par une manœuvre à la main, et des cas où les mouvements automatiques s'imposent d'eux-mêmes.

La disposition la plus simple, dans laquelle entre un mouvement automatique, est celle qui a pour seul but de limiter les longueurs de course du piston. On dispose à cet effet un organe qui ferme l'arrivée de la vapeur en dessous du piston, lorsque celui-ci arrive vers la partie supérieure de sa course. Le marteau-pilon de Rigbby (fig. 153) comporte cette disposition dans toute sa simplicité. Le levier de manœuvre a, qui commande la tige c du tiroir de distribution, se prolonge par une touche b, sur laquelle le pilon d vient frapper lorsqu'il arrive à la fin de sa course; lorsque ce contact se produit, la touche fait baisser le levier et la tige du tiroir; par suite celui-ci produit l'échappement de la vapeur. Alors le mouvement s'arrête de lui-même.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque les marteaux sont à simple effet, l'air renfermé dans la partie supérieure du cylindre ne peut plus

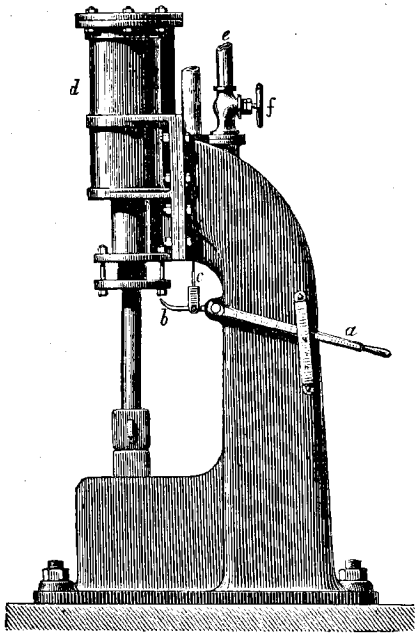


Fig. 153.

s'échapper dès que la touche a fait fermer l'introduction par dessous; il résulte de là que si la vitesse acquise du piston était telle qu'il ne s'arrêtât pas peu après l'ouverture à l'échappement, il resterait entre la partie supérieure du piston et le couvercle du cylindre, un matelas d'air comprimé capable d'arrêter la course, en prévenant le choc qui, sans cette disposition, se serait produit sur le couvercle ou sous le soubassement du cylindre.

Dans les marteaux à double action, au lieu d'un matelas d'air qui se comprime, c'est la vapeur introduite dans la partie supérieure du cylindre qui subit la même pression (Voy. MARTEAU A VAPEUR).

CHAPITRE IV. MACHINES A ROTATION.

Considérées sous le point de vue le plus général, les machines à rotation sont celles dans lesquelles la transmission du mouvement de la puissance à la résistance a lieu par l'intermédiaire d'un arbre principal, appelé *arbre moteur*.

Le corps de pompe, le cylindre à vapeur dans lequel se meut un piston d'un mouvement rectiligne alternatif, étant le seul système qui permette un bon emploi de la vapeur, passons en revue les mécanismes qui permettent de transformer ce mouvement en un mouvement circulaire continu, dans toutes les circonstances qui peuvent se présenter et dans de bonnes conditions dynamiques, notamment en employant le système bielle et manivelle, dans des rapports de longueur convenables.

Les machines pour navigation ou transport sur terre, transmettant le mouvement de cette manière, sont par conséquent des machines à rotation. Ce qui les distingue de celles dont nous avons à parler ici, c'est qu'elles sont mobiles avec le véhicule qu'elles mettent en mouvement, tandis que celles qui transmettent le mouvement à un arbre de couche sont fixes.

On pourrait donc diviser les machines à rotation en deux classes, savoir:

Les machines à rotation fixes;

Les machines à rotation mobiles.

Mais il existe une différence assez grande entre les dispositions des machines d'atelier et les appareils moteurs pour bateaux et locomotives, pour qu'il soit plus convenable de donner aux machines de la première le nom de machines à rotation, sans ajouter le mot fixe, attendu que les machines à rotation mobiles, où le volant devient une roue ou une hélice, ont chacune un nom particulier qui ne permet pas la confusion. (Voy. BATEAU A VAPEUR et LOCOMOTIVE.)

Il existe un grand nombre de dispositions des machines à rotation. Si nous voulons les passer toutes en revue, nous devons nous occuper moins de la force à transmettre et du genre le plus convenable à adopter que des trois circonstances suivantes, savoir:

1° L'état physique du cylindre;

2° La position du cylindre;

3° La position de l'arbre moteur.

Leur grande variété tient beaucoup à ce que chaque mécanicien a voulu avoir son système à lui, et l'a trouvé dans une des combinaisons que l'on peut obtenir en faisant varier ces trois circonstances.

On peut se faire une idée du nombre possible de dispositions différentes des machines à rotation, en remarquant que:

1° Le cylindre à vapeur peut affecter trois états, savoir:

L'état de repos, l'état de mouvement par oscillation, l'état de mouvement par rotation.

2° Il peut, ainsi que l'arbre moteur, occuper trois positions par rapport au sol, savoir:

Une position verticale, une position inclinée, une position horizontale.

Total 9 cas, donnant lieu à 27 combinaisons.

Nous ne nous arrêterons pas à la détermination de ces diverses combinaisons, attendu qu'elles jouent un rôle fort secondaire dans les dispositions principales des machines, comme nous allons le voir.

Des trois positions de l'arbre moteur, la position horizontale est à peu près la seule employée.

Il existe quelques usines à plusieurs étages ou moulins à farine, dans lesquels l'arbre moteur est vertical, et transmet directement le mouvement aux divers étages. Cette disposition, fort bonne sous le point de vue théorique, présente quelques inconvénients pratiques, qui font qu'on ne l'emploie pas généralement.

Quand l'arbre moteur est vertical, on lui fait un coude à la partie en présence de la machine à vapeur, et on lui transmet le mouvement au moyen d'une machine horizontale, dont la bielle se meut dans un plan horizontal. Nous verrons plus loin en quoi consiste ce genre de machines. On évite ainsi deux engrenages, pour transmettre le mouvement à l'arbre vertical communiquant avec les étages supérieurs.

Mais il résulte de cette disposition, que l'on est obligé de poser la machine à vapeur au pied de cet arbre vertical, ce qui n'est pas toujours commode. De plus, comme il repose inférieurement dans une crapaudine, il faut de très-grands soins pour empêcher le déplacement de l'axe de rotation; et, si par malheur il se déplace un peu, il fait casser la bielle ou détruit les coussinets.

Les arbres moteurs inclinés n'existent pas, du moins nous n'en avons jamais vu, et n'en concevons l'emploi pour aucun cas important.

Quand l'arbre moteur est horizontal, il peut se trouver à diverses distances du sol: ce sont ces distances qui influent le plus particulièrement sur les dispositions des machines et nous serviront à les classer.

En effet, si on passe en revue les diverses hauteurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

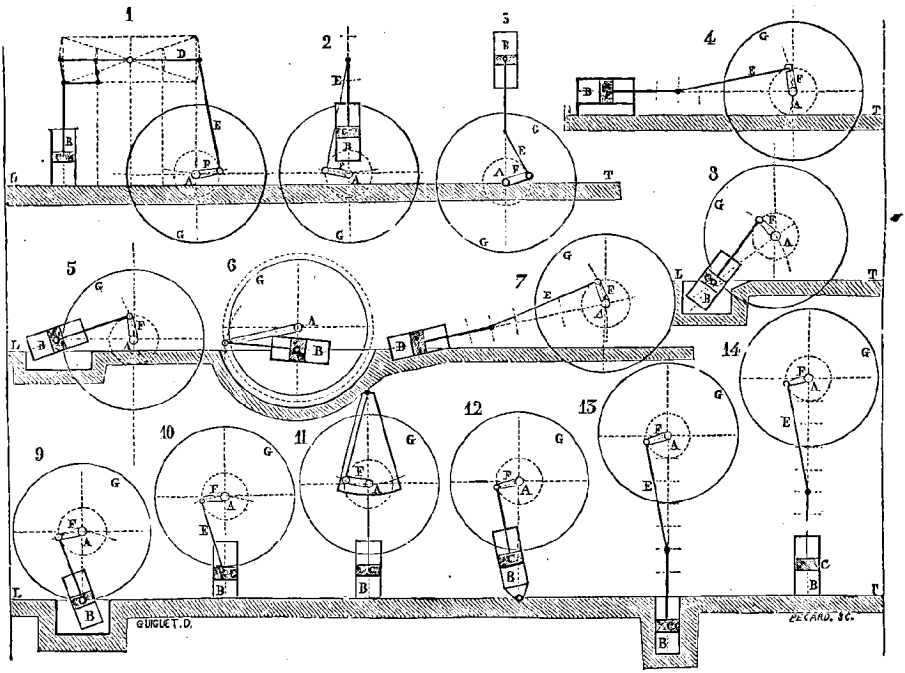
auxquelles peut se trouver un arbre moteur horizontal par rapport au sol, on ne tarde pas à se convaincre que, la bielle devant avoir une longueur considérable, chaque état physique du cylindre, ainsi que chacune de ses positions, convient plus particulièrement à l'une de ces hauteurs qu'à toutes les autres, et que, parmi les dispositions qui remplissent le même but, il en est qui sont plus propres à certains genres qu'aux autres.

Pour fixer les idées, considérons un cylindre à vapeur vertical et un arbre moteur situé à diverses hauteurs, au-dessus ou au-dessous du sol, exprimées en fonction du rayon de la manivelle.

Nous savons que les dimensions principales sont, en représentant par R le rayon de la manivelle :

1° Hauteur du cylindre à vapeur = 2 R ;
2° Rayon de la manivelle = R ;
3° Longueur du balancier = 6 R ;
4° Longueur de la bielle = 5 R ;
5° Diamètre du volant = 6 R.

Soient figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 :



L T, le niveau du sol ;
A, l'arbre moteur ;
B, le cylindre à vapeur ;
C, l'épaisseur du piston ;
D, le balancier ;
E, la bielle ;
F, la manivelle ;
G, le volant.

Nous avons :

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre — R et 0, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

1° Une machine *à balancier* (fig. 1), dans laquelle la longueur de la bielle peut-être égale à 6 R, ce qui n'est point un défaut ;

2° Une machine *à glissière*, à bielles pendantes (fig. 2), dans laquelle la longueur des bielles est égale à 6 R ;

3° Une machine *à pilon* (fig. 3) ;

4° Une machine *à cylindre tournant* (fig. 6).

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre 0 et + R le mouvement peut lui être transmis, non-seulement par les précédentes mais encore au moyen de :

1° Une machine *horizontale* (fig. 4) dans son état normal ;

2° Une machine *oscillante*, horizontale (fig. 5).

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre R et 3 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

1° Une machine *inclinée* (fig. 7) ;

2° Une machine *oscillante* inclinée (fig. 8).

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre 3 R et 4 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

Une machine *oscillante*, verticale (fig. 9).

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre 4 R et 7 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

1° Une machine *à tige bielle* (fig. 10) ;
2° Une machine *à bielle en retour* (fig. 11) ;
3° Une machine *oscillante* verticale (fig. 12),

Quand l'arbre moteur est située à une hauteur comprise entre 5 R et 6 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

1° Une machine *verticale*, surbaissée (fig. 13), dans laquelle la longueur de la bielle est égale à 4 R ;
2° Une machine *inclinée* (fig. 7).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre 6 R et 8 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

Une machine *verticale*, surbaissée (fig. 13), dans son état normal.

Quand l'arbre moteur est situé à une hauteur comprise entre 8 R et 10 R, le mouvement peut lui être transmis au moyen de :

Une machine *verticale* (fig. 14).

Récapitulant, nous trouvons que, pour hauteurs de l'arbre moteur comprises entre — R et + 10 R, il existe 10 dispositions principales de machines à vapeur, savoir :

1° Les machines à balancier ;
2° Les machines à glissières, à bielles pendantes ;
3° Les machines à pilon.
4° Les machines horizontales ;
5° Les machines oscillantes ;
6° Les machines à cylindre tournant;
7° Les machines inclinées ;
8° Les machines à tige bielle ;
9° Les machines à bielle en retour ;
10° Les machines verticales.

Nous allons passer successivement en revue chacune de ces dispositions.

1. Machines à balancier.

Les machines à balancier sont les plus anciennes de toutes les machines à cylindre et piston. Elles proviennent directement de la pompe à feu transformée par le génie de Watt, notamment par l'emploi du parallélogramme (fig. 154), si avantageux au point de vue du faible frottement des articulations.

Assez longtemps, quand les diverses autres dispositions mentionnées ci-dessus étaient inconnues, on appliquait le balancier à la transmission de toutes les forces motrices, quelque petites qu'elles fussent.

Aujourd'hui les machines à balancier ne sont employées que pour forces comprises dans la troisième catégorie et suivantes, c'est-à-dire à partir de 12 chevaux au moins. Quand la force motrice à transmettre dépasse 40 chevaux, on les emploie assez généralement. Il en résulte que, au-dessus de 40 chevaux, l'arbre moteur

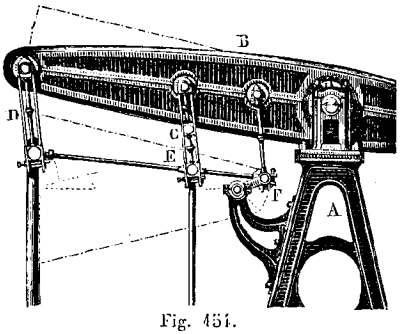
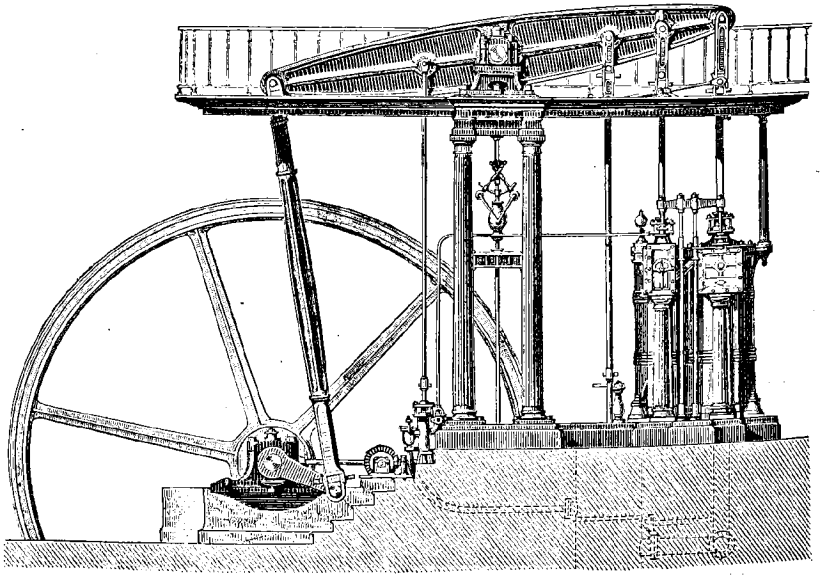


Fig. 154.

doit être renfermé entre les hauteurs — R et + R, par rapport au sol.

Les machines à balancier à un ou deux cylindres (nous représentons cette dernière, fig. 155) si bien équilibrées, s'usant peu à vitesses modérées, sont, en outre, comme nous l'avons déjà dit, les machines par excellence pour la condensation, à cause du point d'attache facile qu'elles offrent pour les tiges des pompes attachées à une articulation du parallélogramme; aussi ce sont elles que l'on préfère, quand il y a à choisir, si l'appareil doit être à condensation.

Nous n'avons pas à revenir sur les avantages qu'offrent les machines à deux cylindres au point de vue du bon emploi de la vapeur; ils ont été analysés plus haut en détail. Nous rappellerons seulement que les pertes de vapeur pouvant provenir du mauvais état du tiroir sont évidemment bien moindres avec deux cylindres


Fig. 155.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'avec un seul, la chaudière n'étant en rapport qu'avec le premier cylindre.

Quand la force des machines ne dépasse pas 40 chevaux, il est toujours convenable de les établir sur une ou deux plaques de fondation réunies. Cela permet de les monter à l'essai avant de les expédier, et de déterminer ainsi exactement les longueurs et positions respectives de toutes les pièces, opération qui abrége singulièrement la besogne du mécanicien chargé de la pose.

L'appareil de condensation se fixe alors après la plaque de fondation, suffisamment évidée à cet endroit pour que l'on puisse y descendre et manœuvrer facilement en cas de réparation ; des plaques rapportées servent à cacher cet appareil.

Le bâti des machines à balancier varie suivant leur force.

Pour machines de la première et de la seconde catégorie, c'est-à-dire de 12 chevaux au plus, on a fait pendant longtemps usage de l'entablement à 6 colonnes de Watt. Ce bâti, bien que fort lourd, vibre toujours par suite du peu de solidité qu'offre le mode d'assemblage de l'entablement avec les colonnes.

Aujourd'hui on emploie presque toujours deux chevalets reliés entre eux par des croix de Saint-André. Cette disposition est non-seulement plus légère, mais encore plus solide, attendu que chaque chevalet est d'une seule pièce. Plus les chevalets ont de base, plus ils sont solides.

Pour machines de la troisième catégorie, c'est-à-dire de 12 à 25 chevaux, on emploie volontiers l'entablement à deux colonnes, ayant ses extrémités noyées dans les murs longitudinaux du bâtiment de la machine.

Les porte-guides du parallélogramme sont, d'une part, fixés à l'entablement au moyen d'écrous, d'autre part, supportés sur le cylindre au moyen d'une traverse et de une ou deux colonnettes en fer.

Pour machines de la quatrième catégorie, c'est-à-dire de 25 à 50 chevaux, on conserve l'entablement à deux colonnes, noyé dans les murs longitudinaux ; seulement on les relie avec les murs transversaux, au moyen de jumelles en fonte, comme dans les machines de Saint-Ouen, servant de porte-guides au parallélogramme.

Dans tous les cas, il est important de traverser l'entablement et les colonnes par de forts boulons de fondation descendant à une profondeur suffisante dans le sol pour que les actions opposées du piston à vapeur et de la bielle sur le balancier, ne puissent les soulever.

Pour machines de la cinquième catégorie et suivantes, on supprime l'entablement et on le remplace par un mur transversal en solide maçonnerie. Les supports du balancier portent sur un fort patin en fonte, dans lequel sont emboitées les jumelles en bois qui aboutissent aux murs de face transversaux. Le tout est relié au mur par des boulons de fondation prenant inférieurement dans de fortes semelles en fonte, au-dessus desquelles est un lit de madriers transversaux qui augmentent la résistance de tout le poids de la maçonnerie qu'ils supportent.

II. Machines à glissières, à bielles pendantes.

Les machines à bielles articulées, dites système Maudslay, du nom de leur inventeur, ont longtemps seules remplacé les machines à balancier, pour forces à transmettre au-dessous de 25 chevaux. Ces machines, qui s'emploient également avec ou sans condensation, présentent l'avantage d'occuper peu de place, ce qui est une qualité essentielle dans les usines, surtout à Paris.

Quand elles sont à condensation, le cylindre est perché sur une plate-forme en fonte formant la base supérieure d'un piedestal à l'intérieur duquel est placé tout l'appareil de condensation.

Quand elles sont sans condensation, le cylindre est à une hauteur au-dessus du sol suffisante pour permettre le passage de l'arbre moteur.

Dans les deux cas, la tige du piston est guidée en ligne droite par une traverse, glissant ou roulant dans deux coulisses.

Aux extrémités de cette traverse, en dehors des coulisses, sont les têtes supérieures des deux bielles qui transmettent le mouvement à l'arbre moteur, au moyen de deux coudes pratiqués sur la longueur.

III. Machines à pilon.

Le cylindre de ces machines est porté par un bâti (fig. 156), à une hauteur assez grande pour que la bielle

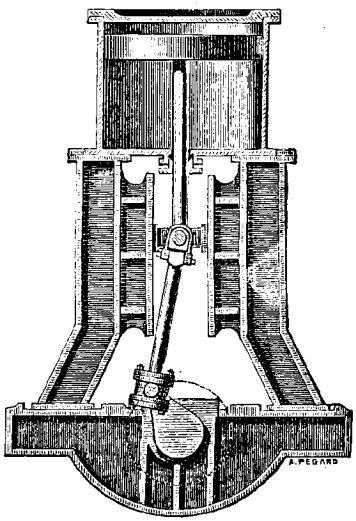


Fig. 156.

de longueur suffisante puisse actionner convenablement, de haut en bas la manivelle. Ce système ne peut convenir que pour de petites machines pesant peu, à cause des ébranlements du bâti résultant de la grande élévation du cylindre à vapeur. Il a trouvé sa véritable application dans la marine actionnant les arbres des hélices, se plaçant très-bien dans le milieu du navire. C'est le plus adopté aujourd'hui pour les plus puissantes machines de navigation à deux cylindres (Voy. BATEAU A VAPEUR).

IV. Machines horizontales.

Les machines horizontales sont les machines par excellence pour l'exploitation des mines ; elles se multiplient de plus en plus chaque jour pour tout genre d'emploi.

Elles emploient bien moins de matière que les machines à balancier, sont d'une installation simple, à l'abri des vibrations.

Elles conviennent pour toutes les forces à transmettre ; leur seul inconvénient est d'occuper une grande longueur à basse pression.

Comme on peut sans inconvénient augmenter la vitesse dans ces machines, on remédie souvent à l'inconvénient de leur longueur en leur donnant pour course la course des machines de force immédiatement inférieure. Cela a pour conséquence de diminuer d'un seul

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coup les longueurs du cylindre, de la bielle et de la manivelle, toutes longueurs qui s'ajoutent les unes aux autres.

Ce genre de machines, pour lequel on avait redouté à l'origine l'ovalisation du piston, est le plus généralement employé aujourd'hui.

Nous citerons deux types principaux : la machine Farcot à pression et à vitesse modérée, et la machine Corliss à haute pression et grande vitesse de piston.

MACHINE FARCOT. Après avoir construit des machines de tous les systèmes, en poursuivant avec autant d'intelligence que de ténacité les moyens de mieux utiliser la puissance de la chaleur, Farcot a adopté, de préférence à toute autre, la machine à vapeur horizontale. La stabilité parfaite qu'il est facile de lui donner en l'établissant sur un massif en pierres de taille compense largement son défaut d'occuper une grande longueur, défaut auquel remédie l'emploi des hautes pressions et grandes vitesses, ce qui conduit au système dont nous allons parler tout à l'heure.

Nous donnerons ici les dimensions d'une excellente machine de ce genre de la puissance de 60 chevaux.

Diamètre du piston à vapeur.	$0^{m},650$
Superficie correspondante.	$33^{d.q.},18$
Course.	$1^{m},300$
Vitesse linéaire en 1 seconde.	$1^{m},560$

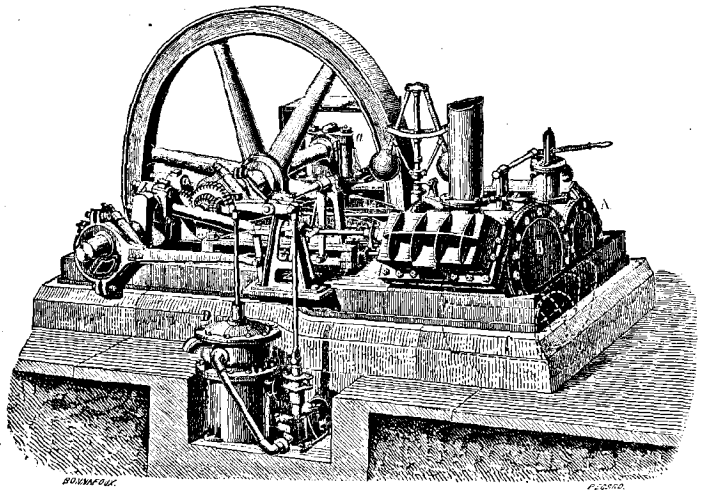


Fig. 157.

Volume engendré par coup simple.	$434^{d.q.}340$
Diamètre du piston de la pompe à air. . .	0,380
Superficie correspondante.	$11^{d.q.},34$
Course.	$0^{m},450$
Volume engendré pour un coup simple. . .	$51^{d.q.},00$
Rapport de 1 à 1/2 avec celui des cylindres à vapeur.	
Volume du condenseur (y compris les conduits qui communiquent avec le cylindre).	$178^{d.q.}00$
2/5 de celui de cylindre moteur.	
Diamètre des tourillons de l'arbre moteur. .	$0^{m},200$

AUTRES MACHINES. Nous avons décrit plus haut la machine horizontale Allen, à grande vitesse; nous représenterons encore ici la machine May, remarquée à l'Exposition de 1862. C'était une petite machine horizontale (fig. 157) à laquelle on avait appliqué les principes qui ont fait le succès des machines Compound, qui ont fait accomplir un si grand progrès à la navigation à vapeur, c'est-à-dire qu'elle était à deux cylindres agissant directement sur le volant, la vapeur passant à travers un tuyau réchauffeur en passant d'un cylindre à l'autre. Les résistances intérieures d'un semblable système le rendent peu applicable pour de faibles puissances, malgré sa valeur, au point de vue théorique du bon emploi de la vapeur.

MACHINE CORLISS. Le caractère principal de la machine Corliss à grande vitesse de piston, repose sur son mode de distribution : les orifices d'admission et de sortie sont distincts pour chaque chambre, et ils sont, le plus ordinairement, placés respectivement à la partie supérieure et à la partie inférieure du cylindre, qui est toujours horizontal.

Quant aux détails de construction, ils sont extrêmement variés, chacun des constructeurs, qui imitent la disposition générale du constructeur américain, tenant à recourir à un arrangement qui lui soit propre. Le but seul est toujours le même : faire varier l'admission dans les plus larges limites, de 0 à 0,70 de la course, par l'action du régulateur ; déterminer brusquement l'ouverture de grands orifices d'admission ou d'émission, par le mouvement des soupapes, et fermer aussi ces orifices avec grande rapidité. On ne peut obtenir, avec des distributions à tiroir, même les mieux étudiées, et en disposant d'orifices multiples, ni la même instantanéité dans les manœuvres, ni la même variabilité dans l'admission, ni la même obéissance aux moindres indications du modérateur. Il devient alors facile de comprimer la vapeur dans l'espace nuisible, de manière à diminuer la condensation à l'entrée. Le principe de la séparation des orifices rend l'échappement tout à fait indépendant de l'admission, et évite, au grand profit de la bonne utilisation de la vapeur, non-seulement la possibilité du passage direct de la vapeur de la chaudière au condenseur par le mauvais fonctionnement du tiroir, mais encore les échanges de chaleur qui se produisent, à l'ordinaire, dans des conduits où circulent alternativement la vapeur chaude venant du générateur et la vapeur refroidie, en partie condensée au moment où son action mécanique va cesser.

On ne peut dire que la machines Corliss, à un seul cylindre, soit complétement à l'abri de cet inconvénient, puisque la détente s'effectuant dans la même capacité que l'action directe, celle-ci doit ainsi éprouver des variations de température assez étendues ; la machine de Woolf est plus rationnelle sous ce rapport.

La consommation des machines de ce genre, lorsqu'elles sont munies d'un condenseur, et d'une enveloppe de vapeur, s'abaisse à 1 kilogramme par force de cheval et par heure.

La fig. 158 représente cette machine, telle que la construit l'ingénieur américain, le condenseur placé dans l'axe de la machine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fig. 159 représente la distribution au moyen de quatre tiroirs: deux à la partie supérieure pour l'admission, réduisant l'espace nuisible à son minimum, deux en bas pour l'échappement. Ces tiroirs ou plutôt ces soupapes sont cylindriques et se meuvent autour de leur axe, ouvrant les lumières d'un mouvement alternatif. Les tiroirs d'admission sont entraînés par une tige liée à l'excentrique, dont la course est constante ; mais un ressort les ramène vivement à leur point de départ dès qu'ils ont rencontré un déclin, dont la position est rendue variable par le régulateur ; au retour de la tige d'excentrique, le tiroir est accroché et entraîné de nouveau. Ce système permet de régler d'avance la détente que l'on veut avoir dans la marche normale, et cette détente augmente ou diminue par le régulateur.

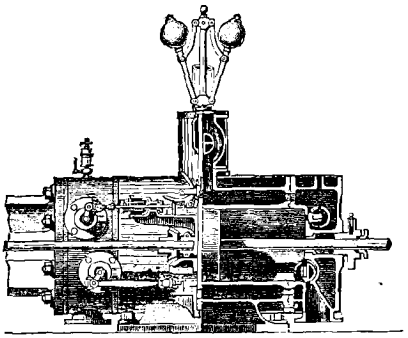


Fig. 159.

L'ouverture et la fermeture des lumières est obtenue avec bien plus de rapidité par ce jeu de soupapes et de ressorts, qu'avec les tiroirs mus par des excentriques, toutefois avec des chocs et un ferraillement désagréable.

On a essayé (Dingler de Deux-Ponts) un distributeur rotatif, marchant toujours dans le même sens, qui supprime les chocs déterminés par l'action des ressorts, chocs qui doivent être une cause non négligeable de réparations.

La position horizontale conduit à une forme particulière de bâti assurant une très-exacte concentricité dans le guidage de la tige du piston et l'emploi avantageux de glissières cylindriques. Le prolongement du bâti forme un véritable cylindre, en partie évidé, faisant suite au cylindre à vapeur. La face intérieure de cette paroi cylindrique auxiliaire sert de guide, en haut et en bas, aux deux branches de la crosse du piston ; on évite l'usé en donnant à ces glissières des dimensions très-grandes, qui ne permettent pas à leurs surfaces

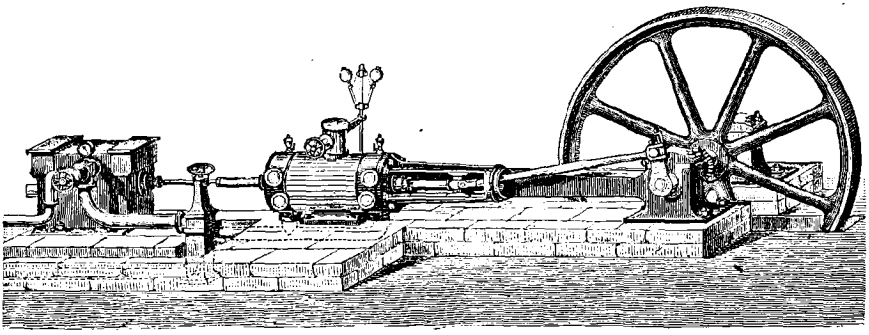


Fig. 158.

frottantes d'expulser les enduits. L'expérience a prouvé que cette disposition est d'un usage parfait.

V. Machines oscillantes.

Ces machines, qu'à l'imitation de Cavé tous les mécaniciens voulaient construire vers 1840, sont de plus en plus abandonnées, malgré les avantages de leur faible longueur, la tige du piston y faisant partie de la bielle. Nous conservons, à cause de sa double valeur historique et technique, l'étude entière faite par M. Jullien, lors de leur plus grand succès dans les ateliers parisiens.

On distingue deux classes de machines oscillantes, savoir :

Les machines à cylindre oscillant sur un axe situé au milieu de sa longueur;

Les machines à cylindre oscillant sur un axe situé à son extrémité.

PREMIÈRE CLASSE. *Machines à cylindre oscillant sur un axe situé au milieu de sa longueur.* Ces machines on été construites en France par MM. Cavé, Tamisier, Kientzy et Stoltz fils.

Chacun de ces mécaniciens a son système.

La machine de M. Cavé est à deux distributeurs circulaires analogues aux papillons servant de régulateurs à main dans les locomotives (fig. 160).

Celle de M. Tamisier est à un tiroir.

La machine de M. Kientzy est à tiroir horizontal monté sur l'axe même d'oscillation.

La machine de M. Stoltz fils n'a pas de tiroirs; la distribution se fait dans l'axe d'oscillation par le mouvement seul du cylindre.

De ces quatre systèmes, celui de M. Kientzy est le plus propre à recevoir la détente; aussi ce mécanicien ne construit-il pas une seule machine qui ne soit à détente au moyen de deux tiroirs superposés.

Les machines oscillantes ne sont admissibles que pour des forces comprises dans les trois premières catégories, c'est-à-dire au-dessous de 25 chevaux.

Cavé, le mécanicien habile par excellence, a appliqué son système de machines à des forces de beaucoup supérieures à celles que nous mentionnons ici. Sans parler de ses bateaux à deux machines, nous citerons la machine oscillante, horizontale, qu'il a établie dans la laminerie de plomb de Saint-Denis. Cette machine est de la force de 60 chevaux et fonctionne très-bien. Ce n'est pas une raison, selon nous, pour que l'on doive suivre cet exemple: nous n'avons fait aucune expérience

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur cette machine, et ne pouvons dire par conséquent si elle donne beaucoup d'effet utile pour le combustible

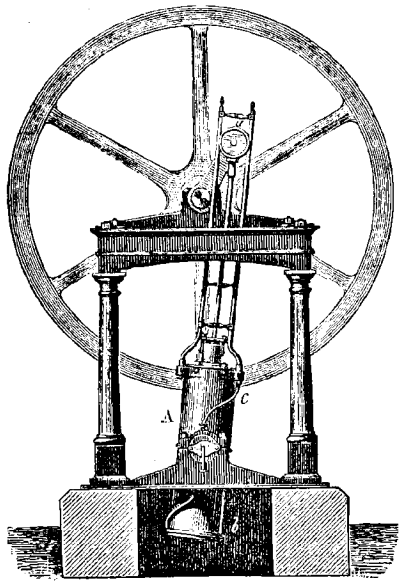


Fig. 160.

qu'elle consomme. Ce dont nous sommes certains, c'est qu'il n'est pas possible d'y effectuer une détente efficace; c'est encore que le mouvement d'oscillation d'une masse de fonte considérable, comme le cylindre, doit absorber de la force par les frottements.

Les machines oscillantes sont tout à fait impropres à la condensation. C'est encore un motif pour les faire rejeter quand la force des machines est notable, attendu que dans ce cas on condense toujours.

La machine de Saint-Denis vient elle-même nous prouver qu'elle devrait être à balancier et non oscillante. En effet, cette machine est à condensation. Comme elle ne possède pas de balancier pour la transmission de mouvement, on lui en a ajouté un qui sert à mouvoir les pompes.

DEUXIÈME CLASSE. *Machines à cylindre oscillant sur un axe placé à son extrémité.* Il existe un grand nombre de systèmes de machines oscillantes en dessous. Les principaux sont les suivants, savoir:

1° Système Fèvre;
2° Système Leloup;
3° Système Frey;
4° Système Farcot.

M. Fèvre, ingénieur des ateliers de la maison Derosne et Cail, est le premier qui ait exécuté des machines oscillant sur un axe situé à l'extrémité du cylindre à vapeur.

Les premières machines de M. Fèvre étaient d'une simplicité réellement extraordinaire; malheureusement elles ne donnèrent pas d'assez bons résultats pour continuer à être adoptées. Elles consistaient en un cylindre à vapeur *à simple effet*, recevant la vapeur sous le piston. Ce cylindre se terminait inférieurement par une rotule sphérique, se mouvant dans une cuvette ou capsule en fonte, dont la surface intérieure coïncidait ou devait coïncider parfaitement avec la rotule.

Deux lumières ménagées à la partie inférieure de la capsule opéraient la distribution avec une troisième lumière mobile pratiquée à la partie inférieure de la rotule.

L'oscillation du cylindre suffisait pour opérer la distribution.

Le piston était plein et d'un poids suffisant pour que son action sur la manivelle fût la même en descendant qu'en montant, ce qui produit le même résultat que le double effet dans les machines ordinaires.

M. Fèvre appliquait ainsi des machines de 1, 2, 3, etc., chevaux dans les différentes parties de l'atelier pour mouvoir des machines-outils. Elles ne fonctionnaient que quand l'outil marchait, se déplaçaient facilement, coûtaient peu, et ne se composant que de trois pièces, devaient ne jamais avoir besoin de réparations.

Il y avait là une idée d'organisation du travail qui présentait certains avantages pratiques assez importants.

L'usage de ces machines fit bientôt reconnaître plusieurs défauts inhérents à leur nature même et qu'il fallut corriger.

D'abord, la rotule qui présentait, d'une part, le grand avantage de rendre insensibles les oscillations transversales du bouton de la manivelle, présentait, d'autre part, l'inconvénient de permettre au cylindre de tourner sur lui-même. Il fallut, pour éviter cela, munir la rotule d'un axe d'oscillation régulière ne se prêtant plus aux oscillations transversales.

Ensuite, au lieu d'une seule lumière à la rotule, il fallut en mettre deux, pour éviter la communication entre l'entrée et la sortie, et augmenter les dimensions de la section d'écoulement de la vapeur.

Malgré l'excellent rodage de la rotule on ne parvenait pas à empêcher les fuites et quelquefois le grippement entre les deux surfaces en contact. On rendit alors le contact des deux parties plus parfait en surmontant la rotule d'une zone, assemblée à boulons avec la cuvette.

La rotule, une fois prisonnière, il était facile de mettre la machine à double effet, ce qui la compliquait encore; on le fit.

D'un appareil simple on arriva ainsi à un appareil passablement compliqué, possédant un assemblage à rotule difficile à exécuter, et ne possédant plus les avantages de l'idée première. Aussi fut-il bientôt abandonné.

Les machines de M. Leloup diffèrent essentiellement de celle de M. Fèvre, en ce que la rotule et la cuvette y ont été remplacées par un axe fixe, sur lequel oscille un coussinet en fonte, faisant corps avec le fond du cylindre. L'axe et le coussinet sont cylindriques; ce sont donc des pièces faciles à exécuter, puisqu'il n'y a qu'à tourner et à aléser avant le rodage.

La distribution se fait, comme dans les précédentes, au moyen de lumières, deux au cylindre, trois à l'axe, dont une au milieu pour l'introduction; deux de chaque côté pour l'exhaussion, ou réciproquement, ce qui indique de suite un moyen, dont a profité M. Leloup, pour changer la marche, moyen qui consiste à faire arriver la vapeur dans l'axe par une boîte à vapeur à tiroir ordinaire, et mobile à la main. Dans ces machines, comme dans les précédentes, il est bien difficile d'appliquer la détente à l'appareil de distribution. M. Leloup, cependant, l'adapte à toutes ses machines, seulement il l'effectue au moyen d'un appareil extérieur; tantôt au moyen d'un tiroir, tantôt au moyen d'une soupape, dont le mouvement est opéré par un excentrique à extension, permettant de varier la détente depuis le quart jusqu'à la moitié de la course.

M. Leloup a exécuté des machines de ce genre, depuis 1 cheval jusqu'à 20 chevaux.

Elles fonctionnent bien, seulement elles perdent toujours un peu par l'axe à l'endroit des lumières, surtout quand elles dépassent 12 chevaux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Peut-être, si l'on pouvait voir le travail des tiroirs, comme on voit celui de la distribution de ces machines, constaterait-on des pertes beaucoup plus considérables dont ne se doutent pas ceux dans les machines desquels elles ont lieu. Aussi, nous nous garderons bien de jeter la pierre aux appareils de distribution, par l'oscillation des cylindres, qui, eux, présentent au moins l'avantage d'accuser immédiatement les fuites qui ont lieu entre les surfaces frottantes, et de permettre ainsi de les faire cesser avant qu'elles aient eu le temps d'influer sur la consommation du combustible.

Ce qu'il faut avant tout, aux machines de M. Leloup, c'est un arbre moteur parfaitement parallèle à l'axe d'oscillation du cylindre; ce point obtenu, l'affaire du rodage n'est plus qu'un détail, qu'un mécanicien soigneux peut obtenir parfait.

M. Frey a voulu éviter l'influence du bouton de la manivelle sur l'appareil de distribution. A cet effet, il fait osciller son cylindre avec son axe creux dans deux supports placés de chaque côté; puis il opère la distribution en dehors, comme M. Kientzy, non pas au moyen d'un tiroir à coquilles, mais au moyen de deux surfaces coniques, l'une convexe, l'autre concave, et suffisamment serrées l'une contre l'autre l'autre, au moyen de deux boulons.

Cette disposition est fort ingénieuse, seulement elle ne peut être appliquée qu'à de petites machines, à cause du volume énorme de vapeur qui se perd, à chaque coup de piston, par les conduits des lumières au cylindre. La détente s'opère par la soupape, mise en mouvement; au moyen d'un appareil à soulèvement, variable par le pendule conique.

En général, les machines oscillantes en dessous ne sont tolérables qu'avec une grande simplicité de construction et pour de petites forces.

VI. Machines à cylindre tournant.

Nous dirons un mot d'une machine évidemment inspirée par les machines rotatives proprement dites (voy. MACHINES ROTATIVES, *Complément*), en conservant le cylindre. Elle ne présente qu'un intérêt de curiosité.

M. Romancé, qui en eut le premier l'idée, les construisait de la manière suivante:

Le cylindre est monté sur un axe passant par le milieu de sa longueur, absolument comme dans les machines oscillantes.

La tige du piston sort par les deux fonds, et se termine de chaque côté par une traverse dans laquelle est un galet; ces traverses sont de plus reliées l'une à l'autre extérieurement par deux tringles, traversant les brides du cylindre et formant un rectangle.

Une courbe en fonte, contre laquelle roulent les galets pendant la rotation du cylindre, est disposée de telle sorte que:

1° Dans quelque position que se trouve le cylindre, les galets sont toujours en contact avec la courbe.

2° Elle est normale à l'horizontale, passant par le centre de rotation.

Supposons maintenant que la vapeur agisse d'un côté du piston; la tige n'étant pas normale à la courbe en d'autres points qu'à l'origine, il y a pression inclinée sur la courbe; cette pression se décompose en deux: une normale qui est détruite par la résistance de la courbe, l'autre qui obtient tout son effet et fait tourner le cylindre.

La distribution s'opère d'une manière analogue à celle de la machine de M. Frey.

Cette machine est sans valeur pratique et n'est que curieuse d'exécution.

Machine Broterhood. Cette machine qui se rapproche beaucoup d'une machine rotative, tout en étant une machine à piston, résout, mieux que la précédente, le problème en vue duquel celle-ci avait été combinée (fig. 461 et 462).

MACHINE A VAPEUR.

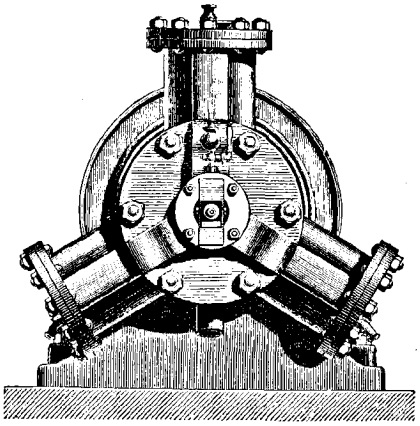


Fig. 461.

Elle a trois cylindres placés à des angles de 120 degrés les uns des autres et en communication avec une chambre centrale. Les tiges des pistons servent de bielle et sont attachées toutes trois sur le bouton de manivelle dont l'extrémité est fixée sur un disque ser-

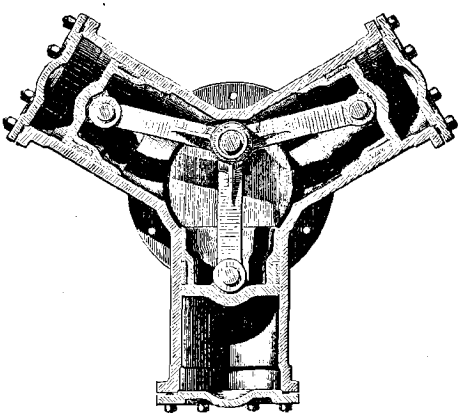


Fig. 462.

vant de tiroir. Les ouvertures d'introduction et d'échappement de ce tiroir sont, par suite de ce mouvement de rotation, mises successivement en communication avec les conduits de vapeur de chacun des cylindres.

La vapeur est admise dans la chambre centrale où se meut la manivelle et exerce une pression uniforme sur les surfaces extérieures des trois pistons, mais par le tiroir elle arrive aussitôt sur la face arrière d'un des pistons qui se trouve ainsi équilibré, tandis que les deux autres sont alors soumis à la pression effective de la vapeur. Il en résulte nécessairement un mouvement de rotation de la manivelle et par suite, du disque servant de tiroir. Les autres pistons sont soumis alternativement, comme le premier, à l'action de la vapeur, la pression effective agissant d'une manière constante sur une surface et demie de piston.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On remarquera que, lorsque l'un des pistons se meut dans une direction, il pousse la manivelle, et que dans la course inverse il est au contraire refoulé par cette même manivelle; les bielles sont ainsi toujours soumises à un effort de traction. On n'a donc à craindre aucun choc sur les têtes de bielle lorsque le piston change de direction. Le disque-tiroir peut glisser sur la tête du bouton de la manivelle, l'assemblage se modifie en raison de l'usure produite, et c'est la partie renforcée de ce même bouton qui forme butée et joint étanche.

Peu de métaux peuvent travailler longtemps dans de semblables conditions et sous une forte pression de vapeur. On a définitivement adopté un bouton de manivelle en acier trempé, et les coussinets des têtes de bielle ont été fondus en bronze phosphoreux.

La machine parfaitement équilibrée peut atteindre l'énorme vitesse de 2,000 tours par minute, mais les vibrations sont, bien avant cette limite, considérables. Avec une vitesse moyenne de 100 mètres de course du piston par minute, on atteint un développement de puissance considérable, avec des dimensions et des prix très-modérés. Le volant est inutile puisqu'il n'y a pas de point mort, et cette machine fournit directement, sans transmission, des vitesses qui permettent de l'appliquer directement aux pompes rotatives, aux ventilateurs, aux scies circulaires, aux hélices, aux essoreuses, etc. Elle ne saurait évidemment être établie sur de grandes dimensions, l'usure des axes deviendrait trop rapide.

En modifiant la position relative du tiroir et des conduits de vapeur, on arrive à renverser l'action de la vapeur telle que nous venons de la décrire, et alors les bielles sont soumises à un effort constant de compression. La machine devient un ensemble de trois machines à simple effet, chaque piston travaillant isolément, mais tous trois pressant sur le bouton de manivelle.

On ne peut obtenir dans ce système, une détente vraiment utile, mait on peut diminuer la pression de la vapeur quand la résistance diminue.

VII. Machines inclinées.

Les machines inclinées sont des modifications des machines horizontales fixes ou des machines oscillantes. Elles sont d'un emploi très-rare dans l'industrie; leur principale application a eu lieu dans la marine pour avoir une longueur suffisante de bielle en transmettant directement (voy. BATEAUX A VAPEUR, *Complément*) le mouvement du piston à l'arbre moteur des roues sans l'intermédiaire d'un balancier.

Si on les emploie assez peu dans l'industrie, bien qu'elles aient une place marquée pour plusieurs hauteurs de l'arbre moteur au-dessus du sol, cela provient de ce qu'on préfère surhausser ou surbaisser le sol à l'endroit de la machine seulement, pour pouvoir appliquer tout autre système.

Les machines inclinées sont en général fort lourdes et ne présentent aucun avantage en compensation de leur excédant de poids sur les autres machines fixes qui leur font concurrence.

VIII. Machines à tige-bielle.

Ces machines évidemment inspirées par la machine oscillante, fournissent un autre moyen de comprendre la tige du piston dans la longueur de la bielle. Elles servent à faire mouvoir un arbre situé à une distance moyenne du sol par un cylindre à vapeur vertical, situé au-dessous; elles sont de deux espèces, savoir:

1° Les machines à fourreau;

2° Les machines à couvercle mobile.

Les machines à fourreau consistent en un cylindre vertical dont la tige est creuse et a pour section un rectangle dont les angles sont arrondis. La bielle, prenant à la partie inférieure de cette espèce de coffre, oscille dans son intérieur; il doit être de dimensions convenables; et il faut remarquer que si on donnait à ces machines les mêmes proportions qu'aux autres, elles ne pourraient s'exécuter, l'oscillation de la bielle exigeant pour la tige une largeur plus grande que celle du cylindre. Il faut pour ces machines, augmenter le diamètre et diminuer la course.

Un vaste stuffing-box, entourant la tige creuse, sert à intercepter la communication entre l'intérieur et l'extérieur du cylindre. Ce genre de machines n'a guère été employé qu'horizontalement dans les navires à hélice, grâce à leur longueur réduite. (Voy. BATEAU A VAPEUR).

Les machines à couvercle mobile, inventées par MM. Legendre et Averly, mécaniciens à Lyon, consistent en un cylindre à vapeur ordinaire dont le piston est assemblé à charnière avec sa tige cylindrique, ce qui permet à cette dernière d'osciller.

Une portion du couvercle, portant le stuffing-box de la tige est mobile dans une coulisse pratiquée dans l'autre portion qui est fixe; de plus, le stuffing-box est assemblé à rotule avec la portion mobile, de manière à permettre toutes les inclinaisons que prend la tige dans son mouvement d'oscillation résultant de sa liaison directe avec le bouton de la manivelle.

La machine à fourreau est préférable par sa construction et par sa fermeture à l'endroit du passage de la tige. Le stuffing-box à rotule et la plate-forme mobile sur le couvercle de la machine à couvercle mobile, sont non-seulement d'une exécution difficile, mais encore incapables de tenir longtemps la vapeur.

IX. Machines à bielle en retour.

Ces machines, dites système Pauwels, n'ont jamais été construites que dans les ateliers de ce mécanicien, avec un cylindre vertical.

Elles consistent en un cylindre vertical fixe dont la tige est guidée en ligne droite par une traverse dont les extrémités roulent ou glissent dans deux coulisses. Cette tige est surmontée d'un cadre à la partie supérieure duquel est assemblée à fourchettes une des extrémités de la bielle, dont l'autre extrémité vient recevoir le bouton de la manivelle à la partie inférieure du cadre. De cette manière, on rapproche l'arbre du sol d'une quantité égale à toute la longueur de la bielle. Malheureusement, pour ne pas donner trop de longueur au cadre qui surmonte la tige du piston, on est dans la nécessité de réduire la longueur de la bielle par rapport au rayon de la manivelle; M. Pauwels ne lui donnait que 3 R au plus. C'est le grand défaut de ces machines.

Elles sont, comme la majeure partie des machines sans balancier, impropres à la condensation, attendu qu'elles nécessitent des dispositions accessoires compliquées pour le mouvement de la pompe à air. Ce système s'est fort bien appliqué, avec cylindre horizontal, aux machines à hélice dites à bielle renversée. (Voyez BATEAU A VAPEUR.)

X. Machines verticales à action directe.

Les machines verticales sont de deux classes, savoir:

Les machines verticales surbaissées;

Les machines verticales proprement dites.

PREMIÈRE CLASSE. *Machines verticales surbaissées.* — Ces machines consistent en un cylindre vertical fixe, transmettant le mouvement à la manivelle par l'intermédiaire d'une bielle, mais plus ou moins enfoncé dans le sol.

Parmi ces machines on distingue:

1° Les machines surbaissées à entablement ordinaire;

2° Les machines surbaissées à entablement en colonne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les premières ont la tige du piston guidée en ligne droite, soit par un parallélogramme de Watt, soit par des glissoirs et glissières. Elles ne présentent rien de remarquable dans leur construction, mais leur disposition a donné l'idée à des mécaniciens de tirer parti, pour le chauffage du cylindre, de son isolement dans le sol.

Depuis longtemps, l'idée de chauffer le cylindre par la fumée, a été émise; elle est même appliquée dans une ou deux des machines d'épuisement du Cornouailles. Cette application avait, dans son origine, présenté des inconvénients: la chaleur brûlait les garnitures des pistons et stuffing-box, et convertissait les huiles en une crasse dure qui nuisait singulièrement à la bonne marche de la machine. On a alors dégagé les stuffing-box du contact de la fumée et remplacé les garnitures de chanvre des pistons par des garnitures métalliques; on a, de plus, supprimé le graissage. Mais malgré ces améliorations, l'irrégularité du chauffage par les gaz à haute température pour une petite quantité de chaleur, vu la faible chaleur spécifique des gaz, comparée à la régularité du chauffage à la vapeur, outre, les inconvénients du chauffage du corps de pompe, en tout temps, même quand la machine ne marche pas, ont empêché le succès de ce système.

Les machines à entablement en colonne, importées d'Angleterre, où elles ont été construites par Fairbain, consistent en un piédestal, au niveau de la plate-forme duquel affleure le couvercle du cylindre, surmonté d'une grosse colonne creuse à quatre ouvertures longitudinales, dans laquelle se fait le mouvement de la tige du piston, guidée en ligne droite par un parallélogramme d'Olivier Évans, disposé de manière à communiquer le mouvement à la pompe à air, pour condensation.

La corniche de cette colonne est surmontée d'un support dans lequel est logé le tourillon de l'arbre moteur, voisin de la manivelle.

Ces machines, d'un aspect agréable, sont d'une grande solidité et peuvent s'exécuter sur de fortes dimensions; mais elles sont un peu lourdes.

Elles conviennent parfaitement pour la condensation, grâce au parallélogramme qui sert de guide à la tige du piston.

Le principal défaut qu'elles possèdent, à notre avis, c'est d'avoir leur distribution enterrée, condition inhérente à la disposition des machines verticales surbaissées.

DEUXIÈME CLASSE. *Machines verticales proprement dites.* — Les machines verticales, proprement dites, diffèrent des précédentes en ce que l'entablement qui supporte le tourillon de l'arbre moteur est surhaussé de la quantité dont le cylindre sort du sol, pour avoir son plan de fondation de niveau avec lui.

Ce sont les plus gracieuses de toutes les machines à vapeur, quand elles sont bien construites. Occupant peu de place à la base, elles s'élèvent majestueusement en étalant aux yeux de l'observateur toute leur transmission de mouvement. Mais les vibrations de la partie supérieure font qu'elles ne peuvent convenir que pour de petites forces, à moins que l'on se décide à faire des murs suffisamment épais pour aller maintenir en place un arbre moteur, et un entablement à une hauteur égale à au moins neuf fois le rayon de la manivelle, ce qui, pour 100 chevaux, fait 9 mètres.

La hauteur de 5m,00 nous paraît un maximum pour ce genre de machines. Or, 5 mètres correspondent à un rayon de manivelle de 55 centimètres au plus, c'est-à-dire à 16 chevaux.

Nous citerons deux systèmes principaux de machines verticales, dûes à des mécaniciens de talent, savoir :

1° Le système à galets;

2° Le système à parallélogramme.

Dans les machines du premier système, la tige du piston est guidée en ligne droite par deux galets, roulant entre deux colonnettes en fer, portant, par leur base, sur le cylindre, et par leur corniche à l'entablement de la machine. Cet entablement, monté sur deux colonnes, est souvent relié à un fort mur en pierre de taille qui l'empêche de prendre le moindre mouvement vibratoire.

La détente s'y effectue au moyen d'un seul tiroir à recouvrement mû par un excentrique dont la forme est déterminée d'après le point de la course où l'on veut détendre.

Ces machines sont très-soignées et donnent assez d'effet utile. Une d'elles, essayée par nous, au frein dynamométrique, détendant au 1/3 et calculée pour donner une force de 15 chevaux à 60 p. 100 d'effet utile, a donné une force de 17 chevaux 1/2.

Les machines du second genre, plusieurs fois construites par M. Bourdon avant qu'il n'adoptât la machine horizontale, sont en tout point semblables aux précédentes, sauf ce qui concerne la conduite de la tige du piston que M. Bourdon guide en ligne droite au moyen d'un parallélogramme de Watt, dont les points fixes sont sur les colonnes de l'entablement, disposition qui permettrait facilement d'employer la condensation.

Les machines de Meyer diffèrent des précédentes par le système d'entablement et par sa détente, qui a lieu au moyen d'une soupape dont l'ouverture est réglée par le pendule conique. La tige du piston est guidée en ligne droite par deux galets roulant entre deux colonnettes; mais l'entablement, au lieu de porter dans le mur, se termine aux colonnes, ce qui nécessite pour ces dernières un diamètre très-fort, et deux autres colonnettes sur les cylindres, afin de diminuer autant que possible les vibrations qui résultent nécessairement de cette disposition d'entablement analogue à celle des anciennes machines de Watt, aujourd'hui abandonnée.

Nous avouons franchement que, pour notre part, nous trouvons cette disposition, non-seulement très-vicieuse, à cause des vibrations forcées qu'elle suscite, non-seulement très-disgracieuse, à cause des proportions énormes qu'il faut donner aux parties de l'entablement, mais encore très-coûteuse pour celui qui l'exécute.

Quant à la détente, c'est bien différent; quoique nous préférions les tiroirs pour cette partie de la distribution, dans les petites machines, il y a là une très-jolie disposition, une élégante application du système bien connu, dû à ce constructeur.

La bague du pendule conique qui, douée d'un mouvement rectiligne alternatif sur la tige de ce dernier, sert à manœuvrer les leviers de fermeture de la valve de gorge, suivant le plus ou moins d'écartement des boules, est remplacée par un cône tronqué à deux génératrices opposées saillantes. Ce tronc de cône tourne tangentiellement à l'intérieur d'un cadre, situé à l'extrémité d'une tige de soupape, maintenue fermée par un ressort ou un contre-poids. Chaque fois que l'une des génératrices saillantes rencontre en tournant la face de contact du cadre, elle le pousse en arrière et ouvre la soupape; cette ouverture est d'autant plus grande que la section du tronc de cône, correspondant au plan de cadre, a un plus grand diamètre. Ce tronc de cône est renversé de manière que, quand les boules s'écartent, par suite de la trop grande vitesse, il présente une petite section produisant une petite ouverture de soupape; tandis que, quand les boules se rapprochent, par suite de la trop petite vitesse, il présente une grande section produisant une grande ouverture de soupape. Les quantités de vapeur dépensées se trouvent ainsi proportionnelles aux quantités de travail à effectuer.

C.-E. JULLIEN.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES-OUTILS. La construction des machines, il n'y a pas encore bien longtemps, ne se distinguait pas de la serrurerie en bâtiments. Les pièces de fer et de bois qui les composaient, exécutées avec peu de précision, étaient souvent modifiées pour arriver à produire les effets voulus. On sent, dans la plupart des machines qui ont plus d'un siècle, que l'ouvrier qui les a fabriquées n'est arrivé qu'avec peine à donner aux pièces qui les composent leur forme définitive, et on n'y trouve qu'un petit nombre d'éléments tracés géométriquement avec précision. Ce qui était l'exception autrefois est devenu la règle.

Lorsqu'un dessin exact a été tracé, qui représente les combinaisons de l'inventeur pour obtenir des effets déterminés, les calculs de l'ingénieur pour que les résistances soient en tous les points suffisantes, il ne reste plus, pour réaliser la machine, qu'à obtenir toutes les pièces dessinées, en fonte, en fer, en acier, etc. C'est leur exécution précise qui fait le caractère moderne de l'art de la construction, c'est l'emploi des machines-outils qui fournit le moyen d'y parvenir avec certitude et économie.

La perfection d'exécution d'une pièce qui pouvait être obtenue seulement grâce à l'habileté d'un ouvrier consommé, résulte ainsi indéfiniment et à bon marché naturellement en quelque sorte, du jeu d'une machine-outil qui reproduit les procédés de l'ouvrier, qui guide l'outil tranchant comme il le faisait à la main, sans qu'il y ait à craindre les inexactitudes, les imperfections qui résultent du mode de travail et du moindre défaut d'attention. Les progrès de la précision dus à cette manière d'opérer ont été considérables et le prix de revient des machines a diminué; elle a rendu possibles des constructions qu'on n'eût pu songer à tenter autrefois.

Ce que nous avons dit des machines anciennes souffre une exception, qui s'applique à l'horlogerie, qui employant des pièces de faible dimension dont le tracé rigoureux est d'importance capitale, dont les produits sont réclamés par les astronomes, les savants les plus distingués, a naturellement fait diriger les efforts pour exécuter avec une plus grande précision qu'à la main, les pièces toujours semblables des horloges et des montres. C'est, en effet, une curieuse observation qui avait été faite souvent par les auteurs qui ont écrit sur l'horlogerie, mais que n'avaient pas faite les constructeurs-mécaniciens, trop enclins à croire que la grande construction est née de toutes pièces à la fin du siècle dernier; elle n'a pas échappé à Poncelet. « C'est évidemment, dit-il, dans les ateliers de la grande et de la petite horlogerie qu'il faut rechercher l'origine de la plupart des moyens mécaniques de construction qui, de nos jours, ont tant agrandi le domaine des machines en fer et en fonte. »

C'est surtout la nécessité de fabriquer des pièces de grandeur inusitée exigées par la construction de la machine à vapeur, coïncidant avec l'extension des ressources qu'offrait la fonte de fer que Smeaton venait de démontrer, qui a conduit à rechercher l'emploi de procédés purement mécaniques. C'est à Soho, dans l'atelier de J. Watt, qui a mérité peut-être autant de la postérité comme ingénieur-constructeur que comme inventeur, seul titre qui lui soit généralement reconnu, qu'il faudrait aller chercher le type primitif et la réalisation en grand, avec l'aide des habiles ingénieurs ses élèves, de ces belles et puissantes machines-outils à aléser, forer, tourner le fer et la fonte. C'est de là qu'elles se répandirent peu de temps après dans les ateliers des Rennie, des Woolf, des Maudslay, des Stephenson, etc., dont les travaux honorèrent et enrichirent l'Angleterre pendant que la France et l'Europe presque entière étaient plongées dans les horreurs de la guerre.

Les Anglais attribuent à Bramah et Maudslay le mérite d'avoir les premiers compris l'importance de l'application à l'exécution générale des pièces des machines, de ce qu'ils appellent le *Sliding-principe*, le principe de glissement, qui fut appliqué en premier au support du tour à chariot (voy. TOUR) et qui se retrouve dans la plupart des machines-outils propres au travail des surfaces planes ou de révolution, dont sont essentiellement formées les machines.

En France, les ateliers consacrés spécialement à la construction des grandes machines en fer et en fonte ont reçu, dit Poncelet, dans son grand travail sur l'industrie moderne, une vive impulsion dans l'intervalle de 1820 à 1830, et c'est véritablement à partir du milieu de cette période que l'on a vu ce genre d'ateliers se peupler généralement de machines-outils anglaises à travailler les métaux, machines parmi lesquelles on doit citer, comme les plus importantes par l'universalité de leur usage : les tours parallèles à support d'outil ou équipage à chariot, dont l'ingénieuse combinaison de vis servant à fixer la position du burin est due au célèbre Bramah, ingénieur dont les travaux importants ne sont pas estimés en France à leur juste valeur; les tours parallèles à banc, dont le porte-outil peut avoir une course très-étendue, comme dans le tour de l'ingénieur Fox aîné de Derby, tour à plusieurs fins, à roues de rechange, fort compliqué. Tels sont encore les tours automatiques pour tailler les grandes vis à filets carrés, dont l'outil est conduit parallèlement par une longue vis; enfin les grands alésoirs horizontaux à tourner, polir intérieurement les grands cylindres en fonte, fixés solidement au moyen de chaînes et dont le porte-outil annulaire, à burins gradués, tournant et glissant avec une lenteur extrême le long d'un noyau creux également fixe, est conduit parallèlement, suivant l'axe même du cylindre, au moyen d'une crémaillère intérieure à contre-poids de recul. Ce système fonctionnait en 1823 dans l'établissement de MM. Manby et Wilson, à Charenton, près Paris; on a depuis préféré en France, à ce système importé d'Angleterre, une ingénieuse combinaison de vis conductrices à engrenages différentiels.

C'est aussi à dater de la même époque (1825 à 1830) que l'on vit introduire dans nos ateliers de construction ces ingénieuses et élégantes machines à percer verticales; machines que met en mouvement un équipage de roues d'angle ou de courroies motrices sans fin, à poulies étagées, pour changer au besoin la vitesse de leur arbre, tournant sur lui-même avec une extrême rapidité au-dessus d'une table en fonte à jour et à vis de serrage, servant de support à la pièce à travailler. Cette table, tantôt mobile verticalement, comme dans les petits ateliers, mais alors susceptible d'être fixée à une hauteur quelconque au-dessous de l'outil, au moyen d'une crémaillère à levier de Lagarouste, tantôt, comme dans les belles machines anglaises de Lewis, de Nasmith et Gaskell de Manchester, postérieures peut-être, mais aussi préférées à celles qu'on voyait, en 1823, fonctionner à l'aide d'un porte-outil mobile à crémaillère et à fourreau dans l'usine de Manby et Wilson, à Charenton, la plate-forme à jour était fixée à une hauteur invariable au-dessus du sol, mais pouvait, au besoin, tourner sur elle même ou glisser le long de guides en fer : l'arbre central du foret était enveloppé également d'un fourreau et terminé vers le haut par une vis à pas serrés guidée par un chapeau glissant entre deux tiges verticales fixes; cet arbre, dis-je, était alors, à son tour, susceptible d'être abaissé graduellement au moyen d'une roue remplissant la fonction d'écrou, et dont la manœuvre était soumise à l'ouvrier par un petit arbre vertical à manivelle inférieure.

A ces dernières machines-outils, propres à James Nasmith, fécond inventeur de nouveaux moyens de travail, on doit ajouter : les anciens et puissants tours de cet habile ingénieur, dont les plateaux circulaires ver-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ticaux, à jours multiples et vis de serrage, servent de supports pour maintenir et cintrer les grandes roues dentées ou autres grosses pièces que l'on veut arrondir et dresser extérieurement ou intérieurement ; les machines automates à mortaiser verticalement les rainures de calage ou d'embrayage des mêmes roues ; celles à manivelles, bielles et volants de Sharp et Roberts ; les machines à fendre et tailler, au moyen de fraises tournantes, les roues dentées ainsi que les fortes têtes ou pans d'écrous de Nasmith et de Lewis ; enfin les grands alésoirs verticaux à engrenages et vis conductrices intérieures du même James Nasmith, qui avaient été précédés en Angleterre de celui de Billingsley, patenté en 1802.

Est-il bien nécessaire de rappeler ici qu'un bon nombre de ces belles machines et des précédentes, trouvent leurs types divers dans les anciens et ingénieux tours en l'air, à pointes et à poupées fixes ou mobiles, à excentrique et mandrins, à guillocher, etc., tours sur lesquels Delahire (1719), de la Condamine et Grandjean (1733), Plumier et Morin (1719), enfin Bergeron, Désormeaux et beaucoup d'autres ont successivement écrit ; que ces types se retrouvent aussi dans les platines circulaires à diviser, dans les instruments servant à refendre et arrondir les dents de roues, des Taillemard, des Petit-Pierre, des Frédéric Japy de Beaucourt ; enfin dans cette variété d'outils à fraises tournantes et à burin employés à tailler les petites pièces d'horlogerie, depuis que ce dernier et ancien ingénieur essaya, vers 1785, de créer dans le Haut-Rhin ses beaux établissements d'ébauches de montres, devenus depuis si considérables.

L'emploi des grandes machines-outils, dit M. Tresca (*Annales du Conservatoire*) dans un beau travail sur l'état actuel de la construction, a été, pour l'Angleterre, la cause prédominante de sa supériorité dans la construction des machines, et si certains constructeurs français sont parvenus au même degré de perfection, il a fallu reconnaître cependant à l'Exposition de 1862 que beaucoup d'entre eux n'étaient pas encore arrivés à cette perfection dans l'emploi des machines-outils, qui permet de remplacer par leur production d'une précision rigoureuse, la main-d'œuvre imparfaite et coûteuse de l'ouvrier mécanicien, qui doit seulement diriger les machines-outils et surtout réunir les pièces, monter les machines.

Nos ateliers de construction mécanique, outillés d'abord avec les machines de Fox et de Sharp et Robert, ainsi qu'il vient d'être dit, s'étaient formé bientôt un matériel spécial et tout français ; mais pendant que MM. Pihet, Calla, Cavé, Hallette, De Coster, Ducommun, s'inspiraient, dans leurs nouvelles constructions, de ces premières machines-outils venues de l'étranger, MM. Whitworth, Fairbairn, Sharp et Stewart travaillaient, de leur côté, à perfectionner leur propres types. Les progrès accomplis par les constructeurs anglais, sans être en apparence très-sensibles, ont pourtant été considérables, et amené la plupart des types bien près de la perfection, par l'application bien entendue des principes de la science mécanique à chaque détail comme à l'ensemble de chaque machine-outil. Les constructions de Whitworth, notamment, représentent le résultat de travaux aussi remarquables par la science de l'ingénieur que par la perfection du travail.

Outre la science, il faut reconnaître aussi l'influence de l'esprit pratique dont les Anglais sont si fiers. Leurs constructeurs sont en général peu disposés à s'éloigner d'un type, quand ils l'ont une fois adopté; mais, par cela même qu'ils le répandent à un grand nombre d'exemplaires, qu'ils s'enquièrent des avantages et des défauts signalés dans les diverses applications qui en sont faites, ils le modifient pour ainsi dire pièce à pièce, donnant de la force à telle partie qui n'a pas résisté, aux dépens de telle autre qui a peut-être des dimensions exagérées; cette étude non interrompue conduit à rapprocher les uns des autres certains organes, à grouper sur un même point tous ceux qui doivent être mis en jeu par la main de l'ouvrier, à distribuer l'action mécanique à toutes les opérations qui peuvent se faire d'une manière automatique, et, sur tous ces points de détail, à améliorer toujours, sans rien abandonner de ce qui déjà a été rendu meilleur. Ce mode de procéder, qui exige sans doute beaucoup de temps et de persévérance, trouve ses principaux avantages dans sa lenteur même, et il se traduit, en définitive, chez les constructeurs les plus en renom, en robustes automates solidement constitués dans toutes leurs parties, et exécutant, sans hésitation et sans retard, dans la mesure de leurs forces et de leurs dimensions, tous les travaux en vue desquels ils ont été construits.

Nous allons chercher maintenant à indiquer les derniers progrès accomplis, les principales tendances auxquelles la pratique journalière paraît avoir conduit les meilleurs constructeurs de machines-outils.

Dans toutes les machines récentes, les parties fixes sont lourdes et massives; leur bâti est en général composé d'une seule pièce de fonte creuse, où les formes d'égale résistance viennent s'indiquer en tous les points convenables; d'une exécution difficile parfois, mais dispensant de tout boulon ou assemblage; recevant tous les organes qui viennent se grouper, chacun à leur place, et occupant dès lors par rapport aux autres une position parfaitement définie.

L'emploi des bâtis creux en fonte, tels que Whitworth les a, le premier, construits, en repartissant mieux les résistances et les poids, a été un grand progrès. La stabilité d'une machine-outil n'est jamais assez grande: si les diverses parties ne sont pas suffisamment solidaires, si elles peuvent même vibrer pendant leur action, le travail sera défectueux, et l'on dit alors que l'outil broute. Si au contraire la construction est bien assise et suffisamment compacte, non-seulement le travail sera plus uniforme et plus précis, mais encore on pourra faire mordre davantage les outils et enlever, d'un seul coup, des épaisseurs de matière pour lesquelles, avec des machines moins bien organisées, plusieur passes ne suffiraient pas.

L'allongement des surfaces glissantes, la multiplicité des outils tranchants pour équilibrer les résistances, doivent être indiqués comme des moyens d'accroitre la stabilité. On peut citer encore les disposition adoptées pour ramener à la partie inférieure des bâtis, les engrenages, les poulies, trop souvent placés à la partie supérieure et en porte-à-faux, dans beaucoup de machines.

Il ne faudrait pas croire que ces lourds appareils, si bien appropriés aux gros travaux, manquent en aucune façon de délicatesse pour les opérations du plus grand fini, et cette observation nous conduit à signaler encore à nos fabricants une pratique qui mériterait d'être mise à l'étude dans leurs ateliers. En Angleterre, quand on a décroûté une pièce, et qu'elle est amenée sur la machine à la forme géométrique qu'on veut lui donner, on ne la livre pas à des ajusteurs, pour enlever, à la lime, les sillons de l'outil et la polir. Nous avons vu, dans les ateliers si remarquables de Penn, que ce travail de finissage s'effectuait lui-même sur la machine, au moyen de passes spéciales, enlevant fort peu de métal, et, dans quelques circonstances, n'ayant absolument pour objet que de brunir la surface; le travail tout entier étant ainsi effectué sans que la pièce fût dérangée de sa place, ses formes géométriques n'étaient pas altérées, comme elles le sont habituellement par les dernières opérations faites à la main, et la main-d'œuvre dépensée pour ce finissage se trouvait diminuée dans une proportion notable.

Cette pratique est très-générale en Angleterre; elle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exige qu'une même machine-outil soit plus longtemps employée à l'exécution d'une pièce donnée; l'outillage nécessité par une fabrication de même importance doit être augmenté dans la même proportion que cette durée de l'exécution; le capital à dépenser pour l'installation d'une usine devient ainsi plus considérable; mais, s'il est vrai que l'exécution soit meilleure, et qu'elle exige moins de main-d'œuvre, il faut évidemment reconnaître que, dans la plupart des cas, la pratique anglaise est préférable à la nôtre, et que nous ferions bien de l'imiter.

Un second caractère des constructions les plus perfectionnées est la tendance vers la spécialisation, de plus en plus marquée, dans la destination des outils; à côté des machines destinées à exécuter toujours la même nature de travail sur des pièces de formes et de destinations différentes, on construit pour chaque atelier consacré à des constructions spéciales, des appareils qui servent exclusivement au travail d'une pièce, de formes et de dimensions bien déterminées: les tours à tourner les roues de wagons sont un exemple déjà ancien de cette spécialisation des machines, et l'Exposition de Londres nous montrait, pour la première fois, des tours pour façonner les tiges de tampons, des machines à mortaiser pour raboter spécialement les arbres coudés des locomotives, des machines à percer disposées tout exprès pour le travail de leurs longerons, une machine à raboter pour faire les dos cylindriques des clavettes, etc. Toutes les fois qu'une même pièce doit être exécutée à un très-grand nombre d'exemplaires, on ne recule plus devant la dépense d'une machine appropriée, qui empruntera aux machines-outils ordinaires les organes particuliers et le mode de travail nécessaires pour l'éxécution de chacune des parties de cette pièce.

Afin de réduire, autant que possible, le rôle de l'ouvrier, dans la partie matérielle de l'exécution, il importe de combiner les meilleures dispositions de transmissions automatiques, pour tous les déplacements de l'outil ou de la pièce à travailler; la marche rétrograde se détermine en général par le déplacement du même cliquet chargé de produire le même mouvement en avant; à la fin de chaque passe, l'outil s'avance de lui-même, sous l'action générale de la poulie motrice; en un mot, la machine se suffit à elle-même dans toutes ses manœuvres, aussitôt que cette poulie tourne, et l'ouvrier n'a plus qu'à dégager ou à engager les encliquetages, pour arrêter ou modifier à son gré le fonctionnement de chacun des organes. Cet agencement si complet, qui continue ses fonctions avec une exactitude chronométrique, à moins que le conducteur n'en ordonne autrement, cette obéissance précise à chaque signal, qu'il suffit de manifester par le moindre effort, sur quelque levier ou quelqu'autre pièce bien apparente et bien placée sous la main, n'ont pas seulement pour objet de faciliter le travail et la surveillance de l'ouvrier; s'il doit moins faire par lui-même, il surveille mieux, et les choses en sont arrivées à ce point qu'il peut même, dans un grand nombre de cas, surveiller à la fois l'exécution de deux pièces ou de deux parties d'une même pièce, sur la même machine. S'il s'agit du rabotage d'une bielle, le même banc portera deux limeuses indépendantes, façonnant simultanément ses deux têtes; deux forets pourront de même préparer, aux deux extrémités, les logements des clavettes; et, dans d'autres cas, on exécutera, à chacune de ses extrémités de la même machine, un boulon ou un écrou séparé.

Cette double surveillance, imposée au même conducteur, est une amélioration importante, et quand on ne peut en obtenir le bénéfice, soit parce que les pièces sont trop grandes, soit parce que la surveillance du travail doit être incessante, on place encore plusieurs outils les uns à côté des autres de manière à effectuer à la fois plusieurs passes parallèles, et à arriver ainsi à une exécution plus rapide, avec une moindre dépense de main-d'œuvre.

En résumé: la stabilité des machines, la détermination d'après la théorie de la résistance des matériaux de leurs diverses parties; la complète exécution des pièces, sans démontage; la spécialisation des machines-outils à l'exécution de celles qui se font à un grand nombre d'exemplaires, élément de supériorité des ateliers qui répètent beaucoup une construction; la généralisation des mouvements automatiques poussée jusqu'à l'extrême; l'emploi simultané de plusieurs outils; tels sont les caractères les plus généraux des progrès récemment accomplis dans la construction des machines-outils.

Les machines-outils devraient, d'après leur nom, comprendre tous les systèmes qui permettent de mouvoir mécaniquement les outils autrefois mus à la main, de manière à en rendre la production singulièrement plus puissante, plus régulière, plus économique. C'est bien ainsi en effet que beaucoup de personnes les définissent, et l'on entend quelquefois appeler aussi machines-outils le marteau à vapeur, les machines à river. Le plus souvent toutefois, on s'accorde à désigner plus particulièrement sous le nom de machines-outils les machines des ateliers d'ajustage qui utilisent l'action d'un outil tranchant, les seules dont nous parlerons ici, et qui peuvent se classer en deux séries, l'une à guides rectilignes, l'autre à guides circulaires. Elles comprennent, savoir: 1° le *tournage*, le *perçage* et l'*alésage*, le travail des *meules* et des *fraises*, le *taraudage* et *filetage* et la *division des dents d'engrenage;* 2° le *dressage* et *rabotage* des surfaces planes, le *mortaisage*.

Nous renvoyons aux articles OUTILS pour ce qui se rapporte à la forme des outils tranchants, dont les machines-outils servent à diriger le fonctionnement. La construction d'un outil convenable, coupant bien, ne vibrant pas, solidement assemblé avec sa monture, est la première et capitale condition d'un bon travail.

I. TOUR.

Entrons d'abord dans quelques détails complémentaires de ceux donnés aux articles spéciaux, sur les diverses machines-outils formées par les différents mouvements donné aux principales parties du tour, savoir:

Mouvement imprimé au corps à façonner: tour à pointes et à mandrin, — tour à fileter. — Mouvement imprimé à l'axe devenu porte-outil: machine à percer, — alésoir, — machine à fraiser.

Tour proprement dit. — Nous n'avons que peu de chose à ajouter à l'article TOUR, où toutes les questions relatives à son travail ont été traitées par un constructeur distingué, et à l'article TOURS COMPOSÉS, *Complément*, où ont été exposées toutes les ressources curieuses qu'il fournit pour l'ornementation par le tracé de courbes variées à l'infini. Nous ne reviendrons ici que sur les grands tours des ateliers de construction.

C'est parce que le tour est un appareil au moyen duquel un corps en mouvement vient se présenter au tranchant de l'outil en repos, qu'il était naturel d'y tenter en premier de déplacer l'outil mécaniquement. La forme sous laquelle cette combinaison a été exécutée pour la première fois est représentée fig. 1 : c'est le support à chariot, une des découvertes les plus considérables de l'industrie moderne; il a été le premier outil à mouvement automatique des ateliers de construction de machines, le modèle que sont venus plus tard imiter les porte-outils des ciseaux mûs semblablement, des machines à raboter, à mortaiser, etc.

Il consiste essentiellement en un outil, assemblé à vis avec un chariot, exactement et solidement guidé entre deux coulisses parallèles, qui reçoit un mouvement de progresion d'une vis de rappel. La pièce qui porte cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vis forme un second chariot qui se meut à angle droit avec le premier. Cette invention, qui parait bien

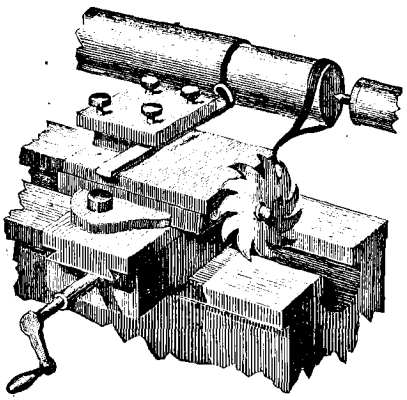


Fig. 1

simple, a immédiatement réalisé cet immense resultat, de donner forcément des produits d'une perfection absolue et indépendante de l'habileté de l'ouvrier.

Remarquons que pour obtenir des cylindres parfaits, il faut que la marche du chariot s'accomplisse suivant une ligne parfaitement parallèle à celle qui passe par les deux pointes du tour. A cet effet on a dressé parfaitement l'entre-deux des jumelles du banc et le dessous de ce banc ; la semelle est assemblée avec un tenon ajusté dans l'intérieur des jumelles.

Rien de plus facile maintenant que de rendre le travail entièrement mécanique par quelque disposition analogue à celle représentée sur la figure et qui est celle combinée pour la première fois par H. Maudslay, l'habile constructeur anglais. Elle consiste, comme on voit, à adapter une espèce d'étoile à la vis de rappel, que vient rencontrer à chaque tour un crochet monté sur la pièce à tourner.

Il est clair que pour dresser complétement un cylindre, il faut plusieurs fois ramener l'outil à son point de départ, serrer la vis qui fait marcher l'outil jusqu'à ce que celui-ci soit un peu engagé, puis laisser une passe se faire mécaniquement. Pour tourner un cône, il suffit de faire marcher l'outil obliquement.

La fig. 2 représente un grand tour à engrenages de Withworth, tel qu'il se rencontre dans les grands ateliers de construction, pour exécuter automatiquement et dans les meilleurs conditions, les pièces de grande dimension. Le caractère essentiel de ces tours mûs à l'aide de courroies agissant sur une des poulies, d'un diamètre convenable en raison de la vitesse voulue, est l'adaptation le long du banc d'une vis actionnant le chariot, vis qui tourne dans un rapport de vitesse constant avec celui du corps placé entre les pointes du tour, rapport qui peut lui-même changer en raison des engrenages qui mettent en rapport les deux axes de rotation.

Le nez du tour est fileté pour recevoir soit une pointe, soit un plateau-mandrin.

L'écrou par lequel est conduit le chariot, composé de deux parties que l'on peut rapprocher ou éloigner à volonté, est fermé lorsque l'outil travaille, et embrasse la vis qui le conduit; dans le cas contraire on écarte ces deux parties, alors l'écrou n'est plus en contact avec la vis, et l'on peut faire avancer rapidement le chariot à la main au moyen d'une manivelle dont l'arbre porte un

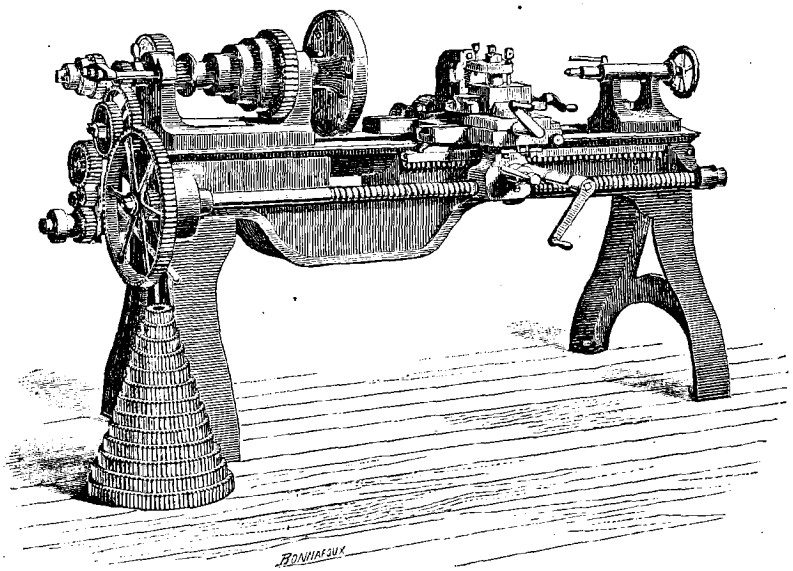


Fig. 2.

pignon qui engrène avec une crémaillère fixée au banc.

On a souvent besoin de faire varier les vitesses relatives du burin et corps à travailler, en raison du diamètre de celui-ci (nous parlerons ci-après du cas du FILETAGE, pour lequel cela est indispensable), ce qui exige un assortiment varié de couples de roues d'engrenages. Comme moyen très-simple de varier à volonté

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les vitesses, nous devons citer les plateaux à friction de Sellers, de Philadelphie.

Les doubles outils permettent d'augmenter la quantité de travail et souvent de faire mieux; c'est ce qui arrive avec la disposition qu'a adoptée W. Fairbain pour terminer les arbres cylindriques à longue portée et à petit diamètre, dont l'avantage est bien reconnu pour opérer les transmissions de travail (en augmentant les vitesses). Des outils doubles agissant comme on le voit fig. 3, dans des directions parallèles, et diamétralement opposées, tendent par cela même à former un système dans lequel les efforts respectifs de flexion et de vibration se neutralisent en quelque sorte rigoureusement, continuellement, pendant que les supports glissants de ces outils, conduits rectilignement au moyen de vis à pas contraires, partant du milieu de la pièce à tourner, vont en s'éloignant lentement et symétriquement de part et d'autre de ce milieu, pour se rapprocher graduellement des poupées extrêmes du tour.

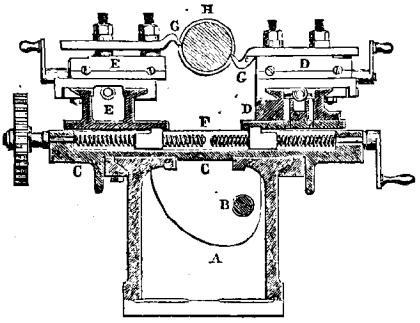


Fig. 3.

Tour en l'air. En montant sur le nez du tour un mandrin, un plateau à rainures servant à maintenir des griffes propres à fixer les pièces, on les dressera avec le support à chariot auquel on aura fait faire un quart de tour. C'est, ainsi qu'il a été dit, un des modes d'emploi les plus fréquents de cette machine-outil.

Par un double système on peut obtenir un appareil à la fois tour en l'air et tour à pointes, qui a été beaucoup multiplié et construit sur de grandes dimensions, pour tourner les roues des wagons et locomotives des chemins de fer, que l'usage altère et force à remettre sur le tour. Nous décrirons ici le beau tour à roues mis à l'exposition de 1855 par M. Polonceau, et qui pesait 19 tonneaux.

Comme le tournage des roues s'opère sur une circonférence de 3 mètres environ, il faut un outil puissant, et comme les deux roues ne sont reliées que par un essieu qui présente peu de résistance à la torsion, eu égard au diamètre à tourner et à l'importance des copeaux qu'il faut enlever pour aller vite, il faut que les deux plateaux du tour qui conduisent chacun une des roues soient autrement mis en rapport pour tourner parfaitement ensemble.

Auparavant, les tours à roues de wagons avaient été construits dans des conditions analogues à celles des tours ordinaires, et les deux plateaux étaient directement conduits par un arbre qui avait toute la longueur du banc, et était commandé seulement à une de ses extrémités. Cet arbre transmettant un grand effort, éprouvait un effet de torsion nuisible au travail à faire.

Ces inconvénients disparaissent, grâce aux dispositions adoptées. Le tour dont il est ici question est disposé de manière à recevoir quatre outils. Pendant que l'un des outils fait la jante, celui qui est opposé fait le boudin ou les faces latérales. Les poupées sont venues de fonte avec le banc, afin d'éviter les vibrations. Elles ont en outre très-peu de hauteur. Les porte-outils sont placés sur le banc même, de manière à présenter une très-grande stabilité.

Les deux poupées portent leur mouvement et l'engrenage du pignon à l'intérieur de celui du plateau, de manière à diminuer la vibration due à la prise des dents. Enfin, un arbre, commandé en son milieu, donne le mouvement aux transmissions des poupées. Cet arbre ainsi commandé et étant animé d'une grande vitesse, n'est soumis qu'à un faible effort de torsion, et d'ailleurs cette torsion étant égale de chaque côté, le mouvement transmis aux deux poupées est parfaitement simultané.

Ce tour fait en moyenne sept paires de roues par journée de dix heures. C'est là un résultat considérable, qu'on n'avait pu obtenir jusqu'alors.

II. TOUR A FILETER.

A l'aide du support à chariot glissant, on convertit facilement en vis une tige cylindrique placée entre les pointes du tour. Il suffit d'établir un rapport convenable entre la marche de la vis de rappel du support portant le burin de largeur convenable, et le mouvement du cylindre. Si donc on suppose une roue d'engrenage montée sur ce cylindre, et sur le rappel du support une roue semblable, d'un même nombre de dents, et que ces deux roues engrènent ensemble, le mouvement du cylindre se communiquant à la vis, celle-ci n'aura fait qu'un tour sur elle-même lorsque le cylindre aura fait également sa révolution entière, l'outil aura avancé de l'épaisseur du pas de la vis et la pointe de l'outil aura tracé une hélice ayant ce même pas sur le cylindre. Si l'on engage successivement l'outil et qu'on donne plusieurs passes, en allant ou en revenant, il travaillera toujours en approfondissant les vides de la vis à fileter.

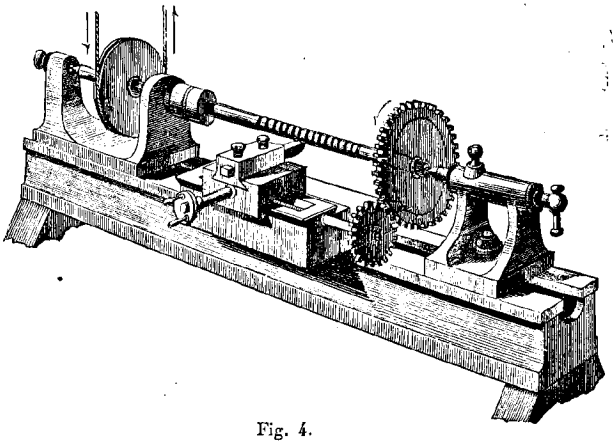


Fig. 4.

Pour obtenir un pas moitié plus fin, il faudrait que la roue remplaçant la manivelle de la vis du support

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fût d'un diamètre double de celui de la roue placée sur le cylindre. L'inverse aurait lieu en plaçant inversement les roues.

On voit comment le support à chariot a rendu facile la construction de tours permettant de creuser les filets des plus fortes vis de pas quelconque, en variant simplement des engrenages.

La fig. 4 représente un tour à fileter; le cylindre à fileter est monté entre les points du tour et est mis en rotation par une courroie ou une corde passant sur une poulie solidaire avec lui.

Soit R le rayon de la roue dentée montée sur l'axe du cylindre, r celui de la roue dentée montée sur l'axe de la vis qu'elle met en mouvement; pour chaque tour de celle-ci, l'écrou avance du pas p de cette vis et trace une fraction d'hélice sur le cylindre (puisque le mouvement rectiligne et le mouvement circulaire sont simultanés). Le pas P de cette hélice sera égal à $\frac{pr}{R}$, car la progression de l'hélice qui met l'outil en mouvement sera pr, pendant que celle tracée par le cylindre avancera de PR, et on aura toujours pour une même longueur de rotation des deux roues d'engrenage $PR = pr$.

On obtiendra donc telle valeur qu'on désirera de P en faisant varier convenablement le rapport $\frac{r}{R}$ par des séries convenables de roues d'engrenage.

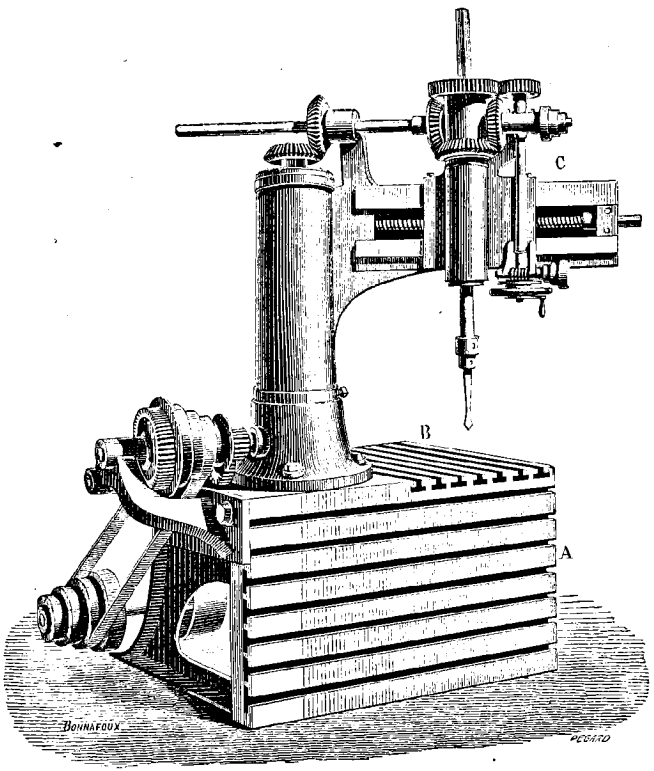


Fig. 5.

Nous avons complété à l'article VIS la description du tour à fileter, dont la fig. 4 fait bien comprendre le principe. Les tours parallèles complets, comme celui représenté ci-dessus sont, du fait de la conduite du chariot par une vis, des tours à fileter. Sur la tête du grand tour se place la tête de cheval (comme il a été dit à l'article VIS) pouvant s'incliner en tournant autour de la poupée; dans sa coulisse se fixe l'axe portant un pignon et une roue qui servent d'intermédiaire pour la commande du pignon. Nous avons montré comment ce système était le plus simple pour obtenir un grand nombre de pas différents avec un nombre de roues limité.

III. MACHINES A PERCER.

Nous avons consacré un article spécial de cet ouvrage à ce genre de machines directement dérivées du tour, avec cette différence toutefois que c'est l'outil qui tourne et non plus le corps à travailler; nous n'en décrirons ici qu'une disposition heureuse représentée (fig. 5), qui permet de ne pas déplacer une pièce dans laquelle on a besoin de percer nombre de trous diversement situés.

Machine radiale, de Fairbairn, de Leeds. Cette machine dite radiale, c'est-à-dire pouvant servir à percer des trous placés sur des circonférences de divers rayons dont le centre est sur l'axe de l'arbre vertical, est d'abord remarquable par la disposition du tablier à rainures, qui se compose de deux faces A et B bien rectangulaires entre elles, et disposées de manière que, suivant la forme des pièces, leur mise en place se fait avec la même facilité, sur la face horizontale ou sur la face verticale de ce tablier. La poulie motrice est cachée derrière la face verticale, de manière à ne jamais gêner la manœuvre; la transmission a lieu au moyen de deux poulies étagées et d'une double paire d'engrenages de manière à accélérer convenablement la vitesse de l'arbre vertical, caché dans l'intérieur de la colonne, et qui, par son pignon supérieur, commande à la fois le mouvement de rotation de l'outil et son mouvement de descente; le premier de ces effets s'obtient directement au moyen de deux autres engrenages coniques, dont l'un est solidaire avec un arbre horizontal intermédiaire, l'autre avec le porte-outil. Ce dernier pignon sert aussi à déterminer l'avance de l'outil de la manière suivante: un troisième pignon conique, symétrique par rapport au premier, fait tourner un petit arbre horizontal et, avec lui, une poulie à étages, fixée à son extrémité; cette poulie correspond à une poulie inverse, placée sur un arbre parallèle, au bas du chariot C; cet arbre agit, par vis sans fin, sur un pignon horizontal, faisant mouvoir, à l'extrémité supérieure de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

son arbre vertical, un autre pignon commandant une roue centrale, qui forme écrou, et qui agit sur la tige filetée du porte-outil.

Lorsque le chariot qui porte l'outil se déplace dans ses glissières, l'arbre horizontal, qui est au sommet de la colonne, glisse également dans ses portées; mais, le pignon qui lui donne le mouvement restant en place, la transmission du mouvement continue à s'opérer de la même façon.

Quant au déplacement autour de la colonne, il s'effectue facilement à la main, le premier pignon de l'arbre horizontal tournant alors autour du premier pignon d'angle, sans cesser de rester en prise avec lui.

IV. MACHINES A ALÉSER.

Lorsque le diamètre du vide cylindrique à pratiquer à l'intérieur d'une pièce dépasse la largeur que l'on peut donner à une mèche, la machine à percer ne peut plus être employée pour les obtenir, il faut avoir recours aux alésoirs. La machine à aléser doit travailler exactement comme le tour parallèle, pour exécuter dans les deux cas une surface cylindrique; à l'intérieur, dans le premier cas, à l'extérieur dans le second. Cette différence ne permet pas d'employer le chariot placé sur le banc du tour, à côté de la pièce à travailler, et toutes les dispositions des machines à aléser, consistent dans les moyens de donner aux outils coupants un mouvement de progression en même temps que de rotation, par des organes analogues disposés autour de l'axe de rotation. Nous avons donné au commencement de cet article un passage de Poncelet qui fait bien comprendre la disposition de anciens alésoirs horizontaux et à ALÉSOIR, la description d'une grande machine verticale servant pour l'alésage des cylindres à vapeur de grande dimension. Nous y renverrons.

V. MACHINES A FRAISER.

La fraise, autrefois fréquemment employée par les serruriers, avait presque disparu devant les machines-outils à burins. Il n'en est plus de même depuis l'Exposition de 1862 et aujourd'hui les machines à fraiser qui permettent par un travail un peu moins rapide que celui obtenu avec des burins, de creuser des rainures, dans des conditions où le travail de ceux-ci serait souvent impossible, sont d'un grand usage. Le progrès réalisé par l'emploi des outils tournants, des fraises, est important, et les mortaises confectionnées avec la machine que nous allons décrire peuvent être si bien exécutées, que la morsure de l'outil s'aperçoit à peine sur les parois travaillées, et les fonds sont aussi bien dressés que par l'action d'une machine à raboter.

Ces machines à outils rotatifs agissent en général sur une pièce solidement fixée sur un tablier mobile horizontal, et l'outil se déplace longitudinalement, en même temps qu'il tourne sur lui-même, à la manière des outils à percer. Les dimensions de chaque mortaise se trouvent ainsi déterminées en largeur par le diamètre de l'outil, en longueur par la course variable qu'on lui donne, et en profondeur par l'abaissement plus ou moins considérable qu'il reçoit automatiquement de la poulie-motrice: cet abaissement se produit chaque fois qu'une passe entière a été faite, et il est réglé suivant la nature du métal sur lequel on opère.

La fig. 6 représente une machine de ce genre appliquée au façonnage de petites pièces; nous donnons ci-après un modèle plus robuste, propre à enlever de plus grandes quantités de matière, et toujours dans des conditions où il serait impossible d'obtenir le résultat cherché par un ciseau tranchant.

L'outil rotatif doit être spécialement décrit. Il est souvent formé par un simple cylindre dont le contour est en forme de fraise, est entaillé; mais pour mieux couper il est quelquefois produit par l'affûtage d'une tige cylindrique en acier, sur laquelle on produit deux méplats opposés, comprenant entre eux une épaisseur de métal qui va légèrement en diminuant vers l'extrémité. Si l'on

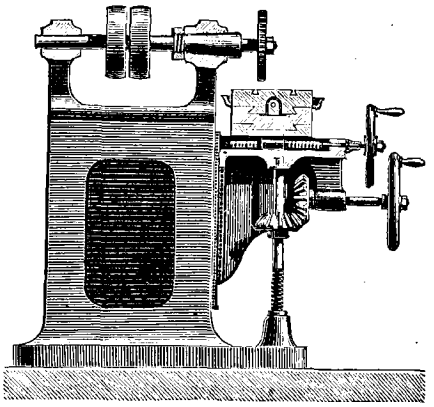


Fig. 6.

se représente une section perpendiculaire à l'axe de la tige, cette section sera une sorte de rectangle curviligne dont les deux côtés parallèles seront des lignes droites, reliées à leurs deux extrémités par des arcs de cercle. En pressant cette section sur une plaque de métal, elle ne pourrait l'entamer, avec quelque profondeur, par ses angles qui sont obtus tous les quatre; mais si l'on recoupe la tige suivant un profil demi-cylindrique, à génératrices horizontales, et inclinées d'un certain angle par rapport aux côtés rectilignes dont il vient d'être question, on voit que le plan de la section quadrangulaire aura pu disparaître tout entier, à l'exception de deux petits triangles, formés chacun par l'un des côtés curvilignes de la face primitive, par une partie seulement de l'un des côtés rectilignes, et par l'une des génératrices inférieures de l'évidement demi-cylindrique.

Les quatre extrémités de ces deux génératrices étant inclinées par rapport aux facettes primitives, le berceau demi-cylindrique reposera sur le plan par deux dents aiguës qui pourront mordre, avec une grande énergie, la surface à travailler, sur toute la longueur des génératrices horizontales, surtout si la pression est grande, et si l'on a pris soin d'affûter un peu en biseau, les deux triangles conservés à la face primitive.

Les outils ainsi disposés coupent avec une très-grande précision, et leur affûtage, qui ne présente aucune difficulté, leur permet toujours de conserver le diamètre extérieur, qui est celui de la mortaise à exécuter.

Pour l'exécution des rainures et des mortaises de grandes largeurs, MM. Sharp et Stewart, constructeurs de la machine représentée fig. 7, ont profité de ce que les outils ne doivent pas couper par leur centre, pour remplacer celui que nous venons de décrire par un simple manchon cylindrique en acier, dans toute la longueur duquel ils introduisent, avec une légère inclinaison, deux burins, dont ils fixent la position avec des vis, et qui ne dépassent la face inférieure du manchon que de quelques millimètres. Ces burins peuvent être facilement enlevés toutes les fois qu'il est utile de les affûter, et cette forme d'outils nous paraît devoir remplacer toutes les autres, lorsque les diamètres sont assez grands pour pouvoir l'employer.

Pour que le fond de la pièce soit raboté avec une plus grande précision, il faut, autant que possible, que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le déplacement longitudinal de l'outil se produise d'un mouvement uniforme, et les différents constructeurs ont, chacun de leur côté, cherché une solution à ce problème difficile; la transmission par bielle et manivelle donne lieu à des déplacements trop irréguliers, et l'on n'est arrivé à une solution convenable qu'au moyen d'engrenages ovales. Pour diminuer la période de ralentissement vers les points morts, on comprend en effet qu'il suffirait de rendre plus grande la vitesse de la manivelle, ce que l'on peut facilement réaliser en fixant le bouton de cette manivelle sur un plateau elliptique, dont la denture sera commandée par un autre plateau semblable. Si le plus grand rayon de l'ellipse motrice correspond au plus petit rayon de l'ellipse conduite, le mouvement de rotation sera, à ce moment, accéléré, et si le bouton de manivelle est placé sur ce dernier rayon, l'influence finale des points morts se fera beaucoup moins sentir.

Pour arriver à ce résultat, MM. Shanks et Compagnie qui avaient aussi à l'Exposition de 1862 une intéressante machine à mortaiser, emploient deux roues elliptiques, égales et disposées de telle façon qu'en tournant respectivement autour de leur centres, leurs dents ne cessent pas d'être en prise, la somme des deux rayons vecteurs qui viennent se placer simultanément dans la ligne des centres restant exactement constante.

MM. Sharp, Stewart et Compagnie arrivent au même résultat en employant, comme pignon moteur, une roue circulaire excentrée, dont le développement total est la moitié de celui de la roue elliptique qu'il conduit. Le bouton de manivelle est alors placé sur le petit axe de l'ellipse, et la distance des deux centres de rotation est mesurée par la somme des longueurs de ce petit axe et du plus grand rayon vecteur du cercle excentré.

L'introduction, dans les machines, de ces roues dentées elliptiques ou excentrées, dans le but de rendre le mouvement d'une tête de bielle plus uniforme, est un fait assez saillant. C'est une application intéressante de travaux théoriques qui n'avait pas encore été faite. (Voy. BIELLE.)

Après avoir ainsi décrit les organes qui déterminent

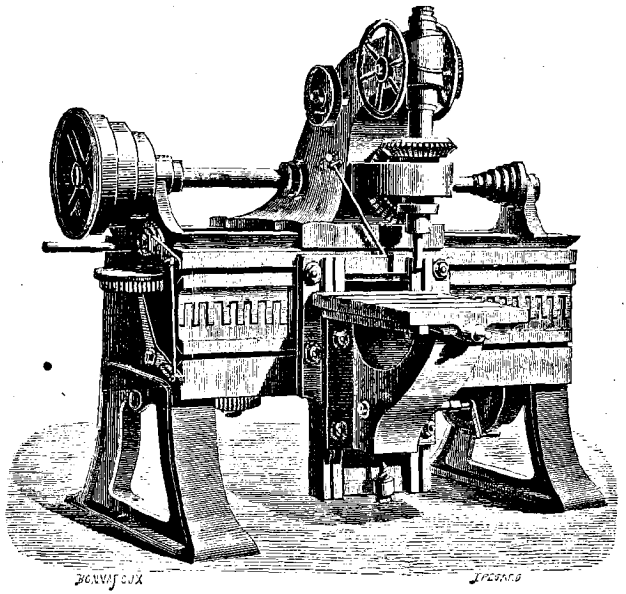


Fig. 7.

le mouvement de transport de l'outil, nous pouvons facilement faire comprendre, dans son ensemble, le jeu de cette machine.

La machine de Sharp, Stewart et Compagnie est très-condensée; la transmission est placée à côté de la table; la bielle est courte, et l'ensemble de la construction possède bien le cachet de la solidité des bonnes machines anglaises.

La pièce est fixée, à la manière ordinaire, sur un tablier horizontal, semblable à celui des étaux limeurs, et l'outil est disposé verticalement comme celui des machines à percer. Le fer se donne automatiquement, au moyen d'un cliquet à la fin de chaque course, mais le desserrage d'un petit manchon conique permet aussi de le manœuvrer très-facilement à la main.

La poulie étagée principale détermine, par la rotation de son arbre et l'intermédiaire de deux paires de roues d'angles, le mouvement de rotation de l'outil autour de son axe, mais son mouvement de transport, qui doit être relativement très-ralenti, ne s'obtient pas aussi facilement.

A l'autre extrémité de ce premier arbre on voit une poulie de petite dimension, qui transmet son mouvement à un arbre parallèle, placé dans le bas de la machine; cet arbre est fileté dans une partie de sa longueur, de manière à faire mouvoir le pignon horizontal que l'on aperçoit sous le banc, et, par l'intermédiaire de l'arbre de celui-ci, un autre arbre vertical, qui est placé au milieu du bâti, et sur lequel est calé le pignon horizontal excentré que nous désignerons sous le nom de roue motrice.

Ce premier pignon commande une roue elliptique et l'on se rend ainsi parfaitement compte de la disposition générale des organes. L'avancement de l'outil se produit, à chaque fin de course, au moyen d'un renflement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que porte la face inférieure de la roue elliptique; ce renflement abaisse un levier faisant mouvoir un cliquet, qui vient agir sur la roue à rochet correspondante; cette action intermittente est transmise à l'arbre horizontal qui détermine le déplacement de l'outil par deux petits arbres intermédiaires et leurs pignons dentés. Quant au règlement de la course, il se fait avec une manette, en agissant sur l'arbre fileté qui n'a d'autre mission que de permettre le déplacement du bouton de manivelle dans sa coulisse; le chariot porte-outil peut obéir d'ailleurs au déplacement de la tête de bielle, en quelque position qu'il soit amené par rapport à elle.

La vis du support qui forme la table sur laquelle est placée la pièce à travailler, permet de la déplacer dans un sens perpendiculaire à celui de la longueur de la mortaise et par suite de faire varier à volonté la largeur de celle-ci.

Cette puissante machine est d'un grand usage dans les ateliers anglais, mais elle acquiert encore bien plus d'importance lorsqu'elle est à double table et à double poupée, de manière à façonner à la fois, à des distances parfaitement constantes, les deux extrémités d'une même bielle, ou, dans certaines circonstances, de les former l'une après l'autre sans avoir à démonter les pièces en travail.

MEULAGE. Le succès des outils à fraise a fait reprendre dans les ateliers de construction l'emploi des meules tournantes qui rend tant de services dans les aiguiseries et les fabriques d'armes. En employant de petites meules d'émeri, formées d'émeri empâté à chaud dans une pâte de caoutchouc durci, ou dans de l'oxychlorure de magnésium, on arrive à user l'acier, à travailler le métal dans des conditions avantageuses dans nombre de cas, et avec une toute autre précision qu'avec les grosses meules en grès, de dureté très-variable. La fig. 8 montre une excellente construction de ce genre due à un de nos bons constructeurs. La grande vitesse de rotation et la dureté de l'outil, font que la meule use le métal avec une étonnante rapidité et avec une planimétrie assez satisfaisante quand l'ouvrier est habile. Son travail est facilité par des supports convenablement disposés, sur lesquels il peut appuyer les pièces à travailler sous diverses inclinaisons. Les Américains emploient beaucoup ce système qui donne beaucoup de brillant à leurs machines, où ils ne craignent pas de multiplier les pièces en acier trempé, qu'ils polissent et dressent au moyen de meules de ce genre, formées d'une pâte d'émeri qu'ils appellent tannite.

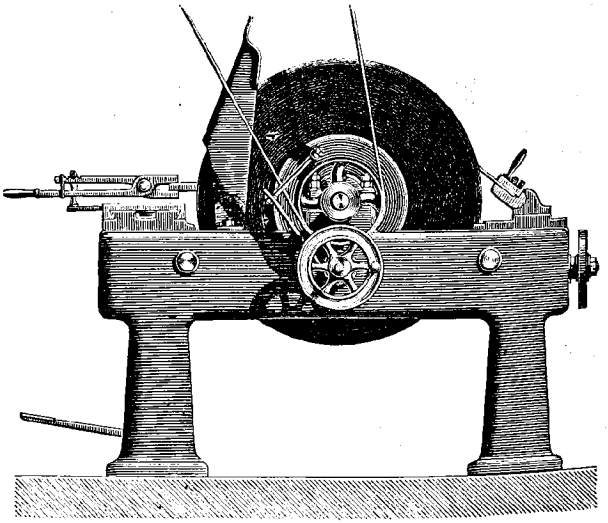


Fig. 8.

VI. MACHINE A TAILLER LES ROUES DENTÉES.

Nous avons donné à l'article TAILLER LES ROUES (*machine à*) une étude fort intéressante et fort bien faite de M. Mathieu, sur la question; nous la compléterons par la description de la disposition du tour à tailler.

Cette machine emploie (fig. 9) une fraise mue d'un mouvement rapide de rotation qui vient pratiquer une entaille sur la roue à diviser. En faisant marcher cette fraise (montée sur un support à chariot), sa section étant celle de l'entaille, on enlève l'intervalle entre deux dents. Un simple crochet vaut souvent mieux qu'une fraise, celle-ci se voilant ou cassant souvent à la trempe. Pour des roues très-larges, il y a avantage à raboter les dents tout en conservant le système de division ci-contre, comme l'ont fait, il y a déjà bien des années, MM. Glavet, habiles mécaniciens de Metz.

Si après avoir pratiqué une entaille à la profondeur voulue, on fait tourner la roue d'une certaine fraction de circonférence mesurée à l'aide de la plate-forme avec laquelle elle est rendue solidaire et sur laquelle des divisions sont tracées à l'avance, on taillera successivement et avec une grande précision toutes les dents de la roue.

Pour de grandes machines à tailler les roues d'engrenage, pour lesquelles le plateau devant porter un grand nombre de divisions différentes doit être de grande dimension, on dispose verticalement l'axe de rotation, mais, malgré la différence d'aspect, la machine diffère fort peu, en réalité, de celle que nous venons de décrire.

Pour les engrenages cylindriques, Sellers a supprimé la plate-forme divisée et est arrivé à faire une excellente division, en employant seulement des séries de pignons qu'il substitue les uns aux autres. Par l'emploi d'embrayages convenables, le travail est rendu absolument automatique.

Pour tailler les engrenages coniques, Zimmermann de Chemnitz a construit une machine remarquable. La roue à tailler est solidement assise sur un moyeu horizontal; le porte-outil est lié à un centre formé par une articulation sphérique qui occupe exactement le sommet du cône de la roue, et ne peut se déplacer que suivant les génératrices du cône; un calibre de forme convenable assure l'identité de la denture pendant toute la durée du travail.

Si au lieu de roues d'engrenage ordinaires il s'agissait de roues héliçoïdales, d'engrenages de White, il faudrait évidemment que l'outil qui découpe l'intervalle eût un mouvement relatif de translation en même temps qu'il taillerait la roue, que celle-ci ou bien l'outil reçût un mouvement composé, ce qui revient à les unir à une fraction d'hélice tracée sur une partie de cylindre concentrique, mais alors l'outil ne saurait plus être une fraise ou une molette, ayant même section que l'intervalle des dents de la roue.

Nous donnerons ici quelques détails au sujet de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machine proposée à cet effet par MM. Bréguet et Boquillon, d'après le rapport fait sur leur système à la Société d'encouragement, par T. Olivier.

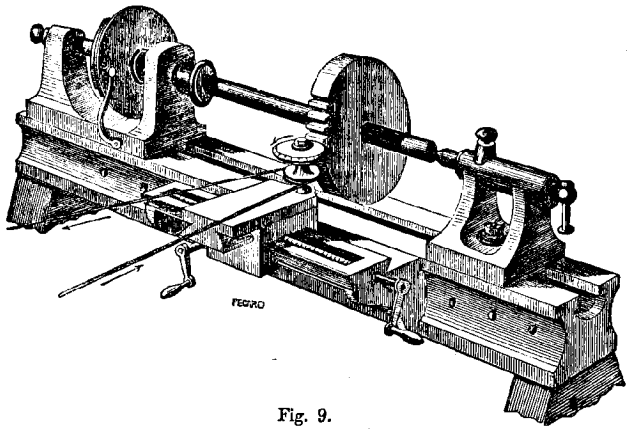


Fig. 9.

L'angle de l'inclinaison de la denture des engrenages héliçoïdaux sur l'axe peut varier; White a adopté l'angle de quinze degrés; MM. Bréguet et Boquillon l'ont adopté également, et les expériences de ces auteurs ont démontré que cet angle atteignait bien le but de la pratique.

Leur système consiste à maintenir la roue à tailler fixe dans la longueur de l'axe, et recevant seulement un mouvement de rotation, pendant que la fraise ou l'outil taillant descend parallèlement à l'axe de la roue.

C'est dans la relation entre l'amplitude de chacun de ces deux mouvements, que consiste l'élément de l'exécution de la denture héliçoïde. A cet effet, ils prennent une machine ordinaire à tailler les dents d'engrenage (voy. TAILLER) : derrière la hache ou porte-outil qui doit exécuter la denture par son mouvement vertical, ils établissent un arbre horizontal qui porte deux disques que nous désignerons par les lettres A et B, et dont l'un, A, est exactement d'un diamètre triple de celui B; une lame de ressort fort mince est attachée d'un bout à la hache porte-outil, et de l'autre à la surface cylindrique du disque A; une autre lame de ressort enveloppe le disque B, et un troisième disque C, fixé sur l'axe de la plate-forme divisée, axe commun à la roue à fendre. La seconde lame dont nous avons parlé est attachée d'une manière invariable sur le disque B; mais, au moyen d'une espèce de pince avec vis de pression, on peut, à volonté, la rendre solidaire avec le disque C, ou permettre à ce disque de glisser dans la lame qui l'enveloppe. Le disque C est d'un diamètre exactement égal au diamètre de la roue à fendre.

D'après ce qui précède, on conçoit facilement que, lorsque la hache porte-outil descend pour opérer la fente d'une dent, elle fait parcourir à la circonférence du disque A un espace égal à celui qu'elle parcourt elle-même; que le disque B, dont le diamètre est trois fois plus petit que A, ne donne à la deuxième lame, et par conséquent au disque C, auquel le ressort est dans ce moment fixé, qu'un mouvement trois fois moindre que celui de la hache.

Or, si le mouvement circulaire de la surface cylindrique à tailler était égal au mouvement vertical de la hache, on produirait une denture inclinée à 45 degrés. Le mouvement de cette surface étant, au contraire, au mouvement vertical de l'outil, dans le rapport de 1 à 3, il en résulte nécessairement que la denture sera à l'inclinaison voulue de 15 degrés.

Lorsqu'une dent a été ainsi taillée, on desserre la pince pour rendre le disque C libre dans la lame qui l'enveloppe; on change la position de la roue à fendre au moyen de la division de la plate-forme et de l'alidade ordinairement employée à cet effet; on serre la pince pour rendre de nouveau la lame solidaire avec le disque, et on recommence l'opération pour une autre dent.

Les combinaisons de MM. Bréguet et Boquillon sont simples; elles offrent ce mérite particulier que, quelles que soient les dimensions en diamètre ou en longueur de la roue à fendre (entre les limites, toutefois, que comporte la machine qu'on emploie), aucun changement n'est nécessaire dans les organes du mécanisme, si ce n'est un disque à substituer à un autre; aucun calcul, aucune opération graphique n'est nécessaire; il suffit de mesurer exactement le diamètre de la roue sur laquelle il s'agit d'opérer, et de placer sur l'appareil un disque d'un égal diamètre. La simplicité de cette opération est d'une grande importance et propre à généraliser l'emploi des roues à denture héliçoïde: qui ne sait, en effet, combien peu d'ouvriers se détermineraient à prendre la peine de tracer une épure, quelque simple qu'elle soit, pour l'exécution d'une roue dentée?

Théodore Olivier a fait remarquer que, dans le système employé par MM. Bréguet et Boquillon pour tailler les engrenages cylindriques à dents héliçoïdales, on pourrait très-facilement diriger l'outil, non-seulement parallèlement à l'axe du cylindre à tailler, comme ces messieurs le font, mais que l'on pourrait le diriger de manière à ce qu'il parcourût une droite coupant l'axe de la rondelle à tailler, sous un angle dont l'amplitude pourrait être aussi petite ou aussi grande qu'on voudrait, et alors on tillerait un engrenage conique.

VII. MACHINES A TARAUDER.

La filière de Whitworth a transformé depuis longtemps le fonctionnement des machines à tarauder. Cette filière agit au moyen de trois peignes qui sont taillés avec leur taraud et qui, affûtés au besoin sur la meule, découpent les filets dans le métal qui constitue les boulons, sans le refouler. (Voy. FILIÈRE.)

Les filières Whitworth et même la série des pas établie par ce constructeur sont, en Angleterre, d'un usage absolument général, ce qui constitue un avantage notable aux machines anglaises pour les réparations, et la même tendance se manifeste chez nous, depuis un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

certain nombre d'années, quant au mode de construction des filières.

On sait que les coussinets de cette filière sont taillés par des tarauds-mères, d'un diamètre extérieur plus grand de deux fois la profondeur du filet que celui des boulons à fileter. Whitworh a été conduit à adopter cette disposition pour que, dès le commencement de l'opération du taraudage, la filière soit, par toutes les arêtes des filets, en contact avec la paroi du cylindre à fileter. En France on prenait généralement pour diamètre de la mère des coussinets le diamètre même des boulons à fileter; mais dans ces derniers temps la plupart des constructeurs prennent, pour le diamètre de la mère, celui du boulon augmenté seulement d'une seule profondeur du pas.

Quelle que soit la règle à cet égard, le principal mérite de ces filières est de faire les boulons en une seule passe. Quant aux écrous, on opère sur eux au moyen de tarauds coniques, filetés dans de bonnes filières et rendus coupants par des rainures profondes, pratiquées, par une machine spéciale, parallèlement à l'axe du taraud.

La machine à tarauder construite par Whitworth se compose simplement d'une poupée avec mandrin à mâchoires destinées à serrer rapidement les faces du boulon, de manière à présenter celui-ci par la pointe, devant la filière, et d'un support fixe pour la filière matière et non par compression; c'est pour cette raison que les tiges des boulons doivent être exactement tournées au diamètre que l'on veut conserver à l'arête extérieure du filet. Lorsque cette préparation est faite, la tête du boulon est placée dans l'étau à mâchoires mobiles A, que l'on voit au-dessus de la machine; les deux mâchoires se déplacent parallèlement, de quantités égales, sous l'action du volant supérieur, et une main à béquille B sert à mettre le boulon en prise avec la filière, au moyen d'un cliquet qui s'appuie sur l'une ou l'autre des dents qui forment une véritable crémaillère sur le bord du banc.

Les trois peignes de la filière sont guidés dans leur boîte chacun en deux points : près du centre ils glissent dans un guide fixe; à leur autre extrémité ils portent un prisonnier engagé dans une rainure courbe, qui, quand elle se déplace, force la partie affûtée des peignes correspondants à se rapprocher du centre; c'est ce qui détermine le serrage des filières, et ce serrage s'effectue d'une manière entièrement automatique, ainsi qu'il suit.

La boîte tout entière, qui constitue la filière, participe au mouvement qui est communiqué à la grande roue M par le pignon correspondant, qui est solidaire avec l'arbre des poulies; l'autre pignon, qui engrène avec la roue N, est ordinairement placé sur ce même arbre, de telle sorte qu'aussitôt la mise en marche, il y a mouvement relatif de la roue M par rapport à la

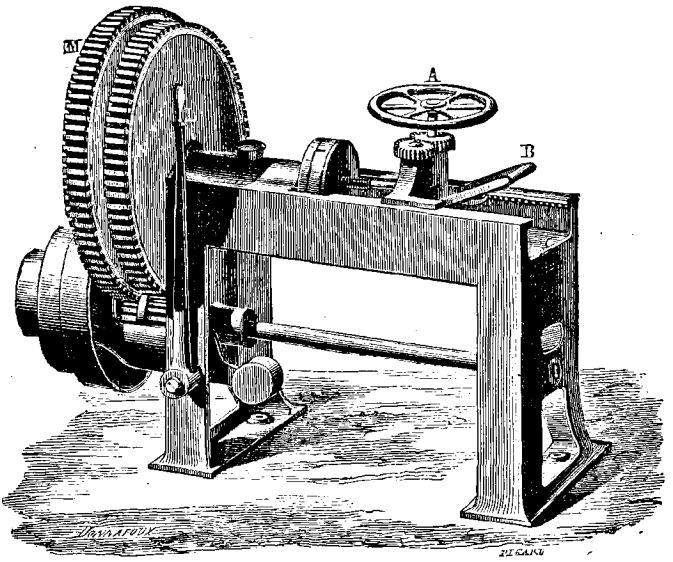


Fig. 10.

elle-même. Cette machine fonctionne parfaitement; mais il faut, pour retirer le boulon, faire tourner en sens contraire, et la disposition de Sellers évite, de la manière la plus inattendue, cette manœuvre, qui demande un certain temps, pour une fabrication qui doit être très-rapide.

Machine à tarauder de Sellers, de Philadelphie. — La fig 10 la représente au moment où elle serait employée à fileter des coussinets; mais son emploi principal consiste à tarauder les boulons; la filière se compose d'un jeu de trois peignes qui se rapprochent et s'éloignent du centre à la volonté de l'ouvrier; les peignes ressemblent de tous points à ceux employés pour fileter sur le tour; ils n'agissent absolument que par enlèvement de roue N; l'une d'elles conduit la boîte qui forme la filière, l'autre n'agit que sur les coulisses circulaires des peignes; et par suite de ce mouvement relatif il y a serrage dans la boîte, jusqu'à une limite déterminée par la mise en contact de deux cames ou arrêts, respectivement disposés sur les moyeux des deux roues. La filière est immédiatement prête à fonctionner, et le pas de vis creusé rapidement; aussitôt que le boulon est terminé, il faut opérer le desserrage des filières.

A cet effet, l'ouvrier, en agissant sur le levier L, force les deux pignons à marcher ensemble, en les reliant par l'intermédiaire d'un embrayage à cône de friction; les deux pignons étant alors solidaires, agissent, suivant le nombre de leurs dents, sur les deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES-OUTILS.

roues correspondantes M et N; il y a avance de celle-ci par rapport à celle là; les filets se dégagent, et il suffit de tirer, à la main, sur la poignée de l'étau, pour ramener celui-ci en arrière et y placer un nouveau boulon ; dans ce mouvement de retour le cliquet est sans action, mais il reprend sa place de lui-même au moyen d'un contre-poids qui le force à mordre à nouveau dans la denture de la crémaillère. On voit donc qu'avec cette machine les boulons sont terminés en une seule passe et sans retour sur eux-mêmes ; la machine, marchant constamment dans le même sens, est toujours prête à fileter, et l'on estime que le temps gagné, sur chaque opération, se traduit par une différence de 30 pour 100 environ sur la durée totale du travail.

Le taraudage des écrous peut aussi se faire en une seule passe; et, lorsqu'elle est terminée, il suffit de retirer les mâchoires en arrière, de manière qu'elles emportent avec elles le boulon et le taraud ; celui-ci est terminé par une portion cylindrique autour de laquelle l'écrou est venu se placer par l'action de la machine, et dont le diamètre est assez faible pour que cet écrou puisse légèrement glisser sur toute la longueur.

VIII. MACHINES A RABOTER, A PLANER.

Le principe du mouvement automatique de l'outil coupant, maintenu par un chariot bien guidé, une fois appliqué au tour proprement dit, ce fut un grand progrès d'abandonner en quelque sorte le tour, pour l'appliquer à des machines-outils d'un autre ordre. Pour obtenir non des surfaces cylindriques, mais des surfaces planes, le problème n'était plus le même ; toutefois, la droite étant un cercle d'un rayon infini, on voit qu'en donnant à la pièce à travailler un mouvement rectiligne, alternatif nécessairement, le ciseau du support à chariot placé au-dessus la plancra. Telle est, en effet, la disposition de la machine à planer, qui a ouvert la voie à toute une famille de machines-outils; les organes propres à donner le mouvement varient seuls. Nous en donnerons quelques exemples.

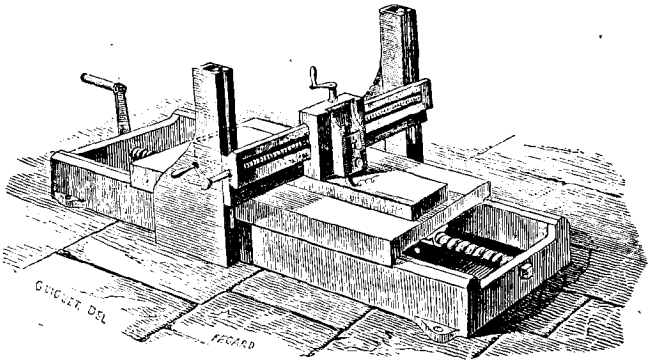


Fig. 11.

La figure 11 représente une petite machine à raboter très-solide, mue habituellement à bras, où le mouvement du plateau porte-pièce est imprimé à l'aide d'une manivelle qui fait tourner une longue vis fixée au bâti et traversant un écrou fixé au porte-pièce. C'est aussi à

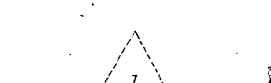


Fig. 12.



Fig. 13.



Fig. 14.

On comprend d'ailleurs qu'en limitant, au moyen de prisonniers engagés dans une rainure, l'écartement maximum de l'une des grandes roues par rapport à l'autre, on puisse restreindre autant qu'on le voudra la course des peignes, et ainsi fileter, avec un même pas et une même filière, des boulons de diamètres notablement différents; la rainure circulaire, que l'on emploie pour cet objet, est munie d'une aiguille et d'une division, qui permet, dans chaque cas, de régler, avec exactitude, le degré de serrage qui correspond au diamètre du boulon à fileter.

l'aide de petites manivelles et de vis que l'on donne au ciseau les mouvements intermittents, soit de déplacement latéral, soit de descente après chaque passe.

Whitworth a combiné pour les petites machines un système qui réduit beaucoup le temps perdu par le retour, quand l'outil ne travaille pas, le mouvement étant imprimé par une bielle. Il consiste en une ingénieuse combinaison de manivelle à bras variable.

La roue disque A (fig. 12, 13 et 14) est conduite par le pignon B placé sur l'axe de la poulie motrice qui se meut d'un mouvement uniforme. Sur le plat de cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roue est vissée une goupille D, qui entre dans une longue rainure du levier CE qui peut tourner autour du point C comme centre, et qui est articulé à son autre extrémité par la verge K à la table de la machine à planer. Lorsque la roue A tourne, le levier CE oscille, et la verge K fait marcher en avant et en arrière la table de la machine à planer. Mais ces deux mouvements sont effectués dans des temps très-différents. En effet, la goupille, en tournant dans un sens, décrit l'arc *yhp*, c'est-à-dire dans les conditions de la figure, 2/3 de circonférence, en passant de *f* en *e*, tandis qu'il ne décrit que *plq*, soit 1/3 de circonférence quand le levier tourne de *e* à *f*. Le ciseau travaille pendant le mouvement de *f* à *e*, pendant que la table se meut lentement, et la goupille placée près de l'extrémité du levier est très-bien placée pour surmonter la résistance. Pendant le retour, le ciseau ne travaille pas, la goupille agit à la partie inférieure de la coulisse, et la table revient rapidement à sa première position.

Ainsi, au lieu de la disposition ordinaire, où on emploie 1/2 du temps pour l'aller 1/2 pour le retour, on emploie 2/3 pour l'aller et 1/3 pour le retour, ou plutôt grâce à l'économie du retour, le temps de l'aller restant le même, on fait le même travail en économisant 1/4 du temps de l'opération.

Grandes machines à raboter. Les points qui différencient le plus les machines des divers constructeurs se rapportent au mouvement du plateau et aux dispositions du porte-outil.

La fig. 15 représente une des puissantes machines employées pour raboter les pièces de grandes dimensions telle qu'elle est construite dans un des premiers ateliers d'Angleterre.

On emploie pour conduire le plateau, soit une vis, soit une crémaillère. La vis, fournissant un mouvement continu et régulier, ne laisserait rien à désirer si le frottement dans l'écrou n'était pas considérable.

La crémaillère absorbe moins de travail par frottement, mais donne lieu à des chocs et des vibrations à la rencontre des dents, ce qu'évitent assez bien les constructeurs qui préfèrent la crémaillère, en adaptant deux ou trois rangées de dents placées à côté et en arrière les unes des autres.

La double vis à filet carré a été conservée par Whitworth pour ses plus grandes machines, et il a cherché à faire disparaître le grand inconvénient de ce système, le frottement considérable de la vis dans son écrou. A cet effet, il supprime ce dernier et fait agir les vis sur deux petites roues verticales établies sous une entre-toise, et que l'auteur nomme roues *antifriction*, parce que leurs dents obliques, en s'engageant dans les intervalles des filets de la vis dont elles reçoivent la pression longitudinale, parallèle et motrice du chariot, sont tracées et disposées de telle sorte, que, sous la simple action tangentielle du frottement des dents, ces roues peuvent tourner autour de leurs axes respectifs. Le chariot est poussé, le long de ses glissières latérales, par la composante longitudinale de la pression transmise par deux

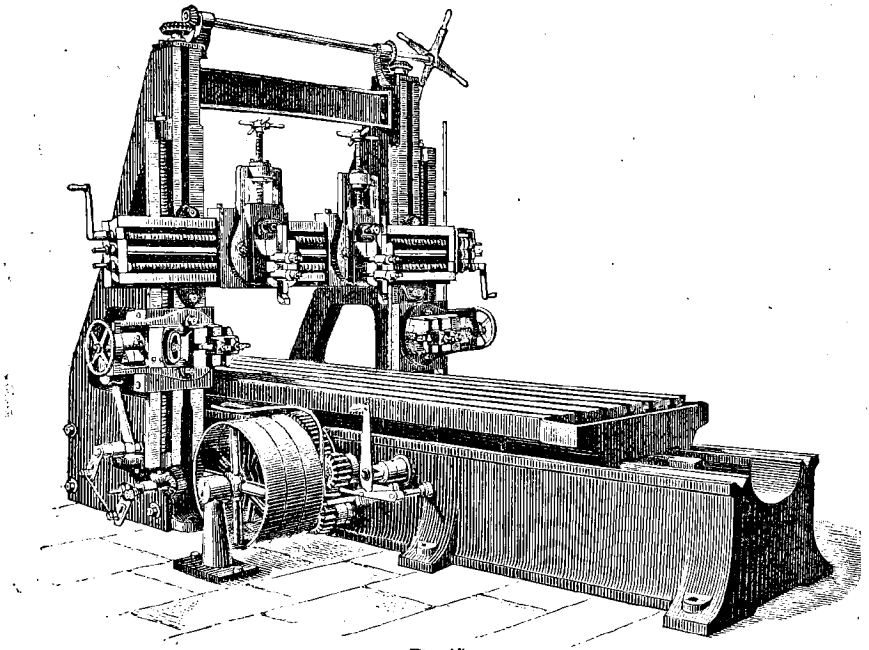


Fig. 15.

roues, les composantes transversales s'annulant, de manière a réduire ainsi, dans une énorme proportion, la dépense de travail qu'entraînerait le frottement direct et tangentiel des filets.

La grande machine à planer de Whitworth possède deux outils à retournement automatique dans un fourreau très-solide, dont nous indiquerons la disposition. Le burin est assujetti à l'aide de vis dans un cylindre qui lui-même est ajusté à frottement doux dans un fourreau cylindrique, faisant partie du porte-outil de la machine. La partie supérieure du cylindre porte une rainure héliçoïdale qui coupe toutes les génératrices situées d'un même côté d'un plan diamétral. Dans le porte-outil est pratiquée une rainure verticale, et une barre repliée en équerre traverse cette rainure et entre dans la rainure héliçoïdale du cylindre. Le mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES-OUTILS.

rectiligne alternatif de cette barre fait, à chaque oscillation, tourner le cylindre porte-outil exactement d'un demi-tour par suite de la longueur convenable de la rainure héliçoïdale.

Le mouvement est donné au commencement et à la fin de chaque course du chariot par un embrayage à double effet mis en jeu par des taquets adaptés aux parties glissantes, c'est-à-dire au moyen d'une combinaison de cordelles sans fin et de poulies de renvoi fort ingénieuse, mais aussi passablement compliquée, et qui empêchera peut-être de l'adopter généralement, malgré la suppression des temps perdus et la diminution des frottements. Le plus souvent les taquets mettent en mouvement des embrayages plus simples, notamment de poulies, tournant en sens opposés, placées des deux côtés de la poulie folle, sur laquelle repose la courroie motrice à l'état de repos, comme dans la machine représentée ci-dessus.

Dans la plupart des machines à planer, l'outil est simplement assemblé à charnière sur le devant du bâti, contre lequel il s'appuie quand la pièce à travailler le rencontre, et qui ne l'empêche pas de se relever lorsqu'au contraire celle-ci s'éloigne. Avec des outils agissant en sens opposés, l'un ébauchant, l'autre finissant, on ne perd pas la moitié du temps pendant lequel la machine est en mouvement.

On voit sur la fig. 15 combien on multiplie les outils travaillant simultanément, dans les constructions modernes, lorsque la pièce doit être dressée sur le champ comme sur sa face.

Nous avons admis dans ce qui précède, que c'était toujours le plateau chargé de la pièce à travailler qui est mis en mouvement. C'est, en effet, le seul système admis par les constructeurs anglais et celui qui donne le plus de sécurité; cependant, à bien prendre, dit Poncelet après avoir rendu pleine justice aux excellentes constructions anglaises de machines-outils; les grandes planeuses à chariot porte-outil mobile imaginées par M. de Lamorinière, exécutées, perfectionnées par des artistes aussi habiles que MM. Pihet, Cavé, Decoster, Calla et autres mécaniciens français distingués, ne paraissent pas devoir le céder aux machines analogues, mais à outils fixes, auxquelles, sans doute, les constructeurs anglais ne continueront pas indéfiniment à donner une préférence exclusive. Si ce système donne plus de sécurité pour l'excellence du travail, quand il s'agit de pièces d'un poids modéré, il semble devoir être abandonné quand il s'agit de pièces de dimensions et de poids énormes, de machines de très-grande taille, dans lesquelles le porte-outil, étant d'un poids considérable, ne peut nullement être déplacé par la résistance du rabotage.

IX MACHINES A MORTAISER.

Les mortaises proprement dites étant faites aujourd'hui par des machines à fraises, les machines dites à mortaiser sont en réalité des machines à raboter verticalement, leur caractère spécial consistant en ce que le chariot porte-outil se meut dans un plan vertical déterminé par des coulisseaux venus de fonte avec le bâti. Le mouvement de va-et-vient du chariot est déterminé le plus ordinairement par bielle et manivelle, quelquefois par un simple excentrique; mais, dans la plupart des grandes machines, on a maintenant adopté la disposition au moyen de laquelle Whitworth est parvenu à ramener l'outil avec rapidité, après chacun des sillons qu'il a tracés, en plaçant l'axe de la poulie motrice un peu plus bas que celui du plateau-manivelle, et en engageant un goujon, appartenant à ce plateau, dans une coulisse radiale, tournant avec la poulie; on arrive de cette façon à réduire le temps perdu au tiers de la durée totale d'un tour de plateau.

La figure 16 représente cette machine. L'arbre moteur est disposé suivant la longueur du banc et déplace dans ce sens, automatiquement, la poupée porte-outil,

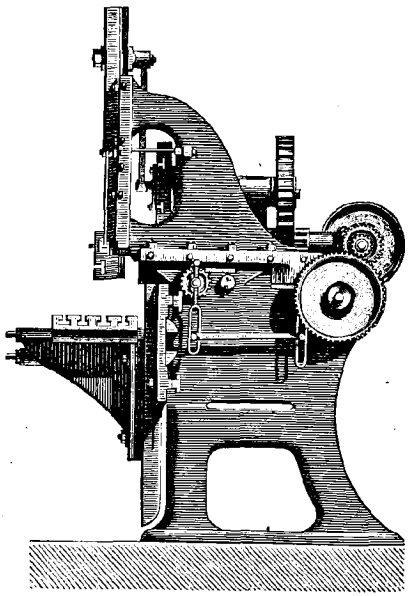


Fig. 16

le long de coulisseaux qui la maintiennent. Elle porte un arbre horizontal sur lequel est fixé le plateau-manivelle actionné par une roue d'engrenage; cette roue reçoit son mouvement d'un long pignon dont l'arbre est porté par des douilles appartenant au chariot et sur lequel agit un pignon d'angle monté à l'extrémité de l'arbre moteur. Le porte-outil se meut dans la glissière verticale, et reçoit un mouvement alternatif d'une bielle articulée à son extrémité supérieure, et partant du plateau-manivelle.

La coulisse peut monter et descendre au moyen d'une vis dont l'écrou est fixé dans une console, guidée par deux coulisseaux.

Le mouvement de progression de la poupée est donné au moyen d'une vis horizontale, maintenue par des collets sur le banc, et dont l'écrou est fixé à la poupée. On obtient le placement en un point voulu au moyen d'un encliquetage et d'un système de leviers, actionnés par une came montée sur une roue.

La variation de la longueur de la course s'obtient en rapprochant plus ou moins du centre du plateau le bouton d'articulation de la bielle; lorsque cette course a été réglée, on peut encore relever l'outil dans son chariot, de manière que cette course s'accomplisse entre les points extrêmes de la pièce à raboter.

Plusieurs autres systèmes que celui de Whitworth, ont été combinés pour produire le retour accéléré, et, parmi eux, on doit citer celui de la mortaiseuse de Ducommun, de Mulhouse. L'arbre-moteur et l'arbre-conduit sont, comme dans la solution précédente, excentrés l'un par rapport à l'autre, et les bras dont ils sont respectivement armés sont reliés entre eux par une petite bielle intermédiaire, de longueur constante; il est facile de voir, par un tracé géométrique des plus simples, que le rapport des vitesses, dans la période descendante, peut être augmenté dans la même proportion qu'au moyen de la combinaison de Whitworth.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES-OUTILS.

Nous indiquerons encore la machine de Fairbairn, dans laquelle le déplacement de l'outil est déterminé par un simple bouton excentré, glissant dans une coulisse pratiquée dans le chariot; on peut, comme à l'ordinaire, changer la course, en rapprochant ou en éloignant le bouton du centre; mais la bielle est entièrement supprimée, ce qui permet de réduire notablement les dimensions de la machine en hauteur. Quoique fort simple, la transmission qui vient d'être indiquée serait absolument, mauvaise si toutes les pièces qui la composent n'étaient pas cémentées et trempées; il en résulte, pour quelques-unes d'entre elles, de grandes difficultés d'exécution, mais quand on a remédié, à la meule, aux gauchissements qui peuvent s'être produits pendant l'opération de la trempe, la durée de ces organes est convenablement assurée.

Ce qui surtout donne un caractère particulier à cette machine, c'est que les coulisseaux, entre lesquels les mouvements du chariot doivent s'effectuer, sont solidaires avec un plateau rapporté, au moyen des boulons et d'écrous, sur une bride d'attente verticale, faisant partie du bâti lui-même. Cette bride ainsi que le plateau sont divisés de manière que l'on puisse toujours donner à celui-ci une inclinaison déterminée par rapport à l'autre; les coulisseaux sont alors inclinés par rapport à la verticale, et l'outil, tout en continuant à rester dans le même plan, peut, en suivant cette inclinaison nouvelle, raboter des surfaces faisant un angle donné avec la verticale.

Dans cet appareil, comme dans tous les autres du même genre, le plateau sur lequel se fixe la pièce à travailler peut recevoir automatiquement deux mouvements horizontaux, perpendiculaires l'un à l'autre, ou même un mouvement circulaire continu : dans ce dernier cas, la pièce serait façonnée suivant la forme d'un cône de révolution, à axe vertical, dont toutes les génératrices seraient inclinées, comme l'outil lui-même, dans les divers sillons qu'il produit à la surface du métal. Si l'on produit, dans les mêmes conditions, des mouvements rectilignes, on obtiendra des biseaux plus ou moins inclinés, qu'il serait souvent difficile d'exécuter aussi bien avec l'étau limeur dont nous parlons ci-après.

X. ÉTAUX LIMEURS UNIVERSELS.

On désigne, sous le nom d'étaux limeurs, de petites machines à raboter qui constituent les machines essentielles pour l'exécution des pièces de petite et de moyenne dimension. Dans ces machines l'outil se déplace horizontalement et enlève des copeaux parallèles sur une pièce maintenue fixe sur un plateau; le chariot qui porte l'outil se meut automatiquement, au moyen d'un arbre fileté, et le mandrin qui porte l'outil peut lui-même tourner autour d'un axe horizontal, de manière à déterminer sur la pièce une forme cylindrique, concave ou convexe; enfin, et c'est pour cela que Whitworth donne aux outils de ce genre, qui sortent de ses ateliers, le nom de limeuses universelles, le mandrin qui porte l'outil peut prendre diverses inclinaisons, par rapport au plateau divisé sur lequel il est assemblé par des boulons. Quand cette inclinaison est réglée, si l'on se borne à donner automatiquement du fer, sans déplacer la poupée, on peut former des biseaux de toute inclinaison, de la même manière qu'un plan horizontal; tous ces mouvements sont automatiques par l'emploi, comme intermédiaire, d'une manivelle à cliquet, qui se place sur celui des arbres de transmission que l'on veut faire fonctionner.

L'amplitude du mouvement de va-et-vient de l'outil est rendue variable par le déplacement du bouton de manivelle, sur lequel est articulée l'une des extrémités de la bielle qui fait glisser le chariot dans ses coulisses. Whitworth et plusieurs autres constructeurs adoptent, pour cette transmission, une disposition de retour rapide,

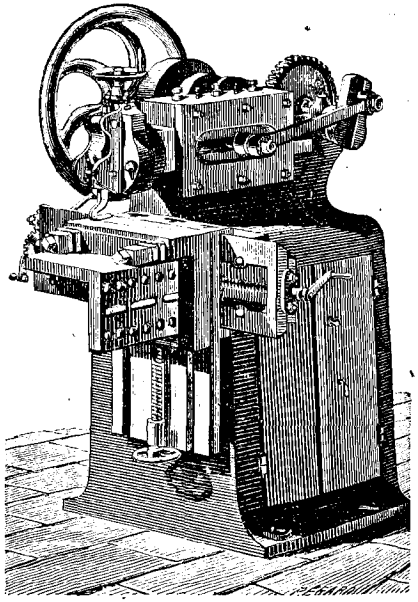


Fig. 17.

analogue à celle de la machine à mortaiser. Les constructeurs français et allemands emploient avec succès, pour le maintien des pièces, de petits étaux à mâchoires parallèles.

La figure 17 représente une machine anglaise de ce genre ayant 0,30 de course. Sur le bâti principal de la machine se meut longitudinalement, guidé dans des coulisses, le chariot porte-outil, et sa partie antérieure est disposée pour recevoir des tables qui peuvent se mouvoir latéralement et verticalement. La première porte sur ses faces verticales et horizontales des rainures en T pour maintenir les boulons servant à y fixer la pièce à travailler. La seconde porte un étau qui peut serrer directement la pièce dans ses mâchoires. L'outil peut prendre un mouvement variant de 0 à 0m,30. Son mouvement alternatif avec un retour rapide est obtenu par une bielle et manivelle variable par la disposition décrite ci-dessus. L'arbre conducteur traverse la machine suivant sa longueur et porte un pignon fendu qui engrène avec la roue motrice.

La manivelle qui détermine le déplacement latéral de l'outil à chaque passe est conduite par un petit pignon porté par l'extrémité de l'axe conducteur. Elle met en mouvement une vis réunie par un long écrou avec le porte-outil, qui est placé, au début, dans une position convenable, au moyen d'une poignée qui n'est pas représentée sur le dessin.

Au moyen d'une vis sans fin et d'une roue tangente, on peut faire tourner, plus ou moins, à volonté, la pièce; ce qui permet d'obtenir par rabotage rectiligne, des surfaces qu'on ne pourrait produire sur le tour.

La roue à main placée au-dessus du porte-outil, sert à mouvoir latéralement la tête mobile, à amener rapidement l'outil en place, au moyen d'une crémaillère et d'un pignon.

L'arrangement pour maintenir et de placer le crochet est le même que celui de tous les supports à chariot.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES SOUFFLANTES (*angl.* blowing-machine, *all.* blase-maschine). Les machines soufflantes servent, comme leur nom l'indique, à lancer l'air destiné à alimenter les feux et fourneaux métallurgiques, et dans quelques cas à l'aérage des mines. Ce sont, en réalité, des machines à comprimer l'air, celui-ci prenant la vitesse voulue, lorsqu'il sort d'un réservoir où il est à une pression suffisante. Le sujet a été traité théoriquement à l'article AIR COMPRIMÉ. Ici nous allons décrire les machines qui se rencontrent dans les ateliers, en commençant par les plus simples et les plus anciennes.

Trompe. Dans les forges pyrénéennes où l'on dispose généralement d'un excès de force motrice, on emploie presque partout, pour machines soufflantes, des *trompes*, dont la fig. 1 représente la disposition. Elle se composent

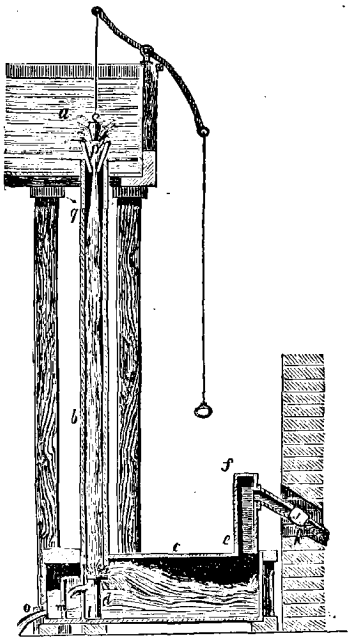


Fig. 1.

d'un arbre vertical foré *b*, qui plonge inférieurement dans une caisse *c*, de forme variable, et qui aboutit par le haut à un réservoir *a*, où afflue un courant d'eau. L'arbre, de forme carrée ou cylindrique, est muni à sa partie supérieure d'un entonnoir évasé *p*, qui descend dans son intérieur et que l'on peut fermer ou bien ouvrir plus ou moins à l'aide d'un tampon de bois. Cet entonnoir un peu au-dessus de l'extrémité supérieure de l'arbre, a un étranglement où *étranguillon*, autour duquel l'arbre est percé de plusieurs trous *q* appelés *aspirateurs*. La colonne d'eau qui traverse l'étranglement et qui entraîne l'air fourni par les aspirateurs, vient heurter, dans la caisse inférieure, un fort madrier *d*, appelé le *tablier*, sur lequel elle se brise en laissant dégager l'air qui adhérait à ses filets. L'air accumulé dans la caisse suit un tuyau vertical *efgh*, appelé l'*homme*, puis un tuyau flexible de peau de mouton *j*, pour se rendre à la buse *k*, qui consiste en un tube de fer portant le nom de *canon de bourrec*. L'eau alimentaire s'échappe de la caisse *c*, par l'ouverture *l*, s'élève dans la

caisse *n*, jusqu'à un niveau déterminé par la hauteur de la cloison *m*, et passant ensuite par dessus celle-ci, s'écoule par l'orifice *o*.

Au lieu de régler la quantité d'eau débitée par la trompe, au moyen de tampons en bois qui ferment plus ou moins l'étranglement *p*, comme nous venons de le voir, on adapte quelquefois au canal *a*, une vanne mobile, percée dans sa hauteur d'un trou, qui remplit l'office d'un aspirateur.

Une trompe bien établie ne rend que 10 pour 100 d'effet utile.

Soufflets. Il y a deux siècles, on se servait généralement, en Europe, de doubles soufflets en cuir analogues à ceux que l'on voit encore dans les forges de maréchaux. Plus tard, on remplaça le cuir, qui s'usait assez rapidement, par des plateaux en bois munis de ressorts, et au lieu d'un seul soufflet, on en mit deux pour régulariser le vent. Ces machines, quoique fort imparfaites, firent faire un grand pas à la métallurgie, et sont encore employées sur le continent dans un grand nombre d'usines à plomb, à étain, et de feux de forge: on leur a donné le nom de *soufflets pyramidaux*.

La figure 2 représente l'élévation d'un pareil souf-

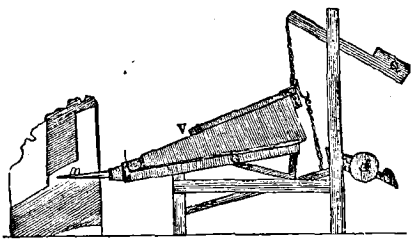


Fig. 2.

flet. *m*, est la buse du soufflet; G, la partie fixe inférieure; et V, la partie mobile supérieure, qui est relevée par une chaîne placée à l'extrémité d'un levier à contre-poids, et abaissée par l'action de cames situées sur l'arbre moteur et qui agissent sur l'extrémité d'un levier de la seconde espèce relié par une chaîne à cette partie.

L'effet utile des soufflets pyramidaux est de 0,25 à 0,30 du travail mesuré sur l'arbre des cames.

Après ces soufflets, on a employé, et on emploie encore dans quelques endroits, des caisses rectangulaires en bois, munies supérieurement de clapets s'ouvrant du dehors au dedans, et dans lesquelles se meuvent des pistons en bois garnis de liteaux à ressorts; l'air s'échappe de ces caisses par des soupapes placées en sens contraire des précédentes, et se rend par un tuyau dans le porte-vent ou dans le régulateur.

Gazomètres. On emploie dans quelques localités des gazomètres en tôle, guidés dans leur course par un ou deux guides passant dans des boîtes à étoupes, et animés d'un mouvement rectiligne alternatif dans une cuve pleine d'eau; ils portent à la partie supérieure des soupapes s'ouvrant du dehors en dedans pour aspirer l'air lors de leur mouvement ascensionnel, et des tuyaux traversant le fond de la cuve viennent déboucher, par des soupapes s'ouvrant de bas en haut, dans l'intérieur des gazomètres au-dessus du niveau de l'eau, et donner écoulement à l'air qui s'y comprime lors de leur mouvement de descente. Dans ces machines l'eau sert de piston, disposition assez avantageuse, puisqu'elle supprime les résistances de frottement des garnitures. Ces machines sont peu coûteuses d'établissement, et donnent des résultats assez satisfaisants.

Machines soufflantes à piston. De toutes les machines

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soufflantes, la plus habituellement employée, lorsque l'on a besoin d'une pression de vent supérieure à celle que donnent les ventilateurs, est la machine à piston. Tantôt, comme nous venons de le dire, on les établit grossièrement en bois, à simple effet, avec des pistons garnis de liteaux à ressort, tantôt on les construit avec des cylindres en fonte alésés et avec des pistons analogues à ceux des machines à vapeur.

La machine à vapeur à balancier se prêtant parfaitement à l'établissement d'une soufflerie à piston, on a généralement employé jusqu'à ce jour, pour les grandes soufflerie, celles des hauts-fourneaux notamment, des machines soufflantes à balancier, le piston du vent étant à une extrémité du balancier, le piston à vapeur à l'autre; elles se prêtent également avec facilité à être mues par des roues hydrauliques. Leur organe principal consiste en un cylindre alésé, en fonte, à double effet.

La figure 3 donne la coupe d'une de ces machines:

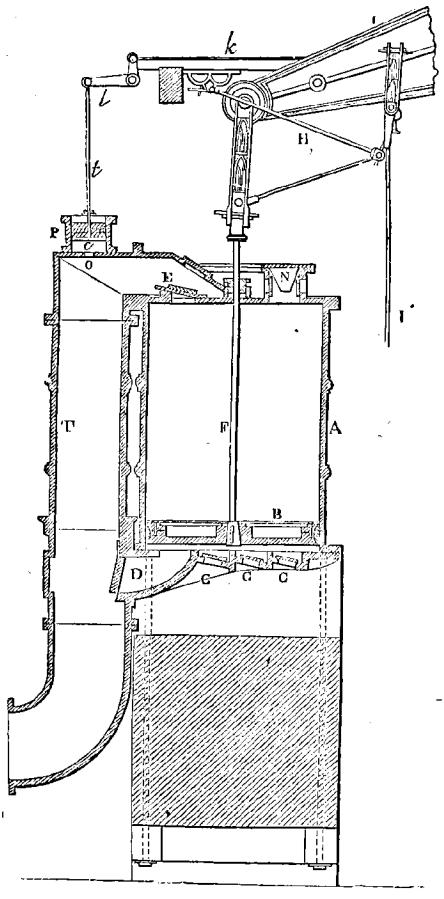


Fig. 3.

A, est le cylindre alésé en fonte, dans lequel se meut le piston B, dont la tige F, traverse le couvercle dans une boîte à étoupes M, et vient s'attacher au parallélogramme articulé H, qui termine le balancier I, mû par une machine à vapeur ou tout autre moteur; l'air est aspiré au-dessous du piston par les trois soupapes C, C, C, et au-dessus par les deux soupapes N; il est refoulé, par les soupapes D et E, dans le tube T, qui le conduit aux régulateurs ou directement au porte-vent. Au-dessus de ce tuyau se trouve une ouverture O, qui communique avec un petit cylindre P, dans lequel se meut un piston *c*, dont la tige *t*, est liée par le moyen de leviers coudés et de bielles *l*, *k*, etc., à la valve d'arrivée de la vapeur motrice, ou à la vanne d'arrivée de l'eau, suivant que le moteur est une machine à vapeur ou une roue hydraulique; de sorte que celle-ci se trouve réglée par la pression de l'air, sous le piston *c*, qui demeure ainsi sensiblement constante.

Lorsque le moteur est une roue hydraulique et que l'on a peu de place, on dispose le cylindre soufflant au-dessus d'un arbre parallèle à l'arbre de couche de la roue, qui communique avec ce dernier, au moyen d'un engrenage, et qui est lié par des manivelles coudées et des bielles à la tige du piston de la machine, dont le mouvement rectiligne est assuré par deux glissières verticales dans lesquelles roulent des galets portés sur une tringle horizontale qui, en son milieu, est fixée à la tige du piston.

Les machines soufflantes à cylindre alésé en fonte rendent 50 à 55 p. 100 d'effet utile, c'est-à-dire du travail transmis à l'arbre moteur. (Voy. MACHINE A VAPEUR, l'étude de l'emploi de la vapeur à la mise en mouvement des soufflerie.)

On a modifié et établi bien plus économiquement les machines soufflantes à vapeur, nécessaires pour la marche des hauts fourneaux, en augmentant les vitesses des deux pistons montés sur la même tige. MM. Cadiat et Thomas et Laurens ont employé des machines à vapeur à haute pression et à action directe qui ont donné de très-bons résultats. Ces derniers ont remplacé avec succès, par des tiroirs commandés par la machine, les clapets d'entrée et de sortie d'air, dont l'action était bien moins sûre.

On est arrivé à donner aux pistons, au lieu de $0^m,60$ à 1 mètre, des vitesses de $3^m,25$ à $3^m,80$.

Nous donnons ci-contre la figure d'une construction de ce genre exécutée en Angleterre et fort bien disposée pour une marche rapide du piston (fig. 4 et 5) par l'action directe de la machine à vapeur

Dans le modèle de Seraing, souvent reproduit, les cylindres sont verticaux, le petit cylindre à vapeur au-dessous du gros cylindre à air.

En ramenant l'air à 0° et à la pression $0^p,76$, la quantité à insuffler en une minute par chaque kilog. de carbone solide à convertir en oxyde de carbone dans le même temps, est, d'après MM. Thomas et Laurens de $4^{mc},41$; ces ingénieurs ont reconnu qu'un kilog. de charbon de bois, débarrassé de 7 p. 100 d'eau, de 2 p. 100 de cendres et de 14 p. 100 de matières volatiles, ne présente plus chargé au gueulard d'un haut fourneau que $0^k,765$ de charbon solide, exigeant alors $3^{mc},374$ d'air à la tuyère par minute.

Le coke moyen renfermant 5 p. 100 d'eau, 3 p. 100 de matières volatiles et 12 p. 100 de cendres donne $0^k,800$ de carbone solide par kilog. de coke chargé au gueulard, et exige $3^{mc},528$ pour être converti en oxyde de carbone.

En prévision des pertes d'air, on peut, en pratique, injecter 35 pour 100 d'air en plus de la quantité calculée.

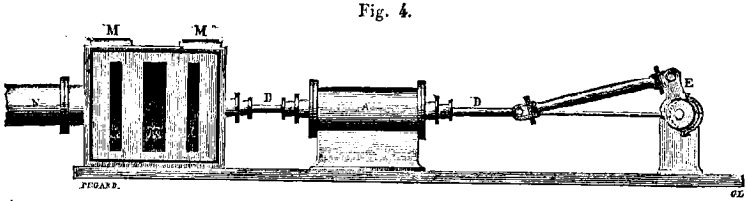
Pistons sans garniture. Un mécanicien nommé Moussard a reconnu que l'on pouvait supprimer dans les soufflerie les garnitures, et par suite le frottement du piston, et laisser à ce dernier un certain jeu, en le faisant mouvoir avec une assez grande vitesse et pratiquant sur son pourtour une série de cannelures ou rainures annulaires dans lesquelles il s'établit, pendant le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement, des remous qui suffisent pour s'opposer au passage de l'air d'une face du piston sur l'autre. M. De-

tées à 45° l'une de l'autre sur l'arbre moteur. Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont disposées

Fig. 4.



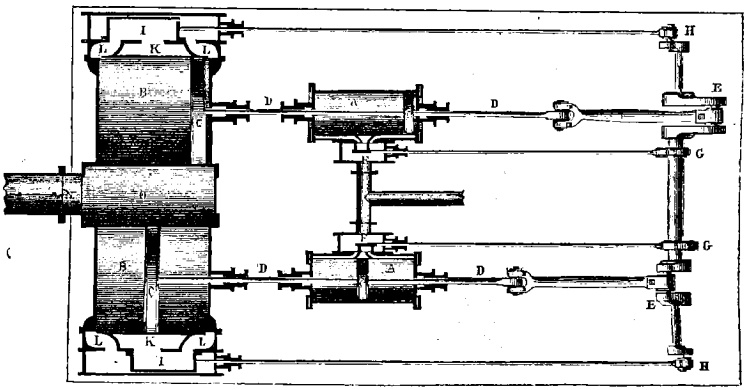


Fig. 5.

leuil a établi sur ce principe des pompes pour comprimer l'air, qui ont bien fonctionné. Nous avons établi très-économiquement d'après ce principe un soufflet de la force de trois chevaux, et qui nous a donné d'excellents résultats. Nous allons en donner la description:

comme des âmes de soufflets; pour les premières on a percé dans les fonds des soufflets, avec une mèche de 15 millimètres, six rangées de trous, et pour les secondes, trois rangées de trous de même diamètre à la partie supérieure et inférieure de la face qui donne dans la

La soufflerie se compose de deux soufflets à double effet (fig. 6) juxta-

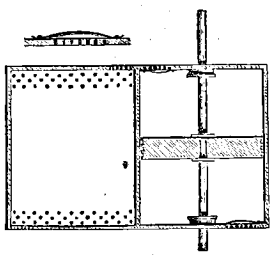


Fig. 6.

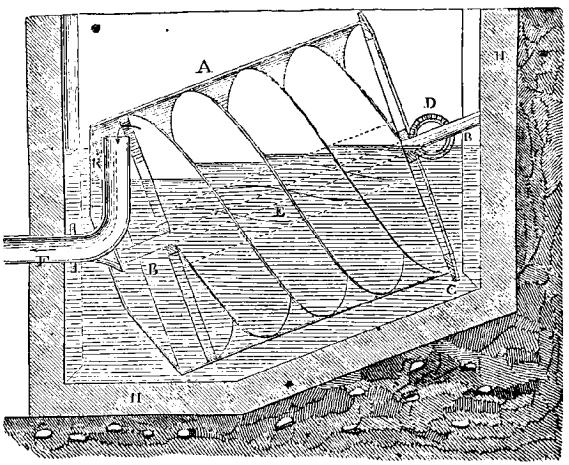


Fig. 7.

posés dont les caisses en bois ont 0m,50 de côté sur 0m,60 de hauteur. Le piston est carré, a un décimètre d'épaisseur et porte sur tout son pourtour cinq cannelures équidistantes d'environ un centimètre de profondeur. Il y a aussi peu de jeu que possible entre le piston et les parois, à cela près qu'il n'y ait pas de frottement. Les tiges des pistons sont en fer; elles traversent dans des boîtes à étoupes les deux fonds des soufflets; elles sont guidées dans leur mouvement par des coulisseaux et menées par des manivelles montées à 45° l'une de l'autre sur l'arbre moteur. Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont disposées comme des âmes de soufflets; pour les premières on a percé dans les fonds des soufflets, avec une mèche de 15 millimètres, six rangées de trous, et pour les secondes, trois rangées de trous de même diamètre à la partie supérieure et inférieure de la face qui donne dans la caisse à vent; ensuite on a formé chaque soupape avec une peau de veau passée au dégras, coupée en rectangle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et fixée par les quatre coins d'une manière assez lâche au moyen de vis. Les pistons donnent de 50 à 60 doubles coups par minute.

Ce système de soufflerie exige des caisses à vent ou régulateurs de beaucoup plus faibles dimensions que les

MACHINES SOUFFLANTES.

C'est Caguiard de Latour qui a fait le premier, en 1809, l'application de la vis d'Archimède comme machine soufflante. Cette machine a reçu le nom de *Cagniardelle*, d'après celui de son inventeur. La figure 7 qui représente la coupe d'une de ces ma-

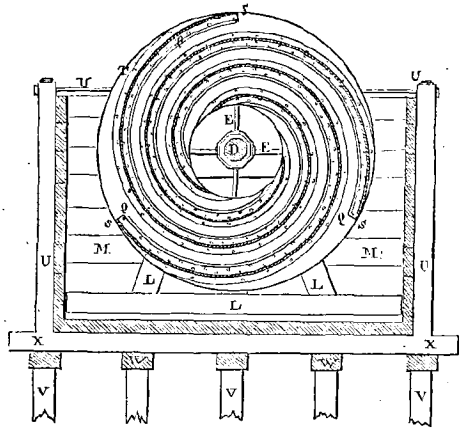
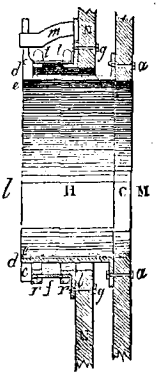


Fig. 8.

Fig. 10.



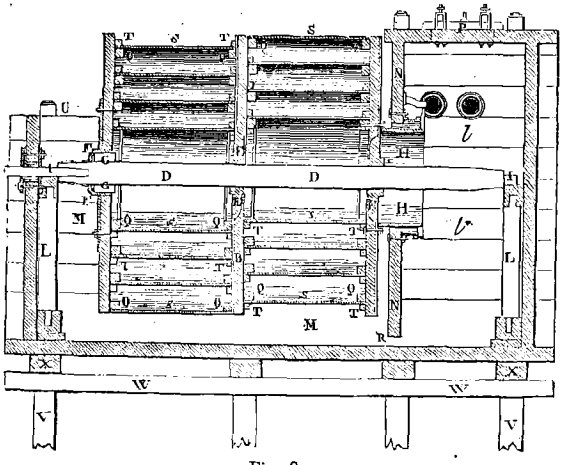


Fig. 9.

chines établie à Mulhouse, dans la fonderie de MM. Alexandre Kœchlin et compagnie, et fournissant 35 mètres cubes d'air sous une pression de 27 millimètres de mercure, avec une vitesse de six tours par minute : A, cylindre en tôle formant le corps de la vis; B, axe de ce cylindre fixé dans une position inclinée, et autour duquel tourne le cylindre; C, grande roue d'angle fixée au corps de la vis; D, pignon engrenant avec la roue précédente et mis en mouvement par la machine à vapeur de l'établissement; E, tube central pour la circulation de l'eau : il est quelquefois remplacé par un noyau plein, l'eau se dégageant alors simplement à la partie inférieure de la vis qui est ouverte; F, tuyau coudé dont l'embouchure est au-dessus du niveau de l'eau du réservoir R, et qui conduit au porte-vent l'air refoulé de haut en bas par chacune de quatre spires de la vis; H, bassin en maçonnerie ou en bois contenant l'eau dans laquelle la vis est plongée.

autres machines à pistons; il peut être facilement établi en fonte et avec beaucoup d'économie, vu la grande vitesse à laquelle il doit fonctionner (lorsqu'il est construit en fonte il peut donner jusqu'à 200 et 300 coups de piston par minute), ce qui n'offre nul inconvénient, puisque les pistons ne frottent pas sur les parois du corps du soufflet et permet de réduire dans des proportions énormes les frais de volume de l'appareil, de poids et d'alésage de la fonte et en général tous les frais de premier établissement.

Cagniardelle. Il nous reste encore à parler de deux machines soufflantes qui diffèrent totalement des précédentes et agissent d'une manière continue; ce sont la vis d'Archimède et le tympan de la Faye employés comme machines soufflantes.

Le *tympan de la Faye* a été employé pour la première fois, comme machine soufflante, en Transylvanie, vers 1840, par M. Débreczeny (voir notre Mémoire, *Annales des Mines*, 4me série. tome VI, p. 113, 1844). Les figures 8 et 9 donnent deux coupes verticales de cette machine, et la figure 10 représente, à une plus grande échelle, l'assemblage du tympan avec la caisse à vent. Le tympan est composé de deux compartiments contigus : A, B,, C, sont les trois joues du tympan; deux d'entre elles B et C sont percées en leur centre d'ouvertures circulaires. Les joues B et C sont reliées à l'axe D, par les bras, E, E'. La joue A est également fixée par des boulons à une pièce de fonte F, assujettie sur l'axe D, par des cales en bois G, G. I, I, sont les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tourillons avec leurs coussinets supportés par les piliers L, L. Le tourillon I de l'axe moteur vient s'assembler à l'axe D du tympan, après avoir traversé une boîte à étoupes K, qui sert à empêcher l'eau de sortir de la bâche M, où elle doit être maintenue exactement à la hauteur de l'axe du tympan. H est le cylindre par lequel l'air s'échappe du tympan pour pénétrer dans la caisse à vent *l*, dans laquelle on peut entrer à l'aide du trou d'homme P. La caisse à vent *l* communique à sa partie inférieure avec la bâche M, par l'ouverture R, pratiquée dans la cloison verticale N, de sorte que l'eau s'y élève au même niveau. Les supports Q, des cloisons en tôle S,..., sont en bois de chêne, et fixés sur les joues en bois A, B, C, à l'aide de vis également en bois, le long des courbes tracées sur ces joues, d'après le même procédé que l'on suit pour le tracé des volutes en architecture. Les cloisons en tôle S,..., sont fixées par des vis à bois sur les supports Q,..., et mastiquées avec un lut imperméable à l'eau; en outre, elles sont recouvertes à leurs extrémités par des lisières en bois T,..., chevillées sur les joues A, B, C, U, sont les barres en bois, et U', les tirants en fer qui relient tout l'appareil. V, sont les pilotis qui supportent les deux lits de charpente en bois W, X, sur lesquels repose toute la machine.

Le cylindre H est figuré plus en grand avec tous ses détails d'assemblage (fig. 40). Il est assemblé sur la joue C, à l'aide des boulons *a*, et se meut librement dans l'intérieur d'une ouverture circulaire pratiquée dans la paroi N, qui sépare la caisse à vent *l*, de la bâche M. Un anneau en fonte *b*, est assujetti sur la paroi N, à l'aide des vis *g*, et un autre anneau *d*, est aussi fixé sur le cylindre H, à l'aide des vis *e*. Cet anneau *d*, tourne dans un anneau concentrique *c*, fixé à la paroi N, par la potence *m*. Un godet à huile et un trou qui traverse *c*, permettent de faire arriver constamment un peu d'huile entre les surfaces de frottement. Enfin, les deux anneaux *b* et *c*, sont reliés entre eux par un cylindre en cuir *f*, recouvert d'une couche de caoutchouc et serré par deux anneaux à charnières *r*, *r*, qui se ferment à l'aide de vis *t*, et sont fixés sur *b* et *c*, comme on le voit sur la figure. Pour diminuer le frottement et soulager la potence *m*, l'anneau *c*, se trouve équilibré par un contre-poids.

Au bout de quelque temps, et par suite du poli qu'acquièrent les surfaces frottantes des anneaux *d* et *c*, le frottement devient sensiblement nul.

La machine recevant un mouvement de rotation autour de son axe, les cloisons en spirale S, en arrivant dans l'eau, emprisonnent une certaine quantité d'air qui, allant de la circonférence au centre, se rend dans le noyau creux du tympan, et de là dans la caisse à vent. La pression de l'air est d'autant plus grande que le mouvement de rotation est plus rapide; la limite supérieure de ces deux quantités varie avec les dimensions du tympan. Cette limite est de 5 tours 1/2 pour le tympan que nous venons de décrire ; la pression du vent est alors de 45 millimètres de mercure, et la machine peut alimenter deux feux d'affinerie.

L'établissement de ces machines est très-peu coûteux, et leur effet utile de fort peu inférieur à celui des meilleures machines à piston et à cylindre en fonte alésé.

MM. Suchet, Motte, etc., ont aussi employé comme machine soufflante des vis consistant en un noyau plein auquel est fixé une spire d'une cloison héliçoïde. Cet appareil est placé dans un cylindre dont le contour est rasé par les bords de la cloison héliçoïde à laquelle on imprime un mouvement de rotation continu. On donne à la vis un noyau suffisamment gros pour éviter l'existence de deux courants d'air en sens inverse, l'un le long de l'axe, l'autre près des parois du cylindre. Lorsqu'on fait tourner la vis dans un sens, l'air qui la remplit ne peut être délogé, et ne peut circuler en sens inverse du mouvement de rotation imprimé à la vis, qu'en vertu de la pression déterminée par le choc de l'orifice antérieur de la vis sur l'air que cet orifice vient frapper, et du vide déterminé en arrière de son orifice postérieur, par suite du même mouvement. Il n'y a là aucun effet de force centrifuge, car l'air peut sortir de la vis à la même distance de l'axe de rotation où il est entré, il n'y a aucune raison pour que les choses se passent autrement. En un mot, la cause qui fait circuler l'air dans les canaux héliçoïdes, dont on peut concevoir le creux de la vis comme composé, est la même que celle qui ferait circuler de l'eau ou de l'air dans un tuyau rectiligne, ouvert par les deux bouts, auquel on imprimerait un mouvement de translation, au milieu d'une masse d'eau ou d'air stagnante, dans une direction formant, avec l'axe du tuyau, le même angle que chaque canal héliçoïde forme avec le plan perpendiculaire à l'axe de la vis, plan qui est celui du mouvement de rotation.

En changeant le sens du mouvement de rotation, la vis, de soufflante qu'elle était auparavant, devient une machine aspirante. Elle a été appliquée en Belgique à l'aérage de quelques mines. Son effet est un peu inférieur à celui des ventilateurs bien construits. Ces divers appareils, destinés à extraire de grands volumes d'air, à de faibles pressions sont décrits à l'article VENTILATION.

Ventilateur. (Voy. ce mot au *Complément.*)

Régulateurs. Lorsqu'on a besoin d'un vent très-régulier, que ne peuvent donner la plupart de ces systèmes, on interpose entre la machine soufflante et le porte-vent un appareil qui porte le nom de *régulateur.* Ces régulateurs sont tantôt d'un grand volume, en tôle, en fonte, en bois et en maçonnerie, et à capacité constante, tantôt à poids constant : ces derniers sont de véritables gazomètres, analogues à ceux des usines à gaz, mais plus petits, ce sont alors des *régulateurs à eau;* tantôt ils sont composés d'un cylindre muni d'un piston mobile chargé d'un certain poids, ce sont des *régulateurs à piston.*

Formule générale. Lorsqu'il s'agit d'établir une machine soufflante produisant un effet déterminé, la force motrice à employer est donnée en chevaux-vapeur par la formule :

$$F = \frac{1}{m} \times \frac{1}{n} \times 1{,}768 \times (1 + 0{,}0037\,t) \times \frac{h}{0{,}75 + h} \times P$$

dans laquelle :

m, est le coefficient qui exprime l'effet utile de la machine motrice ;

n, le coefficient qui exprime l'effet utile de la machine soufflante;

t, la température de l'air dans le porte-vent;

h, l'excès de pression de l'air, dans le porte-vent, sur la pression atmosphérique, mesuré en mètres de mercure;

Et P, le poids de l'air à lancer par minute, en kilogrammes.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un feu d'affinerie comtois à l'air froid (voyez FER), dont la soufflerie consiste en deux soufflets pyramidaux mus par une roue à augets en dessus; on aura :

$m = 0{,}75.$
$h = 0{,}25.$
$t = 12^{o}.$
$h = 0{,}035.$
$P = 5^{k},20.$

En substituant :

$$F = \frac{1}{0{,}75} \times \frac{1}{0{,}25} \times 1{,}768 \times (1 + 0{,}00337 \times 12) \times \frac{0.035}{0{,}75 + 0{,}035} \times 5{,}20 = 2^{ch},14.$$

Le cours d'eau moteur doit donc avoir une force de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$2^{cb},14$, c'est-à-dire fournir 160 litres 1/2 par seconde, tombant de 1 mètre, ou plus généralement, V étant son débit en litres par seconde, et H sa chute en mètres, on doit avoir $VH = 160,50$.

Si la machine soufflante était à piston et à cylindre alésé en fonte, on aurait $n = 0,50$ et $F = 1^{cb},07$. Voy. MACHINES SOUFFLANTES, *Complément*.

P. DEBETTE.

MAÇONNERIE. On désigne, en général, sous le nom de maçonnerie, toute construction dans laquelle la pierre entre comme élément principal. Ce mot signifie également l'art de mettre en œuvre les matériaux : cette double acception lui est commune avec presque tous les mots servant à désigner les arts mécaniques.

Il est à remarquer que, si les peuples modernes ont laissé bien loin derrière eux les peuples anciens dans l'art des constructions en général, cette supériorité n'existe plus dans les travaux de maçonnerie. Les Grecs et les Romains ont fait preuve d'une habileté et d'un art consommés dans le choix et la mise en œuvre des matériaux qu'ils employaient aux constructions d'apparat, et même à celles qui n'avaient d'autre but que l'utilité. Sans porter nos explorations jusqu'en Italie, où les souvenirs des Romains se retrouvent à chaque pas, il nous suffira de citer en France les arènes et la Maison carrée de Nîmes, le pont du Gard, les arènes d'Arles, etc. Ce n'est pas seulement par leur caractère de grandeur et d'élégance que ces monuments doivent servir de modèles aux ingénieurs et aux architectes; le choix minutieux des matériaux, le soin avec lequel ils sont assemblés, nous offrent aussi le meilleur exemple à suivre.

La France abonde heureusement en matériaux propres aux travaux de maçonnerie : en première ligne, il faut citer les granites de Cherbourg, de la Bretagne, de l'Auvergne et de quelques localités du midi de la France. Ces matériaux, dont la durée est bien connue, présentent l'inconvénient d'être très difficiles à tailler, très lourds, et par suite d'un transport difficile et coûteux; aussi ne sont-ils guère employés qu'à certaines parties des constructions exposées à des chocs et à une fatigue continuelle, telles que les bordures des trottoirs, les dallages, les bornes, les soubassements de certains édifices, les piédestaux, etc. Certaines espèces de granite sont susceptibles de recevoir un très beau poli, elles ont été employées comme pierres d'ornement dans l'antiquité, et notamment dans les colonnes des anciens temples et des palais d'Egypte; c'est aussi dans le granite qu'étaient taillés les obélisques qui conservent encore, après plus de 3000 ans, toute la vivacité de leurs arêtes, comme on peut s'en convaincre en examinant celui de Louqsor.

Après les granites, et dans l'ordre de durabilité, viennent les calcaires des terrains secondaires et ceux des terrains tertiaires. Les premiers sont d'une dureté remarquable, et par suite très difficiles à tailler; mais, à cause même de cette dureté, ils conservent longtemps la vivacité de leurs arêtes, et sont par cela même très propres aux constructions d'un ordre très élevé.

Les calcaires des terrains tertiaires abondent en France, et fournissent aux constructeurs en grande abondance le moellon et la pierre de taille. Moins durs que les calcaires des terrains secondaires, ils offrent cependant une solidité et une résistance suffisantes pour être employés dans les grandes constructions. La ville de Paris est entièrement bâtie avec des matériaux de cette nature. Parmi les plus durs et les plus résistants, il faut citer la meulière, qui est d'un emploi général et souvent obligé dans les constructions les plus exposées à l'humidité, telles que les égouts, les fosses d'aisance, etc.; la meulière résiste aussi très bien aux chocs; c'est pour cela qu'elle a été employée exclusivement dans les fortifications de Paris. Dans quelques localités, et notamment dans les Vosges, on emploie aussi le grès comme pierre à bâtir; mais le grès a presque toujours le défaut d'être ou trop dur ou trop tendre. Dans le premier cas, il est d'une taille difficile et coûteuse; dans le second, au contraire, il ne peut conserver la vivacité des arêtes. On trouve cependant, dans les Vosges, des couches de grès qui donnent une bonne pierre de taille, c'est celle qui a servi à la construction de la cathédrale de Strasbourg.

Dans le midi de la France, on emploie aux constructions la craie blanche qui, dans ces contrées, jouit d'une assez grande dureté.

Choix et mise en œuvre des matériaux. Il s'en faut de beaucoup que tous les matériaux provenant d'une même carrière soient également propres à bâtir. Les bancs supérieurs donnent, en général, des pierres beaucoup moins dures et moins résistantes qui ne doivent jamais être employées dans les parties apparentes des ouvrages en maçonnerie. En outre, les différents bancs sont souvent séparés par des matières terreuses qui adhèrent plus ou moins aux matériaux de bonne qualité, et que l'on doit en séparer avec soin; c'est ce qu'on appelle *ébousiner* les moellons ou la pierre de taille. Certaines pierres qui paraissent très dures sont incapables de résister à l'action de la gelée, sous l'influence de laquelle elles se fendent en tous sens. C'est surtout dans le calcaire dur, qui abonde dans la vallée de la Seine, que ce défaut se rencontre le plus souvent. L'habitude de l'emploi de ces matériaux peut seule faire connaître ceux qui sont défectueux; cependant on peut les distinguer, en général, en ce qu'ils offrent une teinte plus blanche, et qu'ils se fendent facilement sous l'action du marteau. On les désigne sous le nom de pierres gélives. Il arrive que des pierres d'une assez bonne nature deviennent gélives pour avoir été employées immédiatement après leur extraction de la carrière. Il faut toujours laisser écouler quelques semaines entre cette opération et la mise en œuvre des matériaux. Enfin, quelle que soit la nature plus ou moins résistante des pierres que l'on emploie, il faut toujours avoir le soin de les poser sur leur lit de carrière, surtout lorsqu'elles ont un poids considérable à supporter : si l'on n'avait pas soin de suivre cette règle, on compromettrait la sûreté des constructions que l'on élève.

Certains travaux de maçonnerie sont entièrement exécutés en pierres de taille, c'est-à-dire en pierres d'un échantillon assez fort, et dont les parties apparentes ou parements sont taillées régulièrement suivant des surfaces planes ou courbes : ce sont les constructions de luxe, les monuments, les grands ouvrages d'art, tels que les grands ponts et viaducs situés dans le voisinage ou dans l'intérieur des villes; mais ces constructions sont très coûteuses. Aussi, dans les travaux ordinaires, on emploie de préférence le moellon, c'est-à-dire une pierre de petite dimension, dont le parement est dressé avec beaucoup moins de soin. Cependant, dans les travaux qui exigent une grande solidité, les angles, les cordons, les parapets, sont presque toujours en pierre de taille. C'est ainsi que sont bâtis, en général, les murs de clôture et de soutènement, les ponts et ponceaux pour routes, canaux et chemins de fer, la plupart des maisons d'habitation et des grands établissements d'industrie, les hôpitaux, magasins, etc.

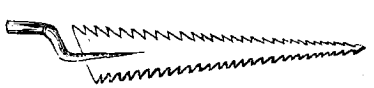
Il ne suffit pas d'avoir à sa disposition de bons matériaux pour faire des constructions solides et durables; il est indispensable aussi d'y employer des mortiers de bonne qualité et convenablement préparés. Nous ne ferons pas ici la description complète des mortiers, qui seront l'objet d'un autre article; nous nous bornerons à dire que la chaux et le sable qui les composent doivent être choisis avec beaucoup de soin. La chaux doit être bien éteinte, et présenter, après cette opération,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une pâte solide et parfaitement homogène ; on doit l'abriter du contact de l'air jusqu'au moment où elle est mélangée avec le sable. Celui ci doit être entièrement pur de matières étrangères. Cette condition est toujours mieux remplie par le sable de rivière; aussi est-il préféré. Cependant on trouve quelquefois du sable de plaine tout aussi pur, et qu'on peut employer sans inconvénient. Pour les constructions en pierre de taille, où les joints ont très peu d'épaisseur, on doit prendre du sable très fin : les proportions employées ordinairement sont de 3 de sable et 1 de chaux. Dans les constructions hydrauliques, c'est-à-dire exposées au contact de l'eau, on emploie, pour la fabrication des mortiers, de la chaux hydraulique naturelle ou artificielle qui a la faculté de durcir sous l'eau, tandis que la chaux ordinaire n'y acquiert jamais de consistance. La chaux hydraulique est donc toujours employée dans la construction des murs de quai, des piles et culées des ponts, et souvent dans les voûtes des tunnels, lorsqu'ils traversent des couches de terrain où s'infiltrent les eaux en plus ou moins grande quantité.

La solidité des ouvrages en maçonnerie dépend naturellement des fondations sur lesquelles ils sont établis ; cette première partie du travail doit donc être l'objet de toute l'attention de l'ingénieur et de l'architecte. Il est nécessaire de s'assurer avant tout de la nature du sol sur lequel on se propose de bâtir. Lorsque l'ouvrage que l'on veut construire est destiné à supporter un grand poids, à résister à une poussée considérable, il est indispensable que la surface sur laquelle repose la première assise de maçonnerie soit incompressible, ou du moins que la compressibilité soit assez peu considérable et assez uniforme pour que les tassements qui peuvent en résulter, dans la maçonnerie, soient peu sensibles, et n'occasionnent pas de disjonctions dans les diverses parties du travail, de telle sorte que l'on n'ait à redouter ni déchirements ni lézardes. Il arrive fréquemment que, après avoir poussé le creusement des fouilles des fondations jusqu'à plusieurs mètres de profondeur, on est loin d'avoir atteint un sol qui remplisse ces conditions. Il est nécessaire alors, si l'on ne veut pousser les fouilles plus avant, de substituer à la résistance insuffisante du sol une résistance artificielle : pour cela, on a recours au *battage des pieux*. On nomme *pieux* des pièces de charpente dont la longueur varie suivant les circonstances, et d'un diamètre de 0m,25 à 0m,40, taillés en pointe à leur extrémité inférieure, qui est revêtue d'un sabot en fer, tandis que leur bout supérieur est armé d'une *frette* ou cercle également en fer; on enfonce ces pieux dans le sol au moyen d'une machine nommée *sonnette*, et qui se trouve décrite au mot CHOC. La frette, dont le bout supérieur des pieux est revêtu, a pour but d'empêcher qu'ils ne s'écrasent sous les coups répétés qu'ils reçoivent pour s'enfoncer dans le sol. Lorsque les pieux sont arrivés à une profondeur telle qu'ils ne s'enfoncent plus que de quelques millimètres pour dix coups successifs, ils sont considérés comme étant *au repos;* alors on les recèpe, c'est-à-dire qu'on les coupe suivant un plan horizontal à leur partie supérieure; puis on établit sur ces pieux un *grillage* en charpente, et c'est sur ce grillage qu'on établit la première assise des fondations, qui consiste ordinairement en pierres d'un fort échantillon nommées *libages*. Cette méthode est souvent employée pour les travaux exécutés en lit de rivière, pour les murs de quai, etc. Le plus souvent, lorsque les fouilles atteignent un bon sol sans qu'on soit arrivé à une très grande profondeur, ou même, lorsque ce cas se présente, on remplit les fouilles jusqu'à une hauteur voisine du sol avec du *béton*. Le béton est un mélange de cailloux et de mortier fait à l'avance avec beaucoup de soin. Nous ne décrirons pas ici la fabrication du béton dont il est question dans un autre article; nous dirons seulement qu'il doit être employé aussitôt après la préparation. Pour cela, on le verse dans la fouille des fondations par couches d'environ 0m,45, que l'on a soin de pilonner avec soin, en laissant un intervalle de plusieurs heures entre chaque série de trois ou quatre couches successives. Il est bien entendu que, lorsqu'il s'agit de constructions exposées, même accidentellement, au contact de l'eau, le mortier qu'on emploie à la fabrication du béton doit être hydraulique. On peut, dans les localités où le caillou est rare, le mélanger avec une certaine quantité de fragments de pierre. On emploie aussi fréquemment le béton pour fonder les piles et les culées des ponts construits sur les cours d'eau. (Voyez PONT.)

Dans tout ouvrage de maçonnerie la face extérieure prend le nom de parement; les murs de clôture ont donc deux parements. Les parements s'exécutent avec plus ou moins de soin, suivant la nature des travaux. Lorsqu'il s'agit de constructions importantes où l'on emploie la pierre d'appareil, cette pierre est taillée avec soin sur la face extérieure et jusqu'à une certaine profondeur sur ses deux faces latérales que l'on nomme *faces de joint* et sur ses deux faces horizontales qui portent le nom de *lits*. Les pierres sont toujours disposées par rangées horizontales ou *assises* dont la hauteur varie de 0m,30 à 0m,80 à peu près. Les joints sont garnis avec beaucoup de soin de mortier fait, comme nous l'avons dit, avec du sable très fin pour qu'il se répande uniformément sur les deux surfaces qu'il est destiné à lier entre elles. On emploie pour le couler et l'étendre uniformément un outil nommé *fiche* (fig. 1491). Dans la maçonnerie de pierre de taille les joints verticaux ne doivent pas avoir plus de 5 millim. d'épaisseur et les joints horizontaux pas plus de 3 millimètres. Il faut avoir soin de disposer les pierres de parement, de telle sorte



1491.

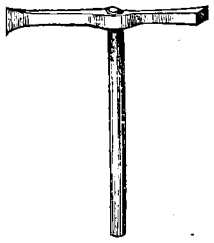
qu'elles se lient parfaitement avec le reste de la maçonnerie, de manière que le tout forme une masse compacte; il suffit pour cela de varier la longueur de chaque pierre dans le sens perpendiculaire au parement.

La maçonnerie qui existe derrière le parement s'exécute avec des matériaux de dimensions variables et qu'il est inutile de tailler; il suffit d'en détacher les portions terreuses. On peut même pour cette partie des travaux utiliser les matériaux qui seraient susceptibles de se fendre sous l'action de la gelée s'ils étaient employés en parement.

Le plus souvent les parements des ouvrages de maçonnerie se font en moellons que l'on dispose aussi par assises réglées qui portent le nom de *rangs* et dont on taille aussi la face, les joints et les lits. Mais ce travail ne s'exécute pas, à beaucoup près, avec autant de soin que pour la pierre d'appareil; dans ce cas, en effet, la taille est faite par des ouvriers spéciaux et quelquefois, par l'habileté de l'exécution et la variété des formes, elle rentre presque dans le domaine de la sculpture, pour le moellon, au contraire, il suffit de lui donner une surface sensiblement plane ; les maçons n'emploient pour cela qu'un seul outil nommé *hachette* (fig. 1492). Le moellon ainsi préparé se nomme moellon piqué ou moellon essemillé. Le premier diffère du second en ce que sa face apparente et ses joints sont taillés avec autant de soin qu'en comporte la hachette, tandis que le moellon essemillé est dressé grossièrement de manière à obtenir des moellons de même hauteur pour un même rang. Les joints entre les moellons ont 1 ou 2 centimè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tres d'épaisseur. Il est important pour la stabilité des ouvrages que les moellons ne se touchent jamais, mais



1492.

qu'ils soient toujours séparés par une couche de mortier plus ou moins épaisse. Le mortier est manié avec un outil nommé truelle de maçon (fig. 1493).

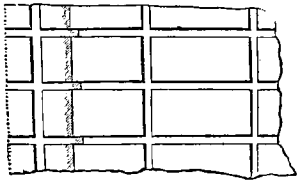
Dans la maçonnerie en moellons il faut avoir soin aussi de bien lier le parement avec la masse de la maçonnerie; on obtient une bonne liaison en variant les dimensions des moellons séparément dans le sens de l'épaisseur de l'ouvrage, c'est-à-dire en leur donnant plus ou moins de *queue*. Il faut aussi, de distance en distance, employer des matériaux qui traversent à peu près toute l'épaisseur de la construction; on conçoit facilement que ces matériaux, que l'on nomme *parpaings*, contribuent puissamment à la stabilité des constructions. On doit dans toute espèce de maçonnerie éviter que des joints verticaux se prolongent dans diverses assises successives. Si l'on ne prenait cette précaution les dégradations qui sont dues soit à l'infiltration des eaux, soit à la gelée, se propageraient rapidement sur toute la face d'un ouvrage.



1493.

Dans les parements de la maçonnerie de pierre de taille, les joints présentent diverses dispositions; les plus usitées sont celles que nous représentons ici (fig. 1494, 1495 et 1496).

Dans la maçonnerie de moellons piqués ou essemillés les joints se font pendant l'exécution ou après coup, on leur donne autant que possible une largeur uniforme, et souvent dans les travaux moins soignés, les murs de clôture, par exemple, le mortier s'étend sur les moellons



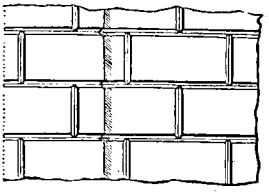
1494. *Bossage à joints droits.*

contigus, de manière à recouvrir une partie de leur surface; c'est ce qu'on appelle joint perdu.

On donne le nom de *limousinerie* à la maçonnerie construite en moellons non parementés; c'est ainsi que se font en général les fondations des bâtiments.

Lorsqu'une construction en pierre de taille est achevée, on procède au *ravalement*. Cette opération consiste à retoucher les angles et les parties apparentes des pierres en ce que la taille présente d'imparfait. Dans les maisons d'habitation et dans les édifices publics, les

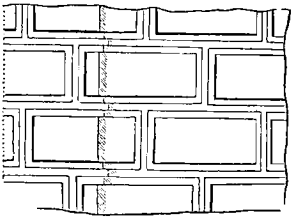
moulures des bandeaux, des fenêtres et en général tous les ornements sont taillés sur place après coup dans la



1495. *Bossage à onglets.*

pierre qui présente les saillies nécessaires pour le complément du travail.

Dans les constructions exposées à l'humidité, au contact de l'eau, on fait ordinairement les joints en ciment



1496. *Bossage à double épaisseur.*

romain. Ce travail demande des ouvriers habiles et expérimentés; les joints sont faits après l'achèvement de la maçonnerie, et il est nécessaire que le mortier ordinaire, qui a été employé pendant la construction, soit enlevé avec soin sur une profondeur de 1 centimètre au moins, pour que le ciment puisse adhérer solidement à la surface des matériaux.

Dans les maisons d'habitation dont les murs doivent être recouverts en plâtre, on emploie aussi fort souvent, pour la construction, du plâtre au lieu de mortier; le plâtre a l'avantage de sécher plus vite que le mortier et peut être employé sans inconvénient dans les constructions qui ne supportent pas des poids ou des poussées considérables.

On construit assez souvent des murs de clôture et de soutènement en pierres sèches, c'est-à-dire sans employer aucune substance pour les lier entre elles. Lorsqu'on dispose des matériaux de fortes dimensions, ces murs présentent une solidité suffisante; mais lorsqu'on y emploie des pierres de faible échantillon, comme cela se pratique souvent pour les murs de clôture, ces murs sont sujets à de fréquentes dégradations, ce qui est facile à concevoir, du reste, puisque les diverses parties de la construction n'ayant aucune liaison entre elles il suffit d'un effort peu considérable pour les déplacer.

On emploie aussi souvent dans la construction des murs de clôture de la terre en guise de mortier. De semblables modes de constructions sont toujours très imparfaits et doivent être toujours exclus des travaux de quelque importance.

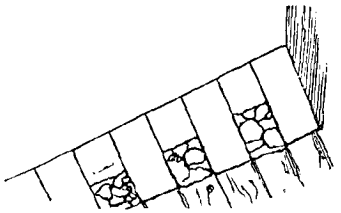
Les murs de soutènement présentent, en général, une inclinaison ou *fruit* qui est très variable. Autrefois, dans les revêtements des fortifications, le fruit était de $\frac{1}{8}$ ou de $\frac{1}{6}$ de la hauteur. L'expérience a démontré que cette grande inclinaison avait le grave inconvénient de faciliter la végétation des plantes parasites entre les joints, ce qui était une cause très fâcheuse de dégradation dans ces ouvrages. Le fruit le plus usité dans les fortifications actuelles est de $\frac{1}{20}$; dans les constructions civiles pour canaux, routes, chemins de fer, etc., le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fruit est ordinairement de $\frac{1}{12}$, pour les murs en aile des ponts, murs de soutènement, etc.

L'épaisseur des murs de soutènement est variable suivant la nature des matériaux, cependant elle est le plus souvent à la base égale au tiers de la hauteur du mur.

Perrés. Lorsque les talus d'un remblai sont exposés à de fréquentes dégradations, soit par l'action des eaux, soit par toute autre cause, on revêt en maçonnerie leur partie inférieure (fig. 1497); ce revêtement porte le nom de *perré*. Il se fait en mortier et en ciment ou en pierres sèches, suivant le plus ou moins de solidité qu'on veut obtenir et la nature des matériaux dont on dispose. Les perrés sont aussi employés pour maintenir les talus de certaines tranchées pratiquées dans des terrains glaiseux et sujets à des glissements. Les chemins de fer des environs de Paris, et entre autres celui d'Orléans, présentent beaucoup d'exemples de ces constructions, mais



1497.

elles sont principalement employées pour maintenir les berges des chemins de halage.

Maçonnerie de briques. Dans les pays où la pierre à bâtir est rare et, par conséquent, coûteuse, on lui substitue les briques, surtout pour les constructions civiles, les maisons d'habitation, murs de clôture; beaucoup de villes d'Angleterre sont presque entièrement construites en briques; il en est de même de la plupart des villes de l'Amérique du Nord. Les briques, par leur forme régulière, se prêtent bien aux constructions ordinaires, mais leur aspect est triste et monotone. Cependant les édifices de la renaissance et même du règne de Louis XIII, où l'on employait la brique combinée avec de la pierre de taille, ne sont pas sans mérite; l'ancienne partie du château de Versailles et la place Royale à Paris sont bâties de ce style. Les briques sont aussi employées fréquemment dans les grands travaux publics; en France et en Angleterre beaucoup de tunnels de chemins de fer sont entièrement revêtus en briques; ce sont aussi les matériaux dont on s'est servi presque exclusivement pour construire les immenses viaducs que l'on remarque sur le chemin de fer de Rouen au Havre.

La mise en œuvre des briques est fort simple; on les dispose par rangées en assises horizontales séparées par couches de mortier d'environ 1 centimètre. On a soin de les placer sur le parement tantôt dans le sens de la longueur, tantôt dans celui de la largeur, pour obtenir une liaison avec le massif de la construction. Ce n'est guère que dans les murs de clôture et dans ceux des maisons d'habitation, qui présentent une faible épaisseur, qu'on emploie la brique seule; ainsi dans les murs de soutènement où la brique est employée pour le parement tout le massif de la construction est en moellons; leurs fondations sont également en moellons ou en libages. Il en est de même dans les pieds-droits des voûtes et ponts construits en brique. Quant aux voûtes elles-mêmes, la brique y est ordinairement employée seule sur toute l'épaisseur lorsque cette épaisseur ne dépasse pas $0^m,60$ environ.

Prix de la maçonnerie. Ces prix sont très variables suivant les localités, la nature des matériaux employés, le prix de main-d'œuvre, et voici les limites entre lesquelles ils sont ordinairement compris :

Maçonnerie en moellons pour fondations, de 10 à 16 francs le mètre cube.

Murs en élévation, construits en moellons ordinaires et mortier de chaux et sable, de 14 à 18 francs.

Les mêmes en meulière, de 18 à 22 francs.

Ceux pour fosses, hourdés en mortier hydraulique, de 20 à 24 francs.

Les murs circulaires et les voûtes d'arêtes et sphériques se payent 1 franc de plus par mètre cube.

La taille des parements des moellons durs et tendres se paye en outre, suivant la nature des moellons, y compris le jointoiement, de 2 fr. 50 c. à 5 fr. le mètre superficiel; celle des parements de meulière se paye jusqu'à 8 francs.

La maçonnerie de pierre de taille se paye de 100 fr. à 130 francs le mètre cube. Le ravalement se paye quelquefois à part, le plus souvent il est compris dans les prix que nous indiquons.

Le béton en cailloux se paye, y compris le battage, de 15 à 18 francs par mètre cube. Le béton de meulière concassée vaut jusqu'à 27 francs, tandis que celui qu'on fabrique avec des fragments de moellons ne vaut que 12 à 15 francs. L'enduit en chaux hydraulique sur béton vaut 1 fr. 25 c. par mètre superficiel.

La maçonnerie en briques se paye beaucoup plus cher que la maçonnerie en moellons; ainsi le mètre cube de briques de Bourgogne pour murs et ouvrages de forte épaisseur, voûtes et massifs, vaut de 70 à 75 francs; la brique ordinaire vaut de 35 à 50 francs.

E. CHEVALIER.

MADRÉPORES. Polypes à têts calcaires, dont l'une des espèces constitue le CORAIL (voyez ce mot).

MAGISTRAL. Voyez ARGENT, *amalgamation américaine.*

MAGMA. Se dit en chimie de tout mélange à l'état de bouillie.

MAGNANERIE. Établissement où l'on élève les vers à soie (voyez SOIE).

MAGNÉSIE (*angl.* magnesia, *all.* talkerde, bittererde). La magnésie est une terre alcaline comme la chaux; c'est une poudre blanche extrêmement légère, douce au toucher, élastique et insipide; elle verdit le sirop de violette; elle est infusible et fixe, et irréductible par le charbon; elle est décomposée au rouge par le chlore gazeux; et elle est très peu soluble dans l'eau qui n'en dissout à froid que 1/6000, et six fois moins à 100°. Elle est composée de :

$$\left.\begin{matrix}\text{Magnésium} & 0{,}613 \\ \text{Oxygène} & 0{,}387\end{matrix}\right\} \text{MgO.}$$

Elle se dissout facilement dans les acides. On l'obtient aisément à l'état d'hydrate en décomposant un sel magnésien soluble, le sulfate, par exemple, par un alcali caustique; l'hydrate renferme un équivalent d'eau, qu'il perd aisément au rouge.

La magnésie, surtout à l'état d'hydrate, est employée en médecine pour dissiper les aigreurs d'estomac, et dans les cas d'empoisonnement par les acides, comme agent de neutralisation.

MAGNÉTISME. Voyez AIMANT et BOUSSOLE.

MALACHITE. Cuivre carbonaté vert (voyez CUIVRE).

MALATES. Sels formés par l'acide malique. Ne sont d'aucun emploi dans les arts.

Acide MALIQUE (*angl.* malic acide, *all.* aepfelsaure). Cet acide se trouve en grande quantité dans les pommes, et surtout dans les fruits du sorbier des oiseaux. Pour l'obtenir, on prend ces fruits, on les écrase, on les épuise par l'eau, on fait fermenter le jus obtenu et on le fait bouillir longtemps; on le filtre, et on sature avec de la chaux; il se précipite du citrate de chaux, et il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reste dans la dissolution du bi-malate de chaux que l'on purifie par plusieurs cristallisations, puis on y ajoute de l'acétate de plomb qui donne un précipité de malate de plomb sous la forme pulvérulente, qui se transforme bientôt en paillettes cristallines très brillantes dont la composition est représentée par la formule $C^8 H^6 O^8 + 2 H^2 O$: c'est un acide bibasique. Par l'action de la chaleur, il donne deux acides pyrogénés, les acides maléique et para-maléique, isomères, mais ayant des propriétés différentes.

MALTHE. Voyez BITUME.

MALLÉABILITÉ (*angl.* malleabity, *all.* hammerbarkeit). La malléabilité est la propriété des corps de changer de forme et de s'étendre en feuilles sous le marteau ou par la pression du laminoir; le plus malléable des métaux est l'or, viennent ensuite l'argent, le platine, le fer, le cuivre, le zinc, l'étain et le plomb. Ainsi que la DUCTILITÉ, qui est la combinaison de la malléabilité et de la ténacité, la malléabilité augmente considérablement par la chaleur. Il est quelquefois un seul point convenable pour le laminage d'un corps, c'est ce qui se voit bien pour le zinc.

MANGANESE (*angl.* manganese, *all.* mangan). Le manganèse n'a été obtenu pour la première fois à l'état métallique qu'en 1774, par Schèele et Gahn; mais on connaissait depuis longtemps un grand nombre de ses combinaisons. Le manganèse métallique ressemble à de la fonte blanche; il est cassant, à cassure cristalline fasciculée; sa densité est de 7,05 ; il n'a ni odeur ni saveur ; il est un peu moins fusible que la fonte et fixe. Il forme six combinaisons définies avec l'oxygène. Au contact de l'air, il se ternit promptement et finit peu à peu par s'oxyder complétement. Il décompose lentement l'eau à la température ordinaire, et très rapidement au rouge. Tous les acides, même les plus faibles, attaquent le manganèse en déterminant la décomposition de l'eau ; lorsque l'acide est concentré et susceptible de céder de l'oxygène, il est décomposé lui-même et souvent simultanément avec l'eau. Il se combine directement avec le chlore, le soufre, le phosphore et l'arsenic. Il peut s'allier avec la plupart des autres métaux à l'aide de la chaleur. A l'état métallique, on a celui d'alliage ; le manganèse n'a aucun emploi dans les arts.

Tous les oxydes de manganèse sont ramenés à l'état d'oxyde rouge par la chaleur blanche, et à l'état de protoxyde par l'hydrogène, le charbon et le soufre, à une température peu élevée. Ils sont complétement réduits par le charbon à la température des essais de fer, mais cette réduction n'a lieu que très lentement par cémentation. Au chalumeau, les oxydes de manganèse donnent avec le borax des verres très fusibles, incolores au feu de réduction et d'une couleur améthiste très belle au feu d'oxydation. Avec la soude, le platine, et en n'employant qu'une très petite quantité d'oxyde, on obtient une perle transparente d'un très beau vert, qui, humectée avec une goutte d'eau, donne une liqueur verte.

Les oxydes de manganèse sont au nombre de six, savoir :

1° *Protoxyde.* On obtient le protoxyde de manganèse en calcinant le carbonate en vase clos et en chauffant ce carbonate ou un oxyde quelconque, au rouge sombre dans un courant d'hydrogène, ou au blanc dans un creuset brasqué. Il est d'un vert plus ou moins beau, infusible. Il ne s'altère pas à l'air à la température ordinaire, mais lorsqu'on le chauffe il se suroxyde et noircit. C'est une base forte. Il se compose de :

Manganèse, 0,7806 } $Mn\,O$.
Oxygène, 0,2194 }

Son hydrate est blanc, mais il brunit promptement au contact de l'air, et se change peu à peu en un mélange de carbonate de protoxyde et d'hydrate de peroxyde. A l'état naissant, il se dissout dans un grand excès d'ammoniaque, mais la dissolution exposée à l'air se trouble et laisse déposer tout le manganèse à l'état d'hydrate de deutoxyde.

2° *Deutoxyde.* Le deutoxyde de manganèse est noir. Il ne se suroxyde pas à l'air, même à l'aide de la chaleur. Au blanc, il perd de l'oxygène et se change en oxyde rouge. L'acide nitrique concentré et bouillant le change en protoxyde qui se dissout et en peroxyde insoluble. L'acide sulfurique concentré et chaud le dissout en le ramenant à l'état de protoxyde. L'acide sulfureux le change en un mélange de sulfate et d'hyposulfate de protoxyde. L'acide hydrochloriqu le dissout à froid sans le décomposer ; mais pour peu que la liqueur soit concentrée ou que l'on chauffe, il se dégage du chlore; la dissolution, qui était brune, se décolore, et elle ne contient plus que du protochlorure. Il se compose de :

Manganèse, 0,7034 } $Mn^2\,O^3$.
Oxygène, 0,2966 }

On l'obtient en calcinant au rouge naissant son hydrate ou le nitrate de protoxyde.

Son hydrate est brun ; on l'obtient en faisant passer un courant de chlore non en excès dans de l'eau tenant du carbonate en suspension, et faisant digérer le dépôt avec de l'acide nitrique faible pour dissoudre le carbonate non décomposé.

3° *Peroxyde.* Le peroxyde de manganèse est noir. Il commence déjà à perdre de l'oxygène au rouge sombre, et se change en oxyde rouge au blanc. L'acide nitrique l'attaque à peine. L'acide sulfurique l'attaque à l'état d'hydrate seulement et à froid en donnant une liqueur améthiste. L'acide sulfureux le dissout à froid, et il se forme du sulfate et beaucoup d'hyposulfate de manganèse. L'acide hydrochlorique le dissout avec grand dégagement de chlore. Il se compose de :

Manganèse, 0,6401 } $Mn\,O^2$.
Oxygène, 0,3599 }

On l'obtient en traitant un oxyde quelconque de manganèse par l'acide nitrique concentré et bouillant.

L'hydrate de peroxyde de manganèse est d'un brun très foncé, peu stable, et s'obtient soit en traitant un sel de manganèse par un chlorite alcalin en excès, soit en saturant par un alcalis un manganate ou un hypermanganate.

4° *Oxyde rouge.* L'oxyde rouge provient de la calcination de l'un des deux précédents au blanc. Il est inaltérable à l'air. Il se compose de :

Manganèse, 0,7275 } $Mn^3\,O^4$.
Oxygène, 0,2725 }

5° *Acide manganique.* Cet acide n'a pu jusqu'ici être isolé sans se décomposer en même temps. Les sels sont isomorphes avec les sulfates. Quand on chauffe un oxyde de manganèse avec de la potasse, il se forme du manganate de potasse. L'acide manganique est composé de :

Manganèse, 0,5426 } $Mn\,O^3$.
Oxygène, 0,4574 }

6° *Acide hypermanganique.* Cet acide est un corps gazeux d'un très beau rouge qui se décompose spontanément en oxygène et en peroxyde de manganèse. Il est très soluble dans l'eau qu'il colore en rouge. Sa solution se décompose spontanément, avec lenteur à la température ordinaire, et rapidement à la chaleur de 30 à 40° ; il y a dégagement d'oxygène, et il se précipite de l'hydrate de peroxyde. Cet acide est un oxydant très énergique, et est isomorphe avec l'acide hyperchlorique. Il est composé de :

Manganèse, 0,5084 } $Mn^2\,O^7$.
Oxygène, 0,4916 }

On l'obtient à l'état gazeux, en traitant le caméléon rouge par de l'acide sulfurique anhydre, et à l'état de solution aqueuse, en décomposant l'hypermanganate de baryte par de l'acide sulfurique sans excès.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sels de protoxyde. Les sels de protoxyde de manganèse sont incolores ou légèrement rosés. Les alcalis fixes et les terres alcalines y forment un précipité d'hydrate blanc gélatineux insoluble dans un excès de réactif. Les carbonates alcalins en précipitent complétement le manganèse à l'état de carbonate grenu, blanc ou blond, insoluble dans un excès de réactif. L'ammoniaque et le carbonate y forment des précipités semblables, mais solubles dans un grand excès de réactif. L'hydrogène sulfuré ne les trouble pas. Les sulfures alcalins en précipitent tout le manganèse à l'état de sulfure hydraté blanc, tirant un peu sur le jaune isabelle, et noircissant promptement à l'air en s'oxydant.

Manganates et *hypermanganates* ou *caméléons.* Lorsqu'on chauffe au contact de l'air un oxyde de manganèse et un alcali fixe ou un carbonate, il se forme une combinaison qui, selon les circonstances, prend toutes les nuances du vert au rouge-pourpre : on l'a nommée *caméléon minéral*, à cause de la facilité avec laquelle elle change de couleur.

Lorsque l'alcali est en excès, la dissolution du caméléon est verte; quand, au contraire, l'alcali est saturé de manganèse, la dissolution est pourpre. Les dissolutions vertes passent au pourpre dans toutes les circonstances où l'action de l'alcali se trouve affaiblie; par exemple, par l'addition d'un acide, ou même seulement, d'une grande quantité d'eau froide. Réciproquement, les dissolutions rouges repassent au vert, par l'action de bases fortes, telles que la potasse et la soude, surtout à l'aide de l'ébullition. Les dissolutions vertes constituent des manganates, et les dissolutions rouges des hypermanganates; elles sont très oxydantes.

En chauffant au rouge un mélange à parties égales de potasse et de peroxyde de manganèse, et traitant par l'eau, on obtient une dissolution verte. En décantant et évaporant dans le vide, on obtient aisément des cristaux verts de manganate de potasse, que l'on peut dessécher en les plaçant sur une brique poreuse ou sur de la porcelaine dégourdie.

L'eau décompose ces cristaux, et l'on obtient une dissolution rouge d'hypermanganate de potasse qui, évaporée au bain-marie jusqu'à pellicule, dépose par le refroidissement des cristaux, d'un rouge très foncé, d'hypermanganate de potasse, solubles sans décomposition dans 15 à 16 p. 100 d'eau.

L'on obtient du manganate de baryte insoluble, en fondant du peroxyde de manganèse avec du nitrate de baryte desséché. Traité par l'eau il donne de l'hypermanganate soluble, qui sert à préparer l'acide hypermanganique.

Parmi les sels de manganèse, nous ne mentionnerons que le chlorure, qui se produit en grande quantité dans les fabriques de chlorures décolorants, et que M. Mallet a employé avec succès depuis plusieurs années à l'épuration du gaz d'éclairage.

MINERAIS. Les seuls minerais de manganèse proprement dits, sont des oxydes anhydres et hydratés. Nous allons les passer rapidement en revue.

Hausmanite. Oxyde rouge de manganèse anhydre natif. Cet oxyde est noir-brunâtre, opaque, d'un éclat métallique imparfait; sa poussière est d'un rouge-brun; sa cassure est inégale; sa densité est de 4,722; il raie la chaux phosphatée et est rayé par le feldspath. Sa forme primitive est un prisme à base carrée; mais il cristallise ordinairement en octaèdres aigus à base carrée. Il est très rare.

Braunite. Deutoxyde de manganèse anhydre natif. Cet oxyde est constamment cristallisé, d'un noir brunâtre foncé, ayant une poussière de la même teinte; quoique fragile, il est plus dur que le feldspath; sa densité varie de 4,75 à 4,82. Sa forme habituelle est un octaèdre à base carrée très rapproché de l'octaèdre régulier. Il ne donne que 3 p. 100 d'oxygène par la chaleur.

Pyrolusite. Peroxyde de manganèse anhydre. C'est le minerai de manganèse le plus abondant et en même temps le plus utile, puisqu'il est celui qui renferme le plus d'oxygène en excès. Il se trouve cristallisé, à l'état fibreux, et même en masses amorphes. Sa couleur est le gris-noirâtre ou le noir souvent bleuâtre. Sa poussière est de la même couleur. Sa dureté est à peu près égale à celle de la chaux sulfatée; sa densité est de 4,83 à 4,94. La pyrolusite cristallise en prisme rhomboïdale droit, sous l'angle de 93°-40'; le plus ordinairement elle se trouve en masses aciculaires souvent radiées.

Acerdèse. Deutoxyde de manganèse hydraté. Il ressemble beaucoup à la pyrolusite dont il se distingue en ce que sa dureté est égale à celle de la chaux carbonatée, sa densité de 4,28, et surtout en ce que sa poussière est brune, et à ce que, chauffé dans un tube fermé, il perd environ 10 p. 100 d'eau.

Peroxyde de manganèse hydraté. Cet oxyde ne se trouve qu'en masse amorphe terreuse, d'un brun foncé, très tendre; il tache facilement les doigts; sa poussière est d'un brun-chocolat; par la calcination il éprouve une perte considérable en eau et en oxygène. Sa densité varie de 3,0 à 3,2 et il renferme de 12 à 15 p. 100 d'eau. Il est assez commun.

Peroxyde de manganèse hydraté aluminifère. Ressemble au précédent, mais contient de l'alumine en combinaison; assez rare.

Psilomélane. Minerai complexe renfermant un mélange de deutoxyde et de peroxyde de manganèse, de l'eau, et une quantité variable et assez notable de baryte, quelquefois en partie remplacée par de la potasse. Ce minerai n'est point cristallisé; il forme des rognons, des masses concrétionnées botrioïdes, et même des stalactites; le plus souvent il est amorphe. La cassure, égale ou conchoïde, est toujours mate; on n'y aperçoit ni la texture fibreuse, ni la texture testacée. Sa couleur est d'un noir bleuâtre prononcé. Son éclat est à la fois mat et métalloïde.

Usages. Le manganèse sert à l'état de peroxyde pour décolorer les verres (voyez VERRE), et pour la fabrication du CHLORE et des CHLORURES DÉCOLORANTS. Nous nous bornerons donc ici à indiquer le moyen d'essayer les divers manganèses du commerce sous le point de vue industriel et économique, c'est-à-dire sous celui de la proportion de chlore qu'ils peuvent produire.

Essai des manganèses du commerce. Nous nous bornerons au seul procédé suivant, les autres ne pouvant être exécutés que par des chimistes. On prend 3 grammes, 98 de minerai en poudre, qui, s'il était du peroxyde pur, donnerait 1 litre de chlore; on l'introduit dans un matras de 6 à 7 centimètres de diamètre; on verse dessus 25 à 30 grammes d'acide hydrochlorique pur; on adapte immédiatement après au matras un tube en verre recourbé de 2 à 3 millimètres de diamètre et dont la longue branche doit avoir environ $0^m,60$; on fait plonger cette branche dans une éprouvette de $0^m,02$ de diamètre et de $0^m,50$ de hauteur, contenant un peu moins de 1 litre de lait de chaux. On chauffe peu à peu le matras, et vers la fin on porte jusqu'à l'ébullition : tout le chlore qui se dégage est absorbé par le lait de chaux. On y ajoute assez d'eau pour que son volume soit de 1 litre, et l'on en fait l'essai au chloromètre (voyez CHLOROMÉTRIE).

Statistique. Les mines de manganèse de France, produisent par an environ $24,000^m$ de peroxyde de manganèse valant 240,000 fr. Actuellement, il y a une importation assez considérable de manganèse d'Allemagne.

P. DEBETTE.

MANÉGE. Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE et MINES.

MANIOC. Voyez AMIDON.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MANIVELLE. Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

MANNE Suc qui exsude spontanément ou par incision d'une espèce de frêne qui croît principalement en Sicile et dans la Calabre. Les premières mannes, dites *manne en larmes*, se présentent en longues et belles stalactites blanches et cristallines. A mesure que la saison avance, les larmes s'agglutissent au moyen d'un suc poisseux incristallisable, dont le mélange porte le nom de *manne en sorte*. Enfin, à la fin de la récolte, le suc devient très spiritueux et se rassemble dans de petites fosses creusées au pied de l'arbre : ce dernier produit, de qualité inférieure, est ce qu'on nomme *manne grasse*.

La manne renferme un principe sucré qui a reçu le nom de *mannite*, et une substance qui fermente facilement, ce qui permet d'isoler la mannite aisément, en délayant la manne dans l'eau, faisant fermenter, évaporant à siccité, et reprenant le résidu par de l'alcool bouillant qui dissout complétement la mannite et la laisse déposer par le refroidissement en longues aiguilles blanches.

La manne est employée en médecine comme purgatif.

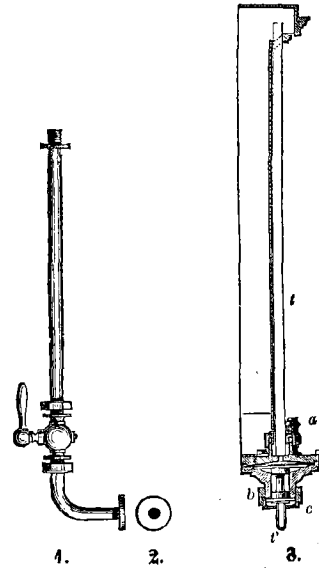
MANOMÈTRES. Nous avons vu, à l'article CHAUDIÈRES A VAPEUR, que les ordonnances des 22 et 23 mai 1843 et 17 janvier 1846, relatives aux appareils et bateaux à vapeur, veulent que chaque chaudière soit munie d'un manomètre destiné à faire connaître la tension de la vapeur. Pour toutes les *pressions effectives* qui ne dépassent pas quatre atmosphères, dans les chaudières établies à demeure, et deux atmosphères dans les chaudières de bateaux, lesdites ordonnances exigent que le manomètre soit à air libre. Mais pour les pressions plus élevées, ce manomètre eût été d'un usage peu commode, et souvent même impossible, en raison de la longueur qu'il aurait fallu donner au tube de l'instrument. C'est par ce motif que les ordonnances précitées ont permis d'employer dans ce cas le manomètre à air comprimé, et la même faculté a été laissée, quelle que soit la pression, pour les chaudières des machines locomobiles et pour les locomotives.

Le manomètre simple à air comprimé, à côté des avantages qu'il présente, a certains inconvénients inhérents à sa nature même : il est embarrassant ; son tube se salit fréquemment, de manière qu'il devient difficile d'y apercevoir le niveau du mercure. Afin de remédier à ces inconvénients, diverses espèces d'appareils manométriques ont été proposées, et deux de ces manomètres, que nous décrirons plus loin, ont été l'objet de rapports favorables de la part de la commission centrale des machines à vapeur.

Subséquemment et sur l'avis de cette commission, par une circulaire en date du 17 décembre 1849, M. le ministre des travaux publics a pris une décision d'une grande importance pour les propriétaires d'appareils à vapeur, en déclarant qu'il y avait désormais lieu d'autoriser sur *toutes les chaudières* toute espèce de manomètres, bien fabriqués et bien gradués, à la condition que, lorsqu'il s'agira d'un manomètre autre que celui à air libre, décrit dans l'instruction du 23 juillet 1843 (voir CHAUDIÈRE A VAPEUR), la chaudière sera pourvue d'un ajustage qui permette au fonctionnaire chargé de la surveillance des appareils à vapeur de vérifier lors de ses visites, à l'aide d'un manomètre étalon portatif, l'exactitude de l'instrument employé Pour que ce contrôle puisse être exercé facilement, il est nécessaire qu'un mode uniforme d'ajustage soit partout adopté. L'administration s'est arrêtée au mode suivant qui a paru le plus simple.

Il consiste, comme le font voir les fig. 1 et 2, à adapter sur la chaudière un tube de 1 centimètre de diamètre, muni d'un robinet; une des extrémités *t*, doit être fixée directement sur la chaudière, ou sur le tuyau de vapeur du manomètre fixe, ou enfin sur le tube supérieur du niveau d'eau; l'autre extrémité doit être terminée par une bride verticale annulaire de cinq millimètres d'épaisseur et dont la largeur est de un centimètre et demi, ce qui lui donne un diamètre total de quatre centimètres.

On peut fixer les manomètres que nous allons décrire sur un ajustage semblable au moyen de vis de pression et en formant un joint avec une rondelle annulaire de caoutchouc. C'est, du reste, le mode suivi pour la pose des manomètres vérificateurs.



Manomètre Journeux. Le premier manomètre dont nous parlerons est celui de M. Galy-Cazalat exploité par M. Journeux. Pour obtenir un manomètre à air libre commode, et réduire la longueur de l'échelle, M. Galy-Cazalat a eu l'idée de faire presser la vapeur et le mercure qui lui fait équilibre sur des surfaces d'une étendue différente. L'instrument (figure 3) se compose d'une cuvette formée de deux pièces. La partie supérieure *a* est en fonte : elle est destinée à recevoir le mercure; l'autre partie *b* est en bronze; elles sont séparées par un diaphragme en caoutchouc vulcanisé dont le pourtour est serré entre les bords des deux pièces par les écrous *d*, de manière à former entre elles un joint imperméable. Au-dessous de la rondelle de caoutchouc se trouve un disque de bronze *c'*, de 0m,0608 de diamètre, relié par une petite tige *r* à un autre disque de même métal *c*, de 0m,0185 de diamètre, qui joue dans un tube alésé et repose sur une seconde rondelle en caoutchouc vulcanisé, fixée de la même manière que celle qui supporte le poids du mercure. La partie inférieure de la cuvette communique par un petit orifice *o*, avec l'air extérieur, de sorte que la pression de l'atmosphère agit également au-dessus et au-dessous du grand diaphragme en caoutchouc qui la divise en deux parties. La vapeur est amenée de la chaudière par un tuyau *t'*, fixé à l'aide de l'écrou *e*, de manière à exercer la pression sous le petit diaphragme inférieur. Après avoir placé le tube manométrique *t*, serré dans le stuffing-box *s*, on verse le mercure par un orifice *u*, fermant à vis, ménagé sur le côté du couvercle *a*; on agite un peu pour faciliter

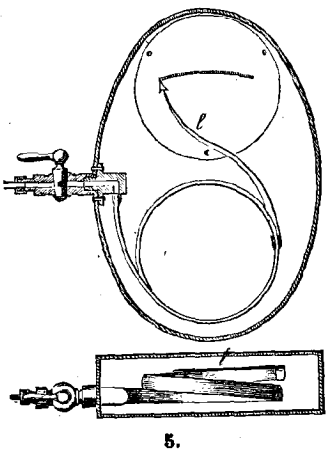
EFERUS - Recherche & Classification numérique

le dégagement de l'air, et on remplit complétement le réservoir de manière à ce que le mercure s'élève dans le tube à une hauteur de un à deux centimètres. On a ainsi le premier degré de l'échelle, celui qui correspond à une atmosphère; on obtient ensuite les autres en refoulant de l'eau sous le diaphragme inférieur, au moyen d'une pompe foulante, à diverses pressions déterminées par un manomètre à air libre. D'après le rapport que nous avons indiqué ci-dessus pour le diamètre des pistons c et c' une hauteur de 7 centimètres de mercure correspond à la pression d'une atmosphère. Pour les manomètres destinés aux chaudières locomotives, le rapport des diamètres de c et c' adopté par M. Journeux est de $0^m,013$ à $0^m,056$, ce qui réduit à quatre centimètres la hauteur correspondant à une atmosphère de pression. Les deux diaphragmes en caoutchouc sont fixés par leurs bords ; néanmoins, en raison de leur grande élasticité, ils transmettent facilement les pressions qu'ils reçoivent aux disques avec lesquels ils sont en contact; les diamètres du tube manométrique t et du grand disque en caoutchouc étant entre eux comme $0^m,004$ est à 0^m0608, le calcul montre qu'il suffit d'un déplacement de $0^m,0003$ du grand disque pour fournir au tube la quantité de mercure qui correspond à la charge d'une atmosphère.

Manomètre Bourdon. Le manomètre dit *métallique* de M. Bourdon est un manomètre dans lequel il n'entre pas de mercure et qui repose sur un principe aussi simple qu'ingénieux.

Ce manomètre (figures 4 et 5) consiste en un tube

4.



5.

mince, ordinairement en laiton, à section elliptique au méplate c, l roulé en hélice en spirale. L'une des extrémités de ce tube est ouverte, elle peut être mise à volonté en communication avec la vapeur dont on veut mesurer la tension, et est fixée par des vis à la boîte M du manomètre, laquelle est ordinairement en fonte. L'autre extrémité du tube est fermée et est libre de se mouvoir; dans son mouvement elle entraîne une aiguille courbe l qui y est attachée et qui marche sur un cadran convenablement gradué. La surface externe de la spirale étant plus grande que celle intérieure, le tube de laiton tend à se redresser lorsqu'il se trouve rempli de vapeur ou d'eau à une pression supérieure à celle de l'atmosphère, et *vice versâ*; l'une des extrémités du tube étant fixée à la boîte M, l'autre extrémité peut seule le mouvoir, et ce mouvement se trouve considérablement amplifié par la disposition tangentielle donnée à l'aiguille l et rendu aussi sensible qu'il est nécessaire. On gradue ce manomètre en y refoulant de l'eau au moyen d'une presse hydraulique, et marquant les points où l'aiguille s'arrête de degrés correspondants à ceux donnés par un manomètre à air libre bien construit.

Le tube c a $0^m,70$ de longueur totale et forme une spire et demie; son épaisseur n'est que de un tiers de millimètre et sa section est elliptique et de $0^m,004$ sur $0^m,014$.

Ce nouveau manomètre est d'un usage commode; il n'est pas fragile; les indications qu'il donne sont beaucoup plus distinctes que celles qu'il faut prendre sur le niveau d'un liquide, dans un tube souvent sali à l'intérieur. On peut craindre, il est vrai, qu'avec le temps l'élasticité du métal ne s'altère, que la forme donnée primitivement au tube ne se modifie sous l'action prolongée d'une forte pression intérieure, et que, par suite, les indications de l'instrument ne deviennent inexactes. Toutefois, nous devons reconnaître que nous n'avons jusqu'à ce jour entendu porter aucune plainte contre les manomètres métalliques sortis des ateliers de M. Bourdon, et que leur emploi se répand de jour en jour.

M. Bourdon a construit des manomètres métalliques basés sur le même principe pour mesurer les degrés de vide produits soit par des jets de vapeur, soit par des machines pneumatiques, soit de toute autre manière, dans les sucreries, les chemins de fer atmosphériques, etc. Il est évident que dans ces appareils, dont la disposition est en général un peu différente de celui précédemment décrit, l'effet produit est inverse, c'est-à-dire que la torsion du tube manométrique augmente avec la raréfaction du milieu avec lequel la communication se trouve établie.

Emploi du manomètre Bourdon pour l'épreuve des chaudières. M. Bougarel, garde-mines, attaché au service des machines à vapeur du département de la Seine, a proposé d'employer le manomètre Bourdon pour effectuer les épreuves de réception des chaudières, qui se faisaient jusque-là en chargeant de poids les soupapes de sûreté. Celles-ci, souvent mal rodées ou ébranlées par les secousses, laissent échapper fréquemment l'eau refoulée par une pompe foulante dans l'intérieur de la chaudière, avant que la pression voulue soit atteinte. Pour employer le manomètre Bourdon, il fallait pouvoir construire des manomètres vérificateurs pouvant indiquer 18 atmosphères (pression d'épreuve correspondant au timbre de 7 athm. qui est assez rarement employé). Ce problème a été parfaitement résolu par M. Bourdon, et les instruments de ce constructeur sont aujourd'hui entre les mains de tous les ingénieurs des mines et autres ingénieurs qui ont à vérifier la résistance de chaudières à vapeur.

Voici comment M. Bougarel résume les avantages qui résultent de l'emploi de ce système :

1° Ce mode d'épreuve remédie d'abord à l'incertitude qui résulte de l'inexactitude habituelle des soupapes;

2° Si l'appareil soumis à l'épreuve ou quelqu'une de ses parties vient à rompre avant que la pression d'épreuve soit arrivée à la limite voulue, on sait à quelle pression la rupture a eu lieu, ce qui ne se peut pas avec la soupape dont la fonction n'est que d'indiquer la pression correspondante à sa charge. Le manomètre indique tous les degrés de la pression croissante et décroissante;

3° On évite le choc qui se produit au moment où la soupape, soulevée par la pression, retombe sur l'eau qui remplit l'appareil soumis à l'épreuve, et qui doit causer un certain ébranlement des molécules du métal;

4° Dans aucun cas la pression d'épreuve ne peut être poussée, sans qu'on s'en aperçoive, à des limites

EFERUS - Recherche & Classification numérique

supérieures à la pression légale, et dangereuses pour l'appareil soumis à l'épreuve, ce qui peut arriver et est arrivé plusieurs fois avec l'ancien mode d'épreuve, parce que les soupapes peuvent gripper et adhérer à leur siége;

5° Toute chance de fraude est évitée;

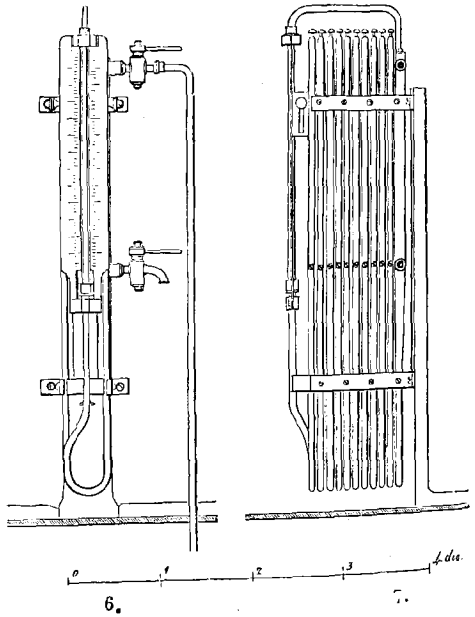
6° Enfin, au point de vue de la tolérance, si, lorsqu'un appareil est essayé au manomètre, un joint de fermeture de l'appareil, ou un joint des tuyaux de la pompe, ou bien cette pompe elle-même, vient à manquer avant que la pression légale soit atteinte, et si le manomètre indique cette pression légale, moins 1/2 ou une atmosphère, on peut, sans scrupule, regarder l'épreuve comme convenable, si d'ailleurs aucune fuite grave ou déformation de l'appareil n'a été signalée. Avec la soupape d'épreuve, lorsque le même accident arrive, comme on ne sait pas au juste le degré de la pression tant que la limite voulue n'est pas atteinte, c'est une épreuve à recommencer.

Ce système se propage chaque jour à l'étranger. M. le ministre des travaux publics de Belgique a commandé à M. Bourdon un certain nombre de manomètres semblables à ceux mis entre les mains de nos ingénieurs des mines.

L'administration russe est entrée dans la même voie et a demandé à M. Bourdon des manomètres gradués à 18 atmosphères. Voy. *Complément* MANOMÈTRES.

Manomètre Richard. Nous donnerons encore un manomètre fort ingénieux, remplacé aujourd'hui par le précédent qui est plus simple, mais dont la construction offre beaucoup d'intérêt. Nous voulons parler de celui que M. Richard, fabricant d'instruments de physique à Lyon, a construit un manomètre à air libre d'un nouveau système, qui peut aisément s'adapter aux chaudières des machines locomotives et des bateaux, quelque élevée que soit la pression effective de la vapeur dans leur intérieur. Ce manomètre a reçu l'approbation de la commission centrale des machines à vapeur et est employé déjà avec succès sur nombre de locomotives et de bateaux à vapeur, ce qui nous engage à en donner ici une description succincte.

Il s'agissait de construire un manomètre à air libre, qui pût s'adapter aux chaudières des machines locomotives et des bateaux, quelque élevée que fût la pression effective de la vapeur dans leur intérieur. Il fallait, pour cela, réduire de beaucoup la hauteur de l'instrument. M. Richard a donc construit, sur un principe bien connu des physiciens, et que plusieurs personnes avaient déjà essayé d'appliquer aux manomètres de chaudières à vapeur, un manomètre raccourci (figures 6 et 7), composé d'un tube replié plusieurs fois sur lui-même, de manière à présenter une série de branches verticales, reliées l'une à l'autre par des coudes arrondis; l'instrument développé dans un même plan vertical présente une suite continue de syphons alternativement droits et renversés, à branches verticales. Du mercure remplit tous les coudes inférieurs et s'élève jusqu'au milieu de la hauteur des branches verticales. Les colonnes de mercure sont séparées par des colonnes d'eau qui occupent les coudes supérieurs, et l'autre moitié de la hauteur des branches verticales. L'appareil étant ainsi complétement rempli de colonnes alternantes de mercure et d'eau, si l'on met l'une des extrémités du tube en communication avec une chaudière à vapeur, l'autre extrémité demeurant ouverte à l'air libre, l'excès de la pression dans la chaudière sur celle de l'atmosphère déterminera la dénivellation simultanée du mercure dans toutes les branches; ces dénivellations seront d'égale hauteur, si le tube est exactement calibré dans toute sa longueur, et, dans ce cas, la pression effective de la vapeur dans la chaudière sera donnée par la hauteur à laquelle le mercure se sera élevé au-dessus du point de départ dans la branche ouverte du tube, multipliée par le nombre des branches verticales, sauf la correction due à l'influence du poids de l'eau intermédiaire entre les colonnes de mercure. Cette correction se fera en multipliant le produit précédent par la fraction 63/68, qui exprime le rapport de l'excès de la densité du mercure sur celle de l'eau, à la densité du mercure. S'il y a, par exemple, 22 branches verticales, h désignant l'élévation du mercure en millimètres, dans la branche ouverte à l'air libre, la pression effective de la vapeur sera mesurée par une colonne de mercure égale à $22h \times \frac{63}{68}$; $\frac{22h \times \frac{63}{68}}{760}$, sera la pression effective en atmosphères; et chaque atmosphère



6. 7.

de pression sera mesurée par $\frac{760 \times 68}{63 \times 22} = 37^{mm},3$ de mercure. Ainsi une pression totale de sept, ou une pression effective de six atmosphères, la plus forte qui soit usitée dans l'industrie, sera accusée par une dénivellation du mercure de $223^{mm},8$, dans la branche ouverte, égale à celle qui aura lieu dans les autres branches. Il n'y a, dans tout ce qui précède, rien qui ne soit déjà connu depuis longtemps, et qui n'ait été appliqué. Nous rappellerons, notamment, l'essai fait par la commission des machines à vapeur d'un semblable manomètre à tubes de verre construit par M. Collardeau, et qui fut appliqué sur une machine locomotive du chemin de Paris à Corbeil, en même temps qu'un manomètre à air comprimé et un thermomanomètre.

Le tube replié est en fer. Les branches verticales, au nombre de 22, ont une hauteur totale de $0^{m},50$. Elles sont groupées de manière à ce que leur ensemble forme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un parallélipipède rectangle dont la base a $0^m,14$ sur $0^m,062$. La dernière branche verticale ouverte à l'air libre est ramenée vers le milieu de la face antérieure du parallélipipède et porte un tube en verre de $0^m,245$ de hauteur, qui laisse apercevoir l'extrémité de la colonne de mercure. Ce tube en verre est maintenu entre l'extrémité du tube replié et un autre bout de tube qui se recourbe et communique avec un tube en fer cylindrique plus large, placé derrière le parallélipipède, et qui constitue un réservoir destiné à recevoir le mercure, dans le cas où par suite d'une pression trop élevée dans la chaudière, ou d'une oscillation qui aurait lieu au moment de l'ouverture du robinet, la colonne mercurielle viendrait à dépasser l'extrémité supérieure du tube en verre. Le mercure peut être retiré de ce réservoir, en ôtant une vis en fer qui ferme un orifice ménagé à sa partie inférieure.

La première branche du manomètre, celle qui est mise en communication directe avec la chaudière, se prolonge jusqu'à la face supérieure du parallélipipède circonscrit à l'ensemble des plis du tube. Elle porte deux robinets placés l'un à son extrémité supérieure, à l'arrivée du tube venant de la chaudière, l'autre au niveau ou un peu au-dessus du niveau que doit atteindre le mercure, lorsque le manomètre n'est point en pression. Nous dirons tout à l'heure l'usage de ces robinets.

Pour remplir l'instrument de mercure et d'eau, des ouvertures fermées par des vis en fer sont ménagées, les unes aux sommets des coudes supérieurs de tous les syphons renversés, les autres sur une même ligne horizontale au milieu de la hauteur des branches verticales situées d'un même côté. On remplit d'abord, par ces dernières ouvertures, les parties inférieures de tous les tubes, de mercure que l'on introduit au moyen d'un petit entonnoir à tige recourbée. L'on verse du mercure dans chaque tube, jusqu'à ce qu'il vienne affleurer les ouvertures. On ferme celles-ci par les vis en fer. On ouvre ensuite les ouvertures ménagées aux sommets des coudes supérieurs, et on y verse, à l'aide d'un entonnoir élevé à tige effilée, de l'eau, de manière à remplir complétement les parties supérieures des branches verticales. La partie supérieure de la première branche verticale étant également remplie d'eau, jusqu'au niveau où elle se maintiendra remplie par l'eau provenant de la vapeur condensée, quand elle sera mise en communication avec la chaudière, on ferme tous les orifices. Le n° 1 de l'échelle divisée en atmosphères doit correspondre à la position qu'occupe alors le niveau du mercure dans le tube en verre. L'échelle du manomètre est tracée sur une lame de cuivre. Elle est divisée, d'après le nombre de branches de l'instrument supposé bien calibré ; elle est mobile le long du tube en verre, et peut être fixée par deux vis de pression, de manière à ce que le chiffre 1 corresponde au niveau du mercure, lorsque le manomètre communique par l'une et l'autre de ses extrémités avec l'atmosphère. L'échelle du manomètre essayé par la commission des machines à vapeur marque jusqu'à sept atmosphères. L'intervalle d'une atmosphère est de 37 millim.

Les replis du tube en fer sont maintenus par des entre-toises. Tout l'instrument groupé d'une manière assez élégante en un parallélipipède de $0^m,50$ de hauteur, et dont la base a $0^m,14$ sur $0^m,06$, est ajusté sur une plaque en fer avec des montants en équerre à la partie postérieure, de sorte qu'il peut être adapté facilement et simplement à l'avant d'une chaudière de machine locomotive, sur une chaudière de bateau, ou devant le foyer d'une chaudière, de manière à ce que l'échelle soit dans tous les cas bien en vue du chauffeur.

On peut vérifier, à un instant quelconque, quand le manomètre est en place, s'il marque une atmosphère lorsque la pression est supprimée. A cet effet, après avoir fermé le robinet supérieur de la première branche qui intercepte la communication avec la chaudière, on ouvre le second robinet placé au-dessous sur la même branche. Le tube replié étant ainsi mis en communication par les deux bouts avec l'atmosphère, le mercure doit retomber dans le tube en verre, au n° 1 de l'échelle.

Si le tube qui met le manomètre en communication avec la chaudière vient à s'engorger, il suffit, pour le purger, d'ouvrir le robinet inférieur; l'eau contenue dans le tube de communication est chassée par la pression de la vapeur, et emporte, en s'écoulant par le robinet, les matières qui avaient occasionné l'obstruction.

La correspondance du niveau du mercure dans le tube en verre, avec les divisions de l'échelle, s'aperçoit avec facilité, même pendant la marche des machines locomotives.

Il résulte des essais auxquels la commission centrale des machines à vapeur a soumis le manomètre à air libre, de M. Richard :

1° Que le manomètre peut être facilement adopté aux chaudières de machines locomotives comme aux chaudières de bateaux à haute pression ;

2° Que les indications de ce manomètre, sans comporter le même degré d'exactitude que celles du manomètre à air libre ordinaire, sont cependant susceptibles d'une précision suffisante pour les besoins de la pratique, pourvu que les tubes en fer et en verre soient calibrés aussi exactement que possible, que les deux points extrêmes de l'échelle aient été déterminés par comparaison directe avec un manomètre à air libre ordinaire, et que l'on ait soin de vérifier fréquemment et de rectifier au besoin la position du point de départ de l'échelle ;

3° Que la division de l'échelle par un calcul qui suppose l'égalité du calibre intérieur des tubes en fer et en verre, sera presque toujours fort inexacte et doit être rejetée; qu'en conséquence il sera indispensable, quand on remplacera le tube en verre d'un manomètre de M. Richard, de remplacer aussi l'échelle, ou du moins de la vérifier de nouveau. P. DEBETTE.

MARAIS SALANTS. Les applications du sel sont aussi variées qu'importantes; employé dans l'économie domestique, pour la conservation et l'assaisonnement des aliments, il est devenu tout à fait indispensable à la satisfaction de nos besoins les plus ordinaires. Dans l'industrie, le sel marin n'est pas d'une moins grande utilité; il sert à préparer l'acide hydrochlorique, le chlore, le sel ammoniac et tous les produits du sodium, le carbonate de soude, les savons, le sulfate de soude, etc. L'agriculture, enfin, est appelée à retirer les plus grands avantages de l'emploi de ce corps, pour l'amendement des terres et l'engraissement des animaux, quand les dispositions fiscales devenues moins sévères permettront au commerce de l'obtenir au prix de fabrication. On comprend d'après cela l'importance de la production de ce corps et l'intérêt que doivent présenter les détails de sa fabrication.

L'usage du sel remonte à la plus haute antiquité. L'histoire a seulement conservé le nom de Phidippus qui employa le premier, dans la Grèce, le sel pour la conservation des aliments. Tous les peuples de l'antiquité se sont formés sur le sel les idées les plus superstitieuses. Ces croyances transmises de génération en génération se retrouvent encore chez nous jusqu'à un certain point. Consacré aux dieux chez les païens, le sel entre encore comme symbole dans l'administration du premier sacrement de l'Eglise. La propriété conservatrice dont il jouit rappelle des idées de force et de durée dont les hommes ont toujours avidement recherché les manifestations.

Les anciens retiraient le sel, comme nous le faisons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

encore aujourd'hui, des mines de sel gemme, des sources salées (voyez SEL GEMME) et de l'eau de la mer. Nous décrirons ici les différents moyens employés dans ce dernier genre de fabrication.

L'extraction du sel de l'eau de mer par l'évaporation spontanée de ce liquide dans les marais salants est sans contredit la méthode la plus généralement et la plus fructueusement employée. Nous la décrirons donc la première, et nous parlerons ensuite de quelques autres procédés beaucoup moins importants.

Rappelons d'abord, en quelques mots, les propriétés chimiques du sel marin dont la connaissance nous sera nécessaire dans cet article.

Le sel marin, connu aussi sous les noms de sel de cuisine, sel commun, muriate de soude, n'est autre chose que du chlorure de sodium. A l'état de pureté, il est représenté par la formule $Na\,Cl^2$, et renferme par conséquent :

Sodium. .	290,897	ou bien	39,65
Chlore.. .	442,650		60,35
	733,547		100,00

Le sel marin est blanc; il cristallise en cubes. Sa pesanteur spécifique est 2,125. Il est soluble dans l'eau, mais sa solubilité n'augmente presque pas avec la température : ainsi 100 parties d'eau à 13°,89 dissolvent 35,81 parties de sel, et seulement 40,38 parties à 109°,38, température d'ébullition de l'eau saturée de sel.

Le sel marin ne s'altère pas à l'air lorsqu'il est pur. Celui du commerce paraît déliquescent, parce qu'il renferme quelques sels étrangers très avides d'humidité.

La salure des différentes mers n'est pas absolument la même. Elle semble, en général, augmenter dans les points les plus profonds et les plus éloignés des continents, et diminuer dans le voisinage des grandes masses de glace. Les petites mers sont moins salées que les grandes, excepté la Méditerranée qui paraît être plus salée que les autres; ce que l'on doit attribuer à la forte évaporation qui a lieu à la surface, relativement à la faible masse d'eau qu'elle renferme.

Suivant Murray, l'eau de mer recueillie dans le golfe de Forth (Écosse) contient :

Sel marin.	2,2004
Sulfate de soude. .	0,3316
Chlorure de calcium. .	0,0784
Chlorure de magnésium.	0,4208
Eau.	96,9691
	100,0000

D'après le docteur Marcet, l'eau prise au milieu de l'Atlantique du nord renferme :

Chlorure de sodium. .	2,660
Sulfate de soude. .	0,466
Chlorure de calcium. .	0,199
Chlorure de magnésium.	0,991
Eau. . . .	95,684
	100,000

L'eau des côtes de France contient en moyenne, sur cent parties :

Sel marin.	2,50
Chlorure de magnésium.	0,35
Sulfate de magnésie.	0,58
Carbonates de chaux et de magnésie.	0,02
Sulfate de chaux.	0,01
Eau.	96,54
	100,00

On sait d'ailleurs que l'eau de mer renferme des traces d'iodures et de bromures.

La quantité d'eau à évaporer est donc toujours très considérable; mais dans les marais salants bien placés, l'évaporation est assez rapide pour qu'il soit facile de s'en débarrasser

Nous avons en France des marais salants sur les côtes de Bretagne et sur les bords de la Méditerranée. Le travail des marais, dans des climats aussi différents, présente des différences essentielles que l'on n'a pas assez fait connaître jusqu'à présent. Un long séjour dans ces deux contrées nous a permis de les apprécier, et nous croyons devoir étudier séparément l'industrie des marais salants dans l'ouest et dans le midi de la France. Nous décrirons en même temps deux autres industries qui se rattachent à la première : le raffinage du sel en Bretagne, le traitement des eaux-mères des salines dans le Languedoc et la Provence.

1° *Marais salants de l'Ouest.* La fig. 1500 peut donner une idée de leur disposition générale. L'eau est introduite pendant la haute mer au moyen d'une vanne en bois A, dans un premier réservoir B, nommé *jas* (1), dont la profondeur varie de $0^m,60$ à 2^m. L'eau laisse déposer les matières étrangères qu'elle tenait en suspension et commence à s'échauffer dans ce premier bassin. Du jas, l'eau est conduite par un canal souterrain C, nommé *gourmas*, que l'on peut ouvrir et fermer à volonté au moyen d'une petite vanne, dans les *couches c, c*, suite de bassins de $0^m,25$ à $0^m,45$ de profondeur, qu'elle doit parcourir successivement. Au moyen d'un autre conduit D, appelé *faux gourmas*, l'eau, déjà concentrée par son passage dans les couches, arrive dans une rigole fort longue E, nommée *mort*, qui fait ordinairement le tour du marais, et se trouve conduite dans les *tables t, t*, autre série de bassins analogues aux couches. L'eau, en sortant des tables, arrive dans le *muant*, dernière série de bassins *m, m*, qui la distribue au moyen de petites rigoles ouvertes dans le sol avec un pieu pointu dans les aires ou *œillets a, a*, où le sel se dépose.

Quand la saison est favorable, l'eau arrive très concentrée dans les aires et commence à *saliner* presque immédiatement. Il se forme à la surface des croûtes de sel que l'on recueille de suite, ou bien que l'on casse et que l'on reprend au fond de l'œillet quand elles y sont réunies. On recueille le sel deux ou trois fois par semaine, et même tous les jours, quand il fait chaud et sec. Les eaux-mères sont rejetées quand elles atteignent un certain degré de concentration.

Le sel est d'abord recueilli en petits tas sur le bord même des œillets. On transporte ensuite ces petits tas dans l'espace compris entre les couches et les tables pour former des monceaux plus considérables. Le sel, ainsi abandonné à lui-même pendant quelque temps, s'égoutte et se purifie en partie des sels déliquescents qu'il renferme. On réunit enfin tous les tas dont nous venons de parler en grandes masses, appelées *mulots*, qui ont ordinairement la forme d'un tronc de cône surmonté d'une calotte sphérique. On recouvre le sel, ainsi réuni, d'une couche de terre glaise soigneusement damée, et on le conserve par ce moyen jusqu'au moment de sa vente.

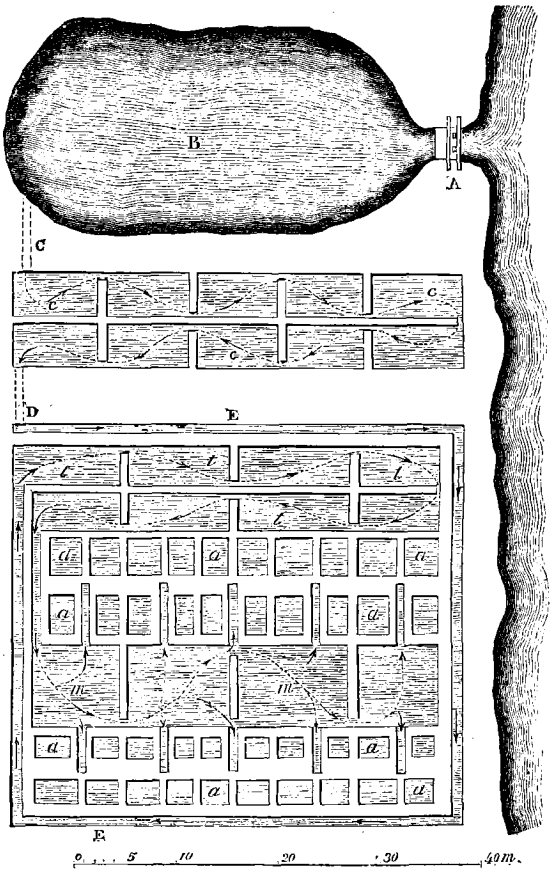
Le sel en mulot continue à se purifier d'une manière remarquable; la terre glaise dont il est enveloppé le met à l'abri de l'eau et l'entretient cependant dans un état constant d'humidité, qui permet aux sels déliquescents de se liquéfier et de s'écouler par de petits canaux ménagés à la base des mulots. C'est une opération analogue à celle du terrage du sucre dans les raffineries.

L'emplacement choisi pour l'établissement d'un marais salant doit réunir plusieurs conditions. Il doit être uni et présenter une pente pour ainsi dire nulle, car la

(1) Les noms que nous employons dans cette description sont ceux que l'on trouve dans tous les auteurs; nous devons faire remarquer qu'ils varient d'une localité à l'autre, et qu'il ne faudrait pas, par conséquent, leur attribuer une signification absolue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

différence de niveau entre le premier et le dernier bassin n'est que de quelques millimètres. Sa surface doit être un peu moins élevée que le niveau des hautes mers, mais des digues parfaitement entretenues doivent le mettre à l'abri des inondations. L'exposition d'un marais est aussi d'une immense importance, puisque l'évaporation et par conséquent le produit dépendent en grande partie de cette circonstance. On doit enfin apporter une grande attention à la nature du sol, et chercher à établir les marais dans un terroir glaiseux, afin de trouver dans les fouilles mêmes la terre qui doit servir à recouvrir le fond, les parois, et à faire les différentes petites digues qui séparent les bassins. On construit et on entretient la surface des marais avec des



1500

pelles en bois planes et fixées à des manches inclinés. Le fond des œillets surtout doit être parfaitement uni pour faciliter la récolte du sel, et empêcher, autant que possible, son mélange avec la terre sur laquelle il repose.

Le sel obtenu comme nous venons de l'indiquer est en petits cristaux toujours souillés de terre, qui leur donne un aspect grisâtre. On peut en avoir de très blanc en le recueillant à la surface quand le vent est un peu fort et le marais encore peu échauffé ; mais cette fabrication est sans importance.

Les sels gris des côtes de Bretagne ne sont pas très purs, ils renferment .

Chlorure de sodium.	87,97
Chlorure de magnésium.	1,58
Sulfate de magnésie.	0,50
Sulfate de chaux.	1,65
Matière insoluble.	0,80
Eau.	7,50
Total. . .	100,00

Raffinage du sel. Une partie du sel obtenu dans les marais n'est livrée à la consommation qu'après avoir subi dans les raffineries soit un simple lavage, soit une épuration complète.

Le lavage consiste seulement à agiter le sel dans de l'eau déjà saturée du même corps, on entraîne ainsi une partie des sels magnésiens et des matières insolubles qui restent en suspension dans l'eau de lavage qui peut servir un grand nombre de fois. On égoutte le sel, puis on le chauffe très fortement dans des étuves en maçonnerie. On lui fait perdre par ce moyen environ 7 p. 100 d'eau, qu'il retrouve plus tard chez les débitants, et on économise ainsi plus de 2 fr. par 100 kilogr. de sel sur les frais de douanes, qui se payent en sortant de l'atelier.

Le raffinage proprement dit consiste à précipiter la magnésie, en ajoutant un lait de chaux à la dissolution de sel marin dans l'eau ordinaire. On fait ensuite passer la liqueur, pour la filtrer, à travers des vases dont les fonds percés de trous sont recouverts avec des nattes dans lesquelles on apporte le sucre des colonies ; il ne reste plus qu'à l'évaporer. Cette dernière opération s'exécute au moyen de deux énormes chaudières (figure 1501), à fond plat, de $10^m,20$ de longueur sur $4^m,30$ de largeur, et de $0^m,60$ de profondeur. La première de ces chaudières est exposée à l'action directe du feu ; l'évaporation est très rapide, et on obtient du sel très blanc en cristaux indiscernables, pour l'usage de la table. La seconde chaudière n'est échauffée que par le passage des produits de la combustion. Sa température ne dépasse pas 50 à 60°. Le sel s'y dépose lentement en cristaux cubiques disposés en trémies assez volumineuses très recherchées pour les salaisons de morues.

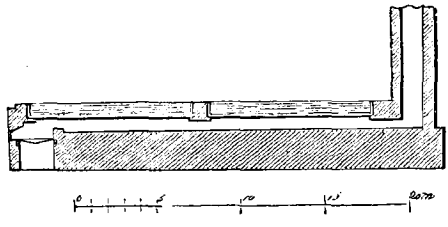
Pour faciliter la montée des écumes on ajoute à la liqueur un peu d'alun en poudre au moment où elle commence à bouillir.

Chaque cuite consomme 19 hectolitres de houille anglaise de bonne qualité, et fournit 4,000 à 4,500 kilogrammes de sel. On voit que la consommation de combustible est assez faible. La forme des fourneaux est cependant très simple : la houille est placée sur une grille à l'une des extrémités de la chaudière, et la flamme se répand librement sous toute la chaudière,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

où il n'existe aucun carneau, pour aller gagner la cheminée à l'extrémité opposée.

On retire quelquefois, pendant l'hiver, du sulfate de soude des eaux-mères de raffinerie. Jusqu'à présent cette industrie ne présente rien de régulier. Il serait très facile d'utiliser, sous ce rapport, les eaux-mères



1501.

rejetées par les paludiers bretons. Le résidu de l'évaporation de ces liqueurs contient en effet :

Chlorure de sodium.	0,11170
Chlorure de magnésium. . . .	0,13134
Sulfate de magnésie.	0,10650

Par un refroidissement convenable elles laisseraient déposer, par une action de double décomposition, du sulfate de soude, et resteraient chargées de chlorure de magnésium. Cette idée est déjà réalisée par M. Balard, comme nous le verrons bientôt.

2° *Salines du Midi.* On rencontre souvent sur les bords de la Méditerranée de vastes plages très unies et situées au niveau de la mer, et même quelquefois un peu au-dessous; placées sous un climat très chaud elles se prêtent parfaitement à l'industrie qui nous occupe.

La disposition générale du plan d'un marais salant du midi de la France diffère peu de celle des marais de l'Ouest. Dans les deux cas, l'eau amenée dans un premier bassin s'y éclaircit par le repos, et s'évapore ensuite en parcourant une série de bassins enduits de terre-glaise. Mais ici déjà se remarque une première différence. Dans l'Ouest, l'eau ne descend des bassins supérieurs dans les bassins inférieurs que pour remplacer celle que l'évaporation vient d'enlever; dans le Midi, au contraire, l'eau arrivée dans la dernière pièce tombe dans un puits et se trouve remontée, par une roue à tympan, au niveau des pièces supérieures qu'elle va rejoindre, par une rigole convenablement disposée. L'eau se trouve ainsi dans un mouvement continuel; la surface, en contact avec l'air, se renouvelle sans cesse, et l'évaporation s'accroît d'une manière énorme.

Il serait facile d'appliquer cette disposition aux marais de l'Ouest; le creusement de quelques rigoles et l'établissement d'une roue à tympan, d'une valeur de 300 à 400 fr., pourraient augmenter la production du sel d'au moins 1/9e, comme le démontrent des expériences et un calcul très simple. L'existence d'une population nombreuse, aujourd'hui menacée de la plus affreuse misère, par la suppression, en 1849, du privilége qui la soutenait, se trouverait assurée par ces légères modifications.

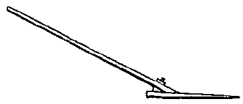
Les roues à tympan sont en bois; elles ont de 2m à 5m de diamètre, et 0m,40 à 0m,50 de largeur. Un mulet suffit pour les mettre en mouvement. Dans les grands marais salants, au Bagnas (Hérault) par exemple, on en réunit dix ou douze sous le même hangar; deux ou trois hommes suffisent pour les surveiller.

Il se dépose dans les canaux qui séparent les premières pièces de grandes quantités de matières pierreuses, très dures et cristallisées, que l'on dit être du plâtre pur.

Quand l'eau est arrivée, par son séjour dans les pièces, à marquer 22° ou 24° au pèse-sel de Beaumé, on la fait entrer dans les *tables* ou *aires* où le sel doit se déposer. La cristallisation commence quand l'eau marque 25° au pèse-sel; on la laisse continuer en amenant peu à peu de nouvelle eau des pièces, de manière à ce que la densité du liquide dans les tables soit toujours au-dessus de 25° et au-dessous de 28°. La couche de sel déposée augmente continuellement et finit par atteindre une épaisseur de 0m,15 à 0m,18. On cesse alors d'introduire de nouvelle eau, et après avoir laissé la densité de celle qui reste s'élever jusqu'à 28°, on la fait s'écouler. Ce sont les eaux-mères que l'on perdait autrefois, et qui seront peut-être un jour aussi précieuses que le sel lui-même qu'elles ont laissé déposer.

La couche du sel s'égoutte pendant quelques jours dans les tables, puis on l'enlève, au moyen d'une pelle plate en bois (fig. 1502), recouverte de fer-blanc, que l'on introduit entre le sel et le sol, de manière à ne pas le mélanger de terre. On réunit le sel en petits tas coniques dans la table même, et quand il est à peu près desséché on le réunit en énormes tas, quelquefois coniques, mais en général en forme de pyramides quadrangulaires que l'on couvre avec des roseaux jusqu'au moment de l'expédition.

La première récolte du sel se fait, vers la fin de juillet. Quand le temps est favorable on peut en faire une seconde, et quelquefois même une troisième, moins considérable que les deux premières.



1502

On voit que ce procédé diffère essentiellement de celui des salines de l'Ouest, dans lesquelles on recueille le sel presque tous les jours. La différence des climats explique, du reste facilement, l'emploi de ces deux méthodes.

Les produits sont aussi différents que les procédés qui les fournissent. Tandis que dans l'Ouest on obtient du sel gris, en petits cristaux d'un ou deux millimètres seulement, dans le Midi le sel est en masses fortement agrégées et formées de cristaux d'une blancheur éblouissante, et de plusieurs centimètres de côté.

Les ouvriers ont l'habitude de placer à l'entrée des tables des corbeilles et différents objets en osier, qui se recouvrent de magnifiques cristaux cubiques beaucoup plus brillants et d'un effet plus agréable que les objets analogues que l'on fait ordinairement en alun.

Le sel obtenu dans le Midi est aussi beaucoup plus pur que celui de l'Ouest, il renferme :

Chlorure de sodium. . . .	95,11
Chlorure de magnésium. . . .	0,23
Sulfate de magnésie.	1,30
Sulfate de chaux.	0,91
Matière insoluble.	0,10
Eeau hygrométrique.	2,35
Total. . .	100,00

On obtient sous le nom de *sel d'écume* un produit blanc en cristaux indiscernables, qui sert pour la table; il ressemble au plus beau sel blanc des raffineries. Il se forme, sous le vent, dans les parties des dernières pièces où l'évaporation est la plus rapide. On commence à demander ce produit dans le commerce; on ne trouvait pas autrefois à le placer.

L'eau des marais salants présente souvent une couleur rouge foncée. La cause de cette coloration a donné lieu à des discussions fort longues et très animées entre les savants les plus distingués de notre époque. Nous ne rappellerons point ces discussions, nous dirons seulement quelques mots de ce curieux phénomène. On avait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'abord attribué la coloration de l'eau des marais à la présence d'un grand nombre d'*artemia salina*, petit crustacé connu depuis longtemps. Mais il est maintenant bien établi que cette coloration est due à des globules microscopiques que quelques savants disent être des infusoires, et que d'autres supposent appartenir à la famille des *protococcus*.

Le sel qui cristallise dans des eaux rouges conserve quelquefois une légère teinte rose qui le fait rechercher de quelques industries. Cette teinte rose, tout à fait accidentelle autrefois, s'obtient souvent aujourd'hui en agitant d'une certaine manière l'eau des tables dont le fond est enduit de terres rouges.

Traitement des eaux-mères. Le savant M. Balard a créé, on peut dire, l'industrie de l'exploitation des eaux-mères des salines, autrefois perdues, dont l'étude l'avait conduit à la grande découverte du brôme. Nous expliquerons en quoi elle consiste.

Les eaux-mères, extraites des tables où on recueille le sel, sont amenées dans des tables plus petites que les premières et destinées exclusivement à leur traitement. Elles déposent d'abord du sel, qui forme un sol artificiel sur lequel viendront, plus tard, se déposer les produits que l'on cherche à recueillir. Après un certain temps, il se dépose du sulfate de magnésie que l'on conserve pour l'utiliser plus tard, au commencement de l'hiver, comme nous le verrons bientôt.

Après la cristallisation du sulfate de magnésie, le produit que M. Balard désigne sous le nom de *sel d'été*, commence à se déposer. Le mode de combinaison des sels que renferme ce dépôt n'est pas encore bien connu; ce qu'il y a de certain, c'est qu'il contient de la potasse, en forte proportion, de la soude, de la magnésie, de l'acide sulfurique et enfin de l'acide hydrochlorique.

On retire facilement de la dissolution du sel d'été, dans l'eau ordinaire, de magnifiques cristaux d'un sulfate double de potasse et de magnésie dont la formule est : $SO^3\,KO + SO^3\,Mg\,O + 6\,H^2O$. Ce qui donne en nombres :

Acide sulfurique.	39,71
Potasse.	23,30
Eau.	26,77
Magnésie	10,22
Total. . . .	100,00

Ce sel est donc quatre fois plus riche en potasse que l'alun, qui ne contient que 9,94 p. 100 de cette base. On conçoit dès lors l'importance de ce nouveau produit pour la France, où les produits potassiques sont très-rares. En se débarrassant de la magnésie, ce qui serait facile par plusieurs procédés économiques, on obtiendrait du sulfate de potasse très-pur dont le prix est toujours assez élevé.

Les Anglais ont fait des commandes considérables du sel double qui nous occupe, quand ils en ont connu l'existence. Il est probable qu'ils s'en servent pour préparer à la fois du carbonate de magnésie et du sulfate de potasse très-pur pour les fabriques de verres fins.

On peut aussi préparer du chlorure de potassium en traitant convenablement le sel d'été. Cette dernière application est d'une grande importance.

L'eau-mère qui a déposé le sel d'été n'est pas encore épuisée. On la conserve, et, à l'époque des premiers froids, on y ajoute le sulfate de magnésie recueilli pendant la campagne. Il se produit une double décomposition en vertu de laquelle il se dépose du sulfate de soude, tandis que du chlorure de magnésium reste dans la dissolution. Cette réaction est facile à expliquer en étudiant le degré de solubilité des sels en présence, à différentes températures.

Nous rapporterons sur l'amélioration qu'ont reçue ces procédés, les observations de M. Balard. (Rapport du jury, exposition de 1862.)

Le principal inconvénient, celui contre lequel on a surtout à lutter, c'est la perméabilité des sols. On conçoit, en effet, que l'évaporation des eaux de la mer, exécutée sur un terrain toujours perméable, s'accompagne d'une perte constante par infiltration, et cette perte s'appliquant à des quantités d'eau qui décroissent d'une manière très-rapide avec la concentration, on ne retire à la fin de l'opération qu'une partie des produits que renfermaient les eaux à l'origine. Ces inconvénients sont surtout plus sensibles dans les derniers traitements, quand les eaux chargées de sels très-hygrométriques, sont lentes à s'évaporer. Une autre difficulté inhérente à ce système, c'est la nécessité des soins minutieux avec lesquels il faut exécuter ces opérations en plein air. Ainsi, dans la production du sulfate de soude, le nombre des nuits froides dont on peut disposer utilement pour la double décomposition étant restreint, on est exposé à voir une récolte compromise par un brusque changement de temps. Dans le traitement des eaux à 35 degrés, quand on veut en éliminer le sulfate de magnésie, il faut, pour que cette élimination réussisse bien, que les eaux n'aient pas été trop diluées; et, lors de leur exposition en couches minces, on a à redouter à la fois une température trop élevée qui serait un obstacle au dépôt du sulfate de magnésie, et une température trop basse qui déterminerait l'entraînement d'une partie de la potasse. Enfin la non-continuité des opérations rend difficile l'administration d'un personnel souvent exposé à des chômages.

Ces difficultés, qui ont comprimé l'essor de cette industrie, ne l'ont toutefois pas empêchée de s'exercer avec succès dans plusieurs salines, et la quantité de potasse annuellement livrée par elles au commerce, tout en étant restreinte, va cependant toujours en croissant. Une bonne partie des inconvénients signalés plus haut disparaîtrait, du reste, avec quelques modifications dans les procédés et dans l'outillage, et déjà d'heureuses tentatives ont été faites et se continuent dans ce sens. Mais ces modifications perdent de leur intérêt en présence du perfectionnement beaucoup plus important que M. Merle a apporté à ces procédés, perfectionnement qui modifie même si profondément qu'on peut dire qu'il constitue en quelque sorte une méthode toute nouvelle.

Cette méthode, dont la production industrielle du froid par les ingénieux appareils de M. Carré est le point de départ, peut être définie *le traitement direct des eaux de la mer concentrées par l'emploi du froid artificiel à très-basse température.*

Voici en quoi elle consiste :

Les eaux de la mer sont, comme à l'ordinaire, évaporées sur le sol pendant l'été, mais seulement jusqu'à ce qu'elles marquent 28 degrés à l'aréomètre Baumé; en cet état, elles ont déposé environ les quatre cinquièmes du sel marin qu'elles contiennent. On les renferme alors dans de très-grands réservoirs de $4^m,50$ de profondeur et de 50,000 mètres cubes de capacité. Là s'arrête l'opération salinière; toutes les autres opérations sont d'une industrie courante avec la houille comme unique agent. Les eaux à 28 degrés, qui constituent la matière première de cette industrie, sont successivement retirées des réservoirs pendant tout le courant de l'année, et soumises à un refroidissement de 18 degrés au-dessous de zéro dans les appareils réfrigérants analogues aux appareils à glace de M. Carré. L'opération est continue; l'eau à 28 degrés entre d'un côté et sort de l'autre, ayant perdu les 0.86 de son acide sulfurique, qui s'est déposé sous forme de sulfate de soude; ce sulfate de soude est constamment extrait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'appareil par une chaîne à godets; une essorreuse le dépouille des eaux-mères, et enfin un four à réverbère le dessèche (le sel déposé est du sulfate à deux équivalents d'eau).

Quant aux eaux frappées, elles passent directement de l'appareil réfrigérant dans des chaudières analogues aux chaudières ordinaires de raffinage de sel gemme; le sel marin qu'elles renferment encore se dépose par l'ébullition sous la forme d'un sel fin, qu'un essorage dans des turbines rend aussi beau que les plus beaux sels fins anglais.

Lorsque ces eaux ont atteint 36 degrés Baumé, on les répand sur des surfaces betonnées, où par refroidissement elles abandonnent, sous forme de chlorure double de potassium et de magnésium, la totalité de leur potasse, et elles sont ensuite rejetées. Ce chlorure double, lavé avec la moitié de son poids d'eau froide, donne les trois quarts de sa potasse sous forme de chlorure de potassium riche à 90 p. 100, et les eaux de lavage qui contiennent l'autre quart sont reportées dans les chaudières pour rentrer dans le roulement.

Les caractères essentiels de cette méthode sont, on le voit, la netteté et la régularité. L'action énergique du froid employé, non-seulement dispense des éliminations qui sont la base de l'autre méthode, mais elle permet aux phénomènes de double décomposition de s'accomplir avec une telle intensité que les eaux, ne renfermant plus ensuite qu'une quantité très-restreinte de sulfate de magnésie, sont propres à être traitées pour l'obtention des sels de potasse avec une incomparable facilité. Ainsi, par l'ébullition en chaudières, on extrait sensiblement la totalité du sel marin sans qu'il y ait une parcelle de potasse entraînée; et quand le dépôt de chlorure double a lieu ensuite par refroidissement, il ne reste point de potasse dans les eaux qui sont rejetées; toute la potasse se trouve donc condensée dans le chlorure double, et ce chlorure étant lui-même très-pur, il suffit pour le dédoubler et arriver au chlorure de potassium, d'un lavage à l'eau froide et d'un essorage à la turbine.

Le sulfate de soude obtenu par double décomposition dans des eaux à 28 degrés, et sous l'action d'un refroidissement aussi intense que 18 degrés au-dessous de zéro, ne serait pas pur si ces eaux étaient frappées telles quelles; il entraînerait avec lui une quantité notable d'hydrate de sel marin, cet hydrate se produisant déjà à 10 degrés au-dessous de zéro. Il suffit, pour empêcher complétement cette précipitation et avoir du sulfate pur, d'ajouter à l'eau à 28 degrés 10 p. 100 d'eau douce; cette addition rend plus facile la conservation des eaux à 28 degrés dans les grands réservoirs, puisqu'une légère dilution non-seulement n'est pas nuisible, mais est même nécessaire.

Un autre fait remarquable dans ce traitement, c'est la grande facilité avec laquelle on obtient en chaudières, par ébullition, le sel marin à l'état de sel fin. Si on soumettait à l'ébullition les eaux à 28 degrés non frappées, il se produirait des adhérences au fond des chaudières, ce qu'on nomme ordinairement des croûtes, qui bientôt gêneraient l'opération au point de l'arrêter.

La double décomposition qui se fait pendant le frappage, en dépouillant les eaux du sulfate de magnésie, et les enrichissant de chlorure de magnésium, change toutes ces conditions. Non-seulement les eaux frappées ne sont pas sujettes aux fortes adhérences qui accompagnent l'ébullition des eaux non frappées, mais elles sont même exemptes de ces croûtes légères qui se produisent dans le raffinage des sels de mine. La production du sel fin se fait donc dans d'excellentes conditions.

La netteté et la régularité ne sont pas les seuls caractères essentiels de ce système : une autre considération bien importante, c'est la *quotité* des produits auxquels il donne lieu. Les opérations salinières étant, en effet, limitées à la production sur le sol des eaux à 28 degrés, on s'affranchit des inconvénients de la perméabilité des terrains, cette perméabilité ne devenant sérieusement nuisible que quand les eaux sont très-concentrées. Ce qui était le point de départ salinier dans l'ancienne méthode en devient la fin dans la nouvelle. L'eau à 28 degrés, une fois emmagasinée dans les grands réservoirs betonnés, n'en sort plus que pour entrer dans des vases métalliques, et les opérations se faisant dès lors sans aucune perte, on arrive à une production que l'appropriation de grandes surfaces d'évaporation permettra de rendre véritablement **énorme.**

Un mètre cube d'eau à 28 degrés qui, sans perte, correspondrait à 25 mètres cubes d'eau de mer, mais qui, à cause des infiltrations, correspond environ à 75 mètres cubes de cette eau, traité comme il vient d'être dit, donne :

40 kilos de sulfate de soude anhydre,
40 *id.* de chlorure de potassium,
et 120 *id.* de sel marin raffiné.

M. Merle a déjà, dans la Camargue, organisé un traitement correspondant à 100,000 mètres cubes d'eau à 28 degrés, qui remplissent en ce moment les réservoirs, et ce n'est qu'une faible fraction de ce qu'il peut faire avec les surfaces dont il dispose. On peut donc espérer que dans un avenir prochain, cette exploitation, qui constitue un progrès marquant dans l'industrie des alcalis, fera des pays chauds les producteurs de la matière première qui sert à les obtenir, abaissera le prix de la soude, et rendra les sels de potasse abordables à beaucoup d'industries qui ne peuvent les employer dans les conditions commerciales où se trouve actuellement ce produit.

Il ne resterait, pour que l'exploitation fût complète, qu'à tirer parti des dernières eaux où s'est concentré le brome et le chlorure de magnésium; mais les soins à donner au traitement général n'ont pas encore permis de s'occuper sérieusement de ces derniers produits.

C'est lorsque l'industrie, que M. Balard avait créée par tant de travaux, paraissait amenée à un état définitif, qu'un événement inattendu sembla devoir renverser un édifice si laborieusement élevé. Un gisement considérable de chlorure de potassium, découvert en Allemagne, à Stassfurt, dans des couches de terrain supérieures à des dépôts de sel marin, c'est-à-dire le résultat de l'évaporation d'une mer aux époques géologiques, est venu diminuer de moitié le prix du chlorure de potassium. Il y avait là de quoi décourager une persévérance ordinaire; mais M. Balard a montré que l'industrie des eaux-mères n'avait pas cessé d'être possible, mais seulement que les conditions économiques nouvelles devaient la faire transformer.

Voici comment on procède aujourd'hui dans les salines de la Camargue : les eaux-mères n'y sont plus comme précédemment emmagasinées dès qu'elles sont parvenues à une densité de 28 degrés Baumé pour être artificiellement refroidies et converties en chlorure de potassium; mais, comme autrefois dans les salines de l'Hérault, on laisse ces eaux se concentrer par l'évaporation sur le sol. On recueille ainsi trois espèces de dépôts : le premier, formé par les eaux évaporées jusqu'à 32 degrés du pèse-sel, composé exclusivement de *sel marin;* le deuxième, déposé entre 32 et 35 degrés, composé par parties égales de sel marin et de sulfate de magnésie, et dit *sel mixte;* le troisième produit entre 35 et 37 degrés, dit *sel d'été,* qui contient encore du sulfate de magnésie et du sel marin, mais où toute la potasse est venue se concentrer, partie sous la forme de sulfate double de potasse et de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

magnésie, partie sous la forme de clorure double de potassium et de magnésium.

Le sel mixte est dissous sur place, et sa solution, renfermée dans de grands réservoirs, passe directement aux machines réfrigérantes où se fait, par double décomposition, le sulfate de soude. Le sel brut, dit sel d'été, est recueilli et mis en réserve. Dissous, au fur et à mesure des besoins, dans de l'eau douce chauffée de 90 à 100 degrés, il laisse déposer par refroidissement le sulfate double de potasse et de magnésie, comme il a été dit. Mais on ne retire ainsi que la moitié ou un peu plus de la moitié de la potasse contenue dans le sel d'été. L'autre moitié reste dans l'eau-mère, et c'est cette eau-mère qui, restée jusqu'ici sans utilisation ou d'une utilisation difficile, avait fait renoncer à ce mode d'obtention de la potasse. Mais le froid artificiel permet d'y revenir aujourd'hui avec beaucoup d'avantage. En Camargue, ces eaux-mères vont aux machines réfrigérantes, où elles sont soumises à un froid de 15 à 17 degrés au-dessus de zéro; le sulfate de soude qu'elles sont susceptibles de donner se dépose; elles sont ensuite dirigées sur les bassins d'évaporation où elles se concentrent, en laissant déposer le reste du sel marin qu'elles renferment; puis, mélangées dans de certaines proportions avec le chlorure de magnésium de l'opération précédente, elles abandonnent toute leur potasse sous la forme de chlorure double de potassium et de magnésium, sel qui se dédouble à l'eau froide avec la plus grande facilité.

Ce système très-rationnel permet de retirer les 55 centièmes de la potasse sous forme de sulfate double et les 45 centièmes sous forme de chlorure.

Le chlorure et le sulfate de potasse peuvent, par le procédé Leblanc, donner du carbonate de potasse.

On voit, comme le dit très-bien M. Balard, que la potasse des mers actuelles continuera à servir dans l'industrie comme celle qu'a déposée dans le sol de Stassfurt l'évaporation des mers des temps anciens.

L'agriculture, notamment, devra tirer parti d'une production abondante de potasse. Le sulfate double de potasse et de magnésie a paru réussir heureusement dans la confection de quelques engrais, et dans cette voie se rencontrera, bien probablement, le couronnement de la grande œuvre de M. Balard.

Pour terminer l'exposition des procédés employés pour extraire le sel marin de l'eau de mer, il nous reste à indiquer deux procédés, peu employés, mais que l'on doit cependant signaler.

Sel ignifère. On désigne sous ce nom le sel que l'on prépare dans l'Avranchin (département de la Manche). Cette industrie était protégée par des priviléges qui n'existent plus aujourd'hui, aussi se trouve-t-elle réduite à un état très-précaire : nous n'en parlons ici que pour mémoire.

Le saunier ramasse, pendant les basses-mers, le sable qui a été imprégné d'eau de mer, et qui, desséché par l'évaporation, contient une certaine quantité de sel. Il place ce sable dans une grande caisse en bois de 0m,30 environ de profondeur, et de 3 mètres de côté dont le fond est recouvert de paille, de manière à former une espèce de filtre, puis il verse dessus 700 à 800 litres d'eau de mer qui se sature de sel en traversant cette couche de sable. La densité de cette eau s'élève environ à 1,16; c'est le point le plus convenable pour la soumettre à l'évaporation. Cette opération s'exécute au moyen de trois bassines en plomb, de 20 litres de capacité, simplement posées sur les pierres qui forment le fourneau. On enlève les écumes quand le liquide, que l'on nomme brune, commence à bouillir, et chaque fois que l'on ajoute de nouvelle eau pour remplacer celle qui s'est évaporée, on évapore la masse à sec en ménageant le feu pour ne pas fondre les plombs à la fin de l'évaporation. Chaque opération dure deux heures. On peut en faire dix ou douze par jour. On évapore 700 à 800 litres de brune qui fournissent 150 à 200 kil. de sel, et on brûle vingt à vingt-cinq fagots. Le sel obtenu dans chaque opération est placé dans des paniers, que l'on suspend au-dessus des chaudières pendant l'opération suivante. Les sels déliquescents se liquéfient, et le sel en s'égouttant s'en trouve en grande partie débarrassé.

Extraction du sel par la gelée. L'eau, chargée de sel, jouit de la propriété de ne se solidifier qu'à une température de beaucoup inférieure à celle qui suffit pour congeler l'eau pure. De là, un moyen de se procurer du sel de l'eau de mer, dans les pays froids, où on ne peut appliquer la méthode des marais salants. Il suffit, en effet, d'exposer à un certain refroidissement l'eau de mer pour la voir se partager en deux parties : l'eau pure se gèle, et l'eau chargée de sel reste liquide. On enlève les glaçons, et, en répétant cette opération, si cela est nécessaire, on obtient une liqueur très concentrée qu'il suffit de soumettre à l'évaporation.

Les sels obtenus par ce procédé sont très-impurs. D'après M. Hess, le sel des salines d'Oustkout renferme :

Sel marin.	74,84
Sulfate de soude.	15,20
Chlorure d'aluminium. . .	1,17
Chlorure de calcium . . .	5,21
Chlorure de magnésium . .	3,57
Total. . .	100,00

On pourrait les obtenir très-purs en traitant l'eau de mer par la chaux avant de l'exposer à la gelée; on décomposerait ainsi les sels de magnésie et d'alumine et on empêcherait la formation du sulfate de soude et, par conséquent, la décomposition d'une quantité équivalente de sel marin. H. MANGON.

MARBRE (*angl.* marble, *all.* marmor). Les marbres appartiennent à deux variétés de pierre calcaire, la variété saccharoïde et la variété compacte.

La chaux carbonatée saccharoïde fournit les marbres statuaires : celui de Carrare, dont le grain est très-fin et très-homogène, est actuellement le plus généralement employé; celui de Saint-Béat, dans les Pyrénées, est à grain beaucoup plus gros, plus translucide, et se rapproche beaucoup du marbre antique de Paros; celui de Soste est à grain très-fin, fortement translucide, d'une sonorité remarquable, et pour ainsi dire inaltérable par l'action des agents atmosphériques. Malgré ces précieuses qualités qui devraient le faire préférer à tout autre, pour l'art statuaire, surtout dans nos climats froids et pluvieux, ce marbre n'est presque pas employé à cause de son extrême dureté qui augmente considérablement les frais de main-d'œuvre. Parmi les marbres d'ornement qui se rapportent au calcaire saccharoïde, nous citerons le *bleu turquin* légèrement coloré en gris-bleuâtre par une faible proportion de bitume; le *marbre jaune antique* coloré par une petite quantité d'hydrate de fer; et le *marbre cipolin*, marqué de larges bandes ondulées blanches et vertes, résultat de l'association du calcaire saccharoïde blanc et de schiste talqueux verdâtre. Ces divers marbres sont des roches métamorphiques.

Les calcaires compactes fournissent la plupart des marbres d'ornement. Leur nombre est infini, et leur nomenclature est arbitraire; elle varie dans chaque pays. Les plus abondants sont donnés par des colorations en noir ou en gris dues à un mélange de bitume, en rouge ou en jaune par de l'oxyde de fer anhydre ou hydraté. Quelques marbres verts sont le résultat d'un mélange de calcaire et de schiste talqueux ou de serpentine. Dans les marbres noirs, on distingue : 1° le *noir antique*, ou drap mortuaire dont la couleur est homogène; 2° le *petit granite*, dont le fond noir est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parsemé de parties plus claires, disséminées d'une manière à peu près régulière. Ces parties, qui brillent dans la cassure, sont dues à des encrines spathiques; 3° le *marbre Sainte-Anne*, qui présente sur un fond noir ou d'un gris très-foncé, des veines blanches qui se croisent dans tous les sens; 4° le *petit antique*, offrant un mélange de taches noires et blanches à peu près égales et anguleuses. Ces quatre variétés de marbre, appartenant au terrain de transition, existent avec abondance dans les environs de Mons, et forment, pour la Belgique, un objet d'exportation considérable; 5° le *marbre portor*, exploité au pied des Apennins au sud-est de Gênes, et près de Porto-Venere, lequel présente sur un fond d'un beau noir des veines d'un jaune doré du plus bel effet. Parmi les marbres rouges, on distingue : 1° le *marbre griotte*, dont le fond, d'un rouge-brun, est parsemé d'une manière symétrique de taches d'un rouge beaucoup plus clair, quelquefois aussi de taches blanches, arrondies, appartenant à des nautiles; 2° le *marbre de Sarancolin*, dans les Pyrénées, d'un rouge foncé, mêlé de gris et de jaune avec des parties transparentes; 3° le *marbre du Languedoc*, ou *marbre incarnat*, d'un rouge assez clair, mêlé de parties plus claires dues à des polypiers. On doit encore signaler le marbre de Florence, ou *marbre ruiniforme*, dans lequel on remarque, sur un fond gris, des dessins anguleux, bizarres, d'un brun-jaunâtre, qui simulent l'apparence de ruines; c'est un calcaire compacte argileux d'un gris-jaunâtre, dans lequel le retrait a produit des fentes dans différents sens. Un ciment calcaire en a réuni plus tard les fragments, tandis qu'une infiltration ferrugineuse, se distribuant d'une manière irrégulière dans ce calcaire, a produit les dessins figuratifs.

Les calcaires compactes contiennent très-fréquemment des coquilles fossiles disséminées dans leur intérieur; quand ces coquilles sont abondantes et que le test en est conservé, on désigne ces calcaires sous le nom de *lumachelle;* parmi ces lumachelles, quelques-unes présentent des reflets agréables analogues à ceux de la nacre : elles sont alors très-estimées comme marbre d'ornement. On distingue la *lumachelle d'Astrakan* et la *lumachelle opaline* : dans la première, les coquilles sont d'un jaune clair et se détachent sur un fond brunâtre. La lumachelle opaline vient de Bleiberg en Carinthie; elle présente des reflets irisés de couleur rouge-orange, rouge de feu et gorge de pigeon du plus bel effet.

Cet aperçu succinct sur les marbres montre que leur gisement général est dans les terrains de transition; cependant, dans les Alpes et dans les Pyrénées, les formations jurassiques et crétacées en fournissent également de très-beaux, mais leurs caractères sont dus à une cause métamorphique.

L'estime que l'on fait d'un marbre est fondée sur la vivacité de ses couleurs, sur son homogénéité qu'on reconnaît au son plus ou moins clair qu'il rend lorsqu'on le frappe, sur la beauté du poli qu'il est susceptible de prendre, et surtout sur la propriété de se conserver à l'air sans altération. On ne saurait indiquer de règle à cet égard; toutefois on peut dire que ceux qui contiennent de l'argile se délitent facilement à l'air, que les marbres mélangés de pyrites de fer se salissent en se couvrant de rouille, et qu'en général plus un marbre est sonore, plus il prend un beau poli et plus il est inaltérable à l'air.

MARGARATES. Sels formés par l'acide margarique.

Acide MARGARIQUE. Cet acide, découvert par M. Chevreul, cristallise en aiguilles entrelacées très-brillantes, fusibles à 60°, insipides, insolubles dans l'eau, très-solubles dans l'alcool et l'éther, formant avec les bases des sels qui ont beaucoup d'analogie avec les stéarates.

A l'état de pureté, l'acide margarique n'a pas d'usage dans les arts : mais mélangé avec l'acide stéarique et quelquefois un peu de cire, il constitue les bougies stéariques (voyez BOUGIE).

MARNE (*angl.* marlen, *all.* mergel). Nom qu'on donne à tous les mélanges de calcaire et d'argile susceptibles de se déliter à l'air; on les emploie en beaucoup de lieux pour amender les terres. Dans les pays où la couche arable est formée surtout de sable siliceux, comme en Sologne, la marne fournit le moyen le plus puissant d'amendement, le seul capable d'amener ces pays misérables à une véritable prospérité agricole en formant, par le mélange des deux terres, un sol possédant toutes les qualités requises pour la culture. (Voyez ARGILE et CALCAIRE).

MAROQUIN (voyez TANNAGE).

MARTEAU (*angl.* et *all.* hammer). Le marteau est l'outil par excellence d'un grand nombre d'artisans et son adroit maniement le principal cachet de leur habileté. Servant à produire un choc d'intensité variable, il permet d'obtenir en un point telle pression que l'on désire. Beaucoup d'artisans n'ont que le marteau pour outil, et avec son aide font des prodiges. Un orfévre prendra un cube d'argent ou de cuivre rouge, et avec le secours du marteau seulement, il fera prendre à ce morceau brut les formes les plus délicates, les plus élégantes, les plus éloignées de sa forme primitive; il en fera une bouteille, au fond renfoncé, aux flancs larges, au goulot allongé, à l'orifice étroit et garni d'un bourrelet; il en fera une coupe à pied, une cafetière, etc.; le forgeron convertira un morceau de fer en tel objet dont on lui aura tracé le dessin. Aussi l'art de se servir du marteau est-il long et difficile à acquérir; sentir les effets produits par chaque coup de marteau en raison de son intensité, de sa direction; faire succéder les variations de forme de manière à arriver au but, sans déchirer le métal, est un art véritable.

Les formes des marteaux varient avec les diverses professions, et il serait sans intérêt de les décrire en dehors du genre de travail qu'ils servent à exécuter. Nous devons rester ici dans les considérations générales.

Un marteau dans son mouvement décrit une portion de circonférence dont le manche est le rayon, et le marteau *aura*, dit-on habituellement, d'autant *plus de coup*, qu'il sera mieux contouré suivant la circonférence dont le manche est le rayon. Pour les marteaux à manche un peu long, l'évidement de la paume sur le dessus du marteau suffit pour satisfaire à cette condition; mais pour ceux à manche court, et qui, devant être à petite section et avoir un certain poids, sont assez longs, ils doivent être courbés selon la circonférence de parcours. Il est clair que la percussion n'aurait plus lieu comme par un point unique, si le corps du marteau était droit, que l'extrémité de la panne animée d'une plus grande vitesse que le centre de gravité tendrait à faire basculer le marteau après le choc, et produirait des effets qui, dans certains cas, pourraient être d'autant plus fâcheux qu'on pourrait n'en pas voir de suite la cause.

Les poids des marteaux doivent varier comme leurs formes. En général, pour enfoncer des clous dans les bois, le marteau doit être léger et mû rapidement, il causera moins de fentes qu'un marteau plus lourd et mû moins rapidement. Au contraire pour exercer la compression d'une forte masse résistante, il faut employer des marteaux d'un poids considérable.

Des martinets et des marteaux à ordon. Quand le marteau doit devenir, pour le travail à effectuer, d'un poids trop considérable pour pouvoir être manié à bras, on le fait mouvoir mécaniquement, à l'aide d'une roue hydraulique le plus souvent, et on déplace

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la matière soumise à son action au lieu de déplacer le marteau, comme quand on manie celui-ci à la main.

C'est à l'aide de cames qu'on soulève le marteau dans des conditions évidemment défavorables au point de vue du travail mécanique, puisqu'il résulte un choc destructeur de travail utile à la rencontre du marteau en repos par la came en mouvement. La rapidité du mouvement de celle-ci est nécessaire pour que les coups du marteau soient suffisamment multipliés, ce qui exige encore la disposition représentée fig. 859 (article FER), c'est-à-dire l'emploi d'une forte pièce de bois encastrée par une extrémité, et qui, agissant comme un puissant ressort, renvoie le marteau qui la rencontre en se soulevant, et lui restitue une force vive égale à celle qui lui avait été imprimée, dans le sens où le travail doit être effectué par cette force vive et celle qui est produite par la chute du marteau.

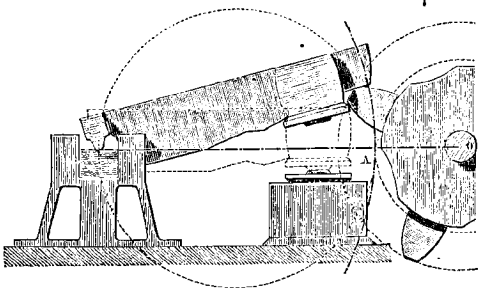


Fig. 1502.

Marteaux à soulèvement. Lorsqu'une très-grande rapidité n'est pas nécessaire et que le poids du marteau doit être très-considérable, comme quand il s'agit de comprimer la loupe de fer obtenue dans les forges pour en faire sortir le laitier, on se contente de le laisser retomber sur le corps à écraser. Tel est le marteau frontal (fig. 1502). On a tracé sur cette figure les éléments du tracé des cames obtenu comme l'indique la théorie des engrenages, c'est-à-dire de telle sorte que les deux mouvements des cames et du marteau soient, pendant le contact, dans un rapport de vitesse constant. On voit que la partie antérieure du marteau étant considérée comme le flanc d'une dent, sa distance au centre déterminera le rayon du cercle dont le roulement servira à tracer les épicycloïdes formant le contour des dents. Pendant la levée (et indépendamment du choc initial), on se trouve exactement dans le cas déjà étudié des engrenages à flancs, mais cette perfection de tracé est sans valeur en raison du choc produit au moment où la came vient en contact.

On peut éviter le choc si nuisible dans ces machines, et qui entraîne une destruction de forces vives considérable dans le cas du marteau à soulèvement. On sait qu'il faut pour cela, toutes les fois que cela est possible, remplacer les cames par une excentrique continue. La courbe devrait, pour une solution complète au point de vue dynamique, ne jamais abandonner complétement le corps, pour ne pas le rencontrer au repos lorsqu'elle marche elle-même avec une certaine vitesse. Telle serait l'excentrique tracée de telle sorte qu'au point le plus bas de sa course elle fût à très-peu près tangente à une droite menée par le centre du mouvement du marteau, tangentiellement au cylindre qui est monté sur l'axe de rotation; toutefois dans ce cas il n'y aurait plus de choc, de chute réelle du corps pesant, condition essentielle du travail auquel le marteau est destiné.

Un système satisfaisant avait été adopté dans quelques forges anglaises; celui du marteau dit *belly-helve* (marteau à manche renflé). Le manche de ce marteau porte à sa partie inférieure une espèce de mentonnet, entre la tête et l'axe de rotation, que soulève une roue munie d'excentriques qui tourne dans une fosse. Grâce à ce mentonnet, le marteau ne peut rencontrer l'excentrique en descendant, et cette disposition était, sans aucun doute, à conseiller pour les forges, avant l'invention de l'admirable outil dont nous allons parler dans un instant.

L'action de ces lourds marteaux est énergique, mais elle est uniforme, c'est-à-dire tantôt trop grande, tantôt trop petite pour le travail à exécuter. Aussi l'art de la forge des grosses pièces n'a-t-il vraiment pris naissance que quand on a su construire un marteau dont on peut faire varier la puissance à volonté. Tel est le marteau à vapeur, le marteau-pilon, une des plus précieuses conquêtes qu'ait faites l'art de la construction des grands mécanismes, et qui, dès son invention, a remplacé aussitôt le vieux marteau de forge dans tous les grands ateliers.

MARTEAU A VAPEUR (ang. *steam hammer*). L'invention du marteau à vapeur ou marteau-pilon a été réclamée, en France, par M. Schneider du Creusot, qui a pris à cet égard un brevet en date du 19 avril 1842, et en Angleterre, par M. Nasmyth, breveté à Londres le 9 juin de la même année. Ce simple énoncé de dates suffit pour que l'on n'hésite pas un instant à attribuer à notre compatriote, ou plutôt à M. Bourdon, l'habile ingénieur, qui a fait de si grandes choses dans l'établissement dont M. Schneider est l'administrateur, le mérite de la découverte de cette ingénieuse machine, qui présente une nouvelle application de l'emploi direct de la vapeur aux organes des machines-outils, principe que M. Cavé avait déjà adopté avec tant de succès pour ses *machines à percer et à cintrer la tôle*, etc. (voyez CHAUDRONNERIE).

Voici comment parle de cette invention de F. Bourdon, M. E. Flachat, dans une notice nécrologique sur le savant ingénieur qui avait créé l'admirable navigation à vapeur qui existait sur le Rhône au moment où la création du chemin de fer est venue la détruire, et qui a su donner une admirable impulsion aux grands ateliers des *forges et chantiers* de la Méditerranée.

C'est en 1840, lorsque MM. Schneider entreprirent la construction au Creusot des premiers navires transatlantiques français, que Bourdon inventa, pour forger les gros arbres et les principales pièces du mécanisme des machines, un marteau mû par la vapeur, frappant verticalement à la manière du mouton des charpentiers; cet appareil reçut le nom de *marteau-pilon*. La même idée était venue à Nasmyth, grand mécanicien aussi, et dont le nom se lit à côté de celui de Whitworth, sur la plupart des machines-outils des ateliers en Angleterre et sur le continent. Nasmyth, consulté, déclara à M. Schneider avoir eu la même pensée que Bourdon, et, un an après, traversant la France, il s'arrêtait au Creusot pour assister au fonctionnement de l'appareil. A son retour, il prit un brevet tout aussi légitime, sans doute, dans son pays, que celui du Creusot le fut en France.

Ce jugement du savant ingénieur qui avait, en écrivant ces lignes, des renseignements certains, met fin, à notre avis, à toute discussion de priorité.

On est parvenu, avec le marteau à vapeur dont les dimensions peuvent être aussi grandes que l'on voudra, à pétrir, comme à plaisir, les masses de fer les plus considérables, les difficultés du travail ne croissant pas avec les proportions de l'outil, et avec son aide, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forge et on soude les plus fortes pièces aussi facilement que celles de dimensions ordinaires. Le poids du marteau s'élève de 2500 à 3000 kilogr. ou plus, et sa levée peut varier à volonté depuis 1m et plus jusqu'aux plus petites distances, de sorte que l'ouvrier s'en sert indifféremment et avec une égale facilité pour souder, pour étirer, pour parer et pour finir. Lorsque l'ouvrier, pour vérifier les dimensions des pièces cinglées, veut suspendre, sans l'arrêter tout à fait, la marche du marteau, cette masse énorme se balance et oscille au-dessus de la pièce sans la toucher, attendant pour ainsi dire le moment d'agir.

Du reste, M. Schneider et M. Nasmyth employant les mêmes dispositions principales, il nous suffira, par exemple, de décrire le marteau à vapeur d'après le texte du brevet de M. Nasmyth. (Voy. MACHINE A VAPEUR.)

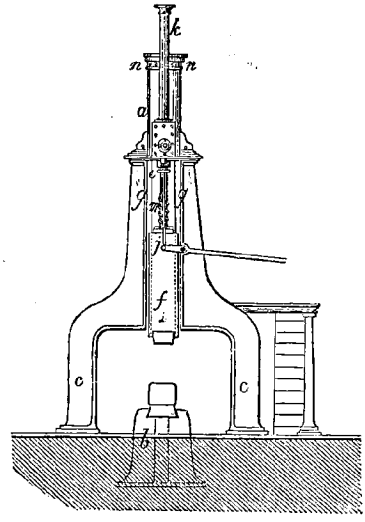
La fig. 1503 est une vue de face de ce marteau; la fig. 1504 est une coupe verticale passant par l'axe de la machine; et la fig. 1505 est une élévation de l'appareil un peu modifié et supposé opérer sur une forte pièce.

a, a, est un cylindre placé, aussi verticalement que possible, au-dessus de l'enclume *b*, et porté par les deux montants latéraux *c, c* (fig. 1503 et 1504), ou par un sommier *s* (fig. 1505). Un piston *d* se meut dans ce cylindre et soulève le mouton *f* avec lequel il est lié par la tige *e*. Ce mouton, qui sert de marteau, est guidé, dans son ascension et dans sa descente, par la coulisse verticale *g, g*, dont les deux côtés sont fixés aux montants *c, c* (figures 1503 et 1504), ou maintenus par des contre-fiches *u, u* (fig. 1505).

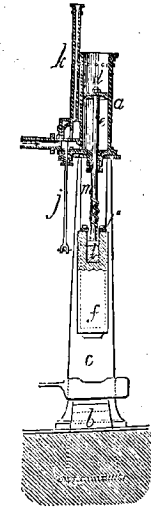
La vapeur, ou tout autre fluide élastique capable de soulever le marteau *f*, en agissant sous le piston, arrive, par suite de l'élévation du tiroir *i*, dans le cylindre *a*, agit sous la surface du piston *d*, et soulève le marteau *f*, à une hauteur limitée seulement par celle du cylindre auquel on peut donner toute la longueur nécessaire. Lorsque le marteau est arrivé à la hauteur que l'on désire, on abaisse le tiroir par le moyen de la tringle à poignée *j*, non seulement assez pour empêcher la vapeur d'affluer davantage, mais encore suffisamment pour permettre à celle qui est renfermée sous le piston de s'échapper par le tuyau *k*. Au moment où l'on exécute cette manœuvre, le marteau descend avec toute l'énergie due à la hauteur de sa chute, et donne, par conséquent, un coup puissant sur la pièce que l'on veut forger. On élève alors la poignée *j*, soit par l'effet même de la descente du marteau, soit à la main, selon qu'on le trouve plus convenable, et l'on permet ainsi à la vapeur de rentrer sous le piston. En admettant et en laissant ainsi échapper la vapeur, on communique donc au marteau *f* un mouvement d'ascension ou de chute, par l'action directe de ce fluide élastique, sans l'interposition d'aucune espèce de mécanisme. Ce qu'il y a d'ailleurs de très important, c'est que la rentrée de la vapeur, que la hauteur de la chute, et par conséquent l'intensité du coup peuvent varier à volonté, et que, de plus, la surface agissante du marteau ou de l'instrument tranchant, reste toujours parallèle à celle de l'enclume ou du coin qui reçoit le coup, quelle que soit la hauteur à laquelle s'élève la pièce choquante.

La liaison de la tige *e* du piston et le marteau se fait en interposant une matière élastique *l* (fig. 1504) entre ce marteau et les deux portées du renflement pratiqué au bas de la tige de suspension, afin d'éviter les ruptures ou les dégradations qui pourraient survenir au piston, à la tige ou au cylindre, au moment du choc, ou bien à celui de l'introduction de la vapeur dans le cylindre. Pour éviter plus sûrement ce dernier inconvénient, on taille un peu obliquement, à la lumière du cylindre, la partie inférieure du tiroir *i*, ce qui permet à la vapeur d'entrer d'abord par un des angles et d'agir sous le piston sans secousse brusque.

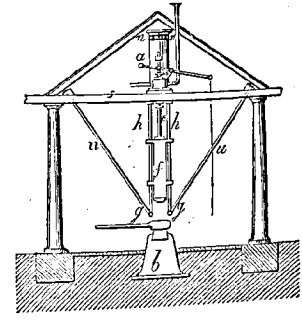
En se reportant à la fig. 1504, on reconnaît la position de la matière compressible (laine, bois ou cuir), au-dessus et au-dessous du renflement qui termine la tige *e*; cette matière est retenue en *l'*, par le fond de la cavité cylindrique, et en *l''*, par la rondelle boulonnée qui sert à lier la tige avec le marteau ou à l'en séparer, quand on le désire. Un fort ressort spiral *m* entoure la tige du piston, et prévient les chocs rudes que le marteau pouvait exercer contre le fond du cylindre; ce ressort sert en même temps de rabat pour accélérer la chute. On empêche au reste le piston de s'élever trop



1503.



1504.



1505.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

haut, en pratiquant, dans la partie supérieure du cylindre, tout autour de sa périphérie, une rangée de trous *n*, *n*, qui permettent à la vapeur de s'échapper, lorsque le piston atteint accidentellement ce niveau.

La fig. 1506 représente la modification du marteau

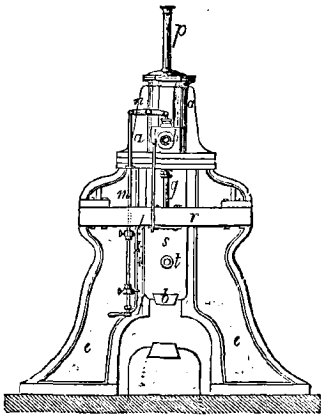


Fig. 1506.

à vapeur primitif, généralement adoptée, permettant d'obtenir à volonté une rapide succession de coups, soit faibles, soit forts, en faisant mouvoir mécaniquement l'appareil qui opère l'admission et la sortie de la vapeur.

Les dispositions principales sont semblables à celles que nous venons de décrire : on voit, en *a a*, le cylindre à vapeur; en *b*, le marteau qui peut être terminé par une étampe, une matrice ou un outil tranchant, selon le besoin; en *d*, l'enclume; en *e*, *e*, les montants latéraux qui supportent l'appareil principal ; enfin, en *g* la tige du piston assemblée avec le marteau *b*.

Voici comment l'appareil fonctionne. Lorsque la vapeur est admise dans la boîte à vapeur *h*, par suite de l'ouverture du robinet *i*, le piston s'élève avec le marteau qui est muni d'un mentonnet *k*. Ce mentonnet, en montant, rencontre un arrêt *l*, fixé sur la tringle verticale *m*, qui est liée avec la tige du tiroir par le moyen du fléau *n*, et qui, par conséquent le déplaçant, renverse la vapeur, la fait passer dans la partie du cylindre située au-dessus du piston, et de là dans l'atmosphère par le tuyau *p*. Le marteau redescend alors, et le mentonnet *k* rencontre un autre arrêt *q*, également fixé sur la tige verticale *m*, et qui fait rentrer la vapeur sous le piston en relevant le tiroir. La répétition de ces effets contraires produit donc une succession de coups dont la rapidité dépend de la position des arrêts *l* et *q*, ainsi que de la pression de la vapeur. Enfin, dans la construction représentée sur la figure, une pièce de charpente *r*, légèrement élastique et garnie de quelques morceaux de cuir superposés *s*, servant de garnitures, est rencontrée par deux saillies *t* établies sur la partie supérieure du marteau qu'elle renvoie, ce qui augmente l'énergie du coup.

On a cherché à améliorer le marteau à vapeur par diverses dispositions. Je citerai les deux principales.

La vapeur devant toujours soulever le poids du marteau, ce marteau est ordinairement fixé à l'extrémité d'une tige verticale, qui elle-même est reliée au piston de la machine. Les assemblages et les guides de ces différentes pièces sont difficiles à maintenir en bon état, et quelques constructeurs anglais ont préféré faire mouvoir le cylindre, qui forme alors partie du marteau. Dans ces conditions, le piston reste immobile et devient le guide du cylindre. Cette disposition, très-simple en elle-même, a eu beaucoup de succès en Angleterre : les marteaux Condie, construits sur ce principe, sont répandus dans toutes les usines. Au moyen de ce changement de construction, le marteau peut être plus puissant pour le même prix de revient et avec le même poids total.

Dans les premiers appareils, le rôle de la vapeur était limité au relèvement du marteau; mais on se sert maintenant de son action pour accroître la vitesse de la chute. Le marteau est alors à double effet, et cette modification importante, qui augmente ainsi la puissance d'un même outil, est réalisée sous différentes formes. A égalité de poids, les marteaux à double effet sont beaucoup plus puissants que les marteaux à simple effet, et par cela même le champ des travaux auxquels ils conviennent est beaucoup plus étendu. Quelquefois c'est la vapeur même qui a relevé le piston et qui, passant dessous, vient produire le second effet par sa détente, moyen qui constitue une économie réelle sur le procédé le plus ordinaire, qui consiste à employer séparément la vapeur pour relever la tige, et la vapeur pour aider au choc.

Il y a encore une autre disposition : c'est celle qu'a employée M. Farcot. Elle consiste à former du bâti même de la machine un réservoir général de vapeur, toujours prêt à relever le mouton au moyen d'une distribution convenable : cette vapeur se tend et se détend pendant l'action du piston ; elle se réchauffe par le rayonnement des pièces que l'on forge, et qui, comme on le sait, portent à une température très-élevée tous les objets voisins. Sous le rapport du bon emploi de la vapeur, le marteau de M. Farcot est dans les meilleures conditions; mais son action est moindre que celle du marteau qui reçoit la vapeur sur les deux faces du piston.

Des marteaux-pilons de dimensions énormes ont été établis, surtout pour le forgeage à cœur de gros blocs d'acier nécessaires pour la fabrication des canons de grande dimension. Des marteaux de 20, 40 tonnes, avec des chutes de 2 à 4 mètres, existent aujourd'hui, et leur établissement a exigé des frais énormes. Ce sont des constructions monumentales, des enclumes de 6 à 800 tonnes, notamment, sont nécessaires pour utiliser les chocs de semblables masses à un travail utile et non à détruire la construction.

MASSICOT, protoxyde de plomb. (Voyez PLOMB.)

MASTIC (*résine*). Cette résine s'extrait par incision du *pistacia lentiscus*, qui croît dans l'île de Chio, et s'obtient sous formes de graines ou larmes jaunâtres, demi-translucides. Celle qu'on recueille sur le tronc forme le *mastic en larmes;* celle qu'on ramasse par terre constitue le mastic commun. Le mastic se ramollit sous la dent, possède une faible saveur aromatique, un peu amère, et une odeur agréable. Aussi s'en servait-on autrefois comme masticatoire pour parfumer l'haleine, ce qui lui a valu le nom qu'il porte. Projeté sur des charbons ardents, il répand une odeur assez forte. Sa densité est de 1,074.

Le mastic entre dans la composition de plusieurs emplâtres, onguents, vernis et poudres fumigatoires.

MASTIC. Voyez CIMENT.

MATRICE. On désigne, sous le nom de matrices, les creux qui servent dans beaucoup de professions pour obtenir des reliefs, soit au moyen de l'estampage, soit au moyen du moulage. Lorsque les pièces qu'il s'agit d'obtenir sont de grandes dimensions, on obtient, en général, la matrice par un moulage; c'est ainsi que s'obtiennent en fonte de fer les matrices de grande dimension qui servent dans l'industrie des cuivres estampés. Mais quand les objets sont très-délicats et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les formes doivent en être d'une grande pureté, comme pour la bijouterie, on obtient ces matrices à l'aide de la percussion d'un poinçon d'acier trempé dans la masse d'acier recuit qui doit former la matrice. On a plusieurs fois tenté d'obtenir ces matrices sans gravure et, par suite, avec une grande économie. Les procédés employés se réduisent, en général, à mouler en fonte très-dure le poinçon dont on veut éviter la gravure. Ce poinçon, presque toujours retouché et trempé, est enfoncé dans une matrice fondue aussi d'après le modèle primitif, de telle sorte que les masses sont indiquées et qu'il ne reste plus qu'à aviver les arêtes, action à laquelle suffit le poinçon fondu.

Ce procédé qui, imparfaitement exécuté, est sans avantages à cause des nombreuses retouches qui deviennent nécessaires, ne donne, entre des mains inhabiles, que des résultats fort inférieurs à ceux de la gravure; mais quelques travailleurs intelligents, qui ont parfaitement saisi tous les tours de main et les conditions de succès des opérations successives, en obtiennent quelquefois des résultats vraiment remarquables. On a admiré, à une exposition, les produits d'un exposant qui montrait des matrices d'acier correspondantes à une multitude de sujets en cire, en plâtre, d'une pureté remarquable et à des prix peu élevés.

MATTE (*angl.* matt, *all.* stein). Lorsque l'on fond des minerais sulfurés crus ou incomplétement grillés, on obtient des scories qui renferment la totalité des matières pierreuses ou terreuses contenues dans le minerai, et une *matte* (sulfure multiple) où se concentrent les matières métalliques. Voyez ARGENT, CUIVRE et PLOMB.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE. Nous ne pensons nullement à rédiger ici un traité de mécanique rationnelle, ni même à formuler la science de l'ingénieur, la mécanique physique, les applications des principes de la science aux diverses questions de la pratique. Nous voulons seulement établir bien nettement les principaux théorèmes relatifs au travail mécanique, dont la notion introduite dès le début de l'enseignement de la mécanique par Poncelet est le plus grand progrès accompli pour la vulgarisation de la science. Elle suffit pour préserver de bien des erreurs et permettre d'apprécier sainement les faits. Nous y arriverons en ne nous appuyant que sur des connaissances élémentaires, et en complétant ce qui a été dit dans l'INTRODUCTION, à l'aide d'un emprunt que nous ferons à l'ouvrage de M. Boileau. (APPLICATION DE LA MÉCANIQUE.)

Mouvements. — Les mouvements, les déplacements des corps constituent le phénomène le plus saillant que nous percevons des corps qui nous sont étrangers. La forme et le mouvement, comme l'a établi Descartes, sont les seuls phénomènes irréductibles du monde physique. Pour chaque mouvement, il faut connaître en chaque moment sa loi et sa vitesse, c'est-à-dire le chemin que le corps en mouvement parcourra dans l'unité de temps, si aucune cause ne vient agir sur le corps pendant cet intervalle, qui soit susceptible de la modifier.

Un corps ne suivant qu'une route, tous les mouvements qu'il peut prendre se composent en un seul, ou inversement on peut les décomposer, les considérer comme formés par la composition de mouvements élémentaires qui, dans les cas les plus complexes, se réduisent à un double mouvement de translation et de rotation. (Voy. INTRODUCTION.) C'est ce qu'on voit bien quand on étudie le mouvement composé de la terre, sur lequel nous donnerons quelques indications d'un usage fréquent.

L'axe de rotation A (fig. 1) de la Terre T est animé d'un mouvement de translation qui fait parcourir au centre de notre globe, dans une année solaire de 365 jours 1/4, une ellipse ABCD différant peu d'un cercle, ellipse dont l'un des deux foyers est occupé par le centre S du soleil: la distance moyenne des deux

astres est de 38 millions de lieues de 4 kilomètres. Le plan de cette ellipse ou *orbite* de la Terre se nomme

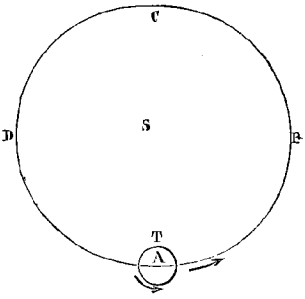


Fig. 1.

écliptique: soient PP' (fig. 2) une partie de sa projection sur un plan qui lui est perpendiculaire, et AA'

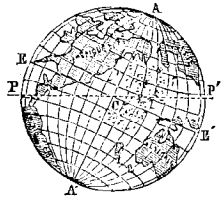


Fig. 2.

l'axe de rotation de la Terre dont le *pôle boréal* ou *pôle Nord* est A, et le *pôle austral* A'; l'*Équateur* ou grand cercle EE' déterminé par un plan perpendiculaire à cet axe fait avec le plan de l'écliptique un angle ECP de 23° 28'.

Le mouvement de translation de la Terre est dirigé de l'Ouest à l'Est comme sa rotation; il est accéléré pendant une demi-année et retardé pendant l'autre moitié; sa vitesse moyenne est de 7 lieues 6, ou 30400 mètres par seconde, c'est-à-dire environ 3,000 fois plus grande que celle de nos transports par chemins de fer.

La vitesse constante avec laquelle un point tourne autour de son axe décroit nécessairement de l'équateur, où elle a sa plus grande valeur, jusqu'aux pôles où elle est nulle: à l'équateur, elle est de 485 mètres par seconde, c'est-à-dire égale à celle d'un boulet de canon lancé par une forte charge de poudre.

Forces. — Nous appelons *forces* les causes de mouvement, et à ce point de vue elles sont déduites par notre esprit des phénomènes de mouvement qui s'offrent directement à notre observation. Elles se mesurent lorsque les corps cèdent à leur effet par les accélérations, les accroissements de vitesse qu'elles produisent. Ces accélérations, et par suite les forces, se composent et se décomposent à volonté comme les mouvements, les accélérations étant en tout comparables à des mouvements. Les forces, dont les directions se rencontrent, pouvant toujours se réduire à une seule, ont une résultante unique; dans le cas contraire, elles peuvent toujours se réduire à deux au plus, non concourantes.

De même les forces parallèles se réduisent à une résultante unique de même direction que les composantes, ou à deux forces de direction opposée et parallèles, qui, comme dans le cas précédent, engendrent un mouvement de rotation, en même temps qu'un mouvement de translation.

C'est surtout lorsque l'action de la force rencontre une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résistance directe qu'apparaissent les pressions, les efforts que l'on peut directement mesurer par des ressorts interposés, comme on l'a vu à l'article Dynamomètre.

Nous n'insisterons pas davantage sur les forces, d'autant plus que nous allons revenir sur la manière de les considérer dans la pratique, en traitant du travail.

TRAVAIL MÉCANIQUE. *Définition du travail dynamique.* — On ne peut produire aucun ouvrage industriel, ni en général obtenir aucun résultat matériel, sans vaincre une résistance et déplacer en même temps une certaine quantité de matière. (Voy. INTRODUCTION.) Considérons, par exemple, le travail des tréfileries. Le fil métallique introduit par sa pointe dans un trou de la filière qui présente du côté de la sortie un diamètre un peu plus petit que celui du corps de ce fil, est tiré par une force motrice; pour le faire passer, il faut refouler les molécules du métal, ce qui fait naître des résistances. Supposons que, le moteur étant insuffisant, ce fil reste complétement immobile, aucun résultat ne sera obtenu; mais s'il est déplacé, s'il parcourt un certain chemin à travers la filière, on fera une quantité d'ouvrage proportionnelle à la longueur de ce chemin. Dans un moulin à farine, la meule volante taillée suivant des sillons obliques au rayon et placée au-dessus de la meule fixe taillée suivant le même tracé, mais de manière que ses sillons soient croisés obliquement par les premiers comme des lames de ciseaux, coupe et écrase les grains de blé qui affluent continuellement dans ces sillons en cheminant du centre à la circonférence. Or, pour effectuer cet ouvrage de mouture, il faut remplir deux conditions, savoir: vaincre la résistance de la matière du blé et faire parcourir en même temps aux divers points de la meule supérieure des chemins le long desquels cette résistance se reproduit continuellement.

Ces deux genres d'ouvrage ou de travail industriel sont très-différents, et ne paraissent même présenter entre eux aucune analogie; cependant nous y trouvons deux éléments de nature invariable, savoir, en chaque point où s'exécute une modification matérielle: 1° une résistance vaincue, ou ce qui revient au même, une force exercée; 2° un déplacement de matière, c'est-à-dire un chemin parcouru dans la direction de cette force: ces deux éléments, que l'on rencontre dans tout travail industriel, sont ceux du *travail dynamique.*

Mesure du travail dynamique. Considérons d'abord le cas des forces constantes, et soient

F l'intensité d'une force;

l le chemin que le mobile parcourt dans la direction où elle agit pendant une certaine période du travail industriel où cette direction est constante.

La force considérée, en recommençant N fois sans interruption le même travail dans des conditions identiques, produira évidemment le long d'un chemin égal à N *l* un travail total égal à N fois celui qui correspond au chemin *l*. Supposons maintenant que, le long de ce dernier chemin, on fasse agir une force égale à N F, le résultat obtenu sera le même que si on faisait agir simultanément dans les mêmes conditions N forces égales à F appliquées dans la direction de ce chemin, et le travail produit sera N fois celui de la force F. Ces considérations, qui s'appliquent aux résistances comme aux actions motrices, suffisent pour faire voir qu'en général le travail dynamique d'une force constante agissant dans la direction du chemin parcouru est proportionnel à son intensité et la longueur de ce chemin, c'est-à-dire que le produit F *l* de ces deux éléments, produit que l'on nomme *quantité de travail*, fournit la mesure du travail dynamique, comme le produit de l'aire de la base d'un parallélipipède par sa hauteur fournit la mesure du volume de ce corps.

Pour traduire les quantités de travail en nombres, et les comparer entre elles, il a fallu les rapporter à une quantité de même nature prise pour unité: celle que l'on a choisie est le travail nécessaire pour élever un poids d'un kilogramme à une hauteur d'un mètre, et elle a reçu le nom de *kilogrammètre.* Toutes les forces pouvant être exprimées en kilogrammes ou en fractions de kilogrammes, tous les travaux dynamiques sont ainsi évalués par leur comparaison avec le travail de l'élévation des poids, qui est le plus simple et le plus connu.

Lorsqu'il s'agit d'un travail dynamique très-considérable, on emploie une unité égale à 75 fois celle-ci, et que l'on nomme *cheval-vapeur* ou *force de cheval*, dénominations qui ont pris naissance en Angleterre à l'époque où les premières machines à vapeur ont été employées en remplacement de manéges mus par des chevaux, et que l'on a conservées malgré leur inexactitude. L'usage que l'on fait de cette seconde unité dynamique présente une circonstance particulière, savoir, qu'on suppose implicitement que le travail exprimé est effectué dans une seconde du temps; ainsi, par exemple, quand on dit qu'une roue hydraulique est de la force de 10 chevaux, cela signifie qu'elle peut produire ou plutôt transmettre, dans chaque seconde, un travail moteur de 750 kilogrammètres.

Exemple : Supposons que l'eau motrice exerce constamment dans une direction parallèle à la circonférence de la roue, à une distance de $3^m,00$ du centre, une force de 100 kil., et que le nombre de tours de cette roue soit de 10 par minute. Dans un tour, le chemin parcouru suivant la direction de la force est $6,28 \times 3^m,00 = 18,84$; donc la quantité de travail effectuée est $18,84 \times 100 = 1884$ kilogrammètres.

Pour calculer la force en chevaux de la machine dont s'agit, il faut d'abord déterminer la quantité de travail effectuée dans une seconde: or, le nombre de tours de la roue dans ce temps est $\frac{10}{60} = \frac{1}{6}$, donc cette quantité est $\frac{1884^{km}}{6} = 314^{km}$; enfin, le travail en chevaux est $\frac{314}{75}$, et la puissance de la machine est de $4^{ch},187$.

Cas d'une force variable. Quelles que soient les variations d'une force, on peut toujours concevoir le chemin parcouru comme décomposé en parties assez petites pour que l'intensité de cette force puisse être regardée comme constante pendant l'instant employé à parcourir chacune de ces parties, de sorte que les considérations précédentes sont applicables à chacune des quantités de travail correspondantes. Le travail total effectué est la somme de ces quantités, et l'on peut l'obtenir soit par l'expérience, soit par le calcul.

Considérons un DYNAMOMÈTRE traceur, instrument qui présente l'avantage de faire connaître toutes les variations de la force, et concevons qu'il ait été disposé de manière que le mouvement de la bande de papier

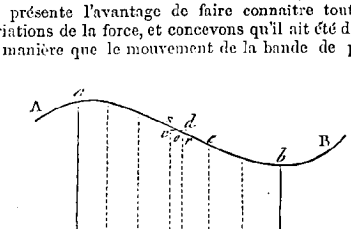


Fig. 3.

soit dans un rapport constant avec celui du mobile: la courbe A*ab* B (fig. 3) tracée sur ce papier pendant l'expé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rience aura non-seulement ses ordonnées Ma, Dc, Nb... proportionnelles aux intensités diverses de la force, mais encore ses abscisses KM, KD, KN... comptées à partir de l'origine K du mouvement, proportionnelles aux chemins parcourus. Cela posé, proposons-nous de calculer la quantité de travail effectuée dans une période correspondante à la partie $a o b$ de la courbe, période pendant laquelle le chemin parcouru est représenté par KN — KM, c'est-à-dire par la base MN de l'aire plane M$a b$N: soit $m n$ un chemin assez petit pour que la force puisse être regardée comme constante pendant l'instant employé à le parcourir; menons les ordonnées $m s$ et $n r$ correspondantes aux points m et n; puis, par le milieu o de l'arc de courbe $s r$ compris entre ces ordonnées, traçons une ligne $e d$ parallèle à $m n$: l'aire du rectangle extrêmement étroit $m c d n$ est égale à celle du trapèze $m s r n$ et a pour mesure le produit $m c \times m n$; or, dans ce produit, le facteur $m c$ représente la valeur moyenne de l'intensité de la force, et par conséquent la quantité de travail effectuée par cette force dans l'instant considéré est représentée par le rectangle $m c d n$ ou par le trapèze équivalent $m s r n$ qui est un élément de l'aire M$a b$N: comme d'ailleurs cette aire est la somme de tous les éléments analogues correspondants aux divers instants de la période, on voit qu'elle représente la quantité de travail dynamique totale effectuée pendant cette période, de sorte que la question se réduit à l'évaluation de l'aire d'une courbe plane.

Évaluation de l'aire d'une courbe plane. D'après la méthode de T. Simpson généralement suivie, on divise la base MN en un certain nombre pair de parties égales, ce qui fournit un nombre impair de points de division, puis, en chacun de ces points, on élève une ordonnée de la courbe, et l'on en mesure la longueur. L'aire M$a b$N est obtenue en multipliant le tiers de l'une des parties égales de MN par la somme de quantités qui sont: 1° la somme des ordonnées extrêmes Ma et Nb; 2° quatre fois la somme des ordonnées de rang pair; 3° deux fois la somme des ordonnées de rang impair comprises entre Ma et Nb. Si, par exemple, on a divisé la base MN en six parties égales, et mesuré par conséquent sept ordonnées $y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7$, l'aire dont il s'agit sera évalué par le produit

$$\frac{MN}{18}\left[y_1 + y_7 + 4(y_2 + y_4 + y_6) + 2(y_3 + y_5)\right].$$

Cette évaluation n'est qu'approximative, et elle approche d'autant plus de l'exactitude rigoureuse que la base MN a été divisée en un plus grand nombre de parties égales.

Lorsque, sans avoir employé un dynamomètre traceur, on connaît un certain nombre de valeurs de la force et les chemins parcourus qui leur correspondent, on peut construire par points une courbe analogue à $a e b$, et appliquer ensuite la méthode précédente.

Toute autre méthode d'évaluer l'aire de la courbe peut conduire également au but.

Il doit être bien entendu d'ailleurs que, dans tous les cas où l'on évalue des quantités de travail, les ordonnées, $y_1 y_2 y_3$.... sont traduites en kilogrammes ou fractions de kilogrammes et la longueur MN en mètres ou fractions de mètre parcourus par le mobile.

Effort moyen. Soit T la quantité totale de travail effectuée par une force variable le long d'un chemin égal à l; une force constante dont l'intensité F est égale à $\frac{T}{l}$ est capable de produire le long du même chemin la même quantité totale de travail; puisque $F l = T$. Dans divers cas des applications pratiques, on peut substituer cette force à des forces variables pour simplifier les calculs.

Composition des travaux dynamiques. L'évaluation de la quantité de travail qui résulte de l'application d'un système de forces à un mobile est une des questions les plus importantes de la mécanique pratique. Les considérations et les théorèmes qui vont être exposés sont applicables à une période quelconque du mouvement quand les forces sont constantes, et au travail effectué dans chacun des instants de cette période quand elles sont variables.

En ce qui concerne particulièrement les systèmes de forces qui ont une résultante unique, on remarquera que cette résultante pouvant être substituée à l'ensemble des composantes, le travail dynamique dû à ce système peut être évalué par la quantité de travail qu'elle effectuerait, quantité qui est le produit de son intensité par le chemin parcouru sur la trajectoire du mobile.

1° Cela posé, soit d'abord un système de forces parallèles dont les unes F F' F"... etc., sont des actions motrices, et dont les autres, F_1 F_2... etc., sont des résistances: si R est l'intensité de leur résultante, on a

$$R = F + F' + F'' + \ldots - (F_1 + F_2 + \ldots).$$

En multipliant les deux membres de cette égalité par le chemin l que le mobile parcourt, soit dans la période de travail, soit dans l'instant considéré, nous avons

$$R l = F l + F' l + F'' l + \ldots - (F_1 l + F_2 l + \ldots).$$

Or, les points d'application des diverses forces parcourent tous un chemin égal à l, et ce chemin est dans la direction de ces forces, donc les produits $F l$, $F' l$... $F_1 l$... sont les quantités de travail des composantes; d'un autre côté, $R l$ est la mesure du travail résultant: on voit donc déjà que, dans le cas des forces parallèles, ce travail est égal à la somme des travaux des forces motrices diminuée de la somme des travaux des résistances.

2° Lorsque les forces du système ne sont pas toutes parallèles entre elles, le chemin parcouru dans l'espace par le mobile ne se trouve pas dans la direction de ces forces: soient F (fig. 4) l'une quelconque d'entre elles représentée par la longueur AN, et AD la direction du mouvement du point A. Cette force peut être remplacée par deux autres dont l'une, représentée par le côté AB du parallélogramme ABNC, est perpendiculaire à AD, et dont l'autre AC agit suivant cette direction; or il n'y a pas de déplacement matériel et par conséquent point de travail produit dans la direction de la première composante, de sorte que le travail de la force F se réduit à celui de sa seconde composante, travail qui, pour un chemin Aa, est mesuré par le produit AC $\times$ Aa.

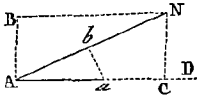


Fig. 4.

Si, du point a, on mène une perpendiculaire $a b$ à AN, on a, en vertu de la similitude des triangles A$b a$, ACN, la proportion AN : Aa :: AC : Ab, proportion qui donne AC $\times$ Aa = F $\times$ Ab; or, Ab est le déplacement du mobile dans le sens de la force F, on voit donc que

La quantité de travail d'une force oblique à la trajectoire du mobile est égale au produit du chemin parcouru sur cette trajectoire par la projection de cette force sur la direction de ce chemin, ou au produit de l'intensité de la force elle-même par le déplacement du mobile estimé dans la direction où elle agit.

Cela posé, considérons, en général, les systèmes de forces qui ont une résultante unique, et concevons que, dans l'un quelconque de ces systèmes, on ait projeté toutes les forces F F' F"... sur la direction de leur résultante R, direction qui est celle du mouvement du mobile: Soient $f f' f'$..... celles des projections qui représen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tent des composantes agissant dans le sens du mouvement, $f_1 f_2 f_3$ ..... celles qui agissent en sens contraire, et l le chemin parcouru, la quantité de travail du système peut être mesurée par le produit Rl; d'un autre côté, les composantes dont le travail n'est pas nul étant parallèles entre elles, le travail résultant peut encore être évalué par la quantité

$$fl + f'l + f''l + \ldots\ldots - (f_1 l + f_2 l + \ldots\ldots)$$

donc

$$Rl = fl + f'l + f''l + \ldots\ldots - (f_1 l + f_2 l + \ldots\ldots)$$

et en rapprochant ce résultat de ceux qui précèdent, on voit qu'en général

Le travail dynamique effectué par un système de forces ayant une résultante unique est égal à la somme des quantités de travail des actions motrices diminuée de la somme des quantités de travail des résistances.

3° Nous nous occuperons particulièrement maintenant du mouvement simple de rotation, c'est-à-dire de celui d'un corps qui ne peut que tourner autour d'un axe fixe. S'il existe des forces qui agissent parallèlement à cet axe, leur travail est nul, et celui du système est uniquement dû aux forces ou aux composantes agissant dans des plans perpendiculaires à l'axe. Soient

FF'F''..... les intensités de celles des forces qui produisent des actions motrices;

$F_1 F_2 F_3$ ..... les intensités de celles qui agissent comme résistances;

$bb'b''$ ..... les bras de leviers respectifs des premières;

$b_1 b_2 b_3$ ..... ceux des secondes.

D'après le principe général des leviers, le système considéré peut être remplacé par une force unique R agissant au bout d'un bras de levier l, cette force et ce levier ayant des valeurs telles, que l'on ait l'égalité

$$Rl = Fb + F'b' + F''b'' + \ldots\ldots - (F_1 b_1 + F_2 b_2 + \ldots\ldots).$$

Cela posé, soit a la longueur de l'arc parcouru à l'unité de distance de l'axe de rotation, et multiplions tous les termes de cette égalité par cette longueur; nous avons

$$R.la = F.ba + F'.b'a + \ldots\ldots - (F_1.b_1 a + F^2.b_2 a + \ldots\ldots).$$

Or ba, $b'a$, ... $b_1 a$, $b_2 a$ ..... etc., sont les longueurs des arcs parcourus par les points où les forces F, F' ..... $F_1 F_2$ ..... sont appliquées à leurs bras de leviers respectifs, de sorte que les produits $F.ba$, $F'b'a$ ..... $F_1 b_1 a$ ..... etc., sont les quantités de travail respectives de ces forces: comme d'ailleurs le travail résultant du système peut être évalué par le produit Rla, on voit que

Dans le mouvement simple de rotation, le travail résultant est égal à la somme des travaux moteurs diminuée de la somme des travaux des resistances.

4° Lorsque le corps tournant peut en même temps se mouvoir parallèlement à l'axe, le travail des composantes parallèles à cet axe n'est plus nul; mais, en vertu du principe fondamental de l'indépendance des actions des forces, celles qui agissent dans des plans perpendiculaires à l'axe ne sont nullement influencées par ces composantes, et le théorème précédent leur est applicable. Quant au mouvement de translation, comme il est uniquement dû à un système de forces parallèles, le travail résultant est encore égal à la somme des travaux moteurs diminuée de la somme des travaux des résistances.

Dans ce mouvement composé, nous avons donc un travail résultant de rotation, et un travail résultant de translation, effectués indépendamment l'un de l'autre, mais dus à un système donné de forces. Voyons quelle est la valeur du travail total de ce système: chacun des deux groupes de composantes peut être remplacé par une force unique qui produirait un travail égal au travail résultant de ce groupe, et l'une R_1 (fig. 5) de ces

deux forces est parallèle à l'axe de rotation AA'. Concevons qu'en un point m de la direction de l'autre force R_2,

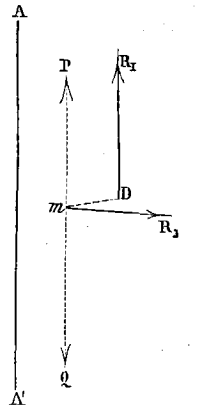


Fig. 5.

on applique deux forces de sens contraires P et Q égales et parallèles à R_1; ces deux forces se neutralisant réciproquement ne modifient en rien le système mécanique: or, si D est le point d'intersection de la direction de R_1 et d'un plan perpendiculaire à l'axe mené par $m R_2$, nous avons un couple $R_1 D m Q$ qui ne tend qu'à faire basculer l'axe et reste par conséquent sans effet; puis, deux forces R_2 et P qui ont une résultante dont le travail est, en conséquence, égal à celui du système considéré, travail dont nous cherchons la valeur. Cela posé, on remarquera que R_2 étant dans un plan perpendiculaire à l'axe AA', l'angle $R_2 m P$ est droit, de sorte que la résultante des forces R_2 et P est égale à la somme des projections de ces forces sur sa direction, et que, par conséquent, le travail cherché est égal à la somme des quantités de travail des mêmes forces; or, P étant égale à R_1 de même sens, et parallèle, comme cette force, au mouvement de translation, son travail est égal à celui de R_1; donc

Le travail résultant total est égal à la somme des travaux résultants de translation et de rotation.

Ce cas comprend les divers mouvements composés auxquels on a l'occasion d'appliquer le calcul du travail dynamique. Quelles que fussent d'ailleurs, dans d'autres cas, la complication et la disposition d'un système de forces, on décomposerait chacune de ces forces en trois autres parallèles à trois droites fixes formant un système orthogonal, c'est-à-dire dans lequel chaque direction est perpendiculaire au plan des deux autres; on déterminerait le travail résultant partiel de chacun des trois groupes de forces ainsi obtenus, et l'on reconnaîtrait par des considérations analogues aux précédentes que le travail résultant total est égal à la somme de ces travaux partiels.

De l'inertie. — Consommation et reproduction du travail dynamique. Soit AO (fig. 6) un pendule formé d'un fil de longueur invariable suspendu à un point A, et d'un corps M ayant une forme lenticulaire comme celui du pendule ou balancier des horloges, de manière que la résistance de l'air n'ait pas d'influence sensible sur ses mouvements, et que nous puissions regarder l'appareil mobile comme n'étant soumis à aucune autre force extérieure que son poids P appliqué en son centre de gravité O: écartons ce pendule de sa position verticale d'équilibre AO en maintenant le fil tendu, et élevons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi le point O' à une hauteur $O'B = h$ au-dessus de cette position ou de l'horizontale DOB, puis abandonnons-le à l'action de la pesanteur. Cette force, agissant

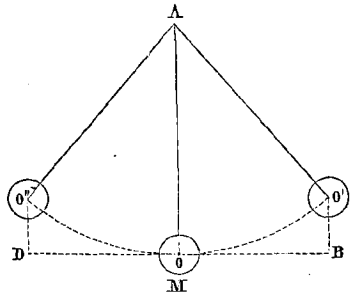


Fig. 6.

comme moteur jusqu'au moment où le pendule atteint sa position d'équilibre A O, produira, dans cette période d'accélération, une quantité de travail égale à Ph, et la vitesse du centre de gravité, qui était nulle en O', aura en O une valeur acquise que nous désignerons par V, vitesse qui sera uniquement due au travail Ph, puisque la tension du fil n'en produit aucun, la longueur de ce fil étant supposée constante. Arrivé en O, le centre de gravité continuera à se mouvoir en perdant progressivement cette vitesse acquise, et il s'élèvera à une hauteur O''D égale à O'B. Ce résultat d'expérience ne peut être attribué qu'à l'inertie du pendule, puisque, dans la seconde période, la pesanteur agit comme résistance et qu'il ne se produit pas d'autre travail que celui Ph qu'elle effectue. Or, dans la période d'accélération, le travail moteur Ph de la pesanteur a été uniquement employé à vaincre cette inertie, et par conséquent l'on voit déjà que

L'inertie de la matière peut restituer comme moteur tout le travail dynamique qu'elle a fait dépenser comme résistance.

Les effets dynamiques de cette réaction étant des conséquences de la variation de la vitesse, il importe d'introduire dans leur expression la loi du mouvement : or, ici cette loi est celle de la chute des corps qui donne

$$h = \frac{V^2}{2g} \qquad \text{d'où} \qquad Ph = P\,\frac{V^2}{2g}.$$

Principe général de la transmission du travail. Considérons maintenant le cas d'une force quelconque ou d'une résultante de forces appliquées, en général, à un mobile de poids P, et soit α l'accélération ou le retard qu'elle produit dans un instant quelconque t_0, évaluée par sa comparaison avec celle gt_0 imprimée par la gravité (g étant l'accélération en une seconde), l'intensité de cette force, d'après la proportion $F : P :: \alpha : gt_0$, est, dans cet instant, $\frac{P}{g}\frac{\alpha}{t_0}$, de sorte que si l'on désigne par e_0 le chemin très-petit qui est parcouru dans sa direction, la quantité de travail qu'elle produit dans le même instant est $\frac{P}{g}\frac{\alpha}{t_0}e_0$. D'un autre côté, on peut regarder la vitesse du mobile comme constante pendant cet instant, en lui attribuant une valeur égale à la moyenne entre celles qu'elle a réellement au commencement et à la fin; soit v cette valeur, on a $e_0 = v\,t_0$, de sorte que l'expression précédente du travail de la force se réduit au produit $\frac{P}{g}v\alpha$.

Cela posé, désignons par $v_1\ v_2\ v_3$..... les vitesses, et par $\alpha_1\ \alpha_2\ \alpha_3$..., etc., les accélérations ou les retards qui correspondent aux autres instants d'une période déterminée du mouvement : la quantité de travail totale produite par la force considérée dans cette période est la somme de celles qui sont produites dans chacun des instants dont sa durée se compose, c'est-à-dire

$$\frac{P}{g}v\alpha + \frac{P}{g}v_1\alpha_1 + \frac{P}{g}v_2\alpha_2 + \frac{P}{g}v_3\alpha_3 + ,$$

ou, comme $\frac{P}{g}$ est un facteur commun,

$$\frac{P}{g}\left(v\alpha + v_1\alpha_1 + v_2\alpha_2 + v_3\alpha_3 + ...\right)$$

de sorte qu'en définitive l'évaluation du travail qui nous occupe est ramenée à celle de la somme des produits tels que $v\alpha$.

Pour obtenir la valeur de cette somme, traçons deux lignes droites OA et OB (fig. 7) perpendiculaires

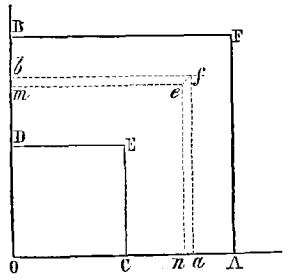


Fig. 7.

entre elles, et supposant d'abord qu'il s'agisse d'une période d'accélération, prenons sur ces lignes, à partir de leur intersection O, des longueurs OC et OD égales à la vitesse V que le mobile possède à l'origine de cette période, et achevons le carré OCED ; prenons de même deux longueurs OA, OB égales à la vitesse V' que le mobile possède à la fin de la même période, et achevons le carré OAFB. Prenons maintenant deux longueurs Om, On égales à la vitesse dont le mobile est animé au commencement d'un instant quelconque de la période, et, à la suite, deux longueurs très-petites mb, na, égales à l'accroissement a que cette vitesse reçoit pendant cet instant; enfin, traçons parallèlement à OA et OB les lignes ne, me, af, bf, et joignons les points e et f.

L'aire de chacun des trapèzes $nafe$, $mbfe$ a pour mesure l'accélération α multipliée par la moyenne des vitesses dont le mobile est animé au commencement et à la fin de l'instant dont il s'agit, et, par conséquent, l'aire de la bande angulaire $nafbme$ est égale au double de l'un des produits analogues à $v\alpha$; il est évident d'ailleurs que l'aire de la surface CAFBDEC, qui est la somme des bandes analogues à celle-ci, est égale au double de la somme

$$v\alpha + v_1\alpha_1 + v_2\alpha_2 + v_3\alpha_3 + ... \text{ etc.}$$

Or, cette surface est la différence des carrés OAFB, OCED, et, par conséquent, le travail qui nous occupe a pour mesure :

$$\frac{P}{g}\left(\frac{V'^2 - V^2}{2}\right) = P\left(\frac{V'^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}\right) \quad (1)$$

Ce travail est celui que la résistance d'inertie a fait dépenser, ou, comme on le dit souvent, a consommé, puisque la force considérée est unique, ou remplace toutes celles du système.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour une période de ralentissement, la longueur $OA = OB$ représenterait la vitesse initiale, et la longueur $OC = OD$ la vitesse finale, de sorte que le travail moteur restitué par l'inertie aurait encore pour mesure la moitié de la différence des carrés OAFB, OCED.

On voit donc qu'en général si, à une période d'accélération dans laquelle la vitesse a augmenté de la valeur V à la valeur V', succède une période de ralentissement où la vitesse diminue de V' à V, l'inertie du mobile produira comme moteur, dans cette dernière période, une quantité de travail égale à celle que sa résistance avait consommée dans la précédente.

Lorsque, dans la période de ralentissement, le mobile, animé à l'origine d'une vitesse V', perd entièrement cette vitesse, on a $V = 0$, et l'expression (1) du travail moteur de l'inertie se réduit à $P \frac{V'^2}{2g}$.

D'après l'expérience du pendule et celles que l'on peut faire en lançant verticalement de bas en haut un corps auquel l'air n'oppose qu'une résistance négligeable, les quantités $\frac{V^2}{2g}$, $\frac{V'^2}{2g}$ représentent les *hauteurs dues* aux vitesses V et V', de sorte que l'expression générale (1) est rapportée au travail de l'élévation des poids et peut être traduite en kilogrammètres.

Les considérations qui viennent d'être exposées et leurs conséquences se résument dans le principe général suivant :

1° *Tout corps en mouvement est capable de produire, en vertu de son inertie, un travail moteur égal à celui de l'élévation de son poids à la hauteur due à sa vitesse. Ce travail est égal à celui qui a été dépensé antérieurement pour engendrer cette vitesse.*

2° *Lorsqu'un corps passe d'une certaine vitesse à une vitesse plus grande ou plus petite, son inertie consomme dans le premier cas, ou engendre dans le second, un travail moteur égal à celui de l'élévation de son poids à une hauteur égale à la différence des hauteurs dues respectivement à ces deux vitesses.*

Utilité de l'inertie. L'inertie de la matière est un moyen mis à notre disposition pour utiliser les vitesses acquises et même transporter à des distances plus ou moins grandes, comme dans le tir des armes à feu, le travail produit par les forces motrices: on a dit avec raison que toute masse en mouvement est comme un réservoir de travail dynamique. L'inertie nous fournit en outre un procédé simple et précieux de régularisation du mouvement produit par des forces motrices ou sous l'influence de résistances dont les intensités ne peuvent être parfaitement réglées; c'est notamment sur cette propriété de la matière qu'est basé l'emploi des volants.

Application du principe précédent à un système dynamique quelconque. Nous définirons d'abord une locution admise: les quantités telles que $P \frac{V^2}{2g}$ peuvent être écrites $\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2$, ou, en désignant par M la masse du mobile, $\frac{1}{2} M V^2$, et l'on nomme *force vive* le produit de la masse d'un corps par le carré de sa vitesse. On a donc

$$P \left(\frac{V'^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{1}{2} M (V'^2 - V^2)$$

et l'on dit que le travail consommé ou engendré par l'inertie est égal à la moitié de la variation de la force vive du mobile dans la période considérée.

Nous établirons maintenant une relation générale entre les quantités de travail des forces et les vitesses des masses auxquelles elles sont appliquées, relation qui est très-importante pour les applications pratiques.

1° Lorsque le mobile a un mouvement simple, ce mouvement peut être regardé comme dû à une force unique dont la quantité de travail serait égale à la somme des quantités de travail des actions motrices, diminuée de celle des quantités de travail des résistances, sommes que nous représenterons respectivement par T_m et T_r: or, en vertu du principe fondamental de la réaction, celle de l'inertie est constamment égale à cette force unique ou résultante, et comme elle a lieu suivant la même direction, le travail qu'elle consomme ou qu'elle engendre est égal à celui de la même résultante, c'est-à-dire à $T_m - T_r$; on a donc la relation.

$$\frac{1}{2} M (V'^2 - V^2) = T_m - T_r \qquad (2).$$

Lorsque le travail moteur est supérieur à celui des résistances, le mouvement s'accélère nécessairement, de sorte que la vitesse du mobile, à la fin de la période considérée, est supérieure à celle qu'il possède au commencement, et le résultat inverse a lieu lorsque T_r est plus grand que T_m: comme d'ailleurs ce sont des valeurs absolues et non des quantités négatives qu'il faut obtenir, on retranchera, dans le calcul des différences $V'^2 - V^2$ et $T_m - T_r$ la plus petite quantité de la plus grande: si l'on ne sait pas à l'avance quel doit être l'ordre de grandeur de ces quantités, la question se présentant d'une manière générale, on posera la relation dont il s'agit comme nous venons de l'écrire, en regardant V' comme la vitesse finale de la période considérée. Cette remarque s'applique à tous les systèmes dynamiques.

2° *Mouvements composés.* En considérant les composants simples d'un mouvement composé, et les composantes de forces dont dépend uniquement chacun de ces mouvements simples, on a autant de groupes ou de systèmes dynamiques indépendants l'un de l'autre, et le travail d'inertie correspondant à chacun de ces systèmes est égal au travail dynamique résultant du même système. Le seul cas qui se présente dans la pratique est celui où le mouvement se compose de deux mouvement simples, l'un de translation, l'autre de rotation: soient

- t_m et t_r les quantités de travail des forces motrices et des résistances de translation.
- V' et V les vitesses de translation à la fin et au commencement de la période dont on s'occupe;
- Y' et Y la force vive du mobile à la fin et au commencement de la même période, mais dans le mouvement de rotation.
- t'^m et t'^r les quantités de travail des composantes motrices et résistantes auxquelles ce dernier mouvement est dû.

On a, pour exprimer que, dans le mouvement simple de translation, le travail d'inertie est égal au travail résultant des forces, l'équation

$$\frac{1}{2} M (V'^2 - V^2) = t_m - t_r,$$

et, de même, pour le mouvement simple de rotation

$$\frac{1}{2} (Y' - Y) = t'_m - t'_r.$$

En ajoutant entre elles ces deux équations, on obtient

$$\frac{1}{2} M (V'^2 - V^2) + \frac{1}{2} (Y' - Y) = t_m + t'_m - (t_r + t_r)$$

relation qui exprime que la moitié de la somme des variations des forces vives de translation et de rotation est égale à la somme des quantités de travail des actions motrices diminuée de la somme des quantités de travail des résistances.

Expression particulière du travail d'inertie dans le mouvement de rotation. Nous allons montrer mainte-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nant comment on calcule les quantités telles que Y' et Y. Soient :

m la masse d'un élément de volume quelconque du corps tournant, assez petit pour que tous les points de cet élément puissent être regardés comme situés à la même distance de l'axe de rotation.

y cette distance;

A et A' les vitesses angulaires du mouvement au commencement et à la fin de la période considérée. Les vitesses initiales et finales de la masse m sont, respectivement, Ay et $A'y$, de sorte que le travail consommé ou engendré par l'inertie de cette petite masse est $\frac{1}{2} m (A'^2 y^2 - A^2 y^2)$, quantité qui peut être écrite sous la forme $\frac{1}{2} (A'^2 - A^2) m y^2$. Or, le travail d'inertie total est égal à la somme des quantités analogues relatives aux divers éléments du corps tournant, et comme $\frac{1}{2} (A'^2 - A^2)$, est un facteur commun, ce travail total a pour valeur le produit de ce même facteur par la somme des produits des masses des éléments précités multipliées respectivement par les carrés de leurs distances individuelles à l'axe de rotation. Cette dernière somme a reçu le nom de *moment d'inertie*, et nous la représenterons par I; le travail d'inertie ou la moitié de la variation de la force vive dans le mouvement de rotation sera donc exprimé par la formule $\frac{1}{2} (A'^2 - A^2) I$.

La détermination du moment d'inertie d'un corps est, comme celle du centre de gravité, un problème de géométrie ou d'analyse mathématique.

Travail dynamique dans le mouvement uniforme et dans les mouvements uniformément périodiques. Lorsque le mouvement est uniforme, la variation de la force vive est nulle, et, par conséquent, la somme des quantités de travail des forces motrices est, dans chaque instant, égale à celle des quantités de travail des résistances. Dans les mouvements uniformément périodiques, la vitesse a des valeurs égales au commencement et à la fin de l'ensemble de deux périodes successives, l'une d'accélération et l'autre de ralentissement, de sorte que, d'après ce qui a été dit, si l'on applique le calcul au travail dynamique effectué dans un nombre entier de doubles périodes, on peut faire complétement abstraction du travail d'inertie dont les effets contraires se compensent, et écrire que la somme des quantités de travail moteur est égale à la somme des quantités de travail des résistances, comme dans le cas du mouvement uniforme. C'est ce que l'on fait par exemple dans les calculs relatifs aux machines à vapeur, en considérant un nombre entier de courses du piston.

DÉMONSTRATION DIRECTE DU PRINCIPE DES FORCES VIVES. — Poncelet démontre ce principe avec une grande simplicité, en partant des notions élémentaires du calcul différentiel (Voy. INTRODUCTION); nous donnerons ici ces pages classiques.

Deux forces, appliquées tour à tour à un même corps qui cède librement à leur action, en se mouvant parallèlement à lui-même dans le sens de cette action, lui impriment, dans le même élément de temps dt des vitesses infiniment petites, des accélérations proportionnelles à leur intensité respective et indépendantes du mouvement précédemment acquis. Ainsi p étant le poids absolu d'un certain corps ou point matériel, dans un lieu pour lequel la gravité lui imprime la vitesse $g = 9^m,8088$, au bout de la première seconde de sa chute, ou gdt dans chaque élément dt du temps, puisqu'il s'agit ici d'une force accélératrice sensiblement constante, et Q étant une autre force motrice quelconque, capable d'imprimer au même corps et dans l'élément du temps dt l'accroissement de vitesse dv, on aura, d'après la loi énoncée :

$$Q : p :: dv : gdt, \text{ d'où } Q = \frac{p}{g} \frac{dv}{dt}.$$

Soit pareillement p' le poids absolu de ce corps dans un autre lieu quelconque, pour lequel la vitesse imprimée au bout de la première seconde serait g'; on aura la même équation,

$$\text{d'où } \frac{p'}{g'} = \frac{p}{g} = \text{constante} = m,$$

puisqu'en vertu de la même loi on a :

$$p : p' :: gdt : g'dt.$$

Or, le rapport m, qui demeure indépendant de l'intensité de la gravité en chaque lieu, est précisément ce qu'on est convenu de nommer *la masse* du corps; définition qu'il faut admettre, sans s'embarrasser des idées physiques ou métaphysiques qu'on y attache quelquefois.

Comme le rapport m ne change ni avec le volume, ni avec la forme, ni avec le poids absolu d'un corps, il arrive souvent que, sous le point de vue mécanique, on désigne simplement les corps par leurs masses. La première des équations ci-dessus nous donne en conséquence, v' étant la vitesse du corps à l'instant où l'action de la force commence et v celle qui correspond à un temps quelconque écoulé depuis cet instant,

$$\varphi = m \frac{dv}{dt}; \quad \varphi\, dt = m dv; \quad \int \varphi\, dt = m(v - v');$$

en supposant toujours que la force φ entraîne le corps p dans le sens de sa propre direction, qui est censée invariable, comme pour la gravité. Or les produits mv, mv', qui correspondent aux vitesses v et v' possédées par le corps à la fin et au commencement de l'intervalle de temps où l'on considère l'action de la force, sont précisément ce qu'on est convenu de nommer les *quantités de mouvement* de ce même corps, relatives aux instants dont il s'agit, expression à laquelle il ne faut également attacher aucune idée métaphysique, et qui n'a pour objet, comme la précédente, que de faciliter l'énoncé des théorèmes de mécanique, où les quantités telles que $mv = \frac{p}{g} v$ se reproduisent fréquemment.

Nommant toujours dans les hypothèses ci-dessus, de l'élément de chemin décrit par le point d'application de la force φ, pendant dt, $\varphi\, de$ sera la quantité de travail élémentaire qu'elle aura développée dans le même temps. de sorte qu'on aura entre les mêmes limites de vitesses v' et v, et attendu que $\frac{de}{dt} = v$;

$$\int \varphi\, de = \int m \frac{dv}{dt}\, de = \int mv\, dv = \frac{1}{2} (mv^2 - mv'^2)$$

pour l'expression de la quantité de travail imprimé depuis la position où le corps possédait la vitesse v', jusqu'à celle où il a acquis la vitesse v, et qui d'ailleurs sera, comme on voit, positive ou négative, selon que v sera plus grand ou plus petit que v', ou selon que la force φ tendra à accélérer ou retarder constamment le mouvement primitivement acquis par le corps; l'accroissement instantané dv de la vitesse prenant, dans ce dernier cas, un signe contraire à v.

Les quantités mv^2, mv'^2, sont ce que les géomètres sont convenus de nommer *une force vive*. Il faut bien éviter de confondre entre elles la force vive et la quantité de travail qui se rapportent à des phénomènes et à des effets physiques distincts, quoique numériquement parlant elles soient du même ordre et aient une mesure commune. En effet, l'équation ci-dessus exprime, quand on y suppose $v' = 0$, ce qui répond au cas où le mouvement commence avec l'action de la force, que la *force vive acquise par le*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

corps est égale au double de la quantité de travail totale qui lui a été imprimée par cette force.

L'équation ci-dessus qui indique l'égalité du travail produit par la force appliquée, et l'effet produit sur la masse du corps (cette résistance de la matière à prendre le mouvement s'appelle force d'inertie) forme toute la base du calcul de l'effet des machines, qui ne consiste que dans l'interprétation de cette formule dans chaque cas particulier. C'est le fameux principe des forces vives.

Appelant :

v', la vitesse de la masse m au premier instant, ou pour la première position où l'on considère le système.

v, ce que devient cette vitesse en un autre instant, désignant par ΣQdq la quantité de travail développé par la force Q pendant le même intervalle, l'équation deviendra :

$$\Sigma Qdq = \frac{1}{2}\Sigma (Mv'^2 = Mv^2)$$

C'est-à-dire que « entre deux positions du système, l'accroissement de la somme des forces vives des différentes masses est égal au double de la somme des quantités du travail, positives ou négatives, imprimées dans le même intervalle par toutes les forces (distinctes de l'inertie) qui ont agi sur le système. »

Cette équation permettra donc par suite d'évaluer le travail des forces par le calcul des vitesses et des masses.

On l'emploie le plus souvent sous la forme suivante, dans laquelle on indique les diverses natures de forces qui sont toujours en action dans une machine.

$$Mv^2 - Mv'^2 = 2 (Ff - Rv - Qq \pm PH)$$

F, représentant les forces actives du système, nécessairement positives ; f, le chemin qu'elles parcourent.

R, les résistances (nécessairement négatives).

Q, les résistances utiles de la machine ; le travail qu'elle doit produire.

P, le poids successivement utile ou nuisible des pièces dans le mouvement alternatif de la machine.

Cette seule équation montre que le travail utile produit ne saurait jamais être égal à celui communiqué à la machine, et qu'il s'en approchera surtout d'autant plus que les résistances seront moindres.

De l'établissement des machines industrielles.

La question du meilleur établissement des machines n'est pas susceptible d'une solution générale rigoureuse ; on est obligé de la décomposer. Les conditions essentielles d'un pareil établissement consistent à rendre un *maximum*, l'effet utile de la quantité d'ouvrage confectionné, et un *minimum*, la dépense en travail moteur et en argent ; de sorte que l'unité d'ouvrage de chaque espèce soit fournie au moindre prix possible. Pour traiter cette question dans toute sa généralité, il faudrait être à même de faire varier à la fois toutes les données dont elle dépend, dans les relations qui lient l'effet utile à l'effet dépensé ; mais, en faisant même abstraction du prix, en argent, qui change suivant les temps et les localités, on ne peut aborder ainsi la question de l'établissement des machines. On se contente de la décomposer en plusieurs autres distinctes pour les traiter à part : ainsi l'on étudie successivement l'action des moteurs sur les récepteurs; des outils, ou opérateurs, sur la matière à confectionner, à déplacer, etc.; puis, l'on en vient aux pièces matérielles qui servent simplement à communiquer le mouvement.

L'expérience et le calcul ont appris que ces dernières pièces exercent, en général, peu d'influence sur la quantité d'action transmise par elles, dans toutes les machines qui sont bien construites et où elles ne sont pas trop multipliées ; en un mot, la quantité de travail absorbée par les résistances passives inhérentes à ces pièces, est ordinairement une fraction assez faible de celle qu'elles reçoivent du récepteur. Il n'en est pas ainsi des pertes de travail qui ont lieu sur le récepteur et sur l'outil ; elles forment, comme nous le verrons, presque toujours une fraction considérable de la valeur absolue et mecanique du moteur. C'est pourquoi, dans la question de l'établissement d'une machine, ce qui importe le plus c'est le choix de ces deux pièces extrêmes ; et, comme le genre du travail est toujours déterminé, on procède toujours par le choix de l'opérateur.

L'opérateur et le récepteur doivent être considérés comme de véritables machines soumises à une puissance et à des résistances. Ainsi, en mettant de côté le prix même de ces agents, qui doit rarement être pris en considération, attendu qu'il est toujours une assez petite fraction de celui du travail moteur considéré pendant un temps suffisamment long, on pourra, à l'avance, fixer les conditions essentielles de leur établissement, et motiver, à défaut d'expériences décrites, le choix qu'on doit en faire, les préférences qu'on doit accorder aux uns sur les autres. Par exemple, le meilleur opérateur et le meilleur récepteur sont ceux où la puissance et la résistance agissent d'une manière continue, uniforme, sans secousses et sans choc, ce qui convient principalement aux pièces à mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe : il faut, en outre, pour le récepteur, que toute la quantité de travail dont est capable la puissance dans un temps donné, soit complétement absorbée, et, pour l'opérateur, que le déchet de la matière soit le moindre possible, que le produit ait le degré de perfection désirable, etc.

Si l'opérateur et le récepteur n'étaient soumis à aucune résistance passive, il résulterait des conditions précédentes qu'ils utiliseraient, de la manière la plus convenable, toute la quantité d'action dépensée par la force motrice qui leur est appliquée, ou qu'ils produiraient le *maximum d'effet absolu*. Mais il n'en est jamais ainsi dans la pratique ; fort souvent même, on se voit obligé de renoncer aux conditions de l'uniformité du mouvement, etc. ; d'où il suit que, ne pouvant faire produire à l'opérateur et au récepteur le *maximum* d'effet absolu, on se borne à rendre son travail utile un *maximum relatif*. Il faut, en effet, se rappeler que, quelle que soit la constitution d'un pareil agent, ses dimensions, sa forme, sa vitesse, exercent une influence notable sur le travail transmis ; de sorte que, dans chaque cas, on a à faire la recherche des combinaisons qui offrent le plus d'avantages réunis. L'expérience et le calcul ont déjà conduit à quelques résultats précieux, relativement aux divers récepteurs, mais il reste encore beaucoup à faire pour les outils et opérateurs.

Ainsi la pression F d'une force (de l'eau sortant d'un déversoir par exemple) est en général susceptible de varier avec la vitesse propre de la partie qu'elle rencontre ; de telle sorte qu'étant nulle pour une vitesse, de son point d'application, égale à la plus grande vitesse V que puisse prendre librement le moteur, elle est au contraire la plus grande possible quand le récepteur est immobile ou que $v = 0$.

Si l'on connaissait pour chaque moteur, chaque récepteur et chaque outil, les conditions du meilleur effet et le rapport de la quantité de travail transmise à la quantité de travail absolue, en combinant ces données avec celles qui sont étrangères à la mécanique, on serait en état de choisir le récepteur et l'opérateur, qui, dans chaque cas particulier et pour chaque localité, sont le plus avantageux possible, et l'établissement des machines ne souffrirait plus dès lors de grandes difficultés ; car la vitesse, la forme et les dimensions relatives que doivent recevoir cette première et cette dernière pièce étant réglées, le choix des pièces intermédiaires, leurs rapports de grandeur, de position et de mouvement, seraient presque entièrement exempts d'arbitraire, puisqu'on aurait pour se diriger les préceptes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

généraux qui précèdent, et les tableaux des diverses transformations de mouvement.

Il resterait ensuite à régulariser l'action du moteur et de la résistance utile, c'est-à-dire à en proportionner les effets ou le travail, de manière à assurer la permanence du mouvement et son uniformité, s'il est possible.

Il faut supposer que la quantité de matière à confectionner, ou d'ouvrage quelconque à produire dans un temps donné, soit connue, ainsi que le nombre des révolutions de la machine, et qu'il s'agisse de régler, en conséquence, la marche des opérations et le travail du moteur. La condition la plus essentielle à remplir, c'est de disposer les choses de façon que des quantités égales de matière soient présentées à l'action de l'outil ou de l'opérateur, sinon à chaque instant et d'une manière continue, ce qui ne convient qu'aux outils de rotation, du moins à chacune de ses diverses révolutions, de sorte qu'il y ait le moins d'intervalle possible entre les chargements et le moins de temps perdu. Il en résultera, en effet, que, si l'on applique à l'opérateur une puissance capable de vaincre toutes les résistances qui y sont attachées, elle devra développer des quantités de travail égales, sinon à chaque instant, du moins à chaque révolution, de sorte que les variations de la vitesse demeureront elles-mêmes comprises entre des limites réservées et fixes.

Ces conditions sont ordinairement remplies dans toutes les bonnes machines, soit par les agents préposés à la surveillance et à la direction du travail, soit au moyen de dispositions particulières inhérentes à l'opérateur lui-même, et qui font varier la quantité de matière qui lui est soumise proportionnellement à la vitesse ou à l'énergie du moteur : le *babillard* des moulins à farine, le *pied de biche* des scieries à bois, etc., sont de véritables régulateurs de ce genre.

Il arrive pourtant quelquefois qu'on ne peut ainsi régulariser l'action de l'opérateur, soit parce que les rechargements de matière occasionnent des interruptions plus ou moins fréquentes, plus ou moins longues, soit parce que la résistance opposée par cette matière elle-même n'est pas constante; mais alors, il faut au moins chercher à renfermer les inégalités dans des limites suffisamment étroites, et de façon que les quantités de travail à dépenser, dans chaque unité de temps, ne s'écartent jamais par trop de la valeur moyenne déduite d'un certain nombre de révolutions de l'opérateur.

Dans tous les cas où il résulterait de cette inégalité d'action des inconvénients graves pour la machine, on a recours à l'emploi d'un volant, qu'on place le plus près possible de l'opérateur, et qui, par son inertie, sert à maintenir l'uniformité du mouvement de l'axe auquel il est appliqué, pourvu que la puissance, qui agit tangentiellement par hypothèse à la circonférence de la roue motrice montée sur cet axe, développe contre elle, et dans chaque unité de temps, des quantités de travail égales à la moyenne dont il vient d'être parlé ci-dessus, moyenne qui doit être censée donné par le calcul ou l'expérience, ainsi que la vitesse, sensiblement constante, du point d'application de la force motrice. Divisant donc cette quantité de travail par cette vitesse, c'est-à-dire par le chemin qui décrit uniformément le point dont il s'agit, on aura ainsi la valeur moyenne de l'effort que doit exercer la puissance pour vaincre toutes les résistances qui lui sont opposées, valeur qui généralement s'écartera peu de la véritable, et qu'on pourra, sans erreur sensible, lui substituer dans tous les calculs relatifs à l'appréciation des effets de la machine.

Maintenant, si l'on considère les unes après les autres les différentes pièces interposées entre le récepteur et l'opérateur, pièces qui par hypothèse sont toutes douées d'un mouvement de rotation sensiblement uniforme, et où l'influence de l'inertie peut être négligée de sorte que les puissances et les résistances y sont constamment en équilibre; si l'on considère, dis-je, les unes après les autres ces pièces ou machines simples, il deviendra facile de calculer de proche en proche, les intensités moyennes des forces dont il s'agit, et, par suite, la quantité de travail qui devra être livrée au récepteur dans chaque révolution ou chaque unité de temps, pour vaincre à la fois toutes les résistances réunies, et en supposant qu'on ait assuré convenablement la constance de son mouvement au moyen d'un nouveau volant, si cela est nécessaire.

Ainsi finalement, puisque la théorie des récepteurs et des moteurs est censée faite, on pourra déterminer, à son tour, la quantité de travail absolue que devra dépenser ce dernier dans l'unité de temps, ou dans chaque révolution de la machine, et il ne s'agira plus que de régler, en conséquence, son intensité d'action, ce qui se fera par des moyens analogues à ceux qui servent à régler le travail même de l'opérateur; par exemple, en levant convenablement la *vanne* qui donne l'eau à la roue hydraulique, le *robinet* qui fournit la vapeur aux cylindres des machines à feu, etc. Ces opérations sont encore ici exécutées par les hommes chargés du soin de la machine, et quelquefois on emploie des dispositions particulières pour que l'intensité de la force motrice suive naturellement les variations de la résistance, et maintienne la constance du mouvement : tel est plus particulièrement le *pendule conique* ou *régulateur à force centrifuge*.

On voit par cette discussion que, lorsque la quantité de travail à appliquer à l'outil est donnée, on peut déterminer la force absolue qui convient au moteur et la régler convenablement; mais cette recherche n'est utile que pour le projet même d'établissement de la machine; car, quand il s'agit de la faire marcher, et qu'elle est toute construite, on peut, par un tâtonnement facile, régler son travail et sa vitesse, en faisant varier la résistance utile ou l'intensité de la force motrice par les moyens indiqués. D'ailleurs si, à l'inverse, la quantité de travail absolue que peut fournir le moteur dans l'unité de temps était donnée, on s'y prendrait d'une manière absolument analogue pour déterminer, de proche en proche, la quantité de matière que peut et doit confectionner l'outil.

La solution du problème de l'établissement des machines que nous venons d'esquisser à la hâte n'est, comme on voit, qu'approchée; mais elle serait impossible par toute autre voie, attendu la multitude des indéterminées dont elle dépend, et elle est suffisamment exacte pour la pratique, où l'on ne saurait jamais prétendre à la rigueur mathématique, et où approcher, même d'une manière grossière, par exemple, à 1/5 ou à 1/4 près, du résultat le plus avantageux, c'est avoir atteint un degré de perfection aussi précieux qu'il est rare. Il n'arrive malheureusement que trop souvent, en effet, que l'ignorance des constructeurs de machines, si elle ne leur fait pas tout à fait manquer le but, les en éloigne de telle façon, que l'effet utile obtenu n'est pas le 1/5 et quelquefois même le 1/10 de celui qu'on aurait pu espérer d'une meilleure disposition. Au surplus, si nous insistons sur ce sujet, c'est pour faire sentir la difficulté et l'inutilité, quant à présent, d'une solution rigoureuse du problème des machines; c'est pour éviter l'idée de tentatives qui souvent seraient sans succès, et pour faire apprécier, d'une autre part, le mérite réel des connaissances basées sur les données certaines de la mécanique et de l'expérience; c'est enfin pour mettre à même d'entrevoir, à l'avance, la nature des ressources qu'il est permis d'espérer de chacune d'elles dans les divers cas.

On voit aussi, par tout ce qui a été dit jusqu'à présent des machines, qu'il ne peut être question de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur faire produire les effets merveilleux qu'en attendent parfois des artistes peu instruits des lois de la mécanique et dominés par leur imagination. Soumises, comme elles le sont, d'après leur constitution nécessaire, à une foule de résistances passives, elles ne peuvent que transmettre, avec perte, le travail qu'on leur confie, et cela à tel point qu'on estime comme excellentes, sous ce rapport, celles qui rendent, en effet utile, les 0,50 ou les 0,60 de la quantité d'action absolue dépensée par le moteur. Il en existe effectivement, ainsi que nous l'avons déjà observé ci-dessus, un grand nombre qui, grâce à la multiplicité ridicule et à la fausse combinaison de leurs rouages, rendent à peine le 1/10 ou même le 1/20 de cette quantité d'action.

L'avantage des machines consiste essentiellement dans la propriété, bien autrement précieuse que celle de multiplier simplement la puissance du moteur, de modifier cette puissance selon les différents besoins des arts, et suivant des lois telles qu'elle devienne applicable à un genre de travail auquel elle ne pouvait l'être dans son état primitif. C'est ainsi que, par leur secours, on est parvenu à remplacer l'adresse et l'intelligence de l'homme par la force purement physique des animaux et autres agents naturels qui, étant beaucoup moins chère, fournit l'unité de travail à un prix moins élevé. Souvent même l'usage des machines et des outils procure des produits plus beaux, plus parfaits, parce qu'ils sont plus précis dans leur forme et plus réguliers. C'est encore ainsi qu'on parvient à obtenir des moteurs qu'ils impriment aux corps des vitesses plus grandes que celles qu'ils possèdent ou peuvent prendre par eux-mêmes, et qu'ils soulèvent des fardeaux dont le poids excède l'effort absolu dont ils sont capables; circonstances qui tiennent simplement à ce que la masse des corps, dans le premier cas, et leur vitesse, dans le second, sont fort petites, de sorte que les forces vives ou les quantités de travail correspondantes ont en elles-mêmes des valeurs assez faibles, et qui sont en rapport avec les quantités de travail développées par les moteurs. Enfin, l'emploi d'une machine peut servir quelquefois aussi à augmenter l'effet utile dont serait capable le moteur, s'il agissait immédiatement sur la résistance; ce qui ne contrarie en rien ce qu'on vient de dire, attendu que l'augmentation de l'effet résulte uniquement alors d'un emploi plus avantageux de la force absolue du moteur.

Tels sont donc les services réels que les machines peuvent rendre à la société et aux arts en général; mais pour leur faire atteindre ce but important, il est indispensable, comme on l'a vu, de résoudre une foule de questions, même sous le point de vue purement mécanique, dont les unes sont relatives au travail des moteurs, les autres à la manière d'agir des outils des divers opérateurs, les autres enfin à l'évaluation des résistances passives, qui accompagnent nécessairement les pièces destinées à transmettre l'action et le mouvement. (Extrait des cahiers de Metz de Poncelet.)

MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE ou CINÉMATIQUE. Notre célèbre Ampère, dans son Essai sur la philosophie des sciences, a clairement indiqué la lacune que laissait dans l'édifice des sciences appliquées celle que nous appelons Mécanique géométrique, et à laquelle il donna le nom de *cinématique* (du grec κινημα, mouvement). Dans cette science, les mouvements sont envisagés en eux-mêmes et du point de vue géométrique, indépendamment de la considération des forces qui doivent produire ces mouvements. Elle comprend donc essentiellement la théorie des mécanismes.

Tous les traités de mécanique industrielle traitent de la mécanique dynamique, et surtout des moyens de communiquer le plus utilement possible à un récepteur la force vive engendrée par les agents physiques. Cette étude, la première et la plus indispensable de toutes, est néanmoins bien insuffisante pour l'étude des machines proprement dites, et, en arrivant dans les ateliers, après avoir acquis les connaissances théoriques que l'on puise dans les écoles, on est étonné de la difficulté qu'on rencontre à comprendre le mode d'action des nombreuses machines-outils qui vous entourent.

Entrez dans une filature: la roue hydraulique qui fait mouvoir les métiers est-elle établie dans les meilleures conditions possibles? travaille-t-elle de manière à donner le maximum d'effet utile? Ce sont des questions que résoudra la mécanique industrielle telle qu'on l'enseigne. Mais, dans la filature proprement dite, aucun principe ne guide plus pour juger le travail des machines compliquées qui convertissent en tissu le duvet de coton; et comme toutes les fois qu'une science est à faire, la pratique peut seule enseigner.

Il n'est pas douteux, cependant, que les habiles constructeurs de ces délicates machines n'aient des théories positives pour les guider, et entre deux moyens d'atteindre un même but, ne sachent fort bien choisir le meilleur. C'est cette science des *mécanismes* dont Vaucanson, Jacquart, Arkwright, Watt, etc., ont fait de si belles applications que nous nous sommes efforcés de formuler en corps de doctrine.

Pour nous résumer, le but de la mécanique est double, et comme toute science qui traite de grandeurs, elle doit être envisagée au point de vue du nombre et au point de vue de la forme. La première partie qui traite du meilleur emploi possible de la force motrice, du maximum d'effet utile, de l'évaluation des résistances constitue la mécanique que nous appellerons *dynamique*. C'est celle si admirablement résumée dans les cours de Poncelet. La seconde partie traite de la direction du mouvement, de la forme et de la combinaison des organes destinés à produire un mouvement voulu, c'est ce que nous appellerons la mécanique *géométrique*. Autrefois les corps savants eux-mêmes, l'ancienne Académie des sciences, par exemple, ne considéraient la science mécanique qu'à ce point de vue, que les grands progrès du calcul de l'effet des machines n'eussent pas dû faire abandonner, car il s'agit de deux parties également utiles d'une même science.

Bien qu'aujourd'hui cette partie de la question soit assez négligée scientifiquement, on ne saurait cependant contester la haute importance de son étude. Chaque jour, par exemple, on entend vanter, avec juste raison, la sublime invention de Jacquart, mais tous ses admirateurs ont-ils bien apprécié le principe vraiment remarquable sur lequel repose cette belle invention?

Le problème de l'établissement des machines au point de vue géométrique est celui-ci: *étant déterminées, d'une part, la forme des récepteurs, la nature et la vitesse de leur mouvement* (de manière à obtenir le maximum d'effet utile, questions dont la physique et la mécanique industrielle fournissent les solutions), *et, d'autre part, la forme d'un outil qui doit opérer le travail utile par un mouvement également déterminé, quant à la direction et à la vitesse, par son mode d'action, établir de la manière la plus avantageuse la communication du récepteur à l'outil.* Ainsi, l'outil étant une scie dont la manière d'opérer est connue, la sciorie mécanique comprendra l'ensemble formé par le récepteur, l'outil et les organes transmettant la force du premier au dernier, dans des conditions convenables pour utiliser le travail de celui-ci.

Le plus ancien travail important relatif à la mécanique géométrique, considérée dans son ensemble, l'Essai sur la composition des machines, de MM. Lantz et Bétancourt, qui était, il y a peu d'années, lorsque cet article a été publié la première fois, le seul à étudier, est fort incomplet et présente, en outre, deux défauts majeurs.

Le premier est de borner la composition des machines à la transformation des mouvements, ce qui est une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

idée fausse et incomplète de la question. Les embrayages, le volant, les cartons de la Jacquart, etc., etc., sont certes des organes de machines, sans être pour cela ni des organes de récepteurs, ni des organes de transformation de mouvements, ni des outils.

Le second est de confondre l'agent physique qui donne le mouvement avec la machine. A quoi peut-il servir de considérer la roue hydraulique comme un moyen de transformer un mouvement rectiligne en mouvement circulaire, parce que l'eau qui se mouvait en ligne droite vient tourner à la circonférence de la roue? L'eau est ici le moteur qu'on doit utiliser le mieux possible, cette condition seule détermine le mouvement qu'on lui fait prendre. Il n'en est pas de même des parties suivantes de la machine; ce n'est plus seulement l'économie de forces motrices qui est en jeu, mais avant tout, la nécessité d'obtenir les mouvements convenables de l'outil, en vue du travail à effectuer.

Enfin, le travail de MM. Lantz et Bétancourt a le défaut d'avoir vieilli, ayant été fait avant les grands progrès accomplis depuis trente ans dans l'art de la construction des machines et d'avoir été conçu bien plus en vue de l'enseignement que de la pratique. Beaucoup de solutions directes pour transformer un mouvement en un autre, qui y sont détaillées, seraient rejetées par le mécanicien le moins avancé à cause de leurs imperfections et parce qu'on obtient le même résultat chaque jour dans les ateliers, au moyen de solutions moins directes, mais bien préférables sous tous les rapports.

Nous avons essayé, dans notre *Traité de Cinématique*, de ramener, sous forme scientifique, les ingénieuses combinaisons de nos mécaniciens. Comme nous l'avons dit dans l'INTRODUCTION, c'est par l'étude des organes que l'on peut arriver à l'intelligence complète des machines qui sont formées par des combinaisons plus ou moins complexes de ces organes. Quant à la notion qui rend cette étude possible en la limitant, elle consiste en ce que le dernier élément de tout organe d'une machine, constitué par l'intervention de points fixes, est nécessairement une machine simple : levier, tour ou plan; que, par suite, tout organe de transformation de mouvement ne consiste que dans un système qui permet l'action d'une machine simple sur une machine simple.

DES GUIDES DU MOUVEMENT. Nous devons d'abord indiquer les systèmes à l'aide desquels on fait d'un corps un élément de machine, c'est-à-dire on en fait une machine simple à l'aide de un, deux ou trois points fixes.

Guide du levier. Le guide du système levier devrait consister en un assemblage du corps avec une masse fixe en un point unique, autour duquel le levier pourrait prendre des inclinaisons quelconques. Théoriquement cet assemblage, ou plutôt un assemblage équivalent, n'est pas tout à fait impossible. Si l'on suppose la barre du levier pénétrée par une petite sphère fixe, et que le contact ait lieu soit dans une cavité semblable, soit dans un polyèdre touchant la sphère au moins en quatre points, qui seraient comme les quatre points de contact d'un polyèdre circonscrit à sa surface, le levier, en tournant autour de cette sphère, pourrait être considéré comme tournant autour de son centre, qui deviendrait le centre d'oscillation du levier en tous sens.

Cette disposition est réalisée à peu près dans quelques instruments de nivellement (fig. 1), dans lesquels de très-petites forces sont en jeu. Elle a aussi été appliquée dans les puissantes locomotives Engerth.

En général, dans la pratique il est inutile de donner au levier la faculté de pirouetter dans tous les sens, et il suffit de le faire mouvoir dans un seul plan. On le traverse alors par un petit axe perpendiculaire au plan du mouvement, que l'on guide de la même manière que dans le cas du tour.

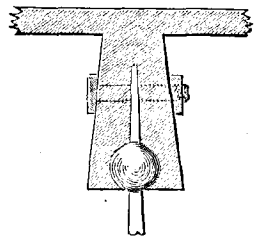


Fig. 1.

Guides du tour. La géométrie fait connaître toutes les propriétés des surfaces de révolution, c'est à-dire précisément de celles que produit la rotation autour d'un axe fixe, engendrées par le système que nous étudions ici, et montre que l'exécution des guides de ce système est fort simple. Il est évident qu'une surface de révolution, découpée dans l'intérieur d'un corps, permettra la rotation autour du noyau supposé fixe, absolument comme si l'axe mathématique était fixe.

Toutes les surfaces de révolution (à l'exception de la surface sphérique, qui seule donne le guide du levier) peuvent donc donner des guides du système tour. Les plus simples, celles engendrées par une ligne droite, sont seules employées.

Si la droite génératrice est inclinée sur l'axe fixe, on obtient un cône circulaire droit dit *pivot*, tournant dans un cône semblable creux, système qui n'est employé que pour des pièces légères.

Si la droite génératrice est parallèle à l'axe fixe, on a le système, généralement employé dans la pratique (fig. 2), formé d'un cylindre adapté au corps mobile,

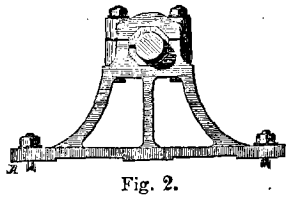


Fig. 2.

maintenu par deux coussinets immobiles dans des supports fixes ou paliers de forme demi-circulaire, qui, conservant souvent la même forme sur une grande longueur, prend le nom d'*arbre* (trois plans tangents suffisant pour maintenir le cylindre sont quelquefois employés). Ce système est excellent dans la pratique, tant parce que la pression de la partie supérieure du coussinet sur la partie inférieure empêche tout déplacement perpendiculairement à l'axe, que parce que l'arbre est réduit à un diamètre moindre dans la partie qui entre dans le coussinet, partie qu'on appelle *tourillon*, d'où résulte, près de celui-ci, un épaulement qui empêche le déplacement latéral. Le diamètre de l'arbre doit être le moindre possible, eu égard aux forces à transmettre, pour que le chemin parcouru par le frottement produit aux points de contact soit d'autant moindre pour chaque tour. Il faut deux coussinets pour guider une axe horizontal.

Pour un axe vertical on emploie un collet et un pivot reposant sur une crapaudine (fig. 3). En faisant ces deux dernières parties de corps très-durs, on peut diminuer beaucoup les surfaces frottantes et supporter l'axe seulement par une petite surface.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour des pièces très-légères, on emploie la disposition bien connue, appelée charnière (fig. 4 et 5), consistant en deux pièces dans chacune desquelles est pratiquée une cavité cylindrique, que vient remplir une broche ou un boulon de même forme autour duquel les deux pièces peuvent tourner.

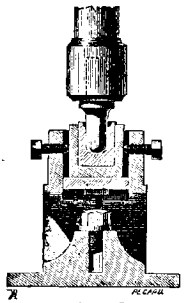


Fig. 3.

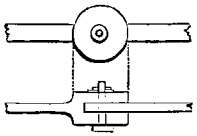


Fig. 4.

Fig. 5.

Guides du mouvement dans le système plan, pour le mouvement rectiligne. On aura une idée nette de ces guides en considérant deux prismes identiques, l'un plein, l'autre creux, coïncidant par leurs faces latérales, le second étant ouvert par ses bases. Si l'un d'eux est fixe, fait partie du bâtis, l'autre, assemblé avec la partie mobile, ne peut se mouvoir que parallèlement aux arêtes du prisme. La totalité des faces n'est pas d'ailleurs nécessaire pour assurer le mouvement rectiligne; trois au moins, inclinées entre elles deux à deux, sont seulement nécessaires.

Dans les dispositions diverses équivalentes que la pratique adopte, on doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Envelopper le plus complétement possible la pièce mouvante pour éviter les déviations; 2° guider surtout avec soin les extrémités de la pièce mouvante prolongée autant que possible, afin de diminuer l'obliquité qui résulte toujours du jeu nécessaire à un mouvement facile.

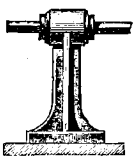


Fig. 6.

Nous représentons, fig. 6, un guide prismatique qui s'exécute souvent cylindrique, mais qu'on empêche de tourner à l'aide d'une languette qui pénètre à la fois dans le cylindre et le coussinet; quand l'enveloppe manque en quelques parties superflues on obtient la glissière formée d'une pièce de forme prismatique glissant entre des surfaces planes parallèles entre elles.

Dans certains cas, les plans qui servent de guides sont continus et se prolongent sur une grande longueur; dans d'autres, pour de longues pièces prismatiques régulières, ils sont interrompus. Nous donnerons comme exemple du premier cas les bâtis (fig. 7 et 8) sur lesquels glissent les chariots des machines-outils, qui sont trop pesants pour que la résultante des forces qui agissent sur le système puisse jamais être dirigée de bas en haut.

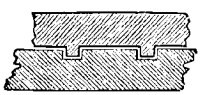


Fig. 7.

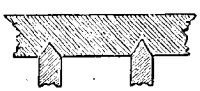


Fig. 8.

MÉCANIQUE.

Comme exemple du second système, nous citerons les guides analogues à ceux des pilons appelés quelquefois des *prisons* (fig, 9). Ce sont deux guides formés de quatre plans à angle droit, deux fragments éloignés entre eux du prisme qui embrasserait la tige prismatique du pilon, et qu'on a soin d'écarter le plus possible l'un de l'autre pour diminuer l'inclinaison absolue qui résulte toujours du faible jeu qu'il faut laisser dans les guides pour les imperfections de l'exécution et la facilité du mouvement.

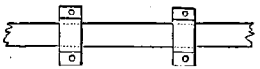


Fig. 9.

Guides roulants du mouvement rectiligne. L'interposition d'une pièce animée d'un mouvement de rotation offre de grands avantages au point de vue de la diminution du frottement. Cette disposition doit être employée toutes les fois que la chose est possible.

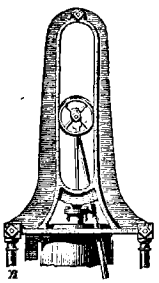


Fig. 10.

La fig. 10 représente une disposition de ce genre. La pièce mobile est munie d'une roulette ou galet dont la gorge embrasse un plan fixe le long duquel elle se meut, et que ses rebords l'empêchent d'abandonner.

Au lieu d'une seule roue, si on en emploie deux reposant sur deux barres prismatiques, il suffit d'adapter à chacune d'elles un rebord intérieur pour que toute déviation soit impossible pour des pièces pesantes; telle est la disposition des chemins de fer à bandes saillantes avec roues à rebords intérieurs (fig. 11). Leur emploi est fréquent aujourd'hui dans les machines.

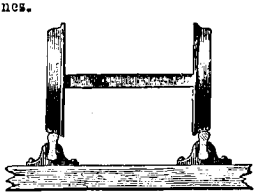


Fig. 11.

L'emploi des galets comme guides du mouvement rectiligne a un inconvénient notable, c'est que, quand les forces mises en jeu sont considérables, le contour des galets s'altère par l'usure, le galet devient plan en certaines parties et bientôt ne tourne plus.

Articulations. Quand le mouvement rectiligne est de faible étendue, on peut remplacer un des guides du mouvement rectiligne par le guide du mouvement circu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laire, et pour cela assujettir, par exemple, le point B de la barre BD (fig, 12), qui doit être guidée en ligne droite,

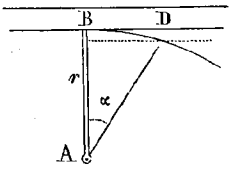


Fig. 12.

à se mouvoir sur une circonférence de rayon r. Si ce rayon est suffisamment grand par rapport à l'étendue du mouvement rectiligne, le mouvement produit en réalité pourra ne différer d'un mouvement rectiligne que d'une quantité négligeable dans la pratique. En effet, appelant l l'étendue de ce mouvement ($1/2\,l$ de chaque côté de la position moyenne AB), on aura pour l'écart extrême du mouvement circulaire et du mouvement rectiligne $r - \sqrt{r^2 - 1/4\,l^2}$, l étant supposé très-petit par rapport à r, $1/4\ l^2$ pourra être négligeable, par rapport à r^2, et l'élasticité des pièces, le jeu des articulations compenser la petite quantité négligée. Nous montrons à DIFFÉRENTIEL comment Watt a appliqué les articulations dans son parallélogramme, en multipliant des systèmes du genre de celui-ci, de manière à guider des pièces en ligne droite pour des courses d'une étendue notable.

Divisions de la cinématique. La mécanique géométrique ou cinématique se divise naturellement en quatre sections :

1° *Récepteurs.* Formes de leurs organes et nature du mouvement produit d'après le mode physique de l'action de la force motrice;

2° *Organes de communication, de transformation du mouvement d'une partie d'une machine à une autre partie;*

3° *Organes des machines servant à modifier le mouvement et à disposer les éléments dans un ordre déterminé;*

4° *Opérateurs.* Organes servant à surmonter les résistances, variant d'après la nature des résistances et le produit à obtenir.

PREMIÈRE SECTION.

Récepteurs.

L'étude des récepteurs, de la vitesse de leur mouvement, forme l'application la plus intéressante de la mécanique dynamique, qui se propose surtout la solution du problème d'obtenir le maximum d'effet utile des moteurs. Nous n'avons ici qu'à passer en revue les divers récepteurs pour indiquer la forme de leurs organes et établir la nature de leur mouvement, point de départ de toute combinaison mécanique pour opérer un travail à l'aide des forces naturelles.

On peut diviser en quatre classes les moteurs qu'emploie l'industrie : 1° moteurs animés, force de l'homme, des animaux; 2° pesanteur; 3° vitesse acquise; 4° chaleur et actions chimiques.

PREMIÈRE DIVISION. — Moteurs animés.

I. FORCE DE L'HOMME.

Le corps humain, dit Coulomb, composé de différentes parties flexibles, mues par un principe intelligent, se plie à une infinité de formes et de positions.

Considéré sous ce point de vue, c'est presque toujours la machine la plus commode que l'on puisse employer dans les mouvements composés qui demandent des nuances et des variations continues de pression, de vitesse et de direction.

L'homme, pouvant être considéré comme une machine parfaite, communiquant directement aux opérateurs le mouvement convenable, son étude ne fait pas, sous ce rapport, partie de la science des machines, considérée comme ayant pour but principal d'utiliser les forces naturelles essentiellement inintelligentes, à la production de produits précédemment obtenus par le travail de la main. Nous ne devons donc consigner ici que les moyens usités pour employer seulement la force musculaire de l'homme à produire un mouvement simple, quelque soit l'emploi qui doive en être fait.

ACTION PRODUITE AU MOYEN DE LA FORCE DES BRAS.

1° *Levier.* Organe principal parmi les moyens d'appliquer la force musculaire. Il peut être disposé dans un plan vertical ou horizontal ou dans des plans voisins de ces positions. On peut agir sur un levier isolé ou plusieurs leviers adaptés à un même arbre. Ces diverses dispositions, en ne prenant que les principales, donnent lieu aux divers cas suivants.

Dans un plan vertical. — Levier isolé. Agit par un mouvement circulaire alternatif (fig. 1507), par mouvement rectiligne alternatif combiné avec un transport du bras d'avant en arrière (fig. 1508).

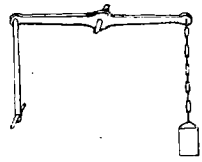


Fig. 1507.

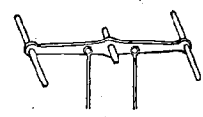


Fig. 1508.

Pour un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical une barre droite ou l'extrémité d'un levier, le maximum du travail correspond à un effort ou poids de 5 kil., mu avec une vitesse de $1^m,10$ par seconde.

Donc si le levier, dont le bras est égal à p, fait n oscillations en t secondes en parcourant un angle ω, on doit avoir :

$$\frac{n\,\omega\,P\,p}{t} = 5^{kg},50,\quad \frac{n\,\omega\,p}{t} = 1^m,10.$$

Le maximum de travail est de 158,400 kil. mèt. en huit heures de travail. Si le levier fait une seule oscillation par seconde, $n=1$, $t=1$, et $\omega\,P\,p = 5,50$ k. m. De ces formules l'on déduira pour chaque cas la vitesse que doit posséder le levier à l'extrémité duquel la force est appliquée; la longueur du bras du levier étant en rapport avec le mouvement possible des bras, c'est-à-dire ne devant pas dépasser un mètre.

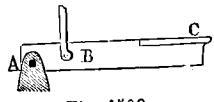


Fig. 1509.

Les *touches* (fig. 1509), système employé dans de nombreuses machines, les *pianos*, les *machines à lire*, etc., sont de véritables leviers. Elles sont employées non

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas pour produire un travail moteur considérable, mais pour transmettre avec une grande rapidité, à l'aide des doigts, de petites forces motrices, et multiplier les mouvements qui nécessitent une intervention de l'intelligence en chaque instant. On aura une idée de la rapidité que l'on peut obtenir dans ce mode de transmission, en disant qu'un joueur de piano peut facilement, avec les doigts de ses deux mains, toucher 20,000 notes à l'heure.

Leviers multiples. Par plusieurs leviers que l'on rechange successivement de main (fig. 1510), on produit le mouvement circulaire presque continu.

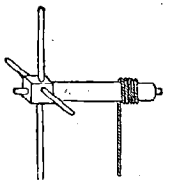


Fig. 1510.

Dans un plan horizontal. Les mêmes dispositions que ci-dessus peuvent également servir à agir par la force musculaire des bras ; ils pourraient, à la rigueur, être employés dans des plans quelconques.

2° *Système tour* (produisant le mouvement circulaire continu). L'organe par excellence pour produire le mouvement circulaire à l'aide de la force des bras est la *manivelle* (fig. 1511). Lorsqu'elle est appliquée à un axe horizontal, l'ouvrier agit, pour produire le mouvement circulaire, non-seulement par son action musculaire, mais encore par le poids de la partie supérieure de son corps à laquelle il imprime un mouvement de va-et-vient, condition avantageuse, comme nous le verrons ci-après. Le mouvement circulaire continu étant le plus usité dans les machines, l'emploi de la

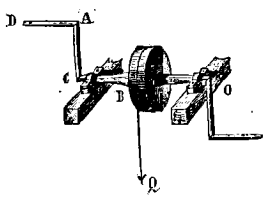


Fig. 1511.

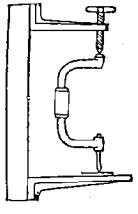


Fig. 1511 *bis*.

manivelle est extrêmement fréquent. La fig. 1511 *bis* représente la manivelle appliquée à un axe vertical, qui est employée dans quelques outils; cette disposition est moins avantageuse que la première, parce qu'elle ne permet que l'action musculaire.

Un manœuvre agissant à une manivelle adaptée à un axe horizontal ne doit exercer (pour le maximum de travail) qu'un effort moyen de 8 kil. environ avec une vitesse de $0^m,75$ par seconde; il produit ainsi en une journée de huit heures 172,800 kil. mèt. L'effort à la manivelle peut atteindre au besoin 30 kil., mais alors avec une faible vitesse; s'il était prolongé, on obtiendrait, à fatigue égale, une quantité de travail journalière bien moindre que celle indiquée ci-dessus.

Il est avantageux d'employer la manivelle avec une vitesse un peu grande, afin que les points morts, les points du haut et du bas de la course, où la direction du mouvement change, où l'action motrice résultant d'une pression doit être remplacée par une traction ou inversement, soient passés à l'aide du mouvement

acquis, de l'inertie des pièces en communication avec la manivelle.

3° *Poulies et cordes.* Servent à produire le mouvement rectiligne continu (fig. 1512) ou alternatif (fig. 1513), en agissant par traction à la main.

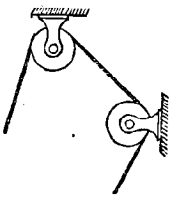


Fig. 1512.

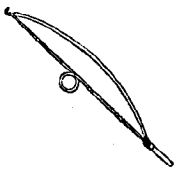


Fig. 1513.

Action de traction et d'impulsion. Pour ces efforts, l'homme s'appuyant sur le sol pour développer la force musculaire, qu'il transmet soit avec les bras, soit au moyen d'une corde adaptée aux épaules, et s'aidant en penchant en avant la partie supérieure du corps, produit un mouvement rectiligne continu en se déplaçant, ou un mouvement circulaire continu par une action exercée à l'extrémité de leviers (fig. 1514).

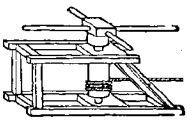


Fig. 1514.

ACTION PRODUITE AU MOYEN DE LA FORCE MUSCULAIRE DES JAMBES.

A fatigue égale, dit Coriolis, au bout de la journée, l'homme produit plus de travail avec les muscles des jambes qu'avec ceux des bras, pourvu que la vitesse des mouvements se rapproche de celle habituelle dans la marche.

Dans ce travail, l'homme est assis ou debout, et l'action des jambes agissant sur les rais ou sur des marches placées sur la jante d'une roue, produit un

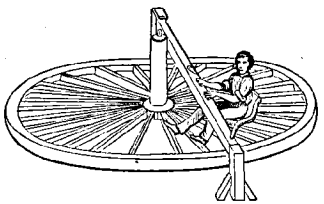


Fig. 1515.

mouvement circulaire continu. La fig. 1515 représente une de ces dispositions. L'ouvrier exerçant un effort moyen de 12 kil. avec une vitesse de 0,70 par seconde,

$Tp = 12 \times 0{,}70 = 8{,}4$ kil.

mèt.; il produit un maximum de 251,120 kil. mèt. en huit heures de travail.

La roue du tour à potier, mue de la sorte, laisse à l'ouvrier la disposition de ses bras pour façonner les pièces.

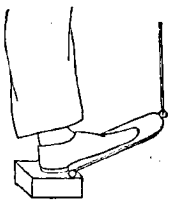


Fig. 1516.

La pédale (fig. 1516) est un moyen d'application du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travail musculaire au pied pour engendrer un mouvement circulaire alternatif, offrant également cet avantage précieux.

ACTION PRODUITE PAR LE POIDS DU CORPS.

Des expériences de Coulomb résulte ce fait remarquable, que la meilleure manière d'utiliser la force motrice de l'homme est d'employer le poids même du corps comme force motrice.

On obtient ce résultat au moyen de la roue à chevilles représentée fig. 1517. L'homme, grimpant sur les échelons, dont la circonférence de la roue est garnie, produit un mouvement circulaire continu de l'axe de la roue. Ce système est barbare par suite des accidents auxquels sont exposés les ouvriers qui le manœuvrent.

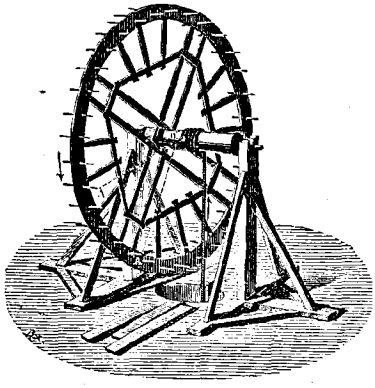


Fig. 1517.

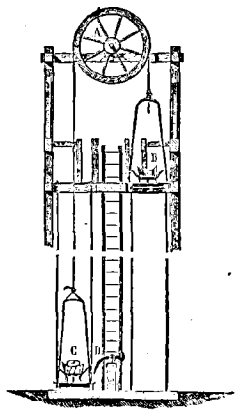


Fig. 1518.

On a appliqué avec avantage le même système aux terrassements des fortifications, au moyen d'une poulie (fig. 1518) sur laquelle passe une corde munie à ses extrémités de deux plateaux, dont l'un porte le poids à monter, et l'autre l'homme. Celui-ci remonte au moyen des échelles pour donner un mouvement rectiligne d'ascension à un nouveau poids en descendant sur le plateau. On a proposé d'utiliser la force des hommes grimpant après une des cordes formant une chaîne sans fin pour donner un mouvement circulaire continu à l'axe de la poulie; mais on doit rejeter ces dispositions dangereuses.

II. FORCE DES ANIMAUX.

La force motrice des animaux est utilisée au moyen du manége (fig. 1519). L'animal, attelé après une barre, tournant autour de l'axe, développe sa force par traction, et produit ainsi un mouvement circulaire continu.

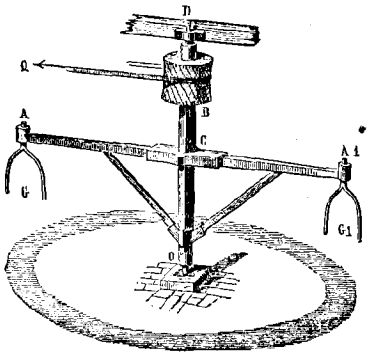


Fig. 1519.

Quelques essais faits pour utiliser la force des animaux au moyen de leur poids, ou par l'action de leurs pieds sur des espèces de roues à marcher, par des dispositions analogues à celles employées pour utiliser la force intelligente de l'homme et produire ainsi un mouvement circulaire continu, n'ont jamais été adoptés dans la pratique. Le manége est préférable sous tous les rapports.

Pour ne pas être trop lourd, le bras du manége ne doit pas dépasser 4 mètres, et ne peut guère descendre au-dessous de 3 mètres, l'animal ne pouvant, sans fatigue extrême, marcher dans un cercle de petit rayon.

Nous donnons dans le tableau suivant les résultats de l'expérience relativement à la vitesse la plus convenable des animaux attelés à un manége, aux efforts qu'ils peuvent exercer régulièrement, et à la durée de leur action pour le maximum de travail.

	EFFORT moyen en poids.	VITESSE par seconde.	DURÉE de travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalier.
	kil.			kil. mèt.
Un cheval attelé à un manége et allant au pas..	45	0,90	8	1,166,400
Un cheval attelé à un manége et allant au trot..	30	2,00	4,5	972,000
Un bœuf attelé à un manége et allant au pas..	65	0,60	8	1,123,200
Un mulet attelé de même et allant au pas.....	30	0,90	8	777,600
Un âne attelé de même et allant au pas.....	14	0,80	8	331,080

DEUXIÈME DIVISION. — Pesanteur.

PESANTEUR DES CORPS SOLIDES.

Les corps solides ne peuvent être une source de force motrice que dans une limite fort restreinte, puisqu'il faut nécessairement remonter bientôt le poids descendu et opérer par l'action d'une autre force un travail égal à celui de la pesanteur pour le replacer à la première position; ils rentrent dans la classe des moteurs secondaires dont nous parlons plus loin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ils servent surtout comme contre-poids pour assurer le retour d'une pièce dans une première position.

PESANTEUR DES LIQUIDES.

La pesanteur des liquides passant d'un niveau plus élevé à un niveau inférieur est une des plus abondantes sources de force qui se rencontre dans la nature. L'eau s'écoulant naturellement après avoir passé sur le récepteur, pour peu qu'il reste de chute pour déterminer son écoulement, en rend l'emploi facile.

Il faut remarquer que l'abondante source de travail mécanique que fournit la pesanteur des liquides a pour origine première la cause plus générale dont nous parlons ci-après, la chaleur. C'est celle-ci qui, évaporant l'eau, la fait remonter sous forme de nuages, dans les parties supérieures de l'atmosphère, d'où elle retombe, sous forme de neige ou de pluie, sur les parties élevées, pour de là s'écouler vers les parties plus basses du sol.

Nous avons analysé ces machines à l'article HYDRAULIQUE, nous ne nous répéterons pas ici. Nous rappellerons seulement que nous avons classé ces machines en deux classes, savoir : Les machines à mouvement alternatif, comprenant les balanciers hydrauliques et surtout la machine à colonne d'eau, fort semblable, au point de vue des organes, à la machine à vapeur.

Les machines à mouvement continu, comprenant les roues à augets et tous les systèmes de roues et augets susceptibles de se mouvoir d'une manière continue. C'est ainsi qu'on a quelquefois disposé les augets le long d'une chaîne qui transmet le mouvement circulaire continu à l'arbre qui la supporte. Les oscillations de la chaîne qui font verser l'eau des godets, et sa destruction rapide empêchent de se servir de cet organe pour les grandes chutes pour lesquelles, *à priori*, il paraît convenable.

TROISIÈME DIVISION. — Vitesse acquise.

SOLIDES.

Les corps solides ne se rencontrant pas à l'état de mouvement, ne pouvant y être amenés que par une dépense de travail, et ne pouvant le communiquer qu'avec une perte de force vive considérable par suite des chocs, on n'a jamais employé de véritables récepteurs mis en mouvement par des corps solides animés d'une certaine vitesse.

LIQUIDES.

Les liquides se rencontrent dans la nature animés d'une certaine vitesse, provenant : de la pente du lit dans les rivières, ou quand ils sortent par la partie inférieure d'un réservoir dans lequel ils se trouvent retenus à un niveau plus élevé que celui du bief inférieur, de la pression due à la pesanteur. Dans ce cas, l'eau agit souvent en même temps et par sa pesanteur et par son choc.

Nous avons étudié ces divers systèmes à l'article HYDRAULIQUE et y renverrons, nous contentant de les énumérer ici. On distingue :

Les roues à palettes plates ;

Les roues à aubes courbes ou roues Poncelet ;

Les roues de côté.

Enfin tous les systèmes de roues à axe vertical ou turbines, sans que la verticalité de l'axe soit une condition indispensable d'un mode d'action aussi utilisé dans les roues hélices à axe horizontal.

AIR.

Voiles. — Moulins à vent. L'air en mouvement peut communiquer la force vive dont il est animé aux organes mobiles qu'il rencontre. Ce sont toujours les voiles qu'on emploie à cet effet, à cause de la facilité avec laquelle on augmente ou on diminue la surface agissante. Les voiles sont le moyen direct d'impulsion des navires pour leur faire surmonter la résistance qu'oppose l'inertie du liquide sur lequel ils flottent.

Le vent sert encore de moteur aux moulins. On a quelquefois tenté de disposer horizontalement les voiles destinées à utiliser la force du vent autour d'un axe vertical, en cherchant à éviter l'égalité d'action qui tend à se produire dans les deux sens, soit au moyen de paravents, soit en faisant varier la surface des voiles des deux côtés de l'axe par divers dispositifs. Ces essais n'ont jamais présenté des résultats pratiques, et le seul système employé est toujours celui des voiles placées dans un plan presque vertical (fig. 1520); tournant autour d'un axe faisant un petit angle de 8 à 15° avec l'horizon, direction habituelle des vents dans les pays de plaine. Le châssis portant la toile

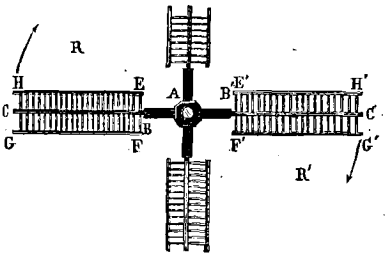


Fig. 1520.

est formé d'une surface gauche dont les éléments s'inclinent les uns sur les autres à partir de l'axe, en restant perpendiculaires à la direction des bras correspondants, et offrent au vent une surface oblique hélicoïdale, légèrement concave. La partie la plus rapprochée de l'axe fait en général avec celui-ci un angle de 70°, et la partie la plus éloignée un angle de 80°. Les ailes étant amenées par la rotation de tout le système qui les porte, dans un plan perpendiculaire à la direction du vent, donnent à l'axe autour duquel tournent les quatre ailes un mouvement circulaire continu ; car, par suite de l'obliquité de la surface des ailes, l'action du vent fournit évidemment une composante perpendiculaire aux bras.

QUATRIÈME DIVISION. — Chaleur.

Nous avons exposé dans l'INTRODUCTION et à l'article CALORIE les principes qui devaient présider à l'emploi de la chaleur pour produire un travail mécanique; nous n'avons plus qu'à résumer ici les principes qui déterminent la forme des récepteurs.

Solides. Les solides ayant une force de cohésion que le calorique détruit en partie, avant de produire un effet sensible, il y a d'abord une partie de travail annulé par cette cause, mais cette quantité est restituée lorsque, par le refroidissement, le corps revient à son état primitif. On connaît l'étendue des dilatations, et l'effort qu'elles peuvent produire est en rapport avec le coefficient d'élasticité des corps chauffés. Chacun connaît l'application faite par Molard pour redresser les murs du Conservatoire, de fortes barres de fer, munies d'écrous extérieurs, et alternativement chauffées et refroidies, exemple qui, ainsi que nombre de faits, prouve que la force ainsi engendrée est considérable si le chemin parcouru est petit.

Les faibles mouvements, produits par la dilatation des corps solides, rendent leur emploi presque impossible pour l'établissement de machines pouvant les utiliser.

Il faudrait employer des mécanismes compliqués, des pièces d'une grande force pour transmettre des pressions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

énormes, etc. Le seul mode d'emploi tenté quelquefois, et qui n'a guère été employé que dans des appareils régulateurs, qu'on peut considérer comme employés à produire une pression, consiste (fig. 1521) à faire dilater et refroidir successivement une barre de fer dont l'extrémité produit un mouvement rectiligne alternatif.

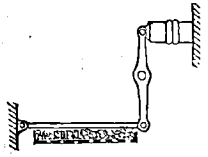


Fig. 1521.

Liquides. Tous les inconvénients que nous venons d'énumérer pour les solides se rencontreraient dans l'emploi des liquides; la question de leur puissance motrice, que les données de la physique ne permettent pas de résoudre complétement, n'offre que peu d'intérêt au point de vue de l'application. On pourrait, théoriquement, utiliser la force expansive des liquides en ajustant sur la surface de l'enveloppe qui les renferme, des corps de pompe contenant des pistons dont la tige prendrait par les échauffements et refroidissements successifs un mouvement rectiligne alternatif.

Vapeurs et gaz. Les seuls appareils à noter ici sont ceux qui se rapportent à l'emploi de la vapeur d'eau, la seule réellement employée dans l'industrie. Remarquons toutefois que les gaz permanents, l'air, par exemple, offrant l'avantage de pouvoir produire un travail à une température très-peu supérieure à la température ordinaire, il en résulte la possibilité d'employer des sources de chaleur donnant une température peu élevée, avantage purement théorique jusqu'à ce jour.

Nous allons passer en revue les appareils qui permettent d'utiliser le travail engendré par la chaleur en commençant par quelques-uns de ceux qui sont restés à l'état de projets, et n'ont pu rivaliser jusqu'à ce jour avec la machine à corps de pompe et piston, que nous donnerons en dernier.

Machines rotatives. On a essayé souvent, et jusqu'ici sans succès, d'obtenir directement le mouvement circulaire continu en disposant le piston dans une couronne cylindrique, et établissant par des pièces mobiles la séparation du condenseur à la chaudière. Tel est le système (fig. 1522). Aucun système de ce genre n'a encore produit de bons résultats. Les frottements, les fuites, etc., ont toujours bien plus que compensé les avantages résultant du mouvement circulaire directement obtenu.

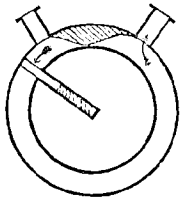


Fig. 1522.

Machines à réaction. La plus ancienne machine de ce genre est l'éolypile, dans lequel la vapeur produit le mouvement circulaire continu par sa réaction, en s'écoulant. Les fig. 1523 et 1524 représentent un système analogue exécuté en Amérique. (Voy. MACHINES ROTATIVES, *Complément*).

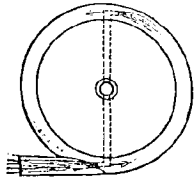


Fig. 1523.

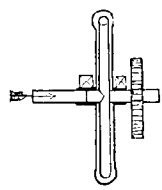


Fig. 1524.

Mais pour que de semblables machines travaillassent non dans des conditions de maximum absolu qu'elles ne sauraient réaliser, mais de maximum relatif permettant d'utiliser le travail d'action directe d'échauffement, de vaporisation, car elles ne sont pas susceptibles de fournir du travail pour une action de détente; pour ne pas dépenser inutilement leur vapeur, il faudrait que la vitesse à la sortie fût égale à celle de la vapeur. Or cette vitesse est tellement considérable que les matériaux composant l'arbre s'échauffent, grippent et cessent de fonctionner immédiatement. De plus, la pression de la vapeur sortant par de petits orifices (à moins qu'ils ne soient très-multipliés) n'est pas suffisante pour surpasser la résistance due aux frottements des tourillons; et si l'orifice de sortie est large comme il faudrait le faire pour faire des machines de cette nature d'une force quelque peu considérable, l'utilisation de la force expansive de la vapeur est loin d'être complète, et le courant de vapeur à l'état dynamique n'exerce pas toute la contre-pression qui s'exerce à l'état statique.

Élévation d'un liquide. On a quelquefois proposé de revenir à la première invention de la machine à vapeur appliquée à élever l'eau (fig. 1525), et d'employer la force expansive de la vapeur, ou le vide formé par des explosions, à élever l'eau ou quelque liquide ne produisant pas de condensation, le mercure, par exemple, et de recevoir ensuite ce liquide sur une roue hydraulique pour produire un mouvement circulaire continu.

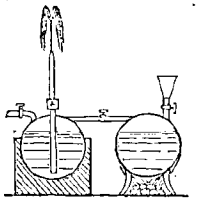


Fig. 1525

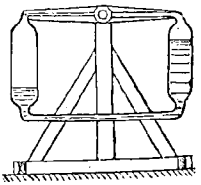


Fig. 1526

De semblables systèmes, qui consistent dans l'emploi de deux récepteurs où les pertes d'effet utile de chacun se multiplient, donneraient des résultats extrêmement désavantageux.

On peut utiliser la force de la vapeur à construire un appareil analogue au balancier hydraulique, en se servant de la pression de la vapeur pour faire passer successivement le liquide d'une caisse dans l'autre (fig. 1526), et faire ainsi produire par son poids un mouvement circulaire alternatif. Cet appareil n'est qu'un appareil de cabinet de physique et ne saurait évidemment servir de point de départ pour la construction d'une machine sérieuse.

Corps de pompe et piston (fig. 112). Le guide est ici une surface cylindrique dans laquelle se meut un piston, disposition évidemment imitée des pompes, dont la machine à vapeur primitive dérivait directement.

Cet organe constitue le meilleur récepteur de la force expansive de la vapeur. Relativement à l'arrivée de la vapeur sur le piston, on doit distinguer deux cas :

1° La vapeur n'est introduite qu'au-dessus du piston, puis condensée quand celui-ci est parvenu à l'extrémité de sa course, c'est-à-dire mise en communication avec une masse d'eau froide qui la liquéfie presque instantanément. Le piston revient à sa première position par l'effet de la pression atmosphérique ou d'un contre-poids, et sa tige prend un mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rectiligne alternatif; c'est la machine atmosphérique, la forme primitive de la machine à vapeur.

2° L'action de la vapeur a lieu successivement sur les deux faces du piston, dont la tige traverse le couvercle du cylindre dans un stuffing-box (espèce de coussinet garni d'étoupe) en produisant le même mouvement que ci-dessus. C'est la machine de Watt à double effet.

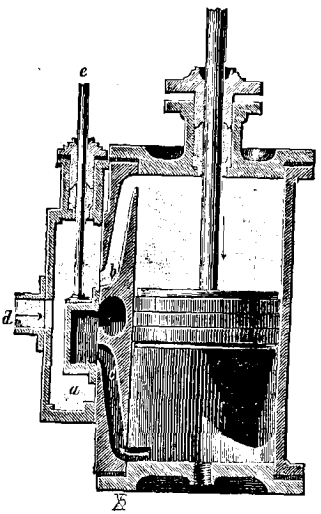


Fig. 1527.

La distribution de la vapeur d'un côté ou de l'autre du piston s'obtient à l'aide d'un robinet particulier dit *tiroir* (fig. 1527 et 1528) plongé dans la vapeur, qui l'applique sur ces surfaces contre lesquelles il glisse, et qui, mû d'un mouvement rectiligne alternatif, recouvre et découvre successivement les orifices des conduites pratiquées dans la paroi du cylindre, et fait ainsi agir alternativement la vapeur de la chaudière sur une face du piston, tandis que celle qui a déjà travaillé sur l'autre face se rend au condenseur en passant par l'intérieur du tiroir.

Lorsque la communication entre la chaudière et le corps de pompe se trouve interceptée avant que le piston ait accompli sa course, la vapeur travaille en se détendant, et se refroidit par suite de la consommation de la chaleur. Si la résistance que surmonte le piston était indéfiniment décroissante, la détente pourrait théoriquement se prolonger jusqu'à la condensation totale de la vapeur et l'utilisation de toute la chaleur de vaporisation. De là se déduit l'important principe suivant qui renferme toute la théorie de la machine à vapeur : *La quantité de chaleur qui disparaît lorsque la vapeur se détend, est proportionnelle à la quantité de travail produit*, et il faut remarquer que c'est également par une action de détente de la vapeur renfermée dans la chaudière que se produit l'action directe, que la vapeur est poussée dans le cylindre. On voit qu'on pourrait ainsi théoriquement utiliser tout le travail dû à la quantité de chaleur dépensée à former la vapeur employée et que la machine à vapeur est théoriquement parfaite. Dans la pratique, il faut rester bien au-dessous de la production des volumes énormes qui seraient nécessaires pour se rapprocher de la limite théorique, mais les progrès de l'art de

l'ingénieur tendent à rapprocher du rendement que la science indique comme possible.

On doit distinguer deux systèmes de machines à vapeur, ou deux époques dans son invention. Le premier, qui s'appelait le plus souvent pompe à feu, est une véritable pompe, et le piston ne s'y meut qu'en

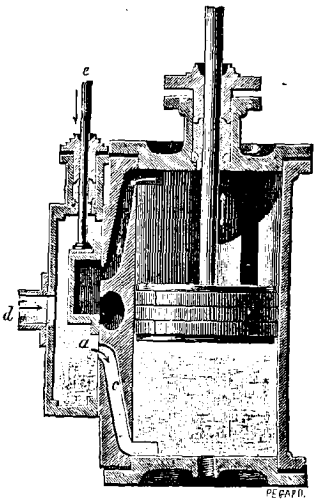


Fig. 1528.

vertu du vide produit sous une de ses faces par la condensation de la vapeur qui a rempli le cylindre. Dans le second on emploie souvent la vapeur à haute pression, la vapeur joue le rôle de gaz comprimé; c'est celui dont les applications sont les plus modernes. On peut alors, et c'est ce qui a souvent lieu en effet, laisser sortir dans l'atmosphère la vapeur qui a agi d'un côté du piston lors du changement de sens du mouvement; mais il est préférable encore dans ce cas, lorsque cela est possible, de liquéfier la vapeur à l'aide d'eau froide injectée dans le condenseur, en évitant la perte de travail due à la contre-pression d'une atmosphère qui a lieu quand la vapeur est lancée directement dans l'air.

Toutes ces questions sont traitées en détail dans les articles de cet ouvrage consacrés à la machine à vapeur et à la théorie de la chaleur. Nous dirons seulement ici, au point de vue du mouvement, que les vitesses de la tige du piston varient en général de $0^m,90$ par seconde pour les petites machines, à $1^m,30$ pour les fortes machines de 60 chevaux et au-dessus.

CINQUIÈME DIVISION. — Moteurs secondaires.

J'appelle moteurs secondaires ceux qui restituent des quantités de travail emmagasinées par un travail mécanique antérieur. Mais comme ils agissent indépendamment de la force naturelle qui a produit cet effet, et qu'ils sont par suite, pour la machine dont ils font partie, de véritables moteurs, il est nécessaire d'étudier les mouvements qu'ils peuvent engendrer.

I. PESANTEUR.

Soit un cylindre autour duquel s'enroule une corde supportant un poids P. Si on a fait tourner ce cylindre de telle sorte que le poids s'en soit rapproché, le système représente un moyen de produire un travail mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

canique en raison du nombre de tours d'enroulement et de la grandeur du poids P. Ce travail sera PH, H étant la hauteur dont le poids peut descendre, en produisant un nombre n de tours de cylindre donné par la relation ; $H = n\,2\,\pi\,r$, r étant le rayon du cylindre.

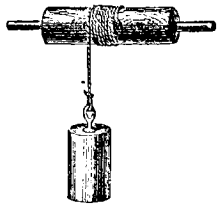


Fig. 1529.

Le poids moteur agissant toujours tangentiellement au cylindre, l'effort qui tend à le faire tourner reste constant; il ne varie qu'en raison du poids de la plus ou moins grande longueur de corde déroulée.

RESSORTS.

Les ressorts, en général construits en acier, sont employés fréquemment dans les machines.

Réaction. Les ressorts forment la base ordinaire des organes de réaction; c'est leur élasticité qui permet de reproduire rapidement en sens inverse les effets produits par un premier mouvement; ils agissent d'une manière analogue aux contre-poids qui sont utilisés pour atteindre le même but. Les ressorts accumulent de même du travail quand on les tend, et le restituent quand on les laisse se détendre. Les tensions et les chemins parcourus par le ressort en se détendant, sont inverses et identiques aux chemins parcourus et aux efforts exercés pour le tendre.

Pour amortir une action dans un sens et la rendre en sens contraire, on se sert, soit des ressorts en spirale dits *boudins* agissant dans le sens de l'axe du cylindre qu'ils forment (fig. 1530), soit de ressorts en lames (fig. 1531 et 1532).

Fig. 1530.

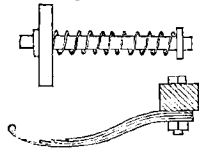


Fig. 1531.

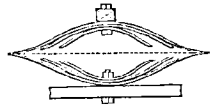


Fig. 1532.

On comprend que de semblables appareils sont fort utiles pour amortir la force d'inertie, la restituer en sens contraire et éviter ainsi une perte de travail importante; aussi les emploie-t-on dans un grand nombre de machines dont certaines pièces ayant un mouvement rectiligne alternatif, viennent butter contre les extrémités de ces ressorts à la fin de la course dans un sens, et sont remises en mouvement en sens opposé par l'effet du ressort, au moment même où la force motrice change de sens. Une forte pièce de bois encastrée par son extrémité forme un puissant ressort; on en fait usage dans les marteaux de forges, pour des efforts que des pièces trempées et par suite de résistance assez limitée, car leur volume ne saurait être considérable, ne pourraient supporter.

Ressort en spirale. Les organes appelés renvideurs, employés dans certains cas de tissage, reposent sur l'emploi d'un ressort en spirale fixé par une extrémité à l'axe, et de l'autre à la bobine sur laquelle s'enroule le fil exerçant une traction parallèle aux circonférences des spires du ressort. Le fil déroulé est renvidé par la réaction du ressort spiral qui a été tendu par l'action du dévidement.

Impulsion. C'est à l'aide de ressorts qu'on communique en général une impulsion. On bande un ressort par une pièce douée d'un mouvement alternatif qui fait mouvoir l'arrêt qui le maintient dans la position convenable pour que la pièce à lancer vienne se placer devant lui. Le ressort, en se détendant quand on soulève l'arrêt, lance la pièce qui est appuyée sur lui.

Longue durée d'un mouvement. Les ressorts métalliques constituent un organe de mouvement secondaire fréquemment employé dans les petites machines, les montres, les horloges, les automates, etc. On peut se servir d'une simple lame bandée pour produire un petit mouvement circulaire suivant un arc; mais, pour que l'action soit d'une certaine durée, pour produire, par exemple, un nombre de tours notable d'un mouvement circulaire, la disposition la plus convenable est celle d'un ressort roulé sur lui-même en spirale

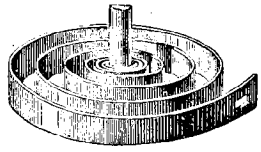


Fig. 1533.

(la fig. 1533 montre le ressort bandé et la fig. 1534 le ressort détendu), qui se bande au moyen d'une clef à levier entrant dans un carré placé à son centre et qu'un obstacle empêche de se détourner.

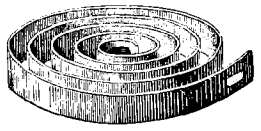


Fig. 1534.

En se déroulant, le ressort fixé d'une part à l'axe central fait habituellement mouvoir d'un mouvement circulaire continu un cylindre, avec lequel il est assemblé par son autre extrémité.

Pour obtenir une régularité d'action très-grande, par exemple dans les chronomètres, dans lesquels de semblables ressorts servent de moteurs, on emploie des ressorts très-longs et très-flexibles vers l'extrémité mobile, dont on n'emploie le déroulement que pendant un petit nombre de tours, et par suite entre des positions pour lesquelles la variation de la tension du ressort est peu sensible.

INERTIE.

De même que lorsqu'une quantité de travail ayant servi à élever un poids, la descente de ce poids restitue ensuite le travail; de même lorsqu'une quantité de travail a produit la vitesse d'un corps, celui-ci ne pourra s'arrêter sans restituer ce travail en totalité (pourvu qu'il n'y ait pas de chocs destructeurs, d'altérations moléculaires). C'est en cela que consiste le principe de l'inertie. Cette série de phénomènes occupe une grande place dans l'étude de la mécanique dynamique; nous ne pouvons nous y arrêter ici, mais nous devons seulement noter que tout corps en mouvement peut servir de moteur secondaire; c'est ainsi que fonctionnent les organes appelés volants que nous rencontrerons plus loin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

DEUXIÈME SECTION.

Organes de transformation de mouvement.

Nous venons de passer en revue la nature et la vitesse des mouvements des récepteurs qui résultent du mode d'action des forces naturelles. Ce sont ces mouvements qui doivent être communiqués aux opérateurs, dont les mouvements sont également assujettis à des conditions déterminées de direction et de vitesse nécessaires à l'exécution du travail industriel. Entre l'opérateur et le récepteur, dont les mouvements propres sont complétement déterminés, viennent s'interposer des organes établissant la communication, la transformation du mouvement initial.

Le problème, considéré dans toute sa généralité, consiste à déterminer les systèmes par l'intermédiaire desquels on peut communiquer le mouvement quelconque d'un corps à un autre corps, quelles que soient les positions relatives de ces deux corps, en transformant le premier mouvement en un autre quelconque, ce premier mouvement étant produit directement ou indirectement par le récepteur.

Or, le mouvement de toute partie élémentaire de machine peut être, quant à la forme, quant à la courbe décrite par un point de cette partie, rectiligne, circulaire ou suivant une courbe; quant à sa direction, se continuer toujours dans le même sens ou être continu; se produire successivement d'avant en arrière et d'arrière en avant, être alternatif.

Avant d'établir les diverses combinaisons deux à deux de ces mouvements, ce qui constituera autant de problèmes dont la solution fournira celle du problème général de la transformation des mouvements, nous devons conclure des principes les plus simples de la mécanique:

1° Quant à la forme des lignes décrites par un point du corps en mouvement, que le mouvement circulaire se produisant dans le système tour avec des résistances passives bien moindres que celles qui se produisent dans le système plan, doit être préféré aux mouvements rectilignes ou courbes produits par celui-ci, et doit être toujours adopté quand son emploi est possible, notamment lorsqu'il s'agit seulement de communiquer le mouvement de proche en proche et non de le transformer;

2° Que les mouvements continus sont au point de vue dynamique préférables aux mouvements alternatifs; seuls, en effet, ils permettent l'uniformité du mouvement qui assure le travail régulier d'une machine, et sont exempts des destructions de travail qui résultent en général du changement de sens du mouvement des pièces à mouvement alternatif, conséquence nécessaire du brusque anéantissement de vitesse dans un sens, des effets d'inertie. Les mouvements continus doivent donc toujours être ceux des pièces fondamentales des machines, par exemple ceux des pièces qui n'ont pour objet que d'obtenir une vitesse déterminée, et parmi ces mouvements le circulaire continu est le principal et le plus avantageux par rapport aux frottements. L'étendue des machines étant nécessairement limitée, le rectiligne continu ne saurait s'y rencontrer toujours de même sens pendant un long intervalle; en général, des mouvements rectilignes continus en sens opposé se succèdent l'un à l'autre, et ce n'est qu'en considérant le mouvement de la machine pendant un court intervalle, qu'on peut considérer le mouvement rectiligne comme continu.

De ce qui précède se déduit cette importante conséquence, qui ne sera pas contestée par les personnes qui ont étudié les machines, c'est que le problème général de la transformation d'un mouvement quelconque en un autre se réduit presque, dans la pratique, à la transformation d'un mouvement circulaire continu en un mouvement quelconque. Les organes qui constituent les solutions tant directes que réciproques de ce problème, comme il sera facile de le voir par ce qui va suivre, comprennent presque tous ceux réellement employés dans les machines bien contruites.

Devant étudier ici tous les organes qui peuvent se rencontrer dans les machines, nous distinguerons:

1° Les transformations de mouvements continus en continus ou alternatifs en alternatifs. Nous trouverons avantage à étudier en même temps les communications de mouvements de même nature, soumis aux mêmes conditions dynamiques;

2° Les transformations de mouvements continus en mouvements alternatifs, composées de systèmes soumis à des conditions dynamiques essentiellement différentes.

Nous en arrivons ainsi au tableau suivant, qui indique tous les problèmes particuliers (chaque problème comprenant la solution directe et la solution réciproque) en lesquels se décompose, dans les machines, le problème général de : *Transformer un mouvement quelconque en un autre mouvement également quelconque.*

Mouvements continus en mouvements continus.

Mouvement circulaire continu en. . . . . { (1) Circulaire continu. (2) Rectiligne continu.
Mouvement rectil. continu en (3) Rectiligne continu.

Mouvements continus en mouvements alternatifs.

Mouvement circulaire continu en. . . . . { (4) Circulaire alternatif. (5) Rectiligne alternatif.
Mouvement rectiligne continu en. . . . . { (6) Circulaire alternatif. (7) Rectiligne alternatif.

Mouvements alternatifs en mouvements alternatifs.

Mouvement circulaire alternatif en. . . . . { (8) Circulaire alternatif. (9) Rectiligne alternatif.
Mouvement rectil. alternatif en (10) Rectiligne alternatif.
(11) Mouvement continu ou alternatif d'après une courbe donnée, en mouvement quelconque et réciproquement.

Si nous devons décrire tous les organes simples qui peuvent permettre toute transformation de mouvement, nous ne devons pas traiter de celles obtenues par une double tranformation, en passant par un mouvement intermédiaire, et nous ne les indiquerons que dans quelques cas remarquables. C'est que, bien que de semblables systèmes soient fort usités et bien souvent préférables à la solution directe, surtout à cause des avantages qui les font souvent employer comme intermédiaires, nous n'avons pas à nous y arrêter, puisqu'ils se réduisent à la réunion de deux des système que nous allons étudier; l'analyse de ces systèmes, variés à l'infini, résultera trop simplement de celle des organes simples.

Avant de passer à l'étude d'aucun organe, rappelons le point de vue qui nous guide dans ce travail, sur lequel nous nous sommes étendu dans l'INTRODUCTION, et qui sert de base à la classification précédente.

Nous avons vu que tout organe élementaire d'une machine était essentiellement un corps guidé par des obstacles, et, par suite nécessairement du genre *levier*, du genre *tour* ou du genre *plan*.

Le levier produit de sa nature le mouvement circulaire alternatif (au moins dans la pratique de la construction mécanique, car d'après sa nature il peut engendrer le circulaire conique); le tour, le mouvement circulaire continu; et le plan, le mouvement rectiligne continu ou alternatif. C'est parce que tout organe élémentaire de machine est nécessairement une de ces machines simples, que les mouvements ne peuvent être que circulaires alternatifs, ou circulaires continus, ou rectilignes continus, ou rectilignes alternatifs (en laissant de côté, pour le moment, les mouvements suivant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les éléments linéaires qui ne se succèdent pas en ligne droite, les mouvements d'après une courbe donnée, qui dépendent du genre plan).

On voit, dès à présent, que les organes de transformation de mouvement ne peuvent consister essentiellement qu'en un moyen d'établir une liaison entre un de ces systèmes et un autre, de les faire agir l'un sur l'autre. Tout ce qui va suivre ne peut être que l'application de ces principes.

Dans chaque cas des communications de mouvement que nous venons d'énoncer, il faut considérer :

1° *Les positions relatives que peuvent avoir les directions des deux mouvements.* Ainsi, pour la transformation du mouvement circulaire continu, en circulaire continu, on devra passer en revue les diverses positions que les deux axes du système tour peuvent avoir entre eux, savoir : être parallèles, se rencontrer, ne pas se rencontrer sans être parallèles.

2° *Les vitesses relatives, le rapport des vitesses suivant qu'il doit être constant ou variable.* L'uniformité du mouvement étant une condition essentielle de l'économie du travail, le rapport de vitesses des organes intermédiaires entre le récepteur et l'opérateur est le plus souvent constant, et l'on doit s'efforcer de satisfaire à cette condition toutes les fois que cela est possible. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, ce n'est ordinairement que dans la dernière communication que l'on rend ce rapport variable, pour donner à l'opérateur un mouvement spécial dont les conditions sont déterminées par la nature de la fabrication.

Les moyens d'établir une liaison entre un système et un autre, se distinguent en deux classes : celui où les deux pièces en mouvement agissent directement l'une sur l'autre par contact direct, avec ou sans saillies et creux correspondants, et donnent lieu, par suite, à des frottements soit de roulement seulement, soit de glissement, et ceux dont l'action a lieu à l'aide de pièces intermédiaires soit flexibles, telles que les cordes, soit rigides, telles que les pièces à articulations, etc.

Dans chaque cas de transformation de mouvement (comprenant ceux de transmission lorsque les deux mouvements sont les mêmes), il y aura donc lieu de passer en revue tous les système possibles fournissant les solutions des problèmes indiqués dans le tableau suivant pour toute position relative possible dans les directions des mouvements :

1° Rapport de vitesse constant.	L'ACTION A LIEU :	
	1° Par contact immédiat	1° Avec roulement.
		2° Avec glissement.
2° Rapport de vitesse variable.	2° A l'aide d'intermédiaires	1° Flexibles.
		2° Rigides.

Les organes déterminés géométriquement, surtout d'après leur mode d'opérer, doivent être comparés principalement au point de vue des résistances passives qu'ils ont à surmonter. C'est à quoi l'on parvient surtout par l'évaluation du frottement de glissement, cause principale de résistance, évaluation indispensable pour pouvoir appliquer à la pratique les résultats de la science ; car toutes les solutions possibles ne sont pas également bonnes, et pour choisir entre deux solutions, il faut pouvoir se rendre compte de celle qui consomme le moins de travail par des résistances passives. C'est ce qui fait que la solution la plus directe n'est pas toujours la meilleure.

COMBINAISONS DE MACHINES SIMPLES.

L'organe élémentaire de toute machine étant une machine simple, les guides qui lui donnent naissance lui assurant un mouvement déterminé, toute transformation de mouvement se réduit, comme nous l'avons expliqué, à faire mouvoir un de ces organes à l'aide d'un autre. L'étude des systèmes propres à y parvenir est l'objet spécial de ce travail, mais on peut poser quelques principes généraux sur les mouvements produits dans chaque cas et sur les vitesses obtenues, but essentiel de l'étude de ces mouvements, puisque c'est le rapport des chemins parcourus (inverses des forces pour un même travail transmis, lorsque le mouvement est devenu uniforme, en laissant de côté les résistances passives intérieures), qu'il importe surtout de déterminer.

Rapport des vitesses élémentaires de deux organes réciproquement dépendants. Les principes sur lesquels repose la détermination des rapports de vitesse des deux organes, se réduisent à un petit nombre de théorèmes fondamentaux, modifications du même théorème, qui constituent la théorie générale du rapport des vitesses dans les organes de transformation de mouvements.

Tour sur tour. — Intermédiaire rigide. — Bielle. — Considérons d'abord une ligne droite AB de la longueur constante, assemblée aux points A et B, à l'extrémité des rayons. Nous avons établi directement à l'article BIELLE, par la considération du centre instantané de rotation, que : *les vitesses angulaires sont en raison inverse des longueurs déterminées en chaque instant sur la ligne des centres par l'intersection de la ligne AB.* Relation fondamentale d'une grande simplicité.

Intermédiaires flexibles. Considérons d'abord le cas où un organe du système tour est mis en mouvement par un organe semblable à l'aide d'un intermédiaire susceptible de résister seulement à une traction, comme une courroie flexible.

La traction qui s'exerce par l'intermédiaire d'une courroie s'effectue évidemment de la même manière que si elle était transformée en tige rigide à chaque instant, par suite on aura toujours la relation

$$\omega : \omega_1 :: BT : AT.$$

T étant le point de rencontre de la ligne des centres et de la courroie (fig. 1535).

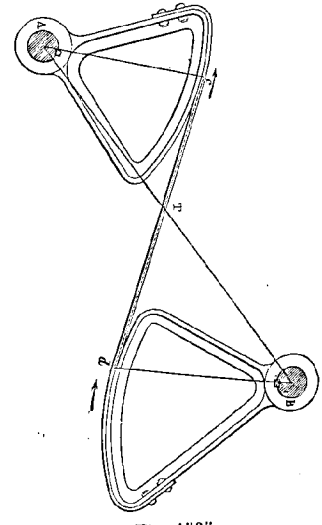


Fig. 1535.

Contact immédiat. Soient maintenant deux courbes tournant autour des axes A et B, se poussant par contact immédiat (fig. 1536). Par le point de contact M menons la normale commune CD ; sur cette ligne se trouvent placés les deux centres de courbure C, D, des courbes de contact, les centres des cercles oscula-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

teurs des courbes en ce point. Ces cercles ayant deux éléments communs avec les courbes, leurs rayons reste-

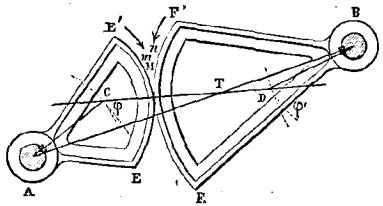


Fig. 1536.

ront constants pendant le contact d'un élément; c'est-à-dire que pendant le temps dt tout se passera comme si aux deux sections courbes données on avait substitué momentanément deux manivelles, AC, BD, réunies par la barre CD articulée aux points C et D avec les deux leviers, c'est-à-dire encore le système dont nous partons. On aura donc à l'instant considéré la relation

$$\omega : \omega_1 :: BT : AT,$$

c'est-à-dire que dans une transmission de mouvement par simple contact entre l'organe conducteur et l'organe conduit, les vitesses angulaires des deux pièces qui se commandent réciproquement, sont à chaque instant inversement proportionnelles aux segments suivant lesquels la normale commune, menée au point de contact correspondant, divise la ligne qui joint les deux centres de rotation.

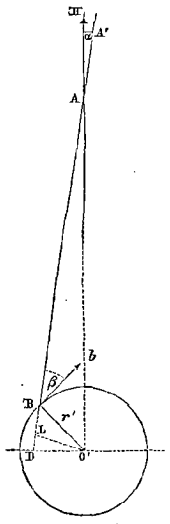


Fig. 1537.

La constance du rapport des vitesses exigeant que le point T ne change pas, il en résulte que des circonférences de cercle sont, par excellence, les courbes qui remplissent la condition voulue.

Système tour et système plan. Si l'un des guides du mouvement, celui du point A, par exemple, appartient au système plan, si le point A doit suivre une ligne droite OA (fig. 1537), peut encore aisément obtenir le rapport des vitesses en partant du centre instantané de rotation, ou l'établir plus directement en remarquant que l'on a toujours, entre les vitesses des deux points A et B $V \cos \alpha = V_1 \cos \beta$, puisque ce sont deux expressions de la vitesse suivant AB de cette même droite, et par suite nécessairement égales. Menant la perpendiculaire O'L sur AB et O'D perpendiculaire sur O'A prolongé jusqu'à sa rencontre avec AB, ces deux lignes feront entre elles le même angle α que les droites auxquelles elles sont perpendiculaires, et l'on aura

$$O'L = O'D \cos \alpha = r' \cos \beta,$$

β étant l'angle de AB avec la tangente en B, et Bb étant perpendiculaire à $O'B = r'$.

Par suite:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} = \frac{O'D}{r'},$$

expression analogue à la précédente: $V = \omega \times O'D$, ω étant la vitesse angulaire et $V_1 = r' \omega$.

Plan sur plan. Soient maintenant les deux guides appartenant au système plan, OA, OB, les directions que parcourent les points A et B, extrémités d'une barre AB, la relation $\frac{V}{V_1} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$ multipliée par la longueur l de la barre donne $\frac{V}{V_1} = \frac{l \cos \beta}{l \cos \alpha} = \frac{Bp}{Aq}$, c'est-à-dire que les vitesses des points B et A (fig. 1538) sont

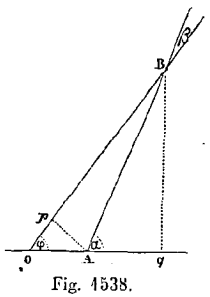


Fig. 1538.

entre elles comme les projections de la droite sur les directions du mouvement.

I. Mouvement circulaire continu en circulaire continu.

1° Axes sur la même ligne.

Si les axes d'un récepteur et d'un outil peuvent être placés sur la même ligne, la communication a lieu directement en montant les deux parties sur le même axe. Les rapports de vitesse quelconque sont obtenus directement en faisant agir l'outil au point convenable d'un plateau monté sur l'arbre, et d'un diamètre convenable.

2° Axes parallèles. — *Rapport de vitesse constant.*

Rouleaux. Si l'on divise la distance qui sépare les deux axes en deux parties, qui soient en raison inverse des vitesses que l'on veut donner aux deux axes, et, qu'avec ces rayons, on construise deux surfaces cylindriques, ces deux surfaces étant en contact mèneront sans glissement, les deux axes avec la vitesse voulue. En effet, les longueurs des circonférences, passant au point de contact, étant égales, si on appelle w, w', les vitesses angulaires R, R' les rayons, on aura $Rw = R'w'$, ou $w : w' :: R' : R$, c'est-à-dire que les vitesses angulaires des arbres sont en rapport inverse des rayons (fig. 1539). Pour augmenter l'adhérence, on garnit les deux cylindres de peau de buffle, mais ce système ne peut servir qu'à transmettre des forces minimes entre des axes rapprochés; pour les autres cas il faut passer aux systèmes suivants.

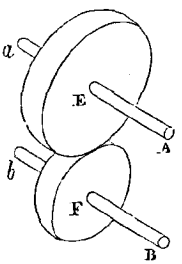


Fig. 1539.

Courroies. Les courroies forment un excellent organe de transmission quand les axes sont éloignés, et les résistances peu considérables. On fixe sur les axes des tambours ou poulies, sur lesquels s'enroule une corde,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ou mieux une courroie de cuir; dans ce cas, la circonférence de la poulie, au lieu d'être creusée en gorge, est bombée, forme qui empêche la courroie d'abandonner la poulie. Quand la tension est suffisante pour déterminer un frottement supérieur à la résistance à vaincre, le mouvement a lieu sans glissement, et les vitesses seront, en raison inverse, des diamètres des tambours, puisque des longueurs égales de courroie se dérouleront dans le même temps sur chaque poulie. On obtiendra donc toutes les variations voulues de vitesse en faisant varier les diamètres des poulies. On emploie généralement à cet effet la disposition indiquée dans la fig. 1550, qui permet de faire varier les vitesses dans un rapport très étendu.

Si la variation de vitesse doit être continue, on remplace un des tambours par une surface conique, le long de laquelle la courroie s'avance par l'effet d'une griffe qui la pousse latéralement.

Quand le mouvement circulaire continu à obtenir doit être de direction contraire à celle du premier, on croise la courroie entre les deux tambours (fig. 1551). L'arc enveloppant étant plus grand, la courroie peut transmettre de plus grandes forces.

Les courroies sont un précieux organe de transmission, parce qu'elles causent peu de résistances nuisibles; que, si elles ne peuvent transmettre que des forces peu considérables, elles peuvent le faire avec de grandes vitesses, et par suite, opérer un travail utile important; enfin, que si la résistance croît par accident, la communication s'arrête, la courroie glissant alors sur son tambour, sans qu'aucun organe soit détruit.

Une courroie de communication de mouvement se compose de deux *brins* : le *brin conducteur* qui se déroule du tambour moteur pour s'enrouler autour de celui auquel le mouvement est communiqué; et le *brin conduit*, qui, du second tambour, revient rejoindre le premier. La tension du premier brin dépasse nécessairement celle du second, si ce n'est dans le cas de l'équilibre où la courroie est partout également tendue. La somme des tensions des deux brins est constante, même lorsque l'appareil est en mouvement.

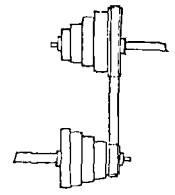
Nous empruntons à M. Morin la table suivante, qui sert à déterminer les dimensions des courroies; T, étant la tension du brin conducteur; t, la tension du brin conduit $T - t = Q$, l'effort transmis; K, le rapport de T à t, ou $K = \frac{T}{t}$, $T = Kt$; la table suivante comprend les valeurs de K.

Rapport de l'arc embrassé à la circonfér. entière	Valeur du rapport K.					
	Courroies neuves	Courroies à l'état ordinaire.		Courroies humides sur poulies	Cordes sur tambours ou treuils en bois.	
	s.tamb. en bois.	s.tamb. en bois.	s. poul. en font.	en fonte.	Brutes.	Polies.
0,20	1,87	1,80	1,42	1,61	1,87	1,51
0,30	2,57	2,43	1,69	2,05	2,57	1,86
0,40	3,51	3,26	2,02	2,60	3,51	2,29
0,50	4,81	4,38	2,41	3,30	4,81	2,82
0,60	6,59	5,88	2,87	4,19	6,58	3,47
0,70	9 «	7,90	3,43	5,32	9,01	4,27
0,80	12,34	10,62	4,09	6,75	12,34	5,25
0,90	16, 0	14,27	4,87	8,57	16,90	6,46
1 »	23,14	19,46	5,81	10,89	23,90	7,95
1,50	»	»	»	»	111,31	22,42
2 »	»	»	«	»	535,47	63,23
2,50	»	»	»	»	2575,80	178,52

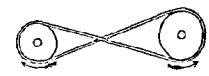
Cette table rend bien compte de l'emploi fréquent, surtout dans la navigation, du frottement des cordes pour arrêter le mouvement, en montrant la valeur considérable du rapport K, quand on rend considérable la longueur de corde enroulée.

Pour établir une transmission de mouvement par une courroie, connaissant l'effort Q à transmettre on aura $T - t = Q$ ou $t(K-1) = Q$, d'où $t = \frac{Q}{K-1}$, d'où on déduira la valeur de t et T. En leur donnant une valeur supérieure de 1/10e pour se préserver des extensions des cordes et courroies, on sera certain d'éviter tout glissement.

La table ci-dessus montre que l'on peut conduire par des courroies des forces assez considérables en augmen-



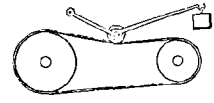
1550.



1551.

tant l'arc enveloppant. La largeur de celle-ci n'a, au contraire, aucune influence sur la résistance au glissement, et il n'y a aucun avantage à rendre cette dimension supérieure à celle qui est nécessaire pour que la courroie puisse résister aux efforts de traction qu'on peut évaluer à 0k,25, par millimètre carré de section.

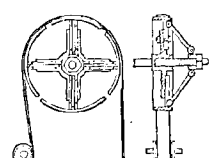
Quand la tension des poulies est insuffisante pour déterminer le mouvement, on emploie quelquefois un rouleau de tension (fig. 1552), qui détermine une pression convenable. Cette disposition peut permettre aux poulies de varier dans leur écartement (dans des limites déterminées par l'inflexion de la courroie) sans que leur mouvement de rotation cesse, la corde ne faisant que se tendre et relever le poids qui cause toujours un frottement suffisant pour déterminer le mouvement.



1552.

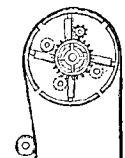
Le déplacement de la poulie de tension peut encore être mis à profit pour faire varier les vitesses relatives des deux axes en faisant varier le diamètre d'une des poulies. Cet organe, dit poulie à expansion, est employé dans quelques cas où la vitesse de l'opération doit être déterminée avec une rigoureuse précision, comme par exemple dans les machines à fabriquer le papier pour enrouler la feuille sortant de la machine.

Les fig. 1553, 1554, 1555 et 1556, représentent deux

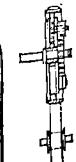


1553.

1554.



1555.



1556.

exemples choisis parmi les nombreux appareils de cette nature. On voit que, dans ces deux cas, en faisant tour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

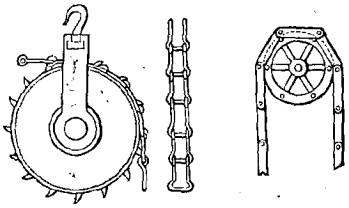
MÉCANIQUE.

ner l'écrou à vis ou la roue dentée, montée sur l'arbre de la poulie, on agit soit sur les crémaillères, soit sur les articulations du système, et on fait ainsi varier le diamètre de la poulie conduite dont la surface est composée d'éléments disjoints. Le rouleau de tension déterminant toujours un frottement suffisant pour éviter le glissement, il est clair que la vitesse de l'axe mené par la roue à expansion variera en raison inverse du rayon de la poulie.

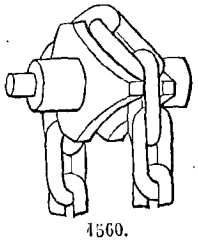
Chaînes à la Vaucanson. Quand les forces à transmettre sont assez considérables, la vitesse minime et les axes éloignés, on remplace les tambours par des roues portant des saillies. Les deux roues sont réunies par une chaîne sans fin, formée habituellement de petits rectangles entrelacés (fig. 1557 et 1558) dans lesquels entrent les dents des roues. Une de celles-ci ne peut se mouvoir sans entraîner l'autre. Ce système, qui engendre beaucoup de frottements, n'est pas ordinairement employé dans les parties des machines qui sont toujours en mouvement.

Quand elle doit servir à transmettre des efforts considérables, la chaîne de Vaucanson n'est plus retenue sur l'arbre au moyen de dents. On fait celui-ci polygonal, et on compose la chaîne de plaques boulonnées de longueur égale aux côtés du polygone (fig. 1559).

Cette disposition usitée pour les chaînes sans fin du banc à tirer, ne pourrait servir pour soulever les fardeaux, au moyen du treuil ou du cabestan, puisqu'il faut alors employer des chaînes qui puissent s'infléchir dans tous les sens. Les chaînes à mailles du commerce offrent bien cet avantage, mais elles se rangent difficilement sur la surface du cylindre d'un treuil, de manière à engrener en quelque sorte. M. Neveu a fort heureusement résolu ce problème par l'emploi d'un treuil dont la circonférence peut recevoir trois chaînons à plat (fig. 1560), et dont les parties plus resserrées peuvent recevoir trois chaînons de côté. La chaîne n'ayant pas besoin de s'enrouler plus d'un tour à cause du véritable engrenage qui résulte de cette disposition, et son autre extrémité étant pendante, elle s'enroule toujours régulièrement; ce qui n'a pas lieu sur les surfaces où les tours de la chaîne s'ajoutent de telle sorte que les saillies des maillons ne correspondent bientôt plus aux vides destinés à les recevoir, par l'effet des irrégularités de la chaîne qui vont en s'accumulant.

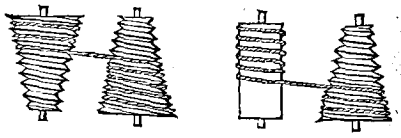


1557. 1558. 1559.



1560.

Si les vitesses, au lieu d'être assujetties à demeurer constantes et dans un rapport déterminé (en raison inverse des diamètres des tambours) doivent varier en chaque instant suivant une loi donnée, on transmet le mouvement par deux troncs de cône cannelés en spirale, placés dans des positions inverses (fig. 1561), ou un tronc de cône et un cylindre (fig. 1562). Une chaîne enroulée sur le cône se déroulant de celui-ci pour s'enrouler sur l'autre, produira un mouvement dont la vitesse angulaire variera en raison du tracé des spirales.

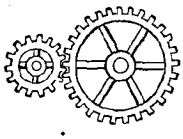


1561. 1562.

Cet organe est employé dans les montres pour égaliser l'action du ressort qui se détend.

ENGRENAGES. Le moyen le plus usité de communiquer le mouvement circulaire d'un axe à un autre avec la condition que les vitesses soient dans un rapport déterminé, consiste à garnir les circonférences de roues tangentes entre elles, montées sur ces axes, de saillies qui s'engagent les unes dans les intervalles des autres, et rendent ainsi le mouvement d'une des pièces solidaire de celui de l'autre. Ce dispositif constitue l'engrenage (fig. 1563).

La longueur des arcs de cercle passant au point de contact sera nécessairement égale dans les deux roues; les vitesses seront donc entre elles dans le même rapport que les rayons de ces roues, et par suite dans un rapport constant.



1563.

On appelle *cercles primitifs*, les cercles tangents, tracés avec des rayons obtenus en divisant la ligne qui joint les centres dans le rapport inverse du nombre de tours que doivent faire les axes dans le même temps. On appelle *dents*, les saillies dont elles sont garnies, et *pas* de l'engrenage l'intervalle compris entre deux mêmes parties de dents consécutives, mesurées sur les cercles primitifs.

Nous empruntons à M. Poncelet l'exposé des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé des engrenages.

Première condition. La simplicité de la solution et la facilité de l'exécution matérielle des engrenages exigent que les dents d'une même roue soient toutes égales et disposées régulièrement autour de la couronne. Mais il n'est pas nécessaire que l'épaisseur, c'est-à-dire la dimension comptée sur la circonférence primitive soit la même d'une roue à l'autre. Pour une roue en fer, la dent sera bien moins épaisse que pour une roue en bois; il faudra aussi plus d'épaisseur aux dents de la roue qui tourne le plus vite, parce qu'elles éprouvent plus d'usure.

Deuxième condition. Le *pas* doit être le même, non seulement d'une dent à l'autre, mais encore sur les deux roues; car le pas se compose sur chaque roue de l'épaisseur de la dent, plus l'intervalle correspondant à l'épaisseur de la dent de l'autre roue. Il en résulte que les nombres de dents sont proportionnels aux diamètres des circonférences primitives, de sorte que l'une ayant, par exemple, quinze dents, l'autre en aura trente, si le rayon de celle-ci est double de celui de la première. Une dent, pendant son engrènement avec une roue, se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trouvant logée entre deux dents de celle-ci, il faut laisser un certain jeu qu'on réduit à 1/12me de l'épaisseur des dents dans les roues bien construites, et à 1/6me dans celles construites grossièrement.

Troisième condition. Comme il arrive souvent, dans les machines, que les roues ne tournent pas toujours dans le même sens, il faudra que chaque dent soit terminée symétriquement par deux courbes semblables afin qu'elle soit propre à conduire les dents de l'autre ou à être conduite indifféremment.

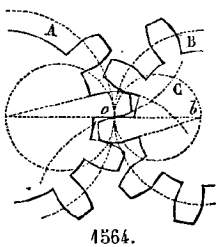
Quatrième condition. Quand les dents des deux roues s'approchent de la ligne qui réunit les centres elles vont à l'encontre l'une de l'autre. Lorsqu'au contraire elles s'en éloignent, elles tendent à s'écarter. D'après cela, on doit faire en sorte, autant que possible, que les dents ne commencent à se pousser qu'à partir de l'instant où elles sont arrivées à la ligne des centres ; condition qu'on ne doit cependant considérer comme essentielle, que pour les engrenages construits avec peu de soin. On évitera ainsi des arcs-boutements nuisibles. La forme des dents n'est jamais celle d'une courbe concave, d'un carré ou d'un trapèze, non parce que les roues ne sauraient ainsi se transmettre un mouvement uniforme, mais bien à cause des arcs-boutements dangereux qui en résulteraient si les dents de cette espèce se rencontraient avant la ligne des centres.

Cinquième condition. Les dents doivent toujours avoir une forme arquée qui leur permette de se mettre en tangence l'une à l'autre dès qu'elles sont en prise. De plus, le tracé des faces qui se poussent est déterminé par la condition que la vitesse d'une roue soit transmise à l'autre dans un rapport constant.

Tracé des engrenages. La forme des dents d'une roue étant déterminée, la forme que doivent avoir les dents de l'autre roue est la surface enveloppe de la première. Ainsi, si on trace en plan la courbe d'une dent dans toutes les positions qu'elle occupe, en supposant que les cercles roulent l'un sur l'autre, la suite des intersections de ces courbes formera le profil de la dent de la seconde roue. Elle jouira évidemment de la propriété de rester en contact continu avec la première.

La simplicité de la solution pour l'application pratique a fait adopter diverses surfaces simples ayant pour enveloppes d'autres surfaces faciles à exécuter, comme des cônes, des cylindres, et en général, des surfaces développables.

Dents à épicycloïdes. On satisfait à la condition que nous venons d'énoncer, en donnant aux dents la forme d'épicycloïdes, c'est-à-dire de courbes décrites par un point de la circonférence d'un cercle roulant sur les circonférences primitives. Soient A et B (fig. 1564), les circonférences primitives, si on fait rouler un cercle C autour des deux cercles A et B (intérieurement pour celui-ci) un même point de la circonférence décrira deux courbes qui pourront être prises pour dents des deux roues, car le contact pour une même longueur de circonférence passée au point de tangence aura toujours lieu en une position correspondante à une position du point o déterminé par une égale rotation (Voy. ENGRENAGES, *Complément*).



1564.

Le diamètre du cercle auxiliaire C peut être quelconque ; mais si on le prend égal au rayon de B, l'épicycloïde intérieure que décrira son point o sera une ligne droite, précisément le rayon o b du cercle B, ce qui rendra la construction extrêmement simple (voir plus loin la démonstration de ce théorème due à Lahire).

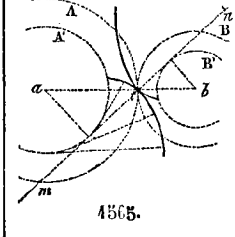
Pour que les roues puissent se conduire indifféremment l'une l'autre, condition essentielle, on se sert du rayon de l'autre cercle A pour déterminer l'épicycloïde qui forme les parties courbes des dents extérieures qu'on ajoute aux rayons de B, et servent à conduire au besoin les rayons du cercle A.

Tracé pratique. La courbe qui forme les contours des dents étant en général de peu d'étendue, se confond sensiblement avec un cercle qui serait tangent vers le milieu de la courbe. La question se réduit à déterminer le centre du cercle qu'on substitue.

Dans les cas les plus ordinaires où les cercles ne sont pas trop petits par rapport aux dimensions des dents, où par suite la courbure est peu rapide, on prend ordinairement pour centre de la courbe d'une dent la naissance de la dent suivante, mesurée sur le cercle primitif, et pour rayon le pas de l'engrenage mesuré sur ce même cercle. Lorsque des pignons très petits, destinés à transmettre des efforts très considérables, devront avoir des dents très épaisses et que la courbure devra être très sensible, on pourra déterminer le centre et par suite le rayon du cercle destiné à remplacer la courbe, par la condition qu'il passe par la naissance et l'extrémité ou le dernier point de contact, qui est toujours facile à déduire de l'amplitude adoptée pour le contact de part et d'autre de la ligne des centres. En élevant une perpendiculaire au milieu de la ligne qui joint ces deux points, elle rencontrera la circonférence du cercle primitif en un point qui sera le centre cherché, et le rayon sera donné immédiatement. Cette méthode pratique ne s'applique qu'aux cas où les dents ont peu de longueur.

Engrenage à développante de cercle. L'engrenage à épicycloïdes, qui est habituellement employé, offre cependant plusieurs inconvénients : 1° les pressions augmentent sur les dents à mesure qu'elles s'éloignent de la ligne des centres, ce qui tend à les faire user inégalement ; 2° le tracé des dents de l'une des roues dépendant du rayon du cercle primitif de l'autre roue, l'on ne peut faire conduire par une même roue des pignons de différents diamètres ; 3° si les axes éprouvent le moindre déplacement, l'engrenage n'est plus exact.

Une autre solution du problème des engrenages évite ces inconvénients. Les pressions sur les dents y sont constantes, on peut faire varier la distance des axes pour laquelle les tracés ont été faits, le contact ayant lieu suivant une ligne droite ; enfin le tracé est d'une grande simplicité. Soient A,B (fig. 1565), les cercles primitifs, *a*, *b*, leurs centres ; par leur point de contact *t*, menons une ligne quelconque *m n*, abaissons des deux centres des perpendiculaires sur ces lignes, et avec les longueurs de ces perpendiculaires pour rayons, décrivons les deux cercles A', B'. Ces deux cercles seront dans le même rapport que les cercles primitifs. Si on considère la ligne *m n* comme un fil tendu et qu'on l'enroule successivement autour des circonférences A' et B', le point *t* décrira des portions de développantes qui seront les courbes des dents.



1565.

Il est évident que dans le mouvement le contact aura toujours lieu sur la ligne droite *m n*, et que les dents transmettent le mouvement entre les roues de la même manière que si cette ligne qui est tangente aux deux cercles s'enroulait sur l'un en se déroulant sur l'autre.

Les roues devant se conduire dans les deux sens, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

dents doivent être symétriques des deux côtés, et afin d'éviter que, par la trop grande courbure, leurs extrémités ne soit trop affaiblie, il faut donner à la ligne mn le moins d'inclinaison possible.

Quant à la longueur totale des dents, on la détermine facilement en traçant celles-ci dans la position extrême où elles doivent agir avant et après la ligne des centres en les coupant suivant des arcs de cercles, concentriques aux roues, passant par le point de contact.

Il est clair que si l'on rapproche ou recule les deux axes a, b, l'un de l'autre, cela ne change rien à la forme des dents, engendrées par la développante des mêmes cercles, la tangente et le point de contact seuls changent; le contact ayant toujours lieu suivant la direction de la tangente commune aux deux cercles A', B', la pression normale aux courbes en contact aura toujours lieu suivant la direction de cette tangente, elle demeurera donc constante.

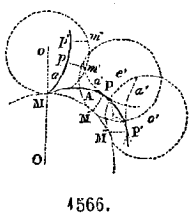
Il n'en est pas de même pour les engrenages à épicycloïdes; car alors les moments des forces qui se conduisent, et qui, par suite, sont égaux, donnant $Pp = P'p'$; les longueurs p, p', des moments n'ont plus, comme dans le cas précédent, toujours des valeurs constantes, mais des valeurs variables suivant le point de contact; les pressions vont donc en s'augmentant à mesure que le point de contact approche de l'extrémité de la dent.

Le frottement étant proportionnel à la pression, il en résulte que les engrenages à développantes s'usent uniformément, tandis que les engrenages à épicycloïdes s'usent plus vers l'extrémité de leurs dents qu'en leur milieu. Les dents des premières conservent donc toujours leurs formes en s'amincissant, tandis que celles des secondes se déforment et s'arrondissent vers leurs extrémités.

Ces engrenages offrent encore l'avantage précieux qu'une même roue peut conduire exactement plusieurs roues d'engrenage de diamètres différents, pourvu qu'elles aient le même pas.

Construction pratique des dents d'une roue quand le profil des dents de l'autre roue est donné. Nous donnerons ici le tracé qu'indique M. Poncelet pour une forme quelconque de dents, et qui permet de les obtenir avec facilité. Il est adopté par plusieurs bons constructeurs.

Le profil MA (fig. 1566), des dents de la roue O étant donné, pour construire celui des dents de la roue o, il faut faire rouler le cercle o sur le cercle O, et de chaque point de contact M', M'', abaisser une perpendiculaire M' P, M'' P', sur la courbe M A. Les pieds P, P', sont des points de la courbe M a, profil des dents de la roue o.



1566.

Mais, pour faire cette construction, il n'est pas nécessaire de déplacer le cercle o, il suffit de prendre sur sa circonférence des arcs M m', M m'', égaux aux arcs M M', MM'', et d'abaisser les normales $m'p$, $m''p'$. Prenant ces normales égales à celles M' P; M'' P', pour rayons, on décrit des points m', m'', de petits arcs de cercles suffisamment rapprochés, et l'on trace la courbe M a, tangente à tous ces cercles, qui est la courbe cherchée.

Cette construction est fondée sur le principe fondamental que la normale, au point de contact des dents, passe toujours par le point de contact des circonférences primitives.

Dimensions des dents. Largeur. Autrefois on donnait aux dents des engrenages une très grande épaisseur et une largeur (dans le sens de l'axe) égale à environ deux fois cette épaisseur. Mais on a reconnu que le frottement absorbait d'autant plus de travail que le contact avait lieu plus loin de la ligne des centres; on a donc trouvé avantage à augmenter les largeurs des dents dans le sens de l'axe et à diminuer leur épaisseur. On leur donne en général une largeur égale à 4 fois leur épaisseur quand la vitesse n'excède pas 1m,50 à la circonférence, et 5 fois pour les vitesses supérieures, afin de compenser les effets de l'usure.

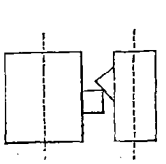
Saillie. On ne donne pas en général à la saillie plus de 1,50 de l'épaisseur de la dent.

Épaisseur. L'épaisseur varie avec la force que l'engrenage doit transmettre, soit P cette force en kil., b l'épaisseur de la dent en centimètres, mesurée sur la circonférence primitive; on déduit de l'observation des dimensions adoptées par les meilleurs constructeurs, pour des roues établies d'ailleurs comme il est dit ci-dessus.

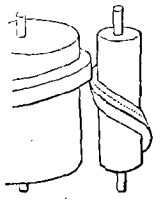
Pour les dents en fonte . . . . . $b = 0{,}105\ \sqrt{P}$,
id. en bronze ou cuivre $b = 0{,}131\ \sqrt{P}$,
id. en charme, sorbier $b = 0{,}138\ \sqrt{P}$.

Frottement. Les circonférences primitives se mouvant avec une égale vitesse, et les dents des deux roues n'étant pas égales, il faut nécessairement qu'il y ait glissement et frottement entre celles-ci, et par suite résistance nuisible. Il a paru longtemps impossible de construire des engrenages donnant des vitesses angulaires uniformes et n'ayant qu'un frottement de roulement. Le mécanicien Withe construisit, en 1821, des roues dentées auxquelles il attribuait cette propriété sans pouvoir le démontrer. Ce fait repose sur ce que le travail de frottement dans les engrenages est en raison inverse du nombre de dents, et nul par suite pour un nombre de dents infini. C'est ainsi qu'on peut considérer les engrenages à dentures héliçoïdales.

Considérons (fig. 1567 et 1568) les deux cylindres qui ont pour base les deux circonférences primitives

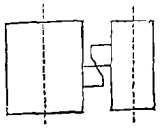


1567.



1568.

et pour axes les arbres à conduire. Si on suppose les deux cylindres développés successivement sur un plan tangent passant par leur arête de contact, et une ligne inclinée tracée sur ce plan, en reformant les cylindres, cette ligne formera sur chacun une hélice; et quand ils rouleront l'un sur l'autre, les parties correspondantes de ces hélices viendront successivement en contact. Si donc celles-ci sont saillantes, ou, pour mieux dire, si on arme les deux cylindres de dents saillantes héliçoïdales dont le contact ait lieu suivant ces lignes, elles formeront un engrenage sans frottement de glissement.

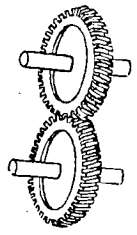


1569.

On voit que le glissement est évité, puisque le contact qui change de plan à chaque instant a lieu sur des longueurs égales. Le tranchant s'émousse avec le temps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(*fig.* 1569), mais l'arête se trouve remplacée par une partie circulaire pour laquelle le contact a lieu comme sur l'arête vive. Ces engrenages sont dits de précision. Le contact n'ayant lieu qu'en un point, ils ne pourraient, sans s'user très rapidement, transmettre des efforts considérables. M. Bréguet fils les a utilisés avec un grand succès pour faire mouvoir des plateaux légers avec une vitesse de 8,000 tours en 1". Pour des roues de peu d'épaisseur, les hélices, se rapprochant de lignes droites inclinées, sont faciles à exécuter. Il suffit, comme l'a fait M. Bréguet, de donner au plateau de la machine à diviser un mouvement de rotation proportionnel au mouvement de progression de l'outil. On a alors les roues représentées fig. 1569 *bis*, excellentes pour transmettre les mouvements rapides et les forces peu considérables.



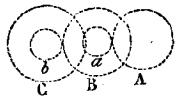
1569 *bis*.

Vitesse. Les engrenages décrits peuvent servir à transformer un mouvement circulaire continu en un autre de même nature d'une vitesse quelconque. Quant à la direction, celle de la seconde roue est inverse de celle de la première; on obtiendra donc une direction de même sens, s'il est nécessaire, par une troisième roue.

Remarquons que le rapport des vitesse angulaires des roues extrêmes d'un système composé de roues engrenant chacune avec la suivante est le même que si ces roues extrêmes étaient immédiatement en contact, puisque les mêmes longueurs des diverses circonférences primitives passent toujours aux divers points de contact.

Lorsque le rapport des vitesses angulaires autour de deux arbres donnés doit être considérable, on emploie souvent plusieurs engrenages situés dans des plans parallèles au lieu d'un seul engrenage.

Une première roue A (fig. 1570) engrène, par exemple, avec une autre roue d'un rayon bien moindre, qu'on appelle *pignon;* sur le même axe que le pignon *a* est montée une roue B solidaire avec lui. La roue B engrène avec un second pignon *b* sur l'axe duquel est montée une roue solidaire C.



1570.

w, w', w'', étant les vitesses angulaires autour des axes des trois roues A, B, C, soient R, R', R'', les rayons des roues; r, r', ceux des pignons a, b, on aura :

$$w \times R = w' \times r$$
$$w'' \times r' = w' \times R'$$

et divisant :

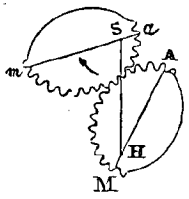
$$\frac{w}{w''} = \frac{r \times r'}{R \times R'}$$

c'est-à-dire que la vitesse angulaire de la première roue est à celle de la dernière comme le produit des rayons des pignons est au produit des rayons des roues dont la dernière agit sur le dernier pignon.

Emploi de la bielle. La bielle fournit un moyen de transformer un mouvement circulaire en un mouvement circulaire autour d'un axe parallèle au premier, situé à une certaine distance, pourvu toutefois que les rotations aient lieu dans le même temps. Nous avons représenté cette disposition à l'article BIELLE.

Rapport de vitesse variable. Nous renverrons à l'article ROUES ELLIPTIQUES pour l'étude théorique des rapports de vitesse; nous donnerons seulement le résumé de la solution générale.

Pour que le problème puisse se résoudre sans glissement, pour qu'on puisse construire des courbes qui remplissent l'office des circonférences primitives dans la théorie des Engrenages, il faut :



1570 *bis*.

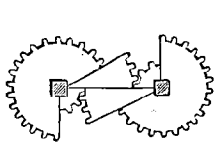
Si le rapport de la vitesse angulaire de l'axe conduit à celle de l'axe conducteur, passe par un maximum et un minimum pour revenir au point de départ, employer deux ellipses tangentes tournant chacune autour d'un foyer différent (fig. 1570 *bis*).

Si ce rapport devait atteindre plusieurs maxima dans une seule rotation, il faudrait employer des courbes qui aient une certaine analogie avec l'ellipse et qui porteraient un nombre de saillies égal à celui des maxima.

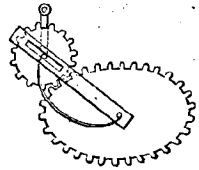
Dans les cas rares de la pratique, où il faut résoudre le problème qui nous occupe, on emploie quelquefois, à cet effet, la combinaison d'engrenages représentée fig. 1571. Les deux roues sont interceptées dans une partie de leur circonférence et remplacées par des segments d'autres roues montés sur les mêmes arbres dont les rayons sont en raison inverse des nouvelles vitesses qu'il s'agit d'obtenir.

Le grand défaut de semblables systèmes réside dans la difficulté du passage d'une roue à l'autre. Les dents des diverses roues animées de vitesses différentes ne peuvent être en prise en même temps sans qu'il y ait cause de destruction des dents, les vitesses ne correspondant plus aux nouvelles circonférences primitives; il faut donc laisser un certain intervalle entre les unes et les autres, le passage ayant lieu par la continuation du mouvement par suite de l'inertie des diverses parties de la machine, mais il en résulte un choc à la reprise des dents des nouvelles roues.

Ce système de roues dentées est donc, en réalité, très imparfait, aussi n'est-il guère employé. Il en est de même du système représenté (fig. 1592), dans lequel une des roues est de forme elliptique.



1571.



1572.

Roues de Roëmer. Un système ingénieux avait été proposé par l'astronome Roëmer pour varier les mouvements dans les machines planétaires.

Un des axes parallèles est garni d'une roue dentée de forme conique, l'autre porte un cône dont le sommet est opposé à celui du premier cône. Plaçant sur ce cône des chevilles à différentes distances du sommet d, on obtiendra tous les rapports de vitesse que l'on voudra entre les limites $\frac{R}{r}$ et $\frac{r}{R_1}$, R et r étant les rayons des deux faces du cône, r_1 et R_1 ceux des faces de la roue. Les chevilles du cône formeront une roue elliptique, si elles sont disposées sur un plan oblique, sur l'axe et agiront comme dans la figure 1572 (sans l'intervention d'un ressort) en remplaçant les cônes par des cylindres.

Le cas le plus remarquable des variations instantanées du rapport de vitesse, et celui qui trouve le plus d'applications, est celui du mouvement intermittent, lorsque la roue menée passe alternativement du repos au mouvement et *vice versâ*.

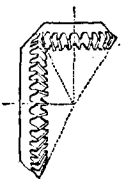
EFERUS - Recherche & Classification numérique

On obtient cet effet à l'aide de deux roues dentées ordinaires en enlevant à la roue menante un certain nombre de dents. En proportionnant les longueurs des arcs garnis de dents à celles des arcs qui n'en sont pas munis, on obtient toutes les intermittences voulues de la deuxième roue pour une révolution de la menante.

Ces systèmes de dents espacées ont un inconvénient grave. L'axe conduit ne s'arrêtant pas instantanément, les dents de la roue menée peuvent ne pas se trouver en prise avec celles de la roue menante au moment voulu. On peut employer une cheville placée sur une des dents et une fourche sur l'autre pour assurer la reprise des dents au point voulu.

3° AXES QUI SE RENCONTRENT.

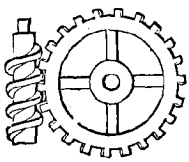
L'angle que forment les deux axes (fig. 1575) étant divisé par une ligne, de telle manière que les longueurs des perpendiculaires abaissées d'un point de cette ligne sur les axes soient en raison inverse des nombres de tours qu'ils doivent faire; cette ligne engendrera, par sa rotation autour de chaque axe, des cônes qui remplissent, pour la construction de l'engrenage conique, le même rôle que les circonférences primitives dans l'engrenage cylindrique. On peut, par les ressources de la géométrie descriptive, tracer les formes rigoureusement exactes des dents, soit à épicycloïdes, soit à développantes, en considérant des courbes engendrées de la même manière, non sur un plan, mais sur une sphère ayant pour centre le sommet des deux cônes. Ces courbes s'appellent épicycloïdes sphériques, développantes sphériques. En réalité, voici comment on opère avec une précision suffisante : On fait le tracé d'engrenages plans correspondants aux cercles des surfaces supérieures et inférieures des roues d'angles, ou mieux encore des secteurs correspondant au développement des cônes à angles très obtus qui terminent ces parties. On emploie ensuite ces tracés en guise de panneaux pour les reporter sur ces surfaces et déterminer ainsi les formes et les emplacements des contours extrêmes des dents à l'aide desquelles on trace les génératrices rectilignes de leur surface.



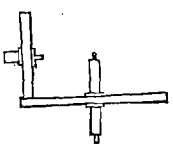
1575.

4° AXES QUI NE SE RENCONTRENT PAS, NE SONT PAS DANS UN MÊME PLAN.

1° *Formant un angle droit ou qui s'en éloignent peu.* Dans ce cas particulier, l'organe fréquemment employé est celui représenté par la fig. 1576, représentant une roue dentée menée par une vis sans fin. Les dents de la roue rencontrant les plans toujours inclinés de la



1576.



1577.

surface héliçoïdale, le mouvement sera transmis d'un axe à l'autre; les dents de la roue sont formées par des cylindres engendrés par des développantes et les génératrices inclinées dans la direction de la tangente à l'hélice au point de contact, afin que celui-ci ait lieu suivant une ligne droite.

Dans cet organe la rotation de la roue sera proportionnelle à la rotation de la vis, ou

$$\omega' : \omega = h : 2\pi R,$$

h hauteur du pas de la vis, R rayon de la roue; pour un tour de la vis ou $\omega' = 1$, la roue aura tourné de $\frac{2\pi R}{h}$ ou d'une division, celle-ci sera de longueur égale au pas de la vis.

Nous avons supposé que la roue se réduisait à un simple cercle sans épaisseur; mais, dans la pratique, les dents devront avoir une certaine épaisseur. De là résulte, pour la plupart des cas, l'impossibilité de la réciprocité du système.

Il faut, pour que l'engrenage soit réciproque, c'est-à-dire pour que la roue puisse conduire la vis, que l'inclinaison de l'hélice sur le plan de contact soit plus grande que l'angle de frottement; ou en appelant f le coefficient de frottement, et α l'inclinaison de la tangente à l'hélice sur la puissance P, Q étant la résistance, que l'on ait tang. $\alpha > f$, ou $\frac{Q}{f} > \frac{Q}{\text{tang. } \alpha}$; et comme Pf est la résistance due au frottement, croissante avec Q, on aura toujours, si cette condition n'est pas remplie, $Pf + P \text{ tang. } \alpha > Q$, quelle que soit la valeur que l'on donne à Q.

Cette propriété est fréquemment utilisée dans la pratique; presque toujours la vis conduit le pignon, tandis que celui-ci ne peut conduire la vis à cause de la faible inclinaison des filets. Elle permet d'employer avec sécurité cette transmission de mouvement dans les machines à élever les fardeaux, par exemple, parce qu'on est sûr que les poids soulevés ne pourront redescendre d'eux-mêmes, et en général pour éviter les réactions d'une résistance considérable sur une puissance bien moindre qui détermine un petit mouvement.

Lorsqu'au contraire on veut que la roue puisse mener la vis, il faut donner au filet une grande inclinaison qui ne peut être moindre de 45°, et qu'on fait souvent plus grande.

Pour des forces minimes, on peut employer le système de deux roulettes reposant la jante de l'une sur le plat de l'autre (fig. 1577). Le mouvement de la seconde fera marcher la première, pourvu que la résistance de l'axe ne dépasse pas celle du frottement de glissement.

2° *Cas général.* En général, on résout ce problème en joignant les deux axes par un troisième auxiliaire auquel le mouvement est transmis du premier axe par une roue d'angle, qui le transmet de la même manière au second.

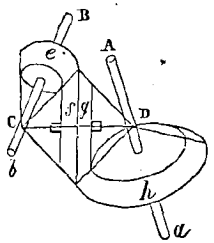


Fig. 1578.

En effet, soient Aa, Bb deux axes (fig. 1578); prenez une ligne convenablement disposée qui rencontre les deux axes en C et en D, et servez-vous-en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme d'un troisième axe jouant le même rôle que les deux premiers.

Une paire de cônes de roulement *e*, *f*, ayant leur sommet en C, sans qu'il soit nécessaire qu'ils soient accolés, et une autre paire *g*, *h*, ayant leur sommet en D, se mèneront par simple roulement, et finalement la rotation de B*b* sera communiquée à A*a* par simple roulement.

Soient A, A_1, a les vitesses angulaires respectives des axes B*b*, CD, A*a*, et R, R_1, r les rayons des bases de ces cônes on aura :

$$\frac{A}{A_1}=\frac{R_1}{R} \text{ et } \frac{A_1}{a}=\frac{r}{R_1}, \text{ d'où } \frac{A}{a}=\frac{r}{R},$$

exactement comme si les cônes *e* et *h* pouvaient agir par contact immédiat l'un sur l'autre.

D'une même manière plus générale encore, la solution théorique, fondée sur les principes généraux, est toujours possible, et un hyperboloïde étant décrit par la ligne de contact autour d'un axe portant une dent d'une certaine forme, si le deuxième est muni d'une dent qui soit l'enveloppe de toutes les positions de la première, le mouvement aura lieu comme si les deux hyperboloïdes se mouvaient dans les conditions voulues, c'est-à-dire que les vitesses de rotation des deux axes seraient dans le rapport voulu.

Charnière universelle. Cet organe (fig. 1579) permet de transmettre le mouvement de rotation d'un axe à un autre situé non-seulement dans un autre plan, mais pouvant encore varier de position.

Nous l'avons déjà décrit à l'article JOINT UNIVERSEL. La fig. 1579 montre comment ces parties s'assemblent par un double système de croix et comment le mouvement se communique par cet assemblage d'un axe à l'autre.

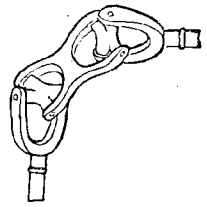
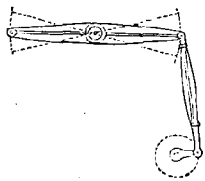


Fig. 1579.

Cet organe ne peut servir que pour la transmission des forces peu considérables.

II. Mouvement circulaire continu en circulaire alternatif.

BIELLE ET MANIVELLE. Le véritable organe opérant cette transformation d'une manière continue est la bielle (fig. 1580), qui, au moyen de la manivelle, transmet le mouvement circulaire de manière à imprimer à l'extrémité d'un balancier un mouvement circulaire alternatif ou réciproquement. Cet organe ne laisse rien à désirer. Les frottements n'y sont pas considérables, et de plus il offre cet avantage que la vitesse d'élévation ou de descente du balancier va en décroissant vers les extrémités de sa course pour une même vitesse de la roue. Il en résulte que les pertes de travail résultant du



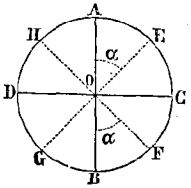
1580.

changement de direction à la fin de chaque oscillation sont très faibles, et que le désavantage du mouvement alternatif est ainsi diminué.

La propriété des bielles et manivelles de décrire des espaces rectilignes variables pour de mêmes vitesses angulaires, d'où résultent des variations de vitesse par l'application d'une force motrice constante est quelquefois un inconvénient. Il est évité en général au moyen de l'appareil régulateur, dit volant, dont l'effet compense ces variations périodiques.

Quand le volant ne peut être employé, comme pour l'élévation des fardeaux, la manivelle est moins avantageuse que le levier ; on emploie, dans ce cas, deux manivelles à angle droit l'une sur l'autre.

L'emploi de manivelles multiples diminue les limites de variations de vitesse. Avec une seule manivelle le moment de la force varie de 0 à Pr, en partant (figure 1581) du point A pour arriver au point C.



1581.

Manivelles doubles. Si au lieu d'appliquer la force P par une seule manivelle agissant au point E on fait agir deux forces égales à 1/2 P sur deux manivelles assemblées aux points E et F (l'angle E0F étant de 90°), le moment de la première variera de 0 à 1/2 Pr tandis que celui de la seconde variera de 1/2 Pr à 0. Les angles α et α' étant évidemment complémentaires quand les manivelles se déplacent, le moment sera pour une position quelconque :

$$M=\frac{1}{2}\,Pr\,(\sin.\,\alpha+\cos.\,\alpha)$$

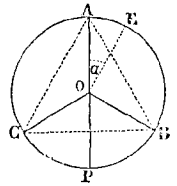
On peut poser $\sin.\,\alpha+\cos.\,\alpha=\sin.\,(45°+\alpha)\,\sqrt{2}$, formule facile à vérifier en développant le second terme, et remarquant que $\sin.\,45°=\cos.\,45°=1/2\,\sqrt{2}$.

La plus petite valeur du sinus ou $\alpha=0$, donnera le minimum et la plus grande ou $45°+\alpha=90°$ ou $\alpha=45°$ le maximum.

On aura donc :

Minimum. $\alpha=0$, $\sin.\,45°=1/2\,\sqrt{2}$, d'où $M=1/2\,Pr$.
Maximum. $\alpha=45°$, $\sin.\,(45°+\alpha)=1$
d'où $M=1/2\,Pr\,\sqrt{2}$

On voit que les limites de variation sont bien moindres que dans l'emploi d'une manivelle simple et surtout, ce qui peut être important, que l'effort ne passe jamais par zéro.



1582.

Manivelles triples (figure 1581). En disposant une troisième manivelle au point G (la bielle agit alors en remontant) la régularité ne croîtrait pas. En effet les moments deviennent :

$$M=1/3\,Pr\,\sin.\,\alpha+1/3\,Pr\,\sin.\,\alpha'+1/3\,Pr\,\sin.\,\alpha$$
$$=1/3\,Pr\,(2\,\sin.\,\alpha+\cos.\,\alpha)$$

Pour $\alpha=0$, $\sin.\,\alpha=0$, $\cos.\,\alpha=1$; on a $M=1/3\,Pr$

Pour $\alpha=45°$, on a : $\sin.\,\alpha=\cos.\,\alpha=1/2\,\sqrt{2}$ et $M=\frac{1}{3}\,Pr\times\frac{3}{2}\,\sqrt{2}=\frac{2}{3}\,Pr\,\sqrt{2}$ La variation est plus grande que dans le cas précédent.

Une quatrième manivelle placée en H, les trois autres en E, F, G, n'aurait aucun effet à cause de la symétrie, la force divisée en quatre parties agirait absolument de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la même manière que divisée en deux parties et agissant sur les deux premières manivelles. Il est nécessaire pour obtenir une plus grande régularité de mettre les bras de manivelle multiples en nombre impair, autrement l'effet est le même que pour des manivelles dont le nombre des bras est moitié moindre.

Au lieu de disposer la manivelle triple ainsi que nous venons de le supposer, on en place les trois boutons à égale distance sur la circonférence, c'est-à-dire sur les trois sommets du triangle équilatéral inscrit, et alors les variations sont moindres. En effet, dans ce cas, si la rotation d'un angle α se produit, il est facile d'évaluer la somme des moments des trois forces 1/3 P agissant sur les manivelles. Cette quantité sera égale, d'après la propriété du côté du triangle équilatéral d'être la corde d'un angle de $\frac{360}{3} = 120^0$, à

$$M = 1/3\,Pr\,(\sin\alpha + \sin(60^0 - \alpha) + \sin(60^0 + \alpha))$$

Or, le sinus du sommet placé seul d'un côté du diamètre est égal à la somme des deux autres.

En effet, on a:

$$\text{Sin}\,(60^0 + \alpha) = \sin 60^0 \cos\alpha + \sin\alpha \cos 60^0.$$

Or,
$$\cos 60^0 = \frac{1}{2},$$

d'où
$$\sin 60^0 = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{1}{2}\sqrt{3}.$$

Donc:
$$\sin(60^0 + \alpha) = \frac{1}{2}\sqrt{3}\cos\alpha + \frac{1}{2}\sin\alpha.$$

De même:

$$\text{Sin}\,(60^0 - \alpha) = \sin 60^0 \cos\alpha - \sin\alpha \cos 60^0$$
$$= \frac{1}{2}\sqrt{3}\cos\alpha - \frac{1}{2}\sin\alpha$$

En ajoutant sin α, on retombe précisément sur la valeur de sin $(60^0 + \alpha)$; donc la somme des moments sera:

$$M = \frac{1}{3}\,Pr + 2\sin(60^0 + \alpha).$$

Le minimum pour $\alpha = 0$ correspond à la position indiquée sur la figure 1582, qui est celle de la plus petite valeur de sin $(60 + \alpha)$; quand $\alpha = 0$ et que le point A vient à passer du côté droit du diamètre, et dans ce cas la formule donne:

$$M = \frac{1}{3}\,Pr\sqrt{3}.$$

Le maximum a lieu pour $60^0 + \alpha = 90^0$ ou $\alpha = 30^0$, et alors un des sommets (C par exemple) est sur le rayon horizontal. Dans cette position l'action, étant au maximum pour ce sommet, a lieu utilement pour les deux autres.

Alors $\sin(60^0 + \alpha) = 1$, $\sin\alpha = \sin(60 - \alpha) = \frac{1}{2}$

et
$$M = \frac{2}{3}\,Pr.$$

On peut donc établir le tableau suivant pour le rapport du maximum au minimum dans chaque cas:

	Minimum.	Maximum.
Manivelle simple.	0,000	1
Manivelle double.	0,707	1
Manivelle triple.	0,866	1

On voit avec quelle rapidité les variations diminuent.

Excentriques. On nomme excentriques des organes agissant par contact immédiat et qui, à l'aide d'un mouvement circulaire, produisent un mouvement circulaire alternatif, ou rectiligne alternatif, comme nous le verrons ci-après.

Ce système qui permet de faire varier par degrés successifs la loi du mouvement, est employé avantageusement pour la transformation dont il s'agit, et offre de plus la facilité d'agir également avec des axes parallèles et avec des axes obliques.

Un levier tournant autour d'un axe, et reposant par son poids (fig. 1583 *bis*) ou fixé d'une manière quelconque à une courbe non circulaire montée sur l'axe (fig. 1583) qui se meut circulairement, prendra un mouvement circulaire alternatif dont la vitesse dépendra du tracé de la courbe, constitue un système d'excentrique. (Voy. EXCENTRIQUE.)

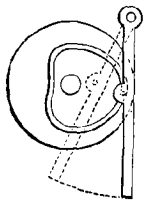


Fig. 1583.

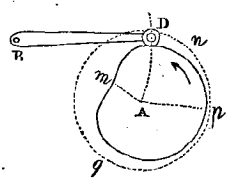


Fig. 1583 *bis*.

Cames. Les cames, opérant d'une manière discontinue, sont des excentriques suffisamment espacés, pour que le levier sur lequel ils agissent ait pu reprendre sa première position, quand l'action d'une came vient à succéder à celle de la précédente, d'où un certain choc résultant de la rencontre du levier en repos par la roue en mouvement, on ne doit employer cet organe que quand il est nécessité par la nature du travail, pour les marteaux, par exemple (fig. 1585).

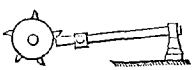


Fig. 1585.

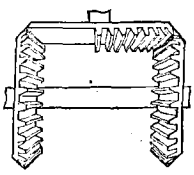


Fig. 1586.

Secteurs dentés. La figure 1586 représente encore un moyen de transformer le mouvement circulaire continu en circulaire alternatif par l'emploi de parties de roues d'engrenage.

Deux roues d'angles, montées parallèlement sur l'arbre qui doit posséder le mouvement alternatif, engrènent successivement avec une partie de roue dentée, montée sur l'arbre animé d'un mouvement circulaire continu. Suivant que celle-ci agit sur une roue ou sur l'autre, le mouvement change de sens; et si le nombre des dents est tel qu'une roue soit quittée quand l'autre est reprise, la transformation indiquée sera obtenue sans interruption de mouvement.

Encliquetages. On donne le nom d'encliquetages à des organes composés essentiellement de pièces saillantes et mobiles mues par un levier oscillant venant agir sur la partie de la machine qui doit recevoir le mouvement circulaire, pour produire celui-ci, évidemment avec des intervalles de repos.

Encliquetages à dents. Le mouvement circulaire alternatif produit par intermittence le mouvement circulaire continu au moyen de l'organe (fig. 1587) est employé avec succès pour appliquer la force des bras. Le mouvement circulaire de va-et-vient imprimé à l'extrémité du levier produit l'engrenage de la dent à articulation qui y est assemblée avec les dents successives de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roue. Cette action est rendue à peu près continue dans le levier de Lagarouse (fig. 1588) où l'un des crochets agit quand l'autre va se placer sur une nouvelle dent.

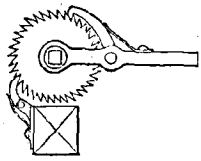


Fig. 1587.

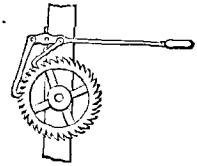


Fig. 1588.

Encliquetages par pression. Si l'on fait passer sur la jante d'une roue un anneau (coupé seulement pour laisser passer le bras de la roue) (fig. 1589) en le faisant monter normalement à la circonférence, on n'éprouvera pas de résistance; mais si on exerce une traction oblique, l'anneau prend une position différente de la direction de la normale et serre la jante avec une force suffisante pour entraîner la roue. L'anneau ne peut plus glisser, il ne pourrait que s'ouvrir si l'effort était trop considérable.

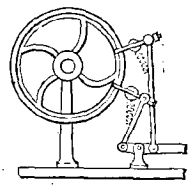


Fig. 1589.

En disposant deux anneaux des deux côtés du point de rotation d'un levier, comme le représente la figure, leur action sera successive et le mouvement circulaire alternatif de l'extrémité du levier engendrera le mouvement circulaire de la roue par l'aller et le retour du levier.

III. Mouvement circulaire continu en rectiligne continu.

TREUIL. Le treuil, soit horizontal, soit vertical, application directe du système tour, transforme, au moyen d'une corde attachée à la résistance à vaincre, le mouvement circulaire continu en rectiligne continu; réciproquement une corde en se déroulant produit le mouvement circulaire de l'arbre sur lequel elle est enroulée.

CRÉMAILLÈRE. La ligne droite pouvant être considérée comme un cercle d'un rayon infini, la solution des engrenages s'appliquera encore à ce cas et donne la transformation consistant dans l'emploi d'un pignon et d'une crémaillère. Le rayon du cercle devenant infini, la construction donnée pour les dents à épicycloïdes déterminera des dents à développantes, le cercle de demi-rayon se confondant aussi avec une droite. Si donc on arme la roue de dents à développantes et qu'on pratique dans la barre droite des échancrures rectangulaires destinées à laisser passer les dents, celle-ci sera conduite régulièrement par la roue, c'est-à-dire que des longueurs égales passeront au point de contact (figure 1590).

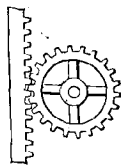


Fig. 1590.

On ne peut inversement mener la roue par la droite, car les angles des échancrures agissant sous un angle obtus produisent une résistance notable. Pour mener la roue par la droite, on pratique dans celle-ci des sections perpendiculaires au plan de la roue et passant par des rayons, et on arme la roue de dents correspondant à la rotation du cercle du rayon moitié de celui de la roue. Il décrira ainsi des cycloïdes qui déterminent la forme que l'on doit donner aux dents.

Une des plus intéressantes applications de cet organe et des engrenages est le cric, qui permet de soulever les plus lourds fardeaux en rendant très-faible la vitesse du point de résistance, relativement à celle de la manivelle.

VIS. Lorsque le mouvement rectiligne est dans la même direction que l'axe du mouvement circulaire, on emploie une vis (fig. 1591) tournant dans son écrou, ou l'écrou d'une vis dont l'axe ne peut se mouvoir qu'en ligne droite, écrou qu'un guide empêche de tourner.

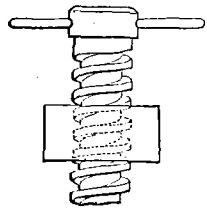


Fig. 1591.

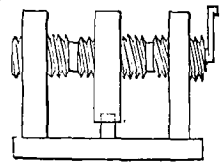


Fig. 1592.

Cet organe permettant de rendre la vitesse du mouvement rectiligne très-petite relativement à la vitesse circulaire, est très-propre pour développer de très-grands efforts, ce qui le fait surtout employer pour les appareils qui doivent produire des pressions, mais en occasionnant un travail considérable de frottement. (Voy. VIS.)

Prony a proposé d'employer la combinaison de la vis et de son écrou pour produire des mouvements très-petits sans employer des vis d'un pas trop peu incliné. Il a appelé ce système *vis différentielle* (fig. 1592) et a proposé son emploi pour les mesures de précision. Voici en quoi elle consiste.

Quand une vis se meut entre deux supports, par chaque tour de manivelle elle avance d'un pas; si le milieu de l'axe est formé d'une vis d'un pas différent de celui de la première, et porte un écrou qu'un guide empêche de tourner, celui-ci montera par chaque tour de la vis d'une quantité égale au pas de la vis. Son mouvement absolu égal au transport de l'axe, moins son mouvement propre, sera donc égal à la différence des deux pas de vis qu'on peut obtenir aussi petit qu'on le voudra en conservant au filet de la vis toute la solidité nécessaire.

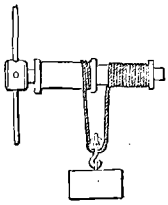


Fig. 1593.

On a construit d'après les mêmes principes un treuil (figure 1593) avec lequel le fardeau soulevé n'est élevé que de la différence du chemin parcouru par la corde sur les deux cylindres concentriques montant sur le même axe de rotation, mais avec le travail d'enroulement d'une grande longueur de corde.

IV. Mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif.

Les organes indiqués pour la transformation du mouvement circulaire continu en circulaire alternatif s'appliquent à ce cas, avec la seule modification de contraindre par des guides à un mouvement rectiligne la partie qui remplace le levier tournant sur son axe.

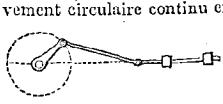


Fig. 1594.

Ainsi la bielle et la manivelle (fig. 1594) formeront

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un très-bon organe de ce genre, en assemblant leur extrémité avec la pièce qui doit avoir un mouvement rectiligne et qui sera maintenue dans des guides parallèles.

Quelquefois on courbe l'arbre de rotation et on assemble la bielle en un point du coude. Cette disposition est surtout employée pour faire agir plusieurs bielles sur un même axe.

Nous avons donné au commencement de ce chapitre le moyen de déterminer les rapports des vitesses du mouvement rectiligne et du mouvement circulaire. (Pour l'étude complète de cet organe voir l'article BIELLE.)

La bielle fournit très-bien la solution inverse de transformer le mouvement rectiligne alternatif en circulaire continu, pourvu que sur l'axe soit monté un volant qui entraîne un peu au-delà des points morts, les points d'attache de la manivelle. Ces points morts sont évidemment ceux qui correspondent aux extrémités du diamètre parallèle aux guides du mouvement rectiligne, où l'action devient directe et ne détermine plus la rotation. (Voy. BIELLE.)

EXCENTRIQUES. Les excentriques sont employés très-fréquemment pour transformer le mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif. Ils consistent en une courbe tournant autour d'un axe qui n'est pas placé au centre de figure. Une barre guidée et dont l'extrémité repose sur la courbe ou un anneau entourant un cercle qui ne tourne pas autour de son centre, dit excentrique circulaire, prendront un mouvement rectiligne de va-et-vient par la rotation de l'axe.

L'étendue de ce mouvement sera mesurée par la différence qui existera entre le plus grand et le plus petit rayon de l'excentrique. Quant à la loi du mouvement rectiligne, elle sera en raison de la forme de la courbe, et c'est un des principaux avantages de ce genre de communication de mouvement, celui qui la fait employer le plus souvent dans des machines opératrices que cette variation de vitesse et, par suite, de pressions, qu'il est possible d'obtenir suivant une loi quelconque en variant convenablement la forme de la courbe, de manière à opérer une action déterminée quelque compliquée qu'en soit la loi, et d'imiter par exemple, dans certains cas, le travail intelligent de la main de l'ouvrier.

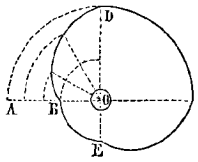


Fig. 1597.

La figure 1597 représente la courbe en cœur dont le dessin suffit pour faire comprendre la construction, le moyen d'établir la proportionnalité du mouvement rectiligne et du mouvement circulaire.

Nous n'entrerons pas ici dans plus de détails, ayant consacré un article spécial à l'étude de cet important organe de transformation de mouvement. (Voy. EXCENTRIQUE.)

ORGANES DIVERS. Nous ne citerons que pour mémoire, à cause de leur emploi peu fréquent et désavantageux à cause des frottements:

1° *Le système dû à Lahire* (fig. 1600), qui consiste à faire mouvoir, dans une grande roue dentée intérieurement, une petite roue dentée d'un diamètre égal à la moitié de celui de la première. Chacun des points de la

circonférence de la petite roue décrit un diamètre de la première et peut, par suite, imprimer un mouvement de va-et-vient à une tige qui y est fixée. C'est ce qu'il est facile de démontrer.

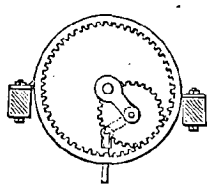


Fig. 1600.

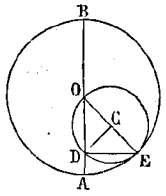


Fig. 1601.

En effet, soit D (fig. 1601) un point quelconque pris sur le diamètre de la grande roue, et ODE une circonférence passant par ce point et ayant pour rayon OE = 1/2 AB.

Le point E étant le point de contact de la petite circonférence, il faut, pour que la propriété énoncée ait lieu, que l'arc DE soit égal à l'arc AE, car alors la petite circonférence, roulant dans la grande et partant du point A, a transporté ce point en D.

Or, en effet, arc AE = angle AOE × R,
arc ED = angle ECD × 1/2 R.

Or l'angle AOE = 1/2 angle ECD, puisque le triangle DCO est isocèle, et l'angle en O = celui en D, donc arc AE = arc ED, qui a pour mesure 2 angles AOE × 1/2 R ou précisément angle AOE × R.

2° *L'emploi d'une partie de pignon* (fig. 1602) engrenant dans un rectangle denté, d'où résulte, pour celui-ci, un mouvement de va-et-vient.

La fig. 1603 représente une autre disposition de même nature employée par quelques constructeurs dans des machines-outils. Le pignon engrène avec de petits cylindres disposés en ligne droite.

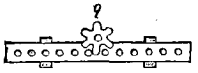


Fig. 1602.

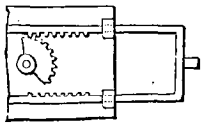


Fig. 1603.

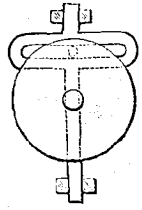
L'axe *b* de ce pignon a la faculté de glisser dans une coulisse verticale, d'une quantité suffisante pour que le pignon puisse engrener en dessus et en dessous des petits fuseaux, de sorte que quand le train est à l'extrémité de sa course, soit à gauche, soit à droite, le pignon tournant toujours et pouvant se déplacer transversalement, vient engrener au côté opposé à celui où il était auparavant. Ces fuseaux sont mobiles et suffisamment espacés pour que, l'un d'eux étant enlevé, le pignon puisse passer entre les deux fuseaux adjacents à celui-là; de cette manière, on règle la course à volonté avec la plus grande facilité.

3° *Les rainures* appartenant à la tige qui doit posséder un mouvement de va-et-vient dans laquelle se meut un galet assemblé avec la roue qui est animée d'un mouvement circulaire continu (fig. 1604).

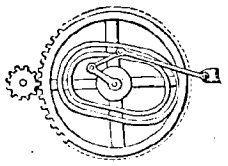
Si l'on veut que le mouvement de la tige soit uniforme, la rainure, au lieu d'être rectiligne, doit être courbe. Ces rainures peuvent être aussi tracées sur la roue qui possède le mouvement circulaire continu,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme le représente la fig. 1605, et peuvent faire naître un mouvement rectiligne assujetti à une loi déterminée.



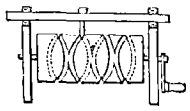
1604.



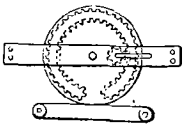
1605.

4° Les *rainures* tracées sur un cylindre tournant autour d'un axe et dans lesquelles s'engage l'extrémité d'une tige assemblée avec la tige à mouvoir maintenue d'ailleurs avec des guides. Les rainures devront être héliçoïdales pour que le mouvement de progression de la tige soit proportionnel au mouvement de rotation du cylindre, et formées d'hélices en sens opposés pour permettre l'aller et le retour (fig. 1606).

5° Les *engrenages* peuvent aussi servir à transformer le mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif.



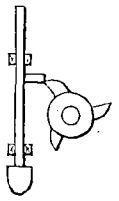
1606.



1607.

Soit l'axe d'un pignon (fig. 1607) fixé à une pièce plate qui porte l'axe d'une partie de roue dentée, et pouvant se mouvoir dans une rainure pratiquée dans cette pièce. Si au moyen d'une courroie placée autour du grand plateau portant la roue dentée, on fait tourner celui-ci, le pignon engrenant avec la circonférence extérieure, puis avec les extrémités dentées, passera à l'intérieur pour repasser à l'extérieur par l'autre extrémité. Son axe parcourant la rainure prendra donc ainsi un mouvement rectiligne alternatif par l'effet d'un mouvement circulaire continu.

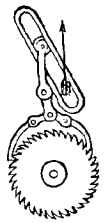
6° La vitesse variable d'un axe peut servir à déterminer un mouvement rectiligne assujetti à la même loi de variation au moyen du pendule conique (voir plus loin RÉGULATEUR). Les deux boules pesantes, éloignées ou rapprochées de l'axe, suivant les variations de la force centrifuge que fait naître la vitesse de rotation de l'axe, entraîneront le collet qui entoure celui-ci et lui feront prendre un mouvement rectiligne alternatif. Watt a appliqué cet appareil à la machine à vapeur pour régler le robinet d'entrée de la vapeur.



1608.

7° *Cames.* Les divers appareils ci-dessus s'appliquent aux transmissions continues. Celles intermittentes se produisent par l'action de cames agissant, soit sur des mentonnets, soit sur des entailles des tiges guidées verticalement. Tel est le cas des pilons (fig. 1608); le tracé des cames qui les font mouvoir sont assujettis aux mêmes conditions que les dents des engrenages.

8° *Encliquetages.* Il est un cas de la transformation réciproque de celle ici traitée qui présente un grand intérêt. C'est la transformation du mouvement rectiligne alternatif, au moyen d'un encliquetage, en circulaire intermittent, ce qui donne le moyen de communiquer, à l'aide du mouvement continu des pièces principales de la machine, un mouvement intermittent à d'autres pièces.



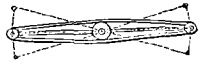
1609.

Il se compose (fig. 1609) d'une roue à rochet sur les dents de laquelle vient agir une dent terminant la pièce (ayant un mouvement rectiligne alternatif déterminé par un galet qui se meut dans une rainure) articulée à son extrémité de manière à pouvoir se plier pour surmonter les dents en revenant, après les avoir poussé en allant; action que reproduit inversement la seconde dent en forme de crochet. Suivant la longueur du mouvement rectiligne, il est clair qu'on fera tourner la roue d'une ou plusieurs dents par chaque période de mouvement.

V. Circulaire alternatif en circulaire alternatif.

Tous les organes qui servent à transformer le mouvement circulaire continu en circulaire continu, en ne les faisant agir que pendant un espace de temps, peuvent servir à cette transformation dans des plans et des vitesses quelconques; nous ne parlerons ici que de quelques solutions spéciales du problème.

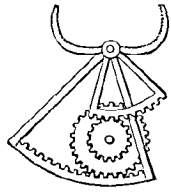
Balancier. Un levier oscillant sur son axe établit cette transmission par le seul effet de sa rigidité (fig. 1610). C'est ainsi que la communication a lieu dans les balanciers de tout genre. C'est le moyen presque toujours employé lorsqu'on peut employer le même axe pour les deux mouvements.



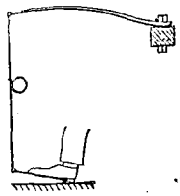
1610.

En terminant les pièces qui doivent se mouvoir réciproquement par des fractions de roues dentées, on communique le mouvement avec les vitesses voulues.

Un semblable usage des engrenages est fait dans le système (fig. 1611) employé dans une machine à recéper les pieux.

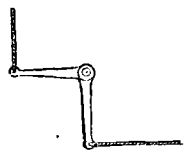


1611.

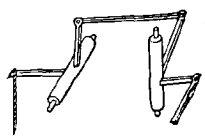


1612.

Le tour en l'air (fig. 1612) employé dans le travail



1613.



1614.

du bois offre une transformation de cette nature. La réaction du ressort et l'action de la corde enroulée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

transforment en mouvement circulaire alternatif le mouvement de même nature de la pédale.

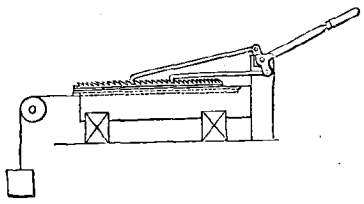
Pour transmettre le mouvement soit dans un même plan (fig. 1613), soit dans un autre plan (fig. 1614), on emploie des leviers coudés formant l'appareil dit *mouvement de sonnette*.

VI. Circulaire alternatif en rectiligne continu.

MM. Lantz et Bétancourt, dans leur désir de fournir une solution complète, indiquent pour organe de cette transformation un levier portant deux crochets qui viennent accrocher des dents formées à la pièce qui doit se mouvoir en ligne droite et l'élèvent ainsi à chaque mouvement du levier. Certes, pas un mécanicien ne voudrait employer cet appareil, à peine bon pour quelques ustensiles de ménage.

On peut disposer cet encliquetage, d'une manière plus convenable, ainsi que le représente la fig. 1615.

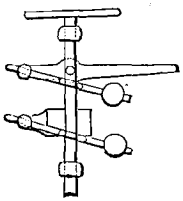
Une crémaillère à dents obliques reçoit deux crochets dont les extrémités sont assemblées à une traverse tour-



1615.

nant autour du même axe qu'un levier avec lequel elle est assemblée. Le mouvement circulaire alternatif du levier fera, à chaque demi-oscillation, engrener une des dents et opérera la traction par l'autre.

L'encliquetage par pression agit de la même manière. La fig. 1616 montre comment le construit M. Saladin. Il se compose d'un bâti auquel sont fixées deux douilles servant de guides à une tige ronde. Entre les douilles est fixé un pivot sur lequel s'assemble le levier ayant un mouvement circulaire alternatif. A une extrémité de ce levier est fixé un second petit levier portant un anneau dans lequel passe la tige; un troisième petit levier placé sur le bâti porte également un anneau dans lequel passe aussi la tige. Lorsqu'on met en mouvement le grand levier pour faire monter la tige ronde, le second levier, placé au bout, tend à descendre par son poids : mais comme il est retenu par un côté, il s'incline et enlève la tige, par suite de l'obliquité de la traction. Le second anneau placé sur le bâti et agissant en sens contraire de l'autre, retient la tige pendant que le levier reprend sa première position, et *vice versâ*.



1616.

La véritable transformation usitée dans les machines consiste à transformer le mouvement circulaire alternatif en circulaire continu, au moyen d'une bielle et d'une manivelle, et celui-ci en mouvement rectiligne, au moyen d'une crémaillère ou d'une corde s'enroulant sur un arbre.

Dans quelques cas où le mouvement rectiligne est de peu de longueur, comme dans les découpoirs, on transmet directement le mouvement en faisant agir l'extrémité de levier sur la tête de l'outil, guidé de manière à se mouvoir en ligne droite.

VII. Circulaire alternatif en rectiligne alternatif.

Le mouvement circulaire alternatif produit un mouvement rectiligne alternatif par tout système d'assemblage entre les deux pièces mouvantes, et de guides pour la partie qui doit se mouvoir en ligne droite. Ainsi, une corde ou chaîne adaptée à l'extrémité d'un balancier, forme, avec l'aide d'un contre-poids, cette communication. Une partie de roue dentée et de crémaillère produit encore cet effet.

Si on adapte une cheville à la barre qui est assujettie à glisser en ligne droite, celle-ci mettra le levier en mouvement en passant dans une rainure pratiquée a travers celui-ci et inversement (fig. 1617).

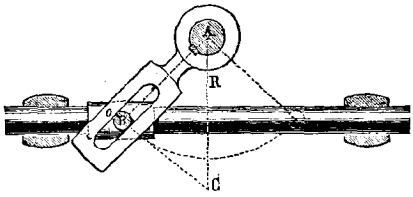


Fig. 1617.

Si l'on mène par le point A centre de rotation, une perpendiculaire à la direction du mouvement, la normale à la rainure passant par l'axe de la cheville d'assemblage la rencontrera en C, pour une position voulue de la rainure, et comme (Voir notre *Cinématique*) A C représente le rapport du mouvement rectiligne à la vitesse angulaire du mouvement de rotation;

$$\text{ou } \frac{v}{\omega} = AC,$$

Si on appelle r la distance du centre de rotation à la direction du mouvement rectiligne, et θ l'angle variable de la rainure avec cette perpendiculaire, on a :

$$AC \cos.\ \theta = AB \text{ et aussi } AB \cos.\ \theta = r,$$

$$\text{donc } AC = \frac{v}{\omega} = \frac{AB}{\cos.\ \theta} = \frac{r}{\cos.^2 \theta}.$$

On voit que pour une même vitesse de rotation, la vitesse du mouvement rectiligne augmente avec l'angle θ, cos. θ étant toujours plus petit que 1, et que pour $\theta = 0$ on a $v = r\omega$. Le mouvement, en partant d'une des extrémités du chemin parcouru en ligne droite, est donc retardé pendant la moitié de sa course, puis symétriquement accéléré pendant la seconde moitié, le mouvement de rotation étant uniforme. Le maximum de vitesse correspond donc au changement de sens du mouvement, condition tout à fait défectueuse au point de vue dynamique, indépendamment du frottement croissant avec l'angle θ qui rend le système défectueux pour transmettre des forces un peu grandes.

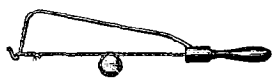


Fig. 1617 *bis*.

Les cordes flexibles sont souvent employées, par exemple dans l'*archet* (fig. 1617 *bis*), à l'aide duquel, au moyen d'un mouvent rectiligne alternatif, on imprime un mouvement circulaire au cylindre porte-foret autour duquel la corde fait un tour. C'est avec cet outil que les serruriers percent rapidement de petits trous dans le fer, en appuyant la tête du foret sur une pièce de bois munie d'une petite ferrure, dite *conscience*, qu'ils s'appliquent sur la poitrine, et qu'ils maintien-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nent bien perpendiculaire à la direction du trou à percer.

En employant un double système de cordes, on peut transformer directement le mouvement circulaire limité en rectiligne limité, en enroulant sur le cylindre du treuil deux cordes en sens inverse l'une de l'autre.

La fig. 1617 *ter* représente un appareil de cette nature, dans lequel le mouvement rectiligne alternatif d'une barre produira le mouvement circulaire alternatif des deux poulies P, P'.

La plupart des systèmes qui servent à produire le mouvement rectiligne continu, au moyen du mouvement circulaire continu, peuvent servir pour la transformation qui nous occupe.

Le parallélogramme de Watt est le guide le plus parfait pour faire naître le genre de mouvement dont il s'agit, au point de vue dynamique, n'ayant que des articulations, aussi est-il souvent employé pour la transmission de grandes forces.

La fig. 1618 représente le zig-zag, système composé d'articulations, dans lequel le mouvement rectiligne alternatif est produit à une extrémité avec une vitesse croissante, en raison du nombre d'éléments parallèles, par le mouvement circulaire alternatif des deux leviers de l'autre extrémité.

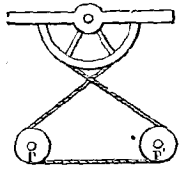


Fig. 1617 *ter*.

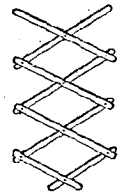


Fig. 1618.

Mouvement rectiligne parallèle à l'axe de rotation. Nous donnerons comme exemple de l'emploi des cordes le petit instrument connu sous le nom de *drille* ou *trépan*. Une corde, qui traverse une tige verticale, est fixée aux deux extrémités d'une traverse perpendiculaire à cette tige et mobile longitudinalement. On fait tourner l'instrument jusqu'à ce que la corde soit enroulée autant que possible autour de la tige, ce qui force la traverse à s'élever. Alors, si l'on appuie la pointe sur l'emplacement d'un trou à forer (fig. 1618 *bis*),

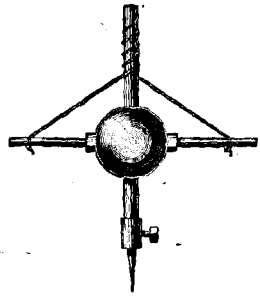


Fig. 1618 *bis*.

en faisant dérouler la corde par une pression exercée dans le sens de l'axe, par l'effet de l'inertie d'une masse pesante fixée sur l'axe la tige prendra un mouvement circulaire qui se prolongera suffisamment pour enrouler de nouveau la corde quand on relèvera la traverse, de telle sorte que son mouvement sera alternatif, tandis que la traverse montera et descendra alternativement en ligne droite.

Les mouvements de cet outil sont dus à l'enroulement hélicoïdal de la corde. La vis est en effet la solution la plus convenable dans ce cas. Aussi le trépan est souvent fait aujourd'hui à l'aide d'une vis à filets presque verticaux, et d'un écrou auquel on communique à l'aide d'une main le mouvement alternatif, pendant que de l'autre on applique le foret, monté à l'extrémité de la vis, sur le trou à percer.

C'est une application analogue des rainures hélicoïdales qu'a faite Whitworth, le célèbre constructeur de machines-outils, dans sa machine à raboter, pour faire faire à l'outil de la machine à raboter un demi-tour exact, pour qu'après avoir opéré en allant dans un sens, il opérât encore en revenant en sens contraire (voy. MACHINES-OUTILS).

VIII. Rectiligne continu en rectiligne continu.

Tout système de pièces rigides permet de transmettre à distance le mouvement rectiligne continu, et de produire un mouvement de même nature, de même direction et de même vitesse.

Pour le transmettre dans un plan et dans une direction différente de la première, on emploie les cordes et poulies, organes qui, à cause de la flexibilité des cordes, permet de transmettre l'effort dans toute direction dans le même plan ou dans des plans différents en employant un système de trois poulies convenablement inclinées.

Directions situées dans deux plans différents. En employant deux poulies fixes, on peut changer le mouvement rectiligne qui a lieu suivant une droite AB (fig. 1619) en un autre mouvement rectiligne ayant

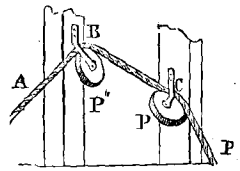


Fig. 1619.

lieu suivant une droite quelconque CD, qui ne serait pas dans un même plan avec la première. Pour cela, on joint par une droite BC deux points quelconques pris sur les deux directions données. On dispose une première poulie P de manière que son axe soit perpendiculaire au plan ABC, on dispose ensuite une seconde poulie P' de manière que son axe soit perpendiculaire au plan BCD. Une corde passant sur les deux poulies fournira, grâce à sa flexibilité en tous sens, le changement de direction voulue.

Changement de vitesse. Le changement de vitesse peut s'obtenir en profitant de la facilité des cordes à s'enrouler autour d'un cylindre, en employant le système indiqué dans la figure 1619 *bis*, formé de deux parties cylindriques autour desquelles on a enroulé deux cordes. Le mouvement de l'une engendrera le mouvement de l'autre, et les vitesses seront évidemment dans le rapport des rayons R et r des deux cylindres solidaires tournant ensemble d'un même angle; en réalité on a introduit ici le treuil entre deux mouvements rectilignes.

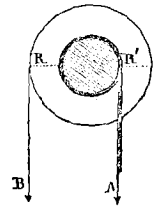


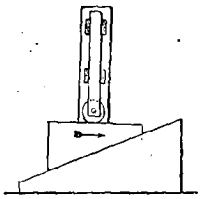
Fig. 1619 *bis*.

Le système le plus employé dans lequel se produit un rapport de vitesse constant est la moufle, dont les propriétés découlent de celles de la poulie mobile. Cet organe sera étudié dans un autre article; il appartient à une série d'organes dont les guides de mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne sont pas fixes, aux organes du mouvement DIFFÉRENTIEL.

Le *plan incliné* peut servir à transformer le mouvement rectiligne continu en rectiligne continu dans un plan perpendiculaire et avec une vitesse quelconque dépendant de l'inclinaison du plan. Tel est le système (fig. 1620) dans lequel les parties auxquelles le mouvement est communiqué, sont astreintes par des guides à ne se mouvoir qu'en ligne droite.

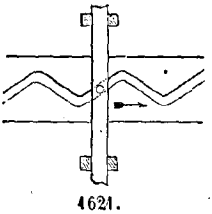


1620.

IX. Rectiligne continu en rectiligne alternatif.

Il n'y a pas de bonne solution directe de cette transformation, mais on peut toujours transformer le mouvement rectiligne continu en circulaire continu par un des moyens exposés plus haut; puis transformer celui-ci en rectiligne alternatif.

La fig. 1621 représente une solution directe. Des rainures inclinées, pratiquées dans la pièce, ayant un mouvement rectiligne continu, et guidant une cheville adaptée à une pièce ne pouvant prendre qu'un mouvement rectiligne, communiqueront à celle-ci un mouvement rectiligne alternatif.



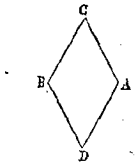
1621.

X. Rectiligne alternatif en rectiligne alternatif.

Un système rigide transmet ce mouvement dans une même direction.

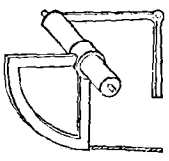
Les poulies ne peuvent fournir cette transformation dans une direction quelconque qu'à l'aide de contrepoids ou autre système analogue, qui quand la force change de sens, entraîne la corde, puisque celle-ci ne peut transmettre que des tractions. Nous citerons la solution particulière de cette transmission représentée figure 1622, pour les cas où les deux mouvements rectilignes doivent être à angle droit.

Soit le losange A B C D, et où l'on donne à deux sommets A, B, un mouvement rectiligne alternatif, les deux sommets C, D, auront le même mouvement dans une direction perpendiculaire à la première. On a établi des presses sur ce principe. On peut tracer le losange de telle sorte que les mouvements des sommets verticaux soient dans un rapport quelconque avec ceux des sommets horizontaux.



1622.

Généralement, le mouvement rectiligne alternatif est transformé en circulaire continu ou alternatif, pour être de là transformé de nouveau en rectiligne alternatif; on dispose le mouvement circulaire de manière à obtenir les variations de vitesses dont on a besoin.



1623.

La transformation de ce mouvement est réellement, dans presque tous les cas, une transformation en circulaire qui produit le rectiligne par l'effet de guides, qui ne permettent le mouvement qu'en ligne droite ou en agissant par l'intermédiaire de cordes passant sur une poulie. Tel est le cas de la transformation (fig. 1623) par l'effet de l'arc de cercle sur lequel s'enroule la corde, mais la transformation en circulaire est évidemment le point de départ comme dans la plupart des cas.

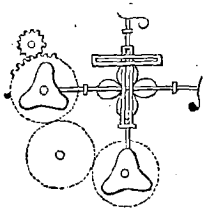
Mouvement quelconque continu, ou alternatif en mouvement quelconque, d'après une courbe donnée et réciproquement.

Le mouvement, d'après une courbe donnée, est rarement employé dans les machines. La raison en est dans les résistances qui accompagnent nécessairement ce genre de mouvement. En effet, il ne suffit plus ici, comme dans le mouvement circulaire, d'assujettir des axes dans des coussinets; il faut, en général, faire mener la pièce qui doit avoir ce mouvement par une cheville assujettie dans une rainure ayant la forme de la courbe donnée.

C'est assez dire combien il en résulte de résistances de toute nature, aussi les moteurs n'agissant pas suivant des courbes, jamais on ne donne semblable mouvement aux organes de communication; il s'ensuit qu'il n'est employé que pour les opérateurs.

Or, tout mouvement pouvant se transformer en mouvement circulaire continu, mouvement type des machines on voit qu'en réalité le problème se réduit à transformer un mouvement circulaire continu en mouvement d'après une courbe donnée.

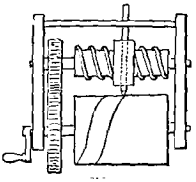
Comme l'observent MM. Lantz et Bétancourt, on peut toujours supposer que le mouvement, suivant une courbe quelconque résulte des mouvements circulaires de deux axes conduisant deux courbes sur lesquelles s'appuient des règles assujetties à rester constamment parallèles (figure 1624).



1624.

Ces règles forment deux coordonnées dont l'intersection décrit la courbe voulue; si, par exemple, elles portent toutes deux des rainures, un crayon placé à leur rencontre tracera cette courbe. Cet organe ne peut guère être de bon usage, généralement on se contente, dans le petit nombre de cas où il faut réaliser le mouvement qui nous occupe, de faire mouvoir circulairement un plan dans lequel est tracée la courbe voulue, et d'astreindre par une cheville la pièce qui doit suivre ce mouvement, guidée d'ailleurs, de manière à ne pouvoir tourner avec l'axe et à ne pas s'en écarter.

Il est un cas important qui doit être cité, c'est celui où il s'agit de tracer une hélice à la surface d'un cylindre, comme cela a lieu dans la machine qui sert à fileter les vis (figure 1625).



1625.

Dans ce cas, on décompose le mouvement en deux parties, l'un de rotation, l'autre de translation ainsi, pour la machine à fileter, on donne au cylindre sur lequel doit être formée l'hélice, un mouvement rectiligne de translation dans la direction de son axe, pendant que l'outil tourne autour; ou l'on peut le faire tourner

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur son axe pendant que l'outil parcourt une ligne parallèle à l'axe du cylindre. Ce dernier moyen, le plus commode, est préféré dans les machines à fileter. Le mouvement de translation est imprimé à l'outil guidé entre des barres parallèles par une vis qui le porte, et qui est mue par un engrenage en même temps que le cylindre. Les vis de différents pas seront donc faites par cette machine en variant les rapports des rayons des roues d'engrenage, et par suite ceux de la vitesse de rotation du cylindre et de translation de l'outil.

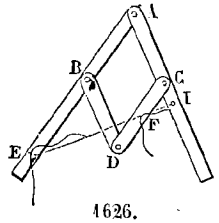
Si le mouvement initial était un mouvement rectiligne on parviendrait à déterminer le mouvement suivant une courbe, en fixant à la partie en mouvement des règles portant des sinuosités convenables servant de guides pour communiquer le mouvement suivant ces courbes.

Mouvement d'après une courbe donnée, en mouvement d'après une autre courbe.

Comme nous l'avons dit, le mouvement d'après une courbe ne sert, en général, dans les machines que pour donner à l'outil des mouvements nécessités par la nature du travail et ne peut être employé pour des communications de mouvement. Le problème indiqué ci-dessus devra donc, en général, se diviser en transformation du premier mouvement en circulaire continu; puis transformation de ce dernier en mouvement d'après une courbe.

Nous citerons cependant l'organe ci-dessous fort employé dans les arts graphiques, et qui est une solution du problème, quand les deux courbes sont dans un même plan et que la seconde courbe doit être semblable à la première.

Cet instrument est le pantographe (fig. 1626). Il se compose de deux règles articulées en un point A. Aux points B et C sont articulées deux autres règles, telles que AB = AC = BD = CD. Quelque soit l'angle en A, ces quatre lignes formeront un losange. I, étant le pivot autour duquel tourne le système, F, un traçoir assujetti à suivre les contours du dessin; le point E, en lequel sera placé un crayon tracera des figures semblables à la première; ce qu'on démontre facilement. En effet, quelle que soit la position des branches on aura toujours à cause de la similitude évidente des deux triangles EAI, FCI, EI : FI : : AC : CI, le rapport restera donc constant puisque les deux derniers termes sont constants, donc tous les éléments des courbes seront semblables et par suite celles-ci.



1626.

Des combinaisons de mouvement.

Les moyens qui viennent d'être décrits d'obtenir un mouvement suivant une courbe donnée consistent en réalité en des combinaisons de mouvement. Plusieurs autres fournissent des résultats mécaniques précieux. Nous avons exposé à ROUES DENTÉES la plus importante.

Combinaisons de vitesse. — Voy. MOUVEMENT DIFFÉRENTIEL.

TROISIÈME SECTION.

Organes servant à modifier le mouvement et à disposer les éléments dans un ordre déterminé.

Les organes de transformation, qui ne se rapportent qu'à la direction du mouvement, ne sont pas les seuls organes des machines, grand nombre d'autres leur sont également nécessaires; nous les diviserons en deux séries principales :

Première série. Ceux qui servent à donner au mouvement les conditions propres au bon emploi des machines pour effectuer le travail. Nous les diviserons en :

1° *Organes de mise en mouvement;*

2° *Organes servant à la régularisation du mouvement;*

3° *Organes d'impulsion, d'accélération;*

4° *Organes de réaction;*

5° *Organes d'arrêt, d'intermittence, dans l'effet de la force.*

Deuxième série. Ceux-ci se rapportent à la géométrie de position des organes et des éléments sur lesquels on opère. Ils peuvent également être placés ici ou dans la série des opérateurs, mais l'importance de la résistance dynamique y est tellement moindre que celle de la disposition géométrique des organes qui servent à effectuer le travail, qu'on peut fort bien les ranger ici; c'est ainsi qu'on a toujours considéré le mouvement des aiguilles d'une montre au point de vue géométrique, et non comme surmontant la résistance qui s'oppose à leur mouvement. Nous distinguerons :

6° *Organes produisant la disposition des objets en ligne droite;*

7° *Organes produisant la disposition des objets en ligne courbe;*

8° *Organes servant à produire l'entrelacement;*

9° *Organes séparateurs, classificateurs et diviseurs.*

I. Organes de mise en mouvement.

Le récepteur étant généralement amené à fournir le mouvement circulaire à un axe, on emploie plusieurs moyens de transmettre ou de suspendre à volonté l'action de l'arbre principal ou d'arbres secondaires mis en mouvement par celui-ci sur d'autres axes de rotation :

1° *Poulie folle.* Quand les forces transmises sont peu considérables (le travail pouvant cependant être assez grand si la vitesse est grande), la communication se faisant en général au moyen d'une courroie entourant le tambour mû par le récepteur et une poulie montée sur l'axe à mouvoir, on emploie avec avantage une poulie

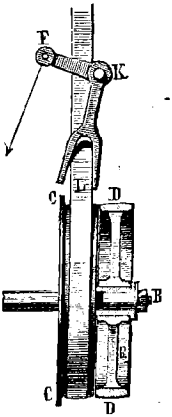


Fig. 1640.

folle (fig. 1640). C'est une poulie montée sur l'arbre à côté de celle qui transmet le mouvement, mais avec cette différence qu'au lieu d'y être assemblée, elle tourne librement. En poussant la courroie au moyen

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une fourchette terminée par un levier que l'on ment horizontalement, on la fait passer de la poulie fixe à la poulie folle. Le mouvement de la courroie continue sans éprouver de résistance et sans entraîner l'axe qui passe ainsi à l'état de repos et repasse à l'état de mouvement en opérant à l'inverse. Un des grands avantages de ce système, outre sa simplicité, consiste en ce que la courroie, en repassant sur la poulie fixe, au lieu de surmonter par un choc brusque la force d'inertie, glisse et ne surmonte que peu à peu la résistance opposée, de manière que le mouvement n'a lieu avec toute sa vitesse qu'après un temps appréciable et sans choc.

2° *Embrayage.* Quand la force à transmettre est très-

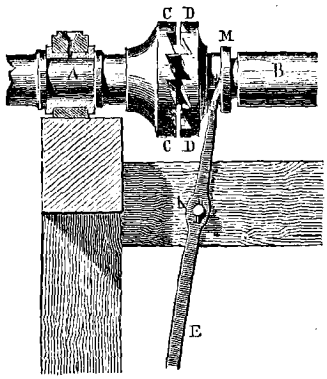


Fig. 1641.

grande, on emploie l'embrayage. La fig. 1641 fait comprendre facilement ce mécanisme. Elle représente deux axes mis bout à bout : l'un porte une roue fixe dentée sur son plat, et l'autre une roue semblable, mais dentée inversement, qui glisse sur l'axe, en étant toutefois forcée de tourner avec lui à cause de saillies horizontales de l'arbre qui pénètrent la roue. En faisant mouvoir cette seconde roue au moyen du levier adapté au collet qui l'entoure, le deuxième arbre sera entraîné par le premier, ou restera en repos suivant que les deux roues seront réunies ou séparées.

Le tracé des parties inclinées des dents est de peu d'importance, pourvu qu'il forme une courbe continue; les parties droites doivent être des plans méridiens passant par l'axe, de dimensions convenables en raison de la résistance à surmonter. Les deux roues doivent être exactement l'empreinte l'une de l'autre, pour qu'étant réunies la discontinuité des deux pièces disparaisse en quelque sorte.

Quelquefois, comme pour les laminoirs des forges, c'est la partie glissante construite en forme de manchon qui vient envelopper l'extrémité polygonale de la partie à mouvoir, d'autres fois ce sont des mentonnets adoptés à la partie glissante, qui viennent pénétrer dans des trous préparés à l'autre partie, système bien moins résistant que le précédent.

Les embrayages sont souvent employés quand il s'agit de grandes forces; mais, outre le frottement produit lors de la mise en jeu de l'embrayage, il y a toujours choc et danger de rupture dans cette réunion subite de parties en mouvement et de corps en repos; au reste, il est rare qu'il y ait lieu de les employer pour les parties de la machine destinées au travail principal qu'elle doit accomplir, puisque, dans ce cas, le plus simple est d'agir sur la force motrice elle-même.

3° *Cônes de friction.* Le frottement employé comme moyen d'éviter les ruptures, fait la base d'un système d'embrayage représenté fig. 1642.

A est un tambour conique creux fixé à la roue R, et B un pareil tambour fixé au manchon C, et qui entre dans l'intérieur du premier cône quand on vient faire glisser le manchon sur l'arbre de rotation. On transmet ainsi le mouvement de l'arbre à la roue R,

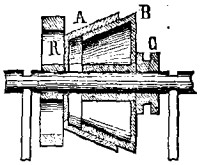


Fig. 1642.

et, en graduant la pression, le mouvement des pièces qu'il s'agit de mouvoir n'est produit que lentement, car on est maître de faire croître à volonté le frottement par la pression latérale du manchon.

Ce système, excellent sous ce rapport, et dont les propriétés ont été données, par une disposition semblable à l'engrenage à coin, met à l'abri des ruptures lorsqu'il survient, par accident, de grandes résistances. Il ne peut guère être employé pour les machines puissantes, attendu que la pression considérable qu'il faudrait exercer produirait des usures et des grippements, pour peu surtout que le cône se meuve obliquement par rapport à l'axe.

C'est bien souvent à la main qu'on fait mouvoir le levier guidant le manchon d'embrayage qui détermine le mouvement d'une partie de machine. On le fait quelquefois aussi mouvoir par les organes décrits plus loin, les régulateurs, pour proportionner l'action du moteur à l'intensité de la résistance.

Enfin, dans quelques circonstances, ce sont les parties mouvantes de la machine qui viennent mettre en jeu l'embrayage.

Double embrayage. La combinaison de deux embrayages sur un même axe, d'un double manchon agissant sur deux roues parallèles, forme un organe qui peut engendrer le mouvement circulaire alternatif, en faisant alternativement agir ces deux roues sur une troisième roue dentée.

La figure 1643 représente ce système. Il se compose d'une roue d'engrenage montée sur un arbre ayant un mouvement circulaire continu. Elle engrène avec deux autres roues folles sur un arbre de direction perpendiculaire à celle du premier (dans ce cas, on doit employer des roues d'angle ordinaires; pour une inclinaison différente, il faudrait employer des roues à dents hélicoïdales), mais pouvant être assemblées avec lui à l'aide d'un embrayage. Ces deux roues tournant alors en sens contraire, le second arbre restera en repos, tournera dans un sens ou dans le sens opposé, suivant la position du double manchon, qui laissera les roues libres, ou rendra solidaire avec l'arbre, soit la roue de droite, soit celle de gauche.

On peut faire entrer ce système dans des combinaisons assez curieuses. Ainsi en terminant la branche du levier qui guide l'embrayage par une fourche dont les extrémités pourront être atteintes par des saillies placées sur une barre horizontale; un seau dont la corde s'enroulerait sur une poulie montée sur l'arbre, en s'élevant rencontrera l'extrémité du levier, ce qui le fera basculer et le forcera à se vider en même temps qu'une saillie placée sur la barre fera basculer le levier qui guide le manchon jusqu'à ce que l'engrenage ait lieu avec l'autre roue, d'où changement de direction

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

du mouvement, descente du premier seau et élévation d'un second monté près de l'autre roue, jusqu'à ce que celui-ci rencontre la barre, et ainsi de suite.

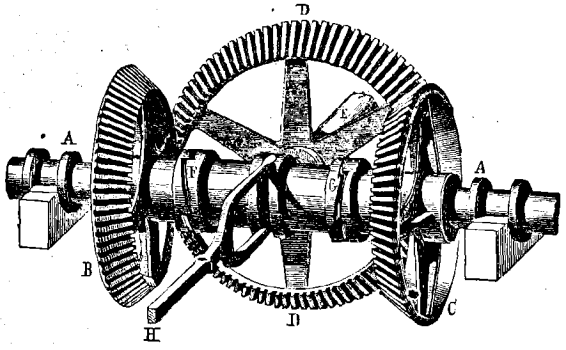


Fig. 1643.

Détentes. Lorsque l'action d'une force motrice est suspendue par un arrêt, la suppression de cet arrêt suffit pour permettre à la force d'agir et par suite produire le mouvement. Nous citerons comme exemples de ces dispositions, qui rentrent plus spécialement dans la catégorie présentement étudiée, et dont le complément se trouvera aux *Organes d'arrêt* :

1° Les *roues à détentes*. La figure 1644 représente un appareil de ce genre qui peut varier dans ses détails. Il se compose d'un arbre mû par une manivelle dont le bras est replié en équerre au delà de l'axe. Sur le même arbre est montée à frottement doux une poulie qui porte une détente formée d'un levier à crochet pressé par un ressort. Quand ce crochet appuie sur la saillie du bras, le mouvement se communique à la roue qui fait monter la corde que porte sa circonférence et qu'on suppose enlever un poids. Le mouvement se continue ainsi jusqu'à ce que le levier, soulevé à la main ou rencontrant l'extrémité d'une cheville fixe, vienne à basculer; il se décroche, et le poids suspendu à la corde descend en faisant détourner la roue.

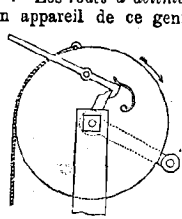


Fig. 1644.

2° Les *détentes*. Les détentes formées par des ressorts sont d'un emploi fréquent dans l'horlogerie pour suspendre et remettre en mouvement une pièce à un moment voulu. Soit *fg* (fig. 1645) un volant qui

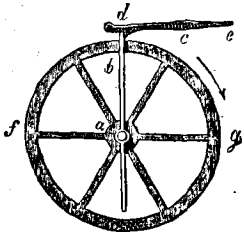


Fig. 1645.

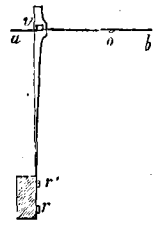


Fig. 1645 *bis*.

tend à tourner dans le sens de la flèche, sous l'influence d'une force motrice agissant sur son axe. Un ressort *ab* monté sur celui-ci vient butter sur l'extrémité d'un levier *cd*, et tout mouvement est alors arrêté. Mais lorsqu'une pression sur l'extrémité *e* de ce levier le fait basculer autour du point *c*, aussitôt le volant reprend son mouvement, qui sera suspendu de nouveau au tour suivant, lorsque le levier *cd* aura repris sa première position.

La disposition suivante, équivalente à la précédente, a été employée par Bréguet. Elle se compose d'un ressort *rr'* fixé en *r* et portant une saillie *v*. Une petite barre *ab* tend à tourner autour de l'axe *o*, mais est arrêtée par la pièce *v*; mais si le ressort *rr'* est infléchi vers *o*, la pièce *v* rencontre une échancrure qui est pratiquée dans *ab*, qui se met en mouvement pendant que *rr'* reprend sa première position pour l'arrêter de nouveau quand il viendra s'appuyer contre l'obstacle *v*.

3° Les *déclics*. Divers appareils sont employés dans les sonnettes qui servent à battre les pièces pour faire tomber le mouton. Les plus simples consistent, soit dans un crochet (fig. 1646), soit dans une pince munie de deux longues branches (fig. 1647), à laquelle le

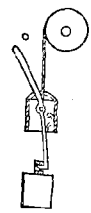


Fig. 1646.

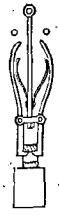


Fig. 1647.

mouton est suspendu. Quand il est élevé par la corde à la hauteur voulue, les extrémités de la pince ou du crochet se trouvant resserrées entre deux parties fixes, ou rencontrant des saillies fixes, le mouton tombe.

On obtient le même résultat par diverses autres dispositions de même nature qui correspondent toujours à des moyens d'assemblage qui cessent par le mouvement. Ainsi, dans certains déclics, le cylindre en bois, sur lequel s'enroule la corde, n'est assemblé avec l'axe en fer que par une partie saillante. Ce cylindre s'élevant à mesure de l'enroulement sur la partie inférieure qui forme plan incliné, la partie saillante, restant fixe, rencontre bientôt une gorge cylindrique pratiquée à l'intérieur, l'assemblage cesse et la corde se déroule.

La cataracte, employée pour faire donner à certaines machines à vapeur un nombre déterminé de coups de piston à l'heure, est un organe de ce genre. Elle consiste essentiellement en un vase qui se renverse ou un flotteur qui s'élève à une certaine hauteur par suite d'un écoulement d'eau constant, mouvements qui déterminent l'ouverture de la soupape à vapeur, et par suite une oscillation du piston. (Voy. MACHINE A VAPEUR.) Un système analogue a été adapté avec succès aux machines soufflantes mues par machines à vapeur. De semblables dispositions ont une grande importance industrielle, parce qu'elles permettent de n'employer pour le travail à effectuer que la quantité de travail rigoureusement nécessaire.

II. Organes servant à la régularisation du mouvement.

Les irrégularités du mouvement, presque toujours nuisibles au bon travail d'une machine, sont de deux

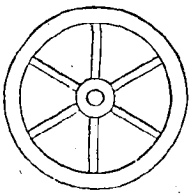
EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

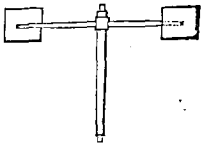
sortes, ou périodiques et renfermées dans des limites assez restreintes (celles-ci dépendent en général du mode d'action du moteur), ou croissant dans un sens et pouvant devenir considérables dans le cas où la résistance de l'opérateur ne croissant pas en même temps, le mouvement ne se régularise pas de lui-même par la production d'une plus grande quantité de travail. Nous pouvons donc diviser les organes destinés à maintenir la vitesse des machines dans des limites convenables pour le travail à opérer en trois classes : 1° ceux qui font croître la résistance utile ; 2° ceux qui font naître une résistance nuisible ; 3° ceux qui font diminuer l'action du moteur.

PREMIÈRE CLASSE. La régularisation du mouvement se produit, pour ainsi dire, naturellement dans l'action des outils que quand ils vont plus vite, attaquant plus de matière et éprouvant plus de résistance. Quand l'action de l'outil et de la résistance ne sont pas directement opposés, comme le travail de la scie, on fait croître la résistance en augmentant la vitesse de la pièce de bois, comme le permet l'appareil dit *pied de biche* (figure 1609) employé dans les scieries mécaniques, donnant le mouvement circulaire à la roue, qui à l'aide d'une crémaillère fait avancer le châssis qui porte la pièce de bois. Dans les moulins à blé, l'appareil bien connu dit *Babillard* remplit les mêmes fonctions, en faisant croître avec la vitesse la quantité de blé qui tombe sous les meules.

DEUXIÈME CLASSE.— *Volants à jantes pesantes.* Ces volants (fig. 1648), qui se meuvent avec une grande rapidité, fournissent le moyen le plus usité de compenser les inégalités périodiques de l'action du moteur. L'inertie de leur masse cause une résistance en apparence nuisible, qui s'oppose à l'accélération



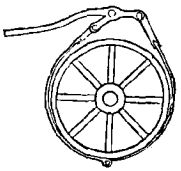
1648.



1649.

du mouvement ; mais au lieu d'être consommé comme dans les organes ci-après, le travail emmagasiné vient s'ajouter au travail utile, quand la vitesse vient à diminuer, et permet de surmonter des résistances supérieures à l'effet direct du moteur ; toutefois, le travail considérable consommé par le frottement de l'axe chargé d'un poids considérable, doit faire limiter le volant aux dimensions rigoureusement nécessaires.

Volants à ailettes (fig. 1649). Ces volants régularisent le mouvement en faisant détruire partie du travail par la résistance occasionnée, par la résistance de l'air qui croît proportionnellement au carré de la vitesse. Ils sont fréquemment employés dans les horloges.



1650.

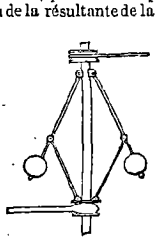
Freins. On peut de même employer le frottement pour empêcher l'accroissement de la vitesse. On emploie à cet usage les freins (fig. 1650), à l'aide desquels on consomme l'excès de travail, à produire un frottement. Un semblable système ne peut évidemment être employé que dans quelques cas particuliers, car il vaut bien mieux, en effet, diminuer l'action du moteur que consommer inutilement le travail en résistances inutiles.

TROISIÈME CLASSE. C'est à modérer l'action du moteur que servent ces organes. Quand le moteur est intelligent, qu'il s'agit de l'emploi de la force musculaire, elle se limite par l'action du moteur même : mais pour les moteurs naturels, l'eau ou la vapeur, c'est en diminuant les volumes agissant dans l'unité de temps qu'on y parvient, en faisant mouvoir les vannes ou les robinets d'introduction.

La puissance devenant supérieure à la résistance, les vitesses de toutes les pièces de la machine croissent en même temps, et si l'entrée de la vapeur, en prenant d'abord le cas de la machine à vapeur (nous reviendrons plus loin sur les applications aux moteurs hydrauliques), était réglée par une pièce en mouvement, il semble qu'il devrait passer davantage de vapeur dans l'unité de temps, et le mouvement encore s'accélérer par ce motif. C'est par l'intervention d'une force étrangère, celle de la pesanteur, qu'on a résolu le problème.

Pendule conique. L'appareil qui réalise ces conditions est le pendule conique représenté fig. 1651, tel qu'il a été appliqué par Watt à la machine à vapeur.

L'axe avec lequel il est assemblé étant mis en mouvement par un engrenage communiquant avec les rouages de la machine ; les boules qui, à l'état de repos appuient sur l'axe, prennent des positions inclinées dans la direction de la résultante de la gravité et de la force centrifuge,



1651.

qui résulte de la vitesse de rotation de l'axe. La gravité étant constante et la force centrifuge croissant avec la vitesse, les boules s'élèveront d'autant plus que celle-ci sera plus considérable. Dans ce mouvement l'articulation (portant un anneau glissant sur l'axe) qui joint les boules se redressant, le manchon articulé qui les réunit et qui entoure l'axe, s'élève, et dans le cas d'une machine à vapeur fait mouvoir un levier qui ferme la valve d'admission de la vapeur, d'autant plus que la vitesse est plus grande.

On doit déterminer le poids des boules et la position du levier par la condition que la vapeur arrive en quantité suffisante lors de la vitesse du régime, et qu'elles puissent aisément faire mouvoir le levier dans les variations de vitesse.

C'est surtout dans les machines à vapeur que le pendule conique a trouvé une très heureuse application ; ainsi, dernièrement, on a non seulement utilisé son effet à intercepter l'entrée de la vapeur, mais encore à accroître la détente, et par suite à économiser le combustible, quand le travail doit diminuer.

On emploie quelquefois le pendule conique pour faire varier la position de la vanne, qui laisse passer l'eau qui s'écoule sur les roues hydrauliques. Dans ce cas, le levier fait mouvoir un manchon à deux griffes, sur lequel il est monté à frottement doux, manchon se mouvant sur un arbre que fait tourner la machine. Cette griffe rencontrant une roue folle sur l'axe la rend solidaire, et à l'aide d'une crémaillère fait monter ou descendre la vanne. Ce système d'embrayage double est figuré fig. 1643.

Les gonflements résultant de l'action de l'humidité sur le bois, rendent les résistances des vannes trop variables pour que ces appareils fonctionnent d'une manière aussi satisfaisante, à beaucoup près, que pour les machines à vapeur. (Voy. RÉGULATEURS.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Réservoirs. L'emploi de régulateurs d'un autre ordre, servant à régulariser l'effet même de la machine, est fréquemment employé pour rendre à peu près constant l'écoulement des gaz. L'élasticité de ceux-ci, qui fait varier rapidement leur pression, fait que l'emploi d'un vaste réservoir suffit le plus souvent pour régulariser suffisamment leur mouvement, pour de faibles variations du travail moteur.

Un autre régulateur plus parfait consiste dans l'emploi d'une cloche renversée sur un liquide et chargée d'un poids déterminé, ou, ce qui revient au même, d'un piston chargé se mouvant dans un corps de pompe. Quand la quantité du gaz augmente, la pression reste constante, car, pour la moindre augmentation de pression, la cloche s'élève et la capacité augmente ; elle diminue au contraire, et la cloche baisse si la consommation devient plus considérable que la production.

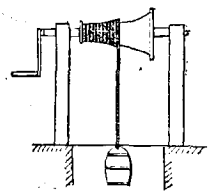


Fig. 1656.

Certains appareils régulateurs consistent dans un moyen de faire en sorte que la résistance demeure constante. Tel est le tambour régulateur (fig. 1656) qui rend la résistance indépendante du poids de la corde, et permet par suite de faire agir une même force avec une vitesse constante.

Pendule. Tout mouvement parfaitement régulier peut devenir la base d'un système régulateur, mais on ne doit considérer comme tels que les mouvements produits exclusivement dans ce but. Ils se réduisent à deux systèmes, le pendule et le ressort spiral.

Le pendule (fig. 1657), mis en mouvement, oscille avec une régularité parfaite par l'effet de la gravité ;

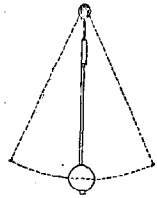


Fig. 1657.

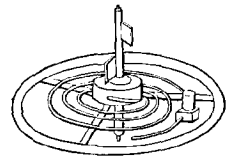


Fig. 1658.

le ressort spiral (fig. 1658) employé dans les montres donne aussi des oscillations parfaitement isochrones, quand son élasticité étant très-grande, ses dimensions sont convenablement déterminées. (Voyez l'article HORLOGERIE.)

Ces corps, possédant un mouvement parfaitement régulier, pourront servir à faire arriver à intervalles égaux dans des positions identiques, les organes d'arrêts dits échappements dont nous parlerons ci-après, et qui, suspendant l'effet de la force à intervalles réguliers, forment la base de toutes les machines employées à la mesure du temps.

III. Organes d'impulsion.

On doit considérer à part ces organes, car bien qu'ils ne constituent qu'un moyen de transmettre le mouvement d'une partie de machine à l'outil, ce n'est que dans des cas exceptionnels, pour des applications spéciales, que cette partie est lancée brusquement en abandonnant les parties voisines.

On obtient en général l'impulsion en faisant bander un ressort par une pièce douée d'un mouvement alternatif, rectiligne ou circulaire, qui fait mouvoir l'arrêt qui le maintient dans la position convenable pour que la pièce à lancer vienne se placer à son extrémité. Le ressort, en se détendant quand on soulève l'arrêt, lance la partie qui est appuyée sur lui.

Quelquefois on obtient ce résultat par le choc brusque d'une partie mouvante contre une partie fixe, mais cette disposition est inférieure à la première, et il résulte toujours quelque inconvénient de l'action destructive du choc qui a lieu, et qu'on amortit en partie au moyen de parties élastiques, de cordes, etc. ; c'est ainsi qu'on fait mouvoir la navette dans le métier mécanique à tisser.

IV. Organes de réaction.

Ce sont encore les ressorts qui forment la base ordinaire des organes de réaction, peu différents des précédents ; c'est leur élasticité qui permet de reproduire inversement les effets produits par un premier mouvement et de rendre en un temps assez long une action momentanée ou inversement. Quelquefois, mais plus rarement, les contre-poids sont utilisés pour atteindre le même but.

Ressort en spirale. Les organes appelés renvideurs, employés dans une des plus curieuses inventions relatives aux problèmes les plus compliqués du tissage, le BATTANT-BROCHEUR de Meynier, reposent sur l'emploi d'un ressort enroulé agissant dans le sens de la circonférence des spires. Le fil déroulé de la navette pendant le mouvement du battant est renvidé par l'action du ressort spiral qui a été tendu par l'action de dévidement. Cet organe fait disparaître les embarras résultant des longueurs des fils dévidés dans les mouvements du battant.

Pour amortir une action dans un sens et la rendre en sens contraire, on se sert de ressorts, soit de ressorts en spirale dits *boudins* agissant dans le sens de l'axe du cylindre qu'ils forment (fig. 1659), soit de ressorts en lames (fig. 1660 et 1661). On a essayé inutilement dans quelques cas d'utiliser le ressort de l'air au moyen d'un piston compresseur, mais c'est un appareil coûteux d'établissement et d'entretien.

Fig. 1659.

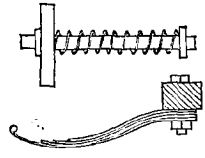


Fig. 1660.

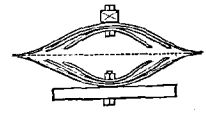


Fig. 1661.

On comprend que de semblables appareils sont fort utiles pour amortir la force d'inertie et la restituer en sens contraire et éviter ainsi une perte de travail importante ; aussi les emploie-t-on dans grand nombre de machines dont certaines pièces ayant un mouvement rectiligne alternatif, viennent butter contre les extrémités de ces ressorts à la fin de la course dans un sens et sont remises en mouvement en sens opposé par l'effet du ressort, au moment même où la force motrice va changer de sens.

V. Organes d'arrêt.

1° Organe empêchant tout mouvement dans un sens. La roue à rochet fournit le moyen de permettre à un axe de tourner dans un sens, sans qu'il puisse rétrograder dans l'autre sens. La figure 1663 en montre la disposition bien connue.

2° Organes suspendant l'action par intermittences. C'est sur l'emploi de ces organes, dits échappements, que repose presque tout l'art de la construction des horloges et appareils divers destinés à la mesure du temps. Un poids ou un ressort tendu fournit la force motrice dont l'action suspendue à intervalles réguliers fournit la me-

EFERUS - Recherche & Classification.numérique

MÉCANIQUE.

sure du temps écoulé. A cet effet on emploie soit les oscillations régulières du pendule dans les horloges de grande dimension ; soit les oscillations d'un ressort d'acier tourné en spirale, qui sont aussi égales par suite de sa parfaite élasticité ; ce dernier système est celui employé pour les montres et les chronomètres.

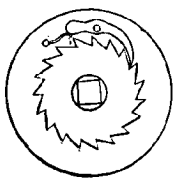


Fig. 1663.

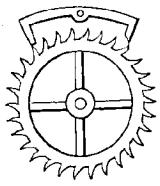


Fig. 1664.

Quand le pendule est le régulateur, on emploie généralement l'échappement *à ancre* (fig. 1664).

La roue qui porte l'aiguille des secondes tend à tourner sous l'influence d'un poids. Un pendule oscille dans des intervalles de temps parfaitement égaux, et entraîne dans son mouvement les deux ancres qui font corps avec lui. Dans la position représentée dans la figure la roue est arrêtée par l'ancre de gauche et l'action du moteur suspendue. Il en sera de même pour la deuxième ancre à l'oscillation inverse du pendule. En deux oscillations il passe ainsi une dent devant chaque ancre et la roue fait un tour en une minute, si elle porte 30 dents et si le pendule est de la longueur convenable pour battre les secondes.

L'action exercée par les dents de la roue sur le plan incliné de l'ancre suffit pour rendre au pendule la quantité de mouvement qu'il perd en chaque instant par la résistance de l'air et des frottements et pour entretenir les oscillations qui sans cela s'arrêteraient.

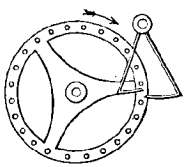


Fig. 1665.

L'échappement à chevilles (fig. 1665) dans lequel l'action du pendule suspend et rend libre successivement chaque cheville est encore d'un très-bon emploi.

Les échappements pour lesquels l'action de l'organe d'arrêt est régularisée par un ressort, comme cela a lieu pour les chronomètres, peut se diviser en :

1° Échappement à recul (fig. 1666) ; dans cet échappement les palettes portées par l'axe du balancier agissent à plat sur les dents d'une roue, d'où choc et recul.

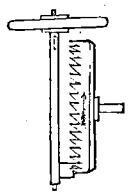


Fig. 1666.

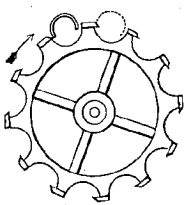


Fig. 1667.

2° Échappement à repos (fig. 1667) à cylindre. La roue d'échappement est garnie de plans inclinés, saillants à la partie supérieure. Le balancier est porté par un arbre cylindrique dont une portion est creusée et forme en cette partie un demi-cylindre creux. La roue en y entrant se trouve arrêtée par la rotation du balancier qui amène la partie pleine du demi-cylindre vers l'extrémité de la dent qui y est entrée. Le retour du balancier la laisse sortir et ainsi à chaque oscillation une dent entre et sort avec la régularité qui résulte de la perfection du ressort spiral qui entoure l'axe du balancier.

Cet échappement est à repos, en ce sens que l'action de la roue d'échappement est suspendue pendant que la dent est engagée dans le cylindre.

3° Échappement libre (fig. 1668). Cet échappement est aussi à repos, car après l'impulsion, la roue reste immobile, condition essentielle d'une grande régularité, mais ce repos diffère de celui des échappements précédents en ce que la roue, après son impulsion, ne touche ni ne s'appuie sur aucune partie mue par le régulateur. Elle est arrêtée par une pièce distincte de celui-ci, de telle sorte que le régulateur achève sa vibration indépendamment de l'échappement.

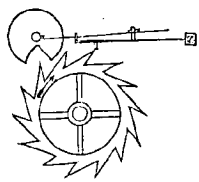


Fig. 1668.

Voici comment il agit : le balancier en faisant mouvoir l'axe auquel est fixé une petite saillie qui rencontre par dessous un long ressort très-flexible, fait soulever l'arrêt qui arrête le mouvement ; quand il rencontre le ressort par-dessus, il ne fait que courber ce ressort qui est très-fin, afin de s'ouvrir un passage pour terminer son oscillation.

Les échappements constituent des organes qui permettent de prolonger l'action d'une force, c'est ainsi que dans les horloges l'action d'un ressort tendu à de longs intervalles suffit pour imprimer le mouvement pendant un long espace de temps. Il est traité en détail du tracé de ces organes à l'article HORLOGERIE.

3° *Organes suspendant le mouvement.* En outre des organes qui déterminent la production de la force motrice, les vannes pour l'eau, les robinets pour la vapeur, etc., et dont la fermeture arrête la production de tout travail, nous devons ranger dans les organes d'arrêt ceux qui suspendent l'action d'une force en faisant naître une résistance supérieure à la puissance. La résistance de l'air agissant contre des ailettes et le frottement sont employés à cet effet. Les freins (fig. 1669) s'appliquent

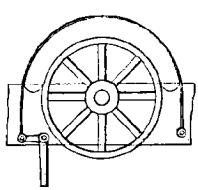


Fig. 1669.

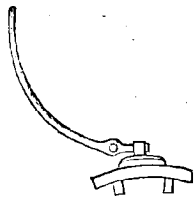


Fig. 1670.

presque toujours sur les parties des machines dont le mouvement est circulaire. La figure 1670 représente le frein employé pour les voitures. (Voy. FREIN.)

VI. Organes pour disposer les objets en ligne droite.

Pour disposer en ligne droite des objets de même nature on emploie deux genres de procédés différents suivant qu'ils sont résistants, ou mous et fibreux ; ce dernier cas est de beaucoup le plus important, c'est celui de la plus considérable peut-être de toutes les industries, celle de la filature.

Pour le cas des corps résistants on peut employer, pour les corps de forme allongée, le procédé usité dans la fabrication des aiguilles. Il consiste à agiter par des chocs brusques et répétés la boîte qui contient celles-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

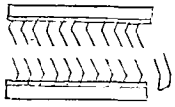
ci mélangées pêle-mêle. Le choc ayant lieu également sur les aiguilles disposées dans le sens de la longueur de la caisse, ne les dérange pas, tandis que celles placées obliquement recevant le choc par une extrémité se déplacent et se rangent peu à peu dans la longueur de la caisse.

On pourrait dans des cas semblables faire glisser les corps sur un plan incliné portant des rainures dans lesquelles ils peuvent entrer en se redressant, lorsqu'on donne au plateau un mouvement de trépidation.

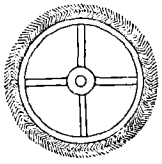
Dans plusieurs cas le corps est saisi au moyen de pinces qui, se mouvant tout en se fermant et s'ouvrant, au moyen d'excentriques, à l'instant voulu, portent le corps à l'endroit convenable à un moment déterminé.

Pour les corps fibreux, c'est par la carde ou le peigne, et par l'étirage qu'on obtient cette disposition en ligne droite.

La carde (fig. 1672) est composée de deux peignes à dents recourbés et à dentures opposées auxquels on imprime des mouvements rectilignes en sens contraire l'un de l'autre. Les extrémités de chaque fibre, arrêtée par



1672.

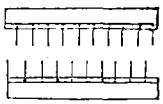


1673.

une dent du premier système, sont redressées par deux dents du second qui les quittent, après les avoir disposées parallèlement.

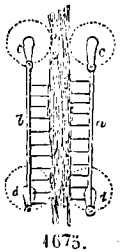
En disposant les cardes sur des tambours (fig. 1673), on obtient d'une manière continue, au moyen d'un mouvement circulaire continu, le même travail.

Les peignes (fig. 1574) diffèrent des cardes en ce que leurs dents sont droites et résistantes; et quant à leur mode d'action, en ce qu'ils parallélisent les fibres sans les replier.

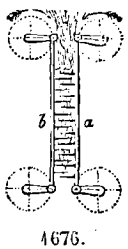


1674.

On les fait agir d'une manière continue en les disposant sur des tambours, mais le plus souvent ils sont disposés en ligne droite, et on leur donne le double mouvement de pénétration et de peignage par un double mouvement alternatif de haut en bas et d'avant en arrière. C'est ainsi qu'ils agissent pour le peignage du lin, dans la peigneuse Girard (fig. 1675 et 6676), où ce



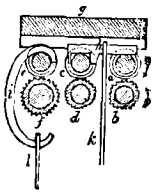
1675.



1676.

double mouvement est obtenu à l'aide de manivelles, montées sur l'axe de roues dentées se mouvant avec la même vitesse.

Étirage. Les fibres étant disposées par le travail des cardes en rubans parallèles, leur réunion forme un boudin dont on doit faire un fil. On y parvient, comme le fait la fileuse à la main, en étirant le ruban trop épais, en faisant glisser les fibres les unes sur les autres jusqu'à ce que la grosseur du ruban soit convenable pour faire le fil. C'est donc dans le sens de la longueur qu'on déplace les fibres. L'organe qui sert à cet effet consiste en cylindres cannelés (figure 1677), distants de centre en centre d'une longueur plus grande que celle des fibres à étirer; tous animés d'un mouvement circulaire continu (égal pour chaque paire de cylindres) et dont le deuxième système est animé d'une vitesse plus grande que le premier sur lequel passe le fil, ou, ce qui revient au même, a un diamètre plus grand pour une même vitesse angulaire. Il en résulte donc un étirage et un accroissement de longueur. En effet, la longueur du ruban qui aura passé sur le premier couple de cylindres dans un temps donné, sera égal à la circonférence d'un des rouleaux multiplié par le nombre des révolutions pendant ce temps. Il en sera de même pour les autres couples, donc si ceux-ci sont d'un diamètre plus fort avec la même vitesse ou d'un diamètre égal avec une vitesse plus grande, il passera entre eux une plus grande longueur de fil, celui-ci se sera donc allongé par l'étirage.

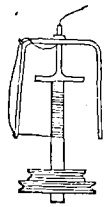


1677.

Cet admirable organe est la base sur laquelle reposent les merveilleux résultats de la filature moderne.

VII. Organes de disposition des objets en ligne courbe.

La disposition dont il s'agit ici n'est guère usitée que pour la torsion des fibres, afin de les assembler, en rendant par cette disposition le frottement de glissement égal à la résistance propre des fibres, de manière qu'ils se rompent, plutôt que de glisser les uns sur les autres.



1678.

L'appareil le plus employé pour produire cet effet, et qui comprend les autres, est la broche (fig. 1678). Nous allons donner la description de l'organe le plus complet de ce genre, la broche du banc à broches employés dans la filature de coton, qui résout le double problème de la disposition des fibres en ligne spirale pour former le fil, et de l'enroulement du fil autour de la bobine.

La broche se compose de deux ailettes, dont une creuse, qui se font équilibre. Le fil entrant près de l'axe sort par l'extrémité d'une des ailettes. L'axe de la broche traverse la bobine dans toute sa longueur de manière que l'ailette et la bobine peuvent être mues avec une vitesse de mouvement circulaire différente. La bobine possède de plus un mouvement rectiligne alternatif dans le sens vertical qui permet l'enroulement régulier du coton sur toute la surface.

Si la bobine restant fixe, la broche tourne, il y aura enroulement du coton sur la bobine de toute la longueur de circonférence à la bobine, correspondant à l'espace angulaire parcouru à l'extrémité de l'ailette et de plus torsion du fil, puisqu'entrant par l'axe, il a tourné sur lui-même de la même quantité angulaire que la broche.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si le nombre des tours de la broche dans un temps donné est le même que celui de la bobine, les vitesses angulaires étant égales, les mêmes points des broches restant dans les mêmes plans méridiens avec les mêmes points des bobines, l'enroulement est nul et le fil s'est tordu. Si les broches restant fixes, les bobines tournent, il y aura enroulement du coton sur les bobines, de toute la longueur parcourue par un point quelconque de la circonférence sur laquelle l'enroulement a lieu. Quant au fil, il n'est pas tordu car il n'a fait que se présenter tangentiellement à la surface cylindrique de la bobine perpendiculairement à la génératrice.

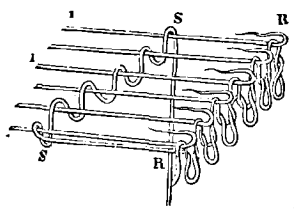
Enfin, si l'on donne à la bobine un mouvement rectiligne de va-et-vient convenable, en même temps qu'on lui communique un mouvement de rotation, le fil s'enroulera également sur toute la hauteur de la bobine.

VIII. Organes servant à produire l'entrelacement.

Les divers ordres d'entrelacement de fils qui constituent la fabrication si importante des tissus s'obtiennent au moyen de quelques organes primitifs, que les machines compliquées, au moyen desquelles on obtient les tissus, sont destinés à faire fonctionner.

Tissus à un seul fil. — Tricots. Les tricots sont formés par les entrelacements d'un même fil dont les boucles passent successivement dans celles précédemment formées. On le fait à la main, au moyen de deux aiguilles sur lesquelles s'enroule le fil pour donner la grosseur de la maille. Ces aiguilles sont pointues. Une maille, sortant d'une des aiguilles, l'autre y fait passer le fil libre et passe dans la boucle ainsi faite, et ainsi de suite, pour continuer en repassant de la seconde aiguille sur la première.

On n'a pas cherché à exécuter ce travail mécaniquement par la copie du travail des aiguilles à la main, ce qui eût été fort difficile, mais on obtient le même résultat par l'aiguille du métier à bas (fig. 1679) qui offre l'avantage de permettre de faire, en une seule opération, une rangée entière du tricot. Cette aiguille en



1679.

acier est terminée par une partie élastique dont l'extrémité rentre, par pression, dans une rainure pratiquée dans le corps de l'aiguille. Si un tricot se trouve commencé, et toutes les dernières mailles passées autour du corps des aiguilles, on pourra retirer celui-ci en baissant la pointe de l'aiguille. Si donc auparavant, on a disposé un fil ondulé, en proportion de la grosseur de la maille, qu'on a fait entrer dans ces aiguilles en donnant à celles-ci un mouvement en arrière, ce fil formera une nouvelle série de mailles qu'il suffira de repousser sur le corps de l'aiguille pour recommencer une nouvelle opération.

Tissus formés par l'entrelacement de fils disposés parallèlement. Les cordonnets, tulles, etc., sont faits par des fils parallèles, se dévidant de bobines, sur lesquelles ils sont contenus, et s'entrelaçant en raison du mouvement de ces bobines sans l'emploi d'aucun organe particulier

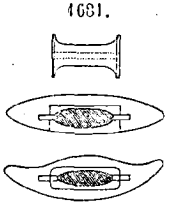
Tissage proprement dit. Le tissage proprement dit, celui employé pour produire les étoffes, consiste à faire passer un fil continu qu'on nomme *trame*, entre des fils parallèles qu'on nomme *chaîne*, en faisant que ceux-ci se croisent.

Les organes essentiels de ce travail sont :

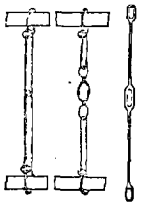
1° La navette (fig. 1680) renfermant la bobine (fig. 1681) sur laquelle le fil de la trame est enroulé et à laquelle un mouvement rectiligne alternatif doit être imprimé ;

2° Les organes qui servent à faire lever ou abaisser les fils de la chaîne ; ce sont les *lisses* (fig. 1682), composés de fils formant des boucles, quelquefois d'un œil de verre ou de métal passé autour d'un fil. A chaque lisse, ou réunion de lisses correspondant aux fils qui

1681.



1680.



1682.

doivent se lever en même temps, correspond une *marche* consistant, dans le métier ordinaire, dans un levier qu'on fait marcher avec le pied, pour agir sur le fil de la chaîne au moyen de la lisse réunie à la marche par un fil.

Quand le nombre de lisses est très considérable, comme c'est le cas pour les tissus façonnés, et que la complication de l'entrelacement du fil ne permet pas de les faire mouvoir par un petit nombre de marches, il faudrait alors lever successivement à la main les fils convenables, si on n'était parvenu à résoudre la question au moyen d'organes classificateurs extrêmement remarquables dont nous allons parler.

IX. Organes classificateurs et diviseurs.

Cette série d'organes offre un grand intérêt parce que leur invention permet, en général, d'obtenir par action mécanique des produits qu'il n'était possible d'obtenir qu'au moyen d'une multitude d'opérations. Les cribles, tamis, blutoirs, qui séparent d'autres corps ceux dont les dimensions sont moindres que celles de leurs mailles, peuvent être classés parmi les organes de cette nature ; mais c'est surtout dans la fabrication des tissus, dans lesquels on agit sur une multitude de fils, que des organes de cette nature sont employés ; mais ils peuvent trouver beaucoup d'autres applications. Ces organes sont bien distincts de l'outil avec lequel on les confond souvent ; ils ne font pas le travail utile, ils contribuent seulement à le rendre possible.

Procédé général de Jacquart. L'idée fondamentale de la Jacquart n'est pas seulement applicable à la fabrication des étoffes brochées, mais constitue un procédé général, une découverte capitale applicable dans beaucoup de cas particuliers.

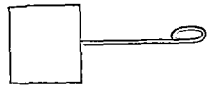
Dans le cas des étoffes, tous les fils de la chaîne, traversant des lisses, peuvent être mus par des fils attachés à des leviers, et ces leviers combinés avec des broches rigides ou aiguilles, de telle sorte que, si celles-ci se meuvent, les leviers se meuvent aussi, et par suite les fils de la chaîne. Si donc l'ensemble de ces aiguilles rencontre un prisme (fig. 1683) percé de trous correspondants à toutes les aiguilles, et qu'on applique sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

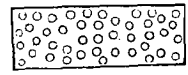
surface de ce prisme un carton (fig. 1684) percé seulement d'une partie de ces trous, les fils correspondant à ceux-ci se lèveront seuls.

On conçoit donc que si on a découpé ainsi, d'après la nature du dessin, des cartons, au moyen d'une opération dite *lisage*, on pourra, quelque compliqué que soit un dessin, en exécuter le tissage d'une manière entièrement mécanique, puisque le dessin formé par la trame varie avec l'ordre de levée des fils. (Voy. TISSAGE.)

1683.



1684.



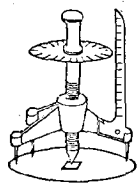
Tambour. Pour le cas d'étoffes qui ne sont pas trop compliquées, on peut appliquer un système qui a été repris dans ces dernières années, c'est l'emploi d'un tambour ou cylindre garni de parties saillantes comme le cylindre des orgues.

Si le tambour a été garni d'autant de rangées de touches qu'il y a de séries différentes de fils à lever pour former le dessin du tissu et que les touches de chaque rangée soient placées dans un ordre correspondant à celui des fils à lever à chaque coup de navette; en faisant tourner ce tambour pour présenter successivement chaque rangée de touches à la ligne des leviers commandant les lisses on obtiendra les levées de chaîne suivant un ordre voulu. Ce système ne permet pas des combinaisons aussi multipliées que la Jacquart, pour laquelle le nombre des cartons peut être extrêmement considérable.

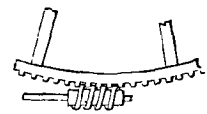
Organes diviseurs. La base des organes servant à opérer une division, est la vis; le pas de celle-ci pouvant être très fin et correspondant à un tour entier de la couronne circulaire qu'on peut monter sur sa tête, elle permet d'obtenir un très petit mouvement dans le sens de l'axe pour un grand mouvement de la tête.

C'est sur ce principe que repose le sphéromètre (fig. 1685), servant à mesurer les épaisseurs, la machine à diviser les lignes droites, la machine à diviser les roues, etc.

Pour les diviseurs des couronnes circulaires, on emploie la vis (fig. 1686) comme vis sans fin, conduisant le plateau dont la circonférence est divisée en un grand



1685.



1686.

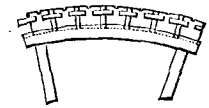
nombre de dents, 10000 par exemple. Si chaque tour de la vis fait avancer le plateau d'une dent, comme on peut facilement mesurer la centième partie de la circonférence de la couronne montée à la tête de la vis, on voit que si le pas de la roue est 1 millim., on pourra apprécier facilement le 1/100e de millimètre.

Il est facile de voir que l'on peut, au moyen d'une semblable division, soit tracer les lignes d'un cercle divisé, soit pointer sur une autre plate-forme des trous correspondants à un grand nombre de divisions, plates-formes qui sont la base des machines servant, dans les ateliers de construction, à tailler les roues dentées, etc.

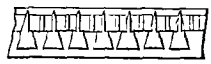
Soit à tracer la division en 101 parties, en divisant 1000000 par ce nombre, on trouve 9901. Chaque division correspond donc à 99 divisions du compteur de la vis, plus 0,01 de division qui s'appréciera par un vernier avec une exactitude suffisante.

M. Decoster a appliqué dernièrement avec succès le principe de la répétition à une combinaison nouvelle de machine à diviser. Son système (fig. 1687 et 1688) repose sur l'emploi de blocs composés sur la jante d'une roue et pouvant s'écarter (et par suite la remplir en étant en nombre moindre) au moyen de cales aiguës s'intercalant entre ces blocs et mus ensemble par une couronne concentrique. L'heureuse application du principe de répétition sur la circonférence même d'une grande étendue du diviseur universel, doit permettre d'obtenir une grande précision à l'aide de cet outil pour la division de cercles, toujours dans la pratique d'un bien moindre diamètre que le diviseur.

1687.



1688.



QUATRIÈME SECTION.

Opérateurs.

Les opérateurs et outils étant la base de toute opération mécanique sont aussi variés que les divers travaux qu'on peut effectuer sur la matière. Les machines n'ayant, en général, pour but que de faire effectuer, au moyen des forces mécaniques, les opérations qu'on peut obtenir du travail manuel, de faire agir mécaniquement les outils, on conçoit aisément de quelle importance est la connaissance du mode d'opérer de ceux-ci, qui n'est pas moindre que celle des récepteurs, puisque ceux-ci ne sont utiles que pour faire mouvoir les opérateurs; c'est donc bien à tort que jusqu'à ce jour on a négligé de comprendre leur étude dans la science mécanique. On comprend aussi combien de grands résultats peuvent provenir d'un perfectionnement quelquefois, en apparence, minime, mais qui permet souvent l'introduction du mouvement par forces mécaniques dans des cas où ce mode d'opérer paraissait impraticable.

Comme le remarque M. Poncelet, l'opérateur est soumis, quant à l'économie du travail, aux mêmes conditions que le récepteur, c'est-à-dire qu'on doit préférer autant que possible les outils travaillant d'une manière continue, sans chocs mettant en jeu les actions moléculaires. C'est pour ce motif, par exemple, que les scies circulaires remplacent avec avantage les scies rectilignes, les laminoirs, le marteau, etc.

Les opérateurs et outils variant de nature et de forme en raison de la résistance à surmonter, nous les classerons en deux sections principales qui correspondent aux résistances considérées au point de vue dynamique et géométrique, de mouvement et de forme.

1° Résistance au mouvement comprenant les résistances dues à la pesanteur, à l'inertie et aux résistances passives.

2° Résistance pour faire prendre à un corps une forme déterminée.

Résistance au mouvement.

Résistance due à la pesanteur agissant verticalement.

Cette section comprend tous les organes opérateurs des machines qui servent à l'élévation des fardeaux en général et notamment à l'élévation des liquides.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

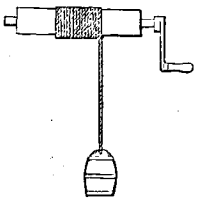
SOLIDES.

Le principal moyen d'élever un fardeau consiste dans l'emploi des cordes dont on entoure le fardeau ou à l'extrémité desquelles on attache la capacité dans laquelle il est placé.

Le problème de l'élévation des fardeaux consiste donc à donner à la corde un mouvement rectiligne continu d'ascension. Tous les organes produisant ce mouvement avec plus ou moins de vitesse seront donc capables de produire l'élévation des fardeaux à l'aide de forces variant, pour un même poids, en raison inverse des vitesses, telles sont les poulies (fig. 1689), *le treuil*



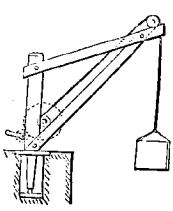
1689.



1690.

fig. 1690), *les grues* (fig 1691) (espèce de treuil permettant de saisir un fardeau placé à une certaine distance), *les vis*, etc., etc.

Les organes servant à donner un mouvement autre que le mouvement rectiligne et vertical peuvent servir également à élever les fardeaux, car la direction verticale n'est que celle de la résistance, une action non



1691.

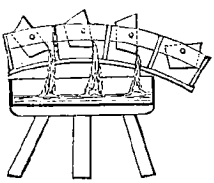


1692.

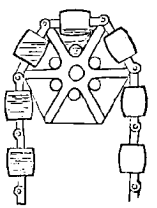
verticale agira par une de ses composantes. On doit donc comprendre dans ces organes le plan incliné (figure 1692) qui réduit la vitesse du mouvement rectiligne et le levier, base du mouvement circulaire alternatif.

LIQUIDES.

Tous les organes servant à élever les fardeaux peuvent servir également à élever l'eau préalablement renfermée dans des seaux ou vases de forme quelconque. Souvent ces vases sont disposés, soit sur la circonfé-



1693.



1694.

rence d'une roue (fig. 1693), soit le long d'une chaîne sans fin (chapelet) (fig. 1694), soit dans l'intérieur même de la roue (tympan), soit enfin au moyen de la

vis d'Archimède. (Voyez l'article HYDRAULIQUE.)

Roues à palettes planes. Les palettes d'une roue, mues dans une direction inverse de celle dans laquelle se meuvent habituellement les roues à palettes, feront monter l'eau dans le coursier et élèveront à son niveau supérieur, qui ne peut atteindre celui du centre de la

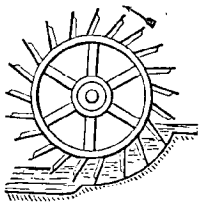


Fig. 1697.

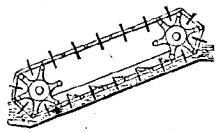


Fig. 1698.

roue, l'eau qui est à la partie inférieure (fig. 1697). Les palettes peuvent encore se mouvoir sur une chaîne sans fin dans un conduit qui empêche l'eau d'échapper par leur pourtour (chapelet incliné) (fig. 1698).

Pompes. Les pompes constituent le genre de machines élévatoires le plus usité. (Voy. POMPES.)

Résistances d'inertie. — Résistances passives.

Nous diviserons les moyens employés pour mettre les corps en mouvement en quatre sections, savoir : traction, réaction, impulsion, compression.

Traction. Ce sont, en général, les moteurs animés qui agissent par traction et qui, au moyen des efforts que leur permet d'exercer la résistance qu'ils rencontrent sur le sol, déterminent le mouvement.

Les grandes résistances qui s'opposent au mouvement des solides sur le sol sont la compressibilité du sol sur un chemin de niveau, l'action de la gravité à surmonter sur les plans inclinés qu'il faut gravir, enfin le frottement qui a lieu pendant le mouvement. La première de ces résistances est résolue plus ou moins complétement par la construction des routes ferrées, pavées, mais surtout des chemins de fer. La seconde est diminuée autant qu'il est possible par les tranchées souterraines, viaducs, et, en un mot, par tous les travaux de l'art de l'ingénieur pour obtenir la voie la plus horizontale qu'il soit possible d'obtenir. La résistance due au frottement est considérablement diminuée par l'organe bien connu, par les roues (fig. 1704), qui transforment,

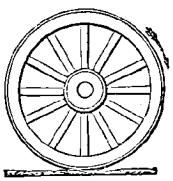


Fig. 1704.

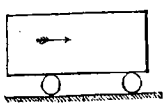


Fig. 1705.

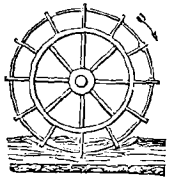
pour la très-majeure partie, le frottement de glissement en un frottement de roulement. Les roues ont fourni le moyen d'effectuer le mouvement sans traction en agissant par pression sur les rais de la roue, lorsque celle-ci éprouve sur le sol une résistance suffisante. Il en résulte un mouvement de rotation qui détermine le mouvement progressif de la voiture.

Les rouleaux (fig. 1705), si employés dans le transport des fardeaux, agissent comme les roues, en transformant en totalité le frottement de glissement en un frottement de roulement : le chemin décrit par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fardeau est double du chemin parcouru par les rouleaux qui le portent.

Réaction. Pour se mouvoir à la surface de l'eau, indépendamment de la traction directe de moteurs placés à terre, ou de forces étrangères agissant dans le sens du mouvement, comme les courants, les vents, on ne peut employer comme point d'appui pour la force au moyen de laquelle on peut mettre le corps flottant en mouvement que la réaction du liquide, la résistance d'inertie qu'il oppose à se mouvoir lui-même.

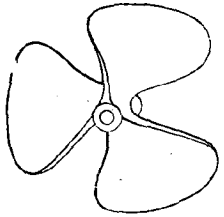


1706.

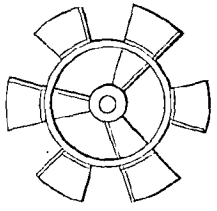
L'organe habituellement employé (en ne tenant pas compte de la rame employée à la main généralement; car son emploi par moteur mécanique, sous forme de pales articulées ou autre, n'a jamais procuré de bons résultats) est la roue à palettes (fig. 1706), qui, plongeant dans le liquide par la partie inférieure seulement, trouve dans l'eau une résistance suffisante pour mettre en mouvement le corps flottant sur les flancs duquel il est attaché. Il agit par un mouvement circulaire continu.

On a depuis peu essayé avec succès l'emploi d'un autre organe qui offre cela de remarquable, qu'il agit étant entièrement plongé dans le fluide; nous voulons parler de la vis qui, tournant dans l'eau, trouve une résistance de même nature que la vis qui entre dans le bois, ce qui la fait progresser, et par suite le bateau dont elle fait partie.

La figure 1707 représente la vis Smith à noyau



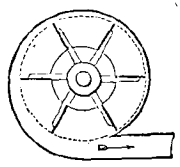
1707



1708.

plein, et la figure 1708 la vis Ericson, qui n'agit que par des palettes éloignées de l'axe; elles opèrent également par un mouvement circulaire continu.

Impulsion. L'impulsion directe ne s'emploie guère, dans l'industrie, que pour donner aux gaz une grande vitesse dans l'appareil dit ventilateur (fig. 1709), qui n'est autre chose qu'une roue à palettes chassant l'air avec une grande vitesse dans un conduit terminé par une buse analogue à celle des autres machines soufflantes.

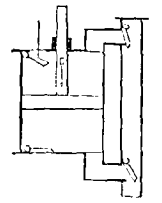


1709.

Compression des gaz. La grande élasticité des gaz permet de les mettre en mouvement, au moyen de leur compression dans un réservoir dont ils s'échappent par un orifice.

Le principal moyen de compression est l'emploi d'une pompe analogue aux pompes à eau (fig. 1710), la soupape s'ouvrant de l'extérieur vers l'intérieur, à chaque course une nouvelle quantité de gaz est comprimée dans le réservoir.

Au lieu de corps de pompe et de piston, on emploie souvent deux surfaces s'écartant et se rapprochant et réunies par des cuirs; ce sont les soufflets triangulaires (fig. 1711) ou cylindriques (fig. 1712) ou des caisses s'éloignant ou se rapprochant, pour les soufflerie de forges. C'est par le jeu des soupapes que l'air se trouve emprisonné, pour être ensuite comprimé et chassé par les mouvements rectilignes ou circulaires alternatifs des plateaux et caisses.



1710.

Une machine spéciale, la trompe, réunit le moteur à l'opérateur. Elle a été décrite ailleurs. (Voyez MACHINES SOUFFLANTES.)

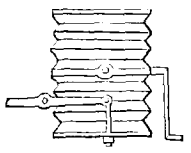


Fig. 1711.

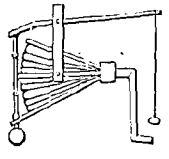


Fig. 1712.

On doit à M. Cagniard de Latour une soufflerie mue par un mouvement circulaire continu; elle consiste dans une vis d'Archimède plongée dans un liquide, tournant inversement du mouvement nécessaire pour élever de l'eau.

Les pompes foulantes à air, même celles qui sont construites avec le plus de perfection, peuvent difficilement comprimer l'air sous des pressions qui dépassent 25 ou 30 atmosphères, lorsqu'elles doivent fournir des volumes d'air un peu considérables. Les cuirs des pistons sont promptement brûlés par la chaleur dégagée dans la compression de l'air. Mais on peut facilement obtenir des pressions plus considérables en puisant l'air dans un espace où il a été préalablement comprimé sous 6 ou 8 atmosphères, c'est-à-dire en employant des pompes en *cascade*.

Dans les pompes de cette espèce, un premier corps de pompe, de grand diamètre, puise l'air directement dans l'atmosphère, et l'envoie déjà comprimé dans un second corps de pompe d'un diamètre beaucoup plus petit, qui le chasse après une nouvelle compression dans le réservoir à air. L'air se trouve ainsi comprimé successivement, et la chaleur dégagée à chaque compression n'est pas suffisante pour altérer le cuir des pistons.

On peut encore, comme l'a proposé M. Regnault, opérer cette seconde compression en chassant, à l'aide d'une pompe foulante, de l'eau ou du mercure dans la partie inférieure d'une capacité communiquant avec l'air comprimé, système qui évidemment ne peut permettre les fuites qui doivent toujours avoir lieu avec un piston et des soupapes.

L'air comprimé est un ressort parfait qui permet de transporter à distance l'action d'une force; ainsi le chemin de fer atmosphérique pourrait être construit pour agir par une pression d'air en arrière du piston, au lieu d'être combiné comme aujourd'hui pour produire une raréfaction dans l'air placé en avant du piston. Ce changement n'offrirait pas d'avantages, à cause des pertes de force, des remous et tourbillonnements qui se produisent dans l'air que l'on comprime, à tous les coudes et étranglements des tuyaux.

Ce n'est que pour l'eau, quand on peut agir sans intermédiaire, que l'on a employé avec quelque succès

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la compression de l'air pour élever l'eau d'un réservoir disposé au-dessus du premier, comme dans le système connu sous le nom de fontaine Héron. (Voy. FONTAINE DE HÉRON.)

Résistance pour faire prendre à un corps une forme déterminée.

Des outils proprement dits. Le but des outils est d'opérer, par une action mécanique, un changement dans la dimension des corps, et de créer les différentes formes employées dans les arts. Produits de l'intelligence humaine, ils sont la base de toute civilisation. Les sauvages les connaissent à peine, ou ceux qu'ils possèdent sont si imparfaits, qu'il leur faut un temps infini pour arriver à produire la forme la plus simple. Aussi peut-on mesurer le degré de civilisation d'un peuple à la plus ou moins grande perfection de ses outils, à la plus ou moins grande rapidité avec laquelle il parvient à donner à la matière une forme déterminée. Celui qui découvrit la propriété de l'acier de se durcir à la trempe, et de devenir ainsi l'agent au moyen duquel on peut attaquer la plupart des autres corps, a rendu à la civilisation le service le plus signalé. Sans cette découverte, nous serions peut-être encore à l'état barbare.

On peut travailler les différents corps à chaud ou à froid : toutes les matières ne se prêtent pas au premier genre de travail, parce qu'elles n'ont pas toutes la propriété de se ramollir sous l'action d'une température élevée. Aussi le travail à chaud n'est-il applicable que pour certains métaux, c'est le cas pour le fer : l'action de la chaleur ne fait que le ramollir, et c'est au moyen des outils agissant par *percussion* qu'on parvient à lui faire revêtir une forme déterminée. C'est un des cas peu nombreux, où l'emploi de l'acier ne soit pas indispensable : aussi le travail de la forge remonte-t-il à une haute antiquité. Il faut ajouter cependant que beaucoup de marteaux sont en acier ou garnis d'acier.

Dans le travail à froid, l'emploi de l'acier devient indispensable : ce corps, comme on le sait, possède la propriété de se durcir par la trempe, c'est-à-dire par un refroidissement brusque. Il est plus dur que les matières à travailler et plus dur que lui-même avant la trempe : aussi peut-on employer l'acier trempé à faire des outils d'acier non trempés, qui, lorsqu'ils auront subi la même opération que les premiers, deviendront propres à travailler presque tous les autres corps. L'opération de la trempe rend l'acier cassant; mais on parvient, au moyen du recuit, à diminuer sa fragilité en même temps que sa dureté, ce qui permet d'obtenir seulement le degré de dureté nécessaire; ainsi pour travailler des matières tendres, emploiera-on l'acier d'une faible dureté, afin de ne pas courir le risque de voir les outils se briser.

On ne rend dur, dans un outil, que la portion qui doit attaquer la matière à travailler; le reste n'étant pas trempé présente une plus grande résistance, et ne risque pas de se casser. La partie trempée, quoique plus dure que le corps qu'elle attaque, s'use toujours : aussi doit-on pouvoir la réparer avec facilité. Un outil n'est parfait qu'à cette condition, et toute disposition tendant à atteindre plus complétement ce but pour un outil, sera un perfectionnement réel.

Le grès possède la propriété précieuse d'attaquer l'acier trempé : c'est à l'aide de meules en grès tournant d'un mouvement continu qu'on affûte le taillant des outils, qui doivent être disposés, autant que possible, de manière à être affûtés facilement. La lime, la fraise, la filière simple, qui ne jouissent pas de cette propriété, ne sont pas des outils parfaits. Une lime usée ne peut plus être employée; il faut la rejeter. Une fraise usée doit être détrempée et limée de nouveau, et on sait qu'il n'y a rien qui appauvrisse ou décarbure l'acier, comme d'être trempé et détrempé souvent.

Quand les outils sont importants, il est souvent avantageux de faire le corps en fer, et d'ajuster des parties d'acier fondu là où de la dureté est nécessaire. Ce cas se présente dans les cisailles; il est alors facile d'affûter les parties qui travaillent, et de les remplacer quand elles viennent à se briser. Dans beaucoup de petits outils, on soude l'acier à l'extrémité du corps en fer.

L'importance extrême des outils et du travail qu'ils doivent effectuer fait aisément comprendre l'intérêt que présente l'étude de leur mode d'action, du mouvement le plus convenable qu'on doit leur donner, puisque c'est cette connaissance seule qui peut permettre de remplacer le travail de la main par l'emploi des forces naturelles, et aussi de quelle importance est souvent l'invention de nouveaux outils dus, en général, au travail patient et intelligent de l'ouvrier.

Les parties élémentaires des outils ne peuvent déplacer, donner un mouvement à la matière sur laquelle on opère, sans être une machine simple, c'est-à-dire de l'ordre *tour* ou de l'ordre *plan*, le levier pouvant être compris partiellement dans l'ordre tour.

Nous diviserons les outils en trois sections principales, en remarquant que les surfaces dont on fait usage dans les arts ont, en général, pour génératrices la ligne droite ou le cercle, ou des lignes dont la génération se déduit du mouvement d'un cercle ou d'une ligne droite, les seules dont l'exécution et le tracé puissent être obtenus avec facilité :

1° Outils agissant par *pression*. { action rectiligne, action circulaire.

2° Outils agissant par *usure*, en enlevant en parcelles très menues l'excédant de la matière . . . . . { action rectiligne, action circulaire.

3° Outils agissant par *division*. . . . . { action rectiligne, { action circulaire. . . . . { de l'outil, du corps sur lequel on opère. { action suivant une courbe. . { à l'extérieur. à l'intérieur.

I. Outils agissant par pression.

ACTION RECTILIGNE

Avec choc. Nous traiterons d'abord des outils agissant par choc, puis ceux agissant sans choc. Comme nous l'avons déjà dit, les premiers ne doivent être employés qu'autant que la nature du travail à effectuer exige absolument ce mode d'opérer, et ils doivent être remplacés par les seconds toutes les fois qu'il est possible d'obtenir ainsi le même travail.

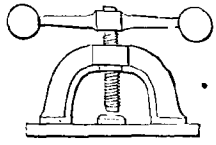
Un corps dur, pesant, soulevé et retombant d'une certaine hauteur, ayant par suite un mouvement rectiligne ou circulaire alternatif, est le principal opérateur pour agir par choc; tels sont le *mouton*, le *pilon*, et les *marteaux* soulevés verticalement par l'action d'un moteur. Ces organes servent à réduire en poussière des corps non malléables, et à donner aux corps malléables la forme de la force du marteau et du support inférieur dans lequel ils sont reçus, qui est dit *matrice* quand la forme est compliquée et qui doit être très résistante pour ne pas être détruite par le choc; elle est habituellement en acier trempé.

Le *balancier* (fig. 1715) dont la partie agissante se meut en ligne droite par communication d'un mouvement circulaire est un outil agissant par percussion d'une grande puissance. En effet, la force vive emmagasinée dans les boules pouvant être considérable, et le corps déjà écroui, se laissant pénétrer difficilement, il en résulte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une pression énorme pour amortir la force vive par un faible enfoncement.

Si le but à atteindre est, comme dans le balancier, d'obtenir l'amortissement presque instantané des forces d'inertie, alors, pour obtenir un choc, pour rendre la vitesse des parties en mouvement plus grande, on augmente le pas de la vis, et pour augmenter la résistance on emploie plusieurs filets de vis égales qui agissent simultanément.



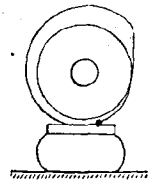
1715.

Quand le corps malléable sur lequel on opère a une épaisseur suffisante, c'est par un refoulement général du corps qu'on agit pour lui donner la forme voulue; par le refoulement général de la masse dans l'étampe-matrice, à l'aide d'un marteau dont la surface est plate, etc. Si le corps est peu épais on ne saurait agir ainsi sans détruire la matrice, souvent précieuse, lorsqu'il s'agit du travail de l'orfévrerie, de la bijouterie, etc. Il faut alors, quand on veut obtenir des arêtes très vives donner la percussion avec un corps dur (un *coin* en acier trempé) dont la saillie rentre exactement dans la matrice qui lui correspond.

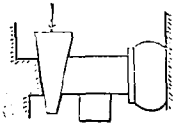
On peut se dispenser de l'emploi du coin quand on ne veut obtenir, sur des plaques minces, que des surfaces en ronde-bosse d'une moindre perfection que celles obtenues ainsi à l'aide d'une gravure coûteuse. Il faut alors employer un corps mou, le plomb par exemple, qui se moule lui-même sur la matrice, de telle sorte que l'inertie du choc se porte en entier sur les parties saillantes qui doivent être refoulées. C'est ainsi que se fabriquent les cuivres estampés.

Si au lieu de mouler les corps on voulait découper dans une pièce, il faudrait chasser le poinçon, l'emporte-pièce à travers la pièce à travailler avec une grande puissance. Les organes pouvant donner avec l'énergie suffisante le mouvement rectiligne convenable seraient ceux dont nous venons de nous occuper, c'est-à-dire le marteau, le mouton, le levier, le balancier à vis, l'excentrique, etc.

Sans choc. Dans les opérateurs, opérant sans choc, se rangent les diverses espèces de presses, consistant en deux plateaux qui se rapprochent l'un de l'autre par l'action d'une force. Le *levier*, le *coin* (fig. 1716), mû souvent par choc, la *vis* (fig. 1718), dont le pas est



1716.



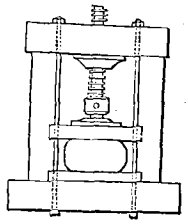
1717.

alors petit pour que la pression soit considérable, l'*excentrique* (fig. 1717), sont les organes principaux qui servent à déterminer le mouvement d'un plateau; ce sont, en un mot, les organes qui peuvent lui donner un mouvement rectiligne.

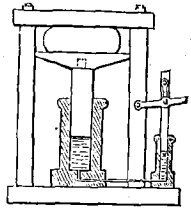
Nous devons citer ici l'introduction du choc dans les presses à vis dites à *toc*, qui en accroit considérablement l'effet. On garnit la tête de la vis d'un volant en fonte d'un poids considérable qui, indépendant en partie de la vis, peut tourner autour de son axe. En lui imprimant une certaine vitesse, ce volant produit

un choc sur la tête de la vis au moyen de faces planes verticales pratiquées sur le cylindre de la vis. Ce choc la fait tourner, car il en résulte un effet considérable par suite du chemin peu considérable du travail qui consomme la force vive du volant.

Pascal, mettant à profit l'incompressibilité des liquides et leur propriété de répartir les pressions en tous sens, a inventé la presse hydraulique (fig. 1719), qui multiplie dans le rapport des surfaces du grand à



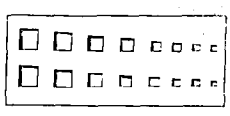
1718.



1719.

celle du petit piston l'effort exercé sur celui-ci, et permet d'obtenir des pressions extrêmement considérables. Le mouvement à imprimer pour faire agir cet opérateur est donc un mouvement rectiligne alternatif à la tige du piston.

Il est un outil qui reste fixe pendant que l'on donne au corps sur lequel on opère un mouvement rectiligne, c'est la *filière* du banc à tirer (fig. 1720). Elle consiste généralement en une plaque composée d'une étoffe d'acier, soudée entre deux plaques de fer pour qu'elle ne s'égrène pas, et dans laquelle sont percés des trous de la section du fil que l'on veut obtenir.

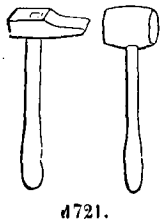


1720.

Quelquefois, au lieu d'une plaque, on emploie des coussinets en acier maintenus dans un châssis, telle est la filière mécanique. Le corps, contraint à traverser par un effort de traction, se trouve prendre une forme cylindrique dont la section extérieure est celle de la filière. En disposant un mandrin cylindrique à l'intérieur du corps, on obtiendra des tuyaux creux. Il faut avoir soin de faire mouvoir le corps à étirer lentement et d'une manière continue pour qu'il ne rompe pas, et se désagrège pas en petits cônes emboités. Il faut pour cela le faire passer par des trous successivement décroissants et le faire recuire pour restituer aux molécules leur adhérence.

ACTION CIRCULAIRE.

Les outils agissant avec choc sont les *marteaux* (figure 1721), *martinets*, etc., se mouvant par un mouvement circulaire alternatif, et qui sont le moyen d'action par excellence pour agir sur les corps assez malléables, à froid ou à chaud, pour que leurs formes soient modifiées sans qu'ils se désagrégent.



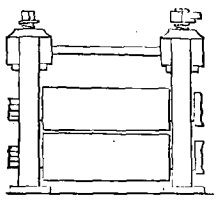
1721.

Le *laminoir* (fig. 1722) est le principal outil de cette section agissant par action circulaire continue, aussi son emploi prend-il chaque jour de l'accroissement, et est-il extrêmement avantageux. Le corps entrant entre

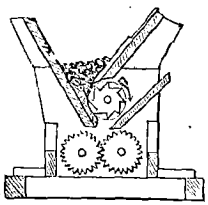
EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉCANIQUE.

les deux cylindres, entraîné par leur rotation en sens contraire, s'écrase et s'allonge en augmentant de densité. Si les deux cylindres sont plats, on étire ainsi le métal en planches. S'ils sont cannelés, on produit des cylindres dont la section correspond à celle des cannelures ; si l'un des cylindres porte un relief et l'autre un creux correspondant, le corps laminé reproduira la forme du corps engendré par l'intervalle des deux cylindres à la ligne de contact. La résistance énorme qu'éprouve le laminoir, oblige à employer un volant d'un poids considérable pour qu'il puisse surmonter la résistance qui s'oppose au mouvement.



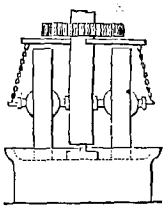
1722.



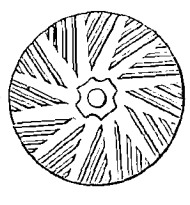
1723.

Un petit cylindre en acier trempé, dit molette, et gravé en creux ou en relief, permet, par une action circulaire analogue à celle du laminoir, de graver par action mécanique des corps moins durs que lui, le cuivre, l'acier non trempé, etc.

Le laminoir à cylindres unis, ou cannelés dans le sens des génératrices (fig. 1723), agissant sur des corps non malléables, produit l'écrasement. On emploie encore les meules verticales (fig. 1724) et horizontales (fig. 1725). Les premières agissent à la fois par leurs poids et par le mouvement de friction qu'occasionne le mouvement autour d'un axe.



1724.



1725.

Les secondes qui marchent plus vite agissent par la pression qui résulte de leurs oscillations, et aussi comme outils coupants, au moyen de rainures pratiquées dans la surface de la meule supérieure en sens contraire de celles de la meule inférieure qui est fixe. Telles sont les meules pour moudre le blé.

II. Outils agissant par râpage et polissage.

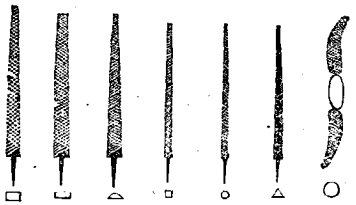
ACTION RECTILIGNE.

Les *limes* (fig. 1726) de toute espèce constituent l'organe par excellence de ce mode de travail, qui, n'enlevant à la fois que de petites quantités de matière, permet d'obtenir les formes convenables avec une grande exactitude.

Leurs formes extérieures, leurs tailles, varient avec la forme qu'il s'agit d'obtenir, avec le degré de précision à atteindre dans le dressage.

Le grand défaut de la lime est d'être un outil coûteux dans son emploi, tant parce que d'après son mode d'action son travail est lent, que parce que c'est un outil qui ne peut se repasser, s'affûter, que par suite la moindre usure le met hors de service.

La taille des limes, qui forme autant de dents qui déchirent la surface du corps, doit être en rapport avec la dureté du corps sur lequel on opère, et la rapidité du travail à effectuer suivant l'état plus ou moins avancé du travail de dressage. L'écartement des dents doit être en rapport avec la *sécheresse du corps*, pour que la lime ne s'empâte pas. C'est, d'après ces considérations, qu'on emploie la râpe pour le bois, l'écouenne pour l'ivoire, les grosses limes dites d'Allemagne, pesantes, et à taille résistante pour débiter, des tailles de plus en plus fines pour terminer et polir les pièces.



1726.

Les parties saillantes de la lime peuvent être remplacées quelquefois par des grains d'un corps dur. Ainsi le grès composé de grains très durs agglomérés dans une masse moins résistante forme une espèce de lime et remplit le même effet dans certaines opérations. C'est ainsi que le grès sert à affûter les outils.

Les grès en poudre, l'émeri, servent à rôder les surfaces. Si on place, par exemple, du grès entre deux surfaces de marbre et qu'on les promène l'une sur l'autre, sous une certaine pression, les parties saillantes des surfaces se rôderont sous l'effet du mouvement horizontal imprimé à une des surfaces.

L'émeri sert de même à polir l'acier trempé ; la surface qui le reçoit doit être assez tendre, d'étain par exemple, pour que l'émeri s'incruste et ne soit pas chassé par le frottement de la pièce que l'on promène sur la surface.

Nous verrons ci-après l'emploi de la poudre de diamant pour produire le même effet

ACTION CIRCULAIRE.

Un cylindre portant des saillies très dures est la disposition généralement employée pour effectuer circulairement un travail analogue à celui de la lime. Telles sont les meules d'acier taillées comme les limes, à la circonférence, qui servent à faire les pointes des aiguilles.

Les piles à papier, qui lacèrent le papier au moyen de lames placées sur les circonférences d'un cylindre et qui le déchirent en le comprimant entre leur circonférence et un plan immobile, constituent un outil de ce genre.

Le grès constitue naturellement un appareil de ce genre, extrêmement précieux, parce qu'il permet de repasser les tranchants en acier trempé en usant la surface de l'acier. On l'emploie sous forme de meules que l'on fait mouvoir autour d'un axe et contre la circonférence desquelles on applique l'objet en acier par la partie que l'on veut user.

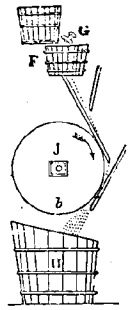
Le mouvement de rotation est très favorable à l'intensité d'action de l'intermédiaire qui agit sur le corps dur, par la facilité que l'on éprouve à l'obtenir avec une grande vitesse d'où résulte l'accroissement d'effet. C'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi qu'il est employé (fig. 1727) pour tailler les cristaux.

En disposant de l'émeri en poudre sur une meule en étain, on agit très bien sur l'acier trempé, et en s'en servant sur le plat, on dresse ainsi des pièces plates avec précision.

Enfin, en employant de l'égrisée, du diamant en poudre, on attaque le diamant et on met à nu les plans du clivage. Ce moyen est même le seul qui puisse servir à tailler le diamant, le corps le plus dur de ceux sur lesquels on opère, et qui par suite ne peut être attaqué par aucune substance moins dure que lui, et ne peut être attaqué par lui-même, par un corps d'égale dureté, qu'autant que la vitesse et la répétition de l'action viennent accroître l'usure infiniment petite qui a lieu à chaque instant.



1727.

Tout le travail de lapidaire repose sur l'emploi de la roue, et d'une poudre très dure.

Il est un genre de polissage qui, sans enlever de matière d'une manière sensible, est destiné à donner à un corps de l'éclat, du poli. Cet effet résulte du frottement d'un corps dur parfaitement poli, exempt de toute arête qui puisse produire une rayure sur le corps à polir, sous une certaine pression.

C'est surtout par un mouvement rectiligne alternatif qu'on produit cet effet, qui a pour but de boucher tous les pores, de replier toutes les facettes qui ne réfléchiraient pas la lumière. L'instrument en os, en corne pour les substances molles, en acier trempé pour les substances dures, prend divers noms et différentes formes suivant celles du corps à travailler, tels sont les *polissoirs*, les *brunissoirs*, etc.

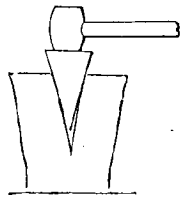
Toutes les poudres dures et très fines, l'émeri, le verre pilé, la ponce, etc., polissent les corps contre lesquels on les fait frotter. Pour les corps de faibles dimensions on emploie souvent des tonneaux que l'on fait tourner autour de leur axe après les avoir remplis de ces poudres et du corps à polir.

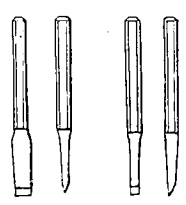
III. Outils agissant par division.

ACTION RECTILIGNE.

Outils agissant sur les corps durs. Les outils opérant par division séparent les parties excédantes au moyen d'un tranchant en forme de coin, sur les propriétés duquel reposent tous les outils servant à diviser, dont le tranchant n'agit que comme coin (fig. 1728); c'est-à-dire, sépare le corps en deux parties en refoulant la matière des deux côtés par les surfaces inclinées.

L'angle du tranchant doit être en proportion de la


1728.

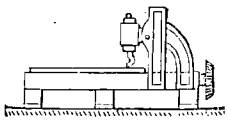

1729.

résistance du corps sur lequel on opère, en remarquant que l'incision a lieu d'autant plus facilement qu'il est plus aigu et que la force qui pousse le burin n'est plus employée en aussi grande quantité à refouler de chaque côté le corps sur lequel on opère. Un tranchant trop aigu se recourbe ou s'égrène suivant la dureté de la trempe, en agissant sur un corps dur. On ne doit jamais descendre au-dessous de 24° pour travailler la fonte et l'acier. L'outil agissant en forçant le corps moins dur que lui à se déplacer devant lui quand il est en mouvement, si donc l'outil est aigu du tranchant, et poussé en avant avec une force suffisante, tel que le *burin* du graveur ou le *burin* à buriner (fig. 1729) du mécanicien, il enlèvera des copeaux aigus ou plats du corps.

Dans l'emploi de ces outils mus à la main, ou, pour le dernier, chassé à coups de marteau, l'action est essentiellement variable, et la surface qui pourra être ainsi dressée ne saurait être plate; condition qui, étant le point de départ de tous les assemblages, doit presque toujours être remplie avec une grande précision. Aussi faut il reprendre avec la lime les surfaces dressées au burin, ce qui cause un travail long et coûteux, tant par la lenteur de l'opération que parce que, ainsi que nous l'avons dit, la lime est un outil imparfait qui est rapidement usé et ne se répare pas comme le ciseau par un repassage.

C'est un des grands progrès de l'art du constructeur, d'avoir obtenu pour le fer l'effet que nous verrons plus loin avoir été obtenu pour le bois, au moyen du rabot; nous voulons parler des *machines à raboter*, *à planer*, qui ont permis de substituer avec avantage le travail mécanique du ciseau au travail de la lime mue à la main, et avec tous les avantages d'un travail bien plus rapide par la possibilité d'employer de grandes forces à faire mouvoir l'outil.

Ces machines (fig. 1730) consistent en un train se mouvant sur des guides parallèles et auquel est adapté un ciseau qui se meut transversalement à la fin de chaque course. Le ciseau n'attaquant qu'une faible épaisseur, et surtout ne pouvant descendre, et produisant par suite une surface nécessairement plate, opère avec facilité et produit des surfaces parfaitement droites des plus grandes dimensions. (Voy. MACHINES-OUTILS.)


1730.

En donnant au ciseau un mouvement vertical alternatif on construit les machines à mortaiser qui fonctionnent d'après les mêmes principes.

Corps beaucoup moins durs que l'acier et corps fibreux. Le tranchant des outils agissant sur les corps fibreux, le bois notamment est formé d'un angle bien plus aigu que celui des outils qui agissent sur les corps durs. L'action de coin, d'écartement des surfaces diminuant en proportion de l'inclinaison, ces outils ont peu d'effet par leur simple pression perpendiculaire aux fibres. Mais si on donne aux tranchants un double mouvement rectiligne en les faisant mouvoir dans le sens de la longueur, le tranchant formé d'une série de dents extrêmement fines, coupe les fibres, et le travail avance beaucoup plus vite. C'est ainsi que s'emploient le *canif*, le *couteau*, le *rasoir*, etc. (fig. 1731).

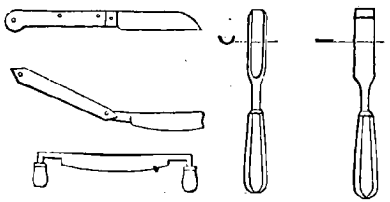
Pour que le tranchant agisse bien par l'effet d'un seul mouvement rectiligne, on courbe la lame, ainsi qu'on le fait pour les subres, d'où résulte le double effet décrit ci-dessus. On construit ainsi la *plane* (fig. 1731), outil tranchant qui se manie à deux mains.

Le *burin*, le *ciseau*, la *gouge*, etc. (fig. 1732), affûtés convenablement, agissent sur les corps fibreux, comme les outils analogues sur les corps durs.

Pour travailler et dresser le bois dans le sens des fi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bres, on emploie le *rabot* (fig. 1733), qui n'est autre chose qu'un fer de ciseau incliné pour couper et retourner les fibres du bois et guidé par un prisme de bois dans lequel il est monté et qu'il dépasse d'une petite quantité.

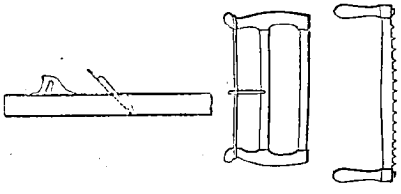


1731. 1732.

La face de ce prisme s'appliquant sur la surface à dresser, l'empêche de pénétrer à des profondeurs irrégulières et plus grandes que la saillie du fer.

Du mode d'opérer des tranchants sur les corps fibreux, il résulte que leur action peut être augmentée, pour débiter plus vite, en rendant plus sensibles les petites dents dont il est formé, en les rendant discontinus. Telle est la *scie* (fig. 1734) composée généralement de dents de forme triangulaire, quelquefois en forme de crochet, taillées dans une lame d'acier tendue dans une monture.

Pour que cette lame n'éprouve pas de résistance par le frottement des parties latérales préalablement entail-

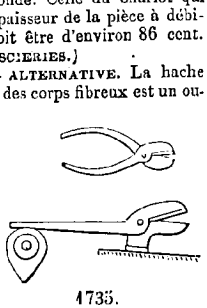


1733. 1734.

lées, on écarte les dents alternativement à droite et à gauche pour qu'elles produisent une fente plus épaisse que la lame. Cet écartement est la *voie* de la scie.

Dans les scieries mécaniques l'expérience a montré que la vitesse moyenne du châssis portant la scie, et auquel est imprimé un mouvement rectiligne alternatif, doit être de $1^m,28$ par seconde. Celle du chariot qui porte la pièce dépend de l'épaisseur de la pièce à débiter ; la surface du sciage doit être d'environ 86 cent. carrés par seconde. (Voy. SCIERIES.)

ACTION CIRCULAIRE. — ALTERNATIVE. La hache qui s'emploie pour le travail des corps fibreux est un outil tranchant d'un poids assez fort pour que l'action soit considérable par suite du choc.



1735.

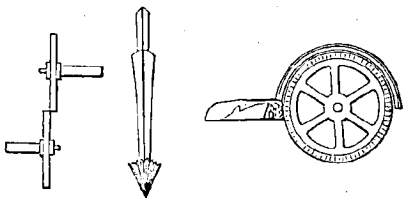
Les *cisailles* (fig. 1735) constituent l'outil principal de cette division, se mouvant par mouvement circulaire alternatif. Variées de disposition, la partie opérant le travail consiste toujours en deux pièces d'acier à biseau extérieur ou à angle droit qui se meuvent au contact l'une de l'autre, de telle sorte qu'un corps placé entre les deux lames se trouve coupé par leur mouvement.

ACTION CIRCULAIRE CONTINUE. — EXTÉRIEURE AU CORPS. Les outils que nous venons de décrire peuvent la plupart être transformés ou disposés de telle sorte que leur travail puisse s'opérer au moyen d'un mouvement circulaire continu.

Des lames tranchantes disposées sur une inclinaison convenable dans le sens des génératrices d'un cylindre forment un outil tranchant qui agit par un mouvement de rotation. Telle est la *râpe* au moyen de laquelle on réduit la betterave en pulpe très fine (fig. 1738).

Si on juxta-pose deux cylindres d'acier par leurs arêtes tranchantes ou rectangulaires, on obtient une cisaille (fig. 1736) agissant par un mouvement circulaire continu. Les taillants des trousses de fenderie (voyez FER) sont des cisailles continues de ce genre.

En taillant en forme de dents, la circonférence d'une plaque circulaire de tôle, d'acier trempé, on obtient la *scie circulaire*, outil extrêmement avantageux et dont

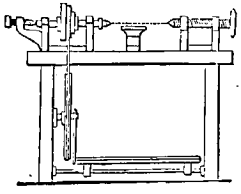


1736. 1737. 1738.

l'emploi s'accroît chaque jour. On leur donne à l'aide d'engrenages une vitesse de 3 à 6 mètres à la circonférence.

En entaillant la surface d'un solide de révolution qui se meut autour d'un axe, de manière à ce que les arêtes forment des tranchants, on obtient les outils désignés sous le nom générique de *fraises* (fig. 1737), dont l'emploi est très fréquent aujourd'hui. Coniques et agissant dans le sens de leur axe, elles servent à produire des cavités de cette forme ; cylindriques et agissant latéralement, elles servent à former des rainures dont la section a la même forme que la génératrice droite ou courbe du cylindre ; enfin planes elles servent à entailler et dresser des surfaces.

TRAVAIL DU CORPS MU CIRCULAIREMENT. Les *tours* (fig. 1739) constituent un mode de travail particulier, obtenu avec des outils fixes sur le corps en mouvement. Tandis qu'en général c'est l'outil qui marche et la pièce qui reste fixe, dans le tour la pièce en mouvement rencontrant l'outil fixe laisse sur celui-ci les parties qui excèdent le cercle compris entre l'axe autour duquel la rotation a lieu et l'outil.



1739.

Les moyens de communiquer à la pièce un mouvement circulaire continu ou alternatif sont ceux décrits dans les sections précédentes pour produire un semblable mouvement. Quant à l'outil, il se compose de burins aigus, droits ou recourbés, qui prennent le nom de crochets, de burins plats, etc.

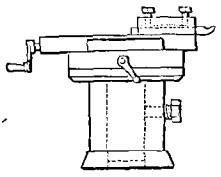
La pièce à tourner étant portée sur les deux pointes du tour dont l'une reçoit un mouvement de rotation continu, est rendue solidaire de celle-ci à l'aide d'un crampon. La vitesse du tour doit être en rapport avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la résistance du métal. Voici les vitesses que l'on donne généralement :

Pour la fonte douce 0m,075 par seconde ;
la fonte dure 0m,020 par seconde;
le fer 0m,150 par seconde;
le cuivre jaune et le bronze, la plus grande possible.

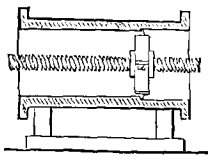
Par les mêmes raisons que nous avons données, pour montrer tout l'avantage qu'on retirait de la machine à raboter d'un système qui, limitant la course de l'outil, ne lui permet pas de s'engager au-delà d'un point dont le mouvement décrit la surface plate qu'il s'agit d'obtenir ; de même on a trouvé un grand avantage à employer sur le tour le *support à chariot* (fig. 1740), qui consiste en un train formé de deux pièces superposées pouvant communiquer un double mouvement rectiligne à angles droits à un burin fixé à la partie supérieure. Si donc on fait mouvoir celui-ci parallèlement à l'axe, le cylindre formé ainsi sera parfaitement régulier (sauf l'usure de l'outil, sensible en proportion de la résistance qu'on lui fait surmonter), puis faisant engager l'outil par l'effet de la disposition qui permet de lui donner un mouvement de progression vers l'axe central, l'opération recommence jusqu'à ce que le corps tourné soit amené au diamètre voulu.



1740.

Le support à chariot a fait du tour une machine-outil qui permet d'obtenir des cylindres avec plus de facilité même que des surfaces plates. Celles-ci peuvent être également obtenues sur le tour en les engendrant par une succession de cercles concentriques. Pour cela, il suffit de monter la pièce sur un seul des deux arbres du tour, et de placer le support perpendiculairement à cet axe. (Voy. TOUR.)

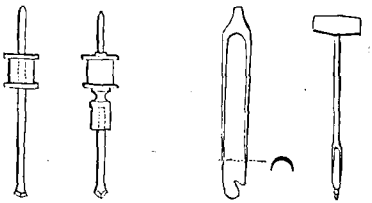
ACTION CIRCULAIRE.—INTÉRIEURE. Pour dresser les corps de pompe, les cylindres de machines à vapeur et de machines soufflantes, il a fallu établir une machine-outil consistant, comme la plupart des autres, dans un burin mû convenablement, c'est-à-dire dans ce cas, guidé autour d'un axe et pouvant prendre un double mouvement le long de l'axe et dans le sens de l'axe. Tel est l'alésoir (fig. 1741). Pour régulariser les trous de petites dimensions, on emploie un cylindre d'acier coupé par deux plans inclinés parallèles à l'axe, et mû à la main par un vilbrequin (fig. 1511) ; guidé dans le trou par sa partie circulaire, il le régularise en l'attaquant suivant toute sa longueur par sa partie angulaire.



1741

Forets, tarières, vrilles (fig. 1742 et 1743). Pour percer des trous dans les pièces on emploie des outils auxquels on donne un mouvement circulaire et une pression suffisante, et dont l'extrémité est formée de plans inclinés qui enlèvent le corps en le coupant et font ainsi place pour pénétrer plus avant. La fig. 1742 représente les dispositions du *foret*, dont l'angle doit être d'autant plus renforcé et le taillant plus obtus que le corps à percer est plus dur.

Pour le bois on emploie les *mèches* (fig. 1743) qui ayant un tranchant fin, une cuillère creuse, enlèvent la matière avec rapidité. Enfin les *vrilles* et quelques *tarières* pénètrent par une pointe formant le sommet d'une vis conique ou d'une surface hélicoïdale également conique extérieurement. Le mouvement de pénétration à travers les fibres du bois est ainsi très facile, et les rebords de la cavité qui permettent de loger



1742. 1743.

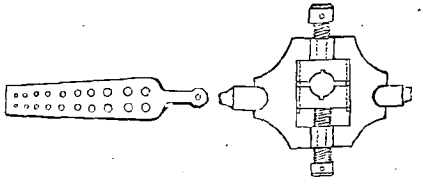
et porter à l'extérieur les parties coupées, agrandissent et régularisent le trou par l'action de leur bord tranchant. (Voy. PERCER.)

ACTION SUIVANT UNE COURBE. La seule courbe employée dans les arts pour faire mouvoir un outil opérateur est l'hélice. Nous avons décrit la transformation de mouvement qui est la base de la machine-outil, dite *tour à fileter*, qui sert pour fabriquer les grosses vis et les gros écrous en faisant mouvoir un ciseau par le système indiqué.

Pour fabriquer les pas de vis sur l'emploi desquels reposent presque tous les assemblages, on emploie la *filière* et le *taraud*. Ces outils, composés de tranchants qui attaquent la matière suivant une ligne hélicoïdale, pouvant être composés d'un seul fer dont le mouvement convenable résulte de la disposition de l'outil, telles sont les filières à bois et même certaines filières nouvelles en métal. Mais pour le fer on multiplie en général les taillants.

Filière. La fig. 1744 représente la *filière simple* formée d'une plaque d'acier dans laquelle on a pratiqué des trous. Après les avoir filetés au moyen d'un taraud, on leur a donné des arêtes en pratiquant des sillons, qui rendent tranchantes les arêtes des filets, et leur permettent de creuser la tige cylindrique qu'on y fait entrer et à laquelle on donne un mouvement de rotation.

Dans les *filières doubles* (fig. 1745) ces arêtes font partie d'une fraction d'écrou (ce qui permet d'en repasser les surfaces extérieures par un affûtage) qui se montent dans un châssis. Des vis de pression permettent de les serrer. Le pas de la tige se forme par le double mouvement de la filière, de rotation et de haut en bas en suivant le filet.



1744. 1745.

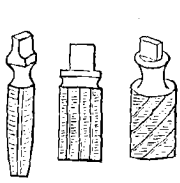
Taraud (fig. 1746). Le taraud qui sert à fileter les écrous n'est autre chose qu'une vis en acier trempé sur laquelle on a abattu des pans ou tracé des saillies qui rendent coupants les angles des filets. On commence le travail par des tarauds coniques entrant dans le trou percé trop petit au centre de l'écrou, et on termine par des tarauds cylindriques.

Le filetage et le taraudage se font à l'aide d'une machine pour les fortes pièces. Celle-ci consiste en un arbre ayant un double mouvement de rotation et de trans-

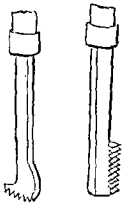
EFERUS - Recherche & Classification numérique

port entre ses supports. Le centre de cet arbre correspond au centre d'une pièce appelée filière, susceptible de recevoir des coussinets quand on veut fileter, des écrous quand on veut tarauder.

Le tour fournit aussi un moyen facile d'obtenir des vis, et s'emploie surtout pour obtenir les tarauds. Pour cela on présente à la surface de la pièce montée sur le tour un crochet de forme dentée appelé *peigne* (fig. 1747), destiné à creuser simultanément plusieurs dents, et on donne à la pièce un mouvement de progres-



1746.



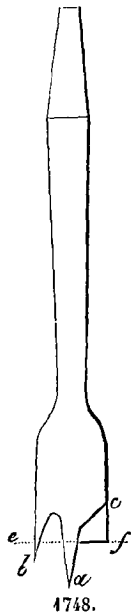
1747.

sion en rendant mobiles les pointes de tour, en faisant passer l'une d'elles dont la surface est filetée sur un écrou fixe dont le pas règle la progression de la pièce à fileter.

Nous aurions dû nous étendre beaucoup sur les outils que nous venons de passer en revue, si nous n'avions voulu nous borner à étudier seulement la nature des mouvements qu'elles nécessitent pour effectuer leur travail, afin de ne pas faire double emploi avec les articles spéciaux que nous consacrons dans cet ouvrage à chaque machine-outil. CH. LABOULAYE.

MÈCHE *angl.* wick, *all.* docht). Voyez BOUGIE.

MÈCHE (*angl.* bit, *all.* bohreisen). Outil d'acier qui sert à percer des trous dans le bois. Il est formé d'une tige carrée qui se fixe dans un trou semblable pratiqué au bout d'un *vilbrequin;* l'autre bout a la forme d'une gouge dont les dimensions varient avec celles des trous que l'on veut pratiquer. Lorsqu'on emploie une mèche ordinaire, pour faire un trou dans une planche, le bois est coupé net dans le sens de son fil, tandis qu'il est plutôt refoulé que coupé dans la direction perpendiculaire au fil.



1748.

La fig. 1748 représente la *mèche anglaise.* Cet outil est aplati par le bas et réduit à quelques lignes d'épaisseur, suivant l'effort qu'il doit faire, c'est-à-dire suivant la grosseur des trous qu'il doit produire. A peu près au milieu de sa largeur est une pointe *a*, dite *pivot*, ronde si l'on perce dans le bois, debout et à trois pans si c'est dans le bois de travers. Cette pointe détermine et conserve le centre du trou; cependant, pour plus de sûreté, on doit percer le bois en entier, lorsque cela est possible, avec une vrille plus petite que le diamètre de la pointe et bien perpendiculairement à la surface de la planche. *b*, est une pointe saillante, dite *traçoir*, et présentant un tranchant dans le sens où l'on fait tourner l'outil, qui est évidé entre ces deux pointes; le *couteau c*, est une saillie tranchante dans le sens où la mèche doit marcher · cette saillie est en biseau, et forme, avec le corps de la mèche, un angle de 40 à 45°; cette partie doit être bien perpendiculaire à l'axe de la mèche, afin que le trou soit parfaitement plat au fond, lorsqu'on ne veut pas percer tout à fait. La pointe *a*, doit passer un peu au-dessous du niveau *ef*, de la mèche, et être en outre un peu plus éloignée du pivot que l'arête extérieure du couteau, afin que celui-ci ne puisse atteindre la circonférence tracée par le traçoir. Cela posé, on conçoit aisément la marche de l'outil : le traçoir étant plus long commence à entrer le premier dans le bois et à cerner, en la découpant, la partie centrale, que le couteau coupe net, en faisant l'office d'un rabot.

D'après ce que nous venons de dire, on conçoit que les mèches ordinaires, dites *à cuiller*, doivent être employées dans le bois de bout; mais que, dans les bois de fil, elles produisent un très mauvais effet, en prenant deux fois le bois à rebrousse-fil, et que par suite elles l'écorchent et que les trous ne sont pas ronds. Les mèches anglaises, au contraire, sont particulièrement appropriées au bois de fil, tandis qu'elles n'entrent que difficilement dans le bois de bout, qu'elles ne percent que lentement et avec beaucoup d'efforts.

MÉDAILLES. Voyez MONNAIES.

MÉGISSERIE. Voyez TANNAGE.

MÉLASSE. Voyez SUCRE.

MELLITE (*angl.* honey-stone, *all.* honigstein). Substance assez rare analogue au *succin* ou *ambre jaune*, et appartenant également aux dépôts de lignite. Sa couleur est jaunâtre ou rougeâtre, sa cassure résineïde, et il cristallise en octaèdre à base carrée. Sa densité = 1,58. Il est très fragile et se raie fortement par une pointe d'acier. Suivant Klaproth, il renferme p. 100 : acide mellitique 46, alumine 16, eau 38.

MERCURE (*angl.* mercury, *all.* quecksilber). Le mercure est presque aussi blanc que l'argent et très éclatant; il est liquide à la température ordinaire, mais il se solidifie à un froid de 39° 1/2 au-dessous de zéro. L'intensité du froid qu'éprouva l'expédition du capitaine Parry dans les mers du Nord, en 1819, permit aux officiers qui l'accompagnaient de faire des expériences sur de grandes masses de mercure solide. Ils trouvèrent que, par sa malléabilité, sa ductilité et sa ténacité, il tient le milieu entre le plomb et l'étain, et qu'il devient de plus en plus cassant à mesure qu'il approche du terme de sa fusion. Le métal solide produit sur les organes la même impression qu'un corps très chaud : il cause de vives douleurs et il désorganise la peau. Le mercure liquide n'a ni odeur ni saveur; il agit fortement sur l'économie animale, et soit qu'on le touche fréquemment, soit qu'on respire les vapeurs, il cause à la longue un tremblement universel et continuel. Il est bon conducteur du calorique et très dilatable. Il ne mouille presque aucun corps. Il a la faculté, à la manière des corps poreux, d'absorber et de retenir entre ses molécules une certaine quantité d'air et d'eau, dont on ne peut le purger que par une ébullition soutenue pendant un certain temps. La densité du mercure solide = 14,391; celle du mercure liquide, à 0°, = 13,598. Il bout à 360°; la densité de sa vapeur est de 6,976.

Chauffé au contact de l'air, à 350° au moins, il se change en oxyde rouge. Il ne décompose l'eau à aucune température, même en présence des acides. Les acides sulfureux, phosphorique, hydrochlorique, les acides organiques, et l'acide sulfurique faible sont sans action sur lui; l'acide sulfurique concentré le dissout avec dégagement d'acide sulfureux. L'acide nitrique étendu ou concentré le dissout également; il se combine aisément avec le soufre et le chlore.

Le mercure s'allie facilement avec un grand nombre de métaux, tels que le cuivre, l'étain, le zinc, le bismuth, le plomb l'argent et l'or; les alliages portent le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nom d'*amalgames*. Il ne s'amalgame pas ou du moins il ne s'amalgame que très difficilement avec le manganèse, le fer, le cobalt, le nickel, le platine, etc.

A l'état métallique, le mercure sert à la préparation de divers onguents pharmaceutiques, à la construction des thermomètres, baromètres, manomètres, etc, à l'étamage des glaces, au traitement par amalgamation des minerais d'or et d'argent, etc. Son sulfure fournit aux arts la belle couleur connue sous le nom de *cinabre* ou *vermillon;* ses chlorures, le *calomel* et le *sublimé corrosif* sont fréquemment employés dans les arts et la médecine, et son fulminate est la base des amorces des armes à percussion, etc.

Oxyde de mercure. Les oxydes de mercure sont complétement réduits par la chaleur rouge, ainsi que par l'hydrogène, le charbon, le soufre, le chlore et un grand nombre de métaux. Ils sont au nombre de deux :

1° *Protoxyde.* Le protoxyde de mercure que l'on prépare en faisant digérer du protochlorure ou tout autre sel de protoxyde avec un grand excès de potasse caustique; il est pulvérulent, noir, sans éclat, et possède une saveur cuivreuse désagréable. Il se décompose spontanément en mercure métallique et en deutoxyde, même dans l'obscurité. Il est composé de :

Mercure, 0,9620 } Hg^2 O.
Oxygène, 0,0380 }

La matière noire qu'on obtient en triturant pendant longtemps du mercure avec une substance inerte, un corps gras par exemple, paraît n'être que du mercure métallique très divisé.

2° *Deutoxyde* ou *oxyde rouge.* Le deutoxyde de mercure est d'une couleur qui varie du rouge-orangé au rouge foncé, suivant son état de division. Il a une saveur âcre et très désagréable. Il est faiblement soluble dans l'eau, et la dissolution a une réaction basique. La lumière le décompose peu à peu et le ramène à l'état métallique. Au-dessus du rouge sombre, il se réduit à l'état métallique, sans passer par l'état de protoxyde. C'est une base assez forte, insoluble dans les alcalis fixes. Il se combine avec l'ammoniaque en donnant naissance à un composé blanc insoluble dans l'eau. On le prépare, soit en exposant au contact de l'air le mercure à une chaleur prolongée dans un vase à long col, et il porte alors le nom de *précipité per se*, soit en calcinant le nitrate, on le nomme alors *précipité rouge*. Il se compose de :

Mercure, 0,9268 } Hg O.
Oxygène, 0,0732 }

Son hydrate est jaune ; mais il devient rouge en perdant son eau de combinaison à une température très basse. On l'obtient en précipitant un sel de deutoxyde par de la potasse en excès.

Sels de mercure. Les sels de mercure sont très nombreux ; il y en a de basiques, de neutres et d'acides, à base de protoxyde et à base de deutoxyde. En outre, les sels simples donnent naissance à plusieurs sels doubles avec l'ammoniaque. En général, ils se volatilisent ou se décomposent à une température peu élevée. Ils sont complétement réduits par les métaux très oxydables, qui forment pour la plupart un amalgame avec le mercure qui se précipite, ainsi que par certains sels, tels que le protochlorure d'étain. L'hydrogène sulfuré en excès en précipite le mercure à l'état de sulfure noir; mais en quantité insuffisante, il donne un précipité de sulfo-sel ordinairement blanc.

Les *sels de protoxyde* solubles sont incolores ; la plupart des sels insolubles sont blancs ou jaunâtres. Les alcalis les précipitent en noir. Les sous-carbonates les précipitent en jaune, et les bi-carbonates en blanc ; ces précipités noircissent par la chaleur. L'acide hydrochlorique et les chlorures les précipitent en blanc ; enfin l'iodure de potassium y produit des précipités jaunes-verdâtres qu'un excès du précipitant noircit, et qu'un plus grand excès dissout.

Les *sels de deutoxyde* solubles sont incolores ; les sels insolubles sont blancs ou jaunes. Par les alcalis caustiques en excès, ils donnent des précipités jaune-brique ; par l'ammoniaque, des précipités blancs. Les carbonates alcalins les précipitent en rouge-brun. Ils ne précipitent pas par l'acide hydrochlorique et les chlorures, et donnent avec l'iodure de potassium des précipités d'un beau rouge, solubles dans un excès de réactif.

Sulfures. Voyez CINABRE.

Sulfates. Le sulfate de protoxyde s'obtient en traitant du mercure en excès par de l'acide sulfurique concentré. Lorsque l'acide est en excès, on obtient du sulfate de deutoxyde. Le sulfate neutre de deutoxyde est décomposé par l'eau en un sel acide qui se dissout et un sous-sel jaune insoluble, connu sous le nom de *turbith minéral*, et employé en peinture.

Nitrate de deutoxyde. Ce sel, préparé en faisant bouillir de l'acide nitrique en excès sur du mercure, se prend en masse cristalline par le refroidissement. Traité par l'eau froide, il donne un précipité de sous sel blanc, et par l'eau bouillante un précipité jaune, dit *turbith nitreux*, qui paraît être de l'hydrate de deutoxyde.

Protochlorure, mercure doux, calomel. Le protochlorure de mercure est blanc, mais il prend peu à peu une teinte grisâtre à l'air, en se changeant en un mélange de mercure métallique et de deuto-chlorure. Sa densité = 7,156. Il est volatil, mais beaucoup moins que le deutochlorure, et cristallise en se condensant en prismes tétraèdres. Il est extrêmement peu soluble dans l'eau. Il se compose de : 0,8512 de mercure, et de 0,1488 de chlore. On en fait un grand usage en médecine. On le prépare : 1° en triturant 4 p. de deutochlorure avec 3 p. de mercure métallique, et chauffant ensuite le mélange jusqu'à sublimation ; 2° en chauffant un mélange de protosulfate de mercure et de sel marin à une température suffisante pour sublimer le protochlorure qui se produit ; on le purifie en le lavant avec de l'eau pour en séparer la petite quantité de deutochlorure dont il est souvent mélangé.

Deuto-chlorure, sublimé corrosif. Le deuto-chlorure de mercure est d'un blanc satiné, translucide ou même transparent. Il cristallise en prismes carrés ou en aiguilles. Il est très soluble dans l'eau, a une réaction acide, et possède une saveur styptique et métallique très forte et très désagréable : c'est un poison très énergique. Il se compose de : mercure 0,7383, et chlore 0,2617. On l'emploie beaucoup en médecine et dans la teinture ; on s'en sert aussi fréquemment dans les laboratoires comme agent chlorurant. On le prépare : 1° en soumettant à la sublimation un mélange de deuto-sulfate de mercure et de sel marin, en un mélange de 2 p. de proto-sulfate de mercure, 2 p. de sel marin et 1 p. de peroxyde de manganèse ; 2° en chauffant jusqu'à sublimation un mélange de 2 p. de nitrate de mercure, 1 p. de sel marin et 1 p. de sulfate de fer calciné ; 3° en dissolvant du mercure dans de l'eau régale, et faisant cristalliser.

Deuto-iodure de mercure. Ce sel est rouge, fusible et volatil, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool ; l'acide hydriodique et les iodures alcalins. On le prépare par voie de double décomposition, en précipitant un sel de deutoxyde de mercure par de l'iodure de potassium. Il est employé depuis quelques années dans l'impression en couleurs et la teinture, surtout en Angleterre.

Fulminate de mercure. Voyez FULMINATES.

Minerais.

On trouve le mercure dans les terrains anciens, mais seulement en petite quantité. Il n'est abon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dant que dans le grès, les schistes et les calcaires, qui sont superposés au terrain houiller, principalement, à ce qu'il paraît, dans les calcaires jurassiques. Les mines de mercure les plus considérables sont situées à Almaden en Espagne, à Idria en Carniole, à Huancavelica au Pérou, et au Japon.

Les minerais de mercure se réduisent à deux :

1° *Mercure métallique* ou *natif*. Le mercure natif se trouve en gouttelettes de toutes grosseurs disséminées dans la roche, dans des pyrites ou dans des masses de cinabre. Il est toujours à peu près pur. Aux environs d'Idria, on le trouve disséminé dans un schiste argileux noirâtre, intercalé dans un calcaire compacte.

2° *Deuto sulfure, cinabre*. Le cinabre est le minerai de mercure le plus abondant. Il est souvent, il est disséminé dans des schistes argilo-bitumineux ou dans des calcaires compactes, et il est fréquemment accompagné de pyrites de fer et de cuivre. Il est tantôt d'un rouge foncé presque noir et un peu métalloïde, tantôt d'un rouge de cochenille. Il a un éclat adamantin. Il est tantôt transparent, tantôt translucide et même opaque. Il cristallise sous diverses formes qui dérivent d'un rhomboèdre dont l'angle est de 71°45'. Il est tendre et cassant; sa cassure est lamelleuse dans un sens et grenue dans les autres sens; sa poussière est d'un rouge vif; sa densité = 8,1. Au chalumeau, il se sublime dans un tube fermé; le sublimé est noirâtre, mais sa poussière est rouge. Dans un tube ouvert, il donne à la fois un sublimé de mercure et un sublimé de cinabre.

Essai des minerais et matières qui renferment du mercure. Cet essai se fait pour toutes de la même manière, à cela près que lorsque le mercure qu'elles renferment est à l'état métallique on les traite sans addition, et que, dans le cas contraire, on y ajoute 50 p. 100 de limaille de fer, ou 60 p. 100 de flux noir, ou enfin 30 à 40 p. 100 de chaux vive et autant de charbon en poudre, et on recouvre le mélange d'une légère couche de réactif pur, afin que tout soit réduit. On distille alors la matière seule ou convenablement mélangée dans une cornue en verre ordinairement recouverte d'un enduit d'argile et de paille hachée ou de crottin de cheval, et l'on recueille le mercure qui se vaporise, dans le col de la cornue ou dans un récipient qui contient de l'eau. On chauffe graduellement jusqu'à ramollir le verre, en ayant soin de maintenir le dôme de la cornue assez chaud pour qu'il ne puisse pas s'y condenser de mercure, et pour que ce métal passe en totalité dans le col. Quand l'opération est terminée, on coupe le col, puis on en détache le mercure avec une barbe de plume, ou le fait tomber dans l'eau, on chauffe celle-ci pendant quelques instants, si cela est nécessaire, pour que le mercure se rassemble en un seul globule; on décante l'eau, on sèche le mercure à la température ordinaire et on le pèse.

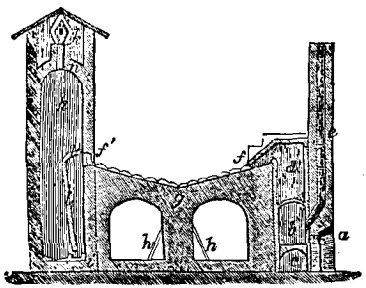
Traitement métallurgique.

Le traitement des minerais de mercure est très simple, et consiste simplement en une distillation faite sans addition, lorsque le minerai ne renferme que du mercure natif, et, dans le cas contraire, avec addition d'un corps désulfurant, qui est ordinairement de la chaux vive ou du carbonate de chaux. Comme ce dernier forme souvent en partie la gangue du minerai, il est alors inutile d'en ajouter. La seule différence consiste dans la forme des appareils distillatoires, qui varient suivant les localités. Nous n'avons donc qu'à décrire les procédés suivis dans les trois principales localités où on traite, en Europe, les minerais de mercure.

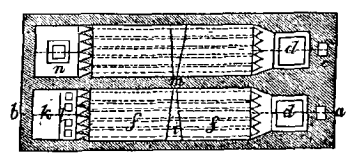
ALMADEN. Les mines d'Almaden et d'Almadenejos, en Espagne, sont connues dès la plus haute antiquité. Pline rapporte que les Grecs en retiraient du cinabre 700 ans avant J.-C., et que de son temps les Romains en extrayaient annuellement 350000 kilogr. de mercure. Depuis 1827, ces mines occupent 700 mineurs, et les usines qui en dépendent 200 ouvriers; la production annuelle est d'environ 1100000 kilogr. de mercure; et quoique ces mines soient exploitées depuis plus de 2000 ans, elles n'ont pas encore atteint une profondeur de 330m. Les minerais ne sont soumis à aucune préparation mécanique et rendent moyennement en grand 10 p. 100 de mercure.

Les fourneaux employés à Almaden sont représentés en coupe fig. 1749, et en plan fig. 1750. Ils sont ordinairement accolés 2 à 2, comme l'indique la fig. 1750. *a*, est la porte de chargement; *b*, le foyer; *c*, le cendrier; *d*, la grille en briques sur laquelle on charge le minerai; *e*, une cheminée par laquelle s'échappe une partie de la fumée. A la suite de chaque fourneau se trouvent six rangées d'aludels placés sur deux plans in-

1749.



1750.



clinés en sens contraire *f*, *f*. Les aludels sont des vases en terre cuite, ouverts par les deux bouts et piriformes, placés de manière à s'emboîter les uns dans les autres, en formant une rangée continue dont on lute les jointures avec de l'argile. On lute également avec de l'argile la tête des six rangées d'aludels sur la chambre *d*, de sorte que les vapeurs mercurielles sont obligées de traverser les aludels pour se rendre dans les chambres de condensation *k*. Le mercure qui se condense dans les aludels se rend à la partie la plus basse *g*, des conduites qu'ils forment, et tombe, par des ouvertures pratiquées à cet effet à la partie inférieure des aludels qui s'y trouvent, dans les rigoles *i*, *i*, et de là dans les tuyaux *h*, *h*, qui le conduisent dans les bassins de réception. Les vapeurs qui ont échappé à la condensation dans les aludels, arrivent dans les chambres de condensation *k*, sont forcées par la cloison *l* à descendre jusqu'au fond de ces chambres en rasant la surface d'une bâche remplie d'eau *i*, remontent dans la chambre *k*, passent dans la cheminée *n*, dans une autre chambre *k'*, et enfin s'échappent dans l'atmosphère.

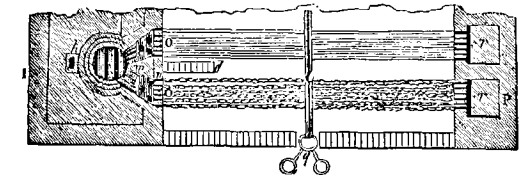
Les fig. 1751 et 1752 donnent le plan et la coupe du fourneau précédent, légèrement modifié; *a*, porte de chargement; *b*, foyer; *c*, grille sur laquelle on charge le minerai par l'ouverture *f*; *d*, ouverture par laquelle on retire le minerai calciné de la chambre *e*; *h*, cheminée. *d* et *f*, sont fermés pendant l'opération. Les va-

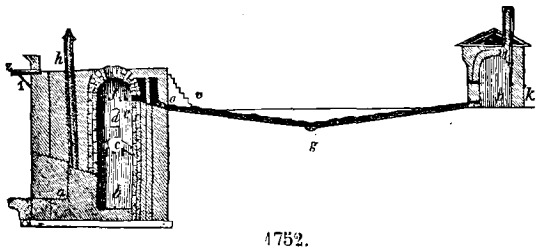
EFERUS - Recherche & Classification numérique

peurs mercurielles passent d'abord dans deux chambres de condensation *m*, puis en *o*, *o*, dans deux systèmes d'aludels, et enfin dans les deux chambres de condensation *p*, d'où elles s'échappent dans l'atmosphère par les cheminées *f*. Le mercure condensé dans les aludels se rend par une rigole *g* dans les bassins de réception *q*; *v*, est un escalier qui conduit des terrasses où sont les aludels sur la plate-forme des fourneaux, qui est légèrement inclinée vers la gouttière *z*. Chaque rangée d'aludels en renferme 25, ce qui en fait en tout 300.

On charge d'abord sur la grille supérieure le gros minerai concassé en morceaux de la grosseur du poing, puis au-dessus du minerai plus menu, et enfin le menu moulé en briquettes avec de l'argile et les débris de vieux aludels pénétrés de mercure, en tout de 9000 à

1751.



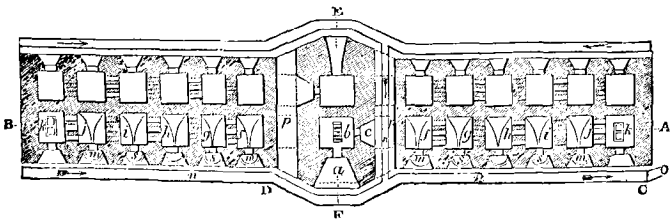


1752.

10000 kilos. On chauffe avec du bois de cistes, arbustes qui croissent dans le pays, d'abord modérément, puis en augmentant peu à peu l'intensité du feu jusqu'à ce que l'on ait chassé tout le mercure, ce qui a lieu au bout de 10 à 15 heures; on laisse alors refroidir le fourneau pendant 3 ou 4 jours, on en retire le minerai distillé, on délute les aludels pour en retirer le mercure qui s'y est condensé, on les remet en place, on recharge le fourneau et on recommence une nouvelle opération.

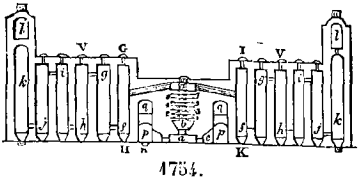
On expédie le mercure obtenu dans des bouteilles en fer forgé qui en contiennent 40 kilogr.

IDRIA. Le gîte de minerai est en amas-couches. On casse et on trie à la main le minerai riche, le reste est bocardé et concentré par le lavage.



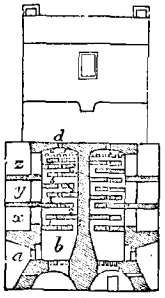
1753.

On employait autrefois à Idria, pour traiter les minerais de mercure, des fourneaux à aludels analogues à ceux d'Almaden. Depuis 1794, on emploie les fourneaux représentés par les fig. 1753 à 1756.



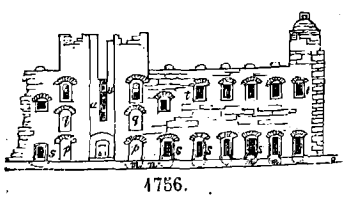
1754.

Ces fourneaux sont accolés 2 à 2, comme l'indiquent le plan fig. 1753 et les deux coupes fig. 1754 et 1755, suivant les lignes AB, EF, du plan; la fig. 1756 en est une élévation. *a*, est la porte par laquelle on charge le combustible



1755.

qui est du bois, sur la grille *b*; 1, 2,.. 7, sept voûtes plates sur lesquelles on charge le minerai par les portes *x*, *y*, *z*; les vapeurs mercurielles se rendent dans les chambres de condensation *f*, *g*, *h*, *i*, *j*, *k*, qui sont au nombre de 12, disposées 6 de chaque côté du fourneau, puis dans les chambres *l*, *l*, et enfin ce qui n'est pas



1756.

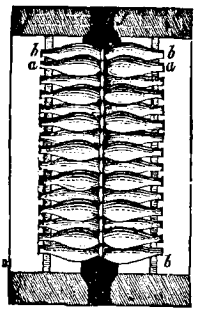
condensé s'échappe dans l'atmosphère. Le mercure condensé dans les chambres coule dans les réservoirs en pierre *s*, *m*, d'où il se rend par la rigole *n n* dans le réservoir C. *p* et *q*, sont des galeries voûtées qui séparent les fourneaux des chambres de condensation.

On place le minerai en morceaux sur les voûtes ou étages inférieurs, et les schlichs pulvérulents dans de petites écuelles en terre cuite de 0m,30 de diamètre sur 0m,08 de profondeur que l'on range sur les étages supérieurs. La charge terminée et les ouvertures *x*, *y*, *z*, bouchées, on allume le feu sur la grille en l'aug-

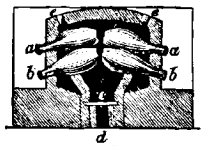
EFERUS - Recherche & Classification numérique

montant peu à peu, jusqu'à ce que tout le mercure soit expulsé, ce qui a lieu au bout de 10 à 12 heures. On laisse ensuite le fourneau se refroidir complétement, ce qui fait qu'on ne peut guère faire qu'une opération par semaine. Un double fourneau, tel que celui que nous venons de décrire, traite dans une seule opération de 50000 à 60000^k de minerai par opération, et produit de 4000 à 4500^k de mercure. Les parois des chambres de condensation se recouvrent de suie mercurielle que l'on enlève à chaque fois pour la retraiter avec les schlichs dans l'opération suivante.

DUCHÉ DES DEUX-PONTS. Les minerais sont disséminés dans le terrain carbonifère des environs de Sarrebrück et sont généralement très pauvres. Les appareils dans lesquels on les traite ont la plus grande analogie avec ceux qui servent à en faire l'essai en petit, comme l'indiquent le plan fig. 1757 et la coupe fig. 1758. Ce sont des cornues en fonte *a*, *b*, disposées sur deux étages, placées au nombre de 30 à 60 sur un même fourneau et inclinées



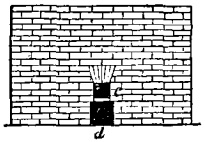
1757.



1758.

de 8° environ ; *c*, est la grille sur laquelle on charge de la houille par les deux extrémités, et *e*, les ouvertures qui donnent échappement à la fumée. La figure 1759 représente l'extrémité du fourneau.

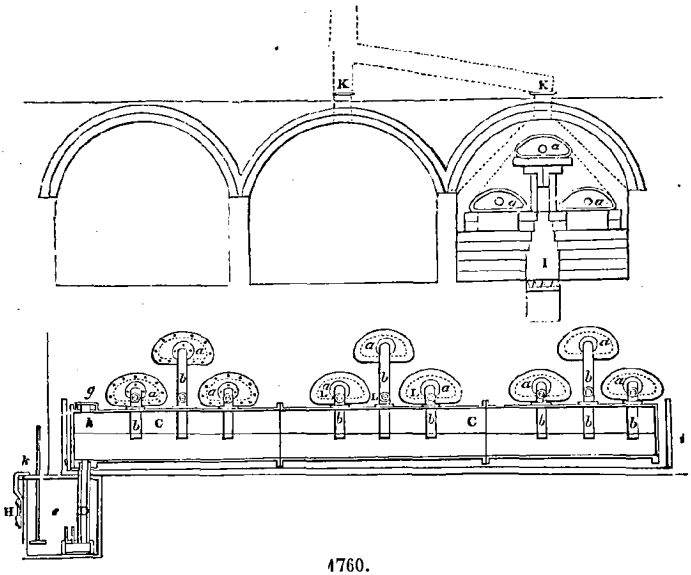
Chaque cornue a environ 0^m,80 de longueur ; on y charge 20 litres du minerai ordinairement mélangé de 1/5 de calcaire. Pour réduire le sulfure, on chauffe très modérément pendant une ou deux heures, puis on lute au col de chaque cornue une allonge en terre cuite, qui n'est pas indiquée sur les figures, et qui est en partie remplie d'eau, et l'on pousse graduellement le feu jusqu'au rouge vif pendant 6 heures ; on laisse alors refroidir, on ôte les allonges, et on agite l'eau pour réunir le mercure, que l'on purifie en l'agitant avec de la chaux vive. On fait environ 15 opérations par semaine, et l'on consomme 48 parties de houille par 100 parties de minerai traité, ou 27 parties de houille par une partie de mercure, ce qui tient à la faible teneur du minerai qui n'est que de 2 à 3 p. 100. Cette méthode donne lieu à une perte en mercure bien moins considérable que les précédentes, mais on ne peut opérer que sur de faibles quantités de minerai à la fois.



1759.

Au lieu d'employer de petites cornues, comme celles que nous venons d'indiquer, une compagnie anglaise a établi à Obermoschel l'appareil représenté dans les fig. 1760, 1761 et 1762, qui en donnent deux coupes et une élévation. Cet appareil se compose de trois fourneaux accolés et voûtés (fig. 1762) renfermant chacun trois cornues en fonte *a*, *a*, *a*, de 2^m,20 de long (figure 1761), analogues à celles employées pour la fabrication du gaz d'éclairage. On charge la houille sur la grille I ; la flamme monte d'abord et enveloppe la cornue supérieure, puis redescend baigner les deux cornues inférieures, et se rend, par des canaux situés au-dessous, dans les rampants K, qui la conduisent à la cheminée.

1762.



1760.

L'ouverture de chargement des cornues se ferme comme dans les cornues à gaz ; à l'autre fond est adapté un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tuyau en fonte *b*, de 0m,10 de diamètre qui plonge dans le cylindre condenseur C, jusqu'aux 2/3 de sa profondeur; ce cylindre, de 0m,50 de diamètre sur 6m,50 environ de long, est rempli d'eau jusqu'en *h i* (fig. 1760), de

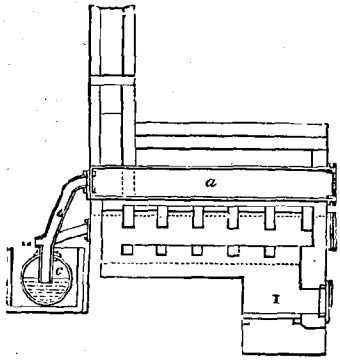


Fig. 1760.

manière à ce que l'extrémité des tuyaux *b* y plonge de 2 à 3 centimètres. On dégage ces tubes lorsqu'on craint une obstruction en y introduisant une tige en fer, par une ouverture latérale, ordinairement bouchée par une vis. En *g*, est une soupape hydraulique par laquelle s'échappent les gaz qui peuvent accidentellement se former pendant la distillation, sans qu'il puisse se perdre en même temps des vapeurs mercurielles. Le condenseur C est légèrement incliné de *i* vers *h*, de sorte que le mercure qui se condense tombe par le tuyau en forme de syphon renversé D, dans la caisse *e*. Le niveau du mercure dans cette caisse est indiqué par le flotteur *k*.

Le prix total de cet appareil n'est que de 5,000 à 6,000 francs.

La distillation s'opère comme celle de la houille, très-rapidement et sans laisser refroidir les cornues. On charge à la fois dans chacune d'elles 250k de minerai, et on passe 8 charges par 24 heures.

Nous citerons enfin, comme convenables pour les gros morceaux de minerai, les fours Hubner montés depuis 1852 à Idria. Ce sont de véritables fours continus, absolument semblables à ceux employés pour la cuisson de la chaux. Le four est cylindrique; il est fermé à la partie inférieure par une grille à barreaux mobiles; au-dessous de cette grille sont des rails sur lesquels roulent des wagonnets que l'on amène pour recueillir les résidus des opérations. A la partie supérieure, il porte une trémie qui le ferme; latéralement, il est muni d'une ouverture, que l'on ferme ou ouvre à volonté, à l'aide d'un registre, qui le fait communiquer avec les chambres de condensation. On charge l'appareil tous les cinq quarts d'heure.

Statistique de la production du mercure.

La production moyenne du mercure peut être établie ainsi qu'il suit :

Almaden (Espagne).	2,500,000 kilog.
Idria, Hongrie et Bohême. . . .	500,000
Duché des Deux-Ponts.	54,000
Huanca-Velica (Pérou).	200,000
Californie.	926,000
Chine (inconnu) minimum. . . .	100,000
Total. . .	4,280,000

Le prix du mercure a une influence notable sur celui de l'or qu'il sert à extraire de ses minerais; c'est dans ce traitement qu'il se perd, lors de l'amalgamation qui permet d'en retirer des quantités tout à fait minimes, qui par suite exige que le mercure parcoure des masses considérables de gangues. Ce prix a été pendant le dix-huitième siècle et jusqu'en 1825 de 4 à 5 francs le kilogramme; il s'est élevé depuis cette époque, par suite de la location des mines d'Almadin à la maison Rotschild, par le gouvernement espagnol, au prix de 10 à 12 fr. le kilogramme. Il a baissé depuis, et les énergiques exploitations de Californie ont ramené le prix à environ un dollar le kilogramme, c'est-à-dire au prix ancien.

MESURES. Voyez POIDS ET MESURES.

MÉTALLURGIE (*angl.* metallurgy, *all.* hüttenkunde). On donne le nom de métallurgie à l'ensemble des procédés que l'on suit pour extraire les métaux de leurs minerais. Ces procédés sont, les uns mécaniques, les autres chimiques. Les premiers qui comprennent le cassage, le triage, le lavage, etc..., constituent la préparation mécanique des minerais; les opérations chimiques sont le grillage et la fusion, par lesquelles on réduit ou on désulfure les métaux, pour les ramener à l'état métallique, en en séparant en même temps les matières étrangères ou gangues que l'on n'a pu enlever par la préparation mécanique.

Quoiqu'il y ait une grande analogie entre les procédés métallurgiques et ceux employés, en DOCIMASIE (voyez ce mot), pour l'essai des minerais, il y a cependant, en général, cette grande différence, que, dans le premier cas, les conditions économiques devant passer par-dessus tout, on est nécessairement conduit à adopter des appareils différents et des fondants ou réactifs que l'on puisse se procurer à bas prix dans chaque lieu d'exploitation; si l'on joint à cela le prix relatif de la main-d'œuvre et des divers combustibles, ainsi que l'abondance ou le manque de force motrice naturelle, on s'expliquera aisément pourquoi les procédés métallurgiques sont si variés suivant les localités, même lorsqu'il s'agit de traiter des minerais de même nature; et l'on concevra aisément que, lorsqu'il s'agit d'établir une exploitation métallurgique, la première chose à faire, et peut-être la plus importante, est une étude approfondie des circonstances locales.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS.

La préparation mécanique des minerais a pour but, comme son nom l'indique, de séparer par des procédés mécaniques la plus grande partie possible des gangues ou matières stériles qui se trouvent mélangées avec les minerais.

Ce travail est fait avec des soins et des frais très-différents suivant la nature et la valeur du métal, la richesse de la mine, la dureté des gangues, etc. Ainsi le fer étant d'un prix peu élevé, les minerais dont on l'extrait doivent être très-riches pour pouvoir être employés et exiger des préparations peu dispendieuses. Les minerais de fer les plus pauvres renferment au moins 25 pour 100 de fer; le métal y existe à l'état d'oxyde, dont la réduction est facile. Le cuivre a beaucoup plus de valeur que le fer: aussi des minerais, qui renferment quelques centièmes de ce métal, sont-ils traités avec avantage comme minerais de cuivre. Enfin des minerais qui renferment quelques millièmes d'argent ou d'or peuvent être exploités avec bénéfices et supporter les frais d'une élaboration dispendieuse.

On fait généralement un premier triage à la main dans la mine même, et les matières stériles que l'on sépare ainsi sont employées sur place pour les remblais. Le minerai extrait au jour est concassé avec des marteaux à main, et soumis au triage avec tout le soin que permet le prix de la main-d'œuvre. On obtient ainsi généralement du minerai riche bon à livrer à l'usine, du minerai à trier, et du minerai de bocard.

Le minerai à trier est un mélange de minerai et de gangue, dans lequel le minerai est en fragments d'un certain volume, mélangés avec du menu de la mine et des boues. On le lave sur une série de grilles, dont les ouvertures sont de plus en plus petites, disposées en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTALLURGIE.

cascade les unes au-dessus des autres, de manière à ce que ce qui traverse l'une des grilles tombe sur la suivante et ainsi de suite. On classe ainsi ce minerai en diverses grosseurs. Ce qui reste sur les premières grilles est trié à la main et donne du minerai bon à fondre, du minerai de bocard, et des matières stériles à rejeter; ce qui reste sur les autres grilles donne du minerai de criblage; et enfin les boues qui traversent les dernières grilles se déposent dans des canaux qui aboutissent à des bassins de dépôt.

Principes de la préparation mécanique à l'aide de l'eau.

Établissons clairement les principes de la préparation mécanique à l'aide de l'eau, ce qui est le cas général.

Supposons que l'on fasse tomber d'une grande hauteur, dans un liquide en repos, des corps de différentes formes, de diverses grosseurs et de densités variées. Ces corps éprouveront des résistances différentes dans leur chute, et n'arriveront pas en même temps au fond du liquide. Il se fera, pendant leur chute, une espèce de triage, qui sera très-manifeste dans le dépôt qui se formera.

Admettons d'abord que tous ces corps ont des formes semblables et des surfaces égales, et qu'ils ne diffèrent que par leurs densités. Comme la résistance qu'un corps éprouve en se mouvant dans un liquide ne dépend que de la forme et de l'étendue de sa surface, et nullement de sa densité, les corps les moins lourds se trouveront en retard sur les autres, pendant leur chute à travers le liquide, et arriveront les derniers à la partie inférieure. Le dépôt des matières au fond du liquide se composera donc des diverses couches, stratifiées d'après leur densité. Les corps les plus denses se trouveront au bas, et les moins denses formeront les couches supérieures.

Supposons, au contraire, que les corps qui tombent dans le liquide aient des densités égales; supposons de plus qu'ils aient des formes semblables, qu'ils soient tous sphériques ou cubiques, par exemple, mais de grosseurs différentes. Leurs poids seront proportionnels à leurs volumes, tandis que les résistances qu'ils éprouveront de la part du liquide sont proportionnelles à leurs surfaces, que nous admettons être semblables et même conserver la même orientation. Or, les volumes varient comme les cubes des dimensions homologues, tandis que les surfaces ne varient que comme les carrés des dimensions. Les poids de ces corps sont donc proportionnels aux cubes d^3 d'une de leurs dimensions, et les résistances opposées par le liquide sont seulement proportionnelles au carré d^2 de cette dimension. Si M et m représentent les volumes de deux corps ayant la même densité, D et d leurs dimensions homologues, les poids sont proportionnels à $M\delta$ et à $m\delta$ ou à $D^3\delta g$ et à $d^3\delta g$; δ représentant la densité des corps et g l'intensité de la gravité. Les résistances du liquide sont proportionnelles à D^2 et d^2. Les rapports de celles-ci aux forces motrices sont plus grands pour le plus petit que pour le plus gros, car ils sont pour ce dernier $\frac{aD^2}{D^3\delta g}$ ou $\frac{a}{D\delta g}$ et pour le plus petit $\frac{ad^2}{d^3\delta g}$ ou $\frac{a}{d\delta g}$, a étant le coefficient de résistance par unité de surface. Si d est le dixième de D, si $D = 10\ d$, la première expression sera le dixième de la seconde.

Les corps les plus gros arriveront donc les premiers au fond du liquide, et le dépôt sera formé par des couches disposées suivant l'ordre de grosseur des corps; les plus gros occupant le fond.

Enfin, supposons que les corps aient la même densité et des volumes égaux, mais que leur forme soit différente: par exemple, que les uns soient cubiques et que les autres aient la forme de lamelles rectangulaires aplaties. Les lamelles auront une étendue de surface plus grande que les cubes, et éprouveront par conséquent une plus grande résistance dans leur chute à travers le liquide. Les cubes arriveront donc les premiers au fond, et les lamelles se déposeront par-dessus. S'il y a des lamelles plus ou moins aplaties, il est clair que les plus plates occuperont la partie supérieure du dépôt.

La première chose à faire est donc de chercher à remplir les conditions d'égalité de dimensions en classant les fragments produits par les appareils de concassage, par grosseur, au moyen de cribles, de trommels. A cette opération doivent succéder des appareils de lavage convenables; la chute dans l'eau en repos est insuffisante puisqu'elle est trop influencée par la forme des fragments qui détermine en partie la résistance du liquide, et elle ne s'applique guère à la partie la plus fine des minerais broyés. L'augmentation de la surface extérieure, répondant à un accroissement de la résistance opposée par le liquide, peut faire compensation à une plus grande densité et l'ordre de dépôt dépendant à la fois de la densité et de la forme des fragments ne fournit plus le moyen de classement cherché.

Si, au lieu d'employer un liquide en repos, on s'en sert à l'état de mouvement, l'influence des formes des fragments augmente, et on peut arriver à un classement suivant l'ordre des dimensions, en même temps que suivant l'ordre des densités. Ainsi de l'eau se mouvant horizontalement entraînera d'autant plus loin des fragments qu'on y fera tomber que leur section sera plus grande, et par suite, par l'application alternative de la chute libre dans un liquide sans vitesse et de la chute libre dans un liquide en mouvement, on parvient à effectuer la séparation par densité, le premier mode séparant surtout par différences de densité, le second par différences de grosseurs.

Le mouvement vertical de l'eau, entraînant plus loin les corps les plus légers que les plus denses, sert surtout, par la multiplication des chutes dans le liquide, à conduire à un classement avantageux. C'est sur ce principe que fonctionnent les appareils les plus perfectionnés introduits dans la préparation des minerais, les cribles à secousses, qui seront décrits ci-après. La résistance du liquide, étant proportionnelle au carré de la vitesse, est minime à l'origine du mouvement de chute, ce qui permet d'établir le principe assez délicat sur lequel repose leur fonctionnement, comme celui des cribles en général, à savoir: que des fragments de minerai de densité et de dimension différentes prennent, à l'origine de leur chute et pendant des temps très-courts, des accélérations qui sont indépendantes de leurs dimensions.

On utilise aussi avec avantage le frottement des minerais soumis à un courant d'eau sur des surfaces planes. Un fragment de minerai placé sur un plan incliné et soumis à l'action d'une nappe d'eau coulant sur la surface restera en repos ou sera entraîné, suivant que l'action du liquide sur ce corps sera inférieure ou supérieure à la résistance au mouvement, due au frottement, la première dépendant de la surface du fragment, la seconde de son poids. Le classement ainsi obtenu sur les tables dormantes se rapproche donc de celui obtenu par la chute libre.

Enfin, dans les tables à secousses, la surface plane, sur laquelle coule l'eau entraînant le minerai, est soumise à une série de chocs. Le classement, produit ainsi qu'il vient d'être dit, se trouve modifié par l'effet des chocs qui tendent à opérer un classement par densité.

Tels sont les principes sur lesquels reposent les principaux appareils employés dans les ateliers de préparation mécanique, dont nous allons donner ci-après la description.

Comme le point de départ de ce travail est la diffé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

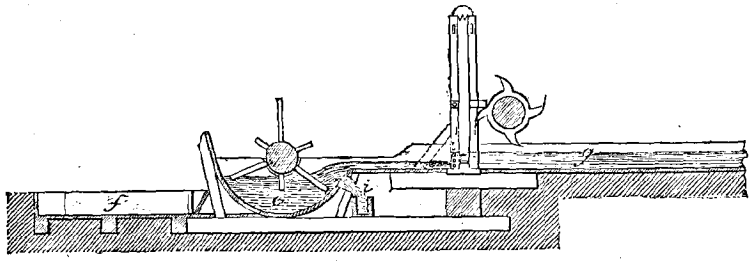
rence de densité des minerais métalliques et de leurs gangues, il est bon de connaître les densités des corps qui se présentent le plus souvent, la séparation étant évidemment d'autant plus facile que la différence est plus grande. Nous les donnerons ici.

Or plus ou moins argentifère. .	12 à 20	
Mercure.	13,6	»
Argent.	10,4	»
Cuivre.	8,4	9
Galène.	7,5	»
Argyrose (argent sulfuré). . . .	6,9	7,2
Wolfram.	7,1	7,3
Cassitérite (étain oxydé). . . .	6,8	7,1
Cinabre (mercure sulfuré). . . .	6,7	8,2
Mispickel (pyrite arsenicale). .	6	6,2
Pyrite de fer.	5	5,2
Cuivre gris.	5	5,1
Antimoine sulfuré.	4,6	»
Sulfate de baryte.	4,3	4,7
Blende.	4,1	»
Siderose (carbonate de fer). . .	3,6	3,9
Calamine.	3,3	3,6
Spath fluor.	3,1	»
Carbonate de chaux.	2,6	3,0
Feldspath.	2,5	2,9
Quartz.	2,5	2,7
Gypse.	2,2	2,4

Débourbage. La première opération et souvent la seule à laquelle doivent être soumis certains minerais argileux est le débourbage, au moyen duquel on les débarrasse de la terre qui les enveloppe. Tel est généralement le cas pour les minerais de fer qui ne sont soumis qu'à un simple débourbage. Lorsqu'on a une certaine quantité d'eau à sa disposition, et qu'il y a une grande quantité de minerai à débourber, on emploie des machines qui portent le nom de *patouillets*, auxquelles sont annexés des bocards, lorsque le minerai est du minerai en roche.

Il y a des patouillets à une et à deux cuves, suivant la force motrice dont on dispose. Une cuve de patouillet présente trois orifices : 1° l'orifice supérieur par où arrive l'eau alimentaire; 2° l'orifice latéral, placé un peu plus bas que le précédent, et par lequel s'écoule constamment l'eau sale; 3° l'orifice inférieur, par lequel le minerai lavé se rend dans un bassin où l'on achève de le purifier. On charge peu à peu la cuve à la pelle, lorsqu'il s'agit de débourber du minerai en grains; puis on y fait tourner un axe muni de bras en fer dont le mouvement, joint à celui de l'eau qui se renouvelle sans cesse, sépare et entraîne les matières argileuses; on ouvre ensuite l'orifice inférieur, et l'eau entraîne le minerai débourbé dans le bassin où l'on achève de le laver à la pelle. Lorsque le minerai est en roche ou plutôt en rognons caverneux retenant de l'argile, on

Fig. 1765.



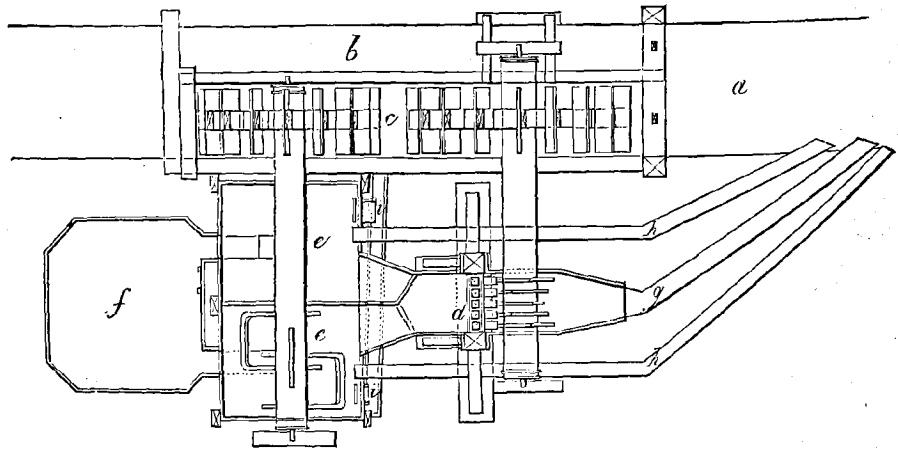


Fig. 1766.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

emploie un patouillet à deux cuves auxquelles est annexé un bocard à grille, tandis que l'une des cuves reçoit les produits de bocardage, on lave dans l'autre les produits qui y ont été reçus, et on les fait écouler dans le bassin où ils sont soumis à la dernière préparation. Au lieu de charger directement, comme précédemment, le minerai dans les cuves, on le fait arriver sous les pilons du bocard, d'où il est entraîné au fur et à mesure, à travers la grille, dans les cuves du patouillet. Les fig. 1765 et 1766, donnent le plan et la coupe des patouillets à deux cuves avec bocard à mines du département de la Meuse : *a*, canal d'amenée de l'eau ; *b*, coursier de la vanne de décharge ; *c*, coursier des deux roues motrices ; *d*, bocard à grille ; *e*, cuves du patouillet, dites *huches ; f*, bassin ou *fosse* destiné à recevoir les produits du bocardage et du lavage ; *g*, *goulette* des pilons ; *h*, *rafratchissoirs ; i*, rigole de décharge des huches.

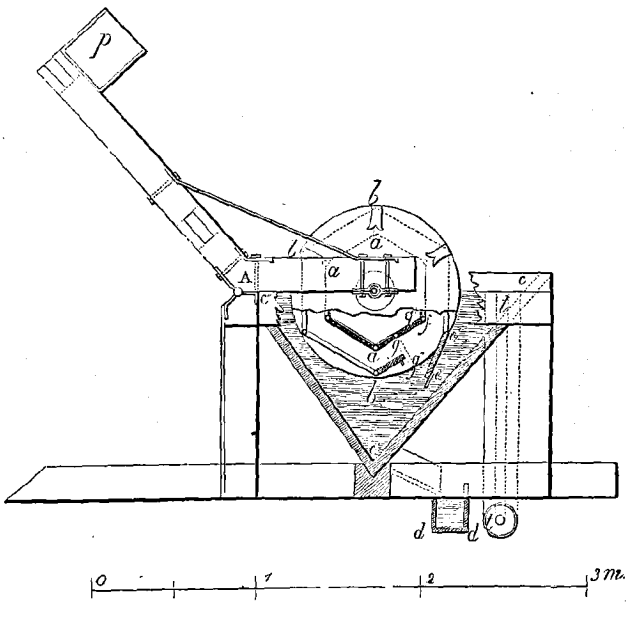
Lorsqu'il faudrait aller trop loin pour trouver une quantité d'eau suffisante pour alimenter un patouillet, on emploie souvent des *lavoirs à bras*, qui ont la forme de prismes droits à base trapézoïdale, placés horizontalement, et ayant de 3 à 7m de longueur sur 1 à 3m de largeur et 0m,3 à 0m,7 de profondeur. Il y a toujours deux ouvriers travaillant en même temps à un lavoir ; le minerai de fer brut est d'abord placé en tête du lavoir, sur l'un des côtés, en un tas qui repose en partie sur le bord du lavoir. Par un travail analogue à celui que l'on fait pour gâcher du mortier, l'un des ouvriers pousse le minerai sous le courant d'eau, en même temps qu'il écrase les pelottes d'argile, dans lesquelles le minerai se trouve engagé ; tandis que l'ouvrier placé de l'autre côté attire le minerai à lui, contre le courant, et le relève dans le coin et sur le bord du lavoir. Lorsque tout le minerai a passé d'un côté du lavoir à l'autre, les ouvriers changent de rôle et *repassent* le minerai une seconde fois ; jamais le minerai préparé ne s'obtient par une seule opération ; suivant la pureté du minerai brut et la consistance de la gangue qui l'accompagne, on le repasse de deux à six fois. Pendant l'opération même du lavage, les laveurs font un triage à la main et rejettent les pierres et les pelotes d'argile stérile.

Lorsque les circonstances locales le permettent, on débourbe souvent les minerais de fer, sur le lieu même de l'exploitation ou à une très faible distance, sur des *lavoirs mobiles* composés simplement de trois planches, sur lesquelles on amène l'eau par de petites rigoles grossièrement établies.

Dans le Berry, où l'on exploite du minerai de fer en grains d'alluvion, formant des espèces de poches à une faible profondeur au-dessous du sol, on extrait généralement le minerai à ciel ouvert, pendant l'été, et on l'accumule sur le bord des trous, où l'action des agents atmosphériques tend à déliter l'argile ; puis, au printemps suivant, lorsque les trous sont remplis d'eau, on y lave le minerai, en le mettant dans un panier à claire-voie, dit *égrappoir*, suspendu à l'extrémité d'un levier à contre-poids, et que l'on fait osciller de haut en bas dans l'eau. Les boues qui se séparent se déposent dans l'excavation qu'a produite l'exploitation du minerai et servent à la remblayer.

Enfin on emploie aussi pour le lavage des minerais de fer un tambour ou *trommel* à axe horizontal ou incliné, à claire-voie, portant, dans le premier cas, une cloison héliçoïdale, et tournant dans une cuve pleine d'eau. On charge le minerai brut à une extrémité, et il sort débourbé à l'autre bout. Ce lavage est continu et ne dépense que très peu d'eau.

Dans la Haute-Silésie, on débourbe souvent le minerai de plomb dans un *trommel hexagonal*, représenté en coupe (fig. 1767) et formé de deux trommels concentriques à claire-voie dont celui intérieur a les plus grosses mailles. Le minerai ayant été introduit dans le trommel intérieur *a*, *a*, lorsqu'on fait tourner celui-ci dans la cuve en bois *c c' c''*, dans laquelle il arrive constamment un filet d'eau par le tuyau *t t'*, de telle sorte qu'il y en ait toujours au niveau de l'axe du trommel, ce qui s'échappe du trommel intérieur *a a*, se rend dans le trommel extérieur *b b* ; enfin ce qui traverse ce dernier tombe au fond de la cuve *c c' c''*, et les parties métalliques se déposent dans la conduite *d*, à l'état de



1767.

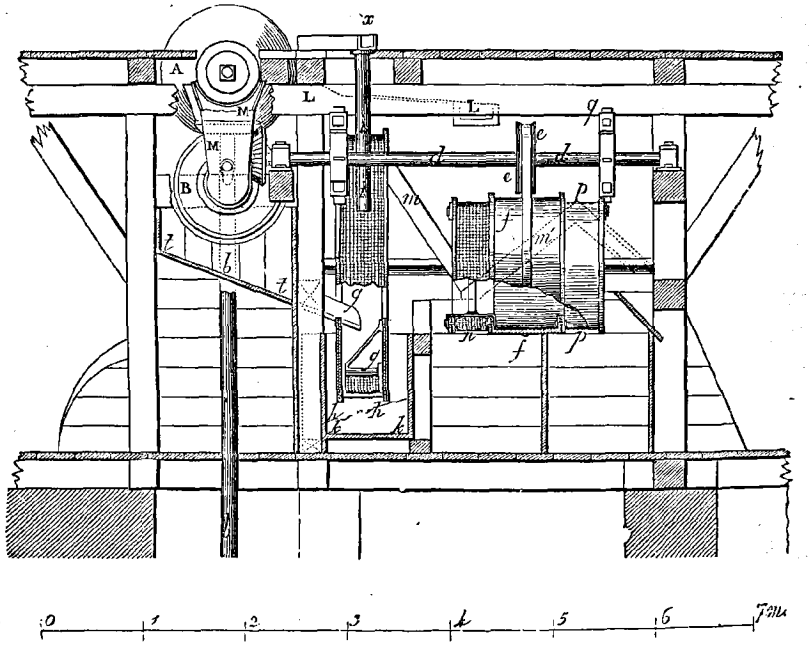
schlamms. Quand on veut enlever du trommel les matières qui y sont restées, on le fait basculer autour de A, en pesant un peu sur le contre-poids *p* ; on ouvre la porte *e e'*, et on fait tomber ce qui était resté entre les deux trommels ; puis on retire le boulon *f*, la porte *g g'*, s'ouvre et vient en *g g''*, et ce qui était

EFERUS - Recherche & Classification numérique

resté dans le trommel intérieur *a a*, tombe à son tour.

Pour terminer ce qui est relatif au débourbage et au classement des minerais par ordre de grosseur, opérations qui doivent précéder le lavage proprement dit, nous allons décrire en peu de mots la série d'appareils, complet et fort bien combiné, que M. de Carnall a appliqués avec le plus grand succès au lavage des minerais de plomb et de zinc dans la Haute-Silésie, et qui sont représentés dans les deux fig. 1768 et 1769.

On charge d'abord à la pelle, par l'ouverture F, le minerai à débourber dans un trommel plein A, qui est



1768.

construit en tôle, avec une cloison héliçoïdale également en tôle, et qui fait environ 12 à 13 tours par minute : on peut le faire tourner dans un sens ou dans l'autre, au moyen d'un manchon d'embrayage monté sur l'axe moteur *b*. On laisse en même temps arriver, par le tuyau *x'*, de l'eau chaude de condensation d'une machine à vapeur voisine. Le chargement, qui dure 5 minutes, étant terminé, on imprime au trommel, pendant 10 ou 15 minutes, un mouvement de rotation tel qu'un point de la surface héliçoïdale soit poussé de E vers F, puis on change le sens de la rotation en faisant arriver de l'eau par le conduit *x*. Quand le minerai est très impur, on le promène ainsi à plusieurs reprises dans le trommel pour le débarrasser autant que possible des schlamms, qui, entraînés au travers d'une grille très fine en fil de fer E, se rendent, par un conduit I placé au-dessous, dans les bassins de dépôt. Quant au minerai qui sort du trommel plein, il tombe, par le canal en tôle M, dans le trommel de séparation à claire-voie B, et dans sa chute il est lavé par l'eau qui s'écoule du conduit *x*. Le trommel B, mû par l'axe *h* au moyen d'un engrenage conique, est légèrement incliné à l'horizon, et se compose de trois parties dans lesquelles l'écartement des barreaux va en augmentant. A sa partie supérieure, dans la portion pleine, il porte une cloison héliçoïdale en tôle, qui a pour objet d'arrêter le minerai dans sa chute, et de le faire mieux laver par le courant d'eau. On obtient ainsi du minerai à trier qui est sorti par l'extrémité du trommel à claire-voie, du minerai de criblage qui a passé à travers les deux premières grilles et du minerai fin que l'on achève de débourber dans l'appareil de séparation que nous allons décrire.

Cet appareil se compose d'un axe *d d*, qui reçoit le mouvement de l'axe moteur *b*, par un engrenage conique ; cet axe, à l'aide de la poulie *e e*, et d'une courroie sans fin, fait tourner le tambour *f* et trois roues *g g*, *n n*, *p p*, montées sur le même arbre. Ces roues font neuf tours par minute ; l'axe et le bras sont en fer et la couronne en bois ; les mailles des treillis métalliques de ces roues ont des diamètres respectifs dans les rapports 1, 2 et 4 ; à 0m,25 environ de la circonférence de la roue *g*, *g*, se trouve un fond en bois intérieur interrompu en un de ses points, où il présente un rebord incliné en *h*. Le minerai fin, arrivant du trommel B, par le plan incliné *t t*, tombe d'abord dans l'intérieur de la roue *g g*, sur le fond en bois, et s'y accumule à la partie inférieure ; lorsque la partie de la circonférence dans laquelle ce fond est interrompu passe en bas de la verticale, le minerai tombe sur la toile métallique en vertu du mouvement de la roue et de la présence du rebord *h*, y adhère dans le premier moment et est entraîné avec elle ; mais bientôt de l'eau chaude venant du condenseur de la machine à vapeur est introduite entre les deux couronnes par l'ouverture *h'*, au moment où celle-ci passe devant le conduit d'arrivée *i*, et le minerai reçoit à travers le grillage le choc de la lame d'eau qui le détache de la toile et le débar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

passe en même temps des schlamms qu'il retient quoiqu'en petite quantité, tandis que le frottement des morceaux les uns contre les autres et contre la toile métallique sur laquelle ils remontent achève le lavage. Cela continue ainsi pendant un tour entier de la roue

d'une autre plaque de fonte fixe et verticale; elle s'en éloigne par un mouvement inverse. Les gros morceaux de minerai, introduits entre ces sortes de mâchoires, en sortent concassés à la partie inférieure.

Cet appareil peut concasser par jour, avec une force

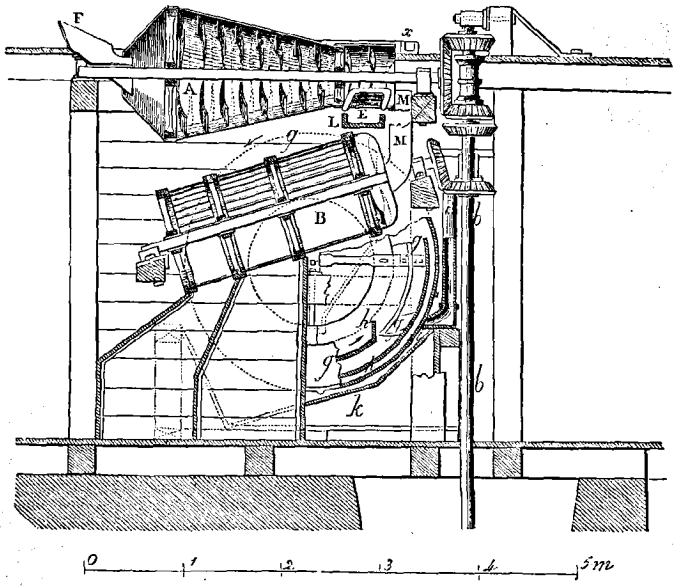


Fig. 1769.

jusqu'à ce que la cloison, qui sépare le fond en bois de la couronne métallique, entraîne le minerai qui, arrivé au point culminant, tombe dans la deuxième roue *n n*, par le canal en bois *m*. L'eau employée tombe sur le plan *k*, et s'écoule ensuite par une porte à vanne dans un canal terminé par un ressaut, et de là dans les bassins de dépôt. Un enfant agite constamment en *h* l'eau qui y tombe pour faciliter la séparation des parties métalliques et des parties argileuses, tandis qu'un ouvrier remonte sans cesse, à la pelle et dans le même but, les matières contre le cours de l'eau. On obtient ainsi des schlamms riches et des schlamms pauvres. Le minerai qui s'est rendu dans la roue *n n* y est traité d'une manière analogue, à cela près qu'ayant déjà été débourbé il n'est pas nécessaire d'employer un nouveau courant d'eau. Ce qui n'a pu traverser les mailles passe dans la roue *p p* par le canal *m'*, et tombe à la fois sur le sol de l'atelier par le canal *m''*. On obtient ainsi trois sortes de minerai de criblage de grosseurs différentes.

Broyage. Nous avons empiété, dans ce qui précède, sur les méthodes de classement, nécessairement les premières de toute préparation mécanique. Nous allons y revenir.

Les minerais en gros grains disséminés dans une gangue pierreuse doivent être réduits en particules plus petites par des appareils très-résistants.

Concasseur américain. Ce puissant appareil est une véritable presse à genou et à excentrique, dont la partie mobile est une forte plaque de fonte tournant autour d'un axe (fig. 1770). Son autre extrémité est, au moyen du relèvement par le mouvement de l'excentrique calé sur l'arbre moteur, de la rotule du genou et par suite du redressement de leviers presque horizontaux, rapproché de 8 à 10 chevaux, 75 à 80 tonnes de minerai dur, à une grosseur de 4 à 5 centimètres.

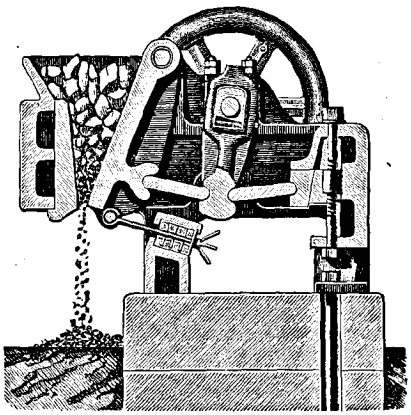


Fig. 1770.

Cylindres broyeurs. On emploie fréquemment, surtout pour le broyage des minerais dont la gangue n'est pas très-dure, des cylindres broyeurs.

La figure 1771 représente des *cylindres broyeurs* employés en Angleterre sur la mine de cuivre et étain de Pembroke. Des chariots AA, roulant sur chemin de fer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et mus au moyen d'une corde et d'une poulie de renvoi par la machine à vapeur motrice, amènent le minerai à

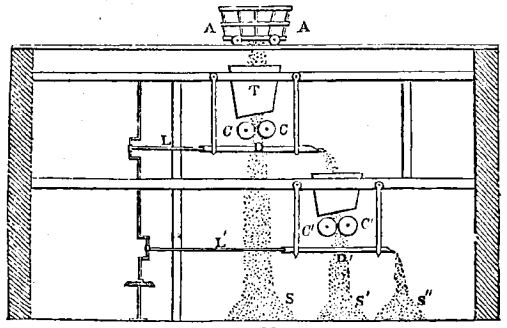


Fig. 1771.

broyer au-dessus de l'appareil. En les ouvrant sur le côté, on fait tomber le minerai dans la trémie T, qui le distribue immédiatement entre les cylindres unis C, C, d'où il tombe sur le tamis D, qui reçoit un mouvement de va-et-vient dans le plan horizontal par l'intermédiaire d'un bras de levier L. Une partie du minerai le traverse et forme un tas S; le minerai plus gros tombe entre les cylindres inférieurs C', C', analogues aux cylindres C, C, et de là sur le tamis à secousses L' D', qui le partage en deux tas S' et S''. Les trous des cribles D, D', étant de même diamètre, les produits S, S', sont de même nature et donnent du schlich bon à fondre, ou du minerai de criblage, suivant la matière qui a été écrasée. S'' est broyé de nouveau; on le rejette dans la trémie T, avec du minerai brut. Le diamètre des cylindres supérieurs est de $0^m,45$; celui des cylindres inférieurs de $0^m,40$.

Tous les divers cylindres, devant être très-durs, sont en fonte blanche et durent en moyenne un mois; ils font de 10 à 15 tours par minute selon la dureté de la substance à écraser. Cet appareil, mû par une machine à vapeur de 20 chevaux, broie, par 24 heures, $500^{m.q.}$ de minerai riche; il écrase moins de minerai pauvre dans le même temps.

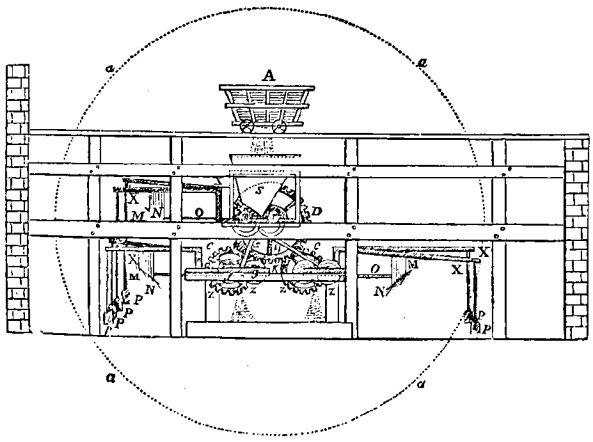


Fig. 1772.

La figure 1772 représente les cylindres à broyer généralement employés en Angleterre pour concasser le minerai de plomb. Le mécanisme se compose d'une paire de cylindres cannelés x, x, et de deux paires de cylindres unis $z\,z$, $z\,z$, qui servent les uns et les autres au broyage du minerai. Les deux cylindres de chacune de ces trois paires tournent simultanément en sens inverse au moyen des roues dentées que chaque cylindre porte sur son axe et qui engrènent deux à deux l'une dans l'autre. Le mouvement est donné par une seule roue hydraulique dont le cercle $a\,a$ représente la circonférence extérieure. L'un des cylindres cannelés x est placé sur le prolongement de l'axe de la roue motrice, qui porte en outre une roue dentée en fonte D, laquelle engrène avec les roues dentées e, e, fixées sur les axes de deux des cylindres $z\,z$, $z\,z$. En dessus des cylindres cannelés se trouve une trémie S, qui leur verse, au moyen d'un mécanisme particulier, le minerai qui est apporté par des chariots A. Ces chariots roulent sur un chemin de fer et viennent se placer au-dessus de la trémie et s'y décharger au moyen d'une trappe qui s'ouvre par dehors au milieu de leur fond. Au-dessous de la trémie, il y a une petite auge dans laquelle descend de lui-même le minerai qu'elle contient, et qui le verse sans cesse sur les cylindres par l'effet des secousses continuelles que lui imprime une tringle de bois, analogue au babillard des moulins à farine, qui y est attachée et qui s'appuie sur les dents de la roue m. On règle la position du sabot de manière à ce qu'il ne tombe jamais sur les cylindres assez de minerai pour les engorger, et on y fait arriver un petit filet d'eau qui se répandant ensuite sur les cylindres les empêche de s'échauffer. Après avoir passé entre les cylindres cannelés, le minerai tombe sur des plans inclinés w, w, qui le versent sur l'une ou l'autre paire de cylindres unis.

Les cylindres tant cannelés qu'unis sont en fonte coulée en coquille; leurs tourillons se meuvent dans des crapaudines de laiton fixées dans les supports en fer K, attachés par des boulons à la charpente qui sert de base à tout le système. Ces supports présentent chacun une longue mortaise à l'une des extrémités de laquelle est solidement fixée une des boîtes f de l'un des cylindres, et dans le reste de laquelle glisse une des boîtes g de l'autre cylindre; disposition qui permet aux deux cylindres d'être en contact ou de s'éloigner d'une petite quantité suivant que les circonstances l'exigent. Le cylindre mobile se rapproche du cylindre fixe au moyen de leviers en fer X, qui portent à leurs extrémités des poids P, et qui s'appuient sur des coins M, lesquels peuvent glisser sur un plan incliné N. Ces coins pressent alors la barre de fer O, et font rapprocher le cylindre mobile en poussant la crapaudine qui supporte son axe. Les choses étant ainsi disposées, s'il arrive qu'un fragment très-gros et très-dur vienne à se présenter à une des paires de cylindres, l'un d'eux s'écarte et le laisse passer sans que la machine éprouve aucun dommage.

Les cylindres broyeurs, tant unis que cannelés, ne peuvent servir que pour des minerais qui s'écrasent assez facilement. Les derniers, qui saisissent plus facilement les morceaux, conviennent mieux pour la première paire, comme cylindres dégrossisseurs; les cylindres unis, placés au-dessous, servent à broyer plus fin.

Bocards. Les bocards agissant par choc, utilisent mal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTALLURGIE.

la force motrice, mais étant successivement soulevés, ils étaient autrefois les appareils broyeurs par excellence, quand on ne disposait que de faibles puissances motrices dans la plupart des exploitations. Nous avons déjà donné (fig. 1765 et 1766) le plan d'un *bocard à grille* pour le concassage des minerais de fer hydroxydés argileux, consistant en une batterie de cinq pilons.

Lorsqu'on bocarde à sec du minerai bon à fondre pour le concasser ou du minerai en gros grains disséminés, pour éviter l'inconvénient du bocard de pulvériser le minerai par la répétition des chocs, les parois latérales de l'auge des pilons sont enlevées et remplacées de chaque côté par des grilles horizontales. Lorsqu'on bocarde à l'eau des minerais en gros grains disséminés, on remplace la paroi antérieure de l'auge par une grille qui règne sur toute sa hauteur. Afin d'éviter autant que possible la formation des schlamms, il convient de nettoyer souvent les grilles et de faire arriver beaucoup d'eau dans les auges. M. Juncker a reconnu qu'il était encore préférable de supprimer complétement la grille ci-dessus, ainsi que la paroi qu'elle remplace, et de bocarder à grande eau; on tamise ce qui se dépose à la tête du canal du bocard, et on repasse sous les pilons le minerai non bocardé. En introduisant cette méthode à Poullaouen, M. Juncker avait réduit la proportion des schlamms formés, et, par conséquent, la perte en minerai dans le rapport de 6 à 1.

Lorsque le minerai à concasser ou à pulvériser n'est pas trop dur, on doit toujours préférer aux bocards les cylindres broyeurs unis ou cannelés, qui donnent moins de schlamms et exigent moins de force motrice pour produire le même travail.

Lorsque le minerai est en grains très-fins disséminés et que, par conséquent, il faut bocarder très-fin, on incline légèrement l'auge des pilons et on fait arriver l'eau et le minerai à la partie supérieure, de manière à ce que le minerai passe successivement au-dessous de tous les pilons de la batterie; à l'autre extrémité de la paroi antérieure de l'auge se trouve une ouverture, grillagée ou non, par-dessus le bord de laquelle l'eau s'écoule en entraînant les particules du minerai assez fines pour être tenues en suspension, et qui se déposent ensuite, dans les canaux du bocard, en schlamms de diverses grosseurs. La finesse des schlamms produits dépend de la quantité d'eau que l'on fait arriver dans l'auge et de la hauteur du seuil de l'ouverture précitée au-dessus du fond de l'auge.

Les bocards sont ordinairement alimentés par des caisses mobiles à fond incliné dans lesquelles on charge le minerai et qui reçoivent de légères secousses chaque fois que l'une des flèches de la batterie du bocard retombe, au moyen d'un mentonnet placé sur cette flèche.

Meules. Lorsqu'il s'agit de réduire le minerai en farine pour ainsi dire impalpable, comme lorsqu'il doit ultérieurement être soumis à l'amalgamation, on emploie des meules verticales tournant sur un plan horizontal, ou, le plus souvent, des meules horizontales en pierre dure, comme du granit, de $1^m,20$ environ de diamètre, tournant avec une grande vitesse et entièrement disposées comme les meules anglaises des moulins à farine.

Tamis à secousses. La séparation du minerai en morceaux d'égale grosseur s'exécute souvent au moyen de tamis à secousses (fig. 1773). Cet appareil se compose de deux caisses inclinées placées l'une au-dessus de l'autre et qui sont mises en mouvement par une roue hydraulique, au moyen des deux tringles *l* et *u*, assemblées à l'une de leurs extrémités. Un canal *s* amène de l'eau dans la première caisse; une partie de cette eau retombe, par le canal *g*, dans la caisse inférieure. Le fond des caisses est formé par des grilles en fer; les barreaux de la première sont plus écartés que ceux de la seconde. Le minerai est jeté à la pelle dans la caisse supérieure; les secousses imprimées à celle-ci le font

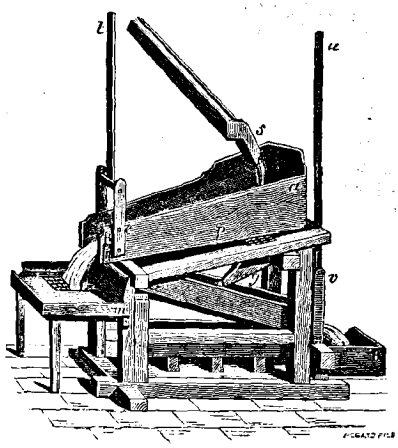


Fig. 1773.

descendre sur les grilles; une partie du minerai tombe à travers les ouvertures, et se rend dans la caisse inférieure. Le minerai est ainsi divisé en trois grosseurs; le minerai, trop gros pour passer par les grilles de la première caisse, tombe sur la table *m;* le minerai qui a traversé la grille de la première caisse, mais qui ne peut passer par celle de la seconde caisse, se rend dans la boîte B; enfin le minerai qui traverse la grille de la seconde caisse tombe dans une dernière boîte placée au-dessous de la grille de celle-ci.

On emploie plus fréquemment aujourd'hui, pour le classement par grosseurs, le trommel.

Trommel. Le trommel ou tamis cylindrique, analogue au blutoir des moulins, dont nous avons donné déjà plus haut un exemple, est l'appareil le plus employé pour le classement par grosseur. Il se compose d'une enveloppe cylindrique ou conique, en tôle perforée (dont la fabrication, facile à l'aide de POINÇONNEUSES, est peu coûteuse) pouvant tourner autour de son axe. L'appareil est incliné de façon que le minerai broyé, arrivant à l'intérieur avec un courant d'eau, descende progressivement jusqu'à l'autre extrémité où se déverseront les fragments trop gros pour passer à travers les ouvertures de la tôle. Ces ouvertures sont en général croissantes de la partie supérieure à la partie inférieure, de sorte qu'en recueillant séparément les matières qui ont traversé ses parois, on obtient diverses catégories de grosseurs. Ce qui sort par le centre du trommel, de dimensions supérieures à celle des plus fortes ouvertures, retourne aux appareils de broyage.

Lavage des minerais. Parlons maintenant du lavage proprement dit, c'est-à-dire de la concentration des matières métalliques par le lavage.

L'outil des laveurs à la main est l'*augette à main* que l'on emploie dans les laboratoires pour enrichir les sables à essayer. Elle est employée par les orpailleurs qui lavent les sables aurifères de certaines rivières du midi de la France, l'Ariége, l'Hérault, etc. L'augette dont ils se servent est une auge en bois ouverte, et dont les rebords vont en s'abaissant sur le devant; elle a ordinairement $0^m,43$ de largeur, $0^m,48$ de longueur et les rebords ont $0^m,108$ de hauteur à la tête, elle est garnie de deux anses. L'ouvrier se place au milieu du courant de la rivière, prend l'augette à deux mains, y

EFERUS - Recherche & Classification numérique

introduit un peu d'eau, puis la frappe sur son genou de manière à mettre les matières en suspension; enfin l'incline de manière à faire couler une partie de l'eau. Les sables, plus lents à se déposer que les parcelles d'or, s'échappent, et l'or se concentre très-près de la tête de l'augette. Il prend une nouvelle quantité de sable, et, après plusieurs opérations semblables, il termine en poussant plus loin le dernier lavage pour enrichir le plus possible le sable aurifère.

On peut laver ainsi des sables ne renfermant que 1/800,000 d'or, quantité moindre que celle qui se rencontre dans tout fleuve qui charrie des traces d'or, dans les dépôts de sable bien choisis, après les grandes crues.

Si les orpailleurs ont à peu près disparu en Europe, leur nombre est devenu immense en Californie, en Autriche, au Mexique, etc., et leur industrie très-profitable.

Comme les laveurs de cendres de nos villes, ils emploient en général une sébile ou un grand cône en tôle ou en zinc très-aplati, la battea, dont la base mesure environ 50 centimètres; au sommet de ce cône est réservée une petite cavité destinée à recevoir les matières lourdes.

Dans cette espèce d'entonnoir, on projette le minerai, puis on plonge le tout dans l'eau, en ayant soin de tenir la base ouverte, assez près de la surface du liquide; cela fait, on délaye d'abord le minerai avec la main, en évitant qu'il s'en échappe la moindre parcelle hors du cône; puis, le délayage achevé, on donne à l'appareil un mouvement giratoire très-rapide. Sous l'influence de ce mouvement, les diverses parties du minerai se meuvent, se déplacent en raison des densités, de telle sorte que bientôt l'or s'accumule au fond, dans la cavité, tandis que les parties terreuses se rapprochent de la surface.

Alors, inclinant le cône par un mouvement de balancement, on fait écouler les matières stériles déposées à la surface. On poursuit ce traitement et, la masse diminuant, on retrouve, dans la cavité, la petite quantité d'or métallique qui existait dans les sables.

Les opérations effectuées ainsi à la main reposent sur les mêmes principes que les appareils mécaniques que nous allons décrire et qui permettent d'obtenir les mêmes résultats à l'aide des forces naturelles, avec une grande économie de main-d'œuvre.

Appareil à colonne. Le lavage des minerais, ainsi qu'il a été dit plus haut, repose essentiellement sur le temps différent que mettent à parcourir un même chemin deux corps de densité différente et de même volume, qui tombent dans l'eau en repos; ou sur le chemin différent qu'ils parcourront sous l'influence de l'eau en mouvement, d'où résulte un classement dont on voit des exemples dans le sable des rivières, qui forme des lits où les grains ont des grosseurs moyennes uniformes. C'est à cette seconde manière d'opérer, plus expéditive, que l'on a recours en général; toutefois, la première est loin d'être sans applications possibles, comme l'a fort bien montré M. Pernolet dans divers mémoires publiés dans les *Annales des mines*. Nous emprunterons le résumé de quelques curieuses applications à M. Landrin fils, qui a beaucoup étudié la question à propos des lavages d'or de Californie.

Les premiers essais de ce genre ont été tentés par un mécanicien nommé Givors. Il employait un tube plein d'eau, qui n'avait pas trois mètres de haut et à peine quarante centimètres de diamètre; il se terminait en bas par un cône, fermé par un appendice cylindrique de 0m,25 à 0m,30 de long, aux deux extrémités duquel se trouvaient deux robinets destinés à retirer les matières métalliques concentrées.

M. Givors agissait sur du sable de rivière de toutes grosseurs; il en prenait une certaine quantité dans laquelle il jetait un certain nombre de paillettes d'or obtenues de monnaies courantes, au moyen de la lime; le tout était bien mêlé, puis jeté dans le tube qu'on avait eu soin de remplir d'eau, après avoir fermé le robinet d'en bas.

Le sable aurifère se mettait de suite en mouvement, ses particules descendaient sous l'influence des densités respectives, l'or se séparait bientôt, mais il entraînait beaucoup de sable, en sorte que la séparation n'était pas nette et tranchée.

Cela tenait à plusieurs causes:

1° La hauteur de trois mètres environ, qui représente la distance à parcourir dans l'eau stagnante, n'était pas suffisante pour que la séparation pût se faire complétement : le sable et le métal tombant verticalement, sans vitesse initiale, puis se mouvant lentement avec des résistances minimes, ne prennent pas instantanément dans leur chute les places qui leur appartiennent dans l'ordre des pesanteurs spécifiques; ils descendent un moment de conserve et ne commencent à se séparer qu'au bout de quelques instants; il n'est donc point étonnant qu'ils arrivent au terme de leur chute à l'état de mélange imparfait, c'est-à-dire dans lequel le métal, naturellement plus lourd, forme la masse dominante, mais mélangé avec beaucoup de sable qu'il faut séparer par le triage à la *sébile*.

2° Le sable aurifère n'était point tamisé; conséquemment les particules soumises à l'appareil de séparation n'étaient point d'égales grosseurs. Or, à densités égales, le temps de la chute des corps dans un liquide en repos est en raison inverse du calibre, en négligeant ici la forme, dont l'influence cependant a une très-grande importance, comme nous le dirons plus loin.

3o Les sables Givors étaient de toutes formes, indépendamment des calibres et de la densité. Or les variations de formes ont sur la durée des temps de chute une influence encore plus prononcée que les variations de calibre; l'allongement des formes entre autres, et surtout leur aplatissement, sont les causes qui contribuent le plus au ralentissement de la descente à travers la colonne d'eau.

Toutes ces causes réunies faisaient du tube Givors une machine fort imparfaite et qui ne pouvait réussir dans la séparation des métaux précieux, à plus forte raison dans celle de l'étain, du plomb, du zinc, etc.

Ce n'était donc qu'un premier essai dans lequel on avait négligé plusieurs conditions de succès.

Moins d'un an après, l'ingénieur Pernolet entreprit de ramener à une véritable théorie le phénomène de la précipitation des corps dans l'eau dormante. Il se servait d'un tube vertical de 6 mètres de hauteur, et tenait compte de la densité, du volume et de la forme. Mais la colonne d'eau n'avait pas encore assez d'élévation, et la séparation s'opérait mal, notamment pour les minerais dont la densité présentait peu de différence avec celle de leur gangue.

Néanmoins, avec ces moyens imparfaits, il fit de nombreux essais et constata avec assez d'exactitude les faits suivants:

1° Quant au volume, en n'employant que des échantillons sphériques de dimensions différentes, le rapport des vitesses acquises est comme la racine carrée de leur diamètre et de leur densité.

Ainsi, pour les différences de diamètres dans le rapport de 1 à 2, les temps de chute varient dans le rapport de 1000 à 1414; ce qui suppose que le temps de la descente ne serait doublé qu'autant que le rapport des diamètres serait de 4 à 1; rapport impossible dans un classement et un criblage bien faits.

2° Quant à la densité, les expériences n'ont pu avoir la même précision. Les variations de vitesse dues à cette cause pour des minerais accompagnés de leur gangue sont plus considérables: ainsi pour la galène comparée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTALLURGIE.

au quartz, les variations peuvent aller au rapport de 100 à 175; pour l'or comparé à ce même quartz, elles vont jusqu'au rapport de 100 à 300.

3° Quant à la forme, on a opéré sur des corps de *même densité* et de *même volume*, et l'on a observé les phénomènes suivants:

La forme sphérique a descendu en 3 à 4 secondes;

La forme cubique en 3 à 4 secondes;

Un cylindre de 0m,013 à 0m,014 d'épaisseur a mis 6,25 secondes à descendre; un échantillon de 0m,007 a mis 6,50 secondes; un de 0m,005 à 0m,006, 7,16.

Les formes prismatiques se sont comportées d'une manière analogue: deux prismes de 0m,008 de diamètre sur 0m,026 à 0m,027 d'épaisseur ont suivi deux voies différentes: l'un a descendu verticalement en 7 secondes; l'autre a éprouvé un mouvement de spirale qui a prolongé le temps de sa chute d'une seconde.

Un prisme de 0m,022 à 0m,023 sur 3 à 4 millimètres d'épaisseur est descendu en 9,25 secondes; tandis qu'un échantillon prismatique de 2 millimètres jeté à plat ou dans le sens de son grand axe n'a mis que 8,33 secondes pour le temps de sa descente.

Les cylindres ont présenté peu de différence avec les prismes: un échantillon de 0m,026 sur 0m,003 à 0m,004 d'épaisseur a parcouru les 6 mètres en 9,50 secondes, et un autre de 0m,642 sur 0m,00125 a employé 10,67 secondes à cette chute.

Il ressort de ces expériences que la forme sphérique est la plus favorable à la célérité de la chute; que la forme allongée et surtout aplatie contribue au contraire le plus au ralentissement de la descente; que les formes anguleuses tiennent à cet égard le milieu entre les deux autres.

L'influence de la forme est donc plus prononcée que celle du calibre, puisque la moindre variation entre une sphère et un cylindre ou un cube de dimensions sensiblement égales suffit pour produire une différence dans les temps de chute qui est à peine atteinte par un rapport de calibre de 1 à 2.

On n'a pas assez tenu compte dans ces expériences de l'accélération de la vitesse due à la chute, jusqu'au moment où l'uniformité s'établit en raison de l'accroissement des résistances croissantes avec la vitesse. Sans doute, le théorème de la chute des corps, dans un milieu dense, est applicable, en général, mais il faut l'appliquer à la longueur de la colonne qu'affecte particulièrement la vitesse de la chute, qui a pour expression son carré divisé par deux fois la gravité.

En outre, des minerais broyés composés de matière métallique en grains, soumise, avec sa gangue, à la précipitation dans un liquide en repos, ne se comportent pas comme cette matière métallique elle-même lorsqu'elle est en grains isolés, abstraction faite ici de la forme. Il peut se trouver que les grains les plus lourds se pressant d'arriver les premiers, en raison de leur pesanteur, poussent devant eux les grains plus légers et leur impriment une célérité qui ne leur appartient pas naturellement. Quelquefois plusieurs grains s'associent, s'agglomèrent et descendent ensemble, produisant, par leur réunion, le même effet qu'un gros grain d'une valeur égale à la masse réunie: plus rarement enfin, certain grain isolé se trouve emprisonné entre plusieurs autres qui le forcent à suivre leur mouvement pendant tout ou partie de la descente.

Ces réactions, qui sont évidemment nuisibles à la séparation des matières métalliques de leur gangue terreuse, perdent beaucoup de leur importance avec la hauteur de la colonne d'eau, et leur influence sur la vitesse relative de la chute est nécessairement en raison inverse de la longueur du cylindre.

On a proposé par suite, et même essayé d'immenses tubes de 30 mètres de hauteur, avec lesquels la séparation était loin d'être parfaite, et cependant on était en dehors des dimensions acceptables en service courant.

Qu'arriverait-il si, par un organe mécanique quelconque, une vitesse initiale était imprimée aux matières pulvérisées soumises à cette sorte de lavage, et quel serait le moyen de proportionner cette impulsion à la densité de ces matières?

Une hauteur démesurée de tube-séparateur étant un inconvénient, tout en reconnaissant néanmoins la nécessité d'un parcours long pour opérer la *désagglomération* des matières solides dans l'eau, ne pourrait-on la réduire en donnant à l'eau un mouvement hélicoïdal?

En faisant tourner en spirale la masse liquide renfermée dans le tube, on produit plusieurs phénomènes qu'il est bon d'examiner avec attention:

La force centrifuge n'agit qu'imparfaitement sur les molécules aqueuses, à cause des parois du cylindre qui s'opposent à son développement; la gravité exerce toute son action diminuée du poids de l'eau déplacée (—1), en même temps que s'exerce la puissance qui tend à éloigner les molécules du centre. Il se forme une résultante dans laquelle, à densités égales, la vitesse de projection curviligne est le seul élément variable.

Les particules de matière métallique obéissent au mouvement centrifuge en raison de la vitesse imprimée à l'eau; si bien que les particules métalliques se trouvent, à un moment donné, classées sur le rayon de l'hélice suivant leurs densités (volumes et formes étant égaux d'ailleurs), et dans une échelle d'éloignement de l'axe central inversement proportionnelle à ces mêmes densités. Les matières les plus légères sont projetées à l'extrémité du rayon, tandis que les plus pesantes restent les plus voisines du centre.

Ainsi, dans le lavage au tube des sables platinifères purs, c'est-à-dire composés uniquement de platine et de quartz, ce dernier, dont la pesanteur spécifique est 2,80, est rapidement projeté à l'extrémité de la section hélicoïde, si le mouvement de spirale donné à l'eau triple ou quadruple la puissance de pesanteur du liquide, tandis que la densité du métal, qui est de 22 environ, n'est guère affectée que pour le septième de son poids. Il en résulte que, la gravité aidant, le platine descend presque verticalement au bas du tube, tandis que le quartz s'amuse à suivre les contours de l'hélice qui forment une courbe d'autant plus longue que la vitesse initiale de l'eau est plus grande.

Si donc on applique le mouvement de spirale au cylindre de M. Pernolet, le platine n'aura qu'une longueur de 6 mètres à parcourir, tandis que, et supposant la vitesse imprimée à l'eau sur un rayon de 0m,10 égale à 0m,60, ce qui n'est pas même la circonférence du tube, et supposant 30 spires seulement, la distance parcourue par le quartz sera de 18 mètres; de sorte que si la chute du platine mettait 3 secondes à s'effectuer, il n'en faudra pas moins de 22 pour que le quartz ait complété sa descente.

Ce mouvement initial dans le sens de la spirale aurait, en outre, l'avantage de désagglomérer dès le commencement les matières pulvérisées et de les préparer à la précipitation.

Criblage. Continuons l'examen des opérations successives, les plus usuelles, dans leur ordre naturel.

Le *criblage à la cuve* s'exécute dans un crible ordinairement circulaire, suspendu soit à une perche élastique, soit à un levier à contre-poids, et que l'on fait osciller verticalement dans une cuve pleine d'eau. A chaque secousse le minerai étant mis en suspension dans l'eau, les parties métalliques plus lourdes tendent à s'accumuler au fond, et les parties pierreuses, plus légères, à gagner la surface. Au bout d'un certain temps, on arrête le mouvement, et on enlève, par couches horizontales, ce qui est resté sur le crible; on obtient ainsi, en allant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de haut en bas: 1° de la gangue stérile à rejeter; de la gangue avec un peu de minerai disséminé à pulvériser plus fin; 2° du minerai à relaver sur le même crible; 3° enfin du schlich bon à fondre. Le menu qui a passé à travers le crible, et qui s'est rassemblé au fond de la cuve, est lavé de la même manière sur un crible plus fin.

On peut soumettre au criblage à la cuve toutes sortes de minerais pourvu qu'ils aient été préalablement débourbés. Les cribles à secousses se manœuvrent, soit à la main, soit au moyen de machines, en employant des dispositions plus ou moins semblables à celles que nous décrivons ci-après.

On se sert souvent, dans le Coruouailles, pour laver le minerai d'étain, de grandes cuves cylindriques ou légèrement coniques (fig. 1774), dans lesquelles on jette le minerai avec une certaine quantité d'eau; un ouvrier agite et mêle le tout ensemble avec une pelle en fer, pendant trois ou quatre minutes, puis il frappe pendant huit ou dix minutes sur les parois de la cuve, ce qui fait déposer les parties les plus lourdes; on renverse la cuve pour la vider entièrement de liquide; et l'on divise le minerai resté dans la cuve en quatre tranches. La tranche supérieure A se débourbe dans la caisse à débourber; la tranche B est lavée sur les tables jumelles (appareils décrits ci-après), la tranche C est envoyée aux fourneaux de calcination; et enfin la tranche D, qui renferme les particules plus grosses, est renvoyée au bocard pour y être pulvérisée de nouveau.

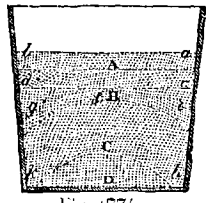


Fig. 1774.

On lave aussi avec l'appareil précédent le minerai d'étain après qu'il a été soumis à la calcination.

On emploie aussi fréquemment, en Angleterre, un appareil représenté dans la fig. 1775, analogue au précédent et dans lequel on met le minerai fin, déjà presque pur, en suspension dans l'eau, au moyen d'un axe vertical AB armé d'ailettes; après quoi, par le repos, les parties métalliques se séparent des parties terreuses. On aide cette séparation en frappant sur les parois de la cuve pendant la précipitation, ce qui suspend celle des matières terreuses sans arrêter celle des parties métalliques.



Fig. 1775.

Crible à secousses (Setzsiebe). Le crible est l'appareil par excellence pour séparer par densités, malgré des différences de grosseur, en utilisant la résistance du liquide suivant la verticale, en faisant naître une succession de petites chutes libres. L'appareil de lavage décrit à l'article COKE, à l'aide duquel on sépare facilement la houille des parties schisteuses, donne l'idée des dispositions employées aujourd'hui pour ce genre d'appareils.

Nous emprunterons la description d'un appareil plus complet à M. de Lalande.

Le crible à secousses (fig. 1776) se compose d'une caisse en bois ou en métal A, divisée en deux compartiments par une paroi verticale DC. Dans l'un des compartiments se trouve fixé un cadre horizontal E, muni d'une toile métallique à mailles plus ou moins serrées. Dans l'autre peut se mouvoir un piston F, supporté par une tige G. Ce piston reçoit son mouvement d'une manivelle différentielle HIJ, qui lui communique un mouvement vertical alternatif dont l'amplitude est déterminée par le calage à une distance variable du bouton J, sur la manivelle IJ. Cette dernière reçoit un mouvement alternatif au moyen d'une bielle JK, commandée par la manivelle KL.

Le minerai à traiter forme une couche horizontale, généralement de 10 à 25 centimètres sur la grille du crible. La caisse est remplie d'eau jusque vers le niveau

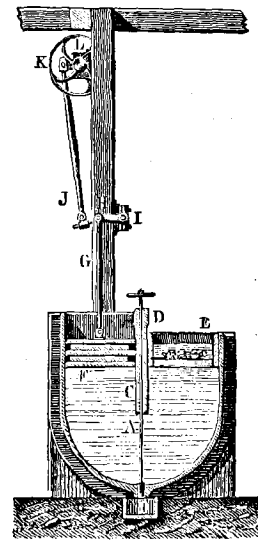


Fig. 1776.

du minerai. Le mouvement alternatif du piston refoule l'eau sous le tamis; les fragments de minerai se trouvent soulevés et descendent librement. Sous l'influence de ce double mouvement ascendant et descendant, les fragments classés par grosseur sont soumis à une suite de chutes libres; ils se séparent progressivement; les plus denses se déposent sur le tamis; les plus légers restent à la surface; les autres occuperont une place intermédiaire, selon la densité. Au bout d'un certain nombre de coups de piston, le classement par densité est arrivé au degré de perfection qu'il peut atteindre; l'ouvrier (généralement une femme ou un enfant) arrête le mouvement, et au moyen d'une râcle en tôle, sépare les diverses couches en produits finis, produits intermédiaires à retraiter ou à rebroyer, et stérile qui est rejeté. Quelques minutes suffisent ordinairement pour cette opération.

Le crible est le plus souvent rectangulaire, de 45 à 50 centimètres de largeur, sur 0m60 à 1 mètre de longueur. En y repassant les produits intermédiaires, on peut y passer par jour 1m,5 à 2 mètres cubes de grenailles.

Le nombre de coups de piston à la minute et la longueur de la course du piston doivent varier avec la grosseur des grenailles; pour les grosses on donne 30 à 40 courses de piston par minute, avec une course de piston de 7 à 10 centimètres; pour les grenailles moyennes, 40 à 60 coups, avec une course de 2 à 5 centimètres seulement. Cet appareil convient surtout pour le traitement des grosses grenailles.

Une partie du minerai (fonds de crible) passe à travers la grille; il provient des fragments qui se sont brisés pendant le travail; il est d'ordinaire très-riche et est considéré comme minerai fini, ou retraité après une nouvelle classification par grosseur.

Nous ne décrirons pas en détail les dispositions qui ont permis de rendre continu cet appareil, qui est le plus précieux pour les classements difficiles. Dans la plupart des dispositions, le minerai arrive par l'un des petits

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTALLURGIE.

côtés du crible; il est entraîné sur la grille du crible par un courant d'eau; les grenailles, à l'autre extrémité, se trouvent disposées par couches successives de même densité, qui sont évacuées séparément; ce qui exige une grande consommation d'eau pour entraîner les grosses grenailles.

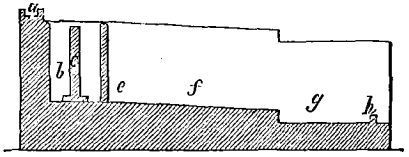
Labyrinthe. Les eaux sortant des premiers appareils de classement se répandent dans des rigoles. Le minerai fin, en suspension dans l'eau, s'y trouve soumis à l'action de l'eau mue à peu près horizontalement. Les fragments, qui viennent toucher le fond à une même distance de leur point de départ, se trouvent classés principalement d'après leur surface. Les rigoles formant les labyrinthes doivent souvent avoir un grand développement pour que les matières très-tenues aient le temps de se déposer; c'est pour cela qu'on les contourne en raison des convenances locales. Elles aboutissent à des bassins de dépôt, où la vitesse est sensiblement nulle; nous allons revenir dans un instant sur ces derniers.

Les matières qui sont déposées dans le labyrinthe sont divisées en plusieurs catégories, suivant la distance où elles ont touché le fond et sont traitées séparément.

Arrivons maintenant aux systèmes de lavage habituellement employés, surtout pour les schlamms. Tels sont les caisses et tables, appareils employés exclusivement autrefois.

Les figures 1777 et 1778 donnent le plan et l'élévation d'une *caisse allemande* ou *caisse à tombeau* (schlemm-

Fig. 1777.



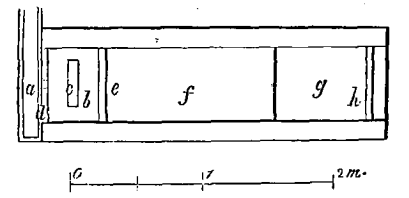


Fig. 1778.

graben). L'eau, arrivant par le canal *a*, tombe par le trou *d* dans la caisse *b*, où un arrêt *c* tend à régulariser le mouvement du liquide qui déborde ensuite en nappe très-mince par-dessus le rebord *e*. Un enfant prenant le minerai avec une pelle l'applique contre la paroi *e;* rencontrant le courant, il est entraîné par l'eau et se répand uniformément sur toute la largeur de la table, tandis qu'un autre ouvrier l'y lave, en le ramenant contre le courant avec un râteau en bois sans dents; on obtient ainsi un schlich qui reste à la tête de la table et est envoyé à la fonderie, un schlich plus fin sur la table *g*, à relaver sur les tables jumelles, et des boues qui s'échappent par-dessus le ressaut *h*, et sont rejetées ou lavées sur une table à secousses.

Les figures 1779 et 1780 donnent le plan et la coupe de trois *tables jumelles* ou *tables dormantes* (liegende-erde, kehrerde) accouplées: ordinairement ces caisses ne sont accouplées que par deux. *a a, b b, c c,* sont les canaux où se déposent les divers schlamms au sortir du bocard, d'où on les enlève pour les jeter dans les caisses *e;* l'eau, arrivant par le canal *d*, tombe par deux trous

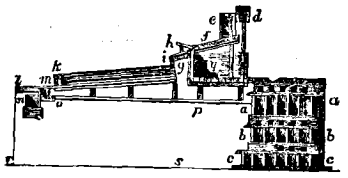


Fig. 1779.

dans chacune des caisses, et entraîne le minerai qu'elles renferment le long du canal incliné *f*, et de là, en traversant la grille *h*, sur la tête de la table *g*, sur laquelle

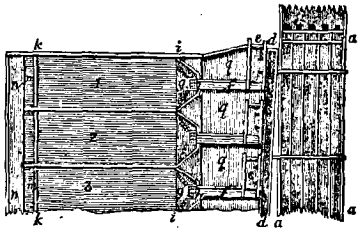


Fig. 1780.

font saillie de petits prismes triangulaires dont la base est tournée vers *ii*, qui ont pour résultat de répandre uniformément l'eau chargée de schlamms sur la table *ki*, qui a de 3 à 6 mètres de long, 0m,50 à 0m,60 de large, et est munie de rebords de 0m,10 à 0m,15 de haut: elle est souvent rétrécie à sa partie inférieure par des planches placées obliquement de chaque côté, de manière à réduire sa largeur à 0m,20 ou 0m,30; on donne en général à la table une inclinaison de 1/15e. Un ouvrier remonte les matières sur la table avec une planchette en bois ou un balai, et se sert ensuite d'un balai pour nettoyer la partie inférieure de la table. Les boues sont entraînées par l'eau dans les canaux *m* et *n* où elles se déposent, et sont ou rejetées ou lavées sur des tables à secousses.

Nous ne parlerons ici que pour mémoire des *tables à toiles* (planen erde), qui ne sont presque plus employées et qui sont des espèces de tables jumelles recouvertes de toiles grossières, dont l'adhérence sert à retenir les particules métalliques. A la fin de chaque opération, on enlève ces toiles pour les secouer dans des baquets pleins d'eau, puis on les remet en place. Le schlich qui se dépose sur les toiles placées à la tête de la table est bon à fondre; celui qui reste sur les dernières est relavé à part sur la table.

En Angleterre, on emploie fréquemment, pour débour-

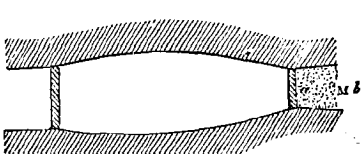


Fig. 1782.

ber les schlamms, une caisse à tombeau grossièrement construite et représentée en plan figure 1782 et en coupe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTALLURGIE.

fig. 1783. Les boues sont accumulées dans la caisse M, et

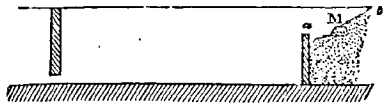


Fig. 1783.

l'ouvrier les ramène continuellement avec une pelle de *a* vers *b*. Un courant d'eau, qui arrive dans M, les entraîne en nappe sur la table sur laquelle se déposent les particules métalliques, tandis que les parties terreuses sont entraînées dans un bassin à la suite. Ce qui se dépose sur les parties inférieures de la table est débourbé de nouveau, et ce qui reste à la tête de la table est lavé sur les tables jumelles un peu différentes de celles décrites précédemment.

Ces tables jumelles, représentées en coupe fig. 1784, se composent d'un cadre portant un plancher C, incliné

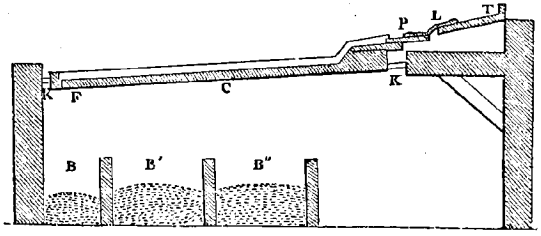


Fig. 1784.

à l'horizon, et susceptible de tourner sur deux tourillons K, K; un plan incliné T sert de tête à la table; une planche P, qui s'y attache par une bande de cuir L, établit la communication avec la table FC. Le minerai est projeté en T, par petites parties de 10 kilogrammes environ ; une femme l'étend avec un râble, tandis qu'un courant d'eau en entraîne une partie sur la table, où elle le lave ensuite; les boues fines tombent par une fente F, dans un bassin B. Lorsque le schlich paraît assez riche, l'ouvrière fait tourner la table autour de l'axe KK, en sorte qu'il tombe dans les cases placées au-dessous; en B sont les boues; en B', un schlich impur à repasser sur la table; et en B'', un schlich bon à fondre.

Tables coniques. Pour le lavage des schlamms, on substitue souvent aux tables précédentes des tables coniques, qui se construisent quelquefois sur de très-grandes dimensions. Elles se composent d'un cône très-surbaissé, au centre duquel se trouve un arbre vertical, mis en mouvement par un engrenage ; autour de cet arbre se trouve un entonnoir, qui reçoit le courant d'eau tenant les schlamms en suspension et les verse sur un cône distributeur, placé au-dessous. Les schlamms sont maintenus en suspension dans l'entonnoir par un agitateur; deux planches, armées de pointes et entraînées par l'arbre dans un mouvement circulaire, remuent sans cesse les poussières déposées sur les tables et permettent à l'eau d'entraîner les parties stériles plus légères.

Tables à secousses. On remplace souvent les tables à laver fixes que nous venons de décrire, en tout ou en partie, par des *tables à secousses* (stosserde), dont l'action est plus puissante.

Les tables à secousses (fig. 1785) se composent d'un plancher incliné BC établi sur de forts madriers, qui donnent à ce plancher un poids considérable et une grande solidité. Ce plancher est soutenu en l'air par quatre chaînes ou tringles en fer articulées, *ab*, *a'b'*, *tt*, *t't'*. Les chaînes *ab*, *a'b'* sont attachées à des supports invariables placés près de la tête B de la table. Les

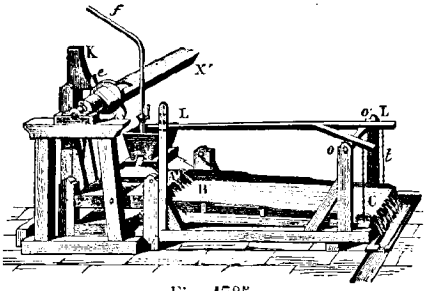


Fig. 1785.

chaînes *tt*, *t't'* sont au contraire fixées à un long levier mobile LL, qui tourne autour de l'axe OO', et à l'aide duquel on peut faire varier l'inclinaison du plancher BC. Des fiches en fer, que l'on implante à différentes hauteurs sur un support vertical fixent l'autre extrémité du levier, et par suite le plancher dans la position que l'on a adoptée.

Un arbre de couche XX', mis en mouvement par une roue hydraulique, porte les cames *c*, *c*. Ces cames agissent sur la tête d'une tige K qui pousse en avant le plancher suspendu BC, et l'abandonne ensuite à lui-même. Ce plancher vient alors choquer fortement contre des madriers fixes, et il en résulte un ébranlement violent dans toute sa masse. Au-dessus de la tête B du plancher suspendu, se trouve un plan incliné A, muni de prismes de bois implantés pour diviser le liquide, disposition semblable à celle des tables dormantes.

Le minerai à laver est agité dans la caisse V, où arrive un courant d'eau continuel; il se répand de là sur le plan incliné A, puis sur le plancher suspendu BC sur lequel il tend à se déposer. Mais les secousses violentes, que ce plancher reçoit à chaque instant, détachent continuellement les particules et les remettent en suspension dans l'eau, de sorte qu'elles se trouvent dans des conditions très-favorables pour que leur départ, suivant l'ordre de densité et de grosseur, ait lieu d'une manière très-parfaite.

On fait varier suivant la nature du minerai à laver l'inclinaison du plancher mobile, l'amplitude et la fréquence des secousses, enfin la quantité d'eau qui tient le minerai en suspension.

Résumé. En résumé, la préparation mécanique des minerais consiste d'abord dans un triage à la main aussi soigné que le prix de la main-d'œuvre le permet, puis dans un débourbage et un classement des minerais au moyen de grilles ou de trommels, en concassant les minerais avec des cylindres qui donnent moins de schlamms et plus d'effet utile que les bocards, et n'employant ces derniers que lorsque la dureté extrême des gangues le nécessite; enfin dans un criblage à la cuve des minerais débourbés et classés en différentes grosseurs, et dans le lavage des schlamms et boues sur des tables à secousses.

Nous ne décrirons pas la suite des traitements des minerais des divers métaux, nous en parlons à propos de chacun d'eux, faisant observer que les opérations varient nécessairement avec les conditions économiques de chaque exploitation, et que c'est à l'ingénieur à résoudre le mieux possible le problème posé dans chaque cas. Les traitements les plus difficiles se rapportent aux cas de minerais de plusieurs métaux, mélangés dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mêmes gangues, surtout lorsque leurs densités ne diffèrent pas beaucoup.

Il importe de faire remarquer que les ateliers de préparation mécanique et surtout les patouillets doivent avoir pour annexes des bassins d'épuration pour clarifier les eaux que l'on rend aux cours d'eau, et que l'établissement et le curage de ces bassins sont soumis à des règlements de police.

Nous donnerons quelques détails à ce sujet.

Bassins de dépôt. Les dimensions des bassins d'épuration sont variables, suivant la nature du dépôt qui doit s'y former et le degré de pureté que doivent présenter les eaux rendues à la circulation. Pour les minerais de fer argileux, leur nombre et les dimensions sont fixés, en France, par des ordonnances; leur profondeur est variable de 1m,30 à 1m,50 au-dessous du déversoir de superficie qui termine le dernier bassin. L'eau, en arrivant dans ces bassins, n'y circule plus que lentement, et les matières boueuses tenues en suspension se déposent. C'est toujours à la tête du bassin que se forme le dépôt le plus abondant, qui présente une surface inclinée vers le déversoir. Les dépôts doivent être enlevés à des époques fixes ou lorsqu'ils ont atteint une certaine hauteur, ordinairement 0m,35; on vide les eaux par une vanne placée à la partie inférieure, ou mieux au moyen d'un syphon flottant, dont la grande branche verse au dehors les eaux sans les troubler. Les boues doivent être enlevées et portées dans un lieu d'où les eaux pluviales ou d'inondation ne puissent les enlever.

On emploie aussi, pour l'épuration des eaux, les digues filtrantes de l'ingénieur des mines Parrot. Elles se composent d'une couche de sable de rivière intercalée entre deux couches de gravier maintenues par des grilles. La couche moyenne qui opère la filtration est formée de sable obtenu par tamisage sur un crible dont les ouvertures ont 3 millimètres de côté; son épaisseur est de 0m,30 à 0m,40. La digue filtrante doit être précédée d'un bassin assez large pour que l'eau n'ait qu'une faible vitesse. Sa profondeur doit être d'environ 0m,50, sa largeur de 0m50 et sa capacité de 150 mètres cubes par chaque litre d'eau qui afflue par seconde. Ces dimensions sont celles que l'expérience a fait reconnaître comme les plus convenables.

L'emploi des digues filtrantes nécessite une perte de chute, car la hauteur de la région filtrante doit avoir, au minimum, 0m,50. On pourrait croire au premier abord que ces digues opèrent à la manière de filtres ordinaires, en retenant les impuretés dont l'eau est souillée, mais il n'en est pas ainsi. L'observation a fait voir que c'est près de la digue que les dépôts de boue sont le moins considérables, et, dans tous les cas, si les digues pouvaient retenir les matières si ténues en suspension dans l'eau, elles ne tarderaient pas à s'engorger au bout de quelques jours seulement.

Leur effet consiste à diminuer considérablement la vitesse de l'eau dans le bassin, et à faciliter par suite le dépôt des matières terreuses. Dans les bassins ordinaires à déversoir de superficie, l'eau n'est en mouvement que sur une couche superficielle très-mince, et par conséquent elle est animée d'une vitesse assez considérable: elle transporte à une grande distance les matières avant qu'elles aient eu le temps de se déposer, tandis que par l'emploi des digues filtrantes, c'est une tranche de liquide dont l'épaisseur est égale à la hauteur de la partie filtrante, qui participe tout entière à l'écoulement pour le même débit. La vitesse des molécules liquides doit donc être beaucoup plus petite dans le dernier cas que dans le premier, et le dépôt plus complet.

Pour les minerais autres que le minerai de fer d'alluvion, qui est toujours mélangé d'argile, l'épuration des eaux de lavage a beaucoup moins d'importance; dans les ateliers de préparation mécanique, elle s'opère ordinairement dans un système de caisses en bois, communiquant entre elles par des déversoirs de superficie.

Au sortir des ateliers de préparation mécanique, et avant de les livrer aux fonderies ou autres usines métallurgiques, on détermine d'une manière précise la *teneur* des schlichs, par les procédés que nous avons décrits tant à l'article DOCIMASIE, qu'au nom de chaque métal.

CALCINATION. — GRILLAGE.

On calcine souvent les minerais de fer, surtout les minerais de fer hydratés en roche, pour en chasser l'eau, et les minerais de fer carbonatés spathiques et lithoïdes pour en expulser l'eau, l'acide carbonique et les matières bitumineuses qu'ils peuvent renfermer. En outre, si ces minerais renferment de petites quantités de pyrites, celles-ci perdent une partie de leur soufre dans cette opération, et se transforment ensuite, lorsqu'on les laisse exposées pendant un certain temps à l'action des agents atmosphériques, en sulfate de fer qui est entraîné par l'eau, ce qui améliore beaucoup leur qualité.

On grille les minerais de cuivre, et les mattes que l'on obtient de la fonte des minerais grillés, pour en chasser une partie du soufre, et concentrer ainsi le cuivre, qui a une plus grande affinité pour le soufre que le fer, dans une nouvelle matte, que l'on obtient par la fusion des matières grillées, tandis que les gangues pierreuses et l'oxyde de fer produit par le grillage passent dans les scories.

On grille, pour les ramener à l'état d'oxyde réductible par le charbon, le sulfure de plomb (galène), le sulfure de zinc (blende), et le sulfure d'antimoine.

Enfin, on grille les minerais d'étain pour ramener les pyrites qu'ils renferment, à l'état d'oxydes pulvérulents et légers, qu'il devient alors très-facile de séparer par le lavage.

La calcination et le grillage des minerais s'exécutent de trois manières différentes: 1° en tas; 2° en cases; 3° dans les fourneaux.

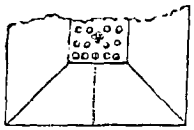


Fig. 1790.

Les fig. 1790, 1791 et 1792 donnent une idée de la manière dont on établit les tas de grillage, pour le

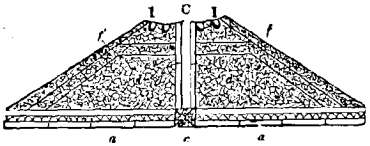
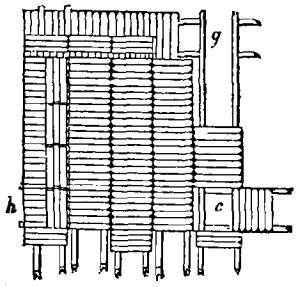


Fig. 1791.

cuivre pyriteux, dans le Hartz et à Chessy, près de Lyon. La fig. 1790 est une vue en dessus du tas terminé; la fig. 1791, une coupe verticale; et la fig. 1792 le plan du quart du tas en construction. *c* C, cheminée centrale en bûches, ménagée dans l'intérieur du tas, et dans laquelle on jette des charbons enflammés lors de l'allumage du feu. *g*, *h*, canaux ménagés à la base du tas pour y faire arriver l'air nécessaire à la combustion. *a*, lit de fagots ou de bûches sur lequel repose le minerai, le plus gros *d* à la base et le plus fin à la surface, où il est recouvert par une couche mince de terre et de fraisil *ff*. Dans la surface supérieure du tas sont pratiquées un certain nombre de cavités hémisphériques I, I, dans lesquelles se rassemble une partie du soufre chassé des pyrites par l'action de la chaleur; une autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

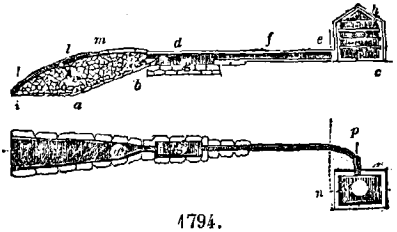
partie de ce soufre est brûlée par l'air affluant dans l'intérieur du tas et produit une portion de la chaleur nécessaire à la calcination.



1792.

On emploie quelquefois en Suède, pour recueillir une certaine quantité de soufre, lors du grillage des minerais pyriteux, une méthode un peu différente et dont les fig. 1793 et 1794 donneront une idée. Le minerai *r* est placé en tas sur un lit de rondins de bois *i a*, et sur le talus *a b*; il est recouvert d'une voûte en terre *l m*, dans laquelle est pratiquée en *m* une ouverture que l'on ouvre au commencement de l'opération pour déterminer un tirage suffisant pour l'allumage du tas. Le soufre pro-

1793.



1794.

duit par la distillation se rassemble soit dans la cavité *g*, soit dans le canal en briques *d f e*, soit enfin dans la chambre de condensation *h* divisée en cinq étages superposés.

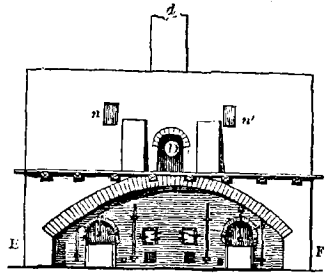
Enfin on grille quelquefois (voyez l'article CUIVRE) les minerais pyriteux, dans un fourneau à courant d'air forcé, en les mélangeant avec une petite quantité de nitrate de potasse ou de soude, et utilisant les produits gazeux de la combustion pour fabriquer de l'acide sulfurique, en les faisant arriver avec un courant de vapeur d'eau dans des chambres de plomb ou tout autre récipient.

On grille ordinairement en cases, sur le continent, les mattes de plomb et souvent aussi celles de cuivre. Les cases sont des aires dont le sol est légèrement incliné et qui sont renfermées entre trois murs; on y stratifie le minerai avec du bois.

On grille souvent les mattes de cuivre à plusieurs feux, c'est-à-dire qu'on recommence successivement le grillage à plusieurs reprises; comme, pendant ce grillage, il se forme une quantité notable de sulfate de cuivre, on lessive quelquefois les mattes grillées pour l'en retirer, et on précipite le cuivre des eaux de lavage par de la vieille ferraille.

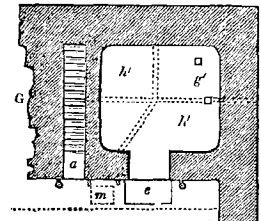
On grille ou calcine les minerais de fer soit en tas, soit entre quatre murs, soit dans des fours intermittents ou continus tout à fait analogues à ceux employés pour la cuisson de la chaux (voyez CHAUX et MORTIER), ce qui nous dispense d'entrer ici dans aucun détail à ce sujet.

Enfin, on emploie souvent des fours à réverbère, chauffés au bois ou à la houille, pour griller les minerais de cuivre, d'étain, etc. Lorsqu'il se produit par le grillage des fumées métalliques ou arsénicales, on les recueille dans des chambres de condensation placées à la suite des fourneaux à réverbère. La fig. 1795 donne

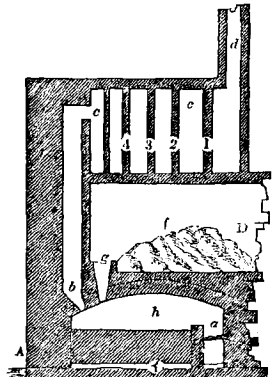


1795.

l'élévation de deux fours à réverbère accolés, dont l'un est représenté en plan et en coupe dans les fig. 1796 et 1797, et qui servent au grillage des minerais d'étain: *a*, grille; *f*, schlich amené sur la voûte du four où il se dessèche, puis introduit par l'ouverture ou trémie *g*, sur la sole du four *h*; l'acide arsénieux, produit par le grillage des pyrites arsénicales qui se trouvent ordinairement mélangées avec l'oxyde d'étain, se rend par le canal *b*, dans les chambres de condensation *c c*, où il se dépose, et les produits gazeux ou non condensés sont rejetés dans l'atmosphère par la cheminée *d*; *e*, est la porte de travail; *n* et *n'*, deux portes murées que l'on ouvre de temps à autre, lors qu'on veut retirer l'acide arsénieux qui s'est déposé dans les chambres de condensation.



1796.



1797.

Fusion.

La fonte des minerais crus et grillés ou des mattes grillées se fait après addition de fondants convenables dans des fourneaux à tuyères ou dans des fours à réverbère.

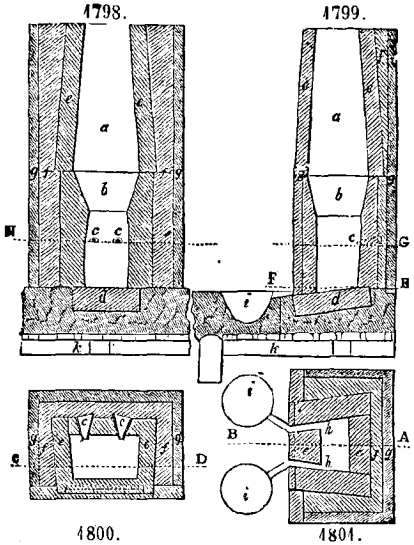
Les minerais de fer se fondent tous (un seul cas excepté, *forges catalanes*) dans des hauts-fourneaux (fi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gure 844, art. FER), dont la hauteur varie de 7 à 15m et qui sont alimentés par une à trois tuyères et plus.

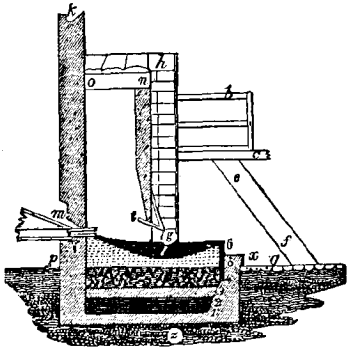
Les minerais de cuivre, d'étain, et quelquefois ceux de plomb et ceux d'argent (fonte avec des matières plombeuses), se fondent dans des demi-hauts-fourneaux (fig. 1798 à 1801) de 4 à 6m de hauteur et ayant une ou deux tuyères placées sur la même paroi.

1798. 1799.



1800. 1801.

Ces derniers minerais se fondent quelquefois dans des bas-fourneaux à tuyères ou fourneaux à manche (figure 1802). Les fontes des mattes grillées, celles des scories de plomb et d'étain, et la revivification des litharges se font ordinairement dans des fourneaux à manche.



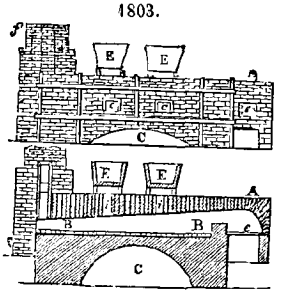
1802.

Dans les pays où le combustible végétal est rare et où l'on peut se procurer du combustible minéral à des prix modérés, la fonte des minerais et mattes grillées de cuivre, des minerais de plomb et d'étain, etc., se fait généralement dans des fours à réverbère (fig. 1803 et 1804) de forme variée suivant la température qu'il est nécessaire de développer.

On revivifie également les litharges au four à réverbère.

Dans les fourneaux à tuyères les oxydes métalliques sont réduits par le charbon ou plutôt par les gaz combustibles avec lesquels ils se trouvent en contact ; lorsqu'il y a des sulfures et que la température n'est pas très-

1803.



1804.

élevée, les oxydes métalliques passent dans les scories à l'état de silicates et les sulfures métalliques s'en séparent à l'état de mattes.

Dans les fours à réverbère, pour qu'il y ait réduction des oxydes, il faut charger beaucoup de combustible sur la grille et, en outre, mélanger la matière avec du poussier de houille ou couvrir la sole d'une certaine quantité de charbon; comme, par exemple, pour la fonte des minerais d'étain et la revivification des litharges.

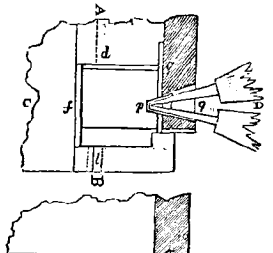
Dans la fonte des minerais de plomb au four à réverbère, on commence par griller le minerai sulfuré, et lorsqu'une partie a été transformée en oxyde et en sulfate, on donne un coup de feu ; le sulfure restant réagit sur l'oxyde et le sulfate formés, il se forme du plomb métallique et il se dégage de l'acide sulfureux.

On emploie également du fer pour réduire les sulfures de plomb et d'antimoine, que l'on opère la fonte dans un fourneau à tuyère ou dans un four à réverbère.

Affinage.

L'affinage de la fonte ou sa transformation en fer malléable se fait soit dans des bas foyers à tuyères (figures 1805 et 1806), soit dans des fours à réverbère dits *fours à puddler* (figures 1807 et 1808) construits de telle sorte que l'on puisse y développer une température très élevée. Dans les deux cas, on ajoute une certaine quantité de scories et de matières très riches en oxyde de fer, qui réagissent par suite à une haute température sur la fonte et l'amènent à l'état de fer malléable en brûlant le carbone et le silicium qu'elle renferme.

1805.



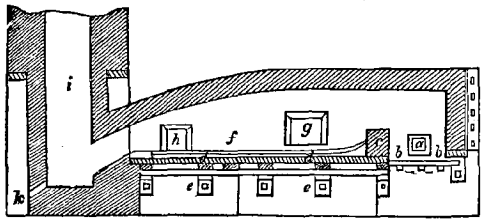
1806.

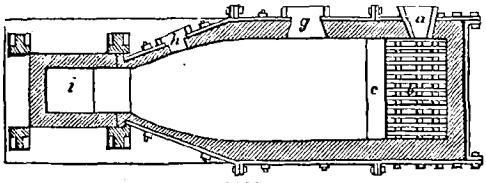
On fait souvent précéder l'affinage proprement dit d'un demi-affinage dit *maxéage*, en fondant la fonte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec des scories riches en fer et des battitures, dans des bas-fourneaux, tantôt à une seule tuyère (foyers de mazerie nivernais), tantôt à quatre ou six tuyères (fineries anglaises) disposées de chaque côté du fourneau

1807.





1808.

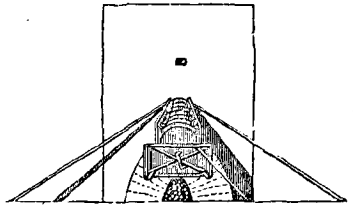
de manière à ce que chacune d'elles occupe la ligne médiane des deux tuyères opposées.

L'affinage du cuivre se fait également soit dans des bas foyers, soit dans des fours à réverbère.

L'affinage du plomb et de l'étain se fait en le soumettant à la liquation, soit sur une aire légèrement inclinée, soit sur la sole d'un four à réverbère.

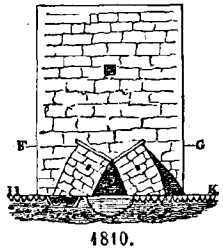
Liquation.

On sépare certains métaux ou minerais métalliques très fusibles de leurs gangues, en les soumettant à la



1809.

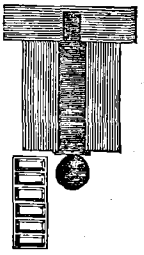
liquation. C'est ainsi qu'on obtient le bismuth et le sulfure d'antimoine. Cette liquation peut s'opérer en plaçant le minerai dans des pots, des tubes droits ou inclinés, chauffés à l'extérieur ou sur la sole d'un four à réverbère.



1810.

On traite également le minerai de plomb par liquation, lorsqu'on emploie pour l'obtenir la méthode écossaise (voyez PLOMB).

C'est encore par liquation que l'on traitait anciennement et que l'on traite encore en quelques endroits le cuivre noir argentifère pour en retirer l'argent qu'il renferme ; cette opération consiste à le fondre avec une certaine quantité de plomb pauvre, à couler en pains l'alliage obtenu, et à soumettre ces pains à la liquation sur une aire de liquation (fig. 1809, 1810 et 1811). Le plomb en se séparant par liquation entraîne la plus grande partie de l'argent pour lequel il a plus d'affinité que le cuivre ; le plomb argentifère ainsi obtenu est soumis à la coupellation, et le cuivre noir désargenté, qui reste sous la forme de carcas sur l'aire de liquation, est affiné pour cuivre marchand.



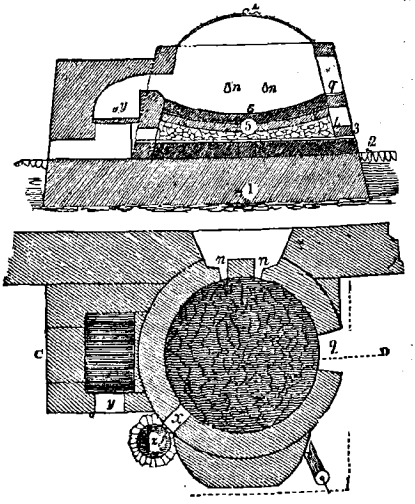
1811.

Coupellation.

Le plomb argentifère est soumis à la coupellation pour en retirer l'argent qu'il renferme ; cette opération, qui se fait dans des fourneaux à réverbère dits *fourneaux de coupelle* (fig. 1812 et 1813), a pour but de séparer le plomb à l'état d'oxyde ; on active l'oxydation du plomb en lançant sur la surface du bain, par une ou deux tuyères *n*, *n*, un courant d'air froid. On fait écouler au fur et à mesure de leur formation les litharges ou oxyde de plomb ; à la fin l'argent reste seul sur la sole sous la forme de gâteau. On le raffine par une nouvelle coupellation sur une petite échelle.

Lorsque le plomb argentifère est très pauvre, on le concentre par une coupellation incomplète dite *coupellation pauvre*, ou par l'affinage par cristallisation, qui est fondé sur cette propriété qu'en laissant refroidir un

1812.



1813.

bain de plomb fondu et enlevant au fur et à mesure les cristaux de plomb qui se solidifient, l'argent se concentre dans le bain et les cristaux retirés sont plus pauvres que ce dernier.

Sublimation.

On obtient par sublimation l'acide arsénieux, le mercure et le zinc.

L'acide arsénieux est ordinairement un produit ac-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cessoire du grillage des minerais d'étain et se dépose dans les chambres de condensation; cependant, il s'obtient aussi directement par le grillage des pyrites arsénicales. Dans tous les cas on le purifie par une seconde sublimation.

La distillation du mercure se fait, comme nous l'avons vu dans l'article précédent, dans des cornues ou des fourneaux de forme variable après avoir mélangé au besoin le minerai avec une certaine quantité de chaux ou de calcaire. On condense le mercure, soit dans des récipients pleins d'eau, soit dans des appareils d'un grand développement refroidis par le contact extérieur de l'air.

La distillation du minerai de zinc a lieu dans des pots, des cornues ou des mouffles, chauffés extérieurement; on mélange le minerai de zinc avec une certaine quantité de charbon. Lorsqu'on veut traiter du sulfure (blende), il faut préalablement le soumettre à un grillage aussi parfait que possible. Le zinc se condense dans les allonges des cornues ou mouffles. On le purifie en le refondant.

Traitement des minerais par voie humide.

Amalgamation. Le traitement par amalgamation s'applique aux minerais d'argent et consiste, après avoir ramené à l'état métallique ou de chlorure, l'argent qu'ils renferment, par l'incorporation d'un oxychlorure de cuivre ou le grillage avec du sel marin, à les malaxer avec du mercure qui forme avec l'argent un amalgame soluble dans un excès de mercure. On sépare cet amalgame en le filtrant à travers une peau ou une planche de bois, puis, en le soumettant à la distillation, on en sépare le mercure.

Traitement par les acides. On emploie depuis quelque temps avec succès de l'acide sulfurique du commerce, ou fait sur place par le grillage de sulfures métalliques avec du nitre, pour traiter soit des minerais de cuivre oxydés ou carbonatés crus, soit des minerais de cuivre sulfurés après les avoir grillés aussi complétement que possible. On précipite par de la ferraille le sulfate de cuivre produit, et on raffine le cuivre de cément obtenu dans des fourneaux à réverbère ou dans des bas-foyers.

Le platine s'obtient en traitant ses minerais par l'eau régale, le précipitant de la dissolution par le sel ammoniac et calcinant le sel double obtenu.

Traitement électro-chimique. Ce traitement n'étant encore qu'à l'état d'essai dans quelques usines pour le traitement des minerais d'argent et de cuivre, et n'ayant encore été définitivement adopté dans aucune, ne peut pas être considéré comme constituant en ce moment un procédé industriel, ce qui fait que nous nous contenterons de le citer ici pour mémoire.

Pour compléter cet article, voyez les mots MARTEAU, LAMINOIR, en ce qui concerne les moyens mécaniques employés pour changer la structure des métaux, FONDERIE, en ce qui regarde les moyens d'arriver au même but par le moulage, MACHINES SOUFFLANTES, comme annexe des fourneaux à tuyères, et HYDRAULIQUE et MACHINES A VAPEUR, pour l'établissement des moteurs employés, soit dans les ateliers de préparation mécanique, soit dans les usines métallurgiques; enfin les divers procédés d'utilisation de la chaleur contenue dans les gaz qui s'échappent des foyers métallurgiques, ont été exposés avec détail dans les articles COMBUSTIBLES et FER. P. DEBETTE.

MÉTAUX (*angl.* metals, *all*, metallen). On donne le nom de métaux à des corps simples opaques, doués d'un éclat particulier, que l'on désigne par l'expression d'*éclat métallique*, généralement beaucoup plus lourds que l'eau, et qui ne forment pas de composés gazeux permanents avec l'oxygène. Un petit nombre de ces métaux sont employés dans les arts, soit par suite de leurs propriétés physiques et chimiques, soit à cause de leur plus ou moins d'abondance dans le règne minéral.

On trouve les métaux dans la nature sous l'un des états suivants, qui constituent les minerais métalliques :

1° A l'état *natif*. L'or, l'argent, le cuivre, le platine et les métaux qui l'accompagnent, et le fer météorique;

2° A l'état d'*oxydes*. Le chrôme, l'urane, le manganèse, le fer, le cuivre et l'étain;

3° A l'état de *sulfures*. Le manganèse, le fer, le nickel, le cobalt, le cuivre, l'antimoine, le zinc, le mercure, le plomb et l'argent. Le soufre y est souvent remplacé en tout ou en partie par l'arsenic ou l'antimoine (cuivre et argent, nickel et cobalt);

4° A l'état de *tellurures*. L'or et l'argent;

5° A l'état de *chlorures*. Le plomb et l'argent;

6° A l'état d'*oxy-sulfure*. L'antimoine et le cuivre;

7° A l'état d'*oxy-chlorure*. Le cuivre;

8° A l'état d'*hydrate d'oxyde*. L'urane, le manganèse et le fer;

9° A l'état de *carbonates*. Le fer, le cuivre, le zinc et le plomb;

10° A l'état de *phosphate* et d'*arséniate*. Le plomb.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur les métaux, en résumant dans le tableau suivant la valeur annuelle moyenne créée par leur exploitation :

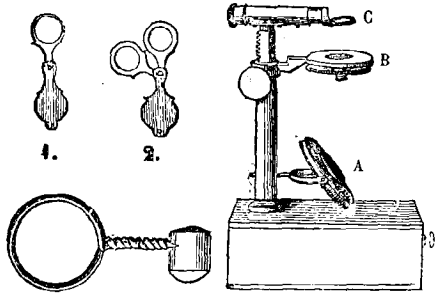
DÉSIGNATION des MÉTAUX OU DE LEUR COMPOSITION.	PRODUCTION ANNUELLE. POIDS en quintaux métriques.	VALEUR du quintal métr. en francs.	VALEUR TOTALE.	ORDRE d'importance.
Antimoine	5.681	200	1.136.200	12
Argent	12.477,5	22.222	277.267.000	3
Bismuth	45	400	18.000	16
Cadmium	5	7.000	35.000	15
Chrôme (minerai de)	10.000	50	500.000	14
Cobalt (bleu de)	16.000	100	1.600.000	11
Cuivre	524.000	237	124.188.000	4
Étain	75 630	210	15.882.300	7
Fer	120.000.000	15	1.800.000.000	1
Manganèse (oxyde de)	50.000	50	2.500.000	10
Mercure	13.500	1.000	13.500.000	8
Nickel	400	2.000	800.000	13
Or	2.191	350.000	767.000.000	2
Platine	23	120.000	2.760.000	9
Plomb (Europe)	852.800	50	42.640.000	5
Urane (oxyde d')	2	3.000	6.000	17
Zinc	417.000	50	20.850.000	6
TOTAL			3.071.482.500	

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MICROSCOPE. Nous n'avons pas ici la prétention de faire l'historique des microscopes et d'en décrire les différentes constructions, mais nous ne pouvons cependant nous dispenser de présenter très-sommairement les principales transformations qu'ils ont subis depuis leur origine.

Les anciens se servaient d'ampoules de verre pour grossir l'écriture, et nul doute qu'ils n'en fissent un fréquent usage pour l'exécution de leurs camées. Ils avaient découvert que les faisceaux lumineux devenus convergents faisaient voir l'objet amplifié. Le quatorzième siècle vit la découverte des verres travaillés; ils furent seuls employés, comme microscopes, pendant plus de deux cents ans.

Dans l'origine, ces lentilles étaient d'assez grande dimension; puis, le travail se perfectionnant, on arriva à en construire qui, ayant un rayon de courbure plus court, donnèrent de plus fortes amplifications. Telles sont les loupes de tout genre qui consistent essentiellement en une lentille convergente à court foyer et qui sont fixées dans une monture qui varie selon l'usage que l'on veut en faire. Pour la plupart des recherches, la difficulté de tenir à la main de petits verres obligea bientôt à les monter entre deux plaques de cuivre qui, en rétrécissant l'ouverture, diminuaient l'aberration;



la nécessité d'un support se fit sentir en même temps, et le rudiment du microscope simple de nos jours fut créé (1).

C'est avec le microscope simple que furent exécutés les célèbres travaux de Leeuwenhoek, de Swammerdam et de Lyonnet.

Vers le milieu du dix-septième siècle, de très petites lentilles en verre fondu furent substituées aux premières. Leur foyer étant beaucoup plus court que celui des lentilles faites à la main, leur grossissement étant donc plus considérable, elles donnèrent lieu à une foule de découvertes. On ne connaît pas le véritable inventeur de ces petites sphères fondues qui sont attribuées par les uns au Père Della Torre et par d'autres au Dr Hooke. Il y a quelques années M. Gaudin a singulièrement amélioré ces lentilles en employant pour les fabriquer le cristal de roche filé et fondu, par conséquent exempt de la double réfraction. Par un procédé extrêmement ingénieux et qui lui appartient, il a trouvé le moyen de travailler à la fois la surface plane de plus de 100 lentilles, de façon à ce que ce plan corresponde toujours à la partie la plus régulièrement sphérique de la lentille. Chacune de ces demi-sphères, sertie dans une monture très simple et très commode, forme un excellent microscope usuel qui a en outre le mérite d'être à la portée de toutes les bourses; il n'a qu'un défaut, commun à tous les microscopes simples, c'est d'avoir un champ fort restreint.

Parmi les recherches faites en Angleterre et ayant pour but le perfectionnement des microscopes simples, il faut citer les intéressants travaux de MM. Goring et Brewster sur les lentilles en pierres précieuses, et surtout le doublet de Wollaston. En France, M. Raspail a contribué à le populariser.

Le microscope composé date du dix-septième siècle; le premier fut sans doute formé de deux verres distancés, dont l'un agit comme objectif et l'autre comme oculaire. Ramsden le perfectionna singulièrement par l'application de son système d'oculaire à deux verres.

Le microscope se compose essentiellement d'une lentille à court foyer, que l'on dirige vers l'objet et que pour cela on nomme *lentille objective* ou *objectif*. Placée à une distance de l'objet qui excède peu sa distance focale, cette lentille forme de cet objet une image amplifiée dans le tube qui la supporte. A partir de cette image réelle et renversée, les rayons qui lui ont donné naissance par leur croisement continuent leur route, de sorte que le lieu de l'espace occupé par l'image rayonne dans une petite étendue à la manière d'un objet véritable; cette image peut donc être examinée dans l'espace, regardée de près et à la loupe comme un objet réel. C'est pourquoi l'on monte à l'extrémité du tube opposée à celle que porte l'objectif, une autre lentille ou un système de lentilles, d'un foyer ordinairement plus long et qui, étant du côté de l'œil, prend le nom d'*oculaire*. En regardant à travers l'oculaire, on voit grossie l'image déjà amplifiée de l'objet soumis à l'observation; ainsi le grossissement d'un microscope composé est égal au grossissement de l'objectif multiplié par celui de l'oculaire.

Il est impossible de citer ici même les principaux perfectionnements que le microscope subit jusqu'au moment où Euler, en 1769, indiqua la construction des lentilles achromatiques qui devaient le porter à sa perfection, et qui, le croira-t-on? ne furent exécutées qu'en 1816 par Fraunhofer, célèbre opticien de Munich. En France, le premier microscope achromatique fut présenté à l'Institut en 1823 par M. Selligue. Parmi les opticiens ou savants qui ont contribué à l'amener à la perfection qu'il possède actuellement, il faut mettre au premier rang, en Italie, M. Amici; en Allemagne, Ploëssl, Schiek et Pistor; en Angleterre, MM. Tulley, Pritchard et surtout M. Ross. En France, nous devons citer MM. C. Chevalier, Oberhauser, Trécourt; nous-même, si nous ne lui avons pas apporté de grands perfectionnements, nous l'avons vulgarisé en le mettant à la portée d'un grand nombre de personnes.

Les micrographes ont toujours été partagés en deux camps: les uns partisans exclusifs du microscope simple, les autres ne reconnaissant pour bonnes et valables que les observations faites avec le microscope composé; les perfectionnements immenses apportés récemment à celui-ci ont porté le dernier coup *aux microscopes simples*, qui ne peuvent rivaliser pour l'étendue du champ, pour la force des grossissements, avec *les microscopes composés à lentilles achromatiques*, dont les grossissements peuvent atteindre 1500 fois et

(1) Les loupes, biloupes, lentilles Stanhope et Coddington (fig. 1, 2 et 3) employées par les horlogers, graveurs, botanistes, minéralogistes, etc., etc., ne sont que des lentilles auxquelles on donne quelquefois le nom de *microscope simple*, quoique ce nom soit plus particulièrement appliqué à la lentille simple, *quand elle est montée sur un pied quelconque*.

Le microscope simple (fig. 4) est composé d'un miroir A qui réfléchit la lumière d'un porte-objet B, rendu mobile par une crémaillère et d'une pièce C destinée à recevoir la lentille.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui donnent avec une parfaite netteté des amplifications de 5 à 600 fois.

Une figure montre facilement comment se produit le grossissement dans le microscope à lentilles achromatiques (fig. 5), composé d'un miroir réflecteur, d'une platine pour supporter les objets, de diaphragmes variables pour augmenter ou diminuer l'intensité de la lumière, d'un jeu de trois lentilles voisines de l'objet dont les grossissements varient de 25 à 500 fois en diamètre, d'une crémaillère pour mettre au foyer, d'une loupe à lumière pour l'examen des corps opaques, enfin d'un double oculaire.

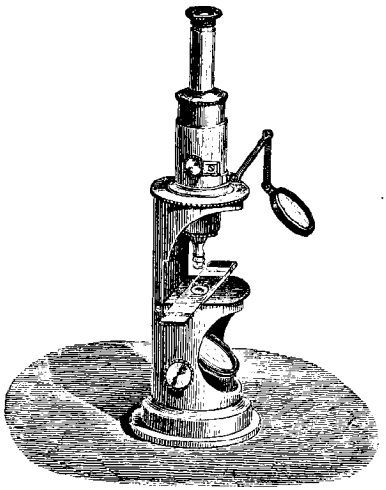


Fig. 5.

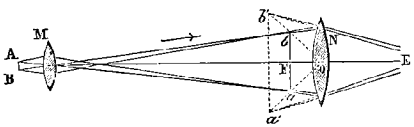


Fig. 6.

La figure 6 représente la marche des rayons lumineux et la formation de l'image dans le microscope composé, réduit à deux verres. Un objet AB étant placé très-près du foyer principal de l'objectif M, mais un peu au delà par rapport à ce verre, une image *ab* réelle, renversée et très amplifiée, va se former de l'autre côté de l'objectif. Or, la distance des deux verres M et N est telle que le lieu de l'image *ab* se trouve entre l'oculaire N et son foyer F. Il résulte de là que pour l'œil placé en E, qui regarde cette image avec l'oculaire, ce dernier verre produit l'effet du microscope simple, ou loupe, et substitue à l'image *ab* une seconde image *a'b'*, qui est virtuelle et amplifiée de nouveau. Cette deuxième image, droite par rapport à la première, est renversée par rapport à l'objet. On peut donc dire, en dernière analyse, que le microscope composé n'est autre chose qu'un microscope simple appliqué, non plus à l'objet, mais à son image déjà amplifiée par une première lentille. L'œil, placé à l'oculaire, regarde, non le petit objet lui-même, mais son image agrandie au moyen des lentilles convergentes de l'objectif.

Nous décrirons en détail le microscope d'Amici, où les divers perfectionnements successivement imaginés, tant par lui que par d'autres physiciens, ont été réunis par le savant italien.

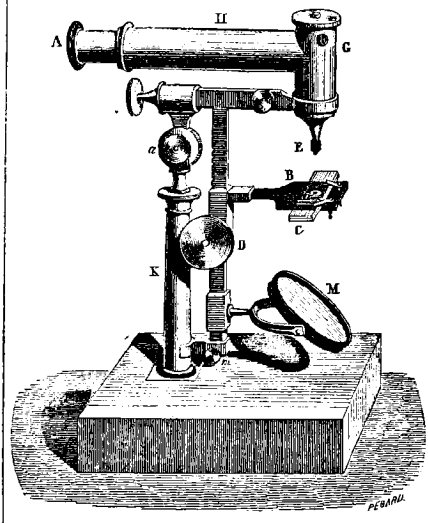


Fig. 7.

La figure 7 représente, dans ses parties essentielles, ce microscope connu. Dans les anciens microscopes, le tube H était toujours vertical. M. Amici, le premier, adopta une disposition qui permet de placer le tube horizontal ou vertical, à volonté. Notre dessin représente le microscope dans la position horizontale, qui diminue sensiblement la fatigue de l'observateur; mais il peut aussi se placer verticalement. Pour cela, le tube coudé G s'enlève, et le grand tube H, qui porte l'oculaire, se monte à sa place sur l'objectif E. Enfin, on peut encore donner au microscope une position inclinée. A cet effet, on retire un bouton *m*, qui fixe l'appareil à sa partie inférieure, et on fait mouvoir tout le système sur une charnière *a*, qui lie le microscope à une colonne cylindrique qui lui sert de support.

Sur une tige rectangulaire parallèle à cette colonne est le *porte-objet* B. Celui-ci peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'un petit pignon qui engrène dans une crémaillère, et qu'on fait marcher à l'aide d'un bouton D. L'objet qu'on veut observer est placé entre deux lames de verre C, posées sur le porte-objet. Un réflecteur concave M, de verre, reçoit la lumière diffuse de l'atmosphère et la réfléchit sur l'objet, qui se trouve ainsi fortement éclairé, condition indispensable pour bien observer avec un fort grossissement. Le porte-objet est percé, à son centre, d'une ouverture qu'on aperçoit au travers des lames C, et qui laisse passer la lumière renvoyée par le réflecteur.

Cherchons à indiquer la position des verres et la marche des rayons dans le microscope. L'objectif E est formé d'une, de deux ou de trois lentilles achromatiques, dont les distances focales principales sont de 8 à 10 millimètres. L'oculaire est formé de deux lentilles plans-convexes, ces lentilles étant achromatiques ou non achromatiques. Quant à la marche de la lumière, elle est facile à suivre. Les rayons lumineux, après s'être réfléchis sur le miroir M, viennent concou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rir vers l'objet, et de là se dirigent vers l'objectif E. Après l'avoir traversé, ils rencontrent un prisme rectangle de cristal, sur l'hypothénuse duquel ils subissent la réflexion totale. Prenant alors la direction du tube AH, les rayons lumineux vont tomber sur la première lentille de l'oculaire, et forment, au delà, une image réelle et amplifiée de l'objet. La dernière lentille agit ensuite comme microscope simple pour substituer à cette première image une seconde image virtuelle et encore amplifiée.

La lentille intermédiaire, nommée *oculaire de Campani*, a pour objet de rassembler les rayons trop obliques qui ne tomberaient pas sur un petit oculaire. Elle agrandit le *champ* du microscope en rendant l'image plus petite et plus nette. Ce verre sert aussi à corriger le défaut d'achromatisme que présente plus ou moins l'objectif. Quant à l'aberration de sphéricité, elle est corrigée par des diaphragmes, qui interceptent les rayons qui tendent à traverser les lentilles trop près des bords. Pour éteindre toute réflexion intérieure qui pourrait nuire à la netteté des images, les parois du tube sont noircies intérieurement.

Quant au mode d'éclairage du microscope, il varie selon que l'objet est transparent ou opaque. Dans le premier cas, on éclaire l'objet, comme ci-dessus, au moyen d'un réflecteur placé au-dessous du porte-objet; dans le second, on fait usage d'une lentille, représentée sur le premier microscope (fig. 5), qui est dans celui-ci soutenue par le porte-objet, et qui concentre les rayons sur l'objet.

Enfin, l'appareil possède plusieurs oculaires et objectifs de rechange, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer le grossissement. On obtient aussi un grossissement plus faible en supprimant une des lentilles de l'objectif et même deux.

Grossissement, micromètre. — On nomme *grossissement*, dans tout instrument d'optique, le rapport de la grandeur absolue de l'image à celle de l'objet. Le grossissement, dans le microscope composé, est le produit des grossissements respectifs de l'objectif et de l'oculaire : c'est-à-dire que si le premier de ces verres grossit 20 fois et l'autre 10, le grossissement définitif est 200. Le grossissement dépend du plus ou moins de convexité de l'objectif et de l'oculaire, ainsi que de la distance de ces deux verres combinée avec celle de l'objet à l'objectif. Il a été porté jusqu'à 1500 en diamètre, et même au delà; mais alors l'image perd en clarté ce qu'elle gagne en étendue. Pour obtenir des images nettes et bien éclairées, le grossissement ne doit pas dépasser 500 à 600 en diamètre, ce qui donne, en surface, une image 250 à 360 mille fois plus grande que l'objet.

Le grossissement se mesure expérimentalement au moyen du *micromètre;* on nomme ainsi une petite lame de verre sur laquelle sont tracés, au diamant, des traits parallèles, distants les uns des autres de 1/10 ou 1/100 de millimètre, que M. Froment a exécutés le premier avec une admirable petite machine à diviser. Le micromètre se place au-devant de l'objectif; puis, au lieu de recevoir directement dans l'œil les rayons qui émergent de l'oculaire, on les reçoit sur une lame de verre à faces parallèles, inclinée de 45 degrés, et on place l'œil au-dessus, de manière à voir l'image des traits du micromètre se former, par réflexion, sur une échelle divisée en millimètres, qui est tracée sur un écran. Comptant alors le nombre de divisions de l'échelle qui correspond à un certain nombre de traits de l'image, on en déduit le grossissement. Par exemple, si l'image occupe, sur l'échelle, 45 millimètres et comprend 15 traits du micromètre, en supposant que l'intervalle de ceux-ci soit de 1/100 de millimètre, la grandeur absolue de l'objet sera de 15/100 de millimètres; et celle de l'image étant de 45 millimètres, le grossissement sera le quotient de 45 par 15/100, ou 300. Dans cette expérience, l'œil doit être écarté de l'écran d'une distance égale à celle de la vue distincte, distance qui varie d'un observateur à un autre, mais qui, en moyenne, est de 25 à 30 centimètres. Le grossissement du microscope se détermine aussi à l'aide de la chambre claire.

Achromatisme. — L'image formée par une lentille est colorée des couleurs du spectre, à cause de la décomposition de la lumière qui s'opère en même temps que la réfraction, par suite de l'inégale réfrangibilité des rayons de différentes couleurs. L'œil verra les bords d'un objet blanc colorés en rouge, et il n'y aura pas que les bords extrêmes qui auront cette coloration; toutefois les lignes brillantes de l'objet seront irisées, et dès lors la netteté sera enlevée aux images. Ce défaut a été corrigé par l'addition d'une lentille, qui se place entre l'objectif et les images qu'il doit former. Elle augmente, en outre, comme il a été dit, l'étendue visible, le champ de l'instrument.

De la puissance d'un microscope. — La qualité la plus importante, la plus recherchée d'un microscope, due principalement à la construction de l'objectif, c'est *la pénétration.* L'objectif qui ne donnerait des images exactes que pour les parties situées au foyer ne serait pas convenable pour la plupart des recherches scientifiques dans lesquelles les objets observés n'ont souvent pas leurs diverses parties situées dans le même plan. Un bon objectif d'observation doit donner une image suffisamment nette, non-seulement des parties situées exactement au foyer, mais aussi des parties voisines, qui sont un peu en dehors du foyer. Sans cela, il est impossible de se rendre compte de la situation réciproque des différentes parties, et d'acquérir, par exemple, des notions exactes sur la structure des éléments anatomiques, application si utile du microscope qui transforme de nos jours la physiologie.

La faculté de donner des images suffisamment nettes des parties situées un peu en dehors du foyer constitue le *pouvoir de pénétration* d'un objectif. Elle est propre surtout aux jeux de lentilles qui n'ont qu'un pouvoir de pénétration de moyenne dimension.

Emplois du microscope. — Les applications du microscope sont très-nombreuses : il fournit des données importantes aux sciences, aux arts, à l'industrie, à la médecine, etc.; il serait trop long de les exposer en détail, nous nous bornerons à en donner l'énoncé le plus sommaire.

Destiné à faire pénétrer notre œil dans la structure des corps les plus petits, comme son nom le dit très-bien, il existe surtout une condition sans laquelle le microscope ne peut déployer toute sa puissance, c'est la transparence. Les corps opaques exigeant un éclairage en dessus, on y parvient, comme nous l'avons déjà dit, en employant une loupe, ou un prisme à surfaces convexes, ou bien un miroir d'un très-court foyer vissé sur les lentilles, miroir dont l'idée appartient à Lieberkühn (le même qui en 1738 imagina le microscope solaire); toutefois, ces corps ne peuvent être étudiés qu'avec de faibles grossissements; mais leur examen ayant principalement pour but d'en voir les reliefs, la loupe ou le Coddington suffit souvent pour cela; et, d'un autre côté, ces objets étant fort souvent des productions naturelles d'une certaine étendue, on les divise alors en lames infiniment minces, ou bien on les plonge dans des liquides qui augmentent beaucoup leur transparence.

L'application du microscope à la chimie consiste principalement à examiner la forme des cristaux très-petits qui donnent un aspect opalin ou nacré aux liquides : en général, les liquides continus et limpides échappent au microscope, mais la moindre apparence

EFERUS - Recherche & Classification numérique

louche, laiteuse, opaline ou nacrée décèle l'existence de myriades de corps en suspension, sphériques, en aiguilles, etc., morts ou vivants. La formation des cristaux microscopiques s'observe en plaçant une goutte de la dissolution sur le porte-objet; le dissolvant varie suivant la nature du sel, et suivant qu'on veut obtenir une évaporation plus ou moins rapide. Ce phénomène présente l'un des plus beaux spectacles que l'on puisse voir, par la perfection des lignes, l'éclat des couleurs et l'activité de la production : les cristaux isolés, qui ont été produits avec lenteur, sont remarquables par la pureté de leurs facettes et les transformations nombreuses et instructives qu'ils présentent avec la lumière polarisée.

Si la lumière ainsi modifiée est d'un puissant secours pour déterminer le système cristallin de certains corps, elle donne lieu aux plus beaux phénomènes de coloration qu'il soit possible de voir. Nous citerons particulièrement l'hydrochlorate d'ammoniaque, le chlorate de potasse et le sulfate de cuivre.

En dehors des produits purement chimiques, il y a les liquides vitaux et de déjection dont les principaux, le sang, le lait, la lymphe, l'urine, le sperme, la salive, sont du domaine de la médecine. Leur examen microscopique est fort utile pour l'indication des maladies, et peut-être trop peu pratiqué. L'inspection microscopique seule des sédiments de l'urine serait capable de guider un médecin dans un grand nombre de cas.

L'application la plus fréquente et la plus séduisante du microscope est sans contredit l'étude du règne végétal et du règne animal; la nature vivante surtout nous pénètre d'admiration par sa fécondité illimitée, par sa délicatesse d'organisation et l'énergie de mouvement qu'elle montre dans les plus petits êtres.

Avec le microscope on reconnaît que les bois, les écorces, les épidermes végétaux et animaux les plus grossiers comme les plus délicats, les poils, les filaments, les algues, les mousses, les pollen, les fécules sont formés d'enveloppes concentriques avec des canaux, des pores, des trachées d'une texture très délicate.

Les organes des insectes sont bien plus curieux encore, les pattes, les ailes, les suçoirs, les antennes, les dards, les palpes, les cils vibratoires offrent dans leur construction une aptitude en harmonie parfaite avec leur fonction qui met en évidence la science infinie du Créateur.

Il nous reste à parler d'une application du microscope qui n'offre pas autant d'attrait à la curiosité, mais qui est d'une utilité plus immédiate, c'est celle qui concerne les falsifications.

L'avidité du gain est cause qu'il est presque impossible de se procurer aujourd'hui des produits purs, si ces produits sont vendus à l'état pulvérulent, filamenteux ou en pâte : c'est ainsi que les sels, les farines, la soie, la laine, la cire, le chocolat et une multitude d'articles de droguerie sont falsifiés par leur mélange avec un corps analogue de moindre valeur. Pour la découverte de ces falsifications le microscope est indispensable, ou du moins il nous permet souvent de qualifier la substance à la première vue, tandis que l'analyse chimique, qui ne peut être exécutée par tout le monde et demande une grande dépense de temps et d'argent, ne peut entrer en comparaison, sans compter qu'elle devient impuissante toutes les fois que la forme est tout et la substance rien; par exemple, s'il s'agit d'une toile dans laquelle on soupçonne la substitution du coton au lin ou au chanvre.

L'analyse microscopique des tissus indiquera donc non seulement au fabricant si une très petite quantité de coton a été introduite dans une étoffe vendue comme n'en devant pas contenir, mais elle lui montrera également si les matières premières ont le degré de finesse convenable; il reconnaîtra aussi par les aspérités écailleuses dont elles sont recouvertes, les plus propres au feutrage.

C'est surtout dans les farines que la fraude se fait sur une grande échelle; en effet, on peut impunément ajouter une assez grande quantité de farine de pois, de haricots, d'avoine, à des farines de froment; cette fraude ne peut se reconnaître qu'avec le microscope. Presque tous les chocolats contiennent plus ou moins de fécule de pomme de terre; un fragment dissous dans une goutte d'eau, c'est tout autant qu'il en faut pour reconnaître cette falsification. Dans des poudres de lichen vendues fort cher, comme ne devant contenir que du lichen broyé et du sucre en poudre, nous avons reconnu qu'il y avait au moins un tiers de fécule de pomme de terre; à cause de son bas prix et de la facilité avec laquelle on l'incorpore à une foule de substances, on trouve souvent cette même fécule dans le beurre, dans la cire, et dans presque toutes les fécules étrangères vendues sous le nom d'arrow-root et autres.

Le microscope sert encore à mesurer les corps les plus ténus en les appliquant sur un micromètre tracé sur verre, dont les divisions d'une finesse extrême montrent le millimètre divisé en 500 et même en 1,000 parties. Cette mensuration est aussi utile aux sciences qu'à l'industrie; on mesure aussi bien les globules du sang que le diamètre de la soie et de la laine: la finesse des laines se reconnaît, il est vrai, au premier aspect; mais le mélange en faible proportion qui échappe à la vue simple se manifeste immédiatement avec le microscope.

En résumé, la première vue ne peut dispenser du microscope, et toute administration ou fabrique employant des matières pulvérulentes, filamenteuses ou en pâte, trouverait un grand bénéfice à s'en servir, ne fût-ce que pour montrer qu'elle a l'œil toujours ouvert sur la fraude.

On s'est beaucoup occupé des illusions microscopiques, et l'on a prétendu qu'elles devaient faire rejeter le microscope pour des recherches sérieuses; elles ont en effet conduit quelquefois dans une fausse voie ou ont donné lieu à des prévisions qui ne se sont pas toujours réalisées, mais elles ont presque toujours pour cause un éclairage exagéré. Nous pensons, en résumé, qu'avec du soin, de l'attention, de la persévérance, en se tenant toujours en garde, on arrivera certainement à les éviter.

L'optique fournit encore aux amateurs d'observations microscopiques un appareil dont les effets sont des plus remarquables, c'est le *microscope solaire*. Il exige nécessairement, ainsi que l'indique son nom, le concours de la lumière solaire. Un large faisceau de rayons solaires est renvoyé horizontalement par un miroir plan convenablement incliné; puis, ce faisceau est concentré par un grand verre collecteur sur l'objet qu'il s'agit d'observer. A une petite distance de celui-ci se trouve une série de lentilles qui va former bien au delà une image réelle et considérablement amplifiée, que l'on reçoit sur un grand écran blanc. Si l'on a préalablement fait l'obscurité dans la chambre où l'on opère, l'image fournie par ce microscope, après la mise au point, est vive et tranchée et peut être contemplée par une société nombreuse. L'instabilité de notre climat a fait songer à substituer au soleil quelque autre foyer de lumière artificielle et intense; on a employé successivement l'éclairage aux gaz oxygène et hydrogène projetés sur la chaux et la lumière plus vive encore, fournie par la pile; ce dernier moyen surtout a fourni d'assez beaux résultats.

N.-P. LEREBOURS.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MINÉRALOGIE. La minéralogie, qui comprend l'étude et la description des *minéraux* ou corps que l'on rencontre dans le règne animal, et la GÉOLOGIE, qui s'occupe de leur gisement, c'est-à-dire de leur manière d'être dans le sein de la terre, sont deux sciences dont la connaissance est indispensable à ceux qui veulent s'occuper d'exploitation de mines, ou d'une quelconque des branches si étendues de l'industrie qui repose sur la mise en œuvre et le traitement des matières minérales que nous fournit l'écorce terrestre. Il n'entre pas dans notre cadre de faire ici un traité de minéralogie ; nous ne pouvons que donner ici les principes généraux de cette science, en renvoyant pour la description sommaire des principaux minéraux à l'article de chaque métal, et aux mots ARGILE, CALCAIRE, COMBUSTIBLE, GEMMES, HOUILLE, QUARZ, etc. Nous recommanderons seulement à ceux de nos lecteurs qui voudraient acquérir une connaissance plus approfondie de cette science, l'excellent traité de minéralogie du savant géologue Dufrénoy, qui joint à l'avantage de résumer l'état actuel de la minéralogie, celui de renfermer des indications précises sur le mode de gisement des minéraux, point de vue de la plus haute importance pour l'industrie, et jusqu'alors trop négligé par les savants qui ont écrit sur cette matière.

La marche que l'on suit dans l'étude de la minéralogie est analogue à celle adoptée dans les autres branches de l'histoire naturelle. On réunit les minéraux en groupes que l'on divise en classes ou familles, qui se subdivisent successivement en genres, en espèces et en variétés. L'espèce, en minéralogie, est formée de la réunion d'un certain nombre d'individus liés entre eux par une composition chimique identique ; les variétés, souvent d'aspect et de propriétés très différentes, le doivent à un mode d'agrégation moléculaire différent ; ainsi, le spath d'Islande, le marbre statuaire, les marbres communs, les pierres à chaux et la craie, sont des variétés d'une même espèce que la chaux carbonatée, et se composent tous d'acide carbonique et de chaux dans les mêmes proportions. Cet exemple montre qu'il faut étudier les minéraux sous deux rapports distincts, physiquement et chimiquement.

Parmi les *caractères physiques*, les uns sont appréciables à la simple vue, ce sont les *caractères extérieurs ;* d'autres, exigent la considération des formes géométriques, ce sont les *caractères cristallographiques ;* quelques uns, enfin, ne peuvent se constater que par certaines expériences de physique, ce sont les *caractères physiques* proprement dits.

Les *caractères chimiques* sont tous fondés sur la recherche de la composition plus ou moins exacte des minéraux. Nous allons exposer aussi brièvement que possible ces quatre classes de caractères.

CARACTÈRES EXTÉRIEURS.

Les caractères extérieurs des minerais sont :

1° *L'état d'agrégation.* Les minéraux sont liquides, solides ou friables. Lorsqu'ils sont liquides, ils sont fluides (mercure) ou visqueux (bitume) ;

2° *La couleur.* La couleur est propre au minéral et constante, ou accidentelle par mélange. Dans quelques cas, elle est irisée ou chatoyante ;

3° *La forme.* Les formes géométriques constituent les caractères cristallographiques dont nous nous occuperons plus loin. Les autres formes sont imitatives (en grains, coralliforme, etc), pseudo-morphiques (par remplacement, bois pétrifié, etc.), pseudo-régulières (en masses prismatiques provenant de fissures dues à un retrait, basaltes, etc.) ou communes, c'est à-dire sans forme déterminée ; dans ce dernier cas on dit que le minéral peut être en masse, en fragments anguleux ou amorphes ;

4° *L'éclat.* L'éclat que présentent les minéraux est vitreux, cireux, soyeux, nacré, adamantin, métalloïde ou demi-métallique et métallique ;

5° *La transparence.* Les minerais peuvent être diaphanes ou transparents, translucides ou opaques ;

6° *La cassure.* La cassure est lamelleuse, lamellaire, grenue, fibreuse, rayonnée, schisteuse et compacte.

La cassure lamelleuse n'a lieu que pour les minéraux cristallisés ; il importe alors de constater si on peut les diviser en lames dans plusieurs sens, c'est-à-dire s'il y a un ou plusieurs *clivages*, et leur facilité relative.

7° *Dureté.* C'est un caractère très important qui s'apprécie par la résistance qu'un corps oppose à être rayé par un autre, et qui est essentiellement lié à la composit on chimique ; on l'apprécie en prenant pour termes de comparaison les dix substances suivantes :

1. — Talc.	6. — Feldspath.
2. — Gypse.	7. — Quarz.
3. — Spath d'Islande.	8. — Topaze.
4. — Chaux fluatée.	9. — Corindon.
5. — Chaux phosphatée.	10. — Diamant.

8° *La raclure.* L'essai de la dureté donne une rayure et une poussière dont l'examen est caractéristique pour les minéraux qui ont une couleur propre ;

9° *La ténacité, la tachure, l'onctuosité, la flexibilité, la ductilité, la saveur, le happement à la langue, l'odeur, le froid, le son et la pesanteur,* sont des caractères qui n'appartiennent qu'à un très petit nombre de minéraux, et qui, par cela même, deviennent pour ceux qui les possèdent un moyen facile de distinction.

CARACTÈRES CRISTALLOGRAPHIQUES.

Un grand nombre de minéraux se présentent dans la nature sous la forme de polyèdres ou cristaux, qui sont assujettis aux lois ci-dessous :

1° Ces polyèdres sont terminés par des faces planes ;

2° Ces faces sont ordonnées symétriquement, soit toutes ensemble, soit par parties, par rapport à une ou plusieurs lignes qu'on appelle axes ;

3° Dans la plupart des cristaux les faces sont parallèles deux à deux ;

4° Enfin les angles des cristaux sont toujours saillants et jamais rentrants.

Ces lois, qui sont générales, présentent quelquefois, cependant, des anomalies apparentes, mais le plus léger examen en montre immédiatement la cause. Ainsi certains minéraux, tels que l'oxyde d'étain, le feldspath, etc., présentent souvent un angle rentrant dû au croisement symétrique de deux cristaux ; on dit alors que ceux-ci sont maclés ou qu'ils présentent une *hémitropie :* le plan de jonction des deux cristaux est ordinairement parallèle à ceux des faces du cristal simple, ou à un de ses plans diagonaux.

Nous avons déjà fait remarquer que beaucoup de minéraux cristallisés possèdent un ou plusieurs clivages, c'est-à-dire qu'ils peuvent se diviser en lames suivant une ou plusieurs directions ; ces clivages sont soumis aux lois suivantes :

1° Dans un même minéral les clivages sont toujours semblablement disposés ; ils forment des angles constants entre eux, ainsi qu'avec les faces du cristal ;

2° Quand il existe trois directions de lames, ces directions constituent par leur réunion un solide de clivage qui a constamment les mêmes angles pour une même espèce, et la détermine d'une manière précise ;

3° Dans une même substance, et quelque soit le nombre des clivages, ceux-ci sont ordinairement constants dans leur degré de netteté, et cette netteté est elle-même en rapport avec la nature des faces auxquels ils correspondent.

Le célèbre *Haüy*, qui mérite à juste titre d'être regardé comme le fondateur de la minéralogie, ayant remarqué que tous les cristaux si variés que présente une même espèce minérale clivable, admettaient les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MINÉRALOGIE.

mêmes clivages, fut conduit à penser qu'il devait exister une relation intime entre les formes de ces cristaux et le solide de clivage, et il a effectivement reconnu qu'on pouvait les faire dériver d'une manière simple de ce noyau intérieur. Étendant cette idée à tous les minerais cristallisés, il a également reconnu que l'on pouvait toujours y supposer l'existence d'un noyau intérieur sur lequel les faces des cristaux sont placées d'une manière symétrique ; il a donné le nom de *forme primitive* à ce noyau intérieur, souvent hypothétique, quelquefois même différent du solide de clivage, et celui de *formes secondaires* aux cristaux qui en dérivent; enfin, il a désigné par l'expression de *système cristallin*, l'ensemble des lois au moyen desquelles les formes secondaires dérivent de la forme primitive.

La première de ces lois, qui constitue la *loi de symétrie*, consiste, en ce que s'il existe une modification ou face secondaire sur une partie quelconque d'un cristal ; la même modification doit se représenter sur toutes les parties semblables et semblablement placées du cristal.

Lorsque les plans de ces nouvelles faces sont également inclinés sur les angles, ou sur les arêtes, sur lesquels les modifications ont lieu, on dit que ces modifications sont tangentes à ces angles ou à ces arêtes.

Certains cristaux échappent à la loi de symétrie, les faces qui les forment n'ont plus leurs parallèles, et on ne peut les concevoir qu'en supposant la suppression de la moitié des modifications qui leur ont donné naissance : on les désigne sous le nom de cristaux *hémièdres*.

Les formes primitives peuvent toujours rentrer dans l'un des six *types cristallins* suivants :

1° Le cube ;
2° Le prisme droit à base carrée ;
3° Le prisme droit à base rectangle ;
4° Le rhomboèdre ;
5° Le prisme rhomboïdal oblique ;
6° Le prisme oblique non symétrique.

1° *Cube.* Dans le cube les angles, les arêtes et les faces présentent une symétrie complète qui doit se reproduire également dans les modifications qui mènent aux formes dérivées. Ainsi le cube a huit angles et douze arêtes.

Des modifications tangentes sur les angles mènent à l'octaèdre régulier.

Des modifications tangentes sur les arêtes donnent le dodécaèdre.

Des modifications non tangentes seront triples sur les angles, et doubles sur les arêtes ; elles donneront naissance, dans chaque cas, à des solides à vingt-quatre faces.

Les principaux cristaux hémièdres du premier type cristallin sont :

Le tétraèdre régulier, hémièdre de l'octaèdre régulier ; et le dodécaèdre rhomboïdal, solide à douze faces pentagones, hémièdre d'un solide à vingt-quatre faces ;

2° *Prisme droit à base carrée.* Dans le prisme droit à base carrée il y a huit angles égaux et semblablement placés, et deux sortes d'arêtes, huit horizontales et quatre verticales.

Les modifications sur les angles, ainsi que celles sur les arêtes de la base, donnent des octaèdres à base carrée; les modifications sur les arêtes verticales reproduisent un prisme droit à base carrée, et à huit faces quand les modifications ne sont pas tangentes. La combinaison de ces formes donne des prismes droits à base carrée ou octogone avec pointements à quatre ou huit faces.

L'octaèdre à base carrée présente une hémiédrie, le tétraèdre symétrique, dans le cuivre pyriteux.

3° *Prisme droit à base rectangle.* Dans le prisme droit à base rectangle il y a huit angles trièdres égaux et semblablement placés, et trois sortes d'arêtes, savoir : quatre arêtes verticales, et huit arêtes horizontales dont quatre longues et quatre courtes.

Les modifications sur les angles donnent des octaèdres à base rhombe ; les modifications sur les arêtes de la base donnent lieu tantôt à des biseaux, tantôt à des octaèdres à base rectangulaire ; des modifications sur les arêtes verticales donnent des prismes rhomboïdaux droits, dont la combinaison avec le prisme droit à base rectangle donne des prismes à six ou huit faces.

4° *Rhomboèdres.* Dans les trois premiers types cristallins, il y a trois axes de figure rectangulaires, tous trois égaux dans le premier, dont deux seulement sont égaux dans le second, et qui sont tous les trois inégaux dans le troisième. Ces axes sont obliques, égaux entre eux et également inclinés dans le rhomboèdre, qui est un prisme oblique dont toutes les faces sont des rhombes égaux. Il s'ensuit que les éléments dont se compose le rhomboèdre sont deux angles sommets, six angles latéraux, six arêtes culminantes, trois pour chaque sommet, et six arêtes latérales : un plan mené par le milieu de la ligne qui joint les deux sommets et perpendiculairement à cette ligne coupera le rhomboèdre suivant un hexagone régulier.

Des modifications tangentes sur les six arêtes culminantes donneront des rhomboèdres ; des modifications inégalement inclinées seront doubles et donneront lieu généralement à des *métastatiques*, dodécaèdres à triangles scalènes, et comme cas particulier à des dodécaèdres à triangles isocèles.

Des modifications tangentes sur les six arêtes latérales, donneront des prismes hexaèdres réguliers ; et des modifications inégalement inclinées, des métastatiques.

Des modifications tangentes sur les angles sommets, donneront les bases des prismes à six faces ; des modifications inégalement inclinées seront triples, et donneront des rhomboèdres.

Des modifications tangentes sur les angles latéraux donneront des prismes à six faces réguliers ; des modifications inégalement inclinées peuvent être suivant leur position simples ou doubles : dans le dernier cas, elles donnent des métastatiques, dans le premier, des rhomboèdres qui, se combinent quelquefois avec le rhomboèdre primitif pour donner naissance à des dodécaèdres à triangles isocèles.

Ces diverses formes se combinent presque toujours ensemble pour donner des cristaux composés de forme très variée.

5° *Prisme rhomboïdal oblique.* Dans ce type cristallin deux des axes sont égaux et également inclinés sur le troisième. Il en résulte qu'il y a trois sortes d'angles, savoir : deux couples d'angles égaux et semblablement placés, dont les sommets sont deux à deux dans le plan diagonal perpendiculaire à la base, et quatre angles semblables dont les sommets sont situés dans l'autre plan diagonal; et quatre sortes d'arêtes, savoir : deux sortes d'arêtes verticales opposées deux à deux, et deux sortes d'arêtes horizontales parallèles quatre à quatre.

Des modifications sur les angles, les remplacent par une ou deux faces et donnent naissance, dans tous les cas, à des biseaux. Des modifications sur les arêtes verticales donnent naissance à des prismes à quatre, six ou huit faces. Des modifications sur les arêtes de la ba e donnent des biseaux, qui donnent souvent, en se combinant avec la base ou entre eux, des pointements à trois ou à quatre faces.

6° *Prisme oblique non symétrique.* Lorsque les trois axes obliques sont inégaux, il n'existe plus de symétrie dans le cristal, qui se présente sous la forme d'un prisme oblique à base parallélogramme obliquangle. Les angles solides non opposés sont formés d'angles plans différents; les arêtes verticales sont de deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

espèces, et les arêtes de la base sont toutes dissemblables. Il y a donc, dans ce type cristallin, dix éléments différents, savoir : 4 espèces d'angles et 6 espèces d'arêtes.

De ce défaut de symétrie, il résulte que les modifications se réduisent à de simples troncatures, qui se reproduisent deux par deux sur les arêtes ou les angles opposés.

Détermination de la forme primitive et des formes secondaires. La forme primitive est donnée par les angles et par les dimensions de ses axes. Ces quantités sont complétement déterminées dans le premier type cristallin : pour le rhomboèdre, il suffit de déterminer l'angle que font entre eux les axes ; pour le prisme droit à base carrée et le prisme droit à base rectangle, les dimensions des axes ; pour le prisme oblique rhomboïdal et le prisme oblique non symétrique, les dimensions des axes et leurs inclinaisons respectives. Des angles que forment les axes entre eux, on peut déduire aisément, par les formules de la trigonométrie sphérique, les angles dièdres formés par les faces de la forme primitive, qui leur sont parallèles, et qui constituent les angles dièdres d'angles solides trièdres, dont les angles plans sont précisément ceux que les axes forment entre eux.

Les modifications sur les arêtes de la forme primitive de chaque type cristallin sont parallèles à l'un des axes, et coupent les deux autres ; celles sur les angles coupent les trois axes. Dans les deux cas, ayant mesuré les angles formés par les faces secondaires avec les faces primitives, on peut calculer, par la trigonométrie, les distances relatives auxquelles elles coupent ces axes. L'expérience a démontré que, en supposant que ces faces passent par l'extrémité de l'un des axes, elles couperont les autres à des distances qui seront dans des rapports simples avec les longueurs de ces axes : cette loi constitue, avec la loi de symétrie, les lois fondamentales de la dérivation des formes secondaires.

Réciproquement l'observation des faces secondaires et, par suite, le calcul des distances relatives auxquelles elles coupent les axes, donnent le moyen de déterminer les dimensions de la forme primitive, qui sont soumises à satisfaire à la loi énoncée ci-dessus.

Goniomètres. La détermination de la forme primitive et de ses dimensions, ainsi que celle de la loi de dérivation des faces secondaires, repose sur la mesure des angles dièdres que les faces des cristaux font entre elles ; les instruments qui servent à mesurer ces angles ont reçu le nom de goniomètres. Ils se divisent en deux classes, les goniomètres d'application et les goniomètres à réflexion. Le plus simple et le plus employé des goniomètres d'application se compose d'un demi-cercle gradué, sur lequel sont fixées deux lames servant d'alidades, l'une fixe formant le diamètre de l'instrument et en marquant le zéro, l'autre mobile autour du centre et servant à mesurer l'angle dont on veut déterminer la valeur. L'opération consiste à amener l'une des deux faces du cristal comprenant l'angle cherché sur l'alidade fixe, et à faire mouvoir l'alidade mobile jusqu'à ce qu'elle s'applique exactement sur l'autre face.

Les goniomètres à réflexion donnent les angles avec beaucoup plus d'exactitude que les goniomètres d'application ; mais ils ne peuvent être employés que pour des cristaux, dont les faces sont très nettes et susceptibles de faire miroir. Ils consistent en un cercle divisé vertical ou horizontal mobile, dans l'axe duquel on place l'arête de jonction des deux faces dont on veut mesurer l'angle dièdre. On fait ensuite tourner le cercle divisé sur son axe, de manière à voir successivement par réflexion, sur chacune des faces, une ligne éloignée parallèle à cet axe ; l'observation se fait, soit à l'œil nu, soit au moyen d'une lunette fixe ; l'angle de rotation du cercle est le supplément de l'angle dièdre cherché.

Anomalies aux lois de la cristallisation. L'étude des formes des cristaux avait conduit Haüy à poser en principe :

1° Que, lorsque des minéraux ont une composition chimique identique, ils possèdent toujours un même système cristallin, et les valeurs des angles de la forme primitive sont les mêmes ;

2° Que, lorsque des minéraux diffèrent dans leur composition chimique, leur cristallisation est différente, et, dans le cas où ces minéraux possèdent un système cristallin analogue, leurs formes primitives admettent des angles différents.

Ces deux principes sont aujourd'hui trop absolus. M. Mitscherlich a montré que certaines substances pouvaient se remplacer les unes les autres en toutes proportions sans altérer la forme ; découverte importante d'où est née la belle théorie de l'*isomorphisme*. Il a également fait voir qu'il existe un petit nombre de corps *dimorphes* (10 à 12 seulement), c'est-à-dire qui présentent des formes incompatibles, appartenant à des types cristallins différents : ce n'est donc qu'une exception extrêmement rare. Quant aux corps isomorphes, il suffit de regarder, comme ayant la même composition, les minéraux qui ne diffèrent que par la substitution d'une partie de leurs éléments par leurs isomorphes.

Les angles rentrants, qui proviennent de l'*hémitropie* ou du croisement des cristaux, ne sont, comme nous l'avons vu, que des anomalies apparentes de la loi de symétrie.

Certains cristaux présentent une *dissymétrie* réelle ; elle est complète, et produit généralement des cristaux hémièdres complets dans les deux premiers types cristallins ; dans tous les autres cas, elle paraît en relation intime avec les propriétés pyro-électriques que présentent alors ces cristaux.

CARACTÈRES PHYSIQUES.

Ces caractères sont au nombre de six, savoir :
La densité ou pesanteur spécifique ;
L'électricité ;
Le magnétisme,
La double réfraction ;
L'élasticité ;
Et la dilatation.

1° *Pesanteur spécifique.* La pesanteur spécifique des minéraux est un caractère très important, et qui est très souvent consulté. On la détermine par les procédés que nous avons décrits au mot DENSITÉ.

2° *Electricité.* Tantôt les minéraux sont susceptibles d'acquérir directement les propriétés électriques, soit par le frottement, soit par l'action de la chaleur ou du contact ; tantôt il est nécessaire qu'ils soient pour cela isolés ; enfin, l'électricité qui se développe est tantôt positive, tantôt négative.

Parmi les minéraux électriques par la chaleur ou pyro-électriques, quelques-uns ont des pôles, c'est-à-dire que l'une de leurs extrémités présente de l'électricité positive pendant que l'autre extrémité est électrisée négativement. Il est à remarquer que cette propriété est en rapport avec la cristallisation, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, en parlant des anomalies aux lois de symétrie. L'un des pôles est modifié d'une certaine façon, et l'autre pôle porte un autre genre de modification. Nous citerons pour exemple la tourmaline ; l'électricité s'y développe avec énergie par l'action de la chaleur, et la nature des pôles est facile à observer. Ceux-ci changent de place lors du refroidissement ; en outre, lorsqu'on casse les cristaux, leurs fragments deviennent, sous le rapport électrique, chacun un cristal complet ; de sorte que, placés les uns à côté des autres, ils présentent des pôles différents.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quelques corps, comme la chaux fluatée, deviennent phosphorescents par le frottement ou par l'action de la chaleur ; mais ce phénomène, présentant une intensité très variable, suivant les échantillons, est un caractère de peu d'importance.

3° *Magnétisme*. La propriété d'agir sur le barreau aimanté est caractéristique du fer oxydulé.

4° *Double réfraction*. Les cristaux du premier type cristallin ne possèdent pas la double réfraction ; les cristaux, qui dérivent du prisme droit à base carrée et du rhomboèdre, jouissent de la double réfraction à un axe ; les cristaux, qui dérivent du prisme droit rectangulaire, du prisme rhomboïdal oblique et du prisme oblique non symétrique, possèdent la double réfraction à deux axes. Dans les cristaux qui jouissent de la double réfraction, on donne le nom d'axes aux directions suivant lesquelles il n'y a pas de double réfraction, c'est-à-dire suivant lesquelles les rayons ordinaire et extraordinaire se confondent. Ces propriétés servent souvent de guides précieux pour reconnaître le type cristallin d'une substance minérale imparfaitement cristallisée.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe, sous un angle de 35° 25', sur une glace polie et non étamée, au lieu de la traverser il se réfléchit en faisant un angle de réfraction égale à l'angle d'incidence ; si maintenant on le reçoit dans un point quelconque de son trajet sur une autre glace également polie et non étamée, il y subira, en général, une seconde réflexion partielle, mais cette réflexion deviendra nulle, c'est-à-dire que la lumière s'éteindra complétement, si la seconde glace est parallèle à la première : on dit alors que la lumière est complétement polarisée.

La tourmaline jouit de la propriété d'éteindre complétement la lumière polarisée. Cette propriété est fréquemment employée pour reconnaître si une substance jouit de la double réfraction et si cette double réfraction est à un ou deux axes. Lorsqu'on prend deux plaques de tourmaline taillées parallèlement à l'axe, et qu'on les place l'une sur l'autre dans leur position naturelle, comme cette substance est diaphane, les plaques laissent passer la lumière ; mais si on les place à angle droit, l'espace compris entre les deux plaques devient complétement obscur. Si maintenant on interpose entre les deux plaques de tourmaline un cristal jouissant de la double refraction, le rayon polarisé, en traversant ce cristal, sera dévié de sa route, il ne sera plus dans la position convenable pour être polarisé par la seconde plaque ; la lumière sera donc rétablie, et la partie qui était obscure redeviendra transparente. En outre, dans les substances bi-réfringentes à un axe, la partie devenue claire présentera une série d'anneaux colorés traversés généralement par une croix noire, qui s'épanouit à ses extrémités sous la forme d'un pinceau, tandis que pour les substances à deux axes les anneaux colorés sont seulement traversés par une barre noire.

5° *Élasticité*. Ce caractère n'est développé à un haut degré que dans très peu de minéraux.

6° *Dilatation*. La dilatation n'est pas la même dans tous les sens dans tous les corps cristallisés, et est en relation avec leur système cristallin ; c'est un caractère difficile à apprécier et de très peu d'importance.

CARACTÈRES CHIMIQUES.

Les minéraux cristallisés peuvent presque toujours être déterminés par le seul examen de la forme ; mais lorsqu'ils sont à l'état compacte, il est souvent nécessaire d'avoir recours aux caractères chimiques pour en reconnaître la nature. L'étude de ces caractères ne consiste en minéralogie que dans des épreuves promptes et faciles qui donnent des indications sur la nature des éléments constitutifs des minéraux, sans en faire connaître exactement les proportions.

Sans compter l'*analyse mecanique*, qui consiste à réduire un minéral, cristallin ou grenu, en poussière grossière, et à en isoler les diverses parties, soit par le triage à la main, soit par le lavage, on a recours, en minéralogie, à quatre genres d'épreuves, savoir : la solubilité dans l'eau, l'action des acides, celle des alcalis, et les essais par voie sèche.

1° *Solubilité dans l'eau*. N'existe que pour un très petit nombre de corps, pour lesquels c'est un caractère très saillant, surtout si l'on observe en même temps le goût qui est propre à chaque sel et le caractérise presque toujours.

2° *Action des acides*. Quand on traite un minéral par les acides, on distingue :

S'il est soluble ou non dans les acides ;

S'il s'y dissout avec ou sans effervescence ;

S'il se dissout entièrement ou s'il laisse un résidu pierreux ou gélatineux. Dans le premier cas, l'action des acides peut être lente ou rapide, et la dissolution, incolore ou colorée ; cette couleur est caractéristique pour tous les métaux dont les solutions ont une couleur propre.

Tantôt l'effervescence est produite par des vapeurs nitreuses rutilantes, résultant d'une suroxydation par l'emploi de l'acide nitrique ; tantôt elle est due à un dégagement d'acide carbonique incolore, et provient de carbonates : dans ce cas, elle est vive ou lente.

Le résidu qui reste après l'attaque par les acides provient généralement d'un mélange ; dans les pierres à chaux, par exemple, il sert à apprécier leur degré d'hydraulicité. Lorsque ce résidu est gélatineux, c'est de la silice, et le minéral est un silicate ou un hydrosilicate.

3° *Action des alcalis*. Peu employée. On se sert quelquefois d'une dissolution de potasse caustique pour dissoudre la silice gélatineuse, et de l'ammoniaque pour enlever le chlorure d'argent, et pour reconnaître les minerais de cuivre et de nickel, en se fondant sur cette propriété que les oxydes de ces métaux sont solubles dans ce réactif et donnent une liqueur bleue.

4° *Essais par voie sèche*. Ces essais sont de deux sortes :

1° On calcine, ou on grille, les minéraux, pour reconnaître s'ils renferment une substance volatile ;

2° On cherche s'ils sont fusibles ou non.

La calcination s'opère dans des tubes fermés ou *matras* ; le grillage, dans des tubes ouverts par les deux bouts, en chauffant ces tubes graduellement sur des charbons ou mieux sur une lampe à esprit de vin.

Quelques minéraux (argent sulfuré...) sont fusibles à la simple flamme d'une bougie ; mais, en général, il faut les soumettre à une température plus élevée, que l'on produit en dirigeant un courant d'air vif sur la flamme de la bougie, au moyen d'un chalumeau, tube de métal recourbé et effilé à un bout, avec réservoir interposé destiné à condenser l'humidité. La pointe extrême du dard de flamme produit par le chalumeau est éminemment oxydante, la partie blanche et brillante de la flamme, où la combustion est incomplète, jouit au contraire de propriétés réductives.

On essaie ainsi d'abord si le minéral est fusible ou non au chalumeau ; lorsqu'il est fusible, si le produit de la fusion est un verre transparent, un émail ou une scorie, s'il est opaque ou transparent, coloré ou non. Tantôt la fusion a lieu avec boursoufflement, comme pour la plupart des hydrates, quelques minéraux qui contiennent de l'acide borique, etc. ; tantôt les minéraux éprouvent, avant de se fondre, une espèce de grillage, et donnent lieu à une odeur particulière, ou à des fumées, comme les matières arsenicales.

On facilite la fusion des minéraux en ajoutant certains fondants, et on obtient ainsi des émaux ou des verres dont la couleur indique la nature de la substance. Pour rendre sensibles les teintes propres aux oxydes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

métalliques que contiennent les minéraux soumis à l'essai, on emploie successivement les pouvoirs réductif et oxydant du dard du chalumeau, ou bien on y ajoute des fondants qui jouent en même temps le rôle d'agents de réduction ou d'oxydation. Les fondants que l'on emploie comme fondants seulement, sont le borax, et le sel de phosphore, ou phosphate double de soude et d'ammoniaque; ce dernier est surtout employé pour reconnaître les silicates; par lui, la silice est mise en liberté, et apparaît dans le sel de phosphore liquéfié sous la forme d'une masse gélatineuse. La soude et le carbonate de soude sont très employés comme agents à la fois fondants et réductifs. On emploie quelquefois le nitre comme agent oxydant.

Pour faire l'essai, on réduit le minéral en poudre fine, que l'on mélange, s'il y a lieu, avec le fondant, puis on prend un fil de platine que l'on recourbe en forme de crochet à un bout, et qu'on plonge dans la poudre ci-dessus après l'avoir humecté avec la langue. On le soumet ensuite à l'action du dard du chalumeau, de manière à le fondre et à obtenir une goutte ou globule vitreux, qui se fige et s'arrête dans la courbure du fil de platine. L'emploi d'un support de charbon est à présent à peu près complétement abandonné.

Nous ne pouvons, sans sortir du cadre de ce Dictionnaire, entrer dans des détails particuliers sur les caractères propres à chaque minéral; nous renverrons pour les minéraux qui ont une valeur industrielle au nom de chacun d'eux, et aux traités spéciaux de minéralogie.

P. DEBETTE.

MINES (*administration*). En Angleterre les mines font partie de la propriété de la surface, mais en France et sur tout le continent, elles constituent, dans certains cas, une propriété nouvelle, tout à fait indépendante de celle de la surface, et dont l'exploitation ne peut avoir lieu qu'en vertu d'un acte émané du gouvernement et qui s'accorde à ceux qui réunissent certaines conditions, propriétaires ou non de la surface. Nous ne saurions mieux faire, à cet égard, que de donner ici le texte de la loi du 21 avril 1810, qui renferme toute la législation des mines en France.

Loi du 21 avril 1810 sur les mines.

TITRE PREMIER.

DES MINES, MINERAIS ET CARRIÈRES.

Art. 1er. Les masses de substances minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre, ou existantes à la surface, sont classées, relativement aux règles de l'exploitation de chacune d'elles, sous les trois qualifications des mines, minières et carrières.

Art. 2. Seront considérées comme mines celles connues pour contenir en filons, en couches ou amas, de l'or, de l'argent, du platine, du mercure, du plomb, du fer en filons ou couches, du cuivre, de l'étain, du zinc, de la calamine, du bismuth, du cobalt, de l'arsenic, du manganèse, de l'antimoine, du molybdène, de la plombagine ou autres matières métalliques, du soufre, du charbon de terre ou de pierre, du bois fossile, des bitumes, de l'alun et des sulfates à base métallique.

Art. 3. Les minières comprennent les minerais de fer dits d'alluvion, les terres pyriteuses propres à être converties en sulfate de fer, les terres alumineuses et les tourbes.

Art. 4. Les carrières renferment les ardoises, les grès, pierres à bâtir et autres, les marbres, granits, pierres à chaux, pierres à plâtre, les pouzzolanes, les trass, les basaltes, les laves, les marnes, craies, sables, pierres à fusil, argiles, kaolins, terres à foulon, terres à potasse, les substances terreuses et les cailloux de toute nature, les terres pyriteuses regardées comme engrais, le tout exploité à ciel ouvert ou avec des galeries souterraines.

TITRE II.

DE LA PROPRIÉTÉ DES MINES.

Art. 5. Les mines ne peuvent être exploitées qu'en vertu d'un acte de concession délibéré en conseil d'État.

Art. 6. Cet acte règle les droits des propriétaires de la surface sur le produit des mines concédées.

Art. 7. Il donne la propriété perpétuelle de la mine, laquelle est dès lors disponible et transmissible comme tous autres biens, et dont on ne peut être exproprié que dans les cas et selon les formes prescrites pour les autres propriétés, conformément au Code civil et au Code de procédure civile. Toutefois, une mine ne peut être vendue par lots ou partagée, sans une autorisation préalable du gouvernement, donnée dans les mêmes termes que la concession.

Art. 8. Les mines sont immeubles.

Sont aussi immeubles, les bâtiments, machines, puits, galeries et autres travaux établis à demeure, conformément à l'art. 524 du Code civil.

Sont aussi immeubles, par destination, les chevaux, agrès, outils et ustensiles servant à l'exploitation.

Ne sont considérés comme chevaux attachés à l'exploitation, que ceux qui sont exclusivement attachés aux travaux intérieurs des mines.

Néanmoins les actions ou intérêts dans une société ou entreprise pour l'exploitation des mines, seront réputés meubles, conformément à l'article 529 du Code civil.

Art. 9. Sont meubles, les matières extraites, les approvisionnements et autres objets mobiliers.

TITRE III.

DES ACTES QUI PRÉCÈDENT LA DEMANDE EN CONCESSION DE MINES.

SECTION Ire. — *De la recherche et de la découverte des mines.*

Art. 10. Nul ne peut faire des recherches pour découvrir des mines, enfoncer des sondes ou tarières sur un terrain qui ne lui appartient pas, que du consentement du propriétaire de la surface, ou avec l'autorisation du gouvernement, donnée après avoir consulté l'administration des mines, à la charge d'une indemnité préalable envers le propriétaire, et après qu'il aura été entendu.

Art. 11. Nulle permission de recherches, ni concession de mines ne pourra, sans le consentement formel du propriétaire de la surface, donner le droit de faire des sondes et d'ouvrir des puits ou galeries, ni celui d'établir des machines ou magasins dans les enclos murés, cours ou jardins, ni dans les terrains attenant aux habitations ou clôtures murées, dans la distance de cent mètres desdites clôtures ou habitations.

Art. 12. Le propriétaire pourra faire des recherches, sans formalité préalable, dans les lieux réservés par le précédent article, comme dans les autres parties de sa propriété; mais il sera obligé d'obtenir une concession avant d'y établir une exploitation. Dans aucun cas, les recherches ne pourront être autorisées dans un terrain déjà concédé.

SECTION II. — *De la préférence à accorder pour les concessions.*

Art. 13. Tout Français, ou tout étranger naturalisé ou non en France, agissant isolément ou en société, a le droit de demander et peut obtenir, s'il y a lieu, une concession de mines.

Art. 14. L'individu ou la société doit justifier des facultés nécessaires pour entreprendre et conduire les travaux, et des moyens de satisfaire aux redevances, indemnités, qui lui seront imposées par suite de concession.

Art. 15. Il doit aussi, le cas arrivant de travaux à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faire sous des maisons ou lieux d'habitations, sous d'autres exploitations ou dans leur voisinage immédiat, donner caution de payer toute indemnité, en cas d'accident ; les demandes ou oppositions des intéressés seront, en ce cas, portées devant nos tribunaux et cours.

Art. 16. Le gouvernement juge des motifs ou considérations d'après lesquels la préférence doit être accordée aux divers demandeurs en concession, qu'ils soient propriétaires de la surface, inventeurs ou autres.

En cas que l'inventeur n'obtienne pas la concession d'une mine, il aura droit à une indemnité de la part du concessionnaire ; elle sera réglée par l'acte de concession.

Art. 17. L'acte de concession, fait après l'accomplissement des formalités prescrites, purge, en faveur du concessionnaire, tous les droits des propriétaires de la surface et des inventeurs, ou de leurs ayants droit, chacun dans leur ordre, après qu'ils ont été entendus ou appelés légalement, ainsi qu'il sera ci-après réglé.

Art. 18. La valeur des droits résultant en faveur du propriétaire de la surface, en vertu de l'art. 6 de la présente loi, demeurera réunie à la valeur de ladite surface, et sera affectée avec elle aux hypothèques prises par les créanciers du propriétaire.

Art. 19. Du moment où une mine sera concédée, même au propriétaire de la surface, cette propriété sera distinguée de celle de la surface, et désormais considérée comme propriété nouvelle, sur laquelle de nouvelles hypothèques pourront être assises, sans préjudice de celles qui auraient été ou seraient prises sur la surface et la redevance, comme il est dit à l'article précédent.

Si la concession est faite au propriétaire de la surface, ladite redevance sera attribuée pour l'exécution dudit article.

Art. 20. Une mine concédée pourra être affectée, par privilége, en faveur de ceux qui, par acte public et sans fraude, justifieraient avoir fourni des fonds pour les recherches de la mine, ainsi que pour les travaux de construction ou confection des machines nécessaires à son exploitation, à la charge de se conformer aux articles 2103 et autres du Code civil, relatifs aux priviléges.

Art. 21. Les autres droits de privilége et d'hypothèque pourront être acquis sur la propriété de la mine, aux termes et en conformité du Code civil, comme sur les autres propriétés immobilières.

TITRE IV.

DES CONCESSIONS

SECTION Ire. — *De l'obtention des concessions.*

Art. 22. La demande en concession sera faite par voie de simple pétition adressée au préfet, qui sera tenu de la faire enregistrer à sa date sur un registre particulier, et d'ordonner les publications et affiches dans les dix jours.

Art. 23. Les affiches auront lieu pendant quatre mois, dans le chef-lieu du département, dans celui de l'arrondissement où la mine est située, dans le lieu du domicile du demandeur, et dans toutes les communes dans le territoire desquelles la concession peut s'étendre, elles seront insérées dans les journaux du département.

Art. 24. Les publications des demandes en concession de mines auront lieu devant la porte de la maison commune et des églises paroissiales et consistoriales, à la diligence des maires, à l'issue de l'office, un jour de dimanche, et au moins une fois par mois pendant la durée des affiches, les maires seront tenus de certifier ces publications.

Art. 25. Le secrétaire-général de la préfecture délivrera au requérant un extrait certifié de l'enregistrement de la demande en concession.

Art. 26. Les demandes en concurrence et les oppositions qui y seront formées seront admises devant le préfet jusqu'au dernier jour du quatrième mois, à compter de la date de l'affiche ; elles seront notifiées par actes extrajudiciaires à la préfecture du département, où elles seront enregistrées sur le registre indiqué à l'article 22. Les oppositions seront notifiées aux parties intéressées, et le registre sera ouvert à tous ceux qui en demanderont communication.

Art. 27. A l'expiration du délai des affiches et publications, et sur la preuve de l'accomplissement des formalités portées aux articles précédents, dans le mois qui suivra au plus tard, le préfet du département, sur l'avis de l'ingénieur des mines, et après avoir pris des informations sur les droits et les facultés des demandeurs, donnera son avis, et le transmettra au ministre des travaux publics.

Art. 28. Il sera définitivement statué sur la demande en concession, par une ordonnance royale délibérée en conseil d'état.

Jusqu'à l'émission de cette ordonnance, toute opposition sera admissible devant le ministre des travaux publics ou le secrétaire général du conseil d'état ; dans ce dernier cas, elle aura lieu par une requête signée et présentée par un avocat au conseil, comme il est pratiqué pour les affaires contentieuses ; et, dans tous les cas, elle sera notifiée aux parties intéressées.

Si l'opposition est motivée sur la propriété de la mine acquise par concession ou autrement, les parties seront renvoyées devant les tribunaux et cours.

Art. 29. L'étendue de la concession sera déterminée par l'acte de concession : elle sera limitée par des points fixes, pris à la surface du sol, et passant par des plans verticaux menés de cette surface dans l'intérieur de la terre à une profondeur indéfinie ; à moins que les circonstances et les localités nécessitent un autre mode de limitation.

Art. 30. Un plan régulier de la surface, en triple expédition, et sur une échelle de 10 millim. pour 100 mètres, sera annexé à la demande.

Ce plan devra être dressé ou vérifié par l'ingénieur des mines, et certifié par le préfet du département.

Art. 31. Plusieurs concessions pourront être réunies entre les mains du même concessionnaire, soit comme individu, soit comme représentant une compagnie, mais à la charge de tenir en activité l'exploitation de chaque concession.

SECTION II. — *Des obligations des propriétaires de mines.*

Art. 32. L'exploitation des mines n'est pas considérée comme un commerce et n'est pas sujette à patente.

Art. 33. Les propriétaires de mines sont tenus de payer à l'état une redevance fixe, et une redevance proportionnée au produit de l'extraction.

Art. 34. La redevance fixe sera annuelle, et réglée d'après l'étendue de la concession : elle sera de 10 fr. par kilomètre carré.

La redevance proportionnelle sera une contribution annuelle, à laquelle les mines seront assujetties sur leurs produits.

Art. 35. La redevance proportionnelle sera réglée chaque année, par le budget de l'état, comme les autres contributions publiques : toutefois elle ne pourra jamais s'élever au-dessus de 5 p. 100 du produit net. Il pourra être fait un abonnement pour ceux des propriétaires des mines qui le demanderont.

Art. 36. Il sera imposé en sus un décime par franc, lequel formera un fonds de non valeur, à la disposition du ministre des travaux publics, pour dégrèvement en faveur des propriétaires des mines qui éprouveront des pertes ou accidents.

Art. 37. La redevance proportionnelle sera imposée et perçue comme la contribution foncière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les réclamations à fin de dégrèvement ou de rappel à l'égalité proportionnelle seront jugées par les conseils de préfecture. Le dégrèvement sera de droit quand l'exploitant justifiera que sa redevance excède 5 p. 100 du produit net de son exploitation.

Art. 38. Le gouvernement accordera, s'il y a lieu, pour les exploitations qu'il en jugera susceptibles, et par un article de l'acte de concession ou par une ordonnance spéciale délibérée en conseil d'état pour les mines déjà concédées, la remise en tout ou partie du payement de la redevance proportionnelle, pour le temps qui sera jugé convenable ; et ce, comme encouragement, en raison de la difficulté des travaux : semblable remise pourra être aussi accordée, comme dédommagement, en cas d'accident de force majeure qui surviendrait pendant l'exploitation.

. . . . . .

Art. 42. Le droit attribué par l'article 6 de la présente loi aux propriétaires de la surface, sera réglé à une somme déterminée par l'acte de concession.

Art. 43. Les propriétaires de mines sont tenus de payer les indemnités dues aux propriétaires de la surface sur le terrain duquel ils établiront leurs travaux.

Si les travaux entrepris par les explorateurs ou par les propriétaires de mines ne sont que passagers, et si le sol où ils ont été faits peut être remis en culture au bout d'un an comme il l'était auparavant, l'indemnité sera réglée au double de ce qu'aurait produit net le terrain endommagé.

Art. 44. Lorsque l'occupation des terrains pour la recherche ou les travaux des mines prive les propriétaires du sol de la jouissance du revenu au-delà du temps d'une année ou, lorsqu'après les travaux, les terrains ne sont plus propres à la culture, on peut exiger des propriétaires des mines l'acquisition des terrains à l'usage de l'exploitation. Si le propriétaire de la surface le requiert, les pièces de terre trop endommagées, ou dégradées sur une trop grande partie de leur surface, devront être achetées en totalité par le propriétaire de la mine.

L'évaluation du prix sera faite, quant au mode, suivant les règles établies par la loi du 16 septembre 1807, sur le dessèchement des marais, etc., titre XI; mais le terrain à acquérir sera toujours estimé au double de la valeur qu'il avait avant l'exploitation de la mine.

Art. 45. Lorsque, par l'effet du voisinage ou pour toute autre cause, les travaux d'exploitation d'une mine occasionnent des dommages à l'exploitation d'une autre mine, à raison des eaux qui pénètrent dans cette dernière en plus grande quantité; lorsque, d'un autre côté, ces mêmes travaux produisent un effet contraire et tendent à évacuer tout ou partie des eaux d'une autre mine, il y aura lieu à indemnité d'une mine en faveur de l'autre; le règlement s'en fera par experts.

Art. 46. Toutes les questions d'indemnités à payer par les propriétaires de mines, à raison des recherches ou travaux antérieurs à l'acte de concession, seront décidées conformément à l'article 4 de la loi du 28 pluviôse an VIII.

TITRE V.

DE L'EXERCICE DE LA SURVEILLANCE SUR LES MINES PAR L'ADMINISTRATION.

Art. 47. Les ingénieurs des mines exerceront, sous les ordres du ministre des travaux publics et des préfets, une surveillance de police pour la conservation des édifices et la sûreté du sol.

Art. 48. Ils observeront la manière dont l'exploitation sera faite, soit pour éclairer les propriétaires sur ses inconvénients ou son amélioration, soit pour avertir l'administration des vices, abus ou dangers qui s'y trouveraient.

Art. 49. Si l'exploitation est restreinte ou suspendue de manière à inquiéter la sûreté publique ou les besoins des consommateurs, les préfets, après avoir entendu les propriétaires, en rendront compte au ministre des travaux publics pour y être pourvu ainsi qu'il appartiendra.

Art. 50. Si l'exploitation compromet la sûreté publique, la conservation des puits, la solidité des travaux, la sûreté des ouvriers mineurs ou des habitations de la surface, il y sera pourvu par le préfet, ainsi qu'il est pratiqué en matière de grande voirie et selon les lois.

TITRE VI.

DES CONCESSIONS OU JOUISSANCES DES MINES, ANTÉRIEURES A LA PRÉSENTE LOI.

. . . . . .

TITRE VII.

RÈGLEMENTS SUR LA PROPRIÉTÉ ET L'EXPLOITATION DES MINIÈRES, ET SUR L'ÉTABLISSEMENT DES FORGES, FOURNEAUX ET USINES.

SECTION PREMIÈRE. — *Des minières.*

Art. 57. L'exploitation des minières est assujettie à des règles spéciales. Elle ne peut avoir lieu sans permission.

Art. 58. La permission détermine les limites de l'exploitation et les règles à observer sous les rapports de sûreté et de salubrité publiques.

SECTION II. — *De la propriété et de l'exploitation des minerais de fer d'alluvion.*

Art. 59. Le propriétaire du fonds sur lequel il y a du minerai de fer d'alluvion est tenu d'exploiter en quantité suffisante pour fournir, autant que faire se pourra, aux besoins des usines établies dans le voisinage avec autorisation légale : en ce cas, il ne sera assujetti qu'à en faire la déclaration au préfet du département; elle contiendra la désignation des lieux : le préfet donnera acte de cette déclaration, ce qui vaudra permission pour le propriétaire, et l'exploitation aura lieu par lui sans autre formalité.

Art. 60. Si le propriétaire n'exploite pas, les maîtres de forges auront la faculté d'exploiter à sa place, à la charge : 1° d'en prévenir le propriétaire, qui, dans un mois, à compter de la notification, pourra déclarer qu'il entend exploiter lui-même; 2° d'obtenir du préfet la permission, sur l'avis de l'ingénieur des mines, après avoir entendu le propriétaire.

Art. 61. Si, après l'expiration du délai d'un mois, le propriétaire ne déclare pas qu'il prétend exploiter, il sera censé renoncer à l'exploitation; le maître de forges pourra, après la permission obtenue, faire les fouilles immédiatement dans les terres incultes et en jachères, et, après la récolte, dans toutes les autres terres.

Art. 62. Lorsque le propriétaire n'exploitera pas en quantité suffisante, ou suspendra les travaux d'exploitation pendant plus d'un mois sans cause légitime, les maîtres de forges se pourvoiront auprès du préfet pour obtenir la permission d'exploiter à sa place.

Si le maître de forges laisse écouler un mois sans faire usage de cette permission, elle sera regardée comme non avenue, et le propriétaire du terrain rentrera dans tous ses droits.

Art. 63. Quand un maître de forges cessera d'exploiter un terrain, il sera tenu de le rendre propre à la culture, ou d'indemniser le propriétaire.

Art. 64. En cas de concurrence entre plusieurs maîtres de forges pour l'exploitation dans un même fonds, le préfet déterminera, sur l'avis de l'ingénieur des mines, les proportions dans lesquelles chacun d'eux pourra exploiter; sauf le recours au conseil d'état.

Le préfet règlera de même les proportions dans lesquelles chaque maître de forges aura droit à l'achat du minerai, s'il est exploité par le propriétaire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Art. 65. Lorsque les propriétaires feront l'extraction du minerai pour le vendre aux maîtres de forges, le prix en sera réglé entre eux de gré à gré, ou par des experts choisis ou nommés d'office, qui auront égard à la situation des lieux, aux frais d'extraction et aux dégâts qu'elle aura occasionnés.

Art. 66. Lorsque les maîtres de forges auront fait extraire le minerai, il sera dû au propriétaire du fonds, et avant l'enlèvement du minerai, une indemnité qui sera réglée par experts, lesquels auront égard à la situation des lieux, aux dommages causés, à la valeur du minerai, distraction faite des frais d'exploitation.

Art. 67. Si les minerais se trouvent dans les forêts royales, dans celles des établissements publics ou des communes, la permission de les exploiter ne pourra être accordée qu'après avoir entendu l'administration forestière. L'acte de permission déterminera l'étendue des terrains dans lesquels les fouilles pourront être faites : ils seront tenus, en outre, de payer les dégâts occasionnés par l'exploitation, et de repiquer en glands ou plants les places qu'elle aurait endommagées, ou une autre étendue proportionnelle déterminée par la permission.

Art. 68. Les propriétaires ou maîtres de forges ou d'usines, en exploitant les minerais de fer d'alluvion ne pourront, dans cette exploitation, pousser des travaux réguliers par des galeries souterraines, sans avoir obtenu une concession, avec les formalités et sous les conditions exigées par les articles de la section 1re du titre III, et les dispositions du titre IV.

Art. 69. Il ne pourra être accordé aucune concession pour minerai d'alluvion ou pour des mines en filons ou couches, que dans les cas suivants :

1° Si l'exploitation à ciel ouvert cesse d'être possible, et si l'établissement de puits, galeries et travaux d'art est nécessaire ;

2° Si l'exploitation, quoique possible encore, doit durer peu d'années, et rendre ensuite impossible l'exploitation par puits et galeries.

Art. 70. En cas de concession, le concessionnaire sera toujours tenu : 1° de fournir aux usines qui s'approvisionneraient de minerai sur les lieux compris en la concession, la quantité nécessaire à leur exploitation, au prix qui sera porté au cahier des charges, ou qui sera fixé par l'administration ; 2° d'indemniser les propriétaires au profit desquels l'exploitation avait lieu, dans la proportion du revenu qu'ils en tiraient.

SECTION III. — *Des terres pyriteuses et alumineuses.*

Art. 71. L'exploitation des terres pyriteuses et alumineuses sera assujettie aux formalités prescrites par les articles 57 et 58, soit qu'elle ait lieu par les propriétaires des fonds, soit par d'autres individus qui, à défaut par ceux-ci d'exploiter, en auraient obtenu la permission.

Art. 72. Si l'exploitation a lieu par des non-propriétaires, ils seront assujettis, en faveur des propriétaires, à une indemnité qui sera réglée de gré à gré ou par experts.

SECTION IV. — *Des permissions pour l'établissement des fourneaux, forges et usines.*

Art. 73. Les fourneaux à fondre les minerais de fer et autres substances métalliques, les forges et martinets pour ouvrer le fer et le cuivre, les usines servant de patouillets et bocards, celles pour le traitement des substances salines et pyriteuses, dans lesquelles on consomme des combustibles, ne pourront être établis que sur une permission accordée par un règlement d'administration publique.

Art. 74. La demande en permission sera adressée au préfet, enregistrée le jour de la remise sur un registre spécial à ce destiné, et affichée pendant quatre mois dans le chef-lieu du département, dans celui de l'arrondissement projeté, et dans le lieu du domicile du demandeur.

Le préfet, dans le délai d'un mois, donnera son avis tant sur la demande que sur les oppositions et les demandes en préférence qui seraient survenues ; l'administration des mines donnera le sien sur la quantité du minerai à traiter ; l'administration des forêts, sur l'établissement des bouches à feu, en ce qui concerne les bois ; et l'administration des ponts et chaussées, sur ce qui concerne les cours d'eau navigables et flottables.

Art. 75. Les impétrants des permissions pour les usines supporteront une taxe une fois payée, laquelle ne pourra être au-dessous de 50 fr., ni excéder 300 fr.

SECTION V. — *Dispositions générales sur les permissions.*

Art. 76. Les permissions seront données à la charge d'en faire usage dans le délai déterminé ; elles auront une durée indéfinie, à moins qu'elles n'en contiennent la limitation.

Art. 77. En cas de contravention, le procès-verbal dressé par les autorités compétentes sera remis au procureur du roi, lequel poursuivra la révocation de la permission, s'il y a lieu, et l'application des lois pénales qui y sont relatives. . . . . .

Art. 79. L'acte de permission d'établir des usines à traiter le fer, autorise les impétrants à faire des fouilles même hors de leurs propriétés, et à exploiter les minerais par eux découverts, ou ceux antérieurement connus, à la charge de se conformer aux dispositions de la section II.

Art. 80. Les impétrants sont aussi autorisés à établir des patouillets, lavoirs et chemins de charroi, sur les terrains qui ne leur appartiennent pas, mais sous les restrictions portées en l'article 44 ; le tout à charge d'indemnité envers les propriétaires du sol.

TITRE VIII.

SECTION I. — *Des carrières.*

Art. 81. L'exploitation des carrières à ciel ouvert a lieu sans permission, sous la simple surveillance de la police, et avec l'observation des lois ou règlements généraux et locaux.

Art. 82. Quand l'exploitation a lieu par galeries souterraines, elle est soumise à la surveillance de l'administration, comme il est dit au titre V.

SECTION II. — *Des tourbières.*

Art. 83. Les tourbes ne peuvent être exploitées que par le propriétaire du terrain, ou de son consentement.

Art. 84. Tout propriétaire qui voudra exploiter des tourbes dans son terrain ne pourra le faire, à peine de 100 francs d'amende, sans en avoir préalablement fait la déclaration à la sous-préfecture et obtenu l'autorisation.

Art. 85. Un règlement d'administration publique déterminera la direction générale des travaux d'extraction dans le terrain où sont situées les tourbes, celle des rigoles de dessèchement, enfin toutes les mesures propres à faciliter l'écoulement des eaux dans les vallées, et l'atterrissement des entailles tourbées.

Art. 86. Les propriétaires exploitants, soit particuliers, soit communautés d'habitants, soit établissements publics, sont tenus de s'y conformer à peine d'être contraints à cesser leurs travaux.

TITRE IX.

DES EXPERTISES.

Art. 87. Dans tous les cas prévus par la présente loi et autres naissant des circonstances, où il y aura lieu à expertise, les dispositions du titre XIV du Code de procédure civile, articles 303 à 323, seront exécutées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Art. 88. Les experts seront pris parmi les ingénieurs des mines, ou parmi les hommes notables et expérimentés dans le fait des mines et de leurs travaux.

Art. 89. Le procureur du Roi sera toujours entendu, et donnera ses conclusions sur le rapport des experts.

Art. 90. Nul plan ne sera admis comme pièce probante dans une contestation, s'il n'a été levé ou vérifié par un ingénieur des mines. La vérification des plans sera toujours gratuite.

Art. 91. Les frais et vacations des experts seront réglés et arrêtés, selon les cas, par les tribunaux; il en sera de même des honoraires qui pourront appartenir aux ingénieurs des mines; le tout suivant le tarif qui sera fait par un règlement d'administration publique.

Toutefois, il n'y aura pas lieu à honoraires pour les ingénieurs des mines, lorsque leurs opérations auront été faites soit dans l'intérêt de l'administration, soit à raison de la surveillance et de la police publiques.

Art. 92. La consignation des sommes jugées nécessaires pour subvenir aux frais d'expertise pourra être ordonnée par le tribunal contre celui qui poursuivra l'expertise.

TITRE X.

DE LA POLICE ET DE LA JURIDICTION RELATIVES AUX MINES.

Art. 93. Les contraventions des propriétaires de mines exploitants non encore concessionnaires, ou autres personnes, aux lois et règlements, seront dénoncées et constatées comme les contraventions en matière de voirie et de police.

Art. 94. Les procès-verbaux contre les contrevenants seront dressés dans les formes et délais prescrits par les lois.

Art. 95. Ils seront adressés en originaux aux procureurs du Roi, qui seront tenus de poursuivre d'office les contrevenants devant les tribunaux de police correctionnelle, ainsi qu'il est réglé et usité pour les délits forestiers, et sans préjudice des dommages-intérêts des parties.

Art. 96. Les peines seront d'une amende de 500 fr. au plus, et de 100 francs au moins, double en cas de récidive, et d'une détention qui ne pourra excéder la durée fixée par le Code de police correctionnelle.

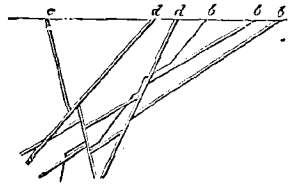
La loi du 21 avril 1810 a été complétée par la *loi du 27 avril 1838, relative à l'assèchement et à l'exploitation des mines*, qui, lorsque plusieurs mines situées dans des concessions différentes se trouvent atteintes ou menacées d'une inondation commune qui serait de nature à compromettre leur existence, la sûreté publique ou les besoins des consommateurs, donne au gouvernement le pouvoir d'obliger les concessionnaires de ces mines à exécuter, en commun et à leurs frais, les travaux nécessaires soit pour assécher tout ou partie des mines inondées, soit pour arrêter les progrès de l'inondation. Comme cette loi n'a qu'un intérêt tout à fait spécial, nous croyons pouvoir nous dispenser d'en reproduire ici le texte.

MINES (*exploitation des*). Dans l'article GÉOLOGIE nous avons déjà décrit d'une manière sommaire la composition de l'écorce du globe. Les minerais métalliques ou autres s'y trouvent en couches, filons, veines, amas, etc., ordinairement associés avec des matières inutiles ou stériles qui portent le nom de gangue.

Les *couches* sont des assises parallèles aux plans de stratification des terrains dans lesquels elles se trouvent et d'une grande régularité; on donne le nom de *bancs* aux couches épaisses de pierres de taille, d'ardoises ou autres matériaux employés dans les constructions. On distingue dans une couche sa *direction*, ou plutôt celle d'une ligne horizontale qui serait tracée dans cette couche, direction déterminée par l'angle que cette ligne forme avec le plan méridien du lieu, et son *inclinaison* sur l'horizon. La *puissance* d'une couche est son épaisseur mesurée par la plus courte distance entre les faces supérieure et inférieure, ou entre son *toit* et son *mur*. L'*affleurement* d'une couche est la ligne suivant laquelle elle est mise à nu sur le sol. Nous avons parlé à l'article HOUILLE des divers accidents que présente l'allure des couches, ce qui nous dispense d'y revenir ici.

Les *filons* n'ont pas la régularité des couches, et en diffèrent en ce qu'ils coupent généralement les plans de stratification des terrains qu'ils traversent, et en ce que leur composition, loin d'offrir un ensemble assez homogène, présente un mélange de matières très diverses, souvent disposées symétriquement par zônes de part et d'autre d'un plan parallèle aux deux parois encaissantes. Quelquefois cependant les filons sont parallèles aux plans de stratification, et prennent le nom de *filons-couches* ou de *veines*. On distingue dans un filon, comme dans une couche, la direction, l'inclinaison, la puissance, le toit, le mur et l'affleurement. Le toit et le mur sont aussi dits les *épontes* du filon. Très fréquemment les filons sont séparés de leurs épontes par des lits d'argile ou *salbandes* qui facilitent l'abattage de la roche.

Les filons font ordinairement éprouver aux couches qu'ils traversent un rejet, dont nous avons indiqué la loi à l'article HOUILLE. Ils sont sujets, comme les couches, et même davantage, à des inflexions, des étranglements et des brouillages. Ils sont également susceptibles d'être rejetés par d'autres filons plus modernes, qui se continuent alors sans interruption, et qui portent le nom de *filons croiseurs*: ce sont des failles ou des dykes quand ils sont remplis de matières stériles. Le rejet a lieu, le plus souvent, comme s'il était le résultat du glissement en masse de la région du toit sur la région du mur du croiseur. La figure 1814 donne l'exemple de trois systèmes de filons du Cornouailles : *d*, *d*, filons cuivreux, les plus récents, rejettent les deux autres systèmes de filons *c* et *b*, *b*; *c*, filon d'étain, croisé par les filons *d*, *d*, et croiseur à son tour par rapport aux filons d'étain plus anciens *b*, *b*. Très souvent les amincissements et les brouillages correspondent, ainsi que la richesse en minerai, avec le passage du filon d'un banc de roche dans un autre.



1814.

Il est rare qu'il existe un seul filon métallifère dans un même pays; ordinairement on y rencontre plusieurs autres filons contenant des minerais de même nature, et dans ce cas les directions et les inclinaisons de tous ces filons sont à peu près parallèles, de sorte que l'on est conduit à les regarder comme formant un ensemble ou *système de filons*. Certaines contrées sont ainsi sillonnées par deux ou plusieurs systèmes de filons. L'on remarque alors que les filons des divers systèmes, qui se distinguent par leurs directions, diffèrent aussi généralement par la nature des substances qu'ils contiennent. Enfin tous les filons d'un même système croisent tous les filons d'un autre système ou sont croisés par eux.

Les *amas* sont des masses minérales de forme irrégulière qui se rencontrent, soit dans les terrains en couches, soit dans les terrains non stratifiés. On distingue : les *amas entrelacés* ou *stockwerks*, qui consistent en masses de roches pénétrées d'un grand nombre de veinules de minerais métalliques, se croisant dans tous les sens; les *amas couchés*, ou masses intercalées dans les terrains stratifiés, et qui ne diffèrent des couches que par leur étendue bornée; et les *amas droits*, qui parais-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sent être des filons très épais, ou des renflements de filons, et qui existent généralement à la séparation de deux terrains, dont l'un est stratifié et dont l'autre ne l'est pas.

Enfin les *mines en sac* sont des amas de minerais remplissant des cavités superficielles ou des crevasses, qui se rencontrent principalement dans les terrains calcaires.

Nous terminerons cet exposé préliminaire par quelques mots sur le mode habituel de gisement des principales substances minérales.

On rencontre en couches les divers matériaux de construction, le gypse, le sel gemme, les combustibles minéraux, le fer carbonaté lithoïde, les fers oxydé rouge et oxydé hydraté, surtout à l'état oolithique ou en grains, les schistes cuivreux du Mansfeld, et quelquefois la galène ou sulfure de plomb, et le mercure sulfuré.

La plupart des minerais métalliques se rencontrent sous la forme de filons ou d'amas; les minerais de cuivre, de plomb, d'argent, sont surtout en filons. Les minerais de fer, de zinc, le sel gemme et le gypse, se rencontrent souvent en filons-couches ou en amas couchés. L'oxyde d'étain est presque toujours en amas entrelacés. La plupart des minerais de fer en grains du centre de la France forment des *mines en sac*. Enfin on trouve de l'or, des minerais de platine, de l'oxyde d'étain, disséminés dans des sables superficiels, ou dans des couches de sable et de gravier situées à une faible profondeur, et dont on les sépare par le lavage. Les diamants et la plupart des pierres précieuses se trouvent également disséminés dans des sables superficiels.

Recherche des mines.

Il n'y a guère que le terrain houiller proprement dit dans lequel les gîtes de combustibles soient assez fréquents pour y faire des recherches suivies. Ces recherches se font alors le plus ordinairement au moyen de trous de sondes (voyez HOUILLE et SONDAGE). On se sert de petites sondes, de formes appropriées à la nature du terrain et des substances que l'on recherche, pour reconnaître la présence de bancs de tourbe, leur épaisseur et leur qualité, ainsi que l'existence de minerais de fer à une faible profondeur. On emploie encore fréquemment la sonde dans l'intérieur des mines, soit au fond des puits, pour explorer le terrain inférieur; soit dans une direction horizontale ou inclinée, tantôt pour établir des communications qui servent à l'aérage, tantôt pour reconnaître le terrain dans lequel on s'avance et s'assurer contre les amas d'eau, ou de gaz nuisibles, qui pourraient être renfermés dans de vieux travaux dont l'existence est inconnue, ou même dans des cavités naturelles.

Les recherches de mines dans un pays qui en renferme déjà se font surtout au moyen de travaux souterrains, se rattachant aux travaux déjà existants, de galeries poussées dans une direction normale à la direction des filons connus, et qui devront couper les filons inconnus de même nature, ordinairement parallèles, s'il en existe.

Le plus souvent la découverte des mines est due à celle des affleurements du gîte, de fragments accidentellement détachés de ces affleurements, dont l'examen joint à la configuration du sol environnant peut conduire à la découverte de ces affleurements, ou enfin aux émanations du gîte qui arrivent à la surface par les fissures des terrains supérieurs; c'est ainsi, par exemple, que les sources d'eau salée sont habituellement un indice de l'existence de bancs de sel gemme dans le voisinage.

Quand on est parvenu à remonter à un point de l'affleurement du gîte, on cherche, en faisant, s'il est nécessaire, de petites tranchées, à reconnaître cet affleurement sur la plus grande longueur possible, à s'assurer si le gîte est une couche, un filon ou un amas. En outre, on exécutera quelques petites galeries suivant la pente, et perpendiculairement à sa direction pour déterminer son inclinaison, et reconnaître si c'est une couche ou un filon. Si les premières fouilles donnent lieu de croire que l'on a affaire à un amas, on concentre les travaux d'exploration en un même point, après avoir cherché à reconnaître les limites du gîte.

Généralement, un gîte ne présente pas sur ses affleurements les mêmes caractères que dans sa profondeur, ce qui tient à l'action exercée à la longue par les agents atmosphériques. Les affleurements de la plupart des filons et gîtes métallifères, sont composés d'un mélange de quarz et d'hydrate d'oxyde de fer.

Si les premières fouilles entreprises sur les affleurements donnent lieu de penser que le gîte peut être exploité avec avantage, il est essentiel de s'attacher, dès le principe, avant d'entreprendre des travaux plus dispendieux, et pour être à même de déterminer le mode d'exploitation le plus convenable, à bien reconnaître sa forme et son allure. Cette exploitation se fait en combinant une ou deux galeries horizontales exécutées sur le mur même du gîte, avec des galeries montantes ou descendantes sur le mur, suivant la ligne de la plus grande pente, et quelques galeries transversales et horizontales, allant du mur, sur lequel on est appuyé, au toit, dans le cas où le gîte a une puissance supérieure à celle des galeries.

Lorsque les affleurements d'un filon ont lieu sur une montagne, on explore souvent le gîte au moyen de galeries horizontales à travers bancs pratiquées sur les flancs de la montagne, et normalement à la direction du filon.

Les couches et filons sont souvent rejetés par des failles ou filons croiseurs; lorsque l'on se trouve dans un terrain stratifié, l'examen des couches que l'on retrouve de l'autre côté du filon croiseur, suffit souvent pour indiquer le sens et l'étendue du rejet, et, par conséquent, pour indiquer les moyens de retrouver le gîte. Dans le cas contraire, on détermine le sens du rejet, mais non son étendue par la règle que nous avons déjà énoncée, et qui consiste en ce que généralement le rejet a été produit par le glissement du toit sur le mur du filon croiseur, suivant la ligne d'inclinaison de ce dernier.

Lorsqu'un gîte interrompu par un filon croiseur a été une fois retrouvé, on retrouvera aisément ce même gîte, s'il vient à être interrompu par le même croiseur à des niveaux différents, car le sens et l'étendue du rejet seront les mêmes; il sera également facile de déterminer, par une épure, le sens et l'étendue du rejet que ce même croiseur fera éprouver à d'autres gîtes connus, parallèles ou non au premier.

Les travaux de recherches les plus délicats sont ordinairement ceux qui ont pour but la reprise d'anciennes mines métalliques abandonnées depuis longtemps, d'autant plus qu'il est presque toujours extrêmement difficile de se procurer des documents précis sur les causes qui ont amené l'abandon de ces mines. Cet abandon peut avoir été déterminé par plusieurs causes, dont les principales sont l'appauvrissement du gîte dans la profondeur, ou l'impossibilité d'extraire les eaux, avec une économie suffisante, par les moyens mécaniques connus à l'époque de l'abandon. Lorsque l'abandon est dû à l'appauvrissement du gîte, il n'y a jamais lieu à reprendre les travaux, malgré les progrès de l'exploitation des mines et de la métallurgie, qui sont au moins compensés par l'augmentation du prix de la main-d'œuvre et la diminution énorme qu'a subie la valeur des métaux depuis quelques siècles; dans le cas même où les documents authentiques, ou recherches faites avec soin sur les lieux, indiqueraient que l'abandon est dû à l'envahissement des eaux, il n'y a pas lieu à rentrer dans les anciens travaux, où le gîte est toujours à peu près complétement exploité, et il faut immédiatement diriger les travaux de recherches de manière à atteindre la partie encore in-

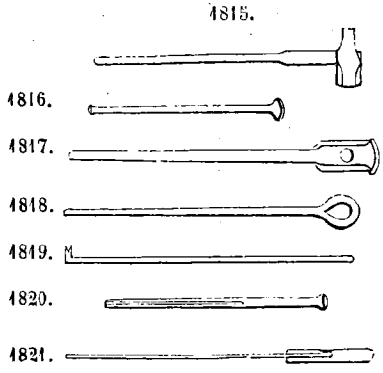
EFERUS - Recherche & Classification numérique

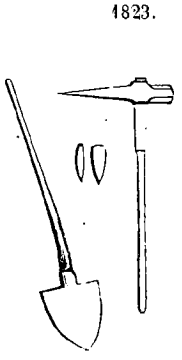
tacte du gîte, au-dessous des anciens travaux, en s'aidant de puissantes machines d'épuisement.

Abattage des roches.

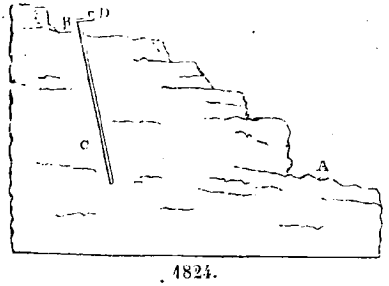
Les outils du mineur varient suivant la nature des roches qu'il s'agit d'entailler. Dans les terrains tendres ou meubles on emploie le pic et la pioche, de même que pour l'abattage de la houille. Avant le dix-septième siècle, on se servait presque exclusivement pour l'abattage des roches dures de la pointerole (fig. 1823), sorte de coin fixé sur un manche très court qui sert à le guider, et sur la tête duquel on frappe avec un marteau; maintenant on ne s'en sert guère que comme accessoire, pour abattre les parties déjà fendillées par les coups de mines, etc.

Pour faire sauter les roches à la poudre on perce dans la roche un trou cylindrique, à l'aide d'un petit trépan en fer aciéré, dit *fleuret* (fig. 1816 et 1817), que l'on fait tourner en frappant à chaque fois sur la tête avec un marteau (fig. 1815); lorsque le trou est incliné vers le bas (fig. 1824), et que la roche est sèche, on y jette de temps en temps un peu d'eau, pour empêcher l'outil de se détremper; on enlève de temps à autre les





boues avec une curette en fer (fig. 1819). Quelquefois on emploie deux hommes pour percer un seul trou de



1824.

mine, mais dans la plupart des cas, le travail se fait par un seul homme; les trous de mine ont alors généralement de 0m,40 à 0m,60 de largeur sur 0m,015 à 0m,020 de profondeur au fond. Après avoir nettoyé le trou, on le remplit au tiers environ de poudre que l'on enveloppe préalablement dans du papier, quand la roche est sèche, ou dans une enveloppe goudronnée quand elle est humide, on pousse la cartouche au fond avec le bourroir (fig. 1820) qui est une tige ronde en fer, portant sur le côté une cannelure qui sert au passage de l'épinglette (fig. 1818), aiguille en fer ou en cuivre que l'on enfonce jusqu'au milieu de la cartouche et qui sert à réserver le canal pour l'amorce. On tasse ensuite avec le bourroir, sur la cartouche, et jusqu'à l'orifice du trou, de l'argile lavée, en ayant soin de faire tourner de temps à autre l'épinglette sur elle-même pour pouvoir ensuite l'arracher plus facilement, ce qui se fait en passant le bourroir dans l'anneau de la tête, et tirant dessus. L'amorçage se fait le plus ordinairement au moyen d'un tuyau de paille coupé par un bout au-dessous d'un nœud, fendu dans sa longueur et rempli de poudre fine, que l'on introduit dans le canal laissé par l'épinglette et auquel l'on attache une mèche soufrée, qui permet de se retirer et de se mettre à l'abri des effets de l'explosion, pendant le temps que le feu met à se propager d'une extrémité à l'autre de la mèche.

Pour éviter les chances d'accident, il convient d'employer pour le bourrage des trous de l'argile lavée, bien exempte de quarz, et de se servir d'épinglettes et de bourroirs en tout ou en partie en cuivre.

Depuis quelques années on se sert avec beaucoup d'avantages, pour amorcer, d'étoupilles de Bickford, qui consistent en une corde, goudronnée ou non, dans l'axe de laquelle on introduit, lors de la fabrication, du pulvérin ou poudre finement broyée. Après avoir coupé ces étoupilles de longueur, on en enfonce une extrémité dans la charge de poudre, qui est enfermée dans une enveloppe de papier fort ou de toile goudronnée (fig. 1821), suivant que le trou est sec ou humide; l'étoupille étant enfoncée de quelques centimètres dans la poudre, est attachée à la cartouche avec une petite ficelle, ou de toute autre manière; on l'applique ensuite sur les bords du trou, où elle tient la place de l'épinglette qui devient inutile; l'étoupille brûle avec une grande lenteur (la combustion se propage avec une vitesse de 0m,60 au plus par minute), ce qui laisse à l'ouvrier le temps de se retirer et de se mettre à l'abri. L'emploi des étoupilles goudronnées de Bickford est le procédé le plus convenable pour faire sauter les roches aquifères, ou situées sous l'eau.

Il devient impossible d'employer la poudre pour attaquer certaines roches compactes, telles que le quarz et les pyrites de fer, même cuivreuses, en masse, comme c'est le cas dans quelques mines de Hongrie et dans la mine de cuivre de Rammelsberg au Hartz. Dans ce cas, on désagrége la roche par l'action du feu et on la détache ensuite à l'aide du pic quand elle ne tombe pas par son propre poids. A cet effet on place contre le front de la galerie ou de la taille à attaquer un bûcher disposé de telle sorte que la flamme vienne lécher la masse de roche ou de minerai à torréfier; on détruit ainsi la cohésion de la roche par une calcination qui altère tantôt l'agrégation moléculaire, comme pour le quarz, et qui tantôt altère en outre la composition de la roche, comme pour les pyrites.

Des exploitations à ciel ouvert.

Lorsque les gîtes à exploiter sont situés à une faible profondeur, on les exploite le plus souvent à ciel ouvert en déblayant les terrains supérieurs au gîte. Ce déblaiement s'exécute suivant les distances auxquelles on doit transporter les terres, à la brouette, au tombereau, ou à l'aide de wagons roulant sur chemins de fer.

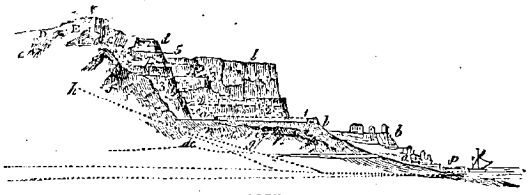
Les dépôts de tourbes, beaucoup de carrières de pierres, les dépôts de minerais d'étain d'alluvion, beaucoup

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de minerais de fer et même quelques portions de couches de houille puissantes sont exploitées à ciel ouvert. Nous avons déjà décrit une partie de ces exploitations aux mots ARDOISE, HOUILLE et TOURBE; nous compléterons ce que nous avons à dire à ce sujet par quelques exemples d'exploitation à ciel ouvert de mines de fer et de mines d'étain d'alluvion.

Les minerais de fer en grains se trouvent souvent à une faible profondeur au-dessous de la surface du sol; on les exploite alors à ciel ouvert; pour cela on enlève d'abord les terres superficielles que l'on transporte dans une excavation voisine, puis l'on extrait le minerai en donnant aux parois de l'excavation la forme de banquettes ou gradins pour prévenir les éboulements; on n'emploie que la pelle et la pioche pour ce travail.

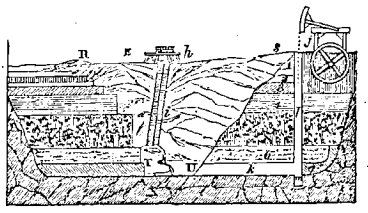
La fig. 1825 donne une idée des fameuses mines de fer oligiste de l'île d'Elbe qui sont également exploitées à ciel ouvert; les trois principaux ateliers actuels d'exploitation sont : *Pietamonte* D, *Sanguinaccio* E et *Anterma* F; *c*, *c*, sont les haldes ou tas de déblais qui en proviennent; le minerai est transporté par les routes 1,



1825.

2, 3, 4, 5, 6 et 7, sur les bords de la mer, et ensuite chargé sur les vaisseaux au moyen de l'embarcadère *p*.

Les mines d'étain d'alluvion les plus importantes du Cornouailles, sont situées dans une vallée qui débouche au port de Pentowan, près de Saint-Austle; la fig. 1826 donne la coupe de l'atelier d'exploitation, dit *happy union*, aux mines de Pentowan. Le fond de la vallée E renferme des couches d'alluvion 1, 2, 3, 4, 5 et 6, formées principalement de sable et d'argile, et qui reposent sur le schiste argileux ou la grauwacke A; les parties



1826.

inférieures de ce dépôt T renferment des galets d'étain oxydé pur, et d'autres galets de l'étain oxydé disséminé. L'excavation RTUS est taillée sur trois côtés en gradins de 0m,50 à 0m,60; le quatrième côté U S est formé par le talus naturel des déblais. L'eau qui découle le long des parois de l'excavation se rend par une galerie *k* ménagée dans les déblais, dans le puisard *m*, d'où on l'extrait au moyen de pompes placées dans le puits *l*, et mises en jeu par une roue à augets. On a toujours soin de conduire l'exploitation de manière à remonter la vallée, et en prolongeant au fur et à mesure la galerie *k*. L'extraction du minerai se fait au moyen d'un plan incliné à 43° environ *i*, et d'un manége ou barytel à chevaux *h*.

Excavations souterraines

On donne le nom de *puits* ou *galeries*, selon que leur axe se rapproche davantage du plan vertical ou horizontal, aux excavations souterraines qui n'ont pour but que de rejoindre un gîte, et de le mettre en communication, soit avec le jour, soit avec des travaux préexistants. Les excavations, qui ont pour but l'exploitation même du gîte, portent le nom de *tailles*, *chantiers* ou *chambres* d'exploitation, suivant leurs dimensions.

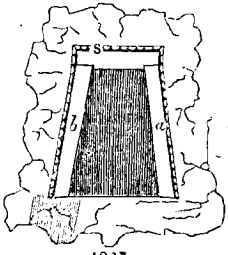
Galeries. On donne généralement aux galeries de 1 à 2m de largeur sur 1m,50 à 3m de hauteur, et autant que possible, on les fait horizontales ou on les commence par le point le plus bas, afin de n'avoir point à pourvoir à l'épuisement des eaux. Lorsqu'une galerie doit servir à la fois à l'écoulement des eaux et au roulage des minerais, et que les eaux sont assez abondantes pour couvrir le sol sur une épaisseur de plusieurs centimètres, on la divise en deux parties par un plancher horizontal sur lequel est établie la voie de roulage et au-dessous duquel coulent les eaux; ce plancher est ordinairement à 0m,30 ou 0m,40 au-dessus du fond. Dans les galeries de mines ordinaires, on ne peut mettre qu'un ou deux ouvriers sur le front de la galerie, de sorte que l'excavation avance très lentement.

Lorsqu'il s'agit de pratiquer des galeries à grandes sections, comme les tunnels de chemins de fer et de canaux, on s'y prend autrement. On attaque à la fois le tunnel en plusieurs points au moyen de puits; on creuse à la fois une petite galerie à la base du tunnel, dans laquelle on établit un chemin de fer qui sert au transport des déblais, et une autre galerie au cerveau; puis on enlève le reste du terrain, suivant la section que l'on veut avoir en soutenant les terres, s'il est nécessaire, par un boisage provisoire et muraillant par derrière.

Le prix de l'abattage du mètre cube de roche en place, dans une galerie de faible section, varie ordinairement de 10 à 25 francs; dans les galeries à grande section, il est de 7 à 15 francs.

Lorsque les parois des galeries ont besoin d'être soutenues, on les revêt d'un boisage ou d'un muraillement, suivant la durée pendant laquelle elles doivent rester ouvertes; ainsi on muraillera toujours les principales galeries d'écoulement et de roulage.

Le *boisage* d'une galerie consiste le plus habituellement en une série de *cadres*, formés chacun de trois pièces de bois (fig. 1827), deux *montants a*, *b*, appliqués contre les parois latérales, et un *chapeau* S appliqué contre le faîte et reposant sur les extrémités supérieures des deux montants. La distance de deux cadres consécutifs varie avec la poussée du terrain. Quand elle est considérable, les cadres sont contigus, ou au moins on soutient le terrain par des *bois de garnissage* (planches, rondins ou demi-rondins), contigus ou non, appliqués contre le terrain en arrière des cadres et appuyés sur ceux-ci. Les pieds des montants reposent dans des entailles pratiquées dans le sol.



1827.

Lorsque le sol de la galerie manque de consistance, on prévient le soulèvement du sol de la galerie et le rapprochement des pieds des montants, en faisant por-

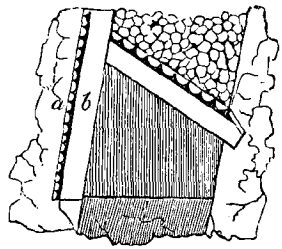
EFERUS - Recherche & Classification numérique

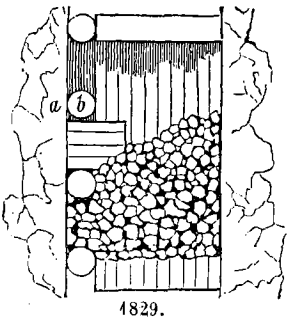
ter ceux-ci sur une *semelle* en bois posée transversalement sur le sol, et posant en dessous, s'il est nécessaire, des bois de garnissage, comme on le fait sur les autres faces.

Lorsqu'on exécute des galeries dans les filons ou dans les couches, il est fort rare que les parois soient également ébouleuses. Dans certains cas, le faîte seul est ébouleux et a besoin d'être soutenu, tandis que les parois latérales et le sol sont solides; dans d'autres cas, dans la plupart des filons ou des couches fortement inclinées, il faut soutenir à la fois le faîte de la galerie et le toit du gîte. On boise alors la galerie avec des cadres incomplets ou portions de cadres. Les fig. 1828 et 1829 donnent le plan et la coupe d'un boisage de ce dernier genre, composé de demi-cadres, avec bois de garnissage continus, dans une galerie ménagée dans un filon fortement incliné, au-dessous d'une taille remblayée.

La durée des bois, dans les galeries des mines, est très variable. Dans un air chaud et vicié, ils sont rapidement détruits. Le *robinia pseudo-acacia* paraît être l'essence qui résiste le mieux dans ces circonstances. Il paraît qu'on parvient à prolonger la durée des bois, en les tenant constamment humectés. Il est certain que les procédés de M. Boucherie, pour la CONSERVATION DES BOIS, pourraient être appliqués avec beaucoup d'avantages, dans les mines, pour le boisage des galeries et des puits.

1828.



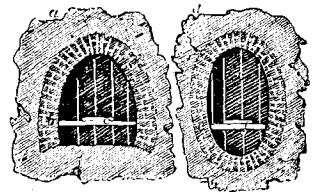


1829.

Quand le terrain est extrêmement mauvais et tout à fait coulant, il faut protéger le fond de la galerie par une sorte de bouclier à plusieurs compartiments, que l'on fait avancer au fur et à mesure, en ayant soin de retenir latéralement les terres au moyen de planches jointives ou palplanches passées derrière le dernier cadre et enfoncées, en divergeant un peu, au-delà du bouclier.

En général, quand une galerie doit durer plus de dix à douze ans, il est plus économique de la murailler. Le muraillement est d'ailleurs indispensable : dans les galeries ouvertes dans un terrain tout à fait meuble, ou dans des terrains très aquifères; dans les tunnels de chemins de fer et de canaux; et enfin, dans les excavations souterraines où l'on place des foyers d'aérage ou des chaudières de machines à vapeur, parce que les boisages seraient exposés à prendre feu.

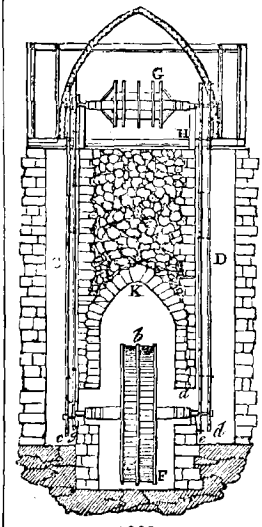
Dans beaucoup de circonstances un muraillement en pierres sèches suffit. Dans les terrains où le sol est solide, et lorsqu'il est nécessaire de soutenir à la fois le faîte et les deux parois d'une galerie, le muraillement consiste presque toujours en une voûte *b* (fig. 1830), demi-circulaire ou en plein cintre, reposant sur deux murs verticaux ou légèrement cintrés, dont les fondations pénètrent à une faible profondeur dans le sol de la galerie. Lorsque le sol de la galerie est mauvais, on le maintient par un radier en forme de voûte renversée, ou



1830. 1831.

bien on donne à la galerie la forme d'une voûte elliptique entièrement fermée (fig. 1831), dont le grand axe est vertical et le petit axe horizontal.

Il arrive souvent dans l'exploitation des filons très inclinés, qu'il suffit, pour maintenir la galerie ouverte, de construire au faîte une simple voûte en plein cintre ou en échelons. On remplace quelquefois le muraillement complet par des arceaux jetés de distance en distance, ou par des chaînes de pierres équidistantes, dont les intervalles sont remplis par un léger revêtement en briques. Les excavations très élevées, celles par exemple qui doivent contenir des roues hydrauliques prises en dessus d'un grand diamètre (figure 1832), sont voûtées en ogives.



1832.

Lorsque deux galeries muraillées en berceau se rencontrent ou se croisent, les raccordements se font habituellement d'une manière très simple, en surhaussant la voûte en berceau de l'une des galeries au point de croisement, de façon à ce que la voûte de l'autre galerie ne rencontre qu'un mur plan.

Puits. Le foncement des puits dans les roches dures et non ébouleuses se fait à la poudre. On commence par le centre du puits pour établir une cavité dans laquelle les eaux se réunissent; on abat ensuite la roche en se rapprochant des parois, au moyen de trous de mines inclinés à l'horizon. L'eau et les déblais sont d'abord extraits par un treuil à manivelle, puis par une machine à molettes. Lorsque les eaux sont peu considérables, on les dirige, par des planches inclinées et formant hélice sur les parois du puits, dans des réservoirs pratiqués dans le roc non fissuré, immédiatement au-dessous des sources, et on les en retire, soit au moyen de tonnes, soit avec une pompe. Lorsque la quantité d'eau est considérable, lorsqu'on rencontre un banc très aquifère ou *niveau*, on arrête les eaux, aussitôt qu'on est arrivé à un banc inférieur imperméable, au moyen d'un cuvelage en bois, en maçonnerie ou en fonte.

Le foncement d'un puits de 2m,50 à 3m de diamètre

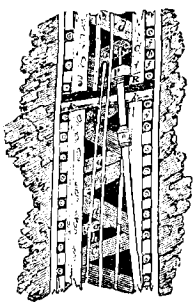
EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans un terrain moyennement dur, revient de 50 à 100 fr. le mètre courant.

Les puits de 1m,60 à 1m,70 de diamètre, et de 30 à 40m de profondeur au plus, que l'on creuse pour l'exploitation des minerais de fer et autres, rapprochés de la surface, sont souvent boisés au moyen de cercles de tonneaux plus ou moins espacés, et maintenus en place par la pression qu'exercent sur la face tournée du côté des parois, des bois de garnissage logés entre eux et le terrain.

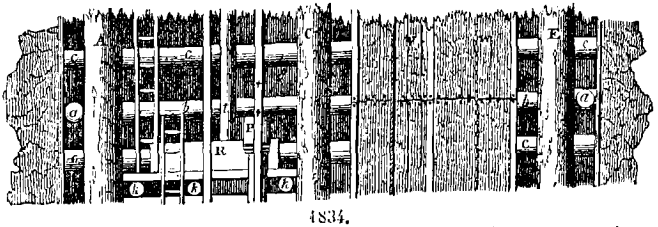
Les puits boisés de grandes dimensions sont le plus souvent carrés ou rectangulaires. On emploie alors des cadres rectangulaires formés de quatre pièces de bois, dont les deux plus courtes sont posées par leurs extrémités sur les deux plus longues, avec entaillement à mi-bois. Leur écartement varie suivant la pression du terrain, et on place en arrière des bois de garnissage que l'on serre exactement contre le terrain au moyen de coins, dont la pression suffit pour maintenir provisoirement les cadres en place. De distance en distance, et sur les points où la roche est le plus solide, on soutient un cadre sur deux pièces de bois appliquées contre les côtés les plus courts de la section rectangulaire du puits, et dont les extrémités s'appuient sur des entailles pratiquées pour les recevoir ; en outre, on supporte les cadres supérieurs par des poteaux de bois placés dans chaque angle du boisage, et respectivement entre deux cadres consécutifs. Lorsque le terrain est plus mauvais, on relie tous les cadres au cadre placé à l'orifice du puits, et dont les côtés se prolongent assez loin sur le sol, au moyen de tirants ou longuerines en bois, cloués ou chevillés contre les cadres.

On divise presque toujours les puits en plusieurs compartiments ; les uns pour l'extraction, les autres pour l'épuisement, les échelles, ou l'aérage. Les fig. 1833 et 1834 donnent deux coupes verticales d'un puits boisé et vertical divisé en quatre compartiments : l'un renferme les échelles *k, k;* un autre, la maîtresse tige *g*, des pompes en cascade P, et leurs bâches R ; enfin, V et W sont les compartiments qui servent à l'extraction. *a, b, c* sont les cadres du boisage ; A, C, E, des longuerines qui les relient.



1833.

Quand on pratique des puits rectangulaires dans des terrains à couches inclinées, on doit les orienter de manière à ce que les deux côtés courts soient placés dans le sens de la direction, et les côtés longs dans le sens de la ligne de plus grande pente des couches, afin que les pièces les plus courtes du boisage soient appliqués sur les parois où la poussée est la plus considérable.



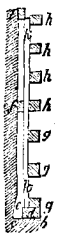
1834.

Dans les puits inclinés suivant la direction des couches ou filons, le plan des cadres doit être perpendiculaire à l'axe du puits.

Quand les couches que l'on traverse sont très aquifères, on est obligé de recourir au cuvelage. Ce dernier consiste en plusieurs *trousses* ou cadres ordinairement décagones, supportés par une ou plusieurs trousses picotées placées sur une banquette *c, c* (fig. 1835), ménagée dans la couche imperméable *a, a*, qui se trouve dans la couche perméable *b, b*. Ces trousses sont ainsi nommées, parce qu'on place de champ derrière les pièces de chaque cadre des planches ou *lambourdes;* on garnit d'étoupes ou de mousse le vide entre les lambourdes et la roche ; on chasse ensuite entre les lambourdes et les pièces du cadre, jusqu'à refus, d'abord des coins plats en bois blanc, puis des coins pointus ou *picots* en bois blanc ou en chêne, auxquels on fait une entrée au moyen d'aiguilles ou *agrappes* en fer. Il devient alors impossible que l'eau, malgré la forte pression qu'elle exerce, filtre derrière le cadre et passe en dessous. Le cuvelage se termine également au-dessus de la couche perméable, par une trousse picotée horizontalement contre une banquette *d, d*. Les trousses ordinaires se trouvent ainsi fortement serrées les unes contre les autres.



1835.



1836.

La fig. 1836 est une coupe à une échelle plus grande du cuvelage en bois ; *d*, trousse porteuse ou picotée ; *k, k*, cuvelage ; *g, h*, pièces de renfort pour consolider et préserver le cuvelage.

Quand une couche mince aquifère est comprise entre deux couches imperméables, ou quand le terrain étant solide, mais fissuré, donne beaucoup d'eau, on peut arrêter celle-ci en pratiquant dans la couche aquifère, ou la fissure, une rainure horizontale dans laquelle on exécute un picotage également horizontal (fig. 1837).



1837.

Lorsque le terrain est coulant, on emploie souvent un cuvelage en fonte, que l'on fait descendre en le chargeant de poids et draguant le sable à l'intérieur. On opère aussi de même avec des tours en maçonnerie, que l'on rend solidaire en y interposant de distance en distance des rouets en planches, que l'on relie les uns aux autres par des planches et des tirants en fer. Lorsque le terrain est en même temps très aquifère, on emploie avec beaucoup d'avantage l'appareil à air comprimé de M. Triger, que nous avons décrit au mot AIR COMPRIMÉ.

Le muraillement est plus économique que le boisage, lorsqu'il s'agit de soutenir les parois de puits qui doivent avoir une durée de plus de six à sept ans.

Le muraillement s'exécute presque toujours, soit avec des pierres de choix ou des briques et du mortier hydraulique, soit en employant des matériaux de moindre qualité, et établissant derrière le muraillement, entre celui-ci et le terrain, une enceinte ou corroi en terre argileuse fortement damée.

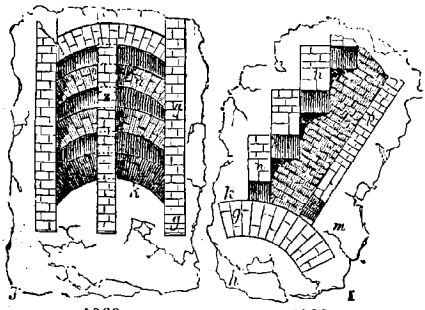
Les puits muraillés sont le plus souvent circulaires et en briques. Dans ce cas, le muraillement s'exécute presque toujours par parties, du haut en bas, au fur et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à mesure que le puits s'approfondit. Les tronçons de maçonnerie successifs s'appuient sur des rouets ou des cadres en charpente colletés, c'est-à-dire serrés par des coins en bois contre le terrain, lorsque la nature de celui-ci le permet, ou suspendus par des tirants en bois ou en fer, soit aux rouets supérieurs, soit à de longues pièces de bois étendues sur le sol à l'orifice du puits, lorsque le terrain n'offre pas une résistance suffisante pour un colletage serré des rouets.

Les puits muraillés en pierre sont souvent à section rectangulaire ; on y remplace les rouets par des cadres en charpente colletés ou par des arceaux surbaissés construits avec des pierres de choix, et dont les extrémités pénètrent assez avant dans la roche solide.

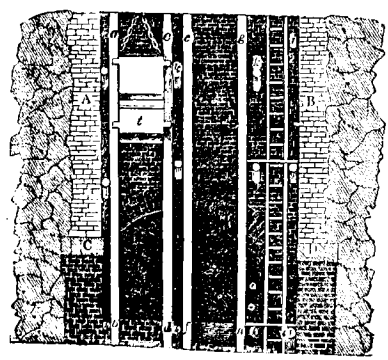
Le muraillement des puits inclinés consiste généralement en un berceau cylindrique appliqué sur le toit, et deux murs verticaux appliqués sur les faces latérales. On muraille aussi quelquefois ces puits en remplaçant le berceau cylindrique ci-dessus par une série d'arceaux verticaux *n*, *n* (fig. 1838 et 1839), établis en retraite



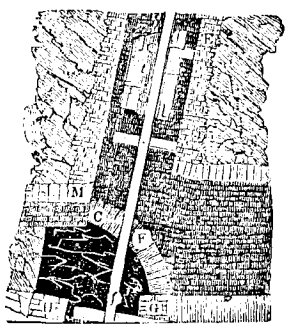
1838. 1839.

les uns au-dessus des autres, et formant ainsi saillie dans l'intérieur du puits.

Les puits inclinés qui servent à l'extraction des minerais sont garnis sur leur mur d'un plancher sur lequel glissent les traîneaux, ou mieux d'un double système de longuerines en bois *ab*, *cd* — *ef*, *gh* (fig. 1840 et 1841), sur lesquels roulent les caisses-chariots qui servent à l'extraction.



1840.



1841.

Serrements. Lorsqu'on rencontre dans l'exploitation d'une mine des sources abondantes qui arrivent dans une galerie par les fissures de la roche, et qu'on a lieu de croire que ces fissures n'ont qu'une étendue limitée, on isole la galerie où la source se fait jour, du reste des excavations souterraines, par une digue ou *serrement* qui contient les eaux. On ferme aussi par des serrements les galeries qui tombent sur d'anciens travaux souterrains remplis d'eau avec lesquels on ne veut pas se mettre en communication, et dont on ignorait même souvent l'existence. Enfin, lorsqu'un puits a été foncé à travers des *niveaux* ou nappes d'eaux que l'on a contenus par des cuvelages, pendant la durée de l'exploitation, comme dans les houillères du département du Nord et celles des environs de Mons, il est nécessaire, avant de l'abandonner, de le fermer au-dessous des derniers cuvelages par un serrement horizontal très solide, dit *plate-cuve*, afin de prévenir l'irruption ultérieure des eaux supérieures dans les travaux souterrains de la mine.

Lorsque la pression des eaux n'est pas extrêmement considérable, on emploie dans les galeries des *serrements droits*. Pour les établir, on commence par construire, en arrière de la place où le serrement doit être installé, un bâtardeau pour contenir les eaux avec un tuyau qui laisse écouler le trop plein; on pratique ensuite dans le roc solide et non fissuré des entailles ayant une face plane et verticale, sur laquelle doivent s'appuyer les pièces du serrement, du côté opposé à celui d'où arrive les eaux, et qui sont évasées de l'autre côté, ce qui est nécessaire pour la pose des bois. On place ensuite les pièces du serrement, en bois de chêne parfaitement dressé au rabot, suivant la plus petite dimension de la galerie et par conséquent presque toujours horizontalement, en interposant entre elles et les parois, des lambourdes et de la mousse; l'ensemble de ces pièces présente, à la partie inférieure, un trou pratiqué pour le passage du tuyau de trop plein, à la partie supérieure un petit trou pour le dégagement de l'air, et au milieu à peu près un trou rectangulaire suffisant pour le passage des ouvriers ; on serre ensuite les pièces par un picotage très soigné exécuté du côté d'où viennent les eaux, puis les ouvriers se retirent, et ferment l'ouverture par laquelle ils ont passé avec un tampon, ou mieux avec un gros clapet de bois garni de cuir, qui se ferme de lui-même par son propre poids et que la pression des eaux maintient fermé. On bouche ensuite successivement l'ouverture du tuyau de trop plein et celle pour le dégagement de l'air, lorsqu'elle laisse échapper de l'eau.

Dans les galeries très larges les pièces qui forment le serrement droit seraient écrasées, lorsque la charge d'eau est considérable; on emploie alors des *serrements sphériques*, ou portions de sphère, formés de pièces de bois contiguës cunéiformes, taillées en forme de troncs de pyramides à quatre faces, et picotées comme précédemment contre les parois de la galerie, préalablement entaillée de manière à présenter la forme d'un tronc de pyramide; on picote en outre tous les joints des pièces. Les ouvriers se retirent ensuite par une ouverture centrale et légèrement conique, que l'on bouche avec un tampon de même forme qui se trouve serré par la pression des eaux.

Les plates-cuves se font ordinairement en construisant au-dessous des cuvelages, et à une certaine distance l'une de l'autre, deux voûtes sphériques en briques et mortier hydraulique, entre lesquelles on augmente l'épaisseur du muraillement par un nouveau rang de briques.

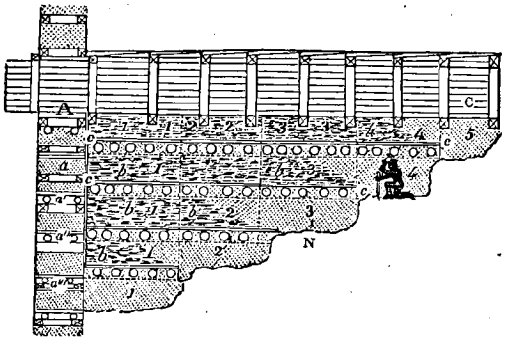
EFERUS - Recherche & Classification numérique

MINES.

Méthodes diverses d'exploitation.

Les diverses méthodes d'exploitation que l'on doit suivre dans tel ou tel cas dépendent surtout de la nature des gîtes. A cet égard, les gîtes se divisent en deux grandes classes : la première, qui renferme la plupart des filons métalliques, comprend ceux où les minerais utiles sont associés à des matières stériles ou gangues, que l'on peut séparer en partie par un premier triage fait dans la mine même, afin de s'en servir ensuite à effectuer un remblayage assez complet pour soutenir les parois et prévenir les éboulements; la seconde, qui renferme surtout des couches ou amas de combustibles minéraux, de sel gemme ou de matières pierreuses, comprend les gîtes où les matières stériles que l'on peut séparer des minerais ne suffisent pas pour opérer un semblable remblai. Dans ces deux classes les méthodes d'exploitation varient encore suivant la puissance des gîtes, et la solidité des épontes et du gîte lui-même, et suivant que l'allure et la richesse des gîtes sont régulières ou non; dans ce dernier cas, on fait précéder l'exploitation proprement dite par des travaux d'exploration, que l'on dirige de manière à ce qu'ils servent en même temps à l'aménagement du gîte.

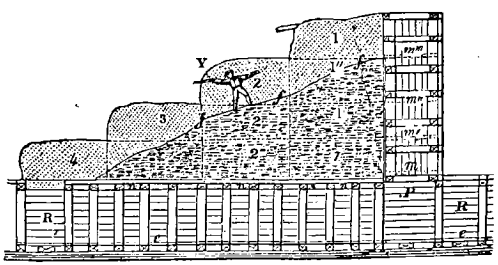
Dans la méthode par *gradins droits* (fig. 1843), le massif est attaqué en descendant, de telle sorte que le front de la taille présente la forme d'un escalier droit. Les ouvriers remblaient derrière eux sur des planchers établis à cet effet, et ménagent au milieu des remblais des voies de roulage horizontales pour le transport des



1843.

Lorsque le gîte est peu puissant, on l'exploite *par grandes tailles couchées dans le plan du gîte et remblayées au fur et à mesure.* Dans les filons, qui sont presque toujours fortement inclinés, les fronts de taille sont découpés en forme de gradins renversés ou de gradins droits. Dans tous les cas, on commence par diviser, la partie du gîte à exploiter, en massifs longs ou carrés, par des galeries horizontales tracées sur le mur suivant la direction, et dites *galeries d'allongement*, distantes entre elles de 20 à 40^{m}, et par des *cheminées* tracées suivant l'inclinaison ou la plus grande pente, dont l'espacement varie avec les besoins de l'aérage. On exploite généralement ces massifs par étages successifs en allant de haut en bas; mais les massifs considérés en eux-mêmes sont tantôt exploités de bas en haut, comme dans la méthode des gradins renversés, tantôt de haut en bas, comme dans la méthode des gradins droits.

Dans la méthode par *gradins renversés* (fig. 1842), où P P est un puits ou cheminée qui limite le massif Y,



1842.

et R R la galerie d'allongement inférieure, chaque gradin a de 1^{m},50 à 2^{m} de hauteur sur 3^{m} environ de longueur, et n'occupe généralement qu'un ouvrier; chaque ouvrier remblaie derrière lui avec les débris stériles de l'exploitation, et c'est sur ces remblais que s'élèvent les ouvriers qui le suivent. On ménage de distance en distance, au milieu des déblais et suivant l'inclinaison, des cheminées pour jeter les minerais dans la galerie de roulage inférieure.

minerais. Ce mode d'exploitation exige donc une dépense en boisage beaucoup plus grande que celui par gradins renversés; aussi ce dernier est-il généralement préféré comme plus économique, dans l'exploitation des filons métalliques inclinés de 45 à 90° sur l'horizon.

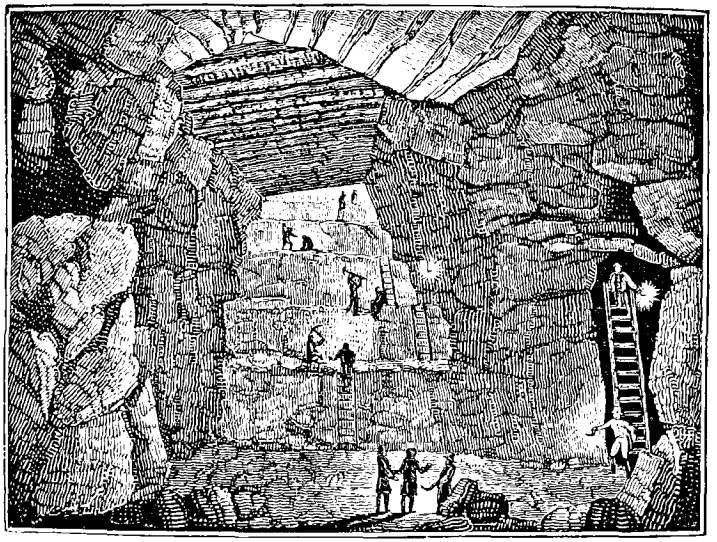
La fig. 1844 donne la vue perspective d'une grande taille par gradins droits, dans une roche dont la solidité permet de se passer de remblais, comme dans beaucoup de mines de sel gemme, et de carrières de pierres et d'ardoises.

Quelquefois les couches sont très peu inclinées, comme on le voit dans le schiste cuivreux du Mansfeld (figure 1845; 12, est la couche de schiste cuivreux), et dans son prolongement dans la Hesse, à Riechelsdorf (fig. 1846; 10, est la couche de schiste cuivreux); alors on atteint le pied de la couche que l'on veut exploiter, soit par un puits vertical, soit par une galerie à travers bancs, suivant que cette partie est peu inclinée ou très inclinée sur l'horizon; puis on exécute dans le gîte une galerie d'allongement, à laquelle on donne une hauteur suffisante pour le roulage; on divise ensuite la partie de la couche en amont de cette galerie en massifs rectangulaires ou rhomboïdaux, par deux systèmes de galeries, dont les unes sont horizontales et suivent la direction du gîte, et dont les autres sont perpendiculaires ou obliques aux premières, selon la pente du gîte, de manière à ce que les minerais jetés dans ces dernières galeries puissent arriver d'eux-mêmes à la galerie horizontale inférieure. On exploite les massifs ainsi obtenus par une série d'ouvriers placés en retraite les uns au-dessus des autres, de façon que si on relevait le front de la taille dans un plan vertical, il présentât la forme de gradins renversés.

Les couches de houille peu épaisses des environs de Valenciennes et de Mons sont exploitées par la même méthode (fig. 1847). On ouvre successivement, dans la partie de couche à abattre, une série de tailles ou gradins de 2 à 4^{m} de large à côté les uns des autres, et on place un ou deux ouvriers devant chaque gradin. Tantôt on ménage des galeries de roulage à travers les remblais, tantôt on remblaie entièrement l'espace excavé, sauf la partie où se tiennent les ouvriers et le

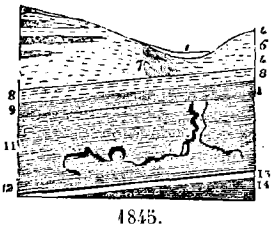
EFERUS - Recherche & Classification numérique

galerie principale d'allongement *c c*, et le charbon abattu suit le front des tailles pour arriver à la galerie d'allongement. Pour consolider les voies de roulage, on ménage à droite et à gauche des galeries de roulage

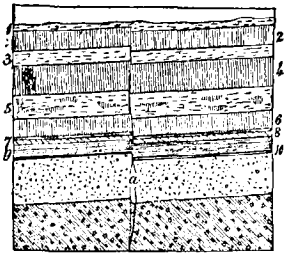


1844.

principales, comme l'indique la figure, des massifs intacts et percés seulement des ouvertures nécessaires pour la communication avec les tailles. Dans les mines de houille, il convient de séparer les tailles elles-mêmes par des massifs intacts, que l'on enlève ultérieurement, quand les premières tailles sont arrivées aux limites du champ d'exploitation, afin, en cas d'accident, tel que l'incendie ou l'inondation d'un compartiment, de pouvoir isoler ce compartiment par des serrements ou digues, en bois ou en maçonnerie, tandis que, sans cette précaution, la mine entière devrait être abandonnée jusqu'à ce qu'on eût porté remède au mal.

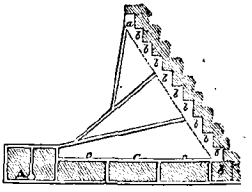


1845.



1846.

Dans la méthode d'exploitation par grandes tailles remblayées à mesure, que nous venons de décrire, il n'est pas nécessaire que les matières stériles soient en quantité suffisante pour opérer un remblai complet ; il suffit qu'à l'aide de quelques étais en bois, de tas de déblais, ou de murs en pierres sèches dont les intervalles ne sont qu'incomplétement remplis par des menus déblais, on puisse prévenir les éboulements partiels et immédiats devant le front de la taille, de façon à ce que les mouvements de terrain se fassent en arrière des ouvriers, dans les parties déjà exploitées. C'est ainsi, par exemple, que s'exploite la pierre à bâtir dans les carrières souterraines des environs de Paris.



1847.

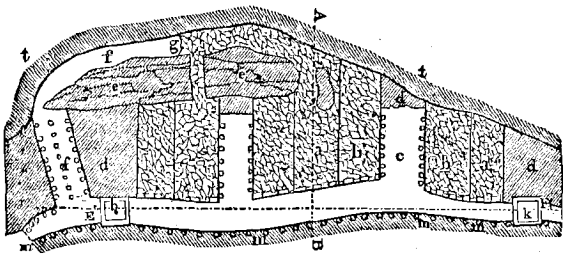
Quelques filons ou amas métallifères sont trop puissants pour qu'il soit possible de les exploiter par les méthodes précédentes. On leur applique alors la méthode *en travers*, qui consiste à pousser les tailles transversalement au gîte, à en soutenir provisoirement les parois par des boisages, et plus tard à les remblayer avec les déblais stériles provenant de l'ouverture de tailles voisines.

Ce mode d'exploitation est représenté dans la figure 1848, qui en donne le plan, et dans les fig. 1849 et 1850 qui sont des coupes verticales faites suivant les lignes FE, AB, du plan : *mm* est le mur et *tt* le toit du gîte des minerais qu'il s'agit d'exploiter. Une première galerie d'allongement EF étant pratiquée au mur, on établit transversalement à cette galerie une série de tailles horizontales *a*, *a*, telles qu'entre deux il se trouve un espace suffisant pour en placer trois autres, et on les prolonge jusqu'à la rencontre du toit, en soutenant le faite et les parois, s'il est nécessaire, par un boisage provisoire ; on les remblaie ensuite avec des déblais posés sur des pièces de bois ou planches placées sur le sol, afin que si, par la suite, on exploite au-dessous, il ne puisse survenir aucun éboulement. On exploite ensuite de la même manière et successivement les tailles *b*, *c*, *a*. On prépare en même temps l'exploitation des étages supérieurs E'F', E^2F^2, E^3F^3, au moyen de puits hh^3, kk^3, pratiqués de bas en haut sur

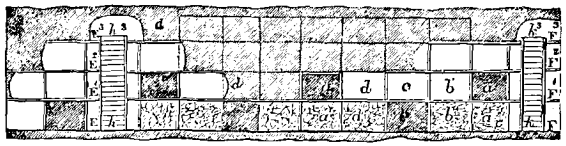
EFERUS - Recherche & Classification numérique

le mur *mm*, et de galeries d'allongement partant de ces puits et successivement établies au niveau de ces étages. On voit que l'exploitation va de bas en haut, et que l'ensemble des travaux présente l'aspect général d'ouvrages à gradins renversés sur la fig. 1849.

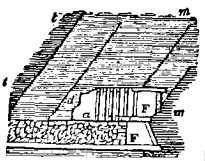
1848.



1849.



Il est certain qu'il y aurait avantage dans beaucoup de cas à remplacer les petites tailles, ordinairement employées, par de larges tailles horizontales, en remblayant en arrière au fur et à mesure, et ménageant dans les remblais les voies de roulage et d'aérage nécessaires. On réduirait ainsi de beaucoup les frais de boisage provisoire et de transport des remblais. Si les tailles ne fournissaient pas une quantité de déblais suffisante pour un remblai complet, on pourrait encore appliquer cette méthode; seulement au lieu d'exploiter les massifs par étages allant de bas en haut, il faudrait les exploiter par étages allant de haut en bas. Les tailles terminées, on les remblaiera en retirant successivement les boisages provisoires en revenant du toit vers le mur du gîte et provoquant ainsi l'éboulement du plafond de la taille; on empêchera les déblais de couler dans la galerie d'allongement principale en les maintenant par un mur ou un boisage convenable. C'est ainsi que sont exploitées les couches puissantes et très inclinées de houille, telles que celles du Creusot, etc.



1850.

On emploie aussi cette méthode en procédant par étages successifs en descendant nombre de mines métalliques, telles que celles de mercure à Almaden, etc.

Il nous reste à dire quelques mots sur l'exploitation des gîtes dans lesquels les matières stériles ne sont pas en quantité suffisante pour opérer un remblai capable de soutenir les excavations; c'est le cas de la plupart des couches de houille. Comme nous avons déjà donné quelques détails à ce sujet au mot HOUILLE, et que, depuis quelques années, on commence à exploiter la plupart de ces gîtes par des méthodes analogues à celles que nous venons de décrire et au moyen de remblais rapportés, ce qui offre l'avantage de prévenir les mouvements de terrain, et par suite les chances d'incendie et d'inondation, la quantité d'eau à épuiser et la proportion de houille menue, nous nous bornerons à quelques principes généraux d'exploitation.

Lorsque les couches ont de 2 à 3 mètres, et même jusqu'à 5 mètres d'épaisseur, on les exploite le plus ordinairement, en divisant d'abord le champ d'exploitation, en massifs ou piliers longs, rectangulaires ou à base de parallélogramme suivant la direction des fissures de la roche ou de la houille à abattre, au moyen de galeries qui sont tantôt de simples travaux préparatoires, tantôt de véritables chantiers ou tailles d'exploitation; puis, en procédant ensuite à l'enlèvement des massifs longs, ou au dépilage, en revenant sur ses pas, à partir des limites du champ d'exploitation, et laissant ébouler derrière soi. Il convient, comme nous l'avons fait remarquer en parlant de l'exploitation par grandes tailles des couches de houille d'une faible épaisseur, de diviser le champ d'exploitation en plusieurs compartiments, ou chantiers d'exploitation, que l'on puisse aisément au besoin isoler les uns des autres.

Dans le cas de couches parallèles superposées, l'exploitation doit commencer par les couches supérieures et procéder de haut en bas. On agit de même lorsqu'on veut exploiter par cette méthode et en plusieurs étages une couche puissante.

On exploite par piliers carrés, abandonnés en grande partie dans l'excavation, les substances en couches puissantes, quand elles ont peu de valeur et une grande solidité; telles sont les pierres à bâtir en couches épaisses, les ardoisières et les couches épaisses de sel gemme et de gypse. Trop souvent on exploite de la même manière des couches de houille d'une grande puissance, mais ce n'est jamais qu'avec beaucoup de danger pour les ouvriers et une grande perte de houille, aussi ne convient-il jamais d'employer cette méthode dans ce cas.

Lorsqu'il s'agit de couches de houille puissantes, on doit toujours les exploiter par étages successifs en descendant, et toutes les fois que cela est possible avec remblais rapportés.

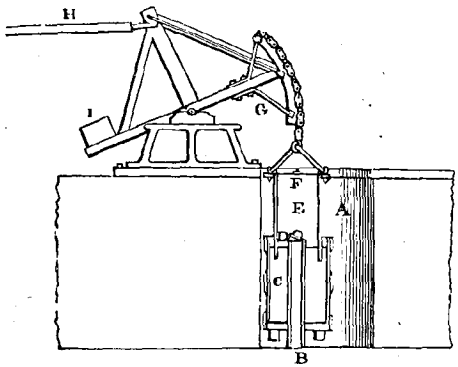
Enfin, pour extraire les minerais enfouis dans d'anciens travaux éboulés, on fait en sorte d'arriver par une galerie creusée dans une roche solide, ou parfaitement consolidée par de forts boisages jusqu'au point où les roches éboulées contiennent assez de minerai pour pouvoir être exploitées avec bénéfice. Arrivé là, on provoque un éboulement, et l'on soumet les roches éboulées à un triage. Ce mode d'exploitation est, en général, plutôt un accident dans une mine qu'une méthode particulière d'exploitation. Dans quelques cas, cependant, on provoque les éboulements au milieu d'un gîte neuf. Telles sont les exploitations des schistes alumineux de la vallée de la Meuse où l'on procède de haut en bas, par étages successifs, que l'on recoupe par des galeries soutenues par des boisages, et que l'on fait ensuite ébouler peu à peu en retirant ces boisages. On extrait ensuite les schistes éboulés au moyen de galeries boisées allant du mur au toit et que l'on déboise après en reculant pour amener de nouveaux éboulements.

Aérage des mines.

Nous avons déjà parlé avec détails de l'aérage des mines et des lampes de sûreté aux mots HOUILLE et VENTILATION, de sorte qu'il ne nous restera que peu de chose à dire ici pour compléter cet article.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans les mines métalliques convenablement exploitées, l'aérage naturel est presque toujours suffisant; mais il en est rarement de même dans les mines de houille. On emploie alors dans celles-ci, pour déterminer une circulation d'air suffisamment active dans l'intérieur de la mine, tantôt des foyers d'aérage, tantôt des machines soufflantes ou aspirantes. La fig. 1851 représente une de ces machines aspirantes, qui se compose d'un cylindre en fonte E, équilibré par un contre-poids I, et



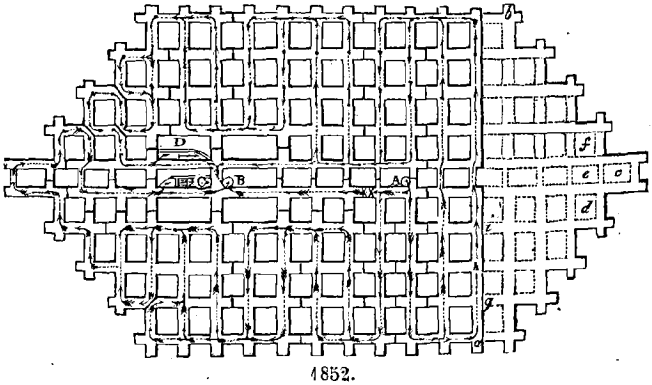
1851.

qui reçoit, par l'intermédiaire du tirant H, un mouvement vertical alternatif. Ce cylindre se meut dans une bâche C remplie d'eau et traversée par le tuyau B, qui sert pour l'aspiration de l'air vicié et est surmonté par une soupape D s'ouvrant de bas en haut; cet air s'échappe ensuite au dehors en soulevant la soupape F, qui s'ouvre de bas en haut, lors de la descente du cylindre E. (Voy. VENTILATION.)

Dans les mines de houille exploitées par des tailles dont le front est très étendu, comme c'est le cas dans la Belgique et le département du Nord, et en arrière desquelles on remblaie; au fur et à mesure, le courant d'air qui arrive par la voie de roulage est divisé en autant de branches qu'il y a de grandes tailles. Chaque branche arrive sur le front de la taille, en suivant la voie de transport qui y aboutit, et s'échappe ensuite, en entraînant les gaz nuisibles ou *mofettes*, par une voie particulière qui la conduit au puits de sortie. Quand les tailles ont une faible étendue, ou que le dégagement des gaz nuisibles est peu abondant, on peut sans inconvénient faire passer successivement le même courant d'air sur plusieurs tailles. Enfin, lorsque les gaz nuisibles sont plus légers que l'air comme cela a lieu dans toutes les mines de houille infectées de *grisou*, c'est-à-dire où il y a un dégagement abondant d'hydrogène carboné, il convient, pour avoir le meilleur aérage possible, que le courant d'air circule toujours en montant ou au moins horizontalement et jamais en descendant : la vitesse du courant doit être de 0m,40 à 0m,80, suivant l'abondance plus ou moins grande des mofettes.

Dans les exploitations de houille par piliers longs ou carrés que l'on dépile ensuite à partir des limites du champ d'exploitation, on divise la mine en plusieurs labyrinthes séparés au moyen de barrages en planches et quelquefois en maçonnerie, qui forcent l'air à suivre ainsi les voies qu'on lui trace. Dans les points où l'on doit diviser le courant d'air, on emploie des portes munies de guichets qui servent à régler la distribution de l'air. Dans les galeries de roulage où il doit y avoir un barrage, ce barrage est double, quelquefois triple, et présente la forme d'un sas d'écluse, afin que le passage d'un convoi de chariots ne puisse changer le sens du courant d'air. Les travaux abandonnés, dans lesquels on ne pénètre plus, sont isolés des travaux en activité, soit par des piliers massifs, soit par de fortes digues en maçonnerie.

Autrefois, dans les mines dont nous venons de parler, l'exploitation se faisait en commençant le dépilage en allant du centre aux limites du champ d'exploitation, et en faisant circuler le courant d'air sur le front des tailles; la non division du courant d'air rendait les frottements plus considérables et, par suite, l'aérage moins actif, et, d'un autre côté, le groupe de travaux abandonnés au centre de la mine devenait un vaste réservoir rempli de gaz nuisibles, qui se répandaient souvent à l'improviste et en très grande abondance dans les galeries fréquentées, et y donnaient quelquefois lieu à des accidents. Actuellement, comme nous l'avons dit, le dépilage a lieu en sens inverse; le courant d'air divisé par des barrages convenables lèche non seulement le front des tailles, mais il parcourt encore toutes les galeries du champ d'exploitation, et le foyer d'aérage est alimenté, s'il est nécessaire, par un courant d'air non vicié, tandis que le courant chargé de gaz inflammables débouche dans le puits de sortie à une assez grande distance de la cheminée du foyer pour qu'une étincelle ne puisse pas y mettre le feu. Il est rare que, dans une mine ainsi aérée, il soit nécessaire de donner au courant d'air une vitesse supérieure à 0m,60. La fig. 1852 donne le plan d'une mine exploitée et aérée comme il vient d'être dit : A, est le puits d'arrivée de l'air; B, le puits de sortie; C, le foyer d'aérage; D, la voie particulière qui conduit l'air vicié dans



1852.

le puits de sortie; *ab...g*, la partie du champ d'exploitation déjà dépilée. Le sens du courant d'air est indiqué par des flèches.

On opère la circulation de l'air d'une manière analogue lorsque l'on a adopté, pour l'exploitation, la division en compartiments, dont nous avons parlé plus haut.

Dans les mines à grisou, et particulièrement dans celles où il existe de vieux travaux abandonnés dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lesquels l'air ne circule point, la quantité de gaz inflammable qui se dégage varie en raison inverse de la pression atmosphérique. Il en résulte que l'on doit augmenter l'activité de l'aérage toutes les fois que le baromètre baisse.

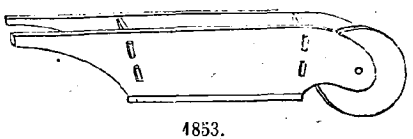
Pour terminer ce qui est relatif à l'aérage des mines, il nous reste à parler des *explosions*, malheureusement trop fréquentes, qui ont lieu dans les mines à grisou. L'explosion, provenant le plus souvent d'un aérage insuffisant, et quelquefois d'une irruption imprévue d'une grande quantité de gaz inflammables sortant d'une cavité ou de vieux travaux, donne lieu à la production d'une grande quantité de vapeur d'eau et d'acide carbonique, qui prennent subitement un volume considérable sous l'influence de la température élevée qui se développe. Son effet immédiat est d'interrompre tout à coup la circulation du courant d'air ventilateur, de la refouler en arrière, et en même temps de renverser les obstacles qui s'opposent à l'extension du gaz dans tous les sens. Le courant des gaz brûlés arrive par la voie la plus facile et la plus large à un ou plusieurs puits aboutissant au jour, et renverse ou détériore plus ou moins les machines placées à la surface. Un petit nombre d'ouvriers sont atteints directement par l'explosion ; la plupart périssent par asphyxie.

La division des mines d'une certaine étendue, en compartiments ou chantiers d'exploitation séparés les uns des autres par des massifs de houille suffisamment solides, et percés seulement des ouvertures nécessaires pour la circulation de l'air et le passage des ouvriers, est une des meilleures dispositions que l'on puisse prendre pour éviter qu'à la suite d'une forte explosion toute la mine soit infectée. Il est également essentiel que les galeries et puits de retour d'air offrent un passage plus facile et plus large que les puits et galeries d'entrée ; néanmoins on fait souvent le contraire par économie, les voies de retour d'air ne servant ni au roulage, ni à l'extraction. Il en résulte alors que les produits gazeux de l'explosion prennent ce chemin, et tendent à déterminer dans le moment un aérage plus actif. Enfin, pour faciliter cet aérage et pour empêcher que le courant ne change de sens, on place dans l'intervalle de chaque barrage double des portes de sauvetage en bois, mobiles autour d'un axe horizontal situé près du faîte de la galerie, et maintenues relevées dans une position horizontale par une sorte de crochet, qu'il suffit de faire tourner pour que la porte tombe. Ce crochet a un manche, auquel est adaptée une plaque assez large qui, en cas d'explosion, reçoit le choc du courant, de sorte que la porte est décrochée par l'explosion même. Cette porte flottante maintient provisoirement la circulation de l'air, et n'oppose aucun obstacle à la sortie des ouvriers qui, surpris par l'explosion, cherchent à gagner des galeries non infectées. L'emploi de ces moyens préventifs peut assurer contre toutes chances de renversement du courant ventilateur. Alors les foyers d'aérage peuvent continuer leurs fonctions aussitôt après l'explosion, et permettre de rentrer dans la mine et d'en retirer presque toujours les ouvriers, qui n'ont été qu'asphyxiés, avant que l'asphyxie ne soit complète.

Dans les mines métalliques et beaucoup de mines de houille, les ouvriers s'éclairent avec des chandelles ou des lampes à huile ou à graisse ; dans les mines à grisou, ils emploient les LAMPES DE SURETÉ, que nous avons décrites dans un article séparé.

Transport des minerais.

Sur des voies tout à fait irrégulières et pour de très petites distances le transport se fait à dos. Dans quelques galeries descendantes on se sert de traîneaux ; lorsque la galerie est très inclinée, on attache les traîneaux à une chaîne sans fin, dont le frottement sur le sol modère la descente, et qui sert souvent aussi à remonter les traîneaux. Au lieu de traîneaux, on emploie souvent, dans les voies descendantes, des wagons roulant sur un chemin de fer, et disposés de la même manière, avec un frein ordinaire à la tête du plan incliné dit *plan automoteur*. Pour des distances peu considérables, dans des galeries horizontales ou peu inclinées, on emploie quelquefois des brouettes à une (fig. 1853) ou deux roues. Dans beaucoup de mines métalliques on se sert, pour le transport des minerais d'un *chien de mine*, caisse prismatique longue, haute et étroite, portée sur quatre roulettes



1853.

placées sous le fond et circulant sur deux lignes de solives en bois qui laissent entre elles un intervalle de 0m,03 environ, dans lequel s'engage une cheville directrice en fer fixée verticalement au milieu de l'essieu antérieur du chien, qui est poussé par derrière et non traîné ; le roulage au chien de mine est le seul qui puisse être employé dans les galeries très étroites et tortueuses. Enfin, dans les galeries longues et suffisamment régulières, horizontales ou inclinées, le transport s'effectue au moyen de chariots ou wagons, traînés par des hommes ou des chevaux, et roulant sur des bandes de bois, de fonte ou de fer forgé. Tantôt le minerai, ou la houille, est placé directement dans le chariot, tantôt, afin d'éviter le transvasement, il est chargé dans des bennes que l'on place sur le chariot, qui se réduit alors à une plate-forme portée sur quatre roue

Dans quelques cas très rares, les transports dans l'intérieur des mines se font par eau, dans des canaux souterrains.

Extraction des minerais.

Dans les puits verticaux et peu profonds, l'extraction se fait au moyen d'un simple treuil à manivelles manœuvrées par deux ou quatre hommes ; on charge alors les cuveaux d'un poids de 50 à 100k. Lorsque les masses à élever sont d'un poids considérable et ne doivent pas être divisées, comme dans les carrières de pierre de taille, on emploie, au lieu de manivelles, de grandes roues à chevilles.

Lorsque les quantités de matières à extraire sont considérables, l'extraction s'opère au moyen de machines dites *barytels*, qui sont mues par des chevaux, des roues hydrauliques ou des machines à vapeur. Le barytel à chevaux consiste toujours en un cabestan vertical, dont l'arbre porte un tambour d'un assez grand diamètre ; deux câbles s'enveloppent en sens inverse l'un de l'autre sur ce tambour, et vont passer sur de grandes poulies ou *molettes*, supportées par une charpente établie au-dessus du puits dans lequel se meuvent les tonnes attachées à l'extrémité des câbles, l'une d'elles monte et son câble s'enroule autour du tambour, tandis que l'autre descend et que son câble se déroule. Lorsque les puits sont inclinés, on remplace les tonnes d'extraction par des caisses prismatiques pourvues de roues qui circulent sur des rails ou des lignes de solives placées sur le mur, comme l'indiquent les fig. précédentes (1840 et 1841). Dans les barytels à eau et à vapeur, les câbles d'extraction s'enroulent autour de tambours presque toujours horizontaux. Le plus souvent les roues hydrauliques sont placées sur l'axe même des tambours, et sont construites avec deux rangs d'nuges tournés en sens inverse les uns des autres, afin de pouvoir changer à volonté le sens de la rotation. Les machines à vapeur employées pour l'extraction des minerais sont tantôt ver-

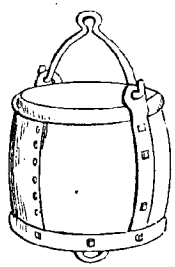
EFERUS - Recherche & Classification numérique

ticales, tantôt horizontales ; dans tous les cas, elles sont munies d'un mécanisme analogue à celui des locomotives ou à celui des machines de bateaux à vapeur, et qui permet de renverser instantanément le sens du mouvement.

Les câbles qui servent à l'extraction sont ronds ou plats, en chanvre ou en fil de fer, et goudronnés (voyez CABLES). Si les tambours étaient cylindriques, pour des puits d'une grande profondeur, le poids des câbles ferait varier dans des limites très étendues la somme des moments des forces agissant tangentiellement aux tambours et, par conséquent, la force motrice. On remédie à cet inconvénient en enroulant les câbles ronds sur des tambours coniques, et en disposant les tambours pour câbles plats de manière que ceux-ci s'enroulent sur eux-mêmes en spires successives.

Dans les mines qui sont en partie asséchées par une galerie d'écoulement, on utilise souvent et avec beaucoup d'avantage les cours d'eau qui coulent à la surface, en profitant de la chute de la surface au niveau de la galerie d'écoulement, au moyen de BALANCES D'EAU, qui servent à l'extraction. Lorsque les puits sont très inclinés, l'ensemble de l'appareil offre les mêmes dispositions qu'un plan automoteur, les chariots se composent de deux parties, dont l'une est destinée à renfermer l'eau pendant la descente, et l'autre le minerai pendant l'ascension. On utilise également dans quelques cas particuliers, pour l'extraction du minerai, la descente des remblais rapportés.

Dans les puits verticaux, l'extraction a le plus souvent lieu dans des tonnes en bois cerclées en fer (figure 1854), que l'on accroche tantôt seules, tantôt par groupes de deux, trois ou quatre, à des chaînes qui terminent le câble d'extraction. Dans quelques mines de houille on se sert encore de paniers en osier. Dans d'autres mines, on emploie des plates-formes carrées portant une ligne de rails, sur lesquels arrivent les chariots qui ont servi au transport dans les galeries souterraines, et qu'on y fixe par des traverses. Les plates-formes sont suspendues par quatre chaînes au câble, et guidées, dans leur mouvement ascensionnel, par deux ou quatre lignes de longuerines en bois ou en fer.



1854.

En terminant ce qui se rapporte à l'extraction, nous dirons quelques mots sur la descente des ouvriers dans les mines.

Les ouvriers descendent ordinairement dans les mines et en sortent par des échelles verticales et inclinées, ce qui dans les puits très profonds dépense une très grande partie du travail qu'ils sont capables de fournir. Dans les mines de houille du centre de la France, et dans la plupart des houillères profondes de l'Angleterre et de la Belgique, les ouvriers montent et descendent habituellement par les tonnes, ce qui donne quelquefois lieu à de graves accidents en cas de rupture des câbles, ou de rencontre des tonnes montantes et descendantes, lorsque celles-ci ne circulent pas dans des compartiments séparés.

En 1833, M. *Dœrell*, ingénieur des mines à Zellerfeld dans le Hartz, inventa, pour faire monter et descendre les ouvriers dans les mines, une machine très simple et très ingénieuse, qui est actuellement assez répandue. Cette machine se compose d'un système de deux tirants en bois établis dans le puits, parallèlement, et à une petite distance l'un de l'autre, depuis la surface jusqu'au fond, et qui reçoivent un mouvement rectiligne alternatif de la roue hydraulique ou de la machine servant à l'extraction. Chaque tirant porte des marches dont l'équidistance est égale au double de l'amplitude du mouvement alternatif, et des poignées en fer sont établies à la hauteur convenable, au dessus des marches, pour que l'ouvrier puisse les saisir avec la main. Les tirants sont guidés par des rouleaux et sont munis de plusieurs patins de sûreté, disposés de manière à ce que, en cas de rupture, la partie détachée ne pût jamais tomber que d'une hauteur tout au plus égale à l'amplitude d'une excursion, c'est-à-dire de $1^m,50$ à 2^m. L'ouvrier passe successivement d'un tirant sur l'autre, en se tenant toujours sur les marches de celui qui monte s'il veut monter, et de celui qui descend s'il veut descendre. Des échelles fixes sont placées entre les deux tirants en cas d'accident. Enfin, de distance en distance, il y a des planchers horizontaux, comme dans le cas d'échelles fixes. On a remplacé dans quelques mines les tirants en bois par des échelles en fil de fer, qui sont reliées de distance en distance par des sortes de balanciers qui les rendent solidaires l'un de l'autre, et qui, en les équilibrant ainsi à différentes hauteurs, ont l'avantage de décharger les points d'attache supérieurs, et les parties supérieures des câbles, du poids des parties inférieures. Voir MACHINE A EXTRACTION.

Épuisement des eaux des mines.

L'assèchement des mines s'opère, soit au moyen de galeries souterraines qui débouchent dans les vallées voisines, soit à l'aide de machines.

Toutes les fois que l'on peut pratiquer des galeries d'écoulement, on a recours à ce moyen pour assécher les mines en tout ou en partie. En général, on les exécute, autant que possible, à travers bancs, et normalement à la direction des gîtes exploités, avec des embranchements exécutés dans chaque gîte suivant sa direction. La pente doit en être très faible, et leur orifice doit être situé à un niveau supérieur à celui des plus hautes eaux dans la vallée où elles débouchent. Lorsqu'une partie des exploitations est située à un niveau inférieur à celui des galeries d'écoulement, le sol de celles-ci doit être imperméable ; à cet effet, les parties exécutées en galeries d'allongement doivent être entaillées dans le mur et non dans le gîte lui-même, et on doit murailler en forme de canal toutes les parties où le sol n'est pas entièrement imperméable.

Lorsqu'on a recours à des machines pour l'épuisement des eaux, on emploie des seaux ou tonnes et le plus souvent des pompes.

Dans les puits en creusement, lorsque les eaux sont très abondantes, on les extrait dans les mêmes tonnes que les déblais, au moyen de treuils ou de barytels. On se sert aussi souvent de seaux ou de tonnes, dans des puits servant à une exploitation régulière, lorsque les eaux sont peu abondantes, et que celles qui arrivent pendant la journée de travail peuvent être facilement contenues dans un puisard ou réservoir de petites dimensions, d'où on les extrait une fois l'extraction journalière terminée et avec les mêmes câbles et les mêmes machines.

Dans tous les cas où l'abondance des eaux exige un épuisement continu on emploie des POMPES. Comme nous traitons de ces machines dans un article spécial, nous n'en dirons ici que très peu de chose.

On emploie assez fréquemment, pour des épuisements temporaires, à de petites profondeurs, des pompes aspirantes en bois d'une construction extrêmement simple, qui sont confectionnées sur la mine même et entretenues par les ouvriers boiseurs. Ces pompes se composent d'un tronc d'arbre foré dont le diamètre intérieur est plus grand à la partie supérieure qui sert de corps de pompe, qu'à la partie inférieure qui sert de tuyau aspirateur et est surmontée d'une soupape à clapet en cuir s'ouvrant de bas en haut; le piston est en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

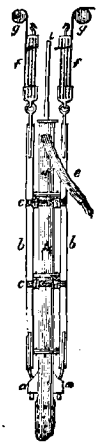
bois, garni de chanvre à l'extérieur, creux à l'intérieur et muni de soupapes à clapets s'ouvrant de bas en haut. On employait autrefois pour l'épuisement des mines profondes, et on en trouve encore des exemples dans beaucoup d'anciennes mines d'Allemagne, des pompes en bois de 8 à 10 mètres de hauteur totale, construites comme nous venons de le dire, et établies en cascade les unes au-dessus des autres ; souvent le même puits renferme deux colonnes de pompes en cascade ; chacune d'elle déversant l'eau qu'elle élève dans une bâche ou réservoir où elle est reprise par les pompes placées immédiatement au-dessus.

Actuellement, et surtout pour les épuisements à de grandes profondeurs ou pour de grandes quantités d'eau, on se sert de pompes métalliques qui sont de deux sortes, savoir : les pompes élévatoires à piston creux, et les pompes à piston plein.

Les *pompes élévatoires à piston creux* sont les plus anciennes, et sont principalement employées dans les mines de houille du département du Nord et dans la Belgique. Elles se composent d'un corps de pompe alésé en fonte ou en bronze, d'un tuyau d'ascension placé au-dessus, et d'un tuyau placé au-dessous et qui en est séparé par une *chapelle*, sorte de tuyau court fermé par une de ses faces par une porte amovible qui sert à visiter et réparer au besoin les soupapes du tuyau aspirateur et du piston creux. Les tuyaux d'ascension ont un diamètre un peu supérieur à celui du corps de pompe afin de pouvoir retirer au besoin le piston par la partie supérieure ; ils sont composés de tuyaux cylindriques en fonte assemblés au moyen de brides plates avec interposition de garnitures en étoupes goudronnées ou d'un disque de plomb. Lorsque la colonne a une grande hauteur, il convient d'imprégner ces tuyaux d'huile siccative au moyen de la pompe de pression, afin d'empêcher l'eau de suinter au travers ; ce procédé peu coûteux, dû à M. *Juncker*, permet d'élever les eaux d'un seul jet à 200 mètres et plus de hauteur verticale. Les tiges des pistons sont ordinairement en bois et, avec leurs armatures en fer, déplacent à peu près un volume d'eau d'un poids égal au leur.

On emploie souvent les pompes élévatoires pour l'épuisement des eaux dans les puits en fonçement ; dans ce cas, on les supporte au moyen de palans (fig. 1855), et on les descend au fur et à mesure de l'approfondissement des puits.

Les pompes à *piston plein* sont de deux espèces : les pompes à piston plein remplissant la section entière du corps de pompe, et les pompes dites pompes à piston plongeur.



1855.

Dans tous les cas, les tuyaux d'ascension et d'aspiration sont placés sur la même verticale et séparés par la chapelle ; ils sont munis à leurs points de jonction avec celles-ci de soupapes s'ouvrant de bas en haut ; le corps de pompe est latéral et communique avec la chapelle par un tuyau horizontal très court.

Dans les pompes à piston plein remplissant la section entière du corps de pompe, ce dernier est alésé et ouvert à l'une de ses extrémités, ordinairement à la partie inférieure ; il n'agit alors qu'en remontant ; la tige du piston traverse alors le fond supérieur du corps de pompe dans une boîte à étoupes.

Dans les pompes à piston plongeur, le corps de pompe n'est pas alésé ; l'une de ses extrémités est en communication avec la chapelle, et l'autre se termine par une boîte à étoupes dans laquelle joue un piston cylindrique plein alésé à l'extérieur et d'un diamètre de quelques centimètres plus faible que celui du corps de pompe.

Pour alléger le piston plongeur, on le forme ordinairement avec un cylindre creux en bronze fermé à ses extrémités par des fonds reliés par une tige en fer, fixée à la tige motrice, ou par une tige en bois qui le remplit exactement et qui y est solidement serrée. Suivant la disposition du corps de pompe, le piston plongeur refoule l'eau soit en montant soit en descendant. Ces pompes présentent de grands avantages sur les pompes élévatoires, ce qui rend de jour en jour leur usage plus fréquent.

Lorsque les eaux des mines sont corrosives, ce qui arrive fréquemment, il convient d'employer des corps de pompes en bronze, et d'imprégner, comme nous l'avons dit, d'huile siccative, les tuyaux en fonte destinés à former les colonnes pour l'aspiration et l'ascension des eaux. Lorsqu'on emploie des pompes à piston plongeur, on double alors souvent l'intérieur du corps de pompe avec des douves en bois.

La maîtresse-tige des pompes, à laquelle les tiges de celles-ci sont fixées au moyen de potences, lorsque les pompes sont placées en cascade, ou la tige elle-même dans le cas où l'on élève l'eau d'un seul jet du fond de la mine jusqu'au jour ou jusqu'au niveau de la galerie d'écoulement, est ordinairement en bois, et quelquefois en fer forgé lorsqu'elle doit agir en tirant. Son diamètre va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne de la surface, à cause de son poids considérable. On la contre-balance souvent au moyen de balanciers et de contre-poids ; lorsque le même puits renferme deux colonnes de pompes et deux maîtresses-tiges, on relie souvent celles-ci à divers niveaux par des balanciers, de manière à décharger les parties supérieures. Enfin, pour prévenir les accidents qui pourraient provenir de la rupture d'une maîtresse-tige ; on la munit de distance en distance d'appendices ou *patins* assez rapprochés les uns des autres, et qui, lorsque la maîtresse-tige arrive au bas de sa course, arrivent presque en contact avec des planches en bois superposées et portées par un fort massif en charpente, qui servent, en cas de rupture, à détruire toute la vitesse acquise par la partie inférieure de la maîtresse-tige.

On emploie, pour mouvoir les tiges des pompes, des roues hydrauliques, des machines à colonne d'eau ou des machines à vapeur.

Les roues hydrauliques sont ordinairement des roues prises en dessus et placées à la surface et à une certaine distance des puits où se trouvent les pompes, auxquelles on transmet alors le mouvement par le moyen d'une ligne de tirants en bois, supportés par des rouleaux tournant sur leurs axes, ou suspendus de distance en distance à des tiges en fer équidistantes d'une longueur assez considérable et mobiles autour de leur autre extrémité ; ou enfin, communiquant les uns aux autres au moyen de varlets, leviers coudés oscillant autour d'un axe horizontal. Ces divers moyens consomment une portion considérable de la force à transmettre, lorsque la distance à parcourir est un peu grande. Nous sommes convaincus qu'on diminuerait cette perte dans une très forte proportion, dans ce cas, en plaçant une poulie sur l'axe de la roue motrice, laquelle poulie communiquerait le mouvement de rotation continu à une seconde poulie placée près du puits des pompes, au moyen d'un câble sans fin soutenu de distance en distance par de petits rouleaux mobiles sur leur axe. La seconde poulie mettrait les maîtresses-tiges en mouvement au moyen d'une bielle horizontale et d'un levier coudé à angle droit, ou d'une bielle verticale et d'un balancier.

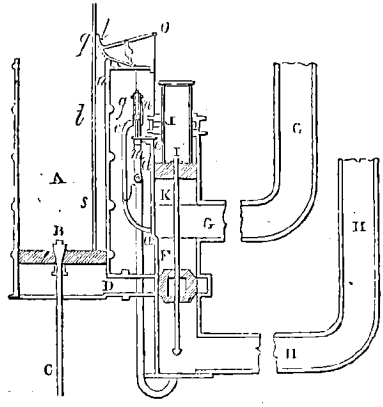
On établit souvent les roues hydrauliques souterrainement, lorsque la chute d'eau motrice est produite par un cours d'eau qui coule à la surface, ou dans une galerie percée à un niveau supérieur à celui de la galerie d'écoulement par laquelle l'eau s'échappe, après avoir agi sur la roue. Le mouvement est alors transmis aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tiges des pompes par des tirants établis dans des galeries souterraines creusées exprès pour les recevoir. Lorsque les chutes d'eau sont considérables, on les utilise quelquefois au moyen d'une série de roues hydrauliques placées à différents niveaux, mais il vaut mieux dans ce cas employer des machines à colonne d'eau.

Les *machines à colonne d'eau* dont l'invention est due à Bélidor (Architecture hydraulique, tome 2, paru en 1739), mais dont la première, encore très imparfaite, ne fut exécutée que dix ans plus tard, par Hœll, à Schemnitz en Hongrie, ont beaucoup de ressemblance avec les machines à vapeur; les effets dus à la pression de la vapeur, dans ces dernières machines, sont produits, dans les machines à colonne d'eau, par la pression de l'eau venant d'un réservoir supérieur et qui est amenée dans le cylindre, entre le fond de ce cylindre et le piston, par un tuyau de chute. Lorsque le piston pressé par l'eau motrice a terminé son excursion, l'eau s'écoule par une issue qui lui est ouverte dans un tuyau de décharge. L'incompressibilité de l'eau exige que les mouvements du piston soient beaucoup plus lents que dans une machine à vapeur, et que l'on prenne certaines précautions pour l'ouverture et la fermeture des tuyaux d'admission et d'évacuation de l'eau; aussi fait-on rarement des machines à colonne d'eau à double effet; elles sont presque toujours à simple effet. On accouple quelquefois deux machines à colonne d'eau à simple effet, dont les pistons s'équilibrent mutuellement; à cet effet, les tiges de ces pistons sont liées par une tige articulée à maillons en fer, qui se plie sur une poulie dont le diamètre est égal à l'intervalle des axes des deux cylindres.

Nous nous bornerons à décrire ici l'une des belles machines à colonne d'eau établies à Huelgoat et Poullaouen en Bretagne, par M. l'ingénieur en chef des mines Juncker. Cette machine est établie à 110m environ au-dessous de la surface du sol; son cylindre A (fig. 1856) est en fonte et ouvert par le haut: il a 1m,03 de diamètre et 2m,75 de hauteur. Le piston B est en bronze et n'a qu'une seule garniture en cuir; sa course est de 2m,30, et il en fait jusqu'à 5 1/2 par minute; à son centre est adaptée une tige en fer C, qui traverse la base du cylindre, dans une boîte à étoupes, et qui descend verticalement jusqu'au fond du puits, où elle s'adapte immédiatement au piston d'une pompe qui y est établie, et qui élève d'un seul jet les eaux à une hauteur verticale de 230m. Au bas du cylindre se trouve le tube D, par lequel entre l'eau motrice destinée à soulever le piston, et par lequel elle sort ensuite lorsqu'il descend. Un autre piston E, qui oscille dans la boîte cylindrique F, met alternativement ce tube en communication avec le tuyau de chute aboutissant en G, et avec le tuyau de décharge H, lequel, se recourbant verticalement, remonte l'eau à 14m d'élévation jusqu'à la galerie d'écoulement. Cette colonne d'eau de 14m de hauteur, constitue un véritable balancier hydraulique dont on se sert pour équilibrer en presque totalité l'énorme poids de la tige du piston, lequel est de 16,000k environ.



1856.

La pièce principale de la régulation est le piston régulateur E; c'est un cylindre creux en bronze, parfaitement tourné et poli; sa hauteur qui est triple de celle de la tubulure D, est divisée en trois parties; celle du milieu, ayant un peu plus du tiers de la hauteur, est unie à sa surface extérieure; les deux autres sont cannelées, et portent chacune huit cannelures dont la profondeur, d'abord nulle, augmente à mesure que l'on approche de leur base respective, de sorte que leur coupe verticale est un triangle. Supposons maintenant que le piston B soit au bout de sa course, et que le régulateur, se trouvant au milieu de sa marche descendante, bouche entièrement la tubulure et qu'il continue à descendre, comme l'indique la figure 1856. L'eau, qui est sur la tête du régulateur, sous la pression de la chute entière, passant d'abord par le bas des cannelures, ne commencera à arriver, sous le piston, qu'en très petite quantité, et elle ne le poussera en haut qu'avec une vitesse extrêmement faible: l'affluence de l'eau, et par suite la vitesse, augmenteront peu à peu, et elles seront à leur maximum lorsque la base du régulateur, toujours en descendant, se trouvera au niveau du bord inférieur de la tubulure; le piston B sera alors au milieu de sa course ascensionnelle. Dans ce moment, le régulateur, par l'effet d'un mécanisme dont nous parlerons plus loin, prendra une marche ascendante, et il rétrécira les orifices d'entrée de l'eau dans le même rapport qu'il les avait ouverts en descendant; de sorte qu'au milieu de sa marche il bouchera entièrement l'ouverture, il n'arrivera plus d'eau dans le cylindre, et le piston B, qui a atteint le haut de sa course s'arrêtera. Le régulateur continuant à monter, ses cannelures inférieures se présenteront peu à peu devant la tubulure; l'eau qui est dans le cylindre, pressée par le poids du piston et de son attirail, sortira par ces cannelures et gagnera le tuyau d'émission H, et le piston B commencera à descendre très lentement; puis il ira de plus en plus vite jusqu'à ce que le régulateur soit au bout de sa course; il redescendra alors, et il diminuera l'émission de plus en plus jusqu'à la rendre nulle. Il suit de là, que la vitesse du piston, soit en montant, soit en descendant, est d'abord extrêmement petite; qu'elle augmente ensuite graduellement jusqu'au milieu de la course; qu'au-delà, elle diminue peu à peu jusqu'à la réduire à zéro. De cette manière on a évité toute action brusque et toutes secousses, à tel point que se tenant tout près de la machine, on n'entend pas le moindre bruit et on ne perçoit pas la moindre vibration.

Pour contrebalancer l'effort que la colonne d'eau motrice exerce sur la tête du piston régulateur E, on a établi, immédiatement au-dessus, un autre piston I, qui se meut dans la boîte K, d'un diamètre un peu plus grand que celui de la boîte F, et qui est lié avec le premier par une tige en fer. De cette manière, l'eau contenue et pressée dans les boîtes exercera sur le piston I, et de bas en haut, un effort un peu plus grand que celui qu'elle exerce, de haut en bas, sur le piston E; par suite le système des deux pistons tendra à monter et se tiendra naturellement au haut de la course commune. Pour le faire descendre on a surmonté le piston I d'une autre boîte cylindrique renversée L, et de façon qu'il y ait un vide annulaire entre sa paroi extérieure et la paroi intérieure du cylindre K; une garniture en cuir établie au haut de ce cylindre ferme la partie supérieure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du vide. Enfin, le cylindre K communique par le tuyau coudé *a b c*, avec le tuyau rectiligne *g h;* dans ce dernier se meuvent deux petits pistons *m* et *n*, liés et disposés entre eux comme le sont E et I. L'eau qui est dans le cylindre K, entre par l'orifice *a*, suit le tuyau *a b c*, puis *c d*, traverse le petit tube de communication *d e*, débouche dans le vide annulaire qui est tout autour de la boîte L, le remplit, et agit alors, sous la charge entière de la colonne de chute sur le bord annulaire de la surface supérieure du piston I; cet effort, se joignant à celui qui s'exerce sur la tête du régulateur E, dépasse celui qui a lieu de bas en haut sur le piston I, et le système descend. Si, après que la descente est effectuée, on élève et place le petit piston *m* entre les orifices *c* et *d*, la communication entre la colonne de chute et l'espace annulaire est interceptée, l'effort exercé à la surface supérieure du piston I n'existe plus, et le régulateur remonte. Ainsi pour le faire monter ou descendre, il suffit de porter le petit piston *m* au-dessus ou au-dessous de l'orifice *d*. La force nécessaire à cet effet sera peu considérable, l'effort que le fluide exerce sur ce piston étant en grande partie équilibré par celui qui a lieu en sens inverse sur le piston *n*. — Lorsqu'on met la machine en mouvement, c'est le machiniste lui-même qui, prenant en main le levier *l o*, porte successivement le piston *m* à la place convenable. Mais ensuite c'est le grand piston B qui continue ce travail. A cet effet, près d'un de ses bords, on a implanté la tringle *p q* portant deux cames *s* et *t*, fixées sur deux de ses faces opposées. Elles agissent sur deux mentonnets placés également sur deux faces opposées du secteur adapté à l'extrémité *l* du levier *l o* : lorsque le piston monte, une des cames lève le levier et par suite les petits pistons; il les baisse dans sa descente.

Ces cames peuvent être fixées sur différents points de la tringle *p q*, et suivant qu'elles sont plus ou moins espacées, la course du grand piston est plus ou moins longue. On fait encore varier cette course en ouvrant plus ou moins les robinets *b* et *f*, par lesquels l'eau entre dans l'espace annulaire ou en sort. On a encore, dans le tuyau de chute, ainsi que dans celui d'émission, une valve circulaire ou registre à l'aide duquel on rétrécit à volonté le passage de l'eau affluente, et celui de l'eau affluente : le rétrécissement du premier diminue la vitesse ascensionnelle du piston, et celui du second diminue la vitesse descensionnelle.

Au lieu du moyen de régulation si parfait que nous venons de décrire, on employait autrefois dans toutes les machines à colonne d'eau, et on se sert encore fréquemment dans celles de faibles dimensions, et où par conséquent il n'est pas indispensable de prévenir toute espèce de vibration, provenant du jeu de la machine, de régulateurs à marteau analogues à ceux employés dans les machines à vapeur de Newcomen, et même encore plus simples, lesquels manœuvrent des soupapes ou le plus souvent des robinets qui ouvrent et ferment les orifices d'admission et d'évacuation de l'eau.

Dans la plupart des cas et surtout dans l'exploitation des gîtes de combustibles minéraux, on emploie, pour l'épuisement des eaux, des pompes mues par des machines à vapeur. Ces dernières sont de constructions très diverses, à simple ou à double effet; celles qui conviennent le mieux dans ce cas sont les machines à simple effet, à moyenne pression, à détente et à condensation, qui ont été décrites avec détail à l'article MACHINE A VAPEUR.

Levé des plans de mines.

Les mines de quelque étendue ne peuvent être bien exploitées qu'à l'aide de plans exacts : nous avons indiqué au mot LEVÉ DES PLANS, les divers procédés que l'on suit pour exécuter ces plans, ce qui nous dispense d'y revenir ici.

Coup d'œil statistique sur les principales mines du monde.

Sous le rapport de leur gisement, on peut diviser les mines en trois grandes classes : 1° Mines situées dans les terrains antérieurs au terrain houiller; 2° mines des formations secondaires et tertiaires; et 3° mines situées dans les terrains d'alluvion.

1° Mines des formations antérieures au terrain houiller.

MINES DES CORDILIÈRES. Nous trouvons successivement en allant du sud au nord, dans le Chili, et surtout dans la province de Coquimbo, des minerais d'argent et une quantité considérable de minerai de cuivre très riche, dont une grande partie est exporté et acheté par des Anglais, qui le traitent dans des usines situées aux environs de Swansea.

Plus au nord, on trouve le fameux district des mines d'argent du *Potosi*, sur le versant est de la chaîne des Andes, à 20° de latitude, et plusieurs autres districts très riches, qui faisaient autrefois partie du Pérou, mais qui sont actuellement réunis à la République Argentine. Les mines du Potosi ont été découvertes en 1545, et ont donné depuis cette époque pour plus de 6.000.000.000 de francs d'argent. La teneur en argent du minerai a diminué à mesure que les mines devenaient plus profondes, et depuis le dernier siècle elle est réduite à 0,0003 ou 0,0004. La République Argentine renferme en outre quelques mines de plomb, de cuivre, et d'étain.

Le Pérou renferme des mines importantes de mercure, d'or et d'argent; il y existe aussi des mines de sel gemme près des mines d'argent de Huantajaya, et quelques mines de cuivre.

La mine de mercure de *Huancavelica* est située sur le versant est des Andes, à 13° de latitude, et à environ 2.000^{m} au-dessus du niveau de la mer; elle a alimenté pendant longtemps toutes les usines d'amalgamation du Nouveau-Monde.

Les districts de Huaailas et de Pataz renferment deux mines d'or disséminé dans des filons de quarz; le premier de ces districts renferme aussi des mines de plomb.

Les mines d'argent du Pérou sont principalement situées dans les districts de Huantajaya, Pasco et Chota.

Les mines de la province de Chota produisent annuellement environ 17.000^{k} d'argent; les plus importantes sont celles de Gualcayoc, près Mecuicampa, à plus de 4.000^{m} au-dessus du niveau de la mer, et qui furent découvertes en 1771. Le minerai est composé de sulfure et d'antimonio-sulfure d'argent, avec argent natif, disséminés en veines dans les couches calcaires ou quarzeuses.

Les mines du district de Pasco, à 150 kilomètres au nord de Lima, et à 4.400^{m} au-dessus du niveau de la mer, furent découvertes en 1630. Le minerai est une masse terreuse renfermant beaucoup d'oxyde de fer qui la colore en rouge, avec argent natif, chlorure d'argent, etc., et porte le nom de *Pacos;* la teneur moyenne en argent est de 0,0008. Ces dépôts argentifères paraissent s'étendre à une faible profondeur, car la plupart des mines n'ont que 50 à 90^{m} de profondeur. Au commencement de ce siècle ces mines produisaient annuellement 100.000^{k} d'argent.

En continuant à remonter vers le nord, nous trouvons quelques mines d'or dans la province d'Antioquia et les monts Guamoco. La province de Caracas, renferme à Aroa une mine de cuivre qui produit annuellement de 700 à 800$^{t.m.}$ de cuivre. Enfin, il existe une mine de sel gemme très considérable à Zipaquira, dans la province de Santa-Fé, et une mine de charbon de terre, dans la province de Santa-Fé-de Bogota, à 2.700^{m} au-dessus du niveau de la mer.

Le Mexique renferme plus de 3.000 mines d'argent, situées sur les flancs des Cordilières à une hauteur de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2.000 à 3.000^{m}, et peut être divisé en huit groupes métallifères :

1° Le groupe d'Oaxuaca, au sud, qui contient outre des mines d'argent, des veines aurifères qui traversent le gneiss et le schiste micacé ;

2° Le groupe de Tasco, à 90 kilom. au S.-E. de Mexico ;

3° Le groupe de Biscania, à 80 kilom. N.-E. de Mexico ; il est peu étendu, mais il renferme quelques mines très riches, Pachuca, Réal-del-Monte, et Moram ;

4° Le groupe de Zimapan, à 160 kilom. N.-E. de Mexico ; outre de nombreuses mines d'argent, il renferme d'abondants dépôts de minerai de plomb, et quelques mines de sulfure jaune d'arsenic ;

5° Le groupe de la nouvelle Gallicie, à 400 kilom. N.-O. de Mexico ; renferme les riches mines du district de Balanos ;

6° Le groupe de Durango et Sonora, à 600 kilom. N.-N.-O. de Mexico ;

7° Le groupe de Chinuahua, à 400 kilom. N. de Durango ; très étendue comme le précédent et de faible importance ;

8° Le groupe central qui renferme les célèbres districts de Guanaxuato, Zacatecas, Catorce et Sombrerete.

Le district de Guanaxuato ne renferme qu'un filon de 43 à 48^{m} d'épaisseur, dans le schiste argileux, reconnu et exploité sur une longueur de plus de 13.000^{m} ; il produit annuellement 150.000^{k} d'argent, et une seule des dix-neuf mines qui l'exploitent, celle de *Valenciana*, en produit 40.000^{k} ; depuis 1764, époque de sa découverte, elle n'en a jamais produit moins de 10 à 15.000^{k} par an. Ces mines atteignent des profondeurs de 5 à 600^{m}.

Le district de Zacatecas ne présente également qu'un seul filon, dans la grauwacke, exploité par plusieurs mines.

Les mines du district de Catorca sont dans le calcaire ; l'une d'elles, qui a 650^{m} de profondeur, rendait annuellement 27,000^{k} d'argent à la fin du siècle dernier. Il y a aussi, dans ce district, des mines d'antimoine.

Enfin, ce groupe renferme aussi des minerais d'étain d'alluvion près du mont Gigante, et des mines de cuivre, produisant annuellement 2.000$^{q.m.}$ de cuivre, dans les provinces de Valladovid et Guadalaxara.

La teneur en argent des minerais du Mexique est très variable ; elle est en moyenne de 0,0018 à 0,0025 ; on traite les plus riches par fusion, et le reste qui forme la majeure partie, par amalgamation. L'argent que l'on obtient contient toujours de l'or, 0,003 environ.

MINES DES MONTAGNES ROCHEUSES. La Californie renferme des mines et alluvions aurifères, découverts en 1847, qui produisent actuellement environ 50,000 kil. d'or, et des mines de mercure.

MINES DES MONTS ALLEGANYS. La chaîne des monts Alleganys qui traverse les États-Unis d'Amérique, renferme un grand nombre de mines de cuivre, plomb et fer, mais dont l'exploitation n'a encore pris que très peu de développement. Elle présente également de nombreux gîtes d'anthracite activement exploités.

MINES D'ESPAGNE. Parmi ces mines nous citerons les mines de cuivre de *Rio-Tinto*, les nombreuses mines de plomb des environs d'*Almeira* et d'*Adra*, dans la *Sierra de Gador*, qui produisent annuellement 300.000 q. m. de plomb et les riches mines d'argent récemment découvertes dans les environs de *Carthagène*.

MINES DES PYRÉNÉES. Les Pyrénées ne renferment guère, que des mines de fer oligiste ou de fer carbonaté spathique, parmi lesquelles nous citerons celles de *Sommorostro*, en Biscaye, et celles de *Rancié*, dans le département de l'Ariége. Ces mines alimentent de nombreuses forges catalanes.

MINES DES ALPES. Les diverses mines que l'on rencontre dans les Alpes, sont : quelques mines peu importantes de pyrites aurifères au pied du mont Rose, dans le Piémont, dans le pays de Salzbourg, et aux environs de *Zell*, dans le Tyrol ; les mines de cuivre d'*Agordo* non loin de Venise, d'*Allagne* et d'*Ollemont* en Piémont, et de *Saint-Georges d'Huretières* en Savoie ; les mines d'argent d'*Allemont* et de *Chalanches* dans l'Oisans, département de l'Isère, qui sont abandonnées depuis la fin du siècle dernier ; les mines de plomb et argent de *Macot* et de *Pesey* : sous l'empire, on avait établi une école pratique des mineurs dans cette dernière localité ; et enfin, de nombreuses mines de fer carbonaté spathique, qui alimentent un grand nombre d'usines, en Carinthie, en Styrie, en Savoie, et aux environs d'*Allevard* et de *Rives*, dans le département de l'Isère. Nous citerons encore les mines de fer oxydulé de *Cogne* et *Traverselle*, dans le Piémont, celles de fer oligiste de l'île d'Elbe, et, en Toscane, les fameuses mines de cuivre de *Monte-Catini*.

MINES DU CENTRE DE LA FRANCE. Les principales de ces mines sont : les mines de plomb et argent, de *Villefort* et *Vialas*, dans le département de la Lozère, qui produisent annuellement environ 600 kil. d'argent et 1.500 q. m. de plomb et litharges marchandes ; les mines de plomb et argent de *Pontgibaud*, dans le Puy-de-Dôme, qui produisent annuellement environ 650 kil. d'argent et 1.000 q. m. de plomb et litharges marchandes ; les mines de cuivre de *Chessy* et de *Sainbel*, dans le département du Rhône, qui produisaient, il y a une vingtaine d'années, 2.000 q. m. de cuivre par an, et qui n'en produisent plus guère actuellement que 300 ou 400 q. m. ; de nombreuses mines d'antimoine dans les départements du Gard, de la Lozère et du Puy-de-Dôme, et enfin de nombreux filons de manganèse, parmi lesquels nous citerons ceux de *la Romanèche*, dans le département de Saône-et-Loire.

MINES DE LA BRETAGNE. Les seules mines métalliques importantes de la Bretagne sont celles de plomb et argent de *Poullaouen* et *Huelgoat*, qui renferment de la galène argentifère et des terres rouges argentifères, et qui produisent annuellement 1.200 à 1.300 kilogrammes d'argent, et 5.000 à 6.000 q. m. de plomb et litharges marchandes. Ces mines, dont l'exploitation porte sur 3 filons encaissés dans la grauwacke schisteuse, ou dans des schistes de transition, sont remarquables par trois machines à colonne d'eau de la force de 200 chevaux chacune, que nous avons décrites plus haut, et qui ont été établies par M. *Juncker*.

On trouve, en outre, dans les terrains de transition de la Bretagne et dans leur prolongement, dans les départements environnants, des gîtes puissants d'anthracite, lequel sert surtout à la cuisson de la chaux.

MINES DES VOSGES, DE LA FORÊT-NOIRE. Les principales mines des Vosges et de la Forêt-Noire sont les suivantes :

La mine de *La Croix-aux-Mines*, dans le département des Vosges, est établie, sur un énorme filon, presque vertical, dirigé du nord au sud, et encaissé dans le gneiss sur le versant occidental des Vosges. Sa puissance est souvent de 50^{m} et s'élève parfois à 80^{m}, et il a été reconnu sur une longueur de 13.000^{m}. Le minerai se compose d'argent natif, d'argent antimonial et d'argent rouge associés à la galène argentifère qui forme la masse métallique dominante, etc. ; on y trouve aussi du cuivre gris qui contient jusqu'à 0,02 d'argent. Ces minerais se trouvent tantôt disséminés, tantôt disposés en veines, en amas ou en rognons, dans une gangue composée de la roche même de la montagne chargée de quarz et de minerai de fer. Ce gîte est, sans contredit, le plus considérable qui ait été exploité en France ; par son étendue et par sa richesse, il est en tout comparable aux puissantes mines exploitées depuis quatorze-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

siècles dans le Hartz. Il fut découvert en 1315, et exploité depuis jusqu'à la fin du dix-septième siècle avec de grands bénéfices; vers 1581, l'exploitation produisait un bénéfice annuel d'environ 750.000 fr. Interrompue par suite des guerres qui signalèrent la fin du dix-septième siècle, ces mines furent reprises plusieurs fois, et bientôt après abandonnées, tantôt par suite d'une exploitation mal dirigée, tantôt par manque de capitaux suffisants : elles sont actuellement abandonnées, cependant le gîte est loin d'être épuisé et renferme encore de grandes richesses.

Les mines de *Sainte Marie-aux-Mines*, dans le département du Bas-Rhin, renferment des filons très nombreux, encaissés dans le terrain de gneiss où il affectent des positions très variées : les filons les plus importants et les plus riches courent, pour la plupart, du N. au S.; les minerais les plus abondants sont un cuivre gris, tenant 0,0100 d'argent, et de la galène argentifère. L'exploitation de ces mines remonte au moins au dixième siècle; à l'époque de leur grande prospérité, vers le milieu du seizième siècle, elles produisaient annuellement 1 625k d'argent, et occupaient plus de 3.000 ouvriers. Abandonnée lors de la guerre de 30 ans, l'exploitation fut reprise avec succès en 1712. En 1735 elle produisit 1.110k d'argent, 16.670k de cuivre et 111.100k de plomb. Plus tard, ces mines commencèrent à déchoir, et de 1805 à 1833, diverses compagnies tentèrent inutilement de les relever. Néanmoins, des recherches plus récentes sembleraient indiquer qu'elles présentent des chances favorable de reprise.

Les mines de *Giromagny*, dans le département du Bas-Rhin, renferment de nombreux filons encaissés dans le terrain de porphyre brun et dirigés du N. au S. Leur puissance est peu considérable; la gangue est principalement composée de quarz, de chaux carbonatée lamellaire, de chaux fluatée et de baryte sulfatée; les minerais, énumérés suivant l'ordre d'abondance, sont la galène argentifère, le cuivre pyriteux et le cuivre gris argentifère; on y rencontre aussi de la pyrite aurifère. Ces mines ont donné lieu jusqu'à la révolution française à une exploitation très productive. Elles ont été abandonnées depuis; cependant, elles sont loin d'être épuisées, et leur exploitation paraît pouvoir être reprise avec avantage; elles viennent d'être de nouveau concédées en 1843.

Les Vosges renferment encore d'abondantes mines de fer, parmi lesquelles nous citerons celles de *Framont* et de *Rothau*, épuisées aujourd'hui.

A l'étranger, les Vosges renferment les mines de plomb, en grande partie phosphaté, d'*Erlenbach* et de *Katzenthal*, les mines de manganèse de *Cruttnich* et de *Tholey*, au nord de Sarrebriück, renommées pour la qualité de leurs produits, et de nombreuses mines de fer.

Enfin, les montagnes de la Forêt-Noire, renferment de nombreuses mines de plomb argentifère, parmi lesquelles nous citerons celles de *Badenweiler* et de *Hochberg*, et aux environs de *Wolfach*, particulièrement à *Wittichen*, des mines de cuivre, cobalt et argent.

MINES DES ARDENNES ET DES BORDS DU RHIN. Les principales d'entre ces mines sont : les mines de cuivre de *Rheinbreitenbach* et de *Dillenbourg;* les mines de plomb et argent de *Alzau*, *Berncastle*, *Ems*, *Holzappel;* et les nombreuses mines de fer oligiste et de fer carbonaté spathique des pays de Nassau, de Siegen, etc.

MINES DU HARTZ. Le Hartz est un pays très peu étendu qui s'étend autour du *Brocken*, montagne granitique qui a traversé un terrain de grauwacke, lequel s'enfonce lui-même sous le calcaire de transition. Les nombreux filons que l'on y trouve courent généralement du N.-O. au S.-E., et plongent au S.-O. sous un angle de 8°. Les environs d'*Andréasberg*, de *Clausthal*, de *Zellerfeld* et de *Lautenthal*, renferment de nombreuses mines de galène argentifère, de minerais d'argent proprement dits et de minerai de cobalt. Les mines de *Rammelsberg* et de *Lauterberg*, renferment du cuivre pyriteux qui donne lieu à une exploitation très active. On trouve en outre au Hartz, beaucoup de mines de fer qui alimentent un certain nombre de hauts-fourneaux.

MINES DE L'EST DE L'ALLEMAGNE. Sous ce nom nous classerons les mines de l'Erzgebirge, du Fichtelgebirge, du Bœhmerwaldgebirge et du Riesengebirge.

L'*Erzgebirge* renferme un grand nombre de mines métalliques; les principales sont :

En Saxe :

Les fameuses mines de plomb, cuivre et argent de *Freiberg*, qui sont divisées en quatre districts et plus de quatre cents mines, et qui produisent annuellement, outre une certaine quantité de plomb et de cuivre, 11.000k environ d'argent, dont 1/3 à 1/2 vient de l'usine d'amalgamation ;

Les mines d'argent de *Ehrensfriedersdorf*, *Johann-Georgenstadt*, *Marienberg*, *Annaberg*, *Oberwiesenthal* et *Schneeberg;* ces trois dernières localités fournissent aussi une certaine quantité de minerai de cobalt; enfin c'est de *Schneeberg* que provient la petite quantité de bismuth que consomme annuellement le commerce ;

Les mines d'étain d'*Altenberg*, *Geyer*, *Seiffen*, etc., et de nombreuses mines de fer;

En Bohême :

Les mines d'argent et de cobalt de *Joachimsthal*, presque entièrement épuisées aujourd'hui; les mines de cuivre de *Katherinenberg;* les mines d'étain de *Zinnwald* et de *Schlaggenwald;* et de nombreuses mines de fer ;

Le *Fichtelgebirge* ne renferme guère que des mines de fer.

Entre cette chaîne de montagne et Prague, on trouve de nombreuses mines de fer oligiste en filons, les mines de plomb de *Mies* et la mine de plomb argentifère de *Przibram*, l'une des plus importantes de l'Europe, et qui produit annuellement environ 7.000 kil. d'argent et 10.000 q. m. de plomb ou de litharges marchandes.

Dans le *Bœhmerwaldgebirge*, on trouve quelques mines d'argent aux environs d'*Iglau;* et, près de Kruman, d'importantes mines de graphite, qui en produisent annuellement de 15 à 20,000 q. m.

Dans le *Riesengebirge*, on trouve les mines de cuivre argentifère autrefois très florissantes de *Rudolstadt* et de *Kupferberg*, et la mine de pyrite arsenicale, traitée comme minerai d'arsenic, de *Reichenstein*.

MINES DE HONGRIE ET TRANSYLVANIE. Ces mines forment quatre groupes principaux :

1° Le groupe du N.-O. qui renferme les districts de Schemnitz, Kremnitz, Kœnigsberg, Neusohl, et les environs de Schmœllnitz, Bethler, Rosenau.

Le gisement de *Schemnitz* est tout à fait analogue à ceux de l'Amérique du sud. Il consiste en filons paralèles, en général d'une grande puissance et d'une teneur très variable, dans un porphyre dioritique. Ils renferment du quarz, de la chaux carbonatée ferrifère, de la baryte sulfatée, du sulfure d'argent, de l'argent natif, et de la galène argentifère. Tous le minerai est traité par fusion. Les galènes pauvres sont traitées pour plomb, et donnent du plomb qui est employé dans les usines de Kremnitz, Neusohl et Schernowitz, au traitement par imbibition des minerais d'argent. L'argent que l'on retire des mines de Schemnitz, renferme en moyenne 1/30 d'or.

La ville de *Kremnitz* est à 20 kilom. N.-N.-O. de Neusohl. Le minerai analogue à celui de Schemnitz est plus quarzeux et renferme une plus forte proportion d'or; on y trouve aussi des minerais d'antimoine.

A 25 kilom. au N.-N.-E. de Schemnitz, on trouve les mines de cuivre argentifère de *Neusohl* et *Herrengrund*. Le cuivre qu'on en retire contient 0,004 d'argent.

A 40 kilom. à l'est de Neusohl, on trouve de très

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nombreuses mines de fer et de cuivre, aux environs de Betgler, Schmœllnitz, Einsiedel, Rosenau, etc. Le cuivre qu'on en retire renferme 0,004 à 0,005 d'argent. Près de Zalathna, il y a une mine de mercure, et une autre d'antimoine près de Rosenau. Enfin, il existe des mines d'opale dans le conglomérat trachytique de Czervenitza.

2° Le groupe du N.-E. renferme un grand nombre de mines dont les plus importantes sont celles de *Nagybania, Kapnick, Felsœbanya*, Misbanya, Laposbanya, Olaposbanya et Ohlalapaz. Toutes ces mines renferment de l'or. Celles de Laposbanya renferment, en outre, de la galène argentifère; on trouve du cuivre à Olaposbanya et à Kapnick, du réalgar à Felsœbanya et de l'orpiment à Ohlalapos. Quelques-unes donnent du manganèse et de l'antimoine. Enfin, on trouve l'importante mine de fer de *Borscha* dans le cercle de Marmarosch, et les mines de plomb et de zinc de Radna sur les frontières de la Buckowine.

3° Le groupe de l'Est, dont les principales mines sont celles de *Naçyag*, Korosbanya, etc. Elles produisent toutes des minerais aurifères, principalement des tellurures, qui sont fondus à la fonderie de Zalathna. Ces mines contiennent aussi de la galène argentifère, du cuivre, du zinc, de l'antimoine, du réalgar et du manganèse. Il y a d'abondantes mines de fer en couches près de Vayda-Auniad et de Gyalar.

4° Le groupe du S.-E. ou du Bannat, dont les principales mines sont à Orawitza, Moldawa, Szoska et Dognaacza. Elles produisent principalement du cuivre tenant 0,005 d'argent et quelquefois un peu d'or. On y trouve aussi des minerais de plomb et de zinc. Il y a des mines de fer importantes à Dombrawa et Ruchersberg, près de Dombrawa, on trouve également du cinabre. Enfin, ce pays renferme quelques mines de cobalt.

Outre les mines ci-dessus, la Hongrie renferme quelques mines de houille, de nombreuses mines de sel gemme, et des alluvions aurifères sur les bords du Danube, etc.

MINES DE L'ALTAÏ. Les mines de l'Altaï ne sont connues que depuis le milieu du siècle dernier. La plus importante est la mine d'argent de *Zméof;* nous citerons encore celles de Sménofski, Nicolaiski et de Philipofski.

Parmi les autres mines nous citerons les mines de cuivre d'Alciski-Lofteski, et celles de plomb, cuivre et zinc de Tchakirskoy.

MINES DE L'OURAL. Sur les deux versants des monts Ourals, qui séparent l'Europe de l'Asie, on trouve de nombreuses mines de fer oligiste et de fer oxydulé, dont le rendement est rarement au-dessous de 50 à 60 pour 100 de fonte, et qui alimentent un grand nombre de hauts-fourneaux au charbon de bois.

Il y a aussi dans le district d'Ekatherinbourg et surtout sur le versant Est de la chaine de l'Oural, de nombreuses mines de cuivre, renfermant des cuivres natif, oxydé, carbonaté, sulfuré et pyriteux, généralement très-riches. Les plus connues de ces mines sont celles de *Tourinsky* à 120 lieues N. d'Ekatherinbourg, et celles de *Goumeschefsky* à 12 ou 15 lieues S.-O. de la même ville.

Enfin, à 3 lieues N.-E. d'Ekatherinbourg, on rencontre la célèbre mine d'or de *Bérésof*, qui consiste en un fer oxydé, hydraté, caverneux, renfermant de l'or natif disséminé, que l'on en sépare en soumettant le minerai au bocardage, puis lavant les sables ainsi obtenus; c'est dans cette mine que l'on a découvert le chromate de plomb ou plomb rouge, en 1776.

MINES DE LA DAOURIE. La Daourie est un pays montagneux situé près du lac Baïkal, en Sibérie; elle renferme des mines de plomb et argent très-importantes, dont le point central est la ville de Kolywan.

MINES DE LA SUÈDE, DE LA NORWÉGE ET DE LA FINLANDE. La Suède ne renferme guère qu'une mine de plomb et argent assez importante, c'est celle de *Sahla*. En revanche, elle renferme plusieurs mines de cuivre, dont la plus célèbre est celle de *Fahlun* ou de *Kopparberg*, qui était déjà exploitée avant l'ère chrétienne, et surtout d'abondantes mines de fer renommées pour l'excellente qualité des fers qu'elles produisent; les provinces les plus riches, sous ce dernier rapport, sont le Lapland, le Smoland, le Wermeland, l'île d'Utoe, et surtout la Rosslagie en Upland, où sont situées les célèbres mines de *Dannemora*. Le minerai de fer est, en général, de l'oxyde magnétique à grain fin et schisteux, en bancs intercalés dans le gneiss ou les schistes de transition les plus anciens. Enfin, la Suède possède plusieurs mines de cobalt très-importantes, dont la plus connue est celle de *Tunaberg*, et qui livrent au commerce chaque année une quantité considérable de smalt.

La Norwége renferme des mines d'argent groupées autour de *Kongsberg*, et qui portent sur de l'argent filiforme, quelquefois en grandes masses, et associé avec de l'argent sulfuré; il résulte de ce mode de gisement de grandes variations de richesse; ainsi, le produit annuel qui s'est élevé, en 1768, à environ 9,500k d'argent, s'est trouvé presque nul au commencement de ce siècle. On trouve en outre en Norwége quelques mines de cuivre, dont la plus importante est celle de *Rœraas*, près Drontheim, et de nombreuses mines de fer oxydulé parmi lesquelles nous citerons celles d'*Arendal*, de *Krageroé*, etc. Enfin, ce pays possède des mines de cobalt assez importantes à *Modum* ou *Fossum*.

En Finlande, on trouve quelques mines peu importantes de cuivre et de fer.

MINES DE LA GRANDE-BRETAGNE. Les terrains de transition anciens de la Grande-Bretagne renferment de nombreuses mines métalliques.

Les comtés de Cornouailles et de Devon sont célèbres, depuis la plus haute antiquité, pour leurs mines de cuivre, étain et plomb; ils produisent annuellement 30,000 q. m. d'étain, 93,000 q. m. de cuivre et 9,000 q. m. de plomb. Les minerais d'étain sont fondus sur place; mais les minerais de cuivre sont expédiés dans le pays de Galles pour y être traités dans les usines qui existent aux environs de Swansea. Le Westmorland renferme quelques mines importantes de cuivre, de fer oligiste, et la fameuse mine de graphite de *Borrowdale;* l'Ecosse renferme deux mines de plomb importantes, *Leadhills* et *Strontian*, qui en produisent annuellement 28,000 q. m. On trouve en Irlande quelques mines assez importantes de cuivre, de plomb et de fer. L'île d'Anglesey est célèbre pour ses mines de cuivre. Enfin, la plus grande partie du fer chromé que consomme le commerce vient des îles Shetland.

Le calcaire métallifère immédiatement inférieur au terrain houiller, et qui constitue plusieurs parties de l'Angleterre, est très-riche en minerais de plomb, et y forme trois groupes de mines très-importantes. Le premier groupe comprend les comtés du Cumberland, de Durham et d'Yorck, et a pour centre la petite ville d'Alston-Moor; le second groupe renferme le Flintshire, le Denbighshire; et le dernier groupe est formé par le Derbyshire. Il existe, en outre, quelques mines de plomb dans le Shropshire.

2° *Mines des formations secondaires et tertiaires.*

Les mines les plus importantes des formations secondaires sont, sans contredit, celles qui ont pour objet l'exploitation des bassins houillers placés généralement à la partie inférieure des formations secondaires les plus anciennes, et qui ont dû à cette circonstance de devenir presque toujours de grands centres industriels, comme Glascow, Newcastle, Scheffield, Birmingham, Saint Étienne, etc. En seconde ligne viennent les.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mines de lignites presque toujours situées dans l'argile plastique, à la base des terrains tertiaires, et les mines d'anthracite qui se trouvent souvent dans les terrains métamorphiques et particulièrement dans les Alpes, à *Lamure*, etc. (Voyez HOUILLE).

Dans beaucoup de bassins houillers, on trouve, surtout en Angleterre, des couches de fer carbonaté lithoïde en rognons, qui sont exploitées avec de grands avantages.

Les lignites sont presque toujours accompagnés de schistes bitumineux et pyriteux, qui sont exploités pour en retirer de l'alun et du sulfate de fer.

Le Zechstein et le Muschelkalk contiennent de nombreuses mines métalliques, parmi lesquelles nous citerons les mines de cuivre et argent du *Mansfeld* et de la Hesse; les mines de plomb et argent de *Tarnowitz*, en Silésie; les mines de plomb de *Bleiberg*, près Aix-la-Chapelle, de *Villach*, *Kreuth* et *Bleiberg*, en Carinthie; les mines de zinc de *Raibel* en Carinthie, de *Beuthen* en Silésie, de la *Vieille-Montagne* et du *Stohlberg*, près Aix-la-Chapelle; les mines de mercure d'*Idria* en Carniole, du duché des *Deux-Ponts*, d'*Almaden* en Espagne, et de *Huanca-Velica* au Pérou. Dans les terrains précédents, ou dans les marnes irisées, on trouve les mines de sel gemme de *Norwich*, en Angleterre; de *Vic* et *Dieuze*, dans le département de la Meurthe; de *Ischel*, *Reichenhall*, dans le Salzbourg; de *Wieliczka* et *Bochnia*, dans la Gallicie, etc.

A la base du terrain néocomien et dans le terrain jurassique, on rencontre de nombreuses couches de fer oxydé hydraté oolithique, qui alimentent une grande partie des usines de l'est de la France.

3° *Mines des terrains d'alluvion.*

Les terrains d'alluvion contiennent, comme nous l'avons déja dit, des mines très-importantes, d'où l'on retire du fer, de l'étain et la presque totalité des pierres précieuses, de l'or et du platine. Ce sont en réalité des lavages faits par les agents atmosphériques sur des matières inaltérables, qui, dans beaucoup de pays nouveaux, mettent de grandes richesses, résultat du travail de la nature, à la disposition des premiers habitants. C'est ce qu'on a vu de nos jours d'une manière si éclatante en Californie et en Australie.

PRODUCTION DES MINES DE LA FRANCE.

Nous donnerons en terminant les chiffres qui permettent d'apprécier l'importance de la production des mines de la France et des ateliers où s'accomplissent les premières élaborations des minéraux. On aurait tort de juger par ces chiffres de la richesse de la France et de conclure que les formations minérales de notre pays ne permettent pas d'extraire de son sol de plus grandes valeurs. On a vu, à l'article HOUILLE, combien l'amélioration des voies de transport avait contribué à accroître le débouché des mines et par suite les quantités extraites. Il en est de même, à un degré moindre toutefois, de toutes les exploitations minérales.

A un autre point de vue, l'exploitation de quelques-unes des mines de France est dans un état d'infériorité relativement à celles de quelques autres pays : nous voulons parler des mines en filons, celles de plomb, par exemple, qui sont plus riches que ne ferait penser le chiffre de la production, mais qui ne sont pas attaquées avec l'énergie, la persévérance que nous voyons faire la prospérité des mines du Hartz, par exemple. Nous dirons à ÉCONOMIE INDUSTRIELLE, quelles nous paraissent les causes de cette infériorité et comment, dans l'état actuel de notre législation et de nos mœurs, il est difficile d'accomplir des travaux d'avenir, exigeant les efforts suivis de plusieurs générations. C'est à des entreprises n'exigeant que les quelques années d'activité de la vie d'un homme, que la plupart de nos entreprises sont en général limitées aujourd'hui; et dans bien des cas, en fait d'exploitations de mines, ce n'est pas assez à beaucoup près.

Bibliographie.

L'ensemble des connaissances acquises sur l'exploitation des mines est résumé dans le grand ouvrage de M. *Combes*, directeur à l'Ecole des mines, et nous l'avons consulté plus d'une fois pour la rédaction de cet article. Nous renverrons à ce traité ceux de nos lecteurs qui désireraient avoir sur ce sujet important des détails plus circonstanciés que ceux que nous avons pu donner ici. F. DEBETTE.

TABLE DE LA PRODUCTION DES MINES ET DES USINES FRANÇAISES.

NATURE DE L'INDUSTRIE.	Nombre des mines et des carrières exploitées.	Nombre des usines actives.	Nombre des ouvriers employés dans les mines et usines.	PRODUITS. POIDS	PRODUITS. VALEUR absolue.	PRODUITS. VALEUR créée.
				q. m.	fr.	fr.
Exploitation des combustibles minéraux. .	268	»	50.000	120000.000	99.997.140	240.000.000
Extraction de la tourbe.	2.999	»	42.969	5.106.047	5.094.334	5.094.334
Mines et usines à fer, fonte et acier.	1.571	462	54.113	»	»	280.000.000
Mines et usines à cuivre.	2	3	175	»	»	330.540
Mines et usines à plomb et argent.	7	4	1.089	»	»	1.051.646
Mines et usines d'antimoine.	9	5	138	»	»	32.783
Mines et usines de manganèse.	4	3	154	»	»	236.720
Exploitation des bitumes minéraux.	11	11	477	»	»	732.166
Expl. des terres pyriteuses et alumineuses.	15	19	851	»	»	1.707.975
Exploitation du sel marin.	334	»	15.716	»	»	13.645.252
Exploitation des carrières de matériaux de construction, ardoise, argile, etc. . . .	21.794	»	75.396	»	»	41.047.519
Élabor. principale des subst. d'origine minér.	»	15.525	83.657	»	»	165.436.510
TOTAL.	27.014	16.033	306.487	»	»	755.315.445

MINIUM (*angl.* minium, *all.* mennig). On ne doit pas regarder le minium comme un oxyde particulier du plomb, mais comme un composé de deux atomes de protoxyde et un atome de bi-oxyde de ce métal; il a donc pour formule $2\,Pb\,O + Pb\,O^2$. Celui du commerce renferme constamment des quantités plus ou

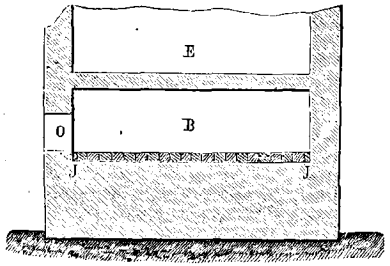
EFERUS - Recherche & Classification numérique

moins considérables de protoxyde libre, et quelquefois de l'oxyde de cuivre.

Le minium est pulvérulent, rouge jaunâtre, sans saveur ni odeur, susceptible d'être décomposé par la chaleur en protoxyde et en oxygène. A froid, les acides étendus le transforment en protoxyde qui se dissout et en *oxyde puce* ou bi-oxyde insolable. Si les acides sont concentrés et bouillants, ils le convertissent en sels de protoxyde, et on obtient de l'oxygène. Traité par l'acide hydrochlorique, il est décomposé, et on a du chlorure de plomb, du chlore et de l'eau. A la chaleur de la lampe à alcool, l'hydrogène le ramène d'abord à l'état de protoxyde, puis le réduit si on prolonge la durée de l'expérience. Par la voie sèche, il attaque l'argent en passant à l'état de protoxyde.

On obtient le minium en chauffant le protoxyde de plomb très-divisé au contact de l'air. Nous allons, du reste, décrire avec détail la fabrication de cet oxyde important qui doit être d'une grande pureté pour plusieurs emplois, pour la fabrication du cristal notamment.

Fig. 1857.



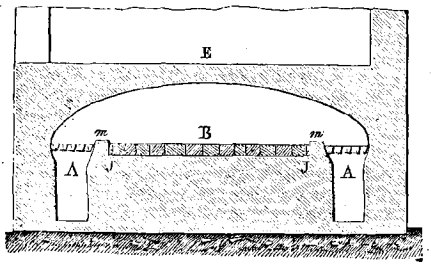


Fig. 1858.

Le fourneau destiné à cette opération est un four à réverbère, à deux chauffes renfermées sous la même voûte, dont les fig. 1857 et 1858 sont deux coupes verticales à angle droit l'une de l'autre; ces chauffes, placées de chaque côté, à la naissance de cette voûte, sont éloignées l'une de l'autre de $1^m,45$; leur largeur est de $0^m,32$, et leur longueur de $1^m,70$; chacune d'elles est séparée de son cendrier A par une grille de fer. Les barreaux de ces grilles doivent laisser entre eux un intervalle qui soit tel que le charbon menu ne puisse passer, et que néanmoins il ne s'y forme pas d'engorgement au point d'intercepter le passage de l'air. L'aire *b b* est pavée avec des briques placées de champ, et que maintient en contact un fort cadre de fer de $0^m,03$ d'épaisseur sur $0^m,10$ de largeur. Cette disposition est nécessaire pour s'opposer aux infiltrations du plomb à travers les joints.

Cette aire doit être légèrement concave, afin que le métal en fusion puisse se rassembler au centre. Sa distance au sommet de la voûte est de $0^m,40$.

La communication avec l'extérieur est établie au moyen de trois ouvertures : l'une moyenne, rectangulaire, large de $0^m,62$, haute de $0^m,32$, par laquelle on introduit le métal qu'on doit soumettre à l'oxydation; les deux autres latérales, correspondant aux deux chauffes, sont munies de portes en fer *à demeure;* toutes les trois se trouvent placées sous une grande cheminée commune.

Le dessus de la voûte du fourneau forme le plancher d'une étuve où doit s'opérer, comme nous le verrons plus tard, la dessiccation du *massicot*.

Si on place du combustible dans les chauffes, la flamme s'élève de chacun de ces foyers, va frapper contre la voûte du laboratoire B et sort par l'ouverture du milieu; l'on ouvre ou l'on ferme les portes, suivant qu'on veut rendre le tirage plus ou moins fort.

Il est évident que le fourneau que nous venons de décrire, de même que tous les fourneaux de fusion, doit être construit en briques réfractaires liées par un mortier argileux.

Les plombs neufs en saumons d'Angleterre, d'Amérique, d'Espagne, de France, etc., sont souvent d'une pureté suffisante pour fournir une qualité de minium qui, en général, satisfait aux exigences du commerce. Les vieux plombs, lorsqu'on les a purgés de la soudure qu'ils contiennent, peuvent aussi être employés, si les produits qu'on en veut obtenir sont destinés aux fabriques de faïence à émail opaque ou aux fabriques de poteries communes. Mais, comme on ne peut compter sur la constance de la qualité de ces plombs, on pourrait se rendre indépendant des fâcheux effets de leur impureté en leur faisant subir une sorte de purification préalable.

Nous commencerons par donner un procédé indiqué par M. Thénard à la page 496 du 3e vol. de son *Traité de chimie*, dans une note ainsi conçue : « On prétend que, quand le plomb contient un peu de cuivre, il suffit de l'allier à un peu d'étain pour qu'il soit possible de faire du minium pur avec cette sorte de plomb. On met de côté le premier produit de la calcination qui renferme tout le cuivre et l'étain unis sans doute à l'état d'oxydes et mêlés d'ailleurs avec plus ou moins d'oxyde de plomb, en sorte que le bain métallique restant, ne contenant plus rien d'étranger, donne nécessairement un excellent minium. »

Selon nous, ce procédé est *vicieux*, car, pour se débarrasser sûrement des oxydes de cuivre et d'étain, il faudrait sacrifier, sous peine d'être exposé aux inconvénients auxquels on cherche un remède, des quantités d'oxyde de plomb assez considérables pour que leur valeur représentât bientôt un capital infructueux.

Nous croyons beaucoup plus convenable le procédé suivant. On fait fondre dans une grande chaudière de 3 à 400 kil. de plomb et plus; quand il est fondu, on brasse avec un *bâton*, on entretient la fusion pendant quelque temps, puis on laisse écouler le *tiers supérieur* de la masse qui renferme les métaux étrangers.

La partie supérieure qu'on recueille dans des lingotières peut être vendue ensuite comme du plomb d'une qualité inférieure, pouvant cependant avoir de nombreux usages dans les arts. Ce qui reste au fond de la chaudière est enlevé avec des cuillères et porté sur la sole échauffée du four à réverbère.

Aujourd'hui, le travail du patinsonage, analogue au précédent, usité pour retirer du plomb de faibles quantités d'argent, met dans le commerce, à un prix modéré, des plombs bien plus purs que ceux qu'on trouvait autrefois, et le fabricant de minium trouve bien plus facilement à s'approvisionner.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Avant d'acheter des quantités considérables d'un plomb dont la *source lui serait connue*, le fabricant pourrait oxyder dans un *têt* d'argile quelques grammes de ce métal et traiter le résultat par l'ammoniaque en excès; si la couleur bleuâtre était trop intense, le plomb devrait être rejeté comme étant trop cuivreux.

une sorte d'entonnoir permet d'introduire la matière jaune imbibée d'eau, ainsi que l'eau nécessaire pour la broyer. Les meules sont en grès ou en *lave de Volvic*, elles ont 0m,90 de diamètre et 0,m30 d'épaisseur. Une paire de meules peut broyer par jour 300 kilog. de matière.

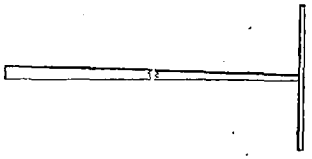


Fig. 1859.

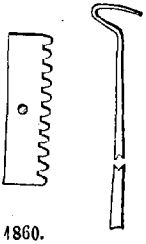


Fig. 1860.

Pour un fourneau, des dimensions indiquées précédemment, on emploie 300 kilog. de plomb. On commence par y introduire les deux tiers environ de la masse qu'on veut traiter; puis, quand la fusion en a été opérée, on ajoute le tiers restant.

Dès que le plomb est fondu, on l'agite continuellement avec une sorte de long râteau en fer (fig. 1859 et 1860), dont le manche appuie sur le crochet d'une chaîne suspendue devant l'embouchure du four. A mesure que le plomb s'oxyde, on repousse le résultat de cet oxydation, avec le plein du râteau, au fond du fourneau; on agite de nouveau le plomb fondu, l'on repousse encore l'oxyde, et ainsi de suite pendant environ cinq heures. Pendant la calcination, il faut avoir soin de ne pas chauffer trop fortement, on s'exposerait à fondre l'oxyde qu'on a préparé : il faut seulement maintenir le feu. En outre, il est utile de laisser ouvertes les portes des chauffes, afin que l'air puisse entrer librement et venir oxyder le plomb.

Quelque bien conduite que soit la calcination, il arrive un moment où une certaine quantité de métal assez petite, il est vrai, refuse de s'oxyder, ou du moins s'oxyde avec une difficulté très grande; il est alors beaucoup plus sage de recueillir dans une petite cuvette ménagée dans la sole, tout près de l'ouverture du fourneau, les parties liquides qui se refusent à l'oxydation. On les retire de là avec une cuillère à projection, on en forme un lingot qui sera joint le lendemain au plomb qu'on introduira dans le fourneau.

On ramène alors et l'on étend uniformément sur la sole tout l'oxyde qu'on avait refoulé vers le fond du fourneau. On le retourne au moyen d'un ringard (fig. C), on trace de nouveaux sillons, et ainsi de suite jusqu'à la fin de la journée. Cette opération a pour but d'oxyder les particules de plomb qui ont pu échapper à l'action oxydante de l'air.

Le plomb, par suite de cette manipulation, est passé à l'état de protoxyde ou *massicot*, mais ses particules grossières ont besoin d'être divisées pour s'unir à une nouvelle quantité d'oxygène et pouvoir ainsi se convertir en minium. Le *broyage* atteint ce but.

On retire l'oxyde du four avec une longue pelle de fer, et on le fait tomber dans de grands seaux de bois munis d'anses de fer pour la commodité du transport. Comme la température de l'oxyde est très élevée, quoiqu'on ne le retire du four que 12 heures après l'avoir préparé, il est nécessaire, pour la commodité des manipulations qui vont suivre, de jeter sur le contenu de ces seaux une certaine quantité d'eau. On les porte ensuite au moulin où l'oxyde doit être broyé. Ce moulin est semblable à celui dont on se sert pour broyer le carbonate de plomb ou *céruse*. Il se compose d'une *tine* renfermant deux meules, l'une fixe, l'autre mobile; une sorte d'entonnoir permet d'introduire la matière jaune imbibée d'eau, ainsi que l'eau nécessaire pour la broyer. Les meules sont en grès ou en *lave de Volvic*, elles ont 0m,90 de diamètre et 0,m30 d'épaisseur. Une paire de meules peut broyer par jour 300 kilog. de matière.

La tine est disposée de manière que l'on peut recevoir le résultat du broyage, et le faire passer sous la meule une deuxième et même une troisième fois si la chose est nécessaire.

Au sortir du moulin, on doit soumettre le produit du broyage à l'opération du tamisage, qui a pour but de séparer de la masse d'oxyde les parties de plomb qui ont pu échapper à l'oxydation. Cette opération exige deux tonneaux défoncés, sur l'un desquels on a placé deux tringles de fer qui permettent à l'ouvrier d'imprimer au tamis qu'elles supportent un mouvement de *va-et-vient*. Ce tamis est formé par un tissu métallique très-serré (toile n° 60). L'ouvrier prend l'oxyde broyé en suspension dans l'eau, le verse sur son tamis, et, par une agitation modérée, facilite le passage de la matière à travers la toile métallique. Quand tout a été tamisé, on décante les parties liquides en ayant toutefois soin de verser l'eau de cette décantation dans un autre tonneau où elle déposera le minium qu'elle tient en suspension.

L'opération du tamisage n'enlève pas cependant tout le plomb métallique que le massicot contenait; si l'on veut obtenir un bon minium, il faut laver le produit du tamisage. Pour cela, on a un large baquet dans lequel est placé un agitateur composé d'une roue aux jantes de laquelle sont fixées des palettes de bois; ce baquet est muni de deux robinets placés à des hauteurs différentes; on y verse le produit du tamisage, on l'agite en tournant la roue; puis on ouvre le robinet supérieur qui laisse écouler le liquide dans une *cuvelle* placée au-dessous. On transvase l'eau de la cuvelle dans un second baquet où elle dépose. On débouche ensuite le robinet inférieur du baquet agitateur; l'eau qui s'écoule est traitée comme la première. On prend alors le dépôt qui s'est fait dans la cuvelle, on en remplit à moitié une *bassine* qu'on tient des deux mains et qu'on porte dans le baquet où on l'agite, de manière que la plus fine se mêle à l'eau et se précipite à mesure dans le fond, tandis que la plus pesante, qui est celle qui n'a pas été divisée au moulin, reste dans la bassine. Le déchet qu'on obtient est joint à celui du tamisage pour être calciné de nouveau. Le minium qu'on obtient en oxydant ces résidus est même le meilleur qu'on puisse employer pour la fabrication des cristaux; en effet, le minium du premier lavage contient tous les métaux plus oxydables que le plomb.

Lorsque le lavage est fait, on laisse précipiter au fond du tonneau la matière très divisée qui est suspendue dans l'eau; on décante l'eau qu'on remet dans le premier baquet, on retire le dépôt qu'on place dans des terrines de terre cuite. On porte ces terrines dans l'étuve dont nous avons parlé, et on les y laisse jusqu'à ce que la dessiccation de l'oxyde soit complète.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'oxyde retiré de l'étuve est pulvérisé sous un lourd cylindre de fonte placé dans une grande boîte fermée de tous côtés. On pourrait employer un appareil broyeur mieux combiné; par exemple faire passer l'oxyde entre deux cylindres horizontaux tournant en sens contraire, une trémie continuellement pleine alimenterait ces deux cylindres; on pourrait aussi employer un moulin à meules verticales, semblable à celui que l'on voit dans les huileries. Dans tous les cas, le moulin, quelle que soit sa forme, doit être entouré d'une caisse qui empêche la poussière de s'en échapper.

Lorsque le massicot est pulvérisé, on en remplit de petites caisses en *fer battu*, qui peuvent en contenir environ de 7 à 8 kilog.; on les introduit, à l'aide d'une pelle en fer, dans le fourneau où l'on a calciné le plomb pendant la journée; on ferme les portes des chauffes, on bouche l'ouverture du milieu avec une plaque de tôle, et on abandonne l'opération à elle-même: à la faveur de la chaleur, le massicot contenu dans les caisses absorbe l'oxygène de l'air et passe à l'état de minium. Les Anglais étendent le massicot sur la sole du four au lieu de le mettre dans les caisses de fer battu. Le lendemain il est rouge jaunâtre. On passe souvent le massicot plusieurs fois au feu; on a ainsi ce que l'on appelle du minium à plusieurs feux.

Dans les fabriques de minium annexées aux usines à plomb et argent, on emploie comme matière première les litharges marchandes provenant de la coupellation, ce qui produit une certaine économie sur le combustible.

Quelque divisé que soit le minium, on est souvent forcé de le tamiser avant de le livrer au commerce, surtout quand il doit entrer dans la composition des couleurs. On se sert à cet effet d'un tamis couvert. Le minium préparé comme nous venons de le dire est ensuite placé dans des tonneaux où on le tasse fortement.

Si l'on voulait obtenir du minium aussi pur que possible, il faudrait employer pour sa préparation, non du massicot, mais du carbonate de plomb; il faudrait en outre laver l'oxyde préparé avec de l'acétate neutre de plomb qui dissoudrait tout le protoxyde libre.

La *mine orange* du commerce n'est autre chose que le minium obtenu par la calcination du carbonate de plomb.

Nous indiquerons ici un moyen pratique d'essayer le minium. On met dans un creuset de terre siliceuse de 20 à 30 grammes de minium, puis on chauffe au feu d'un mouffle. L'oxyde de plomb se combine à la silice du creuset, et on obtient un cristal jaunâtre et limpide si le minium est pur, coloré en vert si le minium est cuivreux. L'oxyde d'étain donnerait au cristal une teinte laiteuse facile à reconnaître.

Le plomb en passant à l'état de minium augmente de 9 à 10 en poids.

Le bois et le charbon de terre peuvent être indifféremment employés pour fabriquer le minium; il convient cependant de ne pas employer un charbon qui donnerait trop de fumée et qui pourrait réduire une certaine quantité d'oxyde. On peut évaluer à 1 hect. la quantité de charbon nécessaire pour convertir 300 kilog. de plomb en massicot.

Le minium du commerce est souvent falsifié avec du rouge de fer ou colcothar, ou de la brique pilée. Mais la fraude est facile à reconnaître, car si on chauffe le minium au rouge, on obtient un résidu jaune, tandis que, s'il est falsifié, la coloration que lui donne le colcothar ou la brique persistera malgré l'application de la chaleur. En traitant par l'acide hydrochlorique concentré, le plomb et le fer seront dissous, mais la brique restera. On découvrirait de la même manière si le minium était mêlé avec de la silice ou du verre pilé; falsifications grossières, sans doute, mais cependant mises en usage pour les miniums destinés aux émaux de faïence et de poterie.

Le minium est employé à raison de sa belle couleur, pour colorer les papiers de tenture, les cires molles à cacheter. Il sert à la fabrication du strass, du flint-glass et du cristal, verres auxquels il communique une puissance réfractive considérable, une limpidité parfaite et la faculté de pouvoir être taillés plus aisément. Les fabricants de cristal préfèrent le minium à la litharge et au massicot, parce qu'il réussit mieux et plus constamment. Cela vient sans doute de ce que l'excès d'oxygène qu'il perd en passant à l'état de silicate sert à la combustion des traces de matières organiques que la soude et la potasse peuvent contenir. Pour cette dernière application, on prend le minium le plus pur, celui qui est exempt d'oxyde de cuivre, attendu que ce dernier donne une teinte verte au cristal. Il entre dans la composition des émaux de faïence, des couvertes de poteries. Enfin il sert à faire des mastics que l'on emploie pour les joints des pièces métalliques assemblées.

MODÉRATEUR. Voyez RÉGULATEUR.

MOIRÉ MÉTALLIQUE. Voyez ÉTAMAGE.

MOLETTE. Voyez GRAVURE.

MONNAIE (*angl.* mint, coining, *all.* münze). Les monnaies et médailles furent d'abord et souvent, à diverses époques, fabriquées par fusion, au moyen d'un moulage en terre. La pureté des lignes était moindre que celle des monnaies modernes, mais les médailles fondues étant en bronze, tandis qu'aujourd'hui les similaires se frappent en cuivre, elles résistaient à l'usé et à l'oxydation bien mieux que ces dernières.

Dès le milieu du septième siècle, les Grecs frappèrent leurs premières pièces d'argent. L'empreinte était donnée au moyen de deux coins en bronze, entre lesquels on plaçait le disque de métal découpé et rougi au feu. Le relief n'existait d'abord qu'à la face supérieure, et, pour maintenir la pièce pendant qu'on frappait avec un marteau sur le coin supérieur, le coin inférieur portait des entailles en forme de figures géométriques dans lesquelles le métal pénétrait, maintenant ainsi le flan en place pendant l'action du marteau. Les collections publiques renferment des statères de Philippe et d'Alexandre, d'une belle fabrication.

Nous n'avons pas à parler ici des altérations des monnaies qui ont joué un si grand rôle dans l'histoire, mais seulement de la succession des procédés employés dans leur fabrication, qui dut s'améliorer avec les progrès de l'orfévrerie. Ainsi sous Charlemagne les coins furent gravés au burin, les flans s'amincirent et la fabrication devint meilleure.

La coupellation, pour l'essai des métaux précieux, fut pratiquée officiellement en 1315, sous Philippe le Bel; l'application de l'acide nitrique au départ de l'or, introduite par Albert le Grand vers 1350, fut pratiquée industriellement vers le commencement du quinzième siècle.

Le règne de Henri II a été l'époque des grands progrès dans les procédés de fabrication. Vers 1533, le laminoir inventé par Aubin Ollivier fût employé pour la première fois, en même temps qu'un mouton que Nicolas Briot devait perfectionner soixante ans plus tard; cet ensemble constitua la fabrication dite *au moulin*, par opposition au terme de fabrication *au marteau*, par lequel on désignait les opérations alors en usage et qui devait se perpétuer encore près d'un siècle.

Sous Henri IV et surtout sous Louis XIII, les monnaies devinrent très-belles. Dupré et Warin en France, Simon en Angleterre, gravèrent de magnifiques coins d'acier, tandis que Nicolas Briot inventa le balancier.

Nicolas Briot, tailleur général des monnaies, provoqua une expertise pour montrer qu'il faisait avec sa machine l'ouvrage de dix ouvriers travaillant au marteau. Le rapport ne fut pas favorable, et l'esprit étroit de la corporation des monnayeurs finit par l'emporter. L'inventeur passa en Angleterre, où l'on s'empressa

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'adopter le balancier à l'aide duquel furent frappées les belles monnaies de Cromwell. Le balancier ne fut définitivement adopté en France qu'en 1640, par l'influence du chancelier Séguier.

Nous n'en dirons pas davantage sur les procédés de monnayage et traiterons des derniers progrès accomplis dans la fabrication des monnaies, en décrivant les opérations qui se succèdent pour amener le métal de l'état de lingot à celui de pièce terminée.

La fabrication des monnaies nous présente un exemple ancien, fort rare dans l'ancienne industrie, d'une fabrication précise et économique, produite par des procédés entièrement mécaniques, d'un objet multiplié un très-grand nombre de fois.

Les conditions qu'il faut remplir dans la fabrication des monnaies sont : 1° une grande régularité dans le titre des alliages; 2° une similitude parfaite dans les dimensions et les poids de pièces; 3° une netteté très-grande du monnayage afin que le surmoulage ne puisse produire des pièces ayant une netteté comparable, et que celle-ci ne puisse résulter que de puissants moyens de fabrication dont les faux-monnayeurs ne sauraient disposer.

De la fonte. Après avoir obtenu, par l'AFFINAGE, de l'or ou de l'argent parfaitement purs, on les allie avec une certaine quantité de cuivre qui donne à ces deux métaux, trop mous par eux-mêmes, une dureté suffisante pour résister à l'usé. En France, la proportion est de 1/10e de cuivre pour 9/10es d'or pur, de 835 millièmes de fin pour l'argent, avec une tolérance de 2 millièmes pour l'or et 3 millièmes pour l'argent.

Les alliages se préparent en France dans des creusets de petites dimensions et se coulent en lames minces, de 5 à 6 millimètres d'épaisseur. Comme celles-ci n'ont que deux ou trois fois l'épaisseur d'une pièce de 5 francs, elles se réduisent facilement, au laminoir, à l'épaisseur convenable pour les flans, pour les disques préparés pour le monnayage.

En Angleterre on fond ainsi l'or seulement, dans des creusets de plombagine, qui ont $0^m,235$ sur $0^m,177$. Chacun d'eux est placé dans un fourneau où il est entouré de combustible, qui l'amène au rouge assez graduellement pour qu'il y ait peu de danger de fracture. Les lingots y sont placés avec soin, l'alliage ajouté au moyen d'un entonnoir, puis on replace le couvercle et on attend la fusion complète. Le fondeur brasse alors le mélange avec un brassoir de plombagine et lui laisse atteindre la température que l'expérience lui indique comme la plus favorable pour la coulée des lames. Ce point atteint, le cendrier est fermé pour protéger les pieds des ouvriers, et le feu abattu. Le couvercle est enlevé et le creuset lui-même extrait du fourneau au moyen d'une petite grue.

Le fondeur saisit le creuset au moyen d'une paire de pinces qui l'embrassent et le porte à la batterie de lingotières, où un aide lui tend une bride de fer suspendue par une chaîne et une corde à la voûte de l'atelier; il passe cette bride dans un bouton qui termine le petit crampon de la pince, et fait ainsi porter par la chaîne le poids du creuset.

Avant la fonte, on a eu soin de placer au fond du creuset quelques morceaux de charbon destinés à réduire l'oxyde qui pourrait exister dans l'alliage; lorsque le métal est fondu, ce combustible monte à la surface du bain et, y surnageant, atténue l'action de l'oxygène de l'air. Pour l'empêcher de tomber dans les moules, un ouvrier tient un charbon à l'orifice du creuset pendant la coulée, laissant passer le métal, mais arrêtant le charbon.

Chaque creuset donne quatre lames. La charge de chaque creuset est de 1,200 onces environ ($37^k,323$).

Les lingotières sont composées de pièces rectangulaires de fonte portant une rainure et rapprochées les unes des autres; l'ensemble est maintenu en position par une traverse; la disposition est semblable à celle reproduite ci-après, avec un mécanisme accessoire, pour la fonte de l'argent.

Les moules étant remplis, on desserre les écrous, les traverses sont enlevées, les diverses parties du moule détachées et les lames mises à nu. Le fondeur les prend avec une pince et les plonge dans l'eau pour les refroidir immédiatement.

La fonte de l'argent s'opère un peu différemment de celle de l'or.

Le creuset (fig. 1) est circulaire et muni d'un bec pour faciliter la coulée; il est en fer forgé, a $0^m,304$ à la gueule sur $0^m,380$ de profondeur; lorsque l'on fond pour fabriquer des schellings, la charge est de 127^k.



Fig. 1.

Les lingots placés dans le creuset, on ferme le fourneau de manière que l'air arrive entre les barreaux de la grille, et passe dans la cheminée. Le recouvrement du fourneau est pourvu de trous par lesquels on peut régulariser la température et surveiller l'état du feu. Lorsque la fusion est complète, et que le métal a atteint la température convenable, on fait tomber le combustible, car le creuset à cette température est tellement amolli, qu'il serait déchiré si on l'enlevait à travers le coke. On ôte le couvercle, et l'on descend les pinces d'une grue au moyen d'une manivelle et d'un pignon, jusqu'à ce qu'elles soient au-dessus du fourneau, et permettent d'enlever le creuset. Le maître fondeur, avec une brosse plongée dans un pot plein d'eau, le débarrasse des écailles de fer et des morceaux de combustible qui adhèrent à ses flancs.

On fait tourner la grue jusqu'à ce que le creuset se trouve à portée du bâti K où on le descend et où on le fixe à un écrou C (fig. 2).

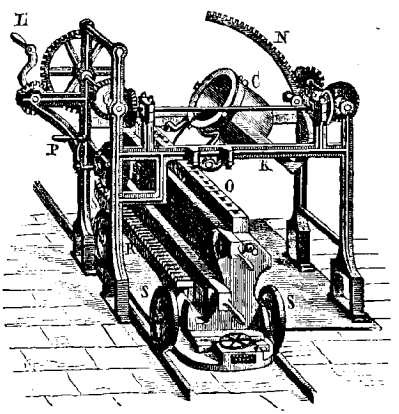


Fig. 2.

L'ensemble des lingotières est alors amené, et le fondeur, par le jeu de la manivelle L, qui communique avec les roues M et avec la portion de roue dentée N, fait couler le métal en jet continu dans l'un des moules O, jusqu'à ce que par le son il juge que ce moule est plein. Il relève alors le creuset pendant qu'un de ses aides, qui surveille aussi la coulée, tourne la mani-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

velle P, qui par la roue Q, agissant sur la crémaillère R, fait avancer le châssis de la quantité nécessaire pour substituer un nouveau moule au premier.

L'argent fondu, pour la même raison que l'on a donnée pour la fonte de l'or, est couvert de charbons, que l'on arrête au moment de la coulée au moyen d'un gros morceau de combustible maintenu au bec du creuset.

L'ensemble des moules se meut sur des roues S; une crémaillère et un pignon permettent de les rapprocher ou de les éloigner à volonté du bec du creuset qui, par suite de son inclinaison, change continuellement de position relativement à l'ouverture des moules, et jetterait, sans cette précaution, le métal tantôt au delà, tantôt en deçà de leur orifice. Les lingotières sont composées de pièces rainées de même que celles pour l'or, elles sont assujetties dans leur position et serrées dans un cadre au moyen de traverses longitudinales.

Laminage. Le lingot obtenu par la fonte est porté au laminoir pour être régularisé. Il faut que cette machine soit construite avec une grande précision pour donner des produits satisfaisants. Il faut non-seulement que les cylindres tournent parfaitement en rond, mais encore il faut que les diamètres soient assez grands (les rouleaux anglais ont 90 cent. au moins de circonférence), et enfin que les roues motrices aient un développement considérable, car avec un laminoir mû par de petits pignons, on obtient des bosses sensibles correspondant à chaque dent de l'engrenage, effet dû aux chocs, aux variations de l'effort; variations peu sensibles avec des vitesses un peu grandes, avec des laminoirs produisant 30 à 35 mètres de lames à la minute.

La figure 3 représente la disposition d'un laminoir

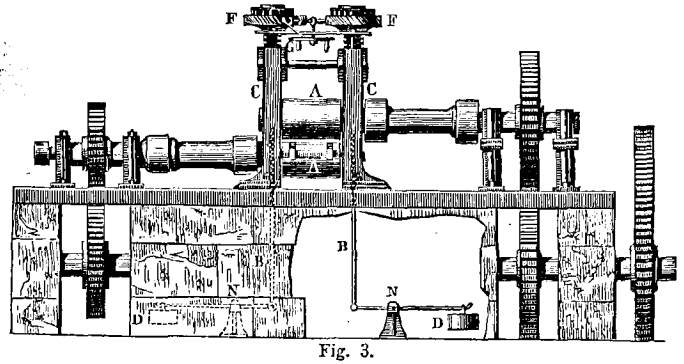


Fig. 3.

monétaire mu par machine à vapeur. A, A sont les rouleaux, de 35 centimètres de diamètre. Les coussinets du dessus du rouleau supérieur se meuvent à l'aide des vis F, ceux du dessous sont portés par des tringles B, qui traversent la maçonnerie, et sont maintenus par des contrepoids agissant à l'extrémité de leviers supportés en N, N, ce qui évite un frottement inutile quand le laminoir ne travaille pas. La tête de F est divisée en 50 dents, et la poignée G sert à mouvoir une vis sans fin, qui fait tourner ces dents et produit en C la pression voulue.

Après avoir ainsi passé au cylindre quatre ou cinq fois, le métal se trouve réduit considérablement d'épaisseur, et augmenté en longueur de près de quatre fois la largeur du lingot. Pour faire disparaître la couleur produite par la chaleur, on frotte ces plaques avec un acide affaibli, puis on les coupe en bandes étroites, dans le sens de la largeur de la plaque, au moyen de cisailles circulaires.

Cette machine, représentée figure 4, est mise en mouvement par une roue d'engrenage, qui est montée habituellement à l'extrémité de l'axe d'une roue du laminoir. Elle se compose d'un cadre de fer AA, supportant deux axes parallèles B, B, qui se meuvent ensemble au moyen de 2 roues d'engrenage C, C. A l'extrémité des tiges sont fixés deux disques dont les angles sont en contact. F est la tablette sur laquelle on pose la lame pour la présenter à la cisaille, et G un rebord ou guide vissé qui sert à diriger le métal et à régler la largeur que l'on veut couper. Les vis qui retiennent ce guide sont fixées dans des trous ovales de manière à en permettre l'ajustement. L'ouvrier tient la lame à plat sur la surface F, et la pousse vers les cisailles qui s'en emparent et l'attirent jusqu'à ce qu'elles l'aient coupée dans toute sa longueur. La partie coupée ne se recourbe pas comme il arrive quand on emploie les cisailles ordinaires, parce que l'on a placé derrière les tranchants, sur E et sur D, de petits épaulements qui la tiennent droite. Derrière le montant qui supporte les coussinets des axes B, B, des coupeurs, est un écrou *l*, dans lequel s'introduit une vis dont on se sert pour mouvoir le disque D et en tenir le tranchant en contact avec celui de l'autre disque E.

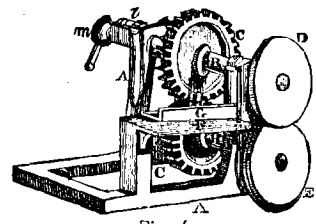


Fig. 4.

Après avoir découpé les lames, on les passe de nouveau, trois ou quatre fois, à un laminoir plus parfait que le laminoir dégrossisseur, pour obtenir exactement l'épaisseur voulue. C'est à ce moment que l'ouvrier vérifie chaque bande avec un calibre en acier. Ce calibre est à bords très-tranchants et consiste en une entaille angulaire pratiquée dans une plaque, de sorte qu'en introduisant le bord de la bande dans l'entaille on en déterminera exactement l'épaisseur, par la profondeur à laquelle elle pénétrera, en observant les divisions tracées à cet effet sur la surface plate du calibre.

On classe ainsi les bandes en autant de tas qu'il y a d'épaisseurs différentes. C'est une chose curieuse que, bien que les cylindres n'aient pas moins de 0m,36 de diamètre et que leur cadre soit d'une force énorme, ils cèdent un peu, en raison des épaisseurs, et des bandes qui ont passé entre les mêmes cylindres peuvent avoir trois ou quatre degrés différents d'épaisseur que l'on réduit à la juste dimension en ajustant les cylindres pour chaque tas. On essaye alors la première bande de chacun des tas en y découpant un flan que l'on pèse ensuite. S'il est trop léger ou trop lourd, on ajuste en conséquence les cylindres jusqu'à ce que, par quelques essais semblables, on se soit assuré de leur justesse, après quoi on passe tout le tas. Les plaques trop minces sont renvoyées comme rebut à la fonderie. Avec ces nombreuses précautions, les disques ont presque tous le même poids quand ils sont découpés ensuite, ce qui n'arriverait pas pour un même écartement des cylindres pour toutes les bandes, parce que quelques-unes,

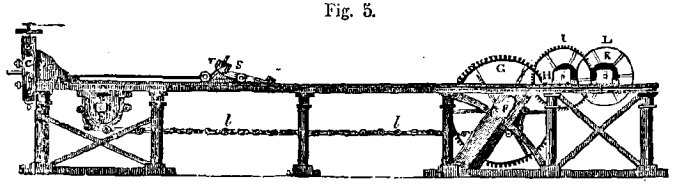
EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus écrouïes que les autres, auraient des poids différents sous un même volume.

Malgré tous ces soins, une parfaite égalité de dimensions n'est pas encore tout à fait atteinte; elle s'obtient, en France, d'une manière très-insuffisante par le rabotage des flans trop épais, méthode vicieuse et imparfaite. Nul doute qu'en cherchant à améliorer le monnayage on n'y introduise l'emploi du banc-à-tirer.

Du banc-à-tirer ou dragon. L'introduction dans les ateliers de la Monnaie de Londres, de la machine de Barton, machine à égaliser l'épaisseur des bandes destinées à la fabrication des monnaies, a été un grand perfectionnement. La figure 5 représente un profil, et la figure 6 donne un plan de cette machine. Elle agit comme les bancs-à-tirer employés pour la tréfilerie; elle allonge en les comprimant fortement les bandes de métal engagées dans une ouverture oblongue ménagée entre deux surfaces d'acier. La boite ou châssis qui renferme les coussinets d'acier (voir BANC-A-TIRER) est représentée à la partie antérieure du banc; *s*, *s*, sont les pinces qui servent à saisir le métal et à le faire passer à travers la filière. Il va sans dire qu'il est nécessaire d'amincir, en

Fig. 5.



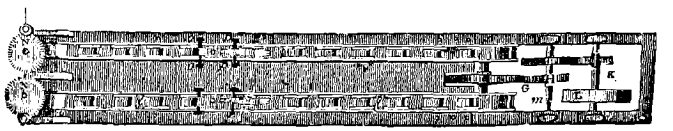


Fig. 6.

la forgeant, une extrémité des bandes, afin qu'elles puissent être introduites entre les coussinets et être saisies par la pince.

Pour faire agir le banc-à-tirer, la pince est amenée près de la filière C. Dans ce mouvement, les branches des pinces s'ouvrent et elles sont poussées si près de la filière que ces mêmes branches entrent dans une cavité qui les rapproche des coussinets, de telle sorte qu'elles peuvent saisir l'extrémité amincie de la bande de métal. L'ouvrier, d'une main, serre la partie antérieure des pinces pendant que, de l'autre, il tire l'autre extrémité en arrière. De cette manière, les branches se ferment et saisissent fortement le métal. Il baisse alors la queue *x* jusqu'à ce qu'un crochet, qui se trouve sous les pinces, saisisse la chaîne sans fin pendant qu'elle se meut, et elle entraîne les pinces et la bande de métal. Aussitôt que toute la longueur de la bande de métal a passé entre les coussinets, un poids *r*, dégageant le crochet de la chaîne, le mouvement s'arrête. La machine de la Monnaie est garnie de deux filières et de deux chaînes sans fin. Une grande roue d'engrenage G, fixée sur l'axe F, sert à mettre en mouvement les chaînes sans fin. Cette roue est mue par un pignon H, fixé sur un axe *m*. Une roue I, fixée sur l'axe *m*, engrène avec un pignon K placé sur un second arbre portant également une poulie L, qui est actionnée par le moteur; le mouvement des pinces est lent et l'effort de traction considérable.

Le banc-à-tirer n'a pas, comme le laminoir, l'inconvénient de laisser des bosses correspondant aux variations d'action de l'engrenage et il procure une grande régularité, l'action à laquelle la lame est soumise demeurant constante. Les parties qui seraient beaucoup plus épaisses resteraient encore plus épaisses que les voisines après le passage à la filière, tant par suite de l'élasticité du métal que de celle de la filière, mais les faibles irrégularités que laisse le laminoir sont parfaitement corrigées, surtout en ayant soin de bien recuire les lames avant de les passer à la filière. Par la combinaison des deux outils, le laminoir et le banc-à-tirer, agissant de deux manières différentes, on obtient une régularité supérieure à celle qu'on pourrait obtenir séparément avec chaque outil. Le seul inconvénient est que les lames conservent quelquefois la trace du frottement, ce qui toutefois n'a lieu qu'autant qu'on laisse les coussinets, en acier trempé, se rayer.

Découpage des flans. A la Monnaie de Londres, on divise les lames après leur passage au banc-à-tirer, et on leur donne une longueur de 18 pouces environ, au moyen de cisailles; puis on les passe au *vérificateur*, qui, au moyen d'un découpoir à bras, détache un ou deux flans sur chaque lame de 18 pouces, et en vérifie le poids en les comparant avec un denereau. Après cet essai, il passe la lame aux découpeurs.

Le vérificateur admet une tolérance de 0 grain 20 ($0^{gr},012959$) en dessus du poids légal pour la perte qu'éprouvera la pièce par suite du blanchiment.

Les lames, malgré l'action du banc-à-tirer, ne peuvent être amenées à une régularité absolue, et pour remédier à de très-petites irrégularités, on a deux pistons de découpoirs d'un diamètre quelque peu différent, de telle sorte que le flan coupé dans une lame étalon par l'un d'eux n'ait pas le même poids que le flan coupé par le second piston étalon, dans la même lame.

Un des pistons donne des flans de 0 grain 125 ($0^{gr},0080998$) plus lourds, l'autre des flans de 0 grain 250 ($0^{gr},0161996$) plus lourds, ce qui permet d'utiliser des lames un peu plus minces qu'elles ne devraient être.

Si la lame présente une différence dans l'autre sens, on la passe une fois de plus au banc-à-tirer, ou on lui donne une passe légère au laminoir ajusteur.

L'essayeur doit avoir beaucoup de jugement, d'énergie et de calme; de lui dépendent l'exactitude et l'excellence de toute la fabrication. Il arrive parfois à une telle perfection que, sur 5,000,000 de souverains monnayés, il s'en trouve un seul au-dessous de la valeur rigoureuse.

Les lames, ayant été déposées par le vérificateur dans des boîtes qui indiquent à quel découpoir elles doivent passer, sont prises par un ouvrier qui en enlève l'huile dont elles sont couvertes, et les porte à l'atelier des découpoirs, où elles sont transformées en flans à l'aide d'un puissant découpoir. Nous devons faire remarquer ici qu'il n'est pas possible de substituer l'eau de savon à l'huile, parce que l'on ne pourrait l'enlever sans un lavage pratiquement impossible et il en resterait toujours une certaine quantité qui s'ajouterait toujours au poids de l'or et ouvrirait la porte à des détournements.

La figure 7 représente la machine à découper les flans de la Monnaie de Londres. Un soubassement en pierre AA supporte une plaque de fer BB, sur laquelle s'élèvent les colonnes C, C, qui soutiennent la partie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

supérieure D. Le châssis d'un balancier E F E est fixé sur la plaque de fer B B. L'emporte-pièce *d*, formé d'un

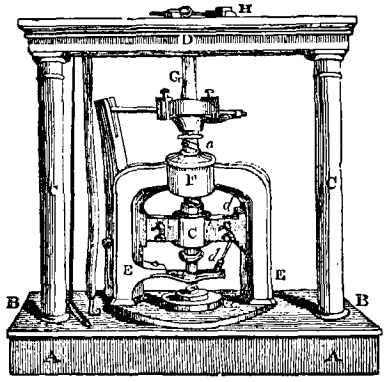


Fig. 7.

cylindre d'acier trempé, entrant bien exactement dans une lunette du même métal, est mis en mouvement de haut en bas par la vis *a*, mue elle-même par un levier H, qui est tiré d'une quantité suffisante pour couper l'épaisseur de la lame métallique, par l'effet de la pression atmosphérique, ainsi que nous l'expliquerons pour le balancier à frapper mu par le même système. Le balancier est relevé par l'action du ressort placé à gauche. Un enfant conduit cette machine. A la Monnaie de Londres, douze de ces machines sont montées et rangées en cercle sur le même soubassement, dans une salle élégante éclairée par en haut, avec un bruit exagéré toutefois.

Le découpage des flans est l'opération la plus délicate de la fabrication ; car le découpage donne définitivement aux pièces le poids qu'elles doivent avoir. En effet, le diamètre du piston ou emporte-pièce ne peut être altéré sans qu'il en résulte une différence sensible; si le piston est usé, il tranche des flans trop petits et les pièces sont plus légères; s'il est remplacé par un autre plus fort, les flans seront trop lourds.

En France, le découpage s'est fait longtemps à bras d'hommes. La force n'étant pas suffisante, il avait fallu renoncer à découper les flans avec des poinçons à base horizontale; les poinçons qui servaient ordinairement étaient taillés en sifflet de manière à ne trancher qu'une partie de la surface du flan à la fois; l'opération commence alors par un bord et se poursuit de proche en proche. Ce procédé est mauvais, parce qu'il augmente la bavure et laisse du flache sur la tranche, et aussi parce qu'il tend à amincir la pièce d'un côté.

En Angleterre, le découpage se faisant par la vapeur, l'homme n'agit que comme conducteur de la lame; l'emporte-pièce, dont la base est parfaitement plane, coupe instantanément le flan sur toute son épaisseur, sans laisser aucune bavure ni aucune irrégularité. L'avancement des plaques à la main est toutefois vicieux, il cause des déchets qu'évite la progression donnée mécaniquement. Voici la disposition adoptée à la Monnaie de Paris, où les poinçonneuses sont mues par des arbres à excentrique. L'arbre donne, au moyen d'un encliquetage, le mouvement à deux paires de cylindres placées l'une en avant, l'autre en arrière du poinçon. On engage la bande entre les rouleaux, et le mouvement intermittent de ceux-ci fait avancer la bande de la quantité rigoureusement nécessaire pour que le poinçonnage de deux flans consécutifs produise sur la bande deux cercles tangents l'un à l'autre; de cette façon la perte est réduite au minimum.

Décapage des flans. Au sortir de l'atelier de pesage et d'ajustage, on décape les flans en les agitant dans une tonne conique fixe, remplie d'eau chargée d'acide sulfurique, à l'aide d'un axe vertical armé de croisillons, et auquel on imprime un mouvement de rotation sur lui-même, soit à la main, soit de toute autre manière.

On blanchit ensuite les flans décapés, qui doivent servir à la fabrication des monnaies d'argent ou de billon, en les faisant bouillir avec une dissolution de crème de tartre dans l'eau.

Machinage des flans. Le machinage ou cordonnage des flans ne se fait plus aujourd'hui avant le monnayage; nous devons néanmoins donner la description de l'ingénieuse machine qu'avait inventée Gingembre pour effectuer cette opération, qui consistait à graver en creux sur la tranche les légendes : *Dieu protége la France, Domine salvum fac regem.* Le travail de cette machine était si prompt et en même temps si facile qu'un homme marquait dans une journée 20,000 pièces de 5 fr. ou 100,000 fr.

Chacun des deux coins en arc E, D (fig. 8), porte la moitié de la légende gravée en relief sur sa face

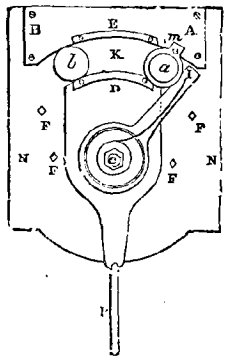


Fig. 8.

courbe; ces arcs sont des morceaux d'acier fortement trempé fixés sur le plateau qui supporte l'appareil par deux vis, l'un à demeure E, et l'autre D au bout du levier P D, qui tourne autour de l'axe C. Les lettres de ces demi-légendes sont exactement parallèles et inscrites sur les coins dans un ordre inverse. Un mouvement circulaire et alternatif est communiqué au manche P. Les courbures des deux coins sont des arcs de cercle décrits du centre C, et l'intervalle qui les sépare, ou la différence des rayons, est précisément, exactement le diamètre de la pièce.

Comme, dans cette opération, c'est le centre C qui supporte toute la pression, cet axe doit avoir une section assez grande. Il est composé d'un cône tronqué, peu élevé, d'acier trempé, qui entre dans un trou de la pièce mobile P D. Ce cône est maintenu sur la plaque de métal N N, qui supporte toute la machine, par un écrou, dont la vis serrée ou lâchée donne le jeu nécessaire au mouvement de rotation, ou fait disparaître l'usure du cône causée par un service prolongé. Le milieu du trou de la pièce mobile P D, et l'axe du levier P qui la termine, sont exactement de niveau avec les lettres gravées sur le coin, de sorte qu'aucune force ne vient déranger la pièce mobile, produire des oscillations.

a est un tube vertical contenant une pile des flans que l'on veut frapper; constamment rempli, ce tube, ouvert aux deux bouts, est un peu élevé au-dessus de l'espace *a* K *b* qui sépare les deux coins, et vissé par une queue *m* à la pièce fixe A B. La broche I C, mobile, ainsi que la pièce P D, passe sous le tube, fait sortir du bas de la colonne un flan qui est reçu dans une petite excavation de forme circulaire. Aussitôt que le flan est mis en contact avec le bord inférieur des rainures gravées, il est saisi par elles et roule soumis à une pression considérable qui grave le cordon; pendant que le levier P complète sa course, il passe de *a* à K, puis de K à *b*, où il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rencontre une ouverture circulaire par laquelle il tombe dans un tiroir placé sous la machine.

Le parcours du levier mobile P est réglé par quatre saillies solidement fixées sur la plaque NN, qui supporte tout l'appareil. Une cheville empêche le bras du posoir IC de s'écarter plus qu'il ne faut pour laisser sortir le flan de la colonne; un ressort fixé au centre C ramène le posoir, de sorte qu'il est toujours prêt à fonctionner. Avec cet appareil, le cordon du flan est frappé en moins d'une demi-seconde. On peut en frapper des centaines dans l'espace de trois minutes.

Monnayage. Le monnayage consiste à soumettre un flan, placé dans une virole, à la pression de deux coins

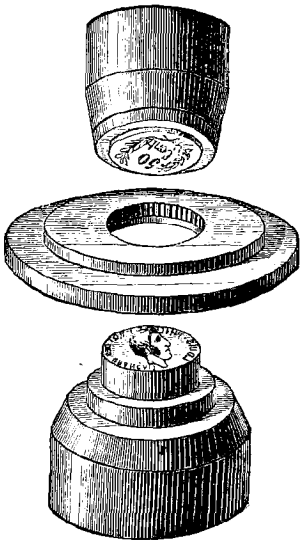


Fig. 9.

gravés qui lui impriment des deux côtés à la fois le sceau de l'État. La figure 9 représente la disposition relative des coins et de la virole (de grandeur naturelle) pour frapper une pièce.

Nous ne reviendrons pas ici sur la gravure des coins, donnée à l'article GRAVURE, où nous avons décrit les merveilleux procédés de multiplication au moyen de l'acier successivement recuit et trempé, qui permettent d'obtenir un nombre indéfini de coins creux, en partant d'une gravure en relief qui seule permet d'obtenir un modelage tout à fait satisfaisant.

Pour obtenir un beau, un parfait monnayage, il faut, sans doute, que la forme et la gravure des coins soient bien entendues, mais aussi pouvoir disposer d'une grande force motrice; non-seulement de la force nécessaire pour frapper à fond, mais d'un excès de force qui écrouisse suffisamment la pièce, en la comprimant très-fortement dans la virole. Ainsi, le recuit doit adoucir le flan, pour qu'il prenne mieux la forme de la gravure, mais il faut que l'adouci disparaisse entièrement pendant le monnayage, et qu'il soit remplacé par la plus grande dureté que puisse acquérir le métal: tel est le problème à résoudre par le monnayage; problème d'autant plus difficile que le frappage doit se faire d'un seul coup, et que les coins doivent frapper rapidement un grand nombre de pièces pour que le monnayage ne devienne pas trop cher.

Balancier. La figure 10 représente le balancier perfectionné de Gingembre, qui a longtemps seul fonctionné à la Monnaie de Paris, et qui y est toujours employé pour frapper les médailles à empreintes saillantes, qui exigent un grand nombre de coups de balancier et de recuits successifs pour arriver à un modelé parfait. Il est mis en mouvement au moyen de cordons que tirent en même temps un nombre égal d'hommes.

Les perfectionnements qui signalèrent l'adoption de ce balancier consistaient surtout dans le mécanisme du poseur, qui reçoit le flan à monnayer, le porte entre les coins, retourne en chercher un second, et chasse celui qui vient d'être frappé; opérations qui, s'exécutant en raison de la position de la vis, ne peuvent jamais manquer, et rendent impossibles les accidents qui pouvaient

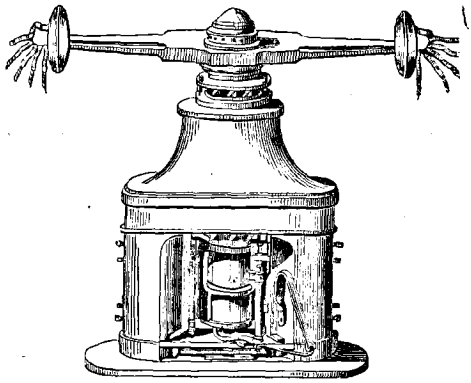


Fig. 10.

résulter du posage du flan à la main.

Un des grands défauts du balancier est que, si le monnayeur oublie de mettre un flan dans la main de fer du poseur, les deux coins se choquent et sont mis hors de service. On a quelque peu paré à cet inconvénient au moyen d'un mécanisme dit *pare-à-faux*, qui, au moment où le monnayeur s'aperçoit de son oubli, permet de faire arriver rapidement entre les deux coins un disque de métal qui les empêche de s'entrechoquer.

Une des dernières modifications apportées aux monnaies françaises consiste dans l'adoption de la virole brisée que fait fonctionner le balancier, virole composée de parties s'écartant après le monnayage, et permettant de sortir la pièce portant sur la tranche une inscription en relief, qui rend impraticables les principaux moyens de fabrication des fausses monnaies.

Le balancier, tel que nous venons de le décrire, qui, à cause de ses grandes dimensions et du nombre d'hommes qui le meuvent, peut produire un choc très-puissant ne produit cependant qu'un monnayage imparfait, en travail courant, parce qu'étant mû par les bras d'hommes qui se fatiguent ou n'agissent que rarement en même temps, il ne fournit presque jamais une pression suffisante. Aussi a-t-on, à grands frais, cherché, en Angleterre, à remplacer les hommes par l'action de la vapeur; mais, bien que due à Bolton et Watt, la solution est imparfaite relativement surtout à la disposition du BALANCIER due à M. Chéret, dont nous avons donné ailleurs la description.

Nous décrirons toutefois ici ce système curieux qui fonctionne encore à la monnaie de Londres, longtemps la plus remarquable de toutes par la solution du problème, qui y fut appliquée, de mouvoir mécaniquement le balancier. Ce fut Bolton qui l'organisa, en 1788, avec un grand talent d'ingénieur, et qui lui-même monta à Soho

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un puissant atelier de fabrication de monnaies qui travailla beaucoup pour le continent. Si le mécanisme semble aujourd'hui arriéré, si son fonctionnement bruyant le rend peu admissible, il n'est pas moins fort remarquable, non-seulement par l'application d'une des premières

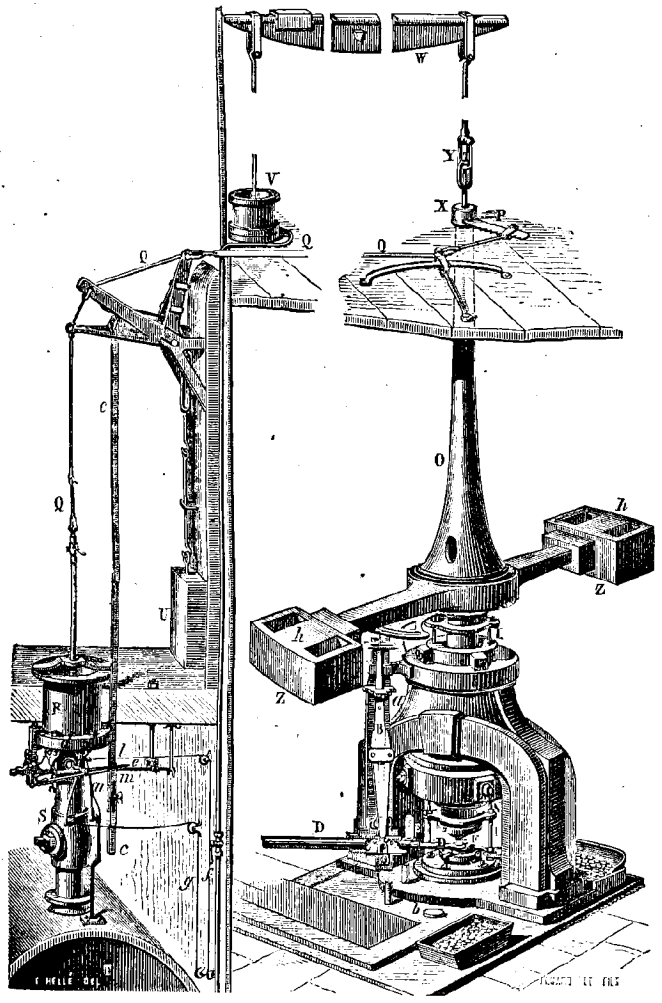


Fig. 11.

machines de Watt à mouvoir le balancier qu'on ne savait faire fonctionner qu'à bras, mais encore par l'emploi de l'aspiration de l'air, voie nouvelle dont les ingénieurs n'ont tiré parti que bien plus tard.

La figure 11 représente le balancier monétaire construit par Bolton, avec le mécanisme qui sert à le mettre en mouvement. La main automate D place le flan sur le coin inférieur F, puis se retire; la virole s'élève et entoure le flan, tandis que le coin supérieur fixé à la vis principale s'abaisse et produit un choc estimé à 40 tonnes environ, qui, écrasant le flan, force le métal à entrer dans la gravure des coins et dans les cannelures de la virole. En d'autres termes, le flan uni devient d'un seul coup une pièce complète. La description suivante va donner au lecteur une idée du procédé par lequel ce résultat est atteint.

Le balancier est supposé arrêté dans la position où les coins sont aussi éloignés que possible. Le coin supérieur s'est soulevé en s'éloignant du coin inférieur. En même temps la main D a pris un flan dans le tube E.

Au premier mouvement de descente du balancier, l'excentrique A, placé sur la tête de celui-ci, agit sur le levier B qui tourne sur le pivot *a*, et éloigne D. Le levier B peut être allongé ou raccourci à volonté. Le mouvement d'éloignement de D fait ouvrir la main, et lâcher le flan, qui tombe sur le plat du coin inférieur F; l'ouverture des doigts est causée par une goupille qui marche dans une rainure d'une partie mobile de la main D.

La continuation du mouvement fait agir les tringles I, qui sont mues par la vis principale et qui dégagent la virole K par le moyen des leviers latéraux qu'ils comprimaient. La virole K, étant alors délivrée de la pression supérieure, s'élève par l'action de ressorts jusqu'à ce qu'elle entoure complétement le flan qui a été laissé sur le coin inférieur.

Les tringles I qui passent à travers le montant du bâti du balancier ont encore une autre action : ce sont elles qui permettent à la boîte coulante N de suivre, sans participer à son mouvement de rotation, le mouvement de haut en bas de la vis maîtresse G qui passe dans un écrou fixé au bâti du balancier.

A la partie inférieure de la boîte coulante N est le porte-coin, dans lequel est maintenu le coin supérieur.

Ainsi, juste au moment où la virole a pu embrasser le flan, le coin supérieur tombe. La force du coup occasionne un mouvement de recul dans la vis G, qui remonte aidée dans son ascension par une disposition particulière que l'on comprendra aisément en se reportant à la figure, où l'on voit le tuyau conique O, traversé par une tige X assemblée à la tête de la vis du balancier. En Y est un tourniquet dans lequel se perd le mouvement de torsion; X est terminé, à sa partie supérieure, par un balancier W dont l'extrémité est en communication par une tringle portant un piston avec le cylindre V, dont le bas se trouve en communication par un tube avec le corps de pompe dans lequel on fait le vide T.

Décrivons maintenant le fonctionnement de tout le système. La force motrice du balancier est la pression de l'atmosphère sur le piston qui glisse dans le cylin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dre R, et qui lui est transmise ainsi qu'il suit. Le levier P est fixé solidement sur le tube conique O, et mis en rapport, par une série de tringles Q, avec le piston qui fonctionne dans le cylindre R, qui se termine par un tube S communiquant avec T, gros cylindre maintenu dans un état constant de vide partiel par l'action d'une machine à vapeur faisant mouvoir une pompe aspirante.

Lorsque l'ouvrier qui dirige le balancier veut le mettre en mouvement, il tire la corde *f*, qui se termine à la boîte qui lui sert de siége. Cette corde agit sur le ressort *n*, et, dégageant la soupape *d*, qui permet l'entrée de l'air dans le cylindre R, fait qu'il peut agir dès qu'il en sera besoin.

Il tend ensuite la corde *g*, qui, par son levier de déclic, ouvre la soupape *j*. L'air alors passe librement de dessous le piston dans le cylindre R, dans le tube S et dans la chambre T, ce qui occasionnerait la rentrée brusque de l'air par la soupape *d*; mais *d*, au moment où elle est abandonnée par la corde *f*, est fermée par un ressort. Aussitôt que la soupape *j* s'ouvre, l'air compris sous le piston en R se dilate, et une partie entrant dans la chambre T cause une différence de pression d'une atmosphère entre le dessus et le dessous du piston qui s'abaisse sous cette action.

Pendant qu'il accomplit sa course, la tige *c* amène un bouton *k* en contact avec le levier *l* et ferme la soupape *j*, arrêtant ainsi l'expansion de l'air sous le piston; au même instant le bouton *m* permet la chute du levier *e*, et, par suite, le mouvement de la soupape *d*.

Lorsque vient le mouvement de recul de la vis maîtresse du balancier G, le piston, en descendant, chasse par compression le peu d'air qui reste dans le cylindre R à travers la soupape *d*, l'ouvrant de manière que l'air rentre par cette soupape et permette au piston de remonter.

Le relèvement du piston cause le déplacement du bouton *k*, et, aussitôt que *k* est élevé, *l* est soulevé par un ressort et ouvre la soupape *j* permettant au balancier de continuer sa marche sans interruption.

Lorsque l'on veut arrêter le travail, l'ouvrier lâche la corde *f* et permet ainsi au ressort *n* de tenir la valve *d* constamment ouverte.

Presse monétaire. En France, depuis qu'on a donné de grands développements à la fabrication des monnaies et qu'on a entrepris la refonte du billon, on a remplacé le balancier par la presse de Munich, inventée par Ulhorn; on a substitué au choc l'écrasement du métal par une forte pression. La figure 12 représente une coupe verticale de la presse monétaire.

Une manivelle G est fixée à l'extrémité d'un arbre qu'une machine à vapeur fait tourner et qui porte un volant Z. Cette manivelle agit, par l'intermédiaire de la bielle F, sur le levier H, auquel elle donne un mouvement d'oscillation autour d'un point fixe. La partie inférieure de ce levier s'appuie sur la tête d'une colonne I dont l'extrémité inférieure se meut à rotule dans la boîte coulante J. La boîte coulante, qui porte le coin supérieur, se trouve à l'extrémité d'un levier mobile autour du tourillon *c*, et est constamment appuyée de bas en haut contre la colonne J par l'action des deux contre-poids N, dont le levier M et le montant à fourchette L lui transmettent l'action. Lorsque la manivelle G soulève le levier H, ce levier tend à abaisser la colonne I, ainsi que la boîte coulante; si, d'ailleurs, les coins sont à une distance convenablement réglée l'un de l'autre, et qu'une plaque ait été introduite entre eux, cette plaque éprouvera une compression extrêmement grande qui sera suffisante pour produire le même effet que le choc dans le balancier monétaire. On se fera une idée de la grandeur de la pression exercée par la colonne I, en observant les mouvements de l'articulation, du genou; en remarquant combien peu descend la boîte coulante, lorsque l'extrémité du bras de levier H s'élève d'une quantité notable.

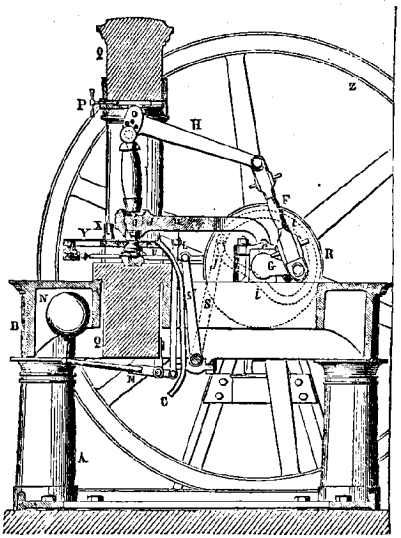


Fig. 12.

La distance entre les deux coins est réglée par une vis de rappel P, qui sert à enfoncer plus ou moins un coin entre le massif Q de la presse et la pièce d'acier sur laquelle se trouve le point fixe du levier H.

Quant aux autres parties du mécanisme, elles agissent à peu près de la même manière que les parties correspondantes du balancier. Voici quel en est le jeu: Un plateau R monté sur l'arbre du volant présente une coulisse excentrique *ii*; un bouton *j* qui pénètre dans cette coulisse est fixé à l'extrémité supérieure du bras de levier S, et ce bras de levier attaché inférieurement à un axe horizontal prend un mouvement oscillatoire par suite de la forme de la coulisse *ii*. Ce mouvement se transmet au levier S', qui est attaché au même axe; et la tringle U (fig. 13), dont l'extrémité recourbée

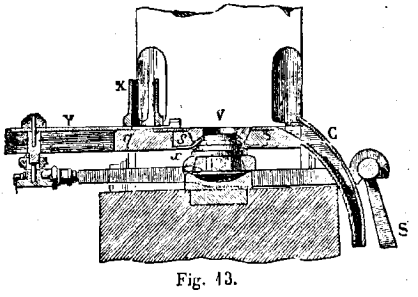


Fig. 13.

s'appuie sur le levier S', en reçoit un mouvement de va-et-vient dirigé horizontalement. Dans ce mouvement de va-et-vient, lorsque la tringle U se transporte à droite, la partie inclinée, qui se trouve au milieu de sa longueur, vient soulever le coin inférieur, pour élever la pièce frappée au-dessus des bords de la virole brisée; en même temps cette tringle fait marcher également vers

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la droite la main-poseur Y qui chasse la pièce frappée dans le conduit C d'où elle tombe dans une corbeille et qui dépose ensuite un flan au milieu de la virole.

La main-poseur Y se compose de trois parties, comme on le voit sur la figure 14; les deux pièces latérales se

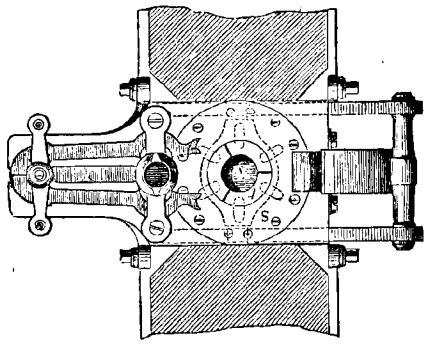


Fig. 14.

rapprochent de la pièce du milieu pour saisir le flan et le poser sur le coin V; mais dès qu'il y est posé, ces deux parties latérales s'écartent et la main-poseur se reporte vers la gauche, en abandonnant le flan. X est un gobelet dans lequel on dépose une pile de flans, que la main-poseur prend un à un par dessous, pour les porter sur le coin. Les figures 13 et 14 représentent la disposition de la virole brisée telle qu'elle avait été combinée pour le balancier; q est le porte-virole, s le cercle de la virole brisée en trois parties, x les ressorts qui servent à tenir la virole brisée ouverte et à fleur du porte-virole.

Les figures précédentes se rapportent à la presse monétaire telle qu'elle a été construite par Thonnelier; plusieurs modifications ont été apportées aux parties accessoires de cette machine depuis qu'elle fonctionne à l'hôtel des Monnaies de Paris; mais les parties essentielles n'ont été nullement modifiées.

La presse monétaire présente plusieurs avantages sur le balancier qu'elle a remplacé. D'abord elle permet d'exercer toujours la même pression pour frapper les flans, ce qui donne une fabrication plus régulière, tandis que la force des hommes employés à manœuvrer le balancier présentait des irrégularités notables. D'un autre côté, si l'on oubliait de mettre un flan entre les coins du balancier, ces deux coins choquaient l'un contre l'autre et se brisaient, tandis que dans la presse les deux coins ne viennent jamais en contact, lors même qu'il n'y aurait pas de flan entre eux. Un troisième avantage consiste dans la rapidité du travail : une presse monétaire frappe environ 60 pièces à la minute, et peut ainsi fonctionner pendant longtemps sans avoir besoin de s'arrêter, tandis que le balancier frappait beaucoup moins de pièces par minute, et les ouvriers avaient besoin de se reposer de temps en temps. Enfin le gobelet dans lequel on met une pile de flans évite l'emploi d'un ouvrier exclusivement chargé de mettre les flans dans le trou de la main-poseur.

Pèse-monnaie. Nous citerons en terminant cet article les pèse-monnaie de Seguier, Cotton, Napier, etc., ingénieux instruments qui permettent de contrôler mécaniquement si les pièces fabriquées sont dans les limites de la tolérance accordée par la loi, en plus ou en moins. Ce sont des balances fonctionnant automatiquement, avec autant de rapidité que de précision. Nous croyons que c'est à M. Séguier que l'on doit d'avoir ouvert la voie, en s'inspirant des recherches faites par M. Gaubert pour produire mécaniquement la distribution des caractères d'imprimerie. (Voy. PÈSE-MONNAIE. *Complément.*)

MORDANTS. Voyez IMPRESSION SUR ÉTOFFES et TEINTURE.

MORTIER. La solidité des constructions en maçonnerie dépend, en grande partie, de la qualité des mortiers employés à leur construction. Les monuments romains et du moyen âge, qui existent encore aujourd'hui, nous montrent l'efficacité des procédés usités, dans ces époques reculées, pour la fabrication des mortiers qui réunissent d'une manière si durable les matériaux qui entrent dans la construction de ces édifices. Des études théoriques, habilement dirigées, ont éclairé depuis quelques années la pratique de la fabrication des mortiers, et tout nous porte à croire que cette industrie est aujourd'hui plus avancée qu'elle ne l'a jamais été.

Nous avons renvoyé au mot que nous traitons en ce moment tout ce qui se rapporte à la chaux, aux ciments, aux pouzzolanes, aux bétons, etc. Obligés de traiter dans un cadre restreint des questions aussi nombreuses qu'importantes, puisqu'elles touchent, pour ainsi dire, à tous les points de l'art des constructions, on nous pardonnera de passer rapidement sur les discussions théoriques et de nous borner à exposer le fait d'une application fréquente. Nous chercherons à mettre chacun à même de répéter les expériences qui peuvent diriger l'étude de cette matière, et nous nous efforcerons de donner à la fois les règles pratiques et les idées générales qui doivent guider dans l'organisation de travaux de ce genre; heureux si nous pouvons aider à propager les connaissances que doit posséder aujourd'hui tout constructeur éclairé.

Nous partagerons cet article en deux chapitres. Le premier sera divisé en paragraphes dans lesquels on étudiera successivement les différentes matières premières qui entrent dans la composition des mortiers, le second chapitre traitera de la fabrication et de l'emploi des mortiers et du béton dont les applications se multiplient tous les jours.

CHAPITRE PREMIER.

DES MATIÈRES PREMIÈRES QUI ENTRENT DANS LA COMPOSITION DES MORTIERS.

§ 1. CHAUX. On donne le nom de *pierre à chaux* à un carbonate de chaux plus ou moins mélangé de substances étrangères, qui lui donnent quelquefois des propriétés particulières fort utiles. Pour rendre cette matière propre à la fabrication des mortiers il faut toujours la débarrasser de l'acide carbonique qu'elle contient par l'action d'une température convenable.

On partage les chaux en différentes classes d'après les propriétés qu'elles présentent.

1° *Chaux aériennes.* Quand on calcine complétement du marbre blanc, ou des calcaires à peu près purs, la chaux obtenue jouit de la propriété de se combiner avec l'eau en développant une haute température, et de présenter un *foisonnement* considérable, c'est-à-dire que son volume augmente dans une grande proportion. L'hydrate de chaux ainsi obtenu, et réduit en pâte molle, durcit bientôt au contact de l'air en absorbant de l'acide carbonique. Cette pâte de chaux placée sous l'eau ou dans un vase privé d'air et d'acide carbonique conserve indéfiniment son état mou. Cette variété de chaux se dissout entièrement dans une quantité d'eau suffisante, environ sept cent quatre-vingt fois son poids. On lui donne le nom de *chaux grasse.*

Les chaux obtenues par la calcination de calcaires mélangés en forte proportion de magnésie, d'oxyde de fer ou de sable quarzeux, mais qui ne renferment que peu ou point d'argile, se délitent encore par leur contact avec l'eau, mais il se développe peu de chaleur par cette combinaison, et le foisonnement est presque nul. Ce sont les *chaux maigres non hydrauliques.* Elles dur-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cissent à l'air et non dans l'eau, ce qui les fait ranger comme la précédente dans la classe des chaux aériennes.

Nous donnons ici le tableau de la composition d'un certain nombre de calcaires et des chaux aériennes qu'ils fournissent.

LIEUX DE L'EXTRACTION.	COMPOSITION DES CALCAIRES sur 100 parties.					COMPOSITION DES CHAUX sur 100 parties.					OBSERVATIONS.
	Carbonate de chaux	Carbonate de magnésie.	Oxyde de fer.	Argile.	Sable.	Chaux.	Magnésie.	Oxyde de fer.	Argile.	Sable.	
Marbre de Carrare. . .	100,0	»	»	»	»	100,0	»	»	»	»	Très grasse.
Vaugirard (près Paris).	98,5	»	»	1,5	»	97,2	»	»	2,80	»	Id.
Lagneux (Ain).	94,0	1,60	3,9	0,5	»	94,6	1,5	»	6,00	»	Grasse.
Vichy (Allier).	87,2	10,00	2,8	»	»	86,0	9,0	»	5,00	»	Médiocr. grasse.
Calviac (Dordogne). . .	77,8	»	»	2,6	19,64	70,0	»	»	3,25	24,75	Très maigre. Perte 2 p. 100.
Villefranche (Aveyron).	60,9	30,30	8,8	»	»	60,0	26,2	13,80	»	»	Très maigre. Cont. du mangan.

Ces différentes analyses démontrent que les calcaires purs fournissent de la chaux grasse, tandis que les calcaires très mélangés, mais qui ne renferment pas d'argile, ne donnent qu'une chaux maigre non hydraulique. L'analyse seule d'un calcaire peut donc indiquer d'une manière positive qu'il ne saurait fournir de la chaux hydraulique.

2° *Chaux hydrauliques.* On désigne sous ce nom des chaux, qui, éteintes et réduites en pâte jouissent de la propriété remarquable de durcir sous l'eau après un temps plus ou moins long. M. Vicat les partage en trois classes. Les chaux *moyennement hydrauliques* font prise après quinze ou vingt jours d'immersion, mais n'atteignent jamais une grande dureté. Les chaux *hydrauliques* font prise du sixième au huitième jour. Elles continuent à durcir jusqu'au douzième mois ; mais après le sixième mois d'immersion elles présentent déjà une résistance remarquable. Enfin les chaux *éminemment hydrauliques* font prise du deuxième au quatrième jour d'immersion. Après six mois elles ont acquis la dureté de la pierre. On comprend que cette classification n'a rien d'absolu, elle est seulement commode pour exprimer en deux mots les principales qualités d'une chaux donnée.

L'analyse de quelques pierres à chaux hydrauliques va nous apprendre quels sont les principes auxquels est due cette propriété remarquable.

moyennement hydrauliques contiennent 9 à 10 p. 100 d'argile. Les chaux éminemment hydrauliques en renferment 25 à 30 p 100. La chaux de Sénonches nous montre, de plus, qu'une forte proportion d'alumine dans l'argile n'est pas indispensable pour développer l'hydraulicité. La silice, presque pure, mais à l'état hydraté, procure cette propriété.

On regarde en général, comme pouvant donner de la chaux hydraulique certains calcaires assez riches en magnésie. Nous n'en avons pas, à dessein, présenté d'exemple dans le tableau précédent. Le rôle de la magnésie dans ces composés n'est pas encore bien connu. De nombreuses discussions se sont élevées sur ce sujet. Une longue expérience pratique peut seule les éclairer d'une manière complète. Mais les faits déjà connus sont assez graves pour laisser des doutes sur la longue durée des mortiers hydrauliques magnésiens. Nous croyons qu'il serait téméraire, dans l'état actuel de la science, d'établir des constructions importantes avec des chaux de cette espèce.

MM. Berthier et Vicat ont fait un grand nombre d'essais pour déterminer le rôle et le degré d'utilité des différents éléments qui constituent les chaux hydrauliques. Leurs expériences ont démontré que la silice à l'état gélatineux, peut, sans aucun autre mélange, rendre la chaux hydraulique. L'alumine, l'oxyde de fer, la magnésie, l'oxyde de manganèse sont, par eux-mêmes, dépourvus d'action. L'analyse et la synthèse s'accordent, d'ailleurs, à démontrer que les meilleures chaux hydrauliques sont produites par un mélange de chaux, de silice et d'alumine La proportion la plus convenable de ces deux derniers corps n'est pas encore parfaitement connue ; il paraît cependant qu'ils doivent se trouver en quantités presque égales. Une longue suite de tâtonnements peut seule trancher la question.

LIEUX DE L'EXTRACTION.	COMPOSITION DES CALCAIRES sur 100 parties.					COMPOSITION DES CHAUX Sur 100 parties.					OBSERVATIONS.
	Carbonate de chaux.	Carbonate de magnésie.	Oxyde de fer.	Oxyde de manganèse.	Argile.	Chaux.	Magnésie.	Oxyde de fer.	Oxyde de manganèse.	Argile.	
Saint-Germain (Ain). . .	87,0	0,5	7,1	»	5,4	83,0	0,4	9,6	»	7,0	Moyennement hydraulique.
Chanay (près Mâcon). . .	89,2	3,0	»	»	7,8	84,0	2,5	»	»	13,5	Id. id.
Nîmes (Gard).	86,0	5,0	»	»	9,0	82,5	4,1	»	»	13,4	Hydraulique.
Metz (Mozelle).	78,0	3,0	4,0	trace	15,0	68,3	2,0	5,7	»	24,0	Éminemment hydraulique.
Sénonches (Eure-et-Loire).	80,0	1,0	»	»,	19,0	70,0	1,0	»	»	29,0	Id. argile { silice 17 / alum. 1 / eau. . 1 } dans le calc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La composition des chaux hydrauliques naturelles étant connue, on essaya d'obtenir, par des mélanges directs des composés analogues. M. Vicat publia avec un noble désintéressement ses découvertes, et, sur ses indications, M. de Saint-Léger monta, près de Paris, une fabrique de chaux artificielle. Cette industrie est aujourd'hui parfaitement connue. Nous reviendrons plus loin sur les détails de cette fabrication, que nous ferons connaître avec soin.

Nous venons de voir que l'hydraulicité des chaux dépend de leur composition. Quand on doit fabriquer de la chaux hydraulique il importe, par conséquent, de pouvoir déterminer d'avance la nature des calcaires dont on peut disposer. Nous allons décrire les procédés employés pour l'essai des chaux et des calcaires. Ces expériences sont très simples, on peut les exécuter, en suivant la marche que nous allons indiquer, sans connaissances préalables en chimie. Nous ne saurions assez engager les fabricants à se familiariser avec leur emploi.

Les calcaires que l'on doit analyser peuvent contenir, en général, de la chaux, de la magnésie, de l'oxyde de fer et de l'argile. On reconnaît et on sépare ces différents corps de la manière suivante. On pèse 2 ou 3 gram. de l'échantillon donné et on verse dessus, dans un petit verre, de l'acide hydrochlorique étendu à peu près de son poids d'eau. Une effervescence plus ou moins vive se manifeste aussitôt, l'acide carbonique qui se trouvait dans le calcaire se dégage à l'état de gaz, et la chaux, la magnésie et l'oxyde de fer se dissolvent dans l'acide. Si le calcaire est pur il se dissout entièrement, s'il renferme de l'argile elle se dépose au fond du vase. Quand l'addition d'une petite quantité d'acide ne produit plus d'effervescence, on verse sur un filtre la liqueur et le dépôt d'argile; on lave ce dernier avec de l'eau, on le sèche et on le pèse. Cet essai, bien simple, indique déjà la proportion d'argile contenue dans le calcaire et donne une indication importante sur les propriétés hydrauliques de la chaux qu'il produirait. L'examen attentif de l'argile suffit pour faire reconnaître si elle contient du sable en grains isolés. Si l'effervescence a été très vive on est presque assuré que le calcaire ne contient pas de magnésie, et qu'il fournira une chaux d'autant plus hydraulique que la proportion d'argile sera plus considérable. Avec un peu d'habitude, en prenant pour termes de comparaison des calcaires connus ; on peut regarder comme un renseignement suffisant l'essai que nous venons d'indiquer. Mais si on veut connaître complétement la composition du calcaire on continue l'opération comme nous allons l'expliquer. On verse dans la liqueur filtrée, qui renferme la chaux, etc., un peu d'ammoniaque. S'il se forme un trouble, on ajoute un peu d'acide hydrochlorique, puis de l'ammoniaque, qui alors laisse à la liqueur toute sa transparence, à moins que le calcaire proposé ne renferme de l'oxyde de fer qui se dépose alors en flocons rougeâtres; on les recueille sur un petit filtre, on les lave et on les pèse après les avoir séchés. On ajoute dans le liquide filtré de l'oxalate d'ammoniaque. Il se forme alors un dépôt blanc d'oxalate de chaux ; après une nuit de repos on le recueille sur un filtre, on le sèche et on le calcine dans une petite capsule de platine. Le produit de la calcination est du carbonate de chaux qu'il ne reste plus qu'à peser. Enfin, on fait bouillir avec du carbonate de potasse la liqueur séparée par la filtration, de l'oxalate de chaux, et il se précipite du carbonate de magnésie en poudre blanche, quand le calcaire proposé en renfermait. On le recueille sur un filtre, on le calcine et on le pèse.

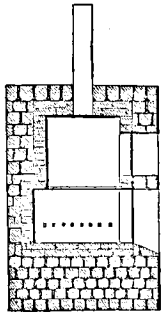
L'analyse d'une chaux donnée est un peu plus compliquée que celle d'un calcaire ; voici comment on doit opérer. On verse de l'acide hydrochlorique sur quelques grammes de chaux. La dissolution se fait ordinairement d'une manière complète. S'il y a un résidu on le sépare par le filtre, puis on évapore à siccité la liqueur filtrée. On reprend la masse par l'eau acidulée qui laisse la silice et dissout tous les autres produits. On recueille la silice sur un filtre, puis on verse de l'ammoniaque dans la liqueur filtrée. L'alumine et l'oxyde de fer se précipitent, on les recueille sur un filtre, et, après avoir bien lavé ce précipité on le sèche et on le pèse. Nous n'avons pas besoin de dire ici comment on sépare ces deux corps, l'oxyde de fer étant en général en fort petite quantité. On obtient enfin la chaux et la magnésie comme nous l'avons indiqué en parlant de l'analyse d'un calcaire.

Nous ne sommes pas entrés dans la description de toutes les précautions à employer pour rendre parfaitement exacts les procédés dont nous venons de parler. Ce que nous avons dit suffit dans la pratique des recherches. C'est aux traités d'analyses chimiques que l'on doit demander de plus grands détails. La méthode d'analyse que nous venons d'exposer est très simple, elle exige cependant des pesées, des lavages, etc., qui emploient un certain temps ; nous espérons publier bientôt un procédé qui évitera toutes ces opérations et permettra d'essayer une dixaine de calcaires en une heure.

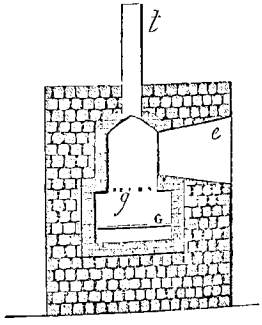
L'analyse chimique convenablement exécutée peut conduire à des résultats certains ; cependant nous engagerons toujours à soumettre à la cuisson une certaine quantité des pierres qui ont paru propres à fournir de bonnes chaux.

On ne doit pas essayer de calciner les échantillons dans un creuset. Cette opération s'exécute difficilement et donne des indications trop différentes des résultats pratiques. Nous ne saurions trop recommander l'emploi d'un petit fourneau, dont les fig. 1873, 1874 et 1875 indiquent suffisamment la construction. On introduit

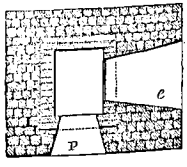
1874.



1875.



la pierre à chaux sur la grille g, par l'ouverture e, et on fait du feu avec de la houille, du coke ou du charbon de bois sur la grille G. Une clef, placée dans le tuyau de tôle t, qui surmonte le fourneau, permet d'activer ou de modérer à volonté la température. En cinq ou six heures on peut cuire une quantité de chaux suffisante pour fabriquer du mortier par le procédé même



1873.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui doit être employé. L'expérience ainsi faite ne laisse aucun doute sur la nature des mortiers obtenus.

La chemise intérieure de ce fourneau est en briques réfractaires et enveloppée d'une maçonnerie grossière. L'espace vide *e* ménagé dans cette enveloppe forme une petite étuve fort commode pour sécher des filtres et faire différents essais.

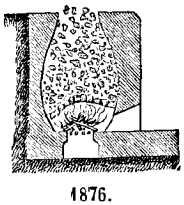
La marche à suivre dans la recherche des pierres à chaux est maintenant suffisamment tracée. On fera d'abord des essais chimiques; les meilleurs échantillons, indiqués par ces premières expériences, seront soumis à l'épreuve du petit fourneau; et enfin, on choisira parmi ces derniers les pierres qui pourront être soumises au traitement en grand.

Cuisson de la chaux. Nous avons dit que l'on obtient la chaux, en chassant, par l'action de la chaleur, l'acide carbonique renfermé dans les pierres calcaires. Nous allons maintenant nous occuper de cette opération. La consommation de chaux pour l'agriculture et les constructions est énorme; il importe d'étudier avec soin le prix de revient de cette fabrication par les différents procédés généralement employés.

On a donné, art. CHAUX du *Complément*, la description d'un four à chaux à foyers séparés, dont nous avons indiqué les avantages. Nous ne reviendrons pas sur ce mode de cuisson, mais nous en avons plusieurs autres à faire connaître.

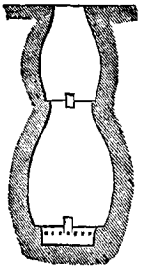
1° *Cuisson en tas.* Quand on est obligé de cuire en peu de temps de grandes quantités de chaux, il serait souvent difficile et toujours coûteux d'établir un nombre convenable de fours. On peut alors employer la méthode des chaufourniers du pays de Galles : ils disposent des tas de calcaire mêlé de houille; ils les recouvrent de gazon, et dirigent l'opération, comme s'il s'agissait de faire du charbon de bois, en évitant les courants d'air et modérant le tirage suivant l'intensité de la combustion. Cette méthode n'exigeant pas de frais d'établissement peut être très économique, quand il ne s'agit que d'une fabrication temporaire.

2° *Fours intermittents.* Dans les fours de cette espèce, le combustible et la pierre sont chargés séparément. On peut d'ailleurs brûler de la tourbe, de la houille ou du bois. La disposition de ces appareils varie peu; c'est une cavité (figure 1876) généralement ovoïde, dans laquelle on dispose le calcaire, en formant avec les plus gros morceaux, à la partie inférieure, une espèce de voûte sous laquelle on allume le feu. Quand la chaux est cuite, on la laisse refroidir; puis on défourne la pierre pour recommencer une nouvelle opération. La main-d'œuvre et la consommation de combustible sont considérables avec ce genre de fours. Chaque cuisson dure trois à quatre jours; on consomme en moyenne 1,60 à 1,80 stères de bois par mètre cube de chaux, ou une quantité équivalente de fagots.



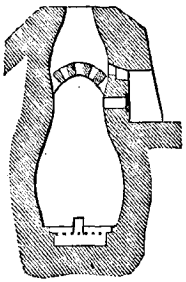
1876.

La température est très inégalement répartie dans les fours dont nous venons de parler. M. Petot, qui a publié un ouvrage intéressant sur la chaufournerie, propose d'adopter des fours à plusieurs compartiments, comme celui de la figure 1877; les différentes courbures adoptées sont le résultat de considérations théoriques vérifiées par l'expérience. Le foyer principal est placé à la partie inférieure de la première capacité: un second foyer se trouve ménagé au bas de la capacité supérieure. Cette disposition produit une économie de combustible d'un cinquième environ. Cette forme particulière produit surtout d'excellents résultats, quand on peut utiliser pour la cuisson de la brique le compartiment supérieur. Les deux compartiments se raccordent alors (fig. 1878) par une surface continue, et ne sont séparés que par une légère voûte à claire-voie.



1877.

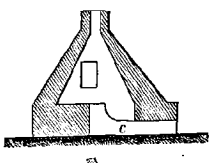
M. Vicat, dont on retrouve le nom dans toutes les questions relatives aux mortiers, a proposé pour la cuisson de la chaux des fours à compartiments (fig. 1879 et 1880). On allumait le feu dans le compartiment *a*, je suppose; puis on allumait le compartiment *b*, et on laissait éteindre le premier; enfin, on mettait le feu dans le troisième foyer, quand on jugeait à propos de ne plus entretenir le second. Il résultait de cette disposition que la chaux qui était exposée le plus à l'action du feu, n'y restait soumise que le tiers du temps, tandis que la chaux éloignée des foyers recevait la chaleur pendant tout le temps de l'opération. Cette forme de four n'est toutefois que rarement employée.

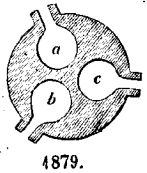


1878.

3° *Fours à feu continu.* Dans ce dernier genre d'appareil, on charge d'une manière continue la pierre à chaux et le combustible à la partie supérieure, et on retire de la chaux cuite à la partie inférieure. L'économie de combustible produite par cette méthode est assez considérable, puisque le four ne se refroidit jamais; et d'ailleurs, avec une bonne disposition du four, la chaux sort presque froide; de sorte qu'elle restitue à la pierre à calciner toute la chaleur qu'elle avait empruntée. Les fours de dimensions ordinaires fournissent facilement 18 à 22 mètres cubes de chaux par jour. Avec quelques-uns de ces appareils, on peut par conséquent fournir à la consommation du chantier le plus considérable. Quelques inconvénients se trouvent cependant à côté des nombreux avantages que nous venons de signaler. Les fours à feu continu fournissent presque toujours un assez grand nombre de biscuits, et la cendre du combustible, en restant mêlée à la chaux, altère les qualités de quelques fragments. Ces inconvénients seraient facilement évités par l'emploi de fours à flammes renversées. Les essais, dans ce sens, n'ont pas été malheureusement assez multipliés.

1880.



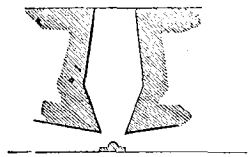


1879.

Les formes des fours à feu continu sont excessivement variées; il serait inutile de les faire connaître toutes. Nous donnerons seulement le profil d'un four à

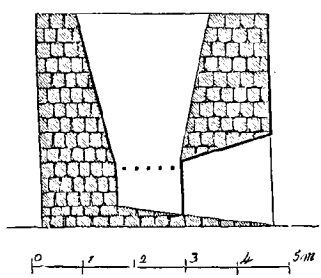
EFERUS - Recherche & Classification numérique

la houille à feu continu (fig. 1881) fortement recommandé par M. Vicat, et le dessin, en coupe et en élévation (fig. 1882 et 1883), d'un four dont nous avons pu apprécier les bons résultats. La chaux repose sur une grille formée de quelques barres de fer; on la fait tomber en retirant une des barres, quand cela est nécessaire. Les grilles employées dans les fours à chaux facilitent l'introduction de l'air si nécessaire à la calcination : elles sont d'une véritable utilité. La consommation de houille varie avec la nature du calcaire et la disposition de l'appareil dans des limites fort étendues, depuis deux jusqu'à cinq hectolitres par mètre cube de chaux



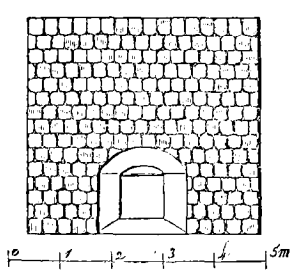
1881

Quelle que soit la méthode employée pour cuire la chaux, on a remarqué que l'introduction de la vapeur



1882.

d'eau et le passage d'une masse d'air considérable dans le four facilitent le dégagement de l'acide carbonique. Les pierres tendres et poreuses se cuisent plus facilement que les pierres compactes. Le calcaire récemment extrait et encore humide se décompose plus vite que



1883.

celui qui est depuis longtemps exposé à l'air. Quand on n'a que des pierres extraites depuis longtemps, il faut les arroser d'eau avant de les charger dans le four. Les chaufourniers ont fait, depuis longtemps, une remarque qui, pour n'être pas encore bien expliquée, n'est pas moins réelle. La voici : quand la température d'un four à chaux vient à diminuer notablement avant que la cuisson ne soit complète, il est presque impossible ensuite, quelle que soit la température employée, de chasser le reste de l'acide carbonique pour terminer l'opération.

Quand on se trouve obligé d'arrêter momentanément la marche d'un four à feu continu, il faut donc boucher soigneusement toutes les ouvertures, étouffer le feu, comme disent les ouvriers, et s'opposer, par tous les moyens possibles, à la diminution de la température de la masse.

La température à laquelle on cuit la chaux grasse est peu importante; un excès de température n'altère pas ses propriétés. Il n'en est pas de même des chaux hydrauliques : il faut une grande habileté pour arriver à une cuisson parfaite. On doit, en effet, chasser tout l'acide carbonique, mais arrêter à temps la chaleur; car une température trop élevée fait éprouver un commencement de fusion aux éléments des chaux hydrauliques, et détruit complétement toutes leurs propriétés utiles.

Fabrication de la chaux hydraulique artificielle. D'après ce que nous avons dit sur la composition de la chaux hydraulique, on comprend qu'il suffit de combiner de l'argile à de la chaux grasse pour la transformer en chaux hydraulique. La chaux hydraulique artificielle peut se préparer par deux méthodes différentes. On distingue, en effet, la chaux hydraulique de *première cuisson* et la chaux hydraulique de *seconde cuisson*. La première est un peu plus économique; la seconde paraît un peu meilleure. Quand on peut disposer de calcaires très tendres, de craie par exemple, on les réduit en bouillie, et on les mélange parfaitement à une quantité convenable d'argile au moyen de l'eau et de l'action des meules verticales; on laisse un peu sécher le mélange; et quand il a acquis la consistance convenable, on le moule en briquettes que l'on fait cuire par les moyens ordinaires. Ce procédé est suivi dans la fabrique de M. de Saint-Léger établie près de Paris. La craie de Meudon est mélangée avec 14,3 pour 100 environ d'argile de Vanvres. On délaie les matières dans l'eau, et on les soumet à l'action des meules verticales tournant dans une auge circulaire. La bouillie claire, résultant de cette opération, est transportée dans des bassins en maçonnerie; les terres se déposent, et l'eau en excès s'écoule. Quand la pâte est convenablement durcie, on la moule en briquettes que l'on cuit avec précaution.

La chaux de M. de Saint-Léger, ainsi préparée, renferme :

Chaux			74,6
Argile	silice	15,86	23,8
	alumine	7,93	
Oxyde de fer			1,6
			100,0

Elle se dissout complétement dans les acides, et foisonne de 0,65 de son volume : elle se vend à Paris 60 francs le mètre cube. C'est beaucoup moins cher que les chaux hydrauliques naturelles que l'on peut avoir à Paris; mais c'est encore un prix élevé. On a fabriqué, pour les travaux de la navigation de l'Oise, des chaux hydrauliques artificielles qui ne revenaient qu'à 20 francs le mètre cube.

Nous devons appeler l'attention des constructeurs sur une fabrication peu connue jusqu'à présent, mais qui a toujours donné d'excellents résultats à ceux qui l'ont employée. Les marnes sont, comme on sait, des mélanges d'argile et de calcaire en proportions très différentes. Il suffit d'ajouter tantôt de l'argile, mais plus souvent de la chaux, pour obtenir un mélange contenant 20 parties d'argile pour 140 de calcaire. Les marnes se délaient facilement dans l'eau; de sorte que le mélange intime des corps employés s'obtient presque sans frais. Quand la pâte est devenue assez ferme par la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dessiccation, on l'étend en couche de 0m,08 à 0m,10 d'épaisseur sur une aire bien battue, et on la découpe en morceaux de formes plus ou moins régulières au moyen d'une bêche dont le tranchant présente deux lignes droites formant un angle presque droit. On laisse un peu durcir ces espèces de briquettes, et on les soumet à la cuisson.

Voici, du reste, comment on peut établir en moyenne le prix de revient de la fabrication d'un mètre cube de chaux hydraulique artificielle à simple cuisson.

Indemnité de terrain, suivant les localités.	pour mémoire.
Extraction et approche des matières premières, comme craie, marne et argile, puis des fours, suivant les distances.	pour mémoire.
Trituration, mélange et façon des briquettes.	4,00
Charbon pour la cuisson, 2 à 2,5 hectolitres, suivant le pays. . . .	pour mémoire.
Charge, soin du four et emmagasinement.	2,50
Frais d'établissement par mètre cube.	2,00
Prix du mètre cube.	

La chaux hydraulique artificielle à double cuisson s'obtient en mélangeant l'argile à la chaux grasse cuite et éteinte. La manipulation est d'ailleurs la même que la précédente.

Le prix de revient peut en moyenne être établi de la manière suivante :

Un mètre cube de chaux grasse éteinte, suivant les pays.	pour mémoire.
Fourniture de 0,20 à 0,25 d'argile, suivant les distances de transport et les difficultés d'extraction.	pour mémoire.
Mélange de la chaux et de l'argile, trituration et façon des briquettes. .	3,00
Charbon pour la cuisson des briquettes, 1,5 hect. à 2,00 hect., suivant les pays.	pour mémoire.
Charge, soin du four et emmagasinement.	2,50
Frais d'établissement et de roulement par mètre cube.	2,25

Les bénéfices sont compris dans les deux sous-détails que nous venons de donner et évalués à environ 12 p. 100. On suppose, en outre, que le prix de la journée de manœuvre est de 2f,25, et qu'un chaufournier est payé 4f,00.

Voici, du reste, d'après M. Vicat, le prix de revient de la chaux hydraulique artificielle employée au pont de Souillac. C'était le premier essai en grand et on se trouvait dans des circonstances assez difficiles.

Fournitures.

34m c,55 de chaux grasse vive, laquelle sera rendue par la fournée (mémoire).	00,00	
5m c,76 d'argile cubée en poussière à 6f le mètre cube. . . .	34,56	
43m c,18 de pierre calcaire à chaux grasse pour rendre la chaux empruntée et former la base du chargement à 3f l'un.	129,54	
150m c de bois à brûler à 4f,20 l'un.	630,00	
	794,10	
Total des fournitures.		794,10
A reporter.		794,10

Report.		794,10
Main-d'œuvre.		
Extinction par immersion de 34m c,55 de chaux grasse 56 journées à 1f,50 l'une.	84,00	
Mélange de cette chaux avec l'argile, 140 journées à 1f,50. . .	210,00	
Division de la pâte et étalage au soleil, 65 journées à 1f,50. . .	97,50	
Enlèvement, transport et emmétrage de 50m c de briquettes, 16 journées à 1f,50.	24,00	
Le chargement dans le four de 50m c de pierre à chaux factice et de 43m c,18 de pierre à chaux grasse ont employé :		
7 journées de maître-chaufournier, à 3f.	21,00	
36,4 journées d'aides, à 2f. . .	72,80	
La cuisson et l'entretien du feu pendant 6 jours ont employé :		
12 journées de maître-chaufournier, à 3f.	36,00	
24 journées d'aides, à 2f. . .	48,00	
Total de la main-d'œuvre.	593,30	
		593,30
Total de la dépense.		1387,40
1/5 pour faux-frais et bénéfices. . . .		277,50
Valeur de 50m c de chaux factice, réduite à 40 par le retrait de la matière.		1664,90

Soit 41f,62 le mètre cube. Mais nous répétons que ce prix est beaucoup trop élevé, puisque le mélange se faisait à la main, la cuisson dans des fours intermittents, etc.

§ 2. CIMENTS. Nous décrirons sous ce nom différentes variétés de chaux éminemment hydrauliques qui jouissent de la propriété remarquable de se solidifier en quelques heures, soit au contact de l'air, soit sous l'eau.

MM. Wyatts et Parker obtinrent à Londres, en 1796, une patente pour la fabrication d'une nouvelle espèce de chaux qu'ils désignèrent improprement sous le nom de *ciment romain*. On fabrique en Angleterre une très grande quantité de ce ciment, et on a publié à Londres un ouvrage volumineux sur son emploi et sur les usages auxquels on peut l'appliquer. Le ciment romain fait prise en 15 ou 20 minutes. Il acquiert en peu de temps une grande dureté, surtout lorsqu'il est dans l'eau, n'éprouve aucun retrait, et ne présente ni fentes ni gerçures. Les façades de presque toutes les maisons de Londres sont enduites d'une couche de ciment mélangé d'environ 60 p. 100 de sable quarzeux fin. On emploie ce ciment en grande quantité à la digue de Cherbourg (Manche). (Voy. MORTIER, *Complément.*)

La pierre à ciment d'Angleterre renferme :

Carbonate de chaux.	65,7
Carbonate de magnésie. . . .	0,5
Carbonate de fer.	6.0
Carbonate de manganèse. . .	1,6
Silice.	18,0
Alumine.	6,6
Eau.	1,6
	100,0

C'est un calcaire à grain fin, très dur, d'un gris bleu; sa densité est très considérable : elle est 2,59. Ces calcaires sont cuits dans des fours à houille à feu continu. On doit conduire le feu avec beaucoup de soin, car ce calcaire éprouve facilement un commencement de fusion qui le rend impropre à toute espèce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'usage. Après la cuisson, on le réduit en poudre au moyen de meules verticales et on l'expédie dans des tonneaux bien fermés.

Il existe près de Boulogne des falaises composées de bancs d'argile mêlée de galets tout à fait semblables au calcaire à ciment d'Angleterre. On a fabriqué avec ces galets du *plâtre-ciment* qui ne différait en rien de celui de Parker. Il renfermait :

Chaux.	56
Argile.	31
Oxyde de fer.	13
	100

M. Lacordaire a découvert à Pouilly des amas considérables d'un calcaire qui fournit un ciment supérieur à certains égards au ciment anglais. La couleur foncée de ces différents ciments rendait leur emploi impossible pour le ragréement des maçonneries en pierres blanches. On commence à trouver en grande quantité dans le commerce un ciment de Vassy, qui est d'une couleur presque blanche et qui jouit des mêmes propriétés que les ciments dont nous venons de parler. On l'emploie avec avantage pour restaurer les pierres épaufrées, etc.

Les ciments calcaires sont d'un emploi continuel dans les travaux hydrauliques de toute nature. Ils sont surtout précieux dans les travaux à la mer ; s'il s'agit, par exemple, de mettre à l'abri des vagues une partie de maçonnerie construite à la hâte pendant la basse mer, on applique une couche de ciment qui empêche le délayage des mortiers frais et leur donne le temps de faire prise. Dans une grande fouille, une source inonde les travaux, les épuisements ne peuvent la surmonter ; avec le ciment on peut presque toujours la vaincre. On la réunit en un point ; on élève rapidement autour de sa sortie une petite tour en briques cimentées, dans laquelle l'eau s'élève bientôt assez pour faire équilibre à la force jaillissante de la source. On jette alors au fond de cette espèce de puits quelques blocs de ciment qui ferment l'ouverture. Après quelques heures, on peut démolir l'ouvrage en briques, la source est emprisonnée pour toujours.

L'application des ciments est assez délicate et exerce la plus grande influence sur les résultats qu'ils présentent. On doit les gâcher en consistance convenable et en petites quantités à la fois, et les appliquer en les pressant fortement et appliquant toujours une couche sur une autre encore fraîche sans jamais interrompre le travail. Quand on opère sur des matériaux secs, il faut, avant d'appliquer le ciment, les nettoyer soigneusement, et les mouiller d'une manière complète en les arrosant avec le jet d'une pompe à incendie ou à arrosage.

Nous avons vu que l'on peut fabriquer de la chaux hydraulique artificielle en mélangeant les éléments que l'analyse nous fait découvrir dans les chaux hydrauliques naturelles. Peut-on de même former des ciments en cuisant des calcaires avec 30 ou 35 p. 100 d'argile ? Jusqu'à présent les mélanges ainsi composés ont fourni des composés très hydrauliques, mais, il faut le dire, différents des ciments naturels et incapables de les remplacer. La composition n'influe pas seule sur la promptitude de la prise et la dureté du composé ; l'état d'agrégation du calcaire doit jouer un rôle important, et il est impossible, par les procédés habituellement suivis, de donner aux mélanges la dureté, et surtout la densité considérable que présentent les calcaires qui fournissent maintenant les ciments. Cependant la préparation artificielle des ciments est probablement un problème que l'industrie finira par résoudre. Quelques essais en petit me portent même à croire que la solution est assez facile. Du reste, les calcaires de toute espèce sont si abondants dans la nature qu'il y a lieu d'espérer que des recherches entreprises pour trouver des pierres à ciment seront dans beaucoup de localités couronnées d'un plein succès. Dans les terrains des marnes irisées du département de Saône-et-Loire, on a trouvé des calcaires qui donnaient d'excellents ciments. Malheureusement il y avait des échantillons riches en magnésie que l'on ne pouvait pas distinguer pour les séparer, et les portions de ciment qui les renfermaient ont présenté de fâcheux résultats qui ont fait rejeter ce produit par les constructeurs.

§ 3. SABLE. Les sables sont les substances que l'on mélange le plus habituellement à la chaux pour former les mortiers. Nous examinerons plus loin quel est le rôle du sable dans les mortiers, nous ne voulons indiquer maintenant que les qualités qu'il doit présenter.

Les sables proviennent de la désagrégation des roches granitiques, basaltiques, quarzeuses, etc. Ils renferment les mêmes éléments que les roches qui leur ont donné naissance. On distingue les sables des poussières en ce qu'ils se précipitent sur-le-champ quand on les agite dans une eau limpide, et cela sans en altérer sensiblement la transparence.

Les roches en se désagrégeant produisent souvent des poussières qui restent mélangées avec les sables formés en même temps et les rendent *gras*, c'est-à-dire susceptibles d'acquérir une certaine consistance lorsqu'on les détrempe avec de l'eau.

La pureté des sables entraînés par les rivières est souvent altérée par le mélange de substances terreuses qui les rendent limoneux. On doit éviter dans la fabrication des mortiers les sables ainsi mélangés.

Le sable entraîné par les rivières n'est pas le seul employé dans les constructions. On rencontre souvent de grandes masses de sable là où ne coulent plus aujourd'hui ni ruisseaux ni rivières. Ce sont les sables *fossiles*. Ils offrent en général des grains plus anguleux que le sable de mer ou de rivière. Il faut bien les distinguer des sables *vierges* produits par des causes encore agissant aujourd'hui, et qui se trouvent, par exemple, au pied de certaines montagnes granitiques.

On trouve très peu de sables calcaires ; les roches de cette nature sont trop tendres pour se réduire en sable, elles ne fournissent que des poussières. Aussi la Marne, qui prend sa source et qui coule presque toujours dans des terrains calcaires, ne roule-t-elle qu'un limon vaseux.

Les auteurs engagent en général à éviter l'emploi du sable de mer. Ce conseil ne doit pas être pris à la lettre. On doit certainement éviter l'emploi des sables imprégnés de sels déliquescents ; mais toutes les fois que l'on trouve sur les bords de la mer des graviers, ou même des sables fins souvent lavés ou que l'on peut laisser exposés à l'air et à la pluie pendant quelque temps, leur usage ne peut présenter aucun inconvénient, et nous les avons vu souvent employer avec succès pour des travaux importants. Nous avons vu démolir, en Bretagne, une vieille jetée dont la construction remontait à une époque fort reculée ; le mortier était encore excellent, et nous avons pu reconnaître que le sable qui le formait avait été pris sur la grève : car il ressemblait parfaitement à celui que l'on y trouve encore aujourd'hui. D'ailleurs il eût été impossible de le prendre à une autre source ; car les environs étaient tout-à-fait dépourvus de gravières.

Les sables quarzeux purs ne sont pas attaqués par les acides. La chaux est aussi sans action chimique sur les sables purs. M. Berthault a démontré que l'on peut retirer d'un mortier tout le sable qu'il renferme et qu'il n'a ni perdu de son poids ni subi aucune altération par son long contact avec la chaux. Le sable ne donne pas à la chaux la propriété de prendre sous l'eau ; c'est sous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce rapport une matière inerte. On ne doit pas conclure de là que le sable est sans utilité dans les mortiers; outre l'économie qu'il procure dans la fabrication, il joue un rôle important dans leur solidification et dans le degré de résistance qu'ils présentent, comme nous le verrons plus loin (chap. II). Mais il ne modifie pas les propriétés dues aux actions chimiques.

§ 4. POUZZOLANES. Nous nous occuperons dans ce paragraphe, non seulement de la pouzzolane proprement dite, mais encore des *arènes*, des *psammites* et en général de toutes les substances dont la combinaison *à froid* avec la chaux grasse produit des mortiers hydrauliques. Le mode d'action de tous ces corps étant analogue, nous avons cru devoir les réunir.

Nous avons déjà dit que la *calcination* de la chaux grasse et de l'argile produit un composé susceptible de durcir sous l'eau, nous allons maintenant faire connaître les méthodes qui permettent de produire à froid, par la voie humide, le même composé, ou du moins un composé jouissant des mêmes propriétés. Le sujet que nous allons traiter présente une grande confusion : beaucoup de faits encore douteux. Nous nous efforcerons d'être clairs sans oser l'espérer.

1° *Pouzzolanes naturelles*. La pouzzolane proprement dite est une matière volcanique, pulvérulente, d'un rouge violet, exploitée pour la première fois par les Romains, près de Pouzzoles, en Italie, où elle existe en quantité considérable. On a cru pendant longtemps que la pouzzolane n'existait que dans la localité que nous venons d'indiquer; aussi la faisait-on venir à grand frais toutes les fois que l'on avait besoin d'un mortier hydraulique. Les environs de Rome en fournissent également, et le naturaliste Faujas de Saint-Fond a démontré qu'il en existe en France, ce que beaucoup d'autres personnes ont, du reste, reconnu depuis lui. On rencontre ces composés dans les terrains volcaniques brûlants et les terrains volcaniques à cratères. Souvent il en existe des couches plus ou moins puissantes, soit au pied des coulées de lave, soit entre les couches de deux coulées successives. Certaines laves poreuses peuvent elles-mêmes servir comme pouzzolanes après avoir été réduites en poussière.

Les pouzzolanes sont caverneuses, scoriacées et portent l'empreinte d'un feu plus ou moins violent. Leur couleur varie du noir au brun; elles passent au jaune et même au rouge suivant les quantités d'oxyde de fer qu'elles renferment. Toutes ces substances sont composées de silice et d'alumine combinées avec un peu de chaux, et quelquefois de potasse, de soude, de magnésie et de fer. Elles renferment en outre du peroxyde de fer simplement mélangé.

On doit toujours réduire les pouzzolanes en poudre avant de les employer. Leur action est d'autant plus énergique, toutes choses égales d'ailleurs, que leur pulvérisation est plus parfaite. Cette opération s'exécute assez facilement au moyen de meules verticales tournant dans une auge circulaire. On a proposé l'emploi de cylindres cannelés tournant les uns contre les autres, ou bien une espèce de grand moulin à café formé d'une noix conique en fonte tournant dans un vase du même métal. Ces appareils, assez satisfaisants en théorie, donnent de mauvais résultats pratiques, parce qu'il arrive toujours, malgré les soins apportés à écarter l'humidité et les autres accidents, que les cannelures se remplissent de la matière, de sorte qu'après quelque temps on n'a plus qu'un laminoir qui ne *moud* plus du tout la pouzzolane. Autrefois, on expédiait d'Italie la pouzzolane en fragments; on commence aujourd'hui à la pulvériser dans le pays, d'après les conseils de M. Poirel, ingénieur des travaux du port d'Alger; qui se trouva forcé d'en consommer une grande quantité au commencement de son service. La pulvérisation effectuée en Italie, dans des ateliers spéciaux, doit certainement coûter moins cher que partout ailleurs; cependant, nous conseillerons toujours aux personnes qui auront à employer de la pouzzolane d'Italie de la demander en fragments. Car une fois réduite en poudre, il est facile de la falsifier, et la fraude serait alors assez difficile à reconnaître.

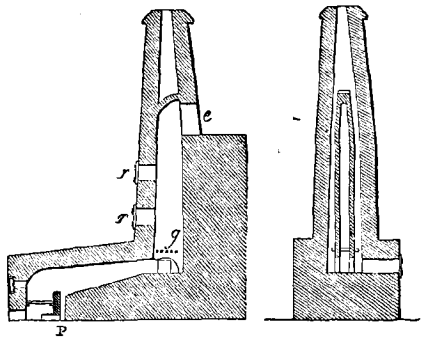
2° *Pouzzolanes artificielles*. On donne ce nom, par analogie, à toutes les substances qui peuvent, par une préparation convenable, former avec de la chaux grasse un mortier susceptible de durcir sous l'eau. — Les composés rangés dans cette catégorie sont assez nombreux. Nous les examinerons successivement.

Les argiles, composées, comme on sait, de silice et d'alumine et plus ou moins mélangées de carbonate de chaux et d'oxyde de fer se transforment en excellentes pouzzolanes par l'action d'une calcination convenable. — La cuisson de l'argile peut s'exécuter de différentes manières. Le premier moyen qui se présente consiste à la réduire en poudre et à la faire rougir sur des plaques en fer exposées à l'action du feu. On remue sans cesse la matière pour que toutes les parties atteignent la même température. L'expérience indique bientôt le temps nécessaire et la température la plus convenable. Ce procédé n'a pas encore été employé dans les arts : ce serait le meilleur si on pouvait le rendre économique. On arriverait probablement à ce résultat par l'emploi d'un cylindre en fonte chauffé extérieurement et animé d'un mouvement de rotation sur son axe. L'argile introduite à l'une des extrémités du cylindre sortirait à l'autre extrémité calcinée aussi uniformément que possible. — Cette disposition a déjà été employée par un fabricant de Saône-et-Loire; mais il n'a pas donné suite à ses expériences à ce sujet.

Il est bien constaté que le contact de l'air pendant la cuisson des matières pouzzolaniques développe singulièrement leurs propriétés. La nature de cette action n'est pas parfaitement expliquée; mais il n'en est pas moins vrai que l'on doit tenir compte de ce fait. Il convient donc de rendre les argiles, avant leur cuisson, le plus poreuses possible. On peut obtenir ce résultat en les mélangeant avec du sable quarzeux; mais ce moyen présente l'inconvénient d'altérer la pureté des pouzzolanes obtenues. Il vaut mieux mêler l'argile avec des matières combustibles, de la sciure de bois, de la paille hachée ou de la balle de blé. Le plus souvent on ne prend aucune de ces précautions : on se contente de diviser l'argile en fragments gros comme des œufs et à la soumettre, dans cet état, à une température convenable. La méthode généralement employée pour la cuisson des argiles à pouzzolanes consiste à les placer à la partie supérieure des fours à chaux. La violence des courants d'air qui existent dans ces appareils favorise beaucoup la transformation de l'argile en pouzzolane. Dans une fabrication régulière de quelque importance, l'emploi de fours à réverbère produit d'excellents résultats. M. Petot a fait construire à Brest pour la cuisson des pouzzolanes un four à réverbère d'une forme particulière dont les fig. 1884 et 1885 feront comprendre la disposition. La cheminée est partagée dans une partie de sa longueur en trois compartiments. On introduit la matière à calciner par l'ouverture *e* dans le compartiment du milieu : elle s'échauffe en descendant et arrive bientôt sur la tôle ou s'étend en couches minces au moyen de ringards. Quand la torréfaction est terminée, on amène la pouzzolane dans le puisard P situé derrière l'autel et on la retire quand son refroidissement est complet. — Les ouvertures *r*, *r* servent à agiter et à faire tomber les substances si elles venaient à s'agglutiner et à s'arrêter dans la cheminée. La grille *g* empêche qu'une trop grande masse de pouzzolane tombe à la fois sur la sole. Dans quelques fours plus perfectionnés il y a jusqu'à trois soles superposées que la pouzzolane parcourt successivement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce que nous avons dit de la pulvérisation des pouzzolanes naturelles s'applique à celles qui nous occupent



1884. 1885.

maintenant et à toutes les variétés que nous avons encore à décrire.

La durée et l'intensité de la torréfaction exerce sur ces produits une énorme influence. Il importe de l'étudier avec soin. Voici le résultat de quelques expériences exécutées sur une argile ocreuse.

Durée de la torréfaction.	Perte de poids.	Ordre dans lequel a eu lieu la vitesse de prise des mortiers	Dureté après 2 mois.
minutes.	grammes.		
5	11.00	4	900
7	11.00	3	1000
10	9.50	3	1000
15	9.65	2	1100
20	14.60	1	1500
25	11.80	1	1500
30	12.20	2	1200
40	12.50	4	600
60	11.00	5	500
120	11.00	6	200

On voit par ce tableau que l'intensité de la pouzzolane augmente d'abord pour décroître ensuite. Le point le plus convenable répond à peu près à la température de cuisson de la chaux ou de la bonne brique.

Les arènes sont des sables, formés sur place par la décomposition des roches anciennes, qui forment avec la chaux grasse des mortiers hydrauliques. La couleur de ces sables varie du rouge brun au jaunâtre. Ils sont très abondants à la limite des terrains anciens et des terrains secondaires; ils occupent ordinairement le sommet des collines arrondies et peu élevées : on les rencontre fréquemment dans le Périgord et la Champagne.

M. Girard de Caudenberg, ingénieur qui s'est livré à une étude alternative des arènes, a reconnu qu'elles doivent leurs propriétés à l'argile qu'elles contiennent en plus ou moins grande quantité. Une légère calcination augmente l'énergie de leurs propriétés.

On confond sous le nom de *psammites* des espèces très nombreuses d'assemblages de grains de quartz, de mica, de feldspath et de schiste agglutinés par des ciments variables. Nous n'avons à considérer, au point de vue qui nous occupe, que les psammites schistoïdes, jaunes, rouges, ou bruns, à grains fins, onctueux au toucher et faisant pâte argileuse avec l'eau. Ils proviennent de la décomposition des roches schisteuses primitives. On les trouve en veines dans les schistes du département du Finistère. M. l'ingénieur Avril, qui les a employées pour le canal de Nantes à Brest, mêlait une partie de chaux grasse en pâte et trois parties de psammite calciné et pulvérisé. Le mortier faisait prise après 17 jours d'immersion.

Certains *grès* friables renferment une gangue argileuse qui leur donne la propriété de rendre hydraulique le mortier de chaux grasse. M. Minard les a observés pour la première fois auprès de La Fère, à l'époque de la construction du canal de Saint-Quentin. Ces grès existent en bancs plus ou moins épais, reposant sur la craie. Leur dureté est variable, ils jouissent de propriétés pouzzolaniques d'autant plus énergiques qu'ils sont plus compactes. Mais les frais de pulvérisation seraient considérables avec des roches dures; on se borne donc à l'emploi, encore suffisant, des parties assez friables pour être désagrégées pour un seul passage à la claie.

Les grès pouzzolaniques torréfiés en plein air sur une plaque de tôle deviennent plus énergiques. Calcinés au contraire en vases clos, ou même dans un four à chaux ordinaire, ils perdent en partie leurs propriétés. La meilleure proportion du mélange paraît être de trois parties de grès et d'une de chaux grasse en poudre. Les mortiers sont assez gras, vu la ténuité du grès; on doit les brasser avec soin et à deux reprises différentes à quelques heures d'intervalle.

On désigne, improprement dans les constructions, sous le nom de *ciment*, de la brique ou du tuileau pulvérisé que l'on mêle à la chaux. L'emploi de ces corps ne peut présenter aucune sécurité : on conçoit en effet que l'on met au rebut les pièces trop ou trop peu cuites, que d'ailleurs les briques sont mélangées de sable, et même souvent fabriquées avec des terres grasses, et non avec des argiles, de sorte qu'il est impossible de compter sur la régularité des effets obtenus.

Les *cendres de houille* ou *de tourbe* présentent quelquefois des propriétés pouzzolaniques assez développées; mais elles sont souvent tout à fait inertes. L'emploi de ces substances ne sera jamais d'une grande importance.

Les *laitiers* de haut-fourneau, les *crasses* de forges connues sous le nom de *mâchefer*, ne sont que des pouzzolanes peu énergiques. On ne doit les mêler qu'à des chaux déjà un peu hydrauliques par elles-mêmes.

On a quelquefois employé avec succès une combinaison particulière d'argile et de potasse, connue sous le nom de *ciment d'eau forte;* mais ce produit ne se rencontre plus dans le commerce, depuis que l'on fabrique l'acide nitrique en décomposant par l'acide sulfurique le nitrate de potasse.

Nous venons de passer en revue les différentes substances que l'on mélange ordinairement à la chaux pour former les mortiers hydrauliques; nous allons examiner en peu de mots les propriétés chimiques de ces différents corps.

Les pouzzolanes naturelles ou artificielles, et les substances que nous avons rangées par analogie dans la même division, peuvent être partagées, comme l'a fait M. Vicat, en trois classes principales. Les matières *très énergiques* mêlées avec la chaux grasse produisent un mortier qui fait prise du premier au troisième jour après l'immersion, et qui, après un an, est aussi dur que la bonne brique et donne avec la scie à ressort une poussière sèche. Les matières *énergiques*, dans les mêmes circonstances, donnent un mortier qui ne fait prise que du quatrième au huitième jour, qui ne présente après un an que la dureté de la pierre tendre, et qui donne avec la scie à ressort une poussière humide. Enfin, les matières *peu énergiques* produisent des mortiers qui ne font prise que du dixième au vingtième jour, qui n'atteignent jamais que la consistance du savon et qui empâtent la scie à ressort. Nous avons déjà vu d'ailleurs que les sables sont des matières inertes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cela posé, nous dirons d'abord que rien dans les caractères physiques ne peut faire juger d'une manière, même approximative, du degré d'énergie de ces différents corps. On doit seulement remarquer que les matières vitrifiées et très denses sont toujours médiocres. L'expérience directe peut seule donner des renseignements positifs. Les caractères chimiques sont eux-mêmes assez incertains ; cependant ils peuvent fournir des indications importantes.

L'argile des arènes séparée de son sable, et les psammites mis en contact pendant quelques jours avec l'acide hydrochlorique, abandonnent une partie de leur fer et de leur alumine.

L'acide hydrochlorique dissout la chaux et l'oxyde de fer qui se trouvent dans les argiles ordinaires, mais il n'attaque presque pas l'alumine qu'elles renferment.

L'action des acides sur les pouzzolanes naturelles et artificielles est très variée. Quelquefois il se dissout une grande quantité de fer et d'alumine ; dans d'autres circonstances la matière n'est nullement attaquée. Les éléments de ces divers composés se trouvent donc engagés dans des états de combinaison très différents : les uns sont simplement mélangés, les autres sont retenus par une affinité ou une cohésion énergique.

Les essais par les acides ne donnent donc que des indications assez vagues. Il n'en est pas de même de l'action de l'eau de chaux qui mérite un examen très attentif, et qui pourra peut être donner plus tard un moyen de mesurer exactement et en peu de temps la puissance pouzzolanique d'une substance donnée.

L'eau de chaux mise en contact avec une quantité suffisante d'arènes, de pouzzolanes, etc., réduites en poudre est rapidement décomposée ; la chaux se combine à la substance employée et se précipite avec elle. Cette action est d'autant plus énergique que la propriété pouzzolanique de la matière est plus développée. L'essai se réduit donc à projeter de petites quantités de pouzzolane dans un volume déterminé d'eau de chaux, jusqu'à ce que toute la chaux soit précipitée, ce que l'on reconnaît à ce que le liquide n'est plus troublé par l'addition d'une goutte de carbonate de soude. La puissance pouzzolanique est proportionnelle au volume d'eau de chaux décomposée, et la dureté du mortier fabriqué avec la substance soumise à l'essai paraît suivre la même loi. Voici une expérience de M. Vicat qui le démontre d'une manière assez exacte.

Pouzzolane employée.	Eau de chaux dépouillée.	Résistance du mortier
100 parties	700	640
100 p. d'un autre échantillon.	66	97

Voici du reste, d'après le même ingénieur, les quantités d'eau de chaux qui peuvent être décomposées par différentes matières pouzzolaniques :

		Eau de chaux dépouillée
Argiles crues.	100 parties d'argile des arènes.	1100
	100 p. de bonnes argiles à pouzzolane à l'état naturel. . .	400 à 500
Argiles cuites.	100 p. de bonne argile à pouzzolane calcinée au rouge à l'air.	260
	100 p. de bonne argile à pouzzolane calcinée en vases clos.	100
	100 p. d'argile donnant une pouzzolane médiocre. . .	60 à 80
	100 p. d'argile donnant une mauvaise pouzzolane. . .	25 à 38
	100 p. de pouzzolane d'Italie. .	147

On peut évaluer, en général, de la manière suivante le prix de revient du mètre cube de pouzzolane artificielle fabriquée par la cuisson d'une argile convenable.

Extraction, indemnité de terrain et transport aux fours (suivant les localités).	mémoire.
Arrosage, trituration, façon des briquettes, une journée de manœuvre.	1f,50
Charge, soin du four, décharge. . . .	1f,50
1 hectolitre de charbon de terre (suivant les pays).	mémoire.
Pulvérisation tamisage et emmagasinement.	4f,00
Frais d'établissement pour manége, fours, machine à pulvériser, estimés par mètre cube.	2f,00
Prix du mètre cube. . . .	

Le bénéfice d'environ 10 p. 100 est compris dans les prix ci-dessus.

CHAPITRE II.

DE LA FABRICATION ET DE L'EMPLOI DES MORTIERS ET DES BÉTONS.

§ I. *Extinction de la chaux.* Les procédés employés pour éteindre la chaux, c'est-à-dire la combiner avec une quantité convenable d'eau, sont au nombre de trois. Cette opération préliminaire de la fabrication des mortiers exerce une assez grande influence sur leurs qualités. Nous devons l'examiner avec quelques détails.

Procédé ordinaire. La méthode la plus généralement employée consiste à jeter la chaux dans une quantité d'eau suffisante pour la transformer en bouillie épaisse. La chaux s'échauffe, se fend avec bruit, se boursouffle et se réduit en pâte ou en bouillie. Ces phénomènes sont plus ou moins prononcés, suivant la qualité de la chaux employée.

On doit surveiller attentivement les ouvriers chargés d'éteindre de la chaux. Pour diminuer le travail ultérieur du mélange du mortier, ils sont toujours portés à mettre beaucoup trop d'eau. La chaux se réduit alors en bouillie claire, se trouve noyée, comme disent les maçons, et perd beaucoup de sa qualité. Cette recommandation est d'une haute importance. Il arrive quelquefois aussi que certains morceaux n'ont été atteints que par une petite quantité d'eau ; ils décrépitent à sec et atteignent une très haute température ; si on vient alors à projeter de l'eau dessus, ils se divisent fort mal et ne donnent plus alors que de la chaux grenue. On peut éviter cet inconvénient en les mouillant peu à peu avec précaution ; mais il vaut mieux donner dès le commencement toute l'eau nécessaire.

Les chaux grasses éteintes en bouillie fort épaisse donnent deux ou trois volumes pour un ; une partie en poids retient 2,91 parties d'eau. Les chaux maigres et les chaux hydrauliques, dans les mêmes circonstances, ne donneront qu'un volume et demi, ou un volume et un quart pour un.

La chaux obtenue par le procédé ordinaire que nous venons de décrire est dite coulée, fondue ou amortie. La chaux en pâte, renfermée dans une fosse humide, peut se conserver fort longtemps dans cet état ; on en a vu qui après 500 ans était encore onctueuse et propre à faire d'excellent mortier. La chaux hydraulique, au contraire, durcit en très peu de temps. Les ouvriers qui veulent encore l'employer dans cet état la détrempent en ajoutant de l'eau et la brassent fortement ; on ne peut ainsi fabriquer que du détestable mortier. La chaux durcie et remaniée avec de l'eau est amortie ; elle a perdu toutes les propriétés qui la rendaient précieuse.

Quand on n'a qu'une petite quantité de chaux à éteindre, on se contente de la placer sur une aire bien unie et de verser dessus l'eau nécessaire, après l'avoir entourée d'une petite bordure élevée avec le sable même qui doit servir à former le mortier. Dans les grands chantiers de construction, l'atelier d'extinction est disposé avec plus de soin On établit une fosse en maçonne-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rie ou en planches de 0m,50 à 0m,70 de profondeur et d'une étendue plus ou moins grande, mais cependant qui ne doit pas dépasser 12 ou 15 mètres carrés Il vaut mieux avoir plusieurs petites fosses qu'une seule trop grande, l'opération est plus facile à surveiller et à exécuter. La fosse d'extinction est placée un peu au-dessus d'une fosse plus vaste dans laquelle on fait tomber, par une petite vanne, la chaux réduite en pâte. On prend la chaux conservée dans ce dernier bassin, quand on en a besoin. La chaux hydraulique ne doit être éteinte que peu de temps avant d'être employée. Le choix de la position des bassins dont nous venons de parler n'est pas sans importance; l'eau doit y arriver facilement par un tuyau en plomb garni d'un robinet auquel il est convenable de pouvoir ajuster un tuyau flexible, terminé par une tête d'arrosoir pour verser l'eau successivement sur tous les points du bassin d'extinction. Il faut d'ailleurs que ce bassin soit, autant que possible, plus élevé que les tonneaux ou autres appareils pour la fabrication du mortier, afin que les matières, n'ayant qu'à descendre, n'exigent pas des frais considérables de bardage, soit à dos, soit en brouette.

Extinction par immersion. Le second procédé consiste à plonger la chaux vive dans l'eau pendant quelques secondes et à la retirer avant qu'elle n'ait fusé. Elle siffle, éclate avec bruit, répand des vapeurs brûlantes et tombe en poussière. On peut la conserver longtemps dans cet état, pourvu qu'elle soit à l'abri de l'humidité. Elle ne s'échauffe plus quand on la détrempe.

100 parties en poids de chaux grasse éteinte par ce procédé retiennent environ 18 parties d'eau, et 100 volumes fournissent 150 à 170 volumes de poussière éteinte et non tassée.

Les chaux hydrauliques éteintes par le même procédé retiennent 20 à 35 pour 100 d'eau, et leur volume augmente dans le rapport de 1 à 1,8 et même 2,18.

L'extinction de la chaux grasse par ce procédé exige certains soins Il faut réduire la chaux en très petits fragments et la renfermer avant qu'elle ne fuse, dans des futailles. Sans ces précautions, la chaux ne retient pas assez d'eau et se divise en petits fragments qui ne se réduisent plus en pâte, comme nous l'avons dit dans le premier procédé.

L'extinction par immersion s'exécute en grand avec assez de facilité. Ce procédé donne même le moyen de séparer les incuits d'une manière complète et rapide. La chaux à éteindre est placée par petites portions dans des paniers ou dans des seaux à fonds mobiles suspendus par une corde à la volée d'une grue. On les plonge un moment dans l'eau, puis on les enlève, et en faisant faire un demi-tour à la grue on amène la chaux au-dessus d'une chambre en maçonnerie où on la jette. Elle fuse bientôt et se réduit en poussière. On la fait alors tomber au moyen d'une trémie dans un cylindre incliné en tôle percée de trous et animé d'un mouvement rapide de rotation. La chaux pulvérulente passe à travers les trous de cette espèce de blutoir, et les incuits ou les biscuits qui n'ont pu s'éteindre sortent en fragments à l'extrémité inférieure du cylindre en tôle. La chambre où s'accumule la chaux éteinte et blutée doit communiquer au moyen d'une trémie avec le magasin situé au-dessous où l'on veut conserver cette substance. Pour l'expédition, on renferme la chaux hydraulique éteinte par ce procédé dans des sacs en toile bien fermés.

Extinction spontanée. Le troisième procédé consiste à abandonner la chaux au contact de l'air. Elle se réduit en poussière après un temps plus ou moins long en dégageant une petite quantité de chaleur. La chaux grasse absorbe ainsi les 2/5 de son poids d'eau, et le foisonnement est de 2 fois 1/2 le volume primitif. Les chaux hydrauliques ne retiennent que 1/8 de leur poids d'eau. Leur volume augmente dans le rapport de 1 à 1,75 ou 2. La chaux ainsi exposée à l'air absorbe aussi de l'acide carbonique. L'énergie de cette dernière action varie avec la nature de la chaux sur laquelle on opère, mais jamais la saturation ne devient complète. On conçoit fort bien, en effet, que le carbonate formé autour de chaque grain de chaux forme une espèce de vernis qui s'oppose à la combinaison de l'acide carbonique avec la chaux vive qui existe encore au centre du globule. De sorte que la chaux, exposée à l'air, n'est qu'une poussière dont chaque grain est composé intérieurement de chaux vive et extérieurement de carbonate de chaux régénéré.

La chaux, réduite en pâte d'égale consistance par les différents procédés que nous venons de décrire, ne renferme pas la même quantité d'eau dans un même volume. De nouvelles expériences seraient nécessaires pour faire connaître d'une manière complète l'influence du procédé d'extinction sur la qualité des mortiers. Le premier procédé est incontestablement le meilleur pour les chaux hydrauliques. M. Vicat pense que le troisième serait le plus convenable pour les chaux grasses. Le général Treussart, au contraire, regarde l'extinction spontanée comme très mauvaise dans tous les cas. Nous sommes portés à partager cette opinion, parce que la chaux ainsi éteinte, étant toujours partiellement carbonatée, doit présenter les fâcheux effets des chaux imparfaitement cuites.

§ 2. DOSAGE DES MORTIERS. Les proportions dans lesquelles il convient de mélanger la chaux et les différentes substances dont nous avons parlé dépendent à la fois de la nature de ces substances et de l'emploi que l'on doit faire des mortiers. On peut dire, d'une manière générale, qu'il faut rapprocher les chaux grasses des pouzzolanes les plus énergiques, et, au contraire, les chaux éminemment hydrauliques des sables quarzeux et des matières inertes, de manière que la puissance pouzzolanique de la substance ajoutée augmente quand la propriété hydraulique de la chaux diminue. Quant aux proportions à adopter, il vaut mieux pécher par absence que par excès de chaux quand elle est grasse, et, au contraire, par absence que par excès de matières étrangères quand la chaux est hydraulique. Développons ces préceptes généraux.

Lorsque les mortiers doivent être constamment sous l'eau ou exposés à l'humidité, ils doivent, pour acquérir une grande dureté, être composés de l'une des manières suivantes :

1° Chaux grasses et pouzzolanes naturelles ou artificielles très énergiques.

2° Chaux moyennement hydrauliques et pouzzolanes énergiques, ou bien arènes de bonne qualité, ou enfin pouzzolane très énergique mêlée de moitié de sable.

3° Chaux hydrauliques et pouzzolanes peu énergiques, ou arènes, ou psamnites médiocres, ou enfin pouzzolane très énergique mêlée de sable.

4° Chaux éminemment hydraulique et sable ou matières inertes.

Les mortiers exposés à l'air ne peuvent devenir très durs qu'autant qu'ils sont composés de chaux éminemment hydraulique et du sable, ou bien de chaux hydrauliques et de sable, ou autres substances inertes. Les chaux grasses ne peuvent jamais donner d'excellents résultats.

Les mortiers destinés à l'immersion renferment, en général, un volume de pouzzolane et 0,3 à 0,50 de pâte ferme de chaux grasse, ou bien 0,40 à 0,60 de pâte de chaux moyennement hydraulique, ou bien enfin un volume de sable, et 0,50 à 60 de chaux éminemment hydraulique.

La résistance des mortiers qui doivent rester exposés à l'air va en croissant quand la proportion de sable augmente depuis 50 jusqu'à 240 parties de sable pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

100 parties de chaux grasse éteinte par le procédé ordinaire. Quand la chaux grasse a été éteinte par immersion ou spontanément, la résistance du mortier augmente quand la proportion de sable varie de 50 à 220 parties de sable pour 100 de chaux, et décroît ensuite quand la dose de sable dépasse ce dernier chiffre.

La résistance des mortiers qui contiennent de la chaux moyennement hydraulique, éteinte par le procédé ordinaire, va en croissant quand la proportion de sable passe de 0 à 180 parties pour 100 de chaux.

Les proportions que nous venons d'indiquer n'ont rien d'absolu. Elles varient, nous le répétons, avec les qualités des matériaux. D'ailleurs la résistance *absolue* d'un mortier ne doit pas préoccuper exclusivement l'ingénieur; la rapidité de la prise, les difficultés de fabrication et surtout le prix de revient sont presque toujours pour lui d'une plus haute importance. Quand on est chargé d'un grand travail, il ne s'agit pas d'obtenir les mortiers les *plus résistants* possible, mais des mortiers *suffisamment résistants au plus bas prix possible*.

Les différentes substances qui composent les mortiers sont en grains, en poussière ou en pâte; quand on les mélange, elles forment une masse plus ou moins compacte dont le volume est moindre que la somme des volumes mélangés; il y a une contraction qui varie des 5/7 aux 4/5 du volume total des composants.

§ 3. Fabrication du mortier. Nous avons fait connaître les différentes matières qui entrent dans la composition des mortiers. Nous avons ensuite indiqué les proportions dans lesquelles il convient de les mélanger pour obtenir les résultats les plus avantageux; il ne nous reste plus qu'à décrire les procédés employés pour effectuer le mélange et la trituration de ces substances d'une manière à la fois complète et économique. Cette opération peut se faire à bras ou au moyen de machines.

Quand on ne doit fabriquer qu'une petite quantité de mortier, les frais d'établissement de machines ne seraient pas couverts, et alors on opère le mélange de la chaux avec le sable ou les pouzzolanes au moyen de rabots manœuvrés par des hommes. L'ouvrier pousse son rabot en avant en appuyant sur la partie plate de l'instrument et le ramène à lui en appuyant sur le tranchant. Ce double mouvement écrase et mélange la matière en la ramenant sans cesse vers l'ouvrier.

Le prix de revient de la fabrication, par ce procédé, de $1^{m.c.}$ de mortier, non compris l'apport et le dosage, peut s'établir de la manière suivante : un chef d'atelier payé, je suppose, 3 fr. par jour, surveille facilement deux ateliers de 5 gâcheurs chacun et les hommes qui apportent et qui mesurent la matière. Le rabot coûte environ 5 fr. et peut servir à confectionner dans l'année environ $250^{m.c.}$ de mortier; il exige environ 5 fr., dans le même temps, pour réparations, entretien et amortissement de sa valeur; de sorte que, si le prix de la journée de manœuvre est de 1 fr. 50 c., comme nous l'avons déjà supposé, le sous-détail de la fabrication de $1^{m.c.}$ de mortier sera :

1 journée de manœuvre à 1 fr. 50 c..	1 fr. 50 c.
$\frac{1}{100}$ — de surveillant à 3 fr. . . .	» 30
Frais d'outils.	» 02
Prix de la fabrication du mètre cube.	1 fr. 82 c.

Dans les grands travaux, on emploie presque toujours des moyens d'exécution plus puissants. On fabrique le mortier à l'aide de machines de formes très variées. Nous allons décrire successivement ces appareils.

Dans quelques circonstances exceptionnelles, près des bagnes par exemple, les ingénieurs disposent d'un très grand nombre d'ouvriers. On peut les employer à fabriquer le mortier au moyen d'un appareil qui semble avoir donné de bons résultats à quelques officiers du génie militaire. C'est un tonneau mobile autour d'un axe horizontal. Des planches fixées à la circonférence de ce tonneau et dirigées suivant des plans passant par l'axe, forment des espèces de marches sur lesquelles les hommes montent continuellement en faisant tourner le tonneau par leur propre poids. Les substances sont introduites par une des extrémités du tonneau, au moyen d'une trémie, et le mortier sort à l'autre extrémité. Le tonneau est garni intérieurement d'une série de chevilles sur lesquelles le mortier tombe continuellement et se trouve ainsi parfaitement mélangé. Six hommes et un surveillant peuvent faire marcher la machine et produisent environ $15^{m.c.}$ de mortier par jour. La machine coûte environ 800 fr. Elle peut exiger 200 fr. de réparations annuelles et durer 10 ans, les débris seraient revendus 200 fr., l'intérêt de son capital est de 40 fr.; les frais d'outils annuels seraient donc de 300 fr. Pour 200 jours de travail par an, c'est-à-dire pour fabriquer $3,000^{m.c.}$ de mortier, soit » fr. 30 c. par mètre cube. Le sous-détail de la fabrication, non compris le transport des matières, serait donc :

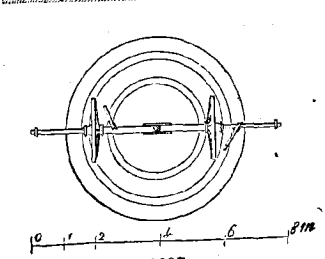
$\frac{6}{1/3}$ journée de manœuvre à 1 fr. 50 c. l'une.	0 fr. 60 c.
$\frac{1}{1/3}$ journée de surveillant à 3 fr. . . .	» 20
Frais d'outils.	» 30
Fabrication de $1^{m.c.}$ de mortier. .	1 fr. 10 c.

Ce prix de revient est moins élevé que le précédent, et il deviendrait encore plus faible si on suppose que les manœuvres sont des prisonniers dont la journée est presque sans valeur. Cependant nous ne donnons pas le dessin de cette machine, dont la construction n'est pas aussi rationnelle qu'on pourrait le désirer, et nous croyons que si on était obligé d'employer des hommes à ce genre de travail, il vaudrait encore mieux les appliquer à l'une des machines suivantes.

Nous avons vu employer, pour fabriquer du mortier, une machine analogue à celle des fabricants de chocolat. Deux cônes tronqués, en bois, remplis de pierres, écrasaient le mortier placé sur la plate-forme circulaire sur laquelle ils roulaient, des couteaux et des râteaux le remuaient ensuite pour ramener successivement toutes les parties de la masse sous l'action des cônes roulants. Cette machine donnait de mauvais résultats et exigeait beaucoup de force sans faire d'excellent mortier. Nous en avons seulement parlé pour mettre en garde contre elle les constructeurs qui pourraient être séduits par cette disposition qui paraît ingénieuse.

Tout le monde connaît la disposition des manéges à roues (fig. 1886 et 1887) employés pour faire le mortier

1886.



1887.

dans presque tous les grands chantiers. Des roues ordinairement au nombre de deux, parcourent une auge circulaire, peu profonde, et écrasent et mélangent les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

matières. Des râteaux en fer, solidaires avec les roues, remuent sans cesse le mortier et amènent successivement toutes ses parties sous l'action des roues. Quand le mélange est parfait, on ouvre une trappe placée au fond de l'auge et le mortier, poussé par un râble en fer convenablement disposé, tombe en tas au-dessous du manége et peut être facilement recueilli et transporté. Ces manéges sont généralement mis en mouvement par un ou deux chevaux. Ces appareils, d'une grande simplicité, donnent, en général, d'excellents produits; je crois même qu'ils sont supérieurs à tous les autres moyens employés pour les mortiers très compactes, ceux, par exemple, qui ne renferment que de la chaux et de la pouzzolane.

Un manége à mortier conduit par 2 chevaux peut produire $20^{m.c.}$ de mortier par jour, soit $4000^{m.c.}$ par année de 200 jours de travail. Un surveillant peut diriger le dosage et la marche de deux appareils. Chaque manége exige en outre les soins d'un manœuvre. Cette machine coûte en moyenne 500 fr., savoir :

Maçonnerie. . . .	150 fr.	500 fr.
Charronnage et fers. . .	250 fr.	

Son entretien annuel est de 50 fr. à peu près, l'intérêt de son capital est de 25 fr., et en supposant qu'elle dure dix ans on peut évaluer à 40 fr. sa dépréciation annuelle, de sorte que les frais d'outils pour la fabrication de $4000^{m.c.}$ s'élèvent à 115 fr. Le sous-détail de fabrication est donc le suivant :

$\frac{2}{20}$ de journée de cheval à 5 fr. l'une. . . .		0,500
$\frac{1}{20}$ —	manœuvre à 1 fr. 50 l'une.	0,075
$\frac{1}{40}$ —	surveillant à 3 fr. l'une.	0,075
Frais d'outils $\frac{115}{4000}$ —		0,029
Prix de fabrication du mètre cube.		0f,679

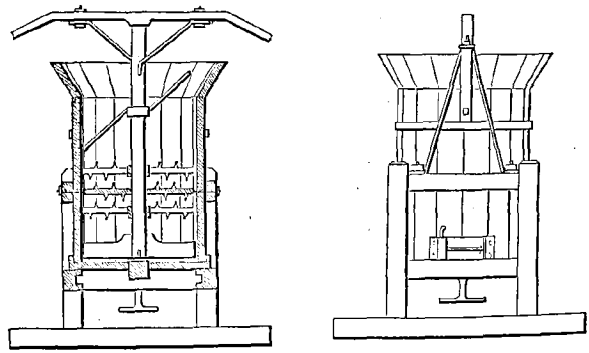
Occupons-nous enfin des tonneaux à mortier. Ces machines sont aujourd'hui très employées. Elles présentent en effet beaucoup d'avantages. Elles occupent peu de place, leur surveillance est facile, leurs produits sont de bonne qualité et très abondants; le prix de fabrication d'un mètre cube de mortier est très faible. Nous pensons que c'est le meilleur appareil à employer pour les mortiers de sable et chaux; elles laissent dans ce cas très peu à désirer.

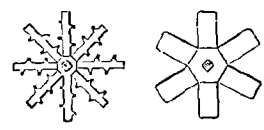
La forme et les dimensions des tonneaux à mortier varient beaucoup. Les uns sont cylindriques, les autres sont des troncs de cônes dont la grande base est tantôt en dessus, tantôt en dessous; certains tonneaux peuvent être manœuvrés par un ou deux hommes; une machine à vapeur de 12 chevaux suffit à peine pour faire mouvoir l'un de ces appareils employé aux travaux hydrauliques de Cherbourg. Chaque constructeur, pour ainsi dire, adopte une forme particulière, et il doit en être ainsi, car les proportions doivent changer avec les circonstances dans lesquelles on opère. Avouons cependant que jusqu'à présent aucune règle fixe n'a guidé les ingénieurs. Des expériences *directes* sur ce sujet seraient d'une haute importance, malheureusement il n'en existe pas; nous essaierons à la fin de cet article de donner quelques principes à cet égard : ayant étudié la marche d'un grand nombre de ces appareils, nous espérons présenter quelques observations utiles.

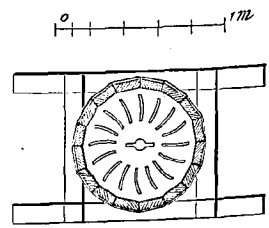
Pour éviter l'emploi d'un trop grand nombre de figures, nous ne donnerons que le dessin du tonneau breveté de M. l'architecte Roger, non pas, à beaucoup près, que ce soit le meilleur à notre avis, mais parce que nous pourrons faire comprendre tous les autres en nous aidant de la description complète de celui-ci.

Le tonneau à mortier de M. Roger se compose, comme l'indiquent les figures 1888, 1889 et 1890, d'une forte enveloppe en douves de chêne, cerclées en fer. Un arbre vertical, également en fer, porte à sa partie supérieure, une pièce horizontale à laquelle les chevaux sont attelés, et sur sa largeur une série de râteaux également en fer. L'un d'eux est représenté (fig. 1891). Le fond du tonneau (fig. 1888) est percé d'ouvertures à travers lesquelles s'écoule le mortier, qui peut aussi sortir par la porte pratiquée au bas du tonneau (figure 1890). L'arbre porte, à sa partie inférieure, une pièce de fonte (fig. 1892) qui broie les matières sur le fond du tonneau. Une vis sur laquelle tourne l'arbre en fer permet de l'élever ou de l'abaisser plus ou moins; le disque en fonte se trouve ainsi plus ou moins éloigné du fond et exerce par ce moyen une action dont l'énergie peut varier à volonté. La partie supérieure du tonneau porte un évasement pour faciliter l'introduction des matières. Les ouvertures pratiquées dans la pièce de fonte qui forme le fond du tonneau de M. Roger sont sujettes à s'engorger. Un fabricant de briques du Bas-Meudon (près Paris), dont le nom m'échappe en ce moment, forme le fond de ses tonneaux broyeurs avec une grille composée de barreaux ordinaires de fourneaux de chaudières à vapeur. C'est une très heureuse idée. On peut à volonté faire varier l'écartement des barreaux, dégager les vides engorgés, etc. Les tonneaux, ainsi disposés, peuvent se prêter, en modifiant convenablement l'écartement des barreaux, à une foule d'applications,

1890. 1889.







1891. 1892. 1888.

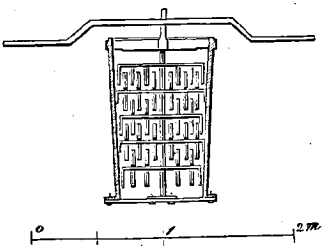
EFERUS - Recherche & Classification numérique

depuis le corroyage des terres à poteries fines jusqu'à la préparation des bétons les plus grossiers. M. Mongel, ingénieur français, chargé par le vice-roi d'Egypte de la colossale entreprise du barrage du Nil, a fait construire à Paris huit puissantes machines à vapeur destinées à faire marcher seize broyeurs à argiles et les machines à briques correspondantes, et de plus tous les broyeurs de cette espèce qui prépareront le mortier nécessaire à ce prodigieux travail, plus digne assurément de notre admiration que les célèbres pyramides (1).

L'inventeur de la disposition que nous venons de décrire possède, comme M. Roger, un brevet d'invention; on ne peut donc, d'ici à quelques années, l'employer sans payer à ces messieurs des droits qu'ils fixent fort haut. C'est assurément une chose fâcheuse pour les entrepreneurs de travaux, mais nous verrons bientôt que l'on peut arriver par d'autres méthodes à des résultats presque aussi satisfaisants.

Dans les tonneaux que l'on construit ordinairement le fond est plein et le mortier ne peut sortir que par une porte placée au bas du tonneau. Cette disposition présente un grave inconvénient le sable et la chaux s'accumulent dans la partie du tonneau opposée à la porte, et ne trouvant pas d'issue, ils sont fortement comprimés et deviennent quelquefois si compactes que le mouvement de l'arbre et des râteaux qu'il supporte est tout à fait impossible. On doit mettre au moins deux ouvertures garnies de portes à coulisses à la partie inférieure des tonneaux; ainsi modifiés ils marchent très bien, et la facilité que l'on a d'augmenter ou de diminuer les orifices permet de rendre l'écoulement du mortier plus ou moins rapide, et par suite son mélange plus ou moins parfait.

L'arbre des tonneaux à mortier ordinaires porte des râteaux comme ceux du tonneau de M. Roger. Quelquefois on ajoute d'autres râteaux semblables fixés aux parois intérieures du tonneau, le mortier se trouve ainsi entraîné par les râteaux mobiles et retenu par les



1893.

râteaux fixes qui le déchirent en tous sens. La figure 1893 donne le dessin d'un tonneau à bras de ce genre employé au pont de Lorient.

Examinons maintenant la forme générale des tonneaux à mortier. Quelques constructeurs donnent à leurs appareils la forme d'un tronc de cône dont la grande base est en bas. Cette disposition est rarement bonne. On sait, en effet, que le sable et la chaux occupent un volume d'autant plus faible que leur mélange est plus parfait, si, en même temps, la capacité qui les renferme va en augmentant, on comprend qu'il se formera des vides dans la masse, et les matières à mélanger formant voûte à la partie supérieure du tonneau cesseront de descendre : ce que j'ai souvent observé. Quelquefois, au contraire, la petite base du tronc de cône qui ferme le tonneau est à la partie inférieure. Dans ce cas, les matières descendent bien, mais un autre inconvénient se présente. L'effort nécessaire à la trituration augmente avec la compression du mortier, de sorte que les râteaux, placés au bas de l'arbre, peuvent avoir à exercer, en pure perte, un effort considérable. Le but que doit se proposer le constructeur est d'éviter à la fois les deux inconvénients que nous venons de signaler. La forme cylindrique satisfait dans les *cas ordinaires* à ces conditions. Mais jusqu'à présent on n'a pas cherché à déterminer par des considérations rigoureuses les formes à donner aux tonneaux à mortier. Voici, je crois, comment on pourrait parvenir à trouver une forme telle que les efforts exercés par tous les râteaux soient égaux. La base inférieure devrait être à la base supérieure dans le rapport du volume du mortier à la somme des volumes des matières mélangées, multiplié par le rapport de la résistance opposée à la trituration, par les matières simplement mêlées, à la résistance opposée à la même opération par le mélange intime constituant le mortier. Le premier rapport est très facile à évaluer. Le second présenterait un peu plus de difficulté à déterminer, mais pourrait cependant être obtenu avec une assez grande approximation par les méthodes habituellement employées pour déterminer la résistance des matières molles.

D'après la marche que nous venons d'indiquer on conçoit que l'on sera conduit, suivant la nature des matériaux, à l'adoption de tonneaux, quelquefois évasés et quelquefois rétrécis à la partie supérieure. Mais, nous le répétons, la forme cylindrique est, en général, la plus avantageuse, et nous conseillons de l'adopter toutes les fois que des considérations positives ne porteront pas à lui en faire préférer une autre.

Il nous reste à examiner un élément important de la forme des tonneaux : c'est le rapport de leur diamètre à leur hauteur. Dans ce cas encore, les constructeurs ne paraissent conduits par aucune règle générale. On rencontre sur les chantiers, des tonneaux broyeurs dont la hauteur varie depuis une fois jusqu'à deux fois le diamètre. Toutes choses égales d'ailleurs, le rapport de la hauteur à la base, doit être d'autant plus petit, que les appareils sont plus puissants. Pour des appareils de même puissance la hauteur doit être d'autant plus grande que les substances employées sont plus difficiles à mélanger. Nous pensons du reste, en général, qu'il vaut mieux pécher par excès que par défaut de hauteur. En ouvrant davantage les portes de décharge du mortier on peut toujours remédier au premier défaut. Les inconvénients résultant du second ne peuvent être prévenus qu'en diminuant l'ouverture des portes et par suite en augmentant le travail moteur. Dans les machines à mortier qui donnent les meilleurs résultats, la hauteur est égale à peu près à trois fois le rayon du cylindre.

Voyons maintenant quels sont les résultats économiques de ces dernières machines. Un tonneau un peu plus grand que celui dont nous avons donné le dessin, conduit par un cheval, fournit facilement $25^{m.c.}$ de mortier par jour, soit $5000^{m.c.}$ par année de 200 jours de travail. Nous ne parlerons pas du prix des tonneaux *brevetés*, qui est énorme; nous établirons nos calculs d'après un exemple que nous avons eu l'occasion d'étudier. Le tonneau coûtait 500 fr. L'intérêt annuel de cette somme est 25 fr. En admettant que le tonneau dure dix ans, sa dépréciation annuelle sera de 30 fr., ses débris conservant une valeur de 200 fr. Son entretien n'excède pas 125 fr. par an; les frais annuels d'outils seront, pas conséquent, de 180 fr. Cela posé, le sous-détail de la fabrication d'un mètre cube de mor-

(1) D'après une opinion récemment émise, mais qui paraît difficile à justifier, les pyramides ne seraient pas moins admirables que le barrage du Nil; elles auraient comme lui un caractère de haute utilité, car elles seraient destinées à s'opposer à la marche progressive des sables du désert.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tier, non compris l'approche des matières, s'établit de la manière suivante :

$\frac{1}{24}$	journée de cheval à 5 fr.	0,200
$\frac{1}{50}$	— surveillant à 3 fr.	0,060
$\frac{1}{25}$	— manœuvre à 1 fr. 5 c. . . .	0,060
Frais d'outils	$\frac{180}{1000}$	0,036
Prix de la fabrication de 1 mètre cube. . .		0f,356

Nous devons même faire remarquer que l'on pourrait obtenir jusqu'à $30^{m.c.}$ par jour, avec un tonneau de M. Roger, ou tout autre dont le fond serait percé ; ce qui diminuerait encore d'un cinquième le prix ci-dessus. Les prix de revient que nous venons d'indiquer varieraient évidemment dans chaque localité avec le prix de la main-d'œuvre et celui des matériaux ; mais obtenus tous dans les mêmes hypothèses, ils peuvent servir de termes de comparaison. Il résulte du rapprochement de tous les chiffres que nous venons de citer, que la fabrication à bras d'hommes d'un mètre cube de mortier coûtant 1 fr. 82 c., elle ne coûterait que 0 fr.,679 avec un manége à roues, et seulement 0fr.,356 avec un tonneau à mortier ordinaire, et moins encore avec un tonneau à fond percé.

Les renseignements que nous venons de donner permettent de déterminer facilement le nombre de mètres cubes de mortier, au-delà duquel il y a économie à faire les frais d'établissement d'une machine pour la fabrication.

Répétons encore, en terminant ce paragraphe, que l'on ne saurait apporter trop de soin à empêcher les ouvriers de mettre trop d'eau dans le mortier, ce qu'ils sont toujours portés à faire, surtout quand on fabrique le mortier avec des rabots.

§ 4. EMPLOI ET SOLIDIFICATION DES MORTIERS. Nous avons déjà dit qu'il était presque impossible d'obtenir de bons résultats avec les mortiers de chaux grasses et de sables. Comme ils sont cependant fréquemment employés, nous allons examiner comment s'opère leur solidification, et nous en conclurons les précautions que nécessite leur emploi. Quand on expose de l'eau de chaux au contact de l'air, l'acide carbonique se combine rapidement à la chaux, et le carbonate se précipite en pellicules qui adhèrent fortement aux corps solides environnants. Si la chaux, au lieu d'être dissoute dans l'eau, est, au contraire, exposée à une dessiccation rapide, elle absorbe encore l'acide carbonique, mais les grains de carbonate formé restent séparés sans contracter entre eux la moindre adhérence. Considérons maintenant un mortier composé de sable, de chaux et d'eau, et il nous sera facile de concevoir les phénomènes qu'il présentera suivant les circonstances où il se trouvera. S'il est mouillé par de l'eau, constamment renouvelée, la chaux se dissoudra entièrement, et bientôt il ne restera plus que le sable. Si, au contraire, il est rapidement desséché, la chaux absorbera l'acide carbonique sans contracter d'adhérence, et on n'obtiendra qu'un mélange de sable et de poussière calcaire. Enfin, si le mortier est entretenu dans un état convenable d'humidité, la chaux dissoute dans l'eau qu'il renferme absorbera l'acide carbonique et se disposera en pellicules adhérentes comme un vernis sur les grains de sable. L'eau, en présence d'un excès de chaux, dissoudra une nouvelle quantité de cette substance et de nouvelles pellicules de carbonate viendront envelopper les premières. Cette action se continuera ainsi jusqu'à la solidification entière de la masse. La nécessité de la présence de l'air pour la solidification des mortiers de chaux grasse, est démontrée par une expérience journalière. Toutes les fois que l'on démolit des masses considérables de maçonnerie, quelle que soit leur ancienneté, on trouve toujours au centre la chaux grasse aussi molle qu'au moment de l'emploi. Le général Treussart, en démolissant à Strasbourg, en 1822, un bastion construit en 1666, trouva le mortier aussi frais que si les maçons l'avaient posé depuis quelques jours seulement. John cite un fait analogue observé pendant la démolition d'un pilier de 9m de diamètre de la tour Saint-Pierre à Berlin. Il est inutile de multiplier les exemples par de pareils faits, que chacun peut du reste avoir observés.

La chaux engagée dans les mortiers ne reprend jamais tout l'acide carbonique qui constituerait le carbonate pur. On conçoit, en effet, que le carbonate formé enveloppe en plusieurs points de la chaux vive et la préserve d'une combinaison ultérieure.

Si nous avons bien fait comprendre le mode de solidification des mortiers, on appréciera à leur juste valeur les différents dictons des ouvriers sur le temps le plus favorable aux constructions. Il est également juste de désirer un temps sec ou un temps humide : tout se réduit à une question de quantité. S'il fait sec, les mortiers se dessèchent trop vite, il faut les humecter ; s'il pleut, l'eau peut les dissoudre, il faut alors couvrir les maçonneries et s'opposer à leur lavage. Ces notions sont si simples, qu'il paraîtra inutile de les énoncer à toutes les personnes qui ne savent pas combien il est difficile de faire pénétrer des idées justes et simples parmi les ouvriers, malheureusement si peu éclairés aujourd'hui.

Nous ne parlerons de l'emploi des mortiers hydrauliques qu'en nous occupant de l'immersion des bétons. Les soins apportés dans l'application de ces composés exercent sur leur qualité la plus grande influence.

Nous avons dit en commençant que nous laisserions de côté, dans cet article tout pratique, les discussions théoriques. On nous pardonnera donc de ne pas exposer ici les nombreuses expériences qui ont été faites pour chercher à expliquer les faits singuliers que présente la résistance des différents mortiers et les circonstances de leur solidification. Les opinions des savants les plus distingués sont loin de concorder sur ces questions ; nos doutes n'auront rien d'étonnant.

On détermine la résistance des mortiers, soit en brisant des prismes des mortiers à essayer de dimensions données dans des circonstances déterminées, soit en comparant les enfoncements d'une même aiguille chargée du même poids dans les différents échantillons.

La force normale nécessaire pour séparer deux pierres réunies par du mortier varie de 1k,25 à 2k,64 par centimètre carré. En pratique, on ne doit pas dépasser une charge normale de 1 kilogr. par centimètre carré, ou de 0k,37 pour la résistance au glissement.

§ 5. FABRICATION DU BÉTON. On donne le nom de béton à un mélange de mortier et de petites pierres. C'est une maçonnerie à petits matériaux que l'on fabrique sur les chantiers, et qui se solidifie plus tard en prenant les formes exactes de l'enceinte où on l'a renfermée. L'emploi du béton a rendu à l'art des constructions les services les plus importants ; il a rendu facile et économique la fondation de tous les ouvrages hydrauliques, et a permis d'exécuter des travaux réputés impossibles autrefois.

Les proportions de pierres cassées et de mortier varient avec les circonstances et les résultats que l'on veut obtenir. Quand on a de bonne chaux hydraulique à bas prix, on peut augmenter la dose du mortier. Ainsi, nous avons vu employer pour la fondation d'une écluse, du béton dont le mètre cube renfermait :

Pierres cassées. . .	$0^{m.c.},45$	1 mètre.
Mortier hydraulique.	$0^{m.c.},90$	

D'après les devis du canal du Centre, le mètre cube de béton doit contenir :

Pierres cassées. . .	$0^{m.c.},63$	1 mètre.
Mortier hydraulique.	$0^{m.c.},64$	

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quelquefois, par économie, on diminue encore plus la dose du mortier; mais nous regardons comme une limite inférieure, qu'il convient de ne pas dépasser, celle d'un volume de mortier pour 2 volumes de pierrailles.

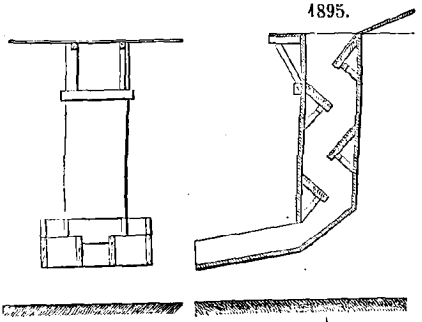
On peut préparer le béton en mélangeant la pierraille avec le mortier déjà fabriqué au moyen de grilles en fer manœuvrées à force de bras par des ouvriers. Chaque atelier doit être composé environ de cinq manœuvres. Il faut un très bon surveillant pour diriger deux ateliers et le dosage des matières qui leur sont nécessaires, car les ouvriers se contentent toujours d'un mélange imparfait.

Le temps nécessaire au mélange est très variable; il dépend du dosage et de la nature des pierres et du mortier. On peut cependant admettre en moyenne que l'atelier de cinq hommes produit par jour 12 mèt. cub. de béton. Les frais d'outils sont à peu près les mêmes que pour la fabrication du mortier avec des rabots, soit 0f,02 par mètre cube. Le prix de revient sera alors le suivant, non compris l'approche et le dosage des matières :

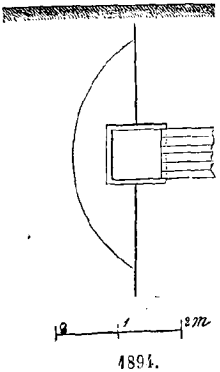
5/12 de journée de manœuvre à 1f,50 l'une.	0f,625
1/24 de journée de surveillant à 3 fr. . .	0 ,125
Frais d'outils.	0 ,020
Total. . . .	0f,770

On a essayé de préparer le béton avec des tonneaux plus ou moins analogues à ceux que nous avons décrits pour la fabrication du mortier. Toutes ces tentatives ont été complétement infructueuses. Aussi n'entreprendrons-nous pas de faire connaître les différentes

1895.



1896.



1894.

machines de cette espèce proposées à différentes époques. Nous décrirons seulement l'appareil remarquable employé par M. Krantz ingénieur des ponts-et-chaussées. Il est impossible de trouver une solution plus élégante du problème; le mélange proprement dit se fait pour ainsi dire sans dépenses. Le couloir à béton de M. Krantz se compose simplement, comme l'indiquent les fig. 1894, 1895 et 1896, d'une caisse rectangulaire, formée de madriers jointifs, renfermant une série de plans inclinés en sens inverse. La pierre cassée et le mortier sont jetés pêle-mêle dans l'ouverture supérieure de la caisse. Ces matières en tombant sont lancées d'un plan incliné sur l'autre, et le béton arrivé parfaitement mélangé à la partie inférieure de l'appareil. Dans les ateliers bien disposés, le mortier tombe de lui-même des tonneaux dans un *glissoir* qui l'amène au couloir.

Cette machine peut fabriquer 80 à 100m c de béton par jour ou 20,000m c par année de 200 jours de travail. Un ouvrier suffit pour faire tomber les matières. Le prix de l'appareil est au plus de 60 fr., et, en supposant qu'il ne dure qu'une campagne, les frais d'outils ne seraient que de $\frac{60}{20000} = 0^f,003$ par mètre cube. Le surveillant chargé de diriger le dosage ne serait pas à beaucoup près constamment occupé; mais en supposant même qu'il ne fasse pas autre chose, on voit que le prix de fabrication du mètre cube du béton (non compris l'apport) s'établirait de la manière suivante :

1/100 de journée de manœuvre à 1f,50. . .	0f,015
1/100 de journée de surveillant à 9f. . . .	0 ,030
Frais d'outils.	0 ,003
Total. . . .	0f,048

si on n'avait pas à élever les matières au sommet du couloir. Or, en général, le béton étant employé dans des fouilles, on peut disposer le chantier de manière à placer les dépôts et les ateliers au niveau de la partie supérieure du couloir. Mais en supposant même qu'on fût obligé d'élever les matériaux de toute la hauteur du couloir, on le ferait au moyen d'un léger échafaudage ou d'une rampe. Cette élévation équivaudrait à un transport horizontal à deux relais de distance, soit environ 0f,20 par mètre cube. De sorte que, dans les circonstances les plus défavorables, le prix de fabrication d'un mètre cube de béton, avec les couloirs de M. Krantz, ne serait que de 0f,248, soit 0f,25 en nombres ronds, au lieu de 0f,77, prix de la fabrication à bras.

Quel que soit le mode de fabrication employé, on doit toujours employer de la pierre cassée parfaitement débarrassée de poussière et soigneusement arrosée. L'oubli de ces précautions a souvent produit de fâcheux accidents.

Nous venons de voir, par un exemple particulier, l'avantage que l'on peut retirer de l'inclinaison du terrain d'un chantier de construction. Ce cas n'est pas le seul où il soit possible d'économiser de la force en profitant du propre poids des matériaux. Les constructeurs qui ont été à même d'apprécier les dépenses de *bandage*, nous permettront quelques réflexions à cet égard. Il arrive trop souvent que les matériaux sont déposés pour ainsi dire au hasard sur les chantiers; de là une foule de fausses manœuvres et de dépenses inutiles : des pierres destinées aux constructions élevées sont transportées par les voituriers le plus bas possible, des bois d'échafaudages sont placés derrière les approvisionnements de pierre qui barrent le passage; ainsi de suite. Tous ces inconvénients peuvent être évités facilement en déterminant d'*avance* le plan du chantier, c'est-à-dire l'emplacement respectif des différents matériaux, appareils et ateliers, de manière que les différentes substances aient toujours autant que possible à descendre pour se rendre de leur point de dépôt au point où elles doivent être employées. On évite ainsi des frais considérables de bandage, et on peut réaliser d'importantes économies, dont l'ingénieur doit d'autant plus se féliciter qu'elles ne sont dues qu'à lui et qu'elles ne tendent qu'à diminuer la fatigue des ouvriers. Un exemple pris dans le sujet même qui nous occupe suffira pour faire comprendre ma pensée. Je suppose qu'il s'agisse de fonder un pont, une écluse ou tout autre ouvrage, et que le terrain où doivent être établis les chantiers présente une pente vers l'emplacement du travail. Dans ce cas, on placera les dépôts de chaux, de sable et de pouzzolane, au point le plus élevé du chantier. Les tonneaux à mortier seront im

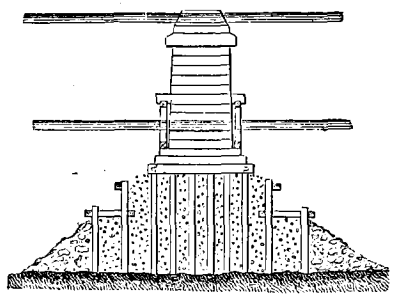
EFERUS - Recherche & Classification numérique

médiatement au-dessous, et enfin les couloirs à béton seront placés après les machines à mortier. D'après cette disposition, on conçoit que les matières premières, n'ayant qu'à descendre, obéissent sans cesse à leur propre poids, et les ouvriers n'auront qu'à diriger leurs mouvements. L'homme doit toujours chercher à utiliser les forces naturelles qui sont à sa disposition pour diminuer le travail qui lui est réservé, et augmenter d'autant son bien-être matériel. Trop souvent les constructeurs oublient d'utiliser la pesanteur dans leurs ateliers. Puissent les réflexions précédentes leur rappeler l'importance de cet auxiliaire.

§ 6. EMPLOI ET COULAGE DU BÉTON. Nous n'entreprendrons pas ici de décrire les différents ouvrages dans lesquels on peut employer le béton avec avantage. Il faudrait écrire un cours de construction presque complet, car depuis quelques années tous les grands travaux ont reçu une direction nouvelle par l'application de ce précieux composé. Nous citerons seulement quelques exemples remarquables de son emploi.

Les piles du pont en pierre de Rouen (Seine-Inférieure) devaient être établies dans un point de la Seine où la profondeur d'eau était de 7m,00 pendant la basse mer, et s'élevait à chaque marée jusqu'à 15m,00. Le fond était d'ailleurs très mauvais et sans résistance. Il était *impossible* dans ces circonstances de songer à des batardeaux et à des épuisements. L'emploi des caissons foncés si souvent recommandés était également impraticable ; en un mot, tous les moyens généralement employés étaient impuissants pour surmonter les difficultés que présentait la fondation de ce pont. On fut obligé de recourir à de nouveaux procédés. Voici ceux qui furent employés ; ils ont parfaitement réussi.

On commença par chasser des pieux d'une grande longueur (fig. 1897), entre lesquels on coula du béton. On battit ensuite, au moyen de faux pieux, autour de ces premiers pilotis, une enceinte continue qui fut



1897.

également remplie de béton pour maintenir et défendre le premier massif. Enfin des enrochements complétèrent cette fondation. Les pieux recépés de niveau à 2m,00 seulement au-dessous de l'eau purent recevoir un caisson au moyen duquel on éleva, comme de coutume, les piles du pont.

Les bâtiments de guerre doivent être souvent visités et réparés extérieurement. Ces opérations s'exécutent en les faisant entrer dans des *formes de radoub*, espèces de petits bassins que l'on ferme après l'entrée du vaisseau pour enlever, au moyen de pompes, l'eau qu'ils renferment, et mettre le bâtiment à sec. Le tirant d'eau d'un vaisseau de ligne est de 7m,50, la distance qui doit rester libre entre le dessous de sa quille et le fond du bassin est environ de 1m,20, l'épaisseur du radier de la forme est au moins de 3 mètres. De sorte que la fondation d'une forme de radoub doit s'exécuter, dans les ports de la Méditerranée, environ à 12 mètres au-dessous du niveau de l'eau. La construction d'un ouvrage de cette nature présentait autrefois des difficultés presque insurmontables. L'emploi du béton a rendu leur exécution assez facile. Sans entrer dans aucun détail de construction, nous dirons seulement que l'on coule une vaste cuvette en béton, dont l'épuisement présente rarement de grandes difficultés, et dans laquelle on construit, comme on le ferait sur la terre ferme, les bajoyers et le radier de la forme de radoub. M. Bernard a le premier suivi cette marche au port de Toulon. M. Noël vient de terminer, dans le même port, une forme de la plus grande dimension. Ce beau travail, dirigé il est vrai avec une rare habileté, n'a présenté aucun accident. Nous citerons encore la forme d'Alexandrie, exécutée avec succès par M. Mougel, dans les circonstances les plus difficiles. Le premier bassin de radoub exécuté à Toulon coûta 2,050,000 fr. à une époque où l'argent avait une valeur double de celle qu'il possède actuellement. La forme de M. Bernard n'a coûté que 1,800,000 fr. Celle de M. Noël, quoique beaucoup plus grande, puisqu'elle doit recevoir les bâtiments à vapeur de 600 chevaux, coûtera moins encore. Ce simple rapprochement suffit pour montrer l'importance de la méthode qui nous occupe. Nous ne multiplierons pas davantage ces exemples de grands travaux, nous devons ajouter que l'emploi du béton peut apporter de grandes économies dans l'établissement des plus modestes constructions. On le comprend bien aujourd'hui pour les travaux publics, et les plus petits aqueducs de nos routes sont maintenant fondés sur des couches de béton, qui forment après un certain temps de véritables pierres d'un seul morceau, sur lesquelles les ouvrages sont assis comme sur le rocher naturel. Malheureusement les particuliers ne sont pas assez familiarisés avec ce genre de construction. Les plus petites écluses du moulin, les simples déversoirs s'exécuteraient avec simplicité et économie par l'emploi de fondations en béton. Nous ne saurions trop encourager à l'employer avec confiance dans toutes les constructions hydrauliques et dans les fondations exposées à l'humidité.

Le coulage du béton sous l'eau est une opération délicate qui exerce la plus grande influence sur la réussite des travaux. Le béton composé de la manière la plus convenable ne produirait absolument aucun résultat utile s'il était mal coulé. Nous décrirons avec soin les précautions à employer dans ce travail.

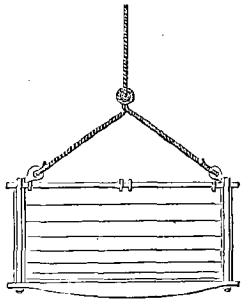
Il y a deux méthodes principales pour le coulage du béton : le coulage à la trémie et le coulage par caisses, ou bacs. Les trémies sont des espèces de grands tuyaux en bois ou en métal, terminés à leur partie supérieure par des entonnoirs, et supportés par des bateaux ou des échafaudages ; on y verse le béton qui va se répandre sur le fond. On promène la trémie sur tous les points où l'on veut établir l'aire en béton. Il arrive généralement que le béton s'accumule au bas des trémies, et qu'il sort ensuite violemment quand il éprouve une pression considérable par l'addition de nouveau béton. Il se trouve ainsi animé d'une grande vitesse au moment de sa sortie de la trémie. L'eau le délaie, les pierres tombent les premières et le mortier est en grande partie entraîné. Cette méthode est donc tout à fait défectueuse, et nous croyons qu'elle ne doit être employée qu'avec les plus grandes précautions et seulement quand on y est forcé par des circonstances locales particulières.

Le coulage au moyen de caisses réussit beaucoup mieux que celui à la trémie, c'est le procédé généralement suivi aujourd'hui. Les formes des caisses employées sont assez variables. Dans les ports de mer où l'outillage est considérable parce qu'il appartient à l'administration et qu'il peut servir fort longtemps, on em-

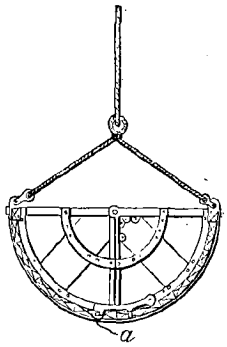
EFERUS - Recherche & Classification numérique

MORTIER.

ploie généralement des caisses en tôle ou en bois garnies de ferrures et qui ont la forme de demi-cylindres (fig. 1898 et 1899), chaque caisse est composée de deux parties qui peuvent tourner autour de l'axe horizontal

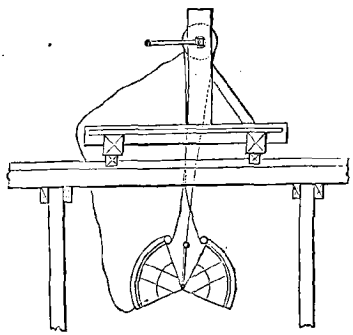


1898.



1899.

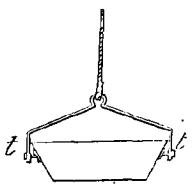
du cylindre, de manière à s'ouvrir quand on veut déposer le béton renfermé dans la caisse. Cet appareil est suspendu, au moyen d'une corde fixée à l'axe dont nous avons déja parlé, à un treuil (fig. 1900) établi sur un appontement fixé sur deux bateaux ou bien sur un échafaudage fixe. Quand la caisse est remplie de béton on la descend au fond de l'eau, au moyen d'une cordelle on ouvre le crochet *a* (fig. 1899) qui réunit les deux parties de la caisse, puis en continuant à tourner le treuil on fait agir une corde attachée aux angles du coffre et qui le force à s'ouvrir, comme l'indique la fig. 1900. Le béton se trouve ainsi déposé sans secousse et aussi peu délayé que possible. On remonte la caisse, on referme le crochet *a*, on la remplit de nouveau et on recommence l'opération que nous venons de décrire. Quand le treuil est porté par des bateaux on les fait avancer successivement pour les amener sur les différents points de la surface qui doit être recouverte de béton ; quand, au contraire, il est sur un échafaudage fixe, on le garnit de roulettes qui permettent de le faire mouvoir sur des longrines disposées à cet effet. Cette dernière disposition varie avec les circonstances, chacun peut imaginer le système le plus approprié à son outillage.



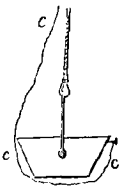
1900.

Les caisses dont nous venons de parler coûtent assez cher et leur exécution exige des ouvriers exercés. Quand on est chargé de travaux qui ne doivent durer qu'une ou deux campagnes et que l'on se trouve forcé d'organiser en peu de temps un chantier considérable, il convient d'adopter les caisses que nous allons décrire, elles coûtent très peu cher, les plus mauvais ouvriers les exécutent facilement, elles ne sont sujettes à aucun accident, et les résultats qu'elles fournissent sont au moins aussi satisfaisants que ceux des caisses cylindriques. L'appareil en question est une simple boîte en bois de la forme d'un tronc de prisme rectangulaire (fig. 1901 et 1902), supportée sur deux tourillons en fer *t* placés un peu *au dessus* du centre de gravité de la caisse remplie de béton. La corde qui supporte toute la machine s'enroule, comme dans le cas précédent, sur un treuil convenablement disposé, quand la caisse est arrivée près du fond on la fait basculer, en tirant sur la cordelle *c* disposée, comme l'indique la fig. 1902, et la masse de béton se trouve déposée sur le lieu qu'elle doit occuper. Le fond de la boîte doit être percé de trous ; sans cette précaution il arrive quelquefois que le béton soutenu par la sous-pression de l'eau ne se sépare pas immédiatement de la caisse. Il remonte alors à une certaine hauteur avant de tomber et se trouve délayé par l'eau. Cette observation mérite une sérieuse attention.

Quel que soit l'appareil employé pour couler le béton on doit toujours suivre la marche que nous allons indiquer : 1° quand on coule du béton dans une fouille il faut maintenir l'eau *aussi haut que possible*, pour empêcher les sources de sourder et de créver la couche de béton frais ; 2° on doit toujours couler le béton par bandes d'une épaisseur considérable, et non pas par couches minces répandues à la fois sur toute l'étendue du travail ; 3° on ne saurait enlever avec trop de soin la *laitance*, c'est-à-dire la chaux pulvérulente qui se sépare du béton. Quand il en reste une certaine quantité entre deux coulées successives on peut être assuré qu'il n'y aura jamais adhérence entre ces deux parties de la masse. On doit donc, à chaque reprise du travail, balayer la surface de la dernière couche déposée et enlever la laitance au moyen d'écopes, ou mieux de poches en toiles montées sur un cadre en fer et jamais au moyen de pompes, comme l'indiquent quelques auteurs, parce que ces appareils produisent des courants qui délaient le béton voisin de leur extrémité. Cette manœuvre doit être renouvelée pendant le travail. La laitance s'accumule toujours au pied du talus du béton, c'est là où il est facile de la saisir pour l'enlever.



1901.



1902.

Nous avons encore à signaler une autre application remarquable du béton : c'est la fabrication de pierres factices de volumes et de formes déterminées. Ainsi on fabrique pour le môle de Cherbourg, pour celui d'Alger, et pour les travaux du fort Bayard, des blocs de béton qui ont jusqu'à 8 ou 9 mètres cubes. On commence à fabriquer aussi des pierres factices pour la construc

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion des égouts. Les unes forment le radier et les pieds-droits, les autres la voûte. Les constructions s'exécutent ainsi avec une grande rapidité et à très bas prix.

La fabrication des pierres artificielles ne présente aucune difficulté. On forme avec des planches des caisses dont les parois sont mobiles; on coule dedans le béton, et quand il est solidifié, on retire les bois qui constituaient cette espèce de moule.

Nous terminerons cet article en citant un passage du beau rapport fait à la Chambre des Députés par M. Arago sur les travaux de M. Vicat. Ces quelques lignes montreront l'importance du sujet que nous venons de traiter et nous feront pardonner la longueur des détails dans lesquels nous sommes entrés sur les mortiers et bétons hydrauliques.

« Le prix de la chaux, dit M. Arago, entre presque toujours pour une part considérable dans le prix des maçonneries. Les chaux ont des propriétés très diverses qui décident de la durée des constructions et du mode de leur exécution. Dans les contrées où la chaux est abondante et de bonne qualité, les édifices durent des siècles sans avoir cependant exigé des dépenses ruineuses. On peut y construire, même pour les habitants les plus pauvres, des demeures salubres, peu exposées aux incendies; d'une solidité à l'épreuve des ouragans, des pluies diluviales et des débordements. C'est par de telles applications que les travaux des ingénieurs, des chimistes, méritent surtout de fixer l'attention des pouvoirs publics et des législateurs. Arrêtons un moment nos regards sur cette phase de la question; cherchons à évaluer en nombre les services que, sous ce rapport, M. Vicat a rendus à son pays. . . . . .

« Autrefois une écluse ne pouvait être solidement fondée que sur des grillages en charpente avec épuisements On la bâtissait en totalité avec de la pierre de taille; encore, après toutes ces précautions, était-elle sujette à de fréquentes dégradations par la détérioration des mortiers de l'intérieur des maçonneries. A raison de ce mode de construction, à raison surtout des épuisements, certaines écluses coûtèrent jusqu'à 300,000 fr. En moyenne, la dépense n'était pas au-dessous de 100,000 fr. Aujourd'hui, grâce à la suppression des épuisements, des batardeaux, etc., grâce à l'emploi de petits matériaux que permet la chaux hydraulique, ce prix varie entre 38,000 et 50,000 francs. L'économie minimum par écluse est donc de 50,000 f., et sur les 1348 écluses (construites en France depuis 1821), de 67 millions. »

M. Arago entre ici dans des détails analogues pour la construction des barrages, des ponts en pierre et des ponts suspendus, et il termine ainsi :

« Récapitulation.—Economies faites sur la construction :

Des écluses.	67,350,000 fr.
Des barrages adjacents. . . .	13,600,000
Des barrages isolés, épis, etc. .	20,000,000
Des grands ponts.	26,182,000
Des ponts moyens.	7,050,000
Des ponts d'une seule arche. . .	25,000,000
Des ponts suspendus.	22,890,000
Total. . . .	182,072,000

« Les économies qu'on n'a pu apprécier faute de documents suffisants, portent :

1° Sur les ponts en bois ou en fer soutenus sur piles en maçonnerie;

2° Sur les ponts d'une seule arche de 6 à 10 mètres d'ouverture;

3° Sur les quais, digues et bassins, etc., à la mer;

4° Sur les fondations des édifices particuliers et publics des villes;

5° Sur les travaux militaires. . . . . .

« Une conclusion ressort avec évidence de tout ce qui précède : c'est qu'en supposant l'art des constructions tel qu'il était avant 1818, tel qu'il était avant les recherches de M. Vicat, la plupart des grandes entreprises en cours d'exécution seraient entièrement paralysées par des considérations de temps et de dépense.

« Qu'on juge par les économies passées des économies futures. Celles-ci devant toujours être proportionnelles aux masses croissantes des travaux d'art, l'on arrivera à des chiffres qui frapperont d'étonnement les esprits les plus froids. » H. MANGON.

MOSCOUADE. Voyez SUCRE.

MOTEURS. Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

MOTTES. Voyez TANNAGE.

MOUFLE (*arts chimiques*). Voyez ESSAIS.

MOUFLE (*mécanique*). Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE et POULIES.

MOULIN A BLÉ. Le grain du froment et des céréales, en général, renferme une réunion de principes immédiats, qui le rendent précieux pour la nourriture d'un grand nombre d'animaux; riche à la fois en fécule et en matières azotées, il forme presque partout le principal et quelquefois le seul aliment de l'homme. On ignore entièrement l'origine de l'emploi du blé; les Grecs l'attribuaient à Cérès : c'est assez dire que cette découverte se perd dans la nuit des temps. La réduction du blé en farine s'est faite d'abord, probablement, au moyen de pilons et de mortiers, ou bien en l'écrasant entre deux pierres; le perfectionnement de ce dernier procédé a dû conduire à l'invention des moulins à bras, qui remontent à la plus haute antiquité. Il en est en effet souvent question dans la Bible : Samson tourna la meule chez les Philistins, etc. Homère en parle également dans l'Odyssée. Les Romains ne commencèrent à se servir de moulins qu'après leurs conquêtes en Asie. Ils employèrent à ce travail les esclaves et les condamnés; plus tard, ils y appliquèrent aussi quelques animaux. L'époque et le lieu de l'invention des moulins mus par l'eau ne sont pas bien déterminés : Vitruve donne la description de l'un de ces appareils; mais Pline, qui écrivait soixante ans plus tard, n'en parle que comme d'une machine dont l'emploi n'est pas commun. Les moulins à eau ne furent établis à Rome, d'une manière régulière, sur les ruisseaux, que sous le règne d'Arcadius et d'Honorius. Bélisaire, qui commandait à Rome, pour Justinien, quand la ville fut assiégée par Vitigès, roi des Goths, fit construire sur le Tibre les premiers moulins *à nef* connus. De l'Italie, les moulins ont passé en France, et ont éprouvé dans tous les pays une série de modifications qui les ont amenés à l'état de perfection que nous leur voyons aujourd'hui. L'emploi des moulins à bras est tout à fait abandonné, excepté pour la mouture du sarrazin dans les fermes de quelques-uns de nos départements.

Les machines à vapeur, les roues hydrauliques et la force du vent sont les moteurs généralement employés à la mouture des grains. Nous n'avons à nous occuper ici que du mécanisme des moulins indépendamment de la nature de la force motrice.

Les grains de blé sont formés d'une enveloppe corticale qui renferme les principes utiles. L'art du meunier consiste à réduire en farines de différentes qualités la matière qui occupe le centre du grain, et à séparer l'enveloppe qui constitue le *son*. On peut arriver à ces résultats par trois méthodes de *mouture*, dont nous devons d'abord indiquer les principes.

1° *Mouture économique*. Ce procédé, regardé longtemps comme le meilleur, était généralement suivi en France; il est encore employé dans quelques-unes de nos provinces et dans toutes nos petites usines des campagnes. L'importance toujours croissante des établissements montés d'après les nouvelles méthodes tend à diminuer le nombre de ses applications. Les meules employées, en général, pour le genre de mouture qui nous occupe, ont deux mètres de diamètre et font 55

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à 60 tours par minute. Le blé, introduit au moyen d'une trémie, constamment agitée, dans l'ouverture de la meule supérieure, s'engage entre les deux meules, qui doivent être assez espacées, dans cette première partie de l'opération, pour ne faire que concasser et broyer grossièrement le grain. La mouture en sortant des meules est conduite dans le bluteau. Cet appareil sépare la première farine, dite farine de blé, qui traverse le tissu, les gruaux plus gros et lourds qui passent plus loin, et élimine enfin le son léger et volumineux. Ces premiers gruaux, soumis de nouveau à l'action des meules, alors plus rapprochées, fournissent une farine de premier gruau et des seconds gruaux qui fournissent à leur tour une farine de deuxième gruau et des troisièmes gruaux. Ceux-ci donnent enfin des farines bises de troisième gruau et un quatrième gruau qui fournit un produit de qualité encore plus inférieure, et des issues, appelées remoulages ou recoupes, qui contiennent les parties dures et grisâtres avoisinant l'enveloppe des grains.

La mouture, dite économique, ou française, ainsi partagée en cinq opérations, fournit en moyenne les résultats suivants pour 100 kilogr. de blé :

Farines blanches.	1re opération : farine dite de blé.	38k,33	66k,00
	2me opération : farine dite de 1er gruau.	19k,16	
	3me opération : farine dite de 2me gruau.	8k,51	
Farines bises.	4me opération : farine dite de 3me gruau.	5k,00	8k,33
	5me opération : farine dite de 4me gruau.	3k,33	
Issues.	Son gros et petit. . . .	10k,82	23k,32
	Recoupes.	6k,80	
	Recoupettes.	5k,70	
	Déchet, évaporation, perte. . . .		2k,35
	Total. . . .		100k,00

Dans les années où le grain manquait, on a quelquefois remoulu jusqu'à sept fois ; les remoulages étaient eux-mêmes pulvérisés et entraient dans le pain.

Les blés durs, demi-durs ou tendres se traitent également bien par cette méthode.

Dans la plupart des villes du Midi, la méthode économique se trouve singulièrement simplifiée, parce que les gruaux trouvent une application directe dans le pays, ce qui évite de les remoudre pour les transformer en farine. La mouture brute en sortant des meules est abandonnée à elle-même pendant cinq ou six semaines. On la remue tous les huit ou dix jours pour l'empêcher de fermenter. L'habitude apprend à reconnaître le moment le plus favorable pour le blutage. On fait alors passer la farine par des blutoirs de trois grosseurs différentes. La farine qui passe par la partie la plus fine s'appelle *minot;* la seconde se nomme farine simple, elle est généralement employée par les boulangers. La troisième enfin est le *grésillon*.

2° *Mouture américaine*, dite *anglaise*. Cette méthode est très simple : elle consiste à écraser tout le blé d'un seul coup et à séparer ensuite, au moyen de bluteries convenables, les sons et les différentes qualités de farine. Les meules employées pour ce genre de fabrication n'ont que 1m,30 de diamètre, mais elles font 120 tours par minute et doivent être fort rapprochées pour produire le moins possible de gruaux. La mouture, en sortant des meules, est conduite ordinairement dans un réfrigérant convenablement disposé pour éviter les altérations qui pourraient résulter d'un échauffement considérable.

Les blés demi-durs et tendres sont les plus faciles à traiter par ce procédé, qui donne, en moyenne, pour 100 kilogr. de blé, à peu près les produits suivants :

Farine à pain blanc	60
— — demi-blanc. . .	14
Sons gros et menus.	24
Déchet.	2
Total. . .	100

3° *Mouture à gruaux*. Le but de ce procédé est d'obtenir les belles farines destinées à la préparation des pains de luxe fabriqués dans les grandes villes. Les froments demi-durs et durs, à grains réguliers et volumineux, sont les seuls qui puissent supporter avec avantage ce mode de traitement.

La mouture à gruaux consiste à écraser et concasser le grain de manière à enlever l'enveloppe corticale extérieure et celle qui est repliée dans l'intérieur du grain, et à moudre ensuite les gruaux soigneusement purifiés. Voici comment on opère, après avoir préalablement soumis le blé à un nettoyage énergique :

Les meules sont convenablement écartées pour écorcer le blé et bien détacher les gruaux en produisant le moins possible de folle farine. La mouture passe, en quittant les meules, dans un blutoir en étamine qui sépare la farine dite *petit blanc* ou à *vermicelle*. Le mélange de son et de gruaux est alors versé dans une bluterie, formée d'étoffes à mailles de plus en plus larges, qui partage les gruaux en trois qualités : les moins gros portent le nom de *fins finots*, et fournissent la première qualité de farine; les moyens et les gros sont traités séparément et débarrassés du son et de la folle farine qui peut encore y adhérer, au moyen d'appareils mécaniques plus ou moins compliqués, et enfin de sas à main, espèces de cribles légers sur lesquels nous reviendrons plus tard.

Les gruaux purifiés, que l'on nomme semoule, sont soumis à la mouture. On obtient de la farine et de nouveaux gruaux qui, remoulus, donnent une farine que l'on réunit à la précédente pour former le n° 1 et de nouveaux gruaux. La farine obtenue des troisièmes et quatrièmes gruaux forme le n° 2 ; celle qui provient de la cinquième mouture, est dite blanche. La sixième mouture fournit de la farine que l'on mêle avec la farine d'écorçage. La septième mouture fournit enfin la farine dite *bise*.

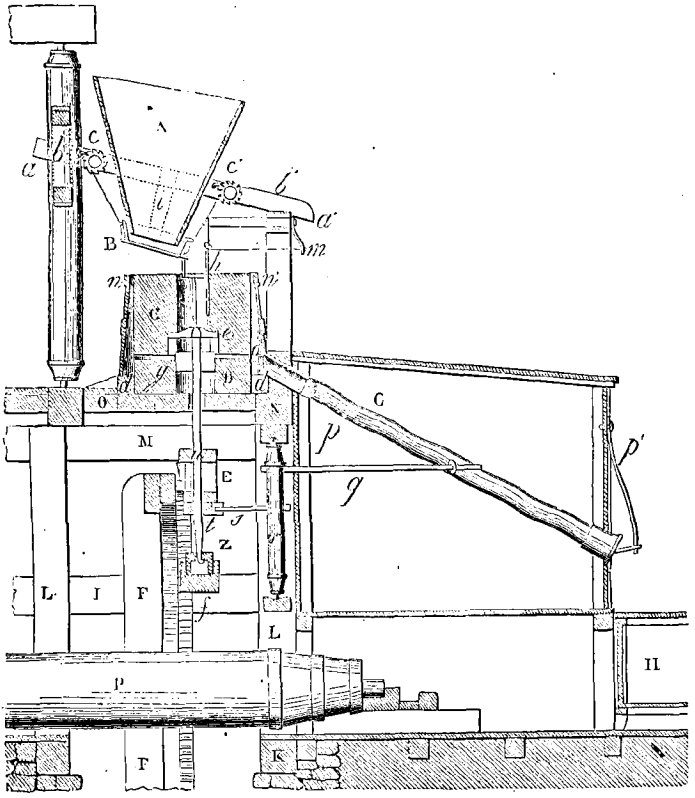
Voici l'indication des résultats ordinairement obtenus, par ce mode de fabrication, du traitement de 100 parties en poids de blé de bonne qualité :

Criblure ou petit blé.	0,800
Farine dite à vermicelle. . .	20,352
— — des gruaux n° 1. .	20,352
— — — n° 2. .	6,360
— dite blanche.	11,448
— — bise.	19,040
Son.	6,000
Recoupe.	6,400
Remoulage.	7,599
Perte.	1,649
Total. . .	100,000

Disposition générale d'un moulin. Nous venons d'indiquer rapidement les principes des méthodes de mouture les plus fréquemment employées ; examinons maintenant l'ensemble de la disposition des différentes pièces mécaniques qui composent un moulin. Rien de plus simple que la distribution des anciens moulins à mouture économique et de nos petits moulins ruraux. La fig. 1903 peut en donner une idée. L'arbre moteur P porte une roue dentée en bois F, qui engrène avec les fuseaux de la lanterne E, montée sur l'axe u, nommé le gros fer. Cet axe repose dans une crapaudine Z solidement établie et supporte la meule courante C, qu'il

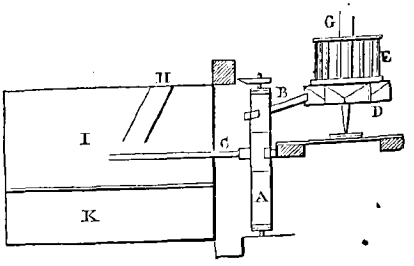
EFERUS - Recherche & Classification numérique

entraîne dans son mouvement de rotation. Le grain est versé dans la trémie A, au-dessous de laquelle est disposée une caisse rectangulaire B, légèrement inclinée et ouverte du côté inférieur. Cette caisse est supportée



1903.

par des cordes enroulées sur de petits treuils c, c' : en la rapprochant ou en l'éloignant de la base de la trémie, on ralentit ou on accélère l'écoulement du blé ; elle reçoit d'ailleurs d'un petit appendice fixé à la meule un mouvement régulier d'oscillation, qui fait descendre le blé que l'inclinaison seule de cette caisse ne suffirait pas pour faire tomber. Le grain, introduit dans l'ouverture de la meule supérieure, s'engage entre elle et la meule inférieure ou *dormante* D, et se trouve écrasé par son passage entre les surfaces de ces deux pierres. La mouture descend ensuite dans le bluteau p, renfermé dans la huche G. Les ailettes, fixées au-dessous de la lanterne E, choquent régulièrement la tige s, fixée perpendiculairement à l'arbre L, monté sur deux pivots. Ce mouvement de secousse est transmis au bluteau par la seconde tige q, également engagée dans la pièce L. Ce mécanisme, représenté à une plus grande échelle (figure 1904), se nomme le *babillard ;* c'est lui qui produit en grande partie le bruit particulier si bien représenté par le mot le *tic-tac* du moulin. Quand on visite l'appareil que nous venons de décrire, on est frappé des soins et du travail continuels qu'il exige, du désordre qu'il paraît présenter, de la perte de la farine qui se répand partout et du bruit assourdissant qu'il produit. Cette machine est une image de l'enfance de l'art. Entrons, au contraire, dans un grand moulin garni des nouveaux appareils. Un silence presque absolu étonne d'abord, puis on est frappé de l'ordre et de la propreté qui règnent partout. Un ou deux surveillants dirigent toute la machine et n'ont, pour ainsi dire, qu'un coup d'œil à donner pour faire agir les différents organes de l'appareil. Un cadran placé dans la salle des meules leur indique à chaque instant si le moteur accélère ou ralentit sa marche ; un léger effort exercé sur un levier mis à leur portée permet de ramener aussitôt la force motrice à une intensité convenable, ce que la machine effectue quelquefois d'elle-même. Une autre manivelle donne le moyen de faire varier l'écartement des meules et de les amener toujours à la position convenable. La machine prend elle-même les sacs de blé sur les chariots qui les amènent, les transporte au magasin ou à la trémie, qui distribue le blé aux différents appareils. Le grain, dès lors, appartient au mécanisme qui se charge de lui faire parcourir successivement tous les étages du moulin et ne l'abandonne qu'après l'avoir transformé en farine.



1904.

Parcourons rapidement la série des opérations que le mécanisme effectue ainsi en ne laissant à l'homme que le soin de sa direction et de son entretien.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le blé amené, comme nous venons de le dire, dans la grande trémie de l'usine, est conduit, au moyen de chaînes à godets ou de vis sans fin, dans les différents appareils de nettoyage. Il traverse ainsi l'*émotteur* qui sépare la paille et les mottes, puis le *nettoyeur* qui chasse les blés noirs et la poussière; il arrive ensuite au *crible*, qui le débarrasse des graines et des petits blés qui doivent être traités séparément. Dans quelques établissements, le blé, en sortant du cribleur dégagé de la poussière et des matières étrangères qu'il renfermait, est légèrement humecté avant d'être conduit aux meules. Le but de cette opération est de rendre plus souples et moins friables les membranes corticales grises qui enveloppent le grain, et, par suite, plus facile leur séparation par les bluteries. Dans d'autres établissements, le grain est conduit aux *cylindres comprimeurs*, espèces de laminoirs qui le concassent grossièrement avant de le livrer aux meules, et diminuent d'autant le travail de ces dernières.

Les deux opérations dont nous venons de parler sont souvent supprimées. Dans tous les cas, le blé, transformé en mouture par l'action des meules auxquelles il est livré, et convenablement refroidi au moyen de différents systèmes de *réfrigérants*, est repris par les chaînes à godets ou autres appareils analogues, et transporté aux appareils de la *blutterie*, qui séparent les farines de différentes qualités, et partagent enfin les issues en sons et remoulages de grosseurs variées.

Nous avons indiqué d'abord les principes des différents systèmes de mouture; nous venons de faire connaître sommairement le nom et les fonctions des appareils qui entrent dans la composition des moulins. Nous allons maintenant examiner un à un avec détails les différents organes du mécanisme, en expliquant successivement les modifications dont chacun d'eux est susceptible. Nous suivrons, dans cette description, l'ordre dans lequel le grain lui-même les parcourt en général.

Appareils de nettoyage. La disposition des appareils de nettoyage est excessivement variée. Chaque meunier arrange en quelque sorte ses machines suivant les localités, la force qu'il possède et la nature des grains qu'il traite ordinairement. Nous ne décrirons ici que les appareils généralement employés dans les moulins nouvellement construits, et dont la supériorité sur les anciens tarares de différentes constructions est aujourd'hui bien constatée.

Emotteur. Nous avons dit que le blé, en sortant de la grande trémie du moulin, était conduit à l'*émotteur*. Cet appareil était toujours formé autrefois d'un châssis rectangulaire de $2^m,00$ de longueur environ, dont le fond était garni d'une tôle mince percée de trous assez gros pour laisser passer le bon blé et les graines de même grosseur ou plus petites. Les mottes et les pailles d'un certain volume ne pouvaient traverser cette tôle, et tombaient à côté du châssis. Il était nécessaire de donner à l'appareil une légère inclinaison, et de lui communiquer à la fois un mouvement alternatif et de trépidation pour faire circuler le grain. On construit maintenant les émotteurs d'une manière beaucoup plus avantageuse. On monte sur un arbre en fer un cylindre en tôle découpée de $1^m,30$ de longueur et de $0^m,37$ de diamètre. Ce cylindre est enveloppé d'une chemise en tôle pleine de $1^m,14$ de longueur, de $0^m,40$ de diamètre à l'une de ses extrémités et de $0^m,45$ à l'autre, afin que, l'axe du cylindre étant horizontal, la surface de la chemise présente une inclinaison convenable pour conduire à l'extrémité le blé qui a traversé la tôle du cylindre. Les mottes et les grosses pailles, qui n'ont pu passer à travers les trous de la tôle, sont conduits au dehors. L'arbre en fer, sur lequel est monté le cylindre dont nous venons de parler, porte une poulie ou une roue dentée, qui imprime à la machine une vitesse de rotation de trente tours par minute environ.

Nettoyeur. Le grain, en sortant de l'émotteur, tombe dans la trémie K (voir fig. 1905 et 1906), et se trouve soumis à l'action d'un courant d'air produit par le *ventilateur* H, qui projette au dehors les pailles, les blés noirs et autres corps légers qui ont traversé l'émotteur. Le blé, nécessairement plus lourd, n'est pas entraîné par le vent, et s'introduit, par l'ouverture L, dans l'espace annulaire ménagé entre un cylindre fixe et un autre cylindre animé d'un mouvement rapide de rotation. Ces deux cylindres sont en tôle dite crevée, dont les aspérités sont extérieures. Le blé, violemment projeté par le mouvement de la machine, tantôt sur une des surfaces de tôle, tantôt sur l'autre, se trouve froissé et nettoyé en tous sens. Il arrive alors sur le plateau inférieur G, également en tôle percée de trous, sur lequel il est encore fortement frotté par une brosse à poils durs, et tombe enfin dans la trémie N, où il se trouve soumis à l'action du ventilateur I. Ce second courant d'air entraîne la poussière qui a été détachée par l'action des cylindres et des brosses dont nous venons de parler. Les petites mottes de terre qui ont traversé l'émotteur, et les blés noirs qui ont échappé à l'action du premier ventilateur, sont réduits en poussière par leur passage entre les deux cylindres de tôle, et sont alors facilement entraînés par le second courant d'air.

Nous venons d'expliquer la marche du nettoyeur à cylindres verticaux; étudions maintenant attentivement la construction de cet ingénieux appareil. Tout le mécanisme est supporté par quatre montants verticaux B en bois, assemblés à leur partie inférieure dans les patins A, et réunis à leur partie supérieure par un croisillon en fonte C à quatre branches (vu en plan, fig. 1907), évidé en son milieu, de manière à former une boîte carrée qui reçoit les coussinets de l'arbre vertical D D. La partie la plus importante de l'appareil est le tambour ou cylindre vertical mobile; son exécution demande beaucoup de soin et de précision. Il est formé d'un grand nombre de douves jointives, boulonnées sur deux cercles en fonte E,E (fig. 1905 et 1908), à quatre bras tournés et ajustés sur l'arbre D, auquel ils sont fixés par des clefs. Les têtes des boulons qui retiennent les douves sont noyées dans les bois, afin que l'on puisse remettre le cylindre sur le tour pour le rendre parfaitement rond. Les extrémités de ce cylindre sont fermées par des disques en planches réunies à languettes, et sur lesquels les douves sont aussi fixées. On cloue sur la surface du cylindre ainsi ajusté les feuilles de tôle criblées de trous percés au poinçon, afin de laisser de fortes aspérités du côté opposé au perçage. Dans les ateliers de construction bien outillés, on a une machine qui perce ces trous avec une grande régularité et une rapidité remarquable. Le poinçon employé pour cette opération est conique; sa section est indifféremment circulaire, carrée ou triangulaire. Les trous doivent d'ailleurs être assez rapprochés pour que, les aspérités étant placées en dehors, le cylindre forme une râpe très vive. Des brosses à poil dur sont fixées, comme nous l'avons déjà dit, à la partie inférieure du tambour que nous venons de décrire.

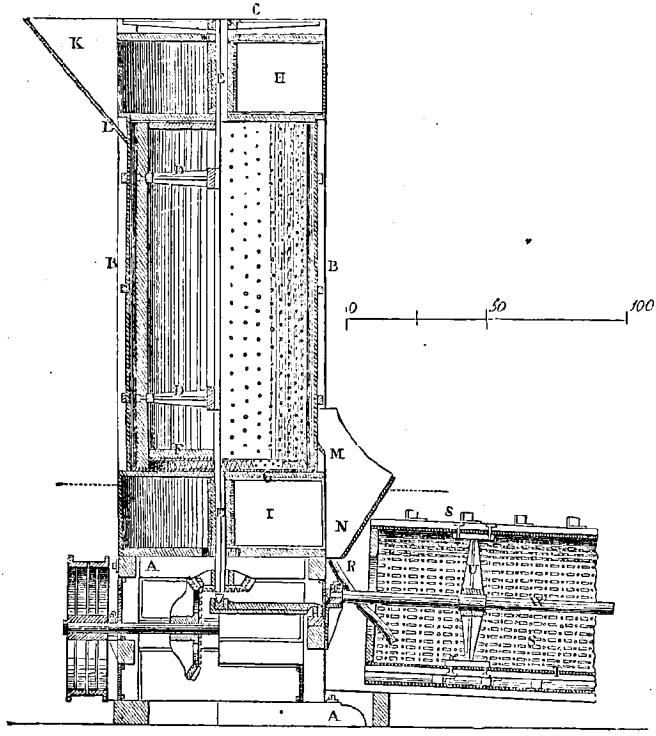
L'arbre D D, qui porte le cylindre mobile, repose inférieurement sur une crapaudine en acier fondu, fixée sur un support en fonte qui permet de la centrer et de l'élever convenablement, et se trouve maintenue à sa partie supérieure par les coussinets engagés dans le croisillon c. Les ventilateurs H et I sont montés sur le même arbre, ainsi que le pignon d'angle r, denté en fonte, qui reçoit le mouvement d'une roue plus grande R, dentée en bois, et ajustée sur un arbre de couche porté par le bâti du nettoyeur, et muni de deux poulies, l'une folle et l'autre fixe, mises en mouvement par une courroie sans fin. Les ventilateurs sont formés de quatre ailes en bois blanc léger, fixées sur des man-

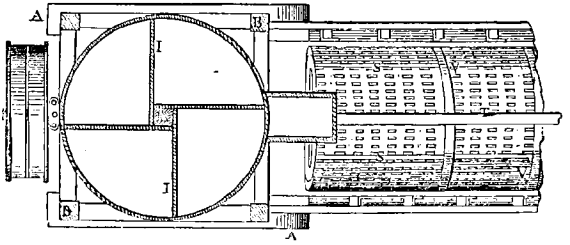
EFERUS - Recherche & Classification numérique

chons carrés faits en deux pièces et retenus sur l'arbre au moyen de goupilles.

Le cylindre mobile est enveloppé par un second cylindre également en bois, garni de tôle percée, dont les aspérités sont en dedans. La distance qui sépare les

1905.

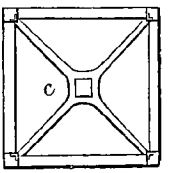




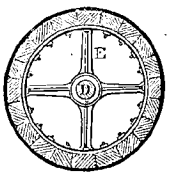
1906.

deux cylindres est de 0m,025 environ. La partie supérieure de cette enveloppe est recouverte par une planche qui forme le fond du ventilateur H, qui est d'ailleurs entouré d'un cylindre en tôle pleine ouvert seulement vis-à-vis de la trémie K. La base du cylindre enveloppe est également séparée, par une planche recouverte de tôle crevée, du ventilateur inférieur J.

Les dimensions et la vitesse du cylindre vertical ont la plus grande influence sur les effets de cet appareil. Quand on donne au cylindre 2 mètres de hauteur et une vitesse de 400 tours par minute, son action est tellement énergique, que le blé est entièrement dépouillé de sa pellicule et qu'il devient *perlé*. Ce nettoyage serait évidemment trop complet, puisqu'il ferait perdre tout le son dont on retire un certain bénéfice, et qui ne vaudrait plus rien ainsi mélangé de poussière. Si l'on diminue en même temps les dimensions et la vitesse du cylindre, on tombe dans l'inconvénient contraire, c'est-à-dire que le blé, n'étant pas assez longtemps en contact avec les tôles, n'est pas complétement nettoyé. L'usure des tôles est d'autant plus rapide, toute chose égale d'ailleurs, que la vitesse est plus grande; on doit chercher à leur assurer une existence assez longue pour que les chômages ne soient pas trop multipliés.



1907.



1908.

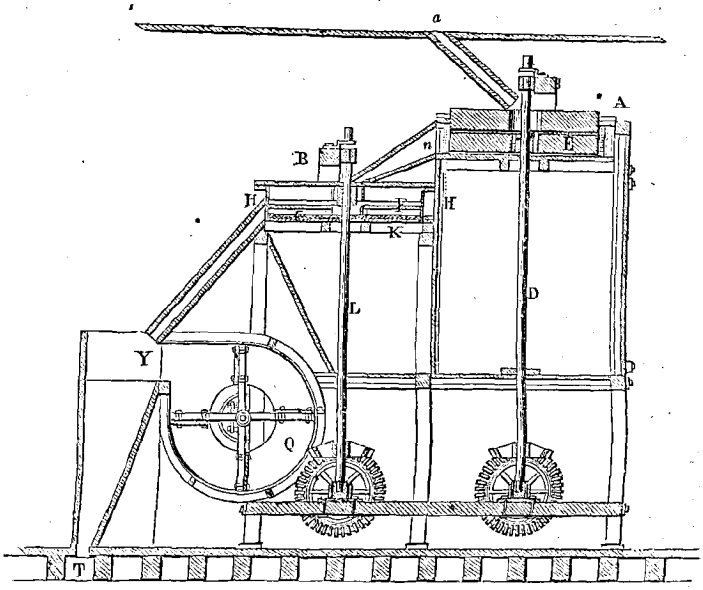
Après de nombreux tâtonnements, M. Cartier, constructeur de roues dentées et de moulins, à Paris, auquel on doit la machine qui nous occupe, s'est arrêté aux dimensions suivantes qui paraissent les plus convenables : le cylindre a 0m,60 de diamètre et 1m,20 de hauteur; il doit faire de 280 à 300 tours par minute.

L'appareil, avec les dimensions que nous venons d'indiquer, peut nettoyer facilement 250 kilogrammes de blé par heure ou 6000 kilogrammes par 24 heures, c'est-à-dire environ 75 hectolitres. C'est à peu près le travail de quatre à cinq paires de meules à l'anglaise, avec une puissance de 12 à 14 chevaux-vapeur effectifs. Quelques usines n'ont même qu'un seul nettoyeur pour six paires de meules; mais alors il fatigue beaucoup. Le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prix de cet appareil, pris chez le constructeur, M. Cartier, est de 800 à 900 francs.

Parmi les appareils employés pour le nettoyage des blés avant le nettoyeur de M. Cartier, nous citerons le suivant (fig. 1909), qui était un des meilleurs. Le blé est conduit par le tuyau o dans une ouverture circulaire, pratiquée au centre de la meule courante A placée à une assez grande distance de la meule gisante E, pour ne pas écraser le grain, mais seulement le rouler sur lui-même avec une certaine énergie. Après avoir passé



1909.

entre les deux meules dont nous venons de parler, le grain descend, par le tube *n*, dans un cylindre entièrement fermé, dont le fond et les côtés sont en tôle crevée, et dans lequel se meut un tambour F garni de brosses dures qui détachent complétement la poussière adhérente. Le blé, ainsi nettoyé, tombe par le tuyau H, et traverse le courant d'air produit par le ventilateur Q. La poussière et les corps légers s'échappent par l'ouverture Y; le bon blé descend dans la trémie T.

Le nettoyage avec les appareils que nous venons de décrire a lieu par *voie sèche*. On cherche depuis longtemps une bonne méthode de nettoyage par *voie humide*. Ce mode de purification présenterait beaucoup d'avantages, mais jusqu'à présent la solution complète de la question n'a pas été obtenue. Le *lavage* du grain est assez facile à exécuter, mais le séchage paraît offrir de grandes difficultés. Quoiqu'il en soit, M. de Maupeou a pris, en 1834, un brevet d'invention pour une machine qui paraît assez satisfaisante. Le blé, après avoir été lavé, parcourt successivement une série de cylindres animés d'un mouvement de rotation, et disposés dans une chambre de forme pyramidale faisant cheminée, et dans laquelle passe un courant d'air sec et chaud. En sortant de cette chambre, le grain circule dans une nouvelle série de cylindres et reprend rapidement la température ordinaire.

L'appareil construit par M. de Maupeou peut nettoyer, laver et sécher 300 hectolitres de grain par 24 heures. Nous n'avons pas été à même d'apprécier jusqu'à présent ses résultats économiques.

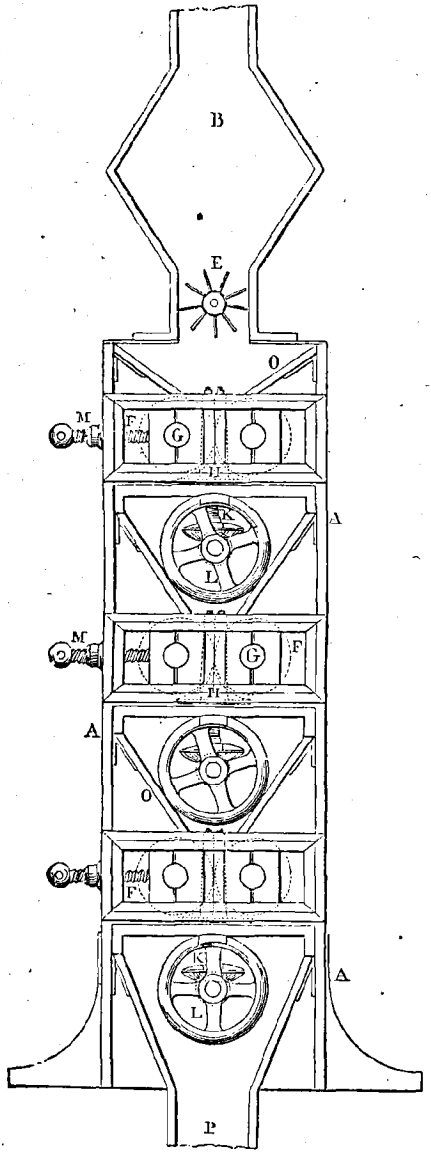
Cylindre cribleur. Le nettoyage du grain se termine ordinairement par son passage à travers un crible; quelques meuniers négligent cependant cette opération. Voici du reste la description de l'appareil le plus perfectionné en ce genre. Un tuyau recourbé R (fig. 1905 et 1906) part du fond de la trémie N et conduit le blé dans le cylindre cribleur S, que nous n'avons pu représenter dans toute sa longueur, faute d'espace. Ce cylindre a 4 mètres de longueur et $0^m,50$ de diamètre; il est formé de feuilles de tôle mince, découpées en trous longs et ronds, calculés de manière à laisser passer les petits grains de blé et les graines rondes qu'on ne veut pas moudre avec les blés de premier choix. Ces feuilles de tôle sont clouées sur de longues tringles de bois, fixées sur trois cercles ajustés sur des croisillons en fonte U, montés sur l'arbre en fer tourné W. Le cylindre cribleur doit faire 28 à 30 tours par minute; il convient de prendre son mouvement sur l'arbre moteur du nettoyeur, afin que ces deux appareils marchent et s'arrêtent en même temps. On lui donne d'ailleurs une inclinaison de $0^m,04$ par mètre pour faciliter la descente des grains.

L'extrémité supérieure est fermée par une planche qui ne présente qu'une ouverture circulaire, à travers laquelle s'introduit le conduit *q*. L'extrémité inférieure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est aussi fermée par un plateau ouvert à son centre, et garni de palettes qui forment *escargot* et facilitent la sortie du grain en l'élevant de la partie inférieure jusqu'au centre.

Le cylindre cribleur est enveloppé d'une auge demi-



1910.

circulaire en fer-blanc ou en zinc, dans laquelle tombent les petits grains qui passent à travers les trous de la tôle percée. L'inclinaison de cette auge étant très faible, on a cloué sur les tringles en bois des palettes qui poussent, comme une vis sans fin, vers l'extrémité de

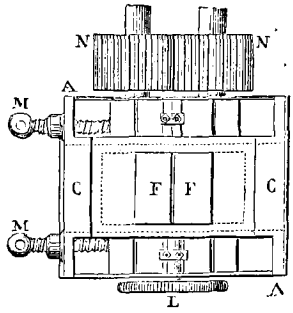
l'auge, les grains qui s'y accumuleraient sans cette précaution.

Dans quelques moulins, le blé en sortant du cylindre cribleur n'est pas conduit directement à l'engreneur. On le soumet, soit à l'opération du mouillage, soit à l'action de cylindres comprimeurs. Nous devons expliquer en quoi consiste ce travail.

Mouillage. Quand la nature des blés rend nécessaire de les mouiller avant de les soumettre à l'action des meules, on les fait passer à travers des cylindres en tôle pleine, inclinés et animés d'un mouvement de rotation, à travers lesquels circule un filet d'eau. Cette machine très simple humecte uniformément tous les grains et n'exige que très peu de force.

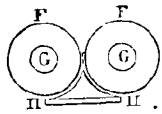
Cylindres comprimeurs. Il est assez avantageux de soumettre à l'action de cylindres comprimeurs les blés très durs ou renfermant accidentellement des graviers qui n'ont pu être attaqués par le cylindre nettoyeur. Cette machine est toutefois assez rarement employée; voici du reste comment elle est ordinairement établie.

Trois paires de cylindres très durs, en fonte ou même en acier trempé F,F (fig. 1910 et 1911), sont disposés les uns au-dessus des autres dans un fort bâti A. Des trémies *o o*, *o' o'*, *o'' o''*, ramènent sans cesse vers cha-



1911.

que système de cylindre le blé qui sort du précédent. Les vis M qui agissent sur les coussinets qui embrassent les axes des cylindres G permettent de régler convenablement leur écartement. Une pièce triangulaire H, nettement indiquée (fig. 1912), est placée au-dessous de chaque paire de cylindres. Le grain se trouve ainsi soumis à l'action des cylindres, non seulement pendant son passage au point I, mais encore pendant tout le temps qu'il met à parcourir l'espace I H. Les manivelles à volants L (fig. 1910 et 1911) mettent en mouvement, au moyen de roues d'angle K, des vis qui servent à régler l'écartement de la pièce H et des cylindres comprimeurs.



1912.

Meules. La bonne qualité des meules est une des conditions les plus importantes de l'établissement d'un moulin. On ne saurait apporter trop de soin au choix de la pierre et à la manière dont elle est taillée.

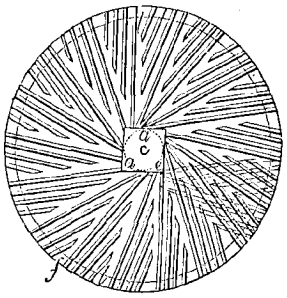
Les pierres calcaires et les grès sont impropres à la fabrication des meules; elles formeraient par leur frottement, soit de la poussière, soit des sables qui altéreraient la farine à laquelle ils se mêleraient. La variété de quartz silex, connue sous le nom de pierre meulière, fournit les meilleures meules connues. Cette roche se rencontre assez abondamment dans les terrains tertiaires des environs de Paris, surtout auprès de La Ferté-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sous-Jouarre (Seine-et-Marne). Les fabriques de meules de cette localité sont renommées en France et à l'étranger; elles fournissent tous les moulins des environs de Paris, et font de nombreuses expéditions pour l'Amérique.

Les anciennes meules avaient de 1m,80 à 2m,30 de diamètre. On les formait d'un seul bloc, et quelquefois de deux ou trois fragments. Il était très difficile de se procurer de pareilles pierres, et tout à fait impossible d'avoir des meules parfaites; elles présentaient toujours quelques points défectueux.

Les meules employées dans la mouture américaine ont presque toujours maintenant 1m,30 de diamètre et



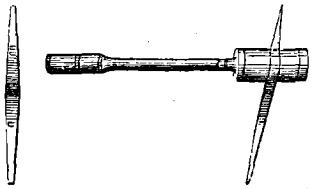
1913.

0m,27 d'épaisseur. Elles sont formées d'un grand nombre de pierres de petite dimension, de qualité identique, rapprochées et maintenues par une couche de plâtre et des cercles en fer. Quelques fabricants s'attachent à cacher les joints dans le fond des sillons des meules; cette précaution est assez bonne. Dans tous les cas, les joints des pierres doivent être taillés au burin pour que l'ajustage soit aussi parfait que possible. La pierre meulière forme à peine la moitié de l'épaisseur que nous venons d'indiquer; le reste est formé de débris maçonnés au plâtre. Les inégalités naturelles de la pierre, qui la rendent coupante et plus ou moins vive, se nomment *éveillures*. On dispose généralement les morceaux de pierre les plus vifs, et par suite les plus favorables à la mouture, près de la circonférence des meules. On a remarqué qu'il était convenable de marier des meules de natures différentes; la meule *courante* doit être plus ardente que la meule *gisante*.

On ménage au centre de chaque meule une ouverture circulaire de 0m,25 à 0m,30 de diamètre, nommée l'*œillard*. A peu de distance de ces ouvertures, les meules sont rayonnées sur toute leur surface, comme l'indique la fig. 1913. La profondeur de ces rayons est de 0m,005 à 0m,006. Ils sont formés d'un plan perpendiculaire à la surface générale de la meule, et d'un autre plan incliné qui vient se raccorder avec le dessus de la meule. Les rayons de la meule courante et de la meule gisante sont disposés de la même manière; ils passent les uns au-dessus des autres, pendant le mouvement, en formant des angles variables comme une cisaille. Le grain se trouve donc d'abord déchiré par les rainures avant d'être broyé entre les parties pleines de la surface des meules. On a tenté, en Angleterre, de donner aux rayons une forme circulaire; cette innovation, que rien ne justifie, n'a produit aucun bénéfice.

Une paire de meules ne peut travailler que 6 ou 7 jours de suite, il faut donc en avoir une de rechange sur cinq ou six.

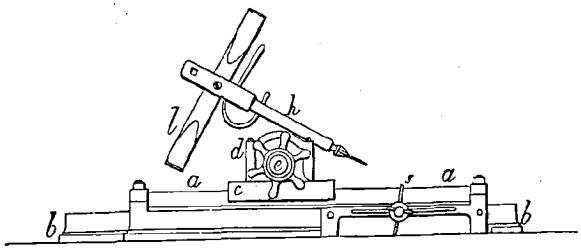
Les parties pleines des meules doivent être parfaitement planes. Quelques meuniers, il est vrai, creusent

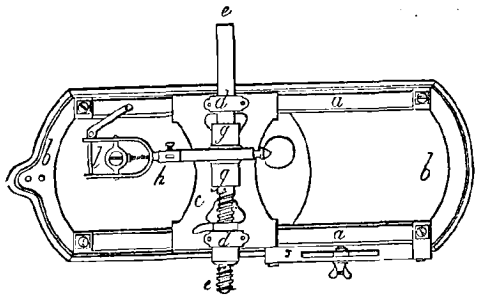


1914. 1915.

légèrement vers l'œillard la meule courante; mais cette précaution paraît inutile. La surface des meules doit être dressée au marteau avec le plus grand soin : cette opération se nomme *rhabillage*. On vérifie si la meule est bien droite, en passant dessus une règle enduite

1916.





1917.

d'une légère couche de rouge : les parties sur lesquelles s'arrête la couleur sont les plus élevées. Les ouvriers rhabillent les meules, en frappant des coups légers et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dirigés parallèlement sur toute la surface, à l'aide d'un marteau tranchant en acier fondu bien trempé. (Fig. 1914 et 1915.)

L'opération du rhabillage des meules est très-délicate, et exige des ouvriers intelligents et très-exercés. On a souvent cherché à l'exécuter mécaniquement; jusqu'à présent on n'est pas arrivé à une solution complète du problème; il paraît très-difficile à résoudre. On espère y parvenir par l'emploi du diamant noir. M. David, de Troyes, avait proposé l'emploi d'une espèce de chariot, à mouvements rectangulaires, pour obtenir le parallélisme et la régularité de l'écartement des tailles, que la pratique n'a pas adoptée.

Les figures 1916 et 1917 feront comprendre la construction de cet outil. Deux guides cylindriques *a*, *a*, en fer tourné, sont fixés sur le châssis en fonte *bb*, que l'on pose sur la meule à rhabiller. L'outil *l* est porté par le chariot en fonte *cc;* il est mû par l'ouvrier qui appuie sur la partie méplate de la pièce *h*, et soulève ainsi le marteau qu'il abandonne ensuite à son propre poids pour le laisser frapper sur la meule.

Disposition des meules.—La meule gisante (fig. 1919) repose sur un plancher solidement construit en charpente ou en fonte, comme nous le verrons un peu plus loin en parlant de la disposition des *beffrois*. On la place dans une position parfaitement horizontale au moyen de vis verticales et de *triangles*. Enfin des vis horizontales déterminent sa position. La meule courante est supportée par un arbre E, ordinairement en fonte, nommé *gros fer* ou *fer de meule*, qui lui imprime un mouvement rapide de rotation. La réunion de la meule courante et du gros fer se fait ordinairement au moyen d'une *nille* ou *anille* A, pièce de fer encastrée dans la meule, et qui repose sur l'extrémité du gros fer auquel elle est librement réunie par un manchon en fonte. Le manchon en fonte B, qui supporte la nille A, est composé de deux parties. La partie inférieure s'ajuste sur le gros fer et se trouve maintenue par les deux nervures E. La pièce sphérique sur laquelle repose la nille est en acier, on la nomme *pointal*. Elle est encastrée dans le gros fer.

Le sommet du pointal doit être placé notablement au-dessous du centre de gravité de la meule, afin que l'équilibre soit très-stable. Dans une meule de 0m,27 d'épaisseur, il convient de le placer à 0m,15 au-dessus de la surface inférieure.

On doit chercher à mettre la meule en équilibre aussi parfait que possible. Malgré les soins apportés à la disposition de la pierre, on n'atteint pas directement ce résultat; on est obligé de terminer la mise en équilibre en coulant du plomb dans des trous disposés à cet effet sur la surface de la meule.

Le gros fer traverse la meule gisante à travers un boitard en fonte *a* (fig. 1919), scellé dans cette meule.

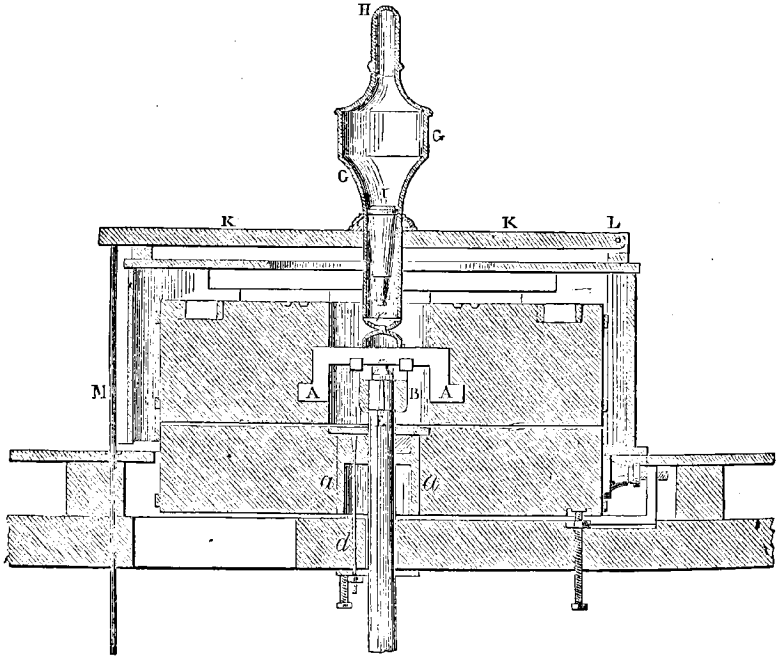


Fig. 1919.

Ce boitard est représenté en coupe et en plan figures 1929 et 1930. Les coussinets en bronze *x*, dont on peut augmenter ou diminuer le serrage au moyen de la tige *d*, embrassent la partie tournée du gros fer. Les masses d'étoupes *y*, constamment imprégnées d'huile, entretiennent la douceur du mouvement.

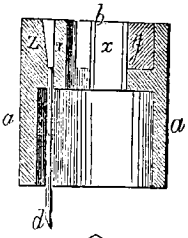
Engreneur. — Le blé est amené aux meules par un tuyau H (fig. 1919) qui s'ouvre dans la boite en cuivre mince G. Celle-ci se termine par un tuyau ouvert, dont l'extrémité est placée au-dessus d'une cuvette *r*, fixée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MOULIN.

sur le manchon en fonte qui surmonte le gros fer. En soulevant plus ou moins la traverse KL qui supporte la boîte G, on règle convenablement l'écoulement du grain.

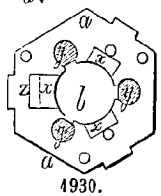
1929.



Cet appareil très simple remplace avec avantage les trémies, l'auget et le *baille-blé*, qui encombrent sans nécessité toute la surface des meules, et produisent un bruit si désagréable.

Disposition du gros mécanisme, beffroi. Nous venons d'indiquer l'ajustement de meules; examinons maintenant comment on peut grouper les différentes paires et le mécanisme qui leur transmet le mouvement.

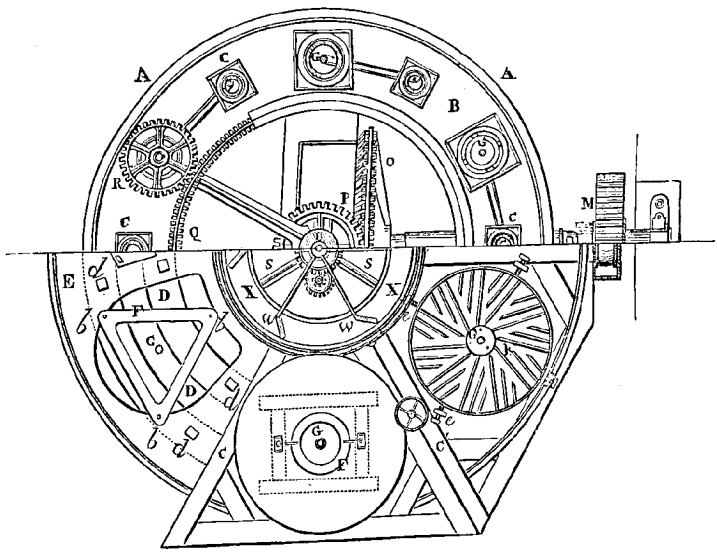
Les fig. 1931 et 1932 représentent un beffroi de six paires de meules, disposé de la manière la plus convenable. Le plan (*fig.* 1931) est fait à plusieurs hauteurs différentes : ainsi, la meule en F^2 est recouverte de



1930.

fonte ou en charpente DD (fig. 1932) portée sur des colonnes également en fonte *c*, qui reposent sur un massif de maçonnerie. La roue M reçoit le mouvement du moteur, et, au moyen des roues d'angles *o* et *p*, le transmet à l'arbre vertical U. Cet arbre porte la roue *g* qui engrène à la fois avec tous les pignons A montés sur les gros fers G des meules (fig. 1931 et 1932). On débraie les roues R en les soulevant au moyen d'un cric de forme particulière. Le nombre de dents des roues qui composent le système d'engrenage dont nous venons de parler, doit être calculé de manière à ce que les meules fassent 120 tours par minute. Ils dépendent par conséquent de la nature du moteur; ainsi, avec les roues hydrauliques ordinaires, on est obligé d'accélérer le mouvement; avec certaines turbines au contraire on est obligé de le ralentir, et quelquefois la vitesse de la turbine est telle que l'on peut monter directement la meule sur l'arbre du moteur, ce qui évite l'emploi des roues dentées.

Les roues dentées *g* et R peuvent être remplacées par des courroies. Ce mode de transmission de mouvement est en général plus doux que les engrenages; il présente surtout un grand avantage dans les moulins où la puissance motrice est intermittente, comme une machine à vapeur, dont le *point mort* est toujours sensible quelle que soit la masse du volant. L'arbre moteur et le gros fer portent, dans ce cas, des poulies sans gorge de même diamètre et à moitié enveloppées par les courroies qui



1931.

son enveloppe, tandis qu'en F' on a supprimé l'enveloppe et la meule courante pour ne montrer que la gisante. Enfin, en F, on suppose les deux meules enlevées et on aperçoit le *triangle* en fer *bbb* sur lequel la meule est placée et qui reçoit l'action des vis calantes. La partie supérieure de la figure représente aussi des sections faites à différentes hauteurs : la première au niveau de l'engrenage qui transmet le mouvement et les deux autres à des hauteurs moins considérables encore.

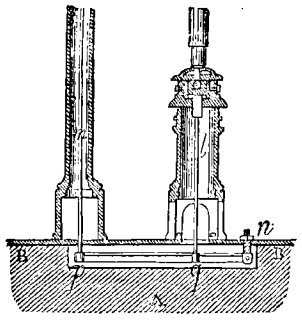
Les meules sont établies sur une forte plate-forme en

doivent avoir $0^m,25$ à $0^m,30$ de largeur pour transmettre la force nécessaire. Les courroies doivent être assez longues pour n'être pas naturellement tendues. On les fait agir au moyen d'un rouleau de tension. L'embrayage et le débrayage sont beaucoup plus faciles avec cette disposition que dans le système précédent.

Le mécanisme employé pour *soulager* les meules est fort ingénieux et n'exige pas que le meunier descende à l'étage inférieur, comme cela avait lieu dans les anciens moulins. La crapaudine qui reçoit le pivot du gros

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fer est guidée par un manchon cylindrique, et peut être soulevée par la tige *l* (fig. 1933) qui est fixée à



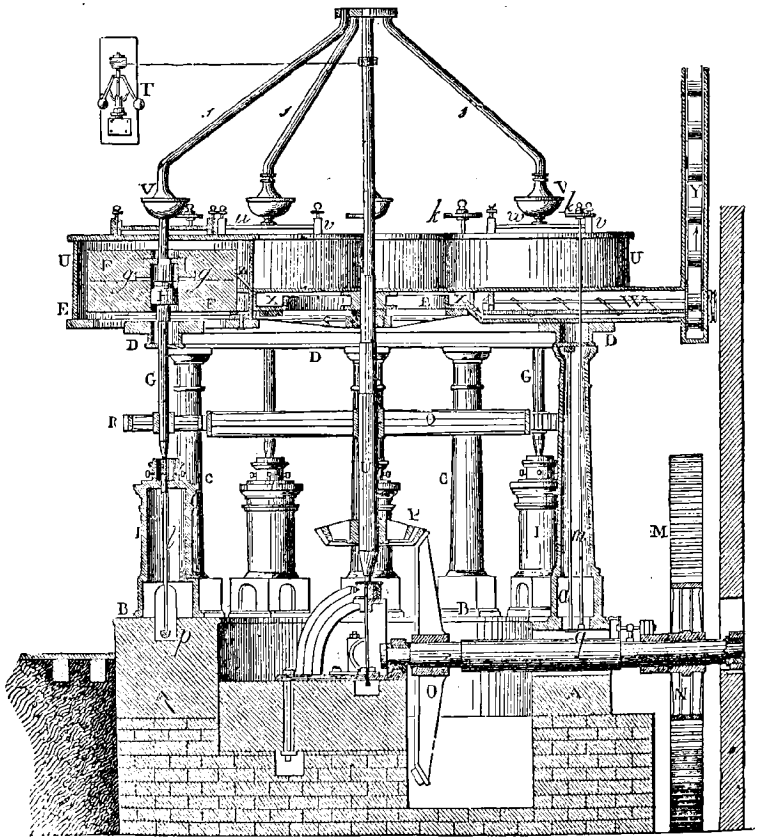
1933.

charnière au levier *pq*. L'extrémité de ce dernier levier est réunie à une tige *m* (fig. 1932) qui traverse la colonne et se termine à l'étage des meules par une petite manivelle à volant *k*. Cette tige *m*, taraudée dans une partie de sa longueur, traverse un écrou fixe que l'on aperçoit logé dans l'entablement D. En imprimant un mouvement de rotation convenable à cette tige au moyen de la manivelle *k*, on voit qu'on soulèvera le levier *pq* (fig. 1933) et par suite la meule. Les mêmes lettres représentent les mêmes objets sur le dessin de détail (fig. 1933), et sur la figure d'ensemble on comprendra aisément le jeu de l'appareil.

Les conduits *s* amènent le grain aux engreneurs V, dont nous avons déjà donné la description.

Une poulie montée sur l'arbre V met en mouvement un modérateur à force centrifuge T. Les boules de cet instrument s'écartent d'autant plus que la vitesse est plus grande; il est d'ailleurs disposé de telle sorte qu'il fait sonner une cloche d'un certain timbre, quand la vitesse est trop grande, et qu'il en agite une d'un autre son quand elle est trop ralentie, de sorte que le meunier n'a même pas besoin de regarder pour savoir qu'elle est la marche de son moulin.

Récipient à boulange. Dans les anciens moulins à l'anglaise, on recevait la boulange à sa sortie des meules dans une boîte rectangulaire, nommée *arche*, qui descendait jusqu'au rez-de-chaussée, et de là elle était remontée par des chaînes à godets jusqu'à l'étage des blutteries. On adopta plus tard une autre disposition :



1932.

les arches conduisaient la boulange dans un grand récipient circulaire placé autour du beffroi et animé d'un mouvement de rotation très lent. Un élévateur repre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nait alors la farine et la montait à la chambre du râteau ou *refroidisseur*. L'évaporation de la folle farine, avec cet appareil, était fort considérable, parce que le récipient circulaire était entièrement ouvert à sa partie supérieure. M. Cartier emploie une autre disposition, qui est maintenant généralement adoptée. Voici en quoi elle consiste : la boulange sort des meules par les ouvertures Z (fig. 1931 et 1932), et tombe dans un réservoir circulaire placé entre les meules peu au-dessus du plancher du beffroi; des palettes X animées d'un mouvement lent de rotation la remuent et finissent par l'amener à la vis sans fin W, qui la conduit jusqu'à une chaîne à godets Y, placée près du mur de tympanne, au moyen de laquelle elle est conduite à la chambre du râteau.

Les dimensions et les vitesses des palettes, de la vis sans fin et de la chaîne à godets doivent évidemment être telles que toute la boulange produite par les meules soit facilement entraînée. Nous ne nous arrêterons pas à ces petits calculs numériques que chacun peut faire, quand on connaît le produit de chaque paire de meules et leur nombre.

Cette disposition n'évite pas entièrement la perte de la folle farine. M. Cartier avait eu l'idée de l'aspirer par un long tuyau et, au moyen d'un ventilateur placé plus loin, de l'envoyer dans la chambre du refroidisseur. Cette idée est fort bonne, mais on peut éviter l'emploi du ventilateur en faisant communiquer le tuyau dont nous venons de parler avec une cave, ce qui suffit pour produire ce tirage. Nous avons vu un appareil fonctionnant par ce moyen : il produit d'excellents résultats.

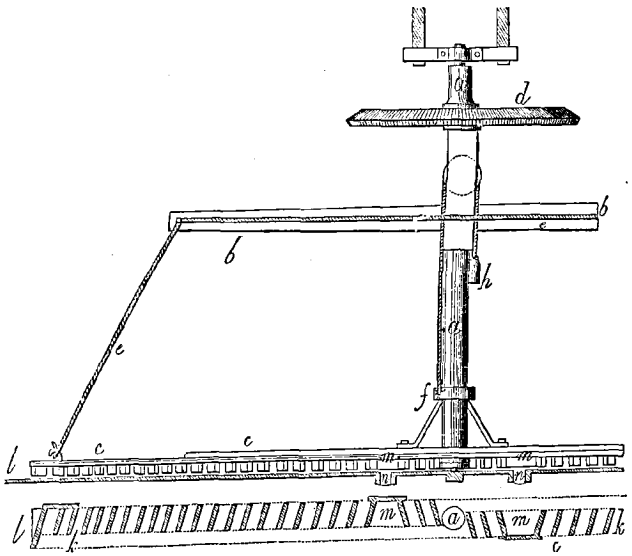
On a pensé que l'échauffement de la boulange tenait, en partie, à ce qu'elle était comprimée, au moment de sa sortie des meules par une seule ouverture, et on a proposé de la laisser sortir tout autour des meules. Cette disposition serait très bonne et facile à réaliser. Il suffirait de placer les meules dans une cuvette circulaire en fonte, et de mettre dans cette espèce d'auge un système de palettes qui ramasseraient la boulange et la conduiraient à l'ouverture par laquelle on voudrait la faire sortir.

Plusieurs essais ont été faits pour s'opposer à l'échauffement produit pendant le passage du blé dans les meules. Jusqu'à présent aucun moyen n'a été généralement adopté. Plusieurs mécaniciens recommandent cependant d'introduire entre les meules, au moyen d'un ventilateur, un courant d'air assez rapide. Ce procédé paraît le plus rationnel et le plus simple.

La question qui nous occupe est du reste celle qui préoccupe le plus les meuniers en ce moment, et les opinions sont loin de se ressembler. Le plus grand nombre des constructeurs cherchent, comme nous venons de le voir, à refroidir la boulange après sa sortie des meules. D'autres meuniers, au contraire, et particulièrement l'un des plus habiles de France, échauffent les tuyaux où ils la font circuler, afin que sa température ne s'abaisse pas avant d'atteindre la bluterie. On évite ainsi la condensation des vapeurs qui se dégagent de la matière, et par suite la formation de ces masses pâteuses qui s'attachent dans tous les coins des appareils et qui sont pour le meunier une cause de perte et de soins continuels. Un autre fabricant va plus loin encore : il échauffe le blé avant de le livrer aux meules; il croit que cette précaution rend la mouture plus facile. Ce résultat ne doit être vrai que pour des échantillons de blé tout à fait particuliers; car les bons effets du mouillage des grains ont été trop souvent observés pour qu'il soit possible de les mettre en doute.

Râteau refroidisseur. Quand on prend le parti de refroidir la boulange, ce que l'on fait presque toujours, on la conduit du récipient dont nous avons parlé, à la chambre du râteau refroidisseur. Cet appareil n'est autre chose qu'un véritable râteau *cc* (fig. 1934 et 1935) fixé à un arbre vertical *aa*, qui peut recevoir un mouvement de rotation au moyen de la roue d'angle *d*. Le contre-poids *h* fixé à l'une des extrémités d'une corde qui s'enroule sur la poulie *g* et qui supporte la pièce *f* solidaire avec le râteau, permet d'élever cette partie de l'appareil à la hauteur convenable. Il résulte de l'inclinaison donnée aux dents du râteau, que la boulange arrivant au point le plus éloigné du centre du cercle décrit par l'instrument, parcourt une longue spirale avant d'arriver aux dernières dents *m*, *m*, disposées de manière à la pousser aux conduits *n*, *n*, ce qui lui donne le temps de se refroidir complétement.

1934.



1935.

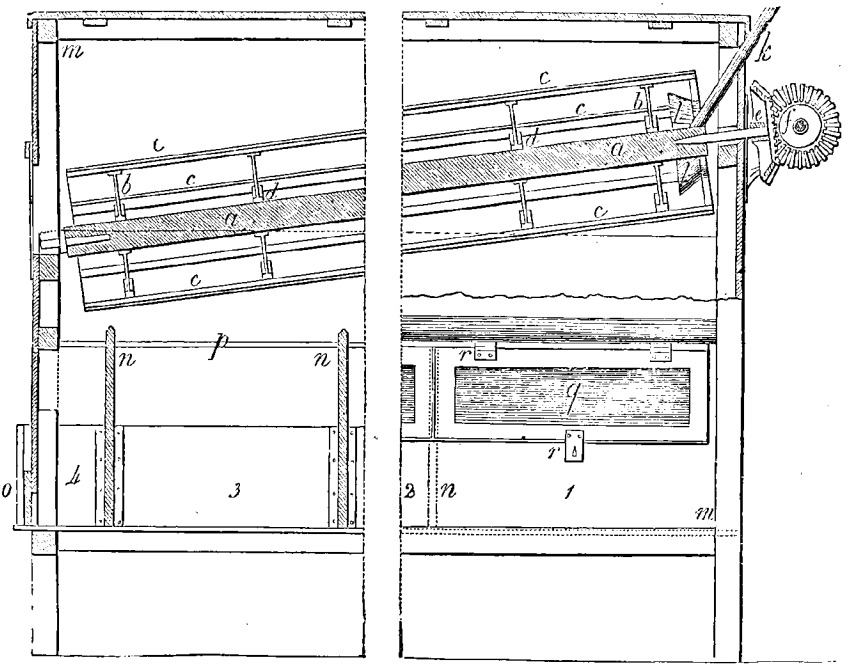
Bluterie. Nous avons dit que le bluteau des anciens moulins n'était autre chose qu'un long sac en étamine continuellement agité par un mécanisme particulier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

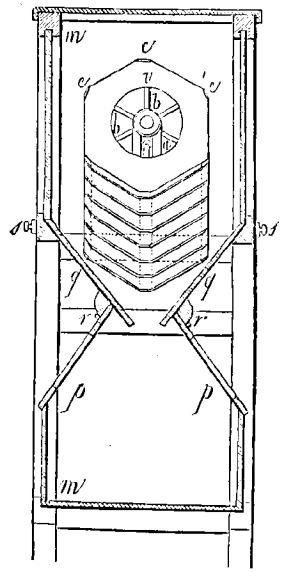
Cet appareil a reçu des modifications aussi grandes que toutes les autres parties des moulins.

la partie inférieure est divisée en cases correspondant aux différentes qualités de farine. Les *soies*

1936.



Les fig. 1936 et 1937 représentent très bien le système de bluteaux généralement employés aujourd'hui. Un arbre en bois *a* porte des bras *b*, sur lesquels sont fixées de longues tringles en bois *c* formant les arêtes d'un prisme hexagonal. Des gazes de soie de différents degrés de finesse sont tendues sur cette espèce de carcasse. Le bluteau doit avoir 4m,00 de longueur et environ 0m,90 de diamètre; il tourne, avec une vitesse de 25 à 30 tours par minute, sur des tourillons en fer. La boulange est introduite par l'ouverture supérieure. L'appareil est renfermé dans un coffre en planches dont



1937.

de Lyon, généralement employées pour les bluteries, ont environ 1 mètre de largeur. Les plus fines renferment environ 50 fils au centim. et les plus grosses seulement 10 fils dans le même espace. On dispose les premières à la partie supérieure des bluteaux, et les autres au bas. La dernière case reçoit des gruaux à remoudre. Les résidus qui n'ont pu traverser les soies sortent à l'extrémité inférieure de la bluterie. Une chaîne à godet, les reprend et les conduit à une bluterie particulière appelée *quintin*, recouverte d'une étoffe de laine et destinée à séparer les diverses issues, qui, suivant leur grosseur, leur poids et leur blancheur, portent les noms de gros son, petit son, recoupettes et remoulage. Quand la mouture est bien faite, le gros son ne doit peser que 18k l'hectolitre comble, le petit son 20k, les recoupettes 25 à 27k. Le poids des remoulages est très variable; il dépend de la qualité des blés et des procédés de fabrication. Ces différents produits, très recherchés pour la nourriture des bestiaux, offrent à l'agriculture de précieuses ressources dont on ne saurait trop apprécier l'importance.

Dans les bluteries très bien montées, la farine ne s'accumule pas, comme l'indiquent les figures ci-jointes, dans les cases, elles tombent sur des toiles sans fin qui la conduisent directement à l'*ensacheur*.

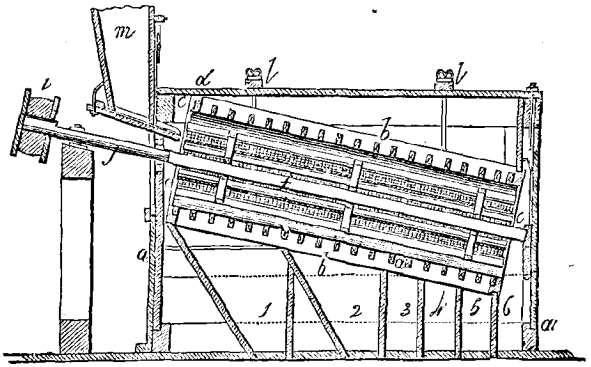
Deux bluteaux de 4m,00, disposés comme celui que nous venons de décrire, suffisent au travail de cinq à six paires de meules à l'anglaise de 1m,20 de diamètre.

La **fig. 1938** indique la disposition d'une espèce de bluteau très employé il y a quelques années, surtout dans la mouture à gruaux, pour laquelle il présente de véritables avantages. C'est un cylindre en toiles métalliques de différentes grosseurs, dans lequel tourne un système de brosses montées sur un tambour porté

EFERUS - Recherche & Classification numérique

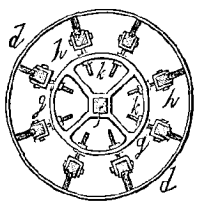
par un arbre *f*, comme on le voit dans la fig. 1939 qui représente une coupe perpendiculaire à l'axe du cylindre. La caisse qui enveloppe cet appareil est d'ailleurs divisée en compartiments comme celle du bluteau précédent.

La purification des gruaux s'achève dans les usines où l'on s'en occupe spécialement, au moyen de sas à main, espèces de cribles légers (fig. 1940) dont le fond est garni d'une peau percée de trous très fins. Le maniement de cet instrument exige de l'adresse et de l'habitude. Il faut lui imprimer un double mouvement de rotation interrompue et de secousse que l'on n'obtient qu'après un long exercice. On traite à la fois, par ce moyen, 2k,500 de gruaux. C'est donc une opération longue et dispendieuse.

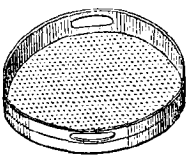


1938.

Appareils accessoires. Pour ne pas interrompre le fil de nos explications, nous avons omis la description de différents appareils accessoires sur lesquels nous allons revenir en peu de mots. Nous avons souvent parlé de mécanismes qui conduisent les différents produits de la mouture d'un point à un autre du moulin. Ces appareils sont très simples. Quand il s'agit de faire descendre la matière, il suffit de la laisser tomber dans un tuyau vertical ou fortement incliné. Pour imprimer au blé ou à la boulange un mouvement de translation horizontal ou peu incliné, on emploie une vis sans fin (fig. 1941), formée d'un arbre en bois et de palettes héliçoïdales tournant dans une auge cylindrique en bois, en zinc ou en fer-blanc. C'est une véritable vis d'Archimède à farine.



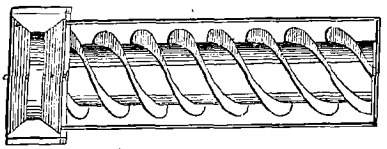
1939.



1940.

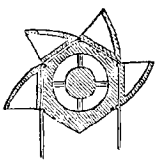
Enfin, quand il faut élever les matières, on emploie une chaîne à godets (fig. 1942), espèce de noria composée de petites hottes en cuir ou en fer-blanc montées sur une courroie ou une chaîne sans fin qui s'enroule sur deux tambours. Un de ces tambours doit recevoir du moteur un mouvement de rotation convenable.

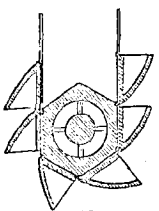
Le rhabillage fréquent des meules rend nécessaire de les enlever et de les remettre souvent en place. Cette opération s'exécute facilement au moyen d'une grue mobile (fig. 1943). L'arbre vertical A s'engage dans des colliers disposés à cet effet dans le plancher et contre



1941.

les poutres du plafond. La volée B fixée à ce pivot porte à son extrémité l'écrou de la vis D. On saisit la meule au moyen du demi-cercle en fer G; on l'élève au moyen de la vis; on lui fait faire un demi-tour, et on la dépose sur le plancher où le rhabillage doit avoir lieu.





1942.

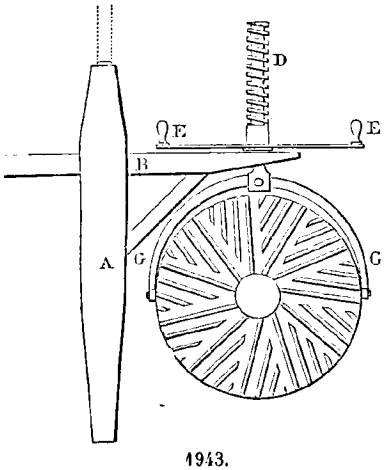
Le *monte-sacs* est un treuil que l'on fait embrayer à volonté avec un arbre moteur, soit au moyen d'un engrenage, soit au moyen d'une courroie lâche que l'on tend avec un rouleau à bascule, soit enfin avec une courroie qui passe facilement d'une poulie folle à la poulie fixée sur l'arbre du treuil.

On emploie dans les grands moulins, pour le transport des sacs, une petite brouette fort commode (fig. 1944). Les roues sont en fonte et tournent facilement sur l'essieu. En levant les bras de ce petit chariot, on introduit l'autre extrémité sous le sac, que l'on enlève ensuite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

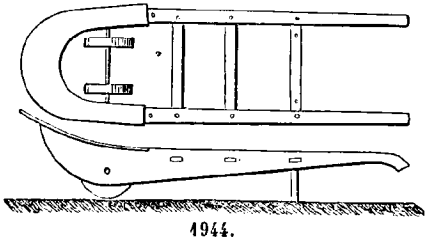
facilement en appuyant sur les poignées de la brouette.

Moulins portatifs. Toutes les tentatives faites jusqu'à ce jour pour obtenir des moulins d'un poids peu considérable et mis en mouvement au moyen d'une



1943.

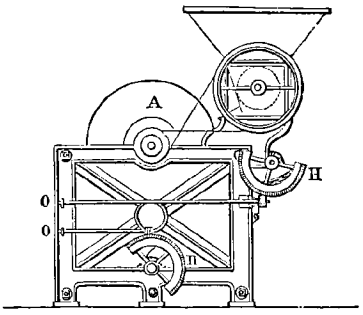
force peu énergique, n'ont produit aucun bon résultat. Les moulins à cylindres cannelés, à noix conique en fonte taillée, à meules verticales, etc., n'ont pu supporter l'épreuve de l'expérience malgré les pompeux prospectus de leurs inventeurs. Nous décrirons seulement le système de M. Nodler, qui nous paraît le



1944.

plus ingénieux de tous ceux qui ont été proposés. Mais, nous le répétons, on ne doit l'employer que dans les cas exceptionnels où il est *impossible* de faire autrement. Ce serait toujours une *fausse spéculation* pour un petit propriétaire de vouloir faire chez lui la farine nécessaire à sa consommation : c'est une de ces opérations où l'association est indispensable. Nous insistons particulièrement sur cette réflexion, parce que nous avons vu trop souvent des fermiers, séduits par les vaines promesses des inventeurs, se laisser entraîner à des dépenses absolument sans résultat.

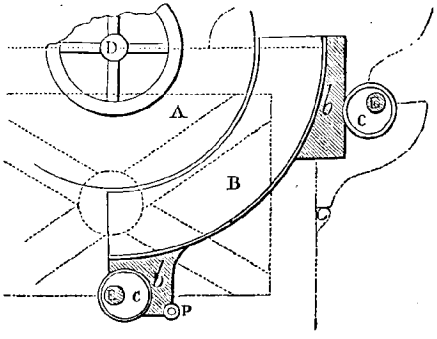
La mouture s'exécute dans les appareils de M. Nodler par la rotation d'une meule verticale en pierre A (fig. 1945), tournant dans un *gîte* concentrique de même substance. La disposition de ce gîte est ce que représente de remarquable la machine en question ; elle permet de régler avec une grande précision et beaucoup de facilité l'écartement des pierres. La fig. 1946, dessinée à une plus grande échelle, fera comprendre cette partie du mécanisme. La meule courante A tourne invariablement autour de l'axe D sur lequel elle est fixée. Le gîte *b* est maintenu par deux excentriques *c* dont les arbres sont figurés en E. En faisant mouvoir ces excentriques, on voit que l'on peut faire varier comme on le désire l'écartement du gîte et de la meule courante. Les excentriques sont d'ailleurs commandés par les vis sans fin des tiges *o* (fig. 1945) qui engrènent avec les segments dentés montés sur leurs arbres. On comprend d'ailleurs que cette disposition



1945.

rend très facile la vérification du rhabillage ; il suffit en effet de mettre un peu de couleur sur la meule courante et d'approcher jusqu'au contact le gîte : les points saillants se trouvent colorés et les autres ne le sont pas.

Il y a un dépôt des appareils que nous venons de



1946.

décrire au bazar de l'Industrie, boulevard Montmartre, à Paris.

Prix des moulins, force motrice, etc. Le prix d'établissement du mécanisme d'un moulin, forme anglaise, était de 6,000 francs par paire de meules, quand on a commencé à en établir, y compris la valeur de la roue hydraulique. Aujourd'hui les constructeurs livrent le mécanisme tout posé et la roue hydraulique, non compris le transport, pour 4,500 à 5,000 francs par paire de meules. Un meunier intelligent, qui voudrait organiser lui-même son moulin, pourrait l'obtenir à beaucoup plus bas prix encore, en établissant le beffroi en charpente et en maçonnerie, faisant construire sur les lieux toutes les pièces accessoires et n'achetant absolument aux fabricants que les roues dentées et autres grosses pièces qui ne peuvent s'obtenir qu'avec un outillage puissant. L'amortissement du capital engagé dans l'établissement d'un moulin construit dans ces conditions serait réalisé en quelques années par l'augmentation des produits.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La force nécessaire pour mettre en mouvement un moulin, forme anglaise, est d'environ trois chevaux-vapeur par paire de meules, qui moud, comme nous l'avons dit, 15 à 16 hectolitres de blé par 24 heures. Ces résultats sont assez variables : ils dépendent de la perfection du mécanisme, de la nature des blés, et enfin de l'espèce des produits. Ainsi quelques moulins, qui ne fabriquent que des farines médiocres, font moudre plus de 20 hectolitres par 24 heures à chaque paire. Cependant on peut regarder comme une moyenne les nombres que nous avons indiqués d'abord et déterminer approximativement le nombre de meules à installer avec un moteur donné, en divisant par trois sa force exprimée en chevaux-vapeur. Quand le moteur donné sera une chute d'eau, il est bien entendu que ce ne sera pas sa *puissance absolue* (voyez ROUE HYDRAULIQUE) qu'il faudra diviser par trois, mais seulement le produit de la puissance absolue par le *coefficient* de l'effet utile du moteur à construire, c'est-à-dire par 0,70 pour la plupart des roues hydrauliques.

Expliquons ceci par un exemple :

Supposons qu'un cours d'eau fournisse par 1".	1070 litres d'eau
Que sa chute soit de. . .	2 mètres
La puissance absolue sera de	2140 kilogrammètres

Si nous supposons sur ce cours d'eau une roue hydraulique dont l'effet utile soit les 0,70 de la puissance absolue, nous voyons qu'elle nous fournira $2140 \times 0,70 = 1498$ kilogrammètres, ou bien $\frac{1498}{75} = 19,9$ chevaux-vapeur. En divisant ce dernier nombre par 3, nous trouvons pour quotient entier 6, qui est le nombre de paires de meules que l'on peut établir sur le cours d'eau proposé ; car il est toujours prudent d'avoir un petit excédant de force pour ne pas se trouver arrêté.

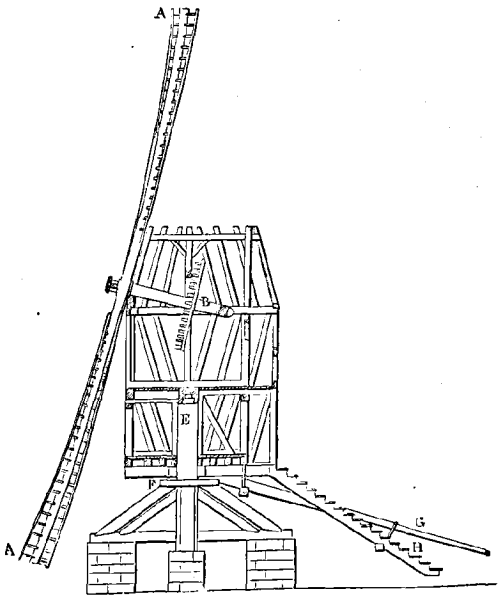
Nous allons donner à ces résultats une forme un peu différente, qui frappera davantage ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiarisés avec la valeur de la force du cheval-vapeur.

La consommation de blé en France est environ de 13.450.000 kilog. par jour. En supposant que l'hectolitre de blé pèse en moyenne 80 kilog., on trouve facilement qu'il faut au moins 3.084 chevaux-vapeur, travaillant jour et nuit, pour suffire à l'approvisionnement de nos marchés. On sait d'ailleurs que six chevaux pourraient à peine produire le travail d'un cheval-vapeur, de sorte qu'il faudrait 18.486 chevaux pour faire marcher nos moulins à blé. Enfin il faut environ 30 hommes pour remplacer un cheval-vapeur travaillant constamment, ce qui nous forcerait à employer 92.430 hommes à moudre nos blés, si tout autre moteur venait à nous manquer. L'application des chutes d'eau, de la force du vent ou de la vapeur à l'exécution d'un travail de première nécessité économise donc à la société une puissante armée de travailleurs, dont les efforts, sagement dirigés et appliqués à des travaux d'un ordre plus élevé, sont la source d'immenses produits. H. MANGON.

MOULIN A VENT. Les moulins à vent sont employés pour la mouture des grains, le sciage des bois, les irrigations, etc. Quoique le vent soit un moteur qui ne coûte rien et qui se trouve partout, on n'a guère recours à ces moulins que lorsqu'on ne peut pas faire autrement, à cause de l'irrégularité de leur action, le temps du chômage étant à peu près, dans nos pays, double de celui du travail.

On employait autrefois, et on voit encore dans quelques endroits, des moulins à vent dits à ailes horizontales, qui sont formés d'un arbre vertical portant des bras horizontaux, à l'extrémité desquels sont fixés des ailes formées, soit de demi-cylindres, soit d'hémisphères ou de cônes creux en tôle, et tournés dans le même sens. La pression exercée par le vent sur une aile qui lui présentera sa concavité, sera double de celle qu'il exercerait sur sa projection, tandis qu'elle sera égale ou même inférieure à cette dernière pression, sur l'aile située à l'autre extrémité du diamètre passant par la première aile, et qui lui présentera sa convexité. Le moulin tournera donc toujours dans le même sens, en vertu de la différence de ces deux pressions, quelle que soit la direction du vent. Le grand désavantage de ces moulins consiste en ce que l'action du vent n'agit jamais que sur un peu plus d'une aile, ce qui force à donner à celles-ci un beaucoup plus grand développement que dans les moulins à ailes verticales.

Actuellement on se sert, pour ainsi dire exclusivement, pour la mouture des grains, de moulins à vent à ailes verticales obliques, dont la fig. 1947 donne une coupe verticale. Ces moulins consistent : 1° en un arbre tournant B, forte pièce en bois de 0m,50 à 0m,60 d'équarrissage, fixée au comble d'un moulin ; comme on a reconnu que les courants d'air agissent en plongeant sur la terre sous un angle de 8 à 15 degrés, on donne cette même inclinaison à l'arbre B ; 2° en deux volants d'environ 24m de long et de 0m,20 à 0m,30 d'équarrissage, fixés en croix sur la tête de l'arbre, et qui forment les quatre bras. A 2m environ du centre de rotation, chacun d'eux est traversé, perpendiculairement à sa



1947.

longueur, par un barreau ou *latte*, de 2m de long, faisant un angle d'environ 30° avec le plan passant par les quatre bras ; puis, de 0m,40 en 0m,40 on place de pareils barreaux, mais en les inclinant de moins en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moins, de manière que celui qui est à l'extrémité ne fait plus qu'un angle de 12° à 6°, selon que l'arbre est plus ou moins incliné à l'horizon. Les bouts de lattes, de part et d'autre des bras, sont maintenus par deux autres pièces de bois ; tout cet ensemble constitue une *aile* A du moulin. Par dessus, on étend la toile ou *voile* destinée à recevoir l'action du vent. Les voiles de ces moulins, par suite de la disposition des lattes, et quelquefois d'une légère courbure dans les bras, présentent une certaine concavité au vent qui augmente leur effet utile. Dans tous les cas, on doit toujours, lors du travail, *mettre le moulin au vent*, c'est-à-dire de telle sorte que le plan des ailes A, A, soit à peu près perpendiculaire à la direction du vent, ou que l'arbre B soit orienté suivant cette direction.

La charpente de la plupart des moulins à vent est en bois, et est établie au sommet d'un cône F (fig. 1947) en maçonnerie, qui porte une colonne centrale E, sur laquelle on fait pivoter le moulin pour le mettre au vent. A cet effet, des piquets sont plantés circulairement en terre, à quelque distance de la maçonnerie conique ; on attache à l'un de ces piquets un cabestan portatif à bras, dont on fixe la corde à l'extrémité du long levier G, et en agissant sur le cabestan on amène le moulin dans la position voulue. H est l'échelle de meunier qui sert pour monter dans le moulin.

Dans les moulins à vent d'une construction soignée, le corps du moulin est fixe et forme une tour en maçonnerie, surmontée de rails en fer graissés, ou même garnis de galets, sur lesquels tourne la toiture en entraînant avec elle l'arbre et les ailes.

La fig. 1948 donne une vue du mécanisme intérieur d'un moulin à vent. R, est la meule gisante ; O, la meule courante fixée au gros fer K, qui repose sur une crapaudine placée au centre de la meule gisante ; le gros fer forme l'axe d'une lanterne H, qui engrène avec la roue à dents de côté D, montée sur l'arbre des ailes B. Lorsqu'on fait tourner la toiture seule pour mettre le moulin au vent, ce qui n'est d'ailleurs pas le cas de la figure, cette roue D, entraînée par le mouvement général, ne cesse pas d'engréner avec la lanterne H. Au lieu d'une paire de grandes meules de 2m à 2m,80 de diamètre, on préfère ordinairement employer deux à trois paires de petites meules de 1m,20 de diamètre, parce que, quand le vent est faible, on ne fait tourner qu'une de ces meules ; dans ce cas, l'axe de la lanterne H communique le mouvement aux gros fers des meules par le moyen d'un engrenage facile à imaginer.

X Y, est un plancher qui sépare le moulin en deux chambres, lesquelles communiquent entre elles par l'échelle *qr*.

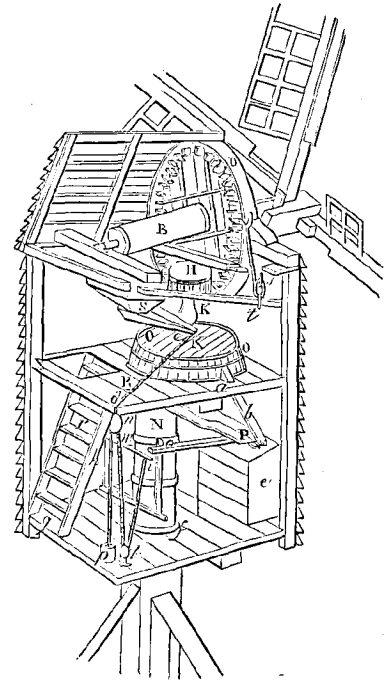
Le blé est versé dans une trémie S, d'où il s'écoule dans une *anche* pivotante S*c*, portant à son extrémité une cheville sur laquelle est passée une corde *cd*, qui sert à la secouer et à faire tomber le blé plus ou moins vite, selon la force du vent. De l'anche, le blé tombe dans un entonnoir placé au-dessus de l'œillard de la meule courante, passe entre les meules et descend à l'étage inférieur, par le conduit *ab*, dans le coffre c, où est le blutoir.

On fait varier l'écartement des meules au moyen d'un mécanisme assez simple. L'extrémité du gros fer porte sur une barre cylindrique qui traverse la meule gisante, et vient poser sur un levier qui repose par son extrémité sur le levier oP, lié à deux autres leviers *fg*, *hi*, dont les points de rotation sont en *f* et *m*, et dont le dernier est attaché, en *i*, à une corde *i l n p*, qui passe sur deux poulies de renvoi *l* et *n* et supporte un contrepoids *p*. En limitant le levier *hi*, dans la course ascendante de son extrémité *i*, on règle l'écartement minimum des meules.

Quand on veut arrêter le moulin, il suffit de serrer, au moyen du levier *t*, un frein qui commande la roue de champ D.

Avec un vent dont la vitesse est de 5m,8 par seconde, et un moulin des dimensions que nous avons données, les ailes font de onze à douze tours par minute, et l'on moud 400 à 450 kilogrammes de blé par heure.

On emploie souvent les moulins à vent pour élever l'eau, surtout pour les besoins de l'agriculture, pour les irrigations. Dans ce cas ce n'est pas le moulin hollan-



1948.

dais, qui ne peut fonctionner que trois à quatre mois au plus par an qu'il convient d'employer, mais bien l'ingénieux moulin inventé par M. Amédée Durand, et qui peut marcher les trois quarts de l'année avec une vitesse à peu près constante, quelle que soit la force du vent. Ce moulin, qui se trouve décrit avec détails et figures dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* pour 1830, page 153, est à ailes verticales ; son arbre horizontal porte une manivelle, qui donne le va-et-vient au piston d'une pompe ; la tige de ce piston descend dans l'axe d'un tuyau de fonte, qui peut tourner sur des collets quand le vent vient à changer ; car alors les ailes servent de girouette pour faire pirouetter le moulin, qui de lui-même vient se mettre au vent ; les ailes prennent le vent par derrière. Il ne faut pas de bâtiment pour porter cet appareil ; un simple mât dressé près du puits, et soutenu par des haubans, porte au sommet tout cet équipage, et pourtant tout est construit avec une solidité à l'épreuve des bourrasques.

Au lieu de voilures, les quatre ailes sont en tôle pleine ; mais chacune peut tourner sur la vergue en fonte qui la traverse et partage sa surface aux 2/5e de sa largeur. Un ressort à boudin la retient contre l'action du vent, qui tend à la faire tourner sur sa vergue en vertu des forces inégales exercées sur les deux par-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ties de sa surface, dont l'une excède l'autre de 1/5e; cette action du vent est transmise à l'aile du moulin, selon la loi voulue, par son degré d'obliquité.

Quand le vent acquiert de l'impétuosité, la rotation des ailes s'accélère; mais un poids placé au bout de l'aile, participant au mouvement, agit par sa force centrifuge, et contraint l'aile à s'obliquer sur sa vergue, de manière à ne présenter au vent que très-peu de surface, et même sa tranche dans les bourrasques : ainsi ce moulin modère de lui-même sa course. Un frein qu'on manœuvre du sol sert à l'arrêter tout à fait quand on le juge nécessaire. Enfin, il y a un compteur qui, tous les cent tours, verse une goutte d'huile sur les points de friction.

Mais c'est surtout en proportionnant le travail résistant au travail moteur qu'on peut améliorer les moulins mus par le vent, moteur gratuit dont on peut tirer bien meilleur parti, dans nombre de cas, qu'on ne le fait généralement. Nous le ferons apprécier en reproduisant la description qu'a donnée d'une invention faite dans ce but M. Jouanne, ingénieur civil.

Le vent, dit-il, est un moteur qui ne coûte rien et qui existe partout. Mais c'est bien le serviteur le plus capricieux et le plus inconstant que nous puissions trouver, faisant défaut quand on a besoin de son travail, et travaillant à outrance quand on pourrait se passer de lui. Dans l'impossibilité de se fier aux caprices du vent pour obtenir une force motrice, on a substitué à un moteur qui ne coûte rien d'autres moteurs qui coûtent fort cher, mais qui sont du moins des serviteurs dociles, prêts à obéir quand le maître a commandé.

Fallait-il pour cela laisser dans l'inaction et dans l'oubli tant de millions de *chevaux-vapeur* qui courent dans l'espace et qui, renversant tout sur leur passage, signalent leur puissance par de si redoutables effets? Cette force des ouragans, fallait-il la laisser inutile? ou bien fallait-il s'efforcer de la dompter, de la plier aux volontés de l'homme, pour en faire un moteur toujours gratuit et avantageux?

C'est ce problème que plusieurs inventeurs ont cherché à résoudre, en imaginant divers moyens pour remédier à l'inconstance du vent; et nous devons constater que de bons résultats ont déjà été obtenus dans cette voie.

On a généralement employé les moulins à vent pour moudre du blé, pour broyer les graines oléagineuses servant à faire de l'huile, etc. Mais si la vitesse du vent est inférieure à 4 mètres par seconde, il n'y a plus de mouture possible, et si cette vitesse dépasse 8 mètres, la mouture devient mauvaise, il faut commencer à carguer les voiles. Cette nécessité de travailler seulement quand la vitesse du vent se tient entre ces deux limites si rapprochées de 4 à 8 mètres par seconde, explique pourquoi les moulins ordinaires ne fournissent chaque année qu'un tiers environ du travail qu'ils produiraient en marchant d'une manière continue, avec la vitesse moyenne de 6m,50 par seconde.

On a cherché à disposer les moulins de manière à les faire travailler quelle que soit la vitesse du vent, et nous devons citer les ingénieuses combinaisons imaginées par M. Amédée Durand. Il avait paré aux inconvénients de la trop grande vitesse du vent; mais, s'il s'affaiblit, ce moulin s'arrête et ne rend plus aucun travail utile. Ainsi le perfectionnement apporté aux moulins à vent n'était point encore assez complet, puisque, s'il est satisfaisant pour la limite supérieure, il laisse subsister une limite inférieure au-dessous de laquelle tout travail devient impossible.

Le même obstacle s'est rencontré dans l'emploi des moulins à vent pour élever l'eau destinée aux irrigations, au desséchement des marais, etc. Mais là encore le travail était borné entre deux limites peu éloignées : si le vent faiblissait au delà d'une certaine vitesse, les pompes élévatoires opposaient trop de résistance, et le moulin ne rendait plus rien; si, au contraire, le vent augmentait trop violemment, il fallait arrêter le moulin pour ne pas voir se détraquer en un instant tout le mécanisme.

Cette irrégularité du travail obtenu par le vent a conduit à un autre ordre d'idées qui paraissait d'abord plus satisfaisant. Nous pouvons citer deux inventeurs, M. d'Epinay-Préhamont, puis M. Marchand, capitaine du génie, qui ont conçu des projets analogues.

Tous les deux ont cru trouver une solution meilleure en proposant d'employer les moulins à vent à élever de l'eau dans un réservoir placé à une distance et à une hauteur convenables, pour laisser ensuite retomber cette eau sur un récepteur hydraulique, auquel elle imprimerait le mouvement; après son action sur la roue, l'eau irait se réunir dans un réservoir inférieur, d'où la pompe, mue par le moulin à vent, la puiserait encore pour la ramener au réservoir supérieur. Il y a dans le système des difficultés d'installation qui deviennent assez sérieuses, quand on songe à l'énorme masse d'eau qu'une roue hydraulique d'une certaine force dépenserait par jour, et aux proportions considérables que devraient atteindre les réservoirs pour contenir la quantité d'eau nécessaire à faire fonctionner la roue et à parer aussi au cas d'arrêt du moulin à vent. Une pareille installation entraînerait forcément des dépenses considérables; et on ne peut considérer cette manière de créer un moteur par le travail d'un autre moteur comme bien praticable. D'ailleurs le système d'élévation des eaux proposé par M. d'Epinay-Préhamont, comme celui proposé par M. Marchand, aurait encore, comme tous les autres systèmes, le défaut d'opposer au vent une résistance constante, celle d'une noria, ou de toute autre machine élévatoire.

Il restait un pas à faire; c'était de faire varier la résistance de la machine élévatoire en même temps que la force du vent, et surtout à donner au moteur le moyen de régler lui-même cette résistance et de la proportionner à ses forces. La machine devient alors comme un être intelligent, qui mesure son travail à la somme de ses efforts : s'il se sent faible, il diminue sa tâche, il la réduit lui-même, mais il ne la supprime pas; il fait peu, mais il fait quelque chose encore, il fait un travail utile; si, au contraire il devient vigoureux et puissant, il augmente ses effets, il donne tout ce qu'il peut donner; et du moins ses efforts, quels qu'ils soient, petits comme grands, viennent tous et toujours concourir à former un travail total d'une sérieuse importance.

Tel est le beau problème résolu d'une façon fort ingénieuse par M. J. Bernard, de Lyon. Il a eu l'heureuse idée d'asservir la variabilité du vent à une résistance variable elle-même, qui devient à la fois un régulateur et un frein, et qui permet toujours d'obtenir une force utile qu'on peut appliquer soit à élever de l'eau, soit à comprimer de l'air, pour tirer ensuite de cette eau portée à un niveau supérieur, ou de cet air fortement comprimé, de précieuses applications.

Ainsi, M. Bernard n'a rien changé au moulin à vent; mais il a trouvé le moyen d'utiliser beaucoup plus complétement sa force motrice. Il applique le moteur à l'élévation de l'eau au moyen d'une pompe aspirante et foulante, et cela lui permet de réaliser très-simplement son principe : il suffit, en effet, de faire varier la course de cette pompe pour faire varier aussi le travail résistant. Si donc le vent s'affaiblit, la course de la pompe diminue, et le travail se proportionne à la force du moteur; si le vent augmente, la course de la pompe augmente aussi, la quantité d'eau élevée devient plus considérable, et la résistance croît avec la puissance.

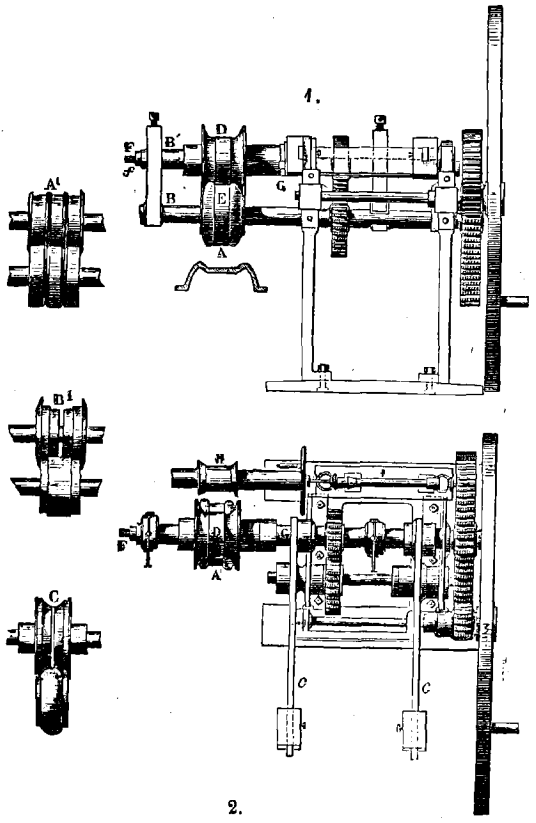
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme on peut, sans inconvénient, réduire ou augmenter la course d'une pompe entre des limites assez écartées, on utilisera ainsi l'impulsion des vents très-faibles.

Le mécanisme imaginé par M. Bernard pour réaliser pratiquement son invention consiste à transmettre le mouvement, au moyen de l'arbre du moulin, à un régulateur à boules qui fait monter ou descendre un taquet mobile sur lequel vient s'appuyer l'extrémité d'un levier pesant; si le vent tend à faiblir, le taquet remonte, et la course du levier diminue; si le vent augmente, l'écrou descendant fait augmenter la course du levier : la tige de la pompe étant articulée à ce levier mu par un excentrique tournant avec les ailes, participe à tous ses mouvements, et par ce moyen la résistance devient variable, et surtout capable de suivre dans toutes ses variations la puissance inconstante qui la dirige.

MOULINAGE DE LA SOIE. Voyez SOIE.

MOULURES EN FEUILLES MÉTALLIQUES. Une machine due à M. Roberts de Manchester sert à façonner en moulures rectilignes ou curvilignes de longues et étroites bandes de feuilles métalliques. Elle nous paraît offrir assez d'intérêt pour qu'on nous sache gré d'en donner ici la figure et la description. Elle se compose essentiellement (fig. 1) de deux arbres B, B' sur lesquels sont montées les espèces de molettes qui doivent former la moulure, et dont on parlera plus loin avec détails. Ce sont ces molettes qui donnent aux feuilles métalliques les formes voulues par une action de laminage.



L'un des arbres est supporté directement par le bâti de la machine et repose sur des coussinets fixes. L'autre est porté par un châssis muni de contre-poids qui tournent autour de l'axe de la roue dentée qui conduit cet arbre. De sorte que l'on peut faire varier à volonté l'écartement des arbres sans que les dents des roues d'engrenage cessent d'engrener à fond les unes avec les autres. Pour éviter la flexion et l'écartement des arbres pendant le travail, ils sont réunis à leur extrémité libre par une bride garnie de coussinets et à vis que l'on écarte ou que l'on rapproche selon le besoin.

La mollette inférieure E est d'une seule pièce, mais la mollette supérieure est formée par la réunion d'un plus ou moins grand nombre de disques métalliques dont l'ensemble, lorsque leurs faces planes sont amenées au contact, présente le profil voulu.

Le rapprochement des disques qui composent la molette s'obtient au moyen d'une vis logée dans l'intérieur même de l'arbre B' et qui presse sur les disques. On tourne cette vis successivement, à chaque passage de la feuille entre les molettes, de manière à obtenir leur rapprochement complet au moment du dernier passage.

L'emploi des molettes formées de plusieurs disques offre l'avantage de pouvoir modifier lentement et successivement les formes du métal, pour l'amener enfin à son profil définitif, et d'éviter ainsi complétement les déchirures qui se produiraient inévitablement sans cette précaution.

Un troisième rouleau H (fig. 2), que l'on peut éloigner ou rapprocher à volonté, sert à donner aux moulures sortant des molettes le degré de courbure qu'elles doivent avoir.

Les fig. 3, 4 et 5 représentent à une plus grande échelle des molettes destinées à la fabrication de moulures de différentes formes. Les deux premières donnent les anneaux en cuivre jaune qui ornent ordinairement les dômes et les cheminées des machines locomotives.

MOUTARDE. Plante dont la graine, broyée avec du vinaigre, le plus souvent aromatisé, forme un condiment semi fluide très employé sur nos tables et dans nos cuisines, comme assaisonnement.

La graine de moutarde ordinaire, et surtout celle de moutarde blanche, sont très employées en médecine.

MOUTON. RACES FRANÇAISES; CHOIX; AMÉLIORATION. La laine est par excellence la matière première de l'industrie des tissus. Elle se prête admirablement à tous les caprices de notre imagination : elle se carde ou se peigne, se file, se tisse, se feutre, peut prendre toutes les formes et devient, selon notre gré, une étoffe lisse et brillante ou un drap souple et moelleux. Peu de corps se combinent aussi facilement avec les matières colorantes et conservent aussi longtemps les nuances brillantes qu'a créées l'art du teinturier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Est-il nécessaire de rappeler que le mouton fournit à l'industrie son suif, sa peau, ses cornes, ses os, ses boyaux, pour expliquer le privilége qu'il a d'occuper une place dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, et faut-il dire encore qu'il fournit à l'agriculture un des plus puissants engrais et à l'art culinaire une de ses plus précieuses ressources; qu'il nous enrichit de tous les produits qu'il nous donne, car il les crée, en élaborant dans ses organes cette herbe courte et rare des terres stériles qui ne peut servir qu'à entretenir cette précieuse machine?

Le mouton dérive du mouflon, jadis si répandu sur les montagnes de l'Europe méridionale, mais il a été très profondément modifié par la domesticité, et il constitue aujourd'hui des races excessivement nombreuses et très distinctes les unes des autres.

On rencontre le mouton dans toutes les contrées habitées. Après la découverte du nouveau monde, il y a été importé, et les peuplades demi-sauvages qui l'ont substitué au lama, à la vigogne, ont agi plus sagement que nous qui cherchons à multiplier ces espèces bien dignes de rester sauvages.

Les anciens auteurs divisaient les races ovines d'après les provinces. Cette division, qui pouvait être bonne dans le principe, ne doit plus servir que de division secondaire, aujourd'hui que les tentatives d'amélioration, le régime de plus en plus uniforme dans tous nos départements et les croisements opérés partout avec les mêmes types, tendent à donner aux races la plus grande uniformité.

On a divisé aussi les moutons, d'après la longueur de la laine, en moutons à laine courte, frisée, propre à être cardée et employée à la fabrication des draps, et en moutons à laine longue, lisse, propre au peigne et à la fabrication des étoffes rases. Mais cette division n'est déjà plus possible de nos jours, car il existe entre les races anglaises, type des laines longues, et les mérinos, type des laines à carde, une infinité de races qui établissent, entre l'un et l'autre type, une transition insensible.

Sous l'influence de la nourriture abondante qu'on s'habitue à donner aux troupeaux, la laine s'allonge dans toutes les races; et les mérinos eux-mêmes, comme leurs métis, présentent aujourd'hui de nombreuses sous-races dont les toisons sont, pour les étoffes rases, infiniment supérieures à celles des moutons qui, pendant longtemps, ont été considérés comme exclusivement propres à alimenter la fabrication de ces étoffes. Les meilleures laines à peigne sont fournies, sans contredit, par le mérinos et ses dérivés.

N'oublions pas d'ajouter que les grands perfectionnements apportés de nos jours dans la préparation des laines, et qui permettent de peigner de la laine longue à peine de quelques centimètres, diminuent encore l'importance de cette distinction. (Voy. art. LAINES.)

CHAPITRE PREMIER.

RACES.

Nous examinerons successivement les moutons *à laine grossière*, les moutons *à laine commune*, les moutons *à laine intermédiaire*, les moutons *à laine fine* et enfin ceux *à laine superfine*; sans ajouter, cela serait inutile, que cette distinction qui facilite l'examen de nos moutons au point de vue industriel comme au point de vue de leur amélioration est loin d'être rigoureuse : dans toutes les races il se trouve des individus qui, soit par la finesse, soit par la longueur de leur laine, diffèrent de ceux que nous prenons pour type.

MOUTONS FRANÇAIS A LAINE GROSSIÈRE.

Nous trouverons dans cette catégorie les plus fortes et presque les plus petites races. Elles sont élevées dans des plaines très fertiles et un peu humides, ou sur les hautes montagnes; elles résistent mieux à l'humidité, craignent moins la pourriture que les races à toison fine.

Toutes ces races se distinguent par une laine grosse, longue, dure, roide et presque toujours disposée en mèches pointues et pendantes. Elle est, plus souvent que les autres qualités, ondulée, brillante et d'un aspect soyeux; elle ne convient que pour faire des lisières, des matelas ou quelques étoffes très grossières.

RACE FLAMANDE. Le type de cette race se trouve dans les riches contrées, sous le climat doux des environs de Dunkerque, de Bergues, d'Hazebrouck; elle s'étend en se modifiant au sud et à l'ouest du département du Nord et prend le nom de cambrésienne, vermandoise ou artésienne, selon la contrée où elle est élevée.

Les véritables flamands sont de très forte taille, ont les jambes longues et grosses, la tête très volumineuse et sans cornes, le chanfrein busqué et les oreilles longues, larges et renversées ou même pendantes; la laine est fortement jarreuse sur les ischions et à la queue; le corps est peu laineux et les membres sont couverts de poil court, roide, ainsi que la tête et la partie antérieure de l'encolure.

Ces moutons pèsent de 70 à 90 kil. et à la vue on croirait qu'ils pèsent encore davantage, à cause de la longueur de la laine et de la hauteur des membres : l'épaisseur du corps n'est pas proportionnée à l'élévation.

En s'éloignant de la Flandre, ce mouton diminue de taille; mais, quoique formant des races distinctes pour les habitants du pays, nous les réunissons dans le même article.

Le mouton flamand et ses dérivés a le corps trop élancé, les os trop gros, l'encolure trop longue, la tête trop forte et surtout la laine trop rude et trop grosse; il est fort, robuste, mais de difficile entretien et dur à l'engrais.

RACE PICARDE. Une partie des moutons qu'on trouve dans la Picardie doit être classée parmi ceux de l'Artois, de la Flandre, du Cambrésis, à cause de leurs formes, de leur tête nue et de leur laine; mais on élève aussi dans cette province des moutons plus petits, plus trapus, à corps plus laineux, à toison plus fermée, paraissant hérissée, et à laine moins longue, un peu moins dure : parmi ces animaux, il s'en trouve cependant dont la dépouille très grossière convient mieux pour faire des housses de collier que tout autre objet.

Ces moutons se trouvent dans le bassin de la Somme jusqu'à la mer; les plus mauvais sont chez les petits cultivateurs. Le mouton *brayant*, du pays de Bray, à encolure allongée, donne une laine plus fine que celle du Picard de la Haute-Somme.

RACE ANGEVINE. Cette race renferme des moutons à taches jaunâtres sur la tête et les membres, forts de corps et à laine grosse, que nous trouvons dans la Normandie, le Perche, le Maine et l'Anjou.

Alençonnais, *Canais*, *Cotentins*, selon le pays d'où ils sortent : très forts, corps long, hauts de taille, tantôt à chanfrein droit, à tête médiocre, à front laineux; tantôt à chanfrein busqué, à oreilles fortes, même pendantes, à front nu; tous à laine grosse et longue, à corps peu laineux. Ces moutons sont par petits lots et souvent dans les herbages avec les bœufs à l'engrais. Vers le sud, vers la Mayenne, la race se transforme, devient plus petite. Dans les environs de Paris, on estime, pour les engraisser, les moutons du Merlherault, de l'Aigle.

Manceau. Plus blanc de figure que l'alençonnais, cependant avec des taches brunâtres sur la tête; oreilles grandes, pendantes; ventre et membres nus; long du corps; haut sur jambes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Percheron. Souvent blanc, gros de laine, cou long, mince d'épaules, oreilles moyennes. Ce mouton est confondu quelquefois avec le précédent.

Angevin. L'Anjou est la contrée où ce mouton se trouve presque exclusivement. Sur la rive droite de la Loire, il est gros, mal fait de corps, peu laineux, à oreilles grandes, pendantes, à tête mouchetée de brun; du côté de Craon, de Château-Gonthier, on en voit pâturer, attachés par deux avec un bâton.

Sur la rive gauche du fleuve se trouvent, avec la même race, des moutons bien faits de corps, à taille moyenne, à tête longue et comme arquée, toujours à laine très grosse et à mèches pointues. C'est le mouton *choletais*.

Dans l'Anjou, comme dans une partie du Poitou, dans le bocage de la Vendée, les moutons sont par très petits lots; on les fait pâturer avec les vaches. De là le nom de *vachers* qu'on leur donne; ils sont en bon état, bien soignés, quelques-uns très forts et rendent de fortes quantités de suif, parce qu'ils ont été longtemps engraissés.

MOUTON VENDÉEN. On l'appelle aussi *maraichin*. Il se trouve dans les marais de l'Ouest depuis la Loire jusqu'à la Charente. Cette race qui s'est formée après le dessèchement des marais est facile à reconnaître.

Taille moyenne, corps bien fait, tête conique, en général sans cornes, quelquefois à cornes longues, relevées; chanfrein presque droit; arcades orbitaires saillantes; oreilles droites, épaisses sans être longues; jambes et tête fortement tigrées, charbonnées, mouchetées ou roussâtres, on les appelle *pots roux*, quelquefois marquées seulement de légères taches brunâtres. Par leurs arcades saillantes, ces moutons, quand ils n'ont que de légères mouchetures brunes, ressemblent au bélier Dishley. Cette ressemblance témoigne en faveur d'une origine commune. On fait descendre le mouton vendéen des moutons du Texel, de la Hollande, de la Flandre, importés dans ces parages lors des premiers travaux de dessèchement. Nous savons que ces mêmes races introduites en Angleterre ont contribué à former les moutons à laine longue de ce pays. Dans la Vendée, ils ont dégénéré et même disparu en grande partie. Ceux qui ont résisté ont modifié la race du pays en se croisant avec elle.

Dans le mouton vendéen, la laine est grosse ou très grosse. Sur quelques individus elle est caniche et alors assez estimée dans le pays. La mèche est pointue et le corps peu laineux. On n'aime pas les pattes laineuses, parce qu'elles se chargent de boue.

La taille des grandes races importées s'est conservée dans quelques troupeaux. Les animaux ont alors la laine lisse, plus grosse; mais très souvent aussi ils sont à côte plate, à dos tranchant.

La sous-race du Bocage est plus petite, conserve le même lainage et la tête fortement tigrée.

RACE BRETONNE. Peu soigné, le mouton breton n'a pas une grande valeur, et il est cependant nécessaire pour utiliser les terres stériles de cette province.

Nous en distinguerons deux variétés. Le mouton des landes, qui se trouve dans les cinq départements formés de la Bretagne, est très petit, à laine grosse, courte, souvent brune ou rousse; à cornes fortes, en spirale souvent allongée.

Dans les environs de la mer, du côté de Tréguier, de Saint-Pol, au nord-ouest de la province, il prend plus de développement sans changer de nature : c'est le mouton du marais.

MOUTONS DE FAUX. Cette dénomination s'applique aux moutons que l'on élève sur le versant occidental et méridional du plateau central de la France, parce qu'on en conduit beaucoup aux foires de Faux. La laine en était considérée jadis comme intermédiaire, mais nous la classons aujourd'hui parmi la plus mauvaise, soit parce qu'elle a dégénéré, soit plutôt parce que, depuis l'introduction des mérinos, la majeure partie de nos moutons a été améliorée par rapport au lainage.

Ces animaux sont noirs, bruns, ou blancs avec des taches noires, ou d'un brun foncé sur la tête et les pattes; souvent pourvus de grosses cornes à spires allongées; à taille moyenne ou petite; à laine longue, le plus souvent en mèches pointues; brins très gros ou moyens, et mêlés à une grande quantité de jarre.

Ces moutons se rencontrent dans la Vienne, la Corrèze, la Dordogne, le Lot, le Cantal, l'Aveyron. On distingue la race du *Périgord* d'Excideuil, à œil roussâtre, à laine très grosse, à taille forte, estimée de la boucherie; celle du *Limousin* de Saint-Léonard, laine plus variée, taille moyenne; du *Quercy*, ayant une grande ressemblance avec celle du Limousin par la taille, mais à laine plus grosse, crépue. On appelle *moutons de Vallière* ceux qui viennent de l'ouest de la Charente; ils sont souvent sans cornes.

Quoique fort nombreux, nous les avons trouvés depuis Limoges, en suivant par Tulle, Aurillac, Rodez et remontant vers Murat, dans le Cantal, ces moutons alimentent fort peu nos manufactures; leur toison ne peut servir que pour faire des lisières ou ces étoffes rayées, grossières appelées *limousines*, qui servent à confectionner ces petits manteaux usités dans les campagnes et que, dans quelques pays, on considère comme faits avec du crin, tellement ils sont grossiers.

MOUTON MARCHOIS. Tout petits, tout bas, à corps cylindrique, à tête fine; blancs de figure, oreilles courtes, encolure ténue; à laine longue, très grosse, à mèches pointues, ces moutons, appelés *bocagers*, *petits marchois*, sont magnifiques de formes, excellents pour la boucherie, mais détestables pour la laine.

MOUTON BOURBONNAIS. Corps cylindrique, long; tête un peu busquée, ressemble au précédent, mais plus fort. Cette race s'étend vers le sud dans l'Auvergne. Sa laine est un peu plus hérissée, et un peu supérieure à celle des Marchois.

MOUTONS DES PYRÉNÉES. Sur la pente septentrionale des Pyrénées, de l'Océan à la Méditerranée, se trouvent des moutons assez hauts de taille, à jambes longues, à corps mince, à chanfrein très busqué, à grosses cornes ou sans cornes, à laine inférieure à la plus grosse des autres moutons français : elle ne diffère du poil des chèvres, avec lesquelles vivent les troupeaux, que par sa disposition en mèches longues, pointues, pendantes. La fabrique d'Elbeuf, qui confectionnait ses lisières avec des laines de la Picardie, fait venir aujourd'hui pour le même objet beaucoup de laines d'Oleron.

En suivant les montagnes de l'ouest à l'est, la laine devient moins mauvaise; celle du mouton du Bigorre est préférable à celle des troupeaux d'Oleron, sans cesser cependant d'appartenir à la même sorte. Ces moutons se retrouvent dans les Pyrénées orientales et se mêlent avec la race du Roussillon dont ils ne seraient, a-t-on dit, qu'une dégénération : ils en diffèrent cependant beaucoup.

MOUTONS DES ALPES. Les lieux élevés, en France comme en Afrique, rendent la laine forte, nerveuse, longue, mais grosse, dure, jarreuse. La laine des Alpes a la plus grande analogie avec celle des Pyrénées.

Dans le siècle dernier, on comparait la laine des moutons alpinois à celle des moutons de la Hollande ou de l'Angleterre. De nos jours encore, elle est aussi grosse, plus roide, un peu moins longue, et surtout moins égale : en résumé, elle a moins de valeur.

La convenance des Alpes à nourrir des moutons varie selon leur élévation, leur pente et leur constitution géologique : il y a moins de moutons sur les hautes montagnes centrales de l'Isère que plus au nord, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

surtout que vers le sud, sur les plateaux calcaires de Gap.

Dans la Drôme et les Hautes-Alpes, la stratification de la marne et du carbonate de chaux forme des vallées qui fournissent, même là où le sol est trop crétacé pour être fertile, de l'herbe excellente pour le mouton : on y conduit, pour les y engraisser en été, des troupeaux des plaines du Rhône, du Vivarais, du Velay et même du Rouergue et du Quercy.

MOUTONS FRANÇAIS A LAINE COMMUNE.

La laine des races comprises dans cette section se distingue en ce qu'elle est, quoique grosse, plus ou moins ondulée, contournée, que la toison est comme hérissée à la surface, et que les mèches en sont peu distinctes. Quoiqu'il y ait des individus à laine mauvaise, on n'en trouve pas qui soient couverts de ce poil gros, dur, lisse, qui caractérise les races de la catégorie précédente.

Dans le siècle dernier, la laine de quelques-unes des races à laine commune était considérée comme très belle, mais la meilleure n'est pas même classée parmi les médiocres depuis l'extension des mérinos et leur emploi au croisement des races indigènes. La laine commune est propre à faire d'excellents matelas; elle entre dans la confection des bons tissus du commerce : on la mêle avec des laines étrangères fines, mais sans nerf, pour donner du corps aux étoffes. Nous trouvons les types de ces races dans le Midi. Elles varient beaucoup par leur taille et leur conformation.

RACES DU MIDI. *Mouton du Roussillon.* Nous donnons ce nom au mouton qui se trouve dans les contrées bornées au sud par les Pyrénées, à l'ouest et au nord par les Corbières, les Cévennes et les collines qui limitent le bassin de l'Aude.

Ce mouton descend du mérinos introduit en France par les Maures; depuis, il y a eu plusieurs essais de croisement entre les deux races qui ont contribué à conserver les qualités de la laine dans le mouton roussillonnais. *Il* est de taille moyenne, à toison belle, chargée de suint, à tête plus ou moins laineuse et généralement pourvue de cornes, même dans les femelles.

Le type de cette race se trouve dans quelques vallées, sur les terrains calcaires des Pyrénées-Orientales et de l'Aude; les belles variétés sont blanches, mais il y a beaucoup de moutons tigrés, tachés, charbonnés et même d'entièrement bruns, que les petits cultivateurs cherchent à conserver pour avoir des laines qui n'aient pas besoin de teinture.

Les plaines des Pyrénées-Orientales, de l'Aude, de l'Hérault, offrent des conditions tout à fait favorables à la production des belles laines. C'est à ces conditions qu'il faut attribuer la conservation des bons moutons dans ces contrées, quoiqu'on les eût négligés pendant bien longtemps. Carlier observait dans le milieu du siècle dernier que le mouton des Aspres (plaines des Pyrénées-Orientales) et celui de la Clape de Narbonne surpassaient en finesse les races d'Espagne dites aragones, andalouses et le cédaient peu aux ségovies.

Quand, après l'établissement des manufactures, on a mieux apprécié les belles laines, on a cherché à relever les races abâtardies du Midi.

En 1800, le gouvernement introduisit dans une ferme du département des Pyrénées-Orientales 334 brebis et 16 béliers des meilleures races mérinos d'Espagne. Cet établissement fut supprimé, en 1842, malgré la grande importance des mérinos pour la France, et pour la France méridionale surtout. Plusieurs particuliers ont fait des introductions de la même race.

Il y a aujourd'hui dans le Midi des troupeaux nombreux qui en conservent les qualités. Les cultivateurs qui ont tenu à l'ancienne race à cause de sa sobriété, et qui n'ont pas voulu introduire le type mérinos, l'ont croisé avec les bêtes indigènes. Ainsi se trouvent améliorés la plupart des troupeaux du bassin de l'Aude et de celui du bas Rhône.

Moutons de la Gironde. Nous mentionnerons ici les moutons élevés dans la partie occidentale du grand bassin situé au nord des Pyrénées, quoiqu'ils diffèrent beaucoup de ceux qui se trouvent à l'est : ils sont moins fins de laine et ne forment aucune race bien distincte. Le mouton de Béarn s'améliore facilement par le croisement avec le mérinos, écrivait-on dans le dernier siècle.

La société d'agriculture de Bordeaux s'occupe beaucoup depuis plusieurs années de l'introduction du sang anglais dans les troupeaux indigènes. Les anglo-mérinos peuvent être utiles au point de vue des formes et même du lainage. Ce pays doit au voisinage de l'Océan un climat plus favorable que ne semble le comporter sa latitude.

Mouton provençal. Cette race, pure ou croisée avec le mérinos, fournit les laines si connues dans le commerce sous le nom d'artésiennes. M. Lulin de Châteauvieux l'a depuis longtemps signalée à cause de sa laine tassée et longue, précieuse par sa force pour la fabrication des draps de soldat. « La viande du mouton provençal est d'une qualité rare, dit le même auteur, à cause des plantes salées des bords de la mer, » et de l'émigration sur les montagnes pendant l'été, ajouterons-nous.

La principale variété de cette race se trouve dans les plaines de la Crau et dans la Camargue. La Crau fournit une herbe fine, de bonne nature qui, quoique très peu abondante, nourrit beaucoup à cause de la nature et de la sécheresse du sol. Dans le delta du Rhône, les conditions ne sont pas les mêmes, l'humidité y domine; mais le voisinage de la mer, le sel contenu dans les plantes en neutralisent les effets en partie.

Dans les plaines éloignées de la mer, la sécheresse se fait plus vivement sentir et les animaux sont plus petits, de même que la laine devient plus grosse à mesure qu'on s'élève sur les montagnes. Les moutons d'Istres, du côté d'Aix, les moutons de Verne, des montagnes du Var, sont inférieurs à ceux des plaines qui avoisinent le Rhône.

Les plaines de la Provence sont admirablement disposées pour nourrir des troupeaux pendant l'hiver, pour fournir une bonne nourriture dans la saison des pluies, mais, en été, elles sont desséchées et seraient incapables de soutenir les animaux qui alors pâturent sur les Alpes : les propriétaires des montagnes et ceux des plaines se rendent des services réciproques.

Le mérinos a été importé depuis longtemps dans ces contrées si remarquables pour l'entretien des moutons et la production des laines. Nous le trouvons là où des conditions plus favorables de nourriture permettent de satisfaire ses exigences plus grandes. Dans le delta du Rhône, dans la Crau, ces conditions s'étendront à mesure que les assainissements et les irrigations enrichiront le pays et rendront les cultivateurs moins dépendants des influences naturelles.

Mouton du Dauphiné. Les moutons des plaines basses ont la plus grande analogie avec ceux de la Crau. Nous les trouvons depuis le département de Vaucluse jusqu'au confluent du Guiers; on les regardait anciennement comme d'origine espagnole; les plus remarquables se trouvaient entre Hauterives et Romans, la laine en était fort estimée et comparée à celle de Ségovie.

Mais dans le Dauphiné, depuis la Suisse jusqu'à la Drôme, nous trouvons des conditions plus variées que dans la Provence : les plaines rocailleuses, les galets de la Drôme, du Rhône, sont peu favorables à la pousse des plantes, tandis que les plaines marécageuses de Bourgoin sont insalubres pour le mouton.

Moutons des Cévennes. Nous appelons ainsi les mou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tons qu'on entretient sur les plateaux calcaires qui s'étendent, presque sans discontinuer, des rives du Gard jusqu'à Sainte-Affrique, et se dirigent ensuite vers le nord jusqu'à Mende. Le Gévaudan forme une grande partie de ce pays. Nous les trouvons du côté de Ganges, de Bédarieux, de Saint-Pont, de Lodève, de Millau, de Séverac, de Florac, jusqu'à la montagne appelée Palais-du-Roi. Vers le sud, ils s'étendent jusqu'aux moutons roussillonnais, avec lesquels ils ont de l'analogie. Nous pouvons appeler type les animaux de forte taille, ramassés, à laine longue peu chargée de suint, des plateaux du Larzac et du Gévaudan.

Les troupeaux des Cévennes ont été toujours fort estimés pour leur viande. « Les moutons gras de la plaine de Ganges en Languedoc, disait il y a un siècle bientôt Carlier, sont d'un prix bien supérieur à ceux du Riveral et de la Solanque (partie du Roussillon où l'on produit des moutons de pré salé) par leur goût délicat qui est le mérite de leur chair, et la fait rechercher comme un mets rare et exquis. »

Ces animaux n'ont rien perdu de leur ancienne renommée, et ceux de quelques autres parties des Cévennes peuvent leur être comparés quand ils ont été bien engraissés : on trouve dans le Midi, et la meilleure, et la plus mauvaise viande de mouton : la plus mauvaise, parce qu'on laisse trop vieillir les brebis et qu'on ne les engraisse jamais suffisamment.

Dans les Cévennes, la laine jadis renommée a relativement moins de valeur de nos jours. La grande amélioration opérée par les mérinos sur nos moutons ne s'est pas fait sentir dans ce pays, qui serait susceptible cependant de produire de belles toisons; mais les habitants sentent peu l'importance d'améliorer leurs troupeaux à ce point de vue. Comme ils tirent un grand profit du lait, ils craindraient d'altérer les qualités laitières de leurs brebis en alliant leur race avec une race étrangère : le lait, dans les environs de Millau, de Sainte-Affrique, etc., sert à confectionner le fromage si justement estimé de Roquefort. D'ailleurs les mérinos exigent une nourriture plus copieuse que celle fournie par les plateaux calcaires du Gévaudan et du Larzac; aussi plusieurs cultivateurs, qui avaient essayé l'amélioration par le sang espagnol, ont-ils été sans imitateurs.

Moutons du Rouergue. Divisés en moutons *du Causse* ou des pays calcaires; et en moutons *du Segala*, ou des pays granitiques.

Mouton du Causse. Corps long, haut monté sur jambes; garrot pointu, côte plate; cuisses minces; tête forte, busquée, sans cornes. Cette race qui descend d'un ancien croisement avec celle de la Flandre est dure à l'engrais. Depuis quelques années, elle s'améliore : les cultivateurs recherchent une tête courte, petite, laineuse; une charpente moins longue et plus trapue, et obtiennent des moutons plus épais.

Mouton du Ségala. Bocager, petit, tête pointue, laine plus fine, souvent caniche frisée, contient plus de suint que celle du Causse et rend moins au lavage; race sobre et d'un engraissement facile.

La laine du Rouergue est forte, assez brillante, plate mais ayant beaucoup de nerf. Cette laine est travaillée à Lodève, Castres, Mazamet, pour fabriquer des draps pour la troupe. On mêle les deux qualités, ou on mêle celle du Causse avec celle du Roussillon, ou avec de la laine mérine de qualité secondaire.

L'émigration des troupeaux, qui a si puissamment contribué à la conservation des mérinos espagnols, est largement pratiquée dans le midi de la France. Les moutons passent l'hiver dans les plaine et l'été sur les montagnes. Mais ce déplacement, qui ne s'opère qu'après des conventions faites par les deux parties, n'a pas pour notre agriculture les inconvénients que la transhumance a eus pour l'agriculture espagnole.

En France, il est avantageux pour le propriétaire des montagnes comme pour celui du troupeau. Le premier, qui souvent a de très longs hivers à passer et qui ne peut pas récolter de fourrages en été, y trouve le moyen de faire consommer ses pâturages; l'autre peut avoir un troupeau considérable relativement à l'étendue de ses terres, à cause de la facilité qu'il a de le nourrir avec économie pendant la saison des sécheresses.

Après avoir vu pratiquer ce système sur les Alpes et les Pyrénées, comme en Auvergne et dans les Cévennes, nous ne saurions partager l'opinion de ceux qui le blâment, sous prétexte que les propriétaires des montagnes auraient plus d'avantages à faire consommer leurs herbages par des troupeaux leur appartenant.

Sur les très hautes montagnes, il n'est pas possible de nourrir de nombreux animaux pendant l'hiver; les propriétaires des pâturages auraient donc à acheter leur cheptel au printemps et à le revendre en automne. Il arriverait souvent que des moutons et des vaches se vendraient moins à la Saint-Martin qu'ils n'auraient coûté au printemps : les animaux ne payeraient pas leur estivage.

Si quelquefois, avec le système actuel, les montagnes rapportent moins que les troupeaux, combien de fois aussi le propriétaire des animaux a-t-il moins de profit que celui des pâturages?

Comme dans toutes les transactions libres, qui s'exécutent depuis longtemps, les chances sont parfaitement connues, et les marchés se font le plus souvent dans l'intérêt des deux parties.

L'émigration est favorable au point de vue de la santé et des qualités de la viande : le pâturage sur les montagnes pendant l'été conserve les animaux et peut même les guérir de la pourriture ou arrêter les progrès de cette maladie, quand elle n'a pas fait trop de ravages; les moutons qui émigrent sont estimés pour leur viande dans les contrées où l'émigration est pratiquée.

RACES DE L'EST. Nos frontières de l'est et du nord-est renferment plusieurs races indigènes, mais de peu d'importance. Les meilleures contrées ont amélioré leurs animaux par le sang mérinos. Nous mentionnerons cependant le mouton *de la Bresse, du Bugey*, petit, pourvu de cornes, à laine grosse, souvent brune; les lots de quelques parties de la *Franche-Comté* et de la *Haute-Marne*, à tête nue, à laine longue, mal soignés en général, et souvent affectés de la gale; le mouton des *Vosges* et *de la Lorraine*, petit, cornes fortes; laine droite, souvent brune; l'*ardennais* à corps petit, peu laineux, souvent à laine rousse, qu'on remplace de plus en plus par le mérinos; enfin le *champenois*.

La Champagne est une des provinces les plus intéressantes à étudier au point de vue de la production des laines, et nous en parlerons en traitant des laines fines et des intermédiaires; l'ancienne race ovine a presque complétement disparu; on n'en trouve plus que quelques petits lots chez les journaliers, dans les plaines crayeuses et stériles du côté de Sommesous, Sompuis, Marigny, etc.; ils sont de très petite taille, anguleux, à tête assez fine, nue ainsi que les membres et le ventre, et à laine grosse. Les propriétaires de ces animaux ont peu d'intérêt à les améliorer, parce qu'ils consomment la laine pour leur usage, et que toute ressource manque dans une contrée exclusivement crayeuse.

RACE DU POITOU. Très haut monté sur jambes, long; garrot assez épais mais dos ensellé; tête longue, sans cornes, couverte, ainsi que la face inférieure de l'encolure, de poil court et lisse: jambes nues; laine dure, longue, mais à mèches peu distinctes, à toison comme hérissée. Deux variétés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Mouton gâtineau. Corps grand, long, lourd; jambes très longues; extrémité postérieure de la croupe dégarnie de laine comme le cou; oreilles grandes, pendantes. Se trouve dans la Gâtine, du côté de Saint-Maixent, de La Mothe.

Mouton poitevin. Plus petit; corps mince, peu lourd; oreilles étroites et cependant souvent pendantes; élevé dans le haut Poitou et dans les contrées peu fertiles depuis le département de la Vienne jusqu'à celui de la Charente.

Même les bouchers qui en achètent fréquemment, prennent de petits gâtineaux pour des poitevins et de forts poitevins pour des gâtineaux.

Les moutons du Poitou ont de la bonne viande, et ils sont cependant peu estimés dans les bonnes boucheries, à cause de leurs membres trop longs; les gigots paraissent décharnés; on préfère les moutons plus petits qu'on tire du côté du Berry et qu'on appelle *moutons de bruyère, moutons de brande.*

RACE BERRICHONNE. Petite race, à corps bien fait; à tête fine, sans cornes, dépourvue de laine; à os légers et à membres grêles. D'après la laine et la conformation on y distingue plusieurs espèces.

Mouton de Champagne. On le trouve dans la partie du Berry nommée la Champagne, au nord de Châteaudun, entre l'Indre et le Cher; il est très petit, à tête fine, nue, ainsi que les jambes; très sobre, facile à engraisser et fournit une excellente viande.

Mouton de Brion. On le trouve du côté de Levroux, sur les bords de l'Indre; il est un peu plus fort de taille que le précédent. Avant l'introduction du mérinos, la laine de ce mouton était considérée comme de première beauté; elle est encore d'une assez grande finesse et conserve cette qualité, même après le croisement avec des races inférieures à cet égard. La contrée favorise la finesse du lainage.

Mouton de Crevant. Il est élevé dans la vallée de la Creuse, du côté d'Argentan, de La Châtre, etc., et conduit aux foires de Crevant; plus petit du côté de Châteauneuf, de Dun-le-Roi, on l'appelle *bocager.*

On fait descendre le mouton de Crevant d'une race anglaise, la race Dishley. Il a la tête assez souvent tachée, mouchetée et nue, ainsi que les jambes et le dessous du cou, le corps long, assez fort, le garrot épais, et il est remarquable par son aptitude à s'engraisser. On le recherche comme reproducteur pour améliorer les autres sous-races de la contrée. La laine en est grosse et dure, on dit que le pays la grossit. A tort, on tient peu à l'améliorer à ce point de vue.

Mouton nivernais. Il appartient à une sous-race berrichonne élevée sur les plateaux calcaires compris entre le Cher et la Loire, du côté de Bourges, Villequier, Sancerre, et, sur la rive droite du fleuve, du côté de Nevers, La Charité jusqu'à la Puysaie. Il ressemble au mouton de Crevant, mais il a la tête laineuse, pourvue d'un toupet et la laine moins grosse. Il se mêle, se croise, d'un côté, avec le solognot, de l'autre, avec le mouton de Champagne. On trouve souvent, dans les autres sous-races, des moutons à tête un peu laineuse; il y a beaucoup de croisement mérinos au nord-est de Bourges. Les caractères du sang espagnol sont très inégalement imprimés sur la race indigène.

MOUTONS DE LA SOLOGNE. Pour la taille et les formes, le mouton solognot ressemble beaucoup au berrichon, et même au petit berrichon de la Champagne; il est très petit, ou de taille presque moyenne, selon la fertilité du pays où on l'élève; il est souvent roussâtre sur la tête et les jambes : ces parties sont nues. La laine est grosse, longue et à mèche pointue, un peu frisée, vrillée au sommet.

Les plus petits se trouvent du côté de Romorantin, Nonant-le-Fusilier, sur les landes; ils prennent du corps en se rapprochant de la Loire, de Blois dans la Gâtine, du côté de Montargis, d'Orléans.

RACES MÉTIS ANGLO-FRANÇAISES. Nous appelons ainsi les produits des croisements des béliers Dishley, New-Kent et Southdown, avec les anciennes races françaises. Ils sont aujourd'hui fort variés en France. Ils ont tous à peu près les mêmes caractères; sont à corps épais, exigeants pour la nourriture, paresseux, précoces, graisseux et à laine forte, ondulée, souvent roide. Nous parlerons seulement de ceux du Berry et de la Flandre.

Mouton anglo-berrichon. Plus petits que les races anglaises, ces métis sont plus forts que les moutons indigènes. Ils laissent peu à désirer pour les formes : ils ont le garrot épais, le dos soutenu, et la tête, l'encolure peu developpées. On reconnaît le sang anglais au corps qui se rapproche plus de la forme cylindrique que celui des indigènes et à l'épaisseur du garrot; les descendants du Southdown se reconnaissent aussi à la face et aux jambes qui sont noirâtres ou marquées de taches noirâtres assez nombreuses, et ceux du Dishley à de légères taches bleuâtres aux oreilles et aux naseaux; ces derniers ont en outre les arcades orbitaires fortement saillantes et les oreilles fines.

La laine des métis Dishley et des New-Kent est grosse, rude, souvent cotonneuse, inférieure à celle des animaux indigènes. Tous les anglais donnent plus de finesse avec les brebis de Brion qu'avec celles des autres sous-races berrichonnes.

Ces croisements sont anciens dans le Berry et le Nivernais. Des Anglais les ont commencés dans la Nièvre il y a une trentaine d'années. Partout on obtient à peu près les mêmes résultats : on a des produits plus ou moins forts selon la manière dont on nourrit. Depuis plusieurs années, les métis de M. Malingié sont distingués comme très remarquables au concours de Poissy.

Les anglo-berrichons ont une grande aptitude à prendre jeunes la graisse, mais la laine est souvent inférieure même à celle des moutons anglais; il faut chercher, et cela sera facile, à la rendre plus douce par l'emploi de reproducteurs ayant du sang mérinos en suffisante quantité.

Mouton anglo-flamand. Nous plaçons dans cette catégorie les produits du croisement des béliers New-Kent et Dishley avec les brebis flamandes, artésiennes et picardes. Ces animaux assez répandus dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme et de l'Aisne, diffèrent peu les uns des autres. Les produits du New-Kent sont plus longs et à dos moins bien soutenu, mais à laine ordinairement plus douce.

Plus trapus que les indigènes, ils ont tous la tête plus fine, le chanfrein moins busqué, le corps plus épais, plus près de terre et plus lourd, quoique paraissant plus petit. Ils sont plus précoces et plus disposés à prendre la graisse.

Au point de vue de la laine, ils sont encore défectueux; cependant on ne trouve pas, parmi les métis, de ces toisons à mèches pointues, pendantes et à brin lisse, roide, si communes dans les grands moutons du Nord. Toutefois, par l'emploi de reproducteurs anglo-mérinos bien choisis, déjà employés du reste, on pourra améliorer la laine autant que le climat du Nord le comporte.

MOUTONS FRANÇAIS A LAINE INTERMÉDIAIRE.

Ces moutons proviennent du croisement du mérinos avec les races indigènes et avec les races anglaises. La laine est moins fine que celle des mérinos mais plus longue; plus douce et plus fine que celle de nos anciennes races. La toison est fermée et s'étend sur la tête et les jambes. La mèche a acquis, depuis ces derniers temps, beaucoup de longueur par les croisements

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et par le régime plus substantiel auquel on soumet les troupeaux. C'est tantôt le caractère mérinos qui domine, tantôt le caractère des races françaises, mais généralement le premier. La laine, bonne pour la draperie commune, est excellente pour la fabrication d'étoffes de fantaisie d'une immense consommation.

Les moutons à laine intermédiaire, connus sous le nom de *métis-mérinos* ou simplement de *métis*, se rapprochent de nos races par leur sobriété et leur rusticité. Nous en avons qui fournissent de 20 à 30 kilogrammes de viande nette et de 4 à 6 kilogrammes de laine; tandis qu'il en est d'autres dont les quatre quartiers pèsent à peine de 8 à 12 kilogrammes et la toison de 1 à 2 kilogrammes.

Dans les boucheries, on place les métis avant les mérinos, mais après les anciennes races françaises.

MOUTON BEAUCERON. L'ancienne race de la Beauce et de la Brie a complétement disparu; à peine en trouve-t-on quelques débris dégénérés sur les limites de ces provinces. Mais tous les troupeaux des grandes exploitations d'Eure-et-Loir, de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne ont été modifiés ou remplacés par le mérinos. C'est un magnifique métis, ayant beaucoup de sang espagnol, qu'on considère de nos jours comme mouton beauceron.

Il est à corps trapu, ramassé, peut-être un peu court et quelquefois ensellé; à garrot trop sorti, à ventre un peu gros; à tête forte, busquée, à cornes en spirales; à peau lâche et formant des fanons, ou lisse; à laine couvrant le ventre, les jambes jusqu'aux onglons, et la tête jusqu'à la bouche; mèche carrée, toison fermée, noire à la surface; finesse du brin moyenne, et du reste variant beaucoup; la mèche a beaucoup augmenté en longueur depuis quelques années, et en même temps qu'elle devient longue, les défauts du mérinos, les fanons, la grosseur de la tête, le resserrement des côtes tendent à disparaître.

Ces moutons sont remarquables par leur poids, l'abondance et la qualité de leur laine; mais ils sont exigeants pour la nourriture : les fermiers des environs de Paris, qui achètent au printemps des moutons pour les engraisser et faire parquer leurs terres, préfèrent des moutons de toute autre provenance.

MÉTIS BOURGUIGNONS. La partie de la Bourgogne qui avoisine la Champagne est riche en bêtes à laine : quoique exposés à la sécheresse pendant l'été, les plateaux calcaires des départements de l'Yonne, de la Côte-d'Or sont très propres à l'entretien des moutons à laines fines. Cependant l'importance donnée à la fabrication des étoffes rases et la concurrence des étrangers pour les laines fines, qui coûtent peu de port relativement à leur valeur, engagent beaucoup d'éleveurs à porter leurs efforts vers la production des gros moutons et des fortes toisons.

Quelques personnes regrettent qu'il en soit ainsi, mais en considérant l'immense utilité des belles laines intermédiaires et la rareté de la viande, nous ne saurions partager leurs regrets.

Dans la partie occidentale de la province, nous trouvons des moutons qui, par leur taille et leurs formes, peuvent être comparés aux briards et aux beaucerons. Les environs de Sens fournissent de forts animaux assez recherchés par la boucherie; les métis de la Bourgogne font bien, quand ils sont conduits maigres chez les cultivateurs des environs de Paris.

MÉTIS CHAMPENOIS. Il est aussi varié que le sol qui le nourrit. Dans le commerce, on donne même le nom de champenois à des métis qui viennent du côté de Soissons, réservant la dénomination de picards aux animaux à laine grossière.

Le métis champenois de forte taille et bon de laine a de la ressemblance avec le beauceron. Le corps est plus élancé, la toison moins colorée à la surface et la finesse de la laine plus variée. On remarque souvent une tache brune sur la lèvre supérieure.

MOUTONS SOISSONNAIS. Dans la Picardie, l'Ile-de-France, les moutons sont plus gros de laine. On en trouve cependant dans le Soissonnais qui diffèrent peu de ceux de la Beauce, mais ils sont en général moins uniformes : dans quelques troupeaux, la laine ne diffère pas de celle des mérinos; dans d'autres, elle est plus longue, a moins de douceur et la peau est tendue sans fanons. On reconnaît encore les caractères de la race flandrine dans divers troupeaux au volume du corps plus élancé, à la laine plus longue, plus dure, et aux oreilles larges et renversées, sinon pendantes. Quelques lots de ces animaux démontrent, par leurs formes carrées et leur laine longue et assez fine, la possibilité d'améliorer les moutons artésiens en réunissant sur les mêmes animaux une bonne laine intermédiaire à beaucoup de viande.

L'ancienne race picarde disparaît, se mêle au mérinos et s'améliore beaucoup, quoique donnant plus gros de laine que le vrai soissonnais. Les métis picards-flamands-mérinos, ont tous de fortes toisons et des mèches longues, mais souvent avec trop peu de caractère mérinos. La laine est forte, résistante, nerveuse, dure et manque de finesse.

MOUTONS DE CAUX. Dans la haute Normandie, le Vexin, les métis sont nombreux, souvent fins de laine, et donnent beaucoup de viande; ils se mêlent : à ceux de la Beauce par le département de l'Eure, à ceux de la Brie par le département de Seine-et-Oise et aux soissonnais par le département de l'Oise.

MÉTIS DU CENTRE. La laine du Berry était considérée par les anciens comme de première qualité. Les gens de condition stipulaient dans les contrats de mariage, nous apprennent les *Instituts consulaires* de Jean-Toubeau, qu'on donnerait une robe de drap de fine laine du Berri à la future épouse. Dans quelques troupeaux, ce produit a éprouvé cependant de grandes améliorations, par les croisements avec la race mérine. Les métis sont à corps plus laineux, à formes assez élancées, à toison fermée et à laine plus fine, plus douce que celle de la race indigène.

Du reste, c'est la province où les métis offrent les plus grandes différences; si quelques-uns ressemblent presque à des mérinos, il en est aussi qui n'annoncent le sang espagnol que par une toison un peu plus unie à la surface et un peu plus avancée sur le front et sur les pattes.

MÉTIS ANGLO-MÉRINOS. Les brebis mérinos ont été croisées sur une assez grande échelle avec le bélier New-Kent et surtout avec le Dishley. Nous ne parlerons que des produits de ce dernier. Mieux conformés que ceux qui descendent du New-Kent, ils ont le dos mieux soutenu, la tête plus petite, l'oreille plus courte, plus fine, mais par leur laine souvent plus grosse, du moins au premier croisement, ils appartiennent à la section des races à laine commune. Les légères taches noirâtres des oreilles, du nez, la finesse des oreilles, la proéminance des arcades orbitaires qui distinguent les Dishley se retrouvent dans leurs descendants.

Si les métis demi-sang appartiennent par la dureté, la grosseur de leur laine, aux moutons à laine commune; s'ils ont le brin gros, droit, souvent brillant, ondulé comme le Dishley; si la toison en est peu fermée; si la tête et les jambes sont nues, ils tiennent également beaucoup de l'anglais par leurs formes et leur précocité.

Mais si l'on fait entrer dans les produits une plus forte quantité de sang mérinos, que l'on fasse couvrir les brebis mérinos par des béliers demi sang, les métis trois quarts mérinos qu'on obtient alors donnent d'excellente laine intermédiaire. Ils sont à corps laineux, à toison tassée, fermée; à brin fin, uni et assez long

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour fournir de la très belle laine propre au peigne. Ils conservent cependant encore les formes, la mollesse, la précocité des races de boucherie; mais ces qualités sont tempérées par plus de vigueur, plus de rusticité et d'aptitude à supporter les chaleurs et les longs parcours.

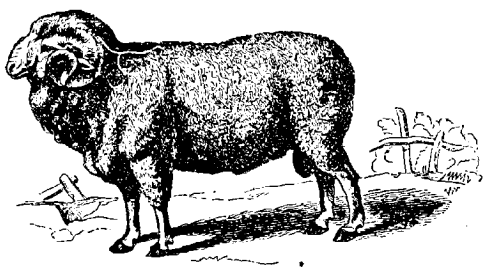
Pendant longtemps nous avions cru que ce croisement pouvait seul donner à la laine des mérinos, sans la rendre grosse et dure, la longueur que réclament certaines manufactures; mais des métis mérinos beaucerons, soissonnais, champenois obtenus en grand nombre depuis quelques années donnent des toisons qui ont tous les caractères de la laine Dishley-mérinos avec peut-être plus de finesse.

MOUTONS FRANÇAIS A LAINE FINE.

Nous trouvons dans cette catégorie le type mérinos, quelques-unes de ses sous-races ou variétés, et quelques métis renfermant une très forte proportion de sang espagnol. Toutes ces races se ressemblent et surtout exigent les mêmes soins : la laine en est fine, douce, sert à la belle draperie et à la fabrication des étoffes de fantaisie de choix.

MÉRINOS. L'histoire des mérinos introduits plusieurs fois dans le Béarn et le Roussillon au commencement du siècle dernier; à Rambouillet, en 1786 et en 1801; à la bergerie de Perpignan, en 1800, est trop connue et n'offre pas un intérêt assez direct pour mériter une place dans cet ouvrage. Occupons-nous de leurs caractères et de leurs défauts, de leurs améliorations, et de leur emploi pour améliorer les races indigènes.

De taille très variée, le mérinos a un corps trapu, des membres forts et une tête grosse, à chanfrein busqué; ses cornes sont grosses, anguleuses et forment des spires très rapprochées : elles manquent quelquefois, et c'est une qualité (fig. 4).



4.

Sa laine est remarquable, fine, douce : le brin est en zigzags rapprochés; les mèches sont terminées en pointes spiroïdes, c'est un défaut, ou carrées et formant des prismes réguliers. La surface de la toison est bien fermée, noire, sale; mais l'intérieur, garni d'un suint abondant, est blanc ou jaune : on préfère la laine à suint blanc.

Toutes les parties du corps sont couvertes de laine, dans les beaux types, depuis le bout du nez jusqu'aux onglons, et partout, quoique d'une finesse inégale, elle présente les mêmes caractères.

La peau du mérinos, très étendue, forme au cou, aux épaules, aux cuisses, de grands replis appelés *fanons*. La peau des fanons est épaisse, porte des bulbes gros et une laine inférieure. Ces replis sont un défaut.

Le mérinos est parfaitement acclimaté en France. Désormais nous devons le considérer comme race indigène à très nombreuses variétés.

Dans le type mérinos, la laine est souvent courte, le dos enfoncé derrière le garrot qui est trop saillant, l'abdomen est trop volumineux, la peau trop ample, la tête trop forte, etc. Mais tous ces défauts tendent à disparaître : depuis l'importation, au commencement de ce siècle, la laine est devenue plus longue et le jarre qui altérait les toisons des troupeaux introduits à Rambouillet a complétement disparu; la toison est devenue plus lourde et plus fine en même temps que le corps a pris plus de carrure et que la taille est devenue plus forte.

Nous ne pouvons indiquer que les contrées où l'entretien du mérinos est le plus étendu.

Dans la *Beauce*, cette race précieuse a pour type les beaux animaux de la bergerie de Rambouillet et ceux de quelques cultivateurs habiles qui produisent, louent et vendent des béliers. Surtout remarquables par le volume de leurs corps et le poids de leur toison, ces béliers pèsent jusqu'à 80, 90 kilogrammes à 18 mois, 2 ans, et dépouillent de 5 à 10 kilogrammes de laine en suint : les brebis ont un volume correspondant.

Mérinos de la Bourgogne. Les premiers troupeaux de mérinos importés dans le nord de la France et qui ont donné des résultats suivis, furent introduits à Montbard, en 1766 et 1776, par Daubenton, secondé par le ministre Trudaine. Depuis cette époque, de nombreuses importations ont été faites dans cette province.

Les parties de la Bourgogne favorables à l'entretien des bêtes à laine ne se ressemblent ni pour le climat, ni pour la fertilité des terres. Les plateaux du nord-est de l'Yonne, de la Côte-d'Or sont très propres à nourrir des bêtes à laine superfine, tandis que les plaines plus fertiles conviennent mieux pour les animaux de forte taille.

Les cultivateurs avaient cherché à utiliser les dispositions différentes du pays : des mérinos à laine extra-fine tirés de la Saxe, de la Silésie, de Naz, avaient été surtout introduits dans les arrondissements de Tonnerre et de Châtillon; tandis que du côté de Sens on a plutôt tenu au développement de la taille et élevé des mérinos ayant plus de ressemblance avec la race de Rambouillet.

Le manufacturier de Château-du-Parc (près de Châteauroux), qui a fabriqué le premier drap de laine superfine indigène, déclarait à Daubenton, après en avoir fait l'essai, que la laine française avait plus de force et de nerf, avec la même finesse à l'œil et la même douceur au toucher, que les laines d'Espagne. Les résultats ultérieurs n'ont fait que confirmer cette appréciation des premières toisons superfines obtenues en Bourgogne.

Malgré ces qualités, la production de ces laines tend à diminuer. La difficulté de les vendre avec avantage, le peu de rendement des moutons qui les portent, font donner la préférence aux mérinos forts de taille et à lourde toison.

Mérinos de la Champagne. Par rapport aux bêtes à laine, aucune province n'est plus intéressante ni aussi variée que la Champagne. Dans le sud, les moutons se confondent avec les plus beaux de la Bourgogne. Le milieu nous offre, dans les vallées, de beaux troupeaux, tandis que nous trouvons sur les plaines stériles la plus chétive des anciennes races ovines. Le nord, le département de la Marne, est riche en moutons, qui réunissent le poids du corps aux qualités des toisons.

Pour apprécier cette province, il faut tenir compte et des circonstances géologiques favorables au mouton, et de l'influence que le commerce des villes manufacturières de la Marne et de l'Aube exerce sur la production des laines.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les habiles producteurs de ce département sentent qu'il n'y a rien à gagner avec les laines de première finesse, mais ils n'en ajoutent pas moins une grande importance à conserver les plus précieux caractères du mérinos; ils recherchent des béliers à corps trapu, à garrot épais, à belles formes et à laine longue telle que la demandent les manufactures de Reims; ils tiennent aussi à une peau couverte de laine sur toute son étendue, à un brin fin et à une toison fermée. Si quelques-uns désirent encore une race à cornes, c'est qu'il ne leur est pas démontré que les qualités du mérinos sont bien fixées dans les individus dépourvus de ces organes.

Mérinos du Nord et de l'Ouest. Le nord de la France est plus propre à produire de la viande et de la laine commune ou intermédiaire que de la laine fine. Il faut nous en féliciter autant dans l'intérêt public que dans celui de ces riches contrées. Cependant nous trouvons dans l'Aisne, l'Oise, le pays de Caux, de très bons troupeaux de mérinos. Mais ces animaux sont plus intéressants par les métis qu'ils produisent que par eux-mêmes.

Nous nous bornerons également à mentionner les troupeaux introduits dans le Calvados, la Manche, l'Orne, par quelques riches propriétaires. Ces contrées sont plus généralement favorables au développement de la taille qu'à la finesse de la laine. Le département de l'Eure est un des plus riches en bêtes à laine, mais elles se rattachent à celles d'Eure-et-Loir, de la Beauce.

Mérinos du midi de la France. Nous avons vu, en parlant des races à laine commune, que la partie orientale du double bassin situé au nord des Pyrénées est surtout propre à produire de belles laines. Dans le siècle dernier, on y avait introduit plusieurs fois des béliers espagnols; aussi la race roussillonnaise a-t-elle été facilement régénérée par les mérinos de la bergerie de Perpignan.

Dans les mérinos du Midi, la peau est moins plissée et la taille moins élevée. Au lieu d'être réunis dans les mêmes contrées, comme cela a lieu dans le Nord, les troupeaux en sont disséminées. C'est un inconvénient, ne fût-ce qu'à cause des difficultés de vendre la laine.

Quoique moins favorables à la production des laines fines, la partie occidentale de ce bassin, la Haute-Garonne, la Gironde, etc., possèdent des troupeaux de mérinos et de métis mérinos, mais ces animaux y sont moins multipliés que dans le bassin de l'Aude.

Les mérinos du Languedoc, de la Provence ont par eux-mêmes peu d'importance, on les trouve trop exigeants en nourriture. Les laines fines y deviendront cependant de plus en plus abondantes, et parce que, par les progrès de la culture, par les irrigations dans les Bouches-du-Rhône, les fourrages deviendront plus abondants, et parce que les mérinos purs s'approprieront au pays et qu'ils donneront des métis de plus en plus fins et nombreux.

MOUTONS A LAINE SOYEUSE. Par son croisement avec les races à laine longue et surtout avec des animaux à laine longue, ondulée et d'un éclat soyeux, le mérinos produit assez souvent un lainage brillant qui a certaines ressemblances avec la soie.

Cette transformation de la laine s'opère même quelquefois sans métissage. La laine soyeuse est plus fine, si elle est fournie par des mérinos de pure race.

Il se produit assez souvent en France des animaux soyeux, mais les propriétaires ne tiennent pas à les conserver. La laine de ces animaux, quoique fine, paraît grosse : un brin de laine brillant est plus voyant et semble plus volumineux. On préfère, et avec raison, les mérinos communs.

M. Graux, cultivateur du département de l'Aisne, ayant eu de ces animaux dans son troupeau, essaya de les multiplier, et il est parvenu à former une race qu'on désigne par le nom de *mérinos Mauchamp*, du nom de la ferme où elle a été produite, ou de *mouton soyeux*, à cause de la nature de sa laine. M. Yvart a amélioré les formes du mouton soyeux, et l'a employé avec succès pour adoucir la laine des métis anglo-mérinos et pour allonger celle des mérinos communs

Il y a aujourd'hui dans les bergeries d'Alfort, de Gevrolles, des moutons soyeux assez bien faits de corps, se reproduisant souvent sans cornes, à corps couvert de laine jusqu'aux onglons et aux lèvres, mais la laine est en longues mèches pointues formant une toison très ouverte et généralement peu estimée.

Cette laine est utilisée pour quelques objets de luxe et payée fort cher, mais il y a peu d'acheteurs, et la vente en serait fort difficile, si elle était produite en forte quantité, à moins qu'on ne trouvât des manières nouvelles de l'utiliser.

En s'accouplant avec le mérinos commun, le mouton soyeux donne des produits soyeux mérinos à laine longue, fine, douce, unie, nerveuse et donnant au peigne, d'après des essais qu'a fait faire M. Yvart, plus de cœur que les autres laines; mais le principal avantage du mouton soyeux a été d'adoucir la laine des métis anglo-mérinos et d'allonger, sans la grossir sensiblement, celle des mérinos communs. Les produits *soyeux mérinos* conservent dans les premiers croisements la mèche carrée et la toison fermée des mérinos, et peuvent être utiles, employés avec précaution, pour hâter la transformation des autres races françaises.

MOUTONS FRANÇAIS A LAINE EXTRA-FINE.

Nous avons vu, en décrivant les races ovines françaises, que des laines anciennement considérées comme belles sont classées de nos jours parmi les médiocres et même parmi les mauvaises; celles qu'on considérait comme les premières sont devenues les secondes, quand on a trouvé dans le commerce les qualités supérieures que nous appelons *extra-fines*, *superfines*.

Les moutons à laine superfine appartiennent à des variétés de la race mérine. Nos forts types mérinos en renferment rarement : des laines du troupeau de Rambouillet ont bien été trouvées plus belles que celles de la race Electorale et de la race de Naz, mais ces faits sont exceptionnels.

Le mérinos à laine superfine est généralement à corps petit, à peau fine, sans fanons, à laine courte et peu tassée; la grande finesse ne se rencontre jamais avec la quantité : deux, trois livres de laine en suint, et peu de viande.

MÉRINOS DE NAZ. Un seul troupeau à laine superfine se conserve en France. Il renferme un beau type de bêtes à laine. Entretenu dans l'arrondissement de Gex, il est connu sous le nom de *troupeau de Naz*, du nom de l'exploitation où il a été créé, et où il a acquis un haut degré de perfection, par les soins habiles de MM. Girod de l'Ain et Perrault de Jotemps

Les animaux en sont petits, trapus, agiles, ardents, à tête forte, pourvue de grosses cornes en spires rapprochées, à peau fine, tendue, sans fanons; à laine en zigzags, courts, rapprochés et réguliers; mèche courte, brins d'une très grande finesse, mais peu tassés; toison légère.

Cette race est entretenue l'hiver à la bergerie et l'été sur les montagnes des environs de Genève; elle reçoit au ratelier une ration de foin et de racine très régulièrement distribuée, jamais trop forte; et l'été, elle pacage sur des montagnes où le sol est salubre, l'herbe de bonne nature, mais trop peu abondante pour pousser au grand développement des organes de la peau et de la laine en particulier.

Le troupeau de Naz donne des revenus, non-seulement par sa laine, mais encore par les types reproducteurs qu'il fournit en France et à l'étranger. Les soins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les propriétaires ont pris de fixer les caractères de la race, et les résultats remarquables qu'ils ont obtenus, ont donné à ce troupeau une supériorité qui rend toute concurrence impossible.

C'est probablement à ces circonstances heureuses que nous en devons la conservation; car des nombreux essaims qui en sont sortis, et qui se sont fixés dans la Bourgogne, la Champagne, le Languedoc, le Roussillon, etc., aucun n'a pu trouver des conditions favorables à sa prospérité.

A en croire certains agronomes, nos éleveurs sont des barbares. Ils négligent complétement leurs intérêts, et laissent aller annuellement dans les coffres des étrangers des millions qu'ils pourraient très facilement garder pour eux. Les beaux plateaux calcaires de la Beauce, de la Bourgogne, les plaines du Soissonnais, les vallées du Midi, sont mieux disposées que les steppes du Mexique, du cap de Bonne-Espérance, de l'Australie, pour produire les belles laines que nos fabricants tirent de ces lointaines régions.

Il y a du vrai dans ce raisonnement; mais une question d'abord. Nos éleveurs laissent-ils perdre l'herbe de leurs chaumes? Au printemps, sont-ils obligés de jeter à la fosse au fumier leurs betteraves non consommées? Quand arrive l'époque de la fauchaison, les fenils sont-ils encombrés du foin de l'année d'avant?

S'ils font consommer tous leurs fourrages, ils ne pourraient donc produire des laines superfines qu'en abandonnant la production des laines communes, des laines intermédiaires, et en partie celle de la viande.

Voilà de quelle manière la question doit être posée. Et en l'étudiant, nous trouverions probablement que nos producteurs ont raison de laisser aux terres demi-incultes la production des laines superfines, de même que les propriétaires des environs de Paris trouvent de l'avantage à laisser à ceux de la Picardie, de la Normandie, de la Brie, la production du lait pour la capitale, et à transformer en parterres, en maisons de campagne, des terres qui, il y a quelques années seulement, étaient en luzerne, en vesce et en sainfoin.

Peu de viande et très peu de laine, voilà le caractère économique de la race extra-fine. Ajoutons que cette race réclame des précautions minutieuses : soins bien entendus dans le choix des reproducteurs et les accouplements, pas de parc ou très peu de parc, et seulement après la tonte, car la terre rend la laine roide; des bergeries bien tenues, car le fumier et même le gaz ammoniac donne de la dureté à la toison; enfin une alimentation raisonnée est indispensable : la laine devient grosse avec trop de nourriture, et maigre, cassante avec trop peu.

Le prix très élevé de la laine extra-fine pourrait seul compenser les frais d'entretien des animaux qui la produisent, et cette condition n'existe pas. La consommation de cette laine est très limitée, parce qu'il se trouve peu de personnes qui se servent d'étoffes en laine superfine et qu'elles sont rarement capables d'apprécier ce qu'elles achètent. Il est déjà fort difficile, même avant que la laine soit cardée, filée, modifiée par la teinture, de distinguer la fine de l'extra-fine, et quand elle a été manipulée? il faut alors être du métier et habile dans le métier.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que le commerçant qui est en rapport avec les consommateurs, pouvant vendre les étoffes fines et les étoffes à laine mélangée aussi cher que les extra-fines, demande rarement ces dernières au fabricant.

Des conditions de production particulières, des terres sans valeur, des fourrages difficiles à vendre, l'impossibilité d'écouler la viande, pourraient seules permettre l'entretien des troupeaux de première finesse. Des essais ont été faits au cap de Bonne-Espérance, dans l'Amérique méridionale, dans la Crimée, dans l'Australie surtout.

Dans ces contrées peu habitées où la viande est sans valeur, tout semble favorable à la production des laines extra-fines. Et cependant, malgré des importations considérables de béliers des races électorales, de la race de Naz, il arrive rarement des produits bien suivis. Les animaux dégénèrent faute de soins.

Dans l'Europe occidentale où les troupeaux pourraient être bien soignés, les conditions économiques ne peuvent permettre qu'exceptionnellement l'industrie des laines extra-fines. Nous n'en exceptons pas même la Silésie, la Moravie, la Bohême, la Saxe qui nous envoient ces belles laines dites électorales. Et cependant il y a dans ces contrées bien des circonstances favorables : d'abord la constitution de la propriété en grands domaines y rend l'entretien des animaux plus avantageux que toute autre industrie agricole, et de tous les bestiaux, les moutons exigeant peu de main-d'œuvre, sont les plus propres à donner beaucoup de produit net; ensuite, la longueur des hivers nécessite un long séjour des troupeaux dans les bergeries et l'abondance des fourrages le facilite; l'étendue des pâturages diminue l'emploi du fumier et restreint l'utilité du parcage; enfin la consommation de la viande peu considérable en rend la vente difficile et doit donner de l'avantage à la production des laines. Malgré toutes ces conditions le mouton à laine superfine donne peu de bénéfice, et l'on trouve dans ces contrées beaucoup plus de troupeaux communs que de troupeaux fins.

CHAPITRE DEUXIÈME.

CHOIX DU MOUTON.

Avantages des belles laines. La spéculation des nourrisseurs de moutons est basée, ou sur la production des laines, ou sur l'engraissement; la première est surtout pratiquée dans les contrées pauvres et l'autre dans les riches terres où la culture est active. Mais ces deux branches de l'industrie ovine tendent à se confondre, à se réunir dans les contrées peu fertiles, à mesure que l'agriculture fait des progrès. Ce changement est au désavantage des pays riches qui jadis engraissaient presque exclusivement : d'abord parce que les animaux maigres sont plus chers qu'anciennement et ensuite à cause de la concurrence plus générale. Cette dernière, à la vérité, a peu d'influence, car la consommation augmente plus rapidement que la production. Il y a de nos jours aux marchés de Sceaux 10, 15, jusqu'à 20,000 moutons, et ils se vendent aussi facilement que les 12 ou 1500 qui y arrivaient il y a 40 ans.

Dans le choix du mouton, il faut avoir égard à l'*état de santé, à la taille, au tempérament, aux formes* et *à la laine.*

I. Le bélier qui jouit d'une bonne santé est fort et agile; il a une marche assurée, se tient en tête du troupeau, et se défend avec vigueur quand on le saisit.

Il a l'œil vif, un peu humide, la face interne des paupières et la conjonctive rose, parcourue par des vaisseaux bien apparents. La peau, dans les animaux blancs, a une teinte rosée; la laine s'arrache difficilement; une fois arrachée, elle est forte, résistante. Nous avons en vue ici l'indication des signes de la pourriture qui, même au début, rend les animaux faibles, les membranes muqueuses pâles, celle de l'œil en particulier, la peau terne et la laine facile à arracher, si elle ne tombe pas spontanément.

II. La taille ne mérite pas l'importance qu'on lui attribue. Les moutons consomment en proportion de leurs poids, de sorte qu'on produit autant de viande avec des petits animaux qu'avec des grands. Avec les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

premiers on peut en produire sur des terres stériles, sur des bruyères où ne sauraient s'entretenir des bêtes de forte taille. Mais comme les frais pour soigner les troupeaux augmentent avec le nombre d'animaux dont ils sont composés, on choisira des moutons en rapport, par leur taille, avec la fertilité des terres : de forte taille dans les herbages fertiles, cependant plutôt trop petits que trop grands.

Pour la production de la laine, l'avantage est en faveur des petits animaux; ils donnent un produit souvent plus fin, et toujours plus abondant : deux moutons pesant chacun 50 livres fournissent plus de laine, pour une quantité donnée de nourriture, qu'un seul du poids de 50 kilogrammes.

Le développement considérable du corps n'est un indice constant de bonnes qualités, que lorsqu'on le remarque sur quelques individus d'un troupeau dont tous les animaux ont été élevés et nourris de la même manière : le poids considérable réuni à une belle conformation est alors un signe de la grande disposition des animaux à s'approprier la nourriture.

III. Quoique bien portant, le mouton doit être mou et paresseux. Après avoir pris son repas, il doit se coucher au lieu d'agir. C'est ainsi qu'il prend beaucoup de viande. Cette disposition se remarque dans les races précoces, disposées à l'engraissement. On donnera la préférence aux animaux qui la présentent quand on aura des fourrages à faire consommer au ratelier, des pâturages bons et peu éloignés de la bergerie, et un climat doux et tempéré.

Mais il sera préférable d'avoir des bêtes vives, alertes, vigoureuses, quand elles devront aller chercher leur nourriture dans des pâturages peu fertiles, éloignés de la ferme, et à l'action d'un froid rigoureux ou d'une chaleur intense. Elles donneront moins de produits que des bêtes molles, mais elles seules peuvent résister à ces conditions et utiliser de pareils herbages.

IV. Par l'examen des formes, on peut pressentir l'aptitude des animaux à se bien nourrir, leur disposition à produire beaucoup de viande là où se trouve la meilleure, et, jusqu'à un certain point, la quantité, sinon la nature de la laine.

Une grande aptitude à se nourrir résulte d'abord, comme nous venons de le dire, de la propension des animaux à ne pas faire des mouvements inutiles; elle dépend aussi d'une bonne organisation des organes digestifs et de l'appareil respiratoire.

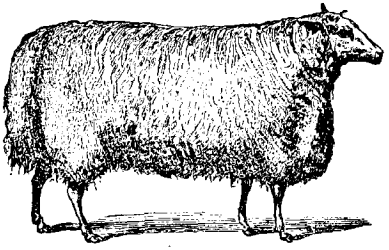
Un volume moyen du ventre est le meilleur signe d'une digestion facile chez le mouton. Le grand développement de cette région, trop fréquent dans nos races, indique l'usage longtemps continué d'aliments médiocres ou mauvais; il se rencontre presque toujours avec un dos ensellé, occasionné par le poids des viscères abdominaux, et avec un système musculaire peu développé.

C'est la respiration qui donne aux matières élaborées par le poumon la faculté de pouvoir être employées à l'accroissement des organes; et on juge de l'activité de cette importante fonction par le volume des viscères qui l'exécutent, par la capacité de la cavité pectorale.

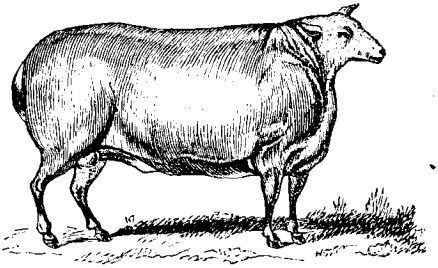
L'ampleur de la poitrine s'annonce par un corps cylindrique, une côte ronde, un poitrail large, bien sorti, un garrot épais, un dos bien soutenu, des régions costales prolongées en arrière, ce qui rend le flanc étroit. Dans le mouton à grande poitrine, les membres sont bien écartés, même les postérieurs, et la région sternale est large : on juge de la belle conformation de cette partie, en explorant le dessous du corps avec la main ou en renversant le bélier.

Des lombes larges, indice, nous allons le voir, de beaucoup de bonne viande, supposent aussi l'ampleur des organes respiratoires, car la largeur des lombes existe toujours avec un grand développement de la partie supérieure du corps, et partant, avec la rondeur des côtes et l'épaisseur du garrot. Beaucoup d'acheteurs se contentent de palper les lombes pour juger des qualités d'un bélier.

Comme dans le cheval, un chanfrein étroit, busqué; des naseaux peu ouverts se rencontrent avec un poitrail enfoncé des membres rapprochés et une poitrine resserrée; tandis que la tête droite en avant, le bout du nez fort, le chanfrein épais, indiquent des voies aériennes larges (fig. 2).



2.



3.

Les animaux de boucherie doivent avoir beaucoup de viande et peu d'issues, et la viande doit se trouver en plus grande quantité là où elle est de qualité supérieure.

Avec un corps trapu, épais, cylindrique, à dos bien soutenu, bas sur jambes, un abdomen peu développé, une tête fine, des os grêles, des membres fins, les animaux donnent une grande quantité de viande nette : il suffit même, pour juger de cette qualité, d'examiner la tête et les oreilles : l'épaisseur des oreilles est un indice de la grosseur des os, car il y a toujours un rapport de volume entre le système osseux et le système cartilagineux. (Voir fig. 2, le mouton représenté fig. 3 après la tonte.)

Mais il faut encore que la viande de bonne qualité soit relativement abondante, elle se trouve à la croupe, aux fesses, aux cuisses et à la région lombaire; la plus mauvaise aux jambes, au flanc, à la partie inférieure des côtes, à l'encolure et à la tête. Un mouton à jambes courtes, à cuisses descendant près des jarrets, à tête fine, à encolure grêle, à lombes larges, donnera de bons filets, de lourds gigots et peu de basse viande.

Remarquons qu'avec cette conformation, les animaux doivent être peu disposés à parcourir de grands trajets. Nos races de montagne avec leurs jambes longues, leurs articulations grosses, leurs jarrets larges sont préférables pour aller chercher leur nourriture dans les pâturages escarpés. Elles donnent moins de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produits utiles, c'est vrai, mais elles s'entretiennent avec des aliments sans valeur.

Quelques cultivateurs recherchent encore la présence des cornes. Pendant longtemps on a considéré ces organes comme un des caractères constants de la race mérine, et partant, des animaux propres à donner de bons produits en laine. Nous savons aujourd'hui que des moutons dépourvus de cornes ont de très bonnes toisons, tandis que d'autres dont la laine est très mauvaise en sont pourvus. Nous ne devons plus considérer les cornes que comme des organes inutiles, ne donnant pas un produit en proportion de la nourriture qu'ils absorbent, et comme nécessitant des os épais, une tête grosse et une encolure forte pour les soutenir.

Il est donc à désirer que les moutons en soient dépourvus; mais si elles existent, elles doivent être en spirales rapprochées. Des cornes droites, ou seulement à contours écartés, indiquent une laine droite et souvent grosse, dure : il y a un rapport entre la direction des brins de laine et celle des cornes.

La peau dans le mouton est bien tendue ou ample, formant des plis, des fanons. Ces plis augmentent l'étendue de la peau et le poids de la toison; mais la peau est épaisse sur ces plis, et fournit une laine grosse, dure, comme jarreuse, parce que les bulbes qui produisent le brin ont un volume relatif à l'épaisseur de la membrane qui les renferme. Les mérinos sans fanons donnent moins de laine, mais on les préfère cependant, parce que les toisons sont mieux suivies, plus égales et en général plus fines.

V. Quelle que soit la race de moutons que l'on possède, le choix, par rapport à la laine, est de première importance.

Non-seulement dans les grandes divisions de moutons, mais dans toutes les races, existent des différences considérables dans la valeur des toisons. En améliorant la laine, il serait facile d'augmenter considérablement la valeur, et aussi le revenu des troupeaux, sans changer la nature des animaux.

Dans le choix du mouton il faut avoir égard à l'ensemble de la laine ou à la toison et à la qualité des brins considérés isolément.

La TOISON doit s'étendre sur tout le corps, couvrir le ventre, les membres et en grande partie la tête. Nos moutons varient à cet égard considérablement; c'est dans les anciennes races indigènes, à laine grosse, que nous trouvons le moins de laine. Pour l'engraissement on recherche les moutons à tête et à ventre nus, parce qu'ils appartiennent à des races qui prennent facilement la graisse et que dans tous les troupeaux, les animaux mauvais pour la laine sont les meilleurs pour la boucherie : la nourriture ne peut pas produire à la fois et de la viande et du lainage.

Mais les éleveurs qui conservent leurs animaux plusieurs années, les tondent plusieurs fois, doivent raisonner différemment : ils trouvent amplement sur la plus-value de la tonte une compensation à ce que les animaux peuvent rendre en moins quand ils sont vendus pour être engraissés ou livrés à la boucherie.

Presque toujours, quand la laine recouvre tout le corps, les brins sont rapprochés : elle est tassée et la toison lourde. Ce n'est donc pas pour la petite quantité de laine d'ordinaire plus grosse et souvent jarreuse, qui recouvre la tête, le ventre, et les jambes qu'il faut rechercher des bêtes bien laineuses; c'est parce que la présence de la laine sur tout le corps indique que ce produit est partout abondant et de bonne qualité. C'est dans les bêtes laineuses que le brin est fin, doux et élastique.

D'après la disposition de la laine on distingue les toisons *fermées* et les toisons *ouvertes*. Dans les toisons ouvertes, les mèches, formées par le rapprochement des brins sont pointues; elles sont carrées, comme tronquées, dans les toisons fermées.

Quand les toisons sont fermées, les mèches carrées, la laine reste plus propre à l'intérieur; elle se dessèche moins et conserve mieux sa souplesse. Le parcage, le contact de la terre, de la litière et du fumier nuisent considérablement aux toisons ouvertes.

Les laines courtes sont en mèches carrées et forment des toisons fermées. A mesure que les brins deviennent plus longs, ils tendent à s'écarter à leur extrémité libre; c'est facile à comprendre. Cependant l'état de la surface des toisons ne dépend pas seulement de la longueur de la mèche. Certaines qualités de laine, la mérinos, tendent à former des toisons fermées.

Dans l'étude des BRINS considérés isolément, il faut avoir égard à la finesse, à la douceur, à la souplesse, à la force, à l'élasticité, à l'uni, à l'égalité des brins, à leur aspect frisé, lisse ou cotonneux.

Ces qualités plus ou moins prononcées distinguent la laine du poil lisse, uni, droit, roide, peu extensible qui recouvre les chèvres, le mouton sauvage, et quelques mauvaises races domestiques. Ce poil ne peut pas se feutrer. Il en existe très peu dans les laines des bonnes variétés mérinos; on l'appelle *jarre*.

D'après le degré de *finesse* du brin on distingue la laine en superfine, fine, moyenne ou intermédiaire, commune ou grosse.

Les distinctions sont faciles à établir quand on examine les types de chaque catégorie, mais bien difficiles quand on arrive aux différents degrés de chaque type. L'habileté à cet égard ne peut résulter que de la pratique.

On reconnaît la *douceur* en examinant la laine réunie en grosses mèches; elle est en rapport avec la finesse et la souplesse de la laine. C'est une propriété qui rend les étoffes agréables et susceptibles de bien préserver du froid et de l'humidité.

La *souplesse* de la laine dépend beaucoup de la finesse, mais elle est subordonnée aussi à l'état des moutons. Lorsque ces animaux jouissent d'une bonne santé, qu'ils ne sont ni trop gras, ni trop maigres, que la peau est moite, que les fonctions de cette membrane sont actives et le suin abondant, la laine est moite, souple; elle est roide quand elle est grosse, quand les animaux fins-gras ont une épaisse couche de graisse qui isole la peau et en diminue l'activité; roide encore quand les animaux sont mal nourris ou malades.

La souplesse tient moins à l'état de la laine que les qualités précédentes. Les opérations qu'on fait subir aux toisons après la tonte, les divers procédés de lavage, la teinture, peuvent même la modifier, l'affaiblir.

C'est en partie de la souplesse de la laine que résulte le moelleux des étoffes.

Le parcage, le fumier, l'air impur chargé de vapeurs ammoniacales, les bergeries mal tenues diminuent la souplesse de la laine : la chaleur douce et humide, les bergeries propres, aérées lui sont favorables.

On dit que la laine est *forte* quand elle résiste aux efforts qui tendent à la rompre. Cette précieuse qualité dépend de l'état de santé ou de maladie, de la nourriture et de la manière dont les animaux sont tenus.

Les privations, les maladies, rendent la laine faible. Si un mouton tondu en juin est mal nourri ou devient malade en décembre, on remarquera à la tonte suivante que la laine est plus mince et plus faible vers son milieu; c'est-à-dire vers la partie qui a poussé à l'époque où la nourriture était mauvaise ou l'animal malade.

Non-seulement les brebis nourrices donnent moins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

e laine que les béliers, les moutons et les brebis infécondées, mais elles la donnent plus faible; celle qui a été produite pendant l'allaitement et au moment du part, surtout si cette opération a été pénible, est toujours moins résistante.

On appelle à deux bouts, la laine faible dans son milieu. Elle est de qualité inférieure, les outils la rompent pendant la préparation.

Toutes les causes qui rendent la laine roide : le défaut d'aérage, le manque de litière, le repos sur la terre, diminuent sa force, mais le grand air, la liberté, les bons pâturages l'augmentent.

La force de la laine se trouve jusqu'à un certain point en rapport avec sa grosseur; car ces circonstances que nous venons d'indiquer, et qui augmentent la ténacité de la laine, la rendent grosse, ferme et même dure.

Hâtons-nous d'ajouter cependant, qu'il ne faudrait pas juger de la force de la laine par la grosseur du brin, car on trouve souvent des troupeaux fins, dont la laine est plus forte que celle des animaux communs de la même contrée.

L'*extensibilité* et l'*élasticité* sont les deux propriétés qui contribuent le plus peut-être à caractériser la laine et à faire reconnaître celle qui est de belle qualité. La laine lisse, droite, en mèches pointues des mauvais moutons, peut s'étendre à peine; celle des mérinos s'allonge considérablement quand on l'étire et revient ensuite complétement sur elle-même.

Ces deux qualités de la laine dépendent de beaucoup de circonstances, principalement des ondulations, de la direction des angles des zigzags que forment les brins. Si ces zigzags sont nombreux et petits, le brin s'allonge beaucoup, et revient fortement sur lui-même quand la force de tension a cessé.

Une laine extensible et élastique forme des étoffes souples, agréables et de longue durée.

C'est à leur élasticité que les laines doivent de pouvoir se feutrer, de former des draps qui sous l'action du foulon deviennent moelleux et épais.

On recherche la *longueur* dans la laine parce qu'elle rend ce produit susceptible de remplir certains usages particuliers et parce qu'elle augmente le poids des toisons. La laine frisée, ondulée paraît courte; il faut l'étendre pour connaître sa longueur réelle, supérieure à sa longueur apparente.

Pendant longtemps les laines longues de sept à huit centimètres au moins pouvaient seules être peignées et servir à la confection des étoffes rases; elles avaient à cause de cela plus de valeur.

Mais nous avons vu que de nos jours les procédés de peignage ont été considérablement perfectionnés et qu'on peut peigner presque toutes les laines, même les plus courtes.

Il est à désirer que tous les brins de laine présentent la même longueur. Quand cette condition existe, les mèches au lieu d'être pointues sont comme tronquées : elles sont carrées et les toisons fermées : c'est, avons-nous dit, un grand avantage.

Soumises à l'action du peigne, ces laines donnent beaucoup de cœur et peu de blouse : celle-ci est produite par les brins naturellement courts et par ceux qui se brisent sous l'action du peigne.

Demandons pour dernière condition, que la laine soit autant que possible *uniforme* sur les diverses parties du corps.

Les connaisseurs distinguent sur chaque animal trois, quatre, cinq, six qualités de laine. La plus belle est sur l'épaule, la plus mauvaise sur la queue et les cuisses. Les différences entre ces qualités varient beaucoup; elles sont moins sensibles dans les très bonnes bêtes et dans les très mauvaises.

C'est surtout dans l'intérêt du cultivateur qu'il est à désirer que les laines soient uniformes; car les marchands, les manufacturiers, achètent en se guidant sur la mauvaise ou la médiocre qualité. Ils font ensuite opérer le triage à leur profit.

Dans les troupeaux d'une même race, il y a moins de différence que dans ceux qui sont formés de bêtes appartenant à divers types.

Ainsi dans les troupeaux des Arabes où nous trouvons à la fois des moutons qui pourraient presque être classés dans nos cinq sections, les toisons sont quelquefois formées de laines fort différentes. Les troupeaux *neufs* de l'Australie n'offrent pas le lainage disparate que nous remarquons en Afrique.

Dans le mouton sauvage, au lieu de laine, nous trouvons un poil gros, lisse, roide, mêlé à une très petite quantité de duvet ou de laine. Parmi les moutons domestiques, nous avons des races qui ressemblent à leurs congénères sauvages, par la nature de leur pelage et d'autres où le poil grossier a complétement disparu. Dans la plus grande partie des races cependant, nous trouvons les deux natures de poil, mais la laine est en grande prédominance.

Même une petite quantité de poil déprécie les toisons. Quand il en existe peu, c'est à la queue, sur les cuisses, les fesses, sur les grands plis de la peau, à l'encolure.

Relativement au mélange de la laine et du jarre, nous pouvons faire la même observation que pour la diversité des laines. Il y a en Afrique et dans nos montagnes des moutons qui, avec une laine passable, ont une très grande quantité de jarre. Le défaut de soins dans les appareillements explique ce mélange qui déprécie complétement les toisons.

AVANTAGES DES BÊTES OVINES A LAINE FINE.

Pour produire de bonnes étoffes, les brins de laine doivent être fins, doux, souples, extensibles, tenaces et élastiques.

Mais de toutes les qualités, la finesse est la plus précieuse. D'abord elle suppose presque toutes les autres et ensuite elle est une des conditions sans lesquelles les étoffes sont d'un mauvais usage.

Douce et fine, la laine se file bien. Tissée et soumise au foulon, elle se feutre et forme des étoffes serrées, moelleuses, peu perméables, sans cesser d'être souples. Ces étoffes sont les plus propres à préserver du froid et de l'humidité.

Notons surtout, c'est moins connu, qu'elles durent plus longtemps que les étoffes fabriquées avec des laines grossières. Plus les mailles, les fils d'une corde sont fins et nombreux, plus la corde, pour un diamètre donné est résistante. De même les fils de laine sont d'autant plus résistants qu'ils sont formés de brins plus fins et partant plus nombreux et mieux appliqués.

L'extensibilité, la souplesse, l'élasticité des laines donnent encore aux étoffes de très précieuses qualités. Un tissu fait avec une laine souple et élastique, transformé en habit, s'étend pour suivre les mouvements du corps, est souple, toujours bien appliqué, mais sans cesser de résister aux efforts qui le tiraillent et revient sur lui-même aussitôt que le tiraillement a cessé. Avec une pareille étoffe, un habillement ne se déforme que lorsqu'il est usé.

Nos cultivateurs tiennent peu à avoir des étoffes, belles, lustrées, douces au toucher; ils n'ajoutent même qu'une importance médiocre à ce qu'elles les préservent bien du froid et de la pluie. Ils considèrent, mal à propos, la finesse, le moelleux comme des qualités de luxe qu'il faut acheter aux dépens d'une qualité plus réelle, de la résistance à l'usure.

S'ils étaient convaincus que leurs bas et leurs vêtements confectionnés en laine fine feraient plus d'usage, qu'en rendant leurs moutons plus fins, ils pourraient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

doubler la quantité de leur laine, les petits lots de moutons disséminés dans le Perche, l'Anjou, le Limousin, le Quercy, le Rouergue, le Vivarais, seraient en peu de temps complétement transformés.

Ce que nous disons des étoffes en général semble contraire à ce qu'on observe ordinairement. Les draps fins, souples, du commerce font moins d'usage que les étoffes faites avec nos laines communes par les cultivateurs, c'est vrai; mais cela dépend de ce que les draps du commerce, souvent brûlés par la teinture, sont en outre fabriqués trop légèrement. Le fabricant cherche à économiser la matière et fait subir à ses étoffes, pour les rendre plus *belles*, des opérations qui en diminuent la force de résistance et les rendent faibles.

Mais si nos cultivateurs livraient à leur tisserand, au lieu de leurs laines grossières, des laines fines, leurs étoffes feraient beaucoup plus d'usage.

Nous insistons sur cette qualité des laines fines qu'ont bien démontrée MM. Girod (de l'Ain) et Perrault de Jotemps. Elle n'est pas suffisamment appréciée par les habitants des campagnes. S'ils en comprenaient l'utilité, ils donneraient plus de soins à l'amélioration de leurs bêtes ovines.

Mais nous pourrions dire encore en faveur de l'amélioration des moutons, qu'avec un certain poids de laine fine on produit un fil plus long et de même force qu'avec la même quantité de grosse laine; qu'on fait une étoffe plus belle, plus douce, plus solide et qu'on en fait une plus grande quantité.

Et nous pourrions ajouter : de tous les moyens propres à prolonger la vie, à prévenir les plus mortelles comme les plus douloureuses maladies : la phthisie pulmonaire, les rhumatismes, aucun n'est aussi efficace qu'un vêtement de laine : il préserve de l'humidité extérieure et absorbe celle qui est fournie par le corps, garantit du froid tout en conservant la chaleur de nos organes, et ces effets sont d'autant plus marqués que la laine est plus souple, plus fine et plus douce.

L'indifférence de nos cultivateurs pour leur bien-être n'est pas la seule cause qui s'oppose à l'amélioration de nos moutons. Nous devons signaler aussi l'influence du commerce qui agit surtout sur la moyenne propriété.

Les marchands qui achètent les laines dans les campagnes méconnaissent souvent la valeur des belles qualités et ils sont toujours intéressés à les déprécier. Ils ne font quelquefois aucune différence entre des laines qui valent 25, 30 pour 100 de plus les unes que les autres.

Cette ignorance ou cette mauvaise foi répand l'indifférence parmi les cultivateurs et nuit autant à l'industrie qu'à l'agriculture.

Et cette cause ne cessera que lorsque l'amélioration des laines se sera généralisée. Le cours de la marchandise s'établira alors sur les belles qualités dominantes. C'est ainsi que dans la Brie, dans la Beauce, lors des premiers mérinos, des premiers métis, les marchands en payaient la laine à peine plus cher que celle de l'ancienne race du pays; tandis qu'aujourd'hui les diverses qualités des métis mérinos sont distinguées et diversement payées, quoiqu'elles ne diffèrent que de quelques centimes par demi-kilogramme.

Nous le verrons, l'amélioration n'offre aucune difficulté par elle-même et ne nécessiterait aucune dépense que ne puisse faire le plus petit cultivateur; car il n'est pas nécessaire pour produire un grand résultat d'acheter des reproducteurs de prix, ni de chercher des races d'un entretien difficile, il suffit de savoir choisir parmi les animaux qu'on élève les moins défectueux, pour les employer à la reproduction, ou tout au plus d'acheter, auprès d'un voisin, un animal plus parfait que ceux que l'on possède.

CHAPITRE TROISIÈME.

AMÉLIORATION DES MOUTONS.

Nos races ovines diffèrent beaucoup les unes des autres par les qualités de leur laine, et le plus grand nombre ont besoin d'être améliorées : si nous avons la première race par la finesse, celle de Naz, nous avons aussi la dernière, celle d'Oléron.

Elles sont remarquables par leur rusticité et par leur excessive sobriété. Quelques-unes se distinguent par les qualités de leur viande, et d'autres par la quantité qu'elles en fournissent.

Mais elles sont peu précoces, tardives même, et laissent à désirer pour les formes : elles ont la poitrine étroite et les os trop volumineux.

Nous pouvons les améliorer par les soins, le régime; par le choix des reproducteurs et de bons appareillements; enfin par le croisement.

I. C'est par les *soins*, par le *régime* seulement, que nous pouvons élever la taille des races trop petites; c'est par une nourriture abondante et de bonne nature distribuée dans le jeune âge, que nous pouvons aussi produire la précocité, en rendant le corps trapu et les muscles volumineux.

Les soins peuvent changer la nature de la laine. Le séjour dans une bergerie bien tenue la rend douce, souple, tandis que le parcage sur les terres labourées la rend dure. Sous l'influence du grand air, du froid, elle devient élastique; elle devient forte et tend à grossir, quand les animaux sont abondamment nourris.

Quoique efficaces, les soins, le régime, dont il ne serait pas possible de donner les détails, ne peuvent être utiles que pour conserver les qualités que possèdent les animaux; à ce point de vue, ils sont d'une nécessité absolue. Mais quand on a reconnu la convenance d'améliorer une race, il faut mettre en usage des moyens plus expéditifs.

II. On appelle *appareillement* l'accouplement d'un mâle et d'une femelle dont les qualités et les défauts se compensent. Combiné avec le régime, ce moyen pourrait produire toutes les améliorations possibles.

L'appareillement, comme moyen d'amélioration, est plus efficace dans le mouton que dans les autres animaux domestiques. Les produits d'un troupeau un peu considérable sont toujours variés. Dans le nombre, il s'en trouve constamment qui présentent beaucoup plus que les autres la qualité que l'on veut propager; il suffit de savoir les reconnaître, les choisir et les conserver.

Ainsi, dans les races à laine grosse, il se trouve toujours des agneaux et des agnelles dont la laine est passable; il suffirait de les employer exclusivement à la reproduction, pour imprimer aux races de la Flandre, de l'Artois, de la Picardie, de la Normandie, de la Vendée, du Limousin, du Poitou, une grande amélioration.

Dans le mouton à laine intermédiaire et à laine fine, l'appareillement pourrait rendre également de grands services; c'est par ce moyen seul qu'on a pu conserver les laines extra-fines. Mais l'emploi en est moins aisé que dans les races communes, parce qu'il est plus difficile de reconnaître les meilleurs animaux. Tout le troupeau se ressemble davantage.

D'après les recensements, nous avions en France, en 1829, 30 millions de moutons dont 24 millions de races communes. Sur ce nombre, 10 millions appartenaient aux races inférieures, donnant par individu 1,500 grammes de laine.

En comparant l'étendue de la petite propriété à celle de la grande; en tenant compte aussi de la quantité de moutons à laine grossière conduits sur nos marchés, nous dirons que ce nombre, 10 millions, doit exister encore. L'augmentation et la grande amélio-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ration qui ont eu lieu depuis ont porté sur les 8 millions d'indigènes supérieurs et les 6 millions d'indigènes moyens.

Il serait facile de doubler le poids de la toison de ces 10 millions de moutons, de doubler aussi la valeur de la laine, et de quadrupler ainsi une partie du revenu des petits cultivateurs.

A la vérité, cette somme ne serait pas réalisée en totalité, parce qu'une partie de la laine est employée pour l'usage personnel des membres de la famille, mais l'on en vendrait davantage à mesure que le poids des toisons augmenterait, et n'est-ce rien que d'avoir, au lieu de bas et de vêtements semblables à des nattes de crin qui laissent passer le froid et l'humidité, des vêtements moelleux, souples, imperméables, qui vous abritent contre les intempéries et vous préservent des plus graves maladies.

Répétons-le, pour produire ces grands résultats, aucun sacrifice n'est nécessaire. Il suffit au cultivateur de savoir apprécier les qualités de la laine, de choisir les meilleurs animaux pour la reproduction, de ne pas conserver, comme cela se pratique aujourd'hui, tous ses agneaux entiers jusqu'à l'âge d'un an au milieu des brebis. Il est indispensable, sinon de tenir le bélier isolé hors du temps de la monte, au moins de faire couper à temps les plus mauvais agneaux.

Il existe, avons-nous dit, parmi les mérinos et surtout parmi les métis, des sous-races extrêmement remarquables par la quantité de leur viande et la valeur de leurs toisons. Elles sont nouvelles. On aurait pu les créer, à coup sûr, aussitôt après l'introduction des mérinos. C'est aux bergeries de l'État et aux particuliers producteurs des béliers que nous devons ces grandes améliorations. Mais le progrès serait beaucoup plus rapide si chaque éleveur produisait ses béliers, parce qu'alors, au lieu d'élever tous les agneaux bons et même tous les passables, qui naissent dans un troupeau, ainsi que le font les producteurs de béliers, on n'élèverait que les individus les plus parfaits. Passons à l'étude du *croisement*.

III. Il est plus facile d'améliorer la laine par le simple appareillement des animaux d'un troupeau que de changer les formes et la précocité.

La constitution, le tempérament *jouent* moins que le lainage; on trouve rarement, surtout parmi nos anciennes races de moutons, des individus qui, différant beaucoup des autres par la conformation, puissent être employés pour améliorer leur race.

C'est par le *croisement* qu'il faut perfectionner les moutons à ce point de vue, mais en cherchant à rendre la laine plus belle de manière à produire un triple résultat : corps mieux conformé, engraissement plus facile et toison meilleure.

Nous possédons les moutons les plus parfaits du monde. Aucune race ne présente, à un degré aussi éminent que quelques-uns de nos métis mérinos, l'ensemble des qualités que nous recherchons dans les bêtes à laine : constitution rustique, viande abondante, toison lourde, laine fine, longue et nerveuse. Si un seul éleveur avait créé ces animaux merveilleux, il serait à cent coudées au-dessus de Backewell, avec son bélier qui, malgré une conformation admirable, n'est qu'une pelote de mauvaise graisse enveloppée de crin.

Et ici nous ne parlons pas de quelques lots de choix élevés exceptionnellement en vue du concours, nous parlons de moutons conduits par centaines à tous les marchés de Sceaux et de Poissy, et cela toute l'année durant.

Au lieu d'avoir été produits par un seul, ces belles races sont le résultat heureux des efforts d'un grand nombre; elles sont peut-être exclusivement le résultat de la force des choses, des progrès agricoles! Qu'importe, sachons les utiliser.

Ces animaux si remarquables, du reste, ne sont pas parfaits : ils pourraient être plus précoces et mieux conformés. Examinons cette question.

Il y a, c'est incontestable, un grand avantage à ne pas laisser vieillir son troupeau.

Mais est-il bien important de tenir à une très grande précocité? Quand on a des moutons qui dépouillent par an 8, 10, 12 francs de laine, qui augmentent sans cesse de poids, qui acquièrent de plus en plus de suif, dont la viande gagne annuellement en qualité 3, 4, 5 centimes par demi-kilogramme; y a-t-il donc si grande perte à les conserver trois ans et demi, quatre ans même? En renouvelant plus souvent le troupeau, ne perd-on pas par le supplément de nourriture qu'exigent les mères, par la diminution de leur valeur, par la dépréciation de leur toison, par les soins que nécessitent les agneaux, le bénéfice que les moutons donneraient en plus? Nous ne sommes pas dans les mêmes conditions que les possesseurs des races anglaises dont la laine, sans exception, n'a pas de valeur.

Du reste, il serait facile d'augmenter la précocité de nos moutons par l'élevage et par le croisement; n'oublions pas cependant que cette qualité ne peut être conservée que par l'emploi continuel des soins qui la produisent. Elle se donne surtout par la race, c'est vrai, mais elle ne se conserve que par des soins continus. Nous n'avons jamais compris une race précoce, sobre, robuste à la fatigue et de facile entretien; bien des personnes pensent comme nous, après avoir vainement cherché cette race.

Nos moutons, avons-nous dit, laissent à désirer quant aux formes; plusieurs ont des cornes qui leur sont inutiles et nécessitent une grosse tête; dans d'autres le cou, cette partie qui fournit de la viande si mauvaise, est trop grand et la poitrine trop serrée.

Par des appareillements bien entendus et un bon régime, ces défauts pourraient disparaître et ils diminueront à mesure que les éleveurs, devenant plus habiles, choisiront mieux les reproducteurs; mais c'est par les croisements qu'on peut les combattre avec le plus d'efficacité, car les améliorations qui tiennent aux formes sont de celles qui s'obtiennent facilement par le mélange de deux races. (Voyez dans ce Dictionnaire le mot *croisement*.)

Pour simplifier, nous n'étudierons le croisement que d'une manière générale sur les races du Midi, sur celles du Nord et sur les petits moutons du Centre.

1° Les races ovines du double bassin des Pyrénées et du bas Rhône sont parfaites, quant aux qualités de la viande; elles sont sobres, rustiques et fortes pour aller chercher leur nourriture dans les montagnes et braver les extrêmes si rigoureux de la température méridionale; mais elles sont mal conformées, dures à l'engraissement et plusieurs laissent à désirer quant à la laine. Comment les rendre plus précoces, plus tendres à l'engrais sans diminuer en même temps leur force et leur rusticité?

Nous avons dans quelques contrées, dans les Cévennes en particulier, dans le Rouergue, des troupeaux qui ont besoin de toute leur vigueur pour résister au climat. Le croisement, même avec le mérinos, a échoué. Et si nous ajoutons que, pour quelques-unes de ces races, on tient considérablement au lait, qu'on veut absolument conserver l'activité des mamelles, on comprendra combien le croisement offre de difficultés.

Il faudrait commencer d'abord par augmenter les fourrages, et on est souvent contrarié par le climat semblable presque à celui de l'Afrique, mais les progrès déjà réalisés en agriculture, et même dans les animaux, permettent d'en attendre de plus considérables. Disons que c'est par les irrigations, trop oubliées pour le drainage, qu'on créera les moyens d'imprimer aux races du Midi les qualités qui leur manquent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MOUTON.

Le croisement doit venir en seconde ligne. Mais dans quelques exploitations, dans quelques cantons, il pourrait être pratiqué immédiatement, pour améliorer la conformation.

Quoiqu'on ait essayé dans plusieurs départements du Midi le bélier dishley, qui est le plus propre à améliorer les formes de nos races et à leur communiquer la précocité, nous ne saurions le conseiller; nous croyons même que son métis demi-sang mérinos aurait encore la laine trop grosse et ne pourrait être employé que pour quelques races à laine grosse ou passable de la partie occidentale du grand bassin pyrénéen. Le dishley-mérinos, trois quarts mérinos, serait plus généralement utile.

Ce croisement rendrait plus fine la laine de beaucoup de troupeaux, allongerait, sans la rendre plus grosse, celle des meilleurs métis et dans tous rendrait le garrot plus épais, le dos plus soutenu, la poitrine plus large, les animaux plus précoces et plus tendres à l'engrais.

On a préconisé le mouton southdown pour créer des races de boucherie d'un facile entretien dans les contrées peu fertiles, mais nous ne pensons pas que ce résultat soit possible, comme nous le dirons en parlant du mouton du Centre. Ajoutons seulement ici que dans la Gironde on a renoncé à cette race, parce qu'elle « était contrariée par la nécessité d'une locomotion longue, indispensable à la satisfaction de ses appétits et de ses besoins alimentaires » et qu'on lui a préféré le métis dishley-mérinos.

On a dit que ce croisement nuirait dans les races du Sud aux qualités de la viande, mais le climat, les plaines salubres, les herbages salés, les montagnes à plantes sapides donneraient en bien peu de temps à la viande des produits croisés, le grain fin, le goût exquis, qui caractérise le mouton de ces contrées. Si le croisement peut avoir des inconvénients, c'est comme pouvant rendre les animaux moins rustiques et plus difficiles à nourrir; il est certain qu'on ne peut songer qu'à une transformation légère des bêtes indigènes.

2° Pour les races du Nord et pour celles de l'Ouest, qu'elles soient à laine grosse, à laine intermédiaire ou à laine fine, les croisements avec les types précoces offrent plus de chances favorables.

Partout où les herbages sont fertiles, le climat doux et les brebis de haute taille, les béliers dishley ou New-Kent pourront être utiles pour rendre le corps trapu, épais, plus bas sur jambes et plus lourd, les membres plus fins, la tête plus petite, l'accroissement plus rapide et l'engraissement plus facile.

Ce croisement ne saurait rendre la laine plus mauvaise dans les races de la Flandre, de l'Artois, de la Normandie, de l'Anjou, mais il ne produirait pas non plus les améliorations que nous devons désirer.

Pour tirer tout le parti possible de ces grandes races, il est nécessaire d'utiliser les qualités du mérinos, soit en donnant aux brebis de pure race indigène des béliers dishley-mérinos, soit en donnant aux brebis anglo-flamandes, anglo-normandes, anglo-mancelles, le bélier mérinos. L'expérience seule peut démontrer dans quels cas il faudrait préférer le reproducteur trois quarts de sang mérinos au demi-sang, et nous apprendre si, dans quelques contrées humides très fertiles, il ne faudrait pas employer ou la race anglaise pure, ou des métis anglo-français ayant trois quarts de sang anglais.

Par ces croisements, les formes de nos brebis deviendraient meilleures, le tempérament plus précoce, le corps plus laineux, la laine plus fine, plus douce, plus élastique et la mèche plus carrée sans perdre de sa longueur sensiblement. Nous arriverons ainsi à produire avec plus de viande non pas des laines fines dans le Nord et l'Ouest, mais de ces laines intermédiaires, belles et abondantes, qui répondent si bien à l'immense développement que prend, dans les cités populeuses du Nord, la fabrication des étoffes rases.

Produire des animaux mieux conformés et plus précoces que les races indigènes, tout en produisant des belles laines pour alimenter notre industrie, tel est le résultat qu'il faut obtenir. Nous pouvons arriver au but en soignant nos belles races à laine intermédiaire; quelques magnifiques lots de métis mérinos à laine longue et fine, à toison fermée, à pattes et tête laineuses, à corps trapu, nous prouvent que ce progrès est en partie réalisé.

Il se généralisera avec ou sans l'emploi du sang anglais, mais l'emploi du bélier dishley ou New-Kent peut, dans la plupart des cas, être fort utile : le sang anglais pour donner la carrure, la précocité, la nature, la longueur de la mèche; le sang mérinos pour communiquer la finesse, le tassé de la toison, l'égalité des brins et l'extension de la laine sur la tête, les membres et le ventre.

Déjà, dans le siècle dernier, on avait observé que le croisement des béliers anglais à laine longue avec les brebis communes du Boulonnais donnait de mauvais résultats; pour empêcher la dégénération, on avait reconnu la nécessité de mêler le sang anglais au sang mérinos. Vers la même époque, on obtenait à la Ferté-Milon, dans l'Oise, de ces deux dernières races, des moutons qui donnaient des toisons de la plus belle qualité.

Par l'emploi du bélier anglais seul, la laine resterait trop dure; par la race mérine et ses dérivés français on arriverait plus sûrement au but, mais seulement par des tâtonnements, par des précautions très grandes dans les appareillements et par des soins soutenus dans l'élevage, et le succès même ne serait certain que là où le climat serait favorable. Tandis que par l'emploi des types améliorateurs réunissant les qualités des deux races, on peut arriver d'un bond, arriver avec certitude, et sans donner aux troupeaux d'autres soins que ceux nécessaires pour conserver les améliorations produites.

Ce progrès parfaitement compatible avec le climat de la Flandre, du bassin de la Somme, de ceux de l'Aisne, de la Seine, du Calvados, de la basse Loire, n'exercerait aucun effet fâcheux sur les qualités de la viande. Les métis seraient peut-être moins estimés des bouchers que les races indigènes pures, mais cela ne dépendrait pas de la généalogie des animaux; cela dépendrait de leur précocité, de l'âge peu avancé auquel on les exposerait en vente. Cette désappréciation n'arriverait donc qu'autant que les éleveurs y trouveraient leur avantage. Quand la bonne viande se vendrait mieux relativement que la médiocre, ils laisseraient vieillir un peu plus leurs troupeaux. Nous n'avons donc pas à nous préoccuper de cette question.

3° Arrivons aux petites races si utiles dans le Berry, la Sologne, la Bretagne, la Manche, le Forez, etc. Nous ne saurions songer à en accroître directement la taille par les croisements. Nous devons les conserver pour utiliser l'herbe de nos bruyères, de nos landes, de nos plaines crayeuses et de nos garrigues stériles. Aucune amélioration n'est possible à ce point de vue, à moins que les propriétaires ne se procurent les moyens de mieux nourrir leurs troupeaux. A cet égard il y a eu déjà des progrès considérables réalisés.

Quel est le type améliorateur qui convient alors pour les races dont on s'est le plus occupé, pour celles du Berry, du Nivernais?

C'est pour elles que le bélier southdown a été surtout préconisé dans ces derniers temps et nous dirions presque importé en France. Parce qu'il a été créé en Angleterre dans un comté moins fertile que celui dans lequel a pris naissance le bélier dishley, on a cru qu'il s'entretiendrait facilement dans nos contrées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à sol pauvre et produirait une race de boucherie, précoce et sobre, de facile entretien et graisseuse.

Les Anglais ont formé la race southdown sur des collines calcaires, c'est vrai, mais avec le secours des riches plaines environnantes et *en portant l'alimentation des animaux au delà de ce qui leur est nécessaire.*

Mais en voyant les formes du bélier southdown, en sachant qu'il parvient assez jeune au poids de 70, 80 kilogrammes, nous n'avons pas besoin que les Anglais nous disent que la race s'est formée sous l'influence d'une riche alimentation et qu'elle ne peut être conservée qu'avec cette condition.

Nous ne connaissons que deux types de moutons capables d'améliorer les races indigènes : le type de boucherie, le bélier dishley pour les formes et la précocité; et le type à belle laine, le mérinos pour améliorer les toisons.

Et quand, nous demandera-t-on, l'on veut améliorer pour la boucherie une race qui, en raison de sa taille peu élevée, de la pauvreté des pâturages où elle vit, ne comporte pas le bélier dishley? Dans ce cas il faut prendre le produit d'un de ses croisements avec une race française; prendre le métis dishley-mérinos et on aura l'avantage d'améliorer la laine en même temps que les formes Autant que cela est possible, on peut arriver ainsi à réunir la précocité des races de boucherie à la sobriété des races françaises, car on peut produire tous les degrés de métissage et avoir toutes les nuances de précocité désirables. En réduisant ainsi à la mesure nécessaire les qualités du type dishley, on peut lui communiquer les qualités de lainage qui lui manquent et le rendre supérieur à un autre point de vue au bélier southdown.

Le cultivateur qui possède un troupeau indigène peut avoir avantage à créer lui-même le métis dont il a besoin. A cet effet, il donne le bélier dishley à quelques brebis de choix ayant du sang mérinos; il obtiendra d'abord des demi-sang, mais qui seront trop exigeants pour le pays et auront d'ailleurs la laine trop grosse; il corrigera les métisses par un mâle de la race maternelle.

On obtiendra ainsi, autant que cela est possible, mieux qu'avec un bélier anglais, fût-ce le southdown, des produits sobres, avec plus de précocité et la laine meilleure.

Il y a eu déjà dans le Berry et le Nivernais de nombreux essais de croisements anglais. Ceux qui ont le mieux réussi à notre connaissance dans les circonstances ordinaires, sans soins minutieux donnés aux produits, ont été obtenus à peu près de cette manière par M. Saulnier, dans les environs de Buzançais. Si cet éleveur parvient à adoucir la laine de son troupeau, tout en conservant le corps épais, le dos soutenu, la côte ronde et le poitrail ouvert, il aura créé un beau type et rendu un véritable service à la contrée.

Dans les meilleures localités du Centre, sur les bords de l'Indre, de la Creuse, on n'aime pas les animaux laineux; on veut des jambes nues, des têtes chauves. Les éleveurs qui vendent les moutons jeunes doivent tenir compte de ces répugnances, mais nous croyons, et c'est l'opinion de l'habile éleveur que nous venons de citer, que l'aptitude plus grande des bêtes chauves à l'engraissement ne compense pas la perte qui résulte d'une laine plus grosse et moins abondante. Le cultivateur qui peut engraisser ses élèves n'a pas à tenir compte de ce préjugé.

Dans ces toutes petites races, l'amélioration de la laine offre moins de difficultés que celle des formes. La plupart appartiennent aux mauvaises laines communes, et cependant les contrées où elles se trouvent, la Loire, la Nièvre, le Cher, le Loiret, l'Ille-et-Vilaine, ne sont contraires ni par leur humidité, ni par leur latitude, ni par leur fertilité, à la production des laines fines. L'appareillement pourrait suffire pour donner à ces races une grande perfection, mais il serait simple de croiser les plus mauvaises par les meilleures ou par des métis-mérinos de petite taille, et assez nombreux dans tous ces départements. H. MAGNE.

MOUTON (*mécanique*). Voyez CHOC.

MOUTON A VAPEUR. Voyez MARTEAU A VAPEUR.

MOUTURE. Voyez MOULIN A BLÉ.

MOUVEMENT (*transformations de*). Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

MUSCADE (*angl.* mutmeg, *all.* muskatnuss). La muscade ou noix de muscade est le fruit d'un arbre de la famille des laurinées, le *myristica moschata*, qui croît dans les îles Moluques, et donne trois récoltes par an. On l'emploie surtout comme assaisonnement. On donne le nom de *macis* à la pellicule charnue qui environne la muscade. Le macis est encore plus aromatique que la muscade. On retire de l'un et de l'autre une huile grasse ayant la consistance du beurre, l'*huile de macis*, et une huile volatile.

MUSIQUE (FABRICATION DES INSTRUMENTS DE). *Principes acoustiques servant de base à leur construction.* I. L'exposition des principes et des lois de vibration de *tous les corps sonores*, qui devrait précéder l'étude des méthodes de construction, ne peut être faite que dans les limites assez restreintes de certitude qu'il est possible d'atteindre dans l'état actuel de la science; c'est pour celle-ci une obligation de ne pas faire pour l'industrie, dont il est ici question, moins que n'a fait l'empirisme lui-même. Si nous recherchons, en effet, de combien de substances les siècles précédents ont tenté l'emploi, pour obtenir des sons, nous verrons que les trois règnes ont fourni une part égale dans ces recherches. On a recouru aux gaz, liquides, pierres, cristaux, métaux, bois, roseaux, écailles, boyaux, peaux, plumes, poils, et bien d'autres matières qui mériteraient une égale attention

Il serait plus facile de classer les procédés servant à déterminer des vibrations, et il n'en est aucun, si défectueux, si dédaigné qu'il soit, qui ne puisse être considéré comme l'origine d'une grande découverte. Mais pour ne pas nous étendre au-delà des limites exigées par la nature de cet ouvrage; nous devons nous borner à des indications essentielles dont le lecteur trouvera le développement dans les ouvrages spéciaux déjà publiés, et dans ceux qui bientôt, sans doute, viendront apporter de nouvelles notions sur l'ensemble des phénomènes acoustiques.

Pour débuter et sans avoir la prétention d'apporter notre opinion au sein d'une dispute qui dure depuis longtemps, qui n'est point près de se terminer et qui a pour objet de fixer la prééminence d'un sens sur les autres dans l'organisme humain, nous dirons que, quel que soit le rang qu'il convient d'accorder au sens de l'ouïe sous différents rapports, c'est à lui certainement que nous devons les sensations les plus délicieuses. La nature s'est chargée de donner à l'homme les premiers concerts qui l'aient ravi, et bientôt il a tourné ses efforts vers leur reproduction, la musique a été son premier, son plus cher art, et dans son enthousiasme il n'a voulu le concevoir que divin. Qu'on remonte au berceau de toutes les civilisations, et l'on verra toujours l'invention des instruments de musique attribuée aux dieux. L'Egypte prétendait tenir le sistre d'Isis et Osiris, les Grecs rendaient grâce à Apollon du don de la lyre, l'Inde regardait la vînâ comme un présent de Chrichna, l'une des incarnations de Brahma. Les Chinois seuls donnent à leur musique une origine humaine, mais c'est pour la compter parmi les bienfaits dont ils sont redevables à Fou-hi, fondateur de leur empire et de leur religion (1).

(1) Il peut être intéressant de noter ici que l'an 2,600

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cependant malgré le puissant attrait que tous les peuples ont ressenti pour cet art, il serait rien moins que vrai de dire que pendant une longue suite de siècles il ait fait de notables progrès. A peu près stationnaire jusque vers le milieu du seizième siècle, il commença seulement à cette époque à recevoir une vigoureuse impulsion du génie italien, non plus musical peut-être que celui du reste de l'Europe, mais plus prompt, plus brillant alors qu'aucun autre. Ce grand mouvement, d'ailleurs, eut sans mélange le caractère pratique. On était encore bien loin du temps où les sciences expérimentales devaient porter secours aux œuvres d'imagination, tant pour les éléments matériels de leur exécution que pour l'agrandissement de leur domaine intellectuel.

Et pourtant, cinquante ans à peine s'étaient écoulés depuis la date citée plus haut que le père Mersenne à Paris, Kircher à Rome, tentaient par d'honorables efforts de débrouiller les lois de la production du son. Taylor à Londres, Euler à Berlin, les Bernouilli à Bâle, reprenaient à cent ans d'intervalle cette tâche pénible, sans que ni la patience investigatrice des uns, ni le profond savoir des autres pussent arracher la construction des instruments aux incertitudes du tâtonnement.

Dans ce cas comme dans beaucoup d'autres la théorie, après s'être proposé d'expliquer les faits antérieurement constatés et accumulés par la pratique, y a joint cependant aussitôt la fonction productive d'étendre la mine et de renverser les difficultés avec le levier de la méthode. C'est ainsi qu'une série d'études analytiques fit reconnaître à feu Félix Savart les causes de la grande supériorité des violons de Stradivarius, et permit à M. Vuillaume, habile luthier de Paris, de fabriquer les excellentes imitations que tout le monde connaît aujourd'hui.

Du reste, l'opinion que nous exprimons est partagée maintenant par un grand nombre d'industriels qui, comme MM. Sax, Cavaillé-Coll, Erard, Daniel Schmit, Roller, Blanchet et Marloye, etc., sont aussi recommandables par leur talent de facteurs que par leurs connaissances acoustiques. Il n'en faut pas plus pour expliquer comment la France est parvenue à faire oublier l'éclat longtemps soutenu de la production et de la vente des instruments de musique en Italie, comment son activité y a trouvé un véritable aliment, comment ces produits ont par leur immense exportation fourni à l'orgueil national un nouveau titre sur lequel le brillant succès obtenu à l'exposition universelle de Londres a attiré l'attention du monde entier.

II. L'acoustique industrielle est la science qui a pour objet l'étude des principes déduits de la connaissance des lois selon lesquelles s'accomplissent les vibrations sonores des corps de formes et de natures différentes, pour les appliquer non-seulement à la construction et au perfectionnement des instruments de musique connus, mais encore à la création d'instruments nouveaux par le timbre et la qualité des sons; et qui, manquant encore, laissent les orchestres actuels impuissants à exécuter les œuvres des grands maîtres avec le charme et le caractère de vérité complet qu'ils comportent.

On y rencontre tout d'abord trois grands ordres de considérations :

Le premier consiste dans le choix des substances et la détermination de l'état auquel elles doivent être amenées pour présenter dans leur emploi un résultat favorable. On y doit tenir compte : 1° de l'homogénéité, sans laquelle il est impossible d'obtenir des effets réguliers de sonorité; 2° de l'ébranlabilité et du degré d'élasticité des corps, par rapport à leur densité; 3° de la moindre altérabilité possible, sous le rapport sonore, par la chaleur ou l'humidité; 4° de l'incorruptibilité relative, sans laquelle il n'est pas de facture si parfaite qui puisse assurer pour un temps satisfaisant le maintien des qualités de l'instrument et sa durée même.

Le second ordre consiste dans la corrélation entre la nature des substances employées et la disposition à donner aux diverses parties de l'instrument. On y doit tenir compte du mode de vibration ainsi que de la direction et de la communicabilité des mouvements vibratoires, par rapport au genre d'ajustement de diverses parties du corps de l'instrument, pour obtenir la plus grande plénitude possible de son; 2° des précautions, soit par disposition convenable des parties vibrantes, soit par étouffement, à l'aide desquelles on peut éviter les consonnances nuisibles; 3° de la plus grande étendue sonale possible à donner à l'instrument; 4° de l'identité de timbre, d'éclat et de portée entre tous les sons émissibles par l'instrument; 5° de la facilité et de la rapidité avec laquelle l'exécutant les doit pouvoir tirer tous indifféremment; 6° de leur modulabilité comme liaison tonale et comme énergie; 7° de la simplicité et de la stabilité de l'accord.

Le troisième ordre de considérations consiste dans le rapport des instruments entre eux et les conditions de leur classement en orchestre : 1° Dans une même famille d'instruments l'étendue des sons émissibles par chacun d'eux doit toujours empiéter de quelques tons sur celles de ses voisins en grave et en aigu; 2° les divers instruments d'un orchestre doivent pouvoir porter le son également loin; 3° chaque série ou famille d'instruments correspondant à chaque espèce de timbre, doit pouvoir avec identité complète de timbre et d'éclat donner la suite des huit octaves de tons usités en musique.

Grâce à la belle découverte de M. Heimholtz, de la nature du timbre des corps qu'il a montré être dû à des résonnances, ou mieux à la production des notes harmoniques de la note la plus grave, on peut espérer arriver à former une échelle de timbres aussi bien définis que les tons de la gamme et les lois rhythmiques. Les conséquences heureuses pour la musique à grand orchestre en seraient immenses.

Enfin qu'il nous soit ici permis de proposer aux inventeurs la voix humaine comme un modèle de perfection qu'il faut sans cesse chercher à atteindre dans la création d'instruments nouveaux. Une étude approfondie de son mécanisme pourra certainement conduire des facteurs intelligents à atteindre sinon la totalité de ses dons, du moins certains d'entre eux, comme 1° la variabilité à volonté du timbre; 2° la vocalisabilité et l'articulabilité de tous les sons variables à l'infini. C'est avec des instruments à vent qu'on a pu tenter d'imiter la voix humaine et l'articulation de la parole; tels sont les essais de Kempelen de Vienne, en Autriche, et autres.

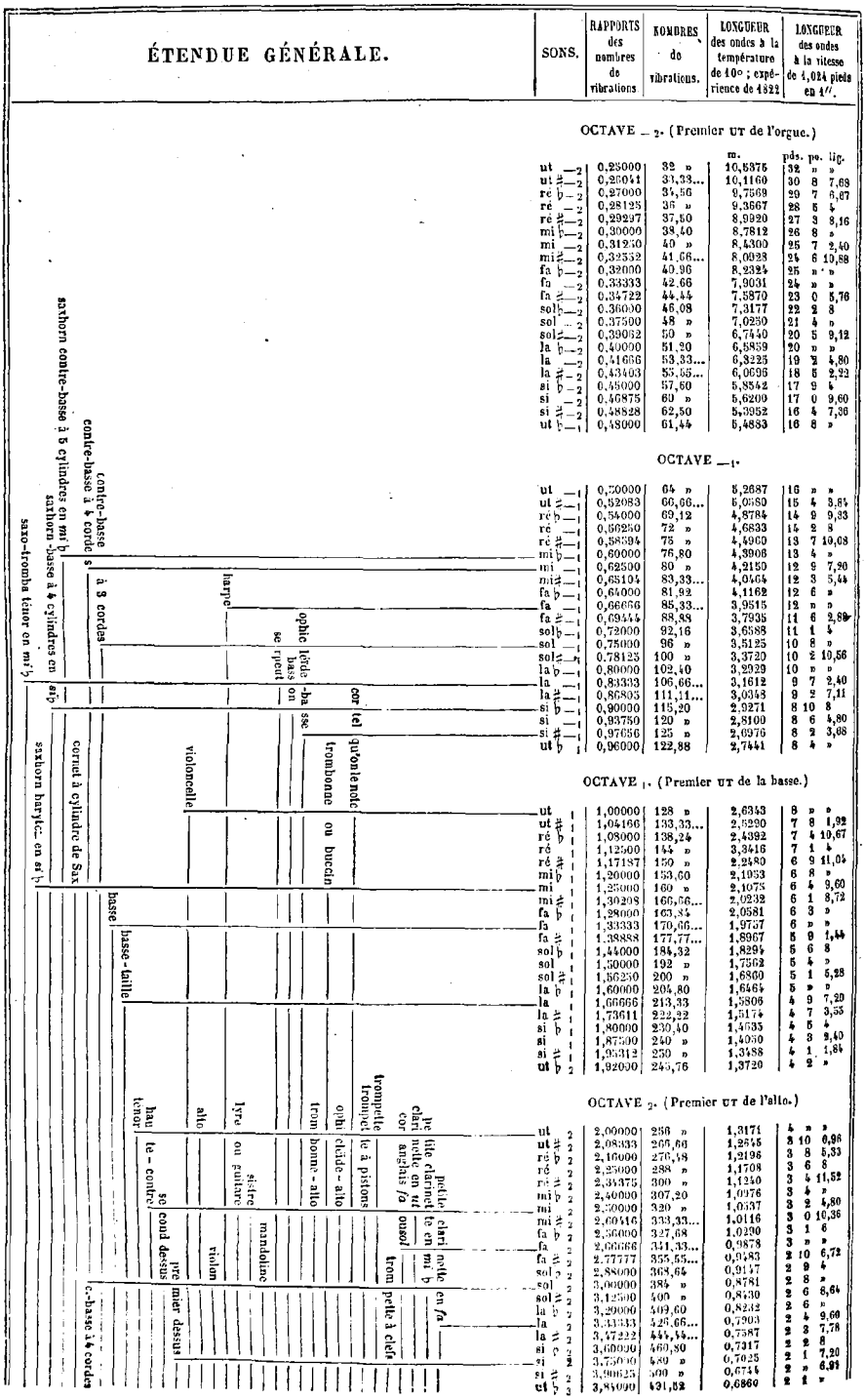
En même temps que la classification des instruments (que l'on trouvera ci-après) nous croyons utile de donner le tableau général des nombres de vibrations, de la série entière des sons musicaux, avec l'étendue tonale du plus grand nombre des instruments usités. Ce tableau comprend les nombres de vibrations, les rapports de ces nombres et des longueurs des ondes, 1° en mètres, à la température de 10°, d'après les expériences de 1822; 2° en pieds, à la température de 0°, en supposant la vitesse du son égale à 1024 pieds par seconde au lieu de 1026, conformément aux expériences de 1738.

---

avant J.-C. l'empereur Hoang-ti ordonna à son ministre Ling-Lun de déterminer les règles de la musique et de faire servir le *lu* ou tuyau diapason des Chinois de base au système des poids et mesures. (Voir Adrien Delafage, *Histoire de la musique et de la danse.*)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉTENDUE GÉNÉRALE.

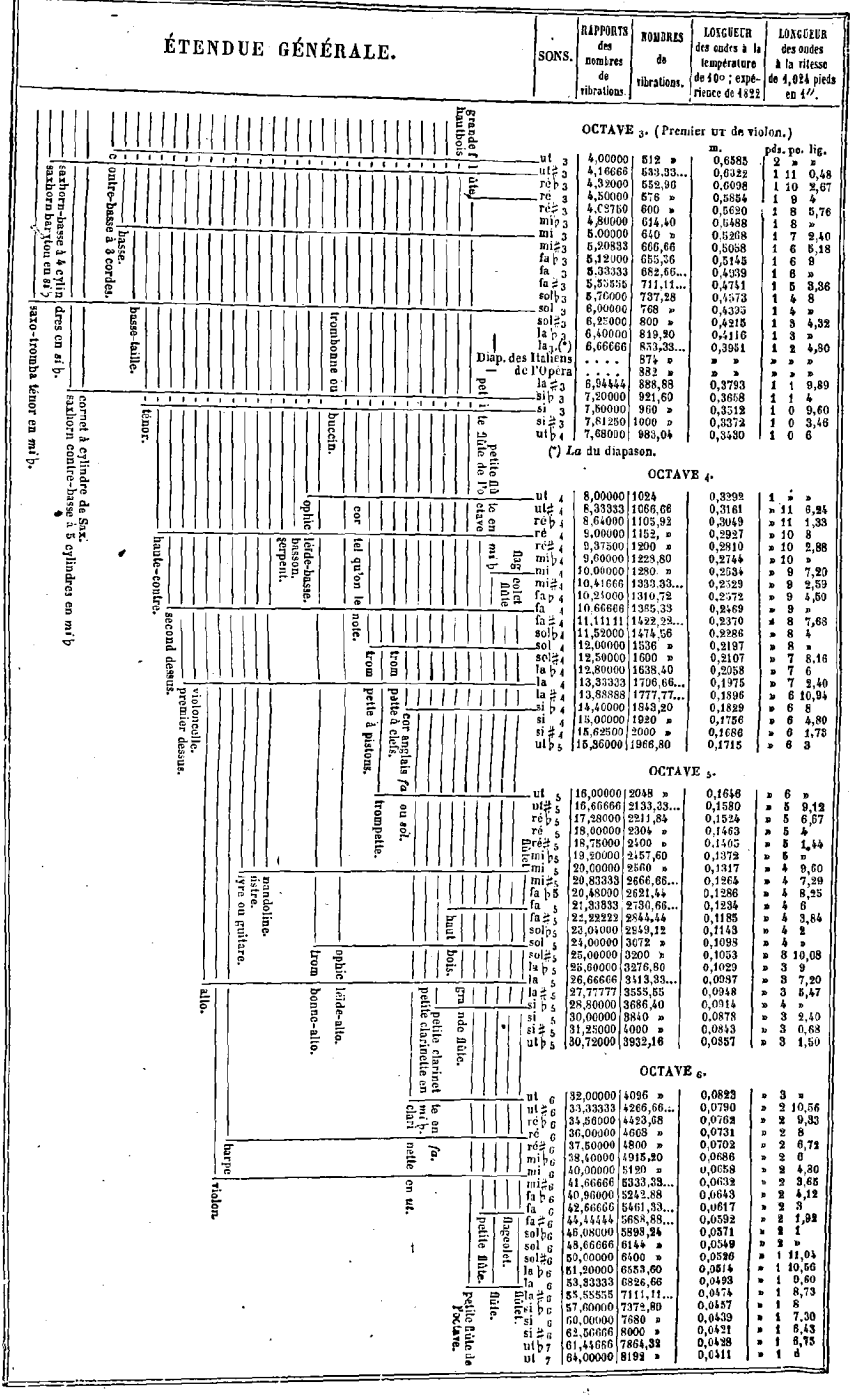


SONS.	RAPPORTS des nombres de vibrations	NOMBRES de vibrations.	LONGUEUR des ondes à la température de 10° ; expérience de 1822	LONGUEUR des ondes à la vitesse de 1,024 pieds en 1″.
			m.	pds. po. lig.
OCTAVE — 2. (Premier UT de l'orgue.)				
ut — 2	0,25000	32 »	10,5375	32 » »
ut ♯ ♭ — 2	0,26041	33,33...	10,1160	30 8 7,68
ré ♭ — 2	0,27000	34,56	9,7569	29 7 6,67
ré — 2	0,28125	36 »	9,3667	28 5 4
ré ♯ ♭ — 2	0,29297	37,50	8,9920	27 3 8,16
mi ♭ — 2	0,30000	38,40	8,7812	26 8 »
mi — 2	0,31250	40 »	8,4300	25 7 2,40
mi ♯ — 2	0,32552	41,66...	8,0928	24 6 10,88
fa ♭ — 2	0,32000	40,96	8,2324	25 » »
fa — 2	0,33333	42,66	7,9031	24 » »
fa ♯ — 2	0,34722	44,44	7,5870	23 0 5,76
sol ♭ — 2	0,36000	46,08	7,3177	22 2 8
sol — 2	0,37500	48 »	7,0250	21 4 »
sol ♯ — 2	0,39062	50 »	6,7440	20 5 9,12
la ♭ — 2	0,40000	51,20	6,5859	20 » »
la — 2	0,41666	53,33...	6,3225	19 2 4,80
la ♯ — 2	0,43403	55,55...	6,0696	18 5 2,22
si ♭ — 2	0,45000	57,60	5,8542	17 9 4
si — 2	0,46875	60 »	5,6200	17 0 9,60
si ♯ — 2	0,48828	62,50	5,3952	16 4 7,36
ut ♭ — 1	0,48000	61,44	5,4833	16 8 »
OCTAVE — 1.				
ut — 1	0,50000	64 »	5,2687	16 » »
ut ♯ — 1	0,52083	66,66...	5,0580	15 4 3,84
ré ♭ — 1	0,54000	69,12	4,8784	14 9 9,33
ré — 1	0,56250	72 »	4,6833	14 2 8
ré ♯ — 1	0,58594	75 »	4,4960	13 7 10,08
mi ♭ — 1	0,60000	76,80	4,3906	13 4 »
mi — 1	0,62500	80 »	4,2150	12 9 7,20
mi ♯ — 1	0,65104	83,33...	4,0464	12 3 5,44
fa ♭ — 1	0,64000	81,92	4,1162	12 6 »
fa — 1	0,66666	85,33...	3,9515	12 » »
fa ♯ — 1	0,69444	88,88	3,7935	11 6 2,88
sol ♭ — 1	0,72000	92,16	3,6588	11 1 4
sol — 1	0,75000	96 »	3,5125	10 8 »
sol ♯ — 1	0,78125	100 »	3,3720	10 3 10,56
la ♭ — 1	0,80000	102,40	3,2929	10 » »
la — 1	0,83333	106,66...	3,1612	9 7 2,40
la ♯ — 1	0,86805	111,11...	3,0348	9 2 7,11
si ♭ — 1	0,90000	115,20	2,9271	8 10 8
si — 1	0,93750	120 »	2,8100	8 6 4,80
si ♯ — 1	0,97656	125 »	2,6976	8 2 3,08
ut ♭ — 1	0,96000	122,88	2,7441	8 4 »
OCTAVE 1. (Premier UT de la basse.)				
ut 1	1,00000	128 »	2,6343	8 » »
ut ♯ ♭ 1	1,04166	133,33...	2,5290	7 8 1,92
ré ♭ 1	1,08000	138,24	2,4392	7 4 10,67
ré 1	1,12500	144 »	2,3416	7 1 4
ré ♯ ♭ 1	1,17187	150 »	2,2483	6 9 11,04
mi ♭ 1	1,20000	153,60	2,1953	6 8 »
mi 1	1,25000	160 »	2,1075	6 4 9,60
mi ♯ 1	1,30208	166,66...	2,0232	6 1 8,72
fa ♭ 1	1,28000	163,84	2,0581	6 3 »
fa 1	1,33333	170,66...	1,9757	6 » »
fa ♯ ♭ 1	1,38888	177,77...	1,8967	5 9 1,44
sol ♭ 1	1,44000	184,32	1,8294	5 6 8
sol 1	1,50000	192 »	1,7562	5 4 »
sol ♯ ♭ 1	1,56250	200 »	1,6860	5 1 5,28
la ♭ 1	1,60000	204,80	1,6464	5 » »
la 1	1,66666	213,33	1,5806	4 9 7,20
la ♯ ♭ 1	1,73611	222,22	1,5174	4 7 3,55
si ♭ 1	1,80000	230,40	1,4635	4 5 »
si 1	1,87500	240 »	1,4050	4 3 2,40
si ♯ ♭ 1	1,95312	250 »	1,3488	4 1 1,84
ut ♭ 2	1,92000	245,76	1,3720	4 2 »
OCTAVE 2. (Premier UT de l'alto.)				
ut 2	2,00000	256 »	1,3171	4 » »
ut ♯ ♭ 2	2,08333	266,66	1,2645	3 10 0,98
ré ♭ 2	2,16000	276,48	1,2196	3 8 5,33
ré 2	2,25000	288 »	1,1708	3 6 8
ré ♯ ♭ 2	2,34375	300 »	1,1240	3 4 11,52
mi ♭ 2	2,40000	307,20	1,0976	3 4 »
mi 2	2,50000	320 »	1,0537	3 2 4,80
mi ♯ 2	2,60416	333,33...	1,0116	3 0 10,36
fa ♭ 2	2,56000	327,68	1,0290	3 1 6
fa 2	2,66666	341,33...	0,9878	3 » »
fa ♯ ♭ 2	2,77777	355,55...	0,9483	2 10 6,72
sol ♭ 2	2,88000	368,64	0,9147	2 9 4
sol 2	3,00000	384 »	0,8781	2 8 »
sol ♯ 2	3,12500	400 »	0,8430	2 6 8,64
la ♭ 2	3,20000	409,60	0,8242	2 6 »
la 2	3,33333	426,66...	0,7903	2 4 9,60
la ♯ ♭ 2	3,47222	444,44...	0,7587	2 3 7,78
si ♭ 2	3,60000	460,80	0,7317	2 2 8
si 2	3,75000	480 »	0,7025	2 1 7,20
si ♯ ♭ 2	3,90625	500 »	0,6744	2 » 6,91
ut ♭ 3	3,84000	491,52	0,6860	2 1 »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MUSIQUE.

ÉTENDUE GÉNÉRALE.



SONS.	RAPPORTS des nombres de vibrations.	NOMBRES de vibrations.	LONGUEUR des ondes à la température de 10° ; expérience de 1822	LONGUEUR des ondes à la vitesse de 4,024 pieds en 1″.
				m. pds. po. lig.
OCTAVE 3. (Premier ut de violon.)				
ut 3	4,00000	512 »	0,6585	2 » »
ut♯ 3	4,16666	533,33...	0,6322	1 11 0,48
ré♭ 3	4,32000	552,96	0,6098	1 10 2,67
ré 3	4,50000	576 »	0,5854	1 9 4
ré♯ 3	4,68750	600 »	0,5620	1 8 5,76
mi♭ 3	4,80000	614,40	0,5488	1 8 »
mi 3	5,00000	640 »	0,5268	1 7 2,40
mi♯ 3	5,20833	666,66	0,5068	1 6 8,18
fa♭ 3	5,12000	655,36	0,5145	1 6 9
fa 3	5,33333	682,66...	0,4939	1 6 »
fa♯ 3	5,55555	711,11...	0,4741	1 5 3,36
sol♭ 3	5,76000	737,28	0,4573	1 4 8
sol 3	6,00000	768 »	0,4395	1 4 »
sol♯ 3	6,25000	800 »	0,4215	1 3 4,32
la♭ 3	6,40000	819,20	0,4116	1 3 »
la (*) 3	6,66666	853,33...	0,3951	1 2 4,80
Diap. des Italiens de l'Opera	. . . .	874 »	» » »	» » »
	. . . .	882 »	» » »	» » »
la♯ 3	6,84444	888,88	0,3793	1 1 9,89
si♭ 3	7,20000	921,60	0,3668	1 1 4
si 3	7,50000	960 »	0,3512	1 0 9,60
si♯ 3	7,81250	1000 »	0,3372	1 0 3,46
ut♭ 4	7,68000	983,04	0,3430	1 0 6

(*) *La* du diapason.

OCTAVE 4.				
ut 4	8,00000	1024	0,3292	1 » »
ut♯ 4	8,33333	1066,66	0,3161	» 11 6,24
ré♭ 4	8,64000	1105,92	0,3049	» 11 1,33
ré 4	9,00000	1152, »	0,2927	» 10 8
ré♯ 4	9,37500	1200 »	0,2810	» 10 2,88
mi♭ 4	9,60000	1228,80	0,2744	» 10 »
mi 4	10,00000	1280 »	0,2634	» 9 7,20
mi♯ 4	10,41666	1333,33...	0,2529	» 9 2,59
fa♭ 4	10,24000	1310,72	0,2572	» 9 4,50
fa 4	10,66666	1365,33	0,2469	» 9 »
fa♯ 4	11,11111	1422,22...	0,2370	» 8 7,68
sol♭ 4	11,52000	1474,56	0,2286	» 8 4
sol 4	12,00000	1536 »	0,2197	» 8 »
sol♯ 4	12,50000	1600 »	0,2107	» 7 8,16
la♭ 4	12,80000	1638,40	0,2058	» 7 6
la 4	13,33333	1706,66...	0,1975	» 7 1,20
la♯ 4	13,88888	1777,77...	0,1896	» 6 10,94
si♭ 4	14,40000	1843,20	0,1829	» 6 6
si 4	15,00000	1920 »	0,1756	» 6 4,80
si♯ 4	15,62500	2000 »	0,1686	» 6 1,78
ut♭ 5	15,36000	1966,80	0,1715	» 6 3

OCTAVE 5.				
ut 5	16,00000	2048 »	0,1646	» 6 »
ut♯ 5	16,66666	2133,33...	0,1580	» 5 9,12
ré♭ 5	17,28000	2211,84	0,1524	» 5 6,07
ré 5	18,00000	2304 »	0,1463	» 5 4
ré♯ 5	18,75000	2400 »	0,1405	» 5 1,44
mi♭ 5	19,20000	2457,60	0,1372	» 5 »
mi 5	20,00000	2560 »	0,1317	» 4 9,60
mi♯ 5	20,83333	2666,66...	0,1264	» 4 7,29
fa♭ 5	20,48000	2621,44	0,1286	» 4 8,25
fa 5	21,33333	2730,66...	0,1234	» 4 6
fa♯ 5	22,22222	2844,44	0,1185	» 4 3,84
sol♭ 5	23,04000	2949,12	0,1143	» 4 2
sol 5	24,00000	3072 »	0,1098	» 4 »
sol♯ 5	25,00000	3200 »	0,1053	» 3 10,08
la♭ 5	25,60000	3276,80	0,1029	» 3 9
la 5	26,66666	3413,33...	0,0987	» 3 7,20
la♯ 5	27,77777	3555,55	0,0948	» 3 5,47
si♭ 5	28,80000	3686,40	0,0914	» 3 4 »
si 5	30,00000	3840 »	0,0878	» 3 2,40
si♯ 5	31,25000	4000 »	0,0843	» 3 0,68
ut♭ 6	30,72000	3932,16	0,0857	» 3 1,50

OCTAVE 6.				
ut 6	32,00000	4096 »	0,0823	» 3 »
ut♯ 6	33,33333	4266,66...	0,0790	» 2 10,56
ré♭ 6	34,56000	4423,68	0,0762	» 2 9,33
ré 6	36,00000	4608 »	0,0731	» 2 8
ré♯ 6	37,50000	4800 »	0,0702	» 2 6,72
mi♭ 6	38,40000	4915,20	0,0686	» 2 6
mi 6	40,00000	5120 »	0,0658	» 2 4,80
mi♯ 6	41,66666	5333,33...	0,0632	» 2 3,65
fa♭ 6	40,96000	5242,88	0,0643	» 2 4,12
fa 6	42,66666	5461,33...	0,0617	» 2 3
fa♯ 6	44,44444	5688,88...	0,0592	» 2 1,92
sol♭ 6	45,08000	5898,24	0,0571	» 2 1
sol 6	48,00000	6144 »	0,0549	» 2 »
sol♯ 6	50,00000	6400 »	0,0526	» 1 11,04
la♭ 6	51,20000	6553,60	0,0514	» 1 10,56
la 6	53,33333	6826,66	0,0493	» 1 9,60
la♯ 6	55,55555	7111,11...	0,0474	» 1 8,73
si♭ 6	57,60000	7372,80	0,0457	» 1 8
si 6	60,00000	7680 »	0,0439	» 1 7,30
si♯ 6	62,50000	8000 »	0,0421	» 1 6,43
ut♭ 7	61,44000	7864,32	0,0428	» 1 6,75
ut 7	64,00000	8192 »	0,0411	» 1 6

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Classification des instruments de musique.

I. L'ordre de classement des instruments de musique dépend du point de vue sous lequel on les envisage. Considérés d'une manière générale, on peut les diviser en deux grandes catégories, qui sont : les instruments à sons continus qui se divisent eux-mêmes en deux classes, savoir : 1° les instruments à vent (1), comprenant :

- **FLUTES**
  - Simples
    - flûte de pan.
    - serinette.
    - jeux d'tuyaux simples d'orgues d'églises et des orgues de barbarie.
  - A trous ou à clefs
    - flûtes à sacrifice.
    - flageolets.
    - flûtes traversières.
    - fifres ou flûtets.
- **A ANCHE**
  - Roseau et tuyaux à trous ou à clefs
    - Lames métalliques
      - guimbarde ou rebute.
      - cheng des chinois.
      - jeux d'anches des orgues d'églises et de barbarie.
      - harmonicas à anches.
      - accordéons.
      - mélophone.
      - orgues expressifs.
    - Cordes
      - harpe éolienne ou anémochorde.
      - éolicorde à touches d'Izoard.
      - piano éolien d'Izoard.
    - chalumeaux.
    - cornemuses.
    - musettes.
    - hautbois.
    - bassons.
    - clarinettes.
    - saxophones.
  - Lèvres avec bocal
    - simples
      - buccin.
      - clairon.
      - trompette.
      - cornet de chasse.
      - cor ou trompe de chasse.
    - à rallonges
      - à coulisses
        - trombones.
      - à pistons ou à cylindres
        - cornets à pistons.
        - cors d'harmonie.
        - trombone à pistons.
        - saxhorns.
    - à trous ou à clefs
      - trompettes à clefs.
      - serpents d'églises.
      - ophiclëïdes.

Complexes. Appareils logophoniques de Kempelen et autres.

2° Les instruments et archets à frottement, savoir :

- A cordes et à archets
  - trompette marine.
  - violons à une seule corde de tous les peuples primitifs ou sauvages.
  - rebecs.
  - pochettes.
  - violinos.
  - violons.
  - altos.
  - violes.
  - violoncelles ou basses.
  - contre-basse.
- A sons renforcés roue-archet archet et à cordes
  - vielles.
  - xenorphica de Rœllig et Mathias Müller, ou orchestrino de Thomas Kungen.
- A archet et à tiges d'acier
  - violon de fer.
- A roue-archet à lames ou verges
  - euphons et clavicylindres de Chladni et de Marloye.
- Non renforcé à doigt frottant
  - harmonica, en verre, de B. Franklin.

(1) Instruments à eau : les Romains avaient l'hydroleum ou orgue hydraulique, appelées depuis hydraules, qui se composaient de tuyaux-flûtes résonnants par l'eau.

II. En second lieu, les instruments à sons discontinus ou instantanés qui se divisent : 1° en instruments à percussion, qui sont :

Claquettes, — courroies à claquer, — tambours de basque et caisses de toutes dimensions, — tymbales, — tamtams, — cymbales, — castagnettes, — timbres, — cloches, — chapeaux chinois et grelots, — carillons, — triangles, — cistre d'Isis, — kings ou carillon à pierres sonores des Chinois, — xylorganons ou échettes de Saint-Domingue, — glaschords ou harmonicas à lames de verre, — trocléons, — boîtes de musique de Genève, — tympanons, — pianos.

2° Les instruments à cordes pincées qui comprennent :

Lyres, — cithares, — kins des Chinois, — vinas des Hindous, — colachons, — sistres, — mandolines, — guitares, — mandore, — luths, — angéliques, — pandores, — théorbes, — psaltérium ou nebel des Juifs, — harpes, — épinettes et clavecins, où les sautereaux remplacent les ongles.

Au point de vue scientifique, il faudrait les diviser en instruments soumis aux lois des vibrations longitudinales des corps. Tels sont : 1° ceux à vent et à tuyaux ; 2° à verges frottées longitudinalement comme le clavicylindre de Chladni, l'euphon de Chladni et de Marloye ;

Et en instruments soumis aux lois des vibrations transversales des corps, comprenant : 1° tous les instruments à percussion ; 2° tous les instruments à cordes pincées ou frappées ; 3° tous les instruments à cordes et à archets ; 4° le violon de fer ; 5° les anches simples.

Au point de vue industriel comme le comporte, du reste, le présent ouvrage, il est préférable de les diviser par ordre de similitude de procédés de fabrication, ainsi qu'il suit :

1° Facture des :

Orgues d'église, — orgues de barbarie, — serinettes, — orgues expressifs, — accordéons, — mélophones.

2° Facture des instruments à vent, en cuivre et en bois.

Trompettes, cors, trombones, — cornets à pistons ou cylindres, — saxhorns-saxophones, — trompettes à clefs, ophiclëïdes, — serpents d'église, basson, hautbois, — clarinettes, cors anglais, musettes, — flûtes traversières, flageolets.

3° Lutherie ou fabrication des :

Violons, alto-violes, violoncelles, contre-basses, vielles, xenorphica, — guitare, sistre, luth, mandoline, — harpes, — pianos de tout genre, — pianos éolien et éolichorde.

4° Fabrication des tambours.

Tambours de basque, tambours et caisses de toutes dimensions.

5° Fabrication de tamtams et cymbales.

6° Fonderie.

Cloches de timbres, sonnettes et grelots.

7° Fabrication de :

Sonneries en ressorts, — chapeaux chinois trocléons, — glaschords ou régales, — échettes, peignes de musique de Genève, — violons de fer, clavicylindres, — euphons de Chladni ou de Marloye, — harmonica de Franklin et castagnettes.

8° Industrie auxiliaire, fabrication :

1° De touches et mécanismes pour pianos, orgues, etc.

2° De cylindres, de clefs d'instruments, etc.

J. SILBERMANN.

MYRICINE. Partie de la cire des abeilles insoluble dans l'alcool, et qui en forme 30 à 40 pour 100.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

ET DE L'AGRICULTURE

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE,

PAR M. CH. LABOULAYE

SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL AUX EXPOSITIONS UNIVERSELLES DE 1862 ET 1867, ETC.

et MM. DEBETTE, Ingénieur des Mines. — BARRAL, Ingénieur. — E. BAUDE.
BERTHELOT, de l'Institut. — BRÉGUET, du Bureau des Longitudes. — DEHÉRAIN, Professeur à Grignon. — P. DESORMEAUX. — DÉGLIN.
DUBIED, Ingénieur. — EBELMEN. — L. FAUCHER, Ingénieur. — FAURE. — GROUVELLE.
HANRIOT, Fabricant. — KNAB, chimiste. — LISSAJOUS, Prof. de physique. — H. MAGNE. — MALLET, Ingénieur-chimiste.
MANGON, de l'Institut. — ROUGET DE LISLE, Ingénieur. — SALVETAT, Chimiste de la Manufacture de Sèvres.
SANSON, Professeur à Grignon. — SCHUTZENBERGER, chimiste. — VINCENDON-DUMOULIN,
et un grand nombre d'Ingénieurs et de Fabricants.

QUATRIÈME ÉDITION

DEUXIÈME TIRAGE

N-Z

PARIS

LIBRAIRIE DU DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

60, rue Madame, 60

1877

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

N

NACRE DE PERLES (*angl.* Mother of pearl, *all.* Perle-mutter). Substance sécrétée dans l'intérieur des coquilles de certains mollusques, et qui même se réunit en grains qu'on nomme PERLES. Elle est fournie par une espèce d'huître, l'*avicula margaritifera* ou *mytilus margaritiferus*, que l'on pêche principalement à Ceylan, dans le golfe Persique, près Ormus, au cap Comorin, et dans les mers de l'Océanie. La coquille est assez régulière, brune et très-écailleuse en dehors.

Ce sont des plongeurs qui vont recueillir ces coquilles au fond de la mer avec de grandes fatigues, mais les Européens ont introduit dans cette industrie les appareils à plongeur qui la rendent beaucoup plus sûre et plus productive.

Les filets ou paniers servant à la pêche sont vidés à terre, et bientôt l'animal étant mort, elles s'ouvrent spontanément. On les visite avec attention pour retirer les perles qu'elles peuvent contenir; on choisit les plus larges (celles de 20 à 22 centimètres) et les plus épaisses pour la nacre, et on abandonne le reste. On les envoie en Europe après les avoir sciées et débarrassées des parties qui sont privées de nacre.

La nacre est très-dure et très-difficile à travailler. On la taille à l'aide de petites scies, de limes fines et d'acide sulfurique affaibli; on la polit à l'émeri, et on termine avec le colcothar.

On importe annuellement en France environ 400,000^k de nacre, ayant une valeur de un million de francs.

NAPHTALINE. Hydrocarbure qui se produit lors de l'action d'une température rouge sur les substances organiques; elle se rencontre en quantité notable dans les goudrons recueillis lors de la distillation de la houille pour fabriquer le gaz d'éclairage.

Elle s'obtient lors du traitement des goudrons, sous la forme de lamelles blanches et brillantes, d'une odeur goudronneuse, d'une saveur âcre. Elle fond à 79° et se vaporise à 220°. Elle distille facilement avec les vapeurs d'eau et les hydrocarbures liquides. Insoluble dans l'eau, elle est très-soluble dans l'alcool, l'éther, l'essence de térébenthine.

Les alcalis sont sans action sur la naphtaline, elle se transforme au contraire sous l'influence des acides.

Les usages de la naphtaline sont encore peu nombreux, malgré des efforts tentés pour tirer parti d'une substance que le traitement des goudrons fournissait abondamment.

Lors de la découverte des couleurs d'aniline, on arriva à produire des couleurs analogues en partant de la naphtaline, mais leur manque d'éclat s'est opposé à leur introduction dans l'industrie.

Les travaux de Laurent sur la naphtaline sont restés classiques par leur précision et leur étendue.

NAPHTE. Liquide incolore, d'une odeur bitumineuse, presque sans saveur, soluble en toutes proportions dans l'alcool absolu et dans l'éther, insoluble dans l'eau et d'une densité = 0,753. Il bout à 85°. C'est un carbure d'hydrogène très-inflammable. Le naphte dissout en toutes proportions les huiles fixes et les huiles essentielles. Il dissout aussi, mais en moindre quantité, le soufre, le phosphore, l'iode, la gomme laque et le copal; il est employé pour conserver le potassium et les autres métaux très-oxydables; il sert quelquefois pour l'éclairage et la préparation de certains vernis.

Le naphte est un produit naturel qu'on trouve dans un assez grand nombre de pays. Au moment où il sort de terre, il n'est jamais pur: on l'obtient à cet état par plusieurs rectifications successives.

NATRON. Voyez SOUDE.

NAVIGATION. Le vent et la vapeur sont les deux moteurs employés pour la navigation.

Les voiles des bâtiments, par leur forme et le mécanisme qui les lie à la mâture, peuvent recevoir le vent, quand bien même sa direction et celle de la route du navire font un angle aigu, qui varie suivant la construction plus ou moins bonne du bâtiment, mais qui ne doit jamais être plus petit que 60 à 70 degrés.

L'action du vent sur les voiles est représentée par deux forces, dont l'une agit perpendiculairement à la surface de la voile, et l'autre dans le plan de la voile. Lorsque les voiles font un angle droit avec la direction du bâtiment, la force qui agit perpendiculairement à leur surface tend en entier à faire glisser le bâtiment à la surface de la mer. Lorsque les voiles ne sont pas perpendiculaires à la quille du bâtiment, la force du vent normale à la voile donne deux forces composantes, dont l'une est parallèle, et l'autre perpendiculaire à la quille du bâtiment. Or, plus la direction des voiles se rapproche de celle de la quille, plus la force agissant perpendiculairement à la surface de la quille est grande.

A mesure que le vent se rapproche par sa direction de devenir directement opposé à celle de la route du navire, on est obligé de donner aux voiles une inclinaison de plus en plus grande par rapport à la quille, et alors la force qui tend à entraîner le vaisseau par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travers devient de plus en plus grande, tandis que celle qui tend à le faire marcher dans le sens de la quille devient de plus en plus petite.

De ces deux forces combinant leurs efforts, il résulte que le vaisseau ne suit pas toujours la direction dans laquelle se trouve la quille, mais bien une direction intermédiaire. L'angle que fait la route réelle suivie par le vaisseau avec la quille s'appelle *dérive*.

Pour apprécier la dérive, on mesure l'angle que fait la quille du bâtiment avec le *sillage*. Le sillage est toujours facile à reconnaître au remous imprimé à la surface des eaux par le passage du bâtiment. Toutefois cette appréciation n'a lieu, en général, que d'une manière approchée.

La direction de la quille du navire est donnée par la boussole; l'aiguille aimantée se dirige rarement dans le méridien; l'angle qu'elle fait avec la ligne nord et sud s'appelle, dans le langage des marins, *variation*. La variation n'est point constante; elle varie sur les différents lieux du globe; il n'est même pas possible d'en faire des tables fixes accusant sa valeur pour chaque point défini par la longitude et la latitude; car, dans un même lieu, elle varie d'une année à l'autre, et suivant des lois à peu près inconnues. Mais les marins ont toujours possibilité de la calculer par des observations faites sur les astres, et le calcul de la variation est, comme celui de la latitude et de la longitude, essentiel à la direction du bâtiment.

La distance parcourue par le bâtiment à la surface de la mer s'estime au moyen du loch; cet instrument grossier consista dans un secteur en bois lesté avec du plomb, de manière à ce qu'il reste constamment perpendiculaire à la surface des eaux dans lesquelles il plonge presque en entier. A cette planche triangulaire se trouve fixée une corde divisée, de distance en distance, en nœuds et dixièmes de nœuds : le nœud comporte un espace de 15 mètres. Lorsque l'on veut estimer la distance, on jette à la mer le loch qui reste stationnaire à la surface de l'eau, et la ligne à laquelle il se trouve lié se déroule proportionnellement à la vitesse du bâtiment. Si on compte le nombre de nœuds qui passent dans la main de l'observateur pendant l'espace d'une demi-minute, on aura l'espace parcouru par le navire pendant ce laps de temps; et, en supposant la vitesse du navire uniforme pendant une heure, il suffira de multiplier ce résultat par 120 pour connaître l'espace parcouru pendant cet intervalle. Il résulte des longueurs relatives du nœud et du mille, que, toutes les fois qu'un bâtiment parcourt un certain nombre de nœuds dans la demi-minute, il parcourt le même nombre de milles dans une heure. Dire qu'un navire file six nœuds signifie qu'il parcourt six milles à l'heure, pourvu toutefois qu'il conserve toujours la même vitesse.

Le loch, tel qu'il est encore généralement employé, est loin de toujours assurer la route avec exactitude; en outre, il exige constamment le travail de deux personnes pour l'observer. Il serait temps que la marine employât des instruments destinés à atteindre le même but, et qui fussent plus parfaits. Les Anglais ont adopté, depuis quelque temps, à bord de plusieurs de leurs navires, un loch dit *patent log*, qui fait connaître à chaque instant le nombre de nœuds parcourus pendant un espace de temps déterminé.

La pièce principale de ce loch est un cylindre autour duquel s'enroule une surface héliçoïdale. A l'une des extrémités du cylindre, on attache une corde; cette corde sert à mettre en communication le loch avec un système d'aiguilles qui se meuvent sur des cadrans indicateurs.

Lorsqu'on jette le loch à la mer, il tend par son poids à aller au fond; mais, grâce à la vitesse du navire, il est fortement tiré par la corde à laquelle il se trouve lié, et qui imprime la même vitesse que celle du navire. Alors, obéissant à ce mouvement de traction qui ne s'exerce que sur une de ces extrémités, le cylindre se maintient dans une position à peu près horizontale, et la surface héliçoïdale, en venant frapper l'eau, lui imprime un mouvement de rotation d'autant plus rapide que la vitesse du bâtiment est plus grande. Ce mouvement de rotation se communique par la torsion de la corde aux aiguilles, dont tous les mouvements sont indiqués par des cadrans gradués.

Le loch de M. Clément, qui se trouve actuellement en expérimentation sur plusieurs bâtiments de la flotte française, conduit aux mêmes résultats, bien qu'il soit fondé sur un principe différent. Il consiste dans une boule fixée dans la partie plongeante du bâtiment. Suivant que le navire atteindra une vitesse plus ou moins grande, cette boule éprouvera, de la part de l'eau qu'elle sera obligée de heurter sur son passage, une résistance plus ou moins grande. Au moyen d'un mécanisme fort ingénieux, la pression que supporte cette boule se trouve aussi indiquée par des aiguilles qui se meuvent sur des cadrans, et qui accusent à chaque instant, comme le *patent log*, non seulement la vitesse du bâtiment pour un instant quelconque, mais encore le nombre de milles parcourus dans un intervalle de temps défini.

Lorsque l'on connaît la direction suivie par le navire depuis le lieu de départ, et le nombre de milles qu'il a parcourus, on peut toujours apprécier sa position sur le globe. Toutefois les moyens que nous venons de décrire ne sauraient tenir compte de l'action des courants, qui agissent à la surface des mers dans tous les sens; en outre, on conçoit qu'il doit bien souvent se glisser des erreurs graves dans une estimation faite avec des moyens si peu précis. Aussi, en général, les navigateurs sont obligés d'interroger les astres, pour connaître leur position avec exactitude, toutes les fois qu'ils le peuvent. (Voyez LONGITUDE et LATITUDE.)

Au moyen de la longitude et de la latitude, le navigateur peut toujours connaître le point où il se trouve; l'estime, faite au moyen du loch et de la boussole, lui indique l'action du courant; il ne lui reste donc plus à connaître que la direction de la route qu'il doit tenir pour arriver sûrement au but qu'il veut atteindre.

Le plus court chemin d'un point à un autre sur la sphère est l'arc de grand cercle passant par ces deux points; mais tout arc de grand cercle, sauf l'équateur, fait avec chacun des méridiens des angles différents. Si un navire partant d'un point devait parcourir un arc de grand cercle, il faudrait à chaque instant rectifier sa direction, ce qui entraînerait des difficultés insurmontables. Or, sur une sphère, on peut toujours tracer d'un point à un autre une courbe à double courbure jouissant de la propriété de faire avec chaque méridien le même angle; cette courbe s'appelle *loxodromie*. C'est la courbe que suivrait un bâtiment, s'il courait toujours dans le même aire de vent, c'est-à-dire en faisant le même angle avec chacun des méridiens qu'il rencontre. Cette courbe affecte la forme d'une spirale, allant constamment, en se rapprochant, du point qu'il s'agit d'atteindre. Le calcul démontre que, pour deux points même suffisamment éloignés, la grandeur de l'arc loxodromique compris entre les deux méridiens passant par ces deux points diffère peu de l'arc de grand cercle passant par ces deux points; c'est toujours cet arc loxodromique que les navigateurs cherchent à faire parcourir aux bâtiments pour aller d'un point à un autre. Voici, en effet, le moyen employé pour trouver sa route lorsqu'on est à la mer.

On observe la longitude et la latitude, et ensuite on fait son point sur la carte (voyez HYDROGRAPHIE). On joint ensuite par une ligne droite le point que l'on vient de marquer sur la carte, et où se trouve le vais-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seau, avec le point où l'on peut arriver. Cette ligne est la projection de la courbe loxodromique, et l'angle que cette droite fait avec la projection des méridiens est l'angle réel que la direction du vaisseau doit faire avec le méridien pour la parcourir. Or, l'on connaît la variation; l'on peut mesurer sur la carte l'angle loxodromique, et on en déduit la direction que la quille doit faire avec l'aiguille aimantée, c'est-à-dire le cap du navire.

Si, en effet, la variation ne changeait pas; si les courants et les écarts continus du navire, qu'il est toujours difficile de tenir exactement dans la même direction, ne tendaient pas à le faire sortir de la route qui lui est tracée, il arriverait directement très près du lieu que l'on veut atteindre en suivant la courbe loxodromique; mais, à cause de toutes ces erreurs, le navigateur doit toujours, à des intervalles assez rapprochés, observer sa longitude et sa latitude pour rectifier, ainsi que nous venons de le dire, la direction du bâtiment.

Enfin, souvent le vent s'oppose à ce que le bâtiment prenne la route directe; alors il est obligé de louvoyer. Dans ce cas, la route est toujours très-difficile à estimer, à cause de la dérive qui est souvent considérable, et enfin parce que l'on ne peut apprécier d'une manière exacte non-seulement tout ce que font perdre les variations du vent dans sa direction, mais encore le terrain perdu dans chaque évolution du vaisseau, lorsqu'il est obligé de virer de bord. Les louvoyages ne sont, en effet, profitables qu'autant que les bords, c'est-à-dire les distances parcourues en zig-zag perpendiculairement à la direction du vent, sont d'une bonne grandeur.

Un bâtiment est toujours en danger lorsque, surpris près des terres, il se trouve exposé à un vent violent qui le pousse à la côte. Par les mauvais temps, en effet, la solidité de la mâture ne permet que rarement d'établir beaucoup de voiles. Alors le vent, agissant avec toute sa force sur la masse du bâtiment, donne lieu à de fortes dérives faiblement compensées déjà par ce que l'on peut gagner par le louvoyage; et lorsque, en outre, les contours de la côte forcent le bâtiment à changer souvent d'allure en virant de bord, à chaque évolution il se trouve entraîné dans la direction du danger. Bientôt il ne lui restera d'autres ressources que celles de mouiller les ancres, qui soutiendront difficilement les efforts puissants d'un bâtiment ballotté à chaque instant par la grosse mer. Cette ressource extrême ne lui est même pas toujours accordée; car il peut arriver que, très près du danger, le fond soit trop profond pour permettre de l'atteindre avec une ancre. V. DUMOULIN.

PRINCIPALES ROUTES DE NAVIGATION. — Dans l'excellent *Guide du Marin*, M. de Kerhalet a résumé les principaux résultats que l'on pouvait déduire des meilleures observations et surtout de la discussion des journaux de bord faite par le lieutenant Maury, pour faire, le plus avantageusement possible, les traversées les plus importantes.

La première question, dit-il, que doit se poser le capitaine d'un navire lorsqu'il entreprend une traversée d'un point du globe à un autre, est celle de choisir, autant qu'il est possible, la route la plus courte. Pour y parvenir, il faut mettre à profit les faits connus de physique du globe, tenir compte des vents et des courants qu'on pourra rencontrer.

Quand nous disons la route la plus courte, nous entendons parler de celle qu'on mettra le moins de temps à parcourir, par suite, surtout pour les navires à voiles, celle où l'on a le plus de chances de rencontrer des vents favorables. On peut, à ce sujet, poser les règles suivantes:

Se placer dans la zone où règnent les vents alizés (voy. VENTS), ou atteindre le plus tôt possible cette zone quand on voit naviguer de l'Est à l'Ouest; se tenir en dehors de cette zone quand on va de l'Ouest à l'Est, ou en sortir le plus rapidement possible quand on s'y trouve.

Quand on traverse du Nord au Sud ou réciproquement les zones des calmes qui avoisinent l'équateur et les tropiques, la règle est de les traverser le plus rapidement possible; dans ce but, selon le cas, on navigue du Nord au Sud ou du Sud au Nord, en évitant de faire des routes obliques dans ces régions; si on louvoie, il conviendra par suite de prendre la bordée qui fera faire le plus de Sud ou le plus de Nord.

La même règle doit encore guider le marin quand il traverse les zones des vents alizés; ici cependant il faut faire une route oblique et ne jamais chicaner le vent, c'est-à-dire qu'on doit porter toujours bon plein, afin de faire autant de chemin qu'on le pourra au Nord ou au Sud, tout en gagnant dans l'Est si cela est utile pour la traversée qu'on devra faire.

Dans certaines routes qui forcent à traverser obliquement les océans, comme celle du cap Horn en Europe, celle de l'Australie en Californie, etc., il faut de toute nécessité s'élever dans l'Est, soit dans la région des vents d'Ouest de l'hémisphère Sud, au sud du parallèle de 40° de latitude Sud, soit dans la région des vents d'Ouest de l'hémisphère Nord, au nord du parallèle de 40° de latitude Nord. En effet, il est évident qu'en traversant les zones des vents alizés, on ne peut pas gagner assez dans l'Est pour atteindre sa destination. En conséquence, il faut prendre le parti de s'élever à l'Est, soit au Sud de la zone des calmes du tropique du Capricorne, soit au nord de la même zone qu'on trouve aux environs du tropique du Cancer, parties des océans où les vents d'Ouest règnent à peu près d'une manière aussi constante et aussi régulière que les alizés du Nord-Est et du Sud-Est, dans les zones qui leur sont propres. Au départ, si l'on trouve les vents favorables pour gagner promptement la zone des vents d'Ouest dont nous venons de parler, il sera toujours convenable d'en profiter immédiatement, bien qu'en réalité, pour atteindre sa destination, on puisse faire indifféremment de l'Est dans l'hémisphère Sud ou dans l'hémisphère Nord.

Dans la navigation des navires à voiles près des côtes, il y a encore une règle qu'on doit observer; près de celles où les brises alternatives sont fraîches et régulièrement établies, il est avantageux de louvoyer à petite distance de la terre en se rapprochant de celle-ci vers le soir pour utiliser les brises de terre qui règnent pendant la nuit, et en s'en éloignant vers le matin pour utiliser la brise du large soufflant dans la journée.

Au contraire, lorsqu'on navigue pour se rendre d'un port à un autre situé sur la même côte, si les brises alternatives ne sont pas bien établies, que les vents de terre soient faibles pendant la nuit, qu'on trouve des courants contraires, que les vents soufflent à peu près constamment de la même direction défavorable à la route, on devra louvoyer en faisant des bords inégaux en durée, c'est-à-dire de longues bordées au large et de courtes bordées à terre, quelle que soit la distance qui sépare les deux ports.

Les observations précédentes ne s'appliquent qu'en partie aux navires à vapeur, dont les capitaines, disposant d'une force motrice indépendante des vents, possèdent des ressources bien plus grandes, pour traverser les océans, que les capitaines des navires à voiles. Ils ne seront plus arrêtés dans les zones de calme qu'ils devront traverser à la vapeur, et ils profiteront, en se servant de leurs voiles, des vents forts et favorables, quand ils auront atteint les zones où les vents soufflent régulièrement. S'ils ont une grande puissance de vapeur, ils pourront traverser sans peine, même avec des vents contraires, les parties des océans où les navires à voiles, sans avancer beaucoup, luttent souvent pendant beaucoup de temps.

Ainsi donc, si la plupart des routes convenables pour les navires à voiles peuvent être adoptées à la rigueur pour les navires à vapeur, lorsque ceux-ci ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont pas pressés par leur mission, et que pour économiser du charbon, ils doivent profiter des vents favorables de certaines régions; toutefois, ces routes peuvent être modifiées utilement, à l'occasion, par des capitaines intelligents, surtout si elles s'écartent beaucoup de l'arc de grand cercle, dont nous allons parler, et que les navires à vapeur peuvent, et ont intérêt à suivre le plus généralement. Ainsi, pour éviter les zones de calme du tropique et de l'équateur, les navires à voiles sont contraints de faire souvent beaucoup de chemin en dehors de la route directe, tandis que ces zones de calme seront favorables à des navires à vapeur, et leur permettront d'attendre facilement des positions convenables pour couper ensuite avantageusement à la voile les zones des vents alizés, ou celles dans lesquelles sont établis les vents d'ouest.

Nous renverrons au *Guide du Marin*, pour l'application de ces règles générales aux principales traversées effectuées dans les diverses saisons de l'année.

Nous reviendrons sur la direction de la route suivie qui, ainsi qu'il a été dit plus haut, peut être ou la courbe nommée loxodromie ou un arc de grand cercle.

La route la plus courte, quant à la distance réelle, est celle par l'arc de grand cercle. Pour naviguer par l'arc de grand cercle, il faut modifier successivement le cap du navire, c'est-à-dire la direction qu'il suit. Dans certains cas, il est donc assez difficile, surtout avec un navire à voiles soumis à toutes les variations du vent, de suivre la route par l'arc de grand cercle; souvent encore cette route coupe des terres qui forcent à la modifier. On conçoit facilement que l'on peut calculer l'angle que fait avec le méridien la route directe du point de départ au point d'arrivée, et chercher par quelles latitudes cette route coupe les méridiens intermédiaires.

M. Keller, ingénieur hydrographe, a fait construire un planisphère qui résout mécaniquement, d'une manière très-rapide, cette question.

Dans la route loxodromique, on maintient le cap à une direction fixe, mais on en est écarté également, dans une foule de circonstances, par les courants, les vents, la dérive quand on gouverne au plus près, la négligence des timoniers, les lans du navire, les mouvements de la boussole, etc.

Il faut donc se rappeler qu'une ligne droite tracée sur une carte nautique n'indique pas la plus courte distance qui existe entre deux points; aussi le marin doit-il s'efforcer de parcourir le chemin, distance représentée par cette ligne, suivant un certain nombre de routes successives qui s'approcheront autant que possible d'un arc de grand cercle.

NICKEL. Le nickel est un métal découvert, en 1751, par Cronstedt; il a beaucoup d'analogie avec le cobalt, et se trouve presque toujours dans les mêmes minerais. En réduisant l'oxyde du nickel par le charbon à une très-haute température, on obtient le métal sous la forme d'un culot compacte et fondu, qui est allié à une faible quantité de carbone. Dans cet état, il est d'un blanc gris, à peu près comme le platine, à cassure crochue. En le travaillant avec précaution à chaud, on peut le forger et le réduire en lames; il prend alors la structure fibreuse. Il a à peu près la dureté du fer, se polit aisément, et acquiert alors beaucoup d'éclat. Fondu, sa densité = 8,402; et, par l'écrouissage, elle s'élève à 8,882.

Le nickel ne s'oxyde pas à l'air à la température ordinaire. Chauffé au rouge, il s'oxyde lentement à l'air, et décompose la vapeur d'eau, mais moins rapidement que le fer. Les acides minéraux le dissolvent aisément. Il précipite de leurs dissolutions l'argent, le cuivre, etc., et se combine directement avec le chlore, le soufre, le sélénium, le phosphore et l'arsenic.

Le nickel s'allie très-bien avec le fer, le cobalt, le cuivre, l'antimoine, le zinc, l'étain, etc. On le trouve allié avec le fer dans les aérolithes. Parmi ces alliages, ceux qu'il forme avec le zinc et le cuivre, et qui portent le nom d'*argentan*, *packfong* ou *maillechort*, sont très employés dans les arts; ce qui nous engage à indiquer les proportions des principaux alliages de cette nature que l'on fabrique en Angleterre. (Voir notre note, *Annales des Mines* pour 1844, t. VI, p. 501). Ce sont :

1° *Argentan ordinaire*. Cuivre, 8 p.; nickel, 2 p.; zinc, 3 p. 1/2. Cette composition donne l'argentan de qualité inférieure, qui a souvent une teinte jaunâtre; on l'emploie pour la fabrication des fils et autres articles communs. Si l'on diminue encore la proportion de nickel, l'alliage obtenu ne vaut guère mieux que du laiton peu coloré, et se ternit aisément à l'air.

2° *Argentan blanc*. Cuivre, 8 p.; nickel, 3 p.; zinc, 3 p. 1/2. Cette belle composition imite l'argent à 750 millièmes et est très employée.

3° *Electrum*. Cuivre, 8 p.; nickel, 4 p.; zinc, 3 p. 1/2. Cette composition mérite la préférence sur toutes les autres; elle a la teinte de l'argent bruni, et se ternit beaucoup moins à l'air.

4° Cuivre, 8 p.; nickel, 6 p.; zinc, 3 p. 1/2. C'est la composition la plus riche en nickel qui puisse être travaillée à froid. Elle ne laisse rien à désirer sous le rapport de la beauté et de l'éclat, mais elle est difficile à fondre, et présente quelques difficultés dans son élaboration.

5° *Tutenag*. Cuivre, 8 parties; nickel, 3 p.; zinc, 5 p. 1/2. C'est à très peu près la composition d'une qualité ordinaire de packfong, que l'on tirait autrefois de la Chine. Cet alliage est très dur et assez difficile à laminer; il convient surtout pour la fabrication d'objets moulés.

6° *Soudure pour l'argentan*. Argentan n° 1, 5 parties; zinc, 4 p. On coule cet alliage en plaques minces que l'on pulvérise ensuite; il est difficile à réduire en poudre, et ses fragments offrent une texture matte et quelque peu fibreuse. Ils deviennent aigres et brillants par un excès de zinc, et ductiles par défaut de ce métal.

On fond ces alliages dans des petits creusets fermés, en les recouvrant d'un mélange de houille pilée et de suif, et on les coule dans des lingotières en métal, légèrement échauffées et flambées à la lampe.

Oxydes de nickel. Les oxydes de nickel sont très facilement réduits par l'hydrogène, le carbone, le soufre, le phosphore et l'arsenic.

Le *protoxyde* est d'un beau vert tirant quelquefois sur le vert-olive, infusible. Lorsqu'on le chauffe au rouge, au contact de l'air, il se change en protoxyde. Il se dissout aisément dans les acides minéraux. Il se compose de :

Nickel.	0,7871	NiO.
Oxygène.	0,2129	

On le prépare en calcinant le nitrate au blanc.

Son hydrate est d'un très beau vert-pomme pâle, gélatineux et très léger. Il est soluble dans l'ammoniaque en donnant une dissolution d'un bleu-verdâtre.

Le *peroxyde* est noir ainsi que son hydrate; on l'obtient en grillant l'oxyde ou le nitrate au rouge. La chaleur blanche le ramène à l'état de protoxyde. Les acides et l'ammoniaque le dissolvent, en lui faisant subir la même réduction. Il renferme :

Nickel.	0,7114	Ni^2O^3.
Oxygène.	0,2886	

On obtient son hydrate en précipitant une dissolution de nickel par un hypochlorite alcalin.

Sels de nickel.

Tous les sels de nickel sont à base de protoxyde. Ceux qui sont solubles sont d'un très beau vert. Les sels

EFERUS - Recherche & Classification numérique

insolubles qui contiennent de l'eau de cristallisation sont de la même couleur, mais les sels anhydres sont jaunes ou fauves. Les alcalis les précipitent en vert-pomme; leurs carbonates, en blanc verdâtre. L'ammoniaque caustique et carbonatée, en excès, redissolvent les précipités de nickel, en se colorant en bleu-verdâtre. Les phosphates et arséniates alcalins, les précipitent en vert pâle; le prussiate jaune, en blanc laiteux verdâtre, le prussiate rouge, en jaune-verdâtre; et les hydrosulfates, en noir. Lorsque ces dissolutions sont suffisamment acides, elles ne sont point troublées par l'hydrogène sulfuré.

Les sels de nickel ont une grande tendance à se combiner avec les sels alcalins, et particulièrement avec les sels ammoniacaux. Les sels doubles ainsi formés sont tous verts.

Les principaux sels de nickel sont les suivants :

Le *sulfure* correspondant au protoxyde, que l'on obtient par voie sèche en traitant du nickel ou son oxyde par un persulfure alcalin, est d'un jaune bronzé métallique, cassant, non magnétique. Sa densité = 5,76; il fond au blanc, et s'attaque par l'acide nitrique. Il se compose de :

Nickel.	0,646	Ni S.
Soufre.	0,354	

L'*arseniure* $Ni^2 As$, qui se prépare en réduisant l'arséniate au creuset brasqué et qui renferme 0,644 de nickel : il est différent des arséniures que l'on trouve dans la nature.

Et l'*arséniate* d'un vert clair, qui renferme 0,39 de nickel.

Minerais.

Les minerais de nickel accompagnent presque toujours les minerais de cobalt, ce sont :

L'*oxyde* et le *sulfure*. Très rares.

Le *kupfernickel* qui est un arséniure de la formule Ni As, et dans lequel le nickel est presque toujours en partie remplacé par du cobalt et du fer : sans cela il en renfermerait 44 p. 100; c'est le minerai de nickel le plus abondant. Il est d'un gris-rougeâtre métallique approchant du rouge de cuivre, amorphe, à cassure conchoïdale ou unie, très fragile; les cassures fraîches se ternissent promptement à l'air. Il répand l'odeur d'ail par le choc du briquet. Sa densité = 7,3 à 7,6. Il est inattaquable par l'acide hydrochlorique et se dissout aisément dans l'acide nitrique.

Le *nickel arsenical* ou arséniure $Ni As^2$, renferme 0,29 de nickel, lorsque ce métal n'est pas en partie remplacé par du cobalt ou du fer. Il est d'un gris-blanc.

Le *nickel gris* se compose de 1 équivalent de bisulfure et de 1 équivalent d'arséniure ou d'antimoniure de nickel. Il est d'un gris-blanc métallique très éclatant.

L'*arséniate* est presque toujours adhérent au kupfernickel, et paraît provenir de sa décomposition spontanée.

Jusqu'ici le nickel ne s'extrait de ses minerais que par des procédés de laboratoire, ce qui explique son prix élevé. Comme les minerais sont presque toujours mélangés avec du minerai de cobalt, on les traite ordinairement d'abord pour cobalt; le nickel se concentre dans le *speiss* (voyez COBALT), et c'est ce dernier produit d'où l'on extrait le nickel. On traite aussi quelquefois directement le kupfernickel.

Un des procédés de traitement les plus simples consiste à fondre le speiss avec la moitié de son poids de carbonate de soude anhydre et autant de soufre. On concasse le culot obtenu, on le lave bien à l'eau chaude pour séparer les arsénio et antimonio-sulfures alcalins, puis on le traite à froid par l'acide sulfurique ou hydrochlorique un peu étendu, et on obtient un résidu de sulfure de nickel pur ou tout au plus mélangé de sulfure de cobalt, si le speiss renfermait encore de ce dernier métal. On grille ce sulfure complétement et on le réduit au creuset brasqué.

Nous ne doutons pas que l'on ne puisse préparer le nickel en grand par des procédés moins coûteux et analogues à ceux employés pour les autres métaux.

P. DEBETTE.

NITRATES (*angl.* nitrates, *all.* salpetersaüre salze). Les nitrates sont les sels formés par l'acide nitrique. Ils sont tous solubles dans l'eau, et fusent lorsqu'on les projette sur des charbons incandescents. Mêlés avec la limaille de cuivre et chauffés avec de l'acide sulfurique, ils donnent lieu à un dégagement de vapeurs rutilantes d'acide hypo-nitrique. La chaleur les décompose tous en laissant pour résidu tantôt de l'oxyde pur, tantôt le métal à l'état de liberté.

Les principaux nitrates sont les suivants :

NITRATE D'ARGENT. Ce sel qui se prépare en dissolvant de l'argent fin dans de l'acide nitrique, se trouve dans le commerce tantôt à l'état cristallisé et hydraté, sous la forme de larges plaques rhomboïdales ou hexaèdres, qui sont plutôt translucides que transparentes, et incolores, tantôt à l'état anhydre fondu et coulé dans des lingotières sous la forme de cylindres d'un gris de perle : dans ce dernier cas, il porte le nom de *pierre infernale*. C'est le réactif le plus sûr que l'on puisse employer pour reconnaître dans un liquide la présence de l'acide hydrochlorique ou d'un chlorure; il sert à marquer le linge, et est très employé en médecine comme cautérisant.

NITRATES DE CHAUX ET DE MAGNÉSIE. Ce sont ces sels qui se forment en majeure partie dans les nitrières artificielles, et que l'on convertit ensuite en nitrate de potasse en les traitant par des lessives de carbonate ou de sulfate de potasse.

NITRATES DE MERCURE. Voyez MERCURE.

NITRATE DE PLOMB. Voyez PLOMB.

NITRATE DE POTASSE, NITRE, SALPÊTRE. Ce sel est très employé pour la fabrication de la poudre à tirer, celle des acides sulfurique et nitrique, etc... Sa préparation et sa purification se trouvent indiquées à l'article POUDRE. A l'état de pureté, le nitrate de potasse cristallise en longs prismes à six faces, terminés par un pointement à six faces, mais qui sont rarement réguliers, transparents et le plus souvent agglomérés de manière à paraître cannelés ou striés. Sa saveur est fraîche, salée et piquante, et il excite fortement la sécrétion de la salive; il est très soluble dans l'eau, mais beaucoup plus à chaud qu'à froid. C'est un oxydant très énergique.

NITRATE DE SOUDE, NITRE CUBIQUE. Le nitrate de soude a été découvert, il y a quelques années, au Pérou, sous de l'argile, en couches d'une épaisseur variable, mais d'une étendue de plus de 500 kilomètres. On le substitue avec avantage au nitrate de potasse, par rapport à son prix moins élevé, dans plusieurs emplois, principalement dans la fabrication des acides sulfurique et nitrique. Il a une saveur fraîche, piquante et amère, et est très soluble dans l'eau. Il affecte la forme de prismes rhomboïdaux qui attirent l'humidité beaucoup plus rapidement que le nitrate de potasse, et qui sont par cela même beaucoup moins propres à la fabrication de la poudre

ACIDE NITRIQUE, ACIDE AZOTIQUE (*angl.* nitric acid, *all.* salpetersaüre). La découverte de l'*acide nitrique* est due à Raymond de Lulle, l'un des plus célèbres alchimistes du moyen-âge : c'est en distillant un mélange de nitre et d'argile qu'il obtint ce nouveau corps qu'on désigna dans le principe sous les noms d'*acide du nitre* et d'*eau forte*; mais c'est Cavendish qui découvrit le premier la véritable nature de cet acide. Ce chimiste célèbre détermina même assez exactement les proportions de ses principes constituants.

L'acide nitrique est le plus oxygéné des oxydes de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'azote; son nom, qui lui a été donné par Lavoisier, est tiré de *nitre*, nom qu'on donnait anciennement au salpêtre ou nitrate de potasse; mais comme son radical réel est l'*azote*, on doit l'appeler *acide azotique*, et c'est ainsi qu'on commence à le nommer généralement pour se conformer à la nomenclature actuelle.

M. Gay-Lussac, par des expériences faites avec le plus grand soin, a trouvé que l'acide nitrique était formé en volumes, de 100 d'*azote* et de 250 d'*oxygène*, ou bien :

1 équivalent d'azote. .	177,02, en centièmes.		26,15
5 équival. d'oxygène. .	500,00,	—	73,85
	677,02		100,00

Telle est la composition de l'acide sec, mais ce corps ne peut exister à cet état, à moins d'être combiné à certains oxydes, et le plus pur qu'on puisse obtenir renferme toujours près de 15 p. 100 d'eau; la composition de cet hydrate est la suivante :

1 équivalent d'acide anhydre. . .		677,02	85,75
1 — d'eau — . .		112,48	14,25
		789,50	100,00

Cet acide hydraté est une véritable combinaison d'acide sec et d'eau, il est liquide à la température ordinaire, blanc, possédant une odeur désagréable; très avide d'eau, il fume à l'air, il désagrège fortement les matières organiques qu'il colore en jaune.

La pesanteur de cet acide est de 1,513 à 18° C., il bout à 86°, sous la pression de 0m,76 de mercure, et il se congèle en masse peu consistante vers 50° au-dessous de 0.

Une température élevée, la lumière solaire et tous les corps avides d'oxygène le décomposent avec la plus grande facilité, et c'est à ses propriétés oxygénantes qu'il doit une grande partie de ses applications dans les laboratoires et dans les arts.

L'acide nitrique est miscible à l'eau en toutes proportions; à mesure qu'une addition de ce liquide le rend plus faible, son point d'ébullition s'élève progressivement jusqu'à 120°.

Le tableau suivant donne le point d'ébullition de cet acide à divers degrés :

Densité.	*Point d'ébullition.*	*Nom de l'observateur.*
1,51	86°	Thénard.
1,50	99°	Dalton.
1,45	115°	—
1,42	120°	—
1,40	119°	—
1,35	117°	—
1,30	113°	—
1,20	108°	—
1,15	104°	—

Voici maintenant la table de la richesse du même acide a divers degrés de densité pour la température de 19° C. :

Densité.	*Acide sec p. 100 parties.*	*Nom de l'observateur.*
1,513	85,7	Calculée.
1,498	84,2	Thénard.
1,478	72,9	—
1,434	62,9	—
1,422	61,9	—
1,376	51,9	—

L'acide nitrique le plus concentré marque 51° à 52° Beaumé, il doit être conservé à l'abri de la lumière qui le colore en le décomposant partiellement.

L'acide concentré du commerce marque 36° B. seulement, car au lieu d'un équivalent d'eau il en renferme environ quatre.

La préparation de l'acide nitrique se faisait autrefois, en grand, à l'aide du procédé de Raymond de Lulle, c'est-à-dire en décomposant le salpêtre par l'argile : on employait des cornues en grès rangées dans des fourneaux de galère qui en contenaient huit à dix de chaque côté. Dans cette opération, il se faisait du silicate et de l'aluminate de potasse qui restaient dans la cornue, et de l'acide nitrique qui distillait et était reçu dans des récipients également en grès. Comme l'argile et le nitrate de potasse employés ne contenaient de l'eau qu'accidentellement, presque tout l'acide nitrique qui se dégageait se décomposait, et on peut dire que l'opération ne marchait bien que par exception. Aujourd'hui, la préparation de l'acide nitrique a lieu en traitant les nitrates de potasse ou de soude par l'acide sulfurique; le dernier de ces sels donne, à poids égal, plus d'acide que le salpêtre; mais le sulfate obtenu pour résidu a moins de valeur que le sulfate de potasse, aussi l'équilibre tend-il à s'établir dans les deux cas

Le nitrate de potasse est composé :

D'un équivalent d'acide nitrique. .	677	1266,9
Et d'un équivalent de potasse. . .	589,9	

Le nitrate de soude renferme :

Un équivalent d'acide nitrique. . .	677	1067
Un équivalent de soude.	390	

Ainsi, 1067 parties en poids de nitrate de soude contiennent la même quantité d'acide nitrique sec que 1267 parties de nitrate de potasse.

Pour un équivalent de ces nitrates on emploie deux équivalents d'acide sulfurique; le résidu est formé de bi-sulfate potassique.

Si on emploie le nitrate de potasse, on prendra :

Un équivalent de nitrate de potasse. . .	1267	2944
Deux équivalents d'acide sulfurique. .	1227	
Quatre équivalents d'eau.	450	

Les quatre équivalents d'eau sont placés dans les vases où doit se condenser l'acide nitrique.

On obtient par la distillation :

Un équivalent d'acide nitrique sec.	677	1352	2944
Six équival. d'eau.	675		
Un équival. de bisulfate de potasse.		1592	

Si on fait usage du nitrate de soude, on doit prendre :

Un équivalent de nitrate de soude. . .	1067	2744
Deux équival. d'acide sulfurique. . .	1227	
Quatre équival. d'eau.	550	

Le résultat sera :

Un équivalent d'acide nitrique. .	677	1352	2744
Six équival. d'eau.	675		
Un équival. de bi-sulfate de soude.		1392	

L'attaque du nitrate par l'acide sulfurique se fait dans des cylindres, en fonte grise, semblables en tout point à ceux employés pour la préparation de l'*acide* HYDROCHLORIQUE.

La condensation de l'acide a lieu dans des bonbonnes en grès contenant l'eau nécessaire, c'est-à-dire quatre équivalents pour un de nitrate, car l'acide qui distille n'en renferme que deux, et celui qu'il faut obtenir doit en renfermer six.

Dans le commencement de la distillation il se dégage des vapeurs rutilantes d'acide hypo-nitrique, car l'acide nitrique qui est mis en liberté ne trouve pas d'abord l'eau qui lui est nécessaire pour rester stable; cette eau étant retenue énergiquement par l'acide sulfurique, mais aussitôt qu'il s'est formé du sulfate, l'eau mise en liberté s'unit à l'acide nitrique, qui va se condenser dans les bonbonnes, sous forme de vapeurs blanches. A la fin de l'opération, il y a aussi production de vapeurs rouges et cela pour la même cause : à cette époque encore, il ne se trouve plus assez d'eau pour empêcher l'acide nitrique de se décomposer.

On n'emploie, dans cette préparation, que de l'acide sulfurique concentré, car cet acide étendu détruirait très rapidement les cylindres; il est vrai que dans ce dernier cas il empêcherait la production de vapeurs ru-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

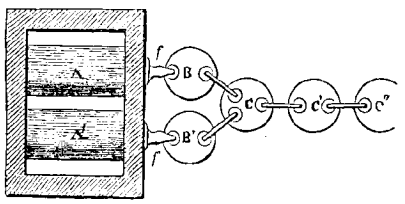
tilantes et par conséquent diminuerait la perte d'acide nitrique. Il est nécessaire d'employer deux équivalents d'acide sulfurique concentré au lieu d'un, parce que dans la réaction il se forme toujours un bi-sulfate, et jamais de sulfate neutre.

L'acide nitrique obtenu de cette manière n'est pas pur, il contient toujours de l'acide hypo-nitrique qui le colore en jaune, un peu d'acide sulfurique entraîné pendant la distillation, et du chlore provenant du sel marin contenu dans les nitrates employés.

Pour décolorer cet acide, on le fait bouillir dans des bonbonnes plongées dans un bain d'eau chauffé à 100°, et les vapeurs rutilantes, qui lui donnaient une teinte ambrée, se dégagent. Si cette opération se fait dans une fabrique d'acide sulfurique, on dirige les vapeurs nitreuses dans les chambres de plomb. Quand on veut avoir l'acide nitrique exempt de chlore et d'acide sulfurique, on y ajoute un peu de nitrate de plomb qui donne naissance à du chlorure et à du sulfate de plomb, puis on distille. C'est surtout dans la fabrication de l'acide sulfurique concentré que l'acide nitrique renfermant du chlore, est d'un emploi dangereux, car le vase de platine qui sert à la concentration est rapidement détruit par ce chlore; aussi, les fabricants d'acide sulfurique doivent-ils épurer le nitrate de soude ou de potasse qu'ils emploient pour faire leur acide nitrique, afin d'en séparer le chlorure de sodium qui s'y trouve toujours. Cette épuration doit se faire en soumettant le nitrate à des lavages méthodiques; on évaporant les eaux de lavage, le chlorure de sodium se précipite, ou le sépare des eaux concentrées qui, par cristallisation, donnent ensuite du nitrate pur.

L'appareil producteur est, comme nous l'avons dit, complétement semblable à celui qui sert à fabriquer l'acide hydrochlorique; seulement, les allonges qui conduisent les gaz des cylindres dans les tonnes de lavage sont en verre, ce qui permet de suivre les différentes phases des opérations.

La disposition des bonbonnes de condensation est également changée, la fig. 1949 présente en plan cette disposition; on a supposé enlevée la voûte du fourneau qui recouvre les cylindres indiqués par les lettres A et A'. Comme on le voit, chaque four à son appareil de condensation et chaque cylindre son laveur. Les lettres



1949,

f et f', indiquent les allonges en verre. celles B et B' les laveurs; les bonbonnes où se condensent les gaz lavés sont représentées par les lettres C, C', C'', etc.; elles communiquent entre elles par des tubes de verre ou de grès. Cette disposition exige, comme celle adoptée, généralement pour la condensation de l'acide hydrochlorique, un dérangement continuel quand l'eau de chaque bonbonne est saturée d'acide nitrique, aussi fait-on usage quelquefois de touries portant une tubulure inférieure à laquelle on fixe un robinet en verre ou en grès qui sert à prendre l'acide concentré pour en remplir les dames-jeannes d'emballage. Une tubulure supérieure additionnelle sert à remplacer l'acide soutiré par de l'eau pure.

L'emploi des condenseurs cylindriques dont on fait usage en Angleterre pourrait être avantageux si leurs prix n'était pas si élevé chez nous.

Nous terminerons en disant un mot des modifications apportées, par quelques industriels, dans l'appareil où se fait la décomposition du nitrate par l'acide sulfurique.

On a donné un foyer spécial à chaque cylindre; ces cylindres, dont les dimensions ont été augmentées, sont maintenant formés de deux demi-cylindres s'emboîtant l'un dans l'autre. La partie supérieure a été garnie d'une voûte intérieure en briques, pour empêcher les vapeurs d'acide nitrique de corroder la fonte, car c'est toujours par le haut que les cylindres ordinaires se trouvent attaqués; cette partie du cylindre ainsi protégée dure indéfiniment, et quand la partie inférieure est détruite on la remplace par un autre demi-cylindre.

La réunion des deux parties du cylindre se fait à emboîtement, et les joints sont garnis de plomb ou d'une poudre formée de verre et de borax, qui se fond pendant l'opération, sans que les gaz puissent s'échapper.

L'emploi de cylindres en fonte émaillés à l'intérieur, a été tenté, mais les essais n'ont pas réussi.

L'acide nitrique a des usages nombreux; on l'emploie pour la fabrication des acides sulfurique et oxalique, etc., on en fait usage pour la préparation des nitrates, pour l'essai des monnaies, le départ de l'or. La gravure sur cuivre, la formation du deutoxyde de mercure, celle de l'eau régale et la teinture en utilisent des quantités notables. F. CH. KNAB.

NIVELLEMENT, LEVÉ DES PLANS, ARPENTAGE. L'établissement de la plupart des constructions agricoles ou industrielles, entraîne nécessairement l'exécution de modifications plus ou moins profondes des formes naturelles du terrain. Pour se rendre compte de la possibilité des travaux à exécuter, de leur importance, du volume des terres à déplacer, et, par suite, de la dépense probable de l'ouvrage, il est indispensable d'avoir, avant tout, un moyen précis de représentation de la surface du sol qui permette de comparer les formes actuelles à celles que l'on veut y substituer; et, ensuite, de calculer les volumes de terres à déplacer pour obtenir la transformation désirée.

Les méthodes à employer, pour atteindre le but que nous venons d'indiquer, étant à peu près les mêmes, soit qu'il s'agisse de l'établissement des canaux d'une usine hydraulique, de la construction d'un chemin de fer, d'une route ordinaire, de l'étude d'un marais à dessécher, d'une prairie à arroser, ou de tout autre travail, nous décrirons d'une manière générale, mais exclusivement pratique, les procédés de nivellement et de levé qui permettent de résoudre les questions de cette nature.

Dans un certain nombre de cas, et pour la plupart des transactions journalières, il est nécessaire de connaître la position en plan d'un certain nombre de points de la surface du sol; dans certaines circonstances, on peut même se dispenser de représenter graphiquement le terrain donné et se borner à tracer sur place les lignes géométriques nécessaires à l'évaluation de la surface d'un polygone donné. Le levé des plans, réduit à l'arpentage dans ce dernier cas, fournit alors tous les renseignements nécessaires.

Mais il arrive souvent qu'il ne suffit pas de connaître la position *en plan* de certains points de la surface terrestre, et qu'il est nécessaire de connaître, en outre, leurs hauteurs relatives. L'opération du *nivellement* devient alors indispensable.

Les opérations du levé des plans et du nivellement, dans les limites des besoins de la pratique industrielle, sont extrêmement simples et n'exigent d'autres connaissances que les principes les plus élémentaires de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

géométrie et l'habitude du calcul arithmétique. On a si souvent besoin d'y recourir qu'il a paru utile d'exposer la pratique de ces opérations dans le *Dictionnaire des Arts et manufactures*.

Dans ce qui va suivre, on s'occupera d'abord du levé des plans et de l'arpentage, puis du nivellement proprement dit, et enfin des méthodes de *cubatures* au moyen desquelles on calcule les volumes de déblais et de remblais des terrassements.

I. LEVÉ DES PLANS. Les opérations de levés de plan de grandes étendues de terrain, dans lesquelles il est indispensable de tenir compte de la sphéricité du globe terrestre, sont du domaine de la *géodésie*. Nous n'indiquerons pas ici les méthodes de calcul et les soins multipliés que nécessitent les travaux de cette nature, dont l'exécution est, en France, exclusivement confiée aux corps les plus savants. Nous parlerons seulement des opérations dans lesquelles l'étendue de terrain considérée est assez restreinte pour que l'on puisse négliger la sphéricité du globe, et qui sont du domaine de la *topographie*.

Les opérations de levés de plan, quel que soit le but spécial auquel on les applique, consistent, en principe, à considérer les points remarquables de la surface du sol que l'on veut rapporter sur la carte, comme reliés entre eux par des lignes formant des triangles dont on mesure assez d'éléments, angles ou côtés, pour pouvoir construire sur le papier des triangles *semblables* à ceux que l'on considère, et réduits dans la proportion indiquée par *l'échelle* adoptée.

A mesure que les dimensions des triangles diminuent, les opérations deviennent en général plus simples et plus faciles, les résultats des observations courent de moins en moins de risque d'être altérés par l'accumulation des erreurs de lecture, ou par la multiplication de ces erreurs combinées dans les calculs. Il s'ensuit que l'on peut avec moins d'inconvénient y employer des instruments d'une exactitude moins rigoureuse et des procédés plus expéditifs et plus simples. Qu'il s'agisse, du reste, de levés topographiques ou géodésiques, les opérations se réduisent toujours à mesurer des distances ou des angles. On doit donc décrire les instruments les plus habituellement employés dans chacune de ces opérations.

Mesure des distances. Dans les opérations délicates, lorsqu'il s'agit, par exemple, de mesurer un côté du premier triangle d'un réseau géodésique, on se sert de 3 ou 4 règles que l'on applique successivement les unes à la suite des autres, suivant la ligne que l'on veut mesurer, et qui a été préalablement jalonnée sur le terrain avec un soin tout particulier. Nous ne décrirons pas ici les appareils employés ordinairement dans ces opérations et les difficultés de toute sorte que présente la mesure d'une base. Nous n'aurions même pas parlé de l'emploi des *règles* pour la mesure des grandes distances, dans les opérations les plus délicates de géodésie et d'astronomie, si nous n'avions voulu signaler, en passant, un moyen ingénieux de mesurer avec une grande précision une certaine longueur avec une *seule règle*. Ce moyen, imaginé par M. Porro, peut s'appliquer à la mesure exacte de toute espèce de longueur sur le terrain, et paraît susceptible par sa simplicité d'un assez grand nombre d'applications usuelles à la pratique des constructions.

L'appareil à mesurer les bases de M. Porro se compose d'une règle en bois verni de 3 ou 4 mètres de longueur, portant à chacune de ses extrémités une division en dixièmes de millimètre. Cette règle est posée sur deux supports à trépied, établis à peu près horizontalement et sur lesquels on place en même temps que la règle deux *microscopes*. Au foyer de l'objectif de ces microscopes se trouvent des fils extrêmement fins, formant réticule; on lit dans chaque microscope la division sur laquelle tombent les fils. La distance entre les fils des deux microscopes est évidemment égale à la longueur de la portée de la règle (mesurée une fois pour toutes), comprise entre les zéros des petites échelles des extrémités, augmentée du nombre de millimètres lus sur chacune de ces échelles. La lecture faite, on enlève la règle, on porte le premier trépied et son microscope en avant du deuxième trépied que l'on évite soigneusement de déplacer, on pose la règle dans cette seconde position et l'on fait une seconde lecture, qui donne encore la distance du deuxième microscope au troisième point. Le deuxième microscope n'ayant point été déplacé, il est clair que la position du fil du réticule n'a pas changé et que, dès lors, la distance du premier au troisième point est égale à la somme des distances données par les deux groupes de lectures. En répétant la même série d'opérations, on peut évidemment mesurer toute longueur donnée.

La règle porte un niveau qui indique son inclinaison, pour que l'on puisse, par le calcul, ramener à l'horizontale les longueurs observées. La monture des microscopes porte en outre des échelles qui permettent d'évaluer l'angle de la règle avec la direction rigoureuse de la ligne à mesurer. Un calcul très-simple permet encore de ramener les longueurs observées à ce qu'elles seraient, si la règle avait été rigoureusement placée dans l'alignement voulu.

Les microscopes, que M. Porro appelle *panfocaux*, permettent de lire de près ou de loin de fines divisions. Quand on commence la mesure, on amène donc le fil de l'instrument exactement au-dessus du trait gravé dans une cheville de cuivre scellée dans la borne qui forme l'origine de la longueur à mesurer, et ensuite, on place la règle pour procéder comme on vient de l'indiquer.

On ne saurait faire comprendre sans figures les dispositions qui permettent de régler les instruments et de faire les diverses lectures relatives aux corrections d'inclinaison ou d'alignement. Ces détails seraient d'ailleurs superflus ici, mais il était nécessaire d'indiquer l'heureuse solution du problème de la mesure d'une longueur avec une seule règle, et en évitant toute espèce de moyen matériel de repérage des positions successives de l'appareil, pendant la durée de l'épreuve.

Dans les opérations ordinaires, on n'emploie pas, pour mesurer les distances, les moyens extrêmement précis, mais d'une application délicate, que l'on vient d'indiquer. On se sert exclusivement de la *chaîne d'arpenteur*.

Cet instrument, que tout le monde connaît, se compose de chaînons en gros fil de fer réunis deux à deux par des anneaux. La distance du centre d'un anneau au centre de l'anneau suivant est de $0^m,20$. La chaîne se compose ordinairement de 50 chaînons, et quelquefois de 100, de sorte qu'elle forme un *décamètre* ou un *double décamètre*. La chaîne se termine par deux poignées qui servent à la manier. De dehors en dehors de ces poignées la chaîne doit avoir exactement $10^m,005$, on verra tout à l'heure pourquoi. Les mètres sont marqués sur la chaîne par un anneau de laiton, et les 5 mètres par une pièce spéciale également en laiton. Une bonne chaîne de 10 mètres coûte de 4 à 6 francs, suivant la force et le fini du travail.

Les chaînes d'arpenteur s'allongent rapidement par l'usage, les anneaux et les boucles des chaînons s'ovalisent sous les efforts de traction auxquels ils sont nécessairement soumis. Il est indispensable de vérifier la chaîne après chaque opération un peu prolongée. Les personnes qui sont obligées de faire un usage fréquent de la chaîne d'arpenteur doivent sceller dans un mur ou sur un parquet deux forts pitons en fer, sur lesquels il suffit de présenter la chaîne pour constater son allongement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'allongement souvent considérable des chaînes d'arpenteur est un inconvénient sérieux, que les constructeurs ont souvent cherché à faire disparaître par des dispositions plus ou moins compliquées. On commence à employer des décamètres dits *rubans d'acier*, formés d'un seul morceau de ressort trempé et recuit au bleu, et terminés par deux poignées en cuivre. Les mètres et les décimètres sont indiqués par de petits disques en laiton rivés sur la chaîne. Ces décamètres sont d'un prix élevé (12 à 18 fr.) et se brisent assez facilement. Ils ne conviennent que pour des opérations délicates et exécutées par des opérateurs habiles.

Nous ne décrirons pas d'autres systèmes de chaînes inextensibles, toutes celles que nous connaissons sont d'une construction trop compliquée pour répondre aux besoins de la pratique.

Inutile d'ajouter que l'emploi des roulettes à ruban ne peut donner que de mauvais résultats pour les opérations de levé exécutées sur le terrain, au milieu de broussailles, dans l'humidité, etc.

Pour mesurer une distance avec la chaîne, on commence par la jalonner, c'est-à-dire que l'on place entre les deux points extrêmes de la ligne un nombre de jalons suffisant pour que les chaîneurs puissent en apercevoir constamment au moins deux à la fois. La personne qui dirige le chaînage se place alors au premier jalon et maintient la poignée au point de départ de l'opération, pendant que son aide marche en avant dans l'alignement, en tenant l'autre poignée. Cet aide tend la chaîne, en évitant tout ce qui pourrait déterminer des sinuosités et en dégageant surtout les nœuds qui se seraient formés pendant le mouvement de la chaîne; puis plaçant d'une main la poignée à fleur du sol, et s'effaçant afin que l'autre agent puisse voir si cette poignée est bien dans la ligne allant du premier au deuxième jalon, il enfonce en terre, à l'*intérieur* de la poignée, une petite broche en fer appelée *fiche*. Cette fiche sera le point de départ à partir duquel, pour la mesure du second décamètre, recommencera la même série d'opérations. La fiche se trouvant encore à l'intérieur de la poignée à la seconde opération, on voit que l'on perd à chaque décamètre deux fois l'épaisseur du fil de la poignée, ce qui explique l'excédant de longueur de $0^m,005$ que l'on donne aux chaînes de dehors en dehors des poignées. L'agent principal, après la mesure de chaque décamètre, enlève la fiche enfoncée en terre par son aide. Lorsqu'il a dix fiches en main il les lui remet de nouveau, et inscrit immédiatement une dizaine de décamètres ou *portée*.

Quand le terrain est très ondulé, on tend la chaîne aussi horizontalement que possible au-dessus de ces ondulations, en s'aidant de deux jalons bien droits que l'on tient à la main. Mais quand le terrain est régulièrement incliné, il vaut mieux mesurer sa longueur réelle suivant la pente et la réduire ensuite par le calcul à l'horizontale.

La lenteur, la difficulté et le peu d'exactitude des opérations de chaînage ont fait penser, depuis bien longtemps, à l'emploi de moyens plus expéditifs et plus sûrs pour mesurer les distances. De toutes les méthodes proposées la seule qui soit jusqu'à présent applicable aux opérations topographiques est l'emploi de la *stadia*.

Si plusieurs objets de grandeurs différentes sont embrassés par le même angle visuel, les distances de ces objets au sommet de l'angle visuel seront évidemment proportionnelles aux grandeurs respectives des objets eux-mêmes. C'est le principe de la stadia. Cet appareil se compose donc d'une règle divisée et d'une lunette, au foyer de l'objectif de laquelle on place des fils micrométriques entre lesquels vient se former l'image de la mire.

La graduation de la mire et la disposition des fils peuvent se faire de différentes manières.

Imaginons d'abord que deux fils parallèles soient fixés au réticule d'une lunette astronomique, comme celle que l'on met ordinairement aux niveaux ou autres instruments de cette nature, et plaçons à une distance de 100 ou 200 mètres très exactement mesurée, en avant de cette lunette, une règle en bois de 2 ou 3 mètres de hauteur et de $0^m,1$ de largeur. Il sera facile, en plaçant l'œil à la lunette, de faire marquer sur cette règle par un aide l'intervalle compris entre les fils. En faisant successivement la même opération pour des distances connues de plus en plus rapprochées, il sera facile de graduer complétement la règle. Il suffira ensuite, pour estimer une distance, de lire sur quelles divisions de cette règle tombent les fils de la lunette.

La méthode que l'on vient d'indiquer exige une règle à divisions spéciales pour chaque lunette et inégales entre elles; on préfère ordinairement se servir des règles métriques des mires parlantes ordinaires. A cet effet, on mesure très exactement sur le terrain, à partir de la lunette, une série de distances croissant de mètre en mètre, de 2 mètres en 2 mètres, ou de 5 mètres en 5 mètres, suivant le grossissement de l'instrument. On transporte successivement, et à plusieurs reprises, pour prendre la moyenne des observations, la mire à chacun des points marqués sur le sol, puis, vis-à-vis de la distance connue, inscrite d'avance dans la première colonne d'un tableau disposé à cet effet, on note le nombre de centimètres et la fraction de centimètre comprise entre les fils. Enfin on complète la table ainsi dressée au moyen d'interpolations. Pour mesurer alors au moyen de l'instrument une distance inconnue, comprise entre la lunette et la mire, il suffit de compter le nombre de centimètres interceptés entre les fils, de chercher ce nombre dans la table dressée une fois pour toutes, et de lire dans la colonne voisine la distance cherchée.

Quelques opticiens ont eu l'idée de rendre mobiles les fils du réticule des lunettes destinées à mesurer les distances. L'opération se réduit alors à amener ces fils à la distance nécessaire pour qu'ils embrassent exactement un intervalle constant tracé d'avance sur une règle en bois. On lit l'écartement des fils sur le micromètre qui les met en mouvement, et on en déduit la distance à l'aide d'une table dressée expérimentalement, comme on vient de l'indiquer.

M. Porro, qui s'est spécialement occupé des lunettes de stadia, a apporté de notables perfectionnements à leur construction. Par l'addition d'un système optique, dit *anallatique*, aux lunettes ordinaires, et par plusieurs autres modifications ingénieuses de cet instrument, M. Porro parvient à obtenir les distances avec une précision de beaucoup supérieure à celle que l'on peut attendre de l'emploi de la chaîne, et dispense de l'usage de tables et de mires spéciales (1). La lecture d'une mire parlante métrique ordinaire donne immédiatement, en mètres, les distances cherchées. Malheureusement les instruments de M. Porro sont d'un prix fort élevé et n'offrent pas, jusqu'à présent, le degré de solidité et de simplicité que réclament les applications usuelles. Mais en montrant la possibilité d'une solution rigoureuse propre à transformer les procédés du levé, M. Porro a rendu un véritable service, et nous savons que l'on trouvera sous peu dans le commerce, à des prix modérés, des lunettes de stadia donnant immédiatement les distances avec un degré de précision au moins égal à ce que peut fournir la chaîne d'arpenteur. Ces instruments apporteront une grande économie dans tous les travaux de levé, où le chaînage entraîne à des frais considérables, à des pertes de temps

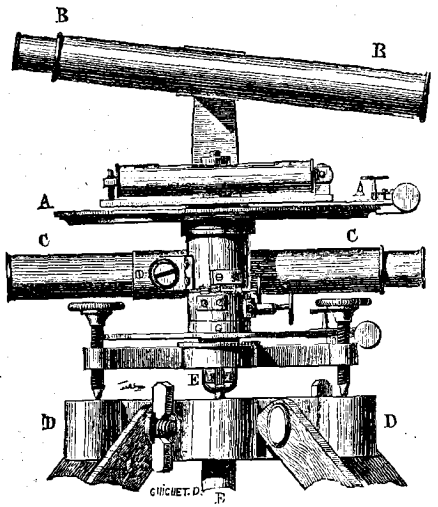
(1) On trouvera dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, tome III, les calculs relatifs à ce sujet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NIVELLEMENT.

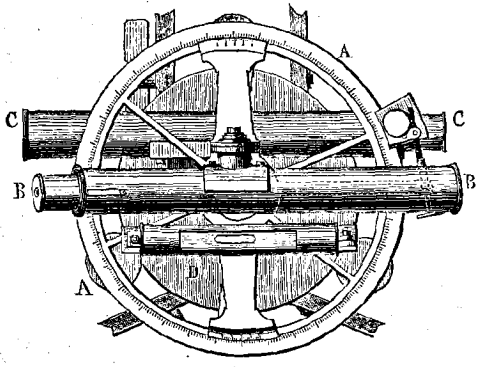
énormes et à des erreurs extrêmement fréquentes.

Mesure des angles. Dans les opérations qui exigent beaucoup de précision, on ne peut employer que des instruments pouvant répéter les angles. Dans les grandes opérations géodésiques on se sert du théodolite. Dans les opérations topographiques délicates on emploie des cercles répétiteurs d'une construction plus ou moins simplifiée. L'un des instruments de cette espèce les plus commodes et les mieux établis est représenté avec détails par les figures 1, 2, 3.

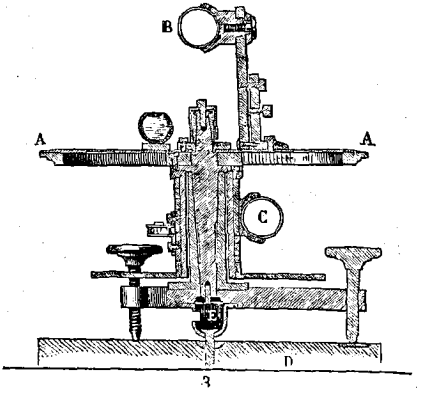


(Échelle de 0,25.)

1.



2.



3

L'instrument, dans les opérations sur le terrain, est fixé par un ressort à pompe E, E sur le plateau D d'un pied à trois branches. On donne au cercle divisé une position rigoureusement horizontale au moyen des trois vis calantes qui supportent l'instrument.

Le limbe gradué horizontal A, la lunette C, peuvent être rendus solidaires et recevoir un mouvement général de rotation autour de l'axe vertical de l'instrument; on peut également arrêter le mouvement du limbe gradué et faire tourner la lunette C autour de l'axe de l'instrument indépendamment de ce limbe. La lunette B portée par les verniers peut recevoir avec eux un mouvement indépendant de celui du limbe et aussi de la lunette C. Cette lunette peut d'ailleurs se mouvoir dans un plan vertical, de sorte que les lectures faites sur le limbe donnent la valeur des angles réduits à l'horizon.

Cela posé, il est facile de comprendre l'emploi de cet instrument. Les verniers étant amenés sur le 0° du limbe, on dirige la lunette inférieure de repère sur l'un des deux objets dont on veut évaluer l'écartement angulaire, celui de gauche par exemple, et la lunette des verniers sur l'objet de droite. On fixe alors les verniers sur le limbe et la lunette inférieure sur la pièce creuse qui supporte le même limbe, puis on imprime à tout le système un mouvement général qui ramène la lunette inférieure sur l'objet de droite; on arrête alors le mouvement général du limbe, puis on desserre la vis qui rendait les verniers solidaires avec lui, et on ramène la lunette supérieure sur l'objet de gauche. L'espace angulaire qu'elle parcourt alors est *double* de l'angle cherché, comme il est facile de s'en assurer, en faisant la figure des diverses opérations que l'on vient de décrire. En répétant une seconde fois la même manœuvre on obtient l'angle quadruple de l'angle cherché; puis l'angle sextuple, et ainsi de suite. Une seule opération suffit presque toujours pour les levés ordinaires, quand l'instrument est passablement construit.

Le *graphomètre*, que tout le monde connaît, n'a pas la précision de l'instrument précédent. C'est un simple demi-cercle gradué muni de deux alidades, l'une fixe et l'autre mobile. Le limbe gradué est porté par un genou à coquille qui permet de le placer dans un plan à peu près horizontal. L'extrémité de l'alidade mobile porte un vernier qui donne les fractions des plus petites divisions du limbe. Quelques graphomètres sont munis d'une petite boussole logée dans l'intérieur du limbe.

On remplace dans quelques graphomètres les alidades par des lunettes. Cette disposition ne paraît pas devoir être recommandée, elle augmente beaucoup le prix de l'instrument sans accroître son degré de précision. Quand on ne recule pas devant cette dépense, il convient de préférer un cercle répétiteur simplifié dont le prix n'est pas de beaucoup supérieur aux graphomètres à lunettes et à niveaux, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont l'emploi permet d'obtenir autant d'exactitude qu'on le désire.

Les graphomètres à alidades les plus commodes ont $0^m,22$ de diamètre. Ils valent de 40 à 70 fr. la pièce, suivant le degré de fini du travail.

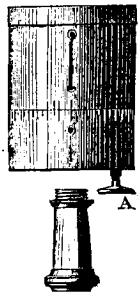
Lorsqu'on vérifie un graphomètre, il faut s'assurer :

1° Que le 0 de chacun des verniers de l'alidade mobile coïncide avec les zéros du limbe, quand les lignes de visée de l'alidade fixe et de l'alidade mobile sont dans un même plan.

2° Que le centre de rotation de l'alidade mobile coïncide avec le centre du limbe gradué. Pour effectuer cette seconde vérification, on mesure successivement les angles d'une série d'objets, pris deux à deux dans divers azimuts, en plaçant alternativement le limbe de l'instrument, pour chaque angle, à droite et à gauche de l'observateur. Les valeurs des angles faites dans chacune de ces deux positions doivent coïncider, lorsque l'instrument est bien construit. Pour donner une idée de la valeur des erreurs qui pourraient résulter du vice de construction que nous signalons, nous dirons qu'une excentricité de $0^m,002$ ferait commettre pour des objets situés à 5 mètres de l'instrument une erreur de 4' 24". On pourrait encore obtenir une mesure sensiblement exacte avec un instrument présentant ce défaut, en prenant la moyenne des lectures faites dans deux positions du limbe. Avec cette précaution, l'erreur ne pourrait, dans le cas le plus défavorable, avec les circonstances extrêmes que nous venons de prendre pour exemple, dépasser 0"033, c'est-à-dire qu'elle serait de beaucoup inférieure aux erreurs de lecture. Mais le graphomètre étant surtout un instrument destiné aux opérations rapides, on devrait rejeter ceux qui ne pourraient supporter la seconde vérification que nous venons d'indiquer.

On se sert très souvent, dans les opérations ordinaires, du pantomètre de Fouquier. C'est un des instruments les plus commodes à manier et des plus convenables pour les travaux usuels. Il se compose (fig. 4 et 5) de deux tambours cylindriques. Le tambour inférieur porte une douille qui se fixe sur un piquet vertical. Le tambour supérieur peut tourner autour d'un axe qui lui est commun avec le tambour inférieur. Ce mouvement lui est communiqué à l'aide d'une roue dentée et d'un pignon *a* (fig. 5), dont l'arbre porte un bouton A que l'on aperçoit sur la fig. 4.

4.



Chacun des deux tambours est percé, dans deux plans diamétraux perpendiculaires, de fenêtres et de fentes formant deux à deux un système d'alidades. On vise l'un des objets dont on veut déterminer l'angle à l'aide de la fente et du fil placés dans le plan des 0 de la division du tambour inférieur, et on amène sur l'autre objet la fente et le fil répondant au 0 du vernier tracé sur le tambour supérieur. L'angle cherché est alors égal à celui des plans diamétraux correspondants des deux tambours, et se lit directement à l'aide des divisions dont ils sont garnis.



(Échelle de 0,25.)

5.

On place quelquefois au-dessus des pantomètres une boîte de boussole. Cette addition peut être utile dans certaines circonstances. On ajoute aussi à quelques pantomètres une petite lunette pour remplacer le plan de visée formé par une fente et un fil et un système de calage plus ou moins compliqué. Ces additions augmentent le prix des instruments et lui ôtent le caractère de simplicité qui fait son mérite principal; nous les croyons plus nuisibles qu'utiles dans le plus grand nombre des cas, et surtout pour les opérateurs expérimentés et attentifs. Un pantomètre ordinaire coûte 35 à 40 francs avec son bâton ferré.

L'équerre d'arpenteur sert à tracer des angles droits sur le terrain. C'est un pantomètre formé d'un seul tambour. Cet instrument est trop connu pour que nous le décrivions; nous conseillerons seulement de choisir des équerres cylindriques de 6 à 7 centimètres de diamètre, à fentes et à fenêtres, leur usage est beaucoup plus commode que celui des équerres à fentes seules. Une bonne équerre et son bâton ferré coûtent de 7 à 10 francs.

Cet instrument si simple permet de résoudre facilement sur le terrain un grand nombre de problèmes, parmi lesquels nous citerons les suivants, qu'il suffit d'énoncer pour que chacun puisse les résoudre en s'aidant des principes fondamentaux de la théorie des parallèles :

1° Mener une parallèle à une droite accessible;

2° Mesurer la distance d'un point inaccessible A au point B où l'on se trouve;

3° La distance de deux points inaccessibles, A et C;

4° Mener une parallèle à une droite inaccessible AB, par le point H;

5° Prolonger une droite au delà d'un obstacle infranchissable.

Enfin, il sert à décomposer une surface irrégulière en parties faciles à mesurer, comme on le verra en parlant de l'arpentage.

La *boussole* fournit encore un moyen précieux de mesurer les angles; elle est exclusivement employée dans les levés de bois, de carrières et de mines.

L'aiguille aimantée donnant une direction que l'on peut regarder comme constante dans des lieux très voisins et pendant la durée d'un levé, on comprend qu'il suffit d'avoir une lunette ou une alidade restant constamment parallèle à la ligne des zéros du limbe de l'aiguille et de viser successivement divers objets, pour obtenir, par la position de la pointe de l'aiguille au moment de chaque visée, l'angle de cette ligne de visée avec la ligne méridienne, et par suite, au moyen des soustractions, l'angle des divers lignes du visée entre elles.

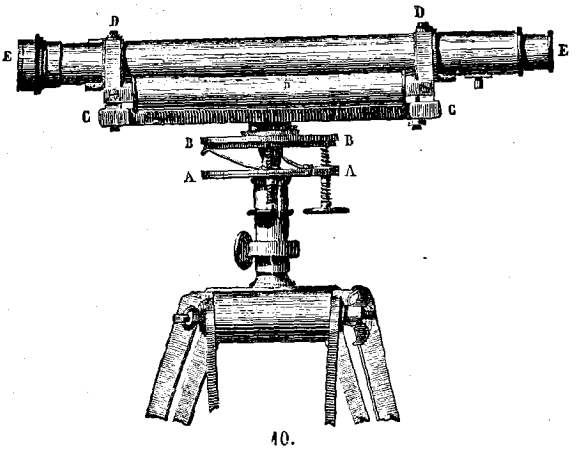
Dans la plupart des boussoles de levé, dont nous croyons inutile de reproduire la figure, l'aiguille aimantée est renfermée dans une boîte rectangulaire sur l'un des côtés de laquelle se trouve une alidade ou une lunette. La boussole se pose comme le graphomètre sur un pied à trois branches. Il faut que la pointe du pivot de l'aiguille coïncide parfaitement avec le centre du limbe gradué, et que, dans toutes les positions, les pointes de l'aiguille tombent sur des divisions du limbe distantes de 180°. La vérification de ces deux conditions est trop simple pour qu'il soit nécessaire de s'arrêter à l'expliquer.

Les instruments que l'on vient de décrire donnent la valeur numérique des angles que l'on veut lever, mais il faut ensuite, quand on veut rapporter le plan, tracer en vraie grandeur, sur le papier, avec un rapporteur, les angles observés, ou bien s'en servir pour calculer les côtés des triangles que l'on construit alors à l'échelle. Pour éviter ce double travail, on emploie souvent, pour l'exécution des plans de détail peu étendus et construits à grande échelle, un ensemble d'instruments qui permettent de tracer immédiatement les angles observés en vraie grandeur, sans même se préoccuper de leurs valeurs numériques. C'est la méthode connue sous le nom de levé à la planchette, et que nous allons décrire.

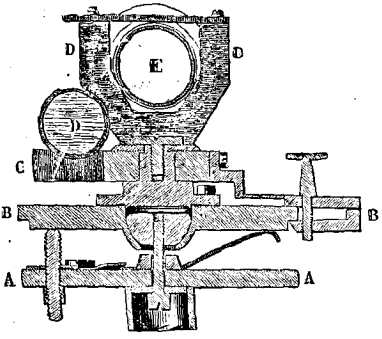
EFERUS - Recherche & Classification numérique

NIVELLEMENT.

première, est rattachée à celle-ci par une noix hémisphérique fixée à l'extrémité d'une vis qui traverse la tablette inférieure, comme l'indique nettement la coupe à grande échelle (fig. 11). L'écartement entre les deux tablettes et la position des plans de ces tablettes sont modifiés au moyen de deux vis et de deux ressorts.



10.



11.

D'après ces dispositions, le goujon du pied fût-il sensiblement éloigné de la position verticale, rien ne s'oppose à ce que le plateau supérieur soit rendu horizontal.

Dans un certain nombre de niveaux, le plateau supérieur est directement porté par un pied à trois vis calantes, comme le cercle du niveau de Lenoir, dont on parlera plus loin. Les instruments portés ainsi sur trois vis calantes ont en général plus de stabilité que ceux à deux vis et à deux ressorts disposés comme le montre notre figure, mais ces derniers sont presque toujours préférés par les opérateurs, à cause de la facilité et de la promptitude de leur mise en station. On exécute du reste maintenant un système de calage sans ressorts qui offre par conséquent la stabilité des trépieds, et qui ne porte cependant que deux vis placées dans des plans diamétraux perpendiculaires.

Quelles que soient les dispositions de calage adoptées, les pièces placées au-dessus du plateau supérieur sont toujours les mêmes, dans tous les instruments disposés dans le système de M. Égault. Au centre de ce plateau s'élève à angle droit un axe d'une épaisseur presque égale à sa hauteur, autour duquel peut tourner un bâti, auquel est fixé le niveau à bulle. Aux extrémités de ce bâti s'élèvent les deux collets D, qui supportent la lunette.

Lorsque l'instrument a été réglé, la tangente au sommet de la bulle d'air, les génératrices passant par les points de contact correspondant de la lunette avec les collets, l'axe de la lunette et le plateau supérieur doivent tous se trouver dans des plans parallèles, et ces plans parallèles suivent tous les mouvements que l'on imprime au plateau. Il suffit donc, quand l'instrument est réglé, pour rendre l'axe de la lunette horizontal, de rendre horizontal le plateau supérieur lui-même. Pour obtenir ce résultat, on se sert des deux vis et des deux ressorts interposés entre les plateaux. On place la lunette à peu près dans le plan d'un ressort et d'une vis, que l'on fait tourner jusqu'à ce que la bulle du niveau soit amenée au milieu du tube, entre les repères gravés à sa surface. On fait faire alors à la lunette et au bâti un quart de révolution pour les amener dans le plan du second ressort et de la seconde vis, et, à l'aide de celle-ci, on amène la bulle entre ses repères dans cette nouvelle position. Il arrive rarement que le plateau inférieur soit rigoureusement horizontal après ces deux premières opérations, on imprime donc au bâti un second mouvement de révolution de 90° dans le *même sens* que le premier, pour le ramener dans le plan du premier ressort et de la première vis. Un léger mouvement de cette vis suffit alors en général pour ramener la bulle entre les repères. Quand cette condition est remplie, on fait encore faire au bâti un quart de révolution, et dans cette quatrième position on ramène encore la bulle entre des repères à l'aide de la deuxième vis. Quand le niveau est en bon état, on peut alors placer le bâti et sa lunette dans tous les azimuts sans que la bulle s'écarte sensiblement de ses repères. Si l'instrument est bien réglé, l'axe de la lunette dans toutes ces positions est horizontal, et l'on peut dès lors s'en servir pour déterminer, comme on l'a dit en commençant, la différence de deux points visibles du lieu de la station.

Mais il se pourrait que l'instrument ne fût pas réglé, il faut alors qu'il présente toutes les facilités désirables pour qu'on le puisse régler soi-même. La mise en état d'un niveau d'Égault résulte de quatre opérations distinctes :

1° L'établissement du parallélisme entre le plan du plateau supérieur et le plan tangent, au milieu de la courbure intérieure du niveau à bulle, que nous appellerons le plan de niveau de la bulle d'air;

2° L'établissement du parallélisme entre le plan de niveau de la bulle d'air et les génératrices passant par les points de contact des collets;

3° Le centrage de la lunette;

4° La vérification de l'égalité des collets.

1re *opération*. Si la bulle d'air n'est point parallèle au plateau supérieur, en faisant décrire au bâti qui la supporte un angle de 180° autour de son axe, la bulle changera de position. La position de la bulle, avant et après la demi-révolution, indiquera quelle est l'extrémité du tube qui se trouve la plus élevée au-dessus du plateau, et alors, en manœuvrant la vis qui se trouve à l'une des extrémités de ce tube, on amènera la bulle à être parallèle au plan du plateau. Cela fait, on pourra rendre ce plateau horizontal par le procédé indiqué

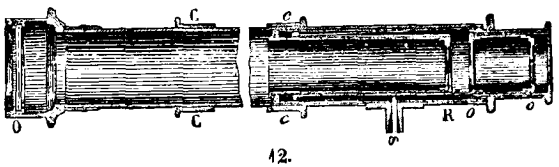
EFERUS - Recherche & Classification numérique

ci-dessus, et l'on vérifiera alors (2e opération) si les collets sont fixés de manière que les génératrices du contact de la lunette sur les collets soient parallèles au plateau et à la bulle.

2e *opération*. Pour cela, il suffira de viser avec la lunette le centre d'un voyant placé à une hauteur convenable; puis faisant décrire au bâti, comme tout à l'heure, un angle de 180°, on tournera la lunette bout pour bout, sans lui imprimer aucun mouvement autour de son axe longitudinal. Si les génératrices de contact ne sont pas parallèles au plateau, il est clair que le point de mire observé dans la première opération se trouvera dans la seconde au-dessus ou au-dessous de la ligne de visée. Suivant le cas on abaissera ou on élèvera celui des deux collets monté sur une vis, jusqu'à ce que le parallélisme cherché soit obtenu.

3e *opération*. Pour bien comprendre l'opération du centrage de la lunette, il est nécessaire de rappeler rapidement la construction de cet instrument.

Les lunettes employées dans les niveaux et dans les instruments de levé se composent en général d'un objectif O (fig. 12) et d'un oculaire *oo* ordinairement à deux verres. En avant de l'oculaire, on place un diaphragme percé d'une large ouverture circulaire, au centre de laquelle se coupent, à angle droit, deux fils extrêmement déliés. Ce diaphragme, et par conséquent les fils en croix qu'il supporte, peut être amené par un mouvement très lent, perpendiculaire au plan de la lunette, dans la position exacte qu'il doit occuper. Ce mouvement lent s'obtient par différentes dispositions. Beaucoup d'opticiens se bornent à saisir le diaphragme entre les pointes de quatre petites vis traversant le corps de la lunette et placées dans des plans diamétraux. Dans les instruments plus soignés, le porte-fil est placé, comme l'indique la figure, à l'extrémité d'un tube d'un diamètre moindre que le tube de la lunette. Deux vis traversant le corps de la lunette, et deux ressorts situés dans les plans diamétraux de ces vis, permettent de donner à ce tube la position exacte qu'il doit occuper.



12.

Quel que soit le procédé adopté pour la fixation du porte-fil, il faut qu'il soit monté dans un tube à tirage, mobile à la main, ou avec une crémaillère, de manière à ce que l'on puisse toujours amener les fils dans le plan même où se forme l'image de la mire, ou de l'objet que l'on observe. L'oculaire, à son tour, est porté par un second tirage, qui permet de l'amener à la distance convenable pour que l'on voie très nettement les fils, et qu'ils ne semblent pas se déplacer quand on fait varier un peu la position de l'œil. Pour se servir d'une lunette de niveau, il faut donc :

1° Amener l'oculaire à la distance convenable pour l'œil de l'observateur, au moyen du tirage spécial à cet oculaire;

2° Imprimer au tirage du réticule, qui entraîne l'oculaire, un mouvement tel que les fils coïncident parfaitement avec l'image de l'objet.

La première opération n'a besoin d'être faite qu'une fois par chaque observateur. La seconde doit être répétée à chaque station, la position de l'image, par rapport à l'objectif, variant avec la distance de l'objet. Quelquefois l'objectif est mobile, c'est une mauvaise disposition.

Cela posé, pour que la lunette soit centrée, il faut que l'axe de figure de la lunette coïncide avec l'axe optique de l'instrument, c'est-à-dire que le même point de l'image de l'objet doit se trouver à la croisée des fils, quelle que soit la position de la lunette sur son axe de figure, pourvu que cet axe lui-même n'ait pas été déplacé.

Pour obtenir cette condition dans la lunette du niveau d'Égault, on fait placer une mire à une grande distance, de manière que le centre du voyant soit exactement au point de croisée des fils, puis on fait faire à la lunette sur ses collets autour de son axe une demi révolution et l'on observe de nouveau la mire. Si le point de visée est encore à la croisée des fils, la lunette est centrée; dans le cas contraire, on agit sur les vis qui règlent la position du réticule, jusqu'à ce que l'expérience du retournement dont on vient de parler puisse être faite avec succès.

Il est convenable de régler le niveau toutes les fois que les conditions précédentes ne sont pas satisfaites, à deux ou trois centimètres près, à une distance de 100 mètres. On doit remarquer cependant que l'on peut encore opérer exactement avec un niveau qui n'est pas exactement réglé. Il suffit en effet, comme il est facile de le reconnaître, pour avoir un résultat exact, de prendre la moyenne de 4 lectures et même de 2 lectures faites après de convenables retournements, indiqués dans toutes les instructions qui accompagnent les niveaux d'Egault.

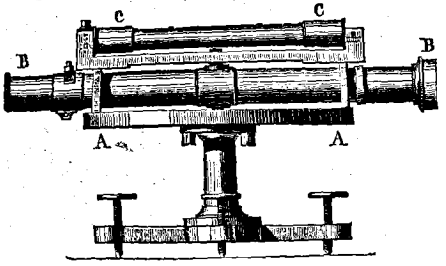
4e *opération*. Les fabricants d'instruments vérifient l'égalité des collets des lunettes des niveaux d'Egault, au moyen d'un niveau à bulle extrêmement sensible que l'on pose sur les fourchettes du bâti et ensuite sur la lunette elle-même placée sur ces fourchettes. Sur le terrain, cette importante vérification, que l'on néglige malheureusement souvent, s'exécute de la manière suivante. On place deux mires à deux cents mètres environ l'une de l'autre; on installe le niveau, bien réglé, au milieu de l'espace qui les sépare. Cette première observation, quelle que soit l'inégalité des collets, donne la différence exacte de hauteur des points où se trouvent les mires. On fait ensuite 3 ou 4 observations de stations de plus en plus rapprochées de l'une des mires : si la différence de niveau des deux points résultant de ces observations successives est constante, l'égalité des collets se trouve démontrée. Dans le cas contraire ils sont inégaux, et l'on doit réduire le plus gros par un rodage soigneusement exécuté avec un linge doux, imbibé d'huile et d'un peu d'émeri très fin. Un croquis que chacun peut faire permettra de se rendre compte facilement de la méthode qui précède.

2. Le niveau cercle de Lenoir est encore plus simple que le précédent, il est souvent employé et a été fortement recommandé dans ces derniers temps par M. Bourdaloue, qui s'est tant occupé des nivellements. On doit reconnaître cependant qu'il est d'un maniement un peu moins simple. La plupart des ingénieurs préfèrent encore le niveau d'Egault.

Le niveau cercle de Lenoir (fig. 13), se compose d'un simple disque en cuivre tourné AA, porté sur trois vis calantes et que l'on pose sur un pied ordinaire à six branches. On place sur le disque un niveau à bulle, et à l'aide des vis du trépied, on amène ce disque à être parfaitement horizontal. On enlève alors le niveau, on pose la lunette sur le disque, et au-dessus de la lunette, en contact avec les corps carrés dont elle est garnie, le niveau à bulle. Si le plateau est horizontal et que les corps carrés soient égaux, il est clair que la bulle reste entre ses repères.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La mise en état du niveau de Lenoir consiste à régler la bulle sur sa platine, au moyen d'un retournement, à centrer la lunette, et enfin à égaliser les corps carrés si le frottement ou tout autre cause avait altéré leur égalité.



13

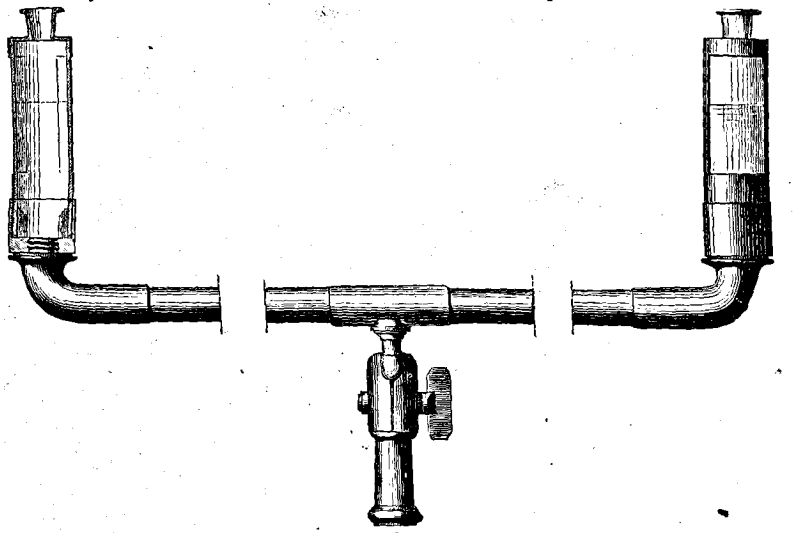
On fait deux lectures avec ce niveau, comme avec le précédent, l'une avant et l'autre après avoir retourné la lunette autour de son axe longitudinal, et l'on prend la moyenne des deux indications, qui doivent différer à peine de 1 ou 2 centimètres pour une distance de visée de 100 mètres.

3. Quand il s'agit d'opérations exigeant un moindre degré de précision que celles qui nécessitent l'emploi des niveaux à bulle, ou que l'on est forcé de confier à des agents moins soigneux et moins instruits, on se sert du *niveau d'eau*, le plus répandu des instruments de nivellement.

La fig. 14 représente un niveau d'eau de la meilleure construction. C'est un tube en cuivre terminé, à ses extrémités recourbées, par des pas de vis sur lesquels s'adaptent des fioles en cristal garnies de viroles taraudées. Le tube en cuivre est porté au milieu de sa longueur par un genou à coquille que l'on place sur un pied à trois branches. Pour transporter l'instrument, on dévisse les fioles et on les renferme dans une petite boîte destinée à cet usage; on attache d'ailleurs le tube en cuivre le long du pied en bois au moyen de deux courroies à boucle. Les niveaux ainsi disposés sont de beaucoup préférables à ceux qui se démontent en trois pièces. Un niveau d'eau comme celui que nous décrivons coûte avec son pied de 25 à 30 francs. On peut se procurer au prix de 5 à 6 fr., sans le pied, des niveaux en fer-blanc avec fioles mastiquées en verre, mais ces instruments sont très-fragiles et d'un mauvais usage.

Pour se servir du niveau d'eau, on l'installe sur son pied et on le remplit d'eau, de manière que ce liquide arrive à peu près au milieu de la hauteur de chacune des fioles. Pour viser avec quelque exactitude, on se place à un mètre environ en arrière de l'instrument, et on fait placer la mire de manière qu'on aperçoive son centre en bornoyant tangentiellement aux fioles les bords des ménisques formés par l'eau qui sont dans un même plan horizontal. Pour rendre ces ménisques plus apparents, quelques opérateurs colorent l'eau avec du carmin ou de l'indigo. Il vaut mieux employer de l'eau pure et lui donner un reflet noirâtre au moyen d'obscurateurs en fer-blanc placés le long des fioles, comme l'indique la figure.

Pour changer de station, on bouche avec le pouce l'une des fioles et on enlève l'instrument en relevant l'autre fiole pour que l'eau ne s'écoule pas. On adapte à quelques niveaux des robinets ou des bouchons de liége pour changer de station. Cette méthode est très-mauvaise, parce que l'on peut oublier d'ouvrir le robinet ou d'enlever le bouchon avant d'opérer, et alors la ligne de visée n'est plus horizontale. Dans les grands vents, l'eau prend dans le niveau d'eau un mouvement d'oscillation qui rend l'opération incertaine et quelquefois impossible. On peut diminuer l'action du vent en



14.

plaçant sur le goulot des fioles des pièces de monnaie ou bien de petits cornets en papier qui ne les *bouchent pas* complétement, mais qui amortissent la force du vent. Un moyen plus simple et plus parfait consiste à relier par un tube en caoutchouc les deux orifices des fioles. Il est évident que l'on ne change pas ainsi les conditions hydrostatiques de l'instrument, et que l'on s'oppose complétement à l'action du vent. En même temps, cette disposition rend inutiles toutes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les précautions que l'on doit prendre avec les niveaux ordinaires, pour changer de station sans répandre d'eau.

On tend à remplacer maintenant par des niveaux à bulle et à pinnules, pour les opérations ordinaires, le niveau d'eau dont nous venons de parler. Nous indiquerons, en parlant du niveau de pente de Chézy, la construction de ces instruments.

Mires. On emploie deux espèces de mires dans les opérations de nivellement, la mire à *voyant* et la mire dite *parlante*.

La mire à voyant, que tout le monde connaît, se compose d'une plaque rectangulaire ou voyant de 0m,20 environ de côte divisée en 4 carrés égaux peints alternativement en blanc et en rouge, et pouvant glisser le long d'une règle divisée qui peut s'allonger jusqu'à 4 mètres. On vise le centre de ce voyant, et on le fait élever ou abaisser par le porte-mire jusqu'à ce qu'il soit dans le prolongement de la ligne de visée de l'instrument de nivellement que l'on emploie.

Les mires à voyant, très-convenables pour le niveau d'eau, et dans les opérations à petite distance, sont remplacées on ne peut plus avantageusement par les mires parlantes, quand on se sert de niveaux à lunette ou à pinnules. Les mires parlantes sont de simples règles de 2 à 6 mètres de longueur et 0m,10 environ de largeur, sur lesquelles on trace des divisions et des chiffres assez apparents pour être aperçus avec la lunette à la distance de la plus grande portée des instruments. La mire a deux centimètres à peu près d'épaisseur à sa base, et se réduit à 0m,01 ou même 0m,008 à sa partie supérieure. Deux baguettes en bois placées latéralement augmentent la roideur de la planche. Enfin une barre transversale fixée à 1m,50 ou 1m,60 du sol, permet au porte-mire de maintenir solidement la mire verticale, même par les plus grands vents.

Avec les niveaux d'Egault ordinaires, on apprécie facilement à 200 mètres le quart d'une division de 0m,01, tracée sur une mire parlante. La moyenne des deux observations donne donc la cote vraie à un millimètre près environ.

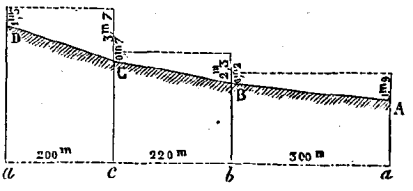
M. Bourdaloue, qui a dirigé les plus grandes opérations de nivellement entreprises dans ces dernières années, a fortement concouru à répandre l'usage de ces instruments. Sa grande expérience l'a conduit à adopter pour ses mires, comme le plus convenable, le système de graduation suivant. Le chiffre 9 est remplacé par N pour que l'instrument qui renverse ne le fasse pas confondre avec le 6. De même le chiffre 5 est remplacé par un V, pour éviter toute confusion avec le 3. La mire dont il s'agit est divisée par 0m,02 ou par 0m,04. On lit les *décimètres* par les chiffres, et les millimètres en comptant le nombre de divisions et en évaluant la fraction de division où tombe le fil de la lunette.

Rapport du nivellement. Après avoir décrit les instruments qui servent au nivellement, nous avons à indiquer comment on tient note sur le terrain, et comment ensuite on rapporte au cabinet les résultats des observations.

Quand on observe d'une même station toutes les côtes des points dont on veut déterminer la hauteur relative, l'opération constitue un nivellement simple. Un enchaînement de nivellements simples, rattachés les uns aux autres par les côtes d'un même point, prises de deux stations consécutives, constitue un *nivellement composé*.

Pour rendre intelligible un nivellement composé, il faut rapporter les côtes de tous les points à un même plan de niveau. On choisit habituellement un plan inférieur, situé à une hauteur connue, au-dessous d'un repère fixe; quand on le peut, on choisit pour ce plan de comparaison le niveau de la mer, quand sa position est connue.

Rien de plus simple d'ailleurs que ces calculs. Supposons par exemple qu'il s'agisse de rapporter le nivellement dont les données sont fournies par les observations consignées sur le croquis fig. 15; il est clair



15.

que si l'on prend le plan de comparaison auquel on veut rapporter le nivellement à 10 mètres au-dessous du point A, on aura par les divers points les côtes suivantes :

Cote du point A.		10 m.
Hauteur du premier plan de visée. . 10+1,9.	11,9	
Cote du point B. 11,3—0,2. . . .		11m,7
Hauteur du second plan de visée, . . 11m,7+2,3.	14	
Cote du point C 14 — 0,7.	3,3	

et ainsi de suite en opérant de la même manière.

En général, pour rapporter à un plan de niveau inférieur un nouveau point N de nivellement, dont on connaît la hauteur relative, par rapport à un point M dont on connaît la côte m, il faut ajouter à cette quantité m la côte arrière observée sur le point M, et retrancher de cette somme la côte avant observée du même point sur le point N.

Pour établir nettement les résultats et les calculs d'un nivellement, on emploie un carnet disposé comme l'indique le tableau ci-contre, dont quelques heures d'exercice apprennent facilement l'usage.

On remarque que, d'après le mode du calcul indiqué ci-dessus, il suffit, pour vérifier une opération, de s'assurer que la différence des coups avant et arrière est égale à la différence de niveau du point de départ et du point d'arrivée que l'on considère. On ne saurait trop recommander de tracer le croquis à côté du nivellement, en même temps que l'on remplit les colonnes du tableau. Cette double opération rend à peu près impossibles les erreurs d'écriture.

Avec les niveaux à lunette et à bulle d'air que nous avons décrits, deux nivellements faits entre les mêmes points de départ et d'arrivée ne doivent pas donner plus de 0m,01 à 0m,02 de différence sur une longueur de 40 à 50 kilomètres. Ce degré d'approximation a souvent été obtenu dans les opérations faites avec soin.

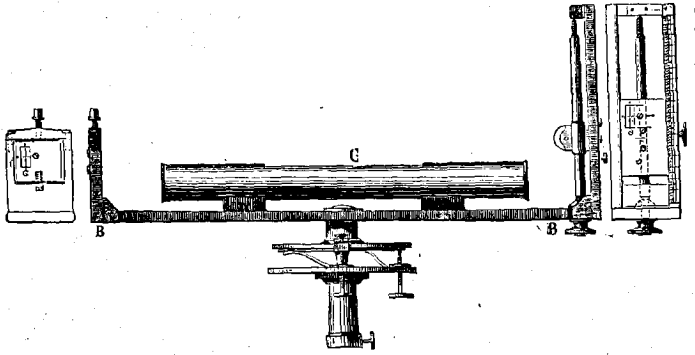
Clisimètres. Tous les instruments décrits dans ce qui précède donnent des lignes de visée rigoureusement horizontales. On a souvent besoin, dans les terrains accidentés et dans quelques autres circonstances, d'instruments fournissant une ligne d'une inclinaison donnée par rapport à l'horizontale.

Parmi les instruments qui remplissent ce but, et que l'on désigne sous le nom générique de clisimètres, nous ne signalerons que le niveau de pente de Chézy, que l'on emploie fréquemment dans le service des ponts et chaussées, et la boussole éclimètre, d'un usage très-commode pour les opérations qui n'exigent pas une très-grande précision, mais qui embrassent des étendues considérables de terrain.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nos des stations.	LONGUEURS horizontales comprises entre les points successifs de nivellement.	Nos d'ordre et désignation des points de nivellement.	COTES RAPPORTÉES aux PLANS PARTIELS DE NIVELLEMENT. Côté avant. COTES directement observées.	Côté avant. moyennes.	Côté arrière. COTES directement observées.	Côté arrière. moyennes.	COTES rapportées au plan général.	COTES des plans partiels de nivellement rapportées au plan général.	CROQUIS et observations.

Le niveau de Chézy (fig. 16) se compose d'une simple règle BB, montée dans les instruments soignés sur un pied semblable à celui des niveaux d'Egault, et garnie à ses extrémités de pinnules perpendiculaires à sa direction. Cette règle porte en son milieu un niveau à bulle ordinaire C. Les pinnules que l'on voit de face (fig. 17 et 18) ne sont autre chose que des plaques de cuivre, percées d'un trou très-fin et d'une fenêtre rectangulaire garnie d'un crin. On vise la mire en plaçant l'œil près de l'un des trous et regardant les fils en crin de la pinnule opposée. L'une des pinnules peut glisser dans un cadre dont le bord est gradué (fig. 18), de manière que la ligne de visée dirigée par le trou de cette pinnule et le croisement des fils de l'autre pinnule, fasse un angle donné avec l'horizontale indiquée par le niveau à bulle.



Échelle de 0,25.

17. 16. 18.

La petite pinnule porte une vis qui permet de régler l'instrument, c'est-à-dire de le disposer de telle sorte que l'on puisse le retourner en ramenant la bulle entre ses repères sans que la ligne de visée (la pinnule mobile étant à 0°) cesse d'être horizontale.

Quand la pinnule mobile est au 0° de son échelle, l'instrument bien réglé donne une ligne de visée horizontale et sert comme le niveau d'eau ou tout autre niveau. On construit même de petits niveaux à deux pinnules fixes qui sont d'un usage fort commode.

Le niveau de pente de Chézy peut servir : 1° à niveler par visées horizontales; 2° à donner l'inclinaison d'un terrain donné; 3° à tracer sur le sol une ligne d'une déclivité donnée; 4° à mesurer les distances avec une approximation comparable à celle que peut donner la chaîne.

Un bon niveau de Chézy donne les pentes à un ou deux millimètres près.

Quelquefois, on ajoute au niveau de Chézy une boussole sans la règle, ou bien un cercle gradué. L'instrument peut alors servir à la fois pour mesurer les angles, faire les nivellements, et, jusqu'à un certain point, évaluer les distances. Un seul opérateur, accompagné d'un seul aide pour porter la mire, peut donc, avec cet instrument, dresser très-rapidement un avant-projet complet, composé d'un plan, d'un nivellement et de profils en travers. On ne saurait assez recommander cet instrument aux agents des chemins vicinaux pour toutes les études de projets de travaux agricoles.

L'éclimètre, dont nous avons parlé ci-dessus, n'est autre chose qu'une boussole montée sur un pied de niveau d'Egault, sur l'une des faces latérales de laquelle est fixé un cercle vertical dont la ligne de foi, 0°—180°, peut être amenée dans une position horizontale au moyen de vis de rappel et d'un niveau à bulle. Autour d'un axe horizontal dont le centre coïncide avec celui du cercle, peut tourner une lunette que l'on dirige successivement sur les objets à viser; on lit exactement à l'aide d'un vernier l'angle que fait l'axe optique de la lunette avec la ligne de foi du cercle vertical, et on déduit facilement de ces observations les hauteurs relatives de deux points dont on connaît d'ailleurs les distances à l'instrument.

L'éclimètre est principalement employé pour les levés topographiques étendus. Il sert aussi pour les études d'avant-projets de grandes voies de communication. Mais comme son usage conduit à des calculs trigonométriques que nous ne pourrions faire comprendre sans plusieurs figures, nous renverrons aux ouvrages spéciaux de topographie les personnes qui pourraient avoir besoin de s'en servir.

Prix de revient des opérations de nivellement. Un bon niveleur, avec deux mires parlantes, peut faire, par jour, dans des terrains de difficulté moyenne, de 5 à 10 kilomètres de nivellement de profil en long avec cotes espacées de 50 à 80 mètres. J'ai vu faire davan-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tage, mais ce chiffre peut être regardé comme une moyenne. On ne doit pas oublier d'ailleurs que tout nivellement doit être vérifié, c'est-à-dire fait au *moins* deux fois. Cette donnée peut servir de base à des évaluations de dépenses de nivellement. Pour fixer davantage les idées, aujourd'hui que tant de personnes s'occupent de faire étudier des lignes de chemins de fer, il ne sera pas sans intérêt de rappeler les chiffres suivants :

Les anciennes études du chemin de fer de Lyon à Avignon, avec embranchement sur Grenoble, ont coûté à l'État pour 316 kilomètres étudiés, la somme de 29,045 fr., soit par kilomètres. . . . . 92 f.

On a étudié beaucoup de variantes et le terrain était difficile.

Le chemin de Bordeaux à Bayonne, pour 110 kil., a coûté 6,783 fr., soit par kil. . . . 61

Le chemin de fer du Centre, pour 481 kil. étudiés, a absorbé 36,000 fr., soit par kil. . . 75

L'embranchement d'Auxonne à Gray, par kil. étudié (à peu près). 100

Les études du chemin de fer de Marseille à la frontière d'Italie se sont étendues à 245 kil.; elles ont coûté 13,949, soit par kil. 57

La ligne de Lyon à Genève a coûté par kil. 134

Enfin, les études du chemin de fer de ceinture. 177

La moyenne des chiffres précédents, empruntés à des documents officiels, est de 99 f. 42 c. par kil. On doit remarquer que ce prix est un peu faible, parce que le traitement de certains agents, employés en réalité aux études, a pu être payé sur d'autres fonds.

On peut estimer que des études complètes et bien faites d'un chemin de fer dans un terrain ordinaire ne reviennent pas à plus de 200 fr. par kil., tous frais compris. L'avant-projet d'une ligne, en ne comptant pas le traitement de l'ingénieur, peut se faire moyennant 50 à 70 fr. par kil.

Mais à ces frais d'études viennent s'ajouter, quand il s'agit de former une société, des dépenses de toutes sortes et de beaucoup supérieures aux premières. Ainsi, en Allemagne, les frais de premier établissement des compagnies se sont élevés de 750 à 1,000 francs par kil. Ce dernier chiffre nous semble se rapprocher beaucoup de la somme qu'il faut pouvoir exposer quand on se propose de chercher à organiser une compagnie de chemin de fer.

On peut faire lever et rapporter à la tâche les profils en travers. On paye de 4 à 5 francs par kil. ce genre de travail, les coups de niveau étant espacés de 20 à 30 mètres. Le levé et le nivellement par courbes horizontales distantes de $0^m,50$ à 1 mètre, revient de 2 à 4 francs par hectare, selon l'habileté de l'opérateur et la difficulté du terrain.

III. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES OPÉRATIONS DU LEVÉ DU PLAN ET DE NIVELLEMENT. Lorsqu'on a déterminé par les moyens dont il vient d'être question, en plan et en élévation les positions respectives des points remarquables d'une certaine étendue de terrain, il faut obtenir par le dessin une représentation graphique des opérations, qui permette de percevoir nettement les résultats et de les embrasser d'un coup d'œil.

Lorsque les opérations sont circonscrites à une portion de la surface de la terre assez restreinte pour que l'on puisse négliger de tenir compte de la courbure du globe, et c'est le seul cas que nous voulions examiner ici, il suffit de rapporter sur le plan, dans leur véritable grandeur, les angles observés réduits à l'horizon et de réduire, suivant la proportion fixée par l'échelle, toutes les distances qui séparent les points.

Le plan dressé, il suffirait d'écrire auprès de chaque point sa hauteur relative, pour compléter l'ensemble des résultats obtenus. Mais cette méthode, que l'on emploie du reste quelquefois, ne parle pas assez aux yeux et ne permet pas de saisir rapidement le relief du terrain. On a dû chercher par conséquent à perfectionner ce mode de représentation. Tous les moyens employés autrefois à cet effet étaient extrêmement imparfaits. C'est seulement depuis une centaine d'années, grâce à l'ingénieuse idée du géographe Buache et aux efforts de Ducarla, que l'on est parvenu à une méthode satisfaisante, consistant à tracer sur les cartes les lignes d'intersection du terrain par des plans horizontaux équidistants. Les courbes ainsi tracées définissent parfaitement le terrain et permettent de connaître immédiatement les hauteurs relatives et les formes des différentes parties du sol. Mais dans la plupart des cartes gravées, l'on complète la représentation graphique du terrain au moyen de hachures dirigées suivant les lignes de plus grande pente et par conséquent perpendiculaires aux horizontales. Ces lignes de plus grande pente ne se tracent pas d'une manière continue, on les interrompt à la rencontre des lignes de plus grande pente, et en général les hachures, qui dans une tranche représentent les lignes de pente, ne se tracent pas exactement dans le prolongement de celles qui leur correspondent le plus exactement dans la tranche immédiatement inférieure.

Afin de rendre plus facilement appréciables les différences de pentes par les nuances que produisent ces hachures, on est convenu de les espacer du quart de leur longueur, et de plus de leur donner une épaisseur inversement proportionnelle à leur longueur.

La distance des courbes du niveau est d'autant plus grande que l'échelle du plan est plus petite. Ainsi l'espacement des plans de section qui déterminent les courbes est de 10 mètres dans les minutes de la carte d'état-major à l'échelle de 1/40,000; elle est de 20 mètres dans les mêmes cartes réduites pour la gravure à l'échelle de 1/80,000, et souvent elle se réduit à 1 mètre ou même $0^m,50$ dans les plans à 1/1,000 qui accompagnent les projets de travaux.

C'est d'après leur échelle que l'on classe les divers dessins qui représentent la surface terrestre. Les *cartes géographiques* embrassent de grandes étendues de terrain, elles ne donnent que les points principaux, on n'y retrouve pas les courbes horizontales, les chaînes de montagnes sont indiquées seulement par quelques hachures. Leur échelle est ordinairement comprise entre 1/1,000,000 et 1/2,000,000.

Les cartes topographiques, au contraire, reproduisent tous les détails essentiels du terrain, et indiquent les lignes horizontales. Leur échelle est comprise entre 1/1,000 et 1/100,000.

Enfin les cartes dont l'échelle est comprise entre 1/200,000 et 1/500,000, portent le nom de cartes *corographiques*.

Mode de représentation pour l'exécution des travaux Quel que soit le degré de perfection que comporte l'exécution des cartes topographiques, le mode de représentation du terrain exposé ci-dessus ne présente pas encore une précision suffisante, quand il s'agit d'évaluer des volumes de terres à déplacer. Il faut en effet que l'on puisse, dans ce cas, substituer à la surface réelle une surface géométrique d'une définition simple et qui représente le terrain de la façon la plus exacte possible. C'est ce que l'on n'obtiendrait pas avec les courbes horizontales. On complète donc les indications du plan par un système de profils qui s'applique plus particulièrement aux études de voies de communication, mais qui peut également servir au plus grand nombre des opérations industrielles et que l'on va faire connaître.

Un premier profil levé suivant l'axe du projet in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dique, par ses côtes successives, tous les changements de pente du terrain suivant cette direction. Il représente l'intersection du terrain par la surface verticale qui correspond à l'axe du projet. On l'appelle le profil en long. Puis à chaque changement de pente indiqué par les cotes du profil en long, on prend un *profil en travers*, c'est-à-dire un profil qui, dans un plan vertical normal à la surface cylindrique comprenant le profil en long, donne également une côte à toutes les inflexions du terrain.

Les diverses sections du terrain ainsi définies par une ligne polygonale différant le moins possible de la ligne courbe et ondulée de ce terrain, il reste à définir la surface comprise entre ces diverses sections. Pour fixer la forme de cette surface, on la considère comme se confondant, entre deux profils en travers consécutifs, avec la surface gauche engendrée par une droite s'appuyant sur ces deux profils et parcourant dans son mouvement générateur, sur les côtés correspondants des directions polygonales, des espaces proportionnels.

On obtiendra, en procédant ainsi, des résultats d'autant plus rapprochés de la forme réelle du sol qu'on aura choisi plus judicieusement la position des profils transversaux, qu'on aura multiplié davantage ces profils et qu'on aura défini ces profils eux-mêmes par un plus grand nombre de points convenablement déterminés.

On voit d'ailleurs que, par ce mode de représentation, on pourra toujours remplacer la surface irrégulière du terrain qui ne serait pas susceptible d'être géométriquement définie par un plus ou moins grand nombre de surfaces réglées, gauches ou planes. On remplacera de même les surfaces des formes nouvelles que l'on veut substituer à celles du terrain, et tout le problème de cubature sera ramené à la solution d'une question de géométrie élémentaire.

IV. CUBATURES. Ce qui précède étant bien compris, il est facile de reconnaître que le volume compris entre la surface du sol et celle que l'on veut lui substituer, définie l'une et l'autre comme on vient de dire, pourra toujours se décomposer en un plus ou moins grand nombre de solides terminés latéralement par quatre plans verticaux, inférieurement par un plan horizontal, et supérieurement par un quadrilatère gauche ci-dessus défini.

Pour obtenir le cube exact de ce solide on emploie la formule suivante, dont la démonstration est facile.

Désignons par h', h'', h''', h'''' les longueurs des arêtes verticales, comprises entre la base plane et la surface gauche. Joignons, dans la base plane, les pieds des arêtes h' et h''', nous décomposerons cette base en deux triangles, dont nous désignerons les surfaces par b'''', pour celui dont le sommet est au pied de l'arête h'', et par b'' pour celui dont le sommet est au pied de l'arête h''''. De même, joignons les pieds des arêtes h'' et h'''' et nommons b' et b''' les surfaces des triangles dont les sommets sont respectivement au pied des arêtes h''' et h'. Nous aurons alors par le volume V cherché l'expression.

$$V = \frac{\frac{b'(h''+h'''+h'''')}{3} + \frac{b''(h'+h'''+h'''')}{3} + \frac{b'''(h'+h''+h'''')}{3} + \frac{b''''(h'+h''+h''')}{3}}{6}$$

Tous les éléments qui entrent dans cette formule sont donnés par les observations sur le terrain. Les quantités h', h''... sont les différences de hauteur des points du terrain et du projet situés sur une même verticale. Ces différences s'inscrivent habituellement en rouge sur les projets, ce qui les fait désigner, par abréviation, sous le nom de côtes rouges.

En pratique, la décomposition et les calculs que l'on vient d'indiquer seraient extrêmement longs; on ne les exécute que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles. En général, on se borne à évaluer la surface de déblai ou de remblai de chaque profil et on la multiplie pour avoir le cube de déblai ou de remblai, par la demi-somme des distances qui séparent le profil considéré des profils précédents et suivants.

Pour abréger encore ces calculs, on a construit des tables qui donnent immédiatement les surfaces de déblai et de remblai de chaque profil, pour les ouvrages de formes constantes, comme les routes, les chemins de fer, etc. Mais ce serait nous écarter de notre sujet d'entrer à cet égard dans les détails techniques qui n'intéresseraient que les personnes qui s'occupent exclusivement de travaux publics.

Nous ne parlerons pas non plus de la répartition des terrasses, opération qui succède ordinairement aux calculs des cubatures. (Voyez TERRASSEMENTS).

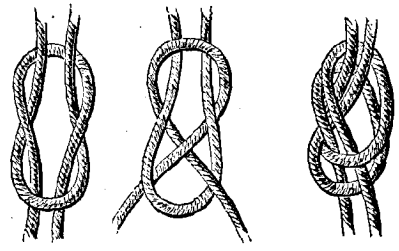
On fera connaître en terminant les échelles obligatoires pour les services dépendants du ministère des travaux publics. A une époque où tant de personnes se trouvent en rapport avec les agents de ce ministère, il ne sera pas inutile de faire connaître les dispositions matérielles des pièces qui doivent leur être soumises. Ces dispositions, du reste, sont sanctionnées par une longue pratique; elles sont très-commodes, et leur usage se répand chaque jour parmi les constructeurs.

Plan général et profil en long : $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$, $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{10000}$. — Profils en travers : $\frac{1}{200}$. — Ouvrages d'art : de moins de 100 mètres $\frac{1}{100}$, de plus de 100 mètres $\frac{1}{200}$.

H. MANGON.

NŒUD. La flexibilité des cordes permet de les réunir, soit entre elles, soit à des corps étrangers, au moyen de nœuds produits par l'entrelacement de leurs parties. Par leur moyen, l'effort, qui a lieu sur un brin, détermine sur les parties convenablement entrelacées un frottement croissant en même temps que cette pression, qui empêche le nœud de se défaire, et par suite la séparation. Dans les gros cordages, c'est moins le frottement que la roideur des cordes qui empêche le brin enroulé de se développer; c'est à multiplier cette action que tendent les dispositions adoptées, lorsque des efforts considérables sont en jeu.

Une description de la manière de faire les nœuds serait extrêmement difficile, de manière à ce qu'elle pût être de quelque utilité. Quelques figures feront beaucoup mieux comprendre les dispositions le plus fréquemment adoptées. Les nœuds 1950, 1951 et 1952,



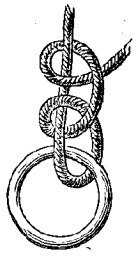
1950. 1951. 1952.

servent à réunir les extrémités des deux cordes; les nœuds 1953 (nœud de marine) et 1954 servent à attacher les cordes à un anneau.

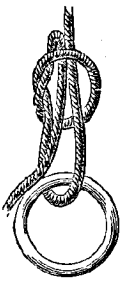
Une espèce de nœuds fréquemment employés est celle des *nœuds coulants*, qui jouissent de la propriété de se serrer de plus en plus, quoique l'effort exercé sur le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bout de la corde augmente. Les figures 1955, 1956, 1957 représentent plusieurs nœuds de ce genre.



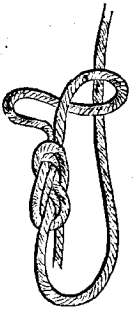
1953.



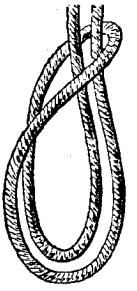
1954.



1955.



1956.



1957.

NOIR ANIMAL. Toutes les fois qu'on calcine, à l'abri du contact de l'air, une matière animale quelconque, on obtient pour résidu un *charbon animal*.

Parmi tous les charbons qu'on peut obtenir de cette manière, celui provenant de la calcination des os est le plus généralement employé.

Le noir d'os a deux applications principales :

1° Il sert à enlever à diverses solutions, particulièrement aux sirops, leur matière colorante;

2° On en fait un grand usage en peinture (Voyez NOIR D'IVOIRE).

Le charbon animal qu'on rencontre dans le commerce ne présente pas toujours une composition identique, elle varie suivant que les os ont été plus ou moins calcinés.

M. Bussy a trouvé que le noir animal avait la composition moyenne suivante :

Charbon contenant 6 à 7 p. 100 d'azote. .	10
Carbure et siliciure de fer.	2
Phosphate basique de chaux.	88
Carbonate de chaux.	
Phosphate et carbonate de magnésie. . .	
Sulfure de fer.	
Sulfure de calcium.	
Total.	100

Les trois derniers corps n'y entrent qu'en faible proportion. Quand le charbon a été trop fortement chauffé il ne renferme presque plus d'azote, alors il est devenu brillant et dense.

Le noir animal provenant des matières molles non terreuses est plus azoté; il renferme quelquefois 77 p. 100 de carbone, le reste étant de l'azote à l'exception d'une légère proportion de sels.

La découverte des propriétés antiputrides et décolorantes des charbons en général, est due au chimiste russe Lowitz, Kels en 1798 et Scaub en 1800 continuèrent ses expériences et arrivèrent au même résultat.

La première application utile du charbon à la purification du sucre brut des colonies fut faite par Guillon, qui apporta sur nos marchés des quantités considérables de sirops décolorés par la poudre de charbon de bois, sirops qu'il vendit avec avantage, car ils étaient de beaucoup supérieurs aux cassonades de cette époque.

En 1811, M. Figuier de Montpellier reconnut que le charbon d'os possède un pouvoir décolorant très supérieur à celui du charbon végétal. Une année après, M. Charles Derosne proposa l'emploi du charbon animal pour la décoloration des sirops dans le raffinage du sucre où on faisait usage du charbon de bois. Cette substitution, dont l'utilité fut démontrée par MM. Payen et Pluvinet, fut généralement adoptée, car on obtint par son emploi 10 p. 100 de plus en sucre cristallisé, et les seconds sirops donnèrent des sucres d'une qualité supérieure à celle obtenue auparavant.

La quantité de noir animal employée aujourd'hui est considérable, car en moyenne il faut 4 kilogr. de noir pour 1 kilogr. de sucre sortant de la fabrique.

La société de pharmacie de Paris mit au concours, en 1821, une série de questions sur les qualités décolorantes du charbon et sur son genre d'action. Trois mémoires furent couronnés : ceux de MM. Bussy, Payen et Desfosses. C'est aux travaux remarquables de ces savants qu'on doit la théorie de la décoloration; ils établirent que :

1° Le charbon agit seul dans l'acte de la décoloration;

2° L'action de ce corps est d'autant plus grande qu'il est plus divisé et offre plus de surface;

3° La division mécanique n'a pas d'influence sensible sur le pouvoir décolorant qui est uniquement relatif à la division chimique, ou à l'écartement des molécules;

4° Quelle que soit leur origine, les *charbons brillants* décolorent mal, tandis que les *charbons ternes* ont une action décolorante très prononcée;

5° Les matières salines en s'interposant entre les molécules de carbone, s'opposent à l'influence du calorique qui tend à les aggréger pendant la carbonisation, mais que du reste elles n'absorbent pas de matière colorante;

6° La décoloration s'opère mieux avec un liquide neutre ou un peu acide, qu'avec un liquide alcalin;

7° Les matières colorantes sont mieux enlevées à chaud qu'à froid;

8° Le charbon agit en attirant à sa surface, sans les décomposer, les matières colorantes;

9° Le rapport des pouvoirs décolorants change avec les liquides colorés, comme le prouve le tableau suivant, dû à M. Bussy :

ESPÈCES DE CHARBON.	Poids.	Indice d'épreuve consommé.	Mélasse d'épreuve consommée.	Décoloration par l'indigo.	Décoloration par la mélasse.
	gr	litres.			
Sang calciné avec potasse.	1	1,60	0,18	50	20
Id. avec craie.	1	0,57	0,10	18	11
Id. av. phosph. chaux.	1	0,38	0,09	12	10
Gélatine cal. av. potasse.	1	1,15	0,14	36	15,5
Empois cal. av. potasse.	1	0,34	0,08	10,6	8,8
Albumine cal. av. potas.	1	1,08	0,14	34	15,5
Charbon d'acétate de pot.	1	0,18	0,04	5,6	4,1
Id. de carbona. de soude par le phosphore. . .	1	0,38	0,08	12,0	8,8
Noir de lampe calciné. .	1	0,128	0,03	4	3,3
Id. avec potasse. . . .	1	0,55	0,09	15,2	10,6
Noir d'os traité par l'acide hydrochloriq. et la pot.	1	0,45	0,18	15,0	20
Id. par l'acide hydrochl.	1	0,06	0,015	1,87	1,6
Huile calcinée avec phosphate de chaux. . . .	1	0,064	0,017	2	1,9
Noir d'os cru.	1	0,032	0,009	1	1,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les gaz putrides et les autres produits de la putréfaction, en solution dans les liquides, sont absorbés très-activement par le noir animal, de là l'emploi avantageux de ce corps pour purifier les citernes, les étangs, etc.

Différentes matières inorganiques en solution dans l'eau, comme la chaux, les sels de plomb solubles, le sulfate de protoxyde de fer, sont absorbées par le charbon animal, et même, d'après M. Girardin, tous les genres de sels, à peu d'exceptions près, sont attaqués par le noir animal, qui absorbe les matières inorganiques même à froid, propriétés qui n'ont été reconnues au charbon végétal qu'à l'égard des sulfures alcalins.

La cause qui rend le charbon végétal moins efficace que le charbon animal provient surtout de la vitrification de sa superficie. Il en est de même des charbons tirés des substances animales molles qui sont brillants, aussi ont-ils peu d'énergie.

Différents schistes bitumineux, ceux de Menat et d'Ardes en particulier, ont une action décolorante marquée sur les sirops, mais plus faible toutefois que celle du noir d'os. Les lignites et la plupart des houilles ne décolorent en aucune manière.

La fabrication du charbon animal ayant pris une grande extension avec celle de la fabrication du sucre, son usage s'étant accru considérablement, on a dû augmenter la production de cette matière, et en même temps s'occuper de revivifier le noir qui avait déjà servi, c'est-à-dire de lui rendre sa première force décolorante, bien diminuée par un premier emploi. Nous allons passer en revue les procédés employés.

La fabrication du noir animal, c'est-à-dire la calcination des os, s'effectue à l'aide de deux systèmes d'appareils tout à fait distints.

Dans le premier procédé, on calcine les os à l'abri du contact de l'air et on recueille les produits volatils qui se dégagent.

Dans le second procédé, au contraire, on brûle les gaz qui servent alors à élever la température de fours où s'opère la fabrication.

L'appareil employé dans le premier de ces deux procédés se compose de grands cylindres horizontaux en fonte, dans lesquels on introduit les os à calciner. Chacune de ces cornues, remplacées avec économie par des cornues en terre, servant pour l'éclairage au gaz (fig. 1958), est terminée par un tuyau de 0m08 à 0m,10 de diamètre qui conduit les produits de la distillation dans un réfrigérant.

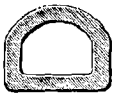


Fig. 1958.

Les cylindres sont placés dans un fourneau et chauffés par un ou plusieurs foyers.

La marche de l'opération est des plus simples: après avoir concassé les os, on en retire la graisse en les chauffant dans une chaudière pleine d'eau, puis on les place dans les cornues de distillation qu'on ferme alors à l'aide d'obturateurs en fonte. Les joints sont garnis de terre grasse. On chauffe graduellement de manière à porter les appareils au rouge cerise, température qu'on maintient pendant trente-six heures, au bout desquelles on retire le charbon incandescent qui est reçu dans des étouffoirs où il se refroidit à l'abri du contact de l'air. Froid, on le porte au moulin qui doit opérer son broyage.

Les produits gazeux qui se dégagent des cornues se condensent dans des tuyaux nombreux autour desquels circule, en sens inverse, un courant d'eau froide qui s'échauffe graduellement et qui peut, une fois chaude, être employée au débouillissage des os. Les produits condensés servent à la préparation des sels ammoniacaux dont le prix sans cesse croissant peut assurer la supériorité à ce système.

Dans la seconde méthode de préparation, la plus généralement usitée, les os dégraissés, *débouillis*, ainsi nommés par opposition aux os frais ou verts, que l'on appelle *os gras*, sont soumis à la calcination en pots.

La calcination en pots se fait de la manière suivante:

Dans des pots en terre réfractaire de 30 centimètres de diamètre sur 40 centimètres de haut, on place des os débouillis et concassés, qui en remplissent la capacité. Ces pots sont disposés sur les deux côtés d'un fourneau de galère, en plusieurs rangées superposées, de manière à fermer les pots inférieurs par le fond légèrement conique de ceux qui leur sont superposés. Ceux de la rangée supérieure reçoivent un couvercle.

Cette disposition offre l'inconvénient de déterminer trop souvent la casse des pots de la rangée inférieure; aussi, dans plusieurs fabriques, a-t-elle été remplacée par celle de la figure 1959. Les pots de chaque rangée

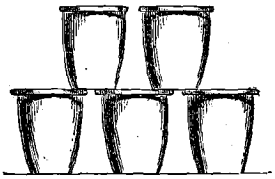


Fig. 1959.

sont couverts par un disque en terre réfractaire, et ceux d'une rangée supérieure reposent à la fois sur deux pots inférieurs. De cette façon, les pots inférieurs cessent d'être surchargés, et leurs parois ne se fendent plus sous le poids de la charge qui les sollicitait dans l'autre manière. On échauffe ensuite graduellement le fourneau en y allumant du combustible, le plus économique que l'on ait, afin de diminuer les frais. Les menus de houille, la tourbe, le bois, les bourrées, sont employés selon les circonstances. On porte peu à peu la température au rouge, et on la maintient en cet état jusqu'à la fin de l'opération, c'est-à-dire pendant huit heures environ. Au début, lorsque la chaleur commence à pénétrer dans les vases, les matières grasses qui ont échappé à l'action de l'eau se décomposent et fournissent des gaz très-abondants, dont la combustion exalte beaucoup la chaleur; les matières azotées se décomposent ensuite et fournissent également des produits gazeux combustibles.

La fin de la calcination est annoncée par la cessation complète de tout dégagement gazeux.

On maintient cependant la température pendant quelque temps encore, puis on procède au *défournement*. Si le four présente des carneaux latéraux, on peut enlever les pots par ces ouvertures; mais il est plus habituel de laisser les pots refroidir dans le four même et de ne les retirer que lorsqu'ils sont à peu près froids.

Le défaut de continuité de ces appareils entraine l'emploi d'une grande quantité de combustible et d'un matériel considérable. De plus, l'air circulant dans le four renferme toujours assez d'oxygène pour produire un déchet notable, car les os calcinés à blanc sont livrés avec perte au fabricant de phosphore.

Enfin le plus grave inconvénient de ce procédé consiste dans les émanations infectes qui se dégagent des fabriques de noir animal, surtout au commencement des opérations.

Pour éviter ce désagrément on a construit, sur les indications de D'Arcet, des appareils qui brûlaient tous les gaz pyrogénés en introduisant de l'air en quantité suffisante pour une combustion totale; de plus la cha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur produite servait à chauffer la chaudière où se faisait l'extraction de la graisse des os.

Le broyage du noir animal s'opère, soit à l'aide de meules verticales tournant sur un plan horizontal, soit au moyen de meules horizontales comme celles em-

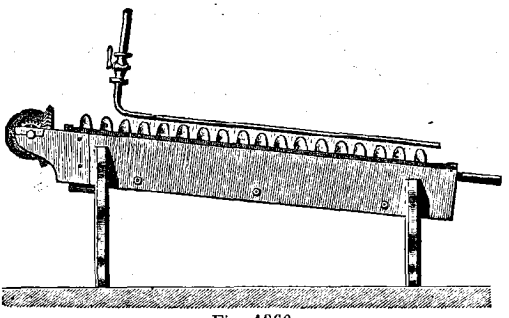


Fig. 1960.

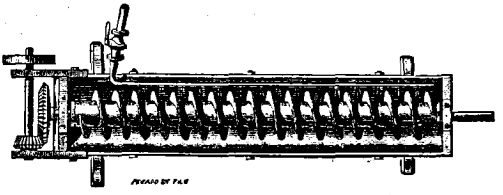


Fig. 1961.

ployées dans la mouture des céréales. On fait également usage de cylindres cannelés en fonte pouvant se rapprocher ou s'écarter à volonté suivant la grosseur qu'on veut donner au noir animal; ce dernier appareil est le plus généralement employé. Le noir broyé est passé au blutoir pour séparer les grains de la folle farine et des parties mal broyées. Le noir en grains et en poudre est mis dans des sacs et expédié aux consommateurs.

Le noir en poudre ne peut servir qu'une fois au raffinage du sucre, après quoi il est utilisé comme engrais dans l'agriculture. Le noir en grain peut servir presque indéfiniment en subissant de temps en temps une revivification.

La revivification du charbon animal qui a servi s'opère de plusieurs manières: on emploie la fermentation, le lavage à l'eau pure ou à l'eau acidulée et, en dernier lieu, la calcination. Le noir mis en tas fermente rapidement, le sucre qu'il renferme se transforme en alcool, puis en vinaigre, qui dissout le carbonate de chaux contenu dans le noir. La durée de l'opération qui exige souvent 15 ou 20 jours, si on n'immerge pas le noir dans l'eau tiède, et 6 à 8 jours dans ce dernier cas, est le défaut de ce système. Quelquefois, surtout dans la fabrication du sucre indigène, la quantité de carbonate de chaux est assez grande pour nécessiter des lavages à l'acide chlorhydrique étendu, marquant 2° B; puis on lave quatre fois à l'eau pure, après quoi on calcine.

L'emploi des acides offre toutefois beaucoup de dangers et ils ne doivent être employés qu'avec prudence. Le plus avantageux, quand son prix le permet, est l'acide acétique, qui forme avec la chaux un acétate soluble que les lavages peuvent enlever très-facilement. D'un autre côté, cet acide ne détruit pas le sucre, et le danger d'inversion n'existe pas à la suite de son emploi. Il offre aussi l'avantage qu'il n'agit que lentement sur le phosphate de chaux de noir, tandis que l'action de l'acide chlorhydrique est beaucoup plus rapide. Dans les régions où ce dernier est cher, les fabricants de sucre peuvent trouver avantage à utiliser une partie de leurs mélasses, à produire, dans le but qui vient d'être indiqué, de l'acide acétique.

Si le noir n'est pas fortement imprégné de sels calcaires déposés à sa surface, lors des opérations de filtration, on se contente de le laver à l'eau avant de le calciner.

La fig. 1960 représente une vue de côté et la fig. 1961 un plan d'un laveur. Il consiste en une grande auge demi-cylindrique, en bois, doublée de cuivre et légèrement inclinée, dans laquelle tourne une vis d'Archimède remontant le noir, tandis que l'eau, versée dans la partie la plus élevée, s'écoule dans le sens contraire. Ces appareils sont communément usités dans les fabriques françaises, et c'est avec raison, car ils réunissent à une grande simplicité et à l'économie une action aussi complète qu'il est nécessaire.

La calcination du noir animal détruit les matières organiques qu'il contient. Nous donnerons la description de l'appareil de Crespel-Delisse fort usité dans le Nord.

La figure 1962 représente la coupe du four. Au sommet en IJ est un espace quadrangulaire où l'on étend le noir lavé pour le faire sécher. Dans ce but, l'air chaud du foyer pénètre et circule par des carneaux dans des espaces libres ménagés sous la tôle qui sert de plancher à la plate-forme IJ. Les tuyaux C et D reçoivent le noir à revivifier par leur ouverture supérieure, et le registre *f* sert à retenir ce

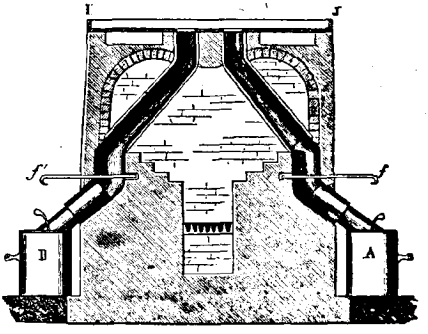


Fig. 1962.

noir au contact avec la chaleur et à le faire couler dans les étouffoirs A, B, après la calcination.

La figure 1963 indique le plan supérieur du four; IJ est la plate-forme en tôle placée au-dessus des carneaux pour recevoir le noir lavé qui y subit la dessiccation avant d'être introduit dans les tuyaux de calcination; les lettres C, D indiquent les tuyaux; A, B sont les étouffoirs; le dessin indique en noir les orifices supérieurs de tuyaux par lesquels on introduit le noir séché.

Le four étant graduellement échauffé et les registres *ff* fermés, on introduit du noir sec dans les vingt tuyaux, dont on ferme l'ouverture par un couvercle en tôle. Au bout de vingt-cinq minutes, on ouvre les registres et l'on reçoit le noir calciné dans les étouffoirs qu'on referme aussitôt. Les registres étant remis en place, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

remplit de nouveau les tuyaux avec du noir sec; lorsque cette seconde calcination approche de son terme, les

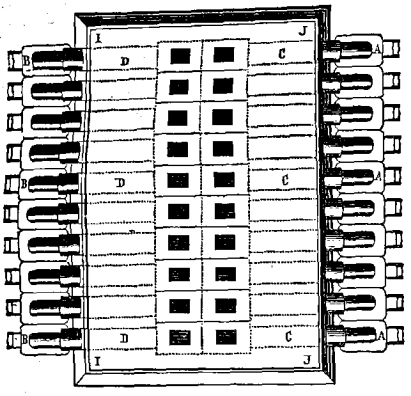


Fig. 1963.

étouffoirs sont vidés dans une citerne en briques et prêts à servir de nouveau.

On fait 48 charges en vingt-quatre heures.

Le noir revivifié et refroidi est bluté avec soin pour le séparer de la poussière ou folle farine, que l'on peut employer pour la fabrication des engrais, ou pour le traitement des écumes de défécation, etc.

Dans la plupart des appareils, que l'on a pu combiner, un même défaut existe, c'est celui de calciner à blanc une partie du noir par l'air qui existe dans les appareils et qui se renouvelle trop vite, quelques précautions que l'on prenne pour l'éviter.

Un procédé à l'abri de ce reproche est celui imaginé par Thomas et Laurens; il consiste à soumettre le noir à l'action directe de la vapeur à 3 atmosphères, mais chauffée dans un serpentin en fer à une très-haute température. La revivification qu'on produit à l'aide de ce procédé se fait parfaitement et ne donne aucun déchet. Malheureusement ces appareils sont sujets à des explosions, même quand on a eu soin de les garnir d'une soupape de sûreté, car, si la vapeur est trop chauffée, l'eau peut se décomposer en présence du fer, et l'hydrogène arrivant au contact du noir peut former un mélange explosif fort dangereux.

La propriété décolorante des noirs s'essaye au moyen d'une dissolution de caramel; plus la calcination est complète, plus le noir est décolorant.

NOIR ANIMALISÉ. Voyez ENGRAIS.

NOIR DE FUMÉE. Le noir de fumée se prépare, dans les Landes, en brûlant des matières résineuses, dans une chambre de bois de sapin, tapissée de grosses toiles. On place ces matières dans des pots en terre ou des marmites en fonte; on y met le feu, et on tient la chambre fermée tant que dure la combustion. Cette combustion, qui est et doit être très-imparfaite, produit une fumée épaisse qui, en passant à travers les toiles, dépose sur celles-ci le noir de fumée que l'on enlève de temps en temps.

On le prépare aussi par la combustion incomplète des goudrons de bois et de houille; les établissements où il est produit sont placés près des houillères.

NOIR D'IMPRESSION. On l'obtient dans la préparation du BLEU DE PRUSSE par l'action des alcalis sur le sang, la corne, ou d'autres substances animales.

NOIR D'IVOIRE. Ce noir se prépare par la calcination des éclats d'ivoire. Les qualités inférieures sont obtenues avec des os de choix. On le broie à l'eau et on le réduit en pains que l'on fait sécher à l'étuve.

NOIR DE LAMPE. Ce noir s'obtient en brûlant des huiles dans des quinquets à becs simples que l'on place au-dessous d'une plaque de métal, laquelle se recouvre bientôt d'une couche assez épaisse d'un charbon très-divisé, d'un beau noir, que l'on détache aisément en frappant sur la plaque.

NOIR DE SCHISTE. Certains schistes, et en particulier celui de Menat, en Auvergne, donnent après la distillation un résidu qui jouit de propriétés décolorantes très-marquées, et que l'on peut comparer avec celles du noir animal.

NOIX. Outre son emploi comme aliment, la noix donne une huile qui remplace celle d'olive dans l'ouest de la France. Convenablement préparée, cette huile est exclusivement employée en peinture dans la composition des couleurs fines, à raison de son épaisseur et de sa propriété siccative. Le brou de noix est employé pour la fabrication de liqueurs hygiéniques; il renferme beaucoup de tannin et d'acide gallique; il est aussi employé en teinture pour faire certains bruns, et les menuisiers et les ébénistes s'en servent souvent pour donner de la couleur aux bois blancs.

NORIA. La noria (fig. 1964) est une machine à élever l'eau, qui se compose d'une série de seaux ou vases attachés à une double chaîne sans fin qui s'enroule sur un ou deux tambours. Un mécanisme quelconque, ordinairement un manége, transmet le mouvement au tambour supérieur, qui entraîne avec lui la double chaîne sans fin; chacun des seaux se remplit successivement d'eau, qu'il déverse, au point culminant de l'appareil, dans un réservoir à ce destiné. Les norias sont verticales ou inclinées; lorsqu'elles sont verticales, on supprime souvent le tambour inférieur. On emploie fréquemment les norias pour l'élévation de la farine dans les moulins à blé.

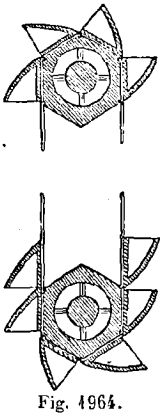


Fig. 1964.

La noria est employée de temps immémorial pour la culture de la terre dans les pays orientaux, dans les contrées où le soleil dessèche les plantes qui ne sont pas arrosées, et fait naître au contraire la végétation la plus luxuriante quand l'eau ne manque pas. En Egypte, à Alger, ce sont des pots en terre, attachés à des cordes, qui constituent des norias fort simples, que le cultivateur construit et entretient lui-même.

Ces appareils fort simples ont deux défauts graves. Le premier, c'est qu'on est obligé d'élever l'eau plus haut qu'on ne la reçoit, pour vider le pot, perte qui n'est jamais moindre pratiquement de 0m,50 et même 0m,75. Le second, c'est la perte d'eau que font les pots par le balancement des cordes, et que l'on nomme le *baquetage*. On estime cette perte à environ 1/10 du volume des seaux.

On a essayé plusieurs systèmes pour améliorer les norias, comme de faire les pots métalliques et de forme prismatique pour verser facilement, de les fermer à charnière pour éviter le baquetage, etc.; mais les appareils rustiques sont toujours seuls employés pour la petite culture, et la grande industrie n'a jamais adopté un système que ses articulations et ses balancements rendent peu avantageux et qui se détruit rapidement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX. Dans l'état actuel de la science, les animaux domestiques de l'agriculture et de l'industrie doivent être considérés comme des machines, qu'il s'agit de construire et d'alimenter, pour en obtenir des produits de consommation et de la force motrice. Ces produits de consommation sont le lait, la viande, la laine, les peaux, les cornes et autres débris animaux.

Les éléments anatomiques des humeurs et des tissus qui les fournissent sont constitués par des principes immédiats, groupés de diverses façons et empruntés au règne végétal, qui seul a la faculté de les élaborer. Dans leurs mutations au sein des tissus organisés, ces principes immédiats organiques dégagent de la chaleur, qui est la source de tous les mouvements intérieurs ou extérieurs de l'organisme animal, mouvements qui se transforment en travail interne ou en travail externe.

Ainsi, les phénomènes de l'exploitation des animaux domestiques, quand on les analyse scientifiquement, se réduisent donc toujours, en définitive, à une question de nutrition. Au point de vue pratique, l'étude de la nutrition est, par conséquent, dominante en zootechnie. On y doit ramener toutes les connaissances relatives à l'histoire naturelle et économique de ces animaux, qu'il y ait lieu de les fabriquer ou seulement de les exploiter, parce que, dans les deux cas, le profit de l'opération dépend toujours essentiellement du choix et du mode d'emploi des matières premières ou des matériaux avec lesquels ils sont construits ou que leur fonctionnement transforme pour notre utilité.

Il y a des rapports ou des relations nécessaires entre les qualités des matières premières et les aptitudes des organismes qui doivent les transformer. Ces aptitudes sont essentiellement variables selon le genre des machines animales, et les rapports varient aussi selon l'objet et le but de la production. Toutefois, la nutrition obéit d'abord à des lois générales, comme la constitution anatomique même des machines considérées. Nous devons, en conséquence, exposer préalablement ces lois, pour examiner ensuite successivement la nutrition des animaux envisagée au point de vue de chacune des spécialités de la production animale.

DE LA NUTRITION EN GÉNÉRAL.

Composition du sang. L'étude de la nutrition a pour base fondamentale nécessaire la connaissance des propriétés et de la composition du sang. Le liquide sanguin est le milieu intérieur, selon l'expression de l'illustre physiologiste Claude Bernard, dans lequel tous les tissus et toutes les humeurs de l'économie animale puisent les éléments de leur constitution. C'est par son intermédiaire qu'ils empruntent au milieu extérieur ou ambiant les substances minérales élaborées par les végétaux et le gaz oxygène qui forment les aliments proprement dits. La digestion de ces aliments et l'absorption directe de l'oxygène atmosphérique, dans les poumons et au travers de la peau, ont donc pour but prochain, non pas le développement et le renouvellement indiscontinu de ces tissus, mais bien l'entretien de la composition normale du sang.

Le sang se compose d'un fluide ou *plasma*, dans lequel sont suspendus des corpuscules dont les uns sont colorés en rouge et les autres incolores. Son poids spécifique oscille entre 1,045 et 1,075; sa température entre + 34,0° et + 41,3° C. Les corpuscules colorés, *globules rouges* ou *hématies*, sont, chez les mammifères, des disques arrondis dont le diamètre est, chez le cheval, 0,0025 millimètres, chez le bœuf, 0,0031 millimètres. Vus isolément et par transparence, leur couleur est jaunâtre; en masse plus ou moins considérable sur le champ du microscope, où ils se présentent agglomérés à plat ou à la manière d'une pile de pièces de monnaie renversée, cette couleur est rosée ou rouge. Ils sont formés d'une membrane et d'un contenu le plus souvent transparent, mais parfois granuleux. Dans l'eau pure, ils se vident au bout d'un certain temps et leurs contours deviennent irréguliers, anguleux. On a compté, dans un millimètre cube de sang, jusqu'à cinq millions et demi d'hématies. Le sang des herbivores est considéré comme le moins riche de ces corpuscules, parmi tous les mammifères.

Les *globules blancs*, ou *corpuscules lymphatiques*, ou *encore leucocytes*, sont également circulaires ou arrondis. Ce sont des cellules, aplaties dans quelques cas, dont le diamètre est d'environ 0,004 millimètres. Leur contenu est finement granuleux avec un noyau plus ou moins transparent. Ils sont plus légers que les hématies et en quantité moins grande dans le sang. On admet que, dans les conditions normales, il y a de 1 à 2 leucocytes pour 1,000 hématies.

Aussitôt que le sang cesse de circuler dans ses vaisseaux, il subit le phénomène de la coagulation, par une sorte de solidification de la *fibrine*, qui emprisonne en quelque sorte les globules pour former une masse élastique, à laquelle a été donné le nom de *cruor* ou de *caillot sanguin*. Les parties dissoutes dans l'eau, qui restent, c'est-à-dire le plasma moins la fibrine, forment le *sérum* du sang, qui est un liquide jaunâtre dont la réaction est nettement alcaline.

Le sang est le véhicule d'un mélange gazeux qui, à l'état normal, est formé d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique. La proportion de ces gaz qu'il peut contenir dépend de la pression, mais non en ce qui concerne l'oxygène, dont une partie est retenue par les globules à un certain état de constitution chimique. C'est de ce phénomène que résultent les différences de coloration qui se font remarquer entre le sang veineux et le sang artériel. Celui-ci est rouge vif ou rutilant; l'autre est rouge brun. Il suffit de le mettre en contact avec l'oxygène pour lui faire acquérir aussitôt la couleur du sang artériel.

L'analyse la plus récente de la composition du sang de cheval est de J. Hoppe. Il a trouvé dans 1,000 parties :

Plasma	673,8
Corpuscules sanguins	326,2
1,000 parties de corpuscules lui ont donné :	
Eau	565,0
Éléments solides	435,0
Dans 1,000 parties de plasma, il a trouvé :	
Eau	908,4
Éléments solides	91,6
Fibrine	10,1
Albumine	77,6
Matière grasse	1,2
Éléments extractifs	6,4
Sels insolubles	1,7

Le mélange gazeux du sang mesure à peu près la moitié du volume de celui-ci.

Dans 100 volumes de sang de mouton, Nawrocki a trouvé :

	Artériel.	Veineux.
Acide carbonique	34,30	34,50
Oxygène	8,13	4,13
Azote	1,36	2,53
Mélange total	43,79	41,16

D'après Gréhant, le sang de cheval contient, pour 100 centimètres cubes :

	Sang artériel.	Sang veineux.
Volume total des gaz	42cc,54	41cc,12
Oxygène	3 ,14	1 ,67
Azote	1 ,15	2 ,35
Acide carbonique	8 ,23	7 ,30

De la comparaison de ces nombres ressort évidente la conclusion que le sang artériel diffère du sang veineux,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seulement par la plus forte proportion d'oxygène qu'il contient à l'état gazeux. Cette proportion est environ du double.

La connaissance des substances minérales contenues dans le sang a aussi une grande importance. En voici l'analyse, pour 100 parties, d'après Gorup-Besanez:

	Cheval.	Bœuf.	Mouton.	Cochon.
Chlorure de sodium. . .	72,88	53,71	50,62	49,54
Soude.	16,58	14,40	13,40	5,33
Potasse.	25,36	8,76	7,93	18,54
Chaux.	4,86	0,85	1,10	1,90
Magnésie.	0,80	0,59	0,82	0,97
Oxyde de fer.	10,69	8,80	9,17	9,50
Acide phosphorique. . .	13,37	5.06	4,99	12,75
Acide sulfurique.	2,19	1,16	1,91	1,34
Acide silicique.	0,62	1,11	—	—
Acide carbonique. . . .	6,57	6,49	6,35	0,36

Aliments. Les animaux sont herbivores ou omnivores, quant à ceux qui nous intéressent ici, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent exclusivement de matières végétales, ou à la fois de matières végétales et de matières animales. Du reste, quelle que soit leur origine, ces matières alimentaires sont composées des mêmes éléments fondamentaux; elles ne diffèrent que par leur constitution immédiate, à laquelle sont dues leurs propriétés nutritives diverses. Pour l'étude de la nutrition, la connaissance des principes immédiats constituants des aliments importe donc plus que leur analyse élémentaire; et, en outre, si cette connaissance se bornait aux propriétés chimiques seulement, elle ne serait point suffisante; les propriétés nutritives des principes immédiats alimentaires ne peuvent être constatées que par l'analyse physiologique. Des expérimentations nombreuses sur l'alimentation des animaux nous ont, en ces derniers temps, fourni sur le sujet de précieux éclaircissements.

Les principes immédiats végétaux qui, dans l'économie animale, concourent à la formation des humeurs et à celle des éléments figurés, se divisent nettement en deux groupes. Dans le premier entrent tous ceux qui contiennent de l'azote; dans le second, ceux qui en sont dépourvus. Liebig avait qualifié les uns d'*aliments plastiques*, les autres d'*aliments respiratoires*, parce qu'il croyait, à tort, au moment où il a établi sa distinction, que les principes immédiats azotés contribuaient seuls à la formation des tissus, tandis que les autres avaient, selon lui, pour unique fonction de servir à l'entretien de la chaleur animale. La vérité est qu'azotés ou non, les aliments concourent toujours, seulement dans des mesures et des modes divers, à la fois au développement et au renouvellement des éléments anatomiques et au dégagement de la chaleur, l'assimilation nutritive étant toujours accompagnée de phénomènes thermiques.

Les éléments nutritifs azotés sont maintenant appelés, en France comme en Allemagne, *albuminates*, *éléments albuminoïdes*, *éléments protéiques* ou simplement *protéine*. Leur caractère commun est de contenir en moyenne 16 pour 100 d'azote. Ils comprennent l'*albumine végétale*, la *légumine*, le *gluten*, l'*albumine* et la *fibrine animales*, la *caséine*, la *gélatine*, la *chondrine*, etc.

Les éléments nutritifs non azotés sont appelés, par les physiologistes, *hydrates de carbone*. Ils comprennent l'*amidon*, la *dextrine*, les *sucres*, la *cellulose jeune*, dits encore *extractifs non azotés*, les matières solubles dans l'éther, dites *matières grasses*, et les *fibres grossières* ou *ligneuses* composées de cellulose plus ou moins agrégée et incrustée.

Aux deux ordres de principes immédiats que nous venons de voir, il faut joindre les éléments nutritifs minéraux, ou *sels nutritifs*, comprenant comme essentiels l'*acide phosphorique*, le *chlore*, le *fer*, le *manganèse*, la *potasse*, la *soude*, la *chaux* et la *magnésie*.

Tous ces éléments nutritifs organiques et minéraux sont également indispensables pour la constitution et le fonctionnement des tissus de l'organisme animal. L'absence suffisamment prolongée d'un seul d'entre eux, dans l'alimentation, rend impossible la continuation de la vie, ainsi que de nombreuses expérimentations physiologiques l'ont démontré. Il n'y a point d'alimentation complète sans la présence d'une matière protéique digestible, d'un hydrate de carbone organique et d'un phosphate assimilable à base de potasse, de chaux, de magnésie. Il va sans dire que la présence de l'eau n'est pas moins nécessaire. La suppression de l'une quelconque de ces substances conduit infailliblement à la mort, plus ou moins rapide, par inanition. Le rôle nutritif de chacune a été déterminé par l'expérimentation physiologique.

Il est par conséquent indispensable, pour avoir une idée assez exacte de la valeur d'un aliment, de le considérer isolément dans son analyse immédiate, non-seulement au point de vue quantitatif, mais encore au point de vue qualificatif. En effet, le degré de digestibilité des principes immédiats, ou la proportion de matière alibile qu'ils sont en état de livrer à l'osmose intestinale, varie suivant les végétaux qui les fournissent, leurs propriétés étant différentes en raison de la provenance de ces végétaux et de l'âge auquel ils sont arrivés. Donnons-en un exemple.

Chez les plantes très-jeunes, les principes immédiats qui les constituent sont, pour une très forte partie, directement diffusibles. Nul besoin, dès lors, d'une digestion préalable pour qu'ils soient absorbés dans l'intestin. Ils traversent tout de suite la membrane des vaisseaux et passent dans le sang. A mesure que le végétal avance en âge, les choses se présentent sous un autre aspect et la proportion osmosée va diminuant. Ainsi, pour le trèfle, on a constaté chez les bœufs et chez les moutons de notables différences entre la plante non fleurie et celle qui est arrivée à la fin de sa floraison. Les animaux ont assimilé, pour la même quantité de matière sèche, 15,4 pour 100 de protéine, 12 pour 100 d'extractifs non azotés, 21,1 pour 100 de ligneux et 20,7 pour 100 de matières grasses en plus, dans le cas du trèfle consommé avant la floraison. Même en comparant le début avec la fin de la floraison, il y a encore, en faveur du premier cas, des différences de 6,8 pour 100 de protéine, de 2,8 pour 100 d'extractifs, de 3,3 pour 100 de ligneux et de 5,8 pour 100 de matières grasses. Nous aurons à revenir sur ce fait important à propos de chacun des groupes de principes immédiats nutritifs. Il nous faut auparavant en poser d'autres d'un intérêt non moindre.

Relation nutritive. La valeur nutritive d'une matière alimentaire ne dépend pas seulement de sa digestibilité propre. Elle n'est, en conséquence, point absolue. Il y a, entre les divers éléments constituants de ce que nous avons nommé plus haut l'alimentation complète ou d'une ration, des rapports nécessaires, dont le principal est celui qui doit exister entre les matières azotées et les non azotées, moins celles qui sont qualifiées de ligneuses, pour une raison qui sera indiquée ultérieurement. Ce rapport est ce que nous nommons, par abréviation, la relation nutritive. Il a été déterminé expérimentalement pour les divers cas, et nous l'exprimons indifféremment par les deux formules suivantes:

$$\frac{MA}{MNA}, \quad \text{ou} \quad MA:MNA,$$

dans lesquelles MA désigne les matières azotées et MNA les matières non azotées.

Le premier terme de la relation étant égal à l'unité, le second varie, dans les conditions reconnues comme étant les plus favorables à la nutrition, seulement dans les limites extrêmes de 2 à 5. En deçà ou au delà de ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

limites, les matières alimentaires ne sont plus utilisées au même degré; le quantum de chacun des principes immédiats constituants de la ration livré à l'osmose intestinale diminue en raison de l'accroissement de l'écart.

Les déterminations dont il s'agit ici, tirées de l'expérience, sont d'ailleurs conformes à l'ordre naturel des choses. On n'en saurait être surpris. En effet, le rapport 1 : 2 entre MA et MNA est celui qui se présente dans le lait; le rapport 1 : 5, celui qui existe dans les plantes des prairies permanentes arrivées à leur maturité, ou au moins en pleine floraison. Dans les jeunes herbes, il est 1 : 3.

Ces diverses relations peuvent donc fournir d'excellentes bases pour la constitution des rations alimentaires, eu égard à l'état particulier des sujets qu'il y a lieu de nourrir, afin de tirer des aliments qu'on leur fait consommer le meilleur parti possible. L'aptitude pour digérer et s'assimiler ou organiser les éléments nutritifs azotés va diminuant depuis la naissance de l'animal jusqu'à ce que son organisme soit achevé ou qu'il ait atteint l'âge adulte. La décroissance de cette aptitude suit une progression qui peut être considérée comme régulière, et qui, chose curieuse, correspond évidemment aux changements corélatifs qui s'opèrent dans les conditions normales de l'alimentation naturelle des herbivores. En effet, la relation nutritive étant 1 : 2 dans le lait maternel qui fournit le premier aliment, elle est 1 : 3 dans les jeunes herbes que l'animal consomme après le sevrage. Chez celles-là, de 1 : 3 la relation passe à 1 : 4 puis à 1 : 5, à mesure qu'elles se développent et qu'elles atteignent leur propre maturité.

C'est sur ces bases que nous aurons à nous appuyer quand nous nous occuperons de l'application des principes généraux de la nutrition aux cas spéciaux de la production animale, ou en d'autres termes de la détermination scientifique des relations nutritives particulières. Pour transformer en valeurs numériques les signes de ces relations, l'analyse immédiate quantitative de toutes les matières susceptibles d'être employées comme aliments est indispensable. Le mieux serait de l'exécuter dans chaque cas, attendu les variations très-grandes qui se présentent et qui sont sous la dépendance des conditions dans lesquelles les végétaux alimentaires se sont développés. Mais il a été dressé des tables de la composition immédiate des matières alimentaires, indiquant à la fois les extrêmes et la moyenne de richesse pour chaque groupe d'éléments nutritifs organiques et minéraux. A la condition qu'ils soient judicieusement mis en œuvre, les nombres de ces tables peuvent suffire, soit pour l'établissement d'une ration conforme à la relation nutritive déterminée, soit pour le calcul des équivalences dans les substitutions de matières alimentaires. Ce calcul, toutefois, n'est possible que d'après certaines bases, qu'il faut encore indiquer.

Equivalents nutritifs. Ouvrant la voie des recherches sur l'important sujet qui nous occupe, Boussingault et Payen avaient pensé que les aliments pouvaient être comparés entre eux eu égard seulement à la propotion d'azote élémentaire qu'ils contiennent. Considérant le foin comme l'aliment normal des herbivores, ils avaient pris le bon foin de prairie naturelle ou plutôt permanente, comme point de comparaison, en lui attribuant, quant à sa teneur en azote, la valeur de 100. Tous les autres aliments étaient représentés par un nombre équivalent, plus fort ou plus faible, selon que leur teneur en azote était plus ou moins au-dessous ou au-dessus de celle du foin.

La table de ces auteurs, construite ainsi par induction, subit plus tard des modifications, lorsqu'il fut reconnu que l'acide phosphorique jouait un rôle non moins important dans la nutrition. Avant eux, des recherches empiriques, exécutées surtout par Thaer et par Pabst, en Allemagne, par Mathieu de Dombasle, en France, avaient de même servi à l'établissement de tables d'équivalents, auxquelles Allibert a depuis voulu donner pour base la considération de la teneur en carbone.

Toutes ces recherches, qu'elles fussent purement chimiques ou expérimentales, avaient nonobstant pour conséquence de ramener toujours les matières alimentaires quelconques à la valeur nutritive du foin. Elles conduisaient à faire admettre, par exemple, que 220 unités en poids de pommes de terre ou 280 de betteraves nourrissent autant que 100 de foin ou sont leur équivalent nutritif absolu; autrement dit, que 100 est la valeur en foin de 220 de pommes de terre ou de 280 de betteraves.

Dans l'état actuel de la science, de telles conclusions ne sont plus admissibles. Elles ont été d'ailleurs depuis longtemps abandonnées par l'illustre savant qui seul, parmi les auteurs cités, est encore vivant. Pour y persister, il faut n'être pas au courant des progrès qui se sont accomplis dans les études physiologiques sur ce point particulier, par les travaux de Bischoff et Voit, Haubner, Henneberg et Stohmann, Crusius, Hellriegel, E. Wolff, G. Kühn, etc., ayant eu pour conséquence la démonstration de la relation nutritive nécessaire, plus haut définie. Ces travaux ont fait voir expérimentalement que l'équivalence ne saurait à aucun titre s'établir entre des matières végétales dont la relation nutritive est différente; qu'elle n'est possible qu'entre les principes immédiats de même nature, provenant de végétaux analogues, et encore à la condition que leur degré de digestibilité ne diffère point, c'est-à-dire qu'ils soient sensiblement de même âge: qu'une tige, par exemple, peut, dans une certaine mesure, être substituée à une autre tige du même groupe botanique ou d'un groupe voisin, une racine charnue à une autre racine charnue, un tubercule, à un autre tubercule, une graminée fourragère à une autre graminée, la carotte à la betterave, la pomme de terre au topinambour, mais non point l'avoine au foin, la betterave à celui-ci, ou la pomme de terre à l'avoine.

Les véritables équivalents nutritifs, dans la mesure où ils sont maintenant admissibles, ne dépassent donc point la limite de chacun des principes immédiats considéré isolément et au point de vue de toutes ses propriétés alimentaires; les seules vraies tables de ces équivalents ne se distinguent nullement de celles qui nous fournissent des renseignements sur la composition qualitative et quantitative des aliments.

Coefficient de digestibilité. Considéré en lui-même, chacun des principes immédiats nutritifs faisant partie d'une matière alimentaire complexe, telle qu'elle nous est fournie par les végétaux, n'est pas nécessairement digéré et absorbé en totalité, encore bien que la relation nutritive serait aussi convenable que possible; cela dépend de l'état dans lequel il se trouve, eu égard à l'action que peuvent exercer sur lui les puissances digestives, dont le but est de le rendre diffusible, de façon à ce qu'il soit osmosé par les membranes intestinales. Il est plus ou moins accessible à cette action, selon que le contact peut être plus ou moins direct et plus ou moins prolongé entre lui et les sucs digestifs dont la fonction est de modifier sa constitution.

L'organisation végétale présente à cet égard des conditions variées, qui influent sur le résultat et font que les matières protéiques de la paille de froment, par exemple, ne sont pas digérées dans la même proportion que celles du foin de pré. C'est cette proportion relative déterminée par l'expérience, que nous nommons le coefficient de digestibilité. Avant d'en indiquer les valeurs numériques moyennes pour chacun des principes immédiats nutritifs et chacun des principaux aliments propres à la nourriture des animaux, il sera bon de donner ici quelques notions essentielles sur les phénomènes qui se passent dans l'appareil digestif et qui sont exclusivement du domaine de la chimie. Nous nous ren-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

drons ainsi bien plus facilement compte de l'importance du fait, parce que nous en pourrons saisir les raisons physiologiques.

Les glandes salivaires, situées autour de la bouche, secrètent un liquide bien connu sous le nom de *salive*, qu'elles versent dans son intérieur et qui imprègne les aliments pendant leur mastication. Ce liquide, fortement aqueux, contient des sels, qui sont: des chlorures de sodium et de potassium, du phosphate de soude tribasique, des phosphates de chaux et de magnésie, des carbonates de soude, de potasse et de chaux; du mucus, des cellules d'épithélium et une matière azotée particulière que Berzélius appelait *ptyaline*. Mialhe lui a donné le nom de *diastase salivaire*, qui convient en vérité mieux, parce que cette matière a exactement les propriétés de celle qui, dans l'orge germée, transforme l'amidon d'abord en dextrine, puis en glycose.

La muqueuse de l'estomac produit de son côté un liquide appelé *suc gastrique* et contenant de l'eau, de faibles proportions d'acide lactique et d'acide chlorhydrique et un ferment spécial, élaboré par des cellules particulières, et qui porte le nom de *pepsine*. Ce suc complexe a la propriété de modifier la constitution des matières albuminoïdes. Les acides les désagrégent en même temps qu'il agissent sur les matières amylacées et sur la cellulose à la manière de la diastase, ainsi que les chimistes le savent bien; mais c'est la pepsine surtout qui fait subir aux albuminates la modification isomérique en vertu de laquelle ils deviennent diffusibles et peuvent traverser les membranes organiques. Sans cette modification, on sait que l'albumine même la plus fluide, telle que celle du blanc d'œuf ou du sérum du sang, est à peine ou pas du tout diffusible; à plus forte raison la fibrine, la caséine, la légumine, le gluten, etc., dont la constitution moléculaire est plus solide.

Lehmann a nommé *peptone*, et Mialhe *albuminose*, le produit diffusible de l'action de la pepsine sur l'albumine ou sur les albuminates. Cette action, ainsi du reste que celle de la diastase salivaire ou du suc gastrique sur les amylacés, se passe aussi bien dans un vase inerte que dans l'estomac, pourvu que la température soit convenable, c'est-à-dire qu'elle ne s'éloigne pas beaucoup de celle du corps; à + 35° C., l'action se produit.

Dans la première portion de l'intestin ou le duodénum se déversent deux autres liquides, l'un provenant du foie, l'autre d'une glande abdominale analogue aux salivaires et qui porte le nom de pancréas. Le premier, en partie excrémentitiel, est la *bile*, contenant environ 90 p. 100 d'eau et caractérisée par la présence de deux sels organiques alcalins à base de soude, qui ont la propriété de saponifier les huiles et les graisses; le second est le *fluide* ou *suc pancréatique*, liquide sirupeux, alcalin comme la salive et la bile et jouissant de propriétés complexes. Il transforme l'amidon en sucre, mais de plus il émulsionne les corps gras (Cl. Bernard), et il agit sur les matières albuminoïdes à la façon du suc gastrique (L. Corvisart).

Enfin la muqueuse intestinale, pourvue de nombreux follicules glandulaires, secrète elle même un suc complexe qui, mélangé avec la bile et le fluide pancréatique, forme un liquide mixte alcalin qui jouit à lui seul de la faculté de digérer les aliments de toute sorte.

En cheminant et en séjournant dans les diverses parties de l'appareil digestif, après qu'ils ont été divisés par la mastication, dans la bouche, l'estomac et l'intestin, ces aliments sont attaqués par les agents que nous venons de décrire sommairement. Ils y subissent les modifications dont le but final est de rendre diffusibles ceux de leurs principes immédiats constituants qui naturellement ne le sont que peu ou point. On comprend sans peine que l'attaque sera d'autant plus efficace, d'abord, que cette attaque aura pu être plus directe et que le principe immédiat lui-même, en vertu de sa constitution propre, sera plus attaquable. En ce double sens, les jeunes végétaux, par exemple, d'une complexion peu solide, les parties des végétaux plus âgés qui ne contiennent qu'une faible proportion des matières ligneuses formant la trame de leurs tissus ou l'enveloppe de leurs cellules, opposent aux agents digestifs une résistance moindre que celle qui appartient en général aux plantes complétement développées et en particulier aux tiges formées de fibres ligneuses grossières dans une forte proportion. Dans ces dernières, les principes immédiats, d'ailleurs facilement attaquables en eux-mêmes, sont protégés contre l'action des agents digestifs par leur enveloppe résistante.

C'est la connaissance de ce fait qui donne l'explication simple et facile de l'utilité des préparations préalables que l'on fait subir aux aliments grossiers par la division, la cuisson, la macération, la fermentation, etc. Ces préparations diverses ont pour effet nécessaire de rendre plus efficaces les actions plus haut décrites, la plupart agissant d'ailleurs dans le même sens sur les principes immédiats. C'est le cas, en particulier, pour la cuisson, la macération et surtout la fermentation.

En tout cas, les matières directement solubles ou diffusibles et celles qui le sont devenues sous l'influence des phénomènes chimiques de la digestion, peuvent en cet état être livrées à l'osmose intestinale. La muqueuse des intestins présente une multitude de villosités qui en multiplient énormément les surfaces et qui sont formées principalement par un admirable réseau de capillaires sanguins. La vue au microscope de ce réseau injecté, sur une préparation bien faite, est un spectacle curieux et fort instructif. C'est au travers des minces parois des vaisseaux dont il s'agit que s'effectue l'osmose. Le dialyseur de nos laboratoires n'est que la représentation simplifiée de celui qui nous est offert par l'intestin des animaux. D'une part, le liquide sanguin qui circule dans le système des vaisseaux; de l'autre la masse alimentaire delayée par l'eau des boissons, qui lui fournit de son côté un contingent de substances osmotiques par les sels minéraux solubles qu'elle contient, par ses sels de chaux surtout; entre les deux la mince membrane des vaisseaux capillaires, au travers de laquelle toutes les matières diffusibles de la masse alimentaire sont dialysées pour passer dans le torrent circulatoire. Nous les y suivrons ultérieurement, pour nous rendre compte des mutations qu'elles subissent, et dans ce même torrent circulatoire, et dans l'intimité des tissus, jusqu'à l'élimination de leurs résidus. Quant aux matières non diffusibles, soit en elles-mêmes, soit pour avoir échappé à l'action des puissances digestives, elles continuent de cheminer jusqu'à l'extrémité du tube intestinal, où elles sont expulsées sous la forme connue d'excréments.

De la comparaison entre la composition immédiate des aliments introduits dans l'appareil digestif et celle des excréments solides ainsi expulsés, on a déduit, par des recherches expérimentales très-nombreuses, les coefficients de digestibilité dont nous nous occupons, en considérant à part chacun des groupes de principes immédiats dont la connaissance est nécessaire pour l'établissement de la relation nutritive. Nous allons maintenant passer en revue ce qui est acquis à la science à cet égard, en commençant par ce qui concerne les *matières protéiques*.

Pour ce qui dépend de la relation nutritive, Stohmann ayant déterminé la loi qui régit la digestibilité de ces matières, et en vertu de laquelle celle-ci croît en sens inverse du second terme de la relation, ou de celui qui s'exprime par MNA (extractifs non azotés + matières grasses), Stohmann, disons-nous, a construit une table de diviseurs à l'aide de laquelle étant donnée la relation, on peut calculer le coefficient de digestibilité. Supposons que cette relation soit = 1 : 4,1. Le diviseur de la table est en ce cas = 1,45. Suppo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sons, en outre, que dans la ration considérée la quantité totale des matières protéiques soit = 3,28, la quantité digérée sera $\frac{3,28}{1,45} = 2,26$. Or, l'expérience directe a donné à G. Kühn, dans le cas semblable, 2,27. Le calcul et l'observation sont donc d'accord. Henneberg et Stohmann ont constaté par l'expérience que, sur 3,94 de matières protéiques contenues dans une ration dont la relation nutritive était = 1 : 5,6, il n'y en avait eu que 2,43 de digérées. Le diviseur de la relation dont il s'agit est = 1,62. Or, $\frac{3,94}{1,62} = 2,43$.

Les expériences précédentes ont été faites sur des bœufs. Sur un mouton, Hofmeister, avec une relation = 1 : 11,7 et pour un total de 0,516 de matières protéiques, a constaté que la quantité digérée était = 0,22. Le diviseur, pour cette relation, est = 2,30. Or, $\frac{0,516}{2,30} = 0,22$.

Il suffit de ces vérifications, qui pourraient être beaucoup multipliées, pour montrer que la table de diviseurs dressée par Stohmann mérite toute confiance. On la trouvera, ainsi que celles de la composition immédiate des diverses matières alimentaires, que nous ne pouvons pas songer à reproduire ici à cause de leur grande étendue, dans le premier volume de notre *Traité de zootechnie*, deuxième édition.

C'est surtout sur la digestibilité de ces matières protéiques que se fait sentir l'influence des conditions signalées plus haut, au sujet de la constitution en quelque sorte anatomique des organes végétaux dont elles font partie. Dans les nombreuses recherches expérimentales qu'ils ont instituées à la station de Weende-Gœttingue, Henneberg et Stohmann ont montré que les bœufs digèrent complétement la légumine des fèves égrugées ou décortiquées, tandis qu'il n'y a d'utilisé que 26 pour 100 des matières protéiques de la paille de froment, 49 de celles de la paille d'avoine, 51 de celles de la paille de fève et du foin de pré. En moyenne, dans une ration complexe, on estime à 50 pour 100 environ le coefficient de digestibilité de ces matières.

Dans une exploitation agricole, la notion précise de leur coefficient n'a pas l'importance qui lui appartient en ce qui concerne les moteurs animés d'une exploitation industrielle ou ceux qui sont employés pour l'agrément personnel. Les albuminates non digérés n'en sont pas moins utilisés dans le premier cas, en leur qualité de matières fertilisantes pour les terres. Elles vont au fumier toujours, mais la valeur de celui-ci n'est pas la même dans les deux cas pour l'exploitant. Celui qui le vend ne bénéficie point de sa richesse plus grande comme celui qui l'emploie, le fumier n'étant point vendu sur analyse, comme les engrais dits commerciaux. Et c'est ici une bonne occasion pour appeler en passant l'attention sur l'intérêt qu'il y a à s'enquérir de la ration alimentaire que consomment les animaux dont on veut acheter le fumier.

Nous empruntons aux résultats des expériences de Henneberg et Stohmaan, Hofmeister, Hellriegel et Lucanus, etc., les coefficients de digestibilité suivants, trouvés pour les matières alimentaires les plus usitées, à l'égard des matières protéiques qu'elles contiennent :

Paille de froment	26 %
— d'avoine	49 »
— de fève	51 »
Mélange de racines ou de pulpes avec la paille hachée	46 »
Foin de trèfle	54 »
Jeune trèfle avant la floraison	72 »
Foin de pré	60 »
Regain de pré	70 »
Tourteaux de graines oléagineuses	70 »
Semences de céréales et de légumineuses	90 à 100

Ces nombres représentent des moyennes générales. Le genre de l'animal considéré y introduit des variations. Voici ceux auxquels on s'est arrêté pour chacun des genres :

Cheval.	Bœuf.	Vache.	Mouton.	Chèvre.
69,64 %	65,00 %	57,0 %	57,0 %	60,0 %

Dans l'application, il y a lieu de tenir encore grand compte de l'aptitude digestive individuelle, qui introduit sa correction propre dans le résultat. On risquerait fort de se tromper gravement si l'on accordait aux formules et aux nombres dont il s'agit une valeur absolue. Ils sont faits pour éclairer l'observation et pour la guider, non pour la suppléer complétement dans les cas particuliers. Le praticien judicieux s'en sert comme lui fournissant des données importantes pour résoudre les problèmes complexes toujours qui lui sont posés par l'alimentation des animaux. C'est en toute chose, d'ailleurs, le rôle de la science.

La digestibilité propre des *matières grasses* n'offre pas un moindre intérêt à l'étude des bases scientifiques de l'alimentation, bien que leur proportion, dans la ration, soit la plus faible, par rapport à celle de tous les autres principes immédiats nutritifs. Elles prennent une part directe au développement des tissus, ainsi que le pouvait faire pressentir leur présence dans le lait pour une part relativement considérable. Crusius, qui s'en est occupé le premier expérimentalement, a montré que l'accroissement journalier des jeunes veaux n'est pas en rapport avec les proportions de caséine et de lactose que contient le lait qu'ils consomment, mais bien en raison de la proportion du beurre. La loi qui régit le phénomène exerce encore même son influence sur la nutrition des animaux adultes parce que, d'après les expériences de Crusius, confirmées depuis par tous les observateurs, cette influence est indépendante de l'assimilation même des matières grasses comme élément d'un tissu particulier, du tissu adipeux contenant les diverses sortes de graisses. Nous y reviendrons plus en détail à propos des opérations d'engraissement.

Quant à présent, il faut se borner à dire qu'elles agissent en ce sens en augmentant le coefficient de digestibilité de tous les autres principes immédiats nutritifs, lorsqu'elles existent dans la ration en quantité telle que leur rapport avec les matières protéiques est comme 1 : 2,2. En deçà ou au delà de ce rapport, leur effet utile n'est plus le même. C'est pourquoi il importe beaucoup de les considérer à part dans l'établissement de la relation nutritive.

En tant qu'aliments propres, et à la condition de distinguer, parmi les matières solubles dans l'éther que fournissent les végétaux, les huiles et les graisses proprement dites des diverses sortes de cires et des matières résineuses ou résinoïdes, dont les propriétés nutritives sont bien différentes, il peut s'établir des rapports d'équivalence entre les matières grasses et les hydrates de carbone, tels que les principes amylacés et cellulosiques. On a établi, par exemple, que 1 de matière grasse peut dégager, dans l'économie animale, autant de chaleur que 2,5 de cellulose ou de fécule, et que 3 de sucre cristallisé. Cela explique comment, chez les animaux soumis à l'inanition, Colin a constaté que la graisse en dépôt disparaît d'abord, puis la matière sucrée, dont la présence se manifeste dans le foie jusqu'à ce que le refroidissement ait atteint un degré qui n'est plus compatible avec la continuation de la vie. Mais, eu égard à la fonction tout à l'heure signalée, la composition du second terme de la relation ne saurait être ainsi indifférente. Les extractifs non azotés ne peu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent y suppléer les matières grasses. Cette fonction leur est absolument propre.

Les coefficients de digestibilité moyens de ces matières, considérés dans l'ensemble que fournit l'extraction par l'éther, sont, pour les divers genres d'animaux, les suivants:

Cheval.	Bœuf.	Vache.	Mouton.	Chèvre.
58,92 %	61,4 %	65,4 %	61,22 %	44,00 %

Durant longtemps on a cru, sur la foi des physiologistes et surtout des chimistes français qui se sont occupés des propriétés des substances alimentaires, en particulier d'après les travaux de Payen, que les *fibres grossières* ou *ligneuses* des végétaux étaient absolument réfractaires aux actions digestives. Des expériences de Haubner, exécutées à l'École vétérinaire de Dresde sur des moutons avec de la sciure de bois de peuplier, de sapin et de pin, ont montré que ces animaux digéraient de 40 à 50 pour 100 de la première et 30 à 40 pour 100 des secondes. Sussdorf et Steckardt ont confirmé depuis le fait en étendant l'expérience aux fibres ligneuses de la plupart des végétaux herbacés alimentaires. Il est maintenant acquis à la science.

Ici comme toujours, du reste, le coefficient de digestibilité varie beaucoup selon la provenance de la matière ligneuse, selon que la cellulose pure ($C^{12} H^{10} O^{10}$) qui en constitue la base et qui, à vrai dire, est seule digestible, est plus ou moins agrégée, plus ou moins incrustée des matières étrangères constituant le ligneux. Cette cellulose, quand elle est jeune, comme dans les premières feuilles tendres des plantes, ne diffère guère par ses propriétés nutritives des principes amylacés dont nous parlerons tout à l'heure. Elle ne se distingue pas alors du groupe de substances qualifiées d'extractives non azotées et elle les supplée dans la digestion, comme nous allons le voir. Toutes les expériences prouvent, au contraire, que la cuticule ligneuse des graines quelconques ne cède rien et se montre absolument réfractaire aux puissances digestives.

Dans les aliments riches en fibres grossières qui sont les plus usités, voici les coefficients de digestibilité pour les matières ligneuses, d'une manière générale:

Paille de froment.	52 %
— d'avoine.	55 »
— de fève.	36 »
Foin de trèfle.	39 »
— de pré.	60 »

Ces coefficients moyens ont été déterminés à Weende, par Henneberg et Stohmann. Eu égard aux divers genres d'animaux, les différences se caractérisent ainsi:

Cheval.	Bœuf.	Vache.	Mouton.	Chèvre.
33,68 %	60 %	60,8 %	57,70 %	62 %

Il est frappant que ces nombres sont beaucoup plus élevés, presque doubles, pour les ruminants. Bien que la qualité des sucs digestifs ne diffère point, chez les herbivores en général, on n'éprouve aucune difficulté à se rendre compte du fait. Il suffit, pour l'expliquer, de songer au long séjour que font les aliments dans le tube digestif des ruminants. Des expériences spéciales ont bien des fois montré qu'il ne s'écoule jamais moins de huit jours entre l'instant de l'introduction d'une matière alimentaire par la bouche, chez ces animaux, et celui de l'expulsion de ses résidus par l'anus. Pour s'en assurer, on joint à cette matière une substance reconnaissable dans les excréments. Les expérimentateurs allemands se servent pour cela des airelles, qui colorent ces derniers.

Durant ce long séjour, les tissus les plus résistants ont le temps d'être attaqués et rendus diffusibles. C'est là une circonstance importante à connaître, parce qu'elle permet d'utiliser, dans l'alimentation des ruminants, ainsi que nous le verrons, des substances végétales grossières qui sans eux resteraient sans valeur, telles que les balles, les siliques, etc.

Mais les herbivores n'ont pas seuls la faculté de digérer et d'utiliser par conséquent les matières ligneuses ou cellulosiques. Les omnivores, qui nous intéressent aussi puisque les cochons en font partie, en tirent également parti, toutefois dans une mesure moindre et dans les conditions d'insuffisance du second terme de la relation nutritive, qui vont être indiquées à propos des *matières extractives non azotées*.

Celles-ci ont été nommées ainsi par Henneberg, parce que les tissus végétaux les cèdent à l'eau pure ou faiblement acide ou alcaline, comme elle se présente dans les fluides digestifs. La dextrine, les gommes et les sucres, directement diffusibles, sont digérés en totalité, pourvu qu'ils soient accessibles aux villosités intestinales. Il n'en peut pas être de même des corpuscules amylacés, qui ont une organisation propre, qui sont ce qu'on appelle en histologie des éléments figurés. Ils doivent être désagrégés. Nous avons vu que leur désagrégation est la fonction de la diastase salivaire et celle des acides du suc gastrique. Considérant donc l'ensemble des principes immédiats dont il s'agit dans les substances alimentaires que nous avons déjà plusieurs fois prises pour types, Henneberg et Stohmann ont trouvé qu'il en était digéré par le bœuf:

Paille d'avoine.	44 %
— de froment.	40 »
— de fève.	62 »
Foin de trèfle.	67 »
— de pré	67 »

Un fait curieux, révélé dans leurs expériences, c'est qu'en ajoutant à la portion digérée de ces matières celle du ligneux également digéré, on obtient une somme à peu près égale à celle des extractifs qui étaient contenus dans la ration. Ce fait, confirmé depuis bien des fois, a fourni le moyen de simplifier beaucoup l'établissement pratique de la relation nutritive, dans la constitution des rations alimentaires des animaux ruminants surtout, ainsi que nous le verrons. Du reste, le coefficient de digestibilité des extractifs ne subit pas de grandes variations, quand on l'envisage chez les animaux de genres différents. Il est, en moyenne, représenté par les nombres ci-dessous:

Cheval.	Bœuf.	Vache.	Mouton.	Chèvre.
68,59 %	66,3 %	70,1 %	74,75 %	64 %

De même que, dans une relation nutritive, le second terme influe sur le coefficient du premier, ainsi que nous l'avons vu, également celui-ci influe sur le coefficient du second. L'influence est donc réciproque. Haubner a vu que dans un cas où des moutons digéraient complétement la fécule de 1 kilogramme de pommes de terre composant leur ration journalière avec 1k,250 de paille de froment, la fécule apparaissait abondante dans leurs déjections dès que la ration de pommes de terre était portée à 1k,500. Si l'on ajoutait à l'alimentation 0k,125 de pois, la perte de fécule cessait aussitôt; on n'en retrouvait plus dans les excréments. C'est qu'alors la relation nutritive était devenue meilleure, les pois étant riches en matières protéiques qui relevaient ainsi son premier terme.

On remarquera que les pertes de matière nutritive sont en ce cas plus importantes qu'en ce qui concerne les éléments azotés. Elles s'effectuent sans compensation, parce que les déjections contiennent toujours en excès les matières amylacées qui peuvent être nécessaires pour la fertilité du sol.

Nous avons déjà fait observer que les *éléments minéraux* des substances alimentaires ont une action nutritive non moins indispensable que celle des matières organiques. Les *sels nutritifs* ne prennent pas seulement la part la plus considérable à la formation du squelette,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont il suffira de faire connaître la composition chimique pour rendre superflu toute insistance à ce sujet; quelques-uns d'entre eux se trouvent, en outre, dans toutes les humeurs et dans tous les tissus, à titre de parties constituantes. Énonçons d'abord, d'après Bibra, les résultats les plus récents de l'analyse des os:

	Cheval.	Bœuf.	Mouton.
Matière organique.	31,10	31,00	30,38
Phosphate de chaux. . .	54,37	54,07	55,94
Carbonate de chaux. . . .	12,00	12,71	12,18
Phosphate de magnésie. .	1,83	1,42	1,00
Sels solubles.	0,70	0,80	0,50
Substance cartilagineuse.	27,99	29,09	29,68
Graisse.	3,11	1,91	0,70

On voit, d'après ces nombres, que les matières minérales constituent environ 70 pour 100 du squelette. Étant donnée la part de celui-ci dans le poids du corps, il est clair que de ce chef seulement, chez les animaux en période de croissance, la ration journalière doit nécessairement contenir une forte proportion de ces matières. Chez les adultes, dont le squelette est achevé et ne se renouvelle plus comme les autres tissus de l'économie, du moins à l'état normal, les besoins sont beaucoup moindres. Aussi la vie peut persister durant un certain temps, en l'absence complète de quelqu'une des substances minérales nutritives, dont les indispensables pour les jeunes sont l'acide phosphorique, la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, le chlore et le fer. Mais ce temps n'est jamais bien long. Voit a établi expérimentalement qu'une ration alimentaire complétement dépourvue de potasse, par exemple, détermine, au plus tard au bout d'un mois, chez les chiens, tous les phénomènes de l'inanition, précédés de la manifestation du délire de la faim, quelque copieuse que soit d'ailleurs la ration. Kemmerich, Dünkelberg ont, de leur côté, démontré son influence favorable à l'assimilation des albuminates, chez les herbivores et les omnivores.

Le rôle de la potasse serait, selon Marcet, de rendre assimilable à l'économie animale le phosphate basique de chaux qui, tel qu'il se présente à l'état cristalloïde dans les os, dans les roches comme l'apatite ou dans les coprolithes, n'est assimilable que pour les végétaux. Sous quelque forme du reste qu'on administre aux animaux les divers phosphates de chaux de provenance minérale directe, il est douteux qu'aucune de leurs parcelles puisse se fixer dans les tissus vivants des animaux.

De nombreuses expériences ont été faites récemment en Allemagne dans cette direction. Certains auteurs croient avoir constaté les propriétés nutritives des phosphates minéraux amenés à l'état colloïde par une préparation préalable. Les résultats auxquels ils sont arrivés manquent de netteté, la distinction entre ces phosphates ajoutés et ceux d'origine organique, faisant en même temps partie de la ration, n'ayant pas été suffisamment établie. Dans l'état actuel de la science, il faut s'en tenir à considérer comme seuls nutritifs pour les animaux les phosphates qui font partie de l'organisme des végétaux. Et c'est là une notion dont nous saisirons surtout l'importance quand nous nous occuperons plus loin de la nutrition particulière des individus en période de croissance.

Il y a encore un état de ces substances minérales qui devra fixer notre attention, c'est celui qui se présente dans le lait, dont elles font partie en proportion considérable. Cet état est incontestablement le plus propre à en faciliter la digestion. Là, il existe une sorte de combinaison entre le phosphate de chaux et la caséine, qui semble être une préparation à la formation des éléments du système osseux.

En dehors de ce cas, la condition la plus favorable est celle par laquelle l'acide phosphorique, à l'état de phosphate de potasse comme il existe dans les graines céréales, légumineuses ou oléagineuses, est mis en présence des sels de chaux contenus dans les tiges végétales fourragères et dans l'eau des boissons. Marcet a fait la théorie des réactions qui se passent alors dans le milieu intérieur du sang et desquelles résulte la formation du phosphate tribasique des os.

La digestion des autres sels nutritifs ne présente aucune difficulté, parce que tous sont solubles ou directement diffusibles dans les sucs digestifs. Ils sont osmosés par les chylifères avec une grande rapidité, dont on peut avoir une idée par la prompte élimination urinaire de ceux qui, étant solubles ou diffusibles comme eux, ne sont cependant pas nutritifs, en ce qu'ils ne font point partie intégrante des humeurs ou des tissus.

On ne s'est pas occupé de déterminer le coefficient de digestibilité des sels nutritifs, et cela se comprend sans peine, d'après ce que nous venons de dire. Quelques-uns d'entre eux ont attiré plus particulièrement l'attention des expérimentateurs, à cause de leur double rôle dans la nutrition, qui est non-seulement de fournir à l'économie animale des éléments de constitution, comme nous venons de le voir, mais encore d'exercer sur l'appareil digestif une action physique excitante de sa fonction. Cette action ne leur est pas exclusive, c'est pourquoi nous devons l'envisager d'une façon plus générale, en les faisant entrer dans une nouvelle catégorie à laquelle ils appartiennent en même temps que d'autres matières alimentaires de nature organique.

Condiments. — La digestion des matières alimentaires ne dépend pas seulement de leur digestibilité propre et de la relation nutritive, sur lesquelles nous venons de donner les détails essentiels; elle ne dépend pas seulement non plus de l'aptitude digestive individuelle; toutes choses qui cependant ont une influence prépondérante, en général, sur le coefficient; il y a, en outre, des dispositions actuelles qui ont pour effet de restreindre ou d'étendre ce coefficient.

D'abord, toutes les substances qui, par leur saveur ou par leur odeur, impressionnent agréablement le système nerveux de l'appareil digestif, ont la propriété de favoriser ainsi l'exécution de sa fonction. Ce sont ces substances qui sont depuis longtemps rangées parmi les condiments et dont un certain nombre servent dans nos cuisines à l'assaisonnement de nos mets. Toutefois les études récentes de Voit ont montré que le terme de condiment ne peut plus être maintenu dans des limites aussi restreintes. En le définissant d'une façon précise, l'auteur a fait voir qu'il s'applique justement à des circonstances sinon d'un autre ordre, du moins d'un tout autre genre. Les influences purement morales sont en ce sens incontestables chez nous. Il n'y a pas de raisons pour que les animaux y échappent, toutes proportions gardées; à plus forte raison, pour les influences physiques.

Un mets bien présenté, qui flatte à la fois l'œil et le goût et qui est mangé avec plaisir, sera toujours mieux et plus complétement digéré, à composition chimique égale, que s'il inspire une répugnance, si faible qu'elle puisse être. Une préoccupation pénible trouble toujours la digestion. L'état d'indifférence la réduit à son minimum d'action, bien qu'elle n'en soit point influencée d'une façon pénible. Voit a fait remarquer heureusement les effets différents sur la digestion qu'on observe quand on compare le repas consommé en face d'un beau site, dans la compagnie de convives aimés ou spirituels, de jeunes enfants gais surtout, à celui qui est pris dans la solitude ou la captivité. Cela soulève des questions dont nous ne pouvons pas nous occuper ici. Nous n'en parlons que pour bien faire sentir la définition exacte du condiment, qui trouve son application à des choses d'un ordre en apparence tout différent. Il en résulte que tout est condiment, à la condition que soit exercée, au mo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment où les matières alimentaires sont introduites dans l'appareil digestif, une action agréable sur le système nerveux, soit général, soit particulier à cet appareil. L'action générale retentit nécessairement sur ce dernier.

Il suffit donc, d'après cela, pour qu'une substance doive être rangée dans la classe des condiments, qu'elle ait la propriété d'exciter l'appétit. Elle peut ou non joindre à cette propriété celle d'être nutritive. Dans le premier cas, elle est à la fois condiment et aliment; dans le second elle est condiment seulement. La notion est importante à retenir, à cause de son utilité pour la bonne constitution des rations alimentaires, au moyen de combinaisons bien entendues entre les diverses substances nutritives, dont la valeur propre se trouve ainsi portée au plus haut degré.

Pour ce qui concerne l'alimentation des animaux, les condiments exclusifs sont peu nombreux. On n'admet pour tels que certaines plantes très-sapides ou odorantes des prairies, les ombellifères principalement, et le sel de cuisine parmi les matières minérales. On a beaucoup discuté sur la valeur de ce dernier, mais en général ceux qui l'ont contestée ne semblent pas s'être fait une juste idée de l'action condimentaire comme nous venons de la définir. Ils ont trop envisagé le chlorure de sodium en vue de son importance comme partie intégrante des humeurs et des tissus. Il suffit de constater le goût prononcé de la plupart des animaux, des ruminants surtout, pour les aliments salés. Cela montre évidemment qu'ils apprécient beaucoup le sel et qu'il est pour eux un condiment très-utile. Si l'on examinait à ce point de vue les expériences contradictoires dont la relation existe dans la science, on n'aurait pas de peine à montrer que loin de se contredire elles déposent au contraire toutes dans ce même sens, quel qu'ait pu être d'ailleurs leur résultat apparent.

Boissons. Nous savons que le sang contient un peu plus de 900 parties d'eau sur 1,000. D'un autre côté, les expériences de Boussingault ont démontré qu'un cheval perd, en vingt-quatre heures, environ 30 kilogrammes d'eau par les urines et par les exhalations de la peau et du poumon; celles de Henneberg et Stohmann, qu'un bœuf en perd, par les mêmes voies, environ 25 kilogrammes. Quelle que soit sa quantité, suivant les circonstances, cette perte est constante.

Les résidus solides du fonctionnement de la nutrition ou des échanges nutritifs qui s'opèrent dans l'intérieur des éléments cellulaires de l'organisme ne peuvent être éliminés qu'à l'état de dissolution dans l'eau. Pour entretenir sans variation sensible la constitution normale du sang, il est donc nécessaire que l'économie animale reçoive du dehors une certaine quantité d'eau chaque jour. Celle qui fait partie de la constitution des matières alimentaires que nous avons étudiées déjà ne serait point suffisante, atteignît-elle, comme c'est le cas pour les herbes vertes et les racines, les tubercules et leurs résidus industriels, jusqu'au delà de 80 pour 100 de leur poids. De là nécessité des boissons dans le régime alimentaire, indépendamment de l'action directe qu'elles exercent pour faciliter, par une dilution plus grande, l'absorption des éléments nutritifs par la membrane intestinale.

Ces boissons agissent donc principalement, mais non pas exclusivement, par l'eau, qui en forme toujours la base et dont le rôle physiologique se trouve suffisamment expliqué par ce qui précède. Nous disons que telle n'est point leur seule utilité, parce qu'elles contribuent, en outre, par les substances minérales que les eaux naturelles contiennent en dissolution, à fournir au sang leur contingent de ces substances nécessaires, ainsi que Boussingault l'a fait voir. C'est surtout de la chaux et de la magnésie qu'elles y introduisent pour suppléer, lorsqu'il y a lieu, à l'insuffisance de ces bases dans la constitution des aliments proprement dits.

NUTRITION DES ANIMAUX.

D'ailleurs, les eaux ne sont potables, c'est-à-dire propres à servir de boisson, qu'à la condition de n'en être pas elles-mêmes dépourvues. On sait que les bases terreuses ne sont point facilement solubles dans l'eau, mais qu'à l'état de sels il en est autrement. Aussi est-ce à cet état qu'elles s'y trouvent naturellement, en présence de l'air. Dans des proportions convenables et pourvu que l'eau soit bien aérée, elles la rendent facilement digestive, c'est-à-dire légère pour l'estomac, selon la locution vulgaire. Quand, au contraire, l'eau est trop chargée de sels minéraux, elle devient lourde et impotable. Lorsqu'elle contient des matières organiques en décomposition, qui lui donnent une mauvaise odeur, due le plus souvent, comme l'a montré Chevreul, à la réduction des sulfates par ces mêmes matières organiques, elle est réputée insalubre. Elle est alors incontestablement fort désagréable pour l'homme et aussi pour la plupart des animaux, notamment pour les équidés et surtout pour les ânes; qui refusent obstinément de boire même quand seulement elle manque un peu de limpidité; mais il n'est pas du tout sûr qu'elle doive être réellement qualifiée d'insalubre, car les ruminants vont même jusqu'à lui accorder la préférence, et, en tout cas, ils la consomment sans en ressentir aucun inconvénient.

Nous n'avons pas à faire ici, bien entendu, l'étude complète des eaux potables ou salubres. C'est une question d'hygiène pure qui n'y serait pas à sa place. Ce qui nous intéresse, c'est uniquement le rôle des boissons dans la nutrition, au point de vue de l'eau en soi et des matières minérales nutritives, chaux, magnésie, oxyde de fer, etc., qu'elles y introduisent en proportions relativement considérables. Nous aurons à en tenir compte lorsque, plus loin, nous nous occuperons en particulier des conditions les plus propres à procurer aux jeunes animaux un développement aussi complet et aussi prompt que possible, ce qui est industriellement le principal problème de la production animale.

Préparation des aliments. Les préparations diverses auxquelles les matières alimentaires brutes peuvent être soumises ont pour but de modifier leurs propriétés physiques ou chimiques, de façon à épargner aux individus qui les consomment une partie du travail nécessaire pour rendre leurs principes immédiats plus facilement attaquables par les sucs digestifs, ou de leur faire acquérir une saveur plus accentuée et plus agréable, excitante pour l'appétit, et d'élever ainsi le coefficient de digestibilité.

Les principales opérations usitées pour atteindre le but dont il s'agit sont la division des aliments grossiers, leur ramollissement par la macération, leur cuisson plus ou moins complète par la vapeur d'eau ou par la coction, et, enfin, les traitements qui comportent des actions chimiques, telles que celles qui résultent de l'intervention directe de la chaleur ou de la fermentation. Nous allons les passer toutes en revue, en indiquant les sortes d'aliments pour lesquelles ces opérations sont le plus souvent employées.

La *division* des aliments s'opère à l'aide du hache-paille, pour les fourrages plus ou moins grossiers, et à l'aide du coupe-racines, pour celles-ci, pour les tubercules et pour les fruits charnus. Elle a plusieurs avantages, qui sont d'abord, en ce qui concerne les premiers, d'assurer leur consommation complète, puis de les rendre plus facilement traitables par les autres moyens qui doivent augmenter leur digestibilité; enfin, de rendre plus facile aussi l'exécution des mélanges auxquels ils peuvent se prêter. Pour les chevaux et pour les moutons, les particules doivent être aussi fines que possible; pour les bêtes bovines, au contraire, il vaut mieux qu'elles conservent un volume assez fort.

Cette division est tout à fait indispensable pour les tubercules et les racines, tels que les pommes de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

terre, les topinambours et les betteraves. Ces aliments restant entiers ne peuvent pas être aisément consommés par les animaux, en raison de leur volume plus ou moins fort; et quand ce volume ne s'oppose point à leur consommation, ils présentent le danger grave de s'arrêter dans l'œsophage. En outre, comme ce sont là des aliments généralement incomplets, ils ne peuvent être bien utilisés qu'à l'état de mélange avec d'autres plus riches en matières azotées. Conséquemment le mélange, pour être convenablement effectué, nécessite leur division préalable. Du reste, par leur nature même, ils sont facilement altérables à l'air, une fois coupés. Il y a donc indication de ne les préparer qu'au fur et à mesure des besoins.

Les graines céréales, légumineuses et oléagineuses, s'aplatissent, se concassent ou se moudent, en vue de rendre plus facile leur mastication et plus complète leur insalivation. Les préparations de ce genre ne sont vraiment utiles que pour ce qui concerne l'alimentation des ruminants, dont l'appareil dentaire n'est point tant fait pour la consommation de ces sortes d'aliments que pour celle des fourrages grossiers. Quant aux chevaux, il est au moins douteux qu'elles aient des avantages pour eux, qui sont pourvus de véritables meules. Toutes les expériences bien faites à cet égard, surtout avec l'avoine, tendent à établir que la graine distribuée entière n'est pas moins bien digérée que celle qui a été au préalable divisée. D'ailleurs, il y a lieu d'admettre, d'après ces mêmes expériences, que l'avoine perd par sa préparation une partie de ses propriétés, non pas nutritives, à proprement parler, mais excitantes de l'énergie. Les chevaux nourris avec la graine aplatie ou concassée s'engraissent et deviennent moins vaillants au travail.

Une telle considération n'intervient point à l'égard des animaux purement comestibles qui doivent digérer la plus forte proportion possible des aliments qu'ils consomment. Il suffit donc que la division des graines ait pour effet certain de suppléer la mastication dans une mesure quelconque, pour que son utilité ne laisse aucun doute. Dans une expérience faite par Lehmann avec des jeunes bouvillons, il a été constaté que 42,2 pour 100 de l'orge entière et 14,4 pour 100 de l'avoine restaient non digérés et étaient expulsés avec les excréments. Chez le cochon, Grouven a trouvé de même dans les déjections les proportions suivantes de grains non digérés:

	Avec une nourriture aqueuse.	Avec une nourriture sèche.
Orge.	14,7 %	7,3 %
Seigle.	10,5 »	9,3 »
Avoine.	9,4 »	6,3 »
Pois	0,9 »	0,5 »
Féverolle.	0,3 »	0,2 »

En faisant connaître ces résultats, Grouven remarque que les semences de pois et de fève sont si complétement digérées par le cochon qu'il devient superflu de leur faire subir une division quelconque avant de les introduire dans la nourriture des animaux de son espèce.

La mouture n'est usitée que pour des cas particuliers, par exemple pour administrer les semences qui doivent être ajoutées à l'eau des boissons. A l'état sec, les farines se consomment mal, à cause de la difficulté de leur déglutition, à l'exception toutefois de celles des graines oléagineuses, qui, cependant, soit qu'elles proviennent des tourteaux ou des graines non pressées, sont toujours mieux utilisées en mélange avec des aliments grossiers ou délayées dans l'eau.

La macération convient pour les graines légumineuses, dont la cuticule est épaisse, et pour les grains durs en général. Il ne faut pas y employer plus d'eau que le nécessaire pour les submerger, et elle ne doit point durer au delà de douze heures, à moins qu'on ne fasse aussi consommer par les animaux l'eau de macération. Dans celle-ci se dissolvent, quand elle est en grande quantité ou quand le contact se prolonge, des éléments nutritifs albuminoïdes et des sels dont la disparition appauvrit les grains alimentaires.

La macération se fait à froid ou à chaud. Dans le dernier cas, elle exige beaucoup moins de temps. Elle consiste alors à jeter un liquide bouillant sur les substances alimentaires qu'il y a lieu de ramollir parce qu'elles sont sèches et grossières, comme les pailles de céréales ou de plantes oléagineuses à gousses, telles que la navette ou le colza. On y emploie de l'eau pure, mais fréquemment aussi des résidus liquides de distillation, qui sont ainsi très-bien utilisés à une double fin. Plus est élevée la température du liquide, plus l'effet attendu se produit en se rapprochant de celui de la coction.

C'est par le même procédé que se prépare le liquide nutritif connu depuis longtemps sous le nom de *thé de foin* et qui est employé comme supplément de nourriture pour les veaux notamment. On admet que ce liquide contient, avec les principes aromatiques du foin, 16 p. 100 de ses principes nutritifs.

La coction agit nécessairement dans le même sens, mais avec une plus grande intensité. Elle est surtout d'une utilité incontestable pour les tubercules qui entrent dans l'alimentation des cochons et aussi des ruminants, en certains cas. Non-seulement ces tubercules cuits deviennent plus facilement digestibles, par le fait du changement de constitution que la chaleur impose à leurs principes amylacés, mais la coction leur enlève en outre le goût désagréable qui leur est propre à l'état de crudité. Il n'est pas nécessaire d'insister sur ce dernier point de vue, dont nous avons la preuve pour ce qui concerne les pommes de terre que nous mangeons nous-mêmes. Quant à la valeur nutritive, l'expérience s'est prononcée d'une manière nette.

En Angleterre, Dudgeon a nourri durant 9 semaines 11 jeunes cochons avec des pommes de terre et de la paille de fève. 6 recevaient leur nourriture cuite: ils ont gagné en 100 jours 89 livres de poids par tête; les 5 autres, avec la même nourriture crue, n'en ont gagné que 49. Les résultats constatés à Cast-Lothian, par Walker, n'ont pas été moins concluants en faveur de la cuisson. Il a nourri durant 75 jours des porcs sevrés avec des pommes de terre et de l'orge broyée, dont voici les effets comparatifs:

	Nombre d'animaux.	Poids initial.	Poids final.	Augmentation de poids En 90 jours.	Augmentation de poids Par tête par jour.
Nourriture cuite. . .	5	106 liv.	279 liv.	173 liv.	0,384 liv.
Nourriture crue. . . .	5	108	223	115	0,256

La conséquence favorable à la cuisson des aliments dont il s'agit ressort nettement de la comparaison des nombres.

La cuisson n'a pas seulement pour effet d'augmenter la digestibilité des éléments féculents. La modification de goût qu'elle leur imprime et que nous apprécions si bien pour les pommes de terre, ainsi que pour les châtaignes, par exemple, entraîne un changement dans la qualité du lait des vaches, qui a été de même démontré expérimentalement à Malkwitz, par Weber, sur 2 vaches d'Allgau nourries comparativement. Nous empruntons à Émile Wolff les nombres de l'expérience.

Ces deux vaches pesaient ensemble 1,600 livres allemandes de 467 grammes. Elles recevaient par jour 8 livres de foin, 30 livres de paille d'avoine, 4 livres de tourteau de navette, 4 livres de paille de lentille, et en outre un supplément de l'un des aliments indiqués dans le tableau synoptique suivant, qui montrera les résul-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tats comparatifs des divers modes d'alimentation auxquels elles ont été soumises:

Semaines d'expériences.	Nourriture.	Lait de la semaine.	Produit en beurre.	Quantité de lait nécessaire pour 1 livre de beurre.
		livres.	livres.	livres.
1	80 livres de betteraves. . .	241	8	30
2	80 l. de pommes de terre crues..	274	6,5	42
3	120 livres de betteraves. . .	280	9,5	30
4	80 l. de pommes de terre cuites.	241	9,0	27

Il est clair, d'après ce tableau, que si les pommes de terre crues ont fait augmenter de 33 livres la quantité du lait produit dans la semaine, cette quantité plus forte n'a produit que 6,5 de beurre au lieu de 8. Les mêmes pommes de terre cuites, au contraire, qui n'ont donné que la quantité de lait obtenue avec le même poids de betteraves, ont augmenté de 1 livre la quantité du beurre extrait de ce lait. Il y a là des faits très-importants, sur lesquels nous reviendrons quand nous nous occuperons spécialement de la production du lait. Il suffit pour l'instant de bien marquer les influences exercées par la cuisson des aliments, considérée en général.

L'emploi de la vapeur, pour cuire les aliments, est préférable à celui de la coction dans l'eau, parce qu'il conduit au but sans addition à la ration d'une aussi grande quantité de liquide. Son action est aussi plus intense, quant à la désagrégation des matières fortement ligneuses, en raison de la température plus élevée à laquelle ces matières sont ainsi portées. A ce sujet, Gohren a fait une remarque sur laquelle l'attention ne saurait trop s'arrêter. Elle est relative aux effets de la nourriture chaude, indépendamment de ce qui concerne la digestibilité même des aliments. Toute épargne de force, dit-il, étant nécessairement une économie de matière, et étant donné que la digestion consomme nécessairement une grande quantité de chaleur, la consommation est d'autant plus forte que la différence de température est plus grande entre l'estomac et les aliments introduits dans son intérieur, ceux-ci devant se mettre en équilibre de température avec le corps. Conséquemment lorsque les aliments arrivent dans l'estomac avec une température au moins égale à la sienne, toute la quantité de chaleur qui, avec des aliments froids, eût été nécessaire pour établir l'équilibre, se trouve épargnée et profite au corps animal, en outre de ce que la digestion est par là facilitée. Une telle considération a surtout de l'importance pour les opérations d'engraissement, et nous ne manquerons pas d'y revenir à leur propos.

La germination des graines céréales et légumineuses, des glands, des châtaignes, dont les conséquences chimiques ne doivent pas nous arrêter ici, puisqu'elles ont un intérêt industriel qui leur assure ailleurs une place plus étendue, est une préparation très-intéressante au point de vue alimentaire. Elle transforme une partie des matières protéiques en diastase et fait passer à l'état de dextrine et de sucre les matières amylacées. Les principes immédiats nutritifs deviennent ainsi plus facilement diffusibles et par conséquent digestibles en totalité.

Les phénomènes qui se passent dans la préparation de ce qu'on appelle en Allemagne le foin brun sont du même ordre. Les fermentations dont la masse d'herbes vertes est en ce cas l'objet s'accompagnent en outre d'une élévation de température qui, en présence de l'air, dessèche cette masse et arrête ainsi les mouvements avant qu'ils aient eu pour conséquence la fermentation alcoolique complète, ou l'acétification, ou la putréfaction. Là est l'écueil des diverses sortes de préparations de ce genre dont les herbes de prairie sont l'objet et qui ont pour effet immédiat de donner au foin une saveur plus accentuée. Divers procédés ont été recommandés pour les effectuer. On les trouvera exposés dans les ouvrages spéciaux.

Les mélanges alimentaires dans lesquels entrent, avec des racines aqueuses, des tubercules ou des résidus, des fourrages bruts fortement ligneux, sont aussi soumis à la fermentation, qui agit sur eux jusqu'à un certain point comme la cuisson. Il suffit, pour la réaliser, de préparer les mélanges 24 heures avant de les distribuer aux animaux, avec des précautions dans le détail desquelles nous ne pouvons pas entrer ici et qui sont d'ailleurs une question de métier. Ce genre de préparation ne convient guère que pour les animaux à l'engrais et pour les producteurs de lait. Dans certains cas, il va jusqu'à l'acidification, comme pour les feuilles de betteraves, les fanes de pommes de terre, les tiges de maïs, à l'égard desquelles il est considéré comme un procédé de conservation pour l'hiver. Nous aurons à nous en occuper plus loin, quand il s'agira d'apprécier les effets des rations alimentaires, eu égard aux différents buts de la production. Il ne nous reste plus qu'à dire quelques mots des avantages que présente l'addition du sel de cuisine aux aliments, à un autre point de vue que celui des propriétés condimentaires de ce sel, dont nous avons déjà parlé.

Tous les auteurs recommandent de saler assez fortement les fourrages qui, par le fait des intempéries, n'ont pas pu être séchés convenablement et sont par là menacés de subir en tas la fermentation putride. Le sel a pour effet en ce cas de la prévenir ou de l'arrêter quand elle a déjà commencé. Les foins grossiers de prairie humide ou marécageuse, les regains tardifs surtout, sont toujours améliorés par la préparation dont il s'agit, qui se réalise en répandant le sel sur des couches minces de fourrage superposées. La couche supérieure, ou la dernière du tas, doit être plus fortement salée que les autres. On se procure ainsi le double avantage de conserver la matière alimentaire altérable et d'améliorer ses propriétés nutritives.

Nous laissons de côté un certain nombre d'autres préparations qui ont été recommandées, surtout en Allemagne, où les esprits sont constamment à la recherche des moyens de perfectionner l'alimentation des animaux, mais au sujet desquelles l'expérience ne s'est pas encore prononcée suffisamment. Il convient de n'exposer ici que la science acquise et de n'y point tenir compte de ce qui reste encore discutable.

Composition des rations. — Une ration alimentaire s'entend de la quantité d'aliments qui est nécessaire pour fournir à l'animal qui la reçoit de quoi entretenir son sang dans l'état normal que nous avons exposé en commençant. Pour être complète, elle doit contenir à la fois tous les principes immédiats nutritifs que nous avons décrits ensuite et dont nous avons étudié, pour chacun en particulier, le mode de digestion. Ils doivent en outre y être présents dans des proportions conformes au principe de la relation nutritive, afin qu'ils soient utilisés au plus haut degré possible.

Peu de matières alimentaires, considérées isolément, remplissent à la fois toutes ces conditions. Le lait pendant les premiers mois de la vie du jeune sujet, les herbes vertes des prairies après son sevrage et durant sa période de croissance, et le foin de ces prairies, c'est-à-dire les herbes coupées et séchées en pleine floraison, pour l'herbivore adulte, peuvent seuls être considérés comme des aliments complets. Nous avons vu que leurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diverses relations nutritives, aussi bien d'après l'expérimentation que d'après l'observation, se montrent tout à fait normales.

Afin d'utiliser les nombreuses substances alimentaires que l'agriculture met à notre disposition, en outre de celles dont il vient d'être question, et cela dans les meilleures conditions, il y a donc lieu de les mélanger entre elles, de former des rations composées d'après certaines combinaisons que la science nous a enseignées et sur lesquelles nous allons entrer dans quelques détails.

D'abord il faut déterminer une base de calcul pour évaluer aussi exactement que possible le poids de la ration nécessaire, quelle que soit sa composition et en supposant celle-ci conforme d'ailleurs aux principes précédemment posés. Ceci se rapporte à une question bien souvent et longuement débattue, mais toujours résolue dans le même sens par l'expérimentation rigoureuse; question importante surtout au point de vue économique.

Dans les conditions industrielles, l'instinct des animaux n'est pas un guide suffisant, en ce qui concerne l'alimentation. Les aliments laissés à leur discrétion sont en réalité gaspillés par eux. S'ils sont appétissants, comme ils doivent l'être toujours dans une exploitation bien conduite, les animaux en prennent au delà de ce qu'ils peuvent utiliser. Tous les bons observateurs sont unanimes pour condamner ce qu'on appelle la nourriture *ad libitum* ou à volonté. Les animaux doivent être rationnés, autrement dit leur ration doit être réglée, en poids et en volume, selon des considérations qui constituent l'une des principales bases scientifiques de l'alimentation et qui vont être exposées.

La disposition de l'appareil digestif, qui est différente selon les genres naturels, influe sur le volume d'aliments qui peut y être introduit chaque jour. La fonction de cet appareil ne s'exécute bien qu'à la condition d'un certain lest, dont la présence a par conséquent une importance considérable et trop souvent méconnue dans l'alimentation de l'homme surtout. Il faut qu'à chaque repas l'estomac soit, non pas distendu, mais rempli, afin que l'excitation digestive qui provoque la sécrétion du suc gastrique parte de toutes ses surfaces et que ses contractions demeurent purement réflexes, par conséquent inconscientes. Dès qu'elles se font sentir, elles deviennent plus ou moins douloureuses. Il est clair dès lors que la ration alimentaire d'un grand ruminant, par exemple, devra être plus volumineuse que celle d'un cheval, dont l'estomac unique a une capacité bien moins grande que celle de la panse du ruminant. Pourtant, à poids vif égal, les besoins nutritifs des deux sortes d'animaux ne diffèrent point sensiblement. Les relations nutritives nécessaires ne diffèrent pas non plus. C'est donc seulement par des différences dans la constitution physique des substances alimentaires qu'il est possible de satisfaire aux exigences des divers cas.

La quantité de matière alimentaire, supposée constituée chimiquement d'après le principe de la relation nutritive, a été démontrée par l'expérience comme devant représenter, à l'état complétement sec ou dépourvu d'eau, une fraction déterminée du poids vif de l'animal. Cette fraction n'est point constante. Elle varie selon des considérations que nous allons voir, et cela dans des limites fort étendues, si on l'envisage par rapport même seulement à l'une des grandes divisions du règne animal. Allibert a établi, par exemple, que la souris consomme par jour environ 60 % de son poids en froment. Il est évident qu'un animal de 1,000 kilogrammes se maintient nécessairement bien en deçà d'une telle proportion. La constatation du fait général ainsi exprimé par ses limites extrêmes suffirait pour amener à pressentir l'existence d'une loi en vertu de laquelle les besoins nutritifs doivent croître en raison inverse du poids, parce que les dépenses ou les déperditions croissent de même. C'est ce que Baudement a constaté, en effet, dans les recherches sur l'alimentation du bétail qu'il avait commencées à l'Institut agronomique de Versailles. Il a exécuté plus de 10,000 pesages sur des chevaux de la garnison, recevant tous la même ration réglementaire, et il a pu constater que les plus volumineux et les plus lourds étaient ceux qui, avec cette ration, conservaient ou augmentaient leur poids, tandis que les autres en perdaient au contraire. Depuis, de nombreuses expériences exécutées d'une autre façon et plus rigoureuse, dans les stations de l'Allemagne, sur des animaux des divers genres, ont confirmé cette donnée avec plus de précision.

Il est admis, pour les animaux qui nous intéressent, qu'ils peuvent utiliser, en matière sèche alimentaire, de 2,5 à 3 % de leur poids vif, mais pas au-delà. Au delà de ces nombres-limites, ils ne sont point mis dans les conditions de leur plein fonctionnement, comme machines productrices, quelque soit d'ailleurs le genre de production qu'on en exige. C'est entre ces limites que doit osciller le règlement de la ration, et la proportion exacte ne peut être déterminée que par le tact du praticien observateur, non-seulement d'après la loi plus haut indiquée, mais encore d'après l'aptitude individuelle du sujet à nourrir, qui varie considérablement. Il ne s'agit donc ici que d'une base générale propre à guider l'observation, en lui traçant ses bornes, non à la suppléer complétement.

En conséquence, un animal du poids vif de 500 kilogrammes par exemple, ce qui est un poids moyen, sera nourri au mieux avec une ration pesant 12 kilogrammes de matière alimentaire sèche. Il est clair que ces 12 kilogrammes de matière sèche pourront être empruntés à des substances brutes d'une teneur en eau très-variable et par là de volumes très-différents. Entre les foins et les graines qui contiennent en moyenne environ 15 % d'eau et les fourrages verts, les racines, les tubercules et leurs résidus, qui en contiennent jusqu'à 90 %, il y a suffisamment de marge pour que la composition des rations ne soit point gênée par l'exigence que nous venons de faire ressortir.

Après cette exigence vient celle, non moins impérieuse à notre avis, qui concerne l'entretien de la machine animale. Les expérimentateurs allemands, qui ont le plus travaillé depuis quelques années sur ces questions, ne paraissent pas s'y être suffisamment arrêtés. Il résulte de toutes leurs publications à ce sujet que la ration alimentaire peut être considérée comme bien constituée, pourvu que soit respecté le principe de la relation nutritive, et en outre respecté aussi celui de la variété des aliments, dont nous parlerons plus loin.

Eh bien! l'expérience nous a démontré, et au besoin le raisonnement seul eût été suffisant pour le faire admettre, que cet entretien de la machine ne peut être assuré qu'à une seule condition: c'est que la ration ait pour base fondamentale l'aliment normal ou naturel de l'espèce animale considérée. Pour nos herbivores domestiques cet aliment est le foin de pré. Lui seul, par sa constitution et par ses propriétés résultant de la variété des plantes qui le composent, peut fournir les matériaux qu'exige le travail intérieur de la vie animale, lui seul peut suffire à tous les besoins de la réparation intime, parce que seul il est, pour ces herbivores, un aliment véritablement complet. Ceci admis, et on ne peut pas le contester justement, il reste à déterminer dans quelle mesure s'étendent ces besoins de réparation, en d'autres termes, quelle est la proportion nécessaire du foin de pré dans la ration.

C'est, comme toujours, à l'expérience qu'il faut demander une telle détermination. Elle s'est prononcée à cet égard en établissant que l'*aliment d'entretien* doit représenter, en matière sèche, environ 1 % du poids vif

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'animal à nourrir. Avec cette proportion de foin de pré supposé complétement sec, l'animal ne produisant aucun travail extérieur ne perdra ni ne gagnera aucune parcelle de son poids; il réparera constamment sa substance, tout en fonctionnant pour la seule production du travail intérieur qui constitue sa vie propre. En dehors de là, son organisme périclite d'une façon plus ou moins ostensible, et en tout cas perd nécessairement de son aptitude à produire du travail extérieur ou des résultats de sécrétion comme ceux que nous lui demandons pour notre utilité.

Telles sont les notions essentielles pour la composition parfaite des rations alimentaires, aux deux points de vue économique et physiologique à la fois. Il n'y a plus ensuite qu'à ajouter, selon le genre d'animal et selon le genre de production à réaliser, les *aliments adjuvants* et les *aliments complémentaires*, ce que les Allemands nomment *Beifutter* et *Kraftfutter* (*aliment de force*), pour arriver au but pratique.

Les additions se font de bien des manières, que nous n'avons pas à indiquer en ce moment. Il convient de réserver cela pour les cas particuliers que nous passerons en revue ultérieurement. Ce qui est général seulement, c'est que la ration alimentaire, pour être bien constituée conformément au but de toute production, doit se composer au moins de deux aliments: celui d'entretien qui est toujours le même, et l'aliment complémentaire ou aliment de force, devant fournir à la machine productrice les matières premières de sa fabrication. Les aliments adjuvants amélioreront la ration au point de vue économique seulement, étant empruntés à des substances d'une valeur commerciale généralement moindre que celle de l'aliment d'entretien.

Les *aliments de force* sont encore appelés *aliments concentrés*. Leur type est fourni par l'avoine, autour de laquelle se groupent toutes les autres graines céréales, les graines légumineuses et oléagineuses. Les adjuvants sont représentés par les pailles, les foins de légumineuses, les racines, les tubercules, etc., en un mot par tous les fourrages relativement grossiers ou volumineux, auxquels il est bon de faire subir les préparations dont nous avons parlé précédemment.

La difficulté pratique est de composer, conformément aux bases qui viennent d'être posées, une ration qui satisfasse en même temps aux exigences de la relation nutritive, c'est-à-dire restant dans les limites de la formule de cette relation. R. Weidenhammer a fait connaître récemment un procédé à l'aide duquel le problème se trouve considérablement simplifié. S'il fallait en effet calculer à la fois tous les éléments de cette formule, on risquerait fort de se perdre dans leur complication.

Weidenhammer a remarqué que dans le calcul les extractifs non azotés pouvaient être sans inconvénient négligés, pour ne tenir compte que des matières protéiques et grasses, dont la proportion nécessaire, par rapport au poids vif de l'animal à nourrir, a été aussi déterminée. Le procédé qu'il recommande sera plus facilement compris à l'aide de l'exemple qu'il en donne, que par une dissertation purement théorique. Nous allons donc reproduire cet exemple, tiré des faits réels, puisqu'il s'agit de la ration des vaches de l'École d'agriculture de Helmsted, dirigée par l'auteur.

Dans le cas des vaches laitières, la formule de la relation nutritive la plus favorable $= \frac{MA1}{MNA5}$. Nous savons qu'il leur faut, pour être suffisamment nourries, en matière sèche alimentaire de 2,5 à 3 % de leur poids vif. Ajoutons maintenant que la ration bien constituée doit contenir de 0,25 à 0,28 de protéine % de ce poids vif, et de 0,08 a 0,09 de matières grasses. Les vaches pèsent en moyenne 500 kilogrammes et elles sont au nombre de 20. $500 \times 20 = 10,000$ ou 100×100.

Conséquemment, la ration doit contenir :

En matière sèche. . .	$100 \times 2,8 =$	280 kil.
— protéine	$100 \times 0,27 =$	27 —
— matières grasses .	$100 \times 0,08 =$	8 —

Ces quantités sont empruntées aux aliments reconnus comme étant les plus convenables pour le but industriel dont il s'agit et qui est la production du lait, de la manière suivante, à l'aide des tables de composition:

	Matière sèche.	Protéine.	Matières grasses.
500 kil. résidu de pommes de terre.	25 k.	5 k.	0,750
250 — betteraves.	30	2,500	0,250
100 — foin de pré.	85	8,500	2,500
50 — balles de froment.	45	2,000	0,750
25 — tourteau de colza.	20	7,000	2,250
	205	25,000	6,500

Il y a, d'après ces nombres, un déficit de matière sèche (205 : 280) qui est comblé par de la paille donnée à volonté après le repas du soir. En supposant qu'il en soit consommé 100 kilogrammes, contenant, d'après les tables, 85 kilogrammes de matière sèche, de 2 kilogrammes à 2,500 de protéine et 1,500 de matières grasses, la ration se trouve ainsi portée à 290 kilogrammes de matière sèche, à 27 kilogrammes de protéine et à 8 kilogrammes de matières grasses, soit aux nombres posés plus haut, sauf un excédant négligeable de matière sèche. En outre, en consultant les tables, on s'aperçoit que cette ration contient de 130 à 135 kilogrammes d'extractifs non azotés.

Or, $\frac{MA\ 27}{MNA\ 135 + 8} = \frac{MA\ 1}{MNA\ 5}$.

La relation se trouve donc tout à fait convenable, bien que la ration ait été calculée sans y faire entrer la considération des extractifs non azotés. On voit par là que la difficulté pratique se réduit à combiner la ration de manière à ce que les proportions des diverses matières alimentaires qui doivent être ajoutées à l'aliment d'entretien, fournissent à la fois les proportions de principes immédiats nécessaires pour réaliser la relation nutritive et soient dans l'état physique qui doit lui donner le volume exigé pour le genre d'animaux à nourrir.

A cet égard, dans l'exemple qui vient d'être cité, les betteraves peuvent être supprimées et remplacées par une plus forte quantité de résidu de pommes de terre. 1,000 kilogrammes de celui-ci au lieu de 500, avec 150 kilogrammes de foin et 100 kilogrammes de balles de froment, et 5 kilogrammes de graine de lin au lieu des 25 kilogrammes de tourteau de colza, donneraient le même résultat. En y ajoutant seulement 25 kilogrammes de paille, on aurait 285 kilogrammes de matière sèche, 25 kilogrammes de protéine et 8,75 de matières grasses.

En résumé, la composition des rations alimentaires peut être considérée comme ayant maintenant ses règles scientifiques, permettant de nombreuses combinaisons favorables à l'économie dans la production et dans l'exploitation des animaux. Il suffit de se conformer aux lois générales qui viennent d'être posées et discutées, pour assurer une bonne et profitable alimentation. Plus loin nous détaillerons les particularités propres à chacun des genres d'animaux et à chacun des genres de production, particularités qui imposent en outre l'obligation de donner la préférence à certaines substances alimentaires dans la composition des rations, afin d'arriver plus sûrement et plus économiquement au but de la production. Les considérations de cette sorte ont une importance énorme. C'est d'elles surtout que dépend le succès, dans les entreprises zootechniques. Elles ont été trop longtemps négligées ou considérées comme accessoires, au bénéfice des questions de choix des races ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de méthodes de reproduction qui, en réalité, ne sont que secondaires.

Distribution de la nourriture. — Nous avons vu qu'un rapport nécessaire existe entre le volume de la ration alimentaire et la capacité des organes digestifs. La digestion ne s'effectue bien et n'est aussi complète que possible, qu'à la condition d'observer ce rapport. Il importe donc de déterminer surtout la limite extrême jusqu'à laquelle ce volume peut descendre sans inconvénient bien sensible.

Pour les animaux de taille moyenne, Haubner a établi que le minimum d'aliments ligneux ou grossiers ne pouvait pas descendre, dans les 24 heures, au-dessous de 2k,500 pour les chevaux, de 3 kilogrammes pour les bêtes bovines et de 500 grammes pour les moutons. Le maximum peut être, chez les premiers, de 10 à 12 kilogrammes, chez les deuxièmes de 12 à 15 et chez les derniers de 2 à 2k,500. Les moyennes sont par conséquent de 4 à 5, de 5 à 6 et de 1. Il est bien entendu qu'à cela il faut toujours joindre l'aliment concentré ou aliment de production proprement dit.

Maintenant, comment ces aliments doivent-ils être distribués pour assurer leur meilleure consommation ? Cela dépend de plusieurs considérations, mais en premier lieu de celle qui se rattache au temps normal durant lequel ils doivent séjourner dans l'estomac. On n'avait à cet égard que des données empiriques et peu précises, lorsque Haubner a fait remarquer, par exemple, que chez les ruminants la rumination exige, pour être complète, au moins de une heure et demie à deux heures. Y compris le temps nécessaire pour manger, il ne doit, d'après cela, s'écouler guère moins de 4 heures entre les repas. Chez les herbivores monogastriques nourris à la fois d'aliments grossiers et d'aliments concentrés, ceux-ci séjournent pour le moins aussi longtemps dans l'estomac avant d'être complétement digérés. Le séjour des premiers est moindre, mais ils restent plus longtemps que les autres dans l'intestin. Quand il s'agit de se rassasier au pâturage, les moutons n'exigent pas moins de 2 heures à 2 heures et demie; les bêtes bovines ont rempli leur panse en 1 heure et demie, mais il leur faut plus de temps pour effectuer la digestion gastrique. Il suit de là qu'en général la ration journalière doit être partagée en trois ou quatre portions ou repas, afin que la digestion en soit aussi complète que possible. Ceci est un minimum commandé, ainsi que nous venons de le voir, par les exigences physiologiques mêmes de tous les animaux.

Mais, dans la plupart des cas de la production animale, il s'agit de pousser le plus possible à la consommation des aliments, le bénéfice de cette production étant toujours en raison des transformations nutritives qui se sont effectuées en un temps donné. Il importe donc toujours de stimuler l'appétit, et non pas seulement d'éviter la manifestation de la faim, qui est une souffrance nécessairement accompagnée de perte de substance. On y arrive d'abord par la ponctualité, puis par un certain ordre dans la distribution des aliments. Les repas doivent toujours être donnés à heure fixe, afin de ne pas les laisser désirer aux animaux. Ceux qui attendent leur nourriture s'impatientent, se tourmentent; et nous venons de le répéter, tout mouvement entraîne chez eux une déperdition de poids. C'est une dépense improductive qui doit être bannie de toute entreprise industrielle. Lorsque les repas sont uniformes, la ration étant composée d'un mélange d'aliments préparé d'avance, l'exactitude dans les distributions suffit, et il n'y a que des avantages à outrepasser le nombre minimum de 3 à 4 posé plus haut. Ce nombre peut être facilement doublé, en ce qui concerne les animaux dont le genre de production comporte un séjour constant à l'étable ou à l'écurie, ou à la bergerie, ou à la porcherie, ce qui est le cas des bêtes d'engrais.

NUTRITION DES ANIMAUX.

Si au contraire la ration est constituée par des aliments qui peuvent être distribués isolément, c'est alors que l'ordre de leur distribution prend de l'importance. Dans les deux cas considérés, la variété de la ration exerce son influence parce qu'elle est toujours agréable au palais et par conséquent stimulante pour l'appareil digestif, ainsi que nous l'avons vu en nous occupant des condiments; mais elle a de plus, dans le second, l'avantage de permettre d'établir dans la succession des repas une certaine hiérarchie. Tous les aliments dont se compose une ration ne sont pas également appétissants, soit par leur état physique, soit par leur saveur. En observant attentivement les animaux, il est facile de constater leurs préférences, et de se conduire au sujet de leur alimentation d'après les observations faites. Alors, les substances alimentaires qu'ils préfèrent leur seront avantageusement présentées en dernier lieu et suivant l'ordre inverse de ces préférences, afin que le dernier repas soit mangé avec autant de plaisir que le premier. Il en est de même pour les moments de la distribution des boissons, qui suit nécessairement celle des aliments solides.

Ces choses ont, dans l'alimentation, une importance capitale, qui a fait dire justement à J. Kühn que l'œil du maître et l'exactitude sont les choses essentielles pour la nourriture des animaux. Cela signifie surtout que les principes généraux ou scientifiques, tout en étant indispensables, ne suffisent point, et qu'il y faut joindre l'observation attentive et clairvoyante des individualités, afin d'appliquer toujours ces principes d'une façon tout à fait juste et exacte.

Respiration. — Les éléments solides et liquides de la nutrition, leur manière d'être au dehors et les meilleures façons de les administrer, tout cela nous est à présent connu; il nous reste à parler de ce qui concerne les éléments gazeux dont nous avons constaté la présence dans le sang.

L'observation directe nous apprend que l'air atmosphérique s'introduit continuellement dans l'appareil pulmonaire, par un mécanisme d'aspiration résultant de la dilatation de la cage thoracique due au soulèvement des côtes, et que ces mêmes côtes, en s'abaissant pour reprendre leur position première, provoquent l'expulsion d'une partie plus ou moins considérable du mélange gazeux contenu dans l'intérieur des poumons. Ce sont ces mouvements alternatifs d'introduction et d'expulsion de l'air qui constituent ce qu'on appelle la respiration pulmonaire. Leur continuité est absolument indispensable au maintien de la vie. La digestion est une fonction intermittente; la respiration est continue, sans quoi l'animal meurt bientôt asphyxié, en vertu d'un phénomène dont nous nous rendrons facilement compte bientôt.

La respiration s'effectue suivant un rhythme régulier qui n'est pas le même chez tous les genres d'animaux, parce que leur besoin d'oxygène n'est pas le même non plus. Son objet essentiel est en effet d'introduire cet oxygène dans le sang et d'en expulser l'acide carbonique, ainsi que cela va être expliqué. Mais il faut remarquer que l'échange gazeux ne s'opère point seulement par les poumons. Sur toute la surface du corps, qui est en quelque sorte baignée par l'atmosphère, il a également lieu par l'intermédiaire de la peau. Là, comme pour la respiration pulmonaire, le phénomène se réfère aux lois de la diffusion des gaz, absolument comme celui de l'introduction des principes immédiats nutritifs ressortit à celles de la diffusion des liquides. Pour s'en rendre immédiatement compte, il suffit de mettre en regard, ainsi que l'ont fait tous les physiologistes qui ont étudié la respiration, la composition de l'air atmosphérique, celle du mélange gazeux expiré et celle du mélange gazeux contenu dans le sang. Sur la composition exacte de celui-ci, les auteurs ne sont pas d'accord, les pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cédés employés par eux pour extraire les gaz du sang présentant des différences assez importantes. Il serait superflu d'entreprendre ici une discussion de ces différences. Nous empruntons purement et simplement à Gohren les nombres dont il s'est servi pour opérer le même rapprochement.

Dans 100 volumes, les gaz se répartissent de la manière suivante, pour les trois cas qu'il y a lieu de comparer:

	Air atmosphérique.	Gaz expirés (Brunner et Valentin).	Gaz du sang. (T. Meyer et Setschenow).
Oxygène	20,81	16,033	28,20
Azote	79,15	79,557	7,10
Acide carbonique.	0,04	4,380	64,70

Il est clair, d'après ces nombres, que, durant son séjour dans l'intérieur du poumon, l'air atmosphérique perd environ un cinquième de son oxygène et que sa proportion d'acide carbonique augmente dans une mesure énorme. Des expériences personnelles nous ont appris que, contrairement à l'opinion assez répandue parmi les physiologistes, la quantité de l'acide carbonique exhalé par le poumon varie beaucoup et n'est pas nécessairement en rapport constant avec le volume du mélange gazeux, expulsé par le mouvement d'expiration. Chez les animaux ruminants, notamment, la variation va parfois du simple au double, absolument ou relativement. Il convient donc de n'accepter les nombres exposés plus haut que comme une expression générale du phénomène.

Ce qu'il importe seulement de retenir de celui-ci, quant à présent, c'est que l'air atmosphérique cède dans la respiration de son oxygène au sang, et que la source de cet oxygène, indispensable pour l'exécution des échanges nutritifs, est par conséquent dans le milieu ambiant où vivent les animaux. De là nécessité de déterminer les conditions à la faveur desquelles ce milieu est le plus propre à la bonne exécution de la fonction respiratoire, qui est la plus urgente des nécessités nutritives.

En outre de l'acide carbonique rendu à l'atmosphère en proportion énormément plus grande, et d'une certaine quantité d'eau, il y a aussi dans l'air expiré une température plus élevée, qui influe sur cette quantité d'eau, le mélange gazeux des poumons étant toujours sensiblement saturé d'humidité à la température qu'il présente. L'animal qui respire cède donc à son milieu ambiant de l'acide carbonique, de l'eau et de la chaleur. Cela constitue en réalité la plus forte partie de ses pertes, car nous avons déjà vu que, pour ce qui concerne l'eau seulement, la déperdition s'élève jusqu'à 30 kilogrammes dans les 24 heures, sur lesquels les urines ne prennent que la plus faible portion.

La quantité d'air introduite dans l'appareil pulmonaire lors de chaque mouvement d'inspiration dépend à la fois de la capacité du thorax et de l'étendue de ce mouvement, c'est-à-dire du nombre d'inspirations qui s'effectuent dans l'unité de temps. Ce nombre varie selon les genres d'animaux, mais aussi dans chaque genre, selon les individus. A l'état normal, les jeunes sujets respirent plus fréquemment que les adultes et ceux-ci plus que les vieux. Pendant la marche, les respirations sont plus nombreuses que pendant le repos, et d'autant plus que l'allure est plus rapide. Les chevaux respirent de 10 à 12 fois par minute; les bêtes bovines de 15 à 20 fois; les bêtes ovines de 13 à 17 fois.

La température de l'air, son degré d'humidité, la pression atmosphérique et l'intensité de la lumière exercent une influence très-nette sur le nombre des respirations. Celui-ci augmente à mesure que l'atmosphère devient plus chaude, que la pression diminue et que la lumière est plus intense. Toujours la respiration est moins active durant la nuit que pendant le jour. La proportion de l'acide carbonique exhalé en un temps donné croît comme le nombre des respirations. Elle n'est donc pas précisément en raison de l'oxygène introduit, car la proportion de celui-ci dépend surtout de la pression atmosphérique.

NUTRITION DES ANIMAUX.

Dans l'état actuel de la science, on admet comme établies à ce sujet les propositions suivantes:

Moins il y a de respirations dans l'unité de temps, plus s'élève la proportion centésimale d'acide carbonique dans le mélange gazeux expulsé des poumons, mais plus est faible toutefois la quantité absolue de ce même acide carbonique; inversement, cette quantité absolue augmente lorsque la proportion centésimale diminue par une plus grande fréquence des mouvements respiratoires.

Pour le même nombre de respirations dans l'unité de temps, la quantité d'acide carbonique augmente à mesure qu'elles deviennent plus profondes ou plus étendues, bien que la proportion centésimale diminue.

Plus le volume d'air inspiré est petit et plus il séjourne dans le poumon, plus s'élève la proportion centésimale d'acide carbonique.

A mesure que la température de l'air s'abaisse, la quantité de l'acide carbonique s'élève; il en est de même pour l'augmentation de la pression.

Les variations de ce genre sont aussi sous la dépendance de l'alimentation et de la rapidité de la circulation du sang. Nous ne nous arrêterons pas en ce moment à ces circonstances, qui seront étudiées en particulier. Il convient d'insister ici seulement sur ce qui concerne la lumière, à cause de l'importance des phénomènes, eu égard aux opérations d'engraissement.

Il résulte des recherches de Pettenkofer et Voit que la diminution très-notable de l'acide carbonique exhalé durant la nuit ne correspond point, ainsi qu'on était disposé à le croire, à une diminution équivalente de l'oxygène absorbé. La proportion de celui-ci est au contraire augmentée. Henneberg a confirmé, chez les ruminants en particulier, ces résultats qui ont une grande importance pour l'hygiène de la respiration. On la comprendra mieux quand nous aurons examiné de plus près le rôle de l'oxygène dans la nutrition.

Mais dès à présent il est facile de déduire du fait, mis ainsi hors de doute, que la lumière a pour effet une augmentation d'activité dans les déperditions organiques, tandis que l'obscurité la diminue en activant au contraire les gains par une acquisition plus forte d'oxygène.

La quantité absorbée de ce gaz si important pour les fonctions nutritives dépend avant tout de sa proportion dans l'atmosphère respirable. C'est là ce qui doit le plus attirer notre attention, à notre point de vue actuel, pour nous mettre en mesure de bien diriger l'hygiène respiratoire des animaux.

La première question qui se pose est celle de savoir quelle doit être, dans l'atmosphère de l'habitation, la proportion d'oxygène, pour que la respiration puisse s'y effectuer sans trouble sensible de la fonction. De nombreuses recherches expérimentales permettent d'admettre que cette proportion peut descendre jusqu'à 14,8 %, c'est-à-dire diminuer d'un tiers, sans qu'il se produise aucune influence nuisible. A 7 % commence un trouble très-marqué, à 4,5 % la respiration devient très-difficile; et à 3 % la mort survient assez rapidement.

Ce n'est donc évidemment point par une diminution de son oxygène que l'air réputé vicié peut agir sur l'économie animale. S'il n'y avait pas d'obstacle à la diffusion de l'acide carbonique qui doit être expulsé du sang, dans le mélange gazeux dont l'oxygène fait partie et qui se trouve à l'intérieur du poumon après chaque mouvement d'inspiration, le sang trouverait à peu près toujours, dans les conditions ordinaires de la pression atmosphérique, la quantité de ce gaz qui est nécessaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour les besoins nutritifs. Mais pour que son acide carbonique soit éliminé, il est absolument indispensable que celui-ci puisse lui-même se diffuser dans le mélange gazeux qui remplit les vésicules pulmonaires.

Les lois connues de la diffusion des gaz nous montrent qu'à la température du corps animal ce mélange gazeux ne peut pas contenir au delà d'une proportion déterminée d'acide carbonique. Dès que cette proportion est atteinte, le gaz s'accumule dans le sang et produit l'asphyxie. Il résulte des recherches de Maercker et Schulze, que l'atmosphère d'une habitation pour les animaux domestiques qui nous intéressent, peut contenir de 2,5 à 3 p. 1000 d'acide carbonique, sans que leur respiration en soit aucunement troublée. Au delà de cette proportion, le trouble commence, le gaz narcotique du sang n'étant plus diffusé ou expulsé en suffisante quantité.

On comprend bien que la teneur normale de l'air en acide carbonique, que nous avons vu être de 0,04 %, ne peut arriver à ces nombres de 2,5 à 3 p. 1000, qu'à la condition d'un lent renouvellement de l'atmosphère respirable. Pour cela il faut à une tête de gros bétail de 50 à 60 mètres cubes d'air nouveau par heure. Si le renouvellement ou la ventilation n'a pas lieu, l'acide carbonique éliminé dans chaque mouvement respiratoire se diffuse dans l'atmosphère confinée et la rend bientôt tout à fait irrespirable, pour le motif que nous avons dit.

Mais il n'y a point de cas, dans la pratique, où les choses en soient à ce point: on ne constate que la ventilation insuffisante, et encore d'une façon bien plus rare que la plupart des hygiénistes ne semblent disposés à le croire. Le plus grand nombre des habitations animales laissent plutôt à désirer sous le rapport de leur propreté, de leur température et de leur lumière, que sous celui de leur ventilation. Celles qui, eu égard au but de la production, devraient être fraîches et bien éclairées, sont trop chaudes et obscures; celles qui devraient être maintenues à une température douce et dans une demi obscurité, sont trop éclairées et refroidies par une ventilation trop active.

En général, il importe surtout d'éviter les pertes de chaleur animale qui se produisent par le rayonnement de la surface du corps ou par la peau et par le poumon. Ces pertes ont toujours pour conséquence la nécessité d'une alimentation plus forte, qui doit les couvrir par la la chaleur qu'elle dégage. C'est la peau qui est le véritable régulateur de la température animale, parce qu'elle cède au milieu ambiant la chaleur dégagée en excès dans l'intérieur du corps. Une partie de cette chaleur est aussi employée, ainsi que nous l'avons fait remarquer précédemment, pour établir l'équilibre entre la température de l'estomac et celle des boissons froides et des aliments introduits dans son intérieur. Lorsque le dégagement dépasse ses limites normales, sous une influence quelconque, la circulation du sang devient plus rapide dans les vaisseaux sous-cutanés et la sueur se manifeste. Il en est de même dans les vaisseaux du poumon, qui d'ailleurs sont alors plus fréquemment mis en contact avec l'air froid, par une respiration plus active. La diffusion de la vapeur d'eau dans l'air qui se renouvelle sur les deux surfaces tégumentaires entraîne une perte de chaleur qui rétablit l'équilibre d'abord rompu. Quand au contraire la production de chaleur diminue, les vaisseaux se resserrent, ils charrient moins de sang et le rayonnement devient moins fort.

Il est facile de voir, d'après cela, que la respiration par les poumons et par la peau est une des principales fonctions de l'organisme animal. A vrai dire, elle tient toutes les autres sous sa dépendance. C'est par elle que commence la vie propre de l'individu ; c'est l'oxygène atmosphérique qui est en quelque sorte l'étincelle nécessaire non-seulement pour allumer le flambeau de la vie, mais encore pour l'entretenir. Cela nous donne la mesure de l'attention que mérite, dans l'étude de cet organisme, la constitution même des organes chargés de l'accomplir.

Il y a un rapport nécessaire, que nous examinerons de plus près ultérieurement, entre la capacité pulmonaire, par exemple, et l'aptitude des animaux à produire, dans les meilleures conditions, les résultats de leurs fonctions économiques. Ce rapport existe pour la raison très-simple que, toutes les circonstances passées ici en revue étant égales d'ailleurs, la quantité d'oxygène introduit dans le sang, et la quantité d'acide carbonique dégagé de ce même sang dans l'unité de temps, sont en raison de la capacité des poumons. Or, comme l'étendue des poumons est nécessairement en raison de celle de la cavité thoracique (qu'il ne faut point confondre avec ce qu'on appelle, chez les animaux, l'ampleur de la poitrine), le sujet à vaste thorax est celui qui respire le plus et dont la vie est par conséquent la plus développée.

La capacité du thorax ne dépend pas seulement de l'étendue des deux diamètres vertical et transversal de la poitrine, ainsi qu'on le croit communément ; elle dépend surtout de l'obliquité du diaphragme, qui forme la base du cône tronqué représenté par la cage thoracique. Le nombre des vertèbres dorsales qui forment la clef de voûte du thorax étant invariable dans chaque genre d'animaux et leur volume individuel à peu près égal chez les sujets de la même taille, il n'y aurait point de variations bien sensibles si elles ne devaient résulter que des différences dans son diamètre transversal, celui-ci dépendant, de son côté, seulement de la longueur du rayon du cercle dont la côte est un arc. La longueur de la côte déployée restant toujours sensiblement la même, le diamètre vertical du thorax gagne ce que perd le diamètre transversal, et inversement, lorsque le rayon augmente ou diminue.

Les différences de capacité tiennent donc presque exclusivement à la longueur du sternum, qui forme pour ainsi dire le plancher du thorax, le point d'attache du diaphragme qui le clot en arrière étant situé, inférieurement, à son extrémité postérieure. Nous reviendrons sur ce fait pour le préciser davantage, lorsque nous nous occuperons en particulier du rapport qui existe entre l'ampleur de la poitrine et l'aptitude à certains modes de nutrition.

Circulation du sang. — Maintenant que nous avons des notions sommaires mais suffisantes sur les sources où sont puisés les matériaux de la constitution du fluide sanguin et sur les conditions principales du meilleur emploi de ces matériaux solides, liquides et gazeux, il faut nous occuper des mouvements à la faveur desquels ils sont charriés vers tous les points de l'économie animale, pour servir à la construction ou à la réparation de ses tissus et à la formation de ses produits, ainsi qu'à la répartition de la chaleur qui s'y dégage et à l'élimination des résidus de fonctionnement vital. Auparavant toutefois, il est nécessaire de prendre une idée du dispositif de l'appareil qui le contient et dans lequel s'exécutent ses mouvements.

L'appareil circulatoire représente un système de tubes ou de vaisseaux formant plusieurs réseaux complets, au centre commun desquels se trouve un organe contractile ou moteur, qui est le *cœur*. Celui-ci nous offre deux couples de cavités superposées, d'où partent et où viennent aboutir les troncs ou gros vaisseaux du système. Les cavités supérieures sont les *oreillettes*, les inférieures les *ventricules*, dont les contractions sont les plus puissantes. Toutes se contractent à la fois. Du ventricule gauche part le tronc artériel, qui se divise bientôt en deux maîtresses branches, dirigées l'une vers les régions antérieures, l'autre vers les régions postérieures du corps. Ces branches se subdivisent à leur tour en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

autant de branches secondaires qu'il y a d'organes à pourvoir de sang, pour se terminer enfin, après avoir fourni des rameaux de plus en plus fins, en un réseau de *vaisseaux capillaires* qui entoure tous les éléments anatomiques cellulaires.

Les parois des *vaisseaux artériels* sont formées de tissu jaune élastique qui, en vertu de son élasticité même, réagit sur le courant sanguin et contribue à ses mouvements. Lorsque ces vaisseaux se vident, leurs parois ne s'affaissent point, de telle sorte que leur lumière reste toujours béante. En outre, chacune des branches artérielles a un diamètre égal dans toute son étendue ; c'est-à-dire qu'elle représente un cylindre et non point un cône. Seulement, à mesure qu'on considère ces branches plus loin du tronc partant du cœur, dit *tronc aortique*, leur diamètre va constamment en diminuant. L'*aorte antérieure* et l'*aorte postérieure* sont moins grosses chacune que le tronc aortique, et ainsi de suite pour toutes les artères qui en dérivent. Ajoutons qu'il n'y a aucune aspérité ni valvule dans toute l'étendue des tubes artériels.

Le *ventricule gauche* du cœur est dit encore *ventricule artériel*, à cause de la qualité du sang qu'il contient et qu'il chasse dans le système de vaisseaux que nous venons de voir. Du *ventricule droit*, ou *veineux*, part aussi un tronc constitué anatomiquement comme le tronc aortique, mais qui cependant porte le nom de *veine pulmonaire*, parce qu'il charrie du sang veineux. Arrivé au niveau des bronches du poumon, ce tronc se divise et se subdivise à la façon de ces mêmes bronches, jusqu'à fournir lui aussi un réseau capillaire qui occupe les parois des vésicules pulmonaires. C'est au travers des parois de ces capillaires que s'opèrent, par voie d'échange, la dialyse de l'acide carbonique contenu dans le sang veineux et la diffusion de l'oxygène contenu dans l'air du poumon introduit par les mouvements respiratoires. A la sortie des vésicules pulmonaires, les capillaires sont continués par les plus fines divisions d'un autre système de vaisseaux qui, donnant naissance à des branches de plus en plus volumineuses, aboutit finalement à l'*oreillette gauche* par plusieurs petits troncs qu'on appelle *veines pulmonaires*, quoiqu'elles charrient du sang artériel.

Nous venons de décrire ainsi un système circulatoire complet qui est le système des *vaisseaux* dits *pulmonaires*. Reprenons celui de la grande circulation au point où nous l'avions laissé, c'est-à-dire au réseau capillaire de la périphérie du corps et de l'intérieur de tous les organes de l'économie.

Là, comme dans les poumons, commence ce que nous nommerons, pour nous faire mieux comprendre, les radicelles de l'arbre veineux, qui, pour chacun des organes, aboutissent à un ou plusieurs vaisseaux principaux, accompagnant toujours les divisions artérielles, et débouchant dans deux troncs principaux dont ils sont les affluents. L'un de ces troncs est celui de la *veine cave antérieure*, l'autre celui de la *veine cave postérieure*. Ils se réunissent enfin en un tronc commun qui débouche dans l'*oreillette droite*.

Les parois des veines ne sont point, comme celles des artères, formées de tissu jaune élastique et rigide. Elles sont minces et transparentes, et elles s'affaissent facilement quand elles ne sont plus remplies de sang. En outre, elles sont pourvues intérieurement de replis ou valvules situés de distance en distance.

Les vaisseaux veineux qui partent des parois du tube digestif aboutissent d'abord à un tronc commun qui a reçu le nom de *veine porte*. Ce tronc, après un court trajet, se loge dans la scissure postérieure du foie, puis il se divise de nouveau pour fournir à l'intérieur de ce même foie un réseau capillaire particulier entourant les éléments glandulaires de l'organe, et auquel font suite de nouvelles veines qui, en sortant du foie, vont se terminer à la veine cave postérieure. Cela, comme pour le poumon, forme encore un système particulier qu'on appelle *système porte* ou *système de la veine porte*.

Enfin, il y a encore un autre système de vaisseaux centripètes qui, ceux-là, ne charrient point du sang, mais bien le fluide auquel on a donné le nom de lymphe, contenant à peu près tous les éléments du sang moins les globules rouges ou hématies. Il est au contraire beaucoup plus riche en globules blancs ou leucocytes. Partant de l'intérieur des organes, les *vaisseaux lymphatiques* très nombreux et d'un petit diamètre aboutissent d'abord à des *ganglions* qui semblent être autant de chefs-lieux pour les divers départements de leur réseau. Ceux des parties postérieures du corps aboutissent finalement à un *réservoir sous-lombaire* qui se continue par un *canal* dit *thoracique* jusqu'au débouché dans la veine cave antérieure. Une partie de ceux des régions antérieures se terminent par un conduit spécial débouchant également dans la veine cave. Ceux de l'intestin, qui portent le nom de *chylifères*, charrient avec la lymphe des matériaux nutritifs puisés à sa surface interne durant la digestion; ces matériaux sont les plus diffusibles ou ceux dont la digestion est complète.

Les cavités de l'organe central de la circulation sont pourvues, à leurs ouvertures de communication entre elles ou avec la plupart des troncs veineux ou artériels, de *valvules* ou soupapes dont la connaissance est nécessaire pour bien comprendre le mécanisme de l'appareil, que nous allons maintenant expliquer. Nous indiquerons à mesure leurs dispositions et leur fonctionnement.

Nous avons déjà dit que les parois de toutes ces cavités se contractent simultanément. Il serait superflu d'ajouter qu'elles sont à cet effet constituées par des fibres musculaires striées. Leur contraction, connue sous le nom de *battement du cœur* ou de *pulsation cordiale*, est la *systole*, qui diminue leur capacité et exerce en conséquence une pression plus ou moins forte sur le sang qu'elles contiennent. Cette contraction est nécessairement suivie d'un relâchement immédiat. C'est la *diastole*, durant laquelle les cavités du cœur se remplissent de nouveau.

Prenons le cœur au moment où la diastole vient de finir et où va commencer la systole, et considérons ce qui se passe alors dans chacune des quatre cavités adossées deux à deux.

Les valvules des ouvertures de communication entre les oreillettes et les ventricules, dites *valvules auriculo-ventriculaires*, s'ouvrent de haut en bas et se relèvent par conséquent sous la pression du sang contenu dans les ventricules. Celles des orifices pulmonaire et aortique s'ouvrent au contraire de bas en haut pour permettre la sortie du sang.

Conséquemment, lorsque se produit la contraction ou systole du cœur, le sang s'échappe par ces deux derniers orifices pour se répandre, d'une part, dans les vaisseaux fonctionnels du poumon, d'autre part, dans le système artériel général, où son cours est activé par les réactions des parois vasculaires, d'ailleurs pourvues elles aussi de fibres musculaires lisses animées par un système de nerfs découverts par Claude Bernard et nommés par lui vaso-moteurs.

La contraction cardiaque épuisée, la pression cesse et la diastole commence. Alors les valvules auriculo-ventriculaires, d'abord soulevées par la pression, s'abaissent et livrent passage au sang des oreillettes : celui de l'oreillette gauche, venant du poumon où il a cédé de son acide carbonique et pris de l'oxygène, tombe dans le ventricule artériel ; celui de l'oreillette droite, venant de la périphérie du corps et des viscères, chargé des matériaux puisés dans l'intestin, tombe dans le ventricule veineux. Puis survient une nouvelle systole, et ainsi de suite tant que dure la vie, c'est-à-dire tant que le cœur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reçoit l'excitation du système nerveux qui règle ses mouvements comme tous ceux des divers organes de l'économie animale.

Le sang circule donc, ainsi qu'on vient de le voir, sous l'impulsion que lui donne le cœur par la pression qu'il exerce et qui se continue par la réaction des parois artérielles. Cette réaction n'existe plus dans les veines, où le sang chemine cependant le plus souvent en sens inverse de la pesanteur. Mais l'influence de celle-ci est amoindrie par la présence des valvules veineuses, qui interrompent fréquemment la colonne sanguine et diminuent par conséquent les résistances à la pression cardiaque et artérielle. Ces mécanismes ont été bien étudiés dans tous leurs détails surtout par Marey; mais nous ne pouvons pas entrer ici dans ces détails, ce qui précède suffisant pour le but que nous nous proposons d'atteindre.

On comprend ainsi, en effet, comment la masse du sang, en circulation continuelle, se charge à son passage dans l'intestin des produits de la digestion; comment s'opèrent les phénomènes respiratoires lorsqu'elle traverse les vésicules pulmonaires; comment elle dépose dans les tissus les éléments de nutrition ou de sécrétion; comment enfin elle se débarrasse, en traversant les organes excréteurs, des résidus résultant des opérations de la vie.

Nutrition proprement dite. — Les parois des vaisseaux capillaires et celles des lacunes lymphatiques sont formées par de minces membranes qui, se trouvant constamment en contact, par leurs deux surfaces, avec des liquides de densités différentes, font l'office de dialyseurs. C'est ainsi que le sang, circulant dans leur intérieur, laisse échapper dans l'intimité des tissus une partie de son plasma, celle qui est diffusible, et reçoit les résidus également diffusibles des matériaux organiques usés par le fonctionnement des organes et devant être éliminés.

Cette partie diffusible du plasma sanguin est composée d'espèces chimiques dont quelques-unes, les inorganiques, nous sont parfaitement connues, tandis que les autres, les organiques, bien qu'elles aient été, de la part des savants qui cultivent la chimie physiologique, l'objet d'études nombreuses, n'ont pas encore été toutes déterminées d'une façon qui ne laisse point de place au doute. Ce sont ces espèces qui entrent dans la constitution des tissus vivants et qui, par l'accomplissement des phénomènes de la nutrition proprement dite, prennent les formes qui caractérisent les éléments anatomiques figurés, par une série de mutations dont les intermédiaires nous échappent pour la plupart. Exposons toutefois à cet égard l'état de la science, en laissant de côté, pour le moment, ce qui concerne l'eau et les gaz.

Les sels minéraux sont :

Le phosphate de chaux, qui se trouve sans exception dans tous les tissus et dans toutes les humeurs, mais en plus grande quantité dans les os et les dents, à l'état de phosphate tribasique (3 Ca 0, Ph 0^2). Selon les plus grandes probabilités, il est dans les humeurs en une sorte de combinaison avec les albuminates, qui le rend soluble dans l'eau.

Le carbonate de chaux, faisant également partie des os et qui se trouve aussi dans l'urine des herbivores, probablement à cause de son excès dans les plantes qu'ils consomment.

Le carbonate de magnésie et le fluorure de calcium, qui accompagnent dans les os et les dents, pour des quantités très-faibles, les deux sels précédents.

Le chlorure de sodium, dont le rôle dans l'économie animale est de la plus grande importance, attendu qu'il forme toujours la plus forte part des éléments solubles des cendres de toutes les substances animales.

Les carbonates alcalins et les phosphates alcalins, dont les derniers surtout sont peut-être aussi indispensables à la vie que le chlorure de sodium, et dont le rôle nutritif a été déjà indiqué à propos des aliments.

Les sulfates alcalins qui se trouvent en très-faible proportion, il est vrai, dans tous les fluides de l'économie animale, à l'exception du lait, de la bile et du suc gastrique. Ils paraissent être des produits de métamorphose régressive.

Le fer est un élément constituant des hématies. Il se rencontre dans les cendres de tous les tissus. Il est dans bon nombre de cas accompagné par une petite quantité de manganèse. L'état sous lequel ce métal existe dans l'économie n'est pas encore connu d'une manière précise. On lui a longtemps attribué la coloration des globules rouges du sang; mais Boussingault a démontré sa présence en proportion sensiblement égale dans le sang non coloré des mollusques.

Les espèces organiques formant des tissus, ou plutôt entrant dans leur composition chimique, se divisent en deux catégories. Les premières sont des matières assimilables; celles de la seconde catégorie sont des produits de désassimilation.

Dans la première catégorie nous trouvons :

1° Ce que les Allemands appellent des *albuminates* ou des *éléments protéiques*, constitués par du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et du soufre. Dans le tableau suivant, emprunté à Gohren, les noms de ces espèces chimiques plus ou moins exactement déterminées et leur composition élémentaire sont indiqués :

DÉSIGNATION.	Albumine.	Caséine.	Fibrine.	Globuline.
Carbone. . .	53,5	53.6	52,6	54,5
Hydrogène.	7,0	7,1	7,0	6,9
Azote. . . .	15,5	15,7	17,4	16,5
Oxygène . .	22,4	22,6	21,8	20,9
Soufre. . . .	1,6	1,0	1,2	1,2
Total. .	100,0	100,0	100,0	100,0

DÉSIGNATION.	Syntonine.	Acidalbumine.	Paralbumine.
Carbone. . . .	54,06	54,62	54,80
Hydrogène. .	7,28	7,15	6,93
Azote.	16,05	13,18	12,84
Oxygène. . . .	21,50	26,05	26,77
Soufre.	1,11	—	1,66
Total. . .	100,00	100,00	100,00

On voit que ces principes immédiats ont pour caractères communs de contenir en moyenne 16 p. 100 d'azote et de 1 à 2 centièmes de soufre, sauf celui appelé acidalbumine, qui en est dépourvu. Ils forment trois groupes, d'après la façon dont ils se comportent dans leurs dissolutions naturelles, qui sont ceux des éléments protéiques albumineux, des fibrineux et des caséeux.

Aux premiers, qui se coagulent à la température de 60 à 70° C., appartiennent l'albumine du sérum du sang, celle du blanc d'œuf, la paralbumine, la métalbumine, l'acidalbumine et la globuline ou élément des globules sanguins, qui ne se coagule point mais se trouble par la chaleur.

Le caractère distinctif des éléments fibrineux est de se coaguler sous la seule influence de l'air lorsque leur solution y est exposée au repos. Ils comprennent la fibrine du sang, la *syntonine* ou fibrine musculaire formant la partie essentielle des fibres dans les muscles striés ou lisses. D'après Kühne, il existerait encore dans les muscles un autre albuminate qu'il nomme *myosine*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et qui déterminerait, quand il se coagule, la rigidité cadavérique.

Les éléments caséeux nombreux qui, lorsqu'on soumet leur solution à l'influence de la chaleur, ne se coagulent point et forment seulement à la surface du liquide une mince pellicule, composent le troisième groupe; ils se coagulent à une basse température par l'addition d'un acide organique faible. Leur principal représentant est la caséine ou le caséum du lait, qui paraît y être maintenue en dissolution par la présence d'un alcali libre.

Au même groupe se rattachent plus ou moins des albuminates mal déterminés que l'on rencontre dans le sang, dans le jaune d'œuf, dans les membranes artérielles, dans le tissu cellulaire et dans les tendons.

2° Aux albuminoïdes, que l'on considère comme des dérivés des albuminates, et dont beaucoup font partie constituante des tissus, tandis que d'autres sont solubles, d'autres cristallisables et enfin d'autres des ferments animaux très-actifs, se rattachent:

La *mucine*, élément constituant du mucus dans lequel elle est maintenue en dissolution par un alcali.

La *kératine*, élément constituant fondamental des tissus cornés.

L'*élastine*, base du tissu élastique.

La *glutine*, élément fondamental des tissus qui, par la coction dans l'eau, donnent de la gélatine ou matière albuminoïde amorphe se prenant en gelée solide par le refroidissement. Ces tissus sont le tissu lamineux ou fibreux blanc, celui des cartilages fondamentaux des os et des cartilages ossifiés et des fibrocartilages.

La *chondrine*, formant les cartilages permanents et ceux qui précèdent l'ossification.

La *ptyaline* et la *pepsine*, ferments de la salive et du suc gastrique.

Enfin la *peptone*, résultant de l'action du suc gastrique sur les albuminates et les autres albuminoïdes. Elle est soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool, et se comporte comme les corps non coagulables par les acides faibles non plus que par la chaleur, ce qui la distingue nettement de l'albumine et de la caséine.

3° Parmi les espèces chimiques assimilables se trouvent encore les graisses, les savons et les acides gras libres.

Les graisses appartiennent à la catégorie des corps gras neutres; ce sont des *glycérides*. Elles ont reçu différents noms, d'après leur état physique. On distingue dans l'économie animale les graisses proprement dites, les suifs, les huiles et les beurres. Leur composition est très-variable et dépend beaucoup de l'origine des aliments ainsi que du genre des animaux considérés. On y trouve, avec la *glycérine*, qui en forme toujours la base, les *acides stéarique*, *oléique* et *palmitique*, ainsi que d'autres éléments en proportions variables qui sont la *myristine*, la *capronine*, la *caprinine*, la *capryline*, et la *butyrine*.

Pour donner une idée de l'importance des corps gras, comme éléments constituants des tissus et des humeurs de l'économie, nous emprunterons à Gorup-Besanez les résultats suivants de ses analyses:

	Matières grasses p. 100.
Sueur	0,001
Corps vitré	0,002
Salive	0,02
Lymphe	0,05
Synovie	0,06
Eaux de l'amnios	0,06
Chyle	0,2
Mucus	0,3
Sang	0,4
Encéphale entier	8,0
Moelle allongée	20,0
Nerfs	22,1

	Matières grasses p. 100.
Cartilage	1,3
Os	1,4
Bile	1,4
Cristallin	2,0
Foie	2,4
Muscles	3,3
Poils	4,2
Lait	4,3
Moelle épinière	23,6
Tissu adipeux	82,7
Moelle des os	96,0

On trouve des stéarates alcalins, des palmitates et des oléates alcalins, c'est-à-dire des corps gras saponifiés, dans le sang, dans le chyle, dans la lymphe et dans la bile.

Les acides libres de ces sels gras ou savons se présentent en faible quantité dans l'intestin.

4° Enfin, pour terminer la liste des corps organiques capables de prendre part à l'organisation des tissus, ajoutons les hydrates de carbone déjà décrits sous la désignation d'extractifs non azotés. Ceux-ci, dont nous avons le premier indiqué la présence constante dans tous les tissus, principalement sous forme de *dextrine*, paraissent avoir pour principal rôle de contribuer pour la plus forte part à la formation des matières grasses. On les trouve en proportions très-variables à l'état de dextrine ou d'amidon soluble, de *cellulose* et de *glycose*. Ils sont surtout abondamment accumulés dans le tissu du foie, auquel a été attribuée la faculté de les former, sous le nom commun de *glycogène*, ainsi que les acides et les matières colorantes de la bile. C'est pourquoi le glycogène et ses dérivés supposés, le glycose et le *lactose* ou sucre de lait, sont placés à tort par quelques auteurs parmi les composés engendrés dans l'organisme même par désassimilation.

Au nombre de ces composés se trouvent réellement les acides et les matières colorantes dont il vient d'être parlé, et de plus la *cholestérine*, combinaison ternaire assez répandue qui se présente en grande quantité surtout dans la bile et dans le tissu nerveux du cerveau particulièrement, et l'*inosite*, matière sucrée qui a été extraite principalement du tissu musculaire.

Les produits de métamorphose régressive, dont la connaissance est de la plus grande importance pour la théorie des phénomènes nutritifs, se divisent en deux classes, dont l'une comprend ceux qui contiennent de l'azote, et l'autre ceux qui en sont dépourvus. Parmi ces produits, les uns sont de la nature des amides, les autres sont des acides azotés ou non azotés, et enfin d'autres sont neutres ou indifférents.

Les amides comprennent :

La *leucine* et la *tyrosine*; peu importantes.

La *créatine*, qui ne manque jamais dans le suc des muscles lisses ou striés de toutes les classes d'animaux. On la considère comme le résultat immédiat des échanges nutritifs du tissu musculaire. Il se produit constamment une augmentation absolue de la créatine pendant le travail du muscle. Le cœur, dont l'activité est sans contredit toujours la plus forte, en contient constamment davantage, poids pour poids, comparativement avec les autres muscles de l'économie.

La *créatinine*, qui se trouve dans l'urine, diffère de la créatine par deux équivalents d'eau en moins. Elle paraît être par là même un produit de régression plus avancée.

La *sarkine* existe aussi dans le tissu musculaire. Elle contient plus de carbone que les précédentes, avec lesquelles elle ne semble pas avoir de relations.

Il en est autrement pour l'*urée*, qui est l'élément principal de l'urine des mammifères et représente incontestablement le dernier terme de la régression des albuminates. Par ses caractères chimiques, en effet, elle marque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la limite entre les formes sous lesquelles, dans les conditions normales de l'organisme, se présentent les combinaisons organiques et inorganiques de l'azote. Tandis que tous les autres composés du même genre ne contiennent pas moins de six équivalents de carbone, elle n'en contient plus que deux. Exposée à l'air humide, elle donne spontanément du carbonate d'ammoniaque.

Les acides azotés sont l'*acide hippurique* et l'*acide urique*, tous les deux très-riches en carbone et se trouvant dans l'urine; plus l'*acide inosique* existant dans le suc de viande.

Les acides organiques dépourvus d'azote comprennent l'*acide formique*, trouvé, chez les animaux supérieurs, dans la sueur, dans la boue splénique, dans le pancréas, dans le cerveau, dans le sang, dans l'urine et dans le suc musculaire, accompagnant le plus souvent l'*acide acétique* dont il est probablement un produit d'oxydation.

L'*acide butyrique* les accompagne aussi, mais il se rencontre en outre à peu près constamment dans les fluides de l'estomac et des intestins, surtout dans les dernières portions de ceux-ci avec les excréments.

L'*acide lactique*, de même très-répandu dans le tube intestinal et dans le chyle des animaux à la mamelle, se trouve aussi dans le suc musculaire.

Les autres acides n'ont été rencontrés qu'accidentellement. Nous n'en parlerons donc pas ici. Les composés indifférents n'ont encore été que très-peu étudiés. On sait seulement qu'ils contiennent de l'azote et sont très-riches en carbone.

L'énumération faite des composés dont l'analyse chimique a jusqu'à présent révélé l'existence dans l'économie animale, il nous reste à suivre, autant que possible, la succession des phénomènes en vertu desquels les principes immédiats d'origine végétale s'y transforment ainsi, pour en être finalement éliminés sous les deux états que nous avons vus d'acide carbonique et d'urée. Ce sont là, en effet, leurs produits ultimes. Les métamorphoses intermédiaires constituent dans leur ensemble la nutrition proprement dite. Malgré de nombreuses recherches poursuivies en ces derniers temps dans le domaine de la chimie physiologique, beaucoup de ces métamorphoses nous échappent encore. Nous en sommes réduits sur leur compte à de simples probabilités et même seulement à des possibilités. La démonstration expérimentale manque. Exposons toutefois sur ce sujet plein d'intérêt l'état de la science.

Ce qui n'est point douteux, par exemple, c'est que toutes ces mutations qui s'opèrent dans les matières organiques en circulation ont pour conséquence immédiate un dégagement de chaleur, et que la présence de l'oxygène est indispensable pour qu'elles s'effectuent. On peut donc à coup sûr considérer ce gaz introduit dans l'économie par la respiration pulmonaire et cutanée comme le facteur le plus essentiel des actions vitales, et la chaleur animale comme la source même de la vie, parce qu'elle est en réalité celle du mouvement fonctionnel qui la caractérise. Les végétaux empruntent directement cette chaleur au soleil et ils l'accumulent ou l'emmagasinent dans leurs principes immédiats, n'ayant à exécuter, pour leur propre compte, que des mouvements fort obscurs ou très-peu étendus. Elle se dégage dans l'organisme des animaux, par les échanges nutritifs qui s'y effectuent d'une manière indiscontinue. Dans l'harmonie naturelle, les animaux semblent faits pour dépenser la chaleur que les végétaux thésaurisent.

Voyons d'abord ce qui concerne les échanges auxquels concourent les composés protéiques.

Nous savons que, parmi ces composés, l'albumine est le plus essentiel. On la trouve en très-grande quantité dans le sang et dans tous les sucs animaux qui contribuent à la nutrition des organes. L'examen du plus grand nombre des tissus constituants de ces organes montre qu'il lui suffit de subir de très-faibles modifications pour prendre la forme des éléments anatomiques de ces tissus, pour devenir, par exemple, la syntonine ou fibrine musculaire, qui est la partie solide contractile par laquelle sont produits les mouvements du corps animal. On la retrouve, sous les formes soluble ou insoluble, dans les plus fines molécules complexes de l'organisme, dans le contenu des tubes nerveux par lesquels l'animal se distingue essentiellement de la plante et où se résume la plus haute puissance de la vie animale.

Les différences de composition entre l'albumine, la syntonine, la fibrine et la caséine, sont trop faibles pour que nous puissions avoir sur la constitution intérieure et sur les diverses fonctions chimiques de ces divers albuminates, ainsi que sur celles de la glutine, de la chondrine, etc., des notions précises. Nous savons seulement que, pour subir les modifications en question, l'albumine a besoin d'un concours de circonstances qui ne se trouvent réunies qu'au contact des premiers éléments du tissu dans la constitution duquel elle doit entrer. Tout organisme animal naît d'une cellule primitive, sans laquelle la nutrition ne peut point s'effectuer. Il n'y a là, en vérité, rien de mystique toutefois. C'est un fait qui est l'expression de la loi naturelle et que nous constatons, en suivant ensuite les phases de son développement.

L'une de ces circonstances auxquelles nous venons de faire allusion nous est cependant connue. Nous savons, d'après Lehmann, qu'aucune cellule, aucune fibre, aucune membrane, ne peut se former en l'absence des matières grasses, non plus que sans le concours des phosphates et d'autres composés; qu'où se trouvent des matières albumineuses, les hydrates de carbone ne manquent jamais; qu'où les matières grasses se forment ou se détruisent, les matières albuminoïdes ne font non plus jamais défaut. Cela semble devoir porter à admettre, comme étant le plus probable, que les phénomènes de nutrition trouveront plus tard leur explication complète lorsque seront plus complétement étudiés ceux de substitution que les nouvelles recherches chimiques ont déjà tant avancés.

Il est en effet difficile de croire, pour cause d'invraisemblance, que les composés organiques formant les principaux éléments constituants du corps animal soient directement comburés ou oxydés dans l'organisme, pour donner de l'eau et de l'ammoniaque ou de l'urée. Trop de raisons font penser, bien qu'il s'agisse essentiellement, en somme, d'une oxydation finale, qu'entre les éléments constituants de l'organisme et leurs produits ultimes, de nombreux membres intermédiaires doivent exister.

Bon nombre de combinaisons organiques, parmi celles que nous avons énumérées, peuvent être dès à présent considérées à ce point de vue. Elles se laissent facilement disposer en série, sous le rapport de la simplicité de plus en plus grande de leur composition. De moins en moins riches en carbone, elles deviennent à mesure plus riches en oxygène et en azote, perdant ainsi de leur caractère organique et arrivant finalement à l'acide carbonique, à l'ammoniaque et à l'eau, par des passages ménagés.

Gorup-Besanez a établi cette série d'après le rapport existant entre l'azote et le carbone, de la manière suivante, qui est vraiment très-intéressante :

	Contenant					
Albumine.	1	équivalent	Az	sur 8	équiv.	C
Fibrine.	1	»	Az	» 8	»	C
Caséine.	1	»	Az	» 8	»	C
Chondrine.	1	»	Az	» 8	»	C
Créatine.	1	»	Az	» 7	»	C
Glutine et tissus donnant de la gélatine.	1	»	Az	» 6 1/2	»	C
Acide inosique. . . .	1	»	Az	» 5	»	C

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	Contenant				
Glycine.	1	équivalent	Az sur	1	équiv. C
Créatinine.	1	»	Az »	2 2/3	» C
Acide urique.	1	»	Az »	2 1/2	» C
Allantoïne.	1	»	Az »	2	» C
Urée.	1	»	Az »	1	» C

L'urée clot la série des composés azotés, formés dans l'économie animale. Avec la plus grande facilité elle se décompose en acide carbonique et ammoniaque, dès que s'y ajoutent les éléments de l'eau. En effet, $C^2 H^4 Az^2 O^2$ (urée) + $H^4 O^4$ (4 équiv. d'eau) = 2 C O^3, Az^2 H^4 (2 équiv. carbonate d'ammoniaque), ou C^2 H^8 Az^2 O^6, d'après la nouvelle notation.

Beaucoup de faits témoignent en faveur de la vraisemblance de cette série régulière de métamorphoses organiques. Dans le laboratoire, on en réalise artificiellement plusieurs termes. En traitant les albuminates et leurs dérivés par les acides, par les alcalis, et en les faisant putréfier, les principaux produits de décomposition sont la leucine et la tyrosine, ainsi que la glycine. Si l'on songe que ces produits se trouvent surtout dans les glandes, on n'a guère de peine à admettre que les choses se passent dans l'économie d'une façon au moins fort analogue.

Sous l'influence des agents oxydants, l'acide urique se change en urée, allantoïne, acide oxalique et acide carbonique; toutefois, l'allantoïne, de son côté, redevient de l'urée sous l'influence des mêmes agents. La sarkine se place immédiatement avant l'acide urique.

Il n'y a point d'objection contre l'idée d'un phénomène semblable s'accomplissant au sein des tissus. Quand nous voyons, en outre, que la créatine et l'acide inosique sont en forte quantité dans le suc musculaire, tandis qu'ils manquent dans les produits d'échanges de certains organes glandulaires, nous ne pouvons point nous dispenser de les considérer comme les résultats particuliers du fonctionnement du tissu des muscles, surtout en nous rappelant que la créatine peut facilement être transformée en sarkosine et urée.

La formation des matières grasses et leur rôle dans la nutrition devront nous intéresser plus tard d'une manière toute spéciale. Nous ne pouvons cependant pas nous dispenser d'en parler dès à présent en nous plaçant à un point de vue général. Nous avons déjà vu que ces matières prennent une part essentielle à tous les phénomènes nutritifs qui ont pour conséquence l'assimilation des éléments fluides du plasma sanguin aux éléments anatomiques figurés des organes. Leurs métamorphoses paraissent donner la première impulsion à la formation des leucocytes ou globules blancs du sang, à la constitution duquel elles contribuent par conséquent essentiellement.

D'après ce qui a été dit, les matières grasses semblent jouir de la propriété de disposer l'organisme animal à la formation des cellules. Lors de l'engraissement, par exemple, dans lequel la graisse s'accumule entre les lacunes du tissu conjonctif de toutes les parties du corps, et notamment sous la peau, il se produit une quantité extraordinaire de cellules pour contenir cette graisse. Des matières albumineuses sont nécessaires à la constitution de la membrane de ces cellules et doivent se trouver dans l'alimentation. Si elles y manquent ou s'y rencontrent en proportion insuffisante, les fibres musculaires en doivent fournir les éléments. C'est ainsi que se produit ce qu'on appelle en pathologie la régression graisseuse des muscles. Quand il n'y a plus de quoi former l'enveloppe des cellules adipeuses, ni dans l'alimentation ni dans l'économie même, la graisse s'accumule dans le sang et dans les autres fluides animaux, sous forme de gouttelettes.

La graisse disparaît de l'organisme, en nature pour la plus faible partie, transformée pour le reste en d'autres produits de décomposition. On sait avec quelle rapidité

NUTRITION DES ANIMAUX.

maigrissent les sujets malades ou soumis à l'inanition, sans qu'il soit possible de constater la présence de la graisse dans leurs excrétions. Il est également bien connu que tout ce qui active l'échange des gaz dans le poumon et par conséquent augmente l'introduction de l'oxygène dans le sang, diminue ou arrête l'engraissement. Une locomotion active produit ce résultat, tandis qu'au contraire le repos favorise l'engraissement des sujets qui reçoivent une bonne nourriture. Il en faut nécessairement conclure que les matières grasses sont oxydées par l'oxygène inspiré et que leurs produits d'oxydation sont éliminés.

Toutefois, maintes considérations témoignent contre la combustion directe de ces matières. Ici, comme pour les albuminates, il y a de nombreux intermédiaires entre les corps gras et l'acide carbonique et l'eau qui en sont les produits ultimes. Ce qui semble le mieux devoir le faire admettre, c'est précisément leur rôle favorable aux mutations des éléments protéiques des tissus et des humeurs, à toutes les fonctions de la vie, qui est d'autant plus accusé que leur proportion s'élève davantage dans l'alimentation.

Ces intermédiaires ne nous sont pas encore tous connus d'une manière précise. Cependant, en tenant compte des degrés d'oxydation, on peut, ainsi que nous l'avons déjà fait pour les matières azotées, établir une série dans le groupe des acides gras homologues, en prenant pour base le rapport entre l'oxygène et le carbone qui font partie de leur constitution. Voici cette série:

	Contenant				
Acide stéarique	1	équivalent	0 sur	9	équiv. C
Acide oléique	1	»	0	» 9	» C
Acide palmitique . . .	1	»	0	» 8	» C
Acide capronique . . .	1	»	0	» 3	» C
Acide valérianique. . .	1	»	0	» 2 1/2	» C
Acide butyrique. . . .	1	»	0	» 2	» C
Acide propionique . .	1	»	0	» 1 1/2	» C
Acide acétique.	1	»	0	» 1	» C
Glycérine	1	»	0	» 1	» C
Sucre.	1	»	0	» 1	» C
Lactose	1	»	0	» 1	» C
Acide succinique . .	1	»	0	» 1	» C
Acide formique	1	»	0	» 1/2	» C
Acide oxalique	1	»	0	» 1/2	» C

De même que l'urée, dernier terme de la série albuminoïde, se décompose facilement en acide carbonique et ammoniaque, de même aussi l'acide oxalique se décompose en acide carbonique et acide formique. Celui-ci, à son tour, par les agents oxydants, donne de l'acide carbonique et de l'eau. C^4 H^2 O^8 (acide oxalique) = C^2 O^4 (acide carbonique) + C^2 H^2 O^4 (acide formique). C^2 H^2 O^4 (acide formique) + 2 O = C^2 O^4 (acide carbonique) + 2 HO.

La saponification des matières grasses dans le chyle et dans le sang produit encore des modifications intermédiaires dont quelques-uns des résultats sont éliminés par le foie avec la bile. Il n'est pas difficile de comprendre le phénomène, quand on songe que si ces humeurs ne contiennent point d'alcalis libres, elles sont toutefois riches en carbonates et phosphates basiques. Il a été constaté en ces derniers temps que les corps gras traités par l'oxygène actif en présence d'un alcali se saponifient avec la plus grande facilité, et qu'ensuite la glycérine est elle-même complétement décomposée.

Nous nous expliquerons plus tard en détail sur la transformation du sucre, produit de synthèse des autres hydrates de carbone énumérés, en matières grasses. Ses métamorphoses par voie d'oxydation en acides formique, acétique, butyrique, et finalement en acide carbonique et eau, ont été déjà exposées.

Les produits intermédiaires acides ont, dans les phénomènes d'osmose intestinale qui suivent la digestion, un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rôle important. Graham a constaté, par exemple, que l'albumine acide est beaucoup plus diffusible que l'albumine alcaline. Il est clair, d'après cela, que la présence des acides organiques de la série dont il s'agit augmente dans l'intestin la faculté endosmotique du mélange alimentaire et favorise dès lors sa diffusion au travers de la membrane intestinale.

Les sels minéraux jouent, dans les échanges nutritifs, un rôle qui n'est pas moins essentiel que celui des matières organiques, ainsi que nous l'avons déjà plusieurs fois fait remarquer. Quelques-uns d'entre eux, ceux qui concourent particulièrement à la formation du système osseux, devront ultérieurement attirer notre attention d'une façon toute spéciale. Ce serait faire double emploi d'en parler en ce moment. Nous nous bornerons du reste à observer que tous ces sels, tels qu'ils sont introduits dans le sang par la digestion, ne subissent ensuite que des réactions faciles à comprendre, la plupart étant, aussi bien, fixés en nature dans les tissus ou dissous dans les humeurs.

Ils sont de même éliminés sans modification par les organes excréteurs, en même temps que les autres matières solides. Leurs réactions ne diffèrent point, dans l'économie animale, de celles que nous effectuons à volonté dans nos laboratoires. La nutrition, en ce qui les concerne, ne paraît donc point présenter de questions à éclaircir. Ils sont tous diffusibles, tous facilement dialysés, en conséquence, par la membrane des capillaires et par l'enveloppe des cellules au développement complet desquelles ils doivent contribuer. Il suffit, en définitive, de constater en général la nécessité de leur présence dans le sang, pour se faire une idée suffisante de leur rôle nutritif, après ce que nous en avons dit à plusieurs reprises.

En résumé, on voit que la nutrition proprement dite se compose de plusieurs séries de condensations et de réductions organiques, sur la réalisation desquelles l'oxygène exerce une influence prépondérante. Dans son accomplissement, l'organisme assimile et désassimile sans cesse ses matériaux constituants. Ce double mouvement en sens inverse, d'où résulte un échange constant d'éléments, caractérise en réalité la vie animale.

L'eau est le véhicule indispensable de cet échange; mais elle n'a, dans l'économie, pas d'autre rôle. Lorsqu'elle en disparaît sans que d'ailleurs les éléments figurés soient altérés dans leur forme, la vie se suspend mais ne s'éteint point pour toujours. C'est ce qui arrive aux animaux inférieurs dits reviviscents, qui se dessèchent ou sont desséchés lentement et progressivement. Le retour de l'humidité leur fait reprendre le mouvement qu'ils avaient perdu, parce qu'avec l'humidité recommencent les échanges nutritifs qui dégagent de la chaleur, source de la force motrice.

Ces notions générales, que nous avons réduites à l'indispensable, nous serviront de guides dans les applications de la science que nous devons faire aux divers buts particuliers de la production animale, en nous plaçant au point de vue immédiat de la pratique industrielle.

Production du jeune bétail.

Jusqu'à ces derniers temps on a enseigné que la production améliorée du bétail dépendait principalement, sinon exclusivement, de l'hérédité et que par conséquent il y avait lieu de se préoccuper avant tout, dans l'industrie animale, du choix des reproducteurs. A cet égard même, une doctrine régnait presque sans partage, en vertu de laquelle la plupart des races étaient considérées comme dégénérées et ne pouvant être restaurées, dans chaque genre, que par un type unique auquel on attribuait toutes les perfections. Le but du progrès était alors seulement d'introduire des étalons étrangers pour opérer, à des degrés divers, selon l'objet de la production, le croisement des races indigènes. Les procédés d'élevage des produits de ce croisement étaient placés au second rang, quand on ne les négligeait point complétement.

La première réaction contre cette doctrine longtemps exclusive a été bornée à lui substituer celle du choix des reproducteurs, ou de la sélection, dans la race même qu'il s'agissait de perfectionner.

Les études physiologiques et économiques ont opéré dans ces matières un changement radical. Il est acquis à la science, aujourd'hui, que, dans l'ordre des facteurs de l'industrie animale perfectionnée, le choix des races, et dans ces races celui des reproducteurs, ne doivent en réalité venir qu'en seconde ligne, la première place appartenant de droit à la nutrition des individus, dont dépend leur aptitude productrice et par conséquent leur valeur comme machines industrielles.

La doctrine nouvelle se résume en ceci, que si l'hérédité transmet aux jeunes animaux les formes et les aptitudes dont leurs procréateurs sont doués à un degré quelconque, elle est impuissante pour les créer ou pour les développer. L'hérédité fonctionnant dans ses conditions les plus efficaces, qui sont celles de la loi des semblables, réalisées par l'accouplement d'individus de même race et surtout de même famille, maintient ou étend dans la race ces formes et ces aptitudes ; elle ne peut en aucun cas les faire apparaître quand elles n'y existent point. La nutrition, dirigée selon les méthodes enseignées par la science, est seule capable de perfectionner les formes et les aptitudes naturelles, en les développant dans le sens industriel.

Il est clair, d'après cela qui est maintenant arrivé à l'état de démonstration expérimentale complète, que les connaissances dont nous nous occupons ici sont les plus essentielles pour le producteur de jeune bétail, parce que le succès de son industrie en dépend avant tout.

Assurément, celles qui concernent la reproduction des individus ne sont point négligeables. Le point de départ des améliorations nutritives n'est pas indifférent. Sur la voie du perfectionnement des formes et des aptitudes, qui est le but des progrès zootechniques, le chemin déjà parcouru rapproche nécessairement de ce but. Il y a évidemment avantage à ce que chaque génération marque une étape sur cette voie. Ce serait faire injure au lecteur d'insister là-dessus. Nous voulons seulement faire bien sentir que, dans la pratique de la production des jeunes animaux, ce qui concerne le régime de ces animaux et de leurs procréateurs est l'objet principal, le choix de ceux-ci l'objet secondaire.

Ce choix, du reste, est dominé par des lois d'hérédité peu nombreuses. S'il a fallu, pour les dégager, beaucoup de recherches analytiques et un labeur pénible, maintenant qu'elles sont acquises à la science, elles peuvent être énoncées très-simplement de la manière suivante:

1° Les formes et les aptitudes qui existent à la fois chez les deux reproducteurs sont infailliblement héréditaires.

2° Les reproducteurs ne transmettent à leur produit que les formes et les aptitudes qu'ils présentent eux-mêmes ou qui se sont antérieurement manifestées dans leur famille et qui se reproduisent en ce cas par atavisme.

3° Les formes ou les aptitudes qui n'existent objectivement ou en puissance que chez un seul des deux reproducteurs se transmettent, ou non, selon la puissance héréditaire individuelle relative de celui qui les présente. Le produit en ce cas peut ressembler complétement à son père, ou complétement à sa mère, ou tenir des deux à la fois dans des proportions variables.

4° Les reproducteurs métis ne reproduisent point leur propre type individuel, mais celui de l'un ou de l'autre de leurs ascendants purs, au bout d'un petit nombre de générations.

La conclusion pratique à tirer de ces lois est que, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les opérations de reproduction, la seule méthode sûre, par conséquent industrielle, parce qu'elle réalise le résultat voulu et prévu, est celle qui met en jeu la première la loi dite des semblables. C'est la méthode de la sélection. Les autres, les méthodes de croisement et de métissage, sont toujours chanceuses, aléatoires, surtout la dernière, et laissent dans la production un déchet plus ou moins fort qui en réduit nécessairement les bénéfices.

Ces méthodes, ne s'appuyant que sur des probabilités difficiles à calculer, laissent des incertitudes incompatibles avec une industrie solide, à moins qu'elles ne soient combinées avec la première, en vue d'éliminer une race en la faisant absorber par une autre au moyen du croisement continu, ou de fabriquer des sujets comme ceux que nous verrons plus loin en nous occupant de la production de la viande. Mais, pour celle du jeune bétail devant se reproduire lui-même ultérieurement, seule la méthode de sélection dans son sens absolu est véritablement pratique.

C'est le moment de faire remarquer que les animaux, en ce qui concerne leurs aptitudes physiologiques, sont l'expression nécessaire du milieu climatérique dans lequel leur race est née. Nous ignorons et nous ignorerons peut-être toujours à quoi sont dues leurs formes spécifiques.

L'origine des espèces est un problème qui, dans l'état actuel de la science, ne peut pas être posé par un esprit rigoureux, parce que les faits manquent pour arriver à sa solution expérimentale, la seule qui, dans les sciences naturelles, soit acceptable. Nous savons seulement, par l'analyse de ces faits, que les représentants de chacune de ces espèces, qui en constituent la race et en reproduisent le type par continuité héréditaire, occupent une aire géographique déterminée, dans l'étendue de laquelle se présentent des variétés dues à l'influence des conditions de milieu sur le développement des aptitudes physiologiques propres à la race considérée. Ce sont ces aptitudes qu'il est en notre pouvoir de faire varier en agissant directement sur les conditions de milieu, dans la mesure de ce qui est compatible avec le maintien de la vie normale de la race même, c'est-à-dire dans les limites du climat naturel de celle-ci, contre lequel il n'y a pas moyen de lutter avantageusement.

En vain a-t-on essayé et essayerait-on encore de faire reproduire les animaux en dehors de l'aire géographique naturelle de leur race. Après une lutte plus ou moins prolongée contre le climat nouveau, la race s'éteint infailliblement, et, en attendant son extinction, les individus qui la représentent traînent une existence plus ou moins misérable, qui en fait toujours des machines productrices d'une très-mince valeur.

Une telle considération, fondée sur les faits acquis à la science, indique la prudence avec laquelle doivent être introduites les races nouvelles pour le milieu d'une entreprise zootechnique quelconque, du genre de celles dont nous nous occupons en ce moment. Elle doit faire conclure, en thèse générale, qu'il vaut toujours mieux reproduire les races habituées de longue date à vivre dans ce milieu, en développant les aptitudes des individus par le perfectionnement de leur nutrition.

Le but de ce perfectionnement est, dans tous les cas, de hâter le développement de ces individus, de leur faire atteindre l'état adulte ou d'achèvement de leur squelette en un temps moindre que celui de sa durée normale. En d'autres termes, ce but est de réaliser ce qu'en zootechnie on appelle la *précocité*, résultat économique d'un avantage incontestable. Il s'agit en réalité de produire ou de fabriquer, dans le moins de temps possible, la plus forte quantité de poids vif d'une espèce animale quelconque, avec la somme de matières alimentaires dont on dispose. Le moyen consiste à administrer ces matières alimentaires de façon à ce que la plus forte proportion en soit transformée en tissus vivants, afin que soit plus tôt achevé l'organisme en construction.

NUTRITION DES ANIMAUX.

Il existe pour le développement de ces tissus, dans les conditions normales, une loi de corrélation, en vertu de laquelle tous les autres sont placés sous la dépendance du système osseux. Le développement du squelette n'est complet et achevé que quand les épiphyses des os longs sont soudées avec leur diaphyse, c'est-à-dire lorsque ont disparu tous les cartilages de conjugaison remplacés par les éléments anatomiques du tissu osseux. Sa marche caractérise à elle seule, chez l'individu, la *période de croissance*.

Cette période, dans les conditions ordinaires de la vie de nos animaux domestiques, a des durées variables pour leurs divers genres, mais constantes chez chacun d'eux, manifestées extérieurement par la durée même de l'évolution de l'appareil dentaire. Le squelette n'est achevé par la soudure des dernières épiphyses et la croissance terminée, qu'à dater du moment où toutes les dents permanentes ont fait leur éruption. Alors l'animal ne peut plus grandir. Seules ses parties molles peuvent acquérir du volume et du poids par l'accumulation des matériaux nutritifs dans leur intérieur.

Chez les équidés domestiques, comprenant les chevaux et les ânes, la période normale de croissance est terminée à l'expiration de la cinquième année après la naissance. Il en est de même pour les bovinés ; mais exceptionnellement toutefois, les conditions générales actuelles de leur nutrition ayant opéré le plus souvent un avancement d'une année. On ne rencontre plus guère de bovinés, en effet, qui ne soient pourvus de toutes leurs dents d'adulte après quatre ans révolus.

Chez les ovinés, comprenant les moutons et les chèvres (il n'y a aucune raison valable, en zoologie, pour laisser subsister le genre *Capra*, arbitrairement établi), cette période s'achève à quatre ans et demi au plus tard, et chez les suidés à trois ans seulement.

Le problème zootechnique immédiat consiste donc à en diminuer le plus possible la durée. L'expérience démontre, depuis le siècle dernier, depuis les travaux de Backewell et des éleveurs anglais ses contemporains et ses successeurs, que cette durée peut être réduite jusqu'aux deux tiers et même jusqu'à la moitié. La science et la pratique sont maintenant en possession de la théorie complète du phénomène, dont toutes les conditions ont été déterminées par nos propres travaux.

Longtemps les éleveurs ont cru que la précocité était l'apanage exclusif de quelques variétés animales, des variétés anglaises sur lesquelles Backewell, les frères Collings et quelques autres ont précisément opéré sa réalisation au siècle dernier. Cette réalisation s'étant effectuée par des procédés empiriques, on n'aurait rencontré aucun auteur qui, avant ces dernières années, considérât comme possible de l'obtenir autrement que par le croisement des races dites tardives avec des étalons empruntés aux variétés anglaises dont il s'agit. Il est aujourd'hui solidement établi que la précocité dépend uniquement de la nutrition et que, pour la réaliser, il suffit de soumettre les jeunes individus à une alimentation spéciale, à laquelle aucun ne résiste.

Sans doute, le résultat est d'autant plus facilement et plus promptement obtenu que le jeune individu a hérité de ses parents une aptitude digestive plus prononcée et une faculté d'assimilation plus étendue. Les reproducteurs précoces, surtout quand ils sont eux-mêmes issus de parents doués, depuis plusieurs générations, de la précocité, engendrent des sujets plus aptes à profiter des conditions d'alimentation spéciale auxquelles ils sont soumis. Mais il y a là, pour la production animale, un écueil sur lequel l'attention doit être appelée avant tout.

L'un des caractères principaux de la constitution des individus précoces, dans les races comestibles du moins,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est l'extraordinaire tendance à l'accumulation des cellules adipeuses, à la formation de la graisse dans leurs tissus. Cette tendance, qui est un avantage incontestable pour les produits dont la fonction économique est de s'engraisser en vue de fabriquer de la viande, devient facilement un obstacle pour la fonction de reproducteur. L'aptitude sexuelle est très-facilement influencée, surtout chez la femelle, par l'exagération de la tendance en question. Le stroma des ovaires subit alors la régression graisseuse qui rend impossible, dans son intérieur, le développement des vésicules de Graaff, contenant les ovules. Nous en avons récemment constaté des exemples très-frappants dans le troupeau de southdowns perfectionnés de l'École de Grignon, sur des brebis d'une conformation et d'une aptitude individuelle extraordinairement remarquables. L'une de ces brebis âgées de trois à quatre ans, et qui n'avaient jamais pu être fécondées, a rendu près de 61 % de viande nette, bien qu'elle fût restée soumise au régime alimentaire commun du troupeau. La stérilité, dans ces cas, était complète, pour cause d'absence d'ovules dans les ovaires, absence due à la régression graisseuse du stroma.

C'est la limite extrême de l'influence dont il s'agit. En deçà de cette limite, la fécondité subit des dépressions variables contre lesquelles il y a toujours lieu de se mettre en garde. Et le phenomène ne se manifeste pas seulement dans le sexe femelle, c'est-à-dire dans les ovaires : l'aptitude fonctionnelle des testicules du mâle est également influencée dans le même sens. La quantité proportionnelle des cellules spermatiques, dites spermatozoïdes, dépend aussi certainement de la tendance à l'engraissement; elle est en raison inverse de cette tendance. Depuis son altération la plus faible jusqu'à la régression graisseuse complète du testicule, elle présente, elle aussi, tous les degrés possibles, comme celle de l'ovaire.

Chez les reproducteurs des deux sexes appartenant aux variétés précoces, la tendance que nous venons d'indiquer doit donc être toujours combattue. Ajoutons qu'il est facile de la combattre, en prenant pour base la théorie même de la précocité. La tendance à l'engraissement n'exagère ses effets que sous l'influence de l'inactivité des fonctions de relation, que sous l'influence du repos. Il suffit de se reporter à ce qui a été dit précédemment sur la théorie des phénomènes de nutrition pour le comprendre. D'où la conclusion qu'il y a lieu de soumettre toujours les reproducteurs précoces à un exercice suffisant de l'appareil locomoteur, pour la maintenir dans des limites convenables. Elle ne les exagère non plus qu'à la faveur d'une alimentation particulière, dont les conditions ont été aussi indiquées. Le régime alimentaire des reproducteurs précoces doit par conséquent s'éloigner autant que possible de ces conditions.

Il y a précisément une alimentation qui, d'après l'observation constante, confirmée d'ailleurs par les notions générales, est reconnue comme favorable à l'exercice des fonctions sexuelles des animaux qui nous intéressent. Cette alimentation, riche à la fois en matières protéiques, en phosphates et en chlorure de sodium, a pour base principale les semences légumineuses surtout, ou l'avoine à cause de son principe excitant. Divers auteurs, et entre autres Boussingault, sont d'avis que l'addition du sel de cuisine à la ration alimentaire a pour effet de favoriser l'activité des organes sexuels. Une telle alimentation, jointe à l'exercice modéré de l'appareil musculaire, doit donc composer le régime surtout des reproducteurs appartenant aux variétés précoces, si l'on veut que leur fonction soit toujours bien accomplie. Ce régime les maintient dans l'état d'embonpoint et de vigueur, ou d'activité vitale propre à la bonne exécution de toutes leurs fonctions.

Le développement ultérieur du jeune sujet dépend pour une part de la manière dont s'est passée sa vie fœtale. Sa nutrition, durant le séjour qu'il fait dans l'utérus maternel, est une conséquence directe de la nutrition de sa mère, devant pourvoir en même temps à ses propres besoins et à ceux du fruit qu'elle porte. De Gohren donne à cet égard d'excellentes indications, résumant l'état de nos connaissances. Nous ne saurions mieux faire que de les lui emprunter.

La femelle en état de gestation, surtout lorsque sa propre croissance n'est pas encore achevée, doit recevoir une nourriture à la fois intensive et régulière, mais surtout composée de telle sorte qu'aucune des substances qui en font partie ne puisse être, par ses propriétés physiques ou chimiques, nuisible au développement du fœtus.

Il faut éviter d'y faire entrer, par exemple, les tubercules et les racines réduits en masses chaudes par la vapeur ou la coction, et administrés seuls ou mélangés avec des résidus de distillerie, de brasserie, d'huilerie ou de meunerie, sans addition d'une quantité convenable d'adjuvants grossiers et secs; les adjuvants grossiers qui ont poussé sur des fonds humides; les résidus de brasserie ou de sucrerie devenus acides par la fermentation; les aliments acides en général, dans une proportion démesurée, ou les tourteaux altérés; les pommes de terre crues et les betteraves au delà d'une faible proportion relative dans la ration; le trèfle plâtré depuis peu; les aliments couverts de cryptogames comme le maïs charbonné et le foin moisi. Il est très-essentiel surtout d'éviter la nourriture trop volumineuse, parce qu'elle exerce sur l'utérus une pression nuisible au fœtus.

D'après Fürstenberg, la panse possédant une capacité cubique de 4 ¼ pieds allemands (de 324^{mm} chacun) est plus facilement remplie avec 20 livres de foin au moins qu'avec le même poids de paille hachée. Cela est fort à considérer pour les vaches pleines, chez lesquelles il importe tant de diminuer la pression que l'estomac exerce sur l'utérus. Cette pression excessive, dans les derniers temps de la gestation, provoque souvent l'avortement. Elle est surtout très-intense quand la vache est couchée, surtout si le sol de l'étable est quelque peu en pente. En outre, la tension démesurée de la panse comprime les organes de la cavité thoracique et met obstacle à la bonne exécution des fonctions de respiration et de circulation, si importantes, ainsi que nous l'avons vu, pour la nutrition.

L'estomac de la jument, relativement petit, n'a guère au-dessus de 12 à 15 décimètres cubes. Cela montre déjà que les chevaux doivent être dans tous les cas alimentés avec une nourriture riche sous un faible volume. A plus forte raison en est-il ainsi pour les mères en état de gestation. Celles de toutes les espèces, d'ailleurs, ayant à pourvoir au développement des tissus de leur fruit, ne peuvent sans inconvénient grave être privées des aliments que nous avons désignés comme concentrés, contenant à la fois de fortes proportions de matières protéiques et de phosphates.

Il n'est nullement démontré que les conditions de la nutrition aient une influence quelconque sur la durée de la gestation, non plus que toutes les autres circonstances qui ont été invoquées sans preuves suffisantes. Seule celle de la race paraît avoir quelque importance. Chez les juments cette durée se maintient entre 287 et 419 jours, soit en moyenne 345 jours. D'après les observations de Wilhelm, elle est en moyenne, chez les vaches des vallées suisses, de 289.9 jours; chez les vaches hongroises, de 285,8; chez les courtes-cornes anglaises, de 282; chez les hollandaises, de 277.6. Les brebis portent de 138 à 157 jours. D'après H. von Nathusius, la précocité aurait une influence. Il résulte de ses recherches que la gestation des mérinos a duré 150,3 jours; celle des southdowns 144,2 seulement; celle des métisses southdown-mérinos au premier croisement, 146,3; des métisses au deuxième croisement, 145,5; au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

troisième croisement, 144,2. S'il n'y a pas eu erreur ou illusion, cela semblerait bien établir que la précocité diminue la durée de la gestation, car il s'agit là de mérinos allemands, non précoces, tandis que les southdowns sont aujourd'hui les plus précoces de tous les moutons. Or, les nombres intermédiaires, appartenant aux métis des deux races, se trouvent être en relation directe avec les degrés du croisement.

Nous avons maintenant à nous occuper plus spécialement des conditions qui, après la naissance du jeune sujet, sont capables de hâter son développement.

Tant qu'il reste soumis à l'allaitement maternel, pourvu que le lait de sa mère soit de bonne qualité, pourvu qu'il contienne ses matériaux constituants en proportion suffisante pour réaliser la relation nutritive que nous avons dit être la plus favorable pour la nutrition dans la période de la vie dont il s'agit, tout est bien. Il en est ainsi quand la mère nourrice, d'ailleurs en bonne santé, reçoit elle-même la forte ration de production qui, constituée d'après les principes généraux que nous avons posés, contient l'aliment complémentaire riche en matières protéiques et en phosphates qui est nécessaire pour la bonne formation du lait.

Pour se rendre un compte suffisant d'une telle nécessité, il faut avoir sous les yeux la composition normale du lait des diverses femelles domestiques qui nous intéressent. En voici le tableau aussi complet que cela peut être utile pour le but que nous visons:

DÉSIGNATION.	LAIT DE					
	Jument	Anesse	Vache	Chèvre	Brebis	Truie
Eau.	86,50	90,39	87,29	84,182	83,118	83,450
Caséine. . . .	2,30	1,77	3,53	2,898	5,910	9,285
Albumine. .				1,297		
Beurre. . . .	4,68	1,32	3,99	6,573	6,144	3,950
Sucre de lait.	6,02	6,20	4,40	4,130	4,157	2,314
Sels minér. .	0,50	0,32	0,79	0,920	0,671	1,001

La composition des cendres ou éléments minéraux a, pour notre point de vue actuel, une importance trop considérable pour que nous puissions négliger de la donner en détail, qualitativement et quantitativement. Voici les résultats de quatre analyses du lait de vache, empruntés à Weber et à Haidlen.

100 parties en poids des cendres de ce lait ont fourni:

DÉSIGNATION.	A WEBER.		A HAIDLEN.	
	I.	II.	III.	IV.
Chlorure de sodium. . . .	4,74	16,23	4,89	4,43
Chlorure de potassium. . .	14,18	9,49	29,38	23,86
Potasse.	23,46	23,77	—	—
Soude.	6,96	—	8,57	5,86
Chaux.	17,34	17,31	25,51	24,25
Magnésie.	2,20	1,90	3,87	3,78
Oxyde de fer.	0,47	0,33	—	—
Acide phosphorique. . . .	28,04	29,13	26,32	25,16
Phosphate d'oxyde de fer.	—	—	1,42	1,26
Acide sulfurique.	0,05	1,15	—	—
Acide carbonique.	2,50	—	—	—
Acide silicique.	0,06	0,09	—	—

On voit, d'après ces analyses, que le lait contient bien en réalité, à lui seul, tout ce que nous savons être nécessaire à la nutrition animale, tout ce qu'il faut pour le développement des tissus. On voit en particulier qu'il contient l'acide phosphorique et la chaux dans les proportions tout juste nécessaires pour former le phosphate des os. Nous retrouverons plus loin ces mêmes proportions dans les rations alimentaires reconnues comme étant les plus propres à déterminer, chez les sujets plus avancés en âge, la précocité.

La conclusion pratique qu'il y a lieu d'en tirer, c'est que, pour les animaux d'élevage au moins, le meilleur des aliments est le lait maternel consommé en aussi grande quantité que possible, et aussi longtemps que les organes de la digestion ne sont pas encore disposés naturellement pour la mastication et la digestion des aliments solides.

Il y a, pour la durée de l'allaitement, une limite normale indiquée par l'état de la première dentition, dite pour ce motif sans doute *dentition de lait*. L'allaitement ne peut être supprimé complétement sans inconvénient pour le développement du jeune sujet, qu'à dater du moment où l'évolution de cette dentition est achevée et où elle peut fonctionner d'une façon complète. C'est le moment normal du sevrage. Il arrive, chez les équidés, du huitième au neuvième mois après la naissance; chez les bovinés, entre le cinquième et le sixième mois; chez les ovinés, vers le troisième mois; enfin chez les suidés, dans le courant du deuxième mois.

L'influence fâcheuse du sevrage prématuré a été démontrée directement par des expériences de Wilckens. Deux agneaux, dont un mérinos et un southdown-mérinos, furent nourris durant 30 jours, le premier exclusivement avec du lait, le second, à partir de la deuxième semaine, avec des aliments solides, puis abattus. On a constaté les résultats suivants:

	Agneau allaité. (Mérinos.)	Agneau nourri d'aliments solides. (Southdown-Mérinos.
Poids vif.	17 1/2 livres.	20 1/2 livres.
Poids net.	10,40	10,96
Rendement (proportion du poids net au poids vif).	59 %	53 %
Capacité de la panse . .	326 cc.	1832 cc.
Capacité du réseau . . .	19 »	206 »
Capacité du feuillet et de la caillette	640 »	803 »
Rapport de la caillette à la panse	1 : 0,51	1 : 2,28
Rapport de la caillette au réseau	1 : 0,03	1 : 0,26

Deux agneaux southdown-mérinos, dont l'on fut nourri exclusivement avec du lait pendant 85 jours et l'autre durant 3 mois avec le lait maternel et en outre avec le pâturage, du foin et de la paille, ont été abattus le même jour. Les résultats qui suivent ont été constatés.

	Agneau de lait.	Agneau nourri.
Poids vif au jour de l'abatage. .	11,950 gr.	11,950 gr.
Poids net.	6,450	5,290
Rendement	54 %	44 %
Les parties isolées ont pesé:		
Peau.	1,570 gr.	1,485 gr.
Tête	675	680
Organes thoraciques	405	330
Organes abdominaux.	2,420	3,515
Capacité de la panse et du réseau.	1,040 cc.	3,110 cc.
Capacité du feuillet et de la caillette	615	590
Rapport du feuillet et de la caillette à la panse et au réseau .	1 : 1,17	1 : 5,3

Les os des membres ont été pesés et analysés; ils ont donné:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

	Agneau de lait.	Agneau nourri.
Poids des os du bras et de l'avant-bras séchés à l'air. .	45,7 gr.	47,6 gr.
Substances organiques	47,2 %	44,7 %
Chaux	28,5	29,4
Acide phosphorique	22,7	23,8

Deux autres recherches sur des veaux ont donné des résultats analogues. Un veau mâle, né le 14 juillet 1865, pesait à sa naissance 82 1/2 livres. Il resta jusqu'au matin du 2 août près de sa mère et put la téter à volonté. Seulement, à partir du 31 juillet, il ne tétait que trois fois par jour et fut exactement pesé chaque fois avant et après. On constata ainsi qu'il prenait 21 livres de lait par jour. Le matin du 2 août, au moment où on le sépara de sa mère, il pesait 110 1/2 livres. Jusque là il avait augmenté en 19 jours de 28 livres, par conséquent en moyenne de 1,5 par jour. On s'était assuré qu'il n'avait pu prendre aucun aliment solide.

Du 2 au 26 août on lui donna, en trois repas par jour, 575 livres de lait sortant du pis de la mère. En ces 25 jours, son poids augmenta de 47 1/3 livres, soit de 1,9 livre par jour. Par conséquent, 1 livre de croissance avait nécessité environ 12 livres de lait. Le 26 août, le veau fut abattu. Il pesait alors vif 158 1/2 livres. Il a rendu 97 1/2 livres de viande nette. Le rendement était ainsi de 61,5 %. Le veau avait vécu 44 jours exclusivement de lait. Sa panse et son réseau avaient une capacité de 6,430 centimètres cubes ; le feuillet et la caillette, une de 5,075, soit 11,505 pour l'estomac entier. Le rapport entre les deux premiers et les deux derniers compartiments était par conséquent 1 : 0,79.

Une vêle née le 11 juillet 1865 pesait 84 livres. Jusqu'au 28 août elle resta près de sa mère bien nourrie d'herbes vertes et de foin et la téta à volonté. A cette date elle pesait 150 livres. Elle avait en 48 jours augmenté de 66 livres, en moyenne, ou de 1,4 livre par jour. Par un pesage opéré le 31 juillet, on avait constaté qu'elle prenait 17 livres de lait par jour. Du 28 août au 12 septembre elle ne reçut plus de lait, mais des aliments végétaux solides et délayés. A la dernière date elle fut abattue. Elle pesait alors 160 livres. Elle a donné 81 1/2 livres de viande nette, soit un rendement de 50,9 %. Ses deux premiers estomacs avaient une capacité de 15,000 centimètres cubes ; les deux derniers, une de 7,820, soit en tout 22,820 centimètres cubes ; ou un rapport de 1 : 0,52.

Le poids vif des deux individus dont il vient d'être question était sensiblement égal (la différence n'est que de 1 1/2 livre). Toutefois le poids net s'est montré dans le rapport de 1 : 0,84 et la différence est en faveur de celui qui s'est nourri exclusivement de lait. L'estomac entier du dernier, ayant consommé des aliments végétaux, est à celui du premier, dans le rapport de 1 : 0,50. La panse et le réseau du dernier sont à ceux du premier dans le rapport de 1 : 0,43 ; le feuillet et la caillette du premier à ceux de l'autre comme 1 : 0,65.

Wilckens en conclut avec raison que le développement de la capacité intérieure de l'estomac complet est en raison inverse de celui du poids utile du corps, c'est-à-dire de la chair, de la graisse et des os, à l'exclusion de la peau, de la tête et des viscères ; que plus est faible la différence de masse entre la panse et le réseau, d'un côté, et le feuillet et la caillette, de l'autre, plus s'élève la proportion du poids net ou le rendement en viande, et inversement.

Ce sont là des faits difficiles à réfuter, pour ne pas dire qu'ils sont irréfutables. Ils confirment pleinement la pratique adoptée de longue date par les éleveurs anglais d'animaux précoces, qui s'attachent particulièrement à faire téter le plus abondamment et le plus longtemps possible leurs élèves, auxquels ils donnent ordinairement à cet effet deux nourrices.

Après ce soin, un autre encore plus important peut-être est celui qui concerne l'opération du sevrage. Au moment du passage de la nourriture lactée à la nourriture végétale, si la transition n'a pas été bien ménagée, le développement en subit un trouble et un arrêt certains. L'augmentation journalière de poids se ralentit, et il arrive même le plus souvent, dans les conditions communes de la pratique, qu'elle est remplacée durant un certain temps par une diminution. Il importe avant tout que l'estomac s'habitue progressivement à la digestion des aliments solides et que ces aliments soient d'une telle sorte que leur relation nutritive et leur digestibilité propre ne diffèrent que peu de celles du lait.

Les jeunes animaux qui s'élèvent librement dans les pâturages y rencontrent à cet égard les conditions les plus favorables. Indépendamment de ce que, obéissant à leurs instincts, ils paissent l'herbe tendre à mesure que leur appareil dentaire fait son évolution et que les mamelles de leur mère se tarissent progressivement, ces herbes, de leur côté, subissent dans leur propre développement les transitions corrélatives de celles qui s'opèrent dans l'économie animale, ainsi que nous en avons donné un aperçu en nous occupant des aliments en général.

Les jeunes herbes de prairie ne sont pas seulement plus riches, relativement, en matériaux protéiques dont les jeunes animaux ont besoin pour suffire au développement régulier et très-actif de leurs tissus ; elles sont aussi plus riches en matières minérales nécessaires pour la constitution du squelette et pour concourir en outre aux phénomènes nutritifs que nous avons décrits.

D'après Émile Wolff, un veau qui consomme par jour environ 24 livres de lait, reçoit par là 21 grammes de potasse, de 18 à 20 grammes de chaux et 24 grammes d'acide phosphorique. Après le sevrage, il doit donc trouver dans ses aliments végétaux des quantités équivalentes de ces mêmes substances, sans quoi son développement subit l'arrêt dont nous venons de parler. Il en est ainsi des jeunes animaux de toutes les espèces.

Les jeunes herbes contiennent 10,22 % de cendres, dans 100 parties desquelles il y a 39,03 de potasse, 13,99 de chaux et 9,48 d'acide phosphorique. Les chiffres correspondants pour 100 de lait sont, d'après les tables de Gohven, 1,204 ; 1,066 et 1,388. Il est clair, d'après cela, que, succédant au lait maternel, les jeunes herbes n'apportent aucun trouble dans le développement, pourvu qu'elles puissent être digérées en quantité suffisante chaque jour.

Il en est autrement lorsque la nourriture est fournie par les herbes mûres et desséchées qu'on appelle foin de pré. Alors l'acide phosphorique et la potasse ont passé en grande partie dans les graines, qui sont tombées. Cela est surtout vrai pour les plantes restées sur pied. C'est pourquoi la croissance de tous les animaux subit toujours, dans les conditions naturelles, un temps d'arrêt durant la saison d'hiver, qui porte sa période aux limites que nous avons vues. L'art de l'éleveur consiste à supprimer ce temps d'arrêt en assurant aux jeunes animaux une alimentation régulièrement composée comme l'est la nourriture naturelle qu'ils prennent au pâturage, et cela sans aucune interruption.

La comparaison entre la durée normale du développement ou de la croissance complète et celle qui se fait observer chez les sujets les plus précoces montre bien que la précocité est due uniquement à la suppression de ces temps d'arrêt causés par l'insuffisante nourriture hivernale. Dans les genres zoologiques dont la période normale de croissance est de cinq ans, elle se trouve ainsi réduite à trois ans ; dans ceux où cette période est de quatre ans et demi et de trois ans, elle descend jusqu'à deux ans et jusqu'à vingt mois environ. C'est donc dans tous les cas une réduction de deux cinquièmes à peu près. Or, si l'on fait la somme des mois d'hiver qui s'écoulent durant la période, on arrive à constater que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur nombre est, eu égard au nombre total, sensiblement dans la même proportion.

La composition des rations de précocité qui doivent continuer, durant la mauvaise saison, la nourriture verte du pâturage indispensable au bon développement des jeunes animaux de toutes les espèces, représente en réalité celle des plantes fourragères complètes, tige, feuilles et graines. Elle se constitue par l'addition de l'aliment concentré ou complémentaire. Celui-ci, emprunté précisément aux semences céréales, légumineuses ou oléagineuses cultivées à cet effet, complète l'aliment d'entretien et ses adjuvants. Il permet de réaliser, en même temps que les relations nutritives en rapport avec les phases de développement et par conséquent en progression croissante du second terme (1 : 3 : 3,5 : 4 : 4,5 : 5), la présence en quantité suffisante des éléments minéraux nécessaires pour l'achèvement des os surtout, qui, en leur absence, subissent particulièrement les temps d'arrêt plus haut indiqués.

Emile Wolff a établi la teneur en substances minérales de plusieurs rations alimentaires reconnues comme réalisant d'ailleurs, d'après l'expérience, les conditions désirées. Il a trouvé que dans la ration journalière d'un veau de 250 livres, composée de 3 livres de foin de pré, de 1 livre de farine de lin, de $^1/_2$ livre de graine de lin, de 1 livre de paille d'avoine et de 4 livres de betterave, il y a environ 42 grammes de potasse, 20 grammes de chaux et 25 grammes d'acide phosphorique. Dans une autre ration, pour le même poids vif, composée de 2 livres de foin de pré, de 1 livre de foin de trèfle, de 1 $^1/_4$ livre de paille de fève, de 1 livre de graine de lin et de 8 livres de betterave, il a trouvé 56 grammes de potasse, 21 grammes de chaux et 28,5 grammes d'acide phosphorique.

Dans une ration appropriée au jeune bétail du poids vif de 500 livres et composée de 8 livres de foin, 3 livres de balles d'avoine, 5 livres de paille d'avoine, 10 livres de betterave, 1 livre d'avoine concassée et de 1 livre de farine de navette, É. Wolff a constaté la présence de 131 grammes de potasse, 59 grammes de chaux et 47 grammes d'acide phosphorique.

Une autre ration, composée de 10 livres de foin, 5 livres de paille d'avoine, 5 livres de balle d'avoine, 20 livres de betterave, 1 livre de farine de navette et 1 livre de son de froment, propre à la dernière phase de la période de croissance des grands ruminants, lui a fourni environ 184 grammes de potasse, 173 grammes de chaux et 56 grammes d'acide phosphorique.

En analysant, dans notre *Mémoire sur la théorie du développement précoce des animaux domestiques*, les rations des chevaux de course à l'entraînement et des jeunes animaux des autres genres nourris en vue de la précocité, nous avons nous-même fait remarquer qu'elles se distinguent toutes, sans exception, par leur grande richesse relative en ces éléments minéraux. Nous avons en outre montré le premier que les os des sujets précoces se distinguent des autres par une densité plus grande, due à une plus forte proportion des matières minérales dans la constitution de leur tissu. Nous avons constaté en même temps que tous les autres tissus, et particulièrement celui du système musculaire, présentent, chez ces sujets, exactement les mêmes propriétés que celles qui appartiennent aux individus non précoces de la même race, au même stade de développement de leur squelette.

Tout le reste du développement organique dépend donc, ainsi que nous l'avons déjà dit, du développement du système osseux ou du squelette, qui dépend lui-même des proportions de matières nutritives organiques et minérales contenues dans la ration alimentaire.

Les expériences de Flourens sur la coloration des os des jeunes animaux nourris avec de la garance ont fait voir comment se forment les éléments anatomiques du tissu osseux, et en particulier comment croissent les os longs par l'accumulation de ces éléments entre les épiphyses et la diaphyse. Les réactions qui se produisent dans le plasma entre le phosphate de potasse et les sels de chaux qu'il contient, une fois ce plasma épanché dans les lacunes cartilagineuses, ont pour conséquence la formation des lamelles osseuses et des corpuscules ou ostéoplastes. Il se rencontre là en présence précisément les équivalents d'acide phosphorique et de chaux nécessaires pour constituer le phosphate tribasique et le carbonate de chaux constituants des os. La théorie que nous avons donnée de ces phénomènes nutritifs a été, on peut le dire, acceptée par les savants du monde entier, car elle se trouve reproduite sans objection dans toutes les publications biologiques parues ultérieurement en toutes langues. Il est donc permis de la considérer comme acquise à la science définitivement.

Si le fait fondamental de la précocité, l'achèvement hâtif du squelette manifesté intérieurement par la soudure complète des épiphyses des os longs, et extérieurement par l'évolution également complète des dents permanentes ou dents d'adulte, est toujours le même, les conditions de développement de ce même squelette et d'ailleurs de tous les organes de la vie de relation sont subordonnées à des circonstances extrinsèques autres que celles d'alimentation.

L'observation démontre que les organes croissent en raison directe des actions mécaniques qu'ils exercent durant leur période de croissance. Nous l'avons déjà vu expérimentalement plus haut, à propos de l'estomac des jeunes veaux. En outre, les expériences de Jaeger ont prouvé qu'il en est ainsi de même pour les os, ce qui est évident chez les chevaux de course, dont le squelette est toujours plus développé, en moyenne, que celui des chevaux orientaux de la race à laquelle appartient leur variété. Les muscles des membres inférieurs des danseurs, ceux des membres supérieurs des forgerons, des ouvriers boulangers, de tous les ouvriers qui les exercent par un fort travail quotidien, acquièrent aussi, sous la même influence, un développement exagéré de leurs fibres ou éléments contractiles. Les poumons et le cœur de ces mêmes chevaux de course, ont acquis, par rapport au poids de leur corps, un développement relatif considérable que Rüeff a déterminé comparativement du reste pour les chevaux de race orientale en général.

D'un autre côté, Baudement a établi que, chez les sujets de race bovine, le poids relatif des poumons décroît en raison directe de la précocité du développement, tandis que l'ampleur extérieure de la poitrine croît au contraire selon la même raison, ce qui a été confirmé d'abord par les recherches de H. von Nathusius, puis par celles de Roloff et de G. Kœgel sur les moutons. D'où il suit que la capacité intérieure du thorax, occupée entièrement par les poumons et le cœur, ne correspond pas nécessairement au volume de la région thoracique sur l'animal vivant. Et, en effet, les auteurs allemands dont les noms viennent d'être cités en dernier lieu ont fait voir, par des mensurations précises et des calculs exacts, que l'ampleur apparente du thorax dépend de son diamètre transversal, dû au degré de courbure des côtes, en outre de l'épaisseur des masses musculaires qui l'entourent, tandis que sa capacité réelle est subordonnée principalement au degré d'obliquité du diaphragme formant la base du cône thoracique. Ils ont établi que chez les sujets précoces des races comestibles, bœufs et moutons, la brièveté relative du sternum diminue, dans une forte proportion, par le faible développement des noyaux osseux de l'appareil, la capacité intérieure réelle du thorax.

Il est connu en outre que, chez ces mêmes sujets, le volume relatif des os est réduit. Nous avons établi, dans le Mémoire cité plus haut, que la réduction est d'envi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

ron un cinquième, quant à la longueur des os des membres. On sait qu'ils sont bas sur jambes ou près de terre, selon les expressions vulgaires, et qu'ils ont les extrémités fines, tête, queue et régions inférieures des membres, toutes les parties en un mot dont le volume dépend principalement du squelette.

Ces différences dépendent uniquement de la gymnastique des appareils considérés, qui commande le mode de leur nutrition. Les os laissés au repos s'achèvent promptement sous l'influence de la ration de précocité, mais ils n'atteignent qu'un faible volume relatif. Il en est de même des poumons et du cœur. Les muscles et le tissu adipeux accumulent du plasma et de la graisse qui ne sont pas détruits par une respiration active. Tous ces organes méthodiquement et activement exercés, au contraire, atteignent le maximum de leur développement possible.

Le parti à tirer de ces principes physiologiques doit être conforme au but de la production ultérieure. Nous nous réservons par conséquent d'en faire plus tard l'application.

Production du lait.

Le lait est, pour les populations humaines, un aliment de grande consommation, surtout pour celles des villes. Les diverses sortes de fromages et le beurre qui en sont extraits se prêtent facilement, dans la plupart des cas, à de longs transports, et laissent dans l'exploitation agricole des résidus ou bas produits d'un emploi facile et avantageux pour l'alimentation des jeunes cochons, ainsi que nous le verrons plus loin. Cela fait de la production industrielle du lait, dans toutes les conditions climatériques propres à exciter la fonction des mamelles, un des modes les plus lucratifs d'exploitation du bétail.

Les prix de vente du lait en nature et de ses extraits vont sans cesse croissant, ainsi du reste que ceux de tous les produits animaux, à mesure que le bien-être social se développe. On ne saurait donc étudier de trop près les meilleures conditions de la production du lait, celles qui ont pour conséquences d'en augmenter la quantité ou la qualité et de faire utiliser le plus complétement, par l'organe producteur, les aliments que consomme l'animal laitier.

Avant tout il faut donner une idée suffisante de la constitution de cet organe, qui est, comme on sait, la mamelle, afin d'en faire bien comprendre la fonction. Les connaissances précises, scientifiques, à cet égard, sont beaucoup plus simples que les notions empiriques dans lesquelles on fait entrer des considérations accessoires, superflues parce qu'elles sont des conséquences nécessaires des faits principaux, ou complétement erronées parce qu'elles sont en contradiction avec l'observation bien interprétée.

On peut se représenter la *mamelle* comme étant formée par une agglomération d'éléments ou *grains glandulaires*, dont chacun est pourvu d'un petit conduit se réunissant avec le voisin et aboutissant ainsi, d'anastomose en anastomose, jusqu'à un collecteur commun qui débouche à l'extrémité extérieure du mamelon.

Au-dessus de la base de celui-ci, il existe une dilatation du collecteur, formant réservoir, et qui porte les noms de *citerne du lait* ou de *réservoir galactophore*. Les conduits ramifiés qui aboutissent à ce réservoir en partant des grains glandulaires, sont les *canaux lactifères* ou *galactophores*.

L'élément ou grain glandulaire consiste en une cellule formée par une membrane dans l'épaisseur de laquelle rampent les capillaires sanguins fournis par le vaisseau fonctionnel ou vaisseau artériel de la mamelle et aboutissant à la veine mammaire. La surface interne de cette membrane, formant support au réseau capillaire, est tapissée de *cellules épithéliales* d'une espèce spéciale, dites cellules glandulaires, pourvues d'une très-mince membrane, d'un noyau et d'un contenu fluide dans lequel sont suspendues de très-fines molécules et des gouttelettes grasses. Ce sont ces cellules qui, durant la période de lactation, se transforment par métamorphose graisseuse, pour fournir les corpuscules du lait appelés *globules butyreux*. Leur quantité devient alors presque innombrable et leur renouvellement très-actif par néoformation.

Aucun des éléments du lait, qui est, comme on sait, à proprement parler une émulsion de matière grasse dans un liquide faiblement sucré contenant en dissolution une matière protéique et des sels minéraux, n'existe tout formé dans le sang, à l'exception, bien entendu, de ces sels et de l'eau, qui ne lui sont point particuliers. Ni le beurre, ni la caséine, ni le lactose ou sucre de lait ne se rencontrent dans aucune autre humeur de l'économie. Ce sont donc là des produits d'élaboration ou de sécrétion du grain glandulaire de la mamelle et non point des résulats de simple filtration, comme le sont, par exemple, les éléments de l'urine.

La constitution du grain mammaire, dont nous ne pouvons pas songer ici à exposer l'histologie complète, est telle que l'albumine et les autres matériaux du plasma sanguin y sont transformés en caséine, en acides gras du beurre (palmitique, stéarique, butyrique, caprylique, etc.) et en lactose. On conçoit facilement dès lors que la qualité du lait, due aux proportions de ces divers éléments, dépende uniquement, à égalité du plasma sanguin dépendant elle-même de l'alimentation, de l'organisation histologique du grain glandulaire. C'est là une des nombreuses influences de l'individualité, puis de la variété, puis de la race, qui jouent un si grand rôle dans les fonctions économiques des animaux.

Quant à la quantité de lait sécrétée par l'individu, il est clair qu'elle est une conséquence nécessaire du nombre total des grains glandulaires qui forment ses mamelles. Chacun de ces grains extrait du sang qui circule dans les capillaires de sa membrane fondamentale une certaine quantité de lait, variable selon son activité fonctionnelle propre. Plus sont nombreux les affluents, plus est grand le débit du collecteur.

Ce débit est nécessairement en raison aussi de celui du sang qui fournit les matériaux du lait. C'est pourquoi le volume des veines mammaires, qui en donne la mesure, a été de tout temps considéré empiriquement comme une indication sûre de l'aptitude laitière. Mais on comprend maintenant que l'indication essentielle, fondamentale, pour juger de cette aptitude, se tire du nombre même des grains glandulaires qui commande tout le reste, et qui se traduit extérieurement par le volume même de la mamelle, débarrassée de tout élément étranger, et particulièrement des cellules adipeuses qui s'accumulent parfois dans son tissu conjonctif, au détriment de ces grains.

Les vaches, les chèvres, les brebis et aussi exceptionnellement les ânesses, sont exploitées pour la production du lait. Les vaches étant à beaucoup près les machines les plus importantes, nous ne nous occuperons ici que de ce qui les concerne. En les prenant pour type de l'industrie laitière, d'ailleurs, on pourra sans peine faire aux autres femelles l'application de nos renseignements.

Ceci entendu, complétons la description de l'organe mammaire par l'indication des particularités qu'il présente chez elles, où il porte le nom vulgaire de *pis*.

Chez la vache, le *pis* se compose de deux mamelles en forme de disque lenticulaire, situées dans la région inguinale, appliquées verticalement l'une contre l'autre et séparées par une cloison fibreuse. Chacune des mamelles s'ouvre à l'extérieur ordinairement par deux *mamelons* ou *tétines*, quelquefois par trois et même par quatre, correspondant à autant de réservoirs galactophores.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La peau qui les recouvre s'amincit à mesure qu'elle se rapproche des mamelons, et sur ceux-ci elle est complétement dépourvue de poils. Sous cette peau il existe une couche épaisse de tissu lamineux, formant une sorte de membrane d'enveloppe à la mamelle et envoyant dans l'intérieur de celle-ci des lames et des lamelles qui divisent l'agglomération des grains glandulaires en lobules. Elle soutient la mamelle en se confondant, en avant surtout, avec l'aponévrose des muscles abdominaux.

Le canal du mamelon, qui fait communiquer la citerne ou réservoir galactophore avec l'extérieur, est tapissé par une membrane muqueuse pourvue d'un épithélium cylindrique. Cette muqueuse est renforcée par des fibres élastiques, et à son extrémité inférieure par des fibres musculaires lisses, dont la contraction en clot l'ouverture et s'oppose à l'écoulement libre du lait accumulé dans la citerne. C'est pourquoi une pression est nécessaire pour le faire sortir. L'accumulation même, quand elle dépasse la limite, suffit pour faire céder la résistance sous le propre poids du lait. Dans la *mulsion* ou la *traite*, cette pression est exercée par la main. Les tubes trayeurs, dont on a recommandé l'emploi dans ces derniers temps, agissent en tenant l'ouverture béante par la dilatation de l'extrémité inférieure du canal. Chez certaines vaches impressionnables, ces fibres musculaires du mamelon se contractent énergiquement, quand on les approche pour les traire, sous l'influence d'une excitation réflexe. On dit d'elles qu'elles retiennent leur lait. Les mamelons du pis plein de lait se tendent, deviennent rigides, parce que le liquide remplit leur canal et distend ses fibres élastiques.

Pour apprécier l'aptitude laitière d'une vache, il suffit d'examiner avec compétence le volume, la forme et la constitution intérieure de ses mamelles. Un pis volumineux, dont les formes sont régulières, les deux moitiés latérales en étant bien égales et les mamelons disposés sur deux rangées exactement parallèles dans les deux sens longitudinal et transversal, est toujours un indice certain de lactation puissante, pourvu que le fort volume n'en soit point dû à une accumulation de cellules adipeuses plutôt qu'à celle des éléments glandulaires.

On s'en assure en constatant que ce volume diminue beaucoup immédiatement après la traite; que la peau du pis devient lâche et même plissée ou ridée; que le tissu de la glande cède facilement, à la manière d'une éponge, sous la pression de la main. Chez les bonnes vaches laitières qui sont taries ou dont la période de lactation est terminée, le pis se réduit à des dimensions comparativement fort restreintes. Lorsqu'au contraire, les grains glandulaires y sont peu abondants et le tissu adipeux dominant, le volume du pis ne varie guère, et quand on le palpe on y rencontre toujours une résistance plus ou moins élastique.

Une grande étendue de la surface couverte de poils ascendants et diversement configurée, que Guenon a nommée *écusson*, accompagne toujours l'abondance des grains glandulaires, parce qu'elle est une conséquence de la circulation veineuse du pis, et que celle-ci est nécessairement en raison du développement normal des mamelles. L'examen de l'écusson n'a donc pas d'importance pour ce qui concerne les vaches déjà laitières, dont l'aptitude peut être jugée plus facilement et plus sûrement par celui de leur pis; mais il en prend une considérable, qui est trop négligée, quand il s'agit d'apprécier les jeunes femelles au point de vue de leur avenir. Un grand écusson est alors l'indice certain que les mamelles prendront un fort développement quand elles entreront en fonction sous l'influence de la gestation.

Tous les autres signes indiqués empiriquement comme des indices de l'aptitude laitière, tels que ceux tirés des formes générales du corps, sont insignifiants ou contraires à l'observation exacte, ou ne sont point particuliers à cette aptitude. La finesse du squelette, le calme ou la mollesse du tempérament, le grand développement des glandes grasses ou follicules sébacés de la peau, accompagnent ordinairement la grande aptitude laitière; mais on observe tous les jours des vaches dont le squelette est grossier, la peau épaisse et rude, le tempérament énergique, et qui donnent beaucoup de lait, par cela seul qu'elles ont en même temps des mamelles très-volumineuses et très-actives.

Il y a, dans toutes les races bovines et dans toutes les variétés de ces races, des femelles dont les mamelles sécrètent au delà de la quantité de lait qui est nécessaire pour suffire à la subsistance et au développement de leur veau. Toutes par conséquent peuvent fournir des laitières dans l'acception industrielle du mot. Seulement elles sont plus nombreuses qu'ailleurs dans certaines de ces variétés. En thèse générale, on peut donc dire justement que, pour établir une entreprise de production laitière, le choix des individualités importe plus que celui de la race ou de la variété à laquelles elles devront être empruntées.

Cette proposition, contraire aux opinions reçues parmi les zootechnistes empiriques, prend toute son importance quand on la rapproche des considérations économiques qui dominent une telle entreprise et que nous exposerons tout à l'heure. Toutefois, certaines variétés sont à juste titre réputées comme laitières et ces considérations ne s'opposent pas toujours à ce que l'on puisse choisir entre elles. A titre de document utile nous devons donc consigner ici le tableau de leur rendement moyen calculé, d'après l'observation, par divers auteurs.

Ce rendement annuel dépend, comme on le comprend bien, à la fois de la durée de leur période de lactation, dont le produit journalier va décroissant à mesure qu'elle s'avance, et de la nature des aliments qu'elles consomment dans leur aire géographique naturelle, dont le caractère dominant est de jouir d'un climat à la fois doux et humide. Il n'y a guère ou point du tout de fortes laitières, eu égard à leur poids vif, dans les climats froids ou chauds et secs. Ce que nous savons de la nutrition en général l'explique suffisamment.

Voici le tableau:

VARIÉTÉS.	Quantité annuelle DE LAIT en litres.	Durée de la période DE LACTATION en jours.
Hollandaises. . .	3654	340
Flamandes. . .	3274	340
Courtes-cornes anglaises. . .	2907	255
Normandes. . . .	3400	340
Schwitz.	2882	340
Jersey - Alderney.	1930	340
Ayrshires. . . .	1895	285
Bretonnes. . . .	1710	285

Voici maintenant, d'après les analyses comparatives du lait de ces diverses variétés, exécutées d'une part à l'Exposition internationale de Paris en 1856 par Vernois et Becquerel, et d'autre part, en Allemagne par J. Lehmann, et en Angleterre par Voelker, la composition centésimale qui lui a été reconnue, et qui peut donner une idée générale de ses qualités comparatives:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VARIÉTÉS.	EAU.	MATIÈRES SÈCHES.	CASÉINE.	ALBUMINE.	BEURRE.	SUCRE.	SELS.
Hollandaises.....	88,560	11,440	2,050	0,732	3,840	4,62	0,70
Flamandes.....	87,770	13,230	3,150	0,910	4,220	3,292	0,678
Courtes-cornes...	87,200	12,800	3,280		3,860	4,890	0,770
Normandes [1].....	88,535	11,465	2,27	1,137	5,622	5,050	0,809
Schwitz.....	88,198	11,802	2,256	0,338	4,088	4,590	0,560
Jersey-Alderney...							
Ayrshires.....	83,748	16,252	4,650	0,724	5,704	4,551	0,620
Bretonnes.....							

1. Analyse due à E. Marchand.

On voit d'après ces tableaux que, considérées d'une façon absolue, ce sont les vaches des variétés hollandaise, flamande et normande, qui fournissent les plus fortes laitières; que le lait le plus riche en beurre, par conséquent le meilleur sous tous les rapports, est celui des normandes et des variétés des îles normandes, de l'Ayrshire et de la Bretagne, de la race irlandaise.

C'est un préjugé généralement partagé par les éleveurs et les zootechnistes empiriques français, que la variété des courtes-cornes d'Angleterre, improprement appelée chez nous race de Durham, ne peut point fournir des laitières. La vérité est seulement que certaines familles, dans cette variété, poussées par la sélection dans le sens de l'aptitude excessive à la formation de la graisse, ont perdu presque complétement leur faculté laitière; mais que la plupart des autres, malgré leur précocité, l'ont conservée au point de donner encore près de 3,000 litres de lait par an, ainsi que le montre notre premier tableau. Il y a, par exemple, présentement à la vacherie de l'école de Grignon, deux bêtes venues de Grandjouan en 1873, dont l'une de la variété pure de l'Ayrshire et l'autre métisse Durham-Ayr ayant hérité de presque tous les caractères spécifiques de sa race paternelle et d'ailleurs précoce au plus haut degré. Eh bien! cette dernière vache a donné, après son vêlage qui a eu lieu en juillet, 16 litres de lait par jour, exactement la même quantité que l'autre, qui est une laitière de premier ordre dans sa race, étant douée du pis le plus volumineux et le plus régulièrement conformé que nous ayons jamais vu.

Non, la précocité du développement, la bonne conformation pour la production de la viande et l'aptitude à l'engraissement, ne sont point des obstacles à la conservation de l'aptitude laitière, qui dépend exclusivement, ainsi que nous l'avons déjà dit, de la constitution des mamelles. De ce que les vaches qui ont des mamelles volumineuses et d'un fonctionnement très-actif restent toujours maigres et même décharnées, quand elles ne reçoivent qu'une alimentation insuffisante pour fournir à la fois aux besoins de la sécrétion laiteuse et de l'entretien de leur propre corps, ce n'est pas une raison pour en conclure, comme on l'a enseigné d'après l'observation empirique, que la maigreur et l'émaciation sont des conditions nécessaires de la forte aptitude laitière. Dans les vacheries bien conduites, toutes les vaches, qu'elles donnent ou non le maximum de rendement de leur variété, s'entretiennent toujours en bon état. L'élaboration du lait exigeant une forte proportion de matières protéiques, non-seulement pour la formation de la caséine, mais encore pour celle de l'enveloppe des globules butyreux, lorsque cette proportion ne se trouve point dans les aliments, elle doit être complétée par un emprunt aux matières protéiques de l'organisme même. C'est le système musculaire qui est le mieux disposé pour fournir l'appoint.

Cette absence d'incompatibilité entre la production de la viande et celle du lait est une des notions les plus importantes pour l'exploitation industrielle des vaches laitières. Elle permet de réaliser les conditions économiques les plus profitables de cette exploitation. La bête laitière représente un capital engagé dont la valeur augmente ou diminue selon le mode de l'opération. S'il a diminué, lors de la liquidation du compte de la machine productrice, ce compte se trouve grevé au débit de l'amortissement nécessaire et le produit net ou le revenu réduit d'autant; s'il a augmenté, au contraire, la plus-value s'ajoute au crédit et il y a à la fois production de revenu et accroissement du capital dégagé par la liquidation du compte.

La simultanéité de production de la viande et du lait est, dans le cas qui nous occupe, la condition la plus facile à réaliser, étant admis que l'alimentation et les autres soins qu'exigent les vaches laitières ne laisseront rien à désirer. Il suffit pour l'atteindre sûrement de choisir ces bêtes parmi celles qui sont encore, par leur âge, en période de croissance, parmi celles qui, par exemple, viennent de faire leur premier ou leur deuxième veau.

Les vaches n'arrivant généralement à leur maximum de valeur commerciale qu'après leur troisième gestation, il est clair que si l'exploitant, après les avoir achetées plus jeunes, les vend alors pour les remplacer ou les renouveler par d'autres plus jeunes également, il bénéficiera de la plus-value après avoir profité du produit en lait. Au lieu d'avoir à prélever sur ce produit la part nécessaire pour l'amortissement de son capital, il y ajoutera le contingent de cette même plus-value encaissée par lui.

En tout cas, on peut poser en principe absolu, comme condition de l'exploitation la plus lucrative des vaches laitières, la nécessité de leur renouvellement aussi fréquent que possible, par la vente de celles qui ne donnent plus assez de lait pour faire ressortir leurs consommations au moins à la valeur commerciale et couvrir les autres frais de leur exploitation, le fumier restant comme bénéfice net. L'opération s'améliore à mesure que le prix de vente se rapproche du prix d'achat; mais elle ne peut, dans l'état actuel de la science, être considérée comme véritablement bonne, qu'à dater du moment où il le dépasse, soit que la plus-value résulte de la croissance normale de l'organisme producteur, soit que celui-ci, exploité après son achèvement complet, ait gagné du poids par l'engraissement succédant à sa période de lactation.

Ces considérations économiques, étudiées et formulées par nous depuis longtemps, ne sont point restées dans le domaine de la théorie pure. Nous avons aujourd'hui la satisfaction de les voir suivre dans de nombreuses exploitations, où la pratique les confirme de la manière la plus éclatante. Elles sont si évidentes qu'il y a lieu d'espérer qu'elles ne manqueront point de se généraliser encore davantage. Elles se résument en une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

proposition fort simple, qui est que la meilleure vache laitière n'est point celle qui donne annuellement la plus forte quantité de lait, mais bien celle qui, en donnant cette plus forte quantité de lait, accroît le capital qu'elle représente au lieu de le diminuer.

Comparons deux vaches dont l'une produit en son année 600 litres de moins que l'autre, mais en acquérant une plus-value de 100 francs, tandis que la valeur commerciale de la seconde a diminué de 50 francs. $600 \times 0^{f},15^{c}$ (valeur actuelle du litre de lait) = 90 francs, dont il faut soustraire 50 francs d'amortissement; reste 40 pour l'excédant de revenu, produit par la plus forte laitière. L'autre a produit pour 90 francs de lait en moins, mais elle a gagné, d'un autre côté, 100 francs au lieu d'en perdre 50, soit comme gain réel 150 francs, qui, diminués des 90 francs de lait, laissent net 60 francs au lieu de 40, ou un bénéfice clair de 20 francs, pour la moins forte laitière exploitée en période de croissance.

Une opération imaginée il y a longtemps en Amérique par Thomas Will, mais grandement perfectionnée depuis en France par Pierre Charlier, la castration des vaches, peut dans beaucoup de cas faciliter la réalisation des conditions économiques que nous venons d'exposer. Pratiquée sur les bêtes qui ont atteint leur maximum de rendement et qui ne peuvent plus que perdre, elle a pour effet certain de prolonger la durée de leur période de lactation et de rendre après leur engraissement incomparablement plus facile. D'après des recherches directes dont les résultats vont être exposés, elle paraît aussi améliorer la qualité du lait. Ces recherches ont été effectuées sur quatre vaches, dont une a conservé jusqu'à la fin de l'expérience ses ovaires intacts.

Analyses faites le 26 juillet, avant la castration:

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
Densité du lait	1025	1023	1022	1025
Éléments solides	105	130	124	129
Eau	894	869	875	871
Caséine et sels insolubles.	37	38	36	34
Beurre	21,5	42,1	36,3	41,1
Sucre et sels solubles	46,6	49,8	54,0	43,9

Le 18 août, après la castration:

			Non châtrée.	
Densité	1024	1025	1024	1021
Éléments solides	134	134	132	132
Eau	865	866	868	867
Caséine et sels insolubles.	41	42	38	41
Beurre	49,2	39,0	43,6	41,5
Sucre et sels solubles	43,9	52,3	49,8	49,5

2e analyse le 17 septembre:

				Était malade.
Densité du lait	1027	1027	1028	—
Éléments solides	119	136	128	—
Eau	880	863	874	—
Caséine et sels insolubles.	44	52	44	—
Beurre	37,0	44,6	40,0	—
Sucre et sels solubles	38,1	39,9	44,6	—

3e analyse le 7 novembre:

Densité	1031	1029	1032	1031
Éléments solides	136	139	131	114
Eau	864	861	868	886
Caséine et sels insolubles.	42	55	45	43
Beurre	44,0	41,0	37,0	20
Sucre et sels solubles	49,5	43,0	48,0	51

Mais la circonstance principale, parmi celles qui interviennent dans la combinaison économique recommandée ici, est relative à la préférence qu'il y a lieu de donner, pour l'exploitation, aux vaches dont le commerce est le plus facile, dans la région du pays où s'effectue cette exploitation. Les frais d'achat et de vente sont alors réduits au minimum et les opérations de renouvellement des machines productrices ne rencontrent aucune entrave. Il en résulte que le choix de la race de ces machines est imposé par la circonstance en question, et que le problème pratique se réduit à celui des individualités, selon les principes que nous avons posés.

Avant de nous occuper des conditions de nutrition spéciales à la production du lait, il reste à donner quelques indications sur celles de la traite, en vue de la plus forte élévation possible de cette production. Elles ont été très-bien résumées par Gohren, dans son livre si plein de faits. Nous lui en empruntons l'exposé, en le traduisant.

Le premier lait qui sort du pis est celui qui contient le moins de matières sèches; celui qui en contient le plus se sécrète dans les quatre heures suivantes. Après deux heures seulement on n'y constate aucune différence. L'augmentation des matières sèches est due exclusivement à une plus forte proportion de beurre. La quantité proportionnelle de la caséine et des sels reste presque la même. En fractionnant la traite, Hellriegel a trouvé les proportions suivantes:

DÉSIGNATION.	LAIT DU MATIN (3 litres).			
	1er litre. p. 100.	2e litre. p. 100.	3e litre. p. 100.	Moyenne p. 100.
Beurre	1,49	2,37	4,16	2,67
Caséine	2,14	2,26	2,06	2,15
Sucre	4,10	4,50	4,06	4,22
Sels	0,71	0,76	0,76	0,74
Eau	91,50	90,11	88,96	90,22

DÉSIGNATION.	LAIT DE MIDI (2 litres).			LAIT DU SOIR (1 litre 50).		
	1er litre p. 100.	2e litre p. 100.	Moyenne p. 100.	0,75 1er p. 100.	0,75 2e p. 100.	Moyenne p. 100.
Beurre	2,19	6,50	4,35	8,40	5,28	4,34
Caséine	3,37	3,36	3,36	2,64	3,10	2,87
Sucre	4,24	4,06	4,15	4,03	3,97	4,00
Sels	0,75	0,73	0,74	0,75	0,72	0,74
Eau	89,45	85,35	87,40	89,18	86,93	88,05

La plus forte proportion de beurre dans le lait tiré en dernier lieu s'explique en admettant que les globules butyreux s'élèvent dans la citerne à la partie supérieure, comme lors de la formation de la crême, et ne s'écoulent par conséquent qu'à la fin; mais il est possible aussi qu'ils adhèrent aux parois des conduits galactophores, de telle sorte que le complet épuisement du pis soit nécessaire pour les en détacher.

E. Wolff a observé aussi que le lait qui n'a séjourné que peu de temps dans le pis est plus riche en beurre que celui qui s'y est accumulé en plus grande abondance; d'où il conclut qu'il est avantageux de traire les vaches trois fois par jour plutôt que deux fois seulement. L'expérience lui a donné les résultats suivants, pour le lait de 11 jours, dont la quantité s'est élevée à 161 litres avec trois traites et à 139 seulement avec deux:

	Lait de 3 traites. pour 100.	Lait de 2 traites. pour 100.
Eau	87,6	87,9
Beurre	4,1	3,5
Caséine	4,5	4,4
Sucre et sels	3,8	4,2

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il s'ensuit que 32 litres du lait des deux traites journalières eussent été nécessaires pour produire un kilogramme de beurre, tandis que 25,3 de celui des trois traites eussent suffi. A cela se joint l'augmentation notable de la quantité obtenue. Le lait qui séjourne trop longtemps dans la citerne et dans les conduits est donc en partie résorbé par les lymphatiques; ou plutôt, ajouterons-nous, le fonctionnement des grains glandulaires est entravé et moins actif, lorsque le pis reste longtemps rempli ou distendu, ce qui se comprend sans difficulté, la circulation du sang y étant nécessairement ralentie par la pression que supportent ses vaisseaux.

Une expérience ayant pour but la recherche de la densité du lait fourni par chacun des quatre trayons a donné les résultats ci-après:

	Densité prise à 60° Farenheit.
Trayon antérieur droit. . . .	1,0204
— — gauche . .	1,0213
— postérieur droit. . . .	1,0230
— — gauche. .	1,0235

Dans la traite complète, le dernier lait des quatre trayons a montré une densité de 1,0251.

Les recherches de Boedeker, Struckmann, Wicke et autres ont montré que le lait du soir est près du double plus riche en beurre que celui du matin, les autres parties constituantes restant sensiblement égales. Voici les nombres moyens extraits par Wicke de sept analyses du lait du matin et de huit du lait de midi et de celui du soir:

	Beurre p. 1 000.
Lait du matin.	46,07
— de midi.	41,46
— du soir.	52,14

L'influence de la température sur la quantité de lait produite est évidente pour tout observateur attentif. Les notions que nous avons données sur les phénomènes de la nutrition proprement dite rendent cette influence trop facile à comprendre pour qu'il soit nécessaire d'y insister beaucoup. Lorsque la température est trop basse, une partie des éléments nutritifs, au lieu de servir à la formation du lait, doivent être employés pour entretenir celle du corps. Lorsqu'elle est trop haute, les perspirations pulmonaire et cutanée augmentent et altèrent ainsi la qualité du lait en diminuant sa quantité. La température des étables où sont logées des vaches laitières ne doit varier qu'entre + 12° et + 15° C.

L'expérience directe a donné à May, sur ce sujet, des résultats confirmatifs dont voici le tableau:

Température de l'étable en degrés R.	Consommation en 10 jours		Production en lait.	Augmentation ou diminution du poids vif.
	Foin.	Eau.		
4	251,5k	789,5k	160k	— 11k
10	255	911	157	+ 17,5
15	253	896,5	153	— 33
12	254	861	147,5	— 6

Les fondements scientifiques de l'alimentation spéciale des vaches laitières sont tirés de ce que nous savons sur la genèse particulière de chacune des parties constituantes du lait.

En ce qui concerne la caséine, nous avons déjà dit qu'elle n'existe point toute formée dans le sang, ou que du moins on ne l'y rencontre qu'en proportion extrêmement faible. C'est vraisemblablement un albuminate alcalin qui, selon Kühne, représente le premier degré de métamorphose de l'albumine sous l'influence de la réaction des alcalis caustiques, même des carbonates alcalins selon J. C. Lehmann, et d'un ferment d'après Kemmerich. Quoi qu'il en soit, elle provient toujours du protoplasma des cellules glandulaires, qui est lui-même composé d'albumine.

Quant au beurre, les glycérides qui le constituent ne se trouvent point non plus dans le sang ni dans les aliments. Ils résultent de réactions qui s'opèrent entre les matières grasses et les éléments extractifs des aliments. Il y a une relation nécessaire entre la proportion de ceux-ci dans la ration journalière et la production du beurre. Koerte a établi que pour 500 grammes de matières grasses et d'extractifs on constate environ 60 grammes de beurre, quelle que soit d'ailleurs la quantité de lait produite.

Le sucre de lait n'est qu'une modification du sucre de raisin ou glycose, qui seul existe dans le sang comme résultant de la métamorphose des hydrates de carbone fournis par les aliments.

Il résulte donc de ces considérations qu'indépendamment de l'aptitude individuelle, la quantité journalière du lait doit être en raison de la richesse de l'alimentation constituée d'après les principes généraux que nous avons posés, c'est-à-dire conformément aux conditions de la relation nutritive et en proportion du poids vif. Nous avons (p. 12) donné un exemple de ration empruntée à Weidenhammer, qui peut servir de modèle, sauf toutefois en ce qui concerne le choix de l'aliment complémentaire, au sujet duquel nous devons présenter quelques remarques importantes.

C'est un fait constaté par tous les expérimentateurs que l'alimentation n'exerce qu'une influence secondaire sur la qualité du lait, en tant qu'il s'agisse des proportions de ses principaux éléments constituants. Les variations se font sentir principalement sur la quantité sécrétée. Kühn et Fleischer ont trouvé qu'elle était augmentée de 6 à 9 % par une addition d'huile à la ration, de beaucoup moins par l'addition d'amidon, de 12 % par l'addition des matières protéiques de la fève, de 2 à 3 % seulement lorsque ces matières étaient empruntées à la farine de navette. En remplaçant la moitié du foin de pré de la ration par un poids égal de foin de trèfle de deuxième coupe, E. Wolff a vu la quantité du lait s'augmenter de 0,38 livre par tête et par jour; la substitution complète a porté l'augmentation presque au double, exactement à 0,79. Aussi Kühn admet qu'à la condition de ne pas dépasser un certain minimum qui assure le fonctionnement régulier des organes, il n'y a plus d'intérêt bien démontré à augmenter la ration des bêtes laitières. Le tout est de bien déterminer ce minimum par l'expérience.

Cela ne s'applique, bien entendu, qu'aux bêtes qui ont dépassé la période de croissance, et seulement dès lors qu'à la fonction des mamelles. Les autres ont en outre à pourvoir à leur propre développement. Leur alimentation est régie par les principes posés pour la production du jeune bétail. En tout cas, la ration des laitières doit être proportionnellement riche en matières protéiques, en matières sucrées ou extractives non azotées, et aussi en eau. C'est pourquoi le régime des bons herbages est toujours celui qui leur convient le mieux.

Mais il s'agit aussi de régler leur ration d'hiver d'après les mêmes principes ; et dans celle-ci, ce qui importe le plus, c'est le choix de l'aliment complémentaire auquel est due principalement la richesse de cette ration à la fois en matières protéiques et en matières grasses.

Parmi les semences qui fournissent le plus facilement ces matières sous une forme concentrée, il en est qui contiennent en même temps des principes immédiats odorants. Ceux-ci, éliminés par les mamelles, communiquent au lait un goût désagréable qui en diminue considérablement la valeur. Plusieurs graines oléagineuses sont dans ce cas, particulièrement celles de lin et de colza, parmi les plus employées. Il convient donc de s'abstenir de les faire entrer dans la ration des vaches laitières, soit sous forme de farine, soit sous forme de tourteau.

Les tourteaux de palme et d'arachide, qui ont une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

valeur commerciale moindre, n'ont pas le même inconvénient. Il en est ainsi, à plus forte raison, des graines céréales et légumineuses. La farine d'orge est l'aliment complémentaire le plus usité et le plus recommandé en France pour les laitières. Il y en a cependant un autre que, théoriquement et pratiquement, nous lui avons trouvé bien préférable. Le son de froment, plus riche poids pour poids en matières protéiques et d'une valeur commerciale moindre, est véritablement en ce cas l'aliment complémentaire par excellence.

Ajoutons, pour terminer sur la production du lait, que l'aptitude individuelle est augmentée pour cet objet, d'après les observations de Chazely, depuis toujours confirmées, par la gestation précoce des femelles. C'est la seule indication qu'il y ait à donner pour compléter, sur ce point particulier, le chapitre consacré à la production du jeune bétail. Dès que les génisses entrent en rut, elles doivent être fécondées.

Production de la graisse et de la viande.

Schmoller a établi que dans les Etats allemands la consommation de la viande par tête d'habitant et par an avait passé, de 1802 à 1867, de 33,83 livres à 34,98 (15k,800 à 16k,33). D'après Maurice Block, elle est aujourd'hui pour la France de 25k,100 (17,600 dans les campagnes et 53,600 dans les villes en général, 79,600 à Paris); en Russie, 20 kilogrammes; en Prusse 48k,750 (52 kilogrammes à Berlin); en Autriche, 11k,420; dans le royaume de Saxe, 25k,250; en Suisse, 23k,500; en Belgique et en Hollande, 18 kilogrammes; en Wurtemberg, 14 kilogrammes; en Espagne, 8k,400 dans les campagnes et 23k,300 dans les grandes villes.

Les évaluations les plus modérées portent de 70 à 90 kilogrammes par tête et par an, la consommation nécessaire pour que les populations européennes trouvent, dans leur alimentation, le maximum de force et de bien-être. D'un autre côté, les mercuriales des marchés nous montrent que les prix de la denrée vont sans cesse en croissant, ce qui indique clairement que la consommation suit une progression plus forte que celle de la production.

On voit par tout cela qu'il reste encore aux producteurs un champ largement ouvert pour développer leur industrie, et que cette industrie s'exerce dans les conditions économiques les plus avantageuses qui se puissent imaginer. Il y a donc un grand intérêt à étudier tout ce qui peut perfectionner les procédés de production.

La viande se compose essentiellement du tissu musculaire et de ses accessoires, qui présentent une constitution très-variable selon leur état d'engraissement. D'après Bischoff et Voit, elle contient en moyenne 75,9 % d'eau, 3,4 % de graisse et 1,3 % de matières solides; d'après Grouven, 74,7 % d'eau, 3,8 % de graisse et 1,4 % d'autres matières. La proportion d'eau est très-variable. Elle est plus forte chez les jeunes animaux et chez les femelles que chez les mâles et les animaux plus âgés; plus faible chez les gras que chez les maigres. D'où la conclusion évidente que, poids pour poids, la viande engraissée contient plus de matières nutritives que la viande maigre et a par conséquent une plus grande valeur; et aussi celle que la viande des animaux précoces, plus aptes que les autres à l'engraissement, est nécessairement plus riche au même degré de développement du squelette, quel que soit d'ailleurs le temps écoulé depuis leur naissance. Cette dernière conclusion ne concorde point avec le préjugé le plus répandu, mais elle n'en est pas moins conforme à la réalité.

Les intéressantes recherches de Lawes et Gilbert, dont nous ne pouvons malheureusement pas consigner ici les détails, fournissent à cet égard des données précises. En voici le principal tableau :

GENRE ET ÉTAT DES ANIMAUX.	ÉLÉMENTS MINÉRAUX.	MATIÈRES AZOTÉES.	GRAISSE.	SOMME DES MATIÈRES sèches.	CONTENU frais DE L'ESTOMAC et de l'intestin.	EAU.
	pour 100.	pour 100.	pour 100.	pour 100.	pour 100.	pour 100.
Veau gras	3,80	15,2	14,8	33,8	3,17	63,0
Bœuf demi-gras	4,66	16,6	19,1	40,3	8,19	51,5
Bœuf gras	3,92	14,5	30,1	48,5	5,98	45,5
Agneau gras	2,94	12,3	28,5	43,7	8,54	47,8
Mouton maigre	3,16	14,8	18,7	36,7	6,00	57,3
Mouton demi-gras	3,17	14,0	23,5	40,7	9,05	50,2
Mouton gras	2,81	12,2	35,6	50,6	6,02	43,4
Mouton très-gras	2,90	10,9	45,8	59,6	5,18	35,2
Cochon maigre	2,67	13,7	23,3	39,7	5,22	55,1
Cochon gras	1,65	10,9	42,2	54,7	3,97	41,3
Moyenne de tous les animaux	3,17	13,5	28,2	44,9	6,13	49,0
Animaux maigres et demi-gras	3,42	14,8	21,2	39,4	7,12	53,5
Animaux demi-gras et gras	3,23	13,3	29,9	46,4	6,26	47,3
Animaux gras et très-gras	3,00	12,7	32,8	48,5	5,48	46,0

Les recherches des mêmes auteurs ont conduit en outre à des résultats qui permettent de déterminer d'une façon exacte les proportions de matières véritablement comestibles que fournit la viande dans les divers états que nous venons de voir.

Les résultats de ces recherches méritent d'autant plus d'être pris en sérieuse considération, qu'ils n'ont pas été déduits de quelques examens seulement, mais bien d'un grand nombre d'analyses effectuées dans le célèbre laboratoire de Rothamstedt, sur des animaux entiers appartenant aux diverses espèces. Peu d'observateurs ont été en mesure de réaliser des travaux de ce genre, dont l'importance ne saurait être mise en doute. Il y a là des guides sûrs pour les opérations que nous avons en vue et qui auparavant obéissaient à des préceptes empiriques souvent erronés.

Les nombres du tableau suivant nous dispenseront à cet égard d'une longue dissertation :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GENRE ET ÉTAT DES ANIMAUX.	De 100 parties de la quantité totale sont comestibles.		De 100 parties du poids vif de l'animal sont comestibles.	
	PROTÉINE.	GRAISSE.	PROTÉINE.	GRAISSE.
Bœuf demi-gras	60	80	9,96	15,28
Vieux mouton demi-gras	50	75	7,00	17,63
Veau gras	60	95	9,12	14,06
Bœuf gras	60	80	8,70	24,08
Agneau gras	50	95	6,19	27,08
Mouton gras	50	75	6,10	26,70
Mouton très-gras	50	75	5,45	34,35
Cochon gras	78	90	8,50	37,98
Mouton maigre	50	75	7,40	14,03
Cochon maigre	78	90	10,69	20,97
Moyenne de tous les animaux	58,6	83,0	7,91	23,22
Animaux maigres et demi-gras	—	—	8,76	16,98
Animaux gras et très-gras	—	—	7,29	26,71

Tous ces nombres font voir qu'aussi bien au point de vue du consommateur qu'à celui du producteur, les animaux qui s'engraissent le plus facilement, à quelque genre qu'ils appartiennent, sont toujours les plus avantageux pour la production de la viande. A qualité de nourriture égale, ils en fournissent plus et de la meilleure. Ce sont en conséquence les individus les plus précoces qui occupent à cet égard le premier rang. Pratiquement donc, ils doivent obtenir la préférence dans les entreprises zootechniques dont nous nous occupons en ce moment; et ce n'est pas seulement à cause de leur plus grande aptitude à produire, dans le même temps, une plus forte quantité de viande, ou un rendement net plus élevé, dû principalement à l'ampleur plus grande de toutes les parties du corps et à la réduction de la longueur des os des membres, du volume de la tête, etc.; c'est aussi parce que, dans leur corps, les parties qui acquièrent le plus grand développement sont précisément celles qui, à la boucherie, sont les plus estimées ou se payent le plus cher.

Nous savons déjà que les animaux précoces se distinguent par l'ampleur de la poitrine ou circonférence thoracique, due à l'épaisseur des masses charnues qui occupent la région. Cette grande ampleur transversale du thorax commande, en raison de corrélations anatomiques bien connues, la largeur de la région des lombes ou des reins et aussi celle de la région des hanches ou de la croupe. Une indication des catégories adoptées dans le commerce de la boucherie, pour la coupe de la viande et les prix des divers morceaux que donnent les animaux abattus, va nous fournir à cet égard les meilleures bases pour le choix de ceux qui seront nécessairement les meilleurs consommateurs de leurs aliments, soit qu'il s'agisse de les élever ou seulement de les engraisser en vue de la boucherie.

Les sujets les mieux conformés, à notre point de vue actuel, toute question d'esthétique mise de côté, sont ceux qui, à l'étal du boucher ou du charcutier, rendent la plus forte proportion des morceaux de viande que les consommateurs payent le plus cher, ou des morceaux des premières catégories.

Les figures 1 2 et 3, si on les examine attentivement, suffiront, avec leurs légendes, pour nous dispenser d'entrer dans les détails d'une description. On y trouvera les modèles de la conformation à rechercher, avec les raisons pratiques à l'appui. Nous laisserons donc au lecteur le soin de déduire ces raisons, en ajoutant seulement que chez les moutons et les cochons, les parties les plus estimées sont celles de la croupe et de la cuisse, fournissant le gigot et le jambon.

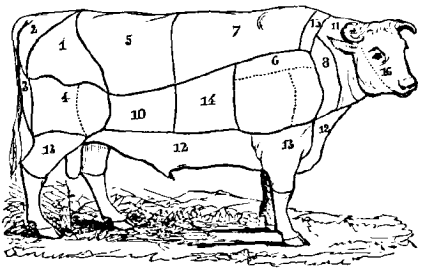


Fig. 1. — Coupe du bœuf à la boucherie.

Morceaux de première catégorie.

1. Culotte. — Tranche de petits os.
2. Cimier.
3. Tende de tranche.
4. Milieu de gite à la noix. — Tranche grasse.
5. Aloyau avec filet.

Morceaux de deuxième catégorie.

6. Milieu de macreuse dans le paleron. — Bande de macreuse.
7. Derrière de paleron. — Côtes couvertes, côtes à la noix.
8. Talon de collier.
10. Bavette d'aloyau.
14. Plat de côtes.
15. Surlonge.

Morceaux de troisième catégorie.

11. Collier.
12. Gros bout. — Milieu de poitrine. — Flanchet.
13. Boîte à moelle. — Queue de gite de devant. — Gite de devant. — Gite de derrière.
16. Plat de joues.

Les variétés produites en France qui, dans leur état actuel, sont encore loin pour la plupart des conditions de la perfection, ont été l'objet, de la part de Baudement, de recherches précises, dont nous devons consigner ici les résultats. Ces recherches furent poursuivies durant plusieurs années, sur les sujets ayant été distingués par le jury des concours de Poissy. Elles ont porté, en conséquence, sur des individus très-gras; mais il suffit qu'elles soient comparatives pour conserver toute leur valeur.

On va voir plus bas, d'abord, les résultats relatifs aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

variétés bovines, en ce qui concerne le rendement en viande nette.

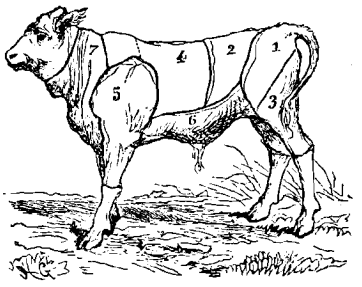


Fig. 2. — Coupe du veau à la boucherie.

Première catégorie.

1. Cuisseau (milieu de rouelle).
2. Longes et rognons.
3. Cuisseau (derrière de rouelle et noix).
4. Carré couvert.

Deuxième catégorie.

5. Epaule.
6. Poitrine.
7. Collet.

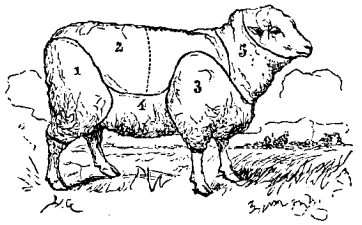


Fig. 3. — Coupe du mouton à la boucherie.

Première catégorie.

1. Gigot.
2. Filet. — Carrés. — Côtes couvertes.

Deuxième catégorie.

3. Epaule.
4. Poitrine.
5. Collet.

Les variétés comtoise, durham-mancelle, bretonne et gasconne ont rendu entre 67 et 68 % du poids vif;

Les variétés auvergnate, durham-bretonne, durham-charolaise et limousine, entre 66 et 67;

Les variétés charolaise, durham-normande et landaise, entre 65 et 66;

Les variétés normande, durham-auvergnate et bazadaise, entre 63 et 64;

La vendéenne, entre 61 et 62.

Quant au rendement en suif, il a été de 13 à 14 % pour les vendéens; de 12 à 13 pour les bretons; de 11 à 12 pour les durham-bretons; de 10 à 11 pour les landais, les normands, les gascons et les limousins; de 9 à 10 pour les comtois, les durham-manceaux, les auvergnats, les garonnais et les charolais; de 8 à 9 pour les durham-charolais, les durham-normands et les durham-bourbonnais.

Au sujet de la qualité de la viande, le classement suivant a été adopté : 1 durham-breton. 2 vendéen. 3 durham-manceau. 4 limousin. 5 durham. 6 garonnais. 7 durham-charolais et durham-normand. 8 breton. 9 auvergnat. 10 charolais. 11 normand et bazadais. — Le n° 1 ayant 100, le n° 11 a 87.5.

Pour les variétés ovines, Magne a donné les chiffres suivants:

	Viande nette.	Suif.
Mérinos.	63,150	14,600
Dishley-mérinos. . . .	62,240	11,020
Southdown.	53,351	9,991
Berrichonne.	51,075	5,282
Solognote.	50,000	5,258
Poitevine.	50,000	2,557
Marchoise.	47,058	4,647
Picarde.	46,153	2,884
Bourbonnaise.	46,037	6,143

Les conditions particulières d'alimentation, au point de vue spécial de la production de la viande ou de la chair comestible, aussi bien qu'à celui de la production de la graisse surtout, qui concerne exclusivement les porcs, l'opération n'en portant pas moins dans les deux cas le nom vulgaire d'engraissement, ces conditions-là sont fondées scientifiquement d'abord sur la théorie de la formation des matières grasses dans l'économie animale. Nous devons donc avant tout exposer en résumé cette théorie, que nous avons réservée pour ce moment.

La première question qui se pose est celle de savoir si la fonction de l'organisme se borne, comme pour les matières protéiques, à extraire des aliments végétaux les matières grasses qu'ils contiennent, pour leur faire subir les modifications qu'elles présentent dans les tissus animaux, ou bien s'il a la faculté de les produire lui-même avec des hydrates de carbone quelconques. Les recherches de Dumas et Milne Edwards, de Boussingault, de Persoz, de Lacaze du Thiers et Riche, effectuées expérimentalement sur des animaux de divers embranchements, ont depuis longtemps résolu cette question par l'affirmative. Leurs résultats ont montré que chez les vertébrés, comme chez les insectes, la production des matières grasses dépasse de beaucoup la quantité de celles qui se trouvent dans les aliments qu'ils ont reçus.

D'un autre côté, dans les conditions qui nous intéressent plus directement, Lawes et Gilbert ont trouvé que pour une augmentation de poids vif de 100 kilogrammes, chez les bêtes bovines, il y a de 60 à 65 kilogrammes de graisse, de 7 à 8 kilogrammes de matières azotées, de 1 kilogramme à 1,500 grammes de substances minérales et de 25 à 30 kilogrammes d'eau ; que, chez les bêtes ovines, le gain de 100 kilogrammes se compose de 65 à 70 kilogrammes de graisse, et de 7 à 8 kilogrammes de matières azotées ; que, chez les cochons il y a de 65 à 70 % de graisse et de 6 à 8 % de matières azotées.

En moyenne, c'est donc, pour les matières grasses, une augmentation de 8 à 10 fois plus grande que celle des matières azotées. Les auteurs ont calculé que, d'après ces résultats, il ne se fixe dans l'organisme que 8 à 9 % de la quantité de matière sèche contenue dans les aliments, et que les éléments composants de cette matière sèche sont assimilés dans des proportions très-différentes. Ainsi, il n'y a que 3 % des substances minérales, 5 % des matières azotées et 10 % des matières non azotées propres à se transformer en graisse.

Dans l'accroissement total de poids, les matières azotées étant à la graisse dans le rapport de 1 : 10, il doit donc y avoir dans l'alimentation une proportion double de matières protéiques, puisque de ces matières seulement 5 % ou $^1/_{20}$ seront assimilés, tandis qu'il sera fixé 10 % de la quantité des matières propres à former de la graisse. La relation nutritive devra donc être 2 : 10 ou 1 : 5. Ce qui confirme en général nos précédentes indications sur cette relation.

Mais ce n'est pas de cela qu'il s'agit présentement. En ce qui concerne notre sujet actuel, l'observation et l'expérience démontrent tous les jours que les hydrates de carbone se transforment, dans l'organisme animal, en glycérides constituants des diverses sortes de matières

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grasses. Les praticiens savent bien que les aliments riches en fécule, les liquides contenant de la dextrine, comme la bière, engraissent facilement les individus qui ont une respiration peu active et qui par conséquent ne détruisent qu'une faible proportion des matières combustibles qu'ils absorbent.

L'état de la chimie organique autorise, sur les réactions que nécessite une telle transformation, des hypothèses aussi vraisemblables que possible. Les travaux de Berthelot, en particulier, ne laissent guère de doute à cet égard. Le plus probable est même que les matières grasses qui s'accumulent dans le corps animal ont pour source exclusive les hydrates de carbone, celles toutes formées que le sang reçoit par les aliments étant aussitôt détruites pour l'entretien de la température normale du corps.

Nous ne pouvons pas songer à entrer ici dans les détails de ces réactions. La place dont nous disposons ne le permettrait point. Qu'il nous suffise de constater qu'à cet égard il n'y a plus aujourd'hui, parmi les savants qui s'occupent de chimie physiologique, aucune dissidence essentielle. Il vaut donc mieux insister sur un autre point de la théorie de l'engraissement qui a, pour les applications pratiques, une importance beaucoup plus grande. Ce sont les recherches de Voit qui ont le mieux éclairci ce point.

L'animal a en soi une provision variable de substances albuminoïdes et grasses, aux dépens de laquelle il vit, et qui est augmentée par l'apport de la nourriture. L'augmentation peut être en telle mesure que s'ensuive cet état complexe nommé engraissement, et qui résulte d'un excédant entre les matières introduites et celles qui peuvent être détruites. On sait que leur destruction, loin d'être toujours égale, varie au contraire beaucoup d'après la qualité et la quantité des matériaux combustibles qui en font partie, et surtout d'après la quantité d'oxygène comburant introduite dans le sang. Pour déterminer la condition principale de l'engraissement, il faut donc connaître la loi de son introduction.

Il est établi que l'oxygène circule dans le sang charrié par les globules rouges qui ont la propriété de le retenir indépendamment de la pression, c'est-à-dire en vertu d'une certaine combinaison chimique. On en peut conclure par conséquent que l'intensité de la combustion est en général réglée par le nombre de ces globules et que, dans des circonstances égales d'ailleurs, la plus forte quantité de ceux-ci fait circuler dans les vaisseaux sanguins une plus forte somme d'oxygène. Pour se faire une juste idée de l'étendue de ce phénomène, il ne suffit pas d'estimer la quantité du sang. Pour un égal volume de celui-ci, il n'existe pas toujours un égal nombre de globules. On sait, par exemple, que le sang des animaux affaiblis en contient moins que celui des animaux vigoureux. Il est permis d'admettre, d'après ce qui précède, qu'en diminuant la richesse du sang on diminue l'absorption de l'oxygène et qu'on augmente par là, sous l'influence d'une nourriture égale, les progrès de l'engraissement, en diminuant la destruction des combustibles, pourvu que la digestion des albuminoïdes ne soit point troublée. Cela dépend aussi, comme nous l'avons déjà vu, de la quantité de sang qui, dans l'unité de temps, est mise en rapport avec l'air atmosphérique dans l'intérieur des poumons.

Ce n'est point seulement le nombre des mouvements respiratoires qui importe pour cela. Il peut augmenter sans que le nombre des battements du cœur et la quantité de l'acide carbonique exhalé deviennent plus grands. Mais si l'augmentation est due à l'exercice corporel, alors les contractions du cœur deviennent plus fortes et le sang traverse plus fréquemment le poumon, ce qui détermine une osmose plus active et augmente l'expulsion d'acide carbonique.

D'après les observations de Henneberg et Stohmann, une alimentation riche en matières protéiques augmente le nombre des battements du cœur et par conséquent l'introduction d'oxygène. En ce cas, il n'y a pas plus d'albumine détruite, mais seulement plus de matières grasses. En conséquence, il est évident que le repos, en réduisant au minimum le nombre des battements du cœur, favorise constamment l'engraissement. Cette donnée physiologique ne doit jamais être perdue de vue dans la conduite des animaux à l'engrais, à quelque genre naturel qu'ils appartiennent.

Cela dit, voyons maintenant à poser les bases de la composition des rations d'engraissement, d'une manière générale. Nous en donnerons ensuite des exemples, en terminant, pour chacun des trois genres d'animaux qui nous intéressent.

Au commencement de l'opération, il y a lieu d'abord de mettre l'animal en bon état d'embonpoint, afin qu'il soit en mesure de jouir d'un bon appétit et d'une bonne digestion, ce qui lui permet de consommer et de transformer chaque jour une plus forte quantité d'aliments. Il lui faut, à cet effet, une ration dans laquelle les deux termes de la relation nutritive soient 1 : 5, ce qui est, comme nous le savons, celle des adultes bien entretenus.

C'est la première période, qui n'existe point pour les animaux préparés d'avance en raison de leur précocité, ou en raison du bon régime habituel auquel ils ont été soumis. Quand on achète des animaux pour les mettre à l'engrais, il y a toujours avantage à préférer, en les payant un plus fort prix, ceux qui sont en cet état.

Lorsque commence la période de l'engraissement proprement dit, ce qui importe, c'est de ne faire entrer dans la ration ni trop ni trop peu de protéine, ni trop ni trop peu de matières grasses ou d'hydrates de carbone. Ces derniers, quand ils sont en surabondance, sont expulsés en pure perte dans les excréments. Ce ne sont point des matières fertilisantes comme les protéiques. Quand plus tard il y a déjà de la graisse accumulée en certaine quantité aux places sous-cutanées que l'on appelle des maniements (voyez fig. 4), la proportion de protéine doit être augmentée de façon à ce que la relation devienne = 1 : 4,5. Cette condition, pour une égale quantité absolue de protéine digérée, fait engendrer une plus forte proportion de viande.

A mesure que l'opération s'avance, l'addition de protéine doit suivre une progression telle que la relation passe de 1 : 4,5 à 1 : 4, 1 : 3,5 et finalement 1 : 3 pour les engraissements que ne peuvent atteindre économiquement les animaux destinés au commerce, autres que les porcs. La limite des engraissements commerciaux, pour les bêtes bovines en particulier, est indiquée par l'apparition des maniements désignés dans la légende de la figure 4, à laquelle le lecteur voudra bien se reporter.

Dans le second terme de la relation nutritive qui convient le mieux pour les diverses phases de l'engraissement, le rapport entre les matières grasses et les hydrates de carbone n'est pas indifférent. J. Kühn, d'après de nombreuses expériences, a donné à cet égard des indications précises, ayant leur fondement physiologique dans ce fait que les matières grasses exigent, pour leur combustion complète, 2,4 fois plus d'oxygène qu'un même poids d'hydrates de carbone. Par conséquent, à mesure que s'augmente l'apport de ces matières par les aliments, à mesure aussi est épargnée la combustion de celles accumulées déjà dans les tissus ou des hydrates de carbone qui servent à les former.

Dans la relation normale, la proportion des matières grasses aux protéiques est = 1 : 2. Vers les dernières phases de l'engraissement, celui-ci est favorisé lorsque ce rapport se rapproche de = 2 : 3. En même temps qu'on augmente, dans la ration, la proportion de protéine, il y a donc lieu aussi d'augmenter celle de ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tières grasses, et en conséquence de laisser à peu près invariable la proportion des hydrates de carbone.

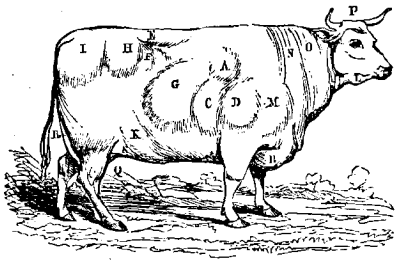


Fig. 4. — Maniements rangés dans l'ordre de leur apparition.

S. Lampe.
I. Bord.
E. Travers.
H. Hanche.
F. Flanc.
C. Cœur.
A. Paleron.
G. Côte.
M. Avant-cœur.
D. Contre-cœur.
B. Poitrine.
Q. Dessous, brague.
N. Collier.
O. Veine de cou.
R. Cordon.
L. Dessous de langue.
P. Oreillette.

Pratiquement, le but est atteint en faisant varier surtout l'aliment complémentaire et en l'empruntant pour une partie aux semences de céréales, pour l'autre aux semences oléagineuses.

Ici, comme pour la production du lait, le choix de cet aliment complémentaire a une influence directe et certaine sur la qualité du produit. Des recherches expérimentales de Bœwer il résulte, par exemple, que la viande de porc du meilleur goût, en même temps que la plus forte quantité en poids, est celle qui a été obtenue avec des sujets exclusivement nourris de lait. Celle qui s'en est rapprochée le plus provenait d'animaux nourris avec du froment, du maïs, de l'orge, de l'avoine, des pois. Les pommes de terre seules ont donné une viande creuse, légère, peu savoureuse et perdant beaucoup de poids par la coction. Les animaux nourris de son ont donné une viande jaune, peu consistante et d'un mauvais goût. Avec des tourteaux et des graines oléagineuses, on a eu de la viande creuse, huileuse et d'un goût désagréable. Avec des fèves, une viande grossière, indigeste, insipide. Enfin avec des glands une viande légère, grossière, malsaine, dit l'auteur.

En faisant la part de l'exagération évidente que comportent ces appréciations, il n'en reste pas moins beaucoup de vrai. Il y a donc lieu d'en tenir compte dans la composition des rations spéciales d'engraissement, pour la mesure compatible avec les conditions économiques de l'opération, c'est-à-dire suivant l'intérêt qu'on trouve à se préoccuper en même temps de la qualité et de la quantité, dans la production de la graisse et de la viande.

En suivant exactement les règles posées, d'après les faits acquis à la science, pour les conditions de respiration et d'alimentation des animaux à l'engrais, on arrivera dans le moins de temps possible à leur faire gagner la plus forte quantité de poids. La durée de ce temps, toutefois, pour les sujets déjà en bon état, ne peut guère descendre au-dessous de 90 jours; mais les bêtes bovines d'un poids moyen peuvent assez facilement gagner, en ces conditions, jusqu'à 2 kilogrammes par jour, soit augmenter leur poids vif de 180 kilogrammes, ce qui est presque le double de ce qui s'observe pour les engraissements conduits d'après les habitudes empiriques.

Nous ne parlons pas de ceux qui s'opèrent dans les herbages, et dont le succès dépend seulement de l'observance rigoureuse du rapport nécessaire entre la puissance de l'herbage et le poids vif d'animaux qui doit le consommer.

Cette puissance varie comme les localités et aussi comme les circonstances météorologiques. C'est l'observation attentive qui enseigne au praticien éclairé le rapport dont il s'agit. Bornons-nous à faire remarquer en passant que si la quantité d'herbe qui engraisse un bœuf ou un mouton, quand il la consomme sur pied à mesure que cette herbe pousse, ne parviendrait jamais à l'engraisser si elle lui était distribuée à l'état de maturité sous forme de foin, c'est que la jeune herbe présente, ainsi que nous le savons déjà, une relation nutritive semblable à celle qui vient d'être indiquée pour les rations d'engraissement.

La composition de ces rations, quant aux substances alimentaires qui peuvent y entrer, ne diffère point de celle dont nous avons donné précédemment des exemples à propos de l'alimentation des vaches laitières, sauf toutefois pour ce qui concerne les aliments complémentaires qui, pour satisfaire aux exigences spéciales de la richesse en matières grasses et en hydrates de carbone, ne peuvent guère consister qu'en une combinaison de farines oléagineuses avec des farines céréales. Il serait donc superflu de répéter ici ces exemples.

Il suffira grandement d'indiquer, pour servir de base à leur établissement par le calcul, d'après les principes généraux et particuliers qui ont été posés, les nombres normaux déduits de l'expérience. Nous empruntons ces nombres à Émile Wolff.

En voici le tableau pour chacun des trois genres d'animaux soumis aux opérations d'engraissement :

POIDS VIF.	PÉRIODE d'engraissement.	MATIÈRE SÈCHE.	PROTÉINE.	MATIÈRES GRASSES.	EXTRACTIFS NON AZOTÉS.	RAPPORT DES MATIÈRES GRASSES AUX AZOTÉES.	RELATION NUTRITIVE.
kil.		kil.	kil.	kil.	kil.		
		A. — Bœufs et Vaches.					
500	1re..	12,5	1,6	0,35	7,9	1 : 3,2	1 : 5
	2e...	12,0	1,8	0,50	7,25	1 : 3,2	1 : 4
	3e...	11,5	2,1	0,75	6,4	1 : 2,8	1 : 3
		B. — Moutons.					
500	1re a.	11,25	1,5	0,3	7,5	1 : 4	1 : 5
	» b.	10,75	1,7	0,5	6,8	1 : 3,8	1 : 4
	» c.	10,25	2,0	0,7	6,0	1 : 3,5	1 : 3
	2e a.	12,0	1,5	0,3	7,5	1 : 3	1 : 5
	» b.	11,5	1,7	0,5	6,8	1 : 2,8	1 : 4
	» c.	11,0	2,0	0,7	6,0	1 : 2,7	1 : 3
	3e a.	12,75	1,5	0,3	7,5	1 : 2,4	1 : 5
	» b.	12,25	1,7	0,5	6,8	1 : 2,3	1 : 4
	» c.	11,75	2,0	0,7	6,0	1 : 2,1	1 : 3
		C. — Cochons (de 50 à 75 kil.)					
500	1re..	19,5	3,25	0,5	16,25	—	1 : 5
	2e..	18,75	3,75	0,75	15,0	—	1 : 4
	3e...	16,0	4,50	1,0	13,5	—	1 : 3

Les variantes *a b c* de chacune des trois périodes, dans le tableau dressé pour les moutons, indiquent qu'on peut à volonté choisir l'une ou l'autre sans que l'effet de la ration diffère sensiblement, selon que les matières alimentaires dont on dispose s'y prêtent le mieux ou qu'on y trouve une économie, en raison de la moindre valeur commerciale de ces matières. C'est ce qui doit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

être d'ailleurs toujours pris en considération pour tous les cas.

Production de la laine.

On a beaucoup discuté, dans ces derniers temps, sur la production de la laine, en antagonisme avec celle de la viande, comme si, dans l'exploitation des moutons, il y avait eu à opter entre les deux genres de production. En fait, les mérinos, qui sont les producteurs de laine par excellence, donnent encore, pour la plupart, surtout leurs toisons. En ce qui les concerne, la viande est considérée comme un produit fort accessoire, qui ne leur est demandé que dans la vieillesse, alors que la laine a perdu des qualités qui la distinguent et que la viande elle-même n'a plus guère de valeur. Une propagande active a été faite et se continue encore pour amener les agriculteurs qui les exploitent à y renoncer, pour se livrer exclusivement à la production de la viande à l'aide des variétés anglaises précoces, sous le prétexte que nos laines indigènes ne peuvent point soutenir la concurrence des laines coloniales. On a été même jusqu'à prétendre que le mouton français idéal de notre époque serait celui qui n'aurait pas de toison du tout. Quelques chiffres vont nous montrer ce que peut valoir une telle conception.

La production lainière annuelle de l'Europe s'élève présentement à une quantité qui varie de 280 à 285 millions de kilogrammes, ce qui fait environ 1 kilogramme par tête de la population humaine. Les principaux pays de production sont: la Grande Bretagne et l'Irlande pour 860,000 quintaux métriques; la Prusse et les autres États allemands pour 760,000 quintaux; la Russie pour 1,110,000 quintaux; la France pour 760,000 quintaux; l'Autriche-Hongrie pour 720,000 quintaux; l'Espagne pour 551,000 quintaux; l'Italie pour 276,000 quintaux; la Roumanie pour 125,000 quintaux; la Suède et la Norwège pour 83,000 quintaux; le Portugal pour 64,300 quintaux; le Danemark pour 46,800 quintaux; enfin la Grèce pour 44,400 quintaux.

La quantité de laine travaillée en Europe chaque année s'élève en nombre rond à 480 millions de kilogrammes. Pour couvrir la différence, il est donc nécessaire d'introduire environ 190 millions de kilogrammes de laines exotiques. Les principales provenances de ces laines sont l'Australie, La Plata et la colonie du Cap, qui, dans ces dernières années, en ont expédié en Europe les quantités suivantes, en milliers de balles:

	1863.	1864.	1865.	1866.	1867.	1868.
Australie .	241	302	332	348	412	491
La Plata .	81	86	131	152	192	234
Le Cap . .	68	69	99	107	128	141
Ensemble .	390	457	562	607	732	865

Ces chiffres sont empruntés au rapport de F. Huth et Cie, de Londres. Ceux qui ne considèrent que leur progression sans cesse croissante en concluent que la production européenne en général, et la production française en particulier, rencontre sur son propre marché des conditions nécessairement de plus en plus défavorables; mais lorsque, ne voulant que s'éclairer sur le véritable état des choses, on rassemble tous les documents d'une telle question et qu'on tient compte en même temps, pour la France, par exemple, de la progression des chiffres représentant le travail de fabrication, donnés par les états de douane pour l'exportation des tissus, on s'aperçoit que si les importations de laines brutes ont environ triplé depuis la conclusion des traités de commerce avec les principales puissances européennes, les exportations de tissus se sont, de leur côté, élevées au quintuple. Il a donc bien fallu que la différence entre les deux progressions fût couverte par la production intérieure.

Quoi qu'il en soit, on voit que les besoins de la consommation laissent ouvert un beau champ à cette production; et c'est pour le montrer que nous avons reproduit les chiffres qui viennent d'être cités. Il ne sera du reste pas difficile de faire voir que ce champ peut être cultivé sans aucune préoccupation de concurrence. L'exploitation des troupeaux de moutons, telle que l'état de la science permet de l'entreprendre et de la conduire, ne comporte en réalité ni discussion ni option entre la laine et la viande. En vertu même de ses aptitudes physiologiques, le mouton domestique est à la fois nécessairement producteur de l'une et de l'autre. L'antagonisme empiriquement conçu par un *à priori* trop hardi n'est qu'une pure chimère, ainsi que nous l'avons démontré expérimentalement d'une manière tout à fait irréfutable par nos *Recherches sur la toison des mérinos précoces.*

La production de la laine et celle de la viande de mouton, dans tous les troupeaux actuellement existants, peuvent marcher de pair sans aucune difficulté, et atteindre le maximum d'effet utile que permettent les conditions climatériques et culturales. Les plus puissantes bêtes ou machines à laine peuvent devenir en même temps les plus puissantes machines à viande, par l'application des procédés que nous avons fait connaître précédemment, sans rien perdre de leur puissance lainière, et au contraire en portant celle-ci à un degré plus élevé.

En admettant que cette application ne soit pas possible; que les conditions climatériques et culturales ne permettent point d'obtenir la précocité du développement qui est le signe du maximum de puissance productive, il suffit encore d'appliquer à l'exploitation des bêtes à laine le principe économique formulé pour les bêtes laitières, de ne laisser point péricliter le capital engagé et de l'exploiter au contraire de façon à ce que sa valeur augmente sans cesse, pour que le résultat soit atteint sûrement.

Le grand argument dont se servent, en effet, ceux qui veulent prouver que nos troupeaux ne sauraient soutenir la concurrence des troupeaux de l'Australie, de l'Amérique et du Cap, c'est que ceux-ci paissant dans de vastes solitudes, produisent leur laine à des prix de revient presque nuls. Admettons que ces prix sont en réalité très-faibles. Il est certain qu'au moment où elles ont fait leur apparition sur le marché européen, les toisons coloniales se trouvaient en état de lutter avantageusement, par leur origine même, contre celles fournies par nos propres troupeaux et grevées de nombreux frais de production. La nourriture et l'amortissement annuel de nos machines productives avaient une valeur autrement grande. Aussi le coup porté à l'agriculture française par la baisse subite qui en résulta fut-il rude. Mais n'y a-t-il pas moyen de se placer partout dans des conditions encore meilleures que celles supposées pour les troupeaux exotiques? N'est-il pas possible de réduire à presque rien, et même à rien, les frais de production des laines françaises?

Non-seulement cela est possible, mais encore nous n'hésitons pas à affirmer que cela est on ne peut plus facile, dans les circonstances présentées actuellement par le marché de la viande. Nous avons vu que le débouché de celle-ci, déjà très-grand, ne peut que s'accroître. Durant l'année 1872, la France a dû importer 1,746,810 moutons, dont 535,050 provenant de l'Allemagne, 164,660 de l'Italie et 642,185 de l'Algérie. On ne contestera pas qu'il y ait là, pour les troupeaux indigènes, une place à prendre et qu'ils puissent la disputer sans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

difficulté aux moutons allemands, par exemple, plus éloignés qu'eux du marché. Précoces ou non, qu'ils soient engraissés et vendus sur ce marché au moment où vient de se terminer leur période de croissance, et alors évidemment leur valeur sera suffisante pour couvrir les frais de production. Les deux ou trois toisons qu'ils auront fournies durant leur existence auront été obtenues par surcroît et seront tout bénéfice au moins.

Ce mode d'exploitation est en effet le minimum de ce qu'il y a lieu d'exiger des producteurs de laine, dans l'état actuel de la science zootechnique. Qu'il s'agisse de moutons précoces ou de moutons de parcours, l'opération doit toujours avoir pour base la production de la viande. Elle doit être liquidée, pour chaque individu considéré en particulier dans le troupeau, au moment où cet individu ne peut plus croître ou augmenter la valeur du capital qu'il représente. De cette façon, l'effectif du troupeau restant toujours le même par le renouvellement annuel des sujets vendus, le nombre des toisons produites ne diminue point. Le revenu résultant de la vente de ces toisons reste le même; il s'y ajoute en outre les produits de la vente des sujets qui, ayant atteint leur plus forte valeur, quittent le troupeau.

Telles sont les considérations économiques dominantes dans la production de la laine. On voit que celle-ci est dans tous les cas subordonnée à la production de la viande de mouton et que c'est être de beaucoup en retard sur le progrès, de considérer les bêtes ovines comme exclusivement productrices de laine. Il n'y a donc pas à proprement parler de conditions de nutrition particulières pour ce genre de production. L'alimentation qui convient le mieux pour la production de la viande et qui est celle que nous avons indiquée d'abord pour le jeune bétail, puis pour l'engraissement, est aussi celle qui a les meilleures conséquences au point de vue de la toison. Elle agit sur les qualités de celle-ci en raison de sa régularité et de sa quantité journalière, non en raison de sa composition. Les propriétés de la laine produite par un individu déterminé, à la condition que celui-ci soit en bonne santé et vigoureux, dépendent uniquement de son aptitude individuelle, ou des propriétés mêmes de ses organes producteurs, qui ne peuvent être modifiées que par l'hérédité.

L'amélioration des toisons, dans le troupeau, est donc seulement du ressort de la sélection, ou des méthodes de reproduction.

Notre tâche consiste ici, par conséquent, à mettre en évidence les propositions qui viennent d'être énoncées, afin d'en déduire les indications auxquelles obéit la production spéciale dont nous nous occupons. Quelques notions sommaires sur le mode de formation de la laine et sur l'appréciation de ses qualités industrielles y suffiront.

Le brin de laine, comme tous les autres poils en général, est une des productions ou formations épidermiques de la peau. Celle-ci, comme on sait, est constituée par deux couches superposées: le derme, couche inférieure plus ou moins épaisse, constituée par des fibres lamineuses enchevêtrées, auxquelles se mêlent quelques fibres musculaires lisses, et laissant entre elles des lacunes qui, chez les sujets gras, sont occupées par des cellules adipeuses; et l'épiderme, comportant d'abord un réseau de vaisseaux capillaires immédiatement appliqué sur le derme, puis, entre les mailles de ce réseau, des granulations pigmentaires et des jeunes cellules épidermiques sphériques ou polyédriques ayant un contenu limpide, qui devient granuleux à mesure qu'elles s'aplatissent en gagnant la surface où ce contenu a tout à fait disparu et où elles sont devenues des lamelles cornées formant la couche superficielle de l'épiderme qui protége la peau contre les influences extérieures.

Sur des points plus ou moins rapprochés de la couche épidermique existent de petites cavités piriformes, au fond desquelles se trouve une saillie du derme. Ces cavités sont les *bulbes pileux* ou *laineux*, s'ouvrant à l'extérieur par un col droit ou flexueux. Autour de la saillie du derme, dite *papille*, les jeunes cellules épidermiques formées par le réseau capillaire, dit *réseau de Malpighi*, s'accumulent et sont poussées dans la *gaine du bulbe* comme dans une filière. Les unes, les internes, y deviennent tubuleuses et se pressent les unes contre les autres pour former la substance même de la production pileuse; les autres, les externes, deviennent lamelleuses et s'appliquent à la surface de la masse des autres en s'imbriquant, pour former une enveloppe mince ou *cuticule* à cette production et lui donner, lorsqu'elle est vue au microscope, un aspect écailleux.

Dans l'épaisseur du derme et à une faible distance de chacun des bulbes ou follicules pileux, il existe une petite glande en grappe simple, ayant la propriété d'élaborer des matières grasses particulières qui, chez les bêtes à laine, forment la partie essentielle du fluide appelé *suint*, l'autre partie, contenant des sels minéraux dissous dans l'eau et particulièrement des sels de potasse, est élaborée par les *glandes sudoripares* qui siégent dans la couche de tissu conjonctif immédiatement sous-jacente au derme. Les conduits des *glandes grasses* ou *sébacées* et des glandes sudoripares viennent déboucher dans la gaîne pileuse. Les produits mélangés de ces glandes imprègnent par conséquent la substance pileuse, dont nous allons voir les propriétés chimiques et physiques, et forment à sa surface un enduit ou vernis protecteur, dont la connaissance importe encore plus, pour l'appréciation technique de la laine, que celle des propriétés intrinsèques de celle-ci.

D'après W. von Nathusius, à qui est due l'étude la plus approfondie que nous ayons, sans contredit, sur la laine, le poids spécifique n'en diffère pas sensiblement, quelle que soit sa finesse, à la condition qu'elle n'ait point de *canal médullaire*. C'est l'occasion de dire, en passant, que, dans les poils et les brins de laine grossiers, il y a dans le sens de l'axe une partie formée de cellules aériennes, que Nathusius considère comme provenant de la papille dermique, et qui porte le nom de *moelle* ou de *substance médullaire*.

En tout cas, les différences constatées dans les poids spécifiques ne portent que sur la deuxième décimale. Ainsi Stoeckhardt a trouvé 1,295 pour la laine de mérinos, 1,271 pour celle de southdown-mérinos et 1,257 pour celle de southdown; Nathusius 1,382 pour la laine très-fine de mérinos de Silésie, 1,339 pour celle des mérinos français et 1,306 pour celle de cotswold.

La composition chimique ne diffère pas davantage. Maercker et Schulze, d'une part, Hoffmann, de l'autre, ont fait des analyses comparatives dont voici les résultats:

DÉSIGNATION.	Maercker et Schulze.		Hoffmann.	
	Laine commune.	Laine de mérinos.	Laine commune.	Laine de mérinos.
Carbone. . . .	49,49	49,58	50,687	50,661
Hydrogène. .	7,58	7,19	7,012	7,062
Azote.	15,55	15,54	17,870	17,518
Soufre.	3.73	3,69	2,441	3,036
Oxygène.. . .	23,65	24,00	21,900	21,123

Ils ne connaissaient certainement pas ces faits ceux qui, dans les discussions auxquelles nous avons fait allusion en commençant, ont affirmé, d'après les données empiriques contradictoires, qu'il fallait plus de matière alimentaire sèche pour produire l'unité en poids de laine fine que pour produire cette même unité en laine grossière.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En ce qui concerne les propriétés physiques de la laine, on sait qu'elle jouit d'une hygrométricité très-prononcée. C'est sur cette propriété des productions pileuses en général qu'est fondée la construction des hygromètres dits à cheveu. Elles subissent de même l'influence de la température. On sait aussi que la chevelure conserve la frisure qui lui a été imposée par l'application d'un fer chauffé. Les poils en général, et la laine en particulier, sont ramollis par la chaleur, deviennent malléables, puis demeurent en se refroidissant avec les formes qu'ils avaient prises.

Ces notions expliquent comment il se fait que, dans la gaîne de son bulbe ou dans sa filière, le brin de laine prend non-seulement le diamètre qu'il conservera désormais toujours, mais encore la direction de cette même filière. C'est pourquoi nous observons, selon la race, des laines droites, des laines flexueuses, des laines onduleuses et des laines plus ou moins frisées, à courbes opposées et plus ou moins rapprochées. Nathusius assure que la gaîne de ces dernières est disposée en spirale, et il explique, par la propriété que nous venons de voir, comment il se fait que la spirale du brin une fois sorti se change, chez les mérinos, en une courbe angulaire sur un même plan, ou à peu près. Cela serait dû, d'après lui, au peu d'espace qui sépare les bulbes de la peau du mérinos, où il en a compté jusqu'à 54 par millimètre carré, tandis qu'il n'y en avait que 8 sur une peau de mouton allemand commun. Ainsi pressés les uns contre les autres, les brins ne pourraient pas suivre la génératrice de leur courbe initiale. En sortant de la gaîne, celle-là serait déviée et maintenue dans le plan par la pression, jointe au refroidissement produit par l'atmosphère.

Nous avons dit qu'il y a dans la peau une glande grasse pour chacun des bulbes laineux. La quantité du suint sécrété est donc d'abord nécessairement en raison du nombre des brins de laine. Quant à sa qualité, elle dépend de la constitution même des glandes, qui varie, dans chaque race, comme les individus. On ne pourrait donc pas songer à en donner la composition moyenne autrement que comme indication très-générale. Chevreul, qui l'a le plus étudié, y a découvert autant de corps nouveaux qu'il a fait de recherches ou d'analyses, pour ainsi dire; ce qui est la meilleure preuve de ce que nous venons d'avancer.

Elsner von Gronow, qui a déterminé la proportion du suint de diverses sortes de laine, a trouvé les résultats suivants:

Laine de peigne, brillante	20,89 à 33,35 %
Laine de peigne, mate.	34,16 à 61,80
Laine de carde, longue.	64,30 à 68,88
Laine de carde, courte.	69,00 à 75,79
Laine de carde, courte extra-fine.	69,41 à 79,15

A. Stoeckhardt, de son côté, qui a examiné des toisons de différentes races, a trouvé:

Allemande de Haidschnucke.	7 % de suint.
Southdown-franconien . . .	11 —
Southdown-mérinos.	19,6 —
Mérinos.	40,6 —

Il est clair, d'après cela, que la proportion du suint est en raison de la finesse de la laine ou de ce qu'on appelle le tassé de la toison. Sa quantité relative n'est pas la même pour toutes les parties du corps. Des recherches instituées à Tharand ont donné sur 100 parties de laine complétement sèche:

	Mérinos.	Southdown mérinos.	Southdown franconien.
Côté du corps. . .	40,1	28,9	12,6
Epaule.	32,6	17,2	10,1
Cuisse.	39,8	17,5	?
Ventre.	41,6	25,8	5,9
Base de la queue.	42,4	24,4	13,2

Le point de fusion, qui peut donner une idée assez exacte des propriétés les plus importantes communiquées à la laine par le suint qui l'imprègne, a été, dans ces mêmes recherches, de 39° C. pour le mérinos, de 40°5 pour le southdown-mérinos et de 42°5 pour le southdown-franconien. Sa composition variable explique ces différences. On y a constaté en général de la stéarine, de la palmitine, de l'oléine, des phosphates et des chlorures alcalins. Les deux premiers glycérides sont peu fluides; l'oléine l'est au contraire beaucoup. Les savons, qui résultent de la combinaison des acides gras solides avec les alcalis de la sueur, sont difficilement solubles dans l'eau, tandis que ceux des acides gras fluides se dissolvant sans difficulté. Quelques-uns des premiers acides ne sont même pas saponifiables, d'après Chevreul; ce qui influe sur le lavage des laines dans l'eau froide.

Du reste, les défauts du suint, qui caractérisent en réalité les principaux défauts de la laine, se réduisent à quatre catégories.

Il y a trop peu de suint, et alors la laine a un aspect mat, un toucher rude, et elle se casse plus ou moins facilement.

Il y a trop de suint ou surabondance, et en ce cas la laine est couverte d'une couche plus ou moins épaisse qui s'agglomère à la surface de la toison. Si le suint est facilement soluble, il est en général rougeâtre et les mèches comme les brins glissent aisément entre les doigts, parce qu'ils sont en quelque sorte huileux; s'il est au contraire peu soluble, il poisse aux doigts et se montre en général d'une couleur orangée.

L'exagération de ce dernier état, qui caractérise le suint rude, a pour effet de rendre adhérents entre eux les brins de laine. C'est le plus grave de tous les défauts de la toison.

Enfin on appelle suint vert celui qui se rapproche des propriétés de la cire.

On admet comme ayant de l'influence sur la quantité et sur la qualité du suint: 1° le sexe; 2° la place du corps; 3° la race; 4° l'individualité; 5° l'âge; 6° l'alimentation; 7° la nature du sol sur lequel vit l'animal; 8° enfin le mode d'exploitation à la bergerie ou au pâturage.

Toutefois, il faut reconnaître comme le fait dominant que la quantité et la qualité absolues de la laine dépendent moins de l'alimentation que des méthodes de reproduction, ainsi que nous l'avons déjà dit. C'est donc surtout la sélection des reproducteurs qui peut améliorer les toisons et par conséquent la production de la laine.

Le poids relatif de la toison, à égalité de surface de la peau et de diamètre des brins, est toujours plus élevé chez les sujets précoces bien nourris que chez les individus ordinaires de la même race. C'est ce que nous avons constamment trouvé dans nos *Recherches* citées plus haut. L'augmentation de poids n'est point due à la plus forte densité du suint ni à sa plus grande abondance. Elle tient uniquement à une plus forte quantité de substance laineuse, dépendant de la plus grande longueur des brins. Nous avons mesuré des laines de mérinos précoces longues de 135 à 140 millimètres, tandis que celles des mérinos de Rambouillet n'ont pas dépassé 100 millimètres. Pourtant le diamètre des premières s'est montré constamment plus faible que celui des secondes.

Les notions sommairement exposées sur l'histologie et la physiologie des poils permettent de comprendre sans peine comment il en est ainsi. Le diamètre du brin de laine et la qualité du suint qui l'imprègne dépendent uniquement de la constitution même du follicule laineux et de celle de la glande grasse. La gaîne du brin est invariable. L'activité de formation des cellules épidermiques élaborées au fond du follicule est, au contraire, dépendante de la quantité des matières protéiques fournies au sang par la digestion. Plus il y a de jeunes cellules élaborées à la racine du brin, plus il se forme de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

substance laineuse et plus il en passe, en un temps donné, dans la gaîne; plus le brin, par conséquent, devient long.

La valeur des toisons produites par les mérinos précoces, par exemple, à la fois producteurs de viande dans les meilleures conditions et producteurs de laine incomparables, n'est pas seulement augmentée en raison de leur poids plus élevé, d'environ 1 kilogramme par toison, à taille égale des sujets. Les laines à brins plus longs, telles qu'elles sont produites par ces mérinos, obtiennent dans le commerce actuel une plus value qui va par fois jusqu'à 50 centimes par kilogramme. Elles sont d'autant plus demandées que s'élève davantage l'emploi des laines courtes coloniales, parce que, dans le tissage mécanique, elles servent pour la confection des chaînes les plus résistantes, en leur qualité de laines fines à peigne.

Les conditions agricoles de la France assurent à notre pays presque le monopole de la production de ces laines longues de mérinos. Dans la région située au-dessus de la Loire où la race mérine peut vivre et prospérer, c'est-à-dire à l'ouest et au nord jusqu'aux limites du climat océanien, à l'est jusqu'à celles de la Lorraine et des Vosges, sur tous les fonds perméables, il n'y a donc rien de mieux à faire que d'exploiter cette race en traitant ses variétés à la manière que nous avons indiquée pour la production perfectionnée du jeune bétail. A un certain degré d'humidité du sol et de l'atmosphère, on n'y peut point songer. Les mérinos succombent là tôt ou tard à la cachexie aqueuse dite vulgairement pourriture. La production de la laine y devient un accessoire beaucoup moins important. C'est la place des moutons principalement producteurs de viande.

Dans la région des mérinos transhumants, en Roussillon, en Languedoc, en Provence, où il n'est guère permis de songer à l'entretien des mérinos précoces, la production de la laine peut néanmoins être combinée avec celle de la viande, par le mode d'exploitation des troupeaux dont nous avons parlé en commençant. La difficulté est de leur assurer une alimentation régulièrement suffisante, en hiver comme en été, de façon à ce que les brins de la laine, présentant dans toute leur étendue une constitution homogène, offrent partout la même résistance à la traction, aient ce que l'on nomme en terme technique du *nerf*. Cette homogénéité du brin, qui caractérise les *laines* dites *nerveuses* et qui est, à finesse égale, leur principale qualité pour les manufacturiers, dépend entièrement, ainsi qu'on le comprendra bien maintenant, de l'état physiologique du mouton, de la vigueur de sa constitution, par conséquent surtout de son régime alimentaire. Qu'il reçoive seulement la ration d'entretien ou qu'il soit nourri de façon à ce que son poids vif, indépendamment de la toison, augmente, ce qui importe, c'est la régularité uniforme des rations journalières. Le diamètre du brin ne peut pas dépasser celui de la gaîne du follicule, mais il peut rester en deçà; la densité de la substance laineuse, et par conséquent sa ténacité, peut surtout diminuer sous l'influence d'une alimentation trop parcimonieuse ou dépassant la relation nutritive convenable.

Il nous reste à examiner un point très-important pour la production de la laine. C'est celui de la tonte des toisons, non pas au point de vue des procédés à préférer pour l'exécuter, ce qui est une question de métier, mais à celui du moment ou des moments où elle doit être opérée, afin d'obtenir le plus de produit possible.

L'opinion de Koelliker est que, s'il est vrai que chaque brin de laine atteint une longueur normale, il est vrai aussi que la tonte favorise sa croissance et augmente en conséquence sa longueur. D'après cette opinion, on augmenterait donc la production totale de la laine par des tontes plus fréquentes. Mais W. von Nathusius ne la partage en aucune façon.

Pourtant Waldorff a rapporté, en 1866, que, dans le Tyrol, la double tonte annuelle produit environ 1,500 grammes de laine, tandis que l'unique n'en produit environ que 1,250. D'après Rohde, dans les six premiers mois qui suivent la tonte, la laine atteint presque les deux tiers de la longueur qu'elle aura à la fin de l'année. Chez un mouton où elle avait, après un an, 2 pouces de long et où elle ne fut point tondue durant les deux années suivantes, elle ne mesurait après les trois ans écoulés, que 3 pouces seulement.

A tout cela Nathusius oppose le résultat d'une expérience qui paraît très-significative. La toison d'un bélier mérinos fut soigneusement entourée d'une enveloppe de toile cousue, pendant 5 à 6 ans, et par conséquent non tondue. Cela se passait à Lützschena. La tonte eut lieu en 1844, et Nathusius possède un échantillon de la toison pris alors à l'épaule. Cet échantillon est long d'environ 7 pouces allemands. C'est donc une croissance annuelle de 1,2 à 1,4 pouce, qui est exactement celle qu'on obtient par la tonte annuelle du troupeau, dont la laine extra-fine est très-courte.

Il y a, selon toute apparence, illusion de la part de ceux qui croient que les tontes fréquentes augmentent la quantité de substance laineuse que le mouton peut donner en un temps déterminé. L'influence de la saison, agissant par la qualité de la nourriture, dans les observations empiriques de Waldorff et de Rohde, est vraisemblablement plus réelle que celle de la tonte même. Mais une considération d'un autre ordre enlève à la discussion des opinions contradictoires toute sa valeur. Il importe moins d'obtenir un poids un peu plus fort de substance laineuse, en tout cas, que des brins de laine d'une certaine longueur, qui est celle à laquelle le commerce accorde, poids pour poids, une plus value, ainsi qu'on l'a déjà vu. Cette longueur est celle que donne, chez les variétés de moutons que nous exploitons, la tonte annuelle. C'est donc celle-ci qui est vraiment pratique.

Elle doit être opérée au moment où la toison commence à devenir pénible à supporter pour le sujet, en raison de l'élévation de la température. Le mieux serait de ne l'exécuter jamais qu'après un lavage à l'eau de la toison, et de ne mettre celle-ci en vente qu'après avoir fait soi-même le triage de ses parties de qualité inférieure, dites bas-morceaux. Les acheteurs exagèrent toujours, à leur profit, la déduction de ces bas-morceaux.

Production de la force motrice.

La force mécanique, dans les moteurs animés, est le résultat de la contraction musculaire. C'est par le raccourcissement de ses fibres constituantes que le muscle déploie la force qu'il a emmagasinée et que se produit le travail ou déplacement de masse. Pour bien déterminer les conditions du phénomène, nous devons donc d'abord prendre une idée du mécanisme même de la contraction.

Aeby a vu le premier qu'elle est due à une série de renflements ou ondulations, qui se produisent dans la fibre musculaire en augmentant son volume. Matteucci d'abord, puis tous les physiologistes après lui, ont constaté que le volume total du muscle en état de contraction est plus grand que dans l'état de relâchement. Marey a établi, en outre, que les renflements se succèdent plus ou moins rapidement le long de la fibre, et que la puissance du muscle, à volume égal, dépend surtout du nombre des ondulations qui la parcourent en un temps donné. Plus sont grands le nombre des fibres composantes d'un muscle et la longueur de ces fibres, en d'autres termes plus le volume total du muscle est considérable, plus ce muscle est puissant, l'énergie nerveuse qui commande et régularise la rapidité des ondulations restant égale.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les physiologistes sont d'accord pour admettre que la puissance absolue du muscle est proportionnelle à son plus grand diamètre. Il se contracte sous l'influence de l'excitation du système nerveux, mais en vertu d'une excitabilité propre qui peut être mise en jeu par une irritation physique quelconque. Tant qu'il n'a pas subi le refroidissement au delà d'un certain degré, un muscle séparé du corps et n'ayant plus avec les centres nerveux aucune communication, n'en conserve pas moins son excitabilité. Il suffit de le piquer, de le pincer ou de l'exciter par l'électricité induite, pour le faire entrer en contraction et déployer ainsi toute sa puissance mécanique. Cela démontre nettement que cette puisance est en lui-même, que la force dont elle dépend y est accumulée.

Un autre fait expérimental établit qu'elle diminue et s'épuise avant que le muscle ait radicalement perdu son excitabilité.

Après un certain nombre de contractions, répétées sous l'influence de l'excitation électrique, le muscle séparé du corps cesse d'obéir à cette excitation. Si l'on a eu le soin de conserver l'artère du muscle, il suffit d'y faire passer un courant d'eau faiblement salée pour voir se rétablir bientôt l'excitabilité disparue, qui se manifeste ensuite tant que la rigidité cadavérique n'est pas arrivée.

En analysant le phénomène, on constate que l'eau alcaline a entraîné les produits de réduction des matières protéiques, dont nous avons parlé en nous occupant de la nutrition en général, la créatine, la créatinine, etc., qui, en s'accumulant dans le tissu musculaire, l'encombrent et mettent obstacle à sa fonction, en produisant cet état qui nous est connu sous le nom de fatigue du muscle.

Ce résultat, constaté expérimentalement par J. Ranke, nous donne la représentation de ce qui existe normalement; car il n'y a au fond aucune différence entre le courant d'eau salée qui déblaye ainsi les voies de la fibre musculaire séparée du corps, et le courant sanguin qui traverse sans cesse le muscle occupant sa situation normale. Ce courant entraîne peu à peu, à mesure que les contractions les produisent, les matières usées encombrantes, pour qu'elles soient éliminées par les reins. Le repos favorise l'effet et le rend plus prompt, parce qu'alors il ne s'en produit plus de nouvelles.

Dans les conditions normales, ou lorsque les contractions ne dépassent point, par leur répétition, la capacité du courant sanguin pour éliminer les résidus de ces contractions, la fatigue ne peut donc se manifester qu'à dater du moment où la provision de force est épuisée. Son épuisement dépend beaucoup du mode de dépense, qui dépend lui-même de l'aptitude de l'organisme consommateur de force mécanique ou producteur de travail.

On a compris déjà que cette force vient de l'extérieur. Avant de nous occuper de sa source, il convient donc d'examiner rapidement les principaux modes de l'aptitude en question, ou de donner un aperçu des principales conditions du mécanisme des moteurs animés.

Ce mécanisme a pour objet de mouvoir dans le plan vertical une série de leviers articulés, formant des lignes brisées, par conséquent d'ouvrir et de fermer alternativement des angles. De la coordination des mouvements simultanés ou successifs de ces leviers résulte le déplacement du moteur lui-même, dans le sens horizontal en avant et en arrière, à droite et à gauche, dans le sens vertical de bas en haut. Cela donne la marche en avant aux diverses allures régulières du *pas*, du *trot* et du *galop*, le *reculer* ou le *recul*, le *saut*, le *cabrer*, le *bond*, etc., que le moteur exécute librement ou en entraînant avec lui une charge quelconque, c'est-à-dire en produisant un certain *travail extérieur* ou *travail effectif utile*.

Les leviers de l'organisme animal sont représentés par les os du squelette. En vue du travail extérieur ou utile qui nous intéresse seul ici, nous n'avons à considérer que ceux des membres, qui sont des os longs de figures variées, plus ou moins courbes, mais pouvant être toujours ramenées à la droite unissant les points centraux de leurs articulations. Cette droite est l'axe de mouvement de chacun d'eux. Cet axe fictif oscille dans l'espace, à la manière du pendule, dans leurs mouvements complets.

La coordination entière des mouvements d'ensemble de cet organisme mécanique, entraînant son plus grand effet utile possible, résulte d'une condition déterminée unique, facile à représenter par un procédé graphique qui dispense d'une longue dissertation. Elle est parfaite lorsque tous les axes des os ou leviers des membres, obliques dans le même sens, sont parallèles entre eux. Alors, les angles qui se forment au point d'intersection des lignes de prolongement des axes obliques en sens inverse sont nécessairement similaires. Les oscillations de ces axes sont nécessairement isochrones, les angles ouverts ou fermés de la même quantité, et leurs extrémités mobiles parcourent nécessairement des aires égales dans des temps égaux.

Il y a là deux lois naturelles, que nous avons nommées *loi de parallélisme des axes* et *loi de similitude des angles*.

De ces deux lois, l'une est absolue. C'est celle de parallélisme. En dehors de cette loi, il n'y a point dans l'organisme animal de mouvements coordonnés de déplacement du corps. Alors une partie de la force déployée est dépensée en pure perte. L'autre loi, dans son expression générale, ne l'est pas moins; mais tout en restant similaires, les angles peuvent être de plus ou moins de degrés. La détermination du nombre de ces degrés est relative au mode d'emploi de la force déployée pour mouvoir les leviers parallèles. Selon qu'il s'agit de la dépenser en déplacement de masse ou en vitesse, le travail produit en somme restant le même, le degré d'ouverture des angles est plus ou moins favorable au résultat considéré.

Pour une dépense égale de force, quand il y a lieu de fermer un angle, le but sera d'autant plus rapidement atteint que, dans son état primitif, cet angle aura été moins ouvert. L'angle obtus, s'il n'exerce aucune influence absolue sur la puissance du mouvement résultant uniquement de la force déployée, est par conséquent défavorable à la vitesse de ce mouvement. Le plus favorable à celle-ci serait le plus aigu; mais on observe que dans les conditions normales de l'organisme animal, il n'y a point, dans les lignes brisées du squelette des membres, d'angles aigus. Le minimum du degré d'ouverture est celui de l'angle droit, qui peut être en conséquence admis comme représentant la perfection. Celle-ci est réalisée dès lors que les axes obliques et parallèles entre eux sont inclinés exactement de 45 degrés sur l'horizon.

La figure 5 représente la construction graphique de cette condition de perfection dans la disposition des leviers osseux, la plus favorable à la fois à la rapidité des allures, à la puissance des mouvements et à leur élégance. Elle fournit un point de comparaison précis et certain pour l'appréciation de la conformation des moteurs animés, en ce qui concerne l'effet utile de la force qu'ils sont capables de déployer et dont nous nous occuperons tout à l'heure. Auparavant nous avons encore à signaler une autre considération mécanique.

Si la rapidité des mouvements dépend du degré d'ouverture des angles que forment entre eux les leviers osseux des membres, leur étendue ou le chemin parcouru dans l'unité de temps, la vitesse en un mot, dépend de la longueur de ces leviers. Il n'est sans doute pas nécessaire d'insister sur une telle proposition. D'un autre côté, la puissance absolue du muscle est en raison de son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

volume total. Les rapports de ses dimensions sont indifférents pour la force qu'il est capable de déployer, mais non pour le mode et l'étendue du mouvement, pour le genre du travail qu'il peut produire. Le raccourcissement qui se produit dans le muscle contracté est proportionnel à sa longueur initiale. Pour la vitesse, la longueur des muscles importe donc plus que leur diamètre transversal. Or, cette longueur est généralement en raison de celle des leviers osseux sur lesquels ils sont appliqués.

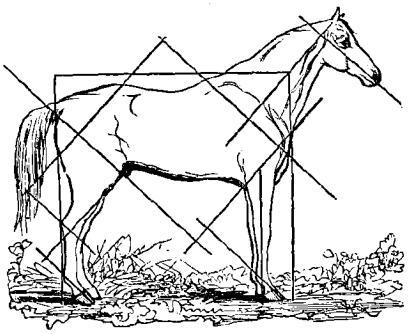


Fig. 5. — Graphique des leviers osseux des membres du cheval.

Pour exécuter un travail aux allures vives, il faut donc préférer les leviers osseux allongés, c'est-à-dire les individus de taille élevée, mais d'ailleurs bien proportionnés. Il va sans dire que la perfection à cet égard est réalisée lorsqu'à une grande longueur des muscles se joint un fort diamètre, qui en augmente le volume total et la puissance absolue.

Pour le travail aux allures lentes, dans lequel il s'agit plus de la masse ou du poids déplacé que de la vitesse du déplacement, le travail étant moins fonction du temps que de cette masse, le diamètre des muscles importe plus que leur longueur. La force déployée résulte du nombre des fibres musculaires qui se contractent. Leurs contractions, qui raccourcissent peu le muscle, déploient des forces partielles qui s'additionnent lentement, mais n'en sont pas moins, en somme, toujours définitivement proportionnelles au volume absolu du muscle.

C'est pourquoi l'expérience et l'observation sont d'accord pour démontrer que la force de traction déployée par un moteur animé est en raison de sa propre masse, parce que celle-ci dépend, pour la plus forte part, du volume et de la densité de ses muscles. Il est entendu que nous supposons égale, dans tous les cas, l'énergie nerveuse. Les puissances motrices relatives pourraient donc être en général représentées par les poids vifs des moteurs; et c'est en effet ce qu'il y a de plus pratique pour en donner une idée aussi approximative que possible.

Voyons maintenant où est la source de la force motrice de l'organisme animal. Nous sommes arrivés au cœur même de notre sujet, et nous allons y faire l'application des notions générales développées précédemment.

On sait que cette force est de la chaleur transformée et que celle-ci provient des aliments. Elle se dégage par les mutations que subissent, dans la nutrition, les principes immédiats alimentaires. Nous avons vu que la source prochaine la plus probable de la force motrice est la chaleur dégagée par les principes azotés ou protéiques, celle qui résulte de la réduction des hydrates de carbone étant surtout employée pour l'entretien de la température animale. Cette notion a une grande importance, parce qu'elle détermine la constitution qui convient le mieux pour les rations alimentaires propres à la production de la force mécanique.

Le muscle qui travaille peut être comparé au ressort bandé qui se détend. La chaleur de constitution qui s'y accumule y emmagasine de la force vive. Tant que dure la provision, il conserve la faculté de se contracter en la dépensant, ou de produire du travail en quantité absolument équivalente du nombre des calories qu'il a absorbées. Il fonctionne comme tournent les rouages d'un mouvement d'horlogerie. Le ressort détendu, la provision de calories épuisée, ce ressort doit être remonté par un apport nouveau de chaleur. Il y a donc un rapport nécessaire d'équivalence entre le travail produit et évalué en kilogrammètres, et l'alimentation qui est la source médiate de cette chaleur. La force se dépense en quelque sorte à la manière d'un fluide qui sortirait du vase qui le contient, par un robinet dont le débit est ici réglé et régularisé par l'influence nerveuse commandant les excitations motrices. Le réservoir est alimenté par la nutrition.

Un fait très-significatif à cet égard, c'est que toute dépense ou tout écoulement de force est nécessairement accompagné d'une perte de substance ou de poids. Théoriquement, cela ne peut laisser aucun doute. Des expériences directes de Rueff l'ont démontré d'une façon péremptoire, et cela est capital pour l'hygiène des moteurs animés. Ceux-ci périclitent à coup sûr, ils perdent non-seulement leur aptitude mécanique, mais encore les conditions de conservation de leur propre existence, s'il n'y a pas équilibre constant ou équivalence entre la dépense et la réparation. Chez les chevaux, le trouble fonctionnel se manifeste particulièrement, en ce cas, sous la forme de cette affection terrible connue sous le nom de morve, ainsi que H. Bouley, par une heureuse inspiration de son tact de praticien observateur, l'a induit naguère des faits qui s'étaient en grand nombre produits sous ses yeux.

Pour résoudre le problème complexe posé par le fait dont il s'agit, il importe donc, avant tout, de calculer la force dépensée dans les diverses conditions du travail. Il faut, par conséquent, exposer ici les données fondamentales du calcul.

Il est admis, dit Rueff, que la force à dos d'un moteur animé est de $^2/_5$ de son poids vif. Le poids de l'homme étant en moyenne de 60 kilogrammes, sa force serait donc environ de 25 kilogrammes. D'après le même calcul, le cheval de 400 kilogrammes aurait une force de $2 \times 80 = 160$ kilogrammes. Seulement, l'effort peut élever l'aptitude instantanée au point que la force atteigne jusqu'au poids total de l'individu.

Dans la comparaison, le cheval a un désavantage par rapport à l'homme, à cause de la situation horizontale de sa tige vertébrale et des lignes brisées que forment ses membres. Il en résulte que, si l'homme peut porter jusqu'à trois fois son poids, le cheval arrive moins facilement au double du sien propre. De là se déduisent les conditions du calcul de l'aptitude au travail en vitesse ou en transport de masse.

Pour chaque distance de 30 centimètres (1 pied allemand) parcourue en une seconde de temps, l'homme perd $^1/_5$ de son aptitude à porter, ou 5 kilogrammes d'après les données précédentes; ou encore cette distance parcourue consomme $^2/_{25}$ du poids total du corps. On ne compte pour le cheval que $^1/_{30}$ ou 20 kilogrammes de dépense de force parce que le quadrupède est organisé pour la vitesse plus favorablement que le bipède. On a, sur ces bases, des rapports déterminés entre la vitesse et la charge, pour une même dépense de force. Ces rapports sont exprimés par les nombres suivants, que nous avons réduits, comme les précédents, en mesures et poids métriques.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

Pour l'homme :

Vitesse par seconde.	Charge.
0m,00	25 kil.
0 ,30	20
0 ,60	15
0 ,90	10
1 ,20	5
1 ,50	0

Autrement, pour calculer l'aptitude nécessaire, dans la pratique, à un homme devant dépenser en moyenne 12k,500 avec une vitesse de 0m,75 et étant plus propre à la charge qu'à la vitesse, on aura plutôt $3 \times 12^k,500 = 37^k,500$, que $12^k,500$ avec une vitesse de 2m,25.

Pour le cheval :

Vitesse par seconde.	Charge.
0m,00	160 kil.
0 ,60	120
1 ,20	80
1 ,80	40
2 ,40	0

Ce qui montre qu'avec une charge de 80 kilogrammes et une vitesse de 1m,20, le cheval ne dépense que sa force moyenne. On peut toutefois élever plutôt sa vitesse que sa charge. Il portera plus facilement 80 kilogrammes à $3 \times 1^m,20 = 3^m,60$ de vitesse, que $3 \times 80^k = 240$ kilogrammes à 1m,20. En calculant, d'après ces données, les transformations, nous obtenons pour les allures ordinaires l'échelle suivante :

ALLURE.	VITESSE PAR SECONDE.	FORCE DÉPENSÉE.
	m.	kil.
Pas.	1,20	80
Trot moyen.	2,40	160
Grand trot.	3,60	240
Galop modéré. . . .	4,80	320
Galop de chasse. . .	6,60	400
Galop de carrière. .	7,20	480

Le travail modéré du cheval est par conséquent celui qui s'exécute à la vitesse de 2m,40 ou au trot moyen.

Si maintenant on veut déterminer les conditions de surcharge ou celles qui dépassent l'aptitude d'un cheval du poids de 400 kilogrammes, en faisant entrer dans le calcul les gradations précédentes, on arrivera à l'établissement de cette autre échelle qui, pour la bonne exploitation des moteurs animés, a une très-grande importance :

ALLURE.	DÉPENSE DE FORCE UTILE.	QUALITÉ DU TRAVAIL.
	kil.	
Pas.	80	Normal.
Pas.	160	Intensif.
Pas.	240	Excessif.
Trot moyen. . . .	0	Normal.
Trot moyen. . . .	80	Intensif.
Trot moyen. . . .	160	Excessif.
Galop modéré. . .	80	2 fois 1/2 le normal.
Galop de chasse. .	80	3 fois le normal.
Galop de carrière.	80	Ruineux.

Le dernier travail correspond à $3 \times 160 = 480$ kilogrammes, pour le cheval galopant sans charge.

L'effort moyen dont est capable un cheval adulte suffisamment nourri peut durer en moyenne 8 heures par jour. Cela revient à dire que celui de 400 kilogrammes pris pour type dans les calculs précédents peut travailler au pas, à une vitesse moyenne de 1m,20, avec une charge de 80 kilogrammes durant 8 heures par jour, sans dépasser son aptitude mécanique. Cette durée moyenne peut être dépassée, mais à la condition que la charge et la vitesse restent invariables. Pour environ 20 kilogrammes de charge ou 0m,30 de vitesse au-dessus des quantités ci-dessus, la durée du travail doit être diminuée de 25 p. 100.

La force de traction du cheval s'élève aux 4/5 de son aptitude ou à 80 p. 100, ou en poids à 128 kilogrammes d'après les données précédentes. Elle peut s'élever au-dessus de trois fois bien mieux que chez l'homme, contrairement à ce que nous avons vu pour la charge, soit à 384 kilogrammes. Mais dans ce cas la vitesse est plus influencée; de telle sorte qu'on doit admettre 5 p. 100 du poids du corps comme équivalents de 0m,30 d'espace parcouru ou de 20 kilogrammes de charge. Youatt, qui estime à 62,500 grammes seulement la force du cheval, établit entre la durée du travail et la vitesse possible, sans dépasser l'aptitude, les relations suivantes :

Durée du travail en heures.	Chemin à parcourir par heure en milles anglais.
1	14 3/4
2	10 1/2
3	8 1/2
4	7 1/3
5	6 2/3
6	6
7	5 1/2
8	5 1/4
9	4 3/4
10	4

En prenant pour termes de la relation, d'une part la vitesse, et de l'autre la force de traction, Rueff a de son côté donné les nombres ci-dessous :

Vitesse.	Force de traction.
0m,60	80 kil.
0 ,90	60
1 ,20	45
1 ,50	30
1 ,80	20
2 ,10	12

Nous avons maintenant à fournir des données comparatives sur l'aptitude mécanique des principaux moteurs animés et sur le rapport qui doit exister entre leur dépense de force et leur alimentation ou l'entretien de cette force.

La difficulté principale d'un tel problème est dans l'évaluation du travail interne et externe par le calcul. Les moteurs animés ne se prêtent pas, dans l'état actuel de la science, aux applications directes de la thermodynamique, comme les machines à vapeur. Nous n'avons point encore de procédés sûrs pour évaluer exactement la chaleur dégagée dans l'organisme animal. Nous en sommes à cet égard réduits, ainsi que nous l'avons déjà dit, aux hypothèses plus ou moins vraisemblables. Quant à l'évaluation du travail extérieur ou travail utile, les essais dynamométriques dont nous possédons les résultats laissent encore beaucoup à désirer, pour la raison qu'ils n'ont porté que sur une faible partie des modes d'application usuels de la force de traction. Exposons toutefois nos connaissances actuelles.

Voici d'abord ce qui concerne les aptitudes comparatives du cheval et du bœuf, qui sont les deux principaux moteurs animés.

Selon E. Wolff, le cheval qui n'exécute aucun travail utile s'entretient avec 900 grammes d'albuminates, tandis que, d'après Grouven, 1615 grammes lui sont nécessaires pour un travail pénible. C'est une différence de 715 grammes. Pour le bœuf, dans les mêmes conditions, la différence est évaluée par E. Wolff à 500 gram-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES ANIMAUX.

mes seulement (450 : 950). Le rapport entre les deux est par conséquent comme $1 : \frac{715}{500} = 1 : 1,4$.

Selon Gohren, l'aptitude mécanique du bœuf est évaluée à 1,352,156 kilogrammètres; celle du cheval, à 2,168,470 kilogrammètres. Le rapport entre les deux est comme $1 : \frac{2,168,470}{1,352,166} = 1 : 1,6$.

Entre ces deux rapports (1 : 1,4 et 1 : 1,6) la concordance est tout à fait satisfaisante. On voit clairement par là que l'aptitude mécanique s'élève en proportion des éléments nutritifs azotés contenus dans la ration.

Il n'en est point de même si, au lieu de ces derniers, on considère les éléments non azotés. En effet, chez le cheval, la différence pour ceux-ci est de 3875 grammes (4350 : 8225), pour le bœuf elle est de 1600 grammes (3600 : 5200). Le rapport entre le cheval et le bœuf est par conséquent comme $1 : \frac{3875}{1600} = 1 : 2,42$, tandis que celui de l'aptitude est 1 : 1,6. Cela suffirait pour conclure qu'il n'y a point de relation, dans l'organisme animal, entre la combustion des hydrates de carbone et la production de la force motrice, contrairement à ce qui se passe dans la machine à vapeur.

Il est nonobstant curieux d'examiner, comme l'a fait Gohren, quels seraient les rendements comparatifs des moteurs animés dont nous nous occupons, dans l'hypothèse où cette combustion la produirait. Une machine à vapeur de la force d'un cheval consomme, dit-il, par heure 3 kilogrammes de charbon (ce qui est évidemment exagéré dans l'état actuel de la construction) ou 72 kilogrammes par jour, et produit avec cela 6,912,000 kilogrammètres. En admettant le nombre 425 comme équivalent mécanique de la calorie, et la quantité de chaleur fournie par l'unité en poids de charbon égale à 8080 calories, le travail total des 72 kilogrammes de charbon atteint 247,248,000 kilogrammètres. L'effet utile réel est d'après cela seulement de 2,8 % de la force mécanique produite par la combustion du charbon. Pour obtenir cette quantité de travail fourni par une machine de la force d'un cheval-vapeur, ou de 75 kilogrammètres, trois chevaux ordinaires sont nécessaires, car chacun d'eux ne peut travailler que durant 8 heures par jour.

Pour développer une telle aptitude, la nourriture d'entretien, nécessaire au travail intérieur, devra être augmentée, ainsi que nous l'avons vu plus haut, de 715 grammes de protéine, contenant 53,5 % de carbone, et de 3875 grammes de principes immédiats non azotés, contenant 44,44 % de ce même carbone, ou en tout de 6,315 grammes de carbone ($3 \times 2,105$). C'est une quantité 11,4 fois plus faible que celle exigée pour la machine à vapeur. L'effet utile réel serait donc, d'après cela, chez le cheval, égal à 31,92 % de la force motrice déployée par l'oxydation du carbone contenu dans les aliments.

En vertu de la relation établie entre la puissance mécanique du cheval et celle du bœuf (1 : 1,6), 4,8 forces de bœuf seraient nécessaires pour rendre le travail d'une machine de la force d'un cheval-vapeur. La ration de travail étant en ce cas de 500 grammes de protéine et de 1,600 grammes d'éléments non azotés, la totalité du carbone pour 4,8 forces de bœuf atteindra seulement 4,700 grammes, quantité 15,3 fois plus faible, par conséquent, que dans le cas de la machine à vapeur. L'effet utile serait ici de 42,84 %.

Nous ne pouvons nous dispenser de faire remarquer que, dans cette hypothèse, on raisonne comme si la quantité totale du carbone contenu dans les aliments passait entièrement dans le sang en circulation et pouvait en conséquence s'y combiner avec l'oxygène. Or on sait qu'il n'en est point ainsi. Pour se fixer à cet égard, il suffit de se reporter aux coefficients de digestibilité que nous avons donnés au sujet des divers principes immédiats nutritifs, selon les matières alimentaires dont ils font partie. En moyenne, il n'y a pas plus de 50 % de ces principes immédiats qui soient digérés. Il faudrait donc, de ce chef, doubler les chiffres de rendement qui viennent d'être calculés, ce qui ne paraît guère admissible.

C'est peut-être la plus forte raison que l'on puisse faire valoir en faveur de l'opinion à laquelle nous nous sommes rattachés, au sujet de la source de la force motrice dans l'économie animale, et contre celle soutenue par Frankland et d'autres, consistant à admettre un rapport entre cette force et la chaleur de combustion des diverses matières alimentaires.

D'ailleurs, que la force musculaire dérive de la combustion directe ou de la chaleur dégagée par les réactions dont nous avons essayé d'indiquer les séries, dans notre exposé des phénomènes de nutrition en général, il n'est pas possible de douter qu'une relation nécessaire existe entre cette chaleur et la force déployée. Pas plus que les autres les moteurs animés ne peuvent point échapper à la loi. Par conséquent, entre le travail produit et les aliments qui entretiennent la source de la force motrice, il y a nécessairement une équivalence calculable.

Cette équivalence, nous avons essayé de la calculer, en prenant pour base les résultats fournis par une expérience longue et étendue, et en considérant, d'après la théorie suffisamment solide de l'alimentation, que la protéine alimentaire peut fournir l'un des termes de la relation.

En effet, on doit entendre par cette expression de protéine alimentaire, non pas seulement le groupe des matières azotées albuminoïdes, mais encore celui des hydrates de carbone qui, dans une ration scientifiquement constituée, les accompagne toujours selon une proportion déterminée qui, pour le cas dont il s'agit ici, est comme 5 : 1. Prendre pour unité alimentaire le kilogramme, par exemple, de protéine, c'est donc implicitement admettre les 5 kilogrammes du mélange de matières grasses et d'hydrates de carbone qui en sont inséparables.

Eh bien, dans la détermination du coefficient ou équivalent mécanique des aliments, nous nous sommes arrêtés, comme résultant de nos recherches expérimentales, au nombre rond de 1,600,000 kilogrammètres pour 1 kilogramme de protéine alimentaire. Pourvu que soient respectées ou observées les conditions précédemment indiquées pour l'application utile de la force qu'il déploie, un moteur animé peut produire sans dépasser son aptitude mécanique, autant de fois 1,600,000 kilogrammètres qu'il y a de kilogrammes de protéine alimentaire dans la ration qu'il est capable de digérer; inversement la protéine alimentaire de sa ration peut être économisée en prenant pour base de calcul le travail exigé de lui en deçà de son aptitude, qui a été fixée plus haut en moyenne à environ 2,000,000 kilogrammètres.

S'il y a lieu de calculer, pour un travail connu, la quantité de protéine alimentaire de la ration suffisante, en représentant par P cette protéine, par T le travail et par C le coefficient, l'équation $P = \frac{T}{C}$, une fois résolue, donnera le résultat. Dans le cas du travail exigible pour une ration connue, l'équation sera $T = P \times C$.

Supposons que le travail à produire ait été évalué, par exemple, à 1,200,000 de kilogrammètres.

$$P = \frac{1,200,000\ T}{1,600,000\ C} = 750.$$

C'est donc 750 grammes de protéine alimentaire qui seront suffisants pour déployer la force dépensée par ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travail. Dans l'autre sens, si le moteur est capable de digérer 3 kilogrammes de protéine,

$$T = 1{,}600{,}000\ C \times 3\ P = 4{,}800{,}000.$$

D'où 4,800,000 kilogrammètres sont la somme de travail qui peut être exigée de lui sans dépasser son aptitude.

La difficulté d'application d'une telle notion théorique, dont l'importance et la grande utilité pratique ne sauraient être contestées justement, et ont été du reste déjà l'objet d'appréciations compétentes qui permettent de n'en point douter, est dans l'insuffisance des ressources actuelles de la science pour évaluer le travail dans toutes les conditions possibles.

Les tables de la composition chimique des substances alimentaires ne laissent que peu ou point à désirer. Mais il n'est pas possible, présentement, de calculer sans essais directs tous les cas d'application de la force des moteurs animés.

Le travail qu'ils exécutent est fonction à la fois de l'effort qu'il exige, ou du tirage, qui est fonction lui-même de beaucoup de circonstances, telles que la forme du véhicule supportant la charge, la résistance de la voie, etc., toutes difficiles à apprécier en général, et du temps durant lequel cet effort se répète; mais cela ne concerne que le travail utile ou effectif. Ces moteurs ont en outre, du moins les animaux, à se transporter eux-mêmes, comme la locomotive.

Si leur mode de déplacement, ainsi qu'il en est pour celle-ci, ne différait point de celui du véhicule de leur charge, le travail qui en résulte s'évaluerait toujours par les mêmes procédés. Mais il n'en est point de même: ils ne roulent ni ne glissent. La locomotion animale, dont nous avons essayé brièvement de donner une idée, est plus complexe.

Evidemment, le travail qu'elle exige est aussi fonction du poids du moteur; mais on ne peut pas admettre que la force dépensée soit égale à toutes les allures. Au pas, par exemple, une partie du poids est toujours supportée par deux au moins de ses colonnes de soutien.

Après beaucoup de recherches, nous nous sommes arrêté à une approximation qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de la vérité et qui consiste à admettre que l'effort moyen exigé pour le transport du moteur animé est égal, dans le cas des allures du trot et du galop, au dixième de son poids. Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail des considérations de mécanique animale qui nous y ont conduit. On voudra bien accepter provisoirement cette donnée, que l'expérience comparative a d'ailleurs confirmée toutes les fois qu'elle a été soumise à son contrôle. Pour l'allure du pas, l'effort est moitié moindre.

Quant au tirage des voitures en fonctions de leur mode de construction, du nombre de leurs roues, de la longueur du rayon de celles-ci, de l'espèce de voie sur laquelle a lieu leur roulage, on trouvera dans l'*Aide-mémoire de mécanique* du général Morin des résultats d'expériences pour les principaux cas qui se présentent dans la pratique. Ce sont ces résultats qui nous ont servi dans nos recherches sur la détermination du coefficient mécanique des aliments. On y trouvera aussi des tableaux indiquant la quantité de travail que peuvent fournir les animaux ou leur aptitude mécanique, suivant les divers modes d'emploi de leur force aux principales allures, attelés à la voiture ou au manége, et des résultats d'observations sur leur effet utile quand ils sont employés au transport horizontal des fardeaux.

Pour ce qui est du transport à dos de ces fardeaux, qu'il s'agisse d'une masse inerte ou d'un cavalier, ou des deux à la fois, il va sans dire que ces fardeaux s'ajoutent purement et simplement au propre poids du moteur.

Sur le tirage des instruments agricoles, notre collègue Grandvoinnet, de l'École de Grignon, a fourni dans le 13e volume des rapports de l'Exposition universelle de 1867, à Paris, des indications pour le travail des charrues, résultant des essais dynamométriques exécutés par lui dans l'île de Billancourt. On a eu depuis quelques résultats du même genre pour les faucheuses et les moissonneuses; mais tous ces résultats ont besoin encore d'être beaucoup multipliés.

L'essentiel toutefois est de posséder les méthodes d'évaluation, maintenant que nous connaissons l'équivalent ou coefficient pratique de ce que nous nommons l'aliment de force. Avec cela nous sommes à peu près assurés de pouvoir résoudre, en y mettant quelque soin, tous les problèmes que pose l'emploi industriel ou agricole des moteurs animés, de manière à ne pas dépasser leur aptitude mécanique, à ne pas les surcharger ou les surmener, et à utiliser au contraire leur force dans les meilleures conditions de conservation de leur organisme et d'économie de leurs aliments.

Une question très-importante, au double point de vue qui vient d'être énoncé, est celle de savoir quelle est, parmi les substances alimentaires dont nous disposons, celle qui convient le mieux pour la production de la force mécanique, dans les diverses conditions où elle est utilisée.

Nous avons vu, en thèse générale, que la ration de travail est particulièrement riche en protéine alimentaire et que pour la réaliser sans lui faire acquérir un volume qui dépasserait, en ce qui concerne le cheval, la capacité de l'estomac, il faut nécessairement y faire entrer ce qu'on appelle un aliment concentré, c'est-à-dire présentant, sous un petit volume, une forte proportion de protéine. C'est ce qui se trouve réalisé particulièrement dans les semences céréales.

Pour les bœufs, la difficulté n'existe pas. Les ruminants, qui travaillent d'ailleurs à une allure lente, ont une capacité gastrique permettant d'y faire entrer en un jour, sous une forme quelconque, la quantité de protéine alimentaire en rapport avec leur aptitude mécanique. Il y a en outre, pour ceux-ci, toujours avantage économique à rester, dans le travail qu'on en exige, de beaucoup en dessous de leur aptitude. Dans l'agriculture, bien qu'ils soient sous tous les rapports d'excellents producteurs de la force motrice nécessaire à l'exploitation du sol, leur fonction prédominante est la création du capital par l'accroissement de leur poids vif.

Ce n'est pas là, comme dans l'industrie des transports ou dans l'industrie manufacturière, le moteur le plus apte qui est nécessairement le plus économique ou le plus avantageux. Le prix de revient de la force n'y est pas en raison de la quantité de travail produite individuellement, mais bien en raison de la quantité des autres produits obtenus en même temps. Nous avons posé depuis longtemps à cet égard un principe qui n'a pas pu être contesté justement et que nous considérons comme fondamental en zootechnie: savoir que l'exploitation agricole doit obtenir gratuitement la force motrice dont elle a besoin pour la culture du sol. Il suffit, pour résoudre le problème, de demander cette force aux animaux en période de croissance. Par la plus-value qu'ils acquièrent et par les engrais qu'ils fournissent, ces animaux compensent au moins la valeur commerciale de leurs consommations et celle de leurs frais d'entretien.

Les animaux d'espèce bovine ne sont point les seuls qui, exploités selon les bonnes méthodes zootechniques, puissent ainsi produire gratuitement la force motrice; mais ils le peuvent plus facilement et plus généralement que les chevaux, à cause surtout de leurs fonctions économiques multiples et de la considération relative à leur alimentation, dont il vient d'être parlé. Le cheval est exclusivement moteur et il a plus souvent à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produire son travail en mode de vitesse, durant un temps court, qu'en mode de lourde charge, durant un temps plus long. Pour dépenser ainsi rapidement la force dont il dispose, sous le commandement de son système nerveux, comme nous l'avons vu, il lui faut de l'énergie plutôt que de la ténacité; ses efforts musculaires ont besoin d'être plus répétés que soutenus, indépendamment des autres considérations mécaniques relatives aux dispositions de son organisme, sur lesquelles nous nous sommes arrêtés précédemment. Pour que la source de cette énergie ne soit point bientôt tarie, il lui faut un stimulant ou un excitant.

L'observation démontre que dans notre climat tempéré cet excitant se trouve dans l'avoine, qui est, pour ce motif, l'aliment de force par excellence, l'aliment indispensable des chevaux qui travaillent aux allures vives, des moteurs de grande vitesse. On a bien souvent essayé de substituer, en vue de réaliser une économie, dans la ration de ces moteurs une autre semence quelconque à celle de l'avoine, à titre d'aliment concentré et par voie d'équivalence nutritive fondée soit sur la richesse en azote, soit sur la richesse en matières grasses.

C'est surtout eu égard à ce dernier genre d'équivalence que Magne, on ces derniers temps, a beaucoup insisté sur la possibilité et les avantages attribués aux substitutions dont il s'agit. L'expérience, toutes les fois qu'elle a été bien faite, s'est toujours prononcée défavorablement. Pour les chevaux qui travaillent au pas, qui dépensent la force dont ils disposent en une journée de huit à dix heures, il n'y a pas d'inconvénient sensible à ce que la protéine alimentaire équivalente des kilogrammètres qu'ils produisent ait une origine quelconque. Pour ceux au contraire qui ont à dépenser cette force en une durée de quatre heures, au maximum, à la protéine doit être jointe nécessairement le principe immédiat encore mal déterminé qui se rencontre dans l'avoine et qui est l'excitant obligatoire du système nerveux.

La dose ou la mesure indispensable de cet excitant n'est pas encore fixée d'une manière précise. C'est un problème qui sera étudié et résolu, nous l'espérons du moins. Des essais empiriques permettent d'admettre, quant à présent, qu'elle n'atteint pas la quantité totale du principe immédiat inconnu qui se trouve dans la proportion d'avoine nécessaire pour compléter la ration de travail d'après les bases que nous avons posées. Ces essais ont montré qu'il était possible de remplacer, dans la ration de vitesse, environ 20 à 25 % de l'avoine par d'autres semences équivalentes en protéine, sans que l'énergie soit sensiblement diminuée. Mais, nous le répétons, elle a constamment été amoindrie ou supprimée, chaque fois que la substitution a été complète. Les chevaux trotteurs nourris sans avoine sont toujours devenus mous, faibles, mauvais travailleurs, peu aptes au service auparavant exigé et facilement obtenu d'eux, et ils ont succombé en plus ou moins grand nombre et plus ou moins promptement à la morve qui est le signe d'épuisement constitutionnel le moins douteux.

On a souvent tiré argument, contre ce fait incontestable, de ce qui se passe dans les pays chauds, et notamment en Algérie, où les chevaux nourris d'orge conservent leur énergie. Il en est de même dans l'Amérique méridionale pour les chevaux nourris de maïs. Cela prouve seulement que sous l'influence d'une température constamment élevée, l'énergie n'a pas besoin de stimulant. En effet, les chevaux algériens introduits en France perdent leur vigueur quand ils y consomment de l'orge comme dans leur pays natal. Il leur faut de l'avoine pour la recouvrer. Les chevaux français introduits en Algérie sont trop excités par l'avoine. L'orge y entretient suffisamment leur énergie propre et assure leur pleine aptitude. On ne peut donc point, dans la discussion du sujet, laisser de côté l'influence du climat.

NUTRITION DES ANIMAUX.

Il n'est pas difficile, en vérité, de se rendre compte de ces différences, en songeant aux conditions de production de la force mécanique ou motrice exposées ici. Nous nous bornerons donc à les constater, convaincu que nous avons maintenant rassemblé, sur les divers points de notre sujet, les principales notions utiles pour la pratique de la nutrition des animaux.

Mais il ne sera peut-être pas inutile, pour rendre encore plus facilement saisissable l'application pratique du théorème nouveau de mécanique animale que nous considérons comme étant d'une importance capitale pour la bonne exploitation économique des chevaux ou pour la conservation de leur santé, d'ajouter ici un exemple de cette application.

Prenons le cas le plus simple, celui dans lequel la ration alimentaire du cheval doit être constituée à l'aide des deux aliments les plus communément employés, du foin de pré et de l'avoine. Celle-ci fournit l'aliment concentré ou aliment de force; le foin donne à la fois l'aliment d'entretien et le lest ou ballast. On sait, en effet, que sous un volume considérable, dû à la forte proportion des fibres grossières ou ligneuses qui entrent dans sa constitution, il contient en même temps tous les principes immédiats nutritifs indispensables pour renouveler les éléments anatomiques des tissus et des humeurs, et cela dans la relation expérimentalement démontrée comme la plus favorable pour porter au maximum de digestibilité, chez les animaux adultes, ces mêmes principes immédiats. La relation nutritive du bon foin est, en effet, $= 1 : 5$.

Or, la ration d'entretien devant être calculée à raison de 1 % de matière sèche, relativement au poids vif du cheval à nourrir, et le foin contenant en moyenne 15 % d'eau, c'est donc, pour un cheval de 500 kilogrammes, $5{,}000 + 150 \times 5 = 5{,}750$ grammes de foin qui devront former cette ration journalière d'entretien, c'est-à-dire celle qui est nécessaire pour conserver intact l'organisme ne fonctionnant que pour ses besoins propres, sans perdre ni gagner du poids, pour compenser seulement la dépense de chaleur occasionnée par le travail interne et les pertes dues au rayonnement.

Il s'agit maintenant de déterminer en valeur d'avoine le complément qui devra être ajouté à la ration d'entretien, à raison de 1,000 grammes de protéine alimentaire pour 1,600,000 kilogrammètres de travail exigé. Afin de résoudre un tel problème à l'aide de la formule que nous avons donnée précédemment, il suffit d'introduire dans cette formule la valeur centésimale connue de l'avoine en protéine alimentaire.

Cette valeur, donnée par les tables de composition chimique des aliments, est de 12 pour 100 en moyenne, ou 120 pour 1,000, c'est-à-dire que 1 kilogramme d'avoine contient 120 grammes de protéine.

D'où l'équation suivante, en supposant qu'il y ait lieu de calculer une ration suffisant à 1,600,000 kilogrammètres de travail :

$$\frac{P}{120} = \frac{1{,}600{,}000\ T}{1{,}600\ C} = \frac{1{,}000}{120} = 8{,}333.$$

C'est donc 8 kilogrammes 333 grammes d'avoine qui devront compléter la ration journalière du cheval, dont on exigera la somme de travail évaluée, parce que la quantité de chaleur dégagée dans son économie par une telle ration d'avoine peut seule rendre le travail utile que nous avons supposé. La ration hygiénique sera donc, en définitive, composée dans ce cas de 7 kilogrammes 750 grammes de foin et de 8 kilogrammes 333 grammes d'avoine, dont 20 à 25 pour 100 pourront être, sans inconvénient, remplacés par leur équivalent de feverolles, d'orge, de maïs, etc.

André Sanson.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX. Une graine, un tubercule placés dans le sol dans des conditions convenables d'aération et d'humidité, se développe. La plante s'accroît en puisant ses aliments dans l'air et dans le sol, et, après un temps plus ou moins long, elle élabore des produits qui constituent la matière première de l'alimentation des hommes, ou qui modifiés par l'industrie servent à le vêtir ou à l'abriter. L'art agricole, l'art de pousser au maximum la production des matières végétales utilisables, repose sur la connaissance des besoins des plantes, de leur mode d'alimentation, des conditions dans lesquelles elles doivent être placées non-seulement pour se développer normalement, mais encore, nous le répétons, pour produire la plus grande somme possible des principes immédiats qu'on en veut extraire.

Ainsi, un habile cultivateur de betteraves qui est en même temps, ainsi qu'il arrive souvent, fabricant de sucre ou distillateur, ne devra pas se contenter d'obtenir 50 ou 60,000 kilos de racines à l'hectare, il faudra encore, pour assurer la réussite de sa spéculation, que ces betteraves renferment un maximum de matière sucrée; qu'elles accusent à l'analyse de 11 à 12 pour 100 de sucre. Or c'est seulement par une connaissance approfondie des phénomènes physiologiques qu'une question semblable touchera à sa solution, dont nous sommes encore singulièrement éloignés.

Ces considérations nous indiquent déjà quelle est la marche que nous devons suivre dans notre exposé. Nous passerons successivement en revue les fonctions capitales des végétaux, et nous examinerons à propos de chacune d'elles les pratiques agricoles qui s'y rattachent, en ayant sans cesse devant les yeux l'application des actions physiologiques que nous nous efforcerons de présenter clairement au lecteur, à l'art agricole.

Nous traiterons ainsi successivement:

De la germination.

De l'assimilation:

1° Du carbone et de l'hydrogène;

2° De l'azote;

3° Des matières minérales.

De la formation des principes immédiats.

De la migration des principes immédiats dans les végétaux et de la maturation des graines et des fruits.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA GERMINATION.

La graine ou le tubercule renferment tous les éléments nécessaires à la production des organes d'une plante nouvelle, mais pour que ces éléments éprouvent les modifications favorables à leur évolution, la première condition indispensable est que la graine soit vivante; des graines trop âgées, trop complétement desséchées et qui au premier abord ne semblent présenter aucune altération, peuvent être cependant complétement incapables d'accomplir les évolutions chimiques qui précèdent l'apparition des premiers phénomènes de la germination. Si la graine est vivante, il faut encore, pour qu'elle puisse germer, qu'elle soit placée dans certaines conditions favorables, que nous allons examiner.

§ I.—*Influence de l'humidité, de la lumière et de la chaleur sur la germination.*

L'humidité est absolument indispensable à la germination; des graines sèches peuvent être conservées longtemps sans altération. Habituellement les cultivateurs placent tout simplement à la partie supérieure des maisons les graines qu'il faut conserver pendant la mauvaise saison; les silos, les cylindres métalliques ou en poterie, dans lesquels on conserve les graines, ont aussi bien pour effet de les soustraire à l'action de l'humidité, qu'à celle des rongeurs. Pour que la graine confiée à la terre germe, il faut que celle-ci soit suffisamment humide; quand la terre ne contient plus que des quantités d'eau très-faibles, la germination est très-irrégulière. A Grignon, en 1870, les betteraves ont manqué dans le champ d'expérience, dont la terre, jusqu'à 15 ou 20 centimètres de profondeur, ne renfermait que 5 millièmes d'eau. C'est pour empêcher les graines de se dessécher à l'air que les cultivateurs soigneux roulent leurs champs après les semailles, de façon à durcir la couche superficielle et à retarder ainsi la dessiccation.

Les graines simplement exposées à l'air germent si la terre sur laquelle repose les grains est humide, les cultivateurs négligents qui laissent leur récolte sur le sol pendant des années pluvieuses, au lieu de les disposer en moyettes, supportent, par suite de cette germination, des pertes sérieuses; l'orge, le blé laissent apparaître autour des épis de longs germes blancs qui diminuent singulièrement la valeur des grains.

On a cru, au siècle dernier, d'après des expériences de Sennebier et d'Ingen-Housz, que la lumière était défavorable à la germination, mais, en réalité, il ne paraît pas qu'il en soit ainsi. En effet, Th. de Saussure (*Recherches chimiques sur la végétation*, p. 23) a reconnu que des graines placées les unes dans des vases opaques, les autres dans des verres transparents, mais garanties de la lumière directe du soleil, ont germé en même temps; et il est probable que c'est surtout par la dessiccation qu'ils opèrent, que les rayons solaires sont nuisibles à la germination. Nous avons eu occasion de constater bien des fois, dans le laboratoire, la germination des grains à la lumière dans des vases fermés où la dessiccation était difficile ou impossible, de telle sorte qu'il est parfaitement certain que l'obscurité n'est pas indispensable à la germination, mais il faut reconnaître, d'autre part, qu'elle n'est pas nuisible; les grains germent parfaitement dans l'obscurité, et c'est généralement dans des caves que les brasseurs préparent le malt, c'est-à-dire l'orge germée employée à la fabrication de la bière.

Soumises à un froid rigoureux, les graines ne germent pas; mais la température nécessaire pour que la vie s'éveille varie singulièrement avec les espèces: pour le blé d'hiver, l'orge et le seigle de 7 à 5° centigrades; le trèfle, la luzerne, le radis, le choux germent sensiblement au-dessous de 5°. M. Sachs a observé pour les limites supérieures de température les nombres suivants: le maïs, le *cucurbita pepo* germèrent en quarante-huit heures, la température moyenne du sol étant de + 42° C, mais présentant, pendant quelques heures, un maximum de 46°,2 C; du blé germa par une température moyenne de 38,2°, maximum 43° C; l'orge supporta une température maxima de 36-37° C, et des pois germèrent encore à 38°,2 C avec un maximum momentané de 42°,5 C.

MM. Edwards et Colin (Influence de la température sur la germination, dans les *Ann. des Sciences nat.*, 2e série, t. I) ont cherché à déterminer les températures et les différentes conditions de sécheresse ou d'humidité qui détruisent dans les graines les facultés germinatrices. Ils ont trouvé: pour le séjour dans l'eau, 50 degrés; dans la vapeur d'eau, 62 degrés; dans l'air sec, 75 degrés. Ces résultats supposent que les graines n'ont pas été soumises à ces températures pendant plus d'un quart d'heure.

§ II. — *L'oxygène est nécessaire à la germination.*

Il suffit de placer des graines humides dans du gaz azote, de l'hydrogène, de l'acide carbonique, pour se convaincre que l'oxygène est nécessaire à la germination; dans tous ces gaz la graine humide périt rapidement. Toutefois les phénomènes sont très-différents, suivant que l'on mélange l'un ou l'autre de ces gaz avec l'oxygène; ainsi, tandis qu'une très-faible quantité d'oxygène

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mélangé à de l'azote ou à de l'hydrogène suffit pour déterminer les premiers phénomènes précurseurs de la germination, l'acide carbonique exerce une action retardatrice des plus curieuses. Ce fait n'avait pas échappé à la sagacité de Th. de Saussure, mais nous avons eu occasion de le préciser dans un travail encore inédit que M. Landrin et moi terminons au moment où j'écris au laboratoire de *Culture* du Muséum d'Histoire naturelle. Nous avons reconnu que dans un mélange de 94,6 d'azote et de 4,2 d'oxygène, il y avait un commencement de germination; que lorsque les proportions devenaient 8,9 d'oxygène et 80,1 d'azote, la germination a lieu d'une façon régulière. Il en est de même quand on emploie un mélange de 17,9 d'oxygène et de 72,6 d'hydrogène, tandis que dans un mélange très-riche en oxygène, mais renfermant de l'acide carbonique la germination n'a pas lieu; c'est ainsi que des graines de lin ont pourri sans germer, dans une atmosphère renfermant 66,4 d'oxygène et seulement 25,1 d'acide carbonique.

Le chlore paraît, au contraire, d'après les observations de M. de Humboldt, avoir une influence favorable. Ce savant a pu faire germer des graines de cresson alenois, en six fois moins de temps qu'elles n'en mettent dans les circonstances ordinaires, en les trempant dans l'eau chlorée. De vieilles graines, dont on n'avait pu amener d'aucune manière la germination, en manifestèrent tous les phénomènes après être restées pendant vingt-quatre heures dans l'eau de chlore. Cette action curieuse du chlore sur les graines a, du reste, été peu étudiée jusqu'ici, quoique plusieurs observateurs, et notamment Th. de Saussure, en aient fait usage avec succès pour amener la vie à se manifester dans des embryons inertes. Peut-être le chlore en décomposant l'eau pour s'emparer de l'hydrogène met-il en liberté de l'oxygène, dont l'action comburante sur les principes immédiats de la graine est favorisée par la chaleur dégagée au moment de l'union du chlore et de l'hydrogène; cette chaleur dégagée serait suffisante pour déterminer le commencement des phénomènes de combustion qui accompagnent toutes les germinations.

§ III. — *Influence de la germination sur l'atmosphère ambiante.*

Quand on maintient des graines suffisamment humides dans une cloche retournée sur le mercure, on observe d'abord que le volume du gaz contenu dans la cloche diminue. Si on fait l'analyse du gaz restant, on y trouve déjà, après trois ou quatre jours, quelques millièmes d'acide carbonique mélangés à l'azote et à l'oxygène; mais on remarque que celui-ci a été absorbé en bien plus grande proportion que celui-là.

Le premier effet qu'exerce la graine humide sur l'atmosphère ambiante est donc de condenser une certaine quantité de gaz, et on s'en assure, non-seulement par la diminution de volume observée dans les conditions précédentes, mais encore par le dosage total de l'azote contenu dans les graines, qu'on trouve très-habituellement supérieur à celui qu'accuse le procédé par la chaux sodée, qui ne donne que l'azote combiné. — L'excès d'azote libre, qu'on trouve très-souvent dans les graines, est dû précisément à cette condensation de gaz qui se produit au moment où l'enveloppe se ramollit sous l'influence de l'humidité; si l'humidité persiste, l'arrivée du gaz se continue et la germination s'effectue; si, au contraire, les graines sont soumises après cette première action de l'humidité à la dessiccation, l'enveloppe durcit, et le gaz azote qui a pénétré reste enfermé dans la graine.

Cette condensation des gaz dans la graine humide est analogue à celle qu'on observe dans les laboratoires, quand on place un charbon fraîchement éteint dans de l'acide chlorhydrique ou du gaz ammoniac; comme celle-ci, elle a lieu avec absorption de chaleur, et par suite provoque un commencement d'oxydation que serait incapable de produire de l'oxygène à la température ordinaire.

Cet effet de condensation des gaz dans la graine est particulièrement sensible dans une atmosphère très-oxygénée, le gaz acide carbonique dégagé est loin habituellement de représenter l'oxygène absorbé; c'est ainsi que dans une expérience sur le cresson alenois, commencée le 18 juillet 1873 et terminée le 22, qui n'a duré par conséquent que quatre jours, on avait mis les graines dans 74,7 d'oxygène, et on a trouvé à la fin de l'expérience:

Oxygène.	28,8
Acide carbonique.	25,9
	54,7

c'est-à-dire que 20 centimètres de gaz avaient disparu.

Ces condensations de gaz pendant la germination sont fréquentes quand les quantités d'oxygène employées sont considérables; elles se produisent même dans l'air ordinaire, quand on opère dans une atmosphère limitée, et qu'on met fin rapidement à l'expérience avant que tout le gaz oxygène contenu dans l'atmosphère confinée ait disparu.

Ainsi, le premier phénomène qui détermine le commencement de la germination et qui, jusqu'à présent, avait échappé aux observateurs, est une condensation du gaz par les tissus de la graine; le testa, ramolli par l'eau, se laisse traverser par les gaz ambiants, l'oxygène pénètre remplaçant les gaz contenus dans la graine, et sous l'influence de la chaleur dégagée par la condensation des gaz atmosphériques commence le phénomène d'oxydation qui accompagne la modification des principes immédiats, et la formation des principes nouveaux nécessaires à la constitution des jeunes organes.

Tant qu'il reste de l'oxygène dans l'atmosphère ambiante, le seul gaz qui apparaît est de l'acide carbonique, mais son volume, qui est d'abord plus petit que le volume de l'oxygène disparu, devient bientôt égal, puis le surpasse, et il semble que pendant quelques jours la graine continue à vivre en émettant de l'acide carbonique, dont elle emprunte les deux éléments à ses propres tissus. Quand cependant tout l'oxygène a disparu, et il est remarquable que les graines finissent par enlever jusqu'à la dernière trace d'oxygène contenu dans l'atmosphère où elles germent, on voit apparaître de l'hydrogène et des hydrogènes carbonés qui sont les indices d'une décomposition plus ou moins avancée; mais il faut reconnaître avec Th. de Saussure, et contrairement à ce qu'ont avancé plus récemment quelques physiologistes, que l'hydrogène n'est pas un produit normal de la germination, mais bien, au contraire, de la décomposition.

Des faits précédents, il ressort que si les graines se trouvent placées dans une atmosphère dépouillée d'oxygène elles ne tardent pas à se décomposer et on voit combien il est important qu'elles soient déposées dans un sol assez meuble pour que l'oxygène y pénètre; si elles séjournaient dans un sol où l'eau fût stagnante, celle-ci arriverait encore facilement à se désoxygéner et la germination serait compromise; un sol meuble, perméable aux gaz et aux liquides, telle est donc la condition favorable à la germination; quand le sol est battu par des pluies violentes à l'automne, la germination est parfois compromise, si on ne donne pas un coup de herse pour déchirer la couche superficielle qui est devenue imperméable.

§ IV. — *Des changements de poids que subissent les graines pendant la germination.*

On vient de voir que pendant la germination la graine laisse dégager de l'acide carbonique dont elle fournit au moins un des éléments; elle perd également une cer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

taine quantité d'eau combinée, de telle sorte qu'elle perd constamment de son poids.

Pour bien apprécier ce changement, il faut opérer sur des graines ou de jeunes plantes absolument dépouillées l'une et l'autre de l'eau qui les imprègne et ne fait pas partie intégrante des principes immédiats; c'est ainsi que M. Boussingault a trouvé, après une égale dessiccation à 110°, que des pois pesant 2 gr. 237 avant la germination donnaient des jeunes plantes ne pesant plus que 1 gr. 076; c'est-à-dire que pendant la germination, il y avait eu une perte de 1 gr. 161; des graines de froment, pesant 1 gr. 665, ont perdu pendant la germination 0 gr. 952, les jeunes plantes encore jaunes, puisqu'elles n'avaient pas été exposées à l'action de la lumière, ne pesaient plus que 0 gr. 952; enfin on trouve des différences analogues pour le maïs géant dont le poids passe de 0 gr. 529 à 0 gr. 290, avec une perte de 0 gr. 239; dans une expérience sur les haricots, les graines pesaient 0 gr. 926, les plantes 0 gr. 566, et la perte était de 0 gr. 360.

En soumettant à l'analyse élémentaire des lots de graines semblables à ceux qui avaient servi à la germination, puis les plantes elles-mêmes provenant des graines germées, on constate que la perte porte sur du carbone, sur de l'oxygène et de l'hydrogène qui sont à peu près dans les proportions de l'eau, tandis que l'azote paraît être en quantité égale dans les graines et dans les jeunes plantes.

§ V. — *Des modifications que subissent les principes immédiats pendant la germination.*

Pendant la germination les principes insolubles contenus dans les graines deviennent solubles en se modifiant plus ou moins profondément; ils atteignent ainsi les points où apparaissent les jeunes organes auxquels ils fournissent les matériaux nécessaires à la constitution des tissus dans lesquels s'accomplissent les phénomènes réguliers d'assimilation.

Chacun sait, par exemple, que les grains d'orge employés à la fabrication de la bière ne renferment plus guère d'amidon lorsqu'ils ont germé, mais bien du glucose et de la dextrine, et que c'est au moment où cette transformation s'est effectuée qu'il faut arrêter la germination; sans cela le glucose et la dextrine nouvellement formés s'organisent en cellulose insoluble, ce qui occasionne une perte sensible.

C'est sous l'influence d'un principe azoté particulier, la diastase, découvert par Payen et Persoz, que s'effectue la transformation de l'amidon en dextrine et glucose. D'après ces auteurs, une partie de diastase suffit à modifier plus de 2,000 parties d'amidon. On a cru pendant longtemps que l'amidon donnait d'abord de la dextrine, puis ensuite du glucose; mais, d'après les travaux récents de M. Musculus, l'amidon donnerait de la dextrine et du glucose simultanément, et l'on pourrait représenter cette transformation par l'équation suivante:

$$\underbrace{C^{36}H^{30}O^{30}}_{\text{amidon.}} + 2\,HO = \underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}} + \underbrace{C^{24}H^{20}O^{20}}_{\text{dextrine.}}$$

La première partie du phénomène est donc connue; quant à la cause qui détermine la transformation ultérieure du glucose ou de la dextrine en cellulose, qui forme les jeunes tissus, elle nous échappe encore absolument, et bien que nous soyons à chaque instant témoins de semblables modifications, il nous est impossible aujourd'hui d'en préciser le mécanisme.

En faisant l'analyse immédiate d'une graine de maïs avant la germination, en analysant de même la graine lorsqu'elle a déjà donné des radicelles et des tigelles d'une certaine longueur, M. Boussingault a pu déterminer exactement comment s'étaient transformés les principes immédiats pendant que la jeune plante se développait dans l'obscurité; cette dernière condition est indispensable à observer pour que la comparaison soit rigoureuse, car si les jeunes tiges sont exposées à la lumière, elles verdissent, elles élaborent de la matière végétale, et par suite les modifications observées sont dues à deux phénomènes complétement différents.

En examinant ainsi le maïs après la germination, M. Boussingault a reconnu que l'amidon et la matière grasse avaient diminué, tandis que le glucose et la cellulose avaient au contraire sensiblement augmenté; le poids des matières azotées paraît rester le même, mais il est à remarquer que le procédé de dosage employé permet facilement de constater que le poids d'azote combiné contenu dans la graine normale et dans la graine germée est le même, il n'indique pas la modification qui a pu survenir dans la nature de ces principes immédiats, or il n'est pas douteux qu'une partie de l'azote combiné ne fût plus sous forme de matière albuminoïde, mais bien sous celle d'asparagine, puisque dans une expérience portant sur des haricots, M. Boussingault a pu retirer après vingt jours de germination, d'un lot pesant 201 grammes, 5 gr. 40 d'asparagine cristallisée.

Quand on suit pendant un mois la germination des graines oléagineuses, ainsi que l'a fait M. Fleury en prélevant sur les graines en expériences des échantillons à des espaces de temps réguliers de façon à constater les modifications que subissent les principes immédiats à mesure que la germination se prolonge, on reconnaît que la matière grasse va constamment en diminuant, que le sucre augmente d'abord, atteint un maximum, puis que la cellulose qui reste d'abord stationnaire finit par augmenter singulièrement son poids.

Résumé des phénomènes de germination.

En résumé, une graine vivante convenablement humectée et placée dans une atmosphère oxygénée se gonfle, elle émet de l'acide carbonique par suite des phénomènes de combustion qui accompagnent la transformation de l'amidon ou du sucre qu'elle renferme, des matières grasses qu'elle contient en cellulose, tel est le point où la science est arrivée; mais elle est muette encore sur le mécanisme de ces transformations.

CHAPITRE II.

ASSIMILATION DU CARBONE PAR LES VÉGÉTAUX.

Il est facile de faire prospérer une plante dans un sol absolument stérile et en lui fournissant des phosphates et du nitrate de potasse. Si on compare la quantité de carbone contenue dans la plante à la fin de la végétation, à celle qui se trouvait dans la graine dont elle provient, on reconnaît qu'elle a acquis une proportion notable de carbone, qui ne peut provenir que de l'air atmosphérique dans lequel elle a vécu, puisque par hypothèse le sol ne lui a fourni aucun aliment carboné.

L'air, on le sait, renferme toujours en effet une proportion sensible d'acide carbonique, qu'il faut considérer comme la source de tout le carbone qui se trouve dans les êtres organisés; ce n'est pas cependant sans de longues recherches, qu'on est arrivé à élucider la série de métamorphoses que subit le carbone, pour passer à l'état aériforme qu'il affecte dans le gaz carbonique à la forme solide qu'il revêt dans les sucres, les celluloses, les matières grasses, enfin les matières albuminoïdes, et il convient, avant d'exposer le phénomène dans tous ses détails, de rappeler rapidement les travaux des savants qui nous ont permis d'amener nos connaissances sur ce sujet à l'état relativement élevé où elles sont aujourd'hui.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

§ I. *Expériences de Bonnet, de Priestley d'Ingen Housz, de Senebier, de Th. de Saussure.*

C'est en 1750 que Bonnet, pasteur de Genève, observa pour la première fois que des feuilles placées dans de l'eau de source exposée au soleil se couvraient de petites bulles gazeuses. Bonnet remarqua, en outre, que les feuilles placées dans de l'eau préalablement bouillie n'y déterminaient aucun dégagement de gaz; à cette époque, au reste, les connaissances acquises sur la nature des gaz étaient tellement vagues, que cette découverte devait fatalement rester stérile, et c'est seulement quand Priestley eut appris à les recueillir et à les caractériser, que la découverte de la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles put être faite.

Priestley, après s'être occupé des modifications que le séjour des animaux fait subir à une atmosphère limitée, fut en quelque sorte conduit à rechercher l'influence qu'exercent les végétaux sur ces atmosphères viciées.

« J'ai eu le bonheur, dit-il, de trouver par hasard une méthode de rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles, et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein; c'est la végétation.

« On serait porté à croire que puisque l'air commun est nécessaire à la vie végétale aussi bien qu'à la vie animale, les plantes et les animaux doivent l'affecter de la même manière, et j'avoue que je m'attendais au même effet, la première fois que je mis une tige de menthe dans une jarre de verre renversée sur l'eau. Mais après qu'elle y eut poussé quelques mois, je trouvai que l'air n'éteignait pas la chandelle, et qu'il n'était pas nuisible à une souris que j'y exposai.

« Le 17 août 1771, je mis un pot de menthe dans une quantité d'air où une bougie avait cessé de brûler, et je trouvai que le 27 du même mois une autre bougie pouvait y brûler parfaitement bien. Je répétai cette expérience sans la moindre variation dans le résultat jusqu'à huit ou dix fois pendant le reste de l'été.

« Lorsqu'on expose des jets de menthe dans de l'air corrompu assez fortement par la putréfaction, pour transmettre sa puanteur à travers l'eau, ils meurent aussitôt et les feuilles deviennent noires; mais s'ils ne meurent pas à l'instant, ils y poussent de la manière la plus surprenante. Je n'ai jamais vu dans aucune circonstance la végétation aussi vigoureuse que dans cette espèce d'air qui est si funeste à la vie animale.

« Cette observation me conduit à conclure que les plantes, bien loin d'affecter l'air de la même manière que la respiration animale, produisaient des effets contraires et tendaient à conserver l'atmosphère douce et salubre, lorsqu'elle est devenue nuisible en conséquence de la vie et de la respiration des animaux ou de leur mort et de leur putréfaction.... »

Priestley réussit non-seulement à obtenir avec l'air vicié par la respiration de l'air commun, mais même il put, en plaçant des plantes dans une atmosphère riche en acide carbonique, préparer un gaz renfermant plus d'oxygène que l'air atmosphérique, et capable par suite d'exciter plus vivement la combustion que l'air ordinaire. Toutefois Priestley n'était pas absolument maître de son admirable expérience. On trouve, en effet, dans son ouvrage, « qu'une feuille de chou fraîche, mise pendant une seule nuit sous un vaisseau rempli d'air commun, affecta tellement l'air qu'une chandelle ne put plus y brûler le lendemain matin. Mais cette observation reste isolée et c'est au savant hollandais Ingen Housz, qu'était réservée la gloire de reconnaître que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles n'a lieu que sous l'influence de la lumière solaire.

C'est en 1780 que Ingen Housz établit les propositions suivantes:

1° L'air qui se dégage des feuilles plongées dans l'eau provient de l'intérieur de la plante et il est émis en dehors, en vertu d'un acte vital. (Nous savons aujourd'hui que cette proposition est inexacte et qu'il faut que l'eau soit chargée d'acide carbonique pour que les plantes puissent en dégager un gaz; mais les deux autres propositions sont aussi importantes qu'exactes).

2° L'air dégagé, conformément aux premières observations de Priestley, diffère de l'air commun par l'intensité avec laquelle il fait brûler les corps, et à cause de la forte proportion d'air déphlogistiqué (oxygène) qu'il renferme.

3° L'air déphlogistiqué ne se dégage des feuilles des végétaux, qu'autant que celles-ci sont exposées à recevoir l'influence du soleil.

Nous avons vu que la première proposition d'Ingen Housz est inexacte, et c'est à Senebier qu'on doit d'avoir reconnu la véritable origine de l'oxygène émis par les feuilles, sous l'influence du soleil.

On est forcé de reconnaître, dit-il, que comme l'acide carbonique dissous dans l'eau favorise la végétation et la production du gaz oxygène, qui s'échappe des feuilles au soleil, il faut que l'acide carbonique, dont l'oxygène est un des éléments, soit décomposé au soleil par l'acte de la végétation, pour fournir celui-ci, et que le carbone déposé dans toutes les parties de la plante en provienne.

§ II. *Appareil employé pour observer la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles.*

MM. Cloez et Gratiolet ont indiqué, il y a déjà plusieurs années (*Ann. de chimie et de physique*, 3e série, tome XXXII, p. 41), les conditions dans lesquelles il faut se placer pour répéter facilement la belle expérience de la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, sous l'influence du soleil. On remplit un flacon d'un ou deux litres, d'une dissolution légère d'acide carbonique, on y introduit des feuilles ou même des fragments d'une plante marécageuse, telle que le *Potamogeton perfoliatum*, l'*Elodea* ou encore le *Potamogeton Crispus*. On ferme le flacon à l'aide d'un bouchon percé d'un trou où s'engage un tube abducteur et l'on recueille les gaz sur l'eau (fig. 1). Aussitôt que l'appareil est placé au soleil, on voit les feuilles se recouvrir de bulles de gaz et il arrive habituellement que le gaz recueilli, débarrassé à l'aide de la potasse, de l'acide carbonique qui se dégage par suite de l'échauffement du liquide, est assez riche en oxygène pour allumer les allumettes. Ce gaz toutefois n'est jamais complétement exempt d'azote, bien que, d'après les observations de MM. Cloez et Gratiolet, il aille constamment en s'épurant à mesure que l'opération se prolonge plus longtemps. On voit, en effet, dans le travail publié par ces savants, que tandis que le gaz obtenu le premier jour de l'expérience renfermait seulement sur 100 parties 84,30 d'oxygène et 15,70 d'azote,

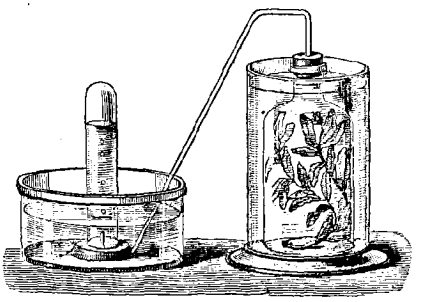


Fig. 1.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le gaz recueilli d'un appareil en expérience depuis huit jours renfermait 97,10 d'oxygène et seulement 2,90 d'azote.

§ III. — *Le volume d'oxygène dégagé par les feuilles est égal au volume d'acide carbonique disparu.*

Si les travaux précédents nous permettent d'esquisser l'ensemble du phénomène, ils laissent encore indécis un grand nombre de points qu'il convient d'étudier les uns après les autres pour connaître dans tous les détails l'action remarquable qu'exercent les feuilles sur l'acide carbonique.

Th. de Saussure le premier esssaya de déterminer exactement le rapport qui existe entre l'oxygène dégagé et l'acide carbonique décomposé; ses expériences le conduisirent à admettre que le volume d'oxygène dégagé n'était jamais aussi considérable que celui de l'acide carbonique disparu; il reconnut en outre que l'oxygène était toujours mêlé d'une certaine quantité d'azote qu'il supposait provenir de la plante elle-même, et la question resta indécise jusqu'aux expériences exécutées par M. Boussingault qui, à l'aide de méthodes précises, arriva à se convaincre que le volume d'oxygène dégagé est sensiblement égal au volume de l'acide carbonique disparu. Or la chimie démontre qu'un volume d'acide carbonique renferme un volume d'oxygène, de telle sorte qu'on peut supposer que dans les feuilles le gaz carbonique est décomposé intégralement en carbone et en oxygène; toutefois on peut opposer à cette hypothèse plusieurs objections sérieuses: en effet, Th. de Saussure a reconnu que l'oxyde de carbone n'est pas décomposé par les feuilles, et M. Boussingault a vérifié ce résultat, de telle sorte qu'il paraît plus naturel d'admettre que l'acide carbonique se décompose en oxyde de carbone et en oxygène; mais comme

1 vol. acide carb. donne ainsi { 1 vol. oxyde de carbone ; 1/2 vol. d'oxygène }

on voit que pour expliquer l'apparition d'un volume d'oxygène, quand un volume d'acide carbonique disparaît, il faut faire intervenir une autre décomposition; on admet habituellement que la décomposition de l'eau qui gorge les feuilles se produit en même temps que celle de l'acide carbonique, et si on remarque qu'un volume de vapeur d'eau peut donner en se décomposant un volume d'hydrogène et un demi-volume d'oxygène, on aura, pour représenter la décomposition qui a lieu dans les feuilles, le tableau suivant:

1 vol. CO^2 { 1/2 vol. O ; 1 vol. CO } ; 1 vol. H O { 1 vol. H ; 1/2 vol. O } — CHO isomère de glucose.

dans lequel on voit que les deux demi-volumes d'oxygène font bien un volume égal à celui de l'acide carbonique disparu, dans lequel on voit encore que un volume d'oxyde de carbone rencontrant à l'état naissant un volume d'hydrogène forme avec lui un composé renfermant en équivalents égaux le carbone, l'oxygène et l'hydrogène précisément comme le glucose qu'on trouve dans tous les jeunes organes et qui semble être la première matière qui prend naissance dans les feuilles.

Il est clair que pour que l'hypothèse que nous venons de développer puisse être admise au rang des vérités démontrées, il reste à unir directement dans le laboratoire l'oxyde de carbone à l'hydrogène, et en former une combinaison isomère avec le glucose.

§ IV. — *Influence de la lumière sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles.*

Nous avons vu plus haut qu'Ingen Housz avait reconnu que c'est seulement sous l'influence de la lumière solaire qu'a lieu la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles; toutes les recherches qui ont été faites depuis sont venues confirmer l'exactitude du fait annoncé par le savant Hollandais; quand on dispose l'appareil décrit § II, et qu'on suit le dégagement de gaz qui se produit régulièrement, on constate que l'émission diminue si le soleil est voilé par un nuage, et qu'enfin elle s'arrête absolument dans l'obscurité.

On conçoit qu'il en soit ainsi: l'acide carbonique et l'eau sont deux corps d'une remarquable stabilité, et pour les décomposer il faut faire intervenir une force énergique; on ne réussit, dans le laboratoire à obtenir leur décomposition qu'à l'aide d'une température très-élevée, et pour qu'elle se produise dans les feuilles, il faut que le soleil fournisse la quantité de chaleur nécessaire à cette décomposition.

Tous les rayons lumineux ne sont pas au reste également efficaces pour la déterminer; les rayons les plus éclatants, jaune et rouge, agissent plus énergiquement que les bleus et les violets.

Influence de la chlorophylle. — Pour que l'acide carbonique soit décomposé par une feuille, il faut d'abord que celle-ci soit vivante; des feuilles placées pendant quelques jours dans l'acide carbonique y meurent, et quand elles sont ensuite placées au soleil dans une atmosphère renfermant de l'acide carbonique, elles sont incapables d'en extraire de l'oxygène, elles sont mortes asphyxiées; des feuilles séchées entre des papiers et qui ne paraissent avoir subi d'autre altération que la perte d'eau sont également devenues incapables de décomposer l'acide carbonique.

Il est remarquable enfin que la seule matière capable de déterminer la décomposition de l'acide carbonique soit la chlorophylle, c'est-à-dire la matière verte qu'on extrait des feuilles quand on les traite par l'éther ou l'alcool. On a reconnu que les parties des feuilles qui sont dépouillées de chlorophylle sont complétement incapables de décomposer l'acide carbonique et que si les feuilles teintées de rouge qu'on observe sur certains arbres (hêtre pourpre, etc.) agissent sur l'acide carbonique, c'est qu'elles renferment de la chlorophylle dont la teinte est masquée par une matière colorante rouge qu'il est facile d'isoler à l'aide de réactifs.

Action des deux côtés de la feuille sur l'acide carbonique. — Il est clair que la décomposition de l'acide carbonique se produit dans les cellules à chlorophylle sous l'influence de la lumière, mais il reste un point à élucider: comment l'acide carbonique pénètre-t-il dans les feuilles, c'est là le dernier point qu'il importe d'élucider.

On sait que l'épiderme qui recouvre les feuilles est percé d'un certain nombre de petits orifices qui portent le nom de stomates et qui paraissent destinés à mettre l'intérieur de la feuille en communication avec l'air extérieur, et on pouvait supposer, au premier abord, que l'acide carbonique pénétrait par ces orifices, mais les observations de M. Boussingault ont établi qu'habituellement les deux côtés de la feuille n'exerçaient pas sur l'acide carbonique une action semblable, et que l'endroit couvert d'une épiderme dure, coriace et lisse, agissait avec plus d'efficacité sur l'acide carbonique que l'envers de la feuille dont la surface plus tendre est percée d'un nombre de stomates beaucoup plus grand, de telle sorte qu'il a fallu renoncer à l'idée que l'acide carbonique pénétrait par les stomates. Des expériences récentes dues à M. Barthélemy ont fait voir comment cette pénétration pouvait avoir lieu plus facilement par l'endroit de la feuille que par l'envers; ce savant a rappelé d'abord les beaux travaux de Graham sur la pénétration des gaz au travers de diverses membranes qui démontrent que la vitesse de passage des gaz au travers de membranes colloïdales est très-variable; si nous représentons par 1 la vitesse de passage de l'azote, nous trouvons que celle de l'acide carbonique est 13,5. On sait qu'au contraire les gaz passent au travers de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

membranes poreuses avec une vitesse qui diminue à mesure qu'ils sont plus denses. Graham a trouvé que cette vitesse est en raison inverse du carré de la densité. On conçoit donc que l'acide carbonique, dont la densité est considérable (1,529), pénètre moins bien au travers de l'envers de la feuille, surface poreuse percée de stomates, qu'au travers de la cuticule qui couvre l'endroit et que M. Barthélemy considère comme ayant plutôt une structure colloïdale comparable à celle du caoutchouc. On trouverait dans ces considérations ingénieuses l'explication du fait observé par M. Boussingault, à savoir qu'en général l'envers des feuilles dégage moins d'oxygène que l'endroit.

§ V. — *Résumé.* — *Formation du glucose dans les végétaux.*

Nous avons longuement insisté sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, car c'est le phénomène capital de la vie végétale; nous verrons dans les chapitres suivants que très-probablement tous les principes immédiats qui existent dans les plantes dérivent d'une matière première, le glucose qui paraît être le produit qui prend naissance au moment où s'effectue la décomposition de l'acide carbonique, et nous voulons, avant d'aborder une autre question, résumer rapidement les faits établis dans ce chapitre.

L'expérience enseigne qu'il est possible de faire développer une plante dans un sol stérile, simplement amendé avec du nitrate de potasse et du phosphate de chaux, et absolument dépourvu de carbone combiné; il faut donc que ce soit dans l'air que la plante puise le carbone qui fait partie intégrante de toutes les combinaisons organiques.

Cet acide carbonique pénètre par diffusion au travers de l'épiderme de la feuille, là il arrive dans la cellule à chlorophylle où il est décomposé sous l'influence du soleil en oxygène et en oxyde de carbone, en même temps une partie de l'eau qui gorge tous les tissus de la plante se décompose à son tour en hydrogène et en oxygène, et tandis que l'oxygène provenant de cette réduction se dégage mêlé à celui qui provient de l'acide carbonique, et donne ainsi un volume de gaz précisément égal à celui de l'acide carbonique primitif, les deux résidus s'unissent pour donner le glucose; l'équation suivante représente la réaction:

$$12\,CO^2 + 12\,HO = 24\,O + C^{12}H^{12}O^{12}.$$

C'est seulement, ainsi que nous l'avons dit, sous l'influence de la lumière solaire que se produit cette décomposition, qui reste un des faits les plus surprenants que nous offre l'étude des phénomènes végétaux; les deux substances qui pénètrent dans les feuilles et qui s'y décomposent, acide carbonique et eau, sont en effet extrêmement stables, et dans les conditions ordinaires de laboratoire l'action d'une chaleur intense est nécessaire pour les réduire; cependant cette décomposition a lieu dans les feuilles sous la seule influence de la lumière solaire, exerçant là une action toute spéciale et dont nous n'avons aucun autre exemple.

Ainsi, ce problème qui a tant préoccupé les naturalistes n'est pas encore complétement résolu. Nous ignorons comment se décomposent l'acide carbonique et l'eau; nous ignorons encore comment s'unissent l'oxyde de carbone et l'hydrogène; mais si le détail du phénomène nous est encore partiellement caché, la grandeur de l'ensemble est saisissante.

En frappant aujourd'hui les végétaux qui couvrent la surface du globe, les rayons solaires y déterminent la formation des principes immédiats qui sont employés à la nourriture de l'homme et des animaux ou qui fournissent les matières premières de son industrie; agissant autrefois sur les plantes de la période houillère, ils ont pendant des milliers d'années accumulé ces immenses réserves de combustible qui animent nos machines.

Depuis qu'il est acquis que le mouvement et le travail ne sont qu'une forme particulière de la chaleur, chacun conçoit que c'est en brûlant dans ses tissus la matière organique formée sous l'influence du soleil que l'animal se meut; que c'est encore en utilisant la chaleur du soleil accumulée dans la houille ou dans le bois que nos machines travaillent, et reconnaît ainsi dans le soleil l'origine de tout le mouvement qui s'exécute sur la terre.

« Ce ne sont pas, disait l'illustre Stephenson en voyant arriver un convoi à toute vitesse, ces puissantes locomotives dirigées par nos habiles mécaniciens, qui font avancer ce train; c'est la lumière du soleil qui, il y a des milliers d'années, a dégagé le carbone de l'acide carbonique pour le fixer dans les plantes qu'une révolution du globe a ensuite amenées à l'état de houille. »

Ce ne sont ni le froment, ni l'avoine, pouvons-nous dire aujourd'hui, qui font mouvoir tous ces êtres qui tourbillonnent autour de nous; c'est la lumière du soleil qui accumule lentement, pour fournir à ce mouvement, la plante immobile; elle absorbe la chaleur et la conserve en réserve pour ces privilégiés de la nature, les êtres animés, qui consomment et dépensent ces forces accumulées. Depuis longtemps on a senti que, sous des formes différentes, la vie avait deux fonctions diverses; on a depuis longtemps écrit qu'elles étaient complémentaires. Cette idée trouve ici un nouveau développement, et nous reconnaissons que l'immobilité de la plante, qui lui permet d'accumuler la chaleur, est nécessaire à la mobilité de l'animal, qui dépense la force ainsi mise en réserve, en transformant cette chaleur en mouvement.

CHAPITRE III.

ASSIMILATION DE L'AZOTE.

§ I. — *Présence des composés azotés dans les végétaux.*

En calcinant certains organes des végétaux, et notamment les graines, on obtient des vapeurs douées de cette odeur nauséabonde qui accompagne la décomposition ignée des matières animales; si la calcination a lieu en présence de la chaux sodée, l'odeur et les réactions caractéristiques de l'ammoniaque apparaissent et ne laissent aucun doute sur la présence de l'azote dans l'organe étudié.

Sous quelle forme cet azote pénètre-t-il dans les plantes? Quelle est son origine? Telles sont les questions que nous allons étudier dans ce chapitre.

Il n'est pas douteux que l'air atmosphérique ne soit le gisement en quelque sorte inépuisable où les végétaux, et par suite les animaux, trouvent l'azote qui entre dans leurs tissus. Un grand nombre de pâturages ne reçoivent jamais aucun engrais, et fournissent cependant une quantité notable de matières azotées qui passent dans les tissus des animaux qui s'y nourrissent ou dans les produits qu'on tire de ces animaux. Les récoltes obtenues d'une terre cultivée renferment habituellement une quantité d'azote supérieure à celle qui existait dans les engrais employés, et c'est encore dans l'atmosphère qu'a dû être pris cet élément.

C'est donc dans l'air que les êtres vivants puisent l'azote qu'ils renferment, mais, avant de pénétrer dans les végétaux, cet azote doit être engagé dans des combinaisons assimilables et nous examinerons successivement l'assimilation de l'azote à l'état de nitrates, à l'état de sels ammoniacaux, à l'état de combinaisons plus complexes dérivant de l'humus, enfin nous rappellerons la discussion qui s'est élevée il y a quelques années au sujet de l'assimilation de l'azote à l'état libre, et nous verrons quelle solution il en faut donner.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

§ II. — *Assimilation de l'azote à l'état de nitrates.*

Que des nitrates puissent se rencontrer dans les végétaux, c'est là ce qui n'est pas douteux puisqu'il est facile de les y déceler; on trouve dans les racines de betteraves provenant de terrains bien fumés des proportions de nitrates sensibles; on en trouve dans les tissus du maïs, notamment encore dans ceux de l'*amaranthus blitum* qui en renferment souvent une proportion assez sensible, pour qu'en faisant brûler la plante sèche on puisse voir se produire une série de petites déflagrations.

Il n'est pas douteux non plus que sur certaines plantes le salpêtre n'exerce qu'une action des plus favorables, c'est ce qu'on a observé depuis longtemps: Dygbée au dix-septième siècle; Heushan, cité par l'abbé de Vallemont, au dix-huitième, estiment que le salpêtre est un engrais très-efficace; aujourd'hui l'azotate de soude est l'objet d'un commerce important, il est mêlé à un grand nombre d'engrais composés, et souvent aussi employé directement dans les mélanges salins désignés sous le nom d'engrais chimique.

Les expériences exécutées dans des sols stériles, par M. Boussingault et par M. G. Ville, démontrent au reste très-nettement l'efficacité des nitrates. L'assimilation de l'azote du nitrate est dans les expériences de M. Boussingault tellement évidente, qu'on voit en quelque sorte le poids de la matière végétale formée être proportionnel à la quantité de nitrate qui a pénétré dans la plante. On en jugera par les chiffres suivants, obtenus dans des expériences où le poids de nitrate de potasse mis à la disposition des plantes a été en augmentant régulièrement. Dans chacun des quatre vases employés étaient placés 145 grammes de sable calciné et deux graines de *helianthus argophyllus* pesant 0 gr. 110. La végétation dure cinquante jours, du 15 août au 4 octobre inclusivement.

L'eau d'arrosage, exempte d'ammoniaque, contenait environ le quart de son volume d'acide carbonique. Les plantes ont crû en plein air, à l'abri de la pluie.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	POIDS DES PLANTES desséchées.	POIDS DES PLANTES en défalquant la semence.	RAPPORT DU POIDS de la plante à la semence.
N° 1. Sans nitrate.	0.507	0.397	4.6
N° 2. 0gr.02 de nitrate. . . .	0.830	0.720	7.6
N° 3. 0 .04.	1.240	1.130	11.3
N° 4. 0 .16.	3.390	3.280	30.8

Dans une autre expérience, M. Boussingault a fait intervenir dans le sable calciné non-seulement un nitrate, mais encore les matières minérales nécessaires au développement du végétal, et l'influence du nitrate y est encore des plus remarquables, puisque le poids de matière végétale élaborée monte de 0gr,285 à 21gr,211.

EXPÉRIENCES.	POIDS de la récolte sèche le grain étant 1.	MATIÈRE végétale élaborée.	ACIDE décomposé en 24 heures.	Acquis par les plantes en 86 jours de végétation.	
				CARBONE.	AZOTE.
A. Le sol n'ayant rien reçu.	3.6	gr. 0.285	cc. 2.45	gr. 0.114	gr. 0.0023
B. Le sol ayant reçu phosphate, cendre, nitrate de potasse. . . .	198.3	21.211	182.00	8.446	0.1666
C. Le sol ayant reçu phosphate, cendre, bicarbonate de potasse..	4.6	0.291	3.42	0.136	0.0027

On remarquera que lorsque le nitrate est intervenu dans l'expérience B, la quantité d'acide carbonique décomposé en vingt-quatre heures est arrivée à 182 centigrades, tandis que les plantes sans nitrate n'ont pu en décomposer que de 2 à 3 centigrades; cette énorme différence s'explique facilement, si on se rappelle que la chlorophylle renferme une matière azotée qui ne peut être élaborée quand la plante ne reçoit pas d'engrais azoté; or, comme il résulte des faits exposés dans le chapitre précédent que c'est dans les cellules à chlorophylle qu'a lieu la décomposition de l'acide carbonique, on conçoit facilement que l'abondance de l'engrais azoté ait une influence directe sur la décomposition de l'acide carbonique et, par suite, sur le développement de la plante.

Il ne faudrait pas croire, cependant, que les nitrates agissent avec la même efficacité sur toutes les plantes; nous avons institué sur ce sujet, au Muséum d'histoire naturelle, des expériences de démonstrations; dans une fosse garnie inférieurement de tuiles juxtaposées formant une sorte de drainage et exposant aux racines un obstacle suffisant pour qu'elles ne puissent atteindre la couche sous-jacente, on a placé un sable de rivière exempt de matières organiques; ce sol a été divisé en planches d'égales étendues, qui ont été amendées avec du nitrate de potasse et du superphosphate de chaux, et on y a semé de l'orge et du trèfle; or, tandis que la céréale s'est bien développée et est restée rigide, tandis que dans les planches voisines formées de terres de meilleures qualités elle s'était couchée sous l'influence de la pluie qui a régné si longtemps en 1873, le trèfle n'a végété qu'avec une extrême difficulté, à peu près comme dans un sol absolument stérile. C'est un fait, au reste, qui ressort encore avec la plus grande netteté des expériences des célèbres agronomes anglais, Lawes et Gilbert, que les engrais azotés n'exercent qu'une influence des plus médiocres sur les légumineuses; nous aurons occasion d'y revenir dans un des paragraphes de ce chapitre.

Les nitrates peuvent donc, en général, être consi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

dérés comme des engrais très-efficaces; il est bon de remarquer cependant que leur emploi entraîne souvent des inconvénients graves.

Ils pénètrent avec la plus grande facilité dans les betteraves, en quantités énormes dans les terrains riches, et s'y accumulent souvent de telle sorte que le cultivateur envoie au fabricant de sucre, avec ses betteraves, une notable quantité d'azote, qui non-seulement est perdue pour lui, mais qui est une grande gêne; car le nitrate de soude qui persiste en nature dans la betterave s'oppose à l'extraction facile du sucre; il entraîne celui-ci dans les mélasses.

§ III. — *Assimilation de l'azote à l'état de sel ammoniacal.*

Bien que certaines personnes aient mis en doute l'efficacité des sels ammoniacaux, les preuves de leur utilité comme engrais sont si nombreuses qu'on doit considérer l'ammoniaque comme l'une des formes sous lesquelles l'azote pénètre dans les plantes.

On peut, dans un cours, donner une preuve remarquable de l'influence du sulfate d'ammoniaque sur le développement de la chlorophylle en opérant sur des tabacs; on les sème dans un sol pauvre, ils germent et donnent bientôt des feuilles d'un vert pâle et jaunâtre; on les arrose alors avec des dissolutions étendues de sulfate d'ammoniaque de 1 à 2 grammes par litre et on voit apparaître après quelques jours de nouvelles feuilles dont la teinte vert foncé contraste singulièrement avec la couleur des premières feuilles qui se sont développées avant l'addition de l'engrais azoté.

Au reste, une longue discussion sur ce sujet serait oiseuse aujourd'hui, car si les expériences du laboratoire ont leur utilité, quand il s'agit de guider les praticiens, c'est à ceux-ci qu'est le dernier mot, puisqu'ils opèrent dans les conditions les plus variées et qu'ils ne continuent à employer un engrais qu'autant qu'ils en tirent un bénéfice; or, le prix du sulfate d'ammoniaque n'a cessé de s'accroître depuis plusieurs années; de 45 francs il est monté jusqu'à 50, et même 56 francs les 100 kilogrammes, et c'est là la preuve de son efficacité. Il est à remarquer, au reste, que si son influence est des plus remarquables sur les graminées, elle est faible ou nulle sur les légumineuses.

Ce n'est pas seulement quand elle est combinée avec l'acide sulfurique que l'ammoniaque peut exercer une action utile; dans les eaux d'égout des villes, elle se rencontre surtout à l'état de carbonate, et dans ce cas, encore, elle agit sur les graminées avec une intensité extraordinaire; c'est là ce qui ressort avec la plus grande netteté des travaux publiés en Angleterre par la Commission destinée à étudier les causes d'infection des rivières [1]. On estime que les prairies qui reçoivent en quantités suffisantes les eaux d'égout peuvent atteindre un rendement de 50 tonnes de fourrage vert à l'hectare [2]; d'une manière générale, on admet que l'arrivée sur la prairie de 100 mètres cubes d'eau d'égout amène un surcroît de récolte d'une tonne de fourrage vert.

En France, les eaux d'égout de la ville de Paris ont été utilisées partiellement dans la plaine de Gennevilliers; sous leur influence, on obtient des récoltes maraîchères remarquables. Il n'est pas de culture qui soit plus productive que celle des maraîchers; à l'heure qu'il est, avec leurs seules ressources, en charriant péniblement les engrais de la ville aux champs, en montant l'eau des puits à l'aide du manége et la distribuant à l'arrosoir, ils arrivent à pousser le rendement de l'hectare à 2000 ou 3000 francs, tandis que la grande culture atteint à peine un millier de francs et reste habituellement au-dessous de 500. A quel taux arriveront ces habiles jardiniers quand ils auront à leur disposition l'eau et l'engrais? Si l'on en jugeait par les essais faits dans les champs d'expérience de Gennevilliers, on ne peut douter qu'ils dépassent 3000 francs et qu'ils atteignent 5000 francs, et au delà.

Les faits précédents établissent donc avec la plus grande netteté que les sels ammoniacaux peuvent être assimilés par les végétaux aussi bien que les nitrates; il est remarquable, au reste, que la transformation de l'ammoniaque en acide azotique se fait avec la plus grande facilité dans les terres perméables où l'air pénètre aisément; c'est ce qui ressort, de la façon la plus claire, des analyses données par les auteurs anglais des eaux d'égout à l'entrée et à la sortie des terres; tandis qu'à l'arrivée l'eau d'égout ne renferme que des composés organiques azotés de l'ammoniaque et pas de nitrate, à la sortie, au contraire, elle ne renferme plus guère de composés organiques, pas d'ammoniaque, mais, en revanche, une proportion de nitrate assez considérable [1].

§ IV. — *Assimilation de l'azote sous forme de matières ulmiques.*

Nous avons vu plus haut que du trèfle ou de la luzerne semés dans une terre stérile, mais amendée avec des sels ammoniacaux, des nitrates et des engrais minéraux, ne donnent que des récoltes les plus médiocres; tous les praticiens savent qu'on n'améliore pas une prairie artificielle en la fumant; généralement, sous l'influence du fumier de ferme, les graminées prennent un grand développement, mais les légumineuses sont loin de prospérer de la même façon, de telle sorte qu'il est certain que l'azote ne doit pas être présenté aux légumineuses sous la même forme qu'aux graminées.

On a supposé d'abord que les légumineuses avaient la propriété de s'assimiler l'azote libre de l'atmosphère, mais cette assimilation, comme nous le verrons plus loin, n'a jamais été démontrée; on ne comprendrait pas de plus, si elle avait lieu, comment les praticiens ont reconnu qu'il était utile de ne faire revenir la luzerne sur le même sol qu'à un intervalle de dix, quinze ou vingt ans; en effet, on ne trouverait pas une explication de cette pratique agricole universellement suivie en supposant que la luzerne a épuisé le sol des principes minéraux indispensables à son développement, car on ne rétablit pas du tout une vieille luzerne en lui prodiguant les engrais minéraux; il faut donc en conclure que ces plantes puisent leurs aliments dans des composés complexes de matière ulmique qui se forment lentement dans le sol par la réaction de l'ammoniaque des

1. Report of the commissionners appointed in 1868 to inquire into the best means of preventig the pollution of rivers. London, 1868-1870. George Edward Eyre. M. Ronna vient de résumer les travaux des ingénieurs anglais dans un ouvrage important : *Egouts et Irrigations*.

2. Les rendements précédents sont énormes et le lecteur craindra peut-être quelques erreurs dans la conversion des mesures anglaises; je vais montrer cependant que les différents éléments du calcul de l'auteur anglais s'accordent bien avec ce que nous savons du rendement obtenu en France des prairies non irriguées. On a trouvé que 100 tonnes de *sewage* répandues développent une tonne de fourrage; or, l'hectare de la ferme de Lodge Barking sur lequel les rendements précédents ont été observés a reçu 13,654 tonnes d'eau d'égout, qui ont dû produire 136 tonnes, 54 de plus que le rendement ordinaire qui est dès lors 150 tonnes — 136,56 = 13 tonnes 46. Or, une prairie d'Alsace rend en moyenne 4,650 kilos de foin sec, qui pesés verts auraient fourni 17,000 kilos d'herbe, nombre analogue à celui que produit la prairie anglaise non irriguée, et qui montre l'exubérance de la végétation des graminées arrosées avec les eaux d'égout.

1. Le lecteur trouvera, dans notre *Cours de chimie agricole*, Hachette, 1873, quelques-unes des analyses données par les ingénieurs anglais chargés de l'étude des causes d'infections des rivières.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

engrais sur les matières carbonées provenant des résidus des récoltes précédentes, ou même par l'action de l'ammoniaque formée directement au moyen de l'air réagissant sur ces mêmes matières carbonées.

Ces produits noirs, dits *composés ulmiques*, sont sans doute analogues à ceux qui se trouvent dans le fumier et qui ont été étudiés par M. P. Thénard; ce savant éminent a reconnu qu'ils se modifient peu à peu sous l'influence de l'air en perdant du carbone, et que c'est seulement après cette perte qu'ils deviennent solubles dans les alcalis, de telle façon que le temps est non-seulement un élément nécessaire à leur formation, mais encore aux métamorphoses nécessaires pour qu'ils puissent prendre une forme assimilable.

Si on admet cette hypothèse, si on admet que les légumineuses trouvent seulement leurs aliments dans les composés ulmiques, insolubles dans l'eau, mais solubles dans les alcalis, on conçoit, d'une part, comment ces plantes ne profitent pas des nitrates ou des sels ammoniacaux au même degré que les graminées, comment il faut qu'un certain temps se soit écoulé pour qu'il soit possible de faire revenir utilement les légumineuses sur le même sol, puisqu'il faut que les principes ulmiques épuisés par la culture précédente aient eu le temps de se reformer, comment les engrais alcalins réussissent d'une façon remarquable au commencement de la culture d'une légumineuse, puisqu'ils dissolvent les principes ulmiques qui leur servent d'aliments, comment, enfin, ils n'exercent plus qu'une très-faible action sur une vieille luzerne qui a déjà épuisé les principes ulmiques du sol, puisque l'alcali, qui n'agit que comme dissolvant, ne trouve plus rien à dissoudre.

§ V. — *Assimilation de l'azote à l'état libre.*

L'intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation n'est pas douteuse; les prairies hautes des montagnes qui ne reçoivent comme engrais que les déjections des animaux qui y passent la belle saison supportent, sans perdre leur fertilité, une exportation constante d'azote; les animaux augmentent leur poids, ils donnent des produits azotés, laine, fromage, etc., qui ont pris un de leurs éléments dans le sol de la pâture qui se trouverait forcément appauvri, si l'azote atmosphérique ne venait réparer les pertes constantes qu'il subit. Une forêt régulièrement exploitée perd également, dans les matières albuminoïdes du bois exporté, une partie de l'azote contenu dans son sol, cependant sa puissance productrice reste constante; enfin quand on établit la composition des engrais que reçoit une surface déterminée, puis qu'on détermine d'autre part la richesse en azote des récoltes qu'on en tire, et qu'on calcule, d'après le poids de ces récoltes, la quantité d'azote qu'elles renferment, on trouve encore très-habituellement qu'il y a plus d'azote dans les récoltes qu'il ne s'en trouvait dans l'engrais, d'où il faut conclure que l'azote atmosphérique vient combler la différence constatée entre l'azote introduit et l'azote exporté.

Comment se fait cette restitution? C'est ce que nous allons examiner dans ce paragraphe.

Une longue discussion s'est établie il y a déjà une vingtaine d'années sur ce sujet, entre M. G. Ville et M. Boussingault; d'après M. G. Ville, des plantes développées dans un sol stérile, amendé avec une certaine quantité de nitrate de potasse, renfermaient, au moment de la récolte, plus d'azote qu'il n'en existait au commencement de la culture dans la graine et dans l'engrais, d'où il avait conclu que l'azote atmosphérique avait pénétré directement dans la plante, pour y former les composés complexes qu'on y rencontre. M. Boussingault entreprit pour vérifier cette assertion nombre d'expériences, mais, moins heureux que M. G. Ville, il ne put jamais constater le moindre gain d'azote libre; en Angleterre, des expériences conçues sur le même plan que celles de M. Boussingault furent entreprises par MM. Lawes, Gilbert et Pugh, elles conduisirent encore à des résultats négatifs; les plantes semées dans des sols stériles, amendés avec des quantités variables de nitrates ou de sels ammoniacaux, ne renfermèrent jamais plus d'azote qu'on ne leur en avait fourni, l'azote libre de l'atmosphère ne s'était pas fixé dans leurs tissus.

L'origine du gain d'azote incontestable que fait la végétation restait donc complétement inconnue avant les recherches que j'ai entreprises sur ce sujet. On sait que lorsqu'une matière végétale se décompose, elle peut dégager une partie de son hydrogène à l'état libre, surtout quand elle est en présence d'un alcali qui détermine la formation d'acide carbonique; prenons, par exemple, du glucose et mettons-le au contact de soude ou de potasse, et nous pouvons concevoir qu'il se décompose de la façon suivante:

$$C^{12}H^{12}O^{12}+6(NaOHO)=6C+6CO^{2}Na^{2}O+6HO+12H$$

Or, si cet hydrogène se trouve en présence d'azote atmosphérique, il s'unira à lui pour donner de l'ammoniaque; la cause déterminante de cette union étant sans doute le dégagement de chaleur qui accompagne la formation de l'acide carbonique, par suite d'une sorte de combustion interne.

Ce que l'équation précédente permet de prévoir se réalise facilement dans le laboratoire; qu'on attaque du glucose à l'aide de soude ou de potasse caustique, puis qu'on fasse passer au travers du mélange un courant d'azote, et on obtiendra un composé renfermant 5 ou 6 millièmes d'azote, c'est-à-dire à peu près ce qui existe dans le fumier de ferme; il est à remarquer que si on substitue au courant d'azote un courant d'air, on obtiendra un résultat beaucoup moins avantageux; on conçoit aisément, en effet, que l'hydrogène libre se trouvant en présence d'oxygène et d'azote forme plus facilement de l'eau que de l'ammoniaque.

On réalise encore cette fixation d'azote à froid en plaçant sur le mercure une atmosphère exactement mesurée de ce gaz avec diverses matières végétales capables d'émettre de l'hydrogène, du glucose attaqué par un alcali, de l'humus du vieux bois, etc.; la condition favorable est encore l'absence de l'oxygène[1].

Or, de semblables réactions peuvent prendre naissance dans la terre arable; quand des matières végétales s'y décomposent, elles commencent par métamorphoser tout l'oxygène qui y est confiné en acide carbonique, puis l'hydrogène provenant de la décomposition de la matière végétale s'unit à l'azote et y produit de l'ammoniaque qui se combine enfin aux matières carbonées, et forme ainsi ces composés complexes qu'on rencontre en quantités si notables dans les sols des prairies, dans les bois, dans les terres abandonnées à la végétation spontanée. On sait, en effet, que de semblables terres peuvent donner, au moment de leur défrichement, de bonnes récoltes de céréales, si on leur donne non pas des engrais azotés, puisqu'elles sont abondamment fournies d'azote, mais seulement des phosphates; il est clair, cependant, que si on continue pendant plusieurs années à prélever des récoltes épuisantes sans ajouter d'engrais azotés, on enlèvera peu à peu la réserve qui s'est accumulée pendant les longues années de repos que ces terres avaient traversées et qu'on arrivera à les stériliser.

Toutes les personnes qui ont réfléchi aux questions agricoles savent que la plus grande difficulté qu'on rencontre actuellement est l'insuffisance des engrais azotés que le commerce peut mettre à la disposition de l'agri-

1. Voyez pour le détail des expériences les *Annales des sciences naturelles, botaniques*, tome XVIII, 1873; ou *Bulletin de la Société chimique*, tome XVIII, 1873.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

culture; cette disette est due à l'ignorance où nous sommes d'un procédé qui permette de faire entrer directement l'azote atmosphérique en combinaison soit avec l'hydrogène pour former l'ammoniaque, soit avec l'oxygène pour produire de l'acide azotique; or, les considérations précédentes indiquent un moyen qui est à la portée de tous les cultivateurs qui veulent augmenter la proportion d'azote combiné qui existe dans le sol arable; ce procédé consiste dans l'emploi régulier des engrais verts. Imaginons, en effet, qu'après qu'une céréale a été récoltée, on procède à un déchaumage, puis qu'on sème immédiatement une graine, moutarde, colza, etc., elle végétera pendant les quelques mois d'automne, puis quand sa croissance sera arrêtée par la mauvaise saison, on donnera un labour de façon à l'enfouir, et par-dessus un coup de rouleau; on aura ainsi placé dans le sol une matière végétale qui se décomposera certainement, elle transformera bientôt l'oxygène confiné en acide carbonique, et l'hydrogène dégagé en s'unissant à l'azote produira de l'ammoniaque qui formera, avec la matière carbonée, un de ces composés ulmiques dont nous avons reconnu l'influence directe sur les légumineuses, et qui sont, en outre, une source de nitrates dont les effets sur les céréales sont si remarquables.

Il est très-possible que l'influence heureuse qu'exerce le trèfle sur la céréale qui suit soit due à la fixation de l'azote atmosphérique qui se produit dans le sol où il a été enfoui. Le nom qu'on lui a donné de plante améliorante est peut-être dû uniquement à l'abondance des résidus qu'il laisse dans le sol, et qui équivalent, d'après leur richesse en azote, a une demi-fumure, mais qui sont en outre une occasion importante de fixation d'azote atmosphérique.

Si ces réactions favorables ne se produisaient pendant la décomposition des débris laissés dans le sol par la luzerne ou le trèfle, on ne comprendrait pas comment une plante qui prélève sur le sol des quantités notables d'azote et d'acide phosphorique serait considérée depuis longtemps par les cultivateurs comme laissant le sol dans un état de fertilité supérieur à celui où il se trouvait au moment où elle y a été introduite.

CHAPITRE IV.

ASSIMILATION DES SUBSTANCES MINÉRALES PAR LES PLANTES.

Tous les organes végétaux laissent, après la calcination des substances minérales, des cendres qui sont utilisées par l'industrie, soit pour les alcalis qui s'y rencontrent habituellement, soit pour l'extraction de l'iode que les plantes marines concentrent dans leurs tissus, comme beaucoup de plantes terrestres concentrent de la potasse.

Si quelques-unes de ces matières ne paraissent avoir pour la végétation qu'une importance médiocre, il en est d'autres, au contraire, qui semblent indispensables au développement des plantes et qui sont devenues l'objet d'un commerce considérable. On sait que les phosphates sont aujourd'hui recherchés dans le monde entier et que pour la culture du sarrazin en Bretagne, pour celle des turneps en Angleterre, enfin pour les céréales semées sur les défrichements, ils constituent un engrais du premier ordre.

Il est donc intéressant pour le cultivateur de savoir comment les plantes peuvent prendre dans le sol les substances minérales qui s'y trouvent, il est encore plus important pour le physiologiste de saisir le mécanisme de cette assimilation. L'analyse de plantes d'espèces différentes développées sur le même sol indique, en effet, qu'elles n'ont pas pris indifféremment toutes les substances solubles que renferme la terre arable; mais qu'elles ont, au contraire, choisi certaines matières de préférence à certaines autres. C'est ainsi que si on détermine la composition d'un trèfle encore vert qui s'est développé dans un blé, dans le même sol, par conséquent, et qu'on compare la composition de ses cendres à celles du blé, on trouvera dans la légumineuse la chaux et la potasse en quantités notables et presque pas de silice, tandis qu'au contraire en rencontrera dans les cendres de la céréale une quantité notable de silice, et des proportions infiniment plus faibles de potasse et de chaux.

Comment a lieu cette assimilation élective? comment peut-on expliquer que deux plantes différentes vivant dans le même sol y aient pris des substances minérales différentes? Telle est la question que nous allons étudier dans ce chapitre.

§ I. — *De l'état dans lequel se trouvent les substances minérales dans les plantes.*

Le mode de recherche que nous avons suivi pour étudier cette question a consisté à soumettre les différents organes végétaux à l'action de réactifs susceptibles d'agir sur les substances minérales qui y étaient contenues, de façon à reconnaître si les substances minérales présentaient leurs propriétés normales ou si, au contraire, elles affectaient des propriétés nouvelles; si, par exemple, nous trouvons que la silice qui, lorsqu'elle n'a pas été calcinée, se dissout très-bien dans les alcalis, résiste à leur action lorsqu'elle est dans un tissu végétal, nous pourrons conclure qu'elle y est combinée; si nous voyons que l'iodure de potassium, qui est extrêmement soluble dans l'eau, ne se dissout pas dans ce liquide lorsqu'il est contenu dans les tissus d'un fucus, tellement que pour l'extraire il faille commencer pour brûler la plante, nous devrons conclure encore que l'iodure de potassium est engagé en combinaison avec la matière végétale; si, au contraire, en attaquant les feuilles par de l'acide chlorhydrique étendu, nous trouvons que le carbonate de chaux qui s'y trouvait se dissout comme s'il était isolé, nous pourrons conclure qu'il n'est pas engagé en combinaison avec la matière végétale, mais qu'il s'est simplement déposé dans les tissus par suite de l'évaporation de l'eau qui a traversé la plante.

Ce mode de recherche nous a conduit à reconnaître que les substances minérales peuvent se rencontrer dans les plantes sous les états suivants:

Déposées par l'évaporation de l'eau;
Combinées.

Il convient en outre de distinguer les combinaisons régulières qui affectent les bases avec les acides végétaux des combinaisons plus complexes qui unissent les matières végétales neutres aux substances minérales, et qui sont sans doute du même ordre que celles qui sont réalisées dans l'art de la teinture, et notamment dans l'opération du mordançage où l'on voit une substance soluble comme l'alun enlevé à son dissolvant par une fibre végétale, former avec elle une combinaison insoluble.

§ II. — *Substances minérales déposées par évaporation.*

On rencontre le carbonate de chaux et la silice dans les feuilles d'un grand nombre de plantes herbacées ou ligneuses, et la proportion de ces matières augmente singulièrement avec l'âge des feuilles; c'est ainsi que le docteur Zoeller a trouvé, dans les cendres des feuilles de hêtre analysées à diverses époques de leur croissance, les quantités de carbonate de chaux suivantes:

16 juin.	17.55	pour 100 de cendres.
18 juillet. . . .	47.25	—
14 octobre. . .	60.80	—
Fin novembre..	60.94	—

Les nombres qui se rapportent à la silice sont les suivants:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

16 juin. . . .	1.19	pour 100 de cendres.
18 juillet. . . .	13.37	—
14 octobre. . .	20.68	—
Fin novembre..	24.37	—

Ainsi, au moment où les feuilles sont tombées, 100 de leurs cendres renfermaient 84.93 de silice et de carbonate de chaux. En général, il suffit de traiter successivement les feuilles par une dissolution d'acide chlorhydrique, puis par une autre de potasse étendue et bouillante, pour leur enlever le carbonate de chaux et la silice qu'elles renferment, et si l'on opère avec l'acide chlorhydrique sous le champ du microscope, comme l'a fait Payen, on peut observer le dégagement de l'acide carbonique, et le gaz renfermé dans les meas presser et entourer les cellules.

D'autre part, en lavant les feuilles avec la soude étendue et bouillante, on arrive à extraire parfois toute la silice qui y était contenue : c'est ainsi que 100 de cendres de feuilles de marronnier normales, renfermant 12.5 de silice avant l'expérience, n'en renfermaient plus après l'action de la dissolution alcaline. Il n'en est pas au reste toujours ainsi, et si l'on opère avec des pailles de blé ou avec des tiges de fougère, on trouve au contraire que la quantité de silice est plus grande dans 100 de cendres lavées avec la soude que dans 100 de cendre de la plante normale; les autres éléments ayant été enlevés en plus grande quantité que la silice, celle-ci a fini par dominer, et c'est la preuve qu'elle n'est plus simplement déposée par suite de l'évaporation de l'eau qui a traversé la plante, mais qu'elle a aussi contracté une combinaison avec la matière végétale elle-même. Nous revenons, au reste, plus loin, § IV, sur cette importante conclusion.

§ III. — *Matières minérales formant avec les principes immédiats des combinaisons définies.*

La potasse se rencontre souvent dans les plantes unie aux acides végétaux : on la trouve dans la *rumex acetosa* unie à l'acide oxalique; dans les raisins à l'acide tartrique, et on sait que c'est précisément de ces combinaisons que l'on extrait ces deux acides végétaux. La chaux se rencontre fréquemment à l'état d'oxalate. Payen, qui a fait de cette question une étude approfondie, a reconnu l'oxalate de chaux dans un grand nombre de plantes phanérogames. On rencontre ordinairement, dit-il, l'oxalate de chaux en cristaux transparents, irradiés ou groupés en sphéroïdes hérissés de pointes, appartenant en apparence à des rhomboèdres, des octaèdres ou des prismes rectangulaires, et terminés soit par des pyramides à quatre faces, soit par des faces irrégulières ou gradins anguleux. Il n'est pas de micrographe qui n'ait eu occasion de constater la présence de ces cristaux dans les tissus des végétaux, et un jeune botaniste distingué, M. Vesque, attaché au laboratoire de culture du Muséum, a reconnu récemment (*Comptes rendus*, janvier 1874) que la forme cristalline de l'oxalate de chaux varie avec la composition chimique du milieu dans lequel le sel se dépose : par exemple les raphides ou cristaux aciculaires se déposent dans une dissolution neutre de dextrine ou de glucose; tandis que si la cristallisation a lieu dans une dissolution acide (acide tannique, malique, citrique, oxalique), l'oxalate de chaux prend la forme de cristaux simples ou maclés du système rhomboïdal. Nous reconnaîtrons un peu plus tard qu'il est très-important pour la théorie des engrais de constater qu'il existe dans les végétaux des matières minérales engagées en combinaison avec des principes acides, principes secondaires produits par oxydation et qui ne paraissent avoir aucune influence sur le développement de la plante elle-même.

§ IV. — *Combinaisons non définies des matières minérales avec les substances végétales.*

Si la chaux et la potasse forment avec les acides végétaux des combinaisons régulières, il est d'autres matières minérales qui paraissent également engagées en combinaisons, mais en combinaisons non définies; nous en fournirons quelques exemples.

Iodures. Quand les végétaux marins renferment des iodures en quantités assez notables pour qu'il soit possible d'y reconnaître l'iode sans traiter des masses trop considérables, on trouve cet iode dans les cendres; mais il est impossible de le caractériser dans l'extrait aqueux obtenu de la plante. En calcinant le *fucus vesiculosus*, on peut, à l'aide du chlore puis du chloroforme ou de sulfure de carbone, obtenir la coloration caractéristique de l'iode; mais il n'a pas été possible d'obtenir la moindre réaction en traitant de la même façon l'extrait aqueux. Ainsi, l'iodure de potassium est probablement engagé dans ces plantes, dans une combinaison assez intime pour résister à l'action de l'eau bouillante; on sait cependant que ce sel est tellement soluble dans l'eau, qu'il est déliquescent.

Chlorures et sulfates. Cette adhérence des iodures à la matière végétale ne se rencontre pas pour toutes les autres substances minérales, dont l'analyse signale la présence dans les plantes marines : c'est ainsi qu'il arrive habituellement qu'en lavant à l'eau bouillante certaines variétés de fucus, et notamment le *fucus vesiculosus*, on arrive à enlever tous les chlorures qui imprègnent la plante normale; en revanche on ne réussit pas en employant la même méthode à se débarrasser de tous les sulfates. Il est donc certain que ces deux sels ne sont pas retenus par la fibre végétale de la même façon : tandis que les chlorures semblent simplement contenus dans l'eau qui gorge la plante et disparaissent avec elle, les sulfates sont retenus avec assez d'énergie pour qu'il soit impossible à des lavages multipliés d'en débarrasser complétement la fibre végétale.

Silice. On rencontre des faits analogues dans les plantes terrestres pour une matière minérale qui s'y rencontre en grande abondance, la silice. Nous avons vu plus haut qu'elle augmente singulièrement de poids dans les feuilles qui avancent en âge, et que, dans ce cas, elle paraît être amenée dans la plante par l'eau qui y circule et s'y évapore; mais elle existe en outre dans certaines tiges herbacées, engagée en combinaison avec la fibre végétale, car elle ne cède plus aux réactifs qui la dissolvent habituellement.

Pour reconnaître à quel état se trouvait la silice dans les végétaux, nous avons soumis ceux-ci à l'action d'une dissolution de soude étendue, marquant 1 degré au pèse-sel et bouillante; on avait soin de renouveler l'eau à mesure qu'elle s'évaporait, on terminait l'opération par un lavage à l'acide chlorhydrique étendu pour enlever l'alcali, et enfin par des lavages à l'eau pure jusqu'à disparition de la réaction acide. On a ainsi trouvé les nombres suivants :

Silice contenue dans différentes tiges avant et après les lavages avec une dissolution de soude étendue et bouillante.

NOMS DES PLANTES EN EXPÉRIENCES.	SILICE dans 100 de cendres de la plante normale.	SILICE dans 100 de cendres de la plante lavée.
Seigle en fleur (mai 1865).	38.2	68.0
Blé vert non encore en fleur (mai 1865).	40.0	87.0
Paille de froment (août). .	70.0	93.0
Bois de chêne.	21.0	0.0
Bagasse de canne à sucre.	67.6	25.9
Bagasse de canne à sucre.	67.6	53.4

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On voit que les tiges des céréales ont abandonné à la lessive de soude et à l'acide chlorhydrique employés presque toutes les matières minérales autres que la silice, mais que celle-ci, au contraire, a persisté jusqu'à former presque la totalité des cendres; il n'en a pas été de même pour le bois de chêne qui a perdu toute la silice qu'il renfermait, ni pour la bagasse de la canne à sucre qui en a perdu également une quantité notable, puisqu'on la trouve dans les cendres lavées en moindre proportion que les autres éléments. Comme les expériences ont été tout à fait comparatives, qu'elles ont duré le même temps et qu'on a employé les mêmes dissolutions, on peut conclure que la silice se trouve dans les pailles des céréales, dans le bois et dans la canne à sucre, sous des états très-différents; elle est dans un cas retenue par une sorte d'affinité capillaire analogue à celle qui retient une matière colorante sur une étoffe mordancée, tandis que dans l'autre elle paraît simplement déposée par évaporation.

Phosphates. Tous les chimistes qui ont dosé à la fois l'azote et les phosphates dans les graines ont été frappés de voir ces deux matières augmenter à peu près parallèlement; les graines les plus riches en phosphates sont en même temps celles qui renferment la plus grande proportion des matières albuminoïdes.

Or, il est facile de se convaincre que les matières azotées sont combinées aux phosphates; en effet, quand on examine des extraits de graines, de tubercules faits à froid, on reconnaît souvent que l'acide phosphorique s'y maintient à l'état soluble dans une liqueur neutre en présence de la chaux, ce qui n'arriverait pas dans un liquide dépouillé de matières organiques. Si l'on râpe des tubercules de pomme de terre, puis qu'on passe le jus au travers d'un linge, et qu'enfin on filtre, il sera aisé de constater dans le liquide la présence de la chaux et de l'acide phosphorique, qui restent en dissolution tant que la matière albuminoïde est soluble; mais, si on coagule celle-ci par la chaleur, une grande partie du phosphate de chaux se précipite, il est devenu insoluble en même temps que la matière azotée, on ne peut plus l'enlever, même en continuant les lavages pendant longtemps, et si on calcine la matière azotée coagulée, on trouve des cendres presque exclusivement composées de phosphates.

Ce fait n'est pas particulier aux tubercules de pommes de terre; dans les graines on trouve encore que l'acide phosphorique est retenu par la matière azotée, même lorsqu'il est engagé en combinaison avec les bases alcalines, que par suite il devrait donner les sels solubles.

Il est donc évident que les phosphates ne se trouvent pas simplement déposés par évaporation dans les tissus des végétaux, mais qu'au contraire ils forment avec les principes immédiats azotés eux-mêmes une véritable combinaison.

Si nous résumons les faits établis dans les pages précédentes, nous reconnaissons que les substances minérales existent dans les végétaux à des états très-différents.

1° Elles peuvent y être simplement déposées par évaporation: tel paraît être le carbonate de chaux dans les feuilles; il disparaît, en effet, par un simple lavage à l'acide chlorhydrique; tel il paraît être aussi dans les arbres où il cède encore sans difficulté aux acides. La silice, dans les feuilles d'un grand nombre d'arbres, se dissout encore dans les alcalis étendus.

2° Elles peuvent être retenues en combinaisons:

A. Avec des principes immédiats, à réactions parfaitement tranchées; l'oxalate de chaux se rencontre dans les tissus d'un très-grand nombre de plantes, il est particulièrement abondant dans les cactus; on extrait des oseilles l'oxalate de potasse; le tartrate de potasse et de chaux se trouve dans les raisins, le citrate de potasse dans les citrons.

B. Mais les substances minérales peuvent être aussi unies aux principes immédiats neutres: les phosphates aux matières albuminoïdes neutres, la silice à la cellulose des tiges de graminées ou de fougères, les sulfates et les iodures aux tissus des fucacées. Ces dernières combinaisons n'ont plus le caractère nettement défini des précédentes; l'adhérence des principes minéraux aux végétaux est variable: tantôt capable de résister à l'action des réactifs énergiques, elle peut parfois céder à des lavages multipliés, ainsi que nous l'avons remarqué pour les sulfates et les chlorures dans quelques plantes marines. Des exemples de ces combinaisons encore mal définies, dans lesquelles les éléments peuvent être retenus, non plus par la force énergique qui est mise en jeu par le contact d'une base ou d'un acide, mais par cette force affaiblie et dégénérée, jusqu'à devenir, suivant l'expression de M. Chevreul, une simple affinité capillaire, nous sont fournis à profusion par l'art de la teinture. Nous savons que les mordants adhèrent aux tissus et résistent aux lavages; nous savons que les matières colorantes se fixent également sur ces tissus mordancés, et ces alliances durables après le mordançage, éphémères au contraire quand la matière colorante est mise directement en contact avec la fibre végétale, nous paraissent avoir de profondes analogies avec les unions plus ou moins stables que contractent les substances minérales avec les tissus ou les principes immédiats des plantes vivantes.

§ V. — *Examen des anciennes hypothèses proposées pour expliquer la composition des cendres.*

L'analyse des cendres démontre que les plantes choisissent, dans la dissolution complexe que renferme le sol, certaines substances minérales, et s'en emparent, se les assimilent à l'exclusion de certaines autres. Qu'on sème dans la même terre du trèfle et du blé ainsi qu'on le fait souvent, et à l'analyse on ne trouvera pas aux cendres la même composition; le blé renfermera surtout de la silice et des phosphates, le trèfle de la potasse et de la chaux. Quel est le mécanisme de cette sélection? c'est ce qui nous reste à étudier.

Examen des organes d'absorption. L'hypothèse la plus simple qu'on puisse faire pour expliquer le choix qu'exécutent les végétaux consiste à supposer que les tissus des racines ne présentent pas la même structure dans les espèces différentes; que les organes d'absorption du blé sont aptes à se laisser pénétrer par la silice ou les phosphates, tandis que ceux du trèfle qui refuseront la silice absorberont au contraire la potasse et la chaux. Il suffit presque d'énoncer cette hypothèse pour voir combien elle est singulière et peu d'accord avec ce qu'enseigne la science actuelle, ennemie des causes occultes. La répugnance qu'inspire cette hypothèse est, au reste, justifiée par l'examen des faits: en soumettant à un examen microscopique attentif les organes d'absorption, il est impossible d'y découvrir les moindres différences correspondant aux différences qu'on remarque dans la composition des cendres des plantes auxquelles ils appartiennent (voyez, sur l'absorption des liquides par les racines, Duchartre, *Traité de Botanique*, page 237, qui relève une erreur généralement répandue). Au reste, pour démontrer qu'il n'existe pas dans les racines une faculté de sélection suffisante pour produire les effets constatés par l'analyse des cendres, on peut avoir recours, comme l'a fait depuis longtemps Trinchinetti, à des expériences directes (*Sulla facolta assorbente delle radice de vegetabili*, Milano, 1863).

Les racines absorbent tous les éléments solubles qui sont mis en contact avec elles. Ce naturaliste a reconnu, en plongeant pendant quelque temps des plantes munies de leurs racines en bon état dans des dissolutions salines variées, que toutes les matières dissoutes pénétraient dans les tissus. Ces expériences paraissent mériter toute confiance, car Trinchinetti eut soin de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

caractériser, à l'aide de réactifs appropriés, les sels qui avaient pénétré dans la plante, et le fait de l'absorption d'une dissolution saline quelconque pourra être considéré comme démontré, quand nous aurons signalé la cause d'une anomalie observée depuis longtemps.

Si on fait l'analyse des plantes qui ont végété dans un sol plâtré, on reconnaît que celles-ci renferment plus de chaux et de potasse que les plantes qui se sont développées dans un sol non amendé avec du sulfate de chaux, mais que la proportion d'acide sulfurique qui existe dans les cendres est loin d'être suffisante pour saturer la chaux et la potasse; et l'on pourrait avoir quelque peine à comprendre un fait semblable et être tenté, par suite, de l'attribuer encore à une faculté particulière aux racines, si l'on n'avait constaté, d'une part, qu'une plante semée dans du coton et arrosée avec de l'eau chargée de sulfate de chaux absorbe très-bien ce sel, et, d'autre part, que le sulfate de chaux enfoui dans le sol ne tarde pas à s'y transformer en carbonate. C'est sous cette nouvelle forme que les bases pénètrent dans la plante; de telle sorte que si l'on ne trouve pas habituellement de sulfate de chaux dans les cendres d'une plante développée sur un sol plâtré, c'est tout simplement parce que ce sulfate de chaux n'y persiste sans modification que pendant peu de temps.

Excrétions des racines. Nous reconnaissons donc, d'une part, que tous les sels pénètrent dans les plantes; de l'autre, que ces principes ne sont pas tous simplement en dissolution dans l'eau qui gorge la plante, mais que quelques-uns d'entre eux sont combinés avec les divers principes immédiats. Si nous pouvions reconnaître dans les plantes la faculté d'excrétion, nous arriverions facilement à comprendre le mécanisme suivant lequel se fait le choix constaté par l'analyse. Supposons, en effet, qu'une dissolution complexe, comme celle qui existe dans le sol, pénètre dans la plante et se répande dans tout l'organisme: elle arrive au contact de différents tissus; quelques-unes des substances minérales introduites perdent leur solubilité, et les autres, après un séjour plus ou moins long dans le végétal, sont expulsées au dehors par les racines: de telle sorte que, lorsqu'on analyse la plante, on n'y trouve plus, bien que tous les éléments solubles contenus dans le sol y aient pénétré, que ceux qui sont capables de contracter quelque combinaison ou ceux qui s'y sont déposés par suite du changement de nature du dissolvant.

Pour que nous puissions admettre cette hypothèse, il nous faudrait démontrer que les plantes sont capables d'excrétion. Cette idée n'est pas nouvelle; elle a été soutenue par plusieurs esprits distingués et notamment par De Candolle[1], qui avait cru pouvoir baser une théorie des assolements sur cette propriété hypothétique; toutefois, toutes les expériences directes qui ont été faites sur ce sujet ont conduit à des conséquences négatives.

On sait que Walter, notamment, a contribué à faire rejeter l'existence d'une exosmose régulière en faisant végéter une plante munie de plusieurs racines dans deux vases différents, de sorte que quelques-unes des racines plongeaient dans l'un des vases renfermant de l'eau distillée, les autres pénétraient dans une dissolution saline. Si les racines sont des organes d'excrétion, si elles peuvent rejeter quelques-uns des principes qu'elles ont pris d'abord, il est probable que la dissolution saline absorbée par l'une des racines se répandra dans toute la plante, puis sera rejetée au dehors, et qu'on retrouvera dans l'eau pure le sel contenu dans l'autre vase. Les expériences furent faites à l'aide du sel marin, du sulfate de soude et de l'acétate de plomb, et conduisirent toujours à des résultats négatifs; dans le dernier cas, il fut facile de reconnaître le sel de plomb dans la plante et même dans les racines plongées dans l'eau pure, mais on ne put en retrouver dans cette eau.

Nous avons nous-même exécuté quelques expériences analogues. Des plantes aquatiques, des lentilles d'eau (*lemna minor*) furent placées dans des dissolutions très-étendues de sulfate de cuivre et de sel ammoniac; on y laissa les plantes quatre ou cinq jours; puis, après les avoir bien lavées, on les remit dans l'eau distillée, qui fut examinée après quelques jours. Il fut impossible d'y découvrir la moindre trace de sel du cuivre ou de chlorure, et l'on sait seulement qu'il existe, pour reconnaître ces substances, des réactifs d'une admirable sensibilité.

Ainsi l'explication de l'accumulation dans les plantes d'un principe minéral, à l'exclusion d'un autre, ne peut s'appuyer sur l'idée que les principes non combinés, non retenus dans la plante, sont éliminés par les racines, et une autre manière de voir doit être proposée.

§ VI. — *Des phénomènes de diffusion.*

Pour arriver à la solution, il nous faut maintenant abandonner l'étude directe des plantes et rappeler les faits découverts par Dutrochet et Th. Graham, relatifs à l'endosmose et à la diffusion. Cette marche, qui paraît détournée, est celle cependant qui nous conduira le plus rapidement au but que nous nous proposons d'atteindre.

Rappelons d'abord une des expériences fondamentales de Th. Graham. On sait que ce savant a démontré que si, au fond d'une éprouvette étroite remplie d'eau, on dépose une dissolution concentrée d'un sel soluble, celui-ci finit par se répandre dans toute la masse; les molécules salines, triomphant de la force de pesanteur, qui semblait devoir les maintenir près du fond du vase, s'élèvent jusqu'en haut de l'éprouvette: elles sont animées d'un mouvement de transport tout à fait indépendant du mouvement du liquide lui-même, et tendent à se répandre dans tout le liquide, comme un gaz se répand dans tout l'espace qui s'offre à lui.

Une paroi poreuse n'oppose qu'une très-faible résistance à cette diffusion: on peut s'en assurer par l'expérience suivante. Dans un vase de verre renfermant une dissolution saline, on immerge un vase poreux semblable à ceux qu'on emploie dans la pile de Bunsen. Ce vase renferme de l'eau distillée, et le niveau du liquide est le même des deux côtés de la paroi; il n'y a, par conséquent, aucun transport de liquide, et cependant l'analyse a démontré que le sel se diffuse au travers de

1. *Physiologie*, p. 248, etc. Il faut remarquer que s'il est impossible de constater l'excrétion d'une substance minérale par les racines, il est vraisemblable que celles-ci émettent un acide fixe au moment de la germination, et très-habituellement de l'acide carbonique. En faisant germer des graines sur du papier de tournesol, on reconnaît facilement que celui-ci se teint en rouge dans tous les points où il a été en contact avec les racines; de plus, celles-ci exercent une action dissolvante remarquable sur les calcaires.

Les expériences qui servent à le montrer sont insérées par M. J. Sachs, dans son *Traité de Physiologie végétale*, p. 210, et l'on a pu en voir les résultats à l'Exposition de 1867. Des graines de différentes plantes (Phaseolus, Multiflorus, Cucurbita Pepo, Tricticum vulgare, etc.) sont semées dans du sable contenu lui-même dans de petites caisses de marbre; les racines se développent et atteignent bientôt le marbre, sur lequel elles rampent dans différents sens. Quand on met fin à l'expérience on voit très-distinctement, sur la surface polie du marbre, la trace de plusieurs racines et de leurs ramifications: les limites de ces empreintes sont nettes; elles sont en moyenne larges d'un demi-millimètre et ressemblent à un trait légèrement marqué avec un burin à pointe large. Les empreintes sont aussi visibles sur de la dolomie; mais sur le plâtre, au lieu d'être en creux, elles sont en relief: les racines ont protégé le plâtre contre l'action dissolvante de l'eau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la paroi poreuse, et après quelques jours, si l'on emploie des dissolutions étendues, on trouve que des quantités égales d'eau prises dans le vase poreux ou en dehors renferment des quantités de sels semblables: l'équilibre est établi.

La présence d'un sel dans l'eau du vase poreux s'oppose à la diffusion du même sel, mais n'apporte qu'un très-faible obstacle à la diffusion d'un sel d'une autre nature. Supposons, pour préciser les idées, que nous ayons placé une dissolution de chlorure de potassium dans le vase de verre et dans le vase poreux; cette dissolution présente, des deux côtés de la paroi poreuse, la même concentration, et, par suite, il ne se fait aucun mouvement de sel d'un vase vers l'autre. On ajoute alors dans le vase extérieur une certaine quantité de sulfate de soude solide : celui-ci se dissout, et bientôt chemine au travers de la paroi poreuse et pénètre dans le vase intérieur.

Plaçons maintenant dans le vase extérieur un mélange de deux sels, et, par un moyen quelconque, amenons l'un des deux à l'état insoluble aussitôt qu'il aura pénétré dans le vase poreux; nous prévoyons facilement ce qui arrivera: les deux sels se diffusent d'abord dans l'eau du vase poreux en quantités que nous supposons égales et, après quelques jours, l'eau intérieure se trouve avoir une concentration semblable à l'eau extérieure et les choses persistent dans cet état si aucune cause perturbatrice n'intervient. Mais nous supposons, au contraire, que l'un des deux sels est amené à l'état insoluble, l'eau intérieure est débarrassée de ce sel, et dès lors la diffusion en entraîne dans le vase poreux une nouvelle proportion pour remplacer celui qui a disparu; une nouvelle précipitation sera bientôt suivie d'un nouvel afflux destiné à rétablir l'équilibre toujours détruit. L'un des deux sels appelé par ces précipitations successives entrera donc dans le vase poreux à différentes reprises, et l'expérience terminée, on l'y trouvera en plus forte proportion que le sel non précipité, qui a cessé de pénétrer dans l'eau intérieure aussitôt qu'elle a été chargée au même degré que l'eau extérieure.

Cette accumulation d'un sel dans le vase intérieur se réalise, par exemple, très-aisément avec du sulfate de cuivre, auquel on ajoute peu à peu, à mesure qu'il se diffuse dans l'eau du vase poreux, de l'eau de Baryte. Dans une expérience où le vase extérieur renfermait au commencement $0^{gr},990$ de sulfate de cuivre, on a trouvé à la fin dans le vase extérieur $0^{gr},293$, et dans le vase intérieur $0^{gr},697$. Dans une autre, l'eau du vase extérieur renfermait d'abord $1^{gr},082$ de sulfate de cuivre, et à la fin de celle-ci $0^{gr},464$, tandis qu'il y avait dans le vase intérieur $0^{gr},718$ de sulfate de cuivre.

§ VII. — *Explication de l'accumulation des principes combinés à l'état insoluble dans les végétaux.*

Cette expérience va nous permettre d'expliquer facilement l'accumulation des principes minéraux qui sont fixés en combinaison par les matières végétales. Nous avons vu que, dans le *fucus serratus*, les sulfates sont retenus à l'état insoluble, tandis que les chlorures sont facilement enlevés par l'eau. Or, nous pouvons comparer la mince pellicule qui recouvre les tissus de la plante à la paroi poreuse de notre vase de porcelaine dégourdie et admettre qu'il y aura diffusion des sels contenus dans l'eau au travers de cette paroi, comme il y avait diffusion des sels de la dissolution extérieure dans l'eau du vase poreux. Les tissus du fucus vont dès lors exercer leur action sur ces sels; les sulfates se combinent; solidifiés par cette union, ils sont soustraits à la dissolution, comme l'était le sel précipité dans l'expérience précédente, et, par suite, une nouvelle quantité de sulfate pénétrera par diffusion dans l'eau qui gorge le tissu, tandis que le chlorure non combiné, se trouvant au même degré de concentration dans l'eau de la mer et dans le liquide de la plante, n'y pénétrera pas de nouveau. On comprend donc que, bien qu'il y ait dans l'eau de la mer plus de chlorures que de sulfates, les sulfates puissent s'accumuler dans le fucus en plus grande quantité que les chlorures.

Ce même raisonnement peut encore s'appliquer aux iodures, qu'on trouve toujours engagés dans des combinaisons insolubles avec les tissus des fucacées, tellement que, pour les caractériser dans ces plantes, il faut d'abord les brûler ou les désorganiser par l'action oxydante de l'acide azotique.

Assimilation de la silice combinée. L'accumulation des principes minéraux combinés dans les plantes terrestres peut être expliquée par un mécanisme analogue. Supposons qu'un grain de froment germe. L'amidon, d'abord liquéfié par la diastase, transformé en dextrine, puis en glucose, éprouve enfin une dernière transformation, et donne naissance à de la cellulose; celle-ci possède une certaine affinité pour la silice, est capable de la rendre insoluble, et nous avons vu qu'une dissolution de soude étendue et bouillante est impuissante à détruire la combinaison formée. Si donc une dissolution complexe, appelée par l'évaporation qui se produit dans la jeune feuille, pénètre par endosmose dans les tissus, la silice qu'elle renferme va être solidifiée. Que cette combinaison se forme au moment même où la cellulose s'organise, ou bien qu'elle se fixe sur la cellulose déjà formée, comme une teinture adhère peu à peu à une fibre végétale déjà filée ou tissée, peu importe; le point qu'il faut mettre en lumière est que la séve est appauvrie de silice, et que, dès lors, un nouvel afflux de la silice contenue dans l'eau qui baigne les racines va pénétrer dans la plante pour remplacer celle qui est devenue insoluble, comme le sulfate de cuivre précipité par l'eau de baryte, devenu insoluble dans l'expérience citée plus haut, était bientôt remplacé par une nouvelle quantité. Aussitôt donc que l'équilibre est rompu, que l'eau qui gorge la plante ne renferme plus la même quantité de silice que l'eau extérieure, une nouvelle quantité doit pénétrer pour remplacer celle qui a été précipitée.

Certainement, en même temps que la silice, sont entrées dans la jeune plante, avec l'eau qu'appelle l'évaporation, les diverses matières solubles contenues dans la terre arable; mais celles-ci restent en dissolution dans la séve, et opposent, par leur présence, un obstacle invincible à l'arrivée de nouvelles quantités.

Ce dernier point est important et nous y insistons. Nous pensons que le lecteur est convaincu qu'une matière qui devient insoluble dans la plante, par suite de la combinaison qu'elle y contracte avec un tissu ou un principe immédiat, doit s'y accumuler, et l'expérience faite avec le sulfate de cuivre et la baryte est, à ce point de vue, démonstrative. Or, si nous avons démontré par l'expérience un des points relatifs à la question que nous traitons actuellement, à savoir que la présence dans un vase poreux d'un sel en dissolution aussi concentrée que la dissolution extérieure formée s'oppose absolument à l'arrivée d'une nouvelle quantité de ce sel, nous n'avons pas encore indiqué d'expérience démontrant que si l'eau qui tient le sel en dissolution s'évapore peu à peu, de telle sorte que la dissolution intérieure se concentre, l'eau pourra pénétrer pour remplacer celle qui a disparu, en laissant au dehors le sel qu'elle tenait en dissolution.

Ainsi, dans les expériences précédentes, nous avons vu le sel se déplacer sans que l'eau l'accompagnât dans son mouvement; maintenant nous devons assister encore à une séparation entre le corps dissous et le dissolvant, mais le dissolvant seul se déplacera, abandonnant le corps dissous.

Expériences de Th. de Saussure. La preuve de cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

séparation nous est donnée par Th. de Saussure dans ses expériences classiques sur l'absorption de diverses dissolutions par les plantes (*Recherches chimiques sur la végétation*, page 247). On sait que l'illustre physiologiste plaça des pieds de *polygonum persicaria* ou de *bidens canabina*, bien pourvus de leurs racines, dans des dissolutions, et qu'il les y a maintenus jusqu'au moment où ils avaient fait disparaître par évaporation la moitié de l'eau dans laquelle ils végétaient. Th. de Saussure analysa l'eau restant dans les vases, quand l'expérience fut terminée; il constata que « les plantes avaient absorbé toutes les substances qui leur avaient été présentées, mais qu'elles avaient sucé l'eau en beaucoup plus grande raison que les corps qui étaient dissous. » Cette expérience nous donne donc la démonstration dont nous avions besoin; elle nous prouve que lorsqu'un sel se trouve dans les liquides qui gorgent la plante en quantité égale à celle qui existe dans la dissolution extérieure, il cesse de pénétrer dans la plante, sans que cependant le mouvement de l'eau soit interrompu.

Il est bien clair que, plus les sels qui se trouvent dans l'eau y sont en dissolution concentrée, plus aussi la quantité qui pénètre dans la plante est grande: aussi rencontre-t-on dans les plantes tropicales des quantités parfois considérables de salpêtre; les betteraves venues sur des terres très-salées se chargent également de sel; et enfin, lorsque les eaux que renferme le sol se concentrent par évaporation, les plantes cessent de pouvoir y vivre.

Diffusion des matières solubles au travers des colloïdes. Dans les pages précédentes nous étendons à une plante fixée dans la terre par ses racines les résultats obtenus avec des dissolutions. L'assimilation est-elle possible? Peut-on admettre que la diffusion aura lieu au travers de la terre arable et au travers des tissus de la plante, comme au travers de l'eau et d'un vase poreux? Pour être convaincu que cette assimilation est légitime, on n'a qu'à rappeler un des faits constatés par Th. Graham dans ses mémorables recherches sur la diffusion. On sait qu'il a été conduit à diviser, par rapport à cette propriété, tous les corps en deux grandes classes: les matières colloïdes, telles que la gomme, la gélatine, etc.; et les matières cristalloïdes, qui, ainsi que leur nom l'indique, sont susceptibles de prendre des formes cristallines. Les corps cristalloïdes se diffusent, non-seulement très-bien dans l'eau, c'est-à-dire qu'ils s'y déplacent, comme nous l'avons dit déjà, en dehors de tout mouvement du liquide, mais encore ils se diffusent également bien dans les colloïdes. Ainsi, qu'on place, à l'imitation de Th. Graham, dans une éprouvette étroite, une gelée d'amidon, puis qu'on dépose au fond du vase une dissolution colorée, et l'on verra cette dissolution monter dans l'amidon et le colorer peu à peu; dans toute autre matière gélatineuse, la dissolution eût cheminé de même, et l'on est en droit d'affirmer que la plupart des sels se diffusent encore avec la même facilité dans un sol argileux.

Il est un point, cependant, sur lequel il importe d'insister: les colloïdes en dissolution ne se diffusent pas au travers des masses colloïdales comme au travers de l'eau. Ainsi, s'il est possible de faire cheminer du chlorate de potasse au travers de la gelée d'amidon, on ne réussirait pas à y diffuser de la gomme, et l'on pourrait se demander si la silice, facile à obtenir en gelée, n'est pas un colloïde, et, par suite, si la terre argileuse, colloïdale elle-même, n'opposera pas un obstacle absolu à sa diffusion. Cette objection serait sérieuse pour une dissolution concentrée de silice; mais on voit, dans les expériences de dialyse de Th. Graham (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1862, t. LXV, page 169), que l'acide silicique soluble et très-dilué a toujours traversé la membrane colloïdale, et cette expérience suffit à expliquer comment les dissolutions extrêmement étendues, répandues dans la terre arable, peuvent y circuler.

Une objection plus sérieuse peut être faite à la théorie que nous proposons. Nous attribuons l'accumulation de la silice, dans les graminées, à la combinaison que cette silice contracte avec la cellulose, et l'on peut se demander pourquoi tous les végétaux ne renferment pas de la silice, puisque tous renferment de la cellulose. Pour que cette objection fût fondée, il faudrait admettre que le squelette de toutes les plantes est formé par la même variété de cellulose; mais cette opinion n'est plus soutenable, aujourd'hui que M. Frémy a constaté que les tissus des végétaux sont constitués par des matières isomériques mais non identiques, et très-diversement attaquées par le réactif de Schweizer, obtenu en dissolvant le cuivre dans l'ammoniaque.

Il nous paraît donc probable que si les graminées se chargent de silice, tandis que les légumineuses n'en prennent pas, cette différence est due à l'existence, dans les premières, d'une cellulose capable de se combiner avec la silice, tandis que la cellulose des légumineuses, isomère, mais non identique à la précédente, ne peut contracter une union semblable.

§ VIII. — *Assimilation dans les végétaux des phosphates et des bases.*

Si les bases se rencontraient toujours dans les végétaux à l'état insoluble, comme la chaux à l'état d'oxalate ou de carbonate, leur accumulation serait produite par des causes semblables à celles qui déterminent l'assimilation de la silice par les graminées: mais, en réalité, il n'en est pas ainsi, et l'on rencontre souvent dans les tissus des matières minérales en quantités notables, bien qu'elles y soient en dissolution: le tartrate de potasse dans les raisins, le citrate et l'oxalate de potasse dans les pommes de terre, l'oxalate de potasse encore dans les betteraves et dans les oseilles, sont en dissolution dans les liquides qui gorgent les cellules; il en est de même des phosphates, qui, dans les feuilles ou dans les tubercules, restent solubles, et ne se précipitent que lorsque l'albumine qu'ils accompagnent se coagule.

Pour comprendre le mécanisme de l'assimilation des matières minérales qui sont en combinaison dans les végétaux, mais qui y forment des combinaisons solubles, nous allons recourir encore une fois aux expériences exécutées à l'aide de vases inertes.

Supposons qu'on place de l'eau distillée dans un vase poreux de la pile de Bunsen, et qu'on immerge celui-ci dans une dissolution complexe, formée, par exemple, de bicarbonate de soude et de chlorure de potassium: on reconnaîtra, après quelques jours, que les deux sels sont entrés en quantités égales dans l'eau intérieure, ils se sont diffusés avec la même rapidité. Changeons maintenant le liquide contenu dans le vase poreux et plaçons à l'intérieur un acide, et voyons ce qui arrivera. L'expérience a porté sur un mélange de $3^{gr},111$ de bicarbonate de potasse et de $3^{gr},111$ de sel marin dissous dans les 150 centigrammes du vase extérieur; intérieurement, on avait placé 50 centimètres cubes d'acide sulfurique très-dilué. Après vingt-quatre heures, on a trouvé que la liqueur extérieure avait perdu $0^{gr},825$ de bicarbonate de potasse, et seulement $0^{gr},210$ de sel marin; on a reconnu que la diffusion avait eu lieu du vase extérieur vers l'acide intérieur, car la liqueur extérieure ne renfermait que des traces d'acide sulfurique.

On peut conclure de ces essais que la présence dans le vase poreux d'une substance capable de se combiner avec l'un des sels contenus dans le vase extérieur détermine la diffusion plus abondante de celui-ci. Cette cause perturbatrice modifie donc profondément les lois de la diffusion; tous les éléments solubles n'entrent plus avec la même vitesse: l'un s'accumule rapidement dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le vase poreux, tandis que l'autre, sollicité seulement par la force de diffusion, n'y pénètre qu'avec une certaine lenteur, et si l'on met fin à l'expérience après un certain temps, on pourra dire que le vase poreux renfermant un acide a fait une sorte de choix dans les substances qu'il avait à sa disposition, et qu'il a pris l'une en plus grande quantité que l'autre.

Revenons maintenant aux plantes, et considérons une pomme de terre dont les tubercules sont enfouis dans une terre meuble suffisamment humide et renfermant, par exemple, du carbonate de potasse et du sel marin. Par suite probablement d'un phénomène d'oxydation de l'amidon contenu dans les tissus, des acides tels que l'acide citrique ou l'acide oxalique apparaissent; ils s'unissent au carbonate de potasse qui a pénétré par diffusion dans les cellules de la pomme de terre, comme l'acide sulfurique s'unirait au carbonate de potasse qui est entré dans le vase poreux. Aussitôt, au reste, que la combinaison est faite, l'eau qui gorge les tissus du tubercule est moins riche en carbonate de potasse que l'eau du sol, et une nouvelle quantité doit pénétrer par diffusion pour remplacer celle qui a contracté une combinaison avec les acides formés.

On expliquerait, par des considérations analogues, l'assimilation des phosphates qui se rencontrent à l'état soluble dans les jeunes feuilles, dans les tubercules, et qui s'y trouvent en combinaison, ainsi que nous l'avons vu plus haut, § IV. On se rappelle qu'on trouve, en effet, dans du jus de pomme de terre par exemple, avant que l'albumine ait été coagulée par l'ébullition, une proportion sensible de chaux et d'acide phosphorique qui ne pourraient rester en dissolution dans une liqueur neutre, s'ils n'y étaient maintenus par une combinaison; et c'est précisément à l'existence de celle-ci que nous attribuons la pénétration des phosphates qu'on rencontre toujours associés aux matières azotées et qui sont peut-être nécessaires à leur formation.

§ IX. — *Accumulation dans les feuilles de substances solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure.*

Il existe un certain nombre de matières susceptibles de se dissoudre dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais insolubles dans l'eau pure: ce sont précisément ces matières qui finissent par former entièrement les cendres contenues dans les feuilles, et il était important de reconnaître ce qui arriverait lorsqu'on soumettrait à l'évaporation spontanée un mélange d'une de ces matières et d'un sel soluble dans l'eau pure. On se servit comme appareil d'évaporation d'une bande de gaze ou d'une mèche de coton dans lesquelles le liquide monte facilement par capillarité, ainsi qu'il est facile de le constater en mouillant la bande de gaze et en la plaçant dans une dissolution colorée.

Pour reconnaître si cette évaporation pouvait faciliter le dépôt des substances insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, on disposa l'expérience suivante: Dans deux vases de verre de forme semblable on plaça respectivement des dissolutions de bicarbonate de chaux et de sel marin; des bandes de gaze plongeaient par l'une de leurs extrémités dans les liquides, et les deux sels s'élevaient dans le tissu.

L'expérience fut arrêtée après quelques jours, et l'on dosa les sels restant dans les deux dissolutions. On connaissait le titre primitif, on put ainsi déterminer quelles étaient les quantités de sels qui s'étaient fixées sur les bandelettes; on reconnut que la dissolution de sel marin avait perdu 27 pour 100 du sel primitif, et le bicarbonate de chaux 62 pour 100. La raison de cette différence nous paraît analogue à celle que nous avons donnée plus haut: pour que l'équilibre d'une dissolution soit établi, il faut que le sel obéissant à la force de diffusion existe en quantité semblable dans tous les points du liquide; si cet équilibre est rompu par une cause quelconque, si le sel disparaît en un point, une nouvelle quantité de sel se dirige vers le point où s'est manifestée la cause perturbatrice. Or, le bicarbonate de chaux en dissolution dans l'eau est un corps très-facile à décomposer: exposé à l'évaporation, l'acide carbonique en excès se dégage, et du carbonate de chaux se précipite; les stalactites, si abondantes dans les grottes des pays calcaires, n'ont pas une autre cause. Le sel marin, au contraire, est très-stable et ne se décompose nullement par l'évaporation. On conçoit donc que, dans les deux vases, il se produise des effets très-différents. Dans l'un, l'eau chargée d'acide carbonique et de carbonate de chaux va s'élever dans les bandes de tulle, mais bientôt, l'acide carbonique abandonnant le carbonate de chaux, celui-ci devient insoluble et se précipite. Dès lors l'équilibre est rompu; de l'eau plus pauvre en carbonate de chaux que celle de la dissolution existe dans les bandes de gaze, et une nouvelle quantité de bicarbonate de chaux va être attirée pour combler le vide qu'a causé l'opération. Cette nouvelle quantité de carbonate de chaux se précipitera à son tour, et le même phénomène se reproduisant constamment, la liqueur s'appauvrira rapidement au profit des bandes de gaze qui se chargent d'une quantité croissante de carbonate de chaux.

Il n'en sera pas de même du sel marin; l'eau, en s'évaporant dans les bandes de gaze, va y laisser une dissolution plus concentrée que celle qui existe dans l'eau même, et cette concentration retardera l'arrivée d'une nouvelle quantité de sel; il y aura même reflux du sel marin des bandelettes vers la liqueur, et si celle-ci s'appauvrit, c'est probablement par suite d'une sorte d'adhérence capillaire exercée par la gaze sur le sel marin.

Si nous mélangeons dans le même verre des dissolutions de sel marin et de bicarbonate de chaux, et que nous y disposions des bandes de gaze, comme il a été dit plus haut, nous obtiendrons encore des résultats semblables à ceux de l'expérience précédente: sur 100 parties de bicarbonate de chaux contenues dans la dissolution, 22 disparaissent, tandis que la liqueur ne perd dans le même temps que 5 de sel marin.

Dans une troisième expérience, on a trouvé que la dissolution avait perdu par l'évaporation dans les bandelettes 14 pour 100 du bicarbonate de chaux qu'elles renfermaient et 7 pour 100 de sel marin.

Des résultats analogues furent encore obtenus avec la silice et le sel marin placés dans un vase de verre garni de bandelettes de gaze: pendant que la liqueur ne perdait que 2,2 pour 100 de sel marin qu'elle renfermait, elle s'appauvrissait de 26 pour 100 de silice.

Enfin, le phosphate de chaux et le sel marin donnent encore des résultats semblables; tandis que la liqueur renfermait à la fin de l'expérience la même quantité de sel qu'au commencement, car on avait eu soin de tordre la mèche de coton servant d'organe d'évaporation pour en exprimer la dissolution concentrée qu'elle renfermait, on trouva que 11 pour 100 du phosphate de chaux avait disparu.

Nous avons donné la composition des feuilles de hêtre à diverses époques de leur croissance, et nous avons reconnu que dans les vieilles feuilles il n'existe plus que du carbonate de chaux et de la silice. Examinons d'abord comment cette accumulation peut avoir lieu; nous reviendrons plus loin sur la disparition des phosphates et de la potasse, qui, abondants dans les cendres des jeunes feuilles, font défaut au contraire dans les cendres des feuilles plus âgées.

Le raisonnement que nous avons appliqué à la concentration dans les mèches de coton et dans les bandes de gaze des matières insolubles dans l'eau pure, mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, s'appliquera également à leur accumulation dans les feuilles ou dans l'écorce. Qu'une dissolution de silice ou de bicarbonate de chaux pénètre en effet dans un végétal, elle tendra à se répandre uniformément dans toute sa masse; elle arrivera aux feuilles: là elle éprouvera une modification particulière. En effet, l'acide carbonique, qui tenait les sels en dissolution, sera évaporé ou décomposé, et par suite le carbonate ou la silice seront précipités; la liqueur qui gorge la feuille ou l'écorce sera donc appauvrie de ces sels solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique mais insolubles dans l'eau pure, et à mesure que la feuille aura plus longtemps fonctionné comme appareil d'évaporation, à mesure elle se sera enrichie de silice ou de carbonate de chaux.

Nous pouvons encore tirer des faits précédents l'explication d'une ancienne observation de Th. de Saussure: « Les cendres de l'écorce contiennent, dit-il, une beaucoup moins grande proportion de sels alcalins que les cendres du bois et de l'aubier. » — « Les cendres de l'écorce contiennent une énorme proportion de carbonate de chaux, » ajoute-t-il plus loin. Et enfin, quand il s'agit d'interpréter ce fait, il écrit: « L'écorce ne se renouvelle que très-lentement; elle est exposée pendant toute l'année au lavage de la pluie et des rosées, elle doit plus qu'aucune partie être dépouillée de sels solubles. » Th. de Saussure reconnaît au reste que cette explication est insuffisante; mais nous n'aurons pas de peine à tirer de nos expériences précédentes la raison du fait qu'il énonce.

L'écorce, comme les feuilles, fonctionne comme un appareil d'évaporation: c'est donc là que l'acide carbonique va se dégager et abandonner le carbonate de chaux qu'il tenait en dissolution; et, comme c'est dans l'écorce que la sève s'appauvrit de carbonate de chaux, c'est vers ce point que le carbonate de chaux se dirigera pour venir rétablir un équilibre à chaque instant rompu. Il n'en sera pas de même des dissolutions alcalines; elles ne se décomposent pas par l'évaporation; elles ne subissent dans l'écorce qu'une concentration encore accusée par la quantité d'alcalis que laisse cet organe à la calcination, mais qui ne forme qu'une faible fraction de la masse totale des cendres. A l'intérieur du bois, la sève est soustraite à toute cause d'évaporation, et elle doit renfermer surtout les principes solubles, dont la proportion centésimale se trouve singulièrement augmentée par suite du transport dans l'écorce des principes insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique.

On voit donc que l'explication de l'accumulation du carbonate de chaux dans l'écorce, que le partage inégal qui se fait des sels alcalins et des sels de chaux entre l'écorce et le bois, reposent encore sur les expériences faites avec le bicarbonate de chaux et le sel marin dans les vases où plongeaient les bandelettes de gaze.

Tel est, d'après les travaux que nous avons poursuivis pendant plusieurs années, le mécanisme de l'assimilation des substances minérales par les plantes[1]. Bien des points restent encore à élucider; nous n'avons d'autre prétention que d'avoir esquissé l'ensemble des phénomènes, en nous appuyant sur les remarquables expériences de diffusion de Th. Graham, qui, dès leur publication, nous avaient vivement frappé[2].

1. Mémoire couronné par l'Académie des Sciences, prix Bordin, 1865. — Le Mémoire est inséré aux *Annales des Sciences naturelles* (Botanique, 1868). — M. Landrin, licencié ès sciences, nous a prêté pendant ce travail le concours le plus dévoué.

2. Voyez, dans l'*Annuaire scientifique* de 1864, l'article *Absorption et sécrétion chez les êtres vivants.*

§ X. — *Des faits encore inexpliqués par la théorie précédente.*

Nous avons essayé d'esquisser dans les pages précédentes le mécanisme de l'assimilation des substances minérales par les végétaux; mais si cette théorie rend compte d'un grand nombre de faits, il en est d'autres encore qu'elle n'explique pas et qu'il importe de signaler, afin que les recherches se portent de préférence sur leur étude.

Nous avons signalé plus haut l'absence de la soude dans un très-grand nombre de plantes. M. Péligot l'a établie avec netteté, mais il n'en a donné aucune interprétation. Il est certainement très-curieux de voir que si on amende une terre avec de l'azotate de soude, du sel marin, même du sulfate de soude, on ne trouvera pas dans les plantes qui se développeront sur les sols qui auront reçu ces substances de traces de soude, si ces plantes ne sont pas comprises dans le catalogue très-restreint qu'a dressé M. Péligot; les pommes de terre, par exemple, négligent habituellement la soude d'une façon complète; nous en avons eu la preuve dans une expérience faite dans le champ d'expériences de l'Ecole de Grignon, où nous avons cultivé des pommes de terre qui ont été arrosées avec du phosphate, de l'azotate, du carbonate de soude ou de sel marin. Les plantes se sont parfaitement développées sans qu'on ait pu signaler de différences sensibles dans leurs croissances, quel que fût le sel de soude qu'on leur eût donné, et à l'analyse des cendres on n'a trouvé que de la potasse, pas de soude.

Des betteraves, au contraire, se chargent très-facilement de sel marin; les nombreuses analyses de salin de betteraves qui ont été faites pour les besoins du commerce le démontrent avec la plus grande netteté, et ces deux faits sont jusqu'à présent inexpliqués[1].

Il en est de même de l'accumulation dans les tissus de certaines plantes d'une quantité considérable de salpêtre: tel est notamment l'*amaranthus* qui croît dans les endroits où le salpêtre abonde, et qui finit par en fixer une telle proportion que la plante sèche fuse au feu très-facilement, et peut même s'enflammer spontanément si elle est desséchée sans précautions. — Quel est le mécanisme de cette accumulation d'un sel soluble? c'est ce que nous ignorons encore, et ce que de nouvelles recherches activement poursuivies peuvent seules nous enseigner.

§ XI. — *Sur l'influence des substances minérales sur le développement des végétaux et sur la théorie de la restitution.*

Les faits établis dans les pages précédentes peuvent-ils nous conduire à des conclusions importantes au point de vue agricole, c'est là ce qui nous reste à discuter dans ce chapitre.

On a admis, sur l'autorité de Liébig, que les substances minérales avaient pour les plantes une extrême importance, et qu'un cultivateur désireux de conserver au sol sa fertilité devait toujours lui restituer toutes les substances minérales qu'il exporte de son domaine. Cette

1. Au moment où la France recherche toutes les matières imposables, pour arriver à équilibrer son budget, il n'est pas inutile de rappeler que les sels de soude se rencontrent très-rarement dans les plantes, et que l'utilité du sel comme engrais n'a jamais été constatée d'une façon précise; il est donc grandement temps de renoncer aux phrases toutes faites sur l'utilité agricole du sel, avec lesquelles on s'efforce de repousser un impôt facile à percevoir, qui pèse sur tous, il est vrai, mais d'une façon extrêmement peu sensible. Le dernier projet soumis à l'Assemblée proposait une surtaxe susceptible de rendre environ 30,000,000 par an: c'est donc une dépense d'environ 1 franc pour chaque habitant de la France, qui serait divisée en un nombre considérable de versements, et qui n'aurait aucun inconvénient pour la production agricole.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

idée est-elle exacte, et devons-nous l'accepter comme un article de foi? Pour répondre à ces questions, il faut d'abord examiner des faits précis.

Remarquons d'abord que l'analyse nous enseigne que la composition des cendres des feuilles varie singulièrement avec leur âge. Tandis que les jeunes feuilles renferment des quantités notables de potasse et d'acide phosphorique, les vieilles feuilles, au contraire, ont perdu ces éléments en même temps sans doute que les matières albuminoïdes, et, au moment où elles tombent, leurs cendres sont presque exclusivement formées de silice et de carbonate de chaux. Ces deux matières s'accumulent dans les feuilles, mais ne sont pas résorbées comme les précédentes; elles ne paraissent jouer aucun rôle dans la vie végétale. Nous nous rappelons de plus, § IX, qu'il suffit de laisser des bandes d'une étoffe légère exposées à l'action de l'air pour les voir se charger du carbonate de chaux ou de la silice dissoute dans l'eau où baigne leur extrémité: or, cette expérience nous enseigne qu'un organe d'évaporation analogue à la feuille par laquelle la plante expulse des quantités d'eau notables finit par se charger des matières dissoutes dans l'eau à la faveur de l'acide carbonique qui ne tarde pas à les y abandonner; l'accumulation des principes déposés par évaporation est un fait purement physique qui ne paraît avoir aucun intérêt pour le développement de la plante elle-même, et qui semble même parfois avoir une influence nuisible sur la végétation.

Il est donc vaisemblable que dans un grand nombre de cas la restitution absolue du carbonate de chaux et de la silice sont inutiles; c'est, au reste, ce qu'a reconnu depuis longtemps la pratique agricole, qui ne s'est jamais préoccupée de rendre au sol de la forêt la chaux contenue dans le bois enlevée au moment de l'exploitation.

Influence de la silice sur la verse des céréales. Il est à remarquer toutefois que la silice n'est pas toujours déposée par évaporation; elle est combinée avec les tissus de quelques végétaux, notamment chez les céréales. Là a-t-elle une influence, et y aurait-il avantage à restituer au sol la silice soluble qui lui est enlevée par les récoltes? On avait cru longtemps que la silice qui se rencontre dans les pailles des céréales contribuait à leur donner une rigidité suffisante pour qu'elles puissent supporter le poids de leurs épis et échapper à la verse; on tira naturellement de cette première idée la conclusion que les céréales qui versaient ne renfermaient pas assez de silice et qu'il pouvait être utile de leur en fournir. En examinant la question de près, M. Isidore Pierre arriva bientôt à reconnaître sur quelles illusions est bâtie cette prétendue utilité de la silice. Quand on examine séparément les feuilles, les nœuds et les tiges des céréales, on reconnaît que la silice est beaucoup plus abondante dans les feuilles que dans les autres organes. Or cette feuille présente deux parties différentes : une gaîne allongée qui, partant du nœud correspondant, enveloppe la tige sur une longueur d'environ 10 à 12 centimètres; cette gaîne doit protéger la portion de la tige qu'elle entoure comme le fourreau d'une épée en protége la lame, et, à ce point de vue, la silice peut avoir dans la feuille où elle s'accumule une certaine utilité. Mais dans les blés exposés à la verse, le limbe qui surcharge la tige de son poids a subi un accroissement considérable, tandis que la gaîne protectrice de la tige n'a pas sensiblement varié dans ses dimensions; l'équilibre naturel peut donc tendre à se rompre par suite de cette végétation luxuriante malgré la présence d'une plus forte proportion de silice dans la plante : « de telle sorte que, s'il était possible de rogner les feuilles d'un blé trop fort, il y aurait quelque chance de prévenir la verse, en privant le blé d'une partie de la silice que contiendrait la feuille. »

Il est, en effet, reconnu depuis longtemps que les blés les plus exposés à verser sont ceux chez lesquels les feuilles ont acquis le plus grand développement. Si l'on fait un rapprochement entre ce fait et la plus grande accumulation de silice dans les feuilles, on ne sera plus surpris de voir que la paille d'un blé versé soit souvent plus siliceuse que celle d'un autre blé qui aura résisté aux causes de verse. Les blés les plus feuillus sont plus portés à verser pour deux raisons: la première, c'est que le pied de la tige couvert par l'ombre des pieds voisins s'étiole, devient blanc et mou; la seconde, c'est que les feuilles plus développées sont pour ces tiges molles un fardeau plus lourd à supporter donnant plus de prise au vent, se surchargeant davantage à l'humidité. On a observé depuis longtemps, au reste, que le blé des terres pauvres ne verse presque jamais, et il est probable que, moins ombragé par ses feuilles, le pied de ses maigres tiges est mieux aéré et par suite plutôt dur et résistant.

M. Velter, ex-répétiteur à Grignon, conclut aussi, des recherches qu'il a poursuivies à cette école, que la verse du blé n'a aucune liaison avec la quantité de silice que cette plante rencontre dans le sol. Ce chimiste a essayé directement sur le blé de printemps l'action du silicate et du carbonate de potasse; le blé de ces parcelles a versé tout autant que celui des parcelles qui n'avaient pas reçu d'engrais alcalin, tandis que la verse a été beaucoup moindre dans une dernière parcelle où le blé avait été éclairci et divisé en petits carrés de $0^m,30$ de côté. Après la récolte, M. Velter a eu l'ingénieuse idée de déterminer par l'expérience la résistance à la rupture que présentent les tiges des diverses parcelles cultivées. Un faisceau de dix tiges fut fixé par son extrémité et l'on détermina sa flexion, d'abord sous le poids de ses épis, et ensuite de poids ajoutés régulièrement jusqu'à la rupture : celle-ci arrive pour le blé silicaté quand il porte 77 grammes, tandis que le blé éclairci ne fléchit que sous un poids de 104 grammes. Enfin M. Velter détermina la composition des cendres des pailles sur lesquelles avaient porté ses expériences: le blé silicaté le plus facile à rompre, celui qui avait versé le plus complétement, renfermait 70 de silice dans 100 de cendres, tandis que le blé éclairci en renfermait 65. Il ressort donc clairement de ce travail, comme des analyses de M. I. Pierre, que la silice n'a pas sur la verse des blés l'influence que très-légèrement on lui avait attribuée; et que, pour éviter la verse, il faut s'efforcer de ne pas exagérer le développement herbacé du blé; c'est ce que savent très-bien les cultivateurs habiles qui ne mettent jamais le blé directement sur une fumure, mais qui le font précéder d'une récolte de racines pour lesquelles un grand développement de feuilles n'est plus à craindre.

Restitution de la potasse. Les ouvrages des chimistes allemands, et notamment de Liebig, proclament l'utilité de la potasse: c'est surtout à propos de cette matière qu'ils établissent l'importance de la restitution complète des quantités exportées hors du domaine. On sait, en effet, que la quantité de potasse que l'agriculture fournit au commerce est considérable ; l'exportation de cet alcali a lieu surtout dans les pays où l'on cultive les betteraves. Quand, en effet, on a traité les jus sucrés, on obtient à la fin du traitement des mélasses qui ne donnent plus de sucre par cristallisation; elles sont alors traitées par l'acide sulfurique pour métamorphoser en glucose le sucre qu'elles renferment encore, puis soumises à la fermentation et distillées; enfin les vinasses évaporées et calcinées laissent des salins vendus à l'industrie chimique qui prélève ainsi sur le sol arable une quantité notable de potasse; l'exportation d'alcali étant considérable, il semblerait qu'il devrait y avoir un avantage marqué à restituer à la terre la potasse qui lui a été enlevée.

Il faut se rappeler toutefois que si la potasse est par-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fois combinée à l'acide phosphorique et le suit dans ses migrations, elle est souvent aussi unie à des acides végétaux: c'est le cas notamment dans les oseilles, dans les raisins, dans les tabacs, et probablement aussi dans les pommes de terre et les betteraves; or ces acides végétaux paraissent être des produits secondaires, des produits d'oxydations qui n'ont pas sans doute grand intérêt pour le développement même de la plante. On conçoit en effet, d'après ce qui a été dit plus haut, que l'apparition dans la plante d'un acide végétal détermine l'absorption d'une quantité équivalente de base et notamment de potasse qui est la plus soluble qui se trouve dans le sol; or, si cet acide végétal n'a par lui-même aucune utilité pour le développement de la plante, si c'est un produit de combustion, comme l'est l'urée pour les animaux, la base qui vient le saturer n'a pas non plus de rôle bien défini, et il ne suffit pas de la trouver dans les cendres pour affirmer *à priori* que la plante ne saurait se développer normalement sans elle.

Des essais réguliers sont donc nécessaires pour établir l'utilité de la potasse et par suite l'importance qu'a sa restitution au sol qui l'a fournie.

Ces essais ont été exécutés à l'École de Grignon par l'auteur de cet article pendant les années de 1866-1867, et on peut les résumer comme suit:

On a fait treize essais d'emploi des sels de potasse à la culture des betteraves, sur trois terres très-différentes et pendant deux saisons, et dans *ces treize essais l'emploi des sels de potasse a été désavantageux*: c'est-à-dire que la faible augmentation de rendement, qui s'est produite irrégulièrement au reste, a été insuffisante pour payer la dépense qu'a nécessitée l'achat des engrais.

On a fait encore *treize essais d'emploi des sels de potasse sur la culture des pommes de terre*, etc. Ces essais, comme les précédents, ont eu lieu pendant deux saisons et sur des terres d'espèces très-différentes; onze fois sur treize on a été constitué en perte.

On a fait encore pendant les saisons 1866, 1867, sur deux terres différentes, douze essais d'emploi des sels de potasse sur la culture du froment, et dix fois sur douze on a obtenu des bénéfices.

Il est donc bien remarquable de voir que la potasse qui ne se rencontre qu'en faibles quantités dans le froment ait eu cependant sur son développement une influence des plus heureuses, tandis qu'elle n'en a exercé aucune sur les plantes telles que la betterave et la pomme de terre, dont les cendres en accusent une proportion beaucoup plus considérable[1].

Les résultats obtenus en 1866 sur la luzerne, à l'aide des engrais de potasse, n'ont pas été avantageux; mais il en aurait peut-être été autrement sur une jeune luzerne, ou sur un sol moins riche déjà en potasse soluble que celui sur lequel nous avons opéré.

Ainsi les engrais de potasse employés, et qui venaient les uns de l'usine de Kalk, près Cologne, et les autres des usines de M. H. Merle, à Alais, ont été avantageux sur la plante qui dans ses cendres avait le moins de potasse; ils ont été au contraire inutiles sur celles qui en renferment une quantité plus considérable, de telle sorte qu'on reconnaîtra qu'il faut tirer de ces expériences cette conclusion: « *qu'il n'est pas possible de tirer de l'analyse des cendres d'une plante l'indication de la natu e des engrais qu'il convient de lui donner*[1]. »

Il ressort donc des expériences précédentes, des conclusions auxquelles sont arrivés les laborieux agronomes de Rothamsted, qu'une matière minérale peut se rencontrer avec abondance dans les cendres d'une plante, sans avoir cependant d'importance pour son développement; il en ressort manifestement que la théorie de la restitution absolue de tous les éléments minéraux enlevés par la culture est loin d'être exacte.

Cette doctrine repose, en effet, sur une idée *a priori*: on a reconnu dans les cendres d'une plante tel élément minéral, et on en a conclu que cet élément minéral était nécessaire à la croissance; on a raisonné avec autant de justesse qu'un ingénieur qui, reconnaissant dans toutes les chaudières des machines à vapeur des incrustations calcaires, en conclurait que la présence de la chaux dans les eaux d'alimentation est nécessaire à la marche de la machine.

Au reste, nous n'avons pas à nous appuyer ici seulement sur des considérations théoriques; la pratique agricole est avec nous. L'agriculture moderne présente en effet, aujourd'hui, un marché ouvert à tous les engrais réellement utiles: eh bien, malgré tous les efforts qui ont été tentés, on n'a pas pu arriver jusqu'à présent à établir des transactions importantes sur les sels de potasse, et tandis que les agriculteurs n'hésitent pas à consommer des quantités notables de phosphate et à acheter à des prix élevés les matières azotées, ils délaissent presque complétement les engrais de potasse, ce qui certainement n'aurait pas lieu si la potasse avait une influence marquée sur le développement des végétaux.

Restitution des phosphates. Si nous reconnaissons que la doctrine de la restitution au sol des matières minérales enlevées par la culture est exagérée, en ce sens qu'elle s'applique sans distinction à toutes les substances qu'on rencontre dans les cendres des végétaux, nous sommes loin de vouloir imposer une opinion opposée et proclamer que le cultivateur ne doit se préoccuper d'aucune de ces matières minérales; nous avons professé depuis longtemps au contraire que les phosphates présentent une utilité incontestable, et nous avons été un des premiers à préconiser l'emploi des gisements de phosphate qu'on a découverts en France. (*Comptes rendus*, t. XLIV, p. 13, 1857.)

Là, en effet, les faits parlent d'eux-mêmes; il est incontestable que les phosphates font en quelque sorte partie intégrante des matières albuminoïdes, puisqu'on les rencontre toujours associés à elles, les suivant dans leurs migrations, participant à leurs propriétés; il faut donc répéter avec Th. de Saussure, dont la sagacité est rarement en défaut, qu'il n'y a aucune raison de croire que les plantes puissent exister sans eux.

Il faut se rappeler, en outre, que le phosphore est loin d'être aussi répandu que la potasse. Les roches primitives du globe n'en renferment pas; il ne fait pas partie

1. D'après des expériences récemment publiées en Allemagne, la potasse et particulièrement le chlorure de potassium exerceroit une influence remarquable sur le sarrazin (*pagopyrum tataricum*). (Ueber die Organische Leistung des Kalium in der Pflanze, von F. Nobbe, J. Schrueder und R. Erdmann, Cheimnitz, 1871.) La photographie, jointe au mémoire, montre que les pieds qui ont végété dans de l'eau chargée de chlorure de potassium ont atteint plus d'un mètre de haut, tandis qu'un pied qui avait été maintenu dans une dissolution saline privée de potasse n'a pas atteint 5 centimètres.

1. Nous avons formulé cette conclusion qui ressort nettement de nos expériences devant la Société chimique, dans la séance du vendredi 21 février 1868, et le lendemain nous avons trouvé dans la *Revue des Cours scientifiques* (5e année, n° 12, 22 février 1868) une confirmation bien précieuse pour nous, car elle prouve que nous sommes arrivé aux mêmes conclusions que MM. Lawes et Gilbert. Nous trouvons, en effet, dans le discours prononcé par M. le général Sabine, à la séance publique de la Société royale de Londres, une citation des deux célèbres agronomes de Rothamsted, ainsi conçue: « Il est surprenant de reconnaître que la tendance des recherches agricoles semble être de montrer la fausseté d'une science reposant sur l'analyse chimique de la composition d'une plante, pour se diriger dans le choix des matières qui doivent lui être données comme engrais. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des granites, des gneiss, des porphyres, et c'est seulement dans les terres volcaniques ou dans les terres d'alluvion qu'on le rencontre avec quelque abondance. Il est clair, par conséquent, que si, d'une part, les phosphates sont nécessaires à la végétation; si, d'autre part, ils sont très-peu abondants dans le sol, il est nécessaire de restituer ceux que la culture enlève fatalement avec toutes les matières exportées du domaine, ceux enfin qui sont entraînés en dehors du sol cultivé par d'autres causes que nous ne pouvons exposer ici. (Voyez mon *Cours de chimie agricole*, chez Hachette, page 369.)

Les agriculteurs au reste ne s'y sont pas trompés, et autant ils se sont montrés récalcitrants pour acquérir des sels de potasse, autant au contraire ils ont mis d'empressement à acheter des phosphates. L'exploitation des phosphates fossiles a pris en France, en Angleterre, en Espagne, une immense extension; les guanos phosphatés sont importés en Europe de toutes les contrées du globe, enfin la consommation d'acide sulfurique pour transformer les phosphates fossiles en superphosphates s'accroît chaque jour.

En résumé, si la restitution de la chaux et de la silice paraît inutile, si celle de la potasse n'a habituellement qu'une médiocre importance, il n'en est plus de même pour l'acide phosphorique. Cette substance paraît absolument nécessaire à la formation des matières albuminoïdes, et le cultivateur doit se préoccuper d'en donner à son sol des quantités suffisantes pour que les plantes le trouvent toujours à leur disposition.

CHAPITRE V.

FORMATION DES PRINCIPES IMMÉDIATS DANS LES VÉGÉTAUX.

Nous avons indiqué dans les chapitres précédents le mode d'assimilation du carbone, de l'azote, des matières minérales, et il convient maintenant de rechercher comment ces diverses matières sont mises en jeu pour former les principes immédiats et variés qui se trouvent dans les plantes et dont l'industrie les extrait avec tant d'avantage.

Le mode de formation des principes immédiats est encore à peine connu, et nous ne pourrons donner sur ce sujet au lecteur que des hypothèses reposant sur un nombre de faits suffisants pour aborder le problème, mais infiniment trop peu nombreux pour le résoudre.

§ I. — *Les hydrates de carbone.*

Depuis longtemps les chimistes sont frappés de ce fait remarquable que les principes les plus abondants des végétaux peuvent être représentés par du carbone et de l'eau: en effet, les glucoses se formulent $C^{12}H^{12}O^{12}$; les sucres de canne $C^{26}H^{22}O^{22}$; les diverses variétés d'amidon $C^{36}H^{30}O^{30}$; enfin les celluloses semblent présenter la même formule ou un multiple.

Or, si on se reporte au chapitre II, § V, on se rappellera que la première matière qui apparaît, au moment où l'acide carbonique est décomposé sous l'influence de la lumière solaire, est le glucose qu'on rencontre abondamment dans les feuilles herbacées dans les premiers temps de la végétation et qui nous paraît être le point de départ de tous les autres hydrates de carbone.

Quelques physiologistes admettent, il est vrai, que le premier principe formé dans les plantes est l'amidon qu'on trouve habituellement associé à la chlorophylle dans les cellules; mais l'abondance avec laquelle le glucose apparaît dans le jeune âge, et au contraire le caractère de matière en réserve que présente l'amidon, nous autorisent à maintenir l'opinion que nous soutenons après plusieurs années, à savoir que le premier principe immédiat formé est le glucose. Il ne serait pas improbable au reste que ce glucose éprouvât constamment une modification l'amenant à l'état d'amidon; cet amidon, ainsi formé dans la feuille même, serait celui qu'on voit apparaître, puis disparaître en quelques heures, dans les feuilles en pleine activité de végétation.

Nous aurons au reste occasion de revenir sur ce point au moment où nous parlerons des migrations des principes immédiats.

M. Berthelot le premier a comparé les sucres à des alcools; il les considère comme des alcools polyatomiques, et les métamorphoses qu'ils présentent rappellent, en effet, celles que donnent les alcools eux-mêmes.

On sait, par exemple, que la plupart des chimistes considèrent l'éther comme formé par la combinaison de deux parties d'alcool avec élimination d'eau; la formation de l'éther éthylique, dit éther sulfurique, serait ainsi représentée par la formule:

$$C^4H^6O^2 + C^4H^6O^2 = C^8H^{10}O^2 + 2\,H\,O.$$

Or, si on compare la formule du sucre de canne à celle du glucose, on voit que ces deux combinaisons peuvent être rapprochées par une équation analogue; nous aurons encore:

$$\underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}} + \underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}} = \underbrace{C^{24}H^{22}O^{22}}_{\text{sucre de canne.}} + 2\,H\,O$$

Il est impossible, il est vrai, de vérifier cette formule par des expériences synthétiques: nous ne savons pas former le sucre de canne avec le glucose. Mais la transformation inverse est facile à établir, et c'est non-seulement dans le laboratoire qu'on métamorphose le sucre de canne en glucose, mais aussi dans la grande industrie de la distillerie quand on veut faire fermenter le sucre contenu dans les betteraves; enfin il est à remarquer que, lorsqu'on étudie l'ordre dans lequel se succèdent les principes immédiats dans les végétaux herbacés, on trouve toujours que le sucre de canne apparaît après le glucose.

L'amidon qui est si abondant dans les végétaux, et qui se dépose dans leurs organes pour fournir à la formation des principes immédiats qui constituent les jeunes tissus, paraît provenir d'une transformation analogue. On sait en effet que, lorsqu'on fait agir la diastase sur l'amidon, on le transforme en glucose et en dextrine, de telle sorte que sa destruction se représenterait encore par une équation analogue aux précédentes, et on aurait:

$$\underbrace{C^{36}H^{30}O^{30}}_{\text{amidon.}} + 2\,H\,O = \underbrace{C^{24}H^{20}O^{20}}_{\text{dextrine.}} + \underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}}$$

Quant à la dextrine elle-même, elle se métamorphose à son tour en glucose par une nouvelle addition d'eau

$$C^{24}H^{20}O^{20} + 6\,H\,O = 2\,C^{12}H^{12}O^{12}.$$

Par suite, l'amidon nous apparaît comme formé par l'agglutination de trois molécules de glucose avec élimination de six parties d'eau

$$C^{36}H^{30}O^{30} + 6\,H\,O = 3\,(C^{12}H^{12}O^{12}).$$

Les celluloses sont représentées dans cet ordre d'idées par des formules encore plus complexes: $C^{48}H^{40}O^{40}$, et dériveraient de l'agglutination de quatre parties de glucose avec élimination de huit parties d'eau.

Toutes ces transformations synthétiques, nous le répétons, n'ont pas été exécutées dans le laboratoire, et par suite il existe encore quelques doutes sur l'hypothèse présentée par M. Berthelot dans ses belles leçons sur les matières sucrées; mais il faut reconnaître cependant que les procédés à simplification systématique faciles à employer justifient cette manière de voir ainsi que les recherches physiologiques qui indiquent que les principes immédiats apparaissent dans l'ordre indiqué plus haut.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les phénomènes thermiques qui accompagnent la formation des hydrates de carbone n'ont pas encore été étudiés d'une façon complète: nous ignorons si le glucose absorbe de la chaleur pour former du sucre de canne; mais il n'en est pas moins probable que la chaleur qui intervient dans un si grand nombre de phénomènes chimiques doit atteindre également un certain degré d'intensité pour déterminer les unions précédentes, de telle sorte que nous sommes conduits à rechercher si les végétaux ne sont pas le théâtre de quelques réactions capables de fournir la chaleur nécessaire, sans doute, aux métamorphoses qui s'y produisent.

§ II. — *De l'absorption d'oxygène et de l'émission d'acide carbonique par les végétaux.*

Nous avons déjà vu, dans le premier chapitre de cet article consacré à l'étude de la germination, que les graines soumises à l'action de l'air et de l'humidité absorbent une certaine quantité d'oxygène et émettent de l'acide carbonique; cette combustion interne accompagne la formation de tissus nouveaux et représente dans une certaine mesure le phénomène qui se produit dans les autres organes et même dans les feuilles quand celles-ci sont soustraites à l'action directe du soleil.

Les feuilles, en effet, sont le siége de deux actions complétement différentes. Exposées à la lumière solaire, elles déterminent la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau, elles forment du glucose, elles agissent comme organe de nutrition en élaborant une nouvelle quantité de matière végétale; mais le glucose n'est pas le seul produit qu'on y trouve: on y rencontre encore de l'amidon, de la chlorophylle, enfin des matières albuminoïdes, toutes ces matières, ainsi qu'il a été dit plus haut, ne se forment qu'autant qu'une certaine quantité de chaleur est mise en jeu, et celle-ci paraît provenir non-seulement de la chaleur solaire, mais aussi des réactions qui se produisent sous l'influence de l'oxygène atmosphérique.

Pour observer aisément cette absorption d'oxygène et l'élimination d'acide carbonique qui l'accompagne, il convient d'opérer dans l'obscurité de façon à laisser de côté d'une façon complète le phénomène de *nutrition* qui se produit sous l'influence de la lumière, et qui masque complétement la fonction de *respiration* dont nous nous occupons maintenant.

Or, quand on laisse des feuilles dans l'obscurité, on remarque immédiatement une émission d'acide carbonique, qui s'accroît en quelque sorte régulièrement à mesure que la température s'élève: c'est un des seuls phénomènes végétaux qui soient ainsi favorisés par la chaleur obscure; car, ainsi que nous l'avons vu, c'est seulement sous l'influence de la lumière qu'a lieu la décomposition de l'acide carbonique, et c'est encore sous l'influence de la lumière que se produit l'évaporation de l'eau, la *transpiration des feuilles*, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant.

Des expériences instituées récemment au Muséum d'histoire naturelle par M. H. Moissan et l'auteur de cet article démontrent clairement que la quantité d'acide carbonique, émise par des feuilles, passe du simple au double quand la température varie de 15 à 30°. Des faits analogues avaient été observés autrefois par M. Garreau, de telle sorte qu'on peut considérer comme définitivement acquis que la chaleur obscure est l'agent qui favorise particulièrement le phénomène de respiration.

Or tous les horticulteurs savent combien il est important pour hâter le développement des plantes de les maintenir à un degré de chaleur assez élevé; ils reconnaissent qu'il y a avantage à perdre une certaine quantité de lumière pour gagner de la chaleur obscure, puisqu'ils placent leurs plantes sous cloche, sous des bâches, dans des serres où la lumière ne pénètre qu'après s'être partiellement dispersée sur la surface du verre, mais où, au contraire la température s'élève de plusieurs degrés au-dessus de la température ambiante.

Ainsi, d'une part, la respiration végétale se trouve accélérée par la chaleur obscure; d'autre part, la croissance de la plante est favorisée par cette même chaleur obscure, de telle sorte qu'il semble que la croissance se trouve être ainsi liée à cette combustion interne.

La quantité d'acide carbonique émise par les feuilles dans l'obscurité est assez considérable, elle atteint et même surpasse celle qu'émettent les animaux inférieurs; à égalité de température, on a trouvé que des grenouilles respirant pendant dix heures donnaient une quantité d'acide carbonique infiniment plus faible que celles que fournissent, à poids égal, les feuilles de tabac, de moutarde, ou d'oseille, mais comparable à celle que fournit le pin maritime.

Pour fixer les idées, nous donnerons quelques-uns des chiffres qui ressortent des expériences que nous avons entreprises récemment, M. Moissan et moi, et qui seront prochainement insérées aux *Annales des sciences naturelles, Botanique*, tome XIX, 5e série.

En 10 heures, 100 grammes de feuilles de moutarde ont donné à 14° 0gr.240 d'acide carbonique; à cette même température, 100 grammes de feuilles d'oseille en ont fourni 0gr.159 et les feuilles de tabac également 0gr.159; ce nombre est tombé à 0gr.095 pour les aiguilles de pin maritime. Pour bien apprécier ces chiffres, il faut les comparer à ceux que fournissent les animaux: or, à cette même température, les grenouilles ne donnaient pendant le même temps que 0gr.063 d'acide carbonique. Ainsi, les animaux à sang froid, grenouilles, salamandres, lézards, les insectes, n'éliminent qu'une quantité d'acide carbonique semblable ou inférieure à celle que fournissent les feuilles.

Tout l'oxygène absorbé par les feuilles dans l'obscurité n'est pas entièrement métamorphosé en acide carbonique, car le volume d'acide carbonique émis n'atteint jamais celui de l'oxygène absorbé; la différence est d'autant plus grande que la température est plus basse.

On conçoit facilement, au reste, que les oxydations qui se produisent dans les plantes ne soient pas toujours poussées jusqu'au maximum, et que par suite il y ait de l'oxygène fixé qu'on ne retrouve pas sous forme d'acide carbonique : on sait, par exemple, que dans le laboratoire il est aisé de transformer le sucre ou l'amidon en acide oxalique par une oxydation ménagée, et comme dans les végétaux on rencontre très-fréquemment cet acide oxalique ou des acides qui probablement sont produits par des réactions semblables, on comprend que leur formation exige la fixation d'une certaine quantité d'oxygène.

Il est à remarquer que plus la température est basse et moins la quantité d'oxygène métamorphosée en acide carbonique est considérable, en d'autres termes, plus il y a une fraction importante de l'oxygène absorbé qui donne des produits fixes; tandis qu'en maintenant les feuilles à une température voisine de 40°, on trouve que la plus grande partie de l'oxygène disparu a donné naissance à de l'acide carbonique. En agissant au contraire à de basses températures, on reconnaît que la quantité d'oxygène disparue surpasse de beaucoup la proportion d'acide carbonique formé. Cette observation est importante, car elle est de nature à faire comprendre comment la même plante peut produire des quantités variables d'acides végétaux suivant qu'elle végète à des latitudes plus ou moins hautes, par suite qu'elle est soumise pendant la durée de sa végétation à des températures plus ou moins élevées. On trouve, par exemple, plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

d'acide tartrique dans les raisins qui se sont développés dans les régions septentrionales que dans ceux qui proviennent des vignes du midi; il est possible que cette différence soit due à ce que, dans un cas, l'oxydation des hydrates de carbone a donné naissance surtout à de l'acide carbonique, qui se produit quand les feuilles sont soumises à une température relativement élevée, tandis qu'au contraire l'oxydation n'aurait déterminé que la formation de composés incomplétement brûlés, tels que l'acide tartrique dans des régions plus froides. Le fait bien connu que, dans le Nord de la France et en Angleterre, on réussit à obtenir du raisin de bonne qualité en le maintenant en serre, nous montre une fois de plus l'influence qu'exerce la chaleur obscure sur la formation des principes immédiats.

En résumé, il est probable que la formation des hydrates de carbone compliqués, sucre de canne, amidon, cellulose, exige l'intervention d'une certaine quantité de chaleur fournie à la fois par les rayons solaires et par les combustions lentes dont les végétaux sont le siége. Cette hypothèse rendrait compte de l'influence heureuse qu'exerce la chaleur obscure sur le développement rapide des végétaux.

§ III. — *Formation des acides végétaux.*

La formation des acides végétaux dans les feuilles peut être due à deux causes différentes : ils peuvent provenir d'un phénomène synthétique par union directe des principes simples, tels que l'eau, l'oxyde de carbone et l'acide carbonique ; ou, au contraire, ils peuvent provenir d'une oxydation des hydrates de carbone. Un exemple emprunté à l'acide formique indiquera nettement ces deux modes de formation.

M. Berthelot a montré depuis longtemps que si l'on enferme dans des ballons de l'oxyde de carbone et une dissolution aqueuse de potasse, puis qu'on soumette le tout à l'action d'une température de 400° pendant plusieurs jours, on produit du formiate de potasse d'après l'équation :

$$2CO + KOHO = C^2HO^3KO.$$

En traitant ce produit par l'acide sulfurique, on obtient l'acide formique $C^2H^2O^4$; et il est possible que cet acide qui prend naissance dans certaines plantes, et notamment dans les orties, y soit engendré par une réaction semblable. On conçoit, en effet, que de l'oxyde de carbone provenant de la décomposition partielle de l'acide carbonique s'unisse à de l'eau et donne cet acide formique.

L'acide acétique est représenté par de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Il est possible qu'il soit formé également par l'union de ces deux corps; mais il est plus vraisemblable que ces acides dérivent, comme les acides plus compliqués, de l'oxydation des hydrates de carbone.

On sait, en effet, que si on oxyde, au moyen d'un mélange d'acide sulfurique et de bioxyde de manganèse, de l'amidon, on obtient de l'acide formique; si l'oxydation de ces mêmes hydrates de carbone a lieu au moyen de l'acide azotique, c'est de l'acide oxalique qui prend naissance, et bien qu'on n'ait pas encore réalisé dans le laboratoire la formation artificielle de l'acide tartrique, de l'acide malique, etc., il est vraisemblable qu'ils sont produits par des réactions analogues aux précédentes.

Les observations résumées dans le paragraphe précédent font voir que les végétaux sont sans cesse soumis à des phénomènes d'oxydation; que ces oxydations ne donnent pas uniquement naissance à de l'acide carbonique, puisque la quantité d'oxygène qui disparaît, quand on maintient les feuilles dans l'obscurité, est toujours supérieure à la quantité d'acide carbonique formée; il faut même remarquer que, dans certains végétaux qui fournissent des quantités considérables d'acides végétaux, il y a seulement absorption d'oxygène sans élimination d'acide carbonique. C'est là ce qu'a obtenu Th. de Saussure pour le *cactus opuntia* et ce que nous avons vérifié récemment : or le cactus renferme parfois, d'après Payen, jusqu'à 70 % de son poids sec en oxalate de chaux. Il est donc vraisemblable que les acides végétaux sont les résultats de ces oxydations ménagées, et qu'ils prennent naissance dans l'organisation végétale comme dans le laboratoire par l'oxydation incomplète des hydrates de carbone.

§ IV. — *Tannin. — Matières grasses. — Résines.*

S'il est possible d'émettre quelques hypothèses probables sur le mode de formation des matières précédentes, il faut reconnaître qu'ici nous manquons presque absolument des éléments nécessaires pour établir un raisonnement plausible. En effet, nous arrivons à des matières qui ne peuvent plus se représenter par du carbone et de l'eau et qu'on ne peut pas non plus concevoir formées par oxydation, puisqu'au contraire elles renferment un excès d'hydrogène et de carbone. Il est clair que la formation de ces matières ne peut avoir lieu qu'avec élimination d'oxygène libre ou élimination d'acide carbonique : or, quand on compare, ainsi que l'a fait M. Boussingault (voyez chap. II), le volume d'oxygène émis par les feuilles éclairées au volume d'acide carbonique décomposé, on trouve que ces deux volumes sont égaux quelle que soit l'espèce à laquelle appartiennent les feuilles étudiées. Il n'est donc pas probable que les matières grasses ou résineuses prennent naissance au moment même où a lieu la décomposition de l'acide carbonique, car, s'il en était ainsi, on verrait apparaître plus d'oxygène qu'il n'a disparu d'acide carbonique, et c'est ce qui n'a pas lieu. Il est donc vraisemblable que c'est par une réaction secondaire que les hydrates de carbone déjà formés sont amenés à cet état de matières grasses ou de résines; mais cette transformation exige qu'à un moment donné il apparaisse une quantité d'acide carbonique supérieure à celle qui est formée par l'action directe de l'oxygène absorbée pendant la respiration, et c'est ce que nous n'avons observé jusqu'ici que dans de jeunes tiges. Quand on laisse, en effet, des jeunes pousses de marronniers dans une atmosphère limitée pendant vingt-quatre heures, puis qu'on examine comment cette atmosphère a été modifiée, on trouve toujours qu'il y a eu plus d'acide carbonique émis que d'oxygène pris, ce qui prouve qu'il se fait dans la plante même une décomposition d'un principe immédiat avec perte d'acide carbonique : or, si on décomposait du glucose de façon à lui enlever, sous forme d'acide carbonique, tout l'oxygène qu'il renferme, il resterait un carbure d'hydrogène :

$$C^{12}H^{12}O^{12} - 6\,CO^2 = C^{12}H^6.$$

Cette *équation fictive* rendrait compte de la formation de composés comme les résines, et il est remarquable que les pousses de marronnier, sur lesquelles ont porté ces observations, donnent, en effet, une quantité notable de résine; hâtons-nous d'ajouter que ces études sont encore trop peu avancées pour qu'on puisse émettre même une *hypothèse* plausible sur leur mode de formation.

§ V. — *Formation des matières albuminoïdes, des bases organiques, etc.*

Comment l'albumine soluble apparaît-elle dans les jeunes feuilles? C'est ce qu'on ne saurait non plus établir d'une façon précise. L'albumine appartient probablement à la famille des ammoniaques composées, et l'on sait que ces matières sont produites, soit par la comparaison directe de l'ammoniaque avec des composés carbonés, ainsi que cela a lieu dans la synthèse de l'urée par le procédé de M. Woehler, où il unit de l'acide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cyanique et de l'ammoniaque, soit par la combinaison des carbures d'hydrogène avec l'acide azotique, puis la réduction ultérieure de celui-ci, ainsi qu'on l'observe dans la formation de l'aniline qu'on obtient en attaquant d'abord la benzine par l'acide azotique, puis réduisant la nitrobenzine par l'hydrogène.

Ce second mode de production de l'albumine présente plus de probabilité que le premier : d'abord parce que les plantes sont avant tout des appareils de réduction, et que si la réduction de l'acide carbonique, qui exige l'intervention d'une dépense de chaleur considérable, s'y exécute sans difficulté, celle de l'acide azotique s'y fera sans doute plus aisément encore; et enfin parce qu'il y a certains cas dans lesquels les plantes ne paraissent pas avoir profité des engrais ammoniacaux avec autant de facilité que des nitrates.

Lorsqu'on maintient à l'ébullition un mélange de glucose et de nitrate, celui-ci est réduit, et l'azote de l'acide azotique se fixe sur la matière carbonée pour former un véritable composé azoté. Cette expérience présente une importance considérable pour faire comprendre le mode de formation des matières albuminoïdes qui prennent peut-être naissance dans les feuilles par une réaction analogue. L'acide nitrique serait là réduit sous l'influence de la lumière solaire, et, en même temps que son oxygène se porterait sur un des éléments combustibles du glucose, l'azote s'engagerait en combinaison avec le résidu de cette combustion incomplète du glucose. Il est à remarquer, en effet, que la quantité d'oxigène dégagée par les feuilles correspond à celle de l'acide carbonique décomposé, et qu'elle devrait être plus grande si l'oxygène provenant de la réduction de l'acide azotique venait s'ajouter à l'oxygène dû à la décomposition de l'acide carbonique. Il est donc probable que l'oxygène de l'acide azotique réduit attaque un des hydrates de carbone. On remarquera, en effet, que si l'on compare la composition du glucose et de l'acide azotique, qu'on suppose réagir l'un sur l'autre, à celle de l'albumine, on trouve qu'au moment de la réaction il a dû se séparer de l'acide carbonique et de l'eau.

Quant au mode de formation des alcaloïdes dans les plantes, sans doute il peut-être analogue à celle qu'on suit dans le laboratoire pour les obtenir, c'est-à-dire qu'elles peuvent aussi bien provenir de la réaction de l'acide azotique sur des hydrates de carbone et à une réduction ultérieure; soit à une combinaison directe d'ammoniaque avec les hydrates de carbone; mais il est aussi un autre mode de formation qui peut avoir son importance et qui consisterait dans une altération ménagée des albuminoïdes. Toutefois, avant d'avoir aucune idée précise sur leur mode de formation, il faut attendre que la chimie ait frayé la voie à la physiologie en lui indiquant les méthodes de formation artificielle de ces composés.

Nous avons, dans ce chapitre, insisté sur la respiration des plantes, sur l'absorption d'oxigène et le dégagement d'acide carbonique qu'elles présentent dans l'obscurité; quelque important que soit ce phénomène pour fournir la quantité de chaleur nécessaire à la formation des principes immédiats, il n'en est pas moins, comme résultat définitif, très-inférieur au phénomène de nutrition qui repose sur la décomposition de l'acide carbonique et le dégagement d'oxygène étudié précédemment; la plante reste avant tout un appareil de réduction.

La citation suivante, empruntée à M. Boussingault, peut servir à montrer dans quels rapports se trouvent les deux phénomènes. Un mètre carré de feuilles comprenant les deux côtés du limbe décomposerait en douze heures de jour 6336 centimètres cubes d'acide carbonique, et produirait en douze heures de nuit 396 centimètres cubes de gaz acide carbonique.

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

CHAPITRE VI.

MIGRATION DES PRINCIPES IMMÉDIATS DANS LES VÉGÉTAUX.

Nous venons d'esquisser le mode de formation des principes immédiats contenus dans les tissus des végétaux, nous savons comment les éléments qui les composent pénètrent dans les plantes; mais il nous reste à suivre ces principes immédiats d'un point du végétal à l'autre, depuis le moment où la vie s'éveille jusqu'à celui où la graine mûrit, depuis l'apparition des premières feuilles au printemps, jusqu'à la chute des dernières à l'approche de l'hiver. Ces questions seront présentées dans les paragraphes suivants :

De l'absorption de l'eau par les racines;

De l'évaporation de l'eau par les feuilles;

De la composition de la sève ascendante;

De la migration des principes immédiats dans les plantes herbacées;

De la migration des principes immédiats dans les végétaux ligneux et de la sève élaborée;

De la maturation des fruits.

§ I. — *De l'absorption de l'eau par les racines.*

On trouve communément dans nos climats des arbres s'élevant jusqu'à 20 ou 30 mètres: en Californie, le *sequoia gigantea* atteint une centaine de mètres; les *eucalyptus* d'Australie, les *calamus* de l'Inde, sont encore des végétaux très-élevés; mais, malgré leur hauteur, l'eau puisée dans le sol par les racines s'élève jusqu'à la cime, et il est clair que la pression atmosphérique poussant l'eau dans les tissus pour combler le vide fait par l'évaporation ne saurait seule expliquer son ascension, puisque la pression atmosphérique ne peut soutenir dans le vide qu'une hauteur d'eau de 10 mètres environ.

Si l'évaporation de l'eau par les feuilles intervient dans le mouvement ascensionnel de la sève, celle-ci doit être déterminée par une autre cause: c'est ce dont on est bien vite persuadé quand, au printemps, au moment de la taille, on voit s'écouler abondamment un liquide des branches de la vigne bien avant l'apparition des feuilles. Les racines fonctionnent ici par elles-mêmes, en dehors de toute action des feuilles; elles possèdent une propriété analogue à celle de la graine, qui, placée dans la terre humide, ne tarde pas à s'y gonfler et à pousser, en dehors de ses téguments distendus, une petite radicelle destinée à fournir à la jeune plante l'eau nécessaire à son évolution.

L'absorption de l'eau par la racine paraît être ainsi la première manifestation de l'activité vitale; elle a dès longtemps frappé les observateurs, qui ont commencé son étude dès le dix-septième siècle.

Expériences de Hales. — La force ascensionnelle de l'eau dans les racines est considérable. Au mois d'avril 1725, Hales coupa un cep de vigne au niveau du sol, et, s'apercevant qu'une grande quantité d'eau s'échappait de la plaie, il essaya de l'arrêter en appliquant à l'extrémité coupée un fragment de vessie fortement lié; mais la membrane, poussée en dehors, se gonfla et creva quelque temps après. Il remplaça alors la vessie par un tube de verre vertical qui fut parfaitement fixé sur la branche; bientôt l'eau monta dans ce tube jusqu'à une hauteur de 7 mètres environ.

L'explication du phénomène qui se produit dans ces circonstances se trouve dans l'exposé de ce fait fondamental, qu'un liquide introduit dans un milieu poreux formé d'espaces de diverses étendues abandonne toujours les espaces larges pour pénétrer dans les plus étroits. Cette propriété est utilisée chaque jour dans les laboratoires, quand on dépose sur des briques ou des plaques de porcelaine dégourdie les précipités qu'on veut sécher.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

Expériences de M. Jamin. — La force mise en jeu dans ce cas est considérable, ainsi que l'a démontré M. Jamin, auquel nous empruntons la description de ses expériences sur les corps poreux imbibés d'eau. (*Leçons professées devant la Société chimique*, séance du 8 mars 1861. — Hachette.) « Je prends d'abord, dit-il, un bloc de craie A, dont la forme est quelconque et dont le volume est égal à un litre environ. Après l'avoir bien desséché, j'y creuse un trou cylindrique vertical, pénétrant jusqu'au centre, et j'y plonge un tube à conduit étroit, que je scelle sur la craie avec du mastic de fontainier. Ce tube est recourbé en S; il y a du mercure dans la partie coudée inférieure, et la grande branche verticale, qui est fermée et divisée, contient de l'air à la pression ordinaire: c'est un véritable manomètre (voyez fig. 2). Il est clair que si un excès de pression venait à se développer à l'intérieur du bloc, il ferait monter le mercure, et l'on mesurerait cet excès par la diminution de longueur de la colonne d'air comprimé contenu dans la branche scellée à la partie supérieure. Cela étant compris, plongeons la masse de craie dans un vase plein d'eau.

« On prévoit que le liquide va pénétrer dans la craie par capillarité, qu'il chassera l'air devant lui; que celui-ci, s'accumulant dans la branche du manomètre qui est fixée dans la craie comprimera le mercure, et que la pression finale indiquée par le manomètre sera égale à la force d'imbibition du liquide. Or on trouve, ce qui ne laisse pas que d'être fort étonnant, que cette pression s'élève progressivement jusqu'à trois ou quatre atmosphères.

« La plupart des corps poreux homogènes et à pores suffisamment étroits donnent les mêmes résultats avec des intensités variables: la pression s'est élevée jusqu'à 3 atmosphères dans une bille de billard et jusqu'à 5, avec un bloc de pierre lithographique, mais le marbre n'a rien produit.

« Lorsqu'on veut opérer avec des substances pulvérulentes, on les tasse dans un vase poreux de pile (fig. 2) au moyen d'un mandrin et à coups de maillet;

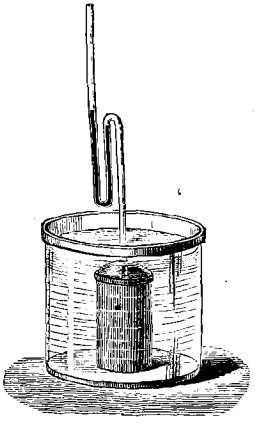


Fig. 2.

on dispose le manomètre dans leur intérieur, comme on l'a fait précédemment pour la craie, et l'on ferme l'ouverture du vase avec un bouchon de bois, que l'on mastique avec le plus grand soin. L'expérience se fait comme avec les corps solides, en plongeant tout l'appareil dans l'eau, et le manomètre monte de la même manière jusqu'à trois atmosphères et demie environ, avec de la terre ou du blanc d'Espagne, et presque à 5, avec l'oxyde de zinc. L'amidon a produit rapidement une pression égale à 6 atmosphères, et qui continuait à s'élever encore lorsque, la nuit survenant, j'ai quitté le laboratoire. Elle a dû s'accroître considérablement ensuite; car, au matin suivant, j'ai trouvé le vase brisé, ses éclats et la poudre projetés au loin, et la plupart des objets voisins renversés. »

Ces expériences nous dévoilent ce qui arrive quand la graine germe et pousse dans la terre ses premières racines: le tissu très-fin, très-délié, qu'elle présente, exerce, vis-à-vis de la terre humide, le rôle de la brique ou de la porcelaine dégourdie sur l'eau d'un précipité; le rôle de la terre de la pipe sur l'humidité de la bouche; l'eau pénètre ainsi dans l'intérieur de la plante avec une énergie remarquable, et l'action ne cesse qu'autant que les tissus gorgés d'eau opposent à l'arrivée d'une nouvelle quantité de liquide une force égale à celle qui est mise en jeu dans la racine.

Pleurs de la vigne. — Si l'on cherche, en s'appuyant sur les considérations précédentes, à concevoir le mécanisme de l'écoulement de la sève que présentent certains arbres au premier printemps, on remarquera qu'au moment où la végétation se réveille, elle détermine dans ces végétaux l'apparition d'un nouveau chevelu, dont les tissus, extrêmement fins et déliés, se trouvent, par rapport à la terre arable, dans les mêmes conditions que le plâtre sur lequel on dépose l'amidon pour le faire sécher. Il y a transport de l'eau de l'amidon au plâtre, comme de la terre à la racine, l'attraction capillaire détermine le mouvement, et l'eau, pénètre dans les pores étroits du tissu nouveau, comme elle s'introduit dans la bille d'ivoire ou dans la pierre calcaire employée par M. Jamin; le courant s'établit, et si l'on diminue tout à coup la résistance qu'il rencontre dans les tissus des branches en faisant une section, on ne tardera pas à voir se produire cet écoulement désigné sous le nom de *pleurs*, et qui se remarque particulièrement au moment de la taille de la vigne [1].

§ II. — *De l'évaporation de l'eau par les feuilles* [2].

Le mouvement élévatoire de l'eau est encore activé par la puissance d'évaporation que possèdent les feuilles. Cette fonction importante a été étudiée depuis longtemps, car les premières expériences, dues à S.-H. Woodward, datent du dix-septième siècle (*Philosophical Transactions*, n° 253).

Travaux de Woodward. — Dans des flacons remplis d'eau qu'on renouvelait à mesure qu'elle s'évaporait, le physiologiste anglais plaça diverses plantes aquatiques qui furent exposées les unes et les autres à l'action du soleil, sur une fenêtre. Pour empêcher l'évaporation de la surface libre du liquide, on recouvrit les vases d'un disque percé d'une ouverture étroite donnant passage à la plante, dont les racines étaient plongées dans le liquide.

Les expériences durèrent du 20 juillet 1691 au 5 octobre de la même année; on obtint dans une des séries d'essais les nombres suivants:

---

1. Le lecteur désireux de poursuivre ce sujet lira avec avantage la statistique des végétaux de Hales, la *Physique des arbres* de Duhamel; enfin les deux leçons de M. Jamin auxquelles nous avons emprunté plusieurs passages de ce paragraphe.

2. Nous n'avons pas craint de donner à ce sujet un assez grand développement, car les résultats publiés, en Angleterre, par M. Lawes, dans *The Journal of the horticultural Society of London*, vol. VII, parties III et IV, paraissent peu connus en France.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NOMS DES PLANTES et NATURE DE L'EAU dans laquelle elles végétaient.	POIDS PRIMITIF DE LA PLANTE en grammes.	POIDS FINAL en grammes.	EAU ÉVAPORÉE en grammes.
Menthe dans l'eau de source	1.72	2.68	163.6
Menthe dans l'eau de pluie	1.79	2.88	192.3
Menthe dans l'eau de la Tamise	1.79	3.45	159.5
Morelle des jardins dans l'eau de source	4.41	6.78	235.3
Lathyrus dans l'eau de source	6.27	6.46	160.0

Un des points importants étudiés dans ce travail est relatif à l'influence qu'exerce la composition des eaux sur l'évaporation et sur la croissance des plantes qui y végètent. Six plants de menthe furent laissés dans des flacons d'eau, préalablement pesés, pendant huit semaines; on obtint les résultats suivants:

Augmentation de poids et évaporation des jets de menthe dans les eaux de diverses compositions.

NATURE DES EAUX.	POIDS PRIMITIF des plantes.	AUGMENTATION.	EAU évaporée.	RAPPORT de l'accroissement à l'évaporation.
	gr.	gr.		
Eau de Hyde-Park	8.028	8.092	908.460	1 à 110
Eau de Hyde-Park	7.040	9.796	840.860	1 à 94
Eau de Hyde-Park avec 18 grammes de terre	4.864	10,752	653.784	1 à 63
Eau de Hyde-Park avec 18 grammes de terre de jardin	5.888	11.768	956.600	1 à 52
Eau distillée	7.286	2.624	563.392	1 à 214
Eau de Hyde-Park concentrée par évaporation	5.184	6.043	278.016	1 à 46

Dans les expériences précédentes, le n° 6 est celui qui a manifesté le plus grand accroissement pour la quantité d'eau évaporée; mais le 4e présentait la végétation la plus luxuriante, et c'est aussi celui dans lequel le rapport de l'évaporation à l'accroissement est la plus faible.

La plante qui reçut de l'eau distillée s'accrut très-médiocrement, tandis que celle qui avait reçu la terre de jardin présentait au contraire une croissance plus active.

Expériences de Hales. — On doit à Hales de nombreuses et intéressantes observations sur la puissance évaporatoire des feuilles; il les publia en 1727, dans le premier volume de ses célèbres *Essais statiques*. Celles qui ont plus particulièrement trait au sujet que nous étudions se trouvent dans le premier chapitre intitulé: « Sur la quantité d'humidité absorbée et évaporée par les plantes et les arbres. » La plus importante des expériences de Hales fut faite en 1724, sur un beau pied d'*Hélianthus* arrivé à toute sa croissance, qui avait plus d'un mètre de haut et qui avait été planté encore jeune dans un pot à fleur, précisément pour servir aux expériences.

La terre était recouverte d'une lame métallique portant une ouverture par laquelle on pouvait faire couler l'eau d'arrosement: deux pesées faites chaque jour indiquaient quelles étaient les quantités d'eau que la terre perdait par l'évaporation. On trouva que la plante transpirait en moyenne 220 grammes d'eau par jour de douze heures: le maximum fut de 330 grammes. Les expériences de Hales portèrent également sur un chou, une vigne, un jeune pommier et un oranger. Le résultat de ces expériences est réuni dans le tableau suivant:

DÉSIGNATION.	SURFACE entière des feuilles.	EAU évaporée en 12 heures.	RAPPORT de l'évaporation à la surface de la plante [1].
	centim. carrés.	grammes.	
Hélianthus	35.100	220	1/165
Chou	17.100	209	1/80
Vigne	11.375	60,5	1/191
Pommier	9.833	99	1/109
Oranger	15.974	113,3	1/218

1. Nous avons pris les rapports donnés par l'auteur anglais; ceux qu'on trouverait en calculant les nombres inscrits dans le tableau sont un peu différents, à cause de petites inexactitudes résultant des conversions des mesures anglaises en mesures françaises.

La conclusion pratique tirée de ces expériences fut que le chou évapora la plus grande quantité d'eau, et l'oranger la plus petite. En répétant ces observations sur d'autres plantes, Hales trouva que dans tous les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cas, les arbres verts évaporent moins d'eau que les arbres à feuilles caduques.

A l'instigation de Hales, une autre série d'expériences fut faite par Miller, en 1726, au jardin botanique de Chelsea. Elles portèrent sur un bananier, sur un aloès et un jeune pommier: on trouva que les plantes évaporaient plus le matin que dans l'après-midi, qu'elles absorbaient très-souvent de l'humidité par les feuilles pendant la nuit[1], et que la quantité d'eau évaporée était en général proportionnelle à la température du jour.

Bien que Bonnet et Duhamel du Monceau aient publié, au dix-huitième siècle, des travaux qui ont trait aux fonctions des feuilles, on ne trouve, ni dans les *Usages des feuilles*, ni dans la *Physique des arbres*, ouvrages remarquables l'un et l'autre, aucun travail digne d'être mentionné au point de vue de l'évaporation.

Travaux de Guettard. — Il n'en est pas de même des expériences insérées par Guettard aux *Mémoires de l'Académie des Sciences* de 1748 et 1749. Son mode d'observation, que j'ai suivi plus tard sans me douter que je ne faisais qu'imiter ce naturaliste, dont la réputation est loin d'atteindre le mérite, consistait à enfermer pendant un certain temps des feuilles adhérentes aux plantes dans des ballons de verre qui étaient ensuite pesés avec soin; on déterminait le poids des feuilles, et l'on pouvait ainsi savoir ce qu'une certaine quantité de feuilles avait fourni d'eau dans les circonstances variées où avait lieu l'expérience.

Guettard ne tarda pas à reconnaître que les plantes évaporent plus d'eau pendant le jour que pendant la nuit, et qu'il fallait qu'elles fussent directement frappées par les rayons du soleil pour atteindre leur maximum d'évaporation.

L'influence de ces rayons est particulièrement marquée dans l'expérience suivante: « J'ai mis trois branches de la morelle grimpante ordinaire, ou *dulcamara*, en expérience le 10 septembre, à sept heures du matin, et on les a retirées le 16 à pareille heure, ce qui fait six jours. Le ballon, dans lequel une des branches était placée, était à découvert; celui de la seconde était à l'ombre d'une serviette portée sur quatre pieds, auxquelles les quatre coins de la serviette étaient noués; la serviette de la troisième était appliquée dessus. La branche du ballon découvert avait transpiré 82gr.83, elle pesait 13gr.45; celle du ballon qui était seulement à l'ombre pesait 13gr.39, et elle avait donné par la transpiration 43gr.92; celle dont le ballon était exactement couvert n'avait transpiré que 14 grammes et elle pesait 13gr.41. On voit donc que celle de ces branches qui a été privée le plus des rayons du soleil a moins transpiré, puisque les branches qui étaient dans les ballons couverts ont donné beaucoup moins de liqueur, quoiqu'elles pesassent davantage. Je ne m'attendais pas cependant à avoir une différence si considérable entre le poids de la liqueur transpirée de la branche du ballon qui était à l'air libre et de celle que contenait celui qui était seulement à l'ombre; je pensais que l'air, en circulant autour de ce ballon, ne devait pas être beaucoup moins chaud que celui qui entourait l'autre ballon, et lorsque je vis le résultat de l'expérience, je m'imaginai que l'action immédiate du soleil pouvait être nécessaire pour augmenter la transpiration, et qu'une plante qui serait dans un lieu plus chaud, mais privée des rayons du soleil, pourrait transpirer moins qu'une qui serait dans un endroit plus froid et qui recevrait ses rayons. »

En vernissant la surface supérieure des feuilles d'une branche et la face inférieure des feuilles d'une autre branche, et en exposant les organes ainsi disposés à l'action du soleil, Guettard reconnut que la surface supérieure évapore plus d'eau que l'inférieure.

Nous verrons plus loin que nos observations confirment de tout point celles que nous venons d'exposer, mais qu'elles démontrent ce que Guettard ne fait que soupçonner, à savoir, que c'est la lumière qui est la cause déterminante du phénomène d'évaporation.

Travaux de M. Lawes.— On doit au célèbre agronome anglais, M. Lawes, une importante série d'expériences qui portèrent sur de jeunes arbres appartenant aux espèces suivantes: frêne, mélèze et sycomore, qui avaient une touffe de petites branches, tandis que les deux épines-vinettes, les lauriers et l'if étaient en buisson (*Evaporation of evergreen and deciduous trees.— From the journ. of the hortic. soc of London*, 1851, vol. VI, part III et IV, et *the Rothamsted Memoirs*, vol. I.) Les plantes furent placées dans des pots qu'on pesa régulièrement de façon à déterminer la quantité d'eau évaporée pendant la durée d'une semaine; on arrosait autant qu'il était nécessaire. Les résultats obtenus sont insérés dans le tableau suivant:

1. D'après M. P. Duchartre, les plantes n'absorbent pas d'humidité par leurs feuilles. (*Comptes rendus*, 1868, p. 205.)

Quantité d'eau évaporée par des arbustes de différentes espèces pendant une année.

NOMS DES PLANTES.	POIDS des PLANTES.	EAU ÉVAPORÉE du 22 décembre au 24 avril.	EAU ÉVAPORÉE du 24 avril au 22 août.	EAU ÉVAPORÉE du 22 août au 31 décembre.	EAU ÉVAPORÉE TOTAL.	RAPPORT de l'eau évaporée au poids de l'arbre.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
Sapin	160	2710	3981	2037	8728	54
Laurier de Portugal	»	2781	7282	3711	13772	»
Épine-vinette à feuilles persistantes	160	1715	5964	3283	10962	68
If	330	3878	7182	5444	16504	50
Houx	10	1666	2352	1414	5423	543
Laurier commun	260	3038	9058	2982	15078	57
Chêne vert	280	842	210	98	1110	3
Mélèze	170	805	2675	3514	7994	48
Chêne	370	595	2450	2590	5635	15
Épine-vinette à feuilles caduques	240	819	7147	4620	12586	52
Frêne	40	553	5733	1778	8064	203
Sycomore	24	679	5281	3381	6341	222

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On voit facilement, en consultant ce tableau, qu'en général les arbres à feuilles persistantes donnent beaucoup moins d'eau que les arbres à feuilles caduques. On remarque, en outre, entre les diverses plantes, des différences notables dans l'influence qu'exerce la température sur l'énergie de l'évaporation, indépendamment de la sécheresse ou de l'humidité de l'air. En étudiant les nombreux tableaux dont nous n'avons donné qu'un résumé, on trouve que, dans le cas du laurier du Portugal, du houx, du mélèze et du sycomore, le maximum de l'évaporation se produit en même temps que le maximum de température, c'est-à-dire entre le 23 juillet et le 22 août. Ceci, cependant, ne se reproduit pas pour les autres plantes. Dans le cas du chêne et de l'épine-vinette à feuilles caduques, le maximum de l'évaporation se rencontre après la plus grande chaleur: la plus grande quantité d'eau a été, en effet, évaporée par ces plantes du 22 août au 21 septembre, bien que la température ait été de 4 degrés inférieure à ce qu'elle était dans les semaines précédentes. C'est exactement l'inverse qui a eu lieu pour les autres plantes, le sapin, l'épine-vinette à feuilles persistantes, l'if, le laurier et le frêne, chez lesquels le maximum d'évaporation a précédé le maximum de chaleur. On voit en effet, en consultant les nombres donnés par Lawes, que l'épine-vinette à feuilles persistantes a donné par jour une perte de poids de 70 grammes, du 23 juin au 23 juillet, la température étant en moyenne au-dessous de 16°4, tandis que le mois suivant, où la température fut en moyenne supérieure à 16°4, l'évaporation ne fut plus que de 56 gr. par jour. On observa un fait analogue pour le houx. En juillet, avec une température au-dessous de 16°4, la perte par jour fut de 84 grammes, et en août, avec une température supérieure à 16°4, la perte journalière fut seulement de 56 grammes.

Dans un autre travail, inséré au *Journal de la Société d'horticulture de Londres* (vol. V, p. 1, 1850) et qu'il a reproduit dans la collection de ses mémoires (*the Rothamsted Memoirs*), M. Lawes a encore déterminé la quantité d'eau évaporée par quelques-unes des plantes habituellement cultivées pendant la durée de leur croissance. Voici les résultats auxquels il est arrivé:

DÉSIGNATION.		PERTE D'EAU TOTALE du 19 mars au 7 septembre.
Blé. . .	Cultivé sans engrais. . . .	7945 gr.
	Avec des engrais minéraux seulement	6860
	Avec des engrais minéraux et des sels ammoniacaux. .	3913
Orge. . .	Sans engrais.	8400
	Engrais minéraux.	8981
	Engrais minéraux et sels ammoniacaux.	4357
Haricots.	Sans engrais.	7854
	Engrais minéraux.	8246
	Engrais minéraux et sels ammoniacaux.	mort.
Pois. . .	Sans engrais.	7630
	Engrais minéraux.	6768
	Engrais minéraux et sels ammoniacaux.	mort.
Trèfle. .	Sans engrais.	3850
	Engrais minéraux.	3759
	Engrais minéraux et sels ammoniacaux.	952

On ne saurait manquer d'être frappé de voir dans cette expérience, comme dans celle qui a été faite autrefois par Woodward, la plante évaporer d'autant moins d'eau qu'elle trouve dans celle-ci des principes nutritifs plus abondants.

Expériences de MM. Daubeny et Julius Sachs. — Au lieu de rechercher les quantités d'eau totales émises par les plantes pendant une saison ou une semaine, le docteur Daubeny s'est efforcé, dès 1836, de déterminer à quelle cause il fallait surtout attribuer le phénomène d'évaporation.

Il avait non-seulement étudié l'action de la lumière blanche, mais celle de diverses lumières colorées; ses conclusions sont toutefois peu précises. D'après lui, l'évaporation par les feuilles est due « à l'action combinée de la chaleur et de la lumière, réunies à ces influences mécaniques qui opèrent aussi bien sur la matière organique après sa mort que pendant sa vie. » (*Philosophical Transactions*, 1866, p. 159.)

Plus récemment enfin, M. Julius Sachs, dans son *Traité de Physiologie végétale*, a repris l'étude de l'évaporation.

« La lumière, dit-il[1], est un des agents qui agissent le plus efficacement sur la transpiration; mais on ne peut dire si elle agit par elle-même ou par son union intime avec une élévation de température. Il est facile de constater qu'une plante exposée alternativement au soleil et à l'ombre transpire beaucoup plus dans la première des positions: l'effet est visible après quelques minutes, mais est peut-être dû à l'échauffement des tissus. »

Le docteur Sachs opérait avec des plantes entières qui étaient pesées au commencement et à la fin des expériences: c'était là un mode d'observation que la nature même de mes recherches m'interdisait d'employer. Je voulais comparer la puissance évaporatoire des feuilles appartenant à un même végétal, et je devais imaginer un appareil propre à déterminer la quantité d'eau qu'elles transpiraient dans le même temps. Les feuilles encore adhérentes à la plante furent d'abord placées dans un manchon de verre parcouru par un courant d'air qui se desséchait à l'entrée et à la sortie ; mais bientôt cette disposition compliquée fut abandonnée, quand on reconnut que l'évaporation se continuait indéfiniment dans une atmosphère saturée.

Expériences exécutées à l'école de Grignon. — En faisant tout simplement usage, en effet, d'un ballon de verre très-léger, à col large et court, ou encore, quand on veut opérer sur des feuilles longues et étroites comme celles des graminées, d'un tube d'essai ordinaire, maintenu par un support (fig. 3), on peut constater du premier coup ce fait important: l'évaporation de l'eau par les feuilles des plantes se continue presque aussi bien dans une atmosphère saturée qu'à l'air libre.

Ce résultat fut constaté par l'expérience suivante: une feuille de blé adhérente à la tige est fixée par un bouchon fendu dans un tube de verre préalablement pesé; le tout est placé au soleil, et l'expérience est commencée à 1 heure: à 1 heure 30 minutes, il y avait dans le tube 0 gr. 141 d'eau condensée. On replace le tube à 2 heures, sans le vider: à 2 heures 30 minutes, l'augmentation de poids est de 0 gr. 130. On recommence l'expérience à 3 heures, sans vider le tube qui renferme par conséquent 0 gr. 271 d'eau; à 3 heures 30 minutes, on pèse de nouveau, l'augmentation de poids est de

1. *Physiologie végétale*, traduction de Micheli, p. 250. Nous n'avons pas cru devoir citer en détail les expériences de M. Sachs, qu'on pourra trouver dans son ouvrage, tandis que celle de M. Lawes n'avait pas encore été traduite en français.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

0 gr. 121; la feuille, à la fin de l'expérience, pesait 0 gr. 390. Ainsi la quantité d'eau émise a été à peu près

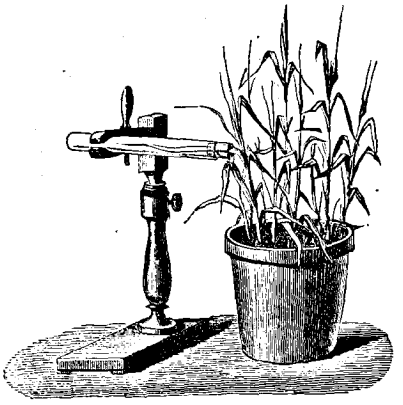


Fig. 3.

constante, malgré la présence dans le tube d'eau liquide en proportion notable.

Pendant le même temps, on avait placé au soleil, dans un petit ballon renfermant de l'eau; une mèche de coton qui, traversant un tube de dégagement, venait s'épanouir dans un tube d'essai. Après deux heures, la quantité d'eau condensée dans le tube était de 0 gr. 076; après trois heures d'exposition au soleil, 0 gr. 086; après quatre heures encore 0 gr. 086, c'est-à-dire que la quantité d'eau émise restait bientôt stationnaire.

Ces essais préliminaires montraient: que l'évaporation de l'eau par les feuilles est complétement différente de celle d'une surface humide quelconque; qu'il n'était pas nécessaire, comme avaient cru devoir le faire quelques-uns de mes devanciers, et comme je l'avais fait d'abord moi-même, de dessécher l'atmosphère dans laquelle avait lieu l'évaporation; qu'enfin le tube de verre employé pour condenser l'eau évaporée, commode à transporter au milieu des cultures, pouvait être employé avec sécurité pour déterminer la quantité d'eau émise par les feuilles appartenant à des espèces végétales variées ou soumises à des actions diverses.

Il importait toutefois d'établir d'abord que cette évaporation présente elle-même quelque fixité, quand on l'étudie dans les mêmes circonstances, sur des feuilles appartenant à la même espèce.

Pour reconnaître si des feuilles de même âge, appartenant à la même espèce, dégagent dans le même temps, quand elles sont placées dans des circonstances identiques, des quantités d'eau semblables, il fallait trouver un terme de comparaison. Il eût été sans doute à désirer que cette comparaison fût établie sur des surfaces égales; mais la difficulté de donner à ce genre de mesure une précision suffisante nous a conduit à prendre comme unité des poids égaux.

Les nombres obtenus sont résumés dans le tableau suivant:

Quantité d'eau évaporée en une heure par les feuilles exposées au soleil.

DATES de L'EXPÉRIENCE.	NATURE de la plante.	TEMPÉRATURE de l'air.	POIDS de l'organe.	POIDS de l'eau recueillie.	POIDS DE L'EAU recueillie pour 100 de feuilles
			gr.	gr.	
			15.600	0.210	1.3
23 avril 1869. . . .	Colza.	25°	12.100	0.186	1.8
			18.400	0.200	1.0
			4.500	0.550	12.0
30 avril.	Colza.	36	3.225	0.385	11.0
			6.430	0.760	12.0
		28	2.440	2.015	88.2
8 juin.	Blé.	19	1.510	1.120	74.2
		22	1.850	1.330	71.8
			0.053	0.055	100.0
2 juin.	Seigle.	36	0.055	0.053	99.0
			0.065	0.060	92.0

Les expériences exécutées aux quatre dates indiquées dans le tableau ont été faites simultanément, de façon à ne pas avoir de perturbations dues à l'intensité lumineuse plus ou moins grande d'un moment à l'autre.

Le fait qui frappe d'abord à l'inspection du tableau précédent, c'est que la quantité d'eau évaporée est comparable quand les feuilles appartiennent à la même espèce et sont à peu près de même poids; mais qu'au contraire la quantité d'eau recueillie varie singulièrement d'une espèce à l'autre, et dans la même espèce avec le poids de la feuille: plus la feuille est jeune, plus le poids d'eau qu'elle évapore est relativement considérable. Ainsi les grandes feuilles de colza ont donné, relativement à leur poids, une quantité d'eau beaucoup plus faible que les plus petites, qui étaient en même temps plus jeunes. On remarquera, en outre, que les feuilles de seigle employées à l'expérience étaient beaucoup plus petites que les feuilles de blé; elles ont aussi donné des poids d'eau plus considérables. On a donc été naturellement conduit à rechercher par des expériences directes si l'âge d'une feuille avait une influence sur sa puissance évaporatoire.

Les jeunes feuilles évaporent plus d'eau que les vieilles. Les expériences ont été faites sur des feuilles de seigle: elles ont porté simultanément sur des feuilles prises en haut de la tige et très-récemment développées, sur des feuilles du milieu, et enfin sur des feuilles du pied; les trois observations étaient toujours simultanées. On a obtenu les résultats suivants:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quantité d'eau évaporée par des feuilles de seigle de différents âges exposées pendant une heure au soleil.

DATES de L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE au soleil.	PLACE des feuilles sur la tige.	POIDS des feuilles.	POIDS de l'eau recueillie.	POIDS D'EAU pour 100 de feuilles.
			gr.	gr.	
2 juin 1869.	19°	Haut.	0.053	0.055	100
		Milieu.	0.189	0.190	100
		Bas.	0.135	0.055	40
3 juin.	21	Haut.	0.055	0.053	90
		Milieu.	0.195	0.190	97,9
		Bas.	0.180	0.135	76
6 juin.	36	Haut.	0.065	0.060	92
		Milieu.	0.201	0.163	81
		Bas.	0.132	0.099	75
8 juin.	28	Haut.	0.051	0.051	100
		Milieu.	0.185	0.122	66
		Bas.	0.112	0.085	78
9 juin.	36	Haut.	0.049	0.048	92
		Milieu.	0.153	0.120	78
		Bas.	0.133	0.105	71

On reconnaît à l'inspection des chiffres précédents: 1° que les jeunes feuilles du sommet récemment développées ont toujours évaporé plus d'eau que les feuilles du bas, et que souvent les différences ont été très-considérables; 2° que si une fois la feuille du milieu a fourni un poids égal à celui qu'a évaporé la feuille du haut, dans les quatre autres expériences, la feuille du milieu a donné moins d'eau que celles du sommet; 3° enfin, que, dans quatre expériences sur cinq, les feuilles du pied ont donné moins d'eau que les feuilles du milieu. Ces résultats ont, comme nous le verrons plus loin, une grande importance pour expliquer la migration des principes immédiats solubles dans les plantes herbacées.

Influence de la lumière sur l'évaporation. Ainsi que nous l'avons vu plus haut, Guettard, puis le professeur Sachs, ont remarqué que les plantes placées au soleil évaporent beaucoup plus d'eau que celles qui sont à l'ombre; mais, comme M. Daubeny, ce dernier ignore « s'il faut attribuer l'effet obtenu à la lumière, ou s'il n'est pas dû à l'échauffement des tissus. » Enfin, résumant nos connaissances sur ce sujet, M. Duchartre écrit dans son *Traité de Botanique*: « Malheureusement aucune observation n'a démontré jusqu'à ce jour que la lumière agisse dans ce cas par elle-même, indépendamment de la chaleur qui l'accompagne. »

Pour reconnaître s'il était possible de lever ces incertitudes et de décider à quel agent il fallait attribuer le maximum d'influence sur l'évaporation, nous avons opéré sur du blé et de l'orge placés successivement au soleil, à la lumière diffuse et à l'obscurité complète. Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant:

Quantité d'eau évaporée en une heure par les feuilles exposées à la lumière diffuse et à l'obscurité.

NUMÉROS DE L'EXPÉRIENCE et nature de la plante.	CIRCONSTANCES de L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE	POIDS de la feuille.	POIDS de l'eau recueillie.	POIDS D'EAU pour 100 de feuilles.
			gr.	gr.	
N° 1. Blé.	Soleil.	28°	2.419	2.015	88.2
	Lumière diffuse. . .	22	1.920	0.342	17.7
	Obscurité.	22	3.012	0.042	1.1
N° 2. Orge. . . .	Soleil.	19	1.510	1.120	74.2
	Lumière diffuse. . .	16	1.215	0.210	18.0
	Obscurité.	16	1.342	0.032	2.3
N° 3. Blé.	Soleil.	22	1.850	1.330	71.8
	Obscurité.	16	2.470	0.070	2.8
	Soleil.	25	1.750	1.320	70.3
N° 4. Blé.	Lumière diffuse. . .	22	1.810	0.110	6.0
	Obscurité.	22	1.882	0.015	0.7

Il paraît difficile de ne pas admettre, d'après les résultats précédents, que la lumière ou plutôt la chaleur lumineuse a sur l'accomplissement du phénomène une influence décisive. On remarquera, en effet, que dans l'expérience n° 2, la température au soleil n'était que de 19 degrés, tandis qu'elle était, dans l'expérience n° 1, de 22 degrés dans l'obscurité; et cependant, dans l'expérience au soleil, la quantité d'eau émise par 100 feuilles est 74,2 et seulement 1,1 pour 100 de feuilles dans l'obscurité.

Toutefois, comme ce point: l'évaporation de l'eau par les feuilles est surtout déterminée par la lumière, nous parut avoir une grande importance, on dut multiplier les essais, afin de vérifier les résultats précédents. Dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un manchon de verre entourant le tube où était fixée la feuille, on dirigea pendant toute la durée de l'expérience un courant d'eau froide. Quand une feuille de blé du poids de 0 gr. 171 fut placée dans l'appareil au soleil, elle donna en une heure 0 gr. 168 d'eau, c'est-à-dire sensiblement son poids ; quand, au contraire, le manchon fut recouvert de papier noir, elle donna seulement 0 gr. 001 d'eau. Une autre feuille de blé pesant 0 gr. 182 donna dans le même appareil, au soleil, 0 gr. 171 d'eau et 0 gr. 003 à l'obscurité; pendant toute la durée de l'expérience l'eau était à 15 degrés.

Dans une autre expérience, l'eau à 15 degrés fut remplacée par de la glace fondante. Comme l'appareil était au soleil, la glace fondait très-vite, et à la partie inférieure du manchon où était placée la feuille, la température oscillait autour de 4 degrés; la feuille pesait 0 gr. 170. Elle donna en une heure 0 gr. 185 d'eau, c'est-à-dire 108 d'eau pour 100 de feuilles; c'est le poids le plus considérable qu'on ait obtenu. On ne saurait déduire de cette expérience que la chaleur n'a aucune action sur l'évaporation, mais il faut reconnaître que cette action est assez faible pour qu'il y ait avantage à refroidir l'appareil et à obtenir ainsi une condensation plus complète de la vapeur d'eau émise par la plante.

On sait qu'une dissolution d'alun, bien qu'à peu près transparente, est très-athermane : si l'on représente par 100 la chaleur qu'elle reçoit, 9 seulement peuvent la traverser; en remplaçant l'eau ou la glace du manchon par une dissolution d'alun, on trouva encore qu'une feuille du poids de 0 gr. 185 donna en une heure au soleil 0 gr. 175 d'eau. Ainsi l'expérience fut semblable à celle qui avait eu lieu dans l'eau pure, bien qu'une partie notable de la chaleur eût été arrêtée.

Expériences de 1870. La première partie de la funeste année 1870 a été remarquablement sèche; le soleil était éclatant, la lumière très-intense, et il était intéressant de chercher si, par suite du manque d'eau qui se faisait cruellement sentir, les plantes donneraient à l'évaporation moins de liquide que l'année précédente, qui avait été plus humide, ou si, ou contraire, l'influence de la lumière serait prépondérante et forcerait la plante à tirer du sol l'eau qu'il renfermait, jusqu'à la dernière goutte. C'est ce dernier effet qui se produisit. Le 6 juillet, on fit une expérience sur l'orge : les jeunes feuilles donnèrent en une heure 133 et 120 d'eau pour un poids de feuilles représenté par 100; les feuilles plus âgées donnèrent 76,9 d'eau pour 100 de feuilles. Le 7 juillet, on opéra sur du maïs; on obtint en une heure, de 100 de feuilles, 229, 187, 179 et 178 d'eau. Ce sont les nombres les plus forts qu'on ait encore trouvés; ils sont doubles des nombres obtenus en 1869.

Il n'avait pas plu cependant depuis un mois, et la terre à la surface était dure et sèche; mais à une profondeur de 20 centimètres elle renfermait encore 9 pour cent d'eau.

Le 14 juillet, le temps était couvert : on fit encore un essai sur les feuilles de maïs; en une heure 100 de feuilles donnèrent 29,2 d'eau. C'est donc là une nouvelle preuve que la lumière a sur l'évaporation une influence prépondérante.

Si les végétaux s'étiolent et ne prennent qu'un faible développement auprès des grands arbres qui les couvrent de leur ombre, c'est donc non-seulement parce que les arbres leur enlèvent une partie de l'eau disponible, mais aussi parce qu'ils y empêchent la transpiration en les mettant à l'abri des rayons du soleil.

Influence des divers rayons lumineux. Ainsi que l'a vu Daubeny, tous les rayons lumineux ne sont pas également efficaces pour déterminer l'évaporation de l'eau.

En opérant sur des feuilles placées dans des tubes entourés de manchons renfermant diverses dissolutions colorées, on arrive facilement à s'en convaincre. On obtient encore les mêmes résultats en prenant des dissolutions de couleurs différentes, mais présentant à peu près la même transparence.

Les expériences furent faites au mois d'octobre 1869, à l'aide des feuilles de maïs; elles ont fourni les résultats suivants :

Évaporation des feuilles de maïs exposées pendant une heure au soleil, dans des manchons renfermant des dissolutions diversement colorées.

COULEUR DE LA DISSOLUTION.	POIDS de la feuille.	POIDS de l'eau recueillie.	POIDS D'EAU pour 100 de feuilles.
	gr.	gr.	
Jaune orange (chlorure de fer)	0,335	0,201	60.6
Rouge (carmin dans l'ammoniaque)	0,200	0,103	51,0
Bleue (sulfate de cuivre ammoniacal)	0,320	0,130	40,6
Vert (chlorure de cuivre)	0,300	0,100	33,3

En 1870, on fit usage des rayons du spectre pour reconnaître si les différences signalées plus haut se poursuivaient encore; malheureusement, bien qu'on opérât par des journées éclatantes de juillet, la réflexion de la lumière sur le miroir de l'héliostat, son passage au travers du prisme, diminuent tellement son intensité, que les résultats obtenus sont très-faibles. C'est ainsi qu'après une exposition de deux heures dans les rayons jaune et rouge, une feuille de maïs de 0 gr. 432 donna 0 gr. 040 d'eau, et qu'une autre feuille de maïs du poids de 0 gr. 300, maintenue dans la lumière bleue et violette, n'abandonna dans son tube que 0 gr. 001 d'eau; la différence était bien dans le sens indiqué précédemment, mais le peu d'eau recueillie montre combien la lumière était affaiblie.

Évaporation de l'eau par les deux côtés de la feuille. Dans les expériences variées qu'il exécuta sur l'évaporation, Guettard reconnut que l'endroit des feuilles, la partie supérieure, évaporait plus d'eau que la partie inférieure; il opéra sur le cornouiller blanc. Plus récemment, M. Unger et M. Garreau ont repris cette question. Dans toutes les expériences, à l'exception de celle qui porta sur la guimauve (*althæa officinalis*), où les deux côtés de la feuille donnèrent la même quantité d'eau, la partie inférieure de la feuille évapora plus que la supérieure; ces résultats furent très-sensibles sur le dahlia et le canna.

J'ai répété, de mon côté, ces expériences, mais en opérant sur du seigle et en vernissant successivement l'une et l'autre face avec du collodion : j'ai toujours obtenu plus d'eau quand la face supérieure évaporait. Les nombres trouvés sont inscrits ci-après :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Évaporation comparée de l'envers et de l'endroit, de feuilles de seigle placées au soleil pendant une heure.

TEMPÉRATURE.	PARTIE DE LA FEUILLE ÉVAPORANT.	POIDS de la feuille.	POIDS de l'eau recueillie.	POIDS D'EAU pour 100 de feuilles.
		gr.	gr.	gr.
36°	Partie supérieure (endroit).....	0,251	0,150	59,2
32	—	0,310	0,238	70.0
35	—	0,112	0,075	66.9
35	—	0,205	0,145	70,7
36	Partie inférieure (envers).....	0,321	0,121	37,7
32	—	0,230	0,089	38,6
35	—	0,211	0,073	34,6
35	—	0,155	0,060	38,7

§ III. — *Eau évaporée par les cultures herbacées.*

En s'appuyant sur les nombres obtenus dans les expériences exécutées sur l'évaporation, les physiologistes ont souvent essayé de calculer la quantité d'eau évaporée par un hectare de terre couvert d'une récolte luxuriante, et il est possible, comme nous allons le voir, de faire ce calcul pour une journée claire et pour une journée sombre; mais on rencontre de grandes difficultés quand il s'agit d'évaluer la quantité d'eau évaporée par une plante pendant la durée de sa croissance.

Nous avons trouvé à Grignon que, dans un champ de maïs médiocrement garni, on comptait 30 pieds par mètre carré; le poids des feuilles, le 9 juillet, était environ de 242 grammes par mètre carré. Ces feuilles, par une journée claire, donnaient au minimum 150 pour cent d'eau en une heure, ou en dix heures 1500 d'eau pour 100 de feuilles. Les 242 grammes devaient donc donner 3630 grammes d'eau.

Ainsi, en une journée de dix heures, un mètre carré jetait dans l'air plus de 3 kilogrammes d'eau; un hectare donnait donc 30 tonnes. Ce chiffre peut paraître énorme; mais j'ai mis sous les yeux du lecteur tous les éléments du calcul, et je rappellerai qu'il n'est pas beaucoup plus fort que celui qu'on déduit des expériences de Hales, puisqu'on en peut tirer qu'un hectare planté en choux émettrait en une journée de douze heures 20 mètres cubes d'eau. Le botaniste Schleiden a déterminé, au moyen de pesées directes, la quantité d'eau évaporée, par un mélange d'avoine et de trèfle semé dans une caisse de tôle remplie de terre. Il l'avait trouvée égale à 3,284,000 kilogrammes par hectare, du 12 avril au 19 août. En comptant 129 jours pour cette période, on trouve que $\frac{3284}{129} = 25$ tonnes par jour, nombre peu différent de celui auquel je suis arrivé.

Ces nombres paraissent tout à fait exagérés, quand on les compare à la quantité d'eau qui existe dans le sol. On peut admettre que la terre arable a dans le champ de maïs où ont été faites les expériences précédentes 50 centimètres de profondeur; elle était desséchée jusqu'à 20 centimètres environ, et ne renfermait dans cette couche superficielle que 5 grammes d'eau par kilogramme, mais plus profondément on trouvait 90 grammes d'eau par kilogramme.

Cette terre pèse environ 1200 grammes par litre; nous avons donc pour la première couche de 20 centimètres, sur 1 mètre carré, un poids de 240 kilog. de terre renfermant seulement 1200 grammes d'eau. Mais les 30 centimètres placés au-dessous, pesant 360 kilog., renfermaient 33 kilog. d'eau. Ainsi on avait un total de 38 kilog. par mètre carré, ou 380 tonnes par hectare. On calculait donc qu'en treize jours, avec une évaporation semblable à celle du 9 juillet, toute l'eau de la terre serait épuisée. Mais il faut bien remarquer que toutes les journées sont loin de donner la même quantité d'eau évaporée: ainsi, le 14 juillet, le temps était couvert, 100 de feuilles donnaient seulement 29 d'eau; d'où les 242 grammes de feuilles auraient seulement donné en une heure 110 grammes d'eau, et en dix heures 1100 grammes au lieu de 3 kilogrammes. L'hectare n'aurait alors évaporé que 11 tonnes d'eau au lieu de 30.

L'épuisement est donc dans les jours couverts beaucoup moindre que dans les jours éclatants; mais toutefois ce calcul indique qu'il faut nécessairement que la terre reçoive de l'eau par capillarité des couches plus profondes; si les végétaux ne trouvaient pas cette ressource, ils périraient infailliblement sous l'influence des sécheresses prolongées comme celles qu'a supportées la France en 1870.

Il est extrêmement difficile d'arriver à calculer même approximativement ce qu'une culture évapore d'eau pendant le temps qu'elle reste sur le sol; cette évaporation dépend non-seulement de l'éclat de la lumière, mais encore du nombre des feuilles, de leur âge, et chacune de ces quantités variant à chaque instant, on ne peut introduire de moyenne qui ait quelque chance de représenter exactement le phénomène. Toutefois, il est remarquable que presque tous les calculs conduisent à ce résultat que l'eau évaporée est supérieure à celle que fournit la pluie; il est vraisemblable que la rosée vient combler partiellement le déficit, mais il reste encore sur ce sujet d'importantes recherches à exécuter. (Voyez, dans le n° de novembre 1871, des *Archives des sciences de la Bibliothèque universelle de Genève*, un Mémoire intéressant de M. E. Risler.)

§ IV. — *Les rayons lumineux efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique sont aussi ceux qui déterminent l'évaporation.*

Nous avons vu (chapitre II) que les feuilles éclairées par les rayons jaunes et rouges agissent sur l'acide carbonique avec infiniment plus d'énergie que celles qui reçoivent les rayons verts, bleus ou violets. Nous venons d'indiquer que ces mêmes rayons sont aussi ceux qui déterminent l'évaporation; on jugera du parallélisme de ces deux actions par le tableau de la page suivante.

Ainsi, l'évaporation active de la plante cesse à l'obscurité, comme la décomposition de l'acide carbonique: les rayons rouges et jaunes favorisent l'évaporation; ils favorisent aussi la décomposition; les verts et les bleus sont sans efficacité sur ces deux actions, et les différences se maintiennent si l'on s'efforce d'opérer à l'aide de rayons présentant la même intensité lumineuse; enfin l'endroit des feuilles décompose mieux l'acide carbonique que l'envers (Voyez page 184); de même d'après les observations de Guettard, et d'après les miennes, dans certaines plantes au moins, l'évaporation est plus active par la face supérieure que par l'inférieure: il semble donc qu'il y ait entre ces deux actions une liaison occulte qui avait jusqu'à présent échappé aux physiologistes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Influence comparée de divers rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et sur l'évaporation de l'eau des feuilles.

Le manchon renferme :	Quantité d'acide carbonique décomposé en une heure par une feuille de blé pesant 0gr.180.	Quantité d'eau évaporée en une heure par une feuille de blé pesant 0gr.175.
L'atmosphère renfermait 38,8 d'acide carbonique pour 100 de gaz.		
Dissolution jaune de chromate neutre de potasse.	7cc,7	0gr,111 d'eau.
Dissolution bleue de sulfate de cuivre ammoniacal. . . .	1 ,5	0 ,011 —
Dissolution violette d'iode dans le sulfure de carbone. .	0 ,3	0 ,001 —
	La température était de 37°.	La température était de 38°.
La feuille pesait 0gr.172 ; l'atmosphère renfermait 22.2 d'acide carbonique.		
Dissolution rouge de carmin dans l'ammoniaque.	15cc,1	0gr,161 d'eau.
Dissolution verte de chlorure de cuivre.	La feuille a émis 0cc.9 d'acide carbonique [1].	0 ,010 —

1. A la fin de l'expérience, on trouva 23,1 d'acide carbonique, au lieu de 22,2.

§ V. — *Composition de la sève ascendante.*

La puissance d'absorption des racines, les actions capillaires qui se produisent dans les fibres du bois, l'évaporation enfin, suffisent à expliquer le mouvement ascensionnel de l'eau dans la plante; mais il importe d'insister maintenant sur la composition du liquide qui traverse le végétal pour venir s'évaporer dans les feuilles.

Quand on examine la sève au premier printemps, on la trouve, en général, très-peu chargée de principes solubles; elle est presque uniquement formée d'eau pure, et présente parfois une ressource précieuse au voyageur altéré. M. Boussingault rapporte que, dans les régions équinoxiales, on boit avec plaisir la sève du *Guaduas*, gigantesque graminée qui atteint souvent l'énorme hauteur de 20 à 30 mètres; à l'analyse, cette sève n'a présenté en effet que des traces de sulfates, de chlorures et de matière animale.

D'après Knight, la sève croît en densité à mesure qu'elle s'élève davantage dans les arbres : la sève d'un *Acer platanoides* recueillie à l'aide d'une incision pratiquée au bas du tronc avait, selon cet habile observateur, une densité de 1,004; à trois mètres de hauteur, la densité était de 1,008; à quatre mètres, 1,012. Knight en conclut que, pendant sa marche ascensionnelle, la sève entraîne des substances déposées dans le bois et susceptibles de fournir les matériaux des bourgeons et des feuilles. En 1833 (*Nouvelles archives du Muséum*, t. II), M. Biot étudia la sève de différents arbres, qu'il se procurait en pratiquant des trous dans les arbres à différentes hauteurs; le résultat le plus remarquable de ses recherches fut que les sèves renferment habituellement du glucose ou du sucre de canne dans les noyers et les sycomores, et du glucose dans les lilas.

Il remarqua que la première émission de sève est toujours la plus chargée. Nous avons eu occasion d'observer le même fait en étudiant à Grignon les pleurs de la vigne plusieurs jours de suite; tandis que les premières quantités recueillies renfermaient manifestement du sucre de canne, il ne fut plus possible de le déceler à l'aide du réactif de Fehling quelques jours plus tard.

Ces différences dans la composition de la sève expliquent comment différents observateurs ont obtenu, en l'étudiant, des résultats variés; comment M. Langlois a trouvé que la sève de la vigne ne renferme pas de sucre, mais seulement du phosphate et du tartrate de chaux dissous à la faveur de l'acide carbonique; de l'albumine, des nitrates et du sulfate de potasse; des lactates alcalins, du chlorhydrate d'ammoniaque. L'idée qui se présente naturellement à l'esprit pour expliquer ces différentes observations est que la sève renferme non-seulement les matières solubles de la terre arable, mais que, de plus, ainsi que le supposait Knight, elle dissout au moment de son passage au travers des tissus les matières qui s'y trouvent déposées, qu'elle se concentre ainsi à mesure qu'elle s'élève et qu'elle se charge d'une plus grande quantité de ces matériaux. Cette manière de voir rend compte encore de l'observation de M. Biot, vérifiée à l'école de Grignon, à savoir, que c'est pendant les premiers jours de son écoulement que la sève est le plus chargée, tandis qu'ensuite elle devient de plus en plus pauvre de principes organiques.

L'explication de ces derniers faits est facile quand on remarque qu'il existe une quantité assez notable d'amidon dans le tissu ligneux avant que la sève se soit mise en mouvement, mais qu'au contraire cet amidon disparaît absolument aussitôt que l'ascension commence. Nous verrons plus loin que, dans les graminées, les principes immédiats hydrocarbonés se succèdent dans l'ordre suivant: glucose, sucre, amidon, et il semble que dans les arbres nous assistons, au moment du réveil de la végétation, à une transformation précisément inverse, et que l'amidon donne successivement du sucre de canne et du glucose.

La réaction de l'iode sur l'amidon est tellement nette, que nous ne croyons pas que notre observation puisse être révoquée en doute, et elle nous paraît avoir ce grand intérêt, qu'elle nous indique l'origine des matériaux employés par la plante à la formation des premiers bourgeons. Ce qui a lieu dans les végétaux ligneux est donc tout à fait comparable à ce qu'on observe dans les végétaux herbacés pourvus de tubercules : dans l'un et l'autre cas ce serait dans une tige plus ou moins modifiée qu'existerait le dépôt d'amidon destiné à se transformer d'abord en glucose, pour cheminer aisément jusqu'aux points où, s'organisant en cellulose, il forme les premiers bourgeons, puis les feuilles.

Il est vraisemblable également que la matière albuminoïde que tous les observateurs ont constatée dans la sève de printemps est utilisée à la formation de la matière verte, dont un des principes est azoté. Mais ici encore, les matières contenues primitivement dans les racines ou dans les graines prennent une forme de transport pour cheminer dans l'eau qui s'élève dans la jeune plante; pour les matières azotées, cette forme de transport paraît être l'asparagine, résultant de l'oxyda-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion des matières albuminoïdes qui a lieu au moment du réveil de la végétation. Cette asparagine diffère des albuminoïdes: elle renferme moins de charbon et d'hydrogène, mais plus d'oxygène, et dans quelques plantes elle ne peut revenir à l'état d'albuminoïde que sous l'influence de la lumière, qui détermine la formation dans la plante des éléments hydrocarbonés, sur lesquels réagit l'asparagine pour donner les albuminoïdes; quand la plante végète dans l'obscurité, l'asparagine y persiste. Voy. *Pfeffer, Bot. Zeitung*, 1874, n° 14.

Ainsi, soit dans la graine, soit dans les tubercules, soit dans le bois, la plante trouve les éléments nécessaires à la formation des feuilles; aussitôt qu'elles sont constituées, leur travail commence: elles déterminent par l'évaporation de l'eau un apport constant de matières azotées, elles décomposent l'acide carbonique, et mettent en œuvre les matériaux nécessaires à la formation des nouveaux organes.

§ VI. — *Apparition de la chlorophylle dans les feuilles.*

Les réactions qui déterminent la métamorphose du glucose ou de la dextrine en cellulose nous sont inconnues. Nous voyons dans la tige comme dans le tubercule, comme dans la graine, l'amidon disparaître, les hydrates de carbone solubles prendre naissance, puis disparaître au moment où s'organise la cellulose des nouveaux bourgeons; mais nous ignorons le mécanisme de cette transformation, ainsi que celui de la formation des principes qui donnent la matière susceptible de verdir au soleil ou sous l'influence de la lumière électrique.

Formation de la matière verte. La lumière électrique produit, en effet, sur des plantes étiolées développées dans l'obscurité, le même effet que la lumière solaire (Hervé Mangon, *Comptes rendus*, 1861, p. 263). Mais pour que la chlorophylle apparaisse en un point de ces feuilles, il faut que ce point-là même soit éclairé; l'influence de la lumière est tout à fait locale.

Si, d'après M. Sachs, on fixe une petite lame de plomb sur une feuille blanche développée dans l'obscurité, le reste de la feuille se colorera, tandis que la partie protégée par la lamelle restera incolore. Mais il faut, pour réussir cette expérience, que l'écran soit exactement appliqué. S'il peut pénétrer la moindre lumière pardessous, la partie protégée verdira, même avant les autres, à cause de la température plus élevée, favorable au développement de la chlorophylle, que maintiendra en ce point la lamelle de plomb.

Pour que les plantes restent d'un blanc jaunâtre, il faut qu'elles soient dans une obscurité absolue; quand elles sont insuffisamment protégées contre la lumière, elles verdissent. On peut élever du maïs dont les feuilles présentent la coloration verte normale, en recouvrant d'un cornet de papier le vase dans lequel on l'a mis à germer. Ce dernier résultat est important, car il explique comment les embryons de certaines graines verdissent, bien qu'ils ne reçoivent pas directement la lumière du soleil, et qu'ils soient protégés contre elle par des gousses ou des siliques.

Tous les rayons lumineux ne sont pas également efficaces pour déterminer la formation de la chlorophylle. M. Guillemin, puis M. Sachs, ont reconnu que les rayons jaunes et rouges, qui favorisent dans les feuilles la décomposition de l'acide carbonique mieux que les verts et les bleus, sont aussi ceux qui déterminent plus énergiquement le verdissement des plantes.

Les grains de chlorophylle, qui ont besoin de la lumière pour apparaître, ont aussi besoin d'être éclairés pour se maintenir à leur état normal, et dans l'obscurité les feuilles d'un certain nombre de plantes phanérogames deviennent d'abord vert clair, se couvrent de taches, et enfin jaunissent complétement. La privation de lumière est dans ce cas mortelle pour les feuilles.

Nous savons que parmi les principes qu'on peut extraire de la matière très-complexe, désignée sous le nom de chlorophylle, se trouvait une matière azotée; nous savons encore (§ 9, chap. IV) que c'est seulement dans les cellules renfermant de la chlorophylle qu'a lieu la décomposition de l'acide carbonique, et nous comprenons dès lors que le gain en carbone d'une plante soit lié à la quantité d'azote que le sol peut lui fournir. Dans les expériences exécutées dans les sols stériles, on voit les jeunes plantes ne faire de nouveaux organes qu'en utilisant les matériaux contenus dans ceux qui se sont développés les premiers; le développement d'une nouvelle feuille entraîne le dépérissement d'une feuille ancienne, et dans ces conditions la plante n'augmente que très-médiocrement son poids; la décomposition de l'acide carbonique n'a lieu qu'avec une certaine lenteur. Aussitôt, au contraire, que l'azote de l'engrais intervient, tout change, l'élaboration de la matière végétale augmente rapidement; c'est qu'en effet la plante possède alors les éléments nécessaires pour produire la chlorophylle sans laquelle la décomposition de l'acide carbonique ne saurait avoir lieu. La production de cette chlorophylle est très-nettement liée avec la richesse du sol, et les cultivateurs ont observé depuis longtemps combien contraste le vert sombre des plantes luxuriantes développées sur un sol bien fumé, avec le vert jaunâtre des plantes chétives qui croissent sur les terres appauvries.

§ VII. — *Migration des principes immédiats dans les végétaux.*

Les feuilles sont par excellence l'organe nutritif de la plante, c'est dans leurs cellules qu'ont lieu la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau, la réduction des hydrates de carbone, les albuminoïdes enfin semblent y prendre également naissance; les feuilles servent en outre de dépôt pour la plante, puisqu'on y voit de l'amidon, qui y reste en réserve quand la production des principes immédiats est plus active que n'est leur consommation, mais si les substances qui s'y sont formées y séjournent pendant quelque temps, elles n'y persistent pas cependant indéfiniment; dans les plantes herbacées elles abandonnent successivement les feuilles du bas, qui jaunissent et tombent, pour s'accumuler dans les feuilles supérieures, puis enfin dans la graine. La conservation de l'espèce est dès lors assurée, l'individu se flétrit et meurt.

Dans les plantes vivaces, le réceptacle des principes immédiats est non-seulement la souche, mais encore le bois, dans lequel on découvre facilement de l'amidon, qui, résorbé au premier printemps, se transforme en glucose, puis en cellulose, pour former les jeunes feuilles à l'aide desquelles la plante va puiser de nouveau dans l'air ses aliments carbonés. Enfin, dans certains cas, c'est dans les tiges souterraines, tubercules ou rhizomes, ou même dans les racines que s'accumulent les principes immédiats élaborés par les feuilles pendant la belle saison.

Les substances minérales se déplacent aussi d'un point de la plante à l'autre; il convient même de commencer l'étude des migrations qui se succèdent dans les végétaux par celle des substances minérales, car la démonstration du fait même de la migration est plus facile pour des substances indestructibles que pour les matières combustibles, qu'on peut supposer disparaître en un point par combustion lente, et être formées de nouveau de toutes pièces en un autre point, avec l'acide carbonique, l'eau, etc. Cette opinion n'est certainement pas très-sérieuse, car on ne comprendrait pas pourquoi, dans les plantes herbacées, la formation de la graine n'a lieu qu'à la fin de la végétation et non au commencement, si cette graine élaborait elle-même les principes qu'elle renferme, et si elle ne bénéficiait pas du travail accompli par les feuilles; mais sans avoir recours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à ce mode de raisonnement, on peut démontrer l'existence de ces migrations en déterminant à diverses époques la composition des cendres des différentes parties de la plante. Leur destruction, puis leur formation, ne sauraient être invoquées comme elles le sont pour les principes combustibles; et si nous constatons la présence des phosphates, par exemple, en quantités notables dans les feuilles à un certain moment, puis qu'après avoir reconnu leur disparition des feuilles, nous les trouvions ensuite dans les graines, nous serons obligés de convenir qu'ils ont passé de l'un à l'autre.

Or, il résulte de nombreuses analyses, et notamment de celles qui ont été exécutées par M. le docteur Zoeller sur les cendres des feuilles de hêtre prises à diverses époques, que la composition des cendres varie singulièrement du printemps à l'automne. Au commencement elles renferment des quantités notables de potasse et d'acide phosphorique, mais le carbonate de chaux et la silice ne s'y trouvent qu'en très-faible proportion, tandis qu'au contraire à la fin de la saison, la potasse et l'acide phosphorique ont disparu et les cendres sont presque exclusivement formées par du carbonate de chaux et de la silice, c'est-à-dire par des matières solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais insolubles dans l'eau pure. Nous avons au reste insisté plus haut sur le mécanisme de leur accumulation dans les vieilles feuilles qui ont fonctionné longtemps comme appareil d'évaporation, et nous avons fait remarquer, en outre, que la potasse et l'acide phosphorique, qui étaient abondants au mois de mai dans les feuilles, ne se rencontrent plus dans les cendres des feuilles cueillies en octobre.

Ce fait, constaté par M. Zoeller, n'est pas isolé: il apparaît avec la plus grande netteté dans les plantes herbacées, quand on a la précaution d'en examiner successivement les organes; il ressort notamment très-clairement du beau mémoire de M. Isidore Pierre sur le développement du blé.

Migration de l'acide phosphorique pendant le développement du blé. Voici les résultats trouvés pour la quantité d'acide phosphorique contenue dans les feuilles à diverses époques du développement de la plante:

Proportion d'acide phosphorique par kilog. de matière sèche.

DÉSIGNATION DES PLANTES.	11 mai.	8 juin.	22 juin.	6 juillet.	25 juillet.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Troisièmes feuilles...	6.63	3.51	2.61	2.90	3.33
Quatrièmes feuilles..	5.68	2.57	3.06	1.99	2.31
Cinquièmes feuilles..	5.66	2.67	3.31	1.48	1.14

La diminution est donc bien sensible, et elle l'est encore plus qu'elle ne le paraît dans les nombres précédents. En effet, au 25 juillet, les feuilles ont non-seulement perdu de l'acide phosphorique, mais aussi du glucose, qui s'est transformé d'abord en sucre de canne, puis s'est condensé dans la graine sous forme d'amidon; de l'albumine, qui est devenu du gluten; et l'on conçoit que si la perte des matières organiques subie par la plante est plus grande que la perte des matières minérales, celle-ci ne soit pas sensible, ou qu'elle soit au moins singulièrement amoindrie quand on présente les résultats, comme nous l'avons fait plus haut, bien qu'elle soit très-réelle cependant.

C'est ce que M. Is. Pierre a très-bien fait voir en comparant la quantité d'acide phosphorique contenue dans les épis et dans les feuilles développées sur un hectare à diverses périodes de la végétation.

Poids total d'acide phosphorique par hectare.

DÉSIGNATION DES PLANTES.	11 mai.	3 juin.	22 juin.	6 juillet.	25 juillet.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Épis pleins.	»	2.43	4.33	8.31	10 88
Troisièmes feuilles...	1.90	0.59	1.05	0.85	0.86
Quatrièmes feuilles..	1.42	0.97	0.72	0.34	0.40
Cinquièmes feuilles..	0.86	0.67	0.16	0.35	0.05

Le transport est donc ici bien certain; l'épi a gagné ce que les feuilles ont perdu.

Les mêmes faits se reproduisent pour la migration de l'acide phosphorique dans le colza. (Mémoire de M. Is. Pierre, *Annales de chim. et de phys.*, 1860, t. IX, p. 429.)

Nous donnerons deux des tableaux dans lesquels cette migration apparaît avec le plus d'évidence:

Acide phosphorique contenu dans la récolte de colza obtenue d'un hectare.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES EFFEUILLÉES et siliques.	SOMMITÉS DES RAMEAUX avec fleurs ou siliques.	FEUILLES VERTES.	FEUILLES MORTES.	RÉCOLTE ENTIÈRE.
1859.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
22 mars....	7.67	9.59	3.77	17.56	»	38.59
2 avril....	8.00	14.64	5.09	15.65	1.58	41.96
6 mai.....	10.35	31.14	23.23	12.06	6.53	83.31
6 juin. ...	8.30	14.50	47.34	8.84	0.95	71.93
20 juin. ...	8.32	10.45	64.66	»	»	83.43

Dans le tableau suivant, le fait de la migration est encore, s'il est possible, plus nettement établi:

Aliquote par kilogramme d'acide phosphorique imputable à chacune des parties de la plante.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES EFFEUILLÉES et siliques.	SOMMITÉS DES RAMEAUX avec fleurs ou siliques.	FEUILLES VERTES.	FEUILLES MORTES.	PLANTE ENTIÈRE.
1859.						
22 mars....	199	248	97	456	»	1000
2 avril....	178	326	11	368	35	1000
6 mai.....	124	374	279	145	78	1000
6 juin. ...	115	202	658	12	13	1000
20 juin. ...	100	125	775	»	»	1000

Les commentaires sont inutiles; il est bien évident que tandis que sur 1,000 grammes d'acide phosphorique contenus dans la plante le 22 mars, les feuilles en accusaient 456, et les tiges ajoutées aux sommités des rameaux 345, au 6 juin les feuilles en contenaient 25 grammes, et le haut des tiges et les sommités des rameaux 860 grammes. Il est donc certain que l'acide phosphorique passe d'un point de la plante à l'autre.

M. Garreau a fait, en 1859, des observations dans le même sens que les précédentes; il a reconnu que les cendres des axes et des jeunes feuilles, des bourgeons,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont riches en acide phosphorique au premier printemps, mais qu'au contraire les tiges herbacées, après maturation des graines, donnent des cendres qui n'en renferment plus que de faibles proportions.

Les mêmes faits s'observent pour les pois. M. Corenwinder a trouvé dans de jeunes tiges de 7 centimètres de hauteur 27,46 d'acide phosphorique pour 100 de cendres, et, après maturité des graines, il a trouvé, dans les cendres des tiges sèches, acide phosphorique 4,44 pour cent.

Dans les cendres de jeunes fèves dont les deux premières feuilles seulement étaient épanouies, il a trouvé 24,62 pour cent d'acide phosphorique, et seulement des traces dans ces mêmes tiges après maturité des graines.

La migration de l'acide phosphorique, son transport d'un organe à l'autre, n'est donc pas douteuse. On pourrait citer des faits tout aussi concluants relativement à la migration de la potasse, car, en général, il ne reste dans les vieilles feuilles que les éléments minéraux solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais insolubles dans l'eau pure, qui s'y sont déposés par l'évaporation ou la décomposition de l'acide carbonique.

Les faits précédents présentent, au point de vue de la culture, un renseignement d'une haute importance. Ils nous font voir que l'acide phosphorique est particulièrement utile aux plantes cultivées pour graines, puisqu'il vient s'accumuler peu à peu dans celles-ci et qu'on le voit successivement abandonner les feuilles dans lesquelles il était contenu d'abord pour arriver jusqu'à la sommité des siliques, et se concentrer dans les graines. L'expérience de la culture a en effet démontré que, dans les terrains formés par la désagrégation des roches qui ne renferment pas de phosphore, tels que les terrains granitiques, l'apport des engrais phosphatés est indispensable. On sait, en effet, que la Bretagne formée par la décomposition de ces roches granitiques est la partie de la France qui a consommé et qui peut-être consomme encore la plus grande quantité d'engrais phosphatés. Il est probable qu'au contraire les terres provenant des roches volcaniques, telles que les terres d'Auvergne, ne bénéficient que dans une moindre mesure des engrais phosphatés. En effet, il résulte des analyses exécutées par M. P. Gasparin que le phosphate se trouve dans ces sols en proportions relativement considérables.

Il ne faudrait pas toutefois exagérer la portée des résultats précédents, et croire que les seules cultures auxquelles les engrais phosphatés sont nécessaires sont les cultures destinées à fournir des graines; l'expérience enseigne au contraire que les cultures de racines reçoivent ces engrais avec grand avantage; en France l'emploi des superphosphates sur les cultures de betteraves commence à s'introduire, et il est absolument général en Angleterre sur les cultures de *turnips* ou navets qui commencent les rotations.

Migration des principes azotés. Il y a longtemps que les cultivateurs ont observé que lorsqu'on laisse monter un fourrage à graine pour récolter celle-ci séparément, il a une valeur nutritive beaucoup moindre que s'il avait été consommé avant la formation et la maturité des grains. Cette ancienne observation de la pratique se trouve justifiée par les travaux récents sur la maturation du blé et du colza, de M. Is. Pierre que nous citons plus haut.

Dans le travail sur le colza (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1860), M. Is. Pierre donne plusieurs tableaux indiquant la quantité d'azote contenue dans les diverses parties de la plante à l'état vert et à l'état sec; mais le fait du transport des matières azotées pendant la durée de la végétation est mis plus complétement en lumière dans le tableau suivant, où nous voyons l'azote, d'abord contenu en plus grande quantité dans

les feuilles et les racines, les abandonner pour s'accumuler dans les sommités des rameaux.

Aliquote par kilog. d'azote imputable aux diverses parties de la plante.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES EFFEUILLÉES et étêtées.	SOMMITÉS DES RAMEAUX avec fleurs ou siliques.	FEUILLES VERTES.	FEUILLES MORTES.	PLANTE ENTIÈRE.
1859.						
22 mars....	117	210	135	588	»	1000
2 avril....	116	233	174	451	26	1000
6 mai.....	74	272	378	199	77	1000
6 juin. ...	61	183	688	13	55	1000
20 juin. ...	51	114	835	»	»	»

On remarquera, dit M. Is. Pierre, que les sommités des rameaux, au moment de la maturité, contiennent plus des quatre cinquièmes de l'azote de la récolte entière.

Dans le tableau suivant, nous voyons la quantité d'azote contenue dans la récolte totale d'un hectare atteindre un certain maximum, puis retomber à un chiffre un peu plus bas; mais nous voyons encore tous les organes s'appauvrir peu à peu aux dépens de la sommité des rameaux avec fleurs ou siliques.

Azote combiné renfermé dans la récolte produite par un hectare.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES EFFEUILLÉES et étêtées.	SOMMITÉS DES RAMEAUX avec fleurs ou siliques.	FEUILLES VERTES.	FEUILLES MORTES.	RÉCOLTE ENTIÈRE.
1859.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
22 mars...	10.28	18.42	11.84	47.30	»	87.84
2 avril...	10.86	21.75	16.26	42.02	2.33	93.22
6 mai....	9.73	35.83	49.63	26.16	10.07	131.40
6 juin. ..	7.53	22.69	85.52	1.60	6.86	124.19
20 juin. ..	5.96	13.41	99.77	»	»	117.11

Dans les tiges étêtées, dépouillées de leurs feuilles, la quantité totale d'azote augmente jusqu'à l'époque de la formation des graines, puis diminue ensuite, et tombe au-dessous de la quantité trouvée au moment de la première observation, tandis que le poids de la matière sèche triple dans le même laps de temps.

Les sommités des rameaux seules offrent un accroissement constant et toujours considérable depuis la première jusqu'à la dernière observation. Ainsi le 20 juin les sommités des rameaux renferment près de 100 kilogrammes d'azote combinés sur les 117 que renferme la récolte totale, tandis que le 22 mars, sur les 87 kilogrammes que renfermait le colza, les sommités des rameaux n'en contenaient pas tout à fait 12.

« Si dans la récolte entière on voit, à partir de l'observation du 6 mai, la quantité totale d'azote diminuer, il est naturel de l'attribuer à ce que, dans les dernières observations, une partie des feuilles mortes a disparu et n'a pu être recueillie.

« Il est curieux de voir qu'en négligeant, dans l'observation du 6 juin, la quantité d'azote contenue dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

feuilles mortes, on retrouve exactement la même quantité totale d'azote dans la récolte du 6 juin et dans celle du 20 juin, malgré les grandes différences que l'on observe dans les différentes parties; ce qui semble indiquer qu'à partir de la première de ces deux époques, les principes azotés de l'organisme de la plante, abstraction faite des transformations qu'ils y peuvent encore subir, n'éprouvent plus d'accroissement important, mais obéissent à une action qui tend à les entraîner de la base de la plante vers la partie supérieure. »

Nous extrayons encore du mémorable travail de M. Is. Pierre sur le développement du blé, le tableau suivant dans lequel nous voyons la matière sèche d'abord, contenue pour moitié dans les feuilles, arriver ensuite aux tiges et aux sommités des rameaux.

Matière sèche produite sur un hectare (blé).

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES EFFEUILLÉES et étêtées.	SOMMITÉS DES RAMEAUX avec fleurs ou siliques.	FEUILLES VERTES.	FEUILLES MORTES.	RÉCOLTE ENTIÈRE.
1860.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
22 mars....	816	943	208	1745	»	3712
2 avril....	898	1310	323	1610	150	4291
5 mai.....	1285	3861	1493	911	907	8457
6 juin.....	1156	3278	3887	66	814	9201
20 juin.....	1189	2987	5018	»	»	9194

Migration des matières organiques dans le blé. Les conclusions du travail du savant doyen de la Faculté des sciences de Caen ont une telle importance, que nous les reproduisons en entier (Delagrave, *Recherches expérimentales sur le développement du blé*, 1866):

« 1° Quinze à vingt jours au moins avant la moisson, le poids total de la récolte, prise en masse et dans son ensemble, cesse d'augmenter;

« 2° Pendant ces quinze à vingt jours, l'épi emprunte aux différentes parties de la tige qui le supporte à peu près tout l'accroissement de poids qu'il éprouve;

« 3° Il semble résulter de là que, plusieurs semaines avant la moisson, la vie de la plante est une vie tout intérieure, dans laquelle l'intervention du sol, et en général des agents extérieurs, doit être peu importante [1], que la plante doit contenir alors toute sa provision de substance, et que les derniers efforts de la vie végétative ne semblent plus avoir alors d'autre but et d'autre effet qu'un complément d'élaboration et une répartition différente des principes nutritifs de la plante principalement au profit de la graine;

« 4° Dans les feuilles considérées à part et toutes ensemble, la diminution de poids, quelle qu'en soit l'explication, paraît commencer environ quatre semaines avant la moisson;

« 5° Une diminution analogue se manifeste également dans les entre-nœuds supérieurs dépouillés de leurs feuilles. »

Quant aux migrations de l'azote, voici à quels résultats ont conduit les nombreux dosages exécutés:

1. Nous verrons plus loin que nous différons ici d'opinion avec M. Is. Pierre, et que c'est pour nous sous l'influence de l'évaporation déterminée par la lumière qu'a lieu le transport des éléments dans la plante. Il est possible, au reste, que, dans l'esprit de M. Is. Pierre, le mot « agent extérieur » doive s'entendre surtout des engrais qui ne peuvent avoir à ce moment aucune utilité sur le développement de la plante, ainsi que la pratique agricole l'a reconnu depuis longtemps.

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

« La proportion d'azote contenue dans un kilogramme de chacune des parties de la plante éprouve une diminution graduelle et rapide à mesure que la plante avance vers la maturité. (Les épis pleins et complets forment une exception, sur laquelle nous reviendrons plus loin.)

« Si, au lieu de suivre une même subdivision de la plante aux diverses époques successives d'observation, nous comparons, à une même époque quelconque, les subdivisions de même nature, soit les diverses feuilles entre elles, soit les nœuds entre eux, soit les entre-nœuds, en descendant du sommet de la plante vers la base, nous observons également une diminution progressive de richesse dans les entre-nœuds successifs; aussi bien que dans les feuilles et dans les nœuds, en sorte que les parties ayant terminé le plus anciennement leur développement sont toujours les plus pauvres en azote.

« Cet appauvrissement ne peut pas être attribué uniquement, comme on pourrait être tenté de le faire, à une augmentation de poids des parties, augmentation par suite de laquelle la même quantité d'azote, répartie entre un plus grand nombre de kilogrammes, en fournirait naturellement moins à chacun d'eux: en effet, le poids total des feuilles, celui des nœuds et celui des entre-nœuds éprouvent eux-mêmes, pendant les quatre dernières semaines qui précèdent l'époque de la moisson, une très-notable diminution.

« C'est surtout l'absorption due au développement de l'épi qui est la principale cause de l'appauvrissement que nous venons de signaler dans les autres parties.

« *Poids total de l'azote.* Pendant le dernier mois, certaines parties en ont perdu les trois quarts de ce qu'elles en contenaient auparavant, principalement les parties supérieures, les plus jeunes, celles dans lesquelles les phénomènes de la vie s'accomplissent avec le plus d'activité [1].

« Mais, tandis que les autres parties de la plante perdent ainsi la majeure partie de leur azote, l'épi en gagne énormément pendant le même temps. (Dans les expériences exécutées par M. Is. Pierre, en 1864, il en a gagné, pendant le dernier mois, environ 200 p. 100.) C'est donc par suite d'un phénomène de transport vers l'épi que le reste de la plante perd, pendant les dernières semaines, les deux tiers de son azote. Le poids total de l'azote contenu dans la récolte entière (épis compris) paraît atteindre son maximum environ un mois avant la maturité du blé. Le poids total de l'azote contenu dans la totalité des feuilles ou dans la totalité des *tiges nues*, après avoir progressé jusques après la floraison, commence à décroître ensuite d'une manière continue plus de six semaines avant la moisson. »

A ces résultats si nets et si précis, nous pourrions ajouter ceux que nous ont donnés nos recherches sur la migration des principes hydrocarbonés; mais nous préférons ne les résumer que lorsque nous aurons étudié les causes mêmes de cette migration.

§ VIII. — *Du mécanisme de la migration dans les végétaux herbacés.*

Les faits précédents établissent nettement que les principes immédiats formés dans un des organes de la plante n'y persistent pas indéfiniment, mais abandonnent cet organe pour pénétrer dans un autre [2]. La feuille,

1. Les épis ne sont pas compris dans cette appréciation.

2. Si les feuilles sont l'organe dans lequel prend naissance le glucose et souvent aussi l'amidon, enfin aussi les matières albuminoïdes, il est possible que certains autres principes immédiats se forment plutôt dans d'autres parties de la plante: c'est ainsi qu'on trouve souvent le sucre de canne plus abondant dans les tiges que dans les feuilles. Cette observation est particulièrement facile à vérifier sur les maïs et sur le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

ainsi que nous l'avons dit plus haut, nous apparaît donc comme le laboratoire dans lequel prennent naissance les principes immédiats, et sans doute aussi comme le réservoir dans lequel ils séjournent provisoirement pour arriver enfin jusqu'à la graine.

Toutefois, si les considérations précédentes établissent nettement le fait de la migration, elles n'indiquent en aucune façon le mécanisme de celle-ci, et nous devons nous efforcer de le découvrir.

Le mouvement des principes immédiats solubles dans les plantes monocotylédones herbacées, comme les céréales, que nous avons particulièrement étudiées, est dû pour nous à la différence de puissance évaporatoire des feuilles dans le jeune âge et à une époque plus avancée de leur maturité.

Nous avons reconnu, en effet (§ 1), que les feuilles du bas des tiges de seigle évaporent dans le même temps et à la même lumière une quantité d'eau infiniment plus faible que les feuilles du haut ; la différence pouvait aller du simple au double. Nous avons reconnu le même fait dans les feuilles de maïs, dans celles de colza, et il n'y a aucune raison pour qu'il n'en soit pas ainsi dans toutes les plantes herbacées. C'est de cette différence d'évaporation que nous voulons tirer l'explication du transport des principes immédiats des feuilles du pied à celles du sommet, et nous aurons recours d'abord, pour éclairer la question, à une expérience exécutée à l'aide d'appareils de laboratoire.

Dans un flacon renfermant une petite quantité d'eau, plongent deux mèches de coton assujetties dans des tubes de verre (fig. 4). L'une est imprégnée de sulfate de cuivre, et son extrémité supérieure s'épanouit librement à l'air; l'autre a été trempée dans une dissolution de ferrocyanure de potassium, et son extrémité libre est enfermée dans un tube d'essai, dont l'atmosphère, bientôt saturée de vapeur d'eau, empêche toute évaporation. Il n'en est pas de même pour la mèche à sulfate de cuivre; elle évapore constamment. Après quelques jours, une partie notable du sulfate de cuivre qu'elle renfermait est venue cristalliser à son extrémité,

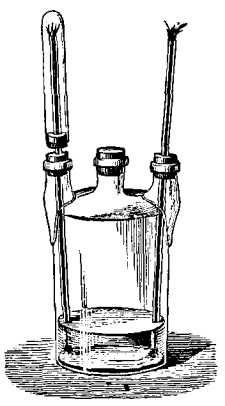


Fig. 4.

et un peu plus tard, de larges taches brunes, produites par la réaction du ferrocyanure de potassium sur le sulfate de cuivre, annoncent que le sel soluble contenu dans la mèche sans évaporation, appelé par le courant ascensionnel que détermine l'évaporation à ferrocyanure, a quitté la mèche dans laquelle il avait été placé; il s'est transporté au travers de l'eau jusqu'à la mèche où l'évaporation est active.

La différence d'évaporation a donc suffi pour déterminer, dans cet appareil, un mouvement analogue à celui qui a lieu dans le végétal gorgé d'eau, lorsque l'évaporation, activée par la lumière éclatante des longues journées d'été, lance dans l'air les quantités énormes d'eau que nous avons signalées dans les paragraphes précédents.

Quand le sol se dessèche, durcit, que son humidité s'épuise, les jeunes feuilles ne peuvent suffire à leur dépense incessante qu'en puisant l'eau de tous côtés : c'est alors qu'elles dépouillent les feuilles plus anciennes, chez lesquelles la force d'évaporation est déjà affaiblie de l'eau qu'elles renferment et des principes que celle-ci tient en dissolution; c'est alors aussi que la maturation avance.

Dans les régions septentrionales, l'été est court, mais les jours sont d'une grande longueur, et l'évaporation fonctionnant plus activement que dans les régions où le soleil ne reste pas aussi longtemps au-dessus de l'horizon, les plantes accomplissent en un temps plus court leur cycle de végétation.

Quand les années sont sèches, que le soleil se montre chaque jour avec une implacable sérénité, l'évaporation est trop active et les récoltes ne sont pas aussi abondantes que dans les années où la lumière est moins éclatante. Pendant l'année 1870, les mois de mai et de juin ont été presque constamment beaux, et la végétation a été trop hâtée: l'avoine avait à peine à Grignon la moitié de sa hauteur ordinaire; les feuilles ont vécu trop vite; elles ont été desséchées trop tôt par une évaporation trop active, et elles n'ont pas pu former, pendant leur vie de courte durée, la même quantité de principes immédiats que si elles avaient fonctionné pendant un temps plus prolongé.

Si au contraire le temps est couvert, que la pluie soit fréquente, que la terre soit gorgée d'eau, tout s'arrête; le transport n'a pas lieu. Les feuilles, en effet, trouvent dans ce cas, dans le sol, des quantités d'eau notables; les plus jeunes n'enlèvent pas aux plus anciennes l'eau qu'elles évaporent, et l'on ne voit plus les principes immédiats émigrer d'un organe à l'autre, pour venir s'accumuler dans les feuilles supérieures. Ce sont là les saisons, comme chacun sait, favorables aux herbages, mais non à la culture des plantes dont on veut obtenir des graines.

Ainsi, d'après nous, l'évaporation, plus active chez les jeunes feuilles que chez les anciennes, est la cause déterminante du mouvement des principes immédiats nécessaire à la maturation; et comme cette évaporation est produite par la lumière et non par la chaleur, on conçoit que deux années également chaudes pourront être inégalement favorables à la végétation, si elles sont inégalement lumineuses [1].

seigle; il est possible également que les principes hydrocarbonés, tels que les résines, se produisent dans les tiges; on observe au moins dans les tiges un dégagement d'acide carbonique supérieur à l'oxygène consommé, ce qui indique dans ces organes la formation de principes plus pauvres en oxygène que les hydrates de carbone. (Expériences encore inédites.)

1. Nous tenons de M. Thénard que les années 1865 et 1866 ont donné en Bourgogne des vins très-différents : ceux de 1865 étaient excellents, ceux de 1866, détestables. Cependant la quantité de chaleur que le sol avait reçue était la même pendant les deux années; mais en 1865 le ciel avait été habituellement clair, tandis qu'il avait été couvert en 1866. Il existe en Bourgogne une locution qui vient encore confirmer les faits précédents. On désigne la bise comme la mère nourricière des coteaux. Or la bise est le vent du Nord-Est, vent froid, mais qui chasse les nuages et laisse au soleil tout son éclat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

§ IX. — *De l'établissement des prairies naturelles.*

Les faits précédents nous montrent que la condition nécessaire pour que la plante puisse mûrir sa graine est le transport des principes immédiats des feuilles inférieures aux feuilles supérieures, déterminée par l'évaporation plus rapide des jeunes organes qui enlèvent aux organes plus âgées, avec l'eau qu'ils renferment, les principes immédiats qui y sont contenus.

Si le transport ne s'établit pas, la plante reste toujours verte, la maturation n'a pas lieu, et l'on peut observer un développement exagéré des parties vertes sans maturation. C'est là ce qui a lieu souvent dans les cultures établies à Gennevilliers avec les eaux d'égout: on remarque souvent que les pieds d'orge, de blé, de seigle, placés près des conduites, restent verts indéfiniment, s'élèvent à une grande hauteur, mais ne donnent que très-peu de graine. C'est là ce qui a lieu encore dans les pays pluvieux, où la terre largement abreuvée d'humidité fournit amplement à l'évaporation, sans que les feuilles supérieures soient contraintes d'absorber l'eau contenue dans les feuilles inférieures; c'est là ce qui arrive enfin dans les terrains humides qui deviennent ainsi peu favorables à la culture des grains, mais qui le sont au contraire singulièrement à la culture des prairies.

M. Belgrand a, en effet, établi la loi fondamentale de cette culture dans l'ouvrage qu'il a consacré à l'étude de la Seine. D'après les observations qu'il a pu réunir sur les cultures établies dans le bassin de la Seine « les prairies naturelles sont établies non-seulement au bord des cours d'eau des terrains imperméables, mais encore à flanc de coteau et jusqu'au sommet des montagnes. Lorsque le terrain est perméable cette culture est resserrée dans la partie du fond des vallées submergées par les crues des cours d'eau. »

On conçoit facilement comment une semblable règle a pu s'établir, si on se reporte aux considérations que nous venons de développer dans le chapitre précédent. Pour qu'une prairie donne un fort rendement en foin, il faut que la terre soit toujours abreuvée afin que le transport ne puisse s'établir et que la plante reste verte tout entière; si l'eau vient à manquer, les feuilles du bas se sèchent, durcissent; la graine se forme, mais ce n'est pas là ce qu'on recherche. Il faut donc pour que l'herbe soit abondante qu'elle ait ses racines constamment plongées dans une terre humide, par suite dans une terre imperméable; mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante. Si, en effet, l'eau est stagnante, si elle ne se renouvelle pas, elle perd son oxygène; les racines y pourrissent, la tourbe apparaît. Aussi M. Belgrand fait-il encore remarquer « que la culture des prairies est impossible sur les plateaux dépourvus de pente même lorsqu'ils sont imperméables; en effet, pour éviter l'inconvénient des eaux stagnantes on est conduit à pratiquer le drainage qui a précisément pour but de rendre le sol perméable et par suite impropre à la culture des prairies.

Il faut remarquer enfin que, si une certaine quantité d'eau est nécessaire, un excès est nuisible aux prairies; aussi celles qui tapissent les lieux de sources sont tourbeuses ou au moins marécageuses, et donnent des produits de mauvaise qualité.

C'est ce qui ressort nettement de la comparaison établie par M. Belgrand entre les prairies du Morvan, qui reposent sur le granit dans un lieu de source, et qui ne donnent jamais que du foin de mauvaise qualité, et les prairies du liais et du terrain crétacé inférieur de l'Auxois et du Nivernais, qui portent le nom de *prés d'embauche*, et qui servent à l'engraissement des bœufs charolais.

Les prairies du terrain crétacé inférieur du pays de Bray nourrissent surtout des vaches laitières, qui fournissent le beurre célèbre de Gournay et les fromages non moins estimés de Neufchâtel: ce n'est pas seulement, comme il a été dit plus haut, dans le fond des vallées que s'étendent les prairies, elles s'élèvent au contraire sur le flanc des coteaux jusqu'à la naissance des plateaux, ainsi qu'on peut le voir dans la vallée de La Béthune.

Si, au lieu de rester dans les terres imperméables qui portent les prairies justement célèbres dont nous venons de parler, nous passons aux terrains perméables, nous n'y trouvons plus que des prairies rares et fournissant habituellement du foin de mauvaise qualité : c'est ainsi que dans les calcaires oolithiques, dans la craie, ou le sable de Fontainebleau, les prairies n'occupent pas le centième de la surface du territoire.

Cultures du Midi et cultures du Nord. Quand on réfléchit à l'influence qu'exerce la lumière sur le phénomène d'évaporation, quand on songe aux immenses quantités d'eau que les plantes herbacées jettent dans l'atmosphère pendant une journée où le soleil brille de tout son éclat, on comprend facilement comment les cultures arbustives ont pris dans les régions méridionales une extrême importance comparée aux cultures annuelles. Il est clair que l'olivier, le mûrier, la vigne évaporent beaucoup moins d'eau que les céréales, plongent leurs racines à des profondeurs considérables, et par suite vont chercher au-dessous de la souche desséchée par l'ardeur du soleil l'eau que le sol renferme encore; ils vivent donc sur un sol où beaucoup de plantes herbacées périraient par suite de la sécheresse. Parmi les fourrages, la luzerne, dont les racines pivotantes s'enfoncent encore dans le sol fort avant, est encore capable de résister; mais le trèfle qui ne reste sur le sol que moins longtemps y réussit beaucoup moins bien.

Quelques plantes qui évaporent beaucoup sont cependant encore cultivées dans le Midi, mais leur développement est subordonné à la quantité d'eau qu'on peut leur fournir: c'est ainsi que j'ai eu occasion de voir, en Portugal, des maïs à tous les degrés de développement. Au mois d'août les uns étaient mûrs, tandis que les autres avaient à peine 30 centimètres de hauteur; on n'avait pas une quantité d'eau suffisante pour arroser toute la surface disponible, et on ensemençait les diverses parties du champ les unes après les autres de façon à donner à chacune d'elles la quantité d'eau nécessaire à son développement.

Quand l'eau est abondante, la culture du Midi devient, au reste, extrêmement riche. On en peut juger dans les vallées de la Haute-Garonne et de l'Ariége qui reçoivent les eaux des Pyrénées; la culture du maïs mêlée à celle des haricots fournit des résultats très-élevés. Il en est de même dans les parties de la Provence qui sont arrosées; on y obtient cinq ou six coupes de luzerne chaque année, et il n'est pas douteux que lorsqu'on aura exécuté les travaux d'art nécessaires pour recueillir les eaux qui découlent des montagnes, les cultures de ces régions ne deviennent aussi florissantes que celles de Valence ou de l'Andalousie, bien que les cultures y soient différentes.

Dans les régions septentrionales de notre pays, la pluie est plus abondante que dans le midi pendant la saison chaude, le soleil y est moins éclatant, de telle sorte que les cultures herbagères, les cultures annuelles y prospèrent sans qu'on ait besoin de la pratique de l'irrigation au même degré que dans le Midi. Il arrive même souvent que la pluie y est exagérée, et que la terre trop humide n'est ramenée à son état normal que par le drainage qui prend une importance considérable dans les pays très-pluvieux comme l'Angleterre.

Sans que nous insistions davantage, le lecteur comprend que, si l'on désire obtenir des fourrages verts, il faut que la terre soit abreuvée de telle sorte que le transport de l'eau, et par suite des principes immédiats des feuilles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à l'autre, n'ait pas lieu; que si, au contraire, on cultive des plantes à graine, il est nécessaire que le transport ait lieu, que par conséquent la terre à un moment donné soit sèche. Il ne faut pas cependant que ce transport ait lieu trop rapidement; car si les feuilles ne fonctionnent que pendant un temps très-court, elles n'auront élaboré qu'une faible quantité de matière, et par suite la récolte elle-même sera peu abondante. C'est là ce qui arrive quand la maturation des céréales est très-précipitée, et c'est à cette cause qu'il faut attribuer surtout le faible rendement des récoltes de 1873 dans le nord de la France; c'est au reste ce qui apparaîtra avec plus de netteté encore dans les paragraphes suivants.

§ X. — *Métamorphoses des principes immédiats dans les plantes herbacées.*

Nous avons vu déjà que le glucose paraissait être le premier principe formé par les feuilles dans les premiers temps de la végétation, et qu'il est probable qu'il prenait naissance par l'union directe de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène; avec le tannin, il forme la plus grande partie de la matière ternaire, soluble au premier printemps dans les feuilles de blé.

C'est ce que démontre l'analyse suivante des feuilles de blé recueillies le 25 mars:

Eau	72,20
Matière azotée totale	6,14
Glucose	3,10
Tannin	2,30
Matière verte soluble dans l'alcool	2,50
Cendres	2,50
Cellulose (par différence)	11,16 [1]
	100,00

Une grande partie de l'albumine était soluble dans l'eau; il est facile de s'assurer qu'il en est habituellement ainsi, en faisant au printemps un extrait des feuilles et en le portant à l'ébullition: on voit se produire un abondant précipité qui entraîne habituellement la matière verte. Si l'on continue l'examen du blé vers la fin du mois de juin quand les feuilles qui se sont développées les premières commencent à jaunir, on observe une métamorphose importante; le glucose disparaît peu à peu, et au contraire on voit apparaître de sucre de canne.

Il semble que, tant que la plante forme de nouveaux organes qui exigent pour leur formation de la cellulose, le glucose soit l'hydrate de carbone le plus abondant qui prenne naissance dans les feuilles [2]; mais que plus tard, au contraire, quand la maturité avance et que la plante commence à former ses graines, ce soit le sucre de canne qui se produise.

Le 1er juillet 1869, on a prélevé simultanément, dans un champ de blé, des feuilles au bas de la tige, des feuilles en haut de la tige, et l'on a analysé également le haut des tiges, et enfin les grains eux-même. Voici les résultats obtenus:

Analyse du froment récolté le 1er juillet 1869.

DÉSIGNATION.	Feuilles du bas.	Feuilles du haut.	Haut des tiges.	GRAIN.
Eau	78.1	85.1	81.3	86.5
Sucre de canne	1.9	4.1	4.2	0.2
Glucose et dextrine	0.6	1.8	0.6	3.6
Amidon	»	»	»	4.6

On reconnaît qu'à cette époque, dans les organes autrefois si riches en glucose, le sucre de canne domine; que le glucose et la dextrine y ont singulièrement diminué, mais qu'ils reparaissent en partie dans les grains. Dans ceux-ci, au contraire, on ne trouve guère de sucre de canne.

Ce fait n'est pas particulier au froment. On constate dans le maïs des faits tout à faits analogues, qui ont été observés depuis longtemps, et notamment par E. Pallas, en 1837. En examinant le maïs avant la maturité des grains, on a trouvé dans 100 de matière sèche 7 de glucose, et des traces à peine sensibles de sucre dans les feuilles; et au même moment, dans 100 parties de tiges sèches, des traces de glucose et 27 pour 100 de sucre de canne.

Quand l'amidon apparaît dans l'épi, le sucre devient moins abondant dans les tiges et finit par disparaître complétement; il suffit de mâcher des tiges encore vertes de maïs de froment ou de seigle quelque temps avant la maturité ou quand celle-ci a eu lieu, pour rester convaincu de cette disparition du sucre de canne au moment ou l'amidon se concentre dans les grains.

On sait encore, d'après les observations de M. Péligot, que le sucre de canne, tenu en réserve pendant l'hiver dans la betterave, disparaît absolument au printemps, au moment où la tige se développe, et il est vraisemblable qu'une partie du sucre disparu a été employée à la fabrication de l'amidon qu'on trouve dans la graine.

Le sucre de canne nous paraît donc être un produit intermédiaire entre le glucose et l'amidon; le glucose formé directement dans les feuilles par l'union de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène donnerait en s'unissant à lui-même, sous l'influence de la chaleur solaire, le sucre de canne avec élimination d'eau, comme deux molécules d'alcool réagissant l'une sur l'autre pour former l'éther:

$$\underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}} + \underbrace{C^{12}H^{12}O^{12}}_{\text{glucose.}} = \underbrace{C^{24}H^{22}O^{22}}_{\text{sucre de canne.}} + 2HO.$$

Le sucre de canne, enfin, pourrait se transformer plus ou moins rapidement en amidon. Dans quelques plantes, la transformation serait assez lente pour que l'extraction fût facile; et la betterave, plante bisannuelle qui, semée tardivement, ne peut, la première année, qu'accumuler les éléments nécessaires à la formation de la graine, et ne les utilise que l'année suivante, est particulièrement favorable à cette extraction.

Dans les céréales, au contraire, la transformation est très-rapide, et le sucre de canne ne s'y rencontre que pendant trop peu de temps pour que son extraction soit facile. Il faut se rappeler cependant qu'elle est possible dans le maïs au moment où l'épi commence à se former;

1. En dosant la cellulose à l'aide du réactif de Schweitzer, on a trouvé 12,34; il y aurait donc des éléments dosés trop haut. Mais les personnes qui ont eu occasion de faire des recherches de ce genre savent qu'il est difficile d'arriver tout à fait exactement, d'autant plus que la matière verte soluble dans l'alcool est en partie azotée et qu'elle est comptée dans l'analyse précédente, comme matière azotée et comme matière verte, et qu'elle force ainsi un peu les nombres. Au moment où ces analyses ont été faites (1868), j'ignorais, au reste, un procédé de dosage de la cellulose, qui m'a été enseigné récemment par mon collègue au Muséum, M. Terreil, qui semble donner d'excellents résultats: il consiste à attaquer l'organe dans lequel on recherche la cellulose par de l'acide azotique ordinaire à l'ébullition pendant quelques minutes, tout est dissous sauf la cellulose; on jette la masse dans l'eau, on lave sur un filtre, on dessèche et on pèse.

2. Nous avons déjà discuté la question à savoir quel était le principe immédiat formé le premier: beaucoup de physiologistes croient que c'est l'amidon; pour nous, au contraire, l'amidon est un produit secondaire, un produit de réserve qui se forme sous l'influence d'une température élevée; ce serait une matière en dépôt prête à reprendre rapidement la forme de glucose aussitôt que le transport doit avoir lieu, et il proviendrait toujours de la combinaison de plusieurs molécules de glucose.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus tard quand le grain est formé la plus grande partie du sucre a disparu.

§ XI. — *Accumulation dans les grains des matériaux formés dans les feuilles. — Maturation des céréales.*

Quand on examine les feuilles et les tiges du blé ou du seigle, après que la maturation a eu lieu, on n'y rencontre plus aucun des principes immédiats solubles, ou, si on les trouve encore, c'est en très-faible quantité. Les analyses de paille montrent que les matières azotées solubles n'y sont qu'en petite quantité, et que les principes sucrés ont eux-mêmes disparu; en même temps, les phosphates et la potasse ont émigré. Les nombreuses expériences de M. Is. Pierre donnent la netteté d'une observation régulière à un fait observé depuis longtemps.

Toutefois, s'il n'est pas douteux que c'est aux dépens des feuilles et des tiges que l'épi se nourrit; s'il est démontré que pendant les derniers jours de sa vie la plante herbacée ne prend plus rien au sol ou à l'air, mais accumule seulement dans sa graine les principes déjà élaborés, on n'avait pas, avant nos travaux, indiqué quel est le mécanisme de cette accumulation.

Pour le faire comprendre, remarquons que, dans les graines des céréales, au moins, tous les éléments sont insolubles: on y trouve, en effet, surtout de l'amidon et du gluten, l'un et l'autre insolubles dans l'eau. C'est de cette insolubilité que nous allons tirer l'explication de l'accumulation.

Essayons encore de reproduire dans un appareil inerte les phénomènes de transport dont nous voulons donner l'explication, et rappelons pour cela une expérience déjà citée, chap. IV, § 6. Dans un vase poreux de porcelaine dégourdie, semblable à ceux dont on fait usage dans la pile de Bunsen, plaçons de l'eau distillée; puis immergeons ce vase dans un verre renfermant une solution de sulfate de cuivre, et nous ne tarderons pas à reconnaître que ce sel, se diffusant au travers de la paroi poreuse, a pénétré dans le vase intérieur. A ce moment, ajoutons dans celui-ci quelques gouttes d'eau de Baryte qui détermine la précipitation du sel intérieur et détruit l'égale concentration des liqueurs des deux côtés de la paroi poreuse, que la diffusion tendait à établir. Aussitôt que la précipitation a eu lieu et que l'équilibre est rompu, la diffusion s'exerce de nouveau; une nouvelle quantité de sulfate de cuivre pénètre dans le vase poreux, où il est précipité par l'addition de l'eau de Baryte: et l'on conçoit qu'en renouvelant plusieurs fois ces précipitations, on puisse faire pénétrer dans le vase poreux tout le sulfate de cuivre de la solution extérieure, par cette seule raison que, dans ce vase, ses éléments deviennent insolubles.

Ainsi, quand, dans un système gorgé de liquide, il est un point où les éléments dissous deviennent insolubles, ils s'acheminent vers ce point et s'y accumulent.

Or nous avons vu que, dans la graine, les principes immédiats sont insolubles; c'est donc dans la graine qu'ils doivent s'accumuler. Le végétal est, en effet, gorgé d'eau, et les phénomènes de diffusion doivent s'y produire comme dans l'appareil précédent. Au moment où l'ovaire apparaît, une petite quantité des principes qui existent dans la tige et dans les feuilles y pénètre; mais, par suite d'une transformation dont nous ignorons encore le mécanisme, ces principes y deviennent insolubles, et l'eau qui existe dans ce jeune organe ne renferme plus les principes immédiats en aussi grande quantité que l'eau extérieure: l'équilibre tend donc à s'établir de nouveau; un afflux de ces matières solubles pénètre dans l'ovaire, y devient insoluble, et un courant régulier ne tarde pas à s'établir, qui amène les éléments solubles, et détermine leur accumulation au point même où ils deviennent insolubles[1].

1. Nous trouvons cette idée développée dans la *Physiologie végétale* de M. Sachs, et l'on pourrait croire que nous la lui avons empruntée: ce serait une erreur. Nous avons indiqué dans l'*Annuaire scientifique* de 1867, page 408, que la raison de l'accumulation des matières azotées et des phosphates dans les graines était due à l'insolubilité qu'ils y acquièrent. Or cet ouvrage, publié dans les premiers jours de 1867, a été écrit en 1866, et la traduction du livre de M. Sachs est de 1868; il nous était inconnu avant la traduction de Micheli. Il est donc certain que M. Sachs et moi, nous nous sommes rencontrés sur cette interprétation, et c'est sans doute la preuve que cette interprétation est exacte.

Ce dernier travail peut s'accomplir sans que l'eau du végétal se déplace: il est donc essentiellement différent de celui qui avait déterminé le transport des principes immédiats d'une feuille à l'autre; il peut avoir lieu quand la plante est séparée de ses racines, et il justifie la pratique assez répandue de moissonner avant une maturité complète.

Ainsi on comprend bien que, pour nous, c'est parce que l'ovaire de la graine renferme une matière capable d'amener à l'état insoluble les hydrates de carbone et les albuminoïdes solubles que ces substances s'y accumulent, et nous avons eu l'an dernier, dans le jardin d'expérience du laboratoire de culture du Muséum, une preuve singulière de notre manière de voir. Notre jardin est infesté de moineaux, comme tous les jardins de Paris; ils se sont jetés avec avidité sur les graines au moment même de leur formation, alors qu'elles étaient encore très-tendres, et les ont dévorées; dès lors le transport des principes solubles est devenu impossible, et au milieu d'août j'ai été obligé de faire couper de l'orge encore verte et dont la maturation était devenue impossible.

Maturation de quelques autres plantes herbacées. L'explication que nous venons de donner de la maturation du blé, de l'avoine, du seigle, de l'orge, du maïs, en un mot de toutes les plantes herbacées dans lesquelles les éléments contenus dans les graines sont insolubles, ne s'applique pas aussi bien aux plantes qui portent des semences dont les éléments sont encore solubles. C'est ainsi que, dans les pois, les haricots, on rencontre une matière azotée soluble, la légumine, et nous ne comprenons pas aussi bien le mécanisme de son accumulation; il est possible cependant que ce soit sous forme d'albumine insoluble que l'accumulation ait lieu, et que ce soit seulement après cette accumulation qu'ait lieu la transformation de l'albumine en légumine. Quant aux graines oléagineuses, il ne nous a pas été possible jusqu'à présent de suivre complétement leur maturation. Nous indiquerons cependant les points que nos études nous ont permis d'éclairer.

On trouve dans les jeunes feuilles de colza ou de radis des quantités sensibles de glucose, comme dans les plantes étudiées précédemment; puis, quand les fleurs apparaissent, la métamorphose du glucose en sucre de canne a lieu. Enfin, quand la plante passe fleur que, les siliques se forment, le glucose disparaît à peu près entièrement des feuilles; mais on en trouve une certaine quantité dans les graines, où l'on rencontre en même temps de l'amidon. C'est ainsi que, le 4 juin, on a trouvé dans les feuilles de colza:

Eau	85,7
Sucre	3,1
Glucose	0,7

et dans les graines:

Eau	84,5
Glucose et dextrine	5,7
Amidon	2,5

On ne trouve dans les graines, à cette époque, aucune trace de matière grasse. Le contenu de cet organe paraît d'abord tout à fait liquide, et l'on y distingue aisément au microscope des globules d'amidon; mais bientôt ceux-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ci disparaissent à mesure que l'embryon s'étend et occupe une place de plus en plus grande. Il semble que, dans ce cas, on assiste à la transformation de l'amidon en cellulose, probablement en passant par la dextrine, ainsi qu'on le remarque souvent; ce qu'on peut au moins certifier, c'est que, contrairement à ce qui a lieu pour les graines amylacées, où l'amidon persiste, dans les graines oléagineuses l'amidon n'a qu'une durée très-éphémère et qu'il est bientôt remplacé par un embryon très-vivement coloré en vert. C'est seulement au moment où l'embryon est formé qu'on peut dissoudre, à l'aide de l'éther, un peu de matière grasse; quand la graine est mûre et qu'elle renferme une quantité notable de matière grasse, la coloration verte de l'embryon est remplacée par une coloration jaune; il n'y a aucune preuve que la matière grasse provienne de la matière verte qui a disparu; on peut seulement dire que, dans les graines de radis et de colza, la matière grasse n'est abondante que lorsque la matière verte a disparu.

De nouvelles recherches sont donc indispensables pour saisir le mécanisme de la formation des matières grasses; il est probable qu'au moment où elles apparaissent les organes, où elles prennent naissance, doivent dégager plus d'acide carbonique qu'ils n'absorbent d'oxygène, puisqu'on voit apparaître un principe très-riche en charbon et en hydrogène et qui paraît dériver d'un hydrate de carbone; mais l'expérience est seul capable de justifier ces prévisions.

§ XII. — *De l'accumulation des principes immédiats dans les racines.*

Nous avons étudié, dans les paragraphes précédents, le mécanisme de la maturation dans les plantes herbacées, et nous voyons que dans certains cas importants l'ensemble du phénomène est complétement esquissé; il n'en est malheureusement pas ainsi pour quelques autres plantes où tout est encore à trouver.

Dans les plantes herbacées bisannuelles ou vivaces, l'accumulation des principes immédiats dans les racines est parfaitement manifeste ; mais jusqu'à présent, nous ignorons complétement les causes qui la déterminent.

Nous savons que le blé d'hiver paraît rester stationnaire pendant presque toute la mauvaise saison, mais qu'il a cependant accumulé dans ses racines une certaine quantité de matériaux de réserve qui, employés au printemps, lui donnent bientôt une grande vigueur. Nous savons encore que l'asperge donne, la première année, une plante d'une médiocre hauteur, qui emploie presque toute son activité à développer sa partie souterraine. L'année suivante, celle-ci émet une plante plus vigoureuse, mais les tiges après s'être développées se dépouillent au moment où les feuilles se flétrissent et presque tous les matériaux élaborés sont encore mis en réserve dans les racines, tellement que la troisième année celle-ci peut émettre des tiges charnues, riches en matières azotées et en phosphates, et recherchées comme aliment. La plante est alors devenue assez riche pour que la suppression de cinq ou six de ces tiges par pied puisse avoir lieu sans nuire à son développement, et cela pendant plusieurs années.

Dans les plantes bisannuelles, comme les betteraves, il se passe un phénomène analogue : pendant la première année la plante développe ses feuilles; celles-ci élaborent des principes immédiats qui s'accumulent dans la racine, et l'année suivante, cette provision emmagasinée est tout entière employée à former la tige et les graines. La série de métamorphoses que nous avons suivie dans les graminées ou dans le maïs, production du glucose, transformation de celui-ci en sucre de canne, puis enfin en amidon, se reproduit peut-être avec quelques intermédiaires; mais le grand avantage qu'on trouve à cultiver la betterave est précisément dû au temps prolongé pendant lequel le sucre de canne s'y maintient, tandis que, dans les graminées ou le maïs, il se métamorphose en amidon si rapidement, que son extraction serait très-pénible.

Les diverses périodes d'activité des plantes cultivées pour leurs racines ont été très-bien mises en lumière par M. Anderson, dans un travail sur les turneps, qu'il a inséré au *Journal of agric. and transactions of the Highland Society*, n. 68 et 69.

Il a déterminé la masse totale des turneps produits sur une acre de terrain, et les a récoltés à quatre périodes différentes de leur croissance : le 7 juillet, le 11 août, le 1er septembre et le 5 octobre. Le tableau suivant indique en livres anglaises le poids des feuilles et des racines calculé pour une acre à la fin de chaque récolte, en livres anglaises de 454 grammes :

		POIDS	
		des feuilles.	des racines récoltées.
I. Récolte au bout de	32 jours	2,19	7,21
II. Récolte au bout de	67 jours	12,993	2,762
III. Récolte au bout de	87 jours	19,200	14,400
IV. Récolte au bout de	122 jours	11,208	36,792

Ainsi, après soixante-sept jours, le poids des feuilles est près de six fois le poids des racines; puis, après quatre-vingt-sept jours, les racines se sont tellement accrues, que leur poids est près des trois quarts de celui des feuilles. Enfin, pendant la dernière période, les feuilles s'étiolent, se dépouillent, et les racines acquièrent un poids qui leur est trois fois supérieur; les feuilles ont au contraire diminué de poids; elles sont retombées au-dessous de ce qu'elles étaient à la deuxième période. On trouve donc encore dans cette observation la preuve manifeste que les principes immédiats élaborés par les feuilles viennent s'accumuler dans les racines.

Développement des betteraves, accumulation du sucre dans leurs racines. Nous avons constaté pour les betteraves des faits analogues aux précédents; pendant la saison 1873, nous avons prélevé dans notre champ d'expériences de Grignon des betteraves à six époques différentes et nous avons pesé séparément les racines et les feuilles; puis dans ces organes nous avons dosé le glucose et le sucre de canne; pour obtenir les nombres réunis dans le tableau ci-joint, nous avons prélevé à chacune des dates indiquées un lot de dix betteraves, les plus homogènes que nous avons trouvées, puis nous avons séparé les feuilles des racines, pesé séparément et pris le dixième du poids trouvé; on a fait ensuite un jus des racines, un jus des feuilles dans lesquelles on a dosé le glucose et le sucre; on a admis que ces nombres représentaient la quantité pour 100 qui existait dans les feuilles et dans les racines.

On reconnaîtra à l'inspection de ce tableau que les feuilles se développent d'abord avec une extrême énergie. Ainsi, le 19 juin, environ deux mois après le semis, les feuilles pèsent déjà 1k525, tandis que les racines n'ont encore qu'un poids de 0k118; le poids des feuilles étant 1000, celui des racines n'est que 76. Pendant les quinze jours qui suivent, les feuilles s'accroissent encore énormément, puisque leur poids est de 3k118, tandis que les racines ne pèsent encore que 0k533; toutefois le rapport est déjà plus fort, les feuilles étant 1000, les racines sont déjà 169; mais à partir de ce moment les feuilles commencent à perdre de leur poids: elles ont perdu, du 3 juillet au 17 juillet, 726 grammes, et les racines ont gagné 754 : c'est-à-dire un nombre supérieur à celui qu'ont perdu les feuilles. En faudrait-il conclure que les racines se sont nourries par elles mêmes en dehors de ce que les feuilles leur ont fourni : il serait aussi téméraire de l'affirmer que de le nier; car, malgré l'at-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tention que nous avons mise à prendre des betteraves moyennes, nous voyons que le 22 août les betteraves présentaient un poids moyen inférieur à celui qu'elles avaient le 17 juillet, et on ne saurait croire cependant que cette diminution fût réelle. La diminution de poids des feuilles du 17 juillet au 22 août est cependant remarquable; en un mois elles ont perdu les 4/5 de leur poids: on sait en effet que dès ce moment les grandes feuilles du bas commencent à jaunir, le poids des feuilles reste à peu près constant à partir de ce moment. Il en est de même pour les racines, car, le 12 septembre, elles ont presque le même poids que le 17 juillet, mais si le poids des racines n'augmente plus guère, leur composition varie singulièrement.

Production du sucre dans les betteraves blanches de Silésie.

DATE de la cueillette.	POIDS des racines.	POIDS des feuilles.	RAPPORT des racines aux feuilles.	Glucose dans 100 de jus		Sucre dans 100 de jus	
				de racines fraiches.	de feuilles fraiches.	de racines fraiches.	de feuilles fraiches.
19 juin. . . .	k. 0,118	k. 1,525	$\frac{76}{1000}$	0,05	0,12	0,17	0,00
3 juillet.. . .	0,533	3,118	$\frac{169}{1000}$	1,26	0,35	1,96	0,25
17 juillet.. . .	1,287	2,492	$\frac{515}{1000}$	1,40	0,40	3,40	0,23
22 août. . . .	1,005	0,529	$\frac{1892}{1000}$	1,10	0,20	6,50	0,10
12 septembre.	1,220	0.450	$\frac{2711}{1000}$	0,90	0,20	7,20	traces.
22 septembre.	1,435	0,530	$\frac{2707}{1000}$	traces.	0,10	8,40	traces.

Si nous suivons, en effet, la formation du glucose dans les feuilles, nous le trouvons toujours en très-faible quantité; il existe au contraire en quantité notable dans les racines; il présente un maximum le 17 juillet, puis il diminue pour disparaître absolument au moment de la maturation.

Le sucre est toujours peu abondant dans les feuilles, mais il va au contraire en augmentant de poids jusqu'au 29 septembre au moment de l'arrachage; il n'est guère douteux que ce sucre de canne provienne du glucose, puisque l'un disparaît, tandis que l'autre augmente; il est probable également que c'est dans la racine elle-même qu'a lieu la transformation du glucose en sucre de canne. Mais il reste deux points non éclaircis; ce glucose qui se métamorphose en sucre de canne dans la racine, provient-il des feuilles? S'il en provient, comment se fait-il que ce ne soit pas au moment où ces feuilles présentent leur maximum de poids, où elles fonctionnent avec le plus d'activité que le sucre apparaisse en plus grande abondance; enfin, si c'est dans les feuilles que se forme le principe qui précède le sucre de canne, comment se fait l'accumulation, dans la racine, d'un principe soluble qui ne peut y être amené par une différence d'évaporation, ni par les raisons d'insolubilité que nous avons développées plus haut? Nous sommes incapables de répondre à aucune des questions qui se posent devant nous, et que nous signalons surtout pour indiquer combien il reste encore d'efforts à accomplir pour connaître les évolutions physiologiques d'une des plantes les plus répandues dans la culture européenne.

§ XIII. — *De la sève élaborée dans les végétaux ligneux.*

La distinction que nous faisons ici entre les végétaux herbacés et les végétaux ligneux n'a d'autre raison que de faciliter l'exposition d'une question délicate et encore très-peu connue: car nous allons reconnaître que les phénomènes se produisent dans tous les végétaux sous l'influence des forces dont nous avons essayé de pénétrer le mode d'action dans les paragraphes précédents.

Quand, dans les plantes dicotylédonées ligneuses, on enlève un anneau d'écorce sur le tronc, le bourrelet ligneux se produit au-dessus de la partie blessée: quand on pratique une forte ligature sur un arbre encore jeune, on voit un renflement apparaître au-dessus de la ligature. Enfin, il est clair que les racines ne peuvent s'accroître, que les tubercules ne peuvent prendre naissance qu'autant qu'ils utilisent les principes élaborés par les feuilles et il n'est pas douteux que ces principes ne suivent, dans le végétal, une marche inverse à celle de l'eau elle-même, qui, entraînée par le vide que détermine l'évaporation, s'élève des racines vers les feuilles.

L'opinion généralement répandue parmi les physiologistes est même que ces principes immédiats, qui descendent des feuilles vers les racines, sont entraînées par un courant liquide qui, suivant une marche inverse de la séve ascendante, mériterait le nom de séve descendante.

Avant d'admettre l'existence de la séve descendante, il importe de soumettre les arguments qu'on fait valoir en faveur de son existence à une sérieuse critique, et il faut remarquer d'abord qu'avant les expériences de Graham, sur la diffusion, on ignorait qu'une matière dissoute pût être animée d'un mouvement quelconque dans son dissolvant en dehors de tout mouvement de ce dissolvant lui-même: on ne concevait donc pas comment les principes immédiats nécessaires à la formation des racines, des tubercules, du bois, auraient pu arriver jusqu'aux organes où ils sont employés par l'activité végétale, si un courant liquide ne les y eût amenés. On reconnaît aujourd'hui que l'existence de ce courant n'est pas nécessaire, et que si le transport des principes dissous a lieu certainement, si parfois il est déterminé par le courant liquide lui-même, il peut se produire également en dehors de tout mouvement du liquide; il n'est pas plus difficile de concevoir une molécule dissoute se transportant des feuilles aux racines en dépit du mouvement de la séve ascendante, que d'imaginer un bateau remontant le courant d'une rivière.

Sans doute, pour que le bateau remonte le courant, il est nécessaire qu'une force intervienne; de même, pour qu'une molécule organique chemine en sens inverse du mouvement du liquide, il faut qu'une force soit mise en jeu, et cette force c'est la diffusion qui tend à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

établir le même degré de concentration dans toutes les parties d'un liquide, et par conséquent à diriger vers le point où elles deviennent insolubles les molécules dissoutes. Si donc, c'est dans les tubercules des pommes de terre que le sucre de canne se transforme en fécule insoluble, le sucre de canne se transportera des feuilles et des tiges, dans lesquelles on le rencontre d'abord, vers les tubercules, quel que soit le mouvement du liquide qui le renferme; dans ce cas, le mouvement a lieu de haut en bas, suivant la direction attribuée à la séve descendante. Mais, quand a lieu la maturation du blé et que les feuilles se vident pour transmettre à l'épi les principes élaborés, le mouvement a lieu en sens inverse; dans ce cas, la séve élaborée est ascendante.

Bien que nous ne puissions pas suivre avec la même netteté la transformation des matières sucrées en cellulose, il n'est guère douteux que le même phénomène se produit, et que le bourrelet qui apparaît au-dessus d'une ligature ou au-dessus d'une blessure est dû à la formation, en ce point, d'un centre d'activité qui détermine l'arrivée par diffusion des molécules dissoutes, qui y deviennent insolubles, en dehors de tout mouvement du liquide lui-même.

L'idée que l'eau s'élève, à travers le bois, des racines aux feuilles, se charge dans celles-ci de principes élaborés, puis redescend entre l'écorce et le bois de façon à former un circuit complet, est née des rapprochements qu'on a voulu établir entre les végétaux et les animaux. De ce qu'une circulation complète existait chez ceux-ci, on a voulu en découvrir une analogue chez ceux-là; on a cru, au reste, que la séve descendante avait, non-seulement pour mission d'apporter aux divers organes les matériaux nécessaires à leur accroissement, mais encore de rejeter dans le sol, par sécrétion, toutes les matières inutiles. C'est ce qui apparaît très-nettement dans le *Cours d'agriculture* de M. de Gasparin. Cet illustre agronome calcule la quantité d'eau qui a circulé au travers d'un chou pendant la durée de sa croissance, il suppose que l'eau qui a traversé la plante présente une composition analogue à celle de la séve déterminée par Vauquelin, et, trouvant enfin que le chou, à la fin de sa croissance, est loin de renfermer les substances minérales que les considérations précédentes indiquaient, il en conclut qu'il y a une forte élimination des matières transportées par la séve, et qu'elle ne peut avoir lieu que par le moyen des excrétions.

On voit que les expériences de Saussure, qui avait reconnu, en faisant végéter des plantes dans des dissolutions salines, que l'eau avait toujours été absorbée en beaucoup plus grande quantité que le sel, n'avaient pas été appréciées à leur importance, et qu'on ne concevait pas que les mouvements des liquides et des matières dissoutes pussent être indépendants l'un de l'autre.

Nous savons aujourd'hui qu'il n'y a pas d'excrétions par les racines; nous savons en outre qu'une matière peut se transporter d'un point de la plante à l'autre sans être entraînée par un courant liquide, de telle sorte que l'existence d'un courant régulier de la séve allant des feuilles vers les racines ne nous apparaît plus comme nécessaire. Nous n'avons pas de preuves convaincantes qu'il n'y ait pas normalement de mouvement de la séve, du haut du végétal vers le bas; mais comme nous voyons que tout s'explique sans admettre ce courant, que de plus il est bien difficile de concevoir qu'elle est la cause de ce transport de l'eau en sens inverse de celui que provoque l'évaporation, nous pensons que l'existence de la séve descendante, telle qu'on l'admet généralement, peut être parfaitement révoquée en doute.

Séves sucrées. On rencontre le sucre dans la séve d'un très-grand nombre de plantes, et notamment de celles qui croissent sous les tropiques; le sucre y est souvent assez abondant pour servir à la fabrication de liqueurs spiritueuses.

La séve d'un assez grand nombre de palmiers (dit M. Boussingault, *Économie rurale*, t. I, page 128) renferme une quantité considérable des matières sucrées. A Java, par exemple, on extrait du sucre cristallin de l'*arenga saccharifera*. Dans plusieurs autres localités, le suc des palmiers (*phœnix*, etc.) est soumis à la fermentation pour préparer des liqueurs vineuses.

Le *cocos butyracea* (palma de vino) donne une séve sucrée qui, par la fermentation, produit une liqueur assez alcoolique pour être enivrante. Pour se la procurer, les Indiens commencent par abattre les palmiers, en ayant soin, lorsque l'arbre est couché, de lui donner une légère inclinaison vers le pied; ensuite ils font à la base du tronc un trou d'une capacité de 8 à 10 litres dont ils ferment l'orifice avec des feuilles. Après dix ou douze heures la cavité est pleine d'un liquide d'une odeur vineuse fortement prononcée, et d'une saveur aigrelette, due probablement à l'acide carbonique qui se dégage en abondance: un palmier de 15 à 20 mètres de hauteur, et dont le tronc, vers la base, a de 50 à 60 centimètres de diamètre, fournit de 12 à 18 litres de vin en vingt-quatre heures, pendant dix à douze jours.

L'agave mexicain donne aussi une séve sucrée qui sert à préparer le pulqué. M. Boussingault décrit de la façon suivante la récolte de la séve. Au moment où l'agave va fleurir, ce qui arrive dix ou douze ans après sa plantation, on doit couper le bourgeon qui produirait les hampes couvertes de fleurs qui atteignent parfois 12 à 15 mètres de hauteur, pour recueillir la séve élaborée par la plante pendant des années, et qui renferme les éléments nécessaires à la formation des fleurs.

Si au contraire on laisse la hampe se développer, elle s'élève rapidement, se couvre de fleurs, et toutes les feuilles de la plante deviennent flasques et molles; elles ont donné à la formation de la hampe toutes les matières qui gorgeaient leurs tissus. On observe souvent cet exemple remarquable de transport de principes immédiats chez l'*agave americana* cultivé dans les jardins de la France méridionale, Toulon, Marseille, Nice, etc.

Au moment de l'abatage, le bourgeon de l'agave présente l'aspect d'un cône à pointe acérée, dont la base a de 50 à 55 centimètres de diamètre. Pénétrer jusqu'à lui n'est pas sans quelque danger, défendu qu'il est par des feuilles garnies sur leurs deux côtés d'épines crochues, agissant sur la peau comme des hameçons. Après avoir pratiqué une trouée à l'aide d'un coutelas (*macheté*), en évitant le contact d'une matière visqueuse extrêmement caustique, suintant des coupures pratiquées sur les feuilles, l'Indien abat le bourgeon destiné à devenir le pédoncule de la fleur. L'attaque d'un magney est terminée en quelques minutes, y compris le temps nécessaire pour meurtrir la section mise à nu en la frappant avec une batte de bois dur. L'ablation opérée laisse une plaie qui bientôt se cicatrise en se couvrant d'une épaisse croûte noire. Huit ou dix mois, quelquefois un an après, la cicatrice est enlevée à l'aide d'un instrument de fer, le *rapsador*, et à l'aide d'une cuiller à bords tranchants on pratique dans le cœur du magney une excavation cylindrique ayant 15 à 20 centimètres de diamètre sur une profondeur de 12 à 15 centimètres. C'est dans cette cavité que se rassemble la séve élaborée. Selon la vigueur de la plante, un magney fournit en moyenne, de 1 à 10 litres de liquide par jour, pendant trois, quatre et même six mois [1] (Boussingault, *Agronomie*, t. IV, p. 23).

1. Dans le Mémoire de M. Boussingault, dont j'ai extrait les renseignements précédents, se trouve une comparaison très-instructive sur le rendement en alcool de diverses cultures européennes et de l'agave; tandis que celui-ci peut donner dans de très-bonnes conditions 56 hectolitres d'alcool absolu par hectare, et 26 dans des conditions très-ordinaires, la vigne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sève laiteuse de l'hura crepitans (*ajuapar*). Le suc de l'*hura crepitans* est justement redouté, et les personnes qui sont exposées à son action sont atteintes de graves indispositions. Ce lait ressemble à celui de l'arbre de la vache, mais il est un peu plus jaunâtre; il n'a pas d'odeur; sa saveur, très-peu marquée d'abord, fait bientôt éprouver une irritation très-forte; il rougit la teinture de tournesol.

Suc laiteux du pavot (*opium*). Cette matière, qu'on obtient en faisant des incisions longitudinales dans les capsules du pavot, se concrète facilement; elle renferme plusieurs bases organiques, dont les unes sont vénéneuses et les autres seulement somnifères.

Séve de l'arbre à caoutchouc. Un certain nombre d'arbres du Choco (*siphonia hevea*) et des forêts de l'Équateur donnent une séve visqueuse qui, exposée à l'action de l'air, se coagule, surtout si l'on élève légèrement la température. Cette matière est le caoutchouc, carbure d'hydrogène formé de 87,5 de carbure et de 12,5 d'hydrogène, qui a reçu depuis une vingtaine d'années de si nombreuses applications.

D'après Faraday, la séve de l'hevea renferme sur 100 parties:

Eau.	56
Caoutchouc.	32
Albumine végétale.	2
Substance azotée soluble dans l'eau et l'alcool.	7
Substance carbonée soluble dans l'eau et l'alcool (sucre).	3
	100

Suc de l'arbre à vache ou galactodendron. Il est un peu visqueux; sa saveur, agréable, est légèrement balsamique. Quant à ses propriétés chimiques, elles diffèrent sensiblement de celles qui sont particulières au lait animal. Ainsi les acides ne le caillent pas; l'alcool le coagule à peine. Par l'action d'une douce chaleur, on voit se former à la surface du lait végétal de légères pellicules. En l'évaporant au bain-marie, on obtient un extrait qui ressemble à la frangipane, et si l'on continue pendant un certain temps l'action du feu, on remarque des gouttes huileuses, qui augmentent à mesure que l'eau se dégage; elles finissent par former un liquide d'apparence graisseuse, dans lequel nage une substance fibrineuse qui se dessèche et se racornit à mesure que la température augmente. Alors se répand l'odeur, la mieux caractérisée qu'il soit possible, de viande qu'on fait frire dans la graisse.

Le *mancenillier* appartient également à la famille des euphorbiacées; c'est un bel arbre de l'Amérique intertropicale, auquel on a attribué des propriétés vénéneuses qu'il ne paraît posséder qu'à un très-médiocre degré; cependant, une goutte du suc laiteux de l'arbre posée sur la peau y produit une brûlure et soulève une ampoule pleine de sérosité.

Le lait de l'arbre à vache (galactodendron) renferme donc une matière grasse assez solide, fusible à 40 degrés, soluble dans l'alcool, et, d'autre part, une matière qui, par l'ensemble de ses propriétés, se rapproche de la fibrine. A l'analyse, ces matières ont donné les résultats suivants:

Fibrine, albumine végétale.	3,73
Cire, résine, principes solubles, sels. .	23,41
Eau.	72,86
	100,00

n'en donne très-exceptionnellement dans l'Hérault que 30 hectolitres, mais ce chiffre s'abaisse habituellement à 11 hectolitres; la betterave ne rend guère que 20 hectolitres; il est possible que la culture de l'agave réussisse en Algérie et puisse devenir pour les parties arides du pays une précieuse ressource.

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

§ XIV. — *De la maturation des fruits.*

Le lecteur trouvera dans les traités de botanique la description des formes variées que présentent les fruits. Nous indiquerons seulement ici la composition du fruit et les modifications que subit cette composition pendant la maturation.

La quantité d'eau contenue dans le péricarpe d'un fruit est considérable; elle varie de 75 à 90 pour 100; elle augmente généralement pendant la maturation pour diminuer ensuite.

Matières gélatineuses. On rencontre dans les fruits verts une matière insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther, et qui est désignée sous le nom de pectose. Sous l'influence des acides végétaux, cette matière se transforme en pectine, qui existe en proportion notable dans les fruits qui sont dans un état de maturation avancée. Pour reconnaître la transformation de la pectose en pectine sous l'influence des acides et de la chaleur, il suffit d'exprimer la pulpe d'une pomme verte afin d'en extraire le jus. Le liquide qu'on retire ne contient pas de traces de pectine; mais si on le fait bouillir pendant quelques instants avec les pulpes du fruit, on voit bientôt la pectine apparaître et donner à la liqueur une viscosité qui caractérise le jus de presque tous les fruits cuits. La pectine peut elle-même éprouver diverses modifications qui ont été décrites plus haut; mais il est à remarquer que, d'après M. Fremy, il se développe aussi dans les fruits un ferment particulier, la pectase, qui transforme aisément la pectose en acide pectosique insoluble et gélatineux.

Il arrive souvent que le suc de groseille se transforme très-rapidement en gelée quand on le mélange avec du suc de framboise. Cette production instantanée de gelée est facile à comprendre. En effet, le suc de framboise contient une quantité considérable de pectase; et ce ferment réagit sur la pectine qui se trouve dans le suc de groseille et la transforme en acide pectosique gélatineux.

Gommose. On trouve dans les fruits, d'après M. Fremy, une substance neutre transparente, insoluble dans l'eau et qui est interposée dans les cellules du péricarpe. Sous l'influence des matières azotées agissant comme ferment, et peut-être par l'action des acides, cette gommose se modifie, se change en gomme, qui se transforme ensuite en sucre dans l'intérieur du péricarpe. C'est l'excès de cette gomme qui vient se solidifier sur la peau du fruit. Ainsi, une goutte de gomme qui sort du fruit se trouve toujours en communication par un conduit particulier, avec un dépôt de gommose placé dans l'intérieur du fruit, entre les cellules du péricarpe. Il est probable que la matière gommeuse, que l'on trouve en si grande quantité dans les tiges du prunier, de l'abricotier, du cerisier, etc., se forme dans les mêmes circonstances.

Acides. Un des faits les plus curieux de la maturation des fruits est la disparition des acides libres. Comme on ne rencontre pas dans un fruit mûr une plus grande quantité de base que dans un fruit vert, qu'à l'essai avec les liqueurs titrées on trouve moins de sucre dans le fruit mûr que dans le fruit vert, il faut conclure que les acides contenus dans les fruits ne sont ni saturés ni masqués par la présence d'autres matières, mais qu'ils sont brûlés par combustion lente; nous verrons plus loin, au reste, que, pendant la maturation, les fruits émettent constamment de l'acide carbonique.

Pour déterminer la quantité d'acide qui existe dans les fruits, M. Buignet (*Annales de physique et de chimie*, 3e série, 1861, t. LXI, p. 283), à qui on doit un travail important sur la maturation des fruits, procède à des essais alcalimétriques à l'aide de l'eau de baryte titrée, et il suppose à l'acide existant dans le fruit l'équivalent 70, qui représente à peu près la moitié de celui de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'acide malique, de l'acide citrique et de l'acide tartrique, et par suite la quantité qui sature 76 de baryte, puisque ces acides sont bibasiques. Les quantités d'acide et de sucre contenus dans les fruits sont résumées dans le tableau suivant:

DÉSIGNATION.	Acide pour 100 de fruits.	Sucre total pour 100 de fruits.
Citrons	4,706	1,466
Pêches vertes	3,940	5,990
Raisin vert	2,485	1,600
Abricots	1,864	8,685
Groseilles blanches	1,574	6,400
Framboises	1,380	7,230
Prunes de mirabelle	1,288	8,760
Prunes de Reine-Claude	1,208	5,552
Pommes de reinette grise nouvelle	1,148	13,997
Pêches	0,783	1,991
Cerises	0,661	10,000
Pommes de reinette d'Angleterre	0,633	7,648
Bigarreaux	0,608	8,250
Raisin nouveau venu de Fontainebleau	0,558	9,420
Fraises (colline d'Ehrhardt)	0,550	11,310
Ananas (mont Serrat)	0,547	13,300
Oranges	0,448	8,578
Raisin conservé	0,404	16,500
Pommes de reinette grise conservées	0,403	16,830
Raisin venu en serre	0,345	18,370
Poires nouvelles (Madeleine)	0,887	7,844
Pommes de calville conservées	0,253	6,250
Poires de Saint-Germain	0,115	8,781
Figues violettes du midi	0,057	11,550

Sucres. On doit à M. Buignet non-seulement la détermination de la quantité totale de sucre contenu dans les fruits, ainsi qu'on le voit par le tableau précédent, mais encore une étude approfondie des variétés de sucre qu'on y rencontre. Les procédés qu'il a suivis pour déterminer la quantité de sucre que renferment les fruits sont au nombre de trois: 1° fermentation; 2° emploi de la liqueur de Fehling; et 3° détermination du pouvoir rotatoire des dissolutions sucrées. Deux grammes de pulpe écrasée étaient parfaitement divisés dans 2 ou 3 centimètres cubes d'eau; on y mêlait une petite quantité de levûre de bière, et l'on introduisait le tout dans un petit tube gradué rempli de mercure et renversé sur ce métal. On maintient l'appareil à 25 ou 30 degrés pendant quarante-huit heures, et l'on mesure avec soin le gaz dégagé, en tenant compte de celui qui demeure en dissolution dans le liquide après la fermentation. Comme on a observé qu'à la température de +10 degrés et à la pression de 760 millimètres, 1 centimètre cube d'acide carbonique correspond sensiblement à 0,004 de sucre $C^{12}H^{12}O^{12}$, il suffit de ramener à ces conditions le volume de gaz pour calculer le sucre total. Ce procédé est peu précis. En employant la liqueur de Fehling avant et après l'interversion par les acides, on arrive plus sûrement à déterminer la quantité de sucre de canne et de glucose existant dans les jus sucrés.

Voici les résultats obtenus par M. Buignet pour les quantité de sucre réducteur et non réducteur dans 100 grammes de fruits:

	Proportion du sucre réducteur.
Raisin venu en serre	17,26
Raisin conservé	16,50
Pommes de reinette grise conservées	12,63
Figues violettes du midi	11,35

	Proportion du sucre réducteur.
Cerises anglaises	10,00
Raisin nouveau venu de Fontainebleau	9,42
Pommes de reinette grise nouvelles	8,72
Poires de Saint-Germain conservées	8,42
Bigarreaux	8,25
Poires nouvelles (Madeleine)	7,16
Groseilles blanches	6,40
Fraises (Princesse royale)	5,86
Pommes de calville conservées	5,82
Pommes de reinette d'Angleterre	5,45
Framboises nouvelles	5,22
Fraises (colline d'Ehrhardt)	4,98
Oranges	4,26
Prunes de Reine-Claude	4,33
Prunes de mirabelle	3,43
Abricots	2,74
Ananas (mont Serrat)	1,98
Raisin vert	1,60
Pêches	1,07
Citrons	1,06

	Proportion du sucre non réducteur avant l'emploi des acides.
Ananas (mont Serrat)	11,33
Fraises des collines d'Ehrhardt	6,33
Abricots	6,84
Pommes de reinette grise nouvelles	5,28
Prunes de mirabelle	5,24
Oranges	4,22
Pommes de reinette grise conservées	3,20
Pommes de reinette d'Angleterre	2,19
Framboises	2,01
Prunes de Reine-Claude	1,23
Pêches	0,92
Poires (Madeleine)	0,68
Pommes de calville conservées	0,43
Citrons	0,41
Poires de Saint-Germain conservées	0,36

Le raisin, les groseilles blanches, les cerises anglaises, les bigarreaux, les figues violettes du midi, ne renferment pas de sucre non réducteur.

On remarque que dans les fruits acides il peut exister une proportion notable de sucre non réducteur. Cette proportion s'élève à plus des deux tiers du sucre total dans l'abricot et la pêche, à près de la moitié dans le citron et la framboise, et à plus du cinquième dans la pomme de reinette grise conservée et la prune de Reine-Claude.

Si les travaux précédents permettent d'établir que les fruits renferment une proportion notable de sucre réducteur et non réducteur, ils n'indiquent pas quelle est la nature de ces sucres. Pour la connaître M. Buignet a recherché leurs propriétés optiques. Il remarque d'abord que les acides qu'on peut rencontrer dans les jus ont un trop faible pouvoir rotatoire pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte. Pour opérer facilement, on exprime dans un linge fin la pulpe pure ou délayée dans un peu d'eau, on ajoute le tiers du volume de noir animal, et l'on filtre après douze heures de contact et d'agitation. Souvent il arrive, quand le sucre est très-riche en pectine, que la masse entière se prend en gelée au bout de quelque temps, que la filtration devient impossible; mais on y remédie par l'addition d'une nouvelle quantité d'eau et par une agitation vigoureuse qui rend à la masse sa liquidité primitive. L'étude des propriétés optiques a conduit M. Buignet aux conclusions suivantes: La matière sucrée qui existe dans les fruits est, outre le sucre de canne que l'auteur a pu isoler à l'état de pureté, une variété lévogyre différente par conséquent du sucre dextrogyre qu'on obtient par l'ac-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion de l'acide sulfurique ou de l'orge germée sur l'amidon, différente aussi du sucre de fruit de M. Dubrunfaut, qui dévie de 106 degrés à la température de + 15 degrés. C'est réellement du sucre interverti, constitué peut-être par un mélange des deux glucoses lévogyre et dextrogyre, mais doué d'un pouvoir rotatoire défini et constamment le même pour tous les fruits qui ont été examinés.

On voit que le mot sucre de raisin appliqué au sucre d'amidon est une expression impropre, puisque le sucre contenu dans le raisin est du sucre interverti déviant de — 26 degrés à la température de 15 degrés, tandis que le sucre dextrogyre obtenu de l'amidon dévie de + 53 degrés à la même température.

Sucre réducteur après traitement par les acides, mais non fermentescible. M. Joseph Boussingault a étudié il y a quelques années la fermentation des différents fruits à l'aide desquels on obtient des liquides alcooliques, et tandis qu'il a retrouvé à peu près dans le liquide fermenté la quantité d'alcool que la théorie indiquait devoir être produite quand il a opéré sur des raisins ou sur des pommes, il a reconnu au contraire que les cerises et les mérises, employées les unes et les autres en Alsace à préparer des boissons alcooliques, ne renferment pas autant d'alcool que l'indiquait la quantité de glucose dosé dans le jus des liquides avant la fermentation. On attribuait généralement cette perte d'alcool à la mauvaise méthode de distillation employée; mais M. J. Boussingault a reconnu qu'elle était due à la présence d'un élément sucré susceptible d'être converti en une matière réduisant la liqueur de Fehling sous l'influence des acides, mais n'acquérant pas cependant après ce traitement la propriété de fermenter. On jugera des différences par le tableau suivant, dans lequel les résultats sont rapportés à 100 de glucose contenu dans le mout ou dans les fruits.

DÉSIGNATION.	Glucose dosé après la fermentation.	Glucose détruit pendant la fermentation.
Pommes.	7.3	92.7
Pommes.	16.7	83.3
Pommes.	2.8	97.2
Raisin.	1.9	98.1
Raisin.	3.6	96.6
Merises..	38.4	61.6
Cerises..	35.2	64.8
Mirabelles.	5.9	94.1

Pour s'assurer que le glucose, restant après la fermentation des cerises, n'avait pas échappé par suite d'une trop faible proportion de ferment, M. Joseph Boussingault a mêlé les résidus avec de la levure de bière, mais aucune fermentation n'est apparue. En soumettant ces résidus à des traitements convenables, il a réussi à isoler une substance cristalline, ayant une saveur fraîche et sucrée. Du jus des sorbes des oiseleurs le même chimiste a extrait à l'état de pureté un sucre nouveau la sorbite $C^{12}H^{14}O^{12}$ analogue à la mannite et à la dulcite.

Tannin. M. Buignet, contrairement à l'opinion généralement répandue à tort, n'a pas rencontré d'amidon dans les fruits verts, mais il y a trouvé une matière qui a la propriété d'absorber l'iode et de former avec ce métalloïde un composé parfaitement incolore. Ce principe est de nature astringente, et paraît se rapprocher des tannins par la plupart de ses propriétés. Son dosage peut être établi avec tout autant de facilité que celui de la matière sucrée elle-même, en remarquant que l'iode ne commence à bleuir l'amidon qu'après avoir saturé le tannin; on reconnaît que la proportion de ce principe diminue progressivement à mesure qu'augmente la proportion de la matière sucrée, et l'on serait tenté de croire qu'elle en dérive, si l'on ne remarquait que le sucre que fournit le tannin de la noix de galle, sous l'influence de l'acide sulfurique moyennement concentré et d'une température convenable, est un glucose dextrogyre ayant exactement le même pouvoir rotatoire que le glucose d'amidon, et qu'enfin le sucre que fournit le tannin des fruits verts dans les mêmes conditions est également du glucose dextrogyre identique avec le sucre d'amidon; tandis qu'ainsi qu'on l'a dit plus haut, le sucre contenu dans les fruits est lévogyre, et jouit par conséquent de propriétés optiques toutes différentes.

On ignore donc encore quelles sont les transformations qui déterminent la disparition du tannin et l'apparition du sucre dans les fruits.

Transformation du sucre de canne en sucre interverti. Toutefois, il est un point qu'il est important de signaler: c'est que les acides contenus dans les fruits n'intervertissent le sucre de canne qui y est contenu qu'avec une très-grande lenteur, et qu'il faut plutôt attribuer la transformation qu'on observe souvent à la présence dans les fruits d'une matière azotée qui pourrait y jouer le rôle de ferment [1]. L'influence comparée de l'acide et du ferment est rendue manifeste par deux expériences faites sur un même jus de fruits: l'une dans laquelle on précipite la matière azotée par l'alcool; l'autre dans laquelle on neutralise l'acide par le carbonate de chaux. Dans la première, la matière sucrée subsiste pendant un temps très-long, sans modification sensible; dans la seconde, au contraire, elle est totalement transformée, même au bout de vingt-quatre heures.

La même conséquence résulte encore des expériences faites sur le fruit du bananier. A quelque période de la végétation qu'on examine son suc, on n'y trouve aucune trace d'acide libre. Et cependant on trouve dans les bananes mûries artificiellement près des deux tiers de la matière sucrée à l'état de sucre interverti.

M. Buignet a non seulement publié un travail d'ensemble sur la maturation, il a aussi étudié particulièrement la fraise (*Comptes rendus*, 1859, t. XLIX, p. 276). Il résulte de son travail que les espèces Princesse royale et Elton, qui sont les variétés comestibles de beaucoup les plus répandues, constituent un groupe de fraises très-aqueuses, très-acides et très-peu sucrées. Ce sont certainement les espèces les moins agréables. La fraise des bois et la fraise des Alpes sont caractérisées par la grande quantité de graines qui recouvrent leur surface et qui sont très-riches en matière insoluble. Elles sont d'ailleurs beaucoup plus sucrées que les précédentes, peu aqueuses et moyennement acides. Enfin les fraises caperon (des collines d'Ehrhardt) et Bargemont constituent un groupe de fraises très-peu aqueuses, très-peu acides et très-riches en sucre. On remarque surtout qu'une proportion considérable de ce sucre se trouve à l'état de sucre de canne (le tiers environ pour les fraises Bargemont et caperon, la moitié et même davantage pour la fraise des collines d'Ehrhardt). Ces trois espèces sont incontestablement les meilleures.

On doit à M. Beyer (*Bull. de la Soc. chim.*, 1867, t. VII, p. 192) un travail sur la maturation des groseilles à maquereau, dans lequel il arrive aux conclusions suivantes:

A mesure que la maturation fait des progrès la proportion d'eau diminue. La quantité de sucre va toujours en augmentant.

A l'époque moyenne de sa maturation, le fruit ren-

1. Le lecteur n'ignore pas que la levure de bière renferme une matière particulière qui transforme aisément le sucre de canne en glucose.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ferme la quantité maximum d'acide libre; dans la dernière période, la diminution de cette quantité n'est sensible que si l'on considère la matière sèche.

La quantité de matières minérales diminue progressivement, que l'on considère le fruit à l'état frais ou seulement après dessiccation.

La quantité de substance azotée éprouve les mêmes variations que la quantité d'acide; elle augmente d'abord pour diminuer ensuite, et cette diminution est surtout notable si l'on n'envisage que la totalité des substances solides.

La matière grasse augmente d'une manière continue, si l'on ne tient compte que de la masse totale du fruit; mais si l'on rapporte les calculs au poids des substances solides, elle est à son maximum dans la période moyenne et ne diminue ensuite que d'une manière insensible.

Respiration des fruits. La respiration des fruits, ou plutôt les modifications que les fruits font subir à l'atmosphère ambiante ont été étudiées par M. Cahours (*Comptes rendus*, t. LVIII, p. 495 et 653, *Bull. de la Soc. chim.*, 1864, t. I, p. 254). Il s'est non-seulement préoccupé des changements qui surviennent dans l'air où le fruit séjourne, mais encore de la proportion et de la composition des gaz contenus dans son parenchyme. Il a reconnu que des oranges, des citrons, des pommes, arrivés à l'état de maturité complète, et placés dans des cloches remplies d'oxygène pur ou d'un mélange d'oxygène et d'azote, mélange où dominait l'oxygène, ou enfin dans l'air atmosphérique, respirent en consommant une certaine quantité d'oxygène et fournissant une quantité sensiblement égale de gaz carbonique. La proportion de ce dernier gaz est toujours plus considérable à la lumière diffuse que dans l'obscurité. Le dégagement a lieu régulièrement jusqu'à une certaine époque à partir de laquelle il augmente considérablement. La face interne de la peau qui touche le fruit présente alors une certaine altération. Qu'on opère à la lumière diffuse ou dans une obscurité complète, on observe constamment que la proportion d'acide carbonique formé croît avec la température du milieu dans lequel le fruit respire.

Dans l'intervalle compris entre le point de maturité complète et la période de décomposition, le fruit agit sur le milieu qui l'enveloppe de la même manière que depuis l'époque où il a perdu sa coloration verte jusqu'à celle où il a atteint sa maturité; mais dès que la période de décomposition commence, la proportion d'acide carbonique produit s'accroît d'une manière très-rapide : on rentre alors dans l'étude des phénomènes chimiques qui se produisent toutes les fois qu'une substance organique privée de la vie est soumise à l'influence des agents atmosphériques.

Pour déterminer la quantité de gaz contenu dans le parenchyme des fruits, M. Cahours exprime le jus au moyen de la presse, et l'introduit dans un petit ballon qu'il remplit jusqu'au col; il y adapte un bouchon muni d'un tube qui se remplit de liquide, et recueille le gaz sur la cuve à mercure.

Les oranges arrivées à maturité donnent, par l'expression, un jus qui laisse dégager environ 8 pour 100 de son volume d'un gaz uniquement formé d'acide carbonique et d'azote. Cette proportion de gaz dégagé par l'ébullition du liquide est sensiblement constante lorsqu'on opère sur des fruits au même degré de maturité, quelle que soit leur provenance. Le gaz ainsi recueilli présente toujours à peu près la même composition: pour 4/5 d'acide carbonique, il renferme 1/5 d'azote.

Les citrons à maturité fournissent comme les oranges, un jus trouble, mais très-fluide, qui laisse dégager, par l'action de la chaleur, un gaz dont la proportion s'élève à 6 pour 100 environ du volume de liquide employé. Le rapport de l'acide carbonique à l'azote est sensiblement le même que pour les citrons.

NUTRITION DES VÉGÉTAUX.

Le jus des grenades mûres et parfaitement fraîches, fournit une proportion de gaz moindre que celle qu'on retire des oranges et des citrons; elle s'élève à 5 pour 0/0 environ du volume du liquide employé. Le rapport de l'acide carbonique à l'azote est sensiblement le même que pour les citrons.

Les poires donnent moins de gaz que les fruits précédents. Les pommes de reinette, de calville, d'api, fournissent un jus épais, qui laisse dégager à peine 3 pour 0/0 de son volume de gaz, lequel renferme une moyenne de 40 à 45 pour 0/0 d'acide carbonique. Il a été impossible de découvrir de l'oxygène dans aucun des gaz obtenus; l'hydrogène, l'oxyde de carbone, les gaz carburés ne s'y rencontrent pas davantage.

Quand on abandonne un fruit mûr sous une cloche remplie d'oxygène, on remarque que le volume de gaz augmente, que l'oxygène a disparu, et qu'il est apparu, au contraire, de l'acide carbonique en quantité notable. Dans ces circonstances, la proportion de gaz contenue dans les fruits est beaucoup plus grande que dans les conditions ordinaires.

Si l'on remplace, dans ces expériences, l'air par des gaz entièrement inertes, tels que l'azote et l'hydrogène, par exemple, et qu'on abandonne dans ces atmosphères des fruits arrivés à maturité complète, et mettant fin à l'expérience bien avant que la période de décomposition soit atteinte, on voit le volume du gaz augmenter d'une manière graduelle, et l'analyse y constate de jour en jour des quantités croissantes d'acide carbonique.

En mesurant, puis analysant le gaz extrait d'un lot de six oranges au commencement d'une expérience, puis le gaz contenu dans un autre lot de six oranges semblables après leur séjour dans une atmosphère d'azote, M. Cahours est arrivé à se convaincre que l'augmentation considérable de gaz acide carbonique constatée devait être attribuée, non pas à une simple combustion intérieure, mais à une véritable fermentation, puisqu'il y avait eu production d'acide carbonique en l'absence de l'oxygène. Le même phénomène se produit, mais sur une moindre échelle, avec les citrons.

On voit que dans les fruits mûrs il se produit une véritable combustion interne, même en l'absence de l'oxygène, et que, par conséquent, la vie continue son travail sans qu'il soit possible de l'interrompre en plaçant les fruits dans un gaz inerte; on comprend, d'après ces résultats, que toutes les tentatives faites jusqu'à présent pour conserver des fruits dans des gaz comme l'acide carbonique, l'azote ou l'hydrogène, aient été infructueuses, même lorsque ces gaz ont été chauffés, et par suite dépouillés des germes de fermentation qu'ils pourraient contenir.

En résumé, les travaux de M. Cahours et ceux de MM. Decaisne et Fremy démontrent que les fruits traversent trois périodes qui se distinguent les unes des autres par des phénomènes chimiques très-tranchés et par des actions différentes sur l'air atmosphérique (*Compt. rend.*, t. LVIII, p. 656).

Pendant la première période, qui est celle du développement, le fruit présente en général une couleur verte, agit sur l'air atmosphérique à la manière des feuilles, décompose l'acide carbonique sous l'influence solaire et dégage de l'oxygène.

Dans la seconde période, qui est celle de la maturation, la couleur verte du fruit est remplacée par une coloration jaune, brune ou rouge; le fruit agit alors sur l'air en transformant rapidement l'oxygène en acide carbonique; il se produit dans les cellules du péricarpe une série de combustions lentes qui font disparaître successivement les principes immédiats solubles qui s'y trouvent; le tannin se détruit le premier, puis viennent les acides. C'est ce moment que l'on choisit, en général, pour manger les fruits. Si l'on attend plus longtemps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

encore, le sucre lui-même disparaît et le fruit devient fade.

Ainsi on voit qu'il se produit dans les fruits pendant toute la période de la maturation une véritable combustion portant sur tous les principes neutres qu'ils renferment d'abord : ceux-ci donnent par oxydation des acides végétaux et de l'acide carbonique ; puis à mesure que la maturation avance, les produits incomplétement brûlés, tels que le tannin et les acides végétaux, se brûlent d'une façon complète et fournissent une nouvelle proportion d'acide carbonique ; le sucre alors est l'élément soluble dominant. La connaissance de cette succession de métamorphoses est utile aux vignerons des régions méridionales qui auraient souvent grand avantage à vendanger un peu tôt quand le raisin renferme encore une certaine quantité d'acide tartrique, qui va en diminuant à mesure que la maturation avance : les vins qu'on obtiendrait de ces raisins encore un peu acides seraient peut-être moins alcooliques que les vins produits avec des raisins complétement mûrs, mais ils auraient plus de bouquet et plus de saveur.

La troisième période que traversent les fruits est celle de la décomposition : elle a pour effet final de détruire complétement le péricarpe et de mettre la graine en liberté. A ce moment l'air entre dans les cellules ; en agissant d'abord sur le sucre, il détermine une fermentation alcoolique caractérisée par un dégagement d'acide carbonique et par la formation d'alcools qui, en s'unissant aux acides, donnent naissance à de véritables éthers auxquels les fruits doivent leur arôme. L'ananas présente une odeur remarquable d'éther éthylbutyrique ; le parfum de la poire et celui de la pomme sont dûs également à des combinaisons éthérées qu'il est aisé de reproduire artificiellement. L'air atmosphérique porte ensuite son action destructive sur la cellule même ; il colore en jaune les membranes azotées qui s'y trouvent. Ce phénomène, qui n'est autre que le *blessissement*, ne décompose pas seulement les cellules, mais il oxyde et fait disparaître certains principes immédiats qui ont résisté à la maturation : tout le monde sait qu'une nèfle qui était d'abord très-acide et astringente, perd son acide et son tannin, et n'est réellement comestible que lorsqu'elle est blette.

La période de décomposition du péricarpe commence donc par la fermentation, elle passe par le blessissement, et arrive à la destruction des cellules. On voit que, pendant toutes ces transformations, le dégagement d'acide carbonique produit par un fruit peut être dû, soit à un phénomène d'oxydation, soit à un phénomène de fermentation.

M. Chatin ne paraît pas disposé cependant à admettre avec M. Cahours qu'il se produit habituellement, dans un fruit qui se ramollit, une véritable fermentation alcoolique, et il attribue la production de l'acide carbonique, observée par M. Cahours et par lui-même, plutôt à la combustion lente de matières tanniques qu'à une fermentation qui aurait pour effet de diminuer la proportion de sucre et de faire apparaître l'alcool ; modifications qui n'ont pas été, d'après lui, complétement démontrées (*Compt. rend.*, t. LVIII, p. 276).

Il est à remarquer cependant que, s'il ne se produisait pas dans les fruits une fermentation, on n'arriverait guère à concevoir comment se produisent les éthers composés qui leur donnent leur parfum. Or, nous avons dit déjà qu'on obtient aisément dans les laboratoires des produits qui rappellent à s'y méprendre l'odeur des fruits : c'est ainsi que l'acétate d'amyle présente au plus haut degré l'odeur de la poire ; que le valérate d'amyle rappelle complétement l'odeur de la pomme ; que le butyrate d'éthyle donne celle de l'ananas. Or, pour que ces différents éthers aient pu prendre naissance, il faut non seulement la présence d'acides qu'à la rigueur on peut croire dériver directement des glucosides par oxydation, mais il faut encore qu'il se soit produit une certaine quantité d'alcool ; cette formation directe a été au reste clairement démontrée dans ces derniers temps, et, par conséquent, il faut admettre que les fruits, pendant leur maturation, éprouvent un commencement de fermentation alcoolique. P.-P. DEHÉRAIN.

O

OBUS. Projectiles creux, chargés à l'intérieur de poudre, qui les fait éclater lorsqu'ils atteignent le but. Voyez PROJECTILES.

OCRE. Argile colorée par de l'oxyde de fer servant pour couleur jaune. C'est au moyen de broyages et de décantations dans l'eau, qu'on amène les substances argileuses à l'état de poudre très-fine. (Voyez ARGILE.)

ODEUR. On donne le nom d'odeur à la sensation que nous font percevoir certains corps facilement vaporisables, par des émanations qui s'élèvent continuellement de leur surface. Ces émanations sont bien ténues dans certains cas, bien qu'impressionnant assez vivement le nerf olfactif, puisque Boyle rapporte n'avoir pu constater de diminution de poids, à l'aide de la balance, d'une masse d'ambre gris pesant 53 gr., exposée à l'air pendant quatre jours dans un lieu qu'elle avait rempli de ses exhalaisons.

L'action des substances odorantes sur notre système nerveux est un fait constaté, non-seulement quant aux impressions agréables ou désagréables que nous ressentons et que chacun connaît, mais quant à son intensité qui peut aller jusqu'à causer de véritables maladies du système nerveux.

La science des odeurs, l'analyse de leur mode d'action, indépendamment des effets toxiques de substances agissant directement sur nos organes, autrement que par leur odeur même, est, on peut dire à créer, et nos connaissances bien limitées à ce sujet.

ŒNOLOGIE. L'œnologie ou, suivant l'étymologie, la science des vins, comprend non-seulement l'étude du VIN de raisin, du vin obtenu du jus sucré de la vigne alcoolisé par la fermentation, mais celle de tous les liquides produits avec de l'eau chargée d'alcool par l'effet de la fermentation de sèves sucrées, de grains, etc., comme est la BIÈRE ou vin d'orge, le CIDRE obtenu avec des pommes, etc.

Outre ces vins employés pour l'alimentation humaine, on en prépare beaucoup d'autres, au moyen de betteraves, de cannes, de pommes de terre, etc., non pour la consommation directe à laquelle ils sont impropres, mais pour produire par fermentation de l'alcool qu'on en extrait ensuite par distillation, ainsi qu'il a été dit à l'article ALCOOL.

ŒUFS (*Conservation des*). La coque des œufs est assez poreuse pour laisser tamiser l'air qui, arrivant au contact de l'albumine ou blanc d'œuf, en détermine l'altération au bout d'un temps assez court. Pour prévenir cette altération, on prend les œufs frais, et on les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plonge à plusieurs reprises dans un baquet rempli d'eau de chaux ; la chaux s'infiltre alors dans les pores de la coque, arrive au contact de l'albumine ou blanc d'œuf, avec lequel elle forme un composé insoluble qui bouche hermétiquement les pores de la coque, et qui, en s'opposant à tout accès de l'air, prévient ainsi toute altération subséquente.

OISEAUX DE BASSE-COUR. — L'élève de la volaille, la production des œufs constituent des industries d'une grande importance, surtout dans les pays comme le nôtre, où la division de la propriété multiplie le nombre des ménagères soignant leur basse-cour avec le soin que l'intérêt personnel peut seul inspirer. C'est, en effet, une industrie très-difficile sur une grande échelle (Voyez *Incubation artificielle*) et simple sur une petite, puisqu'il s'agit seulement d'assurer la santé des élèves par une surveillance assidue. Dans bien des fermes les profits de la basse-cour dirigée par une fermière habile payent une partie notable du fermage et assurent le succès de l'exploitation. Nous résumerons ici les principales conditions de succès, d'après un habile praticien. Disons d'abord un mot du poulailler.

La liberté dont on laisse jouir les volailles dans la plupart des fermes a le double avantage de les nourrir à peu de frais, et de débarrasser les fumiers d'une quantité de grains qui plus tard germeraient dans la terre et nuiraient à la culture ; mais, lorsqu'on attache à l'éducation des volailles une importance particulière, on dispose pour elles un local particulier qu'on appelle basse-cour. La basse-cour doit être séparée des autres bâtiments de la ferme par un mur, un treillage ou une haie très-épaisse, et l'on y plante quelques arbres qui peuvent offrir aux oiseaux un aliment sain et leur servir de juchoir pendant la nuit. On doit trouver dans cette basse-cour : un amas de sable ou de cendres, où les poules aiment à se rouler ; une pièce de gazon où elles viennent s'ébattre ; des baquets couverts, au niveau du sol, remplis d'une eau pure et souvent renouvelée, où elles viennent s'abreuver par des ouvertures faites exprès ; une ou deux mares pour les oiseaux aquatiques, s'il n'existe pas à proximité de la ferme un ruisseau ou un étang.

Le poulailler doit être placé dans un lieu sec et exposé de manière à jouir dès le matin des rayons du soleil. Il doit être subdivisé en plusieurs logements, destinés spécialement aux poulets, aux dindons, aux canards, aux oies, aux nouvelles couvées, aux volailles en engrais et aux volailles malades. Quand l'emplacement est petit, les pièces destinées aux différentes espèces peuvent être isolées les unes au-dessus des autres. Dans chaque pièce on assure une ventilation salutaire, au moyen d'ouvertures garnies de volets qu'on ferme ou qu'on ouvre à propos. Du reste, la grandeur du poulailler dépend de la quantité de volailles qu'on veut entretenir. Chaque poule a besoin d'un emplacement de 48 centimètres carrés. Le succès de cette industrie dépend beaucoup des qualités que possède et des soins qu'y donne la femme de basse-cour qui est chargée du service du poulailler. Elle doit être douce, patiente, vigilante, se faire aimer de sa volaille, être *exacte*, donner la distribution de la nourriture chaque jour à la même heure, le matin au lever du soleil, et le soir à trois heures, examiner si l'appétit des animaux est bon, si la nourriture leur profite, les passer en revue et en vérifier le nombre, guetter les poules qui ont de la disposition à couver, visiter l'endroit où elles pondent, faire le triage des œufs destinés à être consommés ou couvés, connaître les méthodes de chaponner et d'engraisser, et savoir porter remède aux maladies.

La *poule* est le plus commun des gallinacés de basse-cour. Le mâle s'appelle *coq ;* le petit, d'abord *poussin*, puis *poulet ;* la castration transforme la poule en poularde, et le coq en chapon. Il existe de nombreuses variétés de poules. Les plus répandues en France sont la poule ordinaire que recommandent la rusticité de l'espèce, la qualité, les produits et le peu de frais que sa nourriture exige ; la poule anglaise, remarquable par sa petitesse : parmi les races les plus estimées, les poules de Crèvecœur, de Houdan, du Mans et de la Bresse ; leurs œufs gros et nombreux donnent d'excellents poulets, mais ils sont souvent clairs, c'est-à-dire inféconds. Ces poules couvent rarement et tard dans l'année. En résumé, il faut préférer, pour le peuplement de la basse-cour, les poulets du pays, les améliorer par des soins intelligents et une bonne alimentation Il est bon, d'ailleurs, d'introduire concurremment dans la basse-cour quelques-unes des belles races indiquées ci-dessus, comme d'en écarter les grosses races, massives de squelette, pauvres en chair et ne donnant que de petits œufs qu'on désigne sous le nom de poules de Cochinchine et de Brahma-Poutra. Le coq commence à cocher à trois mois, et sa grande vigueur dure trois à quatre ans. Un beau coq peut servir 10 à 12 poules. Il faut, dans certains cas, tel qu'un refroidissement de température ou une nourriture trop rafraîchissante, lui donner des aliments excitants. Les poules n'ont pas besoin d'être cochées pour produire des œufs ; mais, dans ce cas, elles en donnent moins et ils sont impropres à l'incubation. Une bonne poule pond chaque année de 120 à 150 œufs. En général, elles pondent presque toute l'année, excepté au temps de la mue, c'est-à-dire en novembre et décembre. Les jeunes poules commencent à pondre vers l'âge de dix mois.

On choisit pour couver les plus grosses et les plus apprivoisées, et celles dans qui le désir de l'incubation paraît le plus fréquent. Mais quand on a plus d'intérêt à faire pondre qu'à faire couver, on leur fait passer ce désir en les tenant renfermées séparément dans un lieu frais, obscur et loin du bruit, où on les laisse deux jours sans les visiter ni leur donner de nourriture. Par le temps froid, on peut donner une douzaine d'œufs à couver à une poule ; en été 15 ou 18, si elle est assez large pour les couvrir. Dans les temps chauds et secs, on doit baigner chaque jour les œufs dont l'incubation est avancée, pour leur conserver l'humidité nécessaire à l'éclosion, qui a lieu au bout de 20 à 22 jours. Les chapons, les vieux coqs et les dindes peuvent aussi couver les œufs, et conduisent ensuite les poussins avec autant de vigilance qu'une poule. Quand tous les poussins sont éclos, on les sort du nid avec leur mère, et on les place dans un endroit chaud, où ils puissent se promener sans danger. Le premier jour, on soutient leurs forces avec un peu de vin. Le soir, on les replace dans leur panier, où la mère les tient chaudement sous ses ailes pendant la nuit. Leur première nourriture doit être de la mie de pain trempée dans du vin et mêlée avec des œufs durs hachés très-mince ; lorsque leur bec commence à se durcir, on leur donne des criblures de blé ou autres grenailles fines.

La nourriture ordinaire des poules se compose de criblures et son bouilli. L'orge moulue ou à demi-cuite leur fait pondre de gros œufs ; un peu de verdure les rafraîchit et contribue à leur bonne santé. 4 onces de grains par jour suffisent à celles qui sortent, et 6 à celles qui sont renfermées. On leur donne aussi des fruits gâtés, des pommes de terre cuites, etc. Le moyen le plus économique est de leur distribuer la graine moulue, délayée et formant une sorte de bouillie ou de pâte. Les poules sont avides de vers, et on a imaginé de leur en procurer au moyen de verminières artificielles. Ce supplément entretient leur santé, aiguise leur appétit accélère la ponte.

Les œufs que l'on veut conserver doivent être placés dans des endroits secs, où la température ne soit pas trop élevée. L'air extérieur déterminerait bientôt la dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

composition et l'évaporation graduelle de l'œuf, si on ne mettait pas la coquille à l'abri de son influence immédiate, notamment par le procédé indiqué à l'article précédent.

On châtre les coqs et les poules dans le but de rendre leur chair plus grasse et plus délicate. L'opération se fait à l'âge d'environ 4 mois, au printemps ou en automne: elle consiste, pour le coq, dans l'extraction des testicules, par une incision faite au bas du flanc gauche, et qui permet au doigt indicateur, introduit dans l'abdomen, d'aller chercher et détacher ces organes dans la région des reins, à gauche et à droite de la ligne médiane ; et pour les poules, dans l'enlèvement de l'ovaire, petit corps rond placé sous le croupion, et indiqué par une petite élévation, à laquelle on fait une incision transversale assez grande pour y introduire le doigt. Quand on veut engraisser un chapon ou une poularde, on les tient en lieu chaud, dans une des loges de l'épinette, privés de lumière et de mouvement, et on doit les y nourrir abondamment, en leur faisant avaler deux ou trois fois par jour sept à huit boulettes de farine de millet, maïs, sarrasin, orge et avoine trempés dans de l'eau ou du lait, sans leur donner à boire ; on les engraisse au bout de quinze jours.

Les principales maladies des poules sont la pépie, la maladie du croupion, la diarrhée, la constipation, la goutte, la toux, la roupie, les pustules. Ces deux dernières sont contagieuses. Elles sont en général produites par la malpropreté, l'infection du poulailler, la mauvaise nourriture, la disette ou la malpropreté de l'eau. La cause du mal est déjà une indication du remède. La pépie est caractérisée par une pellicule cornée d'un blanc mat qui se développe à l'extrémité de la langue, et qu'il faut enlever doucement avec une aiguille ou un canif. On reconnaît en général qu'une poule est malade à la pâleur de sa crête, au hérissement de ses plumes qui deviennent ternes, à sa démarche lente et triste. Le remède en est également dans la propreté. Dans le temps de mue, il faut tenir la volaille chaudement et à couvert matin et soir, et la nourrir de maïs et de millet.

Le *dindon*, originaire d'Amérique, est le plus profitable, mais le plus difficile à élever de tous les oiseaux domestiques. La poule d'Inde ne commence guère à pondre qu'à un an; elle fait par an deux pontes de quinze ou vingt œufs d'un blanc sale tacheté de points roux, et un peu plus gros que ceux de la poule. On perd beaucoup de ses œufs par l'effet de l'instinct qui la porte à établir son nid dans des lieux cachés, où ils deviennent la proie des belettes, des renards ou des rats. Le seul moyen d'éviter ces pertes, c'est de la palper tous les matins pour reconnaître si elle doit pondre dans la journée, et de la tenir renfermée jusqu'à ce qu'elle ait donné son œuf, qu'elle pond ordinairement tous les deux jours. La poule d'Inde est encore plus constante dans l'incubation que la poule commune ; elle se prête à faire consécutivement deux ou trois couvées, pendant lesquelles il faut lui donner à boire et à manger et lui faire chaque jour prendre l'air. Les petits dindonneaux naissent ordinairement avec un petit bouton jaunâtre sur la pointe supérieure du bec ; on le leur retire avec une épingle. Comme ils sont très-sensibles au froid, on doit faire en sorte qu'ils éclosent en mai, dans un endroit sec et chaud. A leur naissance, on les nourrit comme les jeunes poulets. On doit souvent les forcer à manger, parce que leur stupidité naturelle va quelquefois jusqu'à négliger de demander même le nécessaire. Au bout de huit jours, on diminue leur nourriture et on les laisse aller brouter l'herbe dans les environs. Alors on leur donne encore un mélange de salades cuites et hachées, d'orties, de pois, du gruau cuit dans du lait, de l'avoine, du petit blé, etc. A l'âge de 18 ou 20 jours, on leur donne aussi un peu d'absinthe et du lait caillé dans leur salade. On leur administre des aliments trois fois par jour; on les laisse en plein air le matin quand il fait beau, et le soir, on les met à l'ombre. On leur donne un peu de vin quand ils paraissent languissants. Une pluie froide, dont ils viendraient à être pénétrés, peut être suivie chez eux d'un engourdissement mortel, si on ne les enveloppe aussitôt d'une toile chaude, ou si on ne les place au feu ou au soleil.

On fait mener les dindons dans les champs, où ils trouvent des vers, des limaçons et de l'herbe, surtout après la moisson, par une femme qui les abreuve soigneusement d'eau fraîche, et qui les conduit promptement sous un abri, à l'approche du mauvais temps. Les dindonneaux sont exposés à une crise très-dangereuse au moment où les caroncules charnues qui recouvrent la tête et le cou de ces oiseaux commencent à se développer. On dit alors qu'ils prennent le rouge. Il faut alors les réchauffer au soleil et près du feu, et combattre leur faiblesse par des boissons fortifiantes et des aliments toniques. Ils sont exposés, comme les poussins, à la pépie, à la goutte, aux indigestions et à la diarrhée; mais la maladie la plus dangereuse est le bouton qui se développe dans le bec et le gosier et, à l'extérieur, sur toutes les parties non garnies de plumes. On la croit contagieuse ; il faut séparer l'animal et le tenir à un régime échauffant.

On nourrit et l'on engraisse les dindes avec des pommes de terre, des glands, des châtaignes, des noix, et quelque farines de peu de valeur. L'engraissement se termine presque toujours en faisant avaler à l'animal la nourriture qu'il ne prendrait pas de lui-même en quantité nécessaire, surtout les châtaignes et les noix. On leur en fait d'abord avaler une vingtaine par jour en deux ou trois fois ; on augmente rapidement la dose, qui peut aller jusqu'à 150 noix par jour ; au bout de douze heures elles sont entièrement digérées.

La *pintade* est un fort bel oiseau venu d'Afrique, mais qui est désagréable par ses cris aigus et son caractère sauvage. Ses œufs sont petits, mais d'une grande délicatesse. Il faut les faire couver par d'autres poules, car la pintade délaisse facilement ses œufs. Les jeunes pintades ressemblent à des perdreaux, et font un excellent manger. A défaut d'œufs et de farine, on nourrit les pintades comme les dindons.

Les jeunes *paons* ont la même qualité ; c'est à l'âge de 4 à 5 mois qu'on les engraisse.

On connaît trois espèces de *faisans* : le commun, l'argenté et le doré. L'éducation du faisan commun, quoique la plus facile, présente encore des difficultés, à cause de sa sauvagerie. On trouve en général préférable de faire couver ses œufs par de petites poules communes, qui éloignent moins les jeunes faisans de la maison que ne ferait une faisanne. Sa première nourriture se compose d'œufs hachés menu ; des œufs de fourmi leur sont presque indispensables de temps à autre. Dès le second mois, on peut leur distribuer une nourriture moins choisie, telle que des criblures de blé ou des grenailles fines. La mue de leur queue amène, vers le troisième mois, une crise qui leur est souvent fatale; c'est à ce moment que les substances animales sont le plus nécessaires à leurs forces. Quand ils commencent à voler, il faut les enfermer dans des cours grillées de tous côtés, ou leur casser le fouet de l'aile, pour les empêcher de s'envoler dans les bois, d'où jamais ils ne reviendraient.

L'*oie* est un des plus utiles de nos animaux domestiques. Il y en a de deux races, la grande et la petite; mais on ne s'occupe guère que de la grande, parce qu'elle est d'un meilleur rapport. Il y en a de blanches, de noires et de grises. Les blanches sont plus recherchées, à cause de leur duvet. Un mâle suffit à 5 ou 6 femelles. L'accouplement a lieu en février, ou même plus tôt, suivant la température. On reconnaît que le moment de la ponte est venu lorsqu'on voit l'oie apporter de la paille à son bec, pour construire son nid, et rester long-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

temps posée sur ses œufs. Il faut alors répandre de la paille sèche et brisée dans l'endroit qu'elle a choisi, et, s'il n'est pas chaud et tranquille, l'attirer dans un autre convenable, où elle déposera successivement ses œufs. L'incubation dure de 27 à 30 jours. La première nourriture et les premiers soins à donner aux oisons sont à peu près les mêmes que pour les autres volailles. On les laisse barbotter dans l'eau tout le temps qu'il leur plaît. On doit éviter de les envoyer pâturer dans les prairies dont elles détruiraient les bonnes herbes ; on leur livre seulement les terrains vagues. Leur nourriture à l'herbe est très-peu coûteuse, et de nombreux troupeaux d'oies sont la fortune de bien des villages de la Lorraine. Pour engraisser les oies, on a soin de les plumer sous le ventre, de leur donner une nourriture abondante, et de les renfermer dans un lieu obscur, étroit et tranquille. C'est au mois de novembre qu'on commence l'opération.

Il y a deux modes d'engraissement : le premier, plus lent, mais plus énergique, consiste à leur présenter une pâtée de pois, de pommes de terre, de farine d'orge, d'avoine et de maïs détrempés dans de l'eau ou du lait, qu'on leur laisse manger à discrétion. Le second procédé est plus prompt : on prend l'oie trois fois par jour, on la place entre ses jambes, on lui ouvre le bec de la main gauche et on lui fait avaler de la main droite sept à huit boulettes de 2 pouces de long sur un pouce d'épaisseur; on lui fait ensuite boire du lait ou de l'eau de son. Cet engraissement dure 16 à 20 jours. Les mutilations employées jadis pour hâter l'engraissement sont abandonnées aujourd'hui comme cruelles et inutiles.

Les oies donnent deux sortes de plumes : les grandes, qui se tirent des ailes et servent à écrire, et les petites qui servent à faire des oreillers et suppléent à l'édredon. Pour avoir celles-ci, on plume les vieilles oies trois fois l'an, de la fin de mai à la fin de septembre; mais pas plus tard, à cause du froid. On reconnaît que le duvet est mûr lorsqu'il se détache de lui-même. On le prend sous le ventre, autour du cou et sous les ailes. On fait sécher doucement les plumes au four, une demi-heure après qu'on en a retiré le pain, et on les conserve dans des tonneaux ou dans des sacs placés en lieu sec.

Notre *canard* commun descend évidemment du canard sauvage, dont il a conservé la constitution et les habitudes. Le mâle se distingue principalement de la femelle par deux ou trois petites plumes retroussées que l'on remarque à la naissance de la queue. On en élève deux variétés très-distinctes par leur dimension, le canard barbotteur ordinaire et le canard de Normandie, qui est sensiblement plus fort que le canard sauvage. Le canard exige de l'eau plus impérieusement que les oies; il aime moins à parcourir les champs et son parcours n'a pas les mêmes inconvénients. Il ne faut pas songer à l'élever dans les lieux secs et arides. Les œufs de cane, plus gros que ceux de la poule, sont aussi délicats à manger. Leur coque paraît plus lisse, ils sont de couleur verdâtre, le jaune est gros, assez foncé. Le canard musqué ou de Barbarie est plus fort et plus gros que les autres. L'eau ne lui est pas nécessaire. Il aime à se percher sur des objets peu élevés. La femelle aime à pondre dans des endroits retirés, mais non à être renfermée. Ses œufs sont plus gros. Le canard de Barbarie s'allie assez volontiers à la cane commune, mais les petits qui proviennent de cette union sont inféconds. Sa chair est excellente, pourvu qu'aussitôt sa mort, on retranche la tête, qui communiquerait au reste du corps une odeur musquée.

Les canards sont très gloutons, et on peut dire qu'ils mangent de tout: ainsi, les balayures, les criblures des greniers, les racines, les fruits tout leur est bon, pourvu que cela soit humecté. Mais c'est surtout dans les eaux des rivières, des étangs et des mares qu'ils trouvent leur nourriture, y récoltant les vers et insectes qui multiplient sous l'influence de la chaleur et de l'humidité.

On distingue deux variétés de *pigeons* : le pigeon de colombier, qui ne fait que trois pontes, mais qui ne demande pas beaucoup de soin, parce qu'il va chercher au loin sa nourriture ; et le pigeon de volière, dont la fécondité est très-grande quand il est bien nourri. Si l'on veut tirer un profit constant du pigeon de colombier, il faut faire en sorte d'employer une partie des anciens à la consommation, et d'en laisser de jeunes pour une reproduction suffisante. Il faut leur donner en hiver, surtout par le temps de neige, du sarrasin ou de la vesce, pour les mieux attacher à leur demeure. Les pigeons ont pour le sel un goût prononcé, qui paraît un besoin réel; on les voit changer de pigeonnier pour se fixer dans celui où ils rencontrent du sel sous une forme quelconque.

ACIDE OLÉIQUE. Cet acide que l'on retire du suif, comme produit accessoire de la fabrication de l'acide stéarique (voyez STÉARIQUE), est liquide, incolore ou légèrement jaunâtre, presque insipide, insoluble dans l'eau, soluble, au contraire, en toutes proportions dans l'alcool; sa densité = 0,898 à 16. Il est employé surtout à la fabrication des savons mous à base de potasse. (Voyez SAVONS.)

OLÉOMÈTRE. On désigne sous ce nom trois instruments différents qui ont été inventés pour découvrir, par le moyen de la densité, la fraude qu'on fait subir aux huiles commerciales.

Le premier, imaginé par M. Laurot, chimiste à Paris, pour l'huile de colza brute, porte le nom spécial d'*oléomètre à chaud*.

Le second, qui a pour auteur M. Lefebvre, courtier de commerce à Amiens, et qui sert à l'essai de toutes les espèces d'huiles sans distinction, est connu sous le nom d'*oléomètre à froid*.

Enfin, le troisième construit par M. Gobley, pharmacien à Paris, sert spécialement à constater les fraudes des huiles d'olive et d'amandes douces par l'huile d'œillette, dite *huile blanche;* il est plus connu sous le nom d'*élaïomètre*.

Nous allons décrire successivement ces trois densimètres :

I. *Oléomètre à chaud*. L'huile de colza brute est depuis longtemps soumise à de nombreuses falsifications. On la mélange communément avec des huiles ayant une moindre valeur, telles que celles de poisson, de lin, d'œillette, de ravison, etc. Dans le but de mettre un terme à ces falsifications toujours croissantes, les acheteurs d'huile de colza non épurée, de Paris, se sont réunis et ont engagé M. Laurot à faire des recherches pour trouver un moyen facile de découvrir dans l'huile de colza la présence d'une huile étrangère. Après bien des essais, M. Laurot leur a livré l'instrument qu'il a nommé *oléomètre*.

Il se compose d'une burette en fer-blanc, faisant fonction de bain-marie. On y place un cylindre creux de même métal, dans lequel on introduit l'huile à essayer. Quand on expose cet appareil au feu, l'eau ne tarde pas à entrer en ébullition ; la chaleur se communique à l'huile, qui prend alors une température qui ne peut pas dépasser 100°. Un petit aréomètre, plongé dans l'huile, marque la densité de ce liquide; mais, comme sa tige est extrêmement fine, les plus légères différences dans le poids spécifique sont rendues sensibles. La tige est partagée en parties égales. Il y a deux cents parties ou degrés au-dessous de 0°, et vingt à vingt-cinq parties au-dessus. Enfin un thermomètre, plongé dans le vase, indique quand la température est arrivée à 100°.

M. Laurot a observé qu'à la température de l'ébullition, les huiles sont loin d'avoir la même densité, et que les différences sont très-sensibles sur la fine tige

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'oléomètre, qui dans une espèce s'enfonce peu, et beaucoup dans une autre.

Dans l'huile de colza, l'oléomètre s'arrête au 0°;
— poisson, — à 83°;
— d'œillette, — à 124°;
— chenevis, — à 136°;
— lin, — à 210°.

Comme on le voit, les différences sont toujours très tranchées.

Quand l'huile de colza est mélangée de 5 ou 10 p. 100, par exemple, d'une autre huile, l'oléomètre le dénote aussitôt, en s'enfonçant d'une moindre quantité.

A l'instrument est joint une table, sur laquelle sont indiqués les degrés que doit marquer l'oléomètre, quand il y a 5, 10, 15, 20, etc., p. 100 d'huile de poisson ou toute autre.

Mais parmi les huiles commerciales, il en est deux qui sont plus légères que l'huile de colza, à savoir : l'*huile de cachalot* et *l'huile de suif* ou *acide oléique*, et qui, par conséquent, peuvent permettre, par leur mélange avec la première, l'introduction d'une certaine quantité d'huiles communes plus denses, sans que l'oléomètre indique la fraude. Nous sommes parvenus, en effet, au moyen de l'acide oléique, à introduire dans l'huile de colza jusqu'à 40 p. 100 d'huile de lin, d'œillette on de poisson, et l'oléomètre n'en continuait pas moins de marquer 0°, comme dans une huile tout à fait pure.

D'après cela, il faut donc toujours avoir la précaution, avant de faire usage de l'oléomètre, de s'assurer que l'huile à essayer ne renferme aucune des deux huiles plus légères dont il vient d'être question. Heureusement, rien n'est plus simple.

L'huile de cachalot, très rare du reste dans le commerce, communique à l'huile de colza la propriété de brunir fortement par l'introduction de quelques bulles de chlore gazeux.

Quant à l'acide oléique, son odeur repoussante, son acidité très prononcée, et sa grande solubilité dans l'alcool à 36°, permettent d'en reconnaître moins de 4 à 5 p. 100 dans l'huile de colza. Dans le cas de mélange, celle-ci rougit très manifestement le papier bleu de tournesol légèrement humide, où elle cède à l'alcool froid presque tout l'acide oléique qu'elle contient, en sorte que par l'évaporation de l'alcool, celui-ci apparait avec tous ses caractères distinctifs.

Un grave inconvénient de l'oléomètre de M. Laurot, c'est que, tandis qu'il marque 0° dans l'huile de colza d'hiver, il s'arrête au-dessous de 0° dans l'huile de colza d'été, ainsi que dans celle de navette d'hiver et d'été, de sorte qu'il peut faire considérer comme des falsifications des mélanges de ces différentes huiles les unes avec les autres, mélanges que le commerce, cependant, a toujours acceptés comme huile de colza pure.

Cette circonstance, et la nécessité d'opérer à chaud, sont bien certainement les causes qui ont empêché les épurateurs d'adopter définitivement l'instrument dont il vient d'être question.

II. *Oléomètre à froid.* Un instrument bien supérieur au précédent, parce qu'il réunit commodité, promptitude et précision dans son emploi, est celui que M. Lefebvre a construit en 1839, et qui repose sur ce principe :

1° Que les diverses espèces d'huiles pures ont des densités différentes et variables avec la température;

2° Qu'en général, on ne trouve pas deux huiles qui aient la même densité à la même température.

Si donc on arrive à connaître la densité d'une huile, et en même temps sa température, on n'a qu'à consulter les tables qui indiquent les poids des différentes huiles pour toutes les températures; l'espèce d'huile est aussitôt déterminée. S'il y a incertitude entre deux huiles, des caractères chimiques interviennent qui décident la question.

D'après M. Lefebvre, voici la densité des diverses huiles commerciales, récemment préparées, à la température normale de + 15° :

DÉSIGNATION des HUILES :	DENSITÉ comparée à celle de l'eau représentée par 10,000.	POIDS de l'hectolitre.	POIDS du litre.
		kil.	gr.
du corps du cachalot. .	8,840	88,40	884,
de suif ou acide oléique.	9,003	90,03	900,3
de colza d'hiver.	9,150	91,50	915,
de navette d'hiver. . .	9,454	91,54	915,4
de navette d'été.	9,457	91,57	915,7
de pieds de bœuf. . . .	9,160	91,60	916,
de colza d'été.	9,467	91,67	916,7
d'arachide.	9,470	91,70	917,
d'olives.	9,470	91,70	917,
d'amandes douces. . . .	9,480	91,80	918,
de faine.	9,207	92,07	920,7
de raisin.	9,240	92,40	924,
de sésame.	9,235	92,35	923,5
de baleine filtrée. . . .	9,240	92,40	924,
d'œillette.	9,253	92,53	925,3
de chènevis.	9,270	92,70	927,
de foie de morue. . . .	9,270	92,70	927,
de foie de raie.	9,270	92,70	927,
de caméline.	9,282	92,82	928,2
de coton.	9,306	93,06	930,6
de lin.	9,350	93,50	935,

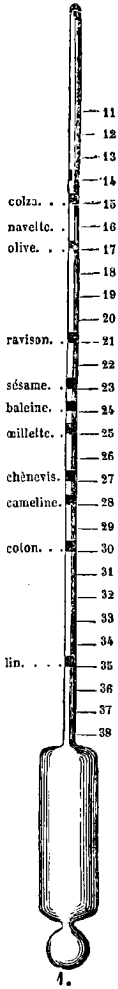
Il est à noter que lorsque les huiles vieillissent, leur densité augmente toujours sensiblement, sans doute à cause de la modification plus ou moins profonde qu'elles éprouvent de la part de l'oxygène de l'air, qui, comme on sait, est absorbé par elles. C'est ainsi, par exemple, qu'une huile de coton fraîche pèse 9,306, tandis qu'après deux ans de repos dans un flacon, elle pèse 9,320. L'augmentation, toutefois, ne porte que sur les deux dernières décimales.

L'oléomètre de M. Lefebvre a la forme d'un aréomètre ordinaire, seulement le réservoir cylindrique est très grand et la tige très longue (fig. 1). Celle-ci porte une échelle graduée sur laquelle sont inscrites les densités comprises entre 9,000 jusqu'à 9,400, limites entre lesquelles sont renfermées les densités des diverses huiles commerciales. Seulement, comme il eût été impossible de placer quatre chiffres sur l'échelle, on a retranché le premier et le dernier, pour ne conserver que les deux du milieu, ce qui n'a aucun inconvénient dès qu'on en est prévenu. Ainsi, les chiffres de 1 jusqu'à 40, placés sur l'échelle, doivent être précédés de 9 pour exprimer la densité et le poids de l'hectolitre. La place de l'huile de colza, par exemple, se trouve au nombre 15; il faut lire alors 9,150 de densité, ou 91 kil. 5 hectogr. pour le poids de l'hectolitre, ou encore 915 grammes pour un litre.

A la gauche de l'échelle et en face de la densité, se trouvent les noms des huiles. Pour la facilité des vérifications, leur place est représentée par une couleur à peu près semblable à celle que prend chaque espèce sous l'influence de l'acide sulfurique concentré. Les couleurs font mieux distinguer la place où s'arrête le niveau de l'huile sur l'instrument, quand celui-ci est plongé dans les barils; de cette manière on n'a pas besoin de retirer l'oléomètre pour connaître la densité exprimée en chiffres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'instrument ayant été gradué pour la température de + 15°, il y a donc toujours nécessité de consulter la température de l'huile au moment où l'on y plonge l'oléomètre, et de faire une correction au chiffre obtenu lorsque la température est supérieure ou inférieure à + 15°. D'après M. Lefebvre, la correction pour toutes ces huiles est de 1° 1/2 centigrade pour un millième de densité en plus ou en moins, à partir de + 15° : soit 3° centigr. pour 2 millièmes, 6° pour 4 millièmes, etc. Lors donc qu'une huile est à + 18° centigr., l'oléomètre descend alors à 2 millièmes au-dessous de la densité réelle, et il faut donc augmenter de 2 millièmes le chiffre trouvé. Si l'huile est à + 12°, l'instrument s'arrête à 2 millièmes au-dessus de la véritable densité, et il faut d'abord diminuer ces 2 millièmes de la densité apparente.



1.

A + 3° centigr. pour les huiles de colza et de navette, à + 8° pour l'huile d'olive, la vérification ne peut avoir lieu à cause de leur concrétion. Il faut alors faire chauffer l'huile dans le tube d'essai, soit avec la main, soit avec de l'eau tiède, et avoir la précaution d'agiter l'huile avec une baguette, ou même avec le thermomètre.

Pour éviter tous les calculs relatifs aux corrections de température, M. Lefebvre a dressé des tableaux donnant les poids des huiles à l'hectolitre pour toutes les températures ordinaires, c'est à dire celles qui sont comprises entre + 30°, et — 6° centigr. On les trouvera dans le tableau de la page suivante.

L'instrument de M. Lefebvre donne le moyen non-seulement de faire la distinction des huiles entre elles, mais, jusqu'à un certain point, de faire connaître les mélanges des unes avec les autres, car les huiles n'éprouvant aucune modification chimique par leur simple mélange, il est évident que les densités des mélanges récemmment préparés sont proportionnelles aux quantités respectives des huiles mêlées. L'oléomètre pourra donc indiquer, au moins dans le plus grand nombre des cas, les rapports de quantités entre deux huiles qui auront été mélangées. Si, par exemple, l'huile de colza a été additionnée de son volume d'huile de lin, comme il y a entre ces deux huiles 20 millièmes de différence pour la densité, l'oléomètre plongé dans un pareil mélange s'arrêtera à 25, soit 9,250, qui est la densité de l'huile d'œillette. Si le mélange a été fait dans les rapports de 1/4 de lin et 3/4 de colza, l'instrument indiquera 9,200. Enfin, si le mélange n'est que de 1/10e de lin, on aura 2 millièmes en plus de la densité de l'huile de colza, soit 9,170.

Mais pour tirer des indications précises de l'oléomètre dans ces cas de mélange, il est évident qu'il faut pouvoir à l'avance reconnaître quelle est l'huile qui a été ajoutée à l'huile de plus grande valeur. Or, c'est ici que M. Lefebvre fait intervenir l'action d'un agent chimique, l'acide sulfurique, qui, par les effets de coloration qu'il produit sur chaque espèce d'huile, permet de caractériser chacune d'elles, qu'elle soit pure ou mélangée.

L'idée de l'emploi de l'acide sulfurique, pour la distinction des huiles, est due à M. Heydenreich, pharmacien à Strasbourg, qui la fit connaître en 1841. Ce chimiste a reconnu, le premier, que lorsqu'on ajoute une goutte d'acide sulfurique concentré à dix ou quinze gouttes d'une huile quelconque, déposées sur un verre blanc recouvrant une feuille de papier, on voit presque aussitôt apparaître une coloration qui varie avec l'espèce d'huile employée. Ainsi :

L'huile d'olive prend une teinte jaune prononcée, devenant peu à peu verdâtre ;
— d'arachide — jaune d'un gris sale;
— de sésame — d'un rouge vif;
— de navette — de gris sale;
— de cameline — jaune, puis orangée;
— d'œillette — jaune pâle avec contour gris sale ;
— de chènevis — d'émeraude bien prononcée;
— de lin — rouge brun passant au brun noir;
— de coton — jaune avec stries brunes au centre ;
— de baleine — d'un rouge brun foncé
— de colza offre une auréole bleu verdâtre ;
— de faine offre une auréole gris sale, puis verdâtre avec stries jaunes au centre.

Lorsque deux huiles sont mélangées et qu'on les soumet à l'action du réactif, il se manifeste alors une coloration toute différente de celles qu'on obtient avec les huiles pures, et qui permet de reconnaître la nature de l'huile employée par la fraude.

Mais, il faut le dire, les nuances précédentes ne sont pas toujours aussi tranchées que nous l'indiquons ici, et il y a certaines huiles qu'il serait bien difficile de distinguer de certaines autres au moyen de ces effets de coloration, la différence étant parfois à peine sensible. Ainsi, par exemple, l'huile d'arachide, l'huile d'œillette, l'huile d'olive, l'huile de cameline, se sont comportées absolument de la même manière dans nos essais avec l'acide sulfurique. L'acide oléique et l'huile de baleine n'offrent pas non plus des différences bien prononcées.

D'ailleurs, la même huile ne donne pas toujours des résultats identiques avec l'acide sulfarique; le lieu de provenance, l'ancienneté de l'huile, le mode d'extraction, sont autant de causes qui modifient les effets du réactif. Aussi faut-il toujours, quand on essaie une huile, opérer comparativement avec d'autres échantillons de la même huile pure.

C'est surtout lorsque les huiles sont mélangées les unes avec les autres, que la distinction au moyen de l'acide sulfurique devient excessivement difficile, et ce n'est que par une longue habitude, par des essais comparatifs sur des mélanges préparés à dessein avec les huiles qu'on suppose exister dans l'huile fraudée, qu'on peut arriver, non à une certitude absolue, mais à une probabilité. Le problème devient encore plus compliqué lorsqu'il s'agit de déterminer les proportions du mélange, et nous ne pouvons accorder qu'il soit possible d'obtenir du réactif, sous ce rapport, des indications de quelque valeur.

Au reste, l'emploi de l'acide sulfurique n'est que secondaire, et il n'est pas indispensable d'y recourir dans le plus grand nombre des cas.

C'est la différence de prix des huiles qui fait qu'on mélange entre elles des espèces de différentes valeurs; c'est enfin la différence de prix des tourteaux qui fait qu'après avoir obtenu l'huile d'une graine, on en broie les tourteaux avec ceux d'une plus grande valeur. Ces mélanges de tourteaux procurent, au rebattage, une huile qui est toujours introduite dans celle du prix le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU DONNANT LE POIDS DES HUILES A L'HECTOLITRE A TOUTE TEMPÉRATURE.

Température au thermom. centigrade	HUILE de colza d'hiver.	HUILE de navette d'hiver.	HUILE de navette d'été.	HUILE de colza d'été.	HUILE de pied de bœuf.	HUILE d'olive.	HUILE d'arachide.	HUILE d'amande douce.	HUILE de faine.	HUILE de ravison.	HUILE de sésame.	HUILE de baleine.	HUILE d'œillette.	HUILE de foie de morue.	HUILE de foie de raie.	HUILE de chènevis.	HUILE de camelina.	HUILE de coton.	HUILE de lin.
+30	90,47	90,55	90,57	90,67	90,60	90,70	90,70	90,80	91,07	91,10	91,30	91,40	91,53	91,60	91,70	91,70	91,82	92,06	92,50
29	90,54	90,62	90,64	90,74	90,67	90,77	90,77	90,87	91,14	91,17	91,37	91,47	91,60	91,67	91,77	91,77	91,89	92,13	92,57
28	90,61	90,69	90,71	90,81	90,74	90,84	90,84	90,94	91,21	91,24	91,44	91,54	91,67	91,74	91,84	91,84	91,96	92,20	92,64
27	90,67	90,75	90,77	90,87	90,80	90,90	90,90	91,00	91,27	91,30	91,50	91,60	91,73	91,80	91,90	91,90	92,02	92,26	92,70
26	90,74	90,82	90,84	90,94	90,87	90,97	90,97	91,07	91,34	91,37	91,57	91,67	91,80	91,87	91,97	91,97	92,09	92,33	92,77
25	90,81	90,89	90,91	91,01	90,94	91,04	91,04	91,14	91,41	91,44	91,64	91,74	91,87	91,94	92,04	92,04	92,16	92,40	92,84
24	90,87	90,95	90,97	91,07	91,00	91,10	91,10	91,20	91,47	91,50	91,70	91,80	91,93	92,00	92,10	92,10	92,22	92,46	92,90
23	90,94	91,02	91,04	91,14	91,07	91,17	91,17	91,27	91,54	91,57	91,77	91,87	92,00	92,07	92,17	92,17	92,29	92,53	92,97
22	91,01	91,09	91,11	91,21	91,14	91,24	91,24	91,34	91,61	91,64	91,84	91,94	92,07	92,14	92,24	92,24	92,36	92,60	93,04
21	91,07	91,15	91,17	91,27	91,20	91,30	91,30	91,40	91,67	91,70	91,90	92,00	92,13	92,20	92,30	92,30	92,42	92,66	93,10
20	91,14	91,22	91,24	91,34	91,27	91,37	91,37	91,47	91,74	91,77	91,97	92,07	92,20	92,27	92,37	92,37	92,49	92,73	93,17
19	91,21	91,29	91,31	91,41	91,34	91,44	91,44	91,54	91,81	91,84	92,04	92,14	92,27	92,34	92,44	92,44	92,56	92,80	93,24
18	91,27	91,35	91,37	91,47	91,40	81,50	91,50	91,60	91,87	91,90	92,10	92,20	92,33	92,40	92,50	92,50	92,62	92,86	93,30
17	91,34	91,42	91,44	91,54	91,47	91,57	91,57	91,67	91,94	91,97	92,17	92,27	92,40	92,47	92,57	92,57	92,69	92,93	93,37
16	91,41	91,49	91,51	91,61	91,54	91,64	91,64	91,74	92,01	92,04	92,24	92,34	92,47	92,54	92,64	92,64	92,76	93,00	93,44
15	91,47	91,55	91,57	91,67	91,60	91,70	91,70	91,80	92,07	92,10	92,30	92,40	92,53	92,60	92,70	92,70	92,82	93,06	93,50
14	91,54	91,62	91,64	91,74	91,67	91,77	91,77	91,87	92,14	92,17	92,37	92,47	92,60	92,67	92,77	92,77	92,89	93,13	93,57
13	91,61	91,69	91,71	91,81	91,74	91,84	91,84	91,94	92,21	92,24	92,44	92,54	92,67	92,74	92,84	92,84	92,96	93,20	93,64
12	91,67	91,75	91,77	91,87	91,80	91,90	91,90	92,00	92,27	92,30	92,50	92,60	92,73	92,80	92,90	92,90	93,02	93,26	93,70
11	91,74	91,82	91,84	91,94	91,87	91,97	91,97	92,07	92,34	92,37	92,57	92,67	92,80	92,87	92,97	92,97	93,09	93,33	93,77
10	91,81	91,89	91,91	92,01	91,94	92,04	92,04	92,14	92,41	92,44	92,64	92,74	92,87	92,94	93,04	93,04	93,16	93,40	93,84
9	91,87	91,95	91,97	92,07	92,00	92,10	92,10	92,20	92,47	92,50	92,70	92,80	92,93	93,00	93,10	93,10	93,22	93,46	93,90
8	91,94	92,02	92,04	91,14	93,07	92,17	92,17	92,27	92,54	92,57	92,77	92,87	93,00	93,07	93,17	93,17	93,29	93,53	93,97
7	92,01	92,09	92,11	92,21	92,14	92,24	92,24	92,34	92,61	92,64	92,84	92,94	93,07	93,14	93,24	93,24	93,36	93,60	94,04
6	92,07	92,15	92,17	92,27	92,20	92,30	92,30	92,40	92,67	92,70	92,90	93,00	93,13	93,20	93,30	93,30	93,42	93,66	94,10
5	92,14	92,22	92,24	92,34	»	»	»	92,47	92,74	92,77	92,97	93,07	93,20	93,27	93,37	93,37	93,49	93,73	94,17
4	92,21	92,29	92,31	92,41	»	»	»	92,54	92,81	92,84	93,04	93,14	93,27	93,34	93,44	93,44	93,56	93,80	94,24
3	92,27	92,35	92,37	92,47	»	»	»	92,60	92,87	92,90	93,10	»	93,33	93,40	93,50	93,50	93 62	93,86	94,30
2	»	»	»	»	»	»	»	92,67	92,94	92,97	93,17	»	93,40	93,47	93,57	93,57	93,69	93,93	94,37
1	»	»	»	»	»	»	»	92,74	93,01	93,04	93,24	»	93,47	93,54	93,64	93,64	93,76	94,00	94,44
0	»	»	»	»	»	»	»	92,80	93,07	93,10	93,30	»	93,53	93,60	93,70	93,70	93,82	94,06	94,50
—1	»	»	»	»	»	»	»	92,87	93,14	»	»	»	93,60	93,67	93,77	93,77	93,89	»	94,57
—2	»	»	»	»	»	»	»	92,94	93,21	»	»	»	93,67	93,74	93,84	93,84	93,96	»	94,64
—3	»	»	»	»	»	»	»	93,00	93,27	»	»	»	93,73	93,80	93,90	93,90	94,02	»	94,70
—4	»	»	»	»	»	»	»	93,07	93,34	»	»	»	93,80	»	93,97	93,97	94,09	»	94,77
—5	»	»	»	»	»	»	»	93,14	93,41	»	»	»	»	»	94,04	94,04	94,16	»	94,84

OLÉOMETRE.

OLÉOMETRE.

plus élevé. Ainsi, si l'on mélange deux sortes de tourteaux, œillette et lin, à coup sûr l'huile qui en proviendra sera ajoutée à celle d'œillette rousse pour fabrique, souvent d'un prix plus élevé que celle de lin.

On n'a pas à craindre l'introduction des huiles d'olive comestibles dans les huiles communes d'un prix moindre; mais on mélange les huiles d'olive pour la bouche avec celles de sésame, d'œillette ou d'arachide.

Les huiles communes d'olive, destinées pour fabrique, sont falsifiées avec celles de sésame, de colza, d'arachide, d'œillette; mais c'est particulièrement avec l'huile de sésame que sont mélangées celles qui arrivent du Levant à Marseille.

Les huiles de chènevis, presque toujours à des prix plus élevés que les huiles de lin, sont ordinairement fraudées avec ces dernières.

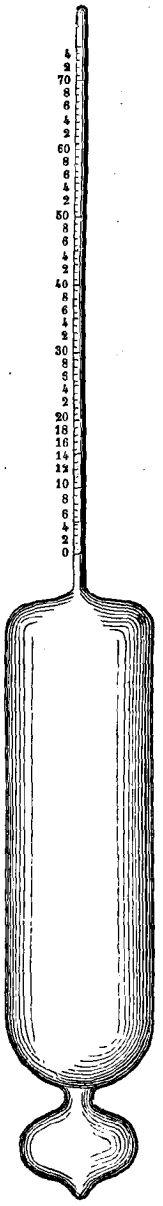
Mais il est à remarquer que beaucoup de ces mélanges ne peuvent durer que très peu de jours, lorsque les huiles sont laissées en repos. M. Lefebvre a reconnu qu'il se passe dans ces mélanges le même phénomène que dans les bains d'alliages; les plus lourdes ne tardent pas à se déposer presque complétement. Ainsi un mélange d'acide oléique avec toute autre huile de graines ne tiendra pas deux jours, parce que l'huile pesante va prendre sa place au fond du vase, et celle qui est légère reste au-dessus.

L'huile d'œillette, mélangée à l'olive, tombera au fond du vase en moins de huit jours de repos.

L'huile de baleine, mélangée aux huiles de colza, même aux colzas épurés, se dépose en huit jours. Ainsi, lorsqu'un épicier met un baril au détail et y place un robinet, en supposant que le baril soit un mois à être débité, il aura vendu dans les premiers quinze jours toute l'huile de baleine, même celle placée au-dessous du robinet, et les derniers quinze jours, l'huile de colza à peu près pure. Cette circonstance explique pourquoi il arrive souvent qu'une huile prise au même baril, brûle tantôt mal et tantôt bien.

Dans les piles d'huile, le repos est beaucoup plus remarquable. En supposant qu'une pile soit annoncée comme huile d'œillette pure, si cette huile a été mélangée d'huile de lin, cette dernière se séparera pour aller au fond, alors même qu'elle aurait été clarifiée, purifiée ou blanchie; sa densité, toujours plus forte, la fera infailliblement tomber.

III. *Élaomètre de M. Gobley.* Cet instrument, comme nous l'avons déjà dit, sert seulement à



2.

rechercher l'huile d'œillette dans les huiles d'olive et d'amandes douces.

C'est un aréromètre dont la boule, qui a une assez grande ampleur, est surmontée d'une tige mince, afin qu'elle ait une très grande sensibilité (fig. 2). Il est construit de telle manière, qu'à la température de + 12°5 centigr., température ordinaire des cuves à huiles, il s'affleure à 0° dans l'huile d'œillette pure, qui est la plus dense, et à 50° dans l'huile d'olive pure, qui est la plus légère. L'intervalle entre 0 et 50 est divisé en cinquante parties égales. Le zéro est placé au bas de la tige et le 50 à la partie supérieure.

Lorsque l'élaïomètre est plongé, à la température de + 12°5, dans une huile d'olive pure, il s'arrête à 50°; pour peu qu'elle renferme d'huile d'œillette, il s'enfonce moins, et d'autant moins que la proportion d'huile étrangère est plus considérable. C'est ce qu'on voit par le tableau suivant :

L'huile d'olive pure marque 50° à l'élaïomètre.

L'huile d'olive	contenant :		
2 p.	100 d'huile d'œillette	marque	49° à l'élaïomètre.
4	—	—	48° —
6	—	—	47° —
8	—	—	46° —
10	—	—	45° —
12	—	—	44° —
14	—	—	43° —
16	—	—	42° —
18	—	—	41° —
20	—	—	40° —
22	—	—	39° —
24	—	—	38° —
26	—	—	37° —
28	—	—	36° —
30	—	—	35° —
32	—	—	34° —
34	—	—	33° —
36	—	—	32° —
38	—	—	31° —
40	—	—	30° —
42	—	—	29° —
44	—	—	28° —
46	—	—	27° —
48	—	—	26° —
50	—	—	25° —
52	—	—	24° —
54	—	—	23° —
56	—	—	22° —
58	—	—	21° —
60	—	—	20° —
62	—	—	19° —
64	—	—	18° —
66	—	—	17° —
68	—	—	16° —
70	—	—	15° —
72	—	—	14° —
74	—	—	13° —
76	—	—	12° —
78	—	—	11° —
80	—	—	10° —
82	—	—	9° —
84	—	—	8° —
86	—	—	7° —
88	—	—	6° —
90	—	—	5° —
92	—	—	4° —
94	—	—	3° —
96	—	—	2° —
98	—	—	1° —
L'huile d'œillette pure marque			0° —

On voit, d'après cela, que le degré indiqué par l'élaïomètre doit être multiplié par 2 pour connaître en centièmes la proportion de l'huile d'œillette.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Soit 25° trouvés pour une huile d'olive, on dit :

$$25 \times 2 = 50,$$

c'est-à-dire que l'huile essayée contient 50 p. 100 d'huile étrangère.

Lorsque la température, au moment où l'on opère, est supérieure à + 12°5, il faut faire une correction d'après ce principe, constaté par M. Gobley, que les huiles d'olive et d'œillette se dilatent de 3°6 par chaque degré de l'échelle centigrade. On déduit donc du degré trouvé à l'élaïomètre 3°6 autant de fois qu'il y a de degrés entre + 12°5 et la température à laquelle on opère.

Soit, par exemple, de l'huile d'olive marquant 63°5, à la température de + 16°25 : on diminuera 3°6 multiplié par 3,75, ou 13°5 du nombre 63°5 :

$$63°5 - (3°6 \times 3,75) = 50.$$

Mais si, au lieu de marquer 63°5, l'huile essayée marquait 54°5, on obtiendrait alors 41 :

$$54°5 - (3°6 \times 3,75) = 41.$$

On serait certain, dans ce cas, que l'huile a été mélangée, et en se reportant au tableau, ou multipliant par 2 le nombre 9, qui est la différence entre 41 et 50, on reconnaîtrait que l'huile en question contient 18 p. 100 d'huile d'œillette.

Lorsque la température de l'huile, au moment de l'expérience, est inférieure à + 12°5, il faut alors ajouter au degré trouvé autant de fois 3°6 qu'il y a de degrés de température en moins.

Il se présente dans l'essai une difficulté pour les huiles d'olive obtenues par fermentation. Ces huiles marquent de 54 à 56° à l'élaïomètre, de sorte qu'on pourrait leur ajouter de l'huile d'œillette de manière à amener leur densité à celle de l'huile d'olive de bonne qualité. Mais les huiles d'olive obtenues par fermentation ont une saveur désagréable que l'addition de l'huile blanche ne fait qu'augmenter. Il faut donc toujours goûter l'huile d'olive avant de l'essayer, et la rejeter si elle présente un arrrière-goût de moisi, d'huile chauffée, ou si elle laisse à la gorge un sentiment d'âcreté, car l'huile d'olive pure possède une saveur douce qui n'est nullement désagréable.

Un autre inconvénient de l'élaïomètre, c'est qu'il peut faire envisager une huile d'olive comme fraudée par l'huile blanche, alors qu'elle n'en contient pas; il suffit qu'elle soit rance pour peser davantage; dans ce cas, elle indique à l'élaïomètre un degré inférieur à 50°. Il faut donc encore, en raison de cette circonstance, s'assurer par le goût et par un papier humide de tournesol que l'huile n'a pas d'acidité.

L'huile d'amandes douces livrée par le commerce est souvent mêlée d'huile d'œillette, et quelquefois elle en contient plus de la moitié de son poids. Dans ce cas, la couleur blanche, la fluidité, l'odeur et la saveur particulière que lui communique l'huile blanche font facilement reconnaître la présence de celle-ci; mais il n'en est pas de même lorsque la proportion d'huile blanche est peu considérable; cette fraude devient alors très difficile à constater. On peut y arriver, toutefois, à l'aide de l'élaïomètre.

M. Gobley a constaté que l'huile d'amandes douces pure et récente marque à l'élaïomètre 38° à + 12°5
mélangée de 25 p. 100 d'huile d'œillette 28°5 —
— 50 — — 19° —

Comme cette huile se dilate de 3°6 pour chaque degré de l'échelle centigrade, on corrige le degré apparent de la même manière que pour l'huile d'olive, lorsqu'on opère au-dessus ou au-dessous de + 12°5.

Lorsque l'huile d'amandes douces est ancienne, elle marque au-dessous de 38°. Il suffit de la goûter avant tout essai, et de la rejeter si elle laisse à la gorge un sentiment d'âcreté.

Précautions à observer dans l'emploi des oléomètres. Toutes les fois qu'on fait usage d'un oléomètre, quel qu'il soit, il y a certaines précautions à observer afin d'arriver à la plus grande exactitude possible. Ainsi :

1° Comme les huiles sont des liquides très dilatables par la chaleur, et que les oléomètres sont très sensibles, il faut apporter la plus grande attention dans l'examen de la température et dans l'examen du degré que donne l'instrument, autrement on serait facilement induit en erreur;

2° Il faut que la tige de l'instrument soit mouillée d'huile; aussi lorsqu'on l'introduit dans cette dernière, on doit avoir le soin de le plonger jusqu'au bas de la tige, de le retirer et de le plonger de nouveau; alors on le laisse s'enfoncer de lui-même, et on veille à ce qu'il occupe le centre et qu'il ne touche pas les parois de l'éprouvette à pied dans laquelle on fait l'essai;

3° Pour vaincre la résistance de l'huile, il convient, lorsque l'instrument a cessé de descendre, de le faire plonger d'un degré seulement, en appuyant légèrement avec le doigt sur l'extrémité de la tige; s'il reste à ce degré sans remonter, on le fait plonger d'un second degré; alors il remonte;

4° Quand l'instrument est bien fixé à son point d'affleurement, on regarde le degré qu'il marque; mais il faut lire, non pas le degré qui se trouve au sommet de la courbe que forme le liquide contre la paroi de l'instrument, mais au-dessous, au niveau réel du liquide;

5° L'instrument doit être essuyé avec soin après chaque opération, sans quoi les matières qui resteraient à sa surface, augmentant son poids, le rendraient moins juste, inconvénient d'autant plus marqué que l'instrument est par lui-même très sensible. Le linge dont on se sert doit être fin et souple, car si l'on se servait d'une grosse toile on essuierait mal l'instrument, et on s'exposerait même à le casser;

6° L'huile doit être versée dans l'éprouvette à pied de manière à ne pas former de bulles, qui empêcheraient de voir nettement le point d'affleurement. Il faut, pour cela, incliner légèrement l'éprouvette et verser doucement l'huile sur sa paroi même;

7° Quant aux thermomètres à employer, il est absolument indispensable d'en apprécier la justesse avant d'en faire usage; il suffit, pour cela, de les plonger dans la glace fondante; ils doivent marquer zéro.

J. GIRARDIN, de Rouen.

OLIVIER. L'olivier est un arbre ne pouvant mûrir que dans l'extrême midi de la France, encore ne prend-il pas un développement comparable à celui qu'il prend en Orient, et les gelées viennent de temps à autre causer des pertes considérables. Apporté en Provence par les Phocéens, lors de la fondation de Marseille, il a produit un assez grand nombre de variétés qui se distinguent par l'aspect des fruits et surtout la qualité comestible des huiles qu'on en retire.

Voici les principales variétés :

1° *Olivier sauvage*, dû à la dissémination des graines des variétés cultivées, sert à greffer ces derniers;

2° *Olivier à petit fruit panaché*, mûrit tard et fournit de très bonne huile;

3° *Olivier à fruit blanc*, mûrit tard;

4° *Olivier à petit fruit long, olivier pécholin*, fruits à confire;

5° *Olivier pleureur, olivier de Grasse*, très fécond, très bonne huile;

6° *Olivier à bec*, tirant son nom de la forme de son fruit, qui donne une huile abondante et très fine;

7° *Olivier caillet blanc*, qui fournit beaucoup d'huile et dont la récolte manque rarement;

8° *Olivier royal*, dont la récolte est assez régulière mais peu productive;

9° *Olivier à fruit arrondi*, ses fruits sont plus gros que les autres, et l'huile est de première qualité;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

40° *Olivier à fruit doux*, donne des fruits mangeables sans être confits.

L'olivier se multiplie par semis, pour boutures et surtout par greffes. Il faut attendre vingt-cinq ans les arbres provenant de noyau, pour obtenir une récolte satisfaisante. Les oliviers doivent être plantés à 8 mètres de distance environ les uns des autres. Ils doivent (en France au moins, car dans l'Orient et certaines parties de l'Italie ces soins ne sont pas nécessaire) être élagués avec soin, de manière que toutes les parties de la tête de l'arbre conservent une égale vigueur. On les laboure au printemps et à l'automne.

Quant aux engrais, les plus chauds doivent être préférés; la fiente de pigeons et les crottins de brebis peuvent être employés dans tous les terrains; les excréments humains conviennent mieux que toute autre espèce d'engrais dans les terrains sablonneux et caillouteux. Des engrais abondants augmentent sans doute la fertilité de l'arbre, mais la qualité de l'huile n'y gagne pas.

Les olives ont terminé leur maturité vers la fin de novembre. C'est le moment de les récolter lorsqu'on les destine à l'extraction de l'huile. Celles qu'on veut confire doivent être récoltées avant leur maturité complète, c'est-à-dire au commencement d'octobre. La récolte se fait soit en détachant les fruits à la main, soit en frappant sur les branches avec des gaules légères, procédé qui mutile les arbres.

Pour extraire l'huile des olives on les broie d'abord; par une première pressée à froid, on obtient les huiles dites huiles vierges, servant pour la table; la seconde pressée se fait à chaud, les huiles qui en résultent sont employées à la fabrication du savon, au travail des laines, etc.

Nous donnons dans le tableau suivant, non-seulement pour les olives mais encore pour les diverses graines oléagineuses, le rendement en huiles et en tourteaux.

NOMS DES GRAINES OLÉAGINEUSES.	Poids de l'hectolitre de graine.	Produit en litres d'un hectol. de graine.	Produit en tourteaux d'un hect. de graine.	Nombre d'hectol. de graine pour un h. d'huile.	Pesanteur spécifique de l'huile à 15° c.	Température à laquelle l'huile se congèle.
	kilogr.	litres.	kilogr.			
Colza d'hiver (*brassica campestris*).	56 à 70	25 à 38	37	3,50	0,9136	6°
Id. d'été *Id.*	54 à 65	21 à 25	37	4 à 4,50	0,9136	6°
Navette (*brassica rapa et napis*). . .	55 à 68	23 à 26	40 à 42	4 à 4,75	0,9128	3°75
Caméline (*miagrum sativum*). . . .	53 à 60	20 à 24	42,4	4,50	0,9252	18°
Madia sativa.	40 à 50	12 à 15	35,9	8,20	»	»
OEillette (*papaver somniferum*). . .	54 à 62	22 à 25	62	4,55	0,9249	18°
Faîne (*fagus sativa*).	42 à 50	12 à 15	»	10	0,9225	17°50
Chènevis (*canabis sativa*).	38 à 47	11 à 13	40	9,20	0,9276	27°50
Lin.	67	10 à 12	48	10	0,9395	27°50
Noix (*juglas regia*).	par 100 k.	46 à 50	»	»	0,9283	27°50
Amandes *amygdalus communis*. .	par 100 k.	44 à 48	»	»	0,917 à 0,920	10°
Olives.	par 100 k.	10 à 12	»	»	0,9192 (à 12° c.)	4° ou 5°

OLIVES. Voyez HUILE.

OOLITE. Voyez CALCAIRE et GÉOLOGIE.

OPIUM. L'opium est un suc épaissi que l'on retire du pavot blanc, *papaver somniferum album*, plante principalement cultivée dans tout l'Orient, l'Inde, etc. Le mode d'extraction de l'opium n'est pas bien connu. D'après des voyageurs dignes de foi, l'opium dont on fait le plus de cas chez les Orientaux, est celui qu'on obtient par incision des capsules mêmes du pavot. On les exploite alors un peu avant qu'elles jaunissent, en y pratiquant des incisions peu profondes, d'où l'on voit découler un suc laiteux et épais, d'une odeur vireuse et d'une saveur amère, qui se colore et acquiert de plus en plus de consistance par son contact avec l'air, et qui, après dix à douze heures, est entièrement solidifié. On enlève cette première récolte, et l'on procède à de nouvelles incisions jusqu'à ce qu'on ait épuisé toute la périphérie des capsules; on obtient ainsi la première qualité d'opium. Aussitôt que l'exploitation des capsules est terminée, on récolte les tiges, on les pile avec les capsules, et l'on en extrait le suc, qu'on met à part, puis on délaie le marc dans une certaine quantité d'eau et on en fait une décoction, qu'on passe au travers d'un tissu serré et qu'on évapore ensuite avec ménagement. Lorsque la décoction est réduite au tiers environ, on y ajoute le suc obtenu par expression, et l'on fait évaporer de nouveau jusqu'à ce qu'on ait atteint la consistance d'extrait, et c'est alors seulement qu'on y incorpore une certaine quantité de l'extrait naturel qui provient des incisions des capsules, afin de lui donner cette odeur vireuse qui forme un des caractères essentiels du bon opium. On forme avec l'extrait ainsi préparé de petites masses arrondies, qu'on saupoudre avec des feuilles de pavot grossièrement pilées, ou avec des débris de quelques autres végétaux, et principalement des semences de rumex, dont on incorpore même quelquefois une assez grande quantité dans la masse; enfin, on achève la dessiccation de cet extrait au soleil.

On doit choisir l'opium en petites masses bien sèches, d'une cassure nette et homogène, d'une couleur brune rougeâtre et d'une odeur vireuse sans mélange d'empyreume. Lorsqu'il est de bonne qualité, il se ramollit facilement en le pressant entre les doigts; il est susceptible de s'enflammer par l'approche d'une lumière. Pour s'assurer de sa qualité, il convient toujours de déterminer, par expérience, la proportion de matières solubles qu'il renferme.

On trouve principalement dans le commerce trois sortes d'opium : l'opium de Smyrne, l'opium d'Égypte et l'opium de Constantinople. L'Inde fournit une très grande quantité d'opium qui est consommée dans le pays, en Chine, etc. L'opium de Smyrne, qui est le plus estimé, se trouve en masses presque toujours déformées et aplaties, et recouvertes de semences de rumex; il est mou et d'un brun clair, mais il noircit et se durcit à l'air. Il a une odeur forte, vireuse; sa saveur est âcre et suivie d'amertume. L'opium d'Égypte est en pains orbiculaires aplatis, larges de 7 à 8 centimètres; ces pains sont réguliers, très nets à l'extérieur. Ils ont une couleur rousse permanente, une odeur moins forte que l'opium de Smyrne, et se ramollissent à l'air au lieu de sécher, ce qui leur donne un extérieur luisant et un peu poisseux sous les doigts. L'opium de Constantinople forme deux sortes : l'une, en pains volumineux analogues à l'opium de Smyrne; l'autre, analogue à l'opium d'Égypte, en petits pains aplatis assez réguliers, de 5 à 6 centimètres de diamètre, toujours recouverts d'une feuille de pavot dont la nervure médiane partage le pain en deux parties.

L'opium est très employé en médecine comme cal-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mant, et il forme la base fondamentale de tous les remèdes anti-spasmodiques. On en importe annuellement en France 10.000 kilogr. au prix moyen de 30 à 32 fr. le kilogr.

L'opium a une composition très complexe. Il renferme plusieurs bases alcalines végétales, la morphine, la narcotine, la codéine, etc., qui y sont saturées par l'acide méconique. Lorsqu'on fait bouillir avec de la magnésie son infusion, qui est fortement colorée en brun, il se forme du méconate de magnésie, et les bases organiques, la morphine, etc., se précipitent. On lave le précipité à l'eau froide, on reprend par l'alcool à chaud, qui ne dissout que la morphine et la narcotine, et on fait cristalliser à plusieurs reprises, en se servant de noir animal pour activer la décoloration. En dissolvant dans l'acide acétique la morphine mélangée de narcotine, que l'on obtient ainsi, on a l'acétate de morphine habituellement employé en médecine. Si on fait bouillir longtemps cet acétate, celui du narcotine se décompose, l'acide se volatilise et la base se précipite ; on obtient ainsi de l'acétate de morphine pur. Les sels de morphine sont des narcotiques très énergiques ; leur meilleur contre-poison sont des infusions de café ou de tannin. On les reconnaît à ce qu'ils donnent une coloration rouge très intense avec l'acide nitrique, et une coloration bleue avec les sels de peroxyde de fer.

OR (*angl.* et *all.* gold). L'or est un métal connu dès la plus haute antiquité. Sa beauté, son inaltérabilité, sa rareté et sa grande ductilité, l'ont fait adopter comme le premier et le plus cher des métaux que l'on soumet au monnayage. Il est d'un beau jaune un peu rougeâtre. Lorsqu'il est réduit en feuilles très minces, il devient vert par transmission et rouge par réflexion. C'est à l'or métallique très divisé que les verres dits rubis de Bohême doivent leur belle coloration rouge. Il n'a ni odeur, ni saveur ; il est plus mou que l'argent. C'est le plus malléable et le plus ductile de tous les métaux : ainsi, on peut le réduire en feuilles de un dix millionième de mètre d'épaisseur, et couvrir avec un gramme de ce métal un fil d'argent de 200.000 mètres de longueur. Sous le rapport de la ténacité, il exige pour se rompre une charge de 21k,64 par centimètre carré. De 0° à 100°, il se dilate de 0,0014661 ou 1/682e en longueur. Sa densité = 19,258 lorsqu'il a été simplement fondu, et 19,367 lorsqu'il a été fortement écroui. Il fond à 32e du pyromètre de Wedgwood, et est sensiblement fixe à la température de nos fourneaux. Il se volatilise et brûle avec une flamme verte, quand on l'expose en feuilles excessivement minces ou en fils très déliés, à l'action d'une forte batterie électrique ou d'une pile voltaïque très puissante.

L'or ne décompose jamais l'eau, même en présence des acides. Les acides sulfurique, hydrochlorique, nitrique, ne l'attaquent pas. L'eau régale le dissout facilement. Les alcalis et le nitre ne l'attaquent, ni par voie humide, ni par voie sèche. Le soufre et l'hydrogène sulfuré ne peuvent l'attaquer, mais les persulfures alcalins le dissolvent. Le chlore, le phosphore et l'arsenic, se combinent directement avec lui à l'aide de la chaleur.

L'or est susceptible de former un grand nombre d'alliages, dont deux se trouvent dans la nature, ceux avec l'argent et le rhodium ; parmi ces alliages nous citerons les suivants : l'alliage avec le cuivre, dont les différentes proportions constituent les alliages monétaires et ceux employés dans la bijouterie ; les alliages avec l'argent, qui tirent sur le vert, et dont l'un, composé de 7 parties d'or et de 3 p. d'argent, est employé dans la bijouterie sous le nom d'*or vert* ; l'alliage gris, composé de 5 à 6 parties d'or pour 1 partie de fer, qui est connu dans la bijouterie sous le nom d'*or gris* et enfin l'alliage avec le mercure ou amalgame d'or, qui est employé pour la dorure au feu.

Oxydes d'or. Les oxydes d'or sont complètement réduits par la chaleur rouge. On en connaît deux.

Le *protoxyde* est d'un vert foncé ; il se décompose spontanément en or métallique et en peroxyde. Il renferme :

Or.	0,9613	$Au^2 O$
Oxygène.. . .	0,0387	

On l'obtient en décomposant à froid le protochlorure par un alcali fixe en dissolution un peu étendue.

Le *peroxyde* ou *acide aurique* est noir ; son hydrate est d'un jaune-rougeâtre. Mis en digestion avec l'ammoniaque, il donne naissance à un composé très fulminant qui est probablement un azoture d'or. Il se compose de :

Or.	0,8923	$Au^2 O^3$
Oxygène. . .	0,1077	

On le prépare en chauffant une dissolution de perchlorure d'or avec un excès de magnésie ou d'oxyde de zinc, puis lavant le dépôt avec de l'acide nitrique qui décompose l'aurate formé. Quand on emploie l'acide concentré, l'on a le peroxyde anhydre ; quand l'acide est étendu, l'on obtient l'hydrate.

Sels d'or.

Tous les sels d'or sont solubles dans l'eau régale. Le protosulfate de fer et l'acide oxalique précipitent l'or à l'état métallique, de cette dissolution. Le protochlorure d'étain, mélangé d'une certaine quantité de deutochlorure et en dissolution étendue, y donne naissance à un précipité d'un beau rouge pourpre (*pourpre de Cassius*), qui paraît être un mélange de deutoxyde d'étain et d'or métallique dans un état de division extrême. Les principaux sels d'or sont les suivants :

Le *persulfure*, qui est floconneux, d'un jaune brun foncé, et qui forme des sulfures doubles solubles avec les sulfures alcalins.

Les *tellurures*, qui se trouvent dans la nature.

Le *protochlorure*, qui est d'un jaune pâle, très peu stable, et qui s'obtient en chauffant le perchlorure à 200° environ, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de chlore, puis lavant avec un peu d'eau froide pour séparer le perchlorure non décomposé.

Le *perchlorure*, qui est d'un rouge-brun très foncé, incristallisable, très soluble dans l'eau et l'alcool. Il se combine avec l'acide hydrochlorique en donnant un sel acide d'un beau jaune d'or qui cristallise aisément. Il a également une grande tendance à former des sels doubles ou chloro-aurates.

Et enfin le *cyanure*, qui est actuellement très employé dans les nouveaux procédés de DORURE, à l'état d'auro-cyanure alcalin.

Minerais.

Les minerais d'or sont peu nombreux ; ils se réduisent à l'or natif ou allié de rhodium, et aux tellurures.

L'*or natif* se présente tantôt en cristaux appartenant au système régulier, tantôt en dendrites et paillettes, ou en grains irréguliers ; lorsque les morceaux atteignent une certaine grosseur, on leur donne le nom de *pépites*. Sa couleur varie du jaune d'or au jaune de laiton. Il est presque toujours allié à une quantité variable d'argent ; lorsque l'alliage naturel est tel qu'il renferme environ 2 parties d'or pour 1 partie d'argent, il prend le nom d'*électrum*. On trouve quelquefois, au Mexique, des alliages d'or et de rhodium ayant la couleur de l'or, et contenant des proportions très variables de rhodium, dont la moyenne est de 0,34.

L'or natif se trouve le plus souvent dans des terrains de transports anciens, dits *alluvions aurifères*, formés en général de fragments et de cailloux roulés quarzeux, liés entre eux par un ciment argilo-ferrugineux très sableux, et dans lesquels on rencontre accidentellement des débris de roches primitives, du fer oxydulé magné-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tique, du fer titané, et souvent aussi des minerais de platine et des diamants. On exploite des dépôts immenses de cette nature en Californie, en Australie, au Brésil, au Chili, dans les monts Ourals et l'Altaï, en Afrique, etc. Un grand nombre de rivières roulent des paillettes d'or. L'or natif existe aussi en filons dans les terrains anciens, tantôt pur avec gangue de quartz, tantôt disséminé en très-petite quantité, et comme accidentellement, dans d'autres minerais métalliques, qui sont le plus souvent des pyrites de fer ou de cuivre, du sulfure d'antimoine ou des minerais d'argent.

Les *tellurures aurifères* ne se trouvent que dans quelques mines des environs de Nagy-Ag, en Transylvanie, dans des filons irréguliers qui traversent la grauwacke et les terrains porphyriques dans toutes sortes de directions. Ils sont accompagnés d'or natif et de minerais d'argent et de cuivre.

Ces minerais sont au nombre de quatre :

1° Le *tellure natif*, qui renferme 0,0025 d'or, se trouve en petites masses irrégulièrement lamelleuses ou à structure grenue, ayant un éclat métallique très-brillant, et une couleur passant du gris de plomb au gris d'acier; sa densité = 5,7 — 6,1 : il est rayé par la chaux carbonatée. Très-fusible au chalumeau, il se volatilise sans résidu. Il est soluble dans l'acide nitrique sans résidu.

2° Le tellurure auro-argentifère renferme 0,30 d'or et 0,10 d'argent, est toujours à l'état cristallin, et est composé de prismes déliés qui se groupent ensemble de manière à simuler jusqu'à un certain point des caractères hébraïques, disposition qui lui a fait donner le nom d'*or graphique*. Du reste, les autres caractères physiques sont à peu près les mêmes que ceux du tellure natif. Au chalumeau, il fond et laisse pour résidu un bouton métallique d'un jaune clair;

3° Le tellurure auro-plombifère ou *tellure gris* est lamelleux et d'un gris prononcé avec un reflet jaunâtre clair; il renferme environ 0,26 d'or et 0,14 d'argent;

4° Le tellurure plombo-aurifère ou *tellure feuilleté* est très-lamelleux, d'un gris de plomb assez foncé et d'un éclat métallique très-clair; il est rayé par la chaux sulfatée; il renferme de 0,08 à 0,09 d'or.

Essai des matières aurifères.

Voyez ESSAIS.

Traitement des minerais d'or.

Les minerais d'or les plus exploités sont les alluvions aurifères, qui sont les plus répandues, et consistent en paillettes d'or natif que l'on sépare mécaniquement par le lavage des sables et minéraux qui s'y trouvent mélangés. Les appareils de lavage varient suivant chaque pays : en Russie, où l'on traite de cette manière des sables d'alluvion ayant une teneur moyenne en or de 0,0000026, tantôt on emploie des tables à toiles, tantôt des tables dormantes ordinaires, tantôt on débourbe d'abord et on classe les sables au moyen de patouillets et de cribles, puis on les lave dans des auges inclinées demi-cylindriques au moyen d'un grand nombre de balais fixés à un axe parallèle à celui de l'auge, et qui est animé d'un mouvement oscillatoire de 30 à 40°. On sèche le schlich riche obtenu, et on en sépare les fers titané et oxydulé magnétiques au moyen du barreau aimanté.

Lorsque l'or natif est disséminé en particules pour ainsi dire indiscernables à l'œil nu, comme c'est le cas pour les pyrites aurifères, on peut griller celles-ci et les soumettre ensuite au lavage comme ci-dessus, ou bien les pulvériser très-finement et les amalgamer à l'état cru. C'est ce dernier procédé que l'on emploie dans plusieurs endroits du Piémont pour le traitement des pyrites aurifères.

Dans le Tyrol, où les minerais pyriteux renferment de 0,000006 à 0,000015 d'or et des minerais d'argent, on fait tourner dans des moulins, avec du mercure, le minerai bocardé très-fin, immédiatement après sa sortie du bocard et avant son dépôt dans les labyrinthes. Le moulin d'amalgamation est formé d'une partie fixe en fonte et d'une partie mobile en bois. La caisse en fonte présente deux cylindres concentriques de rayon égal réunis par un plan incliné. Au centre est un tube creux dans lequel passe l'axe moteur qui est vertical. La meule de bois a extérieurement la forme de la caisse en fonte; elle est évidée intérieurement à peu près en cône; elle est reliée par des cercles de fer et présente sur sa base de petites lames de fer saillantes disposées symétriquement : partout, entre la caisse en fonte et la meule en bois, il existe un vide de 0m,02. Trois tiges de fer fixées à la meule en bois se rattachent à un triangle percé à son centre, et s'appliquent sur le rebord d'une pièce qui s'enfile sur l'axe moteur lequel est carré à son extrémité; cette pièce repose sur d'autres pièces qui permettent, par leur nombre et leur épaisseur, de faire varier la position de la meule. La meule en bois fait de 15 à 20 tours par minute. On met dans chaque moulin 25k de mercure, et les lames de fer saillantes de la meule pénètrent de 0m,005 dans ce mercure. Le minerai réduit en particules très-fines sous les pilons du bocard est entraîné par l'eau, tombe dans le cône central de la meule, traverse le mercure, remonte dans l'espace entre les deux meules, et sort par une ouverture pratiquée dans la caisse de fonte, à l'opposition de son entrée. Comme, en général, la matière n'est pas encore dépouillée de tout l'or qu'elle contient, elle passe dans un second moulin semblable, placé à un étage inférieur, et quelquefois même dans un troisième moulin. L'eau trouble se rend ensuite dans les labyrinthes; les dépôts sont lavés et donnent des schlichs qui sont traités par fusion comme minerais d'argent. Après quatre semaines de travail, le mercure est retiré des moulins, lavé et pressé à travers une peau de chamois. Le mercure qui passe est employé de nouveau. L'amalgame solide qui reste sur la peau renferme un tiers d'or et est distillé comme celui d'argent (voyez ARGENT — *amalgamation saxonne*). L'or obtenu est refondu. La perte en or est de 25 pour 100, et on perd 1 de mercure pour 1 d'or obtenu.

La méthode du Tyrol est aussi employée dans la Basse Hongrie pour le traitement des minerais analogues. Cependant quelques usines suivent encore l'ancienne méthode du pays, qui consiste à faire passer l'eau trouble qui sort du bocard sur des planches recouvertes de toiles, avant qu'elle n'entre dans les labyrinthes. Toutes les trois heures on enlève les toiles et on les lave dans une caisse; le dépôt que l'on obtient est enrichi par le lavage d'abord sur une table dormante, puis dans une sébile à la main. Le schlich riche obtenu est amalgamé comme ci-dessus.

Dans la Haute-Hongrie, où l'or natif et les tellurures sont mélangés de minerais de cuivre et d'argent, on traite ces minerais par *imbibition* (voir art. ARGENT); on fond pour matte les minerais pauvres grillés, et on désargente la matte par imbibition. On grille la première matte désargentée et on la fond avec des minerais riches en partie grillés; on désargente également la deuxième matte par imbibition, et, après l'avoir ensuite grillée à un grand nombre de feux, on la fond pour cuivre noir. Ce cuivre noir est argentifère; on le traite par liquation ou par amalgamation, puis on affine les résidus comme il est dit à l'article ARGENT. Le plomb d'œuvre est soumis à la coupellation, et on ajoute pendant l'opération les tellurures très-riches. On obtient un alliage d'or et d'argent qui est soumis à l'affinage, comme il est décrit à l'article AFFINAGE DES MATIÈRES D'OR ET D'ARGENT. L'or ayant moins d'affinité que l'argent pour le soufre, il s'en perd relativement une plus forte propor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion dans les scories, dans le traitement ordinaire pour mattes; aussi le traitement par imbibition doit généralement être préféré pour des minerais d'argent très-aurifères. Enfin, dans beaucoup d'usines à argent, on obtient de l'argent qui renferme 0,03 à 0,005 d'or et même moins; on l'en sépare au moyen de l'acide sulfurique.

Comme un 1/2000e seulement d'antimoine, de plomb ou d'étain, altère très-notablement la ductilité de l'or, on le purifie presque toujours en le fondant et l'agitant, lorsqu'il est fondu, avec une petite quantité de borax et de nitre; les métaux étrangers qu'il peut encore renfermer s'oxydent et viennent former une scorie à la surface du bain. Dans quelques cas un traitement par le chlore est nécessaire.

Production. La production annuelle de l'or était jusque vers 1846 de 125,500k qui, à raison de 3,500 francs le kilog., représentent une valeur de 440 millions environ.

A cette production, devenue si considérable depuis la découverte de l'or en Californie, d'où l'on a retiré, dans ces dernières années, plus de 300 millions d'or, en moyenne, chaque année, il faut encore ajouter celle plus considérable de l'Australie.

Beaucoup de pays montagneux, abandonnés depuis le commencement du monde au lavage des eaux pluviales, donnent lieu, lorsque la colonisation vient les occuper, à des lavages de sables très-productifs. Notre époque a assisté de ce chef à des productions extrêmement considérables, savoir : le lavage des sables de l'Oural qui produit par an 50 à 60 millions de francs, la Californie (depuis 1847) 300 millions, et l'Australie (depuis 1851) plus encore.

La découverte de l'or en Californie par Frémont et les premiers explorateurs américains a fait naître, avec une rapidité inouïe, un centre de commerce sur les côtes du Pacifique. Après avoir exploité le sable des rivières par les ressources du travail individuel, les travailleurs américains surent créer des exploitations sur une grande échelle, multiplièrent les plus puissants moyens pour désagréger et pour laver les sables aurifères.

C'est de 1850 à 1856 que le lavage de l'or déposé dans le lit des rivières a reçu un grand développement; après des opérations destinées à détourner certaines rivières et qui furent suivies de pertes considérables, on abandonna généralement ce travail aux Chinois, qui se contentent d'un modique salaire. C'est aussi vers cette époque que l'on a attaqué, au moyen de canaux amenant l'eau de la montagne à très-grande distance, de puissantes alluvions aurifères, dont l'épaisseur atteignait souvent 80 mètres. Leur teneur moyenne en or a été évaluée à 1 kilogramme de métal par 4 millions de kilogrammes de gravier.

Une des plus belles applications de la science est certainement celle qui a conduit à chercher et à trouver l'or en Australie.

M. Delesse, ingénieur des mines, établit que c'est à Londres que de savants géologues anglais, Sir R. Murchison notamment, déduisirent de la similitude de formation et de direction des montagnes de l'Australie avec celles de l'Oural, la probabilité que l'or devait se trouver dans ce pays; résultat qui mérite de rester dans l'histoire à l'honneur des hommes dévoués aux progrès des sciences. Quant à l'étendue de la région aurifère en Australie, M. Delesse constate que l'or a été trouvé partout, entre Bingara au nord et les montagnes du cap Ottway au sud. C'est un espace de 9 degrés de latitude. Vers le nord, on a aussi trouvé l'or jusqu'au mont Abondance, à Fitz-Roy Downs; par conséquent, l'or paraît exister du sud au nord, sur une longueur de 12 degrés de latitude; c'est un espace de 1,300 kilomètres. De plus, l'or a été reconnu à l'est jusqu'à Hanging-Rock, c'est-à-dire un peu au-delà du 150e degré de longitude, et à l'ouest jusqu'à Echunga, qui est située près du 139e degré, à 40 kilomètres d'Adélaïde. Par conséquent, l'or paraît exister sur plus de 11 degrés de longitude; c'est environ 1,000 kilomètres. La découverte du premier gisement fut opérée par M. Hargraves, le 3 avril 1851, et à mesure qu'on a marché en avant, la région aurifère s'est étendue sous les pas du mineur comme par enchantement.

Dans cette immense surface de 1,300 kilomètres de long sur environ 1,000 de large, de très-nombreux gîtes ont été découverts. Ce ne sont pas seulement des bancs de gravier ou de sable, c'est souvent aussi l'or au milieu de la roche désagrégée sur place, ce qu'on appelle en Californie les *dry diggings*. C'est enfin la masse même des filons primitifs dans toute leur solidité native qui se présentent avec des quantités d'or telles qu'il est permis de les exploiter avec profit. L'extraction de l'or du sein même des filons de quartz est presque une nouveauté. Jusqu'à la Californie, elle n'avait été tentée que sur des proportions mesquines et avec peu de résultats. En Californie, les entreprenants mineurs des Etats-Unis s'y livrent sur une grande échelle. Il en sera de même en Australie quand la population augmentera.

L'or existe en Australie non-seulement à l'état de poudre très-ténue, mais aussi fréquemment à l'état de grains ou de petites masses appelées pépites. La plus grosse pépite qui ait jamais été découverte, depuis que les hommes exploitent les mines d'or sur tous les points du globe, est celle qui a été trouvée par un naturel au service de M. W. Kerr, à la jonction du Meroo et de la Merinda. Elle pèse 48 kilogr.

Statistique.

Période de 1857-1871 (d'après M. Roswag). La production a été pendant cette période :

	Millions de francs.
Californie	2,241,150
Australie	4,491,275
Russie	1,239,750
Amérique du Sud	693,000
Europe	101,500
Asie	784,000
Afrique	168,000
Total	9,718,675

Soit par année moyenne 747,6 millions, c'est-à-dire bien suffisante pour diminuer notablement la valeur de l'or.

ORCANETTE. On désigne sous ce nom les racines de quelques espèces de borraginées, et particulièrement celle du *lithospermum tinctorium*. La matière colorante de l'orcanette est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool, l'éther, l'huile et tous les corps gras, auxquels elle communique une belle couleur rouge. On l'emploie pour colorer des pommades et des onguents, pour donner une couleur rose à des liqueurs de table, et dans quelques opérations de teinture; mais comme cette couleur est peu solide, l'usage en est restreint.

ORFÉVRERIE. Selon un usage trop fréquent dans la langue française, on entend par le mot *orfévrerie* deux choses distinctes : un art tout entier, celui de la fabrication de tous les objets en or, et en même temps les produits de cette fabrication. Les Anglais et les Allemands ont eu soin d'introduire cette distinction dans le langage. On dit, pour désigner l'art, en allemand, *Goldarbeiterkunst;* en anglais, *goldsmith's trade;* et pour désigner les objets fabriqués, en allemand, *Goldschmidsarbeit;* en anglais, *goldsmith's ware.* Une autre confusion a également été faite, dans le langage usuel, relativement à l'emploi du mot orfévre que l'on applique indistinctement au fabricant d'objets en métaux précieux et à celui qui les vend. Enfin le mot orfévre, dont l'étymologie latine, *auri faber*, signifie seulement fabricant d'objets en or, est le nom générique que l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donne à quiconque travaille les métaux précieux, l'or, l'argent et le platine, mais surtout l'or et l'argent.

Cette généralité de l'expression, cette diversité de significations nous conduisent à traiter, sous le même titre, un grand nombre de divisions et de subdivisions existant dans une industrie ou plutôt un art dont les moyens d'exécution sont aussi variés que les produits. Rejetant tout ce qui est relatif à la partie commerciale de notre sujet, nous considérerons seulement quatre professions dans l'orfèvrerie.

1° L'*orfèvre proprement dit* est celui qui entreprend la fabrication de la vaisselle, des couverts, des ornements de table ou d'église, des coffrets, des coupes et de tous les gros ouvrages qui servent à l'ameublement, qui sont appliqués *à la décoration des habitations ou des édifices*. On a assez improprement nommé autrefois le fabricant de ces objets *orfèvre grossier*, à cause de la grandeur des pièces qu'il confectionne; cette appellation ne signifiait nullement que ses ouvrages étaient grossièrement exécutés, car ils avaient la délicatesse, le goût et le fini qui ont fait la réputation des œuvres plutôt artistiques qu'industrielles des illustres orfèvres dont la France s'honore avec tant de raison.

2° L'*orfèvre-bijoutier* fabrique tous les bijoux d'or, tels que bracelets, anneaux, colliers, broches, poignées d'épée, tabatières, tous les bijoux en or appliqués plus spécialement à la *décoration des personnes*, même lorsqu'ils sont enrichis de pierres précieuses ou de diamants, lorsqu'ils sont émaillés ou non émaillés.

3° Si l'orfèvre-bijoutier n'emploie pas nécessairement les pierres précieuses dans la confection des objets qui sortent de ses mains, il n'en est pas de même de l'*orfèvre-joaillier*, qui a surtout pour habitude de faire ressortir les vifs reflets, les brillants jets de lumière des pierres taillées par le lapidaire, en les disposant sur ces ornements aux formes si gracieuses et si légères qui parent les têtes et brillent sur les corsages des femmes; ils font ces bouquets, ces couronnes de fleurs, ces grappes de fruits où les tiges sont de l'or et de l'argent, les pétales des brillants, les fruits des saphirs ou des rubis. Ajoutons seulement que dans les ouvrages de bijouterie, on enchâsse plus souvent les pierres de couleur, et dans les ouvrages de joaillerie les diamants et les pierres incolores ou très légèrement colorées.

4° Par suite de l'extension donnée au mot orfèvrerie, on dit aussi bien *orfèvrerie de cuivre* et *orfèvrerie de plaqué* que *orfèvrerie d'or et d'argent*. Le plaqué et l'orfèvrerie de cuivre sont une imitation de l'orfèvrerie proprement dite; nous nous en occuperons en dernier lieu sous le titre d'*orfèvrerie d'imitation*.

Nous allons passer successivement en revue chacune de ces quatre professions, en commençant par la joaillerie dont les moyens d'exécution sont, industriellement parlant, plus simples que ceux de la bijouterie ou de l'orfèvrerie proprement dite, mais qui appelle à son aide toute la fantaisie et tout le goût de l'artiste. Auparavant, nous nous ferons un devoir de faire connaître que nous n'aurions pas pu remplir la tâche que nous avions acceptée, de faire l'article ORFÈVRERIE dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, si nous n'avions été aidé par les excellents renseignements et les complaisantes explications qu'ont bien voulu nous donner M. Rouvenat et les chefs des ateliers de joaillerie et de bijouterie de l'important établissement qu'il dirige conjointement avec son parent, M. Christofle, et si, d'un autre côté, notre ami, M. Daly, directeur de la *Revue générale de l'architecture*, ne nous avait secouru de ses lumières pour la question d'art.

SECTION I. — DE LA JOAILLERIE.

L'art du joaillier, en tant qu'art distinct, était inconnu des anciens. Jusqu'à l'année 1745, époque du perfectionnement de la taille du diamant, l'orfèvre enchâssait bien les pierres précieuses dans l'or ou l'argent, mais il ne s'agissait, le plus souvent, que de bagues d'évêques, d'objets servant au culte, etc. Agnès Sorel et Anne de Bretagne furent les deux premières femmes qui, en France, se parèrent de pierreries. Sous Louis XIV seulement, la joaillerie acquit une certaine perfection, et les joailliers, sous le nom de *metteurs en œuvre*, furent, sous Louis XV, considérés comme artistes et admis à la jouissance de quelques priviléges. Aujourd'hui, quoique en Angleterre et en Russie on monte assez bien le diamant, la France a presque conquis le monopole de la joaillerie. La légèreté, la grâce et le bon goût des joyaux français les font préférer dans tous les pays du monde aux joyaux mis en œuvre ailleurs que dans notre pays. Nul ouvrier ne possède la science du dessin, un goût développé, une grande dextérité de main, au même point que l'ouvrier français et surtout l'ouvrier parisien.

On conçoit qu'il soit difficile d'expliquer avec précision une industrie qui n'admet pas de règles invariables, où le goût et la fantaisie de l'ouvrier donnent particulièrement du mérite à l'ouvrage. Ces diadèmes, ces guirlandes, ces bouquets légers où la grâce de la forme lutte avec l'éclat des diamants, ne sauraient être créés selon une formule rigide, ne sauraient sortir d'un moule, d'une matrice, d'une machine. La main capricieuse de l'homme doit incessamment intervenir pour modifier, changer, corriger les formes du modèle primitif. Cependant, même dans la fabrication des joyaux les plus différents, il se rencontre des opérations toujours identiques qui sont comme les points de repère auxquels se mesure la marche de l'ouvrier; ce sont ces opérations que nous allons décrire en prenant pour exemple la confection d'une coiffure, telle que le *chignon* représenté en grandeur (fig. 2030).

Ce dessin au trait est celui qui est donné au joaillier; les feuilles, les grappes, la rose, qui s'y trouvent tracées, doivent être faites séparément et ensuite assemblées. Le joaillier décalque à part les feuilles telles que A (fig. 2031), les culots de gland tels que B et C (fig. 2032 et 2033), les grappes telles que D (figure 2034), etc. Les feuilles et les grappes ne doivent pas être fabriquées de la même manière. Les feuilles qui doivent recevoir de petits brillants sont faites avec du *plané;* les grappes, les pendants, les boutons, etc., sont faits avec de la charnière.

Occupons-nous d'abord des feuilles, des parties faites avec du *plané*.

L'ouvrier prend une feuille d'argent laminé à épaisseur convenable, la polit avec de la ponce, la fait chauffer, puis y applique facilement une légère couche de cire blanche. Il décalque alors avec du papier végétal en les plaçant à l'envers, pour qu'ils viennent dans le sens, les dessins d'une feuille A (fig. 2031), ou bien des culots B ou C (fig. 2032 et 2033). Cela fait, il fixe les dessins en enlevant la cire avec une pointe, et ensuite, avec une scie à main très fine, il découpe la feuille dans la lame d'argent.

Quelquefois, lorsqu'il s'agit par exemple d'une broche où se trouve un nœud, le joaillier doit avoir soin de décalquer sur la lame d'argent le double (au moins) du ruban tracé sur le dessin primitif, en le développant en sens contraire, afin qu'il puisse être plus tard renoué et contourné selon la forme qu'il est désirable de lui donner.

Cette première opération du découpé terminée, le joaillier soude avec la soudure d'argent au quart (voir au mot BIJOUTIER-JOAILLIER) une doublure, c'est-à-dire une mince feuille d'or au titre de 12 karats (500 millièmes). Cette doublure est destinée à relever l'éclat du dessous du joyau, car l'or est susceptible de recevoir un brillant, et il revêt la forme d'arêtes vives et éclatantes qu'on ne saurait donner à l'argent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ORFEVRERIE.

Le joaillier mouvemente alors la pièce de manière à lui faire prendre la forme la plus naturelle, la plus gracieuse, et à la fois la plus propre à faire valoir le jeu des brillants qu'elle recevra bientôt. Cette opération se fait pour

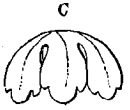


2031.

les parties les plus concaves ou les plus convexes, en donnant

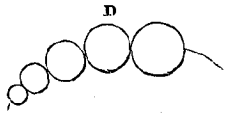
2032.





2033.

un ou plusieurs coups de *bouterolle* sur la pièce placée sur

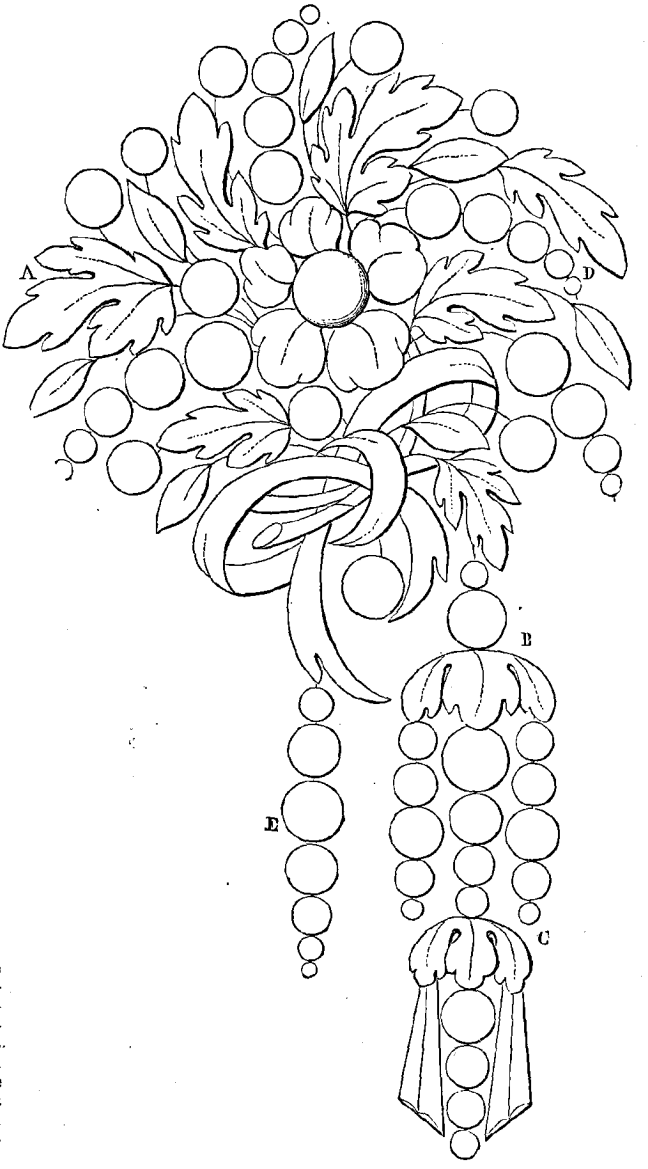


2034.

le trou le plus convenable du *dé à emboutir*.

Le dé à emboutir est un bloc de bronze (fig. 2035) de forme rectiligne, dont chacune des faces a 0m,068 de côté, et est percée de plusieurs cavités hémisphériques A de différentes grandeurs. La *bouterolle* est un poinçon en acier de 0m,08 de long, arrondi par le bout, et qui entre juste dans le trou du *dé à emboutir*; il faut par conséquent autant de bouterolles que le dé a de trous différents.

Quand la feuille ou le culot de grappe a la forme qui lui convient, on passe à l'ajustement des brillants. Cet ajustement peut se faire de deux manières selon que l'on a donné les brillants, ou bien selon qu'on sait seulement le nombre de brillants qu'il faudra placer. Dans le premier cas, on fixe la feuille à l'extrémité d'un petit bâton dont le bout est couvert de cire, et on la recouvre en outre de cire jaune, qui permettent d'ajuster provisoirement les brillants et de chercher la place qui leur

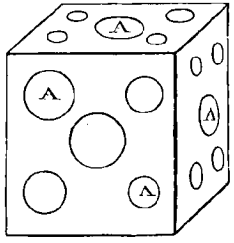


2030.

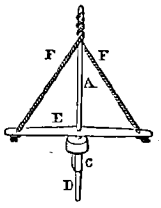
fera produire le meilleur effet. Les brillants sont toujours mis de manière à laisser libres et en relief les côtés et les nervures des feuilles. Les places des brillants marquées, ou perce des trous pour leur introduction : cette dernière opération se fait immédiatement sans ajustement préalable, dans le cas où les brillants ne sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas mis à l'avance à la disposition de l'ouvrier. Les trous se font avec le *drile* ou porte-foret (fig. 2036) ; le foret D, en acier trempé, est aplati vers le bas et aiguisé en



2035.



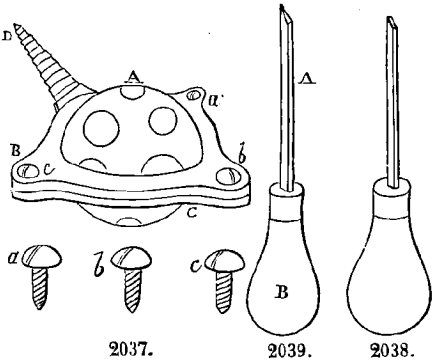
2036.

biseau losange ; vers le haut il est forgé en carré, et va en diminuant un peu pour entrer dans la boîte du drile. A l'archet E est attachée une courroie ou corde très flexible F, qui fait deux ou trois tours sur la tige A. En appuyant sur l'archet on fait enrouler la corde, et par suite tourner le foret qui s'enfonce dans le métal. Les trous ou *jours* étant pratiqués dans les parties faites en plané, on les donne à la polisseuse, qui les polit en y passant du fil imbibé d'huile à la ponce, puis d'huile au tripoli, et enfin d'huile au rouge. Les pièces sont ensuite savonnées, brossées et séchées.

Avant de nous occuper de la monture et de la sertissure des brillants, voyons maintenant la préparation de la *charnière* pour les chatons de grappes et pendants. Le joaillier prend une bande d'argent laminée à une épaisseur telle, que roulée cylindriquement pour former les grains de grappe, elle laisse un creux convenable pour recevoir la pierre qui lui est destinée. Cette bande est d'abord courbée au moyen d'un coup de marteau donné en la posant sur une pièce de bois portant plusieurs moulures ; une de ses extrémités est alors taillée en pointe avec les ciseaux, et faisant passer la pointe dans le trou d'une filière on la tire avec une pince ; les deux lèvres de la bande se rapprochent et l'on obtient un tube creux dans lequel on coupe tous les chatons à épaisseur convenable. On soude la fente à la lampe en même temps qu'une doublure en or, et une pointe d'or ou petite charnière en or pour servir à l'assemblage. Les feuilles faites en plané reçoivent aussi par une soudure des pointes et de petites charnières en or.

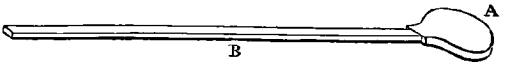
Il s'agit maintenant de monter les pierres sur l'ouvrage, préparé comme nous venons de l'indiquer. L'ouvrier commence par *mettre en ciment*, c'est-à-dire par enfoncer les pièces dans du ciment, suffisamment chauffé, dont il a garni une poignée de bois tournée ; il a pour but de fixer le métal de manière à ce qu'il puisse le travailler sans qu'il vacille. Il *met* ensuite *en cire* les pierres, c'est-à-dire qu'il les fixe par leur partie supérieure dans un petit bâton dont le bout est couvert de cire, afin de pouvoir les prendre facilement et les porter aux places qu'elles doivent occuper définitivement. Lorsque l'ouvrage est bien préparé, le joaillier met la poignée de bois dans un trou de la *boule à sertir*. *Sertir* une pierre, c'est rabattre sur les bords une partie du métal qui l'entoure, après l'avoir relevé sur le contour. Le métal rabattu ne cache de la surface de la pierre que la quantité absolument nécessaire pour qu'étant serré tout autour, il puisse la retenir solidement sans qu'on ait lieu de craindre de la perdre. La *boule à sertir* est une boule de cuivre A (fig. 2037), percée de plusieurs trous de différentes grandeurs, ajustée entre deux bassins B et C, en cuivre ou en bronze, entre lesquels elle peut se mouvoir en tous sens. Ces deux bassins sont ajustés l'un sur l'autre par trois vis *a*, *b*, *c*. Outre ces trois vis, le bassin inférieur C porte une vis D, qui entre dans l'établi et sert à fixer l'instrument.

Avec une *échoppe à refendre*, instrument d'acier (figure 2038) très poli et évidé sur le dos, le joaillier ramasse le métal autour de la pierre. Avec une *échoppe à arrêter*, morceau de fer plat carré A (fig. 2039), monté sur une poignée de bois B, ayant deux biseaux formant un tranchant que l'on émousse avec une lime, afin qu'en appuyant sur le métal on soit hors de risque de



2037. 2039. 2038.

le couper, le joaillier rabat ensuite l'argent sur la pierre, lorsque la portée est formée, et qu'il est déterminé à faire la sertissure. Enfin, au moyen d'un poinçon qu'il frappe avec le *marteau à sertir*, dont A est la tête et B le manche (fig. 2040), il resserre et applique étroitement les rebords métalliques sur la pierre, qui doit être alors tellement serrée qu'en aucun point il ne se trouve le plus petit interstice entre elle et l'argent. Le joaillier forme



2040.

ensuite, au moyen d'une échoppe, huit griffes sur la sertissure, en les espaçant également et les séparant symétriquement. Il enlève en outre avec une *pointe à découvrir* (fig. 2041) la partie superflue de la sertissure qui couvre la pierre au-delà de la partie sur laquelle elle pose, et qu'on nomme feuillet, parce que sans cette précaution elle perdrait de son étendue. Avec



2041.

la partie tranchante de cette pointe il agit de bas en haut, et amincit, par conséquent, la sertissure du côté de la pierre ; la sertissure prend ainsi la forme d'un tronc de cône dont la petite base est en haut. Toutes ces opérations terminées, le joyau est envoyé à la polisseuse, qui polit de nouveau à la ponce, au tripoli, et enfin au rouge d'Angleterre. Les différentes pièces reviennent enfin au joaillier qui les réunit en les soudant à l'étain, avec l'alliage suivant : étain fin, 2 parties ; plomb, 1 p. L'argent dont se sert le joaillier est au titre de 980 millièmes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La description de la mise en œuvre que nous venons de détailler, n'avait encore été donnée dans aucun ouvrage. Elle est relative à la monture à jour, celle qui surtout est du ressort du joaillier proprement dit. L'ancienne Encyclopédie et les dictionnaires technologiques qui ont paru successivement, se sont bornés à décrire la monture des roses, ou des autres pierres enchâssées dans le chaton d'une bague. Or, cette opération n'est pas plus du ressort du joaillier que du bijoutier ; c'est une opération qui se fait dans les deux professions. Nous n'en dirons que quelques mots, qui suffiront, après tous les détails que nous venons de donner sur la monture des brillants par le joaillier, pour faire comprendre en quoi elle consiste.

Lorsque la pierre qu'il s'agit de monter sur la bague est un diamant, la sertissure doit être en argent ; elle est en or pour toutes les pierres de couleur. L'ouvrier prend donc un fil d'argent ou d'or, selon le cas ; il le contourne de manière à pouvoir entourer la pierre. Il prend ensuite une plaque d'or mince, il l'emboutit sur le *dé à emboutir* à l'aide de la bouterolle. Cette opération terminée, il en lime la surface et il ajuste le fil qu'il soude à la lampe. Il obtient ainsi l'assemblage qu'on nomme chaton. Le chaton est à son tour soudé aux deux bouts de l'anneau d'or préparé à l'avance, selon la grosseur du doigt. La bague est maintenant préparée pour la sertissure de la pierre. Elle est par conséquent *mise en ciment*, tandis que la pierre est *mise en cire*, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut. Ici se place une opération dont nous n'avons pas eu occasion de parler, dans le cas des montures à jour. Lorsque le chaton est bien préparé, l'ouvrier met la *poignée de bois* dans la *boule à sertir* et couvre le fond du chaton de noir d'ivoire, provenant d'ivoire brûlé. Ce noir est broyé aussi fin que possible à l'eau, et délayé dans une eau légèrement gommée. La façon de l'employer dépend de l'artiste et de la nature des pierres dont il s'agit de faire valoir la beauté. L'artiste place sur le noir, dans la cavité du chaton, lorsqu'il s'agit du diamant ou de pierres blanches, une feuille d'argent battue, extrêmement mince et brunie avec beaucoup de soin, d'un brun très doux et très vif. Cette feuille doit être découpée de manière à ce que les jointures correspondent aux angles de la pierre ; on y pratique un trou à la partie qui sera en contact avec la pointe de la *table* du dessous du diamant. Ce trou, qui ne doit pas excéder cette table, laisse à découvert le noir d'ivoire qui donne un plus beau reflet à la pierre. Quelquefois, au lieu de ce trou, on peint une étoile noire sur la feuille d'argent. Sous les diamants jaunes, il est bien de colorer en bleu la feuille d'argent ; la couleur de la pierre qui est un défaut, semble ainsi de beaucoup diminuée. Si l'on monte des pierres de couleur, la feuille placée dans le chaton doit être brunie également, et colorée comme la pierre ; on ne pratique pas de point noir dans la table inférieure. Toutes ces opérations terminées, on ajuste la pierre dans l'*œuvre* avec une échoppe, on la *sertit*, la *découvre*, etc.

SECTION II. — DE LA BIJOUTERIE.

La bijouterie est l'art de fabriquer en or de petits ouvrages curieux ou précieux, que l'on nomme bijoux, et qui en général servent à la parure des personnes. La bijouterie n'emploie qu'exceptionnellement l'argent, tandis que la joaillerie emploie surtout ce métal. Les pierres précieuses de couleur, les émaux et les nielles, sont constamment employés par le bijoutier, qui sait marier la couleur de l'or aux effets si variés de ces auxiliaires charmants et précieux. Le bijou doit avoir une grande valeur, non pas seulement à cause de la matière rare et précieuse dont il est composé, mais surtout par l'arrangement de cette matière, par le goût, la fantaisie, et par la signification emblématique de cet arrangement. On ne demande pas autant aux joyaux dont la légèreté gracieuse, la frivolité éclatante, sont les principaux attributs.

§ 1. *De l'or employé en bijouterie.* — L'or arrive en lingots dans l'atelier du bijoutier ; ces lingots sont à 1000 millièmes ou environ (24 karats) ; c'est de l'or fin. Le bijoutier commence par en faire des alliages, soit aux trois titres légaux actuels, qui ont déjà été donnés au mot BIJOUTIER-JOAILLIER, soit aux différentes couleurs dont l'emploi est usité dans son art.

L'*or au haut titre* est le premier titre légal actuel, 920 millièmes ou 22 karats 1/32 et 1/2 ; ce titre est plus spécialement employé dans l'orfévrerie.

L'*or au titre* est l'or à 840 millièmes ou 20 karats 5/32 et 1/2, autrefois 20 karats seulement ou 833,33 millièmes.

L'*or commun* est l'or à 750 millièmes ou 18 karats.

Les tolérances sont de 3 millièmes.

L'*or bas* est l'or au-dessous de 750 millièmes ; depuis 500 jusqu'à 750.

Pour que l'or puisse être facilement travaillé, il faut que l'alliage soit parfaitement homogène ; le bijoutier ne l'obtient à cet état qu'après plusieurs fontes successives. L'alliage bien fait ne doit donner ni grenures ni gerçures sous l'action du marteau à la forge, ou entre les cylindres du laminoir. Quand l'alliage est mal fait, on dit que l'or est *aigre ;* on l'adoucit par une nouvelle fonte en présence du borax et du salpêtre. Les fusions se font dans des creusets de Paris, au milieu d'un bon feu de charbon de bois.

Les couleurs de l'or usitées dans la bijouterie sont les suivantes :

Or jaune : or fin.

Or rouge : or fin, 750 ; cuivre rosette, 250.

Or vert : or fin, 750 ; argent, 250.

Or feuille morte : or fin, 700 ; argent, 300.

Or vert d'eau : or fin, 600 ; argent, 400.

Or blanc : or dont la couleur est adoucie par une quantité d'argent de plus en plus considérable.

Or bleu : or fin, 750 ; fer, 250. Cet alliage est difficile à préparer ; on l'obtient en plaçant le fer en gros fil au centre de l'or fondu, et retirant aussitôt que l'alliage est fait. L'alliage étant fait, on le coule ; il ne doit pas être poreux. On le forge et on le réduit en lames ou en fils de différentes épaisseurs.

Le bijoutier fait fondre également les alliages qui constituent les soudures. Ce sont des alliages plus fusibles que le métal employé par le bijou. Il en faut par conséquent de plusieurs sortes à cause des différents alliages d'or employés, et aussi à cause de la succession des soudures, dont les unes sont faites après les autres. La soudure étant composée (voir le mot BIJOUTIER-JOAILLIER), on la bat bien mince et on la coupe en très petits morceaux ou paillettes, qu'en terme du métier on appelle *paillons*.

§ 2. *Diverses catégories de bijouterie.* — Il y a un grand nombre de distinctions à établir entre les bijoux, soit d'après leur destination, soit d'après leur fabrication. D'abord le bijou, au sortir de la main de l'ouvrier, est simplement livré au polisseur, ou bien il est mis en couleur, c'est-à-dire jauni, c'est-à-dire encore soumis à une opération qui enlève l'alliage à la surface du bijou, et par conséquent lui donne l'apparence de l'or fin. Les bijoux peuvent être unis, *polis*, gravés ou ciselés, ou bien encore, unis, *brunis ou mats*, avec ciselures ou gravures. Enfin les bijoux peuvent être *pleins* ou *creux*, ou en *filigrane ; fondus* ou *estampés ; faits à la main très forts*, c'est-à-dire fabriqués sans le secours des moyens mécaniques, ou bien faits d'après des matrices, c'est-à-dire n'être que des copies des bijoux plus précieux faits d'abord à la main.

Nous considérerons trois catégories dans la bijouterie proprement dite :

I. Nous mettrons en première ligne la *bijouterie*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ORFÈVRERIE.

d'art, qui remonte au temps de Benvenuto-Cellini, et la seule qui ait réellement quelque analogie avec l'orfèvrerie. Elle se travaille effectivement par des procédés presque identiques à ceux employés par l'orfèvrerie. La bijouterie d'art produit la classe des bijoux les plus riches, et ceux dont la fabrication offre le plus de difficultés; ce sont les couronnes, les vases destinés aux usages sacrés ou profanes, les épées, les poignards, les coffrets, les riches tabatières, etc., etc., ornés des pierres les plus précieuses et des émaux les plus beaux.

II. La *bijouterie* proprement dite ou de *riche fantaisie* produit les objets *faits à la main* tels que : les diadèmes, les peignes, les colliers, les bracelets, les broches, les épingles riches, les boucles d'oreilles, les chaînes, etc., qu'elle enrichit ordinairement de pierres précieuses et d'émaux. Tandis que la bijouterie d'art satisfait en quelque sorte au besoin, ne produit aucun objet qui n'ait une fonction à remplir, soit pour marquer les rangs hiérarchiques (couronnes et décorations), soit pour servir à la défense personnelle (épées, poignards), soit pour satisfaire un goût, une habitude (tabatières), la branche de la bijouterie dont nous parlons s'attache surtout à combler les fantaisies les plus futiles.

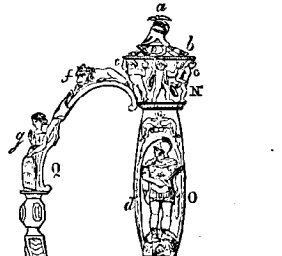
La bijouterie de fantaisie se fait à grands frais. L'artiste ne fabriquant presque jamais deux pièces semblables, on n'a point recours aux moyens mécaniques pour obtenir un bijou destiné d'ailleurs à des personnes occupant un rang élevé dans la hiérarchie sociale, et étant par conséquent en état de défrayer l'artiste de ses soins; aussi ne néglige-t-on rien pour rendre cette bijouterie aussi parfaite que possible. Elle remonte aux siècles de Louis XIII et de Louis XIV; mais alors elle était l'ornement exclusif des dames de la cour, et encore s'en faisait-il fort peu. Les orfévres se chargeaient alors de travailler ces sortes de bijoux. Depuis cette époque, en suivant toutes les phases et toutes les modifications de la mode, en se perfectionnant aussi avec les progrès des arts et de l'industrie, en se multipliant par suite de la diffusion de l'instruction et du raffinement de la civilisation, les bijoux riches sont arrivés à constituer une branche importante de l'industrie française, qui sait le mieux satisfaire les goûts et les fantaisies gracieuses.

III. La haute bijouterie de fantaisie a engendré de nos jours la *bijouterie de consommation*, dont les produits sont devenus nécessaires aux classes moyennes de la société qui éprouvent des besoins presque aussi raffinés que les classes supérieures, sans que leur richesse soit suffisante pour leur permettre de payer chèrement leurs fantaisies.

La bijouterie de consommation fait les mêmes objets que la bijouterie de haute fantaisie; elle produit la plupart, on pourrait presque dire tous les bijoux qui se trouvent dans le commerce. C'est, par conséquent, celle qui occupe le plus grand nombre d'ouvriers dans Paris, où se font les bijoux dont les formes sont les plus variées, dont les dessins sont les plus coquets. Cette bijouterie plaît généralement, parce qu'elle est aussi *jolie* que la haute bijouterie de fantaisie, parce qu'elle fait presque autant d'effet et qu'elle est infiniment meilleur marché. La différence des prix provient de l'emploi des moyens mécaniques dans la bijouterie de consommation qui se fait à l'aide de poinçons et de matrices. Le principal désavantage qu'elle ait sur la première, c'est de ne pas livrer des produits possédés uniquement par l'acheteur. Du reste, ce n'est pas en France que se fait, en quelque sorte, la prostitution d'un modèle. Nos bijoutiers ne vendent pas un grand nombre de bijoux de même forme. Les Allemands, et surtout les Genévois, se chargent du soin lucratif de vulgariser les nouveaux modèles produits par la bijouterie parisienne. Ils font, du reste, un choix parmi ses produits; ils choisissent non pas les plus beaux bijoux, mais seulement les plus faciles à copier et à exécuter. On ne trouve ni à Genève, ni à Manheim nos très beaux modèles; et quant aux modèles simples qui sont reproduits en grand nombre, on peut voir qu'ils ont perdu presque toute leur grâce et leur légèreté. Ce n'est effectivement qu'aux dépens du bijou même que les contrefacteurs peuvent atteindre un bon marché extrême. Aussi commence-t-on à comprendre généralement qu'il vaut mieux s'adresser aux bijoutiers français qu'aux colporteurs des fabriques genévoises ou allemandes, dont les produits ont toujours une certaine ancienneté et portent un cachet de vulgarité imprimé par une mécanique grossièrement employée. Du, reste avec quelques perfectionnements faciles à introduire dans la fabrication du bijou commun, les bijoutiers français arriveraient vite à faire à aussi bon marché que les Genévois, et ils feraient certainement beaucoup mieux. Quant aux Allemands, l'absence de la marque de leurs bijoux les a portés à fabriquer des bijoux à titre si bas que leur concurrence, quoiqu'active encore, devient chaque jour moins dangereuse. Les Anglais savent parfois produire de beaux bijoux; mais, en général, ils se servent d'or à bas titre, et ils donnent, à des objets dont le mérite est la grâce et la légèreté, un aspect si lourd, si matériel, que les bijoux anglais ne plaisent guère qu'en Angleterre et dans quelques-unes des colonies de la Grande-Bretagne, où les autres bijoux ne peuvent presque pas arriver à cause des droits élevés dont ils sont frappés à leur entrée.

Après les trois grandes catégories de bijoux dont nous venons de parler, nous parlerons de deux genres accessoires, le *plein* et le *creux*, et nous décrirons les procédés de fabrication d'un genre extrêmement intéressant, du *filigrane*. Enfin nous terminerons ce qui concerne les bijoux, en parcourant succinctement la *bijouterie de corail*, la *bijouterie de deuil*, la *bijouterie en faux*, etc.

Afin de bien faire comprendre les divers procédés de fabrication, nous allons prendre un exemple dans chacun des grands genres dont nous venons de parler, et expliquer comment s'obtiennent les différentes pièces qui composent chaque objet pris comme type; il n'y a que quelques variations faciles à imaginer pour passer d'un bijou à un autre.



2042.

§3. *Bijouterie d'art.* – La fig. 2042 représente, à l'échelle 1/4, la poignée d'une épée exécutée pour le général Mosquera, président de la république de la Nouvelle-Grenade, par MM. Rouvenat, Christofle et Cie Voici les phases par lesquelles cette pièce doit passer pour arriver à son entier achèvement. Le procédé de fabrication que nous allons décrire est applicable à toutes les pièces de bijouterie ou d'orfèvrerie analogues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Modelage. Le dessin étant fait, on construit une espèce de carcasse en gros fil de fer de la forme et des dimensions que doit avoir l'objet et que donne le dessin. On recouvre cette charpente de cire à modeler, et on modèle ensuite d'après le dessin avec toute la perfection possible. Ce travail d'artiste étant effectué, on laisse sécher la cire durant quelques jours, afin qu'elle durcisse assez pour que les parties qui doivent être moulées puissent, sans courir le danger d'être écrasées, supporter cette opération.

En général, on se sert du moulage pour fabriquer les parties qui constituent l'ornementation : dans la pièce actuelle, ces parties sont représentées par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *j*, *k*, *l* et *m*. Ce qui reste doit être exécuté par la bijouterie ; c'est la forme, l'ajusté, la partie de précision de la pièce ; un habile ouvrier peut seul en être chargé. Les parties moulées sont ajustées, soudées et enfin ciselées sur cette sorte d'édifice qui attend ses ornements et qui constitue l'objet simple, non orné.

Moulage. Le bijoutier fait porter chez le fondeur toutes les parties destinées au moulage. Le fondeur prend l'empreinte dans du sable fin, et coule d'abord un modèle en cuivre qu'il répare avec soin, afin de donner à l'objet définitif une grande précision. Ce modèle de cuivre sert à former le moule où l'or sera coulé ; ce second moulage est beaucoup plus parfait que le premier, parce que le modèle ne peut pas s'écraser, comme le fait toujours la cire, quels que soient d'ailleurs les soins que l'on prenne. On répare les jets de la fonte, on cisèle cette fois toutes les parties fondues en or avec toute la perfection possible, et on les rapporte chez le bijoutier. Nous avons passé sous silence toutes les précautions que prend le fondeur en or, parce qu'elles se trouvent décrites avec détail à l'article FONDERIE et au mot BIJOUTIER-JOAILLIER.

Pendant le moulage des ornements, le bijoutier a fabriqué la pièce principale en suivant la marche que nous allons indiquer.

Soudage. Le milieu de la poignée, représenté par la lettre *u*, se fait en deux parties, formant chacune la moitié de la pièce ; à l'aide d'un poinçon, on leur donne la forme qu'elles doivent avoir. Les deux parties sont réunies à l'aide d'un fil de fer très fin dont on se sert pour les attacher, après avoir eu soin de mettre sur les bords intérieurs des petites parcelles ou *paillons* de soudure d'or forte *au quart*, de la dimension de deux millimètres carrés. Ces paillons sont déposés au moyen d'un petit pinceau trempé dans du borax délayé à l'eau dont on humecte toutes les parties que l'on veut souder. Après avoir fait sécher le borax au feu, on expose la pièce à la lampe en la plaçant sur une sorte de support en fil de fer. A l'aide du chalumeau, on projette la flamme sur toutes les parties de la pièce, afin de l'échauffer partout également. Lorsqu'elle a atteint une température suffisamment rouge, on aperçoit la soudure qui de l'intérieur ressort à l'extérieur, vive et brillante, et qui coule dans toutes les jointures. On laisse la pièce refroidir avec précaution, car il est essentiel de ne pas la remuer tant que la soudure est en fusion. On enlève ensuite le fil de fer et l'on déroche.

Dérochage. Le *dérochage* consiste à faire bouillir dans un *bouloir*, vase de cuivre rouge oblong muni d'une queue, de l'acide sulfurique très étendu d'eau, tandis que la pièce y est plongée. Le dérochage nettoie la pièce de l'excès de borax.

Le pommeau *o* se fabrique par le procédé que nous venons de décrire. Il s'ajuste dans la poignée au moyen d'une *douille* ou *virole*, c'est-à-dire d'un petit cylindre creux en or. La coquille P est une partie massive faite d'un morceau d'or fort qu'on appelle *plané*, et qu'on a obtenu par le moyen du laminoir. Ce plané est découpé de la forme du dessin par les procédés que nous avons décrits plus haut en parlant de la joaillerie, il est ensuite légèrement embouti. Les ornements qui ne sont point moulés sont faits d'un morceau de lingot forgé, contourné et soudé sur la coquille. La garde Q est également faite d'un morceau de lingot en or massif, forgé et limé d'après le dessin. La partie supérieure du fourreau R est entièrement fondue ; elle est ensuite ciselée et ajustée comme les autres pièces. La partie transversale de la garde est également forgée et soudée.

Lorsque la pièce principale est faite, que la ciselure des figures, des ornements divers, des armoiries, etc., est terminée, on ajuste les parties moulées et on les soude sur chacune des pièces où elles doivent être placées. L'ouvrier vérifie avec attention toutes les soudures, tout l'ajusté de chaque partie, et lorsqu'on s'est assuré que rien ne manque, on fait dérocher le tout, et après le dérochage on met un moment à la forge pour faire évaporer toute trace d'eau. On porte, en dernier ressort, au ciseleur l'objet démonté en autant de parties qu'il a fallu en faire pour le travail fractionné. Le ciseleur répare à la lime et cisèle les soudures.

Polissage. Les parties unies ont besoin d'être *polies*, afin que les traits de la lime puissent disparaître. Le *polissage*, toujours effectué par des femmes, se fait de la manière suivante : On commence par adoucir les irrégularités à l'aide d'une pierre douce d'ardoise bien divisée. On mouille souvent la pièce à l'aide d'une éponge, afin de s'assurer que le travail se fait convenablement. Ensuite, à l'aide d'un petit morceau de bois de fusain, on frotte sur les pièces avec de la ponce en poudre fine délayée dans de l'huile de manière à former une pâte liquide. Après ce premier travail, on *dégraisse* l'ouvrage à l'aide de mie de pain rassis. Pour augmenter la beauté du poli, on se sert d'un charbon allongé mince, en bois de fusain, et on frotte avec de l'eau. Enfin, on frotte encore à l'aide d'un bois revêtu de drap avec du tripoli de Venise. Ce second travail achevé, on nettoie de nouveau ; ce second nettoyage est bien essentiel, car si on laissait du tripoli sur les pièces on risquerait d'être obligé de recommencer tout le travail. On termine le polissage par ce que l'on appelle le *passé au rouge*. On se sert pour cela de rouge à polir, obtenu par la calcination du sous-sulfate de fer que l'on étend avec un peu d'eau sur un morceau de liége. On savonne ensuite au savon blanc ; on nettoie les objets dans l'eau chaude et on les fait sécher dans de la sciure de bois fine et chaude. On essuie avec une mousseline très fine, puis avec une brosse douce à longs poils préparée au rouge sec, on donne le dernier *coup de vif* en passant cette brosse deux ou trois fois sur les pièces ; c'est ce que l'on appelle *aviver*.

Lorsque l'on veut polir l'intérieur d'un trou, d'une sertissure, d'une bague, etc., on se sert d'un écheveau de fil plus ou moins gros, selon la grandeur du trou. On frotte avec ce fil qui est imprégné des ingrédients que nous venons de décrire ; et on arrive ainsi à obtenir un poli d'un éclat éblouissant. C'est le polissage que nous avons indiqué plus haut en parlant de la joaillerie.

Mise en couleur. Quand une pièce est destinée à être *mise en couleur*, c'est-à-dire que l'on veut lui donner l'aspect de l'or fin, et non pas conserver l'*or de couleur* qui est la conséquence de l'alliage, on la recouvre entièrement de borax en poudre délayé dans l'eau, après qu'on a préparé les parties unies comme nous venons de le dire. On la fait ainsi recuire au feu de charbon ou bien au chalumeau, selon son importance, afin d'en enlever toutes les parties grasses. On déroche ensuite comme nous l'avons déjà expliqué. Après s'être assuré que toutes les parties sont suffisamment propres, on procède à la mise en couleur.

On fait un mélange de sel ordinaire, de salpêtre et d'alun ; on y ajoute une certaine quantité d'eau ; on place sur le feu, et on attend que ces ingrédients soient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fondus et forment une sorte de bouillon de couleur jaune. Alors on y verse une quantité d'acide hydrochlorique plus ou moins grande selon le poids des bijoux ; puis, à l'aide d'une baguette de verre formant crochet à une de ses extrémités, on plonge rapidement dans le liquide les pièces attachées ensemble de manière à former un petit paquet avec de l'or vert en fil très fin, ou avec du fil de platine, ce qui est préférable, parce que ce dernier métal ne s'altère pas, tandis que l'autre est toujours rongé au bout de fort peu de temps. On retire de temps en temps le paquet de la *sauce* et on le trempe à chaque fois dans un vase plein d'eau chaude, afin de pouvoir observer les modifications de couleur que prend l'or. Quand on juge qu'il est arrivé à son dernier degré de pureté, ce qui exige de cinq à dix minutes, on retire les pièces et on les fait bien sécher dans de la sciure de bois chaude. Si l'opération a été bien faite, les pièces sortent de la sciure avec une teinte d'un jaune d'or fin éblouissant, car cette mise en couleur est un corrosif puissant qui enlève toutes les parties d'alliage d'argent et de cuivre qui se trouvent à la surface, et l'or fin paraît alors seul dans toute sa richesse et toute sa pureté.

Cette opération, quelque simple qu'elle paraisse, est un écueil contre lequel vient se briser la fortune d'un grand nombre de fabricants qui ne peuvent parvenir à bien mettre en couleur. La plus légère inadvertance fait manquer l'opération, et le bijou, au lieu d'atteindre la couleur vive et jaune de l'or fin, prend une teinte terne et grisâtre à laquelle on donne le nom de couleur de *terre à poêle*. Personne ne veut du bijou amené à cet état, et le bijoutier, non seulement met un retard considérable à effectuer sa livraison, mais encore il fait une perte ruineuse en façon payée inutilement aux ouvriers et en déchets causés par les différentes manipulations que nous venons d'expliquer.

L'or à bas titre vient très mal en couleur ; l'aspect seul qu'il prend suffit à un œil exercé pour le faire reconnaître.

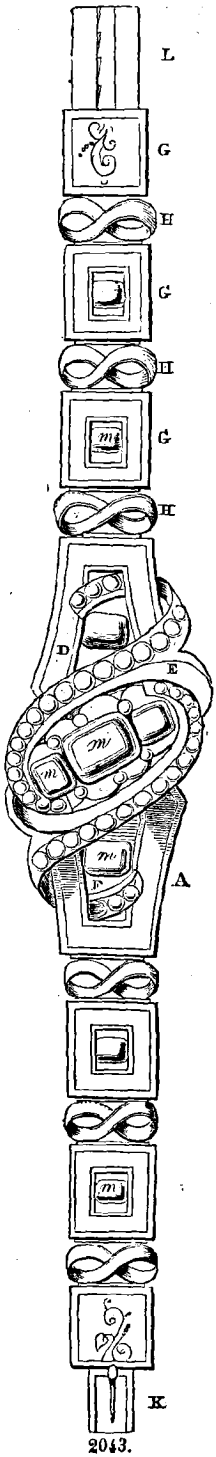
La mise en couleur des bijoux d'or diffère essentiellement, comme on voit, de celle que nous avons indiquée à l'article DORURE pour les bijoux faux et les bronzes dorés ; celle-ci augmente le poids des objets, tandis que celle-là le diminue.

Assemblage. L'assemblage des pièces principales dont se compose un bijou considérable, comme l'épée que nous avons prise pour type, se fait maintenant à l'étain ; il ne présente aucune difficulté. Les petits bijoux sont tout montés avant le polissage et la mise en couleur.

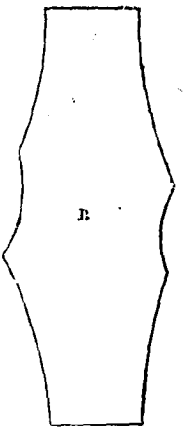
§ 4. *Haute bijouterie de fantaisie.* — Les détails dans lesquels nous venons d'entrer nous permettront de nous étendre beaucoup moins dans les explications qu'il nous reste à donner.

La fig. 2043 représente un bracelet que nous pouvons prendre pour type de bijouterie de haute fantaisie. Il se fabrique à grands frais parce qu'on le fait seul, et que ce n'est qu'après son entier achèvement qu'on peut faire une ou plusieurs matrices pour le reproduire mécaniquement, et par conséquent à meilleur marché, en le reproduisant un grand nombre de fois comme bijou de consommation.

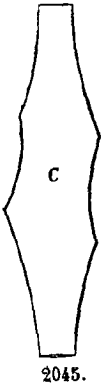
A, est une partie plane légèrement arrondie dans le sens de sa longueur afin de prendre la forme du bras. Cette pièce est faite de *bâtes*, c'est-à-dire que pour l'obtenir on prend un fil d'or carré qu'on lamine jusqu'à l'épaisseur d'un quart de millimètre et la largeur de 2 millimèt. environ. On contourne la feuille en mettant de champ la partie mince et lui donnant la forme extérieure B (fig. 2044). On en fait autant avec un second fil plus court que l'on lamine et contourne d'après la forme intérieure C (fig. 2045), et on réunit respectivement leurs extrémités par la soudure au quart. Les deux minces cercles d'or obtenus sont placés perpen-



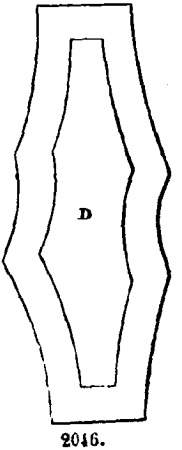
2043.



2044.



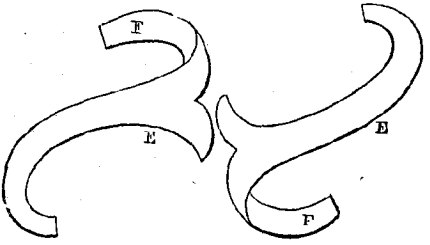
2045.



2046.

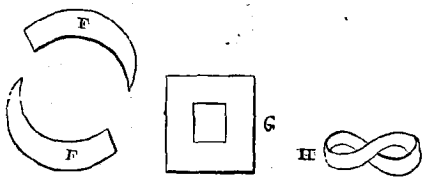
EFERUS - Recherche & Classification numérique

ticulairement sur un fond d'or laminé de l'épaisseur d'un sixième de millimètre, mais de largeur telle que les bâtes conservent entre elles la largeur de la pièce A, quand elles seront soudées sur ce fond. Alors, à l'aide d'une petite scie et après avoir fait un petit trou ou plané pour pouvoir l'y introduire, on reperce la partie intérieure en suivant le contour de la bâte. On obtient ainsi la pièce D (fig. 2046) à laquelle on met un second fond appuyé sur le premier. Cela donne une pièce presque carrée dans tous les sens, mais cependant plus large qu'épaisse. On fait un travail semblable pour les pièces E (fig. 2047 et 2048) qui doivent terminer la



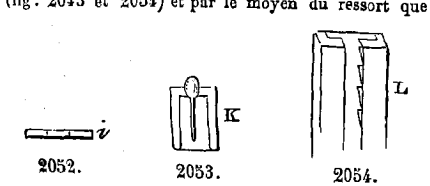
2047. 2048.

pièce du milieu, l'ornement capital du bracelet, et dont les retours F (fig. 2049) sont soudés après avoir été fabriqués d'une manière analogue. C'est aussi de cette façon que s'obtiennent les pièces G (fig. 2043 et 2050) qui constituent les ornements secondaires du bijou. Les parties H (fig. 2043 et 2051) sont des fils d'or pleins, contournés en forme de 8 et constituant la chaîne du



2049. 2050. 2051.

bracelet; elles sont réunies aux pièces A et G par une charnière *i* (fig. 2052) qui permet l'exécution du mouvement qu'on veut imprimer, soit pour fermer le bracelet, lorsqu'il est placé sur le bras, soit pour l'ouvrir, quand on veut le quitter. Les deux extrémités du bijou sont réunies par le moyen d'un fermoir qu'on appelle *cliquet*. C'est une partie K (fig. 2053) formée d'un morceau de *plané* découpé de la forme du dessin, sur lequel on soude une petite pièce, qu'on appelle pièce de pêne, parce que pour ouvrir le bracelet on appuie sur le pêne : à cet effet, la pièce K entre dans une pièce creuse L, (fig. 2043 et 2054) et par le moyen du ressort que



2052. 2053. 2054.

fait le cliquet, elle ne peut se détacher que si on appuie sur la pièce de pêne K. Les *cercles* ronds et ovales *n* (fig. 2043), sont de petites pièces laminées et contournées qu'on appelle *sertissures*, et qui sont destinées à recevoir les pierres. Elles doivent être faites en or plus ductile que celui du reste du bracelet, c'est-à-dire que, quoiqu'au même titre, elles doivent être en or allié exclusivement avec de l'argent fin. Quand les pierres ont de la valeur, ces sertissures sont en or fin, parce que le travail est plus facile pour le sertisseur, ouvrier qui ne fait que sertir et qui exerce ainsi une profession particulière. L'emploi d'un or moins ductile pourrait occasionner souvent la cassure de la pierre qu'on veut monter. Lorsque l'ouvrier a exécuté séparément les pièces dont nous venons de donner le détail, il les réunit en se guidant sur le dessin (fig. 2043).

Le travail du bijoutier proprement dit, est alors terminé, mais le bijou est loin d'être fini; il faut qu'il passe entre les mains du graveur, du ciseleur, du sertisseur, du guillocheur, de l'émailleur. En outre, si le bijou est ce que l'on appelle en *or anglais*, c'est-à-dire si on veut lui laisser la couleur de l'alliage, on le donne à la polisseuse. S'il doit être *mis en couleur*, on lui fait subir l'opération que nous avons déjà décrite.

On doit concevoir combien est compliqué le travail d'un bijou, car toutes les opérations dont nous avons parlé sont quelquefois faites sur la même pièce, et le bijou passe dans autant de mains que nous venons d'indiquer de professions différentes. Nous avons passé rapidement sur les travaux mentionnés, parce que toutes les opérations se font comme nous l'avons dit au paragraphe 3; pour les soudures, on prend seulement une précaution, c'est de préserver, au moyen d'une couche d'*ocre jaune*, les parties faibles et les premières soudures contre l'action trop forte de la flamme. Avant la soudure, le bijoutier attache les pièces avec du fil de fer fin, et fait les petites soudures au chalumeau, sans quitter son établi, en mettant les objets sur un morceau de charbon.

§ 5. *Bijouterie de consommation à bon marché.*— Il est facile de comprendre qu'en fabriquant des poinçons et des matrices qui représentent les différentes pièces de bijoux que nous venons de prendre pour exemple, et en se servant des procédés d'estampage dont nous parlerons plus loin au chapitre du PLAQUÉ, on pourra reproduire à bon marché un bijou très cher. On obtiendra, en effet, en un instant, chacun des ornements détaillés plus haut, et même souvent de très grandes pièces, telles que la plaque du milieu (fig. 2043), par exemple. En réparant les pièces avec soin, les montant avec précision et surtout en se servant de matrices parfaitement gravées, on peut obtenir des bijoux comparables au type primitif, quoiqu'ils ne demandent pas la centième partie de la façon qu'il a exigée. Mais ces conditions se rencontrent rarement, et d'ailleurs on estampe à si faible épaisseur, les bijoux offrent si peu de résistance que, sous le point de vue de l'art, l'invention des procédés mécaniques est plutôt une calamité qu'un bienfait. Malgré tous les efforts de nos artistes, notre siècle se ressentira de cette faiblesse à laquelle le condamne une concurrence illimitée; il ne laissera guère d'œuvre capitale digne d'exciter l'enthousiasme ou l'admiration des siècles futurs; nos bijoux sont rarement constitués pour une longue vie.

§ 6. *Bijouterie en plein.* — Cette dénomination, *le plein*, sert à désigner un genre de bijouterie dont la fabrication est actuellement fort restreinte. Elle consiste à faire, en fil d'or rond ou carré, les anneaux, les alliances, les porte-mousquetons, les anneaux brisés, etc., etc. Cette bijouterie se fait massive, polie ou en couleur, selon la mode, mais presque toujours sans gravure ni ciselure. Quelques ouvriers seulement s'occupent de cette fabrication.

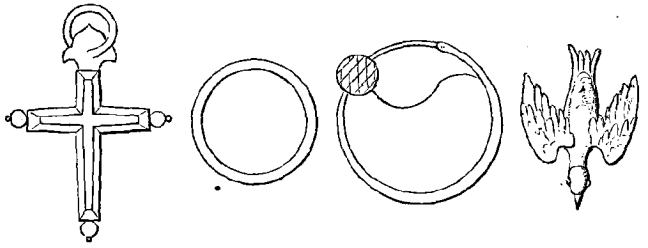
L'usage du bijou plein remonte à la plus haute antiquité. Les Grecs, les Romains, les Maures, les Mexicains, les Indiens s'en servaient pour leur parure. Le plus souvent, ainsi que nous pouvons nous en rendre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

compte d'après ceux qui ont été recueillis par nos musées, les bijoux de ces temps reculés étaient bien informes. Ils ne consistaient guère d'abord qu'en un morceau d'or rond ou carré formant une bague grossière ou un anneau d'oreille, et qui n'était, sans doute, travaillé qu'au marteau, seul outil qu'on connût peut-être alors. Certains Indiens de l'Amérique du Sud font encore ainsi leurs bijoux. Ils se servent toutefois d'un bambou creux en guise de chalumeau, ce qui est déjà un perfectionnement. Sans aucun doute, ces moyens simples ont pu devenir, entre les mains d'habiles ouvriers, le moyen de produire des bijoux d'un certain mérite artistique. Mais, à quelques exceptions près, le mérite principal des bijoux consistait dans le prix de la matière ; le plus lourd était le plus estimé, au moins par le plus grand nombre des anciens consommateurs.

Plus tard, les arts et l'industrie se perfectionnant, on dut recourir à des moyens de fabrication plus ingénieux et plus en rapport avec les besoins d'une civilisation plus avancée. De là l'invention des outils perfectionnés, tels que : les filières servant à tirer le fil rond, carré ou ovale, les laminoirs écrasant la matière d'une manière parfaite et régulière, les tenailles, les bigornes, les mandrins, les dés à emboutir, etc.; puis, en marchant toujours vers la perfection industrielle, les poinçons, les estampes et les matrices qui, s'ils ne contribuent pas aux progrès de l'art absolu, aident au moins à développer et étendre la consommation.

Si l'on excepte les quelques ouvrages sortis de loin en loin des mains d'habiles orfèvres, et qui sont d'une grande beauté, l'époque du bijou un peu gracieux ne remonte pas, en Europe, à des temps bien éloignés. Il n'y a pas plus de cent ans que, hors les gens de la cour, on ne rencontrait pas d'autres bijoux que la bague (fig. 2055), l'anneau d'oreilles (fig. 2056), la croix à la Jeannette (fig. 2057) et le saint-esprit (figure 2058). La croix et le saint-esprit sont les deux symboles les plus répandus parmi le peuple chrétien,



2057. 2055. 2056. 2058.

et ce sont des bijoux d'une signification tranchée, comme tous les bijoux primitifs : comme ceux des Mexicains, des Indiens, qui portaient leurs dieux suspendus au cou ; comme aussi les bijoux des dames romaines, qui ne craignaient pas de s'orner avec des priapes et autres signes d'un caractère non moins net. Sur les anneaux et les sceaux furent, de tout temps, comme on le voit par les curiosités conservées dans les musées, enchâssées des pierres gravées ou des pierres précieuses par une sorte de sertissure analogue à celle que nous avons décrite, ou bien il y était placé des mains entrelacées, des témoignages d'amour, des dictons, des souhaits. On possède de ces sortes d'objets provenant de toutes les époques, depuis le temps des Grecs et des Romains jusqu'à nos jours.

§ 7. *De la bijouterie en creux.* Les bijoux précédents ne se firent d'abord que massifs, avec le marteau et la lime. Mais le luxe s'introduisant dans les classes inférieures de la société, et le prix trop élevé du bijou massif n'étant plus en rapport avec l'état de fortune des consommateurs de plus en plus nombreux, on sentit la nécessité de faire à meilleur marché, et c'est ce qui donna naissance au *bijou creux*. Ce bijou ne consista guère pendant longtemps qu'en la reproduction des quatre pièces désignées fig. 2055 à 2058, mais à des prix infiniment plus bas. Il y a une quarantaine d'années, cette fabrication, qui portait sur quelques autres bijoux de forme plus gracieuse et plus variée, était très considérable. Aujourd'hui, elle ne produit plus que pour les provinces de France, d'Espagne, et encore un peu pour l'Amérique. Le bijou creux a encore une certaine vogue dans les campagnes, parce qu'il est d'un bon marché fabuleux. Voici comment on le fabrique :

L'ouvrier, qu'on appelle *creusiste* dans cette partie, estampe dans une matrice deux pièces semblables ; il en ébarbe les bords à la lime, puis, afin de rendre les parties qui doivent être jointes parfaitement plates, il les passe sur une pierre dite pierre à dresser. Il remplit ensuite de soudure en limaille ou en paillon les coquilles formées, dans une proportion que l'habileté du travail indique, attache avec un fil de fer les deux coquilles et les soude à la lampe, comme il a déjà été dit. La pièce est alors remise à la polisseuse qui la termine.

Cette fabrication est celle qui prête le plus à la fraude. On a introduit beaucoup de soudure à très bas titre dans des feuilles de plané d'une minceur extrême, et on a eu des bijoux de si peu de valeur que les consommateurs n'en pouvaient plus rien tirer lorsqu'ils voulaient s'en défaire, et qu'ils ont fini par s'en dégoûter.

§ 8. *Du filigrane.* — Le bijou *filigrane*, c'est-à dire fait en fils d'or ou d'argent, est le bijou léger par excellence ; aussi convient-il de préférence à tous les autres genres, dans les pays où l'ardeur des rayons du soleil rend insupportable l'emploi des bijoux massifs. Ses formes gracieuses et sa légèreté l'ont fait rechercher, pendant nombre d'années, dans toute l'Amérique, une partie de l'Asie et dans toutes les Antilles. Ce genre de bijou n'est point né en France, quoiqu'il y ait été fabriqué dès le sixième siècle, c'est-à-dire dès les premiers temps de l'orfèvrerie française. Ainsi, Notre-Dame de Paris possédait une grande croix en or travaillée en filigranes, offerte par Jean, duc de Berri, en 1406 (1), et qui était due à saint Éloi, le premier des argentiers de Limoges, le patron célèbre des artistes français. Les filigranes se retrouvent sur un grand nombre de monuments d'orfèvrerie sacrée appartenant à tous les siècles, depuis le sixième jusqu'au seizième, sur des reliquaires, des bustes de saints, des châsses, des croix (2). Toujours ces filigranes forment des treillis à volutes et à circonvolutions, semés de distance en distance de points circulaires ; le cercle, en repos ou en mouvement, fait tous les frais de cette décoration.

On retrouve les bijoux en filigranes chez les Maures, les Mexicains, avant la conquête de leur pays par les Espagnols. C'est le bijou des Chinois, qui paraissent ignorer qu'il existe d'autres genres, et enfin le bijou de beaucoup d'Indiens. Ces derniers, toutefois, le faisaient lourd, empâté par la soudure, hideux dans les formes.

(1) Gilbert. *Description de N.-D. de Paris*, page 525.
(2) *Essai sur les argentiers et les émailleurs de Limoges*, par l'abbé Texier, page 53.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

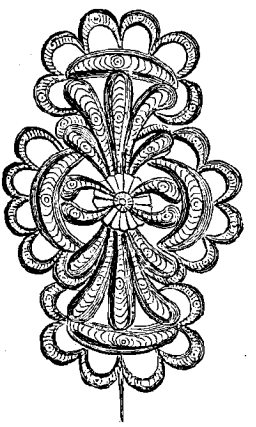
ORFÉVRERIE.

Les Chinois, au contraire, savent le fabriquer depuis bien des siècles avec une rare perfection. Le travail matériel ne laisse rien à désirer ; les soudures sont parfaites, et ce n'est pas un petit mérite, car le bijou en filigranes présente beaucoup de difficultés sous ce rapport ; sa légèreté est si extraordinaire, que c'est à peine si de nos jours on peut en approcher. Malheureusement tous les bijoux chinois pèchent essentiellement par la forme, par l'ornementation, par le goût. Les Génois exécutent aussi d'une manière remarquable, sous le rapport du travail matériel, les bijoux en filigranes, mais on doit leur adresser le même reproche qu'aux Chinois, ils manquent de goût et de variété.

C'est en France que ce genre de bijoux est le mieux réussi. Au lieu de laisser le *filigrane* proprement dit faire tous les frais de l'ornementation, aussi bien que de la charpente du bijou, les artistes français ont appelé à leur aide les ornements brunis, les émaux, les ors de couleur, le guilloché, la gravure, les dessins de toute nature ; aussi ils sont arrivés à embellir, à varier de tant de manières ce bijou, que partout on le préfère maintenant, quoiqu'il soit encore un peu moins léger que celui des Génois et des Chinois. Pour la bijouterie comme pour les bronzes et tous les arts d'ornement, la France est aujourd'hui le premier pays de la terre ; nulle part le goût des formes, la délicatesse de la main-d'œuvre, l'élégance, la grâce et la variété des dessins, ne sont portés à un si haut degré de perfection. C'est ce qui lui donne une prépondérance marquée, et une supériorité réelle sur toutes les autres nations.

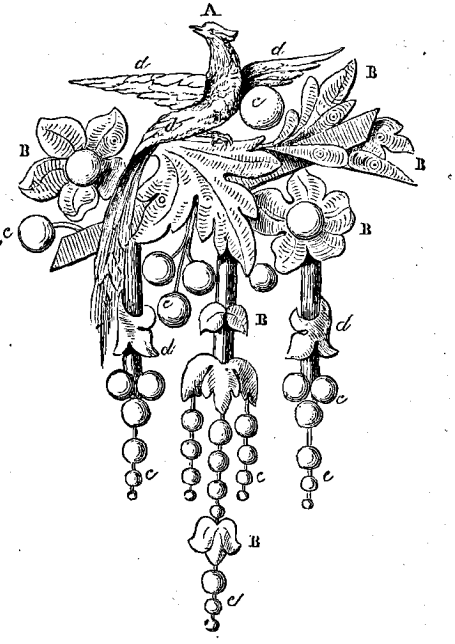
Les dessins représentés par les fig. 2059 et 2060, montrent les différences essentielles qui existent entre le filigrane français et le filigrane chinois ou génois. Longtemps on l'a fait chez nous de ce dernier genre ; on l'a rendu plus séduisant en y introduisant les ornements que l'on voit fig. 2060

Le filigrane proprement dit est un bijou dont l'ornementation, qui dans un autre genre serait faite en *plané* d'or uni ou gravé, est exécutée au moyen de deux fils d'argent ou d'or, très fins, tordus ensemble de manière à imiter une corde d'une grande ténuité. A l'œil nu, cette corde semble être un fil gravé. On contourne ce fil à l'aide de tenailles de diverses formes, et de différents autres outils que l'ouvrier invente à chaque instant, et l'on parvient à former ce travail intérieur, merveilleux par sa petitesse, dont nous plaçons deux dessins sous les yeux de nos lecteurs. Chez les Génois et chez les Chinois, l'ornementation est due uniquement à ces contournements multipliés, ainsi que le montre la broche, fig. 2059 ; chez nous elle est complétée par un grand nombre d'accessoires (fig. 2060). A, est un oiseau estampé en quatre parties *d*, le corps, la queue et les ailes (fig. 2064). Sur ces pièces sont ajoutées de petites parties en ors de diverses couleurs, rouge, vert, blanc et jaune ; ces petites parties sont ciselées de manière à imiter les plumes ; ce travail produit le plus charmant effet. Les pièces B sont toutes en filigrane proprement dit ; elles



2059.

sont faites séparément de la manière suivante. Nous donnerons nos explications en prenant pour exemple la feuille du centre, les autres pièces étant obtenues par le même



2060.

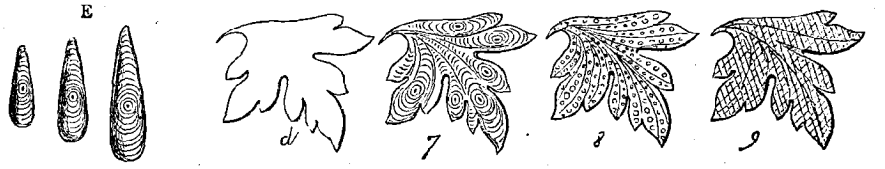
procédé. On prend un fil que l'on contourne de manière à lui donner la forme de la feuille *d* (fig. 2061), dont on soude les extrémités. En E (fig. 2062), sont représentés de petits ornements en fil tourné que l'on place en divers sens, à l'aide d'un petit pinceau et de gomme, sur une tôle extrêmement mince, où est déjà fixé le fil *d* précédent. Quand on a ainsi bâti à plat, on fait sécher la gomme ; toutes les parties adhèrent légèrement les unes aux autres. On humecte alors de borax dissous dans l'eau, et on couvre légèrement de soudure en limaille. On porte à la lampe, et on obtient une feuille qui se détache de la tôle et se trouve être à jour comme une passoire ; elle est cependant assez solide, car toutes les parties étant réunies par la soudure ne forment plus qu'un seul tout. On termine en donnant le mouvement à cette feuille comme si elle était d'un seul morceau de plané, et on obtient la feuille 7 (fig. 2063). Ce travail est, comme on voit, fort minutieux, et par conséquent il demande beaucoup de temps. Ce n'est qu'après une longue habitude que l'ouvrier peut le faire à bon marché. Les pièces indiquées par la lettre *c* (fig. 2060) sont de petites boules faites au moyen de deux coquilles soudées l'une à l'autre ; ces pièces sont unies et brunies. Leur éclat fait le meilleur effet à côté des parties de filigrane B, et des ors de couleur *d*. Toutes ces pièces, c'est-à-dire les quatre parties (fig. 2064) de l'oiseau A, les filigranes B, les boules *c*, sont ensuite réunies et groupées ensemble de la manière la plus avantageuse et la plus gracieuse, et comme nous l'avons expliqué, soit pour les autres bijoux, soit pour la joaillerie.

Malgré tous les avantages incontestés du filigrane français, il trouvait une rude concurrence dans le filigrane génois ou chinois. Ce dernier, à cause du bas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

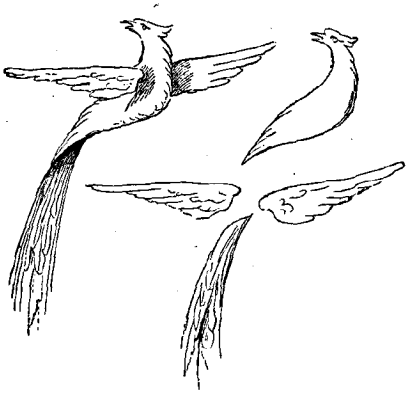
prix de la main d'œuvre, était vendu beaucoup meilleur marché que celui provenant de Paris, où la *façon* est très chère. Le travail mécanique, qui fait vite et à bon marché, pouvait seul rétablir la balance; il a été introduit dans la fabrication du filigrane. On commença d'abord par tourner un fil sur un petit mandrin rond; on coupa ensuite le fil placé sur le mandrin, le long d'une arête du cylindre constituant ce mandrin; il en résulta de tout petits anneaux qu'on plaça dans les feuilles, comme les ornements 8 (fig. 2065), et l'on obtint ainsi un filigrane nouveau très joli, très commode, et bien meilleur marché que le premier.

Ce genre fut très goûté pendant plusieurs années, mais on finit par s'en lasser. La nécessité de faire encore à meilleur marché, si c'était possible, donna l'idée d'employer la toile métallique. On ne faisait jusqu'alors que de la toile de cuivre; on fit de la toile d'or et d'argent, et on s'en servit pour remplacer les anneaux. Ce genre de filigrane 9 (fig. 2066) revient à meilleur marché que celui à anneaux, parce qu'un ornement, de quelque grandeur qu'il soit, est couvert en



2062. 2061. 2063. 2065. 2066.

un instant par la toile, tandis que les anneaux avaient besoin d'être soudés les uns aux autres, et ensuite soudés au fil du contour; la toile n'est soudée qu'à ce dernier.



2064.

Ce genre présente pour la fabrication un tel avantage, que bien qu'il date de dix à douze ans, on l'emploie encore le plus souvent.

Le besoin toujours impérieux en France de faire du nouveau, a encore donné naissance à un genre différent des trois genres que nous venons déjà de décrire; c'est l'imitation du filigrane de Gênes, par le moyen du découpoir et de l'emporte-pièce. Ce genre revient à très bon marché, mais il faut convenir qu'il fournit des objets moins jolis que lorsque l'ouvrier peut mettre un peu de sa fantaisie et de son goût dans des produits essentiellement capricieux de forme et d'aspect.

Tous ces genres de filigrane sont sortis des ateliers de M. Christofle, qui le premier en dota l'industrie. A l'exposition de 1839, il avait exposé cinq petits oiseaux d'argent dont l'exécution était parfaite, mais avait coûté des peines infinies. Chaque oiseau, copié d'après nature sur des colibris, pesait à peine 4 grammes 1/2, c'est-à-dire que la matière ne valait que 1 fr.; la façon s'élevait pour chacun à 250 fr. Ces bijoux, contrairement à la plupart des joyaux, n'ont donc guère d'autre valeur que celle qui leur est donnée par le travail exquis de l'artiste. Pour nous, cette dernière valeur est plus précieuse que celle du plus beau diamant.

§ 9. *Bijouterie de corail.* — Quelque riche et agréable que soit la couleur du corail, son emploi dans les parures européennes et, par suite, son cours et ses débouchés sont soumis aux caprices de la mode : tantôt le commerce suffit à peine aux demandes, et tantôt les magasins sont encombrés de ce produit. Il n'y a en France que trois fabriques de corail; elles sont situées à Marseille; elles emploient 350 ouvriers, dont 225 à Marseille, 90 à Cassis et 35 à Aix. La pêche du corail se fait, comme on sait, dans les eaux de la Méditerranée, particulièrement sur les côtes d'Afrique, dans le détroit de Messine et les eaux des îles de l'Archipel; 300 bateaux montés de 3.000 marins alimentent les fabriques de Marseille. Ces marins sont tous des Italiens; autrefois c'étaient des pêcheurs des ports de Marseille et de Cassis : ces derniers ont renoncé à une industrie trop peu lucrative en présence de la concurrence que leur faisaient les pêcheurs étrangers. On se sert pour cette pêche de triangles ou de barres en fer disposées en croix, portant un filet aux extrémités de chacune des branches; au milieu de cet instrument est fixée une grosse pierre, à laquelle est attachée une corde assez longue pour qu'on puisse le promener au fond de la mer. Par ce moyen, on détache le corail de sa gangue; on le brise, et ramène les morceaux à la surface. On estime moins les coraux dont les polypes n'existent plus, et qui ont servi d'attache à plusieurs autres animaux marins. On dépouille le corail vivant de son écorce charnue, et l'on met à nu son axe pierreux; on donne ensuite à celui-ci, par des procédés mécaniques analogues à ceux usités dans la taille de toutes les pierres, la forme et le poli qu'on désire.

Les actes de la compagnie des concessions en Afrique font remonter au quinzième siècle l'établissement de l'industrie de la taille et de la mise en œuvre du corail à Marseille; ils évaluent ses produits à 5 millions de francs par an. Cette industrie avait dès lors pour rivales les fabriques de Naples. Pendant la révolution, elle tomba entièrement pour ne se relever que sous le gouvernement impérial; elle mena, sous la restauration et jusque vers 1835, une existence assez précaire Depuis cette époque seulement, son succès paraît établi, grâce au perfectionnement des procédés apportés dans la fabrication par les deux principales maisons qui s'occupent de ce genre d'industrie, celles de M. Barbaroux de Mégy et de MM. Bœuf et Garaudy. Ces maisons fabriquent aussi bon marché que les fabriques italiennes, et leurs produits sont bien supérieurs sous le rapport du goût et de la forme.

D'après les relevés des douanes pour 1843, les fabri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ques de Marseille ont reçu 6.654 kilogrammes de coraux bruts, réduits en coraux ouvrés à 2.352 kil.
Dont pour le commerce intérieur. . 500
Et pour l'exportation. 1.852
Les 2.352 kilogrammes de corail ouvré peuvent être évalués à. . . . . 1.470.000 fr.
Dont pour l'intérieur. 570.000
Et pour l'étranger 900.000

La bijouterie de corail se bornait autrefois à la façon des grains ronds et des olivettes; aujourd'hui les fabriques de Marseille font une foule d'objets de toute espèce, le corail perlé et le corail à facettes, les camées, les sujets de ciselure les plus variés, les objets les plus capricieux.

Les objets connus sous les noms de *grossesse*, *mezzanie*, *capiresti* et *ordini* sont des grains de différentes grosseurs enfilés et réunis en un nombre de fils plus ou moins grand. Ces objets ont leur principal débouché en Russie, où l'on en fait des colliers; en Turquie et dans le Maroc, où ils doivent nécessairement accompagner dans la tombe le musulman que ses parents croiraient sans cela livré au mauvais génie, dans l'Inde, où ils servent à compter les prières du bramine et du faquir; de là ils se répandent en Chine, où ils sont très recherchés. Madagascar offre aussi à nos fabriques un débouché important; les chefs malgaches en font leur principal ornement, soit sous forme de colliers, soit sous forme de bracelets.

Les objets connus sous le nom d'olivettes ou tuyaux de pipes, dont le nom indique suffisamment la forme, de masses pérettes, réunion de petits morceaux de corail en forme d'oursins, de massettes, petites masses de grains unis, constituent la principale exportation que nos fabriques font au Sénégal, en Guinée, dans la Gambie et dans le Brésil. L'Afrique fait aussi une grande consommation de ces objets, qui sont la parure favorite des négresses.

Les objets de fantaisie et d'art, les camées, etc., sont surtout destinés à la consommation intérieure ou au moins européenne.

§ 10. *Bijouterie et travail ou mise en œuvre des matières à faire les camées.* — Le travail et la mise en œuvre des matières à faire les camées constituent certainement une industrie importante, quand on le considère sous le point de vue de l'art; mais ses produits sont trop peu nombreux pour que nous puissions lui accorder beaucoup de place. Nous emprunterons seulement quelques détails au rapport de M. Héricart de Thury sur la dernière exposition de l'industrie. « Les anciens, dont les chefs-d'œuvre en tous genres, dit ce savant et digne appréciateur des productions à la fois industrielles et artistiques, prouvent avec quelle perfection ils exerçaient et cultivaient la statuaire et la sculpture, nous ont laissé en agates, sardoines, onyx, jaspes, nicolos, et autres pierres précieuses, des témoignages irrécusables de la haute supériorité à laquelle, dans les temps les plus reculés, était parvenue la lithoglyptique, l'art de graver les pierres dures en creux ou en relief pour en faire ces précieux camées, dans lesquels l'habileté des artistes savait profiter des accidents et des couleurs des pierres, pour produire les délicieux et charmants effets qui donnent une si haute valeur aux sujets, têtes, figures ou groupes représentés sur ces pierres, dont on voit de riches collections dans les musées de Rome, de Naples, de Paris, de Vienne, etc.

« Le prix élevé des camées, la rareté des agates onyx ou rubannées, leur dureté, la difficulté de répondre aux demandes des amateurs et des joailliers-bijoutiers, ont fait chercher, il y a déjà longtemps, les moyens d'imiter artificiellement les camées, et, après bien des tentatives, on a reconnu que la coquille marine, *le grand casque des Indes orientales*, dont le test présente des couleurs blanches, roses, jaunes, brunes, etc., était la matière la plus favorable pour la confection des camées artificiels, cette belle substance étant par sa nature assez dure pour résister au frottement.

« Cette industrie a longtemps été exploitée avec succès à Rome, qui en fournissait les collections d'amateurs et tous les bijoutiers de France, d'Angleterre et d'Allemagne.

« D'après le succès des camées de Rome, quelques essais ont été tentés en France. Les plus remarquables furent ceux des concours ouverts par l'Académie des Beaux-Arts de l'Institut, et on se rappelle qu'à la suite de l'un de ces concours l'Académie mit sous les yeux de Napoléon un grand camée de sardoine onyx le représentant en costume impérial, et qu'il en fut si satisfait qu'il ordonna que l'artiste fût dignement récompensé, et mis en état de former une école de glyptique, dans laquelle de jeunes sourds-muets apprendraient la gravure en creux et en relief sur pierres dures.

« Les guerres dans lesquelles Napoléon s'engagea, les désastres qui les suivirent, ne lui permirent malheureusement point de donner suite à ses bienveillantes et généreuses intentions. De son côté, l'Académie des Beaux-Arts ayant cessé ses concours, les essais de nos artistes furent abandonnés, et les ateliers de Rome, de Florence, de Venise et de Naples continuèrent seuls à prospérer et à répandre partout les camées. Dans ces dernières années cependant, à la demande de quelques-uns de nos premiers bijoutiers, plusieurs jeunes graveurs ont tenté de nouveaux essais, en prenant pour modèles les plus beaux camées antiques, et les succès de quelques-uns d'entre eux ayant outrepassé leurs espérances, ils ont formé des ateliers de lithoglyptique. Ainsi, et grâce aux efforts de MM. Michellini, Weiss-Muller, Lalondre, Salmsonn, etc., nous pouvons nous flatter de voir bientôt l'art de la gravure en pierres fines et pierres dures se relever parmi nous.

« Quant à la gravure des camées de coquilles, elle est aujourd'hui exercée en France avec le plus grand succès, et nous dirons même avec autant de talent et de perfection qu'en Italie. Ainsi les camées de MM. Albita-Titus, Reynaud, Lamant, Blanchet, de Grégory, Bertoux de Marseille, etc., soutiennent la comparaison avec ceux des plus habiles caméistes de Rome. » Les camées français ont, du reste, dès ce moment, un avantage marqué sur les camées romains; ils sont sensiblement moins chers. Cette modicité de prix tient à l'introduction du tour à portraits dans cette fabrication; le tour permet de pousser rapidement, et à peu de frais, les ébauches jusqu'à un point extrêmement avancé; l'artiste n'a plus que le dernier fini à donner.

§ 11. *Bijouterie en mosaïque.* — Il y a peu d'années que l'on a essayé à Paris un genre particulier de mosaïque, celui de la mosaïque fine de la bijouterie, exploitée avec tant de succès à Rome et à Florence, d'où l'on nous apportait tous ces charmants sujets d'épingles, de plaques de colliers, de broches, de boîtes, de tabatières et de tableaux. Le succès obtenu fait espérer les plus heureux résultats; il sera dû à M. Philippe, artiste mosaïste, élève de l'école de M. Belloni, de cette école que Napoléon fonda dans l'espoir de doter la France d'une industrie nouvelle, jusqu'alors l'apanage de l'Italie et surtout de Florence, où les puissants encouragements des grands-ducs de Toscane ont fait arriver la mosaïque de marqueterie à un haut degré de splendeur.

La mosaïque appliquée à la bijouterie est exploitée avec le plus grand succès par M. Morel, dont les produits ont été particulièrement remarqués à l'exposition de 1849. Cette mosaïque se fait avec de petits dés ou cubes de pierres naturelles de diverses couleurs, agates

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jaspes, etc., etc., taillés et polis, ou bien avec des émaux également taillés et polis. Les cubes sont fixés dans un ciment, de manière à représenter des oiseaux, des fleurs, des fruits, des feuillages et une foule d'autres objets.

On connaît deux sortes de ciments : 1° un ciment qui durcit facilement, qui est blanc, et qui se prépare avec 1 p. de chaux éteinte et 3 p. de marbre pulvérisé, dont on fait une pâte avec de l'eau et du blanc d'œuf; 2° un ciment qui met une vingtaine de jours à durcir qui doit être employé pour les ouvrages de longue haleine, et qui se compose de 1 p. de chaux éteinte et de 3 p. de pierre travertine pulvérisée, qu'on pétrit avec de l'huile rendue siccative par de la litharge. On pratique quelques sillons dans la matière sur laquelle on veut appliquer la mosaïque, afin d'y fixer le ciment.

Les émaux sont divisés en cubes d'une grandeur proportionnée aux dimensions des objets qu'on veut produire. Ces émaux, dont on trouvera la composition chimique à l'article ÉMAIL, sont coulés sur une table de marbre; on applique par-dessus un autre marbre, de sorte que la substance se forme en gâteaux d'une épaisseur bien égale. Ces gâteaux sont polis avec de l'émeri sur une roue horizontale en plomb; ils sont ensuite divisés au moyen d'un marteau et d'une enclume d'acier appelée *tagliolo*, et qui est taillée en biseau.

§ 12. *De l'emploi des perles.* — On varie considérablement l'emploi des perles dans la bijouterie : tantôt on en fait des colliers, des bracelets, des diadèmes; tantôt on les scie en deux, et on les sertit, en les appliquant sur leur plat, de manière à former des cercles, des chiffres et autres dessins. Le commerce recherche beaucoup les perles fines; les Orientaux les estiment même plus que les diamants; mais en Europe, selon les temps, selon les lieux, la mode leur donne un prix extrêmement variable. Lorsque les perles sont grosses, sphériques, et qu'elles réfléchissent la lumière en la décomposant avec vivacité, on en fait beaucoup de cas, même en joaillerie. Malheureusement, les plus belles perles, sans qu'on en connaisse la raison, sont sujettes à perdre tout à coup le bel *orient*, c'est-à-dire la beauté de leurs reflets irisés, qui en fait tout le prix. On se sert depuis longtemps des perles artificielles que l'on fait aujourd'hui avec une telle perfection qu'il est souvent impossible à l'œil le plus exercé de distinguer les perles fausses mélangées aux perles vraies dans les parures du plus grand prix. L'abondance des perles que la mode a parfois amenées dans les toilettes a fait naître cette perfection d'imitation. On peut juger par la quantité de perles qu'on voit dans certains tableaux et portraits des quatorzième et quinzième siècles, qu'il aurait été bien difficile que les personnages représentés dans ces tableaux eussent pu réunir autant et d'aussi belles perles, si l'art n'était, dès cette époque, venu au secours des perlières naturelles d'Orient ou d'Occident, qui n'auraient jamais pu suffire à de telles exigences. Il est assez remarquable, du reste, que les Indes nous renvoient des perles naturelles en échange de nos perles artificielles de Paris. Quant aux perles, boutons, broches, etc., en verre coloré, transparent ou opalin, de toutes formes et de toutes couleurs, qui constituent la verroterie, leur fabrication, dit M. Péligot dans son rapport sur l'exposition de l'industrie autrichienne, en 1845, est, pour ainsi dire, le monopole de la Bohême, surtout à cause du bas prix fabuleux auquel elle livre ces objets. Cette fabrication, concentrée aux environs de Liebenau et de Gablonz, est alimentée par trois verreries et occupe environ 40,000 ouvriers. Malgré la prohibition qui frappait jadis ces produits, le marché français en était approvisionné par la contrebande.

§ 13. *Des perles de roses de Turquie.* — La Turquie fait un assez grand commerce d'une composition connue sous le nom de *perles de roses*. Nous allons indiquer en peu de mots, d'après le *Manuel Roret*, comment se fait cette composition qu'il est facile d'imiter partout. Il ne s'agit que de prendre des pétales de roses fraîches, et de les piler avec soin dans un mortier de fonte bien poli, jusqu'à ce qu'elles soient bien écrasées et qu'elles forment une pâte unie. On étend cette pâte sur une tôle, et on la fait sécher à l'air. Quand la pâte est presque sèche, on la pile de nouveau avec de l'eau de rose; on répète cette opération jusqu'à ce que la pâte soit devenue très fine. Alors on lui donne la forme qu'on désire, soit avec les doigts, soit avec une machine assez semblable à celle qui sert à couper les pilules. On perfore ensuite la pâte afin de pouvoir passer un ruban dans les espèces de perles qu'on en a fabriquées. On peut aussi la mouler et en composer divers objets propres à faire des bracelets. La pâte est de nouveau séchée, et elle devient très dure. Les perles sont polies, et enfin arrosées et frottées avec de l'huile de roses qui leur donne plus d'odeur.

La pâte des feuilles de roses ainsi préparée prend une couleur noire très prononcée due à l'acide gallique qui se combine dans les roses avec le fer. On y mêle souvent, outre l'huile de roses, du storax et du musc pour rendre les perles plus odorantes. Leur couleur noire relève assez bien la couleur de la peau des femmes, c'est ce qui explique, avec leur forte odeur tant aimée des Orientaux, leur succès dans les parures.

§ 14. *Bijouterie de deuil.* — « Anciennement faite, dit le rapport du jury de l'exposition pour 1844, avec le lignite jais ou jayet, auquel on a renoncé à cause de son peu de durée et de sa friabilité, la bijouterie de deuil se fait aujourd'hui en verre noir, en émail noir, en fonte, en acier, fil de fer, etc. On compte, dans Paris, plus de quarante fabriques qui font cette bijouterie, et qui occupent ensemble plus de quatre cents ouvriers intérieurement, et au moins autant en dehors des ateliers. » Les bijoux de deuil de la fabrique parisienne, remarquables par l'élégance et le bon goût des dessins, ont obtenu un très grand succès et sont très recherchés en France et à l'étranger à raison de la modicité de leurs prix. Ils revêtent toutes les formes les plus élégantes de la bijouterie, celles de bouquets, broches, pendants d'oreilles, boucles, peignes, etc. Le verre noir taillé en cristaux, perles, plaques, etc., est monté sur de la tôle vernie et y est attaché au moyen d'un mastic qu'on ramollit par la chaleur de la lampe à esprit-de-vin.

On taille encore et polit le jayet pour quelques bijoux de deuil et pour divers ornements qui sont exportés en Espagne, en Allemagne, dans le Levant, et en Turquie. Ce travail se fait surtout à Sainte-Colombe, au moyen de meules mises en mouvement par l'eau; le centre de ces meules est uni et la circonférence raboteuse; par cette disposition, on taille et polit le jayet sur la même meule. On donne la préférence au jayet provenant d'Espagne où il est entremêlé avec le succin.

§ 15. *Du bijou doublé et du bijou doré.* — En parlant du bijou creux nous aurions pu ajouter que, depuis quelques années, on fait du bijou doublé, c'est-à-dire du bijou dont l'intérieur est en cuivre et l'extérieur en or. Ce genre de bijoux, dont les formes sont fort restreintes, se fait maintenant si mauvais, qu'il se vend à raison de 25 francs les 30 grammes, matière et façon. Cette fabrication est un malheur pour le commerce de la bijouterie, parce qu'on se sert du bijou doublé pour tromper impudemment l'acheteur; on le vend non pour ce qu'il est, mais bien pour de l'or. Cela peut jeter quelque défaveur sur le bijou français qui a acquis, sous le rapport du titre, une célébrité jusqu'à ce jour bien méritée.

La fabrication du bijou en cuivre, dit bijou doré, bien préférable au bijou doublé, et destiné d'ailleurs à satisfaire aux mêmes besoins, a fait de son côté des progrès remarquables, et s'est élevée dans ces derniers temps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à un haut degré de perfection. L'innombrable quantité de bijoux que l'on fait du même modèle permet de mettre la façon à très bas prix. C'est un immense avantage que possède cette fabrication sur celle de la bijouterie d'or. Au reste, le bijou en cuivre, quoique bon marché, revient toujours cher, en ce qu'il se détériore si facilement qu'il ne peut bientôt plus passer aux yeux les moins experts, que pour ce qu'il est.... du faux. Une bonne fabrication seule pourrait soutenir cette industrie qui, après une grande prospérité, décline rapidement, ainsi que nous l'avons dit dans les généralités où nous avons essayé de faire comprendre les catégories diverses à introduire dans la bijouterie.

SECTION III. DE L'ORFÈVRERIE.

De la description des procédés de fabrication des divers ornements faits de matières précieuses dont se parent les personnes, nous passons à l'orfèvrerie proprement dite, qui a pour fonction l'ornementation des édifices sacrés ou profanes et des habitations particulières, surtout dans les moments de pompe et de réception. Pour les édifices sacrés, l'orfèvrerie fabrique, comme le dit le moine Théophile dans son *Essai sur divers arts*, DIVERSARUM ARTIUM SCHEDULA, ouvrage qui remonte au moins au treizième siècle : « les calices, les candélabres, les encensoirs, les vases des saintes huiles, les burettes, les châsses des reliques saintes, les croix, les missels et autres objets qu'une utile nécessité réclame pour les usages de l'église, sans lesquels les divins mystères ni le service des autels ne peuvent s'accomplir. » Pour l'ornementation des palais et des édifices, l'orfèvrerie fabrique les coupes, les vases, les candélabres, etc., destinés à décorer les cheminées que et l'on donne en prix dans les courses; les miroirs, les corbeilles de mariage, qui se trouvent dans les riches boudoirs; la vaisselle plate ou montée, les couverts, les emmanchements des couteaux, les corbeilles de fruits, les théières, les plateaux, les seaux à rafraîchir, et tant d'autres objets destinés au service de la table. Nous ne pouvons pas avoir pour but, dans cet article, de décrire avec détail les procédés que suit l'orfèvre pour fabriquer tant de produits divers. Nous devons nous borner à poser des principes généraux, et à indiquer les perfectionnements nouvellement introduits dans cette industrie. Nous commencerons donc par quelques considérations générales sur la direction que nous voudrions voir prendre aux orfèvres; nous parlerons ensuite des styles trop souvent confondus, de l'emploi des nielles et des émaux trop rarement employés, et enfin de la fabrication mécanique de certains objets, fabrication tout à fait renouvelée dans ces dernières années.

§ I. *Du véritable but de l'orfèvrerie.* — Toutes les productions de l'orfèvrerie doivent être envisagées sous deux aspects bien différents, mais qu'il ne faut jamais perdre de vue dans leur appréciation. L'art et l'industrie sont ici intimement liés l'un à l'autre. Les procédés industriels doivent intervenir pour diminuer les frais de la façon de l'objet brut et permettre d'augmenter la richesse de l'ornementation. Il faut diminuer la quantité de la matière première afin de reporter un excès de valeur intrinsèque sur le travail artistique et l'employer à donner aux objets des formes élégantes et poétiques; on doit se garder cependant de faire une économie mesquine qui consisterait à retrancher tellement sur l'or, sur l'argent, ou sur les pierres précieuses que les formes deviendraient grêles, manqueraient de solidité et finiraient par perdre un certain aspect monumental réclamé par la plupart des produits de cette industrie : on doit ajouter au prix du métal ou de la pierre, quelle que soit leur rareté, le prix du travail intelligent mille fois plus précieux.

S'il y a une industrie qui doive être jugée sous ce point de vue, c'est sans contredit celle qui a pour but unique la création d'objets de luxe devant rehausser la splendeur des temples ou des palais, la richesse d'une table, la magnificence d'un salon. Les produits des autres industries doivent être appréciés d'une manière toute différente; il faut qu'on tienne compte du rapport qui existe entre le prix de revient des objets et les usages auxquels ils sont destinés. Ce rapport est nécessairement déterminé par l'état de fortune de ceux qui peuvent en devenir les acheteurs. Vouloir juger les produits industriels ordinaires d'après l'apparence extérieure, la forme, la finesse, le dessin, c'est s'exposer à ne commettre qu'erreurs sur erreurs. Mais il n'en est plus ainsi, lorsqu'on est appelé à apprécier les riches objets que fabriquent l'orfèvre, le joaillier, le bijoutier, le graveur, le statuaire, avec les rares produits que les hommes arrachent aux entrailles de la terre. Cependant, il ne faut faire passer ces observations à l'état de règles que dans une certaine mesure; il est important que les produits de l'orfèvrerie, comme les produits de tous les arts, puissent arriver, pour ainsi dire, dans toutes classes de la société, ou soient au moins abordables par les fortunes médiocres. Mais cette sorte de diffusion des objets de cet art ne doit point s'opérer, comme cela a eu lieu jusqu'à ces dernières années, par suite de la suppression de toute la partie artistique. Les riches services de table, les ornements en or, en argent, les pierres précieuses ne doivent pas être regardés comme une sorte de caisse d'épargnes ne donnant pas d'intérêts. On conçoit toute la fausseté de cette voie prise par l'orfèvrerie, dont les produits ne procurent alors qu'une jouissance de sotte vanité : *Vous voyez que je suis riche, j'ai de l'or.* C'est, au contraire, le goût des belles formes, c'est l'élégance, la grâce, le sentiment de l'art que les produits de l'orfèvrerie doivent conserver en devenant meilleur marché, afin d'importer avec eux toutes les jouissances que leur contemplation procure dans des classes jusqu'alors déshéritées, et la diminution de valeur doit provenir d'une économie bien entendue de la matière première. C'est ainsi que l'abandon du massif pour le creux est un progrès, que l'invention du plaqué peut être un bienfait, que les nouveaux procédés de dorure et d'argenture par l'électricité peuvent rendre des services signalés, que l'estampage, le moulage, tous les procédés mécaniques empruntés aux industries d'imitation, réalisent dans l'orfèvrerie une révolution heureuse, digne de tous les encouragements des véritables amis des arts.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces considérations, à notre avis, d'une haute importance. Nous en avons dit assez pour faire comprendre le point de vue auquel l'orfèvre doit se placer. Nous terminerons en citant un seul exemple pour montrer ce que nous désirerions toujours à un degré plus ou moins prononcé dans un objet sorti des ateliers d'un orfèvre. On a pu voir à la dernière exposition une charmante coupe en agate supportée par un cep de vigne, que nous prenons au hasard parmi les objets remarquables exposés par M. Froment Meurice. Le sec n'est pas un simple pied riche par l'argent, l'or, les pierres précieuses dont il est composé; l'anse n'est point simplement une anse d'argent massif. Non, au pied de l'arbre, on distingue trois groupes : l'ivresse grossière représentée par Silène; le vin rêveur inspirant un jeune poëte; le vin tendre se joignant à l'ivresse de l'amour pour combler les joies de deux jeunes amants. La Raison humaine, représentée par une belle et voluptueuse femme, est couchée sur l'anse; elle se laisse endormir par les vapeurs du nectar qui s'exhalent de la coupe, enlacée qu'elle est par des amours qui montent aussi vers la source enivrante. Ainsi l'on voit, à côté d'une grande habileté de mise en œuvre, les inspirations du poëte, et cependant il y a sobriété d'ornements; chaque groupe, chaque détail s'explique par la nature et la destination de l'objet qu'il concourt à décorer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

§ 2. *Des divers styles d'orfèvrerie.* — Le *style* en orfèvrerie, comme dans tous les arts, indique ce qui forme le trait caractéristique du goût local de chaque pays, du goût spécial de chaque époque. Il sera, d'après cette définition, inutile de nous étendre sur les divers styles rencontrés dans l'orfèvrerie des différents siècles; il suffira de dire qu'on y retrouve tous les caractères des autres arts contemporains, et surtout de l'architecture et de la décoration en général.

Dans l'orfèvrerie grecque et romaine, on retrouve la simplicité de composition, les lignes nettes et pures de l'art antique. Nos musées en offrent de nombreux modèles.

L'orfèvrerie byzantine, comme l'architecture des empereurs d'Orient, affecte des formes moins sévères, moins pures, moins classiques enfin que l'orfèvrerie antique. On y voit plus de spontanéité, de liberté et d'abandon dans les formes, moins d'étude, de calcul dans la combinaison des lignes. Mais, en revanche, une grande recherche de richesse matérielle caractérise l'orfèvrerie du *style byzantin*. On trouve à la Trésorerie d'Aix-la-Chapelle des produits de ce style, qui datent du temps de Charlemagne, et qui pourraient servir de modèle aux artistes de nos jours.

Pendant le *moyen-âge*, l'orfèvrerie brille particulièrement dans la fabrication des châsses, des reliquaires, des tabernacles, des ostensoirs, des chandeliers, des retables d'autels, des crucifix, etc. Les châsses, les tabernacles et quelquefois les reliquaires reproduisent le plus souvent les formes des églises, et suivent, par conséquent, les évolutions de l'art-matrice, l'architecture. Ainsi, jusqu'au milieu du douzième siècle et quelquefois plus tard encore, les arcatures et les baies sont en plein cintre, les figures sont très allongées, avec peu de hanches; les plis des draperies sont verticaux, roides, parallèles et serrés; les poils et les cheveux finement indiqués; les costumes ornés d'une étonnante profusion de bijoux; c'est aussi de cette manière que sont faits les principaux membres de l'architecture de ces petits monuments que représentent les châsses, les tabernacles, etc.; ils sont en outre couverts de bijoux, et on retrouve partout les quatre clous de la croix du Sauveur.

Plus tard, l'ogive remplace le plein cintre; les figures se raccourcissent; les formes un peu lourdes sont plus voisines des proportions humaines, et ce mouvement de contraction se poursuit si bien que, vers la fin du quinzième siècle, elles sont tout à fait trapues. Les figures du *style gothique*, au treizième siècle, ont des draperies très amples, des plis peu nombreux, mais affectant toujours un peu le mouvement vertical. Le faire de ces figures est beaucoup plus large que celui des figures du style byzantin.

A la *Renaissance*, l'imagination des artistes orfèvres prend un nouvel essor; de religieuse qu'elle avait été, l'orfèvrerie se fait profane. Elle étudie et cherche à reproduire les formes du style antique, mais l'habitude des riches décorations de l'art ogival des quatorzième et quinzième siècles donne à ces imitations un reflet du gothique. Les rameaux de feuillages, de fruits et de fleurs sont répandus avec profusion sur les vases, les boucliers, les poignées d'épée et de poignard, etc. Les orfèvres sont d'habiles sculpteurs; ils reproduisent les formes du corps humain avec autant de facilité et de pureté que celle des végétaux. C'est aux orfèvres que nous devons l'invention de la gravure; c'est à eux, et particulièrement à Benvenuto Cellini (1), le grand orfèvre florentin, que nous devons les progrès que fit, à cette époque, l'art du fondeur en bronze.

(1) Benvenuto Cellini nous initie dans ses mémoires à de curieux détails sur l'état de l'art du fondeur en France et en Italie au commencement du seizième siècle; il a publié un traité de l'art du fondeur en bronze qui servit pendant fort longtemps de *vade mecum* aux gens de profession.

A partir de la Renaissance, ou plutôt du commencement du seizième siècle, l'art de l'orfèvre se décompose en plusieurs branches; la partie technologique se trouve moins intimement liée à la partie artistique. Les procédés de fabrication se perfectionnent, deviennent plus savants et réclament tous les loisirs de ceux qui s'y consacrent, et alors la composition des modèles est plus souvent l'œuvre d'artistes étrangers à la fabrication.

L'orfèvrerie a montré au dix-huitième siècle la flexibilité de sa nature en se pliant à tous les caprices du genre *rocaille*. On trouve des pièces d'orfèvrerie du temps de Louis XV, qui sont ravissantes de fantaisie et de caprice. Rien de régulier; les formes les plus anti-géométriques possibles; les lignes, les surfaces ondulées, contournées, insaisissables, indescriptibles.

Aujourd'hui, l'orfèvrerie, obéissant comme toujours aux dictées de l'architecture, affecte successivement tous les styles du passé, et même bien des styles bâtards complétement inconnus de nos pères, et que nous serions fort heureux de ne pas connaître davantage.

§ 3. *Des nielles.* — L'art de nieller, dit M. Vitet (*Études sur les beaux-arts*, t. I, p. 256), qui était fort en usage durant tout le moyen-âge, mais qui fut abandonné vers le temps de Louis X, consistait à étendre dans les tailles d'une gravure exécutée sur l'or et sur l'argent une composition métallique, espèce d'émail noirâtre, appelé en latin, à cause de sa couleur, *nigellum*, et en italien *niello*; cet émail, qu'on fixait en le mettant en fusion, était ensuite poli avec le reste du métal. L'argent et l'or devenaient brillants dans toutes les parties que le burin n'avait pas entamées; partout, au contraire, où il avait tracé le moindre sillon, le nielle en remplissait le creux, et par sa couleur noire faisait ressortir vivement le dessin de la gravure, ce qui produisait à peu près le même effet qu'un dessin au crayon noir tracé sur vélin. La niellure était employée pour exécuter des arabesques et autres ornements délicats; on s'en servait aussi pour faire des portraits ou même de petites compositions historiques dans des proportions qui n'excédaient pas celles de nos miniatures. Ces espèces de médailles étaient ensuite incrustées sur des calices, sur des reliquaires ou sur des couvertures de livres d'autel; on en décorait aussi des meubles et des bijoux. »

Les recettes pour pratiquer le nielle étaient connues avant le treizième siècle (1); au seizième, elles cessèrent d'être pratiquées. Après avoir été oubliée pendant trois siècles, la niellure vient de revenir à la mode; du moins c'est par un procédé analogue à celui des anciens nielleurs que se fabriquent aujourd'hui, à Paris et à Genève, certains bijoux ornés d'arabesques niellées, et particulièrement des montres, des tabatières, des boîtes à odeur, des bracelets et des épingles. Ce n'est qu'en 1830 que, grâce au prix proposé par la Société d'encouragement, cette ornementation pratiquée depuis quelque temps en Russie, fut introduite en France par MM. Wagner et Mention. Contrairement à la méthode ancienne, les gravures sur l'argent ou l'or sont pratiquées par des procédés mécaniques; on obtient des niellures bon marché, mais qui n'ont pas la variété, la fantaisie de l'antique.

On grave le dessin sur une plaque d'acier, on la trempe et on tire sur une plaque d'acier adouci au moyen de la pression du laminoir une épreuve en relief.

(1) Ces recettes se trouvent décrites avec détail dans l'ouvrage du moine Théophile, ouvrage que nous avons cité plus haut page 2971, et qui remonte au moins au treizième siècle: l'émail dont elles donnent la composition est composé des mêmes éléments que celui dont nous parlons ci-après, et n'en diffère que par les proportions, qui étaient de 6 parties d'argent, 2 p. de cuivre et 1 p. de plomb, avec une quantité de soufre suffisante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ORFÉVRERIE.

Cette seconde plaque d'acier sert à imprimer sur l'argent le dessin en creux.

Le nielle est composé de 38 parties d'argent, 72 de cuivre, 50 de plomb, 36 de borax et 384 de soufre. On fond le soufre dans une cornue, l'argent et le cuivre dans un creuset, et on introduit le tout dans la cornue que l'on bouche exactement pour éviter l'inflammation du soufre; on ajoute le borax; quand il ne se dégage plus de vapeurs dans le col de la cornue, on verse la matière dans un creuset de fer, on la pulvérise et on la lave d'abord avec de l'eau renfermant un peu de sel ammoniac et ensuite avec de l'eau légèrement gommée. On applique le nielle, au moyen d'une spatule, sur la plaque préparée et on la porte à la moufle; aussitôt que le mélange est bien fondu sans soufflures, on retire la pièce du feu et on la polit; le métal reste à nu et les parties ombrées sont en émail dont la teinte opposée à celle de l'argent ou de l'or produit des effets remarquables.

§ 4. *De l'emploi des émaux.* — On doit distinguer dans l'application des émaux à l'orfèvrerie trois manières correspondant à trois époques bien distinctes : 1° *Emaux incrustés*, ou sortes de mosaïques dont les diverses parties au lieu d'être réunies à froid, étaient fondues et coulées par juxtà-position du septième ou quatorzième siècle (1330); 2° *Emaux en apprêt*, ou coloration très superficielle du métal par les émaux du quatorzième à la fin du quinzième siècle (1330 à 1470); 3° *peinture en émail* sur émail cru, depuis la fin du quinzième siècle jusqu'à nos jours.

Nous extrairons les détails que nous allons donner sur ces trois manières d'appliquer les émaux à l'excellent mémoire de l'abbé Texier sur les argentiers et les émailleurs de Limoges (*Mémoires de la Société des Antiquaires de l'Ouest*, 1845). On sait que Limoges, où travaillait saint Eloi, est un des principaux et peut-être le premier des anciens centres de l'orfèvrerie française; Montpellier vient ensuite d'une manière incontestable; il a été prouvé en outre que Noyon et Rouen ont possédé d'importantes corporations d'orfèvres; enfin on ne saurait oublier Paris, car la capitale de la France a toujours été pour les arts un foyer d'activité pivotale.

Dans la première période l'émail était employé à l'embellissement des hanaps, burettes, aiguières, bagues, agrafes, colliers, poignées d'épées, couteaux, casques, boucliers, bahuts, fermoirs et couvertures de livres. Mais dans ces temps de primitive ferveur, il embellit surtout les instruments du culte et de la liturgie, calices, dyptiques, tombeaux, paix, navettes, candélabres, encensoirs, suspensoirs, retables, mitres, crosses, inscriptions votives, et principalement les reliquaires qui conservaient les ossements des fidèles honorés d'un culte public.

On le mit en œuvre de trois manières : comme fond de couleur encadrant des dessins gravés ou en relief; comme élément coloré destiné à former des ornements ou des figures; comme revêtement des figures en relief pour leur donner la valeur des sculptures coloriées de l'antiquité. L'émail se prêtant difficilement à se modeler sur les saillies et sur les creux de la ciselure, la dernière mise en œuvre fut plus restreinte et moins heureuse. Dans les deux premiers cas, des creux pratiqués presque toujours dans le cuivre reçoivent une incrustation d'émail dont l'épaisseur varie de 1 à 6 millimètres. Le métal, lorsqu'il vient affleurer à la surface, est doré. Le burin y a creusé des dessins représentant des figures isolées encadrées par des ornements d'architecture, et plus rarement des scènes composées. Les figurines en demi ronde-bosse remplacent souvent les dessins creusés dans le métal. Ces fonds monochromes en émail sont habituellement de couleur bleue.

Si l'émail est employé comme élément de peinture, un trait de cuivre doré vient affleurer à la surface, et forme les linéaments principaux du dessin, les contours et les tiges des fleurs, le trait des figures et les lignes principales de l'architecture et de l'ornementation. Dans les creux du cuivre, et sans en dépasser les parties ménagées, sont incrustés des émaux diversement colorés, et la juxta-position de leurs teintes forme le fond de couleur des figures, dont le trait est tracé par des saillies de métal à fleur de paroi.

Voici maintenant la technique de l'incrustation : le cuivre, préalablement dressé, poli et creusé avec des burins plats, des ciselets et des échoppes, recevait les pâtes liées au moyen d'un liquide glutineux. Mais certains émaux étant plus facilement vitrifiables que d'autres, ils n'étaient réunis et placés qu'en dernier lieu; des incrustations de calcaire, destinées à disparaître plus tard, réservaient leur place. A ces coulées successives ou simultanées succédait un polissage à la meule. Enfin la dorure était appliquée. La température nécessaire pour fixer l'or étant moins élevée que la température à laquelle se fondait l'émail, les incrustations n'avaient pas à souffrir de cette exposition au dernier feu.

« La pratique de cet art, qui donnait aux instruments du culte des couleurs inaltérables et un éclat éternel, est elle à jamais perdue? s'écrie l'abbé Texier, faudra-t-il nous contenter toujours de cet éclat éphémère de l'orfèvrerie moderne, plusieurs fois renouvelé dans le cours d'une année? Nous avons l'espoir d'assister à la résurrection d'un art important. » Puisse le court extrait que nous venons de donner hâter ce moment!

Dans la seconde époque, l'époque de transition, les couleurs émaillées sont étendues immédiatement sur le métal par le pinceau, et n'y sont retenues que par la fonte, qui détermine l'adhérence. Le métal ne joue plus un rôle dans la composition; il sert seulement au même usage que le bois, le parchemin et la toile pour les peintures en miniature et à l'huile. Le caractère principal de ces *émaux en apprêt ou en plein* consiste dans l'absence des demi-teintes, dans la translucidité de l'émail qui permet le plus souvent d'entrevoir le métal, dans la rareté des ombres superposées à cette peinture du premier jet, et qui ne se rencontrent guère que dans les carnations pâles et légèrement vitrées; ces peintures sont en outre émaillées au revers.

A la fin du quinzième siècle, eut lieu un autre changement qui facilita beaucoup le travail des peintres émailleurs, mais qui diminua l'éclat de leurs œuvres; ils ajoutèrent un fond d'émail blanc entre la peinture et le métal.

Au seizième siècle, il y a mélange de cette méthode avec celle de l'incrustation; aussi les draperies sont émaillées en plein par parties, mais il y a voisinage de couleurs franches et de couleurs superposées. L'emploi sage et combiné des deux manières caractérise les maîtres de cette époque, et c'est là la cause de la finesse du dessin dans les fonds et les chairs, et d'autre part de l'éclat chatoyant et changeant des draperies violettes, rouges, vertes et bleues.

Au dix-huitième siècle, et de nos jours, il n'y a plus que peinture d'émail sur fond d'émail; la technique est la même que celle de la peinture sur verre; nous ne devons donc pas nous y arrêter.

§ 5. *De l'argent employé dans l'orfèvrerie.* — Depuis assez longtemps la rareté de l'or a conduit à n'employer ce métal que très exceptionnellement dans l'orfèvrerie proprement dite, c'est-à-dire qu'il concourt seulement, comme le font les pierres précieuses, les nielles et les émaux, à la décoration générale des pièces. L'orfèvrerie d'or se borne à la fabrication de peu d'objets; presque tout l'or (je ne parle pas de celui qui est à l'état de dorure), mis en œuvre par l'industrie, est employé dans la bijouterie. Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit dans la 2e section de notre article. Nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous occuperons seulement ici de l'orfèvrerie d'argent.

Quelques chiffres feront comprendre les rapports existant entre les proportions d'or et d'argent employées par l'orfèvrerie, la bijouterie et la joaillerie. « Le bureau de garantie, dit M. Denière dans son rapport sur cette partie de l'exposition de 1844, indique, en moyenne, pour chaque année, depuis la dernière exposition, c'est-à-dire depuis cinq ans, un poids de matières fabriquées s'élevant :

Pour l'or, à.	4.292 kilogr.
Pour l'argent, à.	64.082 —
Soit, en France, pour l'or. . .	12.489.720 fr.
— pour l'argent.	14.226.204
Total. . . .	26.715.924 fr.

« Cette somme exprime la valeur de l'or et de l'argent employés dans l'orfèvrerie, la bijouterie et la joaillerie ; ajoutant autant pour la main-d'œuvre, et c'est l'apprécier au-dessous de la valeur, lorsque l'on considère le nombre des ouvriers employés dans ces industries, et que l'on fait la part des bénéfices des commerçants, nous trouvons 53.431.848 fr.

« La perception du bureau de garantie, à raison de ces produits, est annuellement de 1.500.000 fr. »

Il est curieux de rapprocher de ces chiffres, qui établissent l'importance de la fabrication annuelle, ceux qui expriment celle du commerce avec l'étranger. Les états des douanes donnent les renseignements suivants, pour 1843 ; ces chiffres se reproduisent à peu près les mêmes depuis nombre d'années :

	Importation.	Exportation.	Différence.
Or ouvré. .	1.007.571f	8.566.947f	7.559.376f
Argent ouvré.	222.874	1.782.612	1.559.738

L'excédant de l'exportation sur l'importation, tant en or qu'en argent ouvré, est donc de 9.119.114 fr., ou le sixième de la production précitée, 54.000.000 fr. environ, et la consommation intérieure les 5/6 de cette même quantité, ou 44.000.000 fr.

D'autre part, la France a reçu :

En minerai d'or.	3.083.070 fr.
En or brut ou monnayé. . .	10.038.027
En argent brut ou monnayé. .	157.531.555
En cendres et regrets d'orfèvre.	12.358.740

On voit que, malgré l'importance de notre commerce d'exportation, nous sommes extrêmement loin de rendre en or ou argent ouvrés l'équivalent de l'or ou de l'argent brut que nous recevons. On doit en conclure qu'il tend à se faire, en France, une accumulation considérable d'or, et surtout d'argent métallique. Ce fait a principalement pour cause l'état de la législation, qui favorise l'importation en France des métaux précieux et empêche l'exportation des lingots. Il doit résulter d'un pareil état de choses, qui se maintient depuis longtemps, une accumulation d'argent qui tend à diminuer la valeur de ce métal en France. Cette accumulation tend à rompre l'équilibre qui doit exister pour la répartition de toute matière précieuse dans le monde entier. Il faut bien, il est vrai, que la France qui ne produit pas d'argent en reçoive une assez grande quantité ; mais ce qu'elle reçoit est hors de toute proportion avec la production totale du monde, s'élevant à 1.250.000k, valant environ 275.000.000 fr. seulement.

L'argent employé dans l'orfèvrerie est au titre n° 1, c'est-à-dire à 950 millièmes, ou au titre n° 2, c'est-à-dire à 800 millièmes. L'orfèvre prépare son argent avec l'argent fin, comme il prépare son or. Les soudures dont il se sert sont fortes ou faibles, c'est-à-dire qu'elles sont peu ou assez fusibles ; elles sont au huit, au six, au quart et au tiers, c'est-à-dire qu'elles contiennent un huitième, un sixième, un quart ou un tiers de cuivre rouge, et le reste en argent ; plus il y a de cuivre, plus la soudure est fusible.

On emploie aussi quelques autres soudures dont voici les formules :

Argent, 2 parties ; bronze, 1 p. On ne laisse pas long temps en fusion.

Argent, 4 parties ; bronze, 3 p. ; arsenic, 1/4. On coule aussitôt la fusion.

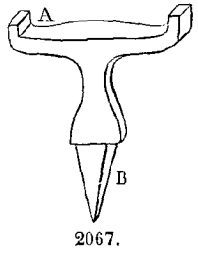
Argent, 2 parties ; clinquant, 1 p. ; arsenic, 1/2.

Argent, 1 partie ; bronze, 1 p. Quand la fusion est opérée, on ajoute 1 partie d'arsenic. On brasse, et un instant après on coule.

Quand la soudure est coulée, on la bat bien mince et on la coupe en paillettes.

Ce qui constitue la supériorité de l'orfèvrerie française sur l'orfèvrerie étrangère, ce n'est pas seulement sa forme, son dessin, son exécution. Il existe, par exemple, en Allemagne des orfèvres d'un grand mérite, produisant des œuvres fort remarquables. La supériorité commerciale de l'orfèvrerie française provient de la marque appliquée par le bureau de garantie. En Allemagne, il n'existe point de poinçon de garantie, ni d'essayeurs ayant mission de vérifier le titre des objets, quoique des titres, à peu près les mêmes que les nôtres, soient déterminés par les lois. Aussi quelle anarchie règne dans les transactions commerciales ! On est constamment trompé ; les objets fourrés ne sont pas rares, et on vend, comme de l'or ou comme de l'argent, des alliages qui contiennent à peine ce qu'il faut de ces métaux précieux, pour donner passagèrement aux objets un aspect mensonger.

§ 6. *De l'orfèvrerie d'art.* — L'orfèvrerie d'art, c'est-à-dire celle qui a pour but la fabrication des pièces d'ornementation exceptionnelle, de quelque riche coupe destinée à être donnée en cadeau ou en prix, d'un service de table sortant des modèles ordinaires ; cette orfèvrerie seule fabrique encore par les procédés anciens, qui du moyen-âge sont arrivés jusqu'à nos jours. La charpente des pièces est, le plus souvent, tout entière forgée au marteau et à la main ; les moyens mécaniques ne sont employés que pour les parties rentrant par leur nature dans la fabrication ordinaire. L'ornementation est fondue, moulée, et ensuite ciselée. Les procédés sont tout à fait analogues à ceux décrits au paragraphe de la bijouterie d'art. Seulement comme les parties creuses sont beaucoup plus considérables que dans la bijouterie, on emploie la *retreinte* pour les produire, comme on fait dans la chaudronnerie. La bigorne (figure 2067), sorte d'enclume dont les extrémités A prennent diverses formes, et qui pénètre par la pointe B dans un des trous du billot sur lequel l'orfèvre assujettit aussi ses tas, est alors l'instrument dont on se sert pour obtenir le ventre d'un calice, par exemple, et y former des côtes planes ou rondes. Avant l'invention de la bigorne, on remplissait les pièces obtenues par la fonte avec de la cire, et on les battait ensuite.



2067.

§ 7. *De la vaisselle plate et montée.* — Il n'y a pas longtemps, les doyens de l'orfèvrerie s'en souviennent encore, l'orfèvre fabriquait ainsi que nous venons de dire, entièrement de sa main, et tout seul, avec le lingot que lui remettait le fondeur, en se servant à peine du laminoir pour obtenir du plané, toute la vaisselle plate ou montée, tous les objets de son ressort, et dont nous avons déjà donné la liste.

Aujourd'hui le laminage et l'estampage, le repoussage au tour, c'est-à-tous dire les moyens mécaniques

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ORFÉVRERIE.

employés dans la fabrication du plaqué, et dont nous parlerons bientôt, ont passé de l'atelier du plaqueur dans celui de l'orfèvre intelligent, qui a eu l'esprit d'appeler à l'aide de son art le perfectionnement de l'*industrie*.

Pour fabriquer une assiette, un plateau, ou tout autre vase, on prend une plaque laminée sur laquelle on trace au compas la partie dont on a besoin ; on découpe avec des cisailles et on soude la moulure. Cette moulure se fait ou bien au tour, pour une assiette, par exemple, en enlevant avec des rifloirs les filets qui doivent la constituer, ou bien à l'aide d'une sorte de filière qui porte le nom de boîte à tirer. Cette boîte est formée d'une masse de fer cubique, dans laquelle on a pratiqué les ouvertures nécessaires pour le travail et pour y introduire les billes à moulure. Le fond de cette boîte, sur lequel reposent les billes, est une plaque d'acier trempé et bien poli. Les billes à moulure sont pareillement en acier trempé et poli. Sur ces billes sont gravées les diverses moulures dont on peut avoir besoin. Elles sont fixées dans la boîte à la place convenable pour le travail, par deux fortes vis qui les pressent contre la plaque d'acier unie et polie. Quand la moulure a été tirée ou tournée, on la place sur le plat et on la soude à la lampe avec de la soudure au quart. On ébarbe, c'est-à-dire on enlève du bord tout ce qui reste de la moulure à l'aide d'un burin. On donne alors au planeur qui forme le marli, c'est-à-dire la partie de la matière qui borde la moulure en dedans du plat, sur un tas poli, avec un marteau poli non plus tenu à la main comme autrefois, mais guidé et mû comme un martinet. Le planeur renvoie à l'orfèvre qui, à l'aide de burins, d'échoppes, de rifloirs, répare la moulure ; c'est maintenant le travail le plus long et le plus coûteux. La polisseuse polit ensuite, d'abord avec la pierre à polir, ensuite avec de la pierre-ponce broyée à l'huile et de petits morceaux de bois. Après avoir bien essuyé son travail avec des linges, elle termine en se servant de la pierre-ponce délayée dans l'eau-de-vie, qu'elle passe en frottant fortement, soit avec une brosse, soit avec une peau de chamois imbibée de cette sorte de pâte. Le planeur termine en formant le fond du plat ou de l'assiette à la profondeur convenable, au moyen de tas et de marteaux polis destinés à cet usage. Le travail du planeur donne aux pièces leur sonorité et leur éclat.

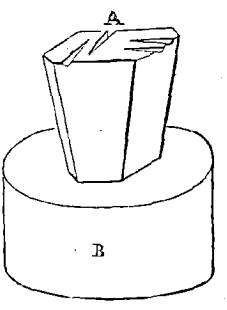
Les soupières, les cafetières, les réchauds, etc., sont estampés ou faits au tour sur des mandrins en bois, en recuisant autant de fois qu'il est nécessaire à cause de l'état de récroui que prend la matière ; nous entrerons plus loin dans quelques détails sur ce travail. Des *bâtes* sont soudées pour soutenir les bords des ouvertures et toutes les parties qui ont besoin d'être renforcées. Les anses, les pieds, tous les ornements moulés et ciselés, sont ensuite soudés ou attachés avec des écrous.

§ 8. *De la fabrication des couverts.* — La fabrication des couverts a pris en France un très grand développement ; les orfèvres qui l'exploitent prennent le nom de *cuillèristes*. Deux fois en cinquante ans cette fabrication a changé complétement de face. Nous allons entrer, à cette occasion, dans quelques détails historiques et pratiques qui, nous l'espérons, auront quelque intérêt :

Les cuillères et les fourchettes sont encore aujourd'hui des meubles presque inconnus dans une grande partie de l'Orient. Les Chinois mangent avec deux petits bâtons ; les Turcs, les Arabes, tous les Musulmans mangent avec leurs doigts. On en faisait autant en Europe pendant presque tout le moyen-âge. Aussi les aiguières et les bassins étaient-ils d'un usage assez général, et était-ce par la confection de ce genre de meubles que les orfèvres profanes du moyen-âge préludaient aux travaux qui ont illustré leurs successeurs de la Renaissance. Cependant, à la fin du dixième siècle, Pierre d'Armens raconte, avec l'accent de l'homme indigné, que la sœur d'un empereur d'Orient, qui avait épousé un des fils de Pierre d'Orséole, doge de Venise en 991, au lieu de manger avec les doigts, employait de petites fourches et des cuillères dorées pour porter les aliments à sa bouche, luxe insensé, dit-il, qui appela le courroux du ciel sur elle et sur son mari.

Les cuillères furent assez facilement adoptées ; elles étaient le plus souvent en bois ou en corne ; lorsqu'on les faisait en or ou en argent, c'étaient de véritables œuvres d'art qu'on entreprenait, ainsi que l'on peut le voir par les quelques cuillères qui sont parvenues jusqu'à nos jours. L'usage de la fourchette, au contraire, fut lent à s'établir ; nous ignorons à quelle époque il s'introduisit en France, mais il est probable qu'au commencement du dix-septième siècle, la fourchette était encore un ustensile rarement employé, car un auteur anglais, Tom Coryat, dans son « *Crudités avalées* à la hâte pendant un voyage de cinq mois en France, en Savoie et en Italie, etc. », ouvrage publié en 1611, mentionne une coutume qu'il dit être générale en Italie, celle de se servir d'une fourchette pour manger la viande. Tom Coryat ne dit pas qu'il ait observé la même coutume en France ; mais cet usage s'introduisit sans doute dans ce pays avec celui des verres à boire de Venise, vers la fin du quinzième siècle ; il n'était pas encore général au commencement du dix-septième. Tom Coryat voulut continuer les coutumes italiennes à son retour dans son pays ; il fut raillé par ses amis qui le désignèrent sous le nom de *Furcifer*.

Aujourd'hui la fourchette que nous employons en France se rencontre à peine sur quelques tables de grands seigneurs en Allemagne et en Angleterre. Dans ces deux pays, on se sert d'une petite fourche plutôt que d'une fourchette ; cette fourche est en acier et se trouve emmanchée comme sont nos couteaux dans des manches en bois, en corne, en ivoire. Elle n'a que deux ou au plus trois dents, et une largeur qui est environ la moitié de celle de la fourchette en argent si répandue en France.



2068.

A la fin du siècle dernier les couverts étaient entièrement forgés à la main au moyen du marteau, la pièce étant posée sur une étampe (figure 2068), sorte de tas, A, entrant par une pointe dans le billot B. Le cuilleron des cuillères, c'est-à-dire leur partie concave, était cambré sur une autre étampe en plomb au moyen d'une bouterole, poinçon ayant d'un bout la forme du creux de la cuillère, sur lequel on frappe pour agir sur celle-ci. Les filets s'exécutaient avec des échoppes.

Au commencement de ce siècle, l'usage des couverts se répandant de plus en plus et pénétrant dans presque toutes les classes de la société, cette fabrication manuelle devint plus mécanique, afin d'introduire une économie dans la façon.

Trois opérations successives constituent la fabrication des couverts jusqu'en 1840 : 1° le découpage du lingot, qui se fait à la cisaille dans la feuille au titre où le dessin a été fait d'après un patron en papier ; 2° le forgeage du lingot, opération qui a pour objet de lui donner, à l'aide du travail au marteau, les formes générales et les dimensions approchées en longueur et en épaisseur que doit avoir la pièce à fabriquer ; cette opération s'appelle la préparation ; 3° la pièce ainsi préparée est placée sous un balancier analogue au balancier monétaire, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

porte à la place du coin une matrice représentant les formes exactes et même les ornements de l'objet qu'on veut obtenir. La presse agit par pression comme la presse monétaire. Les pièces ressortent presque complétement finies; il ne reste plus qu'à ébarber, c'est-à-dire à enlever avec une lime le superflu de l'argent repoussé par la pression, et, si c'est une fourchette, à découper les dents. Cette opération s'appelle la perfection.

Cette méthode a reçu, en 1840, dans les ateliers de M. Denière, une modification profonde, provenant de l'application des derniers perfectionnements introduits dans l'industrie générale des métaux, perfectionnements que les orfévres ont été lents à vouloir accepter. Les premières tentatives de cette modification remontent, du reste, à assez loin, à l'année 1817. Jalabert prit alors un brevet d'invention, ayant pour objet de remplacer par un laminage l'opération de perfection se faisant par la presse monétaire. L'équipage breveté se composait (tome XXV *Des Brevets expirés*, p. 11) de deux cylindres d'un assez grand diamètre, *g* et *h* (figure 2071), dont chacun portait une matrice *n*, qui y était fixée par des écrous, et qui représentait par une gravure en creux la forme de la pièce à obtenir. On découpait cette pièce par la méthode ordinaire, mais la façon de perfection se donnait par le laminoir (figures 2070 et 2071), mû par une manivelle *s* faisant tourner un

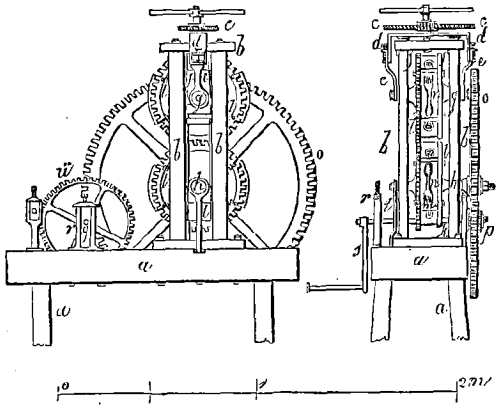


Fig. 2070.

Fig. 2071.

pignon, celui-ci une roue, et le pignon de cette dernière une grande roue conduisant le cylindre *h*, qui à son tour entraîne le cylindre *g*. Le laminoir est serré à diverses épaisseurs par l'engrenage *c*. Les diverses roues *p* et *o*, que l'on a même multipliées depuis, sont destinées à faire disparaître une certaine ondulation produite dans les couverts par suite de l'inégale résistance du métal refoulé à des épaisseurs inégales. Jalabert employait des matrices mobiles, en sorte qu'une des difficultés du service de la machine était d'assurer leur fixité sur les cylindres et l'exactitude de leur rencontre au moment de la pression. Une note qui accompagne la description du brevet Jalabert constate qu'avant lui on avait essayé des matrices fixes.

Quels que fussent les avantages qui semblaient attachés à cette machine, elle ne se répandit pas et tomba dans l'oubli; en sorte que l'ancienne méthode avait prévalu, lorsqu'en 1839 un nouvel essai de laminoir fut fait dans l'usine de M. Daru, essai ayant pour but, cette fois, la substitution de la préparation au laminage à l'ancienne et défectueuse préparation au marteau. C'est l'année suivante, en 1840, que M. Denière consacra ses efforts au succès de ce mode de fabrication et prit un brevet d'importation en France, pour le procédé breveté en Belgique par M. Allard.

On commence par présenter la feuille d'argent, laminée à épaisseur convenable, à un découpoir muni d'un emporte-pièce, qui par son mouvement de va-et-vient y découpe autant de pièces, ou éléments primitifs de couverts, qu'il est possible. On soumet ces pièces à un recuit dans un four à réverbère, où elles sont portées au rouge sombre sans que l'alliage de cuivre soit exposé à s'oxyder. Ensuite on les soumet à des pressions successives, données sous deux paires de cylindres placées dans une machine analogue à celle de Jalabert (fig. 2071). Ces deux paires de cylindres sont inégalement rapprochées, parce que la matière va en s'allongeant et en s'aplatissant; on presse d'abord dans le laminoir le moins rapproché, ensuite dans le plus serré. Les cylindres sont eux-mêmes les matrices, car on a renoncé aux matrices mobiles, assez mal imaginées par Jalabert. Ces cylindres ont au plus un décimètre de diamètre; ils sont gravés d'après une règle indiquée au graveur par les dimensions respectives des diverses parties de la fourchette et de la cuillère, et par la malléabilité plus ou moins grande de la matière. Ainsi les gravures des cylindres préparatoires ne seront pas les mêmes pour des couverts en argent ou pour des couverts en maillechort. Pour rendre la pression successive sans altérer la qualité du métal, on alterne les passes avec les recuits dans le four à réverbère, et, après chaque exposition au feu, on fait subir aux pièces une espèce de trempe par leur immersion dans l'eau froide. En sortant de la préparation et après un nouveau recuit, on passe les pièces sous les cylindres finisseurs, qui sont gravés de manière à donner le couvert simple, ou bien le couvert avec filet, ou bien encore le couvert enrichi d'ornements riches. Il ne reste plus alors qu'à ébarber à la lime, qu'à découper les dents de la fourchette au moyen d'un découpoir spécial, à emboutir le cuilleron de la cuillère, et enfin, à cambrer les pièces selon leur courbe voulue, opérations d'une grande facilité au moyen des anciens instruments qui y sont employés depuis longtemps.

La fabrication des couverts est devenue une plus grande industrie depuis l'adoption générale des couverts en maillechort argenté, aussi a-t-elle fait de nouveaux progrès; M. Halphen notamment est parvenu à la rendre entièrement mécanique dans son usine de Bornel, par une succession d'opérations bien entendues.

L'alliage fondu au creuset est moulé en plaques, qui sont étendues au laminoir et amenées à l'épaisseur voulue. Comme dans la fabrication décrite ci-dessus, les pièces qui doivent former la cuillère ou la fourchette y sont enlevées dans la feuille de métal par l'action d'un découpoir, sous une forme bien éloignée de la forme définitive, puis, au moyen d'un laminoir ou mieux de secteurs à mouvements alternatifs portant des matrices convenablement gravées, amenées à la forme voulue, c'est-à-dire, tout en restant plates, reçoivent leurs contours définitifs et les épaisseurs convenables en tous les points. Pour effectuer le bouterolage des cuillères (et aussi pour terminer les dents des fourchettes par estampage), M. Halphen a trouvé dans le BALANCIER Cheret un instrument puissant et expéditif qui permet de l'obtenir par un seul coup, entre une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bouterole et une matrice en acier, sans écrasement d'aucune partie ; la cuillère est présentée toujours à la place convenable, grâce à un guide mobile qui garnit la face supérieure de l'étampe.

Enfin la courbure est donnée aux dents des fourchettes, en même temps que la cambrure générale, au moyen d'un ingénieux outil inventé par M. Boulangier, à l'aide duquel on serre la pièce entre deux mordages horizontaux qui correspondent à cette cambrure, au moyen d'un puissant levier portant un excentrique. Pendant que la fourchette est ainsi maintenue, un levier oscillant sur le devant de l'outil vient appliquer les dents sur la partie antérieure de la mâchoire inférieure et leur donne la courbure convenable. Inutile de dire que des recuits après chaque opération et un dernier polissage complètent cette fabrication rapide et excellente ; toutes les opérations devenues simples, s'exécutant à la suite les unes des autres à l'aide d'outils simples et d'un effet certain.

La bonne fabrication des couverts en métal blanc est venue ainsi aider au succès de l'argenture galvanique, pour assurer le succès d'une précieuse industrie qui réduit au dixième de ce que coûtaient les couverts d'argent le prix de ceux en maillechort argenté, ayant absolument la même apparence.

SECTION IV. — DE L'ORFÈVRERIE D'IMITATION.

La rareté des métaux précieux a forcément conduit les hommes à s'occuper du moyen d'économiser leur emploi, tout en conservant le bienfait de leurs propriétés, recherchées non seulement par raison de luxe, mais encore par raison d'hygiène. L'imitation de tous les objets faits ordinairement en or ou en argent a donc nécessairement donné lieu à une industrie importante, appelée à rendre de véritables services, et où nous avons à considérer le plaqué ordinaire, le plaqué sur fer et l'orfèvrerie de cuivre.

§ 1er. *Du plaqué.* — Il existe entre l'orfèvrerie de cuivre, qui est ensuite argentée ou dorée, et l'orfèvrerie plaquée une différence essentielle. Dans la première fabrication, les métaux précieux ne sont placés à la surface des objets qu'après leur entière confection ; dans la seconde, au contraire, c'est le lingot, c'est la matière première, qui est recouverte d'une feuille d'argent ou d'or plus ou moins épaisse avant toute autre mise en œuvre.

Le *plaqué* qu'on fabrique le plus ordinairement est celui d'argent ; celui d'or ou de platine ne se fait qu'exceptionnellement ; il s'obtient, du reste, par des procédés absolument identiques à ceux employés pour obtenir le premier.

On ne doit point confondre le plaqué avec le doublé. Doubler un métal d'un autre métal, c'est souder le dernier au premier au moyen d'un alliage fusible, d'une *soudure ;* plaquer, au contraire, c'est forcer les deux métaux à adhérer au moyen de procédés purement mécaniques, avec l'aide d'une température *rouge sombre*, mais sans le secours d'aucune fusion.

Comme l'argent est loin d'avoir jamais été assez abondant pour pouvoir être employé à la confection d'une foule d'ustensiles destinés à recevoir des comestibles et toutes sortes de préparations culinaires, il est naturel de penser que depuis bien des siècles on a cherché à ne le placer, ainsi que nous avons démontré que cela a été fait de toute antiquité pour l'or (voir l'article DORURE), qu'à la surface seule des métaux communs, et particulièrement à le faire servir de revêtement au cuivre. Aussi ne doit-on pas s'étonner que l'un de nos plus habiles fabricants de plaqué, M. Gandais, soit parvenu à prouver que chez les Romains on pratiquait le doublage des vases par l'argent ; seulement nous employons le mot doublage, et nous ne disons pas *placage*, parce que cette dernière opération exige des moyens mécaniques complétement inconnus des anciens, qui savaient parfaitement bien souder par l'emploi des alliages fusibles. C'est cette raison qui nous fait penser aussi que la fabrique fondée à Paris, à l'hôtel de Pomponne, rue de la Verrerie, dès 1769, et qui confectionnait des vases couverts d'une feuille d'argent d'un côté seulement, effectuait un doublage plutôt qu'un placage. L'ancienne Encyclopédie ne fait mention d'aucune fabrication analogue au plaqué. Il faut la regarder, selon nous, comme étant d'invention moderne, et nous n'avons aucun scrupule à dire d'invention anglaise, car elle était fort développée en Angleterre quand, vers 1808, elle a été importée en France, où on ne connaissait que le doublé, c'est-à-dire l'emploi d'une soudure proprement dite. D'ailleurs, bien avant la fabrique de l'hôtel Pomponne, encouragée par Louis XVI, qui y fit, en 1785, une commande de 10.000 livres tournois, Thomas Bolsover fonda à Scheffield, en 1742, une fabrique de boutons et de tabatières en véritable plaqué d'argent, et bientôt après vint Joseph Hancok, maître coutelier de la même ville, qui appliqua la nouvelle découverte à la fabrication de produits plus nombreux. Ce dernier se livra à l'imitation de la vaisselle plate, et dota sa ville natale, par la fabrication de ses théières et de ses flambeaux, d'une nouvelle industrie dont Birmingham devint bientôt le principal foyer.

De 1808 à 1839, la fabrication de l'orfèvrerie plaquée s'est promptement accrue en France. A cette dernière époque, elle produisait pour 8.000.000 de francs et occupait environ 2.000 ouvriers ; son exportation était à peu près la moitié de sa production totale. Depuis lors, la fabrication est restée stationnaire, quoique la consommation intérieure se soit sensiblement accrue, parce que l'exportation a sensiblement diminué. Cette diminution est due en partie à la mauvaise confection des objets destinés aux pays étrangers, en partie au poinçon dont sont revêtus tous les produits de cette fabrication. Cette dernière observation, à cause de son étrangeté apparente, exige quelques mots d'explication : on sait que le fabricant de plaqué est assujetti à apposer *lui-même* sur ses produits un poinçon offrant en toutes lettres le mot *doublé*, ainsi que le chiffre du titre du plaqué, soit le dixième, soit le vingtième, soit le quarantième, ou tout autre titre. Or, cette indication n'est nullement exacte ; une vérification authentique du titre du plaqué ne se fait par aucun bureau de garantie, et d'ailleurs elle serait presque impossible à cause de la diversité des titres employés souvent dans une même pièce. Ainsi ce poinçon n'a, en France, d'autre autorité que celle que peut donner la moralité du fabricant qui l'a appliqué. A l'étranger, à mesure que les distances augmentent, cette autorité disparaît, et alors il arrive que notre plaqué, portant un poinçon, se trouve assujetti à son entrée en Allemagne, en Italie, en Portugal, etc., à payer les droits comme orfèvrerie. Les portes de ces pays nous sont dès lors fermées, car l'Angleterre, dont le plaqué ne porte pas de poinçon, obtient facilement l'avantage pour l'approvisionnement de toutes ces contrées. Ainsi, l'orfèvrerie paye en Allemagne 8 fr. de droit d'entrée par kilogr. ; en Italie et en Portugal, elle paye 24 fr. Partout, au contraire, la quincaillerie ne paye que 50 centimes. On voit qu'il résulte d'un pareil état de choses une forte prime en faveur de la fabrique anglaise. Le plaqué est soumis, du reste, à d'autres causes de décadence, ainsi que nous le dirons un peu plus loin ; pour le moment, nous arrivons à une description succincte des procédés technologiques qui lui sont propres.

L'opération fondamentale du fabricant de plaqué consiste dans l'établissement de l'adhérence de l'argent au cuivre. Le cuivre employé est du cuivre rouge très pur, avec lequel il est plus facile d'obtenir une adhérence parfaite. Cependant le cuivre jaune aurait bien plus d'avantage dans l'usage des objets de consommation, parce qu'il présente beaucoup plus de résistance. Autrefois le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fabricant préparait et fondait son cuivre lui-même ; il en faisait un lingot coulé dans des moules en fer fondu formé de deux parties assemblées, et présentant une cavité rectangulaire de 8 centimètres de large, 4 de profondeur, et d'environ 50 de long. Aujourd'hui le plaqueur reçoit ses plaques toutes préparées au soudage ; on les fait dans les fonderies de Romilly et d'Imphy. Les meilleures, celles dont le cuivre est le plus épuré, viennent de Niederbruck (Haut-Rhin) ; elles ont une forme rectangulaire, une épaisseur d'à peu près 3 centimètres, et pèsent environ 10 kilogrammes.

Les plaques de cuivre sont vigoureusement grattées avec des grattoirs tranchants, pour faire disparaître jusqu'aux moindres défauts du cuivre, et pour que la surface soit parfaitement unie. La planche étant grattée, on la passe au laminoir, où elle s'allonge d'environ 0m,027 ; on la gratte de nouveau, et alors elle est prête à recevoir l'argent. Si l'on veut faire du plaqué simple ou du plaqué double, au vingtième, par exemple, on prend une feuille d'argent du poids de 500 grammes, ayant même surface que l'une des faces du lingot de cuivre, dans le premier cas ; une surface double dans le second cas. Cet argent est à 999 millièmes. La feuille étant bien avivée avec du grès tamisé, on amorce quelquefois le cuivre avec une forte solution de nitrate d'argent, mais cette opération préliminaire n'est nullement nécessaire. On applique sur le cuivre la feuille d'argent, et l'on couvre de blanc d'Espagne la face de cuivre qui ne doit pas être recouverte, quand on fait du plaqué simple. On lie fortement avec du fil de fer, en mettant un peu de borax sur les bords pour préserver le cuivre de l'oxydation. La feuille d'argent est un peu plus grande que le cuivre, de telle sorte qu'on puisse un peu la rabattre sur les bords du cuivre.

Toutes ces préparations achevées, la plaque est portée au fourneau à moufle du plaqueur ; la porte en fer de ce fourneau est munie d'un trou par lequel l'ouvrier surveille la température ; de temps à autre on frotte sur l'argent avec une sorte de brunissoir en fer, afin de chasser tout l'air intérieur et de produire un commencement d'adhérence. L'union définitive du cuivre et de l'argent est obtenue par plusieurs passages du lingot encore chaud entre de forts cylindres de plus en plus serrés. On chauffe et passe alternativement au laminoir jusqu'à ce que la feuille ait atteint le degré d'épaisseur qu'on désire obtenir. On remet une dernière fois dans la moufle, on plonge les feuilles dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique et on les nettoie en les frottant avec du sable très fin ; elles sont alors prêtes à recevoir les formes des divers articles qu'on veut fabriquer.

Les divers laminoirs dont se sert le plaqueur sont les suivants :

1° Laminoir à souder et à dégrossir, dont les rouleaux en fer ont 0m,325 de long sur 0m,187 de diamètre ;

2° Laminoir dont les rouleaux ont 0m,325 sur 0m,210 et sont en acier poli pour adoucir et brillanter les lames de doublé qu'on y passe ;

3° Un laminoir identique au précédent réservé spécialement pour tout ce qui est laminé très mince et, en particulier, pour les bandes d'argent destinées à l'estampage des bordures et ornements dont nous parlerons tout à l'heure ;

4° Un laminoir aussi en acier poli pour les feuilles larges destinées à faire des plateaux et autres articles analogues, dont les rouleaux ont 0m,59 sur 0m,25 ;

5° Un laminoir en fonte de fer douce pour le même objet ayant 0m,82 sur 0m,28 ;

6° Une paire de rouleaux de 0m,24 sur 0m,16 pour laminer le fil ;

7° Enfin, une paire de rouleaux de 0m,16 sur 0m,056 en acier très dur, pour le plaqué à un titre très bas.

On peut faire le fil de cuivre plaqué de deux manières. La première manière est la plus employée ; elle consiste à former d'abord un cylindre creux d'argent. Celui-ci s'obtient en enroulant une feuille d'argent de façon que les bords se recouvrent. On introduit dans ce tuyau un cylindre en cuivre chauffé au rouge, pouvant y entrer librement, et avec un brunissoir en acier on appuie fortement sur les bords qui se soudent l'un à l'autre. Le tube d'argent étant fait, on le nettoie intérieurement, on le chauffe au rouge sombre, et on y introduit le cylindre à plaquer qui ne pénètre qu'à frottement. Le refroidissement fait appliquer l'argent. On porte au fourneau et on appuie avec le brunissoir dans le sens de la longueur. En outre, on fait dans le cylindre en cuivre un peu plus long que le tube d'argent, un creux circulaire dans lequel on fait entrer les bords de la feuille d'argent. On obtient ainsi un cylindre massif qu'on passe à la filière. Le cuivre et l'argent s'allongent en conservant toujours le même rapport d'épaisseur. On recuit enfin et on lave avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, comme pour le plaqué en feuilles.

L'autre méthode donne un plaqué extrêmement mince, connu dans le commerce sous le nom de plaqué allemand. Elle consiste à arrondir et étirer d'abord soigneusement la barre de cuivre, à dépolir sa surface et à y appliquer des feuilles d'argent battu en frottant avec le brunissoir. Ce travail est minutieux et donne des résultats bien inférieurs au précédent.

Les fils de cuivre plaqués sont très employés pour la fabrication des paniers à pain, des porte-mouchettes et d'un grand nombre d'autres articles réunissant l'élégance et la légèreté à l'économie.

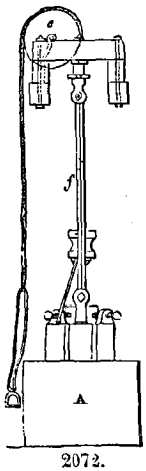
On a d'abord travaillé les feuilles plaquées par les procédés employés dans la chaudronnerie pour le cuivre, et dans l'orfèvrerie pour l'argent, c'est-à-dire au marteau, par la *retreinte*, en poussant peu à peu le métal à prendre la forme désirée. Ce procédé, extrêmement long et fatigant, ne donnait que de mauvais résultats pour le plaqué, à cause de la rupture que le marteau tendait constamment à établir entre les deux métaux juxtaposés, soumis à des efforts inégalement répartis. Il n'est plus employé aujourd'hui que lorsque l'ouvrier manque des outils et instruments nécessaires pour suivre une méthode plus commode, plus expéditive, plus appropriée à l'économie de main-d'œuvre qu'exige le bas prix, cette condition suprême d'existence du plaqué. Par exception, on s'en sert encore lorsqu'il ne s'agit que de produire un petit nombre d'articles de forme irrégulière, pour lesquels la confection de matrices à estamper ou de mandrins à tourner serait une dépense trop coûteuse, vu le peu de service qu'on en tirerait. On se sert généralement aujourd'hui soit de l'estampage, soit du tour. L'estampage surtout est le procédé particulièrement approprié à la mollesse et à la malléabilité du métal employé pour faire le plaqué.

Le procédé de l'estampage consiste à faire entrer de force, par pression ou par percussion, la feuille de plaqué dans une matrice en creux, au moyen d'une étampe dont les reliefs s'ajustent exactement dans les creux de la matrice. La substance dont sont faites les matrices et étampes doit être dans un certain rapport avec la malléabilité et l'épaisseur de la feuille à travailler ; c'est du laiton, du fer, de l'acier, etc. Souvent même l'étampe est composée d'un métal très mou, de plomb moulé sur les creux de la matrice ou réciproquement.

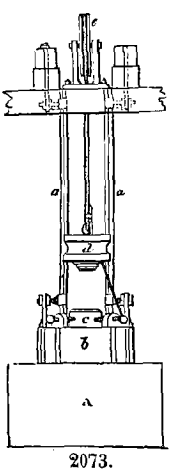
Comme il est nécessaire, pour le succès de l'opération, que la matrice et l'étampe s'ajustent l'une sur l'autre avec une grande précision lorsqu'elles se rapprochent, on attache ordinairement la matrice sur une large pierre A (fig. 2072 et 2073) qui remplit d'autant mieux le but qu'on veut atteindre qu'elle est plus massive. On fait, en outre, descendre l'étampe verticale-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment, en s'arrangeant de façon qu'elle ne puisse diverger dans aucune autre direction. On peut employer, du reste, plusieurs procédés pour la faire descendre avec la force nécessaire : 1° frapper dessus avec un marteau; 2° se servir d'un balancier analogue à la presse monétaire; 3° se servir d'un mouton ou marteau à déclic. Les fig. 2072 et 2073 représentent

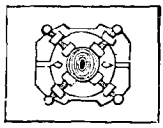


2072.



2073.

deux coupes rectangulaires du dernier appareil plus communément employé ; la fig. 2074 en donne le plan. Le mouton *d* porte à sa partie inférieure l'estampille; la matrice *e* est fixée sur la pierre dans un soubassement en fer *b* où elle est serrée par quatre vis. On soulève le mouton *d* à une hauteur plus ou moins grande selon la force du choc qu'on veut produire, au moyen de la corde *f* s'enroulant sur la poulie *c*. Le mouton se meut entre les deux montants en fer *a*; les deux faces,


2074.

en regard de ces montants, présentent chacune un filet en relief pénétrant dans une rainure correspondante du mouton.

Les matrices sont en acier fondu ; il peut y en avoir plusieurs pour la fabrication d'un même objet, par exemple pour obtenir un vase dont le fond et les bords supérieurs ont des dimensions moindres que celles de la panse.

La matrice étant fixée par les vis, on l'entoure d'un cercle haut de 4 à 5 centimètres, formé d'un lut d'argile pétrie avec de l'huile ; on coule du plomb dans la cavité obtenue. On adapte à la partie inférieure du mouton une plaque en fer dont la face, de même dimension que la matrice, est rude comme une râpe, et qu'on appelle *suçeur*. Aussitôt que le plomb est solidifié, on soulève le mouton, on le laisse retomber, et on le soulève de nouveau ; il emporte avec lui le disque de plomb qui s'est bien moulé sur la matrice.

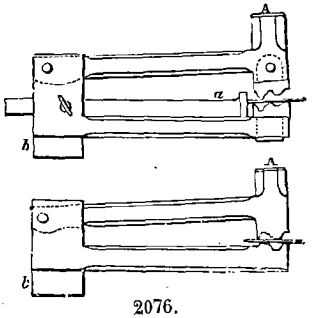
On peut alors procéder à l'estampage, qui s'exécute en plaçant sur la matrice la feuille de plaqué découpée suivant la forme et les dimensions voulues, et en laissant tomber dessus le mouton autant de fois que cela est nécessaire pour que la feuille de plaqué entre dans toutes les excavations de la matrice. Le nombre de coups de mouton est naturellement en rapport avec la profondeur de ces creux, ainsi qu'avec l'épaisseur et le degré de malléabilité de la feuille plaquée, et peut aller jusqu'à dix ou douze. Comme le métal devient aigre, dur et cassant, il faut le faire recuire de temps à autre pour lui rendre sa malléabilité. Pour arriver à produire des objets d'une forme profondément creuse, on est obligé d'employer successivement plusieurs matrices gravées de plus en plus profondément. Dans ce cas, on est même souvent forcé d'opérer d'une autre manière ; on fait (fig. 2079 et 2080) les étampes en acier, et elles sont gravées en creux ; les matrices sont alors en plomb.

Il va sans dire qu'on réunit, par des soudures ou bien par des assemblages à vis ou d'autre sorte, les diverses pièces qu'il est impossible d'obtenir par un seul estampage. Un chandelier, par exemple, est composé d'au moins quatre ou cinq pièces principales auxquelles des bordures ornées sont ordinairement ajoutées. Des bordures ou *bates* sont également placées autour de l'ouverture ou en d'autres endroits des vases ou autres ustensiles pour les renforcer et concourir en même temps à la décoration. Ces bordures sont surtout soumises au frottement dans l'usage qu'on fait des objets, et, par conséquent, elles se détériorent avec une grande facilité, et l'argent s'usant rapidement, elles finissent par laisser voir la couleur rouge du cuivre.

Un des plus grands perfectionnements qu'on ait introduits dans la fabrication du plaqué a été de faire ces bordures en argent pur. Malheureusement, toujours dans un but d'économie, ces bordures sont faites en argent d'une minceur extrême. Pour leur rendre de la force, on remplit l'intérieur des moulures de soudure faible qui sert à les appliquer sur les pièces.

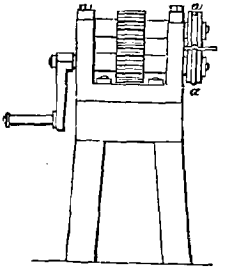
Les moulures s'exécutent avec facilité et précision au moyen des estampes représentées fig. 2075 et 2076.

2075.



2076.

La partie A est mobile autour d'une charnière ; on la soulève pour introduire le métal à moulure entre les deux matrices. On ajuste sur un étau *b*; la partie *a*, qu'on peut avancer plus ou moins, guide l'opérateur et fait que la moulure est toujours à la même distance du bord de la feuille; on frappe sur la tête A au moyen d'un marteau.



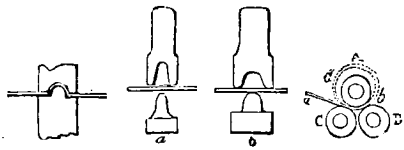
2077.

Le laminoir peut être employé avec succès pour la fabrication des moulures; il produit plus rapidement et plus économiquement que le procédé précédent. Les deux rouleaux *a*, *a* (fig. 2077), sont rendus solidaires par deux roues dentées, dont l'une est mise en mouvement par une manivelle ; ils portent les moulures gravées, l'un en relief, l'autre en creux, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ils sont agencés de façon que les deux moulures s'ajustent exactement, ainsi que l'indique la fig. 2078, sur une échelle agrandie.

Les courbures cylindriques ou coniques sont souvent obtenues en frappant avec un maillet sur la feuille posée sur des mandrins en bois diversement courbés. On obtient le même résultat avec plus de précision et plus de rapidité au moyen d'une machine composée de trois cylindres en fonte A, B, C, (fig. 2081) entre lesquels passe la feuille *abcd*. Selon qu'on rapproche plus ou moins des deux autres le cylindre du



2078. 2079. 2080. 2081.

milieu A, on change le degré de courbure de la feuille; on peut obtenir la forme conique en éloignant ou en rapprochant ce cylindre A un peu plus d'un côté que de l'autre.

Les différentes pièces se soudent au moyen d'alliage plus ou moins fusible d'argent et de cuivre. On doit éviter la soudure à l'étain qui donne trop de solidité et qui, trop souvent, est employée pour monter les pièces; il arrive, par exemple, que les réchauds de table assemblés avec cette dernière soudure sont de suite hors de service. Quand on soude avec de la soudure forte, on recouvre le métal d'une mixture saline composée de borax et de *fiel de verre*, écume rejetée par les verriers, et on place dessus la soudure coupée en paillons. On expose ensuite à la flamme d'une lampe d'émailleur ou bien à la chaleur du charbon de bois excité par le soufflet d'une petite forge, jusqu'à ce que la soudure coule également le long des bords de la jonction.

On donne enfin le poli en frottant avec de l'hématite ou sanguine, ou bien avec du tripoli ou de la poudre d'os calcinés.

Les procédés d'estampage que nous venons d'exposer, en partie d'après M. Ure, sont surtout employés en Angleterre. En France et en Allemagne, on se sert plus souvent du tour pour les pièces principales; l'estampage est réservé pour les ornements. Nous dirons quelques mots du tour au § 3 de ce chapitre.

§ 2. *Du plaqué sur fer.* — La fabrication du plaqué sur fer n'a jamais pu prendre une grande importance, et aujourd'hui elle tombe de plus en plus. On le conçoit facilement, car on n'est pas arrivé à obtenir du doublé de fer par des procédés simples et économiques, comme ceux qui donnent le doublé de cuivre, et il est impossible, du moins quant à présent, de travailler le doublé de fer par les procédés mécaniques dont l'économie a fait tout le succès du plaqué. On ne plaque donc sur fer que de petits objets, tels que couverts, mouchettes et articles de harnais et voitures, etc. Encore ces derniers ouvrages ne se font-ils plus guère qu'en maillechort, argenté ou non, ou bien quand on veut allier le luxe à l'économie, en argent estampé très mince et fourré d'étain.

Le procédé pour plaquer le fer se réduit à étamer d'abord légèrement le fer, et, en chauffant les matrices, à appliquer la feuille d'argent à l'aide d'une forte pression.

§ 3. *De l'orfèvrerie de cuivre.* — Depuis longtemps déjà, en Allemagne, on se sert avec un certain avantage de l'orfèvrerie en maillechort au lieu de l'orfèvrerie en plaqué dont la fabrication y est assez restreinte. Lors de l'invention de l'argenture électro-chimique par MM. Elkington et de Ruolz, on s'est occupé d'importer la fabrication du maillechort en France; on se proposait d'argenter cet alliage, contre lequel certaines préventions s'étaient élevées à cause du cuivre qu'il contient, et de le rendre aussi usuel chez nous qu'il l'est au-delà du Rhin. Comme le maillechort est blanc, on n'avait pas à craindre de voir apparaître, par suite de l'usure, la couleur rouge que montre si vite le plaqué et qui trahit si désagréablement un luxe mensonger. Mais le nickel qui avec le zinc et le cuivre constitue le mail lechort, ayant acquis tout à coup une valeur considérable, on a bientôt renoncé à employer ce métal. C'est à un accaparement que font les Anglais de tous les minerais de nickel qui se trouvent principalement en Hongrie, que l'on doit le renchérissement de ce métal. Les Anglais payent à raison de 280 fr. les 100 kilogr., des minerais qui ne contiennent pas au-delà de 15 p. 100 de nickel. « On assure, ajoute M. Péligot, à qui nous empruntons ces détails, dont il est bon que les orfèvres soient prévenus, qu'ils emploient le nickel à faire de l'argenterie non seulement à bas titre, mais surtout à faux titre, en tirant profit de cette observation, qu'un alliage à parties égales d'argent et de nickel ressort au même titre, par les essais faits par les bijoutiers, qu'un alliage d'argent et de cuivre contenant 13 parties d'argent sur 16 parties. On comprend qu'ils puissent payer à un prix élevé le nickel qu'ils destinent à un pareil emploi. »

Telles sont les raisons pour lesquelles on n'emploie plus le maillechort argenté que pour les couverts. Toute l'orfèvrerie argentée est maintenant en cuivre jaune, alliage de cuivre et de zinc. Le cuivre jaune est plus résistant que le cuivre rouge, et c'est là une qualité qui donne déjà une supériorité marquée, sur le plaqué, à l'orfèvrerie de cuivre, industrie récemment importée de Hollande. Il est vrai qu'il ne faut pas espérer d'arriver au prix si bas du plaqué; le métal n'a pas assez de malléabilité pour qu'on lui donne tant de minceur et si peu de poids. Les pièces auront donc toujours une certaine valeur intrinsèque au-dessous de laquelle il sera impossible de descendre. Ce n'est vraiment pas un malheur, car cette circonstance engagera le fabricant à chercher une certaine élégance, une certaine richesse, en même temps qu'il ne sera pas conduit à sacrifier à la fois la solidité et la forme au désir de produire à bas prix. L'orfèvrerie de cuivre jaune, argentée ensuite à une épaisseur suffisante, au moyen des procédés électro-chimiques (voir notre article DORURE) conservera un caractère propre, celui de l'imitation de l'orfèvrerie fine. Il y aura, cependant, un écueil à éviter, en prenant le parti de ne point diminuer indéfiniment l'épaisseur du métal, ce sera de faire trop massif, c'est-à-dire de fabriquer du bronze au lieu de l'orfèvrerie. Parce que l'or et l'argent sont des métaux précieux, on a dû économiser leur emploi, et par suite chercher à donner à tous les objets fabriqués avec ces deux matières premières une certaine légèreté, une élégance de bon goût mais sans maigreur. Le fabricant d'orfèvrerie de cuivre devra s'attacher à reproduire ce caractère, à obtenir des détails d'une grande finesse, un mat ou un poli d'une grande douceur. Les ornements devront être fondus par un fondeur soigneux, habitué au moulage et à la fonte de l'orfèvrerie fine. Autant que possible, pour ne pas rentrer dans la fabrication du plaqué, on devra éviter de faire les anses, les pieds, tous les ornements avec de l'estampé seulement. La ciselure délicate, la gravure artistique seront nécessaires. La charpente des pièces, au contraire, sera faite par les procédés mécaniques les plus parfaits, c'est-à-dire au tour et au marteau à planer.

Nous ne nous étendrons point sur les procédés mécaniques, déjà indiqués plusieurs fois dans ce Dictionnaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et dans le cours même de cet article. Nous dirons seulement que le travail du tour consiste à couper la plaque de la grandeur et de la forme convenables ; à la placer sur le tour, sur un mandrin en bois, et, à l'aide d'un brunissoir en acier poli et trempé dont le manche fait levier, en s'appuyant contre une cheville placée dans un trou, dont on est libre de varier la position, à forcer la plaque à s'adapter exactement sur toutes les parties du mandrin. En changeant de mandrin plusieurs fois, on obtient la forme voulue. Il faut recuire la pièce toutes les fois qu'elle en a besoin, afin qu'elle puisse se ramollir au point de suivre toutes les dépressions et renflements du mandrin ou moule sur lequel on l'applique. A l'emploi du tour circulaire, on peut joindre aussi l'emploi du tour ovale, machine ingénieuse dont la plate-forme en cuivre jaune offre au milieu une pièce longue à coulisse, en acier, qui, se décentrant à chaque instant par l'effet du va-et-vient que son propre poids lui imprime, donne le moyen de tourner les ovales des plus grandes dimensions, et de faire les plateaux, les plats, etc. (Voyez TOURS COMPOSÉS, *Complément.*) Les diverses pièces sont soudées entre elles, et les pieds, les anses, sont attachés par des écrous ; des bates, c'est-à-dire des cercles de renfort ornés ou non ornés, sont placés à tous les endroits sujets à être fatigués. Le fabricant reconnaîtra d'ailleurs que chaque fois que les pièces additionnelles seront nécessaires pour obtenir la solidité des objets produits, elles seront aussi indiquées par les principes de l'art et du bon goût. BARRAL.

Nous indiquerons ici un progrès important accompli pour l'exécution de l'orfévrerie, par un emploi convenable de la galvanoplastie.

GALVANOPLASTIE RENFORCÉE. — Les ornements des pièces d'orfévrerie doivent être d'une grande perfection d'exécution, comme tout détail qui doit être vu de près. Aussi est-ce le plus souvent par le travail direct de l'artiste, par le repoussé que ces ornements sont produits dans les pièces capitales ; mais il faut remarquer qu'alors la reproduction de l'œuvre n'étant plus en question, c'est de l'art que l'on fait et nullement de l'industrie. Lorsqu'il s'agit de ce dernier cas, ou lorsqu'on veut multiplier l'œuvre du maître, c'est à la gravure sur acier, extrêmement dispendieuse, qu'il faut avoir recours si l'on veut éviter la fonte qui, à cause du haut point de fusibilité des métaux employés, ne pouvant être obtenue qu'à l'aide d'un moulage en sable, est nécessairement imparfaite. Il en résulte alors la nécessité d'un travail considérable de ciselure, qui augmente énormément, quand il est bien fait, le prix des pièces.

Tout ceci est évité par la galvanoplastie. L'empreinte du modèle est d'une exactitude absolue, étant prise à l'aide de gutta-percha un peu chauffée et pressée sur le modèle ; elle vient recevoir à son tour, par la galvanoplastie, un dépôt de cuivre ou d'argent qui peut avoir telle épaisseur que l'on désire, en prolongeant suffisamment l'opération. Ce relief est la reproduction exacte du modèle : toutes les vivacités, toutes les finesses s'y reproduisent, et il n'y a plus à s'occuper de ciselure ni de rien de semblable.

Toutefois, à ces avantages de perfection, de bon marché dans la reproduction de belles pièces, il y eut d'abord quelques compensations. Souvent la pièce sortait du bain peu épaisse en quelques parties ; en général, le dépôt est moins fort dans les parties qui paraissent en creux dans le moule lors du dépôt, les plus éloignées de la plaque soluble ; l'assemblage de cette espèce de tôle de cuivre offrait quelques difficultés ; elle possédait une sonorité désagréable. Tous ces inconvénients ont disparu par l'emploi d'un tour de main qu'ont acquis les bons ouvriers qui se sont livrés à ce travail, et qui consiste à remplir avec de la soudure forte toutes les cavités intérieures de la pièce, de manière à lui donner toutes les qualités désirables comme poids, comme résistance, en faire en un mot des pièces comparables de tout point aux pièces fondues, tout en leur conservant leurs qualités de perfection absolue qui dispense de retouche, de ciselure coûteuse et bien souvent imparfaite.

Les maisons Christofle, Odiot et les principaux orfévres sont entrés avec succès dans une voie qui permet d'économiser beaucoup de main-d'œuvre, surtout pour les œuvres d'art qui eussent exigé l'emploi de la fonte et de la ciselure ; de supprimer l'emploi de matrices d'acier très-coûteuses ; d'exécuter avec précision et facilité des pièces dont la richesse d'ornementation, sans augmentation de dépense, n'a pas de limites ; enfin, de substituer aux pièces creuses et imparfaites d'abord obtenues, des pièces massives, dont les avantages pour l'ameublement et l'orfévrerie destinée aux usages de la table sont évidents.

Voici maintenant le mode d'opérer, supposant obtenu, en opérant comme nous l'avons indiqué plus haut, le creux en cuivre d'épaisseur assez grande, et surtout formé de cuivre bien homogène (ce qui exige une opération exécutée d'une manière continue, sans variation notable du courant, de la température, de l'acidité des liqueurs), de manière à pouvoir être chauffée au rouge sans se déformer, sans qu'il se déclare des écailles ou des fentes.

On remplit le creux intérieur de ces cuivres avec du laiton coupé en petits morceaux cylindriques, et le tout est soumis à la chaleur intense du chalumeau à gaz, qui fond et soude les divers fragments, avec l'aide du borax, avec eux-mêmes comme avec la coquille galvanoplastique. Le creux ainsi renforcé est dressé, coupé, limé, cintré même au besoin avec la plus grande facilité.

ORGUES. L'orgue est un instrument à clavier ou à cylindre dans lequel le son est produit et soutenu au besoin par l'action de l'air comprimé sur divers appareils sonores.

Tout orgue renferme donc une soufflerie où l'on accumule de l'air sous une pression plus ou moins forte, puis des appareils distributeurs qui conduisent le vent sous une série de soupapes destinées à le laisser échapper dans les divers organes sonores, au sein desquels il est mis en vibration ; enfin un clavier qui permet à l'artiste de faire parler l'instrument et d'en combiner les sons suivant les exigences de l'improvisation ou les prévisions de la musique écrite. Cette dernière partie de l'instrument est remplacée quelquefois par un cylindre tournant, dont la surface est couverte de pointes convenablement espacées. Ces pointes agissent sur des organes de transmission, qui ouvrent les soupapes et peuvent ainsi reproduire, avec plus ou moins de fidélité, suivant des combinaisons préparées à l'avance, les effets que l'organiste obtient par l'attaque du clavier.

Les orgues de petite dimension ne sont que la reproduction réduite et simplifiée des grands instruments qui, dans nos églises, aident par leur puissante sonorité aux pompes du culte. Nous nous occuperons donc d'abord de la disposition et des effets de l'orgue d'église.

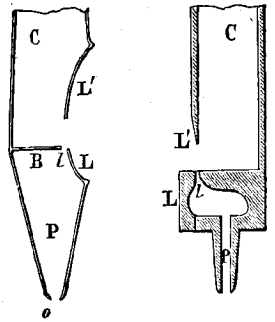
§ 1er. ORGANES SONORES.

Les organes sonores de l'orgue d'église sont compris sous deux groupes principaux, les tuyaux à bouche et les tuyaux à anche ; ces tuyaux sont en métal ou en bois.

Les tuyaux à bouche en métal sont formés d'une partie conique P qu'on appelle *le pied*, surmontée d'une partie cylindrique C, appelée *le corps du tuyau*. Le pied porte à sa partie inférieure une ouverture O qui est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'embouchure. Il est séparé du corps par une lame épaisse de métal B ayant la forme d'un segment de cercle (fig. 3760). Cette lame prend le nom de *biseau;* elle est



3760.

soudée par la partie circulaire de son contour aux parois du tuyau, la partie rectiligne est libre, et elle est coupée en talus de haut en bas. La paroi du pied qui fait face à ce talus est aplatie et se rapproche du biseau de manière à ne laisser entre elle et le biseau qu'une fente étroite L appelée *lumière*. Cette partie aplatie L prend le nom de *lèvre inférieure*. Le corps du tuyau s'élève verticalement au-dessus du pied auquel il est soudé par les trois quarts de son contour. La partie du corps qui est au-dessus de la lumière est coupée à une certaine hauteur au-dessus du biseau; elle est aplatie et terminée inférieurement par un bord rectiligne placé juste au-dessus de la lumière.

Cette partie aplatie L' analogue, par sa forme à la *lèvre inférieure*, prend lenom de *lèvre supérieure*. L'ensemble des deux lèvres et de la lumière forme ce qu'on appelle la *bouche* du tuyau. C'est en effet cette réunion d'organes qui permet au tuyau de produire un son, ou, pour employer le langage technique, de parler sous l'action du vent introduit par l'embouchure.

Idée sommaire de la fabrication du tuyau à bouche en métal.

Les tuyaux à bouche en métal sont ordinairement fabriqués avec un alliage de plomb et d'étain. Les proportions de cet alliage varient avec le soin plus ou moins grand apporté dans la construction des tuyaux. Le plomb coûte de 60 à 65 fr. les 100 kilos, tandis que l'étain coûte de 350 à 400 fr., mais aussi son entière mollesse en limite l'emploi. Car d'une part les tuyaux construits avec un alliage renfermant une trop forte proportion de plomb ont une mauvaise sonorité, d'autre part ces tuyaux résistent mal aux travaux de l'accord, et parfois même lorsqu'ils sont de grandes dimensions peuvent s'affaisser sous lour propre poids.

Voici les proportions des alliages employés dans la bonne facture pour les tuyaux de moutre qui garnissent la façade de l'orgue et par leur éclat argentin ajoutent à l'effet de la décoration ; on emploie : $\frac{9}{10}$ d'étain fin et $\frac{1}{10}$ de plomb.

Pour les corps des jeux d'anches $\frac{4}{5}$ étain et $\frac{1}{5}$ de plomb.

Pour les jeux de l'intérieur de l'orgue $\frac{3}{4}$ étain et $\frac{1}{4}$ de plomb.

Pour les pieds des tuyaux et les porte-vent on emploie un alliage connu sous le nom d'étoffe et qui renferme $\frac{2}{6}$ d'étain et $\frac{5}{6}$ de plomb.

L'étain que l'on emploie habituellement pour la fabrication des tuyaux est l'étain fin de Cornouailles. On emploie pour essayer sa pureté divers moyens fondés sur l'aspect que prend sa surface en se solidifiant après la fusion. Si on fond une partie de la surface d'un lingot d'étain pur avec un fer à souder, la partie touchée doit après le refroidissement être luisante, blanche et unie. Dans le cas où le métal est mêlé d'oxyde, la surface fondue est raboteuse dans une étendue plus ou moins grande ; enfin elle est mate et grise si l'étain est allié de plomb. Un des moyens les plus employés pour vérifier la pureté de l'étain est l'essai *à la balle*. Cette méthode consiste à fondre dans un moule une balle d'étain dont la pureté est connue, et qui sert de type, puis à fondre dans le même moule une balle de l'étain que l'on veut vérifier. Si la deuxième balle pèse autant que la première, l'étain est pur. Si elle pèse davantage, il est allié de plomb; il est mélangé d'oxyde si elle pèse moins.

Pour fabriquer les tuyaux on commence par couler l'alliage en planches d'une épaisseur appropriée à l'emploi qu'on en veut faire. A cet effet on a une longue table parfaitement dressée, construite avec des madriers épais que l'on assemble avec des traverses en bois et des chevilles en bois ou en fer. On recouvre cette table d'une toile de coutil bien tendue, cette toile est fixée à un châssis qui entoure la table. Sur cette table est posée une auge ouverte à sa partie inférieure et dont trois côtés appuient exactement sur la table, le quatrième est mobile et laisse entre la table et lui un intervalle plus ou moins grand; quand l'auge est à l'extrémité de la table, cette ouverture est fermée par une tringle de bois fixée à la table elle-même.

L'auge est munie d'une coulisse qui glisse dans une feuillure pratiquée dans l'épaisseur du châssis qui est fixé à la table. Quand on veut couler une feuille d'alliage, on commence par fondre l'alliage dans une chaudière, puis on met dans une marmite en fer la quantité que l'on veut employer; on enlève avec soin la crasse qui s'est accumulée à la surface, ce qui se fait facilement en communiquant à la masse un mouvement de giration à l'aide d'une cuiller en fer; l'oxyde qui est plus léger se réunit au centre et on peut l'enlever d'un seul coup. On attend le moment où l'alliage est sur le point de se solidifier et commence à devenir pâteux, on le verse alors dans l'auge, puis on entraîne celle-ci rapidement d'un bout à l'autre de la table. Le métal se dépose alors sous forme d'une feuille d'égale épaisseur qui se fige aussitôt. On a soin de détacher la feuille de la toile avant son complet refroidissement; sans cela la contraction qu'elle éprouve la ferait rompre par le milieu. Lorsque l'alliage est bien homogène, il est couvert sur toute sa surface de larges yeux ronds et brillants dont la teinte et la dimension varient avec la pureté plus ou moins grande de l'alliage.

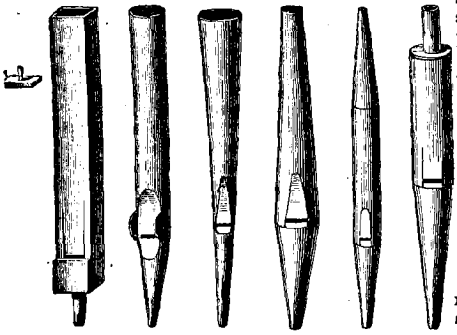
Ces feuilles, une fois obtenues, sont rabotées; souvent aussi elles sont écrasées soit au marteau soit au martinet. Puis on les découpe suivant des profils tracés à l'avance et qui représentent le développement des pieds ou des corps des tuyaux. On recouvre ensuite la surface de ces diverses pièces d'un enduit formé de blanc d'Espagne mélangé avec de la colle forte dissoute dans une assez grande quantité d'eau; enfin on roule les feuilles d'étain à la forme qu'elles doivent avoir, et ensuite on met le métal à nu dans les parties qui doivent être soudées entre elles. Dans les pieds comme dans les corps des tuyaux les soudures sont faites à la partie postérieure. On emploie ordinairement pour la soudure un alliage de $\frac{5}{6}$ d'étain fin et $\frac{1}{6}$ de plomb. Les soudures s'effectuent au moyen d'un fer de forme conique tenu avec une poignée en bois. Les ouvriers exercés font couler cette soudure qui se fige entre les deux bords de la feuille métallique en laissant un petit cordon uni et saillant. Il est bien évident que les parties du pied et du corps du tuyau qui doivent former la lèvre inférieure et la lèvre supérieure ont dû

EFERUS - Recherche & Classification numérique

être tout d'abord aplaties et la taillées à forme convenable. Dans les grands tuyaux on pratique à l'endroit des lèvres deux échancrures en forme d'arcade, puis on relève le métal de manière à former des rebords saillants sur lesquels on rapporte deux pièces en forme d'écusson.

Les tuyaux à bouche se divisent en trois groupes: tuyaux ouverts, tuyaux bouchés, tuyaux à cheminée. Dans les tuyaux bouchés ou bourdons l'extrémité supérieure est fermée par un fond en métal soudé sur le contour du tuyau. Quelquefois on emploie pour boucher le tuyau une calotte cylindrique en métal qui enveloppe le corps du tuyau, et pour qu'elle joigne hermétiquement on a soin de coller sur le contour du tuyau un papier épais ou une mince bande de peau. Cette disposition a l'avantage de rendre l'accord du tuyau plus facile. Dans les tuyaux à cheminée la partie supérieure du tuyau est partiellement fermée par un fond annulaire au centre duquel s'élève un tube plus étroit qui est la cheminée.

Enfin on construit également des tuyaux dans lesquels les corps sont coniques et vont en s'élargissant de bas en haut et de haut en bas, d'autres dans lesquels le corps cylindrique d'abord se rétrécit ensuite en forme de fuseau; d'autres dans lesquels les corps cylindriques se terminent par un pavillon évasé (fig. 3761).



3761.

Ces diverses formes ont pour objet de modifier le timbre des tuyaux. Nous y reviendrons plus tard.

Tuyau à bouche en bois. — Les tuyaux en bois sont construits d'après les mêmes principes que les tuyaux en métal, seulement ils sont à section rectangulaire; le pied, au lieu d'être conique, a la forme d'un bloc à peu près cubique; la base inférieure de ce bloc porte un conduit cylindrique P qui sert à amener le vent. L'air sort du pied par une fente étroite qui est la lumière et vient se briser contre la lèvre supérieure dont le tranchant est placé au-dessus. Le corps du tuyau s'élève perpendiculairement au-dessus du pied, sous la forme d'un prisme creux à section rectangulaire, et c'est la face antérieure de ce prisme qui est raccourcie et coupée en plan incliné pour former la lèvre supérieure du tuyau.

La construction des tuyaux en bois est facile à comprendre, elle s'exécute ainsi qu'il suit. On prend quatre planches de longueur et de largeur convenables, puis un bloc de bois destiné à former le pied. On entaille ce bloc à l'aide de la scie et du ciseau, de façon à ce qu'il soit ouvert par devant et par les côtés; on assemble ensuite sur ce bloc trois des planches qui doivent former le tuyau, et on a alors une gouttière rectangulaire présentant à l'une de ses extrémités une cavité prismatique dont le fond et deux parois sont formées par la matière du bloc, et les deux autres parois par la prolongation des parois du tuyau.

La quatrième planche est ensuite entaillée à l'une de ses extrémités de manière à former la lèvre supérieure du tuyau; on l'assemble avec les trois autres planches. Enfin on adapte sur la partie ouverte du bloc une lame rectangulaire de bois épais, c'est cette lame qui fait l'office de lèvre inférieure. Il faut avoir soin, avant de fixer définitivement la lèvre supérieure, de creuser, tant dans cette lèvre que dans la partie du bloc qui joue le rôle de biseau, un sillon qui permette à l'air de s'échapper et serve ainsi de lumière. Enfin quand le tuyau est terminé on en perce le fond et on y ajuste la partie cylindrique du pied. Il arrive souvent que les facteurs ajustent la lèvre inférieure avec des vis en interposant dans le joint une bande de peau; de cette manière il est plus facile de corriger les imperfections du tuyau. Quelquefois même la lèvre supérieure et la lèvre inférieure sont réunies en une seule pièce que l'on rapporte de la même manière sur tuyau.

Dans les petits tuyaux l'ajustement des parois se fait par simple juxtaposition avec interposition de colle forte. Dans les grands il est utile de pratiquer dans le bois des feuillures, de façon que les diverses parties rentrent les unes dans les autres afin de mieux en assurer l'ajustement. On peut aussi consolider le tuyau en collant à la partie supérieure un ruban de fil que l'on enroule autour du tuyau. Cette précaution est surtout utile pour les bourdons ou tuyaux bouchés. En effet, on se sert, pour boucher la partie supérieure de ces tuyaux, d'un tampon en bois garni de peau, que l'on enfonce dans le corps du tuyau de manière à le réduire à la longueur convenable, et on conçoit que la pression exercée latéralement par ce tampon peut avoir pour effet de faire éclater le tuyau.

Les anciens facteurs conseillaient de construire les tuyaux en chêne; aujourd'hui on a généralement l'habitude de les faire en sapin, seulement on réserve le chêne pour la bouche. On a soin, du reste, de protéger le bois par une couche de peinture.

Division des jeux à bouche. — Les divers tuyaux que nous venons de décrire sont groupés dans l'orgue par série chromatique de 54 notes au plus, qui constituent chacune *un jeu*. Tous les tuyaux d'un même jeu doivent être embouchés de façon à présenter dans leur sonorité une continuité de timbre aussi parfaite que possible. Les facteurs ne s'assujettissent pas à une homogénéité complète dans la sonorité d'un même jeu depuis le grave jusqu'à l'aigu. En effet, dans l'orgue, comme dans tout instrument à clavier, les diverses parties de l'échelle des sons ne sont pas appelées à jouer le même rôle; les unes serviront de base à l'harmonie, les autres devront faire ressortir le chant. On doit donc, dans toute l'étendue d'un jeu, faire varier les proportions des tuyaux d'une manière continue, tout en se réservant de modifier dans certaines parties du jeu la loi suivant laquelle se fait le décroissement des diverses dimensions.

Les jeux sont ordinairement désignés d'après la longueur du tuyau le plus grave qui est ordinairement un ut. Les jeux ouverts sont en allant du grave à l'aigu. La flûte ouverte de trente-deux pieds, celles de seize pieds, de huit pieds, de quatre pieds, de deux pieds. A côté de ces jeux se trouvent les jeux bouchés de même intonation, dont la longueur est moitié moindre. Ce sont le bourdon de trente-deux pieds ou flûte bouchée de seize, le bourdon de seize pieds ou flûte bouchée de huit, le bourdon de huit ou flûte bouchée de quatre pieds.

Ces divers jeux, suivant leur taille et la manière dont ils sont embouchés, suivant la pression du vent,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peuvent à égalité de hauteur différer par le timbre. Il arrive donc dans un orgue que le même jeu ou plutôt la même série de tuyaux peut se trouver répétée un certain nombre de fois sous des noms différents. En général les jeux de menue taille sont doués d'une sonorité mordante qui rappelle les instruments à archet, de là le nom de *violes* que l'on donne à ces jeux; tels sont la *basse de viole*, la *viola di gamba*, dont on a fait par abréviation *la gambe*. Dans les jeux de grosse taille au contraire le son est rond, moelleux, quelquefois même un peu sourd. Il y a donc dans ces timbres différents deux points extrêmes entre lesquels on trouve toute une série de nuances intermédiaires.

L'orgue renferme également d'autres jeux que l'on désigne sous le nom de jeux de mutation. Ils sont *simples* ou *composés*. Les jeux de mutation *simples* sont à la quinte ou à la tierce des jeux principaux dont nous venons de parler, tel est le *gros nasard* dont tous les tuyaux donnent la quinte des tuyaux correspondants du jeu de huit pieds. Le *nasard* dont tous les tuyaux donnent la quinte de ceux du jeu de quatre pieds. La *grosse tierce* qui donne la tierce du quatre pieds, et la *tierce* qui donne les tierces du jeu de deux pieds. Les jeux composés sont la fourniture, la cymbale, le cornet.

Chaque note de la fourniture est formée de quatre ou cinq et quelquefois sept tuyaux qui parlent à la fois et donnent, le premier un son ayant l'intonation de la touche correspondante du clavier, c'est-à-dire un ut si cette touche est un ut, puis la quinte de cette même note, puis l'octave, puis la quinte de cette octave, etc. La cymbale présente une composition analogue; le tableau suivant indique la composition de la première note de ces deux jeux.

Fourniture.			Cymbale.		
ut_2	4	pieds.	ut_2	4	pieds.
sol_2	32	pouces.	sol_2	32	pouces.
ut_3	2	pieds.	ut_3	2	pieds.
sol_3	16	pouces.	sol_3	16	pouces.
ut_4	1	pied.	ut_4	1	pied.
sol_4	8	pouces	sol_4	8	pouces.
ut_5	6	pouces.	ut_5	6	pouces.
			sol_5	4	pouces.
			ut_6	3	pouces.

Dans ces jeux chaque rangée renferme la série chromatique des notes; seulement de distance en distance la série se continue à l'octave grave; ainsi aux tuyaux $réb_2$ mi_2 succèdent les tuyaux fa_1, fab_1, sol_1, etc.; ces changements constituent ce qu'on appelle *les reprises*, elles sont nécessitées par l'impossibilité où l'on serait de prolonger jusqu'au bout chaque série sans atteindre la limite des sons aigus. En outre elles donnent un caractère différent au jeu suivant la manière dont elles sont disposées, et c'est précisément la fréquence plus grande de ces reprises qui caractérise la cymbale et la distingue de la fourniture.

Ces deux jeux ne se jouent jamais seuls; on y joint toujours les 32 pieds, les 16 pieds, les 8 pieds, et cet ensemble forme ce qu'on appelle le plein jeu.

La fourniture et la cymbale ont pour effet de donner au plein jeu un caractère et un mordant particuliers qui convient spécialement au plain-chant. Seulement ces jeux doivent avoir une importance subordonnée à celle de l'orgue dont ils font partie, et on les réduit dans la même proportion; ainsi dans beaucoup d'orgues la cymbale n'existe pas, et la fourniture est réduite à 5, 4 et quelquefois 3 rangées prises parmi les plus aiguës.

Le *cornet* est un jeu composé, comme les précédents, de plusieurs rangées de tuyaux dont le nombre peut s'élever jusqu'à sept. Ce jeu ne s'étend ordinairement que dans la moitié supérieure du clavier, les diverses rangées qui le composent sont à l'unisson des *huit pieds*, des *prestants*, du *nasard*, de la *doublette* et de la *tierce*. Quoique chaque note de ce jeu se compose de cinq tuyaux elle ne donne qu'un seul son, celui du tuyau le plus grave; seulement le timbre a un caractère tout particulier qui est celui des tuyaux à anches: de là le nom de cornet donné à ce jeu.

Proportion des diverses parties des tuyaux à bouche.

La hauteur du son rendu par un tuyau dépend de ses diverses dimensions. La longueur du corps est l'élément qui influe le plus sur le ton d'un tuyau; en général le nombre de vibrations donné par un tuyau est à peu près inversement proportionnel à la longueur du corps.

Les autres dimensions du tuyau ont aussi leur influence; ainsi, à égalité de longueur, un tuyau est d'autant plus grave que son diamètre est plus grand. Par suite, les tuyaux de même taille sont pour la même note toujours plus longs que ceux de grosse taille.

La hauteur de la bouche et sa largeur influent également sur le son du tuyau. Le son baisse toutes les fois qu'on diminue la largeur de la bouche; quant à la hauteur elle exerce deux influences contraires. En effet; quand on rend la bouche plus haute, la lèvre supérieure s'éloigne de la lumière, et, par suite, la longueur de la lame d'air vibrante comprise dans la hauteur de la bouche augmente; ce qui tend à abaisser le son; mais, d'autre part, la partie inférieure du corps communiquant avec l'air par une plus large ouverture, le son tend à monter. L'expérience prouve, du reste, qu'il y a pour chaque tuyau une hauteur de bouche qui convient mieux que toute autre pour bien faire parler le tuyau.

La pression de l'air insufflé dans le tuyau en modifie également le son, qui est d'autant plus élevé que la pression est plus forte. En général, la hauteur de bouche sous laquelle un tuyau produit le meilleur effet est d'autant plus grande qu'il est embouché sous une plus forte pression.

On voit donc que le facteur dispose d'un certain nombre d'éléments dont il peut user à sa guise pour amener les tuyaux à l'intonation convenable. Mais ces divers moyens n'ont pas seulement pour effet de modifier le son dans sa hauteur, ils en changent également le timbre et l'intensité, de sorte que, si les tuyaux n'ont pas été construits à l'avance dans des proportions convenables, leur accord ne peut se faire que par des modifications qui nuisent à l'égalité des jeux. Ce défaut d'homogénéité dans le timbre des jeux est un des vices les plus fréquents dans les instruments qui sont l'œuvre de facteurs inhabiles ou négligents.

Il est donc indispensable d'avoir des règles précises qui permettent d'arriver du premier coup aux dimensions les plus convenables pour les divers tuyaux d'un même jeu; ces diverses dimensions doivent varier suivant une loi régulière, quand on parcourt la série chromatique des sons; et c'est précisément la règle pratique destinée à fournir ces diverses dimensions qui constitue ce qu'on appelle le *diapason d'un jeu*.

Avant d'établir cette règle il est nécessaire que nous fassions une courte digression sur quelques principes fondamentaux d'acoustique.

Les sons, quelle que soit leur hauteur, se propagent avec une vitesse constante d'environ 340m à la température de 16°; par conséquent, si un son est produit par un corps exécutant, par exemple 100 vibrations par seconde, la distance à laquelle le son se propage pendant la durée d'une vibration est égale à la 100e partie de 340m, c'est-à-dire à 340m divisés par le nombre de vibrations; cette distance est précisément ce que les physiciens appellent la longueur d'onde.

Le tableau suivant donne le nombre de vibrations

EFERUS - Recherche & Classification numérique

es diverses notes de la gamme tempérée qui commence par le *la* du diapason normal, lequel exécute, comme on le sait, 870 vibrations par seconde.

Notes.	Nombres de vibrations par seconde.	Longueurs d'onde. mm.
La	870	390,8
La dièse ou Si bémol	922	368,8
Si	976,5	348,1
Ut	1034	328,6
Ut dièse ou Ré bémol	1096	310,1
Ré	1161	292,7
Ré dièse ou Mi bémol	1230	276,3
Mi	1303	260,8
Fa	1381	246,1
Fa dièse ou Sol bémol	1463	232,3
Sol	1550	219,3
Sol dièse ou La bémol	1642	207,0
La	1740	195,4

Pour obtenir les vibrations qui correspondent aux mêmes notes dans les octaves supérieures, il faudrait multiplier les nombres du tableau par 2, 4, 8, etc., et pour obtenir les nombres de vibrations correspondant aux octaves inférieures, il suffirait de diviser par 2, 4, 8, etc.

Les longueurs d'onde s'obtiendraient, au contraire, en divisant par 2, 4, 8, etc., pour les octaves supérieures, et en multipliant par 2, 4, 8, pour les octaves inférieures.

Ces considérations étaient nécessaires pour comprendre ce qui va suivre. En effet, l'expérience et la théorie s'accordent à prouver qu'en soufflant dans des tubes ouverts aux deux bouts ayant pour longueurs les longueurs d'onde, les sons qu'on obtient sont précisément ceux qui correspondent à ces mêmes longueurs d'onde. Il semble donc que pour obtenir des tuyaux rendant les divers sons de la gamme, il suffit de donner aux corps de ces tuyaux des longueurs précisément égales aux longueurs d'onde. Si on opérait ainsi, on aurait des tuyaux tous trop bas ; en effet, dans les tuyaux d'orgue le bas du tuyau est partiellement fermé, ce qui abaisse le son ; par suite, pour qu'un tuyau d'orgue donne le même son qu'un tuyau embouché à plein orifice, il faut le tenir un peu plus court et lui donner une longueur égale non pas à la longueur d'onde, mais à cette longueur diminuée d'une certaine quantité variable avec le tuyau. M. Cavaillé-Coll a donné à cet égard la règle suivante dont l'exactitude est constatée par une longue pratique.

1° Dans les tuyaux à section rectangulaire, c'est-à-dire les tuyaux de bois, on prend pour longueur la longueur d'onde diminuée de deux fois la profondeur du tuyau.

2° Dans les tuyaux à section circulaire on prend pour longueur des corps la longueur d'onde diminuée des cinq sixièmes du diamètre du tuyau.

Cette règle permet de calculer à l'avance les longueurs de tous les tuyaux d'un même jeu dès qu'on est convenu de suivre une certaine progression pour les diamètres.

Tuyaux octaviants, tuyaux harmoniques.

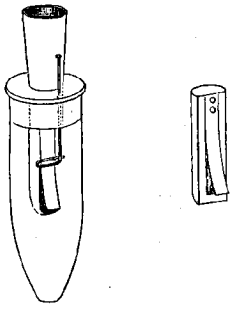
Lorsqu'un tuyau à bouche est mis en vibration par un vent de plus en plus fort, il rend une série de sons que l'on désigne sous le nom de sons harmoniques. Le plus grave de ces sons étant pris pour son fondamental, le suivant est à l'octave, celui qui vient ensuite à la quinte de l'octave, puis vient la double octave, la tierce majeure de la double octave, la quinte de cette double octave, etc. On facilite singulièrement l'émission de ces sons harmoniques en diminuant la hauteur de la bouche à mesure que l'harmonique est plus élevé. C'est ainsi que des tuyaux convenablement emboucliés, au lieu de donner le son fondamental, sonnent inévitablement son octave et présentent par suite la même intonation que des tuyaux moitié plus courts, mais avec un timbre tout à fait différent : on donne à ces tuyaux le nom de tuyaux octaviants.

On peut aussi emboucher les tuyaux de manière à leur faire rendre le troisième, quatrième ou cinquième harmonique. Ils prennent alors le nom de tuyaux harmoniques ; seulement, pour assurer l'émisson du son, il est utile de percer, comme l'a fait M. Cavaillé, un trou en un point du tuyau où se trouve un ventre de vibration. La pratique, d'accord sur ce point avec la théorie, indique qu'il faut percer ce trou à une distance de l'ouverture supérieure égale à la longueur d'onde de son que le tuyau doit rendre.

Pour avoir la longueur du corps d'un tuyau harmonique on calcule, d'abord d'après la règle de M. Cavaillé, la longueur du tuyau qui aurait pour son fondamental le ton que doit donner le tuyau qu'on construit, et on ajoute à cette longueur un certain nombre de fois la longueur d'onde correspondant à ce même son.

Tuyaux à anche.

Les tuyaux à anche sont des tuyaux dans lesquels le son est produit par l'écoulement intermittent de l'air sous une lame vibrante (fig. 3762). Ces tuyaux sont à anche battante ou à anche libre. Les tuyaux à anche battante se composent d'un pied qui amène le vent dans le tuyau. Ce pied est cylindrique et a ordinairement de 15 à 30 cent. de hauteur. Il est fermé à sa partie supérieure par un bouchon également cylindrique, appelé noyau ; le noyau est surmonté d'un tube conique que l'on appelle la boîte. Le noyau est percé de part en part, et dans l'ouverture entre à force une gouttière semi-cylindrique. Sur cette gouttière est appliquée une languette en laiton écroui qui fermerait exactement la gouttière, si elle était rigoureusement planée. Mais cette languette est légèrement courbée et laisse un petit intervalle entre sa surface et le bord de la gouttière. L'ensemble de la gouttière et de la languette forme ce qu'on appelle l'anche. Cette anche ne ferme pas complétement le trou cylindrique pratiqué au noyau ; l'espace restant est rempli par un coin de bois qui sert en même temps à assujettir l'anche. Dans la boîte est engagé le corps du tuyau qui est habituellement conique.



3762.

Le vent arrive dans le tuyau par le pied, passe entre la gouttière et la languette et met celle-ci en vibration. Pour régler le ton de l'anche on se sert d'un fil de fer recourbé en crochet qui passe à travers le noyau ; l'extrémité inférieure du fil presse la languette et l'appuie sur la gouttière ; ce fil prend le nom de rasette. On peut donc, en enfonçant plus ou moins la rasette, modifier la longueur de la partie libre de la languette de manière à obtenir un ton plus ou moins élevé.

Dans les tuyaux à anche libre la disposition est analogue, sauf que la languette pénètre librement dans l'ouverture de la gouttière au lieu de venir s'appliquer contre les bords de cette ouverture.

Les jeux à anche libre se distinguent des jeux à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

anche battante par le caractère de leur timbre qui a plus de douceur, mais qui manque de mordant et d'éclat. On remarque que dans les jeux à anche battante le pied est sans influence sur le ton de l'anche, tandis que le corps influence ce ton et peut même, s'il est mal proportionné, empêcher l'anche de parler. Dans les tuyaux à anche libre, au contraire, le corps modifie seulement le timbre de l'anche, tandis que le pied doit présenter des dimensions en rapport avec le ton de l'anche.

Il y a plusieurs sortes de jeux d'anches battantes et libres.

Parmi les jeux d'anches battantes nous avons :

La lombarde, jeu de 32 pieds et de 16 pieds ;

La trompette, jeu de 8 pieds ;

Le clairon, jeu de seize pieds.

Dans ces trois jeux les corps sont coniques.

Le cromome est un jeu de 8 pieds dont les corps sont cylindriques ; il a un timbre plus doux que celui de la trompette et dans quelques parties de son étendue rappelle la clarinette.

Le hautbois est un jeu dont les corps ont la forme d'un cône étroit, terminé par un pavillon évasé d'abord et qui se rétrécit ensuite ; il imite plus ou moins parfaitement l'instrument dont il porte le nom.

Le basson est analogue par la forme de son corps à la trompette, il en diffère par l'anche qui bat ordinairement sur une gouttière garnie de peau ; quelquefois aussi cette gouttière est fermée par une paroi dans laquelle est percée une ouverture arrondie par le bout inférieur et terminée en pointe par le haut.

La voix humaine est un jeu à languettes minces et étroites dont tous les pieds ont même dimension et dont le corps est formé d'un cône d'environ 5 centimètres terminé par un bout de cylindre de même longueur. L'ouverture supérieure de ce cylindre est fermée par une lame circulaire de métal soudée sur une partie de son contour et relevée plus ou moins, de façon à laisser échapper le son en en modifiant le timbre.

Les jeux d'anches libres sont peu nombreux. Les plus employés sont le cor anglais et l'euphone. Le premier de ces jeux est construit à peu près dans la forme du hautbois ; il présente des corps formés d'un cône étroit suivi d'un cône plus évasé, terminé par un tronc de cône qui va en se rétrécissant. Le deuxième jeu est monté dans des pieds dont la hauteur croît avec la gravité de son, et le corps est formé d'un cône très-court coiffé d'une espèce de calotte sphérique et percé d'une ouverture latérale pour laisser échapper le son.

§ II. Soufflerie.

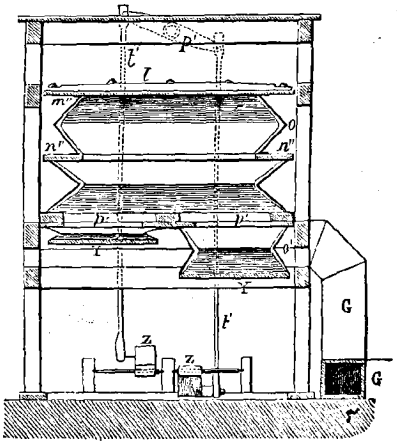
La soufflerie est une des parties les plus importantes de l'orgue, et elle doit être traitée avec un soin particulier ; elle est pour l'orgue ce que sont les poumons pour le chanteur. Un orgue dont la soufflerie est insuffisante sous le rapport du volume et de la pression manque de force et d'haleine et paralyse l'inspiration de l'organiste ; tandis que le même instrument, avec les mêmes jeux, mais avec une soufflerie vaste et puissante, peut produire les plus beaux effets de sonorité sans perdre de son charme dans les nuances délicates.

Dans les anciens instruments, la soufflerie se composait d'une série de soufflets semblables aux soufflets de forge, c'est-à-dire en forme de coin. Chacun de ces soufflets avait sa table inférieure fixée sur un châssis à peu de distance sur le sol, et la table supérieure pouvait se relever au moyen d'une bascule sur laquelle le souffleur appuyait. Cette opération développait les plis du soufflet qui se remplissait en aspirant l'air par des trous pratiqués à la table inférieure. Ces trous étaient bouchés par des lames de peau collées seulement par un bord et qui jouaient le rôle de soupapes, s'ouvrant de l'extérieur à l'intérieur. La table supérieure était chargée de poids, et la pression exercée par cette table et par les plis sur l'air du soufflet le chassait dans des conduits ou porte-vent destinés à mener le vent jusqu'aux tuyaux. Pour empêcher qu'il ne se produisît dans ce conduit un effet d'aspiration chaque fois que l'on soulevait le soufflet, on avait soin de placer, au point de jonction du soufflet et du porte-vent, une soupape s'ouvrant de l'intérieur du soufflet vers l'extérieur. Cette soupape était disposée à l'intérieur d'un conduit étroit, débouchant dans le soufflet et auquel on donnait le nom de gosier.

Cette disposition de soufflerie avait de graves inconvénients. D'abord la soufflerie occupait une place considérable ; secondement le système mécanique adopté pour relever les soufflets constituait un très-mauvais emploi du travail de l'homme, et le souffleur se fatiguait doublement, obligé qu'il était de se courber à chaque instant jusqu'à terre pour abaisser chaque bascule, et de courir de soufflet en soufflet pour ne jamais laisser l'organiste manquer de vent.

Enfin il était presque impossible, avec ces soufflerie, d'obtenir une pression constante. Nous n'insisterons donc pas davantage sur ce système qui est complétement abandonné aujourd'hui.

Les soufflerie modernes sont basées sur un système dont l'inventeur est un horloger anglais nommé Cummins. Elles ont été importées en France par M. John Albey ; elles se composent d'un réservoir ou soufflet quadrangulaire en forme de lanterne dans lequel le vent s'accumule, et d'un ou deux soufflets cunéiformes placés en dessus et jouant le rôle des pompes. Ces pompes aspirent l'air extérieur et le refoulent dans le réservoir, d'où il s'écoule dans les porte-vent. (Cette disposition est représentée dans la figure 3763.)



3703.

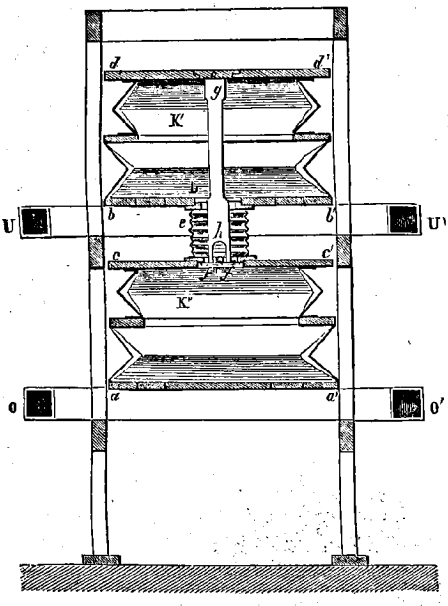
Si on se contentait de former le réservoir d'une table supportée par des plis, la pression ne pourrait pas être constante ; en effet, le poids du pli s'ajouterait au poids de la table au fur et à mesure qu'ils se déploieraient, et la pression irait en croissant.

Pour éviter cet inconvénient, on dispose la soufflerie de la manière suivante : on la forme de deux tables et d'un cadre intermédiaire réunis par deux plis. La table inférieure est fixe. Le cadre et la table supérieure sont mobiles. Le pli compris dans l'un des intervalles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est saillant, l'autre est rentrant comme l'indique la figure 3764.

Du reste, ces deux plis ont la même dimension. On réunit les deux tables par un système de parallélogrammes articulés qui ont pour effet de faire soulever la table et le châssis intermédiaire à la fois, de façon que les deux plis soient toujours ouverts sous le même angle. De cette manière, dès que le réservoir est tant soit peu ouvert, le poids tout entier de la table mobile, du châssis et des plis, exerce sa pression sur l'air intérieur; quant à la disposition du pli, elle a pour effet de neutraliser l'influence que l'ouverture des plis peut exercer sur la charge du soufflet. En effet, si la pression de l'air intérieur tend à fermer l'un des plis, elle tend aussi à ouvrir l'autre, et ces deux efforts égaux se compensent de telle sorte qu'il y a toujours, à quelque hauteur que soit le soufflet, la même relation entre le poids des pièces qui le constituent et la pression de l'air intérieur (fig. 3764).



3764.

Les pompes situées en dessous du soufflet ont leur table inférieure mobile. Elle est percée de plusieurs rangées de trous recouverts intérieurement par des lames rectangulaires de peau collées par un de leurs bords. Ces lames font l'office de soupapes et s'ouvrent vers l'intérieur. La table dormante du réservoir est percée de la même manière et présente un système de soupapes tout à fait semblable. Enfin cette table est elle-même percée d'une ou plusieurs ouvertures communiquant avec le porte-vent.

On emploie, pour faire mouvoir les pompes, un levier qui tourne autour d'un de ses points; de part et d'autre du centre de rotation de ce levier sont attachées des tiges articulées qui soutiennent les pompes, de telle sorte qu'en communiquant à ce levier un mouvement de bascule on peut soulever l'une des pompes, tandis qu'on abaisse l'autre. Ce mouvement alternatif est donné au levier à l'aide d'un de ses bouts que l'on prolonge suffisamment pour que l'effort à exercer ne dépasse pas la force moyenne de l'homme. Mais la meilleure manière de faire mouvoir les pompes est d'employer, comme l'a fait M. Cavaillé, de larges pédales reliées entre elles par de longues tiges verticales articulées aux deux bouts d'un levier horizontal mobile autour de son milieu. De cette manière le souffleur prend ces tiges dans les mains, et, posant ses pieds sur les pédales, les abaisse alternativement en pesant à tour de rôle sur l'une et sur l'autre de tout le poids de son corps. Dans ce système le travail musculaire de l'homme est utilisé de la façon la plus avantageuse. Dans tous les soufflets on fixe à la table inférieure une soupape de décharge fermée par la pression d'un ressort; à cette soupape est attachée une corde fixée par son autre bout à la table supérieure; dès que cette table atteint une certaine hauteur, la soupape est soulevée et l'excès d'air s'écoule.

Soufflerie à diverses pressions. — La pression sous laquelle parlent les divers tuyaux d'un jeu influe considérablement sur la qualité de leur son; l'expérience prouve que les tuyaux graves exigent une grande quantité d'air s'écoulant sous une faible pression; les tuyaux aigus, au contraire, ne parlent bien que sous un vent à forte pression. Cette considération avait échappé aux anciens facteurs d'orgues; on avait bien, dans quelques instruments, employé une pression plus forte pour certains jeux; mais la pression était toujours la même dans l'étendue d'un même jeu, ou du moins elle n'était modifiée que par le plus ou moins d'ouverture donné aux pieds des tuyaux. Aussi existait-il dans les anciennes orgues une disproportion marquée entre la puissance de basses et celle de dessus; c'était principalement dans les jeux d'anches que cette inégalité se manifestait, et on y remédiait d'une façon imparfaite en ajoutant des dessus de trompettes et des cornets, jeux dont l'étendue était bornée à la moitié supérieure du clavier.

M. Cavaillé Coll a remédié le premier à cet inconvénient en employant jusqu'à trois pressions différentes pour les diverses parties d'un même jeu.

Pour obtenir des pressions différentes il place l'un au-dessus de l'autre deux réservoirs semblables (*kk'* fig 5), ces réservoirs communiquent par un gosier flexible *e* fermé de plis superposés; ces réservoirs ont leurs tables supérieures *cc' dd'* inégalement chargées, c'est la table *cc'* qui porte la plus forte charge, une tige *g* est fixée à la table mobile du réservoir supérieur, elle est terminée par deux appendices qui peuvent presser les deux soupapes *ff* destinées à faire communiquer ces deux réservoirs.

Le vent des pompes arrive d'abord dans le réservoir inférieur qui est le plus chargé, la table de ce réservoir se soulève et va au-devant de la tige qui ouvre les soupapes, immédiatement une partie de l'air comprimé se précipite du premier réservoir dans le second et s'y détend sous une pression moindre; la table *dd'* se soulève alors, et au fur et à mesure que les pompes fonctionnent, les deux réservoirs se remplissent d'air aux pressions réglées par la charge des tables; cet air se dépense par les porte-vent *nn', oo'*, et si la dépense de l'un des réservoirs l'emporte sur celle de l'autre, l'action des pompes jointe au système de la tige et ses soupapes rétablit l'équilibre.

§ III. SOMMIERS.

On donne le nom de sommiers à la partie de l'orgue qui supporte les tuyaux et qui a pour fonction de leur distribuer le vent.

Chaque sommier se compose d'un châssis divisé transversalement par une série de tringles de même épaisseur, que l'on appelle les barres. L'intervalle compris entre deux barres consécutives prend le nom de *gravure*. L'assemblage de ces diverses parties doit être fait avec le plus grand soin. Cet ensemble forme ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on appelle la grille du sommier ; elle doit contenir autant de gravures qu'il y a de notes au clavier correspondant.

Sur la grille on colle un panneau d'environ un centimètre d'épaisseur, c'est ce qu'on appelle la table. Il est indispensable que cette table joigne par tous les points avec les châssis et les barres ; car chaque gravure doit former plus tard un conduit parfaitement étanche. On a même soin de rendre la jonction plus parfaite en remplissant les gravures de colle bien chaude que l'on égoutte ensuite, de façon à laisser sur toute la surface un enduit imperméable.

Sur la table on fixe avec des vis et de la colle les *faux registres* ou *registres dormants*, ce sont des lames de bois d'environ 7 millimètres d'épaisseur sur 27 millimètres de largeur ; elles sont fixées dans une direction perpendiculaire à la longueur des gravures et séparées les unes des autres par un intervalle plus ou moins grand. Cet intervalle est rempli par d'autres lames de bois mobiles que l'on appelle *les registres*. Les registres doivent remplir exactement l'intervalle des faux registres et joindre parfaitement avec la table ; de plus, ils doivent avoir la même épaisseur que les faux registres. Sur les registres et les faux registres sont appliquées les *chapes*. Ce sont des planches d'environ 2 centimètres et demi d'épaisseur, qui couvrent entièrement chaque registre, et débordent de chaque côté de façon à recouvrir la moitié de la largeur des faux registres placés de part et d'autre. Les chapes sont fixées sur les faux registres au moyen de vis dont la tête repose sur une rondelle de cuir ou de métal. Les chapes sont donc en nombre égal à celui des registres et sont placées bord à bord.

La table, le registre et la chape présentent des trous qui se correspondent exactement ; et ce sont les trous percés dans la chape qui laissent échapper le vent dans les tuyaux. Les registres, étant d'ailleurs mobiles entre certaines limites, servent à établir ou intercepter la communication entre la gravure et le tuyau.

Les trous des chapes sont fraisés extérieurement à l'aide d'un fer rouge et présentent ainsi un bord en pente sur lequel appuient les pieds des tuyaux ; ceux-ci sont soutenus au moyen d'une planche percée, que l'on appelle le *faux sommier*. Cette planche est portée par un certain nombre de piliers fixés dans le sommier, et dont la hauteur est d'environ 25 centimètres.

Les tuyaux qui composent un même jeu sont pris au-dessus du même registre. Pour faciliter le placement de ces tuyaux, les trous percés dans la même chape, au lieu d'être sur une même ligne droite, sont disposés sur deux rangées parallèles et les intervalles de l'une des rangées correspondent aux trous de l'autre.

Pour les jeux composés la disposition est un peu différente. Les tuyaux qui correspondent à une même note sont placés sur une même série de trous percés sur une même ligne perpendiculaire à la longueur de la chape. Ces trous ne pénètrent qu'à la moitié de la profondeur et sont reliés par un conduit horizontal foré dans l'épaisseur de la chape à un seul et unique conduit vertical qui vient aboutir au trou du registre.

Nous ne nous sommes occupé jusqu'à présent que de la partie supérieure du sommier ; passons à la partie inférieure. Pour maintenir l'écartement des barres on introduit entre elles de petits tasseaux courts en bois de fil qui sont collés et entaillés dans les barres. On leur donne le nom de *flipots*. Ces flipots sont disposés sur deux rangées au quart environ de la longueur des gravures ; ils ne pénètrent qu'à une petite profondeur dans celle-ci, afin de ne pas gêner la circulation du vent ; on a soin, après les avoir collés, de dresser parfaitement le dessous du sommier. Les gravures, depuis la première rangée de flipots jusqu'à l'extrémité opposée, sont fermées au moyen d'une peau ou d'un parchemin. Ce parchemin se prolonge jusqu'à la partie antérieure du sommier, seulement il est ouvert vis à vis des gravures dans l'intervalle compris entre la première rangée de flipots et le commencement de la gravure : on voit donc par là que chaque gravure présente à son entrée une ouverture rectangulaire. Sur chacune de ces ouvertures appuie une soupape qui peut la fermer hermétiquement. Cette soupape est formée d'une tringle triangulaire en bois de fil aussi sec que possible, chêne ou sapin. La face de la soupape qui appuie sur l'orifice de la gravure doit déborder tout autour d'environ un centimètre ; elle est garnie d'une bande de peau dont la partie lisse est collée sur le bois. Cette bande de peau se prolonge au delà de la soupape et est collée sur les flipots ; elle forme donc ainsi une sorte de charnière autour de laquelle la soupape peut pivoter. Toutes ces soupapes sont renfermées dans une boîte rectangulaire ajustée sur la partie antérieure du sommier. Lorsque le sommier est en place, cette boîte forme à la base du sommier un réservoir dont la face supérieure est formée par la partie antérieure de la grille du sommier, garnie de ses soupapes. On donne à cette boîte le nom de *laye*. Le panneau antérieur de la laye peut s'enlever pour visiter et réparer les soupapes.

La laye communique avec la soufflerie par un ou plusieurs porte-vent. Pour maintenir les soupapes fermées, on place sous chaque soupape un ressort en forme de pincette dont un des bouts légèrement recourbé pénètre à une faible profondeur dans la face inférieure de la laye, et dont l'autre bout pénètre de même dans l'arête inférieure de la soupape ; de plus, pour que la soupape dans ses mouvements ne puisse être déviée latéralement, on enfonce de part et d'autre, à peu de distance de son extrémité libre, deux pointes entre lesquelles elle peut monter et descendre librement ; ces pointes sont ce qu'on appelle les guides de la soupape.

Le mouvement des soupapes s'effectue au moyen de tiges accrochées aux soupapes elles-mêmes et qui traversent la face inférieure de la laye. Ces tiges sont mises en mouvement par les touches du clavier à l'aide d'un mécanisme particulier que nous décrirons bientôt.

Pour éviter que le vent ne puisse passer entre les tiges qui tirent les soupapes et la paroi de la laye, on adapte à chacune de ces tiges ce qu'on appelle une boursette.

La boursette n'est autre chose qu'un petit sac de peau sans couture dont le bord est collé sur le panneau inférieur de la laye. Ce petit sac est traversé par un fil de laiton qui est passé à travers deux morceaux d'osier, l'un placé au-dessus de la boursette, l'autre au-dessous ; ces deux morceaux d'osier sont fixés sur les deux faces de la boursette au moyen d'un peu de colle. Le fil de laiton est recourbé en anneau à ses deux bouts et arrêté ainsi contre l'osier. Des deux morceaux d'osier, celui qui est à l'intérieur de la laye est très-court ; l'autre, au contraire, est assez long pour traverser dans toute son épaisseur le panneau inférieur de la laye, et le trou à travers lequel il passe est d'ailleurs assez large pour qu'il puisse y jouer sans frottement. Les deux anneaux de fil de laiton sont attachés, l'un à la soupape au moyen d'un crochet en laiton, l'autre à la tige qui doit tirer la soupape.

Fonctionnement du sommier. — La description du sommier étant terminée, il est facile de se rendre compte de la manière dont il fonctionne. Supposons d'abord tous les registres fermés : si l'on vient à faire ouvrir les soupapes en promenant les mains sur le clavier, le vent se précipitera dans les gravures ; mais comme il n'a aucune issue, il ne fera parler aucun tuyau. Tirons maintenant un des registres de façon à établir la communication entre tous les tuyaux d'un même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jeu et les gravures correspondantes; dès que nous abaisserons une touche du clavier, la soupape correspondante s'ouvrira, et l'air, se précipitant dans la gravure, fera parler le tuyau qui correspond à la fois au jeu dont le registre est tiré et à la gravure dont la soupape est ouverte. Si plusieurs jeux ont leurs registres ouverts, les tuyaux de ces divers jeux qui sont situés sur la même gravure parleront à la fois dès qu'on abaissera la touche correspondante.

Tuyaux postés. — Les tuyaux les plus graves des divers jeux ont trop de diamètre pour qu'il soit possible de les poser sur les trous correspondants du sommier; ils auraient d'ailleurs l'inconvénient de le charger trop fortement et de le faire fléchir. On est donc obligé de les placer à distance sur un support spécial, et on les fait communiquer avec le trou correspondant par un conduit en alliage d'étain et de plomb d'une longueur plus ou moins grande. On dit alors que ces tuyaux, au lieu d'être sur leur vent, sont *postés*. Les pièces sur lesquelles on les pose sont des blocs de bois forés de trous qui contiennent le conduit destiné à joindre le tuyau au sommier; on donne à ces pièces le nom de *pièces gravées*.

Division des sommiers. — Dans les orgues de petite dimension, il n'y a ordinairement qu'un seul sommier; mais dans les grandes orgues, surtout dans celles qui renferment des jeux très-graves, il est nécessaire de donner aux gravures des basses une grande largeur; cette nécessité obligerait à donner au sommier une très-grande longueur. On préfère alors le diviser en plusieurs parties dans le sens de sa longueur. Ces sommiers sont donc placés sur le même alignement, et on laisse entre eux des passages qui permettent de visiter l'orgue et de le réparer au besoin.

On peut aussi profiter de cette disposition pour alimenter le sommier des basses et celui des dessus avec du vent à des pressions différentes; du reste, le même résultat peut être obtenu dans un sommier unique au moyen de cloisons transversales qui divisent la laye en plusieurs parties.

Altérations. — Dans les anciens sommiers, les gravures étaient longues et étroites; il en résultait que la pression de l'air à la sortie du sommier diminuait notablement à mesure que le nombre de registres ouverts était plus considérable; cet inconvénient se manifestait par une altération dans l'accord. M. Cavaillé a obvié à cet inconvénient en mettant une seconde rangée de soupapes et une seconde laye à la partie postérieure du sommier et en coupant les gravures en leur milieu par une cloison perpendiculaire à leur longueur. D'anciens sommiers ont pu ainsi être utilisés avec succès.

Cette disposition a encore un autre avantage. Supposons, en effet, que les deux layes occupent toute la largeur du sommier, de façon à ne former en quelque sorte qu'une même caisse placée sous toute l'étendue du sommier et divisée en deux parties par une cloison longitudinale. Supposons d'ailleurs que chacune des soupapes de la rangée antérieure soit reliée à la soupape correspondante de la rangée postérieure, de façon qu'il soit impossible de faire jouer l'une sans que l'autre fonctionne aussitôt. Si on introduit le vent seulement dans la laye antérieure, on aura beau mettre les mains sur le clavier après avoir tiré les registres de la région postérieure du sommier, les tuyaux des jeux correspondants ne parleront pas; mais si on vient à faire disparaître subitement la cloison qui sépare les deux layes, ou ce qui revient au même, à ouvrir de larges soupapes pratiquées dans cette cloison, les jeux de la partie postérieure du sommier dont les registres sont ouverts résonneront immédiatement, quel qu'en soit le nombre.

La figure 3769 représente la coupe d'un sommier construit d'après ce système. S et S' sont les soupapes antérieures et postérieures, C la cloison qui divise les gravures, et B est la soupape qui permet d'établir la communication entre les deux layes.

Houppements. — Les orgues anciennes ne se prêtent pas à l'exécution de toute espèce de musique. Ainsi quand on tient avec l'une des mains un accord sur le clavier, et qu'avec l'autre main on frappe à plusieurs reprises un autre accord, les chocs brusques produits dans le sommier par l'écoulement intermittent du vent détruisent la continuité du son dans le premier accord et déterminent dans le son une sorte de secousse que l'on pourrait comparer à un aboiement. Cet effet, on ne peut plus désagréable, est désigné sous le nom de *houppement*. Il se présente surtout dans les instruments où les gravures sont longues et étroites, où la soufflerie est jointe aux sommiers par des porte-vent étroits et d'une trop grande longueur.

Pour éviter cet inconvénient, le meilleur moyen est de fermer le dessous des layes avec une toile imperméable ou une feuille de caoutchouc non tendue, portant sur une partie de sa surface une planche contre laquelle appuient des ressorts. On forme ainsi une paroi flexible qui amortit toutes les secousses.

Réservoirs alimentaires. — Il est également utile, pour éviter les altérations et les houppements, de placer sous les sommiers eux-mêmes des réservoirs à air dans lesquels les sommiers puisent le vent qu'ils doivent consommer. On peut ainsi, en distribuant dans toute l'étendue de l'orgue des réservoirs alimentaires, diminuer le nombre d'hommes nécessaires à la manœuvre de la soufflerie. Car la mission du souffleur se réduit alors à empêcher que l'organiste manque de vent, et en ayant soin de remplir à l'avance tous les réservoirs alimentaires, le souffleur ne se trouve pas en défaut, même lorsque, par suite de l'emploi de certains effets de grande force, qui ne durent jamais longtemps, l'organiste dépense dans l'unité de temps plus de vent que n'en fournit le travail du souffleur, car l'air emmagasiné dans la soufflerie suffit à cet excès temporaire de dépense.

MÉCANISME.

Clavier. — Les claviers d'orgue ne diffèrent pas par leur apparence extérieure des claviers de piano, seulement ils sont moins étendus, et dans les orgues d'église on ne leur donne habituellement que 54 notes; ils commencent à l'*ut* et finissent au *fa* de la cinquième octave. Le nombre de ces claviers s'élève à cinq au plus dans les instruments les plus considérables. Ils sont disposés les uns au-dessus des autres en forme d'escalier, de façon que les touches de même nom se correspondent.

Dans les anciennes orgues, les touches étaient attachées vers le milieu de leur longueur à des vergettes en bois qui tiraient les soupapes, l'extrémité postérieure de la touche servait de pivot, de sorte qu'en pesant sur l'extrémité antérieure, on abaissait les soupapes; ces claviers prenaient le nom de claviers suspendus; on y a renoncé.

Tous les claviers dont on se sert aujourd'hui sont comme les claviers de piano, c'est-à-dire à bascule; les touches reposent par ces points intermédiaires sur un chevalet autour duquel elles peuvent basculer, de façon à prendre un certain degré d'enfoncement. Le point autour duquel la touche pivote n'est pas situé tout à fait à la moitié de sa longueur, la partie antérieure est ordinairement un peu plus longue.

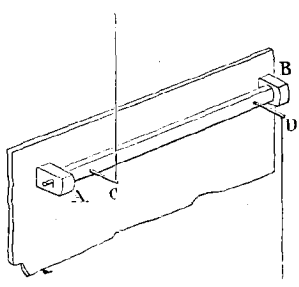
Transmission du mouvement du clavier aux sommiers.

La transmission du mouvement de chaque touche à la soupape correspondante ne peut pas s'effectuer par un lien direct; en effet, la largeur des sommiers est beaucoup plus grande que celle des claviers, secondement

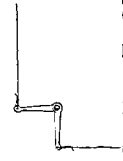
EFERUS - Recherche & Classification numérique

les notes ne sont point distribuées sur les sommiers dans le même ordre que sur le clavier. Afin de donner aux tuyaux de l'orgue une disposition symétrique, on les place successivement d'après leur numéro d'ordre, à droite et à gauche de la ligne médiane de l'orgue, en mettant les plus courts au centre et les plus longs sur les côtés. En troisième lieu, la disposition de la charpente de l'orgue, variable avec les exigences architectoniques du buffet, oblige à contourner divers obstacles pour relier les touches du clavier aux crochets des soupapes. On est donc réduit à résoudre le problème de mécanique suivant : étant donnée une tige verticale à placer en un point quelconque, transmettre le mouvement de cette tige à une autre tige *b* placée en un autre point quelconque, cette transmission s'effectue à l'aide de deux mécanismes très-simples, les *équerres* et les *rouleaux d'abrégés*. Le mécanisme des équerres est des plus simples; c'est celui qui est employé dans les appartements sous le nom de renvoi de sonnette; il est représenté fig. 3765. Il permet de convertir un mouvement de traction vertical en mouvement horizontal, et réciproquement.

Le mécanisme des abrégés a pour effet de transporter la ligne de traction parallèlement à elle-même et à une certaine distance; il est représenté en perspective (fig. 3766); il se compose d'un rouleau cylindrique AB portant deux palettes parallèles C et D implantées sur une même arête; chacune de ces palettes est en relation avec une tringle, de sorte que le mouvement de traction exercé sur la première palette est reproduit identiquement par l'autre comme si la traction s'exerçait directement sur elle, pourvu que le rouleau ne subisse pas de torsion.



3766.



3765.

Les abrégés peuvent être employés à transmettre le mouvement dans le sens vertical ou même dans le sens horizontal. Les palettes d'abrégés et les équerres sont reliées entre elles et au clavier par de minces lames de sapin de fil terminées par des crochets en laiton; on donne à ces lames le nom de vergettes.

Dans certaines orgues les claviers sont disposés en vant de l'orgue sur un meuble en forme de console, et l'organiste tourne le dos à l'instrument. Dans ce cas la transmission du mouvement se fait de la manière suivante : quand on abaisse la touche, l'extrémité opposée au doigt se soulève, et tire une vergette verticale. Celle-ci, au moyen d'une équerre, tire une vergette horizontale située sous le plancher. Cette deuxième vergette agit sur une équerre qui tire de haut en bas une troisième vergette attachée à une palette d'abrégé. Celle-ci fait tourner le rouleau correspondant et transmet le mouvement à la deuxième palette placée sur la même verticale que la soupape.

Quand le clavier est tourné en sens contraire et appliqué contre l'orgue, les vergettes ne peuvent agir que par la traction; il faut nécessairement convertir le mouvement d'ascension de l'extrémité de la touche en mouvement inverse à l'aide d'un levier intermédiaire; on y parvient en plaçant ce levier au-dessus du clavier et reliant l'extrémité de la touche à celle du clavier par une tige intermédiaire tout à fait inflexible que l'on appelle un pilote.

Cette disposition est représentée dans la fig. 3769.

Nous ferons remarquer que dans ce système de transmission on s'arrange toujours de façon à ce que la longueur totale de l'ensemble des vergettes qui rattachent une touche à la soupape correspondante soit la même pour toutes les touches d'un même clavier, malgré la différence de parcours. C'est grâce à l'emploi des abrégés que l'on peut résoudre ce problème. Si cette condition n'était pas satisfaite, les changements de longueur qui se manifestent dans les transmissions par suite de changements dans la température et l'humidité de l'air auraient une action inégale sur les diverses touches du clavier et il en résulterait, dans les diverses parties du clavier, des inégalités de niveau qui gêneraient singulièrement l'organiste dans son exécution.

Mécanisme des registres. — La nécessité de varier les effets de l'orgue, autant que le permettent les ressources de l'instrument, oblige les organistes à avoir sous la main le moyen de tirer ou repousser à volonté les différents registres de l'orgue, de façon à utiliser les différents jeux ou les réduire au silence suivant les besoins de l'exécution. Ce résultat s'obtient de la manière suivante :

A proximité du clavier sont placées des tiges horizontales terminées par des boutons portant l'indication des jeux correspondants; ces tiges prennent le nom de tirants; chacune d'elles agit par traction directe sur une palette fixée perpendiculairement à une tige verticale tournante qu'on appelle pilote tournant. Ce pilote joue exactement le même rôle que le rouleau d'abrégé; il porte une deuxième palette qui met en mouvement une tringle, et celle-ci, par l'intermédiaire d'équerres, de tringles, et d'autres pilotes tournants, agit sur le registre.

Ce mécanisme rappelle celui qui transmet le mouvement de la touche à la soupape; seulement, au lieu d'exercer son action dans une direction verticale, il agit dans le sens horizontal. De plus, il doit fonctionner dans les deux sens, c'est-à-dire par traction et par pression. Aussi emploie-t-il, au lieu de vergettes, des tringles rigides; il est construit assez solidement pour résister aux mouvements brusques qu'il doit subir. Enfin les leviers qui le constituent doivent être calculés de façon à rendre la course du bouton de registre beaucoup plus étendue que celle du registre lui-même, afin de diminuer la résistance que ce mécanisme offrirait à l'organiste, surtout quand les registres ont été gonflés par l'humidité.

Dans le cas où le clavier est en console, on attache les tirants de registres à des leviers verticaux en fer que l'on désigne sous le nom de *balanciers;* ces leviers transmettent l'action des tirants à des tringles horizontales placées sur le plancher, et celles-ci agissent à leur tour sur le reste du mécanisme placé dans l'orgue.

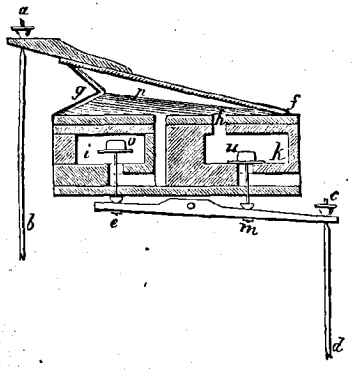
Machine Barker. — Les claviers d'orgue offrent ordinairement au toucher une résistance d'autant plus forte que l'instrument a plus d'importance; en effet, l'effort que l'on doit exercer pour enfoncer chaque touche du clavier doit être proportionné à la résistance de la soupape, résistance d'autant plus grande

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que la soupape a plus de surface et que l'air contenu dans le sommier est à une plus forte pression. L'effort à exercer croît encore lorsqu'on vient à réunir les claviers au moyen du mécanisme connu sous le nom d'accouplement, et dont l'effet est de mettre tous les claviers dans la dépendance d'un seul, de manière qu'en en touchant un, on les fasse fonctionner tous à la fois.

Indépendamment de l'incommodité résultant de la dureté des claviers, cet inconvénient a pour effet de limiter la puissance de l'orgue.

Aujourd'hui cette difficulté n'existe plus grâce à un mécanisme ingénieux dû à M. Barker, et dont l'application a été faite pour la première fois par M. Cavaillé-Coll dans le grand orgue de Saint-Denis. Ce mécanisme est représenté dans la fig. 3767 avec la disposition adoptée par M. Cavaillé pour l'orgue de l'église Saint-Vincent de Paul à Paris. *i* et *k* sont deux layes communiquant au moyen de deux conduits *p* et *h* avec un petit



3767.

soufflet *gf*; au-dessous de cette double laye est placé un levier *lmc*, auquel sont attachées en *l* et *m* deux soupapes *o* et *u*. L'une d'elles sert à fermer au besoin l'orifice par lequel le conduit *p* débouche dans la laye *i*; l'autre sert à fermer un conduit de décharge *e*, qui met la laye *k* en communication avec l'air intérieur. La laye *i* est en communication permanente avec la soufflerie; la tige *cd* est en relation avec une des touches du clavier, la tige *ab* avec une des soupapes du sommier. Dans l'état de repos, l'extrémité *e* du levier est relevée, la soupape *u* est ouverte, la soupape *o* fermée et le soufflet fermé également par son poids et l'action du ressort adapté à la soupape du sommier.

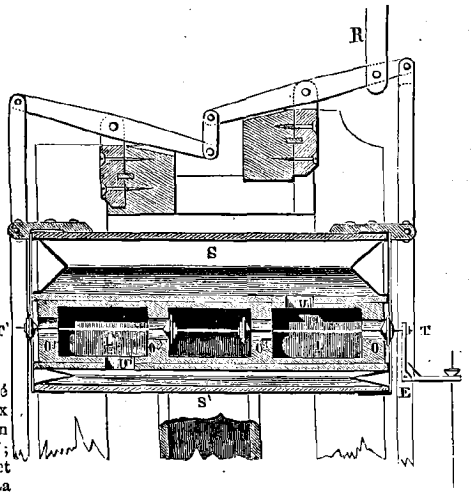
Dès qu'on abaisse la touche du clavier qui tire la tige *cd*, la soupape *u* se ferme, la soupape *o* s'ouvre, l'air pénètre dans le soufflet, le gonfle instantanément, et la table supérieure *fa* du soufflet tire, en se relevant, la tige *ab*. On n'a donc à vaincre, pour mettre en jeu ce mécanisme, que la pression exercée par l'air de la soufflerie sur la petite soupape *o*, et dès que celle-ci est ouverte, l'effort transmis à la soupape du sommier est donné par la pression que l'air comprimé exerce sur la surface du soufflet, c'est-à-dire qu'à l'aide d'une très-faible résistance vaincue on met en jeu un mécanisme dont la pression n'est limitée que par l'étendue du soufflet *af* et la puissance de la soufflerie alimentaire. Dès qu'on vient à abandonner la touche les soupapes reviennent à leur position primitive sous l'action d'un ressort adapté au levier *lc*; l'air comprimé du soufflet s'échappe par le canal de décharge *e* et le soufflet

retombe. Chaque touche du clavier fait fonctionner un appareil semblable au précédent.

Pour diminuer autant que possible l'espace occupé par ce mécanisme on divise les 54 soufflets en un certain nombre de rangées, six, par exemple, que l'on place les unes au-dessus des autres; seulement on a soin de disposer les soufflets qui forment les diverses rangées de façon que les tiges telles que *cd* et *ab* soient groupées à côté les unes des autres dans une étendue qui ne dépasse pas la largeur du clavier.

Le mécanisme Barker a, comme on le voit, pour résultat final d'emprunter à la soufflerie le travail mécanique nécessaire pour faire fonctionner les soupapes de sommiers, et l'organiste ne doit plus fournir que la force nécessaire pour mettre en jeu la détente du moteur. De cette manière on reporte sur le souffleur, dont la fonction est essentiellement automatique et inintelligente, une partie notable du travail mécanique qui incombait autrefois à l'artiste.

Moteur pneumatique. Dans la restauration complète de l'orgue de Saint-Sulpice qui s'achève en ce moment, M. Cavaillé-Coll a voulu encore soulager l'organiste



3768.

de la majeure partie du travail mécanique qui était absorbé dans le mouvement des registres (fig. 3768). A cet effet, il a appliqué à leur manœuvre des moteurs à air comprimé analogues à la machine Barker. Ces moteurs en diffèrent cependant en ce qu'ils doivent fonctionner dans un sens ou dans l'autre; la fig. 3768 en représente la disposition. S et S' sont deux soufflets reliés par des tringles verticales. Leurs mouvements sont solidaires et l'un des deux s'ouvre quand l'autre se ferme, et réciproquement. Entre ces deux soufflets sont deux layes L et L', traversées dans le sens horizontal par une même tringle T T' portant quatre soupapes. Chaque laye présente une ouverture, o, o', qui correspond avec l'air extérieur; et une ouverture, U, U', communiquant avec un porte-vent. Quand la tige TT' est poussée de T' vers T, l'air pénètre dans la laye L' et par l'ouverture U' dans le soufflet S' et le soulève; le soufflet S communique avec l'air extérieur par l'ouverture U', la laye L et l'ouverture O. Si on vient à faire passer la tige de la position extérieure vers T à la position antérieure vers T', les ouvertures O et O''' se ferment, les ouvertures O' et O'' s'ouvrent, l'air échappe du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soufflet S' et pénètre dans le soufflet S ; le système des deux soufflets s'élève immédiatement. Ce mouvement suffit d'agir sur l'équerre E au moyen d'un système de renvoi de mouvement commandé par le bouton de registre. Il est évident que l'effort nécessaire est infiniment plus faible que celui qu'on devrait exercer pour tirer directement le registre.

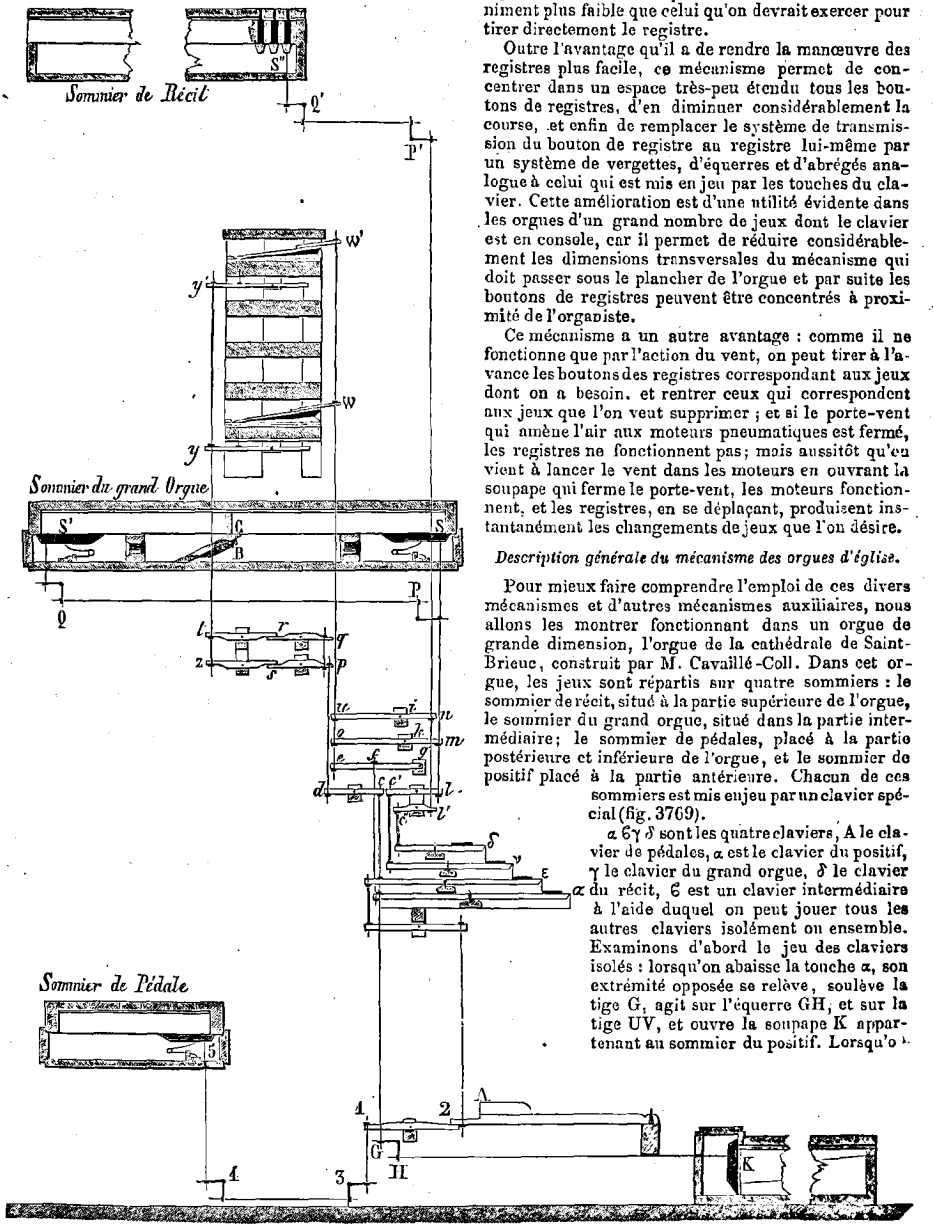
Outre l'avantage qu'il a de rendre la manœuvre des registres plus facile, ce mécanisme permet de concentrer dans un espace très-peu étendu tous les boutons de registres, d'en diminuer considérablement la course, et enfin de remplacer le système de transmission du bouton de registre au registre lui-même par un système de vergettes, d'équerres et d'abrégés analogue à celui qui est mis en jeu par les touches du clavier. Cette amélioration est d'une utilité évidente dans les orgues d'un grand nombre de jeux dont le clavier est en console, car il permet de réduire considérablement les dimensions transversales du mécanisme qui doit passer sous le plancher de l'orgue et par suite les boutons de registres peuvent être concentrés à proximité de l'organiste.

Ce mécanisme a un autre avantage : comme il ne fonctionne que par l'action du vent, on peut tirer à l'avance les boutons des registres correspondant aux jeux dont on a besoin, et rentrer ceux qui correspondent aux jeux que l'on veut supprimer ; et si le porte-vent qui amène l'air aux moteurs pneumatiques est fermé, les registres ne fonctionnent pas ; mais aussitôt qu'on vient à lancer le vent dans les moteurs en ouvrant la soupape qui ferme le porte-vent, les moteurs fonctionnent, et les registres, en se déplaçant, produisent instantanément les changements de jeux que l'on désire.

Description générale du mécanisme des orgues d'église.

Pour mieux faire comprendre l'emploi de ces divers mécanismes et d'autres mécanismes auxiliaires, nous allons les montrer fonctionnant dans un orgue de grande dimension, l'orgue de la cathédrale de Saint-Brieuc, construit par M. Cavaillé-Coll. Dans cet orgue, les jeux sont répartis sur quatre sommiers : le sommier de récit, situé à la partie supérieure de l'orgue, le sommier du grand orgue, situé dans la partie intermédiaire ; le sommier de pédales, placé à la partie postérieure et inférieure de l'orgue, et le sommier de positif placé à la partie antérieure. Chacun de ces sommiers est mis en jeu par un clavier spécial (fig. 3769).

α β γ δ sont les quatre claviers, A le clavier de pédales, α est le clavier du positif, γ le clavier du grand orgue, δ le clavier du récit, ε est un clavier intermédiaire à l'aide duquel on peut jouer tous les autres claviers isolément ou ensemble. Examinons d'abord le jeu des claviers isolés : lorsqu'on abaisse la touche α, son extrémité opposée se relève, soulève la tige G, agit sur l'équerre GH, et sur la tige UV, et ouvre la soupape K appartenant au sommier du positif. Lorsqu'on



3769.

de bas en haut ou de haut en bas se communique à la tringle R, qui sert à tirer ou pousser le registre.

On voit donc que pour manœuvrer cet appareil il abaisse la touche γ, son extrémité opposée pousse un pilote qui agit sur le point c', fait basculer le levier c' l, abaisse le point l, et tire à l'aide de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vergette *ls* la soupape *s* placée dans le sommier du grand orgue; la même vergette, par l'intermédiaire des deux équerres et de la vergette horizontale PQ tire la soupape S' placée dans la deuxième laye du grand orgue. La touche *δ* appartenant au clavier du récit agit par son extrémité sur un pilote qui fait basculer le levier *c''f* qui tire sur la vergette attachée à l'équerre P', laquelle, par l'intermédiaire de la deuxième équerre Q' tire la soupape S'' appartenant au récit.

Le clavier de pédales A agit sur le levier 1 2, sur les équerres 3 et 4 et de là sur la soupape 5 placée dans le sommier de pédale.

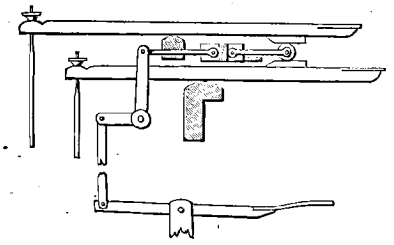
Le clavier 6 agit sur le moteur Barker par la tringle verticale *c*, le levier CD, la tringle *pd*, les leviers *ps* et *sr* et la tringle *xy*; dès que la touche 6 est abaissée l'air entre dans le soufflet *w* qui tire la tringle verticale *vc*. Cette tringle traverse trois leviers *un*, *om*, *eg*; elle porte trois écrous placés au-dessous de chacun des leviers; dès que la tringle est tirée de bas en haut, elle agit donc sur chacun de ces leviers, et chacun d'eux, par son extrémité opposée, fait mouvoir la tige qui transmet l'action d'un des claviers au sommier correspondant. Ainsi l'extrémité *n* du levier *un* tire la soupape du récit, l'extrémité *m* du levier *om* tire la soupape du grand orgue, et dans le levier *gf* le point *f* en s'inclinant tire la touche *α* et par suite la tringle G qui agit sur le sommier du positif. Pour que chacun de ces leviers fonctionne il faut, de toute nécessité, qu'il y ait contact entre le levier et l'écrou correspondant. On peut donc empêcher chaque levier d'avoir son action en soulevant les pièces I et K qui portent le centre de rotation des deux premiers leviers, et en abaissant la pièce *g* qui porte celui du troisième. Tel est en effet l'état habituel de ces leviers. Dans cette situation les écrous peuvent jouer au-dessous des extrémités *u* et *o* des leviers sans les toucher.

Quant à l'écrou *e*, il fait jouer le levier *efg*; mais le centre *g* du levier étant abaissé, la tige *f* tombe librement à travers l'extrémité de la touche *α*, et l'écrou qui termine cette tige manœuvre au-dessous de la touche sans la faire mouvoir.

Chacune des pièces *ikg* peut être mise en mouvement au moyen d'une pédale spéciale, qui accouple ainsi chacun des claviers avec le clavier intermédiaire 6.

Nous n'avons décrit que le mécanisme correspondant à l'une des touches de chaque clavier; mais il est bien évident que ce même mécanisme se reproduit pour chaque touche et qu'il y a, par exemple, au lieu d'un seul levier en *un*, 54 leviers placés côte à côte et tournant autour d'un même axe soutenu par une même tringle horizontale dont *i* représente la section.

Accouplement d'octaves. — Le système de levier *qrt* est destiné à produire l'accouplement d'octaves, c'est-à-dire à mettre chaque touche du clavier 6 en relation



3770.

avec l'octave grave de cette même touche. En effet, le levier *rq*, quoiqu'il paraisse dans le plan de la figure, est disposé obliquement dans un plan horizontal; l'extrémité *r* correspondant à une certaine touche, l'extrémité *q* atteint la tige qui est commandée par l'octave de cette même touche. L'axe de rotation des leviers tels que *rq* est mobile à l'aide d'une pédale, et on peut, en abaissant cette pédale, déplacer ce centre de façon à mettre tous les leviers en prise.

Accouplement de claviers dans les petites orgues. — Cet accouplement se fait, comme le montre la figure 3770 ci-jointe, au moyen de galets qu'une pédale fait engager entre les touches correspondantes des deux claviers superposés.

DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'ORGUE.

Buffet. — L'orgue est ordinairement renfermé dans un meuble en menuiserie qui prend parfois les proportions d'un véritable édifice, et qu'on appelle le *buffet*. Dans les orgues de petites dimensions le buffet est une simple enveloppe destinée à protéger et cacher le mécanisme de l'instrument sous un vêtement dont l'ornementation est en rapport avec l'architecture du lieu auquel l'orgue est destiné. Dans les grandes orgues, au contraire, le buffet prend un aspect monumental, et les tuyaux mêlés aux bois sculptés donnent à la décoration un caractère à la fois grandiose et harmonieux qui convient à un instrument dont la sonorité majestueuse doit ajouter à la pompe des cérémonies du culte.

Seulement il arrive fréquemment que les architectes, préoccupés avant tout de l'effet artistique du buffet, ne s'astreignent pas aux conditions qui peuvent assurer l'effet acoustique de l'instrument et faciliter l'installation de son mécanisme. Souvent le buffet est placé trop haut et l'orgue, resserré dans une chambre de prière placée au-dessus du porche de l'église, n'a pas autour de lui l'espace nécessaire pour laisser échapper sans obstacle les ondes sonores dont il est le centre. Souvent aussi la face antérieure de l'orgue obstruée par de lourdes frises, d'épais entablements, ou des statues accumulées devant la façade, empêche la libre sortie des sons. Souvent encore les tuyaux qui ornent la partie antérieure du buffet, ou *tuyaux de montre*, au lieu de présenter une grande variété dans leurs longueurs et leurs diamètres, sont tous d'une dimension à peu près uniforme, ce qui oblige à en laisser en pure perte un certain nombre à l'état de tuyaux muets, ou bien à détruire l'égalité de certains jeux en introduisant parmi les tuyaux qui les composent un certain nombre de tuyaux de mauvaise proportion.

Voici quelle est ordinairement la disposition du buffet des grandes orgues et comment les diverses parties du mécanisme sont installées à l'intérieur. La façade du buffet est divisée généralement en un certain nombre de parties appelées plates faces où les tuyaux de montre sont simplement juxtaposés; entre les plates faces sont les tunelles composées de tuyaux disposés en faisceaux sur une base semi-circulaire ou triangulaire. Le buffet est ordinairement composé de deux parties: le grand buffet, qui contient les sommiers du grand orgue, du récit de la pédale; et un buffet plus petit suspendu sur un encorbellement en avant de la tribune de l'orgue. Ce buffet est le buffet de positif; il renferme un sommier dont les jeux correspondent au clavier inférieur de l'orgue ou clavier de positif. Dans les orgues ainsi disposées, les claviers sont appliqués contre la face inférieure du grand buffet, et l'organiste pour les toucher est obligé de tourner le dos à l'autel. Le buffet de positif sert donc à masquer l'organiste.

Dans beaucoup d'orgues modernes le buffet de positif est supprimé; les jeux correspondants sont répartis à l'extérieur de l'orgue; ce clavier est alors placé sur une console et l'organiste fait face à l'autel. Quelquefois aussi le clavier est placé sur l'un des côtés de l'orgue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les sommiers sont répartis dans le buffet du grand orgue à diverses hauteurs; au centre sont les sommiers du grand orgue; à droite et à gauche les sommiers de pédales; au-dessus et dans la partie centrale de l'orgue les sommiers du récit. Ce dernier est enfermé dans une boîte en bois présentant à sa partie antérieure une jalousie à lames mobiles, qui peut s'ouvrir ou se fermer à l'aide d'une pédale placée à la disposition de l'organiste. Lorsque la jalousie est fermée, le son des jeux du récit est considérablement affaibli, et son intensité augmente à mesure que la jalousie est plus largement ouverte; c'est ce qui permet de produire dans les orgues modernes des effets de crescendo et de decrescendo qui constituent l'expression. LISSAJOUS.

ORPIMENT. L'orpiment, ou sesquisulfure d'arsenic, est jaune. Sa densité est de 3,45. Il se rencontre dans la nature, tantôt en masses composées de lames demi-transparentes et flexibles, tantôt en cristaux prismatiques. Lorsque sa texture est lamelleuse, la surface des lames offre des reflets d'un beau jaune doré. Tel est l'orpiment qu'on trouve en Perse. Plus souvent on le rencontre en masses amorphes. Tel est l'orpiment de la Chine. Dans tous les cas, il est mêlé d'un peu de réalgar (sulfure d'arsenic), qui lui donne un ton vif que ne possède pas le sulfure artificiel.

Les marchands de couleurs tirent l'orpiment de la Perse ou de la Chine. Ils le désignent sous le nom d'*orpin doré;* ils préfèrent celui de la Perse à l'autre. L'orpiment se rencontre aussi en Hongrie, en Transylvanie et dans une grande partie de l'Orient, où il est très-employé comme dépilatoire.

ORSEILLE. On donne le nom d'*orseille* à une matière colorante obtenue par l'action simultanée de l'air, de l'humidité et de l'ammoniaque, sur plusieurs variétés de lichens : le nom d'orseille est du reste donné aussi aux lichens qui servent à la préparation de la matière colorante. La couleur de l'orseille est généralement violette, susceptible d'ailleurs d'être modifiée, comme toutes les couleurs végétales, par les acides et les alcalis. Ses teintes vives et éclatantes la font rechercher pour certaines teintures, et son emploi a pris depuis quelques années une assez grande extension. L'avantage que présente cette matière colorante est de fournir à bon marché des couleurs qui flattent l'œil, mais qui malheureusement manquent de solidité; et la cause peut-être (suivant Cocq) qui a donné une certaine importance à sa fabrication en Auvergne et dans le Midi, c'est de procurer aux habitants de ces contrées le moyen de teindre en belle couleur les étoffes grossières dont ils font leurs vêtements journaliers.

Historique. On employait déjà en teinture, du temps des Romains, l'orseille et les lichens, car Pline en fait mention. On croyait alors que la couleur de pourpre provenait des lichens qui lui servent de nourriture.

Après l'extinction de l'empire romain, on perdit en teinture l'usage de l'orseille. Au commencement du quatorzième siècle, un Florentin de race allemande, nommée Federigo, qui avait découvert par hasard dans le Levant ses propriétés tinctoriales, en introduisit l'usage à Florence, et acquit par là une si grande fortune qu'il devint le chef d'une famille puissante qui prit le nom d'Oricellarii (plus tard Rucellarii et Rucellui). Pendant plus d'un siècle, l'Italie produisit exclusivement l'orseille; on la recueillait sur les côtes et les îles de la Méditerranée.

Depuis 1402 on tira en grande partie les lichens à orseille des îles Canaries et plus tard aussi du Cap-Vert. Les orseilles préparées avec ces derniers présentent pour les teinturiers de laine en flottes un avantage, c'est que les brins du lichen s'attachent moins à la laine que les lichens des Canaries, sans pour cela être plus riches en couleur, au contraire, on les trouve moins riches.

Sur les côtes de Suède, d'Écosse, d'Irlande, du pays de Galles, les habitants emploient depuis un temps immémorial le lichen pour teindre en rouge.

La fabrication de l'orseille est restée bien longtemps soumise à un véritable empirisme; c'est en 1812 seulement que M. Cocq, commissaire des poudres et salpêtres à Paris, publia (1) sur la matière un mémoire intéressant, dans lequel il dit n'avoir obtenu qu'avec les plus grandes difficultés des détails sur les manipulations auxquelles sont soumis les lichens, les fabricants d'orseille cachant avec un soin extrême les opérations de leurs ateliers. M. Cocq regarde avec raison cette connaissance imparfaite des procédés suivis, comme la cause immédiate du peu de progrès que la science a fait faire à ce genre de travail. Cette réflexion de M. Cocq ne serait pas, jusqu'à un certain point, déplacée aujourd'hui, car depuis la publication de son mémoire, en 1812 jusqu'en 1829, la théorie de la fabrication ne fit aucun pas. On était encore dans l'ignorance la plus complète sur la nature de la matière colorante, lorsque Robiquet vint soumettre l'étude des lichens à ses savantes investigations (2).

Robiquet isola d'un lichen, ou mieux d'une variolaire (*variolaria dealbata*), un principe immédiat qui se présente sous l'aspect d'une matière blanche, cristalline, soluble dans l'eau, et auquel il donne le nom d'*orcine*. Cette orcine étant imprégnée d'ammoniaque, si on la place sous une cloche remplie d'oxygène, sa couleur devient fauve et ensuite violet foncé, sa dissolution fournissant une très belle teinte rouge violacée. Mais cette orcine ne peut pas être considérée comme un principe colorant, car dans un travail particulier (3) Robiquet reconnut que cette orcine se transformait, sous l'influence de l'ammoniaque, en une substance brune, insoluble dans l'eau, qu'il considère comme le principe colorant de l'orseille, auquel il a donné le nom d'*orcéine*.

Bien que Robiquet indique la présence simultanée de l'air, de l'humidité et de l'ammoniaque, comme nécessaire à la coloration de l'orcine, il pense que l'ammoniaque exerce la plus grande part dans cette transformation; et, suivant lui, ce n'est pas en se combinant avec l'orcine, comme il pourrait le faire avec un acide, qu'agit cet alcali, mais par suite de la fixation de ses éléments, et il fait observer que de tous les alcalis, l'ammoniaque seule exerce cette action sur l'orcine.

M. Schuncke, en évaporant la liqueur de couleur verdâtre provenant de l'action de l'éther sur les lichens conturés, a obtenu, par le refroidissement, de petits cristaux verdâtres. M. Schuncke a donné à ce produit le nom de *lécanorine*; elle est insoluble dans l'eau, peu soluble dans l'alcool froid, soluble dans l'éther et l'acide acétique. Sous l'influence des alcalis et de la chaleur, la *lécanorine* se transforme en acide carbonique et en orcine.

Cela posé, disons d'abord quelques mots des lichens employés à la fabrication de l'orseille, et auxquels on donne très souvent, mais improprement, le nom d'orseille.

On distingue dans le commerce plusieurs espèces d'orseille, et notamment celle dite *des îles* et celle connue sous le nom d'*orseille de terre*. La première, qui est la plus estimée et la plus chère, nous vient des Canaries et du Cap-Vert; on en reçoit aussi d'Angola, de Madagascar, des Açores, de Madère, de la Corse et de la Sardaigne. Berthollet rapporte cette espèce au *lichen rocella*, dont les botanistes distinguent plusieurs variétés. La seconde se récolte sur nos montagnes

(1) *Annales de Chimie*, tome LXXXI.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLII, 2e série.
(3) *Annales de Chimie et de Physique*, t. LVIII, 2e série.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'Auvergne, des Alpes, des Pyrénées et de la Lozère.

Tous les documents recueillis jusqu'à ce jour semblent démontrer que l'orseille est principalement composée de variolaires, et le nom de *parelle*, que lui donnent en France tous ceux qui s'occupent de sa récolte, a pu induire en erreur et faire attribuer l'orseille au *lichen parella;* mais il n'en est rien, la ressemblance des noms est la cause de la confusion qu'on a pu faire, du moins c'est là l'opinion de Cocq, opinion que Robiquet n'a pas contredite.

Nous pensons qu'il n'est pas inutile d'entrer ici dans quelques détails intéressants donnés par Cocq.

Le lichen qui produit l'orseille se trouve sous les laves volcaniques, où toutes les pierres bouleversées présentent diverses surfaces à tous les aspects, et permettent au lichen de choisir la position qui convient le mieux à son accroissement, tandis que les sels contenus dans les laves contribuent sans doute au développement de ses parties.

Tous les lichens, semblables en apparence, végétant sur la même pierre, confondus sur le même mamelon, ne possèdent pas les mêmes principes colorants, de sorte que l'orseille qu'on vient vendre aux fabricants se trouve composée d'un certain nombre de cryptogames dont on ignore les qualités tinctoriales individuelles, et souvent sans qu'on puisse savoir, par conséquent, quels sont les plus favorables ou les plus nuisibles. On assure même que les ouvriers chargés de cette récolte les mélangent à dessein pour augmenter leur bénéfice, et ils le peuvent impunément, puisque ceux qui les payent ne savent pas précisément quelles sont les espèces auxquelles il doivent accorder la préférence.

Nous pensons que ces diverses considérations, émises tant par Cocq que Robiquet dans leurs mémoires, ont dû éveiller, au moins pour ce qui se passe en France, l'attention des intéressés, qui doivent être probablement plus à même de reconnaître les meilleures qualités des lichens qu'on leur présente.

La *variolaria orcina* a donné à M. Cocq la belle et vive couleur amarante que les teinturiers d'Auvergne en tirent. Ce lichen, constamment et exclusivement nommé *parelle*, reçoit en outre divers surnoms suivant les divers états où on la trouve. Par exemple, on la nomme *varenne* quand elle se rencontre sur le granit; alors elle est plus lisse, moins fendillée, et ses glomérules fructifères sont moins proéminents. Les ouvriers assurent que cette variété fournit une couleur plus vive, mais elle est rare dans ce pays-ci.

On trouve plus communément la parelle sur les laves, et l'on nomme *pucelle* celle qui est recueillie pour la première fois; la parelle *maîtresse* est celle qui a pris tout son accroissement, et qu'on ne récolte qu'après cinq ou six ans de végétation.

Les hommes qui s'occupent de récolter les lichens en France, les râclent sur les rochers au moyen d'un couteau à lame mince d'une forme particulière. Ils préfèrent pour se livrer à ce travail un temps de pluie, parce que le lichen est arraché plus facilement. La quantité qu'ils récoltent peut s'élever à 2 kilogr. par jour. Les fabricants d'orseille à qui ils présentent à acheter le fruit de leur récolte, soumettent un échantillon de ces lichens à un essai pour apprécier leur qualité. Pour cela, ils en mettent un peu dans un verre contenant de l'urine avec une petite addition de chaux.

Lorsque les parelles sont mouillées, ce qui arrive d'autant plus souvent que les récoltes se font plus facilement par un temps de pluie, il est nécessaire de les faire sécher pour les conserver saines et les préserver de la fermentation qui altère singulièrement leurs qualités tinctoriales; pour cela, on les étend dans un grenier bien aéré en couches qui ont 5 à 6 centimètres d'épaisseur au plus. Ainsi séchées elles se conservent bien; on prétend cependant qu'au printemps elles éprouvent encore une réaction sensible. C'est des soins qu'on met à les conserver que dépendent les résultats de la fabrication de l'orseille.

Les lichens du Cap-Vert et des Canaries offrent de grandes difficultés dans leur récolte, les rochers sur lesquels ils croissent ayant leurs pieds baignés par la mer. Les hommes qui s'occupent de ce travail plantent au sommet des roches l'extrémité d'une corde à nœuds, à laquelle ils se suspendent comme les badigeonneurs de Paris pour aller cueillir les plantes qui croissent sur les parois.

Les lichens récoltés d'une manière ou d'une autre sont toujours mêlés avec de la mousse qu'il est facile de séparer; pour cela on les place en lits de peu d'épaisseur, et on passe sur eux des étoffes de laine à longs poils après laquelle la mousse s'attache.

Depuis nombre d'années les lichens de France ne sont plus employés dans la fabrication de l'orseille, à cause de leur faible richesse en matière colorante. Longtemps on a employé presque exclusivement les lichens des Canaries et du Cap-Vert, mais depuis quinze ans ces lichens ne sont plus employés, leur qualité ayant singulièrement dégénéré; on attribue cette infériorité à la trop grande fréquence des récoltes, qui ne permettait pas aux plantes d'arriver à un développement désirable. C'est depuis cette décadence qu'on tire d'Angola et de Madagascar toute l'orseille qu'on travaille en France; les lichens qui arrivent de ce pays retiennent à leurs extrémités, non pas de petits cailloux, mais de petits morceaux de bois, ce qui donne à penser qu'on les récolte sur des arbres ou des ronces au lieu de rochers. Taylor dit qu'en Angleterre on fait aussi usage des lichens de Barbarie et du pays de Galles.

Leuchs, dans son *Traité des Matières tinctoriales*, indique comme étant employés de préférence à la fabrication de l'orseille les lichens suivants : le *parella rocella*, le *lichen tartareus*, et la *variolaria orcina;* il ajoute qu'on peut cependant employer aussi les lichens suivants : *pellitus, calcarius, jubatus, farinaceus, lacteus, muscorum, omphalodes, impressus, parella prunastri, caparatus, deustus, bacomyces coccíferus, argentata, parella saxatilis.*

Cocq conseille aux fabricants d'orseille d'user, avant la mise en fabrication, de la précaution suivante pour débarrasser les lichens des parties terreuses qu'ils renferment toujours en plus ou moins grande quantité, c'est de les laver dans l'urine ou de l'alcali volatil étendu, suivant qu'on emploie l'un ou l'autre de ces liquides dans le travail. De cette manière l'orseille fabriquée est tout à fait débarrassée de matières terreuses qui ne peuvent que nuire à son emploi dans la teinture. C'est surtout pour les lichens récoltés en France qu'il donne ce conseil, et il prétend qu'avec cette précaution les lichens de notre pays valent tout autant que celui des îles.

Fabrication. Nous avons maintenant à parler des procédés de fabrication de l'orseille; nous ne pourrons donner à cet égard tous les détails qu'on pourrait désirer sur ce sujet; car aujourd'hui, comme en 1812, époque à laquelle Cocq écrivait son mémoire, les fabricants ne tiennent pas le moins du monde à faire connaître les détails de leur travail, dans la crainte plus ou moins fondée de livrer à leurs concurrents, présents ou futurs, les perfectionnements qu'ils peuvent avoir apportés dans les procédés de fabrication.

Ce qui est positif c'est qu'on place dans des auges, appelées *barques* par les gens du métier, les lichens et l'urine ou l'alcali volatil, de manière que les plantes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soient baignées dans le liquide. Voici ce que nous indiquent les anciens auteurs sur le travail à l'urine. On met 100 kilogr. de lichen bien propre et débarrassé, autant que possible, de substances étrangères, dans une barque dont la dimension est ordinairement de 2 mètres de long sur 6 à 7 de profondeur; sa largeur au fond étant de 4 décimètres; un couvercle la ferme assez exactement; on arrose avec 120 kilogr. environ d'urine. Pendant deux jours et deux nuits, on remue, on brasse le mélange toutes les 2 à 3 heures; les caisses étant fermées exactement dans l'intervalle. Le troisième jour de l'opération on ajoute au mélange 5 kilogr. de chaux, 125 grammes d'acide arsénieux et autant d'alun. Pour rendre bien intime le mélange de l'urine et des matières ajoutées, on relève les plantes de chaque côté pour les replacer après l'introduction des ingrédients.

Une fermentation, qui n'est probablement autre chose que le dégagement de l'ammoniaque de l'urine produit par la chaux, ne tarde pas à se manifester, et, à ce moment, il faut brasser la matière avec beaucoup de soin. Pour rendre le brassage facile on ne remplit les caisses qu'à moitié. Si la fermentation (toujours en supposant ce nom bien applicable ici) est prompte les brassages doivent se succéder de demi-heure en demi-heure; si elle est lente, c'est d'heure en heure, mais toujours de manière à empêcher la formation d'une croûte à la surface.

Après 48 heures cette fermentation éprouve un ralentissement; on lui rend une certaine activité en ajoutant alors 1 kilogramme de chaux, et on brasse d'autant moins souvent que la fermentation se ralentit davantage. On laisse ainsi passer quinze jours, puis on ne brasse plus que de 6 heures en 6 heures. Au bout de vingt-trois jours toute l'intensité de couleur est obtenue. En général, l'opération dure trois semaines quand les plantes sont de qualité médiocre, et un mois lorsqu'elles sont très bien choisies.

L'orseille en pâte n'est autre chose que la substance qui se trouve dans les caisses, substance résultant de l'action réciproque des diverses matières mises en présence; elle renferme nécessairement toute la partie ligneuse, plus ou moins intacte, des lichens. Cette pâte d'orseille est conservée dans des tonneaux; au bout d'un an elle a acquis son maximum de teintes, ce qui indique une continuation d'action; à la troisième année elle s'altère.

D'après Taylor, quand l'orseille n'est pas assez rouge on ajoute 500 grammes d'alun par 50 kilogr. de pâte, ou un peu de nitrate d'étain; mais si on veut la rendre plus bleue ou violette, on ajoute 500 grammes de potasse calcinée.

Voilà ce que nous pouvons indiquer sur le procédé de fabrication, lorsqu'on fait usage d'urine. Disons maintenant quelques mots sur la théorie de cette opération.

D'abord, il est de toute évidence que l'urine n'est employée que comme matière première d'ammoniaque, que l'on fait dégager au moyen de la chaux; mais comme on emploie toujours un grand excès de chaux, cet excès ne peut manquer de devenir préjudiciable. De plus, l'urine ne renferme pas seulement du carbonate et autres sels d'ammoniaque, elle contient encore d'autres substances salines et des matières organiques; or, il n'est pas douteux que si quelques-uns de ces corps étrangers à l'ammoniaque peuvent jouer un rôle utile dans la réaction (ce qui est encore une hypothèse), d'autres doivent jouer un rôle secondaire, d'autres enfin un rôle nuisible. En effet, les sels déliquescents que renferme l'urine doivent nécessairement se retrouver dans l'orseille; de plus, l'urine contient des principes azotés putrescibles qui finiraient par entraîner, dans leur décomposition, toute la matière organique végétale, si on n'y prenait garde; c'est pour remédier à cet inconvénient qu'on emploie de l'alun et de l'acide arsénieux; du moins c'est là l'opinion de Robiquet. Et encore ces matières ne suffisent-elles pas toujours pour préserver de la putréfaction; aussi est-on quelquefois obligé, pour la prévenir et l'arrêter, d'ajouter, à l'orseille préparé, un peu d'oxyde rouge de mercure qui est un anti-putride très-puissant.

L'alun qu'on emploie dans cette fabrication se trouve nécessairement décomposé par les alcalis, de sorte que l'alumine précipitée et la chaux augmentent sans nécessité le poids de l'orseille et absorbent en pure perte une quantité notable de matière colorante.

Robiquet pense, avec raison, qu'une des fonctions spéciales de l'ammoniaque, dans la fabrication de l'orseille, est de saponifier les matières grasses ou résinoïdes qui enveloppent le lichen et le rendent imperméable. Ce savant chimiste n'admet pas qu'une fermentation se manifeste dans l'opération; tout se borne, d'après lui, à une réduction qui est naturellement plus prononcée et plus prompte lorsque la température est plus élevée. On sait que le froid contrarie le travail des fabricants d'orseille; on peut remédier à l'inconvénient d'une basse température en chauffant les ateliers contenant les barques. Si les fabricants d'orseille devaient aujourd'hui travailler les lichens avec de l'urine, ils ne suivraient pas tous les errements indiqués par les anciens auteurs, et se passeraient entre autres choses de l'acide arsénieux et de l'alun; nous n'en voulons pas d'autres preuves que l'assertion de M. Ch. Mottet, un des bons fabricants de Paris.

La théorie que nous venons d'exposer pour la fabrication de l'orseille, la seule d'ailleurs proposée, et par suite admise aujourd'hui, indique évidemment que l'ammoniaque, ou l'alcali volatil, remplacerait très bien, avec avantage même, l'urine dans l'emploi qu'on en fait. L'urine, outre les inconvénients déjà cités, a encore celui de ne pas être d'une force régulière, et Cocq conseille aux fabricants de ramener par l'évaporation les urines dont ils font usage à un degré constant, de manière que la dose à employer soit toujours la même, ce qui éviterait nécessairement des tâtonnements et rendrait le travail plus normal.

L'ammoniaque n'a pas cet inconvénient, aussi Cocq a-t-il, dès 1812, insisté fortement pour son emploi; mais il paraît que ses conseils furent, sur ce point du moins, longtemps dédaignés, car Robiquet dit, en 1829, que l'emploi de l'alcali volatil n'a commencé à s'introduire, dans la fabrication de l'orseille, que depuis quelques années.

La routine, le haut prix de l'alcali volatil ont d'abord empêché les fabriques d'orseille d'entrer dans cette voie nouvelle; c'est depuis vingt ans environ que nos fabricants emploient des quantités considérables d'ammoniaque. L'alcali volatil leur donne des nuances plus vives et plus éclatantes; quelques-uns ont bien prétendu que les couleurs d'orseille fabriquées avec de l'urine ont plus de fonds; et que le prix de l'alcali volatil, si bas qu'il fût, ne serait pas pour eux une cause pour revenir entièrement à l'emploi de l'urine; mais les avis sont partagés, et la majorité des fabricants ainsi que la théorie donnent entièrement tort à l'urine. Du reste, des expériences directes donneraient sans peine la solution de cette question, qui intéresse la fabrication de l'orseille; c'est aux fabricants éclairés qu'il appartient de décider par des essais comparatifs. La salubrité publique est, elle aussi, intéressée à ce que tous les doutes soient éclaircis, car la putréfaction de l'urine est la cause, pour le voisinage des fabriques d'orseille, d'émanations très incommodes, sinon malsaines, à tel point que, dans plusieurs circonstances, le conseil de salubrité de Paris a menacé les fabricants de la fermeture de leurs usines, s'ils per-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sistaient à faire usage d'urine au lieu d'ammoniaque.

En supposant, d'ailleurs, que parmi les sels que renferme l'urine, certains soient utiles à la fabrication de l'orseille, on pourrait très bien les ajouter à l'ammoniaque dans la proportion nécessaire.

Depuis longtemps, les Anglais ont renoncé à l'emploi de l'urine en nature dans la préparation de l'orseille, ils ont donné la préférence à de l'ammoniaque provenant de la distillation de l'urine avec la chaux (1). Et Bancroff affirme qu'on obtient de plus belles couleurs avec l'ammoniaque pure qu'avec l'esprit d'urine.

Voici ce que Leuchs dit sur la manière de fabriquer en Angleterre. On arrose 1 partie de lichen en poudre (car on moud les lichens dans ce pays) avec 5 parties d'esprit d'urine (2); on couvre le vase, et chaque matin on remue (3). On laisse la pâte dans un endroit modérément chaud, car la chaleur et le grand froid la gâtent. Après quelques jours, la couleur devient rouge-pourpre, puis bleue. Après quatorze jours on met la masse dans des citernes en plomb où elle est remaniée journellement. Après un mois l'opération est terminée.

Il est possible, après tout, que la chaux employée pour caustifier l'ammoniaque de l'urine, et transformée nécessairement en carbonate de chaux donnant une augmentation très sensible de poids, serve ainsi directement les intentions des fabricants. C'est là, à notre avis, une des causes de l'obstination de quelques fabricants à employer l'urine, mais il est clair qu'ils pourraient, en employant de l'alcali, mettre de la craie au lieu de chaux.

Nous devons ici faire une observation à propos de l'emploi des alcalis fixes; potasse, soude et chaux, et surtout des deux premières dans la préparation de l'orseille; cet alcali et leurs carbonates étant solubles comme la couleur de l'orseille, ils persistent dans la pâte et dans les extraits qu'on en retire, et peuvent très bien contrarier les effets qu'on attend des mélanges de l'orseille avec d'autres matières colorantes, le carmin d'indigo, par exemple; avec l'ammoniaque rien de semblable n'est à craindre.

L'ammoniaque qu'on emploie pour extraire la matière colorante des lichens ne doit pas être à son degré commercial, soit 21 à 22 degrés, elle est alors trop concentrée; on la ramène à 15 degrés environ. Comme nous l'avons déjà dit, nous ne savons si les matières qu'on ajoute à l'urine doivent être ajoutées à l'ammoniaque; cela n'est pas probable, mais nous ne pouvons l'assurer d'une manière positive.

N'oublions pas que l'air joue un grand rôle dans le travail, que sans son intervention, l'urine ne peut acquérir de couleur. Ainsi, d'une part, on est obligé d'agir en vases clos, car sans cela, l'ammoniaque se dissiperait dans l'air et n'agirait pas sur le lichen; de l'autre, il est indispensable de donner, de temps à autre, accès à l'air pour qu'il puisse réagir à son tour sur la matière colorante, une fois qu'elle est modifiée par l'alcali; et il y a probablement dans ces influences successives, comme aussi pour la température qui doit régner dans les ateliers, une juste mesure à observer qui fait le point de la difficulté et le tour de main du fabricant. Nous pensons que pour éviter une grande partie de la déperdition de l'ammoniaque, on peut très bien ne pas verser sur le lichen en une seule fois toute la quantité d'alcali nécessaire à la réaction, mais seulement par parties et suivant les besoins.

(1) On met 180 kilogr. d'urine vieille et 6 kilogr. de chaux vive; le produit est leur *esprit d'urine*.

(2) Plus tard, quand le lichen en a beaucoup absorbé, on en verse davantage, un quart.

(3) Bancroff pense que des tonneaux bien cerclés que l'on roulerait de temps en temps seraient préférables.

Un fabricant anglais, M. Robinson, frappé des longueurs des opérations dans le travail de l'orseille et de la nécessité du contact de l'air, a proposé de réduire d'abord les lichens en poudre, d'en faire une espèce de pâte avec de l'alcali et de forcer ladite pâte à sortir par de petits orifices pour avoir un contact plus intime d'air; il conseille de placer la pâte dans un cylindre en métal percé de nombreux orifices dans lequel manœuvre un piston plein chassant la pâte en question. Nous ne savons si ce procédé a été employé, mais il nous semble que son application donnerait lieu à une grande déperdition d'ammoniaque. Le procédé de M. Robinson est breveté.

Plusieurs fabricants d'orseille emploient le procédé suivant quand il s'agit de matières premières d'extraits. Ils attaquent les lichens par de l'eau chaude et même bouillante qui dissout l'orcine; le lichen épuisé est rejeté et la dissolution d'orcine traitée par de l'alcali, avec contact d'air, donne une dissolution d'orseille qu'il suffit de concentrer.

L'opinion de plusieurs fabricants est que le temps de contact des lichens avec l'alcali et l'air atmosphérique, doit toujours être d'une certaine durée pour que toute la matière colorable de ces lichens puisse être extraite et mise à profit. L'on peut préparer de l'orseille en moins de 3 semaines ou un mois, mais cette orseille n'est pas aussi riche en matière colorante que celle travaillée dans cette dernière limite de temps. Ne serait-il pas possible de faire arriver au moyen d'une pompe foulante l'air dans les barques, contenant les lichens, barques qui pourraient être hermétiquement fermées pour pouvoir au besoin recueillir et utiliser l'ammoniaque entraînée par le courant d'air? Ce mode serait surtout employable au procédé que nous venons d'indiquer pour les extraits.

M. Clenchard, fabricant d'orseille, à Paris, a conseillé l'emploi des lichens en teinture au lieu de la pâte d'orseille préparée. Les pièces à teindre seraient nécessairement préparées pour que sous l'influence de l'air et de l'alcali elles puissent prendre la nuance voulue par leur passage dans le bain en question; il paraît que le procédé réussit bien, mais qu'il n'est pas assez expéditif. Ainsi il faut 6 heures pour rendre les pièces qui ne demandent qu'une heure quand le bain est préparé avec de l'orseille en pâte.

Comme nous l'avons déjà dit, les manipulations dans les fabriques d'orseille doivent varier suivant les fabricants, suivant les nuances qu'ils veulent obtenir; il faudrait nécessairement être du métier pour entrer dans le détail de ces opérations.

Outre l'orseille en pâte, on trouve encore dans le commerce l'extrait ou carmin d'orseille; on obtient cet extrait comme tous les extraits colorants, c'est-à-dire qu'on épuise par l'eau la pâte d'orseille, et que la liqueur obtenue, filtrée au besoin, est évaporée de manière à former une masse solide. La température doit être convenablement graduée dans cette évaporation, car la matière colorante est facilement attaquée. Aussi généralement l'évaporation se fait à la vapeur. Pour obtenir 1 kilogr. de bon extrait, on emploie à peu près 2 kilogr. d'orseille en pâte.

On obtient avec l'orseille les couleurs amarante, grenat, et les dérivés, avec des teintes belles, vives et éclatantes, mais en petit teint; on peut appliquer cette matière colorante sans mordants sur la laine et sur la soie, car les mordants n'augmentent guère sa solidité. On emploie fréquemment l'orseille comme fond pour les draps qui doivent être teints avec l'indigo ou la cochenille, et aussi pour les draps qui doivent être teints en rose par la garance, parce que cette dernière seule donne une nuance qui tire trop vers le jaune. On n'a pu jusqu'à présent fixer la couleur de l'orseille sur le coton, du moins avec les teintes vives qui font toute

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sa beauté. Robiquet s'est beaucoup occupé de cette question, mais il n'a pu arriver à un résultat satisfaisant.

Nous avons déjà indiqué l'action des acides et alcalis sur cette matière colorante, ajoutons que le sel ordinaire rend plus claire sa couleur cramoisie, le sel ammoniac la rend rouge de rubis. L'alun forme un précipité rouge-brun, et la liqueur devient d'un rouge jaunâtre. Le sel d'étain produit un précipité rougeâtre qui tombe lentement, la liqueur surnageante reste rougeâtre. Le sulfate de fer forme un précipité brun foncé, le sulfate de cuivre un précipité brun cerise.

L'orseille en pâte est spécialement employée par les teinturiers ; les imprimeurs en étoffes ne font usage que de l'extrait qu'ils préparent eux-mêmes ou qu'ils achètent tout fabriqué.

Le *cud-beard* ou *persio* n'est autre chose que l'orseille en poudre; on le rencontre dans le commerce, sous la forme d'une poudre rouge-violet, d'une odeur particulière peu désagréable. Il se dissout en partie dans l'eau bouillante. A. MALLET.

M. Salvetat a donné, à l'article TEINTURE, l'exposé des derniers progrès accomplis dans cette fabrication.

OS (*angl.* bones, *all.* knochen). Les os des animaux sont formés de deux substances entièrement distinctes, l'une de nature organique, l'autre saline et composée d'un mélange de phosphate et de carbonate de chaux. La matière organique sert à la confection de la colle-forte et de la gélatine alimentaire ; les résidus salins à la préparation du phosphore. Lorsqu'on calcine les os au rouge, en vase clos, on obtient le NOIR ANIMAL, agent décolorant par excellence. Les os de choix remplacent l'ivoire pour les ouvrages communs de tabletterie. Enfin, les os, préalablement broyés, forment un engrais très-durable et excellent, surtout pour les céréales.

OSMIUM. Métal découvert par Tennant, en 1803, dans les minerais de platine, volatil et extrêmement vénéneux. Il n'a, ainsi que ses composés, aucun emploi dans les arts.

OUTILS (*angl.* tools, *all.* werkzeug). Les outils sont la source de toute fabrication, de toute production. Sans les outils, plus de maisons, plus de culture, plus de défense contre l'agression des animaux plus favorisés de la nature ; la civilisation disparaît, l'homme retourne à l'état sauvage. L'outil est l'agent que l'homme emploie dans toute exécution ; et le bien-être général suit le perfectionnement des outils. Les outils servent à faire de meilleurs outils ; le premier fut un caillou tranchant. Nous ne voulons pas considérer cet objet dans son ensemble, cet ensemble est trop vaste (voir au *Complément*, OUTILS TRANCHANTS, les belles pages de Poncelet sur ce sujet), nous devons cependant en dire quelques mots.

Chaque profession a ses outils particuliers; c'est à les connaître parfaitement que tout individu qui veut se livrer à tel ou tel état doit d'abord s'adonner, car la connaissance parfaite des outils est à elle seule plus de la moitié de la connaissance de l'état. Une chose à laquelle tout homme qui veut devenir célèbre dans sa partie doit penser d'abord, aussitôt qu'il a acquis assez l'habitude de travailler, c'est à la fabrication des outils; il ne connaîtra jamais parfaitement ses outils s'il ne les a pas, une fois au moins, faits lui-même. C'est en se livrant à cette occupation importante qu'il pourra aussi s'apprécier lui-même. En effet, si l'on fait un peu moins bien un assemblage, si l'on tourne un vase en bois moins bien taillé que tel autre, s'il s'agit de forger une rampe, un balcon ou autre objet de cette nature, et que le travail n'en soit pas absolument sans reproche, etc., ces objets pourront servir de même, ils seront du goût des uns s'ils ne plaisent pas aux autres ; mais les outils ne souffrent pas d'imperfection : ils vont ou ne vont pas; l'amour-propre ne peut ici avoir de refuge: dès que l'outil ne fonctionne pas, c'est qu'il est mal fait. Quand un homme a fait lui-même ses outils, il en connaît le fort et le faible, et, par la suite, s'il doit les renouveler en en achetant d'autres, il les achètera bons, parce qu'il les connaît parfaitement. Un proverbe d'atelier dit: *Les bons outils font à eux seuls la moitié de la besogne;* ce proverbe exprime une vérité que tous les travailleurs ont sentie. La partie de l'outillage doit donc d'abord fixer l'attention, non-seulement de celui qui travaille par lui-même, mais encore de celui qui fait travailler des ouvriers. Le maître intelligent comprend qu'il y a une économie grande pour lui à entretenir toujours l'outillage en bon état ; l'argent qu'il consacre à cet usage est placé à gros intérêt : dès qu'une lime blanchit, il doit la supprimer ; dès qu'un marteau s'est déformé, il doit le faire remettre au feu ; dès que l'enclume s'enfonce, il doit ou la redresser ou la réformer; celui qui rabote avec un fer qui ne coupe pas fait longuement de la mauvaise besogne ; cela est si vrai que le marchandeur, que l'ouvrier à ses pièces et qui se fournit d'outils, a toujours soin de les tenir en bon état. Les Anglais ont compris longtemps avant nous toute l'importance de l'outillage ; ils ont constamment tenté de l'améliorer, aussi nous ont-ils constamment devancé dans la production, et de plus, ils ont fait de la vente des outils une branche importante de leur commerce d'exportation. Le peuple qui aura les outils les plus parfaits aura toujours la prééminence dans la production. On va chercher bien loin des moyens de faire progresser l'industrie ; on veut une production bonne, abondante, à bas prix; le moyen d'y arriver, c'est de perfectionner l'outillage ; tout, ou du moins presque tout, est là. C'est parce que nous sommes bien pénétré de cette vérité, que dans le cours de cet ouvrage, nous avons toujours traité avec soin ce qui concerne les outils, les machines-outils et les moyens matériels d'exécution. Le moindre perfectionnement introduit dans l'outillage est d'une importance majeure, car c'est un pas en avant de fait; et ce pas fait, il ne sera pas possible de reculer: tout le monde en profitera. Un perfectionnement dans l'exécution est individuel; ce perfectionnement fût-il considérable, il n'assure pas de progrès pour l'avenir, il dépend du savoir-faire de tel homme, il finira avec lui, et après il y aura peut-être un pas rétrograde. Un sculpteur fait des chefs-d'œuvre avec un simple ciseau et un marteau ; l'éclat de son génie rejaillit sur toute la nation, l'époque de son passage sur la terre est noté dans l'histoire, mais, lui mort, il ne se retrouve pas un autre sculpteur. Mais s'il a produit ses chefs-d'œuvre avec une machine-outil (nous voyons de nos jours des machines à graver, des machines à sculpter), comme les machines ne meurent pas, lui mort, la production ou au moins la reproduction des chefs-d'œuvre continuera, et même pourra augmenter, le génie pouvant encore perfectionner la machine-outil. Le talent d'exécution individuel ne profite qu'à nous seulement ; mais quand nous perfectionnons un outil, c'est un legs que nous faisons aux générations futures, un fonds de richesse et de bien-être que nous laissons à ceux qui nous suivront. Malheureusement, cette idée si simple n'a pas été comprise par les hommes ; ils ont glorifié l'exécution individuelle; le silence et l'oubli ont été le partage de ceux qui ont fait l'éducation de l'humanité; le nom de Phidias est resté, on n'a pas conservé le nom de celui qui nous a dotés de la scie ou de la tarière, ou de tout autre outil dont les siècles ont joui, dont nous jouissons chaque jour, dont nos enfants profiteront encore.

L'un des signes auxquels on reconnaît principalement l'invention d'un bon outil, c'est la plus ou moins grande facilité qu'on éprouve à le remettre en état lorsqu'un long usage l'a détérioré ; ainsi la hache, les ciseaux, les fers de rabots et tous les outils tranchants sont de bons outils, parce que la remise en état pour un long temps est obtenue par l'opération prompte et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peu dispendieuse du repassage. Une lime est un outil imparfait par les raisons que nous avons données en traitant ce mot ; un marteau est un bon outil, parce qu'entre les mains d'un bon forgeron il dure très-longtemps sans exiger de remise en état, et que s'il faut enfin en venir à cette opération, il suffit de l'amollir au feu, de le forger de nouveau et de le tremper pour qu'il redevienne, à peu de chose près, ce qu'il était quand il est sorti pour la première fois des mains de l'ouvrier qui l'a fait. C'est par suite de cette observation qu'on a amélioré beaucoup d'outils, en rendant mobiles les parties qui supportent les efforts. Ainsi, dans les cisailles, on a appliqué de minces lames d'acier, fixées avec des boulons, à l'endroit où s'opère la section des planches métalliques, et par ce moyen on a éternisé la cisaille ; quand, par suite de nombreux repassages, les lames d'acier sont usées, on les remplace facilement par de nouvelles. On a mis aux étaux des mors mobiles faciles à remplacer, on en a mis aux pinces servant à trancher les fils métalliques; les fabricants cherchent à mettre des pièces rapportées en acier partout où cela est praticable. En agissant ainsi, ils épargneront beaucoup de soudures, opérations qui ne se font pas toujours bien, et dont l'effet immanquable est de faire perdre à l'acier beaucoup de qualité, l'outillage y gagnera, et conséquemment la production en profitera.

Le bas prix, qui est toujours la chose essentielle à considérer lorsqu'il s'agit de produits, n'est pas d'une importance aussi grande lorsqu'il s'agit d'outils, qui sont les producteurs: ici la qualité, la bonté doit être placée en première ligne. Mieux vaut un outil cher qui produit beaucoup et bien, qu'un outil bon marché qui remplit mal ses fonctions. Le haut prix mis au bon outil sera promptement compensé par la production, et puis suivront les profits ; le bas prix du mauvais outil sera, tant qu'il durera, une cause de perte, et la somme de ce que l'ouvrier aura manqué à gagner dépassera au centuple celle qu'il aura mal à propos économisée sur l'achat, et en retour il aura sa peine de moins; car il faut beaucoup de dépenses, il faut beaucoup d'adresse pour faire, même en y mettant plus de temps qu'il ne faut, de bon ouvrage avec de mauvais outils. Sans doute, il est désirable de voir l'industrie parvenir à faire de bons outils à bon marché ; mais nous le répétons, en fait d'outils, le prix d'achat ne doit jamais être qu'une condition secondaire. PAULIN DÉSORMEAUX.

OUTILS COUPANTS. Nous chercherons à compléter ici l'admirable étude de Poncelet, reproduite à l'article OUTILS du *Complément*, que l'on doit lire avant le présent article, consacré aux développements dont l'utilité y est indiquée, aux résultats fournis par la théorie et l'expérience.

Matière des outils. L'acier sert à faire à peu près tous les outils coupants, à cause de la grande dureté qu'il acquiert par la trempe et de la possibilité de le travailler, de l'amener à la forme voulue avant de le tremper. On les fait en général en acier fondu, et on trempe dans toute leur force et sans recuit ceux dont la pointe n'est pas trop aiguë et qui doivent servir à façonner des substances dures. On doit faire revenir ceux dont la pointe est fragile. On a cherché à obtenir, pour le travail de corps très-durs, des substances plus dures encore que l'acier de cémentation fondu et trempé; telles sont certaines fontes et surtout l'acier Mushet au tungstène, décrit à l'article ACIER. Enfin le diamant a été employé pour graver les pierres dures; le diamant noir notamment, qui a peu de valeur et qu'on trouve en fragments assez gros, a permis de tourner le granit et le porphyre en leur donnant le plus beau poli.

Forme des outils. On sait bien que des outils de forme convenable sont nécessaires pour exécuter un ouvrage déterminé, mais beaucoup de constructeurs ignorent qu'on peut obtenir une grande économie de force motrice, en donnant aux outils un angle spécial, parfaitement déterminé, et en présentant convenablement une des faces du tranchant contre la matière à travailler ; et que si les angles de coupe et de position s'éloignent seulement de quelques degrés de ce qu'ils doivent être, le prix de revient du travail est notablement augmenté.

Il nous faut établir d'abord le principe de l'action mécanique du coin, sur lequel reposent toutes les propriétés des outils tranchants.

Supposons qu'il s'agisse d'enlever une bande de matière ABCD avec un coin EDF, il est clair qu'en plaçant la face DF presque parallèlement à AC et en exerçant une pression suffisante, le coin entrera dans le bloc et enlèvera un copeau (fig. 1).

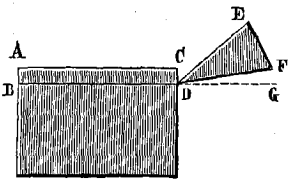


Fig. 1.

On est disposé à croire que plus l'angle EDF est aigu et plus le copeau s'obtiendra facilement, qu'il n'y a par conséquent de limite à la finesse du tranchant que la résistance du métal dont est fabriqué l'outil. C'est là une grave erreur. On ne réfléchit pas que le travail moteur est employé aussi bien à soulever le copeau qu'à pousser l'outil dans le bloc. Sa partie supérieure est pincée énergiquement par le copeau, en raison de la ténacité et de l'élasticité de la substance sur laquelle on opère, et par suite là prend naissance un frottement et une résistance pour le soulèvement du copeau, d'autant plus considérable que l'angle EDF est plus petit.

Lorsque l'angle tranchant se rapproche de 90° le copeau est refoulé, désagrégé dès sa formation, tandis qu'il reste entier et se développe en spirale si cet angle reste suffisamment aigu. Dans ce dernier cas on remarque que la face intérieure du copeau est lisse; tandis que l'autre face est hérissée d'aspérités.

Ainsi, d'une part, l'entrée de l'outil et la séparation du copeau sont facilitées par la finesse du tranchant, et d'autre part le soulèvement du copeau crée des résistances qui augmentent avec cette même finesse. Il y a donc à rechercher quel est l'angle qui satisfait le mieux aux conditions réunies du problème.

Rappelons la théorie du coin qui permet d'analyser tous les effets produits.

Soit MNO (fig. 2) une section perpendiculaire aux arêtes du coin passant par la direction de la puissance P (MN étant tracé perpendiculairement à cette direction s'il s'agit d'un outil long). D'un point A pris sur la direction de celle-ci, abaissons deux perpendiculaires AB, AC sur les deux faces NO,MO du coin MNO, prenons une longueur AD sur la direction de P, qui représente cette force en grandeur et en direction, et achevons le parallélogramme ABCD.

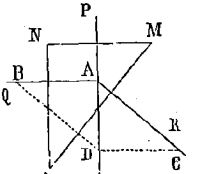


Fig. 2.

La puissance P, représentée par AD, se décompose en deux autres Q et R représentées par AB et AC, qui seront les grandeurs des efforts exercés perpendiculairement aux côtés MO et NO. On aura donc:

P : Q : R : : AD : AB : AC ou BD,

c'est-à-dire comme les trois côtés du triangle ABD. Or ce triangle est semblable au triangle MNO auquel ses trois côtés sont perpendiculaires, d'où cette propo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sition : La puissance étant représentée par la tête du coin, les deux forces qui agissent perpendiculairement aux côtés sont représentées par ces côtés mêmes.

Les frottements proportionnels à ces faces sont très-grands; le travail est minimum, pour un même angle en O et une même surface, quand un des angles M ou N est droit.

Si le coin est isocèle, les deux résistances sont égales. P étant la puissance motrice et R la résistante, enfin α le demi-angle au sommet, on a à l'état d'équilibre dynamique $2\,R \sin \alpha = P$ ou $R = \frac{P}{2 \sin \alpha}$

Le frottement R f sera donc égal, pour un petit angle, par exemple, pour lequel $\sin \alpha = 1/16$, ou pour $\sin \alpha = 1/2$, à $8\,P f$ ou à $P f$, huit fois plus grand dans le premier cas que dans le second.

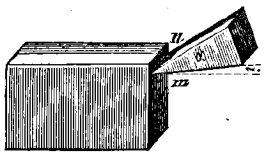


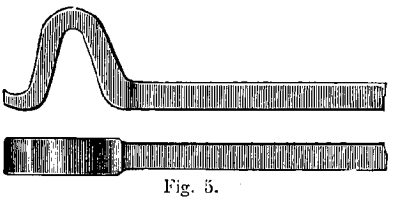
Fig. 3.

La ligne extrême du coin *mn* (fig. 3) qui pénètre dans la matière se nomme arête coupante; l'angle I que fait l'outil avec la surface à obtenir, angle d'incidence; l'angle T des deux faces du coin, angle tranchant. La détermination de ces trois éléments: arête coupante, incidence et tranchant, constitue toute la science de l'outil.

L'arête coupante est une ligne qui doit remplir un certain nombre de conditions, mais qui n'est pas soumise à des règles invariables. Pour dégrossir, par exemple, il convient de prendre la matière obliquement, et pour planer sur le tour, il est nécessaire de la prendre normalement à la surface.

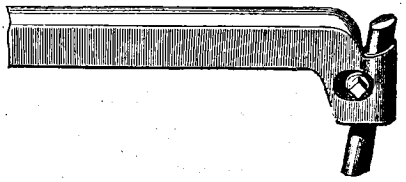
Ainsi, les outils pour dégrossir les plus solides ont l'extrémité en forme de crochet (fig. 4). Les mécaniciens anglais préfèrent le crochet à double biseau légèrement arrondi, qui est un bon outil. La plane anglaise, pour terminer sur le tour, est à ressort (fig. 5), avec


Fig. 4.


Fig. 5.

un bec très-allongé, ce qui permet à l'arête coupante de fléchir plutôt que de s'engager dans la matière ; son emploi donne de bons résultats surtout pour les ouvrages de précision. Pour empêcher la flexion trop sensible du bec de cette plane, certains ouvriers placent entre les branches une substance élastique: du bois, du cuir ou du liége.

Dans le bel ouvrage resté malheureusement incomplet de Holzapfel, on trouve la description d'un outil de tour composé de deux pièces distinctes (fig. 6), savoir: un porte-outil en acier forgé et matricé, et une tige cylindrique affûtée suivant une certaine inclinaison et retenue dans le porte-outil au moyen d'une ou plusieurs vis de serrage. Ce système a l'inconvénient, remarque


Fig. 6.

M. Poulot, d'introduire dans l'outillage une cause de vibration. Comme on a déjà de sérieuses difficultés à éviter le jeu dans les chariots et les trépidations des organes des machines-outils, on est peu disposé à admettre un outil qui apporte avec lui une nouvelle chance de malfaçon.

De l'angle d'incidence. Nasmyth a établi le principe de tout outil coupant, à savoir qu'on doit faire mouvoir le tranchant le plus parallèlement possible à la surface, l'incliner seulement pour qu'il n'existe pas de frottement en arrière, c'est-à-dire le disposer de telle façon *que sa face inférieure forme l'angle le plus petit possible avec la surface qu'on attaque*, en lui laissant une résistance suffisante eu égard à la cohésion de la matière à travailler; ou, en d'autres termes, que la face voisine à la matière à travailler doit être presque parallèle à la surface de celle-ci; et que le degré d'acuité convenable doit être obtenu en creusant la face antérieure, sur laquelle glissent les copeaux. On peut trouver un exemple familier et frappant de l'application de ce principe dans le rabot ordinaire du menuisier. Le fer du rabot, qui est ici l'instrument tranchant, est monté dans le bois, la semelle du rabot en limite nécessairement l'enfoncement, et ne permet que la pénétration nécessaire pour enlever un copeau d'épaisseur convenable. On voit aisément que les faces du fer du rabot et la face plate près du bois satisfont aux conditions ci-dessus indiquées, et notamment que la face affûtée du ciseau et la surface du bois lui-même forment le plus petit angle possible.

Le même principe s'applique à tous les outils, aussi bien aux mèches des outils à percer qu'aux burins qui servent à tourner, etc.

Le raisonnement conduit à la forme du crochet si employée aujourd'hui, notamment dans les machines à raboter. Il est clair que, si la face antérieure de l'outil était à angle droit avec la surface à attaquer, il ne ferait qu'écraser des molécules de métal, que gratter et enlever les molécules en poussière; il ne couperait pas. D'un autre côté, si l'angle d'incidence était trop aigu relativement à la résistance à surmonter, la pointe serait bientôt rompue et l'outil hors de service.

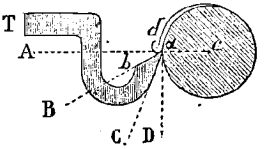


Fig. 7.

La figure 7 montre comment peut se construire, pour le tour, un outil remplissant ces conditions, c'est-à-dire tel que l'angle CαD soit très-petit, et l'angle BαC en rapport avec la résistance de la substance à travailler. Nous allons revenir sur la détermination de ces angles, obtenue par des expériences.

Épaisseur et enroulement du copeau. Il faut remarquer que l'outil doit séparer le copeau et l'enrouler après qu'il a été détaché. Babbage a fait sur ce côté de la question une observation curieuse.

Si t est la largeur du tranchant, e l'épaisseur du co-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

OUTILS COUPANTS.

peau, la résistance au mouvement de l'outil pourra être représentée par une expression de la forme $At + Bte^2$, le second terme se rapportant à l'enroulement du copeau, et l'inclinaison successive des éléments de la petite épaisseur e étant proportionnelle au carré de l'épaisseur, comme toute résistance à la flexion; elle devient considérable quand le copeau est épais et la ténacité de la matière notable.

Cette relation indique, en raison des coefficients A et B, proportionnels l'un à la cohésion, l'autre à la malléabilité du métal à travailler, qu'il existe dans chaque cas une certaine épaisseur de copeau plus convenable que toutes les autres pour l'économie de la force motrice.

En effet, soit à enlever une épaisseur $2e$; si l'on enlève successivement deux épaisseurs égales à e, le travail est égal à $(2At + 2Bte^2)\,l$ pour une longueur l, et si l'on opère en une seule fois à $(At + 4Bte^2)\,l$.

Le travail nécessaire pour enlever la même épaisseur de métal en deux fois est donc moindre que celui nécessaire pour l'enlever en une fois, si l'on a :

$$2At + 2Bte^2 < At + 4Bte^2,$$

ou $A < 2Be^2$, ou $e^2 > \frac{A}{2B}$ (1). Posons $e^2 = \frac{A}{2B} + v$; la force nécessaire pour deux opérations devient :

$$2At + 2Bt\left(\frac{A}{2B} + v\right) = 3At + 2Btv,$$

pour une seule :

$$At + 4Bt\left(\frac{A}{2B} + v\right) = 3At + 4Btv,$$

et la différence est $2Btv$.

Si au lieu de la relation (1) on avait une relation inverse, la différence serait de signe différent, d'où la conclusion indiquée ci-dessus qu'il existe pour chaque substance une valeur de e plus avantageuse que toute autre au point de vue du travail moteur consommé par la machine-outil.

La limite de l'épaisseur du copeau est souvent indiquée par la puissance de la machine-outil, si l'outil est suffisamment large; plus souvent par l'échauffement de l'outil.

Pour la fonte et le cuivre, le copeau une fois enlevé se brise en petits éclats, aussi les outils s'échauffent-ils peu et ces métaux se travaillent à sec. Pour le fer, plus malléable, le copeau presse fortement sur l'outil qui s'échauffe par suite du frottement et de la compression; aussi faut-il rafraîchir l'outil avec de l'huile ou de l'eau de savon.

La face antérieure de l'outil doit être disposée de manière à ne pas rencontrer de suite le copeau enroulé, pour ne pas faire naître une résistance accessoire qui peut être notable.

Épaisseur de l'outil. — L'outil doit avoir une grande épaisseur dans le sens du chemin à parcourir, relativement à la résistance à surmonter. S'il peut obéir aux pressions exercées, il *broute*, écorche le métal en vibrant.

Angles à donner aux outils. — Affûtage. — L'angle tranchant a une valeur différente suivant la nature des corps : il est maximum lorsqu'ils sont cristallins et grenus, et minimum lorsqu'ils sont fibreux et tenaces. Cet angle est indépendant de la vitesse du mouvement de l'outil comme de l'épaisseur du copeau.

Nasmyth et Babbage, puis Willis ont cherché à déterminer cet angle pour les matières travaillées par les mécaniciens. D'après ce dernier, l'angle d'incidence étant toujours de 3°, l'angle tranchant doit avoir :

60° pour le fer et l'acier,
70° — la fonte,
80° — le bronze.

M. Joessel a fait à Indret, en 1863, une série très-complète d'expériences sur des outils de toute forme, en mesurant le travail consommé pour enlever un même poids de matière, au moyen d'un dynamomètre Taurines. La construction graphique de tous les résultats lui a permis d'établir que les meilleurs angles de coupe devaient être :

Pour le fer. . .	Tranchant.	51°
—	Incidence..	3°
Pour la fonte. .	Tranchant.	51°
—	Incidence..	4°
Pour le bronze.	Tranchant.	66°
—	Incidence..	3°

Entre les résultats obtenus par les deux expérimentateurs, la différence est notable. Cela tient sans doute à la différence du point de vue des deux expérimentateurs. Willis s'occupait surtout de la durée de l'outil et de la rapidité du travail; M. Joessel ne recherchait absolument que l'économie de la force motrice.

M. Poulot, auquel nous avons fait de nombreux emprunts dans ce qui précède, admet, d'après ses expériences, pour un petit angle d'incidence de 3°, les angles tranchants ci-après : pour le fer, 55°; pour la fonte, 60°; pour le bronze, 75°.

Pour vérifier les angles des outils on peut employer des calibres de divers genres; les plus simples sont formés de petites plaques de tôle, entaillées suivant l'angle voulu.

A tous les calibres, dit avec raison M. Poulot, nous préférons beaucoup les meules à chariot de Whitworth.

Ces meules sont de deux espèces. Avec les unes on affûte sur le pourtour comme dans les anciennes meules, avec les autres on affûte sur le plat de la meule.

Dans l'une et l'autre disposition, on peut donner à un outil un angle exact, sans avoir besoin de le vérifier pendant le meulage; il suffit de donner au chariot mobile autour d'un axe horizontal, sur lequel se monte l'outil pour l'affûtage, une position déterminée, ce qui est rendu facile par un index placé sur le côté (fig. 8).

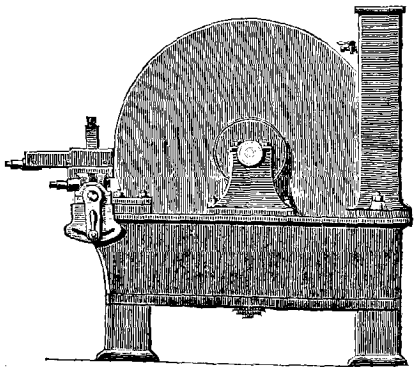


Fig. 8.

L'emploi du plat de la meule, au lieu du pourtour, offre plusieurs avantages; la dureté variable des lits successifs du grès n'a plus d'influence sur l'affûtage, et le chariot se mouvant du centre à la circonférence, on peut commencer l'affûtage avec la plus grande vitesse et donner le dernier coup sur une partie allant moins vite.

L'usage de ces meules est trop peu répandu en France et cependant, dit M. Poulot, l'invention du célèbre constructeur anglais constitue un des progrès les plus considérables qu'on ait jamais réalisés dans l'outillage. Employer des outils toujours bien coupants, affûtés sous les angles les plus convenables, est évidemment le point de départ essentiel de toute bonne et économique construction.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Fabrication des outils. Nous entrerons dans quelques détails sur la fabrication des outils fondée sur une série d'opérations qui sont toujours :

Un forgeage suivi le plus souvent d'un travail à la lime; la trempe presque toujours suivie d'un recuit et d'un redressage; puis, pour les tranchants, l'émoulage et l'aiguisage, et enfin le polissage quand les pièces doivent avoir de l'éclat.

Nous dirons quelques mots des outils des diverses industries.

La fabrication des faux comprend un grand nombre d'opérations de forge qui ont été décrites à l'article FAUX. Pour les tremper, on les plonge dans un bain de corps gras, composé d'huile, de suif, etc. Cette trempe, quoique douce, est cependant trop forte pour permettre le martelage, qui est généralement employé pour rétablir à froid le tranchant quand il est émoussé; pour l'amener à un état convenable, on soumet la faux à un recuit dans un bain de sable chauffé. On juge à la couleur quand le recuit est suffisant. La faux est alors dressée définitivement et recouverte quelquefois d'un vernis qui la préserve de l'oxydation.

Les scies se fabriquent généralement avec de l'acier fondu, laminé d'abord à chaud, puis à froid quand la bande d'acier est arrivée à la largeur voulue.

Elles sont trempées de la même manière que les faux; on leur fait ensuite éprouver un recuit et un dressage entre deux plaques de fonte ou de fer chauffées jusqu'à ce que leur couleur arrive au jaune ou au bleu, suivant la qualité de l'acier.

Les lames passent alors au polissage, puis on enlève les dents à l'emporte-pièce. Pour le polissage on emploie un lapidaire à l'émeri.

La fabrication des outils pour le travail du bois, l'agriculture, etc., etc., désignée sous le nom de taillanderie, consomme une grande quantité d'acier. L'acier, dans ces outils, est presque toujours allié au fer; il forme exclusivement les tranchants, pointes, etc., le reste de l'outil est en fer.

On commence par ébaucher la pièce, et on donne la forme définitive aux parties qui ne doivent pas être aciérées, souvent à l'aide d'étampes. Ce forgeage terminé, on procède au soudage de l'acier; pour cela on applique une plaque d'acier sur la pièce de fer ou dans l'intérieur, après l'avoir ouverte, selon que le tranchant doit être sur le bord ou au milieu de l'épaisseur de l'outil. On chauffe le tout au blanc soudant, on forge et on étire à la forme définitive. Quand on emploie l'acier fondu, on chauffe la pièce de fer avant que d'appliquer la mise d'acier, et on interpose du borax entre les deux pour faciliter la soudure.

La pièce étant finie de forge est trempée et recuite. Le recuit s'opère en chauffant la pièce, quand elle n'a pas de grandes dimensions, sur un morceau de fer rouge, et les pièces de grandes dimensions, dans un feu spécial.

Quelques outils, tels que les mèches, vrilles, etc., sont composés d'étoffes, c'est-à-dire de plusieurs bandes de fer et d'acier soudées et corroyées avant le forgeage de l'outil.

Après la trempe, les pièces sont émoulues, aiguisées et polies. La lime n'intervient jamais dans la fabrication de grosses pièces.

Quelques outils sont exécutés aujourd'hui en acier fondu; ils sont principalement employés pour la sculpture, l'ébénisterie, etc.

Les aciers employés pour la taillanderie sont, en Angleterre, presque exclusivement des aciers de cémentation dits aciers poule; en France, des aciers naturels de l'Ariége, obtenus par la méthode de Rives; en Allemagne on emploie, en grande partie, les aciers naturels de la Styrie, de la Carinthie et du Tyrol.

Pour les limes on emploie, en Angleterre, l'acier cémenté, et plus généralement l'acier fondu.

Les fameuses limes à grosse taille de N. Spencer sont fabriquées avec de l'acier cémenté provenant du fer de Suède. Cet acier est soumis à un simple étirage.

En Allemagne, on se sert d'acier naturel pour les limes à grosse taille, et d'acier fondu pour les tailles fines.

En France, on emploie aussi, en général, pour les grosses limes, les aciers naturels et de cémentation, et pour les limes à tailles fines, l'acier fondu.

La fabrication des limes consiste d'abord dans un forgeage; il se fait à la main. Cependant, quand les limes sont grosses elles peuvent être ébauchées au martinet. Après le forgeage, les limes communes sont aiguisées sur la meule; les limes fines sont blanchies à la lime; elles sont ensuite soumises à un recuit; pour cela, on les place dans une caisse en tôle fermée hermétiquement dont on élève la température au rouge blanc; on laisse ensuite refroidir lentement. Au sortir de la caisse, elles sont limées légèrement, et on procède à la taille: cette opération se fait toujours à la main. Quand la lime est taillée, elle est portée au rouge, puis trempée; pour empêcher la décarburation de la lime en la chauffant quand elle est taillée, on la recouvre d'un mastic contenant des matières carburées, qui la préserve du contact de l'air. La trempe s'opère en les plongeant dans un baquet rempli d'eau dans laquelle on a dissous du sel ammoniac et du sel marin (Voy. LIMES).

Les limes se voilent ordinairement à la trempe; on les redresse en les plaçant sur deux points d'appui et en les soumettant à l'effet d'une vis de pression. On les chauffe légèrement pour faciliter le redressage.

La fabrication des lames de couteaux, rasoirs, canifs, ciseaux, etc., comprend: le forgeage, le limage, la trempe, l'aiguisage et le polissage.

Le forgeage se fait presque toujours à la main, en étirant les barres d'acier sur des enclumes spéciales. Cependant, aujourd'hui, quelques fabricants enlèvent les lames des couteaux, ciseaux, etc., à l'emporte-pièce dans des tôles d'acier fondu, et achèvent de leur donner la forme par un estampage. Ces deux opérations remplacent le forgeage à la main et le limage.

Quand les pièces sont forgées, elles sont soumises à un recuit qui doit être fait en vase clos pour être régulier, quand on opère sur un grand nombre de pièces à la fois. Ce recuit a pour objet d'adoucir l'acier et de rendre ainsi le travail de la lime facile. Quand on a dégrossi les pièces à la lime, on les trempe, après avoir élevé leur température au rouge, soit en les plongeant dans l'eau pure ou dans un bain composé d'huile et de suif; la pièce subit ensuite un recuit qui l'amène au degré de dureté que l'on veut obtenir. Pour les rasoirs, on s'arrête généralement à la couleur violette, etc.

Après la trempe, les lames sont amenées à leur forme définitive par l'émoulage, elles sont ensuite aiguisées et polies.

On se sert, pour l'émoulage et l'aiguisage, de meules en grès quartzeux, tournant avec une grande vitesse; pour le polissage on emploie des lapidaires de bois ou couverts d'une peau, sur lesquels on applique des poudres dures, au moyen de corps gras qui les rendent adhérentes. Les plus beaux polis s'obtiennent avec les poudres les plus fines et des lapidaires recouverts de peau; quand il doit être éclatant on le finit à sec, c'est-à-dire sans l'intervention d'un corps gras.

Les aciers employés sont l'acier fondu pour la coutellerie fine, et les aciers naturels et de cémentation, corroyés ou bruts, pour la coutellerie ordinaire.

Nous ne parlerons pas ici de l'application de l'acier fondu sur du fer, de l'acier doublé, en quelque sorte, nommé produit mixte, qui s'emploie plutôt pour des roues et des objets du matériel des chemins de fer que pour la fabrication des outils. Nous en avons parlé déjà à l'article BOUCHES A FEU.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

OUTREMER (*angl.* et *all.* ultramarin). On extrait cette couleur, qui possède une teinte bleue extrêmement riche, du *lapis-lazuli* ou *lazulite*, minéral assez rare qui nous arrive surtout de la Bucharie, par la voie d'Orenbourg, et qui est composé, d'après Warrentrapp, de :

Silice.	45,40
Alumine.	31,67
Soude.	9,09
Acide sulfurique.	5,89
Soufre.	0,95
Chaux.	3,52
Fer.	0,52
Chlore.	0,42
Eau.	0,42
	97,92

Le lapis-lazuli se présente en masses peu volumineuses, dont la densité = 2,75 — 2,95, d'un bleu d'azur très brillant, d'une texture grenue et légèrement lamelleuse. L'on y trouve presque toujours disséminés des grains de pyrites d'un beau jaune d'or, qui, ressortant sur le fond bleu de la pierre, font un bel effet comme objet d'ornement. Le lapis-lazuli fond au chalumeau en donnant un émail blanc; sous l'influence des acides, il perd également sa couleur et donne de la silice gélatineuse.

On extrait l'outremer naturel employé en peinture, des échantillons de lapis-lazuli les moins beaux et les moins riches, de la manière suivante : on concasse grossièrement la pierre et on trie à la main tous les morceaux de gangue stérile que l'on rejette; on introduit le reste dans un creuset et on le chauffe au rouge sombre, puis on l'étonne en le jetant encore rouge dans du vinaigre, où on le laisse digérer plusieurs jours pour dissoudre la chaux mécaniquement mélangée. On porphyrise alors avec soin le lapis-lazuli, et on l'incorpore avec son poids d'un mélange fondu composé de 8 parties de résine, 4 p. de cire vierge, 5 p. d'huile de lin et 3 p. de poix de Bourgogne. On lave ensuite la pâte ainsi obtenue, dans de l'eau chauffée à 32° environ, en la malaxant; l'eau sépare une partie de l'outremer, on décante l'eau et on laisse déposer la couleur. On traite le résidu par de nouvelles quantités d'eau, et on obtient ainsi de l'outremer de moins en moins brillant; les dernières portions sont d'un gris à peine teinté de bleu; on les désigne sous le nom de *cendres d'outremer*. 1^k de lapis-lazuli, valant actuellement environ 120 à 150 fr., donne de 500 à 600 grammes d'outremer et de cendres d'outremer, ce qui porte le prix de cette couleur à un taux très élevé; il a même été jusqu'à 1.500 francs les 500 grammes.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale, ayant proposé un prix de 6.000 fr. pour un procédé propre à donner de l'outremer artificiel ne coûtant pas plus de 200 fr. les 500 grammes, M. Guimet l'obtint, et parvint, dès 1827, à livrer au commerce un outremer artificiel d'une teinte bleue magnifique, plus riche que celle du plus bel outremer, mais un peu violacée. Tout récemment, M. Courtial, fabricant à Grenelle, est parvenu à faire de l'outremer tout aussi beau que celui de M. Guimet, avec lequel il s'est associé depuis; mais les procédés que suivent ces deux fabricants ont été tenus secrets et ne sont pas connus.

M. Gmelin et Robiquet ont fait également des recherches à ce sujet et ont publié leurs procédés, mais en suivant leurs prescriptions, l'outremer que l'on obtient a presque toujours une teinte verdâtre plus ou moins prononcée.

On fabrique actuellement en Allemagne, depuis quelques années, aux environs de Nuremberg, une grande quantité d'outremer artificiel pour les besoins du commerce. Nous allons en indiquer sommairement, d'après M. Pruckner, les procédés de fabrication (Voir, pour plus de détails, la note que nous avons insérée dans les *Annales des mines*, 4^e^ série, tome VI, pages 493 et suivantes.)

On prend de l'argile très alumineuse, aussi exempte de fer que possible, et grossièrement concassée avec un pilon de bois, que l'on met dans des cuves rectangulaires de 2^m^ de longueur sur 1^m^ de largeur; on l'arrose d'eau et on l'abandonne à elle-même pendant quelques jours. Elle se délite et se réduit en bouillie, que l'on purifie par lévigation et dépôt, de la même manière que dans les fabriques de porcelaine, pour en séparer le sable et les parties les plus grosses. On la conserve ensuite dans des cuves placées sous un hangar couvert, à l'état d'une pâte molle, dont on détermine rigoureusement par un essai la teneur en argile sèche, chaque fois qu'on veut s'en servir pour la préparation de l'outremer.

D'un autre côté, on prend le sulfate de soude impur, résidu de la fabrication de l'acide hydrochlorique, on le concasse en morceaux de 1 décimètre cube environ, que l'on plonge un instant dans l'eau, parce que l'expérience a prouvé que l'acide libre se dégage beaucoup plus aisément d'un sel humide que d'un sel desséché; puis on les charge sur la sole d'un fourneau à réverbère, que l'on remplit presque jusqu'à la voûte, en disposant les morceaux de telle sorte, que la flamme puisse circuler aisément sur leurs faces. On chauffe graduellement jusqu'au rouge naissant, et jusqu'à ce que tout l'acide libre ait été expulsé. Le sel calciné est aussitôt pulvérisé au bocard à sec ou entre des meules, en grains de la grosseur de ceux de la poudre de mine, et mélangé dans un tonneau tournant sur son axe, avec du charbon et de la chaux éteinte, dans les proportions suivantes :

Sulfate de soude.	100 parties
Charbon de bois pulvérisé. .	33 —
Chaux éteinte à l'air. . . .	10 —

Ce mélange est introduit sur la sole d'un fourneau à réverbère et recouvert de 3 à 4 centimètres de chaux éteinte, que l'on tasse dessus avec une pelle de fer. On ferme alors toutes les portes du fourneau, et dès que la masse est en pleine fusion, on la brasse vivement, en y rejetant quelques pelletées de charbon pulvérisé, puis on laisse reposer quelque temps, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de gaz enflammés de la surface du bain. On puise alors le sulfure de sodium avec des poches, et on le verse dans des moules plats en fonte où il se solidifie.

On dissout dans l'eau bouillante le sulfure de sodium mélangé de carbonate de soude ainsi obtenu, puis on laisse clarifier la dissolution, à l'abri du contact de l'air, dans des cuves de dépôt, où elle abandonne du carbonate et un peu de sulfate de chaux, souvent un peu de sulfate de soude cristallisé, qui est calciné et retraité comme il vient d'être dit, et du charbon très divisé qui ne se dépose qu'au bout de quelques jours. Il est très important de laisser reposer le plus longtemps possible, parce que les moindres particules de charbon suffisent pour altérer le feu de l'outremer. On sature ensuite à chaud, cette dissolution décantée, avec du soufre réduit en poudre, et on la concentre par l'ébullition jusqu'à ce qu'elle renferme 25 pour 100 de bi sulfure de sodium sec; elle a alors une densité d'environ 1,30 et marque 25° à l'aréomètre de Baumé. On emploie 40 à 50 parties de soufre par 100 parties de proto-sulfure de sodium fondu. Après avoir laissé la dissolution de sulfure de sodium déposer le léger excès de soufre qu'elle renferme, on la transvase dans de grandes cruches en verre, que l'on bouche avec soin, pour la préserver du contact de l'air, et pouvoir la conserver jusqu'au moment où on doit l'employer.

Les matières premières étant préparées, on procède comme il suit à la fabrication de l'outremer : on éva-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pore jusqu'à consistance sirupeuse, dans une chaudière plate en fonte, 50 kilogr. de la dissolution de sulfure de sodium ci-dessus, puis on y ajoute une quantité d'argile lavée, encore humide, correspondante à 12 kilogr. 1/2 d'argile sèche, et on mélange le tout aussi intimement que possible à l'aide d'une forte spatule en fer. Pendant que la masse se laisse encore brasser aisément, on y ajoute, par petites portions, une dissolution de 150 gr. de sulfate de fer cristallisé, complétement exempt de cuivre, et on mélange le tout avec le plus grand soin; on peut, si l'on veut, ajouter d'abord la dissolution du sulfate de fer, puis ensuite l'argile. Aussitôt après l'addition du sulfate de fer, le mélange prend une couleur vert jaunâtre, due à la formation du sulfure de fer; on continue à le brasser jusqu'à complète évaporation à siccité, et, après l'avoir détaché de la chaudière, on le réduit immédiatement à sec en poudre aussi ténue que possible.

Cette poudre est chargée dans des moufles de 0m,50 à 0m,60 de largeur sur 0m,30 à 0m,35 de hauteur, et 0m,80 de profondeur, placées dans des fourneaux à réverbère appropriés, de manière à former sur la sole une couche de 0m,06 à 0m,08 d'épaisseur, ce qui correspond pour chaque moufle à un poids de 15 à 20 kilogr. On active progressivement le feu jusqu'à ce que toute la masse soit arrivée au rouge, et on la laisse dans cet état pendant trois quarts d'heure à une heure, en renouvelant fréquemment les surfaces et en donnant libre accès à l'air. La masse se colore successivement en brun de foie, rouge, vert et bleu. Cette opération réclame beaucoup d'attention et d'habitude; une chaleur trop faible ne produit point d'outremer, tandis qu'une chaleur trop forte et trop longtemps prolongée en altère la beauté.

On retire alors la matière de la moufle et on l'épuise en la lavant avec de l'eau. Les eaux de lavage, qui renferment du sulfure de sodium, du sulfate et du sous-sulfate de soude, n'ont reçu jusqu'ici aucun emploi, mais on pourrait s'en servir pour préparer du sulfure de sodium. Les résidus du lavage sont égouttés dans des chausses en toile d'un tissu serré, puis desséchés à l'étuve. Leur couleur est le plus ordinairement d'un vert ou bleu noirâtre.

La masse desséchée est ensuite finement pulvérisée et passée au tamis de soie, puis calcinée de nouveau par portions de 5 à 7 kilogr., dans des moufles qui ne servent qu'à cette opération, et qui ont de 0m,45 à 0m,50 de largeur sur 0m,80 à 0m,90 de profondeur. On entretient un feu modéré, et une chaleur rouge peu intense suffit pour produire la couleur désirée. Aussitôt que la couleur bleue commence à paraître, on renouvelle constamment les surfaces avec un ringard en fer, jusqu'au moment où la couleur est devenue d'un beau bleu pur; l'opération dure de 1/2 à 3/4 d'heure. Il n'y a aucun avantage à la prolonger ou à augmenter l'intensité du feu. On retire la poudre et on la laisse refroidir, au contact de l'air, sur des plaques de granite. Il arrive souvent, mais pas toujours, que la couleur acquiert par le refroidissement bien plus de feu et de beauté.

L'outremer est ensuite broyé sous des meules de granite, puis séparé par lévigation, en diverses sortes qui portent les numéros 0/0, 0, 1, 2, 3, 4, etc... (Voyez OUTREMER, *Complément.*)

P. DEBETTE.

OXALATES. Les oxalates sont les sels formés par l'acide oxalique. Lorsqu'on les calcine en vase clos, ils se décomposent et donnent des carbonates, si les bases sont fortes; des oxydes, si elles sont faibles; et même les oxydes sont ramenés à l'état métallique, s'ils sont facilement réductibles: il n'y a jamais de résidu charbonneux. Chauffés avec l'acide sulfurique concentré, ils dégagent des volumes égaux d'oxyde de carbone et d'acide carbonique. Avec les sels de chaux, ils donnent un précipité blanc.

Le *bi-oxalate de potasse* est peu soluble dans l'eau. Si on neutralise la dissolution par la potasse, on obtient l'*oxalate neutre de potasse*, qui est beaucoup plus soluble; si, au contraire, on ajoute un excès d'acide oxalique, on obtient le *quadroxalate de potasse* moins soluble que les deux précédents. Le bi-oxalate, plus connu sous le nom de *sel d'oseille*, se trouve tout formé dans plusieurs végétaux, et en particulier dans l'oseille, d'où on le retire en pilant la plante, en extrayant le jus, lui faisant jeter un bouillon pour le clarifier (1), filtrant à travers une toile, évaporant jusqu'à pellicule, laissant ensuite cristalliser dans des terrines, et purifiant les cristaux obtenus en les redissolvant et les faisant cristalliser de nouveau. On prépare directement en France la plus grande partie de ce sel, en neutralisant une certaine quantité d'acide oxalique par une dissolution de potasse, ajoutant une quantité égale d'acide oxalique et faisant cristalliser. Le sel d'oseille est très employé pour enlever les taches d'encre. On s'en sert pour faire la *limonade sèche*, qui n'est autre chose qu'un mélange de ce sel avec du sucre en poudre et quelques gouttes d'essence de citron. Les *pastilles contre la soif* se font en ajoutant au mélange précédent du mucilage de gomme adragante, de manière à en faire une pâte qu'on divise en pastilles au moyen d'un emporte-pièce.

Le *bi-oxalate de soude*, qui peut remplacer le précédent, se trouve dans quelques végétaux marins; on peut aussi le préparer directement.

L'*oxalate d'ammoniaque* se prépare directement, en saturant l'acide oxalique par de l'ammoniaque, évaporant jusqu'à pellicule et faisant cristalliser; il est très employé dans les laboratoires pour séparer la chaux dans les analyses chimiques.

ACIDE OXALIQUE (*angl.* oxalic acid, *all.* kleesaüre). Cet acide se décompose par la chaleur, ou, lorsqu'on le chauffe avec de l'acide sulfurique, en volumes égaux d'oxyde de carbone et d'acide carbonique sans résidu, il précipite les sels de chaux en blanc. Il forme des sels anhydres, d'où l'on tire pour sa composition:

Carbone.	33,77	C^2O^3
Oxygène.	66,23	

Mais isolé, à l'état libre, il renferme toujours au moins, lorsqu'il est desséché, 1 équivalent ou 19,90 pour 100 d'eau, et cristallisé, 3 équivalents ou 42,70 pour 100 d'eau.

On retire cet acide du sel d'oseille ou bi-oxalate de potasse, en le précipitant par l'acétate de plomb. On décompose l'oxalate de plomb obtenu par l'hydrogène sulfuré ou par l'acide sulfurique, en faisant digérer la liqueur, dans ce dernier cas, avec de l'oxalate de baryte pour se débarrasser de l'excès d'acide sulfurique.

Le sucre, l'amidon, le ligneux, et, en un mot, la plupart des matières organiques, se transforment en acide oxalique, quand on les traite par une quantité convenable d'acide nitrique. C'est maintenant ainsi qu'on le prépare presque toujours pour les besoins du commerce. En général, on préfère le sucre, quand on veut l'obtenir pur avec facilité. Avec 3 parties de sucre et 30 parties d'acide nitrique à 1,12 de densité, on peut produire une partie d'acide oxalique. Il faut chauffer d'abord avec ménagement, puis faire bouillir le mélange, et évaporer la liqueur jusqu'à consistance presque sirupeuse. Le dégagement de gaz acide carbonique et de vapeurs nitreuses est très abondant; celles-ci peuvent être employées pour la conversion du soufre en acide sulfurique. Les cristaux que l'on obtient doivent être égouttés et soumis à une nouvelle cristallisation.

L'acide oxalique est employé comme mordant dans la fabrication des toiles peintes, ainsi que pour enlever les taches d'encre et de rouille (voy. OXALIQUE, *Complément*).

1. On facilite cette clarification en ajoutant du blanc d'œuf ou même du noir animal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

OXYDATION. Voyez ÉTAMAGE.

OXYDES. Nom générique des combinaisons binaires de l'oxygène avec les autres corps simples. Les oxydes de tous les métaux, dont nous nous occuperons exclusivement dans cet article, sont tous solides; il n'y en a qu'un très petit nombre qui jouissent de l'éclat métallique : tels sont les fers oxydulé et oligiste, quelques oxydes de manganèse, etc.; ils perdent cet éclat par la trituration; leur couleur est, en général, différente de celle du métal qui les produit : cette couleur est souvent très belle et très éclatante; aussi cette classe de corps fournit des matériaux précieux à la peinture. Leur densité est toujours moindre que celle du métal qui leur sert de base. Ils sont inodores, excepté ceux d'antimoine et d'osmium à l'état de vapeurs. Ils sont tous fixes ou à peu près, à l'exception du protoxyde d'antimoine et des acides molybdique et osmique. Un grand nombre sont fusibles. La chaleur réduit complétement les oxydes d'argent, de mercure, d'or, de platine et des nombreux métaux qui accompagnent ce dernier. Elle ramène à un moindre degré d'oxydation les peroxydes et deutoxydes de chrôme, de manganèse, de plomb, etc.; beaucoup de protoxydes se peroxydent par le grillage. Le carbone, mélangé intimement avec les oxydes, les réduit presque tous; il en réduit même un grand nombre par cémentation. L'hydrogène et le soufre sont dans le même cas. Par voie sèche, le chlore attaque tous les oxydes, lorsqu'ils sont mélangés de charbon. Le fer et l'étain réduisent, à l'aide de la chaleur, les oxydes de presque tous les métaux. Les oxydes sont presque tous insolubles dans l'eau; mais ils sont tous susceptibles de se combiner avec elle pour former des *hydrates*.

Les acides ont une grande tendance à se combiner avec les oxydes, surtout lorsqu'ils sont à l'état d'hydrates, pour former des sels. Cependant il y a certains oxydes, comme les peroxydes de manganèse et de chrôme, qui ne se dissolvent dans les acides qu'en abandonnant une certaine portion de leur oxygène. L'acide nitrique dissout la plupart des oxydes, à l'exception des peroxydes d'étain, d'antimoine, de plomb, de manganèse, etc.; il suroxyde, à l'aide de la chaleur, les protoxydes de fer, de cuivre, de mercure, d'étain, d'antimoine, etc. L'acide sulfurique se combine aisément avec la plupart des oxydes; cependant il paraît généralement moins énergique sous ce rapport que l'acide hydrochlorique, qui les dissout presque tous, en donnant lieu à un dégagement de chlore avec beaucoup de peroxydes, celui de manganèse, par exemple.

Quelques oxydes métalliques, jouant pour la plupart le rôle d'acides, sont susceptibles de se combiner avec la potasse et la soude, soit par voie humide, soit par voie sèche, tels sont les oxydes de zinc et de plomb, les acides chrômique, stannique, antimonique, tungstique, uranique, etc. L'ammoniaque dissout, surtout lorsqu'ils sont à l'état d'hydrate, les oxydes de zinc, de cuivre, d'argent, les acides chrômique, tungstique, les oxydes de nickel, de cobalt, de fer, etc. Le nitre et le chlorate de potasse suroxydent par voie sèche tous les oxydes susceptibles de produire des peroxydes ou des acides permanents à la chaleur blanche.

Les oxydes qui jouent le rôle des bases les plus fortes sont l'oxyde d'argent, les protoxydes de plomb, de fer, de manganèse, de nickel, de cobalt, de zinc, et les deutoxydes de mercure et de cuivre.

Les hydrates des oxydes blancs sont eux-mêmes blancs; ceux des oxydes colorés sont aussi colorés; mais leurs couleurs sont différentes de celles des oxydes. Ces couleurs sont souvent très belles et très brillantes. Les hydrates sont, en général, très facilement décomposables par la chaleur; quelques-uns, celui de deutoxyde de cuivre par exemple, se décomposent même dans l'eau bouillante. Ils sont tous beaucoup plus facilement attaquables par les acides et par les alcalis que leurs oxydes. Ils ne se forment pas directement : on ne les obtient qu'en précipitant les dissolutions métalliques par les alcalis caustiques en excès.

Les oxydes étant en très grand nombre, on ne peut les obtenir tous par les mêmes procédés. On en trouve un grand nombre, dans le règne minéral, à l'état de pureté parfaite. Quelques-uns n'existent qu'en combinaison, à l'état de sels, et ne peuvent être isolés sans se décomposer, les protoxydes de fer et de mercure, par exemple. On les prépare par l'un ou l'autre des procédés suivants.

1° On expose au contact de l'air un métal en fusion et l'on enlève l'oxyde à mesure qu'il se forme à la surface du bain (litharge, etc.).

2° On grille, à une chaleur convenable, un oxyde susceptible d'absorber encore de l'oxygène (minium, etc.).

3° On calcine, à une température plus ou moins élevée, les peroxydes susceptibles de perdre une certaine dose d'oxygène par l'action de la chaleur (oxyde rouge de manganèse, etc.).

4° On chauffe le mélange d'un oxyde et du métal correspondant dans des proportions convenables (protoxydes d'antimoine, de cuivre, etc.).

5° On fait passer un courant de vapeur d'eau sur un métal réduit en limaille et chauffé au blanc dans un tube de porcelaine (oxyde de fer magnétique).

6° On fait bouillir un métal avec de l'acide nitrique concentré, on évapore à sec et on calcine au rouge (peroxyde de fer, acide antimonieux, acide stannique, etc.).

7° On traite un oxyde intermédiaire par l'acide nitrique, lorsque cet acide peut le partager en protoxyde soluble et en peroxyde insoluble (peroxydes de plomb, de manganèse, etc.).

8° On précipite une dissolution métallique, soit par un alcali caustique, soit par un carbonate alcalin, et l'on calcine le précipité, qui est un hydrate ou un carbonate. On prépare par ce moyen un très grand nombre d'oxydes.

9° On précipite une dissolution métallique par un hypo-chlorite alcalin, on obtient un chlorure soluble et un peroxyde hydraté, que l'on peut souvent amener à l'état anhydre sans le décomposer, en le chauffant avec ménagement (peroxydes de manganèse, cobalt, etc.).

10° On prépare, le plus souvent, les oxydes métalliques qui jouent le rôle d'acide, en traitant par le nitre, à la chaleur rouge, les oxydes ou les minéraux qui renferment le même radical et en décomposant ensuite le sel de potasse qui se produit par un acide plus fort (acides *chrômique*, etc.).

OXYGÈNE (*angl.* oxygen, *all.* sauerstoff). Corps simple gazeux, permanent, incolore, insipide, inodore, dont la densité = 1,1026. L'eau en dissout 0,035 de son volume, quantité insignifiante en poids. Comprimé avec force et rapidité dans un corps de pompe, il développe de la lumière et une chaleur suffisante pour allumer de l'amadou. C'est de tous les corps celui qui active le plus la combustion. Le protoxyde d'azote seul partage avec lui, mais à un moindre degré, cette propriété qu'il doit à l'oxygène qu'il renferme. C'est le seul gaz propre à la respiration et susceptible de transformer le sang veineux en sang artériel : son action est tempérée dans l'air que nous respirons par le mélange d'un gaz inerte, l'azote. A la température ordinaire, l'oxygène n'agit que sur un très petit nombre de corps; mais, quand on les chauffe au rouge, un certain nombre, le fer par exemple, brûlent dans ce gaz avec un éclat que la vue ne peut supporter. L'oxygène est de tous les éléments celui qui est le plus répandu dans la nature; il fait partie de l'immense majorité des substances minérales qui composent l'écorce terrestre; il constitue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les 0,21 de l'air atmosphérique et les 0,889 de l'eau.

On prépare ce gaz, soit en calcinant du peroxyde de manganèse au blanc, dans une cornue : il se forme alors de l'oxyde rouge de manganèse, et il se dégage le tiers de l'oxygène que renfermait le peroxyde, soit en traitant à chaud le péroxyde de manganèse par l'acide sulfurique : il se forme du sulfate de protoxyde de manganèse, et il se dégage la moitié de l'oxygène que renfermait le peroxyde; soit enfin en chauffant avec ménagement, dans une petite cornue de verre, du chlorate de potasse : il se forme d'abord du chlorure de potassium et de l'hyperchlorate de potasse, lequel se décompose lui-même à une température plus élevée, en laissant un résidu de chlorure de potassium et il se dégage en tout 6 équiv. d'oxygène ou 32 pour 100 environ du poids du chlorate employé. (Voy. *Complément*).

P

PACKFONG. Voyez NICKEL.

PAILLE. Voyez CHAPEAUX DE PAILLE.

PAILLETTES. Petits disques minces percés dans le milieu. Voyez CANNETILLE.

PAIN. La confection du pain consiste en deux opérations distinctes : la préparation de la pâte, nommée pétrissage, et la cuisson de cette pâte quand elle a été pétrie et mise sous la forme qu'on veut donner au pain.

La conversion de la farine en pain se fait en l'hydratant de manière à dissoudre ses parties solubles, la glucose et la dextrine et à pénétrer d'eau les principes insolubles, tels que l'albumine, la caséine, la fibrine et la fécule. Mais, par une simple addition d'eau et un pétrissage prolongé, le pain que donnerait la farine ne consisterait qu'en une masse compacte, lourde et indigeste. Il est nécessaire de recourir à un agent qui, en déterminant la fermentation de la pâte, développe de l'acide carbonique. Ce gaz, en se dégageant, augmente le volume de la pâte et y produit des vides nombreux ; pendant la cuisson, ces vides augmentent de volume, en même temps que la vapeur d'eau qui se dégage ajoute encore au gonflement du pain.

L'effet utile de la fermentation panaire consiste donc dans le dégagement du gaz acide carbonique; de plus, il y a production d'alcool et d'acide acétique dont l'odeur accuse la marche de l'opération.

La cuisson de la pâte, tout en éliminant l'excès d'eau, forme une croûte qui maintient la forme du pain et, par sa cohésion, la défend des altérations spontanées; cette croûte, par l'altération de la matière organique, se colore d'autant plus que le pain est soumis à l'action d'une plus haute température et qu'il renferme plus d'eau.

L'agent employé, par les boulangers, pour faire lever la pâte est de deux sortes : le *levain de pâte fermentée*, et la *levure de bière* ou ferment. Ces deux matières peuvent s'employer ensemble ou séparément.

Le *levain* est une portion de pâte prélevée à la fin de chaque opération et qui est employée pour les pétrissages suivants ; mais ce levain a besoin de subir plusieurs préparations qui le rendent apte à remplir son but. Il doit être placé dans un endroit où la température soit uniforme pendant toute l'année, et où rien ne puisse arrêter sa fermentation. On le laisse ainsi 7 à 8 heures pendant lesquelles son volume double sans que sa forme change ; il est alors plus léger que l'eau et dégage une odeur spiritueuse agréable. On a alors ce que l'on nomme *levain de chef*. Environ 9 heures après la préparation de ce levain, on le pétrit avec une quantité d'eau et de farine suffisante pour doubler son volume, tout en conservant le mélange très ferme, on a ce que l'on nomme le *levain de première*. Six heures après ce second travail, on renouvelle ce dernier levain en préparant le *levain de seconde*, qui s'obtient en faisant subir au précédent un travail tout à fait semblable à celui qui a servi à le préparer, seulement on ajoute proportionnellement plus d'eau que de farine pour avoir une pâte plus molle. Le volume du levain a encore doublé par cette troisième opération. Enfin une dernière manutention, faite avec beaucoup de soin et semblable en tout aux précédentes, donne le *levain de tout point*, dont le volume doit être tel qu'il fasse le tiers d'une fournée en été et la moitié seulement en hiver.

Nous avons dit qu'on employait la levure de bière comme auxiliaire à la fermentation panaire ; on en emploie un kilogramme pour deux fournées. Quand la levure, qu'on emploie sèche, n'a pas été falsifiée, elle active beaucoup le travail et fournit des pâtes très légères ; employée en trop forte proportion, elle donne au pain une saveur désagréable, car elle s'altère rapidement ; aussi le pain doit être, dans ce cas, mangé tendre.

Lorsque le *levain de tout point* est prêt, on opère le *pétrissage*, opération qu'on peut diviser en quatre temps nommés : *délayure, frase, contre-frase et découpage*.

On commence par verser sur le levain toute l'eau nécessaire à la fabrication de la pâte et, à l'aide des mains ouvertes, on presse la masse de manière à la bien diviser en la rendant aussi liquide que possible, afin qu'il ne reste aucuns grumeaux. Quand la masse est bien délayée, on y introduit, portions par portions, la quantité de farine nécessaire à former la pâte ; on opère rapidement le mélange sans retirer les mains. C'est de cette opération, qui constitue la frase, que dépend le bon pétrissage.

On ratisse alors le pétrin pour réunir toutes les portions de pâte en une seule masse, puis on contre-frase, c'est-à-dire qu'on relève la pâte de droite à gauche à la tête du pétrin, en la retournant en gros pâtons qu'on travaille successivement pour les reporter de gauche à droite. On soulève la pâte, on la replie sur elle-même pour l'étirer et ensuite la laisser tomber avec effort en la jetant sur les parties déjà travaillées, ce qui facilite le développement de la pâte en y permettant l'introduction de l'air.

On ratisse de nouveau le pétrin et on prend la moitié de la pâte pour l'employer comme levain à la fournée suivante.

On procède alors au *bassinage*, opération qui consiste à faire absorber à la pâte une plus grande quantité d'eau. Cette opération, qui est très fatigante, s'emploie souvent pour arrêter la fermentation.

On introduit généralement du sel dans le pain, surtout quand on doit le conserver ; car le sel, tout en donnant du goût au pain, retarde sa fermentation. Le sel est jeté par poignées sur le levain avant d'y mettre l'eau. A Paris, on emploie un demi-kilogr. de sel par sac de farine du poids de 159 k. En Angleterre, on met 2 k de sel par sac de 125 k, quelquefois on met moitié sel et moitié alun.

On distingue, à Paris, trois sortes de pâtes : la pâte ferme, la pâte bâtarde et la pâte douce.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la *pâte ferme*, il entre proportionnellement plus de farine que dans les autres, et elle donne moins de déchet à la cuisson, en outre le pain se conserve mieux en même temps que son pouvoir nutritif est plus considérable.

La *pâte douce*, moins riche en farine, demande un plus grand travail, mais sa cuisson est plus courte; toutefois, si la pâte n'est pas bien apprêtée, elle donne un déchet considérable au four.

Quant à la *pâte bâtarde*, elle tient le milieu entre les deux autres, c'est la plus généralement employée.

La pâte, une fois pétrie, on opère sa division et sa pesée; mais comme, par l'évaporation qui se produit, il y a une perte de poids, on est obligé d'en mettre un excédant qui permette de retrouver, après la cuisson, le poids fixé par les règlements.

On ajoute donc à la pâte en la pesant :

Pour les pains ronds de 6 kilog.,			61	décagrammes.
Pour ceux de	4	»	49	»
Pour ceux de	3	»	43	»
Pour ceux de	2	»	28	»
Pour ceux de	1	»	18 à 19	»

Après avoir pesé la pâte, on lui donne la forme que les pains doivent avoir; on a soin alors de la saupoudrer de farine pour qu'elle ne s'attache ni aux mains ni au pétrin.

D'après leur forme, on désigne les pains sous plusieurs noms, on distingue : les *pains fendus* longs ou courts; les *pains sans grigne* ou à *grignon*, dont la fente, au lieu d'être dessus, comme pour les précédents, est faite sur le côté; les *pains ronds* qui sont demi-longs et non fendus; les *pains ronds* pleins ou évidés au centre, leur épaisseur est peu considérable.

Après avoir été pesée et façonnée, la pâte est mise dans des pannetons où elle fermente et prend son *apprêt* avant d'être enfournée. L'apprêt doit se faire dans un lieu où la température soit assez élevée pour favoriser la fermentation.

La *cuisson* des pains s'opère dans des appareils nommés *fours*; ces fours, ordinairement en briques, varient de grandeur, mais gardent une forme constante, qui est celle d'une poire ou d'un œuf, et que la pratique a indiquée comme la plus favorable.

Les fours ordinaires ont 3 mètres de longueur sur $0^m,33$ à $0^m,50$ de hauteur. Pour rendre la combustion plus complète, on garnit ces appareils de trois conduits nommés *ouras* qui s'ouvrent dans le four, et qui vont, en passant sur la voûte, aboutir à la cheminée. Quand le feu est allumé on ferme la bouche du four, le triage se fait par les ouras. La chaleur perdue des fours est utilisée pour le chauffage de l'eau qui s'emploie dans le pétrissage.

Les fours sont chauffés avec du bois ou tout autre combustible donnant une flamme claire et vive; on fait ordinairement usage de bouleau et de sapin. On doit surtout éviter l'emploi des bois peints, qui pourraient communiquer à la pâte les propriétés nuisibles que leur peinture possède. Il faut que la chaleur se répartisse uniformément dans le four; pour cela, on doit arranger le bois avec soin avant d'y mettre le feu.

Les boulangers retrouvent une grande partie du prix du combustible en vendant la braise qui en provient; cette diminution de dépense est à peu près de moitié. Quand le four est assez chaud on retire la braise, et on écouvillonne la sole de manière à la rendre aussi propre que possible, puis on procède à l'enfournement; on met sur l'un des côtés une boîte en tôle, nommée *porte-allume*, renfermant des petits morceaux de bois sec qu'on enflamme et qui éclairent l'ouvrier chargé de l'enfournement.

On place d'abord, en commençant, les plus gros pains au fond, et les plus petits, qui seront cuits les premiers, sont mis auprès de la bouche du four.

Le four chargé, on le ferme à l'aide d'une porte en tôle, qu'on ne retire qu'au bout de vingt minutes pour s'assurer si la cuisson marche bien. C'est à la couleur que prend la croûte qu'on juge du degré d'avancement de l'opération, et par conséquent du temps que le pain doit rester au four.

Les pains de 2 kilogrammes demandent 35 minutes de cuisson; ceux de 4 kilogrammes, 50 à 60 minutes. On opère le défournement des pains en enlevant d'abord ceux qui sont à l'entrée, puis on continue graduellement jusqu'aux plus gros qui sont au fond du four.

On reste 10 à 15 minutes pour décharger un four ordinaire. Les pains sont reçus dans des paniers afin d'éviter leur déformation; il est indispensable que les pains soient bien cuits quand on les retire, car s'il fallait les remettre au four une seconde fois ils perdraient leur couleur vive et leur croûte se riderait.

Outre le pain ordinaire, les boulangers en confectionnent d'autres dont la vente est plus productive, car ces pains, qu'on désigne sous le nom de *pains de luxe*, ne sont soumis à aucune taxe. Leurs formes varient à l'infini, aussi ne nous en occuperons nous pas; nous nous contenterons de décrire succinctement le mode de leur préparation.

Pains de gruau. On désigne sous le nom de pains de gruau les petits pains faits avec des farines dites de gruaux sassés, et qui, par cette raison, sont plus blancs que ceux obtenus à l'aide de la farine ordinaire.

Quand la consommation de ce pain est considérable, on opère sa préparation comme celle du pain ordinaire; on a un levain exprès, qu'on emploie dans les mêmes proportions que dans la panification de ce dernier. Lorsqu'au contraire le débit des pains de gruau est faible, on a recours au levain artificiel qu'on prépare avec la levure de bière. Le reste des opérations est identique à celles décrites précédemment.

Pains à café. Les pains désignés sous le nom de pains à café sont obtenus à l'aide de farine de gruau de qualité secondaire, en faisant usage du levain artificiel, ou mieux encore, en faisant usage de la pâte qui sert à la confection des pains de gruau, en employant le levain ordinaire; dans tous les cas, la pâte doit être bien battue et soufflée, de manière à être rendue très légère. La qualité de ces pains dépend essentiellement du travail que l'on donne à la pâte, qui doit être aussi douce que possible.

Les *pains mollets* et les *pains à soupe* sont préparés avec la pâte des pains à café; les derniers sont tout en croûte lorsqu'ils sont cuits.

Les pains dits *navette*, *flûte crevée*, *pains de tête*, etc., se font à l'aide de la pâte ordinaire, sans travail particulier, seulement on expose la pâte à l'air afin qu'elle n'ait pas trop d'apprêt au moment de la tourner.

Les *bonaparte*, *pain rond*, *giberne*, *artichaut*, se font également avec la même pâte, mais rendue plus ferme.

Pain de dextrine. Le pain de dextrine est un aliment ayant une saveur agréable et une odeur aromatique propre aux meilleures farines; ce pain, cependant, s'obtient généralement avec des farines altérées, car en ajoutant un peu de sucre ou de glucose à une farine, on retarde la fermentation de la matière azotée. Pour obtenir le pain de dextrine, il faut mélanger 2 à 4 p. 100 de matière sucrée à la farine; ce mélange donne un pain dont la mie est spongieuse et régulière, tandis que la croûte a un aspect appétissant.

Pains viennois. Les pains viennois se font en ajoutant du lait à la pâte qui sert à les préparer. On emploie dans le pétrissage 1 partie de lait pour 4 p. d'eau; on a alors recours au levain artificiel en quantité plus considérable. Ces pains se vernissaient autrefois à l'aide d'albumine ou blanc d'œuf; aujourd'hui cette opération se fait sans rien ajouter, en opérant la cuisson sous l'action d'un courant de vapeur d'eau. La vapeur aug-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mente les effets de la réaction qui caramélise la surface du pain. Pour arriver à ce résultat on chauffe le four comme à l'ordinaire, seulement on nettoie avec un tampon de paille mouillée le devant de la sole du four ; il y a formation de vapeur, on enfourne les pains et on ferme la porte. La vapeur produite forme en avant du four un nuage qu'on a soin d'entretenir, et qui agit sur le pain en le vernissant.

Pain de gluten. Ce pain s'obtient avec le gluten d'une farine qu'on a privée de son amidon ; c'est un aliment qui est très nutritif, car il ne renferme que la matière azotée de la farine. Ce pain léger est excellent pour les malades qui ne peuvent prendre que peu de nourriture.

Pain de munition. De tous les pains, celui de munition est certainement le plus mauvais ; cela tient à trois causes : 1° au défaut de nettoyage des blés livrés à l'administration de la guerre ; 2° à la mauvaise manipulation de la pâte ; 3° enfin à une cuisson toujours défectueuse.

A Paris, où le pain de munition est le moins mauvais, il se fabrique avec un mélange de :

Deux cinquièmes de farine dite *deuxième ;* cette farine est la qualité immédiatement inférieure à celle employée pour le pain ordinaire.

Deux cinquièmes de farine dite *troisième*, qui est la première qualité des farines bises.

Un cinquième de farine dite *quatrième ;* c'est la dernière qualité au-dessous de laquelle il n'y a plus que les remoulages.

Le mélange de ces trois sortes de farines donne un pain d'une couleur grisâtre, pour la fabrication duquel on emploie beaucoup de levain, qui permet à la pâte de prendre son apprêt sans qu'on soit obligé de la travailler beaucoup.

Dans les manutentions militaires on veut des boulangers qui appartiennent à l'armée, et qui, par conséquent, entrent en campagne avec leurs corps, en emportant avec eux le matériel qui leur est nécessaire.

En campagne, on met plus d'eau dans le pain de munition, ce qui facilite le délayage et donne un rendement plus considérable ; mais comme l'excès du poids obtenu est dû à l'eau, ce rendement est illusoire et, de plus, nuisible à la santé du soldat, car l'eau étroitement renfermée dans la croûte compacte du pain en produit l'altération rapide.

Dans les boulangeries militaires, 24 hectolitres de farine ou 16 sacs, rendent onze fournées ; ce volume représente un poids de 2.544 kilogrammes de farine, auxquels on ajoute 2.096 kilogrammes d'eau, et 4 kilogrammes de sel pour former la pâte.

On obtient 2.486 pains, pesant chacun 1k,5, ce qui fait un rendement de 3.729 kilogrammes ; il y a eu, par la cuisson, 941 kilogr. d'eau évaporée.

Pour obtenir ces 3.729 kilogr. de pains, on emploie 880 kilogr. de bois sec, et le personnel se compose de trois boulangers, deux aides et un chauffeur.

Dans le pain tendre ordinaire, il y a 5/6 de mie contenant 45 p. 100 d'eau, et 1/6 de croûte renfermant 15 p. 100 d'eau seulement.

Le pain tendre de munition renferme aussi 5/6 de mie, mais cette mie contient 51 p. 100 d'eau ; il y a également 1/6 de croûte à 16 p. 100 d'eau. Si on établit une comparaison entre la quantité d'eau totale renfermée dans ces deux espèces de pains, on voit que le pain tendre ordinaire renferme 40 p. 100 d'eau, tandis que le pain tendre de munition en renferme 45 p. 100.

Biscuit. On nomme biscuit une sorte de pain inaltérable, très sec, en forme de galettes fort minces, et qui est destiné à la nourriture des marins pendant les voyages au long cours. Le biscuit se fabrique dans les ports de mer : on prend, pour le levain de la pâte, 1 partie de levain de bière et 2 parties de farine ; le délayage se fait comme à l'ordinaire, on frase plus court et la pâte doit être très ferme ; le pétrissage terminé, on travaille la pâte par parties, en donnant à chacune d'elles la forme d'un biscuit. Les galettes sont disposées sur des tablettes situées dans un lieu aéré et frais, afin d'éviter la fermentation. La cuisson s'opère dans un four chauffé beaucoup moins que pour le pain ordinaire. On perce chaque galette de plusieurs trous, afin de favoriser la cuisson et l'évaporation de l'eau. Le biscuit doit rester deux heures au four, ; au bout de ce temps, les galettes sont défournées et placées dans des caisses qui en contiennent de 25 à 50 kilogr. ; ces caisses sont portées dans une étuve placée au-dessous du four, où la dessiccation s'achève.

On ne met pas de sel dans le biscuit, car le chlorure de sodium renferme toujours des chlorures déliquescents, qui en attirant l'humidité causeraient l'altération du biscuit.

Le bon biscuit est sec et cassant ; sa cassure est vitreuse et sa couleur jaune brunâtre ; sa mie, qui est blanche, se gonfle beaucoup dans l'eau. En Angleterre, le biscuit est préparé sans levain, ce qui le rend fade et l'empêche de bien tremper.

M. Rollet a proposé de séparer de la farine le son qu'elle renferme toujours, de délayer celui-ci dans l'eau pour en séparer les principes sucrés et solubles, et d'employer l'eau qui a servi à ce lavage pour la préparation de la pâte. Pour obtenir le biscuit par son procédé, M. Rollet prend 100 kilogr. de farine dont il extrait 18 kilogr. de son ; il reste donc 82 kilogr. de farine brute. Les 18 kilogr. de son traités par l'eau chaude, puis pressés, donnent une matière farineuse dont le pouvoir nutritif est représenté par celui de 9 kilogr. de farine, on a donc en tout l'équivalent de 91 kilogr. de farine blanche, avec laquelle on prépare 120 biscuits pesant 89 kilogr. au sortir de l'étuve.

Pain de seigle. Cette espèce de pain s'obtient avec la farine de seigle, mais comme cette céréale renferme moins de gluten que le froment, le pain qu'on en retire est moins nutritif que le pain fait avec ce dernier. La farine de seigle exige pour sa panification plus de levain que celle du blé, une eau plus chaude pour le pétrissage, enfin une pâte plus ferme, moins de sel et une plus longue cuisson. Le pain de seigle sert dans quelques pays pour la nourriture de l'homme, mais généralement on l'emploie pour celle des chevaux.

Le *pain de méteil* s'obtient par un mélange de 2/3 de farine de blé et 1/3 farine de seigle.

Pain de pommes de terre. La panification de la pomme de terre a, depuis Parmentier, occupé un grand nombre de savants et de sociétés d'encouragement, qui promirent des récompenses à ceux qui atteindraient ce but ; aucun procédé n'a encore répondu à leur appel.

Le seul avantage qu'on retirerait de la panification de la pomme de terre serait de mettre ce tubercule sous un plus petit volume, et par conséquent d'éviter les frais de transport. Du reste, la pomme de terre est un pain tout fait qu'on peut arranger de vingt manières différentes, avantage qu'elle n'aurait plus une fois panifiée.

Pain de riz. De même que la pomme de terre, le riz ne pourra jamais être panifié avantageusement ; comme elle, il peut être préparé sous diverses formes. C'est aussi un pain naturel obtenu par le fait seul de la cuisson.

Le pain de riz, comme celui de pomme de terre, n'est pas nourrissant ; aussi, la fécule ou la pomme de terre bouillie et écrasée et le riz, ne peuvent-ils être mêlés à la farine de froment pour faire du pain sans qu'il y ait fraude, et fraude doublement grave, car le boulanger qui la pratiquerait, non-seulement gagnerait beaucoup plus qu'il ne lui reviendrait, mais encore son pain n'aurait plus le même pouvoir nutritif. C'est également un tort, qu'a eu l'administration de la guerre, de vouloir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans ces dernières années remplacer, aux soldats servant en Algérie, une partie de leur ration de pain par un poids égal de riz, le blé renfermant de 12 à 19 p. 100 de substance azotée, tandis que le riz n'en contient que 6 à 7 p. 100.

On a cherché souvent à panifier les farines de *haricots*, de *pois*, etc. ; c'est toujours dans les moments de disette que ces essais ont été tentés, le plus souvent, il faut le dire, pour frauder la farine de froment.

Des perfectionnements à apporter dans la fabrication du pain.

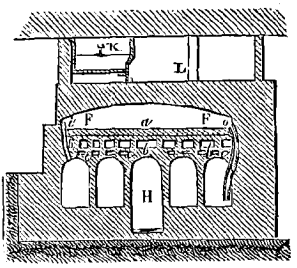
Dans ces derniers temps, de nombreuses améliorations ont été introduites dans la préparation du pain, et l'ont rendue une opération tout à fait industrielle.

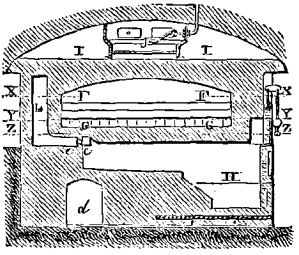
C'est à l'emploi de pétrins mécaniques et de fours chauffés à l'air chaud que cette transformation remarquable s'est opérée. Sans nous arrêter à tous les essais qui ont été tentés pour perfectionner les différents pétrins mécaniques proposés, sans décrire tous les changements apportés successivement au four aérotherme, nous ferons connaître ces appareils tels qu'ils sont employés chez MM. Mouchot frères, boulangers à Montrouge, dont l'établissement est certainement le plus beau dans son genre, établissement où toutes les opérations se font, pour ainsi dire, d'une manière continue.

Le pétrin employé dans la boulangerie de Montrouge est celui de M. Fontaine.

C'est un cylindre à douves de 0m,04 d'épaisseur réunies par des cercles en fer ; ce cylindre, fermé aux deux extrémités et séparé en deux capacités par un diaphragme, porte un couvercle muni de charnières, et tourne autour d'un axe sur lequel sont fixés des bras ; le cylindre lui-même porte d'autres bras qui passent, quand il tourne, entre les bras de l'axe fixe autour duquel il se meut.

1968.





1967.

C'est dans les deux compartiments du pétrin que sont déposés les levains, on y ajoute la farine et l'eau nécessaires ; après avoir fermé le cylindre, on lui imprime un mouvement de rotation qui lui est transmis par une machine à vapeur. La vitesse est de 4 tours par minute ; 15 à 17 minutes suffisent au pétrissage, dont la fin est annoncée par une sonnette fixée au cylindre et mise en mouvement par une roue à rochets. Le pétrissage obtenu au moyen de cet appareil est excellent, il a, en outre, l'avantage de présenter une propreté qu'on ne trouve pas dans le pétrissage à bras d'homme ; le seul résultat qu'on n'obtienne pas en l'employant, c'est une fermentation aussi active que dans la même opération faite à bras, fermentation dont la rapidité, dans ce dernier cas, est due, sans le moindre doute, à la sueur des hommes qui pétrissent.

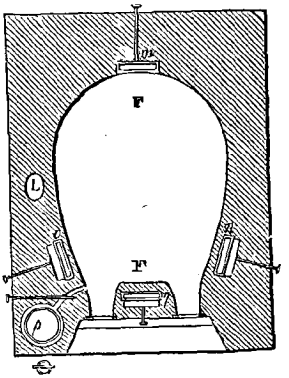
Cette fermentation trop lente a empêché jusqu'ici l'emploi des pétrins mécaniques dans les manutentions militaires, emploi qui faciliterait beaucoup la préparation du pain des soldats en campagne.

Les pétrins mécaniques étaient d'abord en bois, maintenant on les fait généralement en fonte.

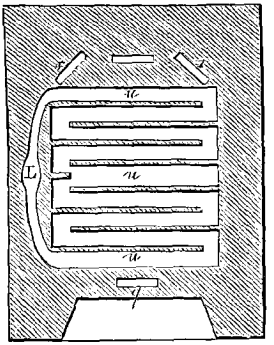
Le four aérotherme employé par M. Mouchot est celui de MM. Lemare et Jametel, perfectionné. Aucun combustible ou fumée n'entre dans le four proprement dit ; un courant d'air chaud seul y pénètre par des orifices distribués au pourtour de la sole. Cet air, qui produit la cuisson du pain, est chauffé par un foyer inférieur alimenté par du bois ou du coke. L'air et la fumée suivent deux routes bien distinctes et ne peuvent se mêler.

Aussitôt que le coke employé pour chauffer l'air est en ignition, l'ouverture par laquelle entre l'air, qui alimente le foyer, est fermée de la manière la plus exacte et la combustion continue, alimentée par l'air qui pénètre au travers des parois du foyer dont les pores

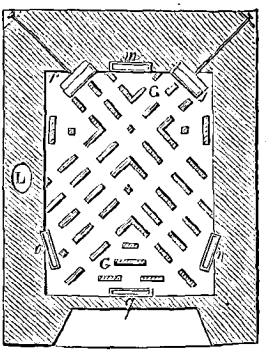
1964.



1966.



1965.



sont dilatés par la haute température de l'appareil.

Ce four présente une grande économie de combustible, une grande économie de main-d'œuvre, une pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

preté parfaite et surtout une cuisson excessivement régulière et ne laissant rien à désirer.

La cuisson dure une demi-heure, on fait 24 fournées par jour, chacune de 133 kilog. de pain pour 166 kilog. de pâte employée, ce qui fait qu'on peut obtenir avec un seul four 3192 kilog. de pain par jour, et on évapore ainsi 1296 kilog. d'eau, opération qui ne demande que 650 kilog. de coke.

Pour faciliter l'enfournement, deux becs de gaz sont disposés aux portes du four, et comme leurs supports sont à articulations, on les place de manière à voir successivement toutes les parties de la sole quand on les garnit de pains.

Les fig. 1964 à 1968 donnent connaissance de la construction du four aérotherme; dans ces cinq figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.

F F, four où se cuit le pain.

G, G, canaux régnant sous toute la surface du four; il y circule de l'air chaud arrivant des voûtes placées autour du foyer.

H, foyer du four. On a renoncé aux grilles dans le foyer, car elles se brûlaient trop vite. Aujourd'hui le coke est simplement jeté sur la sole du foyer, on en remplit l'espace H, et on ne le renouvelle que trois ou quatre fois en 24 heures.

I, espace vide réservé au-dessus du four, il sert d'étuve.

J, chaudière maintenue pleine d'eau au moyen d'un robinet à flotteur; elle fournit l'eau chaude nécessaire au pétrissage.

L, cheminée où se rendent les produits de la combustion du foyer.

c, canaux conduisant la fumée du foyer H dans les canaux *u*, *u*.

u, *u*, canaux d'un long parcours où circulent les produits de la combustion avant de se rendre dans la cheminée L; ces canaux sont placés immédiatement au-dessous de l'espace G G, où circule l'air chaud.

r, *s*, canaux amenant l'air chaud du réservoir qui entoure le foyer dans l'espace G G, placé au-dessous de la sole du four.

n, *o*, conduits amenant l'air chaud de l'espace G G, dans le four F F.

m, canal amenant directement l'air chaud du réservoir placé autour du foyer dans le four F.

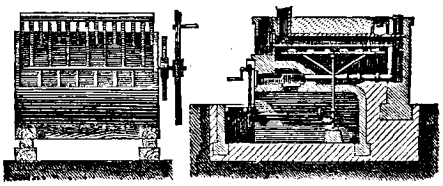
q, canal conduisant l'air chaud saturé d'humidité dans le réservoir inférieur. Cet air se réchauffe de nouveau pour revenir passer sur les pains; comme on le voit, c'est toujours le même air qui opère la cuisson.

p, chaudière chauffée par la chaleur perdue du four

Petite fabrication. Le four aérotherme, malgré tous ses avantages, exige une fabrication sur une trop grande échelle pour se multiplier beaucoup. La fabrication du pain est une industrie en quelque sorte domestique, qui ne peut guère s'exploiter en grandes manufactures. Ce sont surtout les perfectionnements qui peuvent s'appliquer aux petits ateliers, sans dépenses trop considérables, qui méritent grand intérêt; c'est un semblable progrès qu'a accompli M. Rolland, boulanger à Paris.

Son pétrin mécanique est d'une simplicité extrême; la force d'un jeune homme de quinze à vingt ans suffit parfaitement à le faire mouvoir en pleine charge. Sur une auge renfermant la quantité de pâte nécessaire à une fournée, règne un axe horizontal (figure 1969), à cet axe sont fixés deux ensembles de lames curvilignes alternativement longues et courtes: ces deux ensembles de lames dessinent deux quarts de surfaces cylindriques à courbures opposées, en ce sens que l'une des surfaces tourne sa concavité et l'autre sa convexité vers le fond de l'auge: ajoutez à cela une roue faisant fonction de volant, une manivelle qui transmet sa rotation à l'axe horizontal par l'intermédiaire de deux petites roues dentées, et vous aurez l'idée complète du pétrin de M. Rolland.

Son action est aussi prompte que facile et efficace;



1969. 1970.

en vingt minutes, ou même en dix minutes quand il est nécessaire, il transforme plus d'un sac de farine en une pâte parfaitement homogène, parfaitement levée et aérée, sans pelotes ni grumeaux.

Son four est exempt de toute fumée. Celle-ci et l'air chaud partis du foyer, placé loin de la bouche du four, et conduits par des tuyaux ramifiés en pattes d'oie au-dessus de la voûte et au dessous de l'âtre, circulent en assez grande abondance pour que le four atteigne promptement la température voulue et indiquée par un thermomètre que l'ouvrier a constamment sous les yeux. L'âtre ou le sol du four sur lequel on dépose le pain est recouvert de briques vernissées ou non vernissées que rien ne vient jamais salir (fig. 1970). Ces briques reposent sur une sole tournante qui se fait mouvoir du dehors à l'aide d'une manivelle. On comprend facilement tous les avantages qui résultent de cette disposition pour le chargement et le déchargement, comme aussi pour arrêter les pains les plus difficiles à cuire dans les parties les plus chaudes du four, pendant un temps convenable. En vingt-cinq minutes, la cuisson est ordinairement terminée, et le nombre des fournées peut atteindre dix-huit à vingt dans un jour avec une économie de 50 pour 100 sur le combustible.

De l'adultération du pain. L'introduction dans le pain de substances salines nuisibles à la santé ayant lieu assez souvent, les chimistes se sont occupés des moyens de reconnaître ces additions de sels vénéneux. C'est à M. Kuhlman, de Lille, qu'on doit les procédés suivis pour arriver à ce but; nous nous contenterons d'en dire quelques mots en faisant connaître les matières qu'emploient les boulangers pour mêler au pain.

A la suite des années 1846 et 1847, quelques boulangers de la Belgique et du nord de la France ont introduit dans le pain une certaine quantité de *sulfate de cuivre* en dissolution dans l'eau, un petit verre dans 125 kilog. de pâte; l'emploi de cet agent dangereux peut devenir fatal par la négligence d'un garçon boulanger; aussi est-il nécessaire d'empêcher cette opération qui pourrait, par suite d'une addition trop forte de cette liqueur dans la pâte, occasionner des inconvénients graves sur l'économie animale. Le sulfate de cuivre, ajouté au pain, permet de se servir de farines lâchantes ou humides, de qualité médiocre ou mêlée.

Quand le gluten s'altère, il se ramollit, et l'acide carbonique qui se produit pendant la fermentation ne fait plus d'œils au pain, qui est lourd et moins blanc. Le sulfate de cuivre, dans la proportion de 1/30,000 du poids du pain, remédie à cet inconvénient; il agit par son oxyde de cuivre qui, avec le gluten, forme un composé insoluble rendant la pâte tenace, plus blanche et pouvant absorber plus d'eau, ce qui augmente le rendement de 4 p. 100.

On reconnaît la présence du cuivre dans le pain en incinérant ce dernier, et traitant les cendres par l'acide nitrique; on se débarrasse des phosphate et carbonate de magnésie, en les précipitant par l'ammoniaque dont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on sature ensuite l'excès par de l'acide acétique, puis ajoutant du prussiate jaune de potasse, qui donne à la liqueur une coloration rose ou rouge, suivant la quantité de sulfate employé. Cette coloration est due à un précipité de cyano-ferrure de cuivre.

L'*alun*, à forte dose, joue le rôle de sulfate de cuivre; en calcinant le pain qui en renferme, on trouve de l'alumine en forte proportion dans les cendres.

Le *carbonate de magnésie* et le *bi-carbonate de soude* ont été employés, en Angleterre, pour faire gonfler le pain, par l'acide carbonique qu'ils dégagent pendant la cuisson : la soude et la magnésie se retrouvent dans les cendres du pain qui renferme ces sels.

Le *sulfate de zinc* a été employé dans le même but que le sulfate de cuivre; mais ses résultats ont été loin de répondre à ceux donnés par ce dernier, aussi ne l'emploie-t-on plus.

Plusieurs autres substances, telles que la craie, la terre de pipe et le plâtre, ont été employées pour falsifier le pain, en augmentant son poids et peut-être sa blancheur; mais comme ces matières ne peuvent augmenter sensiblement le rendement de la farine en pain que quand on les emploie en grande quantité, on reconnaîtra toujours facilement cette fraude en incinérant un certain poids de pain et en pesant les cendres. KNAB.

PAINS A CACHETER (*angl.* wafers, *all.* oblaten). La pâte des pains à cacheter ordinaires se fait avec de la belle farine délayée avec de l'eau pure et froide pour en former une bouillie claire que l'on verse dans des moules métalliques, légèrement échauffés, semblables aux fers à gaufrer, et que l'on a graissés avec un peu d'huile ou de beurre pour prévenir l'adhérence de la pâte; la feuille de pâte retirée du moule est ensuite découpée à l'emporte-pièce. On colore la pâte en rouge par le carmin ou, le plus souvent, par une décoction alunée de bois de Brésil; en bleu, par une dissolution alcoolique de sulfate d'indigo; en jaune, par du safran; en noir, par un mélange de sulfate de fer et de noix de galle; en vert, violet, etc., par un mélange des couleurs précédentes.

On obtient les pains à cacheter transparents en dissolvant de la belle gélatine, de la *grenetine* par exemple, dans une quantité d'eau suffisante pour que le liquide se solidifie par le refroidissement; on coule cette dissolution chaude sur une glace chauffée au moyen de la vapeur d'eau, légèrement enduite d'huile ou de beurre, et renfermée dans un cadre d'une hauteur déterminée par l'épaisseur de la feuille que l'on veut obtenir; on pose ensuite sur le cadre une glace semblable qui fait sortir l'excès de matière, ou laisse refroidir et on découpe à l'emporte-pièce la feuille obtenue.

PALAN. Sorte de *mouffle*. Voyez POULIE.

PALIER. Nom donné à l'ensemble d'un COUSSINET et de son support.

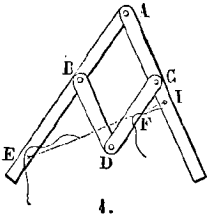
PALLADIUM. Métal découvert par Wollaston, en 1803, dans les minerais de platine. Il est d'un blanc presque aussi beau que celui de l'argent, très malléable, infusible à la température de nos fourneaux; sa densité = 11,5. Il est inaltérable à l'air, même au blanc. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent. On le sépare des autres métaux qui l'accompagnent en dissolvant le tout dans l'eau régale, et ajoutant du cyanure de mercure qui le précipite seul à l'état de cyanure insoluble que l'on lave et que l'on décompose par la chaleur.

On a trouvé depuis quelques années ce métal dans un grand nombre de minerais d'or et d'argent du Mexique. Sa rareté et, par suite, son prix très élevé en rendent l'usage très restreint. La propriété qu'il possède de résister aux émanations sulfureuses, sa blancheur, son beau poli l'ont fait employer avec succès à la fabrication d'instruments d'astronomie et de mathématiques, qui exigent une graduation exacte et délicate. Les dentistes font quelquefois usage d'un alliage d'environ 95 parties de palladium et de 5 parties d'argent. (Voyez PLATINE, *Complément.*)

PANORAMA. On donne ce nom à une perspective tracée sur une surface cylindrique verticale, à base circulaire, le point de vue étant pris sur l'axe même de cette surface, disposition qui procure un champ de vue bien plus étendu que les tableaux plans ordinaires.

PANTOGRAPHE. Le pantographe est un instrument qui permet d'obtenir une courbe semblable à une autre courbe, c'est-à-dire une deuxième courbe dans un rapport tel avec une première courbe que tous les rayons vecteurs qui leur sont menés d'un même centre soient dans un rapport constant, et les éléments de ces courbes semblables et semblablement placés.

L'instrument dont on se sert dans ce cas, et avec lequel les conditions établies ci-dessus sont satisfaites, est le pantographe (fig. 1) déjà étudié à MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.



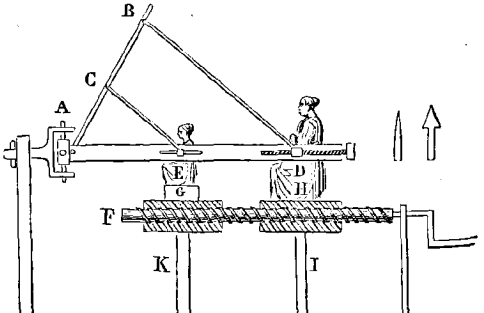
1.

Nous avons supposé, dans cette étude, que les courbes tracées sur un plan, mais on peut de même obtenir les courbes successives d'une surface, obtenir une surface semblable à une surface donnée. C'est ce qu'a réalisé M. Collas dans la machine avec laquelle il réduit les statues.

La fig. 2 en représente un croquis. Soit AD une barre en bois, dans laquelle sont pratiquées des rainures longitudinales dans lesquelles peuvent glisser dans l'une une touche, dans l'autre un outil. L'extrémité A de cette barre est terminée par un joint universel, qui lui permet de prendre toute direction. De cette extrémité part une bielle articulée BC, qui en porte deux autres articulées également, attachées l'une à la touche et l'autre au burin, et de longueur telle que l'on ait AC : AB : : CE : BD, que les triangles ACE, ABE soient toujours semblables.

Il en résulte que si l'on fait glisser le coulisseau de la touche sur la barre d'une petite quantité (ce que l'on fait à l'aide d'une vis pour obtenir de petits mouvements), le coulisseau du burin glisse aussi et dans le même sens; et la touche et le burin traceront une succession de courbes toujours semblables et semblablement placées.

Il sera facile d'après cela d'obtenir la réduction d'une



2.

surface quelconque. En effet, plaçons devant la touche D un modèle H, supporté par un plateau garni d'une roue dentée; et devant l'outil E une masse molle placée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur un plateau garni d'une roue dentée égale à la première; ces roues dentées étant conduites par une même vis qui leur fait faire en même temps des rotations égales autour de leur axe, il est clair que si l'outil et la touche sont placés de manière à correspondre à deux circonférences dont les diamètres soient dans le rapport AC à AB, dans un tour complet des plateaux, il sera possible, à l'aide de ce système, de tracer sur les deux surfaces une infinité de courbes semblables, dans les plans méridiens du modèle et de la réduction; et en répétant l'opération dans une infinité de plans, en faisant tourner les plateaux à l'aide de la vis, d'obtenir la réduction de la surface modèle.

La réduction est non-seulement exacte théoriquement, mais encore comme cette réduction résulte de celle des lignes de grande courbure tracées par l'outil, elle donne les plus beaux résultats, parce que ce sont ces lignes qui représentent le mieux la surface, et que c'est leur perfection qui donne surtout à une statue sa valeur artistique. Aussi le procédé Collas est devenu la base d'un grand progrès dans les arts de reproduction.

PAPIER (*ang.* paper, *all.* papier). Les premières années de ce siècle ont vu faire un grand pas à la fabrication des papiers; bien que né en France, le mode nouveau y demeura presque oublié ou mal compris. Ce ne fut que lors de la paix générale, que nous songeâmes à reprendre des Anglais l'idée qu'ils commençaient à rendre féconde. Cependant il restait beaucoup à faire pour s'assurer une fabrication régulière; les organes mécaniques laissaient encore à désirer dans l'exécution, le choix et la distribution de leurs pièces. Ils durent être étudiés, et donnèrent lieu à un grand nombre de tâtonnements. Longtemps il en fut de même des manipulations des matières premières; l'apparition du blanchiment au chlore ajouta au trouble. Mais enfin, laissant de côté les procédés hasardés et les superfétations, on a été conduit à adopter une méthode générale, qui se complète et se simplifie chaque jour. C'est donc de ce point de vue que nous devons examiner la série d'opérations qui constituent la fabrication actuelle du papier de machine ou papier sans fin. Nous consacrerons ensuite quelques mots à la fabrication dite à la main ou à la forme, et nous terminerons par un coup d'œil sur l'ensemble de la fabrication.

La fabrication des papiers, on le sait, a pour objet la désagrégation des fibres textiles ou ligneuses, empruntées le plus généralement aux tissus végétaux, et de préparer une matière homogène à l'état de pâte possédant la propriété de se feutrer en feuille mince à texture uniforme, présentant des surfaces unies, une certaine ténacité et de la souplesse.

La matière ouvrable qui remplit le mieux les conditions de bonté et de beauté qu'exige le papier est celle qui peut se diviser en filaments d'une ténuité extrême, d'une grande longueur, eu égard à leur section transversale très-petite; lesquels, proportionnellement à cette section, résistent le mieux aux efforts de traction, et sont doués d'une flexibilité parfaite. Ainsi, on conçoit que pour une épaisseur donnée, aussi faible que l'est celle du papier, plus les filaments seront fins et contournés, plus il y aura de points de contact, soit d'attache, soit de frottement; l'étoffe en sera d'autant plus serrée et plus unie.

L'usage du papier suit une progression toujours croissante: il s'est accru aussi en s'étendant à des emplois très-divers; de sorte que la matière première, le chiffon, n'ayant pas suivi le même mouvement de production, l'on a été conduit à s'adresser à des matières brutes, c'est-à-dire non façonnées par les industries textiles. Les recherches ont dû se porter sur un grand nombre de végétaux de provenances et de caractères les plus variés. Le traitement préparatoire de ces succédanés est devenu un travail spécial. L'économie de leur emploi réside surtout dans une judicieuse appropriation de chacun d'eux aux qualités spéciales qu'exige le produit final.

D'après ce que nous venons de dire, nous devons reconnaître qu'il existe en abondance des matières filamenteuses renfermant dans leurs tissus organiques les éléments propres à la fabrication du papier, mais tellement associés entre eux que l'obstacle à leur emploi gît uniquement dans la difficulté de les isoler sans attaquer leur organisation. Or, on se rendra facilement compte de la préférence que l'on continue à accorder à la matière ligneuse des vieux linges, si l'on considère par combien de traitements elle a dû passer, à partir de son extraction du végétal, et que la papeterie trouvant ainsi un véritable produit s'évite le travail des préparations antérieures.

La source des matières premières a donc deux origines distinctes. Nous parlerons d'abord, avec détails, de la principale.

Du chiffon. — Le chiffon à lui seul constitue un commerce important. Rien ne peut être fixe dans le classement de vente de cette marchandise: il varie forcément avec le lieu de provenance et le soin apporté par le marchand à un premier tri insuffisant à offrir une garantie de rendement déterminé. Le fabricant de papier a forcément un contrôle rigoureux à exercer sur ce point; il l'obtient facilement à l'aide du choix par classement uniforme propre à sa fabrication.

Les chiffons bruts sont donc reçus en fabrique grossièrement triés. On reconnaît ceux de bonne qualité aux caractères généraux suivants: ils sont en grandes pièces, peu usés, propres, parfaitement secs, et cependant pesants et souples sans mollesse, consistent principalement en toiles de lin et de chanvre, peu ou point de coton, ni laine, ni soie. Quant aux chiffons de grosses toiles grossières non blanchies, aux cordes, aux cotons colorés, etc., on recherche dans les uns les moins chargés de chenevotte; dans les autres, des teintes claires et fraîches. A cet égard, comme dans toutes les acquisitions de matières premières qui ne peuvent pas être titrées, toutes les données de ce genre sont insuffisantes sans l'expérience pratique.

La classification à adopter en fabrique est subordonnée à la qualité des chiffons employés, aux ressources locales et aux sortes de papier à fabriquer; d'après leur nature, la division se ferait par lin, chanvre, coton, laine, etc.; puis, d'après leur état, en plus ou moins neufs ou usés, en blancs ou colorés, combinaisons dont le nombre est arbitraire, comme on le voit, mais produisant une certaine série d'espèces bien distinctes.

Pour arriver à ce résultat, il faut préalablement avoir recours au *délissage* ou *dérompage*, opération qui consiste à découdre et couper les chiffons pour séparer ceux qui n'ont point d'analogie entre eux; il est à propos de mettre de côté les ourlets et coutures, comme parties moins usées et plus boutonneuses, surtout de détacher les boutons, agrafes, etc., et de faire tomber la poussière qui séjourne dans les plis et les coutures.

Tout en s'occupant du triage, on régularise, autant que possible, la dimension des chiffons en recoupant ceux qui excèdent une certaine grandeur; dans la plupart des fabriques ce travail est réservé à une machine. Ils doivent avoir *environ* 5 centimètres sur 10: trop grands, ils engorgent les cylindres broyeurs et retardent le travail; trop petits, ils se nettoient moins bien et font plus de déchet. Le coupage manuel et le choix s'opèrent à l'aide de l'installation suivante: sur une longueur proportionnée à la localité, sont disposés en ligne des bancs ou établis dont la tablette est en partie à claire-voie, divisée par de fortes traverses, et garnie d'une grille en fils métalliques ou en osier, distancés d'un centimètre. Si l'on doit travailler debout, la hauteur de ces établis est de 65 centimètres. Une lame de faux est passée dans une mortaise faite à une traverse et main-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tenue solidement par un coin de bois; le dos de la lame est tourné et incliné vers l'ouvrière; celle-ci prenant un chiffon entre le pouce et l'index tournés en dedans, le saisit ainsi des deux mains en l'appuyant sur le tranchant de la faux, elle lui donne un mouvement répété de bas en haut, parvient de la sorte et en variant convenablement à découdre les pièces, détacher les boutons, agrafes, etc. Les corps étrangers en poussière qui se détachent tombent à travers le grillage sous l'établi, et ne peuvent plus se répandre de nouveau dans le chiffon mis en main. La choisisseuse ou délisseuse jette au fur et à mesure, dans l'une des caisses placées devant elle, le chiffon qu'elle vient de couper, selon la qualité à laquelle il appartient.

Ce premier traitement, bien simple en lui-même et purement préparatoire, est celui qui exige le concours du plus grand nombre d'ouvrières. Leur travail demande non-seulement de l'adresse, mais, de plus, l'intelligence du toucher et du coup d'œil. Aussi une surveillance des plus soutenues est-elle indispensable pour obtenir de chacune d'elles un triage conforme aux types d'espèces adoptés, et partant, un résultat total toujours parfaitement constant et correct. Si, sur un système de classification bien entendu, on réalise ces bonnes conditions, on aura fait le plus grand pas vers la partie économique comme vers la perfection des produits. Par contre, les chiffons choisis et coupés avec négligence laissent des traces ineffaçables dans toutes les opérations ultérieures; ils sont ordureux, se lavent mal, se triturent irrégulièrement, moins promptement et avec plus de déchet, détériorent plus rapidement les cylindres et leurs platines, augmentent, en un mot, les frais en amoindrissant la valeur des produits.

En effet, si dans une masse de chiffons usés il s'en glisse de neufs, ceux-ci, résistant beaucoup plus aux actions mécaniques, produisent des paquets de filaments longs et clair-semés qui détruisent l'homogénéité de la pâte; au contraire, si la quantité de chiffons durs domine sur celle des tendres, ces derniers seront sacrifiés, c'est-à-dire tellement triturés, qu'ils s'échapperont en grande partie avec les eaux de lavage, et que le restant aura perdu sensiblement quelque chose des propriétés coercitives qu'ils doivent fournir au papier. De même, on conçoit comment beaucoup de chiffons propres peuvent être gâtés par un peu de chiffon sale, et comment une quantité notable de celui-ci n'est pas sensiblement améliorée par une partie minime de propres; le même raisonnement est applicable aux coutures, puisqu'elles diffèrent du *plat* en dureté et en propreté. Enfin, il est de toute évidence que le dommage causé aux machines sera d'autant plus considérable qu'il restera plus de substances dures dans les matières livrées à leur travail, telles que sable, fer, acier, cuivre, etc.

Pour fixer les idées à l'égard d'une classification, prenons toutes les sortes que peut fournir le commerce intérieur et divisons, d'après ce qui précède, comme suit :

CHIFFONS DE FIL (*chanvre et lin*).

Nos	1	blancs, fins, propres et usés.			
	2	»	»	»	1/2 usés.
	3	»	»	»	non usés.
	4	»	»	sales.	
	5	»	»	coutures et ourlets.	
	6	»	gros, propres et usés.		
	7	»	»	»	non usés.
	8	»	»	»	traces de chenevotte.
	9	»	»	sales.	
	10	»	»	coutures et ourlets.	
	11	bleus,	fins.		
	12	bleus,	gros,		
	13	écrus, non chenevotteux, propres et mous.			
	14	»		»	» durs.
	15	»		»	» neufs.

	16	écrus, non chenevotteux, gris de vétusté, brûlés.			
	17	»		»	coutures et ourlets.
	18	»	légèrement chenev. (toiles d'emballage).		
	19	»	très-chenevotteux.		
	20	»	cordes blanches et ficelles.		
	21	»	cordes goudronnées.		

CHIFFONS DE COTON.

	22	calicot blanc, propre.			
	23	»	»	sale.	
	24	»	»	ourlets.	
	25	mousselines et broderies.			
	26	cotonnades écrues ou bises.			
	27	»	colorées, pâles.		
	28	»	»	foncées.	
	29	»	»	roses.	
	30	»	»	bleues.	

EMBALLAGE.

	31	toile de jute.	
	32	»	de phormium.

CHIFFONS DE LAINE.

	33	chaîne, fil et trame laine.	
	34	divers non feutrés, feutrés et piqués sur toile, etc.	

La soie et certaines laines seront expulsées, ainsi que beaucoup d'autres matières qu'il est inutile de signaler comme impropres à la fabrication; d'un autre côté, on trouvera à employer des substances filamenteuses non indiquées ici, telles que: déchets des filatures de chanvre, de lin et de coton, rognures de peaux non tannées, etc., et enfin, dans la plupart des cas, on aura quelque raison d'étendre à un plus grand nombre une partie quelconque de ces divisions, surtout si on se livre à une fabrication spéciale. Remarquons, en passant, que les toiles de lin sont plus tendres que celles de chanvre à apparence égale, qu'elles sont plus douces, moins solides et font plus de déchet, et que les toiles blanches d'étoupes sont généralement boutonnouses.

Les chiffons qui sortent du triage pour être mis en fabrication sont soumis à un contrôle que l'on nomme *grillage*, parce qu'il s'opère sur un cadre rempli par une grille en fils métalliques ou en osier, semblable à celles des bancs de délisseuses; sa dimension en longueur dépend du nombre des ouvrières qui doivent en faire le service; sa largeur est de 1m,20 environ; elle est maintenue à hauteur convenable par des tréteaux ou mieux au-dessus d'une caisse. Les ouvrières grilleuses, munies de ciseaux, sont placées de chaque côté dans le sens de sa longueur et se faisant face; le chiffon, pris à une extrémité de la grille, passe de mains en mains et doit arriver à l'autre bout, débarrassé de tout morceau étranger à la qualité que l'on retrie, de boutons et agrafes oubliés et d'une certaine quantité de poussière gravelense à laquelle la grille livre passage. Quant à l'extraction de la poussière ou nettoyage à sec, la précédente opération est bien loin d'être suffisante; on a donc recours à un grillage mécanique; il s'effectue au moyen d'une sorte de blutoir, de loup, appelé aussi diable. La disposition, bien que variable, a pour but d'ouvrir le chiffon par un froissement violent et d'en faire échapper le plus possible les matières poudreuses dont il est chargé. Il consiste ordinairement en un cône à axe horizontal ou en un cylindre un peu incliné, dont la moitié inférieure est en tissu métallique très-solide à mailles de 7 à 10 millimètres d'ouverture; la moitié supérieure est un couvercle léger en bois. Dans l'intérieur de ce cylindre, qui est fixe, est disposé, sur le même axe, un cylindre mobile en bois dont la surface est pleine, et qui porte implanté sur toute sa circonférence, en suivant une hélice, des petites palettes en bois très-fort ou des broches de fer de 8 centimètres de longueur: le tout est porté par un bâti et fermé de toute part; des portes sont réservées pour le nettoyage. Le cylindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

intérieur a un diamètre de 0m,60 et une longueur de 2m,40; le cylindre extérieur est de très-peu plus long avec un diamètre de 80 centimètres; leur inclinaison est d'environ 5° ou de 60 centimètres; on donne à l'arbre du cylindre intérieur un mouvement de rotation de 150 à 200 tours par minute. Les chiffons sont introduits par la partie supérieure du couvercle et ressortent, après avoir fait un grand nombre de révolutions, par l'extrémité opposée; il va sans dire que le tracé de l'hélice formé par les broches doit concourir, selon le sens du mouvement, à faire cheminer les chiffons de leur entrée à la sortie. La longueur des broches, leur distance entre elles et l'espacement des lignes d'hélices se déterminent d'après la nature du chiffon; soit, comme terme moyen, 6 centimètres entre les broches et 18 centimètres entre les hélices. Si on adoptait la forme conique, il ne serait pas nécessaire d'incliner l'axe; on chargerait le chiffon du côté du petit diamètre.

Pour les chiffons légers on peut établir un appareil moins pesant en construisant le cylindre ou cône à claire voie, le réduisant à des barettes saillantes analogues aux cylindres batteurs des céréales.

Toutes ces préparations à sec font faire aux chiffons un déchet compris entre 2 et 5 pour 100, en les supposant pris à l'état brut sans humidité; car, dans le cas de séjour dans un local humide ou mouillé à dessein, ils supporteront facilement une surcharge qui pourra s'élever jusqu'à 7 pour 100 de leur poids en eau seulement, sans que, par le toucher, on puisse en reconnaître la présence. Du reste, quelles que soient les bonnes conditions dans lesquelles toutes ces matières peuvent être fournies, elles contiennent constamment, par le fait de leurs propriétés hygrométriques, quelques centièmes d'eau; cette propriété préexiste sans doute dans le papier, mais pas à un tel degré, surtout s'il est encollé: or, il faut aussi tenir compte de cette cause de déperdition, pour ne pas la confondre avec celles qui résultent réellement des agents de traitement.

Le travail manuel du coupage des chiffons peut se réduire aux séparations strictement indispensables au classement adopté, ou bien encore à les diviser en long par bandes seulement; une machine spéciale est chargée de les couper en petites pièces. Ce coupage n'a pas, comme le coupage complet à la main, le mérite de la régularité, mais il a celui d'offrir une économie sur les frais de main-d'œuvre, surtout dans le coupage des tissus grossiers très-durs, des cordes, ficelles, etc. Ces machines, exposées à des chocs, doivent être fortement membrées. La plupart des modèles sont à mouvements rotatifs, comme dans le hache-paille; la vitesse absolue des lames se règle de 6 à 8 mètres par seconde; un seul ouvrier suffit ordinairement à la fournir.

Les conditions du local doivent tendre à abréger la manœuvre du transport des chiffons triés partant des dépôts et à livrer coupés, soit au magasin général, soit à la secoueuse ou au lessivage.

Du lessivage des chiffons. La coction des chiffons a pour but de favoriser le départ des matières étrangères au ligneux, la plupart desquelles, comme la crasse et certains principes naturels, sont amenées à l'état de dissolution; quelques-unes sont désagrégées, et d'autres, telles que les substances colorantes propres ou artificielles, résistent en grande partie et ne sont que préparées à recevoir plus efficacement l'action d'agents d'un autre ordre. Cette opération, lors même qu'elle se pratique sans l'intervention d'un liquide alcalin, conserve encore la dénomination de lessivage.

Le lessivage a une influence remarquable sur la substance du papier; la blancheur, les colorations, l'encollage et la solidité en sont modifiés. En effet, le chiffon souillé d'une multitude de matières hétérogènes, qui, pour la plupart, sont grasses et acides, en offre quelques-unes qui résistent longtemps aux agents dissolvants; si donc on considère, entre autres, un pinceau de fibres enveloppé d'une sorte de vernis préservateur du genre dont nous parlons, le chlore devient sans action sur la matière colorante, une matière colorante nouvelle ne saurait y être retenue, la colle ne peut s'y fixer, et les filaments sont moins serrés dans leur feutrage.

Nous avons aussi à constater l'action décolorante, peu puissante il est vrai, du lessivage; il faut donc avoir l'attention de diminuer ou de supprimer l'emploi des alcalis lorsqu'on voudra conserver les couleurs; si, au contraire, on voulait utiliser cette propriété, deux lessivages consécutifs, le premier à la soude, le second à la chaux, pâliraient et dissoudraient un grand nombre de teintes.

Cette préparation pratiquée d'une manière toute primitive, tant que l'application en a été limitée aux chiffons simplement salis, a dû se modifier dans les appareils et le dosage des dissolvants, au fur et à mesure que les nécessités de la production ont conduit à s'adresser aux tissus écrus et grossiers. Ce premier pas fut un acheminement aux transformations des matières ligneuses absolument brutes, qui, jusque-là, n'étaient pas acceptables dans la fabrication du papier. De là, des tentatives dont la persévérance a donné naissance à des procédés devenus la clef de la fabrication des produits succédanés.

Les conditions générales de l'opération sont les suivantes: — chauffage en vase clos, — température depuis 100° jusqu'à 150°, — durée de 6 à 12 heures, — doses de dissolvant alcalin de 2 à 20 pour 100 de la matière traitée.

Connaissant la nature et la proportion de matière autre que la fibre ou cellulose à dégager, on possède les données qui permettent de fixer le degré d'alcalinité et de température convenable à la saturation ou la désagrégation des substances à expulser sans altération de la fibre utile. Il convient aussi, parfois, de conserver des principes pectiques qui communiquent des qualités parcheminées que l'on recherche dans quelques papiers. La durée de l'action est étroitement liée à l'état physique des filaments; dans les matières neuves ils sont encore en faisceaux serrés et solidaires, pénétrables successivement couche par couche.

Les appareils de lessivage sont des autoclaves fixes ou mobiles, chauffés à feu nu ou par introduction de vapeur. Le système rotatif est le plus généralement adopté, donnant le moyen d'agiter continuellement les chiffons dans la lessive chaude. L'autoclave est sphérique ou cylindrique, tournant sur son axe de figure; il est porté par deux forts tourillons à presse-étoupes, donnant passage à l'eau ou à la vapeur, soit pour l'entrée, soit pour la sortie, par une introduction munie de robinets affectés à chaque service et de telle façon, qu'il soit loisible d'intervertir la direction du courant de la vapeur et celui de l'eau qui peut être employée au rinçage. Ce renversement de courant permet de poursuivre l'opération, lorsqu'une obstruction des tuyaux en interrompt la marche. La rotation est de 1 à 2 tours par minute suivant le diamètre du lessiveur. La forme sphérique offrant plus de résistance à la pression que la forme cylindrique, convient aux hautes pressions: l'évacuation en est plus prompte. Par contre, le cylindre imprime aux chiffons un mouvement de déplacement plus uniforme dans le bain de lessive. L'action du courant de vapeur y est aussi plus régulière et un peu plus prolongée. Le chargement et le déchargement s'effectuent par un ou deux trous d'homme. La charge en chiffons légers peut être pleine sans inconvénient, ils s'affaissent bientôt; en chiffons lourds, tels que cordes, ficelles, toiles goudronnées, il convient de leur ménager un espace libre dans lequel ils puissent se déplacer en descendant la pente que le mouvement de rotation produit et renouvelle continuellement. L'addi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion d'un autoclave monte-jus ou d'une pompe foulante à ces appareils permet en marche le renouvellement

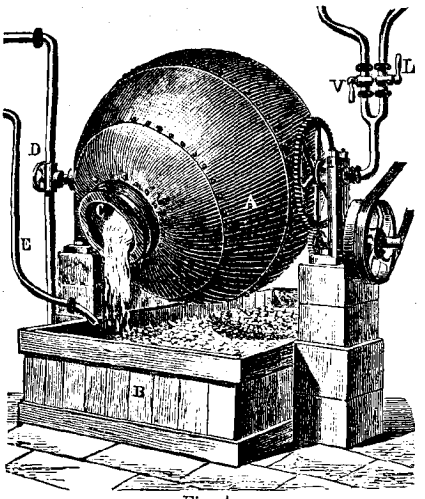


Fig. 1.

de la lessive, ou par charges fractionnées de dissolutions différentes ou d'une manière continue pendant toute la durée de l'opération.

Avant d'évacuer l'appareil, le chiffon peut y recevoir également un lavage préalable à l'eau chaude. Introduite par l'un des tourillons, elle chasse devant elle la lessive chargée qui s'échappe par le tourillon opposé. Le réservoir d'eau est entretenu à une température suffisamment chaude, par le passage des vapeurs d'échappement du lessiveur, dans un serpentin plongé dans l'eau. Cette vapeur entraîne avec elle des particules de chiffon et de la lessive colorée qui, si elle était envoyée directement dans l'eau, contribuerait à salir des opérations ultérieures composées de chiffons d'une classe supérieure. Nous croyons devoir insister sur le mérite d'un lavage à l'eau chaude, fût-il incomplet. Il favorise le départ des substances dissoutes avant que, par le refroidissement, il ne s'en soit déposé une notable proportion sur le chiffon même, d'où elle n'est enlevée plus tard qu'au prix d'une dépense de temps, de force motrice et de matières.

La chaux et le carbonate de soude du commerce sont les alcalis les plus en usage. La soude caustique s'obtient de leur mélange par parties à peu près égales.

La chaux n'assouplit pas les chiffons fins; elle modifie les substances incrustantes et pectiques des végétaux qui n'ont pas subi de rouissage, en leur donnant un caractère pulvérulent qui en permet le départ lorsque, soumises à l'écrasement, elles sont largement léviguées;

Ne dissout ni les corps gras, ni les résineux;

Ne dissout pas la plupart des teintures en rouge;

Dissout les teintes bleues à l'indigo ou au bleu de Prusse;

Dissout la laine avec dégagement d'ammoniaque.

Le dosage de la chaux varie entre les chiffres suivants: 2 à 6 p. 100 du poids des toiles bleues, cotons bleus, cotons colorés; 5 à 10 p. 100 pour les toiles écrues, toiles chenevotteuses, cordes, ficelles; 10 à 15 p. 100, pour les cordes goudronnées, pour concréter le goudron.

Le carbonate de soude dissout la plupart des corps gras et résineux, les matières incrustantes, albuminoïdes, pectiques, etc.; les teintures en rouge, attaque moins énergiquement les teintures en bleu. Il agit graduellement sur les corps dont il se sature en abandonnant successivement son acide carbonique.

Le carbonate de soude, *sel de soude* du commerce, s'emploie généralement dans des proportions insuffisantes à un parfait lessivage; le prix de ce sel impose des limites de doses, surtout dans les sortes grossières ou neuves, qui ne peuvent être atteintes économiquement qu'à la condition d'en régénérer la soude.

Les toiles blanches ou bleues, les cotons bleus, les cotons colorés indiennes, gris et noirs, se traitent par 3 à 6 p. 100 de sel de soude; les toiles écrues, cordes, ficelles, déchets de filatures coton ou lin, de 4 à 8 p. 100; les cordes goudronnées 10 à 15 p. 100. Dans la marche à deux lessivages ou à renouvellement, il y a souvent à lessiver à la chaux d'abord, à la soude ensuite. Le dosage de la soude peut alors être réduit de moitié. La même indication est applicable à deux lessivages séparés par lavage énergique ou effilochage; traitement qui s'approprie aux matières neuves, très-résistantes et que l'on tient à amener à l'état parfait de pâte propre à recevoir convenablement le blanchiment, le collage ou les colorations.

La soude caustique a une action plus prompte que celle du carbonate de soude: elle dissout plus sûrement les corps gras, résineux, et attaque vivement les matières neuves.

A proximité du lessivage ou des cylindres défileurs un emplacement est réservé au rinçage des chiffons lessivés. Cette opération paraît des plus simples et semble se réduire à un dispositif des plus élémentaires, à en juger par la facilité avec laquelle elle se pratique manuellement pour le linge. Cependant, toutes les conditions auxquelles elle a à satisfaire ici se font obstacle les unes aux autres; surtout, s'il s'agit d'un seul appareil passant indifféremment des sortes très-diverses de chiffons.

Le rinçage se pratique à l'eau chaude: 50 à 60 degrés suffisent; l'eau froide précipite sur le chiffon une partie des matières dissoutes, elle resserre les tissus et durcit les filaments. L'emploi de l'eau chaude étant limité, dans une mesure économique, il faut ne rien laisser perdre du calorique distribué par la vapeur surabondante, soit aux lessiveurs, soit au séchage du papier, soit encore à un moteur à vapeur à échappement libre; ces vapeurs sont dirigées dans un serpentin ou tout autre dispositif à condensation par surface, isolant la vapeur de l'eau à échauffer, la condensation directe mêlant à l'eau les résidus du graissage intérieur de la machine à vapeur. Ayant donc à tirer tout le parti possible de l'eau chaude, il convient d'appliquer au rinçage une marche méthodique, c'est-à-dire telle que l'eau qui est fournie soit dirigée sur les chiffons dont le rinçage se termine et qu'elle ait sa sortie là où commence l'immersion des chiffons lessivés; d'où, deux courants en sens inverses: les chiffons cheminant de l'eau sale à l'eau claire, et l'eau allant à la rencontre des chiffons et se chargeant de plus en plus d'impuretés. Ainsi se trouve entraînée la majeure partie de la lessive saturée; mais il faut ménager aux corps flottants un départ indépendant de celui des chiffons. Les matières plus denses que l'eau, le sable, les parcelles métalliques, etc., se déposant dans le trajet, traversent un double fond perforé, où elles demeurent séparées des chiffons et d'où on les extrait facilement.

L'écrasement ou l'effilement des chiffons doit être évité, les fils isolés s'échappent avec l'eau, ou, s'ils restent, ils réunissent et retiennent des parties pulvérulentes en suspension. Cependant la pression ou le choc, convenablement exercés, expulsent du chiffon les parties solubles retenues dans son tissu, en détachent les corps restés adhérents ou logés dans ses replis.

Ces conditions réunies ont pour conséquence une amélioration notable de toutes les manipulations ultérieures, et, finalement, celle du produit. La trituration marche plus rapidement, le chiffre de déchet en est abaissé, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

blanchiment réussit mieux, le collage est meilleur, les colorations sont plus uniformes, plus brillantes, la feuille de papier plus résistante, etc. Nous ajouterons que le fonctionnement des cylindres y gagne également, l'entretien des lames est moins fréquent.

Les laveurs les plus fréquemment employés sont les tambours, en partie immergés, des laveurs de laines, ou simplement des piles de cylindres appropriées à ce service, par un rouleau et une platine à lames non tranchantes, longues et très-espacées, un double fond perforé de tôle ou de cuivre. Ici, l'obligation d'user largement de l'eau ne permet plus de l'employer chaude. Ce lavage suffirait à des chiffons secs si, pour plus de soins, il était jugé utile avant le lessivage.

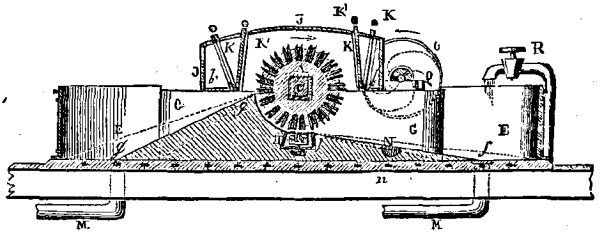
Défilage des chiffons. Ici commence la fabrication proprement dite: il s'agit de changer la forme de la matière première, détruire des tissus, désassocier des fibres textiles, les nettoyer totalement, puis les mêler entre elles de telle sorte qu'elles ne se présentent plus que sous l'apparence d'un tout homogène. On désigne ce produit par les noms de *pâte*, dont on fait une distinction d'après son degré de trituration, en *défilé* ou demi-pâte, et en *raffiné* ou pâte. La pile de cylindre est l'appareil dont la disposition concourt à produire ces résultats : donnons une idée de sa construction.

Suivant les localités, la cuve de la pile est construite en bois, en pierre, en ciment ou en fonte: les bois résineux sont préférés; la pierre taillée, ainsi que la maçonnerie au ciment, ne sont praticables que sur des points d'appuis exempts de flexion, le sol, un massif, une voûte. La fonte réunit l'élégance à la solidité; mais il est indispensable, pour éviter la rouille, de la revêtir intérieurement d'une doublure en plomb laminé, ou mieux, en cuivre rouge. En effet, tout contact de la pâte avec le fer doit être évité, si on ne veut la voir ternie par la rouille, circonstance qui devrait faire écarter l'emploi des lames d'acier, notamment dans les piles *raffineuses*.

Le cylindre A (figures 2 et 3) garni de lames est mis en mouvement par la roue B, montée sur son arbre C, lequel tourne dans deux paliers dont un fixe D, et l'autre à coulisse E, tous deux fixés sur des consoles fondues avec les parois de la pile F. Celle-ci est divisée selon sa longueur par une cloison G. Le côté qui reçoit le cylindre A est garni de deux plans inclinés *ff'* et *gg'*; dans les masses de bois formant ces deux plans, est ménagée une rainure quadrangulaire qui reçoit la platine H, composée de lames liées entre elles par des boulons. Une autre rainure, le sablier, pratiquée en N, est recouverte d'une plaque de cuivre percée de petites fentes, dirigées en tous sens, au travers desquelles passent le sable, les épingles, boutons, etc., qui peuvent se trouver dans les chiffons. La paroi intérieure de la pile est percée en *n* pour donner passage aux ordures; pendant le travail, cet orifice est fermé par un bouchon. Le cylindre A est recouvert par une caisse en bois J, appelé *chapiteau*, qui porte quatre châssis en bois, dont deux K garnis de toiles métalliques pour laisser passer l'eau et retenir la pâte, et deux autres K' pleins ou faux châssis, pour suspendre, au besoin, le service des deux premiers. L'eau est reçue dans les *dalots* ou *chéneaux k* d'où elle se rend au dehors par les conduits L. Un robinet en R sert à l'alimentation de la pile F, qui est remplie d'eau au moins aux trois quarts, soit par le dessus, soit par un conduit débouchant au fond de la pile. C'est entre les lames de la platine H et celles du cylindre A que s'opère la trituration du chiffon, ces dernières font aussi office de palettes; par leur mouvement elles entraînent, dans l'intervalle qui existe entre elles, un certain volume d'eau et de chiffons, que la force centrifuge due à la rotation rapide du cylindre lance contre la voûte du chapiteau J et contre les châssis K, qui, comme nous l'avons dit, laissent passer l'eau et arrêtent les chiffons; ceux-ci, dont une grande partie descend le plan incliné *g g'*, retombent tous dans la pile. En très-peu de temps le mouvement du cylindre A élève beaucoup de chiffons et d'eau dans cette partie de la pile, tandis que de l'autre côté il y a abaissement; la tendance à l'équilibre communique aux matières un mouvement circulatoire lent, qui les fait passer du plan incliné descendant autour de la cloison G, elles vont atteindre le pied du plan incliné *f f'* et passent ainsi entre la platine et le cylindre jusqu'à ce qu'elles soient réduites en pâte. C'est pour remplacer l'eau expulsée par les châssis, et qui est chargée des saletés du chiffon, que l'on introduit continuellement par le robinet, dans la pile, une quantité à peu près égale à celle qui sort par les châssis K, et qui est rejetée au dehors par les conduits L. Lorsque le chiffon est suffisamment lavé et trituré, il est envoyé par le conduit M que ferme une soupape, dans des caisses où il s'égoutte, ou, s'il y a lieu, au réservoir d'alimentation de la machine à papier.

Le palier à coulisse E n'a de mobilité que dans le sens

Fig. 3.



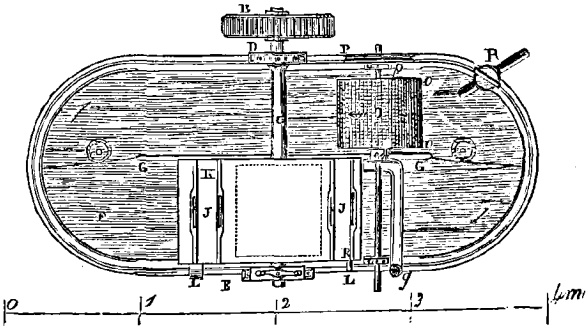


Fig. 2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vertical; le mouvement est donné par une manivelle; elle porte sur la partie supérieure du palier et sert d'écrou à une vis qui traverse la partie supérieure du palier, son extrémité inférieure est liée à une fourchette qui, elle-même, fait corps avec le coussinet; celui-ci glissant entre les coulisses du palier entraîne l'extrémité de l'axe du cylindre.

La platine H est composée de lames d'acier réunies par des boulons; elle est maintenue solidement par des coins en bois dans une boîte en fonte H appelée contre-platine, elle est en forme de queue d'aronde, se fixe dans l'épaisseur du fond de la pile dans une rainure de même forme; le bout de cette boîte traverse la paroi en fonte et fait saillie à l'extérieur, elle est maintenue par un coin ou bouchon en bois qui sert aussi à fermer l'ouverture donnant passage à la contre-platine; celle-ci est parallèle à l'axe du cylindre, mais la platine est inclinée par rapport à cette ligne de 25 à 30 millimètres; l'extrémité tranchante des lames est taillée concentriquement à la circonférence du cylindre, et l'inclinaison de leur tranchant affûté en biseau doit être dirigée en sens inverse de celles des lames du cylindre.

Les lames de cylindre sont fixées dans des rainures faites, suivant le rayon, dans un noyau en bois d'orme ou de chêne à égale distance sur la périphérie et parallèlement à l'axe. Pour la *défileuse*, chaque rainure reçoit deux lames, elles y sont fixées à l'aide d'un coin qui est enfoncé entre elles, et maintenu fixe par des pointes qui vont s'attacher dans le bois du cylindre; de plus, des entailles sont ménagées à leurs extrémités, ainsi que dans le bois, de manière à former un espace annulaire vide qu'une forte frette vient remplir; ainsi toutes les lames se trouvent reliées ensemble et fixées au bloc cylindrique en bois. On établit aussi en fonte le noyau de cylindre avec entre-lames en bois rendues parfaitement solidaires avec le noyau; l'avantage principal de cette construction sur l'autre est de pouvoir enlever aisément les lames du rouleau, soit pour les affûter, soit pour les changer.

On ajoute à la pile le *tambour-laveur*, lorsqu'on veut élaver plus abondamment; il fait faire moins de déchet que les châssis des chapiteaux.

L'emploi de deux tambours-laveurs est préférable encore, sans exclusion des châssis des chapiteaux, surtout si l'on traite des chiffons très-chargés d'impuretés: dans ce cas l'on arrête le lavage par les châssis, au moment où l'eau n'est plus sensiblement trouble, et on commence l'effilage. Les tambours continuent et terminent le lavage.

Le tambour-laveur O, que commande la poulie P, tourne sur les petits paliers *p* qui reçoivent les tourillons de son axe; il reçoit son mouvement du moteur principal ou de l'arbre du cylindre, il fait 25 à 30 révolutions par minute, il est composé de deux cercles en cuivre *o o'* d'un diamètre à peu près égal à celui du cylindre, et de quatre feuilles courbées suivant la développante du cercle, et soudées aux cercles *o o'*, ainsi qu'à l'arbre. La circonférence est formée de deux toiles métalliques de grosseur différente et superposées; la plus grosse est à l'intérieur. Le cercle *o'* est percé à son centre, et à cette ouverture circulaire est soudé le tuyau o^2. Lorsque le cylindre A fonctionne et que le tambour-laveur tourne dans le sens indiqué par les flèches, comme une partie de sa circonférence plonge dans l'eau de la pile, les feuilles courbes en prendront une certaine quantité que les toiles métalliques laissent passer, et dans leur mouvement de rotation feront couler cette eau vers le centre; l'eau renfermée dans les compartiments des feuilles, ne trouvant pas d'autre issue que le tuyau o^2, sera versée dans la gouttière Q, qui, à son tour, la verse au dehors par le conduit vertical *q*. Dans le premier appareil de lavage, celui des châssis K, lorsqu'on veut cesser de laver, on abaisse les panneaux pleins K', et l'eau est forcée de retomber dans la pile au lieu de s'écouler au dehors. Avec le tambour-laveur il suffit de lever la gouttière Q, qui est mobile, et l'eau est également reversée dans la pile.

Les toiles fines qui couvrent les châssis sont ordinairement en numéros 60 à 70, celles des tambours en numéros 50 à 60. Les numéros plus fins seraient préférables, si les mailles ne s'obstruaient promptement: de plus, la finesse du fil qui suit celle du tissu, qui est en laiton, ne résiste pas suffisamment aux causes d'usure.

Les dimensions des diverses parties essentielles d'une pile de cylindre contenant 1,500 litres se règlent généralement comme suit et peuvent s'appliquer proportionnellement à des capacités différentes. Elle se charge par environ 75 kil. de chiffons; longueur de cuve, $3^m,60$; largeur, $1^m,60$; profondeur, $0^m,45$; diamètre du cylindre, $0^m,70$; largeur, $0^m,70$; nombre de lames 48, en 24 groupes de 2 lames ou par 16 de 3 lames. L'axe du cylindre a $0^m,50$ au fond de la cuve; hauteur de platine, $0^m,15$; largeur variant de $0^m,10$ à $0^m,15$, et pour un nombre de 5 à 15 lames; l'angle de croisement des lames du cylindre sur la platine 3 à 4 degrés. Le chapiteau: longueur, $1^m,45$; largeur, $0^m,82$; hauteur, $0^m,65$; inclinaison des châssis-laveurs, 83 degrés; distance du pied du châssis, côté de l'entrée de la pâte, $0^m,04$; du pied du châssis de sortie, $0^m,16$. Le poids total du cylindre est de 800 kil.

L'inclinaison et l'espacement des lames de la platine sur celles du cylindre doivent permettre à 2 ou 3 lames du cylindre de reposer sur la platine. Chacune de ces lames croise sur deux ou trois lames de la platine. Si, par quelque motif, il y a convenance à poser les lames de platine suivant l'axe du cylindre, il est facile de monter les lames, sur le cylindre, inclinées à son axe. Avec cette disposition, la platine n'a pas de surface à apparence gauche, le rabotage en est facile. Le poids du cylindre se répartit sur 4 à 9 points, lesquels produisent le cisaillement par l'arête vive des lames et l'écrasement par la partie plate ou épaisseur du biseau. La largeur de la partie plate est seulement de 2 à 3 millimètres; plus étroite, l'effet tranchant domine; plus large, c'est l'écrasement et l'étirage des filaments. La force motrice employée croît nécessairement avec cette surface de frottement; mais les pâtes y gagnent en qualité. La pression maximum est généralement de 1 kil. par millimètre carré de surface absolue de contact. Le cylindre fonctionne normalement à la vitesse 175 tours par minute, soit une vitesse de 6 mètres par seconde, développée à sa circonférence. La vitesse du courant de circulation des chiffons dans la cuve est d'environ $0^m,20$ par seconde.

Dans la construction des piles de cylindre, il est deux conditions qui favorisent leur fonctionnement:

1° Abaisser la platine en augmentant le diamètre du cylindre;

2° Ne pas augmenter la capacité de la cuve sur sa profondeur. Par là, le courant de circulation des chiffons est rendu plus rapide et plus régulier; le frottement des chiffons contre les parois et les remous dans les parties cintrées perdent de leur influence, les retards ou les arrêts de quelques parties du courant sont évités.

Nous ne saurions trop insister sur l'importance qu'il convient d'accorder à la nature du métal des lames. Au choix qui en est fait est attaché le degré de qualité et de quantité des produits. Les lames dures conviennent aux chiffons grossiers, les lames tendres aux chiffons fins. Cette donnée est comprise en d'étroites limites, car, toutes choses égales, les lames dures se polissent par le frottement, l'arête s'arrondit, le chiffon glisse pour ainsi dire sans être effilé, d'où nécessité d'entretenir les lames à taillant étroit, c'est-à-dire coupant et non étirant; les lames très-tendres se matent, le grain du métal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'écrase, la surface sans être polie est pleine, l'arête manque de vivacité, les lames s'usent rapidement et exigent de fréquentes retailles.

Le défilage, ainsi que le mot l'indique, exprime bien l'idée de dissociation des fils ou filaments. En effet l'action de couper et écraser doit s'attaquer seulement aux groupes de filaments liés entre eux et ne plus atteindre le filament, dès qu'il est détaché à l'état rudimentaire. Si tout est bien conduit, celui-ci reste protégé entre les faisceaux qui présentent plus d'épaisseur et portent seuls l'effort des lames. Mais, il faut le dire, le travail du cylindre défileur ne doit pas être poussé jusqu'à effacer les dernières parties de ces groupes: le blanchiment ou le mélange des pâtes font renvoyer ce complément de division au cylindre raffineur.

Il y a là de la part des agents mécaniques un mode spécial d'action qu'il faut demander à un état permanent des surfaces de trituration: c'est-à-dire que la constitution soit telle que l'usure par la pression et la friction n'en change pas les fonctions érosives. Ce mérite est mis à profit dans les pierres meulières, le granit, le grès. Les métaux par leur agrégation plus homogène et leur malléabilité réalisent moins bien les conditions recherchées pour les moutures. Cependant, le bronze à cristallisation inégale de dureté, le fer d'une pâte spathique, les aciers corroyés offrent des points d'inégale dureté, de sorte que les veines ou grains durs se tiennent en saillie imperceptible, mais suffisante pour mordre en quelque sorte et étirer. L'état lamelleux est particulièrement favorable et nous ne saurions trop insister sur l'importance des résultats qu'il procure dans la fabrication des papiers.

On distingue encore deux autres genres de pile nommées l'une *blanchisseuse*, l'autre *élaveuse*, qui ont pour fonction de blanchir les défilés *à la pile* à l'aide d'un chlorure décolorant et d'un acide, de les laver ainsi que ceux qui sortent des blanchiments au chlore ou au bain de chlorure. Leur construction est légère et la force qu'elles emploient est à peine d'un cheval. Le rouleau est ordinairement garni de lames de bois; lorsqu'elles sont en bronze, on peut les approcher d'une platine usée, également en bronze; il en résulte une légère friction qui tend à faire dégorger le défilé, à en faire exprimer les matières colorantes et salines qui résident dans le défilé blanchi (fig. 4).

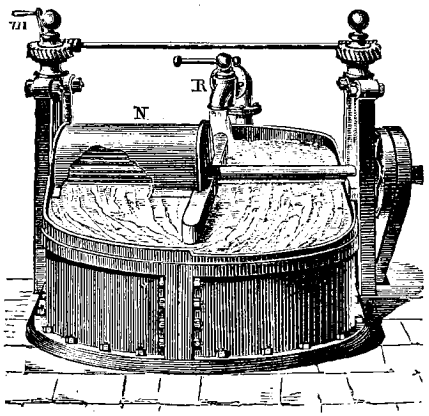


Fig. 4.

Les élaveuses sont munies de tambours-laveurs.

La réunion de plusieurs piles constitue une *batterie;* elles sont diversement distribuées, selon l'exigence des localités ou du travail. Tantôt les piles sont groupées de manière à se vider les unes dans les autres, ce qui épargne la main-d'œuvre lorsqu'on blanchit à la pile ou que l'on ne fait pas de mélanges de pâtes; tantôt chaque espèce forme une batterie particulière, entièrement indépendante des autres.

L'ouvrier chargé de la direction d'une batterie porte le nom de *gouverneur;* suivons-le dans la conduite du défilage. Après avoir, à l'aide de la manivelle, élevé le rouleau d'un centimètre au-dessus de la platine et rempli d'eau la pile, il y répand les chiffons lessivés en évitant qu'ils ne s'accumulent sous le rouleau; le robinet fournit de l'eau en abondance, et les faux châssis étant levés, les châssis de lavage fonctionnent. Le gouverneur ayant aidé à la distribution égale des chiffons avec une spatule, abaisse le rouleau à quelques millimètres de la platine, de sorte que les chiffons soient rudement froissés sans être coupés; trois ou quatre tours de pile suffisent ainsi pour en faire ressortir les malpropretés. Il relève le rouleau comme au début et ne fait plus que laver, il nettoie le sablier, puis, baissant graduellement, il arrive, tout en continuant à élaver, à le faire porter légèrement sur la platine; il spatule fréquemment pour obtenir une trituration uniforme, et lorsqu'il la juge suffisamment avancée, c'est-à-dire offrant une pâte sans trace de tissus ni de fils tordus, il lève la bonde qui fermait le conduit, et la pile se vide par cette issue.

La durée de l'élavage et du défilage n'est pas moindre qu'une heure et demie, dans le cas où, ayant affaire à une pâte tendre, on ne tient pas à la ménager; elle n'excède pas quatre heures pour une pâte bien allongée, sauf, ce qui est rare, les cas de fabrications particulières.

La beauté du défilé, dans le travail au cylindre, dépend de la limpidité de l'eau, du temps que l'on consacre au lavage et à la trituration de la matière et de l'état des parties tranchantes, et enfin, évidemment, des soins particuliers de l'ouvrier, que la pratique seule enseigne. Le lavage par l'eau trouble ne peut donner qu'une pâte terne, difficile à blanchir, à colorer et à encoller; le FILTRAGE devient indispensable (voyez ce mot). A défaut d'appareil de filtrage, il sera bien de nouer des sacs de flanelle aux robinets, précaution qui, dans tous les cas, n'est pas à négliger pour les belles sortes. Le battage sur la platine ne doit commencer qu'au point où l'eau de lavage finit par n'être plus louche. Plus le battage est brusque, et plus les filaments sont raccourcis; plus il est prolongé avec ménagement, et plus ces mêmes filaments s'effilent sans se tronquer; ceux-ci sont, pour ainsi dire, longs et minces; ceux-là courts et épais. Les lames de platine et de cylindre, tranchantes et d'acier, énervent en coupant; celles qui sont usées ou en bronze allongent la pâte en l'écrasant. D'après cela, les rouleaux et platines à tranchant dur et acéré ne conviennent qu'aux chiffons durs; les lames douces et usées aux chiffons tendres. Parfois on devra appuyer le rouleau sur les premiers, mais on le tiendra toujours un peu soutenu sur les seconds, et on fournira la pile d'une moins grande quantité de matière dure que lorsqu'elle est tendre; enfin, si le temps le permet, il ne faut pas craindre d'allonger les pâtes en modérant l'action du cylindre; elles font moins de déchet, blanchissent promptement, restent nerveuses, sont sans boutons et se raffinent aisément. Il faut prendre garde de ne pas allonger les pâtes dures plus que les tendres; il en résulterait, lors de leur mélange dans la raffineuse, un raccourcissement tel, que celles-ci serviraient plutôt de remplissage que de lien.

Lorsqu'on veut blanchir au chlorure de chaux, on verse quelquefois 200 à 300 grammes d'acide sulfurique dans la pile cinq minutes avant de l'employer; on ferme aussitôt les faux châssis; le peu d'acide qui reste

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans la pâte égouttée suffit pour accélérer la décoloration.

Le chiffon défilé, à moins d'être soumis immédiatement au raffinage, est séparé de l'eau dans laquelle il nage, soit par l'égouttage, soit aussi par la pression. Il est envoyé dans des caisses pouvant contenir plusieurs pilées; elles sont garnies de châssis de toiles métalliques ou bien doublées de feuilles de cuivre ou de zinc perforé, ou encore revêtues de poteries en grès, creuses et percées de trous de 2 à 3 millimètres de diamètre; cette disposition occupe beaucoup de place, et demande un temps assez long pour le départ suffisant de l'eau. L'emploi d'une presse disposée convenablement pare à ces inconvénients; la pressée se fait en 20 minutes, pilée à pilée, et produit un pain compacte de pâte peu exposé à se salir et d'un transport facile.

La presse hydraulique, adaptée à ce service, opère pilée par pilée. Ce pressage facilite le contrôle du produit journalier. La turbine à force centrifuge, dite essoreuse, a été également appliquée; elle exige une force motrice notable, eu égard au résultat.

L'appareil de M. Ferrand-Lamotte est aujourd'hui généralement adopté. C'est en quelque manière la table de fabrication de la machine à papier, sur laquelle la toile chemine lentement entraînant une épaisse couche de pâte qui, saisie par les cylindres compresseurs, produit une feuille ou plaque d'un transport facile, retenant peu d'eau, se divisant sans difficulté, pénétrable au gaz chlore et aux dissolutions des bains de blanchiment.

Blanchiment du défilé ou demi-pâte. C'est l'opération qui modifie la substance des chiffons par la dissolution ou la destruction plus ou moins complète de la matière colorante qui lui est inhérente; ces altérations sont produites par l'emploi d'agents chimiques, tels qu'alcalis, acides et chlore; le rôle de ce dernier est essentiellement destructif. Les autres ne sont, en quelque sorte, que comme des accessoires propres à graduer l'énergie de ses propriétés ou à opérer des dissolutions, soit après, soit avant son action.

Le chlore s'emploie sous deux formes, gazeux ou liquide; de là deux manières différentes de procéder.

Dans le blanchiment au chlore gazeux, l'appareil est ainsi composé: une bombonne ou tourie de grès, faisant office de cornue, est disposée sur un fourneau; elle est chauffée au bain-marie, à la vapeur ou au bain de sable. Un tuyau de plomb est adapté au col de la tourie, pour amener le gaz qui se dégage sur le défilé contenu dans une caisse hermétiquement close. La forme de cette caisse est un parallélipipède auquel on donne une position horizontale ou verticale. Dans ce dernier cas, il est indispensable de multiplier le nombre des étages ou tablettes qui doivent porter le défilé. L'ouverture qui sert à l'introduction et à la sortie des pâtes est pratiquée sur l'une des faces latérales; elle est fermée par un volet de $1^m,20$ de surface au moins; il pénètre à mi-bois de manière à affleurer extérieurement. Le tuyau d'arrivée du gaz pénètre par le milieu de la paroi supérieure, un échappement d'air est pratiqué aussi dans le haut, mais le plus éloigné possible de l'arrivée du chlore. Les dimensions intérieures sont réglées pour 500 kil. de chiffons défilés, sur une capacité de 3 à 4 mètres cubes. La caisse peut être construite en bois, pierre ou brique. Le bois employé doit être résineux, suffisamment sec pour ne plus jouer ou se fendre, d'une épaisseur de 7 à 8 centimètres, assemblé à double rainure garnie de mastic de céruse, maintenu par des traverses extérieures avec tirants en fer; l'intérieur est parfaitement mastiqué à la céruse et, pour la conservation, une couche d'huile de lin chaude est passée sur les parois, puis on les couvre de deux couches au moins de peinture à la céruse; pour la décoration, l'extérieur pourra être également peint. En pierres ou en briques, les joints seront faits en ciment romain ou mieux en plâtre, ne contenant pas de carbonate de chaux. On couvrira la caisse d'un glacis de même matière, ou, ce qui est plus propre, d'un revêtement de plaques de faïence ou de briquettes vernissées.

Le défilé n'étant ni trop sec ni trop mouillé, mais égoutté de manière à ce que, par la pression de la main, on ait peine à exprimer une goutte d'eau; on le distribue sur les tablettes, dans la caisse, par morceaux du poids de 200 grammes environ; on ferme le volet dont on lute les joints en collant des bandes de papier dans toute leur étendue.

Pour blanchir 500 kilogrammes de chiffons défilés, il faut, selon le cas, produire un dégagement de 2 mètres jusqu'à 5 mètres cubes de chlore; tout ce volume n'est pas utilisé, l'on doit tenir compte d'une perte constante due à la capacité des tuyaux, des touries, et aussi de la caisse qui doit contenir après l'opération un léger excès de gaz. Le manganèse d'Allemagne, bonne qualité, produit par kilogramme 240 litres de chlore; celui de Romanèche 150 litres, donc 5 kilogrammes du premier donnent un produit équivalant à 8 du second. Pour obtenir une production moyenne de 3.500 litres environ, on prend avec 24 kilogrammes de manganèse, 70 kilogrammes d'acide hydrochlorique à 22°; ou 10 kilogrammes d'eau, 40 kilogrammes d'acide sulfurique à 66°, et 40 kilogrammes d'acide hydrochlorique à 22°; ou encore 26 kilogrammes d'eau, 26 kilogrammes d'acide sulfurique et 18 kilogrammes de sel marin, toujours avec la même quantité de manganèse de Romanèche ou avec 15 kilogrammes de manganèse d'Allemagne. Nous ferons observer que les manganèses peu riches présentent l'inconvénient d'absorber en pure perte une certaine portion d'acide pour la saturation des carbonates qu'ils contiennent, et qu'ils produisent fréquemment un culot très-dur, formé de gangue et de sels insolubles, dont l'adhérence au fond des touries est une cause de casse ou les met hors de service. Le manganèse doit être employé en grenailles et non en poudre, il est moins exposé à s'agglutiner, se mouille uniformément, donne un dégagement de gaz moins brusque, et les parties non attaquées sont plus faciles à recueillir après l'opération. La cornue est d'une capacité double de la masse qu'elle doit contenir, c'est-à-dire fonctionnant à demi pleine; il faut qu'elle puisse résister à une température qui s'élève progressivement jusqu'à 120°, et il est nécessaire qu'elle soit inattaquable par les acides ou le chlore, conditions qui ne sont guère remplies que par la poterie de grès.

Lorsqu'on veut opérer, on charge une ou plusieurs touries correspondantes à la caisse préparée; on introduit dans l'ordre suivant, d'après le mélange adopté: manganèse, acide hydrochlorique; eau, acide sulfurique, manganèse, acide hydrochlorique; eau, sel marin et manganèse mêlés, acide sulfurique. Tout étant préparé à l'avance, on adapte promptement le tuyau à la tubulure de la tourie et on lute avec soin; une demi-heure après on commence à chauffer modérément, puis aussitôt que l'on s'aperçoit de la fuite du chlore par l'échappement d'air, on ferme celui-ci. La température, portée à 100° au moins, est soutenue à ce point pendant 8 ou 10 heures, temps après lequel le dégagement doit être à peine sensible. Le défilé reste sous l'action du gaz 18 à 24 heures; si on réduit le temps, il faut augmenter la dose de chlore. A cette occasion, disons que cette dose ne doit pas se mesurer par le degré de blanc que l'on veut obtenir, mais par la quantité approximative de matière colorante à détruire; ce qui excède la proportion nécessaire à cet effet attaque le ligneux lui-même, le roussit et l'énerve. Voici l'ordre que suivent les pâtes dans leur capacité d'absorption pour le chlore en commençant par les plus faiblement douées: coton blanc (blanc éclatant), fil fin usé (blanc), coton écru et fil fin

EFERUS - Recherche & Classification numérique

non usé (blanc terne), gros fil non usé et cordes (blanc légèrement gris), toiles neuves bises et bises ordinaires (jaune paille pâle), toiles grossières et chenevotteuses (jaune saumon clair), cotonnades de couleur foncée (jaune fauve terne). En essayant d'indiquer aussi le degré de décoloration, nous ferons remarquer qu'il s'éloigne d'autant plus du blanc qu'il faut plus de temps et de chlore pour l'obtenir, ce qui revient à dire, que plus il y a de matière colorante à décomposer et plus il en restera des traces visibles, la décoloration n'étant pas absolue. La nouvelle substance colorante enveloppe encore le ligneux, avec cette différence qu'elle est soluble dans les alcalis et même en grande partie dans l'eau froide, c'est donc par dissolution qu'on s'en débarrassera ; aussi c'est toujours au lavage à froid par les cylindres qu'on a recours ou à la pile spéciale nommée élaveuse.

Nous ne nous arrêterons pas à décrire des dispositions particulières de l'appareil de production et les divers moyens de luter les raccords; disons seulement que les fermetures hydrauliques sont préférables à toutes autres, lorsqu'il n'y a pas de pression ; elles concourent aussi à condenser l'acide hydrochlorique entraîné dans le dégagement du chlore; à cet effet, il est bon d'adopter une disposition pour l'arrêter; le plus simple est de placer un plat évasé, plein d'eau, dans l'intérieur de la caisse, immédiatement au-dessous de l'arrivée du gaz.

Parmi les chlorures alcalins, ceux de soude et de chaux sont les seuls dont on fasse usage; le chlorure de chaux étant d'un emploi plus général, nous nous en occuperons plus particulièrement. Sous forme solide il a l'avantage d'être d'un transport moins dispendieux qu'en dissolution dans l'eau ; mais comme il faut en venir à l'employer sous cette forme, il y aurait avantage, si on le faisait soi-même, à le fabriquer liquide. (Voyez CHLORURES DÉCOLORANTS.)

Le pouvoir décolorant de 1 kilogramme de chlorure sec est à peu près égal à celui de 20 litres d'une dissolution marquant 5° au pèse-sel.

Pour le blanchiment de 500 kilogrammes de chiffons défilés, la dose varie entre 8 et 10 kilogrammes de chlorure sec. Le mode d'emploi le plus simple consiste à le verser dans une pile en travail à la fin du défilage ou au commencement du raffinage, ou bien dans l'élaveuse ; son action sur le défilé serait très-lente, n'ayant pour agent provocateur que le contact de l'air, aussi a-t-on recours à l'intervention d'un acide pour en brusquer l'effet : l'acide sulfurique, par exemple. Soit, pour les proportions relatives déjà indiquées, 4 à 10 kilogrammes ; on le verse sur la pâte, convenablement étendue d'eau, soit après, soit avant le chlorure, avec le soin de le répandre uniformément dans tout le circuit de la pile; au bout de 10 minutes la pile peut être vidée, ou mise sur place en élavage.

Un autre mode est celui qui consiste à blanchir par bains; il exige, comme par le gaz, des appareils particuliers; ceux-ci sont des cuves ou bassins, dont partie sert de réservoir aux dissolutions, partie aux bains de blanchiment. Le niveau du fond du réservoir supérieur doit être au-dessus du bord des caisses ou cuves de blanchiment; la contenance du réservoir supérieur est plus grande que celle de la somme des caisses qu'il doit alimenter, surtout si l'on fait usage du chlorure sec, la surface de liquide qu'il présente à l'air est la moindre possible, eu égard à ses autres dimensions. Les caisses de blanchiment, au contraire, étant peu profondes et multipliées, développent une grande surface ; cette disposition a pour but de rendre plus prononcée l'action de l'air et de la lumière sur le bain ; leur capacité ne doit pas excéder 5 mètres cubes, correspondant à une contenance de 250 kilogrammes de chiffons défilés; plus petites, elles ne travaillent que mieux, la pâte se tasse moins, et il est plus aisé de la spatuler, si cela est jugé nécessaire. Elles ont un double fond de châssis garnis de toiles métalliques ; au-dessous est une bonde de vidange qui verse dans un canal commun se rendant au réservoir inférieur, ce dernier n'a qu'un tiers de la contenance des caisses qu'il dessert. A moins d'être des cuves de bois, les caisses de blanchiment sont de forme quadrangulaire ; elles sont construites en pierre ou en briques, bien cimentées, complétement revêtues à l'intérieur de ciment résineux, de bitume, ou mieux, de plomb laminé; toutes les soudures de plomb devront se faire pour ce blanchiment, comme pour celui au gaz, par le chalumeau à gaz hydrogène, et éviter dans les points d'appui le contact des autres métaux.

La liqueur décolorante est faite, pour la première fois, par 25 kilogrammes de chlorure de chaux pour 1,000 litres d'eau, ou la dissolution, ramenée entre 2 et 3°; un degré trop élevé donne lieu à une plus grande perte par l'air et par l'égouttage; il faut se défier de l'indication du pèse-sel qui n'accuse que la densité de la liqueur, densité qui peut être aussi bien augmentée par la présence du chlorure de calcium que par celle du chlorure de chaux.

Pour donner un bain, on remplit les cuves ou caisses, à ce destinées, d'abord de défilé bien égoutté que l'on écharpe par morceaux plus petits qu'on ne le fait pour le gaz, puis de chlorure qu'on reçoit du réservoir par un syphon, un chéneau, une conduite quelconque enfin : mais rien qui multiplie les robinets et les joints. Le défilé demeure immergé 6 heures, terme moyen ; on ne saurait assigner qu'entre de grandes limites la durée qui convient à l'action complète du bain; car, nous le répétons, l'état et la nature des pâtes retardent ou accélèrent la décoloration, qui est aussi plus ou moins complète. Il faut savoir faire varier à propos les proportions de défilé à blanchir et l'énergie du bain.

Le blanchiment effectué, on ouvre les bondes des châssis, et les eaux de chlorure, abandonnant le défilé, vont se réunir dans le réservoir d'égout, d'où elles sont reprises par une pompe et reversées dans le réservoir supérieur. Là, elles sont ramenées au degré voulu par l'addition d'une quantité convenable de chlorure sec ou liquide concentré. Ces eaux, qui avaient perdu de leur pouvoir décolorant, sont quelquefois colorées elles-mêmes en jaune sale par les substances détruites et rendues solubles; ce qui fait que les pâtes blanchies par ce procédé présentent plutôt un ton blanc grisâtre qu'une teinte jaune prononcée. Le défilé suffisamment égoutté est enlevé des caisses, il est encore imbibé d'une quantité notable de chlorure, de sorte que, si on le laisse en dépôt, la décoloration peut se continuer jusqu'à saturation du chlore; si celui-ci est en excès, le ligneux finira par en être attaqué. D'autres fois, le même effet destructif se produit par l'acide hydrochlorique développé dans la réaction du chlore sur la matière colorante et insuffisamment saturée par la chaux.

Le chlorure de soude étant moins stable que celui de chaux décolore plus promptement et dissout mieux la matière colorante détruite ; sa présence dans les pâtes mal lavées nuit moins au collage que ne le ferait un sel calcaire. En Angleterre, le chlorure de soude est souvent substitué avec avantage au chlorure de chaux. En France, la grande différence qui existe entre les prix de ces deux produits fait qu'on est réduit à n'employer que du chlorure de chaux.

L'effet du gaz chlore sur le défilé est plus énergique que celui des chlorures; cependant ces derniers agissent plus intimement sur les filaments élémentaires, et d'une manière qui en compromet moins la solidité. Ainsi le gaz attaque fortement tout ce qui est chenevotteux, ce que ne font pas aussi bien les chlorures, tandis qu'il n'attaque que superficiellement les défilés de chiffons bis, parce que ceux-ci sont à fibres plus complexes, et que celles de l'intérieur restant imperméables au gaz, demeurent colorées. Ce fait devient sensible lorsqu'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

opère le lavage du défilé blanchi, opération indispensable, puisqu'elle consiste, comme nous l'avons dit, à dissoudre la matière colorante détruite qui s'opposerait au succès de tout traitement ultérieur. Ce travail se fait dans une pile ordinaire, ou mieux dans la pile laveuse *ad hoc*. La durée du lavage tient à la quantité d'eau qui y est affectée, soit par exemple, pour un temps moyen d'une heure, une alimentation de trois litres par seconde; on estime le lavage complet, lorsque l'eau qui en résulte sort limpide, incolore et non écumeuse. Ainsi dégorgé, le défilé, dont la couleur était une des nuances du jaune, est devenu grisâtre comme un mélange de pâte blanche et de pâte non blanchie; il est presque toujours indispensable, en ce cas, d'avoir recours de nouveau au blanchiment par le gaz ou par les chlorures.

Règle générale : le premier blanchiment se fait au gaz; un second au gaz ne se fait que sur les chiffons très-colorés ou chenevotteux; un troisième, ce qui est rare, ne se fait qu'au chlorure. Les chlorures décolorants s'emploient en toute circonstance, sans que l'abus qu'on peut en faire entraîne, comme le gaz, à des déchets et des détériorations notables de pâtes. Le défilé blanchi au gaz doit être lavé immédiatement; le défilé blanchi au chlorure est gardé avec avantage huit à quinze jours, et, contrairement à ce qui se passe pour le gaz, le défilé prend de l'éclat et de la blancheur en s'élavant. Quant à la couleur rouille de certains chiffons teints ou tachés par le fer, elle sera dissoute, après le premier blanchiment au chlore, par un bain d'acide hydrochlorique dans la proportion de 3 d'acide pour 1,000 d'eau.

On a donné le nom d'antichlore à des réactifs qui ont la propriété de neutraliser, dans la pâte, le chlore en excès, et l'acide hydrochlorique produit par le fait de la décoloration; l'emploi de ces réactifs a pour but d'annuler le lavage, qui est une cause de perte de temps, de matière et de force motrice, dans l'opinion, du reste fondée, que l'introduction du chlore à l'état libre, ou d'un acide dans le papier nuit à sa coloration, à son collage et à sa durée. Ce ne sont pas là les seules causes qui produisent ces mauvais effets; il faut en attribuer une forte part à la préexistence de la matière colorante dénaturée; l'élimination par lavage, ainsi éludée, ne satisfait pas entièrement. Aussi, tout en adoptant l'usage des antichlores, nous croyons utile pour les papiers dont on veut assurer la durée de faire suivre le blanchiment de l'élavage.

Le sulfite de soude est le sel le plus généralement employé à la neutralisation du chlore. Les sulfures alcalins s'obtiennent à un prix très-bas et conviennent aux pâtes d'un blanc ordinaire à cause du léger précipité de soufre qu'ils déterminent en se combinant au chlore ou à l'acide chlorhydrique. Le carbonate d'ammoniaque neutralise également le chlore et l'acide chlorhydrique; le carbonate de soude se combine à ce dernier. Tous ces sels neutralisent aussi l'acide sulfurique, s'il en reste des traces dans la pâte. Dans les papiers sans colle, il est important d'annihiler les effets de cet acide, qui, par son action lente sur la cellulose, en détermine la destruction.

Le permanganate de soude opère également une décoloration satisfaisante. Son emploi est limité jusqu'à présent en raison de son prix de revient trop élevé.

Parmi les agents désoxygénants, nous signalerons l'acide sulfureux gazeux ou dissous dans l'eau; l'acide sulfhydrique par bains, chassé des sulfures alcalins par l'intervention des acides sulfurique ou chlorhydrique. Ce sont des décolorants moins énergiques que le chlore, mais ils rendent quelques services dans des cas particuliers où ce dernier est impuissant, tels que divers succédanés, les chiffons de laine. Sur ceux-ci, l'acide sulfhydrique opère un assouplissement des fibrilles qui les rend plus liantes et les dispose à produire une feuille plus dense et moins rugueuse.

Raffinage. La pile de cylindre raffineuse ne diffère pas essentiellement de la défileuse. Tandis que les dimensions de celle-ci peuvent être augmentées, celles de la raffineuse ne dépassent guère les proportions qui nous ont servi de base : elles sont plus fréquemment moindres. Ainsi, les contours y sont moins développés, les trajets du courant sont moins inégaux, la trituration y gagne en régularité. Les lames du cylindre sont groupées par trois; elles sont distancées plus serré que sur le rouleau défileur, dans la proportion de un dixième à un huitième. Le nombre de tours de son rouleau est de 200 à 220, soit une vitesse de 7 mètres par seconde à sa circonférence. Sa cuve a la contenance de 4,500 litres, et se charge en défilés équivalant au produit de 100 kilogrammes de chiffons, pouvant rendre en papier 65 à 75 kilogrammes.

La trituration des chiffons, suspendue pour permettre le blanchiment ou le mélange des diverses pâtes, est reprise et achevée par la pile raffineuse. La pile remplie convenablement d'eau est fournie en défilé par espèces et proportions déterminées. Le gouverneur fait appuyer graduellement le rouleau sur la platine, jusqu'à ce qu'enfin il y porte presque tout son poids; le gouverneur maintient le cylindre dans cette position, jusqu'à ce qu'il ait reconnu que la pâte est suffisamment battue; mais comme elle offre des boutons de pâte, pour les faire disparaître, il *affleure*. L'affleurage consiste à tenir le rouleau au point juste où ses lames touchent à peine, effleurent celles de la platine; par là, les filaments sont plutôt étirés que coupés, et tout ce qui excède leur épaisseur moyenne est, au contraire, fortement atteint. Le gouverneur s'étant assuré par un nouvel examen du bon aspect de la pâte, il lui donne issue par des conduits qui se rendent au réservoir ou au cuvier de machine.

Pendant toute la durée du raffinage, qui peut être de deux à quatre heures, on doit spatuler fréquemment; car la matière qui chemine sur le fond et le long des parois de la pile est mise en retard par le frottement, ou par la longueur du parcours, qui excède de beaucoup celui qui s'opère autour de la cloison; il en résulte une répétition inégale d'action, de la part des lames, sur diverses portions de la pâte.

Lorsque le papier doit être collé ou coloré, on introduit ordinairement dans la pile les matières préparées à cet effet, un peu avant d'affleurer.

C'est ici le lieu de rappeler ce qui déjà a été dit au défilage, à l'égard de l'état des lames de rouleaux et de platines; cette condition a la plus grande influence sur la solidité du papier. Un raffinage précipité donne un papier mou, sans ténacité, d'un mauvais transparent et d'une surface pelucheuse. Dans ce cas, la pâte retient peu d'eau lors de son feutrage; elle est dite sèche ou *surge*. Si, au contraire, l'emploi du temps et des machines est bien ménagé, la pâte, quoique longue, donne des feuilles d'un transparent uniforme; ses surfaces sont unies, sa substance dense, souple et carteuse; cette pâte retient beaucoup d'eau, caractère que l'on exprime par les noms de pâte *verte* ou grasse. Règle générale : sont surges, les chiffons tendres, notamment les cotons; les chiffons battus brusquement, battus avec des lames tranchantes ou dures; ceux blanchis énergiquement au gaz; ceux enfin triturés par une pile faiblement fournie en défilé; sont gras, les chiffons durs, neufs; ceux battus longuement avec des lames douces un peu usées; ceux non blanchis ou blanchis aux chlorures; ceux battus en pilée copieusement fournie.

Le *pulp-engine* est une raffineuse qui ne procède pas à la manière de la pile de cylindre. Il présente quelque analogie avec les meules à farine. Il se réduit à une seule meule sans œillard I, tournant sur son axe horizontal *a*; les deux surfaces plates portent par un rapproche-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment facultatif contre les parois intérieures comme entre deux gîtes. Le tout est en métal, contenu dans une enveloppe étanche, qui laisse passage à l'arbre de meule et donne entrée et sortie au courant de pâte. Le défilé, délayé dans une quantité convenable d'eau, descend par une colonne T de quelques mètres de pression, est introduit par un flanc vers l'axe de rotation, de là il rayonne,

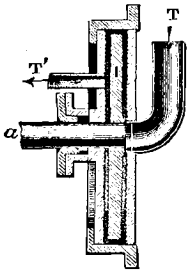


Fig. 6.

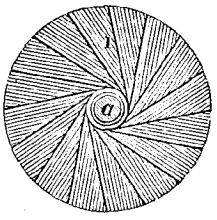


Fig. 5.

écrasé entre la face fixe et la meule, en franchit le pourtour ou limbe, et, luttant contre la force centrifuge, il s'engage sur la seconde face où il reçoit une seconde action de la part de la meule et s'échappe en T' (fig. 6) du côté opposé à son entrée. La trituration s'effectue en une seule passe, elle est continue. Cet appareil est peu volumineux : il donne ses meilleurs résultats sur les pâtes dites *surges*, courtes ou se raccourcissant avec facilité: le coton, les succédanés tels que la paille, le bois traité chimiquement, le sparte.

Le moulin vertical, à meules roulant sur un gîte, est employé pour le raffinage de quelques succédanés à filaments courts, la paille et ses analogues. Elles sont surtout fort utiles au broyage des rognures de papier, aussi leur emploi tend-il à se généraliser. Nous renvoyons pour la description à l'article HUILE. En raison de leur poids qui varie entre 1,000 et 1,500 kil. par meule, la marche en est lente; dans leur mouvement de roulement elles parcourent à peine un mètre par seconde. Elles n'agissent guère que par écrasement: cependant, le pivotement partiel qui s'opère sur elles-mêmes effectue entre les surfaces frottantes un arrachement qui favorise la désagrégation des parties feutrées ou agglomérées, sans couper: d'ailleurs il suffirait d'augmenter l'étendue du chemin parcouru par les meules pour modérer cet effet.

La pâte livrée par ce moulin est compacte, serrée; employée seule, elle ne pourrait prendre le feutrage, elle doit être préalablement délayée, et mieux, affleurée; à plus forte raison si elle est mêlée à d'autres pâtes, ce qui est la condition la plus fréquente. Il convient même que le mélange dans la raffineuse soit rendu aussi intime que possible par un léger battage suivi d'affleurement.

Maintenant que nous avons amené le ligneux du chiffon à l'état de pureté presque parfaite, et rendu propre à prendre la forme de papier, disons quelques mots des substances qui y entrent en mélange ou en combinaison, toutes les fois qu'il s'agit de douer le papier de nouvelles propriétés. Les principales sont: l'encollage et la coloration.

Colle animale. Les matières employées dans la préparation de la colle animale ou gélatine sont: les rognures de peaux non tannées provenant des corroyeurs et des bourreliers, les tendons, les cartilages et plus particulièrement les pieds de mouton, de chèvre et de chevreau (voyez COLLE FORTE, GÉLATINE). On prépare cette colle de la manière suivante: ces débris ayant été chaulés, ils subissent une macération de deux jours dans l'eau pure, puis ils sont parfaitement lavés à l'eau acidulée et débarrassés des malpropretés dont ils sont toujours chargés; on les introduit dans une chaudière de cuivre avec dix fois leur poids d'eau, en les plaçant dans un panier, afin que dans la cuisson ils ne puissent s'attacher aux parois. Le feu se conduit graduellement et de manière à éviter l'ébullition; on projette une petite quantité de chaux vive en poudre pour absorber les graisses, on écume et l'on recommence ce traitement jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'écume produite; à ce point on laisse baisser un peu la température du liquide; six heures après, si on en verse un peu sur une assiette et qu'il s'y fige en quelques instants, il est bon à être soutiré; on le passe à travers une chausse ou un drap de laine, étendu au-dessus d'un cuvier large et peu élevé faisant office de réservoir. Cette première cuite terminée, on recharge aux deux tiers la chaudière d'eau, on fait bouillir doucement; et si on ne veut pas fractionner les produits, on réunit cette dernière cuite à la précédente; laissant reposer et refroidir, on a pour résultat une gelée transparente, presque incolore; elle doit être conservée dans un lieu frais et aéré; s'il arrive qu'elle tourne par un temps chaud ou orageux, on y remédie en la faisant chauffer et ajoutant de l'acétate de plomb; on agite, puis on laisse déposer; il est facile de prévenir cet inconvénient en ajoutant l'acétate de plomb aussitôt après le soutirage, cela contribue encore à une prompte clarification.

Pour préparer une cuve ou mouilloir, on mêle à 100 kilogrammes de gelée maintenue liquide par une chaleur convenable, 1 kilogramme d'alun, et lors des grandes chaleurs où le collage est plus difficile, on ajoute 30 grammes d'hydrochlorate d'ammoniaque ou de sulfate de zinc.

On conseille, pour la fabrication de la gélatine incolore, l'emploi d'un bain d'acide sulfureux dissous dans l'eau, après fermentation légère à l'eau pure des colles-matières; mais cette gélatine est plus exposée à se décomposer par l'influence de l'air chargé des odeurs de la floraison des plantes ou de leur dessiccation.

La mise en colle des papiers exige, de la part de l'ouvrier qui en est chargé, une certaine habitude de maniement et des attentions particulières en raison de l'épaisseur, de la nature, de la sécheresse de la pâte et de l'état de l'air atmosphérique. Le colleur prend une poignée de 100 feuilles de papier ou plus, il les plonge dans la colle et les écarte avec soin pour les en imprégner également; la colle superflue est expulsée par une mise sous presse; les feuilles, transportées dans une salle nommée étendoir, sont séparées et étendues sur des cordeaux pour y être séchées. Une dessiccation rapide atténue la faculté collante de la gélatine; il suffit de remouiller et matricer le papier manqué de colle par cette circonstance, puis de le faire sécher lentement pour voir reparaître la colle avec son imperméabilité. Ce fait est la conséquence d'un phénomène de capillarité qui transporte insensiblement la gélatine contenue dans l'épaisseur de la feuille vers ses surfaces, lesquelles sont rendues absorbantes par la déperdition d'humidité qu'elles éprouvent sans cesse; les liquides ainsi appelés à la superficie y charrient les matières dissoutes qui s'y concrètent en une sorte de pellicule imperméable. La dessiccation prompte produit une concentration brusque qui interrompt ce mouvement.

Le collage à la gélatine s'effectue difficilement, mais il fournit pour les papiers de luxe des produits si supérieurs que les Anglais n'ont jamais voulu l'abandonner et sont parvenus à l'exécuter à la suite de la machine. Le procédé consiste à faire passer le papier séché comme à l'ordinaire dans la colle, puis à le sécher de nouveau à une température qui ne dépasse pas 25° pour ne pas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

altérer la colle, et cela en lui faisant parcourir une grande étendue sur 25 ou 30 tambours à claire-voie dans lesquels tournent des ventilateurs qui projettent de l'air chaud.

Colle végétale ou savon de résine. En voici la préparation : dans une dissolution de soude partiellement caustique et tenue en ébullition, on introduit par portions de la colophane concassée en petits morceaux; on agite continuellement. Sur une masse totale de 500 kilogrammes, la cuite s'effectue en cinq heures environ.

Les proportions des matières employées sont :

100 colophane;
80 cristaux de soude;
80 eau;
10 chaux.

La chaux étant éteinte est délayée dans la dissolution de soude très-chaude, ou mieux en ébullition; après repos, on tire au clair la lessive que l'on verse immédiatement dans une chaudière en cuivre chauffée à feu nu ou au bain-marie; puis, ajoutant la colophane comme il a été dit, on obtient pour résultat 200 kilogr. de colle ainsi composée :

100 colophane;
20 soude caustique;
80 eau.

D'un autre côté, il reste dans le dépôt de chaux carbonatée une certaine quantité de soude assez incommode à séparer et qu'il vaut mieux consacrer au lessivage; la quantité d'eau est diminuée aussi par l'évaporation, et les cristaux de soude en fournissent, puisqu'ils contiennent 64 pour 100 d'eau. Il est clair qu'il faudra diminuer proportionnellement le chiffre du carbonate de soude lorsqu'on l'emploiera calciné (sel de soude) et augmenter celui de l'eau.

La cuisson à feu nu nuit à la blancheur de la colle, l'action des coups de feu étant immédiate; l'emploi de la vapeur, quoique préférable, présente l'inconvénient d'augmenter le volume d'eau faisant partie de la colle et d'apporter plus de lenteur dans la combinaison; un bain-marie salin est préférable de beaucoup, en ce qu'il obvie à tous ces inconvénients et donne une température fixe et supérieure à 100°. On peut abréger cette opération en fondant à une chaleur douce la résine au lieu de la pulvériser, et la versant lentement dans la lessive chaude vivement agitée; la combinaison se fait ainsi presque instantanément, et il ne peut rester aucun grain de résine non dissous. Dans tous les cas, la chaudière où se font les cuites ne doit être remplie qu'aux deux tiers, et porter à sa partie supérieure une large ouverture ou trop-plein pour l'écoulement de la colle lorsqu'elle est exposée à déborder par l'effet du boursouflement.

Du galipot peut être ajouté à la colophane lorsque celle-ci est reconnue trop sèche.

Pour enlever une grande portion de la matière colorante de la résine on augmente la proportion de soude et d'eau; par le refroidissement et le repos, la colle produite se sépare en deux matières, l'une molle, d'un jaune pâle, l'autre liquide, brune et très-alcaline; par la décantation, on sépare l'une de l'autre, on colle avec la substance solide et l'on fait rentrer la liqueur brune dans la fabrication d'une colle inférieure, ou on la caustifie par la chaux pour s'en servir au lessivage. On a reconnu, par expérience, que la colle préparée longtemps d'avance est d'un meilleur emploi que la colle récemment fabriquée.

Quand on procède à l'encollage du papier, on dissout la colle dans un cuvier d'eau bouillante; on laisse reposer, on décante dans un cuvier inférieur et on passe en même temps au tamis de laine. Dans un grand nombre de fabriques, on saisit ce moment où la colle filtrée est encore très-chaude pour y faire crever de la fécule délayée d'avance à l'eau tiède; d'autres préfèrent cuire la fécule à part pour être plus maîtres d'en augmenter la dose.

La dissolution prête est versée lentement dans la pile raffineuse et spatulée; cinq minutes après, la dissolution d'alun étant ajoutée, l'encollage est effectué.

Soient les dissolutions préparées sur 100 parties comme suit :

10 colle.	10 alun.
90 eau.	90 eau.

Pour coller 100 kilog. de pâte, on prend 40 litres de colle et ensuite 40 litres d'eau alunée, ce qui équivaut à 4 kilog. de colle et 4 kilog. d'alun, quantité suffisante avec des eaux de bonne qualité et pour des papiers de force moyenne; cette dose sera forcément de beaucoup augmentée dans les eaux calcaires. L'encollage ainsi opéré laisse dans le papier 33 pour 100 des matières solides employées; il augmente le poids produit en papier de 3 pour 100 environ, tandis que la colle animale lui rend 6 pour 100 au moins.

Le sulfate d'alumine est substitué avec quelque économie à l'alun; on l'emploie ordinairement dans le rapport approché de 2 1/2 pour 4 d'alun, car il contient plus ou moins d'eau; rarement il est exempt de fer.

Si l'alun est reconnu légèrement ferrugineux, l'addition d'une quantité convenable de prussiate de potasse entraîne le fer sous la forme d'un précipité de bleu de Prusse; si la proportion était considérable, il faudrait renoncer à son emploi dans les papiers blancs ou teints en couleurs végétales tendres.

Quant à la fécule, elle doit être parfaitement blanche et pure; sous ce rapport, la fécule *verte* offre plus de chances de propreté que celle qui est sèche; en tous cas on la tamise dans l'eau sur une toile métallique fine, afin d'être assuré de sa parfaite division; le moindre grumeau ferait tache dans le papier. Quand on cuit avec la colle, on ne peut dépasser 10 kilog. pour 10 kilog. de colle, et, cuite à part, la pâte pourra en être chargée sans inconvénient grave jusqu'à 6 pour 100. La gelée de fécule doit conserver un ton opalin; lorsqu'elle est parfaitement transparente, elle est trop cuite et fait coller le papier sur les cylindres sécheurs.

La fécule rapproche et unit les fibres du papier, elle le rend plus dense, plus ferme et moins spongieux; la résine, combinée à l'alumine, lui donne seule la propriété hydrofuge.

Les eaux séléniteuses sont un obstacle à la réussite de l'encollage; les sels de chaux et quelques autres en présence du savon résineux échangent leurs acides et leurs bases, et donnent pour produit un précipité non collant qui ternit la blancheur du papier et augmente les difficultés ultérieures de la fabrication; dans ce cas, nous conseillons de verser l'alun en premier dans la pile, on évitera une petite perte de colle, puis l'embarras du boursouflement de la pâte, quelquefois si considérable qu'elle ne tourne plus dans la pile. L'emploi d'une dissolution de verre soluble (silicate de soude) nous semble offrir le réactif le plus propre à transformer les sels contenus dans les eaux douces en des composés incolores et sans action sur la colle résineuse comme sur les matières colorantes. Il arrive parfois à la colle de donner lieu à une grande production de mousse, la cause peut être attribuée à la colle elle-même qui n'est pas assez cuite ou trop nouvellement faite, aux défilés mal clavés, à certaines couleurs dont on a teint la pâte et enfin à la nature des eaux; lorsqu'on ne peut écarter la cause, on remédie par l'addition dans la pile de quelques grammes d'huile d'œillette ou par quelques décilitres de lait, remèdes dont il faut le plus possible s'abstenir de faire usage.

COLORATION DES PATES. Les limites de cet ouvrage nous interdisent de traiter cet article avec tout le déve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

loppement désirable, vu la multiplicité de détails dont il y aurait à le charger; nous nommerons seulement ici les couleurs dont l'emploi est le plus fréquent. Quant aux chiffres de dosage, ils doivent être pris pour guide et non comme termes absolus; le degré de pureté des produits de l'industrie, et la richesse de ceux qu'offre la nature est bien loin d'être invariable, c'est donc au fabricant à faire un essai préparatoire, afin de s'assurer qu'il n'y a pas excès d'une substance sur une autre, quand elles doivent entrer en combinaison; excès qui est toujours une perte réelle, lors même qu'il ne porte point de trouble dans la fabrication. Les substances minérales sont employées en dissolution dans l'eau; les substances organiques sont extraites par décoction.

Les pâtes reçoivent la coloration préalablement, soit dans la raffineuse en y incorporant simplement la matière colorante à l'état de précipité ou de terre ocreuse parfaitement écrasée, soit dans la défileuse ou dans l'élaveuse, en teignant le défilé par l'introduction des divers éléments dont les réactions produisent la couleur. Lorsque rien ne s'oppose à cette pratique, elle dispense du lavage des précipités colorants préparés à part et destinés à la raffineuse.

BLEU. — *Bleu de Prusse.* Il s'obtient par 95 de sulfate de fer et 100 de prussiate de potasse: sa teinte varie du bleu verdâtre au bleu violacé selon son degré d'oxygénation. L'hypochlorite de chaux, en raison de son prix peu élevé, est employé concurremment avec les acides chlorhydrique et sulfurique à oxyder, soit la dissolution de prussiate, soit celle de protosulfate de fer, soit enfin le précipité vert pâle qui vire ainsi au bleu. La dissolution d'hypochlorite de chaux contient 20 kil. de matière solide: on peut l'ajouter à celle du prussiate, y verser 10 kil. d'acide sulfurique; d'autre part ajouter au sel de fer 15 kil. d'acide chlorhydrique, puis mêler les liqueurs qui donnent alors naissance au précipité, ou, comme nous l'avons dit, produire le précipité vert pâle et le blanir peu à peu à l'aide du chlorure de chaux et des acides, laver plusieurs fois le précipité. Il y a, à ce procédé simple, des variantes nombreuses que nous ne pourrions ici passer en revue.

Bleu d'aniline. Soluble dans l'eau chaude. La dissolution est passée au feutre fin ou flanelle serrée. Fugace, pâlit sous l'influence de la lumière.

Bleu de cobalt. Pulvérulent, d'un grand éclat, inaltérable. Il suffit, au moment de s'en servir, de le délayer dans l'eau et de le passer à un tamis fin.

Bleu d'outre-mer ou *bleu Guimet.* Plus riche que le précédent, également en poudre, moins dense, décomposable par les acides.

Ces trois bleus, dont le ton est éclatant, servent à l'azurage des pâtes blanches de belle qualité. Par l'azurage, on n'a pas toujours pour objet de colorer légèrement en bleu; mais, le plus souvent, de masquer un défaut de blancheur par l'addition d'une teinte complémentaire. Le ton à corriger étant communément jaunâtre, on a recours, pour le faire disparaître, au bleu ou au violet; lorsque la proportion n'en est pas excédante, le papier demeure blanc mat; si elle la dépasse, il est dit azuré. L'azur se met dans la pile après l'encollage; le même ordre est généralement suivi pour les autres colorations.

JAUNE. — *Chromates de plomb.* La nuance *canari* s'obtient en dissolution très-étendue et froide de 10 parties de bichromate de potasse et 22 d'acétate de plomb.

Le jaune *citron*, en remplaçant l'acétate par le pyrolignite de plomb.

La dissolution de bichromate de potasse est versée dans celle d'acétate ou de pyrolignite de plomb. Le précipité doit laisser un léger excès de sel de plomb.

Jaune bouton d'or. Se prépare en dissolution modérément chaude de 10 parties de bichromate de potasse et 20 parties de pyrolignite de plomb, ou mieux, par 18 parties de nitrate de plomb en dissolution tiède.

Jaune orangé, souci. 10 parties de bichromate de potasse ramené à l'état de sel neutre par la soude ou par un lait de chaux, et 18 parties de nitrate de plomb; dissolution très-chaude.

Pour ces deux dernières teintes, avoir le soin de verser le sel de plomb dans le bichromate et veiller à ce que la liqueur, dans laquelle se produit le précipité, conserve constamment un léger excès de sel de chrome.

Le vermillon ou sulfure de mercure pousse la coloration plus au rouge; il est pulvérulent.

Jaune chamois. 85 parties de sulfate de fer et 100 parties de cristaux de soude, puis dissolution de chlorure de chaux en suffisante quantité pour virer la couleur du vert au jaune. Un lait de chaux peut être substitué à la soude; dans les papiers communs on emploie l'ocre jaune.

ROUGE, ROSE. Les bois de teinture en rouge, le Sainte-Marthe, le Fernambouc, etc., fixés par les sels d'étain, sont remplacés par le rouge d'aniline ou fuschine qui s'emploie comme le bleu d'aniline; très-fugace.

Rouge amaranthe. S'obtient de la laque produite par l'alun sur la décoction de bois de Sainte-Marthe, précipitée par la soude.

Rouge-brun. Le carbonate de peroxyde de fer hydraté. Dans les papiers communs: ocre rouge, terre de Sienne calcinée.

VIOLET. Pour les papiers d'enveloppe: le bois de Campêche ou d'Haïti précipité par l'alun.

Dans les pâtes fines: le violet d'aniline.

VERT. Mélange du bleu de Prusse verdâtre et du chromate de plomb, jaune canari.

BRUN. Terre de Sienne crue ou brûlée, terre d'Ombre. Oxyde de manganèse obtenu du chlorhydrate de manganèse, précipité par la chaux et oxygéné par le chlorure de chaux. Dissolution par la soude de rognures de peaux tannées, précipitée par l'alun.

NOIR. Décoction de noix de Galle, écorce de chêne, bois de châtaignier, dissolution de peaux tannées indiquée plus haut, de toutes substances contenant du tannin, précipitée par le sulfate de peroxyde de fer ou le pyrolignite de fer.

BLANC. N'est noté ici que comme modifiant les colorations autrement que ne le ferait la réduction des doses de matière colorante: cette addition fournissant un fond mat et plus uniforme. Le sulfate de chaux produit chimiquement l'albâtre, le kaolin. L'introduction de ces substances, par leur capillarité ou par leur réaction chimique, contrarie le collage à la résine, le dosage de la colle doit donc être augmenté en conséquence, ainsi que celui de l'alun.

Nous dirons en passant que la nécessité, qui va toujours croissant, de produire des pâtes avec des matières premières neuves, donne pour produits des papiers translucides, aspect qui ne convient ni à l'impression, ni à l'écriture et qui appelle l'addition d'une matière opaque. Il convient, en usant de ce correctif, de n'en pas exagérer l'effet, ce serait s'exposer à amoindrir les autres qualités du papier.

Nous ajouterons, pour terminer ce qui a trait aux papiers colorés, que chaque espèce de filament, en raison de son origine, possède une affinité plus ou moins prononcée pour tels ou tels principes colorants. Ainsi, les pâtes nerveuses, dans lesquelles on range le chanvre, le jute, le phormium, acceptent mieux les teintures en dissolution et notamment les anilines que celles qui sont à l'état de précipité. Par contre, les pâtes cotonneuses retiennent bien les précipités et fixent imparfaitement les teintures dissoutes. L'on peut entrevoir la conséquence de ces propriétés opposées, c'est que, d'un mélange de pâte aux qualités extrêmes, nerveuses et cotonneuses, il doit résulter un défaut d'uniformité de teinture

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des filaments et la production d'une sorte de chiné ou de nuageux désagréable à l'œil.

Les papiers de couleur, collés à la gélatine et séchés à l'air, sont d'un ton plus éclatant et plus frais que ceux collés à la résine et séchés à la machine; on doit remarquer aussi que le satinage, ou apprêt à la lisse, fonce les teintes.

FABRICATION DU PAPIER. Tout ce qui concourt à la préparation de la pâte étant terminé, celle-ci est envoyée des raffineuses dans des réservoirs placés en tête de la machine à papier. Ce sont ordinairement des cuves en bois de la contenance de cinq à dix pilées, soit de dix à vingt mille litres.

La pâte accumulée dans les réservoirs s'y déposerait si elle n'était tenue en mouvement. A cet effet, un grand agitateur à axe vertical tourne lentement dans chacune des cuves. Bien que le repos de la pâte ne puisse avoir lieu, le mélange d'eau et de pâte n'est pas uniforme dans toute la hauteur de la masse liquide. Cette masse participe à la vitesse de l'agitateur et tourne quelquefois avec lui d'une vitesse presque égale, et, dès lors, n'est plus réellement agitée. Il se produit aussi, par le fait des frottements réguliers du liquide sur les parois, un pelotonnement des parties les plus ténues de la pâte, qui donne lieu à une production de petits amas feutrés, semblables à des boutons de pâte mal affleurée, et dans la feuille fabriquée ils ont l'apparence de cassés ou papiers refondus, mal triturés, ou de boutons lenticulaires.

L'agitateur à axe horizontal pare à ces divers inconvénients. Le réservoir est à fond demi-cylindrique et côtés droits, l'agitateur porte 2 ou 4 palettes étroites, légèrement inclinées sur la génératrice; elles sont plongées entièrement ou partiellement dans le bain de pâte. Un mouvement lent suffit à un parfait mélange. Le mouvement rotatif continu peut être remplacé par un mouvement circulaire alternatif ou oscillatoire, qui n'oblige pas les palettes à émerger.

Un appareil spécial puise la pâte dans les cuves pour alimenter la machine sans fin. C'est une pompe, une noria (fig. 7), ou toute autre combinaison réalisant un débit de

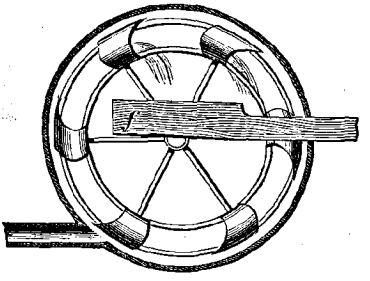


Fig. 7.

liquide, par volume proportionnel à la vitesse du moteur qui actionne la machine à papier; c'est le régulateur de l'épaisseur ou du poids de la feuille, sa capacité est variable; une fois réglé lui-même, pour une épaisseur donnée, il la maintient malgré les variations accidentelles de vitessse de la machine qui fait la feuille: lié à la marche de celle-ci, son débit est proportionnel à la surface de feuille produite presque simultanément.

MACHINES A FABRIQUER LE PAPIER CONTINU. La plupart des constructeurs qui se sont occupés de cette machine se sont efforcés de satisfaire aux conditions, devenues si multiples, réclamées par une active produc-

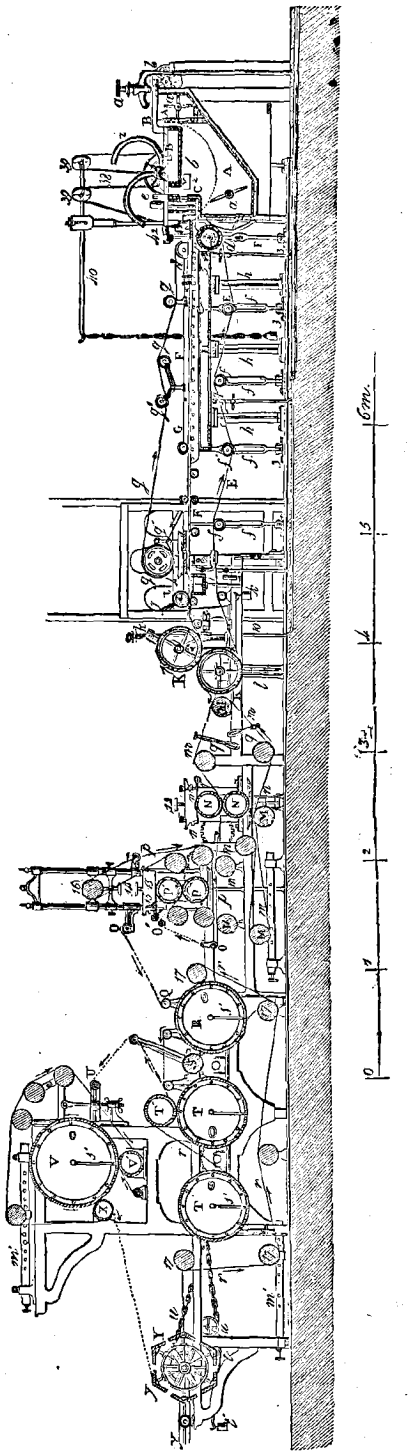


Fig. 8.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion et la diversité d'emplois du papier. Ils ont été conduits à créer des modèles différant entre eux par les détails, en vue d'une amélioration spéciale à chaque genre de fabrication. Cette machine commence et finit la feuille de papier; par un ensemble d'opérations à la fois successives et simultanées, en quelques minutes, elle donne un produit qui exigeait plusieurs semaines par la fabrication à la main. Nous décrirons comme type l'ancien modèle dû à M. Chapelle, il comporte toutes les parties restées essentielles.

Des réservoirs à la machine à papier la dépense de pâte s'effectue donc par l'intermédiaire d'un régulateur: l'écoulement est dirigé dans le premier compartiment d'une caisse ou *vat* A (fig. 8), doublée en zinc, dans laquelle tourne un agitateur *a* qui mêle la pâte avec l'eau versée par le robinet; quatre vannettes *b* la distribuent sur l'épurateur B, composé d'un cadre en cuivre à quatre compartiments contenant quatre autres cadres ou tamis *b'* également en cuivre; un mouvement oscillatoire est imprimé à l'épurateur par une roue à rochet *b''*, dont les dents font lever et baisser les branches B'. Cet épurateur retient les boutons, et laisse passer la pâte au travers du tamis *b'* dans le second compartiment A', où elle est de nouveau remuée par l'agitateur *a'*; de là elle passe par la vanne C, dont l'ouverture est réglée par le levier *c*; elle traverse ensuite plusieurs coulisses *c''*, qui l'obligent à s'étendre en largeur, et arrive dans la caisse D, où elle dépose le gravier dont elle peut être chargée; de là, maintenue à droite et à gauche par les règles *d*, elle se répand sur la toile métallique E, portée, dans une partie de sa course, sur les petits cylindres en cuivre *c'*, engagés, par leurs tourillons, dans les règles *e*. L'ensemble de la toile et des rouleaux est ce qu'on appelle la *forme* ou la table de fabrication.

La toile métallique, tendue par des rouleaux *f* et passant sur un cylindre de renvoi *d''*, a une marche constante comme une corde sans fin; elle éprouve, pendant son parcours, un mouvement latéral très-rapide de va-et-vient, qui lui est imprimé par un cadre en fonte F auquel elle est attachée. Ce cadre porté par des pieds *ff*, mobiles dans le sens latéral de la machine, sur des axes ou goupilles 3, est mû par un levier F'. Le mouvement oscillatoire qu'éprouve la toile feutre le papier, et remplace le travail du plongeur ou ouvreur.

Pour déterminer la largeur qu'on veut donner à la nappe de pâte, on emploie deux règles G; leur plus grand écartement est dans la plupart des tables de 1m,50; les petites poulies en cuivre *g*, qu'elles portent, guident une courroie sans fin *g'* en cuir ou en tissus et caoutchouc de 2 centimètres d'épaisseur appelée aussi *couverte*. Cette courroie, qui marche avec la même vitesse que la toile métallique et passe sur la poulie de renvoi *g''*, a pour effet d'émarger la pâte humide dans son trajet sur les rouleaux *e*; elle se nettoie en traversant la petite cuvette 4, où elle reçoit un jet d'eau par un tuyau *g'''*. L'eau s'écoule de la cuvette par une goulotte.

La toile métallique entraîne la pâte en égalisant son épaisseur, et laissant, pendant sa marche, passer à travers les mailles et s'égoutter dans la cuvette plate H, portée par des pieds en fonte *h*, l'eau dans laquelle la pâte n'est que suspendue; cette cuvette a une légère inclinaison, afin que l'eau s'écoule par un conduit et retourne à la danaïde *z*, qui la renvoie dans le réservoir supérieur. Une petite caisse 5 est disposée à l'extrémité antérieure de la cuvette H; un tuyau 6 y amène de l'eau qui est chassée par une fente sur toute l'étendue du rouleau de tête ou de retour *d''*, et entraîne la pâte qui pourrait s'y attacher. 7, 7, sont des tuyaux en cuivre percés de petits trous, dans lesquels arrive l'eau pour arroser et laver la toile à son retour. Cette toile, après avoir passé successivement sur les rouleaux *e* de la forme et sur ceux qui la dirigent vers les presses K, K', rencontre, en quittant les courroies *g*, une caisse I sur laquelle elle glisse. Cette caisse, fixée au bâti et occupant toute la largeur de la machine, contient quatre petits rouleaux semblables à ceux *e*. Un vide de quelques centimètres de mercure s'y établit au moyen d'un aspirateur; l'idée de ce dispositif est due à M. de Canson; il consiste en une pompe pneumatique, à garniture hydraulique, composée de trois cloches plongeant dans une cuve remplie d'eau, et mises en mouvement par un arbre à trois coudes formant manivelle. Un tuyau établit la communication entre la caisse I et l'aspirateur que représente la fig. 9; l'élévation de chaque cloche aspire l'air de la caisse, et son abaissement l'expulse de la cloche, par l'effet du jeu des soupapes *a* et *h*. Les trois cloches opérant successivement, l'aspiration est sensiblement continue. (Voir au *Complément*, ASPIRATEUR hydro-pneumatique.) Cette opération a pour but de faire égoutter les pâtes *grasses* ou d'une épaisseur notable. En effet, le papier, presque liquide, reçoit en passant la pression de l'atmosphère, qui force l'eau à traverser la toile métallique et à tomber dans la caisse I, d'où elle s'échappe par un tube coudé *i*. On évite ainsi les *écrasés* sous la presse humide où le papier arrive après avoir passé sous le rouleau égoutteur J, qui l'affermit et le prépare à cette première pression, en même temps qu'il fait couler l'eau qu'il pourrait encore contenir.

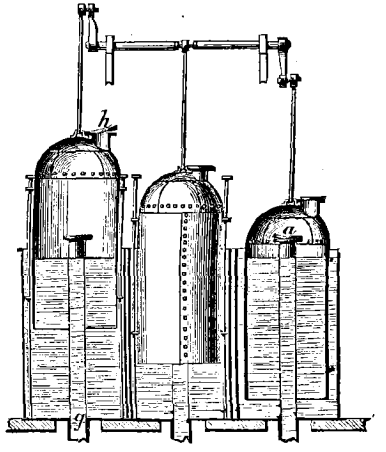


Fig. 9.

Le cylindre J est composé de deux toiles métalliques superposées, de finesse de maille différente; la plus fine forme la circonférence extérieure; une raclette en bois, *j*, garnie de drap, en appuyant sur le cylindre, la nettoie.

La presse humide, ou première presse, est composée de deux cylindres en cuivre K, K', revêtus chacun d'un manchon en feutre; le papier y est pressé et prend assez de consistance pour être abandonné un instant à lui-même dans le court trajet du cylindre K au rouleau M; cette pression est réglée par deux leviers *k* portant chacun un poids *k'*. Une raclette en bois *k''*, le long de laquelle un tuyau 10 jette de l'eau, nettoie le cylindre K.

M, M, sont des rouleaux diversement supportés; l'un d'eux, M', sert à tendre le feutre *m*, dans le sens de sa

EFERUS - Recherche & Classification numérique

longueur, à l'aide des règles *m'*, sur lesquelles les supports peuvent glisser et être fixés par une goupille au point convenable. La tension, suivant la largeur, s'obtient par les tirettes *q*, composées de deux petits galets qui pincent la bordure en cuir du feutre.

La toile métallique, ayant déposé le papier sur le feutre *m*, revient en glissant sur les rouleaux de tension *f*; les jets d'eau, partis des tuyaux criblés 7, la débarrassent des particules de pâte dont elle serait restée chargée.

Le feutre coucheur *m*, faisant suite à la presse humide, conduit le papier sous les cylindres en fonte N, N', de la deuxième presse. Ces cylindres, montés dans une cage 11, sont serrés l'un contre l'autre par la vis 12. Une raclette en fonte *n'*, composée d'une lame mince pincée fortement entre une règle en fer et le corps de la racle et fixée par des vis, nettoie le cylindre supérieur N'.

Le papier est pressé entre les cylindres N, N', à nu d'un côté, tandis que de l'autre il repose sur le feutre *m*; celui-ci lui fait faire encore un court trajet, puis il l'abandonne pour le laisser passer sur les cylindres O, O'; après quoi, il est saisi par le feutre *p* tendu par un rouleau supérieur 16, qui le conduit entre les cylindres en fonte P, P', de la troisième presse, où il subit la même opération que précédemment, mais en sens inverse, afin de lui ôter l'*envers* que lui a laissé la deuxième presse. Les cylindres en fonte P, P', sont montés dans une cage 13; le cylindre supérieur est serré contre le cylindre inférieur par une vis 14; une raclette 15, semblable à celle des cylindres N, N', le nettoie. L'eau qui s'égoutte du papier, par l'effet de la pression, tombe dans une cuvette *p'*; il y en a une semblable sous la presse N.

En sortant de la presse P, le papier passe sur les rouleaux en cuivre Q, Q', et arrive sur le premier cylindre sécheur en fonte R, dans lequel la vapeur est introduite par un tuyau commun *s*, parcourt l'intérieur du cylindre, l'échauffe, et s'échappe en partie condensée par le tuyau plongeant *s'*, qui, avec le précédent, fait partie de la même pièce qui pénètre dans le cylindre par l'orifice ouvert au centre de l'un de ces tourillons; un robinet adapté à chaque cylindre règle l'entrée de la vapeur.

Un feutre épais et d'un lainage fin *r*, passant sur des rouleaux 17, 17, presse le papier contre la paroi extérieure du cylindre R. En quittant ce cylindre, il suit la marche du feutre *r* passant sur le rouleau *s*, pour l'amener à un autre séchoir T, également chauffé par la vapeur, dont il parcourt les trois quarts de la circonférence et y subit la même opération que sur le premier séchoir; au moment d'en sortir, il rencontre le cylindre apprêteur T'', qui lui donne un premier apprêt d'un côté.

Après avoir éprouvé la chaleur des cylindres sécheurs, le papier remonte jusqu'aux rouleaux U, U', d'où il descend pour venir recevoir entre le cylindre V, également en fonte, chauffé par la vapeur, et le cylindre V', un deuxième apprêt ou satinage du côté opposé au premier. En quittant le cylindre V, le papier passe sur le rouleau X, et vient enfin s'enrouler sur les dévidoirs Y, composés d'une couronne *y''* et de broches à équerre maintenues en place chacune par une vis de pression. Le quatrième cylindre sécheur T' sèche le feutre ou bien encore le papier.

Le premier dévidoir étant suffisamment chargé de papier (60 à 80 épaisseurs), on coupe la feuille, on fait basculer le levier *y*, et le second dévidoir vient occuper la place du premier; le bout du papier coupé est posé sur un des liteaux de ce dévidoir, et on l'y accompagne jusqu'à ce qu'il ait fait un tour.

Les épaisseurs de papier sont divisées transversalement et d'un seul coup, et ensuite porté sur des tables à rainures, le papier est de nouveau coupé suivant les besoins du format.

La machine entière absorbe une force évaluée à trois chevaux; elle peut être considérée comme formée de trois parties bien distinctes par leurs fonctions, et par les vitesses différentes qu'il est utile d'imprimer à chacune d'elles en particulier; on en concevra la raison, si l'on songe à l'allongement que le papier humide doit éprouver par le moindre effort de traction. De là résulte l'obligation de faire marcher la deuxième presse plus vite que la presse humide, la troisième presse un peu plus vite que la deuxième, et les sécheurs, à très-peu près, comme la troisième presse : ces divers mouvements sont rendus variables par des transmissions par poulies extensibles ou coniques.

Plus le papier est mince, plus son étoffe s'étend, et plus, par conséquent, l'accroissement de vitesse relative devient nécessaire. Si cet appel est insuffisant, il se produit des fronces qui font pli en passant sous les pressions et dans les sécheurs; s'il y a excès de tirage, il y a rupture fréquente de la feuille. Les papiers de force moyenne s'allongent ainsi de plus d'un vingtième depuis la table de fabrication jusqu'aux sécheurs, et ils perdent en largeur par la dessiccation un soixantième environ. Les papiers minces doivent se fabriquer vite, c'est-à-dire à raison de 15 à 20 mètres de longueur par minute: il n'y a pas avantage réel à dépasser ce terme; et les papiers forts entre 5 et 8 mètres. On est arrêté ici par la difficulté de sécher la feuille, et d'exprimer rapidement l'eau au moment où elle se forme. Cependant, en chauffant l'eau, on en augmente la fluidité; la pâte semble perdre alors, en grande partie, sa propriété spongieuse. A cet effet, un tube de vapeur dirigé sur le *vat* plonge dans la pâte qu'il contient.

La dessiccation du papier doit être conduite avec un grand soin; celui qui est imparfaitement sec est mou, godé et rugueux; celui qui l'est trop est *crispé*, plissé, cassant et mal apprêté. La chaleur doit être graduée, en augmentant son intensité du premier cylindre sécheur au dernier. Il y aurait lieu, à cette occasion, de rechercher l'origine des mal façons de la fabrication à la machine, et de les accompagner des moyens de les prévenir ou d'y remédier; mais les causes qui ont leur siége dans la machine elle-même, et celles dont l'origine est dans la pâte sont nombreuses, et se combinent si diversement entre elles qu'elles créent une série que, à notre regret, nous devons nous abstenir d'aborder. Du reste, il faut le dire, en pareille matière, quel que soit l'excellence des préceptes, la mobilité des circonstances, l'imprévu, les rendront insuffisants; une pratique éclairée obvie seule à cet ordre de difficultés.

Ceci dit de l'ensemble du modèle que nous avons décrit pour une production moyenne, il est à modifier avec le régime de fabrication à débit abondant; le constructeur augmentera donc en conséquence la longueur de la table de fabrication, le nombre de presses sèches et la surface des cylindres sécheurs, soit par leur diamètre, soit par leur nombre.

OBSERVATIONS SUR LA MACHINE A PAPIER. La largeur de table, et par suite celle de toute la machine, s'établit en raison des formats les plus habituels de l'usine: elle se pratique entre $1^m,50$ et $2^m,20$. Au delà les pièces principales prennent des proportions qui en rendent la manœuvre difficile; les frais d'entretien de toiles métalliques, de feutres, outrepassent l'avantage que procure la grande largeur de la feuille.

Le moteur qui actionne la machine à papier doit lui transmettre une vitesse parfaitement uniforme et sans vibration. Les turbines, les roues en fonte et en tôle, équilibrées sur leur axe, ont une vitesse de rotation régulière. Il convient aussi d'écarter de ce moteur les fluctuations dépendant de la marche des moteurs plus importants, des cylindres, et si l'on s'adresse à un mo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

teur à vapeur, il le faut muni d'un régulateur très-fidèle et d'un volant suffisant: la vapeur expansée est utilisée au séchage du papier.

La vitesse de cheminement de la feuille ayant à varier du simple au quadruple, il faut se garder de demander au moteur, ainsi qu'on l'avait fait d'abord, de fournir ces écarts considérables : sa régularité et son effet utile y perdraient. La transmission porte donc une série de quatre ou cinq paires de roues d'engrenage, dites de changement de vitesses. Quant aux mouvements autres que ceux qui concourent au transport de la feuille, ils restent indépendants des changements de vitesse par engrenages ; ils sont commandés directement par le moteur. Il est entendu que chacun d'eux est ensuite réglé par une vitesse modifiable par des cônes en raison de sa fonction. Prennent part à cette branche de transmission : les agitateurs du *vat*, le régulateur de pâte, l'épurateur, la danaïde, le va-et-vient de la table, les pompes pneumatiques.

Les modifications pour appropriation aux divers genres de papier à fabriquer s'appliquent aux fonctions de détail auxquelles on accorde une part plus ou moins importante. Ainsi se sont multipliés les systèmes d'épurateurs en augmentant considérablement leur faculté de tamisage, soit par l'étendue en parties plates, soit par la surface continuellement développée de la forme cylindrique et rejetant d'une manière continue les parties qui excèdent le calibre des fentes.

Parmi les épurateurs rotatifs de récente création, et qui ont figuré aux dernières expositions, nous indiquerons celui de MM. Bertram et Niven d'Edimbourg, décrit ainsi qu'il suit par M. A. Girard. Entre le cuvier et la toile de la machine est disposée une caisse, de même largeur que la machine elle-même, d'un mètre de longueur environ et d'une profondeur à peu près égale et recevant par la partie supérieure la pâte non épurée sortant du cuvier. Dans cette caisse est couché horizontalement un prisme allongé, véritable blutoir, tantôt à base carrée tantôt à base polygonale, dont la surface est constituée par les plaques à taille à travers lesquelles doit s'effectuer l'épuration, et dont la presque totalité se trouve noyée dans la pâte.

Mobile autour de deux tourillons creux qui traversent les parois latérales de la caisse, le prisme doit tourner dans celle-ci avec lenteur, de telle façon que des parties nouvelles de sa surface viennent constamment émerger en dehors du liquide pâteux. Dans l'intérieur de cet épurateur, car dès à présent nous pouvons donner ce nom au prisme recouvert de plaques entaillées, se meut horizontalement une tige traversant l'un des tourillons et recevant d'une bielle commandée par une manivelle extérieure un rapide mouvement de va-et-vient ; sur cette tige sont fixés, à des distances variables, trois disques en métal, d'un diamètre de 20 à 25 centimètres environ; en face de chacun de ces disques est placé un disque semblable, celui-ci fixé à l'épurateur, et que la tige traverse par son centre; enfin ces disques, l'un fixe, l'autre mobile, sont liés ensemble, par couple, à l'aide de gaînes de cuir ou de caoutchouc, si bien que l'appareil intérieur constitue, en réalité, un véritable soufflet triple, dont la contraction et les expansions successives doivent produire, par la partie émergente de l'épurateur tournant, dans le premier cas un appel d'air, dans le second une poussée.

Ceci posé, il est facile de se rendre compte de cet ingénieux appareil. L'épurateur est en marche, il tourne lentement; la partie qui émerge du bain de pâte arrive à la surface couverte d'eau et de matière fibreuse, les soufflets se contractent, l'air est appelé à travers les tailles, et l'eau, entraînant la partie fine, se filtre à travers les espaces ouverts qu'elle rencontre; les parties grossières, les boutons restent sur la surface extérieure; mais aussitôt le soufflet se dilate, l'air est chassé à travers les tailles de la partie émergée, et ces parties grossières, ces boutons détachés de la surface, retournent au liquide extérieur, et peu à peu se précipitent sur le fond incliné de la caisse d'où on les enlève, lorsque la quantité accumulée est suffisamment considérable. Quant à la pâte épurée dont le prisme est intérieurement rempli, elle s'écoule par le deuxième tourillon creux et se rend directement à la machine.

Nous citerons aussi un modèle, d'origine allemande, qui se recommande par la simplicité de son fonctionnement.

Ainsi que dans tous les épurateurs, la table est formée d'une plaque de bronze à fentes évidées, transversales à l'axe; elle constitue le cylindre dont les dimensions moyennes sont de 1m,50 de table ou largeur, et 0m,60 de diamètre. Il tourne sur son axe de figure d'un mouvement lent et saccadé, il reçoit intérieurement par ses deux extrémités ouvertes la pâte qui lui arrive de deux canaux. En s'échappant par les fentes de l'intérieur à l'extérieur, la pâte dépose les boutons sur la face intérieure d'où ils émergent entraînés par le mouvement rotatif jusqu'à ce que, parvenus assez haut, ils soient détachés de la paroi à l'aide d'un rinceur placé extérieurement, les précipitant dans un auget qui les dirige au dehors. Au besoin, un rinçage plus vigoureux peut être pratiqué en marche par le conducteur de machine, avec la lance dont les machines à papier sont munies.

Les sabliers occupent une étendue de plusieurs mètres de surface: ce sont des sortes de bassins très-plats, mais larges, dont le fond est ondulé de manière à retenir les particules sablonneuses, qui, dans le trajet, se déposent par le ralentissement de vitesse d'écoulement dû à la grande étendue de la nappe liquide. Cet appareil serait à supprimer si l'on arrivait à un lavage plus parfait des chiffons. Quoi qu'il en soit, il est d'un office indispensable dans une fabrication soignée: les grains de sable, tant fins soient-ils, criblent le papier lors du lissage, dépolissent et piquent les feuilles d'apprêtage, comme aussi les cylindres de la machine; ils sont nuisibles à la gravure en taille-douce, à la gravure sur bois, aux caractères typographiques, etc., etc.

Les pompes à faire le vide sont quelquefois remplacées par un simple appareil automoteur à colonne d'eau dont on règle facilement la force d'aspiration. La toile métallique se dirige elle-même, elle est munie d'un guide ainsi que les draps ou feutres. Les presses sèches, et même les cylindres sécheurs, sont revêtus d'une enveloppe en bronze, toutes les fois que la présence de la rouille doit être évitée d'une manière absolue, dans les papiers photographiques par exemple. Le bronze remplace également le fer et l'acier dans les garnitures de lames des cylindres triturateurs. La surface des cylindres sécheurs a été généralement augmentée, non-seulement à cause de l'accélération que l'on donne, mais pour être maître de n'user que d'une vapeur à faible tension, à température modérée, afin d'obtenir des surfaces plus plates. Une feuille séchée moins brusquement est aussi plus souple et plus résistante. Cette surface de séchage est généralement de 40 mètres pour une production de 2,000 kil. par vingt-quatre heures. Le poids d'eau évaporée est à peu près égal à celui du papier sec; en d'autres termes, le papier sortant des presses sèches contient 50 p. 100 d'eau.

Le tissu de la toile métallique sans fin à mailles égales, dit *vélin*, dut succéder à la *vergeure* des formes si favorable au départ de l'eau. Jugé d'abord d'un usage mécanique impraticable, il a été l'objet de nombreux tâtonnements qui ont réalisé un meilleur service en durée comme en travail correct. Le vergé ainsi que les filigranes, pour marques de fabrique ou vignettes transparentes, ont été reproduits: les mêmes moyens ont été également appliqués aux rouleaux égoutteurs. Par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les trames en fil fort, les toiles ont acquis de la rigidité dans le sens transversal, et, par les fils plus fins de la chaîne, ont mieux obéi aux flexions imposées par les rouleaux conducteurs. Le mètre superficiel pèse 1k,500.

Les conditions du bon fonctionnement des feutres, des manchons de presse humide et des feutres des presses sèches, sont non moins délicates à accomplir, non-seulement par le genre de tissu, mais surtout par le choix des lainages et le degré de torsion du fil. Les fils de chaîne ayant à résister à la traction seront en laine longue, plus dure et plus tordue que les fils de trame dont le rôle est de faire éponge et coussin. Les feutres pèsent 0k,608 à 0k,800 le mètre superficiel. Pour les dernières pressions les tissus deviennent à la fois plus fins, plus serrés et plus épais. Les feutres sécheurs sont très-pleins, extrêmement fermes et à surface unie; ils pèsent 3 kil. le mètre superficiel.

Cassés, rognures. On entend par cassé, le papier déchiré ou maculé accidentellement pendant la fabrication de la feuille et les apprêts qu'elle reçoit avant d'être livrée au commerce. Compte est tenu du retour de ces produits à la fabrication. Il en est de même des rognures qui tombent par la coupe du papier, pour l'affranchissement des rives ou des lisières de la feuille, et aussi du biseau formé transversalement par le contour du dévidoir, lorsque le papier est coupé à la main. La proportion des rognures du papier, dans ce cas, est de 5 p. 100. Ce chiffre est réduit de moitié environ par le coupage mécanique en long et en travers.

Les cassés et les rognures sont recueillis avec toute la propreté possible. S'ils sont sans colle, ils sont reportés par portions à la pile raffineuse ou mieux au meuleton, moulin à meules verticales tournant sur champ, pour y être ramenés à l'état de pâte. S'ils sont collés, une trempée à l'eau bouillante est nécessaire. Dans les fabrications délicates, il convient de ne repasser ces refontes que dans des pâtes inférieures en beauté ou en qualité à celle des rognures. Celles-ci reproduisent un papier plus terne et moins résistant que leur pâte primitive.

Calandres. La calandre fonctionne à la suite et de continuité avec la machine, exerçant sur le papier une pression à sec ou à nu, c'est-à-dire sans l'intermédiaire de feutres, travail qui se réduit à un laminage entre deux cylindres ou plus. Une des calandres que nous trouvons d'une manœuvre facile et d'un bon travail consiste en trois cylindres dont les axes sont dans le même plan vertical; celui du milieu est chauffé comme les cylindres sécheurs par une introduction de vapeur; une communication de mouvement très-simple permet de mettre ces trois cylindres au rodage toutes les fois qu'ils cessent de fonctionner pour l'apprêt du papier; de la sorte, la gravelure occasionnée par le sable est effacée avant qu'elle ne soit assez prononcée pour nuire au lissage du papier; ce dispositif pare à l'inconvénient le plus grave que présente l'usage de cette machine. Le calandrage s'est prêté à l'emploi d'une quantité considérable de machines de configurations diverses, fondées toutes sur le même principe, la pression ou le frottement, mais sans modifications essentielles dans les résultats.

Machines a couper le papier en long et en travers. Nous avons reconnu, en parlant de la coupe du papier enroulé sur les dévidoirs, qu'il y avait toujours quelque chose à perdre par le biseau et la rognure transversale; la machine à couper, substituée aux dévidoirs, annule cette cause de perte; elle coupe le papier au fur et à mesure que la machine le produit; la dépendance qui résulte de sa position, apportant d'un autre côté quelques inconvénients, une autre disposition a été généralement adoptée; nous en offrons un exemple dans la machine suivante:

La fig. 8 est le profil de l'un des côtés de la machine; la fig. 9 en est la section ou coupe par le milieu dans le même sens. *a, a, a, a,* sont quatre dévidoirs couverts chacun d'une feuille continue de papier, lesquels sont portés sur des crans de crémaillères pratiqués sur le développement du bâti *b bb*; *ccc*, est un drap épais en laine ou feutre sans fin, passant sur les rouleaux *d, d, d, d,* qui est tendu et s'applique sur la surface inférieure du tambour *e e*, que l'on distingue mieux dans la figure 9.

L'épaisseur de papier formée par les feuilles destinées à être coupées étant engagée entre le tambour *e* et le feutre sans fin *c*, se dévidera par le tirage en dégarnissant à la fois tous les rouleaux *a*, saisie qu'elle est par la machine toutes les fois que la courroie de commande passera de la poulie folle sur la poulie fixe adaptée à l'extrémité de l'arbre *f*. Mais à mesure que la collection de feuilles chemine elle se présente à l'endroit où elle doit être coupée, et là, devant rester un moment stationnaire, un mécanisme particulier devient nécessaire. Une plate-forme circulaire *g* porte une cheville en *i*, sur laquelle s'adapte la bielle *j*, et lui communique le mouvement; cette cheville est fixée sur une pièce soigneusement ajustée, glissant dans une gorge en queue d'aronde, en regard d'une règle droite et maintenue fixe par une vis de pression; l'échelle graduée s'étend du centre à la circonférence du disque, de manière à faire varier l'excentricité de la cheville et, conséquemment, l'amplitude de son mouvement de manivelle. La bielle *j*, ajustée à la cheville *i*, se lie au contre-bâti oscillant de forme curviligne *k*, dont la partie inférieure dentée engrène avec la roue d'engrenage *l*, qui tourne librement sur l'arbre du tambour d'appel *e e*; de cette roue s'élèvent des bras *m, m*, qui portent un ou plusieurs encliquetages buttant dans les dents de la grande roue de rochet *o o*, montée sur l'arbre du tambour *e*.

Le disque *g*, recevant son mouvement rotatoire dans la direction qu'indique la flèche, communiquera à l'arc denté *k* un mouvement dont le point *h* est le centre, et qui, engrenant sur la roue *l*, la fait tourner en entraînant dans un mouvement oscillatoire inverse au précédent les deux bras *m, m*, ainsi que leur encliquetage *n*. Dans le balancement du point *n* de droite à gauche, le cliquet de l'encliquetage glissera sur la partie inclinée des dents de la roue à rochet *c*; mais, lors de son retour de gauche à droite, le cliquet buttera dans un entre-dents sans pouvoir le franchir, s'embraiera, pour ainsi dire, sur la roue à rochet, la fera tourner, et mettra le tambour en mouvement tant que durera cette portion de révolution. Les feuilles de papier enfermées dans la moitié inférieure du tambour seront ainsi amenées en avant des rouleaux-dévidoirs par la pression, qui s'opère entre cette partie du tambour et le feutre sans fin par longueurs correspondantes à l'étendue de l'arc décrit dans l'oscillation du système d'encliquetage.

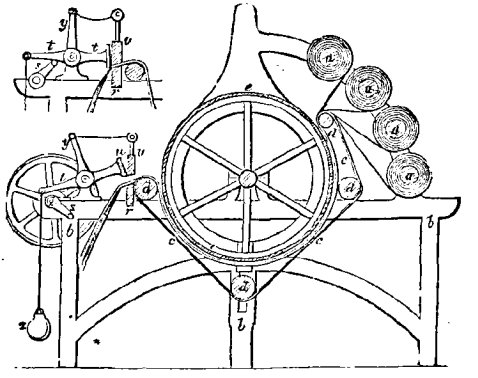
Le couteau, qui coupe transversalement ces longueurs de papier, est mis en action dans le temps où l'arc d'oscillation n'embraie pas le rochet, c'est-à-dire quand glissant de droite à gauche il se porte en *o*, après avoir franchi les dents du rochet par l'inclinaison qu'elles présentent. L'amplitude de cette oscillation varie en raison de la distance de la cheville *i* au centre *f* du disque *g*; cette distance détermine la longueur du mouvement de pendule du contre-bâti *k*, celui du tambour *e* et, partant, la longueur du papier présenté à l'appareil qui le coupe. Les feuilles entraînées arrivent sur le repos *r* des barres de pression *r, v*, dont la partie inférieure est fixe; la came ou manivelle *s* soulève, dans sa révolution sur l'arbre *f*, l'un des bouts du levier *t*, fait descendre la barre mobile *v* (fig. 10), et la fait porter de tout son poids sur la barre fixe, pince le papier, le fixe, et le prépare ainsi à recevoir une tranche nette.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Alors le couteau transversal *u* descend, appuie par son tranchant sur le papier, le coupe entièrement en passant contre le tranchant de la lame fixée au repos *r*. Chaque révolution de la came *s*, lui faisant franchir l'extrémité du levier coudé *t*, le poids *z*, qui est attaché au levier, relève dans le même mouvement, et la barre d'application *v*, et le couteau *u*, à l'aide d'une corde passant sur une poulie : le passage dégagé admet la nouvelle portion de papier que le tambour est chargé de délivrer ainsi par alternatives. Le couteau mobile n'est pas fixé parallèlement à l'arbre du tambour; on lui donne une légère inclinaison et un peu de concavité à son tranchant, afin de faire mordre progressivement sa lame sur celle qui est fixe. La barre mobile *v*, pour plus de précision, peut être mue entre deux guides.

Bien entendu cette coupeuse possède, ainsi que toutes celles actuellement employées, le système de couteaux à couper en long. La coupe longitudinale ne présente aucune difficulté sérieuse dans la construction des machines, ni dans leur marche; elle s'opère généralement à l'aide de cisailles circulaires formées de disques d'acier distribués en nombre égal sur deux arbres parallèles; chaque disque est ajusté dans une armature ou manchon, ayant pour centre l'axe de l'arbre, pouvant glisser sur toute l'étendue de l'arbre, ou y être fixé par une vis de pression; l'accouplement des disques ayant lieu d'un arbre à l'autre, leurs limbes ou biseaux s'engagent l'un contre l'autre par leur plat, et présentent ainsi au papier un angle curviligne tranchant. Les deux arbres tournent en sens inverse, c'est-à-dire comme s'ils engrenaient l'un sur l'autre, et de façon à faire appel au papier; cet appel doit être tel, que la circonférence des disques possède une vitesse double ou triple de celle de la feuille. La machine à couper, uniquement en long, est très-employée dans nos fabriques françaises, soit à couper les papiers pour tenture, soit seulement pour abréger la coupe à la main ou à la rognette. Les machines à couper en long et en travers sont ou à marche continue à la suite du séchage, ou indépendantes. Aujourd'hui ces coupeuses sont adoptées dans la plupart de nos papeteries, depuis surtout que leur variété a permis de satisfaire à presque toutes les conditions exigées par chaque manière de travailler.

Fig. 10.



Salle d'apprêt. Les papiers fabriqués et coupés sont immédiatement transportés dans cet atelier pour y être visités et classés. S'ils sont sans colle et destinés à être collés à la gélatine, on leur donne cet encollage après un premier choix et un épluchage, dans lequel on doit s'appliquer à ne laisser aucun bouton, et, ainsi que les papiers sans colle ou collés à la résine, ils rentrent à la salle pour y recevoir la dernière façon qui les rend livrables au commerce. La nature de ces dernières préparations peut se résumer à peu près ainsi et dans l'ordre suivant: le papier est *épluché*, c'est-à-dire que les boutons de pâte que l'épurateur n'a pu arrêter sont enlevés à l'aide d'un grattoir, et, au fur et à mesure chaque feuille est classée en raison des légères imperfections qu'elle peut accuser. Cette répartition se fait en trois choix, au plus, de papier vendable; vient ensuite le choix des *utilisés*, qui portent un défaut qui les ferait rejeter aux rognures, s'ils n'étaient disposés de façon à disparaître dans la recoupe d'une réduction de format, et enfin, les *cassés*, feuilles trop incomplètes ou trop défectueuses pour qu'on en puisse tirer parti autrement que par la refonte. Les premier, deuxième et troisième choix sont mis en presse, à plat, par poignées de 500 à 1000 feuilles entre des plateaux de bois ou de carton, puis soumis à un nouvel examen ou simplement échangés.

L'*échangeage* a pour but de donner de l'uniformité au grain du papier, en changeant la disposition des feuilles

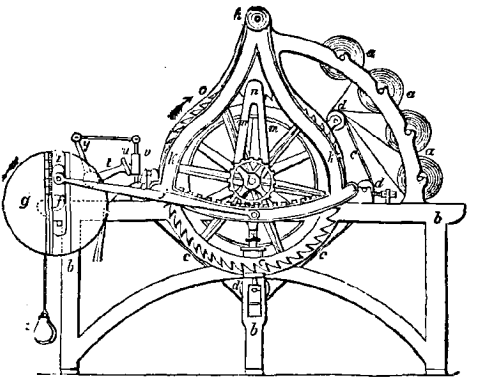


Fig. 8.

Fig. 9.

les unes à l'égard des autres pour établir le contact entre des points différents: on remet en presse. L'épluchage, l'échangeage et la pressée sont répétés plusieurs fois, si la qualité du papier l'exige; et, dans le cas où il serait irrégulier d'épaisseur ou de nuance, il est, en outre, rassorti selon ces deux conditions; enfin, il est compté par cahiers ou par mains réunies en rame, et mis encore sous presse avant d'être couvert d'une maculature ou enveloppe.

Lisse. La feuille sortant des dévidoirs ou de la coupeuse a reçu un apprêt qui suffit à la classe la plus nombreuse des papiers. Les apprêts à la presse font disparaître les rugosités du papier sans effacer le grain de son étoffe; la lisse, à son tour, a pour effet d'en faire disparaître le grain. La librairie de luxe, la correspondance, etc., exigent une surface polie. Elle s'obtient par une pression très-énergique exercée entre deux cylindres ou laminoirs parfaitement parallèles, appuyés par des leviers à poids. Un certain nombre de feuilles de papier alternées de cartons très-durs ou de feuilles métalliques polies, zinc, cuivre ou acier, sont passées entre les cylindres compresseurs. Chacun, du reste, connaît la marche de cet appareil dont le service absorbe un nombreux personnel.

Le papier est dit *lissé*, *satiné*, *glacé*, en raison de l'aspect qu'il présente à la suite d'une pression plus ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PAPIER.

moins énergique; lissé: il est un peu plus uni, plus lisse qu'apprêté à la presse; satiné: il est doux au toucher, un peu brillant, sans avoir acquis de transparence; glacé: il est glissant au toucher, brillant, d'une plus grande transparence. Le lissage et le satinage s'obtiennent avec des cartons; mais le glaçage ne peut s'opérer qu'avec les feuilles de cuivre ou d'acier.

Il est évident que le nombre des feuilles, leur surface, et le temps qu'elles mettront à passer entre les cylindres, seront autant de causes, qui modifieront l'effet produit par une pression donnée. Les jeux sont ordinairement d'une main ou 25 feuilles; pour obtenir le satinage, on les passe au moins deux fois à la lisse. La force dépensée dans les diverses circonstances de travail est extrêmement variable : comme limites extrêmes, nous prendrons un demi-cheval et trois chevaux.

La lisse à pression multiple satine parfaitement par jeux de 50 à 60 feuilles sans détruire le ton mat et éclatant de la feuille, ni sa solidité. La fig. 11 est une élévation de cette lisse vue de profil; la fig. 12 en est le plan ; les mêmes lettres indiquent les mêmes pièces. A, A, bâtis fondus en une seule pièce avec les supports B,B, etc.; ils sont tenus d'écartement entre eux par les jumelles C,C, et par les sommiers D, D, sur lesquels ils portent. E, cylindre de 1 mètre environ de diamètre, portant sur chaque côté deux embases *a*, *a*, parfaitement de même diamètre; ce cylindre est récepteur du mouvement transmis par la roue d'engrenage F, fixée à l'une des extrémités de l'arbre du cylindre. G, G, cylindres dont les axes sont disposés parallèlement à celui du cylindre E, et sur un arc de cercle qui a ce même axe pour centre. Les cylindres G, G, portent par leurs extrémités sur les embases *a*, *a*, et laissent, par conséquent, entre eux et le cylindre E, un jour égal à la saillie de ces deux cordons. *b*, coussinets à coulisse réglés par des coins ou des vis de pression non figurées ici; *c*, coussinet également à coulisse portant sur la tige *d*, d'un levier H, chargé de poids. *e*, supports de guides passant dans l'entre-deux des cylindres G, G, faisant obstacle au passage du papier par cet intervalle. *f*, tablette qui reçoit le papier préparé pour l'apprêt.

Le service de cette lisse se fait comme celui de la lisse simple; le paquet de feuilles de papier alternées de feuilles métalliques s'engage, d'un côté dans l'espace ménagé entre la table du grand cylindre E, et celle des cylindres G, G; il sort du côté opposé après avoir subi quatre pressions; mais l'inflexion qu'éprouve le paquet de feuilles ou jeu, suivant le cintre du grand cylindre, à mesure qu'il se présente sous chaque cylindre, détermine un déplacement entre les points pressés précédemment; de sorte que, si la tranche du paquet est engagée à angle droit, elle éprouvera, dès la seconde pression, une légère inclinaison qui, se répétant et s'ajoutant sous chacune des autres pressions, donnera à la tranche un biseau très-prononcé à sa sortie; évidemment ce déplacement est exactement semblable pour toutes les parties du jeu mis en travail. Il produit le même résultat que l'échange des feuilles. La main-d'œuvre de cette opération est non-seulement supprimée par ce système de lisse, mais encore elle diminue celle du lissage même.

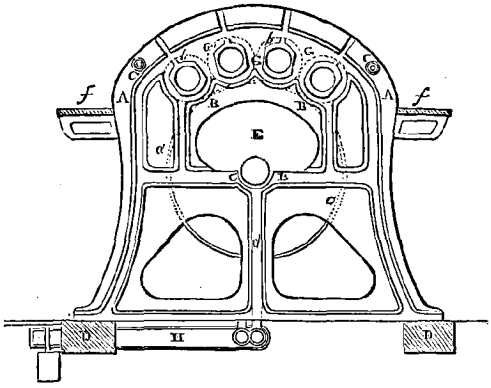
Dans les papiers épais pour pliage, lorsque le lissage ne s'applique qu'à un seul revers de feuille, la lisse se compose d'un cylindre en fonte et d'un cylindre en rondelles de papier semblable à ceux qui s'emploient pour l'apprêt des étoffes. La feuille de papier est passée directement entre ces cylindres sans l'intervention de plaques. Le lissage est produit par le cylindre en fonte. Les cylindres en rondelles de papier sont applicables à la lisse multiple en remplaçant la garniture de quatre ou cinq cylindres supérieurs et le gros cylindre peut au besoin être chauffé comme un cylindre sécheur; la chaleur favorisant l'apprêt et la réduction d'épaisseur de la feuille sans atteindre le degré d'écrasement qui fait couper les filaments les uns par les autres, ou qui les rapproche au point de lui communiquer un aspect vitreux. Cet effet de la pression excessive est utilisé à reproduire des filigranes; il est obtenu à l'aide de plaques d'apprêt en métal portant en léger relief les traces à produire dans la feuille de papier.

GÉNÉRALITÉS. — Les caractères généraux qui constituent le bon papier sont, on le voit, la ténacité, une certaine souplesse, l'uniformité des surfaces. Ces qualités sont de nature à être jugées plutôt par simple estimation que par des mesures exactes. Il ne serait pas sans intérêt, cependant, de posséder, pour le contrôle de la fabrication et l'échantillonnage, un mode de détermination, ne fût-ce qu'approximativement, du degré de mérite que l'on entend comparer: car les qualités du papier sont tout à fait relatives, en tant qu'elles sont liées à chacun de ses emplois spéciaux. Il y aurait donc à connaître:

La résistance à l'effort de traction;
La résistance à l'effort de déchirement;
La résistance à la flexion ou ressort;
La résistance au froissement;
La résistance au pli répété et renversé;
La résistance au frottement;
La perméabilité à l'eau;
Netteté d'impression avec les encres grasses.

Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit de l'influence du lessivage, du lavage, et de la tritura-

Fig. 12.



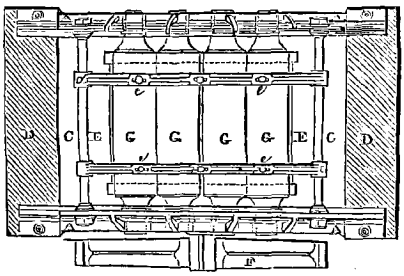


Fig. 11.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion, sur les qualités du papier. Il est de règle absolue qu'une pâte quelconque étant donnée, le papier produit sera d'autant meilleur, de tous points, que cette pâte aura été étendue d'un plus grand volume d'eau et que les filaments y seront plus parfaitement délayés. La feuille ouvrée à la main se prête à cette pratique; de plus, l'ouvrier ouvreur, en imprimant à la forme des mouvements d'oscillation en sens croisés, et, d'autant plus vifs et plus courts que la pâte s'égoutte, obtient par ce sassement un feutrage uniforme; l'enchevêtrement des fils a lieu dans toutes les directions. La machine à papier ne reproduit pas absolument toutes ces conditions : les petits agitateurs qui divisent la pâte dans l'eau qui revient de la daruïde ne mélangent pas toujours parfaitement; le va-et-vient de la table de fabrication ne transmet à la pâte qu'un seul mouvement qui est transversal alternatif, et va décroissant d'amplitude à mesure que la pâte cheminant sur la toile acquiert de la consistance. Cette marche à oscillations uniformes arrange le plus grand nombre des filaments parallèlement les uns aux autres et à l'axe de figure de la machine. Il en résulte une feuille dont la résistance à la traction est, dans ce sens, égale à 3, tandis que dans le sens transversal elle est égale à 2 seulement. De plus, il est une considération dans laquelle l'on n'entre pas assez généralement : c'est qu'il faut accorder 10 à 20 secondes à la formation de la feuille; la longueur de la table doit donc être en relation avec la vitesse moyenne à adopter. En effet, l'étendue de toile sur laquelle s'opère le feutrage de la pâte ne porte que sur une longueur de $2^m,50$ environ, le cinquième du développement total de la toile. L'épaisseur de la feuille et la vitesse de cheminement étant réglées pour une fabrication soignée, cette vitesse ne saurait être augmentée, sans nuire de quelque manière aux produits. C'est là un obstacle plus grave que celui que présente l'insuffisance de surface de chauffe des sécheurs. Ce n'est pas que l'on ne puisse produire à des vitesses doubles de celles que nous avons indiquées, mais ces vitesses extrêmes ne sont possibles que par l'emploi de pâtes *surges* pour des fabrications moins délicates. Nous considérons cette allure rapide plutôt comme un expédient que comme une solution économique, qui nous paraît mieux réalisée par le service de deux machines au lieu d'une seule.

La machine à forme cylindrique n'enverge sa pâte qu'à la faveur d'une proportion d'eau considérable : la feuille en est nuageuse, solide néanmoins. Ainsi que sur la machine plate, il y aurait avantage à accorder plus d'importance à la portion de forme qui est chargée d'ouvrer la feuille : ici ce serait le diamètre à augmenter.

La construction du plus grand nombre des machines à papier est conçue en vue d'une fabrication de moyenne épaisseur de feuilles; elle réserve néanmoins la faculté d'un écart, qui a ses limites de bon travail entre 40 et 200 grammes le mètre carré de papier. En deçà et au delà de ces poids moyens, il y a convenance à choisir un modèle de machine qui, pour les papiers minces, sera composé de pièces plus légères, rigoureusement équilibrées, d'un ajustage et d'un montage très-soignés; deux presses sèches suffisent, le nombre des sécheurs réduit à la proportion de surface de séchage que nous avons indiquée pour évaporer : soit 2 mètres pour 200 kilogrammes de papier par vingt-quatre heures. La toile métallique sera d'un numéro fin; les feutres seront aussi d'un tissu fin et peu serré.

Pour les papiers excessivement légers, à pâte longue et molle surtout, la machine peut être réduite à la table avec sa presse humide et un seul sécheur; la feuille, en quittant la presse humide, s'engage immédiatement sur le feutre sécheur.

Les papiers forts à une ou plusieurs feuilles exigeront une table longue, trois ou quatre presses sèches et un développement de surface de sécheurs largement calculée; des feutres corsés et spongieux; le diamètre des presses augmenté; la précision des transmissions fonctionnant sans vibrations, maintenant exactement le degré de tension de la feuille, telle qu'elle est réglée, d'une division à l'autre, par le conducteur de machine.

Déchets. — La différence entre le poids de la matière brute et celui du produit représente la perte subie par la matière première, ou son déchet. Les substances diverses ajoutées à la pâte contribuent à couvrir une partie de ce déchet. Le rendement absolu d'une matière filamenteuse ne s'obtient que par sa mise en feuille parfaitement sèche sans addition aucune. Il est de première importance économique que chaque fabricant, pour sa propre fabrication, possède des données certaines sur le déchet de chacune des matières, chiffons ou succédanés, qu'il traite. En généralisant, nous indiquerons les emplois pour produire 100 kilogrammes de pâte à papier :

Chanvre, cordes, ficelles, etc., toiles bises, toiles bleues.	150 kil.
Cordes et toiles goudronnées.	180
Toiles blanches.	140
Lin, étoupes.	160
Toiles de jute, phormium.	170
Cotons blancs, teintes pâles.	145
Cotons bleus.	135
Cotons teintes foncées	160
Tissus, laine mêlée fil ou coton.	250
Papier de bureau, rognures.	115
Paille.	230
Bois blanc, résineux.	250
Alpha, sparte.	190

En analysant rigoureusement ces matières, à déchets si divers, l'on reconnaîtrait l'existence d'une richesse en cellulose ou fibre végétale bien supérieure à celle qui ressort des traitements de la papeterie et que la présence des corps, qu'il est intéressant d'expulser, ne justifie pas ces chiffres de déchets. Il est évident que les substances adhérentes, telles que teinture, goudron, corps gras, etc., etc., sont une surcharge qui, si elle est chassée, est un premier déchet; que la dissolution des matières pectiques, albuminoïdes, incrustantes ou autres que la cellulose, est une seconde cause de perte indispensable, nous l'avons dit, au dégagement des filaments, à leur indépendance, à leur feutrage. Il y a, on le conçoit, entre ces filaments et les substances soudantes ou encombrantes à éliminer, une résistance à la séparation qui est vaincue au prix d'un sacrifice sur la partie utile, c'est-à-dire, une perte réelle sur le rendement en bonne pâte. Prenons pour exemple le linge blanc, cellulose presque pure. Dans cet état filamenteux parfait l'on constate que le produit en papier s'éloigne des rendements industriels qui, pour la plupart, diffèrent peu d'un rendement intégral : il y a, ici, perte de 20 à 25 0/0, tout, ou presque tout, en cellulose. C'est cette disparition de la cellulose qui, par une constante, pèse de même sur toutes les matières brutes, en s'ajoutant aux déchets normaux.

Là se pose un problème : sa solution est à chercher entre le lessivage et le raffinage. Nous avons vu que la défileuse est chargée de la double fonction de purger les chiffons des matières étrangères à la cellulose et d'amener celle-ci à l'état de filament désagrégé. Ces deux opérations presque simultanées se nuisent réciproquement, dans une certaine mesure. Chacune des autres préparations de la papeterie sont scindées, et procèdent par fonctions distinctes. Le défilage fait exception : il confond deux des plus essentielles opérations, ni l'une ni l'autre n'est conduite méthodiquement; il ne garantit pas contre la préexistence des filaments

EFERUS - Recherche & Classification numérique

imparfaitement expurgés, non plus que de l'inégalité des résultats de la trituration. Le même agent, qui opère simultanément le détissage, le défilage et le défibrage, attaque en même temps, et avec une égale énergie, la partie de tissu qui résiste et le filament élémentaire qui s'en est séparé dès le début. D'une part, une fraction du chargement en chiffons, divisée à l'excès, passe avec les eaux de lavage ou ne fournit que des fibres presque pulvérulentes, tandis que, d'autre part, le défilage jugé achevé décèle encore la présence de fils non subdivisés. Cette lacune sera comblée, comme l'ont été toutes celles qu'a décelées le développement des industries mécaniques. A défaut de moyens préventifs des causes de déchet que nous venons de signaler, les filaments qui disparaissent, entraînés par l'eau, sont recueillis sur des toiles métalliques, tendues sur un châssis incliné, ou sur un presse-pâte *ad hoc*, ou sur la releveuse cylindrique, si connue, de MM. Blanchet frères et Kléber, auxquels on doit aussi les tambours-laveurs, qui sont restés les agents les plus rationnels de lavage.

Les pâtes arrêtées dans les eaux de défilage sont très-courtes et dites *grasses* : elles manquent de blancheur, n'entrent que dans les pâtes de qualité bise. La pâte retenue du lavage des défilés blanchis est un peu moins grasse. Enfin, la table de la machine à papier et les premières presses laissent échapper aussi des filaments, qu'il est facile de faire rentrer dans la fabrication, soit à l'aide des appareils dont il est question plus haut, soit par repos dans de vastes bassins de décantation. Certaines conditions de fabrication permettent la remonte des eaux provenant de la table par des pompes spéciales, dans un réservoir à distribution séparée, qui dessert les raffineuses. L'on bénéficie du léger excès d'alun que ces eaux contiennent, et, si le cours d'eau est calcaire ou ordinairement troublé, les eaux de la machine seront préférables pour le collage par leur limpidité. Au besoin, des filtres de laine aux robinets arrêteraient les particules dont l'introduction dans le raffinage serait nuisible.

ESPACE OCCUPÉ PAR LES ATELIERS. — Nous prendrons pour base une production de 2,000 kilogrammes de papier, par jour de vingt heures de travail effectif, et comme donnée moyenne d'emploi de chiffons 3,000 kilogrammes. La surface indiquée pour chaque atelier est assurément modifiable en raison des localités et des convenances de distribution. Les superpositions d'ateliers réduisent aussi plus ou moins la superficie du sol occupé par l'ensemble de l'usine. En même temps, nous accusons la force motrice applicable aux diverses parties mécaniques.

La surface de chauffe en générateurs serait de 60 mètres pour brûler 2,000 kilog. de houille, en supposant un rendement de 7 kilog. de vapeur par kilogramme de houille. La proportion entre le nombre de piles défileuses et les piles raffineuses est de 8 à 4 ou de 7 à 5. La contenance totale des lessiveurs, 15 mètres cubes, partagés en 3 ou 4 appareils. Les pompes à eau, au nombre de deux, au moins : chacune dépendant d'un moteur différent, afin d'éviter la fréquence des arrêts complets par absence d'eau, élevant ensemble 1,500 litres par minute.

L'effort moteur appliqué aux cylindres ayant le plus d'importance, il est à propos de distinguer les conditions diverses de son emploi. Un seul cylindre absorbe en tournant:

A vide dans l'air.	1	cheval.
De plus, pour tourner dans la pâte. .	2	chevaux.
De plus, pour tourner appuyé sur sa platine.	3	»
Total.	6	chevaux.

L'état d'usure des lames ou la dureté propre de la pâte augmente l'effort utile et peut aller jusqu'à le doubler, soit alors, pour total, 9 chevaux. Mais le travail d'ensemble d'une batterie comprend des cylindres à toutes les époques de la trituration, les uns non appuyés, d'autres légèrement ou fortement, d'où il résulte une moyenne d'à peu près 5 chevaux par cylindre.

DÉSIGNATION.	Superficie, mètres carrés	Force motrice, chevaux.
Magasins de chiffons bruts et délissés pour 250,000 k.	500	»
Délissage pour 40 ouvrières.	600	»
Coupeuse et secoueuse. . . .	150	4
Générateurs, moteurs, et dépôt de combustible.	800	»
Lessivage et dépôt de chiffons lessivés.	300	1
12 cylindres défileurs et raffineurs, pompes, presse-pâte, caisse de dépôt.	500	60
Blanchiment, cylindre laveur, dépôt de défilés. . . .	600	2
Machine à papier : 1m.80, largeur du papier fabriqué. .	350	5
Salle d'apprêt, lisses, presses.	400	2
Magasin de papier à expédier.	200	»
Magasin de matières diverses, produits chimiques, etc.	200	»
Ateliers de réparations, d'entretien.	200	1
Cours, passages, parties non couvertes.	600	»
Total.	5400	75

Le haut prix de la force vapeur ne permet pas à l'industrie des papiers de l'employer exclusivement. Elle n'en use généralement que pour parfaire ce qui lui manque en force hydraulique, et encore lui devient-elle onéreuse, lorsque ce complément excède constamment les quantités de vapeur dont elle a besoin, pour le chauffage du lessivage, le séchage du papier, etc. Réduisant donc le rôle de la force-vapeur à ces limites relativement économiques, une fabrication de 2,000 kilog. de papier dépense, en chauffage seulement, 14,000 kilog. de vapeur à 120°, soit à 2 atmosphères, en brûlant 2,000 kilog. de houille. Il suffira de brûler 2 à 300 kilog. en plus pour élever cette même vapeur à la pression de 7 atmosphères : la différence entre ces deux pressions ou 5 atmosphères pourra se traduire en une force effective de 20 à 25 chevaux. A son tour, le chauffage reçoit la vapeur dans les conditions où elle eût été fournie directement par les générateurs. Le prix de cette force motrice se compose des frais d'établissement du moteur, de son entretien et d'une consommation journalière de 2 à 300 kilog. de houille, soit de 1/2 kilog. par cheval et par heure. Le moteur à vapeur condensée ne serait ajouté que si l'apport de la première combinaison était insuffisant. Les mêmes frais d'établissement se répètent alors, plus l'emploi de houille qui, on le sait, n'est pas inférieur à 1 kilog. par cheval et par heure et atteint 2 kilog. dans la plupart des moteurs de 25 à 50 chevaux.

COMPTABILITÉ MANUFACTURIÈRE. Le salaire du personnel des ateliers est réglé à la journée pour les hommes et aux pièces pour les femmes. Dans quelques cas, les ouvriers sont intéressés à la production, par une prime basée sur le régime propre à l'usine. Le registre des mains-d'œuvre est donc approprié au mode de salaire adopté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Des carnets particuliers tenus par chaque atelier portent l'annotation de l'entrée des matières premières en fabrication ou à frais généraux; l'emploi du temps de travail et mention des causes d'arrêt; le produit ou façon obtenue.

Le contre-maître contrôle l'exactitude des notes, les transcrit ou les fait transcrire par ordre de matières et jour par jour.

Tout le travail de la comptabilité s'appuie sur ces éléments. La forme, quant au groupement des articles, est facultative, comme le développement des articles. Nous indiquons ici les principales divisions qui conviennent à la généralité des papeteries.

Rendement des chiffons bruts au délissage, déchet et prix de revient par sorte et par livreur.

Entrée et sortie des chiffons bruts.

Entrée et sortie des chiffons délissés.

Entrée et sortie des chiffons défilés.

Entrée et sortie des matières diverses de fabrication.

Entrée et sortie des matières diverses de frais généraux.

Entrée et sortie à chaque qualité de houille et attribution à chaque emploi: chauffage, force motrice, etc.

Production de la machine à papier par 12 ou 24 heures, par numéro de fabrication, indiquant la qualité, le format, le poids de la rame, le poids fabriqué, etc.; temps de travail, d'arrêts, leur cause.

Entrée et sortie des papiers à la salle, réglées par numéros de fabrication, avec détail de formats, poids, choix, rebuts, etc.

Prix de revient de chaque numéro de fabrication par l'énumération des matières employées, la quotité des frais généraux, la composition de la pâte, le chiffre de la production moyenne, le déchet, etc.

Carnet particulier aux entrées et sorties des toiles métalliques, feutres, manchons de presses sèches, de sécheurs.

Frais d'entretien du matériel.

État mensuel récapitulatif divisé en tableaux distincts, résumant les mouvements des entrées et des sorties des chiffons bruts, des chiffons délissés, entrée et sortie de toutes les matières de fabrication; entrée et sortie de toutes les matières à frais généraux; entrée et sortie des produits en poids et montant de leur valeur par les prix de revient partiels: fournissant un inventaire arrêté à chaque fin de mois, pour contrôle provisoire et balance approximative.

État annuel semblable à l'état mensuel, résumant les douze mois, les existences par écritures et redressement des différences par l'inventaire effectif.

Fabrication du papier a la main. — Malgré le bas prix, la surabondance et la beauté des produits de machine, le commerce a dû réserver une place distinguée à quelques papiers de *cuve*, qui jusqu'à présent satisfont seuls aux exigences de certaines consommations. Nous ne croyons donc pas pouvoir nous dispenser de rappeler, au moins succinctement, la marche que l'on suivait dans le travail dit à la *main* ou à la *forme;* ce travail ne s'est modifié essentiellement que par la préparation des pâtes, qui est en tout semblable à celle adoptée pour la machine; la mise en œuvre est demeurée exactement la même que ce qu'elle était autrefois.

Avant l'introduction des piles de cylindre, connues en Hollande dès le milieu du dix-huitième siècle, la trituration s'opérait à l'aide de pilons ou maillets; pour favoriser l'action peu puissante de ceux-ci, on avait été conduit à faire subir aux chiffons un degré de fermentation suffisant pour les attendrir, sans porter trop de préjudice à la solidité du papier.

Décrivons donc ce mode d'opérer.

Les chiffons étant coupés et choisis sont mouillés et mis en tas dans un lieu obscur nommé *pourrissoir;* en peu de jours, la fermentation putride se développe au sein de cette masse avec production considérable de chaleur; le tas est retourné de temps à autre, afin de régulariser et de modérer l'effet de la fermentation. Selon le papier à fabriquer et la qualité du chiffon, cette opération dure de cinq à vingt jours.

Du pourrissoir, le chiffon est transporté aux piles de maillets qui ont pour fonction, ainsi que nous l'avons vu pour les cylindres, de détruire les tissus, de lui enlever les impuretés dont il est souillé et de l'amener à l'état de pâte parfaite. La pile de maillets est une cuvette en bois ou en pierre deux fois aussi longue que large, le fond est garni d'une masse métallique ou platine, laquelle reçoit le choc de trois ou quatre maillets ferrés placés de front; ces maillets sont mis en mouvement par un arbre horizontal armé de cames qui les soulève et les laisse retomber, en commençant par une extrémité du rang et finissant par l'autre. Cette chute successive produit un déplacement dans la matière en trituration qui la pousse constamment dans le même sens et y détermine un mouvement de circonvolution que l'on favorise encore par la forme particulière donnée aux contours intérieurs de la cuvette. La pile est alimentée d'eau par un robinet à eau claire, tandis que l'eau salie a sa sortie sur le côté par un *cas* ou châssis garni de toile de crin ou de tissu en fils métalliques; à fleur du fond est aussi un grillage nommé *épierrier* ou sablier qui retient les corps lourds déposés par la pâte. Le défilage terminé, les maillets sont soustraits au mouvement du moteur, la pile est vidée et son contenu transporté dans une autre pile du même genre, mais disposée pour en effectuer le raffinage. Ces appareils ont le grave inconvénient de ne donner qu'un effectif de travail utile très-faible, d'occuper un grand emplacement et d'obliger à de fréquents transports de pâte, aussi n'en conserve-t-on l'usage que pour quelques emplois particuliers; ils sont donc presque totalement remplacés par la pile à cylindre. Celle-ci fut adoptée d'abord en France, puis en Angleterre; le produit de son travail est estimé quadruple de celui des maillets; l'énergie d'action du cylindre a conduit naturellement à la suppression du pourrissage des chiffons, opération embarrassante, altérant la solidité et la blancheur du ligneux, occasionnant surtout beaucoup de déchet.

La pâte raffinée est transportée à la cuve à ouvrer où elle est délayée dans une quantité convenable d'eau; cette cuve est en pierre, en cuivre ou en bois; elle a environ 1m,50 de côté sur 1m,10 de profondeur; au-dessus, et portée par les bords opposés, est une planche nommée *trapan*, qui est garnie de fils de cuivre dans le sens de sa longueur pour faciliter le glissement de la forme. Sur le côté, à gauche de l'ouvreur, est une planchette fixée d'un bout au trapan et de l'autre au bord de la cuve; une petite pièce de bois en forme de crémaillère, nommée égouttoir, y est fixée verticalement; l'intérieur de la cuve est disposé de manière à en échauffer la pâte. On conçoit qu'il est aisé d'appliquer ici certaines parties qui figurent dans la machine comme agitateur, régulateur de pâte, épurateur, départ d'eau excédante, etc.

La forme est un cadre ou châssis soigneusement assemblé aux angles, maintenu par des petites traverses de bois léger appelées *pontuseaux;* ceux-ci sont disposés parallèlement entre eux et au petit côté de la forme, leurs arêtes supérieures forment un même plan avec les bords du cadre, ils servent de point d'appui à des fils métalliques qui couvrent toute l'étendue de la forme; ces derniers sont disposés en long, de 8 à 15 fils par centimètre, et arrêtés aux pontuseaux par un fil plus fin; cet assemblage prend le nom de *vergeure*, et la trace qui est laissée sur le papier le fait distinguer par le nom de papier *vergé*. La marque du format ou du fabricant est figurée par d'autres fils de cuivre auxquels on donne le nom de *filigranes*. Le papier *vélin* est fait à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'aide d'une forme couverte d'une toile métallique de 25 à 35 fils par centimètre, ils sont alors assez fins pour ne causer aucune trace sensible dans l'épaisseur de la feuille. Ce procédé était connu en Angleterre depuis 1757; il avait pour objet d'imiter le grain et certaines apparences du vélin en parchemin de peau de veau. Maintenant que le travail des machines donne constamment ce résultat, on tente d'imiter, au moyen de toiles particulières, les papiers vergés de cuve. Quel que soit, du reste, le tissu, un cadre mobile appelé *frisquette* ou *couverte* s'applique exactement sur les bords de la forme, dont la hauteur, conjointement avec le plus ou moins de liquidité de la pâte, détermine l'épaisseur de la feuille de papier et dont les autres dimensions règlent la longueur et la largeur.

Le service d'une cuve se fait avec une paire de formes. L'ouvrier, qu'on appelle l'*ouvreur* ou *puiseur*, ayant posé la couverte sur la forme, la tient verticalement et la plonge à moitié dans la matière délayée, et, la tournant pour arriver à la position horizontale, il la couvre entièrement de pâte, la retire dans cette position et lui imprime divers mouvements saccadés et de balancement; ce tour de main demande une grande habitude de maniement: il a pour but de lier entre eux les filaments qui constituent la pâte et d'en opérer la distribution avec uniformité. L'ouvreur, ayant fait égoutter légèrement sa feuille, pousse sa forme le long de la planchette après avoir enlevé la couverte et la pose sur l'autre forme pour commencer une nouvelle feuille. En même temps, un autre ouvrier, le *coucheur*, placé à la gauche et en regard de l'ouvreur, reçoit la forme et la dresse contre l'égouttoir; pendant qu'elle achève de s'égoutter, il étend à plat devant lui un *flotre* ou feutre, puis enlevant la forme de la main gauche il la renverse sur le feutre et l'y appuie, la feuille se détache de la forme et reste sur le feutre; de la main droite, il renvoie la forme sur le trépan, laquelle est de nouveau reprise par l'ouvreur. Le coucheur continue à déposer sur la première feuille un second feutre et sur celui-ci une feuille de papier. Ces deux ouvriers procèdent ainsi simultanément, se passant tour à tour une forme chargée de pâte et une forme vide jusqu'à ce que les feuilles couchées entre les feutres aient atteint le nombre convenu pour former une *porse*; on porte le tout sous une presse pour en faire sortir le plus possible d'eau. Un troisième ouvrier, appelé *leveur*, sépare les feutres des feuilles; d'un côté, il place celles-ci les unes sur les autres entre deux plateaux; de l'autre, les feutres sont empilés et renvoyés au coucheur qui peut en reprendre immédiatement possession; à la fin de la journée, tout le papier ainsi préparé étant réuni est soumis à une pression modérée et exercée par intervalles pour en exprimer l'eau. On procède au *retevage*, qui consiste à échanger les feuilles les unes après les autres pour faire disparaître le grain des feutres, et on remet sous presse avec plus de force, après quoi on les transporte à l'*étendoir* ou séchoir. Ces noms font assez connaître la destination du local; il est occupé par des cordeaux tendus entre des traverses mobiles sur des poteaux convenablement distancés. Une ouvrière prend plusieurs feuilles à la fois qu'elle pose sur un *frelet*, instrument de bois en forme de T, les passe entre les cordes et les dépose sur une seule; allant ainsi de proche en proche, elle garnit un certain nombre de cordeaux. Des volets très-multipliés sont disposés pour graduer les courants d'air dans toutes les expositions; l'hiver, un chauffage et une ventilation bien dirigée remplacent le séchage à l'air libre; les feuilles étant sèches sont enlevées à la main ou au frelet et portées à la salle d'apprêt.

HISTORIQUE. — Le mot papier dérive, comme on sait, de papyrus, plante d'Égypte, dont on prenait le liber ou écorce intérieure pour former des feuilles propres à recevoir l'écriture.

Pline, *liv. XIII, chap. XI*, a décrit amplement la manière dont les Egyptiens fabriquaient le papier employé par les anciens; voici ce qu'il nous apprend à ce sujet :

« On sépare, dit-il, avec une aiguille, la tige du papyrus en lames ou feuillets fort minces, et aussi larges qu'il est possible: c'est avec ces éléments qu'on compose les feuilles de papier. Les lames du centre sont préférées, et ensuite suivant l'ordre de la division. On étend les meilleures sur une table, en leur laissant toute la longueur qu'elles peuvent avoir, et coupant seulement ce qui excède sur les extrémités d'une première feuille mince. On en étend une autre en travers et dans un autre sens. L'eau du Nil dont on les humecte sert de colle pour les joindre ensemble; on emploie aussi quelquefois la colle même: ces feuilles ainsi collées sont mises sous une presse dont on les retire pour les faire sécher au soleil. Après cela on les joint ensemble; les meilleures feuilles sont employées d'abord, et ensuite à mesure qu'elles diminuent de bonté, et l'on finit par les plus mauvaises. Il n'y en a jamais plus de vingt dans la tige d'un roseau.

« Ce papier, avant d'être lavé, était anciennement appelé *Hiératique*, c'est-à-dire *Sacré*, et ne servait que pour les livres de la religion; mais ayant été lavé par la suite, il prit le nom d'*Auguste*, et porta celui de Livia, sa femme, après avoir été lavé une seconde fois : ainsi le papier hiératique descendit du premier rang au troisième; un autre, fort semblable, avait été appelé *Amphithéâtrique*, du lieu où on le faisait. Porté à Rome, dans la boutique de Fannius, dont les ouvriers étaient fort habiles, ce papier commun, rendu plus fin par une préparation particulière, devint une étoffe qui surpassa les autres, et à laquelle il donna son nom. L'amphithéâtrique, qui n'avait pas été préparé de la sorte, conserva le sien.

« La largeur du papier, continue Pline, varie extrêmement : elle est de treize doigts dans le plus beau, de onze dans le hiératique, de dix dans celui de Fannius. La largeur du papier des marchands ne passe pas six doigts. Ce qu'on estime le plus dans le papier, c'est la finesse, la force, la blancheur et le poli.

« L'empereur Claude a privé du premier rang le papier d'Auguste, qui, beaucoup trop fin, ne soutenait pas la plume du roseau; de plus, sa transparence faisait craindre que les caractères ne nuisissent les uns aux autres, sans compter le mauvais effet d'une écriture qui s'aperçoit à travers la feuille de papier. Il augmenta aussi la largeur de la feuille, qui n'était auparavant que d'un pied. Les feuilles les plus larges, appelées *macrocolla*, avaient une coudée de largeur, mais on en reconnut bientôt l'inconvénient, lorsqu'en ôtant de la presse une seule de ces feuilles, un grand nombre de pages se trouvèrent gâtées. C'est pourquoi le papier d'Auguste continua d'être en usage pour les lettres particulières et le papier Livien a toujours servi aux mêmes usages qu'auparavant. Mais le papier Claudien fut préféré à tous les autres parce que, sans avoir les défauts du papier d'Auguste, il avait la force du papier Livien.

« On donne le poli au papier par le moyen de l'ivoire ou des coquilles; mais alors les caractères sont sujets à se détacher. Le papier poli boit moins l'encre, mais il a plus d'éclat. Quand le papier, dans la première préparation, n'a pas été trempé avec précaution, il se refuse aux traits de celui qui écrit: ce défaut se fait sentir sous le marteau, et même à l'odeur du papier. Lorsqu'il y a des taches, on les découvre à la simple vue; mais quand on a rapporté des morceaux pour boucher des trous ou des déchirures, ces opérations font boire le papier, et l'on ne s'en aperçoit que dans le moment qu'on écrit: telle est la mauvaise foi des ouvriers; c'est pour prévenir ces inconvénients qu'on donne une nou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

velle façon à ce papier. La colle ordinaire se prépare avec de la fleur de farine détrempée dans de l'eau bouillante, sur laquelle on a jeté quelques gouttes de vinaigre; la colle des menuisiers et la gomme ne s'emploient pas, parce qu'elles sont cassantes. La meilleure colle est celle qui se fait avec de la mie de pain levé détrempée dans de l'eau bouillante, et passée par l'étamine; le papier devient par ce moyen le plus uni qu'il est possible, et même plus lisse que la toile de lin; au reste, cette colle doit être employée un jour après avoir été faite, ni plus tôt ni plus tard: ensuite on bat le papier avec le marteau; on y passe une seconde fois de la colle; on le remet en presse pour le rendre plus lisse et plus uni, et on l'étend à coups de marteau. C'est ce papier qui donne une si longue durée aux ouvrages écrits de la propre main des Gracques, Tiberius et Caius. Je les ai vus chez Pomponius Secundus, poëte et citoyen du premier mérite, près de deux cents ans après qu'ils avaient été écrits. Nous voyons assez communément ces papiers écrits par Cicéron, Auguste et Virgile. »

Papiers de la Chine et du Japon. Le papier fut en usage de temps immémorial dans quelques parties de l'Asie; la pratique religieuse usitée en Chine, de brûler des feuilles dorées ou ordinaires, est antérieure à l'ère chrétienne. Vers ces temps reculés, les Japonais en fabriquaient avec l'écorce du mûrier, le chanvre, le bambou, la paille de riz et le coton.

Nous empruntons à M. A. Girard la description des procédés de fabrication de produits dont la beauté est bien connue.

Papier du Japon. La matière première la plus usitée au Japon pour la fabrication du papier est, comme on le sait depuis longtemps, le *Broussonetia papyrifera* ou mûrier à papier, c'est le *mulberry* des Anglais. L'écorce seule est employée à cette fabrication. La plante est, dans presque toutes les provinces du Japon, cultivée spécialement pour les besoins de l'industrie papetière. Elle se reproduit de boutures; en un an, elle atteint 30 centimètres de hauteur; l'hiver venu, on la coupe; l'année suivante, la souche fournit cinq ou six tiges nouvelles, qui s'élèvent à 80 ou 90 centimètres; ces tiges sont coupées à leur tour lorsque vient la mauvaise saison, et l'on répète ces coupes successives jusqu'à la cinquième année. Chaque bouture a engendré alors un buisson abondant dont les tiges ne mesurent pas moins de 2 mètres de hauteur. C'est à cet âge que l'écorce du mûrier convient pour la fabrication du papier; abattu au commencement de l'hiver, fagoté à la façon habituelle, le bois est porté aux papeteries.

Là les tiges sont d'abord soumises à un bouillissage; coupées en fragments de 50 centimètres environ de longueur, elles sont jetées dans une chaudière et traitées pendant deux heures par l'eau bouillante. Ce temps écoulé, on les retire du bain, et, à la main, on sépare du bois, qui, dès lors, ne représente plus qu'un résidu bon à brûler, l'écorce, dont l'adhérence a disparu sous l'action de l'eau. Réunies par poignées, les écorces sont étendues sur des cordes et abandonnées pendant deux ou trois jours à la dessiccation.

A cette dessiccation succède un lavage en rivière, où les écorces restent, pendant vingt-quatre heures, plongées dans l'eau courante. La fabrication véritable commence à ce moment; elle débute par la séparation de l'écorce intérieure blanche et de l'écorce extérieure colorée. Assis devant une table, armé d'un couteau qu'il maintient dans une position fixe, l'ouvrier fait rapidement glisser sous le tranchant de celui-ci les écorces qu'il ramène à lui, jusqu'à ce que la partie colorée en soit entièrement séparée; cette écorce colorée sert à fabriquer des papiers communs.

C'est à l'aide de l'écorce intérieure, bien blanche, que se préparent les beaux papiers japonais; il faut, en général, trois jours de travail pour transformer cette écorce en papier. Soumise de nouveau à l'action de l'eau courante, l'écorce blanche est, après ce second lavage, empilée dans des tonneaux et pressée à l'aide de pierres lourdes, de manière à faciliter le départ de la liqueur qui la mouille.

Ainsi débarrassée de la plus grande partie des matières gommeuses qu'elle renferme, l'écorce est enfin lessivée et mise en pâte en une seule opération. Dans des chaudières de 60 centimètres environ de diamètre, remplies d'eau mélangée de cendres (d'une lessive alcaline par conséquent), on ajoute une quantité déterminée de l'écorce, et l'on porte à l'ébullition. Pendant toute la durée de cette opération, le cuiseur, armé de deux bâtons, agite, remue la matière de manière à lui faire subir une division grossière et continue jusqu'à ce que la masse soit transformée en une bouillie épaisse et que l'aspect primitif de l'écorce ait entièrement disparu.

Placée dans des paniers, la pâte est, une fois encore, portée à la rivière et soigneusement lavée; c'est à ce moment qu'elle est livrée aux pileurs; à ce moment, aussi, on l'additionne de la matière agglutinative à l'aide de laquelle elle doit être collée; cette matière provient de la racine d'une plante connue au Japon sous le nom de *tororo*, plante à fleurs jaunes qui rappelle assez bien, paraît-il, le *sesamum orientale;* pelée, puis bouillie, cette racine fournit une pâte formée sans doute d'un mélange de matières pectiques et amylacées que l'on ajoute directement à la matière que doivent battre les pilons. Ceux-ci ne sont autres que des bâtons à section carrée, arrondis seulement à l'une de leurs extrémités, de manière à y former un manche, et mesurant environ 90 centimètres de longueur. La pâte est placée sur une table de chêne, et deux ouvriers, placés l'un en face de l'autre, entreprennent alors de la battre à coups redoublés, en frappant à plat avec les bâtons, jusqu'à ce que les fibres, séparées les unes des autres, aient acquis la longueur qui convient au papier que l'on veut obtenir.

A partir de ce moment, le travail ne présente plus rien qui ne nous soit connu, et la fabrication japonaise devient identique à la fabrication à la cuve, telle que nous la pratiquons. Passée à travers un tamis dont les mailles ont une grosseur déterminée, la pâte est mise en cuve avec une quantité d'eau convenable; dans cette cuve, elle est puisée à l'aide d'une forme dont le fond est fait de bambou soigneusement tressé, et dont la paroi est formée de deux cadres rentrant l'un dans l'autre, disposés de telle sorte que le cadre intérieur fasse office de couverte, et elle se transforme ainsi, à la manière ordinaire, en un feutre homogène. Enlevée de cette forme avec dextérité au moyen d'une tige de bambou sur laquelle on enroule son extrémité la plus épaisse, la feuille est enfin étalée sur une planche en bois dressée contre les murs de l'atelier, et là, abandonnée à l'action de l'air, jusqu'à ce qu'elle soit parfaitement desséchée.

Les variétés de papier que les Japonais savent obtenir à l'aide de ce procédé si simple sont, pour ainsi dire, infinies; plus de 300 échantillons différents ont été, du Japon, envoyés au gouvernement anglais, les uns destinés aux usages ordinaires qu'en Europe nous réservons à ce subjectile, les autres destinés à recevoir les emplois les plus inattendus, servant à remplacer les tissus ordinaires faisant office de mouchoirs, employés à fabriquer des vêtements imperméables, des parapluies, des chapeaux, voire même des chaussures. Quelques-unes de ces dernières variétés sont, déjà, d'un usage régulier en Angleterre. Telles sont, notamment, les sortes épaisses, véritables cartons souples, auxquels nous venons de faire allusion, et qui, gaufrés à la surface, rendus imperméables par l'addition d'une certaine quantité d'huile, se retrouvent, à Londres, dans l'expo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sition de MM. Letts et fils, utilisés pour la reliure des livres et surtout des registres de banque et de commerce.

Papiers chinois. Les Chinois fabriquent, en énormes quantités, de nombreuses variétés de papiers; les uns, à fibres de dimensions ordinaires, proviennent, en général, du bois de bambou macéré, lessivé en présence de matières alcalines par des procédés analogues à ceux dont nous faisons usage aujourd'hui pour le traitement des succédanés; les autres, à fibres longues, tout à fait semblables aux papiers du Japon, qui, d'ailleurs, ne sont que des imitations des anciens papiers chinois, et préparés, comme ceux-ci, à l'aide de l'écorce du mûrier.

A côté d'échantillons nombreux, les uns blancs, les autres fortement colorés, figuraient également de magnifiques spécimens de ce produit que l'on s'obstine à appeler encore papier de riz, quoique son origine soit aujourd'hui bien connue. L'on sait, en effet, que cette belle matière n'est autre que la moelle découpée, parallèlement à l'axe, d'un arbre de la famille des *Artocarpus*, auquel on donne le nom d'*Aralia papyrifera*. Extraite du centre du rameau qui la renferme, cette moelle est découpée en larges rubans au moyen d'un fer à tranchant très-vif, de la même façon que le liége pour la fabrication des bouchons; repassé ensuite sous un fer chaud, le copeau ainsi détaché prend la forme plane, en même temps que l'aspect doux et soyeux que nous lui connaissons.

Papier de coton. C'est au commencement du huitième siècle que les Arabes, ayant appris des Tartares les procédés de la fabrication du papier de coton, l'apportèrent sur les côtes de Barbarie, puis en Espagne; bientôt l'usage s'en répandit en Europe, et fit tomber celui du papyrus. Suivant une autre opinion, l'emploi du coton serait originaire de la Grèce, et connu seulement depuis le onzième siècle.

Papier de chiffons. On est porté à croire que c'est en Espagne, au douzième siècle, qu'a pris naissance la fabrication du papier de vieux linges, d'où elle passa en France vers la fin du treizième siècle; dans le courant du quatorzième plusieurs fabriques de ce genre s'établirent en Allemagne et en Italie. Le premier moulin à papier anglais fut construit à Dartford, vers 1558, par un joaillier allemand au service d'Elisabeth; cet établissement n'ayant pas prospéré, l'Angleterre tira encore pendant soixante-dix ans environ ses papiers à écrire de la France et de la Hollande, qui avait conquis une position éminente dans l'industrie du papier qu'elle a longtemps gardée. En 1608, on portait à une valeur de plus de 2 millions de livres tournois les papiers de toute espèce fabriqués en France, exportés en Hollande et en Angleterre.

Jusqu'en 1799, le mode de fabrication des papiers n'était arrivé que très-lentement à de légers perfectionnements, lorsque Louis Robert, employé dans une papeterie à Essonne, conçut un système mécanique qui devait être appelé à ouvrir une ère nouvelle à cette industrie longtemps stationnaire. Nous ne pouvons passer sous silence les principaux faits qui se lient à l'enfance de cette création entièrement neuve; ils serviront à constater les difficultés et les retards qu'elle rencontra dans son développement, et combien fut tardif son emploi général en France.

La machine de Robert avait pour objet de produire des feuilles de papier d'une certaine largeur et d'une longueur indéfinie, par un mouvement continu. L'inventeur obtint un brevet de quinze ans, et reçut de la part du gouvernement français une somme de 8,000 francs à titre d'encouragement; peu après, il céda à Léger Didot, alors directeur de la papeterie d'Essonne, son brevet et sa machine; ce dernier se rendit immédiatement en Angleterre, où il contracta plusieurs engagements pour la faire construire et fonctionner. MM. Didot et John Gamble, associés, prirent en Angleterre un brevet, en avril 1801, qu'ils concédèrent à MM. Henry et Sealy Fourdrinier, en janvier 1804, en se faisant une réserve que M. Gamble abandonna en 1808 après avoir épuisé son avoir; néanmoins, par trois années d'un travail opiniâtre, une machine avait été montée sous sa direction à Saint-Neot's, en 1803; elle était due à l'exécution intelligente et heureuse de M. Bryan-Donkin. Ce mécanicien, secondé par MM. Fourdrinier, parvint, en continuant ses travaux, à aplanir les plus grandes difficultés d'exécution mécanique, à rendre pratique la pensée de l'inventeur.

La première machine construite en France le fut en 1815 par M. Calla, mécanicien à Paris. MM. Berte et Grevenich, auxquels il fut délivré en 1814 un brevet d'importation de quinze ans, furent les premiers qui firent fonctionner en France la machine à papier; elle fut pendant plusieurs années la seule en activité. Les premières machines étaient dépourvues de cylindres sécheurs; le papier arrivait tout mouillé sur le dévidoir, de là il était porté aux étendoirs pour y être séché comme les papiers à la main.

M. Canson et MM. Montgolfier, des premiers, ouvrirent largement la route dans laquelle on hésitait encore à s'engager, pressentant les conséquences du nouvel ordre de travail; l'emploi des pompes aspirantes, le lessivage, le blanchiment au chlore, l'encollage à la cuve et beaucoup d'autres améliorations apparurent.

Le jury de l'exposition de 1827 constata l'existence, en France, de quatre papeteries seulement travaillant par procédés mécaniques. En 1834 il y en avait douze; aujourd'hui le nombre des machines s'est élevé à plus de trois cent. Lorsque cette machine fut réimportée en France, époque à laquelle l'Angleterre avait le privilége exclusif de fournir aux besoins de la papeterie, elle était loin de remplir les conditions désirables; elle devint un objet d'études pour nos meilleurs constructeurs. C'est particulièrement à M. Chapelle que nous devons, non-seulement d'être affranchi du tribut que nous payions à l'Angleterre pour cet objet, mais encore d'avoir exporté à l'étranger des machines dont la supériorité était telle, qu'elles ont été, dans la plupart des cas, préférées et substituées à celles de construction anglaise.

Parmi les tentatives qui ont eu pour but de fabriquer le papier à l'aide d'une machine, en suivant d'autres voies que celle tracée par L. Robert, nous devons remarquer celle dont la première idée est due à Ferdinand Leistenschneider, et pour laquelle il prit en 1813 un brevet; elle fut successivement perfectionnée par M. Zuber et M. Rieder. Cette machine a conservé le nom de son inventeur; on la désigne aussi sous le nom de machine ronde, parce que sa forme est cylindrique au lieu d'être une table rectangulaire plane (nous renvoyons pour sa description au Bulletin de la Société d'encouragement, juillet 1837).

En septembre 1838, M. Et. Brocard prit un brevet de cinq ans pour une machine composée de plusieurs formes circulaires placées les unes à la suite des autres; chaque forme faisant sa feuille, elles se superposent et se réunissent en une seule en passant sous les pressions déjà décrites de la machine plate. Ce dispositif a pour objet de produire des papiers d'une grande épaisseur et d'une grande force, d'obtenir à volonté les deux surfaces de couleurs différentes entre elles, et différentes même de la partie intérieure, si l'on suppose trois formes, au moins, en travail. Un résultat analogue, quant aux papiers doublés, a été obtenu avec deux machines à table plane par M. de Burges pour l'exécution de son papier de sûreté. On pourrait encore citer pour une fabrication spéciale l'association de la forme plane à la forme ronde, qui a été adoptée par MM. Dufay frères; un brevet de cinq ans a été pris pour cet objet en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avril 1844. La fabrication des papiers doubles mécaniques convient surtout aux papiers de pliage, à l'encartage.

Succédanés du chiffon. Bien avant les emplois prodigieux de papier auxquels nous sommes arrivés, vers la fin du siècle dernier déjà, les chiffons de linge, les seuls employés alors ou à peu près, devenaient rares. Pour suppléer à cette insuffisance, les vues se tournèrent naturellement vers des succédanés d'un prix accessible. Ce fut l'objet de nombreuses recherches; des essais sur des ligneux indigènes, le bois, les écorces, les graminées, etc., souvent tentés dans un intérêt de curiosité, servirent de jalons. Il s'agissait de revenir à l'emploi de la cellulose recoltée dans les plantes, puisqu'on ne pouvait plus l'avoir lessivée, blanchie, désincrustée comme la fournissent les chiffons. Quelques fabrications même furent entreprises, celles du papier de paille et de bois; les procédés insuffisants ou dispendieux ne permirent pas de mener à bonne fin ces premières tentatives. Depuis lors, les transports rendus plus faciles, le prix moins élevé des principaux produits chimiques, le lessivage en vase clos, la régénération des lessives salines, vinrent tour à tour fournir des éléments nouveaux, féconds en heureuses applications. Dès ce moment, un champ nouveau fut ouvert à l'introduction d'un nombre considérable de matières fibreuses, plus ou moins textiles, propres à former un papier ou à entrer pour une part dans la pâte de chiffons. Enfin, les matières animales ne doivent pas être exclues, elles peuvent servir à produire des papiers ordinaires comme aspect, mais auxquels elles communiquent une solidité tout exceptionnelle : tels sont les débris de peaux façon buffle, qui n'exigent aucune préparation spéciale qu'une trituration par écrasement très-ménagé. Les nerfs, les intestins, etc., sont dégraissés à l'aide du sulfure de carbone.

Les végétaux à fibres textiles subissent, on le sait, avant d'entrer dans la fabrication des tissus, une macération qui met leurs fibres à nu, c'est le rouissage. Il détruit les principes fermentescibles qui enveloppent la cellulose ; cette première préparation a le double mérite de supprimer la cause qui pourrait engendrer ultérieurement, dans les tissus, une fermentation lente qui entraînerait l'altération de la cellulose même et d'amener la tige végétale à l'état où elle se prête le mieux au peignage, au filage, etc.

Nous dirons quelques mots sur cette opération, en nous plaçant au point de vue de la papeterie. La macération ou rouissage pratiqué de temps immémorial, est généralement resté l'objet d'un travail localisé là où croit la plante, par conséquent inégalement réparti et très-disséminé sur une grande étendue; le lin et le chanvre en sont un exemple. L'opération, pour être menée à bien, doit durer un temps rigoureusement fixé par le point de maturité du végétal (Voir article Lin). Si l'on considère l'encombrement qui résulterait de la presque simultanéité de la réception de la récolte, sa mise au routoir, les soins de direction et de détail qui doivent accompagner les progrès de la fermentation, l'on comprendra que ces conditions ne puissent facilement entrer dans le régime centralisateur manufacturier; de plus, une raison de salubrité vient s'opposer à la création de routoirs nombreux et agglomérés, d'où, on le sait, se dégagent des émanations délétères. Ce n'est pas tout; le rouissage terminé, la dessication immédiate de la tige ou la mise au lessivage est imposée en présence des dangers d'une altération plus profonde. L'usinier se trouve donc en présence d'une manipulation précipitée, irrégulière dans ses résultats, avec des chances de pertes et de nombreux embarras.

Ce qui est vrai en envisageant la marche du rouissage de lin, du chanvre et de ses analogues, ne le serait plus sous un climat qui offrirait une récolte presque continue d'essences plus vigoureuses supportant mieux les accidents presque inévitables de la fermentation.

Les macérations ne dissolvent et ne détruisent guère que les principes gommeux, albumineux, pectiques, etc.; les résines, s'il en existe, résistent; on les reconnaît à leur solubilité dans l'alcool, l'éther, et les liqueurs alcalines; c'est donc au lessivage qu'il appartient de compléter les moyens d'élimination des incrustations et de dégager la fibre textile.

Faut-il rappeler que chaque essence de textile donne en produit des fils et des étoffes essentiellement dissemblables par leur résistance à la traction, au frottement, par leur aspect, etc. A priori, on doit donc s'attendre à rencontrer, dans la recherche des succédanés, des caractères très-variés, avec des mérites tout aussi tranchés que ceux qui distinguent les chiffons de toutes origines. En outre le développement de la plante, sa culture, les conditions d'âge au moment de la récolte, modifient les qualités de la fibre. La papeterie est donc conduite à rechercher des matières vierges de la nature de celles qui conviennent à l'industrie des textiles, en lui abandonnant celles dont les fibres sont les plus longues.

En effet il y a à tenir compte du prix de revient de ces nouvelles matières. Les chiffons étant abandonnés à la papeterie qui seule en a l'emploi, celle-ci a établi le prix de ses produits sur la valeur vénale des chiffons; mais, en présence des matières à prendre dans leur état pour ainsi dire primitif et aux mêmes sources que l'industrie des toiles, leur coût et les nouveaux frais de traitement préalable ne sont plus en harmonie avec ceux du chiffon et, conséquemment, du prix usité du papier. Restent donc les matières les moins recherchées pour le tissage ou appliquées à des tissus grossiers, puis viennent les tiges moins riches, moins résistantes. Les Indes, les régions tropicales, encore imparfaitement explorées, offrent des ressources inépuisables en végétaux fibreux. L'usage en est encore réduit aux limites qu'imposent les conditions économiques d'exploitation et de transport actuelles.

Le point important pour le fabricant est de saisir les appropriations les plus économiques des succédanés qui lui sont offerts, et de ne pas compter obtenir de ces textiles autre chose que ce qu'ils peuvent réellement donner. En effet, un examen sévère assigne à chacun d'eux le rang qui lui appartient profitablement; ceux-ci remplaceront parfaitement le chiffon, ceux-là n'y seront admis qu'en mélange, d'autres feront l'office de remplissage, produiront l'épaisseur sans contribuer à la ténacité: ces derniers impropres, seuls, à la formation d'une feuille ne seront déjà plus des succédanés; tout au plus figureront-ils comme adjuvants.

L'usage des succédanés, en outre des avantages généraux qu'il procure, laisse les chiffons aux fabrications auxquelles ceux-ci sont indispensables et réalise pour le fabricant qui les emploie tout préparés une économie sur les frais généraux, par l'accroissement de sa production, sans augmentation sensible de son matériel.

Les succédanés, pour passer à l'état de demi-pâte, exigent des traitements divers, à l'aide d'un matériel particulier, souvent avec une dépense considérable de travail mécanique et d'agents chimiques spéciaux. Il y a souvent nécessité et en général au moins grand avantage à traiter les matières premières, ou sur le lieu de leur provenance, ou sur le point de leur arrivage, à l'état vert par macération, puis à transporter le produit aux papeteries où le mélange s'opère avec le chiffon ou entre succédanés, sans entraîner la complication d'une fabrication annexe.

Les succédanés que l'on peut obtenir en grande quantité et à bon marché sont nombreux. Les plus employés sont: les bois blancs, la paille, le sparte, l'alfa, le jute; viennent ensuite l'aloès, le palmier nain, le diss, le china-grass, le maïs, le sorgho, la canne à sucre, etc., etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les succédanés les plus à notre portée et, par ce fait, les plus employés sont: le bois, la paille et le sparte; nous en indiquerons sommairement les préparations: elles peuvent servir de bases au traitement de la plupart de ceux que nous avons énoncés à la suite.

Bois. Les bois blancs soumis au râpage peuvent être réduits en une pâte fibreuse qui comporte toute la cellulose et la majeure partie des matières incrustantes, résineuses, etc., etc; aussi est-ce surtout une matière de remplissage qu'on obtient ainsi.

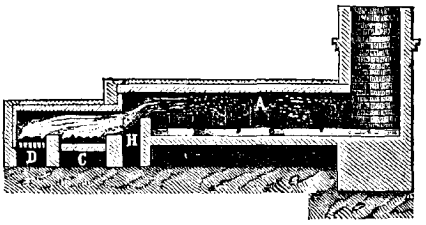
La pâte reste du même blanc que le bois dont elle provient. Le défibrage emploie une force motrice considérable; le déchet est minime: le sapin en produit moins que le tremble, le pin et le bouleau. La meilleure machine pour ce travail est due à M. Voelter de Heidenheim (Wurtemberg). Il emploie une meule en grès, qui forme une râpe naturelle, qui arrache les fibres, sans les couper, et le produit nageant dans l'eau est tamisé à travers des toiles métalliques. Cette pâte est appréciée pour plusieurs fabrications; celle des rouleaux de tenture, notamment, qui ne doivent pas trop se gonfler par l'humidité, ce qu'empêche la persistance des matières incrustantes et résineuses. Un grand nombre de fabriques se sont établies à proximité des forêts et de puissantes chutes d'eau, dans les départements des Vosges, de l'Isère, en Suède, en Suisse

Le bois traité chimiquement. est, de tous les problèmes qui ont eu pour objet un succédané abondant, celui qui a été le plus travaillé: c'est dire qu'il est resté longtemps sans solution économique. Depuis peu, d'importantes modifications ont été introduites dans la construction des appareils à lessiver le bois, dans le but d'accroître le pouvoir dissolvant des alcalis par une température portée jusqu'à 200°, laquelle correspond à une pression de 15 atmosphères. L'effet obtenu sur les matières incrustantes et autres que la cellulose, dégage complétement celle-ci en lui conservant son intégrité. Elle affecte même, dès sa sortie de l'autoclave, toutes les apparences d'une demi-pâte régulière et fibreuse. Les tentatives hardies qui ont conduit à ces résultats sont dues à l'initiative de fabricants anglais. Un côté de la question paraît être ainsi résolu, reste celui du prix de revient qui ne peut s'établir que par un usage prolongé. M. Aimé Girard, dans son rapport sur l'industrie de la papeterie à l'exposition internationale de Londres en 1872, est entré sur les succédanés, et notamment sur le bois, dans des détails pleins d'intérêt.

Dans le traitement chimique des succédanés, la soude figure dans des proportions considérables. Elle atteint parfois 80 pour 100 de la pâte sèche. Il importe beaucoup de régénérer cette soude saturée de principes végétaux, ce qu'on n'a pu faire jusqu'à présent que pour une partie, soit 50 à 70 p. 100 du poids primitif employé. Le procédé consiste à envoyer les lessives chargées à un appareil évaporatoire utilisant la chaleur des gaz de la combustion qui s'échappent des générateurs, puis à calciner, après concentration des liquides, dans les fours à reverbère. On emploie avantageusement le four Porion, représenté fig. 15 et 16, dans lequel la lessive est projetée par des palettes au milieu du courant d'air. Avec son aide on évapore ou on entraîne jusqu'à 13 kil. d'eau par kilogramme de houille brûlée. Plusieurs industries appliquent également ces moyens d'utilisation des résidus salins.

Paille. La paille, après avoir été coupée au hache-paille et les nœuds séparés au besoin à l'aide de la ventilation, est lessivée en vase clos, soit dans un appareil rotatif chauffé à la vapeur, soit dans un appareil fixe avec agitateur intérieur et chauffage à feu nu. La pression est poussée jusqu'à 5 atmosphères ou réduite à 1 atmosphère et demie, en raison de la dureté de la paille ou de la qualité à réserver à la pâte. La paille la plus résistante est celle de seigle; viennent ensuite celles de froment et d'avoine. La chaux se dose de 10 à 15 pour 100 pour les pâtes bises et de 15 à 20 pour 100 de sel de soude du commerce pour les pâtes à blanchir. La

Fig. 15.



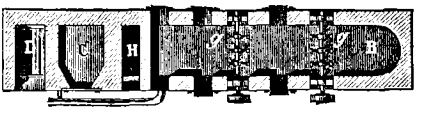


Fig. 16.

paille avant de passer au lessivage gagne à être mise en macération au lait de chaux, à opérer ainsi, pendant un temps suffisant, un véritable rouissage. Le moulin à meules verticales, nous le rappelons ici, s'approprie au raffinage de la paille après défilage.

Chacun connaît le papier jaune ou brun pour enveloppe fabriqué avec la paille. La pâte blanche s'obtient par 8 à 12 pour 100 de chlorure de chaux; elle est rarement employée seule: le papier obtenu est presque toujours d'un aspect vitreux, d'une rigidité qui n'accepte pas volontiers l'impression typographique. Cette pâte employée en mélange donne du ressort à la feuille: en garnissant les interstices des fibres longues des chiffons durs, elle les unit entre eux. Elle accroit donc la densité de la feuille et l'amincit. Ces pâtes mixtes conviennent aux journaux, papiers de tenture et pour certains pliages.

Le rendement de la paille est de 40 à 45 pour 100.

Sparte. — *Alfa.* Le sparte d'Espagne et l'alfa d'Algérie sont d'un traitement facile par 15 pour 100 de soude caustique, sous pression de 1 atmosphère 1/4 seulement. Le blanchiment s'obtient par 10 à 12 pour 100 de chlorure de chaux. Ils sont d'un effilochage qui exige peu de force motrice; la pâte en est souple, douce et donne de l'épaisseur à la feuille; elle est le correctif, on le voit, de la pâte de paille.

La récolte de cette plante doit être faite par l'arrachement de la feuille sans en entraîner la racine, une fois ou deux au plus dans l'année. Par la coupe ou l'enlèvement réitérés, les fibres de la plante perdent de leur ténacité. C'est un point sur lequel le fabricant doit être édifié et obtenir toutes garanties.

Le traitement mécanique des succédanés à l'usine diffère peu de celui qui est appliqué aux chiffons. Il y a nécessairement à tenir compte de la dureté et de la longueur propre des filaments et, comme toujours, à modifier les moyens en raison du genre de produit à obtenir.

HANRIOT.

Comme curiosité, nous ajouterons que le nombre des végétaux qui peuvent fournir la cellulose à l'état fibreux, pouvant à la rigueur donner du papier (indépendamment des conditions du prix), est extrêmement considérable. On voit au British Muséum, un livre écrit en langue hollandaise et publié en 1772, imprimé sur 72 sortes de papiers provenant d'autant de matières différentes.

Enfin, nous le répéterons, souvent avec les matières

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus ou moins filamenteuses qui peuvent suppléer au chiffon, on emploie dans la fabrication du papier des substances accessoires généralement pulvérulentes, du sulfate de baryte, du kaolin, du sulfate de chaux, dans le but d'augmenter la fermeté du papier, de lui donner de la main, et souvent, il faut bien en convenir, d'ajouter à son poids. L'emploi de la fécule de pommes de terre est aujourd'hui général.

PAPIER DE SURETÉ. La question des papiers de sûreté a pris une importance considérable à une époque où les sciences chimiques et physiques permettent la contrefaçon de toutes les écritures, faites avec des encres délébiles ou indélébiles, au moyen du transport sur pierre ou de la photographie. Il est par suite utile de faire connaître les principaux moyens qui ont été successivement proposés pour mettre les actes publics ou privés à l'abri du faux et de la contrefaçon, en rappelant que les papiers timbrés et les papiers de sûreté peuvent être, soit *altérés* partiellement, soit *contrefaits*, soit enfin *lavés* au moyen de réactifs qui enlèvent l'écriture qui est à leur surface.

Le premier procédé que nous rappellerons est celui de M. Maugard, en date de 1791, consistant dans l'emploi d'un talon de sûreté, imprimé d'une vignette à combinaisons et d'un timbre sec sur une surface marbrée. Ce talon de sûreté, disait l'inventeur, prévenait la création de billets faux; car il eût été impossible aux faussaires de faire raccorder les billets créés par eux avec les talons des billets véritables. Il n'en est pas ainsi, puisqu'on pourrait actuellement contre-éprouver exactement ces billets, qui d'ailleurs n'offraient aucune garantie contre l'altération des sommes inscrites sur leur surface.

En 1818, M. G. Dorsay prit un brevet pour un papier de sûreté *sensitif*, qu'il fabriquait, soit en mêlant dans la pâte du papier, alors qu'elle était en cuve, une certaine quantité de prussiate jaune de potasse, soit en immergeant, feuille à feuille, le papier fabriqué, mais non collé, dans une dissolution de cette substance. Ce papier de sûreté, ainsi que tous ceux qui ont été fabriqués depuis sur le même principe, n'offre pas de garantie; car la chimie fournira toujours les moyens de faire disparaître les taches que les réactifs, employés pour détruire une phrase ou un corps d'écriture, auront fait paraître à la surface de sûreté.

Une première commission académique, dont M. d'Arcet était le rapporteur, examinant, sur la demande du garde des sceaux, la question des papiers de sûreté, présenta à l'Académie, à ce sujet, en date du 6 juin 1831, un rapport par lequel elle rejetait tous les papiers de sûreté qui lui avaient été soumis, et proposait: 1° l'emploi d'une encre indélébile, composée d'encre de Chine délayée dans un mélange d'eau et d'acide hydrochlorique marquant 1° 1/2 B.; 2° l'impression sur $0^m,04$ de largeur, au milieu de la feuille de papier, d'une vignette gravée au tour à guillocher sur un cylindre de cuivre, en ayant soin de faire usage, pour l'impression, d'encre ordinaire épaissie ou de boue d'encre. En limitant ainsi la surface de la vignette délébile à $0^m,04$ au lieu d'en recommander l'impression sur toute la surface de la feuille, la commission abandonnait ainsi la question du faux partiel pour ne s'attacher qu'au lavage du vieux papier timbré. D'un autre côté, on est parvenu à transporter sur pierre lithographique toutes les écritures délébiles et indélébiles, grasses ou non, par voie de transport lithographique proprement dit ou par voie photographique, de sorte que les conclusions de ce rapport n'ont plus actuellement de valeur.

En 1834, M. Mozard prit un brevet pour un nouveau papier de sûreté qu'il fabriquait, en imprimant une vignette en encre délébile sur une feuille mince de papier encore humide et non terminée, et en recouvrant cette première feuille imprimée d'une seconde feuille de papier aussi fraîchement fabriquée; puis en cylindrant et en séchant ces deux feuilles juxtaposées. Ce papier présente un grave inconvénient, le décollage facile des deux feuilles; ce qui rend aisée toute espèce de faux partiels et généraux, ainsi que le blanchiment total. En outre, la disposition intérieure de la vignette délébile fait qu'elle n'est pas assez accessible aux agents chimiques employés par un faussaire adroit, et, d'un autre côté, le manque de pureté de la vignette de ce papier, ainsi que l'inégalité de sa teinte générale, constituent des vices radicaux au point de vue du faux partiel.

Une seconde commission, dont M. Dumas était rapporteur, s'occupant de nouveau de la question des papiers de sûreté, sur la demande du ministre des finances, fit, le 23 février 1837, un rapport par lequel, rejetant tous les procédés qui lui avaient été soumis, elle proposait :

1° L'impression sur chaque face du papier d'un filigrane très-fin et indélébile;

2° L'impression d'une vignette délébile composée de figures géométriques très-petites, parfaitement identiques et manuellement inimitables.

Elle rappelait en même temps que le meilleur préservatif contre toutes les falsifications d'écriture consiste dans l'emploi de l'encre de Chine acidulée.

Les moyens proposés par la commission, quoique offrant une garantie bien plus grande que tout ce qui avait été fait jusqu'alors, n'ont pas été adoptés; il est juste de dire que la présence de l'encre grasse rend plus difficile le travail de l'écrivain.

Plus tard, en 1840, deux nouveaux inventeurs, MM. Zuber et Knecht, se présentèrent à un concours ouvert par une commission spéciale nommée par le ministre des finances.

Le papier présenté par M. Zuber était fait à la machine et imprimé, à la suite du premier cylindre sécheur, avec de l'encre délébile et des rouleaux en cuivre gravés à la molette, semblables à ceux dont se servent les fabricants d'indiennes.

Le papier de M. Knecht était fabriqué à la forme, imprimé à la presse lithographique de M. Perrot, et couvert d'une vignette gravée primitivement en creux sur une planche-matrice, par la machine de M. Neuber, puis contre-éprouvé sur pierre par les procédés connus en lithographie.

Sans nous arrêter à discuter les défauts de ces papiers de sûreté, ce qui nous exposerait à des redites, nous rappellerons seulement que la commission précitée, tout en déclarant que le problème n'était pas résolu d'une manière absolue, proposa à M. le ministre des finances de partager entre les concurrents déjà nommés et M. Deburge, qui présentait le papier Mozard, le prix de 60,000 francs voté par les chambres.

On n'a pas persévéré dans la voie de recherches dont nous parlons ici, pour augmenter la difficulté d'altérer les actes écrits sur papier timbré. Ce n'est guère que pour les titres de valeurs financières, et surtout pour les billets de banque, que l'on s'est préoccupé de déjouer l'adresse des faussaires qui trouvent dans la lithographie, et surtout dans la photographie, des moyens d'action dont il y a lieu de se préoccuper. C'est en imprimant des teintes de fond, sur lesquelles vient se placer l'impression du texte, que l'on contrarie l'exécution d'un report qui ne saurait s'appliquer à une partie seulement de l'encre grasse déposée sur le papier. L'emploi de l'encre bleue, au lieu de l'encre noire, et aussi l'impression simultanée des deux faces sur papier transparent, constituent les obstacles les plus grands que l'on sait aujourd'hui appliquer aux contrefaçons par la photographie, surtout en y ajoutant des rentrées d'impressions de chiffres en noir, obtenues avec des numéroteurs-imprimeurs dont nous avons expliqué le jeu à l'article IMPRIMERIE du *Complément*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PAPIER PEINT. Ce sont les Chinois qui ont les premiers recouvert des papiers de dessins et de fleurs destinés à décorer les appartements, à servir de tentures.

En Angleterre et en France, cette industrie ne commença à prendre quelque importance qu'en s'appuyant sur la fabrication des toiles peintes, dont elle emprunta les procédés. C'est ainsi qu'en 1780, à Chelsea, Georges et Frédéric Echardt imprimèrent des papiers peints, en même temps que des tissus de soie ou de toile; il en fut de même de François, de Rouen; mais ce ne fut qu'à Paris, entre les mains de Reveillon (dont la fabrique fut saccagée au commencement de la Révolution), que cette industrie commença à prendre son essor. Elle a été longtemps toute française et on peut même dire toute parisienne, car c'est au faubourg Saint-Antoine qu'elle a fait tous ses grands progrès, qu'elle a pris son grand développement, en tirant parti des ressources que lui offrait le progrès des sciences, et surtout en étant dirigée par de véritables artistes donnant à ses produits un cachet d'élégance et de bon goût.

Nous allons suivre, pas à pas, les diverses périodes de cette fabrication.

Fonçage. — Pour presque toutes les sortes de papiers peints, à l'exception de celles à très-bas prix, on recouvre le papier d'une teinte plate à l'aide d'une couche de couleurs préparées comme presque toutes celles employées pour la fabrication des papiers peints, c'est-à-dire tenues en suspension dans de la colle et épaissies avec du blanc, habituellement de la craie, pour lui donner de l'opacité.

Pour foncer le rouleau de papier, le fonceur l'étend sur une table, et prend, de chaque main, une brosse dont les soies sont très-longues. Avec la brosse de la main droite, il prend la couleur placée dans un baquet au bout de la table, et l'étend sur toute la surface du papier; puis, avec la brosse de la main gauche, il passe sur les parties non couvertes, en faisant des mouvements circulaires. Viennent ensuite un ou deux enfants, qui passent légèrement de longues brosses rondes ou carrées sur toute l'étendue du rouleau, pour unir le fond et éviter les nuances qui apparaîtraient si ce travail n'était pas fait régulièrement; ensuite, ils placent deux baguettes droites, un peu plus longues que la largeur du rouleau, et prennent chacun une latte de 1 mètre 80 à 2 mètres de longueur. La partie supérieure de la table possède une rainure pour recevoir la baguette; on enlève le papier de la table, et on le place sur des tringles fixées au plafond.

Cette façon se prêtait facilement à une exécution par procédés mécaniques; aussi a-t-elle pu être exécutée ainsi, dès que le problème de la fabrication automatique a été poursuivi pour la fabrication des papiers peints.

La machine à foncer comprend : un système de cylindres sur lesquels circule le papier, qui reste tendu entre deux d'entre eux, à la partie antérieure; un rouleau fournisseur qui plonge d'une part dans un baquet plein de couleur, et d'autre part presse sur le papier à mesure qu'il se déroule; enfin, tout le travail d'égalisation est effectué par une série de grosses brosses rondes, animées d'un mouvement épicycloïdal assez rapide, qui étalent la couleur et rendent la teinte uniforme.

Impression. Le papier, recouvert uniformément de la teinte plate qui forme le fond, est soumis à l'impression des couleurs du dessin, à l'aide de planches semblables aux blocs des imprimeurs sur étoffes, sauf qu'elles sont en général plus larges. Elles sont nécessairement garnies de picots aux quatre coins pour déterminer les rentrures, qui sont une des difficultés de la fabrication à cause des retraits et des allongements du papier, sous l'influence de l'humidité, surtout eu égard à la grande longueur du rouleau. Aussi n'est-ce en général que pour des sujets isolés, des paravents, par exemple, qu'on rentre un très-grand nombre de planches et, par suite, de teintes et de couleurs successives.

Avec toute la facilité que donne le grand relief des gravures pour prendre la couleur sans réunion de traits consécutifs, il faut encore un moyen convenable de prendre la couleur qui, peu épaissie par la colle, à l'état de boue liquide, se prête difficilement à une distribution convenable. On y parvient à l'aide d'un *baquet* analogue à celui des imprimeurs sur étoffes.

Ce baquet est une caisse remplie d'eau sur laquelle on fait reposer un cadre garni d'une peau de basane, dont elle conserve la souplesse; sur ce cuir, on place les châssis mobiles ou les draps fins sur lesquels on égalise la couleur avec une brosse. Il est clair qu'il faut autant de draps que de teintes.

Pour déterminer la pression nécessaire à l'application de la couleur sur le papier, on se sert d'un levier formé d'une longue perche de bois que l'on place sur la planche appliquée sur le papier. L'une des extrémités de ce levier est passée sous une forte traverse, et sur l'autre extrémité un enfant produit une pression considérable par le poids de son corps, après que l'ouvrier a disposé convenablement la planche.

Quand l'ouvrier a successivement appliqué la planche sur toute la surface du papier, il l'étend pour le laisser sécher; puis, par un semblable travail, il applique, en se servant des repères, toutes les teintes à l'aide de planches gravées convenablement, en laissant sécher entre chaque opération.

Impression à l'aide de rouleaux. — La machine à rouleaux gravés en relief (qui convient le mieux pour l'impression du papier qui n'absorbe pas la couleur, qui ne peut, par suite, supporter aucune pression après l'application de la couleur) est arrivée aujourd'hui à un état de perfectionnement très-remarquable. M. Leroy a le premier, à Paris, employé des machines de ce genre à un ou deux rouleaux, qui aient fonctionné industriellement et d'une manière très-satisfaisante. Le principe de ces machines est le même que celui des métiers à surface, que nous avons donné à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES; c'est à l'aide d'un drap sans fin, convenablement tendu, et en partie plongé dans la couleur, qu'on parvient à répartir celle-ci sur les cylindres.

Cette machine réussit admirablement pour faire des rayures de tout genre avec une grande économie. Les rouleaux obtenus facilement en cuivre jaune, à l'aide du tour, viennent déposer la couleur sur le papier. Sur les surfaces larges, cette application est difficile, et il peut arriver souvent que la teinte ne soit pas uniforme, la pression et la vitesse du mouvement déterminant des marbrures. Pour cette fabrication, M. Leroy a atteint la perfection par l'addition d'un châssis portant de petites brosses correspondant aux parties saillantes du rouleau, qui rencontrent le papier après l'action de celui-ci, et égalisent la couleur.

Dans la petite et simple machine dont nous parlons, le papier est pressé sur les cylindres imprimeurs par un gros cylindre couvert de molleton, qui tourne seulement par l'effet de la pression qu'il exerce sur les cylindres. Une manivelle donne le mouvement aux axes des rouleaux, qui sont commandés par des engrenages.

La régularité de la largeur du papier mécanique (mis en général de largeur sur la machine même par des cisailles circulaires) permet au papier, guidé par une partie cylindrique à rebords, sur laquelle il passe avant d'arriver au cylindre, de se représenter assez régulièrement pour que des impressions de raies successives puissent parfaitement s'exécuter.

Le problème de l'impression au rouleau serait entiè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rement résolu à l'aide de machines simples, formées d'un ou deux petits rouleaux mûs à bras, s'il pouvait en être de même dans le sens de la longueur du papier; mais, pour cela, il faudrait des rouleaux de dimensions mathématiques, afin que les rentrures ne laissassent rien à désirer. Resterait encore la difficulté insurmontable des variations de la longueur du papier alternativement mouillé et séché.

Il a fallu arriver à l'application simultanée de toutes les couleurs; les ingénieuses machines de MM. Leroy et Bissonet (qui a travaillé dans la même voie) étaient insuffisantes pour résoudre complétement le problème. C'est à Manchester qu'on y est arrivé, grâce à toutes les améliorations qu'y avait reçu le métier à surface, employé avec persévérance, à cause du bon marché de sa production dans l'impression des toiles peintes. Ce ne sont plus de petites machines à 2 ou 3 cylindres qui sont maintenant employées, mais de grandes machines à 8, 10 et même 20 couleurs.

Nous allons décrire une de ces machines, à 8 couleurs, que construit Gadd de Manchester, pour l'impression des étoffes de laine et des papiers peints. Nous ferons remarquer que le grand obstacle à l'adoption de ces machines résidait dans la difficulté de l'exécution des cylindres gravés, devant être de diamètres égaux pour être bien en rapport, et nécessairement bien plus coûteux que les planches gravées. Toutefois, en vernissant le bois de poirier qui sert à les fabriquer, en chapeautant (garnissant de feutre) les grandes surfaces sur lesquelles la couleur marbre facilement, en appliquant des clichés sur des noyaux, on est arrivé à une fabrication qui a envahi tous les articles de consommation courante, pouvant trouver d'assez grands débouchés pour rembourser des frais d'établissement fort élevés, et ne laisse à la planche plate que les produits de luxe de faible consommation.

La figure 1976 est une coupe de la machine à 8 couleurs de Gadd. B est le gros cylindre creux et renforcé par des bras intérieurs; *c*, *c* sont les rouleaux gravés en relief, fournis de couleur par le drap sans fin ou linge *f*, tournant autour des rouleaux de tension en bois DD. Un petit rouleau est pressé par une vis de manière à appliquer le feutre contre le rouleau fournisseur qui tourne dans une auge à couleur en cuivre G. Deux rouleaux de tension D, D, sont placés près de la surface du gros cylindre et sont mus au moyen de la vis H entre deux glissières; de la sorte le feutre est convenablement pressé contre le rouleau gravé. En quittant le rouleau fournisseur, le feutre passe sous la racle (*le docteur*) I, amené par une vis K près de sa surface.

Le rouleau imprimeur étant en relief, cette machine est débarrassée de la complication de leviers employés pour le rouleau dans la machine servant habituellement pour l'impression des indiennes, et, par suite, est très-simple. Pour les tissus, cette machine ne sert que pour des dessins peu délicats, les contours ne sont pas très-nets; mais les couleurs déposées sur la surface de l'étoffe sont très-riches. Avec du soin et de l'habileté, on obtient avec son aide des papiers peints d'exécution assez satisfaisante, d'une grande richesse de couleurs avec une minime dépense de main-d'œuvre.

Rouleaux gravés en creux. — L'emploi des rouleaux gravés en creux, absolument semblables à ceux qui servent pour l'impression des étoffes, convient pour quelques genres de papier peint, peu chargés en couleur. C'est ainsi que M. Zuber, de Rixheim, près Mulhouse, les emploie, dans sa belle fabrique, pour faire des dessins très-délicats, des tarots de cartes, etc.

Pour imprimer les papiers rayés, M. Zuber a inventé une machine qui est formée essentiellement d'un petit réservoir composé d'autant de compartiments qu'on veut produire de bandes. Ces compartiments, percés d'ouvertures régulières, représentent une série de *tirelignes* liés entre eux et immobiles. On les remplit de couleur, et on fait glisser le papier par-dessous. De cette manière, les couleurs se transmettent sur toute la longueur du papier, avec une régularité parfaite.

Séchage. Le papier est séché sur des perches où il est placé, plié en quatre (le rouleau a 25 pieds de long), ce que font rapidement les enfants qui placent deux bâtons en des points convenablement situés. Ils les posent sur des *ferlets*, espèces de béquilles portant une gorge pour recevoir la baguette, et, l'élevant à l'aide de celle-ci, font passer le papier sur les traverses de la pièce maintenue à une température assez élevée.

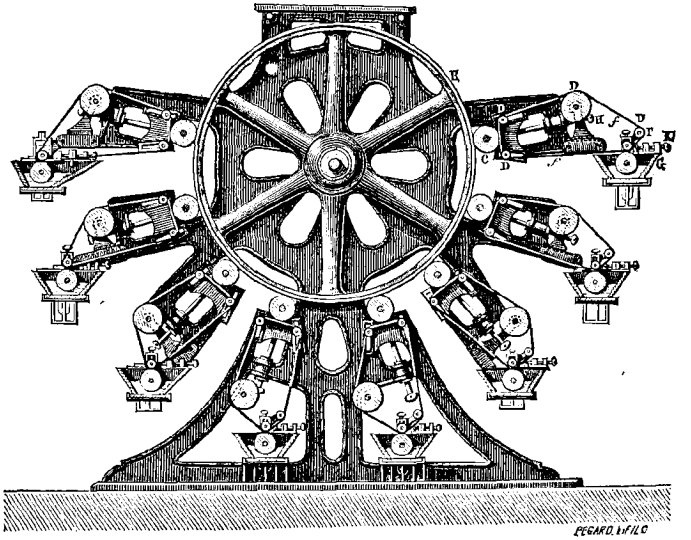


Fig. 1976.

Une plieuse mécanique, inventée en Amérique, s'adapte à la machine décrite ci-dessus, et vient placer les feuilles sur les baguettes de l'étendoir. En rendant celles-ci mobiles, on sèche ces feuilles, en parcourant l'étendoir dans sa longueur ou dans l'allée et le retour au besoin.

Lissage. Le papier séché est redressé par son enroulement (moyen général et nécessaire chaque fois que le papier a été mouillé, que sa surface n'est plus plate). On le lisse à l'aide d'une règle en bois ou d'un petit cy-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lindre en cuivre, que l'on promène sur sa surface, la face colorée étant en dessous. Aujourd'hui, on emploie bien plus fréquemment le satinage mécanique, obtenu en donnant au petit cylindre de cuivre un petit mouvement de va-et-vient. Le papier se déroule, et passe sous la lisse par l'effet de rouleaux d'appel.

Couleurs. Les couleurs employées dans la fabrication des papiers peints sont: Pour le *blanc*, la céruse, le blanc de zinc, le blanc d'Espagne ou la craie.

Pour le *jaune*, les couleurs préparées avec la gaude, la graine d'Avignon ou la graine de Perse, le chromate de potasse, l'ocre.

Pour le *rouge*, les extraits de bois du Brésil.

Pour le *bleu*, le bleu de Prusse, les cendres bleues, le sulfate de cuivre.

Pour le *noir*, les noirs d'os, le charbon.

Pour le *violet*, les extraits de bois de Campêche.

Pour le *vert*, les cendres vertes, et surtout le vert de Schweinfurt, qui est extrêmement riche, mais qui doit être employé avec modération puisqu'il est à base d'arsenic. Les poussières détachées du papier peuvent être nuisibles.

Papiers de luxe. Dans tout ce qui précède, nous nous sommes surtout occupés de papiers mats ou communs; ces procédés reçoivent quelques modifications ou compléments pour des fabrications de luxe, parmi lesquelles on doit distinguer:

1° Les papiers satinés, auxquels on donne le *brillant* ou *satin* au moyen d'un mélange de *sulfate de chaux* ou d'*alumine* qu'on introduit dans la couleur, et en les soumettant à l'action de la brosse;

2° Les papiers *veloutés*, que l'on obtient en fixant sur ce papier de la tontisse de laine avec un mordant composé de céruse broyée et d'huile cuite.

La tontisse provient de la tonte des draps; elle sert après avoir été teinte, moulue, réduite en poussière, puis blutée, afin d'être amenée au degré de finesse voulu pour s'attacher solidement au mordant, avec lequel on a imprimé, lorsqu'on la soulève en poussière.

3° Les papiers *dorés* et *argentés*, pour lesquels on emploie les mêmes procédés que pour les papiers veloutés, c'est-à-dire qu'on imprime d'abord le dessin qu'on veut obtenir avec le *mordant gras*, puis on le recouvre avec des feuilles minces de métal. Le papier doré se fait avec de l'*or faux;* il n'en est pas de même pour le papier argenté, pour lequel on emploie l'argent pur.

4° Enfin les *papiers gaufrés*. On a reproduit avec succès les beaux cuirs de Cordoue, au moyen de cylindres laminoirs portant l'un creux, l'autre en saillie, les parties qui doivent former le relief. On peut se servir de cette machine pour gaufrer des cuirs, mais surtout on peut obtenir à bien meilleur marché, avec du papier fort, des produits qui imitent parfaitement le cuir gaufré. Ce papier ayant reçu un fond par une première impression, de la teinte des saillies, imprimée au vernis gras, reçoit une seconde teinte, celle du fond, pendant le gaufrage, le rouleau gravé en creux faisant office de cylindre imprimeur, étant encré au moyen d'un encrier tout à fait semblable à celui d'une presse typographique mécanique. Ces deux teintes différentiant bien le fond et le relief, produisent un bel effet et notamment rendent tout à fait l'effet du cuir. On peut y ajouter des dorures et reproduire les modèles les plus riches.

Papiers de fantaisie. On comprend sous cette dénomination tous les papiers dorés et argentés, peints ou imprimés, unis, découpés, les papiers-porcelaine blancs ou peints, destinés à la reliure et aux cartonnages.

Papiers marbrés. Les papiers marbrés sont obtenus par un procédé tout particulier, qui consiste essentiellement à projeter des gouttes de couleur sur de l'eau suffisamment épaissie, à les agiter de manière à produire des formes plus ou moins bizarres, enfin à appliquer un papier sur cette surface, laquelle s'imprime par simple adhérence des couleurs; il n'y a plus qu'à laisser sécher et à satiner.

Le bain, les eaux s'obtiennent avec de l'eau dans laquelle on fait dissoudre de la gomme et dans laquelle on a fait quelquefois bouillir de la graine de lin, qu'on a amenée, en un mot, à un degré d'épaississement convenable.

Les couleurs sont mélangées de fiel de bœuf, étendues au besoin d'alcool et d'eau dans des proportions égales. Ces couleurs sont projetées à la surface de l'eau, puis avec un peigne, formé de tringles de bois munies de dents, amenées à toucher la surface, on forme pour chacune d'elles une onde, un frison, et on continue cette action de place en place. Le dessin varie donc suivant qu'on a brouillé les couleurs, ce que l'ouvrier apprend à faire de manière à obtenir un genre de papier voulu.

Pour imprimer la feuille, il faut la déposer sur l'eau du baquet en commençant par un bout, puis on la relève couverte des couleurs adhérentes, formant les dessins résultant de la manière dont elles ont été déposées et des mouvements du peigne.

Papier dentelle. C'est en France qu'on a inventé cette fabrication de papier mince percé à jour et imitant la dentelle, pour l'enveloppe des bonbons et la décoration des reliquaires. Nos marchands d'estampes l'ont fait servir à la bordure de l'imagerie religieuse, et la France fournit aujourd'hui au monde catholique entier, des images de saints et des emblèmes religieux relevés par des applications d'or, d'émail, de velours, etc., tous ornés d'un entourage en papier-dentelle.

Ce papier est obtenu à la main par le choc répété de marteaux en plomb sur le papier, placé sur une matrice en fer portant le dessin gravé, jusqu'à usure du papier sur les arêtes de celle-ci.

PARAFFINE. Substance blanche, solide, dont la densité = 0,870, fusible vers 44°, et dont les caractères physiques ont une certaine analogie avec ceux du blanc de baleine. On la retire des huiles pesantes, derniers produits de la distillation à sec du goudron obtenu en distillant du bois, des schistes bitumineux ou des pétroles. La paraffine a exactement la composition élémentaire de l'hydrogène bi-carboné; elle est susceptible de remplacer la cire et le blanc de baleine dans la fabrication des bougies.

On l'emploie, en effet, sur une assez grande échelle pour cet usage. A la température ordinaire la paraffine est assez dure pour constituer un produit de belle apparence, grâce à sa demi-transparence, mais le peu d'élévation de point de fusion force à lui ajouter 10 à 15 pour 100 de stéarine. Pour obtenir de la transparence il faut que le moule soit plus chaud que la matière à couler.

PARALLÉLOGRAMME ARTICULÉ. Le parallélogramme employé comme guidé de mouvement rectiligne a été décrit à DIFFÉRENTIEL, où l'on peut voir comment ses propriétés résultent d'une combinaison d'effets assez complexe et qu'il fallait le génie de Watt pour bien comprendre, à une époque où la théorie n'existait pas, au point de vue géométrique, car au point de vue dynamique la propriété de remplacer des frottements de glissement, par ceux si minimes des articulations, était bien plus facile à apercevoir. Nous insisterons ici sur quelques progrès de la théorie géométrique du parallélogramme.

La fig. 1 représente le parallélogramme articulé sous la forme adoptée par Watt.

Le demi-balancier de la machine AB porte de petites bielles $ed = bf$ et une troisième barre df qui lui est parallèle et égale à be. Une bride Cd s'articule à l'angle d du parallélogramme, et tourne autour d'un point fixe C, tel que l'horizontale menée par ce point divise en deux parties égales l'angle décrit par le balancier. Il s'agit de proportionner la longueur des tiges de telle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sorte que f, qu'on nomme quelquefois le point parallèle, se meuve sur la même verticale ou à très-peu près.

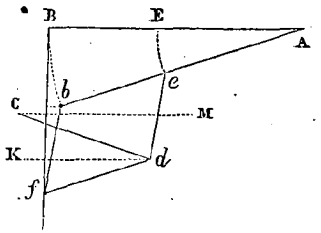


Fig. 1.

Soit donc $AE = Ae = R$, $be = fd = R_1$, $Cd = r$.

Menons Kd et CM parallèles à AB, on a $Kdf = BAb = \theta$ et posons $MCd = \varphi$.

Le point d est porté vers K, lorsqu'il se meut, d'une quantité égale à $Cd \times$ sin. vers. $\varphi = r$ sin. vers. φ, et le point f décrit simultanément ce chemin et un autre en sens opposé par le changement d'inclinaison de df, qui est égal à $df \times$ sin. vers. $fdK = R_1$ sin. vers. θ.

Si ces deux chemins sont égaux, le point f demeure sur la verticale Bf, ce qu'il s'agit d'obtenir.

Donc on posera:

$$r \text{ sin. vers. } \varphi = R_1 \text{ sin. vers. } \theta, \text{ ou } \frac{r}{R_1} = \frac{\text{sin.}^2 \frac{\theta}{2}}{\text{sin.}^2 \frac{\varphi}{2}}.$$

Mais les leviers Ae, Cd, réunis par la bielle ed, fournissent la relation très-approchée:

$$Ae \text{ sin. } \frac{\theta}{2} = Cd \text{ sin. } \frac{\varphi}{2}, \text{ ou } R \text{ sin. } \frac{\theta}{2} = r \text{ sin. } \frac{\varphi}{2},$$

à très-peu près, d'où:

$$\frac{r^2}{R^2} = \frac{r}{R_1} \quad \text{et} \quad r = \frac{R^2}{R_1}.$$

c'est-à-dire que Ae doit être moyenne proportionnelle entre Cd et df ou be.

Le père Carbonnel (Mémoires de l'Académie de Belgique) a déterminé d'une manière générale, par des recherches analytiques, les proportions des éléments du parallélogramme qui assurent la plus grande étendue possible au mouvement circulaire du balancier, et au mouvement rectiligne de la tige du piston (dans l'application faite à la machine à vapeur), en même temps qu'elles donnent à ce dernier mouvement toute la rectitude dont il est susceptible. Il est arrivé par une analyse approximative aux conclusions suivantes:

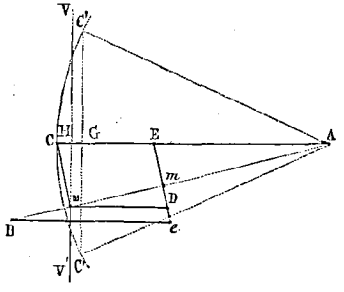


Fig. 2.

La direction V V' du mouvement rectiligne (fig. 2) coupant le rayon horizontal A C divisant en deux parties égales la course totale C'C' au milieu de la distance qui sépare le point C de la droite C' C'; le point E doit être situé au milieu du demi-balancier A C: le côté Ee doit être pris aussi grand que la machine le comporte.

Ces résultats confirment pleinement les règles de Watt, qui prenait le point E au milieu du balancier, et Ee compris entre $\frac{3}{7}$ et $\frac{4}{2}$ de C'C', et $AG = \frac{3}{2}$ C'C'.

Dans un travail inséré dans les Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg, un analyste russe fort distingué, M. Tchébychew, a critiqué le point de départ adopté depuis Watt, permettant une déviation maximum entre le milieu et chaque point extrême, et a montré qu'il ne conduisait pas à la meilleure solution possible.

Si l'on trouve, dit-il, qu'il y ait un avantage particulier à donner à la tige du piston la direction tout à fait exacte au commencement, au milieu et à la fin de la courbe, les proportions qu'on trouve d'après la méthode exposée ci-dessus sont évidemment les seules qui remplissent cette condition. Mais ce cas n'est pas le plus favorable pour la précision du jeu du parallélogramme dans les autres points de la course du piston. Quant à la position la plus avantageuse de la tige du piston par rapport au balancier, le principe précédent ne nous la donne pas. D'après la théorie que nous proposons, la tige du piston doit être plus ou moins rapprochée du centre du balancier, selon les dimensions du parallélogramme, et, dans les cas les plus ordinaires, sa direction ne passera pas par le milieu du sinus-verse de l'arc décrit par l'extrémité du balancier. Ainsi, dans le cas où le parallélogramme de Watt est construit sur la demi-longueur du bras du balancier (comme Watt l'a fait lui-même, et comme on doit le faire si l'on est maître de disposer des dimensions du parallélogramme), on diminue notablement la limite de la déviation de la tige de sa direction normale, en l'approchant du centre du balancier plus qu'on ne devrait le faire d'après le principe dont nous venons de parler, savoir: 1° si, dans le cas où l'on cherche à rendre la position de la tige tout à fait verticale au commencement, au milieu et à la fin de la course, on prenait pour sa direction la ligne qui divise le sinus-verse de l'arc décrit par l'extrémité du balancier dans le rapport de 2 à 1, et 2° si, dans le cas où l'on ne cherche pas l'exactitude absolue dans les deux positions extrêmes de la tige, on prenait pour sa direction la ligne qui divise ce sinus-verse dans le rapport de 5: 3.

Dans le dernier cas, la tige-guide ne sera plus déterminée par les positions limites du balancier; on doit pour cela prendre les positions qui les précèdent à peu près d'un quarantième de l'amplitude de l'oscillation. Quelque petites que soient les modifications dans la construction du parallélogramme de Watt que nous venons de mentionner, et qui ne sont que des résultats approximatifs tirés de nos formules, elles augmentent notablement la précision de son jeu. A l'aide de l'analyse on peut facilement s'assurer qu'avec ces modifications, la limite de déviation de la tige par rapport à la ligne verticale diminue de plus de moitié.

Cela prouve que le principe qui est la base de la théorie actuelle du parallélogramme est loin de réduire au *minimum* la limite de ses déviations.

C'est en poursuivant, dans une savante analyse, le *minimum* absolu des écarts, grâce à un maniement très-habile des ressources de l'analyse mathématique la plus élevée, que l'auteur est parvenu aux résultats ci-dessus.

Losange articulé de M. Peaucellier. Le commandant du génie Peaucellier, en appliquant une des plus élégantes méthodes de la géométrie moderne, celle de la transformation par rayons vecteurs réciproques, est arrivé à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

solution théoriquement complète du problème que Watt s'était proposé, à guider rigoureusement en ligne droite une tige maintenue par des articulations.

Soit O (fig. 3) un point fixe pris sur une circonférence,

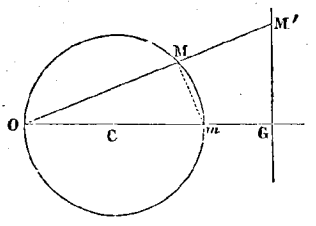


Fig. 3.

m l'autre extrémité du diamètre OC, M un point quelconque de la circonférence.

Soient G et M' deux points déterminés par les relations $OM \times OM' = \text{const.} = Om \times OG$.

Joignons M m. La relation ci-dessus peut s'écrire

$$\frac{OM}{OG} = \frac{Om}{OM'}.$$

Les deux triangles OMm, OGM' sont donc semblables; et comme l'angle OMm est droit, il en est de même de OGM'. Le lieu de M' est donc la perpendiculaire élevée en G sur le diamètre OC.

Cela posé, O et A étant deux points fixes liés au bâtis de la machine (fig. 4); OC, OB deux tiges rigides tournant librement et indépendamment l'une de l'autre autour de O; MBM'C est un losange articulé; MA une tige rigide tournant autour de A et articulée en M.

1° Les trois points O, M, M' restent toujours en ligne droite; car chacun d'eux est toujours à égale distance des deux points B et C, et placé sur la bisectrice de l'angle BOC;

2° Le produit $OM \times OM'$ est constant, car il est égal au carré de la tangente menée du point O au cercle décrit par le point B comme centre avec BM = BM' comme rayon;

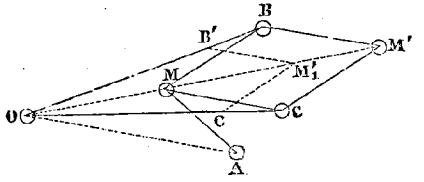


Fig. 4.

3° MA étant constant et A fixe, M décrit une circonférence sur laquelle est placé le point O si OA = MA, et alors, d'après le théorème précédent, M' se mouvra sur une droite perpendiculaire à OA. Pour une machine à vapeur O serait le centre du balancier et la tige du piston serait assemblée en M'.

Remarques. — I. Si l'on prend sur OB et sur OC OB' = OC' et que l'on articule en B', C' et M'$_1$ deux tiges égales B'M'$_1$ et C'M'$_1$, telles que $\frac{OB'}{OB} = \frac{B'M'_1}{BM'}$, le lieu de M'$_1$ sera une courbe homothétique du lieu de M'; une droite si le lieu de M' est une droite, et par suite ce point pourra servir à guider une seconde tige en ligne droite.

II. La solution approchée de Watt se trouve aussi dans la fig. 4; en effet la courbe à longue inflexion de Watt est le lieu des points situés vers le milieu d'une droite de longueur constante qui se meut sur deux circonférences; or la droite MC et la droite MB s'appuient toutes deux sur les deux circonférences décrites de O et de A comme centres, avec OB et AM pour rayons: donc le milieu de ces droites décrit la courbe à longue inflexion. Il est curieux d'observer que le système de doubles côtés symétriquement placés du losange a pour effet d'annuler les déviations par des actions opposées.

La figure 5 représente une disposition proposée par

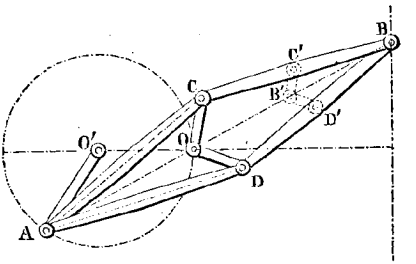


Fig. 5.

le même auteur plus applicable que la précédente et convenable pour de longues courses de piston. O est le centre de rotation fixe, O' un autre point fixe qui au moyen du rayon O'A = OO' force l'extrémité A à rester sur un cercle passant par O. Le balancier est composé de six tiges articulées AC = CB = BD = AD et aussi OC = OD. Un point B' réuni par des articulations parallèles à OC et OD décrira une droite parallèle à celle décrite par le point B.

PARATONNERRE (*angl.* thunder-conductor, *all.* blitzableiter). Tout le monde connait les effets terribles de la foudre et leur similitude avec ceux que produit la décharge d'une puissante batterie électrique. Cette découverte, due à Franklin, le conduisit à la découverte des paratonnerres. Ceux-ci se composent d'une tige métallique pointue, qui s'élève dans l'air, et d'un conducteur qui descend de l'extrémité inférieure de la tige jusqu'au sol. Les conditions nécessaires pour qu'ils puissent produire leur effet sont: 1° que la pointe de la tige soit bien aiguë; 2° que le conducteur communique parfaitement avec le sol; 3° que depuis la pointe jusqu'à l'extrémité inférieure du conducteur, il n'y ait aucune solution de continuité; 4° que toutes les parties de l'appareil aient des sections convenables.

La tige d'un paratonnerre a environ 9^m,25 de longueur; elle se compose habituellement de trois pièces ajustées bout à bout, savoir: une barre de fer de 8^m,60, une baguette de laiton de 0^m,60, et une aiguille de platine de 0^m,05; leur ensemble forme un cône qui s'amincit régulièrement jusqu'au sommet, et dont la base a 0^m,05 de diamètre. L'aiguille de platine est soudée à la baguette de laiton avec de la soudure d'argent, et on enveloppe encore cette jonction avec un petit manchon de cuivre. La baguette de laiton se réunit à la barre de fer au moyen d'un goujon qui entre à vis dans toutes deux; ce goujon est ensuite fixé dans chacune d'elles par deux goupilles à angle droit. Pour ajuster la tige au-dessus du bâtiment, on perce le toit, et on la fixe avec des brides ou des étriers solides, soit contre un poinçon, soit contre le faîtage. Au bas de la tige, à 0^m,08 du toit, on soude une embase destinée à rejeter l'eau. Un peu au-dessous de l'embase, sur 0^m,05 de longueur, la tige est cylindrique et parfaitement rodée pour recevoir un collier brisé à charnière, qui doit réunir la tige au conducteur. Ce dernier consiste, tantôt en une barre de fer carrée de 0^m,015 à 0^m,020 de côté, tantôt en un câble

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en fil de fer qui descend jusqu'au sol. On soutient ce conducteur au moyen de pattes appliquées sur la couverture et le long du mur, de manière à soulager le point d'attache. Si l'on a à sa disposition un puits qui ne tarisse pas, ou si, avec une petite sonde, on peut atteindre une profondeur où l'eau soit permanente, il suffira d'y faire arriver le conducteur, en le divisant en plusieurs branches. Pour multiplier le contact, on mènera le conducteur au puits ou au trou par des tranchées creusées dans la terre, que l'on remplira ensuite avec de la braise de boulanger. On aura, de cette manière, le double avantage de préserver le fer de la rouille, et de le mettre déjà en contact avec cette braise, qui est un très-bon conducteur. On emploie avec succès du fer zingué, dit fer galvanisé, pour prévenir l'oxydation. Lorsque l'on n'aura pas d'eau, il faudra chercher au moins un lieu humide et y mener le conducteur par une longue tranchée, dans laquelle il sera bien enveloppé de braise. On pourra même alors, pour plus de sécurité, former des tranchées perpendiculaires à la première, et plus ou moins longues, dans lesquelles on fera passer des ramifications du conduit.

L'expérience a démontré qu'une tige de paratonnerre de 9 à 10 mètres de hauteur, établie suivant les règles ci-dessus, garantit des effets de la foudre tout ce qui est autour d'elle dans un cercle de 20 mètres de rayon, c'est-à-dire à peu près double de sa hauteur.

PARCHEMIN (*angl.* parchmend, *all.* pergament). Voyez TANNAGE.

PAREMENT, PAROU. Voyez TISSAGE.

PARFUMERIE. La parfumerie est l'art de préparer les pommades, les eaux odoriférantes, les pastilles du sérail, etc. Nous allons indiquer sommairement les méthodes que l'on suit en général, en les faisant suivre de recettes de préparation des produits les plus répandus, et d'abord des essences, base de toute fabrication en parfumerie.

ESSENCES POUR PARFUMERIE. Les nombreuses essences dont on fait usage en parfumerie, qui servent à aromatiser les bonbons ou qui sont employées en pharmacie, forment l'objet d'une industrie spéciale assez importante. La fabrication de ces produits est surtout assez active dans quelques localités du midi de l'Europe, principalement à Grasse (Var), et en Sicile, où le climat favorise la culture des plantes aromatiques et augmente leur richesse en principes volatils.

On emploie les essences sous plusieurs formes : tantôt pures, tantôt associées à divers véhicules, tels que l'alcool, l'eau, l'huile, l'axonge, etc. Généralement on les extrait des parties aromatiques des plantes, en soumettant celles-ci à la distillation avec de l'eau. Pour quelques essences, M. Méro a remplacé avec avantage l'eau bouillante par un courant de vapeur. Quoi qu'il en soit, la vapeur d'eau entraîne l'essence et se condense avec elle par le refroidissement. Les eaux ainsi condensées, et qu'on peut séparer facilement de l'essence, ordinairement moins dense, tiennent en dissolution une petite quantité de cette dernière. On les appelle *eaux distillées*, et quelques-unes d'entre elles sont l'objet d'une fabrication spéciale. Certains parfums sont tellement altérables, que le contact de l'eau bouillante suffirait pour les modifier ou même les détruire. On parvient à les extraire sans altération des fleurs qui en sont chargées en mettant celles-ci en contact avec un corps gras, comme l'huile ou l'axonge, qui les dissolvent et qui peuvent à leur tour les céder à un autre véhicule, tel que l'alcool. Les produits connus en parfumerie sous le nom d'*extraits alcooliques aux fleurs* sont obtenus de cette manière. Ajoutons que quelques essences sont préparées par expression. Ce procédé s'applique principalement aux huiles volatiles contenues dans le zeste des Hespéridées. Pour l'appliquer, on roule les oranges ou les citrons à froid dans une écuelle garnie de pointes, qui, en piquant l'écorce, en font sortir l'essence. Celle-ci se réunit dans un tube placé au fond de l'écuelle. L'essence ainsi obtenue est la plus estimée. Après cette opération, on râpe l'écorce des fruits, et cette râpure, distillée avec de l'eau, fournit une qualité d'essence beaucoup moins estimée que la première.

On obtient avec les fleurs les essences de jasmin, de rose, d'églantine, de camomille, de lavande (*lavandula vera*), d'aspic (*lavandula spica*), de néroli bigarade, de néroli Portugal.

On retire des fruits les essences de bigarade, de bergamote de Portugal, de citrons, de cédrat, de citronine.

On obtient avec les tiges, feuilles et bourgeons, les essences de petit grain (obtenue, avec les feuilles et brouts des orangers et citronniers), de myrte, de romarin, de laurier, de sabine, de verveine, de géranium, de menthe, de tanaisie, de marjolaine, de sauge, de fenouil, d'origan, d'absinthe, de céleri, de thym, etc.

Enfin, on retire des graines les essences d'anis, de coriandre, de persil, de carvi, de cumin, etc. (Voyez PARFUMS, *Complément*, le procédé de M. Millon.)

Rien n'est plus varié que la composition de ces essences naturelles. Quelques-unes ne renferment que du carbone et de l'hydrogène; chez quelques autres, l'oxygène vient s'associer à ces éléments : beaucoup d'entre elles constituent des mélanges d'hydrogène carboné et des principes oxygénés.

Une des essences oxygénées les plus remarquables nous arrive, depuis quelques années, de New-Jersey, en Amérique : c'est l'essence de Wintergreen ou de Gaultheria, qu'on retire, par la distillation, d'une espèce de bruyère, la *Gaultheria procumbens*. Il résulte des belles recherches de M. Cahours, que cette essence est une sorte d'éther composé, qui a été envisagé comme le salicilate de méthyle. L'existence, dans le règne végétal, d'un composé analogue aux éthers, peut faire supposer que quelques-uns des parfums qu'exhalent les fleurs, ou, en général, les parties odorantes des végétaux, sont dus à des combinaisons du même genre. S'il en est ainsi, il est permis d'espérer qu'on parviendra à en former quelques-uns artificiellement. L'expérience semble même avoir confirmé cette prévision. Voyez l'article ESSENCES ARTIFICIELLES, *Complément*.

Pommades. La meilleure matière à prendre comme base des pommades est la moelle de bœuf. On pile la graisse brute dans un mortier, on la fond au bain-marie et on la passe à travers une toile. Le moyen le plus simple et le plus usité pour la parfumerie consiste à y verser, lorsqu'elle est encore fluide, et quelques instants avant sa solidification, une petite quantité d'essence odoriférante, et de mélanger le tout. Lorsque l'on est sur les lieux où se trouvent les fleurs, comme à Grasse, en Provence, on fait fondre le mélange des graisses, on y jette une certaine quantité de fleurs, on brasse le tout ensemble, et on laisse refroidir; après vingt-quatre heures, on porte le mélange sous une forte presse, et on en exprime à chaud la graisse, que l'on traite, comme ci-dessus, à plusieurs reprises, avec de nouvelles fleurs, jusqu'à ce qu'elle ait acquis un parfum assez prononcé. On prépare de cette manière, en Provence, une grande partie des pommades à la rose, aux fleurs d'oranger, etc. On prépare de la même manière, avec de l'huile d'olive la plus pure, la plupart des huiles parfumées.

Les pommades et huiles au jasmin, à la tubéreuse, à la jonquille, à la violette, etc., ne peuvent se préparer comme il vient d'être dit, parce que la chaleur altérerait le principe odoriférant ou huile essentielle que renferment ces fleurs. On suit alors un autre procédé : pour les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pommades, on a des châssis carrés en bois dont le fond est fermé par une plaque de verre, que l'on recouvre d'une couche mince de graisse purifiée ; on remplit ensuite les châssis avec des fleurs, on les superpose et on les laisse ainsi plusieurs jours jusqu'à ce que la matière grasse ait absorbé toute l'huile essentielle des fleurs ; on enlève alors celles-ci et on les remplace par des fleurs fraîches. La préparation des pommades, par ce procédé, dure de deux à trois mois. Pour les huiles on agit de la même manière, à cette différence près que le fond des châssis est formé non d'une plaque de verre, mais d'une toile imbibée d'huile d'olive de première qualité, qui, une fois imprégnée de l'essence des fleurs, est séparée par pression des toiles.

EAUX DE SENTEUR. A Grasse, on prépare ordinairement ces eaux ou *esprits* en faisant digérer un mélange, en proportions variables, d'huiles grasses parfumées, avec un volume égal d'esprit-de-vin, en ayant soin d'agiter fréquemment pendant plusieurs jours, puis laissant reposer et décantant l'esprit qui surnage, et qui s'est emparé des huiles essentielles qui étaient en dissolution dans les huiles grasses. A Paris, on prépare habituellement ces eaux en dissolvant dans de l'esprit-de-vin, les huiles essentielles obtenues par la distillation des fleurs avec de l'eau. Néanmoins, comme certaines essences s'altéreraient par ce traitement, on est obligé dans quelques cas de recourir au procédé de Grasse. Comme exemple du procédé parisien, nous indiquerons la préparation de l'*eau de mille fleurs*, qui se fait en mélangeant :

Esprit-de-vin.	9	litres
Eau de fleurs d'oranger. . . .	4	—
Baume du Pérou.	60	grammes
Essence de bergamotte. . . .	120	—
Essence de girofle.	60	—
Essence de néroli.	15	—
Essence de thym.	15	—
Essence de musc.	120	—

L'essence de musc se prépare en faisant digérer au soleil, pendant deux mois, 15 gram. de civette et 75 gram. de musc dans deux litres d'esprit-de-vin ambré.

Nous ajouterons encore quelques mots sur la plus connue de ces eaux, l'*eau de Cologne*. Jean-Marie Farina, l'inventeur de ce produit, le préparait comme il suit : on prend, esprit-de-vin rectifié, 300 kil. ; mélisse et menthe de Notre-Dame, de chaque, 350 gram. ; roses et violettes, de chaque, 120 gram. ; fleurs de lavande, 60 gram ; absinthe, 30 gram. ; sauge et thym, de chaque, 30 gram. ; acore, fleurs d'oranger, noix de muscade, mâcis, clous de girofle et cannelle, de chaque, 15 gram. ; camphre et racine d'angélique, de chaque, 8 gram. On fait digérer pendant vingt-quatre heures le tout dans l'esprit-de-vin, avec deux oranges et deux citrons coupés en tranches, on distille au bain-marie et on recueille les 200 premiers kilogrammes qui passent à la distillation. A ce produit on ajoute : essence de citron, de cédrat, de mélisse et de lavande, de chaque, 45 gram. ; essences de néroli et de romarin, de chaque, 15 gram. ; essence de jasmin, 30 gram. ; essence de bergamotte, 350 gram. ; on mélange bien, on filtre et on met l'eau dans des flacons. On prépare également l'eau de Cologne par simple mélange, sans distillation, mais les produits obtenus n'ont jamais une odeur aussi suave. Une recette plus simple que la précédente, et due à Cadet de Gassicourt, consiste à mélanger 2 litres 1/4 d'esprit-de-vin, ayant une densité de 0,8638, avec 8 gram. de graines de cardamome, et essences de néroli, de cédrat, d'orange, de citron, de bergamotte et de romarin, de chaque, 24 gouttes ; à distiller au bain-marie et à recueillir 1 litre 3/4.

On prépare de la même manière des vinaigres de senteur, par infusion ou distillation, en remplaçant l'esprit-de-vin par du vinaigre.

Pastilles du sérail. Se font avec un mélange de charbon finement pulvérisé, de nitre et de substances odorantes, en grande partie des gommes-résines, que l'on façonne en petits cônes ou trochisques, après y avoir ajouté un peu de mucilage de gomme arabique et adragante, que l'on laisse ensuite sécher. Lorsqu'on allume une de ces pastilles, elle brûle en fusant, en vertu du nitre et du charbon qu'elle renferme, et en répandant une odeur agréable.

A 24 grammes d'oliban en larmes ;
24 — de storax en larmes ;
16 — de nitre ;
et 124 — de charbon pulvérisé, on ajoute, pour des pastilles à la rose :
32 grammes de feuilles de rose sèches pulvérisées ;
2 — d'essence de rose.
Pour des pastilles à la fleur d'oranger :
24 grammes de galbanum ;
32 — d'écorce d'orange sèche pulvérisée ;
2 — d'essence de néroli.
Et pour des pastilles à la vanille :
24 grammes de galbanum ;
16 — de girofle ;
32 — de vanille ;
1 — d'essence de girofle ;
16 — d'essence de vanille.

On pulvérise très fin tous ces ingrédients, on les mêle avec un mucilage de 4 grammes de gomme arabique dans 2/3 de décilitre environ d'eau pure ou d'eau de rose, et on façonne la pâte en petits cônes, que l'on fait sécher.

On prépare d'une manière analogue des esprits odoriférants que l'on brûle, et dans lesquels on remplace presque toujours la vanille par du benjoin.

Nous indiquerons encore la composition d'une poudre très employée, soit pour les cassolettes, et alors on en jette une pincée dans une cassolette ou sur un poêle chaud, soit pour remplir des sachets odoriférants. On prend : cannelle, cassia et girofle, de chaque, 65 gram. ; iris de Florence et storax en larmes, de chaque, 97 gram. ; roses de Damas et fleurs de lavande, de chaque, 160 gram. ; essences de girofle, de cédrat, de lavande et de bergamotte, de chaque, 2 gram. ; essence de néroli, 1 gram. On hache tous les ingrédients solides et on les réduit en fragments de la grosseur d'un grain d'orge mondé, au plus, on en sépare la poussière au tamis de crin ; on les mélange ensemble et on arrose le tout avec les essences ci-dessus, que l'on a d'abord dissoutes dans le triple de leur poids d'esprit-de-vin.

Pâtes d'amandes. La pâte grise ou *bise*, en poudre, se prépare avec des noyaux d'abricots ou des amandes amères, que l'on broie et que l'on soumet ensuite à l'action d'une presse pour en extraire l'huile ; on fait sécher le résidu, on le broie et on le tamise. On agit de même pour les pâtes blanches, à cela près qu'on fait d'abord bouillir les amandes dans de l'eau afin d'en enlever la peau. On emploie pour ces pâtes tantôt des amandes douces, tantôt des amandes amères.

Les *crèmes* ou pâtes liquides d'amandes se préparent avec les pâtes sèches précédentes ; l'une des plus estimées se prépare en pétrissant ensemble : miel et pâte blanche d'amandes amères, de chaque, 250 gram. ; huile d'amandes amères, 500 gram. ; et quatre jaunes d'œufs.

PASTEL. On donne ce nom à une plante crucifère d'où l'on retire une petite quantité d'INDIGO (voyez ce mot). On désigne également sous le nom de pastel un genre de dessin qui se fait avec des crayons de pâte colorée, dont nous avons décrit la préparation à l'article CRAYONS.

PASTILLES. Nous dirons seulement ici quelques mots sur la fabrication des pastilles que préparent les confiseurs, et qui portent le nom de pastilles à la goutte. Prenons pour exemple les pastilles de menthe : on pren-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dra du sucre bien blanc, que l'on pulvérise fin et que l'on délaie avec de l'eau distillée de menthe poivrée, de manière à en former une pâte assez consistante, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'essence de menthe. Cette opération se fait dans un petit poëlon à fond rond et à bec ; on chauffe ensuite la pâte sur un feu très doux, et, dès qu'elle a acquis assez de fluidité, on la coule goutte à goutte sur des feuilles de fer-blanc, en détachant avec une aiguille à tricoter chaque goutte, à mesure qu'elle se présente à l'extrémité du bec. Aussitôt qu'elles sont figées sur la feuille de fer-blanc, on les en détache par une légère secousse et on les met sur des tamis de crin pour les faire sécher à l'étuve. On prépare les pastilles à la goutte, dont une moitié est blanche et l'autre colorée, en se servant d'un poëlon partagé, dans le sens du bec, dans tout son diamètre et sa profondeur, par un diaphragme qui sépare les deux pâtes de manière à ce qu'elles ne s'accolent que pendant la coulée. On fait aussi des pastilles à la goutte qui sont transparentes ; on les nomme pastilles au bijou. Elles diffèrent des précédentes en ce que l'on chauffe assez pour liquéfier entièrement le sucre. On les coule de la même manière, mais comme elles se concrètent en tombant, elles prennent la forme sphérique.

PATES MOULÉES. On remplace actuellement, par économie, les ornements de sculpture qu'on faisait autrefois à grands frais, sur le champ des cadres, les panneaux des portes d'appartements, etc., par des pâtes moulées qu'on applique ensuite, en les fixant avec de la colle et même des pointes fines, à la place que l'on désire. Ces pâtes se font ordinairement en papier mâché, en râpures de bois ou en blanc d'Espagne.

Les pâtes moulées en papier mâché se font avec du papier réduit en pâte, ou de la pâte à papier ; cette pâte, privée de son excès d'eau par la pression, est étendue dans un moule en bois dur, ou mieux en plâtre broyé avec du lin, et comprimée d'abord à la main, puis avec un linge ; on laisse ensuite sécher lentement à l'air, et on couvre souvent avec une ou plusieurs couches de blanc d'Espagne délayé avec de la colle. Ces objets peuvent être dorés ou peints.

Les pâtes en sciure de bois se font en faisant fondre séparément 5 parties de colle de Flandre et 1 p. de colle de poisson, dans assez d'eau pour obtenir une colle très claire, que l'on passe à travers un linge, et on les mêle ; la liqueur doit former une gelée très faible par le refroidissement. On la chauffe de manière à ce que le doigt puisse à peine y rester plongé ; on y incorpore de la sciure de bois passée au tamis ; on étend une couche de quelques millimètres de cette pâte dans un moule de plâtre ou de soufre graissé d'huile de lin, et on coule par dessus une autre pâte faite avec les portions de sciure qui n'ont pu passer au tamis, que l'on comprime et que l'on charge ensuite d'une planche sur laquelle on met des poids. Cette pâte prend parfaitement la peinture et la dorure.

Les pâtes moulées en blanc d'Espagne se font en pétrissant un mélange de colle et de blanc d'Espagne, que l'on moule ensuite comme ci-dessus. On les emploie surtout pour ornements de cadres ; on les recouvre de plusieurs couches de blanc à la colle, on répare et on dore.

PAVAGE. PAVÉ. Le premier de ces mots désigne l'action de paver, ou l'ouvrage fait avec des pavés ; le second s'applique aux cailloux, aux morceaux de grès, et en général à tous les matériaux qui servent à paver.

Les Carthaginois, les premiers, pavèrent les rues de leur ville : *Primum autem pœni dicuntur lapidibus stravisse* (Isidori Hisp. épis. orig. lib. XV, cap. 16). Les rues de Rome ne furent pavées que 188 ans environ après l'expulsion des rois, sous le consulat d'Appius Claudius ; et la première route pavée construite par les Romains le fut sous le consulat d'Aurélius Cotta, c'est-à-dire 512 ans après la fondation de Rome. Paris ne commença à l'être que vers 1185, sous Philippe-Auguste. Suivant Dulaure (*Hist. de Paris*, 1er vol.), on ne pava sous ce roi que les rues formant ce que l'on appelait la *croisée de Paris*, c'est-à-dire deux rues se croisant au centre de cette capitale, et dont l'une allait du sud au nord, et l'autre de l'est à l'ouest. Ce pavé se composait de grosses dalles ou carreaux de grès d'environ 0m,09 de long sur 0m,16 d'épaisseur. En creusant la tranchée de l'égout de la rue Saint-Denis (10 février 1832), on a trouvé deux anciennes voies. L'une, qui, enfoncée à environ 0m,19 au-dessous du sol, était pavée avec de larges blocs de pierres et quelquefois de grès : c'est l'ancien pavé de Philippe-Auguste ; l'autre, plus enfoncée encore, est à environ 0m,09 de la première, était recouverte par un cailloutis. C'est l'ancienne voie romaine du temps des empereurs.

Les chaussées se divisent en deux grandes classes, suivant leur mode de construction, ce sont : 1° les *chaussées pavées* ; 2° les *chaussées en empierrement*. Les premières sont construites avec des matériaux de formes régulières et assez volumineuses pour avoir de la stabilité et être posés en liais ou bien à côté des autres. Les secondes, au contraire, sont construites avec des matériaux irréguliers et qui n'ont de cohésion entre eux que celle produite par leur enchevêtrement résultant d'une pression ou d'un choc. Nous ne nous occuperons ici que de ce qui a rapport à l'établissement des chaussées et des rues pavées, renvoyant à l'article ROUTE pour ce qui a rapport aux chaussées en empierrement.

Un bon pavage doit satisfaire aux conditions suivantes : 1° il doit être disposé de manière à s'opposer aux infiltrations des eaux qui pourraient venir affouiller le sol sur lequel on l'a placé ; 2° il doit être composé d'une matière dure susceptible de résister aux chocs et aux frottements auxquels il sera exposé par suite du passage des voitures ; 3° enfin, sa surface ne doit être ni trop unie ni trop raboteuse, et présenter seulement quelques aspérités destinées à servir de point d'appui aux pieds des chevaux.

Les matériaux que l'on emploie au pavage varient avec les localités où l'on se trouve. Toutes les pierres dures indistinctement peuvent être employées. Celles dont on fait le plus fréquemment usage sont : le *grès*, la *meulière*, le *granite*, le *basalte*, le *porphyre*, le *schiste*, la *pierre calcaire*, les *cailloux roulés*, etc., etc.

Les pavés, quelle que soit leur nature, se posent sur une couche de sable de 0m,15 à 0m,17 d'épaisseur. Ce sable par son incompressibilité et sa semi-fluidité a la propriété de répartir le poids que supporte un pavé sur une base plus grande que celle du pavé même.

Quand on construit une chaussée pavée on doit avoir grand soin de réunir les pavés de même dureté, sans cela les plus tendres s'usent rapidement et forment des trous dans lesquels tombent les roues des voitures ; ces chocs accélèrent la destruction des pavés tendres et par suite la dégradation des pavés voisins.

Dans les rues des villes, le pavage s'étend jusqu'aux maisons ; sur les routes, au contraire, les chaussées pavées n'en occupent que le milieu, et les accotements les bordent de chaque côté. Pour que les roues des voitures qui passent de la chaussée sur l'accotement, ou réciproquement, ne culbutent pas les pavés extrêmes ; on donne à ceux qui sont ainsi placés des dimensions plus fortes que celles des pavés ordinaires : ils portent le nom de *bordures* ou *boutisses*. Ces bordures servent en outre à découper les joints et à supprimer les *traversins* ou *demi-pavés*. A Paris, on leur donne une longueur égale à un pavé et demi et une épaisseur égale à celle des pavés. Elles ont donc 0m,35 de longueur sur 0m,23 d'épaisseur.

Des matériaux de diverses grosseurs ont été employés au pavage des chaussées. On n'est pas encore d'accord sur les dimensions les plus convenables à don-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PAVAGE.

ner aux pierres que l'on veut employer. On sait seulement que les bons pavages doivent être établis avec des pierres de moyenne grosseur. Les petites sont difficiles à mettre en œuvre et n'ont pas toutes la même résistance ; celles de grandes dimensions présentent trop de surface pour leur épaisseur, elles peuvent donc se briser facilement. On a employé pendant longtemps et on emploie encore à Paris, presque exclusivement, les pavés cubiques de 0m,23 de côté, qui se posent les uns à côté des autres sur une couche de sable. L'expérience a cependant démontré qu'il est avantageux de mettre en œuvre des pavés à sections rectangulaires. C'est ainsi que sont pavées les rues Saint-Honoré, du faubourg Saint-Martin, etc., etc.

On fait des pavages 1° en *pavés bruts*, c'est-à-dire tels qu'ils sortent de la carrière ; 2° en *pavés semillés*, c'est-à-dire en pavés, qui, avant d'être posés ont été taillés de manière à abattre seulement les aspérités ; 3° en *pavés piqués*, c'est-à-dire en pavés qui ont été taillés et dressés à la pointe sèche avec arêtes vives,

Le pavage en pavés bruts permet de conserver aux pierres plus de matière. En outre, moins le grès est travaillé, et plus sa masse est compacte, parce qu'il n'y a pas ou désunion dans les molécules par le choc des outils employés à le tailler. Ce mode de pavage est donc avantageux sous le rapport de la solidité du pavé, mais les joints sont plus grands et la surface plus raboteuse ; il est presque exclusivement employé pour raison d'économie ; la main d'œuvre du semillage, et à plus forte raison celle du piquage, augmentant de plus de 300 fr. le prix de revient du mille de pavés. Cependant il convient de piquer les pavés tendres afin d'augmenter leur durée.

Le grès est sans aucun doute la pierre la plus convenable pour le pavage, à cause de sa dureté, de son homogénéité, et de la facilité avec laquelle on le débite aux dimensions convenables.

Le grès est un composé de débris de quarz réunis et agglutinés par un ciment siliceux ou calcaire. Rien n'est plus variable que sa qualité ; il y a des grès très tendres, dont les grains sont à peine liés ensemble et se séparent sous le moindre choc ; d'autres résistent davantage aux outils ; d'autres sont durs, sonores, ont une surface lisse et se cassent assez difficilement, mais net ; enfin il y a le grès *grisard*, qui est tellement dur, que les outils ne peuvent l'entamer. Les ouvriers qui préparent les pavés de grès, appellent grès *pif*, le grisard, c'est-à-dire celui qui est trop dur pour être employé ; le grès *paf*, celui dont la densité et la dureté le rendent propre à servir au pavage. Enfin, grès *pouf*, celui qui se réduit en sable sous le choc des outils.

Les pavés de grès proviennent de rochers plus ou moins volumineux, placés tantôt à fleur de terre, tantôt au-dessus du sol et quelquefois au-dessous. On abat d'abord la roche, soit à la poudre, soit au moyen de coins en fer, puis on subdivise les blocs obtenus par les mêmes moyens, pour en faire des bandes d'épaisseur et de largeur convenables à l'échantillon du pavé qu'on veut obtenir. Ces bandes sont ensuite elles-mêmes subdivisées en pavés de dimensions voulues avec un couperet à deux pannes pesant environ 30 kilogr. Les pavés sont ensuite équarris avec un couperet de même forme mais plus petit, du poids de 3 à 4 kilogr. Les *fendeurs*, ouvriers employés dans les carrières, à la refente et à l'équarrissage du pavé, ne font qu'un seul échantillon, dit *gros pavé* ou *pavé de ville*, ayant 0m,23 de côté en tous sens ; quelques-uns cependant n'ont souvent que 0m,16 à 0m,18 d'un côté, et 0m,23 sur l'autre ; ils débitent environ quatre cents pavés par jour. On fait aussi sur les carrières de grands pavés dits *bordures*, de 0m,23 d'épaisseur sur 0m,25 de longueur. Enfin, on y fait aussi du pavé *bâtard*, qui est plus petit que celui de dimensions ordinaires et qui provient des restes de blocs dans lesquels les fendeurs n'ont pu trouver un pavé de ville : il a de 0m,16 à 0m,20 de long sur 0m,10 à 0m,14 d'épaisseur. Les pavés de grès que l'on emploie à Paris, proviennent de Bellay, Moffliers, de divers coteaux de la vallée d'Yvette, de la vallée de l'Ourcq, de celle de la Marne, de Ballancourt, des environs de Fontainebleau, etc. On distingue les pavés durs des pavés tendres 1° en ce que ces derniers sont moins lourds ; 2° en ce qu'ils absorbent une quantité d'eau plus grande lorsqu'on les immerge dans l'eau ; 3° en ce que lorsqu'on frappe dessus avec un marteau le son est d'autant plus sourd que le pavé est plus tendre ou présente plus de fissures.

On distingue les pavés en *roche dure*, c'est-à-dire celui qui sert entier, sans être refendu, au pavage des rues, des routes, etc., et en *roche franche*, c'est-à-dire celui qui, après avoir été refendu, sert au pavage des cours, des allées, des écuries, etc., etc. Pour obtenir le pavé en roche franche, on divise le pavé de gros échantillon en deux ou trois sur la hauteur. Le *pavé de trois* est celui qu'on emploie le plus fréquemment : il a de 0m,07 à 0m,08 de hauteur ; celui *de deux* a 0m,10 à 0m,11. Les pavés de deux ou de trois se placent toujours sur une couche de mortier. Pour établir une chaussée pavée, on creuse l'encaissement qui doit recevoir et le pavé et la couche de sable sur laquelle il reposera, c'est ce que l'on appelle la *forme ;* elle a 0m,40 de profondeur. Le fond de l'encaissement est ensuite dressé suivant les pentes et profils adoptés. Dans l'encaissement ainsi préparé, on répand du sable de manière à en former une couche de 0m,10. Cette couche est successivement damée et arrosée à grande eau jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à 0m,07. Sur cette première couche, on en étend une seconde de 0m,10, qui est travaillée de la même manière que la première, jusqu'à ce que son épaisseur soit aussi réduite à 0m,07. Enfin sur cette seconde couche, on en met une troisième de 0m,03 à 0m,06, suivant l'échantillon du pavé, qui ne sera ni damée ni arrosée. C'est sur cette troisième couche qu'on pose les pavés. On ne peut apporter trop de soins à la confection de la forme et à la consolidation du sol sur lequel elle est établie, car c'est d'elle que dépend la durée d'un pavage. Un pavé très dur durera moins sur une forme mal établie qu'un pavé plus tendre placé sur une forme bien solide.

Dans les rues très fréquentées, on remplace quelquefois la forme en sable par un sous-pavage en pavés de rebut. Par dessus ce sous-pavage, on pose une couche de sable de 0m,03 sur laquelle sont placés les pavés de la chaussée.

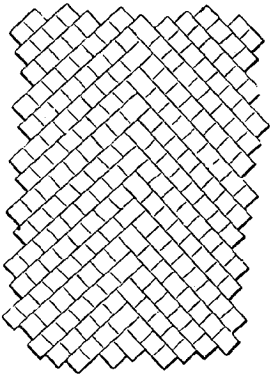
Le sable que l'on place entre le sol de la forme et la couche de pavés a pour but, comme nous l'avons déjà dit, de répartir plus uniformément la pression, en outre sa *semi-fluidité* lui permet de remplir les espaces vides qui se trouvent toujours entre les joints des pavés. On se sert indistinctement de sable de plaine ou de sable de rivière ; il doit être pur, graveleux, d'un grain sec, exempt de terre et d'argile. On en emploie deux qualités ; l'une sert à faire la *forme*, c'est le *gros sable* ; l'autre sert à garnir les joints et à recouvrir l'ouvrage, c'est le *sable fin*. Le gros sable se passe à la claie de 0m,01 d'écartement, le sable fin est passé à la claie de 0m,005 d'écartement.

A Paris, on a essayé un moyen mixte consistant à recouvrir le sol par un *treillis* en bois semblable à celui qu'emploient les jardiniers pour clôture. Sur ce treillis, dont le but est de répartir plus uniformément la pression, on pose une couche de sable de 0m,07 à 0m,08 d'épaisseur. Cet essai, oublié aujourd'hui, est curieux à noter.

Les pavés sont posés sur la couche de sable par rangées perpendiculaires à la direction de la route et s'étendent d'une bordure à l'autre. On a soin de croiser

EFERUS - Recherche & Classification numérique

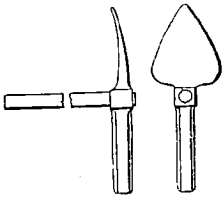
les joints, de manière à ce que ceux d'un rang correspondent toujours au milieu des pavés de deux rangs contigus. L'expérience a montré qu'il serait plus convenable de placer les pavés par rangées obliques par rapport à l'axe de la route; de cette manière, les joints sont toujours obliques par rapport à la direction des roues. C'est ainsi que sont pavées les rues des principales villes d'Autriche. Ce pavage représenté dans la fig. 1977 est beaucoup plus résistant que celui employé en France, l'action des roues ayant lieu suivant la diagonale des pavés, qui sont en outre solidaires les uns des autres par suite de la direction oblique des joints.



1977.

Pour un mètre carré de pavés cubiques de $0^m,23$ de côté, on emploie $0^{m.c.},23$ de gros sable pour la forme, et $0^{m.c.},045$ de sable fin, dont 0,02 pour les joints, 0,01 pour la couverture, et 0,005 pour les pertes.

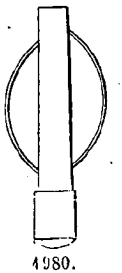
La pose des pavés se fait à l'aide d'un marteau (fig. 1978 et 1979) pesant 17 kilog., qui présente d'un bout la forme d'une *houe allongée* et de l'autre une *tête*. Au moyen de la houe, l'ouvrier prépare la place du pavé; la tête lui sert pour l'assurer quand il est posé.



1978. 1979.

Les joints sont garnis à la main. On prescrit ordinairement de ne donner que $0^m,005$ à $0^m,010$ aux joints; mais les faces des pavés étant toujours inégales, il est impossible de se maintenir dans ces limites à moins de tailler les faces des pavés. Pour éviter cette main-d'œuvre, on tolère des joints de $0^m,015$.

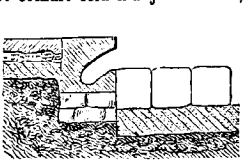
Pour donner de la stabilité à un pavage neuf avant le passage des voitures, on l'affermit et on le dresse en frappant successivement sur chaque pavé avec une *demoiselle* ou *hie* (fig. 1980), du poids de 35 à 40 kilog. C'est après cette opération qu'on couvre le pavage d'une couche de sable fin de $0^m,02$ à $0^m,04$ d'épaisseur.



1980.

A l'article ROUTE, on verra que les chaussées se divisent en *chaussées creuses* et en *chaussées à revers*. Dans les premières, le ruisseau qui sert à l'écoulement des eaux est au milieu de la chaussée; dans les secondes, au contraire, il y a deux ruisseaux qui sont placés sur les côtés de la chaussée. Dans l'un et l'autre cas, c'est toujours le ruisseau qui fatigue le plus, parce que les roues des voitures y retombent continuellement. Ces ruisseaux se construisent de diverses manières; quelquefois les pavés qui les forment sont placés alternativement de manière à avoir 1/3 de leur largeur d'un côté de l'axe du ruisseau, et les 2/3 de l'autre côté. Cette disposition a l'inconvénient de retenir les eaux ménagères qui, devenant stagnantes, se corrompent et rendent les ruisseaux infects. On avait voulu éviter cet inconvénient en plaçant une ligne continue de joints dans l'axe du ruisseau; cette disposition est encore plus mauvaise que la précédente, par la raison que les roues de voitures suivent toujours la même trace, et le ruisseau se trouve bientôt creusé de plusieurs centimètres en profondeur. On en voit un exemple dans la rue de la Harpe, etc., où les ruisseaux sont établis de cette manière. Une disposition préférable aux deux précédentes consiste à employer des pavés taillés ayant une longueur égale à un pavé et demi; de cette manière le ruisseau est plus large, sa forme courbe fait que les roues ne passent pas toujours à la même place, de plus il n'y a pas de joints dans l'axe du ruisseau. Enfin, dans ces derniers temps, on a remplacé les ruisseaux qui se trouvaient de chaque côté des rues par des rigoles pratiquées dans les bordures en granite qui forment les trottoirs. Cette disposition est indiquée fig. 1981.

Les joints des pavés qui forment les ruisseaux des chaussées doivent être garnis avec du mortier hydraulique, car le sable serait entraîné trop rapidement. Mais pour que cette condition soit réellement utile, il faudrait que la garniture de mortier fût bien complète; et comme cela n'a jamais lieu, il en résulte que très souvent la garniture se fait avec du sable. Souvent aussi il arrive qu'au-dessous des ruisseaux on établit un sous-pavage avec des pavés de rebut, dont les joints sont garnis avec du mortier hydraulique, par ce moyen on consolide le sol et on conserve le ruisseau dans un meilleur état. Ce sous-pavage est recouvert d'une couche de sable de $0^m,03$ sur laquelle on pose les pavés du ruisseau.



1981.

Les causes qui tendent à détériorer les chaussées pavées se réduisent aux suivantes: 1° les chocs et les frottements occasionnés par le passage des voitures; 2° l'eau et la boue qui les recouvrent souvent; 3° enfin les tassements du sol sur lequel le pavage est établi.

Les voitures en passant sur les pavés les usent peu à peu à leur surface et font qu'au bout de quelque temps ils sont trop petits et ne peuvent plus servir. Lorsque les pavés sont usés, leur surface est toujours convexe, parce que dans un pavé la résistance au bord est moindre qu'au centre, en outre les arêtes qui forment les joints parallèles à l'axe de la route sont continuellement soumises à l'action des roues de voitures qui suivent toujours cette direction. Une condition essentielle à remplir pour faire durer longtemps un pavage, est de choisir les pavés les plus durs, et surtout ne prendre, autant que faire se peut, que ceux d'une égale dureté.

L'eau qui se trouve à la surface des chaussées traverse souvent la couche de pavés et vient affouiller le sable ou le sol sur lequel elle est placée. La boue est un agent de destruction, elle renferme toujours de petites particules de grès qui usent rapidement le pavé lorsqu'elle se trouve interposée entre la jante de la roue et la surface du pavé. On remédie à ces inconvénients en n'y laissant séjourner ni l'eau ni la boue. Pour s'opposer aux infiltrations des eaux, on a essayé de remplir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les joints des pavés avec du bitume; ces essais n'ont pas réussi.

Enfin, si en établissant le pavage, on n'a pas eu soin de comprimer bien également le sol de la forme et la forme de sable, le passage des voitures enfonce les pavés qui se trouvent aux endroits les moins tassés, ce qui produit les *flaches* qui rendent l'opération du repiquage nécessaire.

Les travaux d'entretien des chaussées pavées consistent en *relevés à bout* et en entretiens simples ou *repiquages*.

On entend par relevés à bout un travail qui consiste à démonter une portion de la forme, à piocher cette forme pour lui rendre la semi-fluidité et à apporter du sable pour rétablir le profil de la route.

Pour que ce travail soit bien fait, il faut prendre les précautions suivantes : 1° mettre au rebut les pavés cassés, déformés et de dimensions trop faibles. A Paris, un pavé qui a moins de $0^m,16$ de queue est mis au rebut; 2° à employer un ou deux rangs de pavés neufs pour reconnaître là où a commencé le relevé à bout, puis les anciens pavés que l'on dispose, autant que possible, de manière à réunir ceux de même dimension et d'égale dureté, et à terminer le travail par tous les pavés neufs. Ce qui revient à dire que l'on fait des *baies* entières avec des pavés neufs, et d'autres baies avec les anciens pavés qui ont été *épincés*, c'est-à-dire dont on a abattu les *basses*, parce que souvent on change la face de tête des pavés.

Pour faire un relevé à bout, on commence par enlever la terre et la boue qui se trouvent sur la partie de pavage que l'on veut relever à bout, de manière à ce qu'elles ne puissent retomber dans la forme. On enlève ensuite les pavés sur la longueur et la largeur prescrites. Les pavés étant arrachés, on nettoie avec soin la forme en enlevant les matières étrangères qui pourraient altérer la qualité du sable; celui qui reste est enlevé et mis de côté pour être employé ensuite. Cette opération terminée, on creuse l'encaissement de manière à en porter la profondeur à $0^m,40$. Dans cet encaissement, on répand le sable de la vieille forme et on en ajoute, s'il est nécessaire, pour former une couche de $0^m,10$. Cette couche est damée et arrosée de manière à ce que son épaisseur soit réduite à $0^m,07$. Par dessus cette première couche, on en met une seconde de $0^m,10$, qu'on traite de la même manière jusqu'à ce que son épaisseur soit de $0^m,07$. Enfin, par dessus ces deux couches, on en met une troisième qui n'est ni damée ni arrosée, et sur laquelle se poseront les pavés. La forme étant préparée, on pose les pavés, comme nous l'avons dit précédemment. Lorsque le relevé à bout est terminé, les joints sont soigneusement bourrés de sable à l'aide d'une *fiche dentelée*.

L'entretien simple consiste à remplacer les pavés cassés et à relever les *flaches*, c'est-à-dire les parties de pavés qui sont enfoncées ou usées, c'est ce que l'on appelle le *repiquage*. A Paris, le repiquage se fait par des entrepreneurs; on compte le nombre de pavés arrachés, puis, avec un tableau fait d'avance, on en conclut la surface. On emploie quelques pavés neufs et environ $0^{m.c.},08$ de sable par mètre carré.

L'exécution du repiquage demande encore plus de soins que les relevés à bout pour le piochage de la forme et le choix des pavés. Dans un repiquage, ce qu'il importe surtout, c'est de ne pas affouiller le sol, c'est-à-dire qu'il faut se contenter d'enlever les parties dures de la forme, ainsi que les aspérités du sol, de bien décrotter les pavés qui forment le périmètre de la baie, en ayant soin de ne rien laisser tomber de cette crotte dans la forme. Ceci fait, il faut surtout que les pavés vieux ou neufs que l'on emploie aient la *même hauteur*, l'échantillonnage est d'une moindre importance.

A Paris, les rues fréquentées sont relevées à peu près de six en six ans. Quelques-unes, construites en mauvais pavés, le sont de trois en trois ans. D'autres, peu passagères, ne le sont que tous les vingt ans. Les routes des environs de Paris sont relevées à bout à des intervalles qui varient de huit à quinze ans.

Souvent il arrive que des pavés se trouvent plus bas que ceux qui les entourent. Pour les relever, on commence par gratter les joints sur 3 ou 4 centim. de profondeur; par ces joints, on introduit du sable en quantité suffisante pour que ces pavés, battus à la hie, se trouvent au niveau convenable. On remplit ensuite les joints avec du sable refoulé. On emploie, pour ce travail, $0^{m.c.},05$ de sable par mètre carré.

Les carrières de Fontainebleau produisent beaucoup de grès tendre et *friable*, qui ne peut servir au pavage des rues fréquentées. Jusque dans ces derniers temps on l'avait employé pour le pavage des cours, des écuries, etc., etc., des lieux enfin qui ne doivent pas être parcourus par des voitures pesantes.

Ce grès friable lorsqu'on vient à l'immerger dans du bitume, acquiert plus de dureté et de cohésion qui permettent de l'employer au lieu et place des pavés, durs (Payen, cours du Conservatoire, 1843). C'est ce qu'on appelle les *pavés bitumés*.

Aujourd'hui on consomme des quantités énormes de ces pavés, la ville de Paris en commande 1.000.000 par an. Nous croyons que l'on a mis trop d'empressement à approuver cette invention et à appliquer de suite sur de grandes surfaces ces pavés bitumés. Parmi les grès tendres il y en a de diverses qualités, ainsi les uns sont encore assez durs pour pouvoir résister plus longtemps, d'autres au contraire se réduisent en poussière au moindre choc. Or, les uns et les autres immergés dans le bitume acquièrent une dureté à peu près égale, mais il est facile de voir que cette dureté ne sera qu'apparente et que les pavés ainsi obtenus ne pourront durer longtemps. En outre, si une chaussée faite en pavés bitumés est exposée au soleil, le bitume se ramollira, et s'il survient une pluie, il sera chassé et remplacé par de l'eau; le pavé reviendra donc à l'état où il se trouvait avant d'être plongé dans le bitume, non pas dans toute son épaisseur, il est vrai, mais seulement dans la partie qui est à la surface et qui est la plus exposée aux chocs et aux frottements. C'est ce que l'expérience a confirmé plusieurs fois; cependant avec du bitume d'excellente qualité et du grès de moyenne dureté on pourrait obtenir des résultats plus satisfaisants.

Dans les localités où le grès manque, on emploie le calcaire, dont on forme des dés analogues à ceux des grès. Les chaussées pavées en calcaire s'établissent de la même manière que celles pavées en grès.

M. Brard, dans *sa Minéralogie pratique*, dit qu'on pourrait employer au pavage les roches volcaniques qui se trouvent en abondance dans l'Auvergne. Il cite la ville de Montils dont les rues sont pavées avec des prismes à six pans de roche basaltique. Les Romains employèrent les roches volcaniques dans le pavage de leurs routes, et aujourd'hui elles sont encore employées à Naples et à Florence.

A Châteauroux, les rues sont pavées avec de la meulière. On l'emploie également à Paris pour le pavage des ports, afin d'exposer une surface plus résistante aux pieds des chevaux et faciliter le débardage des bois.

Dans bon nombre de villes de province les rues sont pavées avec des *cailloux roulés*, tantôt ils se placent verticalement, le gros bout en bas, tantôt au contraire ils se placent le petit bout en bas; dans ce second cas, ils sont généralement inclinés. La quantité de sable qu'on emploie pour 1 mètre de pavage en cailloux roulés, est plus considérable que pour un pavage en dés cubiques.

Dans les localités où la pierre manque on emploie des briques pour le pavage des rues, pourvu toutefois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'elles présentent une résistance suffisante au frottement et à l'humidité. En Hollande, par exemple, toutes les rues sont pavées avec des briques. Quelquefois elles se posent en *épis*, ou ce qu'on nomme *point de Hongrie*. C'est ainsi que sont pavées les rues de Venise, et qu'était pavé l'ancien *Tibur* à Rome.

M. Polonceau père a proposé des pavés en terre cuite, qu'il nomme pavés céramiques, auxquels il donne la forme de prismes à six pans (*Bulletin de la Société d'encouragement*). Un ingénieur anglais, M. Prosser, a aussi proposé l'emploi de pavés en terre cuite. Mais aucun de ces systèmes n'a été essayé.

Les Anglais ont essayé d'employer la fonte pour le pavage des rues. Ils faisaient des pièces carrées en fonte, s'assemblant entre elles à queue d'hironde et dont la surface était rendue assez raboteuse pour que les chevaux ne glissent pas. Il paraît que les premiers essais n'ont pas réussi puisqu'ils ne les ont pas continués.

Ce sont aussi les Anglais qui, les premiers, ont essayé d'employer le *caoutchouc* (gomme élastique) au pavage des écuries, des allées, des jardins, etc., etc. Ils ont reconnu que ce pavage était excellent pour les écuries, il assure la santé des chevaux, empêche les exhalaisons d'ammoniaque qui s'élèvent de l'urine corrompue, et évite que les animaux se blessent ou se couronnent en s'agenouillant sur la pierre. Les écuries des commissaires du *Dock-yard* à Woolwich sont pavées en caoutchouc. Elles sont dans un état de propreté auquel on ne peut comparer celui d'aucune autre écurie. Les commissaires des bois et forêts ont même fait paver de cette manière la cour d'entrée du château de Windsor destinée aux voitures (*Mining journal*).

Enfin, dans ces derniers temps, on a voulu remplacer par le *bois* tous les matériaux que nous venons de passer en revue. Le pavage au moyen de blocs de bois est connu depuis fort longtemps, mais c'est seulement depuis une dixaine d'années qu'il est employé au pavage des rues. Autrefois on l'employait à l'intérieur des maisons, surtout dans les cours, les écuries, les allées, etc. Les Russes, les premiers, l'employèrent dès 1834 au pavage de quelques rues de St-Pétersbourg. Ce pavage se composait de blocs en bois à six pans ayant $0^m,30$ de long sur $0^m,15$ à $0^m,20$ de large. Après les Russes, vinrent les Anglais, qui, pour éviter le bruit causé par le passage des voitures sur les pavés, cherchèrent à substituer aux chaussées ordinaires, des chaussées produisant moins de bruit. Ils emploient exclusivement les chaussées établies d'après le système de Mac-Adam, c'est-à-dire des chaussées en empierrement; ils ont essayé comme préférable le *pavage en bois*, et il importe de conserver les traces d'essais infructueux faits dans cette voie.

Il nous est impossible de passer en revue tous les systèmes qui ont été proposés jusqu'à ce jour. Nous renverrons pour de plus amples détails au *Bulletin de la Société d'encouragement*, année 1844, n^os^ de janvier et février où se trouve une notice très détaillée sur le pavage en bois.

Nous nous contenterons ici de dire quelques mots sur les modes de pavage qui ont le mieux réussi et qui ont été essayés avec quelques succès en France.

Le sol sur lequel est établi le pavage en bois, doit être tassé bien également dans toutes ses parties, car s'il en était autrement il se formerait des enfoncements qui, rendant la circulation plus difficile, occasionneraient la prompte détérioration du bois.

Suivant M. Hawkins, ingénieur anglais, qui s'est beaucoup occupé de cette question, il faut prendre les précautions suivantes pour obtenir de bons résultats :

1° Le bois doit être pris dans le cœur de l'arbre. Le mélèze et d'autres arbres résineux, fournissent à bon marché de bons matériaux. Les blocs doivent être faits avec du bois sec, et employés aussitôt préparés afin qu'ils ne changent pas de forme

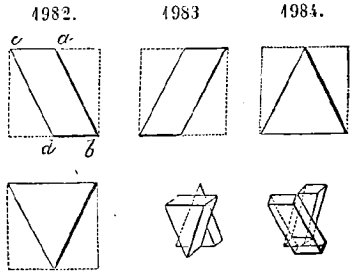
2° Les blocs sont coupés sur un modèle uniforme de manière à s'ajuster exactement les uns aux autres : leur hauteur doit être égale à une fois et demie leur largeur. L'expérience a montrée que la forme qu'il convenait de donner à ces blocs, était celle d'un prisme à six pans, de cette manière chaque bloc est soutenu par les six qui l'entourent ;

3° Les blocs doivent être placés sur un lit solide de cailloux, graviers et autres matériaux durables bien damés et aplatis ;

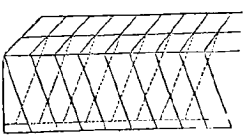
4° Au moment de placer les blocs il faut étendre sur l'axe de la route ainsi préparée une couche de gravier fin pour faciliter l'ajustement des blocs ;

5° Les blocs doivent être disposés de manière à présenter une surface supérieure plane, avant d'être dames, afin que la formation finale du niveau ne dépende pas tant de l'effort de la dame que de l'horizontalité du pavé lui-même.

Le comte de l'Isle a pris le 23 juin 1839, sous le nom de Hogdson, une patente pour un pavage en bois présentant un plan parfaitement horizontal. Les blocs cubiques sont taillés sous une inclinaison de 63°. Pour obtenir cette inclinaison, on divise la surface du bloc en deux parties égales, on y pratique une rainure *a* (fig. 1982), puis on tire une ligne oblique jusqu'en *b* à la base du cube. On divise la base de la même manière que le sommet, puis on tire la ligne de *c* en *d*. On procède de même pour la partie postérieure du cube (fig. 1983) en tirant deux lignes parallèles, mais dans le sens opposé. Quelquefois on donne aux morceaux de bois la forme triangulaire indiquée (fig. 1984 et 1985). Ces blocs sont taillés sous le même angle. Les fig. 1986 et 1987 représentent la manière dont sont disposés les



blocs. La fig. 1988 représente une portion de route pavée d'après ce système. Ce pavage repose sur une couche de sable et de chaux, il est ensuite recouvert d'une couche de ce mélange qui sert à boucher les intervalles qui existent entre les blocs. Ce système est très employé à Londres, où des expériences nombreuses ont démontré qu'il résistait très bien. Dans un quartier de Londres, où ce système de pavage est employé, on a constaté par jour une circulation de 7.000 voitures, pesant de 200 à 500 kilogr., et plus de 1.200 chevaux, sans que le pavage ait bougé.


1988.

Ce système a été essayé à Paris, rue Croix-des-Petits-Champs, rue Richelieu vis-à-vis le Théâtre Fran-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

çais, le quai de l'Horloge, aux embarcadères des chemins de fer de Rouen et Orléans, etc., etc. A l'exposition de 1844, MM. Devicque et compagnie ont obtenu une médaille de bronze pour ce mode de pavage qu'ils établissent aux prix suivants :

Pavés de 0m,10 en sapin du Nord, posés
sur sable ; le mètre cube. . . . . 15 francs
— 0m,08 — — 13 —
— 0m,06 — — 11 —

Le pavage *mixte* proposé par M. Eug. Philippe se compose de grès, taillés ou non, avec des interstices en bois. Il a été essayé Faubourg Montmartre, vis-à-vis la rue Grangé-Batelière.

De tous les systèmes essayés celui qui a donné les meilleurs résultats est le suivant : ce sont des blocs de sapin *a* (fig. 1989), reposant sur une couche épaisse composée de chaux, de ciment et sable. Ces blocs, de forme rhomboïdale, sont réunis par des chevilles de bois passant dans des trous c. Ils ont 0m,18 de haut. Des rainures croisées sont pratiquées à la surface pour empêcher les chevaux de glisser : avant de les poser sur la couche on les réunit par panneaux au moyen de chevilles. Ce pavage revient environ à 16 francs le mètre carré. La fig. 1990 représente une portion de route pavée d'après ce système.

Le pavage en bois comparé aux autres systèmes de pavage, leur paraît préférable sous plusieurs rapports. Il ne produit aucun bruit par le passage des voitures, la boue et la poussière n'y séjournent pas, il diminue considérablement le tirage, puisque suivant des ingénieurs anglais, un cheval traîne sur un pavage en bois une charge équivalente à celle que quatre chevaux traîneraient sur un pavage en grès. Malgré ces avantages, ce mode de pavage n'a pas encore prévalu ; à Paris, par exemple, il est essayé dans beaucoup d'endroits mais aucune rue n'est pavée entièrement en bois. Cela tient sans doute à ce qu'il est bien difficile de trouver des bois satisfaisant aux deux conditions suivantes si importantes pour obtenir un bon pavage, *dureté* et *homogénéité* ; de plus, les changements brusques de température détériorent promptement les bois les meilleurs. En employant des bois imprégnés de *substances conservatrices*, on pourrait obtenir de meilleurs résultats. (Voy. l'art. CONSERVATION DES BOIS).

Pour terminer ce qui a rapport au pavage, nous donnons ci-dessous un tableau *synoptique* renfermant les éléments de prix des différentes natures de pavage que l'on peut avoir à faire exécuter. Dans ce tableau ne figurent pas les frais provenant du mouvement des pavés.

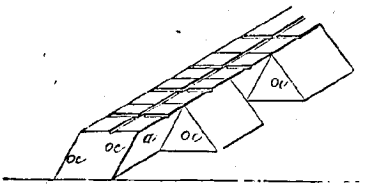
NATURE DU PAVAGE.	FOURNITURE.								MAIN-D'OEUVRE.				PRIX TOTAL du mètre carré.
	Nombre de pavés.	Prix du 1000	Mortier hydraul.	Prix du mètre.	Gros sable	Prix du mètre.	Sable fin.	Prix du 1000.	Fouille, préparat. de forme, etc.	Transport des déblais.	Approche d. sabl., pose d. pav., etc.	Entretien.	
		fr.	métr.	fr c.	mèt.	fr. c.	métr.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1 mètre carré de pavage neuf en pavés neufs de 0m23 de côté, sur forme de sable, avec joints garnis en sable.	16, 65	325	»	»	0,23	4 55	0,045	4 88	0 42	0 55	0 45	0 05	11 18
Même pavage, sur forme de sable, avec joints garnis en mortier hydraulique.	16, 65	325	0,25	22 42	0,23	4 55	0,01	4 88	0 42	0 55	0 59	0 02	16 56
1 mèt. car de pavage neuf en pavés de *rebut*, forme de sable, joints garnis en sable. .	25, 00	mém	»	»	0,13	4 55	0,045	4 88	0 51	0 27	0 47	0 06	1 89
1 mètre carr. de pavage en pavés refendus. .	»	»	0,01	22 42	0,10	4 55	0,01	4 88	0 19	0 21	0 59	0 10	2 27
1 mètre carr. de blocage en pavés de rebut, avec joints garnis en mortier hydraulique pour fondat. de ruisseaux ou chaussées. .	25, 00	mém	0,03	22 42	»	»	»	»	»	»	9 34	»	1 01
1 mèt. car. de pavage en pavés neufs de 0m,25, sur fondat. en blocage, avec couche interm. de 0m03 de sable et joints garn. en sable. .	16, 65	325	0,03	22 42	»	»	0,075	4 88	0 42	0 55	0 77	0 03	11 58
1 mèt. car. de relevé à bout, en pavés neufs de 0m,025, forme de sable, joints garn. en sable.	»	»	»	»	mém	»	0,045	4 88	0 29	0 44	0 56	0 05	1 04
Même travail, forme de sable, joints garnis en mortier hydraulique.	»	»	0,025	22 42	mém	»	0,01	4 88	0 29	0 44	»	»	»
1 mèt. car. de relevé à bout en pavés vieux, sur forme de sable, joints garnis en sable. . .	»	»	»	»	0,23	4 55	0,045	4 88	0 16	0 07	0 56	0 06	1 86
Même travail, forme de sable, joints garnis en mortier hydraulique.	»	»	0,03	22 42	0,23	4 53	0,01	4 88	0 16	0 07	0 52	0 10	2 57
1 mèt. car. de relevé à bout en pavés refendus, forme de sable et bain de mortier hydr. .	»	»	0,01	22 42	mém	»	0,01	4 88	0 16	0 07	0 52	0 10	1 60
1 mèt. car. de relevé à bout de chaussée sur blocage.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1 mèt. car. de repiquage, avec joints garnis en sable.	»	»	»	»	»	»	mém	»	0 11	0 08	0 41	»	0 60
Même travail, avec joints garnis en mortier hydraulique.	»	»	0,025	22 42	»	»	mém	»	0 11	0 08	0 37	»	1 12
1 mètre carré de soufflages.	»	»	»	»	»	»	mém	»	»	0 03	0 48	»	0 51
1 mèt. car. de raccordem. exécuté s. conduits d'eau ou de gaz, joints garnis en sable. .	»	»	»	»	0,03	4 55	0,045	4 88	0 04	0 53	0 43	»	2 01
Dépavage { sans transport (grands travaux).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0 09
Dépavage { avec transp. à 50m (*idem*).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0 48

Le carrelage n'est autre chose qu'un pavage fait avec des pavés plats ou *carreaux* de terre cuite, de faïence, de liais, de marbre, etc., employés dans l'intérieur des habitations pour remplacer les pavés en bois.

Pour carreler un plancher, on couvre les vides d'une solive à l'autre avec de vieux liteaux de bois qui sont cloués sur ces solives. On a soin de les rapprocher le plus près possible les uns des autres. Sur ces liteaux on pose une couche de mortier de 0m,03 à 0m,04 d'épaisseur, et par dessus une couche de poussière, afin de bien niveler la surface. C'est sur cette couche que se placent les carreaux l'un à côté de l'autre, en commençant par un angle afin de les placer en losange. A Paris, les carreaux se posent sur du plâtre. La première

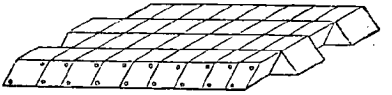
EFERUS - Recherche & Classification numérique

couche de plâtre se place, comme nous l'avons dit pour le mortier; cette couche est ensuite recouverte de poussière, et c'est par dessus ces deux couches que se posent les carreaux. Le plâtre que l'on emploie est délayé



1989.

avec de l'eau dans laquelle on a jeté de la suie et de la poussière bien tamisée. Les carreleurs emploient ces deux substances pour ôter au plâtre sa trop grande force, l'empêcher de se sécher trop vite et de se gonfler ce qui dérangerait les carreaux. Le plâtre est meilleur



1990.

que le mortier pour le carrelage, car quand il a fait prise, le carrelage est excessivement solide; avec le mortier, au contraire, les carreaux se dérangent sous le moindre choc.

Quelquefois on emploie des carreaux en faïence de diverses couleurs.

Le tableau suivant renferme le prix du mètre carré de diverses natures de carrelage (N. B. Les carreaux de liais coûtent 5 fr. 50 c. le mètre carré).

NATURE DU CARRELAGE.	Dimensions des carreaux.	Prix du mille.	Prix du mètre car.
			fr. c.
Carrelage en carreaux de Bourgogne à pens. . . .	0m16	50f	3 50
— de Montereau.	*Id.*	40	2 90
— de Massy.	*Id.*	35	2 50
— de Paris. {1re qualité.. .	*Id.*	34	2 40
— de Paris. {2e qualité.. .	*Id.*	32	2 30
— en carr. carrés d'âtre. .	0, 19	68	3 05
— en carr. de liais et marbre. {liais. .	0, 325	5f50c le 1mq	9 50
— en carr. de liais et marbre. {marb..	0, 135	200	9 50
— *id.* *id.* {liais. .	0, 220	5,50 le 1mq	11 40
— *id.* *id.* {marb..	0, 09	460	11 40
— *id.* *id.* {liais. .	0, 160	5,50 le 1mq	13 15
— *id.* *id.* {marb..	0, 07	440	13 15
Décarrelage de grands et petits carreaux.	»	»	0 08

Le dallage, de même que le carrelage, est un pavage dans lequel les pavés sont remplacés par de larges dalles en pierre qui se posent, tantôt sur une couche de sable, tantôt sur une couche de mortier. Dans la pose de ces dalles il faut avoir grand soin de ne pas laisser de vides dessous, car elles pourraient être facilement brisées. Les Romains employèrent les dalles pour la construction de leurs routes, aujourd'hui elles ne sont employées que pour l'établissement des trottoirs des allées. On doit donc choisir une pierre compacte, s'opposant aux infiltrations des eaux et résistant bien aux frottements. Le plus ordinairement elle sont en granit. Autrefois on employait beaucoup les dalles en pierre ou lave de Volvic, mais ce dallage est abandonné maintenant, car il ne résiste pas assez. Depuis quelques années le dallage en asphalte et en bitume (pour son établissement voyez le mot BITUME) se répand beaucoup, il est appelé à remplacer le dallage en granite et celui en lave de Volvic. Quelquefois on emploie des dalles en *fonte*, on a soin alors de pratiquer des rainures à leur surface afin de les rendre moins glissantes.

MM. Moisson et Polonceau ont essayé d'utiliser les laitiers des hauts fourneaux en en formant des dalles que l'on pourrait ensuite employer au dallage. A la dernière exposition on voyait de ces dalles en *lave artificielles*; ces messieurs ont obtenu une mention honorable. Cet essai n'a pas eu de suites.

Nous donnons ci-dessous le prix du mètre carré de dallage exécuté avec les divers matériaux que nous venons de passer en revue.

NATURE DU DALLAGE.	Épaisseur des dalles.	Prix du mètre carr.
En laves de Volvic.	0m10	13f
Id. *Id.*	0,07	10
En granit, compris pose et arases en mortier.	0,05	24
Id. *Id.* (gr. dimension). .	0,05	24
En asphalte (prix moyen) en gr. partie.	»	6f75 à 8f
En bitume *Id.* *Id.* . . .	»	4,75 à 6
En dalles hydrofuges p. assainissem.	»	5f

PAVOT. Voyez OPIUM.

PEAUX. Voyez TANNAGE.

PECTINE. ACIDE PECTIQUE. La pectine et l'acide pectique, découverts par Braconnot, forment les principes gélatineux des fruits. En versant de l'alcool dans des sucs de fruits, on en précipite une matière mucilagineuse, soluble dans l'eau : c'est la *pectine*. Si on la fait bouillir avec de l'eau renfermant un peu de carbonate de potasse, il se forme un pectate qui se décompose lorsqu'on y verse un acide minéral, et laisse précipiter une matière gélatineuse qui n'est plus soluble dans l'eau; c'est l'acide pectique. Ordinairement, pour obtenir facilement cet acide, on prend de la pulpe de betterave complétement lavée à l'eau, on la délaie dans six à huit fois son poids d'eau, avec 1/50e de son poids de potasse caustique, et on fait bouillir pendant une demi-heure; on filtre la liqueur bouillante et on peut précipiter l'acide pectique par l'acide hydrochlorique; mais, comme il est alors difficile à laver, on préfère décomposer le pectate de potasse par du chlorure de calcium en dissolution très étendue, laver le pectate de chaux insoluble qui se produit, et le faire bouillir ensuite avec de l'eau aiguisée d'un peu d'acide hydrochlorique, qui s'empare de la chaux et qui met en liberté l'acide pectique, que l'on lave enfin avec un peu d'eau froide. On fait dans quelques hôpitaux avec le pectate de potasse ou de soude, des gelées que l'on aromatise avec un extrait de viande, qui ne nourrissent presque pas, et qui sont très convenables pour satisfaire les malades dont on veut tromper l'appétit désordonné.

PEIGNAGE, PEIGNES. Voyez LIN.

PEIGNE. Outil qui sert à fileter les vis et les écrous Voyez TOUR.

PEIGNES (*angl.* combs, *all.* kæmme). Ustensile de toilette que l'on fait en bois, en corne, en écaille, en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ivoire, en cuivre ou en fer. La matière première étant débitée suivant la forme que l'on veut donner au peigne, on fait les dents, toutes ensemble, au moyen de scies circulaires parallèles montées sur le même axe et convenablement distancées. Pour des gros peignes, en corne ou écaille, à dents écartées, on se sert quelquefois d'un emporte-pièce qui taille à la fois, dans la pièce, les dents de deux peignes. On termine les dents à la lime.

PEINTURE EN BATIMENTS. La peinture en bâtiments est l'art de couvrir de diverses couleurs la surface du bois, du fer, de la maçonnerie, etc., dans le but de les conserver et d'obtenir des décorations agréables à la vue. Suivant la nature du liquide qui sert à délayer les couleurs, on distingue deux genres de peinture, qui sont la *peinture en détrempe* et la *peinture à l'huile*.

PEINTURE EN DÉTREMPE. C'est la peinture dans laquelle on délaie les couleurs avec de la colle très claire. Ce genre de peinture ne peut évidemment servir pour les objets exposés aux intempéries atmosphériques, aussi n'est-il employé que pour la décoration intérieure, et qui doit n'avoir que peu de durée. La colle qui sert à délayer les couleurs est la *colle de peau*, dite *colle au baquet*, qui est fournie par les fabricants à l'état de gelée tremblante. Elle se fond facilement lorsqu'on la met sur le feu. La couleur en poudre que l'on a mis tremper dans de l'eau est alors mélangée avec la colle.

Les *teintes* ne s'appliquent que sur les *encollages*. Ceux-ci s'obtiennent en délayant 4 parties de blanc d'Espagne bien écrasé dans 6 parties de colle pure; il faut les appliquer chauds. Une chaleur de 35 à 40° suffit pour bien faire pénétrer la couleur; une chaleur plus forte ferait éclater les bois. Les couches doivent être appliquées successivement de moins en moins chaudes, afin de ne pas détremper les couches précédemment appliquées. Il faut avoir soin, avant de peindre, d'enlever toutes les parties grasses en les grattant ou les lessivant à l'eau de potasse, et de couvrir les ferrures d'un vernis qui les empêche de se rouiller et de tacher la peinture à la colle.

PEINTURE A L'HUILE. Cette peinture, ne se laissant pas pénétrer par l'humidité, conserve parfaitement les corps sur lesquels elle est appliquée.

Les premières couches de peinture, tant sur le bois que sur le fer, doivent toujours être faites avec de la *céruse*, autrement dite *blanc de plomb*, de la meilleure qualité; on la broie très fine dans de l'huile de noix ou de lin, soit sur une pierre avec une molette, soit au moyen d'un moulin; le premier procédé est trop long pour de fortes quantités. Quand on veut s'en servir pour peindre des volets, des portes ou des lambris, et des boiseries en sapin ou en autre bois blanc, il est indispensable de détruire l'effet des nœuds, qui en général sont tellement saturés de térébenthine qu'ils donnent le plus grand embarras dans ce procédé. Le meilleur moyen d'obvier à cet inconvénient, consiste à passer la brosse sur ces nœuds avec une composition de céruse délayée dans l'eau et fortifiée par une dissolution de colle-forte; quand cette couche est sèche, on peint les nœuds avec du blanc de plomb à l'huile, auquel on ajoute quelque puissant siccatif, tel que du minium ou de la litharge, un quart environ de ce dernier. On applique cette peinture uniformément, et en ayant soin de suivre la direction du grain.

Quand la dernière couche est sèche, on l'égalise avec de la pierre ponce; on donne alors la première couche de peinture à l'huile; cette couche étant suffisamment sèche, on bouche soigneusement les trous des clous, et on masque les autres défauts de la surface avec une composition d'huile et de blanc d'Espagne, appelée *mastic*.

On donne ensuite une nouvelle couche avec de la peinture composée de céruse délayée dans l'huile, et à laquelle on a ajouté un peu d'essence de térébenthine pour en augmenter la fluidité; il faut mettre trois ou quatre couches successives si on veut obtenir un beau blanc ou une couleur de pierre; dans le dernier cas, on y ajoute un peu de noir de fumée ou de noir d'ivoire. Si l'on voulait obtenir une autre couleur, telle que grise, verte, etc., il serait nécessaire d'ajouter cette couleur après la troisième couche, surtout si la couleur doit être d'un blanc mat, gris ou fauve.

Les bois se conservent surtout parce qu'ils absorbent l'huile, et que celle-ci se sèche. Sur les métaux, qui ne peuvent absorber, il faut préparer les couleurs à l'essence; celle-ci s'évapore bientôt, tandis que l'huile ne sécherait que très difficilement.

Les conditions auxquelles on doit satisfaire dans l'exécution des peintures à l'huile, vernies quand elles sont sèches, sont parfaitement résumées dans le mémoire qu'a publié M. Tripier-Deveaux, *sur les dangers qui menacent les peintures vernies*, qui indique toutes les conditions auxquelles on doit satisfaire dans son exécution. Nous le donnons ici dans son entier.

« Les causes qui concourent à la destruction plus ou moins rapide, suivant leur exposition au soleil, des peintures vernies d'extérieurs, sont au nombre de trois : 1° l'humidité des plâtres ou du bois; 2° la préparation vicieuse des enduits ou des couches de teintes; 3° enfin, la mauvaise qualité des vernis. Nous croyons utile de faire connaître à quels signes on peut les distinguer les unes des autres dans les divers accidents, le *cloquage*, le *farençage*, le *gerçage* et le *rodage*, comme on les appelle en termes d'atelier, qui manifestent l'altération de ces peintures, d'expliquer comment et pourquoi ces accidents arrivent, et d'indiquer les moyens de s'en garantir. Pour remplir notre tâche plus facilement, nous formerons trois catégories de peintures : dans la première, nous classerons celles qui, bien préparées, ont été appliquées sur des plâtres ou des boiseries encore humides; dans la deuxième, celles qui, mal préparées, ont été appliquées sur des fonds bien secs; la troisième, enfin, celles qui, bien préparées et appliquées sur un fond bien sec, ont été recouvertes d'un vernis de mauvaise qualité. De l'observation attentive de ce qui se passera dans chacune d'elles, ressortira, nous l'espérons, la solution du problème tel que nous venons de le poser, et, persuadés que nous sommes qu'il est facile de suppléer à ce que cet exposé peut avoir d'incomplet, nous entrons de suite en matière.

« *Première catégorie.* Lorsqu'une peinture vernie se bombe, se boursouffle ou *cloque*, se casse et tombe en écailles, sans entraîner avec elle aucune parcelle du fond, et laisser sur lui aucune trace de sa présence, on peut dire de suite que le fond n'était pas bien sec, et que le vernis dont on a recouvert la peinture n'a fait que précipiter sa destruction en bouchant tous les pores, en enlevant ainsi à l'humidité toute chance d'évaporation.

« *Deuxième catégorie.* Les accidents qui résultent de la préparation vicieuse de l'enduit ou des couches de teintes, sont moins connus, plus difficiles à expliquer et à constater. Ils ne sont pourtant que les conséquences inévitables de l'application fausse que l'on fait de cet axiome : *Que la peinture est d'autant plus solide à l'air, qu'elle contient plus d'huile*, ou, en d'autres termes, de la croyance erronée où l'on paraît être que la peinture à l'huile, qu'on doit vernir presque aussitôt qu'elle sera terminée, peut être traitée comme celle qu'on ne destine pas à être vernie, ou qui ne le sera qu'après quinze ou dix-huit mois, quand elle sera bien sèche, comme on a coutume de le faire pour les tableaux de prix. On ne réfléchit pas que le peintre en bâtiment ne peut point attendre l'époque de la dessiccation complète de son ouvrage, et de là tous les accidents que nous allons signaler.

« Supposons que, sur un fond bien sec, on ait appli-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qué trois couches (une d'enduit et deux de teintes, car, pour la peinture en bâtiments, il faut au moins trois couches de couleur préparées toutes trois avec une proportion trop forte d'huile de lin ordinaire), et que, pour faire sécher plus vite, on ait ajouté une forte dose d'huile siccative du commerce, bien qu'à la rigueur il suffirait d'une seule couche ainsi préparée pour donner lieu aux accidents que nous voulons expliquer; car, disons-le de suite, l'huile grasse ne sèche jamais; une couche qui contient beaucoup d'huile ordinaire, sèche difficilement; pour hâter sa dessiccation, si l'on y ajoute une forte dose d'huile grasse, elle ne séchera plus, c'est-à-dire que sous la peau, qui se formera d'autant plus vite à la surface qu'on aura ajouté plus d'huile grasse, il restera dans l'épaisseur de la couche des parties liquides soustraites ainsi à l'action de l'air, et par conséquent hors d'état de se solidifier (car c'est ainsi qu'on doit entendre cette expression : *L'huile grasse ne sèche jamais*). Si, cependant, sur une couche en cet état, qu'on croit sèche, parce qu'elle ne colle plus au doigt, mais qui ne l'est pas à fond, comme nous venons de le voir, on se hâte d'en appliquer une seconde de la même nature, qui augmentera la difficulté que la précédente éprouve déjà à sécher, mais dans laquelle seconde couche les mêmes causes produiront encore les mêmes effets, c'est-à-dire une pellicule extérieure et des parties liquides intérieures; sur celle-ci si on en applique une troisième, toujours de la même nature, on aura en définitive une épaisseur totale de trois couches de couleurs composées chacune de pellicules mollasses et de parties liquides.—Ce n'est pas tout, on y applique souvent un décor fait aussi à l'huile grasse, et dans les épaisseurs duquel se rencontreront encore des parties liquides, et l'on vernit le tout aussitôt que cette peinture a perdu toute puissance, toute adhérence au doigt, aussitôt enfin qu'elle est réputée sèche.

« Voyons maintenant ce qui va se passer dans une pareille peinture exposée au midi à l'action constante du soleil. L'épiderme résineux aura bien vite acquis toute sa dureté. Mais la chaleur qui fait durcir rapidement le vernis produit d'abord un effet contraire sur les couches de la peinture composées, comme nous venons de le faire voir, de pellicules mollasses et de parties liquides. Les pellicules s'amolliront davantage, les parties liquides se dilateront, et ne pouvant s'échapper à travers les pellicules qui les contiennent, elles soulèveront chacune en forme de boules ou vessies les couches qui leur sont superposées. Si l'action solaire est suffisante pour durcir complétement la peinture en cet état de soulèvement, on a ce qu'on appelle des *cloques*; si cette action a été insuffisante, les parties dilatées par la chaleur pendant le jour se contracteront par le refroidissement de la nuit, et tout soulèvement disparaîtra. Mais le lendemain, mais les jours suivants, les mêmes causes se renouvelant et reproduisant chaque jour les mêmes effets, de ces deux actions contraires et alternatives de la chaleur et du froid, soulèvement et abaissement quotidiens de couches qui durciront chaque jour davantage, résultera bientôt le brisement, le cassement de ces couches en plaques plus ou moins grandes, plus ou moins régulières, et le liquide surabondant s'échappera à la faveur des issues qui lui sont offertes. — Si ces petites plaques, plus ou moins dilatées ou sèches au moment où la peinture se casse, retombent sur le fond, auquel elles s'attacheront par leurs parois intérieures encore gluantes, s'y fixent solidement et continuent d'y former une surface unie brillante, quoique brisée, on a ce qu'on appelle *faïençage*. Mais si, après ce brisement, et avant d'être fixées sur le fond, ces petites plaques, par un abaissement trop brusque, trop grand de la température, éprouvent un rétrait considérable, et, glissant sur le fond, se racornissent ou se fendillent, et si en cet état elles cessent de former une surface unie, le vernis lui-même, cassé, fendillé avec la peinture qui lui sert d'appui, perdra son brillant, et l'on aura ce qu'on appelle *ridage* ou *gerçage*.—Les petits fossés qui séparent ces plaques les unes des autres seront d'autant plus larges, que la différence des températures opposées aura été plus grande, et le passage de l'une à l'autre plus brusque, et d'autant plus profonds que les parties liquides, véritables causes des accidents, auront été situées dans l'épaisseur de la peinture plus près des plâtres ou des bois qu'elle recouvrait.

« *Troisième categorie.* Sur une peinture bien faite, comme nous le dirons tout à l'heure, les accidents qui résulteront de la mauvaise qualité des vernis n'auront point la gravité de ceux qui, nous venons de le voir, tiennent à l'humidité du fond ou à la préparation vicieuse des couches de teintes; c'est une peinture tout entière à recommencer dans ces deux premiers cas; car, dans le troisième, et c'est celui qui va nous occuper, il s'agira tout simplement d'enlever le vernis détérioré qui masque la peinture, et de le remplacer par un autre meilleur, pour rendre aux couleurs toute leur vivacité et tout leur éclat. En effet, un vernis de basse qualité blanchira, perdra vite sa transparence; un vernis trop corsé, trop poussé en siccatif, parce qu'il retombe dans la catégorie des couches de teintes qui contiennent trop d'huile grasse, cassera et par suite faïencera ou gercera, mais ne cloquera jamais, par la raison que, n'étant recouvert par rien, il finira toujours par sécher, par durcir à fond. Un léger frottement avec de la pierre ponce en poudre, un chiffon et de l'eau suffira pour enlever le vernis blanchi ou cassé, et le fond, ainsi débarrassé de la couche qui l'obscurcissait, reprendra toute sa beauté première sous une nouvelle application d'un vernis qu'il faudra seulement choisir meilleur que le premier. La préparation du VERNIS étant traitée avec détails dans un article séparé, il ne nous reste à donner ici que la méthode de préparer les peintures à vernir, de manière à éviter tous les inconvénients signalés ci-dessus.

Manière de préparer les peintures à vernir.

« 1° Sur les plâtres ou les bois bien secs, les enduits doivent être mêlés d'une forte dose de litharge et de blanc de céruse, et, pour plus de sécurité, doivent avoir été appliqués longtemps avant les couches de teintes.

« Cette première couche étant destinée à prendre pied plutôt qu'à donner le ton de la couleur qu'on recherche, il n'y a pas d'inconvénient à lui donner un peu plus de liquidité qu'aux suivantes, et même, si on l'applique sur un plâtre neuf ou un bois, qui n'est pas bien sec, on aura toujours raison de l'employer bouillante, elle pénétrera mieux et fera mieux corps avec le fond.

« 2° Les couches de teintes broyées à l'huile, ou mieux encore avec moitié huile et moitié essence de térébenthine, doivent être détrempées avec de l'essence pure. Ainsi préparées, la première sera vite en état de recevoir la seconde, et celle-ci le décor ou le vernis. L'addition d'une petite dose d'huile siccative incolore, pour ne pas salir les couleurs, les ferait sécher et durcir plus promptement encore.

« 3° Sur ce fond bien sec, le décor, si on veut en appliquer un, doit être préparé, non pas avec l'huile grasse du commerce, qui forme toujours peau, c'est-à-dire qui trompe en faisant paraître sèche à l'extérieur une couche encore liquide à l'intérieur, comme il est facile de s'en convaincre en creusant avec l'ongle ou avec un canif la pellicule, qui ne manque jamais de se produire, mais avec une huile siccative qui ne présente aucun des inconvénients qu'on reproche à l'huile grasse ordinaire.

« 4° Un bon vernis, sur un fond ainsi préparé et bien sec, ne saurait occasionner aucun accident; en effet, le fond est également sec et dur partout, il ne contient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nulle part dans son épaisseur des parties molles ou liquides, il n'y aura donc pas de dilatation, et par conséquent, pas de soulèvement en une place plutôt que dans une autre de sa surface, il est donc parfaitement à l'abri des dangers que nous avons signalés et expliqués ci-dessus.

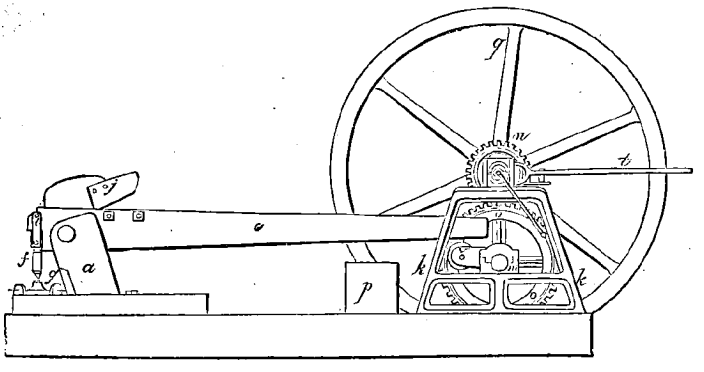
« 5° Mais il faut y appliquer un vernis excellent, car, avec un vernis de basse qualité, c'est-à-dire promptement effacé, usé, blanchi, le fond resterait bientôt exposé à nu aux frottements, aux coups qu'il pourrait recevoir, ne saurait y résister, et ne tarderait pas à tomber en poussière. »

PEINTURE EN COULEURS VITRIFIABLES. Voyez POTERIE et VERRE.

PENDULE CONIQUE. Le pendule conique dans ses emplois divers et surtout à la machine à vapeur a été étudié en détail à l'article RÉGULATEUR. Nous rappellerons seulement qu'en 1842, M. Chaussenot a proposé l'emploi du pendule conique pour indiquer la vitesse sur les chemins de fer; cette idée n'a pas encore été réalisée, elle n'est pas sans intérêt; ne pourrait-on pas, par exemple, faire servir le pendule conique à accroître la détente avec la vitesse, par une disposition analogue à celle employée par M. Farcot, et permettre ainsi de ramener la consommation de combustible à un minimum.

PERCER. L'action de percer un trou dans une matière quelconque s'exécute, soit par incision au moyen d'emporte-pièces (voyez DÉCOUPOIR), soit par pression au moyen d'un poinçon pointu, soit par arrachement au moyen d'un poinçon cylindrique à rebords acérés, comme dans les machines à percer la tôle, soit enfin par pression et rotation à la fois au moyen d'outils divers, tels que mèches, forets, tarières, etc.

Lorsque la matière est très dure, très tenace et d'une faible épaisseur, comme le sont les feuilles de tôle ou de cuivre laminé employées dans la chaudronnerie, on se sert d'un poinçon cylindrique à bords acérés, agissant en porte à faux et par arrachement, fixé au bras le plus court d'un levier, que l'on met en connexion avec un volant, toutes les fois qu'il s'agit d'une machine importante destinée à faire un grand nombre de trous en peu de temps. La fig. 1991 donne l'élévation d'une machine de ce genre, employée à Chaillot, pour percer les trous

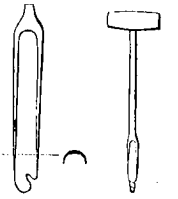


1991.

des rivets dans la tôle des chaudières à vapeur et des coques de bateaux à vapeur. Cette machine a l'avantage d'ébarber les feuilles à l'aide de la petite cisaille supérieure *j*, en même temps que le poinçon *f* fait le trou en pressant sur la matrice *g*; *q*, est un volant qui reçoit d'une machine à vapeur, ou de toute autre manière, un mouvement de rotation continu; sur l'arbre du volant se trouve une roue *n*, qui y est fixée par un manchon d'embrayage mû par le levier *t*; cette roue *n* engrène avec une autre roue dentée *o*, montée sur un axe *m* fixé sur le même bâti que celui du volant; un galet *v*, fixé à l'extrémité d'une manivelle montée sur l'arbre *m*, soulève le levier *c*, qui tourne autour d'un fort boulon situé sur le patin *a*; en *f* est une glissière qui sert à diriger le poinçon dans son mouvement vertical; des brides articulées *i*, *i*, relèvent le poinçon quand le levier *c*, abandonné par le galet *v*, vient retomber sur le support *p*.

Enfin, plus récemment, M. Cavé a appliqué aux machines à percer les tôles le principe fécond de l'application directe de la vapeur, principe qu'il a également appliqué avec le plus grand succès aux machines à cisailler, à cintrer et à river, décrites en détail à l'article CHAUDRONNERIE, ce qui nous dispense d'y revenir ici.

Lorsqu'il s'agit de percer des pièces épaisses d'une matière assez résistante, mais néanmoins peu dure, comme le bois, on emploie des vrilles, des tarières ou des mèches. Les *vrilles* et les *tarières* ne diffèrent que par leur grandeur; ce sont des mèches emmanchées à angle droit au milieu d'un levier (figure 1992), qui, dans les tarières, est assez grand pour qu'on puisse le manœuvrer à deux mains.



1993. 1992.

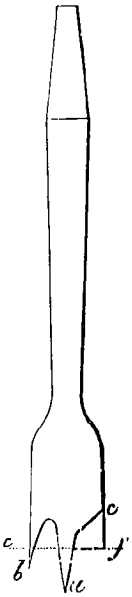
Nous avons déjà parlé des *mèches* dans un article spécial, ce qui nous dispense d'y revenir ici; nous rappelerons seulement que les principales sont les *mèches à cuiller* (fig. 1993), qui doivent être employées dans le bois debout, et les *mèches anglaises* (fig. 1994) ou mèches à trois pointes, qui sont particulièrement appropriées au bois de fil.

On emmanche très souvent les mèches, et même quelquefois les forets, à l'une des extrémités d'un vilebrequin (fig. 1995), sorte d'arbre coudé dont la manivelle ou poignée est verticale, et dont l'autre extrémité porte un trou conique dans lequel on introduit une pointe sur laquelle on exerce une pression qui se transmet à l'outil, comme l'indique la figure. Quelquefois cette partie est terminée par une pointe saillante; l'ouvrier place alors sur sa poitrine une plaque en bois ou en fer, dite *conscience*, et dans laquelle se trouvent de petites cavités, l'appuie sur la pointe et exerce ainsi une pression sur l'outil.

Dans les ateliers de construction, on exerce toujours la pression sur le vilebrequin au moyen d'une vis verti

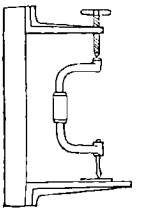
EFERUS - Recherche & Classification numérique

cale pointue, que l'on tourne pour faire descendre l'outil à mesure que le trou s'avance; la fig. 1996 représente une machine à la main de ce genre, d'un usage très commode. Elle est employée dans plusieurs ateliers, et se place à demeure sur les établis, près des étaux sur lesquels les ouvriers fixent les pièces où ils veulent percer des trous; le centre du trou étant déterminé à l'avance par un coup de pointeau, on serre la pièce dans l'étau et, au moyen d'un fil à plomb, d'équerres, etc., on la place de manière à rendre verticale la direction du trou que l'on veut obtenir; cela fait, on amène la pointe à vis au-dessus du trou de pointeau, on détermine sa position exacte au moyen du pointeau, et on commence l'opération en mettant la pointe de la mèche ou du foret dans le coup de pointeau, et le trou du vilebrequin dans la pointe à vis; on fait tourner l'outil, et on le descend au fur et à mesure en faisant tourner la vis.



1994.

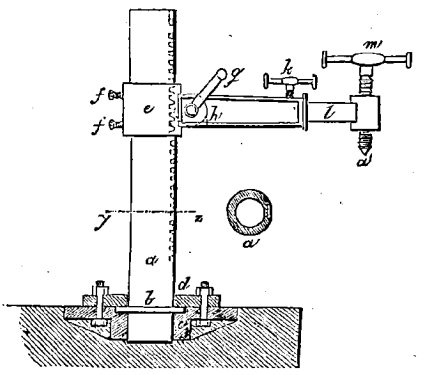
La machine est disposée de manière à pouvoir amener la pointe *a'* dans une position quelconque. A cet effet, l'arbre *a*, tourné parfaitement cylindrique, porte une embase *b*, au moyen de laquelle il s'appuie sur la base *c*, alésée intérieurement; une pièce annulaire *d* recouvre l'embase, et est fixée par des boulons à la base *c*: en desserrant ces boulons, il devient facile de faire tourner l'arbre *a* sur lui-même et de faire décrire un cercle au point *a'*; *c*, est une pièce en fonte, alésée intérieurement, et pouvant glisser tout le long de l'arbre *a*; *f*, *f*, vis de pression qui servent à fixer la pièce *e*; *g*, manivelle que l'on fait tourner quand on a desserré les vis *f*. Elle est fixée sur l'arbre d'un pignon *h*, placé dans l'intérieur de la pièce *e*, et engrenant avec une crémaillère verticale située le long de l'arbre *a*. En tournant cette manivelle on fait monter ou baisser la pointe *a'*, et quand elle est dans la position convenable on serre les vis *f*, *f*. *l*, pièce en fer glissant dans une coulisse horizontale pratiquée dans la pièce *e*; son extrémité est taraudée pour recevoir la vis *m*. En desserrant la vis *k*, la pièce *l* devient libre, et la pointe *a'* peut s'avancer et reculer horizontalement dans le sens de la longueur de la pièce *e*.



1995.

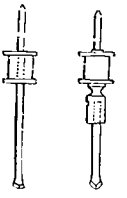
Il est facile de comprendre qu'en faisant tourner l'arbre *a* et avancer la pièce *l*, de quantités convenables, on amène la pointe *a'* également au-dessus du centre des trous à percer. Si on a plusieurs trous parallèles à faire on ne dérange pas la pièce, on varie simplement la position de la pointe *a'*, ce qui se fait très rapidement. Si cette pointe était fixée comme cela a lieu dans plusieurs machines à percer à la main, il faudrait, pour chaque trou, déranger la pièce et la remettre de niveau, ce qui serait infiniment plus long.

Les *forets* (fig. 1997), dont il a été traité dans un article spécial, remplacent les mèches qui n'offriraient pas une solidité suffisante lorsqu'il s'agit de percer des corps très durs, tels que l'ivoire et tous les métaux. On les meut également, soit au moyen d'un vilebrequin, soit souvent, pour des trous de très faible dimension, au moyen d'un *archet* ou *arçon* (fig. 1998), qui sert à imprimer à l'outil un mouvement de rotation alternatif très rapide.

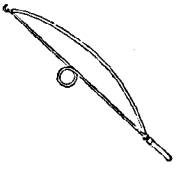


1996.

Le perçage à la main ne s'emploie dans les ateliers que pour des trous de petites dimensions, et des pièces qu'il est plus commode de placer sur des étaux que sur des machines. Dès que le nombre des trous à percer devient un peu considérable, surtout pour le travail des métaux, il est indispensable, si on veut travailler avec économie, d'employer des machines à percer mues par un moteur moins coûteux et plus puissant que l'homme, et qui opèrent avec célérité et économie.



1997.



1998.

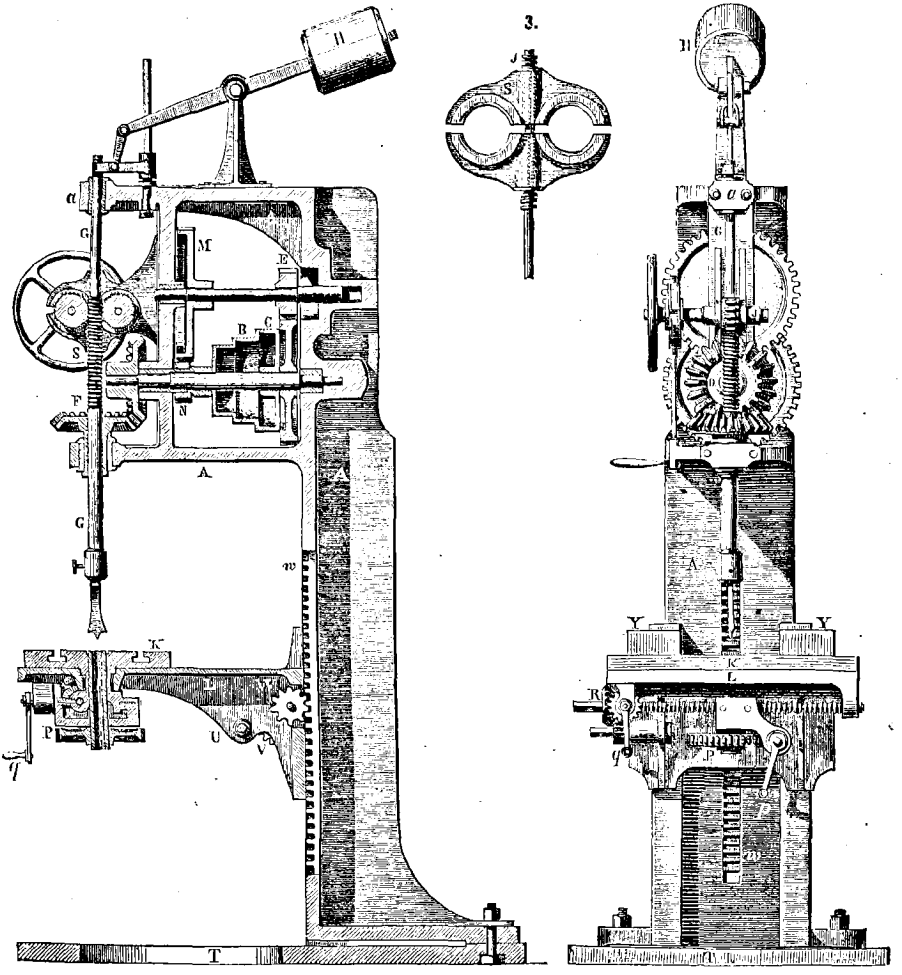
Ces machines se composent, en général, d'un arbre vertical maintenu dans des coussinets, et à l'extrémité inférieure duquel on place le foret. Cet arbre, outre le mouvement de rotation, peut encore marcher dans le sens de sa longueur. La pression sur le foret est déterminée d'ordinaire par des contre-poids fixés à l'extrémité de leviers, que l'on peut allonger ou raccourcir afin de faire varier la pression. D'autres fois, le mouvement descentionnel est déterminé par un système de vis et d'engrenages analogue à celui que nous avons décrit à l'occasion des ALÉSOIRS. Les pièces à percer sont fixées sur un plateau horizontal au moyen de boulons et d'écrous; si l'on doit y pratiquer plusieurs trous, il faut changer leur position sur le plateau. Il existe, dans quelques ateliers, des machines à percer analogues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quant au principe, à la machine à percer à la main que nous avons décrite. Le foret peut se transporter sur tous les points d'un cercle d'un rayon assez considérable, et percer des trous parallèles sur une même pièce sans qu'il soit nécessaire de la déranger. Ces machines fonctionnent bien, sont d'un usage commode, et doivent être employées dans tout atelier où on aura beaucoup de trous à percer, et où l'on est désireux de réunir toutes les conditions d'une bonne exécution et d'une fabrication économique. Quelquefois l'arbre porte-lames est fixe et les pièces sont placées sur un chariot mobile dans deux directions perpendiculaires.

châssis T, qui doit reposer solidement, et sans être assemblé, sur le sol de l'atelier.

A la partie supérieure le bâti principal est double afin de porter les extrémités extérieures de l'axe *b*, qui reçoit le mouvement, et de guider la marche de l'outil. L'axe *b* porte le cône moteur B à trois vitesses, la roue dentée C et la roue d'angle D. Le cône moteur est libre sur l'arbre et lui communique le mouvement au moyen de la roue dentée C, qui est assemblée sur l'axe, et avec lequel il *peut être assemblé* par un boulon et un écrou. Cette roue engrène avec le pignon E monté sur le même axe qui porte la roue M; celle-ci, à son



1. 2.

Machine à percer de MM. Whitworth et Cᵉ, de Manchester. La fig. 1 est une coupe verticale dans le plan de l'axe du cône moteur; la fig. 2 une vue de face de la machine. AA est le bâti en fonte qui supporte toutes les parties de la machine qui se meuvent, ainsi que la plate-forme. Ce bâti, formé d'une seule pièce de fonte, est fixé par trois forts boulons sur le

tour, engrène avec le pignon N, qui est attaché vers le haut du cône B, mais qui est libre sur l'axe *b*.

Cet arrangement est en tous points le même que le système accélérateur ordinaire d'un tour, et produit au même effet. Supposons qu'il n'agisse pas, le cône, entraîné par sa courroie, fait tourner l'axe *b* à cause de son adhérence à la roue C, et en même temps met en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement le foret G G, qui peut glisser verticalement lorsqu'on agit comme nous allons le voir. Trois degrés différents de vitesse peuvent être imprimés au foret selon qu'on place la courroie motrice sur un des trois diamètres du cône. Mais que les roues supérieures soient engrenées comme il est représenté dans le dessin, le cône n'étant plus lié à la roue C, le mouvement qui lui sera communiqué n'entraînera plus directement l'arbre *b*, mais le pignon N, fixé sur lui, mettra en mouvement la roue M sur le même axe que le pignon E. Ce dernier fera, par conséquent, le même nombre de révolutions que M, mais, étant d'un diamètre plus petit, fournira une vitesse proportionnellement moins grande à la roue C, avec laquelle elle engrène; et qu'elle fait par suite tourner avec une vitesse diminuée dans le rapport des rayons des roues d'engrenage. La roue C étant fixée sur l'arbre *b*, imprime au pignon D la même vitesse diminuée, et celle-ci au porte-foret G G, qui est libre de glisser verticalement dans l'œil de la roue F sans pouvoir tourner indépendamment de celle-ci. Cette vitesse réduite peut, bien entendu, être également variée en plaçant la courroie sur une poulie quelconque du cône à vitesse. Derrière le pignon E il y a une cavité dans le bâti pour le laisser entrer quand les roues retardatrices sont désengrenées, et on peut remarquer que cet engrenage de vitesse ne doit être mis en mouvement que quand la machine est employée pour percer des trous de plus d'un pouce et demi de diamètre.

La roue F est fondue avec une longue saillie creuse qui est adaptée à un collier de cuivre dans la branche inférieure du support; ce collier est maintenu par un chapeau assemblé avec lui.

Comme on l'a déjà observé, le porte-foret passe à travers la roue F, qui lui sert ainsi de guide inférieur. L'extrémité supérieure de l'axe est en même temps guidée par un collier ajusté de la même manière dans la branche supérieure du support A, et est ainsi guidé verticalement en montant et en descendant.

Au bout du foret est attaché le contre-poids H par un levier à articulations qui entraîne une traverse glissant sur un guide vertical et assemblé par un écrou avec le bâti A.

Le porte-foret est taillé en vis sans fin vers le milieu de sa longueur; il engrène avec deux roues J J entre lesquelles il tourne, et qui remplissent la fonction d'écrou pour aider le foret dans l'action de percer par une disposition qu'on décrira plus tard.

K est la plate-forme sur laquelle repose la pièce qu'il s'agit de percer, et à laquelle elle peut être adaptée solidement par des boulons à tête. La plate-forme porte des rainures pour retenir les têtes des boulons qui maintiennent la pièce à percer. Quand la surface de la pièce est beaucoup plus petite que celle de la table, la tête du boulon peut être introduite sur quelque endroit de la surface que l'on veut par les creux K K, qui forment deux séries de rainures en queues d'aronde à angle droit l'une sur l'autre. La table est elle-même portée par un grand support, qui est fortifiée en dessous par deux grosses nervures. Le support est attaché au bâti A A par deux pièces glissantes à recouvrement Y, qui sont boulonnées sur la table, et qui, dressées avec soin, s'appliquent sur les faces inclinées du bâti. Ces faces sont rabotées là où elles rencontrent les faces obliques des pièces glissantes. Par ce moyen, on obtient un assemblage qui ne permet que le mouvement vertical. Quand les glissières s'usent par le frottement, elles peuvent être resserrées par des vis. Le support est élevé et abaissé par une manivelle à l'aide de laquelle on fait tourner le pignon U. Ce pignon engrène avec la roue dentée ajustée sur le même axe que le pignon W, qui engrène à son tour avec la crémaillère ajustée dans le bâti AA de la machine, de manière à en former partie intégrante. En tournant la manivelle, il est évident que le mouvement sera transmis au support, qui s'élèvera ou s'abaissera suivant la direction dans laquelle on tournera la manivelle. La table K a un double mouvement sur le support; l'un circulaire et l'autre dans la direction de la longueur de la table. Le mouvement circulaire est effectué par une manivelle *p* supportée dans un support formé sur la boîte X, qui devient ainsi un centre de rotation. Sur son axe il y a un filet qui, engrénant avec la roue horizontale P assemblée sur l'axe central de la table K, communique le mouvement de la manivelle *p* à la table.

Il est à remarquer que l'axe sur lequel la roue P est fixée est fondu creux et est ajusté à la table par une clef.

Le mouvement latéral de la table est effectué d'une autre manière.

Un creux de la forme d'un parallélogramme est réservé dans le support L, avec des nervures saillantes *e*, *e* de côté, pour servir dans le double but de donner de la force à la plate-forme et de former des guides contre lesquelles le coussinet de la boîte mobile X puisse glisser, les surfaces en contact étant rabotées à cet effet. Le mouvement est communiqué par la manivelle *q* située sur l'axe qui porte la roue d'angle Q. Cet axe a ses supports attachés au support L, et engrène avec la roue R, adaptée au bout d'une vis qui tourne dans des coussinets assemblés à la plate-forme. En tournant la manivelle *q*, il est évident que la pièce qui sert d'écrou sur la vis *d* sera entraînée dans la direction de la longueur de la vis; mais l'écrou étant attaché à la table, le tout s'ébranlera simultanément dans cette direction. A l'aide de ces deux mouvements, tout point de la table K, tout objet peut être amené exactement sous l'axe du foret, et, à l'aide du mouvement vertical du support, à la hauteur convenable.

Il nous reste à expliquer le mode d'action des roues dentées qui agissent pour faire descendre le foret, qui est extrêmement ingénieux. Sur les axes de ces roues sont placées deux poulies dont les circonférences sont entourées de deux colliers à frottement *s s* (fig. 3). Le porte-foret taillé en vis étant mis en mouvement, les roues J J ne peuvent être en repos sans produire l'effet d'un écrou fixe, qui le force à descendre d'un pas par chaque tour. Cet effet de produire une pression convenable, sans danger de briser les pièces, est produit en rapprochant les colliers à frottement, qui s'éloignent ou se rapprochent suivant qu'on fait tourner dans un sens ou dans l'autre un petit volant que l'on conduit à la main, et l'on produit ainsi, sans effort, une pression considérable du foret, s'il est nécessaire. Le contre-poids relève celui-ci aussitôt que cesse l'action dont nous venons de parler.

Nous donnerons encore d'intéressantes machines à percer remarquées à l'Exposition de 1862, et dont l'emploi peut être très-avantageux dans des cas déterminés.

Machine à percer radiale, automatique et à table reposant sur le sol, de Hulse de Manchester. — La partie fixe de cette machine pouvant percer divers points d'une circonférence du cercle (d'un rayon plus grand que celle du même genre donnée à MACHINES-OUTILS) sans déplacer la pièce à percer, se compose d'une grande table à rainures A, reposant directement sur le sol, et munie, à l'une de ses extrémités, d'un socle cylindrique sur lequel est fixée une colonne B, qu'on peut considérer comme faisant partie de la même pièce, et qui sert de support à toutes les parties mobiles de l'appareil. Les rainures de la table peuvent servir directement à la mise en place des grosses pièces; et, dans le cas où l'on aurait à travailler sur des pièces plus petites, on y boulonnerait une sorte de billot cylindrique *a*, dont le plateau supérieur est disposé, soit avec des rainures, soit avec des mortaises, pour le passage des boulons d'assemblage.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La colonne verticale porte l'arbre moteur et les glissières sur lesquelles doit venir s'assembler le châssis mobile C, qui porte le banc radial D, avec le foret et tous les organes nécessaires à son fonctionnement.

Dans la position qui est représentée par la figure 4, l'effort moteur est transmis à la poulie motrice, et, par l'intermédiaire du pignon conique calé sur le même axe, il entraîne l'arbre vertical au sommet duquel une nouvelle paire d'engrenages coniques sert à faire tourner, sur lui-même, le petit arbre horizontal, qui porte en son milieu un pignon engrenant avec la roue droite, figurée sur le dessin, et dont l'arbre porte à son autre extrémité une nouvelle roue d'angle ; c'est cette dernière roue qui engrène avec celle du porte-outil, et qui imprime à celui-ci son mouvement de rotation. Quant au mouvement de descente automatique de cet outil, il est également dérivé du dernier arbre horizontal, au moyen de la poulie à étages qui se voit à côté de la roue droite ; le mouvement de rotation est transmis, par courroie, à la poulie inverse qui est au bas du porte-outil, et au pignon droit qui est solidaire avec elle ; ce pignon engrène avec un pignon parallèle dont l'arbre horizontal fait fonctionner, par vis sans fin, le petit pignon horizontal qui se voit de l'autre côté de la figure et dont l'arbre vertical est également muni d'une vis, à sa partie supérieure ; enfin c'est cette vis qui est chargée d'entraîner le petit arbre horizontal qui agit, au moyen d'un pignon placé en son milieu, sur la crémaillère de la tige du porte-outil. Si ce mouvement de descente devait s'opérer à la main, on supprimerait la courroie et on agirait après débrayage au moyen de la manivelle qui est solidaire avec le dernier arbre vertical.

Cette combinaison n'offre rien de particulier, mais il faut que les mêmes fonctions puissent être remplies par tous les organes qui la constituent, quelle que soit la position de l'outil par rapport au bâti de la machine.

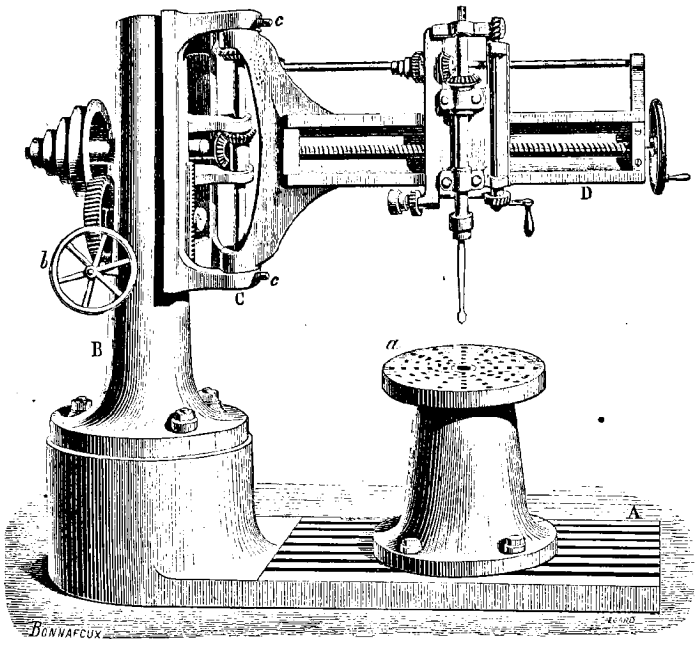


Fig. 4.

Le transport longitudinal du chariot du porte-outil s'effectue au moyen de la vis horizontale qui règne d'un bout à l'autre du banc radial D ; le chariot tout entier se déplace parallèlement à lui-même, en entraînant avec lui tous les organes de transmission, y compris le pignon droit qui glisse sur une rainure de l'arbre horizontal supérieur.

Le mouvement autour du premier arbre vertical, parallèle à l'axe de la colonne, s'effectue directement à la main ; et toute la partie mobile de l'appareil est fixée dans la position convenable, au moyen de deux vis de pression, dont les têtes sont apparentes en cc sur le dessin.

Quant au soulèvement tout entier du banc, il s'opère également d'une manière simple. Un petit volant à manette *b* agit, par vis sans fin, sur un arbre horizontal, dont la roue dentée se voit à la gauche du dessin ; à l'autre extrémité du même arbre est un pignon, agissant sur la crémaillère qui fait partie du châssis mobile C ; dans ce mouvement, le deuxième pignon conique glisse sur l'arbre vertical d'articulation, et ne cesse pas de rester en prise avec le pignon qui le commande ; on pourra donc monter et baisser ce chariot, faire tourner le châssis horizontal, tout autour de la machine, enfin éloigner ou rapprocher l'outil, de toute la longueur du chariot horizontal, sans pour cela qu'aucun des organes de transmission cesse de fonctionner. Cette condition a exigé l'emploi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'un plus grand nombre d'engrenages intermédiaires; mais le résultat est aussi complet que possible, et la machine constitue un outil puissant, très-solide, et d'une très-bonne application à un grand nombre de travaux.

Machine à percer de Shanks. — Plusieurs applications des engrenages à coin (Voy. ENGRENAGES, *Complément*) avaient été faites à l'Exposition de 1862 à des ventilateurs et à divers appareils devant être mus à grande vitesse notamment; mais la seule qui nous ait paru vraiment bonne, dit M. Tresca, auquel nous empruntons ces descriptions, en raison de la petitesse des efforts à transmettre, est celle de M. Shanks, dans sa nouvelle

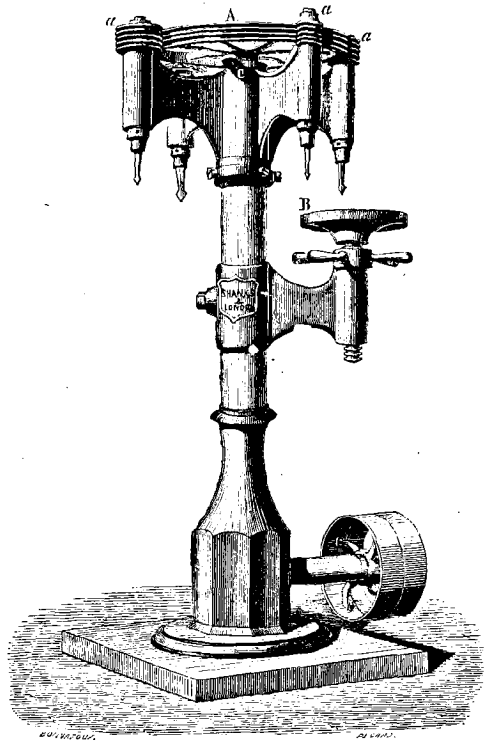


Fig. 3.

machine à percer, à plusieurs forets. Cette machine est représentée (*fig.* 5); le mouvement est transmis par la poulie placée au bas de l'appareil à un arbre à peu près vertical qui est renfermé dans la colonne extérieure, et porte la roue à coin A, qui est toujours un peu inclinée du côté du plateau B, représenté sur la droite du dessin. Celle-ci engrène avec de petites roues d'engrenage également à coin, avec de petits pignons *a a a*, distribués à égale distance sur le pourtour de la machine, et portant chacun un foret suivant leur axe. Les coins des pignons entrant dans les rainures de la grande roue déterminent une suffisante adhérence entre cette roue et le pignon correspondant, pour que le premier de ces organes entraîne la rotation de l'autre, avec une vitesse angulaire d'autant plus grande, pour une même vitesse de l'arbre moteur, que le diamètre du pignon est moindre.

M. Shanks est ainsi parvenu, très-simplement, et sans faire naître des frottements un travail résistant nuisible, à faire mouvoir ses forets avec des vitesses différentes, en montant, sur leur axe, des couronnes de diamètres variés et appropriés à la vitesse qu'il convient de donner à chacun d'eux, eu égard à son diamètre, à la dimension du trou qu'il doit percer.

La tête de cet appareil, qui porte quatre forets, est mobile sur la colonne principale, et l'on peut à volonté mettre l'un ou l'autre de ces forets en prise avec la roue centrale, en l'amenant au-dessus du plateau latéral B. On voit sous la grande roue une sorte de clef C, qui sert à fixer exactement, au moyen d'un verrou et d'une entaille, la tête de l'appareil dans la position convenable.

La pièce à forer étant assujettie sur le plateau B, il suffira de soulever celui-ci, au moyen de l'écrou à poignées qui est au-dessous de lui, pour que le foret pénètre dans la pièce et fasse rapidement son office. Placée à l'écart, dans un atelier, cette machine serait d'une utilité très-grande pour effectuer rapidement le percement des petites pièces, suivant l'un ou l'autre des diamètres des différents outils qui y seraient placés, des mèches que l'on n'a pas besoin de remplacer les unes par les autres à mesure qu'on a besoin des unes ou des autres. C'est une application nouvelle, d'une réelle et sérieuse utilité, des engrenages à coin de M. Minotto, dont on comprend enfin les avantages.

PERLES. Les perles sont produites par quelques espèces de mollusques bivalves, qui sont sujets à une sorte de maladie causée par l'introduction de corps étrangers dans l'intérieur de leur coquille : la substance nacrée, au lieu de s'étendre en couche sur la coquille, enveloppe alors ces substances pour mettre leur corps à l'abri des irritations qu'elles produisent. La perle est formée de couches concentriques autour d'un noyau central, qui est le corps étranger, origine de sa formation : sa substance est de même nature que la nacre et essentiellement composée de carbonate de chaux.

Ce sont principalement les espèces de mollusques les plus riches en NACRE qui produisent les perles : les plus estimées viennent de Ceylan et d'Olmutz, dans le golfe Persique, où leur pêche donne lieu à un commerce assez important. Les Orientaux les prisent à l'égal des pierres gemmes les plus chères; en Europe, elles sont beaucoup moins recherchées, et leur prix est beaucoup moins élevé. Pour être estimées les perles doivent être grosses, sphériques, et réfléchir la lumière en la décomposant avec une grande vivacité.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PERLES ARTIFICIELLES. On donne ce nom à de petits globules en verre mince, percés de deux trous opposés à l'aide desquels on peut les enfiler, lorsqu'on les a préparés de manière à ce qu'ils puissent imiter les concrétions arrondies, brillantes et irisées des *perles orientales* que fournissent certaines coquilles bivalves. Ces globules se soufflent très minces à la lampe avec des verres blancs bleuâtres opalins; on y introduit une goutte d'ESSENCE D'ORIENT, qu'on prépare, comme nous l'avons vu, avec des écailles d'ablette et de l'ammoniaque, et on fait sécher doucement pour faciliter la volatilisation de l'ammoniaque; enfin, pour donner plus de solidité aux globules, on en remplit ordinairement l'intérieur avec de la cire.

Les grains de verroterie employés pour colliers, chapelets, etc., se font d'une manière toute différente. On prend des tubes en verre blanc laiteux, simple ou doublé en rouge, bleu, etc., selon qu'il s'agit d'obtenir des grains blancs ou colorés; ces tubes, analogues aux tiges de thermomètres, et d'un diamètre proportionné à celui des grains que l'on veut obtenir, sont coupés par paquets en cylindres d'une hauteur égale à leur diamètre; on introduit ensuite ces petits cylindres, avec un mélange de plâtre et de graphite, ou de charbon de bois pulvérisé et d'argile, dans un tambour pyriforme en cuivre ou en fer battu traversé par un axe en fer, et que l'on place ensuite au-dessus d'un foyer dans un fourneau convenablement disposé. On imprime au tambour un mouvement de rotation continu; les cylindres de verre se ramollissent par l'effet de la chaleur, et prennent peu à peu, par le frottement, une forme sphérique : les substances pulvérulentes que l'on a introduites dans le tambour empêchent les globules de verre de se souder les uns aux autres. Lorsque l'opération est terminée, on retire le tambour du fourneau au moyen d'une petite grue à volée mobile; on laisse refroidir, et on sépare par le tamisage les matières pulvérulentes.

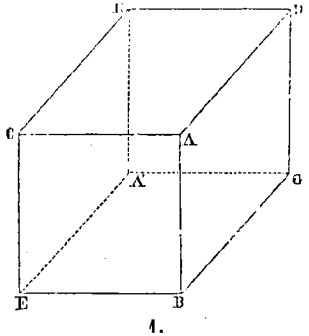
PERSPECTIVE ISOMÉTRIQUE. Nous ne voulons pas parler dans cet article des règles de la perspective telle qu'elle s'emploie ordinairement dans les arts du dessin, ni des méthodes de projection à l'aide desquelles on représente les objets, les machines notamment à l'aide de plusieurs plans de projection convenablement choisis. Nous avons dit quelques mots de ces méthodes dans l'INTRODUCTION. Nous voulons seulement exposer ici un nouveau système de représentation inventé en Angleterre par le professeur Farish, qui a pour but de présenter une vue satisfaisante d'un objet, tout en permettant de retrouver sur ce même dessin ses dimensions dans tous les sens. (Nous empruntons à M. Tom Richard, telle qu'il l'a donnée dans un recueil industriel, l'exposition de cette méthode.)

« Au premier aperçu, dit-il, on pourrait croire que la meilleure méthode consisterait, en faisant occuper à l'œil une position invariable, à tracer sur une vitre ou sur une feuille de papier qui la recouvrirait tous les traits suivant lesquels l'œil apercevrait les différentes arêtes de l'objet à représenter; mais pour peu que l'on y réfléchisse, on reconnaît bientôt que l'on n'obtiendrait ainsi qu'une solution très imparfaite; deux objets de la même grandeur, en réalité, seraient représentés sous des grandeurs tout à fait différentes selon leur degré d'éloignement; une fenêtre placée ici sera plus grande qu'une maison entière qui sera située là-bas; la première sera indiquée avec tous ses détails; celles de la maison, plus éloignées, ne seront accusées que par une image à peine visible; aucune mesure ne pourra être prise sur un pareil dessin; ce ne sera qu'une œuvre d'art, absolument nulle au point de vue de la réalisation matérielle de l'objet représenté par le dessin; la perspective vraie ne saurait donc à cet égard convenir.

« Aussi a-t-on cherché depuis longtemps à remplacer cette perspective vraie par la perspective cavalière, qui n'est autre chose qu'une projection oblique faite sur un plan parallèle, le plus souvent, à une des faces principales de l'objet. Le dessin alors représente l'objet tel que le verrait celui qui serait placé immensément loin, mais ici encore, malgré le parallélisme dans le dessin des différentes projections des lignes parallèles dans l'espace, les dimensions sont altérées, celles-ci plus, celles-là moins, de manière qu'il est impossible de trouver sur le plan à l'aide du compas les éléments des grandeurs, nécessaires pour reconstruire. (La représentation des objets dans ce système, à l'aide de la photographie, tend à en rendre l'application plus fréquente chaque jour.)

« Pour satisfaire cette importante condition pour la pratique, on préfère, en général, prendre pour plan de projection un plan parallèle à l'une des faces de l'objet à représenter, de manière à obtenir une représentation en vraie grandeur dans toutes les dimensions parallèles à ce plan, et figurer sur le côté la façade latérale qui est alors vue obliquement; on n'obtient ainsi, en quelque sorte, que plusieurs dessins à des échelles différentes, donnant une idée fausse des dimensions et des positions respectives des différentes parties d'un même tout.

« S'il s'agit de représenter de cette façon une caisse d'emballage, par exemple, on portera de A en B (fig. 1) sur la verticale AB la hauteur de cette caisse; on complétera la figure exacte (ABEC) de sa face antérieure en prenant la distance AC égale à la largeur



1.

de cette face et en complétant le rectangle ABCE. Pour donner l'idée de la profondeur de cette caisse, on mènera une ligne quelconque BG de longueur arbitraire, on tracera les parallèles AD, CH, GD, DH; le parallélogramme ABGD représentera la face latérale de droite de la caisse, le parallélogramme ACED la face supérieure.

« Dans ce mode de représentation, toutes les lignes contenues dans le plan ABCE seront figurées en vraie grandeur et pourront servir à l'exécution; les lignes parallèles à AD pourront également être employées pour mesurer les profondeurs; mais, suivant l'un ou l'autre cas, l'échelle qu'il sera nécessaire d'employer sera différente, et l'œil ne sera pas immédiatement frappé des rapports réels de grandeur entre les différentes faces.

« Et si l'on remarque que presque toutes les arêtes d'un bâtiment et même d'une machine sont parallèles à l'une des lignes AB, AC, AD, on voit déjà toute l'utilité d'un pareil système, défectueux cependant en ce sens qu'il habitue l'œil à mal juger, et en ce qu'une même échelle ne peut servir dans les trois directions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

principales. Que si on veut se mettre à l'abri de cette dernière objection, on donne à la ligne AD la dimension même de la profondeur de la caisse, on exagère encore le premier inconvénient que nous venons de signaler, et l'on n'a plus qu'un dessin absolument inexact. Il est tout à fait impossible qu'une projection oblique ou orthogonale de la ligne AD, quelles que soient l'obliquité et la position du plan, soit égale à cette ligne AD dans l'espace, si elle n'est pas parallèle au plan sur lequel la projection a lieu.

« Vérité géométrique dans la projection, représentation à la même échelle des trois lignes, AB, AC, AD, telle est la double difficulté que résout heureusement la perspective isométrique que l'on peut considérer comme un cas particulier de la projection orthogonale, mais un cas particulier parfaitement choisi, et jouissant de propriétés fort remarquables que nous avons pour but, dans cette note, de mettre en relief.

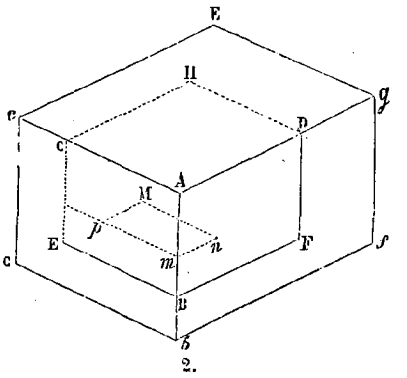
« Le plan de projection choisi par M. Farish n'est parallèle à aucune des faces principales de l'objet à représenter, mais il occupe une position toujours identique; il est perpendiculaire à la diagonale AA' du cube que nous considérions tout à l'heure. Perpendiculaire à cette ligne, qui est en quelque sorte l'axe de l'angle trièdre A, que forment les trois faces ABC, ACD, ABD que nous venons d'indiquer, ce plan est également incliné sur chacune de ces faces, qui dès lors se trouveront avoir pour projections trois parallélogrammes ou losanges égaux. Aucune face, il est vrai, n'aura plus conservé sa forme, mais l'œil est évidemment satisfait, et les trois arêtes du cube, étant égales dans la représentation, se trouvent être une réduction à la même échelle des trois arêtes du cube dans l'espace, et cette échelle encore pourra s'appliquer dans les trois directions principales, lorsque le solide à considérer n'est plus un cube, mais une parallélipipède rectangle quelconque. Cette représentation affectera d'ailleurs absolument l'apparence que l'objet réel offrirait à l'œil placé sur la diagonale à une distance infinie : dans ces conditions, ce serait une vue parfaitement vraie.

« Les trois parallélogrammes AE, A*c*, A*f* étant égaux, les trois angles en A le sont également, et chacun d'eux comprenant le tiers d'une circonférence entière, ou du 360e, leur mesure commune est de 120e; il en résulte un moyen simple de tracer immédiatement et sans effectuer de mesure d'angles les trois axes isométriques à partir du point A. Il suffira de décrire d'un point A une circonférence quelconque, d'inscrire dans cette circonférence un hexagone régulier (on sait que le côté de cet hexagone est égal au rayon), ce qui donne les points de division à l'aide desquels les directions de toutes les lignes isométriques sont immédiatement données. Si l'arête A*g* a en réalité 0m,40 de longueur, et si l'on veut pouvoir se servir, par exemple, de l'échelle de 5 centimètres pour mètre, on prendra A*g* = 0m,40 × 0,05 = 0m,02; si l'arête A*c* dans la réalité est de 0,30; on fera à la même échelle A*c* = 0m,30 × 0,05 = 0m,015, et ainsi de suite pour toutes les distances qui, dans un même dessin et à une même échelle, seraient destinées à reproduire une quelconque des lignes tracées sur l'objet ou ses arêtes, pourvu qu'elle soit parallèle à une des trois autres arêtes du cube.

« Mais cet avantage, si grand qu'il soit, n'est pas le seul que présente la perspective isométrique, que l'on appellerait, avec plus de raison peut-être, projection isométrique : de ce que ce mode de figuration est une projection régulière sur un plan, il résulte que toute figure, de quelque forme qu'elle puisse être, étant tracée sur l'une quelconque des faces du parallélipipède isométrique, se trouvera projetée sur le dessin en une figure, en général peu semblable à elle-même, mais dont la surface sera avec la surface réelle dans un rapport toujours constant; et comme l'œil saisit avec une précision extrême la grandeur des surfaces, tout dessin isométrique en donnant à chacun des éléments superficiels du solide originaire une valeur exactement en rapport avec la grandeur réelle, le lecteur sera à première vue frappé de cette précision, et y puisera immédiatement et sans effort une idée vraie des proportions relatives de ces éléments nombreux.

« Pour la commodité du langage, nous désignerons par différentes dénominations tous les plans parallèles aux différentes faces du parallélipipède isométrique, et les lignes parallèles à ses arêtes. La ligne AB et toutes les parallèles seront pour nous des lignes isométriques verticales; les parallèles à AC et AD seront respectivement les lignes isométriques horizontales, de gauche ou de droite, ou simplement les isométriques de gauche, et les isométriques de droite : les mêmes notations rappelleront les plans, tous ceux parallèles aux faces du parallélipipède étant respectivement des plans isométriques horizontaux (AH), verticaux de gauche (AE), ou de droite (AF).

« Rien ne sera plus facile maintenant que d'exposer la pratique de ce mode de représentation. Une machine étant donnée par exemple, si on la considère comme placée dans une caisse que l'on représentera d'abord par ses arêtes isométriques, un point M (fig. 2) étant



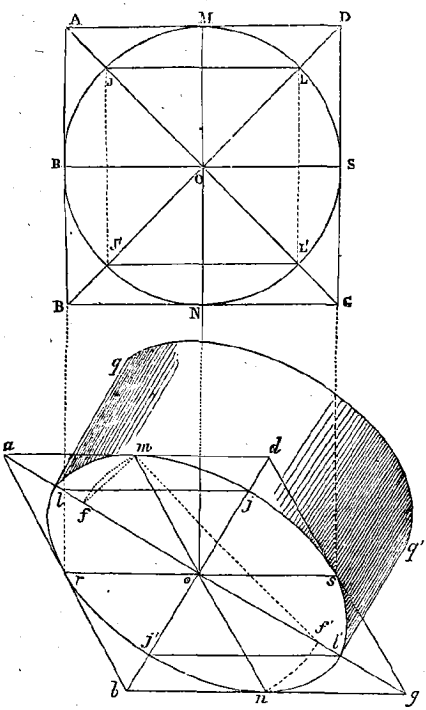
2.

donné de position dans cette caisse par sa distance aux trois plans isométriques, on déterminera tout d'abord dans quel plan isométrique horizontal il se trouve, en connaissant sa distance au plan supérieur de la caisse et en prenant A*m* égal à cette longueur, on mènera les isométriques *mp*, et *mn*, on prendra *mp* égal à la distance du point au plan isométrique de droite, *mn* égal à la distance du point au plan isométrique de gauche, et par la construction du parallélogramme *mn* M*p*, on trouvera en M la projection isométrique du point cherché. Si l'on compare sous le rapport de la grandeur la figure ainsi obtenue à l'objet réel, on voit de suite que son image n'est autre chose qu'une projection orthogonale exacte, amplifiée ensuite dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$: une ligne droite sera déterminée par deux de ses points, ou par un seul si l'on sait à l'avance qu'elle est une ligne isométrique; une face plane résultant de l'intersection de plusieurs plans isométriques sera toujours représentée par un parallélogramme, dont les côtés seront des lignes isométriques et qu'il est dès lors facile de déterminer.

« Ces seules règles, pour peu qu'on les applique avec discernement, sont suffisantes pour éviter toutes difficultés dans la représentation des faces rectangulaires.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Soit, maintenant, un cercle de rayon OM (fig. 3), que nous supposerons appartenir à un plan isométrique de gauche, à représenter à l'aide de cette double trans-



3.

formation; son rayon est r, la figure qu'il faut construire est donc la projection orthogonale d'un cercle plus grand, de rayon $R = r\sqrt{2}$. Traçons les deux diamètres MN et RS, l'un vertical et l'autre horizontal, puis construisons le carré circonscrit A B G D.

« D'après ce qui vient d'être dit, nous savons déjà que ce carré, s'il existait réellement dans le corps à représenter, serait figuré par le parallélogramme $a\,b\,g\,d$, dans lequel les côtés sont respectivement parallèles à ceux du carré isométrique, et qui affecte la disposition que nous avons reconnue une fois pour toutes au plan isométrique de gauche. Les deux diamètres MN et RS seront figurés en $m\,n$, $r\,s$, et le point O, centre du cercle primitif, qui se trouvait à la rencontre de ces deux diamètres se trouvera en o à la rencontre des isométriques qui représentent respectivement ces diamètres : les quatre points m, n, r, s, seront pour la même raison des points de la perspective isométrique du cercle, et comme nous savons *à priori* que la projection oblique d'un cercle est nécessairement une ellipse, le problème se réduit à construire une ellipse qui passe par ces quatre points et qui soit tangente en chacun d'eux aux lignes isométriques, comme la circonférence du cercle O était tangente aux côtés du carré circonscrit.

« La disposition symétrique des quatre points de contact par rapport aux deux droites $b\,d$ et $a\,g$ démontre d'abord que ces deux droites sont les axes de l'ellipse dont le point o est le centre. Ces deux lignes sont les projections des deux diagonales BD et AG du carré

primitif, et si nous considérons en particulier cette ligne BD, nous savons qu'en se projetant régulièrement sur un plan quelconque chaque élément linéaire de cette droite est modifié de la même manière dans sa longueur; de sorte que si OD est devenu $o\,d$, le rayon OL étant devenu $o\,j$, on aura la proportion

$$o\,j : \mathrm{OL} :: o\,d : \mathrm{OD}.$$

OL, c'est le rayon du cercle primitif ou r; OD, c'est la diagonale du carré circonscrit, ou $r\sqrt{2}$; $o\,d$, c'est un des côtés du triangle équilatéral $o\,d\,m$ (il est équilatéral, parce que chacun de ses angles est un angle isométrique de 60°), donc $o\,d = o\,m = r$, car $o\,m$ c'est la représentation isométrique de OM, qui n'a pas changé de valeur.

« Nous tirons de là :

$$o\,j = \mathrm{OL} \times \frac{o\,d}{\mathrm{OD}} = r \times \frac{r}{r\sqrt{2}} = \frac{r}{\sqrt{2}}$$

Le même raisonnement étant appliqué à $o\,a$, on trouve $o\,l : \mathrm{OJ} :: o\,a : \mathrm{OA}$.

OJ et OA sont connus comme égaux respectivement à OL et à OD; $o\,a$, c'est le côté du triangle rectangle $a\,o\,d$, dans lequel $o\,a^2 = a\,d^2 - o\,d^2 = 4r_2 - r^2$ car $a\,d = \mathrm{AD} = 2r$, d'où $o\,a = r\sqrt{3}$ et enfin

$$o\,l = r \times r\sqrt{3} : \frac{r}{\sqrt{2}} = r\sqrt{\frac{3}{2}}.$$

« Telles sont les valeurs des deux demi-axes de l'ellipse isométrique, et il en résulte que les trois demi diamètres $o\,j$, $o\,m$, $o\,l$, sont entre eux comme les quantités

$$\frac{r}{\sqrt{2}},\ r,\ r\sqrt{\frac{3}{2}},$$

ou comme les trois nombres 1, $\sqrt{2}$, et $\sqrt{3}$, environ comme 28 : 40 : 49.

« Nous ne serions pas entrés dans tous ces détails sur l'ellipse isométrique si elle ne se présentait toujours la même pour tous les cercles contenus dans les trois plans, tantôt plus grande, tantôt plus petite, mais toujours semblable à elle-même, la proportion entre les trois diamètres que nous venons d'étudier restant constante.

« Voici, au reste, comment on arrive graphiquement à la construire.

« L'excentricité dans une ellipse, ou la distance du centre au foyer, est exprimée par $\sqrt{a^2 - b^2}$, a et b étant les deux demi-axes. Cette distance est donc ici, en mettant pour ces axes les valeurs que nous venons de trouver,

$$\sqrt{o\,l^2 - o\,j^2} = \sqrt{r^2\,\frac{3}{2} - r^2\,\frac{1}{2}} = r,$$

c'est-à-dire que l'excentricité est égale au rayon $o\,m$ et qu'on obtiendra les deux foyers f et f' en décrivant du point o comme centre les deux arcs $m\,f$ et $n\,f'$; les foyers étant connus, on déterminera autant de points de l'ellipse que l'on voudra; on connaîtra immédiatement la longueur du grand axe, qui sera $m\,f + m\,f'$; les extrémités l et l' de cet axe étant ainsi déterminées, les extrémités j et j' du petit axe s'obtiendront par les isométriques $l\,j$ et $l'\,j'$, car LJ et L'J' sont parallèles à RS dans le cercle dont l'ellipse est la projection.

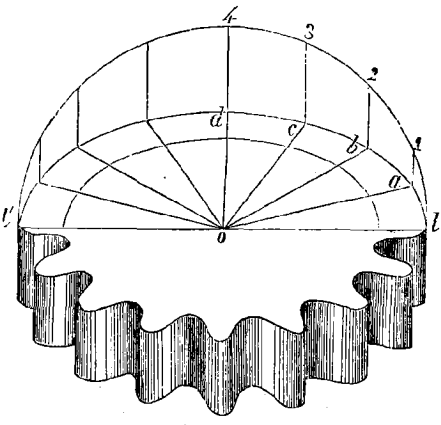
« Ces huit points de la courbe étant déterminés, savoir : les quatre extrémités des axes et les quatre points de tangence en m, n, r, s, suffiront presque toujours pour la tracer, et ce ne sera que dans le cas de dimensions très grandes qu'il sera nécessaire, à l'aide des foyers, de déterminer un plus grand nombre de points intermédiaires, au moyen de cette propriété que la somme des rayons vecteurs pour chaque point est égale à la longueur du grand axe, ou bien encore en consi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dérant l'ellipse comme un aplatissement de la circonférence décrite sur *ll'* comme diamètre.

« L'ellipse isométrique étant tracée, on voit de suite comment doit être figuré le cylindre auquel appartient cette base, car s'il s'agit de l'ellipse isométrique du plan de gauche comme celle que nous venons d'examiner, les génératrices perpendiculaires à son plan seront nécessairement des isométriques de droite, et il suffira de mener tangentiellement à l'ellipse les deux isométriques de droite passant par l'extrémité de son grand axe, pour que le cylindre soit parfaitement indiqué, ainsi qu'on le voit dans la figure. Ces génératrices extrêmes sont *lq*, *l'q'*; la base postérieure est terminée par une ellipse égale à l'ellipse *mnrs* et l'une quelconque des génératrices, telle que *lq*, *l'q'*, prolongée d'une base à l'autre, mesure en vraie grandeur la longueur du cylindre.

« Lorsqu'on voudra se servir de ce procédé pour des dessins de machines, auxquels il se prête si bien, il arrivera fréquemment que l'on aura besoin, soit pour des engrenages, soit pour bien d'autres causes, de montrer comment des divisions égales de cercle se trouvent indiquées dans la représentation : rien n'est plus simple que cette division; sur le grand axe *ll'* de l'ellipse comme diamètre on décrira une circonférence, que l'on divisera en autant de parties égales que l'on voudra, aux points 1, 2, 3, et de ces différents points de division on abaissera sur le grand axe les perpendiculaires que l'on voit dans la figure 4, ce qui déterminera



4.

les points de division correspondants de l'ellipse. Cette représentation ne saurait offrir aucune difficulté ; les lignes *oa*, *ob*, *oc*, tracées une fois pour toutes sur un rapporteur pourront servir dans tous les cas semblables et s'emploieront à la manière des rapporteurs de corne qui servent à mesurer les angles; les différents angles, au centre de notre figure, sont toutes les valeurs que prend, dans les différentes positions, l'angle de 22°,5, qui correspond à une denture de seize dents.

« Il est sans doute inutile d'ajouter que les lignes, droites ou courbes, qui n'occupent pas, dans un plan d'ensemble, la position des lignes isométriques, se trouveraient comme dans la perspective cavalière; que, quant aux distances des longueurs non contenues dans les plans isométriques, dont on voudrait mesurer la longueur à l'aide du dessin, il faudrait se servir d'une échelle variable, chacune de ces distances étant modifiée dans sa longueur comme le sont les différents diamètres des cercles isométriques; qu'enfin, ce mode de représentation se prête, pour les détails intérieurs, comme les projections orthogonales, à la méthode des coupes. »

PESANTEUR. Tous les corps s'attirent entre eux en raison directe de leur *masse*, c'est-à-dire de la quantité de matière qu'ils renferment, et en raison inverse du carré de la distance : ce principe est celui de l'*attraction* ou *gravitation universelle*, dont Képler découvrit le premier les lois par l'observation des orbites des astres, et qui furent plus tard démontrées mathématiquement par Newton et expérimentalement par Cavendish. L'action que le globe terrestre exerce sur les corps situés à sa surface porte le nom de *gravité* ou de *pesanteur*. L'attraction qu'une sphère composée d'éléments de même densité ou d'éléments de densités différentes disposés par couches concentriques, ce qui est sensiblement le cas du globe terrestre, exerce sur les corps situés à sa surface, est la même que si l'on supposait toute la masse de cette sphère réunie en son centre : cette action est donc dirigée vers ce centre, c'est-à-dire perpendiculairement à la surface des eaux dormantes. L'action de la pesanteur tend à faire tomber les corps, et exerce sur eux une action dont la résultante constitue le poids de ces corps. Il résulte des définitions que nous venons de donner que, dans le même lieu, sous le même volume, les poids des corps sont proportionnels à la quantité de matière ou à la *masse* qu'ils renferment sous le même volume. On est convenu d'appeler DENSITÉ ou *pesanteur spécifique* le poids d'un corps, sous l'unité de volume, rapporté à l'unité de poids. On pourra alors poser $P = D \times V$, P étant le poids sous le volume V, et D la densité : cette équation permet de trouver les densités des corps, lorsqu'on connaît leurs volumes, et réciproquement.

La terre n'étant pas parfaitement sphérique, et étant aplatie aux pôles et renflée à l'équateur, il s'ensuit que l'intensité de la pesanteur varie à sa surface, et va en augmentant de l'équateur au pôle. Soit g, cette intensité, la loi du mouvement uniformément accéléré des corps sollicités par une force constante, donne, pour l'espace e parcouru pendant le temps t : $e = 1/2\, gt^2$; et, si nous prenons la seconde pour unité de temps, $g = 2E$, c'est-à-dire le double de l'espace parcouru, par un corps tombant dans le vide, pendant la première seconde de sa chute. On calcule plus aisément g au moyen de la formule $g = \pi^2 l : l$, étant la longueur du pendule simple, qui fait exactement une oscillation par seconde; à Paris, $g = 9{,}8088$, ou plus simplement 9,81.

Soit m, la masse d'un corps, sous l'unité de volume; sous le volume V, sa masse $M = m\,V$, et son poids $P = m\,g\,V$.

PESANTEUR SPÉCIFIQUE. Voyez DENSITÉ.

PÈSE-ACIDES. Voyez ARÉOMÈTRE.

PÈSE-LIQUEURS. Voyez ARÉOMÈTRE.

PÈSE-SELS. Voyez ARÉOMÈTRE.

PESON. Voyez DYNAMOMÈTRE.

PETIT-LAIT. Voyez FROMAGE et LAIT.

PÉTRIN. Voyez PAIN.

PÉTROLE. Voyez HYDROCARBURES.

PHARE. Les phares sont des foyers lumineux placés ordinairement au sommet des tours élevées, et destinés à indiquer pendant la nuit les points remarquables des côtes, les écueils, l'embouchure des fleuves ou l'entrée des ports.

L'emploi de lumières pour guider les navigateurs pendant la nuit remonte à une haute antiquité. Le fanal élevé sur l'île de Pharos par le Gnidien Sostrate, sous le règne de Ptolémée Philadelphe, l'an 470 de la fondation de Rome, passa longtemps pour une merveille. Les Romains employèrent aussi ces appareils, et l'on voyait même encore en 1643 le phare qu'ils avaient élevé à Boulogne pour diriger les navires qui traversaient la Manche.

Les phares de France forment un système d'éclai-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rage en grande partie terminé, et déjà le plus complet de l'Europe entière. Nos côtes se garnissent chaque soir d'une ceinture lumineuse pour indiquer aux navires leur véritable position, et leur permettre de se diriger vers les ports qu'ils doivent atteindre.

Les phares étaient autrefois éclairés par des feux de bois ou de charbon de terre, que l'on entretenait soigneusement pendant toute la nuit. Le célèbre Borda remplaça cet éclairage imparfait par des lampes à réflecteurs ; c'était le premier pas dans la voie des perfectionnements réalisés depuis cette époque. Les lampes à double courant d'air d'Ami-Argant furent ensuite appliquées à l'éclairage des phares ; et des miroirs paraboliques, soigneusement exécutés, substitués aux simples réflecteurs. Tels étaient les moyens d'éclairage employés pour les phares, lorsque M. Augustin Fresnel parvint, en 1819, à faire établir ces beaux appareils dioptriques, à lentilles annulaires, que nous donnons plus loin avec détails.

Les phares de France sont partagés en quatre classes de grandeurs et de portées différentes :

Les phares de premier ordre, espacés en général de 14 lieues marines les uns des autres, servent à reconnaître les parages, et, pour les bâtiments qui viennent du large, à corriger l'*estime;*

Les phares de deuxième et de troisième ordre indiquent les écueils, les baies et les rades foraines;

Enfin, les phares de quatrième ordre signalent les passes, l'embouchure des fleuves et l'entrée des ports.

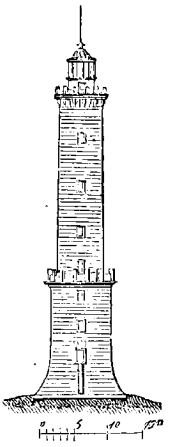
Chacun des feux distribués sur les côtes ayant à faire reconnaître le lieu qu'il éclaire, doit offrir un caractère distinctif qui ne permette pas de le confondre avec d'autres. Comme les grands phares sont ordinairement situés à 7 lieues marines au moins les uns des autres, il s'ensuit qu'avec un très petit nombre d'espèces différentes, deux feux semblables sont toujours séparés l'un de l'autre par une distance plus grande que l'erreur dans laquelle peut être un bâtiment sur sa véritable route, ce qui ne permet aucune confusion à cet égard. Le petit nombre de moyens que nous allons indiquer, suffit donc pour établir la distinction des feux

Quelques phares sont à feu fixe et éclairent constamment tous les points de l'horizon, mais le plus grand nombre sont à éclipses. La durée relative de l'éclipse et de l'éclat varie avec la distance de l'observateur, mais le temps qui sépare une éclipse de la suivante est constant, et fournit le caractère distinctif du feu. D'autres phares, enfin, offrent un feu fixe varié par des éclats périodiques très brillants, ce qui fournit un troisième moyen de distinction. On a construit quelques lanternes des phares de quatrième ordre en verres de couleur, espérant obtenir ainsi un nouveau moyen de caractériser les feux ; mais ces verres absorbent beaucoup de lumière, et certains états de l'atmosphère peuvent modifier singulièrement la teinte qu'ils présentent habituellement, et même faire paraître colorés des feux blancs, ce qui pourrait entraîner dans les erreurs les plus funestes.

Les côtes de France présentent, sous le rapport géologique, une symétrie remarquable : à droite et à gauche du grand massif primitif de la Bretagne, nous rencontrons d'abord les côtes escarpées et garnies de falaises calcaires, qui s'étendent depuis Barfleur, à l'extrémité du Cotentin, jusqu'à Eu, d'une part, et de l'autre, depuis les sables d'Olonne, à l'extrémité de la Vendée, jusqu'à l'embouchure de la Gironde. Des côtes plates et sablonneuses succèdent aux falaises; elles s'étendent, d'un côté, depuis l'embouchure de la Gironde jusqu'à Bayonne, et, de l'autre, depuis Eu jusqu'à Dunkerque, excepté à Boulogne, où reparaissent quelques falaises.

Les terrains primitifs forment des côtes dentelées et garnies d'écueils, qui s'étendent souvent à plusieurs lieues en mer et rendent leurs abords on ne peut plus difficiles, mais ils présentent en même temps beaucoup de criques, de petits havres et de ports ; ce sont les côtes les plus fréquentées et en même temps les plus dangereuses; ce sont celles qui doivent offrir le plus grand nombre de phares. Les côtes à falaises offrent en général des mouillages faciles et de grandes profondeurs d'eau jusqu'au pied des terres. Les côtes sablonneuses et unies formées par les alluvions, présentent des bancs et des hauts-fonds presque aussi redoutables que les écueils des terrains primitifs ; mais n'offrant presque pas de lieux de refuge elles sont peu fréquentées, et les accidents y sont par conséquent moins à craindre.

D'après ce que nous venons de dire, on comprend que la plupart de nos phares sont placés sur les côtes de Bretagne ; c'est par conséquent dans cette partie de la France que nous prendrons notre point de départ, en signalant seulement les phares français les plus remarquables.



1999

Le phare des Héaux de Bréhat (fig. 1999), construit par M. Reynaud, ingénieur en chef des ponts et chaussées, auquel on doit tant d'autres travaux remarquables, peut être cité comme un modèle pour les édifices de ce genre. Les besoins du service y sont admirablement conciliés avec l'élégance des formes et la convenance des proportions. Les magasins, le logement des gardiens et la chambre de quart, sont disposés dans l'intérieur de la tour et communiquent entre eux par un escalier.

Les parages si dangereux des sept îles sont éclairés par les phares de Bréhat, de l'île de Bas et du cap Fréhel ; les deux derniers indiquent l'entrée du golfe de Saint-Brieux, et le dernier, combiné à celui de Granville, signale Saint-Malo et l'entrée de la baie de Cancale.

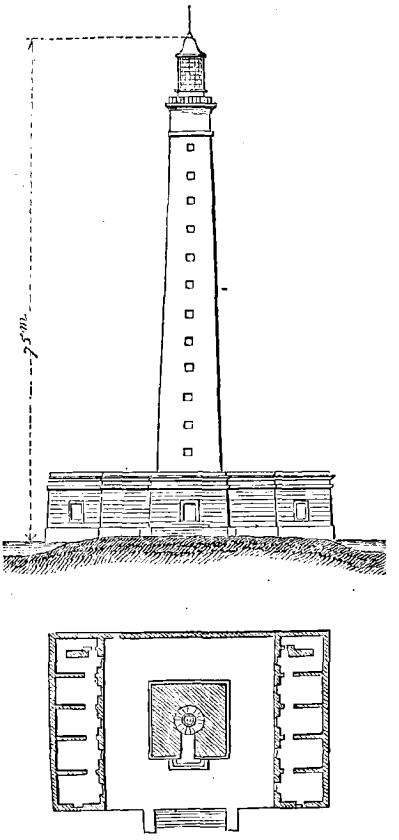
La navigation, aidée entre Granville et la pointe de la Hague par un feu à éclipses de demi-minute en demi-minute, placé sur le cap Certenet, est encore tellement difficile, que les grands bâtiments passent toujours au-delà d'Aurigny en se guidant sur les trois phares anglais des Casquets, qui forment une espèce de constellation facile à reconnaître.

Le phare de Barfleur (fig. 2000), élevé il y a quelques années à la pointe du Cotentin, pour remplacer un phare peu élevé, mais d'une construction élégante, qui existe encore à côté, est un des beaux monuments des ports de la Manche. Son exécution matérielle est des plus remarquables ; malheureusement la forme carrée du soubassement de la tour ne paraît pas bien justifiée, et ne produit pas un effet aussi heureux qu'on pourrait le désirer. Les magasins et les logements sont distribués, comme l'indique le plan, dans des bâtiments rectangulaires élevés autour de l'édifice principal ; l'escalier est ménagé dans l'espace annulaire compris entre les parois de la tour et la surface extérieure d'un noyau vide élevé au centre de la colonne.

Le Havre est indiqué par les deux phares du cap de la Hève, situés seulement à 100 mètres l'un de l'autre. L'entrée du port et l'embouchure de la Seine sont d'ailleurs garnis d'une série de petits feux, qui dirigent les navires dans ces parages assez difficiles. Les phares de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la Hève, construits il y a déjà fort longtemps, ont été restaurés dans ces derniers temps et produisent aujourd'hui un effet assez satisfaisant, dont la fig. 2001, qui représente un de ces édifices, peut donner une idée.



2000.

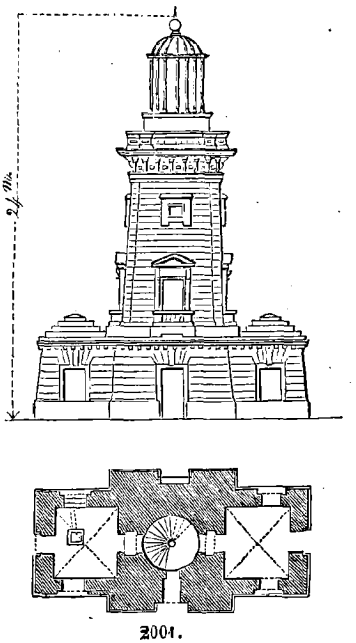
Dieppe, Saint-Valery, Boulogne et Dunkerque, possèdent aussi des phares qui complètent de ce côté l'éclairage de nos côtes.

Revenons maintenant à notre point de départ, la pointe de la Bretagne, et citons seulement, en passant, les phares si remarquables de Belle-Ile-en-Mer, du Four, de Noirmoutier, des Sables, de Cordouan, à l'embouchure de la Gironde, d'Arcachon et de Bayonne.

La fig. 2002 est un croquis du phare anglais de Jersey, dont l'aspect pittoresque nous a toujours frappé.

Quant aux côtes de la Méditerranée, formées d'anciennes alluvions dans la plus grande partie de leur étendue, elles ne présentent que des surfaces unies et régulières, depuis les dernières ramifications des Pyrénées à Port-Vendres, jusqu'à Marseille, où reparaissent les roches abruptes qui se prolongent jusqu'à Antibes. Elles offrent par conséquent un assez petit nombre de mouillages, et par suite un système très simple d'éclairage. Six phares principaux suffisent pour signaler les points les plus importants : le premier est sur les îles d'Hyères ; le second, le phare du Planier, signale Marseille, notre grand port de commerce; et le troisième, élevé à l'extrémité de la Camargue, indique les bouches du Rhône, tandis que le phare placé vis-à-vis d'Aigues-Mortes, celui du mont d'Agde, et enfin celui du cap Béarn, permettent de reconnaître les points principaux du vaste golfe de Lyon.

La construction des phares exige toujours beaucoup de soin, et présente dans quelques circonstances les difficultés les plus sérieuses. L'élévation considérable de



2001.

ces édifices rend indispensable l'emploi de matériaux choisis et appareillés avec la plus grande perfection. On peut consulter sur la stabilité de ces monuments et sur celle des hautes cheminées un mémoire intéressant publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, par M. Fresnel.

L'emploi, dans la construction d'un phare, d'un échafaudage fixe, partant du sol et s'élevant à la hauteur de l'édifice, serait en général fort coûteux, à cause de la force considérable qu'il faudrait lui donner pour résister aux vents violents qui règnent sur les côtes. On emploie donc ordinairement un échafaudage volant, très léger, qui s'élève avec la tour elle-même.

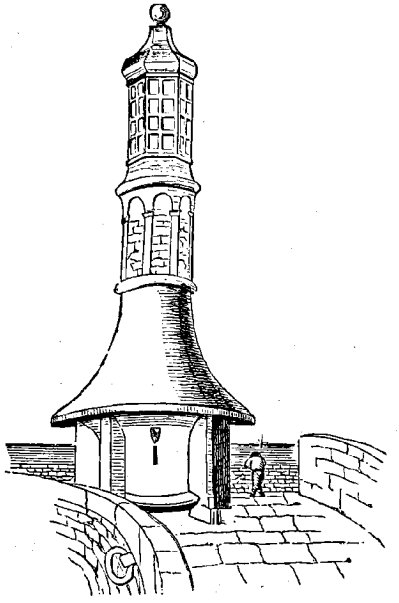
Le montage des matériaux mérite aussi, dans ce genre de construction, de fixer sérieusement l'attention. Quand le centre de la tour est évidé, on fait ordinairement monter les pierres par cette ouverture au moyen d'un treuil placé au sommet. M. Morice Larue, qui a dirigé avec un si grand talent la construction des phares de la Hague et de Barfleur, employait à ce dernier un moyen fort économique pour élever les pierres : les chevaux qui venaient apporter les pierres étaient attelés, en retournant en chercher de nouvelles, à la corde même qui élevait celles qu'ils venaient d'apporter; de sorte que tout leur temps se trouvait utilement employé.

Quand le phare en construction ne présente pas de vide continu dans son intérieur, on dispose sur l'échafaudage une petite grue tournante et à volée mobile, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

enlève les pierres et vient les déposer à la place qu'elles doivent occuper, ce qui facilite et accélère beaucoup le travail des maçons poseurs.

Les phares sont souvent établis sur des rochers isolés qui ne sont découverts que pendant les basses mers extraordinaires. Les difficultés de construction sont alors de toutes sortes. L'ingénieur, obligé de veiller à la fois à la bonne exécution du travail dont il est chargé et à la sûreté des ouvriers qui lui sont confiés, a besoin d'une grande activité et d'un dévouement sans bornes. Un



2002.

travail de cette nature convenablement dirigé suffit pour assurer la réputation d'un constructeur. C'est un des postes les plus dignes d'envie.

On amène ordinairement, pendant que la mer est encore haute, les ouvriers et les matériaux nécessaires, et on s'empresse de profiter de la basse mer pour poser les premières assises ; dès que le phare est élevé au-dessus des hautes mers, on doit y travailler d'une manière continue, si le temps est calme, et pousser le travail avec la plus grande activité possible, les avaries devenant d'autant moins à craindre que la maçonnerie est plus avancée.

L'emploi de pontons pour disposer les matériaux et recevoir les ouvriers présente du danger et de grandes difficultés. L'irrégularité inévitable des arrivages retarde le travail et devient ainsi quelquefois la cause indirecte des avaries les plus graves. Nous pensons, par conséquent, que toutes les fois qu'il est possible d'établir, sur le rocher où l'on doit construire, un enrochement solide, formant une espèce d'île artificielle sur laquelle on peut ensuite déposer en sûreté les matériaux et les ouvriers, il convient de suivre cette marche. Les dépenses de premier établissement seront, en général, plus que compensées par la régularité du travail et les économies de transport, de bardage, etc. D'ailleurs, on doit surtout s'attacher, dans les travaux à la mer, à éviter les accidents et les avaries dont une seule suffit quelquefois pour augmenter d'un tiers ou d'un quart les dépenses prévues.

Nous citerons, parmi les phares construits sur des rochers isolés, le phare du Four, situé à deux lieues en mer, vis-à-vis le Croisic (Loire-Inférieure), le célèbre phare d'Edystone élevé par Smeaton, ingénieur anglais, et dont le dessin a été si souvent reproduit que nous n'avons pas cru nécessaire de le donner ici, le phare de la Pointe de la Hague, etc. On trouvera d'ailleurs les détails les plus intéressants sur la construction des phares dans les mémoires insérés par MM. Larue et Potel dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1834 et 1835.

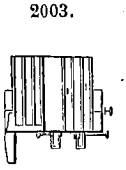
Éclairage des phares. Nous avons dit qu'autrefois les becs des lampes étaient placés au foyer de miroirs paraboliques en métal poli. La lumière de la lampe se trouvait ainsi réunie en un faisceau cylindrique de rayons parallèles qui se projetaient à une grande distance. On obtenait les feux fixes en réunissant un nombre de miroirs assez grands pour diriger des faisceaux de lumière dans toutes les directions de l'horizon à éclaircir.

Lemoyne, qui avait compris, dès 1782, l'importance des éclipses, comme moyen de distinguer les phares, les produisait au moyen d'écrans qui passaient périodiquement devant les lampes. Peu de temps après, un Suédois eut l'idée d'imprimer un mouvement de rotation aux miroirs eux-mêmes, de sorte que le même faisceau lumineux était constamment utilisé, en parcourant successivement les différents points de l'horizon.

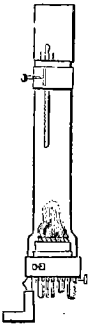
Les miroirs métalliques absorbent toujours au moins la moitié de la lumière incidente, leur exécution est très délicate, leur entretien fort difficile et leur poids considérable, aussi sont-ils aujourd'hui complétement abandonnés. Il n'en existe plus que dans un ou deux phares, où ils seront même bientôt remplacés par les appareils lenticulaires dont nous allons expliquer la construction et le mode d'éclairage.

Occupons-nous d'abord des *lampes* employées dans les appareils dioptriques. Pour arriver au résultat le plus avantageux, la flamme doit présenter le plus vif éclat sous le plus petit volume possible, afin que toutes ses parties soient peu éloignées du point mathématique qui constitue le foyer des lentilles. MM. Arago et Aug. Fresnel ont obtenu ce résultat au moyen de lampes à double courant d'air et à mèches concentriques. Les fig. 2003 et 2004 indiquent la construction d'un bec à quatre mèches pour phare de premier ordre. Ce bec reçoit constamment un excès d'huile, au moyen de petites pompes, analogues à celles des lampes dites Carcel, mises en jeu par un mouvement d'horlogerie.

2003.



2004



2005

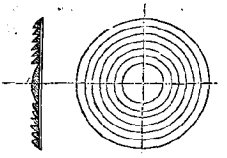
Les mèches sont enveloppées d'une forte cheminée en verre (fig. 2005), surmontée d'un tuyau en tôle que l'on peut allonger ou raccourcir pour régler le tirage et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui porte en outre une espèce de clef de poêle destinée au même objet.

Le gardien placé dans la chambre de quart au-dessous de la lanterne est averti par un mécanisme fort simple des dérangements qui pourraient arriver à la lampe. L'excès de l'huile amenée aux mèches retombe dans un petit vase percé d'une ouverture à peine suffisante pour lui donner issue, de sorte que ce petit vase est toujours rempli d'huile le temps que les lampes fonctionnent bien ; mais si elles se dérangent, la quantité d'huile amenée est moins considérable, le petit vase se vide peu à peu, son poids diminue, et bientôt il peut être soulevé par un contre-poids fixé à l'autre extrémité du levier qui le supporte. Ce mouvement dégage l'échappement d'une sonnette qui s'agite alors violemment pour prévenir de l'accident. Il y a toujours dans le phare une lampe préparée pour remplacer en quelques instants celle qui viendrait à se déranger. Une instruction détaillée, rédigée par les soins de l'administration, enseigne aux agents chargés de l'entretien et de la surveillance des phares toutes les précautions à prendre pour le nettoyage des appareils, le centrage des mèches et autres détails dans lesquels nous ne pouvons entrer ici.

Occupons-nous à présent des appareils lenticulaires qui utilisent la lumière des lampes que nous venons de décrire. On sait qu'en plaçant au foyer principal d'un verre lenticulaire un point lumineux, on produit derrière la lentille un faisceau cylindrique de rayons parallèles qui peuvent se transmettre à de grandes distances. Tel est le principe fondamental des appareils dioptriques ; mais quand on avait voulu l'appliquer, on avait rencontré des difficultés d'exécution qui paraissaient insurmontables. La fabrication de lentilles d'une assez grande dimension était presque impossible ; leur poids eût été énorme et leur épaisseur au centre tellement considérable qu'elles auraient absorbé la plus grande partie de la lumière. Fresnel a fait disparaître toutes ces difficultés en employant des lentilles à *échelons* (figures 2006 et 2007) composées d'un verre central de forme ordinaire entouré d'une série d'anneaux de peu d'épaisseur dont le profil est tel qu'ils ont tous le même foyer principal. Ces différentes pièces de verre ainsi réunies produisent donc l'effet d'une lentille dont on aurait enlevé toute la matière inutile. Les lentilles de cette espèce absorbent à peine 1/20 de la lumière incidente, sont d'une exécution facile, puisqu'elles n'exigent que l'emploi de masses peu considérables que l'on peut travailler séparément, et enfin leur entretien est on ne peut plus simple. Buffon avait eu déjà l'idée de lentilles annulaires, mais il n'avait pu les exécuter. Tout l'honneur de cette invention revient à M. A. Fresnel, qui, du reste, n'avait pas connaissance des travaux de Buffon sur ce sujet.

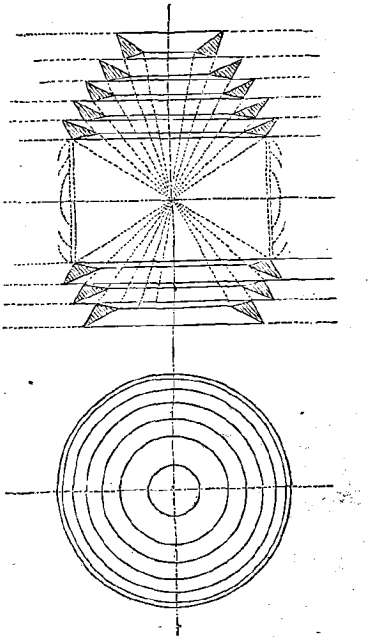


2007. 2006.

Voyons maintenant comment l'ingénieuse idée des lentilles à échelons se prête à tous les besoins de l'éclairage des phares. Pour obtenir les feux fixes, on forme un tambour annulaire engendré par la révolution du profil (fig. 2007), non plus autour d'une ligne perpendiculaire à sa surface et passant par son centre, comme pour les lentilles, mais bien autour d'une droite verticale passant par le foyer principal du profil On forme ainsi le tambour à feu fixe, représenté en coupe et en plan par les fig. 2008 et 2009, avec ses zônes dioptriques sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Les feux à éclipses sont produits par la rotation d'un tambour octogonal (fig. 2010 et 2011) formé de huit grandes lentilles à échelons analogues à celle représentée fig. 2006 et 2007. Les faisceaux lumineux qui

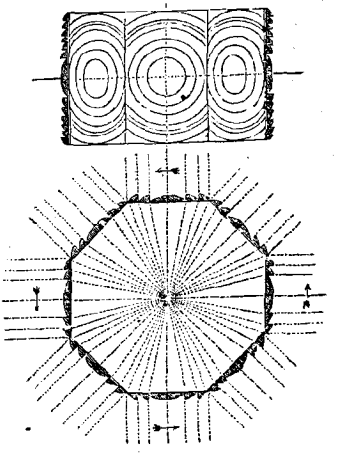
2008.



2009.

émergent de chacune de ces lentilles parcourent successivement tous les points de l'horizon qu'ils éclairent

2010.



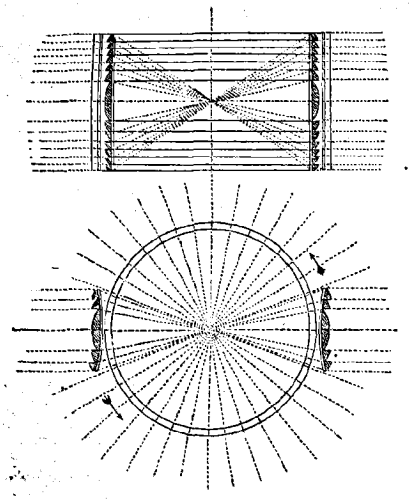
2011.

les uns après les autres. La vitesse de rotation du tambour détermine le temps qui sépare les différents éclats, ainsi, par exemple, quand il fait une révolution en huit minutes, on aperçoit un éclat par minute.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les phares à feux variés par des éclats présentent une disposition un peu différente. Ils sont formés (figures 2012 et 2013) d'un tambour circulaire à feu fixe,

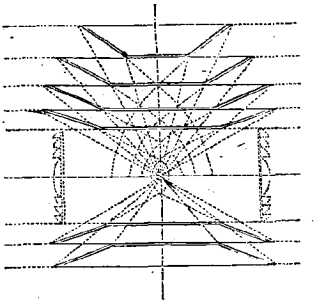
2012.



2013.

autour duquel tourne une lentille prismatique dont la figure indique la section droite. La lumière émise par la lampe et déjà réunie en nappe circulaire par le tambour à feu fixe se trouve de plus réunie en faisceau parallèle et produit ainsi un éclat passager plus vif que celui du feu fixe. Cet éclat est nécessairement précédé et suivi d'une petite éclipse dont la durée, comme celle de l'éclat lui même, dépend de la vitesse de rotation de la lentille prismatique autour du tambour fixe.

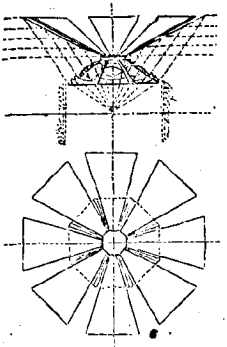
Les appareils tels que nous venons de les décrire n'utiliseraient que la partie de la lumière de la lampe



2014.

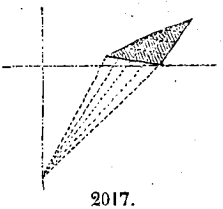
émise dans l'angle formé par les lignes partant du centre de la flamme et passant par les bords extérieurs des lentilles. Il faut encore utiliser la lumière émise dans les autres directions. On arrive à ce résultat au moyen de différents appareils. La première idée qui se présente consiste à disposer au-dessus et au dessous du tambour dioptrique, comme l'indique la fig. 2014, une série de miroirs paraboliques ayant tous pour foyer la lampe elle-même. L'exécution et l'entretien de ces miroirs est difficile, et ils ne réfléchissent régulièrement, comme nous l'avons déjà dit, que la moitié de la lumière qu'ils reçoivent. On leur a donc substitué (figures 2015 et 2016) un

2015



2016.

système de lentilles à échelons inclinés sur lesquelles tombent la lumière et dont elle émerge en faisceaux parallèles qui sont à leur tour renvoyés dans la direction voulue par des miroirs plans, en glaces étamées, convenablement inclinés. Cette disposition absorbe moins de lumière que la première, mais elle est compliquée, et les miroirs étamés ont l'inconvénient de s'altérer assez rapidement. On adopte par conséquent, aujourd'hui, une disposition plus parfaite dont le prix est malheureusement trop élevé. On place au-dessus et au-dessous du tambour principal une série d'anneaux, à section triangulaire, indiqués fig. 2008 et 2009, dont la forme (fig. 2017) est calculée de telle sorte que la lumière, en arrivant divergente à la partie inférieure, éprouve sur la face la plus inclinée une *réflexion totale*, et sort ensuite, par la troisième face, en faisceaux parallèles. Ces anneaux dioptriques remplissent donc à eux seuls la double fonction des lentilles et des miroirs de l'appareil précédent, ils absorbent très peu de lumière et ne s'altèrent pas plus que le reste de l'appareil.



2017.

Les appareils lenticulaires des phares à éclipses sont supportés par un pivot et un système de galets. Un mouvement d'horlogerie, mû par un poids et placé au dessous de la lanterne, leur imprime le mouvement de rotation qu'ils doivent avoir.

Dans tous les cas, l'appareil d'éclairage est renfermé dans une lanterne en glaces qui couronne le phare. Le dôme de la lanterne est en cuivre et surmonté d'un paratonnerre. Les glaces sont fixées dans les nervures de montants en fer ou mieux en bronze ; malgré leur épaisseur de 0m,008 à 0m,040, elles sont souvent cassées par les oiseaux de mer qui viennent se précipiter vers la lumière.

La fabrication des appareils dioptriques des phares est arrivée aujourd'hui, grâce aux efforts de MM. Soleil et Henri Lepaute, à un degré de perfection qui laisse peu de chose à désirer. L'Angleterre, la Suède, la Norwège et les Etats-Unis ont acheté en France, depuis quelques années, plus de quarante appareils d'éclairage pour les phares.

Les instruments pour la taille des lentilles et des anneaux sont très simples par eux-mêmes. Ils exigent seulement une grande précision. La pièce de verre collée sur un disque horizontal en métal, animé d'un mouvement de rotation, est usée et polie au moyen d'un frottoir fixé à l'extrémité d'une pièce de fer, dont l'autre bout est réuni par une charnière à un point fixe. La longueur de cette pièce de fer est égale au rayon de courbure du profil générateur de la surface que l'on exécute.

Les machines à tailler les lentilles sont mises en mouvement dans les beaux ateliers de M. Henri Le-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paute, rue de Vaugirard, n° 133, à Paris, par une machine à vapeur. L'outillage puissant de ce fabricant distingué lui permet de faire mieux et à plus bas prix que qui que ce soit ce genre de travail.

Portée des phares, intensité de leur lumière. La portée des phares du premier ordre varie de 28 à 44 kilomètres. Celle des feux de port de 11 à 22 kilom. On ne doit pas confondre cette portée théorique, dépendant de leur élevation, avec la limite de leur *visibilité* qui peut être sensiblement diminuée par l'état de l'atmosphère, et qui, dans des circonstances favorables et pour des phares très élevés, peut s'étendre, au contraire, beaucoup plus loin Le phare du mont d'Agde, par exemple, a été aperçu de celui du cap Béarn à une distance de 93 kilom.

On suppose, dans le calcul de la portée des phares, que l'observateur est placé sur les vergues, à 12 ou 15 mètres au-dessus du niveau de la mer pour les feux de premier ordre, à 10 mètres pour ceux de second ordre, à 5 mètres pour ceux de troisième ordre, et enfin à 3 mètres seulement pour les phares de quatrième ordre. Cela posé, si on appelle R le rayon de la terre, h la hauteur du feu au-dessus des grandes mers, et d la portée, on voit facilement que ces quantités sont liées par la relation $d^2 = h\,(2R+h)$, ou supprimant h, quantité infiniment petite par rapport à 2R, dans le second facteur, $d^2 = 2Rh$, d'où on tirerait $h = \frac{d^2}{2R}$. Mais la réfraction atmosphérique augmente la portée dans le rapport de 84 à 100, de sorte que d étant donné, on obtient h par la formule $h = \frac{0{,}84\,d^2}{2R}$.

La lumière d'un bec quadruple, semblable à celui que nous avons décrit, équivaut à 17 becs de Carcel. Les grands panneaux de lentilles à échelons, de 1m,00 de hauteur et de 0m,76 de largeur, donnent des éclats qui, dans l'axe, équivalent à 4.000 becs de Carcel, ou à 24.000 bougies. Il serait matériellement impossible d'obtenir avec des miroirs de pareils résultats.

Nous avons indiqué à l'article ÉCLAIRAGE les grands résultats obtenus par l'application aux phares de la lumière électrique.

Administration, prix et statistique des phares. La France est la nation qui met le plus de soin à éclairer ses rivages pendant la nuit. Toutes les dépenses de ce service sont supportées par le trésor public. En Angleterre, au contraire, où le système d'éclairage est fort incomplet, on paye dans chaque port un droit pour les phares.

En vertu d'un décret du 7 mars 1806, le service des phares est confié, en France, aux ingénieurs des ponts et chaussées. Mais, comme il intéresse à un haut degré la navigation, le sous-secrétaire d'état des travaux publics a formé auprès de lui une commission des phares, composée d'ingénieurs, de marins, d'hydrographes, d'astronomes et de physiciens, appelée à donner son avis sur toutes les questions de cette nature L'administration possède en outre, à Paris, un établissement, connu sous le nom d'Atelier central des Phares où l'on monte et où l'on vérifie les appareils destinés aux départements, et où l'on fabrique même quelques lentilles. Un ingénieur dirige cet atelier.

L'éclairage des phares de la Méditerranée et celui des phares de l'Océan, depuis Bayonne jusqu'au Finistère, se fait par entreprise. Depuis Dunkerque jusqu'aux côtes du Nord, au contraire, les fournitures d'huile sont seulement mises en adjudication, et le reste du service se fait en régie. L'administration a l'intention d'appliquer à toutes nos côtes cette seconde méthode, beaucoup plus convenable que l'autre. Il est à désirer que cette amélioration soit bientôt réalisée.

Nous avions en France, à la fin de 1845, 123 phares ou fanaux sur les côtes de l'Océan, répartis dans dix-sept départements, et 30 sur la Méditerranée, dans huit départements. Ces établissements représentaient une valeur de 10.658.000 fr.

L'administration publie périodiquement un état descriptif des phares de nos côtes, et prévient longtemps à l'avance les navigateurs de tous les pays des changements qui doivent être apportés dans le système général d'éclairage.

Les verres employés à la fabrication des lentilles à échelons sont maintenant préparés à Saint-Gobain. Ils coûtent environ 5 francs le kilogramme. Le mètre superficiel de panneaux de lentilles à échelons est payé 1,750 fr. Nous avons d'ailleurs réuni dans le tableau suivant les renseignements les plus importants sur les frais d'entretien, la consommation d'huile, la valeur, etc., des appareils dioptriques des différents ordres.

ORDRES DES APPAREILS.	Diamètre inférieur du tambour dioptrique.	Éclat maximum en becs de Carcel [1]	Portée répondant à l'élévat. ordin. des feux [2].	Prix des appareils avec partie accessoire catoptrique [3].	consommation d'huile par heure.	Dépense annuelle du service d'éclairage y compris divers entretiens	Nombre de gardiens.	OBSERVATIONS.
	mètres.	Becs.	milles	francs.	gram.	francs		
1er ORDRE — Feu fixe	1,84	450	20	24500				[1] Ces indications d'éclat se rapportent, pour les phares des trois premiers ordres, à des miroirs placés aux parties inférieures et supérieures.
1er ORDRE — Feu tournant. (8 grandes lentilles.)	1,84	4000	28	30000	750	8000	3	
1er ORDRE — Feu tournant. (16 demi-lentilles.)	1,84	2000	24	30000				
1er ORDRE — Feu varié par des éclats	1,84	2800	24	33000				
2e ORD. — Feu fixe	1,40	200	16	16000				
2e ORD. — Feu tournant	1,40	1200	18	21000	500	6000	2 à 3	[2] On ne doit pas confondre la portée avec la limite de visibilité.
2e ORD. — Feu varié	1,40	1200	18	23500				
3e ORDRE — Grand modèle. (Feu fixe)	1,00	65	14	8000	190	4000	2	[3] Non compris la lanterne.
3e ORDRE — Grand modèle. (Feu varié)	1,00	380	15	13000				
3e ORDRE — Petit modèle. (Feu fixe)	0,50	35	12	4000	120	3500	1 à 2	
3e ORDRE — Petit modèle. (Feu varié)	0,50	200	14	7000				
4e ORDRE — Grand modèle. (Feu fixe)	0,375	20	10	2500	60	1200	1	
4e ORDRE — Grand modèle. (Feu varié)	0,375	120	12	5000				
4e ORDRE — Petit modèle. (Feu fixe)	0,30	10	9	1700	45	900	1	
4e ORDRE — Petit modèle. (Feu varié)	0,30	90	10	3600				

H. MANGON.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PHOSPHATES. On désigne sous ce nom les sels formés par l'acide phosphorique; il y a des phosphates neutres, basiques ou acides. Dans les phosphates neutres, la quantité d'oxygène de la base est à la quantité d'oxygène de l'acide, comme 2 est à 5. Les phosphates sont indécomposables par la chaleur seule, à l'exception d'un très-petit nombre; la plupart sont fusibles. Ils sont décomposés par l'acide borique à une température élevée, mais ils ne le sont pas par la silice, à moins qu'il n'y ait contact de charbon. Un grand nombre se changent en phosphures quand on les chauffe avec du charbon. Les phosphates neutres sont insolubles dans l'eau à l'exception des phosphates de potasse, de soude, et d'ammoniaque; mais la plupart se dissolvent dans un excès d'acide phosphorique. Les acides forts les dissolvent ou les transforment en phosphates acides. Beaucoup de phosphates acides sont cependant insolubles, lorsqu'ils ont été calcinés, même dans l'acide chlorhydrique. Préalablement desséchés, puis chauffés avec du potassium, les phosphates sont décomposés et laissent un résidu de phosphure de potassium qui, mis en contact avec l'eau, laisse dégager de l'hydrogène phosphoré, gaz spontanément inflammable. Les phosphates solubles donnent dans les dissolutions de baryte et de plomb un précipité blanc, soluble dans l'acide nitrique en excès, ce qui ne permet pas de le confondre avec celui que donnent les sulfates ou l'acide sulfurique. Beaucoup de phosphates métalliques se trouvent dans le règne minéral. Les principaux phosphates sont les suivants :

PHOSPHATE DE SOUDE. Ce sel se prépare en décomposant une dissolution de biphosphate de chaux par un léger excès de carbonate de soude; il se précipite du phosphate neutre de chaux que l'on sépare par filtration; on concentre par évaporation la liqueur filtrée, et on la fait cristalliser en la laissant refroidir. Le phosphate de soude est fréquemment employé comme purgatif en médecine, et comme réactif dans les laboratoires de chimie.

PHOSPHATE DOUBLE D'AMMONIAQUE ET DE SOUDE. Ce sel, plus connu sous le nom de *sel de phosphore*, et particulièrement employé dans les essais au chalumeau, se prépare en dissolvant 16 parties de sel ammoniac et 100 parties de phosphate de soude dans une très-petite quantité d'eau, faisant bouillir, puis cristalliser par le refroidissement.

PHOSPHATE D'AMMONIAQUE. Ce sel se prépare pour les laboratoires, soit directement, soit comme le précédent, avec cette différence que l'on remplace le carbonate de soude par du carbonate d'ammoniaque. Il est employé comme réactif, dans les laboratoires de chimie, pour doser la magnésie.

Le phosphate d'ammoniaque est appliqué avec succès en sucrerie, pour neutraliser les alcalis et enlever l'excès de chaux, qui forment de grands obstacles à la cristallisation, à un bon rendement. C'est en 1850 que M. Kuhlmann avait proposé le phosphate d'ammoniaque pour la neutralisation des sirops et en même temps pour enlever l'excès de chaux. Mais pour cette application dont on a enfin reconnu l'utilité, il fallait produire le phosphate d'ammoniaque à bon marché; c'est cette fabrication dont nous allons donner la description, d'après M. Lamy.

En principe, elle consiste à décomposer les phosphates minéraux, source abondante d'acide phosphorique à bon marché, réduits en poudre fine, par l'acide sulfurique dilué, et à neutraliser l'acide phosphorique purifié par l'ammoniaque caustique.

L'opération se fait de la manière suivante:

Dans un grand bac en bois, de la capacité de 200 hectolitres, par exemple, dans lequel on a versé une certaine quantité d'acide sulfurique marquant 5 degrés à l'aréomètre Baumé, on ajoute peu à peu la proportion correspondante de poudre ou de farine minérale, de phosphate du Lot par exemple, très-riche en acide phosphorique, en ayant soin de remuer le mélange pour faciliter la décomposition.

Lorsque cette attaque est considérée comme terminée, on laisse reposer vingt-quatre heures pour permettre au sulfate de chaux de se déposer, puis l'on décante le liquide, formé en grande partie de phosphate acide de chaux et d'un petit excès d'acide sulfurique, dans un autre bac en bois placé en contre-bas du premier. Dans celui-ci on jette en même temps du carbonate de baryte en poudre, en quantité suffisante pour neutraliser complétement l'excès d'acide sulfurique et le précipiter à l'état de sulfate de baryte. La dissolution de phosphate, éclaircie par le repos, est concentrée par un chauffage à la vapeur, dans des bassins en plomb, jusqu'à ce qu'elle marque 20 degrés Baumé. A cet état, et après refroidissement, elle est mélangée, dans d'autres récipients semblables, avec de l'ammoniaque à 22 degrés, de manière à former du phosphate ammoniacal neutre, ou plutôt un peu alcalin. Par cette addition d'alcali, on précipite toute la chaux, le fer, l'alumine, etc., sous forme de phosphates insolubles; on laisse déposer, et on décante la liqueur claire, qui n'est qu'une dissolution de phosphate d'ammoniaque à peu près pure.

Enfin, à cette dissolution on ajoute une nouvelle proportion d'ammoniaque pour saturer l'acide, et on produit le phosphate d'ammoniaque bibasique, insoluble dans un excès d'alcali. La combinaison s'opère dans une caisse fermée, en faisant arriver en même temps, sous la forme de deux minces filets liquides qui se rencontrent, la solution du phosphate monobasique d'ammoniaque à 20 degrés Baumé et de l'ammoniaque à 21, dans la proportion d'un équivalent et demi d'alcali pour un équivalent d'ammoniaque sec. Au fur et à mesure du mélange des deux liqueurs, le phosphate basique se précipite en une sorte de bouillie ou masse cristalline. Il ne reste plus, après refroidissement, qu'à recueillir cette masse, la comprimer dans des sacs à la presse hydraulique et l'embariller de suite. On ne peut songer à la dessécher, puisqu'à l'air, même à la température ordinaire, elle se décompose en abandonnant de l'ammoniaque.

Quant aux résidus de l'opération, ils sont traités de la manière suivante:

Le premier de ces résidus, celui qui résulte de l'attaque de la farine de phosphate par l'acide sulfurique très-étendu, et qui est composé, en grande partie, de sulfate de chaux et de silice, est lavé jusqu'à épuisement, et les eaux acides sont employées dans une opération suivante.

Le résidu de sulfate de baryte est aussi lavé avec soin; les eaux de lavage rentrent dans la fabrication, et le sulfate peut être employé pour préparer de la baryte artificielle.

Enfin, le plus important des résidus, le précipité provenant de la neutralisation du phosphate acide de chaux par l'ammoniaque et qui est constitué surtout par des phosphates, est d'abord pressé dans des filtres-presses pour en extraire le phosphate ammoniacal qui l'imprègne; les tourteaux résultants sont redélayés dans l'eau, et la masse soumise à une seconde pression donne finalement un produit solide, très-riche en phosphates suffisamment assimilables, que l'on se contente de faire sécher, et qu'on trouve avantage à vendre directement comme engrais.

PHOSPHATE DE CHAUX. A l'article ENGRAIS il a été traité en détail de l'importance de ce sel pour l'agriculture et il a été parlé des richesses que renferme, sous cette forme, le sol de la France. Le Lot, et les Ardennes surtout, ont mis en exploitation de magnifiques gisements qui sont une source de richesses pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces deux départements, le phosphate de chaux étant devenu précieux à l'égal des minerais métallifères.

PHOSPHORE. L'un des corps simples; il est solide, d'une densité = 1,77, fond à 43° C., se volatilise à 290°; à la température ordinaire, il répand dans l'air des fumées blanches, épaisses, lumineuses dans l'obscurité, et y brûle avec une flamme extrêmement vive et brillante lorsqu'on le chauffe seulement jusqu'à son point de fusion. Récemment préparé, il est ordinairement incolore et transparent; dans quelques cas cependant, surtout lorsqu'il est refroidi brusquement, il devient gris et même complétement noir. Conservé quelque temps dans l'eau, de transparent et incolore qu'il était il se recouvre d'une pellicule blanche et opaque.

La transformation du phosphore translucide en phosphore opaque est due à l'influence de la lumière diffuse. L'action de la lumière solaire est encore plus grande; le phosphore devient rouge et en même temps ses propriétés se modifient d'une manière singulière: sa densité augmente, il devient moins facilement attaquable, il perd sa phosphorescence et ne s'enflamme plus qu'à 260°; enfin tandis que le phosphore ordinaire est un poison violent, le phosphore rouge est presque inoffensif.

Le phosphore se combine avec les métaux pour donner des composés beaucoup plus durs, et le plus souvent aigres et cassants, qui ont reçu le nom de *phosphures*.

On obtient le phosphore en poudre en le fondant dans un ballon, sous l'eau, et agitant ensuite vivement le vase jusqu'à ce que le phosphore soit entièrement solidifié par suite du refroidissement progressif de l'eau; on se servant d'alcool, au lieu d'eau, on obtient une poudre beaucoup plus fine.

Le phosphore est employé pour doser l'oxygène, dans les analyses eudiométriques, et, dans quelques cas, en médecine. Mais son principal débouché est la fabrication des allumettes à friction, dites *allumettes chimiques*, qui en consomme une quantité extrêmement considérable.

Le phosphore se prépare au moyen des os calcinés ou plutôt grillés à blanc, qui se composent de carbonate et de phosphate de chaux; on les pulvérise, on les délaye dans 2 parties d'eau de manière à former une bouillie claire dans laquelle on verse peu à peu, en agitant constamment, 75 p. 100 d'acide sulfurique à 66°; on laisse ensuite reposer pendant vingt-quatre heures à froid, ou moins, si on élève la température : il se dépose du sulfate de chaux et il se forme du phosphate acide de chaux soluble. On décante, on lave le résidu à l'eau chaude à plusieurs reprises; on évapore la liqueur jusqu'à consistance sirupeuse, on laisse refroidir et on reprend par l'eau froide, qui redissout seulement le phosphate acide de chaux et laisse la portion de sulfate qui s'était d'abord dissoute; après avoir décanté, on évapore de nouveau jusqu'à consistance de miel, on incorpore dans la masse le quart de son poids de charbon en poudre, on dessèche la masse et on la fait même rougir dans une chaudière en fonte. Lorsqu'on chauffe ce mélange au blanc, dans des cornues, l'acide phosphorique en sus de celui nécessaire pour constituer du phosphate neutre est décomposé par le charbon, et le phosphore se dégage à l'état de vapeurs qui viennent se condenser dans des appareils convenablement disposés.

La température à laquelle on opère étant très-élevée, on se sert de cornues en terre, lutées avec un mélange de terre franche et de crottin de cheval; on les fait complétement sécher, avant de s'en servir, et on répare avec soin les fissures qui pourraient s'être produites pendant la dessiccation.

Le mélange n'augmentant pas de volume, lorsqu'il a été bien desséché, on peut en remplir presque entièrement la panse de la cornue.

On emploie ordinairement, pour chauffer les cornues, un fourneau à alandier, construit en briques, alimenté avec du bois ou de la houille, et dans lequel on place 4 cornues de chaque côté; au col de chacune de ces cornues, on ajuste un tuyau de cuivre courbé, qui vient plonger dans un réservoir cylindrique aussi en cuivre, muni d'un couvercle auquel on adapte un tube droit pour le dégagement des gaz; on remplit à moitié chaque réservoir avec de l'eau chaude, sans quoi les premières vapeurs de phosphore qui passeraient à la distillation se condenseraient sous la forme de poudre. On chauffe très-graduellement le feu jusqu'au rouge blanc, et on le maintient à ce point tant qu'il distille du phosphore: on juge de la marche de l'opération par l'abondance du dégagement gazeux: l'opération est terminée lorsque tout dégagement a cessé. On trouve alors le phosphore en masses plus ou moins volumineuses au fond des vases; après avoir laissé refroidir l'eau, on le retire et, pour le purifier, on le met dans un nouet en peau de chamois, on plonge le nouet dans l'eau chaude et on le comprime avec la main, ou mieux avec une pince, ce qui permet d'employer de l'eau plus chaude; le phosphore fond et passe à travers la peau, tandis que les matières étrangères, l'oxyde de phosphore, etc., restent dans le nouet.

Pour convertir le phosphore en bâtons, forme sous laquelle il est ordinairement livré au commerce, on le fond dans l'eau et on y plonge des tubes de verre parfaitement droits, et légèrement coniques, dans lesquels on le fait monter par succion; il faut opérer avec précaution et prendre bien garde d'aspirer au point de faire venir du phosphore dans la bouche, ce qui pourrait causer des accidents extrêmement graves; aussi a-t-on toujours soin que le phosphore soit toujours recouvert dans le tube, par une couche d'eau de 2 ou 3 centimètres; il convient aussi d'effiler le tube par le bout qui plonge dans le phosphore; le phosphore s'étant élevé dans le tube à la hauteur voulue, on ferme l'orifice supérieur du tube avec le bout de la langue, ou même avec le doigt s'il est effilé à son autre extrémité, on soulève le tube jusqu'à ce que l'orifice inférieur ne plonge plus que dans l'eau et on passe le doigt sous le tube, que l'on transporte dans l'eau froide; en renversant ensuite le tube, après solidification complète, le phosphore sort naturellement ou par la plus légère secousse. Il faut préalablement échauffer le tube en y aspirant, à deux ou trois reprises, de l'eau chaude, afin d'éviter le grave inconvénient d'avoir des bâtons de phosphore creux, dont l'emploi, dans certains cas, peut donner lieu à des accidents.

On coupe ensuite les bâtons de phosphore avec des ciseaux, en fragments de longueur convenable, et on les conserve sous l'eau, à l'abri de la lumière, dans des flacons à large goulot, en verre opaque ou recouvert de papier noir, en grès ou en métal.

Phosphore rouge. Nous avons traité, à l'article ALLUMETTES du *Complément*, de l'utilité d'emploi du phosphore rouge. Décrivons le procédé employé par M. Schrötter pour sa préparation.

Le phosphore est mis dans un vase circulaire en fonte placé lui-même dans un vase rempli de sable fin, lequel plonge à son tour dans un troisième vase contenant un alliage formé de parties égales de plomb et d'étain. L'appareil est chauffé d'abord graduellement de manière à chasser la vapeur d'eau; ensuite on élève la température jusqu'à ce qu'il se dégage des vapeurs qui s'enflamment en arrivant à l'air. Une ou deux heures après, on porte la température à 170° et on la maintient à peu près constante pendant 10 ou 12 jours. La transformation allotropique est alors effectuée à peu près complétement. La masse de phosphore durci est broyée et lavée au sulfure de carbone, qui dissout le phosphore ordinaire et laisse le phosphore rouge.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PHOSPHORIQUE (ACIDE). Cet acide, qui donne naissance aux phosphates, est la combinaison la plus importante du phosphore avec l'oxygène. On l'obtient anhydre par la combustion vive du phosphore dans l'air ou l'oxygène sec. Il est alors sous la forme de flocons blancs fortement déliquescents; une fois qu'il s'est formé de l'acide hydraté, on ne peut plus en séparer par l'action de la chaleur toute l'eau; il en retient encore 1 équivalent ou 25 p. 100 de son poids, après qu'il a été chauffé jusqu'à fusion; il est alors vitreux. C'est un acide énergique surtout à une température élevée, parce qu'il peut la supporter sans se décomposer, ce que font seuls avec lui les acides silicique et borique. Il est réduit par le charbon, à la température rouge vif; c'est sur ce fait qu'est basée, comme nous l'avons vu, la préparation du phosphore.

PHOSPHURES. Les phosphures, combinaisons binaires du phosphore, ont l'éclat métallique; ils sont en général très-fusibles; la plupart sont cassants; quelques-uns sont demi-ductiles; la chaleur les ramène ordinairement à un minimum de phosphuration, PM^2, et en décompose totalement quelques-uns. L'acide nitrique, l'eau régale et le grillage les transforment en phosphates.

Ils sont très-difficiles à préparer directement à cause de la grande inflammabilité et de la grande volatilité du phosphore. On en obtient beaucoup, soit en réduisant par le charbon les phosphates correspondants, soit en fondant au creuset brasqué, et au feu de forge, du métal en limailles ou de l'oxyde en poudre, avec deux ou trois fois son poids d'un mélange de 10 parties de phosphate de chaux, 5 parties de sable quarzeux, 5 parties de borax et une partie de charbon en poudre : le phosphate de chaux est réduit par le borax et la silice, au contact du charbon, et il se forme dans le creuset un phosphure recouvert par une scorie bien fusible, formée par un boro-silicate à base de chaux et de soude.

On a préparé le phosphure de fer, à bas prix, dans une espèce de haut-fourneau, en mélangeant des phosphates fossiles, du minerai de fer et du charbon. Le phosphure de fer coule, comme la fonte, dans le creuset.

PHOTOCHIMIE. On donne ce nom à la science des réactions chimiques engendrées par des radiations lumineuses. La théorie est encore obscure, mais les éléments se dégagent chaque jour, de manière à faire concevoir l'espoir d'édifier un monument qui sera des plus magnifiques; l'art qui l'utilise a pris un grand développement; c'est la photographie dont les produits ont atteint un si haut degré de perfection. M. Jamin a essayé, dit-il, de mettre de l'ordre au milieu des phénomènes nombreux et incohérents de la photochimie, et y a fort bien réussi dans un chapitre de son beau traité de physique, auquel nous emprunterons le commencement de ce qui suit, excellent résumé de la théorie de la photographie.

Actions réductrices. Scheele découvrit, en 1770, que le chlorure d'argent devient noir quand on l'expose à la lumière, de l'argent est réduit. La lumière a donc la propriété de décomposer le chlorure d'argent en séparant ses éléments. Elle décompose également l'azotate d'argent en dégageant l'acide et l'oxygène qui abandonnent le métal réduit.

Des faits analogues se produisent avec un grand nombre de corps. En général les chlorures, bromures, iodures, cyanures, etc., des métaux les moins oxydables, tels que l'argent, le mercure, le fer et le platine, sont décomposés ou tendent à l'être par l'action suffisamment prolongée de la lumière.

Il en est de même d'un grand nombre de composés oxygénés. L'acide azotique perd de l'oxygène et se transforme en vapeurs rutilantes; l'acide chromique et le bichromate de potasse laissent déposer de l'oxyde de chrome; l'azotate d'urane se trouble, verdit et donne du protoxyde. On peut dire en résumé que les oxydes ou acides suroxygénés, ainsi que les composés binaires des métaux peu oxydables, tendent à se réduire sous l'action prolongée des rayons du soleil.

Actions oxydantes. Si, dans les conditions ci-dessus, l'oxygène et les corps halogènes tendent à abandonner les métaux, ils se portent au contraire avec énergie sur l'hydrogène et les matières organiques. C'est ainsi qu'un mélange de chlore et d'hydrogène, qui se conserve dans l'obscurité, se convertit peu à peu en acide hydrochlorique sous l'influence de la lumière diffuse; action qui, sous l'influence des rayons solaires, se produit instantanément avec détonation et dégagement de chaleur et de lumière. C'est par une action semblable que le chlore peut enlever l'hydrogène aux combinaisons organiques sous l'influence du soleil. Le chrome, le brome et l'iode manifestent les mêmes propriétés.

L'oxygène éprouve un accroissement d'activité analogue et une tendance à se combiner avec les matières organiques. C'est par une expérience fondée sur cette propriété que J. Nicéphore Niepce inaugura l'art de la photographie en 1813. Il disposait sur une plaque d'argent bruni une couche mince de bitume de Judée, puis, appliquant dessus une gravure en taille-douce, il l'exposait au soleil. Les rayons pénétraient à travers le papier blanc, mais étaient arrêtés par les traits noirs de la gravure. Le bitume de Judée se conservait sans altération sous ces traits; mais il se combinait avec l'oxygène sous les parties blanches, et, en se résinifiant ainsi, devenait insoluble dans les essences. Il suffisait ensuite de laver la planche avec un mélange d'huiles de lavande et de pétrole pour mettre le métal à nu, avec son aspect noir bruni, aux endroits que les traits avaient recouvert, tandis qu'il demeurait voilé par une couche blanche insoluble aux points que la lumière avait impressionnés: on obtenait ainsi une reproduction de la gravure. Le galipot, les essences d'amandes amères, de citron, de térébenthine et de laurier-cerise; la benzine; la plupart des vernis, etc., se comportent comme le bitume de Judée, c'est-à-dire qu'ils s'oxydent à la lumière et par là changent leurs propriétés physiques ou chimiques.

La résine de gaïac offre une particularité curieuse; elle bleuit en absorbant l'oxygène. Si donc on l'étale en couche mince sur une surface, qu'on la couvre d'une gravure, elle prend une teinte foncée sous les blancs et reste blanche sous les noirs; elle donne finalement une image inverse : c'est ce qu'on appelle une *épreuve négative*.

Effets superposés. Puisque certains acides ou sels et certains composés métalliques binaires tendent à se dissocier sous l'action de la lumière, et que, d'un autre côté, l'oxygène ou le chlore, le brome et l'iode acquièrent, dans les mêmes conditions, une plus vive affinité pour l'hydrogène des matières organiques, il est évident qu'on augmentera la sensibilité des actions photochimiques en mêlant ces composés métalliques ou salins à ces matières organiques. C'est en effet ce qu'on peut montrer par de nombreux exemples.

I. M. Niepce de Saint-Victor enduit avec une même solution d'azotate d'argent fondu une feuille de papier et une cassure récente de porcelaine, puis les expose pendant le même temps à la même lumière. La porcelaine ne manifeste rien, tandis que le papier noircit: la matière organique a facilité la réduction.

D'après cela, on prépare des surfaces extrêmement sensibles à l'action de la lumière en étalant des feuilles de papier sur un bain de nitrate d'argent dissous, et les y laissant flotter assez longtemps pour que leur surface inférieure soit bien imbibée. On fait sécher ces feuilles dans l'obscurité où elles se conservent indéfiniment.

On augmente encore leur sensibilité en les plongeant ensuite dans des solutions de chlorure, bromure ou iodure de potassium, ce qui transforme l'azotate en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chlorure, bromure et iodure d'argent, substances insolubles, décomposables par elles-mêmes, et qui le deviennent davantage étant mêlées à la matière organique du papier.

On peut renverser l'ordre de ces deux immersions; plonger d'abord le papier dans le composé de potassium, ensuite dans le sel d'argent. C'est ainsi qu'en général on prépare le papier sensible employé dans la photographie.

II. Vers 1850, M. Poitevin fit une remarquable découverte dans cette voie. Le bichromate de potasse est difficilement décomposable par la lumière; mais il est réduit très-aisément au soleil quand on le mêle au sucre, à l'empois d'amidon, à la gomme, à la gélatine. Il est remarquable qu'en s'oxydant ces substances deviennent insolubles et que la gélatine perd la propriété qu'elle a naturellement de se gonfler dans l'eau.

III. Le perchlorure de fer se comporte comme le bichromate de potasse. Vient-on à le mêler avec de l'alcool, de l'éther ou de l'acide tartrique, et à l'exposer à la lumière, il passe à l'état de protochlorure, en cédant du chlore à la matière organique. Quand on place au soleil, sous une gravure, une feuille de papier imprégnée avec le dernier de ces mélanges, il est préservé sous les traits; partout ailleurs il se change en protochlorure mélangé à de l'acide tartrique oxygéné. Cette dernière combinaison n'a point été déterminée; mais elle est tellement avide d'humidité, qu'elle se couvre bientôt de rosée, ce qui dessine les blancs de la gravure. On peut faire paraître les traits en lavant la plaque avec du ferrocyanure de potassium ou de l'acide tannique, ce qui donne une épreuve positive imprimée en bleu de Prusse ou en encre ordinaire.

En résumé, l'ensemble des radiations émises par le soleil agit: 1° pour réduire les acides suroxygénés, les sels ou les composés binaires métalliques; 2° pour oxyder les matières organiques; d'où il résulte que les mélanges de ces deux classes de substances constituent les réactifs les plus sensibles à l'action photochimique.

Actions révélatrices. Il n'est pas nécessaire d'exposer à la lumière les deux éléments d'un pareil mélange; il suffit que l'un d'eux en ait subi l'effet. Ainsi quand on place dans la chambre obscure un papier imprégné d'iodure d'argent et d'acide gallique, le mélange est complet, l'action de la lumière efficace, et bientôt l'image négative apparaît. Si on omet l'acide gallique, l'épreuve ne se montre point. Cependant l'action de la lumière s'est produite et a communiqué au sel d'argent une tendance à la réduction; car si on plonge après coup le papier dans l'acide gallique, on voit l'image apparaître subitement. Il en est de même quand on le mouille avec du sulfate de fer ou du protochlorure d'étain, c'est-à-dire avec un corps oxydant. Pour distinguer ces deux actions, on nomme impressionnable la matière qui reçoit et conserve l'action de la lumière, et *révélatrice* celle qui développe l'image.

Nous citerons, parmi beaucoup d'actions analogues, les suivantes:

SUBSTANCES		RÉSULTATS
IMPRESSIONNABLES, papier imprégné de	RÉVÉLATRICES.	
1° Rien.	Sel d'argent.	Image noire ordinaire.
2° Azotate ou iodure d'argent.	Sulfate de fer ou acide gallique.	Image noire ordinaire.
3° Azotate d'Urane.	Eau.	Action prolongée de la lumière; image négative grise de protoxyde d'Urane; disparaît à l'obscurité, se reproduit à la lumière.
	Prussiate rouge de potasse.	Image rouge sanguin positive; passe au bleu par le sulfate de fer.
4° Acide gallique.	Sulfate de fer.	Image noir-bleu.
5° Acide chromique ou bi-chromate de potasse.	Sel d'argent.	Image positive rouge-pourpre.

Le rôle de substance impressionnable et de substance révélatrice est réciproque, et à l'intensité près on obtient le même effet en insolant l'une ou l'autre. En général on peut changer l'ordre des deux premières colonnes du tableau ci-dessus.

Action des ondes de l'éther sur les atômes des corps composés par Tyndall. Nous donnerons ici la leçon dans laquelle M. Tyndall a tenté l'analyse des phénomènes photochimiques; c'est aujourd'hui la tentative la plus avancée dans cette voie.

J'ai cherché, dit l'éminent physicien anglais, à me former des molécules et de leurs atomes constituants les images que la science moderne rend les plus probables, à me représenter aussi l'éther et ses mouvements tels que la théorie des ondulations de la lumière nous permet de les concevoir; j'ai cherché à fonder, sur ces conceptions, des recherches expérimentales qui puissent nous initier à une connaissance plus certaine de la constitution moléculaire.

L'un des résultats de ces recherches, c'est le changement subit qui se produit dans les rapports entre l'éther de l'espace et la matière ordinaire qui accompagne l'acte d'une combinaison. La quantité et la qualité finale de la matière traversée par les ondes d'éther restant constantes, il peut se produire de grands changements dans la qualité du mouvement ondulatoire intercepté par l'acte de la combinaison chimique. Si, par exemple, l'azote et l'oxygène sont mêlés mécaniquement dans la proportion en poids de 7 à 4, la chaleur rayonnante traversera le mélange comme elle traverserait un espace vide; ou, tout au moins, la quantité de chaleur interceptée sera rendue mille fois plus grande dès que l'azote et l'oxygène se combineront pour former le gaz hilarant. De même, si l'azote et l'hydrogène sont mêlés mécaniquement dans la proportion de 14 à 3, la quantité de chaleur qu'ils absorbent dans cet état sera multipliée par des mille, peut-être par des millions, du moment qu'ils s'uniront chimiquement pour former l'ammoniaque. Aucune expérience ne prouve même que l'air que nous respirons est un mélange mécanique et non un composé chimique, autant que celle qui nous montre qu'il est perméable aux rayons de chaleur tout comme le vide.

Mais les molécules qui, comme celles de l'ammoniaque et du gaz hilarant, peuvent intercepter les ondes d'éther, peuvent aussi être dissociées, et peut-être complétement séparées par ces ondes. Que la chaleur thermométrique ordinaire puisse produire des changements chimiques, c'est un fait des plus communs. La chaleur rayonnante aussi, si elle est assez intense et si elle est absorbée avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une avidité suffisante, peut produire tous les effets de la chaleur thermométrique ordinaire. Les rayons obscurs, par exemple, qui peuvent amener le platine à la chaleur blanche, peuvent aussi, s'ils sont absorbés, produire les mêmes effets chimiques que le platine à la chaleur blanche. Ils peuvent décomposer l'eau, comme ils peuvent la faire bouillir en un instant; mais la décomposition, dans ce cas, aurait lieu par suite de la conversion virtuelle de la chaleur rayonnante en chaleur thermométrique. Il n'y aurait rien dans cet acte qui caractérise la radiation, ou qui puisse exiger sa présence comme élément essentiel de la décomposition.

Les actions chimiques, pour lesquelles la forme rayonnante semble être essentielle, sont produites principalement par les rayons du spectre les moins énergiques. Ainsi, le photographe a son foyer de chaleur en avant de son foyer chimique; et ce dernier, quoique si efficace pour son but spécial, possède une énergie mécanique infiniment moindre que son voisin. L'énergie mécanique dépend de l'amplitude ou de l'étendue de l'excursion des particules individuelles qui composent une onde d'éther. Or les ondes de chaleur ont des amplitudes considérablement plus grandes que les ondes chimiques; voilà pourquoi la décomposition est moins un effet de l'amplitude que de la période de vibration. Les mouvements plus prompts des ondes courtes et faibles qui se mettent ainsi en rapport avec les périodes de vibration permises aux atomes, comme cela a lieu pour les oscillations cadencées d'un enfant sur sa balançoire, finissent par s'accumuler assez pour écarter les atomes les uns des autres; c'est ainsi que se produit ce qu'on appelle la décomposition chimique. (Le rapport des longueurs des ondes à l'écartement des atomes peut fournir la base d'une hypothèse aussi probable, pour le moins, que la précédente.)

C'est cet écartement, cette dissociation les uns des autres, des atomes qui constituent les molécules que nous allons examiner maintenant. Considérons l'action des ondes courtes sur la matière gazeuse. On a rempli de vapeurs diverses un tube à expérience en verre de 1 mètre de longueur et de 8 centimètres de diamètre. En règle générale, les vapeurs étaient parfaitement transparentes; le tube qui les contenait paraissait aussi vide après qu'avant leur introduction. Dans deux ou trois cas seulement, l'on voyait un faible nuage dans le tube. Ce fait me causa un moment d'inquiétude, car je ne savais pas dans quelle proportion, lors de mes expériences antérieures, les phénomènes devaient être réellement attribués à la vapeur pure ou sans nuages et à ces nébulosités que j'apercevais pour la première fois. Je me suis très-vite convaincu que les nuages observés dans le faisceau étaient tous *engendrés* par le faisceau lui-même, et cette observation m'a ouvert l'entrée dans des régions inaccessibles aux sens, mais qui occupent une si grande partie de la vie des hommes qui se livrent à l'étude de la physique.

Que sont les vapeurs dont nous avons parlé? Des agrégats de *molécules* ou de petites masses de matière, et chaque molécule est elle-même un agrégat de parties plus petites appelées *atomes*. Une molécule de vapeur aqueuse, par exemple, se compose de 2 atomes d'hydrogène et de 1 atome d'oxygène; une molécule d'ammoniaque se compose de 3 atomes d'hydrogène et de 1 d'azote, et ainsi des autres substances. Ainsi les molécules les plus petites que l'on puisse imaginer sont formées de parties séparées encore plus petites; et, lorsqu'on parle d'un composé de vapeur, il faut se représenter un agrégat de molécules, séparées les unes des autres, quoique excessivement voisines, chacune d'elles étant composée d'un groupe d'atomes encore plus rapprochés les uns des autres. C'est ainsi que nous devons concevoir la *matière* qui constitue une vapeur. A cette idée, il faut ajouter celle de *mouvement*. Les molécules ont des mouvements qui leur sont propres, *en tant qu'elles forment un tout*; leurs atomes constituants ont aussi des mouvements qui leur sont propres, et qui sont exécutés indépendamment de ceux des molécules, absolument comme les différents mouvements, à la surface de la terre, sont exécutés indépendamment de la révolution de notre planète dans son orbite.

Les molécules de vapeur sont maintenues séparées par des forces qui, virtuellement ou actuellement, sont des forces de répulsion. Entre ces forces élastiques et la pression atmosphérique sous laquelle la vapeur existe, l'équilibre s'établit dès que les molécules ont pris des distances convenables. Si, ensuite, une force momentanée vient à rapprocher encore les molécules, elles reprennent leur position dès que la force est épuisée. Si, par l'exercice d'une force semblable, on les sépare davantage, dès que la force cessera d'agir, elles se rapprocheront de nouveau. Le cas n'est pas le même pour les atomes constituants.

Permettez-moi de faire remarquer que nous nous trouvons ici à la limite extrême de la physique moléculaire, et que j'essaye de vous familiariser avec des idées qui n'ont pas encore généralement cours, même parmi les chimistes, que beaucoup de chimistes se refusent même à adopter. Mais que ces idées soient admissibles ou inadmissibles, il y a une haute importance scientifique à les discuter. Représentons-nous donc nos atomes groupés ensemble pour former une molécule. Chaque atome est maintenu à distance de son voisin par une force de répulsion. Comment alors les membres de ce groupe, qui se repoussent mutuellement, ne se fuussent-ils pas compagnie? Les molécules se séparent les unes des autres si la pression diminue ou ne s'exerce plus: mais il n'en est pas de même des atomes. Le motif de cette stabilité, c'est que *deux* forces, l'une attractive et l'autre répulsive, sont en action entre deux atomes quelconques; que la position et la distance qui sépare chaque atome de son compagnon est déterminée par l'équilibre de ces deux forces. Si les atomes se rapprochent trop, la force de répulsion l'emporte et les ramène à distance; s'ils sont trop éloignés, l'attraction l'emporte et les rapproche. Le point auquel la force d'attraction et celle de répulsion sont égales est la *position d'équilibre* des atomes. S'ils ne sont pas absolument froids, et il n'y a pas de froid absolu dans le coin de la nature que nous habitons, les atomes sont toujours dans un état de vibration, leurs vibrations doivent s'exécuter en avant et en arrière *de leurs positions d'équilibre*.

Au sein d'une vapeur ainsi constituée, lançons maintenant un faisceau de lumière. Mais d'abord, qu'est-ce qu'un faisceau de lumière? Vous savez que c'est une série d'ondes innombrables excitées et se propageant au sein d'un milieu d'une ténuité et d'une élasticité presque infinies, qui remplit tout l'espace, et que nous nommons l'*éther*. Vous savez que ces ondes de lumière ne sont pas toutes de même grandeur; que quelques-unes d'elles sont beaucoup plus longues et plus hautes que les autres; que les ondes courtes et les ondes longues se meuvent avec la même rapidité à travers l'espace, juste comme les ondes courtes et les ondes longues du son traversent l'air avec la même rapidité: d'où il résulte que les ondes courtes doivent se succéder plus rapidement que les longues. Vous savez que les différences de rapidité avec lesquelles les ondes de la lumière atteignent la rétine ou le nerf optique donnent la conscience des différences de *couleur*, et qu'il y a néanmoins des ondes sans nombre émises par le Soleil et les autres corps lumineux qui atteignent la rétine, mais qui sont impuissantes à exciter la sensation de la lumière; que si les ondes ont dépassé, en longueur ou en petitesse, une certaine limite, elles ne peuvent produire la vision. Enfin, il faut bien se rappeler que la puissance pour produire la *lumière* ne dépend pas tant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la force des ondes que de leurs *périodes de récurrence*.

Vous possédez ainsi les éléments de toutes les conceptions avec lesquelles nous aurons désormais à compter; et vous remarquerez que, quoique nous parlions de choses qui ne tombent en rien sous les sens, ces conceptions sont aussi réellement *mécaniques* que si nous nous occupions des masses de matière ordinaire et des ondes d'une grandeur sensible. Je ne sache pas que, aujourd'hui, il y ait un seul savant véritable qui fasse une distinction substantielle entre les phénomènes chimiques et les phénomènes mécaniques. Ils diffèrent entre eux, en ce qui concerne la grandeur des masses envisagées, dans le même sens que les phénomènes de l'Astronomie diffèrent de ceux de la Mécanique ordinaire.

Supposons qu'une onde ou une série d'ondes vienne frapper une molécule de manière à imprimer le même mouvement à toutes ses parties, la molécule se mouvra comme un seul tout; et comme toutes les parties constituantes de la molécule seront animées d'un *mouvement commun*, elles n'auront aucune tendance à se séparer les unes des autres. *Des mouvements différents*, parmi les atomes qui constituent la molécule, seraient nécessaires pour effectuer une séparation, et, si de semblables mouvements ne peuvent pas être produits par le choc des ondes, il n'y a aucun fondement mécanique à la décomposition des molécules.

Il est cependant difficile de concevoir le choc d'une onde ou d'une série d'ondes ainsi distribuées entre les atomes sans qu'il exerce sur eux aucun effort, car les atomes ont des poids différents, et probablement des dimensions différentes; et, en tout cas, il est à peu près certain que le rapport de la masse de l'atome à la surface qu'il présente à l'action des ondes d'éther n'est pas le même pour tous. S'il en est ainsi, et je crois que les probabilités en faveur de cette idée sont immenses, chaque onde qui passe sur une molécule tend à la décomposer; elle tend à séparer de ses compagnons plus lourds et plus inertes les atomes qui, relativement à leurs masses, présentent les plus grandes surfaces résistantes aux mouvements des ondes.

Ainsi, l'idée de la décomposition des molécules composées par les ondes d'éther se recommande d'abord à nous comme une probabilité *à priori*. Un examen plus attentif de la question nous fera compléter, sinon qualifier matériellement ce mode de conception. C'est un fait très-remarquable, que les ondes qui ont été de beaucoup les plus efficaces pour séparer ainsi les molécules soient celles de moindre puissance mécanique. C'est ainsi que les rayons violets et ultraviolets du Soleil sont les plus efficaces pour produire les décompositions chimiques; et, si on les compare avec les rayons rouges et ultrarouges du Soleil, l'énergie mécanique de ces *rayons chimiques* est une quantité infiniment petite. Il faudrait probablement, dans certains cas, multiplier cette énergie par des millions, pour qu'elle fût égale à celle des rayons ultrarouges; et, pourtant, ces derniers sont sans force là où les ondes plus courtes sont puissantes. Nous constatons ici une similitude remarquable entre la manière de se comporter des molécules chimiques et celle de la rétine humaine.

D'où vient cette puissance plus grande des ondes plus courtes pour détruire les liens de l'union chimique? Si elle n'est pas le résultat de leur énergie propre, elle doit être, comme dans le cas de la vision, le résultat de leurs périodes de récurrence. Mais comment nous figurer cette action? Je dirai: Le choc d'une seule onde ne produit qu'un effet infiniment petit sur un atome ou une molécule. Pour produire un effet plus considérable, le mouvement doit *s'accumuler*, et, pour que les impulsions des ondes s'accumulent, celles-ci doivent arriver à des périodes identiques aux périodes de vibration des atomes qu'elles frappent. Alors toutes les ondes qui se succèdent trouvent les atomes dans des positions qui leur permettent d'ajouter leur choc à la somme des chocs des ondes qui les ont précédées. L'effet est mécaniquement le même que celui d'un enfant qui rhythme ses impulsions sur une balançoire. Un seul battement du pendule d'une horloge n'a pas d'effet sur le pendule d'égale longueur et en repos d'une horloge située à quelque distance; mais si les battements se renouvellent, et que chacun d'eux ajoute au moment voulu son impulsion infinitésimale à la somme des impulsions qui ont précédé, ils mettront, c'est un fait connu, la seconde horloge en mouvement. Pareillement, un seul souffle d'air contre les branches d'un fort diapason ne produira pas en celui-ci de mouvement sensible, ni, par conséquent, de son perceptible; mais une succession de souffles, qui se suivent à des périodes identiques à celles des vibrations du diapason, le feront résonner. Je pense que c'est de cette manière qu'il faut envisager l'action chimique de la lumière. Les faits et le raisonnement nous conduisent à cette conclusion, que c'est l'accumulation du mouvement des atomes, par suite de leur synchronisme avec les ondes les plus courtes, qui les pousse à se fausser compagnie. C'est là, je crois, la cause mécanique de ces décompositions sous l'influence des ondes d'éther.

Revenons maintenant au léger nuage dont nous avons parlé plus haut et d'où sort sorties, comme d'un germe, ces considérations et ces spéculations. On savait depuis longtemps que la lumière produit la décomposition d'un certain nombre de corps. L'iodure transparent d'éthyle ou celui de méthyle deviennent bruns et opaques à la lumière, par suite du dépôt de leur iode. L'art de la photographie est fondé sur ces actions chimiques de la lumière, de sorte qu'il est bien connu que les résultats auxquels nous ont préparés les considérations théoriques précédentes sont non-seulement probables, mais réels.

Mais la méthode que nous allons employer, et qui consiste tout simplement à soumettre les vapeurs des substances volatiles à l'action de la lumière, nous donne le moyen, non-seulement de présenter nos expériences sous une belle forme, mais aussi de donner une grande extension aux opérations de la lumière, ou plutôt de la force rayonnante, devenue un agent chimique. Elle nous permet aussi de produire, dans nos laboratoires, des phénomènes qui, jusqu'ici, se produisent seulement dans le laboratoire de la nature. Les substances que nous examinerons sont constituées de telle sorte que, lorsque leurs molécules sont brisées par les ondes lumineuses, les corps nouvellement formés ne *sont plus volatils* comparativement aux premiers. Pour les conserver sous la forme gazeuse, les produits de la décomposition ont besoin de beaucoup plus de chaleur qu'il n'en fallait aux vapeurs dont ils dérivent; et, par conséquent, si l'espace où ces nouveaux corps sont mis en liberté est à une température convenable, ils ne resteront pas à l'état de vapeur, ils seront précipités en nuages sur le faisceau de rayons auquel ils doivent leur existence.

Voici une petite éprouvette que je tiens dans la main, et qui est fermée par un bouchon percé de deux orifices. Par l'un d'eux passe un tube de verre étroit, qui se termine immédiatement au-dessous du bouchon; par l'autre passe un tube semblable, qui descend au fond de l'éprouvette, laquelle est remplie jusqu'à une hauteur d'environ 2^{c},5 d'un liquide transparent. Ce liquide est le nitrite d'amyle, dont chaque molécule contient 5 atomes de carbone, 11 d'hydrogène, 1 d'azote et 2 d'oxygène. Nous enverrons directement les ondes de la lumière électrique sur ce groupe d'atomes. Notre tube à expériences est réuni actuellement avec l'éprouvette; mais il y a entre eux un robinet qui permet d'établir ou d'interrompre, à volonté, la communication entre l'éprouvette et le tube à expérience. L'autre tube, qui traverse le bouchon de l'éprouvette et qui descend dans le liquide,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est réuni avec un tube en U rempli de fragments de verre bien nettoyés et humectés d'acide sulfurique. En avant du tube en U est un tube étroit, rempli de coton. A l'autre extrémité du tube à expérience est notre lampe électrique; enfin, voici une pompe à air, au moyen de laquelle on a fait le vide dans le tube. On peut alors commencer l'expérience.

En ouvrant le robinet avec précaution, l'air de l'appartement passe d'abord à travers le coton, qui arrête les nombreux germes organiques et les particules de poussière qui flottent dans l'atmosphère. L'air, ainsi épuré, va dans le tube en U, où il est séché par l'acide sulfurique. Puis il descend par le tube étroit jusqu'au fond de l'éprouvette, et s'échappe dans le liquide par un petit orifice. Il le traverse sous forme de bulles, se charge dans une certaine proportion de vapeur de nitrite d'amyle, de sorte que l'air et la vapeur entrent ensemble dans le tube à expériences.

Nous allons faire tomber le faisceau de lumière électrique sur la vapeur invisible. La lentille de la lampe est située de manière à rendre le faisceau convergent; le foyer est situé à peu près au milieu du tube. Vous remarquerez que l'espace reste obscur pendant un instant après l'introduction du faisceau; mais l'action chimique sera si rapide qu'il faut de l'attention pour saisir cet intervalle d'obscurité. J'allume la lampe: le tube semble vide un moment; mais un nuage blanc lumineux remplit aussitôt la place du faisceau. Cette expérience, en outre, met en évidence ce fait que, quelque intense que soit le faisceau de lumière, il reste invisible jusqu'à ce que quelque chose le fasse reluire. L'*espace*, quoique traversé par les rayons de tous les soleils et de tous les astres, reste lui-même invisible. L'éther aussi, qui remplit l'espace et dont les mouvements sont la lumière de l'univers, est lui-même invisible.

Vous remarquerez qu'à l'extrémité du tube à expérience, le plus éloigné de la lampe, il n'y a pas de nuage. La vapeur de nitrite d'amyle s'y trouve cependant, mais elle n'est pas affectée par le passage du faisceau. Concentrons le faisceau transmis en le recevant sur un miroir concave en argent, et renvoyons-le dans le tube: il est encore impuissant. Quoiqu'un cône de lumière d'intensité extraordinaire traverse la vapeur, il n'y a aucun précipité, on ne voit aucune trace de nuage. Pourquoi? parce que la très-petite partie du faisceau capable de décomposer la vapeur est entièrement épuisée par son action sur la partie antérieure du tube. Le grand volume de lumière qui reste, après avoir perdu par le filtrage le peu de rayons efficaces qu'il contenait, n'a plus d'action sur le nitrite d'amyle. Nous faisons ainsi clairement ressortir ce qui a déjà été dit de l'influence de la *période*, comparée à celle de l'*intensité*; car la portion du faisceau qui se montre ici inefficace a probablement plus d'un million de fois l'énergie absolue de la portion efficace. Nous avions besoin ici d'une énergie en rapport avec nos atomes, et cette énergie spécialement relative possédée par les petites ondes les investit d'un pouvoir extraordinaire. Lorsque le tube à expérience est changé de position, de manière à soumettre la vapeur non décomposée à l'action d'un rayon *non filtré*, vous voyez se précipiter instantanément ce beau nuage lumineux.

La lumière du soleil peut aussi décomposer la vapeur de nitrite d'amyle. Sur le trajet d'un rayon de soleil, j'ai placé une grande lentille convexe, qui formait un cône convergent visible sur la poussière de la chambre. En plaçant une extrémité du tube dans le cône de lumière formé derrière la lentille, la précipitation au sein du cône était abondante et immédiate. Cette fois encore, la vapeur du côté opposé du tube était protégée par celle située à l'avant; mais en tournant le tube, on voyait se précipiter un second nuage semblable au premier.

Aucune action chimique ne peut être produite par un rayon sans entraîner la destruction de ce rayon; question à laquelle il sera bon de s'arrêter. On peut la poser ainsi: quand les ondes d'éther sont interceptées par une vapeur composée, le mouvement des ondes passe-t-il dans les molécules de vapeur ou dans les atomes des molécules? Nous devons dire, dès l'abord, que le mouvement est communiqué aux atomes; car, si ces atomes n'étaient pas affectés, chacun individuellement, comment se sépareraient-ils? Toutefois la question mérite d'être soumise à un nouvel examen, dont vous apprécierez immédiatement la portée et la signification.

Les ondes absorbées sont celles qui se trouvent synchrones avec celles des molécules ou des atomes qu'elles atteignent, et souvent on énonce ce principe en disant que les corps rayonnent et absorbent les mêmes rayons. Cette grande loi est, comme vous le savez, la base de l'analyse spectrale; elle a permis à Kirchhoff d'expliquer les raies de Fraünhofer et de déterminer la composition chimique de l'atmosphère du soleil. Si donc, après le passage de la vapeur à l'état liquide, les ondes absorbées sont les mêmes que celles qui l'étaient avant le passage, c'est une preuve que les molécules qui doivent avoir changé complétement *leur période* ne sont pas le siége de l'absorption; et nous sommes amené à conclure que c'est aux *atomes*, dont les conditions de vibration n'ont pas changé avec le changement d'état, qu'a été transmis le mouvement des ondes. Si l'expérience prouve bien cette identité d'action de la part de la vapeur et de son liquide, elle établira d'une manière nouvelle et frappante la conclusion à laquelle nous avons été d'abord conduit.

Nous allons maintenant en venir à l'épreuve expérimentale. En avant du tube à expériences, qui contient une certaine quantité de vapeur d'amyle, est placée une auge en verre de 6 millimètres d'épaisseur, remplie de nitrite d'amyle liquide. J'envoie un faisceau électrique à travers le liquide d'abord, puis à travers sa vapeur. La puissance lumineuse de ce faisceau est très-grande, mais elle ne fait aucune impression sur la vapeur. Le liquide lui a dérobé complétement ses ondes efficaces. Enlevons le liquide; l'action chimique commence immédiatement et en un instant le tube, qui paraissait vide, se remplit d'un nuage brillant, précipité par une portion du faisceau et illuminé par une autre. Je replace le liquide: l'action chimique cesse instantanément. Je l'ôte encore: l'action recommence. Nous découvrons ainsi en partie les secrets du monde des molécules et des atomes.

L'analyse de M. Tyndall, que nous venons de reproduire d'après la traduction publiée par M. l'abbé Moigno, est un heureux commencement d'explication des faits de décomposition des corps par la lumière, un premier pas dans une voie qui doit conduire à d'importants résultats, notamment faire mieux comprendre le développement des végétaux sous l'influence de la lumière solaire.

Il faudrait, pour aller plus avant, mesurer les forces en jeu, en suivant la route indiquée par les recherches de thermo-chimie. Indiquons la nature des éléments en présence.

De l'éther. L'éther, la matière subtile de Descartes, est infiniment peu dense, mais sa densité n'est pas nulle. La vitesse de la lumière serait, si elle était nulle, infinie, elle est seulement très-grande, de 300,000,000 de mètres par seconde!

Des atomes chimiques. Les atomes des corps sont très-grands par rapport à ceux de l'éther; leur poids absolu est inconnu, leurs poids relatifs sont déterminés par la loi des équivalents; leur vitesse de vibration très-petite, engendrée par celle de l'éther ambiant, est en raison inverse de leur densité. Ainsi la vitesse de l'atome de l'hydrogène est de 1,600 mètres. (Voy. GAZ.)

Choc des corps. On sait que la force vive qui produit la compression mutuelle de deux corps en mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui se choquent ou un effet inverse capable de produire la rupture du lien qui les réunissait, est donné par la formule que l'on doit poser comme fondamentale en thermo-chimie.

$$\frac{MM'}{M+M'}(V \pm V')^2 = AQ;$$

Q étant la quantité de chaleur dégagée, A l'équivalent mécanique de la chaleur, M, V, la masse et la vitesse, appartenant à l'un des atomes d'une combinaison, M', V' à l'autre.

Cette quantité de travail est obtenue par la calorimétrie pour un poids donné, et par l'application de l'équivalent mécanique de la chaleur; elle apparaît lorsqu'on combine les éléments. Par suite, cette formule donnera le travail de l'éther consommé par la destruction de la même combinaison par la lumière.

Nous n'irons pas plus loin dans ce genre de considérations, nous ne ferons plus qu'une seule observation sur les phénomènes ci-dessus indiqués.

Des combinaisons produites par la lumière. Nous dirons un mot des combinaisons faites sous la même influence et qui semblent étranges mises en regard des effets de décomposition. C'est qu'en effet, pour les combinaisons, dans ce second cas l'intervention de la lumière n'est plus de même ordre; elle ne fournit pas la force vive qui détermine le phénomène, elle intervient seulement pour faire apparaître une action en un point, action qui se poursuit indépendamment d'elle.

Ainsi les atomes d'hydrogène et de chlore occupant un espace très-minime dans un mélange de ces gaz, sont sans action les uns sur les autres; mais lorsqu'ils sont impressionnés par un rayon lumineux, ils sortent de leur inertie relative, ils se mettent à vibrer dans des conditions propres à leur combinaison. Celle-ci ayant lieu en un point, il s'y dégage de la chaleur qui se communique aux atomes voisins, et tout le mélange se combine avec détonation. La condensation par un corps poreux produit de même cette combinaison.

La lumière, on le voit, n'intervient plus directement dans ce cas, comme dans les actions de réduction.

PHOTOGRAPHIE. Nous avons donné, à l'article PHOTOCHIMIE, ce que l'on sait sur l'action de la lumière pour déterminer des actions chimiques et avons vu combien la science est encore incomplète. La pratique est plus avancée et la photographie exercée par une foule de chercheurs, qui ont passé en revue toutes les substances possibles, ont combiné tous les procédés imaginables, est arrivée en peu d'années à de merveilleux résultats.

Chambre noire. La photographie a pour but de fixer les tableaux que forment les objets dans la chambre noire, et c'est en se servant constamment de celle-ci pour exécuter les toiles de son Diorama, que Daguerre se trouva possédé de l'idée de rendre indélébiles les images fugitives dont il admirait la finesse. On sait que c'est Porta, physicien napolitain, qui inventa la chambre noire dans la seconde moitié du seizième siècle. Il vit qu'en perçant un petit trou dans le volet fermé de la fenêtre d'une chambre privée de toute lumière, celle-ci pénétrant en faisceau venait projeter sur un écran blanc une image des objets extérieurs. En plaçant une lentille convexe dans l'ouverture, l'image prit une grande netteté.

Une caisse noircie et un objectif, voilà le point de départ de la photographie, et la perfection de la taille de ce dernier est indispensable pour obtenir de bons produits, des images non déformées par les imperfections de la lentille.

Objectif. La partie la plus essentielle de la chambre noire est sans contredit l'objectif, la lentille ou le système de lentilles qui assurent la convergence des rayons lumineux; il doit être achromatique. Les objectifs pour vues, pour reproduction de gravures, d'objets d'art, ont en général un long foyer, l'étendue de l'image qu'ils donnent est un peu plus de la moitié de leur distance focale; avec un long foyer, les images sont plus grandes, mais aussi elles ont une lumière moins intense. On affaiblit encore cette lumière en plaçant à distance, et devant ces objectifs, des diaphragmes qui, en revanche, augmentent beaucoup la netteté de l'image; l'opération pour les vues est donc beaucoup plus lente que pour les portraits, mais on conçoit que la question de temps est à peu près indifférente alors qu'il s'agit de reproduire des objets inanimés.

Les objectifs à portraits, ou ceux destinés à reproduire des groupes, des animaux vivants, doivent avoir un foyer très-court et un grand diamètre, afin d'opérer aussi rapidement que possible. Cependant il y a certaines limites qu'on ne peut dépasser impunément. Si l'objectif a un diamètre trop grand relativement à son foyer, l'image produite n'est nette qu'au centre.

La perfection de l'objectif est la condition essentielle pour l'obtention d'une image parfaite, et il faut qu'elle existe à divers points de vue. Non-seulement il faut que la lentille soit achromatique, il est encore utile que l'action chimique produite par la lumière ait son maximum d'action au foyer visuel de l'objectif; que le foyer chimique coïncide avec le foyer optique.

Il faut surtout que l'objectif ne produise pas de déformation, qu'il ait un champ suffisant, qu'il donne de la profondeur, c'est-à-dire qu'il reproduise bien des objets situés dans des plans différents, enfin qu'il donne beaucoup de lumière.

Ce sont ces diverses qualités que l'opticien doit s'efforcer d'obtenir simultanément pour faire un objectif photographique parfait; mais le plus souvent on est conduit à sacrifier un des avantages pour conserver les autres, et alors les objectifs deviennent convenables pour une seule des applications de la photographie: portraits, paysages, reproductions.

Les premiers objectifs employés étaient des objectifs simples, c'est-à-dire à un seul verre, et on reconnut bientôt que pour avoir de la netteté dans les contours, il convenait de ne laisser passer à travers la lentille que les rayons se rapprochant de l'axe optique, c'est ce qu'on a appelé diaphragmer; ainsi Daguerre, avec un objectif de $0^m,084$ de diamètre, employait un diaphragme de $0^m,027$ d'ouverture. Cet artifice présente l'inconvénient de perdre une grande quantité de lumière, et par conséquent de retarder l'impression lumineuse; on chercha à y remédier au moyen de l'objectif double ou à deux verres, qui, détruisant en partie l'effet des rayons obliques, permet par conséquent d'augmenter l'ouverture du diaphragme. (Voyez INSTRUMENTS D'OPTIQUE, *Complément*, pour la taille des verres.)

DAGUERRÉOTYPIE.

Sous ce titre M. Lerebours a décrit dans les précédentes éditions de cet ouvrage le procédé de Daguerre, c'est-à-dire la photographie sur doublé d'argent. Nous reproduirons ici ce travail.

La plaque de doublé d'argent, par la finesse des détails, l'inaltérabilité de ses dimensions, est toujours susceptible de recevoir certaines applications auxquelles les procédés habituellement employés aujourd'hui conviennent moins bien.

La première opération consiste, après avoir fait choix d'une plaque de doublé, à abattre ses angles, à courber légèrement ses bords et à la fixer sur la planchette à polir. On la saupoudre de tripoli extrêmement fin, on y verse quelques gouttes d'alcool, puis avec un fort tampon de coton on promène la pâte qui en résulte sur toute la surface, de manière à la sécher le plus unifor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mément possible; cela fait, on recommence l'opération jusqu'à ce que la plaque soit devenue assez brillante.

Polissage. Ce n'est là que le poli préparatoire, le dernier s'obtient à l'aide d'une sorte de grand rabot en bois, long de 30 à 35 centimètres, sur lequel est collée une peau de daim pralablement dégraissée. Après avoir frotté plusieurs fois la plaque avec le tampon dont nous avons parlé, on la saupoudre de rouge à polir, et l'on promène vivement dessus le grand polissoir en peau. Ce frottement doit avoir lieu en croisant le sens du poli, et on doit le terminer dans un sens parallèle aux lignes horizontales de l'épreuve que l'on va exécuter. Le polissage est terminé quand la plaque a acquis un poli bien vif et sans raies.

Iodage. La plaque avivée comme nous venons de dire présente un beau poli. On l'expose au-dessus d'une double cuvette de porcelaine couverte d'une glace iodée, et contenant d'un côté de l'iode et de l'autre du chlorobromure de chaux; on la place d'abord au-dessus de l'iode, la face polie du côté de cette substance; on la regarde de temps en temps et on la laisse jusqu'à ce qu'elle ait pris une teinte *jaune rosé*, ou *jaune orangé*. On la reporte alors au-dessus de la seconde cuvette, et on l'en retire quand elle a acquis la teinte lilas foncé pour la remettre de nouveau sur l'iode, où on la laisse, sans la regarder, un peu moins de temps qu'il n'en avait fallu d'abord pour obtenir la teinte jaune orangé. Il faut alors la garantir de toute lumière et la mettre dans le châssis à coulisse qui doit la recevoir.

Exposition à la chambre noire. On dirige la chambre noire vers l'objet ou la vue que l'on désire reproduire; on regarde sur la glace dépolie l'image qui vient se peindre, on juge si l'éclairage est convenable, on ajuste au point de vue en éloignant ou en rapprochant ladite glace de l'objectif, puis on fixe le tiroir (fig. 1).

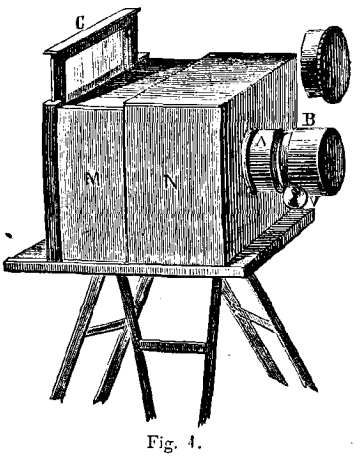


Fig. 1.

Reprenons le châssis dans lequel nous avons mis notre plaque préparée, et substituons-le dans la chambre noire à la glace dépolie; on démasque la plaque, puis ensuite l'objectif. S'il s'agit d'une vue et que l'objectif ait environ 40 centimètres de foyer, l'exposition sera à peu près sept minutes; si le foyer de l'objectif est plus long, l'exposition devra être prolongée; si, au contraire, l'objectif est destiné à faire des portraits, c'est-à-dire s'il a un grand diamètre non diaphragmé et surtout un court foyer, l'opération sera beaucoup plus prompte; avec une belle lumière elle ne sera que de quelques secondes.

Quand l'opérateur juge que l'exposition à la lumière a été assez prolongée, il abaisse la trappe qui doit de nouveau préserver la plaque impressionnée de toute lumière étrangère, et il la met dans la boîte à mercure.

Boîte à mercure. Dans le fond de cette boîte se trouve une capsule en tôle contenant du mercure que l'on chauffe à 60 degrés environ, en promenant dessous une lampe à l'alcool; au bout de trois à quatre minutes l'image est complétement formée; si on la laissait plus longtemps elle se voilerait: en l'éclairant avec une bougie à travers un verre jaune, on peut assister à sa formation.

Lavage à l'hyposulfite de soude. On verse à grands flots cette dissolution sur la plaque, et à l'instant elle se trouve débarrassée de l'iodure de mercure non attaqué qui se dissout; on la lave ensuite à grande eau, et on la place sur le pied à fixer.

Fixage au chlorure d'or. Cette opération n'existait pas dans le procédé de Daguerre; elle a pour but d'augmenter la valeur de ton de l'épreuve et de la rendre ineffaçable.

On place l'épreuve sur un support dont on établit l'horizontalité à l'aide de trois vis à caler; on verse la dissolution sur la plaque de manière à ce qu'elle en soit couverte, on chauffe en dessous avec une lampe à l'esprit de vin et on l'arrose aussitôt après le dégagement d'assez fortes bulles et un peu avant l'ébullition; il serait dangereux de trop chauffer, l'épreuve pourrait se voiler ou la plaque d'argent s'exfolier; l'épreuve serait alors complétement perdue.

PHOTOGRAPHIE SUR PAPIER.

La substitution du papier à la plaque d'argent a été un progrès considérable, surtout parce qu'elle a conduit à la possibilité de multiplier les épreuves des dessins, ce qui a donné à l'art nouveau un caractère industriel, a permis de faire de ses produits la base d'un important commerce.

Déjà Charles, en France, Wedgwood et Davy, en Angleterre, avaient obtenu directement et par transparence les images de certains corps par l'emploi du chlorure d'argent; mais ces images ne pouvaient être fixées, et d'ailleurs, de là à obtenir des images à la chambre noire, il y avait un abîme; aussi ces tentatives furent-elles abandonnées. C'est Talbot, en Angleterre, qui a le premier trouvé des matières assez impressionnables pour reproduire sur le papier les images si délicates de la chambre noire; c'est lui aussi qui, le premier, est parvenu à les fixer et à les rendre inaltérables. Pendant que Niepce et Daguerre travaillaient de leur côté, Talbot travaillait du sien. Disons, toutefois, qu'alors que Daguerre présentait son procédé, Talbot n'en était encore qu'aux images obtenues par transparence; mais grâce à sa persévérance, il ne tarda pas à donner une méthode complète qui, depuis, a servi de base à la photographie sur papier.

En France, M. Bayard est le premier qui s'en soit occupé avec succès; MM. Blanquard-Evrard et Legray lui ont fait faire d'immenses progrès. Nous allons décrire sommairement le procédé de Talbot, parce qu'il est la base de toutes les méthodes photographiques.

Du papier calotype. — Première opération. Après avoir fait choix du papier, qui doit être d'une belle pâte égale et bien homogène, on fait sur l'un des angles une marque au crayon, afin de reconnaître plus tard le côté sur lequel la préparation a été appliquée, puis avec un pinceau bien doux, on lave la feuille de papier, absolument comme si on faisait un ciel uni à l'aquarelle, avec une solution composée de 100 grains anglais de nitrate d'argent et de 6 onces d'eau distillée (1). Quand il est sec on le trempe dans une dissolution de 1 partie

(1) Mesures anglaises.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'iodure de potassium dans 16 parties d'eau ; enfin on le plonge dans un vase plein d'eau. C'est là le papier iodé, on le fait sécher à l'abri de la lumière et on le conserve dans un portefeuille.

Deuxième opération. Quand on veut faire une épreuve, on mêle parties égales d'une solution de 100 grains de nitrate d'argent dans 2 onces d'eau distillée et d'une autre solution d'eau distillée saturée d'acide gallique cristallisé. Puis, avec un pinceau neuf, on passe ce *gallo-nitrate* d'argent sur la feuille de papier comme pour la première préparation ; on le laisse s'imbiber pendant environ une demi-minute, puis on le plonge dans l'eau, on le sèche ensuite avec du papier buvard et il est prêt à être mis à la chambre noire. C'est là le papier calotype.

Troisième opération. La durée de l'exposition à la chambre noire ne peut être fixée; elle varie suivant le foyer de l'objectif employé et suivant l'éclairage de l'objet.

Quand on retire la feuille de papier de la chambre noire, il n'y a aucune trace d'image ; on la fait développer en la lavant de nouveau avec le gallo-nitrate d'argent, et en l'exposant pendant une ou deux minutes devant un feu doux : on voit alors tous les détails du tableau apparaître comme par enchantement.

Quatrième opération. Il reste à fixer l'épreuve : pour cela on la plonge d'abord dans l'eau, puis dans une dissolution composée de 10 onces d'eau et de 100 grains de bromure de potassium. On la lave de nouveau dans l'eau et on la sèche.

Cinquième opération. L'image ainsi obtenue est négative, c'est-à-dire que les parties blanches des objets sont représentées par des noirs, et réciproquement. Mais si on place sous cette épreuve une feuille de papier calotype, cette feuille nouvelle deviendra une épreuve dans laquelle les ombres et les lumieres seront dans l'ordre naturel.

Papier ciré de M. Legray. Une innovation très-importante fut introduite par M. Legray : nous voulons parler du cirage du papier négatif, avant qu'il ait reçu aucune préparation. En effet, le papier ciré est ferme et résistant comme le parchemin, ce qui facilite beaucoup les manipulations subséquentes; il se conserve prêt à mettre à la chambre noire pendant plus de huit jours, et l'on peut attendre le même temps pour faire développer l'image; enfin il donne des noirs très-intenses et des demi-teintes très-harmonieuses. Nous n'en dirons pas plus sur ce procédé abandonné aujourd'hui pour les suivants, l'emploi des négatifs sur verre donnant des résultats infiniment supérieurs à ceux que peut donner le papier le plus régulier, le mieux fabriqué.

PHOTOGRAPHIE SUR VERRE.

Il y a deux méthodes pour obtenir des négatifs sur verre : la première, due à M. Niepce de Saint-Victor, consiste dans l'emploi de l'albumine; dans la seconde, dont plusieurs auteurs se disputent la priorité, on emploie le collodion.

Comme pour la photographie sur papier, la photographie sur verre consiste : 1° à rendre la surface sensible à la lumière; 2° à exposer cette couche sensible à la chambre noire; 3° à faire développer l'image; 4° à rendre cette image inaltérable à l'action de la lumière.

Photographie sur verre, à l'albumine. Prenez des blancs d'œufs, ajoutez-y 100 grammes d'iodure de potassium ou d'iodure d'ammoniaque; battez en neige ce mélange ; laissez-le reposer un nuit, et le lendemain décantez le liquide visqueux qui s'est déposé, pour vous en servir à la préparation de vos glaces.

Avant d'appliquer la préparation sur la glace, il faut avoir soin de la bien laver à l'eau et de l'essuyer parfaitement avec du papier de soie.

On la pose alors sur une feuille de papier blanc, et on la polit parfaitement avec un tampon de coton en évitant de la toucher avec les doigts.

La réussite de l'épreuve est due en grande partie à l'égalité de la couche d'albumine et à la propreté de la glace. Quand on a obtenu une couche égale et infiniment mince, on la retourne sens dessus dessous et on la laisse sécher à l'abri de la poussière.

Pour *sensibiliser* cette couche d'albumine, on la plonge d'un seul coup dans une cuve verticale de gutta percha contenant le bain suivant :

Eau distillée.	300 gr.
Azotate d'argent.	24
Acide acétique.	30

Après avoir laissé tremper la glace deux ou trois minutes, on la retire, on la laisse sécher dans l'obscurité, et elle peut se conserver dans cet état deux ou trois jours avant d'être mise dans la chambre noire.

L'opération de la chambre noire ne demande aucune explication particulière; seulement l'exposition dure un peu plus longtemps que pour le papier ciré.

Le développement de l'image s'obtient soit avec un bain d'acide gallique, soit avec un bain saturé de protosulfate de fer.

L'épreuve se fixe par les mêmes procédés que l'image négative sur papier.

Les positifs se tirent de la même façon, quel que soit le procédé employé pour produire le négatif; il en sera traité ci-après.

Procédé au collodion humide. Nous en arrivons au procédé usuellement pratiqué aujourd'hui par tous les photographes; aussi entrerons-nous dans quelques détails pratiques en suivant les indications d'un habile praticien, M. A. Chevalier.

La glace doit être préférée au verre, car non-seulement le verre se nettoie moins facilement et présente une foule d'impuretés, telles que raies, bulles, aspérités, etc., mais, comme il n'est point parfaitement plan, il casse facilement par la pression dans les châssis employés pour obtenir les positifs.

Le nettoyage ou polissage de la glace est une des conditions essentielles pour arriver à un bon résultat, et l'on peut dire qu'il est de moitié dans la réussite d'un négatif.

Au moment d'opérer, fixez votre glace sur la planchette à polir et préparez dans un flacon un mélange assez épais de tripoli et d'alcool, ou mieux encore de collodion et de tripoli, ce qui dégraisse beaucoup mieux; puis étendez ce mélange sur la glace au moyen d'un fort tampon de coton, puis séchez avec un deuxième et un troisième tampon que vous avez le soin de faire assez large pour que la main ne se trouve jamais en contact avec la glace; quand vous avez ainsi nettoyé un côté, vous retournez la glace et recommencez de l'autre côté la même opération, que vous terminez cette fois en versant sur la glace quelques gouttes d'éther, que vous séchez avec un dernier tampon recouvert d'une peau de chamois qui ne doit servir qu'à cet usage et être assez souvent renouvelé. Passons en revue la préparation des diverses liqueurs qu'il faudra successivement employer.

Collodion normal. Le collodion, dissolution de fibre végétale pouvant former un vernis fin de cellulose, d'une parfaite homogénéité, s'obtient par la dissolution du coton-poudre dans l'alcool et l'éther dans les proportions suivantes :

Éther à 62°.	650 gr.
Alcool à 40°.	350
Fulmi-coton.	8

Cette dissolution, étendue sur la glace, prend en séchant une certaine consistance qui la rend propre à recevoir un iodure quelconque, lequel, combiné avec le nitrate d'argent, forme l'iodure d'argent sensible à la lumière. Le collodion normal, pour rester dans de bonnes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conditions, doit être préparé quelque temps d'avance (15 jours environ); il acquiert en vieillissant une limpidité plus grande (point très-important); néanmoins on peut s'en servir de suite, mais on comprendra que les parcelles les plus imperceptibles de coton en suspension dans le liquide en troublent la pureté, malgré un filtrage réitéré.

Liqueur pour iodurer le collodion normal. Parmi beaucoup de formules, nous citerons la suivante. Faites dissoudre dans

100	grammes	alcool à 40°,
2	»	iodure de potassium,
4	»	» d'ammonium,
6	»	» de cadmium,
5	»	bromure de cadmium.

L'iodure de potassium ne se dissolvant pas facilement dans l'alcool, le tout devra être pilé dans un mortier en cristal spécialement consacré à cet usage.

Cette liqueur, après parfaite dissolution, sera filtrée au coton et servira à iodurer le collodion normal indiqué plus haut; ainsi préparé, il peut se conserver fort longtemps.

On peut n'en iodurer que par petite quantité, soit:

10 grammes de liqueur dans
100 » collodion normal.

Cette préparation doit se faire au moins douze heures avant d'être employée.

Bain d'argent négatif.

Eau distillée	100 gr.
Nitrate d'argent	10

Toutes les préparations au nitrate d'argent doivent être faites à l'eau distillée, dans le cas où on ne pourrait se procurer de l'eau de pluie, recueillie dans un vase de verre ou de porcelaine, enfin pure de tout contact avec conduits, gouttières, etc.

Le bain d'argent doit être généralement maintenu au degré ci-dessus; pour cela il est bon, quand on a sensibilisé un certain nombre de glaces, de le peser au moyen du pèse-sels et de le remettre au poids s'il y a lieu. Il est des cas pourtant où ce bain peut être à un degré moins élevé: l'été par exemple, 6 à 7 degrés suffisent, pour le paysage de 5 à 6, pour les positifs sur verre de 3 à 4. Mais en hiver, et pour le portrait, il ne faut pas le descendre au-dessous de 10 pour 100, sous peine de n'obtenir que des clichés faibles et longs de pose.

Bain de fer révélateur.

Eau filtrée ordinaire	100 gr.
Sulfate de fer	7
Acide acétique	4
Alcool	10

En hiver, on peut élever la dose du sulfate de fer à 10 pour 100 au lieu de 7.

Après dissolution à chaud, on doit filtrer. Ce bain se conserve indéfiniment; on a même remarqué qu'il devenait meilleur en vieillissant: il est donc préférable d'en préparer une certaine quantité à la fois.

Bain pour renforcer le négatif.

Eau distillée	100 gr.
Nitrate d'argent	4

Bain fixateur.

Eau ordinaire	100 gr.
Hyposulfite de soude	40

Le bain d'argent est placé dans la cuvette à recouvrement, et le collodion dans un flacon dont on a toujours le soin d'essuyer le goulot avec un papier de soie, afin qu'aucune parcelle de collodion séché ne vienne faire épaisseur sur la couche.

Reprenons la suite des opérations. Avant de verser le collodion sur la glace, on passe légèrement un blaireau bien propre dont l'emploi est de chasser autant que possible cette légère poussière toujours en suspension dans l'air; puis tenant la glace de la main gauche par l'angle inférieur, vous versez le collodion doucement.

La glace ayant toujours la même pente, il est bon de lui imprimer un léger balancement de droite à gauche, pour faire disparaître le striage que le collodion, quelque léger qu'il soit, forme toujours. Si l'on mettait immédiatement la glace au bain, le collodion trop humide se détacherait et s'en irait en morceaux; une minute suffit pour qu'il soit assez sec; mais comme, suivant la température et la quantité d'éther qu'il renferme, il sèche plus ou moins vite, il est bon de s'en assurer en appuyant légèrement le doigt à l'angle inférieur. S'il en retient bien l'empreinte, il est bon à sensibiliser; alors inclinez la cuvette de manière à ce que la presque totalité du liquide se trouve vers le recouvrement. Placez alors la glace, le collodion en dessus, dans la partie de la cuvette restée à sec, et, par un mouvement rapide, faites revenir le liquide de manière à ce qu'il couvre entièrement la glace, et cela sans temps d'arrêt ni retrait, ce qui occasionnerait sur la couche des raies et des marbrures.

La sensibilisation au bain d'argent ne demande que trois à quatre minutes. Pour s'assurer si elle est complète, on devra, au moyen d'un crochet d'argent, soulever la glace hors du bain. Si elle ne présente plus l'aspect huileux que produit le liquide en se retirant, on peut la sortir du bain et la faire égoutter sur un matelas de papier buvard. Il est bon aussi, pour la propreté du châssis, de l'essuyer par derrière avec un tampon de papier de soie; le châssis lui-même sera essuyé chaque fois qu'il recevra une nouvelle glace, non-seulement à cause de la poussière, mais aussi pour enlever le nitrate que la glace précédente y aura déposé.

Il est bien compris que cette opération, ainsi que celle du développement, doit se faire à l'abri de toute lumière blanche: en conséquence, le laboratoire sera éclairé par une fenêtre garnie de verre ou de papier jaune, ou par une lanterne également garnie de verre jaune ou rouge.

La mise au point peut s'effectuer avant ou après la sensibilisation de la glace. En hiver, il n'y a pas d'inconvénient à mettre cinq, six et même dix minutes, entre la préparation et la pose; mais l'été, il est bon d'avoir tout disposé d'avance.

Mise au point. — Pose. La mise au point de l'objectif est fort simple au point de vue physique; le modèle devra, autant que possible, ne pas présenter de plans trop avancés.

Lorsqu'on sera arrivé à la netteté voulue de l'image sur la glace dépolie, on remplacera celle-ci par le châssis renfermant la glace préparée, que l'on démasquera en levant la planchette à coulisse du châssis.

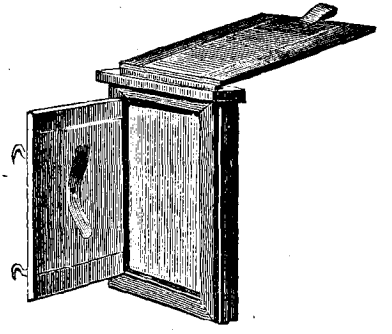


Fig. 2.

La figure 2 représente le châssis dans lequel se trans-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

porte la glace sensibilisée. La planche n'est levée que quand on va opérer.

Le temps de pose varie à l'infini, et par tant de causes différentes qu'on ne peut l'indiquer que par quelques règles générales. Le plus ou moins de rapidité du collodion, la force du bain d'argent, la lumière, la température, le sujet à reproduire, le foyer de l'objectif, etc., tous ces motifs font varier le temps de la pose.

Pour le portrait, dans un atelier spécial, par une bonne lumière, on posera de quinze à vingt secondes, en plein air de quatre à dix secondes; un paysage où la verdure dominera demande de quinze à ving-cinq secondes; pour un monument fortement éclairé, la pose sera beaucoup moindre; enfin, pour une peinture, il faudra compter par minutes.

C'est pour la pose, la disposition, etc., que l'art intervient et que les artistes obtiennent des produits si supérieurs à ceux des praticiens qui n'ont que l'habitude des opérations. Il n'y a pas de conseils à donner pour ce qui est du domaine de l'art, mais on lira avec intérêt quelques conseils pratiques de M. Liébert relativement à l'action de la lumière.

« L'action chimique de la lumière varie beaucoup selon l'état de l'atmosphère; par un jour beau et clair, elle sera plus rapide que par un temps couvert et sombre. La lumière, pour agir sur les substances chimiques employées pour la formation de l'image photographique, doit être blanche. La lumière du gaz, d'une bougie, même celle du soleil traversant un verre jaune, n'a, en quelque sorte, aucune action sur les sels d'argent. La lumière électrique, la lumière au magnésium, avec celle du soleil, les fait noircir.

« Toutes les couleurs ne se reproduisent pas également vite; ainsi le noir, le rouge, le jaune et le vert sont beaucoup plus longs à s'impressionner que le blanc, le bleu, le lilas, le rose. On devra donc tenir compte des couleurs du modèle à reproduire pour se guider sur la durée de l'exposition.

« Pour les vues naturelles, les conditions de lumière qui sont préférables sont celles qui placent les points du paysage à reproduire dans un éclairage d'une intensité à peu près égale partout, à l'heure où le soleil, aux environs du zénith, projette la lumière de haut, parce qu'alors les ombres portées sont peu considérables. Les levers et couchers du soleil, si beaux en nature, se traduisent très-mal en photographie, en raison des couleurs peu photogéniques qui se reflètent en rouge sur tout l'ensemble du paysage. On devra donc choisir l'instant où le sol, sous le rapport de l'éclat, se trouve en harmonie aussi grande que possible avec le ciel, pour que tous les objets produisent une impression à peu près égale à la chambre noire; on évitera ainsi la solarisation. »

Revenons à la suite des opérations. La pose terminée, on referme la coulisse du châssis et l'on rentre dans le laboratoire pour procéder au développement, c'est-à-dire à l'apparition de l'image latente.

Développement. On prépare dans un verre une certaine quantité du bain de fer; puis, retirant la glace du châssis, on la place sur un support, ensuite on verse une nappe de liquide sur le collodion, de manière que la glace en soit couverte en même temps dans toutes ses parties, et surtout sans temps d'arrêt, ce qui formerait des taches persistantes. Il faut aussi avoir le soin de ne pas le verser sur l'image, mais au bord de la glace, enfin à un endroit sacrifié, car, où le fer tombe, l'image est presque toujours altérée. Il faut aussi avoir soin que tout le liquide ne se perde pas, car on devra le faire revenir et le balancer quelques secondes en tous sens sur la glace, jusqu'à ce que l'image soit venue dans toutes ses parties et surtout dans les ombres, les grandes lumières venant toujours assez vite. Quand on remarque que le cliché n'augmente plus d'intensité, et que le liquide est devenu boueux, on lave à l'eau ordinaire sous un robinet dont le jet ne sera pas trop fort, car il pourrait déchirer le collodion. Si le temps de pose a été juste ce qu'il devait être, ce qui arrive à peine une fois sur dix, le cliché sera parfait dans toutes ses parties, les grandes lumières ne seront pas trop dures, trop opaques; les ombres, tout en conservant leur transparence, auront aussi leurs détails; enfin, les demi-teintes seront accusées dans leur juste valeur; mais, je le répète, il est très-difficile d'arriver juste à point, et le but de l'opération dite *renforcement* est d'obvier aux inconvénients d'une pose trop ou pas assez prolongée.

Si le cliché présente dans tout son ensemble une teinte grise, uniforme, où lumières, demi-teintes et ombres ont à peu près la même valeur, la pose aura été trop longue.

Si les grandes lumières et les ombres offrent un contraste trop frappant, et que les demi-teintes soient presque nulles, la pose a été trop courte.

Quand il y a excès dans l'un ou l'autre cas, il y a peu de parti à tirer d'un pareil cliché, et il vaut mieux recommencer. Mais quand la différence n'est pas exagérée, on peut ramener le négatif à de très-bons effets au moyen du renforcement, et voici comment on procède:

Après un lavage prolongé à l'eau ordinaire, on verse sur la glace quelque peu de la solution d'argent à 4 pour 100, dont on rejette l'excédant dans le verre qui doit contenir un nouveau bain de fer; alors on verse, comme pour le premier développement, en nappe et sans temps d'arrêt, ce bain de fer; puis on lave et l'on consulte de nouveau par transparence. Si l'épreuve n'a pas encore atteint l'intensité voulue, on recommence autant de fois qu'il est nécessaire, en ayant soin de bien laver chaque fois.

Après le complet développement du négatif, on le lave encore et on le fixe en le plongeant quelques minutes dans le bain d'hyposulfite, dont le but est d'enlever ce qu'il reste d'iodure d'argent libre qui, sous l'action de la lumière, noircirait et perdrait infailliblement le cliché.

Après ce fixage, il faut laver avec beaucoup de soin pour enlever toute trace d'hyposulfite, lequel en séchant cristalliserait et détruirait complétement l'image. On laisse alors sécher.

Pour rendre le cliché inaltérable et pouvoir le conserver sans inconvénient, il est bon de le vernir au moyen d'un vernis spécial qu'on applique de la même manière que le collodion, en chauffant avant et après. Bien entendu, le cliché doit être parfaitement sec avant de recevoir le vernis.

Ce cliché est un négatif, c'est-à-dire que les noirs sont les blancs du modèle.

Tirage des épreuves positives sur papier. Le cliché négatif produit sur un verre transparent donne une épreuve positive quand on l'applique sur une feuille de papier sensibilisé que l'on expose à la lumière. Les rayons solaires traversent les parties blanches du cliché et dessinent les ombres sur le papier. Le papier est sensibilisé à l'aide du chlorure d'argent, mélangé de nitrate d'argent, qui noircit rapidement à la lumière et prend des teintes riches quand on fait intervenir une substance organique, comme l'amidon, l'albumine ou la gélatine.

Le papier que l'on emploie presque toujours est collé à l'albumine (opération facile à pratiquer avec un blanc d'œuf) et imprégné de chlorure de sodium et d'ammonium; il se trouve tout préparé dans le commerce.

On sensibilise les feuilles de ce papier en posant le côté préparé sur un bain composé de 18 à 20 parties de nitrate d'argent pour 100 d'eau distillée. Après trois ou quatre minutes de contact, on relève la feuille et on la suspend pour la laisser complétement sécher.

Ces feuilles séchées sont placées dans un châssis rectangulaire, au fond duquel est placée une glace.

On place le négatif sur cette glace, le côté de l'épreuve

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en dessus et sur celui-ci on applique la face sensibilisée de la feuille positive; puis le châssis fermé, on l'expose à la lumière plus ou moins longtemps suivant l'intensité de la lumière. Dès les premiers moments de l'exposition, le papier positif se teinte plus ou moins, suivant qu'il est plus ou moins protégé par les noirs du cliché.

Après une exposition suffisamment prolongée, on procède au fixage.

Une épreuve qui serait fixée simplement par un lavage à l'hyposulfite de soude prendrait un ton roux désagréable; on modifie cette teinte en employant des solutions d'or, opération que l'on appelle le virage.

Toutes les opérations de fixage et de virage doivent être faites à une faible lumière.

Les épreuves lavées avec de l'eau un peu alcaline sont immergées dans une solution d'or, composée de : chlorure d'or, un gramme ; acétate de soude, 10 ou 30 grammes ; eau distillée, un litre. Sous l'influence de ce bain, l'image devenue rouge, par les lavages précédents passe rapidement au ton bleu. La teinte voulue obtenue, les épreuves sont lavées, puis fixées dans une solution d'hyposulfite de soude ou de sulfo-cyanure alcalin à 20 pour 100. Après dix minutes d'immersion, on les retire et on les lave à huit ou dix eaux.

Les épreuves lavées sont séchées entre des buvards, coupées d'équerre, collées sur bristol, satinées et glacées après avoir été frottées avec une flanelle, et en employant une petite quantité d'un mélange de cire blanche et de térébenthine.

Disons que, dans la pratique, le travail se complique de retouches qui demandent des mains exercées. C'est avec un pinceau fin et un peu d'encre de Chine que l'on efface les pointillés, les petites taches qui peuvent se trouver sur le cliché, les taches ou marbrures qui peuvent apparaître sur l'épreuve. Souvent l'artiste va plus loin, retouche les yeux, fait des plis dans les parties blanches, etc., etc. Mais ceci dépend de l'habileté de l'artiste; il n'y a plus de règles à donner.

PHOTOGRAPHIE AU CHARBON. Les épreuves obtenues par les procédés précédents n'ont pas, quelle que soit l'habileté des opérateurs, une durée indéfinie. Après quelques années elles se ternissent, jaunissent et s'effacent. Il était donc bien désirable de remplacer les sels d'argent par des poudres inaltérables, par du charbon divisé.

Le problème semblait insoluble et cependant a été résolu en s'éloignant singulièrement du point de départ de la photographie, grâce à la découverte de M. Poitevin, la plus féconde peut-être qui ait été faite depuis l'origine de la photographie.

C'est vers 1855 que M. Poitevin, ingénieur civil, cherchant à améliorer les procédés d'hélio-gravure dont nous allons traiter ci-après, ouvrit la route conduisant à l'exécution de dessins inaltérables, en faisant cette belle découverte :

Qu'un mélange de bichromate de potasse et de corps organiques gommeux ou mucilagineux (albumine, gélatine, gomme arabique, etc.) donne une matière insoluble après une exposition à la lumière, par suite d'une réduction partielle de l'acide chromique libre.

Il basa sur cette propriété le moyen d'obtenir des épreuves avec des poudres diverses, charbon, sanguine, etc., ou bien avec de l'encre grasse. Quelques épreuves de ce genre furent assez satisfaisantes pour être admises, en 1855, à l'Exposition universelle, parmi les produits à bon marché, et valurent à leur auteur une mention honorable. A cette époque, M. Poitevin opérait de deux manières : 1° en recouvrant le papier d'un mélange qu'il soumettait à l'action de la lumière au travers d'un cliché négatif, puis en appliquant au tampon de l'encre grasse sur le papier; l'encre grasse ne restait qu'avec les parties devenues insolubles, et lorsqu'on lavait le papier avec de l'eau, la surface présentait un dessin positif; 2° dans la seconde méthode, il appliquait sur du papier une couche uniforme d'un mélange de bichromate de potasse et d'albumine, ou de gélatine et d'un autre corps uni à une substance colorante en poudre, telle que le charbon. Après la dessiccation de cette couche dans l'obscurité, si l'on impressionnait ce papier pendant quelques minutes à la lumière sous le cliché négatif, et qu'on vint à le laver à l'eau ordinaire, froide ou tiède, suivant la matière organique employée, on trouvait que les parties non impressionnées se dissolvaient et que le dessin en couleur inerte apparaissait retenu et emprisonné par la matière organique devenue insoluble dans toutes les parties qui avaient subi l'action de la lumière, et cela dans la proportion de l'intensité lumineuse active.

M. Poitevin, en continuant ses recherches, essaya de reproduire les images positives au moyen d'autres substances actives que les précédentes. Il reconnut qu'un mélange de perchlorure de fer et d'acide tartrique, étendu sur du papier, n'est pas hygroscopique, mais qu'il le devient rapidement si la lumière vient à le frapper ; c'est précisément l'inverse de ce que sir John Herschell avait remarqué en 1842, au sujet de l'ammonio-citrate de fer, et de ce que MM. Garnier et Salmon avaient vu en opérant avec un mélange de sucre et de bichromate de potasse. En partant de là, M. Poitevin fut conduit à une nouvelle méthode de production des images au charbon, méthode qui consiste à placer le cliché négatif sur une surface en verre recouverte ainsi par un mélange d'acide tartrique et de perchlorure de fer, à exposer ces surfaces à l'action de la lumière, puis ensuite, dans l'obscurité, à promener sur le verre un pinceau en blaireau contenant de la poudre de charbon, ou une poussière quelconque. Cette poussière adhère aussitôt aux parties qui ont été impressionnées par la lumière et qui sont devenues hygroscopiques, c'est-à-dire sur les noirs de l'image positive. On verse alors une couche de collodion sur la lame du verre, puis on reporte sur une feuille de papier cette couche, qui emporte avec elle tout ce qui s'est déposé sur le verre, et le dessin se trouve ainsi transporté sur le papier.

Cette opération se fait avec une sûreté et une rapidité vraiment étonnantes, et il faut en avoir été témoin pour en comprendre toute la simplicité. Les ombres étant formées soit par du charbon en poudre, soit par de la plombagine, de la sanguine, ou une poudre colorante quelconque, on conçoit, que non-seulement ces épreuves positives ont toutes les qualités de durée que l'on doit désirer, mais encore qu'elles sont obtenues à l'aide d'une méthode essentiellement pratique, conduisant aux émaux et vitrifications fort recherchées aujourd'hui.

Le procédé Poitevin, entre les mains d'habiles praticiens, est devenu tout à fait pratique, et on rencontre des photographies au charbon inaltérables, qui sont de tout point parfaites.

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE. Les applications de la photographie se multiplient chaque jour, et on le comprend facilement quand on songe à tout le travail qu'elle permet de remplacer par l'action seule de la lumière. Nous aurons à revenir, dans des articles spéciaux sur plusieurs de ces applications, surtout quand les progrès qui s'accomplissent chaque jour en auront fait de véritables industries. Nous passerons ici en revue les principales.

Réductions. — Agrandissements. Le faisceau lumineux projeté par la lentille, étant conique, peut donner des images d'un objet aussi petites que l'on voudra, en raison de la distance du foyer à laquelle on placera la surface sensibilisée. C'est sur cette propriété qu'est fondée la photographie microscopique, qui a produit de véri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tables chefs-d'œuvre. On réduit ainsi couramment toute espèce de plans et dessins.

Inversement, en employant une espèce de mégascope (Voy. INSTRUMENTS D'OPTIQUE) on grandit à volonté un dessin, on obtient des figures de grandes dimensions d'objets microscopiques, figures d'un grand prix pour l'étude de l'histoire naturelle.

Levé des plans. Nous décrivons ici l'appareil imaginé par M. Chevalier pour cette application de la photographie.

L'objectif d'une chambre noire spéciale étant dirigé vers les points saillants de l'horizon, les faisceaux lumineux qui l'ont traversé sont déviés de 90 degrés par un prisme, et les images viennent se former sur le plan horizontal. Le plateau qui porte l'objectif reçoit un mouvement de rotation

L'écran récepteur est une glace collodionnée; elle est maintenue fixe dans l'intérieur du disque obturateur dans lequel elle est rigoureusement centrée, de telle sorte qu'en découvrant l'obturateur, la lumière fasse tache au centre même de la glace sensibilisée.

Si, sans autre précaution, on opérait par un mouvement de rotation continu, les images qui se modifient à chaque instant se superposeraient les unes aux autres, et, la surface sensible les gardant toutes, il y aurait confusion complète. Il était donc nécessaire de recourir à un dispositif tout à fait spécial.

La totalité de la surface sensible est recouverte par un écran opaque entraîné par le plateau, dans lequel est ménagée une fente très-étroite, dont la ligne médiane passe par l'axe de rotation et se trouve dans le plan vertical passant par l'axe optique.

Cette disposition permet d'appliquer un mouvement continu, et, lorsque l'appareil a fait une révolution complète, la surface sensible indique matériellement et exactement les angles que font entre eux et le point de station, tous les points de l'horizon qui se sont présentés successivement dans le champ optique de l'instrument.

HÉLIOCHROMIE. Wollaston, Davy, Seebeck et John Herschell avaient depuis longtemps remarqué que les impressions développées par le chlorure d'argent dans les diverses parties du spectre y prennent à peu près la couleur des rayons mêmes qui les ont produites. Ces expériences ont été reprises et très-améliorées par M. E. Becquerel.

Il plonge une lame de plaqué d'argent dans de l'acide chlorhydrique étendu et la fait communiquer avec le pôle positif d'une pile. Elle se couvre aussitôt d'une couche mince de chlorure d'argent qui prend, en augmentant d'épaisseur, les teintes successives des anneaux de Newton.

On arrête l'opération quand on a obtenu pour la deuxième fois une teinte violette. On lave et on sèche la plaque; on la polit avec du tripoli fin et on la recuit jusqu'à 100 degrés. Toutes ces opérations doivent être faites dans l'obscurité. On expose alors la plaque pendant une heure ou deux à l'action d'un spectre solaire réel, bien immobilisé par un héliostat, et on voit peu à peu naître l'impression. Elle se compose d'abord d'une traînée couleur puce foncée qui précède le rouge et qui est due aux chaleurs obscures. A l'extrémité opposée du spectre, de H en T (en indiquant par des lettres de A en T les principales raies du spectre), les rayons ultra-violets marquent une teinte grisâtre très-prolongée, et enfin les lumières ont peint leurs couleurs respectives entre A et H avec un maximum d'éclat au point même où le spectre lumineux présente sa plus grande intensité. Le jaune est un peu pâle, mais le rouge, le vert et le violet sont reproduits avec leur propre teinte.

Quand on veut obtenir les objets avec leurs couleurs propres, il est nécessaire d'enlever les radiations obscures, ce qu'on fait en protégeant la plaque: 1° par une auge pleine d'eau qui éteint les chaleurs obscures; 2° par une couche de sulfate de quinine qui arrête les rayons chimiques. Cela fait, une gravure coloriée qu'on met sur la plaque se reproduit avec ses blancs, ses noirs et ses enluminures; et même une poupée objective dont on produit l'image dans une chambre obscure se peint avec ses formes et ses couleurs.

On comprend toutes les espérances que ces résultats ont fait concevoir; mais malgré tous les efforts de chercheurs ingénieux, de M. Niepce notamment, on n'a pu avancer plus loin. Toutes les tentatives ont échoué devant une difficulté qui n'a pu être vaincue, l'altération fatale et rapide des images. Au point de vue théorique, dit M. Jamin, on peut caractériser ainsi qu'il suit cette remarquable action: En recevant une lumière simple, celle qui est jaune, par exemple, la surface de la plaque est soumise à des vibrations d'une certaine durée, et sous cette influence mécanique elle éprouve une modification qui la rend apte à continuer et à transmettre par diffusion ces mêmes vibrations, comme une corde tendue se met à vibrer sous l'influence du son qu'elle rend elle-même. Si donc on éclaire par la lumière blanche la plaque ainsi modifiée, elle éteindra toutes les vibrations discordantes et ne rendra que la vibration jaune, celle dont elle a pris la périodicité. Mais si l'action de cette lumière blanche se continue, comme la plaque n'a pas perdu sa sensibilité, elle éprouve une nouvelle impression qui affaiblit d'abord, dissimule ensuite la première, et qui altère nécessairement l'image.

DE L'HÉLIOGRAVURE.

La multiplication des épreuves photographiques, qui est obtenue au moyen d'un cliché, est une opération complexe comparativement au tirage des gravures diverses obtenu par un encrage et une pression. En vue surtout des publications, on a redoublé les efforts pour produire, à l'aide de la lumière seule, des surfaces gravées pouvant servir à tirer des épreuves, des gravures semblables à celles que l'artiste crée par un long travail.

Niepce, le collaborateur de Daguerre, sentit le premier de quelle importance serait l'application de la gravure aux images héliographiques. Il se servait de bitume de Judée dissous dans l'essence de lavande, il appliquait ce vernis au tampon sur des plaques de cuivre ou d'étain, puis il appliquait le recto d'une gravure sur la plaque et il exposait à la lumière; après quelques heures d'exposition, il lavait la plaque avec un dissolvant composé d'huile de pétrole et d'essence de lavande. Cette opération avait pour but d'enlever le vernis de toutes les parties qui avaient été préservées de la lumière, tandis que celles qui avaient été impressionnées devenaient insolubles. Les résultats du procédé de Niepce ne confirmèrent pas l'espoir qu'il en avait conçu.

Lorsqu'on sut obtenir des images sur plaque de doublé, le docteur Donné se livra à de nombreux essais pour transformer les épreuves daguerriennes en planches gravées, par une morsure à l'acide. L'agent employé était l'acide nitrique étendu d'eau, mais on rencontra dans la pratique l'inconvénient suivant. Si l'on cesse de faire mordre trop tôt, les noirs n'ont aucune vigueur; si on prolonge l'action, les blancs sont attaqués et deviennent gris. La difficulté de ménager les blancs a fait renoncer à ce procédé.

Plusieurs personnes ont tenté de résoudre le problème en utilisant les ressources qu'offre la galvanoplastie; c'était, avec d'autres éléments dont nous parlerons plus loin, la voie du succès. M. Grove, M. Fizeau suivirent les premiers cette direction.

Voici le procédé assez compliqué, mais le moins imparfait dû à ce dernier:

« Un acide mixte, composé avec les acides nitrique, nitreux et chlorhydrique, est le plus convenable pour la morsure; on opère assez bien aussi avec une dissolution de bichlorure de cuivre, mais d'une manière moins parfaite.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Lorsqu'on soumet une image daguerrienne, dont la surface est bien pure, à l'action de cet acide, surtout à chaud, les parties blanches ne sont pas altérées, tandis que les parties noires sont attaquées avec formation de chlorure d'argent adhérent, dont la couche insoluble arrête bientôt l'action de l'acide.

« Une dissolution d'ammoniaque, employée alors, entraîne cette couche de chlorure d'argent et permet de soumettre de nouveau la planche à l'action du même acide, qui, agissant de la même manière, augmente la profondeur des parties noires.

« En opérant ainsi, en plusieurs fois on parvient à transformer la planche daguerrienne en une planche gravée d'une grande perfection, mais généralement de peu de profondeur, de sorte que les épreuves imprimées sur papier n'ont pas la vigueur convenable.

« A cette dernière opération il a donc été nécessaire d'en ajouter une seconde, qui permet de creuser plus profondément les parties noires de l'image. Cette seconde opération consiste à dorer les parties saillantes, ou les blancs de la planche gravée, et à laisser l'argent à nu dans les creux, ce qui permet d'en augmenter la profondeur par l'action d'un simple dissolvant de l'argent.

« Pour obtenir ce résultat, la planche gravée peu profonde dont je viens de parler est graissée avec une huile siccative, de l'huile de lin, puis essuyée à la manière des imprimeurs en taille-douce; de cette manière l'huile reste dans les creux seulement, et y forme un vernis qui ne tarde pas à sécher.

« Dorant alors la planche par les procédés électro-chimiques, on voit l'or se déposer sur toute la surface de la planche, excepté dans les parties creuses protégées par le vernis d'huile de lin. Après ce dorage, l'huile de lin est enlevée par de la potasse caustique.

« Il résulte de là que la planche gravée a toutes ses parties saillantes protégées par une couche d'or; ses parties creuses, au contraire, présentent l'argent à nu.

« Il est dès lors facile, en traitant la planche par l'acide nitrique, d'attaquer ces parties creuses seulement et d'en augmenter ainsi à volonté la profondeur.

« Avant ce traitement par l'acide nitrique, la planche dorée est couverte par ce que les graveurs appellent un grain de résine, ce qui produit, dans le métal attaqué, ces nombreuses inégalités que l'on appelle grain de la gravure.

« Il résulte de ces deux opérations principales que la planche daguerrienne est transformée en une planche gravée tout à fait semblable aux planches gravées à l'aquatinte, et dès lors pouvant, comme elles, fournir par l'impression un nombre considérable d'épreuves.

« Cependant l'argent étant un métal peu dur, le nombre des épreuves serait encore assez limité si un moyen très-simple ne permettait de soustraire la planche photographique à l'usure déterminée par le travail de l'impression.

« En effet, pour atteindre ce but il suffit, avant de livrer la planche à l'imprimeur, de cuivrer sa surface par les procédés électro-chimiques; de cette manière il est évident que la couche de cuivre supporte seule l'usure produite par le travail de l'ouvrier. Lorsque cette couche est altérée d'une manière notable, il est facile, à l'aide d'un acide faible, de la dissoudre en totalité sans altérer l'argent sur lequel elle repose; dès lors la planche peut être cuivrée de nouveau, et se trouve ainsi dans le même état que si elle n'avait pas supporté le travail de l'imprimeur. »

Photo-lithographie. Nous compléterons l'analyse des divers essais de gravure dont nous venons de rendre compte, dit M. Lerebours, en donnant à nos lecteurs les procédés de *photo-lithographie* que nous avons brevetés le 3 juillet 1852. Ces procédés nous sont communs avec MM. Lemercier et Barreswil; on va voir qu'ils sont des plus simples. Quant aux résultats obtenus, ils sont complets, et nous ont valu de nombreuses félicitations à l'Institut; cependant, pour être justes, nous ajouterons que si, pour une reproduction complète de grande dimension, nous sommes beaucoup plus avancés que nos concurrents, nous ne pouvons pas, avec la pierre, obtenir des finesses aussi grandes que celles obtenues par eux avec des planches d'acier.

Notre procédé consiste dans l'application de la photographie à la lithographie, et par extension à la zincographie, et même à la gravure.

Il consiste à produire sur pierre (zinc, cuivre ou tout autre métal) un enduit ou réserve qui puisse, après qu'il a reçu l'action de la lumière, résister à un dissolvant qui l'attaquait alors qu'il n'avait pas reçu l'action de la lumière.

Nous choisissons pour enduit un corps résineux, soluble dans l'éther ou l'essence, et devenant insoluble par l'action des rayons lumineux; tel est par exemple le bitume de Judée. Nous opérons de la manière suivante: nous dissolvons le bitume dans l'éther, et versons sur la pierre une solution bien liquide qui, par évaporation spontanée à l'air, laisse une couche de bitume bien sec qui se présente sous forme d'un grain plus ou moins serré, suivant le degré de concentration de la dissolution éthérée, suivant le degré de pureté de l'éther, suivant aussi la nature du bitume, et même suivant la température et l'état hygrométrique de l'air. Nous plaçons sur la pierre préparée une épreuve photographique négative, redressée ou non suivant le sujet, sur papier ou sur verre, ou tout autre corps diaphane, épreuve obtenue par un procédé quelconque; si nous opérons avec le papier, nous plaçons dessus un morceau de glace épaisse, puis nous exposons à la lumière; le bitume se modifie dans les parties qui correspondent aux blancs du négatif (noirs du positif); nous lavons à l'éther, qui enlève les parties devenues solubles, et laisse comme enduit préservatif les parties qui sont devenues insolubles; le lavage des pierres se fait, soit par immersion, soit par ablution; la pierre étant lavée, nous acidulons à la manière ordinaire des lithographes, avec un acide faible et fortement gommé; les réserves formées par l'enduit, et qui correspondent aux blancs de l'épreuve photographique négative, peuvent alors prendre l'encre parfaitement bien, et constituent les noirs comme dans le modèle. Le tirage se fait par les moyens et avec les précautions connues des lithographes; il est bon de laver la pierre à l'essence avant de passer le rouleau, mais cette pratique n'est pas indispensable.

Notre procédé peut être appliqué à reproduire les images photographiques quelconques, soit la nature, soit les gravures, lettres, manuscrits, etc., directement ou au moyen d'une épreuve préalable obtenue à la chambre noire; nous affirmons qu'un photographe intelligent pourra, avec les indications ci-incluses, préparer convenablement une pierre, et que cette pierre pourra, entre les mains d'un lithographe exercé, donner de bons résultats.

Ce procédé, qui avait donné de grandes espérances, n'est pas passé dans la pratique. Les résultats qu'il fournissait étaient inférieurs à ceux obtenus par le procédé suivant.

Procédé Poitevin. Voici en quoi consiste ce procédé: en étendant sur une pierre lithographique un mélange d'albumine et de bichromate de potasse, puis en exposant celui-ci sous un cliché négatif à l'action des rayons solaires, on observe un effet tel que dans les parties où la lumière agit, c'est-à-dire dans les ombres de l'image positive à produire, l'albumine devient insoluble. En rentrant alors la pierre dans une chambre noire, l'humectant avec de l'eau, puis passant à sa surface un rouleau à l'encre grasse, la surface de la pierre ne retient l'encre que dans les parties modifiées par l'impression lumineuse et devenues non-seulement insolubles, mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

graisseuses et analogues physiquement à l'encre d'imprimerie elle-même. Les autres parties où la matière organique est restée soluble s'enlèvent avec le corps gras qui s'était attaché momentanément aux blancs de la pierre. On obtient ainsi des épreuves positives à l'encre d'impression, qui, soumises au tirage mécanique de la lithographie, fournissent autant d'épreuves qu'une pierre dessinée au crayon.

Ce procédé de litho-photographie reproduit avec facilité les impressions photographiques d'images négatives; seulement les demi-teintes, quelquefois, laissent à désirer et une grande netteté n'est obtenue avec certitude que lorsque les contours sont bien arrêtés. Ce procédé, dans lequel les retouches sont faciles, rend de véritables services aux industriels.

L'inconvénient grave indiqué ci-dessus est inhérent à tous ces procédés. L'action de la lumière produisant des teintes variables, les enduits sont plus ou moins impressionnés et les noirs seuls sont complétement déterminés par l'action de la lumière; ils conviennent pour reproduire et réduire des plans, des lignes, des gravures; et c'est à cet usage qu'ils sont assez souvent appliqués, soit pour obtenir des planches en taille-douce par morsure et dorure, comme dans le procédé Fizeau (avec un grain de résine pour faire tenir l'encre dans les grands noirs, condition imparfaitement remplie le plus souvent), soit pour produire une gravure en relief, par un dépôt galvanoplastique de cuivre. Quelques habiles praticiens, par la succession d'opérations semblables et une grande expérience, arrivent à des résultats remarquables de reproduction et de changement de dimensions d'anciennes gravures, par l'effet de la convergence des rayons de la lentille. Nous donnons en exemple une réduction exécutée par M. Durand (fig. 3), d'un grand entête de l'Encyclopédie; le dessin est très-exact, mais un peu nuageux, comme toutes ces reproductions, sans doute par suite du grain du papier traversé par la lumière. Cette imperfection dans la reproduction d'une gravure, par une simple exposition à la lumière, est presque un bien; car dans l'état actuel des lois internationales, le grand emploi de ce genre de procédés est le vol et la contrefaçon des gravures dues au labeur des artistes d'un pays, par les forbans des pays où la notion de propriété n'est pas bien nette, où voler un étranger est admis comme chose licite.



Fig. 3.

Les procédés ci-dessus décrits ne reprodnisent vraiment pas la photographie d'objets en relief. C'est à quoi est parvenu M. Woodbury par la photoglyptie, que pratiquent avec succès M. Goupil et M. Lemercier.

Photoglyptie. On place un négatif sur une feuille mince de gélatine, préparée au bi-chromate de potasse, dans un châssis ordinaire que l'on expose au soleil pour obtenir un positif. Les rayons solaires agissent d'autant plus sur la gélatine qu'ils ont traversé une partie plus transparente du cliché; leur action est proportionnelle à l'opacité plus ou moins grande du cliché, opacité due aux ombres ou aux demi-teintes. Après l'impression lumineuse, on transporte le châssis-presse dans une chambre noire, on détache délicatement la feuille de gélatine du cliché de verre contre lequel elle était adhérente; on l'applique sur une plaque de verre enduite d'un vernis de caoutchouc, et on plonge le tout dans un récipient rempli d'eau tiède qui se renouvelle méthodiquement et qui dissout les portions de la feuille que la lumière n'a pas atteintes. Cette opération est assez longue et dure environ vingt-quatre heures. Passé ce temps, on retire du bain la feuille de gélatine singulièrement amincie; on la détache de son support de verre enduit de caoutchouc. Si on la regarde par transparence, on retrouve l'image fidèle du cliché; les ombres sont en creux, les parties claires forment saillie. En un mot, le cliché photographique est produit en relief.

On voit que jusqu'ici la méthode ne diffère pas sensiblement de celle de Poitevin. A partir de là la manière de procéder devient toute autre; c'est le procédé dit Impression naturelle (Voy. GRAVURE) qui est appliqué. On sèche la feuille de gélatine et on la transporte sur le plateau d'une presse hydraulique puissante. On la pose d'abord sur une plaque d'acier cerclée de fer, puis on place au-dessus une lame de plomb allié d'antimoine. La feuille de gélatine, où le cliché est gravé en creux et en relief, se trouve entre deux surfaces métalliques; l'une en acier, qui sert de support, l'autre en plomb, beaucoup plus molle. Dans ces conditions elle est soumise à une pression formidable qui équivaut à un poids de plus de 300,000 kilogrammes. Cette feuille de gélatine, direz-vous, va être brisée, écrasée sous la pression.

Nullement, elle va agir à froid comme le coin de la monnaie qui frappe une pièce de métal; quoique friable, elle est dure, résistante, plus dure que le plomb, elle va pénétrer dans ce métal: ses reliefs vont s'y incruster. En effet, au sortir de la presse, la lame de plomb est enlevée, et l'on voit, non sans une véritable stupéfaction, quand on n'est pas encore initié à ce système, que la lame de gélatine y a creusé ses saillies. Le cliché primitif se trouve gravé sur la plaque de plomb; le métal reproduit exactement les creux et les saillies de la feuille de gélatine.

La plaque de plomb est placée maintenant dans une presse spéciale. On verse sur sa surface une encre formée de gélatine et d'encre de Chine tiède, colorée en sépia; l'ouvrier baisse un peu après la plaque supérieure de la presse, et ne la relève qu'après refroidissement. On détache alors une feuille de gélatine moulée, donnant absolument l'effet d'une photographie ordinaire.

Le tirage n'exigeant pas de pression, on fait avec une seule planche, un nombre quelconque d'exemplaires.

La feuille ébarbée est collée sur papier et passée à l'alun pour éviter l'action de l'humidité.

Le moyen de produire le creux laisse peut-être à désirer, mais la galvanoplastie pourrait sans doute, au besoin, le remplacer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PIANO (FABRICATION DU). Il y a deux phases distinctes à considérer dans la construction d'un piano : celle relative à l'instrument, proprement dit; celle concernant la mécanique, intermédiaire obligé entre l'artiste et l'instrument.

Le chapitre premier traitera donc de l'instrument, et sera divisé en trois paragraphes, savoir :

§ 1er. De la charpente;
§ 2. De la table d'harmonie;
§ 3. Des cordes.

Quant à la mécanique, elle sera l'objet d'un chapitre spécial, intitulé chapitre II.

Enfin, dans le chapitre III nous traiterons des soins d'ajustement.

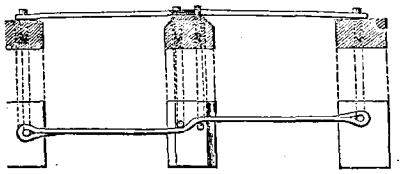
CHAPITRE Ier.

§ 1er. La charpente du piano, appelée communément *barrage*, doit être à la fois légère et forte. La condition de légèreté est importante, car moins l'instrument pèsera, mieux il vibrera; toutes ses parties constituantes devant prendre part aux ébranlements qu'il doit éprouver. Celle de résistance est non moins capitale, à cause du tirage des cordes, par le fait duquel la caisse est incessamment soumise à une force de 7,500 kilogr., ainsi que nous le ferons comprendre plus loin.

§ 2. La table d'harmonie est d'une construction extrêmement intéressante, puisque c'est par elle qu'est déterminé l'ébranlement d'une masse d'air, que les cordes ne sauraient produire, seules, par le fait de la percussion des marteaux.

Voici comment l'on arrive à ce résultat : la table d'harmonie est une plaque de bois mince, dont le contour, seulement, est solidement fixé; l'intérieur de sa surface étant, du reste, parfaitement isolé du barrage; et susceptible de vibrer sans aucun obstacle. Chaque corde est attachée à ses deux extrémités, et repose sur une partie de bois appelée *chevalet*, sur laquelle elle adhère parfaitement par le moyen de deux pointes, autour desquelles elle dévie successivement. Outre cette précaution, ayant pour but l'adhérence parfaite de la corde sur le chevalet, on prend encore le soin de donner audit chevalet plus de hauteur que les sommiers où sont attachées les extrémités des cordes, ce qui donne une plus grande garantie encore à la parfaite solidarité de la corde et de son point d'appui.

La figure 1 fait suffisamment ressortir en quoi ces différences de niveau sont utiles.



1.

Lorsque la corde est frappée par le marteau, elle entre en vibration et entraîne le chevalet dans ses mouvements d'oscillation. Le chevalet étant lui-même collé sur la table d'harmonie, lui fait partager les mêmes ébranlements, et toute la masse d'air adhérant à la surface de la table d'harmonie est déplacée. De là les ondes sonores dont l'ouïe est affectée.

C'est là, vraiment, qu'il peut y avoir ce qu'en industrie l'on appelle quelquefois *un tour de main*; car, ainsi que nous venons de le dire, cette table est collée ou fixée, par son contour, sur des parties saillantes que l'on a ménagées en construisant le barrage, et elle est plus ou moins mince, selon chaque fabricant. On la fait même habituellement d'épaisseur variable dans ses différentes parties.

Enfin un point important est la disposition des fibres du bois, dont peut dépendre souvent la plus ou moins grande élasticité d'une table, et par conséquent sa plus ou moins grande puissance sonore; mais là, encore, il n'y a pas de règle absolue.

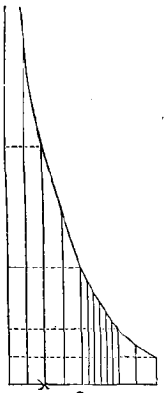
Le bois dont on se sert pour les tables d'harmonie est ordinairement du sapin de Suisse ou de Bohême. Ce n'est cependant pas une condition de qualité *sine qua non*; car on a réussi à faire de très bonnes tables avec du bois de consistance tout à fait différente de celle du sapin.

Nous devons ajouter que la table serait immanquablement fendue, si le tirage des cordes pouvait opérer une pression sur ses parois. Il faut donc que le barrage soit extrêmement solide, car la table d'harmonie y étant fixée, par son périmètre, éprouverait une fatigue que ne peut lui permettre sa faible épaisseur, si le barrage devait céder, si peu que ce soit, à la traction des cordes.

Ajoutons, à ce qui précède, une observation relative au mode de vibrations qu'affecte la table d'harmonie. Il est bien entendu que cette surface oscillante déplace une quantité d'air proportionnelle à son étendue; mais il ne faudrait pas en induire que plus la table est grande, plus le son est puissant. En effet, la difficulté de mettre en vibration une grande table compenserait alors le bénéfice qu'on pourrait en attendre.

§ 3. Quand le barrage d'un piano est muni de sa table, on monte les cordes. Et là, pour le fabricant laborieux, il y a lieu à de curieuses recherches.

Si l'instrument était monté, selon l'expression technique, d'un bout à l'autre de cordes de même diamètre et de même matière, les longueurs de ces cordes donneraient lieu à une courbe (fig. 2), qu'on a appelée la courbe des logarithmes acoustiques; courbe dans laquelle les longueurs des ordonnées sont en progression géométrique, ayant pour raison $\sqrt{2}$ (chacune des ordonnées de cette courbe est moyenne, proportionnelle entre la précédente et la suivante). C'est à la forme de cette courbe que l'on doit la bizarre disposition des pianos à queue, laquelle ne peut véritablement s'expliquer que par une raison d'absolue nécessité. Et, cependant, bien que l'on eût fait cette concession à la loi géométrique, en lui sacrifiant le bon goût, il a fallu encore que l'on obviât aux longueurs énormes des cordes basses, qu'il eût été impossible d'employer telles que l'indiquaient le calcul et l'expérience (ainsi que peut en convaincre l'examen de la figure).



2

Au lieu d'employer des cordes d'égale grosseur, on a adopté des fils d'acier de diamètres variables; de manière à avoir des cordes de plus en plus grosses, en s'approchant des basses. On a pu, de cette façon, suppléer à la longueur indispensable aux cordes pour donner des tons graves, ainsi que le prouve la formule du nombre des oscillations d'une corde vibrante. On sait que cette formule est celle-ci :

$$n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi\delta}};$$

dans laquelle n est constant, en faisant varier l et δ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pourvu que $l^2 \delta$ reste constant. Pour mieux réussir, on a encore recours à des cordes très fortes par elles-mêmes, que l'on a recouvertes d'un fil enroulé.

Ce dernier procédé donne lieu à des combinaisons infinies de fils d'acier et de cuivre de tous diamètres, et présente un intérêt capital, la nature et l'intensité du son pouvant dépendre, en grande partie, des combinaisons adoptées.

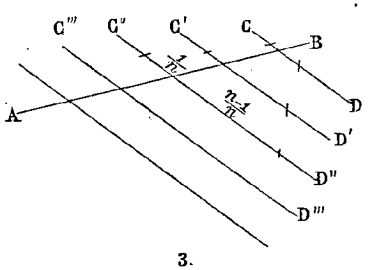
Pour prendre un parti, à cet égard, chaque fabricant est tenu d'expérimenter les cordes dont il doit se servir. Une fois qu'il a déterminé, par des pesées successives, quels poids peuvent faire rompre les numéros des cordes qu'il veut employer, il faut qu'il apprécie quelle peut être la limite de leur élasticité, afin de ne pas la dépasser. On conçoit, en effet, qu'une corde dont l'élasticité doit être sans cesse éprouvée, ne doive être tendue que bien au-dessous du poids égal à son élasticité naturelle; sans quoi, la corde ne reprendrait pas, par son propre ressort, la disposition primitive de son agrégation moléculaire, et ne pourrait pas osciller en deçà et au delà de cet état normal, ainsi que doit le faire tout corps de nature élastique. Au moyen d'un instrument spécial qui permet d'évaluer le poids qu'égale la tension d'une corde, on peut tendre chacun des numéros expérimentés sous un poids égal aux limites adoptées, et en conclure les longueurs que chacune doit avoir pour donner telle ou telle note. C'est par un tel moyen, éminemment pratique, que l'on sait quelles sont les tensions employées dans toute l'étendue du montage, corde par corde : l'ensemble de ces tensions a pour résultat le chiffre énorme, que nous avons cité plus haut, de 7,000 à 7,500 kilos. C'est là l'effort immense que le barrage est destiné à supporter.

Par les essais successifs dont nous venons de parler, l'on détermine aussi quelle est la courbe que doit affecter le lieu géométrique de toutes les extrémités des cordes vibrantes; ce qui se fait en déterminant préalablement quelle doit être la direction commune des cordes, et en traçant la courbe dont il est question. La position et la forme du chevalet sont les conséquences du choix que l'on a dû faire, *ad libitum*, de la disposition de la ligne des marteaux, ainsi que de la place que doivent occuper sur le sommier d'attache les chevilles servant de points d'attache à toutes les cordes de l'instrument.

Enfin, pour que le chevalet porte sur une partie de la table susceptible de vibrations libres, on a le soin de prolonger la corde au delà de ce chevalet, sauf à étouffer le son que peut produire cette nouvelle longueur de corde.

Pour rendre la suite de ces opérations sensible à l'œil, faisons le simulacre d'un calibre de piano, en ce qui touche le plan de la table et de ses accessoires.

Traçant A B (fig. 3), dont la direction est celle choisie,



3.

pour disposer les marteaux de la mécanique, on doit mener ensuite une série de parallèles figurant les axes des cordes d'octave en octave. Soit C D l'une de ces parallèles; C' D', C'' D'', C''' D''' les autres. Ce seront là les ordonnées de la courbe logarithmique, dont nous avons cherché à donner l'idée ci-dessus. Ce sera sur ces lignes C D, C' D', C'' D'', etc., qu'il faudra porter les longueurs fournies par les expériences dont il vient d'être question.

Admettant donc, *à priori*, dans quelles proportions lesdites ordonnées devaient être divisées, par le point de frappement, et, convenant que chaque corde doit être frappée, au $\frac{1}{n}$ de sa longueur, il faut, évidemment, porter d'un même côté de la ligne A B tous les $\frac{n-1}{n}$ des ordonnées calculées; et, de l'autre côté de la même ligne A B, tous les $\frac{1}{n}$ de ces mêmes ordonnées. Ce qui donne, tout à la fois, la ligne des points extrêmes des cordes de piano, ainsi que la forme du chevalet.

(Cette fraction de la corde n'est pas la même pour tous les fabricants. Chacun adopte la longueur de frappement qu'il croit la plus convenable.)

Hâtons-nous d'ajouter que, pour les notes graves, la courbe du chevalet doit être altérée, et subir quelques modifications permettant de la limiter : cela, au moyen des cordes filées, dont nous avons parlé plus haut; c'est-à-dire au moyen de cordes que l'on recouvre par enroulements, et que l'on charge d'autant plus qu'elles doivent produire des sons plus ou moins graves. On prépare ces cordes au moyen d'une espèce de rouet.

Quant au montage des cordes, en général, il s'effectue aisément en les accrochant par leurs extrémités à des pointes que porte le barrage, et en enroulant leurs autres extrémités sur des cylindres de fer appelés *chevilles*, que l'on enfonce, à frottement, dans le barrage. On a seulement la précaution de faire passer les cordes sur des pointes, autour desquelles elles dévient, afin de bien déterminer où commence la partie vibrante de chacune d'elles.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer, entre ces deux extrémités, elles sont divisées par les pointes que porte le chevalet, au moyen desquelles elles font corps avec le chevalet et la table. Quant au plus ou moins de tension à donner aux cordes, on la règle par la rotation des chevilles, que l'on tourne à droite ou à gauche, au moyen d'une clef. C'est là l'opération la plus familière aux amateurs, qui sont souvent témoins du travail dont sont chargés les accordeurs.

CHAPITRE II.

La mécanique est la partie pour laquelle les divers auteurs diffèrent le plus essentiellement. Et, en effet, l'on conçoit que mille moyens se présentent pour que l'effort du doigt du pianiste produise le frappement d'un marteau destiné à ébranler la corde.

La mécanique anglaise est celle qui est le plus généralement usitée, quoiqu'elle ne soit pas la meilleure. Bien qu'elle soit très répandue, cette mécanique n'offre pas toute la délicatesse de tact que peut rechercher l'artiste; mais son grand avantage est le bon marché auquel on peut l'établir.

A ce propos, nous devons reconnaître que plus la fabrication des pianos a progressé, plus l'on a abandonné la mécanique anglaise, pour n'employer que celles des fabricants français.

Sans vouloir entrer dans les détails de la disposition d'une mécanique, que le cadre de cet ouvrage ne pourrait nous permettre de développer complétement, nous allons en donner une idée en signalant les conditions principales auxquelles une mécanique doit satisfaire, et, en indiquant, par un profil, quel est le jeu de la mécanique que nous préférons à toutes autres.

Une première condition indispensable, c'est que la

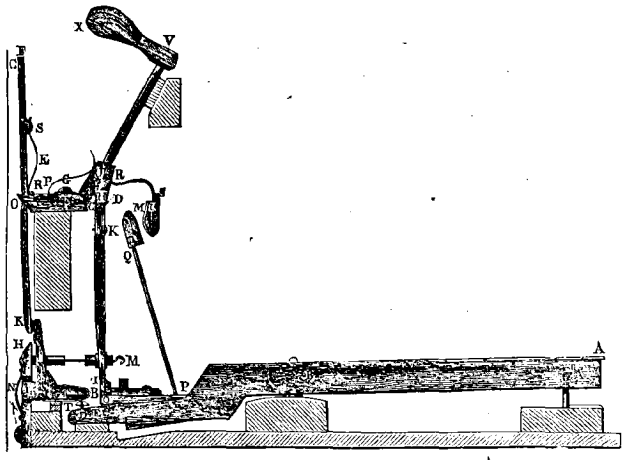
EFERUS - Recherche & Classification numérique

mécanique fonctionne sans aucun bruit. De là la nécessité de la faire en bois, et d'en garnir toutes les parties de laine et de peau, pour amortir les chocs et atténuer les bruits produits par les frottements.

Le jeu de la mécanique doit être combiné de telle manière : 1° que le marteau frappe la corde, dès que le doigt a attaqué la touche; 2° qu'il se retire de lui-même dès qu'il a atteint la corde; 3° qu'il reste suspendu tant que le doigt reste sur la touche; 4° que l'étouffoir se soulève par le fait seul de la percussion; 5° qu'il retombe dès que le doigt quitte la touche.

Le mécanisme dont nous donnons ci-joint le profil remplit tous ces conditions.

Nous voyons en effet (fig. 4), que lorsque le point A



4.

descend, le point B (extrémité du levier, appelé touche) monte, et que la tige BC monte, ce qui fait tourner le marteau autour de son pivot D. Le frappement du marteau sur la corde est produit par ce mouvement. (La condition 1re est remplie.)

Dès que le point A est au bas de sa course, la tige BC se soustrait à l'action du levier AB, pour ne pas perpétuer la position du marteau sur la corde, et retombe dans la partie BE. (La condition 2e est remplie.)

Si le doigt reste posé sur la touche, le marteau retombe par son propre poids, aidé par le ressort PQ, et reste suspendu à moitié de sa course en retour, au moyen de la pièce M, appelée attrape-marteau. (La condition 3e est ainsi remplie.)

En même temps, par le fait de la rotation de l'équerre TIH autour du point I, la tige KF tourne autour de O, et l'étouffoir quitte la position de repos pour laisser vibrer la corde. (La condition 4e est remplie.)

En levant le doigt, chaque pièce reprend sa position primitive, et l'étouffoir F s'applique sur la corde, vers laquelle le sollicite le ressort RS. (La condition 5e est également remplie.)

Ainsi que nous l'avons dit, tous les centres de rotation doivent être garnis, pour que le jeu des pièces ne produise pas de bruit, et leurs positions de repos doivent être soigneusement revêtues de coussins en laine, pour la même raison. Pour donner une idée des soins que l'on prend à cet égard, nous citerons le seul fait des centres de rotation, que l'on garnit de casimir intérieurement, bien qu'ils n'aient que 2 millimètres de diamètre, tout compris, axe et garniture.

CHAPITRE III. AJUSTEMENT

Ainsi que nous l'avons fait pressentir plus haut, il y a de grands soins à apporter dans la manière d'ajuster une mécanique, afin que le marteau frappe la corde au point le plus favorable à sa vibration. De même aussi, pour bien étouffer la corde, il faut que l'étouffoir se pose au point qui prête le moins aux sons enharmoniques. Cela s'obtient par tâtonnement.

Ces deux conditions sont de nature à beaucoup surprendre les personnes qui sont étrangères à la fabrication du piano, et c'est un fait très digne d'attention que celui des différentes natures de son que produit une corde, selon qu'elle est frappée à tel ou tel point de sa longueur. De même, l'on peut produire involontairement des tons secondaires, très désagréables, selon qu'on étouffe une corde, à tel ou tel point de sa longueur.

Il est donc indispensable d'ajuster la mécanique d'un piano de manière à ce que le marteau de chaque corde la frappe au point convenable, et il faut de même disposer les lames d'étouffoirs de manière que chaque corde soit étouffée aussi bien que possible. La plus ou moins bonne qualité des sons d'un piano peut souvent ne dépendre, en grande partie, que de la plus ou moins bonne entente de ces dispositions.

Ce qui précède a rapport à l'ajustement de la mécanique et du clavier. Il reste encore à régler le jeu des touches de manière à ce qu'elles soient également hautes, également espacées, et enfin, de façon à ce qu'elles enfoncent également. Nous admettons ici que la mécanique elle-même est bien réglée, ce qui exige que les échappements CB reposent, sans intervalles, sur le bout des touches B; que tous les crochets semblables à celui M soient éloignés ou distancés de H, de façon à ce que tous les marteaux se retirent des cordes, à la même distance, après la percussion; ce qui exige, enfin, que la vis D soit, pour chaque touche, en contact immédiat avec l'équerre TIH, de manière à ce que l'étouffoir soit soulevé sans perte de temps. C'est de ces conditions que dépend l'égalité du tact d'un bout à l'autre du clavier, indépendamment de la bonne construction de la mécanique. C'est là l'office de l'ouvrier que l'on appelle *finisseur*, dont la mission est de vérifier la marche de toutes les pièces d'un piano, et de veiller à ce que le tout fonctionne régulièrement.

Le plus essentiel des soins à donner est l'égalisation des sons produits par l'instrument, lesquels doivent être tous de même force et de même nature. L'on ne peut obtenir ce résultat que par une bonne garniture de marteaux. Comme il faut, toutefois, pouvoir obvier aux inégalités inattendues provenant de l'hétérogénéité des diverses matières, avec lesquelles les marteaux sont recouverts, tels bien faits qu'il soient, il est bon d'indiquer quels sont les moyens factices propres à régler les sons *à posteriori*. On est obligé, pour cela, ou de serrer les garnitures de marteaux, en le comprimant; ou de les desserrer, en les piquant avec de fortes aiguilles. Enfin, telle bien faite que soit une garniture, il faut s'assurer que tous les marteaux frappent également les cordes auxquelles ils sont destinés. Pour s'assurer de ce qui peut être à faire à cet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

égard, on fait vibrer les cordes avec l'ongle, en y appliquant le marteau, et le soutenant légèrement avec le doigt. Celles sur lesquelles les marteaux ne portent pas suffisamment sont très reconnaissables, et peuvent permettre de reconnaître où l'on doit couper de la surface du marteau, afin que l'effet de son choc soit partagé solidairement par les cordes auxquelles il est destiné.

L'ensemble de ces soins divers forme la partie de la fabrication exigeant le plus de sentiment artistique, parce qu'il faut discerner les nuances les plus délicates des sons comme force, comme timbre, comme qualité.

L'office de l'accordeur devient alors indispensable, afin de pouvoir se fier à ces appréciations.

Quand l'instrument est complétement réglé et accordé, il est terminé.

CONCLUSION.

La construction d'un piano donne lieu à tous ces détails, et ce sont autant de difficultés. Cependant, disons-le, malgré l'incertitude des procédés, cette industrie a beaucoup prospéré en France, depuis quelques années. Ajoutons que depuis la création du piano droit, en 1827, le piano carré, dont le barrage était horizontal, et réduit de longueur par les procédés dont nous avons essayé de donner l'idée, a été complétement abandonné.

Comme piano réduit de dimensions, on ne fabrique plus que les pianos verticaux, dont le barrage est vertical; soit que les cordes en soient elles-mêmes verticales, soit que les cordes en soient inclinées à l'horizon. Ces derniers ont été appelés, et sont connus sous le nom de *pianos-droits*. Ils sont infiniment supérieurs aux pianos à cordes verticales, auxquels on a donné le nom de *pianinos*. En effet, l'on comprend que tel haut que soit un pianino, les cordes basses n'auront pas les longueurs indispensables; tandis que dans les pianos à cordes obliques, la diagonale d'un rectangle d'environ 1 mètre sur $1^m,50$, peut permettre de donner beaucoup de développement aux cordes des octaves basses.

Aujourd'hui la lutte entre ces deux genres de pianos n'est pas incertaine, et le piano droit, *à cordes obliques*, est ce qu'il y a de plus puissant comme sonorité.

Quant au piano à queue, l'usage d'un tel instrument, si incommode par sa forme, ne peut être maintenu que par la force de l'habitude; et, surtout, parce que sa construction n'offre pas les mille obstacles que présente celle du piano-droit. Les progrès de ce dernier sont donc autant de probabilités nouvelles pour faire prévoir que, dans peu d'années, le piano-droit résumera l'industrie du piano. Ce temps sera venu quand le piano-droit joindra au charme de son timbre, la puissance de son que comporte le piano à queue; à l'exclusion, il est vrai, de toutes autres qualités.

Les efforts de toute la facture tendent vers ce but, que l'on peut considérer comme atteint, en ce qui concerne le piano carré, et même le piano à mi-queue, dont le genre bâtard n'offre aucun des avantages du piano à queue, tout en en ayant les inconvénients, par l'irrégularité de sa forme.

Quand le piano droit aura définitivement prévalu, et que ce sera le seul piano en usage, on pourra revendiquer l'honneur d'un tel progrès, tout à l'avantage de la culture de l'art musical, en faveur des fabricants qui ont voué toute leur carrière industrielle au complet succès du seul piano réunissant les qualités d'un joli meubles à celles d'un bon instrument. Dès aujourd'hui nous touchons à ce résultat, puisque le poids, la forme et l'élégance des pianos droits permettent de les transporter et les placer facilement, sans rien leur ôter de leurs bonnes conditions artistiques.

BLANCHET

PIERRE. On donne le nom générique de pierres à la plupart des matériaux de construction tirés du règne minéral. Nous en avons parlé avec détail aux articles ARDOISE, MAÇONNERIE, PAVAGES, ROUTES, etc. Les pierres gypseuses, ou *pierres à plâtre*, donnent par la cuisson une matière plastique, le PLATRE, qui fait l'objet d'un article séparé. Les pierres calcaires ou *pierres à chaux*, donnent dans les mêmes circonstances, la CHAUX qui fait la base de nos MORTIERS; certains calcaires argileux ou des mélanges artificiels correspondants traités de même donnent les *chaux* ou *ciments hydrauliques;* enfin la calcination des argiles produit des *pouzzolanes artificielles* en tout comparables aux meilleures pouzzolanes naturelles.

Les *pierres à faulx* se fabriquent surtout en Normandie avec des grès houillers que l'on pulvérise et dont on forme une pâte que l'on moule et que l'on cuit comme la poterie de grès.

Les *pierres à l'eau* sont des schistes argileux plus ou moins durs et à grains plus ou moins fins, que l'on emploie pour donner le fil à des instruments tranchants.

La *pierre du Levant* ou *pierre à l'huile* est une chaux carbonatée dure, très compacte et à grain très fin, d'une teinte jaune pâle, qui sert à affûter la coutellerie fine.

L'*égrisée*, employée pour polir et travailler les pierres gemmes les plus dures, est de la poussière de diamant.

L'*émeri*, qui sert également à la taille des pierres dures, est un corindon impur (voyez SAPHIR).

Le *tripoli* est une espèce de tuf siliceux, très léger et feuilleté, que l'on emploie pour le polissage des glaces, des métaux, etc.

Les *pierres à détacher* sont des marnes argileuses qui ont la propriété d'enlever les corps gras, comme l'huile et la graisse, des tissus de laine où ils ont pénétré.

Les *pierres à fusil*, dont l'importance est actuellement pour ainsi dire entièrement annulée par la substitution générale des armes à feu à piston aux armes à pierre, s'obtiennent en débitant au marteau les silex pyromaques, immédiatement au sortir de la carrière; ces pierres se taillent alors facilement; mais elles perdent cette propriété si on les laisse quelque temps exposées à l'air sans les tailler : un seul ouvrier peut fabriquer par jour mille pierres à fusil.

Nous résumons les plus importantes propriétés des principales pierres dans le tableau ci-contre.

Nous dirons un mot d'un curieux procédé de silicatisation des pierres, pratiqué avec succès par M. Rochas qui a su appliquer une idée émise antérieurement par M. Kulhmann.

Les pierres calcaires, si convenables pour la construction des édifices à cause de leur dureté assez faible, qui en rend la taille médiocrement coûteuse, offrent souvent l'inconvénient de s'effleurir, de se détériorer à la surface, comme on peut le voir en examinant tous les monuments construits en pierres calcaires, qui appartiennent à une époque reculée. Transformer la surface de ces pierres en une espèce de marbre dur, brillant, inattaquable à l'air, sans changer les ornements, sans appliquer de vernis d'aucune épaisseur, était certes se proposer un intéressant problème, et c'est celui qui a été complétement résolu par le procédé dont nous parlons.

C'est en imprégnant le plus profondément possible les pierres avec un silicate soluble, que les effets dont nous parlons sont obtenus. Le carbonate de chaux de la pierre se décompose, et il se produit un silicate de chaux et un carbonate de potasse soluble.

La silicatisation ne produit pas un durcissement immédiat des pierres. Il commence d'abord à la surface et ne se manifeste que plus tard à l'intérieur Plusieurs jours d'exposition à l'air sont nécessaires pour que le durcissement devienne appréciable; il n'est très sensible qu'après plusieurs mois.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NATURE DE LA PIERRE.	CARACTÈRES.	USAGES.	PRINCIPAUX GISEMTS.	POIDS du mètre cube.
				kilogr.
1° *Gypse* pierre à plâtre.	Se laisse rayer par l'ongle, donne du plâtre par calcination.	Fabrication du plâtre.	Environs de Paris. . .	2100
2° *Pierres calcaires*. . .	Font effervescence très vive avec les acides.			
Craie.	Friable, blanche.	Fabrication de la chaux grasse, et peinture en détrempe.	Champagne.	1468
			Meudon.	2000
Tufs calcaires. . . .	Caverneux.	Constructions.	Touraine.	1300
			Travertin de Rome. . .	2358
Calcaire grossier. . .	Texture grossière avec coquilles.	Fabrication de la chaux et constructions.	Bassin de Paris.	2300
Calcaire compacte. .	Texture compacte.	Constructions, marbres communs, pierres lithographiques.	Château-Landon, Belgique.	2400
Marbre.	Texture saccharoïde.	Décoration.	Pyrénées, Italie. . . .	2700
3° *Pierres siliceuses*. . .	Étincellent sans le briquet.			
Silex pyromaque. . .	Cassure conchoïde.	Constructions, pierres à fusil.	Seine-et-Oise.	2400
Pierre meulière. . .	Texture caverneuse.	Constructions, meules de moulins.	Seine-et-Oise, Seine-et-Marne.	2400
Granite.	Très dur, cristallin.	Construction, dallage, décoration.	Normandie, Bretagne. .	2800
Porphyre.	*Idem.*	Décoration.	Vosges, Pyrénées. . .	2850
Grès.	Grains agglomérés par un ciment argileux ou calcaire.	Constructions, pavage, dallage.	Fontainebleau.	2800
4° *Pierres volcaniques*. .	Font feu au briquet.			
Lave.	Texture demi-poreuse.	Constructions.	Volvic.	2250
Trachyte.	Très dur, compacte.	Constructions, dallage.	Bords du Rhin. . . .	2800
Trapps, basaltes. . .	Très durs, de couleur foncée.	Pavage, bornes.	Cantal, Puy-de-Dôme, Écosse.	3000
Tufs volcaniques. . .	Très poreux.	Constructions.	Environs de Naples. . .	1260
5° *Ardoises*.	Peu dures, schisteuses.	Couvertures.	Angers.	2800
			Ardennes.	2937

PIERRE (CARTON). On désigne sous ce nom une PATE MOULÉE de composition variable, dans la fabrication de laquelle on fait toujours entrer de la pâte à papier et une forte quantité de matières minérales telles que du calcaire pulvérisé, etc.

PIERRE DE TOUCHE. Voyez ESSAI.

PIERRES FINES ARTIFICIELLES. Les chimistes obtiennent un grand nombre de combinaisons sous forme cristalline en dissolvant dans un liquide approprié les éléments de ces combinaisons et en soumettant le tout à l'évaporation spontanée. M. Ebelmen a eu l'heureuse idée d'appliquer le même principe à des dissolvants liquides à la chaleur rouge, et volatils seulement aux plus hautes températures de nos foyers, tels que l'acide borique, le borax, certains phosphates, etc. Il est parvenu ainsi à obtenir artificiellement un certain nombre de minéraux, les uns tout à fait analogues à certaines pierres fines naturelles, et les autres d'un haut intérêt scientifique.

Les nouveaux procédés de cristallisation par voie sèche, découverts par M. Ebelmen, ont déjà permis de résoudre un certain nombre de questions scientifiques, et paraissent susceptibles de véritables applications industrielles.

Un résumé succinct de ces derniers travaux de notre bon et si regrettable collaborateur, doit trouver place dans cette nouvelle édition du Dictionnaire.

Ebelmen ne mettait point en doute la possibilité de fabriquer industriellement un certain nombre de pierres fines, telles que le rubis, le corindon et autres employées dans la bijouterie, l'horlogerie, la tréfilerie, etc La mort ne lui a pas permis de faire de sa nouvelle méthode les applications nombreuses que son esprit ingénieux apercevait déjà. L'industrie saura, sans aucun doute, profiter de cette voie nouvelle que la science a su lui ouvrir.

Les premiers essais de M. Ebelmen ont été exécutés vers 1847. Il plaçait alors dans les fours à porcelaine de Sèvres les matières sur lesquelles il voulait opérer, renfermées dans des capsules de platine. Les mélanges ne restaient ainsi exposés à la haute température à laquelle a lieu la volatilisation un peu rapide du borax et des autres sels employés que pendant quelques heures, de sorte que l'on ne pouvait opérer que sur de petites quantités. Plus tard les mélanges ont pu être placés dans les moufles à cuire les boutons en pâte céramique. La température y est un peu moins élevée que dans les fours à porcelaine, et elle peut être maintenue pendant plusieurs jours, ce qui permet d'opérer sur des quantités suffisantes de matière pour obtenir des cristaux de 0m,004, de 0m,005 et même de 0m,010 de côté.

Voici maintenant quelques-uns des mélanges employés par M. Ebelmen pour obtenir un certain nombre de minéraux cristallisés.

L'un des premiers minéraux obtenus par M. Ebelmen est le rubis spinelle; il ne mettait point en doute la possibilité de le fabriquer pour l'industrie.

On l'obtient en mélangeant ensemble 30 parties de magnésie, 25 d'alumine, 4 de chlorate de potasse et 35 d'acide borique. Un mélange de 500 grammes de ces matières, exposé pendant huit jours dans un mou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fle, a donné des cristaux de rubis qui avaient jusqu'à 5 millimètres de côté.

En remplaçant la magnésie par l'oxyde de zinc, on obtient le minéral connu sous le nom de *gannite*, en cristaux bien définis et rayant le quartz sans difficulté. En opérant sur :

Alumine.	25 grammes.
Oxyde de zinc.	30
Acide borique fondu.	35
Bichromate de potasse.	1

on a obtenu au bout de cinq jours des cristaux de 3 millimètres de côté, que l'on a facilement séparés des borates en excès par une digestion dans l'acide chlorhydrique.

M. Ebelmen a obtenu des cristaux de *cymophane* de 6 millimètres de côté, parfaitement transparents et rayant la topaze en exposant dans un moufle à boutons un mélange de :

Alumine.	12gr,0
Glucine.	3gr,5
Carbonate de chaux.	10gr,0
Acide borique fondu.	14gr,0

La chaux a pour but de former un borate fusible, qui forme une sorte d'eau mère, favorable au développement des cristaux.

Le *péridot* ou silicate de magnésie s'obtient en cristaux définis en chauffant ensemble pendant longtemps :

Silice (sable d'Aumont). . . .	4gr,50
Magnésie.	6gr,15
Acide borique.	6gr,00

Pour isoler les cristaux de leur gangue on fait digérer à *froid* la masse dans l'acide chlorhydrique faible.

On obtient également l'alumine cristallisée transparente en chauffant 3 à 4 parties du borax pour une d'alumine, ou bien 10 parties d'alumine, 4 de silice et 16 de borax. Les cristaux ainsi obtenus ont la même densité et la même dureté que le *corindon* naturel.

Le sel de phosphore peut, dans quelques circonstances, remplacer l'acide borique. On peut par exemple obtenir des cristaux d'oxyde de titane ayant jusqu'à 0m,04, en mélangeant 1 partie de cet oxyde avec 4 parties de sel de phosphore, et soumettant le tout pendant plusieurs jours à la température des moufles à boutons.

Les carbonates de potasse et de soude sont, comme on sait, volatils à une température peu supérieure à celle de leur point de fusion; ils peuvent en même temps dissoudre un grand nombre d'oxydes métalliques. Cette propriété a également été utilisée par M. Ebelmen pour reproduire le *péridot magnésien*, le *titanate de chaux*, le *titane rutile*, et enfin la *glucine* cristallisée.

Poursuivant toujours le même ordre de recherches, M. Ebelmen annonçait à l'Académie, le 17 septembre 1851, qu'en opérant, par voie sèche, de manière à produire des réactions semblables aux doubles décompositions par voie humide, il obtenait la *periklase* et le minéral connu sous le nom de *perowskite*.

« Je me contente, disait Ebelmen dans ce dernier mémoire, d'indiquer ces premières applications de la voie sèche; elles doivent être considérées comme un point de départ pour de nouvelles expériences. » Ces nouvelles expériences, hélas! il ne devait point les entreprendre. Puisse son œuvre, si brillamment commencée, ne point rester incomplète après lui!

Nous ne pouvons point terminer cet article sans rappeler que l'on doit aussi à Ebelmen la production artificielle, par la décomposition lente de l'éther sicilique, des deux variétés de quartz connues sous les noms d'hyalite et d'hydrophane; découverte d'un haut intérêt, qui pouvait à elle seule faire la gloire d'un savant moins riche en travaux de premier ordre.

H. MANGON.

PIERRE-PONCE. Cette pierre dont l'origine est volcanique, est légère, poreuse, âpre au toucher et très dure, ce qui la fait fréquemment employer pour polir ou unir le bois, l'ivoire, les métaux, etc.

PIERRES PRÉCIEUSES. Voyez GEMMES et LAPIDAIRE.

PIERRES PRÉCIEUSES (IMITATION DES). Voyez VERRE.

PIEUX, PILOTS. Voyez CHOC.

PIGNON. Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

PILE GALVANIQUE. Voyez ÉLECTRICITÉ.

PIMENT. Voyez POIVRE.

PIN, SAPIN. Le pin et le sapin sont les bois résineux les plus répandus. Ils fournissent des bois de construction à bas prix et estimés; leurs cônes servent au chauffage, et on retire de leurs troncs, par incision, de la térébenthine, des résines, etc.

PINCEAUX. Nous avons décrit à l'article BROSSE la manière dont se confectionnent les pinceaux grossiers ou brosses en poils de sanglier, qui sont employés dans la peinture en bâtiments; il nous reste à dire quelques mots sur la fabrication des pinceaux fins que l'on fait en poils de la queue des martes, blaireaux, etc. On dégraisse d'abord les poils en lavant les queues dans une dissolution d'alun, puis les laissant dégorger dans l'eau; on les couche dans la même direction, on les laisse sécher, on les coupe au ras de la peau, et on les range en différents tas suivant la différente longueur des poils. On pose ensuite ces tas, la pointe en haut, dans un petit godet en fer-blanc à fond plat; on frappe sur le fond du godet, les poils se rangent parallèlement les uns aux autres, et on les classe de nouveau, avec beaucoup de soin, en tas, de manière à ce que tous ceux d'un même tas aient exactement la même longueur, parce que la perfection du pinceau dépend de cette condition.

On prend la quantité de poils nécessaire pour un pinceau, et on la met dans un godet, la pointe en bas, puis on les range par une légère secousse; on les réunit par une ligature faite avec du fil fin, et on les lie ensuite par un fil plus gros, en serrant fortement les nœuds. Enfin, après avoir coupé de niveau les poils de la brosse qui excèdent les ligatures, on les introduit par le haut d'un tuyau de plume d'oie ou de cygne, taillé en bec de flûte, l'autre bout étant coupé droit en une partie dont le diamètre est moindre, et on pousse le pinceau jusqu'à ce que les poils viennent faire une saillie suffisante en avant du bout coupé droit; on a soin de faire amollir préalablement la plume dans l'eau pour qu'elle ne se fende pas.

Les pinceaux plats, dits *palettes* ou *queues de morue*, se fabriquent à peu près de même; seulement on étend les poils à plat et on les colle entre deux cartes; on les adapte ensuite à des manches de forme variable, suivant l'usage auquel ils sont destinés.

PIPE. L'usage de fumer le tabac est actuellement si répandu, surtout en Europe, que la fabrication des pipes constitue une industrie d'une grande importance. Les pipes communes se font en terre cuite, et rentrent dans la classe des faïences fines; nous décrirons cette fabrication à l'article POTERIE. Dans quelques pays, et surtout en Allemagne, on se sert beaucoup de pipes en porcelaine. On fait aussi des pipes en argent, en fer peint, en bois, etc., dont le fourneau est doublé intérieurement en terre de pipe; on y adapte un tuyau en roseau ou en bois odoriférant, qui est ordinairement réuni à un bout en corne ou en ambre jaune par un tuyau flexible, que l'on obtient en entourant un cylindre d'un fil de fer fin, dont les circonvolutions se touchent, aplatissant le fil au marteau, de manière à bou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cher les petits vides intermédiaires, puis habillant le tuyau ainsi obtenu avec un tissu composé de fils de gomme élastique et de soie.

Les pipes les plus estimées se font en *écume de mer*, hydro-silicate de magnésie, dont le plus estimé se trouve en Anatolie. On façonne et on moule cette matière à peu près comme la terre à pipe ordinaire; on fait sécher au soleil, puis on chauffe dans un four jusqu'au rouge-cerise; enfin, on fait bouillir les pipes dans du lait, ou les sèche de nouveau et on les polit avec de la prêle.

PIPETTE. La pipette est un instrument dont on se sert surtout dans les laboratoires, mais qui est quelquefois employé dans d'autres cas, comme, par exemple, lorsqu'on veut prendre une petite quantité d'un liquide renfermé dans un tonneau sans le mettre en perce. La pipette la plus simple et la plus usitée se compose d'un tube en verre effilé à ses deux extrémités; on plonge l'une de ces extrémités dans le liquide, on fait monter au besoin ce dernier dans le corps de la pipette en aspirant par l'extrémité supérieure, on bouche cette extrémité avec le doigt, et, lorsqu'on enlève la pipette, le liquide y reste par suite de la pression atmosphérique qui s'exerce sur l'extrémité inférieure; on le fait écouler en enlevant le doigt. A l'article ESSAI, nous avons donné des dessins d'une pipette analogue.

PISCICULTURE. Depuis quelques années des plaintes nombreuses se sont élevées sur la dépopulation croissante de nos fleuves et de nos rivières. La pêche fluviatile, qui offrait aux populations riveraines une source abondante d'alimentation agréable et saine, qui constituait une industrie considérable, la pêche fluviatile, disons-nous, est menacée d'une ruine prochaine. Bien des causes ont été assignées à ce triste état de choses, et, il faut le reconnaître, les progrès de l'industrie sont une des plus puissantes. Comme l'a fort bien observé M. Edwards, les barrages qui se multiplient chaque jour le long des petits affluents, s'opposent aux migrations des poissons dont le frai doit être déposé dans le voisinage même des sources. Les ruisseaux ne peuvent donc plus fournir aux rivières un contingent aussi considérable de petits poissons, et la pêche restant la même, l'espèce diminue ou disparaît. Mais les grands fleuves aussi ont à se plaindre directement de l'industrie sous le rapport qui nous occupe. L'établissement des bateaux à vapeur a été signalé depuis longtemps par les pêcheurs comme une cause active de la diminution du poisson, comme on le dit vulgairement; les ondes, soulevées par le passage rapide du bateau, se font sentir avec force jusque sur la rive. La berge est comme rincée par ce flot qui la balaye plusieurs fois par jour, et il est facile de comprendre que le frai déposé près du rivage doit périr en grande partie au milieu de ces remous. Là est, ce nous semble, la cause principale de la dépopulation progressive que présentent certaines rivières naguère renommées pour leur richesse ichtyologique; et, s'il fallait citer un exemple, la Saône nous en fournirait un sensible.

Dès 1848, M. Quatrefages rappela les expériences purement scientifiques de Spallanzani et de ses imitateurs, et celles que le comte de Golstein avait faites antérieurement dans un but tout d'application. (D'après M. Coste, le comte de Golstein n'était que le vulgarisateur des idées de Jacobi, qui avait résolu dès 1750 le problème qui nous occupe.) M. Quatrefages avait conclu du succès qui avait couronné ces diverses tentatives, qu'on pouvait semer du poisson comme on sème du grain. En même temps, il montrait que les fécondations artificielles permettent de rendre le rendement des étangs annuel, de triennal qu'il est resté jusqu'à ce jour; qu'elles facilitent l'acclimation d'espèces nouvelles, dont on pourrait enrichir nos fleuves; qu'elles rendent possible l'introduction en France d'industries déjà florissantes dans d'autres contrées.

La plupart des journaux reproduisirent par extrait cette communication, et c'est alors que l'on apprit avec étonnement que deux modestes pêcheurs, perdus dans une vallée des Vosges, avaient eux aussi abordé le problème et l'avaient complétement résolu. Pour comprendre ce qu'il leur avait fallu de sagacité et de patience, il suffira de rappeler que ces pêcheurs étaient complétement étrangers aux études physiologiques; qu'ils avaient dû, par eux seuls et sans guide, tout apprendre et tout imiter dans les procédés suivis par la nature pour assurer la multiplication des poissons.

MM. Gehin et Remy durent d'abord s'assurer de ce fait, que chez les poissons il n'y a pas d'accouplement, et que, contrairement à ce qui se voit chez les animaux dont l'observation est la plus journalière, les œufs sont pondus d'abord par la femelle, puis fécondés par le mâle. Tous ces actes, en quelque sorte préliminaires, ne s'accomplissent guère que de nuit au commencement de la saison froide, et peu de savants de cabinet auraient eu sans doute la ténacité d'observation que nos pêcheurs ont montrée en cherchant à en reconnaître toutes les circonstances.

De cette connaissance une fois acquise, passer à l'imitation et arriver aux fécondations artificielles, peut paraître aujourd'hui chose aisée. La science a tant de fois reproduit ce fait qu'il n'a plus rien qui nous étonne. Mais si l'on se reporte par la pensée au temps des expériences de Spallanzani; si l'on se rappelle l'enthousiasme qu'elles excitèrent dans toute l'Europe, on reconnaîtra que MM. Gehin et Remy ont fait preuve d'une intelligence et d'une hardiesse d'expérimentation qui justifie pleinement les récompenses honorifiques que la Société d'Emulation des Vosges crut devoir leur accorder.

Le savant de Modène s'était proposé seulement de reconnaître les lois qui président à la reproduction des êtres vivants. Il n'avait pas à se préoccuper de l'élevage des animaux qu'il observait dans son laboratoire. Le but de nos pêcheurs était tout autre. Il s'agissait pour eux d'assurer et d'étendre une industrie qui était leur gagne-pain. Ils avaient donc à élever les jeunes poissons éclos entre leurs mains, et à se créer des réserves, des espèces de pépinières où ils pourraient emmagasiner leurs produits pour les écouler au besoin. Ici commençait tout un ordre nouveau de difficultés, Si MM. Gehin et Remy avaient opéré sur des espèces herbivores, sur des carpes, par exemple, leur tâche aurait été bien simplifiée. Les carpillons auraient trouvé dans la vase et sur les bords d'un étang ou d'un ruisseau une nourriture toute préparée. Mais nos pêcheurs élevaient des truites, et à ces poissons carnassiers il fallait une nourriture appropriée à la fois à leur âge et à leurs instincts. Ce problème assez difficile fut également résolu à la suite d'expériences fondées sur l'observation.

MM. Gehin et Remy avaient vu les petites truites se nourrir, au moment de leur naissance, de la substance comme mucilagineuse qui entoure les œufs. Ils songèrent d'abord à leur fournir une nourriture analogue et leur donnèrent du frai de grenouille, ce qui réussit fort bien. Quand les truitons, devenus un peu plus forts, demandèrent une nourriture plus substantielle, leurs éleveurs eurent d'abord recours à la viande hachée, et entre autres à des intestins de mouton ou de bœuf, coupés en lanières très minces. Mais plus tard, ils recoururent à un procédé bien plus ingénieux, et qui mérite réellement l'épithète de scientifique. Pour nourrir leurs petites truites, ils semèrent à côté d'elles d'autres espèces de poissons plus petites et herbivores. Celles-ci s'élèvent et s'entretiennent elles-mêmes aux dépens des végétaux aquatiques. A leur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tour, elles servent d'aliment aux truites, qui se nourrissent de chair. Dans la rivière de MM. Gehin et Remy, tout se passe donc maintenant comme dans la nature entière. Ces pêcheurs sont arrivés à appliquer à leur industrie une des lois les plus générales sur lesquelles reposent les harmonies naturelles de la création animée.

MM. Gehin et Remy n'ont pas borné les applications de leurs recherches aux ruisseaux exploités par eux. Appelés dans diverses communes, ils ont rempoissonné des cours d'eau depuis longtemps dépeuplés ; et dans une seule rivière, la Mosselotte, un des affluents de la Moselle, ils ont semé environ 50,000 truitons, qu'on pêche aujourd'hui à l'état adulte. Leur réputation s'est étendue, et l'année dernière, l'un d'eux, appelé à Huningue, a employé ses procédés pour la multiplication du saumon avec un succès comparable à celui que le comte de Golstein avait obtenu il y a près d'un siècle.

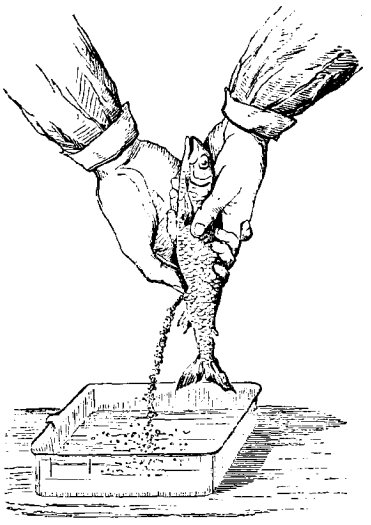
Les essais provoqués par la publication de la note dont nous avons parlé, par la divulgation des succès qu'avaient obtenus MM. Gehin et Remy, ont été nombreux en France, et presque partout ils ont pleinement réussi. Ils ont porté sur des espèces assez variées. C'est ainsi que dans la Bresse et du côté de Dijon, on a opéré sur des tanches, sur des carpes, sur des brochets, sur des perches. L'application pratique des fécondations artificielles à l'élève des poissons est donc aujourd'hui hors de doute. Or, semer des espèces herbivores destinées à être mangées par des espèces carnassières qui elles-mêmes serviront de nourriture à l'homme, c'est incontestablement un des moyens les plus simples et les moins dispendieux de créer des aliments de nature animale. A ce titre, l'industrie dont nous parlons nous semble digne du plus grand intérêt.

En Angleterre, où des tentatives du même genre ont été faites sur une grande échelle et avec le même succès, de riches propriétaires, des compagnies puissantes se sont mises à l'œuvre, et le rempoissonnement a été opéré sur quelques points dans de très larges proportions. En France, le morcellement de la propriété, la médiocrité des fortunes, opposera, nous le craignons bien, un obstacle à des entreprises de ce genre. Quelques hommes dévoués pourront bien semer des poissons dans les affluents d'un fleuve dans le but de le repeupler ; mais des efforts individuels ne sauraient avoir des résultats bien considérables, du moins tant que les procédés à employer ne seront pas devenus populaires. L'intervention du gouvernement nous semble donc ici pleinement justifiée.

Nous donnerons ici, d'après M. Coste, membre de l'Institut, qui a parfaitement réussi dans de nombreuses expériences faites dans la cour du Collége de France, le mode d'opérer et les détails des appareils convenables pour réussir dans des opérations qui passeront sûrement dans la pratique et pourront devenir pour le pays, une source importante d'accroissement de richesses.

Lorsque l'époque de la ponte de l'espèce de poissons qu'il s'agit de multiplier est arrivée, et que l'on a réuni des poissons mâles et femelles de cette espèce, on opère comme il suit : On prend un grand vase à fond plat, de faïence ou de verre, on y met un ou deux litres d'eau, puis on se dispose à y répandre les œufs de la femelle. Pour cela la saisissant, comme le représente la figure 1, on repousse doucement les œufs vers l'ouverture anale et ils sortent, s'ils sont mûrs, par la plus faible pression.

Cela fait, l'eau étant restée bien claire, on exprime de la même manière la laitance du mâle. Si elle est à l'état de complète maturité, elle coule blanche et épaisse comme de la crème, et dès qu'il en est assez tombé pour que le mélange prenne les apparences de petit lait, et pour cela il suffit de partie de celle que peut fournir le mâle, la saturation est suffisante. On agite alors ce mélange doucement, avec l'aide d'un long pinceau, pour que le contact soit intime.

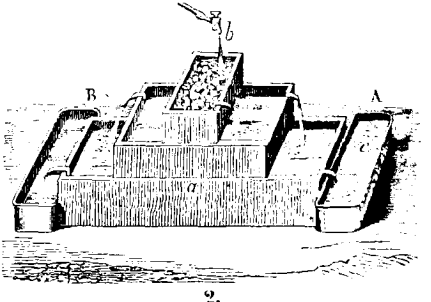


1.

On peut aussi pour opérer ce mélange intime recevoir les œufs et la laitance dans un petit panier à mailles très fines. On élève ensuite et l'on abaisse, on agite en tous sens cette corbeille, en évitant de la faire jamais sortir du liquide. Après un repos de deux ou trois minutes la fécondation est accomplie et l'on verse ces œufs, avec l'eau qui les renferme, dans des bassins à éclosion.

Remy se sert pour boîte à éclosion de boîtes en fer blanc percées d'une multitude de petits trous qu'il dépose sur le sable dans un endroit où l'eau est bien courante. Ce système offre l'inconvénient de ne pas permettre de suivre l'opération et par suite de ne pas savoir si quelque accident n'en compromet pas le succès.

La fig. 2 représente l'appareil employé avec succès



2.

par M. Coste. Il est formé par un assemblage de petits canaux parallèles, disposés en gradins de chaque côté d'un canal supérieur, qui les domine tous et sert à les alimenter.

Après avoir garni chacun de ces canaux d'une claie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'osier, posée à un pouce au-dessous de la surface de l'eau, on place la machine sous un robinet, de manière que le liquide tombe à l'une des extrémités du canal supérieur. Un courant s'établit vers l'extrémité opposée, et de là une échancrure latérale lui offrant une issue à droite et à gauche, il se brise en deux chutes d'eau qui vont alimenter les deux canaux situés au-dessous. Une disposition semblable à la partie inférieure transforme tout le système en une espèce de ruisseau artificiel.

On dépose sur les claies d'osier les œufs qu'on veut faire éclore, et qu'on peut séparer par espèces. Le courant continu qui fait passer sur eux une couche d'eau d'un pouce d'épaisseur au plus suffit pour empêcher la formation des byssus, sorte de végétation, de moisissure qui les fait souvent périr. Nous recommandons pour suivre tous les phénomènes de l'éducation des jeunes poissons les grands vases en verre qui, employés au *Zoological-Gardens* de Londres, font de la vie intime des poissons un spectacle fort curieux.

Nous terminerons en faisant remarquer que la production du poisson n'est pas seule à considérer, il y a lieu de se préoccuper de la nourriture, tant pendant les premiers temps, dans le réservoir où les œufs sont éclos, que plus tard quand on les mettra en liberté.

Dans le premier cas de la chair cuite et broyée réussit parfaitement. M. Berthot, ingénieur des ponts et chaussées, qui a établi un admirable établissement sur les bords du canal du Rhône au Rhin, destiné à repeupler les eaux du Rhône, où il peut déjà envoyer un million de saumons, nourrit les élèves avec de la chair crue et pilée de poissons blancs.

Dans le second cas il faut embrasser le problème dans toute son étendue et, comme l'a senti Remy, développer les espèces herbivores en même temps que celles plus précieuses dont le développement doit être surtout le but des efforts du pisciculteur.

Ce n'est pas seulement dans la voie que nous venons d'indiquer que de grands résultats peuvent être obtenus. Bien souvent le frai, difficile à obtenir, est fourni naturellement en grande abondance. M. Coste a montré que pour les anguilles, les écrevisses, les huîtres notamment, quelques soins donneraient des résultats merveilleux. Il reste encore à étendre ces belles études aux poissons de mer et accroître ainsi les produits déjà si considérables de la pêche côtière; il n'est pas douteux que d'importants résultats seront obtenus prochainement dans cette voie. (Voy. *Complément.*)

PISÉ. A l'article MAÇONNERIE, on a vu que, sous le nom général de *maçonnerie*, on comprend tous les travaux qui se font pour la construction des édifices, et dans lesquels entrent les pierres naturelles et artificielles, mises en œuvre avec des mortiers ou du sable. Par extension, on donne ce nom à une construction dans laquelle la pierre et le mortier sont remplacés par de la terre : c'est ce que l'on appelle la *maçonnerie en pisé* ou simplement *pisé*.

Ce mode de construction, très employé dans le midi de la France, surtout dans les départements de l'Ain, du Rhône, de l'Isère, etc., mériterait d'être répandu dans toutes les localités où l'on fait des constructions en bois; car, comme nous le verrons plus loin, les constructions en pisé sont de beaucoup préférables à celles en bois.

Les constructions en pisé étaient connues des anciens. Pline nous dit que ce mode de construction était employé au temps d'Annibal (liv 35, chap. 14).

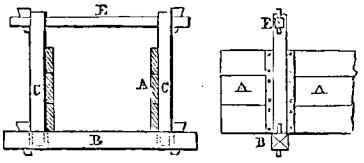
Toutes les terres, qui ne sont ni trop grasses ni trop maigres, conviennent pour les constructions en pisé. La terre la plus convenable est la terre à briques.

La terre sablonneuse qui n'a pas de liant ne peut être employée. En ajoutant du lait de chaux à de la terre un peu maigre, on a un mélange préférable à la terre à briques.

Pour préparer la terre, on la fait passer à travers une claie, qui retient les parties de la grosseur d'une noix; on l'humecte avec de l'eau, puis on la malaxe comme la terre à briques. On reconnaît qu'elle a été suffisamment travaillée, lorsqu'en en prenant une poignée, et la jetant sur le tas, elle garde la forme qu'on lui a donnée. On empêche les fissures ou le danger de les voir se produire, en mêlant à la terre, lorsqu'on la pétrit, de la paille ou du foin.

Il y a deux manières de faire les murs en pisé. La première, et la plus simple, consiste à poser la terre dans l'emplacement du mur, et à dresser le mieux possible les parements avec une fourche ordinaire.

La seconde, plus parfaite, exige un appareil spécial. Cet appareil (fig. 2026 et 2027) se compose d'un encaissement formé par deux tables en bois de sapin A, A,



2026. 2027.

appelées *banches*; ces banches se posent sur quatre traverses B, B. Chaque traverse porte deux mortaises dans lesquelles viennent se loger les tenons des poteaux ou aiguilles C, C, réunis à leur partie supérieure par la traverse E E. Les coins D, D servent à faire avancer ou reculer les aiguilles dans les mortaises des traverses, et par suite à rapprocher ou à éloigner les banches.

On laisse à l'intérieur des banches un espace égal à la plus grande épaisseur du mur; puis, comme cette épaisseur diminue à mesure que le mur s'élève, on peut, comme nous l'avons déjà dit, rapprocher les banches, et par suite les aiguilles, au moyen des coins D, D.

Les banches ont de $3^m,30$ à $3^m,40$ de long sur $0^m,95$ de hauteur, les aiguilles ont $1^m,40$, les traverses $1^m,15$ sur $0^m,10$, les coins $0^m,40$ de haut, $0^m,03$ en bas et $0^m,20$ en haut.

L'appareil étant monté comme nous venons de le dire, les aides apportent la terre préparée; ils l'étalent avec leurs pieds et en forment une couche de $0^m,10$ d'épaisseur. Ils la battent ensuite avec un *pisoir* jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite de moitié. Le pisoir est une masse de bois de $0^m,27$ de haut. On le fait en bois dur et liant comme du frêne. La partie méplate est la plus essentielle; elle doit être bien lisse, bien unie, et disposée de manière à pouvoir atteindre dans toutes les parties de l'encaissement.

Le pisoir doit être tourné à chaque coup, de manière à croiser les effets de la pression et les traces qu'il imprime sur la couche de terre, et à la masser également dans toute son étendue. Dans quelques localités, le pisoir a la forme d'un cône tronqué.

Quand la première couche a été comprimée, des aides apportent de nouveau de la terre et font une nouvelle couche. On répète ainsi cette opération jusqu'à ce que les banches soient remplies; c'est ce que l'on appelle *faire une banchée*. Une fois arrivé à ce point, on desserre les coins, on enlève les aiguilles, on retire les crevasses, et on remonte l'appareil sur la partie qu'on vient d'achever. On opère ainsi par rangs de niveau, et les parties d'un même rang se joignent suivant un joint incliné.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour former la première banchée, quand on commence un mur, on met une planche à l'extrémité de l'encaissement; l'autre extrémité se termine par un talus. Les angles se font avec plus de soin que le reste du mur; il faut pilonner le pisé avec plus de soin. On place alternativement à chaque assise les banches tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Si l'on veut qu'un mur en pisé ait de la durée, il faut le recouvrir d'un enduit de mortier ou de lait de chaux, afin de le mettre à l'abri de la pluie. Mais avant de mettre cet enduit, il faut s'assurer qu'il est bien sec à l'intérieur; car, s'il en était autrement, cette humidité en s'échappant se porterait à la surface et détacherait l'enduit.

Il ne faut pas craindre de laisser sécher le pisé; plus il sera sec, et mieux l'enduit s'y fixera.

Dans le département du Rhône, un mur de $0^m,54$ à $0^m,60$ d'épaisseur, fini au commencement de mai, est tout à fait sec à la fin de septembre ou au commencement d'octobre; ceux achevés en juillet et août peuvent encore être enduits avant l'hiver. On comprend, du reste, que la durée de la dessiccation doit varier avec les différentes localités; on ne peut donc rien dire à cet égard.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que le pisé ne peut servir à faire des constructions considérables; cependant Rondelet (*Art de bâtir*, tome II) cite un château du département de l'Ain tout bâti en pisé. Dans les localités où on l'emploie, il sert surtout pour faire les murs de clôture et des maisons de peu d'importance, peu élevées et surtout peu chargées.

Pour les murs de clôture, on les recouvre par un toit en chaume chargé par un chaperon en terre qu'on renouvelle à mesure qu'il se détruit. En outre, si l'on veut que le mur ait de la durée, il faut faire sa fondation en maçonnerie, afin que l'humidité ne vienne pas détruire la cohésion de la terre.

Pour les maisons, on fait également les fondations en maçonnerie; de plus, les jambages et les linteaux des portes et des fenêtres se font quelquefois en bois, en pierre ou en briques. Dans quelques endroits, on a fait les angles avec de la pierre de taille; mais cette construction est vicieuse, car il en résulte des tassements inégaux nuisibles à la durée des constructions. On augmenterait considérablement la solidité des murs, en mettant des lattes horizontales dans leur épaisseur.

Le pisé bien préparé, et recouvert convenablement d'un enduit, donne des constructions qui, avec le temps, deviennent très solides. Rondelet dit que, pour faire des trous dans un mur en pisé, on a été forcé d'employer des marteaux à pointes et à taillants. Les constructions en pisé mettent à l'abri du chaud et du froid, ne laissent aucun passage aux animaux nuisibles; enfin, elles sont à l'abri de l'humidité. On voit donc que ce mode de construction pourrait être employé avec succès dans l'architecture rurale, partie si intéressante et pourtant trop peu étudiée par nos architectes. A. C.

PISTOLET. Voyez ARMES A FEU.

PISTON. Voyez MACHINE A VAPEUR et POMPE.

PITON. Anneau de fer forgé ayant une queue ou tenon à vis ou pointu, et qui sert à recevoir l'anse d'un cadenas, le bout d'un crochet ou d'une tringle, etc.

PITTACAL. Produit découvert dans le goudron de bois par Reichenbach. N'a jusqu'ici aucun emploi.

PIVOT. On désigne sous ce nom l'extrémité des axes verticaux animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes; ils portent à la partie inférieure sur des crapaudines, que l'on place ordinairement sur un levier que l'on peut élever ou abaisser au besoin, à l'aide d'une vis ou de tout autre mécanisme, soit afin de pouvoir remédier à l'usure du pivot ou de la crapaudine, et par suite à l'abaissement de tout le système, soit afin de satisfaire aux exigences du travail à produire, comme dans des meules de moulin.

PLACAGE. (*Ébénisterie.*) C'est l'opération de recouvrir, avec un bois scié en feuilles de peu d'épaisseur, des meubles fabriqués avec un bois ayant moins de prix que le bois employé pour placage.

On plaque les meubles avec les différents bois dont nous avons donné la nomenclature au mot BOIS, et avec l'ivoire, l'écaille, la nacre et autres substances. Comme le procédé d'exécution est le même, nous ne ferons mention que du placage le plus ordinaire qui est en bois. Nous ne parlerons pas ici de la fabrication du placage, décrite à l'article SCIERIE et à l'article MENUISERIE du *Complément*.

Avant de dire comment on applique le placage, il convient d'examiner quelles conditions doivent présider à l'exécution des meubles et bâtis destinés à le recevoir. Le bois employé à leur construction devra être très-sec et ayant produit tout son effet. Tous les bois ne sont pas propres à être recouverts de placage; les bois forts, les fruitiers, forment de mauvais bâtis; ils sont sujets à se tourmenter encore longtemps, après même leur parfaite dessiccation; les bois noueux, tortillés, ont le même inconvénient; ils se fendent peu, mais, par suite d'un retrait inégal, il s'y fait des bosses et des enfoncements qui occasionnent la rupture du placage et la déformation des surfaces. Les bâtis en bois blancs poreux et composés de beaucoup de morceaux rapportés sont les meilleurs; cependant, pour certains meubles qui ont besoin d'être forts, tels que lits, commodes, tables et autres, il faut employer des bois résistants, tels que le chêne bien sec, sans nœuds ni gerces, le hêtre, le châtaignier. Si les assemblages sont à *queues*, elles seront *recouvertes*. Dans aucun cas, le placage ne devra être posé immédiatement sur un assemblage à queues découvertes ou chevillé; cette règle est de rigueur, et en voici les raisons : la colle prend difficilement sur le bois debout; mais c'est encore là le moindre des désagréments, car on y remédie en partie en humectant les parties de bois debout avec de bonne eau-de-vie, ou en les frottant avec de l'ail; celui auquel il n'est nullement possible de remédier résulte du passage alternatif du bois debout au bois de fil, qui a lieu dans tous les assemblages à queues non recouvertes, l'opération du retrait ayant toujours lieu dans le sens de la largeur et n'ayant que peu ou point lieu dans le sens de la longueur. De cette disposition naturelle et dépendante de la constitution du bois, il résulte que la partie de l'assemblage qui présente le fil finit toujours par s'enfoncer un peu, tandis que la partie qui présente le bois debout fait saillie; cette inégalité se dessine sur le placage et produit un très-mauvais effet, quand toutefois elle n'est pas une cause de rupture ou de décollement. Les bâtis en grisard, en aulne et autres bois blancs et tendres, ne reçoivent pas bien le placage; ils sont sujets à graisser sous le tranchant de l'outil, et l'on doit les enduire d'avance d'une couche de colle claire, dans laquelle on a mis un peu d'eau-de-vie; on laisse sécher cette couche avant de plaquer.

Lorsqu'il s'agit d'un meuble de prix, on *contre-plaque*, c'est-à-dire qu'on plaque sur le bâtis des feuilles prises dans du bois de choix : ce premier placage couvre les flaches et autres défauts qui pourraient entraver l'opération, et rend le meuble beaucoup plus solide. Dans tous les cas, on ne doit plaquer sur les assemblages que lorsqu'on ne peut s'en dispenser; il vaut mieux préparer à l'avance les assemblages, plaquer les pièces séparément, et assembler après le placage.

La colle employée est la colle forte ordinaire, la meilleure est transparente, sa cassure est vitreuse, conchoïde; elle ne doit point céder sous la pression du doigt. On la broie à coups de marteau, on la laisse gon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fier dans l'eau froide, et on la fait chauffer au bain-marie. Elle doit filer, claire et jaune; mais avant de la faire chauffer il convient d'avoir disposé les feuilles de placage. Cette opération exige du goût, de l'observation. Si l'ouvrier n'a que ce qui lui est nécessaire pour recouvrir son meuble, il faudra qu'il donne encore plus d'attention à la disposition des feuilles pour que, dans leur agencement, elles offrent des dessins réguliers. S'il a du placage à fournir, il pourra plus aisément, par la concordance des palmes et autres dessins naturels, former des dessins artificiels très-variés, très-agréables et parfois surprenants. On voit des secrétaires et des commodes, sur le devant desquels sont dessinés des gerbes, des berceaux, des couronnes de feuillage, des arabesques. Ces dessins sont le résultat de l'opposition ou de la réunion de deux ou plusieurs feuilles levées sur le même morceau, qui, vues séparément, n'offraient aucune symétrie, mais dont le déploiement convenablement opéré a produit ces effets dont l'art et la nature ont également fait les frais. Assez souvent, les six feuilles recouvrant les tiroirs d'une commode, ainsi que les bandes qui recouvrent les traverses interposées, sont prises dans la même ronce et l'une à côté de l'autre; ce qui fait qu'étant, pour ainsi dire, les contre-épreuves les unes des autres, il y a dans l'ensemble une parité d'aspect que la main d'un dessinateur habile ne pourrait donner qu'avec peine. S'il s'agit de recouvrir un grand panneau carré, comme l'abattant d'un secrétaire, le côté d'une commode, le dessus d'une table, et si la feuille de placage ne suffit pas pour le couvrir en entier, on met deux ou quatre morceaux et même davantage. Si l'on ne met que deux morceaux, la réunion des deux pièces se fera au milieu, dans le sens vertical s'il s'agit d'une commode ou d'un secrétaire, et en travers et au milieu s'il s'agit d'une table, d'un piano ou de toute autre surface horizontale. Si l'ouvrier est contraint d'employer quatre morceaux, il pourra les tailler indifféremment en carrés parfaits ou en triangles. Nous disons indifféremment, parce que, dans ce moment, nous ne nous occupons nullement de l'arrangement des dessins, et que nous supposons que la symétrie peut exister dans l'un et dans l'autre cas. S'il les coupe en carrés égaux, il formera un grand carré des quatre petits; s'il coupe les morceaux en triangles, il en formera également un carré en réunissant au centre les quatre sommets, les bases des triangles faisant les côtés du carré. S'il s'agit de recouvrir une table ronde, on taille les morceaux en triangles isocèles nombreux dont les sommets se réunissent au centre. Lorsqu'on peut craindre que cette réunion de pointes effilées ne s'exécute pas facilement, on découpe un petit rond qu'on place au milieu.

Avant de tracer et de couper le placage, il faut le dresser. Assez ordinairement il a été roulé et a conservé une courbure difficile à faire disparaître. Lorsqu'il n'a pas été roulé, la sécheresse l'a fait onduler. Dans l'un et dans l'autre cas, si l'on tente de l'aplanir à sec, on risque fort de le rompre. Lorsque le placage est roulé, il faut mouiller un peu, avec une éponge contenant peu d'eau, en dedans de la courbure. L'eau ne tarde pas à le dérouler : on l'applique alors à plat sur l'établi; on le recouvre avec une planche bien dressée que l'on charge de poids ou que l'on fixe à l'aide de plusieurs valets. On en agit à peu près de même lorsque le placage n'est boursouflé que par endroits; on mouille légèrement du côté des creux et on met en presse.

Avant de mettre le placage sur les bâtis, il faut passer sur les surfaces à plaquer un rabot à dents, dit *bretté*, qui prépare le bois à recevoir la colle; on peut se dispenser de cette précaution dans certains cas, lorsque le bois est chanvreux et qu'il ne s'est pas montré luisant sous le tranchant de l'outil. Le placage aplani, on fait chauffer la colle, qui doit être très-chaude.

Quelques ébénistes mouillent légèrement le placage du côté opposé à celui qui doit être encollé, et cela pour contrebalancer l'effet de la colle dont l'humidité et la chaleur tendent à faire relever le placage par les bouts; il faut bien que cette précaution ne soit pas absolument nécessaire, car beaucoup d'ouvriers l'omettent sans qu'il paraisse en résulter des accidents graves. Quelques-uns n'encollent que les bâtis; d'autres encollent les bâtis et le placage. Dans l'un et l'autre cas, il faut agir avec célérité, car la colle ne tarde pas à se refroidir et à se figer. Il faut faire attention, avant d'étendre la colle, soit sur le placage, soit sur le bâtis, qu'il ne s'y rencontre aucune place graissée, soit par l'huile, soit par tout autre corps gras, soit encore par des frottements; la colle ne prendrait point dans ces endroits. S'il s'en rencontrait, il faudrait y passer une râpe, afin de faire disparaître le gras.

Toutes les choses étant préparées, on pose le placage; il ne s'agit plus que de le fixer.

Il y a quatre manières de plaquer, c'est-à-dire d'opérer la fixation du placage ; avec le *marteau*, avec la *cale*, avec les *sangles*, avec le *sable*; on emploie telle ou telle de ces méthodes, suivant qu'on plaque sur des surfaces courbes ou sur des surfaces planes. Le placage sur ces dernières est le plus facile; nous devons commencer par lui.

Si l'on plaque au marteau, il faut avoir pour cette opération un marteau fait exprès, dont la panne est en travers et très-large, les bords adoucis. On encolle comme à l'ordinaire; on pose le placage. Si l'humidité de la colle fait voiler la feuille, ce qui a presque toujours lieu, on la mouille légèrement par-dessus pour neutraliser la force qui la fait courber. La feuille mise en place, et sans perdre de temps, saisissant le marteau par le manche, on en promène la panne sur le placage, en appuyant et repoussant devant soi, pour chasser la colle qui peut se trouver en très-grande quantité entre le bâtis et le placage : il faut être alerte en faisant cette opération, car la colle fige et se durcit promptement. On maintient le placage de la main gauche, tandis qu'on manœuvre de la droite, en ayant toujours soin d'opposer l'action d'une main à celle de l'autre main. Quelquefois même, dès le principe, l'ouvrier enfonce une ou deux pointes pour fixer le placage, ou bien le maintient avec une petite presse, ce qui vaut encore mieux. Le marteau doit passer partout et faire sortir l'excédant de colle des quatre côtés lorsque cela est praticable. Au fur et à mesure que la colle paraît sur les rives, on l'enlève, afin qu'elle n'y forme point en se figeant un bourrelet qui s'opposerait à une nouvelle sortie de la colle. Tout cela doit se faire très-rapidement, en évitant toutefois de mal présenter la panne du marteau, qui, si elle se trouvait glissant en long, en appuyant plus d'un bout que de l'autre, pourrait sillonner le placage et même le déchirer.

S'il arrivait que des assemblages ou des baguettes en saillie surpassassent une ou deux des rives de la surface à plaquer, et que la colle ne pût trouver d'issue que par les côtés opposés, ce serait vers ces côtés que l'on dirigerait l'impulsion; mais il faudrait aussi ramener sur soi; car il est de bonne pratique de faire faire à la colle que l'on expulse le moins de chemin possible, et l'on y parvient en la chassant toujours du centre aux extrémités. S'il se trouve un joint dans le placage, il faudra bien se garder de pousser la colle vers ce joint; mais bien partir de ce joint pour la pousser vers les extrémités, et passer la panne sur le joint, de manière à ce qu'il se trouve la séparer en deux parties afin de la faire bien prendre. Quelquefois la colle, ayant un trop grand espace à parcourir avant de trouver une issue, se coagule avant d'y parvenir. Dans ce cas, il faut soulever la feuille, passer entre elle et le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bâtis une petite cale, qui, en détachant la feuille, offre une issue à la colle. On recule cette cale à mesure que la colle prend, et enfin on la retire tout à fait lorsqu'on est arrivé près de la rive vers laquelle on chasse alors la colle sans difficulté. La feuille plaquée, on s'assure de sa parfaite adhérence en frappant sur plusieurs endroits de sa superficie avec le doigt recourbé; le son que rend le placage sert d'indice pour reconnaître les points où la colle n'a pas pris. Si l'on découvre un endroit où le placage n'a pas pris, on fait chauffer un fer ressemblant assez à celui dont se servent les tailleurs pour aplanir les coutures, ou bien d'autres diversement contournés, suivant la forme des points à toucher. Ces fers doivent toujours être assez massifs pour conserver longtemps la chaleur. On les promène sur l'endroit où la colle n'a point pris, afin de l'échauffer assez pour qu'elle reprenne sa fluidité, puis on passe de nouveau la panne du marteau. Cette opération, pour être bien faite, demande une grande attention : un fer trop chaud altère le placage; peu chaud, il ne fond pas la colle. Quand il est très-chaud, il faut s'arrêter peu et parvenir à réchauffer suffisamment le bois par des passages prompts et successifs. Nous le répétons, cette opération est délicate, et le plus sûr est de bien plaquer dès l'abord, afin de ne pas être contraint d'y avoir recours.

Mais la pièce à plaquer n'est pas toujours d'un seul morceau; assez communément il s'y rencontre des joints, et le placage est sujet à se lever dans ces endroits. Pour parer à cet inconvénient, on fait bien, avant de mettre la pièce à sécher, de passer le pinceau sur ces joints : la couche de colle qu'il y dépose empêche qu'une dessiccation trop prompte ne fasse soulever la feuille. En général, dans toute espèce de placage, il est prudent de coller des bandes de papier sur les joints.

Quand on plaque au marteau dans des gorges, scoties et autres parties creuses, on se sert d'un marteau dont la panne est arrondie, pour suivre la gorge dans sa longueur, et on emploie le marteau à panne droite pour étendre suivant la largeur; mais on a rarement recours au marteau pour le placage des surfaces courbes.

Les surfaces planes sont plus sûrement et plus promptement plaquées à la *cale*, et nous n'aurions parlé que de cette manière plus simple, s'il ne se rencontrait fréquemment des cas où le placage au marteau est indispensable. Le placage à la cale prend son nom d'une planche dressée, qu'on nomme cale, et que l'on fixe sur le placage avec des poids, des valets, ou mieux encore avec des presses.

Les presses à placage sont de deux sortes : les unes simples, d'autres plus compliquées; ces dernières sont composées de deux montants et de deux traverses : celle du haut est percée de plusieurs trous taraudés dans lesquels entrent des vis à la main. On pose dans le châssis l'objet à plaquer; on met une cale par-dessus et on fait appuyer les vis sur la cale. Les presses simples, qui coûtent de 15 à 18 francs la douzaine, sont composées de trois morceaux de bois assemblés d'équerre, et formant par conséquent une espèce de C. Sur la traverse du haut, au bout, est placée une vis à la main en bois qui sert à presser les objets qui se trouvent dans l'ouverture du C. On met un nombre quelconque de ces presses sur les quatre côtés de la cale, qui se trouve de la sorte solidement serrée.

Si l'on veut, au moyen d'une même pression, plaquer simultanément deux surfaces plates, deux devants de tiroir de commode, par exemple, on répand sur le dessus du placage de la poudre de savon, ou bien l'on frotte les deux feuilles avec du savon sec, ou bien encore on interpose entre elles des feuilles de papier fin; puis on met placage contre placage et l'on serre le tout avec les presses, en ayant soin de poser autant de presses que la grandeur des panneaux à plaquer l'exige, c'est-à-dire en faisant en sorte que les vis ne soient point éloignées les unes des autres de plus de 15 centimètre à 2 décimètres. Assez ordinairement on met une cale entre les deux placages; s'il se trouve des joints, il faudra placer à l'endroit de ces joints une petite bande de papier. Il faut serrer les vis jusqu'à ce que toute la colle superflue sorte par les côtés. On laisse le tout ainsi pressé pendant deux ou trois heures, ce temps étant ordinairement très-suffisant. Dans l'hiver, ou durant les grandes chaleurs, la colle ne séchant pas aussi promptement, on fera bien de laisser les pièces pressées plus longtemps; mais, en général, on peut se dispenser de laisser les vis serrées jusqu'à ce que le collage soit entièrement sec; lorsqu'il est suffisamment pris on peut retirer les presses; cependant, si rien ne s'y oppose, on fera bien de ne desserrer que lorsqu'il n'y aura plus à craindre aucune levée de placage. Les lieux où l'on plaque ne doivent être exposés ni au grand hâle, qui ferait sécher trop promptement, ni humides, parce que l'humidité retarde la prise de la colle, ou même lui est tout à fait contraire. Tous les ébénistes s'accordent sur ce point que, dans la plupart des cas, et toutes les fois qu'il peut être employé, le placage à la cale doit être préféré, qu'il est plus sûr que tout autre, qu'il convient également aux grandes et petites surfaces planes, qu'il est aussi praticable pour un grand nombre de surfaces courbes; qu'enfin il est plus facile à mettre en pratique. Les avis sont partagés sur la matière à employer pour faire les cales; les uns les veulent en chêne, en hêtre, en orme, en bois dur; on a été jusqu'à proposer de les faire en fonte de fer; ils prétendent que les matières dures sont moins sujettes à se déformer et conservent plus longtemps la chaleur; les autres veulent que les cales soient faites en sapin, en peuplier, aulne ou autre bois léger; pour les parties droites, pour les moulures et autres parties courbes seulement, ils admettent le chêne ou le hêtre.

Les meilleures cales, de l'avis du plus grand nombre, sont en sapin choisi de fil et sans nœuds; elles seront d'une épaisseur telle qu'elles ne puissent fléchir sous la pression des vis; on les met d'épaisseur et on les met d'équerre sur leurs champs, afin qu'elles puissent servir de tous les côtés et même dans l'angle d'une feuillure; et, pour s'opposer à leur déformation, on met des planchettes qui reçoivent l'impression des vis. Une cale dressée de deux côtés peut servir à plaquer en même temps deux surfaces planes, entre lesquelles elle est interposée.

La colle étendue sur le bâtis et la feuille de placage posée, on la frotte de savon, et après avoir fait chauffer la cale devant un feu clair de copeaux, en la promenant dans tous les sens, afin qu'elle soit bien également chaude partout, et l'avoir elle-même frottée de savon, on la pose sur le placage et on serre les vis des presses.

Quand l'objet sera très-grand et qu'on pourra craindre que la portée des presses ne s'étende pas jusqu'au milieu de la largeur, on emploiera la presse à deux montants, posée en travers avec une planche interposée entre la cale et le bout des vis. On mettra un châssis semblable deux décimètres plus loin, et ainsi de suite selon la longueur. Quelquefois, lorsque cela est praticable, on met le châssis en long et au milieu, et on se sert de presses simples que l'on met sur les quatre côtés du panneau à plaquer.

Le *placage des surfaces courbes* présente plus de difficultés; le marteau, la cale sont encore employés dans certains cas; mais ils ne suffisent plus, on leur adjoint les sangles pour les surfaces convexes, les sacs de sable pour les surfaces concaves. Jetons un coup d'œil rapide sur les opérations qui se rencontrent le plus souvent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faudra, autant que possible, si le placage est roulé, profiter de cette disposition primitive, en s'efforçant de faire concorder la courbure avec la partie courbe qu'il doit recouvrir. Si le placage est droit, il faudra le courber. On y parvient en le mouillant d'un côté et en exposant le côté opposé à un feu clair, dont on doit le tenir assez éloigné. On y parvient encore en l'exposant à la vapeur d'eau bouillante, qui l'amollit et le rend flexible. Enfin on emploie le *fer à rouler*. On nomme ainsi un cylindre de fer, le long duquel on a pratiqué une rainure angulaire, dans laquelle on engage le bout de la feuille de placage qu'on veut rouler. On fait chauffer ce fer, et, après avoir mouillé d'un côté la bande qu'on veut gaufrer, on fait entrer le bout dans la rainure, et en tournant le fer on courbe le placage, en ayant soin que la face mouillée se trouve en dessus, du côté convexe. Souvent on ne met pas de manche au fer à rouler, dont la soie est ordinairement carrée; quand le fer est chaud, on fait entrer cette soie dans un trou carré de calibre, percé sur le derrière de la table de l'établi, on a alors les deux mains libres pour mouler le placage sur le fer chaud. S'il s'agit de revêtir une gorge, on découpe la bande de longueur et de largeur, et posant le placage sur la place qu'il doit occuper, on le courbe sur lieu, en se servant d'un fer chaud dont la forme se rapproche de celle du carreau des tailleurs; la feuille garde sa courbure, et lorsqu'il s'agira de la poser, on aura bien soin de n'encoller que le bâtis, parce que l'humidité de la colle, si on l'étendait sur le placage, pourrait nuire à la courbure qu'on vient de lui donner.

Il faut connaître l'étendue que comprend le déploiement de la moulure avant de couper les bandes qui doivent la recouvrir. S'il s'agit de tore, baguette, quart de rond ou autre moulure en saillie, la mesure de la largeur est aisée à prendre; on courbe sur cette moulure une bande de carton mince égale en épaisseur avec le placage. S'il s'agit d'une gorge, scotie ou autre moulure creuse, on peut prendre cette mesure avec une feuille de plomb laminé égale en épaisseur avec le placage, ou même avec un carton; mais alors l'opération est moins facile. Dans ce cas, on contre-profile la moulure sur le champ d'une planche mince, et on prend la mesure sur la saillie avec une feuille de carton. Il faut avoir soin que le carton soit de même épaisseur que le placage, sans cela on n'arriverait pas juste. En thèse générale, il faut toujours mettre un peu plus que moins; le plus saillant s'enlève avec un coup de rabot, et l'autre placage vient joindre exactement. On se servira également du carton pour prendre la grosseur d'une colonne dans le bas du fût, au-dessus de la base, et en haut, un peu au-dessous du chapiteau. Dans cette opération, il est essentiel d'arriver très-juste; il faut donc veiller avec soin à ce que le carton soit bien exactement de la même épaisseur que le placage. Quant à la théorie enseignée, qui consiste à prendre le diamètre exact de la colonne, à le multiplier par trois, et à y ajouter un septième, elle est assurément très-bonne; mais elle sert peu quand on en est à l'application, parce qu'on ne pourrait mesurer le diamètre qu'avec le compas courbe ou parallèle, qu'on n'a pas toujours sous la main, et que, d'ailleurs, il se trouverait presque toujours des fractions d'une appréciation difficile faute de *mètre* pour les mesurer.

Il faut faire attention, en plaquant les surfaces courbes, que le placage n'ait pas plus de 1 millimètre d'épaisseur. Dans les départements, et chez quelques ébénistes de Paris, on ne plaque point les moulures et les parties délicates, telles que petites doucines, baguettes, listels, etc.; on ajoute des baguettes ou bandelettes massives que l'on profile ensuite; mais cette manière n'est pas, il s'en faut de beaucoup, généralement adoptée.

Passons maintenant à l'application de ces préceptes. Supposons qu'on ait à plaquer une gorge, on découpera le placage, après avoir pris la mesure et fait le tracé, en laissant un peu de bois, l'épaisseur du trait, en dehors du tracé; on donnera à la feuille la courbure nécessaire, soit en la mouillant légèrement d'un côté et

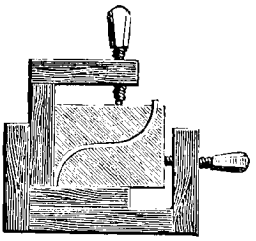


Fig. 1.

la chauffant de l'autre, soit à l'aide de fer. On fera un tore en chêne de fil formant la contre-partie de la gorge qu'on veut plaquer et destiné à servir de cale; on encollera la gorge, on posera la feuille de placage, et après avoir fait chauffer la cale arrondie, on la posera sur la feuille, puis on y appliquera les presses, qui feront prendre le placage. Cette démonstration s'applique au placage de toutes les moulures. La figure 1 fait voir une doucine ainsi plaquée à l'aide d'une cale faisant la contre-partie du bâtis, profilée avec le même outil, mais seulement placée en sens contraire. On fera bien d'avoir toujours un assortiment de cales se rapportant aux moulures qu'on pratique le plus habituellement. On fera attention en contre-profilant les courbes qui doivent presser dans les gorges, que les arcs qui les forment fassent partie d'un cercle plus petit de l'épaisseur du placage que celui qui sert de générateur à la gorge; cette observation est essentielle.

Quand la moulure ne se trouve pas sur plan droit, comme cela a lieu pour les moulures qui décorent un ciel de lit, la base d'une colonne, ou autre poussée sur plan rond, l'emploi de la cale est impossible, ou du moins très-difficile. Dans ce cas, on a recours à des sacs contenant du sable chaud; les sacs remplissent les cavités et cèdent à la résistance des parties saillantes. La toile des sacs doit être souple, le sable qui les remplit doit être tamisé; on le fait chauffer dans un poêle, mais comme le sable garde beaucoup plus longtemps sa chaleur que le bois, il faut avoir soin de ne lui en donner que précisément le degré convenable pour entretenir la fluidité de la colle pendant l'opération.

La figure 2 représente une doucine, ou talon renversé, soumise à la pression des sacs. Sa moulure étant

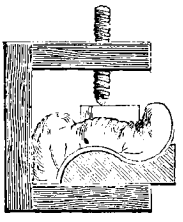


Fig. 2.

faite sur plan rond, le bois se trouve avoir une double courbure : d'abord celle qui résulte du contournement de la moulure, et puis celle qui résulte du cintre que cette moulure décrit autour du bâtis. Dans ce cas, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

doit amollir le placage en l'exposant à la vapeur d'eau bouillante, ou bien le tremper dans de l'eau très-chaude. On encolle le bâtis, on pose le placard, et par-dessus les sacs le plus rapprochés possible, puis sur chaque sac une cale, ainsi qu'on peut le voir dans la figure. Sur les joints, et dans les endroits où les pores d'un bois noueux peuvent faire craindre l'infiltration de la colle qui s'attacherait après les sacs, on met une feuille de papier avant de poser les sacs ; en général cette précaution est toujours bonne.

Quand la gorge ou scotie règne tout autour d'une colonne, on la plaque avec de petits sacs ; mais au lieu d'employer les presses et les cales, ce qui ne serait pas commode, faute de points d'appui pour les presses, on se sert d'une forte corde ou d'une sangle, selon la largeur, que l'on tourne à l'entour, en la serrant le plus possible, en ayant soin que chaque tour passe contre le tour précédent. On se sert d'un garrot pour opérer une forte pression; on appelle garrot un morceau de bois passé entre les doubles de la corde, comme cela se pratique pour la tension des scies. Lorsque le tout est ainsi pressé, on augmente encore la pression en mouillant la corde, et l'on laisse sécher avant de desserrer. Cette manière de plaquer à la corde ne s'emploie pas seulement pour les bâtis ronds, elle est encore usitée pour les meubles carrés à coins ronds; mais, dans ce cas, après que la corde est arrêtée, on passe des cales en dessous sous les quatre côtés, lesquelles augmentent la pression sur les coins où elle ne serait peut-être pas assez forte.

On parvient ainsi, en combinant divers moyens, à fixer le placage sur des surfaces qu'il paraissait difficile d'atteindre par la pression. Lorsqu'ils sont insuffisants, la circonstance doit éveiller l'imagination et la solliciter à en trouver d'autres. S'il s'agit, par exemple, de plaquer le cylindre d'un secrétaire, cette pièce, creuse en dedans, convexe en dehors, ne présentant aucun point d'appui, serait fort difficile à plaquer. La

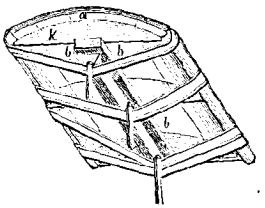


Fig. 3.

figure 3 représente le moyen à l'aide duquel on y parvient. Soit *a* la coupe ou l'épaisseur du cylindre; on remplit la partie concave avec de fortes planches *k* posées sur champ, ou même avec les calibres qui ont servi à déterminer la courbe intérieure. Ces calibres, au nombre de trois, comme dans la figure, quatre, cinq et même plus, selon la longueur du cylindre, seront placés, un à chaque extrémité, le troisième au milieu, si l'on n'en met que trois, les autres également espacés s'il s'en trouve plusieurs. On fixe ces calibres dans leur position verticale en clouant sur leur champ droit, en travers, une forte planche *b*; on pose sur cette planche une traverse *c* aussi longue que la planche *b* et que le cylindre. Cette traverse *c*, dont les angles supérieurs sont enlevés et arrondis, est percée de double décimètre en double décimètre de trous taraudés dans lesquels passent les vis à main *d*. Ces vis ne sont pas d'abord mises en place, ou du moins elles sont assez peu enfoncées pour que leurs bouts ne dépassent pas par-dessous. Les choses ainsi disposées, on fait voiler

la feuille de placage à l'aide de l'eau et du feu, on encolle le bâtis, on met la feuille en place, et on la fixe avec des rubans de fil, qui retiennent en même temps la traverse *c*. On enveloppe alors le tout avec des sangles, puis, après avoir mouillé et opérant devant un feu suffisant pour tenir la colle chaude, on commence à tourner les vis *d*, qui, buttant contre la planche *b*, forcent la traverse *c* à s'en écarter, et opèrent par ce moyen l'extrême tension des sangles *e, e*, sur la partie convexe. On conçoit que si les calibres *k* n'étaient pas en dedans pour soutenir l'effort de la pression, le cylindre se romprait.

L'opération est la même, quoique plus compliquée, si le dedans doit être plaqué. Dans ce cas, les calibres *k* doivent être plus nombreux et rapprochés au moins à 1 décimètre l'un de l'autre. On fait voiler deux feuilles; on encolle en dehors et en dedans. On pose des cales minces en long, les calibres par-dessus, et l'on tourne les vis : la même pression opère en dehors et en dedans ; il faut être plusieurs personnes bien alertes et bien entendues pour faire d'un seul coup ce double placage et entretenir un feu clair de copeaux pour chauffer en dehors et en dedans au fur et à mesure qu'on opère.

Nous devons ajouter que les calibres *k* qui soutiennent la pression doivent bien appuyer partout, et qu'il faut coller ou clouer sur les longs champs du cylindre des demi-baguettes, afin que les sangles ne soient point coupées par les vive-arêtes et aussi afin qu'elles glissent mieux en se tendant. Si les calibres ne touchaient point, surtout aux cornes de l'arc, il faudrait passer des cales à ces endroits dans les espaces vides, parce que tout l'effort de la pression ayant lieu sur ces points, la force de tirage pourrait faire céder le bâtis qui, lors du desserrement des vis, ferait probablement, en se distendant, plisser ou lever le placage.

Si l'on plaque le panneau contourné d'un lit à flasque, ou toute autre pièce ainsi contournée et qui doit être revêtue en dedans et en dehors, on combine l'emploi des cales, du marteau, des sangles et des sacs de sable. Nous allons, au moyen de la figure 4, faire

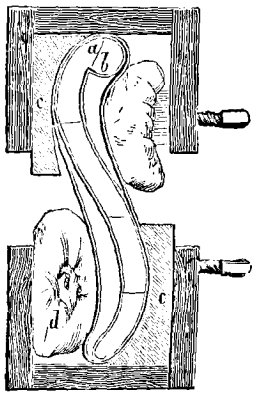


Fig. 4.

comprendre comment on parviendra à surmonter les difficultés que présente cette opération. On clouera ou collera avant tout sur les champs latéraux du panneau des calibres en chêne ayant au moins 3 centimètres d'épaisseur. Ces calibres sont destinés à le renforcer et à empêcher que, faible comme il l'est, étant composé de plusieurs morceaux, et souvent fait en bois blanc, il ne cède sous l'effort des sangles, et l'on plaque d'abord le côté extérieur avant de poser le demi-rouleau *a*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déterminé par la ligne de joint *b*, qui empêcherait le placage de s'étendre. On plaque quelquefois cette partie au marteau; mais il vaut mieux cependant avoir recours à la sangle. Lorsque les feuilles ont reçu, par les moyens indiqués plus haut, la courbure préalable nécessaire, on encolle le panneau, on pose le placage, on l'arrête avec des rubans, puis on entoure le panneau de sangles dans le sens de sa hauteur. On aurait soin d'humecter et de chauffer un peu le placage, si la courbure n'était pas complète. On posera alors les cales *c* également chauffées par-dessus les sangles non encore tendues, et enfin, s'il en est besoin, on mettra les sacs de sable *d*. On pressera alors, et l'effort des vis appuyant sur les sangles au moyen des cales ou des sacs les feront serrer fortement sur les parties convexes, tandis que les sacs ou les cales s'enfonceront dans les parties concaves et y fixeront le placage. On conçoit qu'il faut, dans le principe, tenir la sangle assez lâche pour qu'elle puisse céder. Quant au demi-rouleau, s'il n'a pas été posé d'abord, et cela a rarement lieu, on le remplace d'abord par un demi-rouleau de rapport qu'on enlève pour placer le véritable lorsque toutes les parties sont plaquées. Ce demi-rouleau se plaque ensuite, au moyen d'une feuille roulée qui prend en avant plus bas que la ligne *b*, et qu'on fixe au moyen de sable; cette dernière méthode est plus facile et plus sûre.

Pour plaquer une colonne, il faut la suspendre entre les pointes d'une espèce de tour à pointes dont nous devons donner la description. Il se compose de deux poupées mobiles dont l'une, celle de gauche, est tout simplement un morceau de bois de 1 décimètre environ d'épaisseur sur 1 décimètre 1/2 de large assemblé d'équerre par emboîture avec un plateau de 5 à 6 centimètres d'épaisseur et de même largeur que la poupée; cette poupée est en outre soutenue par derrière par un arc-boutant solide assemblé avec tenon et mortaise dans la poupée et dans le plateau, et dont la fonction est de s'opposer au recul de la poupée lorsqu'on serre la vis dont il va être parlé.

Cette vis pénètre la poupée vers le haut, sur la ligne du milieu; elle peut être faite en bois ayant au bout une pointe de fer; mais elle rend un meilleur service si elle est en fer, parce qu'elle n'est pas sujette à devenir trop lâche par suite du retrait des bois; la tête de cette vis est forée en travers, et on fait passer dans le trou un levier pour la serrer et la desserrer, comme dans les tours à pointes ordinaires.

La poupée de droite est d'une façon un peu plus compliquée : le plateau qui pose sur la table de l'établi est le même, à cette différence près qu'il est un peu plus long : sur ce plateau, on élève d'équerre, et avec le même assemblage à emboîture, deux poupées l'une devant l'autre et espacées en elles d'environ 25 centimètres; on les réunit par le haut par une planche posée en travers, avec assemblage à chapeau. Pour les consolider d'autant plus, on met entre elles deux un arc-boutant qui s'appuie par le bas sur le plateau près de la planche de derrière et par devant s'assemble dans la planche de devant vers le haut au-dessous du trou dont il va être parlé.

A la même hauteur que le centre de la vis de la poupée de gauche, on percera un trou de 6 à 7 centimètres de diamètre qui traversera les deux planches de la poupée de droite, et dans ce trou on fera passer un rouleau en bois dur, de même diamètre, ayant un renflement par devant, afin qu'il ne puisse point passer d'outre en outre; et par derrière, se terminant par un carré sur lequel on montera une manivelle. Sur le renflement du devant, et bien au centre, on plante en croix quatre petites lames de tôle d'acier, désaffleurant de 4 ou 5 millimètres.

Dans cet état, le tour à plaquer les colonnes est construit; on le fixe sur l'établi à l'aide de valets, en donnant aux deux poupées un écartement en rapport avec la colonne qu'on veut suspendre entre les pointes.

On suspend la colonne entre ces pointes : à gauche, au moyen du pointage qui a servi à la tourner, ou on le fait bien au centre, s'il a été enlevé : sur l'autre bout de la colonne qui doit se trouver à droite, on détermine également le centre, s'il n'est plus marqué, et on donne deux traits de scie en croix, bien d'équerre, dont la rencontre se trouve juste au centre; on fait entrer les quatre petites lames de tôle dans les traits de scie, la pointe de la vis de la poupée gauche dans le pointage, et la colonne se trouve ainsi suspendue, attachée au rouleau qui est à la droite, et tournant avec lui lorsqu'on fait mouvoir la manivelle, sans qu'il soit besoin d'y toucher immédiatement avec la main. Dans cet état, la colonne est très-facile à plaquer.

On l'encolle promptement en la faisant tourner; on applique le placage, on le recouvre d'un papier que l'on double à l'endroit du joint, et l'on commence à enrouler la sangle. Cette opération se fait à deux, l'un tient la sangle tendue et pèse dessus, tandis que celui qui plaque fait tourner la colonne à l'aide de la manivelle. A mesure que les tours se font, on fait suivre un réchaud rempli de charbons allumés placé dessous la colonne, qui entretient la chaleur. Parfois, on se contente d'enflammer quelques pincées de copeaux qu'on pousse à mesure que la sangle avance : par ce moyen, la colle s'entretient fluide et est chassée par la pression des sangles. L'ouvrage avançant, et à chaque tour de la sangle, il faut veiller à ce que la réunion du placage se fasse en ligne directe. Quand l'opération est finie, on mouille et on chauffe encore, après quoi on laisse sécher. Les colonnes, rouleaux et autres parties très-courbes doivent rester plus longtemps en presse que les autres, et l'on aura toujours soin, en mettant la colonne en place, de tourner en arrière, c'est-à-dire du côté du meuble, l'endroit où se trouve la ligne de jonction.

Les coins ronds des meubles qui se terminent vers le haut par de larges gorges sont une des plus grandes difficultés : il y a dans les coins de ces gorges une double courbure qu'il est très-difficile de plaquer. On tourne la difficulté en mettant à l'endroit de ces coins des morceaux massifs que l'on profile sur le restant de la moulure en faisant concorder le veinage autant que possible; mais ce moyen de passer à côté de l'obstacle n'est pas toujours praticable, et il se trouve des cas où il faut l'aborder de front; on doit alors calculer le double déploiement de la gorge et tailler la feuille en conséquence. Assez souvent on se sert d'un carton d'épaisseur avec le placage pour prendre ce double déploiement; cela fait, on met un instant la feuille dans l'eau bouillante pour la rendre le plus flexible qu'il est possible et l'amener, aussi près que le permet la contexture du bois, à la forme voulue; mais, comme il est rare que l'on parvienne à une entière réduction, on coupe le placage avec un canif en faisant une ou deux fentes verticales; on appuie alors dessus, il s'écarte dans les endroits séparés, et l'on ajoute, dans les angles formés par ces coupures, de petits morceaux de la même feuille en suivant le même fil et en raccordant autant que possible le dessin.

On encolle la gorge, on courbe au feu ou avec le fer à rouler, et l'on plaque comme à l'ordinaire en se servant de cordes neuves et fortes qui enveloppent tout le bâtis. A mesure qu'on serre, on mouille et on chauffe, et, lorsque les cordes sont fixées, on augmente encore leur pression en passant dessous des cales, dans les endroits où on peut le faire sans inconvénient.

Il est impossible de prévoir tous les cas, toutes les formes; ce que nous venons de dire suffira pour que l'on puisse trouver des moyens dans toute circonstance : il faut aussi s'attendre aux accidents, quelque soin qu'on ait pris pour les éviter. Il arrive souvent qu'après

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avoir rempli toutes les prescriptions, qu'après avoir agi prudemment et avec adresse, l'ouvrage est encore défectueux. Un fer trop chaud passé sur un placage de couleur tendre en altérera la beauté, en foçant par place cette couleur qui, souvent, est sa plus grande richesse. Il faut donc apprendre l'usage du fer, l'approcher de la joue en le retirant du feu, pour s'habituer à évaluer approximativement son degré de chaleur; le passer très-rapidement dans le premier instant, ralentir le mouvement à mesure qu'il se refroidit. L'usage bien entendu du fer est déjà un grand point.

Quand on s'est décidé à faire un double placage pour renforcer le bâti solide d'un meuble, on fera ce placage en chêne de 2 millimètres environ d'épaisseur et même un peu plus, si l'on prévoit qu'en redressant et en replanissant il faudra enlever beaucoup de bois; ce premier placage posé, on ne doit songer à mettre le second qu'après que la colle du premier est bien sèche. Avant de plaquer, il faudra passer en tous sens le rabot à fer bretté qu'on devra conduire également en travers du fil et suivant ce fil alternativement.

Après que les pièces sont plaquées, si le temps est chaud et sec, on doit coucher par terre les pièces plaquées, ou bien les placer contre des murs dans des endroits frais non exposés à des courants d'air qui feraient sécher trop promptement et pourraient occasionner des levées partielles du placage.

Si des bulles d'air se trouvent enfermées sous le placage, ou bien encore lorsque le placage est soulevé et bombé en certains endroits loin des rives, ces effets fâcheux ont deux causes : ou la colle n'a pas pris partout, ou elle s'est agglomérée en certains points et s'est figée avant que la pression l'ait expulsée. Dans le premier cas, on essaye de la faire prendre en passant le fer chaud sur l'endroit non adhérent et en y posant des cales soumises à l'effort des presses. Si, malgré ce moyen, le collage n'a pas lieu, c'est qu'il n'y avait point de colle à cet endroit. On coupe alors le placage en biais et de manière à former deux biseaux, avec un canif ou tout autre instrument mince et coupant bien vif, et l'on fait passer sous le placage de la colle claire très-chaude; puis, avec le marteau à plaquer, on chasse cette colle dans toutes les directions et l'on ramène l'excédant par la coupure; puis, après avoir veillé à ce que les biseaux de la coupure se replacent bien l'un sur l'autre, on pose sur tout l'endroit une colle très-chaude que l'on comprime avec les presses à main. Si la bombure provenait d'une agglomération de colle, on la liquéfierait avec le fer chaud, et une ou deux piqûres faites sur cette bosse suffiraient, au moyen de la pression, pour livrer passage à la colle, et par suite pour opérer la réduction qui se ferait sous l'effort de la cale chaude pressée par les vis. Quand les trous faits au placage sont trop grands, ce à quoi l'on est parfois obligé, on les bouche, soit avec de la sciure du même bois détrempée dans la colle claire et bien pétrie, soit, mieux encore, avec des chevilles trempées dans la colle bien chaude et pénétrant jusque dans l'épaisseur du bâtis.

Lorsque, par une raison quelconque, il faut enlever une ou plusieurs feuilles de placage, et que ces feuilles sont fixées et sèches, il faut d'abord poser des règles bien droites maintenues par des presses sur l'extrême rive des feuilles qui environnent celle qu'on veut enlever, soit pour en mettre une autre, soit pour la tourner dans un autre sens déterminé par l'ensemble du dessin. Quand cette feuille est ainsi cernée, on passe dessus le fer chaud qui liquéfie la colle et permet d'enlever la feuille que l'on détache avec précaution en la soulevant par une rive avec une lame mince. Il est bien entendu que cet enlèvement devra être fait avant que le placage soit poncé et verni, car une fois dans cet état il est devenu si mince et si cassant qu'il est difficile de l'enlever d'un seul morceau.

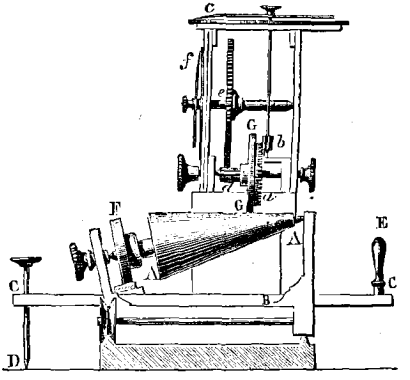
PAULIN DESORMEAUX.

PLANIMÈTRE. On a donné le nom de planimètres à d'ingénieux instruments qui servent à mesurer mécaniquement l'aire de figures planes.

C'est en 1827 qu'un ingénieur suisse, M. Oppikofer, inventa le plus connu de ces instruments, le planimètre à cône, qui fut perfectionné dans sa construction et vulgarisé en France par un habile constructeur, M. Ernst. Sur le rapport de Poncelet, qui avait bien su apprécier la portée et la nouveauté de cet appareil, l'Académie des sciences décerna, en 1837, à son construteeur le prix de mécanique.

L'appareil est représenté en élévation figure 1 et en

Fig. 1.



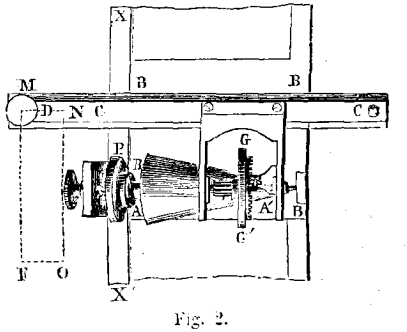


Fig. 2.

plan figure 2. Son organe essentiel est un cône en métal de cloches, dont l'axe est incliné de telle sorte que l'arête supérieure soit horizontale. Cet axe est monté en pointes sur des supports fixés à une platine BB qui peut recevoir un mouvement de translation perpendiculairement à l'arête horizontale du cône; pour cela elle est guidée, du côté gauche, par des galets roulant sur un rail longitudinal, et, du côté droit, par des roulettes sans rebord, roulant sur une bande métallique noyée dans le bois du plateau (de 0m,60 de longueur sur 0m,27 de largeur environ) qui supporte tout l'appareil. La platine BB porte avec elle une coulisse CC, à laquelle on donne le nom de *directrice* et qui est munie à son extrémité gauche d'une pointe D et à son extrémité droite d'une poignée E. Il résulte d'abord de cette disposition, qu'en faisant mouvoir la platine dans le sens des deux mouvements à angle droit qu'elle peut recevoir, on peut toujours amener la pointe D en un point quelconque du plateau.

L'axe du tronc de cône porte une roulette F, qui re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pose sur une bande métallique (striée comme le pourtour de la roulette), établie au-dessus de la platine dans toute la longueur de l'appareil. Quand on fait mouvoir la platine dans le sens XX', la roulette F roule sur cette bande métallique, et le tronc de cône prend un mouvement de rotation proportionnel au déplacement de la platine. Sur le tronc de cône, et perpendiculairement à la génératrice horizontale, repose une autre roulette G G dont l'axe est porté par des supports liés à la directrice C C, en sorte que, quand on fait glisser la directrice dans le sens de sa longueur, la roulette G G s'approche ou s'éloigne du sommet du cône. La vitesse à sa circonférence étant la même qu'au point de la surface du cône où a lieu le contact, il en résulte que, lorsque la platine se déplace dans le sens XX', le nombre de tours que fait la roulette G G est proportionnel à la fois au chemin décrit par la platine ou par la pointe D et à la distance de la roulette au sommet du cône; c'est-à-dire, comme nous allons le montrer, au produit de ces deux quantités.

L'appareil est complété par un compteur, établi sur les mêmes supports que l'axe de la roulette. Celui-ci porte une roue engrenant avec un pignon à axe vertical *b* qui fait marcher une aiguille *c* sur un cadran horizontal. Le prolongement de ce même axe de la roulette forme en outre un pignon *d* engrenant avec une roue dentée *e* qui fait tourner une aiguille *f* sur un cadran vertical qui donne les mille et les dizaines de mille, le cadran horizontal donnant les unités, dizaines et centaines.

On remarquera que le compteur est mobile autour d'un axe horizontal terminé par deux tourillons fixés dans le montant; de sorte qu'on peut soulever légèrement le compteur d'une main et l'empêcher de marcher, pendant que l'on pousse le chariot dans un sens ou dans l'autre. On peut aussi, en soulevant légèrement le compteur, faire tourner à la main l'une des deux roues dentées, de manière à amener les aiguilles sur les zéros des cadrans.

Le zéro du cadran horizontal est en avant, sur le rayon dirigé dans le sens de la longueur de l'instrument. Ce cadran est divisé en 50 parties égales, chiffrées de gauche à droite et de droite à gauche, et subdivisées elles-mêmes chacune en 10 parties. Le zéro du cadran vertical est aussi en avant, sur le rayon horizontal. Ce cadran est divisé en 50 parties égales chiffrées aussi dans les deux sens, et partagées chacune en deux. L'aiguille du cadran vertical avançant d'une demi-division lorsque l'aiguille du cadran horizontal fait un tour entier, si l'on considère chacune des 50 parties égales de ce dernier comme représentant des ares, les divisions de l'autre cadran indiqueront des hectares. Plus généralement, si les dernières subdivisions du dernier cadran sont regardées comme valant *n* unités, chacune des demi-divisions du premier cadran vaudra 500 *n*.

Usage du planimètre pour la mesure des aires planes. Pour montrer comment cet appareil peut servir à mesurer la superficie d'un polygone plan quelconque, considérons d'abord le cas où l'on aurait à évaluer l'aire d'un rectangle ABCD (fig. 3), dont la base $AB = b$ est perpendiculaire au mouvement longitudinal du cône et dont la hauteur $BC = h$ est parallèle à ce même mouvement.



Fig. 3.

On amènera le bord de la règle de corne, placée en avant de la directrice, sur la ligne AB, et la pointe D sur le point B. Puis, après avoir placé les aiguilles du compteur à zéro, on poussera le bouton du mouvement longitudinal de manière à faire suivre à la pointe D le côté BC. Ensuite on fera glisser le bouton du mouvement transversal de droite à gauche jusqu'à ce que la pointe soit en D; et enfin on redescendra avec un mouvement longitudinal contraire au premier, jusqu'à ce que la pointe soit arrivée en A. Je dis que l'indication du compteur sera l'expression de l'aire du rectangle.

En effet, lorsque l'on pousse le bouton du mouvement longitudinal de manière à faire parcourir à la pointe la longueur BC, les aiguilles du compteur tournent évidemment d'une quantité proportionnelle au nombre de tours, ou au rayon R de la section du cône sur laquelle le compteur est placé, nombre qui est en raison de la longueur *h* du côté BC, de sorte que la première indication de l'aiguille a pour expression

$$K h R$$

K désignant un coefficient constant dépendant de la grandeur des rayons de la roue rayée ρ et de celle de la roulette ρ' $\left(K = \frac{1}{\rho\,\rho'}\right)$. Lorsque l'instrument revient en sens contraire, la pointe H suivant le côté DA, les aiguilles tournent en sens contraire de leur marche primitive d'une quantité représentée par

$$K h r$$

où K et *h* ont les mêmes valeurs que ci-dessus, et où le rayon de la circonférence sur laquelle pose le compteur est désigné par *r*. L'indication finale sera donc la différence des deux indications, c'est-à-dire

$$A = K h (R - r).$$

Or, α étant l'angle générateur du cône, B la distance au sommet du point de contact du compteur quand l'index est au point B, B' quand il est au point D, on a $B \sin. \alpha = R$, $B' \sin. \alpha = r$, et l'équation ci-dessus devient : $A = K h \sin. \alpha (B - B')$. Or, $B - B'$, ou la distance des points sur lesquels a posé le compteur, n'est autre que la quantité dont la pointe s'est avancée transversalement, autrement dit la base *b* du rectangle, la relation précédente donne donc :

$$A = K \sin. \alpha\, b\, h.$$

Or, on peut toujours, dans la construction de l'instrument, disposer le compteur, le cylindre d'engrenage à la base du cône et l'angle au sommet, de telle sorte que le coefficient constant $K \sin. \alpha$ ait une valeur déterminée pour une certaine échelle, à laquelle sont rapportées les figures des aires à évaluer. Dans le modèle adopté, on suppose l'échelle de 1/2000 et on a pris $K \sin. \alpha = 1/2$, de sorte que l'indication A du compteur sera précisément en hectares, ares et centiares la moitié de l'aire du rectangle. Cette aire aura donc pour expression 2 A. On verra tout à l'heure pourquoi on a mieux aimé donner au coefficient $K \sin. \alpha$ la valeur 1/2 que la valeur 1.

Avant de passer au cas général, observons que l'on peut commencer par suivre avec la pointe le côté AD au lieu du côté BC; l'indication du planimètre exprimera toujours l'aire du rectangle : seulement, elle sera marquée sur les cadrans du compteur en sens contraires, selon que l'on suit les directions BCDA ou ADCB. On voit encore que l'on peut commencer indifféremment par l'un des quatre sommets A, B, C, D, pourvu que les chemins suivis par la pointe soient dirigés en sens contraires sur les côtés AD, BC. L'aire du rectangle sera toujours marquée par les aiguilles du compteur, d'un côté ou de l'autre des zéros des limbes des cadrans.

Considérons maintenant l'aire comprise au-dessous de la droite MT (fig. 4), entre un contour polygonal quelconque ABCDEFG, et deux ordonnées AM, GT, perpendiculaires à MT, et parallèles au mouvement longitudinal du cône. Si par chacun des sommets du polygone on mène une parallèle à la base MT, comprise

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre les deux ordonnées voisines ou entre leurs prolongements, on aura d'abord un premier contour polygonal rectangulaire MA'BB'CC'DD'EE'FF'GT déterminé par

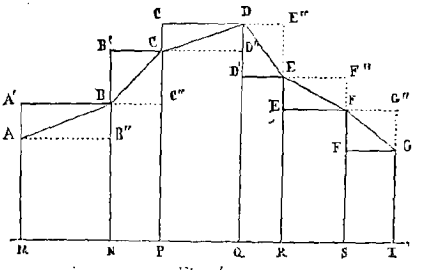


Fig. 4.

les portions de ces parallèles comprises entre chaque sommet et l'ordonnée la plus voisine à gauche ; puis ensuite un autre contour MAB"BC"CD"DE"EF"FG"T déterminé par les portions des mêmes parallèles comprises entre chaque sommet et l'ordonnée la plus voisine à droite. Or, il est évident que l'aire limitée par le premier contour polygonal surpasse l'aire du polygone MABCDEFGT, des triangles AA'B, BB'C, CC'D, et qu'elle est surpassée par cette dernière d'une surface égale à la somme des triangles DD'E, EE'F, FF'G. Tout au contraire, l'aire que comprend le second contour polygonal est surpassée par l'aire cherchée, d'une quantité égale à la somme des triangles AB"D, BC"C, CD"D respectivement égaux aux triangles AA'B, BB'C, CC'D ; et elle la surpasse de la somme des triangles DE"E, EF'G, FG'G respectivement égaux aux triangles DD'E, EE'F, FF'G. En un mot, tout triangle rectangle *excédant* par rapport à l'aire cherchée dans le premier polygone est remplacé par un triangle *déficient* égal dans le second, et réciproquement. La somme des superficies des deux polygones rectangulaires est donc le double de l'aire cherchée, et la détermination de celle-ci se réduit à la mesure des deux polygones rectangulaires.

Mais rien n'est plus facile que cette mesure, au moyen du planimètre, pour le polygone MA'BB'CC'DD'EE'FF'GT. Par exemple, après avoir placé la directrice sur MT et la pointe sur M, les aiguilles étant amenées sur zéro, on poussera le compteur en avant jusqu'à ce que la directrice rencontre le sommet B, sur lequel on amènera la pointe : on ira de nouveau en avant jusqu'à ce que la directrice rencontre le sommet C, et ainsi de suite ; de sorte que le chemin parcouru par la pointe sera le contour polygonal dont il s'agit de déterminer la surface, et qui est marqué par un trait fort sur la figure. L'indication du compteur sera absolument la même si l'on avait pris successivement les superficies des rectangles MA'BN, NB'CP, PC'DQ... et ainsi de suite... ; car en opérant cette décomposition en rectangles, on descendrait et on remonterait successivement le long des lignes BN, CP, D'Q, E'R, F'S, et ces deux mouvements contraires et égaux ne pourraient en rien changer l'indication dernière du compteur, laquelle est la moitié de l'aire limitée par le contour polygonal.

Cette première portion de la surface cherchée étant obtenue, on ramène les aiguilles du compteur à zéro, et en commençant par le point T, on parcourt le contour polygonal TG"FF"EE"DD"CC"BB"AM ; la nouvelle indication du compteur est la seconde portion de la surface cherchée, et la somme de ces deux indications est l'aire du polygone MABCDEFGT. On voit maintenant pourquoi les cadrans du compteur sont gradués de manière à ne marquer que la moitié des surfaces mesurées ; c'est afin de réduire à une simple addition de deux nombres la mesure de l'aire d'un polygone, sans que l'on soit obligé de prendre la moitié de la somme obtenue.

On remarquera que les décompositions de figures que nous avons opérées pour l'intelligence du procédé sont complétement inutiles pour la pratique de ce procédé, et que le planimètre donne l'aire du polygone MABCDEFGT sans exiger la moindre construction géométrique.

On démontre avec une extrême facilité que ce procédé est général et s'applique à un polygone quelconque. Remarquons enfin qu'il peut résulter de la position de la figure à mesurer, que l'aire de celle-ci soit donnée par la différence des nombres indiqués, au lieu de l'être par leurs sommes ; ce qu'indique alors le changement de sens des mouvements des aiguilles.

Il est évident qu'il faut que les échelles du planimètre et des plans dont on mesure la surface se correspondent. On prend habituellement celle de 1/2000 adoptée par le cadastre. Si le plan était à une autre échelle, il faudrait faire supporter aux résultats obtenus une correction facile à calculer.

Nous terminerons cet article en indiquant la disposition qu'a adoptée M. Morin, pour relever au moyen du planimètre l'aire très-allongée qui mesure le travail mécanique dans certaines expériences dynanométriques (voyez DYNANOMÈTRES).

Pour obtenir l'aire des courbes au moyen du planimètre, en opérant comme nous l'avons expliqué pour les polygones, par des mouvements rectangulaires, il faut décomposer la courbe en petits contours polygonaux sur lesquels on agira comme nous l'avons expliqué. La mesure sera d'autant moins inexacte qu'on aura agi sur de plus petits côtés, mais elle le sera évidemment toujours trop, quand on aura besoin d'une grande précision.

Voici comment opère M. Morin :

Il remarque que, si l'on suppose la roulette placée sur le sommet du cône, l'index décrivant une ligne droite, le compteur restera à zéro, si on la place ensuite en un point quelconque, et qu'on fasse décrire à l'index une ligne parallèle à la première, le compteur marquera la surface du rectangle compris entre ces deux lignes droites.

Si l'on place un rectangle quelconque de manière qu'un côté soit parallèle à cette première ligne, et qu'on en suive les contours, il est évident que les deux indications du compteur (de l'allée sur un côté, et du retour sur le côté parallèle) qui auront lieu en sens contraire, ou la différence qu'indiquera le compteur sera la différence des deux rectangles formés par la base correspondant au sommet imaginaire et chacun des côtés parallèles du rectangle à mesurer, c'est-à-dire donnera précisément l'aire à mesurer.

Si une courbe est comprise tout entière du côté d'une ligne droite, on aura de même l'aire comprise entre la courbe et la ligne droite, placée parallèlement à la ligne telle que la roulette ne varie pas dans le sens de l'axe du cône quand l'index la parcourt. Cela fait, on place les aiguilles du compteur à zéro, on suit la ligne base rectiligne *ab* avec l'index, puis on revient en suivant le contour *bc* de la courbe jusqu'au point *a*. Le compteur indiquera l'aire cherchée qui peut être considérée comme composée d'une infinité de petits rectangles auxquels s'appliquerait le raisonnement fait précédemment.

S'il s'agissait d'évaluer une courbe fermée, il suffirait de la traverser par une ligne droite, et d'opérer successivement sur chaque partie comme nous venons de le dire, en opérant de manière à ce que les résultats s'ajoutent, la somme sera l'aire cherchée.

Une observation importante à faire, et à laquelle la pratique a conduit M. Morin, c'est que le mouvement oblique de l'index devenait une cause d'erreurs qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'existent pas quand il n'est soumis qu'à des mouvements rectangulaires pour lesquels l'instrument est réellement disposé, et il arrive alors que dans de petits intervalles la roulette glisse sans rouler; la résistance du glissement étant très-faible (le cône est en métal poli) et la résistance au roulement étant augmentée par les engrenages du compteur. Pour obvier à cet inconvénient, M. Morin a employé un cône en bois à surface non polie, qui lui a donné de bons résultats.

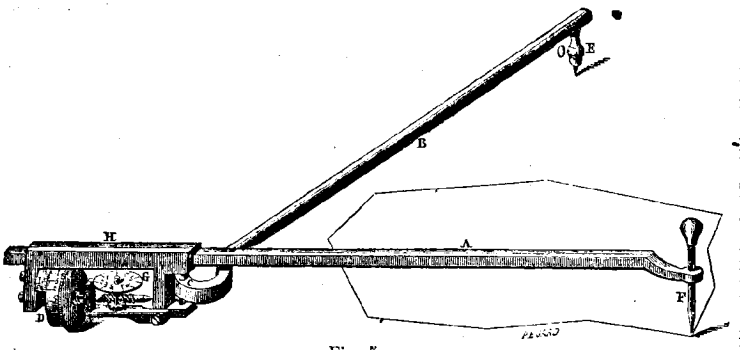


Fig. 5.

Planimètre Gonella. L'angle α du cône pouvant être quelconque, le principe de l'appareil est encore vrai pour $\sin. \alpha = 1$, ou pour un disque circulaire que l'on peut considérer comme un cas particulier du cône. C'est sous cette forme qu'un Italien, M. Gonella, paraît avoir le premier inventé le planimètre et établi dès 1825 la propriété de ce genre d'appareils, d'effectuer des quadratures, de fournir la valeur de l'intégrale de $y\,dx$ entre des limites données.

Le planimètre mis par M. Gonella à l'Exposition de 1851 se composait d'un disque circulaire horizontal possédant un double mouvement de translation et de rotation, et d'un petite roulette verticale reposant sur le disque et susceptible de tourner seulement autour d'un axe horizontal auquel est liée l'aiguille, qui indique sur un cadran gradué la surface de la figure dont on a suivi le périmètre avec un style attaché à la règle qui fait tourner le disque.

Planimètre Vittly. Un constructeur suisse, M. Vittly, a combiné un planimètre à disque circulaire, analogue au précédent, d'une construction simple et bien entendue. Tandis qu'on suit le périmètre d'une figure avec le style, le chariot se déplace, le disque circulaire se déplace aussi, tourne et fait tourner la roulette. Par dessous le disque se trouve un petit cylindre qui lui sert d'axe et autour duquel s'enroule un fil de laiton toujours bien tendu. L'axe de la roulette fait tourner un petit pignon, et l'aiguille du cadran divisé en 100 parties, sur lequel on lit l'aire de la figure plane dont on a suivi le contour.

Planimètre polaire d'Amsler. Le prix élevé du planimètre d'Oppikofer, sa grandeur et son poids, en limitent beaucoup l'usage dans la pratique; mais son défaut capital réside dans la faible ouverture de l'angle au sommet du cône, d'où résulte l'impossibilité de calculer exactement les petites surfaces. En effet, si un petit rectangle à calculer doit être transformé en un autre dont la base fixe est représentée par le nombre constant 1000, il en résulte que la hauteur du rectangle transformé étant alors presque imperceptible, dans de petites figures où l'on aurait dû trouver + 1, l'instrument donne quelquefois — 3, parce que le jeu ou l'ébat des pièces de l'instrument dépasse la faible quantité qui, multipliée par 1000, sert à exprimer la surface d'une petite figure. Un plus grand angle au sommet du cône augmenterait trop le poids de l'instrument ainsi que sa hauteur.

C'est de la Suisse que vient aussi l'instrument dont nous allons parler, fondé en réalité sur le même principe, le planimètre d'Amsler, qui date de 1854, instrument vraiment remarquable par son élégance, ses petites dimensions et son bon marché (il ne coûte que 50 ou 80 fr. selon la grandeur).

La fig. 5 le représente de demi-grandeur en perspective. Il se compose d'une tige A à section carrée, portant à l'une de ses extrémités une pointe F, et à l'autre une coulisse H qui glisse sur elle à frottement doux. Cette coulisse porte l'axe d'une roulette D dont le rebord repose sur le papier et qui est divisée sur son contour; un vernier L fixe sert à apprécier les fractions de division de la roulette. L'axe de celle-ci porte une vis sans fin, au moyen de laquelle un petit pignon K tourne d'une dent à chaque tour que fait la roulette D; l'axe vertical de ce petit pignon porte une roue G divisée en dix parties égales. Sur le devant de la pièce H vient s'articuler, à pointes, une tige B terminée en E par un piquoir qui peut s'implanter dans le papier.

Pour se servir de l'instrument, on fait glisser la coulisse sur la tige A jusqu'à ce que la longueur CF soit en rapport avec l'échelle du dessin que l'on veut évaluer. Pour faciliter cette opération, on a marqué sur la tige A des traits qui doivent arriver à la partie antérieure de la coulisse pour telle ou telle échelle déterminée.

L'instrument étant réglé, on fixe la pointe E en dedans ou en dehors de la figure dont on veut faire la quadrature, on fait tourner la roue D de manière à ramener le zero sur sa graduation en coïncidence avec le zéro du vernier L, et le zéro de la roue G en face d'un repère fixe. On marque exactement le point de départ du traçoir F, et l'on parcourt avec ce traçoir le contour de la figure de gauche à droite (comme les aiguilles d'une montre), jusqu'à ce que l'on revienne exactement au point de départ. On lit alors sur la roue G le nombre de divisions parcourues, qui indique les centaines du résultat, et sur la roue D les dizaines et les unités; les dixièmes d'unité peuvent s'apprécier au moyen du vernier.

Cette lecture donne immédiatement la surface cherchée lorsque la pointe E a été fixée en dehors de la surface à calculer. Si, au contraire, la pointe E a été fixée à l'intérieur de cette surface, il faut ajouter à l'indication de l'instrument un nombre constant qui est gravé sur la tige A, à côté du trait qui affleure l'extrémité de la coulisse.

Supposons, pour éclaircir les explications qui précèdent, que l'on ait fait arriver à l'extrémité de la coulisse le trait marqué 100 millimètres carrés; chaque division de la roulette D indiquera une surface parcourue de 100 millimètres carrés. Si, après avoir parcouru le contour de la figure, la roue G indique 3, et la poulie D 47,8, la surface sera de 347,8 unités,

soit $100 \times 347{,}8 = 34780$ millimètres carrés,

la ponte E étant fixée en dehors de la figure. Si la pointe a été fixée dans l'intérieur, il faudra ajouter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à la lecture 347,8 le nombre 1912,6, qui se trouve gravé en face du trait 100 millimètres carrés, en sorte que la surface sera 2260,4 unités,

soit $100 \times 2260{,}4 = 226040$ millimètres carrés.

Il faut prendre garde que lorsque le point E est placé dans l'intérieur de la figure, l'indication de l'instrument peut être négative, en sorte qu'il faudrait alors la retrancher du nombre constant.

Pour éviter l'inconvénient de s'assurer si la lecture doit être positive ou négative, il vaut mieux ne pas partir de zéro, et procéder de la manière suivante :

Le compteur est disposé pour marquer une quantité assez notable à l'origine, dont on fait d'abord la lecture. Supposons que celle-ci soit 235,4 par exemple.

On parcourt le contour de la figure avec le traçoir, et quand on est revenu exactement au point de départ, on fait une seconde lecture. Soit, par exemple, pour celle-ci 475,2. On ajoute à cette lecture le nombre constant 1912,6, ce qui donne 2883,4, et l'on retranche de cette somme la première lecture 235,4, ce qui donne 2453,0 unités, soit 215300 millimètres carrés. L'indication de l'instrument équivaut à une indication négative quand la seconde lecture donne un nombre inférieur à celui que donne la première.

Théorie du planimètre d'Amsler. — Nous allons voir maintenant, en formulant la théorie de l'instrument, due à M. Cuenoud, professeur à Lausanne, ce qui donnera la raison du mode d'opérer qui vient d'être indiquée. Cherchons d'abord à bien définir les principes sur lesquels repose l'instrument.

Tandis que dans le planimètre d'Oppikofer on suppose que les figures dont on cherche l'aire sont décomposées fictivement en rectangles, qu'on suppose prolongés jusqu'à une limite d'action de l'instrument répondant au sommet du cône, qui se transformaient ensuite en secteurs sous le cône, on doit, dans le planimètre d'Amsler, considérer la figure à mesurer comme décomposée en une infinité de secteurs dont les arcs coïncideraient avec le périmètre de la figure à calculer, et dont les centres se confondraient avec le pivot, limite de l'action de l'instrument. Or, il est bien évident que si une roulette tournant autour d'un axe, qui serait le rayon d'un cercle, suivait le contour de l'arc d'un secteur circulaire, sa rotation serait égale à ce contour, et, par suite, proportionnelle à la surface du secteur, elle pourrait par suite servir à la mesurer.

Tel est le principe du planimètre polaire, mais la nécessité de pouvoir suivre les contours de secteurs de rayons différents et diverses autres conditions de la pratique forcent à ne pas laisser la roulette sur le rayon, à la placer sur la barre portant le traçoir, qui est articulée avec ce rayon.

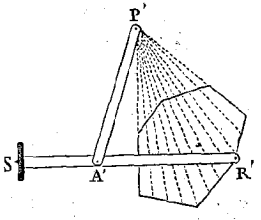


Fig. 6.

On est arrivé ainsi à la disposition représentée plus haut, et les secteurs se présentent alors à l'instrument comme le représente la figure 6, le pôle étant extérieur au polygone à mesurer. On comprend bien que l'index, en parcourant les arcs des grands secteurs, fait cheminer la roue dans un certain sens, et qu'en revenant en sens contraire les indications sont de signe contraire, que si les premières mesurent la surface des grands secteurs, les autres mesurent la surface des petits, et que le résultat marqué par l'instrument sera la mesure cherchée. On voit bien ainsi que si le pivot est situé à l'intérieur du polygone, il n'y a pas de surface d'emprunt, de petits secteurs auxiliaires.

Mais le principe de la mesure du secteur par la mesure des arcs parcourus par une roulette placée sur un rayon tournant autour du centre et se déplaçant sur la circonférence s'applique-t-il aux dispositions qu'il a fallu adopter, c'est-à-dire au placement sur le côté de la roulette montée sur une barre articulée avec le rayon pour éloigner la roulette de la figure, où elle empêcherait de voir le chemin qu'elle doit suivre, ne pourrait glisser le long d'une règle servant à suivre les contours d'un polygone, etc. Il reste à prouver qu'on a bien la mesure des surfaces avec cette disposition, en suivant les côtés d'un polygone, quelle que soit leur direction ; c'est ce que nous ferons en établissant d'abord quelques propositions.

On sait que si un cercle roule, sans glisser, sur une droite qui lui est tangente, un point quelconque de la circonférence parcourt, dans ce mouvement, un chemin égal à celui que décrit le centre.

Par suite, quand l'axe d'une roulette pouvant tourner en s'appuyant sur un plan parallèle à cet axe, se transporte parallèlement à lui-même, un point de la circonférence de la roulette parcourt un arc égal au chemin parcouru par l'axe.

Si l'axe se meut dans le sens de sa longueur, la roulette glisse sans tourner.

Enfin si le point de contact de la roulette et du plan parcourt sur celui-ci une droite quelconque CC' (*fig.* 7), la roulette glisse et tourne tout à la fois, et

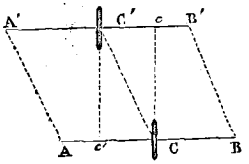


Fig. 7.

l'arc parcouru par un point quelconque de sa circonférence dépend de l'angle que fait la direction CC' avec l'axe de la roulette.

En désignant par α l'angle C'Cc, on peut décomposer le mouvement de la roulette suivant CC' en un mouvement de glissement suivant C'c et un mouvement de roulement suivant Cc ; la roulette ne tournera qu'en vertu de ce second mouvement, en sorte que le chemin Cc parcouru par un point de la circonférence est donné par l'équation :

$$Cc = CC' \cos \alpha,$$

α étant l'angle de la direction CC' avec le plan de la roulette.

Nous pouvons passer maintenant à la démonstration principale.

En réduisant à des lignes les tiges qui composent le planimètre d'Amsler, on peut le considérer comme formé de deux tiges de longueurs invariables, AC et BD, articulées en A. Le point C est fixe, l'extrémité B suit le contour de la figure à mesurer et l'extrémité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

D porte une roulette dont le plan est perpendiculaire à BD (*fig.* 8).

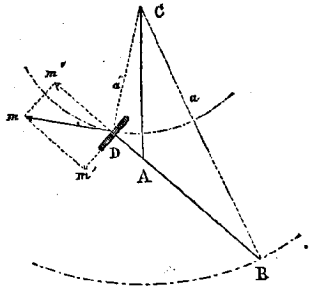


Fig. 8.

Supposons d'abord que le point B décrive un cercle de rayon a et dont le centre soit en C. Il est évident que par suite de l'invariabilité du triangle ABC, l'instrument conserve une figure constante, en sorte que le point de contact D de la roulette et du plan décrit un cercle concentrique au premier, et dont je désigne le rayon par a'.

En décomposant, comme ci-dessus, le mouvement de la roulette suivant les directions Dm' et Dm'', on aura, en désignant par e le chemin parcouru par le point D sur le cercle CD, par e' l'arc parcouru à la circonférence de la roulette, et par α l'angle mDm' :

$$e' = e \cos \alpha \qquad (1).$$

Pour déterminer l'angle α en fonction du rayon a du cercle qui parcourt le point B on remarque que le triangle CDA donne :

$$\overline{CA}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{DA}^2 - \overline{CD}^2 \times \overline{DA} \cos CDA,$$

ou, en observant que $CDA = 180° - \alpha$, car $CDm'' = mDm'$, les lignes des deux angles étant perpendiculaires les unes aux autres, et posant $CA = R$, $DA = r$, il vient :

$$R^2 = a'^2 + r^2 + 2\,a'r \cos \alpha \qquad (2).$$

Le triangle CDB donne également :

$$\overline{CB}^2 = \overline{CD}^2 + \overline{DB}^2 - 2\,\overline{CD} \times \overline{BD} \cos CDA$$

et en posant $AB = l$:

$$a^2 = a'^2 + (r + l)^2 + 2\,a'\,(r + l) \cos \alpha \qquad (3).$$

Retranchant (2) de (3), on a :

$$a^2 - R^2 = 2\,rl + l^2 + 2\,a'\,l \cos$$

d'où

$$a' \cos \alpha = \frac{a^2 - (R^2 + l^2 + 2\,rl)}{2\,l} \qquad (4).$$

Quand le point B décrit un arc de cercle dont la longueur est E, le rayon fictif CB parcourt un secteur dont la surface est :

$$\frac{1}{2}\,E \times CB, \text{ ou } \frac{1}{2}\,E\,a.$$

Dans le même temps, le point D décrit un arc semblable e, puisque la figure est invariable, lié à E par la proportion

$$\frac{e}{E} = \frac{a'}{a} \text{ d'où } e = \frac{E a'}{a},$$

et la roulette développe un chemin e' égal à $e \cos \alpha$ soit :

$$\frac{E\,a' \cos \alpha}{a}.$$

En remplaçant, dans cette expression, $a' \cos a$ par sa valeur (4), on trouve :

$$e' = \frac{E}{a} \cdot \frac{a^2 - (R^2 + l^2 + 2\,rl)}{2\,l} =$$

$$\frac{E\,a}{2\,l} - \frac{E}{2\,a\,l}\,(R^2 + l^2 + 2\,rl),$$

d'où

$$e'l = \frac{E\,a}{2} - \frac{E}{2\,a}\,(R^2 + l^2 + 2\,rl) =$$

$$\text{surf. secteur} - \frac{E}{2\,a}\,(R^2 + l^2 + 2rl).$$

Le rapport $\frac{E}{a}$ de l'arc E à son rayon a est égal à la longueur ω d'un arc semblable à E pris dans un cercle de rayon 1 ; on a donc :

$$\text{surf. secteur} = e'l + \frac{1}{2}\,\omega\,(R^2 + l^2 + 2rl) =$$

$$e'l + \frac{1}{2}\,\omega H \qquad (5)$$

en appelant H la quantité $R^2 + l^2 + 2rl$, qui est constante, dans laquelle ne figurent que des quantités invariables pour un même état de l'instrument.

Supposons maintenant que le pôle de l'instrument étant en C, on fasse parcourir au traçoir B les arcs FG, IK, LM de plusieurs secteurs ayant pour centre C (*fig.* 9), et que l'on ramène ensuite ce traçoir en un point M' situé sur le rayon extrême, à une distance CM' = CF.

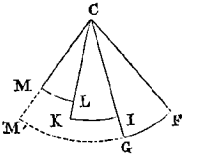


Fig. 9.

L'arc total parcouru par la roulette dans ce mouvement se compose évidemment de trois parties :

1° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir B sur les arcs FG, IK, LM.

2° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir sur les rayons GI, KL.

3° L'arc parcouru pendant le trajet du traçoir sur le rayon MM'.

Il est évident que l'arc parcouru pendant ce dernier trajet est égal et de sens contraire à celui mentionné à 2°, la roulette fait le même chemin dans deux sens différents, lorsque le traçoir se meut suivant le rayon fictif CB (*fig.* 8), en montant ou en descendant d'une même quantité, en tournant autour du point A, en produisant les mêmes figures.

En définitive, l'instrument n'indique que l'arc parcouru pendant que le traçoir suivait les arcs FG, KI, LM. Si l'on désigne par ω_1, ω_2, ω_3, les arcs de rayon = 1, et semblables à FG, IK, LM, par e'_1, e'_2, e'_3, les arcs correspondants parcourus par la roulette, par ω la somme $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$, et par e' la somme $e'_1 + e'_2 + e'_3$, on aura :

$$\text{Surf. CFG} = e'_1\,l + \frac{1}{2}\,\omega_1\,H$$

$$\text{Surf. CIK} = e'_2\,l + \frac{1}{2}\,\omega_2\,H$$

$$\text{Surf. CLM} = e'_3\,l + \frac{1}{2}\,\omega_3\,H$$

$$\text{Surf. totale} = e'\,l + \frac{1}{2}\,\omega\,H \qquad (6)$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si la somme des angles des secteurs valait 4 angles droits, l'ensemble des secteurs formerait un contour complet, une surface continue dans l'intérieur de laquelle se trouverait le point C. On aurait, dans ce cas, $\omega = 2\pi$, d'où

$$\text{Superficie totale} = e' l + \pi (R^2 + l^2 + 2rl).$$

Supposons ensuite que l'on veuille évaluer la somme des surfaces de plusieurs trapèzes circulaires FGG'F', IKK'I', etc., dont les côtés iraient aboutir en C (*fig.* 10);

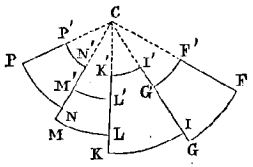


Fig. 10.

on aura à évaluer, comme précédemment, la surface CFGIK...P, puis la surface CF'G'T'K'...P', et à retrancher celle-ci de la première. Pour cela on fera partir le traçoir B du point F, et on lui fera suivre le contour FGIKL...PP'N'M'...G'F'F, en ayant soin de le ramener exactement au point de départ.

Cela fait, on aura $\omega = 0$, puisque la somme des angles parcourus par le rayon CB, dans un sens est égal à celle des angles parcourus en sens contraire, en sorte que la formule (6) donne pour ce cas :

$$\text{Surf. totale} = e' l.$$

Cas général. — Nous pouvons maintenant déduire, de ce qui précède, le moyen d'évaluer une surface plane terminée par un contour quelconque. En effet, si le pôle de l'instrument est placé hors de la figure à évaluer, en P' (*fig.* 6), on pourra considérer cette figure comme la somme d'un nombre infini de trapèzes circulaires élémentaires ayant pour sommet commun le point P', et dont le contour extérieur analogue à celui FGIK... de la figure précédente, se confond avec chaque côté du polygone successivement (comme dans le triangle de Galilée une droite ligne portant le sommet des rectangles élémentaires, limite le triangle dont l'air représente le produit cherché), en sorte qu'en désignant par e' l'arc développé par la roulette, on aura, comme ci-dessus :

$$\text{Surface} = e' l.$$

Si, au contraire, le pôle C de l'instrument est placé à l'intérieur de la figure dont on veut connaître la surface, on pourra toujours considérer la figure polygonale fermée comme la somme d'un nombre infini de secteurs circulaires, ayant pour sommet le point C et pour somme angulaire 4 droits, en sorte que l'on aura comme précédemment :

$$\text{Surface} = e' l + \pi (R^2 + l^2 + 2rl).$$

Le nombre $\pi (R^2 + l^2 + 2rl)$ est constant pour chaque état du planimètre ; c'est le nombre que l'on voit gravé à côté du trait que l'on fait affleurer au bord de la coulisse. Quant au produit $e' l$, il peut être lu immédiatement sur la roulette si l'on a soin de graver à côté de chaque trait de division de celle-ci, le produit précédent au lieu de la simple valeur de e'.

Au reste, on peut calculer le rayon de la roulette de façon qu'un tour corresponde à une surface déterminée. Par exemple, si on prend pour unité de surface le centimètre carré, et si un tour de la roulette doit correspondre à une surface d'un décimètre carré, on devra avoir, en désignant par x le rayon de la roulette :

$$100 = 2\pi x l, \text{ d'où } x = \frac{100}{2\pi l}.$$

Dans la plupart des planimètres construits par M. Amsler, le rayon x de la roulette est de 1 centimètre. La longueur l du bras qui fait faire un tour de la roulette pour une surface de 1 décimètre carré est dans ce cas :

$$l = \frac{100}{2\pi} = 159^{mm},1.$$

Le calcul du nombre constant s'effectue facilement si l'on connaît les dimensions de l'instrument. Ainsi pour celui dont il vient d'être parlé, pour $l = 15,91$ centimètres, si l'on prend $R = 15,8$ centimètres et $r = 3,33$ centimètres, on aura :

$$\pi (R^2 + l^2 + 2rl) = 1912,6.$$

Nous arrêtons ici l'extrait de l'intéressant mémoire de MM. Piccard et Cuenoud. Nous ne donnerons parmi diverses vérifications de la formule fondamentale qu'ils rapportent que la suivante qui fait bien comprendre la signification du nombre constant qui doit être ajouté dans le cas d'une rotation complète autour d'un pôle.

Lorsque la direction de la roulette passe par le pôle C, le plan de cette roulette est dirigé normalement au chemin parcouru par le point de contact D, en sorte que la roulette ne tourne pas. L'indication de l'instrument est donc nulle, et si l'on fait parcourir au point B une circonférence complète autour du pôle C, la surface de ce cercle doit être égale au nombre constant.

Or, on peut s'assurer qu'il en est réellement ainsi, puisque le triangle CDB (*fig.* 8) devient rectangle dans ce cas, ce qui donne :

$$\overline{CB}^2 = a'^2 + (DA + \overline{AB})^2 = \overline{CA}^2 + \overline{AB}^2 + 2\,DA \times AB,$$

car

$$a'^2 = \overline{CA}^2 - \overline{DA}^2, \text{ ou } \overline{CB}^2 = (R^2 + l^2 + 2rl),$$

et $\pi \overline{CB}^2$ ou surface du cercle décrit

$$= \pi (R^2 + l^2 + 2rl).$$

La théorie de l'élégant petit instrument sur lequel nous avons cru devoir attirer l'attention de nos lecteurs se trouve bien élucidée, ce nous semble, par les déductions qui précèdent, et qui, bien que fondées sur des théories élémentaires, n'en sont pas pour cela moins satisfaisantes. Il ne peut sans doute être affranchi de l'inconvénient du glissement inhérent à tous les instruments à roulettes, mais en répétant deux ou trois fois l'opération si rapide de la mesure d'une surface, en changeant la position du pôle pour faire agir la roulette dans des conditions différentes, on doit obtenir des vérifications pouvant donner confiance dans les résultats obtenus.

Nous avons dit ailleurs comment en fournissant, théoriquement, des intégrales des ordres les plus élevés, le planimètre à roulettes a pu servir de point de départ aux considérations théoriques si intéressantes de M. Stamm, sur les machines à équations (voyez *Complément*, CALCULER); plus récemment, le planimètre d'Amsler a conduit M. Deprez à construire un appareil servant à effectuer les intégrations les plus simples, se rapportant à des corps d'une section déterminée, pour obtenir les centres de gravité et les moments d'inertie, qu'il appelle intégromètre. On en trouvera la description dans les *Annales des ponts et chaussées.*

PLANIMÈTRE BEUVIÈRE. Nous terminerons par la description d'un planimètre moins intéressant que les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

précédents comme construction mécanique, mais qui donne des résultats avantageux dans la pratique.

La détermination de l'aire des surfaces étant une des opérations les plus usuelles de la géodésie, il serait naturel de penser que depuis longtemps la géodésie est en possession de procédés et d'instruments propres à abréger et à rendre précise l'exécution de cette opération.

Ce n'est pourtant que depuis le commencement du siècle, que la division et la transmission de la propriété ayant pris un essor prodigieux, et la répartition équitable de l'impôt ayant exigé la détermination de la valeur productive et de l'étendue des terres, le cadastre fut décrété et vint ajouter aux besoins courants des autres services publics et privés l'obligation de calculer, annuellement, les contenances de 5 à 6 millions de parcelles, et rendit, par suite, nécessaire le choix d'une méthode exacte et en même temps expéditive pour la détermination des surfaces.

A l'ouverture des opérations du cadastre, la méthode de la division de la figure à calculer en triangles (méthode que la géométrie élémentaire enseigne) fut généralement adoptée, parce qu'elle était le plus généralement connue; mais bientôt les longueurs qu'elle entraîne et le peu d'exactitude de ses résultats dans la pratique firent désirer et rechercher d'autres méthodes. Nous ne pouvons indiquer ici, même sommairement, toutes celles qui ont été essayées ou simplement proposées: la liste en serait trop longue; nous dirons seulement que celles qui ont pu atteindre à un certain succès d'application se rattachent aux trois types suivants:

1° Division de la figure proposée en figures plus simples, plus faciles à calculer, et même en figures d'une contenance connue et dont il suffisait de compter le nombre et de sommer les contenances partielles;

2° Transformation de cette figure en un seul triangle, et en général en une seule figure équivalente;

3° Enfin, méthode mixte ou division de la figure proposée en figures relativement plus simples et transformation de celles-ci en figures équivalentes, d'une quadrature plus facile et plus commode.

C'est dans ces trois directions que tous les essais furent tentés, et bientôt les procédés simples, qui n'exigeaient que l'emploi de la règle, du compas et de l'échelle, eurent reçu de grandes améliorations; mais bientôt aussi on reconnut que ces améliorations étaient fort limitées dans la voie que l'on suivait, et on resta convaincu que le seul moyen d'obtenir une solution complète était de la demander à la mécanique, dont les résultats sont seuls susceptibles d'une perfection rigoureuse et toujours comparable.

Plusieurs instruments furent donc successivement proposés et employés pour le calcul de la surface des plans; mais avant le planimètre de MM. Opikoffer et Ernst, c'est-à-dire avant 1834, aucun n'avait résolu le problème dans son entier; tous n'étaient destinés en effet, comme le *comparateur*, le *transparent*, le *compteur*, la *fausse équerre* de M. Gelinski, etc., etc., par exemple, qu'à faciliter l'exécution d'une partie de l'opération totale, et ne pouvaient ainsi fournir une solution complète de la difficulté.

Le planimètre Opikoffer et Ernst est donc le premier succès obtenu dans la voie reconnue la meilleure, et on peut dire aussi qu'il forme très-probablement la solution la plus savante et la plus ingénieuse que l'on pourra jamais rencontrer. Malheureusement cette solution n'est ni la plus simple ni la plus pratique, et si l'on consulte les faits, on sera forcé de reconnaître qu'il n'a pu encore entièrement résoudre pratiquement le problème du calcul des plans.

Son usage, à une époque où les travaux du cadastre étaient en pleine activité, ne s'est point en effet généralisé, comme cela aurait eu lieu s'il eût répondu à toutes les exigences; peu, très-peu de géomètres l'adoptèrent, bien que l'administration du cadastre en eût recommandé l'emploi par une circulaire spéciale, et, dans le petit nombre de ceux qui en firent l'essai, peu eurent à se louer de ses résultats; bref, l'instrument fut délaissé par ceux-là mêmes qui en avaient le plus grand besoin.

On a spécialement reproché à ce planimètre:

1° D'être d'un prix fort élevé, et que les soins qu'exige sa construction ne permettront pas de réduire beaucoup.

2° D'être très-sujet à dérangement, à erreur même, parce que la forme lenticulaire qu'il faudrait donner à la molette du compteur l'expose à une prompte usure; parce que, ne devant toucher le cône que par un point, cette molette peut souvent *glisser* et donner des indications fausses, surtout lorsqu'on lui fait tenir, sur la surface du cône, un chemin oblique à la génératrice et à la section droite de contact.

3° On lui reproche de plus d'être d'une manœuvre gênante, à cause de sa grande étendue.

4° D'exiger trop d'attention, trop d'adresse et un certain savoir de la part de celui qui l'emploie.

5° De ne pas convenir au calcul des petites parcelles (de celles au-dessous de 50 ares et exprimées à l'échelle de 1 à 2,000 par exemple) parce qu'il exige un temps trop long pour *son placement et sa mise en train;* parce que le pointé devient plus difficile par le plus grand nombre des changements complets de direction qu'il faut relativement imprimer au style, etc.

On comprendra facilement, en réfléchissant à la valeur pratique de ces objections, pourquoi l'instrument dont il s'agit ne s'est pas davantage répandu. Quoi qu'il en soit, au reste, le fait du peu de suffrages que l'instrument avait pu conserver parmi les praticiens était un motif suffisant pour exciter à de nouvelles recherches; nous allons faire connaître, dit M. Beuvière, les résultats les plus saillants qu'elles aient produits.

Au commencement de 1844 nous fûmes chargés de diriger l'exécution des travaux d'art du cadastre d'un des départements de la Bretagne, et nous nous trouvâmes ainsi en présence des difficultés inhérentes à l'emploi des procédés connus alors pour le calcul des plans; la question prenait donc pour nous un intérêt nouveau et des plus directs, et nous voulûmes joindre nos efforts à ceux qui avaient été tentés pour sa solution; nous nous mîmes à l'œuvre et nous rencontrâmes bientôt l'idée d'un nouveau planimètre que nous fîmes immédiatement construire, et qui nous a valu des suffrages plus flatteurs que nous ne pouvions espérer.

Cet instrument, que nous avons nommé *planimètre-sommateur* (fig. 11), a pour principe:

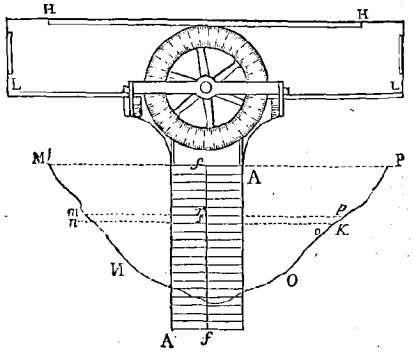


Fig. 11.

1° La *subdivision* de la figure à calculer, en bandes ou zones, de largeur constante et la même pour cha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cune d'elles ; 2° la *transformation* de chacune de ces zones, qui affectent généralement la forme de trapèzes mixtilignes, en un *rectangle équivalent* de même largeur que la bande qu'il remplace ; 3° enfin, le *relèvement*, et la *sommation*, ou *totalisation* des longueurs des rectangles, substitués aux bandes qui composent la figure.

La *division* en zones d'égale largeur est fictivement effectuée par un système de parallèles gravées sur une échelle en cristal A, posée à plat sur la figure à calculer, et se mouvant parallèlement à elle-même.

La *transformation* de chaque zone en un rectangle équivalent est faite à *vue et au jugé*, au moyen de la *ligne de foi* J'K', que l'on amène *en compensation* sur la partie de périmètre comprise dans la bande que l'on veut transformer ; c'est-à-dire, que l'on place cette ligne formée par le côté de l'échelle en cristal, de manière à rendre équivalentes à la vue les deux petites figures, généralement triangulaires et mixtilignes, analogues à celle $\alpha\beta\gamma$, $\gamma\delta\varepsilon$ et $\alpha'\beta'\gamma'$, $\gamma'\delta'\varepsilon'$ de la bande n° III de la figure 12.

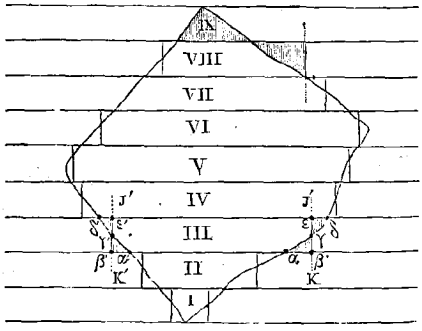


Fig. 12.

Le *relèvement* et la *sommation* des longueurs des rectangles ainsi substitués se font au moyen d'une roue graduée, qui développe en roulant sur une règle mobile en travers II, qui lui reste tangente et s'appuie sur elle à volonté, un chemin précisément égal au déplacement de la ligne de foi J'K', sur la figure à calculer, et égal, par exemple, à toute la longueur de la bande que l'on veut relever.

Voici maintenant la série d'opérations que comporte généralement la manœuvre de l'instrument, pour la quadrature d'une figure quelconque.

On étend avec soin la feuille de plan, qui renferme la figure à calculer, sur une *table bien plane;* l'instrument, posé et au besoin calé sur une feuille, y est suffisamment fixé par son propre poids.

On le dispose, par rapport à la figure, de manière que la première et la dernière bande (I et IX) soient en général des triangles mixtilignes, ce qui arrive presque toujours, lorsque la ligne de foi J'K' de l'échelle A est à peu près posée en diagonale ; on met alors le comptoir *au point*, en faisant coïncider les traits marqués zéro de la roue et du vernier ; on amène la ligne de foi J'K' de l'échelle *a*, *en compensation* à l'extrémité droite de la bande n° I ; on laisse retomber et agir par pression la règle HH, poussée par un ressort sur la périphérie de la roue ; on imprime, par la poignée *n*, un mouvement de transport, le long du rebord LL du plateau à la chappe de la roue, et par suite au compteur, jusqu'à ce que la ligne J'K' soit arrivée *en compensation* à l'extrémité gauche de la même bande n° I ; cette bande est alors relevée, c'est-à-dire que sa longueur est inscrite sur la roue. Pour relever celles qui suivent, on renverse la règle tangente HH, pour soustraire la roue à son action ; on amène J'K' de l'échelle *en compensation* à l'extrémité droite de la bande n° II ; on laisse agir de nouveau la règle, sur la roue HH, tant que J'K' n'est pas arrivée, *en compensation*, à l'autre extrémité de la même bande ; lorsqu'elle y est arrivée, la longueur de cette bande est aussi *relevée*, et évidemment *ajoutée*, *sommée*, *totalisée* avec celle de la première. On continue cette manœuvre jusques et y compris la dernière ou IX^e^ bande ; les longueurs de toutes les zones, qui composent la figure, sont alors relevées et *cumulées* sur la roue du compteur.

Pour connaître la surface qui correspond à cette somme, il suffit de lire, sur la graduation de la roue, le nombre de divisions dont elle a tourné, et si, comme dans le planimètre ci-contre, la roue a 0^m^,500 de circonférence, et que l'écartement des deux parallèles consécutives de l'échelle *a* soit 0^m^,005, le nombre lu exprimera la valeur de la surface en petits carrés d'un demi-millimètre de côté chacun.

Si la figure était assez grande, pour que la roue du compteur ait dû faire plusieurs tours, on en compterait le nombre de la manière suivante : on prendrait *d'abord note* de la valeur de la fraction de tour, dont la roue aurait, en général, dépassé l'index du vernier, puis on ramènerait, par un *mouvement rétrograde de la roue*, sa division marquée zéro, en coïncidence avec celle analogue du vernier, c'est-à-dire avec l'index. La fraction de tour se trouverait ainsi supprimée, et on n'aurait plus à chercher qu'un nombre entier de tours qui serait donné par la position relative qu'aurait prise sur une petite échelle, placée le long de l'axe de la roue, la bague qui termine le ressort à boudin, et qui étant maintenue, par la traction de ce ressort dans les *creux* d'un filet de vis, pratiqué sur cet axe, est visiblement entraînée sur sa longueur *d'un pas*, ou d'une spire à chaque tour.

Chaque tour complet doit être compté pour 10,000 petits carrés de demi-millimètre de côté, c'est-à-dire pour $\frac{10{,}000}{4} = 2{,}500$ millimètres carrés.

C'est d'après cette méthode, et avec un planimètre de ce genre, que M. *Morin*, en répétant dix fois la quadrature d'un cercle de 0^m^,100 de diamètre, a obtenu une moyenne, ne différant que de un 1180^me^ de la surface réelle, et *sans qu'aucune des épreuves partielles ait différé de plus de un* 307^me^ (Rapport à l'Académie des sciences, séance du 16 mars 1846).

Le même instrument appliqué dans des circonstances *entièrement pratiques* à la quadrature de 25 à 30,000 hectares, distribués en 60 à 65,000 parcelles, a constamment soutenu les *comparaisons* à un 600^me^ près, ce que n'a pu faire jusqu'ici aucune des méthodes et instruments connus. En effet, l'emploi du compas et de l'équerre n'a pu toujours atteindre, en pratique courante, la limite d'exactitude réglementaire de un 300^me^ ; quant au planimètre de MM. *Opikoffer* et *Ernst*, même muni de son cône en bois dépoli, il n'a pu dépasser le chiffre de un 400^me^, dans les expériences auxquelles M. A. *Morin* l'a soumis ; et il est descendu, deux fois sur trois, jusqu'au-dessous de un 228^me^.

PLAN INCLINÉ. Le plan incliné est une des trois machines simples qui, comme nous l'avons dit dans l'introduction, constituent les éléments primitifs de tout organe mécanique. Ainsi que nous l'avons vu, tout dernier élément de machine est du genre levier, du genre tour ou du genre plan, et l'analyse des conditions mécaniques de ces systèmes trouve à s'appliquer par suite à chaque instant. Leur étude doit, par conséquent, faire le point de départ de toute étude des machines.

Ces considérations font bien comprendre toute l'importance du système plan, appelé plan incliné, quand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on, étudie les machines simples, parce que l'on considère le plus souvent le plan fixe supportant des corps pesants et inclinés à l'horizon.

Nous allons passer en revue quelques-uns de ses emplois les plus importants, en y introduisant la considération du frottement, de la résistance passive qui accompagne tout mouvement, car c'est cette considération qui limite surtout l'emploi de cette machine simple.

Le travail du frottement sur un plan est égal à la pression déterminée par la résultante normale au plan de toutes les puissances, multipliée par le coefficient de frottement pour les surfaces en contact, et enfin par le chemin parcouru. On voit que l'on n'a plus ici les avantages de diminution de chemin parcouru du système tour. Ainsi f étant le coefficient du frottement pour les surfaces en contact, P la résultante des composantes normales au plan, l le chemin parcouru par le corps qui presse sur le plan ou par le plan, le corps étant immobile, l'expression du travail consommé par le frottement sur fPl.

On comprendra facilement d'après cela, tout l'avantage de remplacer toutes les fois qu'on le pourra, les guides plans entourant la pièce à conduire par des galets des petites roues supportés par des tourillons fixés, soit à la pièce mobile, soit au plan. En négligeant le frottement de roulement à la surface du galet, dont la valeur n'est pas comparable à celle du frottement de glissement, pour une longueur l parcouru sur le corps, la surface du galet, de rayon R, parcourt une longueur $l = R\omega$ et le tourillon $r\omega$, r étant son rayon; le travail du frottement sur le tourillon sera (voir tous les traités de mécanique appliquée) $\frac{Prlf}{R\sqrt{1+f^2}}$, c'est-à-dire sensiblement $\frac{r}{R} P l f$, f étant une fraction assez petite et par suite $\sqrt{1+f^2}$, étant très voisin de l'unité. Le travail du frottement sur le plan étant fPl, on voit qu'il sera réduit dans le rapport de r à R, quand on emploiera des galets, rapport qui pourra être souvent très grand.

Ce n'est que lorsque l'effort est considérable et que r ne peut plus être très petit, que l'avantage des galets diminue, surtout s'ils doivent servir entre des surfaces assez dures pour altérer leur surface; bientôt il se forme des parties plates sur lesquelles se produit un frottement de glissement, car alors le galet ne tourne plus.

Récepteurs. La disposition de corps de pompe et de piston glissant qui est adoptée pour la machine à vapeur, la machine à colonne d'eau, et qui se rapporte au système plan, offre bien l'inconvénient de faire naître des frottements assez considérables entre le corps de pompe et la garniture du piston, mais cet inconvénient est compensé amplement par la facilité d'obtenir des garnitures excellentes qui empêchent le passage de la vapeur d'un côté à l'autre du piston. C'est ce qui n'a jamais pu être obtenu d'une manière tout à fait satisfaisante pour les palettes à mouvement circulaire qui remplacent le piston dans la plupart des machines rotatives qui ont été essayées. Nous avons dit à MACHINE A VAPEUR, combien était chimérique l'espérance d'obtenir des avantages importants de l'invention de semblables machines, au point de vue de la transmission du travail mécanique produit par la détente de la vapeur, mais c'est la difficulté d'obtenir des garnitures convenables, dont nous venons de parler, qui a surtout empêché les inventeurs d'obtenir des résultats comparables à ceux des plus mauvaises machines à pistons.

Organes de transformation de mouvement. Le plan incliné, servant à tranformer le mouvement sous forme de coins, de rainures rectilignes, est essentiellement défectueux, non-seulement à cause du frottement considérable qui a lieu au contact des deux pièces, mais encore parce que le mouvement rectiligne ne pouvant avoir toujours lieu dans le même sens, étant nécessairement alternatif, il ne peut reprendre d'un sens dans le sens opposé sans choc brusque, et par suite sans destruction considérable de forces vives; ce système est donc essentiellement défectueux.

Ce second inconvénient n'existe pas pour les excentriques, les rainures convenablement tracées, et ces organes n'ont d'autre défaut que de consommer un travail assez considérable par le frottement. Nous avons vu à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE combien d'ailleurs étaient précieux ces organes avec lesquels on peut faire varier à volonté, par un tracé convenable, les vitesses et réaliser la construction de machines opératrices qui, dans nombre de cas, opèrent tout à fait comme le ferait la main d'un habile ouvrier.

Un plan enroulé autour d'un noyau, autrement dit une vis, constitue une organe de transformation de mouvement dans lequel le frottement est considérable, ce qui est un défaut en tant qu'organe de transformation de mouvement, mais au contraire une qualité pour constituer un organe d'assemblage qui tire surtout sa valeur de la résistance du frottement qui croît rapidement avec la pression.

Nous avons donné dans notre *Traité de Cinématique* la valeur de la partie de l'effort, qui agit sur la tête de la vis, qui est employée à vaincre le frottement. Elle croît rapidement avec l'inclinaison, mais d'un autre côté le rapport du travail utile au travail du frottement augmente aussi avec cette inclinaison. Ce n'est donc pas la moindre inclinaison qui est la plus avantageuse dans tous les cas. Ainsi pour les pressoirs à vis on fait $\tan\alpha$ égale à $1/12^e$, α étant l'angle d'inclinaison.

On trouve avantage à augmenter l'inclinaison, et comme alors les filets sont trop espacés, à les multiplier, dans le cas des découpoirs, balanciers, etc.

Au-dessous d'une limite d'inclinaison du filet qui dépend du coefficient de frottement, la vis non-seulement ne sortira pas de son écrou par la pesanteur seule, mais encore exigera un effort croissant avec la pression. Ce cas est précisément celui des boulons d'assemblage qui doivent maintenir réunis, comprimés, certains corps, après que la puissance a exercé son action sur la vis ou l'écrou, et dont les parties filetées sont formées de filets très inclinés sur l'axe.

Opérateurs. Pour les presses à coin, à excentrique, le frottement qui s'évalue comme dans les cas simples de l'emploi du plan incliné, permet de démontrer facilement que ces machines sont défectueuses lorsqu'il s'agit de développer des efforts extrêmement considérables; aussi dans ce cas sont-ils presque toujours remplacés par la presse hydraulique.

Nous dirons un mot du tranchant des outils, qui forme véritable coin destiné à pénétrer dans les pores de la matière à travailler. L'acuité de ce coin varie évidemment avec la nature du corps à travailler et avec la manière d'employer l'outil. Ainsi pour travailler le bois, un ciseau qui doit être poussé à la main sera affûté sous un angle très aigu, et les deux plans d'affût seront très allongés; une hache, au contraire, qui doit être lancée avec force sera affûtée en *fermoir*, c'est-à-dire que l'outil assez épais sera terminé par deux plans courts se coupant sous un angle peu ouvert. Cette condition est nécessaire pour que le tranchant résiste au choc.

La quantité de travail absorbée par les frottements, relativement à celle qui est utilisée, augmente beaucoup à mesure que l'angle du coin devient plus aigu (la pression sur les faces étant à la puissance, dans le rapport de la largeur de la tête du coin à la longueur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des faces). On la diminue en faisant diminuer le coefficient du frottement, c'est-à-dire en donnant un grand poli aux outils, et en frottant les tranchants avec des substances grasses, du suif, comme on le voit faire fréquemment à l'ouvrier menuisier par exemple.

PLANS INCLINÉS, *pour chemins de fer et canaux.* Le plan incliné, qui se trouve défini suffisamment par son nom même, est un des plus employés parmi les appareils qu'en mécanique l'on désigne sous le nom de machines simples. Nous le voyons mettre en usage tous les jours pour faire monter ou descendre les fardeaux les plus lourds, les matériaux employés aux constructions. Mais c'est aux chemins de fer et aux canaux qu'on en a fait les plus importantes applications.

Sur un nombre considérable de chemins de fer, en effet, soit en Europe, soit en Amérique, les plans inclinés ont été employés pour franchir à peu de frais des pentes considérables. Leur emploi permet, comme il est facile de le concevoir, de se dispenser des travaux les plus coûteux, tels que les viaducs, les tranchées profondes et les tunnels qui, pour une proportion presque insignifiante de la longueur totale d'un chemin, absorbent une partie notable de la dépense générale. C'est donc surtout dans les contrées où la population peu nombreuse occupe cependant une grande étendue de territoire que l'emploi des plans inclinés a dû trouver ses plus fréquentes applications, et c'est en effet dans les États Unis d'Amérique qu'on en voit les plus fréquents exemples.

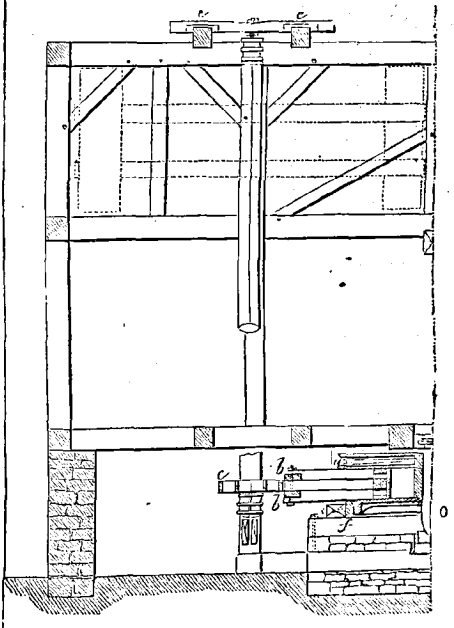
Dans la plupart des cas, la remorque des trains qui se présentent pour franchir un plan incliné se fait au moyen d'une machine à vapeur établie au sommet du plan, et qui, par une transmission de mouvement, fait marcher un tambour horizontal ou vertical autour duquel s'enroule une corde à laquelle est attaché le train montant. Lorsqu'un train doit descendre, au lieu de monter, on l'attache à la corde de la même manière; mais comme le poids du train aurait pour effet d'accélérer le mouvement d'une manière dangereuse, on le modère au moyen d'un frein qui agit sur le tambour, et souvent, pour plus de précaution, on fait agir aussi les freins dont sont munis quelques-uns des wagons.

Dans les chemins de fer à deux voies on emploie souvent deux tambours, et l'on dispose les cordons autour de ces tambours, de telle sorte que l'une monte lorsque l'autre descend; on combine aussi, autant que possible, le mouvement ascensionnel d'un train avec la descente d'un autre, ce qui rend la descente plus facile. Dans quelques plans inclinés, et notamment au grand plan du chemin de fer de Liverpool à Manchester, on n'a qu'une seule corde sans fin s'enroulant autour des deux tambours.

Lorsque l'inclinaison d'un plan incliné n'est pas assez forte pour que les wagons descendent par leur propre poids, on dispose, au bas du plan incliné, une poulie de renvoi autour de laquelle passe une lourde corde dont une extrémité s'attache à l'avant du convoi descendant, et l'autre à l'arrière du convoi montant; de cette manière, lorsque le convoi montant commence à se mouvoir, il entraîne aussi le convoi descendant.

La limite jusqu'à laquelle les trains peuvent être remorqués sur une rampe par une locomotive, dépend non-seulement de la roideur de cette rampe, mais aussi de sa longueur. Ainsi lorsqu'une rampe n'a qu'une étendue peu considérable, des expériences récentes ont montré qu'on peut la porter jusqu'à 20 et même 25 millimètres par mètre sans avoir recours à des machines fixes pour remorquer les trains. Mais il est bien entendu qu'alors la vitesse est nécessairement très modérée. On en voit un exemple sur le chemin de fer de Birmingham à Glocester; les trains sont remorqués par une locomotive sur une rampe de 27 millimètres, et de 4 kilomètres d'étendue environ, avec une vitesse de 20 à 25 kilomètres à l'heure. Comme on peut toujours se maintenir au-dessous de ces limites, l'emploi des locomotives à six roues couplées pour la traction sur les fortes rampes est toujours plus économique que celui des machines fixes, d'autant plus que dans ce dernier cas on est tenu, par suite de la nécessité d'obtenir les alignements droits nécessaires au jeu des câbles, à des dépenses de terrassements beaucoup plus considérables que dans le premier cas, où la faible vitesse des convois et l'absence de câbles permet, en général, de réduire de beaucoup l'inclinaison de la rampe en contournant les inégalités du sol. D'après l'état actuel de la locomotion, le service des fortes rampes par des locomotives présente (économie sur les travaux d'art comprises) une économie de 25 p. 100 au moins sur le remorquage, au moyen de plans inclinés desservis par des machines fixes. Aussi les ingénieurs allemands qui construisent en ce moment un grand nombre de chemins à fortes pentes (15 à 20 millimètres par mètre) ont-ils donné exclusivement la préférence aux locomotives, pour tous les chemins actuellement en construction ou en projet.

Cependant, dans quelques localités, lorsque le transport ne s'effectue que dans un sens, en descendant, et qu'on rencontre des pentes de beaucoup supérieures à 1/30e, il convient d'employer des plans inclinés automoteurs tout à fait analogues à ceux usités dans les mines. Comme exemple de ce cas, nous citerons les dispositions ingénieuses au moyen desquelles on fait monter ou descendre les trains sur le chemin de fer de Pottsville à Sunbury (État de Pensylvanie).



2028.

Ce chemin est destiné spécialement au transport des charbons dont le mouvement a lieu de la montagne appelée Broad Mountain, vers le Schuylkill. Les plans inclinés y sont au nombre de six. Les quatre premiers vont en descendant la montagne au Schuylkill, et,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par conséquent, la plus grande difficulté consiste à régler et à modifier la vitesse des trains chargés de charbon, qui descendent ces plans, dont l'inclinaison est considérable (elle varie de 1/8 à 1/4). Chacun d'eux est muni d'une chaîne sans fin s'enroulant sur la gorge de deux roues placées l'une en haut et l'autre en bas du plan. Chacune des deux roues est formée de deux plateaux en fonte reliés par des boulons et séparés par une couronne en bois de chêne. Elles sont placées l'une et l'autre dans une cavité en maçonnerie recouverte d'un plancher, sur lequel passe le chemin de fer. L'arbre o, de la roue a (fig. 2028), placée en haut du plan, porte, vers son extrémité inférieure, une autre roue en fonte f, contre le rebord de laquelle vient frotter un frein en bois. Ce frein est manœuvré par un homme placé en haut du plan, au moyen d'un levier fixé à l'extrémité supérieure de l'axe qui porte la roue du frein. L'action de ce frein suffit pour régulariser le mouvement des wagons sur les deux plans qui sont le moins inclinés; pour les deux autres on a dû, en outre du frein, établir un régulateur à éventail. Entre la roue a, dont la gorge porte la chaîne, et celle f contre laquelle vient frotter le frein, on a établi une grande roue dentée en fonte bb, qui engrène avec deux roues plus petites cc, fixées chacune à un arbre vertical d'une longueur assez considérable et portant à son sommet deux éventails superposés ee. L'action de ces éventails régularise presque instantanément le mouvement des wagons qui arrivent au bas du plan avec une vitesse presque nulle; on fait descendre ainsi quatre wagons à la fois.

Les objets à remonter sont ordinairement remorqués, soit par le poids des wagons qui descendent le plan, soit au moyen de wagons chargés de pierres que l'on remonte à leur tour lorsque les trains de charbon descendent.

Pour les plans inclinés que le charbon doit remonter on a eu recours au moyen suivant :

Un réservoir a été établi au sommet de chacun d'eux, et l'on remplit ces réservoirs avec l'eau de deux sources que l'on a détournées à cet effet. Cette eau sert à remplir des caisses en tôle contenant 4 mètres cubes environ, et portées sur des trains suspendus. On attache à la chaîne sans fin un certain nombre de ces caisses, d'une part et de l'autre, les wagons de charbon que l'on veut remonter; lorsque les caisses sont arrivées au bas du plan, on les vide et on les remonte à leur tour.

L'un des deux plans que le charbon est obligé de remonter présente un profil courbe; cette forme a été adoptée pour éviter des travaux d'excavation très considérables dans le rocher. Il est muni à son sommet d'une machine à vapeur à haute pression de la force de 90 chevaux. La remorque des wagons se fait au moyen d'une corde qui s'enroule autour d'un tambour horizontal mis en mouvement par la machine à vapeur; on régularise le mouvement du tambour au moyen d'un frein que l'on fait agir avec un treuil. L'inclinaison moyenne du plan est de 1/5e environ.

Sur certains canaux des Etats-Unis on a aussi employé les plans inclinés au lieu d'écluses pour raccorder entre eux les biefs successifs lorsque la différence de niveau à racheter est considérable. C'est ce qui a eu lieu sur le canal Morris, qui met en communication la Delaware avec l'Hudson, un peu au-dessous de New-York. Ce canal offre une pente et une contre-pente totale de 510 mètres, dont 440 mètres sont rachetés par vingt-trois plans inclinés, et le reste par des écluses. L'inclinaison de ces plans inclinés varie de 1/10e à 1/12e.

Les bateaux arrivés au pied ou au sommet de chaque plan sont hissés et amarrés sur des chars qui servent à opérer la descente ou la remonte des bateaux. Voici le mécanisme le plus remarquable employé sur ces plans inclinés : chaque plan présente deux voies de fer dont chacune est précédée immédiatement d'un sas en bois contenant, l'un le bateau qui monte, l'autre le bateau qui descend. Néanmoins il n'est pas indispensable que la descente d'un bateau soit combinée avec l'ascension d'un autre; dans le cas où il n'y en a qu'un seul à faire monter ou descendre, les deux chars sont toujours mis en mouvement, afin qu'il y en ait toujours un en haut et l'autre en bas du plan.

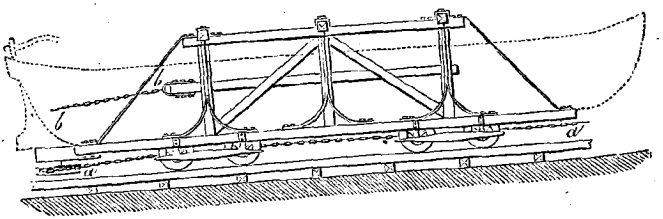
Une roue à augets placée latéralement à l'un des sas fait mouvoir, par un système d'engrenages, une roue à gorge, en fonte, dont l'axe vertical se trouve sous la cloison qui sépare les deux sas. Une forte chaîne en fer fixée par les deux extrémités à une poutre horizontale qui traverse la charpente des deux sas, s'enroule d'une part autour de la roue en fonte dont nous venons de parler, et de l'autre autour de deux petites roues également en fonte placées à l'arrière des chars qui portent les bateaux, de sorte que si le char situé dans l'un des sas descend, la chaîne qui s'allonge de son côté pour se prêter au mouvement diminue d'autant de l'autre côté et fait monter le char qui arrive au sas voisin.

Afin de pousser dans l'eau le char descendant lorsqu'il est arrivé au bas du plan incliné, et pour lui faire parcourir la longueur du sas lui-même, on a fixé au bas du plan incliné et dans l'eau une poulie autour de laquelle vient s'enrouler une seconde chaîne fixée par chacune de ses extrémités à une traverse placée au-dessus du train du char. On voit alors que lorsque le char ascendant est tiré par la chaîne principale, l'autre chaîne tire également le char descendant, et le fait en premier lieu sortir du sas, puis, lorsqu'il est arrivé au bas du plan, elle le fait entrer dans l'eau.

La chaîne principale et la chaîne accessoire sont soutenues sur le plan incliné par deux séries de poulies. La fig. 2029 donne l'élévation d'un bateau placé sur le char; aa et bb sont les deux chaînes.

La manœuvre des portes du sas se fait d'une manière très ingénieuse et dure à peine une minute. Le temps nécessaire pour la remonte d'un char portant un bateau de charbon est de onze à douze minutes, sur le plus long des plans inclinés qui a 30 mètres de hauteur et 335 mètres de longueur horizontale. Il faut, en outre, trois minutes pour lancer le bateau dans le bief supérieur; c'est donc en tout un quart d'heure pour le passage d'un bief dans l'autre.

Lorsque le bateau que l'on veut remonter est arrivé



2029.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au bas du plan incliné, on le conduit sur le char qui se trouve couvert d'eau, mais dont l'emplacement se reconnaît par les montants verticaux qui le surmontent de chaque côté. On fixe le bateau sur le char au moyen d'une corde que l'on amarre au bordage du bateau, d'un côté, et que l'on fixe de l'autre à l'un des deux montants du milieu du char; lorsque celui-ci est un peu soulevé, le poids du bateau le rend immobile sur le char; chaque bateau porte de 25 à 30 tonnes de charbon, c'est beaucoup moins que la charge des bateaux sur la plupart des canaux; mais sur le canal Morris, on était limité par la force motrice dont on pouvait disposer pour faire monter aux bateaux les plans inclinés. On avait à craindre en outre que les flancs de ces bateaux ne fussent pas en état de supporter une plus lourde charge, lorsque celle-ci ne se trouve plus contre-balancée par la pression de l'eau. Mais sur des lignes de navigation où le mouvement n'est pas très actif et où d'ailleurs la nature des objets que l'on transporte permet de diviser les chargements, l'emploi des plans inclinés est avantageux, surtout lorsque les différences de niveau à franchir sont considérables.

E. CHEVALIER.

PLANCHE. Voyez SCIERIE.

PLANCHETTE. Voyez LEVÉ DES PLANS.

PLANE. Sorte de couteau à deux manches très employé par les tonneliers, les charrons, etc. Voyez MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, fig. 1731.

PLAQUÉ. Voyez ORFÉVRERIE.

PLATINE (*angl.* et *all.* platin). D'après un travail plein d'intérêt récemment publié en Allemagne, il paraît que le platine était connu des Romains, qui étaient parvenus à le travailler, et qu'au moyen-âge il était également employé par quelques alchimistes; mais ce n'est que vers le milieu du siècle dernier qu'on commença à l'importer d'Amérique en Europe en quantité assez considérable, et c'est Tugot et Daumy, ou, d'après d'autres personnes, Jeannety, orfèvres, qui le travaillèrent les premiers en grand; quelques années plus tard, Wollaston découvrit le procédé qui est actuellement usité, à peu de différence près, pour le traitement des minerais de platine.

Le platine forgé est d'un blanc un peu gris; il prend un grand éclat par le poli; il n'a ni saveur ni odeur. Il est très malléable et très ductile; il a presque la même ténacité que le fer; parfaitement pur, il est plus mou que l'argent, mais une très faible proportion d'iridium lui donne beaucoup de dureté et d'élasticité. C'est le moins dilatable de tous les métaux. De 0° à 100° sa dilatation linéaire est de 1/1167; sa densité est de 21,50. On ne peut le fondre qu'au chalumeau à gaz hydrogène et oxygène; il se ramollit à la chaleur blanche, et peut alors être forgé et se souder sur lui-même comme le fer. En calcinant du chlorure ou un autre sel de platine, on l'obtient sous la forme d'une masse spongieuse, mate, d'un gris cendré sans éclat, connue sous le nom d'*éponge de platine*. En faisant bouillir du perchlorure de platine avec un excès de potasse ou de carbonate de soude, et versant peu à peu de l'alcool dans la liqueur chaude, on en précipite le platine, très divisé, à l'état métallique, sous la forme d'une poudre noire qui porte le nom de *noir de platine;* sous cet état, le platine condense dans ses pores une proportion considérable de gaz, et, par exemple, détermine l'inflammation de l'alcool absolu et la transformation, au contact de l'air, de l'alcool étendu en acide acétique.

Le platine n'est attaqué ni par les hydracides, ni par les oxacides, lorsqu'il est pur; mais il se dissout dans l'acide nitrique, lorsqu'il est allié à un excès d'argent; il se dissout aisément dans l'eau régale. Les alcalis caustiques, le nitre et le bi-sulfate de potasse, l'attaquent par voie sèche. Les persulfures alcalins, le phosphore et l'arsenic, l'attaquent facilement à l'aide de la chaleur; le chlore l'attaque aussi, mais plus difficilement. Il est susceptible de s'allier avec presque tous les métaux.

Oxydes.

Les oxydes de platine sont complétement réduits par la chaleur rouge. On en connaît deux.

Le *protoxyde* n'est connu qu'à l'état d'hydrate d'un brun-noir, très peu stable, que l'on obtient en précipitant à froid le protochlorure par un excès de potasse caustique. Anhydre il renfermerait :

Platine.	0,925	PtO.
Oxygène.	0,075	

Le peroxyde s'obtient à l'état d'hydrate d'un jaune ocreux, absolument semblable à l'hydrate de peroxyde de fer, en précipitant le perchlorure, ou mieux le sulfate de peroxyde, par un excès de potasse caustique. En le chauffant avec précaution, il se déshydrate et devient noir; il se compose de :

Platine.	0,86	PtO^2.
Oxygène.	0,14	

Sels de platine.

Les sels de protoxyde sont d'un vert olive ou d'un brun noirâtre, très peu stables. Les sels de peroxyde sont jaunes ou bruns et fortement colorés. Ils sont complétement réduits par la chaleur blanche; le sulfate de fer ne les précipite pas; l'hydrogène sulfuré les précipite en brun foncé; ils ont une grande tendance à former des sels doubles. Le peroxyde se combine avec les alcalis pour former des platinates insolubles dans l'eau, mais solubles dans les acides.

Le *protochlorure de platine* est vert-olive, peu stable, insoluble dans l'eau, et composé de :

Platine.	0,736	$PtCl^2$.
Chlore	0,264	

On l'obtient en chauffant le deuto-chlorure à la température du plomb fondant, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de chlore, et lavant à l'eau froide pour enlever le reste du deuto-chlorure.

Le *perchlorure de platine* est d'un rouge-brun lorsqu'il est concentré, et jaune-orange en dissolution étendue; il est soluble dans l'eau et l'alcool. On l'obtient en dissolvant le platine dans l'eau régale, évaporant à siccité avec précaution et reprenant par l'eau. Il renferme :

Platine.	0,5785	$PtCl^3$.
Chlore.	0,4215	

Le perchlorure de platine a beaucoup de tendance à se combiner avec les chlorures alcalins pour former des chlorures doubles.

Le chlorure double de platine et de potassium est d'un très beau jaune orangé, peu soluble dans l'eau, où il devient tout à fait insoluble lorsqu'on y ajoute un léger excès de chlorure de potassium, ou de l'alcool en certaine quantité. Le sel correspondant de soude est très soluble, dans les mêmes circonstances. Le sel double ammoniacal se comporte comme celui donné par la potasse; on utilise les propriétés de ces composés pour séparer, dans les analyses, la potasse de la soude, pour doser l'ammoniaque et le platine, et dans le traitement en grand du platine.

Lorsqu'on traite le protochlorure de platine par l'ammoniaque, il se précipite un composé vert cristallisé, qui est un chlorure anhydre d'un radical qui joue le rôle d'un corps simple, et se compose de 1 équivalent de platine et 1/2 équivalent d'ammoniaque $Az\,H^3\,Pt$; lorsqu'on fait bouillir longtemps ce sel avec de l'ammoniaque, il s'y dissout, et la liqueur donne des cristaux jaunes, qui sont un chlorure hydraté d'un nouveau corps analogue au premier, et dont la composition est représentée par la formule $Az^2\,H^6\,Pt$; ces composés remarquables donnent une série de sels, étudiés par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. J. Reiset, et dans lesquels ils jouent le rôle de corps simples ou de radicaux, tout à fait comme le cyanogène dans les cyanures.

Minerais de platine. — Traitement.

Les minerais de platine sont des alliages qui renferment, outre le platine, du palladium, de l'iridium, du rhodium, de l'osmium et du ruthénium. Ces minerais ne se trouvent en quantité exploitable que dans les alluvions anciennes qui renferment l'or et le diamant. On les a également découverts récemment en filons, dans la Colombie et en Sibérie. Pendant longtemps, les seuls gisements de platine connus étaient situés dans l'Amérique méridionale ; actuellement les gisements de Sibérie en produisent une quantité beaucoup plus considérable, mais qui n'est pas livrée au commerce et est convertie en monnaie ayant cours seulement en Russie. Il paraît que la monnaie de platine vient d'être démonétisée dans ce pays, ce qui, nous l'espérons, fera baisser le prix élevé de ce métal, si précieux dans nombre d'industries.

Après avoir lavé les minerais de platine, on sépare toutes les parties magnétiques, au moyen d'un barreau aimanté, on les chauffe au rouge et on les traite par l'acide hydrochlorique. On prend le résidu que l'on fait digérer, s'il y a lieu, avec de l'eau régale affaiblie pour dissoudre les particules d'or qu'il peut renfermer, puis on le traite à chaud dans une cornue, par de l'eau régale concentrée; la liqueur distillée ne renferme que de l'acide osmique; le résidu non attaqué est composé d'osmiure d'iridium, de fer chromé et titané, etc.; et enfin la liqueur qui reste dans la cornue renferme en dissolution le platine, le palladium, le rhodium, le cuivre, une grande partie du fer et une certaine quantité d'iridium. Cette dissolution étant convenablement rapprochée, on y verse une dissolution saturée à froid de sel ammoniac, tant qu'il s'y forme un précipité de chlorure double de platine et d'ammoniaque, lequel ne renfermera que très peu d'iridium parce que la liqueur est très acide. Du reste, la présence de l'iridium est plutôt un avantage qu'un inconvénient, dans certaines limites, parce que le platine parfaitement pur est plus mou que l'argent, et moins propre, à cause de cela, à servir pour faire des creusets et divers autres instruments, que le platine qui contient une faible quantité d'iridium, lequel lui donne de la dureté et de l'élasticité. En calcinant le chlorure double dans de grands creusets de terre on obtient de l'éponge de platine. Les eaux-mères d'où l'on a précipité le platine sont évaporées au dixième et précipitées de nouveau par le sel ammoniac, on obtient alors un dépôt rouge qui contient beaucoup d'iridium et un peu de platine; on le ramène à l'état métallique en le chauffant au rouge, et on le traite par l'eau régale faible qui dissout le platine et laisse la plus grande partie de l'iridium sans l'attaquer. On comprime l'éponge de platine obtenue, dans un cylindre en fer, terminé par un bouchon d'acier, d'abord avec un piston en bois, et ensuite avec un piston en acier; puis on la porte au blanc et on la comprime plusieurs fois de suite à cette température, jusqu'à ce qu'elle soit assez agrégée pour se travailler facilement au marteau. Il vaut mieux, pour éviter que des poussières ne s'introduisent dans l'éponge et ne donnent lieu plus tard à des failles ou à des criques, réduire l'éponge en poudre avec un pilon en bois, mettre cette poudre en suspension dans l'eau, la laver par décantation, puis en former une pâte que l'on comprime fortement, à l'aide d'un balancier ou d'une presse hydraulique, dans un cylindre en fer, chauffer ensuite au blanc le culot que l'on obtient ainsi et le travailler comme ci-dessus.

Usages. Le platine est principalement employé dans les laboratoires de chimie, à l'état de creusets, de capsules et de cornues, à cause de son infusibilité, et de son inaltérabilité en présence d'un grand nombre de corps simples ou composés; par la même raison il est très employé dans les fabriques de produits chimiques, celles où se fait l'affinage des matières d'or et d'argent, etc., pour fabriquer une partie des cornues, ou récipients, et le serait encore bien davantage sans son prix élevé. .

Statistique. La production annuelle du platine est de 2.150 à 2.300 kilogr., savoir :

Colombie et Brésil. . . .	250 à 300[k]
Oural.	1.900 à 2.000
	2.150 à 2.300[k]

Le platine de Russie est monnayé, celui de l'Amérique est seul versé dans le commerce. Il vaut actuellement en feuilles 1,000 fr. le kilog. Voy. *Complément*, article PLATINE, le procédé Deville. P. DEBETTE.

PLATRAS. Le lessivage des plâtras donne des nitrates de chaux et de magnésie, que l'on transforme en *nitrate de potasse*, lorsqu'il est impossible de se procurer ce dernier à plus bas prix par le commerce. Voyez NITRATES et POUDRE.

PLATRE (*angl.* gypsum, *all.* gyps). Le plâtre ou sulfate de chaux est très abondant dans la nature; on en rencontre deux espèces, le sulfate de chaux anhydre et le sulfate de chaux hydraté ou gypse. La première espèce est assez rare et n'a que peu d'emploi; nous ne nous occuperons donc que de la seconde espèce, qui, par ses nombreuses applications, constitue une branche d'industrie considérable pour les localités où elle se trouve.

Le gypse se présente fréquemment en tables *biselées* de diverses manières, à bases de parallélogrammes obliquangles; on le rencontre aussi sous la forme de lentilles plus ou moins volumineuses, ordinairement jaunes, isolées ou groupées en rose ou en *fer de lance*. Ces cristaux sont quelquefois limpides, quelquefois opaques ou colorés en jaune. Dans les grandes masses que le gypse forme dans le sein de la terre, on observe plusieurs variétés de structure : la structure fibreuse, souvent douée d'un éclat nacré, la structure lamelleuse, la structure compacte. Dans tous les cas, sa densité est d'environ 2.31. Exposé au feu, il durcit et blanchit en perdant son eau de cristallisation. Réduit en poudre, il absorbe ensuite l'eau avec avidité et se solidifie. Cette solidification, qui produit un dégagement de chaleur, est due à ce que le plâtre cuit mis en contact avec de l'eau, l'absorbe et repasse à l'état cristallin; les cristaux s'entrelacent, contractent de l'adhérence, et forment un tout d'une dureté moyenne.

Le gypse se rencontre en général dans les parties supérieures des terrains secondaires et dans les terrains tertiaires. Il forme dans les premiers des couches puissantes intercalées avec des couches de calcaire; dans les seconds, il forme des dépôts plus ou moins étendus, accompagnés de marnes; c'est ce qui se présente dans les environs de Paris, à Montmartre et Ménilmontant, où il est exploité comme *pierre à plâtre*.

On donne le plus généralement le nom de plâtre au gypse privé d'eau par calcination, cependant on l'applique aussi quelquefois au gypse tel qu'on l'extrait des carrières, ce qui a donné lieu aux expressions de plâtre cuit et plâtre cru. Le plâtre s'emploie dans les constructions et, en agriculture, pour amender les terres. En général, tous les plâtres sont bons quand on les emploie comme amendements, mais tous ne peuvent être employés dans la construction.

Les gypses purs, tels que ceux qui sont cristallisés, lamelleux, fibreux, etc., etc., donnent, par une cuisson bien faite, un plâtre fin et blanc qui se gonfle trop et donne un enduit qui ne tient pas; tel est le plâtre des mouleurs. Pour les constructions, il faut qu'il renferme des matières inertes jouant ici le même rôle que le sable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le mortier ; il peut en contenir jusqu'à 20 p. 100. C'est là ce qui explique pourquoi le procédé de cuisson le plus imparfait est celui qui donne le plâtre de meilleure qualité. Ce procédé consiste, comme tout le monde le sait, à construire, au moyen des plus gros moellons, de petites voûtes peu larges, puis d'entasser au-dessus le plâtre, en ayant soin de le graduer suivant sa grosseur : les morceaux les plus gros étant le plus près du feu, et les plus petits à l'extérieur. La cuisson s'opère en brûlant du bois sec sous ces voûtes ; plus elle est lente et régulière, meilleurs sont les produits. L'opération dure, en moyenne, dix heures ; quand elle est achevée, on bouche les ouvertures avec des moellons et on recouvre le tas avec du plâtre en poudre.

D'après ce qui précède, on voit que le plâtre du four n'est pas également cuit dans toutes ses parties. En effet, celui qui est près du feu est trop calciné pour faire prise avec l'eau ; le plus éloigné est encore trop hydraté pour ne pas être également inerte, mais le tout, mélangé, donnera un plâtre d'excellente qualité.

Au lieu d'opérer ainsi, on pourrait cuire également le plâtre dans toutes ses parties, et ajouter ensuite des matières étrangères qui n'auraient pas subi les frais de cuisson.

Dans les environs de Paris on emploie du bois pour cuire le plâtre ; on a cherché à le remplacer par de la houille. Dans le département de Saône-et-Loire on emploie des fours à deux foyers, dans lesquels on brûle de la houille. Dans ces fours, on emploie 1.120^k de houille pour cuire 25.000^k de plâtre. A Paris, on a essayé d'employer la chaleur perdue des fours à coke pour cuire le plâtre ; on obtient d'excellents résultats en dirigeant la chaleur perdue de trois fours à coke sur un four à plâtre de très grandes dimensions, en ayant soin d'échelonner la préparation du coke de telle manière, qu'elle se trouve dans chaque four à une époque différente ; on obtient une température moyenne qui varie peu pendant la cuisson ; il est bien entendu que l'on doit avoir deux fours, l'un que l'on prépare pendant que la cuisson s'opère dans l'autre.

Le plâtre destiné à l'agriculture peut se cuire à très bas prix au moyen de fours coulants à feu continu.

Le plâtre cuit doit être broyé avant d'être livré à la consommation ; le broyage se fait au moyen de moulins en fonte très solides analogues aux moulins à café, ou mieux, de meules verticales en pierres roulant dans une auge de même substance ; au centre de cette auge on dispose un crible à travers lequel le plâtre tombe tout préparé, et sans augmentation de main-d'œuvre dans les magasins. Ce broyage ne doit pas être trop parfait, sinon le plâtre perdrait une partie de ses propriétés plastiques.

Le plâtre doit être employé aussitôt qu'il est cuit ; il perd de sa qualité s'il reste exposé à l'air dont il attire rapidement l'humidité. Les ouvriers disent que le plâtre est *éventé*, c'est-à-dire qu'il a été exposé à l'air, quand il perd, avec son onctuosité, la faculté de durcir promptement. Si on ne peut l'employer aussitôt qu'il est cuit et moulu, on le renferme dans des tonneaux que l'on place dans des lieux bien secs.

Lorsque le plâtre n'est pas assez cuit, il est aride et ne forme pas un corps assez solide ; s'il est trop cuit, il n'a plus ce que les ouvriers de Paris appellent *d'amour*, c'est-à-dire qu'il n'est pas assez gras ; s'il est cuit à propos, l'ouvrier sent en le maniant qu'il est doux et qu'il s'attache aux doigts.

Nous avons vu précédemment que le plâtre réduit en poudre n'a besoin que d'être mélangé avec l'eau pour former un corps solide d'une dureté moyenne ; il serait donc préférable au mortier s'il pouvait résister aussi longtemps que lui aux intempéries de l'air et à l'humidité, mais il n'en est pas ainsi. On ne peut employer le plâtre que dans l'intérieur des édifices, où il se conserve très bien. Dans les localités où il est d'excellente qualité, à Paris, par exemple, on en fait une consommation énorme dans la construction des maisons.

Pour *gâcher* le plâtre à Paris, on commence par mettre l'eau dans l'auget qui doit servir à la manipulation ; on ajoute ensuite le plâtre, en le semant jusqu'à ce qu'il atteigne presque la surface de l'eau ; on attend un peu qu'il commence à prendre, et alors on le remue avec une truelle en cuivre (une truelle en fer s'oxyderait trop rapidement à cause de l'acide sulfurique) pour qu'il forme une pâte uniforme. Il faut environ autant d'eau que de plâtre. Plus le plâtre est fort, plus il faut le gâcher promptement, afin qu'on ait le temps de l'employer avant qu'il commence à durcir. Chaque fois que l'on gâche, il faut nettoyer l'auget avec soin ; c'est ce qui se fait avec la truelle, dont les arêtes doivent être bien vives.

On met plus ou moins d'eau pour gâcher le plâtre en raison des ouvrages que l'on a à faire ; si l'on a besoin de toute sa force, on n'y met que la proportion d'eau nécessaire pour donner à la pâte la consistance convenable pour son emploi ; c'est ce que les maçons appellent *gâcher serré*. Lorsqu'on y met plus d'eau, ce qui se dit *gâcher clair*, il donne plus de temps pour l'employer. Pour faire des enduits, on le gâche encore plus clair ; enfin, lorsqu'il s'agit de remplir des vides où la main ni la truelle ne peuvent atteindre, on forme un *coulis*, qui est assez clair pour être versé par des godets placés de manière à pouvoir diriger le coulis dans les cavités qu'il doit remplir. Le plâtre ainsi délayé ne peut pas former un corps bien solide ; aussi ne doit-on l'employer que quand les vides qu'il doit remplir n'ont pas de charge à soutenir.

Plâtre durci ou aluné. Depuis quelque temps, on prépare, au moyen du plâtre, une nouvelle substance plastique qui, tout en conservant une partie des propriétés de la matière première, en acquiert de nouvelles. Le plâtre aluné se rapproche du marbre par le poli, mais il résiste mal aux intempéries de l'atmosphère. Voici en peu de mots sa fabrication qui est, en France, l'objet d'un brevet.

On commence à cuire dans un four à réverbère, chauffé à l'air chaud, le plâtre que l'on veut aluner ; on a eu soin de choisir pour cela les pierres les plus belles et les plus blanches. Lorsque la cuisson est terminée, on laisse refroidir le plâtre, puis on le place dans de grandes caisses en bois à claire-voie, que l'on plonge dans un bain d'eau tenant en dissolution 10 pour 100 d'alun. Après une immersion de quelques minutes, on retire la caisse, on la laisse égoutter quelque temps au-dessus du bain ; puis on la vide sur une aire préparée pour le recevoir. Ce plâtre aluné est porté dans le four, et on le recuit à une température beaucoup plus élevée que la première fois, et qui doit être poussée jusqu'au rouge. Après l'avoir laissé refroidir, on le pulvérise dans un moulin en fonte ; puis on le blutte.

Récemment on a perfectionné ce procédé de fabrication d'une manière remarquable. On mélange intimement le plâtre avec de l'alun en poudre, puis on chauffe une seule fois ; on voit par là qu'on obtient une grande économie de combustible et de main d'œuvre.

Stuc. On distingue deux espèces de stuc, le stuc à la chaux et le stuc fait avec du plâtre :

Le *stuc à la chaux* s'obtient en mêlant la chaux éteinte avec d'autres matières pulvérulentes qui, en général, sont le marbre blanc, ou toute autre matière blanche dure. Pour faire du bon stuc à la chaux, on prend des pierres de cette matière qui soient de la meilleure qualité possible. On éteint cette chaux et on la mêle ensuite avec la quantité de poudre de marbre blanc reconnue nécessaire.

Le stuc fait avec du plâtre ne résiste pas à l'humidité et aux intempéries de l'air ; mais employé dans l'intérieur des maisons, il résiste très bien, et il a, sous plusieurs rapports, des avantages sur le stuc à la chaux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il devient plus dur, peut être coloré de diverses couleurs, et enfin est susceptible d'un très-beau poli.

Pour l'obtenir, on prend de la pierre à plâtre d'excellente qualité, on la fait cuire dans un four analogue à un four à cuire le pain. Au sortir du four, le plâtre est pulvérisé et tamisé.

Ce plâtre est ensuite gâché avec de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre de la colle forte et à laquelle on ajoute souvent de la colle de poisson ou de la gomme arabique. Si le stuc doit imiter du marbre coloré, on met les couleurs dans l'eau collée, qui doit être chaude,

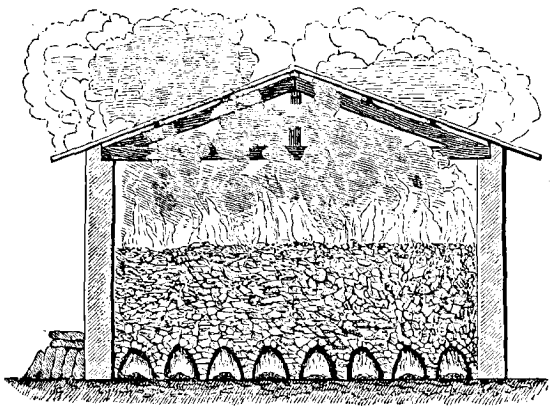


Fig. 2030.

afin que le plâtre ne durcisse pas trop vite.

On étend le stuc en plâtre de la même manière que les autres enduits. Lorsque les ouvrages de stuc doivent avoir beaucoup de relief, comme des chapiteaux, des corniches, etc., etc., on commence par en faire l'ébauche ainsi qu'il suit: On fixe, dans la surface sur laquelle l'ouvrage doit être placé, des clous que l'on laisse saillir plus ou moins suivant l'épaisseur que le relief doit avoir, on mouille la place où sont les ferrements, puis on couvre cette surface de bon plâtre en lui faisant prendre la forme que doit avoir l'ouvrage. On donne ainsi trois couches successives de plâtre pour terminer l'ébauche. Quand l'ébauche est terminée, on l'humecte avec de l'eau, ensuite on applique le stuc. Quand l'ouvrage est sec, on le polit d'abord avec une pierre à aiguiser dont le grain est très-fin, on frotte l'enduit avec la pierre que l'on tient d'une main, et de l'autre on tient une éponge imbibée d'eau avec laquelle on nettoie l'endroit que l'on vient de frotter. On donne le dernier poli avec un morceau de feutre imbibée d'huile et de tripoli en poudre; enfin on termine avec le morceau de feutre imbibé d'huile seulement.

Lorsque l'on veut imiter des marbres diversement colorés, on a de petits vases renfermant de l'eau collée dans laquelle on détrempe une couleur particulière; on gâche ensuite, avec chacune de ces eaux, une petite quantité de plâtre dont on forme une galette; toutes ces galettes sont placées les unes au-dessus des autres, à mesure qu'elles sont formées; on coupe ensuite la pile par tranches qu'on applique de suite sur la surface que doit recouvrir l'enduit.

Dans ces derniers temps, on est parvenu à représenter des paysages au moyen de stuc. Pour cela, on prépare le fond sur lequel doit être placé le paysage; puis, sur ce fond, on place un papier sur lequel les contours du dessin sont marqués par des trous d'épingle. On prend ensuite de la poudre d'une couleur différente de celle du fond, et on ponce le papier; on obtient ainsi le contour du dessin. On enlève, avec de petits outils, la matière qui se trouve dans l'intérieur du contour, à une profondeur de 3 à 4 millimètres; on détrempe ensuite plusieurs couleurs dans l'eau collée; on gâche un peu de plâtre avec ces eaux, dans le creux de la main, et on l'applique en quantité suffisante sur la partie du creux du tableau qui doit avoir cette teinte.

PLATRE-CIMENT. Nom donné au *ciment romain*. Voyez MORTIER.

PLIAGE du PAPIER. L'imprimerie typographique imprimant les livres, non par pages, mais par feuilles, il faut plier celles-ci, formées de pages convenablement disposées lors de leur imposition (Voy. IMPRIMERIE), pour en former des cahiers et ensuite les réunir en volumes. C'est ce qui est l'objet de l'industrie du brocheur.

Le pliage des feuilles diffère selon le *format*, ce qui s'entend non de la grandeur, mais du nombre de pages que contient la feuille.

Le côté de la feuille imprimée où se trouve la page 1 s'appelle *côté de première*; celui où se trouvent les pages 2 et 3 s'appelle *côté de seconde*.

Pour plier une feuille on met toujours le côté de première en dessous, la page 1 sous la main gauche, par conséquent le côté de seconde en dessus, et la page 2 également sous la main gauche.

Pour l'*in-folio*, il suffit d'abaisser de droite à gauche le folio de la page 3 sur celui de la page 2 bien exactement, et de plier la feuille par le milieu. Si le registre est bien fait, les lignes des quatre pages doivent tomber l'une sur l'autre, ombre sur ombre, et le pli doit partager les trous de pointures.

Dans l'*in-quarto*, la page 2 se trouve bien à gauche, mais non positivement sous la main. On abaisse d'abord de droite à gauche 3 sur 2, ensuite, du haut en bas, 4 sur 5.

Dans l'*in-octavo*, la page 2 est sous la main gauche. On abaisse d'abord de droite à gauche 3 sur 2; ensuite, de haut en bas, 12 sur 13, puis on fait faire lestement au cahier un quart de conversion, par lequel la 8 se trouve en haut, et on abaisse cette page 8 sur la 9. Cette conversion se fait pour faciliter le pliage, qui se ferait mal en abaissant de gauche à droite; les deux bras se croiseraient pour former le pli.

Dans l'*in-douze*, la page 2 est à gauche, mais en haut. On abaisse, de droite à gauche, seulement le tiers de la feuille, non folio sur folio, cela ne se peut, mais on se guide sur les pointures pour que le pli les partage, et on coupe. Il y a des imprimeurs soigneux qui mettent des petits filets dans les garnitures pour indiquer la coupure des feuilletons, alors on se guide sur ces filets. Abaissez de haut en bas 10 sur 11, faites la volte de bas en haut, de manière que 12 et 13 se trouvent à découvert, et abaissez de haut en bas 12 sur 13. Mettez à part.

Venant ensuite au grand carton, vous lui faites faire un quart de conversion, de manière à ce que la 2 se trouve sous la main gauche, et vous pliez comme une feuille in-8°. Enfin vous encartez le petit cahier dans le grand, entre les pages 8 et 17.

Il y a des impositions in-12, où le petit cahier ne s'encarte pas; il se met à la suite du grand; mais le pliage est le même.

Dans l'*in-dix-huit*, la page 2 est sous la main gauche. On abat de droite à gauche seulement le tiers de la feuille, 25 sur 24, et on coupe.

Faites faire un quart de conversion à ce tiers, pour que la page 26 se trouve à gauche et en haut. Abaissez de droite à gauche le tiers de ce feuilleton, non folio

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur folio, cela ne se peut, mais de manière à ménager en tête une marge égale à la moitié des têtières. En pareil cas, les imprimeurs soigneux mettent des *guides* dans les garnitures et on plie dessus. Coupez ce petit carton. Abaissez de haut en bas 30 sur 31, et mettez à part. Pliez l'autre partie comme un in-4°, et encartez le petit dans le grand carton; mettez à part, la signature en dessus.

Procédez de même pour le second feuilleton, et mettez à part sur le précédent.

Faites faire conversion au dernier feuilleton, et procédez comme aux précédents. Mettez à part sur les deux autres, alors les folios de tous les trois se suivent.

L'*in-seize* se coupe d'abord en petits cartons qui représentent autant de feuilles in-4° et se plient selon ce format.

L'*in-vingt-quatre* se réduit également en petites feuilles in-12, qui se plient selon ce format.

L'*in-trente-deux* se réduit aussi en petites feuilles in-8°, qui se plient selon ce format.

PLIAGE *et métrage des étoffes.* Dans les fabriques de tissus, le métrage des pièces d'étoffes se fait au moyen de deux longues aiguilles, placées à la distance de la mesure que l'on veut adopter pour unité. L'ouvrier accroche l'étoffe à chaque pli dans ces aiguilles, en perçant la lisière et en comptant le nombre de plis qu'il forme ainsi, pour savoir la longueur de la pièce. Ce moyen a le triple inconvénient de percer les lisières de trous plus ou moins grands, qui déprécient beaucoup la marchandise; de rendre les derniers plis moins longs que les premiers, puisque les aiguilles se courbent et cèdent au poids et à la tension de l'étoffe, ce qui produit un métrage inégal; et, enfin, d'être exposé à des erreurs, puisque le nombre de plis est simplement compté par l'ouvrier, sans aucun contrôle mécanique.

La machine à métrer, dite *rectomètre*, inventée par M. Mannier de Wesserling, remplace les aiguilles de l'ancien appareil par deux règles en fer, parfaitement parallèles, fixées par un support en fonte contre un plateau en bois, à la distance exacte que doit avoir la longueur de chaque pli de la pièce à métrer. Ces règles parallèles portent des coulants, ou lames en laiton, armés de petites pointes en acier, qui retiennent chaque pli sans percer la lisière de trous. Ces lames en laiton sont numérotées de manière à ce que tous les nombres pairs se trouvent d'un côté et les nombres impairs de l'autre. Chaque pli porte ainsi son numéro, et, arrivé au dernier, l'ouvrier peut lire sur la plaque le nombre de plis qu'il a formés. Si même, par inadvertance, il avait sauté l'une des plaques, il reconnaîtrait son erreur, en voyant qu'une plaque vide reste entre les plis de l'étoffe, ou en reconnaissant que les nombres restants des deux côtés ne se suivent plus. Les plis de la pièce ainsi formés sont parfaitement réguliers et se dégagent très-facilement de l'appareil, en faisant faire à l'une des règles un quart de tour, pour incliner les plaques de laiton à l'aide d'un levier, qui sert à les retenir dans la position voulue.

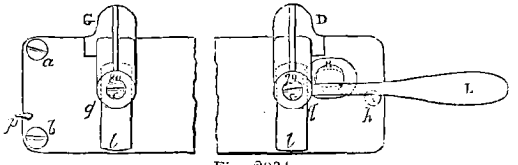


Fig. 2031.

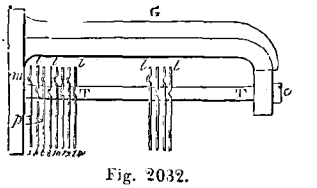


Fig. 2032.

Un ouvrier peut métrer avec cet instrument, par heure, neuf pièces de percale, de 50 à 60 mètres chaque.

Les vues de profil, fig. 2031, et de face, fig. 2032, représentent cet instrument. Il se compose de deux parties G et D, fixées sur une même planchette horizontale, l'une G, à gauche, l'autre D, à droite; la première par les deux vis *a* et *b*, la seconde, par le boulon B, qui pénètre dans une fente, dans laquelle il est fixé par une pression. Chaque partie G et D se compose d'un support en fonte, représenté pour G de face et latéralement, en détail, figure 2032. Une tringle en fer carrée T T est soutenue par le support en *m* et en *c*. Pour la partie G, *m* est un carré qui assure la stabilité de la tringle : *c* est une vis qui fixe l'autre extrémité. Pour la partie D, *m* est cylindrique, de sorte que la tringle T T peut tourner autour de son axe, à l'aide d'un levier L, qui est maintenu dans la position horizontale par la cheville mobile *h*. Sur les deux tringles T T, glissent des lames en laiton *l*, numérotées, celles de gauche de 2 à 80, celles de droite de 1 à 79 (les premières représentant la série des nombres pairs, et la deuxième, celle des nombres impairs). Chaque lame est percée d'un trou rectangulaire, ayant horizontalement l'épaisseur de la tringle et verticalement cette dimension augmentée de 2 millimètres environ: par cette disposition, la lame peut glisser librement sur la tringle, en conservant sa position verticale. Chaque lame est munie d'une pointe *q* en acier, correspondant à une ouverture circulaire qui permet le placement et le déplacement de la pointe. Enfin, de petits refoulements, opérés près d'une des arêtes des lames, forment de légères saillies qui s'opposent au contact immédiat des lames, et rendent plus facile l'usage auquel elles sont destinées. Un crochet *p* se trouve sur le support de gauche, en ligne avec les pointes des lames.

Supposons maintenant qu'il soit proposé de mesurer des étoffes par plis de 1 mètre. Le support G étant fixé sur le bâtis horizontal, au moyen des vis *a* et *b*, on fixera à sa droite le support D, au moyen du boulon B, de manière à ce qu'il y ait une distance de 1 mètre entre les arêtes extérieures des lames. La fente dans laquelle glisse le boulon B rend cette opération très-facile. Le levier L est maintenu horizontalement par la cheville *h*, de sorte que, de part et d'autre, les lames sont verticales. On fait glisser les lames sur chaque tringle, de manière à les porter en avant vers la vis *c* et à laisser libre l'espace postérieur. Alors on fixe au crochet *p* l'extrémité de la lisière; on tient cette lisière de la main droite, on la tend vers D, et bientôt on dépasse la lame n° 1; on détache cette lame des autres au moyen de la main gauche, en la faisant glisser sur la tringle jusqu'à ce qu'elle s'appuie sur l'étoffe; alors on fait revenir la lisière en avant de la lame, en l'appuyant sur son arête extérieure, avec laquelle elle se trouve fixée par la pointe *q*; puis on revient à gauche, s'appuyer sur le premier pli.

On détache la lame n° 2, que l'on fait glisser jusqu'à ce qu'elle rencontre l'étoffe; on fait revenir la lisière en avant de cette lame, comme on l'a fait pour le n° 1, et ainsi de suite.

Pour détacher l'étoffe, on enlève la cheville *h*, le levier L descend, en inclinant les lames de D vers la gauche, et rien ne s'oppose à ce que l'on fasse glisser les plis, qui sont d'ailleurs maintenus par l'ouvrier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PLOMB (*angl.* lead, *all.* bley). Le plomb est un métal connu dès la plus haute antiquité; il est d'un blanc bleuâtre, très-éclatant lorsqu'il vient d'être râclé. Il n'a presque pas de saveur, mais il possède une odeur particulière assez prononcée; il est très-mou, se laisse rayer par l'ongle, et tache en gris bleuâtre, par le frottement, les corps durs et le papier. Il est malléable et ductile, c'est un corps éminemment plastique; il peut être réduit en feuilles très-minces au laminoir ou au marteau. Sa ténacité est très-faible, et il se rompt sous un poids de 2k,85 par centimètre carré de section. Sa densité est de 11,445. Son point de fusion varie de 326° à 340°, suivant sa pureté. A la température d'un feu de forge (130° du pyromètre de Wedgwood) et dans un creuset brasqué, il s'en volatilise 1/10e dans une heure. Il se ternit promptement au contact de l'air et se recouvre d'un pellicule noirâtre qui forme vernis, et qui est regardée par Berzélius comme un sous-oxyde. Chauffé jusqu'à fusion, le plomb se recouvre d'abord d'une pellicule irisée d'oxyde, puis les couleurs disparaissent, et on voit surnager sur le bain de l'oxyde jaune pulvérulent; lorsque la chaleur est portée au rouge, l'oxyde lui-même se fond, le plomb s'oxyde très-rapidement et répand dans l'atmosphère des vapeurs qui brûlent avec une flamme d'un blanc livide, et qui sont connues sous le nom de fumées de plomb. Le plomb fondu au contact de l'air, à une température élevée, paraît pouvoir absorber une faible quantité de l'oxyde qui se forme alors à la surface et devenir très-cassant. Le plomb ne décompose sensiblement la vapeur d'eau qu'à la chaleur blanche. L'acide chlorhydrique concentré et bouillant l'attaque à peine; il décompose au rouge cet acide à l'état gazeux. L'acide sulfurique ne l'attaque que lorsqu'il est concentré et bouillant, et engendre alors un sulfate insoluble. L'acide nitrique et l'eau régale le dissolvent avec la plus grande facilité, même à froid et étendus. Le plomb s'oxyde facilement au contact de l'air, en présence des acides les plus faibles, et même de l'eau; il se recouvre dans ce dernier cas d'une pellicule blanchâtre d'hydrate d'oxyde, qui est légèrement soluble dans l'eau et lui communique une saveur un peu sucrée, et la propriété de devenir laiteuse au contact prolongé de l'air en donnant lieu à un précipité de carbonate de plomb. On peut faire cristalliser cet hydrate d'oxyde dans le vide; lorsque l'eau renferme une très-faible proportion de matières salines, comme l'eau de source ou de puits, l'hydrate de plomb ne s'y dissout plus sensiblement. Le plomb s'attaque très-bien, par voie sèche, par le nitre. Il se combine facilement avec tous les gazolites, excepté l'hydrogène, le bore, le silicium et le carbone. Il s'allie avec presque tous les métaux, le fer excepté; allié avec l'antimoine et un peu d'étain il forme les caractères d'imprimerie, le pewter, etc. L'alliage de 2 parties de plomb et 1 partie d'étain constitue la soudure des plombiers; l'alliage à parties égales de plomb et d'étain forme la soudure des ferblantiers; ce dernier alliage est très-combustible, et donne, lorsqu'on le chauffe au rouge, un mélange ou combinaison d'oxydes de plomb et d'étain, connu dans les arts sous le nom de *potée d'étain*, et qui est employé pour polir et préparer les émaux. Les alliages triples de plomb, d'étain, de bismuth, sont très-fusibles, et sont connus sous le nom d'*alliages fusibles*. Enfin le plomb a une grande affinité pour l'or et l'argent, et on utilise dans les arts cette propriété pour séparer ces derniers métaux des matières terreuses ou ferreuses qui les accompagnent; on les sépare ensuite du plomb par la *coupellation* (voyez ARGENT).

Oxydes de plomb.

On connaît deux oxydes de plomb, le protoxyde (litharge ou massicot) et le deutoxyde ou oxyde puce. Quelques personnes regardent le minium comme un oxyde particulier. Ces oxydes sont facilement réduits par l'hydrogène, le charbon, les corps combustibles, le soufre, etc., et par les métaux très-oxydables.

Lorsqu'on fond du plomb à une basse température au contact de l'air, il se recouvre d'une matière pulvérulente jaune qui est du *protoxyde de plomb* ou *massicot*. Si on élève la température, l'oxyde de plomb fond et porte alors plus spécialement le nom de litharge; il est alors vitreux ou en paillettes cristallines, jaune ou rougeâtre, d'où vient dans le commerce la distinction des litharges en *litharges jaunes* et *litharges rouges*; ces dernières doivent leur couleur à l'absorption d'une faible quantité d'oxygène pendant leur refroidissement. Elles ont une valeur commerciale notablement supérieure à celle des litharges jaunes. On les produit aisément dans les usines à plomb en faisant couler la litharge en fusion dans de grands creusets où elle se trouva en grandes masses, que l'on soumet à un refroidissement spontané et très-lent. Si, au contraire, on laisse couler la litharge en filets minces qui se solidifient presque instantanément, on obtient presque toujours des litharges jaunes; il n'y a alors d'autre moyen de transformer celles-ci en litharges rouges, que de les pulvériser et de les placer en couches minces sur une plaque de tôle, que l'on chauffe jusqu'au rouge sombre très-faible, au contact de l'air, sans atteindre le point de fusion, et que l'on laisse ensuite refroidir lentement.

Le protoxyde de plomb ainsi obtenu est très-légèrement soluble dans l'eau distillée. C'est une des bases métalliques les plus énergiques. Lorsqu'on le chauffe avec du sulfure de plomb, il se dégage de l'acide sulfureux, et tout le plomb est ramené à l'état métallique. C'est un oxydant énergique et très-employé dans les arts; c'est par oxydation, par exemple, qu'il agit dans la préparation des huiles siccatives.

Le protoxyde de plomb se combine aisément, par voie sèche et par voie humide, avec les alcalis caustiques et les terres alcalines; plusieurs de ces combinaisons sont même solubles et cristallisables. Par voie sèche, l'oxyde de plomb se combine avec la plupart des oxydes métalliques, en donnant naissance à des composés fusibles. Il fond aisément avec la silice en donnant un verre incolore; cette propriété sert de base à la fabrication des cristaux, comme nous le verrons au mot VERRE.

Le protoxyde de plomb se compose de :

Plomb.	0,93	PbO.
Oxygène.	0,07	

Il forme avec l'eau un hydrate blanc dont nous avons parlé plus haut.

Le *peroxyde de plomb* ou *oxyde puce* est de couleur puce foncée; chauffé au rouge, il se réduit à l'état de protoxyde, en laissant dégager de l'oxygène; c'est par suite un oxydant très-énergique. On l'obtient, soit en traitant le minium par l'acide nitrique, soit en décomposant un sel de plomb par un chlorite alcalin en excès. Il se compose de:

Plomb.	0,867	PbO^2.
Oxygène.	0,133	

Le *minium* est d'un rouge brillant plus ou moins orangé. Il prend le nom de *mine-orange* lorsqu'il a été préparé au moyen de carbonate de plomb. Nous ne parlerons pas de la fabrication du minium, qui a déjà fait dans cet ouvrage l'objet d'un article spécial. C'est un composé de protoxyde et de peroxyde en proportions variables. Lorsqu'on le traite à froid par l'acide nitrique, il se forme du nitrate de protoxyde de plomb qui entre en dissolution, et de l'oxyde puce qui reste sans se dissoudre.

Sels de plomb.

Les sels de plomb sont tous à base de protoxyde; ils sont en général incolores. Les alcalis fixes forment dans leurs dissolutions un précipité blanc, gélatineux, soluble dans un excès de réactif; les carbonates alcalins y forment des précipités blancs, grenus, insolubles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans un excès de réactif. L'acide sulfurique et les sulfates en précipitent le plomb, même en présence de matières organiques, à l'état de sulfate blanc, grenu et très-lourd, soluble seulement dans l'acide hydrochlorique. Les phosphates et les arséniates y forment des précipités blancs solubles dans l'acide nitrique. Les oxalates les précipitent en blanc. L'acide hydrochlorique et les chlorures donnent, dans les dissolutions concentrées, des précipités cristallins de chlorure de plomb. Les chlorites alcalins en précipitent de l'oxyde puce. Le prussiate jaune les précipite en blanc; le prussiate rouge ne les trouble pas. Les iodures alcalins y forment des précipités jaunes écailleux, solubles dans un excès d'iodure. Le chromate de potasse y produit des précipités grenus d'un très-beau jaune. L'hydrogène sulfuré y forme un précipité de sulfure noir insoluble dans un excès d'hydro-sulfate. Enfin, le fer et le zinc, plongés dans une dissolution de plomb, en précipitent ce métal à l'état de lamelles métalliques très-brillantes (l'*arbre de Saturne* s'obtient en prenant une dissolution d'acétate de plomb ou sel de Saturne, et la précipitant par un morceau de zinc auquel sont fixées de petites branches de fil de zinc, ou même de laiton). Les principaux composés et sels de plomb sont les suivants :

Sulfure. Le sulfure de plomb se trouve dans la nature. Il est alors généralement d'un gris bleuâtre métallique très-éclatant, fragile, cristallisant dans le système régulier, avec trois clivages rectangulaires, et ayant une densité = 7.585. Il est très-fusible, mais moins que le plomb, et plus volatil. Fondu, il traverse très-rapidement les creusets de terre, mais sans les attaquer comme la litharge. Par le grillage, il se transforme en un mélange d'oxyde et de sulfate. L'acide nitrique étendu le dissout; l'acide nitrique concentré et bouillant le transforme en sulfate insoluble. L'acide hydrochlorique ne l'attaque que difficilement, et lorsqu'il est concentré et bouillant. A la température de 50° pyrométriques, le sulfure de plomb est complétement décomposé par le fer, le cuivre, l'antimoine, l'étain et le zinc. Fondu avec le plomb, il donne un sous-sulfure de même aspect que le sulfure, moins fragile, demi-ductile, plus fusible et moins volatil. Il a beaucoup de tendance à former des sulfures doubles. Par voie sèche, les alcalis caustiques et les carbonates alcalins le ramènent partiellement à l'état métallique; lorsqu'on ajoute en outre une certaine quantité de charbon, il peut être complétement réduit. Le nitre, employé en proportions convenables, le ramène complétement à l'état métallique. Lorsqu'on le chauffe avec de l'oxyde ou du sulfate de plomb, il se dégage de l'acide sulfureux et il se forme du plomb métallique. Le sulfure de plomb est composé de :

Plomb.	0,8655	PbS.
Soufre.	0,1345	

On prépare le sulfure de plomb par voie humide, en précipitant un sel de plomb par l'hydrogène sulfuré; en cet état, il est noir et se convertit très-rapidement en sulfate au contact de l'air.

Sulfate. Le sulfate de plomb est blanc, grenu et très-pesant; il est insoluble dans l'eau et la plupart des acides; l'acide hydrochlorique le dissout en le transformant en chlorure. C'est un oxydant énergique par voie sèche.

Séléniure. A beaucoup d'analogies avec le sulfure.

Chloro-phosphate. Se trouve dans la nature.

Nitrate. Très-soluble, cristallise facilement, et est employé comme oxydant très-énergique par voie sèche.

Chlorure. Le chlorure de plomb est d'un blanc satiné, cristallise aisément en aiguilles ou en écailles nacrées; il est assez peu soluble dans l'eau, davantage dans l'acide hydrochlorique, et tout à fait insoluble dans l'alcool à 25°. Il se fond très-aisément en une masse d'un blanc perlé, translucide comme la corne, et se vaporise à la chaleur rouge en répandant d'épaisses fumées blanches. Il se compose de :

Plomb.	0,854	$PbCl^2$.
Chlore.	0,146	

Il se combine en toutes proportions avec l'oxyde de plomb, en formant des oxy-chlorures jaunes; l'un d'eux, que l'on obtient en chauffant 10 parties de litharge avec 7 p. de sel ammoniac, ou en formant une bouillie de 4 p. de litharge et 1 p. de sel marin, laissant réagir quelques jours et soumettant ensuite à une calcination modérée, est employé en peinture sous le nom de *jaune de Turner*, son inventeur.

Carbonate. Le carbonate de plomb est blanc, pulvérulent, insoluble dans l'eau. Il est très-employé dans les arts sous le nom de *blanc de plomb* ou de *céruse*. Nous avons décrit sa préparation à l'article CÉRUSE.

Oxalate. L'oxalate est blanc, pulvérulent et insoluble dans l'eau.

Acétates. L'acide acétique forme avec le plomb plusieurs combinaisons très-employées dans les arts, et surtout pour la fabrication de l'acétate d'alumine et du carbonate de plomb: nous en avons parlé avec détails à l'article ACÉTATES.

Chromates. Les chromates de plomb sont employés pour obtenir diverses nuances de jaune dans la teinture et la peinture. Ils sont insolubles et se préparent par double décomposition (voyez CHROMATES).

Minerais.

Les minerais de plomb se trouvent dans presque tous les terrains, mais surtout, soit dans les calcaires et la grauwacke des terrains de transition, soit dans les grès et calcaires qui recouvrent immédiatement le terrain houiller, soit dans le muschelkalk, soit enfin dans les arkoses ou grès feldspathiques, qui se trouvent à la base du terrain jurassique. Ces minerais sont très-nombreux et généralement associés ensemble; nous ne citerons que les suivants, qui se trouvent seuls en quantité suffisante pour constituer des minerais proprement dits.

Galène. La galène ou sulfure de plomb, dont nous avons déjà décrit les caractères plus haut, est de beaucoup le plus abondant des minerais de plomb. Elle est le plus souvent lamellaire, quelquefois, mais rarement, compacte, à cassure lisse ou grenue. Elle renferme presque toujours une faible proportion d'argent, ordinairement, 0,0001 à 0,0030. Pure, elle contient 0,86 de plomb. Elle est souvent antimoniale. Outre la fabrication du plomb, la galène est employée à l'état naturel, sous le nom d'*alquifoux*, pour vernisser les poteries communes (voyez POTERIES).

Le traitement produisant beaucoup d'acide sulfureux fait penser à l'emploi des pyrites de fer, pour la fabrication de l'acide sulfurique. Au besoin la galène pourrait être utilisée d'une manière analogue.

Séléniure. Présente le même aspect que la galène, et ne peut en être distingué que par un essai.

Sulfate. Cristallisé, incolore; assez rare.

Chloro-phosphate. Assez commun. Il est ordinairement cristallisé en prismes hexaèdres réguliers, jaunes, jaunes verdâtres, vert d'herbe ou bruns, présentant un éclat gras adamantin.

Chloro-arséniate. Présente les mêmes caractères que le précédent; il est le plus souvent d'un jaune de cire.

Carbonate. Après la galène, le carbonate de plomb ou *plomb blanc* est le plus répandu des minerais de plomb. Il est blanc, transparent, lourd, et a un éclat adamantin ou un reflet nacré; il cristallise en prismes tétraèdres allongés ou en aiguilles.

Chromate. Le chromate de plomb ou *plomb rouge* vient de Sibérie. Il était autrefois fort recherché à cause de son emploi en peinture: mais actuellement on le prépare de toutes pièces au moyen de l'acétate de plomb et du chromate de potasse, que l'on fabrique avec le fer chromé ou chromite de fer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Essai des matières plombeuses.

Sous le rapport de l'essai par voie sèche des matières plombeuses, nous rangerons ces matières en trois classes :

1re *classe*. Matières plombeuses ne renfermant ni soufre, ni sélénium, ni arsenic. Ce sont les litharges, abstrichs, abzugs, fonds de coupelle, fumées, carbonate natif, chloro-phosphate, scories de plomb, etc.

L'essai est très-simple et se réduit à fondre la matière avec un mélange d'un réductif et d'un flux alcalin, 3 à 4 parties de flux noir, par exemple.

2e *classe*. Matières plombeuses sulfurées : les sulfures, c'est-à-dire la galène et les mattes, et les séléniures.

Autrefois on grillait le sulfure, puis on faisait l'essai comme pour les matières de la première classe, mais ce mode d'essai est actuellement abandonné, comme plus long et moins exact que les autres.

On fait souvent l'essai en mettant dans un scorificatoire, au fourneau à moufle, 4 parties de carbonate de soude et 1 partie de la matière à essayer, chauffant lentement et graduellement jusqu'à ce que la matière devienne parfaitement liquide, puis retirant le scorificatoire, le laissant refroidir, et le cassant pour retirer le culot de plomb. On peut opérer dans un creuset, au fourneau de calcination, pourvu qu'on ait l'attention de laisser le creuset découvert. Au lieu du carbonate de soude, on peut employer du flux noir; l'essai se fait alors dans des creusets, parce qu'il n'exige pas le contact de l'air.

Nous avons vu que l'on peut réduire complétement la galène en employant 25 à 30 pour 100 de fer métallique, mais comme le sulfure de fer qui se forme exige une température assez élevée pour se fondre, et que la matière à essayer peut renfermer une proportion plus ou moins grande de gangues pierreuses, il est préférable d'employer un mélange de fer et de carbonate de soude, qui sert de fondant, et qui donne naissance, en outre, à un sulfure double de fer et de sodium beaucoup plus fusible que le sulfure de fer. On ajoute 1/2 à 2 parties de carbonate de soude, suivant qu'il y a moins ou plus de gangue, et 0,10 à 0,30 de fer en fils ou en petits clous, suivant qu'il y a plus ou moins de carbonate de soude. Il est encore plus commode de fondre, dans un creuset de fer ou de fonte, la matière mélangée seulement avec du flux noir ou du carbonate de soude, puis, aussitôt que la fusion est complète, on coule le tout dans une lingotière; on laisse refroidir, et on sépare aisément le culot de plomb de la scorie qui le recouvre. Ce dernier moyen d'essai est de beaucoup le plus exact et le plus commode.

Enfin, lorsque le plomb obtenu par l'essai doit être subséquemment essayé pour argent, on essaye le plus souvent la galène en la fondant avec 2 parties de carbonate de soude et 0,30 à 0,40 de nitrate de potasse. La fusion a lieu très-rapidement et sans boursouflement; les scories sont très-liquides et ne renferment pas de grenailles. Il n'y a pas d'inconvénient à mettre un peu trop de nitre. Il est vrai qu'alors une partie du plomb s'oxyde et passe dans la scorie, mais l'argent se concentre toujours en entier dans le culot de plomb qui reste.

Pour les galènes antimoniales ou renfermant du sulfure d'antimoine, on les fondant avec 3 ou 4 parties de carbonate de soude seul, ou mélangé d'une quantité convenable de nitre, on obtient du plomb à peu près pur et l'antimoine reste dans la scorie. Si, au contraire, on fond cette matière avec un mélange, en proportions variables, de carbonate de soude et de fer métallique, le culot de plomb obtenu sera cassant et renfermera tout l'antimoine qui se trouvait dans la matière à essayer.

3e *classe*. Matières plombeuses renfermant de l'acide sulfurique, de l'arsenic, etc., comme les sulfates et les arséniates.

L'essai de ces matières se fait très-bien, en les fondant avec du flux noir mélangé de fer métallique, ou avec du flux noir seul, en opérant dans des creusets de fer ou de fonte.

Essai par voie humide des matières renfermant du plomb.

Le procédé employé par M. Flores Domonte pour le dosage du plomb ne diffère de celui imaginé par Pelouze pour doser le cuivre (Voy. CUIVRE), qu'en ce qu'au lieu d'employer l'ammoniaque, qui ne dissout pas l'oxyde de plomb, il se sert d'une dissolution de potasse caustique en excès qui le dissout complétement. L'équivalent du plomb étant beaucoup plus considérable que celui du cuivre, il emploie une dissolution de sulfure de sodium environ trois fois plus étendue que celle indiquée pour le cuivre, et contenant, par conséquent, de 35 à 40 grammes de sulfure de sodium par litre d'eau distillée. On titre cette dissolution toutes les fois qu'on a une série d'essais à faire, et on opère, du reste, absolument comme dans l'essai pour cuivre, à cette différence près qu'on ne peut plus se guider sur la décoloration de la liqueur, mais seulement sur le moment précis où une goutte de réactif ajouté ne produit plus de précipité noir de sulfure de plomb. On obtient ainsi la teneur en plomb à moins de 1 pour 100.

L'étain, l'antimoine et l'arsenic ne donnent lieu à aucune erreur, par la raison qu'ils ne sont pas précipités par le sulfure de sodium en présence d'un grand excès d'alcali. Le fer, le nickel et le cobalt, étant précipités par la potasse, n'altèrent en rien l'exactitude de l'essai. Le zinc se précipite, il est vrai, immédiatement après le plomb; mais son sulfure étant blanc et celui du plomb étant noir, ce changement de couleur est plus facile à saisir que la non précipitation elle-même. Lorsque le plomb se trouve allié au cuivre, le procédé devient un peu plus compliqué : on dose d'abord le cuivre seul par le procédé de Pelouze; on titre la liqueur sulfurée par le procédé de M. Flores Domonté, en employant successivement du plomb pur et un alliage en proportions connues de plomb et de cuivre, ce qui permet de calculer ce qu'il faut de cette seconde dissolution sulfureuse pour précipiter une partie de cuivre pur. On essaye la matière plombo-cuivreuse comme à l'ordinaire; on retranche de la quantité de dissolution sulfureuse le nombre déterminé ci-dessus de divisions nécessaires pour précipiter le cuivre seul, et la différence correspond au plomb seul et permet d'en calculer la proportion. Il serait beaucoup plus simple d'employer, dans ce cas, la même dissolution sulfureuse pour doser le cuivre et le plomb, dans les dissolutions ammoniacales et potassiques, si, comme il serait facile de le vérifier, il fallait employer des quantités égales de la même dissolution de sulfure de sodium pour un même poids de cuivre, soit que ce dernier fût en dissolution dans une liqueur ammoniacale, soit qu'il fût à l'état d'oxyde précipité dans la liqueur potassique, ce qui est probable, puisque, même dans ce cas, il doit se sulfurer avant le plomb.

Ce procédé s'applique surtout avec la plus grande facilité à l'acétate et au pyrolignite de plomb, et aux céruses qui sont presque toujours fraudées dans le commerce.

On applique également avec facilité cette méthode aux minerais de plomb, même sulfurés; mais, quoiqu'elle donne des résultats beaucoup plus exacts que les essais par voie sèche, où la perte est encore de 8 à 10 p. 100, elle ne peut les remplacer toutes les fois que l'on veut examiner si ces minerais sont en même temps argentifères, ce qui nous a déterminé à décrire les méthodes d'essai par voie sèche avec quelques détails.

Traitement métallurgique.

Les procédés ou méthodes de traitement des minerais de plomb, quoique très-nombreux, peuvent être tous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rangés en trois classes, qui consistent : 1° à griller le minerai (en majeure partie composé de galène) jusqu'à un certain point, puis à faire réagir l'oxyde et le sulfate de plomb formés pendant le grillage sur le sulfure non décomposé, ce qui donne lieu à un dégagement d'acide sulfureux et à la production de plomb métallique ; 2° à griller complétement le minerai et à le réduire par le charbon ; 3° à réduire le minerai cru, ou partiellement grillé, par le fer.

1re *classe*. Toutes les méthodes de traitement de la première classe ne s'appliquent qu'à des minerais rendant au moins 50 p. 100 de plomb, et s'exécutent exclusivement dans des fours à réverbère, où l'on effectue successivement, et dans le même four, le grillage du minerai et la réaction de l'oxyde et du sulfate formés sur le sulfure non décomposé. On emploie comme combustible du bois ou de la houille, suivant les localités. Nous allons passer rapidement en revue les méthodes de cette classe, usitées dans les principaux centres de production du plomb.

Méthode du Bleiberg. — Le minerai du plomb que l'on traite par cette méthode a été enrichi, autant que possible, par la préparation mécanique, ce qui est permis, parce que la teneur en argent du plomb que donne le minerai, est ordinairement trop faible pour qu'il y ait bénéfice à coupeller le plomb obtenu.

Le four à réverbère qui sert au traitement du minerai de plomb est d'une forme très simple : la sole rectangulaire a $3^m,40$ de long sur $1^m,40$ de large, et se raccorde par des parties circulaires avec la porte de travail, qui a $0^m,32$ en tous sens et est placée à l'une des extrémités du grand axe. La sole est composée d'une assise de maçonnerie, recouverte d'une couche d'argile de $0^m,32$, au-dessus de laquelle vient une épaisseur de $0^m.17$ environ de débris de sole concassés, que l'on réunit et que l'on bat avec des ringards en les soumettant à une haute température. Une sole bien préparée dure de deux à trois semaines ; au bout de ce temps, on en répare et on en renouvelle la partie superficielle. On donne à la surface de la sole une certaine concavité, dont la flèche est au milieu de $0^m,16$, et un peu moindre vers l'extrémité opposée à la porte de travail, pour qu'on puisse facilement y charger et y étendre les schlichs ; on lui donne en outre, vers la porte de travail, une inclinaison sensiblement uniforme de $0^m,18$ par mètre. La chauffe est placée parallèlement à l'un des longs côtés de la sole et règne sur toute sa longueur, mais la grille ne s'étend que sur une longueur de $1^m,58$; l'ouverture par laquelle la flamme pénètre dans le fourneau a également $1^m,58$ de long, et sa hauteur est de $0^m,16$; la flamme se rend ensuite dans le rampant placé près de la porte de travail, et de là dans la cheminée, dont la section intérieure a $0^m,40$ de côté. La pente de la chauffe est d'environ $0^m,25$ par mètre ; on n'y brûle que du bois. La chauffe et la sole sont recouvertes par une même voûte cylindrique surbaissée, placée à $0^m,35$ ou $0^m,40$ au-dessus du milieu de la sole, et à $0^m,16$ au-dessus de l'autel.

Chaque opération se compose de trois parties : le grillage, le brassage et le ressuage.

1° *Grillage*. L'opération précédente étant terminée, on laisse refroidir le fourneau pendant un quart d'heure, puis on charge par la porte de travail de 210 à 240k de minerai préparé ou schlich, que l'on répand uniformément sur la sole ; on maintient la chaleur au rouge obscur pour éviter de fondre le sulfure, et cette température doit être d'autant plus basse que le sulfure est plus pur, parce que les gangues étant très peu fusibles ou infusibles, diminuent la tendance à la fusion. Toutes les demi-heures on remue le schlich avec un long râble, dont le manche s'appuie sur un crochet attaché à une chaîne. Cette première opération dure environ trois heures.

2° *Brassage*. A mesure que le grillage avance, on élève graduellement la température, ce qui n'a pas d'inconvénient, parce que la fusibilité de la matière diminue à mesure qu'elle s'oxyde ; en outre, l'oxyde et le sulfate formés réagissent sur le sulfure non décomposé, et il se forme du plomb qui coule sur la sole et vient tomber dans un bassin ou lingotière en fer placé en avant de la porte de travail. L'ouvrier remue fréquemment en étalant le minerai, puis le ramenant en un seul tas ; vers la fin, il le pousse au fond du fourneau, où la température est la plus élevée, et il garnit la porte de travail de bois enflammé. Lorsque, malgré le brassage, il ne coule plus de plomb, l'ouvrier retire les résidus ou crasses riches, et passe une nouvelle charge de schlich qu'il traite comme la première. L'ensemble de ces opérations, depuis le commencement de la première charge, est de quinze heures environ ;

3° *Ressuage*. On traite à la fois les crasses riches de deux charges successives ; à cet effet, après le brassage de la seconde charge, on remet sur la sole les crasses riches du premier fondage, et on répand par dessus le tout quelques pelletées de charbon que l'on prend dans la chauffe, ou même quelques bûches enflammées ; l'ouvrier mélange le tout pour réduire les oxy-sulfures, le pousse au fond du fourneau, active le feu, et bouche la porte de travail avec des bûches enflammées. Le plomb coule et, lorsqu'il cesse de paraître, l'ouvrier étend de nouveau le tas sur la sole pour opérer un grillage, après lequel il ajoute de nouveau du charbon et remet le tout en tas ; il continue ces alternatives de réduction et d'oxydation jusqu'à ce qu'il n'obtienne plus de plomb, ce qui arrive au bout de sept heures environ, et donne en tout vingt-trois heures pour l'ensemble de deux charges, ou pour la durée d'un poste, pendant lequel le travail est fait par un seul et même ouvrier. Lorsque l'opération est terminée, on retire les crasses pauvres qui restent sur la sole, on les bocarde, on les lave, et les schlichs qu'elles donnent sont repassées dans le fourneau avec le minerai cru. Le plomb obtenu est purifié par liquation, en le remettant sur la sole après l'élaboration du schlich, puis en le brassant avec un peu de fraisil dans la lingotière où il retombe, écumant et le coulant en lingots ou saumons. On produit seulement par vingt-quatre heures 135 à 140k de plomb.

Le rendement que l'on obtient est moyennement comme suit :

Teneur à l'essai.	Rendement en grand.	Perte.
0,82	0,80	0,02
0,80	0,77	0,03
0,70	8,62	0,08
0,60	0,47	0,13

La perte en plomb est proportionnellement très faible relativement à celle que donnent les autres méthodes, lorsqu'on traite des minerais renfermant 0,65 de plomb et au-dessus.

Les frais de traitement sont, ainsi qu'il suit, par q. m. de schlich traité :

	fr. c.
Bois, 1/2 stère	1 00
Fer des outils.	0 10
Main-d'œuvre (1/2 journée de 12 heures).	0 90
Frais généraux.	1 00
	3 00

et par q. m. de plomb obtenu, de 4 fr. 52 c.

Depuis quelque temps on a remplacé, dans certaines localités, le fourneau à une sole du Bleiberg par un fourneau à deux soles superposées, dont la supérieure est chauffée par les flammes perdues de l'autre sole, et sert à faire le grillage qui y est poussé assez loin pour donner déjà une certaine quantité de plomb. Le brassage et le ressuage se font sur la sole inférieure. On charge à la fois sur la sole supérieure 420 kilogr. de schlich ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

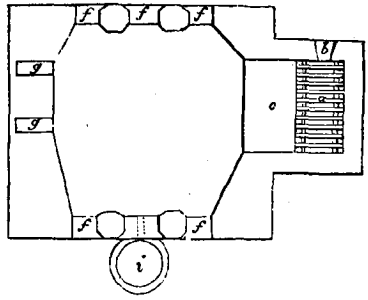
chaque opération dure 11 heures 1/2 environ et produit 276 kilogr. de plomb. La substitution du fourneau à double sole au fourneau à simple sole a procuré une économie d'environ 33 pour 100 sur le combustible, ce qui équivaut, à Bleiberg, à une économie d'argent sur le prix de revient du plomb que l'on peut évaluer à 14 ou 15 pour 100.

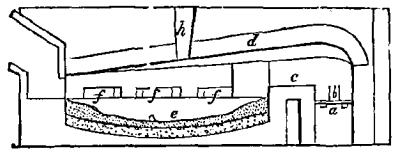
Méthode de la Sierra de Gador. Le minerai est une galène sans blende ni pyrites, avec un peu de gangue calcaire et de plomb carbonaté. Il n'y a, dans le pays, aucune force motrice naturelle, et on n'y trouve que des combustibles herbacés. On se sert, pour le traitement du minerai, de fourneaux à réverbère d'une forme particulière : la sole de ces fourneaux est circulaire et de $2^m,00$ ou $2^m,25$ de diamètre; elle est légèrement inclinée vers la porte de travail devant laquelle se trouve un bassin de réception intérieur de $0^m,45$ de diamètre; la hauteur de la voûte au milieu de la sole est d'environ $0^m,80$. A l'opposé de la porte de travail se trouve un rampant horizontal qui conduit la flamme à la cheminée, après avoir traversé une grande chambre munie de portes qui servent à régler le tirage. La chauffe n'a pas de grille; c'est une aire voûtée placée à gauche de la porte de travail, et dont l'un des côtés est tangent à la sole près de la porte de travail, tandis que l'autre côté a une direction à peu près perpendiculaire à l'axe du fourneau. On charge à chaque opération 650 à 700 kilogr. de minerai; l'opération est conduite beaucoup plus rapidement qu'au Bleiberg, parce que le minerai renfermant une certaine proportion de carbonate de plomb, la réaction qui donne du plomb métallique commence plus tôt; il n'y a pas de ressuage proprement dit. En résumé, l'opération ne dure que 4 1/2 à 5 heures, et on voit couler du plomb dès la fin de la première heure. Chaque fois que le bassin de réception intérieur est plein, on fait écouler le plomb qu'il contient dans un bassin extérieur placé à droite de la porte de travail; on purifie le plomb comme à l'ordinaire, et on le coule dans des lingotières.

Les crasses du fourneau à réverbère sont fondues dans de tous petits fourneaux à manche, avec la moitié de leur poids de scories riches du fondage précédent. Ces fourneaux sont alimentés par des soufflets en cuir tout à fait semblables, sauf les dimensions, aux soufflets de maréchaux, et mus, comme eux, à bras d'hommes. Les scories étant très basiques dissolvent rapidement les parois du fourneau : on y passe, par 24 heures, de 4.500 à 5.000 kilogrammes de crasses, dont on retire de 12 à 20 pour 100 de plomb. On emploie comme combustible du charbon de bois seul ou mélangé de coke, venant de Marseille ou d'Angleterre, 30 pour 100 du poids des crasses.

Méthode du pays de Galles ou du *Flintshire*. Le minerai est soumis à une préparation mécanique très soignée, et sa teneur en plomb descend rarement au-dessous de 0,70. La méthode suivie pour en extraire le plomb se divise en deux parties, comme en Espagne, le traitement au four à réverbère et la fonte des crasses au fourneau à manche. Les fig. 2084 et 2085 donnent le plan et la coupe du four à réverbère employé aux environs d'Holywell : *a*, chauffe ayant $0^m,75$ sur $1^m,30$; *b*, porte de la chauffe ; *c*, autel ayant $0^m,75$ sur $0^m,30$; *e*, sole ou scories, ayant 3^m de longueur sur $2^m,85$ de largeur ; *f*, *f*, six portes, dont trois de chaque côté, et ayant $0^m,45$ sur $0^m,25$. En avant de l'une des portes du milieu se trouve pratiqué dans la sole un bassin intérieur, dont le fond est à $0^m,60$ au-dessous du seuil de la porte; vis-à-vis se trouve une chaudière extérieure, en fonte, pour recevoir les coulées de plomb. *h*, est une trémie pratiquée dans la voûte du fourneau et par laquelle se fait le chargement : cette voûte est à $0^m,50$ au-dessus de l'autel et à $0^m,25$ au-dessus de la sole, à la naissance des rampants *g*; la sole est à $0^m,,08$ et la grille à 0^m28, en contre-bas de l'autel. Une seule cheminée sert à tous les fourneaux de l'usine; cette disposition est indiquée

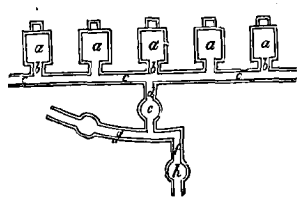
2084.





2085.

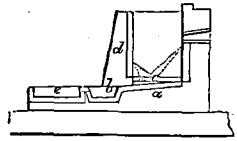
fig. 2086 : *a*, *a*, fours à réverbère ; *b*, *b*, rampants conduisant les flammes et fumées dans la conduite *c c*, d'où elles se rendent par la conduite *d* dans une chambre de condensation *e*, et de là, par la conduite *f*, dans la cheminée commune *h*; *g* est le conduit qui communique avec la chambre de condensation du fourneau à manche.



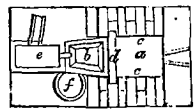
2086.

Le fourneau à manche pour la refonte des crasses est représenté fig. 2087 et 2088 ; il a intérieurement $0^m,67$ de long, $0^m,87$ de largeur moyenne et $0^m,90$ de hauteur. La sole *a* est formée d'une plaque de fonte légèrement inclinée vers le bassin de réception *b*, sur les côtés de cette sole sont couchés les supports en fonte *c*, *c*, sur lesquels reposent les parois latérales en grès et la plaque en fonte, qui forme la poitrine du fourneau et qui descend jusqu'à $0^m,18$ au-dessus de la sole. Au-dessus de la plaque de sole on bat un creuset en brasque. Le plomb se rend de l'avant-creuset *b* dans la chaudière en fonte *f*, sous laquelle on entretient un peu de feu, tandis que les scories s'écoulent par la partie supérieure et vien-

2087.



2088.

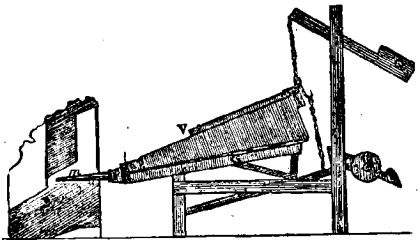


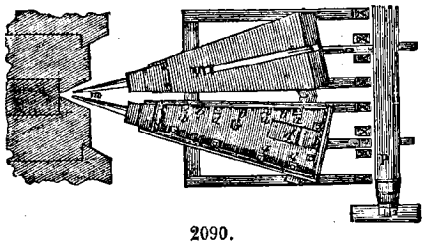
EFERUS - Recherche & Classification numérique

nent tomber dans un bassin *e*, plein d'eau froide qui se renouvelle constamment; elles s'y étonnent, s'y grenaillent, et on peut aisément en séparer par le lavage les parties riches, que l'on repasse dans le fourneau. La tuyère est à 0m,46 au-dessus de la plaque de sole et reçoit le vent de deux soufflets pyramidaux, fig. 2089 et 2090, dont les buses ont 3 centimètres de diamètre.

On charge à la fois 1.015k de minerai dans le four à réverbère, et chaque opération dure cinq à six heures.

2089.





2090.

On commence par un grillage à basse température et qui dure deux heures ; pendant ce temps, on fait subir une espèce de ressuage aux crasses de l'opération précédente, on purifie le plomb obtenu et on le coule en saumons. On fait ensuite trois fondages successifs, en les commençant tous par un coup de feu que l'on donne en chargeant la grille, fermant les portes et levant le registre. Les différents éléments du minerai réagissant les uns sur les autres, il se produit du plomb et des scories riches qui se réunissent dans le bassin intérieur. Les ouvriers repoussent les scories sur la sole, les étendent et les mêlent avec le minerai non réduit. On sèche ou diminue, au besoin, la fluidité des scories ou crasses par l'addition d'une certaine quantité de chaux. L'opération, comme on le voit, est menée très rapidement. On traite environ 4.060k de minerai par vingt-quatre heures, et par 100k de minerai traité la main-d'œuvre est de 0journ.,10, et la dépense en combustible 40 à 50k de houille. On obtient moyennement de 24 à 25 p. 100 de crasses, dont on repasse 100k par heure au fourneau à manche en les mélangeant avec des escarbilles de coke ; elles rendent 22 à 24 p. 100 de plomb.

Méthode du Derbyshire Le minerai que l'on traite dans le Derbyshire étant principalement composé de galène, mélangée d'une quantité notable de carbonate de plomb avec gangue de chaux fluatée et de baryte sulfatée, il est généralement impossible de l'amener par la préparation mécanique à une teneur aussi élevée qu'on le fait pour les minerais que l'on traite par les méthodes précédentes. Le travail comprend également deux parties : fonte du minerai au four à réverbère, et fonte des crasses au fourneau à manche.

Le four à réverbère est semblable à celui indiqué fig. 2084 et 2085, à cela près que la sole est un peu plus grande et la charge seulement de 800 à 850k, ce qui facilite le grillage, dont la durée est d'ailleurs d'autant moindre que le minerai renferme plus de carbonate de plomb ; on renouvelle de temps en temps les surfaces à l'aide d'un râble, en maintenant la chaleur au-dessous du rouge. Cette période est terminée quand on voit disparaître les vapeurs ou fumées qui obscurcissaient l'intérieur du fourneau, lequel s'éclaircit complétement. On ajoute alors, s'il est nécessaire, un mélange de calcaire et de chaux fluatée, qui sert de fondant, et on donne un coup de feu. Il se forme des scories très liquides et pauvres, tenant 0,09 de plomb, et que l'on jette, 20 à 22 p. 100 de crasses riches ayant une teneur de 0,28, que l'on sèche avec de la chaux ou du poussier de houille, après avoir fait écouler les scories pauvres, et du plomb métallique. On passe quatre charges par vingt-quatre heures. Les scories riches, ainsi que les écumages venant du raffinage du plomb, sont repassées, à raison de 160k par heure, dans un fourneau à manche pareil à celui indiqué fig. 2087 et 2088, et rendent 24 à 25 p. 100 de plomb.

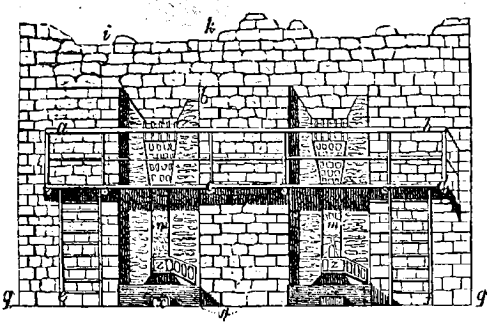
Méthode de Bretagne. Cette méthode, usitée à Poullaouen, est appliquée à des minerais ayant une teneur moyenne de 0,66 et à gangue de quarz, de blende et de pyrite. Le four à réverbère a trois portes de travail situées sur le même côté du fourneau et, dans la direction de son axe longitudinal, une quatrième porte qui sert à faire écouler les scories ; la grille a 0m,46 sur 1m,36 ; l'autel a 0m,65 de largeur minimum ; la sole a 3m,40 de long sur 1m,85 de largeur maximum ; la voûte est à 1m,35 au-dessus de l'autel, 0m,70 au-dessus de la grille, 0m48 au-dessus de la sole, près de l'autel, et 0m,30 près du rampant ; la cheminée a une section de 0m,40 de côté ; la sole est en argile battue et inclinée, d'une part, vers le rampant, et, de l'autre, vers la porte de travail du milieu. On charge à chaque fois 1.300k de minerai ; l'opération, qui dure douze heures, se divise, comme dans la méthode du Bleiberg, en trois parties : le grillage, qui dure quatre heures trois quarts ; le brassage, qui dure autant ; et le ressuage, dont la durée est de deux heures et demie, et qui se fait en ajoutant du charbon. Les charges sont beaucoup plus fortes qu'au Bleiberg et l'opération conduite plus rapidement ; la perte en plomb est à peu près la même. On consomme un poids de bois et de fagots égal à celui du minerai traité, et la main-d'œuvre est plus considérable qu'en Angleterre et à peu près égale à celle de la méthode de la Sierra de Gador. On obtient environ 0,29 de crasses blanches et de fumées, qui sont fondues au fourneau à manche, et qui rendent 32 p. 100 de plomb, avec une consommation de 1/3 de charbon de bois.

Méthode de Conflans. Depuis quelques années on a remplacé à Conflans, où l'on suit la méthode de Bretagne, le fourneau à réverbère à une sole par un fourneau à deux soles, placées à la suite l'une de l'autre, dont la seconde, chauffée à flamme perdue, sert à effectuer le grillage du minerai, tandis que la première, placée près de la chauffe, sert au brassage et au ressuage. On réalise ainsi une économie assez notable sur le combustible.

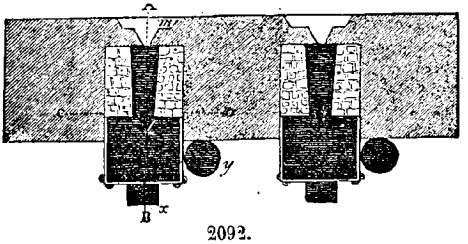
2e CLASSE. Cette classe de méthodes consiste, comme nous l'avons dit, à griller le minerai aussi complétement que possible, et à le fondre ensuite dans des fourneaux à manche ou dans des demi-hauts-fourneaux. Les minerais que l'on traite ainsi sont généralement moins riches que ceux que l'on traite par les méthodes de la première classe et plus impurs ; on les grille en tas, en cases, à plusieurs feux (Hartz), ou mieux dans des fours à réverbère de forme variée (Auvergne, Hongrie). La fonte du minerai grillé a lieu ordinairement dans de demi-hauts-fourneaux de dimensions très variables. La fig. 2092 donne le plan de deux fourneaux de ce genre, accolés, employés dans le bas Hartz; la fig. 2091 en donne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

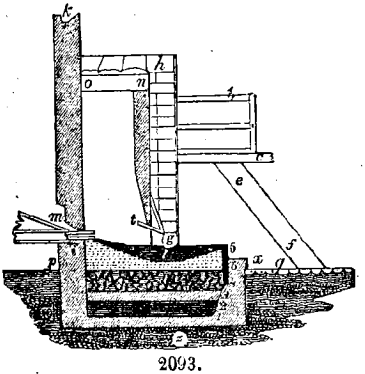
l'élévation, et les fig. 2093 et 2094 sont des coupes verticales suivant les lignes AB, CD de la fig. 2092 :



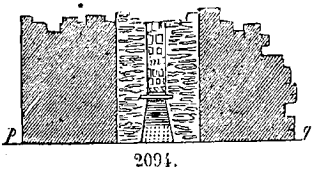
2091.



2092.



2093.



2094.

a b c d, est la plate-forme qui sert à charger le minerai et le charbon au gueulard *n o*; *e f*, escalier pour monter sur la plate-forme; *g h i k*, massif du fourneau; *m*, tuyère; *p q*, sol de l'usine; *t*, assiette pour recueillir une partie du zinc qui se volatilise et qui vient s'y condenser. La sole est composée, en allant de bas en haut, de deux rangs de briques, dans lesquels sont ménagés des canaux d'assèchement, d'une couche de scories concassées, d'une couche d'argile damée, et enfin de brasque (mélange d'une partie d'argile et de deux parties de poussier de charbon), que l'on bat de manière à lui donner la forme indiquée fig. 2092; *y*, est le bassin de réception pour le plomb. Généralement les scories s'écoulent naturellement par dessus l'un des côtés de l'avant-creuset. En Allemagne, chacun de ces fourneaux est encore presque toujours alimenté par deux soufflets pyramidaux V, G, disposés comme l'indiquent les fig. 2089 et 2090.

On obtient tantôt seulement du plomb et de scories pauvres rejetées, tantôt du plomb, des scories à rejeter, et des mattes que l'on grille et que l'on repasse avec le minerai grillé. Ce dernier cas se présente surtout lorsque le grillage a eu lieu en tas, parce qu'alors il se forme une forte quantité de sulfate qui, par l'action du charbon pendant la fonte, donne du plomb et du sous-sulfure de plomb ou matte à retraiter.

Méthode écossaise. En Angleterre, on emploie fréquemment, dans le Cumberland, etc., pour le traitement des minerais presque purs tenant 0,75 à 0,80 de plomb, une méthode qui a reçu le nom de méthode écossaise, et qui a l'avantage de donner du plomb très pur avec une dépense en main-d'œuvre et en matériel très faible, mais qui donne lieu, il est vrai, à une perte en plomb beaucoup plus considérable que les méthodes de la première classe. Le minerai est d'abord grillé dans un four à réverbère ordinaire. L'opération est conduite très rapidement; on passe, par 24 heures, neuf charges chacune de 500 kil. de minerai; en tout, 4.500 kil.; on fait tomber le schlich grillé dans de l'eau, où il se réduit en grenailles. On traite ensuite le schlich dans un petit fourneau à manche, dit fourneau écossais, et qui est représenté en coupe (fig. 2095). Il a intérieurement une hauteur de $0^m,55$ à $0^m,60$; sa section rectangulaire est de dimensions très variables, suivant la hauteur à laquelle on la prend, ainsi que l'indique la figure. La sole A B est en fonte, et porte postérieurement et sur les côtés un rebord en fonte A C, de $0^m,12$ de hauteur; le rebord postérieur de la sole est surmonté par une pièce de fonte C D, de $0^m,72$ de long et de $0^m,17$ de haut, sur laquelle est placée la tuyère; elle supporte une autre pièce en fonte E, évidée à sa partie inférieure pour le passage de la tuyère, et qui s'avance de $0^m,05$ dans l'intérieur du fourneau, dont la paroi postérieure est enfin couronnée par une dernière pièce de fonte H. En avant de la sole se trouve une plaque de fonte M N, appelée plaque de travail, entourée de tous les côtés, excepté sur celui qui regarde le fourneau d'un rebord de $0^m,03$ de hauteur; elle est inclinée de l'arrière à

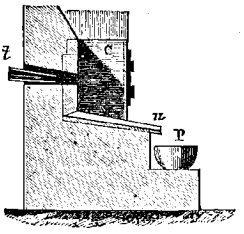


Fig. 2095.

l'avant, et son rebord postérieur, placé à $0^m,12$ au-dessus de la surface de la sole, en est séparé par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un espace vide *g*, qu'on remplit avec un mélange de cendres d'os et de galène en poudre fine humectés et broyés ensemble. Ce mélange forme une masse imperméable au plomb fondu, qui, après avoir rempli le bassin ainsi formé au fond du fourneau, se rend naturellement, par une rigole pratiquée dans la plaque de travail, dans le bassin de réception P. Sur les deux rebords latéraux de la sole sont placées deux pièces de fonte carrées M C, de $0^m,13$ de côté et de $0^m,67$ de long, qui portent une maçonnerie en briques réfractaires supportant à la partie antérieure une pièce de fonte parallèle à H, et recouvertes, dans l'autre sens, par des cubes en fonte qui terminent le couronnement du fourneau. On a presque toujours des chambres de condensation pour recueillir les fumées.

Lorsqu'on veut commencer une fonte, on allume le fourneau avec des briquettes de tourbe; on charge d'abord des crasses riches, et au besoin de la chaux ou du calcaire, soit pour rendre les matières terreuses plus fusibles si elles sont trop réfractaires, soit pour les *sécher* si elles sont trop fusibles. Lorsqu'elles sont arrivées au fond du fourneau, on les retire par la poitrine; on les place sur la table de travail, une partie du plomb s'écoule à l'état métallique; puis on trie, d'une part, les crasses riches et, de l'autre, les crasses pauvres, qui ont plus d'éclat que les précédentes et ont été agglutinées ou séchées par l'addition de la chaux, et on les met de côté. On place devant la tuyère une brique de tourbe pour diviser le vent; on rejette dans le fourneau un peu de houille, quelques pelletées de minerai, les crasses restées sur la plaque de travail, et de la chaux, s'il est nécessaire. Au bout de 10 ou 15 minutes, les matières sont de nouveau tirées sur la plaque de travail et traitées comme ci-dessus. Le même travail se continue pendant 12 à 15 heures de suite, après quoi on laisse refroidir le fourneau pendant 5 à 8 heures. Il y a deux ouvriers par fourneau. Un fourneau écossais, marchant 15 heures sur 24, produit dans ce temps 1.500 à 2.000 kilogrammes de plomb. Ce dernier se sépare des crasses par liquation.

Autrefois, et maintenant encore quand le minerai renferme une forte proportion de carbonate de plomb, on passait le minerai au fourneau écossais sans grillage préalable. Dans ce cas, on ajoute une plus forte proportion de chaux, et on emploie plus de tourbe et moins de houille, afin d'avoir, dans l'intérieur du fourneau, une zone oxydante plus étendue.

Les crasses pauvres que l'on obtient au fourneau écossais, et qui sont mises de côté comme nous l'avons dit, sont refondues au fourneau à manche (fig. 2087 et 2088).

3e CLASSE. La troisième classe de méthodes consiste à réduire la galène par le fer, soit dans des fourneaux à manche, soit dans des fourneaux à réverbère. On remplace souvent une partie du fer par des battitures ou des scories de forge, dont une partie du fer se réduit pendant la fonte et remplace économiquement le fer métallique, lorsqu'on se trouve dans le voisinage d'usines à fer; on remplace aussi quelquefois le fer par des grenailles de fonte obtenues par le bocardage des laitiers de hauts-fourneaux. Théoriquement, il suffirait de 22,6 pour 100 de fer pour décomposer la galène; mais dans la pratique, il convient d'en ajouter 30 à 35 pour 100.

A *Tarnowitz*, dans la Haute-Silésie, le minerai riche, tenant 0,80 de plomb, est traité dans des fourneaux à manche de $1^m,25$ de hauteur, avec 0,12 de vieilles ferrailles ou de grenailles de fond, autant de scories d'affinage de la fonte de fer par la méthode allemande, et 0,36 de scories de la fonte même. On dépense environ 0,14 de coke, et on produit 0,66 de plomb et 0,24 de matte, plus des scories qui sont rejetées : chaque campagne dure six jours et donne environ 30.000 kilogrammes de plomb. Les schlichs pauvres, tenant 0,50 de plomb environ, sont fondus dans un demi-haut-fourneau, avec 0,32 de mattes de la fonte du minerai riche, 0,12 de matières plombeuses (débris de fourneaux, écumages), 0,10 de scories de fer métallique, 0,24 de scories d'affinage et 1,20 de la fonte même. On consomme 0,43 de coke, et on produit 0,40 de plomb. Chaque campagne dure une semaine, et on obtient par jour 1.000 à 1.100 kilogrammes de plomb. Enfin, on refond à part les résidus, crasses, mattes, écumages, etc., de cette dernière opération.

A *Vienne*, sur les bords du Rhône (cette usine a cessé d'exister depuis quelques années, par suite de l'épuisement des mines qui l'alimentaient), et à *Poullaouen* (Finistère), on opère la fusion dans des fours à réverbère chauffés, soit au bois, soit à la houille (cette méthode est connue sous le nom de *méthode viennoise*). La chauffe a $0^m,80$ sur $0^m,42$; la sole est formée de pierres de grès; elle a $2^m,68$ de long sur $1^m,35$ de largeur maximum; sa forme est ovoïde; elle est très inclinée (de $0^m,43$) vers le bassin de réception, qui est extérieur. Le travail est très simple : on charge 370 kilogrammes du lit de fusion; on ferme les portes; au bout de 2 heures, on repousse les scories sur le haut de la sole, et on ramène la ferraille dans le bain; après 4 heures, on enlève la plus grande partie des scories, on coule et on obtient 135 kilogrammes de plomb. Les scories et mattes ferreuses que l'on obtient en sont rejetées. Le lit de fusion se compose de 1,00 de minerai cru, de 0,40 de terres rouges argentifères, qui servent, en outre, de fondants, de 0,10 de fonds de coupelles et de 0,35 de ferrailles.

Cette méthode s'applique également bien à des minerais très riches, comme l'ont prouvé des essais faits à Poullaouen sur des minerais venus de la Sierra de Gador.

Sous le rapport du rendement en plomb et de l'économie du combustible, les méthodes de la troisième classe donnent des résultats bien supérieurs aux autres méthodes, pour le traitement des minerais ayant une faible teneur (0,40 à 0,60), et que la nature de la gangue n'a pas permis de concentrer davantage. Lorsque le plomb est très argentifère, on ne peut rejeter les mattes qui contiennent une notable proportion d'argent; il faut les repasser dans le lit de fusion; mais, comme elles ne se séparent pas toujours bien facilement des scories, elles restent en partie disséminées dans la scorie, ce qui explique que souvent, pour des minerais très riches en argent, et que, par cette raison, on concentre peu à la préparation mécanique, comme en Auvergne, on préfère griller le minerai aussi complétement que possible et le fondre sans addition de matières ferreuses, afin de ne pas produire de mattes, bien qu'en agissant ainsi on augmente beaucoup la dépense en combustible, et que la perte en plomb soit plus considérable.

Dans quelques usines où ce dernier cas se présente, à *Przibram*, en Bohême, par exemple, où le minerai fondu rend moyennement 0,39 de plomb et 0,00240 d'argent, on a adopté une méthode mixte, qui consiste à griller le minerai comme dans les méthodes de la deuxième classe, et à le fondre ensuite avec une certaine quantité de matières ferreuses comme dans les méthodes de la troisième classe. On obtient ainsi un peu plus de plomb que par les méthodes de la deuxième classe, mais il n'y a pas économie de combustible; on produit très peu de matte, laquelle reste disséminée dans les scories.

Revivification des litharges. Le plomb que l'on obtient en Carinthie, dans la Sierra de Gador et dans le Derbyshire, est généralement trop pauvre en argent pour être soumis à la coupellation, et est immédiatement livré au commerce. Récemment, en Angleterre, M. Pattinson a trouvé un moyen fort ingénieux de concentrer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à peu de frais la majeure partie de l'argent contenu dans un plomb pauvre dans une faible partie de ce plomb, et d'obtenir ainsi un produit assez riche pour pouvoir être soumis avec bénéfice à la coupellation (voir article ARGENT, — *affinage par cristallisation*). Généralement le plomb est assez argentifère pour pouvoir être directement coupellé; la coupellation (voir article ARGENT) produit des crasses (abzugs et abstrichs), des litharges noires, des litharges marchandes, jaunes ou rouges, des litharges riches, et enfin de l'argent de coupelle. Les abzugs, abstrichs, litharges riches et fonds de coupelles, sont ordinairement repassés dans les lits de fusion comme matières plombeuses, ou fondus séparément. Les litharges noires sont quelquefois repassées dans le lit de fusion, mais le plus souvent on les réduit et on en retire un plomb antimonial aigre, qui est vendu à bas prix pour la fabrication du plomb de chasse, etc. Les litharges rouges sont presque toujours livrées au commerce après pulvérisation préalable au bocard ou entre des cylindres. Les litharges jaunes sont tantôt versées directement dans le commerce, tantôt revivifiées, suivant la valeur relative du plomb et de la litharge et les débouchés; elles donnent du plomb très pur, très doux et d'excellente qualité.

La revivification des litharges s'opère soit dans des fourneaux à manche, et rentre alors dans les méthodes de la deuxième classe, soit dans des fours à réverbère. Lorsqu'on emploie des fourneaux à manche, la fonte est conduite très rapidement, et la perte en plomb est de 4 p. 100; on obtient une petite quantité de scories riches que l'on repasse, partie dans l'opération même, partie dans les fontes pour plomb d'œuvre. On peut aussi employer le fourneau écossais, qui est plus économique sous le rapport de la consommation en combustible et de la main d'œuvre, et qui ne donne qu'une perte en plomb de 2 p. 100; les crasses du fourneau écossais sont repassées au fourneau à manche. La perte est également insignifiante au four à réverbère. On charge d'abord une couche de houille de 5 à 6 centimètres d'épaisseur sur la sole, qui est inclinée vers un canal servant à l'écoulement du plomb réduit; l'intérieur du fourneau étant arrivé au rouge sombre, on charge la litharge sur toute l'étendue de la sole, en fragments assez gros mélangés de deux ou trois fois son volume de menue houille; on conduit le feu de manière à maintenir le fourneau au rouge sombre, de sorte que la litharge ne fonde pas et que le plomb réduit se sépare par liquation. Les crasses et fumées du four à réverbère sont repassées au fourneau à manche.

A Freiberg, en Saxe, on avait imaginé, il y a quelques années, de réduire les litharges en les faisant tomber, à la sortie du fourneau de coupelle, dans une espèce de panier ou fourneau mobile plein de charbons embrasés. Ce procédé, très prôné lors de sa découverte, a été abandonné depuis.

Statistique

La production annuelle du plomb en Europe est d'environ 852.000 q. m., savoir :

Angleterre.	392.000q. m.
Espagne.	312.000
Hartz (haut et bas).	53.000
Empire d'Autriche (Carinthie, Bohême, Hongrie).	51.000
Prusse (bords du Rhin et Silésie).	46.000
France.	8.000
Russie.	7.000
Pays de Nassau.	6.000
Saxe.	4,500
Savoie, Piémont.	2,500
Suède.	800
	852.800q. m.

qui, au prix moyen de 50 fr. le quintal métrique, représentent une valeur de 42,640,000 fr.

L'Amérique produit aussi une quantité de plomb considérable dans le Missouri. P. DEBETTE.

PLOMB GRANULÉ ou PLOMB DE CHASSE (*angl.* lead-shot, *all.* schrot). Le plomb acquiert la propriété de se granuler par l'addition d'une certaine quantité d'arsenic, d'autant plus grande qu'il est plus aigre, c'est-à-dire plus antimonial; cependant on le fabrique presque toujours avec les plombs aigres venant de la réduction des litharges noires, à cause du bas prix auquel on les trouve dans le commerce. On ajoute à peu près 0,003 d'arsenic aux plombs doux, et jusqu'à 0,008 d'arsenic aux plombs aigres. Le mélange d'arsenic se fait de deux manières, soit en préparant d'abord un plomb très chargé d'arsenic que l'on ajoute ensuite en certaine proportion au plomb à granuler, soit en introduisant directement dans les bains de plomb, ordinairement à l'état de sulfure, ou *orpiment*, la quantité d'arsenic nécessaire. Lorsque la quantité d'arsenic ajoutée est trop forte, les grains sont lenticulaires; lorsque, au contraire, elle est trop faible, les grains forment la *coupe*, c'est-à-dire qu'ils sont aplatis d'un côté et présentent un creux dans le milieu; enfin, lorsque la proportion d'arsenic est beaucoup trop faible, les grains forment la *queue*, ils s'allongent davantage et ont encore un creux vers le milieu. On fond à la fois, dans une chaudière en fonte, 2.000 à 2.500k de plomb sous une couche de cendres et de poussier de charbon; quand le plomb est fondu, on enlève à l'aide d'un écumoir les crasses et les cendres qui sont à la surface du bain, et on y introduit par petites portions le sulfure d'arsenic ou l'alliage de plomb et d'arsenic, en brassant la matière à chaque addition, et on enlève au fur et à mesure les crasses qui se forment. On essaie de temps en temps le bain pour reconnaître s'il renferme assez d'arsenic pour donner des grains bien sphériques. Lorsqu'on est arrivé à ce point, on verse le plomb sur les *passoires*, demi-sphères en tôle percées de trous parfaitement ronds, dont les dimensions varient suivant les numéros du plomb que l'on veut obtenir; ces passoires sont placées sur des espèces de réchauds et entourées de charbon allumé pour empêcher le plomb de s'y figer; elles sont placées au-dessus de tours ou puits profonds, au bas desquels se trouvent des cuves à demi-pleines d'eau destinées à recevoir le plomb granulé à mesure qu'il se forme. On garnit intérieurement les passoires avec les dernières crasses retirées du bain, et qui sont blanches et poreuses; le plomb que l'on verse dessus doit avoir une chaleur telle qu'il filtre au travers, de manière à se diviser en gouttes et à se grenailler en passant par les trous des passoires. Les grains que l'on obtient dans une même passoire ne sont pas toujours égaux; on les classe au moyen de cribles de différentes grosseurs; on en sépare ensuite les grains qui ne sont pas bien ronds en faisant couler le plomb sur des tables en bois inclinées; les grains informes s'arrêtent en route et sont mis à part pour être refondus, tandis que ceux qui sont bien ronds, animés d'une plus grande vitesse, continuent leur marche. On lisse enfin ces grains en les faisant tourner avec un peu de graphite en poudre dans des tonneaux traversés par un axe horizontal en fer.

PLOMB LAMINÉ. Lorsqu'on veut obtenir du plomb en feuilles, on le coule ordinairement en plaques, sur table, et on le lamine à froid. Quelquefois on le coule sur des tables en pierre légèrement inclinées; dans ce cas, il faut que la feuille n'ait pas plus de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, sans quoi la table se fendrait par suite de l'excès de chaleur qui résulterait d'une trop forte masse de plomb. On peut se procurer par le coulage des feuilles de plomb très minces, en coulant le plomb sur une toile de coutil graissée avec du suif, bien tendue et inclinée d'environ un sixième. Dans tous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les cas, on coule le plomb à une température très-basse, et telle qu'un morceau de papier plongé dans le bain s'y charbonne rapidement sans s'enflammer.

PLOMBAGINE; GRAPHITE (*angl.* plumbago, *all.* graphit). C'est du carbone à peu près pur, d'un éclat métallique, gris de plomb, ou plutôt gris de fer, gras au toucher, tachant les doigts, et dont la densité = 2,08 à 2,45. Il est peu dur et se laisse tailler au couteau; il est combustible et s'incinère complétement, quoique difficilement, en laissant presque toujours un faible résidu de matières étrangères. Il se trouve ordinairement dans les terrains de transition les plus anciens. Le plus célèbre jadis, qui avait fait la réputation des crayons anglais, vient de *Borrowdale*, dans le Cumberland; la mine est aujourd'hui épuisée, et les quelques recherches que l'on fait encore sont peu fructueuses. On en trouve en Allemagne, mais beaucoup moins pur, à Passau, etc.

Le graphite se rencontre en Bohême; on en importe en Angleterre de Ceylan. Un Français, M. Alibert, a créé une belle exploitation de graphite dans la Sibérie orientale, près de Irkoutsk, au mont Batougol, qui a donné des produits aussi remarquables par leur pureté et leur douceur que par leur grande dimension. En 1862, on avait déjà extrait de cette mine 49,000 kilogrammes de graphite de première qualité. Acquise depuis cette époque par la maison Faber, de Bavière, l'exploitation s'est encore développée.

Le graphite pur est débité sous forme de petites baguettes qui servent à faire les crayons dits de *mine de plomb*. Le graphite impur sert, mélangé en certaines proportions avec de l'argile réfractaire, à fabriquer des creusets très-réfractaires connus sous le nom de *creusets de Passau*, des fourneaux, etc.; il entre aussi dans la composition de divers mélanges employés pour le graissage des essieux de voitures, des axes de machines. Enfin, réduite en poudre très-fine, la plombagine sert à rendre conductrices les surfaces sur lesquelles on veut faire naître des dépôts galvanoplastiques. Voyez CRAYONS.

PLUMES (*angl.* pens, *all.* feder). Les plumes sont employées, soit comme ornements, soit pour la literie, soit enfin pour l'écriture et le dessin.

Plumes pour ornements. Les plumes pour ornements, les plus employées en Europe, sont les plumes d'autruche. On les dégraisse, en les plongeant 5 à 6 minutes dans une eau de savon tiède, puis les lavant à l'eau pure; on les blanchit ensuite, en les passant pendant 1/4 d'heure dans de l'eau bouillante tenant en suspension du blanc de Meudon; on les azure légèrement avec de l'indigo, on les passe au soufre, on les pare, on les frise et on les teint, s'il y a lieu, par les procédés de teinture ordinaires.

Plumes pour literie. On emploie pour cet usage le duvet de l'oie, que l'on fait sécher à l'air, au soleil ou dans un four, et que l'on bat ensuite avec soin à plusieurs reprises. Le duvet de l'*eider*, oiseau que l'on ne rencontre que dans les contrées septentrionales, est remarquable par sa légèreté, et est très-recherché pour la confection des couvre-pieds qui portent le nom d'*édredons*.

Après un long usage, ou par tout autre motif, il devient nécessaire de purifier les plumes qui ont servi à la literie; on ne peut y parvenir par le lavage, comme pour la laine ou le coton. Ordinairement on les réunit dans un grand cylindre métallique, dont le double fond reçoit du feu; on les agite avec des baguettes, et on les bat avant de les employer de nouveau: cette opération altère assez fortement les plumes. M. Taffin a imaginé un procédé de purification bien préférable, qui consiste à tenir les plumes en mouvement continu de rotation pendant un temps convenable, au moyen d'un volant armé de bras mus par une manivelle, dans un cylindre à doubles parois, entre lesquelles on introduit de la vapeur; on expose ensuite pendant quelques instants les plumes à l'action de la vapeur d'eau et on les sèche par une simple exposition à l'air.

Plumes à écrire. Pour rendre les plumes propres à écrire, on les passe, pendant quelques instants, dans un bain de cendres ou de sable fin chauffé à 60° environ, puis on les frotte fortement avec un morceau d'étoffe de laine; la chaleur détruit la substance grasse qui enduit les surfaces de la plume, et leur permet de se mouiller d'encre, ce qui n'avait pas lieu auparavant. Les plumes prennent en vieillissant une couleur jaune; on leur donne artificiellement cette teinte, en les plongeant dans de l'acide hydro-chlorique faible. On se sert généralement de plumes d'oie pour l'écriture, et de plumes de corbeau pour le dessin.

PLUMES MÉTALLIQUES. Les plumes métalliques, toujours faites en acier, se sont substituées aux plumes d'oie depuis que le glaçage du papier a rendu leur dureté sans inconvénient. Les feuilles d'acier sont apportées à la fabrique laminées sur 0mm,7 d'épaisseur; elles sont coupées en bandes, de largeur et de longueur convenables, et on leur fait subir un *recuit* qui adoucit le métal, le rend moins cassant et lui permet de mieux supporter les différentes opérations ultérieures. A cet effet, les lames sont placées dans des boîtes métalliques, où elles sont fortement serrées l'une contre l'autre; ces boîtes sont exposées dans des fours, pendant douze heures environ, à l'action d'une haute température; on les abandonne ensuite à un refroidissement lent.

Il faut alors amener ces lames à l'épaisseur voulue, qui varie suivant le modèle de plumes auquel elles sont destinées. On y parvient par un laminage qui se fait à froid: le laminage à chaud dénaturerait l'acier, l'épaisseur sous laquelle on le livre à la fabrique étant l'épaisseur limite que l'on peut obtenir à chaud sans altérer le métal; la chaleur aurait de plus l'inconvénient de déterminer la formation d'une couche superficielle d'oxyde qui détériorerait les outils. Lorsque les lames et les rubans d'acier sont laminés, ils sont envoyés à l'atelier des femmes, et c'est là que commence à proprement parler la fabrication de la plume métallique. Elle comporte dix opérations successives que nous allons décrire.

1° *Découpage.* Cette opération consiste à découper le morceau d'acier qui servira à faire la plume: elle se fait à l'aide d'une machine assez simple qui, plus ou moins modifiée, sert dans presque toutes les phases de la fabrication. Cette machine se compose d'une masse métallique portant à sa partie inférieure une pièce en acier trempé dans laquelle se trouve en creux l'empreinte de la plume supposée aplatie; les bords de cette cavité sont tranchants et constituent un couteau emporte-pièce qui a la forme de la plume. Le tout est suspendu par une vis sans fin munie d'un balancier et tournant dans un écrou qui se meut verticalement, guidé par deux colonnes métalliques. L'ensemble de l'appareil constitue un petit balancier au-dessous de l'emporte-pièce est une petite enclume fixée à l'appareil qui lui-même repose sur une table devant laquelle l'ouvrière est assise. Celle-ci place une lame d'acier sur l'enclume, et, en manœuvrant le balancier, fait descendre l'emporte-pièce qui découpe dans la bande de métal un morceau ayant la forme d'une plume. Une ouvrière habile découpe ainsi de 360 à 400 grosses de plumes par jour, c'est-à-dire (la grosse se composant de douze douzaines) 51,840 à 57,600 plumes.

2° *Marque de la plume.* La plume reçoit ensuite la marque du fabricant et, quelquefois en même temps, certains ornements que l'on imprime à sa surface. Cette opération s'effectue par la chute d'un mouton.

3° *Perçage.* Le *perçage* a pour but de pratiquer dans la plume des ouvertures destinées à lui communiquer plus d'élasticité. Le trou que l'on voit au centre des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plumes et dans le prolongement de la fente, a un autre but, dont nous parlerons plus tard.

Le perçage se fait à l'aide de la première machine, où l'emporte-pièce devient un petit découpoir, dont le piston est de la forme des trous qui doivent être faits sur la plume.

4° *Formage.* Jusqu'ici la plume est encore plate : il faut lui donner la forme concave qu'elle a ordinairement; le petit balancier sert encore pour cette opération. L'enclume présente une cavité dans laquelle peut descendre un morceau d'acier ayant la forme et la courbure qu'on veut donner à la plume. Celle-ci étant placée sur la cavité, l'ouvrière agit sur le balancier et fait descendre le morceau d'acier qui comprime la plume et la force à se mouler sur lui.

5° *Trempe.* Il faut que l'acier, pour subir les opérations que nous venons de décrire, ne soit ni trop élastique, ni trop dur, ni trop cassant ; la plume fabriquée doit, au contraire, être élastique et dure. On lui communique ces propriétés en *trempant* le métal, c'est-à-dire en le portant à une haute température pour le refroidir ensuite brusquement. Pour cela, les plumes sont enfermées dans des boîtes métalliques que l'on expose pendant une heure, dans des fours, à l'action d'une température rouge cerise. Puis on les sort et on les trempe aussitôt dans un bain d'huile qui les refroidit brusquement : la trempe à l'eau serait trop dure.

6° *Recuit.* L'opération précédente a rendu le métal trop cassant : on corrige cet effet par un *recuit*, qui consiste à chauffer les plumes dans un appareil semblable à celui que l'on emploie pour la torréfaction du café et à les laisser refroidir lentement. La température doit être bien moins élevée que celle à laquelle on porte l'acier avant la trempe, sans quoi on détruirait ce qu'a produit cette opération.

7° *Nettoyage.* La trempe et le recuit ont eu pour effet de déterminer la formation d'une couche superficielle d'oxyde, que l'on enlève en plongeant d'abord les plumes dans un acide. On les place ensuite avec du gravier dans de grandes boîtes de fer-blanc qui sont mises en mouvement de rotation autour de l'axe sur lequel elles reposent : ces boîtes portent à l'intérieur des pointes qui divisent la masse et renouvellent les surfaces en empêchant les plumes d'aller s'appliquer contre les parois et de tourner sans frottement. Le gravier, en frottant contre les plumes, les nettoie, les polit, et l'on achève le travail en remplaçant le gravier par la sciure de bois.

8° *Aiguisage.* La plume subit alors l'*aiguisage en long* : l'ouvrière la saisit avec une pince par le bout opposé à la pointe, et présente l'autre extrémité à l'action d'une meule verticale animée d'un mouvement rapide de rotation. Cette meule, qui a environ 1 centimètre d'épaisseur, est recouverte de cuir et d'émeri : l'ouvrière appuyant sur la meule le quart environ de la plume suivant le sens de la longueur, celle-ci s'use et s'aiguise. Une ouvrière peut aiguiser par jour 14 à 15,000 plumes.

9° *Refendage.* Jusqu'ici la plume n'est pas encore *fendue*. On la fend à l'aide de la machine à balancier, qui est pour ainsi dire transformée en une paire de ciseaux. L'une des lames est fixe, c'est le bord tranchant d'une pièce d'acier fixée à l'extrémité de la vis; l'autre est le bord de l'enclume. L'ouvrière, grâce à des guides convenablement fixés, place la plume sur l'enclume, de telle sorte que l'une des moitiés repose sur elle et que l'autre soit en dehors; en agissant sur le balancier, elle fait descendre la lame mobile et la plume, se trouvant prise entre elle et l'enclume, se fend jusqu'au trou qu'a déterminé le perçage. Ce trou a l'avantage d'arrêter la fente; de plus, en permettant à l'outil de couper la plume avec netteté depuis la pointe jusqu'à lui, il évite la production des bavures qui empêcheraient la fente de se refermer parfaitement dès qu'elle aurait été ouverte. Une ouvrière refend environ 15,000 plumes par jour. Certains modèles, surtout les plus grands et ceux qui sont en acier fort, présentent sur les bords des fentes destinées à donner de l'élasticité : ces fentes ont été faites en même temps que le perçage.

10° *Vernissage.* Enfin, la plume n'a plus qu'à subir l'opération du vernissage.

PNEUMATIQUE (MACHINE). On donne habituellement ce nom à une petite pompe aspirante employée dans les cabinets de physique, semblable, sauf les dimensions plus petites, aux machines pneumatiques ou machines aspirantes employées pour les chemins de fer atmosphériques, ou pour l'aérage des mines; dans ce dernier cas, on se sert plus souvent de ventilateurs aspirants. (Voyez VENTILATION.) Les machines aspirantes à piston ont beaucoup d'analogie avec les machines soufflantes; les soupapes d'aspiration s'ouvrent du dehors en dedans du corps de pompe, et les soupapes d'évacuation, placées sur le piston même, s'ouvrent de dedans en dehors; en inversant le sens des soupapes, on transformerait les machines aspirantes en machines soufflantes, et réciproquement. Les machines aspirantes sont souvent à simple effet, et doivent être alors assemblées par couples, afin d'obtenir une aspiration continue.

POIDS ET MESURES. Parlons d'abord du système décimal ou *système métrique* rendu actuellement obligatoire en France.

Mesures itinéraires.

Myriamètre	10,000 mètres.
Kilomètre	1,000 mètres.
Décamètre	10 mètres.
MÈTRE	*Unité fondamentale du système français actuel des poids et mesures;* c'est la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

Mesure de longueur.

Mètre	
Décimètre	10e de mètre.
Centimètre	100e de mètre.
Millimètre	1,000e de mètre.

Mesures agraires.

Hectare	Carré de 100 mètres de côté = 10,000 mètres carrés.
Are	Carré de 10 mètres de côté = 100 mètres carrés.
Centiare	1 mètre carré.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Mesures de capacité.

Kilolitre	1 mètre cube ou 1.000 litres.
Hectolitre	100 litres.
Décalitre	10 litres.
Litre	1 décimètre cube.
Décilitre	10e de litre.
Centilitre	100e de litre.

Mesures de solidité.

Décastère	10 stères.
Stère	Mètre cube.
Décistère	10e de stère

Poids.

Tonne ou millier	Poids d'un mètre cube d'eau distillée et à la température de 4° au-dessus de zéro = 1.000 kilogrammes.
Quintal	100 kilogrammes.
Myriagramme	10 kilogrammes.
Kilogramme	Poids d'un décimètre cube d'eau distillée, à 4° au-dessus de zéro, = 1.000 grammes.
Hectogramme	100 grammes.
Décagramme	10 grammes.
Gramme	Poids d'un centimètre cube d'eau distillée, à 4° au-dessus de zéro.
Décigramme	10e de gramme.
Centigramme	100e de gramme.
Milligramme	1.000e de gramme.

Anciens poids et mesures de France.

On se servait autrefois en France des *mesures de longueur* suivantes :

	mètres.
La toise = 6 pieds	1,94904.
Le pied de roi = 12 pouces	0,32484.
Le pouce = 12 lignes	0,02707.
La ligne = 12 points	0,00226.
Le point	0,00019.
Et par suite,	mètres carrés.
La toise carrée = 36 pieds carrés	3,7987.
Le pied carré = 144 pouces carrés	0,1055.
Et	mètres cubes
La toise cube = 216 pieds cubes	7,4039.
Le pied cube = 1728 pouces cubes	0,03428.

Anciennes mesures itinéraires.

Lieue commune, de 25 au degré	2280 toises = 4.444 mètres.
Lieue marine, de 20 au degré	2850 toises = 5.556 mètres.
Lieue de poste	2000 toises = 3.898 mètres.
Mille géographique ou mille marin	950 toises = 1.852 mètres.

Mesures de longueur spéciales.

Perche des eaux et forêts	22 pieds = 7m,1465.
Perche de Paris	18 pieds = 5m,8471.
Aune de Paris	3 pieds 7 pouces 10 lignes = 1m,188.
Brasse de la marine	5 pieds = 1m,6242.
Encâblure	100 toises = 194m,904.

Mesures de superficie.

	mètres carrés.
Perche (des eaux et forêts) carrée = 484 pieds carrés	51,07.
Perche (de Paris) carrée = 324 pieds carrés	34,19.
Arpent (des eaux et forêts) = 100 perches carrées	5.107
Arpent (de Paris) = 100 perches carrées	3.419.

Mesures de solidité et de capacité.

	mètres cubes
Solives de charpente = 3 pieds cubes	0,10283.
Corde des eaux et forêts = 2 voies de Paris	3stère,839.
La voie de Paris	1stère,920.
Muid de blé = 12 setiers	1.872 litres.
Setier = 12 boisseaux	156 litres.
Boisseau = 16 litrons	13 litres.
Litron	0litre,8125.
Muid de vin = 288 pintes	268litre,21.
Pinte	0litre,931.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Anciens poids.

	kilogrammes.
Tonneau = 2.000 livres.	979,01.
Quintal = 100 livres.	48,95.
Livre = 2 marcs.	0,4895.
Marc = 8 onces.	0,24475.
Once = 8 gros.	0,03060.
Gros = 3 deniers ou scrupules = 72 grains.	0,00383.
Grain.	0,000053.
Carat de joaillier = 4 grains.	0,000212.
Carat des essayeurs, 1/24 du tout ou 0,04167, se divise en 32 parties.	
Deniers des essayeurs, 1/12 du tout ou 0,08333, se divise en 24 grains.	

ÉTRANGER (PRINCIPAUX POIDS ET MESURES).

Mesures itinéraires.

		mètres.	
Angleterre.	Mille.	1.609	1.760 yards.
	Furlong.	201	220 yards.
Autriche.	Mille.	7.586	4.000 toises.
Espagne.	Lieue royale.	7.066	25.000 pieds.
	Lieue commune.	5.596	19.800 pieds.
Hollande.	Mille.	5.856	20.692 pieds.
Milanais.	Mille.	1.654	
Prusse.	Mille.	7.532	24.000 pieds.
Russie.	Werste.	1.067	500 sagènes.
Saxe.	Mille.	9.074	1.600 aunes (ellen).
Turquie.	Mille ou berri.	1.670	

mesures de longueur.

		mètres.	
Angleterre.	Pied.	0,3048	1/11 de perche, 1/16 de fathom, 1/3 de yard, 12 pouces, 120 lignes, 1.200 parties.
Autriche.	Pied.	0,3161	1/6 de toise (klaster). 12 pouces, 144 lignes. 1.728 points.
Bade. Hesse-Darmstadt	Pied.	0,2500	10 pouces, 100 lignes, 100 points.
Bavière.	Pied.	0,2918	1/10 de perche, 1/16 de toise, 12 pouces, 144 lignes.
Berne.	Pied.	0,2932	1/10 de perche, 1/8 de toise, 12 pouces.
Danemarck.	Pied.	0,3126	1/10 de perche, 1/6 de corde, 1/12 d'aune, 12 pouces, 144 lignes.
Espagne.	Pied.	0,2826	1/2 de stade, 1/5 de pas, 1/3 de vare, 4/3 de gr. palme, 4 petites palmes, 12 pouces, 16 doigts, 192 lignes, 2.304 parties.
Hanovre.	Pied.	0,2920	1/16 de perche, 1/6 de toise, 1/2 aune, 12 pouces, 96 huitièmes, 144 lignes.
Hollande.	Pied.	0,2830	1/13 de perche, 1/6 de brasse, 3 palmes, 11 pouces, 264 quartes.
Naples.	Palme.	0,2628	1/8 de canne, 2/15 de pas, 12 onces, 60 minutes.
Nuremberg.	Pied.	0,3038	1/16 de perche, 12 pouces, 144 lignes, 1.728 points.
Portugal.	Palme.	0,2126	1/10 de brasse, 1/5 de vare, 1/3 cavado, 8 pouces.
Prusse.	Pied du Rhin.	0,3138	1/12 de perche, 1/6 de brasse (lachter), 12 pouces, 144 lignes.
Rome.	Palme.	0,2234	1/10 de canne.
	Pied.	0,2946	
Russie.	Pied.	0,3048	1/7 de sagène, 7/3 d'archine, 12 pouces 120 lignes. — L'archine ou aune est partagée en 16 vershoks, le vershok en 1/2, 1/4 et 1/8.
Suède.	Pied.	0,2958	1/6 de perche, 1/6 de corde, 1/2 aune, 12 pouces, 144 lignes.
Toscane.	Pied.	0,5482	1/3 de pas, 1/4 de canne, 1/5 de cavezzo.
Turin.	Pied liprando.	0,5137	1/6 de trabucco, 1/2 pied ordinaire, 12 onces, 144 points 1.728 atômes.
Turquie.	Grand pick.	0,6690	
	Petit pick.	0,6479	
Varsovie.	Pied.	0,2978	1/10 de perche, 1/6 de toise, 1/2 aune, 12 pouces, 144 lignes.
Zurich.	Pied	0,3014	1/10 de perche, 12 pouces, 144 lignes.
Wurtemberg.	Pied.	0,2865	1/10 de perche, 10 pouces, 100 lignes, 1.000 points.

Mesures de superficie anglaises.

	mètres carr.	
Yard carré.	0,8370	
Rod.	25,2920	Perche carrée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

		ares.	
Rood		10,1168	1.210 yards carrés.
Acre		40,4671	4.840 yards carrés.

Mesures de capacité.

		litres.	
ANGLETERRE	Gallon	4,5434	1/256 de chaldron, 1/64 de quarter, 1/24 de sack, 1/8 de buschel, 1/2 peck, 4 quart, 8 pint.
AUTRICHE	Tonne,	120,0	3,80 pieds cubes.
PRUSSE	Tonne	223,0	7 1/9 pieds cubes.
RUSSIE	Vedro	12,3	8 schtoffs, 10 krushkas, 100 tcharkis.
	Tchetwert	209,6	8 tchetvérics, 64 garnetz.

Poids.

		kilogr.	
ANGLETERRE	Livre troy	0,3731	12 onces, 240 pennyweights, 5,760 grains.
	Livre avoir du poids.	0,4534	1/2240 de tonne, 1/112 de quintal, 16 onces, 256 drams.
AUTRICHE	Livre	0,5600	1/100 de quintal, 16 onces, 32 loth, 128 drachmes, 512 pfennig.
BADE, HESSE-DARMSTADT	Livre	0,5000	Division décimale.
BAVIÈRE	Livre	0,5611	1/100 de quintal, 32 loth.
BELGIQUE		» »	Poids et mesures métriques.
BERNE	Livre	0,5201	1/100 de quintal, 16 onces, 32 loth.
DANEMARCK	Livre	0,4993	1/100 de quintal, 32 loth.
ESPAGNE	Livre de Castille	0,4603	1/50 de quintal macho, 1/100 de quintal, 1/25 d'arrobe, 2 marcs, 16 onces, 256 drachmes, 9.216 grains.
HANOVRE	Livre	0,4895	1/112 de quintal, 1/14 de liespfund, 2 marcs, 16 onces 32 loth.
HOLLANDE	Livre troy	0,4920	
	Livre du commerce	0,4939	Toutes les mesures remplacées aujourd'hui par le système métrique.
NAPLES	Rototo	0,8910	1/100 de cantaro, 3/31 de staro, 25/9 de liv., 331/3 onces.
	Livre	0,3208	12 onces, 360 trapezi.
PORTUGAL	Livre	0,4590	1/128 de quintal, 1/32 d'arrobe, 2 marcs, 16 onces, 128 outavas.
PRUSSE	Livre	0,4585	1/10 de quintal, 2 marcs, 32 loth.
ROME	Livre	0,4090	1/1000 de gr. cantaro, 1/10 de pet. cantaro, 12 onces, 288 deniers, 6.912 grains.
RUSSIE	Livre	0,4095	1/400 de berkovetz, 1/40 de poud, 96 zolotnics, 926 doleis ou parties.
SAXE	Livre	0,4670	1/110 de quintal, 32 loth, 128 drachmes, 512 pfennig.
SUÈDE	Livre	0,4254	. . . . .
TOSCANE	Livre	0,3395	12 onces, 288 deniers, 6.912 grains.
TURIN	Livre	0,3690	1/25 de rubbio, 12 onces, 96 octaves, 288 deniers.
TURQUIE	Rottel	0,6378	. . . . .
VARSOVIE	Livre	0,4050	1/160 de quintal, 32 loth.
WURTEMBERG	Livre	0,4676	32 loth, 128 drachmes.
ZOLLVEREIN (union des douanes allem.)		» »	Poids métrique.
ZURICH	Livre	0,5284	1/100 de quintal, 18 onces, 36 loth.
	Livre pour les soieries	0,4697	2 marcs, 16 onces, 32 loth.

MONNAIES.

Nous terminerons cet article en donnant la valeur des principales monnaies françaises et étrangères, laquelle aurait dû se trouver à la fin de l'article MONNAIE.

Monnaies françaises.

Les monnaies françaises d'or et d'argent sont au titre de 0,900 ; la tolérance du titre est de 0,002 pour l'or, et de 0,003 pour l'argent; la valeur de l'or est à celle de l'argent :: 15 1/2 : 1. Ces monnaies sont les suivantes :

		Poids légal.	Poids d'après la tolérance. minimum.	maximum.
		grammes.	grammes.	grammes.
Or	Pièce de 40 fr.	12,903	12,877	12,929
	— 20 fr.	6,452	6,414	6,465
Argent	— 5 fr.	25,000	24,925	25,075
	— 2 fr.	10,000		
	— 1 fr.	5,000		
	— 0,50	2,500		
	— 0,25	1,250		
Cuivre	Décime.	0,10		
	Sou.	0,05		
	Centime.	0,01		

La livre tournois = 20 sous = 240 deniers = 0fr,9877.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Monnaies étrangères.

		francs.	
ANGLETERRE	*Or.* Guinée (21 shillings).	26,41	Demi, tiers, quart de guinée.
	Argent. Couronne ou dollar.	6,39	5 shillings.
	On compte par liv. sterl. .	25,15	20 shillings, 240 pences.
AUTRICHE	*Or.* Ducat.	11,86	
	Argent. Florin de convention (C. M.)	2,55	Demi reichsthaler, 60 kreutzers.
	On compte, soit par florin et kreutzers de convention, soit, le plus souvent, par florin wiener wahrung (W. W.), qui est les 2/5 du florin de convention, et se subdivise de même.		
BADE, BAVIÈRE, WURTEMB.	*Argent.* Florin	2,14	60 kreutzers.
BELGIQUE	Monnaie française.	»	
DANEMARCK	*Or.* Ducat de convention.	9,47	
	Argent. Rixdale.	5,66	6 marcs, 96 shillings.
ESPAGNE	*Or.* Pistole	20,70	2 écus, pièces de 2 et 4 pistoles.
	Argent. Piastre	5,43	5 piécettes, 20 réaux de veillon.
	On y compte par réal de veillon.	0,27	34 maravédis.
ETATS-UNIS	*Or.* Double aigle	54,80	10 dollars, aigle, demi-aigle.
	Argent. Dollar	5,48	Demi, quart de dollar.
	On y compte par dollars de 100 cent., ou par liv. sterl., comme en Anglet.		
HAMBOURG	*Or.* Ducat.	11,76	
	Argent. Reichsthaler	5,78	3 marcs, 48 sous banco, 60 sous courants, 48 shillings.
HOLLANDE	*Or.* Ducat.	11,93	Double ducat . . . } Ne sont plus en usage.
	Ryder.	31,65	
	Pièce de 20 florins.	43,14	Pièce de 10 florins. }
	Argent. Florin	2,15	Se divise en 20 sous, 320 pfennig, 240 gros, 100 cents.
	Ryksdaelder	5,48	2 florins et demi, 50 sous.
NAPLES	*Or.* Once de 3 ducats	12,99	Pièces de 15 et 30 ducats.
	Argent. Pièce de 12 carlins.	5,10	Pièces de 2 carlins, 1 carlin.
	Ducat.	4,25	10 carlins.
ITALIE. PIÉMONT, TOSCANE, LOMBARDIE.	Système métrique. Lira.	1,00	Pièces de 5 livres, — 20 livres.
PORTUGAL	*Or.* Portugaise	45,27	6.400 reis, 64 testons.
	Lisbonienne.	33,96	4.800 reis.
	Argent. 100 reis	6,12	
	Cruzade	2,94	480 reis.
PRUSSE, SAXE	*Or.* Ducat.	11,80	
	Argent. Thaler	3,75	24 bons gros, 30 nouv. gros ou silbergros, 36 marien gros
ROME	*Or.* Pistole	17,27	
	Séquin	11,80	
	Argent. Écu.	5,38	10 paolis, 100 baïoques.
RUSSIE	*Or.* Impériale	41,29	10 roubles, pièce de 5 roubles.
	Ducat.	11,59	
	Argent. Rouble	4,00	100 copeks.
	On compte, soit par rouble argent (4 f), soit par rouble papier (2/7 du précédent).		
SUÈDE	*Or.* Ducat.	11,70	
	Argent. Reichsthaler	5,75	48 shillings à 12 pfennig.
SUISSE	*Or.* Pistole	23,16	2 ducats, 16 franken.
	Argent. Écu de 40 batz.	5,90	
	Pièce de 4 franken.	6,00	4 franken à 20 sous.
TOSCANE	*Or.* Ruspone	36,04	3 séquins.
	Rosine	21,14	
	Argent. Écu de 10 pauls	5,60	
	Pièce d'une livre	0,85	
	On compte par livres de 20 sous à 12 deniers.		
TURQUIE	*Or.* Séquin	7,30	
	Argent. Piastre.	2,00	4 roubles, 40 paras, 120 aspres.
ZOLLVEREIN (associat. des douanes allem.)		»	Double thaler, 2 thalers de Prusse, 3 florins 1/2 du Rhin, 2 florins 11/12 d'Autriche (C. M.), 7 fr. 50 c.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POIDS SPÉCIFIQUE. Voyez DENSITÉ.

POIVRE (*angl.* pepper, *all.* pfeffer). Fruit d'un arbrisseau sarmenteux, qui a la forme d'une petite boulette rougeâtre devenant noire et ridée : ces fruits sont disposés par dix ou vingt en forme de grappes. L'arbrisseau qui les produit est originaire des Moluques, et est maintenant cultivé sur la côte de Malabar, à Java, à Sumatra, etc. La saveur du poivre est aromatique et piquante; on s'en sert comme assaisonnement.

Le *poivre long* ou *piment* est une toute autre plante, cultivée dans nos pays. Les graines sont réunies dans une baie souvent conique et rouge; sa saveur est plus âcre et plus brûlante que celle du poivre ordinaire. On l'emploie dans la préparation des cornichons.

POIX (*angl.* pitch, *all.* pech). Voyez BITUME, GOUDRON et TÉRÉBENTHINE.

POLISSAGE. Pour polir les surfaces des corps, on les frotte avec des corps au moins aussi durs qu'eux et à grains très-fins. On se sert de BRUNISSOIRS en acier pour polir les planches de cuivre, de brunissoirs en agate ou en silex pour lisser les pièces d'argenterie, les bijoux, les étoffes, les papiers marbrés et glacés, etc. Les diamants, saphirs et autres pierres dures sont polis avec de l'*égrisée* ou poudre de diamant. Avant de polir un ouvrage, on doit en faire disparaître les principales inégalités avec des limes, des gratoirs, de la ponce, du tripoli, de la terre pourrie, du rouge d'Angleterre, de l'émeri, de la potée d'étain, du grès, etc. Souvent on polit deux surfaces planes à la fois, en les frottant l'une sur l'autre avec interposition de grès ou d'émeri de plus en plus fin (glaces); comme ces opérations se font en grand, on les exécute par des procédés mécaniques.

POLYGONUM TINCTORIUM. Voyez INDIGO.

POLYTYPIE. La polytypie est un procédé de reproduction en métal des gravures sur bois, qui s'applique surtout aux dessins de faible dimension (pour les autres on emploie les procédés de STÉRÉOTYPIE au moyen du plâtre). Ces procédés ont beaucoup d'analogie avec ceux de la fonderie en caractères.

1° *Fabrication de la matrice.* — On fixe la gravure sur bois, dont on veut avoir une matrice, dans une espèce de timbre sec, à l'extrémité d'une vis à filet carré qui monte ou descend dans son écrou, et qu'on fait mouvoir au moyen d'un balancier horizontal, garni de deux poids aux extrémités. — Dans un petit auget placé au-dessous de la vis, on verse du plomb durci par un peu de métal à caractères, peu chaud, qu'on agite jusqu'à ce qu'il devienne pateux. Dans cet état, au moment où il va se solidifier, le métal a perdu presque toute sa chaleur latente, c'est-à-dire celle qui se dégage quand un corps passe de l'état liquide à l'état solide. On fait alors descendre rapidement la vis, et le bois gravé frotté de sanguine vient choquer brusquement le métal. Celui-ci chasse violemment l'air des creux dans lesquels il pénètre et se solidifie instantanément. La chaleur dégagée n'est pas assez grande pour attaquer le bois, à moins que celui-ci n'ait gardé de l'humidité en un point; ce qui ne devrait guère arriver, car le bois qu'on emploie est toujours très-sec, cependant les ruptures sont assez fréquentes. Tandis que dans les procédés ordinaires de la fonte, c'est la liquidité du métal qui lui permet d'entrer dans les plus petits intervalles, ici c'est la pression qui le chasse, et qui permet de l'employer à un état intermédiaire entre l'état liquide et l'état solide, ce qui, comme nous l'avons dit, évite un trop grand dégagement de chaleur. On obtient ainsi une matrice en plomb, qui ne pourrait servir pour prendre l'empreinte avec le métal liquide, mais qui pourra servir à répéter l'opération précédente.

2° *Fabrication du relief.* — On porte cette matrice en plomb au clichoir, qui consiste essentiellement dans un mouton glissant entre deux rainures, et sous lequel on fixe avec des vis horizontales la matrice en plomb. Le mouton est suspendu par une corde qui permet de donner la force de percussion convenable, en variant la hauteur de la chute. Cette corde s'enroule sur un cylindre, qui devient libre quand on agit sur un petit embrayage, effet qui se produit quand on abaisse le verrou qui ferme le devant du clichoir. Cette partie antérieure consiste en une double porte de tôle pour arrêter la matière qui est projetée en tout sens. Pour obtenir le cliché, on verse sur du papier gris du métal convenable, on l'agite jusqu'à ce qu'il arrive à l'état pâteux; le plaçant alors à l'endroit où doit tomber la matrice, on ferme le clichoir, et poussant le verrou, le mouton tombe. L'empreinte se trouve très-bien prise, on la détache de la matrice avec un canif; elle n'est qu'un peu plus épaisse que la profondeur d'œil de celle-ci, puisque le métal a été projeté horizontalement sur les côtés.

Pour monter ces clichés peu épais sur un support, afin qu'on puisse les intercaler dans le texte au milieu des caractères ordinaires, on prépare des bandes de bois de hauteur convenable et d'une épaisseur égale à la force de corps du caractère diminuée de celle du cliché. On adapte le cliché sur le bois au moyen de petites pointes qu'on loge dans le creux, puis on scie le bois et on le dresse des deux côtés de manière à avoir une approche convenable. Au moyen du tour ou du rabot on met le tout bien exactement de hauteur et d'équerre sur toutes ses faces.

L'emploi du bois offre l'inconvénient que les lessivages qui ont lieu sur les formes tendent à déranger les hauteurs et l'aplomb par le gonflement qui en résulte. On peut employer avec avantage un procédé que nous avons expérimenté d'après l'exemple des fondeurs anglais et qui nous a fourni des résultats satisfaisants.

On fond un bloc creux ayant l'apparence d'une masse pleine, mais évidé intérieurement de manière à ce que son poids soit le moindre possible, tout en ayant une résistance suffisante pour le serrage de la forme. Sur ce bloc fondu de hauteur nous soudons le cliché à une température assez basse pour ne pouvoir le fondre, au moyen d'alliage fusible mélangé d'un peu de mercure, pour que les surfaces soient bien attaquées. L'adhérence est parfaite et ne cède jamais au tirage quand on a bien opéré. On peut parvenir au même résultat, sans alliage, en fondant le bloc sur le cliché posé à plat et maintenu entre deux équerres, en versant directement le métal de manière à fondre le pied du cliché seulement.

Le procédé de polytypie que nous venons de décrire est celui qui a toujours été employé jusqu'à la découverte de la GALVANOPLASTIE, qui fournit le moyen de mouler le cuivre à froid. Le cliché en cuivre, obtenu d'un creux en cire ou en gutta-percha avec un grand degré de pureté, dont les plats sont brillants et les arêtes extrêmement vives, est bien préférable à celui de plomb. Aussi, et c'est un grand progrès, les gravures sur bois ne se multiplient guère plus qu'en cuivre.

Nous avons donné, à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES, les procédés un peu différents de ceux que nous venons de décrire, qui sont employés pour la reproduction des planches servant à l'impression des étoffes.

POMMES DE PIN. Les fruits ou cônes des arbres de la famille des conifères, et particulièrement du pin et du sapin, sont très-employés sous le nom de pommes de pin, lorsqu'ils sont secs, pour allumer le feu.

POMME DE TERRE (*solanum tuberosum*). La pomme de terre est le tubercule charnu d'une plante de la famille des solanées, dont l'adoption a été un progrès de l'agriculture moderne. Les modes de culture de la pomme de terre ont été décrits à l'article AGRICULTURE. Sous le rapport alimentaire, son importance est presque égale à celle des céréales; elle est aussi très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

employée pour la fabrication de la fécule dite *fécule de pommes de terre*, des eaux-de-vie et du *sirop de fécule* ou glucose, dont on consomme des quantités énormes en France, et surtout à Paris, pour faire des bières de qualité inférieure, etc. Voyez AMIDON, BIÈRE, FÉCULE et SUCRE.

POMPE (*angl.* pompe, *all.* pumpe). Les pompes sont les machines les plus généralement employées pour élever les eaux. L'utilisation de la pression atmosphérique qui presse d'une manière continue la surface de l'eau à élever, assure le mouvement de celle-ci dans des conditions dynamiques excellentes, sans produire les chocs, les remous qui consomment beaucoup de travail dans tous les systèmes où l'on cherche à enlever l'eau en soulevant les capacités servant à la puiser.

Les parties principales des pompes consistent en tuyaux donnant passage à l'eau, dont l'un, de plus grande dimension que les autres, constitue le corps de pompe que parcourt un piston mû d'un mouvement rectiligne alternatif. Des soupapes servent à permettre le mouvement de l'eau dans un sens et à l'empêcher dans le sens contraire. Disons d'abord un mot de ces organes des pompes.

Pistons. Les pistons devant glisser en fermant exactement le corps de pompe, un alésage parfait de celui-ci est donc une condition essentielle; toutefois, avec les garnitures élastiques généralement employées, elle peut être assez médiocre dans les pompes domestiques. C'est surtout par l'emploi, comme garniture, du cuir appliqué contre les parois du corps de pompe qu'on assure le bon fonctionnement du piston. Les figures 1 et 2 représentent les pistons les plus employés.

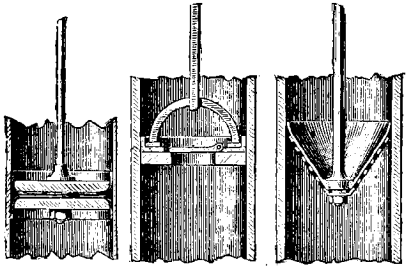


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

On ne doit pas exagérer outre mesure la largeur du cuir, car on augmenterait le frottement, et la largeur doit être réduite à celle nécessaire pour empêcher le passage de l'eau entre le piston et le corps de pompe.

La figure 3 représente un piston conique et flexible, avantageux pour certains travaux d'épuisement, dont nous parlerons plus loin.

Fait en bois dans beaucoup de pompes, un piston plat ne peut offrir un passage central à l'eau aussi grand que ceux faits en métal résistant, cause principale de la supériorité de ceux-ci.

Soupapes. Les soupapes sont des organes importants des pompes à mouvement alternatif, ceux qui influent le plus peut-être sur leur rendement. Elles doivent à la fois ouvrir un large passage à l'eau pour qu'elle puisse passer sans obstacle dans un sens, et au contraire fermer entièrement tout passage en sens opposé, conditions quelque peu contradictoires. Pour satisfaire à la première, la valve devrait avoir le même poids que l'eau qu'elle déplace, de manière à ne pas résister à l'eau ascendante, et sa présence ne devrait pas rétrécir l'aire du passage de l'eau. Or, on ne peut évidemment annuler ainsi complétement la soupape et son siége, mais seulement se rapprocher des conditions théoriques.

Les soupapes à tige, coniques ou sphériques (fig. 4 et 5), sont guidées dans leur mouvement d'élévation ou de descente par une tige traversant un coussinet directeur, qui fait qu'elle se replacent exactement dans la cavité destinée à les recevoir, pour former obturation complète. Un arrêt limite l'excursion de la soupape et son poids la ramène en place quand le mouvement ascensionnel de l'eau s'arrête.

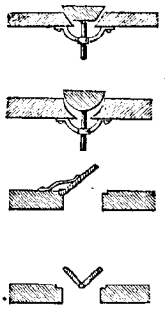


Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

La soupape à charnière-guide ou clapet est formée d'une surface plane assemblée d'un côté avec la face sur laquelle elle s'appuie et dont la partie centrale laisse passage à l'eau (fig. 6). Si son poids ne doit pas suffire pour qu'elle se ferme d'elle-même, on fait agir un ressort sur elle, de haut en bas. Pour de très-gros tuyaux, la charnière est placée au milieu de l'ouverture et la soupape se partage en deux parties (fig. 7).

En utilisant l'élasticité naturelle du caoutchouc, on a construit des soupapes très-simples en cette matière, précieuse par son inaltérabilité par rapport à beaucoup de substances. Elles ont la forme des lèvres (fig. 8, 9 et 10),

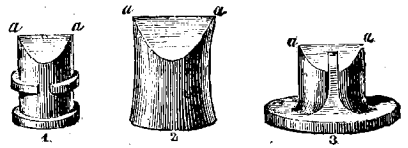


Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10.

consolidées au besoin par des nervures, et réalisent en réalité des soupapes à double clapet, s'appuyant l'une sur l'autre de manière à former un angle aigu.

Les soupapes mobiles, plongées dans l'eau, peuvent être rendues très-légères en les faisant creuses; celles à charnières peuvent seules être disposées de manière à peu altérer la section du liquide en mouvement, puisqu'elles peuvent s'ouvrir en dehors de celle-ci, tandis que celles à tige, se mouvant perpendiculairement, obstruent toujours le passage du liquide. Au contraire, celles-ci ont l'avantage de pouvoir se mettre en mouvement avec la vitesse du liquide même, ce qui ne peut avoir lieu pour le clapet, qui se meut circulairement autour de l'axe de la charnière, et par suite les divers points de celui-ci se meuvent avec des vitesses différentes à partir de zéro. Il en résulte un remou considérable autour du clapet, et par suite une résistance tout à fait comparable à celle qui résulte de l'obstruction du tuyau par une soupape à tige, lors toutefois que la section du tuyau est suffisamment grande par rapport à la surface de la soupape.

Le clapet est encore inférieur à la soupape à tige, en ce que l'action de l'eau est moins directe pour le fermer; la quantité d'eau qui redescend avant la fermeture de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la valve croit, dans tous les cas, avec l'élévation que prend celle-ci.

Systèmes de pompes. Les pompes se divisent en deux classes, suivant que l'élévation de l'eau y est produite par l'application directe de la force motrice ou par la seule pression de l'atmosphère.

Pompes aspirantes et élévatoires. Dans les pompes aspirantes, le travail du moteur est appliqué à faire le vide, à retirer l'air du corps de pompe fermé de toutes parts, sauf vers le tuyau d'aspiration qui plonge dans l'eau à élever, qui supporte le poids de l'atmosphère pressant tous les corps qui existent à la surface de la terre; si donc on parvient à supprimer en un point la pression atmosphérique, à faire le vide, les corps en communication avec ce vide devront se mettre en mouvement sous l'effet de cette force, s'ils ne sont retenus par une résistance trop considérable.

C'est au moyen du mouvement rectiligne alternatif de la tige du piston qu'on parvient à faire un vide plus ou moins parfait dans l'espace qui communique avec le cylindre dans lequel est mû le piston (fig. 11).

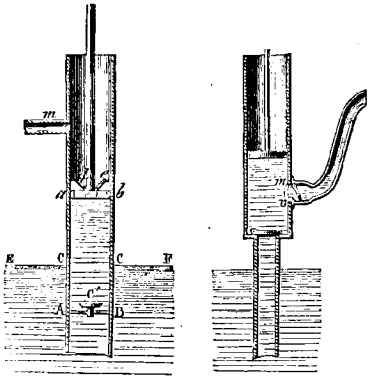


Fig. 11.

Le jeu de la pompe est facile à comprendre. Le piston étant à la partie supérieure du corps de pompe et l'eau dans le tuyau d'aspiration au même niveau que dans le réservoir, on abaisse le piston, l'air se trouve comprimé, la soupape du tuyau se ferme, celle du piston se lève, et l'air s'échappe par cette ouverture. Quand le piston est descendu jusque sur la base du corps de pompe, on élève le piston dont la soupape se ferme, et l'air contenu dans le tuyau d'aspiration est pressé par l'eau qui transmet la pression atmosphérique qu'elle supporte extérieurement. Cet air fait ouvrir la soupape du tuyau et se répand dans l'espace que le piston laisse libre en s'élevant. Sa force élastique diminue donc et ne peut plus faire équilibre à la pression atmosphérique. Il en résulte que l'eau s'élève dans le tuyau jusqu'à ce que la pression due à la colonne élevée, plus la pression due à l'air renfermé entre cette eau et le piston, fasse équilibre à la pression atmosphérique.

Le même effet se produit pour chaque coup de piston et l'eau s'élève pour chaque coup d'une nouvelle quantité dans le tuyau d'aspiration.

Après quelques coups de piston, l'eau pénètre dans le corps de pompe, et quand on abaisse ensuite le piston, l'eau traverse l'ouverture fermée par la soupape qui y est pratiquée. Puis quand on fait remonter le piston, la soupape se ferme et le piston élève avec lui l'eau qu'il supporte; cette eau sort du corps de pompe par une ouverture latérale percée au-dessus du point extrême de la course du piston. En même temps une nouvelle quantité d'eau s'introduit par l'ouverture du tuyau dont la soupape s'est levée.

a étant la surface du piston,

P la pression atmosphérique sur l'unité de surface, s'exerçant de bas en haut,

H la distance du piston au niveau de l'eau,

Le piston, en contact avec l'air, reçoit de haut en bas la pression P*a*, et de bas en haut la pression P*a* — *a*H; pour fonctionner, il faut qu'il surmonte la différence de ces deux quantités, ou *a*H, c'est-à-dire qu'il engendre le travail correspondant directement à l'élévation de l'eau, la pression atmosphérique ne servant ici que comme intermédiaire.

La pompe aspirante, devient en même temps élévatoire lorsque l'ouverture de déversement est à une hauteur notable au-dessus de la limite de la course du piston, et que celui-ci élève une colonne d'eau qu'on empêche de redescendre avec lui par le jeu d'une soupape placée au bas de ce tuyau d'ascension.

Il est clair que l'eau n'atteindrait pas le point correspondant à la limite supérieure de la course du piston, si sa hauteur au-dessus du niveau du réservoir surpassait la hauteur de la colonne d'eau à laquelle fait équilibre la pression atmosphérique, et qui est égale à 10^{m},40.

Dans la pratique, cette hauteur devra être moindre, parce qu'il existe toujours un espace nuisible sous le piston qui ne peut arriver au contact du fond du corps de pompe sans danger de rupture. De plus, il y a toujours quelque déperdition d'air ou d'eau entre le piston et le cylindre. On prend pour limite pratique une hauteur de 8 mètres.

Dans l'établissement des pompes, on observe les règles suivantes :

La vitesse des pistons doit être comprise entre 0^{m},16 et 0^{m},25 par seconde.

L'aire de l'ouverture masquée par les soupapes doit être la moitié environ de celle du corps de pompe.

Le diamètre du tuyau d'aspiration et celui du tuyau de conduite doivent être les deux tiers de celui du corps de pompe.

La course des pistons des grandes pompes doit être de 1 mètre à 1^{m},50.

La longueur que l'on peut donner aux tuyaux d'ascension n'a pour ainsi dire, pas de limites. Ainsi les pompes établies à Huelgoet en Bretagne, par M. Juncker, élevaient l'eau d'un seul jet à une hauteur verticale de 230 mètres, et les pompes établies à Illsang, en Bavière, par Reichenbach, l'élève d'un seul jet à 365 mètres. Nous allons revenir, dans un instant sur l'emploi de ces pompes à l'épuisement des eaux des mines.

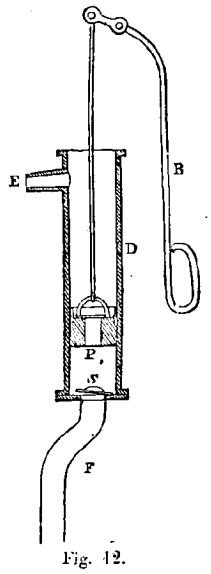


Fig. 12.

Pompes domestiques. Les pompes domestiques sont généralement des pompes élévatoires très-simples. La figure 12 représente celle de ces pompes qui est la plus employée; F est le tuyau d'aspiration; D, le corps de pompe; E, l'ajustage qui sert de dégorgeoir; P, le piston dont la tige est mue par la bringuebale ou levier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coudé B. Le tuyau d'aspiration se fait en bois lorsqu'il est droit, et le plus souvent en cuivre étamé ou en plomb; le corps de pompe se fait également en bois, en cuivre ou en plomb. Le piston P (fig. 13) est presque

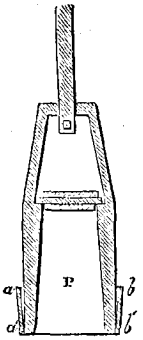


Fig. 13.

toujours en bois avec garniture en cuir *ab* en forme d'entonnoir qui, se trouvant chargé de toute la colonne d'eau, s'applique exactement contre les parois du corps de pompe; avec ce piston, il n'est pas nécessaire d'aléser le corps de pompe. Les soupapes sont des clapets en cuir, cloués par un de leurs bords sur un des côtés de l'ouverture qu'ils doivent fermer au besoin, et auxquels on donne la roideur nécessaire en clouant en dessus, et quelquefois en dessous, des rondelles métalliques.

Pompe des prêtres. Nous mentionnerons ici, comme curieuse la pompe dite *pompe des prêtres*, et qui est employée pour de petits mécanismes, comme dans les lampes mécaniques. Le corps de pompe est formé de deux cylindres assemblés à rainure et à languette. On pince dans la jointure les bords d'un manchon ou plutôt d'un sac de cuir mince et très-flexible, dont le fond est saisi entre deux plaques parallèles qui sont liées par un étrier à la tige oscillante, et qui portent les soupapes de retenue. Lorsque le piston se meut, le manchon de cuir qui se relie aux parois du corps de pompe présente tantôt sa concavité, tantôt sa convexité, au tuyau d'aspiration, suivant le sens du mouvement, et produit ainsi soit l'aspiration du liquide sous le piston, soit son passage au-dessus des soupapes de retenue.

Pompes d'épuisement. L'épuisement des eaux des mines qui exige les pompes les plus puissantes, dont nous allons parler.

Pour des épuisements temporaires, à de petites profondeurs, on se sert assez fréquemment de pompes aspirantes en bois d'une construction extrêmement simple, qui sont confectionnées sur la mine même et entretenues par les ouvriers boiseurs. Ces pompes se composent d'un tronc d'arbre foré, dont le diamètre intérieur est plus grand à la partie supérieure qui lui sert de corps de pompe qu'à la partie inférieure qui lui sert de tuyau aspirateur et qui est surmontée d'une soupape à clapet en cuir s'ouvrant de bas en haut; le piston est en bois, garni de chanvre à l'extérieur, creux à l'intérieur, et muni de soupapes à clapets s'ouvrant de bas en haut. On trouve encore dans beaucoup d'anciennes mines de pareilles pompes, disposées en cascade les unes au-dessus des autres; chacune d'elles déverse l'eau qu'elle élève dans une bâche ou réservoir, où elle est reprise par la pompe placée immédiatement au-dessus.

On emploie souvent dans les puits en creusement une pompe en bois, dont la fig. 14, qui représente une pompe construite à Huelgoet par M. Pernollet, donnera une idée: le corps de pompe est formé de deux

demi-cylindres de bois réunis par des frettes en fer, et est doublé intérieurement par un manchon en cuivre rouge laminé; *r*, *r*, sont des rainures circulaires ménagées dans le bois, et que l'on a remplies de mastic avant la pose du manchon en cuivre, auquel le mastic devient adhérent; B, est le tuyau aspirateur, joint au corps de pompe par un picotage très-serré *p p*, fait dans l'épaisseur du bois du corps de pompe; un tuyau court en bronze *k*, fixé sur les bords du tuyau aspirateur avec interposition d'une rondelle annulaire de cuir, porte le clapet *c*, formé d'un double cuir serré par un boulon entre deux rondelles de cuivre rouge. La rondelle supérieure porte un appendice destiné à prévenir le renversement du clapet; il reste, comme on le voit, au bas du corps de pompe un espace annulaire,

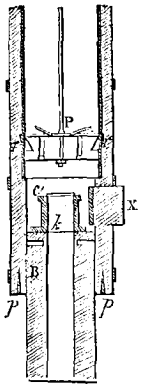


Fig. 14.

dans lequel tombent les graviers et autres corps solides entraînés par l'eau, et qui ne peuvent pas demeurer sur les bords minces du cylindre *k*; on retire au besoin ces graviers avec la main en enlevant le bouchon X. Le piston, qui nous vient du Hartz, et qui se trouve déjà décrit dans les ouvrages de Jars et Duhamel, publiés au siècle dernier, se compose d'un bloc de bois percé de six trous évasés vers le bas pour le passage de l'eau, et garni d'une couronne de cuir clouée par le bas sur son contour; son clapet est formé d'un disque plein en cuir P, enfilé sur la tige du piston et retenu par un écrou. C'est en un mot une disposition analogue à l'âme des soufflets de cuisine.

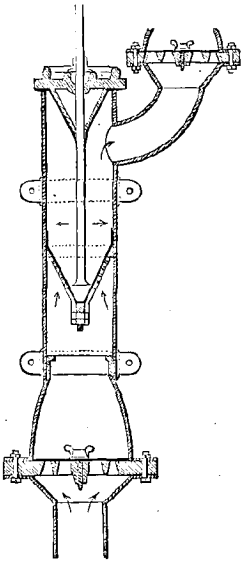


Fig. 15.

M. Letestu a inventé et exploité avec succès un système de pompes dont nous donnons le dessin fi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gure 15, et qui est une modification de la pompe précédente. Au lieu de terminer les faces de son piston par des surfaces planes, il le forme avec un cône en cuivre percé d'un grand nombre de trous, et recouvert d'un cône en cuir préparé à la chaux et formant clapet. Le brevet de M. Letestu ne porte évidemment que sur la forme conoïde donnée à son piston; par suite, l'eau se présente obliquement à la direction des trous, tandis qu'il serait préférable qu'elle arrivât normalement à la surface du piston; aussi sommes-nous persuadé qu'on pourra construire des pompes au moins aussi bonnes que celles de M. Letestu, en adoptant des pistons plats comme ceux du Hartz. Quoi qu'il en soit, M. Letestu a le mérite d'avoir puissamment contribué à répandre en France l'usage des pompes de ce système, qui représentent, dans beaucoup de cas, et surtout pour l'enlèvement des eaux bourbeuses, ou chargées de sable et de corps durs, un avantage réel sous le rapport de leur prix peu élevé, de la facilité de leurs réparations et sous celui de l'effet produit.

Pour les épuisements à de grandes profondeurs, ou pour de grandes quantités d'eau, on se sert de pompes métalliques, qui sont de deux sortes, savoir: les pompes élévatoires à piston creux, et les pompes à piston plein.

Les pompes élévatoires à piston creux sont les plus anciennes; elles sont principalement employées dans les mines de houille du département du Nord et de la Belgique. Elles se composent d'un corps de pompe alésé, en fonte ou en bronze, d'un tuyau d'ascension placé au-dessus, et d'un tuyau d'aspiration placé au-dessous, et qui en est séparé par une *chapelle*, sorte de tuyau portant sur une de ses parois une porte amovible, qui sert à visiter et à réparer au besoin les soupapes d'aspiration et de retenue. Les tuyaux d'ascension ont un diamètre un peu supérieur à celui du corps de pompe, afin de pouvoir retirer au besoin le piston par la partie supérieure; ils sont composés de tuyaux cylindriques en fonte assemblés au moyen de brides plates, avec interposition de garnitures en étoupes goudronnées ou d'un disque de plomb. Lorsque la colonne a une grande hauteur, il convient d'imprégner ces tuyaux d'huile siccative au moyen de la pompe de pression, procédé peu coûteux, dû à M. Juncker. On peut ainsi élever d'un seul jet les eaux à 250 mètres, et même plus, de hauteur verticale. Les tiges des pistons sont ordinairement en bois, et, avec leurs armatures en fer, déplacent à peu près un volume d'eau égal au leur. Le piston est un cylindre métallique creux recouvert extérieurement d'une garniture en cuir, et surmonté de deux soupapes à clapets. La soupape dormante placée au sommet du tuyau d'aspiration est également formée de deux clapets; elle est tantôt invariablement fixée sur son siége, tantôt assez lourde pour être maintenue en place par son propre poids, et munie d'une anse qui sert à la retirer au besoin par la partie supérieure; enfin, c'est quelquefois une soupape cônique, entièrement métallique et rodée, ou une soupape à coquille.

Les pompes à piston plein sont de deux espèces: les pompes à piston remplissant la section entière du corps de pompe, et les pompes à piston plongeur; dans les deux cas, les tuyaux d'aspiration et d'ascension sont généralement placés sur la même verticale et séparés par la chapelle; ils sont munis à leur jonction avec celle-ci, de soupapes s'ouvrant de bas en haut; le corps de pompe communique avec la chapelle par un tuyau horizontal très-court.

Dans les *pompes à piston plein remplissant la section entière du corps de pompe*, et qu'il ne convient d'employer que dans les eaux limpides, le corps de pompe est alésé et ouvert à l'une de ses extrémités, ordinairement à la partie inférieure; il n'agit alors qu'en remontant; la tige du piston traverse alors le fond supérieur du corps de pompe dans une boîte à étoupes, ou plutôt à cuir embouti; le piston est métallique, construit comme ceux des machines à vapeur à haute pression, et portant en dessous un disque en cuir retroussé vers le bas, dont le bord est serré contre les parois du corps de pompe par des liteaux poussés par des ressorts à boudins.

Pompes aspirantes et foulantes. Dans ces pompes le piston est plein (voir fig. 12), et l'eau s'échappe par un tuyau de dégorgement latéral aboutissant au corps de pompe à sa partie inférieure, et muni d'une soupape s'ouvrant également de bas en haut. Lorsque l'on veut avoir un jet d'eau continu, on adapte quelquefois, sur le tuyau d'ascension et au delà de la soupape de retenue, un réservoir d'air comprimé, dont le ressort rend le jet continu; il vaut mieux, pour les grandes hauteurs, employer deux pompes jumelles, mues par le même balancier, et foulant alternativement l'eau dans le même tuyau. On peut avec un seul corps de pompe à piston plein, disposé comme les machines soufflantes à piston à double effet, faire aspirer et fouler le piston en allant et en venant, et obtenir ainsi un jet continu.

L'incompressibilité de l'eau se prête bien à l'envoi de l'eau à de grandes distances, à travers de longues conduites, dans des circonstances où les pompes élévatoires ne pourraient être employées. Elles conviennent tout particulièrement pour les distributions des eaux des villes et sont alors établies sur des proportions énormes, mues par des machines de 100 à 200 chevaux. (Voy. MACHINE A VAPEUR et EAUX.)

Dans les *pompes à piston plongeur* des machines d'épuisement (fig. 16) le corps de pompe AB n'est pas

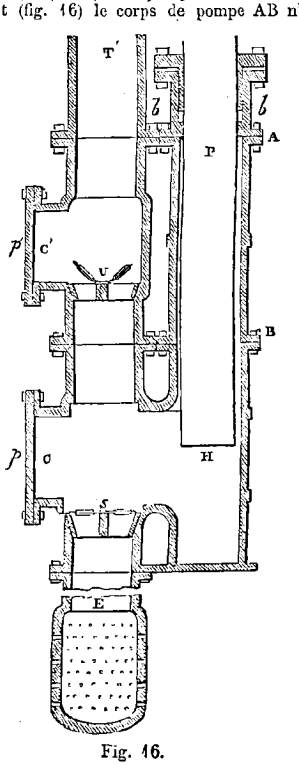


Fig. 16.

alésé; l'une de ses extremités H, est en communication avec la chapelle C, et l'autre se termine par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une boîte à étoupes *b b*, dans laquelle joue un piston cylindrique plein P, tourné à l'extérieur, et d'un diamètre de quelques centimètres plus faible que celui du corps de pompe. Pour alléger le piston plongeur, on le forme ordinairement avec un cylindre creux en bronze, fermé à ses extrémités par des fonds reliés par une tige en fer, fixée à la tige motrice, ou par une tige en bois qui le remplit exactement et qui y est solidement serrée. Suivant la disposition du corps de pompe, le piston plongeur refoule l'eau, soit en montant, soit en descendant. Ces pompes, dites de Cornouailles, importées d'Angleterre, présentent de grands avantages sur les pompes élévatoires pour de grandes profondeurs, alors que le cuir du piston fortement pressé par une haute colonne d'eau se détruit rapidement, et que la réparation est longue et peu commode; cette supériorité rend leur usage de plus en plus fréquent.

Lorsque les eaux des mines sont corrosives, ce qui arrive fréquemment, il convient d'employer des corps de pompe en bronze et d'imprégner, comme nous l'avons dit, d'huile siccative, les tuyaux en fonte destinés à former les colonnes pour l'aspiration et l'ascension des eaux. Lorsqu'on emploie dans ce cas des pompes à piston plongeur, on double alors souvent l'intérieur du corps de pompe avec des douves en bois.

Lorsque le tuyau d'aspiration plonge dans un puisard placé au fond du puits pour recevoir les eaux, on le termine par un panier à claire-voie E servant à empêcher les graviers d'être aspirés et de passer dans le corps de pompe.

Les soupapes que l'on emploie dans les pompes à piston plongeur sont ordinairement des soupapes à clapets. M. Juncker a employé avec succès à Huelgoët des soupapes qu'il nomme *soupapes-pistons*, et qui consistent en un porte-soupape métallique fixé sur le fond de la chapelle, ou entre deux collets, percé d'une ouverture cylindrique, alésée et rodée intérieurement, et légèrement évasée en dessus; un appendice venu à la fonte guide la partie inférieure de la tige de la soupape, qui est un disque métallique plat pourvu d'une tige venue à la fonte, qui se prolonge en dessus et en dessous, et qui est garni d'un chapeau renversé de cuir embouti et biselé, appliqué sur son contour et maintenu par des anneaux métalliques plats et des boulons à vis; c'est cette garniture en cuir qui ferme hermétiquement, en s'appliquant, par la pression de l'eau supérieure, contre la paroi interne de l'ouverture cylindrique du porte-soupape. Quand ces soupapes sont construites avec soin, elles tiennent l'eau parfaitement, et ne se détériorent qu'après un temps fort long.

MM. Harvey et West ont modifié les soupapes de Hornblower, employées dans les machines à vapeur du Cornouailles, pour les appliquer aux pompes de grandes dimensions. Nous allons décrire ces soupapes, qui conviennent parfaitement aux pompes d'un fort calibre, et qui sont souvent employées pour les pompes puissantes servant à élever les eaux destinées à desservir les fontaines, etc., pour les besoins des villes. La figure 17 est une section verticale de cette soupape fermée, et la figure 18 la représente ouverte; *c c*, est le siége en bronze, sur lequel et autour duquel se meut la partie mobile *d d*, également en bronze; les anneaux *e e*, *e' e'*, sont dressés avec soin, et s'appliquent exactement, quand la soupape est fermée, sur les parties *f f*, *f' f'*, du siége. La soupape s'ouvre à la fois par le haut et par le bas, lorsque les anneaux *e e*, *e' e'* abandonnent leurs siéges *f f*, *f' f'*. Les siéges sont venus à la fonte, ou formés de pièces en bois ou en métal tendre, rapportées et dressées avec soin dans tous les cas; *g g*, est un sillon annulaire ménagé sous le siége, et dans lequel on loge un anneau de cuir pour prévenir les fuites; *h h*, est un cylindre venu à la fonte avec le siége, tourné, qui sert de guide à la partie *d d*; une saillie métallique *i i*, ménagée sur le cylindre, glisse dans une rainure pratiquée dans *d d*, et l'empêche de tourner; un

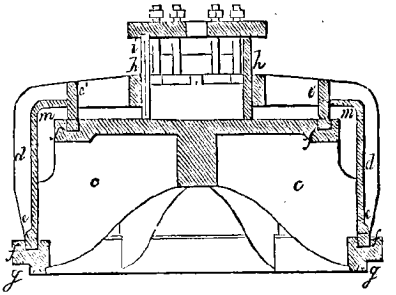


Fig. 17.

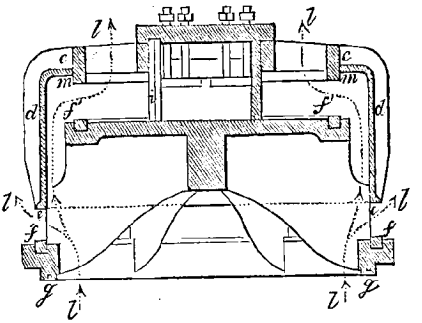


Fig. 18.

disque boulonné sur le cylindre sert à limiter l'excursion de la soupape dans le sens vertical; enfin, *m m*, est la portion annulaire de la valve, qui supporte la différence de pression qui a lieu des deux côtés de la soupape, par suite du jeu de la pompe.

Pompes mues directement par machines à vapeur. La machine à vapeur, la pompe à feu comme on disait à l'origine, ayant exactement le même mouvement qu'une pompe à eau, on peut monter les tiges des pistons aux deux extrémités d'un balancier, comme on le voit dans les pompes de Cornouailles (voyez MACHINES A VAPEUR) ou plus simplement encore monter sur une même tige le piston à vapeur et le piston à eau. On a construit ainsi non-seulement des pompes de petite dimension, mais encore de puissants appareils de distribution d'eau. Telle est celle établie par Farcot pour les eaux de la ville d'Angers, dans laquelle toutefois il a conservé le volant pour pouvoir employer de longues détentes, ce qui fait disparaître l'avantage d'extrême simplicité de cette disposition, mais au profit de l'économie de combustible.

Lorsque la question d'économie n'est pas en jeu, que par suite l'emploi de la détente importe peu, comme dans les machines employées, d'une manière discontinue, pour l'alimentation des chaudières, le système se réduit à deux pistons montés sur une même tige, l'un se mouvant dans un cylindre à vapeur, l'autre dans l'eau. Des taquets portés par la tige déterminent le mouvement des tiroirs.

Pompes rotatives et oscillantes. On a cherché à combiner des pompes qui pussent être mues directement par un mouvement autre que le mouvement rectiligne alternatif. Nous donnerons pour exemple les deux suivantes:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° *Pompe de Bramah*, à mouvement circulaire alternatif (fig. 19).

ABC est le corps de pompe; le piston est ici PP', qui, agissant vers A, ferme la soupape *m* et ouvre la surface *n* en agissant comme pompe foulante, tandis que la soupape *p* est ouverte par le vide fait en arrière du piston, et la soupape *o* fermée par le poids de l'eau.

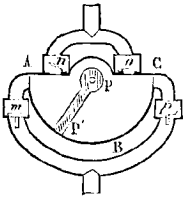


Fig. 19.

Dans le mouvement inverse, au contraire, le piston allant vers C, les soupapes *m* et *o* seront ouvertes et les soupapes *n* et *p* fermées, et l'ascension de l'eau continue. Ce système, vu la multiplicité des soupapes et la diversité des directions que l'eau doit prendre, d'où résultent des tourbillonnements et des contractions, ne peut servir que pour les cas où l'économie de la force motrice importe peu.

2° C'est surtout pour agir par rotation qu'on a multiplié les inventions de systèmes de pompes et appliqué à cet effet, avec peu de succès, la plupart des dispositions employées pour obtenir des MACHINES A VAPEUR ROTATIVES (voyez ce mot au *Complément*), car le problème à résoudre est le même, successivement emprisonner ou rendre libre la vapeur ou l'eau par l'effet d'une rotation. Nous ne décrirons ici que la *pompe de Dietz*, mue par mouvement circulaire continu (fig. 20). Un cylindre muni

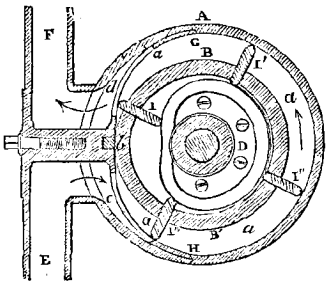


Fig. 20.

de palettes normales à sa surface et se mouvant dans un autre cylindre fixe, entraînera l'eau qui pourra être comprise entre les palettes. Le corps de pompe des pompes à piston y est remplacé par un tambour ou boîte cylindrique en cuivre ou en fonte A, qui contient entre les deux fonds une seconde boîte B, d'un moindre diamètre et sans couvercle, mobile autour d'un arbre tournant C muni d'une manivelle; à l'intérieur de la boîte B se trouve un excentrique D, fixé d'une manière invariable, au moyen de vis, sur les fonds du tambour A. Ce dernier renferme encore, du côté des tuyaux E et F, une large lame de fer G*b*H, qui est pressée en *b* contre la convexité de la boîte B, et qui est percée de deux ouvertures: par l'une *c*, l'eau passe du tuyau d'aspiration E, dans l'intervalle *a a*, qui existe entre les deux boîtes; et par l'autre *d*, elle entre dans le tuyau d'ascension F. Enfin, la boîte B présente, dans toute son épaisseur, quatre entailles en croix, dans lequelles sont et glissent quatre langnettes en fer I, I', I'', I''', dont la largeur, comme celle de la bande G*b*H, est égale à la distance qui sépare les deux fonds du tambour; une de leurs extrémités est constamment appuyée contre le bord intérieur de l'excentrique D, et l'autre l'est contre la paroi concave, à droite, de l'intervalle *a a*, de sorte que, pareilles à des cloisons, elles divisent cet intervalle en cases séparées. Lorsqu'on met en mouvement la boîte B, de *b* vers B', la languette I, après avoir passé le point *b*, laisse derrière elle un vide; et, dès qu'elle est au delà de l'ouverture *c*, l'eau entre pour le remplir; la languette I''', qui vient ensuite, pousse devant elle cette eau, lui fait parcourir l'intervalle H*c b*, la force à passer par l'orifice *d* et à monter dans le tuyau F; le jet est continu. Ces pompes doivent être construites avec une grande perfection, pour qu'il n'y ait pas à les fréquemment réparer.

POMPES CENTRIFUGES. Ce n'est pas par l'emploi de petits mécanismes, mais par une bonne utilisation de la force centrifuge, que devait être résolu le problème de l'élévation de l'eau par la rotation. La première puissante pompe de ce genre, due à Appold, a été vue avec grand intérêt aux expositions, à cause de sa grande production sous un petit volume, ce qui s'explique facilement par la grande vitesse que l'on donne à l'opérateur. Celui-ci est une espèce de turbine ou mieux un ventilateur à aubes courbes. L'obliquité des palettes et la force centrifuge repoussent vers la circonférence l'eau que la roue contient; il en résulte une diminution de pression vers l'axe d'autant plus grande que la roue marche plus vite, et l'eau du réservoir inférieur est aspirée, est poussée par la pression atmosphérique, et s'élève dans la roue. Celle-ci refoule l'eau qu'elle expulse dans un tuyau d'ascension, où elle monte à une hauteur d'autant plus grande que la vitesse du mouvement est plus considérable.

On voit, par cette simple description, que cette machine, représentée en coupe figure 21 peut fonctionner

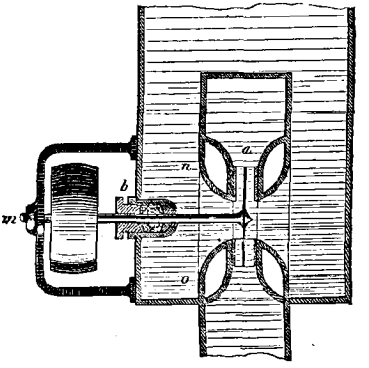


Fig. 21.

comme pompe aspirante et foulante, et que la hauteur d'aspiration ainsi que celle de refoulement dépendent de la vitesse imprimée à la roue à aubes. En réalité, malgré son nom c'est à peine une pompe, c'est autant une turbine imprimant un mouvement à l'eau.

La forme des aubes de la roue et celle de son enveloppe exercent une grande influence sur l'effet utile de cette machine. L'eau qui y circule y est, en effet, animée de deux mouvements: l'un de transport général, qui lui est imprimé par la roue, qui l'emporte avec elle, et l'autre de circulation sur les aubes. Il importe qu'à la sortie de la roue la vitesse qui résulte de ces deux mouvements soit la plus faible possible pour éviter la perte de force vive qui en résulterait.

Sous ce rapport, l'usage des aubes courbes adoptées par Appold semble préférable à celui des aubes planes. Seules elles peuvent permettre à la partie des palettes voisines de la circonférence extérieure de ne pas faire tourbillonner inutilement l'eau, mais de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faire progresser par la pression engendrée et aussitôt utilisée.

Enfin il est facile de comprendre que, pour utiliser toute la pression que la force centrifuge développe à la circonférence de la roue, il convient de laisser celle-ci à peu près libre sur tout son pourtour, en donnant au tuyau d'ascension une assez grande dimension pour que la vitesse de transport y soit faible.

Voici les chiffres d'essais faits lors de l'Exposition de Londres pour apprécier le mérite de ces pompes; de plus, afin de mettre plus clairement en évidence l'influence de la forme des aubes et l'avantage des aubes courbes sur les aubes planes, on a successivement placé dans la machines d'Appold sa roue ordinaire à aubes courbes, une roue de même dimension, à aubes planes inclinées à 45° sur le rayon, et une roue semblable à aubes planes dirigées dans le sens du rayon.

Numéro des expériences.	Volumes d'eau élevés en litres en une seconde.	Hauteur d'élévation.	Effet utile en une seconde.	Travail moteur dépensé en une seconde.	Rendement ou rapport de l'effet utile au travail moteur.	Nombre de tours de la roue en une seconde.
	Pompe d'Appold, avec ses aubes courbes.					
	lit.	m.	km.	km.		
1	159,0	2,590	413,00	717,60	0,588	828
2	124,0	2,715	340,00	526,00	0,648	718
3	87,9	5,690	500,00	771,00	0,719	792
4	97,2	5,690	552,00	807,80	0,685	792
5	93,5	5,897	551,00	810,00	0,680	788
6	91,6	5,897	558,00	859,00	0,650	800
7	32,73	7,970	261,00	697,00	0,375	813
8	51,50	8,235	424,00	891,00	0,475	876
	Pompe d'Appold, avec des aubes planes inclinées à 45° sur le rayon.					
1	42,40	5,480	233,00	583,00	0,398	690
5	55,81	5,480	306,00	698,00	0,434	694
	Pompe d'Appold, avec des aubes planes dirigées dans le sens du rayon.					
1	35,87	5,480	197,00	810,00	0,243	720
2	27,90	5,480	153,00	660,00	0,232	624
	Pompe de Gwyne, à aubes planes dirigées dans le sens du rayon et à tuyau de circulation.					
1	22,0	4,17	91,74	487,55	0,190	675
2	21,2	4,17	89,46	465,50	0,190	608

En examinant les résultats contenus dans ces tableaux, on voit que la pompe centrifuge à aubes courbes d'Appold donne un rendement très-satisfaisant, puisqu'il s'élève, pour cette machine, à 0,65 et même 0,68 du travail moteur dépensé, tandis que les pompes de ce genre à aubes planes dirigées dans le sens du rayon n'ont donné qu'un effet utile de 0,23 du travail moteur, et encore moins quand elles étaient accompagnées d'un canal étroit dans lequel l'eau était obligée de circuler.

En effet, si les palettes sont droites, comme dans les figures B, C (fig. 22), l'eau conserve nécessairement une vitesse dans le sens du rayon, quand elle quitte la roue, tandis que c'est la vitesse suivant la tangente à la circonférence qui est seule utile; par suite, on communique à l'eau une force vive plus grande que celle qui était indispensable, et l'on consomme un travail moteur trop considérable. Si, au contraire, les palettes sont courbées en arrière comme en A, par rapport au mouvement, de manière que le bord ait à peu près la direction de la tangente à la circonférence, la direction du mouvement de l'eau le long de la palette se trouve alors la même que celle d'entraînement, et il n'y a pas de force

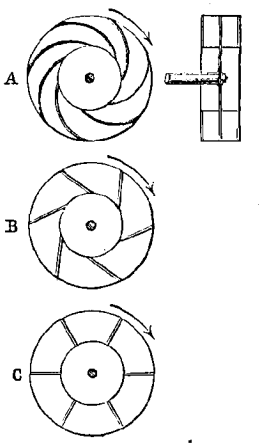


Fig. 22.

vive inutile, si les vitesses de ces mouvements sont égales.

Il résulte de ces expériences que la pompe centrifuge est susceptible de rendre de bons services pour l'élévation des eaux à des hauteurs qui ne dépassent pas 6 mètres, et, comme elle n'a besoin d'aucune soupape, elle peut être avantageusement employée à des épuisements d'eaux troubles. Il faut remarquer qu'elle doit marcher à de grandes vitesses, qu'elle exige un mécanisme convenable pour les lui communiquer, et un moteur en rapport avec les effets à produire, tel, par exemple, qu'une machine à vapeur à grande vitesse de piston.

Quant à l'admission de l'eau dans la roue, il faut que l'eau passe directement du tuyau d'aspiration dans la roue, sans l'intervention d'aucun réservoir dans lequel la force vive du courant, communiquée par l'acte de l'élever par ce tuyau, puisse être détruite, et ce n'est que par le centre qu'elle peut arriver pour que rien ne gêne l'arrivée de ce courant. Il semble qu'on pourrait employer des canaux convenablement tracés pour diviser l'eau et faciliter son entrée entre les palettes, imiter, en un mot, la disposition employée pour les turbines.

Il est clair que l'action de la force centrifuge pour accroître continuellement la vitesse de l'eau sur les palettes, à mesure qu'elles s'éloignent du centre, ne peut produire son effet sur toutes les particules d'eau d'une même section, qu'autant que les sections vont en diminuant. S'il n'en est pas ainsi, quelques particules d'eau dans chaque section sont continuellement retardées, et un certain travail est consommé en remous, pendant que le courant ne peut que souffrir de ce trouble destructeur de force vive. Cette diminution de section des canaux pourrait sans doute être obtenue en donnant aux deux côtés de la roue la forme de disques coniques, moyen employé dans le ventilateur de Lloyd, ainsi qu'on la fait dans la construction décrite ci-après.

La communication du mouvement à l'axe placé dans le réservoir dans lequel la roue tourne peut être disposée de plusieurs manières, mais autant que possible au-dessus de la roue. A cet effet, Appold fixe la roue sur un axe qui traverse les deux côtés du réservoir.

La vitesse de la roue doit être en raison de la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée. A une certaine limite,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette hauteur est impossible; mais bien avant, l'usage de la pompe cesse d'être avantageux.

En général, les constructeurs anglais donnent une vitesse en pieds anglais par minute à la circonférence déterminée par la formule

$$550 + (550 \sqrt{\text{hauteur à laquelle l'eau doit être élevée en pieds.}}$$

M. Appold annonce, à des hauteurs convenables, un rendement de 70 p. 100; il a pu élever jusqu'à 2,000 ou 3,000 gallons (10 à 12 mille litres) par heure avec une pompe employée aux travaux de Douvres.

Perfectionnements apportés à la construction des pompes rotatives. L'emploi chaque jour plus fréquent des pompes rotatives a fait multiplier les ateliers qui s'occupent de leur construction et attiré l'attention des constructeurs sur les moyens propres à les améliorer. M. Amos qui exploite le système Appold et M. Gwyne sont les ingénieurs anglais qui les ont le plus multipliés; en France MM. Malo-Belleville de Dunkerque, Cognard à Paris, Dumont et Neut de Lille, s'en occupent principalement.

Tous ces progrès nous paraissent parfaitement résumés dans les dispositions adoptées par ces derniers, et en reproduisant ici les dessins de leur pompe centrifuge adoptée par un très-grand nombre d'industriels, nous les passerons en revue.

Celui sur lequel nous insisterons de préférence se rapporte au cantonnement de l'air au centre de la turbine, qui était souvent une cause de diminution de rendement et même d'arrêt, qui rendait l'emploi de ces pompes impossible dès qu'il fallait puiser l'eau à une profondeur un peu grande, dès que l'aspiration devait être considérable. L'air aspiré traversant souvent les garnitures de l'axe de la pompe ou bien se dégageant de l'eau au point où la pression est moindre, c'est-à-dire au centre de la turbine, y restait emprisonné par l'eau en mouvement, et bientôt la pompe cessait de fonctionner.

M. Cogniard a eu l'idée de retirer constamment cet air par une petite pompe qui l'aspire au centre de la turbine. Plus simplement MM. Neut et Dumont, y ont remédié par une disposition que nous allons décrire (fig. 23).

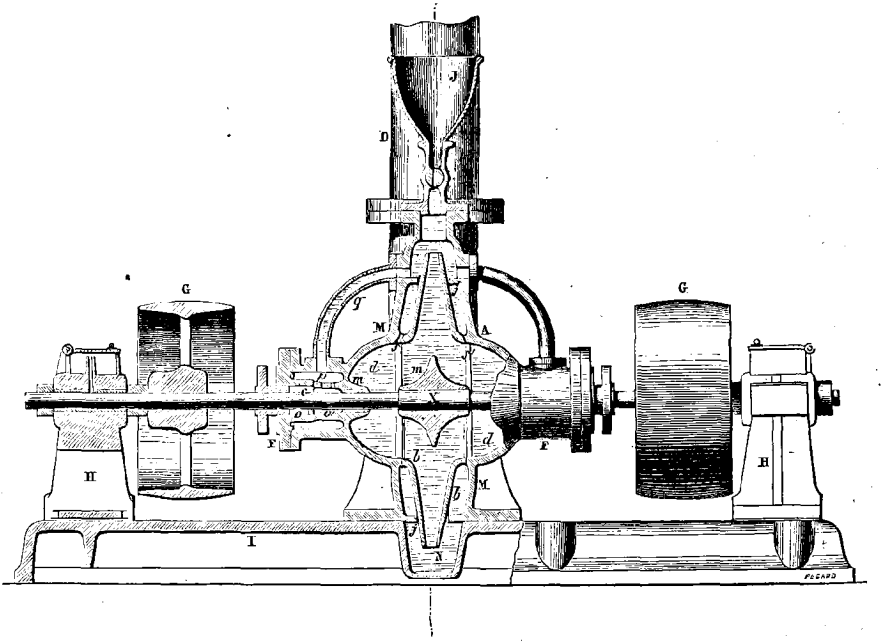


Fig. 23.

Parlons d'abord du cas où de l'air arrive au centre par la colonne d'aspiration, par exemple quand le clapet de pied se découvre, ce qui arrive fréquemment dans les travaux d'épuisement. Ils établissent une communication entre le tuyau de refoulement et le centre de la turbine au moyen de deux trous placés à la partie supérieure (S, S' sur la fig. 23). Lorsqu'un certain volume d'air s'est introduit dans la pompe, ainsi qu'il vient d'être dit, cet air s'échappe en partie par les trous S, S' en vertu de sa légèreté, mais une partie demeure quelquefois dans la partie centrale. Bientôt, surtout si cet effet augmente, ces trous donnent passage vers le centre à une petite quantité d'eau arrivant à haute pression, forcent l'air à s'échapper à travers la turbine, et réamorcent celle-ci au besoin.

La garniture du calfat, du stuffing-box, à travers lequel passe l'arbre, donnant passage dans la pratique à la majeure partie de l'air, ils ont établi entre deux coussinets, un coussinet d'eau alimenté par l'eau venant aussi de la colonne de refoulement. La boîte à étoupes est divisée en deux compartiments *O*-*O'*, séparés par une bague métallique *C*. *O* est le stuffing-box, *O'* reçoit l'eau par de petits trous de la partie supérieure, par le tuyau *po*. La garniture est donc sans cesse remplie d'eau pressée par la colonne de refoulement et tout accci-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dent qui détermine un effet de succion énergique par le centre fait rentrer de l'eau, mais jamais de l'air susceptible de paralyser la machine.

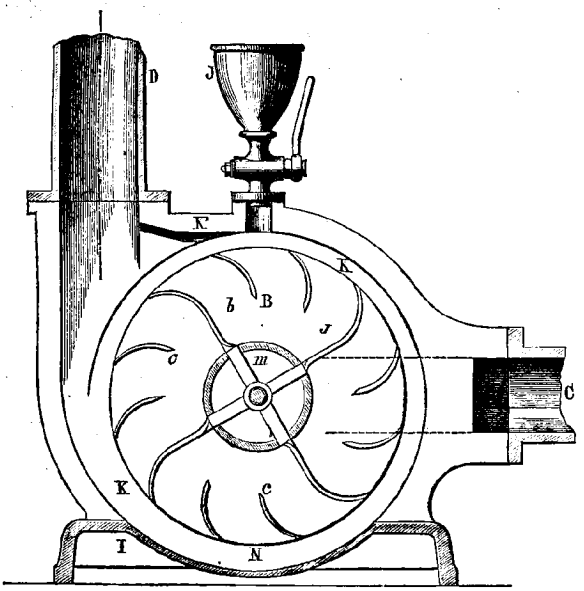


Fig. 24.

Dans ces conditions, la pompe s'amorce seule, avec un simple clapet de retenue au bas du tuyau d'aspiration.

Pour éviter les remous qui causent des pertes de force vive dans les liquides, outre la courbure convenable des palettes, MM. Dumont et Neut ont établi les cloisons parallèles qui empêchent la réaction de l'eau chassée à la circonférence de la turbine sur toute la masse d'eau renfermée dans les coquilles MM (fig. 24).

Dans ces conditions, la pompe centrifuge, qui reçoit si facilement l'action d'un moteur, qui est exempte de grands frottements, dans l'intérieur de laquelle ne se produit pas de changement de sens du mouvement, qui peut, sans inconvénient, être traversée par des corps étrangers de volume notable, boue, sable, gravier, par exemple dans le cas des épuisements, a reçu et reçoit chaque jour des applications très-étendues.

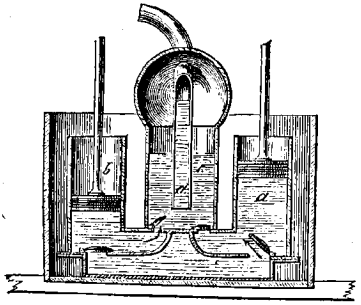


Fig. 25.

POMPES A INCENDIE. Nous devons insister sur ce genre de pompes d'une grande utilité. Celle qui se construisent en grand nombre, destinées à être mues à bras (fig. 25), sont toujours accouplées; les deux corps de pompe faits en bronze ont communément $0^m,12$ de diamètre et $0^m,60$ de long. Les pistons sont entourés d'anneaux de cuir: au-dessus et au-dessous sont des cuirs emboutis; le tout est contenu et serré entre deux plaques de fer. La soupape d'aspiration est à coquille, et celle de retenue est à clapet. Entre les deux corps de pompe se trouve un réservoir ou récipient d'air, fait avec des feuilles de cuivre d'environ 3 millimètres d'épaisseur; son diamètre est de $0^m,25$ et sa hauteur de $0^m,55$. Dans sa partie inférieure, il est percé d'une ouverture circulaire à laquelle est soudé un tuyau également en cuivre, sur le haut duquel se visse un tuyau de cuir ou de forte toile imperméable, portant à son extrémité un long ajustage ou *lance* d'environ $0^m,016$ de diamètre à l'orifice, et qu'on dirige vers le *feu à éteindre*. Cette pompe est établie dans une caisse en bois montée sur quatre petites roues, que l'on conduit au lieu où l'incendie a éclaté. (Voy. INCENDIE.) Les travailleurs y versent continuellement de l'eau avec des seaux en toile ou en cuir, tandis que les pompiers, placés aux deux extrémités du balancier menant les tiges des deux pistons, mettent la machine en jeu. L'eau passe des pompes dans le récipient d'air; et comme elle y arrive en plus grande quantité qu'elle n'en peut sortir, sous une faible pression, par l'ouverture inférieure, elle s'y élève, comprime l'air de plus en plus, et lui donne une force élastique très-souvent supérieure à trois atmosphères. La réaction étant égale à l'action, l'air presse l'eau avec cette même force; il la fait sortir avec rapidité par l'orifice de la lance, et en assurant la continuité du jet. Huit pompiers bien exercés donnent 60 coups de balancier en une minute, la course des pistons étant de 0^m12, et ils portent le jet à 20 mètres de hauteur verticale. Abstraction faite de tout déchet, c'est 27 kilogrammètres d'effet utile en 1" par pompier.

Dans ces pompes l'eau, après sa sortie, n'est plus, comme dans les autres pompes, contenue dans un conduit; elle doit vaincre, pour atteindre son but, la résistance de l'air, qui détermine toujours, à une distance plus ou moins grande, la résolution du jet en gouttelettes; et, lorsque cet effet est produit, chacune de ces gouttelettes est bientôt arrêtée dans son mouvement par cette même résistance. Tandis que, dans les pompes d'épuisement, il importe, au point de vue de la bonne utilisation du travail moteur, de donner à l'eau la moindre vitesse possible, parce que la vitesse finale répond à la perte d'une certaine quantité de travail, dans les pompes à incendie, au contraire, cette vitesse est, à proprement parler, le résultat principal à produire; elle est toujours d'autant plus considérable à la sortie que le diamètre de l'orifice de la lance est plus petit, et, par suite des limites entre lesquelles cette dernière dimension est nécessairement restreinte, il ne peut y avoir aucun inconvénient à donner à l'eau, dans les autres parties de la canalisation, une vitesse trop grande par les efforts des pompiers.

Si donc on pouvait, à partir du repos dans lequel le liquide se trouve dans le réservoir alimentaire, accroître graduellement sa vitesse jusqu'à l'orifice de sortie, nul

EFERUS - Recherche & Classification numérique

doute qu'au point de vue théorique un appareil de cette nature ne fût le plus parfait.

Peut-être devrait-on conclure de ces considérations que les pompes à pistons rotatifs seraient, pour cet usage spécial, préférables aux autres systèmes, puisque, par leur mode de fonctionnement, l'eau s'y meut constamment dans le même sens : dans les pompes à mouvement alternatif, au contraire, la vitesse de l'eau, à son arrivée dans le cylindre, est presque entièrement détruite par la condition, à laquelle elle doit satisfaire, d'un mouvement en sens contraire, lors du refoulement; une marche trop rapide donnerait lieu bien souvent à ces chocs, que l'on désigne très-justement, et à cause de leur soudaineté, sous le nom de coups de béliers.

Il ne faut donc pas s'étonner qu'en Amérique les pompes rotatives soient en grand honneur, comme pompes à incendie : en France et en Angleterre on n'emploie, pour ainsi dire, que les pompes à mouvement alternatif; et, suivant le moteur employé, il est également facile de voir que les deux systèmes ont respectivement leurs raisons d'être.

Pour une pompe à bras, et en nous bornant d'abord à ne considérer que les pompes à mouvement alternatif, on pourrait employer, pour obtenir un jet continu, soit un seul corps à double effet, soit deux corps à simple effet. Si l'on préfère cette dernière disposition, cela tient tout autant à ce que les hommes nécessaires à la manœuvre se groupent plus facilement aux extrémités du balancier, qu'à la facilité avec laquelle les organes peuvent être visités dans les pompes à simple effet. L'emploi d'un long balancier ne peut être mieux utilisé que dans une pompe à deux corps, et il serait impossible d'employer aussi bien quinze ou vingt hommes à travailler ensemble à une pompe rotative.

Il en est tout autrement si la puissance motrice est donnée par une machine à vapeur, et l'on comprend que, si l'on n'a pas à craindre l'action, sur les organes de la pompe, des matières étrangères que l'eau pourrait entraîner avec elle, ce système soit très-admissible, si plus grande quantité de travail est dépensée pour un même volume d'eau.

Toutes les bonnes pompes à bras qui figuraient à l'Exposition de Londres étaient à mouvement alternatif, dit M. Tresca, auquel nous empruntons cette étude, et n'offraient rien de particulier; nos observations porteront sur les dimensions, et par conséquent sur les quantités d'eau débitées.

A Paris, la pompe réglementaire, qui est seule en service, est formée de deux corps à simple effet, ayant chacun un diamètre de $0^m,1257$; la course des deux pistons est de $0^m,2405$, et par conséquent le volume correspondant à chaque course est de 3,05 litres, et pour une double course de de 6,11 litres.

A Londres, la pompe ordinairement en usage fournit à chaque coup 10 litres environ; la pompe de Paris est manœuvrée par 15 hommes; celle de Londres, grand modèle, par 28 ou 30; celle de Paris est traînée à bras, celle de Londres par des chevaux.

Nous devons tout d'abord signaler les circonstances matérielles qui sont de nature à empêcher ou à permettre l'emploi des grands appareils.

A Paris, les pompiers n'ont eu longtemps à leur disposition que les robinets des fontaines publiques, dont le débit est, la plupart du temps, insuffisant, et l'alimentation plus ou moins intermittente, qui peut être faite par les tonneaux de porteurs d'eau, n'est pas assez assurée pour qu'on s'expose à employer des appareils de grande dimension.

A Londres, chaque maison porte d'une manière apparente un écriteau peint, dans le genre de nos numéros de rue; cet écriteau, bien simple (F. P. 28 F^eet), indique que la prise d'eau pour les incendies est en face de l'écriteau, à une distance de 28 pieds, ou à toute autre distance suivant le chiffre; aussitôt que les premiers secours arrivent, on mesure la distance, et il suffit d'enlever le macadam pour obtenir immédiatement, d'une manière continue, toute la quantité d'eau dont on a besoin.

Les grandes pompes seront inutiles à Paris, tant

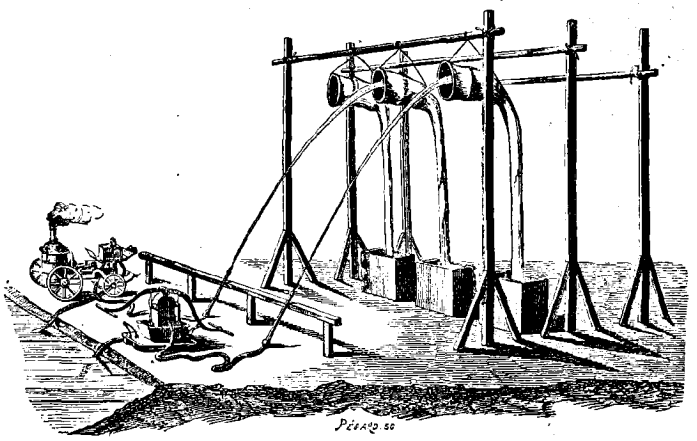


Fig. 26.

d'ailleurs toutes les dispositions sont prises pour que les garnitures ferment bien, les frottements qui font perdre une grande partie du travail moteur dans les pompes jouant ici un rôle plus secondaire, alors qu'une bien qu'on n'aura pas une quantité d'eau suffisante; mais le jour n'est pas éloigné où l'on pourra trouver possible l'utilisation d'appareils plus puissants, dont l'effet utile va en croissant avec le diamètre du jet, comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'ont montré les expériences faites à Londres avec la disposition, dont le souvenir est bon à conserver, représentée, fig. 26.

Les machines stationnaient sur les bords de la rivière Serpentine, dans Hyde-Park, et les lances de projection étaient maintenues par les pompiers sur une balustrade placée devant les récipients dans lesquels l'eau était projetée.

Ces récipients, au nombre de trois, étaient formés chacun d'une sorte d'entonnoir en grosse toile, maintenu par une carcasse en fer mince, et se prolongeant par un tuyau également en toile, destiné à conduire l'eau recueillie dans le bassin jaugé, qui correspondait à chacun d'eux. Deux montants verticaux, munis de palans, permettaient d'élever depuis vingt jusqu'à quarante pieds le centre des entonnoirs, fixés tous trois à une même traverse, par des cordes de suspension.

On voit sur la figure trois rangs de montants verticaux qui avaient pour objet de faire varier horizontalement la distance à laquelle on voulait mesurer l'efficacité du jet.

De cette manière on pouvait comparer le débit réel de la pompe à la portion de ce débit qui atteignait, dans chaque circonstance, la bouche des entonnoirs, c'est-à-dire un cercle de six pieds anglais de diamètre en considérant comme inefficace toute l'eau projetée au dehors de ce cercle. C'est, on le voit, un excellent mode d'expérimentation pour déterminer la valeur réelle des pompes au point de vue de leur application spéciale à l'extinction des incendies.

POMPES A VAPEUR. C'est en Amérique qu'elles ont pris naissance et elles forment un type particulier, dont les constructeurs anglais se sont fort rapprochés.

Ce que ces machines offrent de particulièrement remarquable, c'est l'étonnante rapidité de leur mise en feu; elle s'explique d'ailleurs facilement par la disposition spéciale des chaudières, qui doivent varier beaucoup dans leurs détails, mais dont la description succincte, que nous en pouvons faire, suffira cependant pour indiquer le principe.

Ces chaudières se composent généralement d'un corps principal, contenant un volume d'eau suffisant pour alimenter, avec continuité, une série de tubes verticaux de petit diamètre, qui forment autant de bouilleurs fermés à leur partie inférieure et en communication libre, par en haut, avec le corps principal; ces tubes sont placés dans la boite à feu, limitée d'ailleurs, comme dans les chaudières de bateaux, par des lames d'eau contenues entre les parois doubles et très-rapprochées qui enveloppent tout l'appareil.

On obtient ainsi une grande augmentation de surface de chauffe; mais cette augmentation ne serait pas encore suffisante, si les tubes n'étaient disposés d'une manière toute particulière, qui rappelle les premières chaudières à circulation Perkins, et bien connus sous le nom de tubes Field. Chaque tube renferme un tube concentrique, ouvert par les deux bouts; et, par suite de l'action de la flamme, à l'extérieur des tubes principaux, il s'établit une circulation d'eau très-rapide, la densité moyenne de celle qui circule dans l'espace annulaire étant toujours très-inférieure à celle du liquide dans son état normal, par suite de la vapeur qui y reste interposée; l'eau descend de la chaudière par le tube central, et vient remplacer ainsi celle qui se vaporise dans la branche concentrique du circuit.

Dans d'autres circonstances, cette circulation de l'eau, si favorable à la rapidité de la vaporisation, est produite au moyen d'une pompe spéciale, qui force l'eau à pénétrer dans des tuyaux extérieurs, indépendamment des causes résultant de la différence de densité.

A Londres, où les pompes à vapeur sont en service courant, on a été jusqu'à maintenir sans interruption une température convenable dans l'eau de la machine, en allumant dans le foyer lorsqu'elle est en repos dans sa remise, un certain nombre de becs à gaz, dont on règle la flamme à volonté. L'eau étant alors déjà échauffée par avance, la mise en vapeur est encore plus rapide, et tout à fait certaine. La consommation de matières

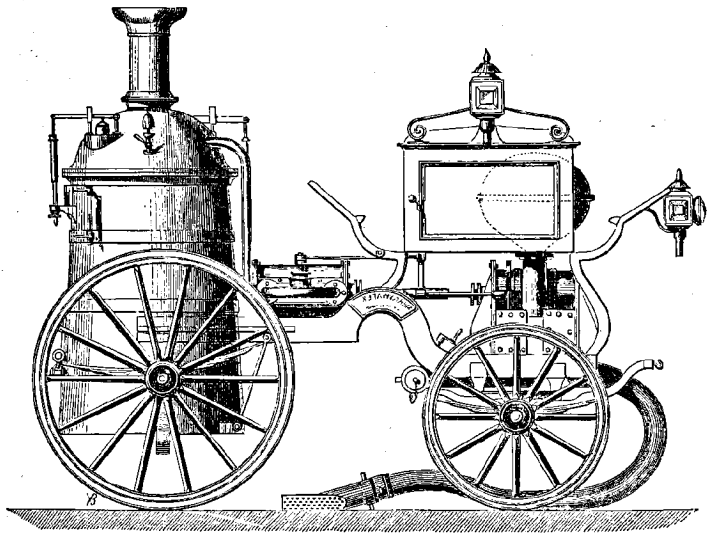


Fig. 27.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résineuses peut aussi permettre d'activer beaucoup l'allumage et l'échauffement de l'eau.

On rencontre dans les rues de Londres, lorsqu'un incendie est signalé par la télégraphie, ces pompes traînées rapidement par des chevaux vigoureux, et montées par un pompier qui active le feu pour arriver en pleine vapeur à l'endroit signalé.

Dans certaines machines américaines, le piston à vapeur est rotatif, de même que celui de la pompe; mais il nous semble que cette disposition, quant au moteur, doit présenter de graves inconvénients, sans diminuer de beaucoup le nombre ni les dimensions des organes.

La pompe américaine de MM. Worthington et Lee, qui a figuré à l'Exposition, est composée de deux cylindres à eau et de deux cylindres à vapeur, le tiroir à vapeur étant dirigé dans chaque machine par la tige de l'autre; de cette manière les mouvements ont lieu simultanément, en sens contraires, avec une régularité parfaite.

Les pompes anglaises sont les seules qui aient fonctionné dans les mêmes conditions d'essai que les pompes à bras et qui puissent, par suite, nous fournir des éléments positifs de comparaison. Elles étaient au nombre de trois seulement, et nous en donnons plus loin les dimensions; deux d'entre elles avaient été construites par MM. Shand et Mason.

Les machines comparées étaient à cylindres horizontaux et à double effet; celle de Merryweather (fig. 27) n'a pas de volant, et le tiroir est conduit par un renvoi de mouvement venant de la tige des pistons. On a cherché, au moyen d'un ressort, à faire démasquer brusquement les lumières d'admission, ce qui donne lieu à une série de chocs qui fatigueraient le mécanisme en peu de temps, s'il s'agissait d'une machine fonctionnant d'une manière continue.

La pompe de MM. Shand et Mason (fig. 28) est très-simple; le cylindre à vapeur A est placé dans le prolongement du cylindre à eau B, et il n'y a dès lors d'autre transmission de mouvement que celle nécessaire à la marche du volant C, destiné à faire passer les temps morts; la chaudière est construite de manière à obtenir une mise en vapeur très-rapide; cette vapeur est conduite directement au tiroir par le tube D, contourné de manière à rendre ses dilatations plus libres; elle s'échappe ensuite par le tuyau courbe E dans la cheminée très-courte F, mais suffisante cependant, au moyen de l'échappement, pour déterminer un tirage convenable.

Le régulateur à air G est grand, bien disposé, et placé derrière le siége du cocher, il n'embarrasse pas la machine; à côté de ce régulateur se trouve une sorte de panier en tôle H, destiné à contenir un certaine longueur de tubes, insuffisante cependant dans la plupart des circonstances. Tout le système est porté sur quatre roues et facilement transportable avec deux chevaux.

Voici quelles sont les dimensions des parties principales de ces machines, dont nous indiquerons la puissance d'après les résultats des expériences comparatives faites à l'aide de la disposition décrite plus haut.

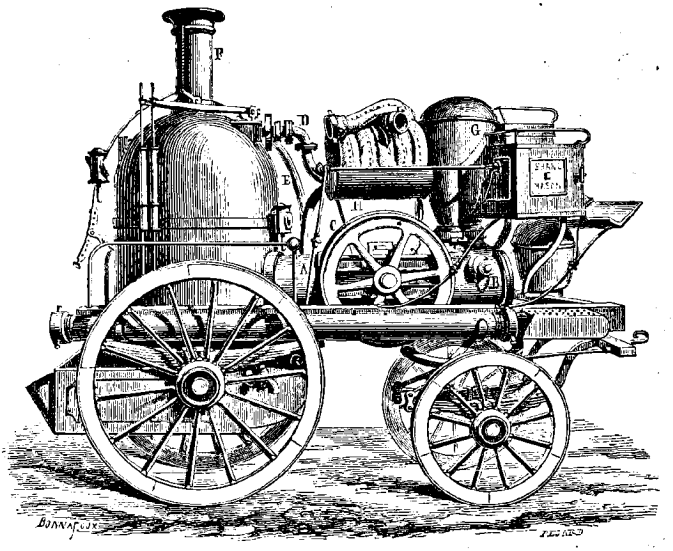


Fig. 28.

TABLEAU *général des dimensions des pompes à vapeur.*

Nos des pompes.	DÉSIGNATION des CONSTRUCTEURS.	DIAMÈTRES des cylindres à vapeur	DIAMÈTRES des cylindres à eau.	COURSE des pistons.	VOLUME engendré.	DIAMÈTRES des tuyaux d'aspiration.	DIAMÈTRES des tuyaux de refoulement.
		m.	m.	m.	l.	m.	m.
1	Merryweather et fils.....	0.229	0.165	0.381	15.90	0.127	0.076
2	Shand et Mason	0.216	0.178	0.229	11.13	0.089	0.089
3	Shand et Mason	0.168	0.152	0.203	5.18	0.076	0.063

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Voici comment le capitaine Shaw rend compte des opérations auxquelles M. le duc de Sutherland a procédé, avec le jury qu'il présidait: « Après l'examen des chaudières et des machines, les constructeurs remplirent leurs générateurs avec de l'eau directement puisée dans la rivière; les feux ayant été préparés, l'allumage s'est fait en même temps pour les trois pompes, et l'ordre a été donné de commencer le travail, pour chacune d'elles, aussitôt que la pression indiquée par le manomètre aurait atteint cinq atmosphères.

« La machine de M. Merryweather y arriva en 12' 30"; le grand modèle de MM. Shand et Mason en 18' 30"; le petit modèle en 30 minutes seulement, par suite de la nécessité où l'on fut de la rallumer une seconde fois. »

Voici encore quelques détails qui complètent les indications des expériences.

La machine de M. Merryweather a atteint la pression de 5 atmosphères, qui a baissé de 1 atmosphère pendant le premier essai. Elle s'est plusieurs fois ensablée et elle a éprouvé quelques dérangements dans les organes de distribution.

La machine n° 2, de MM. Shand et Mason, n'a eu qu'un petit accident au tuyau d'aspiration, et une expérience a été prolongée pendant plus d'une heure. La machine n° 3 a également bien fonctionné, mais son jet de $0^m,022$ n'était pas de plus grande dimension que ceux des grandes pompes anglaises manœuvrées à bras; cependant 53 p. 100 du volume de ce jet ont encore été utilisés à $18^m,30$ de distance et à $6^m,10$ de hauteur; la plus grande rapidité de la marche de la machine et l'énergie de l'effort exercé par la vapeur ont produit, même avec cette dimension d'orifice, d'excellents résultats.

Dans le meilleur essai sur les pompes à bras on n'a pu atteindre un débit de 700 litres par minute; le modèle n° 2 à vapeur en a débité, dans l'expérience n° 3, 4,842 litres dans le même temps, et rien n'est plus propre que cette comparaison pour montrer les services que ces nouvelles machines peuvent déjà rendre; le débit est plus que sextuplé et le jet peut atteindre à une distance de $10^m,30$, mais à la hauteur très-faible, il est vrai, de $3^m,05$. Cette même machine a porté son jet à $34^m,40$ et à une hauteur de $9^m,15$, avec utilisation, en volume, de 0,37, là où toutes nos pompes françaises auraient été absolument inefficaces.

C'est là le résultat capital qu'il importait surtout de mettre en lumière, et qui permet de conclure que la pompe à incendie à vapeur est un appareil d'une puissance bien supérieure aux pompes à bras, et qu'il importe de chercher à l'utiliser dans tous les pays. La ville de Paris depuis qu'elle a complété ses distributions d'eau a adopté avec grand succès la pompe Merryweather.

POMPE SPIRALE. On donne ce nom à un appareil qui en réalité n'est pas une pompe, mais bien la vis d'Archimède disposée de manière que son axe soit horizontal. Sa facile construction sur de grandes dimensions et certaines propriétés spéciales peuvent rendre son emploi avantageux; c'est ainsi qu'elle a été adoptée dans des papeteries pour transporter à la fois horizontalement et verticalement l'eau tenant en suspension le défilé qui constitue la pâte à papier.

La pompe spirale dont l'invention souvent attribuée à André Wirtz, ferblantier à Zurich, paraît appartenir au Hollandais Wetman en 1746, consiste en un tuyau enroulé sur un cylindre ou noyau troncônique, de manière à former des spires hélicoïdes qui enveloppent ce noyau (fig. 1). La première de ces spires se termine à un rayon et tangentiellement au noyau; la dernière se recourbe en se rapprochant de l'axe, de manière à se raccorder avec un tuyau de même diamètre dirigé suivant cet axe ou plutôt formant lui-même l'axe de rotation. Ce dernier tuyau s'emboîte avec le coude horizontal que forme à sa partie inférieure le tuyau d'ascension ordinairement vertical.

POMPE SPIRALE.

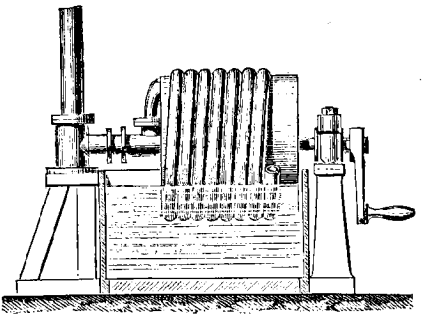


Fig. 1

Supposons la machine immergée jusqu'à la hauteur de son axe; il est clair que quand le noyau tourne et que l'extrémité du tuyau arrive à la surface de l'eau, elle pénètre dans le liquide, y parcourt à peu près une demi-circonférence, et que, lorsqu'elle reparaît à la surface, la moitié de la première spire se trouve remplie d'eau.

Dans la seconde demi-révolution la même spire se remplit d'air, puis le mouvement se continuant, elle se charge d'une nouvelle quantité d'eau, tandis que le précédent volume qu'elle avait admis est passé dans la deuxième spire, dont il occupe la moitié inférieure, l'autre se trouvant remplie d'air.

De proche en proche l'eau arrive à la dernière spire, puis au tuyau de l'axe et passe dans le tuyau d'ascension.

Jusque-là les pressions de l'air contenu dans toutes les spires étaient les mêmes, mais si on vient alors à remplir d'eau le tuyau d'ascension, l'eau s'élèvera dans la branche de la spire placée à côté de la colonne, atteindra son sommet et retombera en partie dans la spire suivante; il en est de même pour les spires successives, qui à cet état représentent la machine arrivée à son état normal, lorsque la colonne ascendante est remplie d'eau.

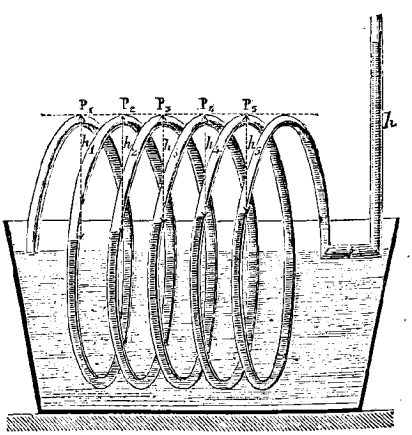


Fig. 2.

Si on représente cette disposition dans la figure 2 que nous empruntons à M. Morin, ainsi que cette ana-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lyse des faits, h_1, h_2, h_3 étant les hauteurs des dénivellations du liquide entre le sommet d'une spire et le niveau de l'eau dans la spire suivante:

h la hauteur de l'eau dans le tuyau d'ascension;

$p_1 = P$ (pression atmosphérique), p_2, p_3, p_4, p_5 les pressions de l'air contenu dans les spires supposées au nombre de cinq, exprimées en colonnes d'eau, on aura:

$$p_5 = P + h - h_5,\ p_4 = p_5 - h_4,\ p_3 = p_4 - h_3,$$

$$p_2 = p_3 - h_2,\ p_1 = p_2 - h_1,$$

et en faisant l'addition de ces quantités:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5,$$

c'est-à-dire que la hauteur d'élévation de l'eau est égale à la somme des hauteurs des colonnes d'eau des diverses spires, ce qui est évident *à priori*. Les volumes de l'air sont inverses des pressions croissantes depuis la pression atmosphérique jusqu'à la pression $P + h - h_5 = p_5$.

Par l'effet de la compression, le volume de l'air se réduit dans chaque spire d'autant plus qu'elle est plus voisine du tuyau d'aspiration, et la plupart sont moindres que le rayon moyen du tambour, et l'on peut poser comme limite de l'élévation de l'eau la somme des rayons des spires.

Lorsque la machine fonctionne, une capacité remplie d'air comprimé arrive en communication à chaque tour avec le tuyau d'élévation et comme près de l'orifice elle reprend à peu près son volume primitif, il sort une bouffée dont le volume est d'à peu près une demi-spire, et dont la force vive contribue à augmenter la hauteur d'élévation de l'eau. En forçant l'air à se diviser pendant son ascension, à se mélanger à l'eau sur toute la hauteur de la colonne, on pourrait obtenir un mélange ayant une densité bien moindre que celle de l'eau, et par suite élever celle-ci à une hauteur plus grande. On augmenterait ainsi le rendement déjà assez avantageux de cette machine, puisque l'air rend par sa détente tout le travail consommé pour le comprimer et qui répond à la pression h. On peut arriver ainsi à la hauteur h, sensiblement égale à $2(n-1)R$, R étant le rayon, n le nombre des spires, la première ne devant pas être comptée.

Cette limite pourra encore être dépassée en faisant entrer dans l'appareil un volume d'air plus grand que le volume d'eau, en n'immergeant pas la machine jusqu'à l'axe.

M. Morin, en soumettant à des expériences très-complètes la pompe spirale dont le tambour d'un mètre de diamètre porte six spires de $0^m,06$ sur $0^m,06$ de section qui existe au Conservatoire, a conclu des résultats obtenus:

1° Que pour une même hauteur d'élévation le rendement de la pompe spirale augmente à mesure que la vitesse de rotation diminue, ce qu'il était facile de prévoir *à priori*, les effets de la force centrifuge inutiles pour le fonctionnement de l'appareil ne pouvant que consommer inutilement du travail. Il paraîtrait, en général, convenable que la vitesse des spires n'excédât pas $0^m,30$ ou $0^m,40$ en 1 seconde.

2° Que le rendement de la machine augmente au fur et à mesure que la hauteur d'élévation se rapproche du diamètre des spires diminuée d'un rayon, et qu'alors il atteint la valeur de $0^m,60$ à $0^m,64$.

3° Que, pour une hauteur plus grande, il y a dégorgement irrégulier de l'eau par la première spire, et qu'alors le rendement de la machine diminue.

Nous donnerons encore, d'après le même auteur, la description de la partie la plus délicate comme construction de la machine, l'assemblage du tuyau des spires avec le tuyau d'ascension (fig. 3).

Le tuyau formant les spires en s'enroulant sur le cylindre se recourbe pour servir d'axe creux et repose sur un coussinet.

L'extrémité *a b* du tuyau, qui dépasse le coussinet, est tournée cylindriquement et on a ménagé à son extré-

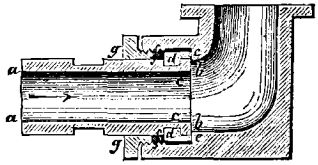


Fig. 3.

mité une gorge annulaire *cc*. Dans cette gorge, on introduit un anneau d'acier *dd*, en deux pièces, exactement tourné à l'intérieur et à l'extérieur, et qui peut être amené en contact avec le bord *e e*, bien dressé de l'origine du coude du tuyau ascendant. De l'autre côté de l'anneau *dd* est une rondelle de cuir *ff*.

L'embouchure horizontale du tuyau d'ascension est filetée et reçoit un écrou annulaire *g g*, que l'on serre à volonté, de manière à obtenir entre la rondelle de cuir, l'anneau d'acier *dd* et l'embase *e e*, un contact assez intime pour que l'eau ne puisse s'échapper, et cependant assez doux pour qu'il n'en résulte pas un frottement dur, capable de produire l'usure des surfaces.

PONCELET (J.-V.). L'abondance des matières à traiter dans un ouvrage encyclopédique de la nature de celui-ci, où toute l'industrie doit figurer, ne nous permet pas de nous étendre longuement sur la partie historique, sur les travaux des hommes qui ont créé les procédés que nous avons à analyser. Toutefois, au début de chaque article, l'historique, quand il y a lieu, forme en général l'entrée en matière et donne quelquefois lieu à des développements assez étendus; telle est la notice consacrée à l'œuvre de Watt, à l'article MACHINE A VAPEUR.

Mais, en agissant ainsi, nous ne rencontrons pas les hommes de génie qui ont contribué à activer dans tout son ensemble le mouvement industriel, sans attacher leur nom à une industrie spéciale, et par suite nous laissons de côté les œuvres les plus grandioses, celles qui ont fait progresser un grand nombre d'industries à la fois, en complétant, en créant quelquefois les théories sur lesquelles reposent leurs procédés. Tel est, au plus haut degré, l'œuvre de Poncelet, le créateur de la mécanique industrielle, et ce serait de l'ingratitude de ne pas parler du maître dans un ouvrage dont tant de pages ont été inspirées par son enseignement, animées de son esprit

Un brillant éloge de Poncelet a été prononcé par M. J. Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences; nous en reproduirons la majeure partie, qui met bien en lumière, avec une autorité incontestée, les admirables travaux de géométrie de Poncelet, qui a accompli deux carrières de savant éminent.

« Poncelet se montra, dès l'école primaire, supérieur à ses condisciples. Les espérances de son premier maître parlèrent assez haut pour obtenir de son père les moyens de lui faire suivre, comme externe, les cours du lycée de Metz. Ses progrès furent rapides, et après quatre ans d'efforts, en 1807, à l'âge de dix-neuf ans, il entrait le huitième à l'École polytechnique; fatigué par le travail, il tomba malade et perdit une année. En 1812 seulement, il quitta l'École d'application du génie de Metz, fut chargé dans l'île de Walcheren de travaux difficiles et urgents, et attaché presque aussitôt à la grande armée que l'on dirigeait vers la Russie.

« Intrépide et patient, de Smolensk à Borodino, de Borodino à Moscou, et de Moscou à Krasnoë, Poncelet supporta, sans se laisser abattre, les fatigues, les souf-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frances et les cruels désastres dont je n'ai pas à faire le douloureux récit. Dix jours avant le passage de la Bérésina, son corps d'armée, réduit à sept mille hommes, échappa par une fuite nocturne, plus audacieuse que la plus brillante attaque, aux cinquante mille hommes de Mileradowicht. Le Dniéper fut traversé sur une mince couche de glace. Quelques-uns se sacrifièrent à la liberté et au salut de tous : Poncelet fut un de ces braves. Prisonnier de guerre, dès le lendemain, il commençait à pied un terrible voyage de quatre mois. Épuisé de forces, malade, dépourvu de tout, mais endurci aux privations et libre par l'esprit, il trouva à Saratof, sur les bords du Volga, deux années de studieux loisirs et de fructueuses méditations. La révision de ses études élémentaires fut son premier exercice. Sans conseils et sans livres, mais appuyé sur des principes solides, il travailla sur son propre fonds. Préoccupés d'examens décisifs pour son avenir, et sans prévenir à contre-temps des difficultés trop subtiles, ses maîtres, jusque-là, pour retenir ses études dans les limites prescrites, avaient imposé silence à ses empressements ; sans déprimer son esprit d'invention, ils en avaient arrêté l'essor. Plus d'une rêverie, repoussée au lycée de Metz comme une dangereuse intempérance d'esprit, plus d'une curiosité, tenue alors pour vaine et indiscrète, furent avidement rappelées et diligemment suivies, consolatrices bienfaisantes cette fois, précieux divertissement parmi tant de tristesses.

« Le point de départ de ses méditations n'était ni transcendant ni nouveau. Ses illustres maîtres de l'École polytechnique, s'il avait pu les consulter, auraient sans doute dirigé ses pensées vers des sujets plus dignes de leurs savantes leçons. Mais, en lui signalant les larges voies qui, sur leurs traces, peuvent conduire si haut, il y a peu d'apparence qu'ils l'y eussent ensent entraîné. Poncelet, déjà tenace, n'aimait pas les sentiers battus, et son indocile fierté n'avait accoutumé d'accorder à personne le droit de choisir pour lui et de juger au-dessus de lui. Il aurait pu répondre, d'ailleurs, que le point d'arrivée importe, non celui de départ, que la distinction entre les recherches transcendantes et les exercices élémentaires est artificielle, antiphilosophique et nuisible au progrès. La discussion lui fut épargnée. Trop peu versés dans la science élémentaire ou transcendante, ses compagnons ne pouvaient ni l'encourager ni le combattre. Il n'avait à contenter que lui-même : il n'y parvint pas. Le temps et l'occasion de son long travail expliquaient l'inexpérience et le défaut d'érudition ; il ne lui sembla pas qu'ils les autorisassent. A son retour en France, il n'acheva pas son œuvre imparfaite, il la refit. S'éclairant au contact des Pascal, des Desargue, des Maclaurin et des Lambert, et retrempé dans ces sources intarissables et fécondes, rudoyant sans pitié quelques auteurs médiocres, dont il aurait pu laisser s'éteindre en paix la célébrité usurpée, mais viagère, il composa lentement son beau livre, dont les cahiers de Saratof, publiés depuis, ne sont que le préparatif et l'ébauche.

« Descartes avait cru, par des procédés uniformes de calcul, abolir le droit d'inventer avec génie en géométrie. Croyant avoir tout préparé et tout prévu, en laissant, sur plus d'un point, à ses successeurs le plaisir d'accomplir le progrès, il en usurpait par avance tout le mérite et toute la gloire. « J'espère, disait-il, que nos neveux me sauront gré, non-seulement des choses que j'ai expliquées, mais aussi de celles que j'ai omises volontairement pour leur laisser le plaisir de les inventer. »

« Ceux qui, sur la foi d'un aussi fier génie, ont cru l'ère des découvertes originales terminée dans l'étude des courbes, cherchèrent naturellement dans d'autres parties de la science un plus fructueux emploi de leurs efforts, et le progrès le plus grand qu'ait jamais fait cette belle théorie, a été ainsi l'occasion et le signal d'un temps d'arrêt dans sa marche.

« Descartes oubliait que, suivant la très-heureuse expression d'un géomètre contemporain, la géométrie est un art aussi bien qu'une science : *Mathesis ars et scientia dicenda;* et, s'il est quelquefois possible à une science de marquer dans une formule définitive la fin de ses efforts et le terme de ses progrès, l'art est inépuisable et infini, toujours jeune et fécond pour des génies nouveaux. L'étude de toutes les parties du Traité des Propriétés projectives peut seule faire apprécier au lecteur géomètre l'art merveilleux qui les fait naître les unes des autres, en conduisant par une voie singulière et nouvelle jusqu'aux vérités les moins prévues au départ. Les formules algébriques sont strictement bannies des démonstrations ; mais l'algèbre, depuis Descartes, embrasse trop étroitement la géométrie pour que rien puisse les désunir; et les conceptions analytiques les plus subtiles, en guidant, sans se montrer, l'application des principes, en justifient la hardiesse.

« Le Traité des Propriétés projectives étudie les figures dans leur image perspective. Le microscope des naturalistes substitue ainsi à l'objet une image agrandie, mais non déformée. La méthode de Poncelet est analogue, mais, pour la définir par une comparaison plus exacte et transporter l'ingénieuse conception dans la réalité physique, il faudrait tailler et ajuster avec assez d'art des verres assez heureusement trompeurs pour corriger dans l'image les défauts de l'original, ou, par une industrie plus merveilleuse encore, lui procurer en la transformant, avec des beautés nouvelles, une ressemblance désirée et prévue. Tel est le problème résolu par Poncelet. Deux sections coniques, par exemple, sont remplacées par deux cercles, et, lors même qu'elles se coupent, il peut arriver que les deux cercles soient concentriques. De tels et semblables paradoxes répugnent à l'évidence, un écolier les repousserait sans examen, et Archimède lui-même, pour interpréter un tel langage, et en pénétrer la profondeur, aurait dû commencer par apprendre l'algèbre ou l'inventer.

« Poncelet, sûr de lui-même, après six années de méditations et d'études, présenta son manuscrit à l'Académie des sciences. Le rapport des commissaires, Poisson, Arago et Cauchy ne répondit ni à son attente, ni à l'importance de l'œuvre. Où trouver cependant trois esprits de plus haute portée, que Poisson, Arago et Cauchy ? trois promoteurs plus zélés pour une théorie grande et neuve ? trois juges plus éclairés de démonstrations hardies et subtiles? Ni leur bienveillance n'était douteuse, ni leur autorité contestable ; mais ils goûtaient surtout ceux qui de loin suivaient leurs traces, et, sans donner l'exclusion à aucune partie de la science, marquaient la haute idée qu'ils avaient des théories de calcul intégral, de physique mathématique ou de mécanique céleste, en plaçant leurs moindres progrès fort au-dessus des plus élégants résultats d'une étude réputée élémentaire.

« La géométrie ancienne, lors de l'éclosion des méthodes nouvelles, avait livré bataille à l'analyse de l'infini ; choisissant imprudemment son terrain, un disciple illustre de Galilée, Viviani, avait osé défier les novateurs. Leibnitz et Newton trouvèrent dès le premier jour le mot de sa facile énigme. Cela ne prouvait que leur pénétration. On en jugea autrement : Il parut, dit Fontenelle, que ceux qui étaient dans l'ancienne géométrie, quelque profonds qu'ils y fussent, n'étaient pas destinés à faire beaucoup de peine aux géomètres du calcul différentiel. Un siècle s'était écoulé; les analystes, comme les nommait Poncelet, continuaient à préconiser leurs sublimes et fécondes méthodes, dernier mot pour eux de l'esprit mathématique; la géométrie des anciens était de moins en moins connue et goûtée. Dans cette mine épuisée et ouverte de toutes parts, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne voyait plus rien à chercher ni à trouver, et, digne encore peut-être de la curiosité des géomètres, elle ne l'était plus de leurs efforts.

« Le flambeau dont Poncelet venait ranimer l'éclat n'éclairait plus que les exercices des écoliers. La simplicité des méthodes en dissimulait la grandeur et la force. Étranger aux savants travaux de ses juges et sans prendre place parmi leurs disciples, le jeune débutant osait les convier dans une vaste plaine depuis longtemps en friche : ils y trouvèrent un maître, non un docteur, qui leur montra des vérités plus admirables pour l'école qu'intéressantes pour l'Académie. Ils l'approuvèrent et crurent l'encourager, sans saluer ni deviner en lui le précurseur d'une génération nouvelle de géomètres et le chef d'une grande école. En retenant plus d'une vérité curieuse et nouvelle dont il proclamait l'importance, Cauchy, dans son rapport, contestait l'étendue de la théorie et la solidité des preuves, et, reprochant à l'ingénieux auteur d'avoir trop osé, il le déprimait en l'approuvant. Ces méthodes découvertes avec tant de joie, ces hardiesses heureuses qui ne l'avaient égaré en aucune rencontre, étaient dénoncées comme imprudentes et tenues pour suspectes; ses succès les plus admirés, formellement repris d'incorrection, étaient placés enfin en dehors de la pureté géométrique.

« Vivement froissé d'un tel jugement, Poncelet le repoussa toujours avec force, et les critiques souvent renouvellées d'adversaires inégaux en autorité et en génie, mais clairvoyants d'habitude et se connaissant en démonstrations, n'ont pu lui arracher la plus légère concession; sans entrer en discussion ni satisfaire à leurs doutes, il ne retrancha rien de ses conclusions, et, imperturbable dans ses principes, il les laissa triompher par leur propre force.

« La froideur et les objections de ses juges désappointèrent Poncelet sans le rebuter; il ne ralentit pas ses travaux, et attendant de l'avenir, dont les suffrages l'ont dédommagé, une meilleure et plus complète justice, il présenta successivement les beaux mémoires sur le *Centre des moyennes harmoniques*, sur l'*Analyse des tranversales* et sur la *Théorie des polaires réciproques*. L'accueil fut le même. L'ingénieux auteur, remercié cette fois par Ampère, Legendre et Cauchy pour ses communications intéressantes, ne vit s'ouvrir pour aucune d'elles les recueils de l'Académie.

« Sans interrompre ses travaux géométriques, la mécanique, plus d'une fois déjà, était venue l'en détourner et l'en distraire. Ses devoirs d'officier du génie lui imposaient l'occasion de s'y exercer. L'opinion de grand savoir qu'il s'était acquise encourageait ses chefs à lui proposer les questions les plus difficiles, et la pratique, qui d'habitude procède avec plus de lenteur, consacrait l'exactitude de ses solutions et l'importance de ses découvertes. Chargé de la construction d'une roue hydraulique il aurait pu, choisissant entre les modèles classiques et suivant les règles établies, s'appliquer seulement à trouver les meilleures dimensions. Le produit du poids de l'eau par sa hauteur de chute mesure le travail théorique dont on dispose; mais l'eau, pour le transmettre tout entier, doit quitter la roue sans vitesse. La raison en est évidente : que la roue soit verticale ou horizontale, qu'elle reçoive le liquide en dessus ou en dessous, en mécanique aussi bien qu'en droit, donner et retenir ne vaut, et, quand elle communique sa puissance, l'eau, par une suite nécessaire, doit la perdre entièrement. Mais, dans cette vérité supposée et admise, les mécaniciens voyaient un conseil, non un précepte. Toutes les bonnes maximes, a dit Pascal, sont dans le monde; on ne manque qu'à les appliquer. Celle-ci, par une erreur générale, était tenue pour impraticable. Il faut bien, disait-on, que l'eau s'écoule, et comment s'écouler sans vitesse ? Pendant qu'il pousse la palette qui lui est opposée ou l'auge qui le contient, le liquide les suit et partage leur vitesse : il ne peut donc pas être immobile en les quittant et concilier deux conditions si contraires. Résignés à un inconvénient qui semblait sans remède, les mécaniciens l'acceptaient, comme les frottements et les chocs que l'on voudrait aussi et qu'on ne peut proscrire. Par un artifice très-simple, mais dont personne ne s'était avisé, Poncelet, réussissant où tant d'autres avaient échoué, parvint à l'atténuer au delà de toute espérance.

« L'invention du nouveau système de pont-levis ne parut pas un service moins considérable; il fut remarqué et vanté à l'égal de la roue. Éprouvé et froissé comme géomètre par des critiques impatiemment supportées, et plus encore peut-être par l'indifférence des maîtres de la science, Poncelet, comme mécanicien, était apprécié et compris avec le plus flatteur empressement. L'expérience en mécanique, par les preuves sensibles et démonstratives pour tous, abrége, il est vrai, les contestations, grave les découvertes dans la mémoire, et, en invitant à en tirer profit, rend l'esprit plus facile et plus prompt à y croire; mais cette raison ne saurait suffire, car elle s'applique à tous les inventeurs. On n'accusera pas Poncelet, en tout cas, d'avoir montré pour sa propre gloire trop de connaissance et de zèle. Ayant à citer son pont-levis, en 1857, dans un rapport officiel :

« On ne saurait, dit-il, mettre en oubli certaines « machines d'équilibre et à poids mobiles telles que « les grandes portes d'écluse des ports maritimes, « les lourds et immenses ponts tournants servant à « traverser les canaux, les élégants et savants ponts- « levis en fer et en fonte que nos ingénieurs militaires « ont substitué, à partir de 1815, aux vieux ponts-levis « à flèche et à bascule en bois des forteresses ou châ- « teaux gothiques, et parmi lesquels on me permettra « de citer ceux des capitaines du génie Derché, Delille, « Bergère, Poncelet, fondés sur des principes très-divers « et qui ne manquaient pas d'un certain caractère d'in- « vention et d'originalité dans la conception. »

« Le comité du génie ne se demanda pas si les solutions de Poncelet étaient élémentaires ou transcendantes, et moins encore si les travaux faits de si bonne main appartiendraient un jour à l'enseignement supérieur ou à celui des lycées; il les mit à profit, et, guidé par l'applaudissement général, accepta Poncelet pour une des lumières scientifiques du corps, successeur désigné de l'illustre Coulomb.

« Le cours de mécanique à l'École d'application de l'artillerie et du génie à Metz, confié à Poncelet en 1824, exerça sur sa carrière une influence considérable. Apercevant une grande lacune à combler et un grand service à rendre, il tourna, non sans regret, tous ses efforts vers la mécanique, et, punissant peut-être la géométrie des torts de quelques géomètres, il fut désormais perdu pour elle.

« Neuf promotions seulement ont été initiées par lui aux principes de la science des forces, et ses leçons publiques du soir les ont profondément imprimés dans l'esprit de quelques centaines d'ouvriers. Tous les mécaniciens, sans exception, reconnaissent cependant Poncelet pour leur maître, et les cahiers lithographiés de Metz ont enseigné la mécanique à l'Europe entière. Les savants aussi bien que les ignorants y ont trouvé d'utiles lumières, et les contre-maîtres, dans les ateliers, des principes généraux et solides, armes défensives à jamais acquises contre l'illusion des fausses découvertes et le danger de chimériques espérances. Peu de points dans la rédaction de Poncelet eussent paru nouveaux à un géomètre habile et instruit. Les anciens élèves de l'École polytechniques préparés par des maîtres illustres voyaient cependant à ses leçons naître pour eux une science inconnue. Poncelet, en conduisant leurs pensées avec ordre, s'arrêtait longuement sur les plus simples,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et l'étude continuelle des faits venait éclairer chaque raisonnement, en confirmer les conclusions, et à la certitude ajouter l'évidence.

« Lagrange, dans un ouvrage immortel, s'est attaché, au contraire, en ramenant tout au calcul et, s'élevant au-dessus des détails et des faits, à remplacer les phénomènes par les formules qui les enveloppent et les cachent. Sans rechercher la cause prochaine de chaque effet, ni s'attarder au fondement de l'édifice, il atteint d'un vigoureux coup d'aile et résume tout dans une seule formule; la science commence par elle et se résout en elle, elle y est contenue, mais cachée; les doctes seuls peuvent en faire usage, mais, même en guidant ceux qui savent, elle ne satisfait que ceux qui pensent, et en aplanissant la voie qui les conduit au but, elle ne l'éclaire d'aucune lumière.

« Cet ouvrage de génie exerçait sur l'enseignement une influence toujours croissante. Sans se laisser éblouir par l'autorité d'un si grand nom, Poncelet s'y déroba entièrement, et le cours de mécanique se tient plus éloigné encore de la mécanique analytique de Lagrange que le Traité des propriétés projectives de la géométrie de Descartes. Les œuvres cependant sont entièrement dissemblables, et rien n'y fait paraître l'empreinte du même génie. En portant vers l'étude du mouvement toute la puissance et la géométrie de son esprit, l'auteur du Traité des propriétés projectives pouvait faire espérer, dans un chef-d'œuvre de précision élégante, un triomphe nouveau des méthodes anciennes renouvelées et agrandies. Nul n'était mieux préparé que lui à disputer le premier rang dans le genre dont Poinsot a donné de si parfaits modèles. Ceux qui prévoient ainsi ce qui échappe à toute prévision virent leur perspicacité en défaut; laissant à d'autres la contemplation spéculative et abstraite du vrai, Poncelet révèle dans une voie nouvelle des qualités inconnues jusque-là de son esprit judicieux et sagace. Le nombre et l'importance des applications mesurent pour lui désormais tout l'intérêt d'un problème. S'il conduit la théorie dans les ateliers, c'est pour en distribuer les bienfaits, non pour en faire admirer l'élégance, heureux surtout quand l'application des principes abstraits vient éclairer la coutume, donner des règles à la routine et marquer le but au progrès.

« L'histoire de la science cite de brillants esprits qui, réunissant plus d'un talent, ont su se plier, suivant l'accident des circonstances, à la variété des sujets les plus divers : on ne produira pas un seul exemple peut-être d'un changement aussi complet.

« Ce n'est pas, comme chez Huyghens ou chez Gauss, l'esprit d'invention mécanique ou le talent de l'inventeur qui s'ajoutent par surabondance à l'ingénieuse profondeur du géomètre; ils s'y substituent. Les mathématiques, qui n'abandonnent jamais l'esprit qu'elles ont fortifié et embelli, deviennent pour lui de fidèles et robustes, mais très-humbles servantes; il ne leur demande plus des armes pour conquérir le vrai, mais des outils pour façonner le réel. Sans se piquer désormais de simplicité et d'élégance, Poncelet place le signe de la vérité dans l'accord de la théorie avec les faits. Si la roue développe le travail annoncé, si le pont-levis réclame pour sa facile manœuvre la force exactement prévue, si l'écluse dépense la quantité d'eau calculée, les formules sont bonnes et utiles, les admirera qui voudra.

« L'assimilation des puissances au travail a, depuis un demi-siècle, dans toutes les parties de la science, agité puissamment et fécondé les esprits d'élite. Aucune force dans la nature ne peut être gagnée ou perdue, le principe est général et absolu, et l'affaire du mécanicien n'est pas de créer la puissance motrice, mais de s'en emparer. Ce germe fécond de tant de vérités est supposé par les plus hardis comme un premier principe posé pour fondement de la science. Brillant pour eux de sa propre lumière, sa certitude éclate au-dessus de toutes les preuves; son énoncé reste pour d'autres le résultat le plus haut des théories physiques et le résumé de leur étude. Poncelet évite ces deux extrémités, et, s'il fait appel à l'évidence, c'est après l'avoir préparée et produite.

« Les agents de toute espèce que présente la nature, « considérés en eux-mêmes, nous paraissent quelque- « fois, dit-il dans son Cours de mécanique industrielle, « doués d'une énergie d'action qui leur est propre et « qui ne suppose pas une communication primitive de « travail; mais c'est une erreur qui vient de ce que « nous ne réfléchissons pas aux causes plus ou moins « immédiates de cette action. Cette eau que nous « voyons tomber du haut du réservoir où elle est re- « tenue sur la roue d'un moulin qu'elle fait marcher « par son poids, en produisant du travail mécanique, a « été d'abord amenée là par l'action de la gravité qui « la fait descendre de la partie supérieure des vallées « où elle jaillit des sources naturelles. Ces sources elles- « mêmes sont entretenues par les pluies qui tombent « sur le sommet des montagnes et s'infiltrent lente- « ment à travers le sol. Or les pluies qui proviennent « des nuages ou brouillards supérieurs et les nuages « sont produits par l'action de la chaleur du soleil qui « a vaporisé l'eau répandue sur la surface de la terre et « l'a contrainte à s'élever, malgré l'action de la pesan- « teur, de sorte que le travail recueilli dans nos usines « hydrauliques est, en réalité, une bien faible partie de « celui qui a été primitivement dépensé par la force « motrice de la chaleur. »

« Ces lignes nettes et précises sont considérables dans l'histoire de la science, mais plus d'un savant philosophe signalait avec force la généralité et la portée d'une conception dont l'importance et l'étendue, non l'énoncé même, ont été dans ce siècle une nouveauté et un grand progrès. Poncelet n'en a jamais réclamé la découverte.

« Je n'ai pas besoin, dit-il dans son Traité de méca- « nique industrielle, d'insister sur l'utilité du principe « des forces vives dans les questions variées de méca- « nique pratique. Cette utilité est constatée par les heu- « reux résultats qui ont été obtenus à diverses époques « de son application à la théorie des fluides, à celle des « différentes roues, et en général à toutes les théories « concernant le jeu et les effets des diverses machines. « Mais il convient de rappeler que c'est plus particu- « lièrement aux travaux de Daniel Bernouilli, de Borda, « de Carnot, de Navier, ainsi qu'à ceux de nos anciens « camarades à l'École polytechnique, Petit, Burdin, « Coriolis et Bellanger, qu'on doit cette importante « application et les développements les plus clairs, les « notions les plus positives sur le principe des forces « vives pris pour base de la science des moteurs et des « machines. »

« En voyant cinq camarades d'école concourir brillamment dans l'application d'un même principe sans en réclamer l'invention ni en marquer précisément l'origine, comment ne pas reporter vers l'enseignement qu'ils ont reçu en commun, une part au moins de l'honneur? Outre l'esprit élevé et curieux que tant d'autres après eux ont puisé à l'École polytechnique, les cinq mécaniciens philosophes, il est impossible de l'oublier, y ont trouvé un avantage que rien ne saurait remplacer : ils y ont reçu les leçons d'Ampère.

« Appelé, le 17 mars 1834, à remplacer Hachette à l'Académie des sciences, dans la section de mécanique, Poncelet fut peu de temps après choisi par le comité du génie comme rapporteur des travaux scientifiques et fixé désormais à Paris. C'est vers les questions de mécanique appliquée qu'il porta dès lors toute son attention. Accessible à tous, même aux inventeurs, sa rude franchise les servait mieux qu'une approbation bien-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

veillante et banale. Habile à dissiper les chimères, il excellait surtout à mettre le vrai mérite en lumière, et, dans plus d'une rencontre, les développements originaux, ajoutés à ses savants rapports, en ont doublé le retentissement. Le juge, pour les travaux qui en sont dignes, devient un maître habile, soigneux de les corriger et de les étendre. Dans son rapport sur le système d'écluses de Girard, pour n'en citer qu'un exemple, les rôles, complétement intervertis, font un honneur égal au savant académicien et à l'ingénieux inventeur ; à Poncelet, depuis longtemps illustre et consommé dans la connaissance des combinaisons hydrauliques appartenait l'appréciation des vues nouvelles et des desseins de l'auteur, la discussion des principes et l'examen critique des manœuvres projetées ; les calculs de détails et le devis hydraulique de chaque pièce, application laborieuse et facile des théories connues, revenait au contraire au disciple en présence du maître, au solliciteur en présence du juge. Il n'importe, le brillant et sagace inventeur semble peu disposé à confirmer et à développer par des calculs précis les conclusions d'un pénétrant et rapide coup d'œil. Pour accorder au projet de plus justes louanges, Poncelet commencera par l'en rendre digne, et, sans vouloir rien retenir du profit ni de l'honneur, en l'accroissant par son labeur et sa science, il en rehaussera l'intérêt par l'autorité de sa collaboration.

« Une chaire, créée pour lui à la Faculté des sciences de Paris, invitait Poncelet, à partir de l'année 1838, à renouveler devant un public très-différemment préparé les lumineuses conférences de mécanique, qui naguère, à Metz, avaient su exciter et remuer des esprits si divers.

« L'Exposition universelle de Londres, en 1851, sans rien ajouter à la gloire de Poncelet, mit en lumière sa haute renommée et le respect attaché à son nom. Les savants et les ingénieurs étrangers l'accueillirent comme un arbitre et un maître. Nommé président du sixième groupe, il s'imposa, pour répondre à leur confiance, un travail que ses collègues n'auraient pas osé demander à son dévouement. Deux volumes, publiés en 1857, sous le titre de : *Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures*, révélèrent, sous une forme nouvelle, la puissance de cet esprit clairvoyant et tenace. Joignant à de longues et curieuses lectures la patiente recherche des traditions industrielles, et retrouvant la suite des inventions trop souvent anonymes, il se montre exactement instruit sur des sujets jusqu'alors inexplorés dans leur ensemble. Remontant parfois à l'origine des sociétés, il cite la Bible et Homère, et, sans amoindrir les procédés et les arts primitifs, il suit les traces du progrès pour en marquer toute la grandeur. Le livre de Poncelet a occupé six années de travail assidu. On reste surpris en le lisant qu'un temps si court ait suffi à tant d'exactes et difficiles recherches. Les douze cents pages de ce beau livre sont remplies, sans digressions ni longueurs, par des documents exacts et de judicieuses appréciations. La lecture, cependant, en est difficile : l'auteur s'adresse aux mécaniciens. Chaque organe, désigné par le nom qu'on lui donne dans les ateliers, n'est ni défini ni décrit ; et le dessin, langage rapide et clair des ingénieurs, ne vient pas une seule fois expliquer et traduire les difficultés du texte. »

Les emprunts nombreux que nous avons fait à ce grand travail nous permettent de renvoyer le lecteur à l'œuvre du maître (Voy. TOURS COMPOSÉS, MACHINES-OUTILS), et il répètera sûrement avec nous qu'il constitue les archives des progrès de la mécanique, suivis notamment de 1825 à 1857 par leur savant auteur, avec autant de sollicitude que de compétence.

Nous ajouterons ici quelques souvenirs personnels au bel éloge qu'on vient de lire.

Nous nous sommes trouvé à l'École de Metz à l'époque où Poncelet y faisait ses cours pour la dernière fois et y avons ressenti l'impulsion puissante qu'il avait donnée à la mécanique industrielle, et qui nous permet de reporter au maître bonne partie des travaux que nous avons consignés dans le présent ouvrage.

Tout le monde sentait qu'une grande œuvre venait d'être accomplie, tout à fait comparable à celle de Monge à l'École de Mézières. Les élèves, heureux de posséder les fameux cahiers lithographiés du cours de Poncelet, étudiaient avec ardeur et satisfaction un cours si nouveau et si complet, dont les levés d'usines leur fournissaient des vérifications si probantes ; les anciens élèves, les officiers attachés à l'École d'application, cherchaient à compléter l'enseignement de Poncelet, en exécutant les systèmes imaginés par lui, et au premier rang on doit citer M. Morin, qui variait les dispositions des dynamomètres indiqués dans le cours, et faisait ses expériences sur le frottement. Enfin, dans la masse de la population ouvrière de la ville de Metz, des connaissances sérieuses de mécanique se trouvaient répandues grâce à un cours public, inspiré par celui professé avec éclat à Paris par Ch. Dupin, cours où Poncelet, simplifiant encore son enseignement de l'École, sut réduire à un degré inespéré de simplicité l'enseignement de la mécanique. S'écartant de la voie ancienne dans laquelle l'étude de la statique était la première, où l'analyse du levier conduisait nombre d'élèves à chercher les moyens de multiplier la force, au mouvement perpétuel, il remplaça, dès le début, la notion insuffisante de la force par celle du travail de la force, notion complète et qui à elle seule assure les esprits contre les plus fâcheux écarts. Puis, bientôt, montrant simplement comment le travail se transforme en force vive, Poncelet mettait ses auditeurs en mesure d'attaquer les questions difficiles de la mécanique industrielle. La route ouverte par Poncelet a été suivie depuis dans les écoles du monde entier, et peut-être jamais œuvre plus utile n'a été accomplie pour la propagation et la vulgarisation d'une série de connaissances capitales pour le progrès de l'industrie. Dans l'Introduction, à l'article MÉCANIQUE et dans nombre d'autres, nous avons trop souvent répété les leçons de Poncelet pour que nous ayons besoin de nous étendre davantage ici.

Ce serait peut-être le lieu de discuter encore si la science de l'ingénieur que nous appelons la mécanique industrielle, appliquée ou physique, car on emploie à peu près indifféremment ces divers noms, est une science particulière ou une simple application de la mécanique rationnelle, une espèce d'art qui lui emprunte ses théories. Ces questions de classification sont d'une importance secondaire; ce qui n'est pas douteux, c'est que la mécanique physique a pour domaine tous les faits d'ordre mécanique qui nous entourent, doit fournir les règles de toutes les constructions, présider à l'établissement de toutes les machines, à toutes les fabrications d'ordre mécanique. Dans les temps modernes cette science a été celle de Léonard de Vinci et de Michel-Ange, et elle a fait plus particulièrement l'objet des travaux de Galilée, d'Huyghens, de Newton, de Papin, de Parent, de Mariotte, enfin de Pascal, inventeur de la presse hydraulique. Plus près de nous, les ingénieurs Borda, Coulomb et Smeaton, les mécaniciens Vaucanson, Montgolfier et Watt, l'ont immortalisé par leurs travaux. Ces exemples suffisent pour prouver que pour accomplir des œuvres qui depuis Archimède ont exigé les efforts des esprits les plus éminents, il y a une place indéfinie à l'activité des plus belles intelligences, et le nom qui sera donné aux résultats de leurs efforts importe assez peu, la difficulté du but à atteindre n'étant pas plus contestable que l'utilité de ces travaux. Aussi Poncelet, que l'on a appelé avec raison le Newton de la mécanique appliquée, comptera toujours comme une des gloires du dix neuvième siècle. C. L.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PONTS.

PONTS (*angl.* bridge, *all.* brücke). Parmi les ouvrages d'art que les ingénieurs sont appelés à exécuter, les ponts, c'est-à-dire les constructions qui permettent de traverser une rivière, une vallée profonde, sans faire abandonner à une route, à un chemin de fer son horizontalité, et en ne prenant sur le sol qu'un petit nombre de points d'appui, tiennent sans contredit le premier rang, à cause des connaissances nombreuses qu'elles exigent, des difficultés qui surviennent dans leur exécution, des dépenses considérables auxquelles elles entraînent. Sans parler des légendes qui se sont attachées à quelques anciens ouvrages de ce genre, les noms des plus célèbres ingénieurs sont restés attachés à l'exécution de ponts d'une exécution difficile; citons seulement pour le prouver Perronet et le pont de Neuilly, Stéphenson et le pont Britannia. C'est qu'en effet la construction d'un pont qui établit une communication entre les deux rives d'un fleuve, qui supprime en quelque sorte un obstacle naturel, par d'heureux efforts, a été souvent un grand service rendu à des populations qui n'ont été que justes, en gardant un souvenir reconnaissant à l'homme de talent qui a su triompher de toutes les difficultés.

Les ponts peuvent se diviser en ponts fixes et en ponts mobiles. Les ponts fixes, les plus nombreux et surtout les plus importants, tirent leur nom générique des usages auxquels ils sont destinés: ainsi on les appelle *passerelles*, quand ils ne servent qu'aux piétons; *ponceaux*, quand ils ne dépassent pas quatre mètres d'ouverture, et qu'ils franchissent de petits cours d'eau; *ponts proprement dits*, quand ils se composent d'une ou plusieurs arches, et qu'ils donnent accès aux piétons et aux voitures; *ponts-aqueducs*, quand il sont destinés à amener les eaux dans une ville; et enfin *ponts-canaux* lorsqu'ils font franchir à un canal, un cours d'eau ou une route quelconque. Tous, quoique différents suivant le but qu'ils doivent atteindre, nécessitent cependant des travaux qui leur sont communs et que nous allons décrire.

Système de pont à adopter. Les recherches du constructeur doivent d'abord se porter sur le système à adopter, ou, ce qui est presque la même chose, sur la substance à employer, puisque celle-ci détermine presque toujours le mode de construction possible, et sous ce rapport l'emploi du fer a fait singulièrement progresser l'art de la construction des ponts, comme nous l'avons dit à l'article SERRURERIE. Si la route que le pont doit desservir est très-fréquentée, si les communications qu'il est chargé d'entretenir sont d'une grande importance, on emploiera les ponts en pierre, dont la durée est indéfinie, et on évitera les ponts en charpente, qui nécessitent des réparations coûteuses, répétées, et de nature à intercepter trop fréquemment le passage. S'il s'agit d'un chemin de fer, il est évident qu'on ne pourra pas employer les ponts suspendus (tels du moins qu'on les a construits avant les travaux des ingénieurs américains dont nous parlerons plus loin); les vibrations qu'occasionne le passage des convois feraient rompre les chaînes, et, en supposant que l'on pût trouver un système suffisamment résistant, les oscillations amèneraient, dans tous les cas, des déraillements trop fréquents. Si le cours d'eau avait une grande largeur, si la profondeur du lit était considérable, le courant rapide, les communications d'importance limitée, on devrait, au contraire opter pour les ponts en fer suspendus ou en treillis, car dans le cas où l'on emploierait un autre système, il faudrait faire usage d'un grand nombre de piles, qui non seulement donneraient lieu à une forte dépense, mais encore seraient peu solides si le sol était affouillable ou compressible. Telles sont les principales règles qui doivent présider au choix du système à adopter. Ces règles, nous le reconnaissons, sont insuffisantes, et nous devons dire ici que la somme à dépenser entre comme élément important dans le choix du système à adopter: la sagacité du constructeur y supplée pour le reste.

Emplacement. Cette première question résolue, il en est une autre non moins importante à traiter, c'est celle de l'emplacement; le plus souvent elle se trouve tranchée par la force des choses. Ainsi ce sont deux rues ou deux portions de route que le pont doit mettre en communication; ce sont des rives qui étaient desservies par un bac, auquel on veut substituer un mode de transport plus commode et plus complet; enfin le sol sur lequel on devrait établir les fondations, si l'on joignait deux points de départ et d'arrivée fixés à l'avance, est de mauvaise qualité. Dans chacune de ces circonstances des inconvénients divers se présentent : les piles correspondent à une direction, mais ne correspondent pas à l'autre; les rives étant trop basses, les rampes forcent d'enterrer les maisons, et, en dernier lieu, le pont est compromis dans sa solidité, ou du moins oblige à des travaux considérables. Il devient donc indispensable d'examiner si une autre position ne conviendrait pas mieux, soit sous le rapport de la commodité des abords, soit sous celui de la solidité et de la facilité des fondations. En tous cas, on doit éviter les ponts biais, surtout pour les ponts à établir sur des cours d'eau, parce qu'ils sont difficiles à appareiller et que les piles peuvent être affouillées.

Largeur. En même temps que l'on règle l'emplacement, on traite aussi de la largeur entre les deux têtes. Cette largeur varie en raison de la population des localités que l'on veut desservir; généralement elle est fixée par les dimensions de la rue ou de la route à laquelle le pont fait suite. Dans la campagne, on fait en sorte que deux voitures puissent se croiser, ce qui exige une largeur de 5 mètres; mais pour mettre les piétons à l'abri des accidents, au moyen de trottoirs, on porte cette largeur à 7 et 8 mètres.

Débouché. La largeur une fois décidée, reste à déterminer la longueur ou le débouché. Supposons d'abord que l'on ait un pont de peu d'importance à construire, un ponceau, par exemple : pour être fixé sur le débouché qu'il convient de donner, on commence par visiter les constructions semblables établies en amont, afin de connaître les ouvertures qui y ont été données, et si l'on ne trouve pas de constructions capables de servir de guides, on cherche à connaître la section du cours d'eau à l'époque des crues et la pente, puis au moyen de la formule suivante, de M. de Prony, $RI = AV + BV^2$, on calcule la vitesse. Dans cette formule, R est le rapport entre la section et le périmètre mouillé; I, la pente par mètre; A, un coefficient d'expérience $= 0{,}000024$; B, un coefficient $= 0{,}00036$; V, la vitesse. Résolvant par rapport à V, on aura la vitesse moyenne. Appelant Q le volume d'eau qui s'écoule, Ω la section, on aura $Q = \Omega V$; équation qui permettra de connaître le volume d'eau qui s'écoule. Cela fait, il sera facile de déterminer les dimensions de l'ouverture du ponceau. En effet, prenons la formule $Q = \Omega V$, remplaçons Q par le volume des eaux qui a été trouvé précédemment, assignons à V une vitesse inférieure à celle qui est capable d'affouiller le terrain sur lequel on doit construire, on tirera facilement la valeur de la section Ω. Dans le cas où l'on serait conduit à une section trop grande pour un ponceau, on pourrait diminuer cette section, mais alors la vitesse s'accroit et dépasse la limite à laquelle les terres peuvent résister. On doit parer à cet inconvénient au moyen d'un radier général. Quelquefois, au lieu d'avoir recours aux opérations et aux calculs que nous venons d'indiquer, on se borne à suivre un règle empyrique, qui consiste à donner $0^m{,}45$ à $0^m{,}50$ de largeur de débouché pour 1,000 hectares dans les pays plats; $1^m{,}25$ de débouché pour 1,000 hectares dans les pays accidentés. Le calcul du débouché d'un grand pont offre plus de difficultés; on trouve, il est vrai, presque tou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jours un guide dans les ponts situés en amont, mais souvent le remous est donné d'avance par les usines placées plus haut, dont il est indispensable de conserver la chute. Voici, dans ce cas, les diverses opérations qui sont nécessaires : le plan de la localité étant relevé bien exactement, on fait le profil en travers de la rivière, en y indiquant l'étiage et le niveau des plus grandes eaux. Pour faire ce profil, on tend une corde à laquelle sont attachées, de distance en distance, des cordelettes ; à chacune de ces cordelettes on mesure la profondeur de la rivière ; on rapporte sur le profil toutes les côtes de hauteur et de largeur, et l'on peut ensuite calculer la section à l'époque des crues et à l'époque de l'étiage. Il fait également connaître la vitesse de l'eau, mais ici la formule de M. de Prony n'est plus applicable, et l'on est obligé de recourir aux moyens suivants : un observateur se place dans un bateau muni de flotteurs en liége et d'un chronomètre ; un autre observateur se place à une certaine distance fixée, et mesurée d'avance aussi exactement que possible. Le premier observateur lâche un flotteur à un instant donné qu'il remarque au chronomètre ; quand ce flotteur, entraîné sur la veine fluide, arrive devant le second observateur, celui-ci fait un signal convenu. Cette opération est répétée 6 à 7 fois : en divisant l'espace parcouru par le nombre de secondes, on a la vitesse à la surface. On en déduit la vitesse moyenne par la formule suivante :

$$v = V\left(\frac{V+2{,}73}{V+3{,}14}\right)$$

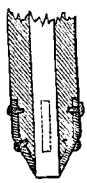
Connaissant cette vitesse v et la section, donnée par le profil, on a le volume des eaux. Il reste à calculer maintenant la largeur entre les piles et culées de façon que le remous produit ne dépasse par certaines limites. Soit L la largeur du lit de la rivière, h la hauteur moyenne, V la vitesse moyenne, Q le volume d'eau écoulé, ce volume Q sera égal à $L\,h\,V$; soit l la largeur réduite par les constructions, x la hauteur à laquelle s'élèveront les eaux avant leur entrée sous les piles, la hauteur moyenne deviendra $h+x$; la vitesse en amont deviendra V', et Q sera égal à $l\,(h+x)\,V'$; égalant les deux valeurs de Q, on tirera $V' = \frac{h\,V}{h+x}$. Lorsque l'eau est entrée sous les piles, sa vitesse change et devient V'' ; elle éprouve en outre une contraction qui équivaut à une diminution de vitesse. Soit m le coefficient qui en tient compte, le volume Q sera égal alors à $l\,h\,m\,V''$; égalant cette valeur avec celle trouvée en fonction de V', on a $l\,h\,m\,V'' = L\,(h+x)\,V'$, d'où $V'' = \frac{L\,(h+x)\,V'}{l\,h\,m}$; substituant à V' sa valeur précédente, nous aurons $V'' = \frac{L\,V}{l\,m}$. Mais le remous est produit par la différence entre les hauteurs dues aux vitesses, on a donc $x = \frac{V''^2}{2g} - \frac{V'^2}{2g}$; remplaçant V' et V'' par leur valeur déjà trouvée, on a $x = \frac{V^2}{2g}\left(\frac{L^2}{l^2\,m^2} - \frac{h^2}{(h+x)^2}\right)$, équation en x^3. On la résoudra avec une approximation suffisante, en négligeant le terme en x^2 et en tirant une première valeur de x, que l'on substituera ensuite à x^2, et en tirant finalement la valeur de x. Le coefficient m, selon *Eytelwein*, doit être = 0,95. La formule que nous venons de donner réglera donc l'ouverture minimum que le pont devra avoir ; il faudra ensuite calculer le nombre des piles et, par suite, le nombre des arches, de manière à ce qu'elles ne soient pas restreintes. Si le pont doit être établi sur un cours d'eau qui n'est pas navigable, non sujet à de grandes crues, on pourra choisir de petites arches, parce que leur construction est plus économique que celle des grandes ; mais si le cours d'eau est sujet à des crues considérables et fréquentes, s'il sert en outre à la navigation, on devra préférer les grandes arches, afin de permettre l'écoulement facile des eaux et ne pas arrêter les corps flottants, tels que glaces, arbres déracinés, qui formeraient des obstacles et causeraient la ruine du pont. Il faut aussi élever ces arches au-dessus du niveau du fleuve, de telle sorte que la navigation ne soit pas interrompue à chaque instant. Dans le cas où le sol serait affouillable ou peu résistant, on opterait également pour des arches à grande portée, afin d'éviter les fondations des piles qui seraient très coûteuses. Ces diverses considérations terminent les travaux préliminaires nécessaires à l'étude des projets de pont.

Fondations. Examinons maintenant les détails d'exécution. Quand on veut construire un pont, il est indispensable de connaître la nature du sol sur lequel on doit l'établir.

Sondages. Cette connaissance s'obtient au moyen de sondages faits non seulement dans l'axe du projet, mais encore sur les lignes transversales à cet axe. Généralement on emploie à ces opérations une sonde terminée par une tarière (fig. 2104 et 2105), qui rapporte un échantillon du terrain que l'on veut explorer. La tige de la sonde se compose de plusieurs pièces assemblées à vis. Pour opérer, on enfonce avec le mouton des pieux forés comme des corps de pompe ; on enlève successivement avec la tarière la terre qui s'y introduit. Il est important de pousser la reconnaissance jusqu'à une profondeur considérable.



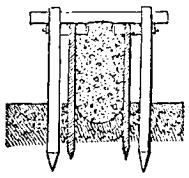
2105.



2104.

Différentes natures de terrain. Parmi les terrains que l'on peut rencontrer, les uns sont assez solides pour supporter immédiatement le poids de l'ouvrage, tels sont les roches, les tufs ; les autres, tout en étant incompressibles, sont affouillables, tels sont les sables, le gravier et certaines argiles ; d'autres, enfin, sont à la fois compressibles et affouillables, comme la vase et la tourbe. Chacun d'eux exige des modes de fondation particuliers que nous allons passer en revue.

Fondation par batardeau. Les roches constituent les terrains les plus favorables que l'on puisse avoir, car elles sont incompressibles et inaffouillables. Si la profondeur de l'eau le permet, c'est-à-dire si elle ne dépasse pas $1^m,50$ à 2^m, on fonde au moyen de batardeaux (fig. 2106). On commence par draguer l'emplacement de la pile de manière à mettre le sol à nu, puis, si la roche n'est pas trop dure, on enfonce des pilotis que l'on relie deux à deux par des entre-toises dans le sens transversal, et par des longuerines boulonnées dans le sens longitudinal. On place ensuite dans l'intervalle de deux fermes des palplanches qui s'appuient sur le sol et sur les longuerines, en les disposant de manière qu'elles soient jointives ; elles ont pour but de maintenir les terres que l'on pilonne derrière elles, et qui doivent achever d'empêcher l'infiltration des eaux. Il est nécessaire que ces terres aient de la liaison ; on doit par conséquent éviter l'emploi du sable. Lorsque l'emplacement qui doit recevoir la pile est ainsi entouré d'un mur à peu

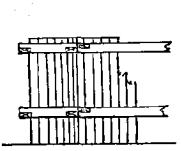


2106.

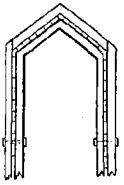
EFERUS - Recherche & Classification numérique

près imperméable, on l'épuise, soit au moyen de la vis d'Archimède, soit au moyen de norias ou de pompes. Ces épuisements sont poussés avec activité jour et nuit, parce que, malgré le soin que l'on a apporté à la construction du batardeau, il y a toujours des infiltrations qui se produisent et qui, accumulées, finiraient par gêner les ouvriers. Quand la fouille est à peu près à sec, on arase le sol au moyen de coups de mine et l'on construit comme sur un terrain ordinaire. Nous avons supposé ici que l'on pouvait enfoncer quelques pieux, mais le plus souvent la roche est trop dure; on relie alors les pieux qui forment la ferme par une entretoise, à peu près au niveau de l'étiage, et par un tirant de fer placé à la partie inférieure. Ce tirant, fixé d'abord à plat sous les pieux, se recourbe ensuite de champ, afin que la terre qui forme le remplissage entre les parois en planches, l'entoure parfaitement et empêche la pénétration des eaux.

Fondation par caisse étanche. Si la profondeur est plus grande que $1^m,50$ à 2^m, on renonce au mode de fondation par batardeau, qui deviendrait trop dispendieux à cause des difficultés de construction de l'enceinte et des épuisements, qui seraient considérables; on se sert alors d'une caisse étanche (fig. 2107 et 2108). Cette caisse se compose de fortes longuerines boulonnées à des pilots, laissant entre elles un intervalle de $0^m,15$ au moins occupé par les palplanches, qui ont une épaisseur de $0^m,15$, et



2108.

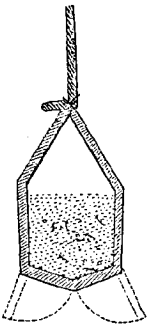


2107

sont assemblées à grain d'orge afin de les rendre plus étanches. Ces palplanches se placent dans le sens perpendiculaire aux longuerines auxquelles elles sont boulonnées, elles sont maintenues en haut et en bas par un cours de ces pièces. La caisse est construite immédiatement au-dessus de l'endroit où l'on veut l'enfoncer, et on a soin de donner à la partie inférieure exactement la forme du sol sur lequel elle doit reposer; il faut donc avoir fait préalablement le draguage du lit de la rivière. Quand la caisse est achevée, on l'échoue, en enlevant les madriers sur lesquels elle reposait, l'attachant avec des câbles, et la laissant glisser le long de pièces de bois qui descendent jusqu'au fond de la rivière et la forcent à se placer exactement dans les ondulations du terrain dont elle a la forme. Cela fait, on coule du béton par les procédés que nous exposerons tout à l'heure, et l'on fait les épuisements comme à l'ordinaire.

Caisse non étanche. Les deux systèmes de fondations que nous venons d'indiquer nécessitent toujours des épuisements, opérations coûteuses et quelquefois impossibles, si le cours d'eau est très profond : aussi a-t-on imaginé de se servir d'un caisson construit à peu près dans le genre de celui que nous venons de décrire, mais dont les palplanches affûtées ne sont pas assemblées entre elles. Pour établir cette caisse non étanche, on commence par enfoncer les pilots jusqu'au rocher; on les relie par des longuerines, puis on bat les palplanches dans l'intervalle des longuerines jusqu'à ce qu'elles atteignent aussi le rocher; on drague ensuite le sable compris dans l'intérieur de la caisse, et l'on procède à la coulée du béton. Cette opération, très

importante dans ce mode de fondation, car c'est sur lui que repose toute la solidité de l'ouvrage, se fait au moyen de différents appareils, qui tous ont pour but d'empêcher qu'il ne se délaie dans sa chute : ce sont généralement des seaux que l'on descend jusqu'au fond, et que l'on fait basculer, ou bien des caisses à fond mobile que l'on ouvre lorsqu'elles sont parvenues jusqu'au sol (fig. 2109). Dans tous les cas, on a soin de comprimer le béton à mesure qu'on l'immerge, afin qu'il s'étende en nappes; on intercale aussi de temps en temps des lits de pierre que l'on place, autant que possible, près de la paroi de la caisse, afin que, si celle-ci vient à se détériorer, elles puissent offrir de la résistance aux corps flottants qui sont souvent entraînés par les eaux. On peut aussi, pour donner plus de solidité, réunir les poteaux par des tirants en fer; mais alors il faut, avant l'immersion de la caisse, y fixer des crochets. Les tirants que l'on place ultérieurement à différentes hauteurs, dans la maçonnerie, sont munis d'œils; on les fait glisser jusque sur les crochets, en les guidant avec des tiges de fer; on peut encore ajouter à la solidité de l'ouvrage en donnant du fruit aux palplanches et pilots. Ce fruit est généralement de 1/5 à 1/6. Le moyen le plus généralement employé dans la pratique consiste à couler le béton dans une caisse rectangulaire en bois, inclinée par rapport à l'axe de la pile. Dans ce canal, on verse les brouettes de béton, qui se trouve ainsi dans un milieu stagnant isolé des eaux courantes qui pourraient le délayer. Il est également important de verser le béton du côté de l'amont, pour que le cours de l'eau aide au nivellement des couches, et pour que la chaux délayée ait à parcourir la longueur de la pile avant de s'échapper.



2109.

Fondation sur gravier, cailloux, argile. Les fondations sur sable ou gravier nécessitent des moyens tout différents de ceux que nous venons de passer en revue. En effet, quoique le sol soit incompressible, il est très affouillable; et si on employait les caissons sans autre précaution, l'eau, dans les crues, ne tarderait pas à enlever le sable qui se trouverait sous les maçonneries, et il en résulterait des tassements qui amèneraient infailliblement la chute du pont. C'est encore à cause des affouillements et des infiltrations que les batardeaux ne sont pas applicables; car avec ces terrains les épuisements seraient presque impossibles.

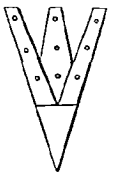
Pilotis. Le mode de fondation le plus usité, dans ces circonstances, consiste dans l'emploi des pilotis. Les pilots ou pilotis sont des pièces de bois que l'on enfonce verticalement dans le sol de la rivière, et qui servent à supporter un plancher sur lequel on établit les piles ou culées. Le bois le plus souvent employé à cet effet est le chêne, qui se conserve parfaitement quand il est plongé entièrement dans l'eau, et qu'il n'est pas soumis alternativement à l'action de l'air et à celle de l'eau; on emploie aussi quelques espèces de pins, le pin maritime, par exemple, qui sert, dans le midi de la France, à toutes les constructions hydrauliques. Les pièces de bois destinées à former des pilotis sont armées à leur extrémité inférieure, qui est nécessairement le petit bout, d'un sabot, soit en fonte, soit en fer. Ce sabot a pour but d'empêcher le bois de s'émousser, lorsqu'il traverse des couches de terrain consistantes. Quand il est en fonte, il est formé d'une masse conique en métal munie, dans l'intérieur, d'une barre dentelée en fer (fig. 2110). Pour le fixer à l'ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trémité du pieu, on commence par donner à celui-ci une légère forme conique, afin que le sabot puisse s'y adapter; puis on l'enfonce à coups de masse, en faisant pénétrer la barre dentelée dans le milieu du pieu. Si le sabot est en fer, il a aussi la forme conique, mais il est



2110.



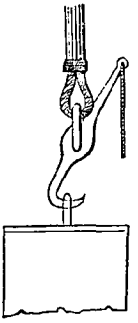
2111.

muni de trois ou quatre branches percées de trous (fig. 2111). Ces trous reçoivent des broches en fer qui fixent le sabot d'une manière invariable. L'autre extrémité du pieu devant recevoir des chocs violents, il est nécessaire de la consolider aussi, sans quoi elle se détériorerait; on la garnit d'une frette ou cercle en fer, qui retient les fibres du bois et les empêche de se déchirer. Le plus généralement on emploie les sabots en fer avec des branches, comme il a été dit précédemment, que l'on pose à chaud.

Sonnettes à tiraudes. Les machines destinées à enfoncer les pieux sont appelées sonnettes; les sonnettes sont de deux sortes, à tiraude ou à déclic. La sonnette à tiraude se compose d'un patin en charpente fixé à un bateau; sur ce patin s'élèvent deux pièces verticales et parallèles appelées jumelles, distantes entre elles de 0m,40 à 0m,45; elles sont consolidées sur les côtés et par derrière au moyen de jambes de force. C'est devant ces deux jumelles que se meut la masse qui doit produire l'enfoncement par sa chute, et qui est appelée mouton. Les moutons sont en bois ou en fonte; les moutons en bois sont formés d'un bloc rectangulaire de bois dur, pesant à peu près autant que les pieux qu'ils sont destinés à enfoncer; ils sont garnis sur leur face inférieure de clous en fer; sur le côté qui frotte contre les jumelles se trouvent deux oreilles qui s'engagent dans l'espace vide qu'elles laissent entre elles, et qui sont munies de clefs, afin que le mouton ne vacille pas. Le mouton est soulevé au moyen d'une corde qui s'enroule sur une poulie placée au sommet de la machine. L'extrémité de cette corde se ramifie en un nombre de cordes plus petites, égal à celui des ouvriers : on appelle volée une série de 20 à 25 coups de mouton frappés de suite.

Sonnettes à déclic. Dans les sonnettes à déclic, le mouton, au lieu d'être en bois, est en fonte. Quand il arrive au sommet de sa course, au lieu de retomber avec sa corde, le crochet qui le tenait attaché se décroche au moyen d'un déclic ou d'un levier, et le mouton tombe tout seul. Il faut alors redescendre la corde pour le raccrocher et le soulever de nouveau (fig. 2112). Le mouton, dans ces sonnettes, est plus pesant que dans les sonnettes à tiraudes; il est élevé à une plus grande hauteur. Dans ces derniers temps, on a appliqué les marteaux à vapeur, et mieux le marteau-pilon, au battage des pilots; tout l'appareil était supporté par le pieu à enfoncer; on a pu donner 70 à 80 coups de mouton par minute, tandis qu'avec la sonnette à tiraude ordinaire on ne peut en donner que 20 à 25. Pour enfoncer un pilot de 9 à 12 mètres, il ne fallait que deux ou trois minutes. Cette machine a réalisé une grande économie; elle est susceptible d'heureuses applications dans les grands travaux hydrauliques.

La première chose à faire, quand on a à établir un pont sur pilotis, c'est de calculer le nombre de pieux qui seront nécessaires à chaque pile ou à chaque culée pour supporter le poids du pont, on y arrive facilement sachant, d'après les expériences de Perronnet, qu'un pieu de 0m,20 à 0m,21 de diamètre peut supporter sans s'altérer une charge de 24.000 kilogrammes et 25.000 au plus. L'opération du battage, toute simple qu'elle soit, présente quelquefois des difficultés. En effet, il est indispensable que les pieux atteignent un sol résistant, sans quoi ils seraient déchaussés par les affouillements. Or, très souvent il arrive que, même dans le sable, ils ne s'enfoncent que de 2 à 3 mètres, et refusent d'aller plus avant. Pour remédier à ces inconvénients, on peut draguer le sable à une profondeur telle que le sol résistant soit atteint par les pieux. Si, malgré cela, les terrains solides ne pouvaient être pénétrés, on serait obligé d'entourer le pilotage de forts enrochements ou d'avoir recours à une fondation par encaissement que nous exposerons ultérieurement. Dans ces sortes d'enrochements, il convient d'éviter l'emploi du béton qui adhère aux pieux, et permet à l'eau de venir entraîner le sable placé immédiatement au-dessous; on se sert, autant que possible, de pierres plates.



2112.

Recépage. Les pieux ainsi enfoncés sont loin d'avoir la même hauteur au-dessus du fond du cours d'eau; les uns ont pris une fiche considérable, les autres n'en ont pris qu'une faible; on doit alors les égaliser. Cette opération se fait au moyen des scies à recéper. Parmi les scies qui sont en usage, la scie Decessart est celle qui travaille avec le plus de précision; mais elle a l'inconvénient d'être coûteuse et d'opposer une assez grande résistance à l'eau; celle qui est préférée est une scie circulaire qui a fonctionné pour la première fois au pont de Bordeaux : on la manœuvre avec plus de facilité. On se sert aussi quelquefois d'une scie oscillante, quand on n'a pas besoin d'une grande précision dans la coupe des bois. Quoi qu'il en soit, il est très important que le plancher sur lequel on établit la scie soit parfaitement horizontal, puisque c'est de cela seul que dépend le bon résultat du travail. Le recépage a lieu à environ 0m,60 ou 0m,70 au-dessous des plus basses eaux. Quand il est achevé, on relie les files de pilots par des chapeaux ou longuerines de fort équarrissage, que l'on fixe au moyen de boulons en fer dans la tête des pieux. Pour que cette opération réussisse, on prend la précaution de relever exactement leur position, et de percer au droit de leur tête un trou pour le passage du boulon; on dirige ce dernier dans le trou préparé à l'avance au moyen d'un tuyau; et quand il y est entré, on achève son enfoncement à coups de masse. Lorsque les chapeaux sont en place, on fixe dans le sens transversal, à l'aide de broches, les pièces qui doivent former le plancher sur lequel on fonde la première assise; la distance entre le plancher et l'étiage n'est plus alors que d'environ 0m,40 à 0m,45.

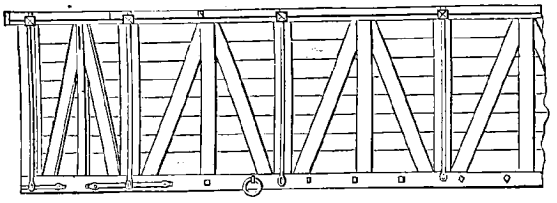
Fondation sur caisson. Jusqu'ici nous avons supposé que la rivière n'était pas très-profonde et que l'on n'était pas gêné par les crues; mais si on se trouve dans de pareilles circonstances, il est nécessaire de modifier un peu les procédés que nous venons d'indiquer; en effet, il serait très-difficile de trouver des pieux assez longs pour qu'ils pussent prendre une fiche convenable dans le sol

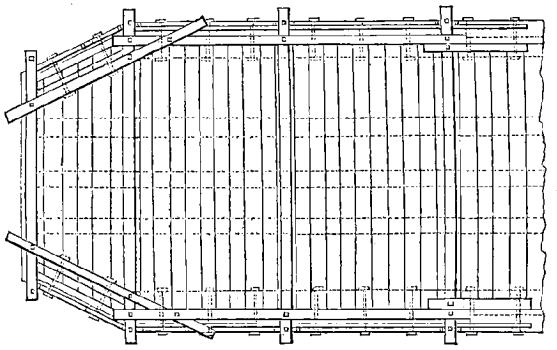
EFERUS - Recherche & Classification numérique

PONTS.

résistant, et, quand bien même on y arriverait, ils ne supporteraient pas d'une manière convenable la poussée des eaux, en raison de leur grande hauteur au-dessus du fond de la rivière, ils s'inclineraient certainement et produiraient peut-être la ruine du pont. On pare à ces accidents en recépant les pieux à peu de distance au-dessus du lit et en faisant usage d'un caisson (fig. 2113 et 2114). Le caisson se compose d'un cadre en fortes pièces qui a la forme de la pile, de racinaux ou traversines dans le sens perpendiculaire au cadre, et enfin d'un vannage que

2113.

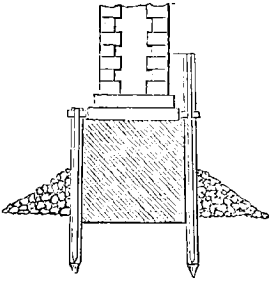




2114.

l'on peut enlever apres l'échouage du caisson et qui a pour effet de mettre à l'abri des crues. Les racinaux qui forment le plancher sur lequel on construit s'assemblent dans les cadres au moyen de tenons et sont reliés, de distance en distance, par des boulons ; on leur donne une épaisseur uniforme, ou bien on donne à ceux qui reposent sur les pieux une épaisseur plus considérable, et on comble la différence de niveau par des madriers transversaux. Les vannages sont formés de compartiments de 3 à 4 mètres ; ils s'assemblent au moyen de rainures ménagées dans les cadres et dans des poteaux verticaux. Afin de les assujettir solidement, on place transversalement au caisson des madriers qui dépassent les bords de $0^m,50$ à $0^m,60$; ils sont reliés avec le cadre au moyen d'un tirant en fer muni d'un œil et d'un boulon. On place l'œil dans un crochet placé à cet effet dans le cadre et on boulonne sur les madriers. Tous les joints sont calfatés, afin de les rendre parfaitement étanches. La caisson se construit sur une berge de la rivière près de l'emplacement du pont ; quand il est achevé, on le met à flot en le faisant glisser sur un plan incliné, et l'on commence la maçonnerie des piles dans son intérieur ; lorsque l'on a élevé deux ou trois assises de manière à lui donner du poids, on l'amène sur l'emplacement de la pile et on l'échoue sur les pieux préparés à cet effet. Cet échouement se fait en laissant entrer l'eau dans certains compartiments, tandis que dans certains autres on continue la maçonnerie. Si le caisson est assez lourd pour ne pas être soulevé par la rivière, on épuise l'eau introduite et on continue la maçonnerie jusqu'à ce qu'elle s'élève au-dessus de l'étiage et qu'on n'ait plus à craindre les crues ; on enlève les vannages et on les fait servir à la construction d'autres piles.

Fondation par encaissement. Les systèmes de fondations sur pilotis, que nous venons de décrire avec plate-formes ou caissons, offrent certainement toutes les garanties de solidité suffisantes, mais ils sont coûteux en raison de la grande quantité de bois qu'on y emploie et des travaux accessoires dans lesquels ils entraînent. Aussi a-t-on cherché, dans ces derniers temps où l'établissement des chemins de fer a nécessité un grand nombre de ponts, une méthode plus économique. On y est parvenu au moyen des encaissements. Pour fonder par encaissement, on bat une série de pieux qu'on relie par des longuerines boulonnées, entre lesquelles on enfonce des palplanches, on drague le fond compris dans l'enceinte que l'on a formé, et l'on y coule du béton comme à l'ordinaire ; mais les pieux et les palplanches n'étant pas suffisants pour se préserver des affouillements, on fait tout autour de l'encaissement de forts enrochements en pierre qui viennent remplacer le sable à mesure qu'il est entraîné et protégent le sol contre l'action du fleuve. Cette méthode, à laquelle nous n'hésitons pas à donner la préférence, a été employée avec succès dans les ponts d'Oissel, sur la ligne de Paris à Rouen. Le fond se composait de gravier, on avait donné à l'encaissement la forme représentée (fig. 2115). Le chapeau se boulonnait avec les pieux, et dans quelques piles, pour donner une plus grande solidité, on avait placé deux chapeaux, l'un au-dessus de l'étiage, l'autre à deux mètres au-dessus du fond de la rivière ; pour placer celui-ci, on l'assemblait avec quatre pieux extrêmes, au moyen de boulons, à la



2115.

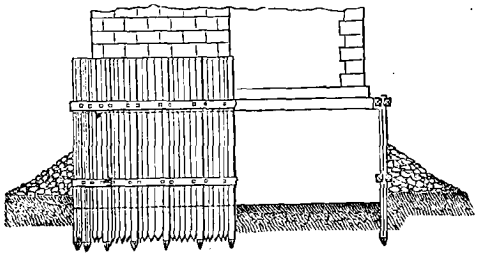
distance même où il devait se trouver, puis on battait successivement les quatre pieux et l'on enfilait ensuite les autres dans les vides ménagés dans ce chapeau inférieur.

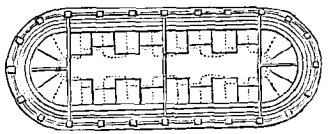
EFERUS - Recherche & Classification numérique

On agissait de la même manière avec les palplanches; celles-ci, aussi bien que les pieux, affectaient une inclinaison ou fruit dans le sens de la pile pour donner plus d'empâtement aux fondations en béton. Quand tous les pieux étaient battus, on assemblait le chapeau supérieur et on le fixait avec les boulons au-dessous de l'étiage, puis on draguait le fond. On s'est servi pour ce travail de cuillers ordinaires de draguage en fer emmanchées d'un long bras de levier et terminées, à leur extrémité, par une chaîne s'enroulant sur un treuil; le levier servait à presser dans le sol et le treuil servait à retirer la cuiller après son action sur le fond. Pour maintenir l'inclinaison des pieux, on se contentait de les tirer avec une corde dans le sens du surplomb, c'est-à-dire intérieurement pendant que le mouton tombait verticalement. Nous donnons (fig. 2116 et 2107) la coupe longitudinale et la coupe horizontale de ce système dont l'expérience a sanctionné l'efficacité.

Dans quelques circonstances, au lieu d'employer ces pilotis ou les encaissements, on s'est contenté d'établir

2116.



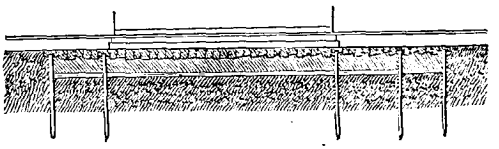


2117.

de forts enrochements à l'aide de pierres jetées dans le lit de la rivière à l'emplacement même de la pile, c'est ce que l'on appelle enrochements à pierres perdues. Cette sorte de fondation, qui est celle du pont Saint-Esprit sur le Rhône, résiste assez bien au courant, mais elle a le grave inconvénient de rétrécir beaucoup le débouché de la rivière, à cause de l'empâtement que l'on est obligé de lui donner, d'augmenter beaucoup la vitesse de l'eau entre les piles et de rendre la navigation difficile. Des exemples récents démontrent d'ailleurs que ce système ne réussit pas toujours, et qu'il peut arriver que ces enrochements glissent ou s'enfoncent dans le sol et que la pile suive ce mouvement et s'affaisse.

Fondation sur un terrain vaseux et tourbeux. — Radiers généraux. Lorsque l'on a à exécuter des travaux de fondation sur un sol tourbeux ou vaseux, les précautions à prendre pour prévenir les tassements et les affouillements doivent être encore plus minutieuses. Deux genres de travaux sont alors en usage, ce sont les radiers généraux et les grillages. Dans la construction des radiers généraux, on remplace le sol naturel par un sol factice en maçonnerie qui s'étend dans toute

la partie du cours d'eau que devra occuper le pont; c'est dessus qu'on établit les piles et culées (fig. 2118). On commence donc à battre les palplanches transversalement à la rivière; généralement on en bat trois



2118.

rangs parallèles en amont et deux rangs en aval du pont; les trois rangs d'amont sont nécessaires, parce que c'est en cet endroit que les affouillements sont le plus à craindre. Lorsque la profondeur de la rivière n'est pas trop considérable, on peut faire des épuisements; on construit alors des batardeaux dont les palplanches sont assemblées à grain d'orge, afin d'empêcher, autant que possible, la pénétration des eaux. Quand on a endigué ainsi une portion du sol, on le drague et on le remplace par une maçonnerie de béton et de libages; il est indispensable de faire ce travail par portions, afin de ne pas arrêter l'écoulement des eaux et d'avoir une masse d'eau moins grande à enlever à la fois, car c'est là la grande difficulté de cette sorte de fondation; souvent, malgré toutes les précautions, l'eau s'infiltre par-dessous les palplanches, et alors on est obligé, comme au pont de Moulins, d'établir sur le fond de la fouille un plancher calfaté avec de la glaise. Au pont du Guetin, qui a été fondé à peu près dans le même système, au lieu de donner une épaisseur uniforme au radier, on l'a augmentée en amont et en aval, ce qui est une précaution utile, puisque c'est surtout en ces endroits que les ponts se trouvent minés par les courants d'eau.

Quelquefois, à la place de la maçonnerie, on emploie avec succès des fascinages que l'on étend dans toute la longueur du pont et que l'on charge avec du gravier et des enrochements. Ce système est beaucoup plus économique, mais il ne peut servir que dans certains cas; il est d'ailleurs moins bon que celui qui a été mis en usage aux ponts de Bordeaux et de Rouen, et que nous allons décrire.

Fondation sur grillages. On commence par enfoncer des pieux tout autour de l'emplacement de la pile, puis quelques-uns dans l'intérieur. Leur effet est de guider un treillage en charpente préparé hors de l'eau, et que l'on immerge ensuite (fig. 2119, 2120 et 2121). Ce treillage a lui-même pour but de reporter les pressions sur une plus grande surface et de maintenir les pilots, que l'on bat ensuite dans chaque carré jusqu'à ce qu'il y ait refus. Quand le battage est terminé, on recèpe et on place le caisson comme à l'ordinaire. On peut aussi, comme au pont de Rouen, battre deux rangs de pieux jointifs, les entourer d'un cadre, et former une sorte de pilotage jusqu'à ce que le terrain soit devenu suffisamment solide par la compression.

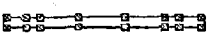
Construction hors de l'eau des piles et culées. Tout ce que nous avons dit sur les fondations se rapporte à l'établissement des piles. Quant aux culées, les travaux sont à peu près les mêmes; seulement nous ferons remarquer qu'à cause du peu de profondeur de l'eau, on peut presque toujours employer les batardeaux et les épuisements qui permettent de construire à sec, et par conséquent avec plus de facilité.

Les piles sont terminées en amont par des avant-

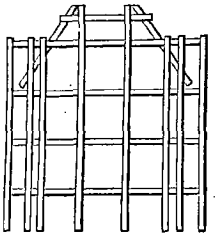
EFERUS - Recherche & Classification numérique

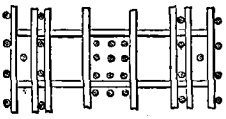
becs et en aval par des arrière-becs. Ce sont des ouvrages destinés à leur donner plus de solidité, mais surtout à les protéger contre l'effort des eaux et le choc des corps flottants. La forme des avant-becs n'est pas indifférente. D'après les expériences de Gauthey, celle qui produirait le moins de perturbation dans le cours de l'eau, serait composée de deux arcs de cercle qui se coupent, mais l'angle aigu serait promptement détérioré par les glaces; aussi a-t-on adopté la forme demi-circulaire. Celle qui conviendrait le mieux après celle-ci serait elliptique, mais elle est difficile à construire. Enfin la moins avantageuse est la forme angulaire, tant à cause du remous qui est plus considérable qu'à raison du danger qu'elle présente à la navigation. C'est pour ces motifs qu'elle n'est usitée que dans les anciens ponts. En même temps que l'on règle la forme des piles, on fixe aussi leur épaisseur. Autrefois les piles avaient de fortes dimensions, on les calculait, comme les culées, de manière à résister à l'effort de toute la voûte; il en résultait que la navigation était gênée aussi bien que la circulation, parce que l'on était obligé d'adopter de petites arches fort élevées. Aujourd'hui que l'on construit des ponts en arc de cercle, la circulation est beaucoup plus facile; mais aussi la poussée est plus considérable, et on ne peut plus calculer les piles de manière à leur donner des dimensions suffisantes pour en faire des culées. Le seul inconvénient de ce système, c'est que si, par un cas fortuit, l'une des arches est détruite, la pile ou les piles qui la soutenaient ne sont plus suffisantes, et la destruction du pont s'ensuit immédiatement. Il n'en est pas de même des culées; on n'a plus ici, comme pour les piles, deux poussées qui se détruisent, chaque culée supporte la poussée d'une demi arche et doit y résister. Pour déterminer ses dimensions, on cherche le moment de stabilité du pied-droit et de la voûte, en supposant déjà connue l'épaisseur de ce pied-droit. Cette valeur devra au moins être égale au moment de la poussée horizontale; l'équation posée, on verra facilement si cette épaisseur qui a servi de point de départ est admissible.

2119.



2120.



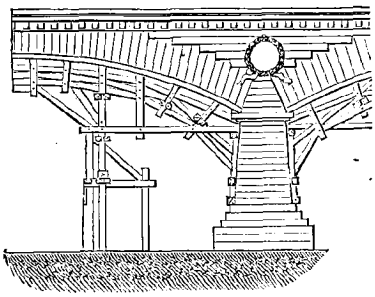


2121.

La construction hors de l'eau des piles et culées n'offre aucune difficulté. Les matériaux pour les piles sont apportés dans des bateaux et enlevés par des grues jusque sur les piles. Ces matériaux peuvent être de la pierre de taille, du moellon ou de la meulière. Si c'est la pierre de taille que l'on emploie, les pierres apparentes seules sont taillées; le reste se fait avec des libages ou du moellon. Si c'est du moellon ou de la meulière, les avant-becs et arrière-becs n'en sont pas moins faits en pierre de taille; il n'y a que les parements latéraux qui sont construits en petits matériaux, encore les relie-t-on avec des chaînes en pierre de gros échantillon. Dans le cas où l'on a un terrain compressible, on évide les piles par des voûtes, afin de leur donner moins de poids; mais il est évident que ce système n'est applicable qu'à des ponts légers, tels que les ponts suspendus. Les piles, ainsi que les culées, sont couronnées par des bandeaux; elles sont également munies d'anneaux appelés organeaux.

Les opérations que nous avons décrites jusqu'ici s'exécutent ordinairement dans l'espace d'une campagne. On laisse les tassements se faire pendant l'hiver, et au printemps suivant on commence les travaux accessoires nécessaires à la construction des arches. Ces travaux consistent en cintres et en ponts de service.

Cintres fixes. Les cintres sont des charpentes destinées à soutenir les voussoirs qui doivent former les arches pendant le cours de leur construction. Ils sont fixes ou mobiles. Les cintres fixes sont formés de poutres qui prennent des points d'appui dans la rivière, et soutiennent un système de charpente qui a généralement la forme de fermes ou de triangles invariables. Ces poutres, comme au pont de Tours, peuvent s'appuyer sur une fausse pile en maçonnerie que l'on détruit quand le décintrement est fait; d'autres fois, elles sont supportées par un système de pilotis qui disparaît également lors de l'achèvement du pont. Dans les circonstances ordinaires où l'on construit sur une rivière navigable, on est obligé de réserver une arche marinière, c'est-à-dire capable de laisser passer les bateaux. Les cintres sont composés de plusieurs fermes, suivant le poids des ouvrages à supporter; on les relie entre elles par des moises horizontales boulonnées. Sur les arbalétriers, on place les couchis qui supportent les voussoirs au moyen de cales. Quand on veut décintrer, on peut, comme au pont d'Iéna (fig. 2122), ruiner petit à petit les poutres qui servent de support à



2122.

tout le système, et qui s'assemblent à tenon et mortaise avec les pièces fixées au fond de la rivière; de cette façon les tassements se font doucement sans compromettre la solidité de l'ouvrage.

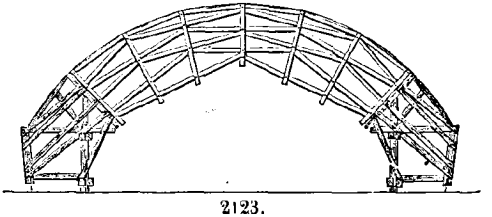
Cintres retroussés. Les cintres qui ne prennent point d'appui dans le fond de la rivière sont dits retroussés; ils sont formés d'une série de poutres butant les unes contre les autres, reliées entre elles par des tirants et moises pendantes; mais, par cela même qu'ils n'ont pas d'appui intermédiaire, ils éprouvent un tassement considérable et sont moins bons que les autres. On les compose de plusieurs fermes reliées entre elles comme dans les cintres ordinaires.

Cintres mobiles. Les cintres mobiles sont ceux qui peuvent se transporter d'une arche à une autre pour servir à la pose des voussoirs. Ils sont divisés en deux parties, l'une qui est attenante à chaque pile, l'autre qui est mobile et retroussée. On fixe la partie mobile au moyen de coins maintenus par des taquets pour qu'ils ne glissent pas. Lors du décintrement, on fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

glisser le taquet, et on ruine les coins de telle sorte que le tassement ait lieu par degrés. Au pont de Bordeaux, on a employé un système mixte (fig. 2123) : la partie hachée était fixe, la partie du milieu était mobile et formée de six rangs d'arbalétriers. Cette disposition était motivée par la difficulté d'établir des appuis intermédiaires et par les inconvénients qu'aurait présentés l'obstruction des arches.

Un complément indispensable à un cintre est un pont de service, au moyen duquel on amène tous les

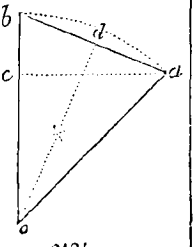


2123.

matériaux qui doivent entrer dans la construction des arches. On peut le placer latéralement à la construction qu'il dessert, ou bien sur les cintres eux-mêmes. Le premier système rentre dans les ponts en charpente ordinaire dont il sera parlé ultérieurement ; le second nécessite un déplacement continuel des supports à mesure que la pose des voussoirs avance. C'est ce système qui cependant a été préféré aux ponts de Moulins et de Sèvres.

Formes des arches. Les arches dont on s'occupe aussitôt que ces travaux préparatoires sont terminés ont des formes variées. Autrefois on ne connaissait guère que le plein-cintre, ou demi-circonférence à laquelle les parois des piles sont tangentes ; mais ces ponts, qui exigeaient une grande élévation dans les arches, étaient d'un accès si difficile, qu'on dut songer à y substituer une courbe d'une moindre flèche : on imagina alors les anses de panier ; ce ne fut que plus tard qu'on songea à employer une courbe qui facilitât davantage encore les abords et qu'on fît usage de l'arc de cercle. Nous allons donner seulement le tracé des arches sans entrer dans les considérations théoriques par lesquelles on détermine leur épaisseur. Nous renvoyons pour cela au mot VOUTE, où ce sujet trouve naturellement sa place ; autrement nous serions forcés d'entrer dans des détails qui sortent du cadre que nous nous sommes fixé.

Tracé des arches. Le tracé du plein-cintre est le plus simple de tous, c'est un demi-cercle dont le rayon est égal à la moitié de la largeur de l'arche. Le tracé de l'arc de cercle dépend de la montée ou flèche ; elle doit être au moins de 1/8 de l'ouverture ; quand elle est moindre, il existe trop peu de différence entre l'intrados et l'extrados, et la voûte n'est pas stable. L'ouverture n'a pas dépassé pour les ponts en pierre et en charpente 35 à 36m. Pour tracer l'arc de cercle, connaissant la montée et l'ouverture de l'arche, rien n'est plus facile. On trace, fig. 2124, une ligne ac égale à la demi-ouverture, puis une ligne bc perpendiculaire égale à la flèche que l'on veut adopter ; c'est sur cette ligne que devra se

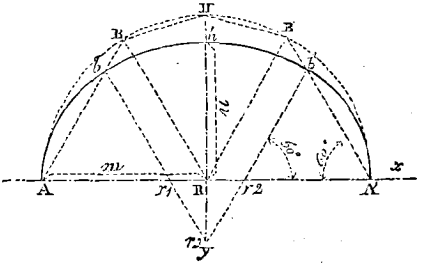


2124.

trouver le centre. Pour le rayon bo de la courbe, on remarque que les deux triangles abc, bdo sont semblables, et que l'on a, en comparant les côtés, le rapport $bo \times bc = (ab) \times \left(\frac{ab}{2}\right)$ ou $bo = \frac{(ab)^2}{2(bc)}$. Or, on connaît ab et bc, et l'on a la valeur bo en fonction de deux valeurs déterminées.

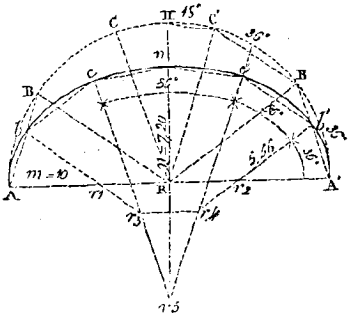
Le tracé de l'anse de panier présente plus de difficultés. En effet, cette courbe se compose d'une suite d'arcs de cercle qui se raccordent, et il est très important d'éviter les jarrets. Les courbes en anses de panier sont à 3, 5, 7, 9, 11, 13 et même 15 centres, suivant la flèche que l'on adopte. Lorsque la montée est plus grande que le 1/3 de l'ouverture, on peut se servir du tracé à 3 centres ; quand elle est plus petite, il faut absolument avoir recours aux tracés à 5 ou 7 centres.

Pour le tracé à 3 centres (fig. 2125), on divise l'ouverture de l'arche en 2 parties égales AR, AR', on trace une demi-circonférence sur cette ligne, on y porte 3 divisions égales, on joint ces divisions par les rayons RB, RB' et l'on trace les cordes AB, BH, HB', BA', on prend sur la ligne RH une distance RA égale à la montée de la courbe en anse de panier ; par le point h, on mène une parallèle à BH : cette ligne



2125.

rencontre la corde AB en un point b par b ; on mène une parallèle à BR qui coupe RH en un point r^3, qui



2126.

est un des centres ; les points de rencontre r^1, r^2, sont également des centres.

L'anse de panier à 5 centres, fig. 2126, qui est la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

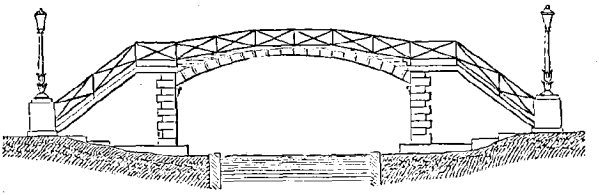
plus usitée après celle à 3 centres, se trace d'une manière analogue. On partage la demi-circonférence en 5 parties égales, on joint les différents points par les cordes AB, BC, CH, on mène les rayons à chacun de ces points; par le point *h*, on mène une parallèle à CH, on trace une parallèle au rayon CR, et on a un centre α^5; on en fait autant pour les autres ce qui donne les 5 centres qui servent à tracer les arcs de cercle dont se compose la courbe en anse de panier. Telles sont les diverses formes que l'on donne aux arches de pont. Il nous reste maintenant pour compléter ces généralités à parler des ouvrages accessoires, tels que tympans, corniches, etc...

Tympans, corniches. Les tympans dans les ponts forment la partie comprise entre la retombée des deux arches, immédiatement au-dessus des piles; ils sont, dans les ponts en pierre, quelquefois creusés circulairement de manière à permettre aux eaux de s'écouler dans les grandes crues; mais cette disposition n'est pas bonne, elle ajoute peu au débouché, ôte d'ailleurs de la solidité à l'ouvrage, et est du reste très rarement employée. Dans les ponts, soit en charpente, soit en métal, ils doivent être également en maçonnerie afin d'éviter que les vibrations ne se transmettent dans toute la longueur du pont; du reste nous reviendrons plus tard sur ce sujet. Les tympans sont couronnés supérieurement par un bandeau, ou une corniche, dont la forme varie suivant le goût du constructeur; cet ornement règne dans toute la longueur du pont, et sert de base au garde-corps ou parapet. Ce parapet est lui-même en maçonnerie, si le pont est construit en pierre, et en fer ou en fonte, s'il est construit en métal ou en bois; dans le cas où l'on emploie le fer ou la fonte, il faut avoir soin de ne pas fixer la main-courante à demeure. Dans les dés en pierre, on doit toujours laisser du jeu afin que la dilatation puisse s'opérer librement. Quant au tablier il varie suivant la nature du pont, aussi nous n'en parlerons pas quant à présent, nous nous bornerons à dire que l'accès en doit être facile, et que, par conséquent, la voie sur les culées doit être plus large que sur le pont. Après avoir décrit d'une manière générale les travaux nécessaires à la construction des ponts, il nous reste à parler de chaque espèce en particulier et des ouvrages qui s'y rattachent.

Passerelles. Les passerelles servent au passage des piétons. Comme la charge qu'elles ont à supporter est beaucoup moins considérable que dans les ponts ordinaires, elles doivent avoir le caractère de la légèreté. Quand l'ouverture sur laquelle elles sont établies n'est pas trop considérable, on se sert du bois, de la fonte ou de fer pour soutenir les arches; quand, au contraire, elle atteint la largeur d'un fleuve ou d'une vallée, on emploie presque exclusivement la suspension, soit au moyen de câbles, soit au moyen de chaînes, parce qu'alors on n'a plus besoin de points d'appui aussi nombreux et qu'on réalise une grande économie. Les passerelles en bois consistent généralement en une longue pièce de charpente horizontale, renforcée par une sous-pente, qui est elle-même soutenue par deux pièces inclinées à 45° environ, servant à reporter la pression sur les culées qui sont toujours en maçonnerie dans ce cas. Il est très important, en raison de la poussée qui s'exerce sur ces pièces, que les bois ne puissent se pénétrer ni se pourrir; on parvient à ce résultat en se servant de chapeaux en fonte qui ont pour effet également de relier la longuerine avec les jambes de force, il suffit même d'interposer une feuille de métal entre les deux pièces.

Une autre précaution importante est la liaison parfaite des moises horizontales superposées, on y arrive en ménageant dans chacune d'elles des entailles disposées de telle sorte, que les redents de l'une viennent s'ajuster dans les vides de l'autre. Les garde-corps sont tantôt en fer, tantôt en charpente. Quand on emploie la charpente, on peut la faire servir à la solidité de l'ouvrage, en plaçant les pièces de telle sorte qu'elles viennent buter l'une contre l'autre et former arbalétrier. On soulage ainsi la pièce principale, et l'on peut éviter une partie des moyens de consolidation dont nous venons de parler.

Au lieu d'employer le bois à la construction des passerelles on peut se servir du fer ou de la fonte, quand ces matières premières ne sont pas à un haut prix, et que l'on cherche à donner de l'élégance à l'ouvrage; on adopte alors l'arc de cercle ou toute autre courbe qui flatte l'œil. L'établissement de ces arches rentre dans la construction des ponts ordinaires en métal. Nous nous bornerons à donner ici (fig. 2127) le dessin de la passerelle établie sur le canal Saint-Martin, près la Bastille, comme exemple très convenable. Quant aux passerelles à grande portée servant à franchir des cours d'eau considérables, elles rentrent dans la série des ponts suspendus, et nous renvoyons à cet article.



2127.

Ponceaux. Les ponceaux se construisent en charpente, en maçonnerie, et quelquefois en métal. Dans les ponceaux en charpente, le tablier qui supporte la route se compose de poutres transversales reposant sur des culées, et de madriers placés dans le sens perpendiculaire ayant une épaisseur suffisante pour soutenir les terres. Les culées sont en charpente ou en maçonnerie. Si on emploie la charpente on donne un débouché plus considérable que dans les cas ordinaires afin d'éviter les affouillements; il est aussi convenable de relier les pièces qui supportent la poussée des terres par des liernes fixées à d'autres pièces dans la culée; si c'est la maçonnerie on établit les pieds-droits en moellons avec chaînes en pierre de taille aux angles, et l'on fait passer le chemin sur un tablier en charpente. Dans quelques circonstances, au lieu de soutenir la route au moyen de pièces en bois, on peut se servir avec succès de poutres en fonte auxquelles on donne la forme de solides d'égale résistance. On n'a plus à craindre la pourriture engendrée par l'humidité et l'entretien coûteux qui en est la conséquence. On trouve quelques exemples de cette disposition sur le chemin de fer du Nord. Le plus souvent cependant les ponceaux s'exécutent entièrement en maçonnerie : ils se composent dans ce cas de deux culées ayant 1^m à $1^m,30$ d'épaisseur suivant la nature du terrain; et d'une voûte en plein cintre ayant environ $0^m,40$ à $0^m,50$ à la clef; ils sont également avec ou sans radier. Quand on n'établit pas les fondations sur un radier général, on enfonce une rangée de palplanches sur chaque rive du cours d'eau, on drague derrière et l'on établit un lit de béton d'environ $0^m,80$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

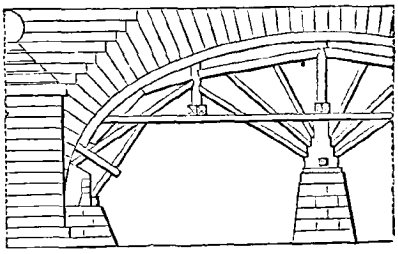
d'épaisseur ; sur ce lit on élève les pieds-droits dont les parements vus sont en moellons piqués, tandis que le reste se fait en maçonnerie de remplissage. Il en est de même de la voûte qu'on recouvre avec soin par une chappe en ciment ou en bitume ; le parement des têtes se fait toujours en pierre de taille. Quand les ponceaux n'ont pas de radier général, c'est-à-dire dans le cas où les crues ne sont pas abondantes et où l'on n'a pas à craindre l'entraînement des terres, on les termine par des murs en retour d'équerre, faits en moellons piqués, et l'on donne aux talus de la route une forme circulaire. Quand, au contraire, on a établi un radier général, et qu'on a prévu que l'eau prendrait une très grande vitesse entre les piles, on les termine par des murs en aile, en pierre de taille, afin de protéger les berges contre la force du courant. Dans tous les cas ils sont couronnés par un bandeau et munis d'un garde-corps en pierre.

Ponts à grande portée. Les ponts à grande portée peuvent se diviser en trois classes : suivant les matériaux qui entrent dans leur construction, ce sont les ponts en pierre, les ponts en bois, et les ponts en métaux ; chacune de ces catégories se distingue par des dispositions particulières, mais celles-ci ne portent guère que sur les arches, les procédés d'établissement pour les piles et culées restant toujours les mêmes, en ne s'écartant pas des règles que nous avons tracées précédemment.

Ponts en pierre. Les arches des ponts en pierre peuvent avoir toutes les formes que nous avons décrites, la plus usitée est l'arc de cercle qui permet d'avoir des quais peu élevés, et n'offre pas l'inconvénient de ces fortes pentes que l'on rencontre dans presque tous les anciens ponts. Cependant, si cette courbe présente des avantages, sous le rapport de la circulation, elle a aussi des inconvénients : la poussée étant très considérable aux naissances on ne peut donner aux pieds-droits une épaisseur suffisante pour y résister, et on est obligé de compter sur la neutralisation de ces poussées pour construire les piles ; mais alors qu'une arche vienne à se rompre et la solidité du pont tout entier est compromise. Dans les voûtes en plein cintre cet inconvénient n'existe plus, toute la poussée se reporte sur les pieds-droits ; aussi, chaque fois qu'on le pourra cette forme d'arche devra-t-elle être préférée.

Quoi qu'il en soit une voûte quelconque se compose toujours d'un nombre impair de voussoirs dirigés normalement à la courbe d'intrados et séparés par des plans de joints. Ces voussoirs ont une épaisseur de 0m,46 à 0m,50, et 1m,50 à 1m,80 au plus de queue. Leur appareillage, dans les têtes, exige le plus grand soin, car c'est dans leur arrangement et dans leur raccordement avec les assises des tympans que consiste tout l'ornement du pont. Quand la flèche de l'arc varie de 1/7 à 1/8, ce raccordement se fait facilement, attendu que tous les plans de joints font à peu près le même angle avec la verticale ; c'est ce qui a lieu au pont d'Iéna : aussi ce pont, toutes choses égales d'ailleurs, est-il un des plus élégants qui aient été construits ; nous en avons donné précédemment le dessin (fig. 2122) en parlant des cintres. Mais lorsque la courbe est une anse de panier il n'en est plus de même, l'intersection des plans de joints avec les assises horizontales est irrégulière ; on a une sorte d'escalier dont les marches augmentent continuellement en largeur ; pour parer à ce défaut on allonge la queue des voussoirs à mesure qu'on s'élève, comme il a été fait au pont de Tours. Au pont de Neuilly on n'a pas eu cet inconvénient. l'arche est surhaussée dans les plans de tête et la surface de raccordement est une surface gauche (fig. 2128) ; on a appareillé alors comme un arc de cercle.

Quand malgré toutes les précautions on ne peut éviter quelques défauts d'appareil, on les dissimule en extradossant au moyen d'un arc de cercle dont le centre est un peu plus élevé que le centre réel ; et en dessinant les voussoirs, au moyen de bossages, comme au pont de Sèvres, ou bien en extradossant parallèlement comme au pont de Rouen.



2128.

Pose des voussoirs. Jusqu'ici nous nous sommes occupés de l'arrangement des voussoirs ; il faut parler aussi de leur pose, qui a lieu de la manière suivante : on mesure sur l'épure l'abscisse et l'ordonnée de chaque plan de joint ; au moyen des repères placés sur les piles et culées, on vérifie si chaque voussoir de tête est à sa place ; pour reconnaître s'il a aussi l'inclinaison voulue, on se sert d'un quart de cercle muni d'un fil à plomb, et on voit si l'angle formé est le même que celui de l'épure. Cette précaution n'est pas la seule qui soit nécessaire pour la pose convenable des voussoirs, il faut encore charger les cintres afin de leur faire éprouver tout leur tassement ; en outre, à mesure que l'on approche de la clef, il convient de vérifier l'espace qui reste à remplir par les voussoirs, car il pourrait arriver, comme dans certains ponts, qu'il n'y eût plus assez de place pour les placer tous, ce qui forcerait à les diminuer d'épaisseur.

Décintrement. Lorsque la voûte est fermée et que les mortiers sont convenablement durs, on décintre la voûte, non seulement avec tout le soin dont nous avons parlé, à propos des cintres, mais encore en prenant la précaution de dégarnir les joints vers l'intrados afin de prévenir les épauffrures ; on enlève aussi les couchis méthodiquement, de telle sorte que la poussée ne se produise pas instantanément. Lorsqu'une arche est décintrée elle éprouve toujours un tassement ; ainsi, au pont de Neuilly, il fut de 0m,66, au pont d'Iéna de 0m,12. Il est donc très important, dans le tracé de l'épure, de surhausser le cintre afin que la voûte, dans l'état réel, se trouve à peu près à sa véritable position au-dessus des naissances.

Maçonnerie des tympans, voûtes en décharge, chappe. Aussitôt que les arches ont pris leur tassement définitif, on commence la maçonnerie des tympans et des têtes. Afin que cette maçonnerie ne charge pas inutilement le pont on ne remplit pas ordinairement les reins, on se contente de construire des voûtes en décharge qui viennent reporter leur pression sur les joints de rupture, ces voûtes sont ensuite cachées par la maçonnerie des têtes ; leur extrados doit être tangent à celui de la voûte principale : lorsque cet ouvrage est terminé ainsi que les parements vus, on s'occupe de la pose de la chappe ; elle se fait ordinairement en chaux hydraulique et on lui donne une épaisseur de 0m,10 ; on peut aussi avec avantage se servir de bitume, que l'on étend en deux couches différentes en ayant soin que les joints se croisent. Ces deux couches ensemble ont 0m,22 à 0m,24. Après l'achèvement de ce travail il ne reste plus qu'à poser les bandeaux ou corniches, les garde-corps, et à exécuter la chaussée pavée ; travaux qui ne présentent aucune difficulté. Si le pont a une longueur considérable on ménage des orifices pour faire écouler les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

eaux, ces orifices portent le nom de gargouilles, ils sont formés de tuyaux en fonte qui traversent toute l'épaisseur de la voûte et viennent déboucher vers les reins ; on y amène toutes les eaux ; afin d'atteindre ce but, il faut avoir soin d'interposer entre la chappe et le sable du pavé un lit de gros cailloux qui permette leur écoulement.

Pour compléter ce que nous avons à dire sur les ponts en maçonnerie, il nous reste à parler des ponts destinés aux passage des canaux, des aqueducs et des viaducs. Tous ces ouvrages diffèrent très peu des précédents, aussi nous n'en dirons que quelques mots.

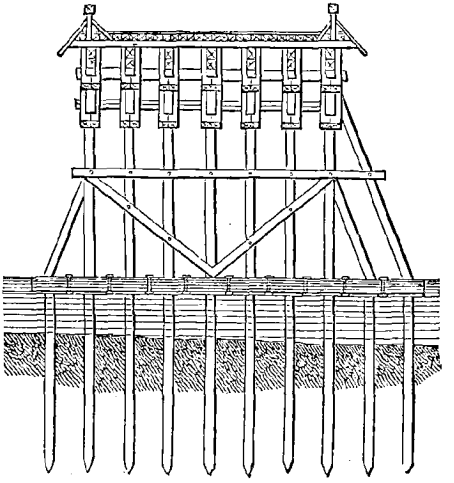
Ponts-canaux. La différence qui existe entre un pont-canal et un pont ordinaire réside dans la hauteur que l'on est obligé de donner aux parements extérieurs, afin d'avoir le tirant d'eau nécessaire au passage des bateaux, et dans les moyens qu'on emploie pour empêcher les infiltrations de l'eau à travers les voûtes. Ils sont de la plus haute importance pour le canal et pour la conservation du pont lui-même. Voici ceux qui sont les plus efficaces : On revêt les parois avec de la lave de Volvic tant sur les côtés que dans le fond, on applique dessus un enduit de bitume ; cet enduit est mis en deux couches successives. On peut aussi employer une couche de béton de $0^m,25$ à $0^m,30$, mais ce moyen n'est pas aussi efficace que le premier. Au pont-canal sur l'Allier, on s'est servi de briques mises de champ et rejointoyées avec du bitume ; le résultat de cette disposition a été satisfaisant.

Ponts-aqueducs. Les ponts-aqueducs diffèrent peu des ponts-canaux. Leurs dimensions sont moins grandes en raison du volume d'eau qui est toujours moins considérable que dans un canal ; ils sont recouverts d'une voûte, afin de les mettre à l'abri de l'influence atmosphérique.

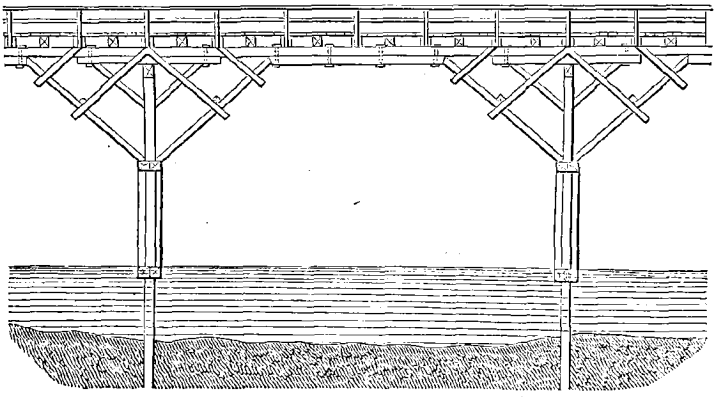
Ponts-viaducs. Quant aux ponts-viaducs, ils se rapprochent encore davantage des ponts ordinaires en maçonnerie ; ce qui les caractérise, c'est la voie ferrée qu'ils supportent, et la fondation de leurs piles qui a lieu très souvent dans le terrain ferme et sec des vallées.

Ponts en charpente. Les ponts de peu d'importance sur lesquels on prévoit que le passage sera peu actif peuvent être construits en charpente de préférence à la maçonnerie qui est toujours très coûteuse. Ils sont établis suivant deux systèmes différents, celui des travées et celui des arches.

Ponts à travées. Les travées se composent de pièces de charpente horizontales destinées à supporter le tablier du pont, et reposant sur des points d'appui également en charpente appelés palées. Ces palées sont plus ou moins nombreuses suivant la longueur des pièces qui forment la travée ; mais cette longueur ne peut jamais être bien grande, car, dans ce cas, il faudrait donner aux bois des dimensions considérables, ce qui serait coûteux. Les plus simples sont formées de pilotis reliés au-dessous du niveau de l'étiage par des moises, et à leur sommet par un chapeau ; c'est sur ce chapeau que l'on établit le tablier. Si la rivière a plus d'importance et que l'on craigne les crues d'eau et les glaces, on place en avant de la palée un brise-glace ou pièce oblique bardée de fer. Cette poutre est reliée au reste de la pile par des doubles moises horizontales et des jambes de forces inclinées dans le sens opposé à celui du brise-glace, afin de l'arcbouter. Nous donnons (fig. 2129) un exemple de palée avec brise-glace, et (fig. 2130) un fragment de pont à palée. Dans le cas où la rivière est profonde, on modifie un peu ces dispositions. Au niveau de l'étiage, on assemble avec les pilotis les pièces qui doivent supporter le tablier ; pour consolider l'assemblage, on y joint deux cours de moises horizontales su-



2129.



2130.

perposées et boulonnées entre elles ; on peut aussi enfoncer deux rangs de pieux, les réunir au-dessous de l'étiage par des entretoises et élever dessus la palée comme à l'ordinaire.

Quand la travée ne dépasse pas 5^m, on place immé-

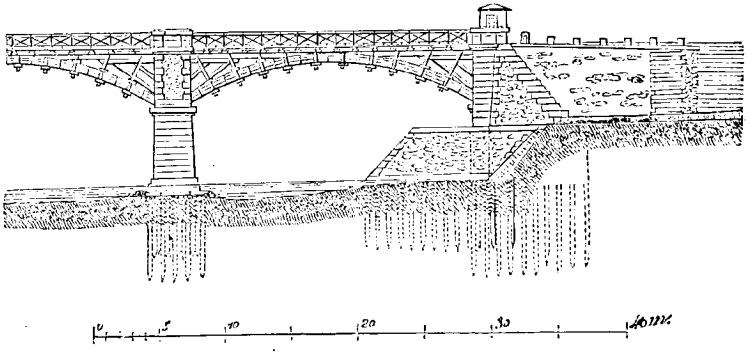
EFERUS - Recherche & Classification numérique

diatement les poutres sur leurs points d'appui, si elle excède 5m et va jusqu'à 7m, on se sert de contre-fiches ou de consoles ; est-elle plus grande encore ? on fait usage de contre-fiches, de consoles et même de sous-poutres comme dans le dessin fig. 2130. Mais il faut avoir soin de relier parfaitement la poutre et la sous-poutre. Pour construire le tablier du pont, on place sur ces travées des pièces transversales. Ces poutres reçoivent les madriers qui doivent former le plancher. Dans les circonstances où le passage des voitures est considérable, le tablier en bois serait trop promptement usé ; on établit alors une couche de sable sur les madriers et un pavage ordinaire. Les garde-corps sont toujours en charpente. Tels sont les ponts à travées. Ce système, dans certains pays où le bois est à bas prix, a été poussé jusqu'à ses dernières limites. Ainsi on trouve à Schaffhouse, sur le Rhin, un pont de deux travées de 50m chacune ; sur la Kandel, près de Berne, il en existe un autre d'une portée de 50m,70. Enfin le plus surprenant de tous ces ouvrages est celui de Vettingen, sur la Limmat, qui n'a pas moins de 118m d'ouverture d'une seule portée. Il est formé d'énormes fermes reliées entre elles par des moises pendantes ; le tout est recouvert d'un toit indispensable pour mettre ces masses de charpente à l'abri de l'intempérie des saisons.

Ponts à l'américaine. En Amérique, où le bois est si abondant, on a imaginé, pour les chemins de fer, des ponts qui peuvent certainement rendre des services quand on veut éviter d'avoir un grand nombre de points d'appui. Les travées sont formées de pièces de charpente disposées en treillage et chevillées entre elles ; deux fortes fermes suffisent pour supporter le tablier sur lequel sont placés les rails. Cette disposition massive n'est pas applicable dans les villes où l'on tient au coup d'œil et à l'élégance ; aussi a-t elle été un peu modifiée. Les treillages ont été remplacés par une suite de croix de Saint-André reliées par des longuerines ; mais ces fermes ont le défaut de se déformer. Nous ne nous étendons pas sur ce sujet auquel un article spécial doit être consacré (voyez PONTS AMÉRICAINS).

Ponts en charpente en arc de cercle. Nous avons vu que les travées en charpente nécessitaient des points d'appui nombreux qui occasionnent de la gêne dans la navigation, on a paré à cet inconvénient en formant des arches en bois courbes qui ont une plus grande portée que celles des ponts ordinaires en charpente. Ces nouveaux ponts, dont le premier a été construit en France dans le département de l'Ain, ont pris une grande extension en Allemagne, puis ensuite en France, ils sont, en général, d'une assez bonne durée ; mais il ne faut pas porter la flèche de leurs arcs à moins de 1/8 de l'ouverture, comme il a été fait dans un grand nombre de ponts étrangers qui n'ont pas résisté. Parmi ceux qui ont été exécutés avec le plus de soin, nous citerons le pont d'Ivry (fig. 2131), sur la Seine, construit par M. Emmery, et dont nous allons donner une description sommaire. Les arches ont 22m,50 d'ouverture pour une flèche de 3m,48. Elles sont composées de pièces de bois courbes au nombre de trois, formant en tout une épaisseur de 0m,75 aux naissances et 0m,70 au sommet : elles sont reliées, d'une part, au moyen d'étriers en fer boulonnés à la partie supérieure, afin que l'on puisse serrer les écrous si le bois se dessèche, de l'autre par les moises pendantes qui n'ont pas seulement pour but d'opérer un serrage convenable, mais qui servent à transmettre aux arcs le poids du tablier ; elles sont doubles afin d'embrasser les arcs et les pièces de pont. Au-dessus et au-dessous de leur assemblage avec l'arc, elles portent des entailles inclinées qui reçoivent les longuerines, reliant les fermes entre elles ; deux longuerines entourent chaque moise pendante et sont assemblées entre elles par un boulon que l'on serre à volonté ; lorsque l'on effectue le serrage, elles glissent sur les entailles obliques et viennent reporter tous leurs efforts sur les arbalétriers courbes. Les moises pendantes ne sont pas les seules pièces sur lesquelles repose le poids du tablier ; il y a aussi à chaque pile et à chaque culée des consoles munies de jambes de force et fortement fixées dans la maçonnerie au moyen de tirants en fer qui descendent profondément dans la pile. Le tablier se compose des pièces de pont ou poutres longitudinales supportées par le sommet de l'arc, les moises pendantes et les consoles ; de poutres transversales reposant sur les pièces de pont ; et de madriers qui reçoivent immédiatement le poids des voitures. Il est supporté par sept fermes reliées non seulement par des longuerines, mais aussi par des pièces obliques qui empêchent les vibrations ; au-dessous des madriers, on fixe une croix de Saint-André en fer, qui donne encore plus de liaison au système. Les balustrades sont en fer, afin d'obtenir plus de légèreté.

Le plancher sur lequel passent les voitures est, dans les ponts en charpente, une cause fréquente de réparations ; il doit donc attirer l'attention du constructeur. Si la circulation est peu active, les madriers de chêne sont



2131.

applicables ; mais quand elle devient importante, il est indispensable d'établir le sol soit en matériaux résistants, soit en pavés. Une disposition efficace consiste à revêtir les madriers de feuilles métalliques et d'exécuter dessus un empierrement.

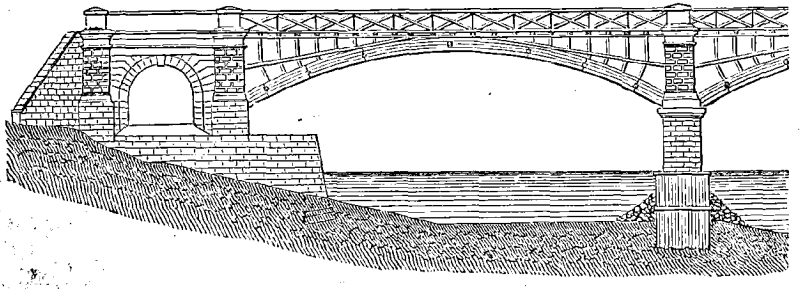
Tous les ponts en charpente en arc de cercle n'ont pas été construits suivant la méthode que nous venons d'indiquer. Dans quelques-uns, comme à l'ancien pont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de Choisy-le-Roi, les piles, au lieu d'être entièrement en maçonnerie, ne sont construites ainsi que jusqu'aux naissances. Cette disposition est vicieuse, elle doit être évitée à cause des oscillations qui se transmettent d'un bout à l'autre du pont. D'autres fois, au pont d'Asnières, par exemple, construit par M. Navier, les moises pendantes, au lieu d'être normales aux arches, sont perpendiculaires au plan de la rivière. La pression qui s'exerce sur elles tend alors à les faire glisser sur les arcs en charpente et à détruire les assemblages. Dans le cas particulier des ponts de chemins de fer où les vibrations sont très fortes, il est certaines règles à observer. Les rails ne doivent pas être attachés immédiatement sur le pont, ce qui occasionnerait des ébranlements considérables ; ils doivent toujours être séparés du tablier par une forte couche de sable dont le double but est d'amortir les vibrations et d'éviter les incendies ; il est aussi très convenable de relier les moises pendantes par des croix de Saint-André qui donnent plus de liaison à l'ensemble de la charpente. Sur le chemin de fer de Rouen, dans les différents ponts, entre autres à Oissel (fig. 2132), au

assez restreinte ; en outre, ils coûtent fort cher. Ceux en charpente, tout en exigeant moins de dépenses lors de l'établissement, nécessitent un entretien coûteux, qui est égal à environ un dixième du prix de construction ; en sorte qu'on est forcé au bout de peu d'années de les reconstruire entièrement. C'est par ces motifs qu'on a substitué à la pierre et au bois, la fonte, qui permet de donner plus de légèreté, plus d'ouverture aux arches, et qui exige moins d'entretien.

Les ponts en fonte peuvent être formés d'arcs rigides ou de voussoirs. Lorsqu'on a une faible ouverture à franchir entre les piles, on fait choix généralement d'arcs rigides, composés de deux portions d'arc de cercle qui s'assemblent au sommet de la voûte au moyen de boulons et de plaques additionnelles, et reposent sur la maçonnerie au moyen de patins ou supports pour les retombées. Ces arcs principaux reçoivent quelquefois des arcs en décharge qui soutiennent le tablier du pont ; c'est la disposition adoptée au pont des Arts. Il est très important, dans ce système d'arcs rigides, que les assemblages ne se fassent qu'au som-



2132.

lieu de former les arches d'arbalétriers courbes qui sont difficiles à plier, on a fait usage avec succès de madriers qui sont plus économiques, et reçoivent plus facilement la forme que l'on veut leur faire prendre. Pour en composer un tout solide, on les relie à l'aide d'étriers en fer et de fortes chevilles en bois qui ont toute l'épaisseur de l'arc, et qui sont serrées au moyen de coins que l'on enfonce dans leur tête perpendiculairement aux fibres. Les moises horizontales sont supprimées, elles ont été remplacées par des entretoises qui maintiennent l'écartement des fermes, et par des tirants en fer qui résistent bien mieux que le bois à la traction. Ces tirants, munis d'écrous à leurs extrémités, viennent aboutir à des boucliers en fonte dont le but est de répartir la tension sur une plus grande surface. Le tablier est soutenu par une pièce oblique en décharge, et une série de poutres s'assemblant avec elle et avec les arches, auxquelles elles sont normales. Quelle que soit celle de ces dispositions à laquelle on s'arrête, il convient de revêtir les bois d'une couche de peinture, et surtout de faire reposer l'about des arcs sur des coussinets en fonte, qui permettent à l'air de circuler et évitent le séjour de l'eau. Cette partie supportant toute la poussée du pont, il est de la plus haute importance qu'elle ne se pourrisse pas. Entre chaque madrier, on a le soin d'interposer des feuilles de carton goudronné.

Ponts en métal. Les ponts que nous avons examinés jusqu'ici présentent divers inconvénients. Ainsi ceux en maçonnerie étant extrêmement pesants, exigent des fondations très massives et des arches d'une ouverture

met, car s'il y avait plus de deux pièces, les points de jonction formeraient des articulations qui pourraient nuire à la solidité de l'ouvrage ; on tâche, autant que possible, de former des triangles qui sont des figures invariables.

Dans les circonstances où la largeur entre les piles est considérable, on a recours à des voussoirs en fonte, dans lesquels on a ménagé des vides, afin de les rendre plus légers et moins coûteux. On a soin d'éviter de donner de grandes dimensions, parce que le coulage des grandes pièces est difficile. Il faut aussi choisir, autant que possible, des formes simples qui demandent peu de frais de modèle. Les voussoirs s'assemblent entre eux, comme au pont d'Austerlitz, au moyen d'équerres en fer que l'on place dans des rainures ménagées à cet effet dans la fonte. D'autres fois on les assemble, comme au pont de Sunderland en Angleterre, au moyen d'une barre en fer que l'on chasse dans des rainures venues à la fonte de chacun des voussoirs. Au pont de Tewkesbury, M. Telfort a formé les arches de pièces de fonte évidées ayant la forme d'arcs : elles ont environ 6m,70 de longueur sur 1m de hauteur. Ces arcs sont boulonnés entre eux et réunis par des croix de Saint-André également en fonte qui supportent le tablier. De tous les ponts en fonte construits jusqu'à ce jour, celui qui réunit à un plus haut point l'élégance et la solidité est sans contredit le pont du Carrousel, contruit par M. Polonceau. Les arches sont formées de demi-tuyaux portant des brides en dessus et en dessous et boulonnées. Des clavettes en acier ser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent à assurer la juxta-position des segments, à bander les arcs et à les dresser. Quant au vide intérieur du tuyau, il est rempli par du bois de sapin préparé de manière à prendre sa forme. Les tympans sont remplis par des cercles en fonte dont le diamètre va en décroissant, depuis la pile jusqu'au sommet. Sur ces cercles sont posés les longerons qui soutiennent le tablier du pont. Les fermes sont consolidées au moyen de tirants en fer et de tuyaux en fonte qui en maintiennent l'écartement. Elles sont contreventées par des pièces en fonte ayant la forme de bielles et placées obliquement, de façon à ce qu'elles viennent buter les unes contre les autres. La chaussée en empierrement est supportée par un plancher qui ne diffère pas de ceux en charpente dont nous avons parlé. Nous donnons (fig. 2133) le pont sur le Lary en Angleterre. Voir, à l'article SERRURERIE, une étude complète sur ce genre de constructions.

verticaux, espacés de 3m,57 l'un de l'autre, et de grandes croix de Saint-André, une par chaque intervalle de montants. Les deux poutres sont reliées entre elles, au droit de chaque montant, par une pièce de pont inférieure et par une entretoise supérieure, qui, rattachées aux longerons et aux montants par des cornières et des coussinets, constituent, avec les montants, de 3m,57 en 3m,57, des cadres rectangulaires transversaux d'une grande rigidité. Le contreventement est complété, à la partie inférieure, par toutes les pièces du tablier, sur lequel sont établies les voies de fer, et, à la partie supérieure, par des bandes de fer plat, l'une parallèle aux plans des poutres maintenant l'écartement des milieux des entretoises supérieures, les autres se croisant suivant des diagonales, de manière à rattacher les angles supérieurs des cadres de deux en deux. La section des montants et des croix de Saint-André est un double T ayant, entre les

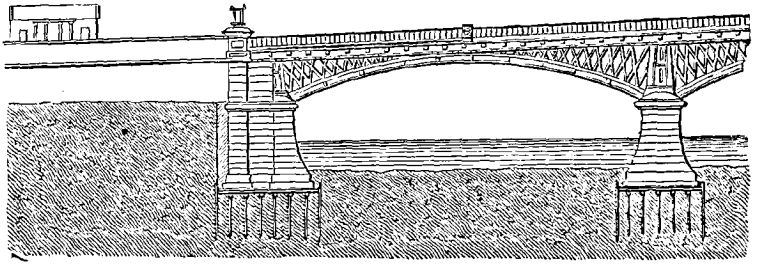


Fig. 2133.

PONT DE BORDEAUX. Pour faire apprécier les progrès faits, dans ces dernières années, dans l'art de la construction des ponts, nous donnerons ici quelques détails sur la construction du pont de Bordeaux, qui avec le pont du Rhin (voy. *Complément*, FONDATIONS TUBULAIRES), est peut-être l'application la mieux réussie des procédés perfectionnés de construction des ponts, au moyen de l'emploi de l'air comprimé pour exécuter des fondations dans des conditions d'une solidité absolue qu'on ne pouvait être certain d'obtenir par les anciens procédés.

Ce pont (dit M. Bommard dans son excellent rapport sur l'Exposition de 1862, auquel nous empruntons les renseignements précis qui suivent), exécuté par les ingénieurs de la Compagnie des chemins de fer du Midi pour la jonction des réseaux d'Orléans et du Midi, a une longueur de 500 mètres entre les culées. Il est suivi d'un viaduc à travées métalliques de 135 mètres de longueur, établi au-dessus des cales et des quais du port de Bordeaux. L'ouverture de 500 mètres est divisée en sept travées : cinq travées centrales, ayant chacune 77m,50, d'axe en axe des piles, et deux travées de rive, chacune de 56m,25. Les culées sont en maçonnerie, et fondées, celle de la rive gauche, sur caisson foncé échoué sur des pieux battus au refus; celle de la rive droite, sur pieux et grillages. Chaque pile est constituée par deux tubes en fonte, de 3m,60 de diamètre, espacés de 8 mètres d'axe en axe, et remplis de béton.

La superstructure du pont est en tôle. Elle se compose principalement de deux poutres ou fermes, correspondant chacune à la file des tubes d'amont ou d'aval. Chaque poutre a 6m,35 de hauteur et comprend : deux cours de longerons horizontaux, l'un inférieur, l'autre supérieur; une série de montants

branches, un écartement de 0m,56; les branches du double T sont placées dans les plans verticaux des faces de chaque poutre. Les cours de longerons sont constitués, haut et bas, par des moises doubles formées de feuilles de tôle de 85 millimètres de largeur et de 0m,012 d'épaisseur, embrassant et fixant les abouts des montants et des croix de Saint-André, et respectivement attachées elles-mêmes par des doubles cornières aux tables supérieures et inférieures de la poutre. Ainsi composée, chaque poutre constitue, dans son ensemble, une sorte de coffre de 0m,56 d'épaisseur, de 6m,35 de hauteur et de 500 mètres de longueur, largement ouvert par une série de grands évidements à encadrements réguliers; et la superstructure entière, une galerie de section rectangulaire, de 5 mètres de hauteur au minimum et de 7m,60 de largeur libre, offrant, dans son plafond comme sur ses côtés, de larges passages à la lumière et à l'air. Cette charpente métallique repose, au moyen de glissières, sur les culées et sur les quatre piles les plus rapprochées des rives, et, sans interposition de glissières, sur les deux piles centrales.

Pour l'établissement des appuis intermédiaires, il fallait, d'une part, modifier le moins possible l'état du régime du fleuve, et, d'autre part, aller chercher une assiette solide à 2 mètres au moins de profondeur dans la couche de gravier résistant qui se trouve au-dessous du sable vaseux, c'est-à-dire descendre la fondation de plusieurs piles jusqu'à 18 mètres au-dessous du niveau des basses mers et 24 mètres au-dessous du niveau des plus hautes mers. Dans de telles conditions, il y avait lieu de prendre, comme on l'a fait, pour appuis intermédiaires, des colonnes tubulaires d'un fort diamètre, réduites au plus petit nombre possible.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chaque pile a été constituée par deux colonnes tubulaires de 3m,60 de diamètre, composées d'anneaux de 1m,05 de hauteur et de 0m,01 d'épaisseur, superposés et boulonnés de l'un à l'autre. De leur base d'établissement à leur sommet arasé à 8 mètres au-dessus du niveau des basses eaux, la hauteur des colonnes s'est trouvée être, au minimum, de 20 mètres, et, au maximum, de 26 mètres.

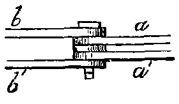
Ces colonnes tubulaires ont été mises à profondeur par un déblai à sec à l'intérieur des tubes au moyen de l'air comprimé refoulant l'eau, suivant le procédé Triger. Cette méthode, antérieurement employée dans la fondation d'un certain nombre de ponts, a reçu, dans son mode d'emploi au pont de Bordeaux, des modifications qui constituent des perfectionnements notables.

Le sas à air a été formé dans le tube même, au moyen de deux plates-formes en tôle, boulonnées sur des nervures intérieures du tube, et munies de portes établissant à volonté la communication avec l'intérieur du tube ou avec l'extérieur. Il suffisait de déplacer ces plates-formes pour remonter le sas à air au fur et à mesure de l'enfoncement du tube. Le contre-poids ne reposait point directement sur le tube : il était porté par l'échafaudage, et n'agissait sur un joug coiffant le sommet du tube que par l'intermédiaire de presses hydrauliques interposées. Loin d'opérer par le procédé *de la rentrée des terres*, on prenait tous les soins pour qu'aucun des effets inhérents à ce procédé ne pût se produire; par intervalles, on laissait diminuer graduellement et avec lenteur la compression de l'air dans le tube, de façon à ne déterminer aucune rentrée subite de l'eau; puis, quand la pression se trouvait suffisamment réduite, on exerçait par les presses tout l'effort que permettait l'importance du contre-poids, de manière à produire en une seule fois le plus grand enfoncement possible. Après quoi, on installait à nouveau les appareils accessoires et les tringles d'accrochage, on chassait l'eau et l'on recommençait le déblai.

Deux autres modifications, qui ne sont pas sans importance au point de vue de l'économie et de la rapidité d'exécution, ont été introduites à Bordeaux dans le mode d'extraction des déblais. Le montage des déblais dans la chambre d'équilibre s'y opérait par moteur mécanique, au moyen d'un arbre de couche introduit dans cette chambre, à travers des boîtes à étoupes, et mis en mouvement par une machine à vapeur locomobile fonctionnant extérieurement. Quand la chambre d'équilibre se trouvait suffisamment remplie par les bennes dans lesquelles se montaient les déblais, on fermait la porte de cette chambre communiquant avec l'intérieur du tube, on mettait l'air de la chambre en équilibre avec l'air extérieur, on ouvrait une porte ménagée latéralement dans la paroi d'un des anneaux du tube, et, par cette porte, au moyen d'un couloir en tôle, on versait directement les déblais dans les barques qui devaient les emporter. Cette belle construction a évidemment un degré de solidité bien supérieur à celle qu'eussent pu procurer les anciens procédés.

PONTS SUSPENDUS. Les ponts suspendus se composent de câbles ou chaînes en fer tendues d'une rive à l'autre, supportant, au moyen de tiges de suspension, un tablier qui donne passage aux piétons et aux voitures. Ces sortes de ponts ne datent guère que des premières années de ce siècle, et cependant il y en a un grand nombre tant en France que dans les autres contrées de l'Europe; c'est qu'en effet les avantages qu'ils présentent, sous le rapport de l'économie et de la facilité d'établissement, sont incontestables.

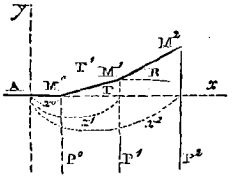
Chaînes. Les chaînes sont plus usitées en Angleterre qu'en France : elles sont formées de barres de fer forgé, reliées entre elles par des boulons. Si l'on n'a qu'une seule barre à assembler avec une autre, on unit les deux maillons au moyen de plates-bandes et de goujons. Si l'on a quatre maillons, l'on rapproche l'un de l'autre les maillons intérieurs a, a' (fig. 2134), en les séparant toutefois par une tige de suspension, et l'on place les deux autres maillons b, b', extérieurement, de part et d'autre des deux premiers; le tout est relié par un boulon. Le forgeage de ces pièces exige une grande surveillance; car si elles présentent quelques défauts, elles se rompent et peuvent occasionner la chute du pont; aussi préfère-t-on maintenant en France les câbles en fils de fer, qui sont plus faciles à fabriquer et d'un emploi plus sûr.



2134.

Câbles. Le plus généralement, pour former un câble, on se sert de fils de fer n° 18 que l'on enroule en écheveaux autour d'une croupière, en ayant soin de leur donner à tous la même longueur, afin que, par la suite, ils supportent une tension égale; on les relie ensuite, de distance en distance, au moyen de fils recuits que l'on tourne autour d'eux et qui portent le nom de ligatures.

Une question des plus importantes dans ces sortes de ponts, c'est de donner aux câbles une section suffisante pour qu'ils supportent, sans chance de rupture, le poids du tablier ou des fardeaux accidentels qui peuvent se présenter. Voici quelques-uns des calculs qui y conduisent. Et d'abord il s'agit de connaître la courbe qu'affecte un câble tendu d'une rive à l'autre. On peut le considérer comme formant un système funiculaire (fig. 2135) s'articulant aux points M_0 M_1 M_2 : si nous considérons le point M_0, nous remarquerons qu'en ce point nous avons trois forces : une tension horizontale Q, un poids P_0 et une tension T_1 du côté M_0 M_1. Or, il faut que leurs composantes se détruisent pour que le système soit en équilibre : appelons x_0, x_1, x_2, les abscisses; y_0, y_1, y_2, les ordonnées; p, le poids par mètre du tablier. On a pour la composante verti-



2135.

cale $P_0 = p\,x_0 + \frac{x_1 - x_0}{2} = \frac{p}{2}(x_0 + x_1)$; égalant les composantes horizontales, nous aurons $Q = T_1 \cos.\,\alpha = T_1 \frac{(x_1 - x_0)}{M_0 M_1}$; égalant les composantes verticales, on a $\frac{p}{2}(x_1 + x_0) = T_1 \sin.\,\alpha = \frac{T_1 y_1}{M_0 M_1}$; divisant ces deux équations l'une par l'autre et réduisant au même dénominateur, nous aurons $y_1 = \frac{p}{2Q}(x_1^2 - x_0^2)$. Pour un point quelconque, on aurait $y = \frac{p}{2Q}(x^2 - x_0^2)$, équation d'une parabole. Si on fait $x_0 = 0$, le côté M_0 M_1 aboutit au sommet, et l'équation de la courbe formée par le câble devient $y = \frac{p}{2Q} x^2$ (A). Il s'agit maintenant de voir comment on applique cette formule. Dans la pratique, on connaît l'ouverture d du pont et où se donne la flèche f, la formule (A) devient alors $f = \frac{p}{2Q}\frac{d^2}{4}$ (B). Ti-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rant la valeur $Q = \frac{d^2}{8f}$ et substituant cette valeur dans (A), on a $y = \frac{4f}{d^2} x^2$. Cette formule servira à tracer exactement la courbe en donnant différentes valeurs à x et prenant celles de y correspondantes; c'est encore à l'aide de cette formule que l'on peut déterminer la longueur des tiges de suspension. Pour connaître la tension exercée sur les câbles et en déduire la section convenable, cherchons la tension du dernier côté, en supposant qu'il soit assez petit pour se confondre avec la tangente à la parabole, nous aurons, T étant la tension horizontale :

$$Q = \frac{T \frac{d}{2}}{\sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2}}$$

ou remplaçant Q par sa valeur trouvée tout à l'heure, et résolvant par rapport à T,

$$T = \frac{4f}{} \sqrt{\frac{d^2}{4} + 4f^2} \text{ (C).}$$

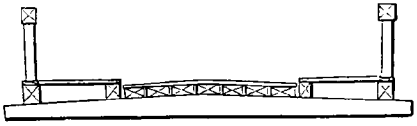
Or, on sait qu'en moyenne la limite de résistance du fil de fer est de 60 à 80^k par millimètre carré de section, et de 45 à 50^k pour le fer en barres. On a reconnu en outre, par des expériences, que quand une tige en fer était soumise à une tension comprise entre le 1/8 et le 1/4 de la force absolue, elle s'allongeait progressivement jusqu'à ce qu'elle se rompît; il ne faudra donc faire porter au fil de fer que 18^k, et pour le fer en barres, que 12^k par millimètre carré. Dans la formule (C), il faut compter, avec le poids du tablier, la surcharge d'épreuve qui est de 200^k par mètre carré. Il est également important de connaître la longueur de la chaîne, ainsi que celle des tiges de suspension; elle est donnée pour la chaîne en appelant S cette longueur par la formule $S = d\left(1 + \frac{8}{3}\frac{f^2}{d^2}\right)$. Quant à celle au moyen de laquelle on calcule la longueur des tiges, deux cas se présentent. Si on a une tige au sommet de la courbe, on se servira de la formule $\frac{4f}{6}\frac{l^2}{d^2} n(n+1)$ $(2n+1)$, dans laquelle n est le nombre de tiges pour la moitié du pont. S'il ne se trouve pas de tige au sommet, la somme des longueurs sera $\frac{4f}{6}\frac{l^2}{d^2}(2n-1)$ $(2n-2)(2n+1)$.

Tiges. Les tiges qui soutiennent le tablier sont tantôt en fer forgé, tantôt en fil de fer. Quand la courbe est formée d'une chaîne, les tiges sont en fer; elles sont reliées aux pièces transversales ou pièces de pont, qu'elles traversent de part en part au moyen d'un écrou; on peut aussi faire usage d'un étrier en fer, et, dans le cas où la pièce de pont est formée de deux parties, on fait passer la tige entre les deux, et l'on se sert d'un sabot ou d'un étrier. Dans le cas où le tablier est supporté par des câbles, on se sert de tiges forgées ou de fils de fer assemblé comme les câbles. Ils transmettent le poids du tablier par des coussinets en fonte, et soutiennent les pièces de pont par des espèces de colliers qui ne sont autre chose que le prolongement de la tige elle-même; quelquefois cependant ces colliers sont en fer. L'emploi des câbles et tiges en fil de fer oblige à prendre certaines précautions pour empêcher l'oxydation; elles consistent dans l'immersion des fils dans l'huile de lin avant leur fabrication, et dans l'application de plusieurs couches après la pose.

Tablier. Le tablier dans les ponts suspendus, consiste en poutres transversales ou pièces de pont soutenues aux deux bouts par les tiges de suspension et espacées

PONTS.

entre elles de 1^m,25 à 1^m,50. Elles sont reliées par les longuerines formant le trottoir (fig. 2136) et fort



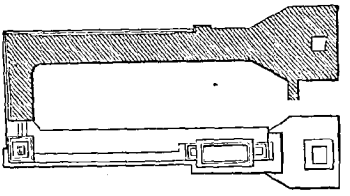
2136.

souvent même par un autre cours de pièces longitudinales placées sous le tablier. Cette liaison des pièces de pont entre elles est très importante; elle a pour but d'éviter les ondulations produites par le passage des voitures en répartissant leur poids sur un plus grand nombre de tiges. Le plancher est formé de forts madriers placés dans le sens perpendiculaire à celui des pièces de pont, et espacés entre eux de 0^m,05 à 0^m,08. Une précaution utile à prendre, consiste à employer des étriers en fer qui servent à assembler la longuerine avec la pièce de pont, et donnent plus de rigidité au système. Après les longuerines viennent, dans le sens transversal, les planches qui devront former le sol sur lequel circulent les voitures. Le trottoir s'établit avec des madriers placés sur les longuerines dont nous avons parlé en premier lieu qui l'exhaussent au-dessus de la chaussée; il est bordé par un garde-corps que l'on utilise en l'employant à la consolidation du pont. Pour cela on donne aux pièces qui le composent la forme de croix de Saint-André venant buter les unes contre les autres; elles s'assemblent à leur sommet dans une pièce longitudinale qui sert de main courante, et à leur base dans la longuerine qui supporte le trottoir. La main courante est en outre reliée de distance en distance par un tirant en fer, qui l'unit davantage avec les croix de Saint-André et forme de cet ensemble un tout solide. Quelquefois les croix de Saint-André, au lieu de s'assembler dans le bois lui-même, viennent s'encastrer aux abords dans des sabots en fonte auxquels sont attachés les tirants en fer; dans ce cas il faut avoir soin de bien calfater le sabot inférieur, afin que l'eau ne puisse y séjourner, et pourrir le bois. En général on doit éviter les garde-corps en fer, surtout pour les ponts dont le passage est actif. Le fer n'a pas assez d'élasticité pour résister aux ondulations; il se déforme quand il ne se rompt pas. Pour que le tablier du pont ne se soulève pas aux abords des piles et culées, on a la précaution de soutenir les longuerines au moyen de corbeaux ou sous-poutres que l'on relie, d'une part à la charpente avec des étriers en fer, et de l'autre à la maçonnerie par un fort encastrement et des tirants en fer, profondément engagés.

Culées. Les ponts suspendus, comme les autres ponts, exigent la construction de piles et de culées, mais leur disposition présente des différences importantes. En effet les culées ne supportent plus, comme à l'ordinaire, une pression, elles ont au contraire à résister à une traction qui doit être contrebalancée par leur poids. Les piles également, en raison de la hauteur des points d'appui qu'elles doivent fournir, ont des dispositions particulières. Le plus souvent, les câbles ou chaînes de suspension, passent sur des piliers ou sur des bielles élevées sur les culées, et s'infléchissent en faisant un angle égal à celui de la tangente à la courbe: ils prennent alors le nom de câbles ou chaînes de retenue. Arrivés au sol ils s'infléchissent de nouveau, s'introduisent dans le massif au moyen d'ouvertures appelées cheminées et y sont fixés définitivement dans les puits ou chambres souterraines, dans lesquels sont

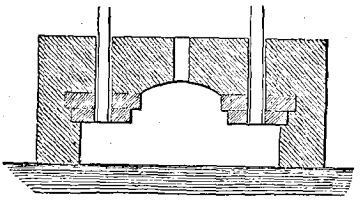
EFERUS - Recherche & Classification numérique

établis les systèmes d'amarrage. Ces massifs doivent être calculés de façon que l'effort qui tend à soulever soit moindre que la composante de son poids dans la direction de cet effort, et que la composante horizontale de la tension soit moindre que le produit du poids de la maçonnerie par le coefficient de frottement 0,76. Si la chaîne, après son inclinaison, est perpendiculaire, on donne au massif 1 mètre cube pour 1000^k de tension. Pour former le massif de retenue on réunit la culée par des murs en retour d'équerre que l'on fait servir à supporter la traction (fig. 2137). Une bonne disposition con-



2137.

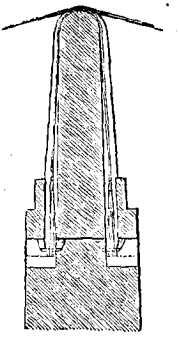
siste à réunir les puits par une voûte en arc de cercle dont les retombées aboutissent aux puits d'amarrage, et viennent ajouter à la stabilité par leur poids et par celui des terres que supporte la voûte. Les câbles sont retenus dans les puits par de forts goujons en fer qui passent dans les crouppières et s'appuient sur une plaque de fonte solidement encastrée dans la maçonnerie (fig. 2138).



2138.

Il est important que le point d'inflexion se fasse au dessous du sol afin que les assises de pierre ne glissent pas les unes sur les autres entraînées par la tension, à moins cependant que l'on appareille les pierres en voûte. On doit aussi prendre garde que la résultante au point d'inflexion ne sorte pas de la culée. Quand l'amarrage est terminé, on remplit les cheminées de chaux pour conserver le fer et on recouvre leur orifice d'une dalle en pierre ou en fonte. On ménage toujours une ouverture qui permet de descendre dans le puits et de visiter les points d'attaches. Dans certaines circonstances, si le sol est très résistant, on n'a plus besoin d'élever un massif en maçonnerie pour faire équilibre à la tension, on se contente d'assujettir les câbles dans le sol lui-même au moyen de voûtes renversées. C'est ce qui a eu lieu au pont de Fribourg.

Piles. Les piliers se construisent tantôt en maçonnerie, tantôt en fonte. Lorsqu'ils sont en maçonnerie ils ont la forme de portiques plus ou moins ornés de colonnes ou de pilastres. Les câbles peuvent y être attachés ou ne faire qu'y reposer. Quand ils y sont fixés on fait usage d'un chevalet en fonte avec patin, muni de 4 forts tirants en fer, qui descendent jusque dans le bas de la pile, où ils sont scellés; ce chevalet porte un fort goujon en fer forgé auquel sont assujettis les câbles. On peut aussi faire passer les câbles de chaque côté du pilier en les courbant, et les amarrer dans



2139.

la pile; alors la pile joue réellement le rôle de culée et porte ce nom. Nous en donnons un exemple fig. 2139. Dans tous les cas, il faudra calculer l'épaisseur de la maçonnerie, en prenant le moment de la composante horizontale, appliquée au sommet du pilier et l'égalant au moment de la résistance, qui est le poids du pilier et de la pile, appliqué au centre de gravité. Si le câble ne fait que reposer sur la pile, on le supporte au moyen d'un chariot, ou système de rouleaux en fonte, reliés entre eux, qui a pour but de permettre le glissement des câbles et une répartition de la charge. Afin d'éviter l'emploi des piliers en maçonnerie qui sont coûteux et obstruent quelquefois la vue, on a souvent imaginé de se servir de la fonte à laquelle on donne la forme de bielles ou de colonnes : quand on les voit de face elles ont la configuration des solides d'égale résistance; latéralement, elles ont une forme trapézoïdale dont le plus grand côté est à la base, afin qu'elles aient plus de stabilité; leur hauteur est de 2^m,75, et leur largeur à la base 0^m,92. Elles sont terminées au sommet par une partie circulaire, afin que le câble vienne s'y étendre en s'aplatissant et ne se courbe pas brusquement, ce qui pourrait occasionner des ruptures dans les fils. La partie inférieure a la forme de couteau et est placée dans un coussinet en fonte, de telle sorte que la bielle peut prendre un mouvement d'oscillation; le tout repose sur un socle en pierre. Telle était la disposition adoptée au pont de Bry. D'autres fois, comme aux ponts de Saint-Denis, de Triel on donne à la fonte la forme d'une colonne terminée par un couteau à sa partie inférieure et par un chevalet et un fort goujon au sommet. Au pont de Curel on a dissimulé le fût de la colonne sous une base rapportée. Lorsque l'on fait usage de supports en fonte dans des ponts qui ont plusieurs travées, il est indispensable de les rattacher aux piles ou culées au moyen d'un hauban, ou câble oblique qui part du sommet et se fixe dans la maçonnerie, comme les câbles de tension. En effet, il pourrait arriver qu'une de ces travées fût chargée de poids considérables, tandis que l'autre ne le serait que fort peu, alors elle serait soulevée et la colonne prendrait des oscillations nuisibles à la solidité du pont, si même elle n'était pas déversée. Une autre innovation, qui n'est pas moins bonne que la première, consiste à employer du fer pour former les pièces de pont auxquelles on donne la forme de solides d'égale résistance. Elles sont composées de barres de fer cintrées et réunies entre elles par des tirants et des pièces obliques, qui empêchent leur déformation; elles n'ont pas l'inconvénient de fléchir et ne sont pas sujettes à se pourrir comme les pièces de pont en bois qu'il est difficile de remplacer. M. Chaley a employé pour poutrelles des tuyaux ou cylindres en fonte qui ont complétement réussi. Pour terminer ce qui regarde les ponts suspendus, il nous reste à dire un mot de ceux qui sont les plus remarquables. Le pont de Fribourg, qui tient le premier rang, n'a qu'une seule travée de 265^m, nécessitée par la profondeur de la vallée sur laquelle il est établi. Ses chaînes sont supportées par des portiques de 20^m de hauteur et de 5^m d'épaisseur; elles viennent ensuite s'attacher dans le roc de la façon que nous avons indiquée déjà. Ce pont, d'une construction si hardie et si élégante, n'offre peut-être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas assez de rigidité dans son tablier qui ondule au passage des voitures, malgré les dispositions prises par le constructeur, avec trop de timidité, comme l'ont montré les constructions américaines dont nous allons parler. Au pont de Menay, en Angleterre, qui est élevé d'au moins 30 mètres au-dessus de la mer, afin de permettre aux bâtiments à voiles de passer au-dessous, on a tendu 4 chaînes qui forment trois travées : une au milieu pour les piétons et 2 latérales pour les voitures. Les piles sont en outre évidées afin d'alléger autant que possible la maçonnerie, car le terrain sur lequel on avait à fonder était très-mauvais. Il a été fait de même à Cubzac, où l'on avait également à réserver le passage des navires, et, en outre, une largeur de 500 mètres, mais on a adopté 5 travées ; les piliers au lieu d'être en maçonnerie sont en fonte, ayant la forme de colonnes, reliées par des haubans. Parmi les ponts de moindre importance, mais qui sont néanmoins d'une construction remarquable, nous citerons le pont de Genève dont les chaînes ont été placées en dessous du tablier, les ponts de Saint-Denis, construits avec autant de légèreté que d'économie, en deux travées, chacune supportée par une colonne en fonte, munie de haubans ; le pont de Triel et de Brie sur la Marne, où l'on a fait usage de bielles en fonte. Les supports de ce dernier pont sont peut-être un peu faibles au sommet et il est à craindre qu'ils ne nuisent à la solidité de l'ouvrage. Enfin, nous citerons le pont de Curel sur la Marne, où l'emploi de la fonte, pour les colonnes et le tablier, a permis de réaliser une grande économie sans nuire cependant à la solidité.

Constructions américaines. Après avoir joui d'une grande faveur à l'origine, les ponts suspendus ont été tout à fait abandonnés en France. De nombreuses ruptures, et surtout l'accident d'Angers, où un détachement de troupes périt parce qu'il avait continué à marcher au pas, firent condamner un système qui ne fournissait pas des conditions de durée et de solidité suffisantes. Pendant ce temps, il était au contraire repris et perfectionné en Amérique pour des travées d'une largeur exceptionnelle. Les constructions américaines se distinguent des nôtres par la réunion d'un pont en tôle et d'un pont suspendu, par de nouveaux organes, qui sont :

1° Des poutres longitudinales ou autre disposition équivalente de ponts en tôle à treillis d'une grande rigidité ;

2° Des arceaux boulonnés, faisant un arc d'une seule pièce ;

3° Des tirants inclinés ou haubans, partant des tours qui supportent les câbles de suspension et venant s'attacher au tablier, jusqu'à une certaine distance des tours, destinés à supporter les suppléments de poids qu'apportent les charges mobiles.

C'est à l'ingénieur John Rœbling, mort en 1869, que l'on doit le genre de construction dont il s'agit. Le raisonnement dont il est parti est le suivant : Soit *acd* la

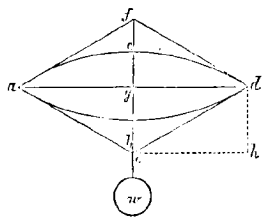


Fig. 1.

courbe d'un arc de pont métallique (fig. 1), les poids dont il est chargé tendent à écarter les extrémités *a* et *d* ; aussi les réunit-on par un tirant *ad*, qui annule toute action extérieure. Si un second arc semblable au premier, mais renversé, était placé au-dessous du premier, chargé des mêmes poids et exactement de la même manière, les extrémités tendraient à se rapprocher au lieu de s'écarter, comme dans le cas précédent. Donc, en employant simultanément ces deux arcs, on pourra supprimer le tirant *ad*, qui pèse presque autant que l'un d'eux, les points *a* et *d* se trouvant soumis à l'action de deux forces égales et de sens contraires. De plus, la résistance du système sera doublée, ou, si l'on aime mieux, les efforts supportés diminués de moitié pour chaque arche ; les poids pourront être considérablement réduits, et par suite le système convenir pour des portées tout à fait extraordinaires.

L'arche concave est nécessairement du genre de construction des ponts suspendus, et c'est son bon emploi concurremment avec celui de l'arche convexe en tôle, qui se rapproche de celle des bowstrings (Voyez SERRURERIE, ponts en fer), qui a été l'objet des méditations de l'ingénieur, dont les calculs se sont appliqués à rendre la tension dans la première peu différente de la compression dans le second.

Nous décrirons, pour préciser les détails de construction de cet intéressant système quelques ponts de ce genre (fig. 2). Le premier établi est le pont du Niagara, construit de 1851 à 1855, à 3 kilomètres au-dessous de la chute. Il présente deux tabliers superposés à 7 mètres environ de distance verticale ; sa largeur totale est de $7^m,30$. Le tablier inférieur sert pour les voitures ordinaires et les piétons. Le tablier supérieur porte une voie de fer ; les rails reposent sur deux longrines, consistant chacune en poutres pleines superposées. Les deux tabliers sont reliés par deux grandes fermes composées de semelles et de montants en bois avec tirants inclinés en fer ; les montants sont formés de moises qui embrassent non-seulement les croisillons en fer, mais aussi une semelle intermédiaire en bois.

Il y a quatre câbles de suspension, dont deux sont reliés par les tiges au plancher supérieur et deux au plancher inférieur.

Le poids permanent supporté par les câbles de suspension est de 600 tonnes de bois et 400 tonnes de fer, y compris le poids des câbles. La dépense de construction du pont s'est élevée à 400,000 dollars, environ 2 millions de francs.

Le fléchissement du tablier, quand il est couvert d'un bout à l'autre par des wagons de marchandises à charge pleine, n'excède pas $0^m,25$. Si d'ailleurs, à l'aide d'un niveau placé sur l'une des deux culées, on observe le passage d'une lourde locomotive et de son tender, on découvre à peine une flexion quelconque tant que la machine n'a pas dépassé la portée des haubans ; au delà l'affaissement augmente rapidement.

Un pont d'aval a été ensuite construit sur le Niagara ; c'est encore un pont suspendu sur lequel passent les locomotives. La traversée s'opère d'ailleurs lentement. On limite la vitesse à 8 kilomètres à l'heure.

Le pont de Cincinnati sur l'Ohio, qui a 322 mètres d'ouverture et $30^m,50$ de hauteur au-dessus de l'eau, présente, avec une largeur de $10^m,94$, une double voie charretière entre deux passages de piétons. Il n'y a ici que deux câbles au lieu de quatre. Mais la voie charretière est comprise entre deux pontres de $3^m,10$ de hauteur, et les garde-corps des trottoirs sont aussi des poutres de moindre hauteur. Les tiges de suspension viennent s'attacher sous les grandes poutres dans la partie centrale du pont et sous les petites dans les parties voisines des piles, les plans des câbles étant inclinés sur la verticale en se rapprochant vers le bas. Les tours s'élèvent à 40 mètres au-dessus du plancher et le nombre des haubans est porté à 20 par demi-câble.

Ce pont a coûté près de 9 millions de francs. Il est, dit-on, d'un entretien très-dispendieux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PONTS.

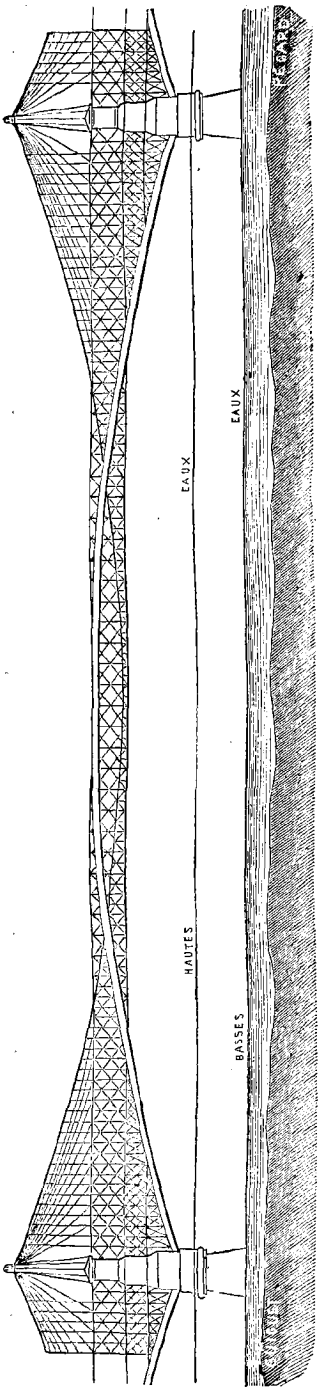


Fig. 2.

Le pont de Niagara-Falls, achevé en 1869, comprend une seule travée de 386m,84 entre les points de suspension. C'est la plus grande ouverture qu'un pont ait jamais franchie sans supports intermédiaires. La largeur du tablier n'est que de 3m,05. Les câbles sont supportés par des tours provisoires en charpente.

La dépense s'est élevée à 600,000 francs. Ce pont n'est qu'une simple passerelle, destinée principalement à livrer passage aux touristes qui viennent contempler les cataractes du fleuve. Toutefois une voie de tramway occupe le milieu du tablier.

Il y a seulement deux câbles de suspension qui descendent au niveau du tablier dans le milieu du pont. En ce point minimum ils ne sont espacés que de 3m,66 d'axe en axe, tandis qu'en haut des tours ils le sont de 12m81, ce qui fait un surplomb latéral de 4m,57. La flèche est verticalement, et à la température moyenne de 27m,70 ; dans le plan incliné du câble, elle est de 28m,13.

Il y a douze haubans pour chaque demi-câble, quarante-huit en tout. Ils arrivent jusqu'à mi-chemin du centre. Le plus long hauban est tangent à la courbe du câble au point de suspension; les autres vont s'attacher à la plate-forme à des intervalles de 7m,62. Leur diamètre varie de 0m,08 à 0m,14. Ces douze haubans, qui se rapprochent en montant vers le haut de la tour, se joignent un peu avant d'y arriver et s'assemblent avec sept autres tiges réunies en un faisceau; ce faisceau passe sur un chariot spécial, puis s'accole au câble de suspension en descendant vers la terre où d'ailleurs il trouve un amarrage distinct. Du côté de la rivière, les haubans descendent dans le plan des câbles de suspension, et un lien les rend jusqu'à un certain point solidaires de chacune des tiges de suspension qu'ils croisent.

Quatre liens horizontaux (deux vers chaque rive) en câble de 80 millimètres de diamètre, relient les deux câbles de suspension à une hauteur convenable pour ne pas gêner le passage. Quatre autres liens (deux encore pour chaque rive), partant du pied des tours, vont comme des brides de cheval s'attacher aux deux câbles à 33m,55 de distance.

Des amarres extérieures, fixées par un anneau à la semelle inférieure des poutres, relient le tablier sous des inclinaisons variées à la crête de la berge ou à de gros blocs noyés dans le talus. Bien que ces amarres soient, comme les tiges de suspension, des câbles de 16 millimètres de diamètre, elles sont à peine visibles à l'œil nu. Elles s'étendent presque jusqu'au milieu du pont. Il y en a vingt-huit en amont et vingt-six en aval.

La tour de la rive gauche a 32m,02 de hauteur, celle de la rive droite 30m,50; elles atteignent ainsi au même niveau. Chacune d'elles a la forme d'une pyramide tronquée. Elles sont séparées par un intervalle de 3m,96 à la base; mais à une hauteur convenable les pièces horizontales se prolongent d'une pyramide à l'autre et en font une tour unique. Chaque pyramide est couronnée par un chapeau en fonte supportant le double chariot sur lequel passent le câble de suspension et celui des haubans réunis.

Les deux poutres longitudinales du tablier, qui font garde-corps sur 1m,50 de hauteur, sont en charpente et construites dans le système Howe. Les pièces de pont reposent sur les semelles inférieures. Deux séries de contre-fiches en fer contrebutent chaque poutre tant au dedans qu'au dehors. L'un des rails de la voie de fer est contigu aux contre-fiches intérieures d'aval, de sorte qu'il reste en avant de la voie assez d'espace pour que les piétons puissent partout circuler sans danger à côté des voitures ou des traîneaux. Une sonnerie, qui met en communication les deux postes établis aux extrémités du pont, sert à empêcher que deux voitures marchant en sens contraire ne s'y engagent à la fois.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans tous les ponts dont nous venons d'indiquer les principaux éléments, les câbles et les tiges de suspension, les haubans et les amarres extérieures, sont tous formés de câbles en fil de fer. Les fils sont tordus et non parallèles. Pour éviter les soudures et épissures qui constituent autant de points de rupture, on a tenu à employer des fils continus et d'un seul morceau.

Leur longueur par suite est considérable. Elle atteint 582m,55 au pont de Niagara-Falls. Ces fils ont été fabriqués à Manchester par un procédé nouveau. On avait des tiges de 4m,57 de longueur et de 11 centimètres carrés de section pesant 63k,42. On en tirait par une seule opération et en moins d'une minute des fils de la longueur et de la grosseur requise. A cet effet on chauffait les tiges au rouge blanc dans un fourneau à gaz et on les faisait passer par une série de filières jusqu'à ce qu'ils fussent graduellement réduits au diamètre du n° 3 du calibre de Birmingham; une extrémité de la tige était encore dans le fourneau quand l'autre s'enroulait déjà autour de la bobine; puis le fil était étiré dans trois trous et amené ainsi au diamètre de 3mm,8. Avec dix-neuf fils on faisait un brin et avec sept brins un câble élémentaire.

Chacun des câbles de suspension est composé de sept câbles élémentaires et contient ainsi neuf cent trente et un fils. Le brin central de chaque câble élémentaire étant rectiligne, tandis que les autres sont enroulés en spirale autour de lui, sent le premier l'effort d'une charge appliquée subitement et rompt le premier. A raison de cette circonstance, M. Samuel Keefer, ingénieur du pont de Niagara-Falls, a fait le brin central en fer doux tandis que les autres sont en fer dur. Le fer doux étant plus ductile, le brin central s'allonge jusqu'à ce que ceux qui l'entourent soient amenés à un état de tension tel qu'ils travaillent tous ensemble.

Roebling a également perfectionné le mode d'attache des câbles. Son système consiste à employer une plaque de fer percée d'un trou conique dans lequel on engage l'extrémité du câble. Le plus petit trou du diamètre est un peu supérieur à celui du câble, le plus grand est le double de l'autre. On épanouit les fils dans l'intérieur du cône et on chasse des clous en fer, de manière que la cavité soit parfaitement remplie. On commence par des clous occupant toute la longueur et on achève avec d'autres qui sont plus petits et plus minces. Les fils sont huilés ainsi que les clous; ceux-ci sont arrondis à la lime. A la fin on retourne à angle droit, sur la tête des clous, les bouts des fils qui font saillie sur la plaque; puis on coule du plomb qui achève de remplir les vides et on mate soigneusement.

M. Keefer a encore amélioré cette disposition au pont Niagara-Falls. Avant d'engager le câble dans le trou conique de la plaque, il l'a fait passer dans la gorge creuse d'une croupière de fonte, se rapprochant par sa forme d'une ellipse dont le petit diamètre est égal au double de la circonférence du câble et dont la longueur est triple de ce diamètre. La plaque d'amarrage forme une pièce unique avec la croupière. Les ingénieurs des États-Unis considèrent ce système comme supérieur à tous ceux usités en Europe.

Nous renverrons à l'intéressant rapport fait par M. Dallot à la Société des Ingénieurs civils de l'ouvrage de M. Malézieux sur les travaux publics aux États-Unis (auquel nous empruntons la plus-grande partie de cette étude) pour la description des autres travaux de même genre, et notamment sur le pont si audacieux sur le bras de mer qui sépare New-York de Brooklyn.

Les États-Unis, ajoute-t-il, sont-ils fondés à revendiquer la découverte des principes qui permettent de placer le pont suspendu dans des conditions de stabilité et de durée égales à celles des autres systèmes; est-ce à eux que l'art de l'ingénieur doit les moyens de franchir avec sécurité des portées regardées jusqu'ici comme inabordables? Nous répondrons à cette question par la citation suivante empruntée au traité de la construction des ponts métalliques, publié par MM. Molinos et Pronnier en 1857. Ces ingénieurs avaient dès lors fixé les règles à observer.

« La construction des ponts suspendus, quoiqu'elle doive incontestablement être rangée parmi les plus intéressantes et les plus utiles, n'a participé en rien des progrès que les autres branches des arts ont faits dans ces derniers temps à côté d'elle; ces ponts se bornent à un type unique qui depuis l'origine n'a subi que des variations insignifiantes.

« Leur utilité ne s'est manifestée que par les nombreuses reproductions de ce type qui, toujours reconnu vicieux par l'expérience, a fini par être justement condamné par l'opinion, et semble maintenant devoir être définitivement abandonné.

« De ces tentatives malheureuses il est résulté dans le public des préjugés aujourd'hui fort enracinés au sujet de ces ponts. Il semble, en effet, qu'un pont suspendu consiste essentiellement en un tablier très-léger lui-même, soutenu par des tiges verticales reliées à une ou plusieurs chaînes en forme de cordes, le tout présentant un ensemble déformable sous l'action des moindres surcharges, vibrant sous le pas d'un cheval au point de donner souvent de graves inquiétudes, que de fréquents et terribles accidents légitiment du reste.

« Il est certain, cependant, que ces inconvénients ont leur source non pas dans le système même des ponts suspendus, qui est des plus rationnels, c'est-à-dire des plus économiques, à sécurité égale, qu'on peut rencontrer, mais bien à la manière dont ce système a été traduit en pratique dans la plupart des constructions de ce genre exécutées jusqu'à présent; il suffira pour démontrer ce point d'examiner le mode de résistance de ces ponts.

« Un pont suspendu doit en effet se composer d'une chaîne ayant la forme de la courbe d'équilibre, c'est-à-dire à peu près d'une parabole. A cette chaîne est suspendu au moyen de tiges un tablier qui porte les surcharges.

« Dans ce système, tout le métal employé travaille à la traction, c'est-à-dire dans les conditions de résistance les plus favorables.

« En donnant à la chaîne une certaine hauteur sur les piles, on peut, eu égard à son développement, trouver la position qui correspond au minimum de métal, et rendre ces ponts excessivement économiques par rapport aux autres systèmes; un seul inconvénient leur est reproché, c'est leur facilité à vibrer: voyons quelle en est la cause.

« Dans toutes ou presque toutes les constructions de ce genre, le tablier du pont suspendu se compose de poutres parallèles placées transversalement à l'axe du pont, et dont chaque extrémité est soutenue par une tige verticale. Cette tige est fixée à la chaîne, souvent même à plusieurs chaînes généralement composées de câbles en fil de fer. Lorsqu'une surcharge, telle qu'une lourde voiture, par exemple, vient à passer sur le pont, le poids de cette surcharge est transporté tout entier par une seule tige en un seul point de la chaîne; ces chaînes, n'offrant malgré leur tension que peu de résistance dans le sens vertical, fléchissent en s'approchant de la forme rectiligne, et le tablier descend d'une certaine quantité; on comprend alors que ce mouvement donne naissance à une série d'oscillations qui sont fort longues à arrêter, car la pesanteur est la seule force qui tend à réduire le système au repos.

« Ces oscillations augmentent d'amplitude par la combinaison des efforts qui les produisent, comme l'ensemble du pas de quelques personnes, etc., et soumettent le système à des efforts qui peuvent dépasser considérablement ceux que l'on déduirait de l'équilibre statique, et amener par conséquent sa ruine totale.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« On voit donc, en résumé, que le problème à résoudre consiste à s'opposer à la déformation de la chaîne : voici comment nous croyons qu'on peut y arriver :

« Il ne faut pas d'abord qu'une surcharge puisse jamais être transmise à la chaîne en un seul point à la fois; il faut, au contraire, que ces surcharges soient toujours réparties sur la plus grande longueur de chaîne possible.

« Les dispositions qui conduiront à ce résultat seront d'abord l'emploi de tabliers formés de poutres en croisillons ou de poutres parallèles, reposant sur des poutres longitudinales, qui elles-mêmes sont sontenues par les tiges; ensuite, les tiges ne doivent pas être verticales, mais disposées en croisillons de manière à former une espèce de latice, de telle sorte qu'un poids placé en un certain point du tablier soit, par l'intermédiaire de ce latice, réparti sur une grande longueur de chaîne à la fois; il faudrait renoncer aux tiges en fil de fer, pour leur substituer les fers à T laminés, rivés tous ensemble à tous leurs points de rencontre, et produisant par conséquent des décompositions de force propres à atteindre encore mieux le but proposé.

« Enfin, et c'est le point le plus important, nous croyons que les chaînes elles-mêmes doivent être contruites dans un tout autre esprit.

« La presque totalité des chaînes actuellement employées pour les ponts suspendus se compose de câbles en fil de fer; les raisons qui ont poussé à ce choix sont de deux natures : d'abord, il est vrai que le fil de fer présente, sous la même section, une résistance plus considérable que les autres espèces de fer, et qu'il est d'une qualité supérieure et plus égale; ensuite, l'emploi des fers laminés a rencontré longtemps dans les arts une opposition basée en partie sur un préjugé: on pensait généralement qu'on devait accorder au métal et à ses différents modes d'assemblage une confiance très-restreinte. De grandes expériences, des travaux qui doivent servir de modèle ont été exécutés depuis, et nous croyons pouvoir dire que c'est en effet là une opinion erronée. Des tôles rivées peuvent être employées à résister à un effort de traction avec autant, nous dirons même plus de sécurité que les câbles en fil de fer; ces derniers sont certainement soumis à une incertitude beaucoup plus large par leur fabrication même, et par les plus grandes facilités qu'ils présentent à l'action destructive de l'air. Il est en effet difficile de s'assurer que tous les fils d'un câble en fil de fer sont également tendus, et c'est pourtant à cette condition seule qu'on peut compter sur sa section; c'est d'ailleurs la manière d'employer le métal qui peut présenter à l'air le plus de surface, et une fois l'oxydation commencée, la destruction la plus rapide. Il est inutile de fournir à l'appui de cette remarque les nombreux exemples d'accidents qui ont eu leur source dans cette seule cause, et où des câbles mal entretenus ont été détruits dans un temps très-court, lorsque dans les mêmes circonstances une masse homogène eût certainement résisté.

« Nous ne pensons donc pas qu'on doive, ainsi qu'on l'a fait généralement jusqu'à ce jour, considérer les câbles en fil de fer comme le mode d'exécution le plus convenable des chaînes de ponts suspendus, les fers laminés ou les tôles rivées nous paraissent de beaucoup préférables, et l'emploi de ce dernier système introduirait en même temps dans la construction de ces ponts une amélioration radicale: c'est la possibilité de donner à la chaîne une forme telle qu'elle soit capable d'une résistance suffisante dans le sens vertical pour ne plus se déformer.

« Un pont suspendu est-il donc autre chose qu'un pont en arc renversé? Les efforts auxquels la chaîne est soumise sont identiques à ceux qui sont supportés par l'arc ordinaire, si ce n'est qu'au lieu d'un effort de compression, chaque fibre supporte un effort de traction; la même analogie existe entre les tympans et le latice du pont suspendu; on voit donc que ce problème de faire un pont suspendu sans vibration trouvera sa solution entière dans les modifications que nous proposons.

« Si, au reste, on pouvait conserver encore à ce sujet quelques doutes, il suffirait, pour les lever complétement, de réfléchir à l'analogie qui existe entre les bow-strings et un pont suspendu, analogie que les quelques mots qui précèdent mettent en évidence; or, malgré la position très-désavantageuse dans laquelle est placé l'arc du bow-string par rapport à la chaîne, puisque le premier travaille à la compression, c'est-à-dire dans un équilibre instable, tandis que la chaîne et tout le système des tympans, soumis uniquement à des efforts d'extension, sont dans un équilibre stable, les exemples des bow-strings exécutés sont bien propres à démontrer que ces ponts peuvent parfaitement servir au passage de trains de chemin de fer, et qu'à plus forte raison, des ponts suspendus construits suivant les règles que nous indiquons atteindraient également ce but, le métal s'y trouvant employé dans des conditions de résistance et surtout de stabilité supérieures. »

Ponts biais. Jusqu'ici nous n'avons parlé que des ponts établis perpendiculairement aux cours d'eau ou aux routes qu'ils sont destinés à franchir, mais il arrive souvent dans les tracés de chemin de fer et les canaux, que l'on est conduit à établir un pont biais par rapport aux obstacles que l'on rencontre; alors on adopte un appareil particulier qui varie suivant la nature des matériaux que l'on a à sa disposition. On pourrait bien, il est vrai, former la voûte biaise d'une série de petites voûtes droites qui reporteraient toute la poussée dans le sens parallèle au chemin ou au canal, mais cette disposition, désagréable à l'œil, ne permettrait pas de relier suffisamment entre elles les différentes zones dont l'ouvrage serait composé.

Ces ponts offrent quelque difficulté dans l'appareillage pour les ponts en pierre ou les têtes des ponts en briques, qui se font toujours en pierre. Cette question a été traitée à l'article STÉRÉOTOMIE du *Complément*. Nous y renverrons. Les ponts en tôle remplacent aujourd'hui les ponts biais en pierre, la plupart du temps, pour les chemins de fer.

Ponts mobiles, bacs. Les ponts fixes ne sont pas toujours applicables sur les rivières et sur les canaux, quand les rives sont basses et qu'on ne peut pas les élever, ou que les besoins de la navigation s'y opposent. Si le passage est peu important, on fait usage de bacs ou bateaux de 6 à 10 mètres, que l'on conduit soit à l'aide d'une corde fixée en travers de la rivière, soit à la rame. Dans le cas où l'on craint que cette corde ne gêne le passage des bateaux à voiles, on fixe au milieu de la rivière un câble, que l'on supporte de distance en distance par des bateaux, et auquel est attaché le bac; suivant la position du gouvernail, le courant lui imprime un mouvement de droite ou de gauche, et lui fait décrire ainsi un arc de cercle d'une rive à l'autre. (Voy. BAC.)

Ponts de bateaux. Si la circulation est plus active, on a recours aux ponts de bateaux. Ils consistent en un plancher avec garde-corps en bois porté par une suite de bateaux liés entre eux par des poutrelles. Lorsque l'on veut donner passage à la navigation, on fait passer sur le côté un ou deux bateaux, que l'on dirige avec le gouvernail, et on les replace ensuite dans leur position primitive. Le plan incliné qui donne accès au tablier du pont doit être mobile et suivre les crues du cours d'eau.

Le plus souvent les ponts mobiles sont établis sur des canaux, et alors on ne saurait avoir recours à ces solutions; on se sert pour les franchir de ponts-levis, de ponts glissants et de ponts tournants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ponts-levis. Les ponts-levis sont formés d'un tablier mobile autour d'un axe, mû au moyen d'un châssis en bois auquel sont attachées deux chaînes ; l'une qui soulève le tablier, l'autre au moyen de laquelle on imprime au châssis un mouvement de rotation. On ne les emploie que pour des ouvertures de 4 à 5 mètres, quand ils n'ont qu'une seule volée, et pour des ouvertures de 8 à 10 mètres, quand ils en ont deux. Dans les places de guerre les ponts-levis sont à une volée. Généralement on profite des murs pour y établir les appuis. On les soulève au moyen de contre-poids suspendus à l'extrémité de la chaîne, qui s'enroule sur une poulie. A mesure que le tablier se soulève les contre-poids viennent poser sur un plan, mais il en reste toujours assez pour faire équilibre au tablier dans la position qu'il occupe. On peut aussi se servir de la chaîne elle-même, à laquelle on donne une pesanteur convenable ; on l'attache à un point fixe, de façon qu'à mesure que le pont se lève il reste toujours une portion de cette chaîne capable de faire équilibre à la partie soulevée.

Le tablier n'est pas toujours mû de la même façon. Dans certains cas, quand l'ouverture est peu considérable, on emploie un quart de cercle dentelé fixé au tablier, et un cric à engrenages multiples au moyen duquel on met en mouvement le pont. D'autres fois on maintient le pont horizontal par un taquet, et pour donner passage aux bateaux on le fait basculer dans une fosse circulaire ; mais les fosses ont l'inconvénient de n'être pas toujours étanches, et d'ailleurs le pont a une longueur plus grande que celle qui est nécessaire au passage.

Nous renverrons aux cours de fortifications les personnes qui voudraient faire une étude spéciale de la construction des ponts-levis dont la théorie a fait l'objet de fort beaux travaux de plusieurs savants officiers du génie militaire, nous pensons cependant qu'on verra ici, avec plaisir, quelque indication de ces intéressants travaux.

Nous ne reviendrons pas sur le pont-levis à flèche que tout le monde connaît, et qui est surtout précieux par sa simplicité. Son maniement est incommode; sans doute, on peut équilibrer le tablier du pont par le contre-poids mis en arrière des flèches, et l'équilibre peut continuer pendant le mouvement par une construction convenable, mais bientôt l'effet du bois le dérange. De plus, la nécessité d'avoir un point fixe très élevé nu-dessus du passage, rend ce système peu applicable dans l'industrie, tandis que cet inconvénient n'existe pas pour les portes de villes fortifiées.

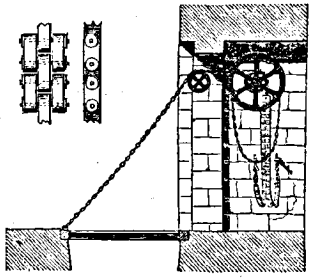
Les ponts-levis les plus remarquables sont les ponts-levis à contre-poids et à chaînes établis en vue d'obtenir un équilibre absolu dans toutes les positions du tablier. On distingue parmi les systèmes à chaînes celui de Belidor, dans lequel deux contre-poids, suspendus par des chaînes roulent sur deux courbes dites *sinusoïdes;* le pont-levis à spirale du capitaine Derché, dans lequel le contre-poids est suspendu à une chaîne qui s'enroule sur une spirale, et enfin le pont-levis à la Poncelet que représente la figure 1.

Dans ce pont-levis, l'équilibre est obtenu d'une manière permanente à l'aide d'une grosse chaîne de Galle (voir le détail figure 2), dont le poids agit sur le tablier, en raison de sa position; c'est-à-dire qu'une partie d'autant plus grande du poids de cette chaîne est soutenu par des points fixes, que le tablier approche davantage de la verticale.

Ce système, dont la construction est très élégante et dont le savant M. Poncelet a établi toutes les conditions d'exécution dans des recherches qui sont d'admirables modèles de mécanique appliquée, a encore le défaut que nous avons signalé : d'exiger un point d'attache placé très haut, ce qui le rend peu applicable dans beaucoup de cas, dans l'industrie.

Il n'en est pas de même d'un curieux pont-levis dû au capitaine du génie Delile, cet esprit inventif qui

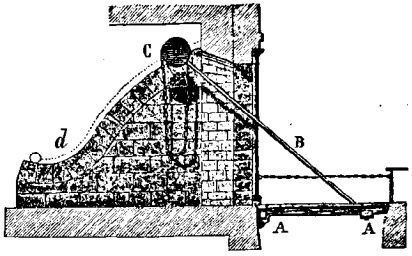
2



1.

sut, il y a trente ans, montrer, sans être compris, tous les avantages que devait offrir l'emploi de l'hélice dans la navigation maritime et qui assurait l'empire de la mer à la France si elle voulait la première construire une flotte de guerre mue par l'hélice. C'est surtout un perfectionnement dû à M. le colonel du génie Bergère qui rend avantageuse le système Delile.

Le tablier A du pont Delile (fig. 3) s'élève au moyen



3.

de deux barres en fer B, B qui par l'une de leurs extrémités embrassent un fort boulon fixé au tablier, et de l'autre un essieu aussi en fer, terminé par deux cylindres C, qui descendent en roulant sur deux courbes *d*, tracées de telle manière que le système soit en équilibre dans toutes les positions successives du tablier.

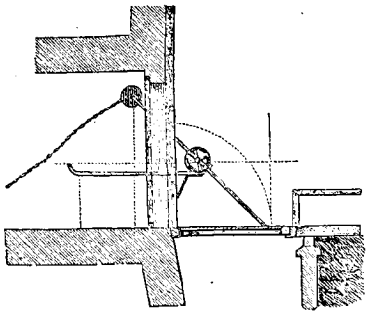
Sans entrer dans la théorie qui démontre la possibilité d'obtenir des courbes donnant toujours l'équilibre exact, théorie que l'on trouvera dans le *Cours de Mécanique* de M. Poncelet, nous pouvons indiquer la conséquence tirée par M. Bergère. C'est que, puisque l'équilibre existe toujours, le centre de gravité reste sur une ligne horizontale. Par suite de cette curieuse propriété, on peut (fig. 4) supprimer la courbe des contre-poids et manœuvrer le pont-levis en établissant les contre-poids solidaires aux extrémités des barres, et faisant mouvoir le milieu de ces barres sur un plan horizontal placé à moitié de la hauteur de l'extrémité supérieure de la barre. Il suffit pour cela d'établir au ce milieu une petite roue dont l'axe traverse la barre, et qui roule sur un plan horizontal à mesure que l'on tire les contre-poids de haut en bas, ou le milieu de la barre horizontalement, pour élever le tablier.

La traction sur les contre-poids imprime à la roue un mouvement de translation et de rotation. Il était dif

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PONTS.

ficile d'imaginer une solution plus élégante du problème des ponts-levis, plus facilement applicable dans les travaux de l'ingénieur, pour les embarcadères, etc.



4.

On peut voir dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* (1848), les détails d'un embarcadère de ce système, établi avec succès au port de Brest. Les roues qui glissent sur un petit chemin de fer ont 1 mètre de diamètre, et les dimensions sont telles que les contre-poids ne touchent pas le sol quand le pont-levis est dressé verticalement.

Ponts roulants. Les ponts roulants se composent d'un tablier mobile sur des rouleaux en fonte, placés dans une chambre préparée à cet effet. A l'extrémité se trouve un plan incliné. Dans ces sortes de ponts le plancher a l'inconvénient de glisser quelquefois difficilement sur les rouleaux, et exige d'ailleurs beaucoup de place.

Ponts tournants. Les ponts mobiles les plus employés sont les ponts tournants. Ils peuvent faire leur évolution, soit à l'aide d'un axe de rotation vertical avec chariot, soit à l'aide d'un axe et d'une cuvette circulaire. Dans tous les cas, cet axe se place sur un massif de maçonnerie à une distance de la berge égale à la moitié de la largeur du pont, afin que lorsque le mouvement de rotation est effectué il ne dépasse pas le parement. Le pivot sur lequel repose toute la charge, se fait avec une tige en fer forgé, de $0^m,12$ environ, aciérée à son extrémité supérieure ; il s'emboîte dans une crapaudine fixée au pont. Autour de lui se trouve le chariot, dont le but est d'empêcher le déversement quand il y a déplacement dans le centre de gravité. Ce chariot est formé de deux cercles concentriques reliés par des bras, et munis de galets coniques qui se meuvent sur un cercle en fonte scellé dans la maçonnerie. Le tablier se compose de poutres horizontales, consolidées en dessous par des sous-poutres ou des arbalétriers venant buter l'un contre l'autre. Afin de diminuer leur portée, elles sont en outre supportées par des haubans en fer qui s'attachent à deux colonnes en fonte placées de chaque côté du pont. Ces colonnes sont portées par une forte traverse placée sur le châssis qui repose immédiatement sur le pivot ; toutes ces pièces sont reliées transversalement par des moises, boulonnées au dehors et non pas dans l'épaisseur du bois, ce qui pourrait l'affaiblir. Le sol sur lequel passent les voitures et les piétons est en madriers ; il est disposé de manière à présenter une voie charretière de $2^m,50$ à 3^m, et des trottoirs de 1^m à $1^m,50$. Comme le point de rotation n'est pas au milieu de l'ouverture, il y a une travée plus pesante que l'on est obligé d'équilibrer au moyen de contre-poids. On ménage dans la culée sur laquelle est établi le point de rotation, une chambre ou enclave, dans laquelle le pont vient se ranger quand il est déplacé. Afin de le fixer lors du passage des voitures, on dispose également dans la culée de la rive opposée une partie circulaire, dans laquelle sont établis deux cylindres en fonte dont les axes sont perpendiculaires au plan des eaux. Lorsque l'extrémité de la grande volée vient s'y loger, les coins dont elle est armée viennent opérer sur les cylindres un serrage qui empêche tout mouvement. On fait pivoter le pont au moyen d'engrenages attachés au tablier, et d'un arc de cercle scellé dans la maçonnerie. Dans le cas où le pont a une assez grande ouverture, il se divise en deux parties mobiles qui viennent s'ajuster l'une contre l'autre.

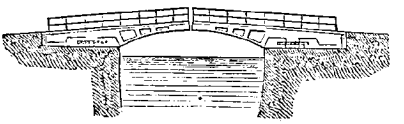


Fig. 5.

Nous donnons figure 5 un exemple de pont tournant.

Les ponts mobiles en fonte sont établis à l'aide de fermes coulées d'une seule pièce et évidées, de manière à les rendre moins massives Les fermes des ponts en fer sont formées de trois tôles de forte épaisseur, évidées et assemblées au moyen de rivets. Ces ponts sont, il est vrai, d'une construction plus coûteuse, mais leur durée est plus grande. Ils n'ont pas l'inconvénient de se déformer comme ceux en bois, ni de nécessiter des réparations fréquentes et coûteuses.

V. BOIS.

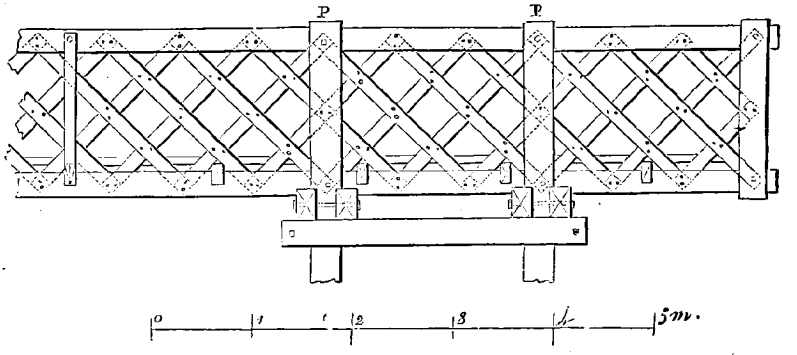
PONTS AMÉRICAINS (anglais, *lattice-bridge*). Les ponts jetés sur les grands fleuves, les lacs et les bras de mer d'Amérique, atteignent des dimensions dont nous ne trouvons en France aucun exemple. Leur longueur est très souvent de 5 à 600 mètres, et il est facile d'en citer d'un développement plus considérable encore. Le pont sur la rivière de Susquehanna à Colombia, et celui du Potomac à Washington entre autres, ont chacun $2.011^m,42$ de longueur, c'est à-dire plus d'une demi-lieue. Ces grands ponts sont formés ordinairement de travées en bois, de 40 à 60^m d'ouverture, supportées sur des piles et culées en maçonnerie. Ils présentent presque tous, à un haut degré, le caractère de hardiesse et d'économie que les constructeurs américains savent imprimer à leurs travaux. Nous ne nous occuperons pas ici de tous les systèmes de charpente employés en Amérique pour l'établissement des ponts à grande portée ; la description de ces ouvrages remarquables doit être réunie à celle des ponts en charpente en général. Nous n'étudierons que la disposition ingénieuse des *ponts à treillage* de M. Ithiel Town, les seuls qui soient, du reste, connus en France, sous le nom spécial de *ponts américains*. Cette combinaison toute nouvelle des bois de charpente présente, dans beaucoup de cas, des avantages incontestables. Elle commence à être souvent employée en France, et nous sommes persuadés que son usage deviendra excessivement fréquent quand elle sera mieux et plus généralement connue.

Nous allons examiner successivement la construction des différentes parties de ce genre de ponts, et nous donnerons, en terminant, quelques indications sur leur prix.

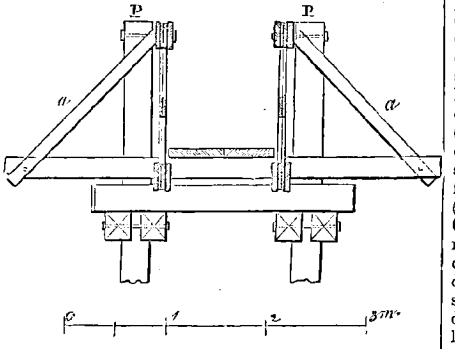
Fermes. Le tablier est ordinairement supporté par deux fermes formées simplement d'un treillis en planches plus ou moins épaisses et moisé, à sa partie inférieure et supérieure, par des pièces longitudinales, comme l'indiquent l'élévation, fig. 2142, et la coupe en travers, fig. 2143, qui montrent la position relative des fermes et du tablier. Les croisillons sont fixés les uns

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur les autres au moyen de clous ou de chevilles en bois. Les moises sont réunies entre elles et au treillis par de forts boulons en fer.



2142.



2143.

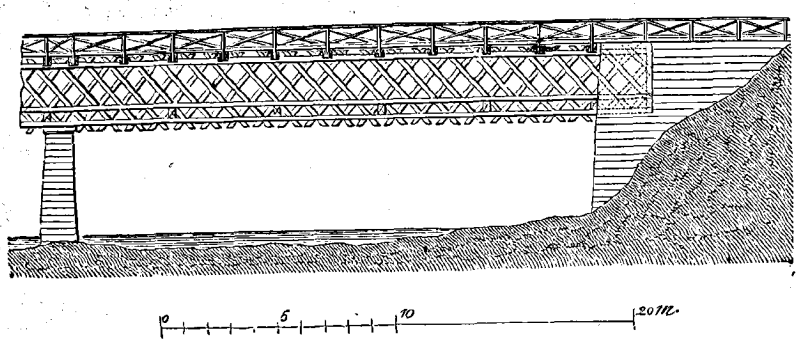
La passerelle de service, dont les fig. 2142 et 2143 indiquent la disposition, a été établie sur le Rhône par M. Garella, pour le passage des ouvriers employés à la construction d'un barrage. Elle se composait de trois travées de 27m,95 d'ouverture chacune supportées par quatre palées en charpente. Les fermes espacées l'une de l'autre de 1m seulement étaient entièrement en sapin et avaient 1m,70 de hauteur. Les croisillons avaient 0m,15 de longueur sur 0m,03 d'épaisseur. Il y avait à chaque croisement deux clous placés alternativement sur une même ligne horizontale ou verticale. Les moises formées de pièces de 20m environ de longueur, réunies à leurs extrémités par des traits de Jupiter, avaient 0m,25 de longueur sur 0m,05 d'épaisseur. Les boulons qui les réunissaient avaient 0m,015 de diamètre. Cette passerelle aurait pu sans danger supporter un poids de près de 400 kilog. par mètre carré superficiel du tablier.

Dans les ponts plus importants, on augmente à la fois la hauteur des fermes, le nombre des moises et l'équarrissage des différents bois. Ainsi, par exemple, les fermes de l'un des ponts construits par M. Robinson, pour le chemin de fer de Philadelphie à Reading, ont (fig. 2144 et 2145) 2m,85 de hauteur. Les croisillons qui forment le treillage ont 0m,30 de longueur sur 0m,075 d'épaisseur; ils sont assemblés à angle droit et réunis à leur point d'intersection par des chevilles en chêne de 0m,0375 de diamètre. Le treillage est relié à sa partie supérieure par deux moises formées par la superposition de madriers de même dimension que les croisillons, c'est-à-dire de 0m,30 de largeur sur 0m,075 d'épaisseur, et à sa partie inférieure par un double cours de moises semblables. La portée de chaque travée est de 23m,40. Les fermes sont engagées de 1m,50 environ dans les culées en maçonnerie. La voie de fer est établie au-dessus des fermes, comme nous l'indiquerons plus loin, et garnie de deux garde-corps. M. Robinson, chargé de construire un autre pont de même nature (fig. 2146 et 2147), destiné à supporter des poids plus considérables encore que le précédent, et dont une travée a 41m,65 d'ouverture, a placé sous chaque tête deux fermes juxtaposées, comme l'indique la coupe en travers (fig. 2147), de 5m,47 de hauteur. Les croisillons ont 0m,254 de longueur et 0m,076 d'épaisseur; ils sont réunis, à chaque point de croisement, par des chevilles en chêne de 0m,03 de diamètre. Les diagonales verticales des losanges du treillage, mesurées d'axe en axe des croisillons, ont 1m,29, et les diagonales verticales, mesurées de la même manière, 1m,18 seulement. Les deux treillages qui forment chaque ferme sont disposés de manière à ce que les vides de l'un soient placés vis-à-vis les pleins de l'autre, comme on le voit dans une partie de l'élévation (fig. 2146). Il y a deux cours de moises à la partie inférieure et deux à la partie supérieure. Enfin, des moises verticales de 0m,305 de longueur sur 0m,152 d'épaisseur sont placées à chaque intervalle de quatre losanges pour compléter la rigidité du système. Les piles qui supportent cette immense construction n'ont que 1m,37 au sommet. La charpente est entièrement en pin de Weymouth (*pinus strobus*), excepté les chevilles et les chapeaux des piles et culées qui sont en chêne blanc.

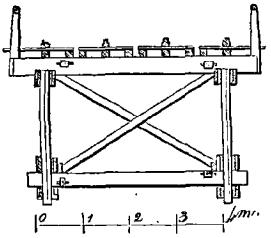
Les fermes sont toujours recouvertes de planches jointives que nous avons cru devoir enlever dans la fig. 2144 et sur une partie de la fig. 2146, pour montrer la disposition de la charpente. Ces planches, en préservant les bois de l'action de la pluie et du soleil, assurent pendant longtemps leur parfaite conservation.

Les ponts de M. Lelong présentent trop d'analogie avec ceux qui nous occupent pour que nous n'en disions pas un mot. Les fermes sont formées, dans ce dernier système de ponts, par deux cours de très fortes moises horizontales réunies par des pièces verticales espacées de 1 à 4m, et par des croix de Saint-André disposées dans les espèces de cadres rectangulaires formés par l'ensemble des moises horizontales et verticales. La construction de ces ponts exige assez peu de bois, et les travées n'exercent sur les culées aucune poussée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique



2144.



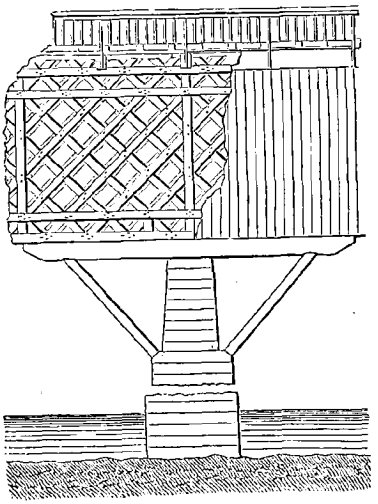
2145

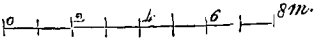
Cependant ils ne présentent pas autant de garanties que les ponts de M. Town, qui sont généralement préférés par les constructeurs.

Tablier. La disposition du tablier dans les ponts à treillage est excessivement simple; il est toujours établi sur les *pièces de pont*, ou poutrelles transversales simplement posées sur les moises horizontales des fermes, ou assemblées avec elles au moyen d'une légère entaille. Pour les passerelles destinées seulement aux piétons, il suffit de jeter sur les poutrelles transversales (fig. 2142), espacées de 1m à 1m,50 d'axe en axe, des madriers jointifs de 0m,10 d'épaisseur environ. Quand on veut avoir des trottoirs de chaque côté du pont et un passage au milieu pour les voitures, on établit sur les pièces de pont deux cours de longuerines espacées de 1m à 1m,50, sur lesquelles on cloue les planches qui forment le trottoir. On établit ensuite sur les pièces de pont, entre les trottoirs, une série de madriers presque jointifs, et, sur ces derniers, un platelage en bois de médiocre qualité sur lequel le roulage a lieu.

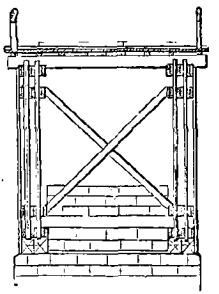
L'établissement des planchers au-dessus des fermes, soit pour les voitures, soit pour les chemins de fer, ne présente pas plus de difficultés. Les fig. 2144 à 2147 suffiront pour faire comprendre les dispositions adoptées. On est obligé dans ce cas d'établir un garde-corps de chaque côté du pont.

On place souvent le plancher des ponts à treillage à 0m,90 ou 1m,00 au-dessous de la partie supérieure des fermes, qui font alors elles-mêmes fonction de garde-corps, comme on le voit par la coupe, fig. 2148. Les poutrelles sont alors supportées par un cours de moises intermédiaires fixées à cet effet dans le treillage. Cette disposition est fort bonne; elle s'applique surtout très bien aux ponts de 20 à 30 mètres d'ouverture, c'est-à-dire au plus grand nombre. Quand on adopte cette disposition, on recouvre les deux moises supérieures d'un



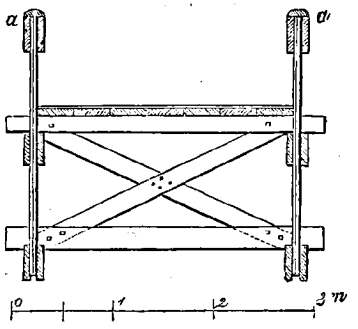


2146



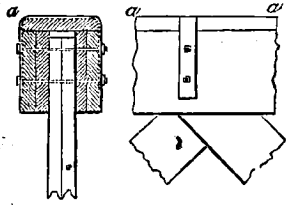
2147.

EFERUS - Recherche & Classification numérique



2148.

chapeau en bois *a*, fixé avec des clous à tête perdues, ou mieux avec des étriers en fer, noyés dans l'épaisseur du bois, et fortement boulonnés avec les moises et le treillage, comme l'indiquent les fig. 2149 et 2150, qui



2150. 2149.

représentent à une grande échelle cet ajustement, de sorte que le chapeau concourt pour sa part à augmenter la force du système des moises.

Les ponts de service établis parallèlement à la tête d'un pont de pierre en construction, ne doivent pas avoir de garde-corps du côté où l'on décharge les matériaux. A cet effet, on donne à la ferme placée de ce côté une hauteur moins considérable que celle placée de l'autre côté, de sorte que les poutrelles transversales s'appuient sur les moises supérieures de l'une des ferrures et sur les moises intermédiaires de l'autre.

L'emploi d'un cours de moises intermédiaires est assez coûteux et n'ajoute presque rien à la résistance de la ferme, puisqu'il est ordinairement très rapproché de la *fibre neutre*. On pourrait facilement le supprimer et faire porter les poutrelles transversales sur les croisillons eux-mêmes, au moyen d'un petit coussinet triangulaire en fonte.

Dans les ponts d'une certaine importance, les poutrelles transversales sont reliées entre elles par des croix de Saint-André placées sous le plancher, et destinées à augmenter la résistance de la charpente dans le sens transversal.

Il importe quelquefois beaucoup de réduire autant que possible la distance entre le dessous d'un pont et le dessus du tablier. Dans ce cas, on ne pose pas les poutrelles *sur* le cours de moises inférieures, mais on les suspend *au-dessous* au moyen d'étriers en fer, et on diminue d'ailleurs, si cela est nécessaire, par les artifices ordinaires, l'épaisseur totale du tablier.

Les tabliers des ponts de bois ou de métal présentent souvent, en Angleterre, une disposition que l'on commence à employer en France, et que nous croyons utile de faire connaître. Au lieu de faire rouler les voitures sur le bois du platelage, on recouvre celui-ci d'une

couche de goudron, de bitume ou d'asphalte, et on établit ensuite dessus une chaussée en pierres cassées. Les bois se trouvent ainsi préservés de l'humidité et du frottement qui les use si rapidement.

Contreventement. Les fermes en charpente dont nous venons d'indiquer la construction ont une résistance énorme dans le sens vertical ; mais on doit assurer que ne présentant presque pas de rigidité dans le sens horizontal, leur tendance à se déverser est très forte, et que leur contreventement exige, par conséquent, un soin tout particulier.

Quand le tablier est supporté par le cours de moises inférieures et que les fermes sont peu larges, on peut se contenter de contre-buter (fig. 2142 et 2143) le cours de moises supérieures par des contre-fiches inclinées à 45°, et assemblées avec quelques-unes des pièces de pont convenablement prolongées.

La méthode précédente serait insuffisante pour les ponts à tablier inférieur et à fermes d'une certaine hauteur. On établit alors sur tout l'ouvrage une toiture qui conserve les bois en les préservant des intempéries, et qui établit en même temps une solidarité suffisante entre les deux grandes fermes.

Le contreventement des ponts dans lesquels le tablier est établi, au-dessus des fermes, ou à la hauteur d'un cours de moises intermédiaires, est à la fois plus facile et plus complet que celui des ponts à tablier inférieur, parce que n'étant plus obligé de laisser libre l'intervalle des fermes, on peut y disposer à son gré différentes pièces de charpente. On établit alors sur le cours de moises inférieures une série de poutrelles ou de moises transversales, reliées aux pièces de ponts, placées au-dessus, par des croix de Saint-André verticales, comme le représentent les coupes en travers des figures 2145, 2147 et 2148. Enfin, pour augmenter encore la résistance dans le sens horizontal, on établit encore entre les poutrelles inférieures une série de croix de Saint-André. De sorte que le pont, formé en dernière analyse de quatre systèmes d'assemblages doués chacun d'une grande rigidité dans le sens de sa dimension transversale, oppose à toutes les forces qui peuvent le solliciter une résistance suffisante.

Les ponts en charpente construits sur les chemins de halage présentent presque tous, comme on sait, après un temps plus ou moins long de service, une forte convexité du côté de la rive principale. Cette flexion est produite par l'action continue des cordes au moyen desquelles les chevaux tirent les bateaux. Nous avons adopté, pour nous opposer à cette action, sur des ponts à treillage de 20 mètres d'ouverture, projetés pour un service de navigation, un système de contreventement un peu différent de ceux que nous venons de décrire. Le tablier de nos ponts est établi à peu près aux deux tiers de la hauteur des treillis, et nous plaçons au-dessous de ce tablier, et dans un plan horizontal, une véritable ferme de toiture dont les arbalétriers sont fortement contre-butés aux extrémités de notre pont, de sorte que toute la force des assemblages s'oppose à la courbure que la traction des bateaux tendrait à donner au pont.

Levage. Les bois des croisillons sont assemblés à plat sur les chantiers, ainsi que les différentes parties des fermes. On démonte la charpente en laissant le treillage assemblé par panneaux de quelques mètres de longueur, puis on remonte les fermes sur place au moyen de quelques points d'appui, pris soit sur des bateaux amenés contre les piles, soit sur de légers échafaudages. Les fermes mises en place, le montage du pont ne présente plus de difficultés ; on place les pièces de pont, le plancher et le système de contreventage.

La simplicité de la construction des ponts à treillage permet de les exécuter très-vite. Pourvu que l'on ait assez de sciens de long, et quelques charpentiers qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PONTS.

n'ont que des trous à percer, puisqu'il n'y a aucune entaille ni sur les croisillons, ni sur les moises, le travail avance sans difficulté. On peut sans peine construire et élever en vingt ou trente jours un pont d'une centaine de mètres de longueur.

Les ponts provisoires, construits dans le système de M. Town, sont ordinairement établis sur des palées en charpente de formes plus ou moins compliquées, suivant l'importance du pont et la nature du sol. On doit, dans tous les cas, prolonger assez les pieux pour pouvoir les boulonner fortement avec les différents cours de moises des fermes principales, comme on le voit en P, fig. 2142. Cette disposition offre l'avantage d'encastrer, pour ainsi dire, le pont, et de lui procurer par conséquent une résistance plus grande que s'il était simplement posé sur la palée, et de plus d'augmenter la résistance des fermes au déversement, en leur donnant des points d'attache invariables.

Les culées en maçonnerie des ponts américains n'ont à résister à aucune poussée horizontale, ce qui permet de leur donner une grande légèreté; mais elles doivent présenter chacune une espèce de chambre d'un ou deux mètres de profondeur, dans lesquelles sont encastrées, autant que possible, les extrémités des fermes. Quelques ingénieurs fixent même le pont sur la culée, au moyen de longs tirants verticaux en fer engagés dans les maçonneries inférieures. Quant aux piles, il suffit de calculer leur section, de manière à ce qu'elles puissent résister à la pression verticale du poids qu'elles doivent supporter, puisqu'elles n'ont aucune poussée horizontale à éprouver.

Nous devons ici mettre en garde contre l'idée de quelques charpentiers, qui, en montant les fermes d'un pont américain, leur ont donné une légère courbure dans le plan vertical. Cette disposition augmente la longueur des moises supérieures, qui tendent à se raccourcir, et les oblige à se voiler et à prendre une forme plus ou moins ondulée aussi nuisible au bon effet qu'à la solidité de l'ouvrage.

Prix d'établissement. Les ponts que nous venons d'étudier sont, comme on a pu le remarquer, d'une exécution très facile et très prompte; ils n'exigent que des bois de petites dimensions, et présentent une grande solidité. Les bois employés à la construction de ponts provisoires de ce système ne perdent presque rien de leurs valeurs, puisqu'ils ne sont nullement entaillés, mais seulement percés de quelques trous. Comme ponts fixes, ils ne sont pas moins bons : ils peuvent être établis sur des maçonneries très légères, et par suite peu coûtenses; les réparations peuvent se faire sans interrompre la circulation; avantage que l'on ne saurait trop apprécier, surtout pour les chemins de fer, et le pont tout entier peut être renouvelé, pièce par pièce, sans que la sécurité soit jamais ébranlée. Ajoutons enfin aux avantages que nous venons d'énumérer que les ponts de M. Town sont les plus économiques que l'on connaisse, et on pensera, comme nous le disions en commençant, qu'ils sont destinés à devenir d'un emploi de plus en plus fréquent, et à remplacer la plupart des autres ponts en charpente,

M. Town estime que le bois coûtant 22 fr. 60 c. à 27 fr. 12 c. le mètre cube, valeur moyenne en Amérique, le prix du mètre courant de pont serait de 175 à 227 fr. pour les ouvertures de 20 à 30 mètres, et de 262 à 437 francs pour les ouvertures de 35 à 60 mètres.

Dans la vallée du Rhône, en France, où les bois de sapin valent environ 50 fr. le mètre cube, les ponts à treillage reviendraient environ, d'après M. Garella, de 32 à 35 fr. non compris les supports, et à 60 fr. y compris les palées, par mètre carré de tablier. Pour faire apprécier la modicité de ce prix, nous dirons seulement que les ponts suspendus de Beaucaire, Serrières et Valence, construits sur le Rhône par M. Chaley, dont le talent est connu, ont coûté 122-118,50 et 107 fr. 99 c. par mètre carré de tablier, non compris les maçonneries, dont les prix sont presque doubles de ceux que nous venons d'indiquer.

Un simple rapprochement suffira pour compléter cette comparaison. Le pont du chemin de fer de Saint-Germain, sur la Seine, à Asnières, est à trois voies; il est construit presque tout en chêne : les travées ont 30 mètres d'ouverture. En prenant les 2/3 des matériaux qu'il contient, on trouve que, pour deux voies, il aurait dépensé $5^{m.c.},19$ de bois et $83^{k.},36$ de fer par mètre courant. Or, le pont de Richmond ne renferme que $3^{m.c.},56$ de bois de pin par mètre courant et à peine 1 kilogr. de fer. Un autre pont, beaucoup plus massif, en contient $5^{m.c.},47$ par mètre courant, et ne renferme aussi que très peu de fer.

Calcul de la résistance des fermes. Le soin avec lequel nous avons rapporté toutes les dimensions des ponts que nous avons pris pour exemples permettrait à tout le monde de faire exécuter des ponts à treillage convenablement proportionnés. Nous croyons cependant devoir, en terminant, indiquer la marche ordinairement suivie pour calculer la résistance des constructions de cette nature. L'expression analytique exacte de la force des ponts de M. Town n'est pas encore connue. On se contente seulement de considérer chaque ferme comme un solide évidé, reposant sur des appuis, et composé simplement des cours de moises horizontales supposées invariablement liées entre elles, et on calcule la résistance au moyen de la formule ordinaire :

$$2P = \frac{Re\,(H^3 - h^3)}{3Hl}$$

Dans laquelle on a :

$2P$ = le poids, exprimé en kilogrammes, que l'on peut faire supposer à la ferme;

l = la demi-ouverture de la travée en mètres;

H = la hauteur totale de la ferme;

h = la distance des moises;

e = l'épaisseur des deux moises réunies;

R = un coefficient constant, qui ne doit pas, en pratique, dépasser 600.000 kilogrammes pour le bois de sapin et 500.000 pour le bois de chêne.

Faisons une application numérique de cette formule pour bien faire comprendre son emploi, à la passerelle du Rhône (fig. 2142) construite, comme nous l'avons dit, par M. Garella. En se reportant aux dimensions indiquées ci-dessus, on voit que l'on a, dans ce cas : $l = \frac{27,96}{2} = 13,98$, $H = 1^m,70$, $h = 1^m,20$, $e = 4 \times 0,05 = 0,20$, en supposant les deux fermes réunies. La formule devient donc :

$$2P = \frac{600000 \times 0,20 \times (4,913 - 1,728)}{3 \times 1,70 \times 13,98} = 5369^k.$$

Un poids uniformément réparti sur tout le pont pourrait être le double, c'est-à-dire de 10.738 kilogr.

Cette méthode de calcul est évidemment incomplète, puisqu'on ne tient pas compte de la rigidité propre du système des croisillons, dont la valeur n'est certainement pas négligeable, et que, d'un autre côté, on suppose le pont simplement posé sur ses appuis, tandis qu'il est toujours plus ou moins encastré.

Ces différentes causes d'erreur n'ont pas en pratique de bien graves inconvénients, puisqu'elles n'exposent qu'à donner aux bois de trop fortes dimensions. Il serait cependant utile d'avoir des formules sinon exactes, au moins plus complètes que celles que nous venons d'indiquer, et qui sont aujourd'hui les seules employées par les ingénieurs. La théorie mathématique de la distribution des forces, dans les différentes parties d'un ferme en treillage, serait certainement très difficile

EFERUS - Recherche & Classification numérique

établir, de sorte qu'il n'y a pas lieu de chercher à déterminer *à priori* par le calcul les dimensions des différentes pièces d'une ferme. Mais il serait, je crois, assez facile d'obtenir, comme je vais l'expliquer, des formules empiriques très-précieuses dans la pratique.

Le treillage présente par lui-même une certaine résistance, que l'on peut évidemment assimiler à celle d'une planche, sans solution de continuité et des mêmes dimensions que lui-même, mais pour laquelle le coefficient de résistance R aurait une certaine valeur dépendant de la nature des ajustages, etc. Cette valeur une fois déterminée pour chaque espèce de treillis, on conçoit qu'il serait facile d'avoir la formule qui donnerait la véritable résistance de la ferme. Ce serait une méthode suffisante pour les applications pratiques. (Voy. SERRURERIE, la théorie des ponts en treillis pour les constructions en fer, qui résulte des derniers travaux des savants.)

Signalons enfin une conséquence assez importante déduite des observations précédentes. Si, en effet, le treillis a par lui-même une résistance propre qui permette d'assimiler les fermes des ponts américains à une pièce dont la section aurait la forme d'un double T, on peut économiser les matériaux sans perdre de force, en écartant de plus en plus les croisillons, à partir du milieu de la travée, de manière à donner aux différents points de la ferme une résistance variable analogue à celle des solides d'égale résistance.

HERVÉ MANGON.

PORCELAINE. Voyez POTERIE.

PORCHERIE. Sous ce titre nous allons faire aussi brièvement que possible, mais sans omettre aucun détail important, la zootechnie des cochons exploités dans les fermes ou dans l'industrie agricole sous le nom de porcs. Nous exposerons d'abord ce qui concerne leurs fonctions économiques, puis leur zoologie ou leurs fonctions physiologiques et leur classification, enfin les conditions d'habitation, de multiplication et d'alimentation qui permettent de porter ces fonctions économiques au maximum de rendement. L'article *Nutrition des animaux*, dans lequel se trouvent développées les généralités du sujet et auquel le lecteur voudra bien se reporter pour ce qui les concerne, abrégera beaucoup notre tache.

FONCTIONS ÉCONOMIQUES DES PORCS.

Les porcs sont des animaux exclusivement comestibles ou alimentaires. Ils ne rendent aucun service durant leur vie. Les fonctions économiques qu'ils remplissent ont donc pour unique objet d'élaborer ou de fabriquer des matières qu'ils livrent après leur mort. Mais ces matières ont une utilité telle et leur abondance est tellement grande, elles sont produites avec une rapidité relative si remarquable et par la transformation de matières premières d'une si faible valeur commerciale, pour la plupart, ces matières étant des résidus qui, en l'absence des porcs, resteraient sans emploi, qu'on ne se trompe point en considérant les cochons comme les plus importants des animaux domestiques. Du reste, il est aujourd'hui bien établi que leur domestication a précédé celle de tous les autres. On retrouve leurs débris osseux à l'aurore de la première civilisation, dès l'âge de la pierre polie, dans le sol des habitations humaines, à dater du moment où les populations ont cessé de vivre exclusivement de leur chasse. Encore à présent ils fournissent, sur toute la surface du globe, la principale nourriture animale à ces populations dont bon nombre n'en consomment point d'autre. Nul animal domestique n'est d'un usage aussi général. On le rencontre à tous les degrés de l'échelle sociale, auxquels il s'accommode et se plie merveilleusement, depuis le plus petit ménage pauvre jusqu'à l'exploitation agricole ou industrielle la plus riche et la plus avancée, où il donne lieu à des modes divers de production.

Pour analyser complétement la fonction économique générale que nous venons de caractériser, il convient d'y introduire une distinction. Le porc fournit à la consommation à la fois de la chair et de la graisse, du lard, du saindoux et de la viande, en outre des poils ou soies de sa peau qui sont employés dans l'industrie. Dans l'économie domestique, surtout dans celle des petits ménages ruraux, la viande proprement dite et le lard, ou cette couche de graisse située immédiatement sous la peau, se confondent et sont consommés simultanément sous forme de salé, de lard séché ou fumé. Lorsque, au contraire, le porc passe par l'intermédiaire de l'industrie de la charcuterie, chacune des parties de l'animal a son emploi particulier et spécial. En tout cas, d'ailleurs, rien en lui ne reste inutilisé; il n'y a pour ainsi dire pas de déchet: les intestins, le sang, les viscères de toute sorte sont consommés ou employés à des usages industriels.

Il y a là pour l'exploitation des porcs des indications précieuses, sur lesquelles l'attention des auteurs ne s'est pas suffisamment arrêtée, au point de vue des aptitudes à développer, selon le genre de débouché que rencontre la production.

En effet, lorsque la chair du porc doit être conservée par des procédés de salaison ou de dessiccation, lorsqu'elle doit servir à la fabrication des jambons, l'excès de graisse qui l'accompagne devient un empêchement grave. Lors même que la graisse n'y est pas en excès, il suffit qu'elle manque de consistance ou que le lard manque de fermeté, selon l'expression technique, pour qu'elle s'imprègne difficilement du sel et subisse bientôt l'altération connue sous le nom de rancissement. Les sujets dits améliorés ou perfectionnés, dont l'aptitude prédominante est d'accumuler de la graisse plutôt que de développer leurs masses musculaires, sont donc, beaucoup moins que les autres, propres aux usages économiques dont il s'agit, c'est-à-dire à la préparation des conserves de viande de porc, et les ménages ruraux, instruits par l'expérience, les repoussent pour ce motif.

Pour la préparation de la charcuterie, au contraire, dont les produits se consomment dans les villes à l'état frais et dont le saindoux est un des plus appréciés et des plus chers, relativement, les conditions sont différentes. Ce qui importe avant tout pour le producteur, c'est de livrer au commerce dans le moins de temps possible la plus forte somme de poids vif, sans se préoccuper d'un rapport quelconque entre la chair et la graisse fabriquée. En vue d'un tel débouché, l'industrie zootechnique dont nous nous occupons a ses coudées franches, et il n'y en a certainement pas d'autre qui puisse rivaliser avec celle-là pour la rapidité de la production. Nul animal, parmi les domestiques, n'a individuellement un développement aussi rapide, et nulle espèce ne jouit d'une plus grande fécondité; nulle non plus ne peut mettre en valeur une alimentation aussi variée, car il n'y en a point qui soit omnivore comme l'est celle du cochon, qui puisse comme elle consommer à la fois des matières animales et des matières végétales et les utiliser, ensemble ou séparément, à un aussi haut degré.

Ces considérations, qui ont été trop souvent laissées de côté, doivent dominer l'industrie zootechnique en question. Elles montrent que les conditions de progrès de cette industrie ne peuvent pas être envisagées d'une façon absolue, et que, pour atteindre le but, qui est le plus fort bénéfice possible, le choix des aptitudes à développer chez l'espèce exploitée est commandé par l'un ou l'autre des débouchés ouverts à la production et en vue desquels il y a lieu de travailler. Lorsque les seuls acheteurs possibles sont les paysans qui nourrissent des cochons pour le saloir, afin d'avoir en provision des morceaux de lard salé pour la soupe du dimanche, la production des espèces précoces, principalement aptes à l'accumulation de la graisse serait une faute, parce que ces espèces ne sont point recherchées par de tels acheteurs, dont le sys-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tème de culture ne se prête d'ailleurs point à leur bon entretien. Elles ne sont avantageuses à produire que dans le cas où la proximité d'une grande ville, ou bien des communications faciles avec un grand marché permettent de livrer leurs produits au commerce qui traite avec les charcutiers. Beaucoup d'écoles ont été faites à cet égard dans les premiers temps de la propagande en faveur des races dites perfectionnées. Les sectateurs ardents, mais insuffisamment réfléchis, du progrès ont ainsi produit de la marchandise qui ne trouvait point preneur, pour avoir négligé de tenir compte des conditions économiques qui s'imposent à toute industrie. Ils ont appris à leurs dépens que ces conditions ne sont jamais méconnues impunément. Il faut que ceux qui entrent dans la carrière se tiennent pour avertis et évitent des écoles semblables. C'est pourquoi nous avons insisté ici en commençant sur les fonctions économiques diverses des animaux dont nous avons pour objets d'enseigner les méthodes de production.

ZOOLOGIE DES PORCS.

Dans la classification naturelle, les porcs ou cochons domestiques appartiennent au genre *Sus* ou des *Suidés*, dans lequel ils forment un groupe distinct, caractérisé par la présence de quatre doigts à chacun des pieds, de six incisives, de deux crochets et de quatorze molaires tuberculeuses à chaque mâchoire, d'un *groin* où sont percées les narines, ayant pour base un petit os, et de poils roides appelés soies sur la peau.

Les déterminations classiques des espèces du groupe des cochons proprement dits, dans le genre *Sus*, laissent beaucoup à désirer. Les zoologistes considèrent encore généralement, par exemple, le sanglier d'Europe (*Sus scrofa*) comme ayant été la souche de tous nos porcs. Nous avons cependant montré, depuis plusieurs années déjà, l'impossibilité pour ceux-ci d'une telle origine. En effet, nous avons établi qu'indépendamment des différences très-nettes des formes crâniologiques, qui suffiraient, il y a des différences dans le nombre des vertèbres du rachis. Une telle dérivation serait donc en contradiction avec les lois connues de l'hérédité. Et comme on n'a jamais constaté aucune variation durable dans le nombre des pièces du rachis chez une espèce quelconque, il n'est pas permis d'admettre, notamment, que nos porcs d'Europe, qui ont six vertèbres dans la région lombaire du rachis, puissent être issus du sanglier qui n'en a que cinq, avec le même nombre de dorsales que celui dont ces porcs sont également pourvus.

Les cochons domestiques que nous exploitons en Europe appartiennent donc à des espèces primitivement distinctes, au même titre que l'est celle du sanglier. Elles n'ont avec celui-ci aucun degré de parenté physiologique. Leurs relations sont de l'ordre purement anatomique, comme toutes celles qui existent entre les espèces d'un même genre naturel. Des expériences en cours d'exécution sembleraient même devoir conduire à la preuve que l'accouplement de l'une au moins de ces espèces avec celle du sanglier a pour conséquence la production d'individus inféconds ou hybrides. Ceci dit toutefois sous la réserve d'une plus longue attente confirmative du résultat constaté jusqu'à présent, mais qui ne peut d'ailleurs, quel qu'il puisse être, avoir aucune influence sur la distinction des espèces, fondée uniquement sur la différence des caractères anatomiques du squelette.

Toutes nos races porcines sont de trois espèces seulement, faciles à distinguer par les caractères que nous allons indiquer sommairement. Dans ces trois espèces de races il s'est formé, sous l'influence des milieux, de nombreuses variétés que les éleveurs qualifient abusivement de races. Parmi ces prétendues races il y a des familles métisses, chez lesquelles on reconnaît sans peine l'existence simultanée ou le mélange à tous les degrés possibles des trois types naturels de race ou espèces qui seuls sont réels et qui se reproduisent en vertu de la loi naturelle de réversion. C'est ce qui se fait observer surtout dans les populations porcines de l'Angleterre, où l'on a poussé le plus loin l'abus des désignations arbitraires. Un auteur français incompétent en a mentionné pour l'Europe jusqu'à quatre-vingt-douze. Nous le répétons: il n'y en a réellement que trois, on ne peut plus faciles à reconnaître à première vue, ce qui n'est pas indifférent pour les opérations de reproduction, où il y a lieu de se mettre avant tout en garde contre l'inflexibilité des lois de l'hérédité.

Pour les nécessités de la pratique courante, ces trois races spécifiques sont suffisamment caractérisées par les formes de la tête, dont nous nous bornerons ici à indiquer les principales, sans entrer dans une description crâniologique complète. Les noms sous lesquels nous les désignons sont tirés de leurs aires géographiques.

La première est celle de l'Europe occidentale. Ses représentants ont occupé de temps immémorial la Gaule celtique, comprenant, comme on sait, ce qui est aujourd'hui la France septentrionale, les Iles britanniques, la Belgique, les Pays-Bas et une partie de l'Allemagne. C'est la race celtique (*sus celticus*), caractérisée par sa tête allongée, à profil formant un angle presque droit au niveau des yeux, et par ses oreilles larges et pendantes de chaque côté de la face.

La deuxième est celle de l'Europe méridionale, occupant la France au sud de la Loire, l'Espagne, l'Italie, la Grèce, les bords du Danube, la Hongrie et le Nord de l'Afrique. C'est la race ibérique (*sus ibericus*), caractérisée par sa tête également allongée, mais à profil courbe suivant un arc rentrant et par ses oreilles étroites, allongées et dirigées horizontalement en avant.

La troisième est celle de l'Asie centrale, exploitée surtout maintenant dans l'extrême Orient, en Chine, à Siam et au Japon et introduite en Europe sous le nom de race chinoise ou de Tonking. C'est la race asiatique (*sus asiaticus*), caractérisée par sa tête large à face extrêmement courte et à profil formant un angle droit et par ses oreilles petites et dressées.

La race celtique a le corps très-long; l'ibérique l'a moyen et l'asiatique l'a toujours très-court, ce qui tient surtout au moindre nombre de ses vertèbres. Les deux dernières, à leur état de pureté, ont la peau et les soies généralement noires. La première les a toujours blanches ou jaunâtres. Les variations à cet égard indiquent sûrement un croisement antérieur.

Les autres formes du corps, chez ces trois races, dépendent uniquement des influences extrinsèques et pour la plus forte part des conditions d'alimentation. Il n'y a donc pas lieu de s'en occuper au point de vue zoologique.

Elles sont essentielles, au contraire, au point de vue zootechnique, et nous nous y arrêterons quand nous parlerons de leur reproduction.

Quant aux familles métisses, auxquelles on donne improprement le nom de races, elles sont nombreuses surtout en Angleterre, où les éleveurs les divisent en deux groupes: celui des petites races et celui des grandes races. Dans le premier on range les prétendues races Middlesex, de Windsor, New-Leicester, Coleshill, Berkshire, Hampshire, Essex; dans le second, celles du Yorkshire. Toutes ces familles proviennent de croisements opérés, depuis le commencement de ce siècle, entre les variétés britanniques de la race celtique autochtone et les variétés napolitaine de la race ibérique et chinoise ou siamoise de la race asiatique. Aussi sont-elles en état de variabilité désordonnée et présentent-elles dans leur population, dans des proportions diverses, les trois espèces naturelles qui ont contribué à leur formation. C'est le type asiatique qui a toutefois fini par prédominer chez celles qui sont qualifiées de petites races, telles que la Middlesex, la New-Leicester, l'Essex, etc.; l'ibérique chez la Berkshire et la Hampshire; le celtique chez celle du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Yorkshire. On trouve dans ce fait incontestable l'une des preuves expérimentales les plus solides en faveur de la loi de réversion, qui atteste indirectement la fixité inébranlable des espèces naturelles et démontre pour nous l'impossibilité de créer des races nouvelles à l'aide des méthodes zootechniques dont nous disposons, celles-ci nous donnant seulement le pouvoir de développer et de perfectionner dans le sens de notre utilité les aptitudes des races naturelles.

Les familles métisses anglaises fournissent à cet égard des exemples remarquables de la grande étendue de la puissance de ces méthodes. Elles sont arrivées au plus haut degré de la précocité, et nous verrons plus loin le parti qu'il y a lieu d'en tirer, à ce titre, pour l'exploitation de nos propres variétés.

HABITATION DES PORCS.

Les cochons redoutent surtout la chaleur et la sécheresse. Livrés à leurs instincts, ils recherchent les lieux frais et humides. Quand ils vivent en liberté, ils se retirent volontiers sous le couvert des bois, dont ils ne sortent que les jours sans soleil ardent, et non pas seulement parce qu'ils y trouvent la glandée dont ils sont très-friands. Cette particularité de leur physiologie doit inspirer avant tout les dispositions de leur habitation à l'état domestique. Pour que leur hygiène reste bonne, ils doivent vivre constamment dans un air pur et frais, avec de l'eau à leur disposition pour s'y baigner au temps de la saison des grandes chaleurs. Sans cela, ils sont décimés par une maladie du sang vulgairement connue sous le nom de maladie rouge.

Les dispositions architecturales de la porcherie peuvent varier, selon celles des lieux sur lesquels elle doit être construite ; mais la préférable consiste à établir des séries de loges ouvrant sur une cour au centre de laquelle se trouve un bassin plein d'eau, à rives en pente et d'un facile accès. Un couloir placé entre la paroi postérieure des loges, élevée seulement à hauteur d'appui, et le mur de fond du bâtiment, couloir qui communique avec la cuisine de la porcherie, permet de distribuer, sans déranger les cochons, la nourriture dans les auges. Celles-ci sont placées au bas d'une lucarne percée dans cette paroi postérieure et pourvue d'une portière oscillante à l'aide de laquelle l'auge peut être close soit en dedans, soit en dehors de la loge. L'auge est close en dedans pendant la distribution des aliments.

La capacité des loges varie selon qu'il s'agit d'une porcherie d'élevage ou d'une porcherie d'engraissement. Dans la première, ces loges doivent être disposées avec des dimensions différentes, selon qu'il s'agit de les faire habiter par les femelles mères ou truies portières, avec leurs jeunes cochons ou cochonnets, par les jeunes cochons sevrés, par les cochons d'un an ou par les mâles ou verrats. Ces dimensions varient aussi selon que les animaux appartiennent aux grandes ou bien aux petites races. Dans la porcherie d'engraissement, les loges peuvent être uniformes, tous les animaux étant dans les mêmes conditions. Voici pour tous les cas des indications en nombres :

	Longueur.	Largeur.
Pour une truie portière.	1m,75 à 2 mètres.	1m,80 à 2m,10.
« 6 à 12 cochonnets.	2m,50,	2 mètres.
« 3 porcs sevrés . .	2 mètres,	2 mètres.
« 2 porcs à l'engrais.	1m,75,	2 mètres.
« 1 verrat	2 mètres,	1m,50.
« 1 porc à l'engrais.	1m,30,	1m,20.

Ces dimensions donnent l'espace superficiel suffisant pour que les animaux soient logés à l'aise et puissent se développer, s'entretenir ou s'engraisser dans les meilleures conditions. On comprend sans peine qu'une truie qui allaite ses cochonnets, dont le nombre dépasse souvent douze, ait besoin d'une habitation spacieuse pour ne pas risquer d'en écraser quelques-uns en se couchant dessus dans les premiers jours qui suivent leur naissance, alors qu'ils ne sont pas encore assez forts pour se garer. Les jeunes, habitués à vivre ensemble, ne peuvent pas être séparés trop tôt sans inconvénient. Il faut les diviser par groupes en uniformisant autant que possible leur force, afin que, mangeant à la même auge, les plus faibles ne soient point frustrés par les plus forts. Quant aux porcs à l'engrais, le mieux est de les isoler, mais on peut sans inconvénient très-sensible les loger par deux, afin d'économiser les frais d'habitation et de main-d'œuvre.

A cet égard, nous recommandons la plus grande économie possible dans la construction des habitations. Tout luxe superflu doit en être banni. Il faut viser seulement à la solidité et à la propreté qui, contrairement au préjugé répandu sur les instincts du cochon, lui est très-salutaire. On se méprend le plus souvent sur ces instincts, parce qu'on voit l'animal rechercher même la fange pour s'y vautrer. Cela n'indique de sa part que le besoin irrésistible de la fraîcheur. Lorsqu'il a à sa disposition à la fois une masse d'eau propre et limpide et un cloaque infect, ce n'est point ce dernier qu'il choisit de préférence. A la condition que soient assurées dans les habitations des animaux de produit, en général, la solidité, la salubrité et la commodité du service, moins on immobilise de capital dans leur construction, mieux cela vaut, parce que l'intérêt et l'amortissement de ce capital diminuent d'autant les bénéfices qu'on en retire.

Nous n'avons pas à entrer ici dans les détails de la construction, qui concernent l'art de l'architecte. L'espace dont nous disposons ne le permettrait d'ailleurs pas. Il faut s'en tenir aux indications purement zootechniques, qui doivent servir de bases pour les dispositions à adopter dans l'établissement d'une porcherie bien construite, en vue de la meilleure exploitation des animaux dont nous nous occupons.

MULTIPLICATION DES PORCS.

La gestation de la truie dure environ quatre mois. Sa première portée ne dépasse guère ordinairement le nombre de six petits ; mais ce nombre augmente dans les portées suivantes, et il va, pour quelques femelles très-prolifiques, jusqu'à dix-huit et même vingt. Le nombre moyen est de dix à douze. La truie fait en général deux portées de cochonnets par an. Il n'est pas très-rare d'en rencontrer qui en font trois, l'instinct génésique se manifestant chez elles aussitôt après leur mise bas.

On voit par là combien est grande la fécondité de l'espèce chez les cochons, et avec quelle rapidité ils se multiplient. On voit aussi comment leur mode de reproduction est favorable à l'exploitation de l'industrie dont ils peuvent être l'objet. Une truie portière suffisamment prolifique peut fournir par année en moyenne 20 cochonnets, dont la valeur au sevrage varie beaucoup selon les circonstances commerciales, mais ne descend guère, dans les plus bas cours, au dessous de 10 francs et atteint souvent jusqu'à 25 francs, soit en moyenne une valeur de 15 fr., ou un produit brut total de 300 fr. Or, la valeur moyenne d'une jeune truie pouvant être tout de suite livrée à la reproduction ne dépasse pas 80 à 100 francs, si belle qu'elle soit. Le revenu annuel brut est donc de trois fois la valeur du capital engagé. C'est pourquoi la multiplication des porcs est à juste titre considérée comme l'une des industries zootechniques les plus profitables.

Dans le choix des reproducteurs, pour la multiplication des cochons, on emploie les deux méthodes de la sélection zoologique et du croisement, selon le but économique de la production et conformément aux principes posés au commencement de cet article. Dans les deux cas il y a lieu toujours en outre de s'occuper de la sélection individuelle ou zootechnique, en vue de multiplier les qualités ou les aptitudes les plus propres à fournir le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produit le plus recherché et le plus estimé par les acheteurs. Les individus des deux sexes dont la conformation assure le rendement le plus élevé, ceux qui ont le corps le plus allongé eu égard à la hauteur et au volume de leurs membres, ceux qui, dans leur espèce, ont la tête la moins grosse, indice d'un squelette réduit à son moindre poids, doivent être toujours préférés. La grande fécondité, du côté de la femelle, et la grande faculté prolifique, du côté du mâle, sont aussi évidemment des qualités à rechercher.

Nos variétés françaises de la race celtique, qui peuplent particulièrement le nord-ouest et l'ouest de la France, et de la race ibérique, qui se trouvent dans le centre, le midi, l'est et le Nord-Est, sont généralement plus prolifiques et plus fécondes que celles de la race asiatique et de ses métis, répandues en Angleterre et plus aptes à la production de la graisse. Aussi est-il permis de se demander si, tout compte fait, il n'y aurait pas plus d'avantage, même pour la multiplication des individus en vue du commerce de la charcuterie, à préférer le croisement de ces variétés françaises avec les variétés anglaises dites perfectionnées, plutôt que la reproduction de celles-ci accouplées entre elles. En vue de la consommation directe dans les ménages ruraux, c'est la sélection zoologique dans ces variétés françaises mêmes qui comptent d'ailleurs aujourd'hui beaucoup d'individus améliorés, chez lesquels la chair et la graisse sont réparties dans des proportions convenables pour fournir d'excellents jambons et un lard de bonne conservation et assaisonnant bien les légumes dans le pot au feu ; dans ces conditions-là c'est à la reproduction de ces variétés à l'état de pureté qu'il y a lieu de s'arrêter. Un tel mode de reproduction aura, en outre, l'avantage de fournir des femelles ou des truies portières pour les croisements dont il vient d'être parlé.

Quel que soit le mode de multiplication auquel on se tienne, les indications pour son exécution restent les mêmes. Le verrat manifeste l'instinct génésique dès l'âge de 8 à 10 mois, quand il a été bien nourri, et dès lors il est apte à se reproduire. Il peut sans inconvénient s'accoupler de 3 à 5 fois par jour, d'autant mieux que sa fonction, lorsque l'industrie est bien conduite, ne doit pas durer plus de deux ans. Le verrat qui atteint trois ans est châtré et engraissé pour être livré à la consommation. La truie, de son côté, est conduite au verrat pour la première fois dès que les signes du rut se manifestent chez elle, ce qui arrive aussi ordinairement vers l'âge de 8 mois. Quand elle n'a pas été fécondée, ces signes se montrent de nouveau après une période d'une vingtaine de jours, et toujours ainsi jusqu'à ce que l'état de gestation en prévienne le retour, qui réapparaît bientôt après la mise-bas. Ces signes sont faciles à saisir par l'inquiétude et l'agitation de la bête, qui ne mange plus avec autant d'appétit, mais surtout par la turgescence et la rougeur de la vulve.

La meilleure façon de faire opérer l'accouplement est d'enfermer ensemble le verrat et la truie dans une petite cour ou dans une loge isolée, loin du bruit et du mouvement. Cet accouplement, pour être fécond, a besoin de durer un certain temps, l'éjaculation du verrat étant lente, en raison de l'absence des vésicules séminales proprement dites.

Le choix du moment le plus favorable pour faire féconder les truies est subordonné aux conditions commerciales de la localité dans laquelle on opère. Il dépend de l'époque à laquelle les jeunes cochons, dans cette localité, rencontrent le débouché le plus avantageux. La durée de la gestation étant connue, il s'agit de faire ses calculs de manière à se mettre en mesure de livrer au commerce, au moment voulu, les jeunes cochons sevrés.

La truie pleine ou en état de gestation doit être l'objet de soins particuliers pour éviter l'avortement qui lui est toujours nuisible, en outre de la perte de temps qu'il occasionne. Sa loge sera pourvue de paille fraîche, surtout vers la fin, et autant que possible cette paille sera courte et fine plutôt que grossière. Lorsque le terme de la gestation est arrivé, on voit la truie rassembler cette paille dans un coin, comme pour préparer son lit de douleur. Bientôt après la parturition a lieu. A mesure que les cochonnets sont expulsés, il est bon de les placer dans une caisse ou dans un panier, afin d'éviter qu'ils soient ou écrasés ou mangés par leur mère, dont l'instinct maternel ne s'éveille qu'après l'expulsion du dernier. Celui-ci sorti, ainsi que les enveloppes fœtales, dites *arrière-faix* ou *délivre*, la litière souillée est remplacée par de la fraîche, puis on place successivement les petits à chacune des mamelles, en ayant soin de mettre les plus vigoureux aux mamelles les mieux développées, chacun d'eux devant toujours se rendre ensuite à la mamelle une fois adoptée, tant que durera l'allaitement. S'il y avait plus de cochonnets que de mamelles, il faudrait sans hésiter sacrifier les plus faibles en excédant, attendu qu'ils seraient voués à une mort certaine par inanition, qui arrive même sans cela, quand ils ne sont pas assez forts pour conquérir leur place à la mamelle maternelle restant d'ailleurs inoccupée, dans la mêlée qui se produit lorsque tous les jeunes se précipitent pour téter.

ALIMENTATION DES PORCS.

Entrer ici dans tous les détails de l'alimentation des cochons, ce serait faire double emploi avec notre article *Nutrition des animaux*, où tout ce qui concerne les principes généraux de cette alimentation se trouve exposé. Nous devons donc renvoyer à cet article pour cela, et nous borner aux indications pratiques spéciales. Commençons par la première alimentation, qui est celle de l'allaitement.

Cet allaitement des gorets doit durer de 6 à 9 semaines, suivant que les mamelles ont plus ou moins d'activité. Tant que les petits se développent bien, que leur poids augmente en moyenne de 250 grammes par jour, on peut le continuer, parce que c'est l'indice d'une suffisante aptitude laitière de la nourrice, et que le lait maternel est toujours le meilleur et le plus complet des aliments pour les jeunes animaux, dont il assure la nutrition parfaite. Mais il est bien rare que la truie puisse, sans épuiser sa constitution, fournir du lait durant trois mois, surtout si toutes ses mamelles sont en activité.

L'allaitement doit donc être l'objet d'une surveillance attentive, qui s'exerce de la façon la plus convenable, parce qu'elle est la plus précise, en pesant fréquemment les nourrissons. Dès que leur accroissement journalier baisse, il faut les sevrer. S'il en est ainsi avant le temps minimum qui vient d'être indiqué, ce n'est pas le sevrage complet qui doit être opéré, c'est un supplément de nourriture qu'il y a lieu d'ajouter au lait maternel. Le meilleur de ces suppléments est celui qui se compose de lait de vache écrémé ou de petit lait mélangé avec un peu de farine d'orge, de seigle, ou d'un tourteau quelconque de graine oléagineuse. Cela est d'autant plus facile que la production des porcelets est ordinairement une industrie annexée à celle de la laiterie, dont elle a pour but de mettre les résidus en valeur.

Pour opérer le sevrage de façon à ce que les gorets n'en subissent aucun temps d'arrêt dans leur développement, ce qui est le point important, il convient d'y procéder en ménageant la transition pendant une semaine au moins, en les laissant d'abord téter deux fois par jour, puis une seule fois, avant que la séparation soit complète. Pendant ce temps on met à leur disposition, dans une loge voisine, à des heures déterminées, les aliments qui doivent définitivement remplacer le lait maternel. Leurs rations sont composées de petit lait mélangé avec des pommes de terre cuites et écrasées, et de grains égrugés ou moulus. Elles doivent être d'abord

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-fluides. La meilleure manière de les leur présenter est de se servir des auges circulaires en fonte présentant autant de séparations rayonnantes qu'il y a de gorets à nourrir. Ces auges se trouvent chez tous les marchands d'instruments agricoles. Elles permettent à tous les animaux d'en approcher commodément et d'y rester sans qu'aucun puisse être frustré de sa nourriture par un voisin. Le nombre de repas en lesquels la ration journalière doit être divisée est réglé par les principes généraux de l'alimentation corrigés dans l'application par l'observation des aptitudes individuelles.

Les jeunes cochons sevrés sont traités diversement selon qu'ils sont destinés à la reproduction ou à l'engraissement. Ces derniers doivent être privés aussitôt que possible des organes essentiels de leur sexe. L'ablation des testicules ou des ovaires est une opération d'autant plus inoffensive qu'elle est pratiquée à une époque plus rapprochée de la naissance. On ne saurait donc la faire exécuter trop tôt. La castration des femelles, à laquelle n'échappent généralement, chez les races porcines, que celles réservées pour la reproduction, est une opération d'une grande simplicité, que les marchands pratiquent eux-mêmes et sans accident sur les marchés. Les jeunes bêtes châtrées n'en subissent aucun trouble apparent.

Lorsque les jeunes porcs doivent aller chercher aux champs une partie de leur nourriture, on a coutume de leur pratiquer une autre opération qui a pour but de les mettre dans l'impossibilité de fouiller le sol trop profondément. Cette opération consiste à leur passer dans le groin un fil ou une petite lame étroite de fer que l'on termine ensuite à chacune de ses extrémités par une boucle. Cette opération est connue sous le nom de *bouclement* ou *bouclage*. Le corps étranger ainsi fixé détermine une douleur chaque fois que l'animal veut introduire son groin dans le sol.

Le porc est, comme nous le savons, omnivore. Ses ressources alimentaires sont par conséquent très-variées. Les aliments les plus usités pour sa nourriture sont : parmi les fourrages verts, le trèfle, la luzerne, la chicorée sauvage, les débris de laitue, les laitrons, les choux, les feuilles de betterave, de carotte, les orties, etc.; parmi les racines charnues et les tubercules, la betterave, la carotte, le panais, la pomme de terre et le topinambour qu'il peut consommer sur place en économisant l'arrachage, à la condition toutefois qu'il ne soit point bouclé; parmi les fruits, la citrouille, les melons avariés, les pommes, les poires, les prunes, le gland, la faîne, la châtaigne; parmi les résidus, le son, les résidus de brasserie, d'huilerie, de distillerie de grains surtout, d'amidonnerie, de féculerie; parmi les graines, le maïs, l'orge, l'avoine, le seigle, le sarrasin, la fève, le pois; parmi les matières animales, le petit lait, le lait écrémé, le lait de beurre, les débris de cuisine et les eaux de lavage de la vaisselle, enfin les viandes inférieures provenant surtout des clos d'équarrissage. On tend à introduire depuis quelque temps, dans l'alimentation des porcs, une préparation désignée en Allemagne sous le nom de farine de viande (*Fleischmehl*) et qui provient des usines de l'Amérique méridionale où se fabriquent les extraits de viande dits Bouillons Liébig. Un certain nombre d'expériences ont montré que cette préparation ne pouvait être alimentaire qu'à la condition d'y ajouter les sels nutritifs dont la viande a été épuisée, pour la plus forte partie, par sa coction. Après l'addition de ces sels, les résultats obtenus paraissent avoir été favorables toutes les fois que la farine de viande n'a pas dépassé, dans la ration, la proportion compatible avec le maintien d'une bonne relation nutritive.

Comme application des principes posés dans notre article *Nutrition des animaux*, nous allons donner ici quelques exemples de rations pour les diverses saisons et les diverses sortes de cochons à nourrir, en tirant parti des ressources alimentaires qui viennent d'être indiquées.

RÉGIME D'HIVER.

A. — *Truies portières.*

1re *ration.*	Pommes de terre.	2k,500
	Carottes.	0 ,500
	Eaux grasses.	8 ,000
	Viande cuite.	0 ,250
	Farine d'orge.	0 ,250
2e *ration.*	Pommes de terre.	4k,000
	Citrouille.	0 ,500
	Eaux grasses.	5 ,000
	Farine d'orge.	1 ,000
3e *ration.*	Pommes de terre.	1k,500
	Betteraves.	4 ,000
	Eaux grasses.	7 ,000
	Farine d'orge.	1 ,500
4e *ration.*	Pommes de terre.	4k,000
	Eaux grasses.	5 ,000
	Tourteau.	0 ,300
	Son.	0 ,400
5e *ration.*	Pommes de terre.	3k,000
	Drèche.	3 ,000
	Eaux grasses.	3 ,000
	Son.	0 ,800

B. — *Truies nourrices ou verrats.*

1re *ration.*	Pommes de terre.	3k,000
	Citrouille.	1 ,500
	Petit-lait.	2 ,000
	Eaux grasses.	3 ,000
	Farine d'orge.	1 ,500
2e *ration.*	Pommes de terre.	4k,000
	Drèche.	3 ,000
	Eaux grasses.	7 ,000
	Tourteau.	0 ,300
	Son.	0 ,700
3e *ration.*	Pommes de terre.	5k,000
	Viande cuite et bouillon.	2 ,500
	Eaux grasses.	6 ,000
	Son.	0 ,500
4e *ration.*	Pommes de terre.	2k,000
	Betteraves.	4 ,000
	Eaux grasses.	6 ,000
	Maïs cuit.	1 ,500

RÉGIME D'ÉTÉ.

A. — *Truies portières.*

1re *ration.*	Trèfle vert.	5k,000
	Eaux grasses.	8 ,000
	Son.	1 ,500
2e *ration.*	Ortie.	5k,000
	Viande cuite et bouillon.	2 ,500
	Petit-lait.	3 ,000
	Farine d'orge.	0 ,500
3e *ration.*	Plantes vertes.	5k,000
	Eaux grasses.	6 ,000
	Tourteau.	1 ,000
4e *ration.*	Luzerne verte.	6k,000
	Pommes de terre.	1 ,500
	Eaux grasses.	5 ,000
	Remoulage.	1 ,500

B. — *Truies nourrices ou verrats.*

1re *ration.*	Feuilles de betteraves. . .	6k,000
	Glands.	1 ,000
	Eaux grasses.	6 ,000
	Farine d'orge.	1 ,000
2e *ration.*	Trèfle.	4k,000
	Pommes de terre.	3 ,000
	Petit-lait.	2 ,000
	Eaux grasses.	4 ,000
	Remoulage.	1 ,000

Les modes de préparation des aliments et leur distribution ont été précédemment indiqués dans l'article auquel nous renvoyons. Nous ajouterons seulement ici,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour terminer, qu'avec une alimentation bien réglée, conformément aux principes scientifiques, on peut fabriquer, par tête de porc et par année, en moyenne 200 kil. de poids vif, correspondant à environ 160 kil. de matières comestibles. On voit par là qu'il n'est aucune machine animale plus active et d'un plus fort rendement pour la subsistance des populations.

ANDRÉ SANSON.

PORPHYRE. Les porphyres sont des roches composées d'une pâte feldspathique avec cristaux de feldspath; il s'y trouve assez fréquemment du quarz, de l'amphibole ou du mica. Ces roches, qui sont très-variées d'agrégation et de couleur, sont généralement très-dures.

PORTE-VOIX. Le porte-voix est un instrument en cuivre laminé ou en tôle de fer très-mince, qui a la forme d'une trompette, et dont on se sert pour se faire entendre de loin; non-seulement il dirige le son, mais encore il l'amplifie.

POTASSE (*angl.* pottash, *all.* kali, pottasche). On désigne sous le nom générique de potasse, dans le commerce, le carbonate neutre de potasse; et on donne le nom de *potasse caustique* à l'hydrate de potasse.

Les principaux centres de production de la potasse sont l'Amérique du nord, la Russie, la Suède, etc. On l'y obtient partout en incinérant des végétaux terrestres, lessivant les cendres produites, évaporant à siccité les lessives et calcinant le résidu. Les diverses parties d'un même végétal sont loin de fournir la même proportion de cendres; l'écorce et les feuilles en donnent toujours beaucoup plus que les branches, les branches plus que le tronc, l'aubier moins que le bois; en général, les plantes ligneuses en donnent moins que les plantes herbacées; néanmoins, les premières sont exclusivement employées en grand pour la fabrication de la potasse. Cette fabrication, du reste, n'a et ne peut avoir lieu que là où il serait impossible de tirer un autre parti du bois, comme on peut aisément s'en convaincre d'après le tableau suivant, qui indique combien est faible la proportion de potasse que l'on retire moyennement des principaux végétaux:

Noms des végétaux.	Proportion de potasse.
Anne	0,0039
Chêne (bois)	0,0015
Chêne (écorce)	0,0150
Hêtre	0,0012 à 0,0015
Charme	0,0013
Peuplier	0,0007
Tilleul	0,0050
Saule	0,0030
Pin	0,0005
Bouleau	0,0046
Sarments de vigne	0,0055
Fougère	0,0060
Chardon	0,0050
Tiges de maïs	0,0180
Ortie	0,0250
Pomme de terre	0,0244
Pavot	0,0360
Angélique	0,0060
Paille de froment	0,0083
Trèfle	0,0008

Nous dirons ici un mot des conséquences tirées de la variation des quantités de potasse qui se rencontrent dans les divers végétaux. Il avait paru naturel d'établir la nécessité de fournir à chaque plante des quantités de potasse indiquées par la nature de leurs cendres, mais l'expérience a montré, pour les pommes de terre et les betteraves, dont les cendres renferment des quantités notables de potasse, que les sels de potasse ne favorisaient pas leur développement.

Il n'est pas impossible d'interpréter ces résultats, dit M. Dehérain dans sa *Chimie agricole*. Nous avons reconnu (Voy. NUTRITION DES VÉGÉTAUX) que les substances minérales peuvent se rencontrer dans les végétaux à deux états différents. Elles y sont parfois simplement déposées par l'évaporation de l'eau chargée d'acide carbonique qui y a circulé : c'est ainsi, par exemple, que les arbres renferment une proportion très-notable de carbonate de chaux. Elles y sont combinées avec des principes immédiats, et ici encore il faut distinguer si le principe immédiat, dont la substance minérale fait partie, est nécessaire au développement de la plante, car ce sera seulement dans ce cas que l'abondance de cette matière minérale sera utile. Je ne serais pas étonné, par exemple, que le phosphate de potasse fût nécessaire à la constitution ou aux migrations des matières azotées, qui se transportent des feuilles vers les graines, et que ce fût là la raison de la réussite des engrais de potasse sur le froment; mais si le principe immédiat est lui-même secondaire, s'il provient d'une oxydation, si c'est l'acide oxalique des betteraves ou l'acide citrique des pommes de terre, on conçoit que la base qui vient le saturer n'a par elle-même aucun intérêt.

Revenons à l'extraction de la potasse. L'incinération du bois se fait à l'air libre, sur une aire battue, et bien abritée contre les vents. Les cendres obtenues, dont le poids forme 1 à 5 pour 100 de celui du bois employé, sont soumises à un lessivage méthodique par DÉPLACEMENT. On évapore ensuite à sec, dans des chaudières en fonte ou en tôle, les lessives les plus concentrées, marquant au moins 10 à 12° à l'aréomètre. Le résidu obtenu, et qui est désigné sous le nom de *salin*, est calciné à une chaleur assez forte pour en chasser une grande partie de l'eau qu'il renferme encore, et pour achever de détruire les matières organiques qui le colorent fortement en brun. Cette calcination s'opère habituellement dans des fours à réverbère, dont la sole a 3 ou 4 mètres de long sur $1^m,50$ de large, et dont la voûte est très-surbaissée. On brasse fréquemment la matière au moyen de ringards en fer et, lorsqu'elle commence à se réduire en pâte et qu'on n'y remarque plus de taches noires, on la retire par l'une des ouvertures, et l'on enfourne une nouvelle charge par l'ouverture opposée.

Les plus belles potasses d'Amérique sont parfaitement blanches, et sont connues sous le nom de *perlasse*. Néanmoins elles sont encore bien inférieures à la potasse que l'on obtient par l'incinération des lies de vin, et qui est connue sous le nom de *cendres gravelées*.

Le suint de la laine du mouton fournit des quantités notables de potasse, par l'évaporation des eaux de lavage des laines et calcination du résidu.

Les potasses du commerce contiennent toujours une certaine proportion de sulfates et de chlorures à base de potasse et de soude, et plus ou moins de substances insolubles. On apprécie leur valeur commerciale, c'est-à-dire la proportion d'alcali qu'elles renferment à l'état de carbonate, au moyen des liqueurs titrées, et par les procédés que nous avons décrits à l'article ALCALIMÉTRIE. Pour les purifier, on se base sur la propriété qu'a le carbonate de potasse d'être plus soluble que le sulfate de potasse et le chlorure de potassium, ce qui revient à dire, en d'autres termes, que ces deux derniers sels sont insolubles dans une dissolution saturée de carbonate de potasse; on dissout la potasse à purifier dans son poids d'eau, on décante et on évapore à sec la liqueur décantée; si on veut l'avoir encore plus pure, on reprend la potasse ainsi obtenue par la moitié seulement de son poids d'eau. C'est de cette manière que l'on purifie, en Allemagne, la potasse qui est employée dans la fabrication des verres fins sans plomb et à base de potasse, dits *cristaux de Bohême*.

Lorsque l'on veut obtenir du carbonate de potasse parfaitement pur pour les besoins des laboratoires ou des arts, on le prépare en faisant brûler dans une bassine en fonte un mélange à parties égales de crème de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tartre et de nitre raffiné; la crème de tartre ou de bi-tartrate de potasse se décompose par l'action de la chaleur en carbonate de potasse et en charbon, lequel, en réagissant sur le nitre, le décompose et le transforme également en carbonate de potasse.

Jusqu'ici le carbonate de potasse n'a été retiré que des cendres des végétaux terrestres, comme on retirait autrefois la soude de celles des végétaux marins. Les vinasses des alcools de betteraves sont venues dans ces dernières années fournir un supplément d'approvisionnement provenant d'une source plus rationnelle que celle de l'incinération des végétaux. Mais surtout il est permis actuellement d'espérer que la belle découverte de M. Balard (MARAIS SALANTS) permettra de retirer des eaux-mères des marais salants, des sels de potasse à bas prix, et viendra ainsi suppléer à l'insuffisance ou à la destruction prochaine des forêts qui alimentent cette fabrication.

Le carbonate de potasse a une réaction alcaline très forte, une saveur âcre et caustique; il est très fusible, et devient liquide comme de l'eau au rouge; il est très soluble dans l'eau et déliquescent, et insoluble dans l'alcool; à l'état anhydre, il renferme :

Potasse.	0,68	CO^2 KO.
Acide carbonique. . .	0,32	

Il est soluble dans l'acide carbonique, avec lequel il se combine et donne un bi-carbonate cristallisable, qui se décompose lorsqu'on fait bouillir sa dissolution dans l'eau. Il est surtout employé pour la fabrication des savons mous et des verres à base de potasse, ainsi que pour le blanchiment. Ces diverses industries en consomment des quantités considérables.

La *potasse caustique* se prépare en décarbonatant le carbonate par la chaux. On prend la plus belle potasse du commerce, de la cendre gravelée, ou mieux de la potasse préparée comme nous l'avons dit au moyen d'un mélange de crème de tartre et de nitre, on la dissout dans sept fois son poids d'eau, on y ajoute une demi-partie de chaux récemment éteinte, et on fait bouillir, dans une chaudière en fonte, pendant quinze à vingt minutes; on enlève le feu, on ajoute dans la chaudière une quantité d'eau égale à celle qui s'est évaporée; on délaie le tout, on laisse reposer quelques instants, on tire au clair au moyen d'un syphon, et l'on évapore immédiatement et rapidement la liqueur dans une autre bassine en fonte, ou mieux en argent. Lorsque l'évaporation touche à sa fin, on voit la lessive se tuméfier beaucoup, en raison de sa plus grande viscosité, puis elle s'affaisse, et la potasse entre en fusion tranquille quand il n'y a plus d'eau. Arrivé à ce point, on coule par portions la potasse sur des plateaux de cuivre étamé ou d'argent, qu'on a eu la précaution de frotter légèrement avec un linge huilé. Aussitôt que la potasse est prise, on la renverse sur une feuille de papier, on la brise en morceaux, et on la renferme immédiatement dans des bocaux propres et secs. La potasse caustique ainsi préparée est connue sous le nom de *potasse à la chaux* ou de *pierre à cautère*. Pour séparer les petites quantités de sulfate et de chlorure que la potasse à la chaux préparée avec les potasses du commerce contient toujours, on la traite par de l'alcool à 40°. Lorsqu'on reconnaît, au moyen de l'aréomètre, que ce dernier en est saturé, on le décante dans de grands flacons que l'on bouche, et on laisse reposer pendant deux ou trois jours; quand la liqueur s'est éclaircie, on la décante, à l'aide d'un syphon en verre préalablement rempli d'alcool, dans une bassine en argent de telle forme qu'elle constitue la panse d'un alambic ordinaire; on chauffe alors modérément tant qu'il distille de l'alcool : on en retire ainsi les 4/5 environ; on démonte alors l'appareil, et on continue l'évaporation dans la même bassine, sur un feu plus vif. La liqueur entre en ébullition, et l'on voit peu à peu se former une écume noire et visqueuse, que le bouillon rejette sur les parois de la bassine où elle s'attache. Habituellement on enlève cette écume avec une cuillère d'argent, mais il est préférable, lorsqu'on le peut, de nettoyer un des côtés de la bassine, et de transvaser la dissolution, quand elle s'est bien épurée par l'ébullition, dans une autre bassine d'argent, où l'on en achève l'évaporation. On la coule ensuite comme nous l'avons dit plus haut. La potasse ainsi purifiée prend le nom de *potasse à l'alcool*.

La potasse caustique, préparée comme il vient d'être dit, est solide, d'un blanc perlé, cassante, à cassure unie, faiblement translucide. Elle a une saveur excessivement caustique, et elle exhale une forte odeur de lessive. Chauffée au rouge, elle retient encore un équivalent ou 16 p. 100 d'eau de combinaison que l'on ne peut en chasser par une chaleur plus forte; c'est, en un mot, un hydrate de protoxyde de potassium; en faisant abstraction de cette eau, elle se compose de

Potassium.	0,83	KO.
Oxygène.	0,17	

Elle se fond au-dessous du rouge, et produit des vapeurs abondantes à une température plus élevée. Elle attire très rapidement l'humidité atmosphérique et tombe en déliquescence : un grand nombre de sels qu'elle forme avec les acides sont également déliquescents; elle se dissout dans l'eau, en développant une très forte chaleur. Elle est soluble dans l'alcool, mais plus à chaud qu'à froid, et la liqueur saturée à chaud dépose des cristaux par le refroidissement. Les corps combustibles, le charbon, le soufre, le phosphore, etc., la décomposent à une température plus ou moins élevée; il en est de même des métaux très avides d'oxygène, comme le fer, le zinc, etc. C'est une base extrêmement énergique : tous les acides, même l'acide carbonique, en chassent l'eau à laquelle ils se substituent; il en est de même pour nombre d'oxydes, par voie sèche; quelques-uns même, comme l'alumine, la glucine, l'oxyde de zinc, s'y dissolvent par voie humide. Elle attaque à peu près par voie sèche tous les minéraux et est très employée à cause de cela dans les laboratoires. On s'en sert extérieurement en médecine, ou plutôt en chirurgie, comme d'un caustique très énergique. En dissolution très étendue, on l'emploie dans le blanchiment sous le nom de lessive caustique.

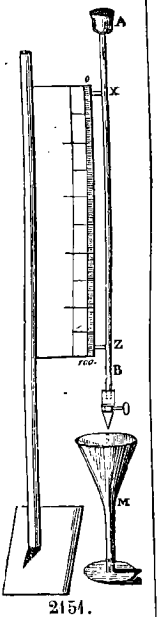
POTASSIMÉTRIE. L'essai alcalimétrique des potasses du commerce donne, comme nous l'avons fait voir à l'article ALCALIMÉTRIE, leur teneur en carbonate de potasse, lorsqu'elles ne sont mélangées que de matières insolubles ou d'autres sels de potasse, mais il n'indique nullement cette teneur lorsqu'elles sont falsifiées avec de la soude, falsification que le bas prix de ce dernier alcali a rendue très fréquente dans ces dernières années. C'est pour découvrir cette falsification et l'apprécier que M. O. Henry a proposé le procédé que nous allons décrire et auquel il a donné le nom de *potassimétrie*. Ce procédé repose sur la propriété que possède la potasse de former avec l'acide perchlorique un sel complétement insoluble dans l'alcool, tandis que le sel correspondant de soude y est extrêmement soluble; ce dernier est donc employé comme réactif pour précipiter la potasse; on se le procure ainsi qu'il suit : On chauffe avec précaution, dans un creuset de platine, du chlorate de potasse, jusqu'à ce que le dégagement d'oxygène cesse : on reprend la matière par vingt fois son poids d'eau bouillante, on filtre à travers une chausse de laine, et on laisse refroidir en troublant la cristallisation par l'agitation. Le perchlorate de potasse se dépose en petits grains blancs, brillants, qu'on lave avec un peu d'eau froide et qu'on fait sécher à l'étuve. On le réduit ensuite en poudre fine, on le place dans une large éprouvette au fond de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laquelle on a versé du mercure et on le délaie dans 5 à 6 parties d'eau pure; d'un autre côté on met dans une cornue de grès un mélange de 1 partie 2/3 de sable fin pur, 1 p. 1/4 de chaux fluatée et 3 p. d'acide sulfurique concentré; on adapte au col de la cornue un tube de dégagement dont l'autre extrémité vient déboucher sous le mercure placé dans l'éprouvette; on chauffe alors la cornue, il se dégage de l'acide hydrofluosilicique qui traverse le mercure, vient réagir sur le perchlorate de potasse, forme du fluosilicate de potasse gélatineux, insoluble, et met l'acide perchlorique en liberté; la réaction achevée, on jette le magma produit sur un carrelet de toile, on le lave à l'eau distillée, et on sature les eaux de lavage par du carbonate de soude cristallisé; on filtre, on concentre la liqueur, au bain de sable, jusqu'à consistance sirupeuse, puis on l'étend de son poids environ d'alcool à 37°, on chauffe légèrement et on filtre. En évaporant avec précaution la solution alcoolique de perchlorate de soude ainsi obtenue, elle fournit des cristaux blancs aciculaires, avec lesquels on prépare, comme nous le verrons plus loin, la liqueur d'épreuve titrée.

Passons maintenant à la description de l'instrument auquel M. O. Henry a donné le nom de potassimètre et qui est représenté dans la fig. 2151 :

A B est un tube de verre d'une longueur de 60 centimètres environ, et d'un diamètre de 4 millimètres à peu près. En A se trouve un entonnoir de verre soudé, et en B un petit robinet en cuivre terminé par un tube capillaire. Ce robinet s'ajuste au tube par un bouchon et avec de la cire à cacheter. Le tube A B est fixé par *deux crochets* au long d'une échelle inscrite sur une planche, et cette échelle est divisée en 100 parties égales. Le tout est supporté par un pied qui permet de placer le tube A B au-dessus du vase M contenant le sel de potasse à essayer. Dans l'étendue comprise dans le tube A B, à partir du 1er au 100me degré inclus (X à Z), on a une liqueur de perchlorate sodique titrée, représentant par chaque degré 1/100me *de carbonate potassique pur* (1).



2151.

Indiquons maintenant comment on opère l'essai potassimétrique : On prend *en plusieurs points* du baril de potasse à essayer divers échantillons, représentant 250 ou 300 grammes; on les mélange ensuite et on les réduit en une poudre fine aussi *promptement* que possible. On prélève sur cette poudre 50 grammes que l'on traite à froid par 400 grammes d'eau distillée, on filtre avec soin, et la solution est introduite dans une petite éprouvette graduée en 50 parties égales.

1 Ce titre s'obtient aisément; pour cela on fait écouler lentement la quantité d'alcool à 37° contenue dans l'espace du tube A B compris entre 0 et 100 degrés, on en prend de suite le poids exactement. On pèse alors 10 ou 100 fois la même quantité d'alcool à 57° dans un flacon à l'émeri, et on y ajoute 10 fois ou 100 fois 0gr,884 de *perchlorate de soude sec*, le mélange est la *liqueur d'épreuve titrée*, renfermant dans l'étendue des 100 degrés du tube 0gr,884 de *perchlorate de soude sec*, qui répondent à 1 gr. de carbonate de potasse pur.

4° On prend d'abord, au moyen d'une pipette graduée, 10 mesures de cette solution représentant 5 grammes de la potasse à essayer que l'on soumet à part à l'essai alcalimétrique, en se conformant en tous points à ce que nous avons dit à l'article ALCALIMÉTRIE; puis on note le degré alcalimétrique obtenu;

2° D'autre part on prend 1 mesure de liquide ci-dessus, représentant 1 gramme de la potasse à essayer; on sature à l'aide de l'acide acétique en léger excès, on fait évaporer presqu'à siccité et on traite le résidu à l'aide de l'alcool à 37°, froid; on filtre sans rien perdre; les sulfates, et chlorures et silicates alcalins restent sur le filtre. C'est dans ce liquide, représentant en acétate le carbonate de potasse et même celui de soude de la potasse à examiner, qu'on ajoute *goutte à goutte* la solution titrée de perchlorate de soude, *tant qu'on aperçoit un précipité*, et en l'ajoutant *fort lentement*, lorsqu'on approche vers les 40 ou 50 mesures du tube A B.

Ce nombre indique pour 1 gramme de potasse examinée des *centièmes* de carbonate potassique pur.

Or, connaissant, d'*une part*, au moyen de l'*essai alcalimétrique*, la quantité d'acide sulfurique que sature cette potasse, on arrive aisément à déterminer la proportion des carbonates de potasse et de soude mélangés.

En effet, 100 mesures de l'alcalimètre représentent :

	Grammes.
Acide sulfurique à 66°.	5,423
Acide sulfurique anhydre. . . .	4,429
Qui équivalent : à carbonate de potasse pur anhydre.	7,60
— — à carbonate de soude pur anhydre.	5,74

On a déterminé de l'autre part, au moyen du potassimètre, la proportion réelle de *carbonate de potasse* de la potasse essayée, sur 100 parties.

Voyant ce que cette proportion doit prendre d'acide sulfurique réel, la différence de la quantité totale de cet acide employé dans l'épreuve alcalimétrique, pour 100 de potasse, donnera de suite la quantité du carbonate de soude ajouté, et le double problème sera résolu, savoir : la détermination de la véritable valeur potassique, et celle de la proportion du carbonate de soude ajouté.

Donnons un exemple pour faciliter l'intelligence des faits: soit :

100 grammes de potasse du commerce prise comme il a été dit, et donnant :

1° Par l'essai alcalimétrique; un nombre de degrés qui représente :

	Grammes.
Acide sulfurique réel anhydre. . . .	38,9

2° Par l'essai au potassimètre un nombre de degrés représentant :

Carbonate de potasse pur.	50

On aura 28,9 d'acide sulfurique anhydre pour les 50 de carbonate de potasse pur.

La différence 10 d'*acide* représentera :

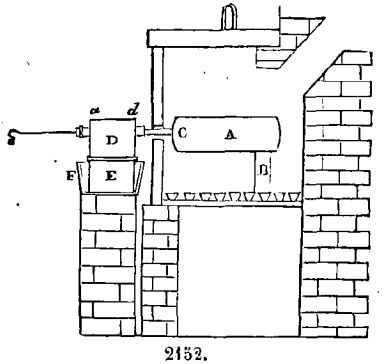
Carbonate de soude pur.	13,3

POTASSIUM (*angl.* et *franç.*, *all.* kalium). Le potassium est un métal d'un blanc d'argent, découvert par *Davy* dans la potasse; son éclat, très vif, s'altère immédiatement au contact de l'air; il est assez mou pour être pétri entre les doigts; sa densité, moindre que celle de l'eau, n'est que de 0,865; il fond à 58°, et se volatilise au-dessous du rouge, en donnant des vapeurs d'un beau vert, pourvu qu'il soit complétement à l'abri de l'air. Il est presque aussi inflammable que le phosphore, et il est prudent de ne pas le manier à l'air libre entre ses doigts pendant longtemps; les brûlures qu'il produit sont très graves, parce qu'à la température élevée qui se développe vient se joindre l'action de la potasse qui se forme et qui corrode les matières animales avec d'autant plus de force qu'elle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

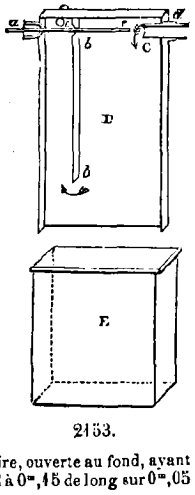
est anhydre. Lorsqu'on jette un globule de potassium dans un vase renfermant de l'eau, il prend à la surface de l'eau un mouvement giratoire très rapide, et la décompose en formant de la potasse qui se dissout ; la réaction est tellement énergique que l'hydrogène de l'eau décomposée s'enflamme au fur et à mesure qu'il est mis en liberté ; au moment où la combustion s'achève, le fragment de potasse qui reste éclate et pourrait donner lieu à des accidents si on n'avait soin d'opérer dans un vase rempli d'eau au tiers au plus. On ne peut conserver le potassium que sous de l'huile de naphte bien desséchée.

Pour obtenir le potassium, on réduit la potasse, à une chaleur blanche, par le fer ou le charbon. Ordinairement on emploie ce dernier procédé ; on prépare un mélange intime de carbonate de potasse et de charbon, en calcinant de la crème de tartre (bi-tartrate de potasse) dans un creuset couvert, et on rend le mélange plus poreux en y ajoutant 1/10 de son poids de charbon grossièrement pulvérisé. On traite alors ce mélange dans l'appareil suivant, qui est dû à *Brunner*, et qui se compose (fig. 2152) d'une bouteille en fer B (on prend ordinairement une de ces bouteilles dans lesquelles le mercure nous arrive d'Espagne) dans laquelle on introduit le mélange précédent ; on la place ensuite horizon-



2152.

talement dans un fourneau, en la supportant en arrière par un petit mur en briques B. Dans le col de la bouteille, qui est taraudé à vis, on visse un bout de canon de fusil fileté C, que l'on fait aussi court que possible. On commence alors à chauffer graduellement la bouteille ; toute l'humidité se dégage, la masse rougit, et aussitôt que l'on voit se dégager des vapeurs vertes qui s'enflamment spontanément, ce qui annonce que la réduction commence, on adapte au tube C, le récipient *da*DE, qui est représenté en coupe et sur une plus grande échelle figure 2153. Il est en cuivre mince laminé et composé de deux parties ; la partie supérieure est une boîte rectangulaire, ouverte au fond, ayant environ 0m,25 de haut et 0m,12 à 0m,15 de long sur 0m,05 de large, et divisée en deux compartiments égaux, sur les deux tiers de sa hauteur, par une cloison *bb* ; elle entre exactement dans une boîte inférieure E, remplie d'huile de naphte bien desséchée, et placée dans un vase réfrigérant F. A la partie supérieure de la boîte D, sont soudés deux tubes diamétralement opposés ; l'un *d*, reçoit l'extrémité du tube C, et on garnit avec soin la jointure avec du lut ; l'autre *a*, porte un bouchon que traverse une tige de fer *e* qui sert à dégager le tube C et à prévenir les engorgements qui pourraient s'y former. En *c*, on adapte un tube recourbé en verre dont l'autre extrémité plonge dans une cuvette remplie d'huile de naphte, et qui sert de tube de sûreté, en fixant la tension maximum que les gaz peuvent acquérir dans le condenseur D. Il faut avoir bien soin de ne pas laisser s'engorger le tube C, ce qui donnerait lieu à de graves accidents. La préparation du potassium est du reste une des préparations les plus délicates de nos laboratoires et ne doit être faite que par des personnes ayant une certaine habitude des manipulations chimiques. Comme la température à laquelle on doit chauffer les bouteilles de fer doit être aussi élevée que possible, on les recouvre d'un lut d'argile pour les préserver de l'oxydation. On purifie le potassium, obtenu comme il vient d'être dit, en le fondant sous l'huile de naphte et même quelquefois en le distillant dans une cornue en fer.



2153.

La grande affinité du potassium pour l'oxygène, le phosphore, etc., le fait fréquemment employer dans les laboratoires de chimie.

POTÉE D'ÉTAIN. La potée d'étain est un mélange d'oxydes de plomb et d'étain, obtenu en calcinant un alliage de ces deux métaux en proportions variables ; le plomb et l'étain séparés ne s'oxydent que lentement au rouge, tandis que leurs alliages s'oxydent très rapidement dans les mêmes circonstances ; ainsi, par exemple, l'alliage qui renferme 3 parties de plomb et 1 p. d'étain, s'enflamme lorsqu'on le chauffe au rouge sombre et continue ensuite à brûler de lui-même. L'oxydation terminée, on broie la potée et on l'obtient par lévigation au degré de finesse voulue. Suivant la proportion relative du plomb et de l'étain, on obtient une potée dont la couleur peut présenter toutes les nuances du gris au jaune rougeâtre. On s'en sert pour polir les verres, les glaces, etc., ainsi que pour préparer les *émaux*.

POTERIE (*angl.* pottery, *all.* tœpferei). La fabrication des poteries est une des industries les plus anciennement connues, mais ses progrès les plus importants ne datent que de quelques siècles, et sont dus aux Bernard de l'alissy, aux Wedgwood, aux Bœttger, etc. Elle se divise actuellement en un nombre considérable de branches d'après la nature des poteries produites ; nous les passerons successivement en revue avec tous les détails que le cadre de ce dictionnaire nous permettra de donner, en rappelant, à ceux de nos lecteurs qui désireraient acquérir une connaissance plus approfondie de l'art céramique, que le savant M. Alexandre *Brongniart*, qui a dirigé avec tant d'habileté la Manufacture royale de porcelaine de Sèvres, pendant plus de quarante ans, a publié sur la céramique un traité *ex professo*, qui doit servir de modèle à tous ceux qui entreprennent la description complète d'une branche d'industrie quelconque, et qui, nous nous faisons un devoir de le reconnaître, nous a été du plus grand secours pour la rédaction de cet article.

Avant d'entrer dans les détails de fabrication propres à chaque espèce de poteries, il est indispensable de parler d'une manière générale des éléments qui entrent dans la composition des pâtes et glaçures céramiques, ainsi que des procédés de préparation et de façonnage de ces pâtes, communs à tout ou partie des diverses branches de fabrication.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Composition générale des pâtes.

Le principal élément des pâtes céramiques, qui sont toujours essentiellement composées de silicates terreux à base d'alumine, seule ou mélangée de magnésie, est une matière dont la plasticité permet de mouler et de façonner la pâte : on dit que la pâte est *longue* ou *courte*, selon qu'elle a plus ou moins de plasticité.

On emploie généralement comme *matière plastique*, pour la fabrication de la porcelaine, des kaolins, et, dans quelques parties de l'Espagne et du Piémont, du carbonate et du silicate de magnésie ; les argiles plastique, figuline, marneuse, etc., fournissent la matière plastique des autres poteries. Les *kaolins* proviennent toujours de la décomposition du feldspath et se rencontrent dans les terrains granitiques, surtout dans la roche désignée sous le nom de *pegmatite*, et qui est presque uniquement composée de quarz et de feldspath ; ils sont souvent recouverts, dans leurs gisements, d'une roche micacée, ou sorte de gneiss, rouge et très fusible. Le principal gisement de kaolin, en France, est celui de Saint-Yrieix, à 28 kilomètres au sud de Limoges. Le kaolin de cette localité est généralement friable et d'un beau blanc de lait ; on en distingue trois variétés : le kaolin caillouteux, qui est grenu, friable, à grains partie quarzeux et durs, partie argileux et tendres ; le kaolin sablonneux, qui est friable, très maigre au toucher, et dans lequel le quarz est à l'état de sable très fin, mais visible ; et le kaolin argileux, qui est moins friable et fait directement avec l'eau une pâte assez liante. Complétement desséché, le kaolin de Saint-Yrieix se compose à peu près de 0,545 de silice, 0,425 d'alumine, et 0,030 de potasse et de chaux. Parmi les argiles employées à la confection des poteries, on doit placer au premier rang l'*argile plastique*, qui, lorsqu'elle est suffisamment pure, est infusible dans le four à porcelaine, et forme la base des poteries de grès, des cazettes à cuire la porcelaine, des faïences fines, etc. Vient ensuite l'*argile figuline*, qui donne une pâte liante, moins tenace que la précédente ; elle renferme jusqu'à 5 à 6 p. 100 de chaux, et une certaine quantité de fer, de sorte qu'elle se colore en jaune ou en rouge par la cuisson ; à une haute température, elle se ramollit et se couvre d'une sorte de vernis. On s'en sert pour la fabrication des faïences communes, des terres cuites, des briques, etc... La grande abondance, à la surface du globe, des *marnes argileuses*, la facilité avec laquelle elles font pâte avec l'eau et se laissent façonner, la solidité et la dureté qu'elles acquièrent par une cuisson modérée, les font presque exclusivement employer dans la fabrication des poteries communes ; il en est à peu près de même des *marnes limoneuses*, mais les *marnes calcaires* ne sont jamais employées comme matières plastiques.

Si, d'un côté, la plasticité est une condition de première importance pour le façonnage des pâtes, d'un autre côté, une pâte très plastique éprouve, tant par la dessiccation que par la cuisson, un retrait considérable, qui a souvent pour résultat de déformer les pièces et d'y déterminer des fissures. On obvie à cet inconvénient, en diminuant la plasticité de la pâte, par l'addition d'une matière *aride* ou *dégraissante*, c'est-à-dire d'une matière qui ne soit pas susceptible par elle-même de prendre du retrait. Les matières dégraissantes sont le quarz, les ciments et les escarbilles. Le *quarz hyalin*, que l'on trouve en quelques localités, est surtout employé pour les porcelaines. Les *silex pyromaques*, disséminés en nodules dans les terrains de craie blanche, sont très-employés en Angleterre dans la fabrication des faïences fines ; certains sables quartzeux servent également à la fabrication de la faïence. Pour les pâtes communes, on emploie fréquemment comme matières dégraissantes des pâtes argileuses cuites, puis broyées plus ou moins fin, et auxquelles on donne le nom de *ciment*. Enfin, pour quelques poteries très grossières et que l'on cuit à une basse température, on emploie comme ciment le *machefer* et les *escarbilles*, qui tombent sous la grille des fours à réverbère.

Dans quelques cas particuliers, pour obtenir des vases moins fragiles, on incorpore dans la pâte de la sciure de bois, du poussier de coke, ou du graphite. Il paraît qu'en Corse, et dans le même but, on introduit dans certaines pâtes de l'*amiante* ou *asbeste*, pierre filamenteuse qui vient se ranger à la suite, soit de l'amphibole, soit du pyroxène.

Dans les poteries cuites à une basse température et faites avec des marnes argileuses, le calcaire joue le rôle de matière dégraissante ; on en ajoute quelquefois dans ce but dans des circonstances analogues.

Enfin, soit pour rendre la combinaison des éléments plus intime, soit pour donner aux produits une translucidité plus ou moins prononcée, une imperméabilité plus ou moins grande, etc., on ajoute souvent à la pâte des matières qui augmentent sa fusibilité ; ces matières, dites *fondantes*, sont ordinairement du feldspath, presque toujours mélangé de quarz, et du calcaire. Quant aux substances qui sont employées pour former les *couvertes* ou *glaçures* qui recouvrent la plupart des poteries, elles sont très nombreuses, et nous en parlerons à l'article de chaque genre de poteries.

Avant de terminer ce paragraphe, nous rappellerons que nous avons vu que, pour les alliages métalliques multiples (voyez l'article ALLIAGES), l'ordre dans lequel on combine les éléments est de la plus grande importance, et que, toutes choses égales d'ailleurs, en inversant cet ordre, on pouvait obtenir des produits de composition identique ayant des propriétés essentiellement différentes. Ici, un phénomène analogue se présente : il ne suffit, pas pour obtenir des poteries d'une nature donnée, d'arriver à combiner ensemble les éléments simples (silice, alumine, etc.,) dans les proportions indiquées par l'analyse, mais il est encore indispensable que les matières premières de la fabrication à établir, qui renferment les éléments simples ci-dessus, présentent à peu près les mêmes modes de combinaison et d'agrégation que les matériaux ordinairement employés dans la composition de cette sorte de poterie.

Préparation des pâtes.

Il est essentiel que les pâtes céramiques soient amenées à présenter, dans leur masse, une homogénéité d'autant plus parfaite que la température de leur cuisson sera plus élevée, afin que le retrait soit bien égal et ne donne pas lieu à la déformation des pièces. A cet effet, on fait subir aux matières premières deux séries d'opérations : les premières ayant pour but d'obtenir des matières séparément bien homogènes et réduites en particules très ténues, les secondes servant à produire un mélange intime des matières préparées comme il vient d'être dit.

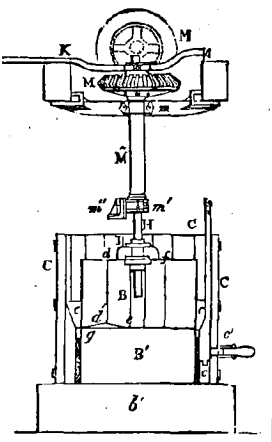
Les kaolins et les argiles sont préparés par un *lavage* par décantation. A cet effet on les laisse sécher, on les réduit en poudre grossière, soit à la batte à main, soit sous des meules verticales, on les humecte d'une petite quantité d'eau, on les laisse s'en pénétrer pendant vingt-quatre heures au moins, puis on les délaie en les faisant tomber dans une cuve pleine d'eau, et dans laquelle se meut un agitateur muni de bras. On laisse ensuite reposer quelques instants, puis on décante l'eau trouble dans des cuves de dépôt échelonnées, où on la laisse jusqu'à ce que les particules argileuses qu'elle tenait en suspension se soient déposées. Le délayage des argiles se fait bien plus facilement dans l'eau chaude que dans l'eau froide ; on y applique avec avantage l'eau de condensation de la machine à vapeur, lorsqu'il y en a une dans l'établissement.

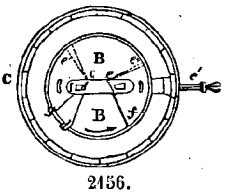
Les autres matières doivent être soumises à un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

broyage. Avant de broyer le quarz, le silex et le feldspath, on les *étonne*, c'est-à-dire on les chauffe fortement, et on les jette encore rouges dans de l'eau froide : on détruit ainsi leur ténacité et on les rend très friables. On les pile ensuite à sec, généralement, au moyen de meules verticales analogues à celles que nous avons décrites à l'article HUILE (figures 1210 et 1211 du même article), et qui sont munies de râteaux qui ramènent sous les meules la matière qui n'est pas suffisamment broyée. On crible ensuite ces matières et on achève de les broyer sous des meules horizontales; ces meules sont ordinairement

2157.

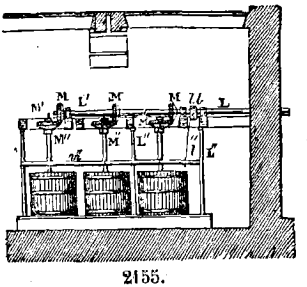




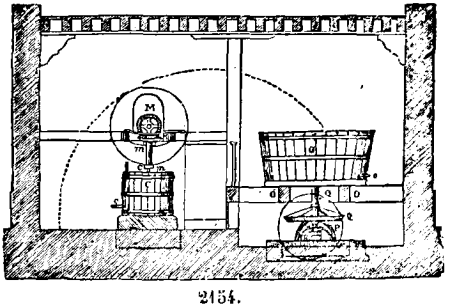
2156.

tourner la meule courante vient d'en haut, passe dans l'axe de la meule courante, qui est percé et garni d'un œil carré en fer, et vient s'appuyer sur une crapaudine encastrée dans la meule gisante.

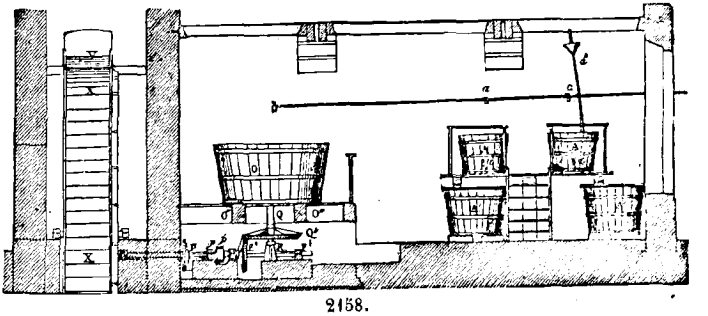
Nous donnerons, comme exemple, l'atelier de broyage établi à la Manufacture royale de porcelaine de Sèvres par M. John Hall, et qui se compose de trois petits moulins et d'un grand, comme l'indique l'élévation, fig. 2154. La manière dont ces petits moulins sont mis en mouvement est représentée dans l'élévation, figure 2155, prise à angle droit avec la précédente. Ces moulins eux-mêmes sont dessinés sur une échelle plus grande, en plan, fig. 2156, et en coupe, fig. 2157. Enfin la fig. 2158, prise à angle droit avec la fig. 2154, donne l'élévation de la roue hydraulique motrice, du grand moulin et des tonnes servant au lavage par dépôt des kaolins et des matières broyées. X, est la roue hydraulique motrice, et Y le déversoir qui l'alimente; des manchons d'embrayage *ll* (fig. 2155) et *p* (figure 2152), permettent d'arrêter à volonté les meules, indépendamment de la roue hydraulique. Les meules des petits moulins (fig. 2156 et 2157) ont 0m,70 de diamètre. Ces moulins se composent d'une tonne en bois CC, sans fond, et reposant sur une plate-forme en pierre *b'*; au-dessus se trouve la meule gisante B', qui laisse entre elle et les parois de la tonne un vide annulaire de 0m,10 environ, que l'on remplit presque entièrement avec une doublure en bois *c*, qui se termine en forme d'entonnoir à sa partie supérieure, afin de diriger entre les meules la matière à broyer ; on fait écouler les matières broyées par l'orifice *c'*, en avant duquel se trouve un registre que l'on tient fermé pendant le broyage. La meule courante B, a exactement le même diamètre que la meule gisante B' ; cette meule est quelquefois ovale, mais le plus souvent elle est circulaire, comme l'indique



2155.



2154.



2158.

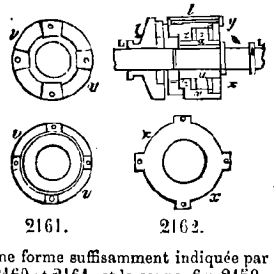
en grès dur, en quarzite ou en granite. Elles sont quelquefois entièrement disposées comme les meules des *moulins à farine;* d'autres fois, l'arbre qui fait la figure. On y pratique alors une échancrure uniforme *d e f*, qui occupe environ 1/6 de sa circonférence, et qui facilite l'engrenage de la matière à broyer entre les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

meules, en pratiquant dans la meule courante, à sa partie inférieure et du côté de l'échancrure qui vient dans le sens du mouvement, un biseau d'engrenage *d e g*; on pique en outre cette meule en dessous. L'axe de rotation H, se termine à sa partie inférieure par une partie carrée qui passe dans un œil carré en fer, placé à la partie supérieure de la meule courante; il est guidé par un manchon M", fixé par des supports *m*, *m'* et *m"*, au bâti de la machine; il se termine à sa partie supérieure par une partie carrée sur laquelle glisse un manchon qui porte la roue d'angle M, par le moyen de laquelle il reçoit son mouvement de rotation; une fourchette K, permet, suivant qu'on la soulève ou l'abaisse, de débrayer ou d'embrayer à volonté la meule. Neuve, chaque meule courante pèse environ 300 kil.; recouverte de 100 kil. de feldspath pulvérisé et de 50 kil. d'eau, elle perd environ 200 kil. de son poids et n'agit plus qu'avec une pression de 100 kil. Selon le docteur Ure, il convient de lui donner une vitesse de rotation de 11 à 12 tours par minute; on broie, dans ce cas, 100 k. de feldspath ou 75 kil. de quarz par quarante-huit heures et par meule. D'après M. Brongniart, on n'imprimerait généralement aux meules, en France, qu'une vitesse de 4 tours par minute, avec une charge de 40 à 80 kil. de matière à la fois, et, dans ces circonstances, on ne broierait que 60 kil. de sable siliceux, ou 80 kil. de feldspath, par quarante-huit heures.

Le grand moulin O, fig. 2154 et 2158, est une importation anglaise; la meule courante unique est remplacée par trois gros blocs de pierres dures, poussés par des bras ou palettes fixées à un arbre vertical mû par les roues d'angle P, Q, avec une vitesse de 8 tours par minute. Chaque pierre ou bloc mobile doit peser au moins 100 kil.; on peut avec ces moulins broyer 10 kil. de matière dure par heure.

Il arrive quelquefois, par suite d'un ralentissement trop grand, et surtout d'une suspension de mouvement vers la fin du broyage, que les matières broyées s'accumulent entre les meules, et les collent l'une avec l'autre avec une telle force qu'il devient extrêmement difficile de les séparer. Il n'y a que les matières pierreuses qui *plombent* ainsi les meules. Les terres et les argiles non seulement n'ont pas cette propriété, mais encore elles la neutralisent lorsqu'elles se trouvent mêlées avec les matières pierreuses. On pare en partie à cet inconvénient en mêlant du vinaigre à l'eau de délayage. Pour prévenir le bris des engrenages, en cas de plombage des meules, M. Hall modifie le manchon d'embrayage, comme l'indiquent les fig. 2159 à 2162; au lieu d'être d'une seule pièce, ces manchons se composent de trois parties, l'une *u* fixée à l'arbre L par une clef ou une saillie, et les deux autres *v* et *x*, folles sur la première, et pouvant être réunies ensemble au moyen de quatre boulons *y*; la partie *v* porte les dents d'embrayage et a une forme suffisamment indiquée par les élévations, fig. 2160 et 2161, et la coupe, fig. 2159; la partie *x*, fig. 2159 et 2162, est une simple plaque. Entre les trois parties, on interpose des rondelles annulaires en cuir, *z*, *z*, de sorte que l'adhérence des deux parties *v* et *x*, avec la partie *u*, est réglée et déterminée par le serrage des vis *y*, qui réunissent entre elles les deux premières parties. Lorsque l'effort résistant devient trop considérable, les faces intérieures des pièces *v* et *x* glissent sur les rondelles de cuir, qui peuvent même être carbonisées et détruites par la chaleur que dégage le frottement; les pièces *v* et *x* ne suivent plus alors le mouvement de la pièce *u*. On obtient ainsi un véritable débrayage, qui consiste à rendre le manchon d'embrayage fou sur une de ses parties, lorsque l'effort résistant dépasse certaines limites, et par l'effet même de cet effort.



Les matières broyées sont ensuite soumises au lavage par décantation, qui s'opère comme pour les matières plastiques; seulement le délayage est beaucoup plus facile.

La seconde série des opérations, que comporte la préparation des pâtes, a pour but d'obtenir un mélange aussi homogène que possible des matières premières préparées comme il vient d'être dit.

On commence par mélanger les matières premières dans une grande cuve, ou tonne à mélanger analogue à celles à mélanger le MORTIER, ou en opérant à bras avec des râbles, si la fabrication est restreinte; dans tous les cas, on doit employer les matières à l'état de bouillie claire, et opérer le mélange aussi rapidement que possible.

Pour rendre la pâte maniable et empêcher qu'elle ne se sépare par dépôt en parties d'inégales densités, il faut la faire *ressuer*, c'est-à-dire expulser une partie de l'eau qu'elle renferme et l'amener à la consistance pâteuse. L'*aérage* seul est généralement insuffisant. L'*absorption* de l'eau par des caisses en plâtre à parois épaisses dans lesquelles on verse la pâte, exige un matériel considérable et n'est guère praticable que pour les petites fabriques. On emploie très fréquemment l'*action du feu* pour le ressuage des pâtes, mais ce procédé est très coûteux. Enfin, dans ces derniers temps, MM. Honoré et Grouvelle ont imaginé de raffermir la pâte en la soumettant, dans des sacs de toile forte à tissu très serré, à une puissante pression par un moyen mécanique quelconque; ce procédé est actuellement employé dans presque toutes les fabriques de porcelaine; d'après M. Johnson, on augmente considérablement la durée des sacs de toile en les plongeant pendant quelque temps, avant de les employer, dans de l'huile bouillante, qui empêche l'eau d'y adhérer et de les pénétrer. M. Alluaud opère la filtration de l'eau par la pression atmosphérique; à cet effet, il a un entonnoir ou trémie en fonte munie d'une grille hémisphérique convexe qu'il recouvre de galets, par dessus lesquels il place une étoffe de laine serrée perméable à l'eau, quelquefois recouverte d'une grosse toile d'étoupes, et sur laquelle on verse la pâte à raffermir. On fait le vide dans des cylindres placés au-dessous de l'entonnoir, et la pression atmosphérique agissant sur la pâte force l'eau à filtrer à travers l'entonnoir. Les cylindres ci-dessus sont munis de trois robinets : l'un placé à la partie supérieure et communiquant avec l'air; un autre également placé à la partie supérieure, et servant à mettre le cylindre en communication tantôt avec l'entonnoir, tantôt avec un réservoir d'eau supérieur; enfin, un autre robinet placé à la partie inférieure, et mû par la même tige que le précédent, communique avec un tuyau vertical de décharge placé au-dessous, ayant au moins de 10m,50 à 11m de long, et qui plonge dans un réservoir d'eau inférieur. On remplit d'abord le cylindre d'eau venant du réservoir supérieur, en laissant le robinet à air ouvert; lorsque l'eau jaillit par ce robinet, on le ferme, on change le sens des deux autres robinets, et le vide barométrique se produit dans le cylindre; le degré de vide est indiqué par un manomètre. Lorsqu'il y a une machine ou une chaudière à vapeur dans l'établissement, on peut produire le vide dans les cylindres, comme l'a fait M. de Caen, dans sa fabrique de faïence, de la même manière que dans les appareils à cuire les sirops dans le vide (voyez SUCRE).

La pâte, après le ressuage, est encore pétrie, soit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec les pieds de l'ouvrier, opération connue sous le nom de *marchage*, soit par le *battage* à la main, soit enfin au moyen de tonnes à mélanger dont le fonctionnement a été expliqué en détail à l'article MORTIER (figures 2163 à 2166).

La fig. 2163 est la coupe verticale, représentant l'axe qui est mis en mouvement; les fig. 2164 et 2165 des formes des rateaux montés sur l'arbre, et la fig. 2166 le fond du tonneau.

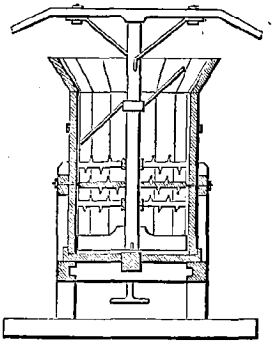


Fig. 2163.



Fig. 2164.

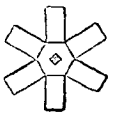


Fig. 2165.

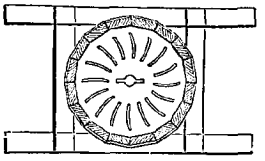


Fig. 2166.

Enfin, on améliore notablement la qualité des pâtes en les conservant en masse pendant longtemps, souvent même des années entières, dans un état constant d'humidité. Elles éprouvent alors pour la plupart ce qu'on nomme la *pourriture;* c'est une sorte de fermentation que l'on accélère en humectant les pâtes avec des eaux de fumier ou des eaux marécageuses. Les pâtes deviennent noires et exhalent une odeur d'hydrogène sulfuré. Lorsqu'on en prend une faible partie et qu'on l'expose au contact de l'air, elle blanchit rapidement avec dégagement d'acide carbonique. Le dégagement de gaz qui se produit pendant la pourriture des pâtes, par suite de la putréfaction des matières organiques contenues dans l'eau, produirait, selon M. Brongniart, une espèce de pétrissage plus complet, ce qui expliquerait pourquoi les pâtes acquièrent par la pourriture plus de plasticité et d'homogénéité, en même temps qu'elles prennent un retrait moindre et plus régulier que les pâtes neuves. M. Salvétat a proposé à ce sujet une explication plus complète (Voy. POTERIE, *Complément*); mais quant au fait en lui-même, il est bien certain.

Façonnage des pâtes.

Le façonnage des pâtes se fait de trois manières différentes: par tournage, moulage et coulage.

L'*ébauchage* des pièces se fait ordinairement sur un *tour à axe vertical;* à la partie inférieure cet axe porte une roue massive qui sert de volant, et que l'ouvrier met en mouvement avec le pied. Cet appareil qui remonte à l'antiquité la plus reculée et qui convient essentiellement pour exécuter des formes de révolution, c'est-à-dire celles de stabilité maximum pour des vases qui doivent renfermer un liquide, est représenté fig. 2167.



Fig. 2167.

L'ouvrier habitué à modérer instinctivement à l'aide du pied la vitesse de rotation, en raison du travail de la main, acquiert une grande habileté qu'il ne retrouve pas de suite avec des tours mus mécaniquement; néanmoins lorsqu'on a un grand nombre de tours à faire mouvoir à la fois, et que l'on forme une nouvelle population ouvrière, on emploie avec avantage comme moteur commun une roue hydraulique ou une machine à vapeur; mais il faut que l'ouvrier puisse, à l'aide d'un embrayage, ralentir, arrêter facilement son tour.

Pour *ébaucher au tour* une pâte quelconque, l'ouvrier prend une masse de pâte humide proportionnée à la pièce qu'il veut faire, il la met sur la tête du tour, mouille ses mains avec de la *barbotine*, c'est-à-dire avec une bouillie claire de cette pâte, met le tour en mouvement, et amène peu à peu la pâte à prendre la forme voulue en se servant de ses mains, et souvent d'une éponge qui est destinée à étendre la surface de ses doigts. Un seul instant passé dans une fabrique de poteries fera mieux comprendre cette opération que les descriptions les plus détaillées. On augmente au besoin la hauteur de la pièce ébauchée, en rapportant successivement des colombins de pâte à sa partie supérieure. La principale difficulté de l'ébauchage au tour consiste à mouiller et à comprimer bien également la pâte à mesure que l'on élève la pièce; sans cela, celle-ci se déforme plus ou moins et même se fêle par la cuisson. La régularité du façonnage hélicoïdal est tout à fait nécessaire pour que les formes des pièces fabriquées ne soient pas altérées au feu.

Certaines pièces, par leurs dimensions, ne peuvent s'ébaucher sur le tour; on les élève alors à la main, au moyen de colombins ou boudins de pâte successivement rapportés.

Les modèles pour le moulage se font en plâtre gâché serré et pénétré d'huile siccative pour les durcir, ou en métal, étain ou bronze. Sur ces modèles-types, on prend des contre-épreuves ou *mères* en plâtre qui, surmoulées à leur tour, donnent les *moules* destinés à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la fabrication. Ces moules se font en plâtre, ou en terre cuite chauffée au *dégourdi;* il faut noter qu'à chaque moulage en plâtre, l'augmentation des dimensions linéaires est de 1/100, tandis qu'au contraire, il y a retrait pour le moulage en terre cuite.

Suivant l'objet que l'on veut mouler, le moulage se fait à la balle, en croûte, ou en housse : le *moulage à la balle* se fait en préparant à la main des balles de pâte que l'on imprime dans les cavités des coquilles du moule, en se servant d'une toile ou d'une éponge; si la pièce doit être pleine, on met un excès de pâte, puis on applique les deux coquilles l'une contre l'autre en les serrant fortement, et l'excès de pâte s'échappe par une rigole ménagée à cet effet; si la pièce doit être creuse, on moule la pâte à l'épaisseur convenable, puis avant de remonter les coquilles, on en garnit les bords de barbotine pour éviter les bavures trop fortes et augmenter l'adhésion de la pâte aux joints. Lorsque la pâte est trop courte, on lui donne du liant en y ajoutant une petite quantité de gomme arabique ou de colle de farine. Le *moulage à la croûte* consiste à préparer au rouleau sur une toile forte ou une peau mouillée et placée sur une table en pierre, bien dressée, une *croûte* ou lame de pâte d'épaisseur convenable, que l'on soulève ensuite à l'aide de la peau, pour l'appliquer avec une éponge sur la convexité du noyau en plâtre préalablement mouillé; on recouvre alors le noyau avec le moule creux qui doit former l'extérieur de la pièce et qui, étant plus sec, enlève la croûte au noyau; on continue de l'y appliquer d'abord avec l'éponge, puis avec des tampons remplis de poussière de la même pâte; par la dessiccation et le retrait qui en résulte, la pièce se détache d'elle-même du moule. Le *moulage à la housse* consiste à faire d'abord sur le tour une ébauche ou *housse* de la pièce à fabriquer, puis à la placer encore molle dans un moule de plâtre creux, contre les parois de laquelle on l'applique exactement au moyen d'une éponge. Ce procédé, qui convient particulièrement pour les pâtes délicates et surtout pour les pâtes à porcelaine, ne peut s'appliquer qu'à certaines classes de formes. Quel que soit le genre de moulage employé, il est nécessaire de changer de moules dès que ceux-ci sont abreuvés d'humidité, parce qu'alors ils ne peuvent plus absorber celle de la pâte qui devient adhérente au moule et ne peut plus s'en détacher aisément; il faut dans ce cas les laisser sécher avant de s'en servir de nouveau. Le *démoulage* ne s'opère que lorsque la pâte a acquis assez de solidité pour ne pas se déformer par son propre poids. Le *moulage à la presse* paraît ne réussir que pour des objets de dimensions très faibles; le moule proprement dit est en métal, ou en plâtre ou terre cuite, cerclé en fer, et d'une seule pièce ou composé de plusieurs parties, selon les exigences du démoulage; le noyau, monté sur la vis de la presse, est en métal; le fond du moule est formé par une capsule mobile à volonté, ordinairement par le mouvement même de la presse, et qui sert à enlever la pièce du moule. Pour empêcher l'adhérence de la pâte avec les surfaces métalliques, on enduit celles-ci avec de l'essence de térébenthine. Le grand inconvénient de ce procédé, c'est que la masse acquiert une inégale densité, d'où résultent des gauchissements d'autant plus sensibles que la température à laquelle s'opère la cuisson est plus élevée.

Les pièces de service qui ont la forme d'un solide de révolution, et qui doivent se faire en grand nombre et avec des dimensions et une épaisseur absolument égales, après avoir été ébauchées sur le tour, soit à la croûte, soit à la housse, sont soumises au *calibrage*, qui consiste à abaisser sur la pièce un calibre qui présente à son bord interne le profil exact, découpé dans une lame d'acier, de la forme, soit du dedans, soit du dehors de la pièce, de manière à lui donner à la fois exactement l'épaisseur et les contours qu'elle doit avoir. Pour que le calibre puisse prendre une position invariable, il est fixé à charnière par une de ses extrémités, tandis que l'autre vient s'appuyer sur un support convenable.

Le procédé de *moulage* par coulage ne s'applique qu'aux pâtes moyennement ou peu plastiques, et sert à mouler des plaques et des objets creux d'une épaisseur uniforme, tels que tubes, cornues, etc.; il est surtout employé dans les manufactures de porcelaine. La pâte neuve est mêlée avec la moitié de son poids de rognures de pâte venant du tournassage des pièces, puis étendue d'eau de manière à former une bouillie peu épaisse, dite *barbotine*, que l'on passe dans un tamis de fil de laiton, et que l'on agite doucement et longtemps jusqu'à ce qu'elle ait acquis l'homogénéité voulue. Le *coulage des plaques* de porcelaine se fait sur des plaques de plâtre humectées, garnies d'une bordure en planches; dès que, par suite de l'absorption du moule, la pâte a acquis assez de consistance, on enlève les planches de bordure, on coupe sur les bords une bande de pâte de $0^m,05$ au moins, pour les grandes plaques, afin de faciliter le retrait, on retourne la plaque de pâte sur une seconde plaque de plâtre très sèche, et au bout de dix à quinze jours, selon son état de dessiccation, on la renverse sur une plaque de terre cuite, et on la porte dans le four à dégourdir, où on la place sous une inclinaison de 45°. Lorsque les plaques ont des dimensions un peu considérables, leur fabrication est très délicate et offre de nombreuses difficultés. Le *coulage des tubes* se fait dans des moules formés de deux coquilles, que l'on réunit ensemble et que l'on dispose verticalement; on bouche la partie inférieure du moule avec un tampon légèrement conique en peau. A l'aide d'un baquet à robinet, plein de barbotine, on remplit le moule de barbotine; elle s'affaisse un peu, et on la remet de niveau par plusieurs additions successives de matière jusqu'à ce qu'elle ne s'affaisse plus sensiblement; on enlève alors le moule de dessus le tampon, la barbotine non adhérente s'écoule, et il en reste une couche très mince sur les parois du moule. Lorsque cette couche s'est un peu raffermie, on en superpose une seconde, en ayant soin de retourner le moule, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le tube ait une épaisseur suffisante; on coupe alors la pâte extérieure au moule pour faciliter le retrait, et, après quelques heures, la pâte est assez raffermie pour que l'on puisse opérer le démoulage; les bavures de la jonction des deux coquilles du moule s'enlèvent après coup. Lorsque l'on a à faire des pièces creuses d'un diamètre ou d'une hauteur considérable, on les coule en syphon, de bas en haut, soit par la simple pression due à la différence du niveau, soit en refoulant la barbotine au moyen d'un piston. Le *coulage des cornues* et autres pièces à courbures se fait différemment : le moule est à deux coquilles, on surmonte chacune d'elles d'une fausse coquille en métal ou autre matière non absorbante, et on coule séparément la barbotine dans chaque coquille; dès que la couche de pâte déposée est assez épaisse, on ôte les deux fausses coquilles, et on réunit les deux coquilles en écrasant le petit rebord de pâte saillant, et cimentant ainsi parfaitement les jointures; on termine enfin en passant dans la pièce un peu de barbotine que l'on déverse ensuite par l'ouverture.

Les pièces ébauchées par les procédés qui viennent d'être décrits sont terminées par le *rachevage*, qui comprend une série d'opérations variables suivant la nature de ces pièces. Les pièces ébauchées sur le tour à axe vertical, sont terminées et polies sur un tour à axe horizontal ou vertical, au moyen d'outils d'acier ou *tournassins;* c'est ainsi que se font les filets, les gorges, etc. : cette opération porte le nom de *tournassage*. Certains ornements, par suite des nécessités du moulage, doivent subir un véritable *sculptage*, analogue à celui que l'on fait savoir aux bronzes moulés. Le *réparage* consiste à enlever les sutures des moules; l'*évidage*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a pour but de faire les *jours*, qui, dans certaines pièces, comme les corbeilles, n'ont pu se faire par le moulage. Certains ornements se font au moyen du tour à guillocher; d'autres s'impriment avec des molettes ou s'estampent avec des cachets. (Voy. POTERIE, *Complément.*)

On n'obtient ainsi que le corps des pièces; les pièces accessoires ou *garnitures*, telles que les becs, pieds, anses, etc., se font à part par moulage, ou par *tirage*, à la filière, d'une manière analogue au vermicelle, quand leur section est uniforme. Lorsque le corps de la pièce et la garniture sont également humides, on les réunit aisément avec de la barbotine; mais lorsqu'elles sont sèches, il faut avoir soin de gommer la barbotine et d'enduire également d'eau gommée les surfaces d'application.

Glaçures.

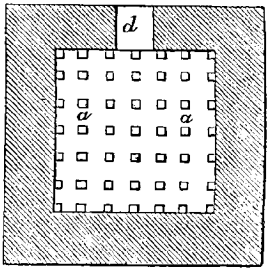
Les *glaçures* sont des enduits susceptibles de se vitrifier à la température de cuisson de la poterie; elles se divisent en : *vernis*, enduit plombifère transparent, qui se fond à une basse température; *émail*, enduit stannifère opaque; *couverte*, enduit terreux, qui ne se fond qu'à la température de la cuisson de la pâte. Ces enduits ont pour but de rendre la pâte imperméable et de lui donner un certain éclat. Leur nature doit varier avec celle de la pâte sur laquelle on les applique, ainsi qu'avec la température à laquelle on doit la cuire; nous en parlerons par conséquent à l'article de chaque espèce de poteries. Le posage de ces enduits se fait par immersion, par arrosement ou par volatilisation. Le procédé de *posage par immersion* ne peut s'appliquer qu'aux pâtes assez poreuses pour absorber l'eau avec avidité, et assez solides pour ne pas se délayer; on les rend telles en leur faisant subir un commencement de cuisson ou *dégourdi*; l'enduit, réduit en poudre extrêmement ténue, est mis en suspension dans l'eau, de manière à former une bouillie très liquide que l'on agite fréquemment, et à laquelle on ajoute même un peu de vinaigre qui retarde la précipitation. En passant la pièce à enduire dans le liquide trouble, elle absorbe de l'eau qui dépose à sa surface, en pénétrant dans son intérieur, les particules d'enduit qu'elle tenait en suspension. Les parties par lesquelles on tient la pièce ne prennent point de glaçure; on l'y met après coup au pinceau. On enlève avec une brosse, ou par grattage, la couverte des parties qui n'en doivent point avoir, soit parce que les pièces se colleraient par ces parties, lors de la cuisson, aux cazettes dans lesquelles on les place, soit pour toute autre cause; lorsque ce sont des ornements qui doivent rester mats, on les enduit d'une *réserve* en matière grasse : de la graisse fondue ou du suif. Lorsque la pâte est complétement cuite, on ne peut poser la glaçure par immersion; au lieu d'une bouillie très claire de l'enduit, on en prend une bouillie assez épaisse que l'on promène dans l'intérieur de la pièce à vernir, puis on en fait tomber l'excédant : ce procédé, dit par *arrosement*, s'applique surtout aux porcelaines tendres et aux grès. Quant aux poteries les plus grossières qui ne doivent passer qu'une fois au feu, on les saupoudre simplement avec un enduit plombeux pulvérisé et renfermé dans un nouet (posage par *aspersion*). Le posage par *volatilisation* consiste à remplir le four ou les cazettes d'une vapeur saline ou métallique, qui réagit sur les pièces, portées à une température élevée, et en vitrifie la surface. Lorsqu'on opère sur toute une fournée, on jette dans le four, après avoir fermé toutes les issues, du sel marin qui se volatilise, et vient former à la surface des pièces un enduit très solide et très mince de silicate multiple de soude, alumine, etc. (poteries de grès); dans l'autre cas, on enduit la surface intérieure des cazettes ou étuis, avec la matière volatilisable qui doit produire la glaçure.

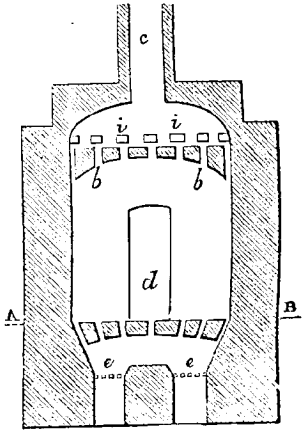
D'après ce que nous venons de dire, on voit que les poteries, glaçure comprise, subissent, soit une seule cuisson, soit une cuisson double. On soumet à une seule cuisson, faite à une basse température, les poteries communes à pâte colorée, que l'on recouvre d'un vernis plombeux transparent; on cuit également à un seul feu, mais à une haute température, les poteries de grès, et quelquefois les porcelaines dures; pour ces dernières, on les dégourdit ordinairement dans un compartiment supérieur du four avant d'appliquer la couverte. Il arrive souvent que la cuisson de la pâte exige une chaleur plus élevée que la glaçure; on cuit alors le *biscuit* dans l'étage inférieur du four, on y pose la couverte et on la cuit dans l'étage supérieur; tantôt cet enduit est vitro-métallique et transparent (faïence fine, porcelaine tendre), tantôt c'est un émail stannifère opaque (faïence émaillée).

Cuisson des pâtes.

Sauf le cas des briques, qui se cuisent généralement en tas, la cuisson des poteries se fait dans des fours. Les poteries grossières et les faïences communes, se cuisent dans des fours ayant la forme d'un demi-cylindre couché ou d'un parallélipipède voûté à la partie supérieure, où sont pratiquées des ouvertures qui font l'office de cheminées; le foyer est inférieur, séparé du laboratoire par une voûte percée de trous par lesquels la flamme se

2169.





2170.

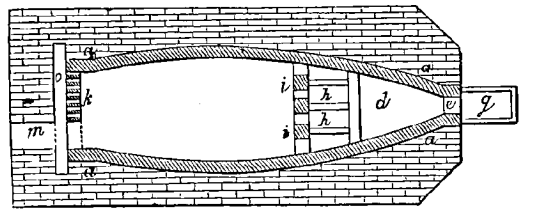
tamise dans l'intérieur du four. Les fig. 2169 et 2170 donnent le plan et la coupe d'un fourneau de ce genre. Lorsqu'on emploie de la houille, on la charge sur une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

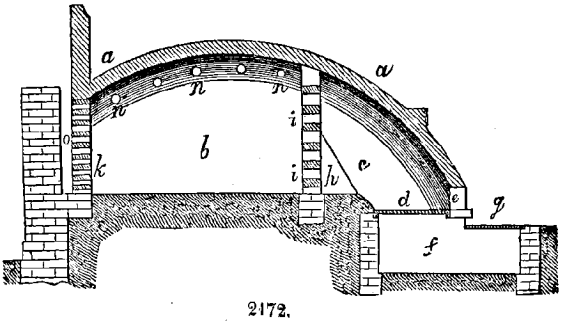
ou deux grilles *e*, *e*; lorsqu'on chauffe au bois, la grille est supprimée et remplacée par une aire plane. La flamme se tamise dans le four par les ouvertures *a*, *a*; elle s'échappe ensuite par les carneaux *b*, *b*, et se rend dans la cheminée commune *c*. Des regards *i*, *i*, bouchés par des briques mobiles, ou par tout autre moyen, permettent d'examiner la manière dont se fait la distribution de la flamme dans l'intérieur du four, et de la régulariser en bouchant un ou plusieurs des carneaux *b*, *b*.

On se servait autrefois pour la cuisson de la porcelaine, et on se sert encore dans certaines localités pour la cuisson des faïences et des poteries de grès, de fours à réverbère, à chauffe latérale, et à cheminée unique placée à l'autre extrémité du four. On peut y développer une température beaucoup plus élevée que dans les fours précédents, mais elle se trouve très inégalement répartie dans plusieurs parties du four, ce qui est un grave inconvénient. Les fig. 2171 et 2172 donnent le plan et la coupe d'un fourneau de ce genre employé en Allemagne : *a a*, voûte du fourneau ; *b*, laboratoire ; *c*, chauffe ; *d*, grille sur laquelle on charge le combustible (elle est remplacée par une aile plane lorsqu'on chauffe au bois) ; *e*, porte du chargement ; *f*, cendrier ; *g*, porte du cendrier munie d'un registre pour régler l'affluence de l'air ; *i*, *i*, mur percé de trous par lesquels la flamme se tamise dans l'intérieur du four ; il est soutenu par des contre-forts *h* ; *k*, mur percé d'un grand nombre d'ouvertures par lesquelles la flamme descend dans la cheminée *o* ; *m*, porte d'enfournement ; on détruit partiellement le mur *k* pour l'enfournement et on le rétablit avant la mise en feu ; *n*, regards servant à juger l'état du feu, à retirer les *montres*, etc.

Actuellement pour la faïence, les grès et surtout les porcelaines, on se sert presque exclusivement de fours cylindriques verticaux dits *fours à alandiers*, parce qu'à leurs bases et sur leur pourtour se trouvent placés un nombre généralement impair de foyers à combustion renversée, qui portent le nom d'alandiers. Nous prendrons pour exemple le four à alandiers employé en Angleterre pour la cuisson des faïences fines. La fig. 2173 est, en partie une coupe, en partie une élévation verticale de ce four ; la fig. 2174 est une coupe horizontale au niveau de la ligne *dd*, fig. 2173 ; C, fig. 2175, est une coupe horizontale de la moitié du four au niveau de la ligne *a e*, fig. 2173 ; et D, même figure, la vue en dessus de l'autre moitié du four ; enfin les fig. 2176 et 2177 donnent, sur une plus grande échelle, le plan et la coupe d'un alandier ; les échelles sont en yards (1 yard = 0m,915) : *f*, foyer ; *b*, bouche supérieure par laquelle l'air s'introduit dans le foyer ; *b'*, bouche inférieure qu'on laisse ouverte pour allumer

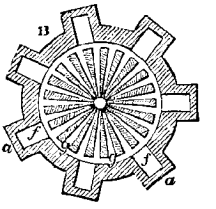


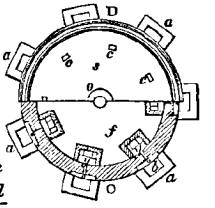
2171.

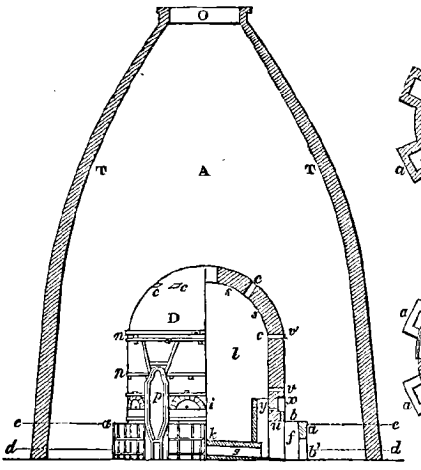


2172.

2174.







2173.

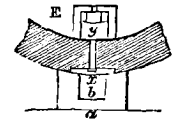
2175.

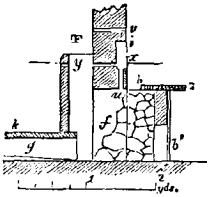
le feu, et que l'on ferme ensuite entièrement ou seulement en partie : on brûle de la houille, mais il convient d'allumer avec du bois ; *s s*, mur du four ; *y*, *y*, cheminée ; *g*, canaux de circulation de la flamme, au-dessous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du plancher du four, se réunissant au centre *k*; *w*, *v*, *v'*, regards pour examiner l'état du feu et régulariser le tirage des alandiers; *c*, *c*, carneaux par lesquels s'échappe la flamme; **T T**, dôme qui entoure le four et sert de cheminée centrale; *n*, *n*, *p*, armatures du fourneau; *u*, ouverture pour admettre au besoin de l'air frais dans la chauffe; *z*, registre pour fermer plus ou moins la bouche *b*.

2176.

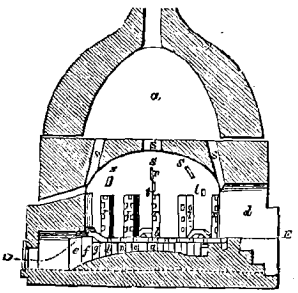


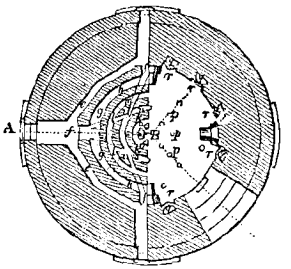


2177.

Nous donnerons encore comme exemple le four employé par Feilner, de Berlin, pour la cuisson des ornements, statues, etc., en terre cuite non recouverte d'une glaçure. Ce four est représenté, en plan, fig. 2178 et 2179 : il a quatre alandiers; le canal extérieur de

2179.





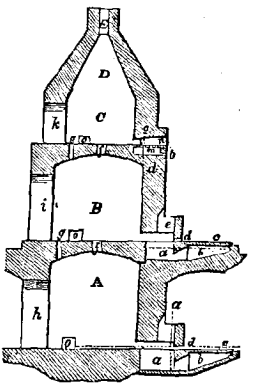
2178.

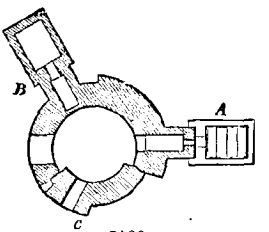
circulation de la flamme *e e*, communique avec les quatre alandiers. Les deux canaux suivants sont divisés par de petits murs en quatre compartiments, qui reçoivent chacun séparément la flamme de l'un des alandiers; ainsi l'alandier A ne chauffe que les compartiments *g g*, *l l*. La flamme des divers alandiers se réunit de nouveau dans les canaux *n n*, *o o*, d'où elle se rend dans la cheminée *b*; elle se tamise dans le laboratoire par les ouvertures *p*, *p*. On régularise la température dans l'intérieur du four et on prévient le refroidissement dû aux parois, en pratiquant dans ces parois des chambres *q*, *q*, séparées de l'intérieur du four par de minces cloisons percées de trous *r*, *r*; la flamme arrive dans ces chambres par le canal de circulation extérieur *e*, *e*; *d*, est la porte d'enfournement que l'on bouche après coup; *t*, *t*, regards pour surveiller et régler la conduite du feu; S, S, carneaux qui débouchent dans un étage supérieur qui sert à dégourdir.

Les fours à porcelaine ont également un second étage placé au-dessus du premier, et dans lequel s'opère le dégourdi. Nous en avons vu à trois étages superposés, chez MM. Haidinger, en Bohême : la flamme de l'étage inférieur passait successivement dans les deux étages supérieurs, et s'échappait enfin par une cheminée qui s'élevait au-dessus du massif du four : dans l'étage inférieur, on cuit la porcelaine avec sa couverte, ou lui donne le grand feu; le dégourdi se fait à l'étage supérieur, dans les cazettes mêmes qui doivent servir plus tard au grand feu; et enfin, l'étage moyen sert à étonner le quarz et le feldspath employés à la fabrication de la pâte.

On a construit dernièrement des fours à alandiers, à plusieurs étages, ayant des alandiers à deux au moins de ces étages; on réalise ainsi une économie notable sur le combustible. C'est dans un four de ce genre, à deux étages de foyers et à huit alandiers, que l'on cuit la porcelaine dure à Sèvres, depuis 1842; il y a un troisième étage, chauffé à flamme perdue, qui sert à dégourdir le biscuit. Nous donnons ici le plan, fig. 2180, et la coupe, fig. 2181, d'un four analogue, à trois étages de foyers et neuf alandiers, employé à Berlin, par M. Albrecht, pour la cuisson des poteries de grès et des briques réfractaires : A, étage inférieur; B, étage moyen; B, étage supérieur; *ab*, alandiers; *e*, foyers; *a*, cendriers; *b*, portes des cendriers; *d*, regards; *f*, carneaux aux centres des voûtes; *g*, carneaux latéraux; *h i*, *k*, portes d'enfournement; *h*, grilles pour les foyers ou alandiers de l'étage supérieur; *m*, cendriers de ces foyers; *a*, ouverture des alandiers dans l'intérieur du four; D, voûte de l'étage supérieur aboutissant à la cheminée E. On allume d'abord les alandiers de l'étage inférieur avec du bois résineux fendu très mince; lorsque la cuisson est terminée dans cet étage, on

2181.





2180.

bouche les portes des alandiers qui y correspondent et on allume ceux de l'étage moyen, et, de même, plus tard, ceux de l'étage supérieur.

Quelques poteries communes peuvent se cuire pêle-mêle dans les fours et en se supportant mutuellement, lorsqu'elles sont en biscuit, c'est-à-dire non recouvertes d'une glaçure; mais dans le cas contraire, il est indispensable de les séparer au moyen de supports ou même en les plaçant dans des étuis qui les enveloppent entièrement. Ces supports dits *rondeaux* quand ce sont seulement des plaques, *étuis* ou *cazettes* dans les autres cas, sont en pâte grossière afin de mieux résister aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POTERIE.

variations brusques de température, et cette pâte doit être plus difficile à ramollir et par conséquent plus réfractaire que les poteries qu'on doit y placer; on conçoit dès lors que pour certaines poteries qui se cuisent à une température très-élevée, comme les porcelaines et les grès, les supports et étuis ne peuvent se fabriquer qu'avec des argiles extrêmement réfractaires, bien lavées et auxquelles on ajoute du *ciment* ou débris d'anciennes cazettes cuites grossièrement pulvérisés.

L'*encastage*, ou l'action de placer les pièces à cuire sur des supports ou dans des étuis, varie suivant que la pâte est ou non ramollissable au feu.

Lorsque la température de cuisson est insuffisante pour que les poteries se ramollissent au feu, et lorsqu'elles n'ont aucun vernis; tantôt on les empile sur la sole du four, quand les pièces sont assez épaisses pour que celles qui sont à la base puissent supporter sans déformation le poids des pièces supérieures; tantôt, dans le cas contraire, on emploie l'encastage en *échappage* ou en *chapelle*, qui consiste à diviser la hauteur du four par plusieurs planchers formés de plaques de terre cuite supportés par des piliers de même nature, et sur lesquelles on entasse les pièces à cuire; tantôt enfin on les met dans des étuis ou cazettes, qui n'ont pour objet que de les garantir, de l'action trop immédiate de la flamme, de la fumée et des cendres qui pourraient en altérer ou en colorer la surface : c'est par l'une de ces méthodes que l'on encaste les poteries sans glaçures, comme les poteries grossières, le biscuit de faïence, le dégourdi de porcelaine. Mais si ces poteries sont recouvertes d'un vernis vitrifiable, on les dispose de manière à ce qu'elles ne puissent se toucher et à ce qu'elles aient le moins possible de points de contact avec leurs supports, qui présentent des pointes ou des arêtes aiguës, et sur lesquels on les place généralement de telle sorte qu'elles se trouvent supportées par trois points : ces supports portent, suivant leur forme, le nom de pernettes, de colifichets ou de pattes de coq.

L'encastage des poteries dont la pâte est ramollissable à la température à laquelle s'opère la cuisson, est une chose beaucoup plus délicate. Il est indispensable de soutenir les pièces par une surface ou des points tellement choisis et en nombre suffisant pour qu'il n'y ait presque pas de porte-à-faux ni de parties en saillie susceptibles de se déformer par le ramollissement; il en résulte des difficultés énormes pour la cuisson de certaines pièces, et cette considération a une grande influence sur le choix des formes de cette espèce de poteries : nous y reviendrons en parlant de la porcelaine dure. Les difficultés d'encastage deviennent encore bien plus grandes lorsque ces poteries sont recouvertes d'une glaçure qui se cuit au même feu; c'est même pour les éviter en partie qu'on a fait de la porcelaine tendre dont la glaçure se cuit à une température inférieure à celle qu'exige le biscuit et dans un autre feu.

L'encastage terminé, on procède à l'*enfournement;* ce dernier se fait *en charge*, quand on entasse seulement les pièces les unes sur les autres (briques, tuiles, poteries communes); en *échappade* ou en *chapelle*, quand on emploie l'encastage du même nom (faïences communes); en *étuis* ou *cazettes*, quand les pièces sont placées dans des étuis que l'on range en piles verticales dans l'intérieur du four (faïence fine, porcelaine); quel que soit le mode d'enfournement employé, il faut que la flamme puisse circuler également et librement entre toutes les pièces; comme, malgré tous les soins, certaines parties du four chauffent toujours plus que les autres, on y place les poteries plates qui exigent plus de feu que les poteries creuses et celles qui repassent au feu pour une cause quelconque.

Pour la cuisson de la porcelaine seulement, on emploie généralement du bois séché à l'air; nous avons cependant vu employer du lignite, en Bohême, et de la houille, en Saxe. Ce progrès est aujourd'hui réalisé à la Manufacture de Sèvres, grâce à la fréquence des chargements de la houille.

Les regards qui sont ménagés sur les parois des fours permettent de reconnaître si les foyers ou les alandiers tirent également bien et d'en régulariser la marche; outre la couleur du four, qui suffit souvent à un potier exercé pour reconnaître si la température du four est assez élevée, on l'apprécie, soit au moyen de *montres* ou petites pièces de poteries, de la même pâte que celle de la fournée, et qu'on a introduites avant la mise en feu dans des parties du four dont on peut aisément les retirer, soit par le glacé que prend une couverte mise sur cette pâte ou la nuance que certains vernis colorés prennent à différentes températures : le premier procédé accuse, outre la température du four, l'état de cuisson de la fournée.

Division des poteries.

Dans le remarquable ouvrage que nous avons cité au commencement de cet article, M. Brongniart divise les poteries en trois classes et neuf ordres, savoir :

I. *Poteries à pâte tendre*, argilo-sableuse, calcarifère, généralement fusible au feu de porcelaine,
- 1° *Terres cuites* (briques, tuiles, terres cuites).—Pâte argilo-sableuse, surface matte; sans glaçure.
- 2° *Poteries lustrées*.— Glaçure mince, silico-alcaline.
- 3° *Poteries vernissées*.—Glaçure plombifère.
- 4° *Poteries émaillées* (faïence commune). — Glaçure stannifère.

II. *Poteries à pâte dure*, opaque, argilo-siliceuse; infusible.
- 5° *Faïence fine*. — Pâte incolore: glaçure vitro-plombique.
- 6° *Grès-cérame*. — Pâte colorée; sans glaçure ou avec glaçure silico-alcaline.

III. *Poteries à pâte dure*, translucide, argilo-siliceuse, alcaline, ramollissable.
- 7° *Porcelaine dure*. — Pâte kaolinique; glaçure feldspathique.
- 8° *Porcelaine tendre naturelle*. — Pâte argilo-saline, phosphatique, kaolinique; glaçure vitro-plombique, boracique.
- 9° *Porcelaine tendre artificielle*.—Pâte marno-saline, frittée; glaçure vitro-plombique.

Nous ne saurions mieux faire que d'adopter la même division.

I. POTERIES A PATE TENDRE.

1° *Terres cuites.*

La pâte de ces poteries est ordinairement peu dure, d'une texture lâche et poreuse; elle se fait avec de l'argile figuline ou de la marne argileuse, marchée ou malaxée dans une *tinne* ou tonne à corroyer, rarement lavée, et dégraissée avec du sable, du ciment ou des escarbilles; la cuisson se fait en tas ou dans des fours à foyer inférieur.

Briques. Les briques sont probablement les premiers objets en terre cuite que l'on ait su fabriquer, et ce sont certainement ceux dont la forme est la plus simple. Nous nous sommes déjà occupé de leur fabrication dans un article séparé, de sorte qu'il ne nous restera que peu de choses à ajouter. Les briques communes peuvent se faire avec toutes sortes de terres argileuses que l'on dégraisse au besoin, comme nous venons de le dire; les briques réfractaires au contraire exigent l'emploi d'une argile plastique très pure, mélangée de ciment de la même argile. Généralement on ne lave pas la terre à briques; on la marche ou on la corroie dans une tinne. On moule presque toujours les briques à la main; nous avons décrit, à l'article BRIQUE, quelques-unes des principales machines inventées pour les faire par pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cédés mécaniques, nous mentionnerons encore ici la machine établie par M. Carville, à Moulineaux, près Paris: une chaîne sans fin traînant les moules en fonte joints à charnière les uns aux autres, les fait passer sous la base d'une tonne à corroyer, qui y décharge, par une ouverture latérale, une partie de la pâte qu'elle renferme; à la suite de la tinne se trouve un rouleau qui comprime la pâte dans les moules et, plus loin, un refouloir qui opère le démoulage de haut en bas et dépose les briques sur des planchettes conduites par une chaîne sans fin placée dans une direction rectangulaire à celle qui porte les moules, et qui les amène jusque sur la brouette qui sert à les transporter au séchoir. Des trémies convenablement placées servent à sabler les moules; un filet d'eau tombe continuellement sur le rouleau compresseur et empêche la pâte de s'y attacher; enfin les moules se lavent dans un bac rempli d'eau, placé à la partie inférieure de la chaîne sans fin, avant de repasser sous la tinne. La cuisson des briques à la houille se fait le plus souvent en tas, par la méthode flamande. La cuisson au bois et à la tourbe se fait toujours dans des fours. Généralement on juge de la qualité des briques par leur sonorité, ainsi que par la quantité d'eau qu'elles absorbent dans un temps donné. On essaie les briques réfractaires en les plaçant dans un four à porcelaine ou sur l'autel d'un four à réchauffer le fer; on les cuit toujours dans des fours. En Hollande, on cuit les briques ordinaires à la tourbe et à une température beaucoup plus élevée qu'en France, de sorte qu'une partie de la fournée se ramollit toujours et se vitrifie à la surface. Enfin, avec certaines matières siliceuses, on est parvenu à faire des *briques légères*, très poreuses, très peu conductrices du calorique et plus légères que l'eau.

Tuiles, carreaux. La pâte et le moulage des tuiles se font comme pour les briques. Quelquefois on estampe en creux dans les carreaux des dessins ou ornements, et on remplit ces creux avant la cuisson avec de la même pâte, mais colorée par des oxydes métalliques infusibles. La cuisson a toujours lieu dans des fours. Quelquefois on les vernit sur une de leurs faces, en y posant par aspersion un mélange d'environ 1 p. d'alquifoux (sulfure de plomb) et 1 p. de sable broyé; on les place alors de champ dans le four. D'autres fois on les glace, en jetant dans le four et avec le combustible, pendant la période du grand feu, un mélange de sel marin et de litharge, auquel on ajoute un peu d'ocre rouge.

Fourneaux, réchauds. Ces poteries se font à la main et non sur le tour; elles se cuisent dans des fourneaux de formes assez variées, mais toujours très simples.

Tuyaux de conduite. Ils se fabriquent à peu près comme ceux de grès, sur lesquels nous entrerons plus loin dans quelques détails. Voy. AGRICULTURE.

Briques creuses. Ces briques se font ordinairement à la presse, de la même manière que les tuyaux de grès.

Poteries communes. Ces poteries se distinguent des précédentes en ce qu'elles sont faites sur le tour, ou à la main par colombins, mais rarement moulées; elles sont grossières ou fines, souvent noires, soit par suite d'un enfumage qui ramène le fer à l'état d'oxyde noir et qui dépose du charbon à leur surface, soit par l'introduction même d'une matière charbonneuse dans leur pâte. Elles sont en général peu cuites. On les enfourne en charge ou par échappade. Parmi ces poteries nous citerons les suivantes:

Les *hydrocérames* ou *alcarazzas*, qui sont des poteries très répandues dans les pays chauds, et qui, sans laisser l'eau s'écouler à l'état liquide, sont assez poreuses pour s'en laisser pénétrer et traverser, de manière à ce que, arrivée à la face extérieure, elle s'y étende et présente à l'air une grande surface, d'où résulte une évaporation assez rapide pour produire un abaissement de 4 à 7 degrés de la température de l'eau que renferment ces poteries, en lui communiquant quelquefois un goût argileux qui ne déplaît pas à certaines personnes. On donne à la pâte la porosité convenable, en y ajoutant du sable fin ou une terre argilo-sableuse, et la cuisant à une faible température, ou en y introduisant du sel marin qui se dissout ensuite dans l'eau, après la cuisson, et y laisse un grand nombre de petites vacuoles; le dégourdi de porcelaine constitue d'excellentes hydrocérames.

Les *vases d'horticulture* ou *pots à fleurs*, qui se font sur le tour avec de l'argile figuline dégraissée avec du sable siliceux. On les enfourne en charge. Ils doivent être bien cuits et assez sonores; sans cela, ils sont rapidement détruits par l'humidité continuelle à laquelle ils sont exposés.

Les *formes à sucre*, qui s'ébauchent sur le tour ordinaire, et se terminent sur un moule qu'on fixe sur un autre tour. Il faut qu'elles soient assez cuites pour acquérir une dureté assez grande pour résister aux chocs auxquels elles sont exposées.

2° *Poteries tendres lustrées.*

Ces poteries sont cuites à une très basse température; leur pâte est fine, bien homogène, opaque, à cassure matte, colorée en jaune ou rouge, et recouverte à la surface d'un *lustre* ou enduit vitreux particulier, très mince et très résistant, tantôt rougeâtre, tantôt d'un beau noir, essentiellement composé de silice, rendue fusible par l'addition d'un alcali, et colorée par un oxyde métallique introduit dans sa composition, ou qu'elle prend dans la pâte qu'elle recouvre.

Les poteries campaniennes, improprement désignées sous le nom de poteries étrusques, et les poteries grecques anciennes, appartiennent à cette classe de poteries, qui n'est plus fabriquée nulle part de nos jours, de sorte que nous ne la citons ici que pour mémoire.

3° *Poteries tendres vernissées.*

Ces poteries, qui constituent actuellement la poterie commune, ne paraissent guère dater que de la fin du moyen-âge, quelque temps avant la faïence. Leur pâte est composée d'argile figuline, de marne argileuse et de sable; lorsqu'elle ne renferme pas de calcaire, on en ajoute. Aux environs de Paris, elle se compose de 4 parties d'argile plastique et de 1 p. de sable siliceux mélangé naturellement d'un peu de marne ferrugineuse. La fabrication se réduit à l'ébauchage sur le tour. La cuisson est ordinairement double et se fait dans un four en demi-cylindre couché, dans lequel on enfourne les pièces en charge ou en échappade. Le vernis plombifère dont on les recouvre se compose ordinairement, quand il est jaune, d'environ 5 parties de minium, litharge ou galène, 1 p. d'argile plastique et 1 p. de sable siliceux; on le colore en brun par du peroxyde de manganèse et en vert par des battitures de cuivre rouge. Ces poteries sont d'un prix très modique et vont assez bien sur le feu sans se briser; mais leur vernis est souvent fort tendre, facilement altérable, et peut alors être nuisible à la santé.

4° *Poteries émaillées.*

La *faïence commune* ou faïence émaillée a été importée de Perse, ou inventée, en Italie, par Lucca della Robbia, sculpteur, né à Florence en 1388. Les procédés de fabrication étaient entièrement perdus, ou au moins absolument inconnus en France, lorsque le célèbre Bernard de Palissy parvint, au milieu du seizième siècle, à faire des faïences émaillées, qui sont encore extrêmement recherchées par le brillant et la vivacité de l'émail qui les recouvre, et la vérité de forme et de couleur avec laquelle sont représentés les objets, tels que poissons, coquilles, reptiles, etc., généralement moulés sur nature, qui sont placés sur ces pièces.

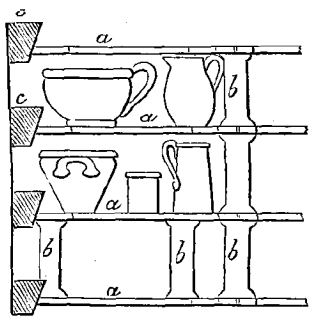
La pâte de ces poteries est composée d'argile fi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

guline de marne argileuse et de sable; les argiles sont lavées. La proportion de sable est d'environ 1/4. Suivant M. Bastenaire d'Audenard, le mélange doit être fait de telle sorte que la pâte renferme à peu près :

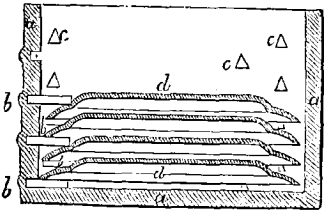
	Faïence : blanche.	brune.
Silice.	0,35	0,38
Alumine ferrugineuse. . .	0,58	0,57
Carbonate de chaux. . .	0,07	0,05
	1,00	1,00

Le façonnage se fait, soit par moulage, soit sur le tour, et alors il comprend ordinairement un ébauchage et un tournassage. On cuit à deux feux, d'abord en biscuit à une température qui varie du rouge cerise au rouge blanc, puis en émail à une température un peu supérieure. Cette cuisson se fait dans le même four, le biscuit émaillé étant placé à la partie inférieure du four et la poterie crue dans la partie supérieure; le cru est enfourné partie en charge, partie en échappade. Pour le biscuit émaillé, on emploie l'encastage en échappade ou celui en cazettes à pernettes. La fig. 2182 représente



2182.

l'*enfournement en échappade*. des tuiles en terre réfractaire a, a, reposant sur des piliers b, b, forment des planchers sur lesquels on place les pièces à plat, ou en les plaçant sur des colifichets, sorte de trépieds terminés par des arêtes aiguës. La fig. 2183 représente une



2183.

cazette à pernettes aa, dans laquelle on voit la manière d'encaster des assiettes d, d, ou autres vases semblables, en les soutenant sur les pernettes b, b. Le four le plus généralement employé est celui représenté fig. 2170 et 2171.

L'émail brun de la faïence brune est composé de :

Minium.	0,52 à 0,53
Peroxyde de manganèse. . .	0,07 à 0,05
Brique commune pulvérisée. .	0,41 à 0,42
	1,00 1,00

L'émail blanc de la faïence blanche est un silicate alcalino-terreux et plombo-stannifère. On y introduit les oxydes métalliques à l'état de *calcine* ou potée d'étain, dont nous distinguons :

	Calcine n° 1.	Calcine n° 2.
Oxyde de plomb. . . .	0,77	0,82
Oxyde d'étain. . . .	0,23	0,18
	1,00	1,00

Il y a deux sortes d'émail, composées comme il suit

	Émail dur.	Émail tendre.
Calcine n° 1.	0,45	»
Calcine n° 2.	»	0,45
Minium.	0,02	»
Sable quarzeux lavé. . .	0,45	0,45
Sel marin.	0,05	0,07
Soude d'Alicante. . . .	0,03.	0,03
	1,00	1,00

On le colore en jaune par le jaune de Naples, en bleu par l'azur, en vert par les battitures de cuivre et en violet par le manganèse. Souvent on recouvre les pièces de faïence d'émail coloré à l'extérieur, par immersion, et d'émail blanc à l'intérieur, par arrosement. On enlève ensuite avec une brosse, avant la cuisson, l'émail sous le pied des pièces qui doivent être encastées en échappade.

La faïence commune est actuellement surtout employée pour la fabrication de carreaux émaillés, pour poêles et plaques de cheminées. Généralement ces plaques se gercent et tressaillent très facilement par l'effet de la chaleur. On les rend ingerçables en donnant plus de fusibilité à la pâte par l'addition d'une certaine quantité de matières calcaires ou alcalines; mais l'introduction du carbonate de chaux dans la pâte, en quantité un peu considérable, a l'inconvénient de la rendre très sujette à se fendre par de brusques variations de température, lorsqu'elle est exposée à l'action directe du feu. Nous renverrons du reste, pour plus de détails à cet égard, à l'article FAIENCE où la question a été traitée en détail par M. Barral, auteur de recherches fort intéressantes sur les faïences ingerçables.

II. POTERIE A PATE DURE, OPAQUE.

5° *Faïence fine.*

On a certainement fabriqué en France de la faïence fine dans le milieu du seizième siècle, et il reste encore de cette époque des vases d'une beauté remarquable; mais on ignore le lieu de cette fabrication, qui ne dura du reste que quelques années, et fut complètement étouffée par le développement que prit, à peu près vers le même temps, entre les mains de Bernard de Palissy, celle de la faïence émaillée. Ce ne fut qu'au commencement du dix-huitième siècle que l'on commença à faire de la faïence fine en Angleterre, et c'est de 1760 à 1770 que cette fabrication reçut les plus importants perfectionnements entre les mains de Josiah *Wedgwood*, né à Burslem, dans le Staffordshire, en 1730. C'est encore en Angleterre que se fait la plus belle faïence fine; aussi, nous nous occuperons d'abord de cette fabrication, telle qu'elle se pratique en Angleterre, et nous dirons ensuite quelques mots sur les principales fabriques françaises :

La faïence fine ou *faïence anglaise* est caractérisée par une pâte blanche opaque, à texture fine, dense et sonore, recouverte d'un vernis vitro-plombifère. La pâte est essentiellement composée d'argile plastique lavée et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de silex pyromaque, ou de quatrz broyé très-fin, et quelquefois d'un peu de chaux; elle est très-fine et très-plastique. La glaçure est préalablement frittée, et se compose de silice, de soude, d'oxyde de plomb, et souvent d'acide borique. On distingue trois variétés principales de faïence fine : la *faïence fine calcarifère* ou *terre de pipe*; la *faïence fine cailloutteuse*, essentiellement composée d'argile plastique et de silex; et la *faïence fine dure ou feldspathique*, aussi nommée *lithocérame*, dans la pâte de laquelle entre une certaine quantité de kaolin, et dont le vernis renferme de l'acide borique. Voici la composition de quelques pâtes et de leurs glaçures, avec le nom des auteurs qui en ont donné la recette.

Pâte de faïence fine calcarifère (Schumann).

Argile plastique	0,854
Silex	0,130
Chaux	0,016
	1,000

Pâte de faïence fine cailloutée.

1° (Oppenheim et Bastenaire).

Argile plastique de Montereau ou de Dreux	0,87
Silex	0,13
	1,00

2° (Oppenheim et St-Amans).

Argile plastique d'Angleterre	0,83
Silex	0,17
	1,00

Pâte de faïence fine feldspathique.

1° (Saint-Amans).

Argile plastique d'Angleterre	0,62
Kaolin	0,16
Silex	0,19
Feldspath altéré	0,03
	1,00

2° Faïence dite *cream colour* (St-Amans).

Argile plastique d'Angleterre	0,82
Silex	0,16
Feldspath altéré	0,02
	1,00

3° Pour impressions sur biscuit (Aikin).

Argile plastique d'Angleterre	0,64
Kaolin	0,16
Silex	0,16
Feldspath altéré	0,04
	1,00

Glaçure pour terre de pipe.

1° (Schumann).

Feldspath calciné	0,07
Sable	0,31
Minium	0,30
Litharge	0,27
Borax	0,03
Verre de cristal	0,02
	1,00

2° (Bastenaire d'Audenard).

Sable quarzeux	0,36
Minium	0,45
Carbonate de soude	0,17
Nitre	0,02
Bleu de cobalt	0,00001
	1,00

Glaçure pour faïence fine cailloutée.

	1° (Aikin).	2° (Bastenaire).
Sable de feldspath altéré	0,40	0,42
Minium	0,23	0,26
Borax	0,23	0,21
Carbonate de soude	0,14	0,11
Bleu de cobalt	0,00001	0,00001
	1,00	1,00

Glaçure pour faïence fine feldspathique.

1° Pour faïence dite *cream colour* (Aikin).

Kaolin caillouteux	0,25
Silex	0,13
Oxyde blanc de plomb	0,52
Verre de cristal	0,10
	1,00

2° Pour faïence imprimée (Shaw).

Kaolin caillouteux	0,28
Silex	0,16
Carbonate de chaux	0,04
Oxyde blanc de plomb	0,30
Acide borique	0,06
Carbonate de soude	0,16
	1,00

Quoique les pâtes des faïences fines cailloutée et feldspathique n'admettent pas de chaux dans leur composition, il y en a toujours réellement 1 à 2 p. 100, introduite soit par les argiles, soit même par le silex.

Les argiles et kaolins sont lavés avec soin. Le silex est étonné, puis broyé très fin; ce broyage, qui s'effectuait autrefois exclusivement à sec entre des meules horizontales, se fait actuellement, en général, à l'eau dans des moulins à blocs. On fait le mélange des matières à l'état de barbotine ou de bouillie assez épaisse, et on le termine en faisant passer le tout à travers un tamis. Le raffermissement de la pâte se fait par l'action du feu; on la pétrit ensuite mécaniquement dans des *tinnes*, et on la laisse pourrir quelques mois dans des caves humides avant de l'employer. Cette pâte est, en général, fine, longue, et se travaille aisément. Le façonnage est soigné, quoique rapide. Un grand nombre de pièces sont terminées sur le tour avec des calibres; elles sont en général minces et légères. On les sèche et on les cuit en biscuit à une température de 30 à 100 degrés pyrométriques dans des fours cylindriques à alandiers, chauffés au bois ou à la houille (voy. les fig. 2173 à 2177). Quant à la glaçure, on forme d'abord, en général, avec une partie de ses éléments, une fritte qui est finement pulvérisée, à laquelle on ajoute ensuite les autres éléments, parmi lesquels se trouve presque toujours le minium. La faible proportion de bleu de cobalt sert à détruire la teinte jaunâtre du biscuit; on pose sur le biscuit le vernis ainsi préparé par immersion, et quelquefois par arrosage. La cuisson du vernis se fait séparément dans des fours à alandiers, à une température de 10 à 30 degrés pyrométriques. Le biscuit et le vernis de la terre de pipe se cuisent de 25 à 30 degrés pyrométriques. Le biscuit de la faïence fine cailloutée se cuit à 60 degrés, et son vernis à 12 degrés pyrométriques. Enfin, la faïence fine feldspathique se cuit en biscuit à 100 degrés, et son biscuit à 20 ou 30 degrés pyrométriques. L'encastage, tant du biscuit que du vernis, se fait dans des cazettes lutées en supportant les pièces par des pernettes (voy. fig. 2181), des colifichets, etc., suivant les cas.

On a établi à Creil et à Montereau, en France, d'importantes fabriques de faïence fine anglaise, et l'on importe d'Angleterre le kaolin et le feldspath altéré que l'on y emploie. Les principales fabriques des environs de Paris produisent presque exclusivement de la terre de pipe et de la faïence fine cailloutée. Quelques fa-

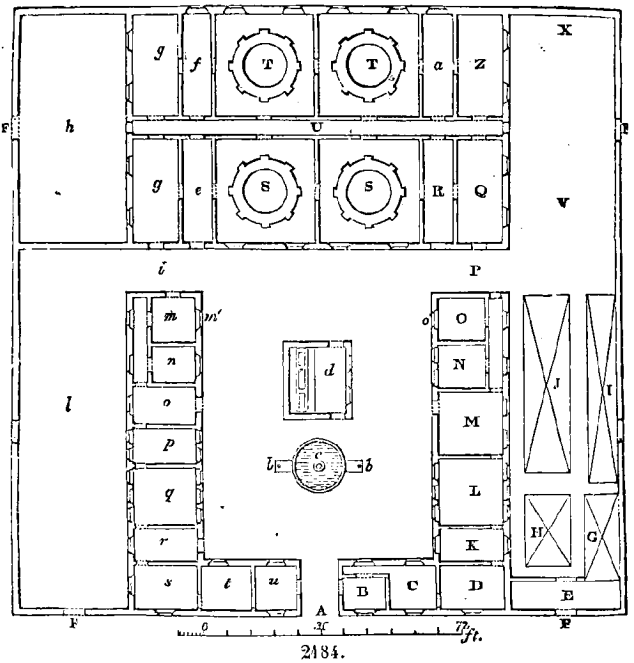
EFERUS - Recherche & Classification numérique

briques du Nord remplacent le vernis tendre vitro-plombifère, par l'émail opaque stannifère plus dur de la faïence commune, et produisent des *terres de pipe émaillées*.

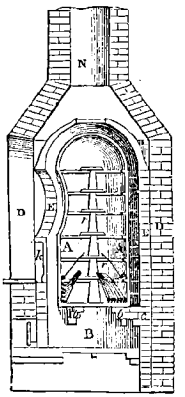
On juge de la qualité de la faïence fine par celle de son vernis; lorsqu'il est mauvais, il se laisse rayer et entamer facilement par le couteau, et il se noircit lorsqu'on y fait cuire un œuf mêlé d'un peu de graisse.

La faïence fine reçoit très souvent des décorations très variées en fonds de couleurs, lustres métalliques, décoration et peinture par voie d'impression. Les procédés de décoration et d'application des couleurs étant les mêmes que ceux employés pour la porcelaine, se trouveront décrits à la fin de cet article.

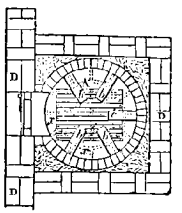
Pour terminer ce qui est relatif à la fabrication de la faïence fine, nous donnerons ici, fig. 2184, le plan d'une faïencerie anglaise : l'échelle est en pieds : A, entrée principale; B, logement du chef d'atelier; C, magasin pour les pièces fabriquées; D, atelier pour la fabrication des moules en plâtre; E, magasin d'argile plastique; F, F, portes de service dans la muraille d'enceinte; G, séchoir employé en hiver; H, hangard où se fait le tamisage des matières; I, hangard où sont les réservoirs pour les matières lavées; J, hangard sous lequel s'effectue le délayage et le lavage de l'argile; K, atelier pour le façonnage des pièces creuses; L, atelier pour le façonnage des assiettes; M, séchoir; N, O, ateliers pour l'impression du biscuit, P, passage communiquant dans la cour V X, où se font les cazettes et où elles restent en dépôt; Q, magasin de biscuit; R, salle où on nettoie le biscuit à la sortie des fours; S, S, fours pour la cuisson du biscuit; T, T, fours pour la cuisson de la glaçure; U, couloir de service; Z, atelier pour le posage de la glaçure; *a*, salle pour nettoyer les pièces recouvertes de leur glaçure; *b*, *b*, pompes; *c*, réservoir d'eau; *d*, atelier renfermant les moufles pour cuire les couleurs tendres; *e* et *g*, magasins pour le biscuit; *f* et *g*, magasin pour les pièces recouvertes de glaçure; *h*, espace renfermant une forge, un atelier de modèles, un atelier d'emballage, un dépôt d'argile, de cazettes, etc.; *i*, entrée dans la cour de service *l*; *m*, atelier pour l'encastage du biscuit; *n*, atelier de tournassage des pièces; *o*, séchoir; *p*, atelier de montage ou de garnissage des pièces; *q*, atelier de réparage des pièces; *r*, séchoir pour les pièces ébauchées; *s*, atelier d'ébauchage des pièces; *t*, atelier pour le battage et malaxage de la pâte; *u*, comptoir. La calcination, le cassage et le broyage du silex se font dans de grands ateliers indépendants des faïenceries.



2184.



2186.



2185

Pipes. Comme appendice aux faïences fines, et en particulier à la terre de pipe, il nous reste à parler de la fabrication des pipes en terre blanche, dont la fabrication forme une branche importante des arts céramiques. La matière première est une argile plastique blanche sans aucune addition, corroyée avec soin et non lavée. Un enfant en prend une boule qu'il roule à la main sur une planchette pour en former le tuyau (on prépare aussi ces baguettes au moyen de la presse à colombins), puis il ajoute au bout une petite masse pour le fourneau. Il les passe alors à l'ouvrier qui perce le tuyau avec une tige de laiton ou de fer huilée, et qu'il pousse d'une main jusqu'à une certaine distance du fourneau, pendant qu'il juge et maintient sa direction dans l'axe du cylindre avec deux doigts de l'autre main. Il met alors le cylindre de pâte ainsi préparé, en laissant l'aiguille en place, dans un moule formé de deux coquilles en cuivre, qu'il serre ensuite au moyen d'une vis de pression; il fait le fourneau au moyen d'un refouloir ou *étampon* en cuivre qu'il enfonce en tournant dans la partie correspondante du moule; il termine le tuyau en poussant l'aiguille jusqu'à ce que son extrémité apparaisse au fond du fourneau. Il ne reste plus ensuite qu'à ébarber la pipe et à la retirer du moule. Quand les tuyaux doivent recevoir une forme courbe, on la leur donne aussitôt après. Les ornements du fourneau viennent en général au moulage; quelques-uns ainsi que les marques, se font au moyen de roulettes gravées. On laisse sécher très lentement, à l'ombre, les pipes ainsi façonnées avant de les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cuire. Un ouvrier fait environ 500 pipes par jour.

Les fig. 2185 et 2186 donnent le plan et la coupe des fourneaux habituellement employés en Angleterre pour la cuisson des pipes : E, chemise cylindrique en briques réfractaires, séparée du massif rectangulaire extérieur D par du sable ; *c*, *b*, *b*, saillies en briques supportant la moufle A, dans laquelle on encaste les pipes sur plusieurs étages *r*, *r*, comme l'indique la fig. 2186 ; B, grille que l'on alimente avec de la houille ; *x*, *x*, canaux de circulation de la flamme : N, cheminée d'appel. Un pareil fourneau renferme 2.000 pipes, et chaque feu dure huit à neuf heures.

En France et en Allemagne, on encaste en général les pipes dans des espèces de cazettes ou *boisseaux* en terre cuite, dans lesquels on verse ensuite de la terre cuite réduite en poudre fine, qui, en s'introduisant dans les vides, maintient et soutient les pipes ; on lute ensuite exactement les couvercles coniques que l'on place sur les boisseaux, et on opère la cuisson dans de petits fours cylindriques ou rectangulaires, dans chacun desquels on cuit de 3.000 à 5.000 pipes par fournée.

Pour rendre les pipes moins happantes aux lèvres, quand ce sont des pipes communes, on les trempe dans de l'eau qui tient un peu d'argile grasse en suspension : il se dépose à la surface des pipes une couche mince d'argile que l'on polit, lorsqu'elle est sèche, avec une flanelle ; pour les pipes plus fines, on les frotte fortement avec une flanelle imbibée d'un vernis, qui se prépare en faisant bouillir avec de l'eau un mélange de savon, de cire et de gomme.

6° *Grès-cérames* ou *poteries de grès.*

Cette poterie est à pâte dense, très dure, sonore, opaque, à grain plus ou moins fin ; on doit en distinguer deux sortes, les grès-cérames communs et les grès-cérames fins.

Pour les grès communs, la pâte se compose d'argile plastique non lavée, dégraissée avec du sable quarzeux. Cette pâte est très plastique et se façonne aisément par moulage ou sur le tour ; la plupart des pièces, comme les pots à beurre, les bouteilles, les tourilles à acides, etc., se font sur le tour ; les bonbonnes, les cornues, etc., se font par le moulage. La cuisson est presque toujours simple et se fait à une température élevée (100 à 120 degrés pyrométriques), dans des fours à réverbère en demi-cylindre couché, à sole horizontale ou inclinée, comme celui représenté dans les figures 2121 et 2172. L'encastage et l'enfournement se font en charge ou en échappade. On cuit au bois ou à la houille, mais on finit toujours au bois, lorsqu'on veut couvrir la poterie d'un lustre silico-alcalin ; dans ce dernier cas, on produit ce lustre, en jetant dans le four, à plusieurs reprises et pendant la période du grand feu, du sel marin qui se volatilise et vient réagir sur la surface des poteries qu'il recouvre d'une couche très mince de silico-aluminate de soude : il paraît que le sel dit de Terre-Neuve, qui a servi à saler la morue, est meilleur pour cet usage que le sel gris ordinaire ; on jette quelquefois une certaine quantité de sel dans la chauffe même. Souvent les grès communs ne sont pas lustrés : on les plongeant en tout ou en partie dans de l'eau tenant en suspension de l'ocre jaune, on obtient, suivant la quantité de cette dernière et l'intensité du feu, un enduit d'un brun-jaune, d'un ton plus ou moins bronzé et plus ou moins jaune.

Les grès-cérames fins diffèrent essentiellement des précédents par la composition de leur pâte et celle de leur glaçure. On ajoute toujours à la pâte une certaine quantité de fondant feldspathique ou autre qui en lie les parties plus intimement et lui donne une cassure un peu luisante ; sa composition est du reste très variable suivant les localités, nous en donnerons quelques exemples :

Composition de pâtes de grès-cérames fins.

1° Pâte de grès-cérame blanc (M. Brongniart).

Argile plastique de Dreux.	0,25
Kaolin argileux de Saint-Yrieix. . .	0,25
Feldspath de Saint-Yrieix.	0,50
	1,00

2° Pâte de grès-cérame destinée à recevoir diverses colorations (Saint-Amans).

Kaolin.	0,14
Argile plastique.	0,14
Silex.	0,15
Pegmatite altérée.	0,27
Sulfate de chaux.	0,21
Sulfate de baryte.	0,09
	1,00

3° Pâte de grès-cérame noir (Aikin).

Kaolin.	0,02
Argile plastique.	0,48
Ocre calcinée.	0,43
Manganèse.	0,07
	1,00

Le prix assez élevé de cette sorte de poterie permet une préparation et un façonnage soigné de la pâte. La cuisson se fait dans des fours cylindriques verticaux à alandiers, comme ceux employés pour la faïence fine, représentés fig. 2173 à 2177, chauffés au bois ou à la houille ; l'encastage a lieu en cazettes et on y soutient les pièces au moyen de colifichets.

Souvent ces poteries ne reçoivent aucune glaçure ; d'autres fois, on se contente d'enduire l'intérieur des cazettes avec un mélange de :

Sel marin.	0,67
Potasse.	0,28
Minium.	0,05
	1,00

qui en se volatilisant, pendant la cuisson, vitrifie superficiellement la surface des pièces ; enfin, on emploie quelquefois une glaçure vitro-plombeuse, analogue à celle des faïences fines, que l'on pose sur le biscuit de grès par immersion ou par arrosement, et que l'on cuit ensuite à un second feu et à une basse température ; voici, d'après M. Saint-Amans, la composition d'une de ces glaçures :

Feldspath.	0,35
Sable quarzeux.	0,25
Minium.	0,20
Potasse.	0,05
Borax calciné.	0,15
	1,00

On pose souvent à l'intérieur seulement des grès noirs, la glaçure suivante :

Minium.	0,84
Silex.	0,14
Oxyde de manganèse.	0,02
	1,00

Les pièces recouvertes de ces enduits plombifères, sont susceptibles d'être richement décorées avec des lustres métalliques ou des ornements en couleurs très variées. C'est au célèbre Wedgwood que la fabrication des grès cérames fins doit ses plus importants progrès. On en a fait quelque temps d'une rare beauté dans la fabrique que M. Ziégler, peintre distingué, avait établie en France, à Voisinlieu, près de Beauvais, où on fabrique des grès communs.

Des tuyaux de conduite en grès. Les tuyaux de grès se faisaient autrefois sur le tour, actuellement on les fait à la presse. Cette presse consiste en une boîte cy-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POTERIE.

lindrique en fonte dans laquelle on met l'argile; la partie inférieure de cette boîte se raccorde avec un cylindre qui doit former l'extérieur du tuyau, par une partie conique dans laquelle se trouve fixé un couteau transversal à lames dentelées qui supporte le noyau. La boîte est souvent fixée sur un chariot, qui en porte plusieurs, que l'on amène successivement pleines d'argile, au fur et à mesure qu'il en est besoin, au-dessus de la partie conique dont nous venons de parler. Un piston plein, métallique, mû par une vis, sert à refouler l'argile, qui est d'abord coupée en deux parties par le couteau à lames dentelées; le refoulement dans la partie conique fait ensuite rapprocher et réunir ces parties qui, en passant entre le noyau et le cylindre qui l'enveloppe, forment un tuyau cylindrique susceptible de recevoir une longueur indéfinie. Souvent, pour diminuer le frottement et pouvoir employer un piston qui joue facilement dans la boîte, on place dans celle-ci et sur son contour, au-dessus de l'argile, un anneau en corde de chanvre à peine tordue. Cette machine est représentée dans les fig. 3692 et 3693 du *Complément*. On reçoit les tuyaux obtenus dans une gouttière en bois demi-cylindrique, assez inclinée pour que le tuyau s'avance sans frottement; si elle était verticale, le tuyau se romprait sous son propre poids.

On donne généralement à ces tuyaux 1m,50 à 2 mètres de longueur. On les cuit d'abord en grès, sans aucune glaçure, dans des fours carrés analogues à celui représenté plus haut, figures 2169 et 2170, où on les place verticalement sur plusieurs étages. On augmente leur imperméabilité en les recouvrant intérieurement d'un vernis plombifère, ce qui exige, dans ce cas, une seconde cuisson.

On est parvenu à obtenir ainsi des tuyaux de grès assez résistants pour qu'on les préfère aux tuyaux en fonte pour les écoulements des eaux ménagères. Ils ont le grand avantage de ne pas se détruire comme ceux-ci par une oxydation. A Londres notamment, ils sont exclusivement employés pour porter aux égouts les eaux des maisons.

Creusets. Nous avons donné ailleurs la fabrication des creusets, dont la propriété capitale doit être l'infusibilité à la température nécessaire pour la fabrication à laquelle ils sont destinés, et eu égard à la nature des substances qui doivent être fondues dans leur intérieur. Ce sont ces conditions qui font varier la fabrication en raison des applications. (Voyez ACIER, CREUSETS et VERRE.)

III. POTERIES A PATE TRANSLUCIDE.

7° *Porcelaine dure.*

La porcelaine dure est caractérisée par une pâte fine, dure, translucide, et une glaçure dure et terreuse, dite couverte. C'est la plus belle, la plus résistante de toutes les poteries. Nous prendrons ici pour type de la fabrication de cette poterie, celle qui se fait à la Manufacture de Sèvres.

Les éléments qui entrent dans la composition des pâtes et couvertes sont le kaolin, le feldspath, la craie, et quelquefois le sable siliceux, l'argile plastique et la poudre de porcelaine cuite ou dégourdie. Le kaolin vient de Saint-Yrieix; il y en a, comme nous l'avons dit, deux variétés principales, l'argileux et le caillouteux, qui, par lévigation, donnent des argiles et sables correspondants. Le feldspath est pris dans une roche de quartz et de mica, qui porte le nom de pegmatite et qui vient également de Saint-Yrieix. Le sable siliceux est tiré d'Aumont, près Creil. La craie vient de Bougival. Enfin, l'argile plastique est tirée d'Abondant, près de la forêt de Dreux. La préparation de ces matières ayant été décrite au commencement de cet article, nous n'y reviendrons pas; nous ferons seulement observer qu'elle se fait avec le plus grand soin, et que c'est particulièrement aux pâtes de porcelaine que s'applique le procédé de raffermissement par pression, que nous avons décrit précédemment; les pâtes plus plastiques des faïences et grès s'y prêtent difficilement. La composition de la pâte de service de Sèvres est d'environ:

Silice.	0,580
Alumine.	0,345
Chaux.	0,045
Potasse.	0,030
	1,000

Chaque fois que l'on reçoit une livraison de kaolins, après les avoir lavés, on analyse les sables et argiles qu'on en retire, et on les mélange entre eux et avec de la craie, et au besoin avec du sable siliceux d'Aumont, de manière à arriver à la composition ci-dessus, ce qui se fait au moyen d'un calcul que l'on conçoit aisément.

La pâte de sculpture, pour les statuettes et autres objets qui ne doivent pas recevoir de couverte et se cuisent en biscuit, est composée d'environ:

Argile de kaolin caillouteux. . .	0,64
Feldspath.	0,16
Sable d'Aumont.	0,16
Craie.	0,04
	1,00

Les très-grandes pièces se font ordinairement avec une pâte plus plastique que les précédentes et dont la composition, due à M. Régnier, est de:

Argile de kaolin caillouteux. . . .	0,43 à 0,44
Argile plastique d'Abondant. . . .	0,21 à 0,25
Feldspath.	0,16 à 0,17
Sable quartzeux d'Aumont. . . .	0,16 à 0,09
Craie.	0,04 à 0,05
	1,00 à 1,00

Nous avons décrit précédemment d'une manière sommaire les diverses méthodes de façonnage; on les applique toutes à Sèvres, suivant la forme des pièces à fabriquer. Nous rappellerons seulement que les assiettes ordinaires et autres objets analogues se moulent à la croûte, et sont ensuite soumises au calibrage. La figure 2187 représente le calibre employé à cet effet à

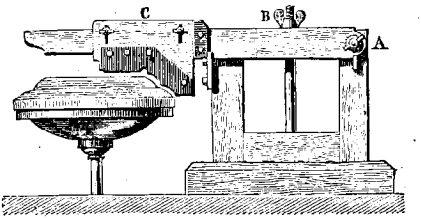


Fig. 2187.

Sèvres; son emploi bien compris a permis de rendre la fabrication des assiettes très-régulière et même entièrement mécanique.

Le calibre proprement dit se fixe sur une plaque par des vis à écrou, que l'on peut faire monter ou descendre le long de fentes; la plaque C est rendue solidaire de la règle bascule AB, sur laquelle elle entre à coulisseau et est arrêtée au moyen des vis et d'un buttoir; enfin la règle est fixée latéralement à un châssis en bois très-solide, et peut se relever en tournant sur sa charnière A; des taquets servent à limiter son abaissement. C'est en faisant monter ou descendre le calibre parallèlement à lui-même, au moyen d'une vis à écrou, que l'on règle l'épaisseur que l'on veut donner aux pièces.

Après une dessiccation lente à l'air, les pièces de porcelaine sont desséchées, ou *dégourdies*, à flammes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

perdues, dans l'étage supérieur du four à porcelaine. Comme les pièces ne peuvent contracter dans cette opération aucune adhérence, on les enfourne dans des cazettes en se contentant de les séparer par une couche de sable quarzeux. C'est dans le même étage que l'on cuit les cazettes, dont la pâte se compose de 0,40 d'argile plastique ordinaire lavée, et de 0,60 de ciment plus ou moins grossier de ces mêmes cazettes.

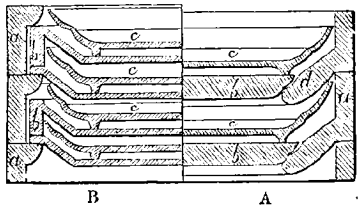
La couverte est ordinairement composée de pegmatite de Saint-Yrieix, qui se compose en moyenne de :

Silice.	0,74
Alumine.	0,18
Potasse.	0,07
Chaux et magnésie.	0,01
	1,00

On la pose par immersion sur le dégourdi ; l'immersion ne dure que quelques secondes. On réduit la pegmatite en poudre extrêmement ténue ; on juge de sa ténuité par le temps qu'elle met à se précipiter, au quart, au tiers ou à la moitié d'un vase cylindrique gradué, après qu'on l'a mise en suspension dans l'eau par l'agitation. On y ajoute quelquefois jusqu'à 5 p. 100 de pâte de sculpture, pour la rendre plus fusible et lui donner plus d'étente. On la délaie ordinairement dans une fois à une fois et demie son poids d'eau.

La cuisson de la porcelaine dure est essentiellement simple, le dégourdi n'étant pas une véritable cuisson. Elle se fait à une température très élevée (140 degrés pyrométriques environ), suffisante pour que la pâte en se ramollissant devienne translucide et pour que la couverte se vitrifie. Elle a lieu dans des fours à alandiers ; à Sèvres, elle se fait actuellement dans un four à deux étages de foyers et à huit alandiers, analogue à celui qui a été représenté dans les fig. 2180 et 2181. On les chauffe généralement avec du bois à longue flamme ; cependant nous avons vu employer, comme combustible, du lignite à Elbogen, en Bohême, et de la houille à Meissen, en Saxe.

L'encastage des pièces est une opération très délicate et qui exige le plus grand soin. Les pièces creuses, comme les pots, tasses, etc., sont placées dans des cazettes composées de cercles à talons superposées ; on place sur les talons des rondeaux qui servent à supporter les pièces. Autrefois la platerie (assiettes, etc.) s'encastait dans des cazettes à cul de lampe *a*, *a* (fig. 2188 A),



B A

2188.

portant des rondeaux *b*, *b*, sur lesquels on plaçait les pièces. Depuis quelques années on emploie l'encastage *Régnier*, qui donne au moins, suivant M. Bronguiart, 30 p. 100 de bénéfice sur l'encastage en cul de lampe, tant parce qu'il diminue les déchets dus à la chute des grains, que parce qu'il occupe beaucoup moins de place, comme l'indique la fig. 2188 B, où *a'*, *a'*, sont les cerces Régnier, et *b'*, *b'*, des pièces qui servent à supporter les assiettes *c'*, *c'* ; ces pièces sont percées en leur centre d'une ouverture ronde qui les rend moins sujettes à se fissurer par l'action du feu. Les pièces cuisent sur leur pied, quand celui-ci est assez fort, sinon on les cuit séparément. Certaines pièces, comme les soupières, les tasses, etc., se cuisent à *boucheton*, c'est-à-dire en reposant par leur ouverture, privée de couverte, sur un support plat ou légèrement conique. Cette partie doit alors être polie ensuite sur le tour pour pouvoir recevoir la dorure, ou bien elle est émaillée au feu de moufle. On soutient en outre certaines parties des pièces, pour empêcher leur déformation, par des cerces appropriées, faites avec la même pâte afin d'éprouver le même retrait, et qui les soutiennent toujours verticalement. Non seulement on enlève avec soin, et aussi complétement que possible, la couverte des parties qui doivent se trouver en contact avec un support quelconque, mais encore on les *terre*, pour prévenir l'adhérence qui résulterait du ramollissement de la porcelaine. Ce terrage se fait, soit avec un léger enduit d'argile plastique, soit avec du sable fin très pur, non broyé, que l'on rend adhérent avec un peu d'argile délayée dans de l'eau, ou même avec de la gomme dont on enduit le bord de la pièce. Pour cuire les tubes, glacés seulement intérieurement, on les place horizontalement les uns sur les autres dans une sorte de gouttière en porcelaine cuite, en les terrant convenablement pour prévenir toute adhérence, et les recouvrant d'une toile ou d'un gros papier trempé dans de la barbotine. Quant aux colonnes, qui reçoivent un glacé extérieur, ce qu'il y a de mieux à faire est de les fabriquer par coulage, et de les cuire suspendues verticalement par un rebord que l'on enlève après la cuisson.

L'enfournement des pièces dans le four doit être fait avec le plus grand soin et aussi symétrique que possible. On place les cazettes sur plusieurs rangées circulaires, et en laissant entre elles un espace suffisant pour la circulation de la flamme. On les assied bien verticalement sur un lit de sable quarzeux dont on recouvre la sole du four et on les lute. Près de cette sole la température est moins élevée que tout autre part. La platerie se met surtout dans les cazettes du rang extérieur, que l'on garantit des coups de feu en les doublant du côté des foyers avec des plaques cintrées. Les grandes pièces se placent au centre, en les supportant sur plusieurs piles de cazettes à assiettes. Enfin, on relie les piles entre elles, pour augmenter leur stabilité, par des *accots* ou fragments d'étuis posés en travers et fixés par du lut.

A Sèvres, le temps total de la cuisson dans le four à deux étages de foyers est d'environ trente-quatre à trente-six heures, savoir : vingt-six à vingt-huit heures pour l'étage inférieur, et huit heures pour l'étage supérieur. Les deux fours renferment environ de 12.000 à 14.000 kil. de cazettes, supports, etc., et 800 kil. de porcelaine cuite, et on dépense en tout, par cuisson, à peu près 60 stères de bois de tremble valant environ 800 fr. Les deux fours superposés de Sèvres ont même diamètre et une hauteur un peu moindre ; leurs capacités réunies font $35^{m.c.},823$. A Elbogen, où le four est à un seul étage de foyers et à sept alandiers, et où l'on emploie comme combustible du lignite d'excellente qualité, le laboratoire a 4^{m} de diamètre et $2^{m},60$ de hauteur à la voûte, ce qui fait une capacité d'environ 30 mètres cubes ; la cuisson dure de quarante-quatre à quarante-huit heures, et consomme 8.400 kil. de lignite valant 75 francs.

On laisse refroidir lentement le four, avant d'abattre les portes en maçonnerie pour procéder au défournement. Ce refroidissement dure huit jours à Sèvres ; il est généralement plus rapide dans les autres fabriques. Les pièces défournées sont débarrassées du sable de terrage en les frottant avec un grès artificiel, dur et friable, qui ne raie pas la couverte, et qui se compose de 0,96 de sable quarzeux brut et de 0,04 de pâte de porcelaine,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les *grains* tombés des cazettes sur les pièces pendant la cuisson et qui s'y sont collés, sont enlevés sur un tour à polir analogue à celui du lapidaire; on polit également sur le même tour les parties qui n'ont pu recevoir de couverte, parce qu'elles étaient en contact avec des supports quelconques; ces parties sont ensuite susceptibles de recevoir une très belle dorure.

La porcelaine dure a été fabriquée en Chine de temps immémorial, mais ce ne fut qu'en 1709 que Bœttger parvint à en faire en Europe, et fonda en Saxe la manufacture de Meissen. Malgré tous les soins que prit le gouvernement saxon pour empêcher que les procédés de fabrication ne fussent connus, des ouvriers de cette manufacture fondèrent celle de Vienne, en 1720; celle de Berlin ne date que de 1751, et celle de Sèvres de 1765, époque de la découverte du kaolin de Saint-Yrieix.

8° *Porcelaine tendre naturelle.*

La porcelaine tendre naturelle ou porcelaine anglaise a pris naissance en Angleterre au milieu du dix-huitième siècle; sa fabrication a été introduite depuis peu d'années en France, à Creil et à Bordeaux. Elle tient le milieu entre la faïence fine et la porcelaine dure. La pâte se distingue de celle de la porcelaine dure par une forte proportion de phosphate de chaux des os, comme l'indiquent les compositions suivantes de la pâte de service anglaise :

	Saint-Amans. 1)	2)	Aikin. 3)
Kaolin argileux lavé. . . .	0,11	0,11	0,310
Kaolin caillouteux brut, broyé.	»	»	0,260
Argile plastique.	0,19	»	»
Silex calciné et broyé. . .	0,21	0,16	0,025
Os calcinés à blanc. . . .	0,49	0,43	0,405
	1,00	1,00	1,000

Cette pâte est plus plastique que celle de la porcelaine dure. Elle se façonne à très peu près comme celle des faïences fines. On la cuit en biscuit en plaçant les pièces les unes dans les autres, après les avoir saupoudrées de silex, ou sur des *renversoirs* sablés. Les fours sont les mêmes que ceux employés pour les faïences fines, et qui sont représentés plus haut fig. 2173 à 2177. La glaçure est un enduit vitro-plombeux et boracique, généralement plus dur que celui des faïences fines, mais moins que la couverte des porcelaines dures, et se laissant rayer par l'acier; elle se pose par immersion. Sa composition est très variable, quant aux proportions; nous citerons comme exemple la recette suivante, due à M. Saint-Amans :

Feldspath.	0,48
Silex ou sable quarzeux. . . .	0,09
Borax non calciné.	0,22
Verre à cristal.	0,21
	1,00

On fait fritter le mélange et on y ajoute, après broyage, 11 à 12 parties de minium. L'encastage du biscuit en vernis se fait facilement, la cuisson ayant lieu à une température bien inférieure à celle nécessaire pour ramollir la pâte, et s'opère comme pour la faïence fine. Les fours sont cuits à la houille.

9° *Porcelaine tendre artificielle.*

La porcelaine tendre artificielle, ou porcelaine française, a précédé en France la porcelaine dure, mais sa fabrication présentait de grandes difficultés qui l'ont fait presque partout abandonner, malgré la beauté des pièces produites. La pâte en est marneuse, fine, dense, presque vitreuse, dure, translucide et fusible à une haute température A Sèvres, où cette fabrication a cessé en 1804, la pâte se composait de :

Nitre fondu.	0,220
Sel marin gris.	0,072
Alun.	0,036
Soude d'Alicante.	0,036
Gypse de Montmartre. . . .	0,036
Sable de Fontainebleau. . .	0,600
	1,000

On faisait fritter ce mélange et on formait la pâte avec :

Fritte ci-dessus.	0,75
Craie blanche.	0,17
Marne calcaire d'Argenteuil, lavée. .	0,08
	1,00

Cette pâte n'ayant aucun liant, était toujours façonnée par moulage, après avoir reçu un peu de ténacité par l'addition d'une certaine quantité de gomme adragante; on terminait les pièces par un tournassage à sec sur le tour, opération nuisible à la santé des ouvriers L'encastage du biscuit offrait de grandes difficultés, et on était obligé de soutenir les pièces par des rondeaux et renversoirs sablés et formés de la même pâte, afin d'en suivre exactement le retrait. Le vernis se plaçait par arrosement; il se composait de .

Sable de Fontainebleau, calciné.	0,27
Silex calciné.	0,11
Litharge.	0,38
Carbonate de soude	0,09
Carbonate de potasse	0,15
	1,00

On mêlait ces matières broyées, on les fondait dans des creusets, on les pilait de nouveau, et on les fondait une seconde fois avant l'application sur le biscuit. La cuisson du vernis se faisait dans le même four que celle du biscuit, à une plus basse température. L'encastage n'offrait pas de difficultés, seulement il fallait avoir soin d'enduire intérieurement les cazettes du même vernis, afin qu'elles n'absorbassent pas celui des pièces placées dans leur intérieur. Ce vernis avait à peu près la même dureté que celui des porcelaines tendres anglaises.

COLORATION ET DÉCORATION DES POTERIES.

On orne et décore les poteries au moyen de matières colorantes, qui peuvent s'y fixer par l'action du feu sans se détruire (voir DÉCORATION, *Compl.*), ce sont :

1° Les couleurs vitrifiables proprement dites;

2° Les engobes, qui sont des matières terreuses fixées par un fondant vitreux;

3° Les métaux à l'état métallique;

4° Les lustres métalliques.

1° *Couleurs vitrifiables.*

Les couleurs vitrifiables se divisent, suivant la température nécessaire à leur cuisson, en couleurs de moufle ordinaire ou *tendres*, en couleurs de demi-grand feu ou *dures*, et en couleurs de *grand feu*. Elles se composent d'oxydes ou sels métalliques et de fondants.

Les oxydes et sels métalliques sont les suivants, dont nous indiquerons en même temps la préparation.

L'*oxyde de chrôme*, qui se prépare par la calcination du bi-chrômate de potasse ou du chrômate de mercure, ou en décomposant le bi-chrômate de potasse par un mélange d'alcool et d'acide hydrochlorique bouillant.

L'*oxyde de fer*, que l'on obtient, soit par la calcination du sulfate de fer à une température plus ou moins élevée, suivant la nuance que l'on veut obtenir, soit en décomposant par le contact de l'air et de l'eau le sulfate de fer, et lavant à grande eau pour enlever l'acide et le sel non décomposé.

L'*oxyde d'urane*, que l'on prépare en traitant la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pech-blende par l'acide hydrochlorique, dissolvant le résidu dans l'acide nitrique, y ajoutant du nitrate de peroxyde de fer, évaporant presque à siccité, reprenant par l'eau froide et faisant cristalliser. On redissout dans l'eau le nitrate obtenu, on le précipite par l'ammoniaque, on lave le précipité, on le redissout dans du carbonate d'ammoniaque, puis en faisant bouillir la liqueur filtrée; il s'en précipite de l'uranate d'ammoniaque, qui est lavé, séché et employé en cet état.

L'*oxyde de manganèse* qui se trouve dans la nature. On peut le préparer en précipitant un sel de manganèse par une dissolution étendue de potasse, et lavant avec soin.

L'*oxyde de zinc*, qui se prépare en précipitant une dissolution très étendue d'un sel de zinc par le carbonate de soude.

L'*oxyde de cobalt*, qui se prépare en grillant le minerai de cobalt, le dissolvant ensuite dans l'acide nitrique, y ajoutant du nitrate de peroxyde de fer et faisant à froid des précipitations successives par le carbonate de potasse; on obtient d'abord des précipités jaunâtres de sous-arséniate de peroxyde de fer, puis des précipités jaunes de peroxyde de fer, puis un précipité rose ou bleu, suivant qu'il contient ou non d'arsenic, d'oxyde de cobalt.

L'*oxyde d'antimoine*, qui s'emploie, soit à l'état de combinaison avec l'oxyde de plomb, connu dans le commerce sous le nom de *jaune de Naples*, soit à l'état d'antimoniate de potasse qui se prépare en projetant par parties dans un creuset chauffé au rouge un mélange de 2 p. d'antimoine métallique pulvérisé et de 5 p. de nitre, puis lavant le résidu à l'eau froide.

Le *protoxyde de cuivre*, qui se prépare en chauffant à une douce chaleur un mélange de 100 p. de sulfate de cuivre et de 57 p. de carbonate de soude cristallisé; pulvérisant le tout, y mélangeant 26 p. de limaille de cuivre très fin, chauffant au rouge blanc pendant 20 minutes, pulvérisant la matière refroidie et la lavant à l'eau.

Le *peroxyde de cuivre*, qui s'obtient par la simple calcination du nitrate.

L'*oxyde d'étain*, qui s'emploie toujours à l'état de calcine ou POTÉE D'ÉTAIN (voyez ce mot), c'est-à-dire intimement mélangé avec de l'oxyde de plomb.

L'*oxyde d'iridium*, qui se prépare en calcinant avec le double de son poids de carbonate de potasse le chlorure double que l'on obtient en précipitant par le sel ammoniac une dissolution d'iridium, puis lavant le résidu à l'eau.

Les *chromates de fer, de baryte* et *de plomb*, qui se préparent en versant dans une dissolution de chromate neutre de potasse une dissolution d'un sel de protoxyde de fer, de baryte ou de plomb.

Le *chlorure d'argent* qui se prépare en précipitant dans l'obscurité par l'acide hydrochlorique le nitrate d'argent en solution étendue, lavant avec soin par décantation, puis le faisant également sécher et le conservant dans l'obscurité.

Le *pourpre de Cassius*, qui est, selon M. Figuier, un stannate de protoxyde d'or, et dont la préparation est très délicate. A Sèvres, on fait dissoudre lentement et à froid 3 grammes d'étain dans une eau régale composée de 4 p. d'acide nitrique, 1 p. d'acide hydrochlorique et 10 p. d'eau distillée, puis on étend la dissolution d'un litre d'eau. D'un autre côté, on dissout 1 gramme d'or dans de l'eau régale non en excès, on ajoute à la dissolution un litre d'eau, puis on y verse la dissolution d'étain ci-dessus par petites portions et en agitant sans cesse.

Les *fondants* servent à produire l'adhérence des oxydes métalliques et à les glacer; à Sèvres, il y en a sept qui sont :

Le *fondant rocaille* (n° 1), qui se prépare en fondant rapidement dans un creuset, puis coulant sur une plaque métallique un mélange de 3 p. de minium ou de litharge et de 1 p. de sable d'Étampes.

Le *fondant aux gris* (n° 2), qui se prépare avec 6 p. de minium ou de litharge, 2 p. de sable d'Étampes et 1 p. de borax fondu.

Le *fondant de carmins* (n° 3), qui se prépare avec 1 p. de minium ou de litharge, 3 p. de sable d'Étampes et 5 p. de borax fondu.

Le *fondant de pourpre* (n° 4), qui se prépare avec 3 p. de minium ou de litharge, 1 p. de sable d'Étampes et 5 p. d'acide borique cristallisé.

Le *fondant de violets* (n° 5), qui se prépare avec 27 p. de litharge ou de minium, 2 p. de sable d'Étampes et 11 p. d'acide borique cristallisé.

Le *fondant de verts* (n° 6), employé, ainsi que les deux précédents, par M. Salvétat, et qui se prépare avec 8 p. 1/9 de minium ou de litharge, 1 p. de sable d'Étampes et 2 p. d'acide borique cristallisé.

Enfin, le *fondant de substances métalliques* (n° 7), qui est du sous-nitrate de bismuth obtenu en décomposant par l'eau le nitrate acide de bismuth, et auquel on ajoute 1/12 de borax.

Il nous est impossible de donner ici la nomenclature et la composition des nombreuses couleurs vitrifiables employées dans la décoration des poteries, et surtout dans la peinture sur porcelaine, nous nous contenterons d'en indiquer les principales, en commençant par les couleurs de moufle, ou couleurs *tendres*.

Blancs. Le blanc s'obtient avec l'émail blanc ordinaire, dont on augmente ou diminue la fusibilité par une addition de fondant n° 1, ou de sable d'Étampes.— On glace au feu de moufle, avec un mélange à parties égales de fondant n° 1 et de fondant n° 3 les parties qui n'ont pu recevoir de couverte au grand feu.

Gris. Les gris s'obtiennent avec des mélanges très variables d'oxydes de fer, de cobalt et de manganèse, de carbonate de zinc et de fondant n° 2.

Noirs. Les noirs se préparent comme les gris, mais avec moins de fondant. On fait un très beau noir avec 3 p. de fondant n° 2 et 1 p. d'oxyde d'iridium.

Bleus. Les bleus se font ordinairement avec 1 p. de carbonate de cobalt, 2 p. de carbonate de zinc hydraté, et une proportion variable de fondant n° 2.

Verts. Les verts s'obtiennent avec des mélanges d'oxydes de chrôme, de cobalt, quelquefois de zinc, et de fondant n° 3 ou 6. Sur les poteries à couverte alcaline ou basique, on emploie souvent des verts qui doivent leur coloration à l'oxyde de cuivre.

Jaunes. Les jaunes s'obtiennent avec des mélanges de fondant n° 2, d'antimoniate de potasse, d'une quantité variable d'oxydes de zinc et de fer, et quelquefois d'oxyde d'étain. Le jaune orangé pour fonds se fait avec 3 p. de fondant n° 1 ou n° 2 et 1 p. d'oxyde d'urane, ou avec 3 p. de minium et 1 p. de chrômate de plomb.

Bruns-jaunes. Les diverses nuances de brun-jaune s'obtiennent avec des mélanges de fondant n° 2, d'oxyde de zinc et d'oxyde de fer jaune.

Rouges. Les rouges s'obtiennent tous avec de l'oxyde de fer plus ou moins calciné et mélangé de 3 p. environ de fondant n° 2.

Couleurs d'or : —Le *carmin* se prépare en broyant le pourpre de cassius encore humide avec le triple environ de son poids de fondant n° 3, préalablement broyé avec un peu de chlorure d'argent et légèrement fritté; le *pourpre* s'obtient en diminuant la proportion de fondant; le *violet* se prépare avec du fondant n° 4, ou mieux avec du fondant n° 5, et du pourpre pur, sans chlorure d'argent; on fait aussi d'assez beaux violets avec un mélange de nitre, d'oxyde de manganèse et d'une quantité de fondant convenable.

Bruns-rouges et *bruns*. Les bruns rouges et bruns se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

préparent avec un mélange légèrement fritté d'oxydes de fer, de cobalt ou de manganèse et de zinc, avec du fondant n° 2.

Les couleurs de moufles dures, ou couleurs de *demi-grand feu*, se préparent en durcissant les couleurs tendres correspondantes par l'addition d'une certaine quantité d'un ou de plusieurs des oxydes que renferment ces dernières; le carbonate de zinc peut être employé dans presque tous les cas; le jaune de Naples sert pour les jaunes; et l'oxyde de fer est généralement employé, seul ou mélangé de carbonate de zinc, pour les rouges et les bruns.

Les couleurs de *grand feu*, c'est-à-dire qui cuisent à la même température que la glaçure, sont en nombre très restreint, du moins pour la porcelaine. Le *noir pur* s'obtient avec une partie d'oxyde d'urane délayé dans 22 p. de couverte; le noir ordinaire avec de l'oxyde de manganèse ou de l'oxyde d'iridium; le *noir bleuâtre* avec un mélange d'oxyde de cobalt et de manganèse; le *gris de fumée* avec le chlorure de platine. Les *bleus* s'obtiennent avec de l'oxyde de cobalt pur ou mélangé d'oxyde de zinc et d'alumine. Les *verts* se font avec de l'oxyde de chrôme pur ou mélangé d'oxyde de cobalt. Le *jaune* se produit avec de l'oxyde de titane. Le *rose* s'obtient en délayant dans de la couverte une solution d'or dans de l'eau régale. Le *brun écaille* se fait avec un mélange d'oxyde de manganèse et de terre d'ombre; le *brun marin*, avec un mélange de chrômite de fer et d'oxyde de chrôme; et le *bistre*, avec l'oxyde rouge de fer. Toutes ces couleurs, ainsi que celles de demi-grand feu, ne sont employées que comme fonds.

En ce qui regarde la préparation des couleurs vitrifiables, nous ajouterons encore qu'elles se divisent en :

Couleurs qui ne fondent pas, soit parce que la fusion les altérerait, soit parce qu'elles ont déjà le ton qu'elles doivent avoir; ce sont les couleurs de grand feu et demi-grand feu, ainsi que les couleurs tendres formées par l'oxyde de fer, l'oxyde de chrôme, etc., comme quelques bleus, les verts de chrôme, les jaunes, bruns et rouges de fer, et les couleurs d'or.

Couleurs qui se fondent, parce qu'il entre dans leur composition des oxydes qui ne sont colorés qu'à l'état de sels; ce sont les verts de cuivre, les violets de manganèse, les bleus de cobalt, les jaunes d'antimoine et les noirs.

Couleurs qui se fritlent, parce qu'étant dans le même cas que les précédentes, elles prendraient, si on les fondait, une teinte trop foncée; ce sont le gris et quelques bruns.

Il va sans dire que toutes ces couleurs doivent être très-finement porphyrisées. (Voy. DÉCORATION, *Complément.*)

2° *Engobes.*

L'engobage consiste à recouvrir une pâte céramique avec une matière terreuse et opaque, blanche ou colorée, destinée à dissimuler la couleur de la pâte. Les engobes se composent d'argiles ocreuses naturelles, ou d'un mélange d'alcali, de sable et d'oxyde métallique colorant fritté, puis broyé avec une certaine quantité d'argile blanche. Elles se posent généralement, sur les pièces crues, par arrosement ou par insufflation; on passe ensuite les pièces au feu de biscuit, puis on les recouvre d'une glaçure transparente. Ce mode de décoration est surtout employé pour les faïences fines et communes.

Pour les poteries et faïences communes, on emploie souvent un procédé de décoration très simple, qui consiste à humecter légèrement de barbotine les pièces, soit crues, soit engobées, et à faire tomber dessus une matière colorante convenablement délayée, qui s'etend à leur surface en donnant naissance à des arborisations très variées.

3° *Métaux.*

Les métaux employés en nature dans la décoration des poteries sont l'or, le platine et l'argent; encore l'argent est-il actuellement à peu près abandonné partout parce qu'il noircit et perd trop facilement son éclat. L'or s'obtient soit en le précipitant par une solution étendue de sulfate de protoxyde de fer de sa dissolution dans l'eau régale, soit en décomposant cette dernière par une solution de protonitrate de mercure. Le platine s'obtient en faisant chauffer du protochlorure de platine avec de l'alcool et une dissolution concentrée de potasse. L'or et le platine en poudre ainsi obtenus sont broyés sur une glace avec de l'essence de térebenthine rectifiée mélangée d'un peu de la même essence rendue grasse par le contact de l'air. On peut les poser ainsi sur les poteries à glaçure plombeuse; mais, sur les poteries à glaçure terreuse, il est nécessaire d'ajouter 1/12 à 1/15 de fondant n° 7 ou de tout autre fondant analogue. (Voy. ÉMAILLAGE, *Complément.*)

4° *Lustres métalliques.*

Les lustres métalliques diffèrent des métaux en ce que ces derniers n'acquièrent le poli que par le brunissage, tandis que les lustres étant en couche extrêmement mince peuvent se passer de cette opération et présentent dans certains cas des tons irisés.

Le *lustre d'or* se prépare en précipitant par l'ammoniaque une dissolution régalienne d'or, délayant le précipité encore humide avec de l'essence de térébenthine, sans y ajouter de fondant, le posant au pinceau et le cuisant au feu de moufle.

Le *lustre de platine* s'obtient avec une dissolution concentrée de chlorure de platine mêlée avec une huile essentielle, étendue au pinceau et cuite au feu de moufle.

Le *lustre burgos* s'obtient en précipitant, par un acide faible, une solution de sulfure double d'or et de potassium, et broyant le précipité avec un peu de fondant et de l'essence de lavande. On l'étend en couche très mince.

En Espagne on emploie un *lustre cuivreux* analogue au précédent par sa teinte et qui paraît produit par du silicate de protoxyde de cuivre. Quelques essais dus à M. Brongniart sembleraient porter à croire qu'on l'obtient en jetant de l'oxyde de cuivre dans les fours où s'opère la cuisson.

Le *lustre cantharide* s'obtient avec un mélange de verre plombeux et d'un peu d'oxyde de bismuth et de chlorure d'argent, que l'on met au pinceau sur la poterie; on cuit ensuite la pièce au feu de moufle et on l'enfume, soit dans le moufle, soit en la retirant encore rouge.

Les lustres offrent une décoration économique et très brillante, mais peu solide.

Posage des couleurs.

Le posage des couleurs se fait dans la pâte même, sur la pâte et sous la glaçure, dans la glaçure et sur la glaçure.

On colore surtout les pâtes de faïence et de grès-cérames fins, rarement celles de porcelaine. Cette coloration se produit avec les oxydes métalliques que nous avons cités, mais comme ceux-ci augmentent la fusibilité de la pâte, il faut changer les proportions des éléments terreux qui entrent dans sa composition de manière à la durcir.

Le posage sous glaçure ou *par application*, n'est guère usité que pour la porcelaine et pour les couleurs de grand feu; on l'applique sur le dégourdi en l'imbibant d'abord d'eau, pour le rendre moins absorbant, ou en y faisant des réserves avec du suif fondu; dans ce dernier cas, il faut détruire la matière grasse, par un nouveau passage au feu de dégourdi, avant d'y appliquer la couverte.

Le posage dans la glaçure ne peut se faire, ainsi que les précédents, qu'avec les glaçures transparentes, telles que les vernis vitro-plombeux et les couvertes. On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

délaie l'oxyde ou les oxydes métalliques dans la glaçure, qu'il est alors généralement nécessaire de durcir. Le posage s'exécute presque toujours par immersion, en faisant au besoin usage de réserves, comme il a été dit ci dessus.

Le posage des couleurs sur la glaçure se fait ordinairement au *pinceau* et, pour les fonds ou teintes plates, au *putois*, sorte de pinceau qui a la forme d'une brosse. On délaie préalablement les couleurs en les broyant sur une glace avec de l'essence de térébenthine bien rectifiée, mêlée d'un peu de la même essence rendue grasse par l'exposition à l'air, et quelquefois d'un peu d'essence de lavande, qui a l'avantage d'être moins volatile que l'essence de térébenthine. Certains fonds de couleurs qui doivent être mis à une assez grande épaisseur, ou qui sont difficiles à étendre au putois, se posent au *mordant;* dans ce cas, on recouvre les parties de la pièce qui doivent recevoir la couleur avec de l'huile de lin ou de noix lithargirée, que l'on pose au putois, puis on les saupoudre au tamis avec la couleur finement broyée et bien sèche.

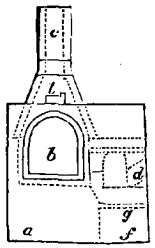
L'or, le platine et l'argent, se posent généralement avant les couleurs de moufle et se cuisent presque à la température du demi-grand feu ; on y ajoute quelquefois du noir de fumée, lors du posage, pour les rendre plus coulants et pour mieux distinguer les traits que l'on fait. On les laisse quelquefois mats, mais le plus souvent on les brunit d'abord avec des brunissoirs en agate, et on termine avec des brunissoirs en hématite dure (fer oligiste).

Posage des couleurs par impression.

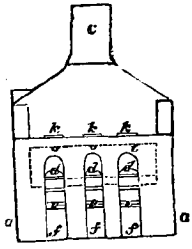
Ce posage se fait, soit sur biscuit, soit sur glaçure ; la seule différence est que le biscuit ou dégourdi n'a généralement besoin d'aucune préparation, tandis que la glaçure doit être préparée en l'enduisant, soit d'eau alunée faible, soit d'essence de térébenthine mêlée de 1/12 de vernis de copal, et laissant sécher complétement. L'impression s'opère de deux manières différentes : tantôt on encre la planche type, gravée en taille-douce, avec une encre grasse formée avec de l'huile de lin ou de noix cuite, puis mélangée avec une couleur vitrifiable, ou une poudre métallique, et, excepté pour les noirs, verts et rouges, avec une proportion variable de noir de fumée ; on tire cette planche sur du papier humide et sans colle, très fin pour le posage sur glaçure, beaucoup plus tenace pour le posage sur biscuit ou dégourdi, et on décalque aussitôt après, sur la poterie, l'épreuve encore humide ; tantôt on encre seulement la planche en taille-douce avec de l'huile de noix cuite mêlée d'un peu d'essence de térébenthine ; on en tire, soit directement, soit par voie de transport, une épreuve sur une plaque mince de gélatine, qui sert à son tour à le transporter par application sur la poterie ; cette dernière se trouve ainsi imprimée en *mordant*, sur lequel on fixe par saupoudrage les couleurs vitrifiables ou les poudres métalliques. Lorsqu'on imprime sur biscuit, il faut repasser ce dernier au feu, pour détruire les matières grasses, avant de poser la glaçure.

Cuisson des couleurs.

Les couleurs de grand feu se cuisent avec la glaçure, les couleurs de demi-grand feu et les couleurs tendres se cuisent dans des moufles. Les fig. 2189 et 2190 donnent deux élévations de ces moufles : *a*, massif du fourneau à moufle ; *b*, moufle en argile portant à sa partie supérieure des ouvertures *k, k, k*, pour l'évaporation des essences ; *c*, cheminée ; *d, d, d*, portes de chargement du combustible sur les grilles *e, e; f, f*, cendriers. Généralement on accole les fourneaux à moufle, ce qui apporte quelques changements à la description représentée fig. 2189 et 2190. L'enfournement ne s'exécute qu'après que l'on a porté préalablement à une température supérieure à 100° la moufle et les pièces qu'elle doit renfermer. La cuisson a lieu exclusivement au bois et au charbon de bois ; il est essentiel qu'aucune fumée ou vapeur ne puisse pénétrer dans la moufle, ce qui



2189.



2190.

altérerait les couleurs. Le feu est conduit régulièrement, lentement d'abord, puis très rapidement vers la fin. On apprécie la température par la couleur du feu et par la nuance que prend le carmin de poudre de Cassius mis sur une petite lame de porcelaine et portée dans le milieu de la moufle au bout d'un fil de fer. La cuisson ne dure que peu d'heures.

Outre les moufles fixes, on a aussi essayé l'emploi de moufles mobiles, analogues aux fours continus à recuire le verre, mais on y a renoncé parce qu'il n'en était pas résulté d'économie. (Voy. *Comp.*) P. DEBETTE.

POTIER D'ÉTAIN. La poterie d'étain se fait avec un alliage ordinairement composé de 0,82 d'étain et de 0,18 de plomb, que l'on coule dans des moules en bronze, préalablement chauffés et intérieurement recouverts d'un enduit de pierre-ponce pulvérisée et délayée avec du blanc d'œuf.

POUCE D'EAU. C'est une ancienne mesure employée par les fontainiers, et qui équivaut à peu près à un débit de 20 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

POUDRE. *Historique.* La poudre est un mélange, dans certaines proportions, de soufre, de charbon et de salpêtre. La date de son invention est loin d'être connue. D'après un passage de Quinte-Curce, quelques savants veulent que les Indiens aient tiré contre Alexandre des projectiles dans des armes à feu. Les Chinois la connaissaient 80 ans avant Jésus-Christ ; mais il paraît qu'ils ignoraient le parti qu'on pouvait en tirer pour lancer des projectiles. 215 ans après Jésus-Christ, Julius Africanus fit la description de la composition de la poudre, et au sixième siècle Théodose décrivit les feux d'artifice. Ce qui tendrait à prouver que le salpêtre et la poudre sont venus aux Perses et aux Arabes de l'Orient, c'est qu'encore aujourd'hui les Perses appellent le salpêtre sel chinois, et les Arabes le désignent sous le nom de neige chinoise.

Ce qui paraît certain, c'est qu'on se servit longtemps du mélange des parties constitutives de la poudre pour la confection de feux d'artifices, sans connaître leur force de projection. En 1173, elles étaient ainsi employées en Perse. Albertus Magnus, dans les ouvrages hermétiques qu'il publia vers 1250, indique cet usage de la poudre. A la même époque, Marcus Græcus fit paraître un livre sur le feu propre à brûler les ennemis, tant sur terre que sur mer, et donna les moyens de construire des fusées et des pétards qui éclataient avec bruit, en employant un mélange bien pulvérisé de 6 parties de salpêtre, 1 p. de soufre et 2 p. de charbon.

En 1220, Roger Bacon avait déjà dit qu'on peut imiter le bruit du tonnerre, le surpasser même, et produire des feux plus brillants que les éclairs, avec du salpêtre, du soufre et du charbon, lesquels séparément ne font aucun effet, mais qui étant mêlés ensemble et renfermés dans quelque chose de creux et de bouché, font

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus de bruit et d'éclat qu'un coup de tonnerre. Il ajoute qu'on pourrait à l'aide de cette composition détruire une ville ou une armée.

Mais le hasard seul devait faire découvrir les plus précieuses propriétés de la poudre. En 1320, un moine allemand, Berthold Schwartz, de Fribourg, s'occupant à préparer le mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, indiqué par Marcus, avait déposé sa matière dans un mortier recouvert d'une grosse pierre, le feu y prit par accident, et la pierre fut lancée au loin avec une très grande force. De ce jour la poudre, telle que nous la connaissons aujourd'hui, put réellement être placée au nombre des inventions humaines; mais ce ne fut qu'au commencement du seizième siècle que son usage prit une grande extension et devint général.

Propriétés. C'est en se décomposant par la combustion, que la poudre donne naissance à des produits dont l'expansion projette au loin les corps qu'on lui oppose. Nous allons dire un mot des phénomènes de l'inflammation et de la combustion, des produits qui en résultent, et enfin de la tension des gaz produits ou de la force absolue de la poudre.

Combustion. La poudre peut être enflammée par une étincelle électrique, par le contact d'un corps en ignition, ou par un échauffement subit de 240 à 250° de Réaumur. En l'échauffant graduellement et lentement, elle se décomposerait sans explosion, parce qu'il n'y aurait pas combinaison; le soufre, se sublimant, se dégagerait en entraînant un peu de charbon. Le choc peut développer une chaleur suffisante pour enflammer la poudre de guerre. On a cru longtemps que le fer seul était susceptible de causer un choc de cette nature. Des expériences faites devant tous les membres du comité consultatif des poudres et salpêtres, ont pleinement établi que le choc du cuivre contre le cuivre, du cuivre contre le fer, du plomb contre le plomb, et même du plomb contre le bois, pouvait enflammer la poudre de guerre. Il est donc d'un haut intérêt d'éviter tous les chocs violents, quels qu'ils puissent être, dans le maniement des poudres.

Dans l'origine la poudre fut employée à l'état de poussière; mais dans cet état elle produisait pour les armes portatives une crasse humide qui l'empêchait, après les premiers coups, de glisser au fond du canon. On prit donc le parti de la *grainer*. On s'aperçut alors que deux parties de cette poudre, dans ce nouvel état, produisaient autant d'effet que trois de poussier ou pulvérin.

L'explication de ce phénomène est simple : la poudre en grains laisse des interstices qui, dès le commencement de l'inflammation, se trouvent remplis de gaz à une haute température, en sorte que tous les grains entrent en combustion à la fois.

On distingue donc deux sortes de vitesses : la vitesse d'inflammation, qui est celle avec laquelle toute une charge prend feu, et la vitesse de combustion, avec laquelle un grain enflammé par sa surface se consume. C'est la somme de ces deux vitesses qui donne celle de la formation des gaz produits, d'où résulte la force d'expansion de la poudre.

Vitesse d'inflammation. Cette vitesse est immense, difficile à apprécier; on admet qu'elle est au moins de 10 mètres par seconde.

On a remarqué aussi :

Qu'elle diminue quand la grosseur des grains augmente; que le charbon noir lui est plus favorable que le charbon roux; que dans les bouches à feu, si les grains sont ronds, les interstices sont plus nombreux, les gaz se répandent plus facilement et les circonstances sont plus favorables à l'inflammation; que si les grains sont anguleux ils peuvent se resserrer, et qu'alors la vitesse d'inflammation diminue; enfin, que si la charge était composée de poussière ou pulvérin, la flamme ne trouverait plus de passage, et la vitesse d'inflammation finirait par se confondre avec la vitesse de combustion. C'est sur cette observation que le savant M. Piobert a basé le moyen de conserver les poudres à l'abri des chances d'explosion, en les mélangeant avec du charbon en poussière dont on peut séparer les grains par un simple tamisage au moment de l'emploi.

Vitesse de combustion. La vitesse de combustion est plus facile à constater; des observations assez exactes font voir qu'un grain isolé se consume de la surface au centre avec une vitesse de 0m,01233 par seconde. On connaît la vitesse initiale d'un projectile, par conséquent le temps qu'il met à parcourir la longueur de l'arme dans laquelle il se meut. Donc pour que la poudre fasse tout son effet, il faut qu'elle soit toute consumée au moment où le projectile quittant l'arme n'est plus soumis aux gaz développés à chaque instant; il est donc intéressant d'avoir une formule qui donne la quantité de poudre brûlée en un instant quelconque.

Supposons un grain sphérique, la différence que l'on obtiendrait dans le résultat, pour un grain qui serait simplement un sphéroïde, est négligeable sans inconvénient. Appelons t' le temps total de combustion pour ce grain, et t le temps de combustion pour une certaine quantité de la poudre qui le compose; R étant le rayon primitif, r le rayon de la sphère persistante après la combustion opérée pendant le temps t, nous aurons : $r : R :: t' - t : t'$, ou $\frac{r}{R} = \frac{t' - t}{t'} = 1 - \frac{t}{t'}$. La sphère entière étant prise pour unité, nous aurons pour expression du volume de poudre brûlée $1 - \left(1 - \frac{t}{t'}\right)^3$, car la sphère persistante a pour volume $\left(1 - \frac{t}{t'}\right)^3$.

Si le volume primitif est A, l'expression de la quantité de poudre brûlée en un instant quelconque devient alors $A\left[1 - \left(1 - \frac{t}{t'}\right)^3\right]$.

Diverses circonstances influent sur la vitesse de combustion. Ainsi :

Plus les grains sont gros, plus le temps qu'exige la combustion totale de la charge est grand lui-même. En chargeant le mortier-éprouvette avec une seule galette du poids de 30 grammes, le globe ne sort pas de l'âme; si l'on divise cette galette en sept ou huit morceaux, le globe est à peine rejeté de l'éprouvette; en divisant en 12 ou 15 grains, le globe est porté à 3 mètres; avec 50 grains, il est porté à 9m,085; enfin, avec le même poids de poudre de guerre, il est moyennement porté à 52 mètres.

Dans des expériences faites à Dresde, en 1818, pour connaître au juste la grosseur qu'il convient de donner aux grains de la poudre de guerre, on a reconnu qu'en dépassant celle généralement adoptée, ces grains étaient projetés hors de la pièce sous forme de pluie de feu; que même quelquefois ils pouvaient s'éteindre dans l'air.

Nous avons dit qu'une poudre ayant une densité de 1,530, en prenant celle de l'eau pour unité, brûle avec une vitesse de 0m,01233 par seconde; mais si cette poudre contient 5 p. 100 d'eau, la vitesse de combustion n'est plus que de 0m,010.

Les proportions des composants exercent aussi une influence notable. Pour que la vitesse de combustion soit la plus grande possible, la proportion de soufre doit être comprise entre 8,50 et 12,20 pour 100. Si, au contraire, la proportion de soufre restant la même, celle de charbon diminue, la vitesse de combustion se ralentit.

Enfin, la trituration plus ou moins parfaite peut faire varier considérablement cette vitesse et aller jusqu'à la modifier de 1/7.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Produits de la combustion. La combustion donne lieu a des produits de deux natures bien distinctes, produits solides et gaz permanents.

Voici les résultats de la décomposition théorique d'une poudre composée de 10 de soufre, 15 de charbon et 75 de salpêtre :

Produits solides.

Sulfate de potasse	11,00	
Sous-carbonate de potasse	40,00	
Charbon mélangé avec les deux substances précédentes	3,00	54,50
Soufre vaporisé séparément	0,50	

Produits gazeux.

Acide carbonique	28,77	
Azote	13,24	
Hydrogène carboné	2,70	49,99
Hydrogène sulfuré	2,03	
Gaz nitreux	3,25	
Total		104,49

L'erreur de 4 unités, que l'on remarque dans cette analyse, provient de l'ignorance où l'on est à l'avance de la plus ou moins grande quantité d'oxyde de carbone ou d'acide carbonique, qui doit se former dans la combustion de la poudre. Il n'en résulte pas moins de l'examen des résultats que la moitié des produits se compose de gaz permanents.

Quant aux produits solides, il est certain qu'ils sont volatilisés eux-mêmes au moment de l'explosion, en vertu de la haute température développée; c'est ainsi que la bonne poudre brûle sur le papier blanc sans y laisser de trace.

Une expérience directe de Rumfort constate le fait d'une manière encore plus frappante. Il a déposé une charge de poudre dans un canon en fer, dont l'orifice a été fermé à l'aide d'un corps pesant. Quand il y avait explosion et que le poids se soulevait, tous les produits s'échappaient.

Dans le cas contraire, l'appareil refroidi, il a constamment trouvé tous les produits solides condensés dans l'âme, et attachés aux parties les plus éloignées du point d'application de la chaleur.

A quelle température sont élevés ces produits gazeux? On a observé que le cuivre rouge pur, qui exige pour entrer en fusion une température de 2.550°, n'est pas toujours fondu par la poudre, tandis que le cuivre jaune, qui fond à 2.150°, l'est constamment. Si, d'un autre côté, l'on réfléchit à l'énorme quantité de calorique absorbé par les métaux avant d'entrer en fusion, on peut, sans crainte de se tromper, admettre la limite de 2.400°.

Ces données sur les volumes des produits gazeux, et la température à laquelle ils sont élevés, peuvent servir à évaluer la tension dont ils sont doués.

Tension des gaz produits ou force expansive de la poudre. On pourrait, en effet, théoriquement, obtenir approximativement cette valeur, s'il ne s'agissait que des gaz permanents, dont les tensions varient très lentement avec les hautes températures; mais il n'en est pas de même pour les vapeurs, dont la force élastique, au contraire, augmente très rapidement pour de petites élévations de température. Il y aurait là une source d'erreurs que rien ne pourrait limiter; il faut donc recourir à la voie de l'expérience. Or, on sait que les plus petites circonstances ont une énorme influence sur la force d'expansion de la poudre. Ainsi plusieurs livres de poudre, étendues sur une table légère en bois, ne produisent par leur inflammation qu'une légère dépression de la table; mais, si on recouvre la même quantité de poudre d'une simple feuille de papier, la table alors est complétement brisée. Rien donc d'aussi délicat que des expériences de cette nature; c'est encore Rumfort que nous allons suivre :

Si un canon en fer forgé est chargé de poudre et que son orifice soit fermé par un certain poids, on pourra déterminer la force absolue des gaz produits d'après la valeur du poids qui les comprime, et d'après la ténacité du fer forgé, s'il y a eu rupture.

Dans le premier cas, on a trouvé que la tension du gaz est supérieure à 9.000 ou 10.000 atmosphères; dans le second, la section de rupture était treize fois celle de l'âme. Les parois intérieures de l'éprouvette ayant une chaleur de 240° centigrades, à cette température la ténacité du fer est de 2.470 atmosphères; on a donc pour la force de tension des gaz produits $13 \times 2.470 = 32.110$ atmosphères. Si, au contraire, on prenait pour force de cohésion du fer à 240°, 1.900 atmosphères seulement, ainsi que paraîtraient devoir l'indiquer d'autres résultats d'expériences, on aura un minimum de 25.000 atmosphères; c'est-à-dire que la force d'expansion de la poudre est comprise entre 32.000 et 25.000 atmosphères.

Nous ne pouvons donner ici la mesure des effets de la poudre; nous en traiterons en partie à l'article PROJECTILE. Nous indiquerons seulement comment on peut évaluer le travail utile produit par son action.

D'après le principe, l'action égale et contraire à la réaction, les pressions exercées sur le boulet et sur la pièce sont égales; or, ces forces ont pour expression les masses multipliées par la vitesse dans $mv = m'v'$, ou en prenant les poids $\frac{P}{g} v = \frac{P'}{g} v'$ ou

$$P : P' :: v' : v.$$

Les pressions étant égales, le travail utile est bien différent pour le boulet et pour l'affût, puisqu'il faut multiplier les expériences ci-dessus par $1/2\ v$ et $1/2\ v'$, et que les vitesses sont en raison inverse des poids.

Le travail utile dépensé par la poudre est donc $1/2 \frac{P}{g} v^2 + 1/2 \frac{P'}{g} v'^2$.

Dans une pièce de 24, on peut admettre $P' = 300\ P$ donc $v = 300\ v'$. Pour une charge de 4 kil., on a sensiblement $v = 300^m$; d'où $1/2 \frac{P}{g} v^2 = 152{,}935^{k.m}$ et $v' = 1{,}67$, d'où $\frac{P}{g} v'^2 = 503^{k.m}$. Rapport de 1 à 304.

On voit combien est faible l'effet sur l'affût pour une action aussi considérable; elle se trouve à celle sur le boulet, encore sensiblement en raison inverse des masses.

Cette action est assez faible pour qu'on ait pu dire que les charges sont proportionnelles aux forces vives du boulet, au terme v^2, le seul variable de l'expérience $1/2 \frac{P}{g} v^2$, qui donne l'effet produit.

Fabrication. En France, la fabrication de la poudre est l'objet d'un monopole de la part du gouvernement. Nous allons décrire les diverses opérations auxquelles elle donne lieu dans les établissements de l'État. Ces opérations sont de deux natures : celles qui regardent les matières premières, telles que le salpêtre, le charbon et le soufre; enfin, celles qui concernent la fabrication proprement dite dans les poudreries.

MATIÈRES PREMIÈRES (1).

SALPÊTRE. Composé de 0,5345 d'acide nitrique et de 0,4635 potasse — densité 2,09 — fusion à 350° — décomposition à la chaleur rouge — solubilité dans 100 parties d'eau; à 0°, 13,32; à 13°, 25,49; à 30°,

(1) Les proportions sont toujours données en poids et la température en degrés centigrades.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

45,90 ; à 40°, 63,80 ; à 60°, 110,70 ; à 80°, 170,80, à 100°, 246,15 — cristallise ordinairement en prismes ou en aiguilles profondément cannelées — saveur fraîche, salée et un peu amère — projeté sur des charbons rouges, il fuse et scintille vivement.

Il se trouve à la surface du sol dans l'Italie et dans quelques autres contrées méridionales. Le nitrate de soude qui se trouve en quantités si considérables au Chili et au Pérou fournit l'acide nitrique de la majeure partie du salpêtre employé aujourd'hui. Il se forme spontanément dans les lieux où les exhalaisons putrides des matières animales ou végétales sont en contact avec un air humide. On l'obtient dans les nitrières artificielles en disposant des amas de terre et de matériaux de démolition, de manière à reproduire les mêmes circonstances ; les meilleures rendent annuellement 3k,588 de salpêtre par mètre cube.

Extraction du salpêtre. — Lessivage. On scie en deux des tonneaux pour en faire des cuviers ; on les perce latéralement, tout près du fond, d'un trou de 0m,016 à 0m,18, dans lequel on introduit une chantepleure en bois ; on en dispose trois sur des chantiers élevés de 0m,5 à 0m,6, on un plus grand nombre, en les groupant trois par trois. On garnit le fond de chaque cuvier d'une couche de paille et on les remplit, jusqu'à 0m,05 au-dessus des bords, de terres ou matériaux salpêtrés, broyés et passés à la claie. On verse dans le premier cuvier de l'eau pure en quantité telle, qu'après une parfaite imbibition, sa surface soit à la même hauteur que les matériaux salpêtrés. Après dix à douze heures, on la fait écouler et on la recueille dans un tonneau.

On fait un second lavage avec une quantité d'eau pure égale à celle de l'eau salpêtrée fournie par le premier. On retire cette nouvelle eau après trois ou quatre heures et on la réunit à celle du premier lavage dans le même tonneau : on fait sur le même cuvier un troisième et un quatrième lavage de la même manière que le second, et on met les eaux qui en proviennent dans des tonneaux séparés.

On appelle *eaux de cuite* celles qui sont assez chargées de salpêtre pour être évaporées ; elles doivent contenir au moins 10 kil. de salpêtre sur 100 litres ; *eaux fortes*, celles qui doivent passer encore une fois sur des terres neuves pour devenir eaux de cuite, *petites eaux*, les autres produits des lavages.

On regarde un cuvier comme épuisé, et on rejette les matières qu'il contient, lorsqu'il ne donne plus que 4 kil. de salpêtre par 100 litres d'eau, ou que l'eau que l'on en retire ne marque plus que 1 degré au pèse-liqueur pour le nitre.

Il faut employer le moins d'eau possible pour épuiser les cuviers, à cet effet on procède par la méthode de lavage dite par DÉPLACEMENT, que nous avons décrite avec détails à ce mot dans ce Dictionnaire, en prenant pour exemple le travail du salpêtre.

Saturation. Pour convertir en nitrate de potasse les nitrates terreux que contiennent les eaux de cuite, on y ajoute de la potasse du commerce (carbonate) dissoute dans moitié de son poids d'eau jusqu'à ce qu'en agitant le mélange, il ne se forme plus de précipité.

On emploie avec avantage les cendres pour le même objet. On en met au fond des cuviers, sur la paille, jusqu'au quart de leur hauteur ; on ajoute ensuite de la potasse ou de nouvelle eau salpêtrée selon que le terme de la saturation n'a pas été atteint ou qu'il a été dépassé.

Évaporation ou cuite Pour obtenir une cristallisation abondante, il faut que l'ébullition soit entretenue jusqu'à ce que les eaux de cuite marquent 80° à l'aréomètre. Avant de commencer, il convient d'en réunir en quantité suffisante pour que la chaudière puisse être remplie d'eau à ce degré, c'est-à-dire huit ou neuf fois sa capacité, si les eaux de cuite sont à 10°, on met l'eau de remplacement dans un bassin, qui verse dans la chaudière une quantité d'eau égale à celle qui s'évapore.

On chauffe vivement, surtout au commencement de la cuite. On enlève les écumes, et après les avoir fait égoutter dans un baquet placé sur le bord de la chaudière, on les rejette sur les terres à lessiver. Si le liquide se boursoufle et tend à se déverser, on arrête l'ébullition en modérant le feu et en jetant de l'eau froide salpêtrée dans la chaudière. On reçoit les dépôts terreux dans un chaudron suspendu au milieu de la chaudière, à quelques centimètres du fond ; on le vide de temps en temps, et on le retire tout à fait lorsque le sel marin recouvre le dépôt terreux. On enlève ce sel, qui est mêlé avec du chlorure de potassium, à mesure qu'il se dépose au fond de la chaudière, et on le fait égoutter dans un panier au-dessus de la chaudière.

Décantation et cristallisation. Lorsque la cuite est au degré convenable, on la laisse reposer quelques heures, afin de donner le temps au sel marin de se déposer, et on vide la chaudière avec un puisoir.

On verse la liqueur, pour la faire cristalliser, dans des vases placés en un lieu frais. La cristallisation est complète lorsque l'eau surnageante (*eaux mères*) a pris la température de l'air. On la décante alors, on fait égoutter, et on ajoute les eaux mères aux cuites suivantes, à moins qu'elles ne soient devenues trop épaisses ; dans ce cas, on les rejette sur les terres à lessiver. On détache le salpêtre, on le broie, et on verse dessus quelques arrosoirs d'eau pour le laver

Dans cet état, c'est le *salpêtre brut* contenant environ 20 p. 100 d'humidité, de sels qui, pour la plupart, sont des chlorures très déliquescents et des matières terreuses.

Essai du salpêtre brut. On en prend 400 grammes, on verse dessus un demi-litre d'eau saturée de salpêtre pur, on agite le mélange pendant dix minutes avec une spatule en verre, et on décante la liqueur sur un filtre. On lave l'échantillon une seconde fois de la même manière, avec un quart de litre de la dissolution de salpêtre pur et on verse le tout sur le filtre. On fait égoutter le filtre, et on le dessèche ensuite complétement en le posant d'abord sur un lit de matière absorbante, telle que de la cendre, de la chaux, et ensuite dans une capsule sur un feu doux.

L'eau saturée de salpêtre n'ayant enlevé que les sels étrangers, ce qui reste sur le filtre, diminué de 0,02 pour les matières terreuses et le salpêtre laissé par l'eau d'essai, est le salpêtre pur qui était contenu dans les 400 grammes essayés.

Les variations de température qui peuvent survenir pendant l'opération faisant varier la quantité de salpêtre pur qui reste sur le filtre, il est convenable de faire en même temps et dans le même lieu une semblable opération sur 400 grammes de salpêtre parfaitement pur. L'augmentation ou la perte qu'aura éprouvée cet échantillon, indiquera la correction à faire au résultat de l'essai du salpêtre brut.

Le salpêtre fourni par les salpêtriers commissionnés contient, terme moyen, 12 p. 100 de sels étrangers, humidité et matières terreuses ; il a subi un premier lavage dans leurs ateliers, autrement il en contiendrait 22 à 25 p. 100. Le salpêtre de l'Inde n'en contient que 6 à 8 p. 100.

RAFFINAGE DU SALPÊTRE. Procédés suivis à la raffinerie de Paris.

1er lavage. On opère sur 5.300 kil. de salpêtre brut contenant 0,06 de sels étrangers et 0,06 d'eau et de matières terreuses. On les lave avec 2.000 kil. d'eau saturée de salpêtre pur, provenant des opérations précédentes ; à défaut de cette eau saturée, on se sert d'eau pure. On mêle avec soin, et après douze heures, on ramasse le salpêtre d'un côté du cristallisoir en faisant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

écouler par le côté opposé l'eau qui entraîne les sels étrangers, et qui est ensuite traitée comme les eaux de cuite. Après ce lavage, le salpêtre ne retient plus que 0,01 de sels étrangers avec de l'eau et des matières terreuses, et les 5.300 kil. sont réduits à 5.000.

Collage. Dans une chaudière de 4.000 litres environ et à une chaleur modérée, on fait dissoudre 4.600 kil. de salpêtre lavé dans 1.100 litres d'eau. On met d'abord 3.600 kil. de salpêtre avec 900 litres d'eau et le reste, successivement, en trois portions.

On a fait dissoudre 1 kil. de colle-forte dans 20 litres d'eau. Lorsque l'ébullition est près de commencer dans la chaudière, on y verse 15 litres de la dissolution de colle-forte étendue de 30 litres d'eau; on écume avec soin. Ensuite, on ajoute 100 litres d'eau, afin de diminuer la densité du liquide et de permettre aux sels étrangers et aux matières terreuses de le traverser et de se déposer au fond ou de former des écumes; c'est ce que l'on appelle *faire un lavage.* On jette dans la chaudière les 400 kil. de salpêtre restant, on fait un deuxième collage avec le reste de la dissolution de colle-forte étendue de 18 litres d'eau; on écume pendant une heure environ; on fait un deuxième lavage et, deux heures après, un troisième lavage; on continue à écumer et on laisse évaporer, en poussant le feu, jusqu'à ce qu'il ne reste plus dans la chaudière qu'une partie d'eau pour cinq de salpêtre. On laisse reposer pendant quelques heures, en entretenant assez de chaleur pour qu'il n'y ait pas de cristallisation, et on décante dans le cristallisoir.

Cristallisation. On agite avec des râteaux pour empêcher la formation de gros cristaux; on retire les eaux surnageantes lorsque leur température est réduite à 40°, et on laisse égoutter pendant plusieurs heures.

Arrosage. En sortant du cristallisoir, le salpêtre ne contient plus que 1/500 de sels étrangers. On le met dans des caisses qui peuvent en contenir 2,200 kil. On verse sur chacune, avec des arrosoirs, 1.000 litres d'eau en trois arrosages. On laisse séjourner pendant deux heures l'eau des deux premiers, avant de la faire écouler par des ouvertures pratiquées au fond des caisses; l'eau du dernier arrosage ne fait que traverser la masse du salpêtre.

Séchage. Après ces lavages, le salpêtre ne contient plus que 1/18.000 de chlorures. On le laisse égoutter pendant quelques jours et on le fait sécher dans des bassins de dessiccation légèrement échauffés, en le remuant continuellement.

Embarillage. Le salpêtre bien séché, parfaitement blanc et pulvérulent, est passé dans un tamis de toile métallique fine, et mis dans des barils et chapes qui servent ensuite pour la poudre.

Une chape de 100 kil. en contient 180 kil.; une de 50 — 100 kil.

Un baril de 100 kil. en contient 110 kil.; un de 50 — 60 kil.

Eaux d'arrosage. Elles sont conservées pour faire le premier lavage du salpêtre brut, ou bien réunies aux eaux surnageantes.

Eaux surnageantes. En sortant du cristallisoir, elles sont reçues dans des bassins où elles se refroidissent et déposent du salpêtre, que l'on réunit à celui qui a subi le premier lavage dans une autre opération; on en fait ensuite des cuites qui fournissent du salpêtre brut.

Écumes. On appelle *grosses écumes* celles qui proviennent du raffinage. On en réunit 2.000 kil., que l'on met dans une chaudière avec 1.200 litres d'eau. On chauffe graduellement jusqu'à faire jeter quelques bouillons; on écume, on laisse déposer, on décante et on obtient du salpêtre brut qui cristallise par le refroidissement.

Sur le dépôt encore chaud, on verse 1.000 à 1.200 litres d'eau et on ajoute les *secondes écumes*, de manière à remplir la chaudière. Après avoir chauffé, écumé et laissé reposer, on décante, on réunit le liquide clair aux eaux surnageantes, et on rejette les dernières écumes et le dépôt sur les matériaux à lessiver.

Les 5.300 kil. de salpêtre brut fournissent ainsi: 3.600 kil. de salpêtre raffiné et séché, plus 100 kil. de salpêtre pur restés dans les écumes, 650 dans les eaux surnageantes, 450 dans les eaux d'arrosage, et que l'on retrouve dans les opérations suivantes; en tout 4,700 kil. de salpêtre pur.

Essai du salpêtre raffiné. Pour être employé dans la fabrication de la poudre, il faut que le salpêtre ne contienne pas plus de 1/3.000 de chlorures. Pour en faire l'essai, on en dissout 10 gramm. dans le moins d'eau tiède possible; on y verse ensuite 1 gramme de dissolution de nitrate d'argent contenant 0,00968 grammes de ce sel, quantité nécessaire pour décomposer 10/3.000 de gramme de sel marin. On filtre et on divise le liquide filtré en deux parties. Dans l'une, on ajoute quelques gouttes de la liqueur d'épreuve; si le mélange reste limpide, on est assuré que le salpêtre ne contient pas plus de 1/3.000 de chlorure de sodium. Dans l'autre partie on jette un peu de dissolution de sel marin; si elle se trouble, c'est que le salpêtre en contient moins. On pourrait connaître exactement la quantité de ce sel, en employant la liqueur d'épreuve par petites portions. A Paris, cette quantité n'est que 1/18.000 du salpêtre.

Pour préparer une dissolution de nitrate d'argent au titre indiqué, on prend une quantité quelconque de ce sel exprimée en grammes, on divise ce nombre de grammes par 0,00968; le quotient est le nombre de grammes d'eau dans lequel il faut faire dissoudre le sel.

Charbon. Les charbons de bois légers, tels que la bourdaine, les chenevottes, le tilleul, le fusain, le coudrier, le saule, le peuplier, etc., sont ceux qui conviennent le mieux pour la fabrication de la poudre, à cause de la facilité avec laquelle ils se prêtent à la trituration. On n'emploie pour les poudres de guerre que le charbon de bourdaine.

Tous les bois contiennent à peu près 0,52 de charbon avec de l'oxygène et de l'hydrogène dans la proportion qui constitue l'eau; par la distillation lente, on n'en obtient au plus que 0,40 de charbon.

Il faut, autant que possible, couper le bois dans la sève du printemps; choisir les branches de $0^m,02$ de diamètre; refendre celles qui sont plus grosses; les peler et rejeter l'écorce. Les menues branches sont mises à part pour faire le charbon destiné à la fabrication des poudres fines.

Dans les poudreries à pilons on carbonise dans des fosses. A mesure que le bois s'affaisse par la combustion, on en jette dessus de nouveau, jusqu'à ce que la fosse soit remplie. Quand la flamme a gagné les dernières couches, on ferme hermétiquement la fosse avec un couvercle recouvert de terre damée. Au bout de quarante-huit heures, on retire le charbon et on sépare la braise et les fumerons ou *brûlots.* Dans les poudreries où sont établis les nouveaux procédés, on distille le bois dans des cylindres en fonte de fer, montés dans un fourneau.

Soufre. Densité 2,033, fusion à 108°; prend une consistance pâteuse à 160° environ; se vaporise à 360°.

Soluble dans la potasse caustique, et mieux dans les sulfites alcalins.

Le soufre bien pur est d'une belle couleur jaune citron, il craque lorsqu'on le serre dans la main; sa cassure est brillante.

Le soufre brut, extrait par une première distillation des minerais où il se trouve à l'état natif, retient environ 1/12 de matières terreuses.

On le purifie par une seconde distillation, à la suite de laquelle on le coule dans des barils, ou dans des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moules où il prend la forme de *bâtons*, ou bien on le recueille à l'état de *fleur de soufre*.

On peut le purifier d'une manière très expéditive, en le faisant fondre dans une chaudière et en le filtrant à travers une toile épaisse, après l'avoir écumé ; par ce procedé il est difficile de le purger entièrement de toute impureté.

FABRICATION.

Dosage des poudres.

		Salp.	Charb.	Soufre.
Poudre de guerre.		75	12,5	12,5
Poudre de chasse	fabriquée aux pilons.	78	12	10
	d'Angoulême et du Bouchet (104 p.). .	80	14	10
	d'Esquerdes. . .	76	14	10
Anc. poudre ronde d'Essonne. .		74	16	10
Poudre de mine.		62	18	20
— de traite.		62	20	18
Poudres anglaises	de guerre pour le Gouvernement. .	75	15	10
	de Dartfort. . . .	75	17	8
	de Tumbridge. .	76	14,5	9,5
	de Hounslow. . .	78	14	8
Berne.		76	14	10
Suède.		75	16	9
Prusse.		75	13	11
Hollande.		70	16	14
Autriche.		68	16,5	15,5
Chine.		75,7	14,4	9,9

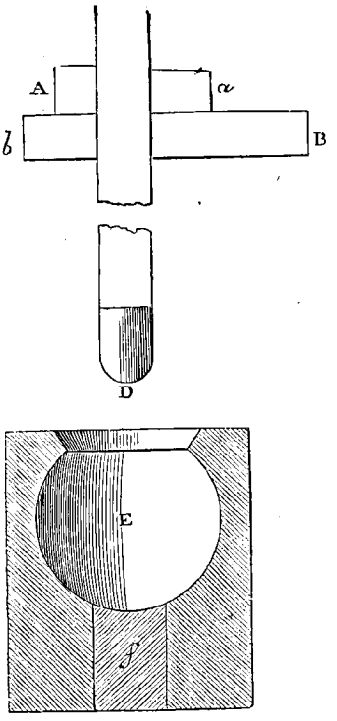
Fabrication dans les poudreries. Elle consiste essentiellement à exécuter d'une manière invariable les opérations suivantes : *trituration, mélange, humectation, compression, granulation, séchage.*

Pilons. Les quatre premières opérations sont exécutées à la fois par des pilons,

Un moulin renferme ordinairement 20 ou 24 mortiers et pilons formant deux batteries. Chaque pilon (fig. 2191) pèse 40 kil., et tombe, de 0m,40 de hauteur, cinquante-cinq fois par minute ; le bas du pilon est garni d'une *botte à pilon* en bronze. Les mortiers se rapprochent de la forme sphérique et sont creusés dans une pièce de bois de chêne ; leur fond est garni d'un tampon de bois dur, ils reçoivent chacun 10 kil. de composition.

La durée du battage est de onze heures. On met d'abord dans chaque mortier 1k,25 de charbon en morceaux avec 1 kil. d'eau. Après une demi-heure de battage à quarante coups par minute, on ajoute 7k,50 de salpêtre, tel qu'il sort des raffineries, et 1k,25 de soufre, qui a été préalablement broyé au moyen de meules ou de tonnes de trituration et tamisé. On mélange bien les trois matières à la main, et pendant le premier quart d'heure on ne fait battre que quarante coups par minute. Après chaque heure de battage, on fait passer les matières d'un mortier dans un autre. Au sixième ou huitième *rechange* on ajoute 0k,250 d'eau. On ne fait pas de rechange pendant les deux dernières heures, pour laisser la composition se lier et prendre du corps. En sortant des mortiers on la laisse essorer ; ensuite elle est grenée.

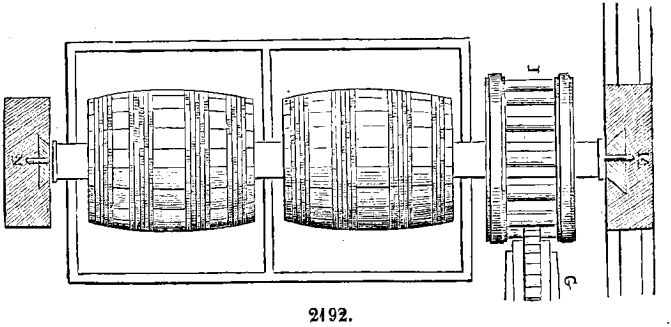
Le procédé des pilons est exclusivement employé pour la poudre de guerre.



2191.

La poudre fabriquée par les autres procédés ayant causé une plus prompte destruction des bouches à feu, ces procédés ont été provisoirement interdits en France pour la poudre de guerre ; ils ne servent actuellement que pour les poudres de chasse.

Pilons et tonnes. Pour diminuer le temps et les dangers du battage, on peut triturer les matières et en faire le mélange dans des tonnes, avant de les mettre sous les pilons.



2192.

Les tonnes à pulvériser et à mélanger (fig. 2192) sont semblables. Elles ont 1m,14 de diamètre sur 0m,55 de longueur intérieure Elles sont formées de liteaux arrondis,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POUDRE.

ayant intérieurement 0m,014 de saillie et espacés entre eux de 0m,23. Les intervalles entre les liteaux sont remplis par du cuir fort, dont l'élasticité empêche la matière d'adhérer aux parois, inconvénient qui se produirait dans des tonnes en bois. Chaque tonne renferme 50 kil. de gobilles de 0m,005 à 0m,008 de diamètre, coulées avec un alliage de 75 parties de cuivre et 25 p. d'étain. On fait tourner avec une vitesse de vingt-cinq à trente tours par minute.

Dans la tonne à pulvériser on met pendant deux heures 25 kil. de mélange binaire, charbon et soufre.

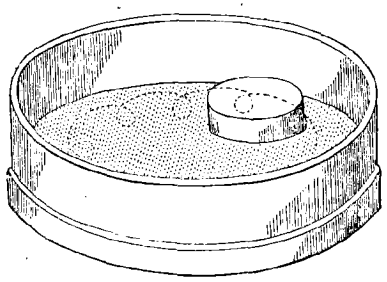
On met de même pendant deux heures 25 kil. de mélange ternaire dans la tonne à mélanger, en y faisant entrer le salpêtre dans l'état où il est fourni par les raffineries, ou simplement concassé. On porte ensuite le mélange sous les pilons, on l'arrose de 15 p. 100 d'eau, et on le soumet à un battage de trois heures seulement.

Meules. Dans la plupart des États de l'Europe les pilons sont remplacés par des meules pesant 3.000 à 4.000 kil., en marbre ou en fonte, roulant sur une *piste* ou *auge* de même matière, ordinairement accouplées, liées à un arbre vertical, dont elles sont distantes de 0m,30 à 0m,40, et faisant dix révolutions par minute. On met sur l'auge 20 kil. de composition. Deux heures suffisent pour opérer le mélange.

Presses. Au moyen d'une presse hydraulique ou à vis, on peut éviter l'emploi des pilons ou des meules, machines coûteuses et difficiles à établir. On humecte la composition sortant de la tonne à mélanger avec 10 p. 100 d'eau, qu'on a soin de répartir bien également, en brassant avec les mains et en se servant d'un arrosoir très fin ou d'une brosse. On la fait passer par un crible avec un *tourteau* en bois pour bien la diviser. On la soumet ensuite à la presse qui la met à l'état de *galette*.

Granulation. Elle s'exécute de la même manière, quel que soit le procédé employé pour former la *pâte* ou *galette* à grener.

On la laisse *essorer*, pour lui enlever l'humidité qui l'empêcherait de se briser. Elle est ensuite divisée sur un crible, qu'on appelle *Guillaume* (fig. 2193), par l'action d'un



2193.

tourteau ou disque de bois dur, pesant de 2 à 5 kil., de 0m,22 de diamètre, 0m,06 d'épaisseur au milieu et 0m,03 sur les bords. L'ouvrier donne au crible un mouvement, tel que le tourteau parcourt sa circonférence en s'appuyant contre la *cerce*. La pâte brisée passe à travers la *perce* du crible, à mesure que la grosseur des fragments le permet.

La poudre divisée est ensuite passée sans tourteau au crible appelé *grenoir à canon* ou *grenoir à fusil*. Ce crible sert de *sur-égalisoir* pour égaliser les grains trop gros. Un troisième crible, appelé *sous-égalisoir*, sert à séparer les grains trop fins.

			En peau.	En toile métalliq.
			m.	m.
Diamètre des trous ou perce	du Guillaume.		0,0080	0,0068
	du grenoir et du sur-égalsir	pour canon.	0,0025	0,0021
		pour fusil.	0,0014	0,0012
	du sous-égalisoir	pour canon.	0,0014	0,0012
		pour fusil.	0,0006	0,0005

Séchage. S'opère par deux moyens : 1° à l'air libre. On choisit un temps convenable, on étend la poudre sur des toiles de coton tendues sur des tables, et on renouvelle fréquemment les surfaces ; il faut dix à douze heures.

2° Dans une sécherie artificielle : un courant d'air échauffé traverse une couche de poudre de 0m,10. Ce moyen exige peu de main-d'œuvre et n'occasionne pas de déchet. Une sécherie peut sécher jusqu'à 1.200 kil. de poudre par jour. A la poudrerie du Bouchet, il n'en coûte que 3 fr. 75 c. pour la tourbe consommée.

Poussiers. Les grains trop fins et les poussiers sont remis aux pilons, arrosés de 12 à 16 p. 100 d'eau et battus pendant trois heures.

Densité de la poudre. Après le séchage un litre de poudre de guerre pèse 840 à 850 grammes. On appelle *gravimètre* la mesure ayant exactement un décimètre cube, qui sert pour prendre le litre de poudre dont le poids donne la *densité gravimétrique* de la poudre.

Époussetage. Avant d'être embarillées, les poudres sont passées au blutoir, ou au tamis de crin ou de soie, pour être débarrassées du poussier.

Lissage. On ne lisse que les poudres de chasse et de commerce extérieur. Cette opération s'exécute avant le séchage ; elle peut être employée pour masquer le défaut d'une poudre molle et poreuse. On fait varier la charge du *lissoir* et le temps du lissage selon l'effet que l'on veut obtenir.

Le *lissoir* est une tonne garnie de quelques côtes peu saillantes, dans laquelle la poudre à lisser est mise seule et qui fait de quinze à vingt tours par minute.

Les poudres de chasse sont fabriquées par des procédés semblables à ceux qui sont employés pour les poudres de guerre. Aux pilons elles sont battues pendant quatorze heures.

FABRICATIONS EXPÉDITIVES. — *Poudres rondes.* On établit un baril de 50 kil. sur un arbre qui traverse les deux fonds ; on le garnit intérieurement de liteaux. Pour boucher les joints, on applique à l'extérieur une toile avec de la colle-forte, et on remet les cercles par dessus la toile. On met dans le baril 5 kil. de soufre concassé et 5 kil. de charbon, avec 30 kil. de gobilles, ou à leur défaut de plomb à giboyer de différentes grosseurs jusqu'au n° 4 (0m,0035 environ) pour le plus petit. On fait tourner à bras, ou autrement, avec une vitesse de trente tours par minute. On prend 5 kil. du mélange binaire, ainsi trituré, on y joint 15 kil. de salpêtre, et on triture pendant deux heures avec les gobilles. On arrose les 20 kil. de mélange avec 2 kil. d'eau, en pétrissant pour la répartir également. On passe au grenoir avec le tourteau.

Les grains ainsi obtenus n'ayant été soumis à aucune compression, manquent de consistance. Pour leur en faire acquérir, on les met dans un baril n'ayant que 5 ou 6 liteaux de 0m.01 de saillie. On fait faire en commençant huit tours par minute, et on augmente progressivement jusqu'à vingt. La compression est d'autant plus forte qu'il y a plus de grains dans le baril, mais il n'en faut pas mettre au-delà de la moitié de sa capacité. On continue à tourner jusqu'à ce qu'une petite mesure de 35 centimètres cubes puisse contenir exactement 30 grammes de poudre. (C'est la densité ordinaire des poudres rondes.) On frappe sur les douves du baril pour empêcher la poudre de s'y attacher.

On égalise et on fait sécher comme à l'ordinaire. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grains trop fins ou trop gros, après avoir été séchés, sont remis dans le baril à triturer avec de nouvelle composition.

La poudre ainsi fabriquée est ronde; la surface des grains est assez dure, mais l'intérieur reste mou, ce qui la rend peu propre à se conserver et peut occasionner des longs feux dans le fusil.

On évite ce défaut par le moyen suivant :

On mouille à 10 p. 100 d'eau les 2/3 des 20 kil. de poussier sortant du baril de trituration. On pétrit et on fait passer la pâte dans un crible fin, dont les ouvertures ont $0^m,00085$ de côté s'il est métallique, ou $0^m,001$ s'il est en peau. On met le tout sur un drap de lit, auquel on imprime un mouvement de va et vient. Au bout de quelques minutes, les grains ayant pris un peu de corps, on projette de l'eau en gouttelettes très fines, avec une brosse ou un balai de crin. On jette ensuite par portions successives, et en continuant toujours le mouvement, le 1/3 du poussier qui est resté sec et qui s'attache aux petits grains par couches superposées. On arrive ainsi à la grosseur de grains qui convient. L'eau projetée est à peu près le dixième du poids du poussier sec. L'opération dure de dix à quinze minutes.

L'égalisage donne les deux tiers de grains trop fins, qui sont traités de la même manière au moyen de poussier préparé d'avance. Ainsi chaque opération fournit le petit grain pour la suivante. On ne se sert du grenoir fin que pour commencer, et pour réduire les grains trop gros, qui se forment en très petite quantité.

On donne la compression nécessaire par le lissage, et enfin, on sépare les grains à canon et les grains à fusil.

Le même procédé peut s'appliquer ainsi qu'il suit à une fabrication permanente. Le drap est remplacé par une tonne de $1^m,35$ de diamètre sur $0^m,62$ de longueur, montée sur un axe horizontal, faisant de cinq à six tours par minute; l'un des fonds ouvert suivant un cercle concentrique de $0^m,60$, pour qu'on puisse y jeter le poussier et y introduire la main sans arrêter le mouvement. L'eau d'arrosage y est portée par un tube parallèle à l'axe, percé d'un rang de trous capillaires, et recevant l'eau d'un réservoir élevé de 4 ou 5 mètres, ou sous une pression équivalente. Quand le grenage d'une charge est terminé, on la retire par une porte qui s'ouvre sur le pourtour de la tonne.

On charge la tonne de 100 kil. de petit grain, *noyau*, pour faire de la poudre à canon, et de 150 kil. pour faire de la poudre à fusil. Dans l'un et l'autre cas, on arrose avec 5 kil. d'eau et on jette 50 kil. de poussier. L'opération dure de quinze à vingt minutes. Si l'on voulait avoir un grain encore plus fin, il suffirait d'augmenter la quantité de noyau.

L'égalisage donne, avec la charge :

	Pour poudre à can.	à fusil.
Grains à canon.	32k	6k
— à fusil.	18	44
Sur-égalisures qu'on passe au grenoir fin pour refaire du noyau. . . .	5	4
Sous-égalisures servant de noyau. .	95	146

Si la tonne à grener était chargée de 100 kil. de poudre à fusil, l'addition de 5 kil. d'eau et de 50 kil. de poussier donnerait 150 kil. de poudre à canon.

On lisse dans une tonne pareille et ordinairement montée sur le même axe. On la charge de 150 à 200 kil. de poudre. On en prend de temps en temps un échantillon, pour reconnaître sa densité avec la mesure de 35 centimètres cubes ou avec le gravimètre.

La poudre ronde ainsi fabriquée ayant rendu plus rapide la destruction des bouches à feu, ce procédé a cessé d'être employé pour les poudres de guerre, malgré tous ses avantages, au moins jusqu'à ce que l'expérience ait fait reconnaître les modifications qu'il convient d'y apporter. On continue à l'employer, dans plusieurs poudreries, pour les poudres de mine.

On pourrait obtenir du grain anguleux en établissant une presse, avec laquelle on transformerait en *galette* le mélange humecté. Il suffirait de réunir deux solives à l'une de leurs extrémités par un cordage qui servirait de charnière. La matière serait posée entre deux plateaux en bois de $0^m,2$ d'épaisseur, placés tout près de la charnière. Un poids appliqué à l'autre extrémité de la solive supérieure, ou un second cordage, produirait la pression nécessaire.

Poudre anglaise. Tels sont les modes de fabrication suivis en France. En Angleterre, la série des opérations est la même. Voici les quelques modifications qu'on y remarque :

Le charbon est toujours fait en vases clos. On distille le bois dans des cylindres de fer creux disposés en lignes parallèles et fixés sur un mur en briques. Ces cylindres ont $1^m,20$ de diamètre sur $1^m,80$ de long; ils sont placés horizontalement, de sorte que la flamme d'un brasier joue autour de deux cylindres; les deux extrémités sortent un peu du mur. On adapte avec force à l'un des bouts de chaque cylindre un disque de fer fondu. Du centre de ce disque sort un tube en fer de $0^m,15$ de diamètre, qui entre à angle droit dans le tube principal de réfrigération. Le diamètre de ce tube doit être de $0^m,25$ à $0^m,35$ selon le nombre des cylindres; l'autre extrémité du cylindre est fermée par un disque en fer luté tout autour avec du mastic et affermi par des chevilles. La charge de bois d'un cylindre est à peu près de 400 kil. On tient le brasier allumé tout le jour; la nuit on laisse les cylindres se refroidir, et le lendemain matin on ouvre la bouche du cylindre pour ôter le charbon et mettre une nouvelle charge de bois. Le charbon ainsi obtenu est roux; il pèse à peu près un cinquième du poids du bois.

On ne triture pas la matière dans des pilons, mais bien sous des meules. 25 à 30 kil. de composition sont placés sous deux meules verticales roulantes mises en mouvement par une roue hydraulique. Ces meules reposent sur une auge dont le lit est en fer; elles roulent en tournant autour d'un arbre vertical traversé par l'axe horizontal qui leur est commun. Deux pièces de bois nommées charrues suivent les meules, et refoulent la matière des côtés vers le milieu de l'auge. Deux heures de travail suffisent pour la trituration.

La granulation s'opère par le procédé des tamis munis de disques en bois dur et pesant; mais ces tamis ou cribles, au lieu d'être mus par des ouvriers, sont adaptés au nombre de trente environ sur des châssis, auxquels un mécanisme fort simple communique un mouvement excentrique.

Toute la poudre anglaise est lissée; on la met, quand elle est granulée, dans des cylindres de canevas, assujettis sur des cercles et renfermés dans de grands cylindres en bois. Ceux-ci, tournant rapidement sur leur axe, obligent les grains à se frotter les uns contre les autres, et à acquérir aussi plus de lustre et de dureté. Le second cylindre en toile empêche le poussier, qui passe à travers la toile du premier cylindre, de s'échapper et de se perdre. Ce poussier est mouillé et travaillé de nouveau.

Enfin, le séchage s'effectue à la vapeur. On met la poudre sur des plateaux de cuivre, qu'on range en ligne sur des planches posées les unes sur les autres. Les tubes de vapeur passent autour des plateaux et entre chaque étage. Il ne faut pas que la poudre soit séchée trop vite, ni par une chaleur trop intense. La chaleur requise est de 49° centigrades.

Embarillage. La poudre fabriquée, il faut la mettre en barils. Cette opération ne laisse pas d'être délicate, et demande de grandes précautions.

Les poudres de guerre sont mises dans des *barils* de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

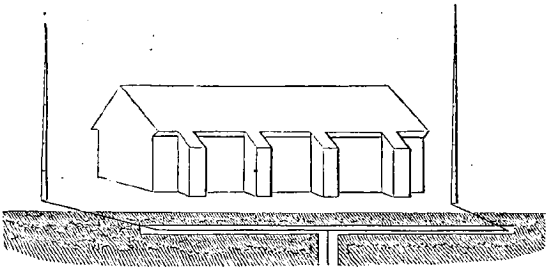
la contenance de 50 à 100 kilogrammes qu'on renferme eux-mêmes dans des *chapes*.

Les douves ou douelles et les fonds ou enfonçures des barils et des chapes doivent être en chêne ou en châtaignier, refendu et non scié. Ces bois, ainsi débités, s'appellent merrains; ils doivent être très sains et très durs.

Les cercles sont en chêne ou en châtaignier blanchâtre; le rouge doit être rejeté; on les dépouille de l'écorce.

Emmagasinage. Les dangers énormes qui environnent tout amas un peu considérable de poudre ont fait adopter certaines dispositions réglementaires toutes les fois qu'il s'agit d'en conserver.

Les bâtiments qui servent de magasin pour la poudre



2194.

s'appellent poudrières (fig. 2194). Leur toit est supporté par une voûte, et de plus ils ont encore une voûte sous leur sol; le plancher est en madriers de chêne et sans clous; l'air doit circuler sous le plancher. Les barils sont disposés sur six rangs, isolés les uns des autres et des murs latéraux. Les chantiers sur lesquels ils reposent sont en chêne bien sain, sans aubier, assemblés par deux épars de même bois, placés sur des dés cubiques correspondant autant que possible aux lambourdes du plancher.

On peut absorber une partie de l'humidité d'un magasin au moyen du chlorure de calcium, qu'on renouvelle de temps en temps, et que l'on place dans une caisse ouverte suspendue à la voûte. De la poudre jetée sur de la chaux vive, qui absorbe l'eau avec une grande activité, pourrait s'enflammer. Il faut de plus aérer le magasin quand le temps est sec et le ciel serein, et établir des moyens de ventilation; enfin, n'entrer qu'avec des sandales, et déposer au-dehors tout ce qui serait susceptible de produire des étincelles.

Chaque poudrière est munie de paratonnerres, qu'on a trouvé avantageux de placer près le bâtiment: le mieux est de leur donner deux conducteurs, l'un du côté où se forment le plus fréquemment les orages, l'autre du côté opposé.

Épreuves. Avant de se servir d'une poudre ou de la mettre en magasin, on doit l'éprouver. Pour cela, il faut faire ouvrir au moins un baril sur vingt, en ayant soin d'en prendre un de chaque date de fabrication.

La poudre doit être d'un grain égal, ne s'écraser que difficilement sous la pression du doigt, et ne laisser aucune trace de poussier quand on la fait glisser sur la main.

On prend dans chacun des barils ouverts quatre échantillons de 92 grammes de poudre chacun, qu'on pèse avec soin, et qu'on renferme dans des gargousses étiquetées pour les transporter au champ d'épreuve.

On vérifie avec la plus grande exactitude le diamètre intérieur de l'éprouvette (qui est un petit mortier), celui de la lumière et celui du globe qui lui sert de projectile. Le diamètre de l'éprouvette doit être de 7po. 01. 9l., et celui de la lumière de 1l. 6p.; le diamètre du globe de 7po., et son poids de 29k,30. On note toutes les altérations, même les plus légères.

On choisit pour la chute des globes un terrain qui ne soit ni pierreux ni trop dur. On dispose le mortier-éprouvette sur une plate-forme bien horizontale, établie sur un massif en maçonnerie, formée de lambourdes en chêne jointives de 0m,16 sur 0m,10, assemblées solidement par deux fortes traverses, et posées dans le sens de la ligne de tir.

On place une étoupille dans la lumière, on verse dans la chambre, au moyen d'un entonnoir coudé, les 92 grammes d'un des échantillons sans refouler; on place le globe dans l'éprouvette au moyen de la poignée, qu'on remplace ensuite par le bouton vissé; et on met le feu.

On tire, pour chaque poudre, trois coups, dont on prend la portée moyenne. En commençant l'épreuve, on tire un coup, qui ne compte pas, pour *flamber* le mortier.

Dans les poudreries, le règlement exige une portée de 225 mètres au moins pour les poudres neuves, et de 210 pour les poudres radoubées.

Les éprouvettes ne tardant pas à se détériorer et donnant des portées de plus en plus faibles, on corrige les portées des poudres soumises à l'épreuve, au moyen d'une *poudre-type* choisie parmi les poudres de guerre (*grain à canon*), de fabrication courante, laquelle est conservée avec soin dans des bouteilles de verre ou des boîtes en fer-blanc bien desséchées et fermées hermétiquement. La portée actuelle de cette poudre, comparée à sa portée primitive dans la même éprouvette, fait connaître la perte due aux altérations de l'instrument et la correction à faire. La portée de la *poudre-type* se détermine par un tir de six coups, en prenant la moyenne des cinq derniers.

Lorsque les portées de la poudre-type sont descendues à 200 mètres, il est nécessaire de renouveler le mortier-éprouvette ou seulement le globe.

Dans le service, une poudre neuve n'est rejetée que lorsque sa portée, après la correction faite, reste au-dessous de 210 mètres.

L'on a soin de constater le nom de la poudrerie et l'année de fabrication. — La nature de la poudre : à canon, de mousqueterie, de mine, de traite, dure, friable, ronde, anguleuse, bien ou mal époussetée. — La densité déterminée au gravimètre. — La portée de chaque coup et la portée moyenne. — Les altérations de l'éprouvette et de son globe. — L'état hygrométrique de l'air, la direction du vent relativement à la ligne de tir, la hauteur du baromètre et du thermomètre au moment de l'épreuve.

Moyens d'épreuve à employer dans des circonstances particulières. On peut éprouver la poudre en la comparant avec celles des approvisionnements : 1° au moyen d'un obusier, à petites charges; 2° au moyen d'un canon de fusil monté en pendule : les reculs de ce pendule sont proportionnels aux vitesses imprimées à la balle.

Enfin, il existe plusieurs éprouvettes particulières auxquelles on peut être obligé d'avoir recours; les deux suivantes sont le plus généralement employées.

Éprouvette Régnier, peson gradué au moyen de poids. On remplit de poudre une petite cavité qui en contient environ un gramme. L'explosion écarte un obturateur porté à l'extrémité d'un ressort, et un index glissant sur un limbe gradué marque le nombre de degrés que le

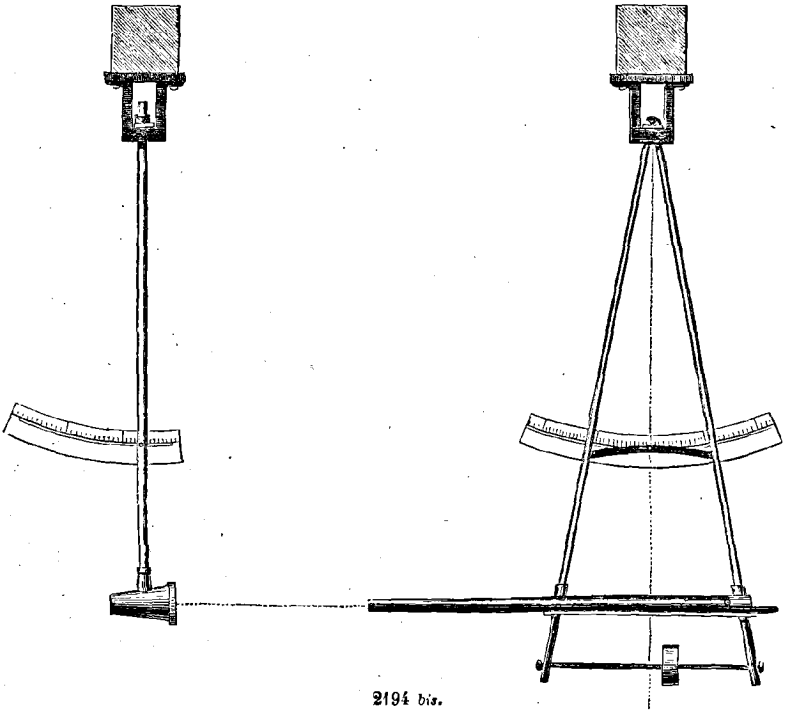
EFERUS - Recherche & Classification numérique

ressort a parcouru. Cet instrument offre évidemment peu de précision.

Éprouvette à crémaillère, en usage en Autriche.

Un petit canon vertical reçoit environ 1,5 gramme de poudre. L'explosion soulève un poids qui fait système avec une crémaillère sur une longueur de 0m,320. Un cliquet arrête la crémaillère, lorsque le poids est arrivé à son point culminant, et la hauteur de ce point est une indication de la force de la poudre.

Fusil-pendule. Le mortier-éprouvette et les autres systèmes exposés ci-dessus sont insuffisants pour essayer les poudres qui devant être employées dans des armes longues agissent autrement que dans les armes courtes, dans lesquelles le projectile est soumis bien moins longtemps à la détente des gaz produits par l'inflammation de la poudre. Aussi doit-on considérer comme un véritable progrès, l'adoption du fusil-pendule pour les essais de la poudre qui doit être employée dans les armes longues.



2194 *bis.*

Le fusil-pendule (fig. 2194 *bis.*) se compose de deux parties, le fusil-pendule proprement dit, et le récepteur ou pendule balistique. Le fusil-pendule consiste en un canon de fusil d'infanterie maintenu au bas d'un châssis en fer, qui est terminé, à sa partie supérieure, par deux tourillons en couteaux, formant un axe horizontal. Les tourillons portent sur des sièges en acier fondu, de sorte que le système forme un pendule oscillant avec facilité. Au-dessous du pendule, se trouve un axe sur lequel se meut une masse de plomb, que l'on peut faire glisser sur la tringle horizontale, qui peut être fixée elle-même à différentes hauteurs. On place cette masse dans une position telle, que le centre d'oscillation du pendule composé se trouve sur l'axe du fusil, et sur la verticale qui passe par le centre de gravité. Le châssis porte une tige, qui pousse un curseur mobile sur un arc de cercle divisé. Ce curseur marque ainsi le recul du pendule. Le pendule balistique se compose : d'une boîte conique en bronze suspendue à l'extrémité d'un châssis en fer, qui est terminé lui-même, à sa partie supérieure, par un axe horizontal composé de deux tourillons en couteaux. Ce système forme donc un second pendule ; les axes de suspension de ces pendules doivent être rigoureusement parallèles. La boîte reçoit une masse de plomb, dans laquelle la balle s'enfonce. La barre qui la supporte porte aussi un appendice qui se meut sur un arc divisé, et pousse un curseur glissant à frottement sur l'arc.

Des formules mathématiques permettent de calculer la vitesse initiale de la balle ; en partant des indications de l'un des curseurs. Voici la formule générale déduite des expériences de Metz, en partant de l'angle décrit par le pendule qui reçoit la balle.

$$v' = \frac{2 \sin \frac{1}{2} A' \frac{p' g' \sqrt{G o'}}{i'} - cN}{b' \frac{D^2}{d^2} + \frac{c'}{2}}$$

Dans cette formule, v' est la vitesse cherchée de la balle ; p' le poids du pendule ; g' la distance du centre de gravité
o' la distance du centre d'oscillation } à l'axe de suspension ;
i' la distance de l'axe du fusil

EFERUS - Recherche & Classification numérique

A' l'angle d'écartement du pendule; *b'* le poids de la balle et de la bourre; D le diamètre intérieur du canon du fusil; *d* le diamètre de la balle; *c* le poids de la charge de poudre; *c'* le poids de la cartouche en comprenant celui de l'enveloppe; G l'action de la gravité; N un facteur constant déterminé par l'expérience.

Le fusil du calibre de munition, soit 13mm,3, reçoit une charge de poudre de 10 grammes. La vitesse initiale de la balle doit être pour la poudre de guerre, de 450 mètres par seconde. Pour l'essai des poudres de chasse, on ne met que 5 grammes de poudre, qui doivent donner les vitesses initiales suivantes : Pour la poudre fine, 330 mètres; superfine, 350 mètres; royale, 375 mètres.

On a aussi disposé un *canon-pendule*, analogue au fusil-pendule pour essayer les poudres à canon.

Éprouvette Melsens. — M. Melsens a proposé un appareil d'une grande simplicité, pour l'essai des poudres, qui donne des résultats extrêmement intéressants. Il consiste essentiellement en un aréomètre de forte dimen-

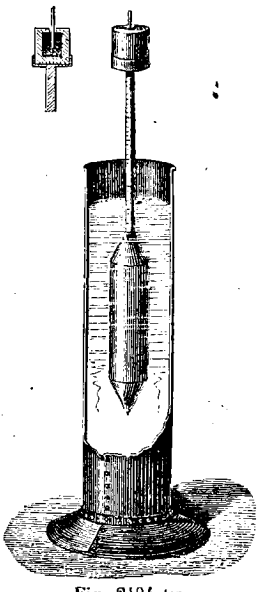


Fig. 2104 *ter.*

sion, portant une tige graduée, et dont le flotteur enfonce dans l'eau par suite de l'explosion de la poudre placée dans une capacité disposée à sa partie supérieure. En enduisant la tige de poudre rouge, on juge aisément la limite de l'enfoncement.

Régnier, qui s'était beaucoup occupé des moyens d'essayer les poudres, avait déjà proposé un système analogue, mais qui n'avait pas été adopté; il était, en effet, sans valeur avant d'avoir reçu le complément dû à M. Melsens et dont nous allons parler. De ce que l'aréomètre plongeait d'un plus grand nombre de divisions pour une poudre que pour une autre, on ne pouvait en conclure la supériorité de l'une que dans les *conditions de l'expérience*, et par suite nullement, si on avait à les employer dans des armes qui répondissent à des conditions tout autres.

Or, quel est l'élément capital d'un semblable essai? Évidemment, et par-dessus tout : la dimension de l'orifice qui donnera issue aux gaz qui se produiront

dans la capacité où se place la petite quantité de poudre à essayer, car c'est de sa grandeur surtout que dépendent la pression que fait naître l'explosion et la réaction qui produit l'enfoncement. Si donc, comme l'a imaginé M. Melsens, on répète la même expérience en variant les orifices des petits *mortiers* dans lesquels il met successivement une même quantité de poudre, la connaissance que l'on acquerra de sa nature deviendra bien autrement complète que dans le premier cas; ce ne sera plus un nombre unique qui servira à la définir, un nombre qui, en réalité, ne sera applicable qu'à un cas donné, mais une série de nombres variant souvent de 20 à 350 (1), ayant un rapport intime avec les pressions qu'une poudre peut faire naître dans diverses circonstances, ou mieux une courbe comprenant tous ces résultats et qui sera obtenue en prenant des abscisses proportionnelles aux orifices décroissants des mortiers et des ordonnées proportionnelles aux enfoncements.

Pour bien comprendre comment on peut trouver, dans cette manière d'opérer, un moyen d'essai satisfaisant des poudres, en variant les formes et les capacités des mortiers aussi bien que les grandeurs des orifices, comment on peut arriver à tenir compte des divers modes d'emploi de la poudre, dans les armes longues ou courtes, pour des projectiles lourds ou légers, forcés ou libres, il importe de rappeler les circonstances principales de l'explosion des poudres, ce qui se rapporte à leur constitution physique surtout. On sait que l'explosion de la poudre se produit avec une vitesse qui est, en réalité, due à deux effets très-différents : le premier est l'inflammation qui se produit par la surface considérable des grains de poudre lorsque l'éclatement d'une capsule, par exemple, fait pénétrer une flamme dans les interstices de la masse, surface qui croît à mesure que la poudre est en grains plus petits; le deuxième est la combustion de chaque grain considéré isolément, qui se produit avec une vitesse fort limitée, comme on le voit lorsque l'on fait fuser de la poudre écrasée, du pulvérin.

Ceci posé, on voit qu'une poudre produira dans l'appareil Melsens un effet indiqué par un nombre de divisions d'autant plus grand : 1° en chaque instant, que la vitesse d'inflammation sera plus grande, car la pression p croîtra avec cette vitesse, et la réaction du gaz étant en outre proportionnelle à l'étendue de l'orifice ω, on aura, en admettant la régularité de la pression et de la résistance égale à la réaction, comme première approximation au moins, K étant un coefficient dépendant des éléments négligés ici, $K\omega p$ pour valeur de la force qui produit l'enfoncement; et 2° que la durée de cette action, qui se produira d'autant plus longtemps, par exemple, que le grain de cette poudre sera plus gros, et par suite la durée t de la combustion sera plus considérable, et $K\omega p t = e$ sera la quantité mesurée par l'enfoncement e. Cette quantité variera, dans chaque cas particulier, pour une poudre de composition donnée, avec son état physique et surtout la grosseur de ses grains, qui feront varier p et t; et la courbe qui indiquera la loi des variations des pressions qu'engendrera la réaction chimique des éléments en présence, dans des circonstances diverses, représentera bien la poudre expérimentée.

1. Je donnerai ici, comme exemple, le résultat des tirs faits par M. Melsens, à Saint-Thomas-d'Aquin, devant les membres de la Société d'encouragement.

	Mortier 77. Lumière 1 (9mm)	Mortier 4. Lum. 4 (15mm,5)	Mortier 1. Lum. 6 (18mm,7)
Poudre de chasse.....	340	416	342
Poudre à canon dite vive..	127	398	347
Poudre à canon dite *lente*.	49	408	353
Poudre de mine.....	31	318	309

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Remarquons, toutefois, que la proportionnalité cherchée entre les enfoncements et les effets de la poudre n'est qu'approchée, et que, par suite, les résultats fournis par l'appareil ne sont admissibles que lorsque cette proportionnalité se réalise sensiblement. Ainsi, les explosions les plus instantanées sont indiquées relativement plus faibles que celles plus lentes, le plongeur s'enfonçant avec une plus grande vitesse et rencontrant, par suite, une plus grande résistance de la part du liquide, résistance qui croît comme le quarré de la vitesse. De même les orifices très-larges, pour des poudres lentes, donnent un déplacement presque nul pour un plongeur de grande dimension, la réaction étant insuffisante pour lui imprimer une vitesse notable.

En résumé, M. Melsens nous paraît fondé, dit M. Laboulaye dans son rapport à la Société d'encouragement, à admettre qu'une série d'essais suffisamment variés, faits avec son appareil, peut permettre de reconnaître si la poudre expérimentée est convenable pour un emploi déterminé, par exemple pour une arme d'une certaine longueur, devant, pour sa conservation, employer une poudre qui, dans un de ses mortiers d'un orifice suffisamment grand, produira une pression qui sera comprise entre des limites déterminées. Autrement dit, dans chaque cas de la pratique on devra pouvoir, ayant, à l'aide d'expériences convenables, déterminé la courbe répondant à une poudre donnée, employée dans des circonstances spéciales, fixer l'abscisse et l'ordonnée d'un point qui répondrait aux conditions semblables de l'arme à laquelle la poudre serait destinée, à la pression moyenne que la poudre y doit produire. Cette ordonnée devra être inférieure à celle du point correspondant de la courbe des essais, sans que celle-ci montre d'ailleurs, dans certaines limites autour de ce point, des maximas indiquant des pressions dangereuses pour la conservation de l'arme.

Nous croyons donc que M. Melsens a produit un appareil d'un bon emploi pour la pratique, et que l'on reconnaîtra l'utilité de ses travaux pour l'essai des poudres. Nous pensons que le maniement intelligent de cet appareil doit permettre de répondre aux besoins de la pratique; toutefois, en voyant avec quelle facilité il permet de manier les explosions, d'en varier les effets, de manière à en vérifier ou compléter la théorie (pour montrer, par exemple, l'influence des formes des âmes, de la disposition des charges), ce qui le rendra infiniment précieux pour les cours d'artillerie, de chimie, etc., nous voudrions qu'il le complétât par le tracé, l'indication de la durée de l'inflammation et de la combustion, la loi de la vitesse de déplacement du plongeur, et, par suite, de la variation de la pression; c'est-à-dire qu'il parvînt à construire un instrument dynamométrique complet, à l'abri de toute objection. Il en résulterait une complication de l'appareil, mais il permettrait l'étude expérimentale, l'analyse entière et certaine des effets de la poudre et du problème mécanique des explosions, au moins déjà aussi bien analysé aujourd'hui théoriquement que la détente de la vapeur dans la machine à vapeur, depuis les admirables travaux du savant général Piobert. C'est à M. Melsens, qui a attaqué la question si habilement, à créer pour cette étude expérimentale un complément bien intéressant, si cela est, comme nous le croyons, possible, et se réduit à faire tracer par le plongeur lui-même la loi de son déplacement.

Combustion de la poudre. Le savant chimiste d'Heidelberg, M. Bunsen, aidé par M. L. Schischkof, a repris avec son habileté bien connue l'étude chimique de la poudre. Voici les résultats auxquels les a conduits l'analyse, faite avec le plus grand soin, d'une poudre, des produits de sa combustion :

A. *Poudre.*

	Nitre. . . .	78,99
	Soufre . . .	9,84
Charbon	Carbone. . .	7,69
	Hydrogène. .	0,41
	Oxygène. . .	3,07
		100,00

B. *Produits solides de la décomposition.*

Sulfate potassique . . .	62,40
Carbonate potassique. . .	18,58
Hyposulfate potassique . .	4,80
Sulfure potassique . . .	3,13
Sulfocyanure potassique. .	0,45
Nitrate potassique . . .	5,47
Charbon	1,07
Soufre	0,20
Sesquicarbonate ammonique .	4,20
	100,00

C. *Produits gazeux de la décomposition* :

Acide carbonique . . .	52,67
Nitrogène.	41,12
Oxyde carbonique . . .	3,88
Hydrogène	1,21
Sulfide hydrique . . .	0,60
Oxygène.	0,52
	100,00

Comme tout le potassium que la poudre contient reste dans les produits solides de la combustion, la quantité de résidu solide obtenu par la combustion de 1 gr. de poudre peut être déduite des analyses A et B.

D'après l'analyse A, 1 gr. de poudre contient 0,3055 de potassium; la quantité de résidu dont la composition est donnée en B, qui contient cette quantité de potassium, s'élève à 0,60 grammes.

Calculant l'azote contenu dans 0,68006 gram. de résidu et le soustrayant de celui contenu dans 1 gr. de poudre, on obtient la quantité que contiennent les gaz produits par 1 gr. de poudre. Le volume du gaz qui, d'après l'analyse C, correspond à l'azote obtenu par le calcul, pèse 0,3438 gr.

Ce volume est, à la température zéro, pour 1 gr. de poudre :

Gaz 0,3138	CO^2 . .	0,2012	101,71
	N. . .	0,0998	79,40
	CO .	0,0094	7,49
	H. . .	0,0002	2,34
	HS . .	0,0018	1,16
	O. . .	0,0014	1
		0,3138 gr.	193,10 cent. cub.

Température. La seconde partie du problème à résoudre consistait à déterminer la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion de la poudre, ce qui a été obtenu en enflammant, au moyen d'un courant électrique, de la poudre placée dans une capacité close, maintenue au centre d'un calorimètre plein d'eau. On a ainsi trouvé qu'un gramme de poudre pouvait élever d'un degré la température de 619c,59 d'eau. En mesurant la chaleur dégagée par la formation des mêmes gaz dans l'oxygène libre, à l'aide des chiffres déterminés par MM. Favre et Silbermann, on trouve 1009,1. L'oxydation des constituants de la poudre par l'oxygène du nitre donne donc beaucoup moins de chaleur que leur combustion avec l'oxygène libre. Ce fait s'explique assez bien par la considération que l'azote qui entre en quantité considérable dans le nitre doit absorber une quantité considérable de chaleur dans sa transformation en corps gazeux. L'oxygène en absorbe de même une quantité notable. La somme du produit de la chaleur spécifique des gaz fournis, déterminée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par M. Regnault (à volume constant) par leurs poids, et du même produit pour les solides, est, pour un gramme, 0,18547. On doit donc en conclure que la température de la flamme peut s'élever, lorsque toute la chaleur produite est employée à chauffer les produits de l'explosion, à :

$$\frac{649,5}{0,18547} = 3340^{\circ}\text{C},$$

limite supérieure, parce que la chaleur spécifique des corps solides augmente avec la température, et que nous n'avons que celles déterminées à des températures peu élevées.

Pression. Cet intéressant résultat conduit à celui plus curieux encore de la limite de la pression que peut produire la poudre, sans changer de volume, que Rumford évaluait à 50,000 atmosphères. On obtient ainsi, pour une température de 3340° et le volume V = 193 cent. cub., une pression de 4373 atmosphères.

De cette limite de pression initiale les auteurs déduisent le travail maximum que la poudre peut produire. Par une formule que nous ne croyons pas rigoureuse, ils obtiennent pour le travail qui peut être engendré par 1 kilogramme de poudre 67140 kilogrammètres.

Analyse de la poudre. Nous terminerons cet article par l'analyse de la poudre, ou les moyens, étant donné une poudre quelconque, de déterminer les doses de ses éléments constitutifs.

Pour déterminer le poids du salpêtre : dans un vase de cuivre étamé en forme de cafetière, on fait dissoudre 100 grammes de poudre bien desséchée avec 200 grammes d'eau distillée, et on chauffe jusqu'à l'ébullition. Après un moment de repos on décante sur un filtre double et égalisé. On répète cette opération quatre fois; à la quatrième on ne décante point, on verse sur le filtre tout ce qui est contenu dans le vase. Le filtre double est égoutté et lavé à plusieurs reprises avec 200 grammes d'eau, que l'on fait chauffer dans le vase.

Dans toutes ces opérations on emploie 1,000 grammes d'eau. Après avoir traversé les filtres, cette eau tient en dissolution le salpêtre, que l'on retrouve en évaporant à siccité complète.

On fait bien sécher le double filtre, ainsi que le mélange, charbon et soufre, et on prend le poids de ce mélange en faisant servir le filtre extérieur pour tare de celui sur lequel le mélange est resté. Ce poids sert à contrôler le résultat trouvé pour le salpêtre, et à évaluer la perte donnée par l'opération.

Pour rechercher le soufre directement, on broie et on mélange dans un mortier 5 grammes de poudre bien desséchée, 5 de sous-carbonate de potasse, 5 de nitre, 20 de chlorure de sodium.

On expose ce mélange dans une capsule de platine ou de verre, sur des charbons ardents; la combinaison des matières étant terminée, et la masse étant blanche, on dissout cette masse dans l'eau distillée et on sature cette dissolution d'acide nitrique.

On sépare ensuite complétement l'acide sulfurique du sulfate qui s'est formé par une dissolution de chlorure de barium, dans laquelle on connaît exactement la proportion d'eau et de chlorure de barium. D'après la proportion atomique, le soufre cherché est à la quantité de chlorure de barium employé, comme 20,44 : 152,44.

On détermine directement la quantité de charbon, en mêlant 100 grammes de poudre avec une quantité égale de potasse caustique et un peu d'eau; on fait bouillir le mélange pendant quelque temps, puis on le verse sur un double filtre de papier joseph. Dès que la liqueur, qui est d'un jaune foncé, est filtrée, on fait des lavages successifs avec l'eau distillée, jusqu'à ce qu'elle sorte de l'entonnoir sans saveur, ou mieux jusqu'à ce qu'elle ne donne plus de précipité noir par l'acétate de plomb. On fait alors sécher le charbon et on le pèse.

Pour vérifier l'exactitude des résultats obtenus, on compose une poudre avec le dosage que l'analyse a indiqué; on analyse cette poudre par les mêmes moyens; les nouveaux résultats indiquent les corrections qu'il peut être nécessaire de faire dans les premiers dosages.

POUDRETTE. Voyez ENGRAIS.

POULIES (*angl.* blocks, *all.* kloben). Lorsque les poulies sont isolées et que leur chape est fixe, elles servent seulement à changer la direction d'une force (fig. 2195). Quand au contraire on en assemble un certain nombre dans deux chapes, l'une fixe, l'autre mobile, et sur laquelle agit la résistance (fig. 2196),

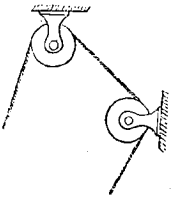


Fig. 2195.



Fig. 2196.

puis qu'on fait passer une même corde successivement sur toutes les gorges de ces poulies et alternativement sur celles de l'une et de l'autre chape, la corde ayant dans toutes ses parties une même tension, cette tension sera seulement la n^{me} partie de la résistance, s'il y a n cordons ou parties de la corde allant d'une poulie à l'autre. Dans ce cas, les poulies ou *galets* sont ordinairement mobiles sur les axes communs qui sont fixes.

Nous croyons qu'il sera intéressant de décrire ici la fabrication mécanique, inventée par notre compatriote, M. Brunel, des poulies en bois à l'usage de la marine, telle qu'elle est montée à Portsmouth, en Angleterre.

La première opération, qui consiste à débiter les bois en blocs de dimensions convenables, se fait tantôt avec une scie droite, tantôt avec une scie circulaire. La scie droite est animée d'un mouvement horizontal de va-et-vient; elle coupe en travers fil le bois placé au-dessous sur un axe horizontal; elle n'agit que par son poids, et est guidée au commencement du sciage par une glissière qui embrasse le dos de la lame. La scie circulaire diffère des scies ordinaires, en ce que, tandis que ces dernières sont fixées et que la pièce de bois est continuellement pressée contre leurs dents, celle employée par M. Brunel peut recevoir toutes sortes de positions dans son plan et la pièce de bois est fixe. On achève de donner aux blocs de bois une forme parallélipipédique avec une scie circulaire ordinaire (voyez pour la description de ces scies mécaniques l'article SCIERIE).

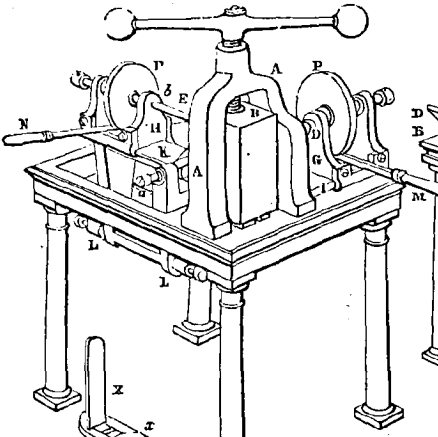
Les blocs de bois ainsi débités sont portés à la *machine à percer*, qui y perce les trous des axes des galets, ainsi que ceux nécessaires pour pouvoir ultérieurement pratiquer les mortaises où se logeront les galets, comme l'indiquent les fig, 2197, 2198 et 2199, qui représentent diverses formes de poulies employées dans la marine. Cette machine est représentée en perspective fig. 2200 : le bloc de bois est fixé sur la table de la machine au moyen d'une vis de pression verticale B, qui passe dans un écrou en fonte à trois pieds A; on le maintient encore par une équerre X (fig. 2201), fixée sur le bâti au moyen d'un boulon à écrou x, et avec trois vis de pression horizontales traversant les deux montants de derrière du bâti en fonte A. L'un des forets D perce le trou pour l'axe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

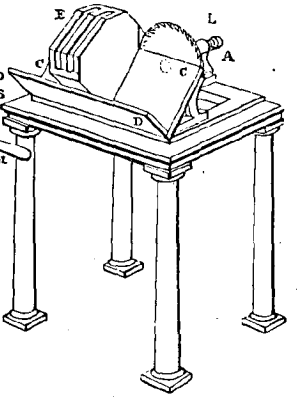
des galets; l'autre, E, placé à angle droit du premier, fait les trous qui doivent limiter les mortaises où se placeront les galets; le foret D est mû par une courroie passée sur la poulie P, et porté sur un châssis G, mobile le long de la glissière I. On le fait avancer ou reculer en agissant sur la fourchette M. Le foret E est fixer les poulies dans diverses positions en les faisant tourner sur leurs axes, et d'arrondir successivement tous leurs angles sans les démonter.

Il s'agit ensuite de pratiquer sur les deux faces latérales des moules les rainures qui doivent recevoir les liens ou frettes des poulies, comme l'indiquent les

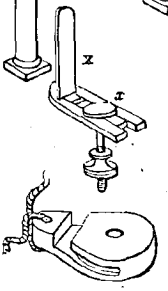
2200.



2202.

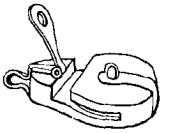


2201.

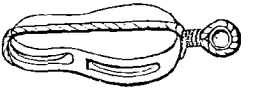


2197.

2198.



2199.



également porté sur un châssis H, mobile le long de la glissière K, et que l'on fait avancer ou reculer au moyen de la fourchette N; mais tandis que la glissière I est invariablement fixée au bâti de la machine, la glissière K est montée sur un second châssis, qu'on peut fixer dans diverses positions au moyen des vis L et *a*.

Cette opération terminée, on place les poulies parallèlement les unes sur les autres dans un châssis mobile sur des glissières, qui fait partie d'une machine à mortaiser portant des ciseaux, en nombre égal à celui des poulies, qui se meuvent rapidement (voir cette machine article POULIES du *Complément*), et exécutent l'opération de mortaiser sur la moitié de la profondeur; on retourne alors les poulies, et on achève les mortaises par l'autre face.

On abat ensuite les angles des poulies à l'aide d'une scie circulaire, comme le représente la fig. 2202; la scie est portée sur un châssis mobile, analogue aux porte-forets G et H, fig. 2200, ce qui permet de la presser contre les poulies. Les angles ainsi abattus, on les arrondit en plaçant excentriquement un certain nombre de poulies sur la circonférence d'une espèce de grand tour, représenté fig. 3703 du *Complément*, qui reçoit dix poulies serrées au moyen d'un système de doubles engrenages coniques, en nombre égal à celui des poulies et mus par une même roue d'engrenage montée sur l'axe du tour, susceptible de recevoir à la main un mouvement indépendant. Il permet de fig. 2198 et 2199. Ces rainures se creusent au moyen d'une sorte de machine à mortaiser, représentée en perspective fig. 2203. On place à la fois deux poulies A, B, sur la pièce D, de manière à ce qu'elles viennent buter chacune contre deux piliers *a*, *a*, et on les fixe au moyen de crampons à charnière *d*, *d*, que l'on serre à l'aide des vis de pression *b*, *b*; on pose la pièce D sur la table R, en interposant entre elles deux ressorts *r*, dont un seul est figuré, et on les rend dépendantes l'une de l'autre en serrant un boulon à écrou central qui les traverse l'une et l'autre; tout cet ensemble est mobile autour d'un axe horizontal *l*, et est équilibré par un contre-poids M; on le fait tourner en agissant sur le levier L. Les outils se composent de deux rabots circulaires ou *fraises* E, E, dont le corps est en laiton, et qui portent deux échancrures dans lesquelles sont enchâssés les ciseaux en acier; leur arbre F, qui reçoit son mouvement par une courroie sans fin, est porté sur un châssis mobile autour de l'axe de rotation *e*, et que l'on soulève à volonté à l'aide du levier *f*; les trois axes *l*, E et *e* sont parallèles. Les fraises étant animées d'un mouvement de rotation très-rapide, on creusera les rainures en levant et baissant le levier L, de manière à ce que l'outil puisse mordre successivement sur toute la longueur de la poulie; une came *g*, fixée sur la pièce D et entraînée avec elle, limite la descente d'un rouleau H placé sur l'axe de fraises, et, suivant la forme de sa courbure, règle la profondeur variable des rainures sur toute la longueur des poulies.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les rouets des poulies sont d'abord débités à la scie mécanique, agissant à travers fil, en rondelles d'épaisseur convenable. Ces rondelles *e* sont ensuite fixées

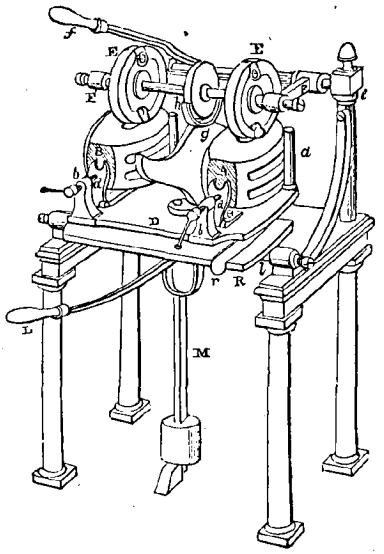


Fig. 2203.

d'une manière invariable sur un tour représenté figure 2204, en les faisant buter d'une part contre un

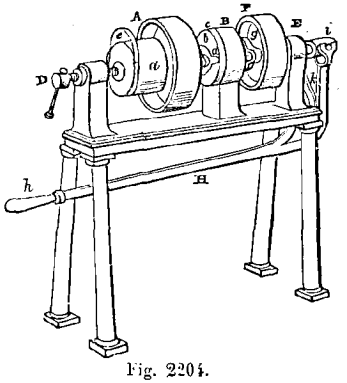


Fig. 2204.

axe creux *b*, sur lequel est soudé un disque *c*, qui sert à le fixer contre la poupée B, et en les serrant par l'autre extrémité au moyen d'une vis de pression D. Sur le tube fixe *b* se trouve montée une poulie en bois A, qui reçoit extérieurement une courroie sans fin, et porte une scie en couronne *a*, d'une hauteur au moins égale à l'épaisseur que doivent avoir les galets *e*, et qui les rend cylindriques. Dans le tube *b*, passe à frottement doux une tige cylindrique qui porte un foret, traversant les poupées B et E et venant se terminer en *i*; sur cette tige est fixé le manchon F, qui reçoit une courroie sans fin. Lorsque l'on met en mouvement les deux courroies sans fin, en appuyant sur le manche *h* des leviers *h* H*i*, on fait avancer de droite à gauche le porte-foret, et en même temps la scie cylindrique *a*, de sorte que l'on

tourne le rouet en même temps qu'on le perce suivant son axe.

POULIE DIFFÉRENTIELLE DE WESTON. — Cet ingénieux appareil, employé dans beaucoup de chantiers en Angleterre, permet à un homme de manier des poids très-considérables (fig. 2205).

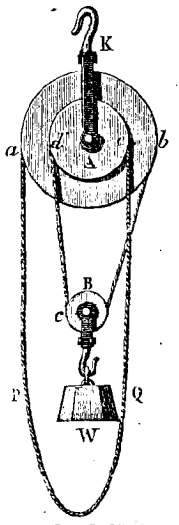


Fig. 2205.

Cette poulie est double et les gorges des deux poulies ont des circonférences dont les rayons sont A $a = R$ et A $b = r$ sont peu différents. Le pivot de l'axe de cette poulie lui est adhérent et le tout est supporté par une ferrure à crochet AK qui embrasse la poulie et reçoit l'axe dans deux trous formant crapaudine. Soit ρ le rayon du pivot. Le fardeau est suspendu à une poulie mobile B.

Une corde sans fin ou une chaîne réunit les poulies supérieures à la poulie inférieure en suivant les directions ci-après. Partant de *a*, elle entoure la plus grande poulie jusqu'en *b*, puis descend en *c* sur la petite poulie B, puis remonte en *d* sur la plus petite poulie supérieure, l'entoure jusqu'en *e*, et de là descend en formant un double brin libre PQ.

Le poids W est soutenu par les deux parties *cb*, *cd* de la corde sans fin, et c'est le frottement du pivot A qui est la principale résistance pour l'empêcher de descendre.

La traction exercée sur P par la main de l'ouvrier fait tourner la grande poulie et élève les poids en raison de l'action du brin *bc*, tandis qu'il descend en raison de *dc*. Mais comme il est élevé par l'enroulement sur la plus grande poulie et qu'il descend en raison du déroulement sur la plus petite (pour un même angle de rotation), il est en réalité soulevé de la différence de ces mouvements.

R, *r*, ρ étant les rayons respectifs de la grande poulie, de la petite et du pivot et *f* le coefficient de frottement de l'axe, le moment de frottement est $W f \rho$, et le travail du poids, l'angle décrit multiplié par $\frac{W(R-r)}{2}$.

Si $\frac{R-r}{\rho}$ est égal ou plus petit que *f*, le poids reste soulevé, quelle que soit sa grandeur; mais s'il est plus grand, le poids redescend.

Le grand avantage de cette machine est qu'étant solidement établie, un fardeau considérable peut être élevé et soutenu à toute hauteur quand cesse la puissance élévatoire, en appliquant les mains au brin P, et de même être descendu en tirant sur le brin Q.

Suivant Willis, cette poulie aurait été inventée en 1830 par M. Moore de Bristol, mécanicien amateur; son principe est identique avec celui du treuil différentiel des Chinois, mais il n'a pas comme cette machine l'inconvénient d'exiger une grande longueur de corde. Elle a été l'objet d'une patente prise par M. Weston en 1859.

Les cordes ne conviennent pas très-bien à cause de leur facile glissement dans les gorges des poulies; aussi dans la construction de Weston on emploie des chaînes agissant sur des saillies ou des cavités pratiquées dans les gorges des poulies.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRESSE.

PRESSE-PRESSOIR. — La compression est un des procédés généraux de fabrication, et c'est sur ses effets que reposent les propriétés de beaucoup d'outils et appareils : les marteaux, les laminoirs, les moulins, etc., comme il a été dit à l'article MÉCANIQUE. Nous ne voulons parler ici avec plus de détails que des presses et pressoirs, qui parmi nombre d'emplois servent à séparer les liquides des solides.

1° *Presse à levier.* Ces presses ne sont plus usitées, elles occupent beaucoup de place et le grand déplacement de l'extrémité du levier est fort incommode. La fig. 1 montre la presse employée par Chaptal, dans la sucrerie des betteraves, établie par lui pour étudier et faire progresser une industrie dont il prévoyait l'avenir. *p* étant la longueur du levier, P le poids ou l'effort agissant à son extrémité, R la résistance à la compression, *r* la distance à laquelle elle s'exerce sur le levier, on a $Pp=Rr$, et par suite R peut être obtenu facilement égal à 20 ou 30 fois la valeur de P.

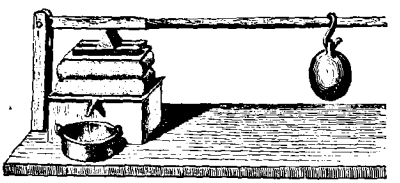


Fig. 1.

Les tenailles, les squetzers, les presses à maçquer employées dans la métallurgie sont des presses à levier, susceptibles d'efforts très-considérables lorsque les leviers sont mus par des excentriques.

2° *Presse à cylindres.* Ces presses sont plus connues sous le nom de laminoirs, de calandres, etc., suivant l'usage auquel elles sont destinées. Au lieu de comprimer à la fois toute la matière soumise à leur action comme les autres presses, elles n'agissent que successivement sur chacune de ses parties par une ligne, et produisent ainsi un effort considérable. Aussi ce genre de presse est-il particulièrement réservé pour les cas où la compression exige une puissance énorme, comme le laminage des métaux, etc. On les emploie aussi dans certains cas spéciaux pour des applications particulières : telles sont les presses mécaniques *lithographiques* et *typographiques*.

La combinaison de presses cylindriques et par suite continues, pour extraire le jus de la pulpe de betterave, est un des problèmes qui ont le plus exercé la sagacité des inventeurs à cause de la finesse de cette dernière qui suit aisément le liquide et vient boucher les orifices destinés à lui donner passage.

3° *Presse à excentrique.* Ce genre de presse est peu usité ; le déplacement produit par un excentrique est trop limité pour beaucoup d'applications. On verra au *Complément*, art. PRESSE ANTIFRICTION, une élégante construction d'une presse de ce genre.

4° *Presse à vis.* La vis est l'organe par excellence pour produire des pressions, non-seulement parce qu'elle sert à multiplier l'effort exercé sur sa tête, en prenant peu de place, mais surtout parce que les efforts peuvent être successifs, le corps pressé ne pouvant par son élasticité faire desserrer la vis, pour peu que son filet ne soit pas extrêmement incliné, ce qui n'a jamais lieu pour des vis de pression.

Le plus souvent le plateau mobile est fixé à une vis normale à ce plateau, et qui passe dans un écrou relié d'une manière invariable au plateau fixe, de sorte qu'en faisant tourner la vis elle fait mouvoir le plateau mobile dans un sens ou dans l'autre ; cette vis se termine par une partie cylindrique passant dans un collier fixé au plateau, de telle sorte qu'elle lui imprime seulement un mouvement rectiligne.

Quelquefois la vis est invariablement fixée au plateau, et c'est l'écrou qui est mobile. Dans quelques cas, comme dans les presses de *relieur*, au lieu d'une vis la presse en a deux. Les vis ou les écrous mobiles se manœuvrent à l'aide de leviers.

Nous renvoyons à l'article VIS pour l'évaluation du frottement qui est consommé dans la vis ; l'égalité théorique du travail moteur et du travail résistant étant fort éloignée de la réalité, le travail du frottement étant souvent double ou triple du travail résistant utile.

Pressoirs. C'est presque toujours à l'aide de vis que fonctionnent les pressoirs établis sur de grandes dimensions, dans les contrées dont la vigne fait la richesse, et par suite dans la majeure partie de la France. Il va sans dire que jusqu'au dix-neuvième siècle, il s'agissait de grosses vis en bois, puisque la science de la construction des grandes machines en fonte et en fer n'existait pas avant la fin du dix-huitième siècle.

Ainsi le gigantesque pressoir féodal ou domanial à vis était formé d'un grand nombre de fortes pièces de charpente en chêne, superposées, juxtaposées les unes par rapport aux autres, pour en constituer un énorme levier horizontal et supérieur du second genre, nommé *bascule*, et qui suspendu à l'un de ses bouts à un tourillon en fer, venant peser non loin de là sur le plancher, également horizontal et grillagé, recouvrant les mares de raisins et surmonté par un autre grillage de petites solives ou *méaux*, recroisées, superposées horizontalement, pour recevoir directement l'action verticale du levier-bascule, tandis que l'extrémité opposée de cette bascule recevant comme écrou, et avec une suffisante liberté de jeu, une longue et forte vis triangulaire, en bois, portant à sa partie inférieure un lourd coffre chargé de pierres, etc., que des hommes appliqués à des barres horizontales à manége, établies à une hauteur convenable au-dessus du sol ou de la cave du contrepoids, faisaient tourner tantôt pour soulever la bascule ou *dépresser*, tantôt pour élever le coffre à poids lui-même à une certaine distance du fond du puits, de manière à la suspendre, et à le faire agir ainsi plus ou moins fortement sur l'extrémité supérieure libre de la bascule.

Cet ancien pressoir, à levier et à vis, exigeait un grand emplacement et de grandes pièces de chêne que nos forêts épuisées auraient peine à fournir aux vignerons. Les frottements considérables du bois sur le bois, de la vis de grand diamètre, le rendent d'ailleurs inadmissible.

Pressoir Mabille. Comme très-bon type de pressoir à vis moderne, nous décrirons l'excellent pressoir de MM. Mabille frères d'Amboise. La fig. 2 montre bien la *maie* ou bassin qui reçoit le liquide, les *claies* qui constituent l'enveloppe extérieure, et qui, formées de pièces séparées, assemblées avec des bandes de fer flexibles, offrent une résistance suffisante, tout en laissant passer le liquide, enfin la vis centrale en fer qui porte tout l'appareil de pression, et est assemblée solidement avec la base.

Le mode de pression par l'écrou mobile sur la vis est remarquable par la manière dont il est combiné avec un encliquetage très-favorable pour l'action musculaire de va et vient des bras. Cet écrou se prolonge inférieurement et se termine par un cylindre à base dressée tournant dans une partie également dressée faisant corps avec une pièce en fonte qui porte l'axe de l'encliquetage, et dont nous donnons une coupe dans la figure 3. Lorsqu'on a recouvert la vendange de méaux recroisés, on descend l'écrou en le faisant tourner à bras. Lorsque la pression devient trop forte pour qu'on puisse continuer, on place la barre d'encliquetage et les valets dans les trous oblongs des bras de l'encliquetage (valets qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont de petits prismes terminés en sifflet, de telle sorte qu'ils pénètrent dans les trous de la couronne de la tête de l'écrou quand on tire le levier dans un sens et se relèvent quand il marche dans le sens contraire; ce sont des crochets très-résistants, dont le sens d'action se change par un simple retournement), et on exerce alors par des mouvements alternatifs des bras une pression

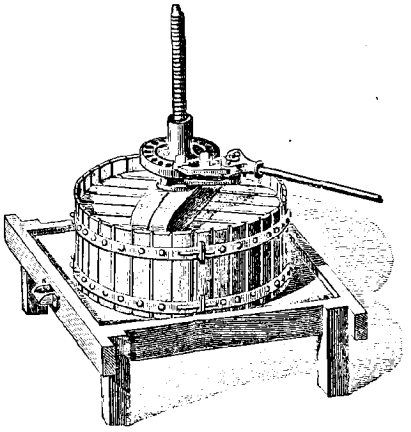


Fig. 2.

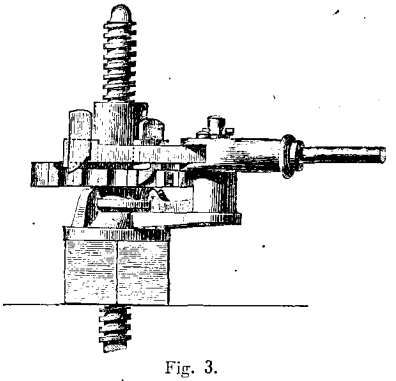


Fig. 3.

croissante. Elle est de suite assez grande pour que le frottement sur le bois, sur les méaux de la partie supérieure, empêche la pièce qui porte l'axe de l'encliquetage de tourner avec l'écrou.

La fig. 4 qui représente le détail de l'encliquetage montre que le rapport des bras de levier de la puissance et de la résistance devient énorme à la fin de chaque course, sans que, grâce à l'excellente disposition indiquée ci-dessus, il y ait possibilité d'écartement entre la vis et l'axe de l'encliquetage.

Presse à toc. Au lieu d'agir directement sur l'écrou, on peut choquer celui-ci, à la fin de la course, par un volant tournant autour de l'axe de la vis, au moyen d'un système d'oreilles convenablement disposées. On joint ainsi les effets du choc à ceux de la pression directe, mais avec les inconvénients du choc, les vibrations et ébranlements destructeurs qui en résultent.

5° *Presse à genou.* Le redressement d'une articulation fournit le moyen, en agissant sur celle-ci, d'obtenir une pression considérable à l'une des extrémités, l'autre

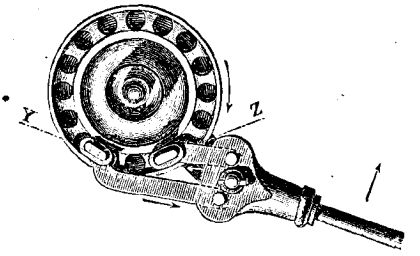


Fig. 4.

étant fixe. Nous avons déjà vu une application de ce mécanisme dans la *Presse monétaire*; nous en donnerons une seconde dans le *Pressoir* de M. Semain, que représente la fig. 5, et qui reproduit le type, connu depuis longtemps, des presses à losange.

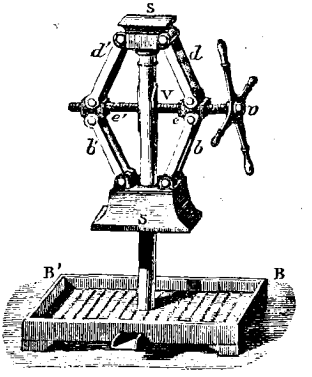


Fig. 5.

Il se compose de quatre paires de bielles b, b', d, d', articulées d'une part à deux sommiers S, S', d'autre part à deux écrous e, e', et reliées par une colonne supportant le sommier supérieur et passant librement dans le sommier inférieur. A ce dernier est fixé le plateau presseur; le tout est fixé sur un plateau à rigole BB'. Dans les écrous e, e' est taraudée une vis V à filets opposés qu'on manœuvre à l'aide d'un volant v. On voit tout de suite que si l'on desserre cette vis, le sommier inférieur s'élève et la figure s'élargit en se raccourcissant. Si, au contraire, on serre la vis, la figure se rétrécit latéralement et s'allonge verticalement; le plateau presseur se rapproche alors de BB' et comprime l'objet placé entre l'un et l'autre. Mais, et c'est là ce qui constitue l'avantage de cet appareil, l'allongement vertical va en se ralentissant à mesure que l'on serre la vis, et que le parallélogramme articulé se rétrécit; or, à ce ralentissement correspond un accroissement de force qui est très-favorable à l'objet qu'on se propose d'obtenir; car, à mesure que la substance est plus comprimée, son volume doit moins diminuer, mais il faut développer un effort plus énergique pour rapprocher davantage les molécules solides, et expulser le liquide qui y demeure interposé.

6° *Presse à coin.* C'est surtout dans les huileries qu'on se sert de la presse à coin, formée essentielle-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment d'un coin qui glisse entre deux blocs dont l'un est fixe et l'autre qui transmet l'action à la matière que l'on veut presser.

Soit F (figure 6), la force qui agit perpendiculairement sur la tête du coin, P la résistance de la matière à presser et Q la pression suivant la normale à chaque côté, qui donne lieu au frottement fQ. Si par l'action de la force F le coin ABC prend la position abc, l'on trouve, en désignant par e la compression de la matière, pour le travail de F,

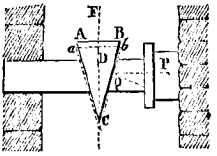


Fig. 6.

$$\text{ou } F \times e \times \frac{CD}{AB} = Pe + 2fP.\frac{CD}{AB}e.$$

Supposons que le bloc de bois qui tombe sur la tête du coin ABC pèse 40 kil., et qu'il tombe moyennement de $0^m,36$ de haut; en supposant qu'il fasse descendre perpendiculairement le coin de $0^m,02$, en tombant de cette hauteur, le travail moteur sera

$$(0,36 + 0,02) \times 40 = 15^{km},20;$$

le poids qui par sa pression ferait descendre le coin aussi de $0^m,02$ dans un temps plus ou moins long serait donné par $x \times 0,02 = 15,20$, d'où $x = 760$ kil.; il faudrait donc que le corps qui par sa pression devrait produire le même effet que celui de 40 kil., en tombant de la hauteur de $0^m,36$, pesât dix-neuf fois plus que l'autre.

Si la réaction P du corps à presser était de 2000 kil., et que la tête du coin AB fût le dixième de CD, ou $CD = 10\,AB$, l'équation ci-dessus nous donnerait, en prenant $f = 0,075$,

$$F \times 10 = 2000 + 2 \times 0,075 \times 2000 \times 10 = 5000,$$

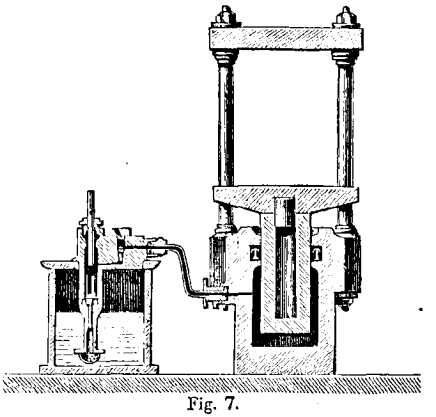
en divisant tout par e, d'où $F = 500$, force qui n'est que le quart de la résistance, ce qui prouve encore que l'opération industrielle peut s'effectuer avec une faible force dans la presse à coin. Cependant les frottements absorbent beaucoup de travail mécanique, car la même formule donne

$$10\,Fe = 2000\,e + 3000\,e = 5000\,e;$$

$2000\,e$ exprime le travail utile et $3000\,e$ exprime le travail absorbé par les frottements; ainsi, dans le cas où le rapport f du frottement à la pression est le plus petit de tous, le travail absorbé par les frottements est encore une fois et demie celui du travail utile.

7° *Presse hydraulique.* Cette presse est fondée sur la propriété que possèdent les liquides incompressibles de transmettre également, et dans tous les sens, les pressions qu'ils reçoivent; le plateau mobile de la presse est porté par un gros piston plein et cylindrique qui passe dans une boîte à étoupes, ou plutôt à cuir embouti, placé à l'une des extrémités du corps de pompe (voyez POMPE). Ce premier corps de pompe communique avec un second corps de pompe d'un diamètre beaucoup plus faible, dans lequel se meut une pompe aspirante et foulante qui refoule de l'eau dans le premier corps de pompe (fig. 7). Si, par exemple, le diamètre du grand piston est dix fois celui de la pompe foulante, la surface sera cent fois plus considérable; si, en outre, le levier qui sert à manœuvrer la pompe foulante a son point d'appui disposé de manière à décupler l'effort, ce qui a ordinairement lieu; comme un homme peut exercer sur l'extrémité du levier un effort de 30 kil., cet effort correspondra à $30 \times 10 = 300$ kil. sur le piston de la pompe foulante et à $300 \times 100 = 30,000$ kil. sur le piston qui porte le plateau mobile de la presse. Cet exemple indique suffisamment le parti avantageux que l'on peut tirer de la presse hydraulique dans une foule de circonstances.

C'est à l'illustre Pascal que l'industrie est redevable de la première idée d'appliquer la puissance de l'eau à


Fig. 7.

l'établissement de presses très-puissantes. On lit, en effet, dans son *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, dont la deuxième édition a été publiée en 1684, le passage suivant:

« Si un vaisseau d'eau, clos de toutes parts, a deux ouvertures, l'une centuple de l'autre, en mettant à chacune un piston qui lui soit juste, un homme, en poussant le petit piston, égalera la force de cent hommes qui pousseront celui qui est cent fois plus large.

« Et quelque proportion qu'aient ces ouvertures, si les forces qu'on mettra sur les pistons sont comme les ouvertures, elles seront en équilibre..... »

Ainsi, si nous supposons au petit piston une section 1 et au grand une section 1,000, la pression exercée sur le petit piston se transmettra mille fois plus grande au grand piston, et un poids de 1 kilogramme, par exemple, placé sur le petit piston, exercera sur le grand une pression de 1,000 kilogrammes.

Le grand homme profita de cette loi pour exercer d'énormes effets avec une très-petite force, et il inventa la *presse hydraulique* qui est devenue pratique le jour où Bramah vint (en 1796) empêcher les fuites d'eau le long du corps de pompe par l'emploi d'un cuir embouti, c'est-à-dire continu et appliqué par la pression de l'eau.

La presse hydraulique sert journellement dans l'industrie à produire des pressions énormes, avec des frottements relativement peu considérables.

Dans la presse hydraulique industrielle (fig. 7), le piston de la pompe étant sollicité par le moteur dans le sens de la verticale produit déjà une pression énergique, et l'on a simplement l'expression : $nP = x$ (n étant le rapport des pistons, P la puissance) pour valeur de la pression exercée sur le grand piston, l'eau étant sensiblement incompressible, ne changeant pas de volume.

Accumulateur. L'accumulateur est un appareil intermédiaire entre les pompes et les presses hydrauliques, en si grand nombre que l'on voudra, d'une usine, dont sir William Armstrong, le constructeur anglais, a multiplié les applications, en ayant bien compris les avantages. Les figures 9 et 11 font voir l'appareil en élévation et en plan. La figure 10 est une coupe horizontale par le milieu de la base du corps de presse; la figure 8, une coupe verticale faite suivant ab, faisant voir les organes de la presse et le système de plateaux de fonte qui chargent, au degré voulu, le piston.

Les orifices d'injection des pompes et ceux d'ali-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mentation des presses, que le compensateur doit desservir, se trouvent distribués, au nombre de quatre, dans le pied de l'appareil, au-dessus de la plaque de fondation. Le corps de presse A est très-long par rapport à son diamètre : il est alésé intérieurement, et garni des cuirs emboutis convenables pour assurer le jeu du piston B, et exactement tourné à l'extérieur pour permettre au cylindre C, garni de ses rondelles, de glisser librement, suivant la demande du piston. La solidarité entre l'une et l'autre pièce se produit au

Fig. 8. Fig. 9.

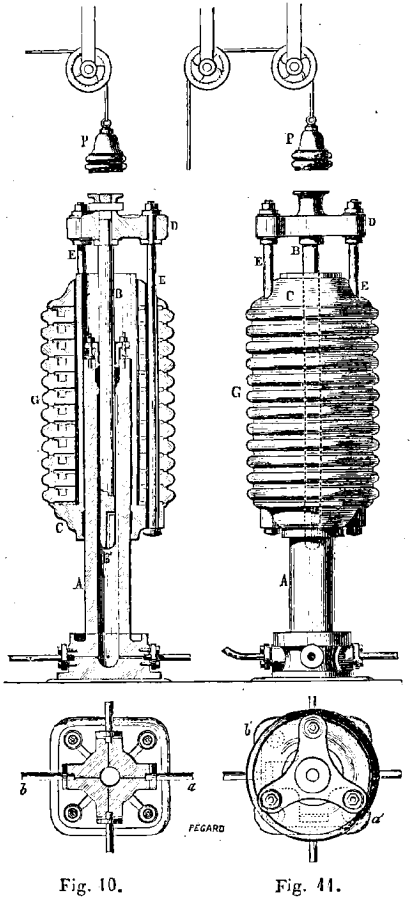


Fig. 10. Fig. 11.

moyen de la forte bride triangulaire D et des trois tiges de suspension E; celles-ci relient entre eux les deux plateaux C, qui comprennent entre leurs tiges un nombre de plaques plus ou moins considérable, suivant la pression à laquelle on veut se maintenir. Ainsi chargé, le piston peut parcourir, du haut en bas, toute sa course, sans pour cela que la pression varie, et pourvu qu'il ne repose pas par la bride supérieure D sur le corps de presse, l'appareil sera toujours prêt à injecter une partie de son eau sous cette même pression. Les pertes que fait ainsi le cylindre A sont d'ailleurs incessamment réparées par le service des pompes d'injection qui ne doivent cesser de fonctionner que si le piston B est arrivé au sommet de sa course. Si, par impossible, cette circonstance se présentait, on voit en B' comment l'eau excédante serait rejetée en dehors par le petit conduit B', ménagé à la partie inférieure du piston.

Mais c'est là une condition de sécurité surabondante, car les choses sont ainsi disposées qu'en venant rencontrer le poids P au moyen du tampon D', et avant de permettre à l'eau de sortir par le conduit B', le piston détermine la cessation du fonctionnement de la pompe ou des pompes d'injection par suite du soulèvement du poids P.

Dans la machine exposée en 1862, par M. Lecointe, le piston B avait une section transversale de 33 centimètres carrés; le poids total des rondelles était de 3,300 kil., de sorte que la pression hydraulique était constamment maintenue à 3300 : 33 = 100 kil. par centimètre carré ou à 100 atmosphères.

On ne saurait croire combien ces sortes d'appareils apportent d'améliorations dans les usines dans lesquelles un grand nombre de presses sont constamment en fonction; chaque ouvrier presseur n'a qu'un robinet à tourner plus ou moins, pour déterminer et modérer à son degré la rapidité de l'opération qu'il dirige. (Voy. TREUIL HYDRAULIQUE.)

Presse hydraulique horizontale. La presse hydraulique horizontale employée pour faire les emmanchements de pièces tournées ou rabotées, se compose d'un fort cylindre horizontal en fonte muni de son piston. Ce cylindre est boulonné sur une bâche en fonte remplie d'eau, qui est fixée au sol. Vis-à-vis le cylindre se trouve un sommier en fonte posé sur un bloc mobile de bois, qui peut se rapprocher ou s'éloigner à volonté du cylindre, suivant que les pièces à opérer ont plus ou moins de longueur.

PROJECTILES. Dans les articles AFFUT, BOUCHES A FEU, POUDRE A CANON, nous avons traité les sujets qui, avec l'objet de cet article, forment l'ensemble qui constitue l'*artillerie*, que nous avons définie l'*application de l'industrie à l'art de la guerre.*

L'effet des projectiles est en raison : 1° De *leur densité.* La quantité de mouvement que possède un projectile est en proportion de sa masse. Le plomb, métal qui satisfait parfaitement à cette condition, est seul employé pour les balles de fusil de munition et de fusil de rempart; — 2° De *leur dureté.* Le plomb est d'une dureté insuffisante quand il s'agit de détruire des obstacles résistants, comme les remparts avec l'artillerie de siége. Dans ce cas, il s'aplatirait contre les murailles au lieu d'y pénétrer. Mais la densité de la fonte n'étant que 7,80, tandis que celle du plomb est de 11,80, les portées sont proportionnellement moindres : — 3° De *leur forme.* Tous les projectiles de l'artillerie jusque dans ces dernières années étaient de forme sphérique, dont les dimensions peuvent par suite être facilement vérifiées, et qui peuvent se présenter dans l'âme de l'arme dans toutes les positions

Il y a évidemment avantage à employer des solides de moindre résistance, de forme analogue, par exemple, à celle qu'on a donnée aux navires se mouvant dans les liquides. Mais la résistance d'un semblable projectile, comparée à celle que rencontre celui de forme sphérique de même masse, n'est moindre que dans le sens de l'axe; elle est beaucoup plus grande dans l'autre sens. Or, l'impulsion n'ayant jamais lieu exactement sur le centre de figure par l'effet du vent de l'arme, des battements qui en résultent, il en résulte nécessairement dans les bouches à feu à âmes lisses un mouvement de rotation qui rend les résistances et les déviations des projectiles allongés plus considérables que celles des projectiles sphériques. Il ne peut en être autrement que pour les projectiles des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

canons rayés. Mais il n'y a pas à s'occuper ici de cette question, attendu que les effets que nous allons analyser sont seulement en raison des vitesses.

Des divers projectiles. On emploie plusieurs espèces de projectiles, en raison du but à atteindre :

1° *Les projectiles pleins*, du diamètre de l'âme. Ceux les plus fréquemment employés, et désignés sous le nom de boulets, sont en fonte de fer (fondus en coquille), sphériques, et de même diamètre que l'âme de la pièce (sauf une petite différence en moins, qu'on est obligé de tolérer à raison des imperfections de la fabrication);

2° *Les projectiles creux*. Ils se composent d'une enveloppe sphérique en fonte. Le centre est rempli de poudre en quantité suffisante pour faire éclater le projectile. Un œil cylindrique sert à introduire la poudre et est fermé par une fusée, qui consiste en un coin en bois chassé avec force. Le centre de cette fusée forme un tube creux qu'on remplit de pulvérin (poudre écrasée). Lorsque le projectile est chassé de la bouche à feu, les gaz incandescents mettent le feu au pulvérin, qui continue à fuser lentement pendant la course du projectile. La fusée étant assez longue, ce n'est qu'à l'extrémité de sa course, après avoir déjà agi comme un projectile ordinaire, que celui-ci éclate et agit une seconde fois.

Pour que les éclats produisent un effet meurtrier, il faut que les parois soient d'une épaisseur assez considérable ; aussi la partie vide n'atteint jamais les 2/3 du volume total. Les éclats sont d'autant plus nombreux que la quantité de poudre est plus considérable : ainsi dans une expérience, on a fait varier de six à vingt-quatre le nombre des éclats des obus de 24, en faisant varier la charge de 1 once à 1 livre. Les projectiles creux sont lancés dans des pièces à chambres, c'est-à-dire que la charge, qui est toujours d'un faible poids relativement au calibre, à cause du peu de masse du projectile, est placée dans une cavité concentrique de l'âme de la pièce, et d'un diamètre moindre. Les projectiles creux qui se tirent dans des bouches à feu presque horizontales, s'appellent obus ; ceux qui se tirent sous des angles très grands (45°), sont de gros calibre et s'appellent bombes.

3° *Projectiles formés par la réunion de projectiles d'un petit calibre*. Nous ne citerons parmi ceux-ci que la boîte à balles, le seul d'un usage réel, et dont l'effet est si terrible, à petite portée, contre l'infanterie. Elle se compose d'un cylindre en tôle du diamètre de la pièce, fermé à ses extrémités par des plaques de fer, et remplie à l'intérieur de balles en fer forgé (41 pour le calibre de 12). Lorsqu'on tire ces projectiles, le culot en fer placé près de la poudre, prenant une vitesse supérieure à celle du projectile, désorganise la boîte à balles, et il se forme un cône de balles dont l'effet est très meurtrier à 300m. A de grandes distances la déviation est trop considérable pour qu'on puisse employer un semblable projectile, dont la portée est d'ailleurs de beaucoup inférieure à celle du boulet.

Nous ne parlerons pas des boulets ramés (réunis par une barre de fer), quelquefois employés dans la guerre maritime ; nous parlerons seulement des précautions à prendre pour lancer à terre un cordage en cas de naufrage sur les côtes. Si l'on attachait directement le cordage au projectile, même en tirant à une faible charge, l'inertie du cordage le ferait rompre. On évite cet inconvénient en attachant à ce projectile une barre de fer, puis à celle-ci une chaîne résistante, puis le cordage. Cette question, intéressante pour une application spéciale, est traitée d'une manière spéciale à l'article PORTE-AMARRE du *Complément*.

Pénétration des projectiles.

MM. Piobert et Morin ont fait, en 1834, des expériences extrêmement curieuses sur les effets du choc et de la pénétration des projectiles, rencontrant des corps de dureté différente. Ils ont obtenu des résultats extrêmement curieux ; nous allons en rapporter quelques uns, en suivant le rapport fait sur ces beaux travaux par M. Poncelet.

Pénétration dans les maçonneries, le roc, le bois, les terres.

Dans les maçonneries comme dans le roc, les trous que forment les projectiles se trouvent généralement composés d'une partie tronçonique extérieure, dont la plus grande base répond au parement, et d'une partie cylindrique assez régulière, d'un diamètre sensiblement égal à celui du boulet, et qui se termine par un hémisphère dans lequel ce dernier reste ordinairement emboîté, sans éprouver de mouvement de recul sensible, si ce n'est pour le cas des roches calcaires. L'enfoncement est de 0m,60 environ pour le 24 dans de bonnes maçonneries, et de 0m,30 seulement dans des masses calcaires, et dans ce cas les boulets rebondissent souvent à 100m en arrière. La partie tronçonique, fort irrégulière, paraît due à un simple arrachement produit par la réaction élastique des pierres comprimées latéralement jusqu'à une certaine distance du parement ; la partie cylindrique et hémisphérique, au contraire, paraît être le résultat d'un broiement, d'une pulvérisation violente des parties qui se sont trouvées directement sur la route du boulet, et qui, d'après les observations de MM. Piobert et Morin, sont vivement repoussées en arrière sous la forme d'une poudre blanche, très fine, offrant tous les caractères d'une chaux caustique ; ce qu'ils attribuent à la haute température développée dans l'acte de la compression. Toutefois cet effet de broiement ne s'opère pas seulement sur les parties immédiatement en contact avec le boulet, il s'étend encore à une petite distance au-delà, et se trouve accompagné, dans le surplus de la masse, de traces d'ébranlement et de désorganisation mécanique très sensibles, si ce n'est vers le fond du trou où la vitesse du boulet est naturellement affaiblie.

Dans le bois de chêne, les ouvertures pratiquées par le boulet se referment presque hermétiquement, comme l'ont appris déjà les anciennes expériences ; mais il n'en est point ainsi pour le sapin : tandis que, dans le premier cas, la pénétration est accompagnée de larges déchirures et d'éclats de bois à l'entrée et à la sortie du boulet, dans le second, la désorganisation ne s'étend point sensiblement au-delà des parties directement atteintes, et se réduit à la simple rupture des fibres ligneuses.

Le sable anciennement rassis, mélangé ou non de gravier et de cailloux, présente, en raison de son incompressibilité bien reconnue, des circonstances analogues à celles des maçonneries : il est réduit en poudre très fine sur toute la route du boulet, qu'elle remplit entièrement après son passage, et cette poudre se trouve blanchie et desséchée par suite de la haute élévation de la température.

Quant aux terres argileuses plus ou moins humides et mélangées de sable fin, elles donnent lieu à des phénomènes bien différents, et qui s'observent au plus haut degré dans les argiles plastiques propres à fabriquer les briques et la poterie : le vide de pénétration est formé d'un long canal persistant, revêtu intérieurement d'une croûte durcie offrant des déchirures longitudinales, et dont le contour, plutôt parabolique que conique, a sa légère convexité tournée vers l'axe rectiligne de la trajectoire : sa section méridienne, près du fond, a les dimensions du grand cercle du boulet ; mais celle de l'entrée offre un diamètre qui atteint souvent le quadruple et le sextuple de celui du projectile. MM. Piobert et Morin supposent qu'ici, comme dans le cas des milieux très consistants, les parties immédiatement atteintes par le boulet cheminent, de l'avant à l'arrière, par suite de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

refoulement qu'elles éprouvent, et qui se transmet, de proche en proche jusqu'à l'orifice d'entrée, de manière à produire et l'évasement progressif remarqué et la projection en arrière d'une partie des terres.

2° *Déformation des projectiles, rupture et accidents qui l'accompagnent.* Les boulets de divers calibres, creux ou pleins, ne paraissent pas éprouver de déformation sensible et permanente dans les milieux facilement pénétrables, tels que les terres de diverses natures même aux plus grandes vitesses de projection; mais il en est tout autrement du cas où ils sont lancés contre le roc, les maçonneries et le sable pur, anciennement rassis, mélangé ou non de gravier : les obus ou boulets creux s'y brisent en éclats sous les plus faibles charges. Quant aux boulets pleins, les expériences ont conduit à établir une grande distinction entre ceux qui sont en fonte dure, c'est-à-dire blanche ou truitée, et ceux en fonte douce et grise. A la charge ordinaire du 1/4 ou 1/3 du poids du boulet, répondant à des vitesses, au but, de 450 à 500^{m} par seconde, plus des 3/4 des premiers projectiles se trouvent rompus quand le tir a lieu contre les maçonneries, et cela quelquefois pour le sable rassis mêlé de gravier : la séparation se fait généralement suivant des plans méridiens passant par l'axe du vide; mais, pour des charges plus faibles, les boulets en fonte dure sont seulement fendillés suivant des directions rayonnantes ayant pour pôle le point où a commencé le choc, et s'arrêtant à une distance d'environ 90^{m} de ce pôle. Les boulets en fonte grise et douce, au contraire, ne se rompent que sous les plus fortes charges en usage dans l'artillerie, et même alors ils ne le sont qu'en partie; l'espèce de ductilité que possèdent ces boulets, a permis aux auteurs d'étudier le mode de déformation, très remarquable, qu'ils éprouvent avant l'instant de leur rupture complète, laquelle présente d'ailleurs les mêmes caractères de fendillement et de rayonnement que pour la fonte dure : un relèvement exact, opéré sur un boulet de 8, en fonte douce, leur a montré qu'il s'aplatissait dans le sens du mouvement, et se renflait, suivant l'équateur, de quantités très appréciables, puisqu'elles s'élèvent respectivement aux 0,43 et aux 0,17 du diamètre. Il est évident que ce renflement de l'équateur doit non seulement accroître la résistance du milieu qui est proportionnelle à l'étendue de la surface agissante, mais encore être, en elle-même, la cause d'une consommation appréciable de force vive.

L'élévation de température, dans ces phénomènes du choc, est telle, qu'un boulet de 24, après avoir traversé un ancien parapet en sable, conserva assez de chaleur pour qu'un homme qui le ramassa, à environ 40^{m} au delà, en eût les mains légèrement brûlées.

3° *Lois des impressions et résultats de l'expérience* Un résultat bien remarquable de ces expériences, c'est que, pour faire brèche à un rempart, dans des circonstances données, il faut consommer à très peu près la même masse de poudre ou le même poids de boulets, avec des pièces du calibre de 16 et de 24, tirées aux charges de guerre ordinaires, l'effet destructeur des projectiles étant ainsi exactement représenté par leur force vive. Et, en effet, on sait, d'après les expériences de Hutton, qu'entre certaines limites, les forces vives imprimées aux boulets, dans de telles pièces, sont sensiblement proportionnelles aux charges de poudre.

Les faits déjà signalés et qui sont relatifs aux volumes des petites impressions des corps durs dans les milieux ductiles, peuvent être aussi considérés comme une conséquence du même principe; car les effets se réduisent ici sensiblement à la production du vide qui est dû au travail des pressions développées. Or, les résultats des expériences ont permis à MM. Piobert et Morin de vérifier ces faits pour les plus grandes vitesses des projectiles et des milieux, tels que le roc, la maçonnerie et les terres, dans tous les cas, assez rares il est vrai, où le relèvement du vide apparent n'a pas laissé trop d'incertitude. Mais il n'en a pas été ainsi des bois, qui donnent lieu à des effets très irréguliers, et dont la majeure partie de l'impression disparaît après le passage du boulet, en raison de la force de ressort conservée par les fibres non rompues; les auteurs ont dû substituer au vide effectif celui qui répond à la course du boulet dans l'intérieur du milieu, et ici encore le rapport de la force vive au volume du vide ainsi mesuré est demeuré sensiblement constant; ce qui confirme de la manière la plus satisfaisante, pour les bois de chêne et de sapin, les résultats de l'ancienne théorie et des anciennes expériences, qui d'ailleurs ont conduit à des valeurs de ce rapport beaucoup plus faibles, et provenant, sans doute, principalement de la manière dont les pièces du massif étaient unies et liées entre elles.

Pénétration dans les métaux.

Le projectile rencontrant un corps dur cause une dépression au point de contact, en s'aplatissant lui-même. En ce point il y a donc destruction de forces vives par les actions moléculaires; mais les parties éloignées tendent à continuer leur mouvement, d'où résulte le genre de rupture que nous allons décrire.

1° *Déformation des projectiles, rupture et accidents qui l'accompagnent.* Dans le tir perpendiculaire contre les massifs en fonte parallélépipédiques, solidement encastrés et pesant de 1.000 à 2.000 kil., les boulets ont été brisés sous les plus petites vitesses en présentant néanmoins des circonstances physiques très distinctes de celles qui ont eu lieu pour les grandes : à la vitesse de 70^{m} environ par seconde, répondant à la charge de 1/128^{e} du poids du boulet, la rupture s'opère comme dans le tir contre les maçonneries, c'est-à-dire par deux plans diamétraux à angles droits, passant par l'axe qui contient la trajectoire du projectile. A la vitesse de 100^{m}, relative à une charge de 1/64^{e}, la partie antérieure du boulet de 16 a offert une dépression de plusieurs millimètres sur une étendue, en diamètre, de 0^{m},06 à 0^{m},07, et qui est devenue la base d'une sorte de noyau pyramidal, à 5 pans, dont le sommet paraît être placé au centre du projectile : ce noyau, faisant l'office d'un coin véritable, oblige le surplus de la masse à se partager en 5 parties, à peu près égales, suivant des plans méridiens passant par l'axe qui est parallèle à la direction du mouvement. La réunion et la juxta-position de ces fragments n'a pas, du reste, laissé apercevoir d'altération générale de forme sensible; mais tandis que leur surface de fracture méridienne présentait un aspect grenu et rugueux, celles qui leur étaient communes avec le noyau offraient, au contraire, une apparence métallique très brillante et fibreuse, produite par le violent froissement ou frottement de glissement contre ce noyau dont les faces offraient d'ailleurs le même aspect.

A la vitesse de 150^{m}, et pour des vitesses de plus en plus grandes, le mode général de rupture reste à peu près le même, si ce n'est que le nombre des fractures méridiennes augmente, et que la forme du noyau se rapproche davantage de celle d'un cône à base circulaire, dont elle diffère néanmoins en ce que les génératrices, au lieu d'être rectilignes, présentent, près de cette base, une légère courbure ayant sa convexité tournée vers l'axe. Mais une circonstance qui paraîtra surtout digne de remarque, c'est que le noyau offre, jusqu'à une certaine profondeur, une suite d'enveloppes, de couches coniques parallèles, d'épaisseurs sensiblement égales, et qui paraissent avoir glissé successivement les unes sur les autres, à mesure que l'impression faisait des progrès ou que de nouvelles zones de la surface du boulet venaient à se mettre en contact avec la surface plane extérieure du massif en fonte qui recevait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PROJECTILES.

le choc. Les saillies respectives de ces zones et les empreintes qu'elles produisaient dans le bloc dont il s'agit, enfin l'aspect brillant et fibreux des surfaces d'enveloppes, ne laissent aucun doute sur la nature de ce phénomène de rupture par glissement successif.

MM. Piobert et Morin ont reconnu : 1° que le nombre des enveloppes successives croît avec la vitesse de projection; 2° que la hauteur ou l'axe de l'enveloppe externe de ces noyaux décroît, pour chaque calibre, moins rapidement que la vitesse n'augmente; 3° que les angles des génératrices courbes avec la base, qui demeurent compris entre 41 et 72°, et diminuent plutôt qu'ils n'augmentent avec la grosseur du calibre, suivent, par rapport aux vitesses de projection, une marche de décroissement analogue à celle des hauteurs de noyaux.

Les effets de rupture qui viennent d'être signalés, la formation et le glissement successifs des enveloppes de noyaux, suffisent pour convaincre que les boulets perdent, aux environs du point choqué, la majeure partie de leur force d'élasticité ou de ressort; ce fait est d'ailleurs constaté directement par le faible rejaillissement, en arrière, du projectile et de ses débris, ainsi que par le résultat des expériences en petit, sur les lois du mouvement et du frottement pendant le choc, entreprises, en 1833, par M. Morin; mais il ne s'ensuit nullement que la force de ressort des parties éloignées du centre d'impression ait subi la même altération, ni que les débris des projectiles ne puissent s'échapper latéralement, avec une certaine vitesse, en raison de la décomposition de leur mouvement de glissement oblique sur le noyau et de la rotation qu'ils tendent à prendre au point de leur rencontre avec le bloc en fonte; l'expérience prouve, en effet, que cette vitesse est assez grande pour que les fragments aillent pénétrer, de toute leur épaisseur, les pièces de bois disposées autour du but, dans la vue de les arrêter.

Les boulets de 8 et de 24, tirés à la faible charge du 1/16 et du 1/24, contre une masse cubique de plomb de 0m,60 de côté et pesant 3,000 kilogrammes, ne s'y brisent point, quoiqu'ils y produisent des impressions profondes; à la charge du 1/8 et 1/12 du poids du boulet, ils se sont partagés en trois ou quatre morceaux, suivant des plans méridiens passant par l'axe de l'évidement, et ces morceaux, par la divergence de leur mouvement, ont donné lieu à autant d'empreintes particulières. Déjà aussi des traces de dépression se montraient à la surface antérieure du boulet, et indiquaient la formation d'un petit noyau central et de ses enveloppes successives; mais, à la charge du 1/6 répondant à une vitesse d'environ 370 mètres par seconde, les boulets se sont divisés en un très-grand nombre de parties, dont aucune n'a rejailli à l'extérieur, et qui offraient des sillons assez profonds dans lesquels ce métal se trouvait comme incrusté.

2° *Effets physiques produits dans les milieux, résultats et lois des impressions.* Les parallélipipèdes de fonte ayant été soumis au choc dans le sens perpendiculaire à leur plus petite ou à leur plus grande face, ont subi, au contact, des impressions annulaires exactement moulées sur celles des boulets, et qui ont donné lieu également à la formation d'un noyau conoïdal accompagné de plusieurs enveloppes de glissement successif, offrant l'aspect brillant et fibreux déjà signalé : ce noyau, dont le sommet est situé à l'intérieur du massif, a encore ici agi comme un coin pour écarter les parties latérales qui se sont fendillées, à la surface, dans des directions rayonnées. La formation de ce même noyau et de ses enveloppes, dont le nombre croît, ainsi qu'on l'a vu, avec la vitesse, est donc un fait général qui sert à expliquer la rupture réciproque des corps durs et la perte totale de l'élasticité au point où le choc s'opère.

Mais, indépendamment des ruptures qui ont lieu dans le voisinage des empreintes, il s'en produit ici d'autres très-remarquables, à de grandes distances de là, et qui n'ont aucune connexité avec les premières, attendu qu'elles proviennent uniquement de la force de réaction ou de ressort conservée par les parties non directement atteintes : lors des expériences sur un châssis d'affût de côte en fonte, très-épais, des boulets de 8, tirés à la faible vitesse de 150 mètres par seconde, ont déterminé de larges fractures à des distances de 0m,5 et 1m,5 du point de choc. Les auteurs expliquent ces effets singuliers par la flexion générale, les nœuds et les ventres de vibration qui s'établissent dans certaines régions de la masse, et qui, ayant atteint la limite d'amplitude que comporte l'élasticité des parties, entraînent forcément des solutions de continuité : ces faits bien constatés leur font conclure que la fonte de fer, malgré sa grande ténacité, doit être proscrite de toutes les constructions militaires exposées au choc direct des projectiles, non-seulement à cause de son extrême fragilité, mais encore en raison des éclats dangereux qu'occasionnent sa rupture et celle des projectiles.

Le plomb étant un métal essentiellement mou et ductile, donne lieu à des effets de pénétration très-différents, et analogues, bien que moins prononcés, à ceux qui concernent les argiles plastiques dont nous avons déjà rendu compte; les boulets pleins qui s'y brisent souvent en éclats, ainsi qu'on l'a dit, produisent des impressions qui dépassent généralement leur diamètre en largeur et en profondeur, et qui sont accompagnées antérieurement d'un rebord ou soulèvement très-évasé et recourbé, produit par le refoulement de la matière du dedans au dehors de la cavité. Ces effets, est-il dit dans le Mémoire, donnent au vide de l'impression une forme analogue à celle de certains vases antiques de révolution, qui seraient ornés sur les bords de palmes dentelées, et dont l'aspect est ici d'autant plus agréable, que la matière, fraîchement dénudée, possède tout son éclat métallique.

Les volumes de ces vides et ceux des empreintes sur les blocs de fonte ont été relevés, avec les plus grands soins, par MM. Piobert et Morin, qui ont trouvé que leurs rapports avec les forces vives correspondantes des projectiles étaient sensiblement constants, comme pour le cas des maçonneries et du roc.

EFFETS DES BALLES EN PLOMB.

Les expériences relatées ci-dessus se rapportent à des projectiles en fonte, substance très-dure qui n'est pas susceptible de déformation, mais seulement de rupture. M. Melsens, dans des expériences analogues faites avec des balles de plomb, substance molle se déformant facilement, a étudié les effets d'écrasement qui se produisent et qui ne sont pas moins dignes d'intérêt.

C'est surtout pour évaluer la chaleur produite par le choc des balles lancées par les armes à feu que M. Melsens a été conduit à faire ces expériences.

Plusieurs chirurgiens avaient signalé avec étonnement des fragmentations des balles lancées par les armes à feu, et surtout par les armes nouvelles qui leur impriment un rapide mouvement de rotation. M. Coze, ancien professeur de médecine, à Strasbourg, s'appuyant sur la théorie mécanique de la chaleur, chercha à établir la fusion probable des balles dans les plaies produites par les armes à feu. Si on calcule la quantité de chaleur équivalente à la force vive possédée par une balle lancée par une arme de guerre, on la trouve suffisante pour fondre cette balle; mais il n'en résulte pas que ce phénomène se produise dans les circonstances dont il vient d'être parlé. Pour que le travail mécanique se convertisse en chaleur, il faut que certaines conditions soient remplies, à savoir, que les effets mécaniques du travail deviennent impossibles, et que les mouvements de masse puissent devenir des mouvements vibratoires

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moléculaires. Ces conditions ne sont nullement satisfaites dans le cas dont il s'agit, et la prétendue fusion des balles dans les blessures n'existe pas. M. Melsens l'a prouvé surabondamment en tirant, sur des chevaux morts, des balles de plomb, d'alliage fusible, dans des circonstances variées, sans constater de fusion. C'est que la balle, en déchirant les chairs, en brisant les os, accomplit un travail mécanique résistant qui consomme la force vive de la balle, si bien qu'il n'en reste plus à convertir en quantité notable de chaleur.

Tir contre des obstacles inébranlables. « Je charge, dit l'auteur, un fusil lisse de munition avec un poids de poudre capable d'imprimer à la balle sphérique de plomb de 16m,7 de diamètre, du poids de 0k,02365, une vitesse de 400 mètres par seconde environ; l'obstacle que la balle frappera, placé à 5 ou 6 mètres de la bouche à feu, se compose d'une petite enclume de maréchal, d'une largeur de 0m,110 sur 0m,260 de hauteur; son poids est de 48 kilogrammes; elle est parfaitement appuyée contre un mur d'une forte épaisseur pour la rendre aussi inébranlable que possible. Sa surface est dure et ne s'entame pas par la lime. Cette enclume est enveloppée par une feuille de zinc mince, n° 8, de 2 mètres de long, qui, repliée sur elle-même, forme, en avant de sa surface tournée vers le tireur, un long tube dans lequel on espérait retrouver, afin de pouvoir les peser, les fragments des balles brisées par le choc; l'entrée de ce tube était fermée par quelques feuilles d'un papier très-fort destiné à recueillir les fragments rejetés en avant.

« La première balle qui frappa l'enclume l'atteignit très-sensiblement au centre de figure et ses fragments, s'éparpillant de ce point, découpèrent la lame de zinc dans le prolongement du plan de l'enclume; beaucoup de fragments menus étaient implantés dans le couvercle de papier, à 2 mètres en avant; quelques-uns l'avaient traversé; on déploya rapidement la lame de zinc pour juger de la température des fragments les plus gros: on les trouva chauds, mais non brûlants; remarquons, toutefois, qu'une observation pareille n'a pas une bien grande valeur, bien que le temps du refroidissement fût très-court.

« Mais il est un point qu'il faut remarquer très-particulièrement d'abord, c'est que la vitesse de la balle, que j'estime à 400 mètres par seconde, étant anéantie si toute la force vive était transformée en chaleur, la température dans le plomb complétement fondu ne s'élèverait pas à moins de 415 degrés C., c'est-à-dire à plus de 90 degrés C. au delà du point de fusion; or, comme je suppose toujours que la balle, au moment du choc, ne possède que la température de la glace fondante, ce qui est impossible dans le tir fait à la température ordinaire, et que je fais abstraction dans le calcul de la température qu'elle peut acquérir dans son parcours dans l'âme du fusil au contact des gaz de la déflagration de la poudre, il est incontestable que la température doit être encore plus élevée que 415 degrés C.

« Quoi qu'il en soit, il est incontestable que, dans le tir sur mon enclume, je retrouve une quantité considérable de fragments qui n'ont pas subi la fusion, et je n'ai jamais observé des gouttelettes appréciables à l'œil nu.

« Avant d'aller plus loin dans l'analyse de ces phénomènes, je crois devoir rendre compte d'une autre expérience dans laquelle, au lieu d'employer la balle de plomb qui ne fond qu'à 325 degrés C., j'emploie, dans une expérience disposée pour arrêter le projectile sur l'enclume munie de son manchon de zinc, une balle d'alliage fusible de Darcet; ces balles ont leur point de fusion à 95 degrés C. environ.

Leur (c) calorique spécifique à l'état solide est.	0,0356
Leur (c') calorique spécifique à l'état liquide. .	0,0390
Leur (C') chaleur latente de fusion.	4,4960

PROJECTILES.

« J'avais entouré la lame de zinc d'un cahier de vingt-quatre feuilles de papier très-fort.

« Après le choc, qui fut excentrique, c'est-à-dire à 35 millimètres du bord au lieu de 55, pour être bien au milieu de l'enclume, on trouva, indépendamment de la poussière très-fine, une assez grande quantité de petits fragments anguleux provenant des parties de la balle qui n'a pas subi la fusion, mais en avant on rencontra des lames plates provenant des parties fondues; quelques petites lames étaient collées sur le papier faisant couvercle sur une caisse longue de 1 mètre placée en avant de l'enclume et de la lame de zinc. Si la fusion et la projection en avant de la matière fondue étaient incontestables, il faut bien remarquer qu'une partie très-considérable de la balle était fragmentée sans fusion.

« Pour m'assurer de ce qui se passait réellement au moment du choc, j'ai tiré des balles de plomb en me plaçant dans une chambre obscure; au moment où la balle frappe l'enclume, il se produit un éclair assez vif jaunâtre, d'où il est permis de conclure que la température des parties qui deviennent visibles doit atteindre plus de 525 degrés, qui est celle du rouge sombre, et peut-être aller à 1,200 degrés C., température qui correspond au jaune ou orangé clair des corps incandescents; observons, toutefois, que cela n'altère en rien nos conclusions, car nous nous trouvons ici en présence d'un fait de la vie ordinaire, quand on se procure du feu par le briquet à silex; les parcelles d'acier détachées sont amenées au jaune clair d'abord par la chaleur développée par le choc, et ensuite par la combustion du fer carburé.

« Ce phénomène se produit, du reste, sur une échelle grandiose quand les projectiles de fonte en coquille, et par conséquent très-dure, traversent ou frappent les plaques de fer des navires. Au moment du choc, il se produit une véritable gerbe de feu d'artifice de plusieurs mètres de surface. Les fragments du projectile sont brûlants, mais le phénomène de l'ignition ne se passe réellement que sur une très-faible quantité de matière comparativement au poids du projectile. Ajoutons que ce phénomène se produit alors que la vitesse du boulet n'atteint pas 350 mètres.

Tir sur le plomb. « La balle de plomb tirée sur une masse de plomb à la vitesse de plus de 300 mètres ne fond pas, elle ne se soude pas au plomb.

« La vitesse diminue-t-elle jusque vers 250 mètres, la balle de plomb se soude réellement plomb sur plomb sur une zone concentrique au centre de l'excavation produite.

« La balle d'alliage fusible animée d'une vitesse de 250 mètres se fixe dans le plomb, se soude dans le creux qu'elle y a produit et se brise en fragments plus ou moins gros adhérents et présentant encore la forme du moule à balle. A la vitesse de 380 mètres, l'excavation produite dans le plomb est très-considérable, la balle en partie fondue adhère; de gros fragments offrant encore les contours arrondis du moule vers l'extérieur et des arêtes comme qui dirait cristallines sont adhérents à de la matière qui paraît avoir été partiellement fondue.

Tir sur du bois. « Les balles de plomb qui pénètrent dans le bois parallèlement ou perpendiculairement aux fibres, lorsqu'elles sont animées de vitesses comprises entre 80 et 400 mètres par seconde, se déforment plus ou moins, parfois même elles ne se déforment que très-peu aux grandes vitesses, mais perdent une faible quantité de leur poids; jamais je n'ai vu des phénomènes de fusion bien caractérisés.

« La balle d'alliage fusible, au contraire, offre, dans ces cas, de légères traces évidentes de fusion si sa vitesse est d'environ 250 mètres; elle pénètre perpendiculairement aux fibres d'environ 0m,05 sans se déformer sensiblement dans des bois durs. J'en ai vu une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

animée de 400 mètres de vitesse traverser 0m,085 de chêne dur, s'aplatir sur le mur sur lequel le bloc de bois était appuyé, y pénétrer en partie et retrouver plus du tiers de la balle en fragments ne présentant pas de trace de fusion; or nous avons vu qu'à cette vitesse le projectile fondu entièrement aurait une surchauffe de 290 degrés C. ou une température de 385 degrés C.; si la fusion n'est pas entière, c'est parce que la balle a *blessé* et *travaillé*.

« Les balles qui pénètrent dans les bois tendres et parallèlement aux fibres donnent lieu à une série d'observations analogues.

« Dans les nombreux tirs exécutés, la pénétration des balles de plomb a varié de 0m,005 à 0m,2000.

« Je crois que peu d'os de l'économie offrent à la balle une résistance aussi considérable que celle d'un bloc de chêne dur frappé perpendiculairement aux fibres du bois. »

Tir sur des calcaires durs. Abstraction faite d'un phénomène particulier qui se produit au point d'impact avec les balles de plomb animées de vitesses de 80 à 380 mètres, nous dirons brièvement que les lames s'aplatissent, se brisent, se transforment en lames amincies à surface ondulée; la pierre est plus ou moins brisée. Couvre-t-on la pierre d'une feuille de papier blanc, celle-ci est déchirée si la balle a une vitesse de 380 mètres, mais il ne change nullement de couleur, c'est-à-dire n'atteint pas 325°.

Une balle d'alliage fusible atteint-elle la même pierre avec la même vitesse, la balle est pulvérisée en fragments irréguliers non arrondis, n'ayant pas subi la fusion; à peine trouve-t-on quelques traces de fusion sur de très-rares fragments.

Tir sur des calcaires tendres. A 250 mètres de vitesse, la balle de plomb produit une large blessure, mais souvent elle rebondit vers le tireur; en la touchant de suite, on s'aperçoit qu'elle est chaude, mais non brûlante.

A la vitesse de 380 à 400 mètres, elle ne perd rien de son poids; elle présente, à ces vitesses, une déformation remarquable en ce sens que, plus ou moins aplatie, sa surface est creusée de rugosités bizarres qui présentent la forme exagérée de balles que l'on aurait *mâchées* avec des dents aiguës.

Tir dans les papiers. « Ces expériences ont été extrêmement variées et leur description nous entraînerait trop loin; je pense cependant qu'il est bon de noter les quelques faits suivants. Les balles de plomb animées de vitesses de 3 ou 400 mètres étant lancées normalement aux feuilles de gros livres appuyés sur des murs présentent les déformations les plus bizarres et sont souvent fragmentées en lames assez grandes et aplaties, comme si elles avaient été laminées, mais elles présentent cette surface ondulée sur laquelle j'ai déjà appelé l'attention; parfois elles sont tourmentées de la façon la plus bizarre, certains fragments sont très-brillants par suite de leur frottement sur les déchirures du papier; les brins de papier qui adhèrent parfois très-fortement à la balle ne m'ont jamais offert la moindre coloration rappelant l'effet d'une chaleur comme celle que leur communiquerait du plomb fondu. On retrouve, à très-peu de chose près, le poids de la balle en fragments de plomb dans l'intérieur du livre, même lorsque celle-ci, avant de pénétrer, a d'abord frappé et traversé une lame de fonte de 0m,003 à 0m,004 ou une lame de tôle de fer appuyées sur le livre; or, les boutons de l'habit militaire sont loin, en général, d'offrir la résistance des tôles de fer que j'ai souvent employées et même des lames de fonte; les os plats avec les chairs ne me paraissent pas non plus offrir la résistance des livres que j'ai employés.

« Les mêmes expériences faites en plaçant sur le livre les os les plus forts de l'économie du cheval ne m'ont jamais, aux vitesses les plus grandes, offert des traces manifestes de fusion; elles ne perdent qu'une petite fraction de leur poids; souvent, dans ces cas, les petits fragments de plomb sont mélangés avec de la véritable poussière d'os, que l'os soit naturel et humide ou desséché.

« En tirant sur un livre appuyé, mais non garni de lames métalliques ou d'os avec des balles animées de vitesses de 300 ou de 400 mètres, on produit, dans le papier, des excavations plus ou moins coniques remplies de menus fragments de papier; au delà il y a des déchirures très-considérables dans le livre, mais le papier adhère; il est fortement comprimé dans le prolongement du trajet de la balle; la profondeur de la cavité, remplie de papier déchiré et déchiqueté, dépend de la vitesse, elle atteint peut-être jusque 0m,07 ou 0m08 et plus avec des balles marchant à la vitesse de 400 mètres environ; les déchirures simples et les impressions dépassent ce creux d'une quantité pareille. La balle de plomb animée d'une vitesse inférieure à 300 mètres pénétrant dans un livre y produit une déchirure conique, la base du cône étant opposée à l'entrée; on peut très-aisément détacher toutes ces feuilles pressées et obtenir un cône de feuilles superposées, cône d'une régularité presque mathématique, et dont l'enlèvement produit un creux conique parfait aussi. La hauteur et la base du cône augmentent avec la vitesse jusqu'à ce que celle-ci atteigne environ 250 mètres; avec des vitesses plus considérables le papier qui aurait dû produire les cônes est broyé, déchiré et, parfois, comme qui dirait pulvérisé.

« Mais la balle offre une déformation bien extraordinaire depuis les vitesses faibles jusque 250 mètres environ. En effet, elle est plus ou moins aplatie, son diamètre peut varier du simple au double, elle est creusée du côté qui a frappé; ses bords semblent avoir marché en avant, tandis que le centre est resté en arrière et présente un renflement qui conserve encore la forme sphérique du projectile. Toutes les coupes passant par le centre de figure d'un projectile déformé de cette façon, vues perpendiculairement à la trajectoire, se montrent sous la forme d'un croissant plus ou moins régulier, mais renflé entre les cornes; ce renflement, en général assez régulièrement sphérique, correspond aux points qui, les premiers, ont dû toucher l'obstacle. »

Nous essayerons de compléter l'analyse mécanique des phénomènes qui peut, il nous semble, rendre parfaitement compte des faits observés. Les explications dans lesquelles on tient compte seulement d'effets physiques, calorifiques, sont insuffisantes; c'est à ce résultat qu'arrive le savant M. Hirn en cherchant à analyser les faits constatés par M. Melsens.

« Dans les équations, dit-il, à l'aide desquelles nous déterminons *f* (la température finale qu'il trouve égale à 763 degrés ou 1,423 degrés pour des vitesses de 500 mètres et 650 mètres), on admet implicitement que toutes les parties du mobile perdent, en même temps et d'un seul coup, leur vitesse de translation. Or ceci n'a pas lieu en réalité. Si courte que soit la durée du choc d'une balle contre une masse de fonte, elle est bien loin d'être nulle, et, de plus, elle varie nécessairement d'un point à l'autre du mobile.

« Tandis que les parties antérieures, celles qui touchent l'obstacle, sont arrêtées presque instantanément, celles qui se trouvent à l'arrière se refoulent les unes les autres et très-différemment, selon leur position relative. Il suit de là que la température due au choc, bien loin d'être uniforme et égale à *f* dans tout le projectile, doit y varier énormément, et, tandis que certaines parties sont portées bien au-dessus du point de fusion, sont peut-être vaporisées, d'autres, au contraire, doivent rester relativement froides. »

Ceci est parfaitement exact, mais l'explication est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PROJECTILES.

incomplète; s'il est bien admissible que, pour la partie antérieure de la balle brusquement arrêtée par l'obstacle inébranlable, la force vive se convertit en chaleur, il est bien certain que les molécules situées en arrière, glissant les unes sur les autres, rompant leurs adhérences moléculaires, consomment ainsi une autre partie de la force vive; mais cette explication est-elle suffisante, quelle que soit la vitesse de la balle? Évidemment non, car les quantités de travail résistant dont il vient d'être parlé sont limitées et ne peuvent augmenter beaucoup quand la vitesse de la balle devient extrêmement grande. Pour obtenir une explication intégrale, il faut compléter l'étude des effets du refoulement dont parle M. Hirn, tenir grand compte des projections sur la feuille de zinc qui doivent attirer l'attention, non moins que les déformations dont M. Melsens a signalé toute l'importance.

Lorsque la partie antérieure de la balle est arrêtée par l'obstacle inébranlable, la partie postérieure, continuant son mouvement, vient exercer une pression croissante sur les portions situées en avant et arrêtées les premières. De la compression, croissante en raison de la vitesse, résultent nécessairement bientôt pour un corps plastique dont les molécules adhèrent faiblement entre elles, pour le tir à grande vitesse sur un corps dur, une projection de molécules désagrégées le long de la surface de l'obstacle, de fragments moléculaires animés d'une grande vitesse; pour le tir sur un corps mou comme le papier, des glissements intérieurs, des déformations qui ont produit des formes si curieuses dans les expériences de M. Melsens.

Cette explication mécanique des phénomènes, qui montre comment la majeure partie de la force vive de la balle ne prend pas une forme calorifique, nous paraît rendre parfaitement compte de faits qu'il n'est pas possible autrement de bien analyser. Toutes les fragmentations de la balle à la rencontre de corps résistants, les glissements, les déformations en raison des résistances rencontrées, s'expliquent aisément. Ce qui en démontre pleinement la vérité, c'est qu'on rencontre des faits semblables, produits par des causes analogues, dans les mouvements des liquides, dans les gerbes verticales d'eau produites le long d'un mur de quai, par les oscillations horizontales des vagues de la mer, effets dont j'ai donné depuis longtemps l'explication ci-dessus dans le Dictionnaire (art. *Résistance des fluides*). Une semblable gerbe verticale se voit, par exemple, le long de l'avant d'un bateau à vapeur qui s'avance rapidement. N'est-il pas évident que cette gerbe naît de la pression du taille-mer du bateau, sur du liquide qui résiste assez, par inertie, pour que la pression génératrice de cette gerbe (en raison de la forme du taille-mer et de la vitesse du bateau) prenne naissance?

FABRICATION DES PROJECTILES.

Les boulets se coulent dans des moules en sable vert formés de deux pièces. Aussitôt que le jet est solidifié, c'est-à-dire environ 2 minutes après la coulée de 24 et de 16; 1 minute 1/2 pour ceux de 12; et 1 minute pour ceux de 8 et de 4, on retourne les châssis sens dessus dessous, le jet en bas, pour prévenir l'*avalement* que les vapeurs dégagées et le retrait du métal formeraient au sommet du projectile, et pour ramener la soufflure vers le centre. On démoule environ deux heures après la coulée : les boulets étant refroidis, l'ébarbeur les dégage du sable qui les enveloppait encore; il casse les jets, puis il place les boulets dans une coquille pour enlever la coulée et les coutures avec un marteau tranchant, et les rabattre avec le marteau à main. Il passe quelques boulets aux lunettes, afin de signaler les défauts aux mouleurs, qui serrent plus ou moins le sable, selon que les boulets sont trop gros ou trop petits. Enfin, on polit la surface des boulets en les portant au rouge plus ou moins vif suivant la qualité de la fonte, puis les battant sous un marteau, armé ainsi que son enclume d'étampes en fonte dure et trempée, creusées en segments de cercle d'un rayon un peu supérieur à celui des boulets à rebattre et dont la flèche est environ 1/10 de leur diamètre. On fait tomber sur le boulet un petit filet d'eau pendant le rebattage. Cette opération sert en outre d'épreuve, le choc faisant casser les projectiles d'une mauvaise fonte, et mettant à découvert les soufflures peu éloignées de la surface.

Les projectiles creux, les bombes et obus se moulent en sable vert avec noyaux en terre ou en sable séché, ils sont coulés, les noyaux suspendus. On retourne aussi généralement les châssis comme dans le moulage des boulets. On y fixe aux bombes des anneaux en les engageant dans le moule avant la coulée; ces anneaux servent à les transporter. Les projectiles creux ne sont pas rebattus; on se contente de les ébarber, de les liner et d'en aléser l'*œil* avec un alésoir pyramidal à quatre faces.

Obus oblongs de l'artillerie. — Nous empruntons à un intéressant Mémoire de M. Jordan la description de la fonte de ces projectiles de forme cylindro-ogivale. Ce sont des solides de révolution, qui ont un culot aplati se raccordant avec la partie cylindrique, au moyen d'un faible congé, et une pointe tantôt ogivale tangente à la génératrice du cylindre, tantôt parabolique et faisant un certain angle avec ces génératrices, comme dans le projectile de 24. La pointe est toujours tronquée autour de la lumière. Le vide intérieur est tel, que l'épaisseur du métal est beaucoup plus considérable à la pointe, ce qui assure la stabilité du projectile et lui donne une plus grande pénétration; au culot le vide intérieur est concave, de façon que ce culot puisse se briser en plusieurs morceaux. Ces obus oblongs sont guidés au

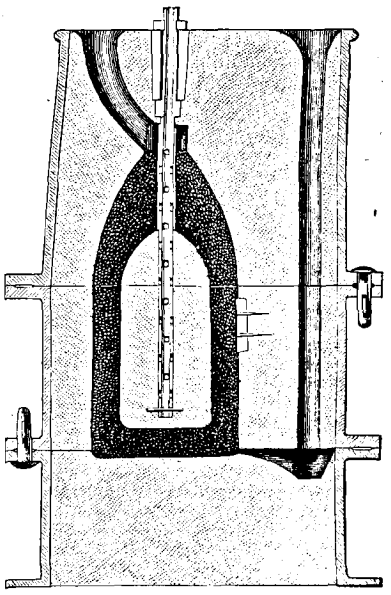


Fig. 2208.

moyen de douze tenons ou *ailettes* en zinc laminé, placés deux à deux sur chacune des six lignes inclinées cor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PROJECTILES.

respondant aux six rayures du canon (Voyez BOULETS TOURNANTS. *Complément*). Sur le projectile venu de fonte, il existe douze logements circulaires à fond plus large que l'entrée pour retenir le talon des ailettes (*fig.* 2208). Autrefois, on moulait le projectile sans ces douze évidements; maintenant on les fait venir de fonte. On emploie pour cela le procédé de moulage suivant. Le châssis est en 4 parties : la partie inférieure pour la pointe, les deux intermédiaires pour le corps cylindrique de l'obus, la partie supérieure pour le culot. Le modèle, assez compliqué d'apparence, se décompose pendant le travail en huit anneaux ou rondelles. Il se place dans le châssis avec les noyaux déjà mis dans les endroits du modèle correspondant aux alvéoles ; par le foulage du sable, ces noyaux se raccordent avec le moule; et en démoulant, à l'aide des pièces mobiles du modèle, ils restent en place. Le noyau d'évidement se fait avec une lanterne en fer creux, aussi au moyen d'une boîte à noyaux, où l'on foule le sable : on le sèche soigneusement à l'étuve et on l'enduit au noir. Le remoulage se fait en ayant soin de bien centrer le noyau. La coulée se fait en source, le projectile étant placé debout avec la lumière en haut. Aussitôt le métal solidifié, on déballe le projectile et on extrait la lanterne avec un tourne-à-gauche. Ensuite le projectile passe à l'atelier de finissage ; là on le désable, soit à la main avec des râpes en fonte, soit avec des brosses mécaniques rotatives en fil de fer ; on l'ébarbe au marteau à main. Le martelage détache le sable à l'intérieur et prépare le débourrage. On aplatit les bavures en martelant l'obus qui est placé dans un tas en fonte ayant deux logements, un demi-cylindrique et un demi-ogival. On débourre avec un crochet. On burine la bavure du culot s'il y a lieu ; on nettoie avec un outil spécial l'angle rentrant des alvéoles.

Alors vient la première réception : passage aux lunettes, vérification de l'épaisseur du culot, vérification de l'épaisseur des parois latérales, vérification de l'inclinaison des alvéoles. Puis l'alésage du trou de chargement avec un alésoir vertical. Puis le taraudage avec une machine à tarauder horizontale ou à la main. On ne plane pas l'about qui, restant brut, se rouille moins vite.

Après quoi vient la pose des ailettes en zinc laminé embouti, à la main et au marteau ; puis l'estampage des ailettes, au moyen d'une sorte de poinçonneuse, ou bien au marteau. L'obus se trouve alors fini et passe à la 2e réception : passage dans une lunette ou dans un tube rayé, au minimum de diamètre; vérification de l'alésage avec une mère.

Obus oblongs prussiens. — Tous les obus prussiens pour canons rayés sont à culot plat et présentent un corps cylindrique que surmontent d'abord une étroite zone tronconique, puis une pointe dont le profil varie un peu, mais qui est, pour l'artillerie de campagne, un ellipsoïde tronqué. Ces trois parties se succèdent d'ailleurs sans ressaut. Le corps cylindrique est formé en bas par le pourtour extérieur du culot ; puis, sur le reste de la hauteur, par l'enveloppe en métal mou. Celle-ci porte un certain nombre de bourrelets saillants, en forme de bandes cylindriques, chanfreinées sur les angles ; ce nombre varie suivant le calibre (c'est généralement 4 ou 5). Le premier bourrelet vers la pointe commence à la naissance même du cylindre ; le dernier, plus large que les autres, affleure le pourtour du culot. L'enveloppe en métal mou se prolonge, au-dessus de la partie cylindrique du projectile, sur la partie tronconique, qui, dans le chargement, vient occuper le raccordement conique de l'âme. Le premier bourrelet se trouve ainsi porter contre l'entrée des rayures.

Le projectile, pour les canons de campagne, est formé d'un noyau en fonte et d'une enveloppe épaisse en plomb. Le noyau, d'un diamètre inférieur à celui de la bouche à feu, présente sur la partie cylindrique une sorte de mortaise destinée à recevoir l'enveloppe de plomb, et sur le fond de laquelle se détachent des bourrelets intérieurs venus de fonte, qui répondent aux bourrelets extérieurs de l'enveloppe, leur servent d'ossature et donnent plus d'adhérence au plomb dans le sens de la longueur de l'obus. Les quatre bourrelets supérieurs sont interrompus en quatre points diamétralement opposés, de manière à offrir des ressauts qui empêchent le plomb de tourner sur la fonte. La pointe ou tête ellipsoïde est percée d'un trou taraudé pour la fusée et d'une ouverture latérale pour la broche du percuteur.

Par suite de leur forme, ces obus se moulent en deux châssis, le joint se trouvant dans un plan diamétral. Pour revêtir le noyau de son enveloppe, on se sert d'un moule formé de deux coquilles demi-cylindriques assemblées à charnière. On place le projectile, debout sur son culot, au centre de ce moule, après l'avoir préalablement décapé et chauffé ; on referme le moule et on verse le plomb par un trou de coulée.

Pour les schrapnels (obus à balle) de l'artillerie de place et de siége, comme pour les obus de la marine, on emploie des enveloppes minces soudées. Celles-ci, non-seulement réduisent la perte de force vive du projectile lorsqu'il rencontre le mur ou la plaque de blindage, mais en même temps permettent d'augmenter le diamètre. On peut ainsi construire un projectile plus résistant et avec un vide plus considérable, ce qui augmente les effets d'éclatement.

Voici comment s'obtient l'adhérence de l'enveloppe mince en plomb sur le corps du projectile.

On réduit sur le tour, de 1, 5 à 3 millim. au-dessous du calibre, le diamètre de la partie cylindrique destinée à recevoir l'enveloppe (le moulage serait plus économique); on chauffe ensuite le projectile au violet dans un bain de plomb, on décape sa surface, en le plongeant dans une solution saturée de sel ammoniac à la température ordinaire, d'où il est retiré dès qu'il est couvert d'une couche blanche argentine. La couleur grisâtre de cette couche indiquerait que le projectile a été trop chauffé. On trempe alors pendant 5 minutes, pour galvaniser, le projectile dans un bain de zinc allié à l'antimoine et porté à 480° centigrades (le point de fusion est 300°) ; puis on le plonge immédiatement et pendant une minute, afin de l'empêcher de s'oxyder, dans un bain de plomb fondu allié au zinc ou à l'étain pour le rendre plus dur. Le projectile est ensuite placé dans un moule d'un diamètre supérieur au sien, et on coule aussitôt du plomb du second bain dans le vide annulaire; quand le plomb est refroidi, l'excès du métal est enlevé sur le tour et le projectile est aisément amené à son profil et à son diamètre réglementaires.

Il est nécessaire d'exécuter le plus rapidement possible les opérations relatives au bain du projectile dans le plomb fondu et au coulage de ce métal autour de la partie cylindrique du projectile, afin d'éviter l'oxydation du zinc qui empêcherait l'adhérence du plomb sur le projectile.

La France a jusqu'à présent employé des enveloppes minces soudées, seulement pour des systèmes de projectiles à l'essai (7 et 8 de campagne, 24 de place).

Le plus petit projectile prussien à enveloppe épaisse de plomb est l'obus ordinaire de 4 de campagne, qui pèse, vide, 4k,250 avec un calibre de 78,5 millimètres ; le plus gros est celui de 24 de siége qui pèse, vide, 27k,150, avec un calibre de 148,1 millimètres (diamètre de l'âme lisse, sans compter la profondeur des rayures).

Le plus petit projectile prussien à enveloppe mince est l'obus à balles, ou schrapnel, de 6, qui pèse, vide, 6k,900 ou 7k,900 avec un calibre de 91,5 millimètres. Le plus gros, il y a un an, était l'obus marine de 96 pesant 153 kilogrammes, avec un calibre de 235,4 milli-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mètres; mais on avait adopté et on doit avoir construit des calibres de 254 millimètres et 279,4 millimètres, qui comportent des obus de 185 et 225 kilogrammes.

PROJECTIONS. — CARTES. Les cartes géographiques ont pour objet de représenter sur une surface plane la surface du sphéroïde terrestre. Quel que soit le procédé qu'on emploie pour arriver à ce résultat, il consiste toujours à tracer d'abord des lignes qui représentent les méridiens et les parallèles. Un point quelconque de la terre étant, en effet, déterminé par la rencontre d'un méridien et d'un parallèle, si l'on sait construire ces lignes on pourra placer sur la carte autant de points qu'on voudra. Ordinairement, dans la construction des cartes, la terre est supposée sphérique. L'ensemble des méridiens et des parallèles tracés sur une surface plane s'appelle une projection. On distingue plusieurs espèces de projections, et le choix de celle qu'on emploie dépend de l'usage que l'on doit faire des cartes et aussi de la position sur la surface terrestre des pays qui doivent être représentés. Les principales sont:

La projection orthographique;
La projection stéréographique;
Le développement conique;
La projection de Flamsteed;
La projection homalographique;
La projection employée pour les cartes marines.

PROJECTION ORTHOGRAPHIQUE. Dans ce système, les points de la surface terrestre sont représentés par les pieds des perpendiculaires abaissées de ces points sur un même plan. On prend ordinairement pour ce plan celui d'un méridien. L'équateur et les parallèles

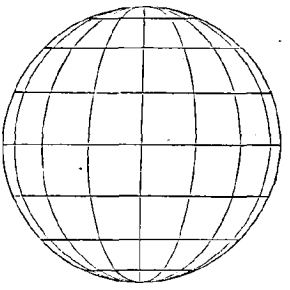


Fig. 1.

(fig. 1) s'y projettent par conséquent suivant des lignes droites, et les méridiens suivant des ellipses qui ont toutes pour grand axe la ligne des pôles. Il est facile de voir que le demi-petit axe de chacune de ces courbes a pour valeur le cosinus de la longitude du méridien projeté, comptée à partir du plan de projection. Connaissant les deux axes des ellipses, on pourra tracer ces courbes qui, du reste, peuvent être aussi construites par points.

Si le plan de projection, au lieu d'être celui d'un méridien, était celui de l'équateur, tous les méridiens seraient en projection des rayons de l'équateur et les parallèles, des cercles concentriques; mais on fait peu usage de cette projection, qui déforme la partie voisine de l'équateur, c'est-à-dire celle qu'il importe le plus de représenter exactement.

La projection orthographique s'emploie pour représenter le globe terrestre tout entier en deux figures, dont l'ensemble s'appelle *mappemonde*; elle est cependant moins usitée que celle dont nous allons parler.

PROJECTION STÉRÉOGRAPHIQUE. Cette projection n'est autre chose qu'une perspective sur le plan d'un grand cercle, l'œil étant supposé placé sur la sphère à l'un des pôles de ce grand cercle. Elle jouit des propriétés suivantes:

1° Tout cercle tracé sur la sphère se projette suivant un cercle;

2° Les projections de deux cercles se coupent sous un angle égal à celui des deux cercles;

3° Le centre de la projection d'un cercle est la projection du sommet du cône circonscrit à la sphère suivant ce cercle (lorsqu'il s'agit d'un grand cercle, le cône circonscrit devient un cylindre; le centre de la projection se trouve alors en menant par l'œil une parallèle aux arêtes du cylindre, qui rencontre le plan de projection au point cherché).

Ces trois propriétés servent à la construction des cartes.

Dans le système stéréographique la position de l'œil peut donner lieu à trois sortes de cartes, suivant qu'il est placé au pôle ou sur l'équateur, ou en un point quelconque d'un méridien. Ces trois sortes de projections portent des noms différents; elles s'appellent projection polaire, projection sur le méridien et projection sur l'horizon.

Projection polaire. Dans ce premier cas, le plan de projection est celui de l'équateur; les méridiens sont représentés par des rayons de l'équateur et les parallèles par des cercles concentriques. Le pôle opposé à celui où est l'œil s'appelle le *point central* de la carte. Cette projection est très-peu usitée à cause de la déformation que subissent les parties voisines de l'équateur.

Projection sur le méridien. C'est celle qu'on emploie ordinairement pour construire les mappemondes: l'œil est placé sur l'équateur au centre des régions qu'il importe le plus de ne pas déformer, tant dans l'un que dans l'autre hémisphère. La projection se fait sur le plan du méridien perpendiculaire au diamètre passant par l'œil, et en plaçant successivement l'œil aux deux extrémités de ce diamètre on obtient sur le même plan la représentation des deux hémisphères (fig. 2).

Les méridiens et les parallèles sont représentés les uns et les autres par des cercles dont on détermine les centres en vertu de la troisième propriété des projections stéréographiques.

L'équateur et le méridien sur lequel se trouve l'œil, et qu'on appelle méridien moyen, se projettent suivant des lignes droites perpendiculaires entre elles.

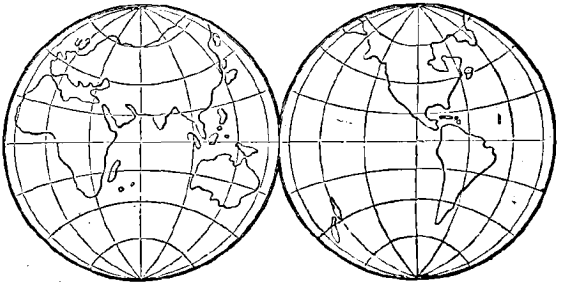


Fig. 2.

Projection sur l'horizon. Cette projection est ainsi appelée parce que, l'œil étant placé en un point quel-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PROJECTIONS.

conque de la terre, le plan de projection est celui d'un grand cercle perpendiculaire à la verticale du lieu, dont ce grand cercle n'est autre chose que l'horizon rationnel. Les méridiens et les parallèles se projettent encore dans ce cas suivant des cercles: le méridien et le grand cercle qui passent par la verticale du lieu se projettent suivant des lignes droites.

Le système stéréographique a l'avantage de représenter par une figure semblable toute figure de petite dimension prise sur la surface de la terre. Cela résulte de la seconde des trois propriétés que nous avons énoncées plus haut; car si la portion de la surface sphérique que l'on considère est assez petite pour pouvoir être regardée comme plane, on peut la décomposer en triangles

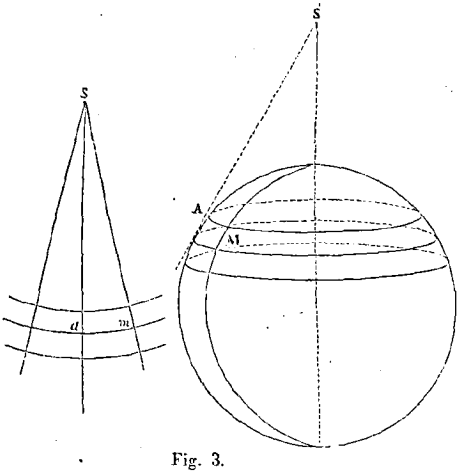


Fig. 3.

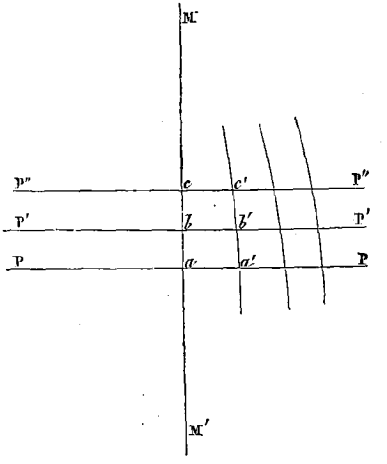


Fig. 4.

dont les angles seront égaux sur la sphère et sur la projection, et qui seront par conséquent semblables. La projection stéréographique ne déforme donc pas les figures de petite dimension, mais les rapports dans lesquels ces figures sont réduites changent avec leur position sur l'hémisphère.

DÉVELOPPEMENT CONIQUE. Dans ce système qui ne peut représenter que des parties peu étendues de la surface terrestre comprises entre deux parallèles voisins l'un de l'autre, on imagine un cône circonscrit à la terre (fig. 3), suivant le parallèle qui tient le milieu entre les deux que l'on considère; on suppose que la surface conique se confond avec la surface de la sphère dans la zone comprise entre les deux parallèles extrêmes.

Si l'on développe ce cône sur un plan, il deviendra un secteur circulaire, dont les rayons représenteront les méridiens, tandis que les parallèles seront représentés par des cercles concentriques.

DÉVELOPPEMENT DE FLAMSTEED. Le développement de Flamsteed n'est employé, comme le développement conique, que pour représenter des portions restreintes de la surface de la terre. On a cherché surtout dans ce système à conserver aux surfaces figurées sur le développement la même valeur en étendue que sur la sphère. Concevons les parallèles représentés par des lignes droites PP, P'P', P''P'', parallèles et équidistantes (fig. 4); une perpendiculaire MM' à ces lignes représente le méridien moyen: si, à partir des points *a*, *b*, *c*..., on porte sur les parallèles des longueurs *aa' bb' cc'*... respectivement égales aux arcs compris sur la sphère entre le méridien moyen et celui qu'on veut représenter, en joignant par une courbe les points *a'*, *b'*, *c'*..., on aura le méridien développé; les autres méridiens se construisent de la même manière. Il est facile de voir, d'après cette construction, que les aires de petite étendue ont la même expression sur le développement et sur la sphère.

Ce système a l'inconvénient d'altérer la configuration des parties éloignées du méridien et du parallèle moyens, parce que les méridiens y deviennent très-obliques aux parallèles, au lieu de leur être perpendiculaires comme sur la sphère.

Pour la construction de la carte de France on a adopté un système qui a pris le nom du développement de Flamsteed modifié, et qui tient du développement de Flamsteed et du développement conique. Aux lignes droites du système précédent qui représentent les parallèles, on substitue des cercles concentriques (fig. 5),

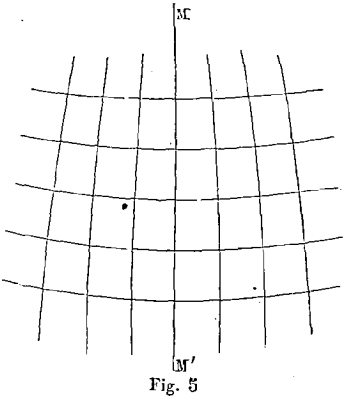


Fig. 5

construits de la même manière que dans le développement conique. Les méridiens se tracent par points sur les cercles, en employant le même procédé que dans le développement de Flamsteed. Les méridiens et les parallèles se coupent ainsi à peu près à angle droit dans toute

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'étendue de la carte. Les figures sont donc très-peu déformées, en même temps que l'égalité des surfaces est conservée.

PROJECTION HOMALOGRAPHIQUE. Babinet a imaginé une nouvelle projection à laquelle il a donné le nom d'homalographique (ὁμαλός, régulier) et qui jouit de la propriété, ainsi que son nom l'indique, de ne pas altérer sensiblement les superficies relatives des diverses parties de la surface terrestre. Le développement de Flamsteed présente le même avantage; mais il ne peut être employé que dans des cartes de peu d'étendue, tandis que la projection homalographique peut s'appliquer au globe tout entier. Dans ce système, la projection se fait sur un méridien, lequel est représenté par un cercle; concevons l'hémisphère dont ce méridien est la base partagé par des méridiens en un certain nombre de fuseaux d'égale grandeur; divisons la ligne droite EE' qui

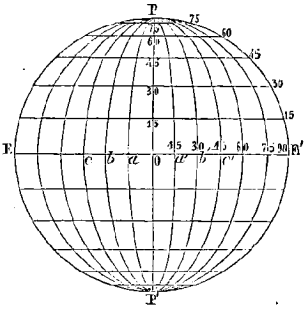


Fig. 6.

représente l'équateur (fig. 6) en autant de parties égales oa, ab, bc, oa', $a'b'$, $b'c'$, qu'il y a de fuseaux, et traçons des

phique à la surface entière de la terre en prolongeant les lignes qui représentent les parallèles et en espaçant les méridiens au dehors comme au dedans de la figure. La carte prend alors la forme d'une ellipse aplatie dont le petit axe est la ligne des pôles. Dans ce planisphère, les rapports de superficie sont conservés, mais les formes des continents sont altérées d'une manière sensible.

CARTES MARINES. Les cartes employées dans la marine sont de deux sortes: les cartes plates et les cartes réduites ou projection de Mercator.

On se sert des premières pour représenter une portion de côte peu considérable, comme un port ou une petite rade. On a recours aux cartes réduites lorsqu'il s'agit d'une côte plus étendue.

Concevons un plan tangent à la surface de la terre, au point central de la localité qu'on veut représenter sur le papier; si cette localité est restreinte, on pourra la considérer comme se confondant dans tous ses points avec le plan tangent. La construction d'une carte plate consistera donc à transporter tout simplement d'un plan sur un autre le figuré du terrain dans des proportions amoindries. Toutes les distances tracées sur la carte conserveront avec les distances correspondantes prises sur le terrain le même rapport. C'est ce rapport que l'on appelle l'échelle du plan. Par exemple, si un mètre sur le plan représente 10,000 mètres sur le terrain, on dira que le plan est à l'échelle de 1/10,000.

Le plan tangent au sphéroïde terrestre ne peut être considéré comme se confondant avec lui que pour une surface très-restreinte. Il faut donc abandonner le système des cartes plates lorsqu'on veut lever une portion de terrain un peu étendue. C'est alors qu'on a recours à la projection de Mercator ou carte réduite. Représentons-nous (fig. 7) un grand nombre de méridiens et de parallèles tracés sur la sphère terrestre, de minute en minute, par exemple; la surface de la terre sera ainsi divisée en un grand nombre de petits quadrilatères dont les côtés seront des arcs de ces méridiens et de ces parallèles. Les méridiens, à partir de l'équateur, vont en

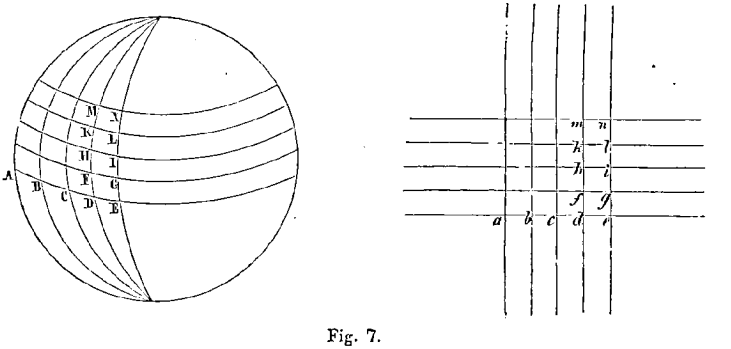


Fig. 7.

ellipses qui auront toutes pour grand axe la ligne des pôles PP', et dont les petits axes seront les lignes aa', bb', cc', etc. Ces ellipses représentent les méridiens. On voit aisément qu'elles partagent la surface du cercle de projection en parties d'égale grandeur, en se rappelant l'expression πab de l'aire de l'ellipse, a étant le demi-grand axe, b le demi-petit axe. Les parallèles sont représentés par des lignes droites parallèles espacées d'après la condition que les bandes qu'elles interceptent sur le cercle de projection soient dans le même rapport de surface que les zones interceptées sur la sphère par les parallèles. On peut étendre la projection homalogra-

convergeant vers les pôles pour s'y réunir, tandis que tous les parallèles sont équidistants. Si nous considérons la série de quadrilatères comprise entre deux méridiens successifs, les bases formées par les arcs des parallèles sont près de l'équateur égales aux hauteurs qui mesurent sur les méridiens la distance de deux parallèles successifs. Mais à mesure qu'on se rapproche du pôle, le rapport entre la hauteur et la base devient plus grand; au pôle ce rapport devient infiniment grand.

Concevons maintenant qu'on représente sur le papier les méridiens par des lignes droites toutes parallèles entre elles, et dont les distances respectives soient les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mêmes que celles des méridiens comptées sur l'équateur, l'équateur et les parallèles par d'autres lignes droites perpendiculaires aux premières. Les quadrilatères curvilignes deviendront des rectangles dont toutes les bases seront égales.

Il reste dans cette projection à fixer les distances respectives des parallèles entre eux; on détermine ces distances d'après la condition que la proportion entre la hauteur et la base des quadrilatères soit la même sur la projection que sur la sphère. Cette condition ne peut être remplie qu'en augmentant la distance qui sépare deux parallèles consécutifs à mesure qu'on se rapproche du pôle, où cette distance devra être infiniment grande pour que le rapport soit conservé; aussi appelle-t-on encore cette projection, projection aux latitudes croissantes; elle jouit de la propriété que deux lignes quelconques tracées sur la carte se coupent sous le même angle que les deux courbes sphériques qu'elles représentent.

Il est facile de comprendre l'utilité pour la marine de ce système de projection Ce qui importe surtout dans le cours d'une navigation, c'est de placer avec facilité sur la carte la position du navire déterminée chaque jour par sa latitude et sa longitude, de voir immédiatement la direction qu'il doit suivre et de faire en sorte que cette direction, une fois donnée, reste la même sous quelque méridien qu'on passe. La carte réduite remplit très-heureusement toutes ces conditions. La position du navire y sera fixée par la rencontre de deux lignes droites perpendiculaires entre elles, l'une parallèle à l'équateur, l'autre aux méridiens, la direction à suivre sera déterminée par l'angle que fait avec le méridien dont la direction est donné par la boussole, la ligne droite qui joint le point où on se trouve à celui où on veut aller. Les méridiens étant représentés par des droites parallèles, l'angle restera le même sur tout le parcours de cette ligne droite, et, d'après la propriété de la projection de Mercator que nous avons énoncée plus haut, cet angle sera égal à celui que fait sur la sphère la route initiale du navire avec le méridien sous lequel il se trouve. De plus, la route du navire coupera sous ce même angle tous les méridiens par lesquels elle passera. Elle décrira ainsi sur la sphère une courbe appelée *loxodromie*.

Toutes les lignes droites tracées sur la carte représenteront donc sur la sphère autant de loxodromies, c'est-à-dire de courbes assujetties à cette condition de couper tous les méridiens sous le même angle. Dans une carte réduite il n'y a plus, à proprement parler, d'échelle, puisqu'une même grandeur, celle de l'arc de méridien d'une minute, par exemple, se trouve représentée, suivant qu'on change de latitude, par une ligne de grandeur différente. L'échelle varie donc constamment en passant d'une latitude à une autre, puisque théoriquement les latitudes sont censées croître sur la carte d'une manière continue. On n'obtient sur la carte la distance de deux points qui y sont projetés que d'une manière imparfaite, mais suffisante pour la navigation, en la mesurant sur le méridien de chaque côté de la latitude moyenne de la ligne droite qui joint les deux points.

Tels sont les deux systèmes de projections sur lesquelles l'hydrographe représente le figuré du terrain et les profondeurs de la mer. BOUTROUX.

PRUSSIATES. Bien qu'à l'article BLEU DE PRUSSE, on ait décrit les principales propriétés et les divers modes de préparation du prussiate jaune de potasse (cyanoferrure de potassium) et du bleu de prusse (composé de cyanure et de cyanide de fer), nous pensons utile de revenir ici sur la préparation du cyanoferrure de potassium, considérée aux points de vue théorique et pratique. L'emploi et partant la fabrication de ces cyanures augmentant tous les jours, plusieurs nouveaux procédés de fabrication ayant été proposés plus ou moins récemment, la discussion que nous voulons entreprendre ne peut manquer d'intérêt, et nous n'avons qu'une crainte, celle de rester au-dessus de notre tâche.

Le seul procédé industriel employé jusqu'à présent consistait et consiste encore à soumettre à une température rouge un mélange de potasse, des matières animales calcinées, ou simplement sèches, et un peu de rognures de fer. M. Dumas (*Traité de Chimie*, tome VII, page 657) dit qu'il paraît que la production du prussiate est plus facile lorsqu'on emploie directement la matière animale non calcinée. D'autres auteurs ou fabricants prétendent le contraire et disent qu'on obtient autant de prussiate de potasse avec une matière animale chauffée jusqu'au point de ne plus donner de carbonate d'ammoniaque qu'avec une matière animale séchée, mais non calcinée. Ces deux assertions sont contradictoires; et pour éclairer la question, nous ne pouvons mieux faire que citer des expériences faites depuis longtemps et auxquelles on attache de l'importance depuis plusieurs années.

C'est à Schèele, le célèbre chimiste suédois, c'est-à-dire au siècle dernier, que nous devons remonter pour citer la première des expériences auxquelles nous faisons allusion. Ce savant est parvenu à obtenir du cyanure de potassium en chauffant au rouge un mélange de charbon et de potasse sur lequel il a projeté du sel ammoniac.

En 1827 ou 1828, M. Desfosses, pensant que l'ammoniaque devait jouer un grand rôle dans la formation du cyanure de potassium, a fait quelques essais dont nous citerons les principaux.

Un mélange de carbonate de potasse et de charbon chauffé au rouge dans un tube de verre à travers lequel on a fait passer du gaz ammoniaque ou du carbonate d'ammoniaque, a donné une grande quantité de cyanure de potassium. Cette expérience a beaucoup d'analogie avec celle de Schèele.

En plaçant au fond d'un canon de fusil une once (30 gram. 50 centigr.) de corne de cerf râpée, et pardessus un mélange de 4 gros (15 gram. 3 centigr.) de carbonate de potasse et 2 gros (7 gram. 6 centigr.) de charbon, on a obtenu, après une calcination convenable, 48 grains (2 gram. 55 centigr.) de cyanure de potassium. Les mêmes matières mélangées n'en ont produit que 26 grains (1 gram. 38 centigr.).

M. Desfosses conclut de ces expériences que pendant la calcination des matières animales avec la potasse, le cyanogène ne se produit point par la combinaison immédiate de l'azote avec le carbone, mais qu'il se forme aux dépens de l'ammoniaque décomposée subséquemment par le carbone. Il cite encore, à l'appui de son opinion, que l'on obtient la même quantité de cyanure d'une matière animale seulement desséchée ou préalablement carbonisée.

C'est dans le *Journal de Pharmacie* (tome XII) que nous trouvons relatées ces expériences. Le rédacteur de ce journal, critiquant l'opinion de M. Desfosses, prétend que la différence de rendement en cyanure de potassium, dans les deux expériences, ne dépend pas de la circonstance assignée par l'auteur, la superposition au lieu de la mixtion de la potassse et de la matière animale. L'essai, dit-il, qui a été fait en grand du premier moyen a donné un résultat plus désavantageux que celui obtenu par l'ancien procédé; mais M. Desfosses l'explique en prétendant que l'action s'est bornée à la surface de la masse saline. Il ajoute qu'en faisant passer du gaz azote sur un mélange de potasse et de charbon chauffé au rouge, on obtient du cyanure de potassium en quantité très-notable, mais inférieure à celle que fournit le procédé ordinaire.

En 1838, M. Kuhlmann, dans ses belles expériences

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur la production artificielle de l'acide nitrique et de l'ammoniaque, a constaté qu'en faisant passer sur de l'éponge chauffée les composés d'azote vaporisables, en contact avec les carbures d'hydrogène ou avec l'oxyde de carbone, lorsque le composé azoté contient de l'hydrogène, on obtient de l'acide cyanhydrique ou du cyanhydrate d'ammoniaque; c'est ainsi que, conformément à la dernière proposition, il a obtenu avec l'ammoniaque et l'oxyde de carbone du cyanhydrate d'ammoniaque. Il rend compte de cette réaction par l'équation suivante :

$$2CO + 2Az^2H^6 = Az^2C^2H^2.Az^2H^6 + 2H^2O.$$

Ce résultat porta M. Kuhlmann à répéter, en 1840, une expérience indiquée par M. Clouet; c'est la production de l'acide cyanhydrique par l'action de l'ammoniaque sur le charbon incandescent. L'expérience réussit parfaitement bien ; mais, ainsi qu'on devait le penser, c'est du cyanhydrate d'ammoniaque qu'on obtient, car l'acide cyanhydrique libre serait facilement décomposé à la température élevée à laquelle la réaction a lieu; il se dégage en même temps un carbure d'hydrogène (carbure tétrahydrique), la réaction paraissant devoir être formulée comme suit :

$$3C + 2Az^2H^6 = Az^2C^2H^2.Az^2H^6 + CH^4.$$

« Cette réaction, qui se produit avec une étonnante facilité, ne m'autoriserait-elle pas à penser, dit M. Kuhlmann, que lors de la calcination des matières azotées en présence d'un oxyde alcalin, il se produit d'abord de l'ammoniaque qui, en contact d'un excès de charbon et de l'oxyde alcalin, se transforme en cyanogène et en oxyde de carbone. Ce mode de réaction, s'il n'a pas lieu toujours, doit avoir lieu du moins dans un grand nombre de circonstances. En faisant passer sur un mélange d'oxyde de potassium et de charbon chauffé au rouge dans un canon de fusil un courant d'ammoniaque desséché, on obtient du cyanure de potassium avec la même facilité que si l'on y faisait passer un courant de cyanogène pur.

« En tirant parti de l'action énergique du carbone sur l'ammoniaque à une haute température, je suis parvenu, par un procédé qui n'est pas très-compliqué, à préparer de l'acide cyanhydrique avec de l'ammoniaque.

« Voici comment je procède :

« Je produis un dégagement d'ammoniaque que je dirige, après l'avoir desséché par du chlorure de calcium, dans un tube de porcelaine contenant du charbon de bois en petits fragments et chauffé au rouge. Les gaz qui, sortis du tube, contiennent une grande quantité de cyanhydrate d'ammoniaque, sont obligés de traverser une couche d'acide affaibli et chauffé à une température de 50° environ.

« L'ammoniaque est absorbé par l'acide sulfurique, et l'acide cyanhydrique seul se dégage du flacon pour se rendre dans un vase entouré d'un mélange frigorifique, après avoir été desséché par du chlorure de calcium. L'acide, ainsi obtenu, présente toute la pureté de l'acide obtenu par la décomposition du cyanure de mercure au moyen de l'acide chlorhydrique.

« J'ai encore mis à profit cette même réaction du charbon pour préparer du cyanoferrure de potassium; seulement la vapeur du cyanhydrate d'ammoniaque, au lieu d'être dirigée dans l'acide sulfurique affaibli, est dirigée dans une dissolution de potasse caustique tenant en suspension du protoxyde hydraté de fer.

« A peine le dégagement a-t-il duré quelques instants que l'on voit se former de belles tables rectangulaires de couleur jaune, consistant en cyanoferrure de potassium. L'ammoniaque éliminé par la potasse peut être utilisé.

« Si nous examinons les réactions qui font l'objet de cette note, sous le point de vue des applications industrielles, il n'est pas de doute qu'elles méritent de fixer l'attention, non qu'elles soient immédiatement applicables, mais parce qu'elles peuvent amener quelques modifications dans le travail de préparation des cyanoferrures alcalins, ou du moins parce qu'elles peuvent servir à expliquer les phénomènes si compliqués qui donnent naissance aux cyanures, et diminuer ainsi l'incertitudes des résultats que présente la fabrication. » (*Mémoires de la Société royale des sciences de Lille*, année 1840.)

Il est évident qu'en faisant arriver le cyanhydrate d'ammoniaque, produit, comme l'indique M. Kuhlmann, dans une dissolution de sulfate de fer, on obtiendra du sulfate d'ammoniaque et du cyanure de fer qui peut être employé directement à faire du bleu de Prusse, ou peut être transformé en cyanoferrure par une quantité convenable de carbonate de potasse, qui donne du carbonate de fer et du cyanure de potassium.

M. Baudrimont, qui a fait aussi depuis des recherches intéressantes sur ce sujet, fait remarquer que le charbon décomposant l'eau à la température rouge, il est presque inutile de dessécher le gaz ammoniaque; il suffira, dit-il, de mettre une colonne de charbon d'une certaine longueur dans le tube à réaction, colonne précédant nécessairement le mélange de charbon et de carbonate de potasse.

Il ajoute encore qu'un moyen de tirer un parti avantageux du cyanure de potassium produit est de le mélanger au cyanure de fer obtenu comme précédemment, de traiter le mélange par l'eau, et de soumettre immédiatement à la cristallisation pour obtenir du cyanoferrure de potassium.

En 1840, nous avons signalé un des premiers la présence du cyanhydrate d'ammoniaque dans les produits de la distillation de la houille, soit dans les eaux ammoniacales de condensation, soit dans les gaz et vapeurs ayant échappé à cette condensation.

La présence des substances cyanurées dans ces matières n'a rien qui doive étonner, et il est très-probable, du reste, que le cyanogène résulte là aussi de l'action du carbone sur l'ammoniaque au moment même où elle prend naissance.

L'immense quantité de houille que les usines à gaz distillent aujourd'hui, permet de supposer qu'un jour l'industrie saura tirer un parti avantageux des produits cyanurés provenant de la distillation de la houille dans la fabrication du gaz.

Nous avons donné (voy. ÉCLAIRAGE AU GAZ) des moyens d'extraire assez économiquement ces cyanures des résidus de l'épuration du gaz au moyen des sels ou oxydes métalliques. Les cyanures métalliques qui se forment dans cette opération, sous l'influence des métaux et du cyanhydrate d'ammoniaque, sont insolubles, et c'est du bleu de Prusse qui se produit lorsqu'on emploie dans l'opération un composé ferrugineux; il suffit de traiter le résidu insoluble par une lessive alcaline pour obtenir un cyanoferrure alcalin en dissolution assez étendue qui peut servir soit à la fabrication des cyanoferrures, soit à la préparation du bleu de Prusse. Cette dernière opération est la plus simple, suivant nous. Nous avons produit ainsi, et M. Laming en a fait autant, d'assez grandes quantités de bleu de Prusse et de cyanoferrure de potassium; mais ces produits renferment nécessairement un ou des composés encore mal connus et mal définis, car ils présentent des difficultés dans l'emploi commercial, difficultés qui en restreignent la consommation.

En 1844, M. Jacquemyns, professeur de chimie à l'athénée de Gand, a publié, dans les *Annales de physique et de chimie*, une note sur la fabrication qui nous occupe. Préoccupé aussi de l'action de l'ammoniaque sur la potasse et le fer à une haute température, et aussi de l'utilisation des gaz ammoniacaux qu'on laisse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

généralement perdre lors de la carbonisation des os dans les fabriques de noir, il a songé à faire servir ces gaz à la formation du cyanoferrure de potassium.

Voici l'expérience qu'il a faite à cet égard. Il a placé dans une cornue des os qu'il a calcinés en dirigeant les produits de la distillation dans un tube de fer chauffé au rouge et contenant de la potasse et du fer; à la sortie de ce tube, les gaz se lavaient dans de l'acide sulfurique étendu d'eau, puis passaient sur un lit de chaux hydratée; car M. Jacquemyns espérait pouvoir faire servir à l'éclairage les hydrogènes carbonés provenant de la distillation et épurés des matières étrangères par l'acide et la chaux.

De 1 kilogramme d'os calcinés, M. Jacquemyns a obtenu 640 grammes de noir; le mélange du tube à potasse fut agité dans l'eau; la dissolution obtenue fut filtrée, puis traitée par du sulfate ferrique, ce qui produisit 0s,86 d'un beau bleu de Prusse. Le gaz ayant été reçu dans un petit gazomètre, on en mesura 125 litres donnés par le kilogramme d'os; seulement ce gaz ne jouissait pas d'un pouvoir éclairant satisfaisant. Peut-être le passage dans l'acide sulfurique avait-il un peu altéré ce pouvoir éclairant, et il est évident que M. Jacquemyns serait arrivé d'un seul coup à l'épuration complète du gaz, à l'absorption de l'ammoniaque et de l'acide carbonique avec une dissolution métallique neutre. M. Jacquemyns a oublié sans doute d'indiquer la quantité de sulfate d'ammoniaque obtenu par le passage des gaz dans l'acide sulfurique.

Malgré ces diverses recherches et les données fournies par la science à l'industrie, on n'emploie toujours, à peu de chose près, que les anciens procédés pour la fabrication du prussiate de potasse. En 1844, on a essayé en France sur une grande échelle, trop grande malheureusement pour les expérimentateurs, un procédé de MM. Possoz et Boissière, qui consistait à faire arriver de l'air, comme source d'azote, sur un mélange de potasse et de charbon chauffé au rouge blanc; il n'était pas question de fer dans le mélange. La présence de l'oxygène étant nuisible à la réaction, il était absorbé et fixé par des tournures de fer aussi chauffées au rouge. Le contact de l'azote avec le mélange en question, dans les conditions indiquées, donnait lieu à du cyanure de potassium.

On aurait dû payer à ces messieurs un juste tribut d'éloges s'ils étaient parvenus à un procédé industriel permettant d'engager l'azote de l'air dans des composés chimiques, et obtenir, dans la fabrication du prussiate, des résultats plus satisfaisants, au point de vue économique, avec ce procédé qu'avec l'ancien. Malheureusement, l'application manufacturière a démontré qu'il y avait, dans la mise en pratique de ce procédé, des difficultés très-grandes. Ainsi la température du mélange de potasse et de charbon doit être excessivement élevée, et les cornues en terre réfractaire, dans lesquelles on faisait l'opération (elles étaient placées verticalement), n'ont pu résister à l'action simultanée de la potasse et de la chaleur blanche; on dut en définitive renoncer à l'emploi de ce procédé dont l'essai avait eu lieu dans l'usine de Grenelle, l'ancienne usine Payen, appartenant alors à M. Coupet. D'ailleurs l'économie, en supposant, bien entendu, un appareil d'un emploi possible dans une usine, ne pouvait pas être bien considérable, ainsi qu'on l'avait espéré tout d'abord. Car, sans parler de l'énorme quantité de combustible dépensée pour arriver à la haute température nécessaire à la réaction, la proportion de potasse à employer était toujours la même pour un poids voulu de prussiate; et la substitution de l'azote de l'air à celui fourni par les matières animales ne laissait pas une grande marge d'économie, si l'on remarque qu'il fallait enlever à l'air son oxygène qui aurait contrarié l'opération.

PRUSSIATES.

Depuis, M. Possoz a conseillé, dans les dispositions de l'appareil, une notable modification; il veut remplacer les cornues par des fours à réverbère, et le gaz azote, *ou contenant de l'azote*, serait porté à une température élevée avant d'être dirigé sur le four, ce qui faciliterait singulièrement la réaction. Cette indication de M. Possoz nous semble très-bonne, essentielle même, car il est évident que l'arrivée d'un courant de gaz froid doit diminuer singulièrement la température du mélange de charbon et de potasse, et arrêter la réaction.

Quoiqu'il doive arriver de l'expérimentation de semblables procédés très-peu nouveaux en théorie, mais nouveaux dans la pratique, nous doutons fort que leur réussite, même complète, puisse amener une baisse bien forte sur le prix des prussiates. Si cette baisse atteint le chiffre de 15 à 20 p. 100, les expérimentateurs devront s'estimer heureux.

Si nous pouvions *à priori* indiquer où il y a le plus de chances de bons résultats, nous n'hésiterions pas à conseiller la réalisation en grand des expériences faites par M. Kuhlmann et par M. Jacquemyns avec ou sans l'utilisation des gaz carbonés pour l'éclairage; seulement nous nous permettrons de signaler quelques modifications.

Avant tout, faisons remarquer qu'il doit y avoir, par le fait du mélange de la potasse, du charbon et du fer, mélange porté à la température rouge-blanc, réduction de la potasse; que c'est au moment où il se trouve du potassium libre qu'il y a combinaison d'azote, de carbone, de fer et de potassium. Du moins c'est là notre avis, et nous rappellerons qu'il y quelques années M. Lassaigne a indiqué un moyen très-simple de reconnaître dans une matière organique la présence de l'azote, c'est de porter au rouge dans un tube de verre cette matière au contact d'un peu de potassium; le cyanure formé, dont la présence se décèle facilement, est la preuve de la présence de l'azote. Nous insistons sur ce point, parce qu'il nous a paru que les auteurs de chimie avaient, tout au moins, glissé trop légèrement sur cette réduction de la potasse.

Revenons à l'expérimentation du procédé Jacquemyns. On ferait un mélange de potasse, de fer et de charbon animal *azoté*, c'est-à-dire de charbon provenant d'une distillation dans laquelle les gaz ammoniacaux auraient déjà été utilisés, pour la fabrication du prussiate. Sur le mélange, porté d'ailleurs à une température convenable, on ferait arriver le gaz provenant d'une distillation de matières animales, gaz maintenus ou portés, au sortir des cornues de distillation à une température élevée pour faciliter la réaction. Ces gaz, après leur passage sur le mélange, seraient privés de toute l'ammoniaque excédant par leur lavage, soit dans les dissolutions métalliques, soit dans l'acide sulfurique.

Disons en terminant que MM. Margueritte et Sourdeval ont cherché à reprendre le procédé Possoz, en substituant la baryte à la potasse.

La baryte présente sur la potasse deux avantages: l'un est le bon marché, l'autre est sa propriété d'être infusible à des températures très-élevées. Ce second avantage est considérable lorsqu'on cherche à fixer l'azote atmosphérique.

Avec la potasse, en effet, la formation du cyanogène n'a lieu qu'à la surface de la masse fondante, tandis qu'elle a lieu dans la masse toute entière, lorsqu'on se sert de la baryte; en outre, celle-ci est sans action sur les cornues de terre, qui peuvent servir un grand nombre de fois.

La meilleure disposition consiste à mélanger le carbonate de baryte avec des quantités variables (20 ou 30 fois son volume) de goudron de houille, de résine, de sciure de bois, de charbon de bois ou de coke, et à porter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le tout à une température élevée; il y a alors absorption de l'azote par le charbon barytique en même temps que combustion de celui-ci.

Les auteurs disent que leur procédé peut servir à fabriquer facilement l'ammoniaque. Il suffirait de faire passer de la vapeur d'eau, à une température même inférieure à 300°, dans les cylindres où le cyanure de baryum a pris naissance, pour obtenir l'ammoniaque correspondant à la totalité de l'azote, tandis que la baryte retournerait à l'état de carbonate. A. MALLET.

Ces questions offrent un grand intérêt théorique, la formation de l'ammoniaque à l'aide de l'azote de l'atmosphère (dont il forme les quatre cinquièmes), pouvant être le point de départ d'une fabrication en quantité indéfinie des engrais, à la quantité desquels la production agricole est en quelque sorte proportionnelle. L'accroissement notable de la quantité de ceux-ci serait une augmentation de la richesse de l'humanité. (Voy. NUTRITION DES ANIMAUX.)

PULVÉRISATION. Voyez BROYAGE, MÉTALLURGIE et POTERIE.

PUTRÉFACTION. Nous avons décrit, à l'article CONSERVATION DES SUBSTANCES VÉGÉTALES ET ANIMALES, les divers procédés qui permettent d'éviter la putréfaction, la fermentation putride qui tend à décomposer les substances animales aussitôt que la vie a cessé. Nous compléterons ici les renseignements que fournit cet article en donnant un résumé des beaux travaux de M. Pasteur sur cette question.

M. Pasteur a démontré en 1862 que les liquides les plus putrescibles, tels que le lait, le bouillon, se conservent indéfiniment dans des ballon scellés pendant qu'ils étaient en ébullition, pourvu que ces liquides aient été portés quelque temps à 100° ou un peu au-dessus; que chaque fois qu'il y a fermentation ou putréfaction, il se développe dans le liquide altérable des microzoaires ou des myerophytes dont l'activité et la prolification sont en rapport avec l'activité de la décomposition; que les germes qui sont nécessairement apportés par l'air, peuvent être arrêtés sur des bourres de coton-poudre, qui, dissoutes dans l'éther, permettent de séparer ces germes et de les semer.

Quand on examine avec soin, avec le secours du microscope, ce qui se passe dans un liquide qui se putréfie, on voit apparaître d'abord de minuscules infusoires, sous la forme de points minimes, qui privent rapidement la liqueur d'oxygène. En même temps à la surface se forme une couche mince de mucédinées, de mucors et de bactéries, toutes excessivement avides d'oxygène. Cette couche empêche presqu'entièrement l'arrivée de ce gaz dans l'intérieur du liquide. A partir de ce moment, celui-ci devient le siége de deux actions très-distinctes. Des vibrions ont succédé aux ponctuations primitives, paraissent être la transformation de celles-ci. A l'intérieur du liquide, ces vibrions changent à leur profit les matières albuminoïdes qu'ils s'assimilent en produits moins complexes, en cellulose insoluble et en gaz putrides, tandis qu'à la surface les mucédinées et les bactéries comburent puissamment les produits de ces dédoublements et arrêtent au passage l'oxygène dont l'action, au moins lorsque ce gaz est en quantité notable, anéantirait l'activité des microzoaires de la profondeur. De là ce double phénomène dans les putréfactions, de réductions et d'oxydations simultanées.

Malgré les contestations ardentes de la part des partisans de la génération spontanée, base nécessaire des doctrines matérialistes, le système de M. Pasteur, confirmé par des expériences multipliées, est reconnu parfaitement certain.

Nous terminerons en disant quelques mots du procédé Gannal, pratiqué pour le embaumements, et qui a trouvé une application importante dans les études anatomiques qu'il facilite en les rendant moins insalubres.

M. Gannal se sert de l'appareil de la circulation pour faire pénétrer l'injection de la substance conservatrice dans toutes les parties du corps humain. C'est par l'artère carotide qu'il pratique une injection d'acétate d'alumine; c'est le sel qui réussit le mieux. Le sulfate d'alumine donne toutefois des résultats presque aussi satisfaisants.

Ce procédé a été essayé pour la conservation des viandes destinées à l'alimentation. Malgré les succès qui avaient été annoncés (sans doute en n'employant pas de sels d'alumine), il n'a pris aucune place dans la pratique.

PUITS. Voyez MINES et EAUX.

PUITS ARTÉSIENS. Voyez ARTÉSIENS (*puits*).

PYRITES. Nom générique donné à un assez grand nombre de minerais métalliques sulfurés qui présentent un éclat métallique très-prononcé; il s'applique particulièrement aux pyrites de fer (sulfures de fer), aux pyrites de cuivre (sulfures de cuivre), et aux pyrites arsénicales (sulfo-arséniure de fer).

PYROGÈNES. Lorsqu'on soumet les corps organiques à l'action d'une température croissante, ils tendent à se réduire en leurs éléments; mais, comme termes intermédiaires, il se produit des corps à la fois volatils, plus ou moins stables suivant la composition du corps, et en proportion de la température une quantité d'autres très-stables, qui sont l'eau, l'acide carbonique, l'ammoniaque, l'oxyde de carbone, le gaz des marais, composés qui se forment avec un notable dégagement de chaleur. Corrélativement à la formation des produits volatils précédents, le résidu devient plus stable, plus pauvre en oxygène et en hydrogène, plus riche en carbone que la matière primitive.

Si les corps fixes ou volatils formés dans ces conditions de température ne sont pas immédiatement soustraits à l'action de la chaleur et à leurs réactions mutuelles, il s'établit un état d'équilibre entre les forces en jeu, d'où résulte la limitation des réactions pyrogénées.

Mais si l'on augmente la chaleur, le résidu tendra de nouveau à perdre de l'oxygène sous forme d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone, puis à céder une partie de son hydrogène sous forme d'hydrocarbures, ou d'ammoniaque si le corps est azoté. Entre tous les corps volatils ainsi formés, s'établiront des réactions nouvelles par voie de synthèse ou de condensations successives, qui tendront à résoudre les hydrocarbures en un charbon presque pur et en hydrogène en passant par la série des corps aromatiques (*benzine, naphtaline, anthracène*). Quant au résidu, il s'enrichira de plus en plus en carbone, et finira par ne plus consister qu'en un charbon à peine hydrogéné, tel que le graphite ou l'anthracite, ou bien contenant encore un peu d'azote, s'il provient de la calcination de corps azotés.

PYROMÈTRE. Instrument propre à mesurer les températures très-élevées (Voy. THERMOMÈTRE et PYROSCOPE, *Complément*).

PYROPHORE. On donne le nom de pyrophores à divers corps qui jouissent de la propriété de s'enflammer au contact de l'air; cette propriété parait avoir pour cause commune la rapide absorption de l'oxygène par des corps combustibles réduits à un grand état de division. Certains oxydes métalliques, celui de fer par exemple, réduits par l'hydrogène à la plus basse température possible, deviennent extrêmement pyrophoriques. En calcinant dans un creuset luté 6 parties de noir de fumée mélangé avec 11 p. de sulfate de potasse, on obtient un mélange de charbon et de sulfure de potassium qui s'enflamme au contact de l'air avec la plus grande facilité.

PYROTECHNIE. Voy. POUDRE, ARTIFICE (*feux d'*) CARTOUCHES, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Q

QUAI. On appelle ainsi une levée en terre avec revêtement, établie sur un rivage et destinée à retenir un fleuve dans son lit, et souvent à faciliter le chargement et le déchargement des marchandises. Nous n'avons pas à entrer ici dans beaucoup de détails relativement à la construction des quais; nous dirons seulement qu'en France le revêtement se fait en général en pierre de taille posée en mortier hydraulique. Comme presque toujours la construction doit se faire sur des fonds délayés et mobiles, il faut d'abord battre des pilotis, en un mot construire les murs de quai avec autant de soin qu'une pile de pont, car elles sont dans des conditions semblables et le poids de la maçonnerie doit être très-grand, quand ils ont à résister à une poussée des terres considérable.

QUARTZ. Le quartz est de la silice sensiblement pure qui se présente dans le régne minéral en grande abondance et constitue de nombreuses variétés dont le caractère générique est d'être assez dur pour faire feu sous le briquet et d'être infusible. Ses principales espèces sont les suivantes:

Quartz hyalin ou *cristal de roche*. Ordinairement cristallisé en prismes hexaèdres avec pointement à 3 ou 6 faces, presque toujours incolore et transparent. Lorsqu'il est coloré, il porte différents noms suivant sa couleur; c'est du quartz *améthiste*, lorsqu'il est violet; *topaze d'Inde*, lorsqu'il est jaune; *prase*, lorsqu'il est vert; *hyacinthe de Compostelle*, lorsqu'il est rouge; *aventurine*, lorsqu'il est rouge, translucide, et renfermant de petites paillettes de mica d'un jaune d'or, etc. Ces diverses variété sont employées dans l'art du joaillier. Le cristal de roche incolore et bien transparent est très-employé en optique.

Quartz silex. Variété compacte qui fournit la pierre à fusil, les silex des terrains de craie employés comme matériaux de construction et comme matières premières dans la fabrication des faïences fines, etc.

Quartz agate. Compacte, rubanné, offrant des couleurs très-vives et très-variées, désignées par autant de noms divers; est très-employé pour faire des coupes, et autres petits meubles d'ornements.

Quartz jaspe. Variété rubannée, plus grossière que la précédente, et employée dans la décoration architecturale.

Quartz opale. C'est à cette variété du quartz qu'appartient l'*opale noble*, l'une des plus belles pierres précieuses et des plus estimées pour l'éclat et la vivacité de ses irisations.

Quartz carié ou *silex molaire*. Nous fournit les pierres meulières, ainsi que d'excellents matériaux de construction.

Quartz terreux. Ce sont des tufs siliceux qui ont un aspect terreux et sont quelquefois assez poreux pour surnager sur l'eau; dans ce dernier cas on leur donne le nom de *quartz nectique*.

Quartz arénacé. Cette variété constitue les *grès*, roches abondamment répandues à la surface du globe et qui nous offrent de si précieux matériaux pour les constructions, le pavage etc.

QUERCITRON. Nom d'une espèce de chêne, appelé *Quercus tinctoria* par les botanistes, parce que son bois et surtout son écorce sont employés en teinture. Cet arbre est indigène d'Amérique; on le trouve en abondance dans les forêts de la Pensylvanie, de la Caroline et de la Géorgie. On l'emploie en teinture, pour les jaunes; mais il ne produit pas une aussi belle nuance que la gaude; ses teintes tirent plus ou moin au fauve; aussi s'en sert-on de préférence pour les composés dont le jaune fait partie et principalement pour les verts.

En Amérique, on dépouille l'écorce du quercitron de son épiderme, qui renferme beaucoup de matière colorante fauve, puis on pulvérise la deuxième écorce et on nous l'expédie ainsi pulvérisée. Comme les fibres résistent davantage à la pulvérisation et qu'elles ne renferment d'ailleurs aucun principe colorant, on estime d'autant plus cette poudre qu'elle est plus débarrassée de fibres.

QUINCAILLERIE. La quincaillerie est l'objet d'un commerce qui réunit une foule d'articles différents, notamment les objets accessoires du bâtiment, serrures, gonds; mais avant tout, les divers outils qui se manient à la main.

La question technique étant la seule qui nous occupe, nous n'aurions pas à nous occuper du commerce de la quincaillerie, s'il n'y avait ici une question commerciale fort importante pour l'industrie. L'excellence des outils étant la base d'une bonne fabrication, le commerce de ces outils devrait être organisé en vue de mettre en lumière les outils les plus parfaits. Malheureusement la fabrication en grand de ces outils permet de les établir, dans de grande fabriques, à des prix bien moindres que ne peuvent le faire des ouvriers qui ne travaillent qu'avec de faibles ressources. Malgré la différence des prix, souvent de 4 à 1, l'ouvrier préfère souvent, quand il peut le trouver, l'outil *à façon*, parce que pour les outils, la qualité principale est la bonté et que le bas prix n'est qu'une condition secondaire.

Les ouvriers ne savent plus où trouver ces outils qu'ils préfèrent, ce qui résulte de la défectuosité de notre législation sur les marques et de sa mauvaise observation. Il serait bien temps que la sévérité des mœurs et de la loi vint faire respecter les marques qui ont perdu toute valeur, parce qu'elles sont contrefaites aussitôt qu'un producteur intelligent est parvenu à conquérir une bonne réputation à ses produits. Rien de plus injuste ni de plus désastreux pour l'ouvrier qui met son honneur et doit trouver son profit à donner à un outil des qualités qu'un long service pourra seul permettre d'apprécier.

QUINQUINAS. Les quinquinas sont les écorces de diverses espèces de cinchonas, appartenant à la famille des Rubiacées, qui possèdent des propriétés toutes spéciales pour le traitement des fièvres; aussi leur exploitation et leur production sont-elles d'un grand intérêt.

L'introduction du quinquina en Europe remonte au dix-septième siècle. Il fut connu d'abord sous le nom de *poudre de la comtesse*: la comtesses del Cinchon, femme du vice-roi du Pérou, ayant été guérie d'une fièvre opiniâtre par la poudre de cette écorce, l'avait rapportée en Europe; plus tard, ce médicament fut désigné sous le nom de *poudre des jésuites*, qui en augmentèrent la vogue, tout en laissant ignorer son origine. Ce n'est qu'en 1679 que le roi Louis XIV, guéri par le remède d'un Anglais, nommé Talbot, lui acheta son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

secret et ordonna la divulgation de cette préparation composée de poudre de quinquina. Cependant, l'arbre auquel appartenait cette écorce restait inconnu; ce ne fut qu'en 1738 que La Condamine donna pour la première fois la description de cet arbre, qui a été étudié depuis par un grand nombre de naturalistes.

Il appartient à l'Amérique du Sud; il végète dans une zone de 12 à 18 lieues de large, et qui s'étend sur une longueur de 800 lieues, de Caracas, dans le Vénézuéla, à Potosi, en Bolivie. Il croit sur diverses ramifications des Cordillières, à une hauteur comprise entre 1,200 et 3,200 mètres.

« L'aspect des cinchonas, dit M. Planchon, paraît varier suivant les hauteurs. Supérieurement, ils s'étendent au-dessus des forêts jusqu'à la région des gentianes, et y prennent la forme d'arbustes et d'arbrisseaux; dans la partie moyenne, ils sont associés à la végétation luxuriante des forêts tropicales, et atteignent la taille des arbres les plus élevés. Ils disparaissent au contact des premières régions des plantes basses. »

Les cinchonas ne vivent pas en masse compacte, ils se trouvent répandus en groupes épars dans l'immensité des forêts vierges de certaines régions de l'Amérique du Sud; la recherche de ces végétaux si utiles offre donc des difficultés de tous genres, et ce n'est qu'en affrontant de véritables dangers et après des fatigues inouïes que le chercheur de quinquinas, le *cascarillero*, arrive à faire sa récolte.

Non-seulement il doit rechercher l'arbre à quinquina au milieu de cette végétation luxuriante d'arbres divers et de lianes de toutes espèces qui le cachent, mais lorsqu'il l'a rencontré il doit isoler l'arbre, l'abattre, le décortiquer, sécher les écorces, et enfin les sortir à dos d'homme de la forêt qu'il a eu tant de peine à parcourir. Il y a tel district où il faut que le quinquina soit porté de la sorte pendant 15 ou 20 jours avant de sortir des bois qui l'ont produit. Une semblable exploitation pouvant amener la destruction des arbres à quinquina, il y avait donc à chercher à les cultiver, et on pouvait faire pour cela des dépenses considérables, vu le prix élevé de leurs précieuses écorces. Les Hollandais réussirent les premiers, et dès 1852, réussirent à Java des plantations devenues considérables. Les Anglais suivirent bientôt cet exemple, et importèrent aux Indes les meilleures espèces. Ils sont cultivés surtout dans les montagnes des Nugheries, au Bengale et à Ceylan, et on y compte aujourd'hui plusieurs millions de pieds. Cette culture est non-seulement assurée, mais elle a fait un grand progrès, grâce au procédé de M. Mac-Ivor. Ce procédé consiste à recouvrir de mousse le tronc des quinquinas et à diminuer l'action solaire, pratique qui confirme l'opinion de Pasteur que la lumière causait des pertes notables d'alcaloïdes.

Non-seulement cet accroissement des alcaloïdes est résulté de l'opération du moussage, mais encore il permet de conserver les arbres, leur écorce se reproduisant, grâce à cet abri, des points où elle a été enlevée.

Les essais faits en Algérie, à de faibles altitudes, n'ont pas réussi.

Les quinquinas, suivant qu'ils ont été recueillis sur le tronc ou sur les branches, sont ou en tables épaisses ou en tuyaux.

Dès l'origine, les quinquinas ont été classés en quinquinas gris, jaunes, rouges et blancs, et c'est sous ces designations qu'ils sont connus dans le commerce. Guibourt assigne à ces diverses classes les caractères suivants:

Les quinquinas gris se composent d'écorces roulées (ce sont en effet les écorces des jeunes branches des diverses espèces), médiocrement fibreuses, plus astringentes qu'amères, donnant une poudre d'un fauve grisâtre plus ou moins pâle, contenant surtout de la cinchonine et peu ou pas de quinine.

Les quinquinas jaunes peuvent offrir un volume plus considérable, sont d'une texture très-fibreuse et d'une amertume beaucoup plus forte et plus dégagée d'astringence. Ils donnent une poudre jaune ou orangée et peuvent contenir une assez grande quantité de sels à base de chaux et de quinine pour précipiter instantanément la dissolution de sulfate de soude.

Les quinquinas rouges tiennent le milieu, pour la texture, entre les gris et les jaunes; ils sont à la fois très-amers et très-astringents; leur poudre est d'un rouge plus ou moins vif; ils contiennent à la fois de la quinine et de la cinchonine.

Les quinquinas blancs se distinguent par un épiderme naturellement blanc, uni, non fendillé, adhérent aux couches corticales. Ils contiennent soit un peu de cinchonine, soit un autre alcaloïde plus ou moins analogue. Ils sont fébrifuges et ne peuvent guère compter au nombre des quinquinas médicinaux.

QUININE. Base retirée des quinquinas, en laquelle paraît résider leur propriété fébrifuge. Sa découverte par Pelletier et Caventou en 1820, a été un des plus grands progrès de la médecine. C'est à l'état de sulfate de quinine, quelquefois de lactate ou de tannate, qu'elle est administrée.

La grande consommation du sulfate de quinine et son prix élevé ont fait rechercher avec soin les méthodes les plus parfaites pour sa préparation. La solubilité de la quinine dans l'alcool, qui était la base des teintures à l'aide desquelles on administrait le quinquina avant la découverte de la quinine, fournit la base de ces procédés. Le procédé d'extraction indiqué par Pelletier et Caventou consistait à traiter le quinquina par l'alcool; à évaporer cette teinture en vase clos, puis à reprendre l'extrait alcoolique par l'acide chlorhydrique qui en sépare la quinine avec quelques autres principes; à décomposer l'hydrochlorate résultant par la magnésie en excès, et à traiter enfin le dépôt magnésien par l'alcool pour en extraire la quinine; enfin à évaporer celui-ci à basse température.

L'extraction industrielle de la quinine consiste: 1° à bien épuiser, par des lavages successifs, avec de l'eau acidulée, qui dissout très-bien le quinine, le quinquina réduit en poudre; 2° à ajouter de la chaux ou mieux de la magnésie et à traiter par l'alcool le précipité; 3° à soumettre à la distillation la teinture alcoolique, et, lorsque cette opération est très-avancée, à ajouter l'acide sulfurique nécessaire pour sulfater la quinine, c'est-à-dire jusqu'à ce que la liqueur rougisse le papier de tournesol. Par le refroidissement, la liqueur donne le sultate de quinine cristallisé. On l'obtient parfaitement blanc en le redissolvant et le filtrant avec du noir animal.

Robiquet a donné, dans le Dictionnaire technologique, un travail très-complet sur la manière dont doit être conduit en grand ce travail. On comprend facilement combien il importe que les opérations se succèdent sur des proportions bien déterminées et dans un ordre convenable. Cela est surtout important pour un produit d'autant de valeur que le sulfate de quinine. Aussi est-il bon d'opérer chaque jour sur les mêmes quantités, de la même manière, afin d'obtenir les mêmes rendements avec les mêmes frais, ce qui permet de diminuer les prix de revient, et de constater les moindres variations.

Bien des chimistes ont dû tenter de préparer la quinine en partant de substances végétales autres que l'écorces des quinquinas, par des méthodes synthétiques qui ont déjà fourni l'urée, les essences de fruits, l'alizarine artificielle, etc. Jusqu'à présent ils n'ont pu obtenir que des corps isomères, sans aucune propriété fébrifuge. Il n'est pas douteux que c'est là une conquête que les progrès de la chimie doivent permettre d'accomplir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

R

RABOT (*angl.* plane, *all.* hobel). Outil composé d'un fût et d'une lame, spécialement employé par le menuisier, type de tous les autres outils du même genre nommés *affûtages*, parce qu'ils sont composés d'un fer et d'un *fût* qui doivent être mis en relation afin de coopérer simultanément : ce en quoi les outils mis en fût diffèrent des autres outils dans lesquels le fer et le bois sont employés. Ainsi, les outils emmanchés, les bédanes, les ciseaux, les scies, les haches et autres, bien que composés de bois et de fer, ne sont pas des affûtages.

Le rabot change de nom suivant sa grandeur et suivant sa forme : les plus grands, dont les layetiers, les tonneliers et autres se servent, prennent le nom de *colombe*; ce rabot est tellement grand, tellement lourd, qu'on ne le meut pas sur le bois à ouvrer, mais que c'est le bois qu'on fait glisser sur la table; il reste fixe, supporté par quatre pieds, retourné en sens contraire du rabot ordinaire, c'est-à-dire sa lumière en dessus. Après la colombe viennent la varlope (fig. 1), la demi-varlope,



Fig. 1.

le rifflard, et enfin le rabot proprement dit, qui conserve son nom jusqu'aux plus petites dimensions. Les rabots ronds, les mouchettes, les rabots à moulures, les rabots à plates-bandes, les guillaumes, les bouvets, les feuillerets, les rabots à élégir, et bien d'autres, rentrent dans la classe des affûtages.



Fig. 2.

Le rabot simple (fig. 2) est un parallélipipède ayant environ en longueur le double de sa base; fait en bois dur, le plus souvent en cormier. La base de ce parallélipipède n'offre pas un carré parfait, mais bien un carré long; quant à la largeur, elle est facultative, selon le fer à employer, selon la grandeur de la main de l'ouvrier, selon l'usage auquel l'outil est destiné; la hauteur a ordinairement une fois et quart la largeur dans les rabots ordinaires; dans les rabots étroits, la hauteur peut être double de la largeur. On pratique dans ce bois un trou incliné qu'on nomme la *lumière*, et dans lequel on place le fer, qui est retenu en place par un coin en bois. Le percement de cette lumière est assez difficile; nous n'entreprendrons point de dire comment il s'exécute, il faudrait pour cela une longue démonstration, et celui qui aura un rabot dans la main comprendra dans l'instant quelle forme doit avoir l'intérieur de ce trou, qui se fait avec des mèches, des ciseaux, des petites scies passe-partout, des écouanes et des limes neuves, pour le bien unir en dedans. On appelle *joues* les deux côtés de la lumière, le derrière se nomme *talon*, la partie antérieure *nez*, l'inclinaison de la lumière la *coupe*. Nous nous contenterons de donner quelques règles générales adoptées par les meilleurs constructeurs.

Le fût du rabot doit être pris dans du bois bien de fil. Si le bois était tranché, l'effort du coin qu'on enfonce à coups de marteau, et qui presse sur le fer, ferait éclater le bois, et le rabot se casserait à l'endroit des joues.

Les joues ne doivent être ni trop épaisses ni trop minces. Leur force pourra varier entre le cinquième et le sixième de la largeur du fer pour chacune d'elles; lorsque les joues sont moindres que le sixième, elles sont faibles et sujettes à se voiler ou à se fendre; lorsqu'elles sont plus que le cinquième, elles sont trop fortes, l'outil est difficile à empoigner, pour peu que le fer soit large; et puis le bois s'usant plus dans la partie du nez qui frotte contre le bois à ouvrer, auprès et au devant du fer, il se forme en cet endroit un creux, tandis que les joues font saillie, disposition très-désavantageuse dont la conséquence est de contraindre à donner plus de fer qu'il ne conviendrait. Quand les joues ne sont pas trop fortes, elles s'usent plus promptement, et alors la détérioration dont il vient d'être parlé, toujours inévitable, est cependant moins prompte à se manifester. Dans les varlopes et demi-varlopes qui ont une poignée, on tient les joues plus fortes pour donner plus de poids et plus d'assiette à l'outil, et aussi pour le rendre plus robuste, son travail étant plus rude.

La lumière doit être la plus étroite qu'il sera possible. C'est-à-dire que le nez du fût devra s'approcher du tranchant du fer à une distance tellement réduite qu'il n'y ait entre le fût et le fer que le passage d'un copeau très-mince. Dans la construction des demi-varlopes, on tient la lumière plus large, cet outil étant destiné à enlever des copeaux épais. Quand le rabot est à deux fers (on les fait souvent ainsi aujourd'hui), il faudra, en dedans de la lumière, du côté du nez, et sans élargir cette lumière, donner un petit dégagement, creusé un peu en cannelure et bien adouci, afin que le copeau, rompu par le double fer ait son passage et que l'outil ne *bourre* pas, c'est-à-dire que les copeaux ne s'amassent pas dans la lumière. Il faudra avoir soin aussi d'amener en mourant les deux butoirs réservés dans la lumière pour servir d'appui au coin, de manière à ce qu'ils ne puissent former obstacle au libre passage du copeau. Il suffit que l'adouci de ces butoirs prenne à un centimètre au-dessus de la lumière pour éviter l'engorgement.

La pente ou coupe de la lumière varie selon l'idée et aussi selon la destination de l'outil. S'il doit raboter sur des bois noueux et de *rebours*, c'est-à-dire sur des bois dont le fil n'est pas uniformément penché, et dans lesquels, par suite des ondulations du fil, on est parfois obligé de le prendre à rebours, on tiendra la coupe plus droite, et on pourra lui donner de 50 à 53 degrés. Dans les autres cas, surtout s'il s'agit des varlopes et demi-varlopes, la coupe devra être plus inclinée et varier entre 43 et 50 degrés. Dans un rabot bien fait, la partie étroite de la lumière, en dessous, du côté de la *planche*, c'est ainsi qu'on nomme le dessous de l'outil, doit se trouver à environ un tiers de la longueur; un tiers de nez, deux tiers de talon; la partie supérieure doit également se diviser en trois : un tiers de talon, un tiers de lumière, un tiers de nez.

En réservant les butoirs, on fera en sorte de laisser peu de place pour le coin; un coin trop fort ne serre pas autant qu'un autre dont l'angle est moindre. Cet angle est très-bon à 11 degrés et peut encore aller à 15; plus ouvert, il tient moins et est sujet à lâcher lorsque l'outil reçoit des chocs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La lumière doit être parfaitement dressée du côté du talon; si elle peut même être un peu concave dans le milieu, cela n'en vaut que mieux; si elle bombait, ce serait un défaut radical, le fer ne s'y asseoirait jamais bien. Du côté du nez, on la tiendra verticale; cependant quelques ouvriers, pour donner de la sortie aux copeaux, l'évasent par devant: cela n'est pas un mal; d'autres, pour que la lumière ne s'agrandisse pas aussi promptement par suite de l'usé de la planche, inclinent le côté du nez en lui faisant prendre par le bas une direction à peu près semblable à la pente. Cette idée est bonne, mais elle n'est point adoptée, parce que la lumière est alors bien plus difficile à percer, et que le copeau ne se dégage pas aussi bien dans ces sortes de lumières, fort sujettes à se bourrer.

Le *coin* doit être fait en bois dur. Nous venons de voir quel angle il convient le mieux de lui donner; nous dirons seulement, pour ce qui le concerne, qu'il est de la plus haute importance qu'il touche principalement par le bas, par le haut et des deux côtés, ce qui fait quatre points sur lesquels il doit exercer sa pression, deux en bas, sur les deux coins du fer, et deux en haut. Autant que possible, le coin ne devra pas porter à plat sur le fer, mais bien être un peu concave dans le milieu; sans cela, lorsque les bords se seront écrasés par la pression entre les butoirs et le fer, le coin deviendrait convexe au milieu et le fer ne serait plus solidement maintenu; il brouterait et ferait entendre un bruit aigu, qui est l'indice d'une mauvaise assiette. Assez souvent, on prévient cet effet, qui provient aussi de ce que le côté incliné de la lumière n'est pas parfaitement droit, en collant une petite bande de peau sur le bord de la lumière, en bas, du côté du talon; le fer appuie sur cette peau, y fait sa place et coupe alors sans brouter, si d'ailleurs le coin est convenablement ajusté.

Quelques ouvriers évident les coins dans le milieu, afin de donner plus de capacité à la lumière, qui est alors moins sujette à se bourrer; cette méthode est bonne, mais a l'inconvénient de rendre le coin bien fragile, et, si les butoirs ne sont pas taillés en angle rentrant, d'exposer la fourchette du coin à rentrer en dedans. Dans un rabot bien fait, le coin, quoique non évidé, n'est pas une cause de bourre; il est bon cependant de l'adoucir par le bas.

Le *fer du rabot* est une espèce de ciseau sans soie, long de 2 décimètres environ, d'une largeur appropriée à l'ouvrage qu'on veut faire, variant entre 4 et 5 centimètres, rarement plus, rarement moins; épais de 2 à 3 millimètres par le haut et de 4 à 5 par le bas; en dessus, et par le bas, est soudée une planche d'acier de 7 centimètres environ de longueur et de même largeur que le fer. Cette planche d'acier peut avoir environ 2 millimètres d'épaisseur et forme la moitié, ou à peu près, de l'épaisseur du fer par le bas. Le biseau du bas doit former un angle de 25 à 30 degrés, plus ou moins, selon les bois à ouvrer et aussi selon la coupe du rabot; plus la coupe est couchée, moins l'angle du biseau doit être ouvert. Quand on aiguise le fer, il faut avoir soin de former un biseau bien plat et non arrondi, et l'on ne doit point du tout toucher au côté de la planche, si ce n'est pour détacher le morfil. On ne doit point non plus laisser les coins trop vifs, mais bien les adoucir un peu, afin qu'ils ne soient point susceptibles de rayer le bois. Cette dernière observation s'applique aux fers des rabots et des varlopes; celui des guillaumes s'aiguise très-droit, et on lui fait du côté de la planche un petit contre-biseau; le fer des demi-varlopes s'aiguise en rond, il doit mordre particulièrement au milieu, par ce moyen il débite mieux. On voit si un fer est bien aiguisé lorsqu'en le regardant de près on n'aperçoit plus de blanc près le taillant, et que, posé légèrement sur l'intérieur de la main, il soulève facilement l'épiderme. Il ne faut pas que les fers soient trempés trop dur, parce qu'alors ils s'égrènent d'une manière imperceptible sur le sommet du taillant. Quand ils sont en bon acier fondu, ce qui devrait toujours être, ils doivent être *revenus* au bleu pas trop foncé; de cette manière ils coupent plus longtemps parce qu'alors on peut faire des biseaux très-allongés.

Pour *mettre le fer en fût*, on le place dans la lumière et on l'assujettit un peu avec le coin; puis, *bornoyant*, c'est-à-dire regardant avec un œil fermé le nez du rabot tourné vers l'œil, on remarque de quelle quantité le fer dépasse la planche de l'outil et s'il la dépasse bien également partout. S'il dépassait plus à droite qu'à gauche, on donnerait un petit coup de marteau sur le côté droit du haut du fer dépassant en dessus de l'outil, afin de remettre le taillant exactement sur la même ligne que la planche du fût. S'il y avait trop de fer, c'est-à-dire si la partie saillante du tranchant était visiblement trop considérable, on ferait rentrer le fer en donnant un coup sec sur le talon du fût. Si, comme nous l'avons recommandé, la lumière est très-étroite, il faut que le fer n'ait que très-peu de saillie, afin qu'il n'enlève qu'un copeau très-mince capable de passer par cette lumière rétrécie. Voilà ce qu'on nomme mettre en fût, opération qui se fait aisément au moyen de ce que le fer est moins large par le haut que par le bas, et de ce que en le faisant incliner à droite ou à gauche, il devient facile de placer le taillant dans la direction de la planche de l'outil. Quand le fer ne peut incliner ni à droite ni à gauche, il faut que la mise en fût soit faite par l'aiguisage sur la pierre, et alors l'opération est plus longue, comme cela a lieu pour les rabots à moulures et pour les bouvets.

Pour éviter que le fer, en pénétrant trop avant dans le bois, surtout lorsqu'il est de rebours, ne soulève des éclats, on met aux rabots et aux varlopes un double fer; pour celui du dessus, le biseau est dans un sens contraire du biseau du fer de dessous. Ces deux biseaux, s'ils se rencontraient juste, ferait un fermoir: c'est ce qu'il faut éviter; le fer de dessous, le seul qui soit aciéré, doit dépasser un peu, parce que lui seul a mission de couper, le fer de dessus sert à rompre le copeau à mesure qu'il est enlevé, et par ce moyen à empêcher le fer de dessous d'entrer trop avant. Quand on place simplement ces deux fers l'un sur l'autre, il en résulte cet inconvénient qu'en frappant sur le coin, pour assujettir les fers, on fait glisser le fer de dessus, qui alors ne se trouve plus dans la position précise qu'on lui avait d'abord donnée. Pour remédier à ce défaut, quelques ouvriers placent un coin entre les deux fers; de cette manière, en frappant alternativement sur le fer de dessus et sur celui de dessous, on parvient à mettre ces deux fers dans la position respective qui leur convient. Mais cette méthode coûte beaucoup de temps; il vaut mieux, quoique beaucoup d'ouvriers persistent à le nier, se servir de ces fers doubles qu'on trouve tout préparés chez les quincailliers. Dans ce cas, on a pratiqué une coupure longitudinale au milieu de la partie supérieure du fer, au-dessus de l'acier, dans laquelle on place une vis de rappel qui pénètre dans un écrou faisant partie du fer de dessus; en tournant cette vis dans un sens, on fait remonter le fer; en la tournant dans un sens contraire, on le fait descendre. Pour aiguiser, on enlève le double fer avec la vis, puis on remet en place, et, de la sorte, la concordance des fers est réservée sans qu'il soit besoin de la rétablir chaque fois. Ces fers doubles, soit qu'ils coûtent plus cher, soit qu'ils pèsent davantage, n'ont pas, malgré leur supériorité évidente, été aussi goûtés que d'autres, qui, sauf qu'ils ont moins de course, remplissent à peu près les mêmes conditions, à l'aide d'un coulisseau carré entrant dans une entaille de même forme faite au fer de dessus. Ce coulisseau se fixe à la hauteur convenable au moyen d'une vis à tête large appuyant sur le revers du fer. Une fois le coulisseau placé, on ôte et on remet très-facilement le fer de des-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sus, lors des repassages, et lorsqu'à la longue l'usé du fer de dessous force à remonter le coulisseau et de le fixer de nouveau en serrant la vis.

Tel est le rabot : c'est un outil qui coûte cher parce qu'il se détériore facilement; aussi a-t-on cherché à retarder le plus possible sa destruction en le garnissant sur sa *planche*, c'est-à-dire en dessous, de planches de métal; le cuivre et le fer ont été essayés, mais sans beaucoup de succès; il faut graisser bien plus souvent pour que l'outil glisse aussi bien qu'alors qu'il frotte bois contre bois. La fonte de fer glisse très-bien, et il est un moyen très-ingénieux d'en revêtir les rabots, que nous devons donner ici, parce qu'il est très-peu connu, bien qu'il ait été publié dans le *Journal des Ateliers*.

Après avoir fini le rabot et s'en être même servi quelques jours, on trace exactement, avec un trusquin, une ligne sur les côtés et sur les bouts du rabot, distante de 5 millimètres de la planche de l'outil (le dessous). Cela fait, on retourne le rabot, le fer ôté, et, le posant à plat sur l'établi, le dessous en dessus, on perce, avec une mèche de 5 à 6 millimètres de grosseur, des trous de 2 à 3 centimètres de profondeur, d'abord aux quatre coins, à 6 ou 8 millimètres des rives; puis quatre autres, deux près de la lumière, aux deux bouts du côté du nez; deux autres au talon, dans la même situation, mais assez éloignés de la lumière pour qu'ils ne pénètrent pas en dedans; enfin, un ou deux au milieu du talon, entre les quatre qui doivent déjà s'y trouver. Quand ces trous seront percés (il s'en trouvera quatre sur la partie antérieure et cinq ou six sur le talon), on ajustera dedans des chevilles de bois dur entrant avec force; on retirera ensuite ces chevilles, et on les conservera pour les remettre plus tard; puis, avec une scie à lame large et à denture fine, on enlèvera avec précaution et en suivant bien exactement la ligne trusquinée sur les quatre côtés du rabot toute la planche de l'outil. Une fois détachée, on la remet en place et on l'assujettit de nouveau avec les chevilles dont il a été parlé plus haut; si on a bien opéré, le trait de scie doit être à peine visible.

Mais on conçoit qu'alors, tel mince qu'ait été ce trait de scie, la direction de la ligne inclinée de la coupe, dans l'intérieur de la lumière, est changée; on répare l'irrectitude de cette ligne, soit avec un ciseau affilé bien vif, soit avec une lime plate neuve; ce redressage est peu de chose, mais il convient de le faire. Les choses étant dans cet état, on enlève de nouveau la planche avec les chevilles en place, s'il est possible, sinon, après l'enlèvement, on remet les chevilles en place et on les coupe et arase avec soin du côté qui est en dessus, et on leur laisse toute leur saillie en dessus. On porte cette planche ainsi préparée à la fonderie; elle sert de modèle pour la reproduction d'une planche exactement pareille en fonte de fer.

Cette semelle de fonte se met en place avec la plus grande facilité, puisque les petits tenons saillants produits par les chevilles sont de grosseur et d'espacement avec les trous faits dans le fût et entrent juste dans les trous que ces dernières occupaient. Dans tous les cas, si le retrait de la fonte avait donné un peu de jeu, on pourrait employer la colle-forte ordinaire, qui prend très-bien sur cette matière; mais, assez ordinairement, on pourra se dispenser d'y avoir recours, la pression étant suffisante. Ceux qui ne connaissent pas le secret de cette fabrication ne peuvent concevoir comment la fonte est attachée sous le rabot, aucune trace ne paraissant à l'extérieur.

Après l'usé de la planche, auquel on remédie au moyen d'une semelle en fonte, l'une des causes les plus actives de la détérioration des rabots est le grand nombre de coups de marteau qu'on donne sur cet outil, soit pour mettre, soit pour ôter le fer; pour en retirer un peu, pour en donner; un rabot ne peut marcher sans un marteau. Nous avons inventé des rabots sans coin qui dispenseraient de marteau et dureraient, pour ainsi dire, indéfiniment; mais cette découverte n'étant pas sortie de notre atelier nous devons nous contenter de la mentionner.

Pour empêcher les rabots de bourrer, on a imaginé de supprimer les butoirs contre lesquels le coin s'appuie, et de leur substituer une traverse en fer contre laquelle le fer vient buter; la lumière se trouve alors avoir plus de capacité et le copeau se dégage mieux. Mais cette traverse en fer, sous les chocs réitérés du marteau et n'étant plus retenue que par le bois peu épais des joues, finit par prendre du jeu dans ce bois; et puis, la pression opérée au milieu de la longueur du coin n'est pas parfaite, puisque c'est particulièrement au bas de ce coin qu'elle doit être la plus puissante. Cependant, on voit plusieurs de ces rabots dans les ateliers, tant est désirée une amélioration dans cet outil, l'un des plus importants.

On a vu aux expositions des rabots auxquels, pour remédier à l'agrandissement de la lumière, on a ajouté sur le nez une pièce à queue pouvant se rapprocher du fer au fur et à mesure de l'usé de la planche; c'est une bonne idée, mais il ne paraît pas qu'elle ait prévalu; peut-être les ouvriers ont-ils pensé que l'avantage obtenu ne compensait pas la peine qu'on se donne dans le principe pour établir cette pièce mobile.

Nous ne parlerons pas des rabots à replanir l'ivoire dont se servent les facteurs de pianos; ces outils, qui se vendent très-cher, sont presque entièrement recouverts de fer; la lumière en est très-étroite et le fer très-droit.

Les *rabots-bouvets* servent à rassembler par leurs champs deux ou plusieurs planches dont on veut former un seul panneau. Cet assemblage a lieu au moyen d'une languette réservée en saillie sur le champ d'une des planches entrant dans une rainure de calibre pratiquée dans le champ de la seconde; cet assemblage se nomme *couverture*, le bouvetures sont collées. Les bouvets qui font cet ouvrage sont dits d'*assemblage*, pour les distinguer des bouvets *de deux pièces* et des bouvets *à approfondir*. Ces bouvets d'assemblage peuvent être faits, lorsqu'il s'agit de petits bouvets devant opérer sur des planches de 1 centimètre 1/2 d'épaisseur, d'une seule pièce, le *mâle* d'un côté, la *femelle* de l'autre. Pour les planches plus épaisses, on a la paire, le mâle d'une part, la femelle de l'autre: le mâle est l'outil qui produit la rainure, la femelle est celui qui produit la languette sur le champ des planches à assembler. En achetant les fers, il faut regarder attentivement et s'assurer qu'ils ne sont ni pailleux ni gercés, et si le bédane, ou le mâle, est convenablement assorti avec le fer fourchu (la femelle). Ce dernier fer, il est vrai, peut s'ouvrir ou se resserrer; mais il vaut mieux ne pas être réduit à recourir à cette opération, lors de laquelle il arrive souvent qu'on fait éclater l'acier qui recouvre la planche, s'il a été trempé trop sec. Le bouvet, ainsi que tous les outils à moulure, est fort sujet à se voiler lorsque les deux outils ne sont pas faits sur la même pièce; dans ce dernier cas, la pression des coins fait équilibre et l'outil reste droit; mais quand le bouvet est séparé en deux, on est souvent obligé de mettre une bride en dedans, du côté de la lumière, pour s'opposer à ce que la pression du coin ne le fasse tourner. Mais cette bride a le désavantage de faire bourrer l'outil, défaut qu'il n'a déjà que trop; c'est pourquoi il vaut mieux tenir la joue assez forte pour qu'elle puisse résister à la pression du coin. La pente de la coupe du bouvet varie entre 50 à 60 degrés; les fers doivent être mis parfaitement en fût, sans quoi l'outil est très-dur à pousser: on pare à la bourre en taillant le coin bien à bec de flûte et en le graissant souvent. Dans les petits bouvets, la languette qui porte le bédane serait trop faible si on la faisait en bois; on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la fait avec deux morceaux de forte tôle tenue dans le fût avec des rivures.

Le *bouvet à deux pièces* ou *à écartement* s'emploie aussi pour les assemblages, lorsque l'on veut réunir deux planches très-inégales d'épaisseur, ou lorsqu'on les veut unir d'équerre entre elles en laissant une saillie en dehors qui dépasserait la portée d'un bouvet ordinaire. Dans ces bouvets, qui sont toujours mâles, la joue est mobile, elle s'approche ou se recule à volonté en glissant sur des coulisseaux carrés servant en même temps de poignées, et sur lesquels elle est fixée à l'écartement voulu à l'aide de clavettes. Le bouvet de deux pièces est déjà un outil trop compliqué pour que nous entreprenions d'en donner la description: ceux qui voudront l'exécuter devront se procurer un modèle.

Il en est de même du bouvet *à approfondir*, qui n'est autre que le bouvet de deux pièces, mais qui a de plus que lui la faculté de pénétrer plus profondément dans le bois, ou de ne faire qu'une rainure très-peu profonde, à la volonté de celui qui l'emploie; c'est un outil cher, mais qui permet d'économiser le bois et le temps en produisant promptement des feuillures régulières au moyen de deux rainures qui se rencontrent et qui donnent la facilité d'enlever des tringles ou des réglettes, au lieu de réduire en copeaux l'espace que doit occuper la feuillure, qu'elle soit plate ou carrée. Il y a plusieurs manières de faire le bouvet à approfondir; mais on conçoit qu'il nous est impossible d'entrer dans la description de ces moyens mécaniques, puisque nous sommes même contraint de passer la description de cet outil important dans sa plus grande simplicité.

On fait des bouvets sur plan courbe, on en fait d'autres à semelles de fer, cintrés sur champ, destinés aux carrossiers pour bouveter les panneaux des voitures.

Dans les rabots *à plates-bandes*, la lumière a une double inclinaison; le fer se présente de biais au fil du bois, parce qu'il n'est point possible d'incliner l'outil lorsqu'on rabote entre deux champs en saillie; cette disposition de la lumière est d'une exécution difficile. Les *guillaumes* exigent aussi des soins particuliers pour la mise en fût et le percement de la lumière. En général, chaque rabot différent demanderait une étude particulière à laquelle on ne peut se livrer que dans une monographie. Il y a des rabots qui ont deux, trois et même quatre lumières, et autant de fers, agissant simultanément et produisant des profils très-compliqués; d'autres *à crémaillères;* d'autres qui sont destinés à faire l'office des guimbardes dans les fonds et les intérieurs. Mais leur office étant restreint à des spécialités, nous devons nous contenter de constater leur existence.

PAULIN DÉSORMEAUX

RADEAU. Assemblage de pièces de bois qui flottent sur l'eau, soit pour transporter des charges quelconques, soit plus souvent pour transporter le bois lui-même.

C'est surtout pour le transport des bois à brûler que cette méthode est adoptée depuis l'an 1449, où Jean Rouvet descendit la Seine sur le premier radeau construit dans ce but, combinaison admirable par le bas prix auquel elle a permis de faire ce transport au moyen *des chemins qui marchent*, comme dit Pascal. Les bois coupés en bûches dans les forêts sont, après avoir été marqués, jetés à bûches perdues dans les petits cours d'eau les plus voisins. Ces cours d'eau étant barrés près de leurs débouchés dans de grandes rivières, les bûches sont réunies en radeaux sur les bords de celles-ci, pour en effectuer la descente.

La longueur des trains est de 72 mètres; la largeur, suivant celle des rivières, est de trois ou quatre longueurs de bûches, c'est-à-dire de 3m,50 ou 4m,60; l'épaisseur de 0m,50 ou 0m60, quand les eaux sont hautes. Les bûches sont assemblées à l'aide de harts et de perches.

Les trains sont dirigés à l'aide de rames quand l'eau est profonde: dans les autres cas à l'aide de gaffes, que le marinier, plongeant en aval, engage sous les *bourraches*, ou perches courbées qui sont assemblées aux extrémités.

Les gaffes se redressant pour la descente du train, soulèvent celui-ci et donnent un mouvement latéral qui permet de diriger le radeau.

Les bois de charpente s'expédient souvent par radeaux, quand on dispose d'un fleuve; c'est ainsi que les sapins de la Suisse descendent le Rhin.

RAFFINAGE. Voy. SUCRE.

RAIDEUR DES CORDES. C'est une résistance passive dont l'effet est très-sensible dans les palans, mouffles, et autres machines à élever les fardeaux, telles que les grues et les treuils; elle varie avec la grosseur, l'état hygrométrique et la nature des cordes qui, plus ou moins flexibles et devant s'appliquer sur un tambour d'un diamètre plus ou moins grand, présentent une certaine résistance à l'enroulement.

Supposons une poulie sur laquelle passe une corde dont les deux bouts sont verticaux, une force P mouvante et une force Q résistante. Si l'on fait abstraction du frottement de l'axe de la poulie, les deux forces devraient être égales: l'expérience démontre que cela n'a pas lieu, et que la force P doit être plus forte que la force résistante Q. Cela tient à ce que la corde à laquelle est appliquée la résistance ne s'applique pas immédiatement sur la circonférence de la poulie, mais s'en éloigne suivant une courbe, et il résulte de cette nécessité de courber ainsi la corde, une résistance qui absorbe une partie de la puissance motrice. La force P, appliquée du côté où la corde se déroule, ayant un bras de levier plus faible que Q, doit avoir plus d'intensité que cette dernière pour que l'équilibre dynamique se maintienne; la quantité P — Q est ce qu'on est convenu d'appeler la roideur de la corde.

Les expériences de Coulomb démontrent que pour une même corde, cette résistance P — Q, que nous appellerons S, est représentée par l'équation:

$$S = \frac{A + BQ}{D}$$

dans laquelle A et B représentent deux quantités constantes pour une même corde, mais variables avec le diamètre, l'état hygrométrique et le degré de conservation de la corde.

Q, la résistance appliquée au brin qui s'enroule.

D, le diamètre de la poulie.

La quantité A peut être appelée la roideur naturelle des cordes; la quantité B est un facteur constant par lequel il faut multiplier la tension du brin qui s'enroule pour avoir la roideur correspondant à cette charge. Les tableaux suivants indiquent les valeurs de A et de B, l'un dans le cas des cordes blanches, l'autre dans celui des cordes goudronnées.

Tableau relatif aux cordes blanches.

Diam. en centim.	Valeurs de A.				Valeurs de B.	
	Cordes en bon état.		Cordes à demi-usées.		Cordes en bon état, sèches ou mouillées.	Cordes à demi-usées, sèches ou mouillées.
	Sèches.	Mouillées	Sèches.	Mouillées		
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1	0,0556	0,1112	0,0556	0,1112	0,0021	0,0024
2	0,2224	0,4449	0,1572	0,3145	0,0097	0,0068
3	0,4995	0,9990	0,2889	0,5778	0,02202	0,0120
4	0,8998	1,7796	0,4448	0,8895	0,3895	0,0191
5	1,3903	2,7807	0,6253	1,2507	0,05063	0,028201
8	3,559	7,1187	1,2578	2,5157	0,1558	0,05506

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cordes goudronnées.

Nombre de fils de caret.	Diamètre des cordes.	Valeur de A.	Valeur de B.
	m.	m.	m.
15	0,0167	0,102	0,00627
30	0,0236	0,357	0,0125
60	0,0332	0,404	0,0251

Les expériences de Coulomb démontrent encore:

1° Que pour les cordes en chanvre non goudronnées, qu'on appelle cordes blanches, sèches ou imbibées d'eau, en bon état, les valeurs de A et de B, en passant d'une corde à l'autre sont à peu près entre elles comme les carrés des diamètres;

2° Que pour ces mêmes cordes demi-usées, ces mêmes nombres A et B, sont entre eux comme les racines carrées des cubes des diamètres;

3° Que pour les cordes goudronnées, la quantité B est proportionnelle aux nombre des fils de caret dont la corde se compose.

RAPE. Voyez LIME.

RÉACTIF. Voyez DOCIMASIE, ESSAIS, MINÉRALOGIE.

RÉALGAR. Voyez ARSENIC.

RECTIFICATION. Voyez DISTILLATION.

RÉFLECTEUR. Voyez LUMIÈRE et PHARE.

RÉFRIGÉRANT. On donne le nom de réfrigérants aux appareils qui sont employés dans l'industrie pour abaisser la température des corps. Leurs propriétés reposent principalement sur l'emploi de l'eau, en laissant de côté le moyen de refroidissement habituel, fondé sur le rayonnement dans l'air et aussi par contact de celui-ci. Ce moyen, le moins rapide de tous, est celui qui s'emploie quand d'autres ne sont pas nécessaires, et sans appareil spécial.

Le contact de l'eau, quand il est possible, offre de grands avantages, à cause de la grande capacité de celle-ci pour la chaleur; le refroidissement est au moins quinze fois plus rapide que dans l'air. Il est avantageux dans ce cas de disposer d'une grande masse relative de liquide, afin que celui-ci s'échauffe très-peu. L'agitation du liquide, en renouvelant les surfaces, accélère le refroidissement.

REFROIDISSEMENT DES LIQUIDES. Passons d'abord en revue les appareils de refroidissement par l'eau, ce qui a lieu surtout pour le refroidissement des liquides, de la bière principalement, pour arrêter la fermentation, car pour les solides le procédé se réduit, en général, à plonger simplement le corps dans l'eau.

La théorie des appareils de ce genre est évidemment analogue à celle que nous avons indiquée à l'article *méthode de* DÉPLACEMENT; seulement au lieu d'une substance, c'est la chaleur qu'il faut extraire d'un corps pour la faire passer dans l'autre. Le but sera parfaitement atteint avec une quantité d'eau seulement égale à celle du liquide aqueux à refroidir, si l'appareil est disposé

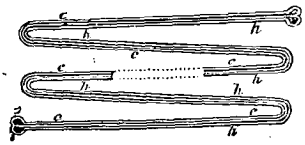


Fig. 1.

de telle sorte que l'eau froide et l'eau chaude circulent en sens contraire. Il est clair que si le circuit a une longueur suffisante, il y aura avec cette seule quantité d'eau, échange complet de température. La figure 1 représente l'élément de cette disposition. Il se compose de deux tubes renfermés l'un dans l'autre. Dans le tube central circule le liquide à refroidir, et dans le tube extérieur l'eau froide marchant dans un sens inverse, entrant, par exemple, par le bas et sortant par le haut par l'effet d'un pression hydraulique, tandis que l'inverse a lieu pour le liquide chaud. Cet élément peut être multiplié, varié de diverses manières, ce qui donne lieu à diverses dispositions plus ou moins commodes suivant les cas.

Le serpentin d'un appareil de distillation agit bien comme il est dit ici, sauf que pour le simplifier on supprime l'enveloppe destinée à l'eau froide.

Les tuyaux sont souvent remplacés par des plaques; telle est (*fig.* 2) une disposition qui a été trouvée com-

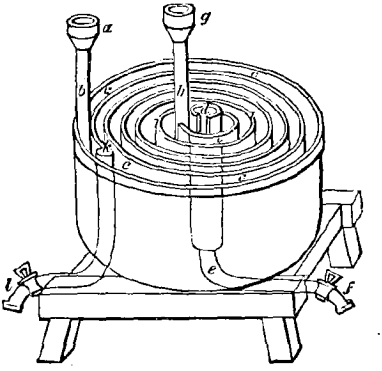


Fig. 2

mode pour les liquides qui, tels que le moût de bière, forment des dépôts qu'il faut enlever. Il est formé seulement de doubles plaques enroulées cylindriquement, qui reçoivent l'eau froide entrant au centre par l'entonnoir *g* et sortant par le robinet *i*. Le liquide arrive au contraire par l'entonnoir *a* et le tube *b* dans le circuit extérieur, et parcourt toutes les spires pour arriver au centre et sortir par le tube *e* muni du robinet *f*.

Les fig. 3, 4 et 5 représentent une disposition particulière, se rapprochant plus du serpentin, due à M. Wheeler, qui a donné à son appareil le nom de condenseur d'Archimède. Il se compose, comme le représentent les figures, de plaques horizontales renfermées dans un vase cylindrique. Le liquide chaud arrivant à la partie supérieure par le tuyau *e*, parcourt tout l'intervalle compris entre les deux plaques par un mouvement héliçoïdal, pour sortir à la la partie inférieure en *f*. L'eau froide, au contraire, arrive par le centre et pénètre par le tuyau *g* jusqu'à la partie inférieure de l'appareil. De là elle remonte le long des spires jusqu'à la partie supérieure, où elle s'écoule par un siphon placé en *i*.

Les dispositions que nous venons d'indiquer sont appliquées plus ou moins complétement dans les brasseries pour refroidir le moût, car un refroidissement trop lent nuit à la qualité de la bière. (Voy. BIÈRE.) Autrefois on se contentait d'exposer la bière dans de grands bacs d'une petite profondeur et d'une grande étendue, et d'accélérer l'action d'évaporation en agitant l'air.

EMPLOI DE L'ÉVAPORATION. Les appareils qui précèdent sont les plus convenables toutes les fois qu'on dispose de quantités suffisantes d'eau froide, mais il est précisément un cas important où c'est l'insuffisance

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'eau froide qui rend nécessaire de refroidir rapidement l'eau chaude ; c'est celui des machines à vapeur et des chaudières à cuire dans le vide par la vapeur, quand on ne dispose que de quantités insuffisantes d'eau froide pour la condensation.

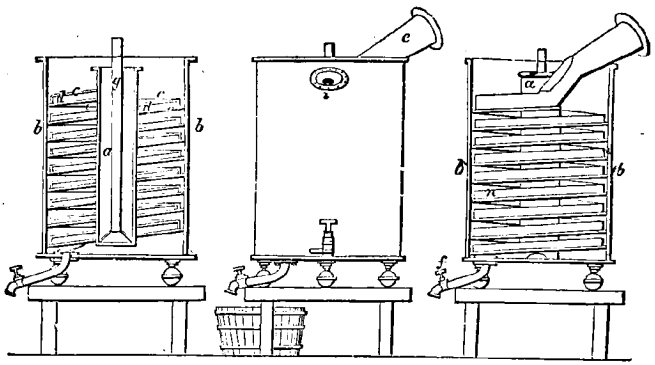


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

Les conditions à remplir dans ce cas, pour un refroidissement rapide, sont évidemment de rendre l'évaporation un maximum : 1° en multipliant les surfaces; 2° en donnant une grande vitesse au courant d'air qui lèche ces surfaces. Nous donnons, fig. 6, une disposition qui satisfait à ces conditions, et qui est heureusement imitée des bâtiments de graduation employés dans les salines. L'eau chaude, amenée dans un bassin supérieur, descend le long de cordes placées dans des trous pratiqués dans le fond de ce bassin. Un courant d'air, activé par un ventilateur, passe à travers ces cordes et est entraîné dans une cheminée, emportant une faible partie de l'eau, dont l'évaporation refroidit celle qui s'écoule dans le bassin inférieur.

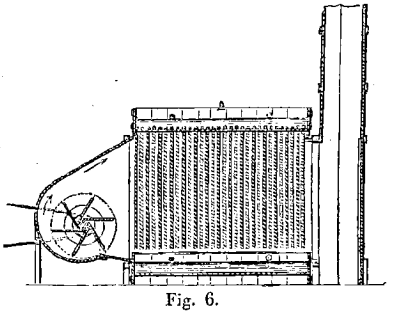


Fig. 6.

Dans cet appareil la chaleur de l'eau est perdue, mais elle n'est ici qu'un embarras, et l'action mécanique consommée est en rapport avec la température de l'eau, comme nous allons le voir.

REFROIDISSEMENT DE L'AIR. Le contact de l'eau est un moyen très-convenable de refroidir de grands volumes d'air pour la ventilation pendant les grandes chaleurs; c'est dans ce but qu'a été disposé, par MM. Nézeraux et Garlandat, l'appareil représenté fig. 7. Réduit à ses parties essentielles, il se compose d'une caisse rectangulaire, divisée en deux chambres par une plaque ou cloison métallique légèrement inclinée et percée de trous nombreux et très-petits.

L'inclinaison de la plaque est variable; mais dans les cas les plus simples, lorsqu'il s'agit, par exemple, de ramener l'air d'une température de 25° à 30° à une température de 14° à 16°, une pente de 4 centimètres par mètre est suffisante.

A la partie supérieure de la plaque une rigole est ménagée pour recevoir un courant d'eau fraîche qui se répand sur toute la largeur de la cloison, descend suivant la pente et est recueillie à la partie inférieure d'une rigole d'écoulement.

Lorsque l'appareil est en marche, il s'établit au-dessus de la cloison un courant régulier d'eau fraîche constamment renouvelée.

La cloison est métallique, généralement en cuivre : elle présente une épaisseur de 1 millimètre à 1 demi-millimètre. Les trous dont elle est percée ont un diamètre égal à l'épaisseur de la plaque et l'ensemble de la surface qu'ils occupent peut varier du neuvième au quart de la surface totale.

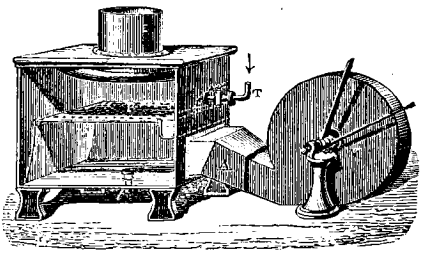


Fig. 7.

Il est facile maintenant de se rendre compte de la marche de l'appareil.

L'air appelé de l'extérieur et envoyé par un ventilateur pénètre dans la chambre basse, tend à passer à travers la plaque et à soulever la couche d'eau qui la surmonte.

Divisé par les orifices, il arrive en présence du liquide sous forme de filets très-déliés qui, au milieu du volume relativement considérable d'eau fraîche, lui abandonne la presque totalité de sa chaleur et se trouve ainsi ramené à une température très-voisine de celle de l'eau.

Dans le cas qui nous occupe, la division extrême de l'air et son passage dans une masse de liquide sont les deux points caractéristiques du système.

Il nous reste à compléter la description en parlant des appareils destinés à fournir l'air et l'eau.

Ventilateur. Le ventilateur est mis en action soit par une machine spéciale, soit, dans l'industrie, par l'arbre de couche au moyen d'une courroie.

Le débit du ventilateur est essentiellement variable, suivant la capacité des locaux où l'on veut rafraîchir l'air; il peut être réduit à 1,000 mètres cubes à l'heure ou bien s'élever jusqu'à 25,000 mètres cubes et entre ces deux extrêmes, il est facile de donner satisfaction à toutes les exigences.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Eau. Le rafraîchissement sera d'autant plus sensible que l'atmosphère extérieure présentera sur l'eau employée un plus grand excès de température. L'air rafraîchi a généralement au sortir de l'appareil une température qui surpasse en moyenne de 1° à 1° 1/2 celle de l'eau. On ne saurait donc, en été, compter sur les eaux de la surface pour provoquer un refroidissement notable. Il faudra recourir à l'eau de puits qui est + 12° ou + 13°. Dans ce cas, il sera facile d'abaisser de + 30° à + 15° la température de l'air.

D'ailleurs il est évident que le rafraîchissement dépendra de la quantité d'eau employée. L'épaisseur de la couche de liquide peut varier de 5 millimètres à 15 millimètres; la vitesse d'écoulement peut changer avec l'inclinaison de la plaque : il y a là plusieurs indéterminées que l'expérience permettra de fixer de la façon la plus économique suivant les résultats qu'on désire obtenir

L'élévation de l'eau est obtenue au moyen de pompes actionnées par la même machine que le ventilateur.

Dans des expériences faites en juillet 1874, une petite machine verticale suffisait largement à faire marcher le ventilateur et les pompes; l'appareil fournissait par heure 1,000 mètres cubes d'air rafraîchi, à une température de 13° 1/2 en moyenne, alors que la température initiale de l'air était de 21° à 22°.

La plaque du rafraîchisseur mesurait 1 mètre sur 0,80 et la surface correspondant aux trous était le 1,9 de la surface totale ; la quantité d'eau employée était d'environ 1,200 litres. La machine aurait pu suffire à un débit cinq ou six fois plus considérable.

Si l'on voulait disposer d'un volume d'air considérable, on peut admettre qu'une machine de 8 chevaux suffirait à un appareil complet qui débiterait 25,000 mètres cubes d'air rafraîchi par heure en exigeant à peu près l'élévation de 20 à 25 mètres cubes d'eau.

Il n'est pas inutile de répondre dès maintenant à une objection qui se présente naturellement. L'air doit entraîner mécaniquement une certaine quantité d'eau pulvérisée. N'y a-t-il pas là un inconvénient qui, pour certaines industries, peut être fort grave? Une disposition simple figurée dans le dessin de l'appareil, prévient l'entraînement de l'eau pulvérisée. Il suffit de placer en avant de l'orifice du tuyau de départ un diaphragme métallique que le courant est obligé de contourner avant de pénétrer dans le tuyau. L'air ne conserve alors que la quantité de vapeur d'eau nécessaire à sa saturation à la température qu'il possède. L'excès d'eau se dépose contre les parois et retombe sur la plaque. Ce résultat a pu être directement constaté dans des expériences exécutées à la brasserie de Montrouge; les tuyaux parcourus par l'air rafraîchi ne présentaient à l'intérieur aucune trace d'humidité après plusieurs heures de marche et les poussières qu'ils contenaient étaient aussi nettes et aussi sèches qu'au début.

Il est facile de se rendre compte de la quantité d'eau nécessaire pour produire un abaissement de température donnée d'un volume d'air donné.

La chaleur spécifique de l'oxygène est 0,2182; celle de l'azote est 0,2440. Le produit de la chaleur spécifique par la densité est pour le premier 0,2412 et pour le second 0,237. Ces produits sont proportionnels aux quantités de chaleur qui élèveraient de 1° la température de l'unité de volume de ces gaz : pour obtenir ces quantités elles-mêmes il suffit de multiplier ces nombres, par le rapport du poids d'un litre d'air au poids d'un litre d'eau, soit par $\frac{1}{773}$.

On trouve ainsi que la quantité de chaleur qui élève de 1° la température d'un litre d'oxygène est 0,000312 calorie et un litre d'azote 0,0003066 calorie. Par suite l'on peut admettre qu'un litre d'air dans les mêmes conditions exigerait 0,0003076 calorie. S'il s'agit d'un mètre cube d'air dont la température s'élève ou s'abaisse d'un degré, la quantité de chaleur gagnée ou perdue sera 0,3076 calorie; pour 1,000 mètres cubes, elle serait égale à 307,6 calories.

Considérons le cas où il faudrait ramener de + 25° à + 15° un volume de 1,000 mètres cubes. La différence des températures extrêmes est de 10° et le volume d'air devra perdre 3076 calories. Si nous prenons de l'eau à + 12°, et si nous admettons que cette eau à la sortie de l'appareil se trouve à la même température que l'air, soit 15°, le nombre de litres d'eau nécessaires pour absorber les 3076 calories de l'air sera égal *théoriquement* à

$$\frac{3076}{3} = 1025{,}33.$$

Si l'on voulait ramener l'air à + 14°, ou + 13°, les quantités de chaleur perdue et les volumes d'eau nécessaires seraient dans chaque cas :

+ 14° ... 3383,6 calories 1691,8 litres d'eau.
+ 13° ... 3691,2 calories 3691,2 »

On voit qu'il n'y a pas avantage pratique à chercher à ramener l'air à une température aussi voisine que possible de celle de l'eau. Il faut ajouter que ces résultats sont purement théoriques et que nous n'avons nullement tenu compte de l'élévation de température due à la compression de l'air, aux frottements soit dans les tuyaux, soit à travers la plaque; enfin que nous n'avons pas fait intervenir la durée du contact du liquide et les effets de saturation de l'air.

Dans les expériences dont nous avons précédemment parlé, il suffisait de 1,200 litres d'eau pour abaisser de 9 à 10° la température de 1,000 mètres cubes d'air. Cette proportion nous paraît admissible en général.

Emploi de l'eau pulvérisée. La pulvérisation mécanique de l'eau est le moyen le plus certain de rendre très-grandes les surfaces de contact pour saturer l'air, et de refroidir toutes les parties susceptibles de vaporiser des traces d'air, mais en entraînant beaucoup d'eau avec l'air, ce qui est rarement un inconvénient. C'est la disposition employée avec succès par Colladon pour ses compresseurs d'air à haute pression.

Dans l'étude qui a précédé celle-ci, on a raisonné comme si l'eau agissait comme un corps quelconque non vaporisable, refroidissant l'air seulement par conductibilité. C'est ce qui aurait lieu si l'air arrivait au contact avec l'eau, saturé d'eau, état qu'il n'atteint presque jamais, et dont il est toujours fort éloigné dans les circonstances où l'on peut songer à employer un rafraîchisseur d'air.

L'air, n'étant pas saturé, arrive à cet état quand il est mis en contact avec l'eau par des surfaces étendues; il y a par suite vaporisation de la quantité d'eau mélangée à l'air pouvant le saturer et chaleur absorbée mesurée par la chaleur latente correspondante. Le calcul est facile à faire pour chaque cas particulier, à l'aide du tableau (Voy. HYGROMÉTRIE) donnant le poids de vapeur d'eau renfermé dans un mètre cube d'air saturé à diverses températures.

Calculons un exemple hypothétique. Soit l'air extérieur à 20° à demi-saturé, renfermant par suite $16{,}78 \cdot 2 = 8{,}49$ d'eau par mètre cube, à ramener à 10°; il renfermera à sa saturation $9^{g},50$, c'est-à-dire $1^{g},1$ de plus, dont la chaleur latente est $0.0011 \times 550 = 0^{c}.6$, soit la quantité nécessaire pour diminuer de 2° la température d'un mètre cube d'air.

On voit dans l'exemple précédent que s'il a fallu 1,200 litres pour abaisser de 10° la température de 1,000 mètres cubes d'air, si l'air était dans les conditions de saturation admises dans l'exemple ci-dessus, un seul kilogramme a produit par son évaporation un abaissement de température de 2°, pendant qu'il en a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fallu 1,199 autres pour produire l'abaissement de 8° par simple conductibilité.

Lorsque l'air est très-sec, cette action d'évaporation devient beaucoup plus grande, et l'action de conductibilité devient inutile. En projetant l'eau, sur le passage de l'air, en jets traversant de petits orifices, l'air se chargera d'eau en se refroidissant.

Supposons l'air à 20° chargé seulement de 1/5 de celle que produit la saturation, soit 3 grammes par mètre cube; à 10° il pourra en renfermer 9,5 — 3 = 6g,5, dont la chaleur latente est 0,0065 × 550 = 3°,75. soit plus grande que celle (0,306 × 10) nécessaire pour diminuer la température de 10°, et cela en projetant seulement 6g,5 d'eau pour 2,000 mètres cubes d'air!

Dans la pratique, on sera toujours bien loin de ces chiffres théoriques, mais ils seront toujours très-faibles et pourront servir de point de départ pour des appareils très-avantageux dans des circonstances déterminées.

Compression de l'air. La compression directe de l'air pour produire la ventilation à l'air comprimé, exigeant un rafraîchissement correspondant, au moins, au travail mécanique exigé par cette compression, la sortie de l'air refroidi sous pression à la température ambiante, pour le moins, produira un abaissement de température que l'on peut rendre très-grand, en augmentant la compression et la réfrigération par l'eau, de l'air comprimé.

On a établi sur ces principes de puissants appareils de refroidissement de l'air, destinés à des applications où le but à atteindre est d'obtenir une température constante et peu élevée, et non de produire de la glace, comme dans les brasseries. Si la dimension des appareils doit les rendre peu avantageux pratiquement, leur principe n'est pas absurde théoriquement, quand il s'agit seulement de rafraîchissement d'air à des températures très-inférieures à celle ambiante. Nous donnons à l'article PRODUCTION DU FROID, *Complément*, l'indication des moyens plus parfaits adoptés aujourd'hui par l'industrie pour produire rapidement le refroidissement par l'évaporation des liquides, ou en employant la glace fabriquée à l'aide de semblables appareils.

REGISTRES (RELIURE DES). Depuis le commencement de ce siècle, la fabrication des registres a fait de tels progrès qu'elle n'est plus reconnaissable. La couture, l'endossure, la couvrure, tout a changé; c'est aujourd'hui un art nouveau.

En France, du temps des maîtrises, les relieurs seuls étaient en possession de fabriquer les registres; ce droit leur avait été longtemps contesté par les papetiers, mais les statuts et règlements de 1750, par lesquels la communauté des relieurs et doreurs de livres avait été définitivement constituée, avaient donné gain de cause à ceux-ci, et le droit des papetiers s'était trouvé réduit à la confection et à la vente des registres de papier blanc, *seulement brochés avec papier tortillé et bouts de cuir*. Quant aux relieurs, ils étaient tenus de relier les registres comme les livres, *avec vrais nerfs*.

Et, de fait, la reliure des registres resta longtemps semblable à celle des livres; elle n'en différait généralement que par la peau qui servait à en couvrir le carton; c'était presque toujours du parchemin ou de la basane passée en mégie.

On pratiquait cependant pour les registres un second mode de fabrication, la reliure lyonnaise. Celle-ci n'était en réalité qu'un véritable emboîtage dans un portefeuille formé de trois morceaux de carton, un pour le dos et deux pour les plats; quelquefois on y ajoutait un recouvrement comme aux reliures orientales. Le dos du livre était plat, les cahiers se cousaient sur double ficelle, on les tranchefilait solidement, et quand le registre était préparé, et que, d'un autre côté, le portefeuille était couvert, on les fixait l'un à l'autre par le dos au moyen d'attaches introduites sous les nervures et traversant des trous pratiqués au poinçon dans le dos du portefeuille. Les bouts des nerfs étaient passés en même temps dans les cartons des plats, comme on le fait dans la reliure. Quand tout tenait solidement ensemble, on cachait les trous et les attaches par des pattes en peau d'une couleur tranchant sur celle de la couverture. Ces pattes, en même nombre que les nerfs, embrassaient, chacune dans sa longueur, le dos et la moitié de chacun des plats; elles se fixaient sur le carton par des lacets qui entraient dans des trous symétriquement percés, et en ressortaient alternativement en produisant des dessins de passementerie qui servaient d'ornement au volume.

Toutes ces méthodes n'existent plus guère que dans les souvenirs; de nouveaux besoins ont amené un nouveau mode de reliure, et l'on s'étonnera peu de ce progrès si l'on considère que la comptabilité a pris, depuis quelques années, une extension extraordinaire par l'augmentation des affaires commerciales et par l'établissement de ces entreprises colossales de banques, d'assurances, de chemins de fer, d'usines, etc., que dans sa fièvre de gain notre époque élève partout. Il a donc fallu créer des registres beaucoup plus gros, et en même temps beaucoup plus larges, pour contenir les nombreuses colonnes, multipliées aujourd'hui presque à l'infini par suite de l'adoption générale des parties doubles et de la méthode du livre de raison de Quinet, ainsi que du journal-grand-livre.

Pour l'intelligence des progrès de la fabrication des registres depuis un demi-siècle, nous ne pouvons nous dispenser d'entrer dans quelques détails techniques.

C'est à partir de 1807, époque de l'adoption des parties doubles dans la comptabilité du Trésor public, que plusieurs maisons de Paris commencèrent à introduire quelques changements dans leur fabrication. L'ancienne reliure à nerfs et à dos fixe, semblable à celle des livres, fut abandonnée et remplacée par la reliure à la grecque à dos brisé, dans laquelle le dos de la couverture est collé non sur le dos des cahiers, mais sur une forte carte introduite entre le volume et la peau de la couverture, disposition qui rend le dos des cahiers indépendant du dos extérieur, et lui donne la facilité de se mouvoir sans déformer celui-ci. Mais en adoptant la méthode suivie par les relieurs de livres pour le dos brisé, on y fit les additions qu'exigaient la grosseur des registres et la fatigue qu'ils devaient supporter. A la ficelle des nerfs on substitua une forte corde, l'endossage se fit à la colle-forte au lieu de colle de pâte, et le dos fut tenu plus arrondi. A la place d'une simple carte pour soutenir le dos de la couverture, on forma un *faux dos* composé de plusieurs feuilles de carte collées l'une sur l'autre et courbées sur un mandrin, pour bien embrasser la forme du dos du registre. Ce faux dos fut même fait en métal; le papetier Delaville importa, en 1807, le dos en tôle inventé en Angleterre quelques années auparavant, par Williams, de Londres; procédé breveté de perfectionnement en 1808, au nom de MM. Cabany, cessionnaires du brevet de Delaville. Bientôt on renonça au désastreux usage de la grecque, qui, empiétant sur le fond des feuilles, serrait le dos des cahiers et en rendait l'ouverture incomplète.

Une fois entrée dans la voie du progrès, la fabrication des registres marcha toujours en s'améliorant. Le grand succès des registres Cabany excita l'émulation, et, en 1812, Clément, de Paris, obtenait un brevet de dix ans pour un *procédé nouveau de registres à dos brisé*. Son invention consistait en un faux dos en carte, soutenu intérieurement par des bandes de tôle mince laminée. Ce fut lui qui introduisit la couture sur deux rubans destinés à être collés l'un dessus les cartons des plats, l'autre dessous. L'expérience a constaté la supériorité des rubans employés comme nerfs, et ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont aujourd'hui d'un usage général, comme le meilleur mode de nervure pour attacher les cartons au volume.

Deux ans après, un autre brevet de dix ans était accordé à M. Sastre, dit Brunet, papetier à Lyon, pour des *registres à dos flexible*. Nous ne pouvons mieux exposer l'invention de M. Sastre qu'en transcrivant la description qu'il en donne lui-même : « Les cahiers sont « cousus sur quatre nerfs, recouverts chacun de deux « rubans de fil, qui sont passés dans la couverture, et « qui sont assujettis par trois ouvertures... Le faux dos « est de carton mince, dans lequel sont logés trois res- « sorts, qui se trouvent tendus quand le livre est fermé, « et qui reprennent leur position naturelle quand il est « ouvert. Ces ressorts, en prenant cette dernière posi- « tion, resserrent les deux côtés du dos, qu'ils tiennent « dans une position courbée, de manière à rendre plat « l'endroit où s'ouvre le registre.

« Le faux dos tient au registre au moyen de trois ru- « bans de fil qui passsent par-dessus les ressorts et dans « leurs extrémités, percées à cet effet ; ces rubans sont « assujettis à la couverture au moyen de trois trous, « dans lesquels ils entrent. Le faux dos recouvre de « deux millimètres de chaque côté les bords du carton « de la couverture; il est recouvert en entier par une « bande de parchemin collée sur le faux dos et sur les « bords de la couverture, à la largeur de deux centi- « mètres; deux cartons minces collés en dedans des « couvertures cachent tous les nerfs, et rendent l'ou- « vrage propre et solide; les gardes sont collées par- « dessus ces cartons..... »

L'invention de M. Sastre était réelle, c'était l'ouverture facile du registre, due à la force des ressorts revenant sur eux-mêmes. On voit aussi dans ce brevet le principe de plusieurs perfectionnements introduits depuis, principalement le faux dos avançant sur les cartons qu'il embrasse, et la doublure en carton mince.

En 1818, un autre fabricant, M. Ney, de Paris, prit un brevet de cinq ans pour des *registres à dos en cuir*, couture sur rubans, et, en 1819, M. Astruc en reçut un pour des *registres à dos élastiques perfectionnés*. Quant à ce dernier, il est douteux que l'expérience ait réalisé les espérances de l'auteur, si son invention consistait seulement en ce qu'il annonce dans sa description, c'est-à-dire en un faux dos en carton, et des nerfs composés de chanvre simplement filé, dont les brins étaient réunis en plus ou moins grand nombre, suivant la grosseur du volume.

Déjà, en 1814, un habile ouvrier lyonnais, nommé Dareau, avait, dit-on, imaginé de remplacer par des nerfs formés de plusieurs petites ficelles juxtaposées les nerfs de grosse corde auxquels, dès 1812, Clément avait substitué les doubles rubans ; et l'on croit que ce fut ce même Dareau qui, le premier, appliqua les faux dos, comme on le fait généralement aujourd'hui au moyen de deux toiles, l'une collée en dehors du faux dos, l'autre en dedans. Ce serait à lui aussi que serait due la première pensée d'éloigner davantage du faux dos les cartons de la couverture, éloignement qui, en donnant plus de largeur à la charnière, procure au registre une ouverture plus facile.

On voit que, si chaque brevet nouveau n'amenait pas toujours un perfectionnement aussi important que l'annonçaient les inventeurs, il révélait souvent des améliorations de détail qui devaient profiter plus tard à l'industrie; car, si le monopole du brevet retarde quelque temps l'emploi général d'un procédé utile, il offre des avantages certains. En même temps qu'il dédommage l'inventeur, il excite l'émulation, et, comme sa durée est limitée, il rend plus tard au domaine public ses perfectionnements et ses découvertes, lorsqu'ils ont reçu l'épreuve du temps et de l'expérience.

Bien que nous ne trouvions pas de brevets nouveaux depuis celui de 1819 jusqu'en 1850, ce long intervalle de temps ne laissa pas stationnaire l'industrie des registres.

Vers 1835, M. Sat, successeur de la maison Cabany, introduisit dans sa fabrication l'usage des doubles cartons. Jusqu'alors les plats des registres n'étaient formés que d'un carton simple, et si le brevet de M. Sastre, de Lyon, qui doublait les couvertures d'un carton mince collé entre le carton épais et les gardes, a pu donner à M. Sat l'idée de son double carton, la manière dont celui-ci a combiné les deux cartons le constitue véritablement inventeur de ce procédé.

M. Sat composait chacun des deux plats de ses registres de deux feuilles de carton superposées, l'une mince, c'était celle de dessous, et l'autre plus épaisse. Il tenait celle-ci moins large que la feuille mince, et comme les bords affleuraient du côté de la tranche, il en résultait du côté du dos, entre celui-ci et le carton épais, une véritable rainure.

Cette rainure permettait de donner au faux dos plus de largeur que n'en avait le vrai, les bords du faux pouvant se loger dans la rainure quand le volume était ouvert, ce qui donnait au vrai dos ou dos des cahiers plus de liberté pour se développer au moment de l'ouverture du registre.

La solidité gagnait aussi à cette combinaison des deux cartons. A l'exemple de Clément, M. Sat formait chaque nerf de deux rubans supperposés, dont il collait l'un sur le carton mince, l'autre dessous.

C'était aussi le carton mince qui servait à fixer le faux dos, sur les deux bords duquel étaient pratiquées plusieurs fentes dirigées dans le sens de la longueur du volume, et dans ces fentes on faisait passer des rubans; les bouts de ces rubans sortaient en dedans du faux dos, et le milieu en était collé à l'extérieur de celui-ci. Les bouts des rubans se fixaient à la colle sur le carton mince.

Pour achever cette reliure, il ne s'agissait plus que d'appliquer le carton épais sur le carton mince, et de recouvrir le tout d'une peau.

Il est bon de remarquer aussi que cette *couvrure* se faisait en trois morceaux de peau; l'un couvrait le faux dos et les bords du carton mince de chaque côté du dos, les deux autres morceaux de peau étaient employés à couvrir les deux feuilles de carton épais, que l'on appliquait sur le carton mince en les collant bien affleurées du côté de la tranche; de ce même côté, la peau excédant le bord du carton fort se repliait et se collait sous le carton mince, ce qui assurait l'adhérence parfaite des deux feuilles l'une sur l'autre. Ajoutons qu'au moment où l'on collait la peau sur le dos extérieur et sur les bords du carton mince, on avait soin de replier sous les bords du faux dos un centimètre de peau, que l'on conservait libre de carton, et qui formait charnière.

L'exécution de cette reliure exigeait beaucoup de soin, mais c'était un vrai progrès, puisqu'elle donnait aux registres une très-grande solidité et une ouverture plus complète.

Plusieurs des manipulations nouvelles introduites par cette reliure sont restées dans la fabrication, et l'encartage de M. Sat est encore désigné dans plusieurs ateliers sous le nom de *reliure française*.

Pendant que la France cherchait chaque jour à perfectionner la reliure des registres, l'Angleterre, de son côté, n'était pas demeurée oisive. Entrés les premiers dans la voie des améliorations par l'invention des dos métalliques de Williams, brevetés dès 1799, les Anglais ont fait moins de tentatives peut-être que les Français, si l'on s'en rapporte à la table de leurs patentes, mais les progrès n'ont pas été moins réels, et lorsqu'en 1832, un fabricant français, M. Willemsens, fit un voyage à Londres, il y trouva la reliure des registres non moins avancée que la nôtre, bien qu'un peu différente. Les registres qu'il en rapporta et qu'il dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

monta ici pour en étudier la fabrication, lui fournirent un nouveau perfectionnement qu'il s'empressa d'adopter. C'est une bande de carte, large à peu près comme le tiers de la couverture, et qui se colle entre celle-ci et les gardes après avoir reçu les rubans des nerfs qui s'y fixent, comme M. Sat les fixait sur son carton mince. Est-ce le double carton du fabricant français qui a donné aux Anglais l'idée de leur encartage? Nous manquons de documents pour répondre à cette question.

Mais ce n'était pas dans cette carte elle-même que le perfectionnement consistait, c'était dans la manière de la poser, ainsi que le faux dos. Comme le carton mince de Sat, la carte anglaise dépasse du côté du dos le carton épais; mais tandis que le carton de Sat, en avançant sous le faux dos, ne dépassait pas les bords du vrai dos, et ne faisait, en réalité, que comprimer le registre auprès du dos et exigeait ainsi plus d'effort pour ouvrir le volume, la carte anglaise, au contraire, entre dans le faux dos un peu au delà de l'arête du vrai dos, et forme une espèce de levier qui, soulevant les cahiers au moment de l'ouverture, aide le dos à passer de la forme convexe à la forme concave, et devient ainsi le principe d'une ouverture plus facile.

C'est cette manière de fixer la carte et le faux dos que, par reconnaissance pour son origine, on nomme, en France, l'*encartage anglais*.

La méthode anglaise offre encore un autre avantage, c'est la facilité de couvrir le volume d'un seul morceau de peau, ce qui épargne une partie des manipulations minutieuses et difficiles de la méthode à double carton.

Aujourd'hui une grande partie des fabricants a su combiner heureusement les procédés anglais avec les perfectionnements français, et le double carton français se marie parfaitement avec la carte anglaise.

N'oublions pas qu'une des conditions qui facilitent l'emploi de cette carte, c'est qu'elle soit divisée en trois morceaux, celui du milieu ou le plus long se collant sur le carton, et les deux autres dans l'intérieur de la garde.

C'est de l'introduction de l'encartage anglais que date la supériorité de nos registres. Disons pourtant que cet encartage a un défaut : les bandes de toile que les Anglais placent à cheval sur l'intérieur des plats et sur la première feuille opèrent sur celle-ci, quand on ouvre le registre, une traction qui la fait lever ainsi que les feuillets suivants.

Depuis M. Willemsens, les fabricants français ont cherché constamment à améliorer leur travail. La couture et l'endossure ont été rendues plus solides; mais le perfectionnement le plus utile, et que nos voisins ne nous paraissent pas avoir encore adopté, est certainement la méthode, aujourd'hui générale parmi nous, de doubler chaque cahier, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, par une bande de percaline très-fine qui soutient le fil de la couture et l'empêche d'élargir le trou de l'aiguille et de déchirer le papier.

La rigidité des dos a paru aussi à quelques fabricants un obstacle à une ouverture facile. Et vers 1852 M. Sy a pris un brevet pour des dos flexibles. Dans son système, le faux dos est formé de deux feuilles de bois, dit de boisselleric, courbées au mandrin comme les dos de carton, la feuille de dedans est fendue dans toute sa longueur et de toute son épaisseur, mais, comme cette solution de continuité, en donnant plus de flexibilité au dos, lui donne aussi plus de fragilité, l'inventeur consolide son faux dos en le garnissant à l'intérieur de plusieurs bandes d'acier placées transversalement comme les ressorts de Sastre, et dont l'élasticité se prête à la flexibilité qu'il veut obtenir.

Les registres construits dans le système de M. Sy présentent, en effet, une ouverture très-facile.

A ne considérer que les soins apportés partout maintenant, dans les bons ateliers, à la couture, à l'endossage et à tous les détails de la confection des registres, on pourrait regarder cette fabrication comme arrivée à sa perfection. Il reste encore pourtant un problème à résoudre, celui que l'on cherche depuis plus de trente ans et qui, peut-être, est insoluble avec la méthode des dos rigides, quelque flexibles qu'on puisse les faire : c'est l'ouverture plane sur toutes les parties du volume. Sans doute aujourd'hui on semble l'avoir obtenue, mais ce n'est, en réalité, qu'à une seule place, le milieu juste du registre. Lorsque les feuilles ouvertes se trouvent en nombre égal de chaque côté de l'ouverture, le plan des deux folios du milieu qui se regardent est parfaitement horizontal, et on peut y tracer une ligne à la règle sans y rencontrer de dépression ni de soubresaut; mais tournez vingt feuilles de plus, et l'un des deux côtés bombera vers le fond des cahiers, la règle alors ne touchera plus. On peut, il est vrai, écrire dans le fond, mais alors il faut que la main change la direction de la plume et fasse un effort pour que l'écriture conserve la même pente et la même fermeté que sur la partie plane de la feuille.

Un autre problème reste également à résoudre, bien qu'on soit déjà parvenu, il faut le reconnaître, bien près de la solution : c'est l'union de la solidité avec la facilité d'ouverture et de fermeture. Quelque bien cousu, quelque bien endossé que soit un registre, lorsqu'il est d'une certaine épaisseur, il finit toujours par se déformer par l'usage, non qu'il se brise tout à fait, mais le dos se déjette, la tranche devient irrégulière et il perd, par cela même, une partie de sa solidité. MERLIN.

RÉGLEMENTATION DES TIROIRS. La réglementation des tiroirs des machines à vapeur a pour objet de coordonner les mouvements des tiroirs avec ceux des pistons, et d'en régler les proportions relativement à celles des orifices d'entrée ou de sortie de la vapeur, de manière à faire commencer la détente, introduire la vapeur motrice dans le cylindre et en faire sortir la vapeur devenue résistante, lorsque le piston se trouve en des points déterminés de sa course.

Pour bien comprendre les considérations relatives au mouvement des tiroirs, il est nécessaire de connaître les excentriques au moyen desquels on produit ces mouvements.

Des excentriques employés pour la manœuvre des tiroirs. Les tiroirs de distribution, dans les machines à double effet, sont commandés par des excentriques circulaires, des excentriques à cames ou des excentriques triangulaires.

Les uns comme les autres sont placés sur l'axe de rotation du volant, ou en reçoivent le mouvement par transmission, sans modification de vitesse angulaire, de sorte qu'ils exécutent, dans tous les cas, un demi-tour par course simple du piston.

Excentrique circulaire. Cet excentrique, avec son tirant (Voir BIELLE), peut être assimilé au système d'une manivelle dont le bras, qu'on nomme *rayon d'excentricité*, serait la plus grande distance de l'axe à la circonférence du disque, et d'une bielle dont la longueur serait la distance de l'extrémité de ce rayon à l'axe du bouton menant le tiroir.

Le disque circulaire est *calé* sur l'arbre du volant au moyen d'une clef en fer forgé.

Enfin, dans les machines à balancier et les machines horizontales, l'axe du tirant est disposé horizontalement; dans les machines verticales sans balancier, il est disposé verticalement, de sorte que le tiroir est aux extrémités de sa course quand le rayon d'excentricité est horizontal dans les premières et vertical dans les autres.

Effets du calage de l'excentrique. Supposons maintenant que le *calage* de l'excentrique ait été effectué de telle sorte que le rayon d'excentricité soit sur le pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

longement du rayon de la manivelle du volant sur les deux premières classes de machines, et perpendiculaire au même rayon dans la dernière, il résulte de ce qui précède que le tiroir sera aux extrémités de sa course quand le piston sera au milieu de la sienne et qu'il sera au milieu de cette même course quand la machine sera aux *points morts*.

Mais si l'excentrique est calé sur son arbre de façon que le rayon de la manivelle fasse avec le prolongement du rayon d'excentricité dans le premier cas, ou avec sa perpendiculaire dans le second, un angle qui est toujours aigu, le tiroir aura de l'*avance* sur le piston et arrivera, par exemple, au milieu de sa course, quand le piston aura encore à parcourir une certaine fraction de la sienne : nous nommerons cet angle aigu, *angle de calage*.

Excentriques à cames. Nous avons décrit à l'article DÉTENTE les excentriques à cames servant à faire mouvoir les tiroirs suivant une loi déterminée. Nous y renverrons.

L'excentrique à cames paraît avantageux dans les machines à mouvements lents, tandis que l'excentrique circulaire est seul admissible pour les grandes vitesses : mais l'inconvénient que celui-ci présente de ne laisser les lumières d'admission de la vapeur complétement ouvertes que pendant un instant, aurait dû engager à peu l'employer pour les machines fixes.

Définitions et notations relatives à la construction des tiroirs. Posons maintenant quelques définitions : nous continuerons à nommer *lumières d'admission* les canaux à section rectangulaire A A, A' A' (fig. 1) par lesquels

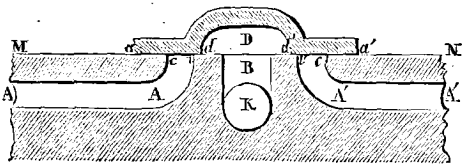


Fig. 1.

la vapeur se rend alternativement à l'une ou à l'autre des extrémités du cylindre, en observant toutefois que chacune de ces lumières sert successivement à *l'échappement* de la vapeur résistante pendant que l'autre sert à l'introduction de la vapeur motrice, et nous nommerons spécialement *lumière d'échappement* le canal B par lequel la vapeur résistante est conduite au tuyau d'évacuation K, lorsque le *creux* D du tiroir embrasse à la fois ce canal et l'un des précédents. Les lignes droites projetées en c et c' sont les *côtés extérieurs* des lumières A et A' ; i et i' en sont les *côtés intérieurs* : les droites projetées en a et a' sont les *arêtes extérieures* des *rebords* ou *bandes ad, a' d'* du tiroir.

Cela posé, supposons que le tiroir, dans la position relative qu'indique la figure, soit au milieu de sa course : si les arêtes extérieures du rebord tombent au delà des côtés extérieurs des lumières d'admission, le tiroir est à *recouvrement extérieur ;* il est à *recouvrement intérieur* lorsque les arêtes intérieures, dans la position relative précitée, sont en deçà des côtés correspondants des mêmes lumières.

Course directe et course inverse du piston. Nous nommerons encore *course directe* du piston celle pendant laquelle la vapeur motrice agit du côté de sa tige, et *course inverse* la suivante : de plus, nous supposerons que, dans la course directe, la vapeur motrice arrive au cylindre par la lumière A.

Enfin, nous désignerons par :

h la largeur $c\,i = c'\,i'$, des lumières d'admission ;
R le recouvrement extérieur ;
r le recouvrement intérieur ;

l la course totale du tiroir ;
s l'*excentricité*, c'est-à-dire la différence entre le plus grand et le plus petit rayon vecteur de l'excentrique.

Relations de grandeurs entre les parties d'un tiroir, sa course et les lumières d'admission. On aura

$$l = s\,.\,k,$$

k étant le rapport dans lequel la transmission de mouvement de l'excentrique modifie la course du tiroir, rapport qui peut être égal à l'unité si l'on fait abstraction des flexions des tiges et du jeu des articulations, qui sont négligeables dans toute machine bien construite et convenablement entretenue, et si l'on suppose d'ailleurs que les deux lumières d'admission soient alternativement ouvertes tout entières, ce qui doit avoir lieu également, on observera que, quand le tiroir est au milieu de sa course, il a encore à parcourir, pour découvrir entièrement une des lumières d'admission, un chemin égal à $h + \mathrm{R}$; d'où il résulte qu'en général

$$l = 2\,(h + \mathrm{R}) = s\,k.$$

Opérations relatives à la réglementation des tiroirs. Nous rappellerons que, dans la course directe du piston, la lumière A sert à l'introduction de la vapeur motrice et, d'un autre côté, que le tiroir, quand il n'a pas d'avance sur le piston, atteint le milieu de sa course au moment précis où le piston est à l'extrémité de la sienne.

Supposons d'abord le piston arrivé à une faible distance de l'extrémité de sa course inverse : la lumière A est en communication avec la lumière d'échappement B et le tiroir se meut en sens contraire du piston ; l'espace que celui-ci doit encore parcourir, et l'espace nuisible du même côté, sont remplis de vapeur à la pression du condenseur ou de l'atmosphère, pression que nous désignerons désormais par P'. Si la lumière A n'était fermée qu'au moment où doit commencer la course directe (ce qui arrive nécessairement quand le tiroir n'a ni avance ni recouvrement intérieur), l'espace nuisible causerait une perte de travail égale à D dans chaque seconde, et, de plus, pendant tout le temps nécessaire pour remplir cet espace de vapeur motrice, celle-ci n'agissant presque pas sur le piston, la course directe ne commencerait qu'en vertu de l'inertie du volant qui aurait à vaincre, outre celle du piston et des autres pièces à mouvements alternatifs, la résistance totale de l'usine, les frottements et, en outre, la résistance de la vapeur de la course inverse. Or, il est très-important d'éviter cette circonstance, car, outre le ralentissement qui en résulte nécessairement dans le travail, comme les bielles et les manivelles sont à peu près en ligne droite, pendant tout le temps précité, ces pièces, leurs supports et les tiges subiraient des réactions brusques et considérables qui les exposeraient à la rupture ou au moins à une déformation rapide par voie de flexion, de vibration ou d'usure.

Utilité du recouvrement intérieur. — Période de compression. Si le tiroir présente un recouvrement intérieur, il masquera la lumière A avant que le piston soit arrivé à la fin de sa course inverse, de sorte que pendant tout le reste de cette course, il comprimera devant lui la vapeur résistante et, au moment où devra commencer la course directe, tout l'espace nuisible, au lieu d'être à la pression P' sera à une pression P_0 supérieure à P'. Ainsi, la perte de travail motrice due à l'espace nuisible, sera d'autant plus réduite que P_0 différera moins de P.

On ne pourra pas dans la pratique rendre ces deux pressions égales, mais on devra chercher à augmenter jusqu'à une certaine limite l'étendue de la période de compression de la vapeur résistante.

Utilité de l'avance du tiroir pour la période de compres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion. A cet effet, on pourrait allonger le recouvrement intérieur, mais cette augmentation ayant des inconvénients qui seront signalés plus loin, on préfère donner de l'avance au tiroir par un calage convenable de l'excentrique. Alors le piston ayant encore à parcourir une certaine portion de sa course quand le tiroir est au milieu de la sienne, la longueur de la période de compression est due à la fois au recouvrement intérieur et à l'avance du tiroir.

Observations. Avant d'aller plus loin, nous devons prévenir une objection fondée sur ce que le travail de la compression serait dépensé en pure perte pour l'effet utile de la machine, en observant qu'il est indifférent que ce travail soit effectué à l'origine de la course par la vapeur affluant dans l'espace nuisible, ou vers la fin de la course inverse par l'intermédiaire du piston : mais il ne faut pas omettre que celui-ci, pendant qu'il comprime la vapeur résistante, transmet réellement moins de force motrice au dehors. Pour obvier au ralentissement de vitesse qui en résulterait, on est obligé d'augmenter les dimensions du volant, et c'est par cette considération que doit être limitée l'étendue de la période de compression, qui cesserait d'être avantageuse si l'accroissement de la masse du volant qui en résulte, devenait égal à celui qu'exigerait sans cette compression l'inertie du piston et des autres pièces alternatives.

Avance à l'admission. L'inconvénient qui résulte pour la conservation de la machine, du temps que la vapeur motrice emploie à remplir l'espace nuisible, tandis que le système est aux points morts, est déjà sensiblement diminué par la compression précitée; mais, pour le faire disparaître entièrement ou à peu près, il est indispensable que la vapeur motrice arrive dans l'espace nuisible avant que le piston ait atteint l'extrémité de sa course. Aussi, dans les bonnes machines de construction récente, donne-t-on de l'avance à l'admission, c'est-à-dire que le piston a encore, par exemple, quelques millimètres de sa course inverse à parcourir quand le tiroir, marchant en sens contraire, découvre la lumière A qui produit l'admission dans la course directe. Au moyen de cette *avance*, on peut obtenir que l'espace nuisible soit à la pression normale de la vapeur motrice au moment où la machine atteint les points morts, et alors l'inertie du volant est puissamment aidée par cette pression pour renverser le mouvement du piston.

Avance à l'échappement. Considérons la course directe et observons que la vapeur de la course inverse, lorsque la lumière A' est mise par le tiroir en communication avec la lumière d'échappement B, ne prend pas instantanément la pression du condenseur ou de l'atmosphère; or, si, pendant le temps nécessaire pour que cet équilibre de pression s'établisse, le piston commençait sa course directe, il rencontrerait une pression résistante plus grande que dans tout autre instant, ce qu'il est important d'éviter, puisque alors la machine est aux points morts. A cet effet, l'on proportionne la course du tiroir et le recouvrement intérieur de façon qu'avec l'avance due à *l'angle de calage* de l'excentrique on obtienne l'échappement de la vapeur un peu avant que le piston n'ait atteint l'extrémité de sa course, ce qu'on appelle *donner de l'avance à l'échappement.* On perd ainsi une portion seulement du travail moteur que la vapeur aurait produit en continuant à se détendre pendant le reste de la course du piston, tandis que l'on gagne, dans la course suivante, une quantité de travail à très-peu près égale, par l'affaiblissement de la contre-pression.

Remarquons maintenant que la vitesse avec laquelle la vapeur résistante s'échappe, dépend, pour une même ouverture de la lumière A', de l'excès de la pression qui se produit dans le cylindre sur celle du condenseur ou de l'atmosphère; de sorte que, plus cet excès de pression est faible (et l'on voit qu'il ne doit jamais être nul), plus l'avance à l'échappement doit être grande; aussi, dans les machines à basse pression, produit-on quelquefois l'échappement lorsque le piston a encore à parcourir 1/15 de sa course. D'un autre côté, plus le mouvement de la machine est rapide, tout étant égal d'ailleurs, plus il faut augmenter cette avance, car une portion considérable de la course inverse du piston pourrait être employée à chasser devant lui la vapeur résistante; dans les locomotives, on fait ordinairement commencer l'échappement quand il reste à parcourir 1/20 environ de la course directe du piston. Pour les machines à haute ou moyenne pression et à condenseur des usines, dans lesquelles la vapeur ne se détend pas ordinairement au delà de 1/6 de sa tension primitive, la proportion de 1/30 paraît suffisante. Afin de faciliter la diminution de pression occasionnée par l'échappement de la vapeur, on donne assez souvent à l'entrée de la lumière B d'échappement une hauteur presque double de celle des lumières d'admission.

Il nous reste maintenant à ajouter quelques mots relatifs aux recouvrements.

Effets des recouvrements relativement à la détente. L'excès de la longueur des rebords ou bandes du tiroir sur la hauteur des entrées des lumières d'admission permet d'obtenir, avec un excentrique circulaire, une détente plus ou moins prolongée. C'est surtout par le recouvrement extérieur qu'on produit cet effet; mais il n'est guère possible d'augmenter ce recouvrement au delà d'une valeur très-limitée, car il faudrait, comme il est facile de s'en assurer, un recouvrement intérieur trop grand pour éviter, même sans avance à l'admission, une avance à l'échappement trop considérable : avec ce recouvrement intérieur, en effet, la lumière par où s'écoule la vapeur résistante serait masquée trop tôt, et la période de compression atteindrait des proportions nuisibles. Il en résulte que l'on ne peut guère, au moyen d'un tiroir simple ordinaire mu par un excentrique circulaire, faire durer la détente pendant plus du quart de la course du piston et que, pour obtenir une détente plus prolongée, il faut ajouter au tiroir de distribution un appareil qui intercepte à volonté la communication entre la boîte de distribution et la chaudière.

Avec les excentriques à cames, on peut, au contraire, obtenir une détente aussi prolongée qu'on le désire au moyen du tiroir seul, et avec un très-faible recouvrement extérieur : mais alors le minimum de la détente est invariablement fixé par le tracé de l'excentrique, ce qui exige, lorsque la résistance de l'usine n'est pas sensiblement constante, qu'on en emploie plusieurs de tracés différents. (Voy. MACHINES A VAPEUR.)

En définitive, la combinaison la plus avantageuse est celle d'un appareil de détente variable avec un tiroir simple ou double servant seulement à distribuer la vapeur, ainsi qu'à en régler l'action. C'est celle qui a prévalu dans la construction des machines fixes et des locomotives.

Application des notions relatives à la réglementation des tiroirs. Ces notions étant acquises, on peut avoir à les appliquer à deux problèmes différents, savoir :

1° Déterminer l'angle de calage de l'excentrique, les recouvrements et la course du tiroir, nécessaires pour régler convenablement l'action de la vapeur dans une machine en projet.

2° Trouver, dans une machine à vapeur existante, les valeurs des périodes d'admission, de détente et de compression; l'avance à l'échappement et l'avance à l'admission.

Nous indiquerons la marche à suivre pour résoudre les deux problèmes ci-dessus énoncés auxquels donne lieu la réglementation des tiroirs, et décrirons les divers procédés graphiques employés à partir de celui proposé par MM. Fauveau et Reech et adopté par la marine militaire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉGLEMENTATION DES TIROIRS.

Marche à suivre pour régler le tiroir de distribution d'une machine en projet. Prenons pour exemple le cas d'une machine sans balancier, qui est le plus fréquent aujourd'hui. On connaîtra la course L du piston et l'on se donnera à priori celle du tiroir qui ne doit pas dépasser 0m,150 pour les machines de moyenne force et

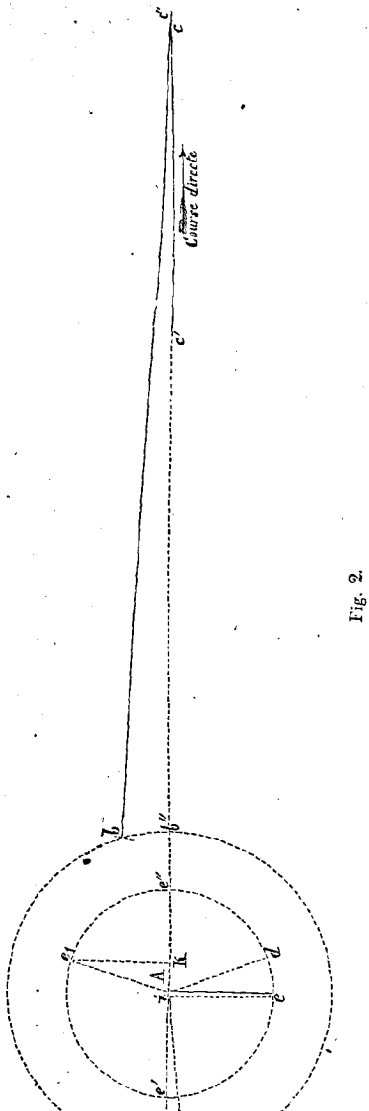


Fig. 2.

0m,200 pour les grandes. Cela posé, on tracera, à une grande échelle : 1° le cercle A b' b b' (fig. 2) engendré par le rayon A b de la manivelle et de la course c' c'' du piston que l'on regardera comme confondue avec celle de l'extrémité c de la bielle en faisant abstraction de la longueur de la tige, ce qui ne changera rien aux résultats qu'il s'agit d'obtenir; 2° le cercle A e' e e'' engendré par le rayon d'excentricité de l'excentrique, à une échelle multiple de la précédente et aussi grande que possible : l'on aura soin de construire à la première échelle toutes les longueurs qui se rapportent au mouvement du piston et à la seconde toutes celles qui se rapportent au mouvement du tiroir. Les positions du rayon A b de la manivelle se déduiront facilement de celles du piston ou du point c et réciproquement, au moyen de la longueur bc de la bielle. On déterminera de même, si l'on veut, les positions du rayon de l'excentrique par rapport à celles du tiroir ou réciproquement, connaissant la bielle d'excentrique; mais, dans la plupart des cas, cette bielle étant plus de vingt fois le rayon d'excentricité, on peut regarder sans erreur notable les chemins parcourus par le tiroir comme égaux aux projections des arcs décrits dans le même temps par l'extrémité de ce rayon, sur le diamètre b' b'' parallèle aux courses du tiroir et du piston. Cela posé, on se donnera, d'après l'expérience, un des éléments de la réglementation, et l'on arrêtera, par exemple, que le piston doit encore avoir à parcourir 1/30 de la course directe L, lorsque l'échappement commence. Prenant, en conséquence, sur c' c'' une longueur $c''c = \frac{L}{30}$ on en déduira la position A b de la manivelle, correspondante au moment où va commencer l'échappement de la vapeur motrice. En cet instant, le tiroir, marchant en sens inverse du piston, doit avoir dépassé sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement intérieur r; prenant donc sur le diamètre b' b'', A $i = r$ et menant à b' b'' la perpendiculaire ie, qui coupe la circonférence e e' e'' en e, on obtiendra la position A e du rayon d'excentrique, correspondante à celle A b du bras de la manivelle. Supposons qu'il s'agisse d'une machine à cylindre horizontal; dans ce cas, l'avance de l'excentrique sera l'angle A e d du rayon A e avec la perpendiculaire A d à la manivelle A b. Cet angle étant ainsi déterminé, on se donnera l'avance à l'admission, en décidant, par exemple, que le piston doit être à 1/300 de sa course inverse quand le tiroir, marchant en sens contraire du piston, a dépassé sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement extérieur : prenant donc $c'a = \frac{L}{300}$, on en déduira comme à l'ordinaire la position correspondante A b_1 de la manivelle et, par suite, au moyen de l'angle $dA e_1$ la position A e_1 du rayon d'excentricité; enfin celle-ci fera connaître par la projection K de l'extrémité e_1 de ce rayon, le recouvrement extérieur AK = R du tiroir. La hauteur h des lumières d'admission s'en déduira par la relation $l = 2(h + R)$.

Il faudra vérifier ensuite : 1° si cette valeur de h permet de bonnes proportions pour ces lumières; 2° si la période de compression résultant de ces diverses données a une étendue convenable en remarquant qu'au moment où commence cette période, le tiroir, marchant en sens inverse du piston, est encore éloigné de la moitié de sa course, d'une quantité égale au recouvrement intérieur; 3° si la proportion de la détente est suffisante. Lorsque les résultats obtenus ne satisfont pas à ces conditions, il faut recommencer les opérations graphiques en partant d'autres données.

EMPLOI DE LA COURBE EN ŒUF.

Étude de la réglementation d'une machine existante. Supposons que, par une série d'opérations effectuées, comme nous l'indiquerons plus loin, on ait obtenu les distances successives d'une arête du tiroir à un re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

père fixe dans les deux courses consécutives du piston, et les chemins respectivement parcourus par celui-ci à partir de l'origine de sa course directe, quand le tiroir est arrivé aux positions relatives précitées: on construira une courbe O P O' P' (fig. 3) ayant

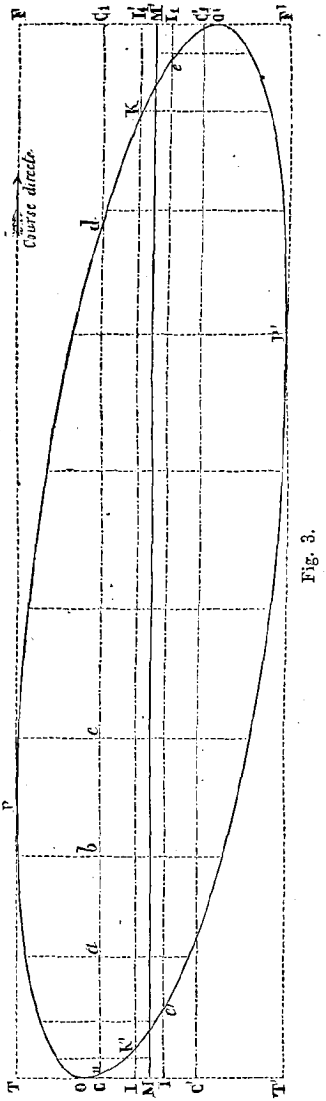


Fig. 3.

pour abscisses les chemins successivement parcourus par le piston et pour ordonnées les distances correspondantes du tiroir au repère fixe. Cette courbe, continue et fermée, représentera la loi du mouvement d'un point ou d'une arête *quelconque* du tiroir par rapport à celui du piston; les tangentes T F, T' F' parallèles aux abscisses comprendront entre elles une distance T T' égale à la course du tiroir et les tangentes F F', T T' perpendiculaires aux premières, seront à une distance réciproque égale à la longueur L de la course du piston; enfin la ligne M M' menée par le milieu M de T T' parallèlement aux abscisses rencontre la courbe en des points qui correspondent aux positions moyennes du tiroir.

On voit déjà que, si le point M se confond avec le point de contact O de la courbe et de sa tangente T T', cette coïncidence apprend que le tiroir est au milieu de sa course quand le piston est à l'origine de la sienne, et, par conséquent, que l'avance de l'excentrique est nulle; il en est de même des points O' et M'; comme, d'ailleurs, le calage de l'excentrique est connu à priori par le lever de la machine, cette observation peut fournir un moyen de vérifier le tracé de la courbe. Si les points O et M ne coïncident pas, comme cela a lieu dans la figure, on en concluera que le tiroir a déjà dépassé sa position moyenne d'une quantité M O quand le piston est à l'origine de sa course directe et d'une longueur M' O' lorsque le piston commence sa course inverse: en traduisant ces avances du tiroir en angles au moyen de la construction précédemment indiquée, on devra obtenir deux résultats égaux entre eux et à l'angle de calage de l'excentrique, qui, pouvant d'ailleurs être connu par le lever de la machine, fournira une vérification du tracé de la courbe.

A partir de l'origine O de sa course directe, le piston marche vers O' et le tiroir, continuant à se déplacer dans le même sens qu'auparavant, arrive à l'extrémité de sa course quand le piston a parcouru un chemin égal à l'abscisse du point supérieur P de la courbe; cette course du tiroir avait d'ailleurs évidemment commencé quand le piston, dans sa course inverse, avait encore à parcourir un chemin égal à l'abscisse du point inférieur P'; ainsi, l'arc P' O P de la courbe correspond à celle des deux courses du tiroir qui s'exécute de T' en T pendant la dernière partie de la course inverse du piston et le commencement de sa course directe. Dans la portion T' O de ce trajet du tiroir, il se meut en sens contraire du piston; pendant qu'il effectue le reste O T de la même course, le piston se meut dans le même sens que lui. A partir de la position du système désignée par le point P, le tiroir rétrograde; l'arc PO' P de la courbe correspond à une course totale du tiroir qui doit, en conséquence, être comptée de F en F', et a lieu pendant la dernière partie de la course directe du piston, ainsi qu'au commencement de la suivante.

Cela posé, proposons-nous, par exemple, de déterminer les circonstances de l'admission relatives à la course directe, c'est-à-dire par la lumière A (fig. 1): on regardera la courbe comme représentant particulièrement la loi du mouvement relatif de l'arête extérieure *a* du tiroir, et l'on remarquera qu'au milieu de sa course, cette arête est à une distance du côté *c* de la lumière d'admission, égale au recouvrement extérieur: menant donc entre M et T (fig. 3) à une distance de MM' égale à ce recouvrement, une parallèle CC_1 à cette ligne, on aura, sur le plan de la courbe, la position relative invariable du côté *c* de la lumière A. Cette parallèle CC_1 coupe la courbe en un premier point *n*, et ce point étant au-dessous de celui O qui correspond à l'origine de la course directe du piston, il en résulte que l'arête *a* est en coïncidence avec le côté *c* de la lumière A, c'est-à-dire que l'admission par cette lumière commence quand le piston, dans sa course inverse, est encore à une distance C*n* de l'extrémité de cette course ou de l'origine de la suivante; cette distance C*n* est donc réellement l'avance à l'admission, relative à la course directe. A partir de la position qui nous occupe, l'arête *a* du tiroir marchant toujours vers la tangente supérieure T F, c'est-à-dire vers l'extrémité de sa course, découvre de plus en plus l'orifice d'admission A, et si l'on considère la portion de courbe *n* O P comprise

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entre son point supérieur P et le point n, on voit que les distances des différents points de cet arc n O P à la ligne C C_1 sont les grandeurs successives de l'ouverture de l'orifice d'admission considéré.

Le second point d'intersection d de la ligne CC_1 avec la courbe correspond au moment où l'arête a du tiroir se retrouve en coïncidence avec le côté extérieur c de la lumière d'admission : dans le trajet du piston égal à la distance entre les ordonnées des points P et d, cette lumière s'est fermée graduellement et les hauteurs successives de l'ouverture restante sont les distances des points de l'arc P d de la courbe à la ligne CC_1. Le point d correspond évidemment au moment où commence la détente proprement dite, et la longueur de la période de détente est égale à $d\,C_1$ diminuée de celle de la période d'avance à l'échappement. Pour obtenir celle-ci, il faut considérer la courbe comme exprimant la loi du mouvement de l'arête intérieure b du tiroir, et remarquer que l'échappement est sur le point de commencer lorsque cette arête, marchant en sens contraire du piston et, d'après les considérations précédentes, de F vers F', arrive en coïncidence avec le côté intérieur i de la lumière A, c'est-à-dire lorsque le tiroir a dépassé sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement intérieur. Par conséquent, si l'on trace en dessous de MM' une parallèle I_1I à cette ligne à une distance M'I_1 égale au recouvrement intérieur, le premier point de rencontre e de cette parallèle avec la courbe correspondra à la coïncidence précitée, et la longueur $I_1 e$ sera celle de l'avance à l'échappement. La période de détente aura donc lieu pendant une portion de la course directe du piston égale à $d\,C_1 = I_1 e$.

Il nous reste à déterminer, pour ce qui regarde cette course, la période de compression de la vapeur résistante. Or, cette période commence où l'arête intérieure b' du tiroir arrive en coïncidence avec le côté intérieur i' de la lumière A'; où, en d'autres termes, quand le tiroir marchant en sens inverse du piston et, sur la figure 3, de F vers F', est encore éloigné du milieu de sa course d'une longueur égale au recouvrement intérieur. On regardera donc la courbe comme représentant la loi du mouvement relatif de l'arête i' et l'on tracera, à une distance I'_1 M' de la ligne MM', une parallèle I'_1 I' à cette droite; le premier point d'intersection K de cette parallèle avec la courbe correspondra évidemment au commencement de la période de compression dont la longueur sera I'_1 K.

On déterminera très-facilement de la même manière toutes les circonstances de la réglementation pendant la course inverse du piston, circonstances indiquées d'ailleurs sur la figure.

Détermination des coordonnées de la courbe de réglementation. Il nous reste à dire comment on obtient les coordonnées d'autant de points que l'on veut, de la courbe qui vient de nous occuper. Il y a d'abord un moyen bien simple qui consiste à faire, d'après le lever de la machine, une figure des liaisons géométriques du système de transmission de mouvement, diviser le cercle décrit par la manivelle en parties égales, et tracer, à l'aide du rayon de cette manivelle, du rayon d'excentrique et des bielles, la figure précitée, pour chacune de ces divisions ; on obtiendra ainsi les chemins successifs du tiroir et du piston correspondants aux angles égaux décrits par la manivelle et comme la mesure de l'angle de calage de l'excentrique permet de déterminer la position du tiroir à l'origine de la course du piston, c'est-à-dire l'ordonnée du point de la courbe de réglementation dont l'abscisse est égale à zéro; ce premier point étant déterminé, tous les autres s'ensuivront.

Mais la mesure de l'angle de calage est difficile à effectuer exactement, et, d'ailleurs, le jeu des articulations peut introduire une différence entre les courses réelles et celles qui résultent d'un tracé géométrique : on fera donc bien, toutes les fois que cela sera possible, d'observer sur la machine elle-même les chemins simultanément décrits par le tiroir et le piston. A cet effet, on choisira un moment pendant lequel cette machine ne fonctionne pas et, si l'on n'a pas le dessin des parties intérieures de la boîte de distribution, on en fera enlever le couvercle; on exécutera ce dessin, on amènera, en agissant à bras sur le volant, le piston à l'origine de sa course directe, on tracera sur la tige du tiroir une ligne de repère assez éloignée de la droite pour rester constamment à l'extérieur, et l'on inscrira la distance exacte de cette ligne à l'arête du tiroir la plus voisine. Cela fait, on peut replacer le couvercle de la boîte de distribution.

Le piston étant toujours à l'origine de sa course directe, on notera la distance de la ligne de repère précitée à la face extérieure de la boîte à étoupes de la tige du tiroir, on tracera sur la tige du piston une ligne de repère semblable et l'on en notera la distance exacte à la face extérieure de la boîte à étoupes de cette tige. Après ces opérations préliminaires, il est clair qu'il n'y a plus qu'à amener successivement le système à un certain nombre de positions parmi lesquelles on comprendra l'extrémité de chaque course, soit du tiroir, soit du piston, et à inscrire les chemins successivement parcourus par les deux tiges : la course totale du tiroir, les coordonnées de la courbe de réglementation et le tracé de cette courbe en seront déduits sans aucune difficulté. Il n'est sans doute pas nécessaire d'ajouter qu'on doit faire exécuter au volant un tour entier, et que le tracé de la courbe sera d'autant plus exact que les stations successives du piston seront plus rapprochées entre elles : en général, il faudra pour l'ensemble des deux courses, considérer au moins vingt positions du tiroir.

EMPLOI DE L'INDICATEUR DE WATT.

La vulgarisation de l'indicateur de Watt (Voy. DYNAMOMÈTRE) fait employer souvent un diagramme obtenu à l'aide de cet instrument par l'action même de la vapeur renfermée dans le cylindre, pour vérifier la distribution. Au point de vue du constructeur, il y a toujours, ainsi que nous venons de le voir, deux problèmes à résoudre. Le premier d'établir la distribution de la vapeur de manière à obtenir un mode de travail et par suite un diagramme d'indicateur déterminé; le second, vérification de son travail, doit lui permettre de revenir d'un diagramme obtenu par expérience à l'état de la distribution.

1. Etant données les positions du piston d'une machine au commencement et à la fin de l'admission, et au commencement et à la fin de l'émission du même côté du piston et dans deux courses successives; connaissant, d'autre part, la pression dans la chaudière, la pression dans le condenseur et l'espace nuisible, tracer le diagramme des pressions de la vapeur.

Marquons (fig. 4) sur la ligne de pression nulle Of (à une échelle convenable) les points :

d, où la détente commence dans la course directe ;

e, où l'émission commence dans la course directe;

f, où la course rétrograde commence ;

c, où la compression commence dans la course rétrograde;

a, où l'admission commence dans la course rétrograde;

b, où la course directe commence.

Ob représente à l'échelle le volume de l'espace mort, c'est-à-dire que le rapport Ob à bf est égal à celui de l'espace mort au volume engendré en une course.

Traçons les lignes correspondantes à ces divers points, et nous aurons : BD horizontale à p atmosphères de hauteur (à une échelle moindre que celle des volumes) au-dessus de la ligne de pression nulle; DE, arc d'hyperbole équilatère dont OY et Of sont les asymptotes; EF, ligne à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peu près droite; FC, horizontale à $\frac{1}{n}$ d'atmosphère au-dessus de la ligne de pression nulle ($\frac{1}{n}$ pression du con-

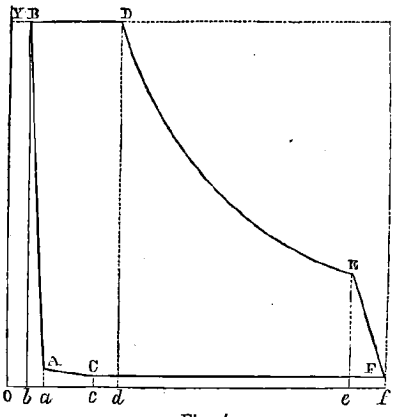


Fig. 4.

denseur); CA, arc d'hyperbole équilatère ayant les mêmes asymptotes que DE; AB, ligne à peu près droite.

Réciproquement, étant donné un diagramme semblable à celui que nous venons de construire dans la solution du problème précédent, c'est-à-dire la figure fournie expérimentalement par l'indicateur de Watt, trouver les positions du piston correspondantes aux instants où l'admission et l'émission commencent et cessent.

Ces positions sont indiquées par les abscisses des points A, D, E, C, et par suite les mesures prises sur la figure permettent de déterminer tous les éléments de la distribution.

EMPLOI DES CERCLES DE ZEUNER.

Un mode curieux de représentation des mouvements du tiroir a permis à M. Zeuner d'indiquer une nouvelle méthode pour les déterminer, et aussi un moyen intéressant de vérifier expérimentalement la distribution. Nous suivrons pour l'exposer l'ouvrage de M. Dwelshauvers-Dery, savant professeur de Liége, qui l'a résumée avec une grande lucidité.

Mouvement du tiroir. Étant donnés : l'angle ω décrit par la manivelle motrice d'une machine à vapeur à partir d'un point mort, ainsi que r rayon d'excentrique, l longueur de la bielle, δ avance angulaire, déterminer le chemin x décrit par le tiroir à partir de sa position moyenne (fig. 5).

Posons $OE = r$, $EM = l$, $OT = l$, T est la position moyenne du tiroir; $TM = x$; R_0O, E_0O positions initiales de la manivelle et de l'excentrique respectivement; $E_0OY = \delta$, $R_0OR = \omega$. $E_0OE = \omega$. On a, en négligeant l'obliquité de la bielle : $x = r \sin(\delta + \omega)$.

Appelons x' la distance du tiroir à sa position moyenne considérée comme positive, mais prise à gauche: alors ω' sera compté à partir du second point mort $x' = r \sin(\delta + \omega')$.

Proposons-nous de tracer le diagramme polaire des valeurs de x et x'.

Portez sur la direction OR de la manivelle $OC = x$ le lieu des points C est le diagramme cherché. C'est une espèce de 8 dont le grand axe est égal à $2r$.

Or, on a $OC = r \sin(\delta + \omega)$, à très-peu près. Si donc on fait $DOY = \delta$, alors $COD = \frac{\pi}{2} - (\delta + \omega)$, et par suite $\sin(\delta + \omega) = \cos COD$.

Donc $OC = OD \cos COD$.

On doit enfin conclure que l'angle DCO est droit, et que par suite le point C est sur une circonférence de cercle dont r est le diamètre, et dont le centre est placé sur une droite qui fait avec la verticale OY un angle δ du côté opposé à la position initiale du rayon d'excentricité. Et le lieu complet du point C, au lieu d'un 8, est composé de deux circonférences égales OAD (cercle supérieur ou des x) et OA'D' (ou cercle inférieur du tiroir ou des x'),

Remarque. Ces deux circonférences polaires sont exactement le diagramme polaire des distances de la projection B du point E, sur la droite OX, à sa position moyenne O.

En négligeant l'obliquité de la bielle, les avances linéaires A et A' correspondantes ont pour valeurs:

$\omega = 0$ $\qquad$ $A = r \sin \delta$,

$\omega = \pi$ $\qquad$ $A' = r \sin \delta$.

et par suite $OA = A$, avance linéaire directe, et $OA' = A'$, avance linéaire rétrograde.

Si l'on place un crayon à l'extrémité M de la bielle

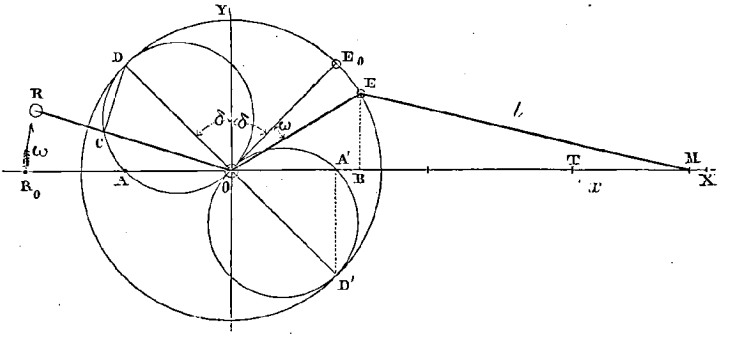


Fig. 5.

de l'excentrique perpendiculairement au plan de la figure, si l'on fait tourner à la portée de ce crayon, et dans un plan parallèle à celui de la figure, une feuille de carton autour de la position moyenne T du point M, avec une vitesse angulaire constamment égale à celle de la manivelle OR, le crayon tracera le diagramme po-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laire en forme de 8, dont nous avons parlé plus haut. Ce diagramme ressemblera d'autant plus aux deux cercles du tiroir que la tige d'excentrique sera plus grande comparativement au rayon d'excentricité.

Un pareil instrument est des plus précieux pour la vérification des distributions.

Conséquences. De l'examen des cercles du tiroir on déduit que :

1° A l'origine de la course, ou pour $\omega = 0$, le tiroir est à droite (nous supposons qu'il s'agit d'une machine horizontale à action directe) de sa position moyenne à une distance $OA = A = r \sin \delta =$ avance linéaire pour la course directe du piston (course de gauche à droite);

2° A partir de ce moment, le tiroir va en s'écartant de plus en plus de sa position moyenne vers la droite, ou bien x augmente jusqu'à ce que $\omega = \frac{\pi}{2} - \delta$;

3° Au moment où $\omega = \frac{\pi}{2} - \delta$, le tiroir est à son maximum d'écart vers la droite et à une distance de sa position moyenne égale à r, rayon d'excentricité;

4° A partir de ce moment, le tiroir va vers la gauche, se rapprochant de sa position moyenne, ou x diminue jusqu'à devenir nul;

5° Le tiroir arrive à sa position moyenne en allant vers la gauche (x devient nul), au moment où la manivelle a décrit un angle $\pi - \delta$ depuis son départ, ou, ce qui revient au même, au moment où la manivelle doit encore décrire un angle δ pour que le piston achève sa course directe;

6° Le tiroir va ensuite en s'écartant de plus en plus de sa position moyenne et vers la gauche, et les écarts que nous appelons x' doivent être mesurés sur le cercle inférieur;

7° A la fin de la course directe, ou au commencement de la course rétrograde, pour $\omega = \pi$ ou $\omega' = 0$, le tiroir est à gauche de sa position moyenne à une distance $OA' = A' =$ avance linéaire pour la course rétrograde du piston;

8° Le tiroir va en s'écartant de plus en plus de sa position moyenne vers la gauche à mesure que ω' grandit, jusqu'à ce que $\omega' = \frac{\pi}{2} - \delta$;

9° Au moment où $\omega' = \frac{\pi}{2} - \delta$, le tiroir est à son maximum d'écart vers la gauche, et à une distance r égale au rayon d'excentricité;

10° A partir de ce moment, le tiroir revient vers la droite se rapprochant de sa position moyenne, ou bien x' diminue jusqu'à devenir nul;

11° Le tiroir arrive à sa position moyenne en allant vers la droite, dans la course rétrograde du piston, au moment où la manivelle a décrit un angle $\omega' = \pi - \delta$;

12° Le tiroir va ensuite en s'écartant de sa position moyenne, et vers la droite, et les écarts, appelés maintenant x, doivent être mesurés sur le cercle supérieur.

Il reste à montrer, ce qui résulte au reste clairement de ce qui précède, comment l'emploi de ces cercles sert à déterminer les éléments de la distribution, conduit à la solution du problème suivant :

Étant donnés les cercles de Zeuner, tracer les diagrammes d'indicateur des deux côtés du piston.

Il suffira de rechercher les positions du piston correspondantes aux positions données de la manivelle pour 8 points : le commencement et la fin de l'admission, le commencement et la fin de l'émission, et cela pour chacune des lumières.

Nous renverrons, pour plus de détails sur cette question, à l'ouvrage cité plus haut, nous bornant à ce qui précède, sur la question de la réglementation des tiroirs mûs par des excentriques circulaires, auxquels des cames diversement tracées sont souvent substituées, quand le tiroir lui-même n'est pas remplacé par des soupapes tendant à assurer des admissions et des émissions plus rapides que le tiroir. Dans les locomotives, toutefois, il serait difficile de remplacer les excentriques circulaires.

RÉGLEMENTATION DES TIROIRS.

CONDUITE DES TIROIRS AVEC CHANGEMENT DE MARCHE. — DES COULISSES.

La nécessité du changement de marche et les conditions du service des locomotives ont conduit à l'emploi des coulisses pour le mouvement des tiroirs, ainsi qu'il a été dit à l'article LOCOMOTIVE. Nous allons voir comment elles permettent de fonctionner avec avance à l'échappement et la nature de mouvement qu'elles font prendre au tiroir. Rappelons auparavant comment elles sont construites.

Le système se compose de deux excentriques circulaires, montées inversement sur l'axe moteur, chacune conduisant une bielle articulée à l'une des extrémités d'une coulisse suspendue, d'une rainure dans laquelle s'engage la tête de la tige qui conduit le tiroir, coulisse que l'on peut abaisser ou élever à l'aide d'un levier, qui est à la portée du mécanicien.

C'est en raison des positions de ce levier que se modifie la distribution de la vapeur, et cela en changeant la position de la coulisse dans le sens vertical, et par suite le mouvement du tiroir. Il est facile d'analyser grossièrement comment se produit l'action de la coulisse pour effectuer le changement de marche et le repos, produire la détente qu'elle permet d'obtenir, en traçant pour les diverses inclinaisons du levier les positions extrêmes de l'oscillation de la coulisse par l'action des deux excentiques à mouvements inverses.

Considéré comme un système cinématique, l'ensemble de deux excentriques, deux bielles reliées à une coulisse, un coulisseau, une bielle et une glissière, est équivalent à un système plus simple uniquement composé d'un excentrique, d'une bielle et d'une glissière. Cela est vrai à peu près et sous certaines conditions, dont la première est que les bielles soient supposées sans obliquité, de longueur infinie.

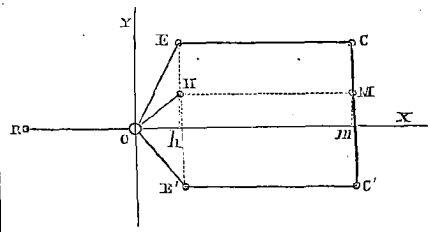


Fig. 6.

Soit M (fig. 6) le point mené de la coulisse et dont la projection m sur l'axe OX se meut absolument comme le tiroir. Par le point M, menons une droite CC' parallèle et égale à celle qui joint les extrémités E, E', des rayons d'excentricité réels, supposés dans leur position initiale, lorsque la manivelle est en OR. Puis menons les droites EC, E'C', MH et le rayon OH. D'après l'hypothèse, pendant tout le mouvement, les figures ECMH, HME'C', ECC'E' resteront toujours des parallélogrammes. Par suite, les projections m et h des points M et H sur l'axe OX resteront toujours à une même distance, égale à EC, l'une de l'autre. Donc, à un moment quelconque, le point M, que l'on peut considérer comme un point du tiroir, se trouve à une distance x de sa position moyenne, égale à la distance du point h au point O, qui est la position moyenne du point h. Or, si l'on néglige l'obliquité d'une bielle qui, rattachée à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'excentrique OH, mènerait le tiroir, celui-ci se trouvera constamment à la même distance de sa position moyenne que le point h lui-même. Donc l'excentrique OH peut remplacer les deux excentriques OE, OE', il est par conséquent leur excentrique résultant, et le mouvement qu'il imprime au tiroir peut être étudié, comme ci-dessus, pour une position donnée de la coulisse.

Une coulisse réelle étant donnée (fig. 7) d'une lon-

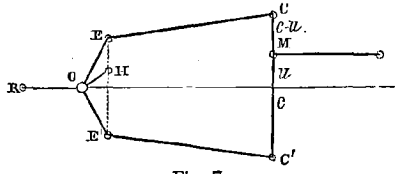


Fig. 7.

gueur $2c$; le coulisseau, placé à une distance $c-u$ de l'extrémité c et à une distance $c+u$ de l'autre extrémité c'; la droite cc' étant parallèle à EE'; si les barres d'excentriques ont une longueur assez grande comparativement à celle de la coulisse et des rayons d'excentricité, on trouvera, avec une approximation souvent suffisante en pratique, l'excentrique résultant OH en prenant le point H sur la droite EE', de manière que l'on ait la proportion

$$\frac{HE}{HE'} = \frac{c-u}{c+u}.$$

L'étude analytique des coulisses conduit, comme l'a montré M. Philips, à la détermination directe des valeurs de x et x' en fonction des éléments, pour les divers systèmes qui ont été proposés. Le calcul des valeurs du déplacement du point M, en raison des angles et des longueurs des bielles et des manivelles, conduit à la formule générale suivante pour la valeur de x, pour une avance du tiroir δ et pour un angle de rotation de l'axe ω:

$$x = r\left(\sin\delta + \frac{c^2-u^2}{d}\cos\delta\right)\cos\omega + r\frac{u}{c}\cos\delta\sin\omega. \quad (1)$$

Nous pouvons démontrer en partant de cette expression qu'il existe bien un seul excentrique (r' δ') qui, menant une bielle infinie, produirait exactement le même mouvement pour le tiroir. En effet, l'excentrique (r' δ') donnerait, ainsi qu'il a été vu ci-dessus, $r'(\sin\delta' + \omega)$ pour la valeur de x, ou

$$x = r'\sin\delta'\cos\omega + r'\cos\delta'\sin\omega. \quad (2)$$

Faisons

$$A = r\left(\sin\delta + \frac{c-u^2}{d}\cos\delta\right) \quad (3)$$

$$B = r\frac{u}{c}\cos\delta. \quad (4)$$

et les expressions (1) et (2) coïncident si l'on fait

$$\left.\begin{array}{l} r'\sin\delta' = A \\ r'\cos\delta' = B \end{array}\right\} r' = \sqrt{A^2+B^2}.$$

Soit OH, cet excentrique fictif (r' δ').

Cherchons le lieu du point H dont les coordonnées sont :

$$A = r'\sin\delta'$$
$$B = r'\cos\delta'$$

en faisant varier u ou la position du coulisseau dans la coulisse. A cet effet, éliminons u entre les équations (3) et (4), et nous avons:

$$B^2 = r^2\cos\delta\left(\frac{l}{c}\sin\delta + \cos\delta\right) - \frac{rl}{c}\cos\delta\,A, \quad (7)$$

équation d'une parabole qui doit être substituée à la droite EE' de la figure 10. Cette parabole tourne sa *concavité* vers le point O.

Ce qui précède s'applique à la coulisse à barres ouvertes. En faisant le même calcul pour la coulisse à barres croisées, en changeant les signes de c et de u, on arrive à l'équation

$$B'^2 = r^2\cos^2\delta\left(-\frac{l}{c}\sin\delta + \cos\delta\right) + r\frac{l}{c}\cos\delta A,$$

c'est-à-dire à une parabole qui tourne sa convexité vers le point O.

Le mouvement qu'on obtient à l'aide d'une coulisse suit donc sensiblement la même loi que celui qu'on obtient de l'excentrique circulaire simple équivalent qu'on peut toujours déterminer.

RÉGULATEUR DE MACHINES (*all.* Regulator, *angl.* Governor). Une grande régularité de mouvement est, presque toujours, une condition essentielle d'une bonne fabrication. Si à une vitesse déterminée un outil fonctionne parfaitement, un fil est étiré et tordu dans les meilleures conditions, cette vitesse ne peut changer sans que l'opération industrielle ne soit effectuée dans des conditions défectueuses, sans que les objets fabriqués perdent de leur qualité. Cependant, en supposant que le travail soit fourni avec la plus grande régularité par la machine motrice qui met en mouvement tous les appareils d'une manufacture, les arrêts de travail incessants de tel ou tel opérateur, viendront faire varier à chaque instant les résistances et par suite la vitesse, au grand détriment de la perfection du travail, si un régulateur ne s'oppose pas à cet effet.

On distingue quatre genres de régulateurs:

1° Les régulateurs d'emmagasinement, servant à faire disparaître les variations périodiques de la puissance motrice;

2° Les régulateurs ou modérateurs, agissant sur la source du travail moteur pour diminuer sa production, de manière à ce qu'il soit constamment égal au travail résistant;

3° Les régulateurs de destruction, où cette égalité est obtenue en faisant croître les résistances; appareils qui ne sont évidemment admissibles d'une manière générale que pour des mécanismes légers et pour obtenir une très-grande régularité de vitesse;

4° Les systèmes qui par eux-mêmes ont un mouvement parfaitement régulier, et qui produisent ce même mouvement pour des mécanismes qu'ils servent à régler, ceux-ci étant disposés de manière à ne pouvoir altérer leur mouvement.

1° RÉGULATEUR D'EMMAGASINEMENT.

Volant. L'appareil régulateur par excellence, pour les variations périodiques de la force motrice, est le volant, qui emmagasine du travail par l'effet de l'inertie d'une masse considérable. Cette masse, disposée quelquefois aux extrémités de rayons, prend plus souvent la forme d'un anneau tournant rapidement autour d'un arbre central. La masse et la vitesse doivent être déterminées en raison de la quantité de travail, de la variation de force vive équivalente qui est nécessaire dans chaque période, pour une opération déterminée. Nous avons donné à l'article VOLANT, *Complément*, les résultats de la théorie et de la pratique pour les principales fabrications.

Nous avons vu, à MACHINE A VAPEUR, combien le volant était nécessaire dans les machines à rotation, pour régulariser l'action variable de la bielle et celle de l'impulsion du piston, surtout lorsqu'on emploie de longues détentes de la vapeur.

Le volant corrigeant les variations de vitesse en vertu de son inertie, devra être d'autant plus pesant et être mû avec une vitesse d'autant plus grande, que les écarts de la vitesse moyenne seront plus considérables; le tra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vail du frottement des tourillons croîtra donc proportionnellement à ces écarts de la vitesse de régime. Toutes les fois donc que dans un même système on aura à utiliser successivement des forces motrices de grandeur très-différente, il n'y aura souvent aucun profit à employer les plus petites, vu que, outre les résistances passives qu'entraîne leur utilisation, pour produire un mouvement régulier elles nécessiteraient l'emploi d'un volant très-pesant, mû avec une grande vitesse, qui ferait naître un travail résistant nuisible de frottement. C'est le cas qui se présente lorsque l'on veut pousser

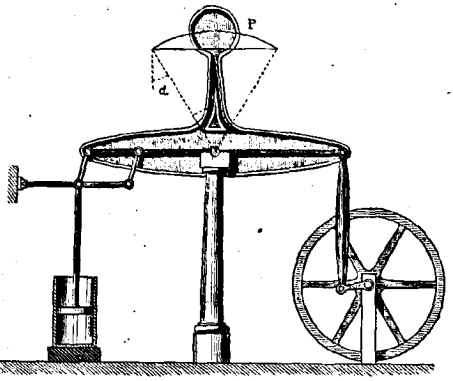


Fig. 1.

très-loin la détente de la vapeur dans le cylindre des machines à vapeur, et la principale cause de l'infériorité des machines à rotation comparativement à celles de Cornouailles, à mouvement alternatif, qui n'ont pas de volant, et dans lesquelles on emploie de longues détentes.

Contre-poids. Un poids élevé pendant la période du *maximum* et descendant pendant le *minimum*, est un régulateur comme le volant, mais n'ayant pas la puissance que communique à celui-ci sa grande vitesse. Employée souvent dans les petits mécanismes, cette addition d'une résistance, puis d'une puissance égale, lors du *maximum* et du *minimum*, pourrait aussi faciliter dans la machine à vapeur l'emploi de détentes considérables. Il nous paraît intéressant d'examiner avec quelques détails cette application, les mêmes principes permettant de se rendre compte de l'effet de la même disposition appliquée à tout mouvement alternatif de puissance variable.

Du mode d'action de la bielle qui fait tourner un volant, il résulte que la vapeur agissant à pression pleine, ce qui correspond alternativement au point le plus haut et le plus bas de la course de la bielle, fait parcourir au piston un espace moindre dans le même temps que vers le milieu de la course, lorsque la détente est déjà notable, et qu'enfin la vitesse du piston ne redevient très-faible qu'à la fin de la course, aux dernières limites de la détente.

Il résulte de ceci, tendance à l'accélération pendant la première partie du mouvement à pression pleine, et action retardatrice quand la détente est poussée un peu loin.

Il n'en serait plus ainsi, et l'effort exercé se rapprocherait de la pression moyenne de la vapeur, si le travail de la première partie de la course du piston était en partie consommé à élever un poids qui restituerait le travail emmagasiné, vers la fin de la course, quand la détente se prolonge, si surtout la variation de ce travail suivait un ordre inverse de celle du travail correspondant à un mouvement régulier de la manivelle, c'est-à-dire s'il était le plus grand quand il est *minimum* dans celle-ci. C'est ce qu'il nous paraît facile de réaliser.

Supposons qu'on adapte au balancier (fig. 1) une barre perpendiculaire à son axe, portant à son extrémité un poids P; ce poids montera et descendra par chaque oscillation double du balancier d'une hauteur H, égale au sinus-verse de l'angle décrit pour la verticale passant par le centre du poids, à droite et à gauche. La vapeur travaillant à pression pleine, soulèvera ce poids, et la détente se prolongeant, tout le travail PH, pris sur le travail de la vapeur à pression pleine, viendra s'ajouter à celui produit par la détente. Quant aux résistances que ferait naître cette disposition, elles sont évidemment minimes, se réduisant à une augmentation du frottement de l'axe autour duquel oscille le balancier, qui ne fait que des oscillations d'un arc de peu de degrés, et consomme par suite peu de travail par frottement.

On pourra obtenir graphiquement la représentation de l'effet de ce régulateur, pour corriger les excès de travail et déduire du tracé les dimensions convenables.

Prenons par exemple le cas d'une détente au cinquième

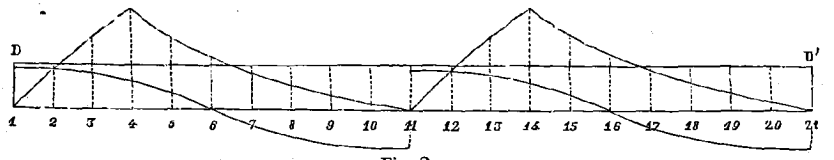


Fig. 2.

(fig. 2), et empruntons à Morin les courbes calculées pour ce cas, en admettant la loi de Mariotte.

Il est bien clair que ce seront les aires comprises entre la courbe et la ligne DD' du travail moyen, au-dessus et au-dessous de celle-ci, qui représenteront les quantités de travail moteur et de travail résistant causant les irrégularités que l'emploi d'un volant doit compenser.

Mais, d'après la disposition que nous avons indiquée, le poids régulateur agit comme le ferait la bielle d'une manivelle sur un petit arc, des deux côtés du point mort, et la longueur du chemin parcouru par l'angle décrit pour le poids agissant pendant toute la course étant représentée par la longueur de la circonférence décrite par le bouton de la manivelle, on pourra représenter de même par une aire de courbe, à une certaine échelle, le travail consommé et restitué successivement par la pesanteur, en prenant les mêmes abscisses que dans le tracé précédent. On voit clairement que le travail moteur de la bielle sera diminué dans les parties où il est en excédant, et augmenté dans celles où il est très-faible.

Il faut remarquer, toutefois, que le déficit est augmenté près du commencement de chaque oscillation du piston, aussi ne doit-on pas trop exagérer ce système (on peut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne faire agir le contre-poids que après le commencement la course du piston). L'absence de travail utile à l'origine n'est toutefois un inconvénient que relativement à la résistance que le volant aura alors à surmonter, car d'ailleurs cette disposition donnerait aux machines à double effet quelque chose des avantages de celles de Cornouailles. En ayant soin en effet de donner de l'avance à l'admission, la vapeur rencontrerait la résistance additionnelle de la masse à mouvoir en sens contraire, de la même manière que les machines de Cornouailles entraînent un contre-poids à l'origine du mouvement. Comme dans ce cas, la pression dans le cylindre serait sensiblement égale à celle de la chaudière. Or, plus il en est ainsi, plus l'ébullition est tranquille, moins il y a d'eau entraînée avec la vapeur; mieux, en outre, au point de vue des contractions et résistances nuisibles, on tire parti du travail que peut fournir un poids donné de vapeur.

Ce système s'appliquerait facilement et utilement aux machines horizontales à longues détentes, à vitesses modérées, le contre-poids étant monté à l'extrémité d'un levier oscillant dans un plan vertical, que rencontrerait la tige du piston.

2° MODÉRATEURS.

Les régulateurs modérateurs permettent à une machine de se régler elle-même, de rendre le travail moteur toujours égal au travail résistant en déterminant un mouvement utilisé pour la fermeture ou l'ouverture d'organes spéciaux dans chaque cas, robinets, vannes, etc.

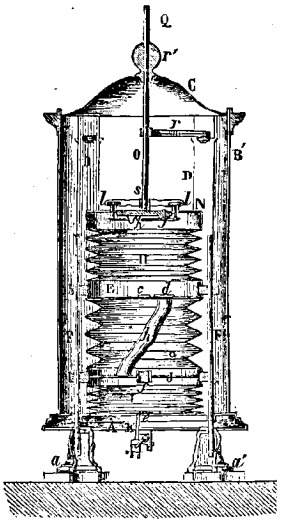


Fig. 3.

Régulateurs agissant par l'élasticité de l'air. La fig. 3 représente le régulateur Molinié.

Cet ingénieux appareil est un soufflet cylindrique à double effet, c'est-à-dire que le plateau supérieur s'élève sous l'influence de l'air qui s'accumule dans le réservoir supérieur. Ainsi le plateau J étant mis en mouvement par une bielle K mue par la machine à régler, les deux capacités I et C forment un soufflet à double effet, et l'air sera chassé dans la capacité H à travers la soupape *c* et la soupape *d* (placée au bout d'un tuyau élastique *h*). La face supérieure de cette capacité s'élèvera donc, si l'air ne sort pas en quantité suffisante par l'orifice *j*. On voit donc qu'en faisant varier cet orifice, on obtiendra une position déterminée, pour une vitesse donnée de la machine, du plateau supérieur, et par suite de la tige O qui fait corps avec lui et qui agit sur la valve ou la vanne à régler. Par suite, la vitesse de la machine ne pourra varier sans que la position d'équilibre ne change, et que par la suite le régulateur n'agisse aussitôt pour ramener les pièces à la position normale.

Nous signalerons une ingénieuse disposition destinée à augmenter la sensibilité de ce régulateur, ce qu'on appelle un *étouffoir :* elle consiste à disposer une pièce fixe qui vient fermer en partie l'orifice de sortie de l'air, quand le plateau commence à s'élever au-dessus de sa position normale. Le plateau monte donc beaucoup plus vite qu'il ne le ferait sans cela, et l'action de régularisation est très-rapide.

Le régulateur Molinié, c'est-à dire un soufflet en cuir placé près de la vapeur, à la chaleur, ne constitue pas un appareil qui puisse durer longtemps. Aussi a-t-il été souvent remplacé par le régulateur Larivière (fig. 4 et 5), assez semblable, mais formé de corps de pompe et de pistons métalliques.

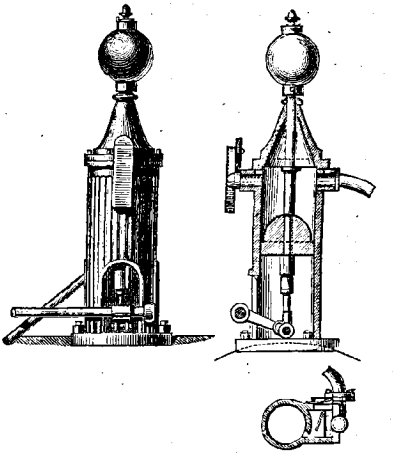


Fig. 4.

Fig. 5.

L'appareil consiste en un cylindre de fonte muni de son piston métallique garni de caoutchouc. L'air est aspiré à chaque course du piston par une petite pompe à double effet, et chassé au-dessus du piston du régulateur, qui monte et descend dans le cylindre en fonte, entraînant une tige qui conduit la valve de règlement de la machine.

On conçoit facilement qu'en faisant varier la quantité d'air sortant au moyen d'un obturateur circulaire et par suite la hauteur dont s'élève à chaque course la tige du piston rendu un peu plus ou un peu moins lourd, on arrive, dès que la machine s'accélère trop, à fermer instantanément la valve et à régler rigoureusement la quantité de vapeur introduite en raison des besoins du travail seul que la machine doit faire, comme à ouvrir instantanément aussi la valve, pour augmenter le volume introduit à pleine pression quand la machine se ralentit. Toutefois l'intervention du chauffeur est trop souvent nécessaire pour produire des variations notables.

L'élasticité d'un ressort métallique peut servir comme celle de l'air pour compléter un régulateur. On a donné à DYNAMOMÈTRE un système de ce genre dû à Poncelet.

Régulateur à boules ou modérateur de Watt. Ce régulateur est plus simple, plus résistant que tous les autres, n'exige l'intervention d'aucune autre force extérieure que celle de la pesanteur; on n'eût jamais cherché d'autres systèmes s'il n'avait eu un défaut grave, dont, grâce aux progrès de la théorie, on est parvenu à le corriger, de manière à en faire un appareil excellent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Donnons d'abord les principes de la théorie de ce régulateur. Supposons pour plus de simplicité la boule réduite à un point matériel ; dans la position d'équilibre, il faudra que les deux composantes perpendiculaires à AC (fig. 6 et 7) se fassent équilibre :

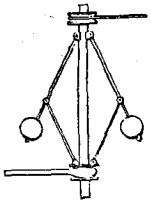


Fig. 6.

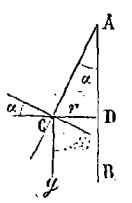


Fig. 7.

quant à celles dans cette direction, elle sont détruites par la résistance du pendule. On aura donc : $\frac{v^2}{r}$ étant la force centrifuge s'exerçant suivant CD, et la vitesse de rotation v égalant $r\omega$:

$$\frac{v^2}{r}\cos.\,\alpha = r\omega^2\cos.\,\alpha = g\cos.\,(90^0-\alpha) = g\sin.\,\alpha$$

(ω est la vitesse angulaire) : ou $r = \frac{g}{\omega^2}$ tang. α ; or, puisque $r = AD$ tang. α, $AD = \frac{g}{\omega^2}$. Donc les boules seront placées sur le point C de la ligne CD, déterminé par cette équation.

La longueur AD pour une vitesse donnée est facile à obtenir par expérience : soit t, la durée d'une révolution du régulateur à la vitesse de régime qu'on veut maintenir dans la machine, 2π est le chemin parcouru par un tour à l'unité de distance, ou $\frac{2\pi}{t} = \omega$;

$$\text{on a : } AD = \frac{g}{\omega^2} = \frac{g\,t^2}{4\pi^2} \text{ et } t = 2\pi\sqrt{\frac{AD}{g}}.$$

La durée de l'oscillation d'un pendule simple est $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; donc pour trouver la longueur AD, il suffira de suspendre une balle de plomb à un fil, et de chercher la longueur donnant une durée des oscillations moitié de la durée voulue d'une révolution du pendule conique.

Appelant l la longueur AC du pendule conique, la formule ci-dessus revient à $t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}\cos.\,\alpha}$.

Ce régulateur a le grave défaut qu'il est impropre à maintenir la vitesse de régime pour une quantité de travail résistant répondant à la nouvelle position du régulateur, chaque position des boules répondant à une vitesse différente. En rétablissant l'équilibre dynamique, il modifie la vitesse, dont la constance, industriellement, est d'une importance capitale.

Modérateur parabolique. On a réussi à obvier à l'inconvénient du modérateur à force centrifuge que nous venons de signaler, c'est-à-dire à faire en sorte que la vitesse de régime ω reste sensiblement constante, pour divers équilibres dynamiques, condition nécessaire pour le bon fonctionnement des outils, pendant que le modérateur imprime toujours, par suite de l'écartement des boules de la verticale, le mouvement voulu à un organe convenable, robinet, vanne, tiroir ou autre.

D'après la relation indiquée plus haut, le problème consiste à faire que la ligne AD soit constante, ce qui serait obtenu si on pouvait faire varier la longueur AC de telle sorte que la courbe décrite lors du mouvement d'élévation ou de descente des boules fût une parabole convenablement tracée. C'est le résultat direct de la propriété de la parabole que la sous-normale (égale AD dans la figure 7) est une quantité constante. Cette condition a déterminé la construction de plusieurs régulateurs paraboliques : tel est celui de Franke, représenté fig. 8 ; mais la pratique ne les avait pas adoptés, à cause des inconvénients attachés à l'emploi des galets qui supportent les boules sur les guides paraboliques, des frottements auxquels ils donnent naissance.

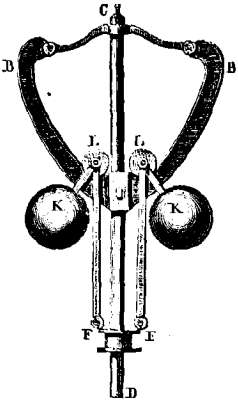


Fig. 8.

Régulateur à bras croisés. Farcot, l'habile constructeur, est arrivé à construire un appareil solide et simple qui a, dans la pratique, tous les avantages des régulateurs paraboliques. A cet effet, il remplace la parabole par un arc de cercle de rayon suffisant, qui s'écarte de cette courbe aussi peu que possible dans les limites des déplacements que les boules du modérateur doivent effectuer, ce qui conduit à placer le centre au delà de la tige qui porte le pendule (le centre de courbure d'un arc de parabole est toujours situé de l'autre côté de son axe). Les branches traversent l'arbre tournant auquel elles sont assemblées (fig. 9).

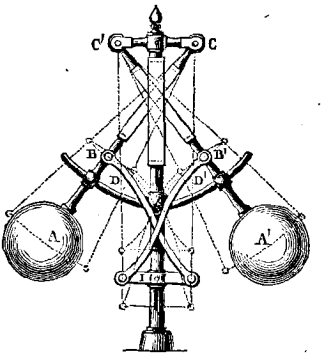


Fig. 9.

L'emploi d'une articulation autour d'un centre ne peut réaliser le problème qu'approximativement : aussi il dispose la circonférence décrite de telle façon qu'elle fasse saillie au dehors de la parabole vers le milieu de l'arc utile, et qu'elle pénètre, au contraire, dans la courbe vers les extrémités de cet arc. Il résulte de cette circonstance que, pour les positions extrêmes, la longueur du pendule est trop petite, et que, par conséquent, le mouvement de rotation normal tendrait à s'accélérer ; mais une disposition particulière est prise pour parer à cette cause de perturbation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le manchon sur lequel doit agir le système est, à la manière ordinaire, embrassé par la fourchette d'un levier, à l'autre extrémité duquel se trouve la tige qui agit sur l'admission de la vapeur. Cette tige porte, à son extrémité inférieure, un galet qui repose sur une pièce mobile équilibrée par un contre-poids dont la fonction est de régulariser l'action de l'appareil, en même temps qu'il sert à équilibrer le poids de la tige elle-même. Si la portion de levier sur laquelle repose le galet a reçu une courbure convenable, on pourra facilement faire en sorte que l'action de ce contre-poids soit plus ou moins énergique, et qu'ainsi la résistance opposée au fonctionnement du régulateur, vienne s'opposer à l'accélération que l'on pourrait craindre.

Le contre-poids est d'ailleurs mobile sur son levier et permet de régler l'appareil de telle façon que les boules puissent occuper toutes les positions de leur parcours pour les différentes vitesses de régime que l'on cherche à obtenir.

Nous n'avons pas parlé, jusqu'ici, de l'influence propre du poids des tiges des boules au point de vue de la force centrifuge. Il convient cependant de remarquer que telle portion de ces tiges qui se trouvait à droite de l'axe, pour les positions les plus basses des boules, passe nécessairement à gauche pour les positions les plus élevées, et qu'ainsi leur poids, qui agissait d'abord en sens contraire de celui des boules, vient concourir, dans cette dernière position, avec le leur; l'action de la force centrifuge serait donc prépondérante pour les positions supérieures des boules, et Farcot compense cette influence perturbatrice au moyen d'un ressort qui agit sur le manchon, et qui est d'autant plus comprimé que ce manchon est plus relevé, ce qui rend le régulateur moins sujet à s'emporter vers les parties supérieures.

Des dimensions et des poids des éléments du régulateur. M. Tchébychef, a montré, dans un mémoire fondé sur une méthode de calcul qui le conduit à calculer les éléments du modérateur de manière à ce qu'ils éprouvent des variations de vitesses minima, que les dimensions du régulateur à bras croisés pouvaient être déterminées de manière à le rendre isochrone, aussi bien qu'on y arrive à l'aide d'un ressort, dont la résistance ne saurait suivre la loi nécessaire pour l'isochronisme et qui constitue cependant le moyen le plus simple et le plus applicable dans la pratique.

α étant la variation de l'angle d'inclinaison de la première partie de la tige sur l'axe vertical du régulateur, il montre que la fonction qui exprime la variation d'isochronisme varie de 0,001 pour $\alpha = 14°, 40'$, et de — 0,001 pour $\alpha = -13°,50$, que l'élévation du manchon s'élève entre ces valeurs de 0,62 de la première

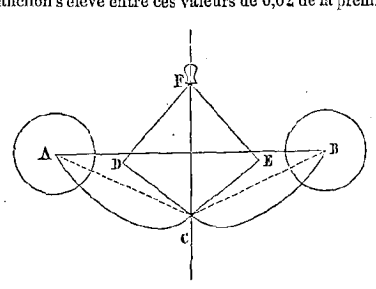


Fig. 10.

partie du bras (CD, CE, fig. 10) prise pour unité, en adoptant les dimensions suivantes :

AC et BC, les *secondes parties* des tiges du régulateur, ou $r = 1,72115$.

EF et DF les bras soutenant la douille F, ou $m = 1,31271$.

Les angles égaux ACE et BCD, formés par les premières et les secondes parties des tiges faisant entre elles un angle $= 119° 10'$.

Les angles égaux FCD et FCE, formés par les premières parties des tiges, et l'axe du régulateur auront chacun, pour la vitesse de rotation de régime d'un régulateur, 58° 46'. Les secondes parties des tiges doivent être recourbées, comme cela est indiqué sur la figure, pour ne pas entraver le jeu des premières parties de ces tiges, de façon que les centres A et B des sphères oscillantes se trouveront élevés au-dessus de C, point d'attache des tiges à l'axe du régulateur, mais ils doivent être rigoureusement à la distance $r = 1,72115$ de ce point C. Enfin, ce régulateur se distinguera du régulateur de Watt par le poids assez considérable de sa douille, pesant 4,06355... fois plus que chacune des sphères oscillantes.

Modérateur à contre-poids de Foucault. L'emploi d'un contre-poids pour aider l'action des boules a depuis longtemps été proposé par Charbonnier, de Mulhouse, et Farcot en a tiré bon parti; c'est surtout Foucault qui a montré de la manière la plus simple le haut degré d'isochronisme que l'on peut obtenir par son emploi.

Reprenons la formule $t = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos.\alpha}{g}}$.

Si, au lieu d'un point, le pendule porte une boule sphérique dont on peut considérer la masse comme concentrée en son centre de gravité la formule sera toujours vraie, et si P en est le poids, comme $P = Mg$, elle devient :

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{M\,l\cos.\alpha}{P}}.$$

Si on fait entrer dans la formule le poids p du manchon, on voit facilement en comparant les moments dans les deux cas que, pour une même valeur de r, les rapports des carrés des vitesses angulaires sont entre eux comme $\frac{P+p}{P}$, et par suite les temps sont en raison inverse des racines carrées, c'est-à-dire que l'on a :

$$t = \sqrt{\frac{P}{P+p}} \times 2\pi\sqrt{\frac{l\,M\cos.\alpha}{P}} = 2\pi\sqrt{\frac{M\,l\cos.\alpha}{P+p}}$$

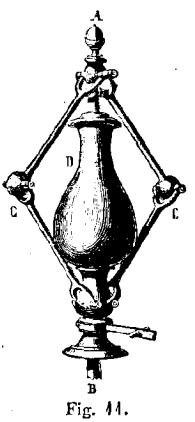


Fig. 11.

Si on se contente de rendre p considérable, on a le régulateur Porter (fig. 11) qui a le mérite de surmonter des résistances notables avec des boules et des bras légers.

Si on remarque que dans la formule ci-dessus cos. α étant une variable, t l'est aussi, on voit que, pour que t devienne une constante, il faudrait faire disparaître cos. α en l'introduisant au dénominateur de la fraction sous le radical, en remplaçant $P + p$ par $(P + p)$ cos. α. Or, ce terme répond à un poids qui s'incline sur la verticale; c'est là le principe d'une solution d'une grande simplicité et d'une grande précision. Décrivons une disposition proposée par Foucault :

Soit une barre AO (fig. 12) articulée au bout d'une barre oscillante AS. A, pour de petites variations se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvant suivant une ligne sensiblement horizontale, O se mouvra suivant une ligne verticale, et transmettra

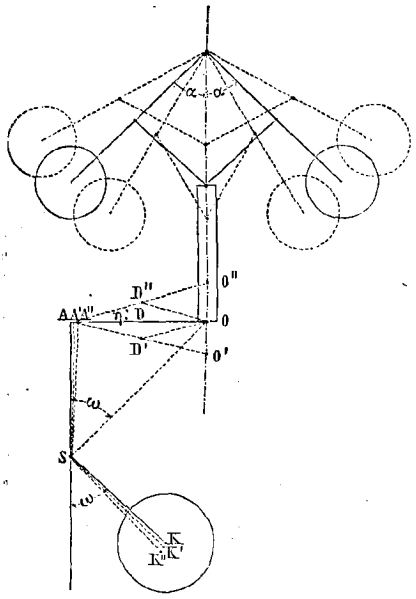


Fig. 12.

au manchon les efforts exercés à l'extrémité A de cette barre AO, où on applique l'action d'une force constante $= P + p$.

Cette force reportée au point O, peut être décomposée en deux, une horizontale sans effet sur le manchon, et une verticale qui lui est directement opposée et tend à le soulever. Cette force verticale, nulle lorsque la barre est horizontale, acquiert, lorsque le manchon s'élève ou s'abaisse, une valeur positive ou négative proportionnelle au sinus de l'angle η ou à l'espace parcouru par le manchon. Il faudrait donc écrire dans l'expression de la valeur de t au lieu de $P + p$ simplement, la valeur $(P + p)\sin\eta$, ce qui peut conduire à l'isochronisme, puisqu'on introduit au dénominateur une fonction qui varie comme $\cos\alpha$.

Pour obtenir une force convenable, Foucault recourbe le bras AS qui devient la branche supérieure d'un levier coudé ASK oscillant autour du point S et dont l'autre branche SK porte un contre-point $K = P + p$ et on a soin de faire égaux les angles des lignes SO et SK avec AS.

Emploi d'un ressort. Pour assurer l'action du régulateur isochrone, Foucault et Farcot ont ajouté un ressort à boudin placé entre les boules, agissant avec une intensité croissante en raison de l'écartement. Le manchon peut alors se déplacer sans que la vitesse du régime croisse trop sensiblement.

Théorie des régulateurs isochrones.

Les régulateurs isochrones sont caractérisés par la condition de se tenir en équilibre, quelle que soit la position angulaire des tiges oscillantes ou l'ouverture de la valve distributrice de la vapeur, s'il s'agit de moteurs à vapeur, lorsque la vitesse de rotation est égale à la *vitesse* dite *de régime* ; ils jouissent en conséquence de la propriété d'osciller dès que la vitesse réelle s'écarte d'une quantité donnée de la vitesse de régime ; les oscillations produites ont pour résultat de faire varier l'orifice de distribution de la vapeur dans un sens tel que l'écart de la vitesse soit finalement réduit. S'il s'agit de régulateurs destinés à maintenir un mouvement uniforme, abstraction faite de l'économie du travail moteur, les appareils sont pourvus d'ailettes liées aux tiges oscillantes : le développement variable de ces ailettes détermine une variation correspondante de la résistance de l'air, variation qui tend toujours à réduire les écarts de la vitesse réelle par rapport à la vitesse de régime.

Les régulateurs isochrones présentent ainsi deux classes distinctes : à la première appartiennent ceux qui font varier le travail moteur, à la seconde ceux qui font varier le travail résistant.

M. Villarceau a publié une théorie générale des régulateurs isochrones qui l'a conduit aux principes à observer dans leur construction.

Dispositions communes aux deux classes de régulateurs. — Les organes empruntés à l'appareil de Watt sont : l'axe vertical central, deux plateaux, dont l'un est fixe par rapport à cet axe et l'autre mobile le long du même axe, au moyen d'une douille ou manchon, et deux ou un plus grand nombre de paires de tiges articulées entre elles et avec les deux plateaux ; ces tiges, d'égales longueurs, forment des triangles isocèles avec la droite qui joint les articulations sur les plateaux. Pour fixer les idées, je suppose que le plateau supérieur soit le plateau mobile, je nommerai *tiges supérieures* celles qui sont articulées sur ce plateau ; les autres seront les *tiges inférieures*. Le nouveau régulateur se distingue de celui de Watt par la figure et la position des masses principales oscillantes ; ces masses, au lieu d'être des sphères ayant leur centre sur le prolongement des tiges supérieures, sont des masses de figure non déterminée *à priori*, dont le centre de gravité est situé en un point lié géométriquement avec les tiges inférieures ; les directions de leurs axes principaux d'inertie sont assujetties, ainsi que les moments d'inertie, à des conditions qui vont être indiquées.

Pour plus de simplicité, je supposerai que les centres de gravité des tiges soient sur leurs axes de figure et que les masses de ces tiges, ainsi que la masse principale, soient symétriques par rapport à un même plan passant par l'axe vertical central, et que j'appellerai *plan de symétrie*. Un ensemble formé de deux tiges oscillantes et d'une masse principale constituera un *système partiel*, et le régulateur se composera de n systèmes pareils, assujettis à la condition que leurs plans de symétrie soient angulairement équidistants autour de l'axe vertical central. (Dans les appareils de Watt, le nombre n est égal à 2 ; il est égal à 3 dans l'appareil construit par M. Bréguet.) On voit que la disposition adoptée (voir fig. 15) est une simple généralisation du régulateur de Watt ; sans une pareille généralisation, il serait impossible de satisfaire aux conditions de l'isochronisme et à celle d'obtenir une vitesse de régime donnée Ω.

Régulateurs isochrones à poids. Soient ω_1 et ω_2 les limites supérieure et inférieure de la vitesse de rotation, entre lesquelles la vitesse réelle doive rester comprise, pour le bon fonctionnement des opérateurs ; nous poserons

$$\Delta = \frac{1}{2}\frac{\omega_1 - \omega_2}{\Omega},$$

et Δ sera ce que l'on désigne sous le nom d'*écart proportionnel de la vitesse*, car il faut bien que les boules varient quelque peu de position pour obéir à l'accroissement momentané de vitesse. Les régulateurs de première classe ne peuvent par suite être qu'à peu près isochrones.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Soient :

α l'angle des tiges avec la verticale, mesuré dans le même sens que l'angle φ, déterminé par la relation

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{\Omega^2 \rho}{g},$$

où l'on désigne par ρ la distance commune des points d'articulation des tiges sur les plateaux à l'axe central, et g l'accélération de la chute des graves.

N l'effort vertical constant ou variable que la fourchette oppose au mouvement ascendant ou descendant du manchon.

On pourra calculer les valeurs successives que prend la quantité

$$\frac{N}{2\Delta \sin\varphi} \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha - \varphi)},$$

lorsque l'angle α varie entre ses limites extrêmes; désignons par P_0 le maximum de ces diverses valeurs.

Soient encore :

P' le poids de l'une des tiges supérieures, comprenant celui de toutes les pièces solidaires avec cette tige (axes, vis, etc.);

L' la distance du centre de gravité de la même tige à son point d'articulation avec le plateau supérieur, mesurée vers l'autre articulation;

l la longueur commune des tiges, ou la distance comprise entre leurs points d'articulation;

P_1 le poids du plateau mobile et du manchon réunis.

Ces diverses quantités doivent satisfaire à la relation

$$P_1 + nP' = P_0 + nP' \frac{L'}{l},$$

qui peut se traduire comme il suit :

Le poids total du manchon et des tiges supérieures doit être égal à la quantité P_0 augmentée de la fraction $\frac{L'}{l}$ du poids des tiges supérieures réunies.

Un régulateur construit suivant les conditions énoncées ne devra pas laisser subsister d'écarts proportionnels de la vitesse excédant sensiblement l'écart Δ, et cela quelle que puisse être, entre les limites données, la variation du travail résistant (addition ou suppression d'un nombre quelconque d'opérateurs, métiers, etc.). On devra seulement remarquer que, les écarts périodiques étant du ressort des volants, il conviendra que l'écart proportionnel, admis dans le calcul du régulateur, ne soit pas inférieur à celui qui a été employé pour le calcul du volant, le régulateur ne pouvant avoir d'autre objet que de ramener la vitesse moyenne à la vitesse de régime.

Masse principale. On peut satisfaire aux conditions énoncées en donnant à cette masse des formes très-diverses. Les plus simples que l'on puisse employer sont celles d'un parallélipipède ou d'un cylindre, dont les plus grandes dimensions sont dans les plans de symétrie. Lorsque les masses des tiges sont équilibrées à part, comme il a été dit plus haut, au moyen de masses supplémentaires, la droite qui joint le point d'articulation de la tige inférieure et du plateau fixe au centre de gravité du parallélipipède ou du cylindre est perpendiculaire à leur plus grande dimension; dans le cas contraire, cette droite s'écarte quelque peu de la même perpendiculaire.

Avant de terminer ce qui se rapporte à cette classe des régulateurs, je citerai la disposition adoptée par M. Andrade, ingénieur de la marine.

Régulateur Andrade. Cherchant pourquoi les régulateurs isochrones ne se sont pas généralisés, M. Andrade a reconnu que c'était surtout parce que ces appareils, souvent compliqués, sont nécessairement instables.

On remédie un peu, à la vérité, à cet inconvénient, en employant des freins ou ressorts, comme il a été dit plus haut, offrant au mouvement du manchon une résistance qui augmente rapidement avec sa vitesse; mais cette addition présente le grave inconvénient d'augmenter les résistances passives, et par suite de diminuer la sensibilité de ces appareils.

La stabilité est assurée dans les régulateurs ordinaires, parce que, dès que le manchon se déplace sous l'influence d'une variation de la vitesse, il est soumis à une force graduellement décroissante, tandis que, dans les régulateurs isochrones, il est soumis à une force constante, ou, ce qui est encore beaucoup plus dangereux, à une force qui, dans un sens, est graduellement croissante, et par conséquent va très-rapidement à bout de course, en dépassant la position qu'il devrait prendre pour maintenir la vitesse invariable.

Ne serait-il pas possible d'établir un régulateur dans lequel:

1° L'écart des vitesses limites correspondant aux deux extrémités de la course du manchon ne dépassât pas une valeur fixée à l'avance, cette valeur pouvant être aussi petite qu'on le désire, 1/100e de tour par minute, par exemple.

2° La résistance qui s'oppose au mouvement du manchon, lorsque l'équilibre est rompu, soit, pour un déplacement donné de ce manchon, aussi grande qu'on le désire, et que, par suite, la stabilité soit aussi considérable que dans un régulateur non isochrone.

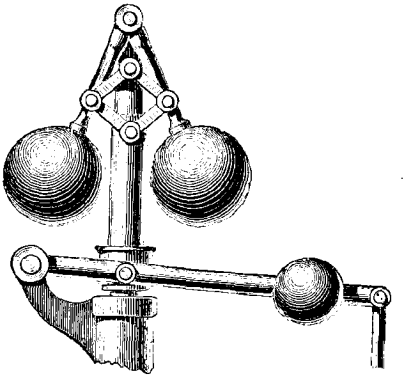


Fig. 13.

Le régulateur (fig. 13) combiné dans ce but, grâce à un second point fixe, ne laisse plus aux boules toute facilité pour s'écarter. Il se compose, fig. 14:

1° De deux leviers à boules oL, oL'.

2° D'un losange *acbc'*, dont un sommet *a* est fixe, un autre *b* est assujetti à se mouvoir sur l'axe du régulateur, et dont les deux autres doivent glisser sur les tiges *oc*, *oc'*.

La distance $oa = a$ doit être égale au côté de ce losange.

3° D'un poids P' appliqué au sommet *b* soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier O'K.

Nous allons montrer que cet appareil est pratiquement isochrone.

Considérons un régulateur fictif identique au précédent, mais dans lequel l'action de la pesanteur sur les boules serait détruite sans que la force centrifuge fût altérée (on obtiendrait un appareil de ce genre en équilibrant les boules). Il est facile de voir sur la figure ci-dessus que, si l'on représente la moitié de la force qui agit sur *b* par la ligne *bd*, cette force déterminera sur *bc* une traction précisément représentée par la lon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gueur bc, et cette traction, qui doit se résoudre en deux forces dirigées, l'une suivant ac et l'autre suivant la

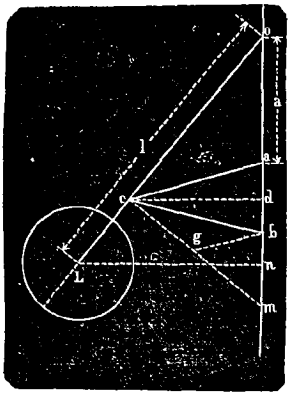


Fig. 14.

normale mc à oL, donnera pour composante suivant mc une force représentée par cg, le point g étant déterminé par l'intersection de cm avec la ligne bg menée par b parallèlement à ac.

En d'autres termes, la force qui agira normalement sur le levier oL sera égale à $\frac{P'}{2}\frac{gc}{bd}$ ou à $P'\frac{gc}{ab}$, ou encore à $P'\frac{mc}{a}$; on voit qu'en résumé, le poids agissant sur le manchon produira sur les leviers à boules un moment proportionnel à la surface du triangle omc.

D'autre part, le moment produit par la force centrifuge pour une vitesse donnée est proportionnel à la surface du triangle oLn.

Or, en voit facilement que, pour toutes les positions de la figure, le rapport des surfaces des triangles semblables omc, oLn, qui ont des hypoténuses constantes, est invariable.

Il en résulte que, si l'équilibre existe pour une certaine position du système, il persistera pour toutes les autres, en supposant que la vitesse de rotation ne change pas, c'est-à-dire que l'appareil sera rigoureusement isochrone. Supposons maintenant que nous supprimions le poids agissant sur le manchon; le régulateur deviendra un régulateur ordinaire de Watt, et la vitesse ω_1 de rotation sera donnée par la formule connue $\omega^2_1 = \frac{g}{h}$ en posant $h = on$.

Soit maintenant ω_0 la vitesse du régulateur isochrone fictif que nous avons antérieurement considéré, la force centrifuge étant proportionnelle au carré de la vitesse de rotation, on voit facilement que, si le régulateur n'a pas ses boules équilibrées, il sera en équilibre, à chaque instant, pour une vitesse ω déterminée par la relation

$$\omega^2 = \omega^2_0 + \omega_1{}^2$$

ou, en désignant par:

N le nombre de tours par minute du régulateur considéré,

N_0 le nombre de tours par minute du régulateur isochrone fictif correspondant,

N_1 le nombre de tours par minute du régulateur de Watt correspondant,

par la relation,

$$N^2 = N^2_0 + N^2_1.$$

Le carré du nombre de tours est donc la somme de deux termes dont l'un N^2_0 est indépendant de la position du manchon, et dont l'autre N^2_1, en dépend.

Nous allons montrer par un exemple numérique que la variation de vitesse qui résulte du terme variable peut être rendue complétement négligeable. Prenons pour limites de h, 0m,25 et 0m,27 et faisons $N_0 = 150$. La vitesse de l'appareil sera comprise entre

$$\sqrt{\frac{g}{0{,}25}\left(\frac{60}{2\pi}\right)^2 + \overline{150}^2} \text{ et } \sqrt{\frac{g}{0{,}27}\left(\frac{60}{2\pi}\right)^2 + \overline{150}^2},$$

c'est-à-dire entre 161 et 160 tours.

L'écart des vitesses limites sera donc inférieur à 1/100e ou de 0,6 pour 100.

Pour changer la vitesse de régime, il suffit de déplacer le contre-poids sur le levier, ou de faire varier son intensité.

La stabilité du système est très-grande, car, lorsque le manchon se soulève, il est soumis à une force graduellement décroissante, grâce à la seconde articulation.

On voit facilement qu'il en est de même lorsqu'il descend et que la force centrifuge diminue.

3° RÉGULATEURS DE DESTRUCTION.

C'est la résistance de l'air que l'on emploie plus souvent pour obtenir une grande régularité du mouvement, les freins à frottement souvent employés dans l'industrie pour détruire du travail dans de puissants appareils, les grues, les locomotives, etc., ayant une action bien moins régulière. Nous avons parlé de ces derniers appareils ailleurs, dans les circonstances où il s'agit surtout de consommation de travail et seulement d'une régularisation grossière du mouvement.

Cloche de Vagner. Vagner a combiné un régulateur à ailettes, à cloche, qui est d'une grande sensibilité. En faisant descendre la cloche vers le plateau près duquel tournent les ailettes, quand le mouvement à régler se ralentit, et l'écartant quand il s'accélère, l'action du régulateur tend à s'annuler dans le premier cas, les ailettes rencontrant toujours le même air qui tourne avec elles, et tend au contraire vers le maximum quand la cloche s'élève, que l'air se renouvelle.

Régulateur isochrone à ailettes. La fig. 15 représente le régulateur de M. Villarceau, dans lequel la résistance de l'air vient compléter l'effet de la dimension convenablement calculée des masses en mouvement.

L'exactitude avec laquelle peut fonctionner l'appareil dans des conditions où le poids moteur varie dans la proportion de 1 à 6 ou davantage, dépend essentiellement des soins que le constructeur aura mis à réaliser les indications de la théorie et à prévenir ou réduire les effets du frottement des axes et du manchon.

Malgré les précautions les plus délicates, il arrivera que la densité des métaux employés ne sera pas exactement égale à celle dont on aura fait usage dans les calculs; il arrivera encore que les dimensions réalisées par le constructeur ne seront pas tout à fait égales à celles qui lui auront été assignées. De là un défaut d'isochronisme, et même des écarts plus ou moins sensibles entre la vitesse de régime et les diverses vitesses effectives. Pour obvier à ces inconvénients, il faut se réserver des moyens de réglage. Or les diverses conditions à remplir se traduisent ici par quatre équations; par conséquent, on doit se réserver les moyens de produire quatre variations disctinctes de l'état de chaque système partiel. Ces quatre variations s'obtiennent: 1° au moyen d'un simple changement de la masse du manchon (addition ou suppression de disques concentriques); 2° en déplaçant trois masses mobiles le long de tiges filetées et faisant partie de la masse principale, que nommerons *masses régulatrices.*

Ces quatre conditions sont exigées par une théorie qui n'assigne aucune limite aux déplacements angu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laires des tiges, dans les plans de symétrie; mais comme, en réalité, l'amplitude de ces déplacements ne dépas-

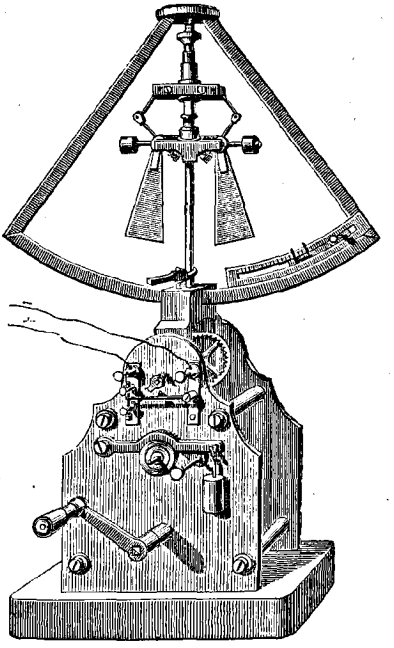


Fig. 15.

sera pas 1/6 ou 1/7 de circonférence, il arrivera que, si l'exécution de l'appareil n'est pas trop incorrecte, il suffira d'opérer *trois*, ou même *deux* seulement des quatre variations exigées par la théorie générale; on sera donc dispensé de modifier le poids du manchon et l'on n'aura qu'à faire varier les positions des masses régulatrices.

Ces explications feront comprendre la disposition adoptée pour la masse principale. Voici en quoi elle consiste : un parallélipipède rectangle est relié à la tige inférieure, au moyen d'une chappe; du côté opposé la tige s'inclinant avec elle, une ailette se fixe au parallélipipède par le moyen d'une autre chappe. Les masses régulatrices sont des cylindres traversés par des tiges filetées : deux de ces tiges sont implantées sur la surface du parallélipipède qui regarde l'ailette et à des distances égales des bouts du parallélipipède; les dimensions des tiges filetées sont égales, ainsi que celles des masses régulatrices qu'elles conduisent; la troisième tige a son axe de figure en coïncidence avec le grand axe du parallélipipède; les masses de la tige et du cylindre mobile qu'elle supporte sont calculées de manière que l'axe de figure de l'ailette passe à la fois par le centre du papallélipipède et le point d'articulation de la tige inférieure.

L'ailette est de forme trapézoïdale; en la construisant en aluminium, on facilite les moyens de satisfaire aux conditions de l'isochronisme; les tiges sont en acier, et les autres parties qui composent la masse principale sont en bronze d'aluminium.

Du réglage de l'appareil. Le régulateur étant mis en communication avec un mouvement d'horlogerie, on observe la vitesse ω qu'il acquiert sous l'action du poids moteur et l'angle α des tiges avec la verticale. On fait varier le poids moteur et l'on observe les nouvelles valeurs des quantités ω et α. Si, en opérant de cette manière, on recueille au moins quatre systèmes distincts de valeurs de ω et α, on aura les données expérimentales nécessaires pour calculer les trois déplacements que doivent subir les masses régulatrices, et, au besoin, la variation du poids du manchon.

Le réglage étant effectué conformément aux prescriptions de la théorie, si l'on recommence les observations de la vitesse, on trouvera que, quel que soit le poids moteur entre ses limites extrêmes, les diverses vitesses seront excessivement peu différentes de la vitesse de régime qu'il s'agissait de réaliser. Ici la précision des résultats n'a d'autre limite que celle de nos moyens d'action sur la matière.

4° RÉGULATEURS PROPREMENT DITS.

Les systèmes qui rentrent dans la 4e classe sont principalement le pendule et le balancier à ressort spiral, qui servent à régler tous les appareils d'horlogerie, et dont il est traité trop complétement à ce mot pour que nous ayons à y revenir ici.

L'écoulement d'un liquide par un orifice constant, l'eau étant également dans le réservoir à un niveau constant, est d'une régularité parfaite. Nous avons donné un exemple de son emploi comme régulateur, en décrivant la *cataracte*. (Voy. MACHINE A VAPEUR, p. 7.)

RÉGULATEUR DE PRESSION ET PURGEUR AUTOMATIQUE. On trouve, dans une même usine, des appareils à vapeur pour lesquels la même pression n'est pas nécessaire, et souvent même pourrait être dangereuse. Ainsi, par exemple, il est reconnu qu'il y a avantage pour les machines à vapeur à marcher à 5 atmosphères, tandis que, pour les appareils de chauffage à vapeur, il est préférable de n'avoir que 2 atmosphères de pression. En effet, dans ce cas, l'effet produit par la condensation de la vapeur est sensiblement le même que si la pression était plus élevée, et les dangers de rupture des appareils disparaissent, tout en employant des épaisseurs de tôle plus faibles. Dans certaines industries, pour que l'opération réussisse, il faut que la pression de la vapeur soit limitée. On a donc cherché, depuis plusieurs années, des appareils pouvant donner à leur sortie des pressions constantes, plus faibles que celles de la conduite principale sur laquelle ils sont branchés. Ces appareils portent le nom de *régulateurs de pression*. On peut citer entre autres les régulateurs *Legat*, *Tulpin*, *Schaeffer* et *Budemberg*, etc., etc. Dans tous ces appareils, la diminution de pression est obtenue par le passage de la vapeur à travers un orifice plus ou moins ouvert, à peu près comme dans le régulateur d'écoulement du gaz décrit à l'article ÉCLAIRAGE, ce qui produit une détente plus ou moins considérable, et par suite une diminution de pression. Pour que la vapeur puisse agir sur les soupapes ou robinets de distribution, il faut nécessairement employer un intermédiaire. MM. Legat et Tulpin emploient un piston avec un obturateur en caoutchouc spécial : MM. Schaeffer et Budemberg emploient une plaque flexible d'acier. Mais soit pour le caoutchouc, soit pour les plaques d'acier, l'élasticité primitive de la matière est changée peu à peu par l'usage, et l'appareil, primitivement bon, se détériore. M. Coignet emploie le mercure, qui transmet instantanément les variations de pression par suite de la disposition spéciale de l'appareil, et qui ne s'altère pas aux températures ordinaires de la vapeur. L'appareil est analogue à un manomètre à mercure. Sous l'influence de la pression de la vapeur détendue, le mercure baisse dans une des branches de l'appareil et monte dans l'autre, pour se déverser dans une sphère creuse mobile. Cette sphère agit sur les soupapes de distribution par l'intermédiaire d'un levier, et on règle l'appareil au moyen d'un contre-poids et en faisant va-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rier la hauteur des tubes du manomètre. On voit donc immédiatement que, suivant la pression, le poids du mercure de la sphère mobile est plus ou moins considérable, et par suite les soupapes sont plus ou moins ouvertes.

L'appareil qui doit toujours accompagner le régulateur, quand la vapeur est employée au chauffage, est un extracteur ou purgeur automatique des eaux de condensation. Cet appareil fonctionne toujours par le moyen d'un flotteur.

RÉGULATEUR DE TEMPÉRATURE. — INCUBATION ARTIFICIELLE. En parlant de régulateur de température, il n'est pas question ici des moyens employés dans tous les fours ou fourneaux manufacturiers pour obtenir un chauffage et une température à peu près régulière, par la manœuvre des portes du fourneau ou du cendrier et de clefs ou registres, par l'emploi des appareils de distribution ou la conduite du feu ; nous parlons des procédés avec lesquels la température d'un appareil se règle et s'égalise par sa marche même, de manière à activer la source de production de chaleur quand la température de l'appareil vient à baisser, et à la ralentir quand la température s'élève.

Une disposition plusieurs fois employée consiste à installer par une de ses extrémités, dans la capacité dont le degré de chaleur doit être maintenu invariable, une tige métallique en fer, en cuivre ou en zinc, dont l'autre bout sort à l'extérieur. Cette tige subit évidemment les variations de température du milieu dans lequel elle est plongée ; elle s'allonge quand la température s'y élève, et se raccourcit quand elle s'abaisse.

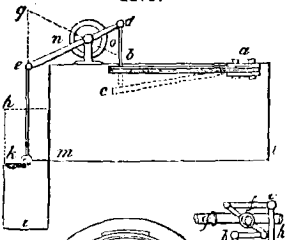
Il est évident que si la tige métallique est assez longue pour qu'une légère variation de chaleur produise un allongement sensible, on pourra au moyen de leviers qui multiplieront l'amplitude du mouvement, faire manœuvrer par la tige un appareil qui diminuera l'intensité d'action de la source de chaleur, quand la tige s'allongera sous un excès de chaleur, et l'augmentera quand, au contraire, un abaissement de chaleur viendra raccourcir la tige métallique.

Rien de plus simple que le principe de ce procédé. Nous l'avons vu appliqué à des étuves, à des poêles à feu lent et à température constante, comme les poêles à anthracite de l'Amérique. La tige alors, plongée dans le réservoir d'air chaud, manœuvrait par ses mouvements une clef placée dans le tuyau de fumée, unie à une valve, très sensible, qui réglait ou fermait presque complétement l'arrivée de l'air sous le foyer et par conséquent la vitesse de combustion. Installée dans des vases pleins de liquide pour le service des bains, les distillations, les évaporations, etc., que l'on veut maintenir sans variation au même degré pendant un long temps, la tige métallique agit de la même manière.

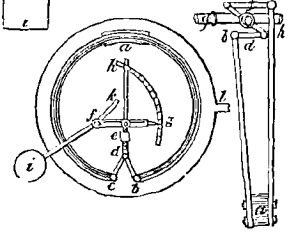
Le thermostat du docteur Ure est construit sur le principe dont nous avons parlé plus haut, et formé de deux ou plusieurs lames de différentes dilatabilités, l'une en acier, l'autre en laiton.

Ces barres, invariablement liées par un bout, agissent par l'autre bout au moyen d'un levier *e*, *e*, sur une valve ou registre *o n* (fig. 2218) qui ouvre ou ferme, par exemple, l'entrée de l'air de ventilation dans un appartement ou l'entrée de l'air chaud sous une chaudière ou un bain. La fig. 2219 est une disposition qui sert à maintenir un réservoir d'eau à une température constante, en ouvrant ou fermant, suivant les besoins, un robinet qui opère ou interrompt l'introduction de l'eau chaude. On voit donc qu'en ajustant les tiges à la température pour laquelle elles doivent être réglées, on obtiendra facilement le degré que l'on veut, par le calcul des rapports d'allongement avec les longueurs des leviers, engrenages ou autres transmissions, et l'amplitude de la course à faire exécuter à la pièce qui réchauffe la capacité donnée. La fig. 2220 représente 2 barres inégalement dilatables *ab*, *ac*, liées en *a*, et qui ouvrent ou ferment plus ou moins le robinet du tuyau *g h*, en agissant sur les leviers intermédiaires *d* et *f*.

2218.



2219. 2220.



Le docteur Ure a décrit plusieurs applications de son procédé et en particulier à une cheminée dont il manœuvre le registre. Mais il est évident que l'impossibilité d'employer dans la plupart des cas de longues barres, rend les courses disponibles infiniment petites, et exige, pour avoir des mouvements utilisables, des complications embarrassantes et peu sûres de leviers ou d'engrenages. Ces leviers, en effet, ne peuvent pas rester inaltérables ni toujours en parfait état de mouvement, et l'appareil de réglement finit par ne plus rien régler.

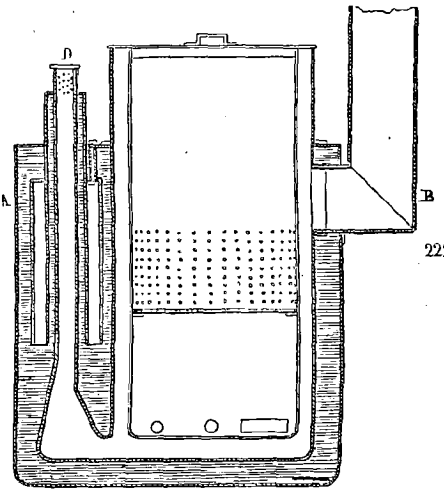
Régulateur de Sorel. M. Sorel a eu l'heureuse idée de substituer à la dilatation trop faible des tiges métalliques, les grandes dilatations de l'air, renfermé dans une capacité close. La petite chaudière à régulateur (fig. 2221 et 2222) montée par M. Sorel dans le couvoir de madame Rousseau, consiste en une chemise extérieure en cuivre A qui reçoit un vase intérieur sans communication avec elle ; au centre est ajusté un cylindre en tôle avec un foyer, et des trous, percés au bas de ce cylindre, portent au foyer l'air destiné à la combustion, et qui arrive à travers l'enveloppe extérieure du tube vertical D fermé en haut, et muni seulement de trous d'entrée à sa circonférence. Les produits de la combustion passent à travers un grand nombre d'orifices percés dans le cylindre du foyer, et échauffent avec le calorique dégagé, l'eau de la chaudière, sans la mettre jamais en ébullition, comme le ferait un foyer direct. Puis la fumée s'échappe par un tuyau de tôle muni d'une clef. Autour du tuyau d'arrivée d'air est un récipient renversé, servant de flotteur et rempli d'air, qui se dilate quand la température s'élève, et, s'élevant en même temps, va fermer les trous d'arrivée d'air et ralentir la combustion. — Il descend, au contraire, dès que la température s'abaisse, ouvre un plus large passage à l'air d'alimentation, et rend à la combustion toute son activité. Un petit tuyau, muni d'un bouchon, sert à régler la quantité d'air renfermée dans le récipient, de manière à fermer complétement l'ouverture d'admission d'air au degré maximum que l'eau de la chaudière doit atteindre comme à l'ouvrir en entier au degré le plus bas, et d'obtenir ainsi une température constante, à un degré près.

Les variations atmosphériques exigeant des variations dans l'intensité du chauffage, on augmente ou on diminue la quantité d'air contenue dans le flotteur suivant

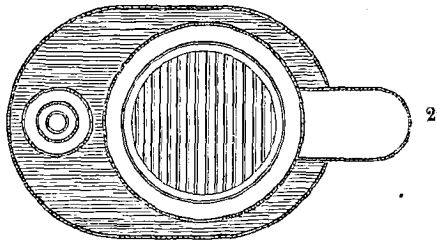
EFERUS - Recherche & Classification numérique

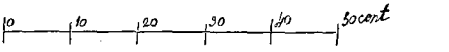
que la température extérieure est plus ou moins élevée, et qu'il faut diminuer ou augmenter la quantité de combustible brûlé.

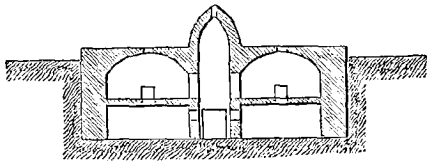
Il suffira, pour déterminer les dimensions d'un semblable appareil, de calculer le volume d'air renfermé au degré de règle, et l'augmentation de volume que cet air éprouvera, tant par la chaleur que par la différence de tension de la vapeur, depuis le degré de règle jusqu'à celui maximum où l'on veut que le registre soit complétement fermé. Avec les rapports de section des vases, on aura l'amplitude de mouvement du flotteur, et on déterminera les leviers nécessaires pour développer la course complète d'un registre ou d'une valve. M. Bonnemain, pour régler les beaux appareils dont nous allons parler, a trouvé un régulateur de température que nous ne donnons pas ; il repose sur le principe de l'inégale dilatation du plomb et du fer pour ouvrir le tuyau ou fermer le registre de l'introduction d'air du foyer ; mais cet appareil, outre plusieurs défauts spéciaux, est loin de valoir celui de M. Sorel.

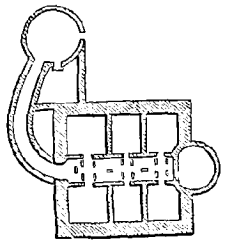


2221.


2222.




2223


2224.

INCUBATION ARTIFICIELLE.

L'art de couver artificiellement les œufs et de faire éclore les poulets est une des inventions les plus curieuses de l'homme, comme la reproduction d'un acte encore mystérieux de la nature. Mais on s'explique facilement cette découverte dans un pays aussi chaud et aussi sec que l'Égypte, et dont les habitants ont chaque jour sous les yeux plusieurs espèces d'animaux qui laissent couver leurs œufs dans le sable à la seule chaleur du soleil.

De l'observation de ce fait à l'imitation artificielle du procédé, il n'y avait qu'un pas (1).

On trouve, en effet, quelques mots sur cette industrie des Egyptiens dans Aristote et dans Diodore de Sicile. Il n'en est aucunement question dans Hérodote, d'ailleurs si exact dans la description de tout ce qu'il a vu de remarquable en Egypte, d'où l'on peut conclure que cet art est né dans l'intervalle écoulé entre les époques où écrivaient Hérodote et Aristote. Aujourd'hui, cet art est encore florissant dans l'Egypte, qui lui doit la grande abondance de volaille dont elle est pourvue. L'éclosion des œufs paraît, d'après quelques mots de Pline, avoir eu lieu d'abord dans des couches de fumier où la fermentation développe une chaleur douce et régulière, procédé employé depuis par Réaumur. Mais vers le temps de Pline le naturaliste, on y substitua *l'emploi des fours artificiellement chauffés, où les œufs étaient placés sur des lits de paille.* Ces fours, appelés *mamals*, existent encore aujourd'hui. Ils sont banaux et communs à vingt ou vingt-cinq villages Ils consistent (figures 2223 et 2224) en plusieurs systèmes de chambres accouplées, construites en maçonnerie très épaisse, presque entièrement enterrées sous le sol, et auxquelles on n'arrive que par un long corridor, défendu encore par des cloisons, dispositions merveilleusement bien combinées pour obtenir la température parfaitement égale qui est nécessaire au développement des poulets. Les Egyptiens n'ayant, en effet, que des procédés de chauffage grossiers, c'est par la masse de maçonnerie qu'ils ont été obligés d'en régulariser les effets.

(1) Le savant M. Ed. Biot a bien voulu rechercher, sur notre demande, si dans les ouvrages chinois qui traitent des arts, ou dans les mémoires des missionnaires, il n'était pas parlé de procédés analogues. Il n'en a trouvé aucune trace.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chaque système se compose d'une chambre inférieure et d'une chambre supérieure, communiquant entre elles par une ouverture centrale et avec le corridor par des ouvertures. On place 6000 à 7000 œufs dans la chambre inférieure sur de la paille; on fait, pendant les huit ou dix premiers jours seulement, du feu dans des rigoles réservées à l'entrée de la chambre supérieure, en y brûlant le combustible de l'Égypte, des mottes composées de bouse de vache, de fiente de chameau et de paille; la fumée s'échappe par l'ouverture de la chambre supérieure et par celle de la voûte du corridor, et la chambre inférieure s'échauffe par la transmission de la chaleur du four supérieur. Trois ou quatre heures de feu suffisent par jour. Plusieurs fois par jour on remue les œufs pour en égaliser la température.

Vers le dixième jour, après avoir visité les œufs à la lumière, et enlevé ceux qui sont mauvais, on les monte tous dans la chambre supérieure, où les mêmes soins leur sont donnés, et enfin, vers le vingt-et-unième jour, les poulets éclosent. On les rend alors aux propriétaires des œufs, ou on les vend à la trentaine. Leur nourriture paraît être de la farine de millet.

Les poulets, avant d'être mis à l'air, sont placés dans la galerie centrale pour les accoutumer lentement à la température extérieure.

L'art de conduire les *mamals* est resté concentré dans le *seul* village de *Bermè*, dans le Delta, et chaque année les Berméens, au commencement de l'automne, se répandent dans toute l'Égypte pour y exercer leur industrie, qui exige évidemment une grande expérience pratique. Pour prix de leurs soins, ils prennent tous les poulets qui éclosent au-delà des deux tiers des œufs qu'on leur a confiés, déduction faite de ceux qu'ils ont rejetés à la visite comme ne se développant pas.

Cette industrie était restée ignorée en Europe, lorsque Réaumur travailla à l'introduire en France. C'est l'un des hommes qui ont réuni le plus heureusement la connaissance scientifique aux applications d'atelier. Il consacra à ce travail de longues séries d'expériences, plusieurs ouvrages importants, et rédigea même une instruction-pratique, mais sans en faire réellement un art.

Comme l'avaient fait d'abord les Egyptiens, il employa presque exclusivement le fumier, pour entretenir un four en bois à la température de 40° centigrades que l'observation lui avait appris être la meilleure. Il reconnut le danger des émanations putrides sur les œufs où les poulets près d'éclore, la nécessité du renouvellement de l'air sur les œufs, et en conclut l'existence du phénomène de la respiration du poulet dans son œuf. Il rechercha les moyens de régulariser la chaleur de ses couches de fumier, mais avec peu de succès, car jamais ses procédés n'ont donné de produits suivis. Ses recherches sur les moyens d'éducation et de nourriture des poulets, son invention des *poussinières* grillagées, des *mères*, garnies de peaux de mouton, encore employées, sont surtout remarquables.

L'auteur de l'ornithotrophie, Copineau (1783), vint ensuite apporter un four ingénieux et bien disposé : c'était une hutte en bois, à enveloppes doubles et rembourrées, recevant intérieurement les œufs sur des étagères, et chauffée par une espèce de calorifère placé à la partie inférieure, et dont le tuyau de fumée sortait par le haut de la hutte. La hutte était munie de moyens de ventilation; etc. Cet ouvrage est une bonne instruction sur tous les moyens pratiques d'exécuter en grand l'incubation et l'éducation artificielle des poulets.

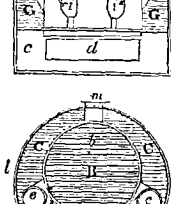
Mais c'est Bonnemain qui a porté l'incubation à son degré actuel de perfection par la découverte du *chauffage à circulation d'eau*, et l'invention pour chacune des phases de l'incubation de dispositions d'appareils merveilleusement simples. Il fut le premier qui pratiqua cette industrie en grand comme spéculation, et qui vendit longtemps des poulets sur les marchés de Paris. On a répété partout que la révolution avait ruiné son établissement; c'est une erreur. Ce qui l'a ruiné, certainement ce n'est pas la révolution française, c'est, outre tous les frais d'essais manqués dans lesquels un inventeur comme lui a dû s'engager, le haut prix de la nourriture nécessaire aux jeunes poulets, comme l'ont observé et éprouvé ceux qui, en France, en Angleterre et aux Etats-Unis, ont voulu, avec les moyens parfaits de Bonnemain, tirer un parti industriel de ses procédés. Un appareil, monté par lui-même, fonctionne encore aujourd'hui au Pecq, chez madame Rousseau, qui y a seulement ajouté le régulateur de Sorel. Madame Rousseau, avec une généreuse persévérance, a voulu honorer les travaux de Bonnemain et conserver à la France ce modèle d'un art qui, à notre avis, aurait dû donner de bons résultats, et qui commence à se répandre dans les fermes avec les petits couvoirs. C'est à la bienveillance de madame Rousseau que nous devons tous les détails qui suivent. Bonnemain, qui a tant inventé, et dont toutes les inventions portent un caractère si hautement pratique, Bonnemain, par une crainte exagérée des contrefacteurs, n'a jamais rien écrit. Nous sommes heureux de pouvoir donner ici, avec tous ses détails, l'art de l'*éducation des poulets*.

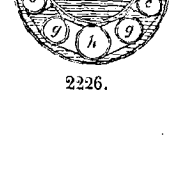
Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'impossibilité où l'on serait de trouver assez de poules couveuses pour obtenir seulement 100 poulets par jour; il faudrait plus de 2500 poules à raison de 12 œufs par poule et une poule sur dix qui puisse couver : quelle dépense et quels embarras !

Avec l'incubation artificielle, rien n'est plus facile, c'est une véritable industrie.

Les appareils d'éclosion sont renfermés dans une chambre partagée en trois parties par des cloisons. Dans un angle est un petit cabinet bien clos, peu éclairé, pour être facilement maintenu à 39° centigrades, température nécessaire à l'éclosion, et qui reçoit le *couvoir*. — Cet appareil (fig. 2227) est un bâti composé de montants et de traverses sur lesquels on fait glisser des tiroirs destinés à recevoir les œufs. Des bandes de vieux tapis retombent par devant les tiroirs, et ferment entièrement le bâti; et de plus, une couverture recouvre entièrement le bâti pour y mieux concentrer la chaleur. Les deux bouts du bâti, le plafond et le fond, isolés du sol, sont fermés à demeure par des panneaux de bois, et au-dessus du plancher inférieur sont suspendues des peaux de mouton faisant la courbe, et isolées de ces planches de 4 centimètres.

2225.





2226.

Cet étage inférieur sert de promenoir aux poulets nouvellement éclos, qui cherchent sous les peaux de mouton, appelées *mères*, la chaleur artificielle dont ils ont besoin.

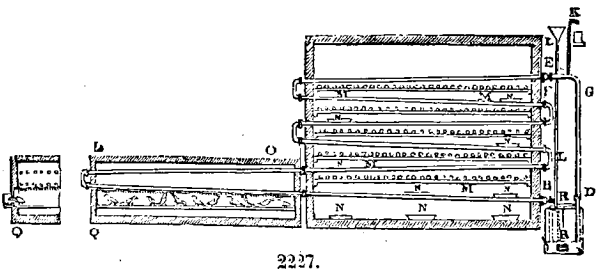
Un promenoir extérieur, grillagé, placé du côté de la fenêtre, sert à faire sortir et manger, pendant les six ou huit premiers jours, les poulets par deux petites trappes.

A ces dispositions si ingénieuses, Bonnemain a ajouté son bel appareil de chauffage à circulation d'eau, dont nous avons parlé en détail à l'article *chauffage d'habitation*.

Une petite chaudière de cuivre (fig. 2225 et 2226) munie d'un foyer intérieur, et remplacée chez madame

EFERUS - Recherche & Classification numérique

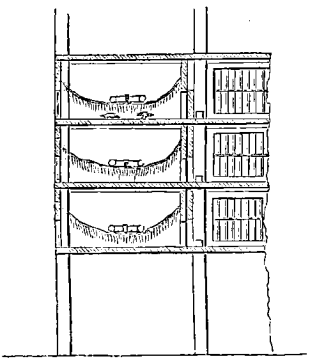
Rousseau par le régulateur de Sorel, porte à sa partie supérieure un tuyau en cuivre de $0^m,06$ de diamètre, plein d'eau (fig. 2227), qui monte jusqu'en haut du couvoir et s'y ramifie en sept branchements de $0^m,04$, qui courent dans la longueur du bâti, vont descendre par un tuyau unique à l'étage de tiroirs immédiatement inférieur, où il se divise de nouveau en sept tuyaux pour passer au-dessus des tiroirs de cet étage, et aller successivement, toujours en descendant d'étage en étage, chauffer tous les tiroirs, et rentrer enfin dans le bas de la chaudière par un tuyau unique. Par la combustion du charbon de bois placé dans le foyer, l'eau de la chaudière s'échauffe et circule d'une manière continue dans les colonnes montantes et descendantes de l'appareil, en y répandant une chaleur douce très égale, et réglée à volonté, comme nous l'avons dit, au moyen du régulateur Sorel.



2227.

A la partie supérieure de l'appareil est un petit tuyau destiné à évacuer l'air que dégage l'eau chauffée, ou qui s'introduit dans l'appareil, et qui en arrêterait la circulation. De côté se trouve un tuyau plus gros dans lequel plonge un siphon.

Dans la même salle sont placés les promenoirs (figure 2228), où l'on place les poulets après sept ou huit



2228

jours d'éclosion. Ce sont trois planchers superposés fermés à l'entour de grillage très fin, pour que les poulets ne puissent pas s'y étrangler.

A une extrémité du promenoir sont des cages, appelées mères, munies de peaux de mouton disposées comme nous l'avons déjà dit, communiquant avec le promenoir par de petites trappes que l'on ouvre ou ferme du dehors, et qui restent ouvertes pendant le jour pour que les poulets puissent à leur gré aller se promener, ou revenir chercher sous les mères une température plus élevée.

Deux tuyaux de circulation d'eau, partant d'un appareil indépendant de celui du couvoir, passent au-dessus des peaux de mouton, et servent à tenir les poulets à la température dont ils ont besoin.

Dans la salle même, dont les murs doivent être épais, est un poêle toujours chaud, qui dans cette salle empêche tout refroidissement. On lâche les poulets quand ils sont plus gros. Enfin, dans un angle est un cabinet où se trouvent des bâtons scellés horizontalement dans les murs, pour y faire percher les poulets quand on les ôte des *mères*.

Conduite de l'incubation.

Après avoir chauffé l'appareil pendant huit ou dix jours, pour vérifier s'il fonctionne bien et après avoir échauffé les murs, on place les œufs à couver dans les tiroirs, en choisissant des œufs qui n'aient pas plus de 15 ou 20 jours de date; plus vieux ils donnent plus de déchet. Il faut choisir les œufs des poules dont on est sûr; jamais ceux qui ont un vide à l'intérieur. Les poules ordinaires, les noires surtout, sont en général meilleures que les poules rousses. Les poules les plus fortes produisent, dit-on, plus de femelles que de mâles. Le nombre des coqs influe beaucoup sur la fécondité des œufs. S'il y a trop de coqs pour un nombre donné de poules, il y a plus d'œufs clairs; il faut un coq pour huit poules.

Pour avoir des poulets sans interruption pendant toute la saison, on ne remplit les tiroirs que successivement, en rapport avec les quantités que l'on veut obtenir, en commençant à faire couver au mois de janvier, aussitôt que l'on peut se procurer des œufs.

On place dans chaque tiroir 60 ou 70 œufs sur un lit de paille de froment broyée dans les mains, avec une étiquette portant la date d'entrée et un thermomètre, et on les espace soigneusement pour éviter tout contact.

Entre les tiroirs, à chaque rangée, on place une éponge imbibée d'eau; celle-ci est renouvelée chaque jour, et est destinée à entretenir un degré nécessaire d'humidité dans l'air chauffé du couvoir; l'air trop sec dessécherait les œufs et tuerait les germes ou les poussins.

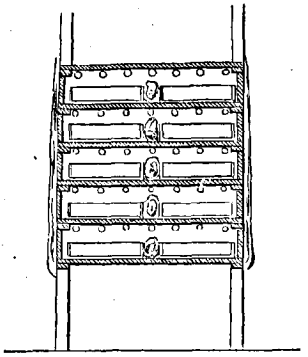
Les tapis et couvertures sont soigneusement baissés et la porte fermée, et on règle l'appareil de manière à maintenir dans le couvoir, rigoureusement, sans variations, 39° centigrades. C'est la condition la plus importante de l'incubation, et on a pu voir que c'était le but qu'on s'était proposé dans les différents appareils construits à toutes les époques. Une chaleur trop intense ou trop faible, ou même des variations importantes de chaleur, nuiraient gravement au développement de l'embryon. Bien que l'incubation puisse avoir lieu de 30 à 45° centigrades, la température la plus convenable est celle de 39°.

Le foyer se remplit matin et soir de charbon de bois, en réglant la marche du flotteur d'après la température extérieure de manière que dans les plus grands froids le foyer ne soit pas tout à fait vide le soir.

Pour 18 à 24 tiroirs à 70 œufs, il faut à peu près 15 à 20 litres de charbon de bois par jour. On doit visiter les œufs toutes les vingt-quatre heures. On les laisse s'aérer les portes ouvertes pendant un quart d'heure, afin d'avoir toujours de l'air frais dans les cases. Si la température n'était pas égale dans tous les tiroirs, on envelopperait de laine la portion de tuyau qui chaufferait trop

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vivement. On renouvelle enfin l'eau des éponges, on referme tout et on rabat les couvertures (fig. 2229)



2229.

Après cinq jours de couvée, un œil exercé aperçoit déjà le germe développé en mirant les œufs à une vive lumière. Au dixième jour cela devient très facile, on voit le poussin remuer et des veines sanguines parcourir l'œuf dans tous les sens. Tous les œufs où le germe ne s'est pas développé, sont enlevés et cuits pour la nourriture des petits poussins.

Avant l'époque de l'éclosion, on étend dans le couvoir, à l'entour du bâti, un lit épais de paille broyée à la main, pour garantir de la mort les poussins qui souvent viennent à tomber. L'éclosion a lieu le vingt-unième et quelquefois le vingt-deuxième et le vingt-troisième jour. Tout le monde sait, d'après Bonnemain, que le poussin casse sa coquille en la frappant avec une éminence cornée dont le bout de son bec est armée, ce qu'on appelle *bécher*, et qu'il l'ouvre en faisant effort sur les morceaux séparés et en déchirant les membranes intérieures, après quoi il sort tout mouillé et se ressuie en deux heures de temps à l'étuve.

Le premier jour on laisse les poussins sortir de leur coquille sans les troubler ; le second jour seulement on aide ceux qui ne sont pas assez forts pour sortir, en brisant avec précaution la coquille avec une épingle. Quelquefois le petit poulet est trop faible pour sortir, ou même il est collé à la coquille par la dessiccation trop rapide des liquides intérieurs. Il attendrait trop longtemps pour sortir et en souffrirait. Il faut casser la coquille avec précaution pour l'aider, et le décoller avec un peu d'eau tiède pour lui permettre de se dégager. On enlève immédiatement les coquilles qui pourraient blesser les poussins, que l'on descend le deuxième jour à l'étage inférieur du couvoir sous les peaux de mouton, élevées au centre de 4 centimètres pour que les poulets n'en puissent pas être écrasés.

Les poussins sont laissés vingt-quatre heures sans manger ; les jours suivants on les sort quatre ou cinq fois à la main, pendant un quart d'heure, dans le promenoir établi au bout du couvoir. A chaque sortie on leur donne à manger dans de petites auges en bois. On augmente ensuite le temps des sorties.

Quelquefois aussi on les laisse deux ou trois jours dans de la paille propre et menue avant de les descendre au plancher inférieur.

Ainsi accoutumés à l'air, on les porte après six ou huit jours sous les mères que nous avons décrites, et où la température est de 25 à 30 degrés centigrades. Les

trappes des mères restent fermées la nuit, et le jour on les ouvre, pour leur donner leur nourriture dans les grands promenoirs placés dans une salle, qu'un poêle entretient de 15 à 20° centigrades, en plaçant chaque jour la nourriture à 25 ou 30 centim. plus loin des trappes pour les accoutumer par degré à l'air de la salle. Quand la température extérieure est à 6 degrés au-dessus de zéro, la chaleur des poussins suffit sans les appareils pour entretenir sous les mères la température nécessaire à leur santé. L'eau, souvent renouvelée, qu'on leur laisse pour boire, est mise dans des vases de fer-blanc ayant un centimètre de saillie et de hauteur, pour éviter qu'ils ne s'y puissent noyer ; les vases de plomb ou de cuivre les empoisonneraient. On a grand soin de séparer les couvées par des cloisons, afin de régler la nourriture en raison de l'âge.

La nourriture donnée aux petits poussins est une question très importante, et qui a jusqu'à présent ruiné les établissements industriels d'incubation artificielle.

On prend toute la mie d'un pain de 2 kilogrammes avec laquelle on écrase et on pile dans un mortier le jaune de cinq ou six œufs cuits durs, et avant tout les jaunes des œufs avortés au couvoir, ou dont les poussins sont morts avant d'éclore : les poussins en sont pilés avec les jaunes d'œufs de manière à ne rien perdre. C'est la ration de 40 poulets pendant vingt-quatre heures.

Les blancs d'œufs sont cuits à part et passent dans la nourriture des poulets plus forts.

Après douze ou quinze jours, on donne aux poulets bien portants du petit blé tendre ou du maïs cuit, sans être écrasé, ou de la pomme de terre cuite et mise en boule, sur une soucoupe renversée, autour de laquelle tous viennent picoter sans rien perdre. A 20 poulets de trois semaines, il faut par jour 1 litre 1/2 de blé qui, à la cuisson, donne 3 litres environ. La mie de pain trempée modérément d'eau leur est aussi très bonne. Enfin on y ajoute tout ce qui est gâché dans la nourriture des petits poussins, gent très délicate sous ce rapport. Comme à l'homme, une nourriture alternée est très favorable au développement des poulets.

Ces diverses natures de nourritures sont évidemment trop chères pour donner des bénéfices dans l'éducation des poulets. Le savant d'Arcet, qui avait une si haute estime pour les travaux de Bonnemain, qui connaissait si bien les questions d'alimentation, proposait comme aussi simple qu'économique la pomme de terre cuite dans la dissolution gélatineuse extraite des os, et pour lester l'estomac, car cette nourriture serait trop substantielle, il y ajoutait de la sciure de bois ou de la tannée bien lavée.

On obtiendrait ainsi à très bon marché une excellente nourriture et des poulets rapidement et vigoureusement développés. Une pâtée dans laquelle entrerait, au lieu de jaunes d'œufs, de la viande de cheval cuite à la vapeur, réussirait aussi parfaitement aux jeunes poulets.

Les premières couvées de janvier restent deux mois sans sortir ; une heure suffit pour la première fois, et encore par un beau soleil. Chaque jour on allonge la sortie dans une cour, ou mieux en les classant par couvée sous des cages d'osier. Puis enfin ils passent dehors toute la journée ; mais il faut leur éviter toute humidité qui leur est funeste, et les rentrer surtout avant la soirée, ou quand la pluie les menace ; car alors, accoutumés à se presser ensemble sous les mères artificielles pour se défendre du froid, ils se précipitent en masse dans un des coins de la cour, montent les uns sur les autres sans qu'aucun effort puisse les arrêter, et ceux de dessous sont infailliblement asphyxiés.

Bonnemain a trouvé un procédé très ingénieux pour séparer par âge et par force les poulets de plusieurs couvées laissés libres dans une cour. Il a fait un escalier avec des marches de hauteur *croissante*. Sur

EFERUS - Recherche &.Classification numérique

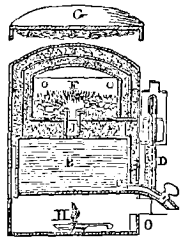
ces marches, il semait du grain ou toute autre nourriture que tous les poulets venaient manger. Il est évident que les poulets les plus forts pouvaient seuls monter sur les marches les plus hautes, et ils se trouvaient ainsi naturellement classés par taille et par âge. Après sept ou huit semaines, on les fait coucher sous les mères; puis alors ils perchent dans le cabinet-perchoir dont nous avons parlé plus haut. Quant aux couvées de l'été, on les sort à quinze jours ou trois semaines, mais à l'ombre seulement; à trois mois, ils sont bons à vendre et à manger.

Jusqu'à cet âge, on perd ordinairement 20 p. 0/0 des poulets éclos. Leur maladie la plus habituelle est une diarrhée due le plus souvent à la température trop élevée des mères, ou à ce qu'ils s'y trouvent trop serrés, et que l'on guérirait probablement par un régime de riz bien cuit. Il en périt aussi beaucoup par asphyxie, comme nous l'avons dit, étouffés par les autres. Il faut, pour éviter les pertes, exercer une active surveillance, séparer ces poulets trop nombreux, les rentrer à chaque menace de pluie, ou bien avant l'arrivée de la nuit; se défendre surtout contre les grandes chaleurs, qui sont même défavorables aux éclosions; car les couvées qui réussissent le mieux sont celles de la fin de l'hiver.

Incubation artificielle par les eaux minérales. — D'Arcet a essayé aussi à Vichy, en 1827, et ensuite à Chaudes-Aigues, l'incubation artificielle pour donner de belle volaille aux malades qui arrivent de bonne heure aux eaux et qui n'y trouvent que des poulets excessivement petits. Les œufs étaient placés dans un panier suspendu dans une chambre chauffée par le passage des eaux minérales dans un poêle métallique. L'éducation de ces poulets, même pendant l'hiver, dans des salles chauffées de la même manière, ne peut présenter aucune difficulté. C'est un procédé très ingénieux. Nous ne parlerons d'aucune des dispositions de procédés que l'on trouve décrites dans le Bulletin de la Société d'encouragement, dans le Dictionnaire des découvertes, les Mémoires de l'Académie des sciences, etc. : aucun n'a même fonctionné, et les procédés de Bonnemain sont restés ce qu'il y a de plus parfait.

Couvoirs portatifs. — Si cependant l'incubation artificielle, comme industrie spéciale, n'a pas vécu et donné des bénéfices, l'éclosion artificielle par de petits appareils portatifs s'est répandue dans beaucoup de fermes, où elle a donné de très bons résultats.

Le meilleur de ces appareils est le *caléfacteur-couvoir* de Lemare, inventeur aussi original et aussi pratique que Bonnemain. Cet appareil, représenté en coupe (fig. 2230), consiste en une boîte inférieure en bois A, qui supporte l'appareil à eau chaude B, et contient la lampe à esprit de vin H. Un vase en cuivre ou en zinc B, rempli d'eau, et qui reçoit la chaleur transmise par la lampe pour la transmettre et l'égaliser sur les œufs. Ce vase porte un tube P, qui sert à le remplir d'eau, et un petit tube pour évacuer l'air de la partie supérieure au moment du remplissage. Un panier aux œufs F, isolé de l'enveloppe double G, remplie de ouate pour éviter tout refroidissement; enfin un couvercle ouaté également. La lampe à esprit de vin, bien plus régulière que la lampe à huile, est placée sous le vase d'eau et réglée de hauteur pour entretenir dans le panier la température nécessaire de 39° donnée par un thermomètre qui plonge au milieu des œufs, et dont la tige sort au dehors. Un régulateur du feu, reposant sur le principe de la dilatation de l'eau, consiste en un flotteur creux, lié par une chaînette à un registre qui ouvre ou ferme l'arrivée de l'air nécessaire à la combustion de la lampe. Quand l'eau est trop chaude, la dilatation fait monter le flotteur et fermant toute arrivée d'air, ralentit la combustion de la lampe. Il ouvre, au contraire, cette arrivée, et active la combustion quand l'eau, en se refroidissant, fait baisser le flotteur. La mèche de la lampe est coupée soir et matin, et on vérifie de temps en temps le règlement et la marche du régulateur.



2230.

Dans le couvoir Sorel, les œufs sont enveloppés de toutes parts d'eau chaude en circulation, montant par un tuyau central et redescendant par des tubes latéraux; le tout entouré d'une enveloppe en bois ou en carton. Le régulateur est, sur le principe que nous avons décrit, un récipient renversé, plein d'air, et qui entoure la chaudière centrale. L'excès de température de l'eau, en dilatant l'air, fait monter le récipient qui enveloppe concentriquement la cheminée, ferme les trous latéraux par où s'échappent les produits de la combustion, et ralentit celle-ci, et réciproquement l'active en ouvrant tous les orifices quand la température de l'eau vient à baisser. La sensibilité de ce régulateur est parfaite. Les conditions principales à observer sont l'installation de l'appareil dans un endroit très calme et très isolé. Le choix des œufs, la conduite de l'incubation et les soins à donner aux poussins sont les mêmes que dans le grand appareil. Il faut toujours régler la température de l'appareil avant d'y introduire les œufs.

Mais dans une ferme on ne peut pas organiser l'éducation des poulets, quand ils sont sortis des étuves, comme on le ferait dans une entreprise industrielle. Il faut faire conduire, surveiller et réchauffer tous les poussins comme le font les poules. Celles-ci acceptent difficilement la conduite des poussins qu'elles n'ont pas couvés; les chapons, au contraire, adoptent tous les poussins de tout âge qu'on leur confie, quand on les a dressés et accoutumés à les conduire : ce conducteur est presque toujours facile à leur donner. Un chapon conducteur suffit à 40 ou 50 poussins, et a pour chacun d'eux tous les soins de la mère la plus vigilante. A défaut de chapons conducteurs, on loge les jeunes poulets dans une poussinière portative grillée comme les promenoirs que nous avons décrits, et fermée par un couvercle et dans laquelle on place une mère portative de 0m,50 de longueur, donc la peau de mouton est plus haute à l'entrée qu'au fond pour que les poulets de toutes les tailles y trouvent refuge. Quand la température extérieure est trop froide, on place le soir sous la mère un vase plein d'eau chaude. Les deux bouts de la mère doivent être fermés seulement avec un rideau tombant en flanelle pour éviter que les poulets, en s'y entassant, ne viennent à s'étouffer. Une poussinière de 1 mètre de longueur, 0m,32 de largeur et autant de hauteur, suffit à 50 poussins.

La propagation de ces ingénieuses méthodes contribuera puissamment à multiplier les volailles dans les fermes et les maisons de campagne, et sera une source nouvelle de richesse agricole pour la France.

PH. GROUVELLE.

RÉGULATEUR POUR TEMPÉRATURES ÉLEVÉES. — TORRÉFACTEUR. Le régulateur Sorel ne peut évidemment convenir que pour des températures moins élevées que 100°; le problème de la régularisation des hautes températures se trouvait donc réduit aux solutions peu satisfaisantes dont il est parlé au commencement de cet article, lorsqu'il a été repris par M. E. Rolland, qui s'est proposé de monter dans les manufactures de tabac, pour arrêter la fermentation par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dessiccation, des torréfacteurs dont l'action fût entièrement automatique.

Je décrirai d'abord cet appareil.

Le tabac, à un certain moment de la fabrication, doit être soumis à une température supérieure à 100°, opération qu'on désigne sous le nom de torréfaction. Jusqu'à l'époque où a été construit l'appareil que nous allons décrire, cette opération, dans les manufactures de l'État, s'exécutait en plaçant le tabac sur des plaques métalliques chauffées par la chaleur d'un foyer ou sur des tuyaux placés parallèlement et chauffés par la vapeur; mais, par ces différents procédés, les circonstances dans lesquelles se trouvait le tabac n'étaient pas toujours les mêmes, et les ouvriers se trouvaient nécessairement soumis à des émanations peu salubres. Voici comment M. Rolland est parvenu à produire la torréfaction du tabac en vase clos, d'une manière continue et à une température constante.

Voici quelle est la disposition de l'appareil :

Un cylindre de 5m,50 de longueur, garni de nervures hélicoïdales, placé horizontalement, tourne uniformément autour de son axe, de manière à faire six à huit tours par minute. A une des extrémités, le tabac est introduit régulièrement, les nervures du cylindre le font marcher dans le sens de l'axe; des fourches, convenablement placées dans l'intérieur du cylindre, le divisent constamment, et à l'extrémité du cylindre il tombe dans une caisse garnie d'une soupape qui s'ouvre sous une certaine charge et se referme aussitôt. Au-dessous du cylindre se trouve un foyer qui rayonne sur lui et dont les gaz ne s'échappent qu'après avoir parcouru sa surface, en entraînant les vapeurs résultant de la torréfaction. Enfin, un petit appareil placé en dehors du fourneau fait varier l'orifice d'accès de l'air dans le foyer, de manière que la température du cylindre torréfacteur soit constante. C'est cet appareil que M. Rolland appelle thermo-régulateur; il peut être employé dans un grand nombre de cas pour fixer des températures comprises dans des limites très-étendues. Dans ses premières dispositions, il employait des colonnes barométriques, mais l'emploi de tubes courbés, semblables à ceux imaginés par M. Bourdon pour la construction de ses manomètres, a beaucoup simplifié l'appareil.

Nous ne décrirons que cette dernière forme.

Concevez un fléau de balance qui repose sur un couteau; une extrémité est surmontée d'un poids qui fait équilibre à un plateau circulaire suspendu à l'autre extrémité. Ce plateau, qui se trouve au-dessus d'une ouverture circulaire horizontale par laquelle l'air doit passer pour se rendre sous la grille du foyer, est destiné à diminuer plus ou moins le passage de l'air. Un réservoir métallique est placé dans le lieu dont on veut maintenir la température constante, et un tuyau de petit diamètre met ce réservoir en communication avec un tube manométrique en spirale (système Bourdon), placé de champ du côté opposé au plateau de la balance. Le manomètre, en recevant de l'air chaud, se gonfle; sa courbure change, il se redresse. Alors son extrémité libre tire une tringle horizontale liée à un petit bras de levier situé au-dessous du fléau. Le fléau s'incline; le plateau qui forme soupape s'abaisse, obstrue plus ou moins le passage de l'air, et peut même l'intercepter entièrement. C'est, on le voit, toujours sur l'emploi de l'air chaud que repose cet appareil, comme ceux décrits précédemment.

Mais le tube manométrique se déforme à la fois par l'action de l'air chaud à l'intérieur et par la pression extérieure de l'air atmosphérique; car, si la pression augmente, le tube se déforme et son extrémité libre incline le fléau. Pour détruire cet effet, M. Rolland a placé du côté opposé au manomètre un second tube en spirale, vide d'air : quand la pression atmosphérique augmente, il se déforme et il incline aussi le fléau, mais en sens contraire. Par cette heureuse addition d'un tube simplement barométrique, les variations de la pression atmosphérique sont sans effet, et les mouvements du fléau et de la soupape ne sont déterminés que par les changements de température dans le réservoir et dans le tube manométrique. Aussi, la soupape régulatrice s'abaisse ou s'élève automatiquement par les plus légers changements de température, et cet appareil fonctionne parfaitement.

RELIURE (angl. *bookbinding*, all. *buchbinderei*). Les feuilles, en sortant des mains de l'imprimeur, sont pliées et assemblées par le brocheur. Ce travail est trop simple pour devoir être décrit avec grands détails. La vue des formes d'imprimerie représentée à l'article IMPRIMERIE, c'est-à-dire la disposition des pages sur la feuille de papier développée, montre bien comment elles doivent être pliées pour former un livre. La pliure doit être faite avec soin, page sur page, en se guidant pour l'ordre des feuilles d'après la signature (marque de chaque feuille) qui est située au bas de la première page.

Les diverses feuilles sont ensuite cousues et assemblées avec un fil, recouvertes d'une couverture imprimée; ce livre est alors dit *broché*, et se vend habituellement en cet état.

Brochure à la mécanique. Le brochage des livres paraît à première vue une des industries les plus difficiles à soustraire au travail manuel, et les opérations des ouvrières, qui consistent à plier et à coudre les feuilles d'un livre, semblent peu susceptibles d'être effectuées par machines. Cependant on a vu à Londres, en 1862, au milieu des machines venant de Suisse, un appareil fort ingénieux, représenté fig. 2231, ayant pour but de plier et piquer les feuilles imprimées.

Je décrirai cette machine et j'emprunterai quelques détails historiques sur son invention à une notice que le constructeur de cette machine faisait distribuer aux visiteurs qui s'intéressaient au fonctionnement de cette machine.

L'idée première de la machine, l'invention de son organe opérateur essentiel et nouveau, est due à un relieur nommé Sulzberg. Il s'associa avec un mécanicien, nommé Graf, pour exécuter la première machine, qui fut exposée à la foire de Leipzig en 1859. Cette machine marchait imparfaitement; mais bientôt, avec le concours d'un habile mécanicien nommé Tanner, ils l'amenèrent à un haut degré de perfection.

La machine, mue à bras par un homme, ou mieux par la vapeur, plie, pique et satine au moins mille feuilles à l'heure, et peut aller au delà si l'ouvrier margeur, qui place la feuille sur la table de la machine, est habile.

Pour les journaux, comme une marge régulière, obtenue en plaçant deux lettres de la feuille sous deux pointes de la machine, comme nous allons l'expliquer plus loin, n'est plus nécessaire; que l'on peut se contenter d'une pliure moins parfaite, on peut obtenir plus de rapidité. M. Tanner, empruntant un organe qui se trouve dans des machines à enveloppe, un tuyau percé de trous à sa partie inférieure, dans lequel un soufflet produit une aspiration, put supprimer l'ouvrier margeur, le tube venant à chaque mouvement de la machine enlever une feuille du tas placé près de la table pour l'apporter sur la table supérieure de celle-ci. La machine peut alors replier d'équerre, quatre ou cinq fois, suivant qu'il est nécessaire, 2,800 à 3,000 feuilles à l'heure.

Expliquons maintenant la manière d'opérer de la machine, en décrivant l'opération pour une feuille in-octavo, pour le premier cas qui est le plus compliqué.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le margeur ayant mis la feuille sur la table supérieure, à la place indiquée par les deux pointures, qu'il fait coïncider avec deux lettres, deux signes quelconques, mais toujours les mêmes pour chaque feuille, un couteau vertical descend et entraîne la feuille par son milieu à travers une fente pratiquée au milieu de la table, la plie en deux par conséquent. C'est là, pour nous, l'organe opérateur nouveau et fonctionnant fort bien, qui doit faire le succès de cette machine. Le couteau remonte immédiatement, pendant que la feuille est poussée par un second couteau

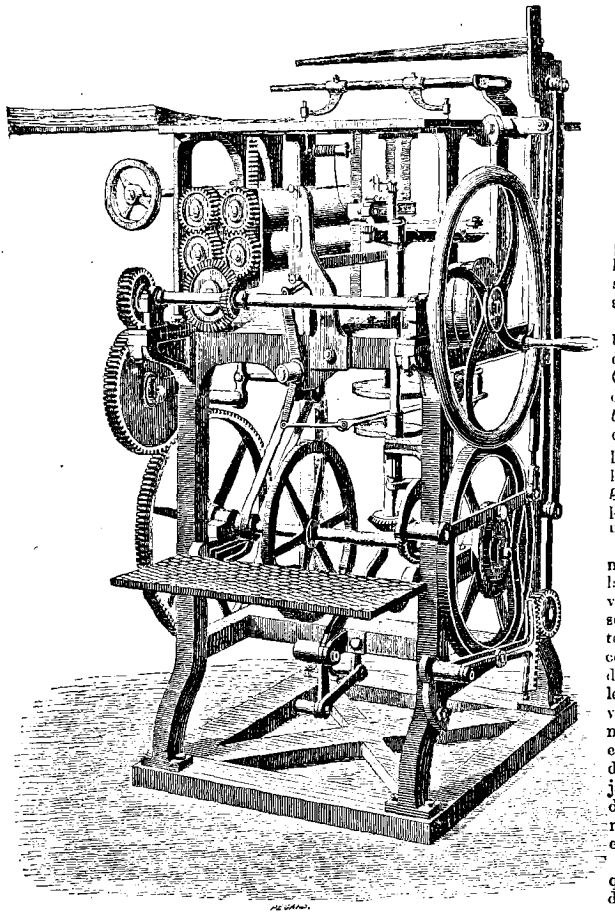


Fig. 2231.

horizontal, marchant de gauche à droite, ce qui forme un second pli à angle droit avec le premier. Le milieu de la feuille ainsi pliée se trouve alors en face d'une paire de cylindres cannelés, dont nous indiquons plus loin l'usage. C'est en ce moment que s'effectue la piqûre. Deux aiguilles, ayant entre elles l'écartement voulu, percent la feuille en son milieu, et tirent, à l'aide de crochets qui les terminent, le fil qui se déroule d'une bobine, et qui est coupé à la longueur convenable par des ciseaux qui font partie de la machine. Enfin la feuille est pliée une troisième fois, par le mouvement horizontal d'un couteau en forme de T, à angle droit avec le second. La feuille est, par ce couteau, poussée par son milieu, et elle s'engage entre les cylindres cannelés, qui en tournant l'entraînent à travers un laminoir qui la satine. Elle tombe de là dans une boîte qui reçoit les feuilles pliées et satinées, et qui sont facilement réunies, après un assemblage, en un volume, au moyen d'un peu de colle forte, qui colle sur le dos toutes les extrémités des fils qui sortent de chaque feuille. Après le séchage, il n'y a plus qu'à appliquer la couverture, pour avoir le volume broché avec une solidité parfaitement satisfaisante pour une simple brochure, mais non aussi grande que par la couture de toutes les feuilles avec un même fil, comme nous allons le dire en passant en revue les diverses opérations qui composent le travail du relieur.

Le relieur commence son travail en coupant et enlevant les fils qui ont servi au brochage pour assembler les feuilles. C'est le commencement de la série de ses opérations, que nous allons successivement passer en revue.

Battre le livre. C'est sur un bloc de pierre ou de marbre d'environ $0^m,80$ de haut sur $0^m,40$ à $0^m,50$ en carré, qu'on désigne sous le nom de *pierre à battre*, qu'on bat les livres pour en rendre toutes les pages bien planes. La pierre de liais est préférable au marbre; elle a le grain très-fin et lisse moins le papier. Sa surface doit être très-unie et horizontale.

Le marteau du relieur est une masse de fer dont la tête est large et carrée, de $0^m,10$ environ de côté. Les vives arêtes sont arrondies, afin que les batteurs ne soient pas exposés à couper les feuilles. La surface de la tête est un peu convexe; les relieurs appellent cette convexité *la panse* du marteau. Le manche est court et gros; il est assez élevé pour que les doigts du batteur ne puissent jamais toucher la pierre, afin d'éviter qu'il ne se blesse. Le marteau avec son manche pèse environ 5 kil.

L'adresse est plus nécessaire que la force pour battre. Il suffit d'avoir la force de soulever le marteau; on le laisse ensuite retomber par son propre poids, bien parallèlement à la surface de la pierre. L'ouvrier tient la *battée* d'une main et le marteau de l'autre. Le premier coup de marteau se donne au milieu de la feuille; le second et les suivants se donnent en tirant la battée à soi, mais de manière que le coup qui suit tombe sur le coup qui précède au tiers de sa distance, afin que le coup suivant couvre des deux tiers le coup précédent, et d'éviter par là de faire des bosses qu'on appelle *noix*. On tire toujours la battée vers soi, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à l'extrémité la plus éloignée du coup. Alors on tourne la battée entière du haut en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RELIURE.

bas, et l'on frappe du même côté, en commençant à couvrir des deux tiers le premier coup qu'on a donné, et on continue de même avec les mêmes précautions.

Dans les grands ateliers, on remplace par un laminoir, entre les cylindres duquel on fait passer des cahiers de six à douze feuilles, l'opération longue et coûteuse du battage. L'effet produit est bien suffisant lorsqu'il s'agit de produire des cartonnages anglais et que les feuilles sont tirées depuis peu de temps; alors qu'un battage peut être dangereux, l'encre pouvant tacher les feuilles, pouvant *maculer*.

Grecquer. On donne ce nom à l'opération qui consiste à faire des entailles sur le dos du volume, à l'aide d'une scie à main, dans le but d'y cacher la ficelle qui réunit les fils de la couture de toutes les feuilles. Après avoir ballotté le volume par le dos et par la tête, afin de bien égaliser les cahiers, l'ouvrier le place entre deux *membrures*, qui sont des ais plus épais d'un côté que de l'autre, de manière que le volume sorte de 6 à 8 millimètres, il le place dans la presse et le serre très-légèrement. Comme les membrures sont plus épaisses du côté du dos que du côté de la tranche, elles serrent davantage le dos et tiennent le volume mieux assujetti. Ensuite il fait avec la scie des entailles d'une profondeur égale au diamètre de la ficelle; il donne autant de coups de scie, également espacés entre eux, qu'on doit mettre de ficelles. Au-dessus de la première *grecque*, et au-dessous de la dernière, il donne un léger coup de scie pour loger la *chatnette*.

On a employé avec succès en Angleterre, dans les grands ateliers de reliure, de petites scies circulaires en nombre convenable, dont l'écartement varie à volonté et qui dépassent d'une très-petite quantité une plaque de cuivre percée de rainures. En très-peu de temps on grecque un grand nombre d'exemplaires d'un ouvrage en promenant le livre sur la table de la scie.

Quand le volume est *grecqué*, on prépare les *onglets* ou *sauve-gardes*. Ce sont deux bandes de papier blanc, de la longueur du volume, pliées par le milieu de leur longueur, et cousues dans le pli. Elles servent à garantir les *gardes* pendant le travail; on les enlève quand le volume est presque terminé; on les place au commencement et à la fin de chaque volume.

Coudre. La couture se fait sur un métier qu'on nomme *cousoir*, et qui est représenté figure 2232; la tableA du

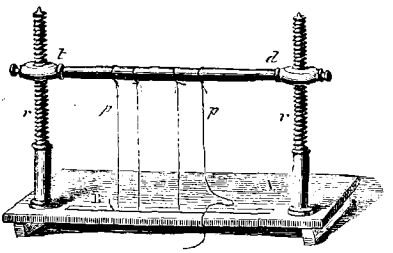


Fig. 2232.

métier porte deux vis verticales *r*, *r*, qui, tournées à la main, en les saisissant à la partie lisse placée au-dessous de la vis, permettent de fixer à une hauteur convenable la barre *td* qui porte les écrous des deux vis. Autour de cette barre on noue les ficelles *p*, *p*, auxquelles on attache les feuilles par le dos en faisant tourner autour d'elles les fils qui traversent les feuilles; ces ficelles sont arrêtées à leur partie inférieure par la pièce B fixée par le devant de la table A par une cheville. L'intervalle des ficelles doit être égal à celui des traits de scie du grecquage, et les feuilles doivent être serrées les unes sur les autres, ce que l'on obtient en les frappant avec une espèce de battant.

Endosser. On endosse tout à la fois un tas composé de huit à dix volumes. On place sur le bord de la presse d'abord une *membrure*, puis un *ais*, un volume, un autre ais, un volume, et ainsi de suite, et l'on termine par un *ais* et une autre *membrure*. L'ouvrier prend le tas des deux mains, de manière que les dos soient tournés vers lui; il le met en presse et le serre légèrement au moyen de l'ancienne presse dont nous allons parler et que tend à remplacer la presse américaine à excentrique, construite sur de petites dimensions, d'un fonctionnement très-rapide.

A l'aide d'un ais qu'il tient à la main, il dresse les ais et les volumes dans une même direction, et élève ou abaisse les volumes, pour que les dos soient tous à la même hauteur; les ais ne doivent pas déborder les cartons vers le mors. Avec le *poinçon à endosser*, il élève ou abaisse les feuilles.

L'ouvrier serre fortement le tas avec une bonne ficelle à endosser, de deux lignes de diamètre, et arrête la ficelle en la dirigeant contre la membrure sous le dernier tour de la ficelle. Avant de sortir le tas de presse, il arrondit bien le dos, l'encolle, le gratte pour faire pénétrer la colle, le lisse, colle dessus une bande de papier et laisse sécher.

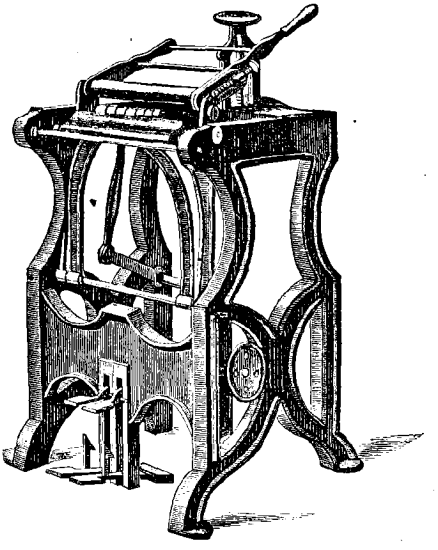


Fig. 2233.

La figure 2233 représente l'excellente machine américaine à endosser. Le dos est formé rapidement par l'oscillation circulaire d'un rouleau, pendant que le livre est serré à volonté par un mordage mû par l'action d'une pédale.

Rogner. Le volume étant fortement pressé dans une presse en bois (fig. 2234) on coupe les tranches à l'aide d'une lame d'acier e portée par un petit chariot que l'ouvrier fait mouvoir d'un mouvement de va-et-vient le long de la presse sur laquelle il est guidé par une coulisse. Ce couteau se meut aussi, mais à angle droit, dans la direction rectiligne, coupant tout ce qu'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lui présente. Cet effet est produit par une vis en bois qui la fait avancer à volonté peu à peu par suite de la rotation de la poignée *a*; la lame atteindra successivement toutes les feuilles du livre, de manière à enlever tout ce qui dépasse le plan qu'elle décrit.

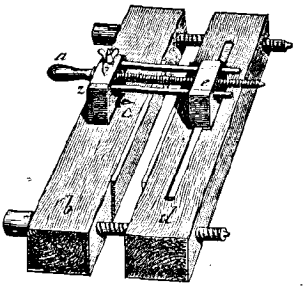


Fig. 2234.

Le couteau Massiquot et autres appareils analogues formés de forts bâtis en fonte et d'un large couteau guidé obliquement (pour lui donner le double mouvement transversal nécessaire pour faire bien couper tout instrument tranchant) et descendant par l'action d'engrenages de manière à permettre d'exercer une pression considérable, fournit le moyen de faire rogner à la fois un grand nombre de volumes, et a été un grand progrès pour tout travail de façonnage de papier.

Les relieurs, ou au moins le plus grand nombre des relieurs, sont restés fidèles à l'ancienne presse à rogner, malgré l'économie qui peut résulter de l'emploi d'outils plus expéditifs; mais il n'en est pas ainsi dans les grands ateliers où l'on opère à la fois sur un grand nombre de volumes semblables.

Nous décrirons ici une machine de cette espèce destinée à rogner la tranche des livres, construite par M. Pfeiffer, qui n'a pas eu le succès qu'on eût pu espérer, sans doute à cause de ses trop grandes dimensions.

Cette opération demande du relieur assez d'habileté pour être faite convenablement, pour bien former, pour repousser le dos du livre, pour qu'après avoir rogné à plat, on puisse, en rendant le dos convexe, retrouver la concavité de la tranche.

M. Pfeiffer pratique cette opération sur une file de volumes semblables, à l'aide d'une lame concave qui se meut sur un axe de rotation mis en mouvement par une partie de roue dentée et un pignon. Pour que cette lame qui, suivant sa dimension et son éloignement du centre, donne les courbures que l'on désire, puisse couper, il faut lui donner un mouvement de progression suivant son axe en même temps qu'un mouvement de rotation. A cet effet, M. Pfeiffer a fileté l'extrémité de son arbre porte-lame suivant deux pas, à l'imitation de ce qui est pratiqué dans certains tire-bouchons, à l'aide desquels le bouchon est traversé par l'hélice et retiré de la bouteille par un mouvement continu de la poignée. De la sorte, le mouvement progressif du couteau a toujours lieu sans que la roue dentée puisse échapper du pignon.

Couvrir. Le livre étant rogné, les cartons qui ont été assemblés à l'extrémité des ficelles qui réunissent les feuilles sont coupés à la longueur convenable : on applique avec de la colle de pâte les papiers, les étoffes, les peaux qui doivent servir d'ornement. Il ne reste plus qu'à coller les gardes pour terminer le travail du relieur proprement dit et à laisser sécher.

Nous avons donné à l'article DORURE les procédés employés pour la dorure des tranches et la dorure sur cuir par l'application de gravures en relief sur cuivre chauffées et de feuilles d'or, opérations qui viennent s'ajouter au travail du relieur. A l'article FONDERIE EN CARACTÈRES, on trouvera la fabrication des types en cuivre que l'on compose pour former les divers mots dont on a besoin.

De l'art du relieur. La reliure est essentiellement une industrie décorative; et c'est par l'emploi des plus belles matières, des plus belles peaux, le maroquin, par exemple, c'est par le goût, par l'excellence des ornements, qui viennent, entre les mains d'habiles artistes qui atteignent une juste réputation, s'ajouter à une bonne exécution matérielle, que se distinguent les reliures d'art. Nous ne parlerons pas ici des dessins variables aux diverses époques, que les relieurs appliquent, à l'aide de la dorure le plus souvent, sur les livres, genre de questions qui doivent être traitées d'une manière générale et relativement à tous les arts décoratifs, ce que nous avons tenté de faire en traitant de l'ART INDUSTRIEL, qui termine et qui complète cet ouvrage. Nous attirerons seulement l'attention sur l'art tout particulier avec lequel les relieurs-doreurs emploient de petits éléments, des étoiles, de petits cercles, de petits dessins qu'ils multiplient à l'infini, et distribuent régulièrement avec beaucoup de goût sur les plats des livres, pour varier à l'infini, à l'aide d'un nombre d'éléments assez limités, l'ornementation de chaque volume.

RÉSINES. Les résines sont des corps d'origine organique, blancs ou jaunâtres, transparents, solides à froid, fusibles à chaud, mais moins que la cire; ils sont inflammables par l'approche d'un corps en ignition, en répandant beaucoup de noir de fumée; ils s'électrisent négativement avec une grande facilité par le frottement; ils sont plus ou moins odorants, insipides ou âcres, insolubles dans l'eau, solubles dans l'alcool, l'éther et les huiles essentielles. Les résines dérivent en général de carbures d'hydrogène ou d'huiles essentielles qui, en absorbant de l'oxygène, se résinifient. C'est ainsi que l'essence de térébenthine se tranforme en *colophane* en absorbant deux équivalents d'eau. On donne souvent le nom de résines à des matières qui s'en rapprochent beaucoup par leurs caractères et que nous avons décrites aux articles BAUMES et GOMMES-RÉSINES; quant aux résines proprement dites, elles sont traitées, dans cet ouvrage, au nom de chacune d'elles en particulier. Voyez TÉRÉBENTHINE, etc.

RÉSISTANCE DES CORPS. Nous pouvons considérer la matière à l'état de repos sous deux points de vue principaux :

1° L'étendue à laquelle s'appliquent les sciences géométriques;

2° La résistance que présente un corps au toucher, ou, ce qu'on définit le plus souvent, l'impénétrabilité, c'est-à-dire le fait qu'aucun corps ne peut pénétrer dans le lieu qu'occupe la matière, abstraction faite bien entendu des vides qui se trouvent dans un corps donné. Ainsi, quand un corps diminue de volume par la compression, ce n'est pas que les molécules rentrent les unes dans les autres, mais bien qu'elles se rapprochent les unes des autres, que les intervalles qui les séparent, que les *pores* diminuent; et cette compressibilité de tous les corps démontre qu'ils sont essentiellement formés de molécules (formées par la réunion des atomes dont l'existence est clairement démontrée par les réactions chimiques), séparées par des intervalles.

Les molécules dont se composent les corps nous apparaissent comme pouvant avoir entre elles trois relations:

1° Être réunies par une force nommée adhérence, ou force de cohésion, qui constitue les corps solides;

2° N'être soumises à aucune force mutuelle, ce qui constitue les corps liquides;

3° Enfin posséder une tendance à une diffusion indéfinie, ce qui constitue les corps gazeux.

Ces trois cas différents sont le résultat de deux forces, la force d'attraction, qui tend à réunir les molé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cules; et la chaleur qui tend (voy. INTRODUCTION) à dilater les corps, qui fait que les molécules paraissent se repousser. Les trois cas correspondent donc à la prépondérance de l'attraction sur la répulsion, à une égalité de ces deux effets, enfin à la prépondérance de la répulsion sur l'attraction, c'est-à-dire aux solides, aux liquides, et aux fluides élastiques.

Au point de vue de la nature des résistances que les corps offrent à l'action des forces, la différence de leur constitution physique conduit à des lois particulières. Une force tendant à produire le mouvement d'un corps, un solide soumis à l'action d'une force résistera très-souvent, par sa cohésion, sans être déplacé, tandis que le fluide s'écartant devant le corps en mouvement, viendra participer à sa vitesse et consommer ainsi une somme de forces vives. Ce sont ces effets que nous allons étudier.

RÉSISTANCE DES FLUIDES. Malgré le nombre si considérable d'ingénieurs, de marins distingués qui se sont occupés tant de la résistance que l'eau oppose au mouvement des corps flottants, que de l'impulsion que les voiles reçoivent du mouvement de l'air, cause de la propulsion du navire à voiles, la théorie de ces effets est peu avancée. La cause en est surtout à ce que la difficulté du problème, la multiplicité des éléments de la question, ont empêché les meilleurs esprits d'introduire dans son étude la mesure, l'évaluation d'ordre scientifique, pour rester dans l'étude complexe de la machine qui constitue un navire, ce qui fait que toutes les expériences se perdent avec les objets de ces études.

Introduire dans l'appréciation des faits d'ordre mécanique qui se passent à la mer la méthode scientifique qui peut seule permettre de tirer parti d'expériences pour faire avancer quelque peu la théorie générale et par suite accroître la masse des connaissances partout et toujours applicables, ce serait rendre un grand service à la marine. Sans pouvoir espérer satisfaire à un aussi beau programme, nous sommes certains d'être dans la bonne voie en résumant les expériences les plus précises faites par Dubuat, Duchemin, Thibault, Piobert, etc., sur les résistances des fluides, et en suivant la discussion lumineuse qu'en a faite l'illustre général Poncelet, dans son *Introduction à la Mécanique physique*, ce modèle de méthode, de réduction aux principes de la science des phénomènes les plus complexes.

RÉSISTANCE DES SURFACES PLANES. *Loi de Newton.*

Lorsqu'une surface plane se meut dans un fluide dont les molécules ont une grande mobilité, il repousse ces molécules dont l'inertie fait naître une résistance d'autant plus grande que leur masse et la vitesse du corps plongé est plus grande. Si V est la vitesse de ce corps, il déplacera ainsi par seconde un volume de fluide égal à AV, A étant l'étendue de la surface. La force résistante, l'inertie de la masse mise en mouvement, sera en chaque instant égale à MV ; comme nous savons que le volume de la masse M est AV, la résistance sera donc représentée par $\frac{p\,AV}{g}\,V = p\,A\,\frac{V^2}{g}$, p étant la densité.

Nous supposons la surface A perpendiculaire à la direction de la vitesse ; si elle faisait avec elle un angle i, le prisme de fluide déplacé aurait pour base A sin i et serait égal à AV sin i; et la vitesse normale au plan étant V sin i, la résistance de la surface sera

$$p\,A\sin^2 i\,\frac{V^2}{g}.$$

Cette théorie proposée par Newton n'est évidemment pas l'expression des faits, elle suppose en quelque sorte que le fluide rencontré en chaque instant disparaît aussitôt, pour permettre au corps plongé de rencontrer de nouvelles couches de fluide en repos. Il ne peut en être ainsi, pas plus qu'on ne peut écraser un corps malléable, sans qu'il résiste en augmentant de diamètre dans la direction perpendiculaire à celle de l'effort qui produit l'écrasement, sans qu'une force transversale ne résulte de l'application de la force longitudinale. Or, dans les fluides, ce double effet est toujours produit, et l'on se tient bien loin de la vérité lorsqu'on ne tient compte que du dernier.

Des tourbillons. La moindre observation démontre un phénomène qui accompagne le déplacement direct: il est manifesté par les cercles concentriques qui se forment à la surface de l'eau lorsqu'on y laisse tomber un caillou, cercles parfaitement continus quand leur rayon passe de 1 centimètre à 1, 2, 3 mètres. Il est clair que si la transmission était seulement directe, il y aurait, pour les grands rayons, discontinuité dans la circonférence.

C'est en tenant compte de ce mode de transmission du mouvement dans les fluides, en ne se bornant pas à la simple transmission longitudinale, comme dans la théorie de Newton, que l'on peut mieux analyser les phénomènes qui se produisent autour des corps plongés dans les fluides.

Remarquons, en passant, que la seule continuité des circonférences concentriques suffit pour démontrer le principe établi par Léonard de Vinci, que dans les ondes circulaires qui se forment dans les liquides, la vitesse des différentes couches croît à mesure qu'on se rapproche du centre. On voit, en effet, que la même force vive qui se produit au contour d'une petite circonférence et d'une grande doit nécessairement répondre à une vitesse bien moindre dans le second cas que dans le premier; autrement la masse serait plus considérable avec une même vitesse, ce qui est impossible, comme le montre le principe fondamental que l'on doit toujours avoir devant les yeux dans une semblable analyse, de la *Conservation des forces vives.* Mais, de plus, la transmission transversale est telle que la vitesse à la circonférence est toujours *inversement proportionnelle au rayon*, selon le grand artiste ingénieur, c'est-à-dire exactement l'inverse de ce qui a lieu dans une roue de voiture, dans un corps solide tournant autour d'un axe.

Ces mouvements d'un ordre particulier se produisent constamment dans les fluides, la facile production de tourbillonnements, des mouvements orbitraires des molécules liquides les unes autour des autres, est le caractère essentiel de cet état physique des corps; aussi toute analyse des effets mécaniques qui se passent dans les liquides, sans tenir compte de cet élément capital, comme cela a lieu dans la théorie de Newton, est nécessairement défectueuse.

Les tourbillons qui naissent par le mouvement d'un corps immergé sont soumis à la loi des petites oscillations; ils se rencontrent sans se détruire, se superposent, coexistent simultanément. La formation des tourbillons, dit Poncelet, est le moyen que la nature emploie pour éteindre, ou plutôt dissimuler la force vive dans les changements brusques de mouvement des fluides, comme les mouvements vibratoires sont la cause de sa dissipation, de sa dissémination dans les solides. Pour bien concevoir comment la formation des tourbillons devient, dans les fluides, une source de perte de force vive, on doit considérer, d'une part, qu'une fois produits, ils se propagent, s'étendent de plus en plus, l'impulsion se communiquant aux masses environnantes; d'autre part, que, si le milieu est animé d'un mouvement de transport général, les tourbillons sont comme autant de corps étrangers qui, tout en participant à ce mouvement, tourneraient cependant sur eux-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mêmes avec une vitesse indépendante de celle du courant.

Observons aussi que le transport apparent des rides et ondes diverses qui se produisent à la surface de l'eau, celui des vagues de la mer, par exemple, n'est en lui-même, c'est-à-dire en l'absence d'autres causes de mouvement telles qu'un courant local, qu'une pure illusion analogue à celle qui est produite par les oscillations d'une longue chaîne ou corde très-flexible ébranlée vivement et transversalement à l'une de ses extrémités, ou à celle que présente la surface d'un champ de blé dont les épis sont périodiquement agités, balancés par le vent, c'est-à-dire qu'il ne se produit essentiellement qu'une oscillation pendulaire accomplie par les molécules de l'eau, suivant une direction horizontale dans leur position moyenne.

CORPS PLONGÉS. *Résultats d'expériences.* Si nous consultons l'expérience pour analyser les phénomènes qui se produisent autour des corps en mouvement dans un fluide, nous pourrons nous en faire une idée exacte.

Soit un plan mince rectangulaire AB (fig. 1) ren-

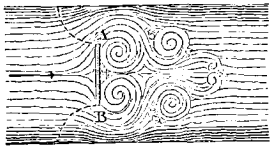


Fig. 1.

contré par un fluide en mouvement suivant la direction de la normale à ce plan, il se produit, dans chaque coupe perpendiculaire à ses côtés, les effets indiqués dans la figure, c'est-à-dire que les filets perpendiculaires à sa surface s'inclinent de manière à lui devenir parallèles, repoussent ceux situés vers les bords, puis, les dépassant, s'infléchissent de plus en plus perpendiculairement à leur première direction et circulairement, de manière à former des remous ou *tourbillons* marchant par couples, et qui, se succédant les uns aux autres dans des sens contraires, avec des vitesses dépendantes de celles des corps en mouvement, s'étendent et se disséminent dans la masse fluide.

Si le plan est incliné par rapport à la direction du mouvement, les filets s'infléchissent (fig. 2) et suivent

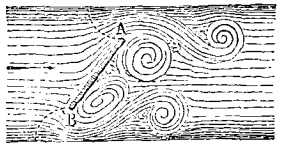


Fig. 2

la surface, en ne produisant de tourbillons que d'un seul côté quand l'inclinaison est suffisamment grande. Jusqu'à une certaine limite, il reste quelques tourbillons du côté le plus avancé en amont.

La résistance est évidemment bien amoindrie par les inflexions des filets fluides, par cette fuite de l'eau devant le corps en mouvement, relativement à ce qu'elle serait si le principe sur lequel repose la loi de Newton était vrai. C'est ce que prouve bien une expérience célèbre du chevalier Morosi, qui montre que la résistance d'un plan se mouvant dans un fluide est doublée, quand on garnit ses bords de planchettes disposées d'équerre avec sa surface, qu'on gêne par suite la déviation latérale des filets liquides.

Dubuat a admis, d'après les indications de l'expérience: 1° que la forme des filets reste invariable pour un corps donné, quand bien même la vitesse relative, uniforme, de ces corps ou du fluide vient à changer; 2° que la vitesse des molécules fluides en chacun des points des filets conserve toujours un même rapport avec celle dont il vient d'être parlé; 3° enfin, que pour des corps semblables dans toutes leurs parties et dirigés semblablement, les dimensions absolues des filets sont seules modifiées, mais non leurs rapports de grandeur et de positions relatives.

Analysant ce qui se passe dans le fluide compris entre les tourbillons, il a examiné ce qu'il a appelé la *proue* et la *poupe fluides*. Le phénomène de la proue liquide (à l'étude duquel nous nous bornerons pour un instant) consiste en ce qu'un corps en mouvement dont la forme n'a pas une acuité suffisante, entraîne avec lui une partie du fluide qui fait en quelque sorte partie de sa masse. Il a trouvé, par exemple, que pour des sphères en mouvement, soit dans l'air, soit dans l'eau, le volume du fluide entraîné s'écartait fort peu de 0,585 ou 0,6 environ de celui des sphères. Dubuat aurait pu, ce nous semble, tirer de ces curieuses expériences l'analyse de la cause de divers phénomènes, ainsi que nous allons tenter de le faire.

Des gerbes verticales. Lorsqu'un fluide en mouvement rencontre un corps en repos, chaque molécule non élastique tend à s'écarter comme celles d'un corps mou, c'est-à-dire en changeant la direction de son mouvement pour suivre la face rencontrée. Aussi lorsqu'une surface plane est disposée perpendiculairement au courant, ou dans une position voisine (jusque vers 45°), un filet de fluide ne pouvant s'échapper sans rencontrer les filets voisins qui tendent à gêner son mouvement, comme on le voit au centre des plans des figures ci-dessus, il se forme une proue liquide, comme Dubuat l'a constaté, qui est pressée contre eux; les filets infléchis s'échappent obliquement à la surface, et quand il n'y a pas de résistance à la partie supérieure, le liquide s'élève presque verticalement à une hauteur proportionnelle à la vitesse. Il se forme une gerbe, un panache vertical tout à fait caractéristique, qui cause l'admiration; c'est ce qui se voit lorsque la mer agitée rencontre un mur vertical.

Le même effet se produit à la rencontre de deux vagues, lorsque, par exemple, une vague venant du large rencontre l'eau d'une vague précédente qui descend d'une côte inclinée. Il se produit un choc, les molécules des fluides dénués d'élasticité n'échangeant pas simplement leur vitesse.

La cause de ces effets réside dans la pression que la difficulté qu'éprouve une masse de fluide rencontrant l'obstacle à s'écouler latéralement, et que le choc du fluide arrivant en arrière, font naître au centre de la colonne liquide. S'exerçant dans tous les sens, elle vient déterminer le mouvement du liquide dans les directions où il rencontre le moins de résistances et en raison de celles-ci, par exemple, suivant la surface qui s'oppose à la continuation du mouvement primitif, et avec la vitesse due à cette pression. C'est ainsi que se produisent une foule de mouvements verticaux, rétrogrades, obliques, etc., qui prennent naissance à l'avant d'un bateau en mouvement, et en raison de la rapidité de ce mouvement, qui sans cet élément sont inexplicables.

L'analyse de cette pression centrale, produisant des mouvements entièrement distincts de ceux engendrés directement par le choc des filets fluides, cause de mouvement dont on ne tient pas compte dans les théories

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reçues, me paraît fournir un élément nouveau pour déterminer les effets de la résistance qu'opposent les fluides aux corps solides en mouvement, et notamment expliquer les accélérations qui se produisent suivant des faces obliques, enfin surtout les gerbes verticales qui s'élèvent sur les premières, phénomène facile à constater dont les observateurs ne parlent jamais.

Corps prismatiques. Passons maintenant au cas où le plan mince cesse d'être isolé, à celui où il forme la partie antérieure d'un corps de forme prismatique dont l'axe est parallèle à la direction du mouvement, ce qui se rapproche du cas des corps flottants. La résistance doit nécessairement comprendre alors, surtout si la vitesse est un peu considérable, d'abord (fig. 3), l'effet

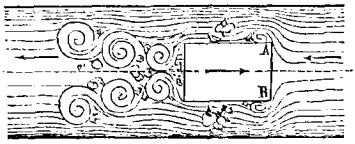


Fig. 3.

de la pression supportée par la face antérieure, puis celui de la *non-pression* postérieure, c'est-à-dire, ainsi que nous l'avons dit, de ce que Dubuat appelle la *proue* et la *poupe fluides*. Il est évident, en effet, que le liquide refoulé par la partie antérieure a besoin d'un certain temps pour passer à la partie postérieure et y remplir le vide que fait naître la progression du prisme; qu'à cause de son inertie, le liquide avoisinant ne peut le venir remplir instantanément, d'où résulte une non-pression d'autant plus grande que le vide est formé plus rapidement. Ces deux résistances, en raison toutes deux de la vitesse des corps, ou plutôt du carré de celle-ci, puisqu'elles sont proportionnelles à la pression, c'est-à-dire à la hauteur $H = \frac{V^2}{2g}$, qui engendre la vitesse V, paraissent pouvoir être évaluées par un terme de cette forme affecté d'un coefficient de grandeur convenable selon les cas.

Il résulte que la formule de Newton, multipliée par un coefficient d'expérience, pour les divers cas, offre un mode de calcul plus satisfaisant qu'on ne devrait croire à première vue.

M. le colonel Duchemin, dans ses *Recherches expérimentales sur les lois de la résistance des fluides*, est arrivé à quelques résultats curieux sur la manière dont se répartissent les filets fluides à la rencontre d'un corps plongé, en suivant les pressions produites dans les divers points de sa surface, à l'aide d'un tube de Pitot.

Dans le cas d'un cylindre dont la figure 5 présente la base antérieure, c'est-à-dire celle qui choque le liquide, la direction des filets est représentée, comme le veut d'ailleurs la symétrie, par les lignes radiales tracées sur la figure. Après avoir décrit ces lignes, les molécules prennent des directions analogues à celles qu'indique la figure 3 pour une section passant par l'axe.

Dans le cas d'un parallélipipède rectangle, les routes parcourues par les molécules liquides sur la face antérieure sont celles qu'indique la figure 4, et que détermine pour ces molécules la condition de s'échapper par le plus court chemin.

On retrouve bien ici, par suite de la résistance qu'oppose l'inertie du liquide en arrière de la courbe choquée, la production d'une vitesse dirigée presque à angle droit avec la direction du corps, comme celle qui entraîne les molécules d'un corps solide malléable lorsqu'il est écrasé, lorsque le plomb s'étend, par exemple,

à angle droit avec la direction du coup du marteau qui le frappe.

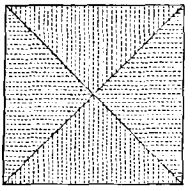


Fig. 4.

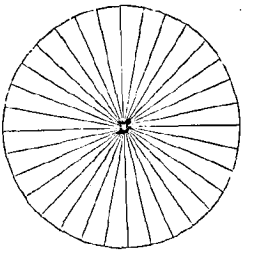


Fig. 5.

Corps de forme allongée. Les résultats précédents vont nous conduire à l'analyse des principaux effets qui se produisent lors du mouvement rapide d'un corps immergé et aux conditions qui mènent à la détermination de la forme du solide de moindre résistance, au principe fondamental de la construction, sur lequel repose l'énorme réduction de résistance que procurent les formes étudiées par les constructeurs de navires.

Soit AB un petit plan, perpendiculaire à la direction du mouvement rapide qui forme l'extrémité antérieure du corps plongé et qui, placé au milieu d'une masse fluide, a le temps de produire toute son action sur l'eau avant que celle-ci y ait pu échapper. Cette action tendra à lui communiquer une vitesse dans la direction de son mouvement propre.

Mais en vertu de l'inertie de la masse fluide, au lieu de se mouvoir librement, l'eau choquée prend en même temps qu'une vitesse en avant, une vitesse transversale, par suite d'une action d'écrasement semblable à celle qui résulte nécessairement de la pression d'un corps en mouvement contre un corps en repos, lorsque ses molécules n'en sont pas réunies par une cohésion suffisante. Une masse liquide M possédant une force vive considérable en raison de la grande vitesse de son mouvement, se meut donc à la fois dans la direction du corps immergé et transversalement à celui-ci (fig. 6). Après un

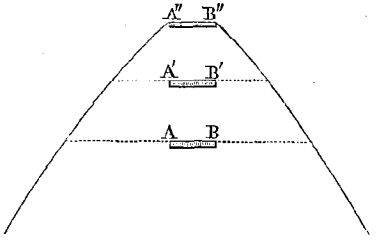


Fig. 6.

temps θ, elle aura communiqué une partie de sa vitesse à une autre masse M' qu'elle aura écartée de la direction du mouvement, et ces deux masses réunies ne conserveront plus qu'une vitesse moindre. Après un autre temps θ, le même effet sera produit, et jusqu'à l'anéantissement de la vitesse initiale, jusqu'à ce qu'elle devienne insensible, il se sera formé par ces effets une courbe parabolique dont la forme est en raison de la loi de communication du mouvement, et telle que si le corps portant la saillie AB est terminé en arrière par une courbe semblable, il n'éprouvera pas une résistance

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES FLUIDES.

sensiblement plus grande que si sa surface était limitée à AB. Tel est le résultat obtenu par les proues saillantes de forme aiguë dont nous verrons bientôt toute l'importance pour la navigation.

De là se déduit ce résultat bien conforme à l'expérience, qu'il s'en faut de beaucoup que la force vive qui correspond à la vitesse d'un corps soit communiquée à tout le liquide déplacé; et la déviation des filets fluides a conduit à assimiler avec raison le mouvement communiqué au fluide aux phénomènes qui se produisent lors de son écoulement par un ajutage vers l'orifice duquel viennent s'infléchir des filets très-divergents.

La déviation latérale se propageant évidemment en premier lieu par les parties les plus éloignées de l'axe du corps, il en résulte toutes les fois que celui-ci n'a pas la forme théorique, qu'il est trop aplati vers sa partie antérieure, qu'une partie du fluide, dont le mouvement latéral se produit difficilement, prend la vitesse du corps et chemine avec lui. C'est la *proue fluide* dont j'ai déjà parlé, qui accompagne fréquemment les corps en mouvement, une masse fluide qui est comme en repos par rapport à ceux-ci, et chemine avec eux comme s'il en faisait partie, et qui ne peut plus prendre naissance lorsque le corps plongé a la forme même de cette proue. Par suite, lorsqu'il est terminé par une surface plate, il est certain que la masse d'eau déplacée, mise en mouvement, est plus grande qu'il n'était nécessaire pour le volume du corps flottant.

Il n'est pas douteux que la forme antérieure des corps plongés ne doive, pour le minimum de résistance, varier avec la vitesse. M. Seguin, qui avait été frappé, lors de l'établissement de bateaux à vapeur sur le Rhône, de la nécessité de faire varier les formes de l'avant avec la rapidité du courant, a remarqué que ces formes devaient se rencontrer chez les poissons, qui, pressés intérieurement et extérieurement par le liquide, doivent prendre des formes ayant une relation intime avec leurs vitesses habituelles.

Sans trop insister sur cette curieuse analogie, il résulte de ce que nous venons de dire, qu'en effet les formes des poissons ne sauraient être différentes de celles qui correspondent à ces vitesses, sans qu'ils éprouvassent en certains points des compressions ou des dépressions qui ne sauraient être leur état habituel; mais on ne peut assimiler d'une manière absolue des corps entièrement immergés à des corps flottants pour lesquels de semblables comparaisons seraient surtout précieuses. Quelque similitude entre les formes des espèces de poissons qui sont susceptibles d'acquérir les plus grandes vitesses, des saumons par exemples, et de celles des constructions les mieux réussies, semble toutefois être une confirmation de cette manière de considérer le phénomène.

De l'entraînement latéral. Lorsqu'un plan se meut longitudinalement dans un liquide, on peut étudier la communication latérale du mouvement, l'entraînement produit suivant des routes convergentes, comme l'indique la figure 7. Il se communique de proche en proche à partir des molécules qui adhèrent au corps, qui tendent à prendre sa vitesse, la pression exercée par le fluide normalement à la surface fournissant par suite de ce déplacement une résultante oblique. La force vive ainsi communiquée est considérable dans le cas où la surface porte de nombreuses aspérités et saillies; mais elle s'amoindrit beaucoup quand les surfaces sont lisses et polies, telle que celles que présente le doublage en cuivre des vaisseaux. Coulomb, qui considérait ces effets comme dus à un frottement analogue à celui des solides, avait proposé pour les représenter une expression de la forme $A\,(aV + bV^2)$; mais les expériences plus récentes de MM. Piobert, Morin et Didion ont conduit à supprimer le terme en V et par suite à les considérer encore comme entraînant une consommation de forces vives. Le terme en V suffisant pour exprimer seul les phénomènes d'écoulement des liquides à travers des tubes capillaires et la formule de Coulomb ayant servi avec succès à calculer les écoulements dans des tuyaux de conduite, il faut admettre qu'il est à considérer dans le cas où l'influence des parois occasionne un ralentissement notable, quand la proportion des surfaces solides au liquide qui vient les baigner est extrêmement grande, comme dans un tuyau; mais il n'en est pas de même dans le cas de corps polis plongés dans un fluide indéfini, ou la résistance latérale tout entière est d'assez faible importance, par rapport à la résistance totale. L'effet d'adhérence, de cohésion qui paraît se produire, est probablement constant pour une surface donnée. On est parvenu, en effet, à représenter les résultats des nombreuses expériences de Beaufoy en ajoutant un terme constant (d'une importance secondaire dès que la vitesse est un peu considérable) à celui qui comprend le carré de la vitesse.

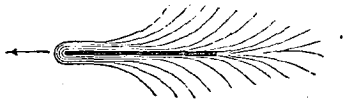


Fig. 7.

L'expérience des marins, dit avec raison M. Bourgeois, leur montre chaque jour le rôle important que joue la résistance latérale, et combien le degré de poli et de propreté des surfaces de la carène contribue à atténuer cette résistance, contrairement à l'opinion de Coulomb, qui admettait que le frottement était indépendant de la nature particulière de la surface, tandis que la communication des forces vives augmente rapidement avec les corps rugueux qui y peuvent adhérer. Personne n'ignore, par exemple, la supériorité de vitesse que possèdent les navires doublés de cuivre, ni l'heureuse influence exercée sur la rapidité de la marche des bâtiments par leur passage au bassin, par le nettoyage de la carène, l'enlèvement de tous les corps adhérents et qui forment autant d'aspérités.

Formes de l'arrière. Ce que nous avons dit des parties antérieures des corps flottants s'applique aux parties arrière; elles doivent être combinées pour rendre minimum la non-pression qui tend à s'y produire, lorsque le vide qui s'y forme par la progression du corps ne se comble pas aussitôt qu'il prend naissance, à cause de l'inertie du fluide qui ne lui permet pas de se déplacer instantanément; l'arrière du corps plongé n'est plus soumis alors de la part de la masse fluide à une pression égale à la pression statique, quand la vitesse est trop grande pour la forme de poupe considérée.

Il existe évidemment, pour ces parties comme pour les parties antérieures, une forme préférable à toute autre, correspondant au minimum de non-pression. Leur allongement avec une diminution progressive de la section transversale, d'où résulte un amoindrissement du chemin que doit parcourir l'eau en chaque point pour remplir le vide, à mesure que sa section est plus voisine de la section principale du corps, de l'inflexion en chaque instant du fluide écarté par l'avant pour passer à l'arrière, paraît être la condition principale, sinon unique, de la diminution de résistance; ces dispositions empêchent la formation de tourbillons entraînant perte de forces vives.

Nous terminerons ces études sur la résistance des corps plongés, en remarquant qu'il est probable, bien que les différences fournies par l'expérience ne soient pas très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grandes, qu'elle croît avec l'enfoncement, avec la pression qui applique le fluide sur les flancs du corps plongé.

CORPS FLOTTANTS. *Navires.* Jusqu'ici nous avons traité de corps entièrement plongés dans des fluides, pour lesquels il se produisait, dans le plan vertical, sensiblement les mêmes phénomènes que ceux que nous avons représentés dans un plan horizontal. Les résultats obtenus ne sont que partiellement applicables aux corps flottants et par conséquent aux navires, considérés au point de vue de leur nature de corps flottants, et indépendamment des conditions d'*arrimage*, de *tonnage*, de *voilure*, d'action du *gouvernail*, etc., qui dominent toutes les autres.

La grande différence entre un corps flottant et un corps immergé, c'est que le mouvement du fluide encore symétrique dans le plan horizontal, le même des deux côtés du corps, ne l'est plus dans le plan vertical, quand on compare ce qui se passe à la surface du fluide et à la partie inférieure du corps. Il se forme à la surface du fluide, vers la partie antérieure, un gonflement ou *remous* produit par l'affluence des filets et à la partie postérieure, un abaissement de niveau, une *dépression* due à la difficulté que ces filets éprouvent à remplir le vide de l'arrière. Ce remous et cette dépression qui constituent la dénivellation, contribuent à faire naître le courant latéral qui se produit de l'avant à l'arrière.

C'est parce que les filets des fluides s'infléchissent autour des corps plongés au lieu de résister directement, que la résistance varie avec la forme des corps; c'est sur cette base que reposent les principes de la construction des vaisseaux.

Effet des proues. Une suite d'expériences faites par Bossut, d'Alembert et Condorcet sur de petits modèles, en faisant varier l'angle de la proue d'un modèle dont toutes les autres dimensions restaient constantes, a donné les résultats suivants :

Angles de la proue.			Rapport des résistances.
180°	—	—	1,00
156	—	—	0,96
132	—	—	0,85
108	—	—	0,69
84	—	—	0,54
60	—	—	0,44
36	—	—	0,41
12	—	—	0,40

Effet des poupes. Dans la même série d'expériences, les savants cités plus haut ont trouvé :

Angles à la poupe.			Rapport des résistances.
180°	—	—	1,00
96	—	—	0,89
48	—	—	0,86
24	—	—	0,84

De ces expériences faites sur de petits modèles et à de faibles vitesses, on ne peut guère conclure pour le cas des grands bateaux, et surtout pour les grandes vitesses.

Bossut admettait que la résistance d'un vaisseau de ligne était environ 0,20 de celle de son maître-couple, évaluée d'après la formule de Newton, et pouvait descendre à 0,15. Ce coefficient est encore beaucoup trop fort pour un navire bien construit.

Nous avons rapporté à l'article BATEAU A VAPEUR les résultats des progrès apportés à la construction des bateaux à vapeur destinés à prendre des vitesses considérables. Nous avons vu que la résistance absolue du navire pouvait être amenée à n'être guère que 1/15e ou 1/20e de celle du maître-couple. Cet admirable résultat est surtout obtenu par une détermination très-savante des formes de l'avant, terminé par une surface à double courbure dans les sens horizontal et vertical.

On parvient par cette double inflexion à écarter le remous et à fendre l'eau sans la soulever, et par suite avec le minimum de travail, et cela en tenant compte d'une foule d'éléments, comme l'état variable du vent et de la mer, nécessités du service militaire, conditions économiques de transport, etc.

M. Du Puy de Lôme, par des expériences poursuivies pendant quinze années consécutives, sur des centaines de bâtiments de dimensions et de formes différentes, en faisant varier la vitesse, depuis les valeurs les plus minimes jusqu'aux plus considérables que l'on puisse atteindre dans la pratique, a mis en évidence les lois suivantes :

1° Pour des formes géométriques semblables, le même poli de la surface immergée et la même vitesse, la résistance croît moins rapidement que l'aire de la surface plongée du maître-couple.

2° La résistance par mètre carré de l'aire de la surface plongée du maître-couple décroît pour une même vitesse, proportionnellement à la racine carrée des rayons de courbure des formes; ou, quand les formes sont semblables, proportionnellement à la racine carrée des dimensions homologues.

3° Pour un même bâtiment, un même poli de la surface immergée, et des vitesses différentes, la résistance croît moins vite que le carré de la vitesse, quand celle-ci est très-faible; comme le carré de la vitesse quand celle-ci a une valeur moyenne de 3 à 5 mètres par seconde; plus vite que le carré de la vitesse, quand celle-ci dépasse 5 mètres.

4° Pour des bâtiments ayant la même aire de la surface plongée du maître-couple, la même vitesse, et des formes différentes, la résistance diminue avec l'angle de proue et l'allongement des rayons de courbure, d'autant plus que la vitesse est plus grande; cette diminution est encore plus sensible avec la lame ou la houle de bout qu'en eau tranquille.

5° La résistance résultant du frottement de l'eau sur la surface immergée d'un bâtiment, pour un même poli de cette surface, et pour des vitesses différentes, croît beaucoup moins rapidement que la première puissance de la vitesse; et varie très-sensiblement comme la racine cubique de cette vitesse; elle croît rapidement, pour la même vitesse, à mesure que la surface immergée se dépolit et devient plus rugueuse. (Ce qui nous paraît bien montrer que ce qu'on appelle frottement des liquides n'est qu'un entraînement.)

RÉSISTANCE DE L'AIR.

Quand un plan se meut dans l'air suivant une direction perpendiculaire à sa surface ou reste immobile dans un courant animé d'une certaine vitesse, les molécules d'air situées en avant sont nécessairement déplacées et refoulées; et déviant latéralement sur les rebords du plan, elles passent à l'arrière en y produisant un vide partiel ou une diminution de pression, tandis qu'il existe à l'avant une pression plus considérable que dans l'état de repos. La différence de ces pressions représente l'effort exercé sur le plan; c'est à elle qu'on donne le nom de résistance de l'air. On n'a pas encore pu la déterminer théoriquement, pas plus pour les fluides gazeux que pour les liquides. Dans les deux cas on est réduit à des résultats d'expériences qui font voir que la résistance de l'air varie à peu près comme le carré de la vitesse, et qui donnent le moyen d'évaluer son intensité toutes les fois qu'on connaît l'étendue et la vitesse du plan mobile.

Il résulte de ces expériences qu'une plaque mince éprouve de la part de l'air une résitance plus grande qu'un corps prismatique qui présenterait antérieurement la même surface; que la résistance diminue à mesure que le prisme est plus long; que lorsque le corps, au lieu d'être terminé par un plan, présente à l'avant une forme plus ou moins allongée, la résistance varie d'une manière sensible. On peut, au moyen de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

théorie et en suivant le mouvement des molécules d'air autour du corps, se rendre raison de ces faits, mais dans l'état actuel de la science, il est impossible de les soumettre à une appréciation rigoureuse.

En réunissant les résultats obtenus par Dubuat, Borda, Thibaut, et en se bornant au cas d'un corps terminé par un plan et se mouvant dans l'air en repos, on a pour déterminer la résistance de l'air la formule suivante, dans laquelle A représente la surface antérieure en mètres carrés du corps traversant l'air suivant une direction normale à sa surface, V sa vitesse en mètres, c un coefficient variable avec la longueur du corps, et enfin Q la résistance définitive en kilogrammes produite par l'air contre le corps:

$$Q = 0{,}0625\, c\, A V^2.$$

Pour une surface mince, $c = 1{,}43$; pour un cube, $c = 1{,}17$; et, pour un prisme dont la longueur est égale à 3 fois le côté de la surface antérieur, $c = 1{,}10$.

Le travail résistant de l'air est représenté par le produit de la force Q et du chemin parcouru par le plan; ce chemin étant aussi proportionnel à la vitesse, il en résulte que, lorsqu'un corps se meut avec une vitesse double, la résistance de l'air nécessite pour être vaincue pendant le même temps un travail 8 fois plus considérable. Aussi cet effet est-il extrêmement sensible sur les convois de chemins de fer, qui sont toujours animés d'une grande vitesse.

Dans les machines dont les pièces ne sont animées que de faibles vitesses, on peut ne pas tenir compte du travail résistant de l'air qui tend cependant toujours à augmenter la différence qui existe entre le travail dépensé et l'effet utile obtenu. Chacun connaît l'application du vent comme moteur, et l'on sait que la résistance de l'air est utilisée d'une façon analogue au frottement, dans les freins, pour empêcher certaines machines de s'accélérer; c'est ce qui a lieu dans les horloges à sonneries, les tourne-broches, où il importe d'empêcher les poids moteurs de descendre avec trop de vitesse. Ces poids font tourner avec beaucoup de rapidité des *volants à ailettes*, petits appareils composés d'un ou deux leviers en croix tournant sur un axe qui les traverse dans leur milieu, et garnis à leurs extrémités de surfaces planes ou ailettes qui éprouvent de la part de l'air une résistance qui régularise la marche de l'appareil en empêchant la descente des poids moteurs de s'accélérer sous l'action de la pesanteur.

Des expériences de Thibaut sur les voiles ont donné ce résultat remarquable que des voiles gonflées donnent sensiblement la même puissance que ces voiles développées; résultat très-remarquable, qui permet de calculer la résistance de la voilure des vaisseaux, quand la flèche de courbure ne dépasse pas le 1/4 de la largeur moyenne comme cela a lieu sur les bâtiments. Quand la flèche de courbure devient considérable, la loi varie.

On a trouvé, pour un parachute, que la résistance du plan de projection de la surface étant 1, la résistance agissant suivant la concavité était 1,94; en sens contraire, elle n'était que 0,77. (Voy. AÉROSTAT.)

Ces mêmes expériences ont encore montré que, quand deux surfaces égales se trouvaient placées l'une derrière l'autre, dans la direction du mouvement du fluide, la résistance était beaucoup plus près d'égaler celle des deux surfaces séparées, qu'on ne pouvait le supposer. Ainsi, pour deux carrés placés à une distance égale à leurs côtés parallèles, de manière à se recouvrir exactement, Thibaut a trouvé la résistance égale à 1,7 fois celle d'une surface isolée. Quand le plan postérieur débordait de 0,4 de sa surface le plan antérieur, la résistance était de 1.95 fois celle du plan isolé, pour tomber à 1,84 quand elle devenait 0,9; passé ce terme, elle s'approchait de la valeur 2.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX. *Structure des solides.* Les molécules des corps ayant les unes pour les autres des attractions mutuelles ont une tendance à se grouper dans un certain ordre régulier, comme on le voit dans les cristaux que présentent les corps qui peuvent se former librement sous l'influence des seules forces attractives des molécules. Le corps ainsi formé présente, dans des sens différents, des résistances variables. On sait l'application que fait le lapidaire de cette propriété pour tailler les pierres précieuses et notamment le diamant suivant ses plans de clivage.

Si, au contraire, le corps est formé sous l'influence de forces qui contrarient les effets de la force d'attraction, les molécules ne peuvent plus prendre la disposition propre à la nature même du corps; elles se trouvent généralement alors dans un état de cristallisation incomplète qui les fait considérer par les physiciens comme des corps imparfaits, formés dans des conditions complexes, qui rendent difficile l'établissement des lois mathématiques qui régissent les phénomènes.

Dans les corps organisés, la force vitale, sous l'influence de laquelle ils se développent, fait naître et disposer les éléments dont ils se composent dans l'ordre déterminé par les organes producteurs. Dans les bois, par exemple, les molécules sont disposées en filets rangés les uns à côté des autres, en cylindres.

On voit donc qu'il est deux éléments importants à étudier dans un corps soumis aux actions mécaniques: 1° sa nature intime, chimique; 2° la manière dont il a été formé. Ainsi, un morceau de fer laminé, forgé ou étiré, aura une moins grande cohésion au centre que sur les bords, où s'est exercée l'action de compression qui a augmenté la cohésion. La résistance de petits barreaux dont la somme des sections sera égale à celle d'un plus gros, sera donc plus grande que celle de ce barreau.

Une pièce de bois étant formée de fibres parallèles, la ténacité sera bien plus grande dans le sens des fibres que par le travers.

Savart est parvenu à prouver que, même dans un corps fondu, le plomb par exemple, il se passe des phénomènes analogues, qu'il a prouvé résulter de l'arrangement symétrique que tendent toujours à prendre les molécules dans l'acte du refroidissement lent. Cet effet est d'autant moins sensible que le corps est moins capable de cristalliser, et composé de parties hétérogènes qui ne peuvent se combiner chimiquement, comme la cire à cacheter, la craie, le laiton comparativement à d'autres alliages.

Enfin il a prouvé que l'état moléculaire des corps imparfaits pouvait se modifier d'une manière extrêmement lente avec le temps et sans qu'il s'en manifestât aucune trace appréciable par les moyens d'observation ordinaires. On conçoit combien on doit attacher d'importance à une semblable observation qui semble prouver que la ténacité d'un corps diminue ainsi sans qu'on puisse s'en apercevoir. Il est admis assez généralement aujourd'hui que le fer d'un essieu, par exemple, soumis à des chocs répétés, peut passer de l'état fibreux à l'état cristallin, et par suite cet essieu rompre (car les corps cristallisés ont toujours peu d'adhérence), bien qu'il ait eu primitivement une force plus que suffisante. C'est en partie pour éviter cet effet qu'on forme les essieux avec des fers corroyés et soudés les uns sur les autres, qui offrent l'avantage non-seulement de donner primitivement l'état fibreux au fer dans toute la masse, mais encore de rendre la modification dont nous venons de parler plus difficile en composant le corps de parties de densités différentes par des compressions répétées aux surfaces de jonction, qui empêchent cet effet de mouvement moléculaire de se propager facilement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

de proche en proche, sous l'influence des causes mal connues qui le déterminent.

C'est par ce même principe qu'on comprend comment il se fait que des pièces forgées par des ouvriers différents n'ont souvent pas les mêmes résistances et cela par le fait d'un rangement plus ou moins régulier des molécules, qu'enfin ne saurait être indifférent de comprimer un corps d'une manière quelconque pour lui donner une forme voulue.

C'est par une considération de nature analogue que peut s'expliquer l'action du diamant pour couper le verre. Le verre étant un corps refroidi par la surface, sa grande résistance est sur les deux faces extérieures; la première étant rayée, s'il se fait une action qui tende à ouvrir cette raie, le verre se cassera suivant cette ligne avec une grande régularité.

On doit classer les forces qui agissent sur les corps solides en deux classes, relativement à ces corps:

I. Les forces qui dépassent la résistance qu'ils peuvent opposer à une déformation notable. Sous leur influence, les corps peuvent:

1° Se désagréger. C'est sur cette propriété que sont fondés les appareils de pulvérisation, de broyage en tous genres. Ces actions ont déjà été étudiées à l'article BROYAGE; nous revenons plus loin sur l'écrasement des pierres et corps durs.

2° Prendre une autre forme, propriété infiniment précieuse, et sur laquelle reposent en grande partie les arts dans lesquels on travaille les métaux. On distingue la malléabilité qui s'entend de la propriété d'un corps à s'étendre sous le marteau sans se désagréger, et la ductilité ou la facilité à se tirer à la filière. Cette deuxième propriété dépend évidemment à la fois de la malléabilité et de la ténacité du corps qui fait pour qu'il ne se rompt pas en s'étirant à la filière,

Nous avons donné, aux articles DUCTILITÉ, MALLÉABILITÉ, l'ordre dans lequel les métaux doivent être rangés relativement à ces propriétés qui déterminent, la plupart du temps, la préférence de tels ou tels métaux pour un travail déterminé. Ainsi le cuivre rouge, à cause de son extrême malléabilité, et malgré son prix assez élevé, est très-employé pour les produits qui doivent être obtenus par les méthodes du travail au marteau, de retreinte, analogues au travail de la chaudronnerie.

II. Les forces qui sont inférieures à celles qui produisent la rupture. Après leur disparition, le corps reprend en général sa forme primitive, si elle a subi quelque légère déformation.

C'est dans ces conditions que les matériaux doivent être employés dans les constructions. Le but n'est pas alors de modifier les formes des corps, mais au contraire d'employer ceux-ci sans qu'ils puissent se déformer ni céder aux actions qui s'exercent sur eux. La valeur de la résistance des divers corps aux actions qu'ils doivent supporter doit donc être étudiée avec soin, puisque de cette connaissance on déduira les limites des dimensions à donner aux matériaux employés dans les constructions de tout genre, pour obtenir la certitude de bons résultats.

De la ténacité et de l'élasticité. De la force de cohésion qui réunit les molécules des corps solides, dépend la grandeur de la ténacité des corps, mesurée par la valeur de la force nécessaire pour les rompre, et aussi la grandeur de la force nécessaire pour rapprocher les molécules par une action de compression. Un phénomène d'une importance extrême dans les arts s'observe sur les solides soumis à l'action de forces, c'est que si la traction ou la compression ne dépasse pas une certaine limite, l'augmentation ou la diminution de volume, le changement de forme, n'est pas permanent, et le corps reprend son volume primitif quand l'action perturbatrice vient à cesser. C'est cette propriété qu'on appelle *élasticité*, c'est-à-dire que dans ce cas la force de cohésion fait reprendre au corps son état primitif, dès que la cause accidentelle ne se fait plus sentir. La limite d'élasticité au-delà de laquelle cet effet ne peut plus avoir lieu est une quantité variable pour chaque corps. Elle répond en général, à de très-petits allongements; toutefois, les corps élastiques proprement dits, le caoutchouc, par exemple, peuvent éprouver de très-grandes extensions sans cesser de revenir à leur forme primitive.

L'élasticité, qui n'est que la résistance de la force de cohésion dans les limites où elle peut continuer à s'exercer, dépend à la fois de la valeur absolue de la force de cohésion et de la sphère d'action de cette force, qui est probablement en rapport avec les dimensions des molécules élémentaires; lesquelles sont différentes pour les divers corps. Il ne faut pas perdre de vue non plus, que toute la théorie de la chimie est fondée sur la différence des atomes, qui forment les molécules ou les groupes de molécules entre lesquels s'exercent les actions physiques de la cohésion.

On peut admettre que, lorsque par suite d'une action de compression ou de traction extérieure, l'élasticité de l'ensemble des molécules se trouve altérée, c'est que plusieurs d'entre elles sont arrivées à la limite d'écartement où la force de cohésion peut s'exercer pour les ramener à leur première position; le corps s'est en quelque sorte rompu dans certaines régions, bien qu'on n'en aperçoive aucune trace extérieure, et un travail mécanique ayant été consommé à détruire un travail résistant dû aux forces attractives, le corps ne peut reprendre sa forme. Remarquons de plus que les molécules primitives ne doivent pas être considérées comme sphériques, mais bien comme ayant les formes indiquées par les cristallisations mêmes du corps, qui, comme l'a prouvé Haüy, résultent de cristallisations élémentaires de même ordre. Les molécules agissent donc par des pôles, de sorte que l'élasticité dépend aussi de la disposition des molécules.

Le nombre des phénomènes auxquels s'appliquent, dans l'industrie, les considérations qui précèdent, est immense, et on ne peut écrire une ligne sur une fabrication mécanique sans en traiter. Nous aurons surtout en vue ici la résistance des matériaux employés dans les constructions de tout genre, édifices ou machines, et suivrons l'analyse donné par Poncelet dans son Introduction à la mécanique, où toutes les questions que nous allons passer en revue sont traitées aussi complétement que le permet l'état actuel de la science.

EXTENSION. *Résistances des prismes aux allongements.* On admet généralement pour ces actions:

1° Que la résistance d'une barre est indépendante de sa longueur absolue et proportionnelle à l'aire A de sa section par un plan perpendiculaire à sa longueur;

2° Que les allongements sont proportionnels à la longueur de la barre, c'est-à-dire que l'allongement d'une barre de deux mètres sera double de l'allongement d'une barre d'un mètre;

3° Enfin que la réaction élastique a pour mesure le rapport des charges aux allongements très-petits, qui correspondent aux premiers déplacements des molécules, avant que l'élasticité puisse être en rien altérée. C'est de cette charge que se déduit pour chaque corps le coefficient, le module d'élasticité (voy. INTRODUCTION). Nous allons en voir la valeur.

Appelons $i = \frac{l}{L}$ l'allongement par mètre (l est l'allongement pour la longueur L), E étant la résistance élastique pour l'unité de surface des sections de la barre, le millimètre carré, la résistance élastique totale sera donc mesurée par $E \times A$, A étant la section de la barre, ou, comme nous venons de le dire, P étant la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

charge, par $\frac{P}{i} = P\frac{L}{l}$; donc $E \times A = \frac{P}{i}$, $P = EA\,i$ kil., ou $E = \frac{P}{Ai}$. Si A est égal à l'unité, le coefficient $E = \frac{PL}{l}$ deviendrait égal à P si $l = L$, c'est-à-dire égal au poids qui serait nécessaire pour produire un allongement égal à la longueur primitive. Si, au lieu de forces de traction, on appliquait des forces tendant à comprimer le corps, les allongements l et i se changeraient en raccourcissements, et les raisonnements demeureraient les mêmes. La quantité E aurait aussi la même valeur, mais qui ne doit être considérée comme exacte que pour des allongements ou raccourcissements supposés très-petits.

La limite d'élasticité, le point à partir duquel la déformation devient permanente, est un élément difficile à déterminer avec des instruments très-précis, des déformations se constatent le plus souvent pour des allongements peu considérables.

Poncelet a formé un tableau (voir ci-après) qui donne pour les matériaux les valeurs moyenne de E (coefficient d'élasticité), ainsi que celles de i et de P,

DÉSIGNATION DES CORPS.	VALEUR DE i.	VALEUR de P pour 1 millim. carré de section.	VALEUR de E pour 1 millim. carré de section.
	m.	kil.	kil.
Chêne.	$\frac{1}{600}$ = 0,00167	2,00	1200
Sapin jaune ou blanc.	$\frac{1}{850}$ = 0,00117	2,17	1300
Sapin rouge ou pin	$\frac{1}{470}$ = 0,00210	3,15	1500
Mélèze ou larix. .	$\frac{1}{520}$ = 0,00192	1,73	900
Hêtre rouge. . . .	$\frac{1}{570}$ = 0,00175	1,63	930
Frêne.	$\frac{1}{805}$ = 0,00113	1,27	1120
Orme.	$\frac{1}{414}$ = 0,00242	2,35	970
Fers doux passés à la filière, de petites dimensions.	$\frac{1}{1250}$ = 0,00080	14,75	18000
Fers en barres. .	$\frac{1}{1820}$ = 0,00066	12,205	20000
Acier d'Allemagne, très bonne qualité, recuit à l'huile.	$\frac{1}{833}$ = 0,00120	25,00	21000
Acier fondu très fin, trempé, recuit à l'huile. . .	$\frac{1}{4500}$ = 0,000222	66,00	30000
Fonte de fer à grains fins. . . .	$\frac{1}{1200}$ = 0,00083	10,00	12000
Fils de cuivre. . .	»	»	13100
Fils de laiton, recuits.	$\frac{1}{742}$ = 0,00135	15,00	10000
Laiton fondu. . .	$\frac{1}{1320}$ = 0,00076	4,80	6450
Bronze de canon fondu.	$\frac{1}{1590}$ = 0,00063	2,00	3200
Fil de plomb de coupelle, étiré à froid, de 4 mill. de diamètre. . .	$\frac{1}{1490}$ = 0,00067	0,40	600
Fil de plomb impur du commerce, étiré à froid, de 6 mill. de diamètre.	$\frac{1}{2000}$ = 0,00050	0,40	800
Plomb fondu ordinaire.	$\frac{1}{477}$ = 0,00210	1,00	500

correspondant à la limite d'élasticité des corps, c'est-à-dire que, pour des allongements ou des charges plus considérables, le corps est sensiblement déformé, les molécules ne reviennent plus à leur position primitive.

A l'aide de ce tableau et de la loi posée ci-dessus, on déterminera facilement l'allongement d'un corps du tableau, de section et longueur données, soumis à une charge aussi donnée.

En pratique, il convient de ne soumettre les pièces qu'à des charges permanentes qui ne dépassent pas la moitié de celles correspondant à la limite d'élasticité; on ne devra dépasser cette limite que pour les cas de constructions non permanentes, et non soumises à des efforts longtemps prolongés; et il ne convient, dans aucun cas, que les charges dépassent les 3/4 de celles correspondant à cette limite. Il importe toutes les fois que cela est possible, de faire usage de cette règle pour déterminer les dimensions des pièces qui entrent dans une construction.

Contraction et dilatation latérale des prismes. Quand on exerce sur les corps un effort qui tend à les allonger ou à les raccourcir, il s'en faut de beaucoup que les sections transversales de ces corps demeurent constantes; en réalité, dans le premier cas le prisme va en se rétrécissant de plus en plus à partir des extrémités, et en se gonflant dans le second. Ces effets se manifestent d'une manière très-apparente pour les prismes fort courts et et des substances plus ou moins molles.

Dans la pratique, où on n'emploie en général que des prismes dans lesquels la longueur est fort grande relativement aux autres dimensions, et qui sont doués d'une grande ténacité, tels que les bois, les pierres, les métaux, cet effet n'est pas sensible tant qu'on demeure dans les limites d'élasticité pour lesquelles les molécules conservent la faculté de revenir à leurs positions primitives.

Si l'on appelle a la diminution de la section A, le calcul fournit la relation $\frac{a}{A} = 1/2\,i = 1/2\,\frac{l}{L}$, relation qui a été vérifiée par un appareil dû à Cagniard de Latour, qui lui a permis de déterminer à la fois les variations de volume au moyen du niveau du liquide qui remplit un vase dans lequel est plongé le fil sur lequel l'effort est exercé, et les allongements au moyen d'une observation directe sur le fil. Wertheim, dont les expériences ont un cachet de précision très-grande, sont des modèles d'expérimentation, a contesté ce nombre et a pensé pouvoir conclure de ses expériences que l'on doit remplacer 1/2 par 1/3.

Résistance des prismes à la rupture; force absolue de ténacité. Si l'on fait supporter à un corps la charge d'un poids croissant, si f est la résistance limite pour l'unité de surface (comprenant en bloc tous les phénomènes qui résultent de la nature intime du corps), on aura pour le poids qui pourra produire la rupture $R = Af$, ce qui permettra de déterminer R pour les divers corps employés dans l'industrie.

Pour les corps mous qui s'effilent avant de se rompre, cette mesure ne sera guère que la mesure de l'adhérence qu'ont entre elles les molécules de ce corps pour commencer l'allongement qui, une fois commencé, déterminera évidemment la rupture par traction sous la même charge, tandis qu'il en sera tout autrement pour la résistance à l'écrasement qui ira en croissant par l'effet de l'écrouissage et de l'augmentation de la section transversale.

Nous rapportons les meilleurs résultats d'expériences dans le tableau de la page suivante, que nous empruntons encore à l'ouvrage de Poncelet. Les nombres sont déterminés à la température ordinaire; ils décroissent rapidement, pour les métaux surtout, avec l'accroissement de température.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR DE f pour 1 centimètre carré de section.
1° BOIS.	kil.
Chêne, dans le sens des fibres.	600 à 800
Tremble id.	600 à 700
Sapin id.	800 à 900
Frêne id.	1200
Orme id.	1040
Hêtre id.	800
2° MÉTAUX.	
Fer forgé ou étiré en barres. . — Le plus fort, de petit échantillon.	6000
Fer forgé ou étiré en barres. . — Le plus faible, de gros échantillon.	2500
Fer forgé ou étiré en barres. . — Moyen.	4000
Fer en tôle laminé. . — Tiré dans le sens du laminage (Navier). . . .	4100
Fer en tôle laminé. . — Tiré dans le sens perpendiculaire (Navier). . .	3600
Fer, dit *ruban*, très doux.	4500
Fil de fer non recuit. — De Laigle, employé à la carderie, de 0,23 de millimètre de diamètre. .	9000
Fil de fer non recuit. — Le plus fort, de 0,5 à 1,0 mill. de diamètre.	8000
Fil de fer non recuit. — Le plus faible, d'un grand diamètre.	5000
Fil de fer non recuit. — Moyen, de 1 à 3 millim. de diamètre.	6000
Fils de fer en faisceau ou câble (M. Bornet).	3000
Chaînes en fer doux. — Ordinaires à maillons oblongs.	2400
Chaînes en fer doux. — Renforcés par des étançons.	3200
Fonte de fer grise. . — La plus forte, coulée verticalement.	1350
Fonte de fer grise. . — La plus faible, coulée horizontalement. . . .	1250
Acier moyen.	7500
Bronze de canons, moyennement. . . .	2300
Cuivre rouge laminé, dans le sens de la longueur (Navier).	2100
Cuivre rouge en fil, non recuit, moyen, de 1 à 2 millim. de diamètre. . . .	5000
Cuivre jaune (laiton) en fil non recuit, moyen, de plus de 1 millim. de diamètre (Ardant et Dufour).	5000
Fil de platine écroui, non recuit, de 0,127 de mill. de diam. (Baudrimont).	11600
Fil de platine recuit, d'après la mesure directe du diamètre.	3400
Étain fondu (Rennie).	300
Zinc fondu.	600
Zinc laminé.	500
Plomb fondu (Rennie).	128
Plomb laminé (Navier).	135
Fil de plomb de coupelle, fondu, puis passé à la filière, ayant 4 millim. de diamètre (Ardant).	136
3° CORDES.	
Aussières et grelins en chanvre de Strasbourg, de 13 à 17 mill. de diamètre.	880
Aussières et grelins en chanvre de Lorraine, de 13 à 17 millim.	650
Aussières et grelins en chanvre de Lorraine et de Strasbourg, de 23 millim.	600

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	VALEUR DE f pour 1 centimètre carré de section.
4° MATIÈRES DIVERSES.	kil.
Verre et cristal, en tubes ou tiges pleines.	248
Pierres. — Basalte d'Auvergne. . . .	77,00
Pierres. — Calcaire de Portland. . . .	60,00
Pierres. — Blanche d'un grain fin et homogène.	14,4
Briques ordinaires, faibles.	8,0
Plâtre gâché, fabriqué à la manière ordinaire.	4,0
Mortier. — En chaux grasse et sable, âgé de 14 ans.	4,2
Mortier. — En chaux grasse, mauvais.	0,75
Mortier. — En chaux hydraulique ordinaire et sable.	9,00
Mortier. — En chaux éminemment hydraulique.	15,00
Mortier. — De ciment de Pouilly et sable (parties égales), après un an de durcissement dans l'air ou dans l'eau.	9,6

Les métaux qui se sont allongés par l'effet des charges ne reprennent pas leurs dimensions primitives après la rupture, parce que l'altération qui a lieu au point de rupture a lieu aussi dans les parties voisines. Cette altération a lieu même sans la rupture. De là les dangers des essais, qui souvent altèrent le métal soumis à l'essai et le rendent impropre à l'usage pour lequel on croit le reconnaître très-convenable.

Résistance des cordes et courroies. D'après Coulomb, les cordes, qui ne peuvent travailler qu'à l'extension, portent jusqu'à 50 et 60 kil. par fil de caret (fil élémentaire de 8 millimètres de diamètre environ, filé directement et tordu avec d'autres fils de caret pour former la corde). En pratique on ne doit jamais dépasser 40 kil.

D'après Morin, une courroie en cuir noir corroyé, renforcée sur les bords, peut supporter, sans altération, une charge permanente de 2 kil. par millimètre carré de section.

Des fers doux et des fers durs. Les premiers résistent beaucoup plus, mais s'allongent, tandis que les seconds gardent leur longueur jusqu'à la rupture. Quand plusieurs fils doivent porter en même temps les deuxièmes paraissent donc préférables ; c'est l'opinion de plusieurs auteurs sur les ponts suspendus, tandis que d'autres préfèrent les fers doux dont la résistance est bien plus grande, et pour lesquels l'entretien peut corriger l'inconvénient des allongements successifs. Le fer doux s'allonge de 0,10 à 0,27 de sa longueur primitive; avant de se rompre, sa section se réduit de 0,5 à 0,7, et sa densité à 0,99 de ce qu'elles étaient primitivement. Ces effets diminuent avec la longueur et l'accroissement de la section des barres.

L'acier de bonne qualité, recuit, peut supporter sans altération d'élasticité les 4/5 de la charge de rupture en s'allongeant de 2 à 3 millièmes.

Résistance vive d'élasticité. Puisque les corps s'allongent sous l'action des forces qui les tirent dans le sens de leur longueur, leur résistance à cet allongement développe, pour chaque élément de l'allongement total, une quantité de travail mesurée par le produit de l'effort exercé et de cet allongement.

Si donc on construit une courbe dont les ordonnées sont les efforts exercés et les abscisses les allongements,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la quadrature de cette courbe nous donnera la valeur de ce travail pour un allongement déterminé.

Si on étend cette mesure jusqu'au point qui répond à la limite d'élasticité, on aura la quantité du travail T_i, que Poncelet a nommé *résistance vive d'élasticité.*

Si l'on pousse la quadrature jusqu'à l'effort et à l'allongement qui a lieu au moment de la rupture, on aura le travail nécessaire pour rompre le corps, T_r qui est la *résistance vive de rupture.*

Il est facile d'obtenir l'expression d'une de ces quantités, par exemple de la résistance vive d'élasticité, connaissant l'allongement par mètre i, qui répond à la limite d'élasticité. Elle est donnée (approximativement) par l'aire d'un triangle ayant pour base l'allongement i L, pour un corps de longueur L, et pour hauteur l'effort P correspondant à cette limite; ce qui donne pour chaque millimètre carré le travail $1/2\ P\,iL = \frac{1}{2} EL\,i^2$, à cause de $P = E\,i$, et pour la section A, $T_i = \frac{1}{2} EAL\,i^2$.

COMPRESSION. *Résistance des métaux à l'écrasement.* On doit distinguer deux classes de métaux :

1° Les métaux durs, la fonte de fer, l'acier, l'airain, qui ne se compriment que de quantités insensibles avant de se briser en fragments plus ou moins gros; leur résistance à la compression doit être analogue à celle des pierres, comme leur nature les en rapproche. C'est ainsi qu'un boulet en fonte tiré contre un obstacle revêtu de fer, se sépare en une pyramide ayant pour base la partie antérieure, et des segments qui glissent sur les faces de celle-ci (voir PROJECTILES);

2° Les métaux ductiles plus ou moins mous qui se déforment avec une extrême lenteur, dont les dépressions sont considérables, et qui suivent des lois particulières. Ils obéissent aux pressions qui les déforment.

Corps mous. Les corps mous, plastiques, dont le plomb est le type, ayant une résistance moléculaire minime, se déforment sous l'influence des pressions, en raison de l'intensité et des directions de celles-ci, s'écoulent, par exemple, par des orifices, comme le feraient des liquides. Les expériences faites sur ces corps sont d'autant plus intéressantes qu'elles nous montrent ce qui se passe quand des corps résistants sont soumis à de puissantes pressions, comme le fer soumis au laminoir, par exemple.

On sait que les métaux soumis à la compression s'écrouissent, augmentent de densité, dans une proportion bien moindre qu'on n'est disposé à le croire, puis remplissent les capacités, sortent par les intervalles qui subsistent entre le contour du corps qui comprime et la matrice qui résiste ; c'est sur cette propriété que reposent les nombreux procédés de fabrication dans lesquels on utilise la malléabilité des métaux. Mais on ignorait les lois que suivaient ces parties du corps qui se déplaçaient.

M. Tresca ayant eu l'heureuse idée de faire des expériences, non sur une masse de plomb, comme on avait fait avant lui, mais sur une série de disques superposés, a pu suivre dans la masse les joints du contact des diverses plaques, et reconnaître la forme des trajectoires des molécules : telle est la figure 8 qui représente une section longitudinale par l'axe d'un solide produit par le refoulement du plomb à travers un orifice circulaire.

« Lorsqu'un solide se déforme sous l'influence d'actions extérieures, cette déformation dit-il, peut être considérée comme le résultat d'un écoulement qui a lieu dans la masse même du solide, à partir des points les plus pressés et dans la direction où les obstacles à cet écoulement sont les moindres. »

Dans le cas le plus simple, celui d'une ouverture pratiquée dans la base de l'enveloppe rigide, les molécules sont animées de deux mouvements : l'un parallèle à l'axe du jet, l'autre perpendiculaire à ce même axe, ce qui explique le mouvement de torsion que manifeste l'apparence extérieure des veines solides ou fluides, dont l'équilibre instable peut être troublé par la moindre différence de pression ou de vitesse.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

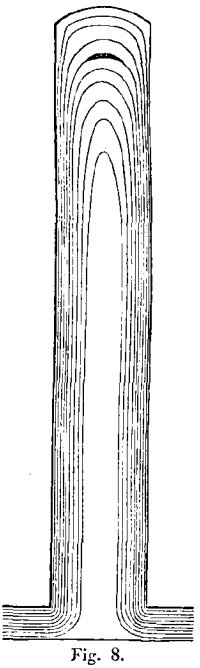


Fig. 8.

C'est ainsi, encore, qu'en faisant dans le jet obtenu par l'écoulement d'un bloc composé de lames de plomb par un orifice carré, des sections normales à sa direction, les tubes extérieurs plus minces avaient pour sections transversales des polygones d'un même nombre de côtés que celui de l'orifice; mais les sommets de ces polygones s'effaçaient de plus en plus à mesure que l'on examinait les tubes à une plus grande distance de la surface, et ces sommets étaient, dans le voisinage de l'axe, remplacés par des contours arrondis. Or, ce sont là exactement les phénomènes observés et signalés par M. Bazin dans l'écoulement des liquides, dans ses recherches sur les lois de la répartition des vitesses dans les sections transversales des canaux.

Les divers faits constatés par M. Tresca peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Dans tous les échantillons, sans exception, les faces planes des plaques primitives se sont modifiées au centre, de manière à former des surfaces de révolution presque cylindriques dans le jet, et se terminant par une calotte qui tourne sa convexité vers l'extrémité de ce jet;

2° Les lignes de joint font voir que toutes les molécules qui composaient le bloc primitif viennent individuellement se placer dans le jet, absolument comme le feraient les molécules d'un liquide qui s'écoulerait sur le bord de l'orifice comme sur la crête d'un déversoir circulaire ;

3° Les épaisseurs des calottes qui terminent les plaques dans le jet vont en augmentant à partir de son extrémité ;

4° Dans les parties où l'un des tubes a pris une forme à peu près cylindrique, l'épaisseur de ce tube est telle que sa section diffère très-peu de celle qui représenterait la section du tube divisée par le nombre des plaques;

5° Lorsque, par suite de la formation du jet, l'épaisseur du bloc est descendue au-dessous d'une certaine limite, le jet devient creux, et en même temps il se contracte, de manière à présenter sous ce double rapport les phénomènes reconnus dans l'écoulement des liquides, lorsque la hauteur de la chute devient petite par rapport aux dimensions de l'orifice.

Les phénomènes étudiés ici sont évidemment ceux qui se passent lors du martelage et du laminage des métaux froids ou rendus plus malléables par la chaleur, de l'action des découpoirs, etc., et en un mot de tous les outils qu'emploie l'industrie, pour utiliser la malléabilité des corps, pour les amener à une forme déterminée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

On reconnaît notamment que la débouchure d'un trou percé dans une plaque est toujours moins épaisse que la plaque (la différence est trop grande avec le plomb), non à raison d'un écrouissage du métal, qui est minime, mais à cause du refoulement latéral du métal dans la masse.

Métaux durs. Les expériences faites sur les écrasements des métaux sont fort difficiles, par la raison que la pièce se courbe ou s'écrase par le pied sous l'effort de la charge, ce qui complique la question.

Le fer forgé commence à se comprimer sous une charge de 4.945 kil. par centimètre carré de section, et il fléchit avant l'écrasement quand la longueur de la pièce dépasse le triple de la plus petite dimension de la section transversale.

La fonte s'écrase sous une charge de 10.000 kil. par centimètre carré de section transversale et elle ne fléchit, avant de s'écraser, que quand la longueur de la pièce dépasse dix fois la plus petite dimension de la section transversale; jusqu'à cette limite la résistance reste à peu près constante.

La charge permanente ne doit pas dépasser 1/4 à 1/5e de la charge de rupture. (Voir à l'article SERRURERIE l'analyse de la belle série d'expériences sur le fer et la fonte dues à Hodginson).

Influence de la durée de la compression ou de l'extension sur la résistance des corps. Les molécules des corps soumis à une action de compression ou d'extension ne reprennent pas immédiatement le nouvel état d'équilibre qui leur convient, et la réaction ne se produit souvent pas quand l'action a duré un certain temps. Ainsi, un ressort tendu pendant un long espace de temps finit souvent par perdre de l'élasticité, et, sous l'influence de cette action constante, l'état d'équilibre qui s'établit change la nature même du corps.

Une expérience que chacun a pu faire, c'est que des lames minces d'acier, de verre, placées dans des positions inclinées, se plient plus ou moins sous leur propre poids, sans qu'elles se redressent quand on leur rend la position verticale, comme il eût été si l'action avait duré peu de temps.

Dans les expériences dont les résultats doivent être appliqués aux constructions, il importe donc beaucoup de mettre un intervalle suffisant entre les variations d'action qu'on fait subir aux corps; et dans la pratique on préfère, avec raison, partir des constructions existantes pour calculer ce qu'on doit faire, d'autant plus que les pierres, les bois, sont soumis à des actions physiques qui peuvent les altérer indépendamment des actions mécaniques, et que le constructeur doit se préoccuper à la fois de ces divers éléments.

En comparant les charges portées par les matériaux dans les constructions les mieux faites, ou quand on a besoin d'agir sur de nouveaux matériaux, comme cela s'est vu dans l'application moderne du fer aux constructions et dans l'établissement des puissantes machines, on admet que l'on peut sans inconvénient atteindre la limite où l'élasticité des matériaux cesse d'être parfaite. C'est le point où il peut commencer à se faire dans le corps des dérangements moléculaires qui pourraient altérer ses résistances, et où par suite on doit s'arrêter.

Écrasement des corps durs, des pierres, etc. Les pierres les plus dures cèdent peu à la pression, puis se divisent tout à coup avec éclat en lames ou aiguilles de faible résistance; les plus tendres se partagent en pyramides, ayant pour base les faces supérieures et inférieures et leur sommet près du centre, qui tendent à chasser au dehors les parties latérales comprises entre elles, ces parties se réduisent en aiguilles et en petits prismes. La cohésion des molécules est presque totalement détruite dès que les pierres commencent à se fendiller. C'est donc à ce point seulement que devrait être fixée la limite théorique, et ce phénomène commence sous des charges un peu plus grandes que moitié des charges produisant l'écrasement.

Le fait curieux de la formation de pyramides, de cônes, lors de l'écrasement des corps durs, à texture grenue, n'avait jamais été analysé avant que nous n'ayons tenté d'en donner l'explication que nous reproduirons ici, et qui nous paraît satisfaisante de tout point.

C'est une expérience rapportée à l'article *Équivalent mécanique de la chaleur* qui m'a clairement indiqué les lois du phénomène.

Lorsqu'on laisse tomber un corps pesant, comme le mouton de la sonnette à battre les pieux que j'employais dans mes expériences, sur un morceau de plomb coulé de la forme d'un tronc de cône droit, pénétré par un tronc de cône renversé, forme préférable à celle des cubes ou de prismes qui résistent également par leurs faces opposées, sur lesquelles seules on avait fait de rares expériences, les déformations ont toujours été de la forme représentée par la figure 9, c'est-à-dire que le

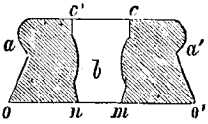


Fig. 9.

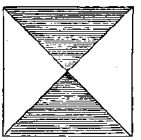
métal, écrasé seulement à la partie supérieure du cône, s'écarte perpendiculairement à la direction de l'écrasement, de manière à présenter sa plus grande largeur extérieurement, à y former un bourrelet en tulipe, tandis qu'à l'intérieur, près de la surface, une paroi circulaire verticale bien nette montre bien que le phénomène se passe tout différemment à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Cette différence d'effets est facile à analyser.

A l'extérieur, le métal, ne trouvant pas de soutien, puisque les circonférences successives vont en croissant, s'écarte sans rencontrer de résistance, et par la succession des couches superposées prend extérieurement la forme en tulipe *a*. Pour les couches intérieures, au contraire, le mouvement du métal vers le centre tend à faire naître une résistance particulière.

La forme des parties *cc* est due évidemment à la résistance produite par le glissement vers l'intérieur, dans une direction où les circonférences successives vont en diminuant de rayon, ce qui fait naître la résistance bien connue de la voûte, de la roue de voiture. Ce résultat indique l'explication très-satisfaisante, du très-curieux phénomène qui se produit lors de l'écrasement des corps durs.

Considérons un prisme et d'abord la face supérieure qui reçoit la pression (fig. 10). Les molécules du bord tendent à se mouvoir extérieurement, à s'écarter dans la limite de l'élasticité du corps, tandis que vers le centre, par une réaction nécessaire de ce premier effet, les molécules tendant à glisser vers l'intérieur, résistent en faisant voûte. Il est évident que les molécules situées vers le bord, qui s'écartent dans la limite de l'élasticité du corps, qui se déplacent quelque peu, tendent à entraîner extérieurement les molécules placées au-dessous d'elles et transmettent mal la pression verticale à la section sous-jacente, où les mêmes effets se reproduisent sur une surface moindre, diminuée d'un petit contour comparativement à la section placée au-dessus. C'est par la répétition de cet effet que la sec-


Fig. 10.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

tion des parties résistantes, qui ne tendent pas à se réduire en poussière, va en diminuant; d'où la forme de cônes, de pyramides, où l'effet de voûte vers l'intérieur est bien démontré par la convexité des faces. Quant aux parties situées en dehors des pyramides dont l'élasticité est forcée, et qui tendent à être repoussées, elles tombent le plus souvent en poussière. Quelquefois elles forment en partant de chaque face, quatre pyramides moins solides et moins fermées.

Les pyramides ou cônes sont doubles, le sommet étant au milieu de la hauteur, à cause de la transmission générale de la pression de la partie supérieure à la partie inférieure, aux moments qui précèdent celui de sa désagrégation, et dans le cas seulement de pressions lentes; car, avec un choc, la surface en contact avec l'obstacle n'étant pas la section la plus grande du corps, le choc est amorti par le contact, et il se produit une pyramide dont le sommet part de la face choquée et un glissement relatif du reste du corps le long des faces de la pyramide, variant de forme en raison du choc et de la ténacité des substances, comme l'expérience l'a fait reconnaître dans le choc des boulets.

Il me semble que l'inégalité des surfaces supérieures et inférieures adoptée pour la première fois dans mes expériences, au lieu de l'égalité des formes cubiques et cylindriques employées par Rennie et Vicat, ouvre une voie tout à fait nouvelle aux observations relatives aux phénomènes de rupture, aussi bien pour les compressions que pour les chocs; questions aussi intéressantes que difficiles, qui appellent les recherches des physiciens, car les travaux faits jusqu'ici, ont, la plupart, une assez faible valeur.

Ces expériences montrent encore la consommation énorme de travail qui se fait par l'écrasement de la saillie d'un corps aigu, et qui amortit par suite rapidement sa force vive. Cet effet justifie l'emploi proposé par Whithworth de projectiles plats à l'extrémité et non aigus, pour agir sur les cuirasses des navires blindés, au moyen des canons rayés qui lancent des projectiles allongés.

Pour compléter l'étude de cette question, je rapporterai encore ici un passage du mémoire de Vicat sur la rupture des cylindres et des sphères:

« *Résistance des cylindres.* Les cylindres chargés sur leurs arêtes ou employés comme rouleaux pressés entre deux plans horizontaux, commencent par se déprimer sur les lignes de contact (fig. 11); bientôt deux coins *abc*, *a'b'c'* se forment sur les faces de dépression; chacun a pour côtés deux plans qui se coupent à angle droit suivant une horizontale contenue tout entière dans le plan vertical qui passe par l'axe du cylindre. Le tranchant *c* du coin supérieur est éloigné du tranchant c' du coin inférieur des 2/3 du diamètre du cylindre.

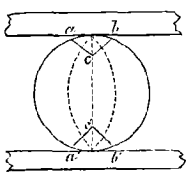


Fig. 11.

« Au moment où la décomposition que l'on vient de décrire se décide, la rupture a lieu; les deux coins, en se rapprochant, fendent le reste du cylindre dont les deux moitiés sont projetées à droite et à gauche. Tel est le mode de rupture offert constamment par les solides cylindriques à texture arénacée, terreuse ou grenue, tels que les pierres, briques et mortiers. Les fragments séparés par les coins ne paraissent pas altérés dans leur cohésion intime, mais les coins sont presque pulvérulents.

« *Résistance des sphères.* Une sphère, étant pressée entre deux plans horizontaux, se déprime aux points de contact: bientôt il se forme deux cônes (fig. ci-dessus) *abc*, *a'b'c'* dont chacun a pour base la surface circulaire déprimée. La sphère sollicitée par les efforts de ces deux cônes dont les sommets c et c' regardent le centre, se fend en deux, ou en trois, ou en quatre, et il ne reste plus des petit cônes que leurs débris.

« Si un instant avant la rupture on dégage la sphère pour en examiner l'état, on trouve les espaces occupés par les cônes remplis d'une matière pulvérulente fortement comprimée. Ainsi les cônes ne commencent à agir avec efficacité que lorsque la matière dont ils sont composés est devenue pulvérulente, s'est constituée dans un état de densité plus convenable à l'effet qu'elle doit produire. »

Sans admettre comme parfaitement certaine cette dernière observation, les expériences de Vicat montrent l'influence des masses fortement adhérentes qui résistent à l'action de compression; leur intervention rend bien compte des modifications qui surviennent, et l'explication des phénomènes découle toujours très-simplement de l'analyse donnée ci-dessus.

Résistances des massifs en pierres. Le tableau ci-après donne les résistances des diverses pierres, de nature déterminée.

Tableau des charges qui écrasent, après un temps très-court, différents corps, par centimètre carré de section. Ces résultats ont été obtenus en opérant sur des cubes ayant de 3 à 5 centimètres de côté.

DÉSIGNATION DES CORPS.	DENSITÉ.	CHARGE.
PIERRES VOLCANIQUES, GRANITIQUES, SILICEUSES ET ARGILEUSES.		kil.
Basalte de Suède et d'Auvergne.	2,95	2000
Lave dure du Vésuve (*piperino*), près Pouzzoles.	2,60	590
Lave tendre de Naples.	1,97	230
Porphyre.	2,87	2470
Granite vert des Vosges.	2,85	620
Granite gris de Bretagne.	2,74	650
Granite de Normandie.	2,66	700
PIERRES CALCAIRES.		
Marbre blanc veiné, statuaire et turquin.	2,69	310
Pierre noire de St-Fortunat, très dure et coquillère.	2,65	630
Pierre ferme de Conflans, employée à Paris.	2,07	90
Calcaire jaune et oolithique de Jaumont, près Metz.	1re qual. 2,20	180
	2e qual. 2,00	120
Calcaire bleu à gryphites, donnant la chaux hydraulique de Metz (non rompue)	2,60	300
BRIQUES.		
Brique dure, très cuite.	1,56	150
Brique rouge.	2,17	60
Brique rouge pâle (probablement mal cuite).	2,09	40
Brique de Hammersmith.	»	70
PLATRE ET MORTIER.		
Plâtre gâché à l'eau.	»	50
Mortier en pouzzolane de Naples ou de Rome.	1,46	37

Quand plusieurs pierres sont assemblées (ce qui ne doit avoir lieu que par des surfaces plus ou moins droites), la résistance se trouve beaucoup diminuée, élément d'une grande importance, puis qu'on doit éviter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tout tassement qui compromettrait la solidité de l'édifice.

Pour trois cubes superposés, Rondelet a trouvé la résistance réduite aux 2/3 environ, effet que diminue l'interposition du mortier, et Vicat a trouvé qu'un cube de 3 centimètres de côté perd 1/6 de sa force quand il formé avec huit petits cubes, et 1/5 quand il se compose de quatre prismes égaux posés à joints recouverts.

D'après tous ces faits et toutes les imperfections de l'exécution, on fixe les charges permanentes, pour les piliers en pierres taillés, à 1/10 environ des charges qui produisent l'écrasement dans les expériences en petit, et à 1/15 ou 1/10 pour les moellonages ou les supports isolés.

Résistance des bois.

Expériences de Rondelet et Rennie:

		Résistance par millim. carré.
Résistance à l'écrasement.	Chêne de France. . . .	3k,85 à 4k,63
	Sapin.	4k,62 5k,38
	Pin d'Auvergne. . . .	4k,18
	Orme.	0k,90

La résistance des bois étant bien plus régulière que celle des pierres, Rondelet admet que ces nombres peuvent être appliqués aux bois chargés debout, quand la hauteur n'excède pas sept ou huit fois l'épaisseur, mais être réduite aux 5/6 quand la hauteur est douze fois l'épaisseur, et 1/2 quand elle est vingt-quatre fois.

Au-delà il y a flexion transversale, ce qui diminue beaucoup la résistance, et on ne prend plus que 1/10 pour les charges permanentes.

		Résistance par millim. carré.
Résistance à la rupture par extension.	Chêne, dans le sens des fibres. .	6k à 8k
	Tremble — — . .	6k 7k
	Sapin — — . .	8k 9k
	Frêne.	12k
	Orme.	10k,40
	Hêtre.	8k
	Buis.	14k
	Chêne perpendiculairement aux fibres.	1k,60
	Peuplier, perpendiculairement aux fibres.	1k.25

On n'emploie encore que le 1/10, parce que les bois employés ainsi, le plus souvent à l'air, sont sujets à des causes d'altération, ce qui doit engager à s'assurer d'une résistance supérieure aux besoins.

Limite d'élasticité.

Pour le chêne:

$E = 1340^k$ par millim. carré, $i = 0{,}0007$ par kil.

Pour le sapin:

$E = 1400^k$ par millim. carré, $i = 0{,}0006$ par kil.

valeurs qui varient avec la nature et les espèces des arbres. Ces valeurs ne doivent, en tous cas, jamais être atteintes, pour éviter les déchirements.

On pourra, en moyenne, prendre pour les diverses espèces de bois résistants appliqués aux constructions:

$P = 1200\,Ai$ pour calculer la charge capable de produire l'allongement i par mètre courant, d'une pièce de chêne dont A représente, en millimètres quarrés, l'aire des sections transversales.

FLEXION. *Résistances des corps soumis à un effort transversal qui tend à en opérer la rupture.* Les géomètres se sont beaucoup occupés de cette question, et sont parvenus à des formules qui représentent avec une exactitude suffisante les résultats de l'expérience, en partant du principe suivant:

Quand un corps est soumis à un effort transversal, il éprouve une extension dans sa partie supérieure et une compression dans sa partie inférieure. Il se trouve donc dans la partie intermédiaire de la pièce, à une distance variable des deux faces, une ligne de *fibres invariables.*

Nous établirons d'après Poncelet et Morin l'équation fondamentale de cette théorie.

La rotation qui se produit dans chaque section, lors de la flexion, s'effectuant pour chacune d'elles autour de la ligne contenue dans la couche des fibres invariables, il s'ensuit que l'allongement et le raccourcissement des fibres situées en dehors de la couche des fibres invariables, sont proportionnels à leur distance à cette couche.

Examinons, d'après cela, ce qui se passe entre deux sections infiniment voisines et perpendiculaires à la longueur d'un corps fibreux fléchi, que nous supposerons par exemple solidement encastré par l'une de ses extrémités et soumis de l'autre à l'action d'une force extérieure P qui agit normalement à sa longueur dans le plan vertical moyen qui le diviserait longitudinalement en deux parties égales.

Soient IK et *ik* (fig. 12) les sections que l'on considère

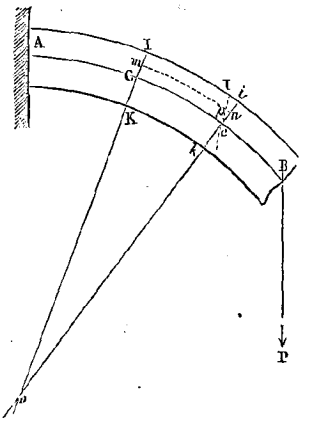


Fig. 12.

et dont les plans prolongés se rencontrent suivant une ligne perpendiculaire au plan moyen du corps et qui se projette en o. Dans la flexion du corps les sections IK et *ik* restant normales à la ligne des fibres invariables, le point *o* sera le centre de courbure de cette ligne, et $Co = r$ sera le rayon de courbure.

Si par le point c, appartenant à la ligne des fibres de longueur invariable, on mène une parallèle cI' à la ligne CI, il est évident qu'une ligne quelconque *mn*, qui avait avant la flexion une longueur égale à $Cc = mp$, se sera allongée de la quantité *pn*, qui sera proportionnelle à sa distance *pc* à la fibre invariable *Cc*. Les triangles *Coc* et *pcn* étant semblables, on a: $pn : cn :: s : r$ ou $pn = \frac{s}{r}\,v$, en appelant v la distance du point n à la couche des fibres invariables; l'allongement de cette fibre par unité de longueur, sera donné par le rapport

$$\frac{pn}{mp} = \frac{pn}{Cc} = \frac{cn}{co} = \frac{v}{r} = i,$$

a étant l'aire élémentaire de la section de cette fibre, sa résistance p à l'allongement i est Eai, on a donc:

$$p = Eai = \frac{E}{r} \times av.$$

Les résistances moléculaires des fibres étant toutes normales à la section, il faudra, dans l'état d'équilibre de cette section, que les résistances à l'extension des fibres placées d'un côté de la surface des fibres inva-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

riables, fassent directement équilibre, aux résistances à la compression des fibres situées de l'autre côté; et comme toutes ces forces sont parallèles, cela exige que leur somme soit égale à zéro.

L'une quelconque de ces forces ayant pour expression

$$p = \frac{E}{r} av,$$

et le facteur $\frac{E}{r}$ étant constant pour toutes les fibres, la somme des forces analogues pour toutes les fibres a, a', a'' placées à des distances v, v', v'', et qui doit être nulle, sera:

$$\frac{E}{r} av + a'v' + a''v'' + \text{etc...} = 0.$$

Cette condition revient à dire que la somme des moments des sections de chacune des fibres, par rapport à la ligne des fibres invariables, doit être nulle, c'est-à-dire, d'après un théorème de statique, que cette ligne des fibres invariables passe par le centre de gravité. La détermination géométrique de ce point pour les diverses sections d'un corps, permettra donc de déterminer la ligne perpendiculaire au sens de la résultante des forces extérieures qui contient les fibres invariables.

Revenons au corps encastré par une de ses extrémités et soumis à l'action d'une force extérieure; lorsque ce corps sera parvenu à une position d'équilibre, la flexion générale et par suite la rotation des fibres élémentaires de la section IK ayant cessé, il faudra nécessairement que la somme des moments des résistances moléculaires par rapport à cette ligne, soit égale à la somme des moments des forces extérieures qui agissent à droite de la section IK. C'est la deuxième condition de l'équilibre dans cette section.

Or, le moment de la résistance p de la fibre mn par rapport à la ligne des fibres invariables, est pv ou $\frac{E}{r} av \times v$, et la somme de tous les moments semblables sera pour la section entière :

$$\frac{E}{r} (av^2 + a'v'^2 + a''v''^2 + \text{, etc.})$$

La somme des produits av^2, $a'v'^2$ ..... de l'aire de la section transversale de chaque fibre par le carré de sa distance à la ligne des fibres invariables, est le *moment d'inertie* I, quantité qui peut se calculer algébriquement pour toute forme déterminée.

Donc la somme des moments de toutes les résistances moléculaires à l'extension et à la compression est $\frac{E}{r} I$, et cette somme doit être égale au moment Pl de la force extérieure qui tend à produire la rotation autour de la section IK que l'on considère, et on a la relation fondamentale

$$\frac{E}{r} I = Pl. \qquad (1)$$

Tout ceci suppose, que l'équilibre peut subsister d'une manière permanente, que la résistance de la pièce est durable et offre la sécurité nécessaire; pour cela, il faut qu'aucune des fibres de la section transversale que l'on considère ne soit soumise à un allongement ou à une compression qui dépasse les limites de l'élasticité.

Dans la rotation qui se produit autour de la ligne des fibres invariables, la fibre la plus éloignée est évidemment celle qui s'allonge ou se raccourcit le plus. Si, par exemple, ci est plus grand que ck, la fibre dont la longueur a subi la plus grande variation est II', et son allongement est I'i; or, pour les triangles semblables, en appelant V la distance cI' de cette fibre à l'axe des fibres invariables :

$$\frac{I'i}{Cc} = \frac{cI'}{Co} = \frac{V}{r}$$

et en nommant i' l'allongement ou le raccourcissement proportionnel maximum que les fibres peuvent éprouver sans altération de leur élasticité, il faut que l'allongement V de la plus éloignée soit au plus égal à i', ce qui donne :

$$\frac{V}{r} = i', \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{r} = \frac{i'}{V} \quad \text{et} \quad \frac{EI}{r} = \frac{EIi'}{V}.$$

Mais si, d'après ce qui a été dit précédemment, on continue à appeler R l'effort permanent de compression ou d'extension que chaque unité de surface peut supporter avec sécurité, on aura :

$$R = Ei', \quad \text{d'où} \quad i' = \frac{R}{E} \quad \text{et par suite} \quad \frac{EI}{r} = \frac{RI}{V},$$

pour la somme des moments des résistances moléculaires de la section que l'on considère, à l'extension et à la compression, quand ces fibres ne seront soumises qu'à des efforts qu'elles puissent supporter avec sécurité. On obtient ainsi la relation :

$$\frac{RI}{V} = Pl. \qquad (2)$$

Pour appliquer cette formule il faut calculer I pour les divers cas.

Applications. Soit F la valeur maximum de la résistance au point de rupture.

a la largeur horizontale.

b la hauteur.

R le coefficient de rupture par traction.

On obtient les résultats suivants :

1° Section rectangulaire. . . $F = \frac{Rab^2}{6}$;

2° Section carrée. . . . . $F = \frac{Ra^3}{6}$;

3° Section carrée, dressée suivant une diagonale.. . . . . $F = \frac{Rr^3}{6\sqrt{2}}$;

4° Section circulaire. . . . $F = \frac{R\pi r^3}{4}$;

5° Section annulaire. . . . $F = \frac{R\pi(r^4 - r'^4)}{4r}$;

(r rayon extérieur, r' rayon intérieur.)

6° Section rectangulaire creuse ou à nervures. . . . . $F = \frac{R(ab^3 - a'b'^3)}{6b}$.

(a', b', dimensions intérieures correspondantes aux longueurs et hauteurs extérieures a, b.)

On considère quatre cas relativement à la position des points d'appui qui supportent la pièce.

Pour chaque cas on détermine la puissance F', qui s'exerce au point de rupture en fonction du poids, de l'effort P qui agit à l'extrémité ou au milieu, et de la distance L de son point d'application.

1° Barre encastrée par une extrémité:

$$F' = PL,$$

2° Barre supportée en son milieu :

$$F' = \frac{PL}{4};$$

3° Barre supportée par ses extrémités :

$$F' = \frac{PL}{4};$$

3° Barre encastrée par ses extrémités:

$$F' = \frac{PL}{8}.$$

Au moment de la rupture, la puissance F' et la résistance F sont égales. Donc, suivant chaque cas, en égalant ces valeurs, et on aura une équation d'où l'on dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

duira les dimensions minima des pièces et par suite les dimensions réelles ayant un rapport constant avec ce minimum. Il suffit, pour appliquer ces formules à la construction, de connaître la valeur de R.

Solides d'égale résistance. Les effets de la puissance P, à des distances croissantes l, l'... du point où se produit la résistance, sont Pl, Pl'..., elles vont donc en croissant; les sections doivent donc être croissantes avec l'éloignement du point d'action de la force. La courbe déterminée par la condition d'égale résistance en tous les points est un arc de parabole. C'est donc la forme qu'on devra donner aux supports. C'est celle qu'on donne, par exemple, aux balanciers des machines à vapeur, qu'on forme de deux arcs opposés, puisque dans le cas des machines à double effet l'action se produit dans les deux sens.

L'équation de la parabole est $P = \frac{Ray^2}{6x}$.

TORSION. Lorsqu'une pièce est soumise à l'action de couples qui tendent à la faire tourner autour de son axe géométrique, il se produit une torsion à laquelle résistent les forces moléculaires. Dans une section normale, les éléments se trouvent alors soumis à une force qui tend à les faire glisser et, pourvu qu'on ne dépasse pas les limites d'élasticité, il naît un état d'équilibre entre le moment des forces extérieures de rotation, d'une part, et les moments des tensions moléculaires dans les divers éléments de la section, d'autre part, ces moments étant pris par rapport à l'axe polaire du centre de gravité de la section, c'est-à-dire à un axe passant par le centre de gravité de la section et perpendiculaire au plan de cette section. La résistance à la torsion n'est pas autre chose qu'une résistance complexe au glissement, en même temps qu'à l'extension.

En effet, les déplacements ou arcs décrits par les molécules d'une même fibre sont proportionnels à leur distance à l'extrémité du solide, car les fibres prennent la forme d'hélices dont le pas est le même pour toutes. Elles se sont donc allongées de tout l'excédant de la longueur de l'hélice développée, sur la longueur primitive des fibres.

Si Pl est le moment des forces de rotation agissant sur une section de la pièce; I_p le moment d'inertie polaire de la section; a la distance au centre de gravité de la section de l'élément le plus éloigné; G la tension de glissement développée dans cet élément, on a:

$$Pl = \frac{GI_p}{a}.$$

Pour le cercle, de diamètre d:

$$I = \frac{\pi}{32} d^4 \quad \text{et} \quad \frac{I_p}{a} = \frac{\pi}{16} d^3.$$

Pour le carré:

$$I_p = \frac{a^4}{6} \quad \text{et} \quad \frac{I_p}{a} = \frac{a^3}{3\sqrt{2}}.$$

La limite d'élasticité est atteinte lorsque G devient égal aux 4/5 du plus petit des deux modules d'élasticité de la matière dont la pièce est formée.

MACHINES A ESSAYER LES MÉTAUX. Les formules relatives à la résistance des matériaux ne peuvent être appliquées qu'en y introduisant des nombres déterminés par les physiciens relativement à l'élasticité du fer, de l'acier, etc. Or, ils ne s'appliquent pas, le plus souvent, aux substances que l'on doit employer, les fers et les aciers, par exemple, ayant des résistances très-différentes suivant les modes de préparation et de travail, les minerais, etc. On est donc obligé de multiplier par un coefficient très-élevé le nombre déduit des formules, ce qui rend en quelque sorte illusoire l'application de la théorie. Le remède à cet état de choses était d'introduire dans les ateliers de construction des appareils d'essai permettant de soumettre à la rupture, dans des conditions semblables à celles de leur emploi, les matériaux mêmes employé dans les constructions. Tels sont ceux établis en Angleterre avec succès par David Kirkaldy, et qui ont été perfectionnés en France par M. Thomasset.

Ces appareils, permettant de rompre des pièces de dimension notable, ne sont parvenus à un état définitif, ne sont devenus réellement pratiques que depuis qu'on a adopté la presse hydraulique pour produire des tractions considérables, sans les chocs, les flexions des pièces intermédiaires qui se produisaient dans les appareils à poids, à vis, à levier, etc.

C'est dans ces conditions que Kirkaldy a monté le premier établissement public d'expérimentation près de Londres, après des recherches faites chez Napier, à Glascow, établissement que l'industrie anglaise a aussitôt adopté, comme une base essentielle de la bonne construction mécanique.

La figure 13 représente l'appareil pour les ruptures à la traction, tel qu'il est construit par M. Thomasset qui, pour éviter même les petits à-coups que produit le mouvement du petit piston de la presse hydraulique ordinaire, mû par un levier, a eu l'heureuse idée d'employer la disposition d'un piston mû par une vis, pour agir d'une

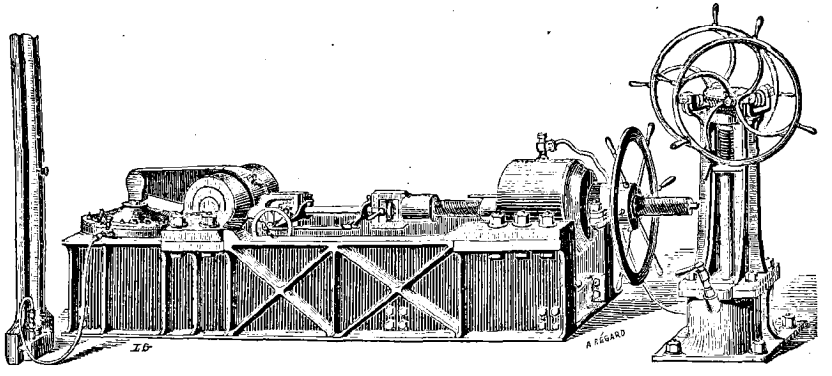


Fig. 13.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

maniere tout à fait progressive, ce qui diminue beaucoup le personnel des essais et supprime toute espèce d'à-coups. La pression hydraulique exercée dans le cylindre vertical sur l'eau au moyen d'une manivelle faisant tourner une vis sans fin, actionnant une roue dentée montée sur la vis porte-piston, est transmise par un tuyau au cylindre horizontal renfermant le piston dont la tige exerce la force de traction. La seconde mâchoire, qui saisit l'autre extrémité de la barre soumise aux essais, qui résiste, tire par couteau sur le petit bras d'un levier coudé, monté également sur couteau, et dont le second bras horizontal vient s'appuyer par son extrémité sur le centre d'un plateau manométrique. Ce dernier repose sur une capacité fermée par un diaphragme renfermant de l'eau, et la pression transmise par le liquide, est équilibrée en chaque instant par la colonne verticale d'un manomètre à mercure qui communique avec l'eau placée sous le diaphragme. C'est une disposition précise et excellente, dérivant de celle des manomètres Galy-Cazalat (voy. MANOMÈTRE); celui-ci peut être taré avec des poids et donne par suite toujours des résultats certains, ce qui n'a pas lieu quand on mesure la pression de l'intérieur de la presse, dont on peut difficilement apprécier les résistances intérieures.

La machine ci-dessus sert presque sans changement pour faire des expériences et à la compression. Pour la flexion, la pièce est supportée entre deux couteaux; c'est vers le milieu qu'agit un troisième couteau monté sur la tige du piston.

CLASSEMENT DES FERS ET DES ACIERS. Un grand progrès de la construction est, au lieu d'employer, pour ainsi dire, indistinctement des fers et des aciers de provenance quelconque, comme on le faisait autrefois, d'avoir appris à classer ces métaux et de se servir pour chaque cas de la sorte la plus convenable. Cela permet d'augmenter la résistance des pièces à poids égal, ou de diminuer notablement le poids des pièces mobiles, à résistance égale.

Nous n'avons pas à revenir sur le classement des fers, donné si complétement par M. Baude, à l'article SERRURERIE; nous reviendrons seulement sur le classement des aciers obtenus à l'aide des machines dont il vient d'être parlé, et qui, d'une grande puissance, ne fournissent plus seulement des résultats d'expériences sur des fils de petit diamètre, dont la théorie tire des règles pour des pièces de grande dimension, mais permettent de déterminer les efforts nécessaires pour la rupture des barres de dimensions comparables à celles des pièces employées dans la construction, fournissant par suite des nombres applicables en toute sécurité par le constructeur.

La dureté des aciers purs, dans lesquels des corps étrangers, et surtout le silicium n'entre pas en quantité notable, paraît être en raison de la teneur en carbone, de telle sorte que l'analyse chimique fournit, entre certaines limites, un moyen de classement. Nous le montrerons en rapportant les expériences de Kirkaldy sur des aciers de Suède de l'usine Fagersta. Nous rapporterons ici les résultats d'expériences faites dans le but de déterminer les propriétés mécaniques de barres d'acier martelé, possédant différents degrés de dureté, et la manière dont cet acier se comportait en le soumettant aux efforts auxquels il se trouve exposé dans la pratique.

Douze barres formaient quatre groupes de trois barres, portant les marques de l'usine : 1, 2; 0, 9; 0, 6; 0, 3, qui indiquaient leur degré de pureté d'après l'essai chimique donnant le dosage du carbone. Chaque barre fut amenée par le martelage à 12,90 de section, et toutes ont été préparées et essayées exactement dans les mêmes conditions. Les spécimens destinés aux épreuves de traction, de compression et de torsion furent tournés avec le plus grand soin, amenés à $0^m,0285$ de diamètre et parfaitement polis; les échantillons soumis aux expériences de flexion furent soigneusement planés et amenés à une section rectangulaire de $0^m,048$ de côté. Tous les résultats sont donnés en kilogrammes par millimètre carré de section.

Le tableau suivant résume les moyennes obtenues dans les expériences à la traction.

MARQUES.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ.	RUPTURE.	DIMINUTION DU DIAMÈTRE à la rupture.	ALLONGEMENT.	NATURE de la CASSURE.
			pour 100.	pour 100.	
1.2	$43^k.60$	$60^k.00$	2.65	1.8	Granuleuse.
0.9	44 .31	74 .94	6.11	5.1	Granuleuse.
0.6	40 .84	72 .15	14.43	6.6	Granuleuse
0.3	30 .30	43 .10	61.52	16.5	Soyeuse.

Un échantillon de la marque 0,9 a offert la plus grande résistance à la traction, et ne s'est rompu que sous une charge de 79,42 par millimètre carré de section.

Pour essayer la résistance à la compression, on s'est servi d'échantillons portant les mêmes marques, et ayant des longueurs égales à 1, 2, 4 et 8 fois leur diamètre; les résultats moyens obtenus sur l'ensemble des échantillons ont été les suivants :

Marques.	Limite d'élasticité.	Écrasement.
1.2	$43^k.17$	$95^k.00$
0.9	41 .83	90 .46
0.6	39 .25	81 .12
0.3	28 .59	85 .72

La plus grande résistance à l'écrasement a été donnée par un échantillon marqué 0, 9, ayant 2 diamètres en longueur, et qui a nécessité une charge de $129^k,45$ par millimètre carré de section.

Sous une charge de 140 kilogrammes par millimètre carré de section, les effets de compression ont produit sur les divers échantillons, ayant une hauteur égale à leur diamètre, une diminution de la longueur, qui s'est élevée pour les marques 1, 2 à 20 pour 100 de la longueur initiale; pour les marques 0, 6 à 26 pour 100, et pour les marques 0, 3 a atteint 48,1 de la longueur initiale.

Pour mesurer la résistance à la flexion, les barres soumises aux essais ont été, comme nous l'avons dit, rabotées et façonnées en forme de rectangle ayant $0^m,048$ de côté; elles étaient placées sur des supports éloignés de $0^m,508$ l'un de l'autre, et la pression se faisait au centre de la barre. La moyenne des résultats obtenus est reproduite dans le tableau suivant :

MARQUES.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ.	RUPTURE.	FLEXION au moment de la rupture.	NATURE DE LA CASSURE.
			mm.	
1.2	$14^k.86$	$22^k.91$	19.81	Beau grain.
0.9	15 .26	30 .71	37.84	Beau grain.
0.6	12 .89	27 .02	84.07	Beau grain, sauf une bavure.
0.3	11 .09	17 .77	129.79	Beau grain, sauf une bavure.

ESSAIS PAR POINÇONNAGE. Le poinçonnage fournit un moyen très commode d'expérimenter la résistance des métaux. M. Marché, dans une intéressante communication à la Société des Ingénieurs civils, a signalé à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce point de vue les expériences faites par M. Smith sur des rails Bessemer, à l'usine Barrow, et qui montrent qu'on peut trouver des indications très-précises sur la nature de l'acier employé pour chaque rail fabriqué, en mesurant l'effort nécessaire pour poinçonner les trous d'éclisses.

Les trous d'éclisses dans les rails d'acier ne se font pas ordinairement à la poinçonneuse, mais au foret; mais, comme il a été démontré que l'action du poinçon est toute locale et que le métal n'est altéré que dans une zone circulaire de 1 à 2 millimètres d'épaisseur, il n'y a aucun inconvénient à percer les trous d'éclisses avec une poinçonneuse en ayant soin de donner au poinçon un diamètre inférieur à celui du trou qu'on alèse ensuite au diamètre définitif.

Il suffit alors de disposer la poinçonneuse de manière à permettre de mesurer l'effort nécessaire au poinçonnage pour avoir pour chaque rail, ainsi essayé individuellement, la mesure de sa dureté.

Les chiffres suivants montrent dans quelles limites on peut admettre que la résistance à la traction, l'allongement, etc., sont en relation constante avec la teneur en carbone.

Expériences sur des rails Bessemer et Barrow.

	TENEUR en CARBONE.	Effort nécessaire pour poinçonner un trou de 22m/m2225 de diamètre Épaiss. 19m/m.	ESSAIS A LA TRACTION. Charge de rupture par m/m².	Allongement pour 100 sur 50m/m8 de longueur.
		kil.	kil.	pour 100.
Rails doux.	0.28	47.380	48.60	36.25
	0.29	49.670	51.17	34.5
	0.30	50.110	51.82	34.9
	0.32	51.750	51.97	32.0
Rails durs.	0.36	57.640	58.23	26.0
	0.40	59.180	59.19	24.5
	0.45	66.170	69.22	16.5
	0.50	75.620	72.00	3.0
	0.57	83.700	78.15	3.0

L'essai à la traction donne, on le voit le même classement des produits que la résistance au poinçonnage et que la teneur en carbone.

Ces chiffres, comme tous ceux des classements d'usine et ceux des séries d'essais cités plus haut, montrent que la résistance à la rupture dans les essais à la traction sur des essais de même origine, et amenés à la même forme et aux mêmes dimensions par le travail de la fabrication, augmente avec la teneur en carbone et par conséquent avec la dureté.

Mais il faut remarquer que ce fait n'est vrai que tant que la proportion de carbonne ne dépasse pas 0.8 à 1.2 pour 100; au delà de 1.2 pour 100 la résistance diminue.

Ce fait d'un maximum de résistance correspondant à une teneur en carbone d'environ 1 pour 100 s'explique par les considérations suivantes :

La résistance à la rupture R, dont il est question ici, est rapportée à la section primitive, mais la rupture n'a lieu qu'après que la tige s'est allongée et sa section transversale réduite dans une proportion d'autant plus grande que l'acier considéré est moins dur. Si F est la résistance à la rupture par millimètre carré de la section de rupture, qui est une fraction Σ de la section primitive, on a : $R = \Sigma \times F$.

Or, on observe que l'effort F sous lequel la cohésion du métal est détruite est d'autant plus grand que le métal est moins carburé, et diminue graduellement à mesure que la teneur en carbone augmente, depuis l'acier extra-doux à 0.15 pour 100 de carbone, pour lequel cet effort atteint 120 kilogrammes par millimètre carré, jusqu'à la fonte dont la résistance descend jusqu'à 15 kilogrammes par millimètre carré; mais d'autre part la réduction de section dans la partie rompue est presque nulle lorsque la teneur en carbonne atteint environ 1 pour 100, c'est-à-dire que le rapport Σ de la section de rupture à la section primitive qui est de 0.250 à 0.300 pour les aciers très-peu carburés, atteint une valeur très-voisine de 1, dès que la teneur en carbone est de 1 pour 100.

Pour les aciers commerciaux, dont la proportion de carbone est comprise entre 0.15 et 0.80 pour 100, on peut admettre que cette résistance est sensiblement proportionnelle à la teneur en carbone.

Ainsi on trouve entre la résistance R et le dosage du carbone γ les relations suivantes, en prenant les chiffres des divers classements d'usine :

Classement de J. Cockeril. . . . $R = 70\gamma + 30$
Classement de Terre-Noire. . . . $R = 75\gamma + 32$
Classement du Creusot, série A (aciers ordinaires). . . . . $R = 80\gamma + 21$
Classement du Creusot, série C (aciers de qualité supérieure). . . . . $R = 80\gamma + 25$

Des différences dans les valeurs des résistances, pour une même valeur de γ qu'on constate entre ces divers classements, résultent des différences de nature des fontes traitées et de la présence d'autres éléments : phosphore, silicium et manganèse qui modifient la qualité de ces aciers de provenances variées.

On complète la définition des aciers en indiquant avec la résistance à la rupture soit la *striction* Σ, rapport de la section de rupture à la section primitive, soit l'allongement permanent à la rupture.

Essai par poinçonnage des plaques minces.

Le poinçonnage est, dans certains cas, le seul moyen applicable pour déterminer la résistance des métaux. Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'on ne dispose que d'une petite quantité de matière, par exemple lorsqu'on fait des essais d'alliages. C'est en effet pour des recherches à ce sujet que j'avais pensé à ce système. Le rayon du poinçon étant a, l l'épaisseur de la plaque, $2\pi a l$ sera la section de rupture, et le travail consommé sera $2 R \pi a l$, R étant la résistance à la rupture.

Pour mesurer ce travail et par suite R, un mouton d'un poids connu tombant d'une hauteur déterminée, fournirait la disposition la plus simple, dans la plupart des cas. Deux ou trois essais, au-dessus et au-dessous du poinçonnage complet, permettraient de mesurer avec assez de précision la hauteur h, et par suite le travail $P h$ strictement nécessaire, et par suite déduire R, seule quantité alors inconnue, de l'équation

$$P h = R \pi a l^2.$$

Nous croyons que c'est faute d'un semblable moyen d'essai, que plusieurs chimistes qui ont commencé l'étude des alliages, n'ont pas poursuivi leurs utiles travaux.

RÉSISTANCES PASSIVES. Toute machine a pour but de transmettre le travail moteur à un opérateur, mais nécessairement ce travail est diminué de toutes les résistances propres de la machine, que l'on appelle *résistances passives*. C'est surtout du frottement qu'elles résultent; c'est cette résistance que nous étudierons en premier, avec le développement que justifie sa grande importance dans les applications. Nous parlerons ensuite de la résistance des cordes, qui procède en réalité du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frottement, mais qui par suite de leur flexibilité, de leur enroulement, fournit des résultats tout particuliers dans les systèmes où elles sont employées.

FROTTEMENT. Toutes les fois qu'un corps se meut en glissant sur un autre, il se produit une résistance qui s'oppose au mouvement, et que l'on nomme *frottement de glissement*. Il est dû à une action réciproque des molécules des deux corps les unes sur les autres, qui engrènent en quelque sorte, quel que soit le poli de la surface, pour produire des effets qui peuvent indiquer la nature de l'action. On a reconnu par des expériences très-précises, fournissant des déterminations dont nous donnons les principales dans le tableau ci-après, que cette résistance est assujettie à trois grandes lois :

INDICATION des surfaces frottantes.	DISPOSITION des fibres.	ÉTAT des surfaces.	RAPPORT du frottement à la pression.
Chêne sur chêne.	Parallèles.	Sans enduit.	0,48
— —	—	Frottées de savon sec.	0,16
— —	Perpendiculaires.	Sans enduit.	0,34
Fer sur chêne.	Parallèles	—	0,62
—	—	Savon sec.	0,21
Fonte sur chêne.	—	Sans enduit.	0,49
Fonte sur chêne.	—	Savon sec.	0,19
Fer sur fer.	—	Sans enduit.	Les surfaces se rodent.
Fer sur fonte.	—	Surfaces un peu onctueuses.	0,18
Fonte sur bronze.	. . . . .	— —	0,15
Bronze sur bronze.	. . . . .	Sans enduit.	0,80
Chêne, orme, fonte, fer, acier et bronze, glissant l'un sur l'autre ou sur eux-mêmes.	. . . . .	Lubréfiées à la manière ordinaire, de suif, d'huile, de saindoux, etc.	0,07 à 0,08
Les mêmes, *idem*.	. . . . .	Légèrement onctueuses au toucher.	0,15
Calcaire tendre sur *idem*.	. . . . .	Sans enduit.	0,64
Granit sur *idem*.	. . . . .	—	0,66

1° *Le frottement est proportionnel à la pression*, c'est-à-dire que la résistance est toujours une même fraction de la pression qui applique un corps sur l'autre, ce qui se comprend assez bien, puisque les actions moléculaires doivent naître en raison de cette pression.

2° *Le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces en contact*, c'est-à-dire que, quand cette étendue augmente sans que la pression change, la résistance totale reste la même encore, bien que la pression sur chaque élément se trouve diminuée à peu près en raison inverse de l'étendue même des surfaces.

3° *Le frottement est indépendant de la vitesse du mouvement*, c'est-à-dire qu'une même quantité de travail sera consommée pour surmonter le frottement, pour faire parcourir à un corps une longueur déterminée, quelle que soit la vitesse du mouvement.

Dans toutes les machines les axes de rotation consomment un travail notable par l'effet du frottement, comme le montre le tableau ci-dessous.

AXES EN MOUVEMENT.		NATURE DES ENDUITS.	RAPPORT DU FROTTEMENT à la pression.	
Axes.	Coussinets.		Graissage ordinaire.	Graissage continu.
Fonte.	Fonte.	Huile d'olive, saindoux, suif.	0,07 à 0,08	0,054
Fonte.	Bronze. . . .	— — —	0,07 à 0,08	0,054
Fonte.	Gaïac.	— — —	0,10	0,090
Fer.	Fonte.	— — —	0,07 à 0,08	0,054
Fer.	Bronze. . . .	— — —	0,11	
Fer.	Gaïac.	— — —		

De la nature du frottement entre corps solides. — Le frottement entre corps solides, cause de résistance dont les effets sont si multipliés, doit être propre, comme les phénomènes sonores, à manifester intimement la constitution de ces corps. Bien qu'ayant été l'objet de nombreuses recherches, les lois du frottement auxquelles on est parvenu n'ont pas été jusqu'ici rattachées à la physique moléculaire, à la constitution des solides. C'est pourtant ce qui me paraît facile.

Tandis que les résistances d'un corps solide se mouvant dans un fluide sont proportionnelles au carré de la vitesse, ce qui indique bien nettement que ces résistances consistent principalement en une communication de forces vives aux fluides mis en mouvement, au contraire, le frottement entre corps solides est indépendant de la vitesse, ce qui ne se comprend guère avec la proposition habituellement formulée, que la résistance du frottement est due à un arrachement des aspérités des surfaces en contact. C'est bien évidemment par l'action de celles-ci que naît le frottement, mais si la résistance consistait dans la destruction des aspérités, elle ne serait certainement pas indépen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dante de la vitesse, de la quantité des aspérités arrachées.

Si, au contraire, on pense à la facile production des vibrations dans les corps solides, il sera naturel de considérer le frottement comme une vibration qui se propage dans l'intérieur du corps, ce qui est bien d'accord avec la loi indiquée ci-dessus. Alors, de même qu'une corde d'une certaine longueur rend toujours la même note, donne le même nombre de vibrations, quelle que soit la vitesse avec laquelle on la choque, pour un corps de nature déterminée, le nombre des vibrations engendré par le frottement sera indépendant de la vitesse, comme l'a démontré l'expérience.

L'indépendance du frottement de l'étendue des surfaces en contact et sa proportionnalité avec la pression, qui détermine le nombre de files de molécules qui entrent en vibration, s'accordent également bien avec cette manière de concevoir le frottement.

S'il restait quelques difficultés à concevoir le travail consommé par le frottement comme répondant à une propagation de vibrations dans l'intérieur des corps solides, je citerais les cas où les vibrations, devenant musicales, sont aisément constatées. Dans certains intruments de musique, dans les expériences de physique à l'aide desquelles on détermine les surfaces nodales des plaques, on met celles-ci en vibration par le frottement d'un archet. Mais il y a plus : dans la plupart des cas de la pratique, lorsque le frottement atteint une certaine intensité, lorsqu'on serre fortement les freins d'une voiture de chemin de fer, par exemple, les vibrations qui n'étaient pas d'abord perceptibles pour l'oreille le deviennent; elles ne peuvent donc alors être contestées.

Si nous rappelons enfin que le frottement est une cause constante d'échauffement, ce qui précède fait comprendre comment il fait naître dans un corps solide des vibrations calorifiques qui constituent une nouvelle forme que prend le travail mécanique consommé par ce frottement.

Comme le montrent les tableaux ci-dessus des coefficients de frottement, les deux grands moyens de diminuer cette résistance sont :

1° La dureté et le poli des corps :

2° L'emploi des enduits gras.

On sait avec quel soin ces conditions sont satisfaites dans la pratique, où les surfaces frottantes sont le plus souvent en acier trempé, c'est-à-dire aussi dures qu'il est possible de les obtenir et toujours baignées dans la graisse ou dans l'huile.

Nous compléterons cette étude en empruntant à Willis qui a remis en lumière les travaux trop oubliés des premiers savants qui ont étudié le frottement, un intéressant travail.

Méthode de Parent (Mémoires de l'Académie des

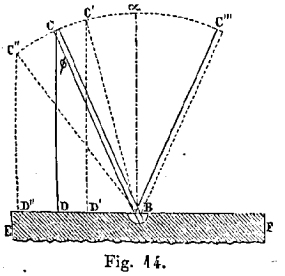


Fig. 14.

sciences, 1704). Soit EF un plan fixe horizontal, dont la surface n'est pas polie, sur lequel repose, par une face plane inférieure, une pièce DB, et soit une force appliquée à l'extrémité supérieure d'une barre CB, pressant la pièce DB sur le plan fixe, en poussant obliquement (fig. 14). Cette barre est terminée par une partie ronde. Par un de ses points abaissons la perpendiculaire CD à la surface de la pièce mobile; on a un triangle à angle droit en D. Si CB représente la force de poussée dans la direction de la barre, elle peut se décomposer en CD qui presse la surface normalement, et DB parallèle à la surface qui pousse directement la pièce mobile sur la surface mobile.

Ainsi, toute force oblique produit par sa composante normale une pression qui détermine la grandeur de la résistance de frottement, et sa composante parallèle au plan est la force directement opposée à cette résistance passive.

Soit l'angle BCD tel que, par suite de la pression de la composante CD de la poussée, la composante DB soit exactement égale à la résistance de frottement; il ne se produira pas de mouvement, quelle que soit la grandeur de la force de poussée, parce que le rapport des deux composantes reste le même. Cette valeur particulière de l'angle de poussée était appelée par Parent angle d'équilibre et s'appelle maintenant angle limite de résistance.

Quand cet angle est diminué en inclinant la barre en avant comme en BC', la composante de la pression C'D' augmente et celle de la poussée D'B diminue. Par suite, la pièce mobile ne peut plus glisser, quel que soit l'effort exercé en C'. D'autre part, si on augmente l'angle limite en inclinant la barre en arrière, la composante de pression C''D'' diminue et celle de pression BD'' augmente. Par suite, la pièce glisse nécessairement, quelle que soit la force appliquée en C''.

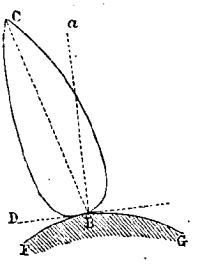


Fig. 15.

La barre CB (fig. 15) peut être terminée à son extrémité par une surface convexe reposant soit sur le plan fixe BD, soit sur une surface courbe GBF.

Dans le premier cas, le point de rencontre B des deux surfaces peut être joint par une ligne droite BC, joignant le point d'application C avec l'autre extrémité de la barre et cette droite fait avec la normale Ba un certain angle.

Si l'extrémité inférieure de la barre est une surface courbe, reposant sur une autre surface courbe, on doit prendre l'angle de la barre avec la normale au plan tangent aux deux surfaces en leur point de contact.

Quand l'expérience a fait connaître l'angle limite φ, défini ci-dessus, pour les corps en contact, on peut calculer la valeur des trois côtés du triangle CDB alors formé. Ainsi :

Soit la force de poussée ou la réaction totale

$$(CB) = R.$$

La pression normale $N = (CD) = R \cos \varphi$.

Le frottement $F = (DB) = R \sin \varphi$.

Et le coefficient de frottement

$$f = \frac{\text{frottement}}{\text{pression}} = \left(\frac{DB}{CD}\right) = \text{tang } \varphi.$$

Ces angles étant constants, on peut dire que la réaction totale forme avec la normale un angle constant, dit l'angle de frottement, que l'on désigne par φ, et l'on a:

$$(1) \qquad \frac{F}{N} = \text{tang } \varphi = f.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$$(2) \qquad \frac{F}{R} = \sin\varphi = \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}.$$

$$(3) \qquad \frac{N}{R} = \cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+f^2}}.$$

Le tableau suivant est un résumé numérique des résultats moyens obtenus par de nombreux expérimentateurs pour les valeurs de f pour les différents corps.

CORPS EN CONTACT.	f : $\frac{BP}{CD}$ ou $\frac{\text{frottement}}{\text{pression}}$		φ
Avec enduits gras..	0,08	$\frac{1}{12}$	5°
Métaux sur métaux.	0,17	$\frac{1}{6}$	10°
Bois sur bois.....	0,33	$\frac{1}{3}$	18°
Briques et pierres..	0,65	$\frac{2}{3}$	33°

La figure 16 montre aux yeux le résultat des expériences faites par Morin qui conduisent aux valeurs ci-

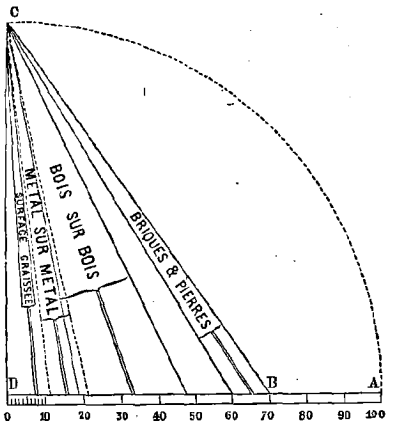


Fig. 16.

dessus de l'angle limite DCB. Il est la réduction d'un grand dessin sur lequel j'ai retracé les résultats obtenus par cet expérimentateur pour les divers genres de matériaux. J'y ai tracé les lignes des valeurs extrêmes et de la valeur moyenne pour les matériaux de tout genre agissant sur des matériaux semblables, métaux sur métaux, bois sur bois, briques et pierres ensemble. Pour chaque classe, on a tracé les plus petits et les plus grands angles, et ces deux lignes sont réunies par une accolade, du milieu de laquelle part une double ligne prolongée jusqu'à l'échelle, où elle indique la valeur moyenne de DB pour les corps dont il s'agit.

Cône de frottement ou de résistance. Il est une manière de considérer l'angle limite qui a conduit à d'utiles applications. C'est la méthode formulée par Moseley, complétant la proposition de Parent, pour l'analyse de la stabilité des constructions. AQB étant l'angle du frottement, limité par la ligne QB (fig. 17), AQ étant la normale au point Q, si l'on fait tourner la ligne BQ autour de QA comme

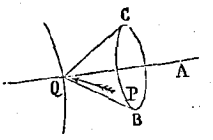


Fig. 17.

axe, elle engendrera le cône BQC.

Il jouit de cette propriété que toute pression, quelque grande qu'elle soit, appliquée en Q, ne produira aucun mouvement et seulement une pression sur la surface, tant qu'elle sera dirigée à l'intérieur de ce cône. Au contraire, toute force, quelque petite qu'elle soit, produira un mouvement, ne sera pas annulée par la résistance du corps, si sa direction est extérieure au cône.

La propriété énoncée plus haut, transportée ainsi du plan que l'on peut considérer comme le plan tangent à une surface en un point, à cette surface même, prend une forme générale qui en rend l'application facile aux questions de stabilité des constructions. Elle consiste en ce que *toute pression appliquée à la surface d'un corps immobile par un second corps est détruite par la réaction de la surface de contact, quelque grande que soit cette pression, si sa direction forme avec la normale à cette surface un angle moindre que celui du frottement; tandis qu'elle n'est pas détruite par cette réaction, quelque petite que soit la pression, si elle forme avec la normale un angle plus grand que l'angle du frottement.*

Effet du contact prolongé. Il faut ajouter aux lois du frottement, que celui de deux surfaces qui sont demeurées quelque temps en contact, n'est pas seulement augmenté, mais encore sujet à des causes de variation et d'incertitude dont est exempt le frottement des corps en mouvement. Il est bien connu que le frottement entre les surfaces en contact est diminué par l'effet de vibrations imprimées aux corps par des chocs ou autres causes.

C'est ainsi que quand les menuisiers veulent desserrer le coin qui maintient le fer de leurs rabots, ils en frappent vivement l'extrémité, et les vibrations du bois desserrent le coin en diminuant le frottement, ce qui permet de l'ajuster convenablement.

De même les vibrations engendrées dans les roues des voitures par le parcours de routes mauvaises ou pavées, peuvent faire desserrer les écrous qui servent à maintenir ces roues, en diminuant l'adhésion par frottement de l'écrou avec la surface sur laquelle il est vissé, surface dont l'élasticité réagit sur l'écrou et le repousse, en le faisant tourner peu à peu sur le filet de la vis. Pour empêcher ou rendre au moins plus difficile ce mouvement, on place un contre-écrou, un second écrou derrière le premier.

La construction des attaches de voitures de chemin de fer offre un exemple d'une disposition excellente qui rend impossible la sortie de la vis de ses écrous. Il sert à réunir entre elles les voitures et la locomotive de manière à former un train.

Du centre d'une pièce cylindrique partent deux vis de direction opposée, filetées l'une de droite à gauche, l'autre de gauche à droite (fig. 18). Les écrous de ces vis sont tous deux attachés à de longs anneaux. Par suite des inclinaisons opposées des filets des vis, celles-ci suivant le mouvement de rotation de la pièce centrale, pénètrent ou sortent des écrous et par suite les rapprochent ou les éloignent. Pour faire usage de cet appareil, les anneaux écartés étant accrochés aux crochets des voitures à réunir; la double vis est tournée dans le sens qui produit le rapprochement des boucles et rapproche les deux voitures de manière que les tampons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soient convenablement pressés. La pièce centrale porte un bras transversal terminé par une boule qui pend en bas, et qui sert à la tourner.

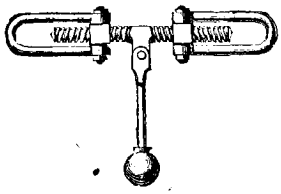


Fig. 18.

Si la double vis était mise en place avec une clé, les vibrations des voitures en mouvement pourraient desserrer les écrous et la double vis tourner sur son axe suivant lequel s'exerce l'effort qui tend à éloigner les anneaux. Cet effet est simplement et complétement empêché par la boule pesante; les chocs et les vibrations des voitures en mouvement ne pouvant jamais faire faire un demi-tour à la boule autour de la bielle d'accouplement.

Appareils de démonstration. La figure 19 représente

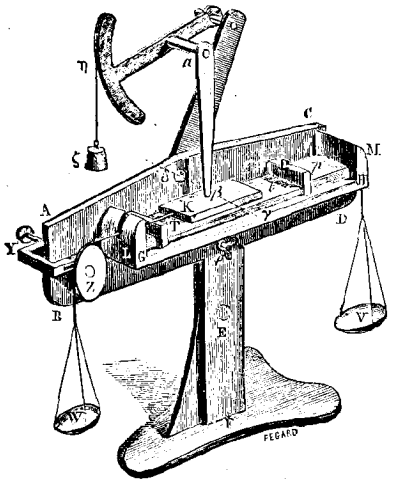


Fig. 19.

l'appareil que Willis a fait construire pour démontrer les deux premières lois du frottement, et fait partie d'une série de modèles extrêmement utiles pour l'enseignement de la mécanique physique.

ABCD est un bâti dont fait partie la pièce E qui sert à monter l'appareil sur le pied en fonte F quand on le fait fonctionner. GH est une tablette s'appuyant sur la partie supérieure de ABCD destinée à supporter les surfaces sur lesquelles on opère. Elle est terminée par deux saillies L, M, portant deux rainures dans lesquelles passent les cordes terminées par les plateaux de balance V, W.

Des séries de prismes de bois et de métal sont préparées: ceux inférieurs comme Tt sont presque de la longueur de l'écartement des saillies LM, et un peu plus étroits que la tablette GH. Les prismes supérieurs mobiles, comme K, sont beaucoup plus courts et presqu'aussi larges que les inférieurs.

Le poids ζ qui détermine la pression de αβ est (si on ne préfère charger directement d'un poids la pièce glissante), pour une substance donnée, en rapport constant avec celui dont il faut charger le plateau V en W pour déterminer le mouvement dans un sens voulu, les articulations permettant à la pression de continuer à s'exercer verticalement pour un petit déplacement.

Les résultats de frottement produits par poussée oblique, donnés ci-dessus, peuvent être démontrés par l'appareil (fig. 20). Le bras βϑ, attaché en arrière de la

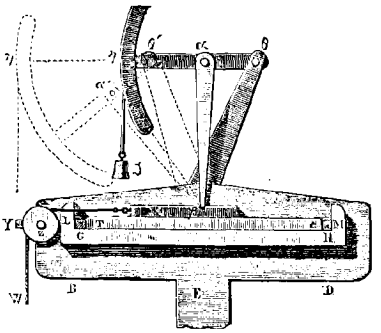


Fig. 20

planche AC par un boulon en δ, peut tourner autour de celui-ci, et est maintenu dans une inclinaison quelconque par un second boulon qui agit sur la circonférence que décrit son extrémité inférieure.

Le bras θη, horizontal dans sa position moyenne, tourne autour d'un axe en θ et est terminé à l'autre extrémité par un secteur circulaire portant, dans une rainure, une corde supportant des poids. En α un autre axe-pivot guide et maintient l'extrémité supérieure de cette barre de poussée αβ, qui tourne librement autour de lui et se termine à la partie inférieure par une extrémité ronde, qui est reçue dans une cavité pratiquée sur la face d'une des pièces mobiles décrites précédemment. Cette barre représente CB dans la figure 14, et on voit qu'elle peut être disposée de manière à faire un angle quelconque avec la direction du mouvement, par exemple celle indiquée en lignes ponctuées sur la figure. On peut évidemment obtenir ainsi une inclinaison quelconque.

D'ailleurs la poussée transmise reste constante pour un poids ζ et égale à $\frac{\zeta \times \eta\theta}{\alpha\theta}$. Le mécanisme faisant que βθ se meut autour de l'axe δγ, le triangle θαβ reste constant, et par suite le rapport de la poussée et de la résistance est déterminé par deux poids.

Les arrêts projetés en P et en G sont placés pour empêcher la pièce mobile de glisser trop loin.

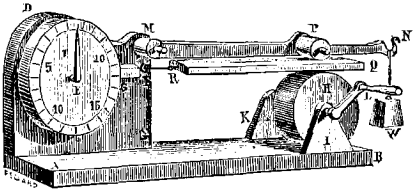


Fig. 21.

La figure 21 représente un appareil construit par Willis en 1840 principalement pour rendre manifeste la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

troisième loi du frottement, à savoir qu'il n'est pas affecté par la vitesse du mouvement des surfaces en contact.

A une planche AB est fixée à angle droit une planche CD qui supporte l'appareil. La mesure de la résistance du frottement est obtenue au moyen d'un dynamomètre à ressort. Cet instrument, connu sous le nom de peson, consiste en ressort spiral renfermé dans une boite cylindrique (Voy. DYNAMOMÈTRE. Quand on construit cet appareil de grandes dimensions, la tige qui entraîne le ressort communique un mouvement de rotation à un axe que l'on fait dépasser la surface d'un cadran et qu'on munit d'une aiguille. L'échelle des poids est gravée sur la circonférence.

Un cylindre H en bois dur est monté sur un axe horizontal, porté par les deux supports I et K, et muni de la manivelle L.

Un levier en fer MN est porté en M par un fort boulon soutenu par la pièce GO et se termine en N par un crochet. Verticalement au-dessus de l'axe du grand cylindre H, un fort boulon est rivé à ce levier et forme l'axe d'un petit cylindre P.

Une bande QR, de bois ou autre substance, est comprimée entre les deux rouleaux H et P, et assemblée par une tringle de fer avec l'extrémité de la tige du dynamomètre.

Le jeu de cette machine est le suivant. La manivelle étant mise en mouvement, la bande QR est entraînée entre les deux cylindres H et P par le frottement dû au poids du levier de fer et au poids suspendu à son extrémité W. Il en résulte une traction qui entraîne la tige GF du dynamomètre et tend le ressort jusqu'à la position où la force exercée par cette tension est égale au frottement de la surface inférieure de la bande de bois sur la partie supérieure du cylindre H. L'index du dynamomètre montre la grandeur de ce frottement.

Si le cylindre H est tourné constamment dans la même direction, la bande reste dans la même position, sauf de très-petites variations dues aux inégalités des surfaces frottantes du cylindre et de la bande. L'index, sauf cette exception, marque le même nombre d'unités de poids, soit que le cylindre tourne lentement, soit qu'il tourne rapidement; c'est-à-dire que le frottement ne varie pas quelle que soit la vitesse avec laquelle la surface mobile se ment sur la surface fixe.

Les indications du peson donnent d'ailleurs la mesure du frottement égal à R, au poids indiqué qui est la valeur du frottement estimé au point N. Soit R = 7. Un poids additionnel de 7 livres, appliqué au crochet, doublera la pression et par suite quand on fera tourner le cylindre inférieur, l'index du grand dynamomètre marquera un résultat double de celui de la première expérience. On obtient ainsi la démonstration de la première loi, que le frottement est proportionnel à la pression.

La barre de bois est étroite à la partie supérieure et large à la partie inférieure; si elle est retournée, l'étendue des surfaces de contact changeant, la pression restant la même, on trouve que le frottement est le même. C'est la démonstration expérimentale de la seconde loi.

FROTTEMENT DES CORDES ENROULÉES. Quand une corde est enroulée autour d'un cylindre, par exemple comme fig. 22, avec des poids attachés à ses extrémités, le frottement de la corde sur sa surface croit avec une grande rapidité et peut être considéré comme indépendant en grandeur du diamètre du cylindre et dépendant seulement de celle de l'angle embrassé. C'est ce qui se reconnait en rendant le cylindre fixe et en suspendant des poids inégaux aux extrémités pendantes de la corde. Si la corde est simplement passée sur la surface supérieure du cylindre fixe, est en contact avec la moitié supérieure de la circonférence, la tension produite sur la corde par les poids engendre un frottement en raison de cet enroulement. Si la différence des poids est plus grande que la résistance du frottement, le poids le plus lourd descend et fait monter le plus

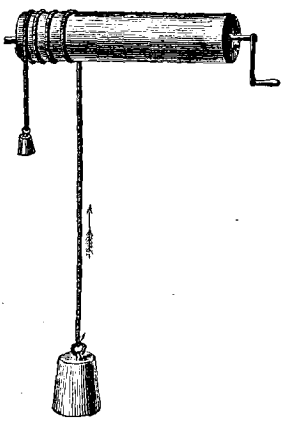


Fig. 22.

léger. Mais si elle est moindre que cette résistance, les poids restent en repos.

Prenant pour valeur moyenne du frottement un tiers de la pression qui l'engendre, on trouve qu'un poids placé à une extrémité supporte un poids trois fois plus grand placé à l'autre extrémité.

Si la corde fait un tour de plus autour du cylindre le petit poids peut faire équilibre à un poids vingt-sept fois plus grand, et chaque tour additionnel multiplie par neuf environ (en nombres ronds) et chaque demi-tour par trois le nombre antérieur. On obtient ainsi la série des multiples du plus petit poids donnant les valeurs du plus grand, en raison du nombre de tours.

TOURS.	POIDS SUPPORTÉ.
0,5	3
1	9
1,5	27
2	81
2,5	243
3	729
3,5	2187
4	6561

Quand le petit poids est légèrement soulevé à la main, la rigidité de la corde cessant sur le dernier demi-tour la détache du contact et la pression diminue sur les tours restants. Alors le grand poids peut commencer à descendre, mais une traction adroitement exercée à la main sur l'extrémité de la corde peut soit renouveler instantanément le contact, soit le diminuer de manière à gouverner la descente du grand poids ou à l'arrêter à la volonté de l'opérateur. C'est dans ce but que des poteaux cylindriques sont fichés en terre, sur les rives des rivières navigables, sur les quais et toutes les places de débarquement. Une des extrémités du câble étant attachée à tout vaisseau ou bateau approchant de la place où il doit s'arrêter, l'extrémité libre est envoyée à terre et en lui faisant faire deux ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trois tours autour d'un de ces poteaux, un homme seul peut arrêter le navire pour le fixer dans l'endroit voulu (consommer la force vive dont il est animé en laissant filer le câble, ce qui est souvent nécessaire pour l'arrêter sans rompre le câble ; système formant un frein extrêmement puissant vu l'intensité du frottement). Dans cette opération, la force de l'homme représente le petit poids d'une extrémité des tours dans la fig. 22, et le vaisseau le grand poids.

Dans cet exemple, on a considéré le cas de cordes enroulées autour de cylindres fixes. Nous allons passer maintenant aux cylindres ou tambours montés sur un axe horizontal, comme on le voit dans la figure ci-dessus.

Les anciens avaient parfaitement compris la puissance d'adhérence d'une suite de tours de cordages, et il semble que c'est une des premières propriétés du frottement qui aient été introduites dans la pratique. Dans les tours, dès le treizième siècle, la pièce à travailler tourne au moyen d'une corde attachée en haut à un ressort, en bas à une pédale, la corde faisant plusieurs tours autour du corps à tourner. Dans le livre de croquis de Wilars de Honecort, l'enroulement d'une corde est employé dans diverses machines pour communiquer le mouvement de rotation.

Une autre application, également fort ancienne de ce système, est celle qui en a été faite pour tirer l'eau des puits profonds, ce qui a lieu en faisant faire trois ou quatre tours à la corde autour d'un long tambour cylindrique, d'une forme quelconque, et attachant un seau à chaque extrémité. En tournant le cylindre, un seau descend, rencontre l'eau et finalement y est plongé, pendant que l'autre, précédemment rempli, remonte vers la surface du sol où il est vidé par la personne qui tire de l'eau. Le tambour est ensuite tourné dans un sens inverse et les deux seaux changent de rôle.

Par suite des propriétés du frottement d'enroulement, le seau vide suffit pour maintenir les tours sur le tambour de manière à ce qu'ils résistent au poids du seau plein. La rotation du tambour forçant la corde à s'enrouler en spirale, de telle sorte que les tours des cordes se meuvent d'une extrémité du tambour à l'autre, le diamètre du puits doit être de suffisante dimension pour que ce mouvement ait lieu sans que les seaux viennent choquer alternativement les côtés du puits.

On peut voir cet arrangement employé pour élever ou descendre des matériaux dans la réparation des égouts et autres travaux.

Si le petit poids est supprimé et l'extrémité de la corde attachée au bâti ; si la force appliquée au bras de la manivelle du cylindre tend à le faire tourner dans le sens des enroulements de la corde, cette force, estimée par son moment sur la surface du cylindre, doit être plus grande que la résistance de frottement des enroulements de la corde sur cette surface. Si elle tend à le faire tourner en sens contraire, dans la même direction que la tension du côté fixe, la roideur de la corde diminue la pression des enroulements et la réduit à une douce résistance qui prévient l'accélération à la descente.

Le cylindre est alors dans la condition d'une roue à rochet ayant un nombre infini de dents, permettant la rotation dans une direction et l'empêchant dans la direction opposée. Cette disposition est appliquée dans la pratique aux dévidoirs à l'aide desquels on enroule les cordes et les fils. Une poulie étant montée sur une extrémité du dévidoir, une corde attachée au bâti est passée deux ou trois fois autour de la poulie, et un petit poids est suspendu à son extrémité.

Ce principe est encore utilisé dans le métier du tisserand. La fig. 23 montre les deux rouleaux ou ensouples entre lesquels sont tendus les fils longitudinaux (la chaîne) qui, réunis par les fils de trame qui les traversent à angle droit, forment la toile.

RÉSISTANCES PASSIVES.

A*a* est l'ensouple de la chaîne, B*b* celle de la toile. Le tisserand est placé en face de l'ensouple de la toile ; les fils isolés occupent environ les deux tiers de la distance entre les ensouples jusqu'à la ligne H*h*, où par le

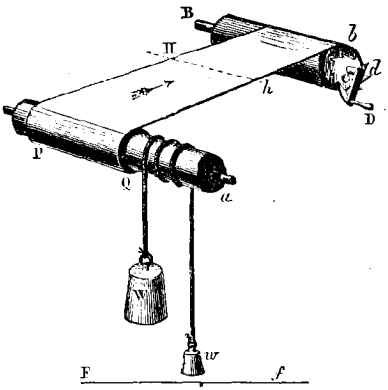


Fig. 23.

passage de la navette, portant le fil de trame, se produit la toile. Quand une petite longueur de toile a été faite par le tisserand, il l'enroule sur l'ensouple B*b*, qui est muni d'une manivelle D*d*, d'une roue à rochet C et d'un cliquet.

Quand on fait tourner la manivelle D, la toile et la chaîne sont déplacées dans la direction de la flèche, et le mouvement communiqué à l'ensouple A*a*. Le gros poids W est élevé et le petit *w* descend jusqu'à ce qu'il atteigne le plancher F*f* ; alors la roideur de la corde *w a* agit pour desserrer les tours de la corde. Quand l'enroulement de la toile est arrêté, le grand poids W l'est aussi dans son mouvement d'ascension, et par un effet d'inertie descend d'un petit espace qui est suffisant pour rétablir la tension et enlever le poids *w* du plancher.

La tension des fils de la chaîne est égale à $W - w.r$, r étant le rayon de l'ensouple.

Dans la combinaison représentée fig. 24, le cylindre est percé, ce qui lui permet de tourner librement autour d'un axe horizontal fixe, qui est porté par un montant vertical AB attaché à une base E. Ce montant supporte un bras saillant BD, et le cylindre est muni d'un index qui montre ses mouvements quand l'appareil est en action.

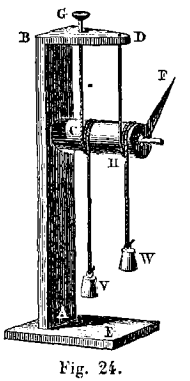


Fig. 24.

Une petite corde, fixée au bouton G, passe à travers un trou du bras, fait un ou deux tours autour du cylindre, puis porte à sa partie inférieure un poids V.

Une seconde corde passe à travers un trou D vers l'extrémité du bras, où elle est retenue par un nœud et, comme la précédente, porte un poids égal W, après avoir fait le même nombre de tours autour du cylindre.

Si maintenant on tire en haut le bouton G, les tours de sa corde embrassant le cylindre le font tourner autour de son axe.

On a déjà vu que la corde DW empêche le cylindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de tourner dans un sens, et lui permet de tourner en sens contraire, pendant que le mouvement donné en levant le bouton G fait tourner le cylindre. Comme cette rotation est dans la première direction, quand le bouton est élevé, la corde DW limite le mouvement. Quand le bouton est abaissé, le poids V maintient la tension de la corde GV, le relâchement des tours en C leur permet de tourner autour de la surface du cylindre (maintenu par DH). On obtient ainsi une combinaison équivalente à la roue à rochet, dans laquelle les angles parcourus par le cylindre tournant sont quelconques.

Dans le cabestan de navire, l'axe est vertical, et une corde attachée au câble est enroulée deux ou trois fois autour de lui. Le cabestan est tourné de manière que la succession des tours héliçoïdaux s'avance vers le bas, et quand il arrive au bas de la machine, la rotation est arrêtée, et avec des leviers et des barres on force le groupe de tours à remonter. Pour faciliter cette opération, le cabestan est fait de forme conique, de petite section à la partie supérieure.

La nécessité d'interrompre l'opération pour déplacer les tours de la corde est évitée par un arrangement dont l'invention est due à sir Christophe Wren (1670), le grand architecte, par l'emploi de deux rouleaux portant des cordes enroulées obliquement.

Dans la fig. 25, les parties de la corde qui passent

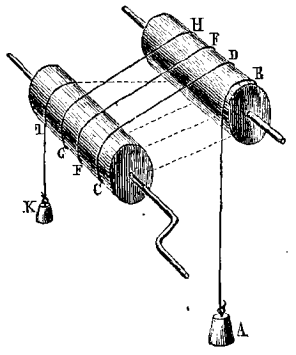


Fig. 25.

sur les rouleaux sont indiquées par des lignes noires, et celles qui passent dessous par des lignes ponctuées. A est la corde qui porte un poids qui doit être élevé et qui lui est attaché. La course de cette corde est sur le rouleau en arrière de A en B, sous les rouleaux suivant BC, sur les rouleaux suivant CD, et ainsi de suite pour les points E, F, G, dessus en GH, puis passant sous H, et finalement revient non dessous le rouleau, mais dessus en I. L'extrémité de la corde pend verticalement, et supporte un petit poids de grandeur suffisante pour que la corde soit en contact avec la surface du cylindre ou d'une entaille faite dans celui-ci.

Par l'heureuse combinaison de deux rouleaux cannelés (fig. 26), les deux extrémités de la corde, l'une qui porte le contre-poids et l'autre le fardeau à élever restent sur les mêmes verticales durant toute l'action de la machine, et la propriété de l'adhésion par frottement par des tours successifs est parfaitement efficace, bien que chaque tour s'appuye d'un côté de l'entaille demi-circulaire, et de l'autre côté sur l'entaille similaire opposée; on peut multiplier les tours et accumuler la résistance par frottement absolument comme si on employait plusieurs tours.

Par ce moyen, l'accroissement de diamètre du cylindre produit par l'accumulation des couches successives de

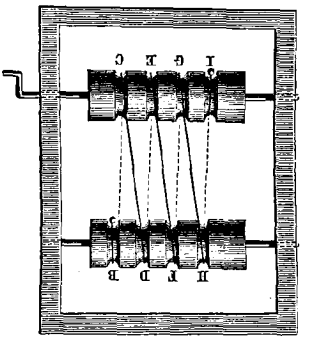


Fig. 26.

cordes enroulées, et le déplacement des cordes sont entièrement évités.

Wren a proposé cette disposition pour élever des fardeaux, mais si elle était employée pour produire le mouvement alternatif d'un équipage glissant horizontalement, les axes horizontaux des rouleaux à rainures devraient être portés par un bâti supportant les deux axes dans un plan horizontal, et placés en avant et transversalement à l'équipage mobile.

Les extrémités de la corde peuvent être ramenées en bas et leur direction passer à droite ou à gauche du plan vertical ou de la ligne centrale horizontale dans le plan milieu de l'équipage, en la faisant passer sur des poulies guides, auxquelles aussi elles peuvent être attachées.

En tournant la manivelle attachée à l'axe de l'un des rouleaux cannelés, le mouvement serait imprimé à l'équipage glissant. Cette manivelle devant être tournée alternativement à droite et à gauche, il y aurait lieu de disposer des embrayages convenables, pour obtenir le changement de sens du mouvement, tout en tournant constamment la manivelle dans le même sens.

CH. LABOULAYE.

RESSORT (*ang.* Spring, *all.* Feder). Les matériaux qu'on emploie pour la construction des machines sont tous plus ou moins élastiques; il ne peuvent donc résister aux forces extérieures qu'en subissant une certaine déformation qui, si les dimensions des pièces sont convenablement choisies, disparaît, lorsque les forces extérieures cessent d'agir. On cherche à rendre les pièces aussi rigides que possible. Au contraire, dans les ressorts, on utilise cette élasticité de la matière, soit pour amortir les chocs, soit pour produire un mouvement, soit enfin pour obtenir des appuis. Les ressorts doivent donc se composer de systèmes susceptibles d'éprouver, entre les limites d'élasticité, des variations de forme relativement considérables, et ces variations relèvent des lois de la résistance des matériaux.

Les résistances directes à la pression où à la traction ne peuvent être utilisées, pour les ressorts, qu'à l'aide de matières très-extensibles ou très-compressibles, comme le caoutchouc. Pour les matières moins déformables, comme le bois ou les métaux, on utilise surtout les résistances à la flexion et à la torsion, et cela en cherchant, en général, à les rendre proportionnelles au chemin parcouru.

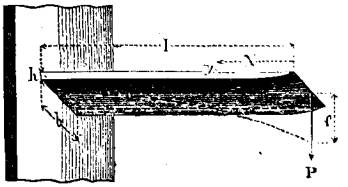
Nous reproduirons ici le tableau donné par Reuleaux des types les plus importants de ressorts, agissant par flexion ou par torsion, avec la formule qui donne leur résistance, dans laquelle F est la tension maximum,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

b la largeur, h l'épaisseur; les autres lettres ont la même signification que dans l'article RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

I. Ressort rectangulaire; section longitudinale limitée par une parabole cubique:

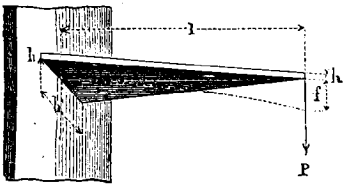
Résistance: $$Pl = \frac{F}{6} bh^2.$$



Dans l'exécution, on prend comme approximation un profil trapézoïdal, avec 2/3 h pour la hauteur à l'extrémité.

II. Ressort triangulaire simple:

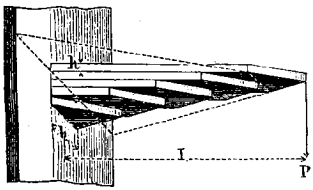
$$Pl = \frac{F}{6} bh^2,$$



Forme d'égale résistance à la flexion.

III. Ressort triangulaire à lames superposées:

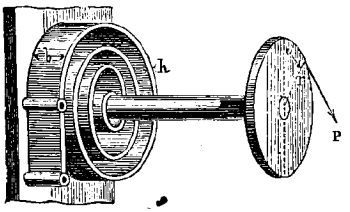
$$Pl = \frac{F}{6} ibh^2.$$



i le nombre des lames.

IV. Ressort spiral à section rectangulaire:

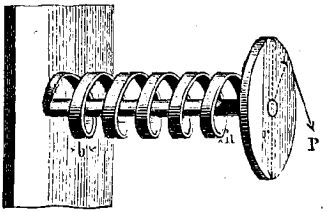
$$Pr = \frac{F}{6} bh^2.$$



Forme d'égale résistance à la flexion comme les deux suivantes.

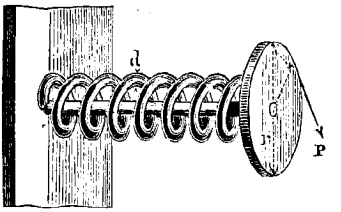
V. Ressort en hélice à section rectangulaire:

$$Pr = \frac{F}{6} bh^2.$$



VI. Ressort en hélice à section circulaire:

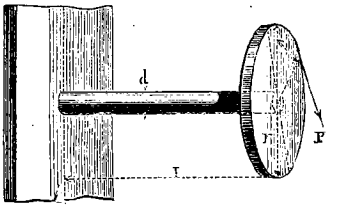
$$Pr = \frac{F}{32} \pi d^3.$$



d diamètre de la section.

VII. Ressort de torsion simple: tige ronde:

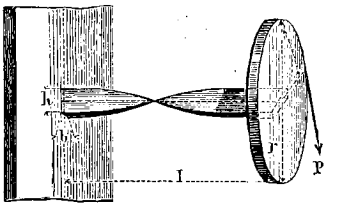
$$Pr = \frac{F}{16} \pi d^3.$$



Les formes VII à X sont des solides d'égale résistance à la torsion.

VIII. Ressort de torsion, tige plate:

$$Pr = \frac{F l^2 h^2}{3\sqrt{b^2 + h^2}}.$$

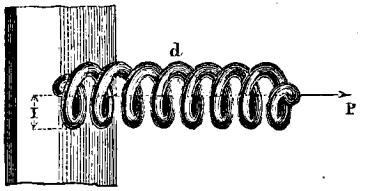


Approximativement on peut prendre ($h > b$) $\sqrt{b^2 + h^2} = 0{,}4\,b + 0{,}96\,h$.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

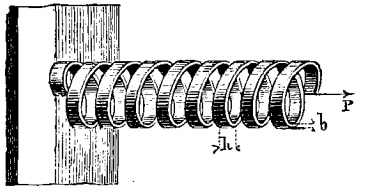
IX. Ressort en hélice à hélice à fil rond:

$$Pl = \frac{F}{16}\pi d^3.$$



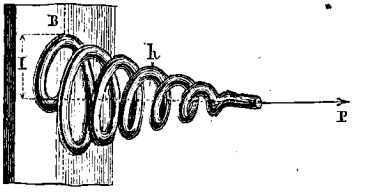
X. Ressort en hélice à lame plate:

$$Pl = \frac{F\,b^2h^2}{3\sqrt{b^2+h^2}}.$$



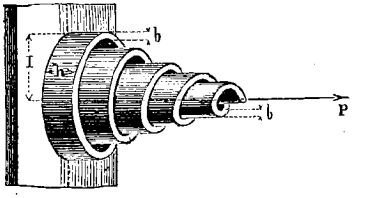
XI. Ressort conique, fil rond:

$$Pl = \frac{F}{16}\pi d^3.$$



XII. Ressort conique, lame plate:

$$Pl = \frac{F\,b^2h^2}{3\sqrt{b^2+h^2}}.$$



Si l'on réduit peu à peu la hauteur h de la section, à partir de la base B jusqu'à l'extrémité, on obtient un solide d'égale résistance.

Pour tous ces types de ressorts, la flexion ou le déplacement du point d'application de la force, est proportionnelle à la charge.

La disposition de la fig. XI redoublée est fort employée, à savoir: les ressorts dont les hélices, au lieu d'être cylindriques, se développent sur deux cônes opposés au sommet. L'avantage de ces ressorts est de parcourir un très-grand chemin, parce que, quand ils sont comprimés, les spires rentrent les uns dans les autres. La douceur de ces ressorts a permis de leur trouver de nombreuses applications, surtout dans la fabrication des lampes et des meubles.

C'est surtout pour les voitures que les ressorts sont employés avec un avantage immense; outre la fatigue qu'ils évitent aux voyageurs d'être cahotés, ils facilitent considérablement le tirage du cheval en diminuant son travail.

Les ressorts *courbes* sont peu employés aujourd'hui pour les voitures; on adopte presque toujours maintenant les ressorts à *pincettes* ou elliptiques, qui sont plus légers et plus doux. Les lames superposées glissent dans des entailles autour de tiges à tête qui les réunissent, de manière à n'agir qu'à mesure que la caisse de la voiture descend, disposition qui offre de grands avantages de solidité. (Voy. SERRURIER-CHARRON.)

RHODIUM, métal découvert en 1803 par Wollaston dans les minerais de platine. Sa rareté a empêché jusqu'ici de l'employer dans les arts.

RHUM, liqueur alcoolique que l'on obtient de la distillation des mélasses fermentées.

RICIN, plante oléagineuse, de la graine de laquelle on extrait une huile employée en médecine comme purgatif énergique. Celle extraite par pression à froid est infiniment préférable à celle qui a été plus ou moins altérée par l'action de la chaleur.

RIDAGES MÉTALLIQUES. Les caps de mouton à cordes, formés de deux poulies traversées par trois cordes qui les maintiennent à l'écartement convenable, n'ont jamais donné une satisfaction complète pour les bâtiments de guerre; malgré tous les soins apportés à faire concorder le mieux possible les positions des sabords des gaillards et celles des chaînes de haubans, il s'en trouve toujours quelques-unes trop rapprochées, et leurs rides sont exposées à être brûlées par l'explosion des bouches à feu; en outre, l'opération du ridage est assez pénible et ne peut guère être exécutée à la mer, à moins que ce ne soit par un temps tout à fait calme. Pour ces différents motifs on a cherché à substituer aux caps de mouton ordinaires des appareils mécaniques d'une plus grande puissance et d'un encombrement moindre. Le premier système de ce genre, dont il ait été fait usage, est celui dit à *crémaillères*, imaginé

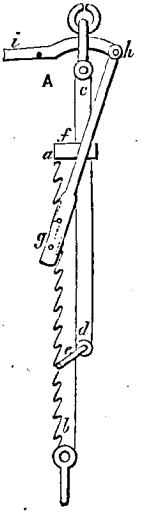


Fig. 1.

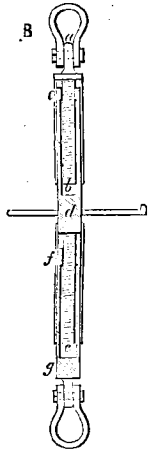


Fig. 2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par M. Peuchaud : il se compose de deux tringles en fer, *ab*, *cd* (fig. 1) susceptibles de glisser l'une contre l'autre; la première, taillée en forme de crémaillère, est fixée sur la chaîne de hauban, la deuxième est attachée à l'extrémité du hauban; cette dernière présente à son extrémité inférieure un étrier *de*, que l'on peut engager à volonté dans les différents crans de la crémaillère. Pour opérer le ridage on se sert d'un levier *ih*, articulé sur deux tringles parallèles *gh*, réunies par un tourillon *g*, que l'on engage dans un cran de la crémaillère; le levier *ih* étant introduit dans la manille supérieure, on agit sur son extrémité libre à l'aide d'un palan, et lorsque le hauban a reçu la tension convenable, on rend la longueur de la crémaillère invariable en engageant l'étrier *de* dans le cran devant lequel il se présente.

Un autre appareil de ridage, connu sous le nom de *système de Brest*, est composé d'une vis de pas assez fin *ab* (fig. 2), reliée avec le hauban par l'intermédiaire d'une manille à cosse, et pénétrant dans un écrou taraudé à l'extrémité supérieure d'un tube *cd*, dont l'extrémité inférieure est prolongée par une vis *de* de même pas et de même longueur que la première; cette vis pénètre à son tour dans un écrou pratiqué à l'extrémité supérieure d'un canon *fg*, relié par sa base *g* avec la chaîne de hauban; des tubes en tôle mince enveloppent complétement les vis lorsqu'elles sont hors de leurs écrous, et les garantissent de l'oxydation, en même temps qu'elles préservent de leur contact les ralingues des voiles et les manœuvres courantes qui pourraient y être ragnées. On ride en agissant sur un levier engagé dans le noyau central *d*. Cet appareil est d'une grande puissance; un seul homme suffit pour le faire fonctionner, et le ridage peut être effectué aussi facilement à la mer que dans le port.

On a également employé un autre système de ridages à vis, imaginé par M. Huau, mécanicien à Brest; il se compose d'une seule vis d'un pas assez gros, *a b* (fig. 3), dont les filets ont été enlevés de chaque côté

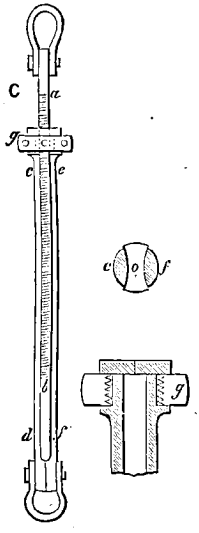


Fig. 3.

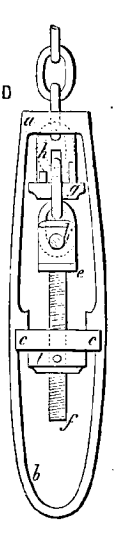


Fig. 4.

sur le quart de sa circonférence; cette vis est enchâssée entre deux lattes *cd*, *ef*, fixées à l'extrémité supérieure à la chaîne de hauban; un écrou en deux pièces *g*, maintenu entre deux épaulements, réservés au sommet de ces lattes, s'ajuste sur la portion conservée du taraudage de la vis. On opère le ridage en agissant sur l'écrou au moyen d'un levier engagé dans des ouvertures peu profondes pratiquées sur son pourtour. Toutes les parties de l'appareil restent à découvert; on les préserve de l'oxydation par le zincage.

La figure 4 représente encore un système de ridage, imaginé au port de Rochefort par M. Charriot, ingénieur de la marine; le hauban est estropé sur un bout de chaîne ordinaire sans étais, qui vient traverser une espèce de lunette *a*, formant l'extrémité supérieure d'une chappe en fer *ab*, articulée sur la chaîne de hauban. Pour rider on se sert d'une vis mobile *ef*, ajustée à l'aide d'une goupille *k*, sur le dernier maillon de la chaîne, et dont l'écrou *l* vient butter sur une entretoise *cc*, placée entre les branches de la chappe. Lorsque le hauban est rendu au point de tension convenable, on assujettit le premier maillon de la chaîne à l'aide d'une clavette *g*, qui porte contre une douille *h*, percée de crans de différentes profondeurs, et qui présente toujours à la clavette un point d'appui correspondant à la position du maillon.

Les ridages métalliques, que nous venons de passer en revue, sont moins encombrants que les caps de mouton; ils permettent de disposer les haubans d'une manière plus avantageuse au point de vue de l'artillerie, leur manœuvre est facile et leur puissance est considérable; aussi, dès l'origine, ces qualités avantageuses les firent-ils adopter avec empressement par les marins. Cependant, à l'usage, on n'a pas tardé à reconnaître qu'ils étaient sujets à de graves défauts: en premier lieu la facilité extrême avec laquelle on peut les manœuvrer et qui paraît si séduisante, peut occasionner des désordres importants si l'on n'en fait pas usage avec précaution; en effet, les hommes n'ayant pas conscience de l'effort qu'ils exercent sur les haubans sont susceptibles de leur donner des tensions exagérées qui transmettent à l'emplanture du mât une pression énorme, et aux préceintes une traction considérable qui, l'une et l'autre, provoquent la déliaison du navire; on peut objecter, il est vrai qu'avec de l'attention, on éviterait ce danger, mais l'attention peut être en défaut; il n'est pas facile, d'ailleurs, de bien apprécier la tension des haubans, et les faits ont démontré que plusieurs navires avaient été fortement déliés par suite de ridages exagérés, quoiqu'ils eussent été commandés par des officiers expérimentés et attentifs. On reproche également aux ridages métalliques le travail considérable qu'ils exigent, leur prix élevé, et la difficultés ou plutôt l'impossibilité que l'on éprouve à les réparer à bord en cas d'avaries; enfin, pendant le combat, on leur reproche encore de former, sous les projectiles de l'ennemi, des éclats de mitraille aussi redoutables que les projectiles eux-mêmes.

D'après ces considérations qui ne s'appliquent pas aux navires en fer de commerce, les ridages métalliques ont été abandonnés pour la marine militaire, et l'on en est revenu aux caps de mouton ordinaires. Il faut observer d'ailleurs que pour les bâtiments à hélice, qui composent actuellement toute la flotte à vapeur, les conditions ne sont plus les mêmes que pour les navires à voiles; leur longueur étant beaucoup plus considérable et les sabords plus espacés, il est facile de placer les haubans de manière à ce que les caps de moutons ou les chaînes ne nuisent en rien au pointage oblique des bouches à feu. Les caps de mouton employés actuellement sont estropés d'une latte en fer plat avec oreilles, et articulés sur une manille qui termine la chaîne; souvent on substitue à celle-ci une simple *latte* dont une extrémité repose sur le porte-hauban, et dont l'extrémité opposée est chevillée directement sur la muraille.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RIGOLES HORIZONTALES.

RIGOLES HORIZONTALES. Le célèbre ingénieur des ponts et chaussées, Polonceau, qui avait longtemps réfléchi sur l'emploi des eaux en agriculture, publia, en 1846, un petit volume, aujourd'hui introuvable, ayant pour titre : *Des Eaux relativement à l'Agriculture*, dans lequel il a admirablement démontré tous les résultats qu'on pourrait obtenir par la multiplication sur tous les terrains en pente, de rigoles transversales établies en terre et à très-peu de frais. Nous reproduisons ici les passages les plus intéressants de cette œuvre magistrale.

« Une erreur très-répandue consiste à croire que, pour faire des irrigations, il faut avoir des terrains situés près des cours d'eau, et pouvoir y faire des dérivations, tandis que l'on peut facilement procurer une grande partie de leurs avantages à une multitude de terrains éloignés des courants permanents. Ce moyen (qui est si simple que l'on peut s'étonner que l'on se soit aussi peu occupé d'en faire usage) est l'emploi des eaux pluviales.

« Ces eaux, recueillies soit dans les parties basses des plateaux, soit sur les pentes des coteaux ou à leurs pieds, au moyen de larges rigoles horizontales établies à différentes hauteurs, sont plus fertilisantes que les eaux de source et que l'eau de pluie absorbée directement, parce que lorsqu'elles coulent sur des terrains élevés pour descendre dans les plaines, comme il arrive lors des pluies abondantes ou durables, elles recueillent en passant des limons fins, des engrais et des mucilages; elles en déposent quelquefois sur les terrains inférieurs des plaines, quand elles s'y arrêtent, mais la majeure partie de ces éléments de fertilisation est entraînée en peu de temps, et en pure perte, dans les ruisseaux et les rivières, qui les conduisent à la mer.

« La moyenne du volume d'eau qui tombe annuellement sur un hectare est de plus de 4,000 mètres cubes, ou 4 millions de litres, dont une partie seulement pénètre le sol. La quantité de la pénétration dépend de l'inclinaison et du degré de perméabilité des terres. Sur les terrains bas et en faible pente, il y a surabondance nuisible; sur les terrains en pentes prononcées, la majeure partie du volume s'écoule rapidement, et, en passant, ces eaux dépouillent le sol de ses engrais et souvent le ravinent.

« En arrêtant à leur passage les eaux qui descendent des plateaux et celles qui coulent sur les pentes, en les dérivant et en les recueillant dans des rigoles horizontales, larges et profondes, on obtiendrait de grands avantages par l'entretien prolongé de l'humidité, et par les dépôts de limons et de vases qui se formeraient au fond des rigoles et qui procureraient d'excellents engrais.

« On peut rarement faire avec les eaux pluviales des irrigations régulières, par superficie, comme on le fait avec les eaux des courants permanents, à moins qu'on ne les réunisse dans des réservoirs, mais on peut toujours les employer à faire des irrigations par infiltration, qui sont aussi très-utiles, et qui sont les seules applicables aux terrains cultivés à la charrue et aux pentes fortes.

Non-seulement cette application augmenterait la fertilité d'un grand nombre de terrains en culture ou boisés, mais encore elle préviendrait les ravinements et l'amaigrissement que produit leur lavage par les pluies abondantes, et diminuerait efficacement les débordements des ruisseaux et des rivières. (Voy. INONDATIONS, ci-après.)

« Cette application généralisée serait donc éminemment favorable aux terrains des plaines, en les préservant des inondations, et aux usines en régularisant les cours des ruisseaux et des rivières, car alors, d'un côté, elles auraient de moins fortes crues, et de l'autre elles diminueraient beaucoup moins de volume pendant les sécheresses, parce qu'elles recevraient lentement, par infiltration, les eaux retenues par la multitude de petits réservoirs que formeraient les rigoles horizontales étagées sur les pentes.

« Il résulte évidemment des explications qui précèdent, que l'emploi des eaux pluviales au moyen de rigoles d'infiltration est dans les meilleures conditions d'intérêt général, puisqu'il préviendrait beaucoup de dommages, qu'il produirait de nombreux avantages, et qu'enfin il serait aussi profitable pour les usines hydrauliques que pour l'accroissement des produits de la culture et de ceux des bois et des pâturages. »

Nous citerons un exemple remarquable d'irrigation par infiltration avec des eaux de ravin, sur un terrain en friche, exécutée par M. Hauducœur, près d'Orsay (Seine-et-Oise).

« Il avait acheté un terrain de six hectares en pente très-rapide et en friche, qui ne donnait qu'un très-maigre pâturage. On ne le labourait pas parce qu'il était très-graveleux; on n'y mettait pas de fumier parce que le terrain était considéré comme trop mauvais, et qu'à cause de la rapidité de la pente, les eaux pluviales entraînaient trop facilement les engrais.

« Ce terrain, qui est représenté dans la figure 1, est bombé dans le milieu; il a la forme d'une portion de

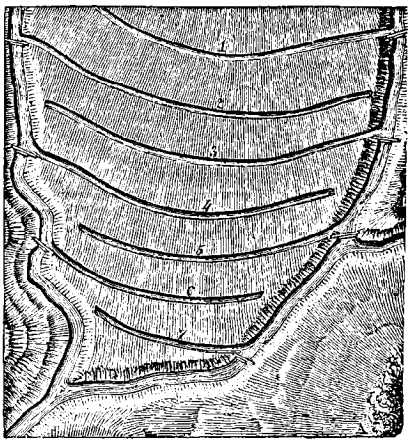


Fig. 1.

cône tronqué; il est bordé à droite et à gauche par deux ravins à fortes pentes. Ces ravins sont formés par l'écoulement des eaux pluviales qui descendent d'un vaste plateau en culture, situé au-dessus de ce terrain, que l'on nomme *la pente;* les eaux, y arrivant en abondance et avec une grande vitesse à la suite des pluies, corrodaient fortement leurs rives, et elles n'étaient que nuisibles : M. Hauducœur a arrêté à peu de frais les dégradations que causaient ces ravins et les a rendus utiles et fertilisants.

« Il a partagé le lit de ces ravins en plusieurs sections à peu près égales entre elles; à l'origine de chacune de ces sections, il a formé un barrage de deux ou trois rangs seulement de grosses pierres brutes; au pied de chacun de ces barrages, il a mis quelques grosses pierres pour former enrochement, rompre la chute et empêcher les affouillements. Sur le bord de chacun des petits bassins formés par les retenues du ravin de droite, il a fait sur son terrain une tranchée plus basse que le dessus du petit barrage de la retenue, et à la suite de cette tranchée, il a ouvert une large rigole en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pente très-douce et traversant horizontalement tout son terrain, jusqu'auprès du ravin gauche.

« Il a établi ainsi les quatre rigoles, nos 1, 3, 5 et 7, dérivées du ravin de droite, et trois rigoles semblables, nos 2, 4 et 6, dérivées du ravin de gauche. Lors des crues, les eaux qui arrivent aux premières retenues entrent naturellement du premier bassin du ravin de droite dans la rigole n° 1, et du premier bassin du ravin de gauche dans la rigole n° 2 ; lorsque ces premières rigoles sont pleines, les eaux, passant par dessus les deux premiers barrages arrivent aux deux seconds et remplissent les rigoles nos 3 et 4, et ainsi de suite.

« Lorsqu'il arrive qu'un des ravins donne beaucoup plus d'eau que l'autre, on fait descendre le trop-plein des rigoles qui en dérivent dans celles qui appartiennent à l'autre ravin par de petites rigoles de communication des extrémités des unes aux têtes des autres, et elles sont encore, même dans ce cas, toutes également remplies.

« Par ce moyen, ce terrain, bien pénétré par infiltration, est devenu très-productif; de plus, les limons et les engrais entraînés du plateau supérieur par les eaux pluviales et qui jadis se perdaient, se déposent dans les rigoles, donnent un très-bon engrais que l'on répand sans transports, en les jetant à la pelle sur les zones intermédiaires, entre les rigoles, dont cette opération fait le curage, pour faire place à de nouveaux dépôts.

« Depuis ces travaux, ce terrain, sur lequel on s'est borné à semer de la graine de foin, est devenu une excellente prairie, qui, sans être fumée, donne d'abondantes récoltes de très-bon foin. Quand on n'a pas besoin d'eau, on bouche les entrées des rigoles avec des gazons. Quand il y a surabondance d'eau et que la saison est favorable, au moyen de petites saignées faites sur le bord des rigoles, qui sont de niveau, on opère des déversements partiels sur les parties des zones intermédiaires entre les rigoles, et on réunit ainsi en même temps, à volonté, l'effet du déversement et de l'infiltration.

« *Observation sur l'utilité dont serait l'application générale de ce système.* Cet exemple est d'autant plus intéressant qu'il y a immensément de terrains stériles dans des situations analogues, où l'on peut facilement opérer la même transformation sans avoir de cours d'eau constants disponibles pour l'irrigation ; car, dans le cas précédent, on n'a fait usage que des eaux pluviales et accidentelles. »

Tous les terrains en pentes fortes, situés sur les déclivités des coteaux qui bordent les plateaux et qui forment les flancs des montagnes, soit qu'ils se trouvent en friches, en pâtures, en champ, ou en bois, peuvent, ainsi que le dit le maître, être fort améliorés par cet ingénieux procédé, parce que presque toujours ces sortes de terrains arides, où l'eau ne peut pas s'arrêter et qu'elle pénètre difficilement, sont dominés par des plateaux plus ou moins accidentés qui reçoivent d'abondantes eaux pluviales, lesquelles descendent ordinairement avec rapidité et presque toujours en dégradant les fonds inférieurs; il est, en général, facile de les dériver par des rigoles spéciales établies aux endroits où ces eaux affluent à différentes hauteurs de leur passage pour les réunir dans des réservoirs, ou dans de larges rigoles à faible pente pour les y laisser pénétrer lentement par filtration. Sur les 8 millions d'hectares de terres incultes de la France, la moitié peut-être pourrait être fertilisée par ce procédé.

Ajoutons que même sans l'emploi d'eaux pluviales extérieures, un terrain à pentes abruptes gagne beaucoup en fertilité lorsque de nombreuses rigoles horizontales assurent l'entière utilisation des eaux qui tombent à sa surface.

INONDATIONS. Nous ne donnerions qu'une idée imparfaite de l'importance de la multiplication à l'infini des rigoles horizontales et des réservoirs propres à emmagasiner les eaux pluviales, si nous n'ajoutions que Polonceau a démontré qu'outre les grands services qu'ils rendraient à l'agriculture, ils porteraient remède aux inondations, permettraient d'éviter les désastres que causent périodiquement nos grands cours d'eau. Nous empruntons ce qui suit à sa *Note sur les débordements des fleuves et des rivières* (1847), où il développe, à ce point de vue, sa conception primitive.

« Pour empêcher les affluents des fleuves et des rivières de déverser subitement et simultanément dans les grands bassins la totalité des eaux qu'ils reçoivent abruptement des coteaux et des pentes rapides qui bordent les gorges et les vallons dans lesquels ils sont situés, il y a trois moyens que l'on peut employer séparément et partiellement ; mais, le plus souvent, il conviendra de les employer tous les trois simultanément.

« *Premier moyen.* Le premier s'applique à tous les terrains en pentes prononcées qui dominent et bordent les gorges, les vallons des montagnes et les parties supérieures des vallées; il consiste à creuser sur toutes les pentes des rigoles horizontales larges et profondes, fermées à leurs extrémités, pour recevoir et retenir les eaux pluviales à leurs points de départ et les empêcher de descendre rapidement sur ces pentes, comme elles le font dans l'état naturel. Les eaux retenues dans ces rigoles, qui formeront des séries de petits réservoirs étagés les uns au-dessus des autres, ne pourront descendre aux vallons que très-lentement, après s'être infiltrées dans le sol; elles n'arriveront donc aux grandes vallées que fort longtemps après les chutes des pluies. Les rigoles pourront avoir généralement un mètre de largeur moyenne sur un demi-mètre de profondeur, et contiendront par conséquent un demi-mètre cube par mètre courant.

« Ces rigoles étant très-multipliées, les volumes d'eau qu'elles arrêteront dans chaque vallon seront déjà considérables, mais elles rempliront encore d'autres buts d'utilité : le premier, c'est que même lorsqu'elles seront remplies, formant des gradins sur les pentes, elles feront diminuer la vitesse de descente des eaux qui excéderont leurs capacités, parce que cette vitesse sera rompue au passage de chaque gradin de niveau que les rigoles formeront, comme par les marches d'un grand escalier.

« Le second but d'utilité, c'est qu'en réduisant de beaucoup la vitesse d'écoulement des eaux pluviales, ces rigoles les empêcheront de délaver, d'amaigrir et de raviner les terrains en pentes; et que, de plus, elles maintiendront sur ces terrains, par l'infiltration lente de leurs eaux, une humidité d'autant plus salutaire qu'ils sont généralement plus arides.

« L'exécution de ces rigoles ne consiste qu'en terrassements simples et faciles à exécuter, sans exiger jamais aucun travail d'art, parce que quand, en les creusant, on rencontrera un ruisseau, un ravin, un chemin ou une arête de rocher, on se bornera à les interrompre pour les reprendre du côté opposé.

« Ces rigoles peuvent être établies sur tous les terrains, quelle que soit la nature de leur culture, même quand ils sont en labours (qui généralement sur les terrains en pente se font par raies horizontales), parce que les rigoles d'infiltration empêchent les eaux d'entraîner les terres mobilisées par la charrue, et qu'elles sont le seul moyen d'irrigation qui leur soit applicable. De même pour les bois, il est prouvé par les expériences nombreuses de M. Chevandier dans les forêts des Vosges, que les bois qui reçoivent les eaux d'infiltration par des rigoles horizontales ont une croissance plus rapide et donnent beaucoup plus de produits.

« Enfin, l'établissement de rigoles horizontales d'infiltration est le travail préalable nécessaire de tout re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

boisement sur des terrains en pente, et tout à fait indispensable pour leur succès.

« *Second moyen.* Le second moyen, qui est applicable spécialement aux fonds des gorges et des petits vallons des terrains montueux, consiste à y établir, au moyen de barrages en travers (voy. BARRAGES), placés à leurs étranglements, des réservoirs soit permanents, comme de petits étangs, soit plutôt et la plupart du temps simplement temporaires, pour recevoir et retenir les eaux qui n'auront pas été arrêtées par les rigoles horizontales de leurs versants.

« Dans le premier cas, ces réservoirs devront avoir dans leurs barrages des pertuis, destinés à évacuer progressivement la majeure partie et au moins les deux tiers des eaux retenues, pour faire place aux eaux des pluies nouvelles.

« Dans le second cas, les réservoirs temporaires auront des vannes de fond, que l'on ouvrira quelques jours après les crues pour évacuer totalement leurs eaux, afin de faire place à de nouveaux volumes en cas de pluies nouvelles; alors les fonds de ces réservoirs, entièrement en prairies, seront dans le même cas que les prés submersibles qui bordent les rivières et qui ont, comme on le sait, plus de valeur que les autres. Les eaux qui seront retenues dans ces réservoirs lors des pluies de l'automne, de l'hiver et du printemps, seront très-favorables aux prairies qui en formeront le fond comme irrigations par submersion, puis par les limons, les engrais et les mucilages qu'elles y déposeront. Quant aux pluies qui auront lieu pendant la croissance des herbes et pendant les récoltes, comme elles ne font presque jamais déborder les rivières, on laissera couler leurs eaux librement par les ouvertures des vannes, en sorte qu'il n'y aura jamais dommage, mais un accroissement certain des récoltes et de la valeur foncière.

« Il en résulte que les prés sur lesquels seront établis des réservoirs, étant aussi et même plus productifs qu'ils ne l'étaient auparavant, il n'y aura aucune perte de valeur, et par conséquent pas d'indemnité à donner.

« La seule dépense qu'ils exigent est celle de leurs barrages, dont les hauteurs seront moyennement de 5 à 6 mètres; mais ils peuvent se faire simplement en terre gazonnée, avec un conroi central dans la partie inférieure en sable gras ou en béton, ou un rang de palplanches jointives pour arrêter les filtrations.

« Ces réservoirs pourront servir à des irrigations par déversement, dans les parties inférieures des vallons, en dérivant à mi-côte par des canaux les eaux qui y seront retenues, au lieu de les évacuer simplement par la vanne du fond; en sorte qu'ils pourront par là remplir deux buts d'utilité à la fois.

« On les échelonnera dans les gorges et dans les vallons, suivant les besoins et suivant les facilités et les convenances que présenteront leurs dispositions.

« En établissant également des barrages échelonnés dans les ravins qui affouillent leurs rives et qui entraînent, lors des pluies abondantes, des graviers ou des sables nuisibles, on arrêtera aussi la rapidité d'écoulement de leurs eaux et on les empêchera de nuire.

« *Troisième moyen.* Le dernier moyen ne s'applique qu'aux terrains en pentes douces, et particulièrement aux prairies qui se trouvent dans ce cas; il consiste à les disposer en bassins de limonages, qui servent à les niveler et à les relever progressivement, puis à augmenter beaucoup leurs produits et leur valeur, parce que les limons des eaux troubles et les mucilages que tiennent toujours en suspension les eaux produites par les pluies abondantes, même quand elles ne sont pas limoneuses, sont le meilleur des engrais pour les prairies; c'est un procédé d'irrigation par submersion, au moyen d'inondations partielles, réglées et volontaires.

« Pour former ces bassins, il suffit d'établir sur chaque prairie qui peut être limonée une digue générale d'enceinte en terre gazonnée de 50 centimètres à 1 mètre de hauteur maxima, à l'aval, et de couper la prairie, quand elle est étendue, en bassins partiels, au moyen de petites levées, transversales et de niveau, en terre gazonnée, pour mieux arrêter les limons dans les parties supérieures et pour diminuer ainsi les hauteurs des digues d'enceinte. Comme c'est précisément dans les grandes eaux qu'il convient de remplir ces bassins, en les multipliant, comme il est dans l'intérêt des propriétaires de le faire, il en résultera encore des retenues d'eau assez considérables et un retard de deux à trois jours dans l'arrivée de ces eaux aux courants principaux, ce qui suffit pour diminuer la grande intumescence des rivières, qui n'est jamais durable.

« *Résumé.* — Les dépenses qu'exigent les travaux à faire pour l'application de chacun de ces trois moyens sont généralement très-peu élevées, parce que, sauf pour les barrages des réservoirs, qui, pour être bien établis, exigent les conseils d'un homme de l'art, ces travaux ne consistent qu'en terrassements faciles, et que tout propriétaire peut diriger et surveiller lui-même.

« Mais ce qui est particulièrement digne de remarque, c'est que les trois moyens que je viens d'expliquer et que je conseille d'employer pour diminuer les hauteurs des crues des rivières et pour prévenir les désastres de nouveaux débordements, sont tous trois des moyens, et même les meilleurs moyens de multiplier et de généraliser les trois modes d'irrigation par infiltration, par déversement et par submersion, avec limonage, au moyen de l'art trop peu connu encore, et surtout trop peu pratiqué, d'y employer les eaux pluviales. Ces irrigations ont le double mérite de ne rien enlever aux courants naturels, et même de diminuer l'abaissement de leurs eaux en été, puis d'empêcher l'appauvrissement progressif des terrains élevés que produit constamment leur lavage par les eaux des pluies, auquel les moyens de retenue proposés remédient autant qu'il est possible.

« En sorte que, par une coïncidence qui est un grand bonheur, *les moyens les plus sûrs et les plus efficaces pour remédier aux débordements, sont en même temps les meilleurs pour étendre et généraliser les bienfaits des irrigations.* Par suite de cette heureuse coïncidence, les travaux à faire pour arrêter les eaux pluviales étant utiles et très-profitables pour les terrains sur lesquels on les établira, et dont, sans eux, la plupart seraient privés du bénéfice des irrigations ordinaires, non-seulement il y a dans ces opérations réunion et concordance de l'intérêt public et des intérêts privés, mais encore et par cela même une économie considérable pour l'État et pour les départements, qui n'ont besoin que d'encourager et d'aider la réalisation et la généralisation des trois procédés d'irrigation indiqués ci-dessus.

« Il suit de là que si tous les propriétaires et fermiers de France étaient assez éclairés pour comprendre leurs intérêts, en exécutant chacun sur son terrain ces sortes de travaux, en même temps qu'ils augmenteraient de beaucoup leurs revenus et la valeur de leurs fonds, ils créeraient le meilleur remède aux dangers et aux désastres des inondations. »

RIGOLES DES CANAUX D'IRRIGATION. Outre les grands avantages que procure la construction des rigoles horizontales utilisées ainsi que le comprenait Polonceau, ce système nous paraît pouvoir recevoir une utile extension, appliqué aux parties élevées des rivières alimentées par les eaux des sommets des montagnes, les neiges, etc., pour former de grands canaux d'irrigation servant à transformer en prairies les terres situées au-dessous de la ligne à peu près horizontale suivant laquelle ils seraient tracés.

Un canal débitant 10 mètres cubes par seconde, pouvant fournir à l'irrigation de 5,000 hectares, n'a pas besoin, en général, de plus de 10 kilomètres de par-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cours (voy. AMÉNAGEMENT DES EAUX, *Complément*), c'est-à-dire qu'en faisant des deux côtés d'un cours d'eau 25 kilomètres de canal horizontal, on pourrait débiter utilement pour l'agriculture 40 mètres cubes par seconde, et il est peu de cours d'eau qui, à une grande altitude, même sur les montagnes qui conservent le mieux les eaux à leur surface, pourraient supporter à l'étiage de nombreuses saignées de cette importance, étagées les unes au-dessus des autres.

On voit combien de semblables émissaires, venant apporter leur excédant dans de petites vallées secondaires et sur d'immenses étendues de prairies, seraient utiles pour limiter les effets d'une inondation. Nous ne pouvons poser ici que le principe destiné à faire à l'avenir partie des ressources que devra utiliser l'art de l'ingénieur agricole, car, dans chaque cas, en raison des circonstances, des cours d'eau, des pentes, des formes, de la nature du terrain, la solution du problème varie mais est toujours possible, pour créer d'abondantes richesses par des travaux relativement assez faciles pour qu'on ne comprenne pas comment ils n'ont pas reçu depuis longtemps un immense développement. Les causes sont, avec l'ignorance de l'utilité de ces travaux, la mauvaise condition économique d'une nation, où les individus sont trop isolés pour entreprendre d'aussi grands travaux, et le Trésor public trop souvent aux expédients pour oser se livrer à des entreprises aussi considérables. Le système de garantie d'intérêt à de puissantes associations paraît seul pouvoir fournir, dans l'état actuel de notre société, une solution, comme le prouve l'exécution par ce système, des chemins de fer du dernier réseau, qui ne sont susceptibles de fournir de bénéfices, quelques-uns, que dans un assez grand nombres d'années et d'autres de n'en donner jamais.

RIS. Nous ne parlerons pas ici de la manœuvre des voiles, mais seulement de celle qui est relative à la réduction de la voilure lorsque le vent fraîchit; cette réduction s'opère habituellement en *prenant des ris*, ce qui exige que les hommes montent sur les vergues, pour enrouler un grand nombre de cordes attachées à la voile autour des vergues, travail quelquefois dangereux et toujours fort pénible. La marine militaire a adopté avec succès un système imaginé par M. Bélaguic, officier de vaisseau, et qui facilite notablement la manœuvre de prendre les ris; dans ce système, chaque bande de ris est garnie d'une filière en corde, passant dans des *œils de pie*, *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 1), pratiqués dans la voile et

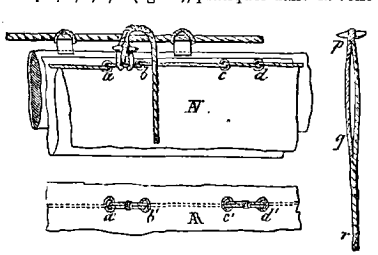


Fig. 1.

inégalement espacés; cette filière forme un tour complet entre les œils de pie les plus rapprochés *ab*, *cd*; *a'b'*, *c'd'*, et les deux brins croisés sur la face arrière de la voile, sont réunis par un amarrage à plat; les *garcettes*, au lieu d'être fixées sur les bandes de ris comme par le passé, sont amarrées sur la filière de la vergue; elles présentent à leur partie supérieure deux branches parallèles formant un œil allongé *pq*, et se terminent par une *queue de rat*, provenant de la jonction des deux branches supérieures; un cabillot en bois est solidement fixé sur la filière de la vergue, à proximité de la garcette, quelquefois sur la garcette elle-même.

Pour prendre un premier ris, on pèse sur les palanquins de manière à amener la bande de ris en contact avec la vergue; les hommes passent l'extrémité de la garcette entre la filière et la voile, en *ab*, et la ramenant à eux, engagent l'œil de la partie supérieure sur le cabillot. Pour les autres ris, l'opération s'exécute de la même manière et avec les mêmes garcettes.

M. Brouard, du Havre, a imaginé un système qui permet de réduire la voilure, sans qu'il soit nécessaire d'envoyer les hommes sur les vergues; ce système est surtout précieux pour la marine marchande, où la manœuvre de prendre des ris est d'autant plus pénible que les équipages sont moins nombreux. La voile est attachée par la ralingue de tête à une *sous-vergue*, placée, ainsi que son nom l'indique, au-dessous de la vergue proprement dite, et soutenue à chacune de ses extrémités par une ferrure *a* (fig. 2), dans laquelle s'engage

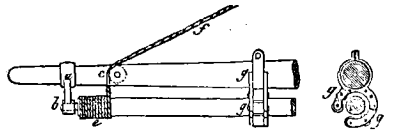


Fig. 2.

un tourillon *b*; près de ces ferrures s'enroule un cordage ou *balancine de ris ef*, faisant retour sur une poulie *c*, placée sur le côté de la vergue supérieure et remontant ensuite au chouquet, pour redescendre de là sur le pont. Si l'on pèse sur cette balancine en filant en même temps la drisse, la voile s'enroule sur la sous-vergue, et sa surface est réduite autant que l'on veut.

Cette installation s'applique également aux basses voiles, huniers et perroquets. La sous-vergue ne saurait rester suspendue par ses deux extrémités seulement: elle est soutenue de distance en distance par deux ou trois ferrures à rouleaux *gg*, qui résistent à la poussée du vent.

RIVER (MACHINES A) (*ang.* riveting-machine, *all.* nietpress). L'emploi si considérable du fer laminé réuni par des rivures, qui font une seule pièce de la totalité d'une grande construction, a rendu le travail à la main insuffisant, a fait rechercher le moyen d'y appliquer des machines puissantes et produisant rapidement.

Un rivet formé par une petite tige de fer portant une tête forgée à l'avance, et une seconde tête produite par la bouterolle, creux en acier de forme ronde, résiste de deux manières: 1° à un effort de *cisaillement*, exercé par les tôles dans un sens perpendiculaire à son axe; 2° à un *glissement* qui tend à se produire entre l'une des feuilles et la tête du rivet, quand il reste du jeu entre le corps du rivet et le trou dans lequel il a pénétré. Il résulte des expériences de Fairbairn que la résistance du rivet au cisaillement est environ les 4/5e de la résistance à l'allongement.

La solution la plus directe était de produire l'écrasement du rivet par la pression entre des pièces résistantes; telle est la machine à river de Fairbain, décrite à l'article CHAUDRONNERIE. La bouterolle y est actionnée par une tige recevant un mouvement convenable, le système devant être combiné pour qu'une pression très-considérable soit produite par celle-ci, sans que celle exercée aux points de contact des organes moteurs soit destructive des surfaces. C'est par l'intermédiaire d'un levier et d'un excentrique que Fairbain y est parvenu aussi bien que possible, mais pas très-complétement, un rivet trop long faisant évidemment naître une pression

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et un frottement énorme à l'extrémité de la course de l'excentrique, toujours destructeur malgré la grande épaisseur donnée à celui-ci, tandis qu'un rivet trop court est imparfaitement rivé. Une grande régularité dans la fabrication des rivets est donc une condition essentielle du bon fonctionnement de cette machine.

Les machines à poinçonner, dont le travail précède celui de la machine à river, se construisent avec succès dans un système analogue à celui de la précédente, mais dans ce cas l'étendue de la course du poinçon, n'a plus d'importance. Telle est la machine de De Bergue. Elle consiste en une forte pièce en fonte supportée par la partie supérieure et pouvant prendre un mouvement pendulaire par l'action d'un excentrique logé vers son milieu, à l'axe duquel est communiqué un mouvement de rotation. Un des bords du balancier, garni d'un

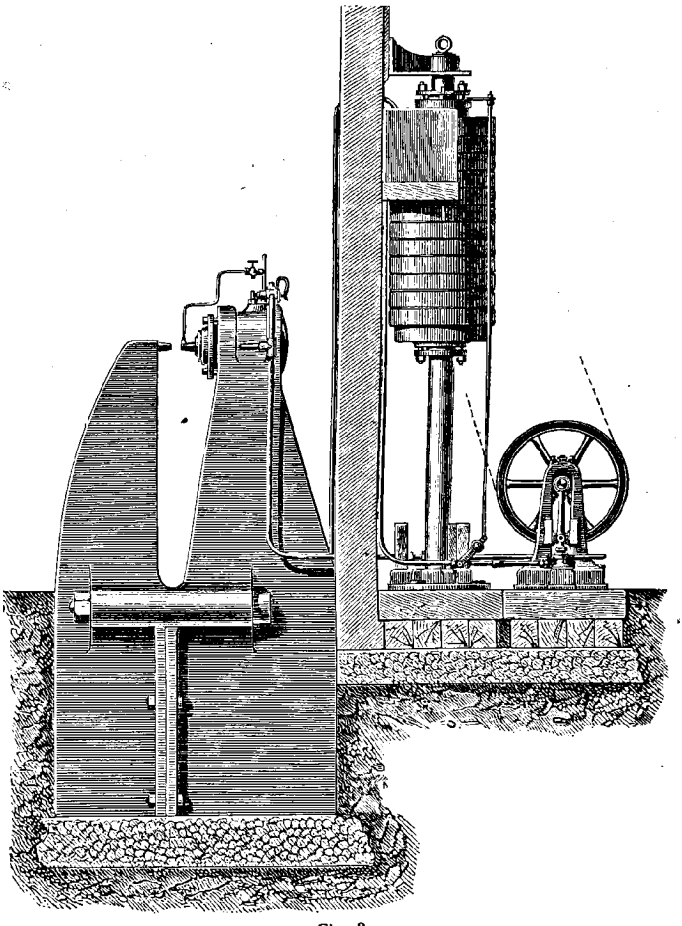


Fig. 3.

poinçon, forme machine à poinçonner, et l'autre, garni d'une bande d'acier, machine à cisailler, le bâti fixe portant la lunette ou la bande correspondante.

La grande masse du balancier, les avantages du mode de suspension, l'angle décrit au sommet étant petit, assurent le bon fonctionnement de cette machine.

Au lieu de transmettre le travail moteur dans les machines à river par des pièces intermédiaires, on peut le transmettre directement, ou à bien peu près, sur la tête du rivet. Telle est la disposition réalisée par Cavé, pour Lemaître son beau-frère, pour river par l'action directe de la vapeur, qui a été décrite en détail à l'article CHAUDRONNERIE. Elle ne s'est pas propagée et n'a pas remplacé les autres systèmes, malgré l'avantage qu'elle offrait d'agir à fond, c'est-à-dire que la course de la bouterolle n'y est pas limitée par le mouvement des pièces de la machine, mais par la résistance du rivet lui-même ; mais elle présentait l'inconvénient que la pression n'était pas assez largement supérieure à la résistance du métal, à moins d'agir par un choc, qui en ébranlant les tôles à réunir empêcherait la rivure d'être parfaite.

Le système qui consiste à employer la pression hydraulique paraît offrir sur les précédents le grand avantage d'éviter tous les frottements nuisibles et de permettre d'agir à fond avec une puissance très-grande. C'est un Anglais, R. Twedell, qui a combiné l'outillage que nous allons décrire.

L'emploi de la presse hydraulique pour poinçonner, cisailler ou river, évidemment inspiré à la fois par les résultats obtenus par Cavé et ceux des constructions analogues d'Armstrong (voyez TREUIL HYDRAULIQUE), avec des pressions de 20 à 25 kil. par millimètre carré, n'a pu devenir pratique que grâce à l'accumulateur dû à ce dernier. Nous décrirons d'abord la disposition de celui-ci qui se voit sur la droite de la figure 3.

La tige de l'accumulateur est fixe et sert de guide à un cylindre qui glisse sur elle, portant les poids nécessaires pour que l'eau soit à la pression voulue. L'eau chassée par une pompe arrive par le bas et remplit l'espace annulaire qui entoure la tige, et tout le poids est porté par l'eau agissant seulement sur cette embase. La capacité augmente ainsi avec l'élévation du cylindre. L'eau est fournie par deux pompes de 35 millimètres de diamètre et 8 centimètres de course, mues par une poulie actionnée par une courroie partant d'une machine motrice; elle fait de 100 à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

120 révolutions par minute. Quand le cylindre pesant arrive au bout de sa course, au moyen d'une tringle il détermine la fermeture des robinets d'aspiration des pompes, qui cessent alors d'envoyer de l'eau.

L'eau venant de l'accumulateur entre dans le cylindre opérateur et en sort par une autre ouverture, par un jeu de soupapes. Quand l'eau doit entrer dans le cylindre, une soupape est ouverte par le levier à main, et est maintenue ouverte jusqu'à ce qu'un rivet soit placé, ou qu'on désire arrêter le travail en un moment quelconque. La soupape de sortie est fermée par la pression de l'eau entrée dans le cylindre ou par un ressort.

Pour produire un mouvement en arrière, la soupape de sortie est ouverte par un mouvement du levier inverse de celui qui fait ouvrir la soupape d'entrée; l'eau tombe dans le réservoir de la pompe, sauf une petite partie amenée sur la bouterolle, pour la refroidir, par un petit tuyau. Le piston opérateur est retiré en arrière par l'action d'un petit cylindre placé dans ce piston, et qui peut être mis en communication avec l'accumulateur par une entrée spéciale.

Cette machine peut placer 900 à 1,000 rivets de 30 millimètres dans des tôles de 20 millimètres, en dix heures, et dans le travail des tôles plus minces, on place jusqu'à 6 ou 7 rivets par minute.

On semble trouver avantage, dans quelques cas, à ne river directement au moyen du piston hydraulique, à l'employer à faire mouvoir un puissant levier ayant plus de course.

On a disposé de bien de manières le cylindre porte-bouterolle de manière à river dans toutes les positions, pour pouvoir opérer mécaniquement dans des conditions où on ne pouvait opérer qu'à la main, dans la construction des navires en fer, par exemple.

RIZ (*angl.* rice, *all.* reis). Plante de la famille des céréales, formant la base de l'alimentation des populations de l'Inde et de la Chine. Nous avons décrit sa culture à l'article AGRICULTURE; nous ne parlerons ici que des opérations industrielles qu'on fait subir au riz après sa récolte, et surtout de l'*écalage*, travail auquel on le soumet pour le débarrasser de sa balle et lui donner l'apparence brillante que recherche le consommateur, travail très-long et très-coûteux lorsqu'il s'effectue à bras, à l'aide d'un mortier et d'un pilon, comme cela a lieu en Asie.

Les essais faits jusqu'ici pour combiner des appareils domestiques, des espèces de moulins à noix, n'ont pas réussi complétement. La machine de ce genre qui a donné les résultats les moins imparfaits se compose d'un tronc de cône fixe en bois, de 1 à 2 mètres de hauteur, dont les côtés sont inclinés de 45 degrés environ. Il repose verticalement sur un massif en maçonnerie, et sa surface est munie de cannelures de $0^m,003$ de profondeur sur $0^m,009$ à $0^m,021$ de largeur à leur base. Il est enveloppé d'une chappe dont la surface intérieure est disposée comme l'extérieur du cône, mais les cannelures sont disposées en sens inverse. Elle recouvre le tronc de cône comme une sorte de cuve renversée et peut tourner sur un pivot, placé au centre de son fond et reposant sur le sommet du tronc de cône. Deux barres opposées, mues chacune par un ouvrier, font tourner la chappe autour du tronc de cône; une trémie à fond percé de trous reçoit à la partie supérieure le riz en paille qui descend entre les deux surfaces cannelées, se dépouille de ses balles et tombe monde dans un réservoir placé à la partie inférieure.

L'expérience a montré que pour atteindre un résultat tout à fait satisfaisant, un appareil de ce genre était insuffisant, et qu'il fallait employer un ensemble d'appareils réunissant toutes les ressources de la meunerie; ce n'est que dans cette voie, qui exige malheureusement de grands établissements, qu'on peut opérer économiquement et obtenir de beaux produits, comme cela a été réalisé par les moulins construits pour la Cochinchine par MM. Touaillon.

Le riz couvert de sa balle passe d'abord entre des cylindres nettoyeurs, qui le débarrassent des corps étrangers et le classent en deux grosseurs au moins, pour rendre certaine l'action des meules auxquelles il est ensuite soumis. Ces meules horizontales sont fixes sur leurs axes, pouvant seulement être rapprochées ou écartées en raison de la grosseur du grain; leur frottement énergique enlève la balle et commence l'opération de l'écalage.

Cette opération consiste à enlever une peau très-fine qui adhère au grain de riz, ce qu'on ne pourrait obtenir seulement avec les meules sans en concasser beaucoup, ce qui en détruit la valeur. C'est avec l'aide de pilons qu'on y parvient, mais dans des conditions toutes particulières; les pilons, mus mécaniquement, n'atteignent jamais le fond des mortiers, de telle sorte que les grains qui remplissent ceux-ci ne sont pas broyés, mais usés les uns contre les autres.

Enfin, l'opération se termine par un roulage dans des tonneaux tournant autour d'un axe, avec une petite quantité de matière grasse, jusqu'à ce que le riz ait pris l'aspect brillant que demande le commerce.

Le riz presque privé de gluten ne saurait donner à ses consommateurs asiatiques la vigueur musculaire que la farine de blé soutient chez les Européens. Cette influence de la base principale de l'alimentation paraît d'autant plus certaine, que l'usage du pain des Européens se propage autour des centres où ils introduisent les mœurs de l'Occident. Ce n'est pas là un des éléments les moins curieux de la transformation souhaitable et du progrès des immenses populations avec lesquelles nous entrons chaque jour en communication plus intime, depuis que la rapidité des moyens de transport réduit tant les distances à la surface du globe terrestre.

ROBINETS (*ang.* cock, *all.* hahn). Un robinet, c'est-à-dire l'appareil le plus ancien permettant d'établir ou d'arrêter le mouvement d'un fluide à travers un tuyau, est d'un usage de chaque instant dans toutes les branches d'industrie. Il consiste en général en une cannelle, espèce de tuyau conique horizontal qui pénètre dans la capacité dont on veut retirer le liquide. Ce tuyau porte un renflement percé d'un trou conique, dit *boisseau*, bouché par une *clef* ou *noix*, qui s'oppose au passage du liquide dans un sens, mais qui permet l'écoulement quand on lui fait faire un quart de révolution, et qu'on amène ainsi dans le sens du tuyau le canal dont elle est percée.

Il faut que l'œil de la noix présente une section à peu près égale à celle du tuyau horizontal, afin que l'écoulement n'éprouve pas de contraction. La clef doit être d'un métal plus doux que celui du boisseau, afin que l'usure s'exerce sur la partie la plus facile à remplacer. C'est parce que cette usure est inévitable qu'on fait la clef conique, afin qu'en descendant un peu, elle puisse fermer encore quand l'usure a diminué son diamètre moyen. Dans les cannelles en bois, bien préférables lorsqu'on les laisse à demeure aux appareils en cuivre, on garnit le boisseau de liége qui donne une excellente fermeture, exempte d'adhérence après une longue durée.

Une amélioration a été apportée à ces appareils par M. Jullien, pour le soutirage des liquides renfermés dans des capacités closes, les tonneaux, par exemple. Comme dans ce cas l'écoulement ne peut avoir lieu qu'autant que le liquide est remplacé par un volume égal d'air, il faut que celui-ci remonte à travers le liquide qui s'écoule, quand on emploie les robinets ordinaires; il s'ensuit que le filet est dispersé et le liquide troublé.

M. Jullien a remédié à cet inconvénient, en disposant à la partie supérieure de la cannelle un petit conduit très-étroit, correspondant à une petite ouverture

EFERUS - Recherche & Classification numérique

percée à travers la clef, qui permet à l'air de rentrer à mesure que le liquide s'écoule avec une grande régularité. Cet appareil est surtout précieux pour soutirer les vins.

Il arrive quelquefois que l'on ne peut prolonger le robinet au delà de son boisseau. On emploie alors des clefs percées d'un double canal, l'un vertical, l'autre horizontal: c'est le système employé dans les établissements de bains.

Par l'emploi de ressorts qui ramènent au point de départ un petit piston qui ferme l'arrivée de l'eau, on établit des genres de robinets très-précieux. Tels sont le robinet à plongeur des bornes-fontaines décrit à l'article EAUX, les robinets fermant seuls, etc.

Citons encore les robinets à flotteur que fait tourner l'action d'une sphère creuse flottant à la surface d'un réservoir.

Les robinets, qui jouaient autrefois un grand rôle dans la machine à vapeur, ont été remplacés avantageusement par les tiroirs et les soupapes. Nous les avons donnés à l'article MACHINE A VAPEUR; on y trouvera aussi la représentation des grands robinets à valves usités dans quelques cas, et notamment dans les grandes conduites d'eau.

ROCHAGE. On a décrit en traitant de l'affinage de l'argent le phénomene curieux du rochage. On sait que lorsque ce métal se solidifie, il se produit une sorte de végétation à sa surface, et parfois une petite portion d'argent est projetée au loin. Ce n'est pas là un simple effet de solidification et de contraction par suite du réfroidissement qui altère toujours, mais faiblement, la surface d'un métal fondu; c'est celui d'un dégagement d'un gaz dissous. Le rochage résulte du brusque changement de solubilité du gaz dissous dans le métal au moment de la solidification.

Le gaz qui s'échappe ainsi de l'argent est de l'oxygène. Gay-Lussac a constaté, dans les circonstances les plus favorables, le dégagement d'un volume de gaz égal à 22 fois celui du métal. L'or, le palladium, le platine peuvent présenter les phénomènes du rochage.

M. Caron les a constatés pour le cuivre et l'antimoine chauffés dans l'hydrogène.

ROCHE A FEU. Composition incendiaire dont voici un formule: suif, 1; térébenthine, 1; colophane, 3; soufre, 4; salpêtre, 10; antimoine, 1; pulvériser séparément les quatre derniers éléments, les verser dans le mélange fondu des deux premiers, et incorporer lentement le tout. La roche à feu se conserve dans des tubes de carton. Chargée dans les projectiles creux et projetée avec leurs éclats, elle enflamme les corps combustibles sur lesquels elle tombe.

ROCHES. Voy. GÉOLOGIE.

ROCHET. Le rochet ou cliquet est un arrêt mobile tournant autour d'un axe, et la roue à rochet est un système qui permet à un arbre de rotation de tourner librement dans un sens, sans pouvoir jamais rétrograder en sens contraire. La fig. 1 en montre la disposition. Elle se compose essentiellement d'une roue dont la circonférence porte des entailles dites rochets, et qui est assemblée avec l'axe de rotation, et d'un plateau monté à frottement doux sur l'arbre portant un cliquet qui s'appuie sur les entailles de la roue. Le plateau est donc nécessairement entraîné par la roue toutes les fois que le sens du mouvement assure l'action de la dent du cliquet sur celle du rochet, mais non dans le sens contraire; le cliquet remontant alors sur le plan incliné qui forme la partie postérieure de la dent du rochet n'est plus entraîné.

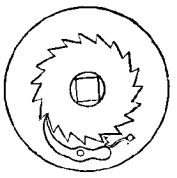


Fig. 1.

Les formes des cliquets et des rochets peuvent être variées pour produire l'effet voulu, mais leurs formes relatives doivent toujours satisfaire à cette condition, que la normale commune au point de contact passe entre les deux centres de rotation; ce qui peut s'obtenir de diverses manières.

En effet, soit A le centre de rotation de la roue, en B celui du cliquet; admettons que la roue tend à tourner dans la direction indiquée par la flèche *a*, et soit *mn* la normale commune entre le talon du rochet et la surface correspondante du cliquet. La flèche *b* indique le sens dans lequel celui-ci est sollicité par le talon du rochet, et l'on comprend que le cliquet tournant autour de B fait obstacle au mouvement de rotation de la roue; il y a arc-boutement; il est refoulé sur le point fixe B.

Au contraire, si l'on suppose le centre de rotation du cliquet placé en B', c'est-à-dire du même côté de la normale commune que le centre A, le mouvement virtuel

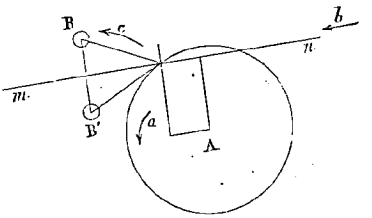


Fig. 2.

de la roue dans le sens de la flèche *a* pourra se produire et le cliquet, facilement soulevé, tourner autour du centre B' dans le sens de la direction de la flèche *c*.

Si l'axe B est nécessairement placé au-dessous de la normale commune, on dispose le cliquet pour qu'au lieu de butter contre le rochet, il puisse le retenir, si son extrémité forme un angle rentrant ou crochet, comme sur la figure 3; la normale commune au point de contact doit alors laisser de même côté les deux centres de rotation A et B.

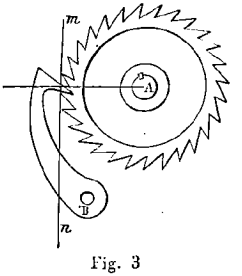


Fig. 3

Inutile de faire observer qu'un ressort est toujours indispensable pour ramener le cliquet à sa position, lorsqu'il n'est pas placé de manière que la pesanteur assure son effet.

La roue à rochet est employée dans une multitude de circonstances, et notamment dans les mouvements de pendule. Fixée sur un arbre carré, elle échappe au cliquet dans le sens où il faut le tourner avec une clef pour opérer le bandement du ressort moteur. Mais dès que ce dernier exerce son action, la roue à rochet tourne en sens contraire, en entraînant avec elle le barillet assemblé avec l'autre extrémité du ressort, et dont le contour, formé par une roue dentée, est destiné à transmettre l'action motrice du ressort aux autres pièces.

Si la roue à rochet devait avoir des dimensions très-considérables, elle pourrait se réduire en quelque sorte à une seule dent par la disposition suivante, due à Poncelet, en permettant à l'arrêt de prendre un petit mouvement rectiligne perpendiculairement à la circonférence de la roue quand il est poussé dans cette direction.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Supposons une lanterne CD (fig. 4), engrenant avec une roue dentée FE conduite par un arbre vertical,

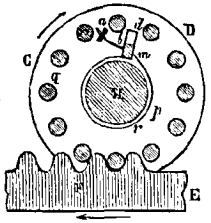


Fig. 4.

celui d'un manége, par exemple. Les plateaux de la roue à lanterne tournent librement sur l'arbre M, qui porte une frette *pr*, armée d'un mentonnet, d'une dent *m*, qui s'applique d'un côté contre la face plane de la pièce *d* mobile dans une coulisse, et de l'autre se raccorde tangentiellement avec la surface inférieure de la frette; la pièce *m* est appliquée par un ressort *ab* fixé au plateau de la lanterne.

Si la roue tourne dans le sens de la flèche, le plateau de la lanterne tournant, la pièce *d* pressera le mentonnet de la frette, et l'arbre M sera mis en mouvement. Au contraire, l'arbre M se mouvant, si la roue F s'arrête, si, par exemple, le cheval attelé à un manége moteur a besoin de s'arrêter, dans ce cas, l'arbre continuant à se mouvoir étant entraîné par l'effet de l'inertie des diverses parties en mouvement, le mentonnet *m* s'éloigne de la pièce *d*, puis, pendant une révolution de l'arbre, la soulève peu à peu et sans choc dans ses mortaises (agit comme un excentrique) et celle-ci retombe à sa place primitive dès que le mentonnet s'est échappé; l'action de l'engrenage peut alors reprendre.

ROUE A ROCHET DIFFÉRENTIELLE. Les roues à rochet sont quelquefois employées dans les machines pour faire mouvoir un axe d'un très-petit angle, ou d'angles dont la différence est très-petite. Les dents sont alors très-faibles.

On peut remédier à ce défaut par l'arrangement représenté fig. 5. A est une roue à rochet ordinaire à

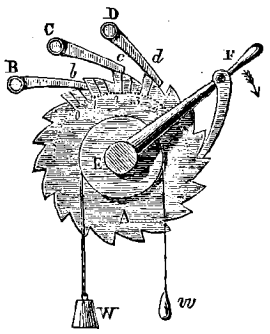


Fig. 5

dents résistantes; B*b*, C*c*, D*d* sont trois cliquets, parmi lesquels B*b*, dans la disposition représentée sur la figure, empêche le mouvement de la roue en butant contre le côté radial de la dent en *b*. Il est bien clair que l'emploi de trois dents n'est pas nécessaire, que ce nombre est arbitraire et que la division adoptée est faite uniquement pour faciliter l'explication de ce mécanisme particulier.

On voit sur le dessin que B*b* butant contre la face de la dent formée par le prolongement du rayon, le second cliquet repose sur la partie supérieure de la dent 2 *c*, à la distance de 1/3 de pas, à partir de la face radiale de cette dent; la troisième détente D*d* repose de même à une distance de 2/3 de pas, à partir de la face radiale de la dent 3 *d*. Ni C*c*, ni D*d* ne servent à retenir la roue.

Si maintenant on vient à faire tourner la roue en agissant sur le levier EF, ou en tirant sur le petit poids *w*, dans la direction convenable pour soulever le poids W d'une hauteur répondant à la rotation d'un tiers de dent, l'extrémité *c* du cliquet C*c* parcourra l'espace 1,2 et viendra buter contre la face radiale 2*c*. Si la roue est encore mue d'une même quantité, ce sera l'extrémité *d* du cliquet D*d*, qui aura parcouru par le mouvement précédent 1/3 de dent et tombera dans l'espace 3 *d* et arrêtera la roue. Un troisième mouvement ferait reprendre la position primitive, le cliquet B*b* venant agir sur la face radiale de la dent marquée 0.

Le résultat est que cette roue avec 20 dents peut être arrêtée dans un nombre de positions déterminé par trois fois ce nombre; les dents restant d'ailleurs assez fortes pour résister aux plus grands efforts.

En employant plus de cliquets, cinq par exemple, ce qui est fait aisément en arrangeant les faces de butée à des distances égales à 1/5e du pas au lieu du tiers, comme sur la figure, on peut obtenir de très-petits angles de mouvement. Ce mécanisme est employé dans le métier à tisser mécanique.

ROCOU (*angl.* annotto, *all.* orlean), matière colorante produite par un arbre de la famille des liliacées, le rocouyer, particulièrement cultivé à Cayenne. Cette matière est une espèce de pulpe gluante, d'un rouge-vermillon, entourant les graines, qui sont de la grosseur des petits pois, et réunies par trente ou quarante dans un fruit siliqué et épineux. Lorsque le fruit est mûr, les capsules s'ouvrent avec une sorte d'explosion par la seule pression des doigts. On enlève ensuite la pulpe et les graines; on pile grossièrement le tout, et on le fait digérer avec une certaine quantité d'eau pendant un temps suffisant pour produire un commencement de fermentation; on agite alors, on décante, et on traite de nouveau le résidu par l'eau afin de l'épuiser: il est préférable de ne point piler les semences et d'éviter toute fermentation, on obtient par ce dernier procédé un rocou de qualité supérieure. Quel que soit le mode d'extraction suivi, on réunit toutes les eaux qui ont servi à traiter les graines et qui tiennent en suspension la matière colorante; par un passage au tamis, on en sépare la pulpe et les débris de semence qui auraient pu y rester, puis on les laisse déposer; on enlève par décantation l'eau claire surnageante; on amène le dépôt à l'état de pâte ferme par une évaporation ménagée, puis on termine la dessiccation à l'ombre dans des séchoirs à l'air libre.

Le rocou de bonne qualité est en pâte bien homogène, d'une consistance assez ferme, et onctueux au toucher; il doit être de couleur de feu, et offrir une teinte plus vive en dedans qu'en dehors; lorsque la dessiccation a été mal opérée, il est souvent moisi dans son intérieur, et la couleur en est toujours plus pâle. D'après Chevreul, le rocou renferme deux matières colorantes distinctes, l'une jaune, soluble dans l'eau et l'alcool, et insoluble dans l'éther; l'autre rouge, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et l'éther. Sa décoction dans de l'eau alcaline est d'une belle couleur orangée. Le rocou est une couleur très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fugace que l'on n'emploie guère que dans la teinture de la soie. Il sert également à colorer des vernis et certaines préparations alimentaires, comme le fromage de Chester, etc.

ROMAINE. Voyez BALANCE.

ROUES DENTÉES (SYSTÈME DE). Il importe d'étudier les systèmes de roues et de pignons employés en horlogerie et qui offrent une précieuse application des théories élémentaires de l'algèbre pour résoudre une question difficile.

Le rapport des vitesses angulaires des roues extrêmes d'un système composé seulement de roues engrenant ensemble, est le même que si les roues extrêmes étaient immédiatement en contact, puisque les mêmes longueurs des diverses circonférences primitives passent toujours aux divers points de contact. La multiplication des roues dentées ne fournit donc pas le moyen d'accroître le rapport des vitesses angulaires de deux axes. Il n'en est plus ainsi lorsqu'on emploie à la fois des roues et des pignons, c'est-à-dire plusieurs systèmes d'engrenages, situés dans des plans parallèles. Une première roue A (fig. 1) engrène, par exemple, avec une autre roue *a*, d'un rayon bien moindre, avec un *pignon;* sur le même axe que le pignon *a* est montée une roue B solidaire avec lui.

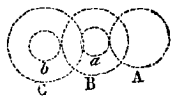


Fig. 1.

La roue B engrène avec un second pignon *b* sur l'axe duquel est montée une roue C.

w, w', w'', étant les vitesses angulaires autour des axes des trois roues A, B, C, R, R', R'', les rayons de ces roues; r, r', ceux des pignons a, b, on aura :

$$w \times R = w' \times r$$
$$w'' \times r' = w' \times R'$$

et en divisant ces deux expressions l'une par l'autre :

$$\frac{w}{w''} = \frac{r \times r'}{R \times R'}$$

c'est-à-dire que la vitesse angulaire de la première roue est à celle de la dernière comme le produit des rayons des pignons est au produit des rayons des roues, celle montée sur le dernier pignon exceptée.

Et en général $N_0\ N_1 \ldots$ étant les nombres des dents des roues, $n_1\ n_2\ n_3 \ldots$ le nombre des dents des pignons montés sur les mêmes axes (les nombres des dents étant entre eux comme les rayons), T_1 le nombre de tours de la première roue, T_m le nombre de tours de celle mue par le dernier pignon, on aura :

$$\frac{T_m}{T_1} = \frac{N_0\ N_1 \ldots\ldots N_{m-1}}{n_1\ n_2 \ldots\ldots n_m}.$$

Telle est la formule dont on se sert dans les cas où l'on doit obtenir une grande vitesse à l'aide d'une petite vitesse de l'arbre moteur, et notamment dans l'horlogerie, où ce problème doit toujours être résolu.

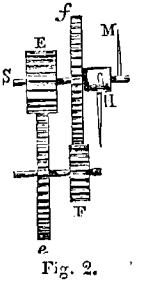


Fig. 2.

Remarquons que lorsque dans un mécanisme la disposition des roues et des pignons occupe trop de place, on peut la diminuer par l'emploi de *canons*, moyen de monter des roues mues avec des vitesses différentes, sur un même arbre, de fournir un même axe mathématique de rotation à ces diverses roues. On rencontre fréquemment cette disposition en horlogerie; nous nous contenterons de donner ici son

application, qui la fera parfaitement comprendre, à une *minuterie*, aux rouages qui font que les deux aiguilles montées sur un même axe d'un appareil d'horlogerie, qui représentent en réalité des rayons de roues, tournent dans le même sens et dans le rapport de 12 à 1, c'est-à-dire que l'aiguille des minutes parcourt un intervalle de 12 heures pendant que celle des heures parcourt l'intervalle d'une heure.

Quatre roues dentées sont alors nécessaires. La roue E étant fixée à l'axe S, et la roue f au canon G qui tourne librement autour de l'axe S, l'aiguille des minutes M est fixée à l'axe S, et celle des heures au canon G (fig. 2). Le mouvement est communiqué par les roues e et F montées sur un même axe, et en engrenant la première avec E, la seconde avec f.

Si E a 12 dents, e 36, F 10, f 40, on a pour le rapport des vitesses angulaires des deux aiguilles

$$\frac{36 \times 40}{12 \times 10} = \frac{12}{1}.$$

La même disposition complétée est employée pour les horloges astronomiques.

Au moyen de trois ou quatre roues engrenant, pignons montés sur l'axe d'une roue avec la circonférence de la suivante, on produit, à l'aide du mouvement de rotation très-lent de la roue du cylindre que fait tourner le poids moteur, le mouvement assez rapide de la roue d'échappement. Le problème paraît susceptible d'un nombre indéfini de solutions; mais il est limité par les conditions spéciales de la question. En effet, il faut que la roue d'échappement faisant exactement un tour complet pour 60 oscillations du régulateur (supposé un pendule battant la seconde), l'axe de cette roue porte l'aiguille des secondes qui parcourra 360° en une minute; il est nécessaire qu'une autre roue du rouage aille soixante fois moins vite et parcoure 360°, fasse un tour en une heure, ce sera l'aiguille des minutes. Il faut enfin qu'un autre axe aille douze fois moins vite, ce sera l'axe de l'aiguille des heures. Nous avons donné à l'article HORLOGERIE la discussion du système de roues et de dents les plus convenables à employer pour ce problème spécial.

Considérons d'une manière générale ce problème d'une grande importance en mécanique :

Étant donné le rapport de vitesse de deux axes, déterminer le nombre des axes intermédiaires, les proportions des roues et les nombres de dents convenables, pour transmettre le mouvement d'un axe à l'autre.

Pour simplifier, nous supposerons qu'il s'agit seulement de roues dentées; mais tout système complexe composé de roues, poulies, crémaillères, etc., peut être calculé d'après les mêmes principes.

La solution consiste évidemment, pour avoir le nombre des dents des roues et le nombre des axes, à décomposer $\frac{T_m}{T_1}$ en nombres premiers, à établir une formule semblable à celle précédente, en prenant le produit de plusieurs nombres pour une roue, s'il est nécessaire, afin de rester dans les limites des nombres convenables pour les dents des roues et des pignons.

On ne peut procéder que par approximation, dans le cas où les deux nombres, ou quelques-uns de leurs facteurs sont trop considérables pour deux roues, et ne sont pas décomposables en facteurs premiers, sont premiers.

Soit $\frac{T_m}{T_1} = \alpha \pm E$. Si on ne tient pas compte de E, on peut avec α, nombre simple en général, multiplié s'il est nécessaire par une fraction égale à l'unité, obtenir une solution; mais l'on introduit une erreur de E

EFERUS - Recherche & Classification numérique

révolutions du dernier axe pour une du premier, et la nature de la machine indique si cette approximation est suffisante.

Pour obtenir une plus grande approximation, ou si α est un nombre premier trop grand, on détermine, comme ci-dessus, le plus petit nombre m d'axes nécessaire et le nombre d'ailes que, d'après la nature de la machine, il convient de donner aux pignons. Soit D le produit des nombres des dents des roues, F le produit des nombres des dents des pignons, on aura dans ce cas $\frac{T_m}{T_1} = \frac{D}{F} = \frac{F\alpha}{F}$ (nous supposons que les roues conduisent).

Au lieu de prendre $\frac{D}{F} = \alpha$, posons $\frac{D}{F} = \frac{F\alpha \pm E}{F}$, E étant choisi aussi peu différent du reste exact que possible, s'il y en a un, et tel que $F\alpha \pm E$ soit décomposable en facteurs. L'erreur est alors au plus de $\pm E$ tours du dernier axe pour F tours du premier, ou $\frac{\pm E}{F}$ rotations du dernier axe pour une du premier.

Si les pignons conduisent, on prend de la même manière $\frac{T_1}{T_m} = \frac{D\alpha \pm E}{D}$, et l'erreur est de $\frac{\pm E}{D}$ rotations du premier axe pour une du dernier.

Exemple. — Soit demandé d'obtenir approximativement

$$\frac{T_m}{T_1} = 269.$$

Si on prend le nombre entier le plus près, 270, l'erreur est d'un tour du dernier axe pour 270 du premier. Si, d'après la nature de la machine, le rapport $\frac{1}{8}$ est plus grand que celui qui est permis entre les roues et les pignons, comme 269 est compris entre 8^2 et 8^3, trois paires de roues et de pignons sont nécessaires.

Si on emploie des pignons de dix dents, on a : $\frac{D}{F} = \frac{269000}{1000}$ et $\frac{269001}{1000} = \frac{8^3 \times 41}{10^3}$, qui constitue un train excellent dont l'erreur est de $\frac{1}{1000}$ de révolution du dernier axe pour un tour du premier.

Cette méthode est suffisante pour les cas ordinaires ; mais si une grande exactitude était nécessaire, si les termes de la fraction, bien que divisibles en facteurs, exigent grand nombre de roues et de pignons, il faut nécessairement déterminer une nouvelle fraction d'une valeur approchée de celle de la première et de termes plus simples ; les fractions continues s'appliquent à ce cas avec avantage.

$\frac{T_m}{T_1}$ étant la forme de la fraction dont les termes sont d'un grand nombre de chiffres; en la réduisant en fraction continue à la manière ordinaire, on obtient des séries de réduites, les premières très simples, les suivantes plus approchées, qui, examinées séparément, admettront le plus souvent une division convenable en facteurs, ou au moins différeront peu de fractions donnant une approximation suffisante. La valeur de l'approximation entre la fraction proposée et la réduite adoptée est toujours déterminée par la différence de ces deux quantités.

Soit en général $\frac{x}{y}$ une fraction très approchée d'une fraction donnée $\frac{a}{b}$, on a la différence

$$\frac{a}{b} - \frac{x}{y} = \frac{ay - bx}{by} = \frac{k}{by}.$$

D'après la supposition, k est très petit par rapport à by, et peut être positif ou négatif; pour déterminer k, on a l'équation indéterminée $ay - bx = k$ [1], dont toutes les solutions sont $x = \alpha + ma$, $y = \beta + mb$, m étant un nombre entier quelconque, positif ou négatif, $x = \alpha$, $y = \beta$ étant des valeurs convenables pour une solution.

Soit la fraction $\frac{a}{b}$ convertie en fraction continue et $\frac{p}{q}$ l'avant-dernière réduite, les formules ci-dessus pour toutes les valeurs possibles de x et y deviennent $x = pk + ma$, $y = qk + mb$ et $\frac{x}{y} = \frac{pk + ma}{qk + mb}$ est l'expression de la fraction approchée cherchée, dans laquelle m et k peuvent être tout nombre entier positif ou négatif, k étant petit par rapport à by et $a x$.

En effet, $x = pk$, $y = qk$ fournissent une solution, puisqu'en mettant ces valeurs dans l'équation [1] pour x et y, il vient $(aq - bp)\,k = k$, puisque la différence $\frac{a}{b} - \frac{p}{q} = \frac{aq - bp}{bq} = \frac{1}{bq}$, d'après la théorie des fractions continues.

Un grand nombre de valeurs de $\frac{x}{y}$ peuvent être obtenues à l'aide de l'expression ci-dessus, et par suite on peut choisir les plus convenables pour la décomposition en facteurs. Toute la difficulté de ce procédé consiste dans le choix des valeurs convenables de k et de m. Les nombres ainsi obtenus pour x et y sont nécessairement petits, k et m étant petits et pouvant avoir des signes différents, ce qui donne une très grande latitude pour le choix.

Ainsi si l'on donne à k les valeurs $0, -1, +1, -2$, et ainsi de suite, et que dans chaque cas on prenne de semblables valeurs de m, qui donnent de petites valeurs de x et y, on décomposera chaque paire de résultats en facteurs premiers, et, ceci fait, on calculera l'erreur résultante. En procédant ainsi on obtiendra des nombres pouvant permettre une exactitude suffisante, sans employer trop grand nombre de roues. Des tables de facteurs premiers facilitent beaucoup les calculs.

Soit à déterminer la fraction $\frac{x}{y}$, très voisine de $\frac{45}{14}$, l'avant-dernière réduite est $\frac{46}{5}$; plaçant ces nombres dans l'expression de $\frac{x}{y}$, on a :

$$\frac{46k + m45}{5k + m14}.$$

Soit $m = 1$, $k = -1$, $\frac{x}{y} = \frac{29}{9}$,

$m = 1$, $k = -2$, $\frac{x}{y} = \frac{43}{4}$,

$m = 2$, $k = -3$, $\frac{x}{y} = \frac{42}{13}$.

Deux de ces termes seraient obtenus par le seul calcul des réduites, mais non le troisième $\frac{42}{13}$.

Si l'on applique cette méthode à l'exemple d'un mouvement annuel dans une horloge, dans ce cas la fraction $\frac{a}{b}$ est égale à $\frac{164359}{450}$, l'expression des fractions approchées devient :

$$\frac{164359 \times k - m \times 58804}{450 \times k - m \times 161},$$

dans lesquels k et m peuvent prendre toutes les valeurs, par exemple :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$$\frac{7\times 164359-22\times 58804}{7\times 450-22\times 161}=\frac{443175}{392}=\frac{25\times 69\times 83}{8\times 7\times 7}.$$

Correspondant à une période de 365j 5h 48' 58" 6944 (erreur de 10" 69 avec l'année vraie). C'est le résultat calculé par une méthode différente par le Père Alexandre, et depuis par Cumus et Fergusson.

L'expression :

$$\frac{3\times 164359-10\times 58804}{3\times 450-10\times 161}=\frac{94963}{260}=\frac{11\times 89\times 97}{2^2\times 5\times 13},$$

qui correspond à une période de 365j 5h 48' 55" 38, est aussi très convenable.

Dans un système de roues dentées, une ou plusieurs vis sans fin peuvent être introduites pour diminuer le nombre des dents; par exemple, dans la dernière fraction citée, le dénominateur ne peut être divisé en moins de trois roues; mais on peut les remplacer par deux pignons et une vis sans fin (en se rappelant que cette dernière équivaut à un pignon à une aile); on aura ainsi les systèmes équivalents $4\times 20\times 13$ ou $4\times 10\times 26$. Si la vis sans fin n'est pas convenable, les termes de la fraction doivent être multipliés par 4, ce qui rend le dénominateur suffisant pour trois pignons, et le train devient : $\dfrac{44\times 89\times 97}{8\times 10\times 15}$.

MÉTHODE DE M. BROCOT *pour calculer le nombre de dents d'engrenage des roues propre à former un rouage.*

M. Brocot a réussi d'une manière ingénieuse à simplifier les recherches que nécessite la méthode des fractions continues proposée par Huyghens et a donné le moyen d'obtenir sans aucun calcul, par le seul examen d'une table, une première approximation qui pourra souvent être jugée suffisante; il sera d'ailleurs toujours possible de la perfectionner dans chaque cas particulier. La méthode proposée par cet habile horloger est fondée sur divers lemmes que nous pouvons réduire aux suivants :

LEMME I. — Lorsque deux fractions diffèrent de l'unité divisée par le produit de leurs dénominateurs, la fraction obtenue en les ajoutant terme à terme est la plus simple de celles qui sont comprises entre les proposées.

Si nous supposons en effet

$$\frac{a}{b}-\frac{a'}{b'}=\frac{1}{bb'}, \qquad (1)$$

ou

$$ab'-a'b=1,$$

et si nous désignons par $\dfrac{m}{n}$ une fraction quelconque telle que l'on ait, par exemple :

$$\frac{a}{b}>\frac{m}{n}>\frac{a+a'}{b+b'}, \qquad (2)$$

nous tirerons de là :

$$\frac{a}{b}-\frac{a+a'}{b+b'}>\frac{a}{b}-\frac{m}{n}, \qquad (3)$$

$$\frac{ab'-ba'}{b(b+b')}>\frac{an-bm}{bn}, \qquad (4)$$

$$\frac{1}{b+b'}>\frac{an-bm}{n}. \qquad (5)$$

D'ailleurs

$$an-bm\geqq 1,$$

puisque $\dfrac{a}{b}>\dfrac{m}{n}$, $\dfrac{a}{b}-\dfrac{m}{n}=\dfrac{an-bm}{bn}>0$,

$an-bm$ est formé de nombres entiers.

Multipliant (4) par (5), il reste

$$n>b+b',$$

et par suite en multipliant par (3),

$$m>a+a',$$

ce qui montre que la fraction $\dfrac{m}{n}$ a des termes plus compliqués que $\dfrac{a+a'}{b+b'}$.

REMARQUE. 1° On a toujours :

$$\frac{a}{b}>\frac{a+a'}{b+b'}>\frac{a'}{b'},$$

ou

$$\frac{a}{b}-\frac{a'}{b'}=\frac{1}{bb'}>\frac{a+a'}{b+b'}-\frac{a'}{b'}=$$

$$=\frac{1}{b(b+b')}>\frac{a'}{b'}-\frac{a'}{b'}>0.$$

LEMME II. — Lorsque deux fractions diffèrent de l'unité divisée par le produit de leurs dénominateurs, la fraction obtenue en les ajoutant terme à terme remplit la même condition par rapport à chacune d'elles.

Si nous supposons en effet

$$\frac{a}{b}-\frac{a'}{b'}=\frac{1}{bb'},$$

ou

$$ab'-a'b=1,$$

on aura identiquement :

$$\frac{a}{b}-\frac{a+a'}{b+b'}=\frac{ab'-ba'}{b(b+b')}=\frac{1}{b(b+b')},$$

ce qu'il fallait démontrer.

De même :

$$\frac{a+a'}{b+b'}-\frac{a'}{b'}=\frac{1}{b'(b+b')}.$$

Si nous remarquons maintenant que $\dfrac{0}{1}$ et $\dfrac{1}{1}$ sont des fractions qui remplissent les conditions voulues, il suit de ces deux lemmes que la fraction $\dfrac{0+1}{1+1}=\dfrac{1}{2}$ est la plus simple de toutes celles qui sont comprises entre elles et qu'elle remplit encore avec chacune d'elles les mêmes conditions.

Par conséquent

$$\frac{0+1}{1+2}=\frac{1}{3}, \quad \text{et} \quad \frac{1+1}{2+1}=\frac{2}{3},$$

seront les fractions les plus simples que l'on puisse insérer entre la troisième et chacune des deux premières, et elles rempliront avec leurs deux voisines les conditions en question; et ainsi de suite indifféremment.

En suivant cette marche, M. Brocot a calculé toutes les fractions qui se présentent successivement et dont le dénominateur ne dépasse pas 100. Il les a converties en décimales à dix figures et disposées en forme de table. Celle-ci renferme trois colonnes, dont l'une donne la forme décimale et les deux autres le numérateur et le dénominateur.

On possède par là une série de 3053 fractions dont les termes n'ont que deux chiffres, et dont chacune remplit, par rapport aux deux voisines, la condition que leur différence soit égale à l'unité divisée par le produit des dénominateurs. Cette différence est, bien entendu, variable, mais on peut s'en faire une idée par sa valeur moyenne qui sera, d'après le nombre de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces fractions, $\frac{1}{3054}$, ou avec dix figures 0,0003273394 (1).

Pour se servir de cette table on commencera, si le rapport proposé n'est pas moindre que l'unité, par l'y ramener. On pourra, pour cela, soit la renverser, soit considérer à part la partie fractionnaire. Après l'avoir réduit en décimales on cherchera si par hasard il se trouverait exactement dans la table, et dans le cas contraire on notera les deux valeurs qui le comprennent. Si la plus voisine, ou, à son défaut, si l'autre est décomposable en facteurs convenables et si elle est suffisamment approchée, on pourra s'en tenir là.

S'il n'en est pas ainsi, on se servira des deux valeurs voisines qui remplissent les conditions fondamentales pour resserrer davantage l'approximation en les ajoutant terme pour terme par une application des deux lemmes précédents. Et l'on continuera ainsi jusqu'à ce que l'on obtienne une fraction dont les termes soient convenablement décomposables et dont l'approximation soit jugée suffisante.

La formation successive des fractions est des plus simples, mais il n'en serait pas de même du calcul de l'erreur si l'on devait pour la trouver réduire en décimales, par la division, tous les rapports trouvés. Mais on peut facilement trouver ces erreurs sous la forme de fractions ordinaires par des additions et des soustractions convenablement dirigées. C'est ce qui résulte du lemme suivant.

LEMME III. — Lorsqu'un rapport est représenté approximativement par deux fractions qui le comprennent et qu'on ajoute celles-ci terme à terme, la nouvelle erreur se déduit des deux premières en ajoutant de même les valeurs absolues de leurs dénominateurs et les valeurs algébriques de leurs numérateurs.

Soit, en effet, un rapport $\frac{A}{B}$ représenté approximativement par les deux fractions

$$\frac{a}{b} > \frac{A}{B} > \frac{a'}{b'}.$$

Les erreurs respectives sont, en mettant leurs signes en évidence :

$$\frac{A}{B} - \frac{a}{b} = -\frac{aB - bA}{bB},$$

$$\frac{A}{B} - \frac{a'}{b'} = +\frac{b'A - a'B}{b'B},$$

et l'erreur cherchée peut être mise sous la forme

$$\frac{A}{B} - \frac{a+a'}{b+b'} = \frac{(b'A - a'B) - (aB - bA)}{bB + bB},$$

ce qui démontre le théorème.

EXEMPLE DE CALCUL. — *Rouage de Mercure.* — Cherchons à réaliser par un rouage le rapport 87,96926 qui représente la durée de la révolution sidérale de Mercure.

En séparant la partie fractionnaire 0,96926, nous trouvons dans la table comme nombres voisins :

$$0,96923 = \frac{63}{65}, \quad \text{erreur} - 0,00003,$$

$$0,96938 = \frac{95}{98}, \quad \text{erreur} + 0,00012.$$

On prendra donc :

$$87 + \frac{63}{65} = \frac{5718}{65} = \frac{2.3.953}{5.13},$$

$$87 + \frac{95}{98} = \frac{8621}{98} = \frac{37.233}{2.7.7}.$$

La première fraction est assez rapprochée, mais elle renferme le facteur irréalisable 953. La seconde serait plus facile à construire, mais elle est moins exacte et on peut souhaiter une approximation plus satisfaisante. On formera pour cela la série :

$$\frac{5718+8621}{65+98} = \frac{14339}{163} = \frac{13.1103}{163},$$

$$\frac{5718+14339}{65+163} = \frac{20057}{228} = \frac{31.647}{2.2.3.19},$$

$$\frac{5718+20057}{65+228} = \frac{25775}{293} = \frac{5.5.1031}{293},$$

$$\frac{5718+25775}{65+293} = \frac{31493}{358} = \frac{7.11.409}{2.179},$$

$$\frac{5718+31493}{65+358} = \frac{37211}{423} = \frac{127.293}{3.3.47}.$$

Ce dernier rapport peut, à la rigueur, se construire avec des roues de 127 et de 293 et des pignons de 9 et de 47. L'erreur qu'il laisse n'est plus que de 0,0000007 ou moins de $\frac{1}{47}$ de la précédente. Une des erreurs étant positive et l'autre négative, la valeur intercalée est plus exacte que chacune des valeurs primitives.

ROUES DE VOITURE. Nous donnons à l'article VOITURES la théorie mécanique des roues de voiture et montrons comment elles offrent une admirable solution d'un des plus graves problèmes de l'industrie. Quant à leur fabrication, nous renverrons aux détails donnés à l'article SCIERIE sur leur fabrication mécanique.

Il est bien clair que c'est surtout à la fabrication des rais et des jantes que le travail de la scie avec la plate-forme mobile ou de petites scies circulaires parallèles (pour entailler les pattes des rais) s'applique aisément; quant au moyeu, sa fabrication est essentiellement un travail de tour, puis à l'aide d'une plate-forme divisée, portant en son centre un axe avec écrou sur lequel se place le centre du moyeu et d'une tarière horizontale mue rapidement, creusant bientôt la place des rais, on abrège beaucoup le travail le plus difficile du charron. Les jantes sont préparées pour recevoir l'extrémité des rais de la même manière, et la roue fabriquée avec grande rapidité est fort bonne, si on a eu le soin, que la facilité du travail peut faire trop facilement oublier, de ne pas détruire la résistance du bois en entaillant mal à propos les fibres dont la continuité assure sa force et son élasticité.

Le travail du forgeron vient prêter une grande assistance à celui du charron pour donner à la roue toute sa solidité; d'abord, par les frettes qui garnissent le moyeu en orme que la sécheresse ferait bientôt éclater, mais surtout par le cercle de la roue qui, mis à chaud

1. Ces tables ont été publiées à la fin de l'opuscule de M. Brocot. J'en donnerai le spécimen suivant pour faciliter l'intelligence de l'exemple numérique que je donne plus loin et montrer combien les écarts sont petits entre les nombres qui se suivent :

N.	D.	Fractions décimales
61	63	0,9682539683
92	95	0,9684210526
31	32	0,9687500000
94	97	0,9690721649
63	65	0,9692307692
95	98	0,9693877551
32	33	0,9696969697
97	100	0,9700000000
65	67	0,9701492537
33	34	0,9705882353

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et serrant fortement tous les assemblages, fait un tout résistant d'un système qui, sans lui, ne saurait durer. Le danger est, en mettant le cercle trop chaud, de carboniser le bois de la roue trop profondément: aussi dans les ateliers les plus avancés emploie-t-on avec succès une plate-forme placée au-dessus d'un réservoir plein d'eau. Dès que l'embattage de la roue placée sur la plate-forme est terminé, on fait descendre dans l'eau cette plate-forme, soutenue sur un gros axe par un emmanchement à baïonnette.

Je ne dirai rien de la boîte métallique, du coussinet métallique, de l'essieu ni des ressorts, conditions capitales d'existence de la voiture moderne, puisqu'il en est traité en détail à l'article VOITURE.

ROUES DES CHEMINS DE FER. L'industrie des chemins de fer a fait naître et développer la fabrication des roues métalliques, qui, avant leur emploi sur ces admirables voies de communication, n'avaient été essayées que sur une bien petite échelle, en Angleterre seulement, comme pouvant être employées aussi avantageusement que les roues en bois. La parfaite élasticité du bois, sa légèreté, le rendaient bien préférable au fer sur des routes exposées à des chocs qui pouvaient donner facilement une flexion permanente à une tringle en fer évidemment bien moins convenable que le bois pour utiliser l'élasticité qui résulte de l'écuanteur (voy. VOITURE). Aussi c'était par un double système de tringles en fer, écartées au moyen et convergentes vers la jante, qu'on était arrivé en Angleterre aux résultats les moins imparfaits, mais jamais ces roues n'étaient employées pour des voitures lourdes, à allures rapides, dont les roues éprouvent par suite des chocs destructeurs.

C'est l'absence de ces chocs sur les chemins de fer, et en même temps la réunion de tous les éléments en un seul tout par le travail de la forge, qui ont fait des roues en métal l'instrument essentiel de la locomotion à grande vitesse.

Dans l'article CHEMINS DE FER, on a passé en revue les divers systèmes de roues en fer et en fonte, lorsque celle-ci est d'une qualité supérieure, que la pratique des chemins de fer a fait adopter, et à l'article ACIER nous avons décrit l'importante fabrication de roues en acier de Krupp.

Nous compléterons ce travail en décrivant la fabrication des roues entièrement en fer, à peu près exclusivement employées pour les roues de locomotives.

Les roues ordinaires ont leurs centres coulés en fonte; celle-ci assemble les rais en fer. La solidité des roues est bien plus grande quand elles sont fabriquées par la méthode Arbel, qui consiste à souder, en une seule chaude et dans une étampe, sous le choc d'un marteau puissant, toutes les parties de la roue préalablement assemblés à froid, et comprenant le moyeu, les rayons et la jante. L'expérience a démontré l'efficacité du procédé, la qualité supérieure des produits fabriqués.

ROUES ELLIPTIQUES. Nous avons déjà montré à l'article BIELLE que deux ellipses égales tangentes tournant (comme fig. 1) autour de foyers différents demeurent toujours en contact, peuvent se conduire par adhérence sans glissement, la tangente commune faisant toujours des angles égaux avec les rayons vecteurs menés des deux foyers au point de contact. C'est ce que montre bien le seul examen des courbes, ce qui résulte nécessairement de leur seule identité, si elles peuvent adhérer par simple contact, se coller en quelque sorte l'un à l'autre. Ce sont les ellipses primitives qui doivent servir au tracé de roues elliptiques, lorsqu'on a besoin d'un maximum et d'un minimum pendant un tour; maximum égal à $\frac{a}{b}$, minimum à $\frac{b}{a}$, a et b étant les longueurs AH, AS du grand axe.

En faisant jouer à ces ellipses le rôle des circonférences primitives pour tracer les engrenages cylindriques, on obtient le tracé des engrenages elliptiques employés dans diverses machines et dont nous avons donné des exemples à l'article MÉCANIQUE.

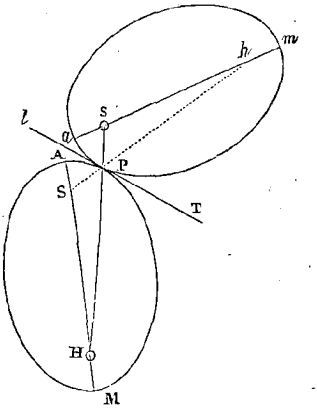


Fig. 1.

Si on a besoin de deux, trois ou plus maxima de vitesses, alternant par suite avec autant de minima pour chaque révolution des axes, on peut facilement faire dériver d'une paire d'ellipses égales des courbes primitives satisfaisant à ces conditions.

D'une manière générale, si un élément de courbe de roulement donné, est contenu respectivement dans les angles θ et φ, d'autres éléments renfermés dans les

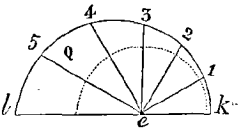


Fig. 2.

angles $m\theta$, $m\varphi$ peuvent être obtenus et se conduire de même en employant les mêmes rayons élémentaires, mais en contractant ou dilatant les petits écartements angulaires de ces rayons dans le rapport de 1 à m. Faisons l'application de cette méthode.

Soit une ellipse (fig. 2) tournant autour du foyer e,

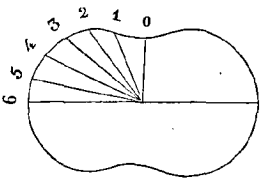


Fig. 3.

menons les rayons $e1$, $e2$, $e3$, ... $e6$, divisons en six parties égales l'espace au-dessus de l'axe, et par conséquent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coupant là courbe à des distances angulaires égales autour du centre.

Soit à construire une courbe dans laquelle les angles faits par les rayons avec la ligne des centres soient diminués de moitié, divisons en six un angle droit et de son sommet comme centre A décrivons des arcs passant par les extrémités des arcs avec des rayons égaux à ceux déterminés sur l'ellipse (fig. 3) jusqu'à leur rencontre avec les lignes de division aux points 1, 2, 3, ...6; par ces points traçons une courbe, elle occupera le quart d'un cercle, et les autres trois quarts peuvent être remplis par des courbes semblables, alternativement retournées, complétant une courbe bilobe.

D'après les propriétés de l'ellipse, la somme des rayons

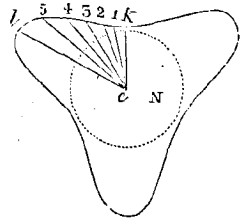


Fig. 4.

correspondants est constante; or la longueur des rayons contractés reste la même. Comme d'ailleurs les angles des rayons elliptiques sont contractés dans la même pro-

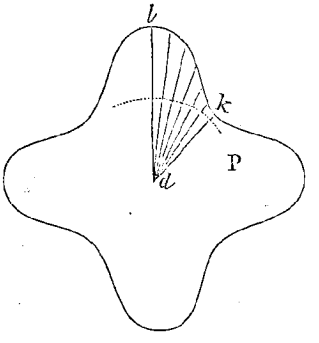


Fig. 5.

portion donnée, chaque paire de rayons opposés arrive en contact en même temps sur la ligne des centres.

Pour construire une courbe à trois saillies (fig. 4), on décrira autour du centre de rotation un cercle qu'on divisera en six secteurs égaux, chacun correspondant à la moitié d'une ellipse. Pour une courbe à quatre saillies (fig. 5), ce sera un huitième de tour et ainsi de suite.

Les courbes obtenues par cette méthode peuvent être employées par paires; bilobe avec bilobe, trilobe avec trilobe et ainsi de suite. Mais elles ne peuvent servir qu'autant que le nombre des saillies est le même dans chaque paire; car alors il est évident que, dans ce cas seulement, les rayons correspondants arrivent en même temps sur la ligne des centres.

Les recherches de M. Holditch (*Cambridge Transactions*, 1838) l'ont conduit à une construction simple qui permet d'obtenir des courbes à saillies multiples telles que les courbes peuvent fonctionner ensemble, quel que soit le nombre des saillies. Je donnerai ici, d'après Willis, la partie pratique de cette construction.

La fig. 6 représente la construction géométrique, et la fig. 7 montre l'ellipse unilobe, la courbe bilobe et la courbe trilobe.

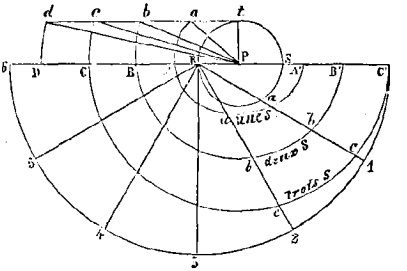


Fig. 6.

Dans la fig. 6, soit P le centre de l'ellipse donnée qui est la base du système. Menons par P une ligne indéfinie passant par les deux foyers R et S, et traçons le grand

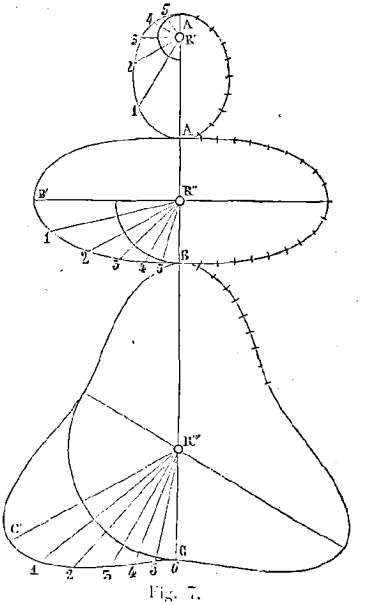


Fig. 7.

axe AA'; avec ces éléments la demi-ellipse peut être construite. D'un des foyers comme centre, et avec un rayon suffisant comme RC' décrivons une circonférence que l'on divise par des rayons en parties égales. Sur le dessin la demi-circonférence a été divisée en six parties seulement, mais pour un tracé exact des courbes on devra employer un plus grand nombre de divisions.

Du centre P et avec un rayon égal à la moitié de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

distance focale traçons un cercle auquel nous mènerons une tangente indéfinie *td* parallèle au grand axe, et autour du centre P et avec le rayon PA = demi-grand axe, traçons un arc de cercle qui rencontre la tangente *td* en *a*. Sur *td* avec la distance constante *ta*, traçons les points *b*, *c*, *d*... et joignons ces points à P par les droites P*a*, P*b*, P*c*, etc., qui seront les hypothénuses d'une série de triangles rectangles, ayant un même côté P*t* = la demi-distance focale de l'ellipse primitive.

A partir du centre P, prenons sur la ligne PD les distances PA = P*a*, PB = P*b*, PC = P*c*, etc.

Ces distances sont les demi-grands axes d'une série d'ellipses concentriques avec des foyers communs R et S. La plus petite AA' se rapporte à la courbe à une saillie, la suivante BB' à une courbe à deux saillies, la troisième CC' à une courbe à trois saillies et ainsi de suite pour une courbe d'un nombre quelconque de saillies. Deux des courbes qu'elles servent à obtenir peuvent rouler ensemble quel que soit le nombre de boucles.

Le mode de construction est représenté fig. 7. Pour une unilobe, l'ellipse est tracée en prenant R' pour centre de rotation, et une circonférence décrite autour de R' est divisée par douze rayons équidistants, dont les longueurs sont celles données par une ellipse AA', fig. 6.

Pour une courbe à deux boucles, dont le centre est en R", chaque demi-boucle est divisée comme précédemment en six angles égaux, et les longueurs des rayons R"B', R"1, R"2, etc., sont prises sur les lignes de la fig. 6, rayonnant du foyer R de l'ellipse B'B, et portées dans le même ordre.

Semblablement la courbe à trois lobes, fig. 7, est divisée d'abord en six angles, renfermant chacun une demi-boucle comme C'R"C, et les longueurs des rayons qui divisent les demi-boucles prises sur l'ellipse qui se rapporte à la courbe à trois lobes.

Comme il a été dit plus haut, les courbes elliptiques obtenues ainsi qu'il vient d'être indiqué, servent à déterminer les formes des dents dont il faut les munir pour déterminer, en surmontant des résistances notables, un mouvement identique avec celui que produiraient les courbes elliptiques par simple contact, sans roulement. On les construit pratiquement comme celles de roues circulaires ayant des circonférences primitives, se confondant sensiblement avec la partie de la courbe considérée.

ROUES HYDRAULIQUES. Voyez HYDRAULIQUE.

ROUISSAGE. Voyez LIN.

ROULEAU COMPRESSEUR. Les routes en empierrement, dans un bon état d'entretien, ont de grands avantages sur les routes pavées; d'une construction moins coûteuse et d'un parcours plus facile, elles se prêtent très-bien aux grandes vitesses que l'on recherche tant de nos jours; aussi sont-elles actuellement presque universellement adoptées.

Dans les anciennes routes en empierrement, on posait sur le sol de larges pierres plates, surmontées de grosses pierres placées de champ; une couche de pierres cassées était répandue sur cette fondation et renfermée entre deux bordures parallèles en pierres de grandes dimensions; le tout formait une chaussée très-dispendieuse à établir et à entretenir, et très-cahotant quand les pierres placées de champ étaient en partie découvertes par l'action du roulage.

Dans le système de Mac-Adam, une des plus grandes inventions du dix-neuvième siècle, on compose simplement la chaussée d'une seule couche de cailloutis dont l'épaisseur varie de 0m,15 à 0m,30 et qui repose immédiatement sur le sol; l'économie qui résulte de la double suppression de la fondation et des bordures compense bien au delà l'augmentation de dépense qui résulte du cassage de la pierre en petits fragments.

Une chaussée neuve à la Mac-Adam composée, comme nous l'avons dit, d'une seule couche de cailloutis, est à peine praticable. Les voitures ne peuvent la parcourir que très-lentement et avec une grande dépense de force. Les roues, qui séparent facilement les éléments mobiles de l'empierrement, creusent des ornières, écrasent et broient une grande partie des matériaux, qui passent à l'état de poussière et de boue, et qu'il faut remplacer successivement par de nouveaux matériaux. Les ornières se reproduisent sans cesse et ce n'est qu'à la longue, après des réparations continuelles et dispendieuses, que les divers éléments de la chaussée mêlés avec les détritus, finissent par se lier et par former une masse résistante et compacte. Cette consolidation de la chaussée attendue longtemps de l'action lente, irrégulière et destructive des roues peut s'opérer directement par des moyens simples et économiques. Notre célèbre ingénieur, Polonceau, fut le premier qui remplaça l'action incertaine des roues des voitures par la pression uniforme d'un lourd et grand cylindre ou *rouleau compresseur*; pour opérer rapidement la consolidation de la chaussée, il eut recours au mélange de pierres dures avec des pierres tendres, des graviers liants et des détritus de vieilles chaussées. Il publia en 1829 un mémoire sur l'application qu'il avait faite de ce procédé dans le département de Seine-et-Oise. Les bons effets de cette méthode ont été constatés en France et à l'étranger, toutes les fois que l'on a rempli la double condition d'une pression suffisante et d'un mélange convenable de matériaux qui puissent se lier facilement; cependant elle ne s'est répandue que très-lentement. En France, on emploie surtout des cylindres très-pesants de 1m,50 à 2 mètres de longueur et d'un grand diamètre, pesant de 7.000 à 9.000 kilogrammes, et d'une manœuvre difficile; en Allemagne on préfère un cylindre plus léger à faible diamètre et d'une manœuvre plus facile; son usage, introduit en France par M. Schattenmann, serait, d'après ce dernier, plus efficace que celui du cylindre pesant, qui écrase en partie les pierres et ne comprime la chaussée qu'à la surface, tandis que le cylindre léger, exerçant une pression près de moitié moindre, mais qui détermine sur toute l'épaisseur de l'empierrement des mouvements ondulatoires qui produisent un enchevêtrement complet des matériaux qui composent la chaussée. Il est sûrement suffisant dans la plupart des cas.

M. Schattenmann porte l'épaisseur de la chaussées dans son axe à 0m,20, avec un bombement de 0m,06 par mètre; le fond de la forme et l'encaissement qui doit recevoir les matériaux est aussi un peu bombé, environ 0m,04 par mètre, afin que l'empierrement conserve une certaine épaisseur jusque sur les bords de la route. Le bombement réduit, auquel on arrive après la compression, est suffisant pour l'écoulement de l'eau quand la chaussée est unie.

L'empierrement peut s'établir sur un sol quelconque, quelle que soit sa nature; cependant, s'il était par trop mou, on pourrait le raffermir un peu par un passage du rouleau compresseur; on place les matériaux, réduits par le cassage à 0m,06 de diamètre, dans le fond de l'encaissement; ceux plus petits sont réservés pour la surface; s'il en reste à la surface qui aient plus de 0m,04, on les casse sur place ou bien on les enlève à la main. Ces matériaux plus ou moins durs, plus ou moins liants, peuvent être rapprochés, enchevêtrés par une forte pression, mais cela ne suffit pas pour qu'ils forment immédiatement une couche compacte et imperméable; il faut nécessairement incorporer dans l'empierrement une matière ténue pour remplir les vides et opérer la liaison de toutes les parties. La consolidation des chaussées par le cylindrage repose sur ce double principe de la compression et du mélange des matériaux avec une matière d'agrégation; cette matière doit être de telle ou telle espèce suivant la dureté des matériaux de l'empierrement et leur facilité à se lier. Avec des ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tériaux durs, sans liant, comme les pierres siliceuses, les granites, les quarz, etc., on prend, pour opérer l'agrégation, la marne, les calcaires tendres, les terres fortes, etc., qui se lient facilement; mais avec des calcaires d'une certaine dureté, on emploie du sable. Enfin, les détritus des chaussées sont, dans tous les cas, une bonne matière agglomérante.

Le rouleau compresseur employé par M. Schattenmann consiste dans un cylindre creux en fonte de 1m,30 de diamètre et de même longueur; aux extrémités de son axe, en fer forgé, sont placés deux coussinets qui supportent un fort cadre, surmonté d'une caisse carrée, qui peut recevoir, en pierres ou en pavés, une charge de 3.000 kilogr.; à l'aide de deux timons assemblés à la charpente du cadre, on peut atteler les chevaux devant et derrière, ce qui dispense de faire tourner le rouleau sur place. A vide, tout le système pèse 3.000 kilog., et à pleine charge 6.000 kilog.

Quand la chaussée est préparée et chargée de cailloutis, on procède au cylindrage qui comprend deux opérations bien distinctes : le compression des matériaux et leur agglomération.

1° La compression est produite par deux tours ou deux passages du rouleau à vide, faisant une charge de 3.000 kil., par deux tours à mi-charge correspondants à 4.500 kil.. et par deux tours à charge entière, ou à 6.000 kil. Pendant ces six premiers tours du rouleau, on est obligé, dans une grande sécheresse, d'arroser les matériaux pour qu'il glissent mieux les uns sur les autres et s'enchevêtrent plus facilement.

2° L'agglomération s'opère en continuant de comprimer avec le rouleau à pleine charge; mais après chaque tour on étend, à la surface de la chaussée, une légère couche de matière liante, sèche, réduite en poudre, et choisie convenablement suivant la nature des matériaux de l'empierrement. Le volume de la matière d'agrégation est d'environ 15 p. 100 du cube des matériaux qui constituent l'empierrement. Six tours de rouleau suffisent dans cette seconde période de la consolidation.

Le cylindrage réduit au minimum de douze tours de rouleau pourra, dans une journée, s'étendre à 200 ou 300 mètres de longueur et couvrir une surface de 1.500 à 2.000 mètres carrés; ce travail s'exécute avec six chevaux sur des routes à pentes ordinaires; on en emploie huit quand les pentes dépassent 0m,04 à 0m,05 par mètre. Le succès de l'opération dépend principalement de la nature de la matière d'agrégation et de son introduction dans l'empierrement; elle doit remplir les vides qui restent entre les matériaux, et les envelopper en partie d'une espèce de gangue qui se consolide en séchant. Quand le rouleau marche pendant la compression, il s'enfonce peu dans l'empierrement, même au premier tour; on remarque seulement en avant une agitation analogue à celle qui a lieu dans un liquide refoulé; la pression de la surface se transmet de proche en proche, les pierres glissent les unes sur les autres, et il se forme une espèce de feutrage; les vides qui existaient d'abord se remplissent en partie par les matériaux eux-mêmes. L'ondulation en avant du rouleau diminue graduellement au fur et à mesure que les pierres se casent et perdent leur mobilité; de là résulte, dans l'épaisseur de la chaussée, une diminution d'environ un sixième pour la meulière cassée, et un peu moindre pour les cailloux roulés.

Le saupoudrage de la matière d'agrégation s'opère partiellement par couches minces, pour qu'elle pénètre facilement dans l'empierrement. Pendant ce travail l'ondulation diminue rapidement; elle s'éteint bientôt, et la matière d'agrégation reste à la surface; c'est le signe certain que l'on peut cesser le cylindrage; cela arrive ordinairement après une douzaine de passages. On répand alors sur la matière d'agrégation restée à la surface de la chaussée une couche de 0m,01 de sable ou de gravier fin, pour couvrir les pierres, amortir l'action des pieds des chevaux, et empêcher les dégradations à la surface et l'adhérence aux roues des matières grasses qui n'ont pas pénétré dans la masse. Dans cet état, il faut encore que la chaussée soit mouillée par la pluie ou par un arrosage abondant; elle peut ensuite être livrée immédiatement à la circulation. Elle n'est cependant pas encore entièrement consolidée; ce n'est qu'après une dessiccation d'environ deux mois que toutes ses parties sont bien liées et qu'elles forment une masse compacte et imperméable. Si, après le cylindrage, il survenait des pluies continuelles et ensuite des gelées, la chaussée se consoliderait difficilement. Il ne faut donc pas entreprendre ces opérations en hiver ou à l'entrée de l'hiver.

Rouleau compresseur à vapeur. — Cette machine consiste en une locomotive routière à très-petite vitesse, une *traction-engine*, dans laquelle le mouvement des pistons se transmet d'un axe mu par la vapeur à deux gros cylindres compresseurs, qui portent tout le système, par l'intermédiaire de fortes chaînes de Galle. En modifiant légèrement le parallélisme des deux cylindres, on peut faire décrire à la machine des mouvements courbes, lui faire suivre la sinuosité d'une chaussée.

Le rouleau ordinaire, attelé de chevaux, a un grand inconvénient pour le cylindrage : les pieds de chevaux, agissant en avant du rouleau, sur un empierrement qui n'est pas encore amené à sa résistance définitive, déplacent les pierres et détériorent la forme que l'on se propose de consolider. La machine à vapeur, avançant lentement sur un empierrement neuf, supprime complétement ce défaut.

Quand une chaussée empierrée est usée, on la recouvre d'une couche de matériaux, que l'on consolide au moyen du rouleau compresseur, en suivant la même marche que pour une chaussée neuve; seulement, dès les premiers tours du rouleau, par un temps pluvieux, ou à la suite d'un arrosage convenable, il faut saupoudrer avec la marne le sable ou les détritus, pour lier promptement les parties de la nouvelle couche entre elles et à la superficie de l'ancienne chaussée, qu'il n'est pas nécessaire de piquer préalablement.

ROUTES. La construction des routes a pour objet de diminuer, autant que possible, les résistances des voitures qui les parcourent, résistances provenant soit du roulement des roues sur le sol, soit de la dépression du sol de la route s'il n'est pas assez résistant, soit enfin de la gravité lorsqu'il y a des pentes à gravir

Pour construire une route, on doit donc : 1° s'occuper de la direction et du tracé; 2° déterminer le profil en long; 3° le profil en travers; 4° le mode d'exécution des terrassements, la construction de la chaussée. Nous allons passer en revue ces différentes parties de la question.

De la direction. On entend par direction l'indication des principaux points que la route doit relier entre eux. Généralement l'administration fixe les deux points extrêmes de la route. Ce sont des considérations ou militaires ou commerciales qui les déterminent. Quand les points à réunir sont séparés par une chaîne de montagnes, la direction la plus avantageuse à suivre n'est pas le plus souvent la ligne droite, la détermination de la direction générale de la route devient d'une extrême importance.

Le plus important dans cette circonstance est de déterminer d'abord le point le plus bas de la chaîne; on ne peut le plus souvent y parvenir par la seule inspection des lieux. Par le nivellement on perdrait beaucoup de temps et on dépenserait beaucoup, sans arriver à un résultat bien certain. Ce n'est que depuis peu que M. Brisson a résolu ce problème, en se fondant sur des considérations de géographie physique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les recherches de ce célèbre ingénieur l'ont amené à cette certitude qu'il existe une relation entre les faîtes des montagnes et les cours d'eau ou thalwegs (thalweg signifie le chemin de la vallée). M. Brisson part de l'observation de la concordance des pentes des montagnes et des thalwegs des cours d'eau formés par les eaux qui coulent sur celles-ci, pour déterminer le point le plus bas du faîte d'une chaîne de montagnes.

On conçoit, en effet, qu'avec une carte bien faite, telle que celle du dépôt de la guerre en France, ou les feuilles de Cassini, on puisse, par les relations qui existent entre les thalwegs qui servent de lit aux ruisseaux, aux rivières, aux fleuves, et qui se trouvent rapportés exactement sur ces cartes, prévoir à priori la position des points les plus bas des chaînes de montagnes qui séparent deux bassins consécutifs; ainsi, puisque les pentes des faîtes et des thalwegs sont toujours situées dans le même sens :

1° Un faîte principal rencontré par plusieurs faîtes secondaires donne un maximum absolu au point de rencontre;

2° Deux thalwegs rencontrant un faîte donnent un minimum relatif;

3° Si deux thalwegs parallèles viennent à diverger dans des sens opposés, on doit trouver un minimum en prolongeant la direction des thalwegs jusqu'au faîte;

4° Deux thalwegs en sens contraire et parallèles présentent toujours sur le faîte un point minimum dans l'intervalle qui sépare les deux sources.

On peut donc, à l'aide de ces considérations, déterminer le point le plus bas d'une chaîne de montagnes : c'est généralement ce point qui devra déterminer la direction de la route, afin de ne pas monter pour redescendre ensuite et pour diminuer la dépense; car l'élévation augmente le développement de la route.

Quand la direction générale d'une route est ainsi déterminée par les considérations administratives ou de géographie physique, on doit s'occuper de déterminer les points intermédiaires. Cette détermination constitue le tracé : nous allons nous en occuper.

Du tracé. 1° Si le sol est plat et si le terrain n'a dans aucune partie une pente plus considérable que celle que l'on a adoptée comme limite, et s'il ne se trouve aucun obstacle au tracé en ligne droite, on l'adopte; 2° quand le sol est accidenté et qu'un tracé en ligne droite exige l'achat de propriétés importantes ou de constructions particulières, on étudie un tracé brisé de manière à éviter une partie de ces inconvénients : on doit toujours, dans ces tracés, chercher le trajet le plus court et le sol le plus favorable à l'établissement de la route; 3° si le sol est très accidenté, il faut, pour exécuter le tracé, un nivellement et un plan; 4° dans les montagnes, on suit les vallées en évitant les inondations, et l'on descend d'un faîte dans la vallée en suivant le versant d'une chaîne secondaire.

Détermination du profil en long. Dans le cas où l'alignement est rectiligne, le problème est toujours facile à résoudre : on peut d'un des points apercevoir l'autre, et alors avec des jalons on trace la ligne. Si d'un point intermédiaire on aperçoit les deux autres, on emploie encore les jalons, et on tâtonne leur place définitive jusqu'à ce que l'on arrive à faire passer un alignement par les deux points donnés. Enfin, si des obstacles cachent les points à la vue, on rattache ces deux points en levant un plan sur lequel on les rapporte.

Quand deux alignements rectilignes se coupent, ils sont toujours réunis par une courbe d'un rayon suffisant.

Dans le profil en long, on doit surtout avoir en vue l'économie de la force motrice, et, à cet effet, chercher à concilier les deux conditions, d'obtenir en même temps des pentes très douces et une longueur minimum. Ces conditions, auxquelles on ne peut souvent satisfaire d'une manière absolue qu'au prix de terrassements et de travaux considérables, forment des limites dont on se rapproche en raison de l'importance de la route. On ne doit pas admettre, en tous cas, de pente maximum de plus de $0^m,07$ par mètre pour ne pas accroître dans une trop forte proportion la fatigue du cheval, ou le poids utile qu'on peut lui faire traîner. Pour l'écoulement des eaux, il ne faut pas que la pente minimum soit moindre que 0,02.

Profils en travers. Quand le profil en longueur est terminé, on fait le levé d'autant de profils en travers qu'il est nécessaire pour connaître en chaque point la disposition du terrain qui doit recevoir la route, et sur ces mêmes profils, en travers du terrain, on dessine le profil en travers de la route.

Deux profils consécutifs étant tracés, il faut pouvoir déterminer le volume de déblais ou de remblais nécessaires pour obtenir la route projetée; on considère la surface du terrain et celle du projet comme engendrées par des droites s'appuyant à la fois sur les profils en travers et restant parallèles au plan vertical passant par l'axe; on fait les profils en travers assez rapprochés pour que l'on puisse admettre sans erreur sensible que la droite génératrice se confond toujours avec le terrain.

La route peut, par rapport au sol, être :

1° *Au niveau du sol.* Son établissement se réduit alors à la construction de la chaussée et au creusement de fossés latéraux pour recevoir les eaux pluviales qui y parviennent par suite de la forme bombée de la route;

2° *En remblai*, c'est-à-dire établie sur des terres rapportées. La surface supérieure n'a que la largeur nécessaire pour la chaussée et les accotements, que l'on doit garnir de garde-fous pour prévenir les accidents;

3° *En déblai*, c'est-à-dire enfoncées dans le sol. Dans ce cas la route doit être munie de fossés qui reçoivent les eaux des talus du déblai. Si la place manque et que la pente soit assez forte, on peut se contenter de simples ruisseaux disposés au pied des talus ou des déblais;

4° Enfin, *partie en déblai, partie en remblai;* c'est toujours ainsi que s'établit une route qui gravit le flanc d'une montagne. Les parties déblayées sur l'un des côtés de la route servent à remblayer l'autre partie. Dans ce cas la chaussée, au lieu d'être bombée, doit être inclinée en allant du remblai vers le déblai, afin d'éviter les accidents.

Déblais et remblais. Supposons d'abord que les profils soient en remblais ou en déblais, il sera facile de déterminer le volume en menant des plans verticaux parallèles à l'axe de la route, de manière à diviser le volume total en un certain nombre de volumes partiels dont on pourra regarder toutes les surfaces comme planes, il sera facile de cuber le solide. Si l'un des profils est en déblais, l'autre en remblais, les intersections des génératrices formant la surface de la route avec la surface du terrain donnent la ligne de séparation entre le déblai et le remblai, et les solides à cuber sont sensiblement des pyramides triangulaires tronquées. On agit ici, pour opérer la cubature, comme dans le cas précédent, on divise le tronc de pyramide de manière à faire le moins d'erreurs possible.

Enfin, si les profils sont partie en déblais, partie en remblais, on retombe évidemment dans les cas précédents que nous avons déjà examinés.

Dans un projet, on fait rapidement le calcul des déblais et remblais : le calcul exact serait trop long, on ne fait ce calcul avec exactitude qu'au moment où le projet est adjugé. Ce calcul sert à établir le compte de l'entrepreneur et se fait en sa présence, et alors on doit indiquer sur les dessins les diverses natures de terrain; car la fouille varie de prix avec la nature du sol.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous ne nous occuperons point ici d'évaluer les distances de transport des terres qui proviennent des déblais au point où elles doivent servir de remblais ; nous rappelons seulement que cette question, qui est toute administrative, exige les soins de l'ingénieur qui dirige les travaux. Elle influe puissamment sur le prix de revient de la route, et l'on doit s'efforcer de disposer le travail de manière à faire les transports les moins longs qu'il est possible.

Les différents modes de transport sont rappelés dans le tableau suivant, avec le prix du transport pour une certaine distance :

	mètres	fr. cent.
1 mètre cube de terre transporté à la brouette à une distance de. .	30	coûte 0,10
1 mètre cube de terre transporté au camion à la distance de. . . .	90	— 0,18
1 mètre cube de terre transporté au tombereau à une distance de. .	90	— 0,24
1 mètre cube de terre élevé au bouriquet à une distance de. . .	4,95	— 0,50
1 mètre cube de terre transporté sur chemin de fer par des chevaux à une distance de.	100	— 0,16
1 mètre cube de terre transporté sur chemin de fer par une locomotive à une distance de.	100	— 0,26

Généralement on emploie les brouettes jusqu'à 100 mètres; puis vient le camion jusqu'à 132 mètres; à 132 mètres jusqu'à 200, on se sert d'un seul tombereau; à 200 mètres, on en prend deux, et ainsi de suite. On augmente le nombre des tombereaux avec la distance.

Construction des chaussées. Les chaussées sont, ou formées de matériaux réguliers et volumineux, et prennent alors le nom de chaussées pavées, ou bien de matériaux, sans forme déterminée, enchevêtrés les uns dans les autres ; dans ce dernier cas, on les appelle chaussées en empierrement.

Chaussées pavées. Les matériaux que l'on emploie pour l'exécution des chaussées pavées sont les grès, le granite, le basalte, le porphyre, le schiste et la pierre calcaire. Tous ces matériaux sont taillés en forme cubique; les cailloux roulés, que l'on emploie quelquefois, se posent tels qu'ils sont. Quelle que soit la nature des pavés formés avec ces matériaux, ils reposent tous sur une couche de sable de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur. Sur les routes, les pavés sont maintenus contre le mouvement latéral par des pavés de plus grande dimension que l'on nomme bordures. Lors de la construction d'une chaussée on commence par faire un encaissement qui permette de recevoir le sable et les pavés, on dispose les pavés par rangées perpendiculaires à l'axe de la route, et toujours on apporte le plus grand soin à croiser les joints. On doit placer du sable dans les joints, puis au-dessus de l'ouvrage, quand le pavage est terminé ; cet ensablement a pour but de terminer les garnitures des joints. Ces joints ont généralement $0^m,02$ à $0^m,025$ d'épaisseur, à cause des faces bombées qu'ils présentent. Après la pose et avant l'ensablement de la surface, la chaussée est dressée avec soin en frappant successivement sur chaque pavé avec un hic de 35 à 40 kil. Voyez PAVAGE.

Quand les eaux doivent s'écouler au milieu des rues, on doit établir la chaussée avec des pavés creusés, ayant une longueur égale à un pavé et demi ; de cette manière le pavage dure longtemps et les eaux s'écoulent facilement.

Chaussées en empierrement. Les chaussées en empierrement se construisent de diverses manières, suivant la nature du sol qu'elles doivent recouvrir.

Si le sol est peu consistant, on place au fond de l'encaissement des pierres plates destinées à soutenir la chaussée. Sur ces pierres plates on pose des pierres qui ont environ $0^m,15$ à $0^m,20$ de hauteur, et les joints qu'elles présentent sont remplis par de petits cailloux qui forment la surface de la route. Les bordures de ces routes sont formées par des matériaux irréguliers que l'on pose toujours sur leur face la plus large pour leur donner plus de stabilité.

Quand le terrain est assez bon il est inutile d'employer les pierres plates ; on pose directement sur le sol les pierres, de $0^m,15$ à $0^m,20$, entre les interstices desquelles s'enchevêtrent les petits cailloux.

Si le sol est très bon, il peut suffire de répandre sur le sol une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,20$ de petits cailloux.

Les principaux matériaux employés à la construction des chaussées en empierrement sont le muschelkalk, le calcaire dur et le silex argileux. La partie supérieure est, dans tous les cas, formée de petites pierres, dont la plus grande dimension n'excède jamais $0^m,06$.

Dans le cas d'un mauvais terrain, on consolide le sol par deux lits de fascines placés perpendiculairement. Cette disposition assèche la route et empêche les tassements partiels.

Si la chaussée est dans un sol de glaise, il faut faire des pierrées de distance en distance qui aboutissent à la forme dans les fossés par les lignes de plus grande pente, le but de ces pierrées est d'empêcher les eaux pluviales de séjourner dans la forme. Ces pierrées sont de petits canaux formés de pierres espacées de $0^m,10$ à $0^m,20$, et reconvertes par des pierres plates.

Dans les pays de montagnes, les eaux qui s'écoulent en abondance sur les routes les détériorent rapidement. On évite cet effet en construisant de distance en distance des espèces de bourrelets, appelés écharpes, qui forcent les eaux à s'écouler dans les fossés. Si les descentes sont très longues et que la pente soit de plus de $0^m,02$ par mètre, on dispose les fossés en gradins, pour éviter les effets de la grande vitesse que les eaux ne tarderaient point à atteindre.

Chaussées à la Mac-Adam. Un important perfectionnement a été apporté à la construction des chaussées en empierrement par l'invention de ce système aujourd'hui employé presque exclusivement. Il consiste principalement dans l'emploi de pierres cassées sur une épaisseur de $0^m,15$ à $0^m,30$ suivant le poids des voitures. Des cailloux cassés placés sur une aussi grande épaisseur forment une route qui ne se laisse pas pénétrer par les roues, et, s'appliquant également sur toute la surface du sol, rendent toute fondation inutile. A l'ouverture d'une route neuve il faut avoir soin de réparer les ornières qu'y font nécessairement les premières voitures, avant que les matériaux ne soient bien liés.

On obtient une liaison plus intime encore en mélangeant avec les cailloux brisés du sable fin ou mieux des pierres très tendres, comme l'a proposé M. Polonceau. En effet, les pierres cassées ne se touchant que par un petit nombre de points, les angles seront détruits par la pression des roues des voitures, et il se produira pendant longtemps des dépressions et des ornières. Mais si les vides sont remplis la route fera un tout solide d'une grande résistance.

La chaussée exécutée avec un mélange de pierres dures et tendres peut être comparée, dit M. Polonceau, à un banc de pierres de dureté moyenne, en forme de brèche, dans laquelle la pierre tendre forme la gangue ou le ciment général qui enveloppe et lie les fragments de pierre. A ce système se lie avec grand avantage, pour rendre la voie immédiatement excellente, l'emploi de ROULEAUX COMPRESSEURS destinés à mettre les matériaux à leur place, à former la route que les voitures ne pourront plus entamer. Ces rouleaux en fonte, de $1^m,50$ de largeur, 2^m de diamètre, chargés de 6 à 8000 kil., passant à plusieurs reprises sur les chaussées, forcent les pierres à s'enchevêtrer les unes dans les autres, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en ayant soin d'arroser en même temps la route à grande eau, les matières fines entrent dans tous les interstices qui sont restés vides. On obtient un tassement suffisant en cylindrant chaque partie de la chaussée 12 ou 15 fois.

Comparaison des diverses routes. La résistance au roulement paraît pouvoir être évaluée sur les chaussées sèches et en bon état, et pour nos voitures habituelles de roulage, à 1/50 du poids sur les routes pavées et à 1/35 à 1/40 sur les routes en empierrement.

La chaussée pavée a donc un notable avantage sur la chaussée à empierrement, sous le point de vue de la traction; cependant sur cette dernière il n'y a point de chocs, les voitures fatiguent moins : le frottement de roulement des voitures est plus considérable, parce que la chaussée est moins dure et se laisse toujours pénétrer par les roues.

Quand la vitesse est considérable, les bonnes routes en empierrement deviennent plus avantageuses à cause de l'absence des chocs, comme l'ont démontré les expériences de M. Morin.

Entretien des routes. Nous nous occuperons d'abord des routes pavées, leur entretien consistant en *relevé à bout* et en *entretien simple.*

Le relevé à bout s'exécute en démontant une portion de chaussée. On enlève la forme mélangée de terre, puis on la remplace par du sable neuf, et on établit sur cette nouvelle forme un pavage formé de pavés neufs en partie, et d'anciens pavés dont les dimensions sont encore convenables.

L'entretien simple a pour but de remplacer les pavés cassés et à relever les parties du pavé qui sont enfoncées (flaches). Ce travail exige autant de soin que le relevé à bout pour le travail de la forme et le choix des pavés.

Dans Paris, les relevés à bout s'exécutent dans les quartiers les plus fréquentés de six en six ans; quelquefois, pour les parties exécutées sur mauvais terrain, de trois en trois ans. Dans certaines rues peu fréquentées on est quelquefois vingt ans avant d'exécuter un relevé à bout.

On ne peut rien dire pour l'entretien simple, ce travail est pour ainsi dire de tous les instants. A Paris il est confié à des entrepreneurs qui en acceptent la responsabilité.

Chaussées en empierrement, leur mode d'entretien. Ce n'est que depuis peu de temps qu'on a établi en France un système d'entretien convenable pour ces chaussées; on a d'abord satisfait à ces deux conditions indispensables :

1° L'établissement sur la route d'ouvriers, toujours disposés à l'exécution des travaux;

2° L'approvisionnement des matériaux sur les accotements.

Autrefois l'entretien des chaussées consistait à recharger les chaussées à l'arrivée de l'hiver, et à mélanger ainsi les pierres avec la boue qui couvrait la route. Aujourd'hui, grâce à l'influence des beaux résultats des routes macadamisées, on ne recharge que les parties détériorées de la route et sur de fortes épaisseurs; le travail des cantonniers consiste surtout à enlever la boue après les moments de pluie, à faire écouler les eaux, enfin à combler les ornières.

Pour que la surveillance des travaux soit rigoureuse, les cantonniers, chefs des ouvriers, sont surveillés par des piqueurs, qui le sont eux-mêmes par les conducteurs, et ces derniers par les ingénieurs. GIBON.

RUBIS. On distingue deux sortes de rubis, le rubis proprement dit ou *rubis oriental* et le *rubis spinelle.* Le rubis oriental appartient au genre *corindon* ou *télésie;* c'est de l'alumine sensiblement pure, colorée en beau rouge par de l'acide chromique. C'est le plus dur des corps connus après le diamant, et sa valeur est souvent égale et même quelquefois supérieure à celle de cette dernière pierre précieuse; sa densité est de 3,9 à 4,3. Le rubis spinelle est un composé d'alumine et de magnésie dont la densité est de 3,6 à 3,7 et beaucoup moins estimé que le précédent; on donne le nom de *rubis balai* à une variété de rubis spinelle de qualité inférieure. On donne aussi le nom de rubis à plusieurs pierres précieuses rouges moins estimées que les précédentes; ce sont : 1° le rubis du Brésil ou *topaze rose,* colorée naturellement ou artificiellement au moyen de la chaleur; 2° le rubis de Bohême ou *grenat pyrope;* 3° le rubis de Sibérie ou *tourmaline rouge.*

S

SABLE. On désigne sous le nom de sable les fragments de rochers réduits en particules très petites et parmi lesquelles domine la silice, car les calcaires purs se réduisent en boue ou en poussière par le frottement.

Les sables forment le lit des rivières traversant les pays de formation siliceuse ou granitique; on les appelle alors sables de rivière; on en trouve aussi de grands amas et même des contrées dont le sol est entièrement formé de sables dit sables de carrière.

La propriété des sables de répartir également la pression, d'avoir, par la petite dimension de leurs éléments, des propriétés en quelque sorte voisines de celles des liquides, les fait employer fréquemment dans les constructions. C'est ainsi qu'ils servent dans le pavage et surtout pour le ballastage des chemins de fer. Répandus sur la voie, ils forment un sol sec, compacte et résistant.

Nous avons parlé à divers articles des usages fréquents des sables et de l'exploitation des matières métalliques qui se trouvent quelquefois mélangées avec eux. Voyez FONDERIE DE FER, MORTIER, POTERIES, OR, etc.

SABOT. Armature en fer dont on garnit la pointe des pieux et pilotis qui doivent être enfoncés dans le sol à de grandes profondeurs. Elle a pour but de frayer un passage à la pointe du pieu et de l'empêcher de s'émousser.

SAFRAN. Les stigmates de la fleur du *crocus sativus,* connus dans le commerce sous le nom de safran, sont employés comme couleur d'origine végétale et nullement nuisible à colorer en jaune, particulièrement par les confiseurs et dans la préparation de quelques aliments.

SAFRE. Voyez COBALT.

SAGOU. Espèce d'amidon tirée de la moelle des rameaux du sagou, arbre qui croît aux Moluques et aux Philippines. Après avoir été séparé par lévigation comme la fécule, le sagou est séché rapidement sur le feu dans une bassine de cuivre. Il s'emploie pour la confection des potages.

SALEP. Espèce d'amidon extraite de racines de plantes de la famille des *orchidées.* Très-renommée dans le Levant, elle vient surtout de la Perse et de l'Asie Mineure, s'emploie comme substance alimentaire sous forme de bouillie préparée soit avec de l'eau, soit avec du lait.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SALIN.

SALIN DE BETTERAVE. A l'article POTASSE, on a parlé de son extraction des cendres de bois. L'industrie du sucre de betteraves fournit aujourd'hui une quantité considérable de cette précieuse substance, car la betterave a une puissance singulière d'absorption pour les sels, de telle sorte qu'elle renferme en moyenne 3,5 pour 100 de matières minérales, parmi lesquelles dominent principalement les sels de potasse.

On voit, par cette simple donnée, de quelle utilité il peut être de recueillir ces sels, dont la valeur vénale est toujours assez élevée. Nous avons vu, en 1856, dit M. Basset, dans une distillerie assez importante, du salin de potasse provenant des mélasses, fort gris et impur, se vendre 45 f. les 100 kilogrammes. Ce chiffre donne encore 15 fr. 75 c. *brut* par 1,000 kilogrammes de betteraves, et l'on ne doit pas négliger un semblable moyen de diminuer le prix de revient de la matière première.

Vinasses. — Évaporation. — Lorsqu'on a soumis les mélasses fermentées à la distillation, le résidu liquide, dépouillé de l'alcool par la distillation, porte le nom de *vinasse*. Ce liquide marque 3° à 4° au pèse-sirop de Baumé, et il renferme tous les sels solubles de la betterave. Il ne s'agit que de le soumettre à une évaporation méthodique pour les retirer dans un état plus ou moins grand d'impureté.

Première opération : Concentration. — Cette opération peut se faire de plusieurs manières. La plus économique et celle qui nous paraît la plus véritablement industrielle consiste à utiliser les vapeurs perdues de l'usine pour obtenir ce résultat.

Que les surfaces d'évaporation servent à refroidir et à condenser des vapeurs alcooliques ou autres, que le calorique perdu, ou l'air chaud, la fumée, soient obligés de passer dans un intervalle ménagé sous les caisses d'évaporation, et de produire ainsi la concentration des vinasses, on aura réalisé une économie notable, et l'on se trouvera placé dans les véritables conditions manufacturières.

La seconde méthode consiste à appliquer aux *salins* de mélasse les dispositions et les appareils usités pour la fabrication de la soude.

A cet effet, la vinasse épuisée, sortant de l'appareil distillatoire, se rend par un caniveau dans un bac ou réservoir d'une capacité suffisante. De là, soit directement, soit par une pompe ou un monte-jus, elle est transportée dans un réservoir d'alimentation A (fig. 1).

De ce réservoir la vinasse est dirigée régulièrement

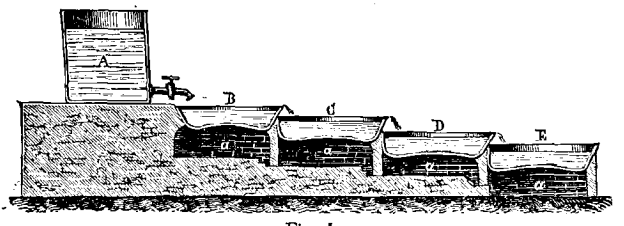


Fig. 1.

dans une série de chaudières d'évaporation à fond bombé B, C, D, E, etc., chauffées par un seul foyer dont la flamme parcourt le dessous des appareils de concentration en se rendant à la cheminée. Ces chaudières sont, d'ailleurs, disposées en étages, de façon à pouvoir déverser le trop-plein de l'une dans l'autre, comme l'indique la figure ci-dessus. Il est évident que le nombre de ces chaudières n'est pas limité à trois ou quatre, et que l'on doit se baser seulement sur le temps dépensé par l'opération et sur le degré de concentration que l'on veut obtenir.

Une série de cinq chaudières suffit à amener rapidement la vinasse à 26° B. dans le dernier de ces appareils.

Lorsque la vinasse a atteint ce degré de concentration, elle a déjà laissé déposer dans les chaudières une notable partie du sulfate de chaux qu'elle tenait en dissolution ; on la fait écouler par un robinet adapté à la dernière chaudière, et elle se rend dans un *bac à rafraîchir*, où elle achève de s'en débarrasser à peu près complétement. Il est bon d'avoir trois de ces bacs ou réservoirs, afin que, l'un étant en *remplissage*, un autre soit au *repos* ou en précipitation, et le troisième en *vidange*, pour la seconde opération que nous allons décrire succinctement.

Deuxième opération : Calcination. — Pour opérer cette phase du travail, on emploie industriellement le four à sonde dont la figure 2 représente une coupe ver-

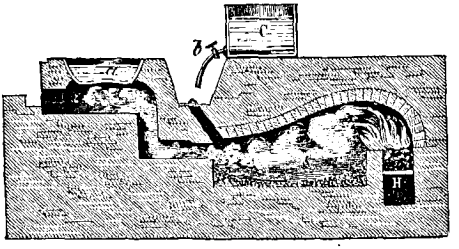


Fig. 2.

ticale. Les liquides, concentrés à 26° B. et débarrassés de la presque totalité du sulfate de chaux par le repos dans les bacs, sont dirigés dans le réservoir C auquel se trouve adapté un robinet *b* qui les conduit à volonté dans un tube en fonte, à l'aide duquel on peut le faire arriver à l'extrémité postérieure de la sole du four.

Cette sole S présente une concavité très-marquée, sur laquelle on a disposé préalablement une couche de salin sec fortement tassé et battu. Cette mesure a pour but d'empêcher que la sole ne se détériore trop promptement sous l'action de la solution alcaline.

Le combustible, qui est du coke, seul le plus souvent, ou mêlé de menu de houille, selon les cas et dans un but d'économie, est enflammé sur la grille H, et la température du four est portée jusqu'au rouge naissant bien nettement caractérisé.

La cheminée, qui entraîne les produits gazeux de la combustion, passe sous les chaudières à évaporer EDCB (fig. 1), et fournit une température suffisamment élevée pour que la concentration des vinasses s'y fasse promptement.

Lorsque la température du four est au point convenable, on enlève le couvercle du conduit en fonte, et on ouvre le robinet *b* du réservoir ; le liquide arrive sur la sole, où la forte chaleur qu'il rencontre lui fait éprouver un boursouflement assez considérable. La matière s'étend progressivement sur toute la sole, où elle se dessèche en peu de temps. Les matières organiques qui y sont contenues s'enflamment alors et brûlent complétement, surtout si l'on a soin d'agiter la masse et de la diviser avec un râble en fer, afin de mettre les surfaces en contact avec l'air, et de donner au produit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une forme granulée qui favorise la combustion. On a eu soin d'arrêter l'écoulement du liquide lorsque, la sole étant à peu près *remplie*, les portions de salin les plus rapprochées de l'autel commencent à prendre l'état pâteux.

Quand la matière est bien sèche, blanche et bien granulée, on la rapproche d'une ouverture latérale par laquelle on en opère l'extraction. On l'embarille après refroidissement, si l'on peut la vendre sous cette forme, qui est celle de salin brut.

Dans le cas où l'on veut faire l'épuration de ce produit, ce qui est évidemment le plus avantageux, il est inutile de pousser la calcination aussi loin. On l'arrête donc lorsque la matière est bien sèche, et l'on procède à l'extraction pour l'envoyer au lessivage ou à la dissolution méthodique.

Raffinage. — Le raffinage du salin brut est analogue à celui du salpêtre ; des lessivages méthodiques et l'utilisation des solubilités relatives des divers sels permettent d'obtenir le produit principal et le plus recherché, le carbonate de potasse.

D'une manière générale, et indépendamment des variations dues à la nature des divers sols, par l'effet des récoltes antérieures de betteraves qui diminuent la richesse du sol en alcalis assimilables, les salins bruts renferment en moyenne :

3 à 5	pour 100	de sulfate de potasse.
18	—	de carbonate de soude.
20	—	de chlorure de potassium.
30 à 35	—	de carbonate de potasse.

Le salin est d'abord lessivé méthodiquement ; le faible résidu insoluble, et toujours très-faible, est formé de sels de chaux, précieux pour l'amendement des terres.

Le liquide fourni par le lessivage marque 30° Baumé; on le concentre jusqu'à 42° dans des chaudières plates en tôle ; après l'avoir amené à ce point, on l'abandonne au refroidissement dans des cristallisoirs. Dans les premiers moments, il se dépose du sulfate de potasse que l'on enlève ; puis, ce premier dépôt effectué, il se forme contre les parois une abondante cristallisation de chlorure de potassium. L'eau-mère subit ensuite une nouvelle concentration jusqu'à 50° ; portée de nouveau aux cristallisoirs, elle fournit de beaux cristaux d'un carbonate double de potasse et de soude, renfermant environ deux tiers de son poids de carbonate de potasse et un tiers de carbonate de soude.

Les eaux-mères d'où ce sel double s'est déposé ne renferment plus alors que de faibles quantités de sels de soude ; on peut, par plusieurs cristallisations successives les en débarrasser plus complétement ; puis on les concentre et on les calcine dans des fours à réverbère pour transformer les résidus en potasse perlasse.

Quant au carbonate double de soude et de potasse, on le redissout dans une petite quantité d'eau chaude ; celle-ci se charge en carbonate de potasse, tandis que la presque totalité du carbonate de soude reste insoluble. Les solutions potassiques ainsi obtenues sont réunies aux eaux-mères dont nous venons de parler.

Le chlorure de potassium, le sulfate de potasse et le carbonate de soude, séparés par des cristallisations successives, sont lavés à courte eau, puis desséchés et livrés au commerce.

SALINE. Voyez MARAIS SALANTS et SEL GEMME.

SALPÊTRE. Voyez NITRE et POUDRE.

SANTAL. Bois rouge provenant du *pterocarpus santalinus*, qui croît à Ceylan et sur la côte de Coromandel. Il sert dans la teinture. Voyez TEINTURE.

SANDARAQUE. Résine provenant du *thina articulata*, arbrisseau de la famille des conifères, croissant dans le nord de l'Afrique. Elle est employée en poudre pour empêcher l'encre de s'étendre sur le papier dont la surface collée a été enlevée par le grattoir. Elle entre aussi dans la composition de quelques vernis.

SANG. Le sang, composé essentiellement de fibrine, a été longtemps employé dans les raffineries de sucre et autres, pour clarifier les sirops dont il enlève toutes les impuretés en formant comme un réseau en se coagulant. Aujourd'hui le sang de bœuf, qui n'est plus employé à cet usage, est desséché dans les abattoirs (voyez ÉQUARRISSAGE) et forme un ENGRAIS très-énergique sous un petit volume, très-convenable pour les cultures riches et spécialement pour la canne à sucre.

SANG-DRAGON (*angl.* dragon's blood, *all.* drachenblut). Résine d'un brun-rouge en morceaux, d'un rouge brillant en poudre. Provient de plusieurs arbres et notamment du *dracæna draco*, du *pterocarpus draco*, etc. S'emploie pour colorer certains vernis de térébenthine, pour préparer une laque rouge, etc.

SANGSUE. Voyez *Complément*.

SANGUINE. Variété de fer oxyde rouge. Voyez BRUNISSOIR, CRAYONS, FER.

SAPHIR. Le saphir oriental est une pierre précieuse, appartenant à l'espèce *corindon* ou *télésie*, et composé presque exclusivement d'alumine pure comme le RUBIS, dont il ne diffère que par sa couleur qui est bleue ou blanche, et par son prix moins élevé. On a aussi improprement donné le nom de saphir à plusieurs autres pierres bleues de moindre valeur, telles que la *tourmaline bleue* du Brésil, la *chaux fluatée bleue*, le *quartz bleu* de Bohême, et le *disthène bleu* du Saint-Gothard. Le *saphir d'eau* est un silico-aluminate de magnésie, qui vient de l'île de Ceylan et qui appartient à l'espèce *cordiérite* ou *dichroïte*.

SAPIN. Voyez PIN.

SARRASIN. Le *sarrasin* ou *blé noir* est une plante de la famille des céréales, dont le grain est surtout employé pour la nourriture des animaux de basse-cour. Dans quelques contrées pauvres, il est réduit en farine et transformé en galettes qui servent à l'alimentation des habitants. Voyez AGRICULTURE.

SAS. Voyez CANAL et ÉCLUSE.

SATIN. Nous dirons à l'article TISSAGE comment est formé le satin, comment le passage du fil de la trame sur un certain nombre de fils de la chaîne, lui donne un éclat incomparable.

Nous ne parlerons pas ici du satin par excellence, de l'étoffe de soie d'un éclat admirable, qui a donné son nom à ce genre de tissu, mais seulement de quelques satins de laine moins connus.

Le *satin français* créé à Amiens, est un satin de 7; le métier à tisser est monté de telle manière que 7 fils de chaîne passent dans chaque broche. La chaîne, composée de 1/10 de soie grège et de 9/10 de laine mérinos ou autres suivant la qualité, fait l'endroit. La trame est une bourre de soie du n° 50 au n° 60. Ce tissu est d'une grande solidité.

Satins anglais. — La cherté de la soie fait faire des tissus analogues au précédent, dits satins anglais, dont la trame est en coton.

SATINAGE. Quand les feuilles de papier ont été imprimées, elles restent ondulées du fait du foulage qu'a exigé l'impression et qu'il faut absolument faire disparaître pour les beaux livres.

A cet effet, chaque feuille, suffisamment séchée est placée entres deux cartons à surface bien lisse, et une pile formée de feuilles et cartons ainsi alternants, est soumis à l'action d'une presse énergique pendant 12 heures habituellement. Les grandes presses, les presses à toc et autres, ont à peu près disparu des ateliers, devant la presse hydraulique, bien plus pressante et d'un maniement plus facile.

Le gaufrage du papier disparaît ainsi complétement et sa surface devient lisse et brillante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SAVONS.

SAVONS (*angl.* soap, *all.* seife). HISTORIQUE. Le savon, c'est-à-dire la combinaison de substances grasses et alcalines propre à former une émulsion éminemment détersive, tout en évitant l'action destructive des alcalis purs, paraît avoir été connu depuis les temps historiques les plus reculés. Il est certain que son usage était très-répandu chez les Romains. Une savonnerie, trouvée dans les ruines de Pompeï, en fournit une preuve péremptoire.

Le savon des Romains était plutôt une préparation détersive et émulsive qu'un véritable savon ayant une composition constante et déterminée. Ce peuple, qui a longtemps tenu dans ses mains victorieuses les destinées du monde, fut aussi un initiateur des arts qu'il propagea avec ses conquêtes. Les anciens obtenaient, paraît-il, le savon par des moyens très-divers: mais, d'après le témoignage de Pline, le procédé le plus usité chez les Romains consistait à faire bouillir la matière grasse avec une lessive de cendre végétale. Jusqu'au huitième siècle, le suif et les graisses animales furent les seules matières qui intervinrent dans la préparation de ce produit; mais à partir de cette date, — et c'est une époque remarquable dans l'histoire des progrès de la savonnerie, — on y substitua l'huile d'olive qui seule pouvait donner avec la lessive de soude, que l'on commençait à employer, un savon homogène, d'une consistance ferme et d'une odeur agréable.

Les peuples du midi de l'Europe eurent le privilége d'exploiter les premiers cette industrie naissante; et jusqu'au moyen âge le savon était plutôt un objet de luxe que de nécessité. L'Espagne, l'Italie, la France en furent les principaux centres. Les traditions connues sont assez incertaines et confuses sur ses développements ultérieurs pendant une période de plusieurs siècles. C'est très-probablement aux Espagnols que nous devons les premières fabriques de savon qui furent érigées à Marseille dès le douzième siècle; il est, en effet, à remarquer qu'antérieurement à cette époque l'Espagne possédait déjà un certain nombre de savonneries à Alicante, à Valence, à Séville, à Carthagène; et dans ce magnifique pays se rencontraient à la fois les deux éléments constituants des savons: c'est-à-dire, le précieux végétal qui produit l'huile et la plante alcaline qui fournit la soude.

Mais c'est à Marseille, l'antique et industrieuse cité Phocéenne que cet art, encore très-imparfait, a subi les modifications lentes et progressives qui l'ont amené au degré de perfection qu'on lui connaît. Cette ancienne capitale de la Provence a toujours, en effet, fabriqué les plus belles et les meilleures espèces de savon d'huile. Cependant, comme toutes les grandeurs de ce monde, le savon phocéen a aussi éprouvé les vicissitudes de la fortune et l'instabilité des choses humaines. Les fabriques de Venise et de Savone, dont la production était devenue considérable et les produits excellents, lui firent jusqu'au dix-septième siècle une rude concurrence sur les marchés étrangers et même en France. Mais à partir de cette époque, les savonniers marseillais parvinrent par leur activité à reconquérir la suprématie qui leur avait été ravie et qu'ils ont conservée depuis.

Les progrès de cette belle industrie se lièrent d'ailleurs en France avec le développement de la richesse publique, qui fut elle-même une des conséquences du progrès des arts. Au dix-huitième siècle l'emploi du savon pour le blanchiment des toiles écrues vint lui donner un nouvel essor. L'application ultérieure du chlore à la décoloration des textiles végétaux ne modifia pas la situation de nos savonneries, car déjà à cette époque le savon était devenu un produit de première et indispensable nécessité pour notre pays.

Un fait qui mérite d'être signalé, c'est que jusqu'au commencement du dix-huitième siècle, la potasse était généralement employée dans toutes les opérations des arts qui exigeaient un alcali fixe. La soude n'intervenait que dans la fabrication des savons durs. A cette époque récente le natrum, la barille et les salicors dont la culture avait pris de grands développements sur notre littoral méditerranéen, et particulièrement sur le territoire d'Arles, constituaient les sources où le commerce s'alimentait de cet alcali. La production, quoique stimulée par l'intérêt général, avait cessé depuis longtemps de s'équilibrer avec le mouvement ascendant du progrès industriel qui s'est révélé avec tant de puissance au commencement du siècle. Il convient aussi d'ajouter que ces soudes étaient, bien qu'à des degrés différents, très-pauvres; elles étaient aussi très-chargées de sels neutres qui augmentaient les difficultés de leur emploi en savonnerie. La guerre qui éclata en 1808 entre la France et l'Espagne nous priva inopinément des barilles que ce pays nous fournissait, et qui par leur pureté avaient une supériorité marquée sur les soudes naturelles des autres provenances.

Mais les innovations naisssent des besoins. Les malheurs de la patrie produisirent une émulation générale parmi les savants français. Antérieurement on avait déjà pressenti la possibilité d'extraire la soude de ses combinaisons naturelles; cette question avait même attiré l'attention des meilleurs esprits. Duhamel de Monceau, un peu oublié aujourd'hui, entra le premier dans cette voie; car, dès 1730, ayant reconnu que la soude était la base du sel marin, il pensa qu'on pourrait l'en retirer pour le besoin des arts. Guyton de Morveau, un caractère scientifique de premier ordre et un vaillant esprit aussi, avait, comme induction, signalé depuis longtemps la réaction importante qui donne naissance au natrum par voie de décomposition naturelle du sel marin par la craie. Enfin en entrant dans le domaine des faits positifs, — et c'est là que commence l'œuvre des savants qui devaient résoudre le problème de la fabrication de la soude artificielle — Malherbe eut l'idée, vers la fin du dernier siècle, de transformer le sel marin en sulfate et de décomposer ce dernier avec le charbon et le fer pour en avoir la soude. Quelques années plus tard, de la Métherie proposait de décomposer le sulfate de soude par le charbon seul; mais dans ces conditions il se produisait du sulfure de sodium et non du carbonate de soude. Carny, Chaptal, Darcet, Dizé et nombre d'autres ingénieux et savants chimistes ou industriels, étudièrent la question sous ses divers aspects et multiplièrent les expériences pour arriver à un résultat manufacturier; mais ils n'eurent que le mérite de préparer les matériaux de cette grande découverte qui devait illustrer le nom de Nicolas Leblanc. (Voy. SOUDE.)

Ce fut, en effet, en recherchant les causes de l'insuccès de ses prédécesseurs que cet inventeur éminent parvint, par les circonstances particulières de ses travaux, à reconnaître que cet insuccès était dû à l'absence d'un corps réducteur du sulfure de sodium qui était toujours le produit de la réaction. Le problème était dès ce moment résolu, une industrie nouvelle, considérable et essentiellement française, venait d'être créée. Leblanc, en effet, en faisant intervenir de la craie dans le mélange de sulfate de soude et de charbon, obtint, par la calcination directe des matières, du carbonate de soude.

Cette découverte eut une portée immense pour toutes les industries dont le travail repose sur l'emploi de la soude. La savonnerie marseillaise en retira surtout un grand avantage, car dès ce moment elle put se passer des soudes naturelles qui, pendant la tourmente révolutionnaire qui ébranlait la France, étaient devenues extrêmement rares.

Remarquons aussi que l'huile d'olive était alors exclusivement employée dans la fabrication marseillaise. Mais, depuis cette époque, les conditions économiques de cette industrie ont été profondément modifiées par l'emploi de la soude artificielle qui donnait avec cette huile seule

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des savons trop durs et même cassants. On obvia d'abord à cet inconvénient en ajoutant une certaine quantité de potasse dans la lessive de soude. Mais le prix de plus en plus élevé de l'huile d'olive dont on tirait alors la plus grande partie de l'Espagne attira l'attention sur d'autres huiles; et parmi ces huiles, autrefois inconnues, ou négligées, ou considérées comme impropres à cette fabrication, il s'en est trouvé qui, après une étude approfondie de leurs propriétés, ont pu y être employées avec un avantage réel. De ce nombre sont principalement les huiles d'arachide, de sésame et de coton, dont l'extraction en grand des graines importées des pays producteurs constitue depuis une vingtaine d'années, pour Marseille, une branche d'industrie très-lucrative, très-étendue et très-importante.

Mélangées en proportions diverses, mais toujours très-considérables, avec les huiles d'olive et surtout avec les ressences de la Calabre, ces huiles ont fourni d'excellentes combinaisons pour les savons marbrés, tout en procurant une économie très-notable sur les prix de revient. Même pour les savons blancs, on n'emploie aujourd'hui qu'exceptionnellement l'huile d'olive seule. Toujours, ou presque toujours, cette huile est saponifiée avec l'huile d'arachide; le mélange de cette huile à la première donne plus de blancheur, de douceur et de solubilité au savon, dont les propriétés détersives se trouvent ainsi augmentées.

Mais, quoique Marseille soit toujours le centre le plus considérable de production des savons, cette industrie s'est aussi répandue dans les départements, dans ceux surtout où l'élément manufacturier domine. Paris, Grasse, Lyon, Bordeaux, Nantes, Orléans, Rouen, Amiens, fabriquent aussi de grandes quantités de savons de différentes espèces.

Ces fabriques sont, en général, dans des conditions bien différentes de celles de Marseille, et leurs produits ne présentent pas cette odeur agréable qui caractérise les premiers. Cette infériorité relative, mais bien réelle, assurera longtemps encore à la grande cité Phocéenne le monopole de la fabrication des savons d'huile. Il n'est pas d'ailleurs inutile de faire remarquer que par sa position privilégiée sur la Méditerranée, autant que par l'étendue de ses relations avec les pays producteurs d'huiles, Marseille a réalisé cet immense avantage de devenir le marché et l'entrepôt européen de ces liquides. Ajoutons, enfin, que de colossales usines de soude artificielle, réparties aux environs de la ville, lui livrent leurs produits bruts et raffinés aux plus bas prix manufacturièrement possible.

Les fabriques de l'intérieur sont encore à cet égard dans une situation moins favorable. L'huile d'olive n'y est que rarement employée, sinon pour les marbrés façon Marseille, où elle entre en minime proportion dans les mélanges; hors ce cas, presque toutes ces fabriques opèrent sur des matières grasses d'origines très-diverses, et dont les plus usuelles sont le suif, les graisses animales, l'huile de palme, l'huile de coco et surtout l'acide oléique qui est la plus importante. Résidu considérable autant que précieux de la fabrication de l'acide stéarique, cette huile, à raison de sa composition, produit un des meilleurs savons connus. La production de ce savon est aujourd'hui énorme, et ce qui a particulièrement contribué à en généraliser l'emploi, c'est, qu'outre son excellente qualité, son prix est presque toujours moins élevé que celui de tous les autres savons préparés sur lessive.

Si l'on compare ces deux sources de l'industrie savonnière, on voit que la savonnerie marseillaise a dû depuis le commencement du siècle modifier les conditions premières de sa fabrication, mais tout en restant fidèle à ses anciennes traditions dans ce qu'elles avaient de compatible avec le progrès industriel moderne. Elle a su, en effet, avec une vive intuition de ses intérêts, mettre à profit les découvertes de la science, comme le prouvent la substitution de la soude artificielle aux soudes naturelles, et l'introduction d'huiles de graines dans ses mélanges.

Grâce à cet esprit de prudence et d'initiative, ses produits, considérés dans leur ensemble, ont toujours une très-bonne réputation. Leur fabrication est excellente, parce qu'elle est avant tout loyale; car, bien que l'on puisse citer des exceptions à cet égard, il est notoire que la base principale des savons de Marseille est l'huile d'olive modifiée par les huiles de graines dont quelques fabricants, il faut le reconnaître, exagèrent la dose afin de réaliser un plus grand bénéfice. Mais ce sont pourtant, et c'est l'essentiel, des produits dont les composants sont chimiquement déterminés, qui ne renferment que la proportion d'eau voulue, et dans lesquels on ne trouve d'ailleurs aucune substance étrangère ayant pour but d'en augmenter le poids.

Il n'en est pas toujours de même de la savonnerie de l'intérieur, et Marseille lui a souvent reproché les moyens frauduleux qu'elle met en œuvre pour augmenter ses rendements. Nous ne voulons pas entrer ici dans l'examen de cette question. Remarquons seulement que nos savonneries de l'intérieur opèrent d'après deux méthodes distinctes: l'une, qui est identique avec celle de Marseille, donne les différentes espèces de savons cuits sur lessive. Préparés dans ces conditions, ces savons présentent une composition à peu près constante. Ils ne renferment, ni d'eau en excès, ni au delà de quelques centièmes de matières insolubles. Tous ces produits ne sauraient être trop recommandés aux consommateurs.

Mais ces mêmes fabriques ou d'autres exploitent aussi sur une grande échelle les savons unicolores faits par empâtage, et dont le rendement, en général forcé n'est pas de nature à élever le niveau de l'art. Cette fabrication est loin, en effet, de constituer un progrès quelconque en savonnerie. Les jurys des expositions internationales en ont caractérisé les excès avec autant de sévérité que de justice, entre autres le savant Ballard, dans son rapport sur l'Exposition de 1867. Nous avons récemment analysé quelques-uns de ces savons, de la qualité la plus ordinaire, et y avons trouvé à peine 18 pour 100 de matière grasse; tout le reste consistait en substances inertes ou résineuses, en excès d'alcali, en sels neutres et en silicate de soude, dont, soit dit en passant, ces fabriques spéciales font un emploi énorme depuis qu'on a reconnu les propriétés détersives de ce sel.

C'est particulièrement contre les produits de cette catégorie que Marseille proteste et réclame. Nous apprécions ses revendications. Nous croyons pourtant que l'industrie sérieuse ne doit pas trop se préoccuper de cette fabrication interlope, qui est loin, d'ailleurs, d'être une innovation. Ces usines, du moins en France, ont une base assez incertaine et beaucoup d'entre elles ne subsistent que difficilement. Quelques années ont suffi pour faire connaître leurs produits qui s'offrent aux consommateurs à des prix très-bas et qui cependant ne trouvent de débouchés de quelque importance que parmi les populations pauvres et malheureuses des campagnes, ou des grands centres industriels; la masse de la population éclairée des villes qui se compose, en général, d'excellents économistes en matière d'échange, s'en tient, non sans raison, aux produits d'une fabrication régulière et intègre, dont elle sait que Marseille lui fournit encore les types les plus beaux et souvent les meilleurs, car en industrie comme ailleurs, noblesse oblige.

CONSTITUTION CHIMIQUE DES SAVONS. — *Classification des savons.* L'art de fabriquer les savons repose essentiellement sur la chimie. Il était, en effet, réservé à cette science d'en éclairer la pratique par ses enseignements et ses découvertes : d'abord en révélant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SAVONS.

la véritable constitution des alcalis, ensuite celle infiniment plus complexe des corps gras. Cette dernière découverte, due à Chevreul, a permis à cet illustre savant de formuler la théorie chimique de la saponification, théorie confirmée par les travaux les plus récents et les plus autorisés et qui rend compte des réactions diverses qui, sous l'action des bases alcalines, déterminent la transformation des matières grasses en savon.

Il est en effet certain qu'antérieurement aux belles recherches analytiques si fécondes de ce savant, il n'existait aucune théorie de la saponification; et cela s'explique, puisque la composition des corps gras dont cette théorie dérive était encore inconnue. Longtemps les chimistes ne virent dans les savons que des composés résultant de la combinaison directe et intégrale des bases alcalines avec les corps gras.

Mais, comme il vient d'être dit, l'éminent chimiste démontra péremptoirement que le phénomène était plus complexe et d'un ordre différent. Il établit d'abord que les corps gras naturels sont des espèces de sels formés d'acides gras anhydres, fixes ou volatils et de glycérine qui remplit le rôle de base. Traitée par les alcalis, la combinaison se détruit et les acides stéarique, margarique, oléique qui en résultent se combinent avec l'oxyde alcalin pour former le savon.

La saponification technique, ou fabrication des savons, repose entièrement sur cette action des bases alcalines solubles, c'est-à-dire, des solutions caustique de potasse ou de soude sur les graisses et sur les huiles. Dans l'acte de la saponification, ces matières se dédoublent en glycérine qui se dissout dans la liqueur alcaline et en acides gras qui se combinent avec la base substituée.

Pour nous conformer à la classification généralement adoptée, quoique peu rationnelle à notre avis, nous diviserons les savons en *savons durs* et en *savons mous*.

Les premiers, qui sont les plus importants pour leurs applications nombreuses à l'industrie et aux usages domestiques, ont pour base la soude. Leur dureté est d'autant plus grande que les matières grasses qui concourent à leur production, ont un point de fusion plus élevée, ce qui y indique la prédominance des principes concrets. C'est ce qui explique la différence de consistance que l'on remarque entre les savons de suif ou d'huile d'olive et ceux d'acide oléique ou d'huile de graines oléagineuses.

Naturellement aussi tous ces savons se distinguent entre eux par la couleur ou par l'odeur suivant la nature des matières grasses qui les ont produits. Cette odeur est, en général, très-agréable dans les savons d'huile d'olive ou de palme et de quelques graisses exotiques.

Quant aux savons mous, ils ont tous pour base la potasse. Leur fabrication, du moins en France, est moins étendue et beaucoup moins considérable que celle des premiers. Elle est en partie concentrée dans nos départements du nord et dans quelques-uns des grands centres des industries textiles.

DES MATIÈRES PREMIÈRES BRUTES QUI SERVENT A LA FABRICATION DES SAVONS. Ces matières, quoique d'origines très-diverses, ont été partagées en deux grandes classes, l'une comprenant les alcalis minéraux, c'est-à-dire, la potasse et la soude; l'autre les corps gras extraits des végétaux et des animaux.

Corps gras. Il y a déjà plus d'un demi-siècle que Chevreul a démontré que les différents corps gras naturels présentent une composition plus complexe qu'on ne l'avait supposé antérieurement à ses travaux.

En effet, l'illustre chimiste en procédant par voie d'analyse immédiate est parvenu à en isoler à l'état de pureté les diverses substances dont ils sont formés, et dont les quatre principales, la stéarine, la margarine, la palmitine et l'oléine, groupées en proportions relatives très-variables composent avec la glycérine, qui est la base commune de toutes, des espèces de sels organiques ayant une constitution analogue à celle des éthers.

Traités, en effet, par les bases puissantes tous les corps gras neutres se dédoublent en leurs composants, c'est-à-dire, en glycérine et en acides gras qui sont: l'acide stéarique pour la stéarine, l'acide margarique pour la margarine, l'acide oléique pour l'oléine et enfin l'acide palmitique pour la palmitine, qui est le principe solide de l'huile de palme.

Le nom générique de corps gras s'applique, comme on sait, aux huiles, aux graisses, à la cire. Ces matières se rencontrent dans les deux règnes organiques, c'est-à-dire, dans le règne végétal et dans le règne animal. Les végétaux où elles existent en général à l'état fluide, à la température ordinaire de nos climats, donnent les huiles. Chez les animaux elles acquièrent un degré de consistance plus ou moins ferme comme on peut le remarquer pour le suif et l'axonge. Quelques chimistes admettent que ces matières sont identiques dans les deux règnes; cette opinion est également partagée par d'éminents physiologistes qui affirment que les animaux ne font que s'assimiler dans l'acte de la nutrition les principes gras élaborés dans l'organisme des végétaux. Nous n'avons pas la compétence suffisante pour élucider cette délicate question; il est cependant assez difficile d'admettre que le principe gras élaboré par les plantes se retrouve chez les animaux sans avoir éprouvé aucune modification ou transformation chimique quelconque.

Nous n'avons pas à insister ici sur l'identité d'origine de ces produits naturels. Quant à leur caractère spécifique tout le monde le connaît. On sait, en effet, comme nous le rappelons plus haut, que ces corps sont en général liquides pour les huiles, et plus ou moins consistants pour les graisses et les suifs. On sait également qu'ils se distinguent par leur extrême combustibilité, leur insolubilité dans l'eau et la propriété de former sur le papier des taches translucides persistantes. Rappelons encore que ces corps sont plus légers que l'eau; non volatils, incolores et inodores à l'état de pureté; fusibles à une température inférieure à + 60° C. Enfin plus ou moins solubles dans l'alcool, l'éther, la benzine et principalement le sulfure de carbone qui est un de leurs meilleurs dissolvants. C'est même en raison de cette dernière propriété que ce nouveau véhicule a reçu d'importantes applications pour l'extraction industrielle des matières grasses des bains alcalins qui ont servi au dégraissage des laines en suint, ainsi que pour retirer l'huile des marcs d'olive exprimés par la presse.

Nous n'entrerons pas ici dans l'étude de ces corps et des diverses transformations qu'ils éprouvent sous l'influence des agents chimiques ou physiques. Constatons seulement que les acides gras solides que l'on en extrait présentent cette particularité très-remarquable, que leur point de fusion est toujours plus élevé que celui de la matière neutre dont ils procèdent. Ainsi la stéarine fusible à + 60° C. se transforme en acide stéarique fusible à + 70° C.; la margarine, dont le point de fusion est au-dessous de + 50° C., se convertit en acide margarique fondant à + 60° C. Il en est de même de la palmitine et des autres principes gras solides: tous en se dédoublant donnent des acides dont le point de fusion est toujours plus élevé que celui de la matière neutre qui les engendre. Ces intéressantes constatations offrent un intérêt pratique très-réel et très-sérieux surtout pour la fabrication des acides gras concrets; quoique à un degré moindre elles intéressent également le fabricant de savon qui peut déduire des différences de fusibilité des matières grasses qu'il emploie le plus ou moins de consistance des savons qui en résulteront.

L'industrie connaît plusieurs méthodes générales de saponification des matières grasses neutres. Pour la fa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

brication des acides gras solides pour l'éclairage, trois modes différents sont aujourd'hui usités: ce sont la saponification calcaire, la saponification par l'acide sulfurique concentré et la saponification par la vapeur d'eau surchauffée, dont nous avons été un des premiers initiateurs. Dans ces divers traitements la combinaison naturelle préexistante est toujours détruite et les acides gras mis en liberté ou engagés dans une nouvelle combinaison lorsqu'on opère avec la chaux. Mais en savonnerie où l'opération est dirigée spécialement en vue de produire des composés solubles ou savons, la saponification s'opère sous l'influence des bases alcalines en dissolution dans l'eau. Comme dans les modes précédents, la glycérine est mise en liberté et les acides se combinent, avec la base qui a déterminé leur formation, pour donner naissance au savon.

Observons, puisque cette remarque intéresse la pratique, que le degré d'assimilation ou d'affinité des divers corps gras pour les alcalis présente cependant des différences très-marquées. C'est pour indiquer et caractériser cette corrélation relative qu'on a divisé ces corps, en corps gras facilement saponifiables, et en corps gras difficilement saponifiables. Les premiers comprennent les huiles d'olive, d'arachide, de sésame, de palme, de coco; les graisses, les beurres, les huiles animales; les seconds les huiles de graines, de poisson, la cire, le blanc de baleine.

Mais quelle que soit leur aptitude à se laisser saponifier, les lessives alcalines exercent sur ces corps une action d'autant plus directe et rapide que la proportion d'acide gras libre qu'ils renferment est plus considérable. C'est ce qui explique la facilité avec laquelle les alcalis, même carbonatés, convertissent l'acide oléique en savon. Dans ce cas, et autres analogues, l'union entre les acides gras et la base est directe. Avec les corps gras neutres la réaction est toujours plus complexe: elle est alors précédée du dédoublement, lent et progressif, de la matière grasse, dont les composants acides s'unissent à l'alcali à mesure qu'ils se séparent de leur base organique naturelle.

Des huiles végétales. — Comme nous l'avons vu précédemment, ces huiles sont ordinairement fluides à la température ordinaire de nos climats, si l'on en excepte les huiles de coco, de cophras, de palmiste et de palme. Elles se trouvent principalement dans les graines et dans les péricarpes des fruits, d'où on les extrait, en général, par trituration et par expression à froid et à chaud. Le premier mode est le plus suivi pour les huiles alimentaires, le second pour les huiles employées dans les arts et pour la fabrication des savons.

I. *Huile d'olive.* — L'olivier est cultivé de temps immémorial en Grèce, en Italie, en Espagne, en France et dans divers pays de l'Europe méridionale. Cet arbre est surtout précieux pour son fruit; c'est, en effet de celui-ci que s'extrait l'huile d'olive.

La récolte des olives s'effectue généralement en novembre ou décembre. C'est alors qu'elles fournissent le maximum d'huile. Suivant l'état particulier où elle se trouve, l'huile d'olive prend des noms différents:

1° *L'huile vierge.* — Elle est obtenue par une première expression à froid des olives écrasées; on donne également ce nom à l'huile extra-fine qui exude spontanément de la pulpe avant la pression.

2° *L'huile ordinaire.* — On la retire de la pulpe d'olives qui a fourni l'huile vierge. A cet effet la pulpe est dégrumée et arrosée avec de l'eau bouillante. Cela fait, on la replace de nouveau dans les enveloppes, puis on presse. L'huile s'écoule avec l'eau; mais par le repos le liquide aqueux se précipite et l'huile surnage.

3° *L'huile de ressence.* — On l'obtient en traitant alternativement par l'eau bouillante et par la presse hydraulique, les mares d'olive qui ont déjà fourni l'huile vierge et l'huile ordinaire. Elle est très recherchée pour la fabrication des savons marbrés, où on l'emploie concurremment avec les huiles de graines auxquelles elle communique la consistance et la solidité qui leur manque. Cette huile est en effet essentiellement riche en principes solides: elle a de plus des propriétés siccatives très-remarquables.

Les qualités limpides connues sous le nom d'*huile de ressence* ou d'*huile lampante*, lorsque leur coloration est peu prononcée, ces huiles sont employées pour la fabrication du savons blanc.

Disons enfin que les mares dont on a extrait les trois sortes d'huile dont il vient d'être question, donnent encore par de nouveaux traitements, l'*huile tournante* et l'*huile d'enfer*. Ces huiles, quoique inférieures à la première ressence, sont cependant très-appréciées pour la fabrication des savons marbrés de seconde qualité.

Suivant leur provenance, les huiles d'olives sont diversement colorées; les unes sont presque blanches, d'autres jaunes ou vertes. Les premières sont les plus estimées pour la fabrication du savon blanc liquide; car les consommateurs recherchent la blancheur dans cette qualité.

Les huiles jaunes, lorsque leur nuance est peu prononcée, peuvent aussi recevoir cette destination; celles qui sont d'un jaune intense sont réservées pour le marbré bleu vif. La même remarque s'applique aux huiles d'un vert foncé. Ces distinctions sont essentielles pour la pratique: il est en effet depuis longtemps acquis que les savons prennent la couleur des huiles qui les ont produits. On atténue ordinairement la nuance de ces huiles par leur mélange avec des huiles blanches ou peu colorées. Mais, quoiqu'on fasse, la couleur primitive de l'huile persiste dans le savon: il ne la perd jamais complétement, quoique avec le temps elle puisse s'amoindrir beaucoup.

Sous le rapport de leur composition immédiate les huiles d'olive sont formées de deux éléments différents: l'oléine et la margarine. Leurs proportions respectives, très-variables, expliquent les divers états de liquidité ou d'opacité des huiles; si c'est la margarine l'huile est plus ou moins épaisse, lorsqu'au contraire l'oléine domine l'huile est limpide.

II. *Huile d'olive extraite des pulpes d'olives au moyen du sulfure de carbone.* — L'application du sulfure de carbone à l'extraction des dernières portions d'huile contenues dans les mares ou pulpes d'olives, a rendu de signalés services à l'industrie savonnière. Cet agent chimique s'empare presque instantanément de la totalité de l'huile qui existe dans ces résidus et l'abandonne ensuite par la chaleur. Cette branche d'industrie est, depuis un certain nombre d'année, exploitée dans des usines spéciales, dont plusieurs ont des proportions considérables. Le traitement se fait dans de vastes extracteurs munis d'appareils de condensation pour recueillir le sulfure de carbone qui, ainsi régénéré, peut servir presque indéfiniment, car la perte est presque nulle. Les huiles d'olive de cette provenance ne sont jamais absolument limpides; dans la saison froide leur consistance est à peu près analogue à celle du miel. Leur couleur est d'un vert foncé très-intense; leur odeur sulfureuse. Elles peuvent néanmoins fournir un excellent savon, car les éléments saponifiables y abondent. Quant à leur rendement il s'éloigne peu de celui de l'huile d'olive ordinaire, quoiqu'il lui soit un peu inférieur. Dans leur état naturel, ces huiles ne peuvent fournir que du savon vert; mais, depuis qu'on est parvenu à les décolorer, on en fait aussi du savon blanc; elles sont aussi avantageusement employées dans la fabrication des savons marbrés de seconde qualité, ce qui s'explique, puisque leur constitution est presque identique à celles des ressences ordinaires.

Faisons remarquer, avant d'abandonner ce sujet, que les applications du sulfure de carbone se sont aussi

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étendues à l'extraction des corps gras perdus dans les tourteaux des graines oléagineuses, des os et des eaux savonneuses, ayant servi au décreusage des soies. Pour comprendre toute l'importance de ce dernier résultat, il suffira de dire que les seules usines de la ville de Lyon perdaient en matières transformables l'équivalent de cinq millions de kilogrammes de savon par année.

III. *Huile d'olive de fonds de piles.* — Cette huile, comme son nom l'indique, est extraite des dépôts qui résultent de la clarification des huiles troubles et récentes dans les immenses citernes où on les entrepose.

Ces parties principalement formées de matières mucilagineuses et de pulpe d'olive dans un état de division extrême, entraînent avec elles une plus ou moins forte proportion d'huile limpide.

Le but qu'on se propose par leur épuration, est d'en extraire cette huile. Des divers moyens employés, le plus usité consiste à chauffer ces résidus dans une grande chaudière avec 30 ou 40 pour 100 d'eau pure ou d'eau salée à 5° Beaumé. Quand le mélange a bouilli environ une heure on enlève le feu et après quelques jours de repos on décante l'huile claire. On obtient ainsi un résultat assez satisfaisant; l'huile est belle et généralement peu colorée; on peut l'avoir parfaitement limpide en la filtrant un peu chaude à travers des couches alternées de coton en rame et de sciure de bois d'une épaisseur de 40 à 50 centimètres. Cette huile, de même que les ressences, est employée dans la fabrication des savons marbrés.

Nous avons pû établir par un grand nombre d'opérations que les fonds d'huile d'olive naturels fournissent, en moyenne, 80 pour cent de leur poids d'huile claire; chiffre qui donne d'assez beaux résultats à ceux qui exploitent cette branche de commerce.

IV. *Huile d'arachide.* — L'huile d'arachide est, après l'huile d'olive, une de celles qui donnent les meilleurs résultats en savonnerie, aussi y est-elle employée en quantités considérables.

On extrait cette huile des graines de l'*arachis hypogæa*, dont la culture a pris, depuis une vingtaine d'années, une si grande extension dans les pays intertropicaux.

Parvenue à maturité, la graine d'arachide atteint la grosseur d'une noisette; elle en a aussi la forme et presque le goût. Exprimée à froid, elle fournit une huile incolore et d'excellente qualité. Cette huile est essentiellement alimentaire et a les mêmes applications économiques que l'huile d'olive, avec laquelle on la mélange souvent. Elle est liquide à la température ordinaire, et même à quelques degrés au-dessous de zéro. A + 15°, sa densité est de 9.180

La qualité préparée pour la savonnerie provient de la pression à chaud des tourteaux qui ont fourni l'huile comestible. Elle est plus colorée que la précédente et d'un goût moins agréable. Saponifiée par la lessive de soude caustique, elle donne un savon blanc; ce savon ne le cède en rien pour la qualité à ceux qu'on obtient des meilleures matières grasses; mais, quel que soit le degré de saturation qu'on lui donne, il n'acquiert jamais une consistance ferme. Ce fait est bien connu des praticiens marseillais: mais, indépendamment de la question économique, si importante en industrie, ceux-ci ne font intervenir cette huile ou ses congénères dans leurs combinaisons ou mélanges des matières grasses, qu'en vue d'en atténuer la proportion des acides gras solides, et par suite la prépondérance des stéarates et des margarates de soude dans le savon.

V. *Huile de sésame.* L'huile de ame s'extrait de la graine du *sesanum*, plante oléifè ne l'on cultive dans divers pays d'outre-mer et plus sp alement peut-être en Égypte, où elle élabore ses produits les plus abondants.

La graine récente du sésanum recèle une très-forte proportion d'huile qui, de même que celle d'arachide, s'obtient par deux expressions successives de la graine triturée. La pression à froid, qui est la moins énergique, produit l'huile comestible, qui est très-appréciée pour sa douceur. Ici encore c'est l'huile de second jet qui fournit la matière première des savons. Elle se saponifie rapidement et complétement par les lessives de potasse et de soude; mais elle ne produit avec chacune de ces deux bases que du savon mou, dont le plus consistant résulte de la combinaison avec la soude. Il est de plus à remarquer que les produits de la saponification de cette huile ont une coloration brune assez intense. Néanmoins, il est juste de reconnaître que cette matière grasse constitue une ressource extrêmement précieuse pour la production des savons marbrés; elle est évidemment une des huiles de grande culture dont le prix est le plus accessible à cette industrie.

VI. *Huile de coton.* — L'Égypte est le principal pays de production de cette huile; elle y est spécialement fournie par le *gossypium*, qui couvre de sa luxuriante végétation d'immenses étendues sur les fertiles plaines des bords du Nil.

L'huile de coton, de même que celles que nous venons d'examiner, est une des grandes ressources de la savonnerie marseillaise. Il semble, toutefois, qu'elle donne des résultats moins satisfaisants que les huiles précédentes. Elle mérite pourtant une très-sérieuse attention: d'abord parce qu'elle est la moins chère des huiles oléagineuses, ensuite parce qu'elle se saponifie avec facilité. Seule, elle forme un savon presque dur avec la soude. Mélangée avec des huiles plus corsées et plus consistantes, elle entre dans les combinaisons de matières destinées à produire les savons marbrés de seconde série; elle fournit aussi un élément utile à la fabrication des savons unicolores, parce qu'on peut lui faire absorber une très-forte proportion de lessive. A la température de + 15°, sa densité est de 0,930.

Nous terminerons ce qui est relatif aux huiles de provenances exotiques qu'emploie la savonnerie provençale en constatant que depuis déjà un certain nombre d'années, ces huiles sont directement extraites de leurs semences dans les importantes huileries que le commerce marseillais a fait établir aux environs de la ville. Grâce à cette puissante organisation industrielle, Marseille est devenue le premier intrepôt d'huile du monde entier. Notre marine y importe chaque année des lieux de production, des centaines de millions de kilogrammes de graines oléagineuses.

Nous ajouterons que ces différentes espèces d'huiles, sont aujourd'hui purifiées et décolorées par divers procédés chimiques, ce qui en a considérablement étendu les applications économiques et industrielles.

VII. *Huile ou beurre de coco.* — Au point de vue de la fabrication des savons préparés d'après la méthode marseillaise, cette matière grasse n'a pas une grande importance et nous dirons ailleurs pourquoi. Par contre elle est très-recherchée et employée pour la production des savons lisses et unicolores, qui retiennent, comme on sait toute la lessive qu'on y incorpore.

Cette huile est fournie par les fruits ou noix du *coco nucifera*, espèce de palmier gigantesque et l'un des arbres les plus utiles des contrées intertropicales par ses riches productions; car il donne à la fois de l'amidon, du sucre et de l'huile. Celle-ci s'obtient en soumettant alternativement les noix de coco concassées à l'action de l'eau bouillante, puis à l'action d'une presse puissante qui en fait écouler les dernières portions d'huile.

L'huile de coco de bonne provenance et bien préparée est d'une extrême blancheur.

En hiver sa consistance est analogue à celle de l'axonge, mais elle est fluide à une température au-dessus de + 20°.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme il est dit plus haut, cette huile est la base principale des savons unicolores à fort rendement; elle peut aussi fournir seule un excellent savon avec la lessive de soude; elle intervient enfin, dans la fabrication des savons de toilette préparés sur lessive dont elle augmente la solubilité et l'action émulsive.

Remarquons en terminant qu'un certain nombre d'autres huiles concrètes de provenance exotique possèdent également, quoique à un degré moindre peut-être, l'ensemble des propriétés de l'huile de coco et sont, comme elle, très-employées en savonnerie. Le coprah tient le premier rang parmi ces nouvelles huiles; on l'obtient par l'expression des graines oléagineuses produites par un espèce de palmier qui abonde sur le continent africain et plus spécialement sur la côte du Coromandel.

VIII. *Huile de palme.* — Cette huile, qui est une véritable graisse végétale, est extraite par expression ou par ébullition dans l'eau, des fruits de l'*alœis guiencensis*, qui croît abondamment sur les côtes de l'Afrique, aux Indes orientales et principalement dans la Guyane où il fournit l'huile la plus estimée.

L'huile de palme récente et de bonne provenance, est d'un jaune orange très-intense. Elle est caractérisée par une odeur pénétrante et agréable, qui n'est pas sans quelque analogie avec le suave parfum de la violette. Mais, en vieillissant, elle acquiert une odeur forte qui paraît résulter d'une fermentation spontanée de la masse: elle manifeste alors une réaction acide très-prononcée par suite d'un commencement de décomposition de ses composants en glycérine et en acides gras; son point de fusion qui primitivement était de + 27° environ, peut alors s'élever jusqu'à + 38°, ainsi que l'a constaté M. Pelouze. Il convient toutefois de remarquer que ces modifications dans sa constitution sont plus favorables que nuisibles à ses applications à la savonnerie, car, plus en effet les acides gras libres prédominent dans les matières grasses, plus celles-ci ont de tendance à la saponification, c'est-à-dire à s'unir aux bases alcalines pour former des savons. Ajoutons enfin que les principes constituants de cette huile sont la palmitine mélangée à des proportions relativement minimes d'oléine.

Pour son abondance et son prix accessible à l'industrie, l'huile de palme est devenue une des plus utiles matières pour la fabrication des savons et celle des acides gras pour l'éclairage. Saponifiée avec des lessives de sel de soude, elle produit un savon très-ferme, d'une odeur légèrement aromatique et d'une belle couleur jaune. Mais presque toujours cette huile est mélangée avec d'autres corps gras. Avec les suifs et les graisses animales, elle sert à préparer les différentes espèces de savons résineux cuits sur lessive; elle entre aussi dans la composition de la plupart des savons obtenus sans relargage. Partout elle contribue à atténuer l'odeur souvent désagréable des matières premières et à donner aux produits une nuance plus vive et plus agréable.

Faisons remarquer que les vastes continents où croît l'*alœis guiencensis*, produisent aussi des genres divers de palmiers qui recèlent dans leurs fruits des principes gras à peu près analogues à l'huile de palme, et qui, comme cette dernière sont employés en savonnerie. Citons parmi ces nouveaux corps gras, pour ne parler que des principaux: 1° l'*huile de bassia*, qui présente la consistance du beurre; son point de fusion est à peu près le même que celui l'huile de palme, dont elle a aussi la couleur, quoique l'odeur en diffère; 2° le *beurre de galaus*, fusible à + 22°, fourni par les fruits du *bassia butyracea*. Sa couleur est d'un jaune rougeâtre, et sa densité de 0,960 environ.

Toutes ces huiles sont, d'ailleurs, complétement solubles dans les dissolvants ordinaires des matières grasses, et elles se saponifient parfaitement avec les lessives de potasse ou de soude.

IX. *Huile de palme blanche.* — Depuis un certain nombre d'années on trouve dans le commerce de l'huile de palme décolorée, qui sert à préparer d'excellents savons blancs et marbrés.

Dans le principe on détruisait la matière colorante de cette huile en la traitant à chaud, en présence de l'eau, soit par le bi-chromate de potassium et l'acide sulfurique, soit par le chlorate de potassium et l'acide azotique.

Mais ces moyens chimiques, coûteux et d'ailleurs peu manufacturiers, n'ont jamais donné de résultats pratiques satisfaisants; aussi y a-t-on généralement renoncé.

Le procédé qui a prévalu dans la grande industrie, est à la fois plus ingénieux et plus économique; il procède de cette singulière et très-importante remarque à savoir: que la matière colorante de l'huile de palme se volatilise lorsque l'on maintient pendant quelques heures cette huile à une température de + 105° à + 110° C.

Dans les grands établissements la décoloration se fait dans des appareils spéciaux. L'huile est placée dans des bassins chauffés par un serpentin plat où circule de la vapeur à deux ou trois atmosphères. Dans ces conditions la matière colorante se dégage très-rapidement et l'huile prend l'apparence d'une graisse d'un blanc grisâtre. Mais ces appareils compliqués et d'un prix très-élevé ne peuvent être appliqués que lorsqu'on opère sur des masses considérables d'huile: tel est le cas de l'Angleterre, qui transforme annuellement de 28 à 30 millions de kilogrammes de cette huile, en bougie et en savon.

Dans les savonneries de l'Allemagne, où cette huile est aussi très-employée, on arrive à un résultat analogue à celui des usines industrielles sans aucune dépense d'installation. L'opération, en effet, s'effectue le plus souvent dans une chaudière à savon ordinaire, comme l'indique la figure 1.

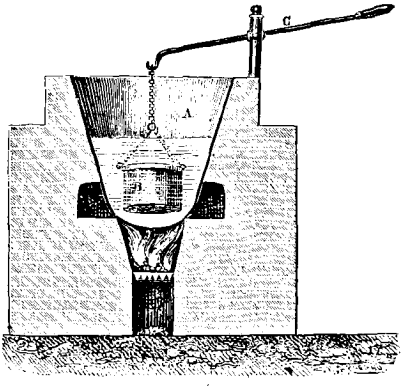


Fig. 1.

Quelques mots suffiront pour faire comprendre l'ensemble de cette disposition: AA, chaudière en tôle ou en fonte contenant l'huile; B, tronçon de cylindre à fond perforé en écumoire ayant 0m,60 de diamètre et 0m,30 de hauteur; C, levier destiné à manœuvrer le cylindre B; chaque fois qu'il vient plonger dans le chaudière ce cylindre s'emplit d'huile qu'il laisse retomber, lorsqu'il s'élève, sous forme de pluie, par les nombreuses ouvertures dont son fond est garni.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Disons d'abord que l'huile de palme naturelle ne peut être convenablement blanchie qu'après une épuration qui en élimine les substances étrangères qui s'y trouvent. Pour être plus explicite, nous supposerons une opération de 500 kilogrammes d'huile brute : cette huile est traitée avec son poids d'eau bouillante; quand elle est entièrement fluide, on jette le tout sur un tamis placé sur un cuvier en bois blanc, l'eau se précipite et l'huile surnage; c'est alors qu'on l'introduit dans la chaudière AA; toutefois il ne convient de prendre que les parties claires et limpides qui représentent, moins quelques centièmes, le poids total de l'huile. Les parties noirâtres ou fortement colorées en brun sont mises à part pour en faire un savon résineux commun.

Toute l'huile claire étant dans la chaudière, on chauffe progressivement entre + 100° et + 110° C. Pour n'être ni trop au-dessous, ni trop au-dessus de ces températures, on plonge de temps à autre un thermomètre à mercure dans la masse de l'huile. On peut ainsi diriger l'opération avec certitude, car tout ne dépend plus alors que de la conduite du feu qu'on actionne ou qu'on ralentit suivant qu'il en est besoin. Dès que la température arrive à + 100° C., on fait fonctionner l'appareil B, en manœuvrant le levier C. Par cette manutention, toutes les parties de l'huile sont mises dans un contact plus intime avec l'air dont elles absorbent l'oxigène, ce qui accélère l'opération, car ce gaz agit aussi comme agent décolorant. A partir de ce moment, on ne tarde pas à remarquer que la matière colorante se sépare de l'huile. Elle se sublime en une poudre impalpable jaune doré dont une partie se fixe sur les parois de la chaudière. A l'aide de quelques dispositions, il serait possible de recueillir cette riche matière qui, sans nul doute, pourrait trouver d'utiles applications dans les arts.

Quoi qu'il en soit, l'huile perd peu à peu sa couleur jaune naturelle. Quelques heures suffisent pour lui faire prendre une couleur blanchâtre inclinant légèrement au vert; il ne semble pas possible de lui communiquer une plus grande blancheur par ce procédé, même en prolongeant la durée du traitement. Aussi lorsque le point de décoloration qui vient d'être indiqué est atteint, on s'empresse de retirer le feu et de transvaser l'huile dans des cuviers.

Quand elle commence à se figer on l'entonne dans des tonneaux. Là elle éprouve une fermentation lente qui augmente sensiblement sa blancheur. Elle est alors d'un blanc légèrement grisâtre : c'est dans cet état qu'on l'emploie pour la fabrication des savons blancs ou marbrés, seule ou combinée avec d'autres matières grasses.

Remarquons que l'on pourrait améliorer l'ensemble de ce traitement, en soumettant l'huile ainsi décolorée, à une ébullition de quelques heures dans de l'eau acidulée à quelques millièmes seulement d'acide oxalique, d'acide tartrique ou mieux encore par un mélange d'acides chlorydrique et sulfurique, l'opération pourrait s'effectuer dans une chaudière en cuivre étamé ou dans une cuve doublée de plomb et chauffée directement par la vapeur d'eau. L'huile acquerrait ainsi une plus grande blancheur et une odeur plus agréable, car la chauffe à feu nu altère plus ou moins son arome.

X. *Huile palmiste.* — Cette huile est fournie par la noix du palmier, d'où lui vient son nom.

Le procédé usité pour en faire l'extraction consiste, soit à soumettre l'amande à une forte pression, soit à la faire bouillir dans l'eau. Le premier mode donne une huile plus limpide et plus belle, mais avec le second le produit est plus abondant.

Dans nos climats cette huile est concrète, et sa consistance se rapproche du beurre. Elle est ordinairement d'un blanc grisâtre, mais on nous en a montré qui avait la blancheur de l'axonge. De même que la plupart des huiles et des graisses exotiques, elle rougit le papier bleu de tournesol.

Dans les savons unicolores sans séparation cette huile s'allie supérieurement avec les autres matières grasses. Unie à une faible proportion de suif et d'huile de coco, elle forme un savon blanc usuel de toute beauté. Nous en avons préparé des quantités considérables pour le Levant où il est fort apprécié et bien payé.

Lorsque nous traiterons des savons unicolores, nous donnerons des renseignements détaillés et précis sur sa fabrication.

XI. *Suif végétal.* — Ce suif est encore un des nombreux produits exotiques importés en Europe. Il est, dit-on, fourni par les fruits du *vateria indica*. Son caractère physique le plus saillant est d'être excessivement dur; sa cassure est fine et serrée, presque cristalline; son odeur est peu prononcée, quoique agréable; sa couleur est d'un blanc jaunâtre. On le trouve dans le commerce en canons analogues à ceux du soufre raffiné, mais plus iridés et plus gros; cette forme indique qu'il a dû être coulé dans des bambous.

Ce suif se saponifie avec une extrême facilité, mais il se sépare assez difficilement de la lessive. Sous ce rapport il présente quelque analogie avec les huiles de coco, de coprah et de palmiste. C'est surtout pour les savons unicolores et sans relargage qu'il convient de l'employer seul ou mélangé avec d'autres matières grasses. Seul il forme avec les lessives de sel de soude un savon blanc et ferme d'une odeur agréable, mais qui manque absolument de transparence. Son rendement est considérable, comme nous le verrons ailleurs.

XII. *Huile de tournesol.* — Cette huile, encore peu connue dans l'industrie, est extraite par pression des graines du tournesol.

Elle se saponifie facilement par les lessives de soude; mais l'absence ou la faible quantité d'acide gras concrets qu'elle renferme, la rend peu propre à être employée seule. Le savon qu'elle forme reste longtemps mou : il finit cependant par acquérir une consistance solide. C'est alors un savon d'une belle apparence et d'une grande blancheur. Il mousse bien et est détersif à l'égal du savon d'huile d'olive; il l'est même davantage à raison de la plus forte proportion d'oléate qui entre dans sa composition.

Saponifiée avec 30/100 d'huile d'olive elle forme un savon immédiatement dur, agréable d'odeur et d'excellente qualité.

L'extraction de cette huile est exploitée en Autriche-Hongrie et dans plusieurs provinces du Danube. Sa valeur est, dit-on, moindre que celle des huiles oléagineuses et il y aurait peut-être quelque avantage à l'utiliser dans la fabrication des savons.

GRAISSES ANIMALES. — Nous avons vu précédemment que les divers corps gras affectent, suivant leur provenance, différents états de consistance, de coloration, d'odeur. Les graisses des différents mammifères ruminants qui sont très-riches en stéarine et en margarine, sont ordinairement concrètes à la température de nos climats. Celles des cétacés, où ces mêmes principes gras ou leurs similaires n'existent que dans des proportions relativement minimes, restent plus ou moins fluides.

Comme nous l'avons fait pour les corps gras de provenance végétale, nous n'examinerons dans ce travail que les graisses animales ayant une importance assez considérable pour constituer des matières premières pour la savonnerie.

I. *Graisse ou suif de bœuf.* — Elle est la plus abondante des graisses animales. Comme son nom l'indique, elle est extraite des tissus adipeux des bœufs où elle se trouve toute formée. Sa consistance est très-ferme dans la saison froide, car son point de fusion s'élève jusqu'à + 30° et même + 32°. Quant à sa couleur,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle est suivan l'âge des animaux d'un blanc plus ou moins jaunâtre; les plus jeunes donnent la graisse la plus blanche; mais celle des vieux, quoique plus colorée, est plus estimée pour les arts, parce qu'elle est plus riche en principes gras solides; elle renferme en effet, en moyenne, 70 pour 100 de stéarine et de margarine et 30 d'oléine. L'Australie et les État-Unis en importent des quantités considérables sur les différents marchés de l'Europe. Elle est, par excellence, la matière première des acides gras solides pour l'éclairage et des savons.

II. *Graisse ou suif de mouton.* — Cette matière grasse existe dans les différentes parties des tissus membraneux du mouton; elle est la première des graisses animales pour la consistance et la blancheur. Quand elle est pure, son point de fusion s'élève jusqu'à + 46°; cela explique l'abondance des principes solides qu'elle contient. D'après Chevreul, elle renferme 80 p. 100 de stéarine et de margarine et 20 pour 100 seulement d'oléine. C'est à un glycéride qu'elle doit son odeur caractéristique.

Cette graisse fournit avec la lessive de sel de soude un savon blanc très-dur; pour les applications économiques, on atténue la trop grande dureté de ce savon en mélangeant, à des degrés divers, la graisse de mouton avec des corps gras plus riches en oléine, comme le saindoux par exemple.

III. *Graisse de porc, saindoux ou axonge.* — Cette graisse diffère des deux précédentes par sa consistance onctueuse et molle. Elle a aussi un point de fusion moins élevé, car elle est fusible à + 27° environ. On remarque encore que ses constituants ne sont pas absolument identiques avec ceux des suifs de bœuf ou de mouton; car, outre la stéarine et l'oléine, on y trouve une assez forte proportion de palmitine, qui n'est peut-être, à la vérité, qu'un état particulier de la margarine.

Quoi qu'il en soit, cette graisse constitue une matière première intéressante pour la savonnerie, qui l'emploie seule ou unie avec d'autres corps gras. On en fait surtout un heureux et fréquent emploi pour la fabrication des savons de toilette, composés de graisses animales solides qu'elle rend plus onctueux et plus doux.

IV. *Graisse ou suif d'os.* — Cette graisse existe en d'assez fortes proportions dans les os frais. Son extraction est habituellement pratiquée dans les fabriques de noir animal. A cet effet les os, d'abord concassés, sont introduits dans une grande chaudière en cuivre étamé et bouillis pendant quelques heures avec une suffisante quantité d'eau.

Sous l'influence de l'ébullition la graisse monte à la surface de l'eau, d'où on l'enlève à mesure. Cette graisse, qu'on appelle ordinairement *suif d'os*, a une consistance intermédiaire entre le suif et l'axonge. Dans son état naturel, elle est d'un blanc roux ou grisâtre; on peut lui communiquer un certain degré de blancheur en la battant dans des cuviers avec de l'eau bouillante. Les fabriques de noir d'os de Paris, Bordeaux et Nantes produisent des quantités notables de cette graisse, qu'elles offrent à 15 ou 18 pour 100 au-dessous du prix du suif de bœuf. Elle est assez recherchée pour la fabrication des savons bruns. Celle que l'on se procure dans le commerce n'est pas toujours exempte de fraude; il est donc nécessaire de la soumettre à quelques essais préalables pour n'éprouver aucun mécompte.

Nous ne pousserons pas plus loin l'étude des corps gras; car, ceux que nous venons d'examiner sont à peu près les seuls que leur abondance et leur prix modéré permet d'employer en savonnerie. Cependant, avant d'abandonner ce sujet, nous dirons quelques mots de la fonte des suifs en branches par la vapeur. Ce procédé, que nous avons rendu industriel, est bien préférable à l'emploi du feu nu. En effet, à l'avantage de donner un suif plus beau, plus pur et moins odorant, il joint celui non moins considérable d'extraire jusqu'à la dernière molécule de matière grasse enfermée dans les tissus adipeux. De plus les suifs ainsi obtenus étant exempts de tout mélange de matières grasses inférieures, donnent des résultats plus constants et plus rémunérateurs par leur saponification; nous ajouterons que ce mode est particulièrement à recommander pour la fonte des suifs ou des graisses animales destinées à la fabrication des savons de toilette.

L'appareil que nous avons imaginé, pour ce travail, est représenté par la figure 2. Il se compose de:

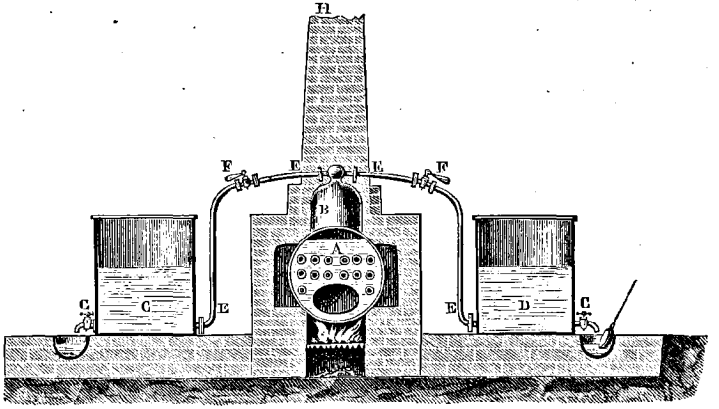


Fig. 2.

A — Chaudière tubulaire à foyer intérieur;
B — Dôme ou réservoir de vapeur;
C — Cuve où s'opère la fonte du suif en branche;
D — Cuve pour le traitement des résidus par l'eau acidulée;
EE — Tube amenant la vapeur engendrée dans la chaudière au fond des cuves C, D;
FF — Robinets pour prise de vapeur;
GG — Robinets de vidange des cuves;
H — Cheminée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour nous rendre bien compte des conditions de l'opération, nous supposerons un traitement de 1000 kilogrammes de suif en branches, tel qu'il est fourni par les abattoirs.

Avant de fondre ce suif on le divise en tranches minces à l'aide de hachettes bien acérées; ou, ce qui est plus expéditif, en le faisant passer entre deux cylindres en fonte armés de lames et tournant en sens inverse. On arrive ainsi à ouvrir les cellules adipeuses dans lesquelles il se trouve enfermé, ce qui en rend l'extraction plus facile sous l'influence de la vapeur.

Pour le suif destiné à la fabrication des savons de toilette, il est toujours avantageux de lui faire subir, avant la fonte, plusieurs lavages à l'eau froide. Il est alors plus blanc, plus inodore et plus pur.

Quel que soit, d'ailleurs, le mode que l'on suive, il est important que le suif divisé soit soumis dans un bref délai à la fonte. Cette condition est surtout de rigueur dans la saison chaude.

Voici comment on procède à cette opération:

Lorsque la vapeur de la chaudière a atteint une tension de deux atmosphères, on l'introduit dans la cuve en ouvrant le robinet E. Cette cuve est emplie, à peu près aux deux tiers, de suif en branches bien divisé. La chaleur produite par la condensation de la vapeur dilate le suif, le fluidifie et détermine la rupture des cellules adipeuses qui le renferment. Alors, au moyen d'une cuiller, on le retire au fur et à mesure que la fonte s'opère, puis on le verse dans un tamis de crin placé au-dessus d'un grand cuvier en bois blanc où il dépose l'eau qu'il peut contenir. De ce cuvier on le décante dans un autre, et, lorsqu'il commence à se figer, on le verse dans des futailles en bois blanc où on le conserve pour l'usage. La durée de la fonte de 1000 kilogrammes de suif en branches, est d'environ huit heures. Ce résultat obtenu, on arrête la vapeur dans la cuve. Après avoir laissé refroidir quelques heures on soutire, à l'aide du robinet G, toute l'eau provenant de la condensation de la vapeur qui s'y trouve réunie. Cela fait, on traite les résidus par une certaine quantité d'eau acidulée par l'acide sulfurique. Dans un travail continu on a une seconde cuve semblable à la première qui est spécialement affectée à cette destination. Cette cuve, qui est désignée par la lettre D, est doublée en plomb afin de préserver le bois de l'action de l'acide qui, en se charbonnant, pourrait déterminer la coloration du suif. Pour le traitement des résidus résultant de la fonte de 1000 kilogrammes de suif nous employons 200 litres d'eau et 6 kilogrammes d'acide sulfurique à 66°.

Les choses étant ainsi, on introduit la vapeur dans la cuve et on fait bouillir quelques heures. Lorsque la réaction est terminée, on arrête la vapeur et on verse quelques hectolitres d'eau dans la cuve. Pour faciliter la séparation du sédiment, on agite le mélange pendant quelques minutes. Par le refroidissement, le suif se fige à la surface du liquide; on l'enlève et on lui fait subir plusieurs lavages à l'eau chaude pour lui enlever les faibles portions d'acide sulfurique qu'il peut retenir.

Enfin, pendant que le suif est encore chaud, on le verse dans un cuvier en bois blanc, où il se prend en masse par le refroidissement.

Ce suif est presque aussi blanc que celui qu'on retire directement du suif en branches. 1000 kilogrammes de ce dernier suif donnent, en moyenne, 900 kilogrammes de suif fondu très-pur. Ce procédé s'applique avec le même avantage à la fonte de toutes les espèces de graisses animales. Nous l'avons aussi employé pour l'extraction de la graisse d'os et la purification des fonds d'huiles.

Acide oléique. — Cet acide qu'on nomme aussi *oléine* ou *huile de suif* occupe, à juste titre, une place importante parmi les matières grasses qui alimentent nos savonneries de l'intérieur. Il est aujourd'hui produit comme matière secondaire en quantités énormes par les stéarineries; celles-ci l'obtiennent par deux pressages successifs, l'un à froid, l'autre à chaud, des acides gras solides provenant de la décomposition du savon calcaire par l'acide sulfurique. Il se trouve mélangé à ces acides gras à poids à peu près égaux.

Cet acide est d'un brun rougeâtre plus ou moins intense, selon le degré de coloration des acides gras solides dont il est éliminé par les presses. Sa saveur est âcre et son odeur rappelle cette espèce de rancì qu'on trouve dans les matières grasses acides. Sa densité, à la température de + 15°, est de 0,912. Enfin, par sa combinaison avec la soude, il forme un des meilleurs savons connus.

Remarquons que ces caractères spécifiques s'appliquent à l'acide oléique provenant de la saponification calcaire; car l'acide oléique qui résulte de la saponification sulfurique des suifs, n'a ni la même valeur ni la même importance pour la fabrication des savons, surtout pour ceux à base de soude.

Acide oléique décoloré. — Cette nouvelle matière grasse, qui est à peu près incolore, fournit avec la soude des savons d'une pâte bien fondue et surtout beaucoup moins colorés que ceux qui résultent de l'acide oléique usuel. C'est, au surplus, la même huile décolorée par une distillation effectuée, dans des appareils spéciaux, sous l'influence de la vapeur d'eau surchauffée.

Cet acide oléique blanc se saponifie facilement, mais plus lentement que le même produit brut. Le savon qu'il forme acquiert aussi plus difficilement de la consistance.

On nous avait affirmé que cet acide était propre à la fabrication des savons blancs. Pour élucider cette question nous avons fait deux expériences successives, en nous plaçant dans les meilleures conditions pratiques. Ces expériences nous ont montré à l'évidence l'impossibilité de faire du savon blanc avec cette huile, même en employant les lessives de sel de soude les plus incolores et les plus pures. Pendant la saponification la partie colorante de l'huile, plutôt dissimulée que réellement détruite, reparaît, et, quoique considérablement atténuée, elle persiste dans le savon confectionné, sans atteindre toutefois cette intensité de coloration qui caractérise les savons d'acide oléique brut.

L'acide oléique décoloré est essentiellement propre à faire d'excellents savons durs, mais on doit renoncer à en faire des savons blancs. Il est très employé par la savonnerie unicolore qui le recherche pour le liant, la douceur et l'homogénéité qu'il communique aux produits.

DES ALCALIS. — Maintenant que nous connaissons les huiles végétales et les graisses animales les plus employées en savonnerie, il nous reste à étudier les bases alcalines qui déterminent leur transformation en savon.

Ces bases sont, comme on le sait, la potasse et la soude; pour le chimiste elles sont de véritables oxydes métalliques, dont le métal est le potassium pour la potasse et le sodium pour la soude. Ces métaux sont appelés alcalins parce que, combinés avec l'oxygène, leurs oxydes portent depuis longtemps le nom générique d'alcalis.

Quoi qu'il en soit de ces dénominations, les alcalis présentent les caractères ci-après:

1° Ils sont entièrement solubles dans l'eau;

2° Ils ont une saveur âcre et caustique;

3° Ils ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide;

4° Ils neutralisent les acides et forment des sels;

5° Ils se combinent aux corps gras pour former des savons entièrement solubles dans l'eau.

Mais à côté de ces propriétés communes, ces deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

alcalis en ont d'autres qui leur sont particulières. La potasse exposée à l'air en attire l'eau et devient déliquescente; la soude, au contraire, se dessèche et devient efflorescente par son exposition à l'air. Combinée avec les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique, la potasse forme des sels très-secs, qui se distinguent par une saveur amère très-prononcée; avec la soude les mêmes acides forment des sels hygrométriques, ayant une saveur salée, analogue à celle du sel marin.

Ces différences, pourtant essentielles, ne sont pas les seules qui distinguent les deux bases. Considérées dans leurs rapports avec l'art du savonnier, elles en présentent encore de plus caractéristiques. La potasse, avec quelque matière grasse qu'on la combine, forme toujours des savons de consistance molle et pâteuse, tandis que la soude, sauf quelques rares exceptions, produit toujours des savons solides, qui se séparent de la lessive alcaline où ils ont pris naissance.

Hydrate de potasse ou potasse caustique. — Cet hydrate forme la base des savons mous. Pour l'obtenir on décompose à chaud le carbonate de potasse dissous dans dix parties d'eau, par 40 pour 100 de chaux. Dans la réaction, il se forme du carbonate de chaux insoluble et la potasse reste dans la liqueur. Dans les arts, l'opération s'effectue dans une chaudière en fonte; au bout de quelques heures la liqueur surnageante est décantée; le marc de chaux est lavé à l'eau, et les liqueurs qui en résultent étant réunies à la première, le tout est évaporé jusqu'à fusion ignée.

L'hydrate de potasse ainsi obtenu est d'un blanc jaunâtre; sa saveur est très-caustique, et ses dissolutions aqueuses constituent la lessive de potasse. Combiné avec l'acide carbonique, il forme les différentes espèces de potasses carbonatées du commerce. Nous donnerons ici un aperçu des plus importantes pour la savonnerie.

Le carbonate neutre de potasse, KO, CO^2, constitue, sous différents noms, les diverses potasses du commerce. Nous renverrons aux articles POTASSE et SALIN pour la description des procédés d'extraction et de préparation de la potasse.

Nous rapporterons seulement ici le tableau donné par *Pesier* de la composition en centièmes des potasses que l'on trouve dans le commerce. Nous remarquerons seulement que l'habile et savant chimiste y a représenté la potasse et la soude libres, par leurs équivalents en carbonate neutre.

COMPOSITION DES PRINCIPALES POTASSES COMMERCIALES.

DÉSIGNATION.	POTASSE de Toscane.	POTASSE de Russie.	POTASSE d'Amérique rouge.	POTASSE d'Amérique perlasse.	POTASSE des Vosges.	POTASSE de mélasse de betterave.
Sulfate de potasse	13.47	14.11	15.32	14.38	38.84	1.197
Chlorure de potassium	0.95	1.09	8.15	3.64	9.16	4.160
Carbonate de potasse	74.10	69.61	68.04	71.38	38.63	76.440
Carbonate de soude	3.01	3.09	5.85	2.31	4.17	16.330
Eau hygroscopique	7.28	8.82	» »	4.56	5.34	0.600
Substances insolubles et perte	1.20	2.28	2.64	2.73	3.80	1.149
Degrés alcalimétriques	56 »	53.1	55 »	54.4	31.6	69.3

Soude. — Dans le commerce on désigne ordinairement sous le nom de soude le sel qui résulte de la combinaison de l'oxyde de sodium avec l'acide carbonique. Aujourd'hui l'industrie extrait cette importante base alcaline de trois sources différentes: 1° des lacs natronifères, qui donnent le natrum par évaporation spontanée; 2° des plantes marines, dont on obtient par incinération les diverses soudes naturelles; 3° du sel marin qui donne la soude artificielle. Nous examinerons rapidement ces différentes soudes; remarquons toutefois, qu'au point de vue industriel, elles peuvent se diviser en *soudes naturelles* et en *soude artificielle*.

Carbonate de soude naturel ou natrum. — Le natrum est représenté par la formule CO^2, NAO. Ce sel existe naturellement en dissolution dans plusieurs lacs, et les chimistes attribuent sa formation à la décomposition du chlorure de sodium sous l'influence d'un carbonate calcaire; mais cette théorie n'est pas généralement admise.

Les principaux lacs natronifères de l'ancien continent sont en Arabie, en Afrique et en Hongrie principalement dans les vastes plaines comprises entre le Danube et la Theiss.

Ces lacs ont ordinairement beaucoup d'étendue et peu de profondeur. Durant les chaleurs de l'été, le soleil en vaporise l'eau et le natrum se dépose sur leur fond en plaques cristallines d'un blanc grisâtre, qu'on purifie par voie de dissolution et de cristallisation; il est alors blanc et net et tel que la plupart de ses applications l'exigent. Ce sel s'effleurit rapidement à l'air et perd une partie de son eau de cristallisation. Sa constitution chimique est d'ailleurs fort complexe, car il cristallise avec tous les sels cristallisables que les eaux qui le fournissent renferment; mais après sa purification il présente une composition assez constante. C'est du moins ce qui résulte de l'analyse suivante qui résume les moyennes d'un grand nombre d'essais. Sur cent parties on trouve:

Carbonate de soude	52
Sel marin	25
Sels divers et matières insolubles	04
Eau de cristallisation	19

Le natrum est encore aujourd'hui employé par les fabriques de savons qui existent dans les lieux de sa production; les teinturiers en consomment aussi d'assez grandes quantités pour le dégraissage des laines brutes; mais il n'arrive plus à nos fabriques depuis la découverte de la soude artificielle.

Carbonate de soude extrait des plantes marines. Soudes végétales. — Ces soudes, très-anciennement connues,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont le produit de l'incinération de certaines plantes marines, plus ou moins riches en sels sodiques à acides végétaux. Leur production était autrefois importante en Espagne, dans les Deux-Siciles et même en France.

Mais depuis la découverte de la soude artificielle, cette dernière les remplace dans la plupart de leurs applications et notamment dans la fabrication des savons. La savonnerie française qui, au commencement du siècle, consommait annuellement pour plus de 20 millions de francs de soudes d'Espagne, n'emploie plus maintenant que des soudes artificielles.

Ces soudes sont cependant d'un emploi très-économique dans la fabrication de certaines sortes de savons blancs à l'huile d'olive non *liquidés*. Moins alcalines et plus abondantes en sels neutres solubles que les soudes artificielles, elles peuvent être employées dans une beaucoup plus forte proportion que les dernières sans que le savon devienne efflorescent. Un autre avantage inhérent à ces soudes, c'est de communiquer au savon une teinte légèrement bleuâtre à l'intérieur; les parties exposées au contact de l'air blanchissent au contraire très-rapidement par l'oxydation des surfaces. Pour ces sortes de savons, dont l'usage est fort répandu en Espagne, en Italie et dans l'Autriche méridionale, nulle autre soude ne peut remplacer les soudes naturelles de bonne provenance; car, aussi rigoureusement limitée que soit la proportion de lessive employée pour arriver à la cuite, le savon est trop alcalin. Ajoutons, enfin, que les savons d'huile d'olive faits avec ces soudes sont d'un rendement très-élevé et aussi remarquables par leur excellente qualité que par leur blancheur.

Au surplus ces soudes varient beaucoup entre elles par leurs caractères extérieurs, ainsi que par leur constitution chimique. Il est toutefois à remarquer que la barille douce présente le type le plus pur des soudes végétales; elle provient de la *salsola soda* que l'on cultive particulièrement à Alicante, à Carthagène, à Malaga, provinces espagnoles dont la soude prend ordinairement le nom. La soude des autres provenances est, en général, moins pure et moins riche en carbonate sodique.

Soude artificielle. — Le procédé découvert par Nicolas Leblanc est, malgré d'innombrables tentatives, le seul que nous possédions pour obtenir industriellement la soude. Il est cependant juste de dire que les moyens d'exploitation indiqués par cet éminent chimiste ont été successivement perfectionnés. Les fours à cuvette en fonte à deux galeries ont remplacé les anciens fours à bastringues; l'acide chlorhydrique, qui se produit en si grande abondance lors de la transformation du chlorure de sodium en sulfate, est aujourd'hui recueilli intégralement dans de vastes appareils de condensation. Constatons enfin, et ce résultat est important, que le four tournant de MM. Elliot et Russel qui fournit 30,000 kilogrammes de soude en vingt-quatre heures, produira, en se généralisant, une véritable révolution dans cette branche d'industrie.

Le procédé de N. Leblanc repose: 1° sur la transformation du chlorure de sodium en sulfate de même base au moyen de l'acide sulfurique; 2° sur la transformation du sulfate de soude en carbonate sous l'action de la craie et du charbon. Les fabriques de soudes françaises adoptent généralement les proportions respectives ci-après des matières précitées:

Sulfate de soude calciné. . .	2000
Carbonate de chaux.	2000
Charbon minéral.	1000
Total.	5000

Les matières d'abord pulvérisées et mélangées sont calcinées jusqu'à fusion pâteuse dans un four à réverbère de forme elliptique préalablement chauffé au rouge. La réaction dure quelques heures. Lorsque les ouvriers jugent qu'elle est complète, ils retirent la soude du four à l'aide de râbles.

Les proportions des matières ci-dessus donnent la soude artificielle douce. Cette soude, telle que la produisent aujourd'hui nos grandes fabriques de Marseille, de Paris et de Lille, est d'une grande richesse; en moyenne elle renferme sur 100 parties en poids:

Carbonate de soude.	45
Oxy-Sulfure de calcium.	30
Chaux caustique.	10
Carbonate de chaux.	05
Substances étrangères diverses.	10
Total.	100

La soude artificielle brute est aujourd'hui la seule matière alcaline qu'emploie la savonnerie marseillaise; c'est elle aussi qui fournit la soude caustique et les sels de soude carbonatés. L'industrie chimique possède des moyens très-perfectionnés et très-ingénieux pour obtenir ces produits. Mais l'opération fondamentale consiste à extraire, de la soude brute, tout le carbonate qu'elle renferme. La méthode de lixiviation simple à froid, par filtration, est la plus généralement employée; l'eau dissout peu à peu les parties solubles qu'on en extrait ensuite par évaporation, cristallisation ou calcination, suivant la nature du produit.

Les différentes espèces de sels de soude qu'on retire de la soude artificielle sont: 1° le carbonate de soude anhydre; 2° le sel de soude caustique; 3° le sel de soude cristallisé. Pour la description de l'industrie de la soude, nous renverrons à l'article SOUDE de cet ouvrage.

Hydrate de soude ou soude caustique. — Depuis une vingtaine d'années, on prépare industriellement cet hydrate, qu'on appelle aussi *pierre de soude* ou *pierre de savon*, en décomposant le carbonate de soude en dissolution par la chaux. En évaporant les différentes liqueurs provenant de ce traitement dans des chaudières de fonte jusqu'à une densité d'environ 2,000, ces liqueurs se prennent en masse par le refroidissement et constituent l'*hydrate de soude* ou *soude caustique;* ce produit contient 22 pour 100 d'eau. Rappelons que les dissolutions aqueuses de cet hydrate forment de véritables lessives de soude caustique qu'on peut employer directement à la fabrication des savons durs. Le tableau suivant de Dalton exprime les quantités pondérables de soude que ces liqueurs renferment à différentes densités.

Densité.	Poids de la soude.	Densité.	Poids de la soude.
200	77,8	140	29,0
185	63,6	136	26,0
172	53,8	132	23,0
163	46,6	129	19,0
156	41,2	123	16,0
150	36,8	118	13,0
147	34,0	112	9,0
144	31,0	106	4,7

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA FABRICATION DES SAVONS. — La fabrication manufacturière des savons repose sur une combinaison d'opérations à la fois techniques et chimiques qu'il convient d'étudier sommairement, afin d'avoir une idée d'ensemble précise des procédés par lesquels on arrive à convertir les matières premières en savon.

Mais, avant d'aller plus loin, nous dirons quelques mots des lessives, dont nous indiquerons ultérieurement le mode de préparation qui s'applique à chaque série ou catégorie de savon.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Considérées chimiquement, les lessives sont de véritables dissolutions d'hydrates d'oxydes de potassium ou de sodium. Leur préparation, dans les savonneries, est l'objet de très-grands soins, car nous avons vu précédemment qu'elles sont un des éléments constituants des savons. C'est seulement, en effet, sous cette forme d'hydrate, c'est-à-dire en dissolution dans l'eau, que les oxydes alcalins qu'elles renferment sont aptes à réagir chimiquement sur les matières grasses d'origines diverses et à déterminer progressivement leur transformation en savon parfait.

La préparation des lessives constitue une opération importante; on y emploie la potasse et la soude; mais comme ces deux bases sont à l'état de carbonate, on leur enlève l'acide carbonique au moyen de la chaux. La première et la plus essentielle des conditions pour faire de bons savons, c'est de développer dans les lessives toute la causticité possible. Pour cela, il faut employer la meilleure qualité de chaux; il faut aussi que cette chaux soit récente, car c'est alors qu'elle possède son maximum d'énergie. La chaux ancienne donne de moins bons résultats; l'action de cette base sur les carbonates alcalins est, en effet, toujours proportionnelle à sa causticité, c'est-à-dire à sa puissance d'absorption de l'acide carbonique.

La théorie de la caustification des lessives repose essentiellement sur cette action de la chaux.

La chaux décompose les carbonates solubles de potasse et de soude en s'emparant de l'acide carbonique; il se forme, d'une part, du carbonate de chaux insoluble qui se précipite; et, d'autre part, des oxydes de de potassium ou de sodium, qui forment, avec l'eau employée comme dissolvant, de la lessive de potasse ou de soude, selon que l'on fait intervenir l'une ou l'autre de ces bases dans l'opération. Suivant la nature des matières alcalines employées, on distingue plusieurs espèces de lessives :

1° La soude artificielle donne les lessives douces et salées, qui interviennent dans la fabrication des savons blancs et marbrés façon Marseille;

2° Les sels de soude fournissent les lessives employées pour la fabrication des différentes espèces de savons durs, y compris ceux de toilette;

3° La potasse produit les lessives qui servent à la fabrication des savons mous;

4° Les cristaux de carbonate de soude donnent les lessives pour les savons de toilette durs faits à froid.

Examinons maintenant la série des opérations nécessaires pour amener les matières saponifiables à l'état de savon. Nous nous occuperons plus spécialement dans ces généralités de la fabrication marseillaise, qui, à part quelques variations, résume, dans ce qu'elles ont de plus rationnel et de meilleur, toutes les méthodes particulières qui se rapportent aux différentes espèces de savons préparés sur lessive. Elle comporte quatre opérations ou périodes distinctes : 1° l'empâtage; 2° le relargage; 3° la coction; 4° la liquidation pour le savon blanc et la madrure pour le savon marbré.

1° *Empâtage.* — C'est le premier traitement que l'on fait subir aux matières grasses d'origines diverses pour les combiner avec l'alcali. Il est d'une importance extrême au point de vue du rendement et de la bonne qualité du savon. On n'aura jamais ni l'un ni l'autre si l'empâtage est mal réussi.

La manière d'y procéder diffère selon les matières grasses sur lesquelles on opère. Si ces matières sont riches en principes solides, comme, par exemple, les huiles d'olive et les suifs, il convient de commencer avec des lessives faibles et pures, dans lesquelles on aura développé toute la causticité possible : leur degré peut varier de 8° à 12° B. Le premier convient plus spécialement pour les huiles d'olive, le second pour les suifs, les graisses animales et l'huile de palme.

La quantité de lessive à employer n'est pas non plus constante; elle n'est cependant jamais au-dessous de 60 pour 100 du poids de la matière grasse, et elle en excède rarement le poids. On commence ordinairement avec la moitié ou les deux tiers de la lessive que l'on chauffe d'abord jusqu'à l'ébullition, car son action est alors beaucoup plus rapide; les additions qu'on fait ensuite doivent être successives et pas trop précipitées et continues. Les praticiens jugent que la cuite a besoin de lessive lorsque la matière commence à adhérer sur le fond de la chaudière et qu'il s'en exhale des fumées.

Après cette première lessive, on en emploie une seconde d'un degré plus élevé, à 12° par exemple. La proportion est des deux tiers de la première; l'ébullition doit être modérée, plutôt active que trop lente. L'ébullition, en provoquant un mouvement continu dans la masse, détermine une émulsion qui rend plus facile la combinaison des matières. On termine le plus souvent avec de la lessive à 15° ou 20°, qu'on emploie dans le rapport de 20 à 25 pour 100 du poids de la matière grasse.

Vers la fin, l'émulsion savonneuse forme un mélange parfaitement lié et homogène : si l'opération a été bien conduite, on doit n'apercevoir ni huile ni lessive. Celle-ci, effet, n'est pas en quantité suffisante, ni à un degré assez fort pour produire la séparation de la matière saponifiée.

Qu'on ne l'oublie pas, l'empâtage est l'opération primordiale en savonnerie. On ne saurait par conséquent y apporter trop d'attention et de soins. Partout on y attache une importance extrême, et ce n'est pas sans raison.

Disons, pour la règle, que la contenance des chaudières est d'environ 3 hectolitres par 100 kilogrammes de corps gras. A Marseille, on traite à chaque opération depuis 4,000 jusqu'à 10,000 kilogrammes d'huiles, et l'empâtage dure de 30 à 40 heures: il y aurait danger à le précipiter.

Ce qui précède s'applique plus particulièrement à l'empâtage des huiles d'olive, des suifs et des graisses animales, substances riches en principes solides.

Pour l'acide oléique, les conditions de l'empâtage sont différentes. Cette huile, ne contenant qu'une proportion relativement faible d'acides gras solides, peut être directement saponifiée avec des lessives à 18°, 20° et même 25° Beaumé, correspondant aux densités de 1140, 1160, 1200.

La même remarque s'applique à l'huile ou beurre de coco. Cette huile se saponifie aussi directement, et par simple amalgame, avec des lessives d'une densité qui peut atteindre 1260 ou 30° Beaumé. Sa saponification deviendrait même très-difficile, sinon impossible avec des lessives moyennes ou faibles, en raison de la longueur de l'opération et des écumes abondantes que l'ébullition détermine dans le mélange.

Nous ajouterons que cette huile s'allie mal avec l'huile d'olive et les autres matières grasses employées dans la fabrication des savons solides relargués et cuits sur lessive. Lors de la séparation, on en perd une partie qui reste en dissolution dans la lessive, car le savon qu'elle forme n'est insoluble que dans des lessives très-concentrées et renfermant une forte proportion de sel marin. On l'emploie cependant pour les savons de toilette en faible proportion, en raison de ses propriétés éminemment émulsives. Cette huile ne conserve tous ses avantages que dans la confection des savons lisses unicolores, seule ou mélangée avec d'autres matières grasses, en opérant sans séparation et dans un temps très-court.

2° *Relargage.* — L'empâtage terminé, les matières grasses forment avec la lessive un savon imparfait; il aurait peu d'avantage à le continuer dans cet état, car outre l'inconvénient d'avoir une pâte moins belle, s'il s'agissait d'un savon blanc, cette manière de procéder entraîne encore une plus grande dépense de temps, de combustible et de lessive. C'est donc une nécessité, une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

économie même, d'éliminer les lessives usées de l'empâtage avant de commencer la cuite ou coction.

Ici, il y a quelques remarques à faire, car, dans la séparation, il convient de tenir compte de la nature des matières sur lesquelles on opère. Disons d'abord qu'en principe l'opération du *relargage* est fondée sur l'insolubilité à peu près complète des savons de soude dans les dissolutions de sel marin ou dans les lessives de soude fortement concentrées. Disons aussi que les recuits que l'on emploie pour cette opération agissent surtout par le sel marin qu'ils contiennent ordinairement en fortes proportions.

Le sel marin est donc l'agent principal sous l'action duquel les dissolutions de savon se grumellent et abandonnent peu à peu leur dissolvant, que celui-ci soit de l'eau ou des lessives.

Une longue expérience nous a démontré qu'il n'est ni expéditif ni avantageux de procéder au relargage dès que l'empâtage est terminé ; il est toujours mieux de laisser reposer et refroidir la pâte quelques heures, même plus longtemps si la saison est chaude; alors la séparation se fait plus rapidement; elle est aussi plus complète et moins coûteuse.

Dans les savonneries, c'est presque toujours de recuits qu'on se sert; mais, pour en tirer tout l'effet qu'ils peuvent produire, ils doivent être froids, parfaitement limpides et marquer de 20 à 30 degrés.

Pour les savons d'huile d'olive, ou des mélanges de cette huile avec les huiles de sésame ou d'arachide, nous avons trouvé un avantage réel à laisser refroidir la matière empâtée 12 ou 15 heures en chaudière découverte avant d'en effectuer le relargage. Nous avons également reconnu que, dans ces conditions, il était préférable d'ajouter aux recuits 1/10 ou 1/20 de lessive neuve à 25° ou 28° Beaumé. Par cette marche, nous avons toujours pu obtenir une séparation rapide et complète de la matière saponifiée, qui vient surnager sur la liqueur où elle a pris naissance. Cette lessive, ou eau-mère, ne tient en dissolution que des sels neutres: on n'y trouve plus de soude caustique.

Quelques praticiens provoquent la séparation du savon pendant l'empâtage même. Lorsque la matière est bien liée, ce qui a lieu quelques heures après l'ébullition, ils commencent à projeter peu à peu dans la chaudière un mélange de lessive neuve et de recuit ; cette manière est surtout usitée pour la fabrication des savons de toilette; elle n'est que rarement employée pour les autres savons.

Observons, en passant, que dans quelques espèces de savons marbrés ayant le suif pour base, on substitue le sel marin en nature à ses dissolutions et aux recuits.

Pour avoir une séparation complète et prompte, on emploie 7 à 8 parties de sel marin ponr 100 de matières grasses. Quelques heures de vive ébullition suffisent pour détacher toute la lessive en excès dans la pâte; celle-ci, toute grumelée, se rassemble à la surface du liquide.

Nous ajouterons enfin que le relargage des empâtages d'huile de coco, seule ou mélangée avec d'autres matières grasses, ne peut être convenablement exécuté que sur des pâtes savonneuses préalablement refroidies à + 50° ou + 60°. On éprouverait dans ce cas des difficultés sérieuses si l'on voulait procéder à cette opération à la température de l'ébullition, comme on le fait pour les empâtages de suif et autres graisses animales, où les principes gras concrets abondent.

3° *Coction.* — Suivant l'importance des charges et la nature des matières grasses, on procède à la coction en un ou plusieurs services. Les lessives qu'on y emploie marquent de 18° à 30° B. Ce sont toujours les plus faibles qu'on utilise les premières.

A Marseille, où les huiles limpides forment la presque totalité des matières grasses, la masse savonneuse conserve longtemps sa fluidité, on opère la cuite par des services successifs de lessive les uns à froid, les autres à l'ébullition. Pour les services à froid, on brasse à chaque fois le mélange, afin de mettre toutes les parties de la pâte en contact direct avec les lessives, qu'on soutire après un repos de quelques heures. On termine la cuite ou *coction* par un ou plusieurs services à la température de l'ébullition, qui achèvent de saturer complétement le savon d'alcali.

Pour les matières grasses solides, telles que les suifs et les graisses animales, on ne donne que le premier service à froid ; ce n'est même pas toujours possible, car il arrive quelquefois que la matière se fige et se prend en masse au contact des lessives froides.

Les caractères de la cuite sont connus de tous les praticiens, mais ces caractères ne sont pas tous suffisants. Il ne faut pas seulement que le savon soit cuit, il faut aussi en dégager l'odeur générique inhérente à chaque matière grasse. Ce n'est qu'à ce caractère spécial et précis que l'on reconnait qu'un savon est bien cuit; l'odeur est agréable et même suave dans les savons d'huile d'olive et dans ceux d'huile de palme : elle est agréable dans tous après l'entière et parfaite saturation de la matière grasse.

La causticité de la lessive à la fin de la cuite est aussi un des caractères essentiels de la saturation du savon. Le degré n'est pas non plus à négliger, car il fournit d'utiles indications.

Pour les savons qui doivent être liquidés, comme les savons de toilette, ou le blanc d'huile d'olive ou même celui d'acide oléique, on ne doit terminer la cuite que lorsque la lessive de la chaudière marque 27° ou 28° Beaumé. Ce n'est qu'à ces degrés élevés qu'on peut avoir un grain dur, nerveux et d'une grande densité. Si la lessive était seulement à 24° ou 25°, la liquidation deviendrait difficile, imparfaite même, car la pâte se liquiderait trop complétement avant son entière épuration.

Les savons marbrés, quoique n'ayant besoin que d'une demi-liquidation, doivent être également tirés sur lessive à 28° ; ils sont alors plus denses et les grumeaux se dissolvent plus lentement sous l'influence des lessives faibles qu'on emploie pour y déterminer la marbrure. Dans ces savons, c'est surtout le grain de la cuite qui assure la beauté de la marbrure.

Pour les savons non liquifiés ou à demi-liquifiés seulement et extraits directement sur lessive pour être versés dans les mises, tel, par exemple, que le blanc d'huile d'olive préparé avec les soudes naturelles, ou le savon de suif, d'axonge, la lessive à la fin de la cuite ne doit pas être au-dessous de 15°, ni au-dessus de 20°, bouillante. Dans le premier cas, la pâte trop peu concentrée manque de consistance; elle est trop dure et parfois cassante dans le second.

Les savons cuits également sur lessive et contenant de la résine doivent être tirés sur lessive à 18° ou 20°, les savons bruns, très-chargés de résine, sont tirés à 24° et même 26°. Au-dessous, la pâte se lie. Le savon d'acide oléique non liquifié doit être extrait sur lessive à 18° au moins; au-dessous il reste mou.

On voit par ces indications pratiques que le degré auquel on lève les cuites n'est pas indifférent; il doit, en effet, être en rapport avec l'espèce de savon que l'on veut obtenir. Généralement, il est plus fort dans les savons qui doivent être liquidés que dans ceux qui ne subissent pas cette opération.

4° *Liquidation.* — Cette opération ne s'applique ordinairement qu'au savon blanc de Marseille et aux savons de toilette. Pour être complète et bien faite, le savon, comme il vient d'être dit, doit être non-seulement bien cuit, mais encore tiré sur lessive à 28° ou 30° B.

Naguère encore on épurait les pâtes par des lotions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

successives de lessives faibles, suivies de soutirages, pour en extraire l'alcali en excès.

Mais depuis déjà un certain nombre d'années, du moins pour le blanc de Marseille, on opère plus rapidement, avec plus d'économie et aussi plus efficacement au point de vue de la pureté du produit. Après avoir soutiré par l'épine la totalité de la lessive forte sur laquelle le savon cuit surnage, on verse dans la chaudière une quantité de lessive à 4° égale à 30 ou 40 pour 100 du poids de l'huile, puis on chauffe.

Lorsque l'ébullition commence, — elle doit être d'abord très-modérée, — on continue l'opération par des additions d'eau pure. Sous l'influence de la chaleur, le grain du savon se dissout graduellement; il devient flasque, étendu, volumineux, presque lié, mais la masse savonneuse flotte encore sur la lessive. Si on ne veut pas une liquidation complète, on examine de temps à autre des échantillons qu'on verse bouillants dans des verres. Tant que la lessive se sépare claire du savon, on n'est pas allé trop loin; mais il faut de la pratique et une attention soutenue pour ne pas dépasser le but. S'il l'était, on provoquerait de nouveau la séparation par une addition, la plus minime possible, de lessive forte ou de recuits blancs. Disons qu'à la fin de l'opération, le gras se sépare du savon et communique une teinte grise à la masse entière.

Ce mode rapide donne une pâte fort bien épurée, douce, ferme et toujours moins alcaline que par l'ancienne méthode traditionnelle.

L'épuration des savons de toilette composés de corps gras solides, tels que suifs, saindoux, huile de palme, se fait de plusieurs manières; la plus usitée est la suivante: Après l'extraction de la lessive qui a servi à la cuite, on verse dans la chaudière des recuits blancs filtrés sur des marcs de chaux et marquant 12° à 15° Beaumé. La proportion est de 80 à 100 litres par 100 kilogrammes de matière grasse primitivement employée. On fait bouillir légèrement quelques heures. Pendant ce temps, un ouvrier muni d'une pelle en fer ramène le savon des bords au centre de la chaudière où l'ébullition fait affluer la lessive. Après un repos suffisant, on soutire cette lessive, dans laquelle a passé la plus grande partie de la soude caustique qui était contenue dans la pâte savonneuse, et on achève la désalcalisation de cette dernière avec des recuits de 6° à 4°; mais vers la fin on n'emploie que de l'eau seule, que l'on verse par petites portions, jusqu'à ce que le grain du savon soit brisé, dissous, fondu; il faut procéder avec prudence. Il convient, en effet, que la pâte reste toujours ouverte, c'est-à-dire séparée de la lessive, ce qu'on peut reconnaître en en prenant de temps à autre quelques échantillons dans le bouillon, qu'on verse aussitôt dans des verres.

Dans cette période de la liquidation, il est très-utile de modérer l'action du feu, car la masse savonneuse étant à ce moment presque entièrement fluide, il faut veiller à ce qu'elle n'adhère pas au fond de la chaudière qui est alors fortement chauffé. Il est toutefois à remarquer qu'aujourd'hui beaucoup de fabricants ne portent pas la liquidation au point de faire tomber le gras; nous approuvons assez cette manière, car le gras, étant formé en partie d'oléate de sodium, constitue l'élément le plus émulsif et détersif du savon. Dans ce cas, les lessives sur lesquelles on lève la cuite sont seulement gélatineuses. Elles marquent en moyenne 10° Beaumé, froides. Pour obtenir une liquidation complète, on attend que le savon soit entièrement lié et filant: dans les deux cas, on laisse reposer 12 ou 15 heures en chaudière bien couverte avant de le verser dans les mises. Pour le savon blanc de Marseille, le repos en chaudière est de trois ou quatre jours, suivant la saison et la masse.

En somme, cette opération est délicate, difficile; elle exige une attention soutenue. Les praticiens se guident sur le degré d'alcalinité des lessives de la chaudière, et surtout sur l'état de la pâte savonneuse, dont l'aspect se modifie graduellement à mesure qu'elle s'épure. Disons enfin qu'un savon de toilette convenablement liquidé doit être doux, neutre, homogène et produire une mousse abondante avec l'eau.

Quant à l'opération de la madrure, nous avons vu précédemment qu'elle s'applique seulement au savon marbré. Elle a pour objet d'y introduire l'eau de composition nécessaire, en même temps que d'y disséminer, sous forme de veines bleues, le savon à base d'alumine et de fer qui se produit pendant la saponification. Constatons, en passant, que cette espèce particulière de savon insoluble résulte d'une combinaison très-minime d'acides gras avec les oxydes de fer, d'alumine et de sulfure de fer contenus dans la soude artificielle. Nous reviendrons ailleurs, pour les détails, sur cette intéressante opération.

Ici se terminent les observations générales qui doivent guider le praticien dans la fabrication des principales espèces de savons; l'application des règles se rapportant à chacune d'elles devant faire l'objet d'une autre partie de ce travail.

FABRICATION DES SAVONS DURS A BASE DE SOUDE. — On a pu remarquer dans l'historique qui sert d'introduction à ce travail, que les savons solides s'obtiennent par deux méthodes différentes: l'une dite *à la grande chaudière*, sert à préparer tous les savons cuits sur lessive; l'autre, dite *à la petite chaudière*, s'applique aux savons obtenus sans relargage. Nous nous occuperons plus spécialement de la première qui est exclusivement employée par la savonnerie marseillaise.

Fabrication marseillaise. — Marseille, nous l'avons déjà dit, fabrique deux espèces de savons qui sont: le savon marbré et le blanc liquidé. Depuis le commencement du siècle, depuis une trentaine d'années surtout, sa production s'est accrue dans d'énormes proportions. Par suite de cette situation, elle a dû introduire d'importantes et radicales modifications dans ses moyens de fabrication. La soude artificielle, et c'est là un fait considérable que nous avons déjà constaté, y a partout remplacé la soude naturelle. Les huiles végétales et les graisses animales de provenance indigène ou exotique y ont été employées concurremment avec l'huile d'olive. Beaucoup de ces matières, autrefois considérées comme impropres à cette fabrication, lui ont rendu de réels services, à raison de leur prix relativement peu élevé. De ce nombre sont surtout les huiles de sésame, d'arachide de coton, qui, combinées en des proportions déterminées avec les huiles d'olives, ont donné d'excellents mélanges pour les savons marbrés dont, soit dit en passant, la production atteint annuellement 70 millions de kilogrammes. Même pour les savons blancs, elle mélange l'huile d'olive avec l'huile d'arachide ou l'axonge. Faut-il voir là une dérogation à ses principes traditionnels? C'est une opinion que nous ne saurions ni partager, ni admettre. La situation spéciale de cette grande industrie, les intérêts divers et nombreux qui s'y rattachent, lui imposaient ces diverses transformations. C'est ce qu'elle a fait, mais loyalement; elle n'a admis dans ses combinaisons, et après une étude sérieuse et approfondie, que celles des matières qui par leur nature pouvaient fournir des savons d'une qualité équivalente à ceux de l'huile d'olive. Opérer cette réforme était pour elle une question vitale une question d'existence. Qui pourrait l'en blâmer? Qui pourrait d'ailleurs affirmer que ses produits d'autrefois étaient supérieurs à ceux d'aujourd'hui?

Cette marche était, en effet, la seule logique, car, sous l'influence d'une ardente compétition et de la cherté toujours croissante des matières premières, cette belle industrie ne donne, en général que des résultats assez peu rémunérateurs. Ce n'est donc que par une activité soutenue, par une économie raisonnée, qu'elle peut sou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tenir son ancien prestige et la légitime considération de ceux qui l'exploitent.

SAVON MARBRÉ. — Ce savon est incontestablement celui qui jouit de la réputation la mieux méritée; car l'impossibilité d'y introduire en proportions notables des matières étrangères sans en dénaturer la marbrure, lui assure une composition à peu près identique. Toutefois, remarquons que les beaux savons marbrés ont toujours pour base principale les huiles d'olives. Nous dirons également que les huiles les plus blanches et les plus riches en principes solides sont celles qui fournissent les produits les plus beaux, les plus fermes et les plus estimés. La fabrication de ce savon comporte un certain nombre d'opérations que nous décrirons dans l'ordre où elles se succèdent.

Préparation des lessives. — Les lessives que la savonnerie marseillaise emploie pour la fabrication de ce savon sont toujours le produit de la lixiviation de la soude artificielle que l'on décarbonate par la chaux caustique. On les distingue en lessives douces et en lessives salées. La première, qui est exclusivement employée pour l'empâtage est fournie par la soude douce, qu'on doit choisir aussi riche et aussi pure que possible. Quant à la seconde, elle résulte de la lixiviation d'un mélange de soude douce et de soude salée. On l'emploie pour la cuite; parce qu'étant chargée d'une assez forte proportion de sel marin, elle détermine de plus en plus la séparation du savon des liqueurs alcalines qui ont produit leur effet.

1° *Lessive pour l'empâtage.* La soude qui produit cette lessive est ordinairement en masses plus ou moins agrégées d'un gris foncé, et sa richesse alcalimétrique moyenne varie de 36 à 38 degrés.

Avant de la soumettre à la lixiviation, on la réduit en poudre grossière sur une forte pierre dure appelée *picadou*. La matière est suffisamment divisée lorsque les morceaux ne dépassent pas la grosseur des grains de maïs. La pulvérisation étant poussée plus loin, la lixiviation deviendrait plus difficile et une partie de l'alcali échapperait ainsi à l'action dissolvante de l'eau.

Pour obtenir la lessive caustique on mélange cette soude concassée avec 25 pour 100 de chaux préalablement hydratée, c'est-à-dire réduite en poudre au moyen de l'eau. Il est essentiel d'employer de la chaux de bonne qualité, bien grasse et nouvellement cuite.

La lixiviation dudit mélange de soude et de chaux s'opère à l'eau froide dans de vastes et solides bassins en granit, nommés *barquieux*. La figure 3 représente par une coupe verticale la disposition de deux barquieux avec les réservoirs ou citernes souterraines qui en dépendent.

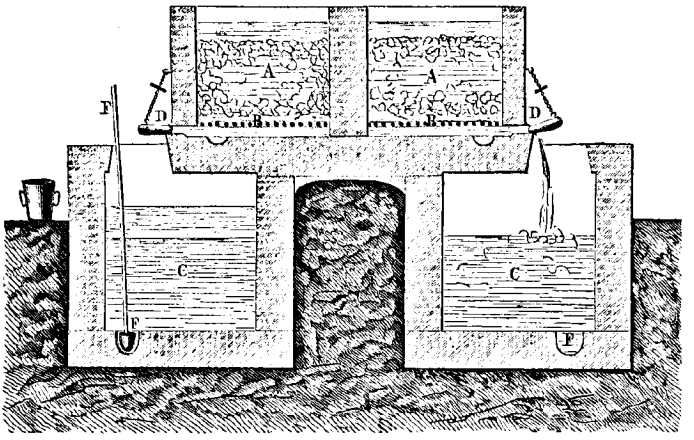


Fig. 3.

AA. Bassins ou barquieux;
BB. Doubles fonds formés de lames de fer croisees;
DD. Tuyaux d'écoulement des lessives;
CC. Citernes ou réservoirs destinés à recueillir la lessive des barquieux.

Les doubles fonds sont maintenus par des briques posées à plat à cinq ou six centimètres du fond des barquieux. On les recouvre, avant le chargement, de quelques plis de toile d'emballage ou d'une couche de paille afin que la matière ne puisse passer à travers les interstices que les lames de fer laissent entre elles.

Chaque barquieu reçoit une charge de 2,000 kilogrammes de soude et de 250 kilogrammes de chaux. Cette quantité de matière ne doit même les remplir qu'aux quatre cinquièmes. Disons que leur contenance est d'environ trois mètres cubes.

Quand le chargement est opéré, on recouvre le mélange d'une plaque de tôle perforée comme une écumoire, puis on procède à sa lixiviation. Lorsque l'eau s'élève à 8 ou 10 centimètres au-dessus de la matière, on laisse reposer. Au bout de 12 ou 15 heures on fait écouler la lessive en soulevant légèrement le tampon D qui ferme le tuyau placé entre les deux fonds. On remplit à nouveau le barquieu d'eau et après une immersion de 10 ou 12 heures on soutire la seconde lessive qu'on recueille dans un réservoir indépendant du premier. Enfin, nouvelle charge d'eau qu'on fait comme précédemment écouler, fournit une troisième lessive. Ces trois lessives, à des degrés différents constituent, par leur mélange, sous des rapports divers, la lessive d'empâtage. Celle-ci contient, en moyenne, pour un hectolitre d'une densité de 1070 ou 10° Beaumé:

Hydrate de soude ou soude caustique.	3k,100
Carbonate de soude.	0 ,900
Sulfure de sodium.	0 ,650
Sulfate et sels divers.	0 ,550
Chlorure de sodium.	0 ,800
Total.	6k,000

La même lessive, d'une densité de 1,260 ou 30° B., contient par hectolitre 32 kilogrammes de soude caustique ou carbonatée et de sels divers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme après ces lixiviations successives, la soude n'est pas entièrement épuisée, on continue encore les lavages. On reconnaît que toutes les parties solubles ont été enlevées, quand les dernières liqueurs qui coulent des barquieux ne marquent plus que 1 ou 2 degrés.

2° *Lessive pour la coction.*— Ainsi qu'il a été dit précédemment, cette lessive s'obtient par la lixiviation d'un mélange de soude douce et de soude salée avec addition de chaux. Les proportions respectives des deux soudes varient suivant la nature des huiles qui servent à la fabrication du savon. Plus ces huiles sont riches en margarine, moins on fait entrer de soude salée dans le mélange. Cependant les fabricants marseillais composent, en général, leurs barquieux avec les doses suivantes:

Soude douce à 36° ou 38°. . . .	1600 kilog.
Soude salée.	400
Chaux nouvellement calcinée.	400
Total.	2400

Comme pour la lessive de soude douce, les soudes sont d'abord réduites en poudre grossière, puis mêlées avec la chaux préalablement éteinte. C'est alors que le mélange est chargé dans les barquieux. Ceux-ci sont disposés par série de trois ou quatre, et chacun d'eux reçoit une charge de 1600 kilogrammes de soude douce, 400 de soude salée et 400 de chaux. Remarquons en outre que chaque série forme une *mène* qui fournit la lessive nécessaire aux différents services d'une cuite. On opère la lixiviation de la matière avec les recuits d'une cuite antérieure. En sortant des chaudières ces lessives sont reçues dans un réservoir commun établi dans les caves qui renferment les fourneaux. De là, une pompe les élève à mesure dans des bassins supérieurs où elles se refroidissent. C'est alors qu'on les fait couler sur les barquieux. Elles arrivent d'abord sur le plus ancien de la *mène;* en le traversant elles se clarifient et donnent le *recuit passé.* Celui-ci marque 22° B. environ. On le repasse sur le barquieu suivant, plus riche en soude caustique. Il en ressort plus limpide et plus fort; il marque alors 25 ou 26 degrés et constitue l'*arance.*

C'est ce recuit purifié et enrichi qui est employé pour commencer la lixiviation du barquieu nouvellement chargé de matières neuves. Il fournit d'abord de la lessive à 28 ou 30 degrés qui prend le nom de *bonne première,* et qui sert pour les derniers services de la cuite. La lessive qui vient après marque de 28 à 24 degrés, est employée pour les premiers service après le relargage. D'après une analyse, que nous croyons due à M. Laurent, l'habile et savant chimiste de la savonnerie Arnavon, la première lessive de cuite à 28° renferme par hectolitre:

Soude caustique.	4k,500
Carbonate de soude. . . .	2 ,600
Sulfure de sodium. . . .	1 ,700
Sulfate de soude.	3 ,450
Hyposulfite.	4 ,890
Chlorure de sodium	10 ,000
Silicate et aluminate. . . .	0 ,200
Matières organiques. . . .	8 ,000
Total.	35k,340

On voit, par ce qui précède, que la lessive de cuite est obtenue par trois passages successifs des recuits sur des barquieux de plus en plus riches en soude caustique. Quand le barquieu qui reçoit d'abord les recuits commence à s'envisquer, on achève de l'épuiser par des lavages à l'eau, et alors on procède à une rotation nouvelle sur les autres barquieux pour leur faire rendre tour à tour le maximum du produit voulu.

Les chaudières dans lesquelles s'exécutent les diverses opérations qui ont pour objet de convertir les huiles en savon sont de plusieurs sortes; celles en maçonnerie

sont de tradition dans la savonnerie marseillaise, car malgré leur prix très-élevé et leur rapide détérioration, elles réalisent les deux conditions les plus essentielles au résultat final; premièrement, elles ont une influence très-marquée sur la blancheur du savon, qui, dans les chaudières en fer, se colore plus ou moins par l'oxyde que les lessives bouillantes enlèvent au métal. En second lieu, ces chaudières étant formées de matériaux mauvais conducteurs du calorique, conservent longtemps après leur chauffe une certaine élévation de température qui, dans la fabrication du savon blanc liquidé, est éminemment favorable à la séparation complète du *gras* en maintenant la pâte dans une fluidité suffisante pendant son épuration. Ce même avantage leur assure aussi une supériorité marquée sur les chaudières en métal pour la levée des cuites de marbrés, qui s'opèrent aussi sans feu. Ces diverses considérations ont déterminé les fabricants marseillais, malgré quelques inconvénients, à se servir exclusivement de ces chaudières. Leur forme se rapproche de celle d'un cylindre légèrement évasé par le haut; leur fond est en cuivre ou en fer battu de Suède. La figure 4 repré-

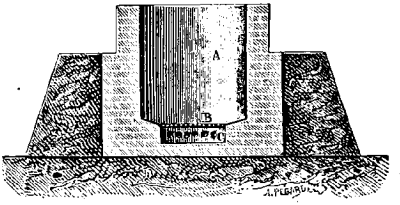


Fig. 4.

sente, par une coupe verticale, une de ces chaudières. Ajoutons qu'elles sont chauffées, soit par un foyer, soit par la vapeur. Nous nous dispenserons de parler du premier mode, qui est parfaitement connu des praticiens. Quant au second, il s'applique particulièrement aux chaudières de grandes dimensions, comme le sont, en général, celles de la savonnerie marseillaise, dont la capacité varie de 20 à 40 mètres cubes. Ce mode offre l'avantage particulier de pouvoir chauffer plusieurs chaudières à la fois avec le même foyer; il est dans ce cas fort économique. On a dans le principe beaucoup varié les moyens d'application, mais on n'a pas tardé à reconnaître que ni le chauffage à vapeur directe, ni le chauffage à vapeur confinée ne pouvait convenir aux savonneries. Le premier mode surtout était absolument impraticable, car la condensation de la vapeur dans la masse savonneuse l'invisquait rapidement en diminuant la densité de la lessive; le second, quoique moins défectueux, était loin d'être parfait. Les chaudières étant alors chauffées latéralement par la vapeur qui circulait dans une double enveloppe extérieure, l'évaporation y desséchait la pâte sans la mettre en contact avec la lessive, ce qui est toujours indispensable. Il faut, en effet, pour procéder très-efficacement que la lessive bouillante émane directement du fond de la chaudière; toute la masse savonneuse s'en trouve alors pénétrée et se sature uniformément et complétement d'alcali dans les diverses phases de la cuite. Ces difficultés, inhérentes à tout début, ont été heureusement surmontées. Aujourd'hui, le chauffage de ces chaudières se fait au moyen de serpentins plats dans lesquels circule de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères. Nous ferons remarquer que ces serpentins sont en fer battu et que les tubes dont ils sont formés ont de 8 à 10 centimètres de diamètre. La figure 6 ci-après présente une application très-bien combinée de ce système.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce qui distingue principalement ce mode des deux précédents, c'est que l'opération procède aussi rapidement qu'avec le chauffage à feu direct; aussi est-il aujourd'hui établi dans un nombre assez grand de savonneries, et il tend de plus en plus à se généraliser. C'est un résultat dont nous sommes heureux, car depuis trente ans nous n'avons cessé de recommander l'emploi de la vapeur en industrie, et surtout de la vapeur surchauffée qu'on peut substituer avec un avantage considérable à la vapeur simple dans la plupart de ses applications, et notamment pour la distillation et au chauffage des chaudières des savonneries.

Maintenant que le lecteur connait les chaudières ainsi que les deux espèces de lessives employées pour le marbré de Marseille, nous exposerons les diverses phases de la fabrication de ce savon.

1° *Empâtage.* — Pour procéder d'après une base précise, nous supposerons une cuite de savon marbré bleu pâle, composée de :

Ressence de la Calabre.	3,000 kil.
Huile d'olive.	3,000
Huile de sésame.	4,000

formant ensemble 10,000 kilogrammes. Pour saponifier cette énorme quantité d'huiles, la capacité de la chaudière doit être de 40 mètres cubes environ. On y introduit d'abord 8,000 litres de lessive douce à 10° Beaumé. On la prépare par le mélange à parties à peu près égales des trois sortes de lessives forte, moyenne et faible qui resultent de la lixiviation du mélange de soude douce et de chaux hydratée dont il est parlé plus haut.

Cette lessive est d'abord chauffée jusqu'à + 50° ou + 60°. On verse alors dessus les 10,000 kilogrammes d'huile qu'on y incorpore par un brassage suffisamment prolongé à l'aide de redables. Quand l'ébullition se manifeste, il se forme une écume blanche très-abondante. Il faut modérer le chauffage, car le mouvement d'expansion qui se produit à ce moment dans la masse pourrait la faire déborder si on négligeait cette précaution. Après cette vive effervescence, les écumes s'affaissent, et la matière grasse émulsionnée forme une pâte d'un blanc roux. Par l'ébullition, elle acquiert plus de consistance; d'abord par la vaporisation de l'eau qui se sépare de la lessive, ensuite par une combinaison de plus en plus intime de la soude avec les acides gras. On y ajoute alors, mais par portions successives, 2 à 3,000 litres de lessive de même nature que la première, à 12°. Par l'addition de cette nouvelle lessive, la masse savonneuse, toujours maintenue en ébullition, prend une consistance de plus en plus épaisse en se saturant d'alcali. On y introduit alors 8 à 10 kilogrammes de sulfate de fer préalablement dissous dans 25 à 30 litres d'eau bouillante. Par l'addition de ce sel, la pâte, qui avait été jusqu'à ce moment d'un blanc roussâtre, acquiert instantanément une couleur verdâtre dont l'intensité est d'autant plus grande que les lessives d'empâtage sont plus sulfurées. On sait que l'union chimique de l'oxyde de fer avec les acides gras forme un savon noirâtre qui est le principe colorant de la marbrure. Disons enfin que quelques praticiens, pour obtenir une combinaison plus stable des acides gras avec les lessives, et pour mieux assurer ainsi le succès du relargage, terminent l'opération avec 1,000 à 1,200 litres de première lessive à 18° ou 20°. Cette pratique est excellente.

Nota. Il peut arriver, et il arrive en effet quelquefois qu'une faible partie de l'huile vient nager à la surface de la pâte. Quand cet effet se produit, on y remédie en versant dans la chaudière une certaine quantité de lessive faible ou même d'eau. Mais cet accident est rare lorsqu'on opère l'empâtage avec des lessives très-pures et très-caustiques, et que l'opération est conduite comme, c'est de règle à Marseille, par des praticiens exercés. Remarquons que, pour les quantités ci-dessus, l'empâtage dure 35 à 40 heures; il se fait plus rapidement quand les chaudières sont chauffées par la vapeur; mais ici, on le comprend, la question de temps est très-secondaire.

2° *Relargage.* Dans les savonneries marseillaises, on emploie pour cette opération les lessives provenant des mises ou du trempage des blocs de savons. Ces lessives, dites salées ou de recuits, agissent principalement par la forte proportion de sel marin qu'elles contiennent. Comme elles sont troubles et plus ou moins visqueuses, on les clarifie en les passant sur les barquieux qui ont fourni les premiers recuits pour la lessive de cuite. Elles marquent froides de 22 à 25 degrés; plus leur concentration est grande, plus leur effet est rapide et moins il en faut.

Le relargage s'effectue, comme on sait, en projetant peu à peu sur toute la superficie du savon des recuits qu'on fait pénétrer dans l'intérieur de la masse à l'aide d'un brassage continu. Ce brassage se fait par des ouvriers munis de redables et placés sur un madrier qui traverse la chaudière. L'opération est terminée quand la lessive se sépare abondamment de la pâte; celle-ci, qui pendant l'empâtage était restée homogène et liée, forme alors une agglomération de petits grumeaux entourés de lessive.

La quantité de recuits à employer pour obtenir cet effet est de 2,500 à 3,000 litres.

Les choses étant ainsi, on laisse reposer pendant huit heures au moins, afin que l'émulsion savonneuse puisse se séparer complétement de la liqueur alcaline. Celle-ci, par le repos de la masse, se réunit au fond de la chaudière, d'où on la fait écouler par l'*épine*. Il faut veiller à ce qu'elle en sorte claire et limpide, car dès qu'elle devient visqueuse et blanchâtre, la pâte saponifiée commence à passer. Notons que l'empâtage en fournit de 6 à 7,000 litres. Cette lessive marque froide 17° à 18° B.; il est essentiel que son degré ne descende pas au-dessous de 15°, parce qu'alors elle peut retenir du savon en dissolution.

Quoi qu'il en soit, la pâte, étant privée par cette opération de la plus grande partie des lessives faibles qu'elle renfermait, est dans les conditions voulues pour la *cuite* ou *coction* dont nous allons nous occuper.

3° *Cuite ou coction.*— La coction a pour objet de transformer le savon imparfait à excès d'acides gras qui résulte de l'empâtage des huiles, en un savon d'une composition stable, plus soluble et plus détersif.

Comme nous l'avons dit, on emploie pour la coction des lessives alcalino-salées que l'on obtient par la lixiviation d'un mélange de soude douce, de soude salée et de chaux hydratée. Pour une opération de l'importance de celle dont il est ici question, le nombre des services qui doivent amener le savon au point de saturation varie de six à huit.

Pour le premier on verse dans la chaudière 2,500 litres environ de lessive douce à 20 ou 22°. Ce service peut se donner à froid, car la chaleur de la masse est encore suffisante pour maintenir la pâte fluide. Celle-ci est mise en contact avec la lessive neuve par un brassage suffisamment prolongé, qui la grumelle.

Lorsque la lessive s'est séparée du savon, ce qui a toujours lieu après trois ou quatre heures de repos, on procède à son épinage.

Les fabricants marseillais donnent le premier service avec des lessives alcalino-salées; nous préférons n'employer pour ce service que des lessives douces, ou purement alcalines; car ces lessives en épurant la pâte de l'excès de sel marin qu'elle renferme, déterminent l'incorporation des portions d'huile qui, dans l'empâtage, auraient pu échapper à la combinaison.

A cette exception près, tous les autres services se font avec des lessives alcalino-salées. Pour le premier on verse dans la chaudière, préalablement épinée, 3,000 li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tres de cette lessive à 25° ou 26°, puis on chauffe. Par l'ébullition, il se produit à la surface de la pâte une écume noirâtre très-abondante qui persiste pendant la plus grande partie de la cuite. Quand cette lessive a produit son effet, on cesse la chauffe, et, après un repos de quelques heures, on épine.

Pour les services ultérieurs on emploie d'abord de la lessive *bonne seconde* à 27 ou 28 degrés et on termine par la *bonne première* à 29 ou30 degrés.

A chaque service on en verse, comme précédemment, 2,500 à 3,000 litres dans la chaudière et on fait bouillir 12 ou 15 heures, en ayant soin de ramener la pâte des bords au centre de la chaudière, où l'ébullition fait affluer la lessive. Rappelons que chaque nouveau service est toujours précédé du soutirage ou épinage de la lessive usée du service précédent. Ajoutons aussi que la terminaison de la cuite se révèle par des caractères divers et précis. Arrivé à ce point, l'écume a disparu; la pâte, presque partout solidifiée, est sillonnée de larges et profondes fentes et la lessive qui s'élance par les trouées qu'elle fait dans la masse détermine des projections de savon dont il n'est pas facile de se garantir. A ces caractères on peut ajouter que le savon chaud, pressé entre les doigts, s'écaille instantanément et que la lessive sur laquelle il bout est encore fortement alcaline et caustique. L'odeur qui, à ce moment, s'exale de la chaudière est lixivielle et agréable. On peut alors enlever le feu afin de pouvoir procéder à l'opération de la madrure, après avoir extrait toute la lessive de cuite de la chaudière.

4° *Madrure.* — Le savon qui reste dans la chaudière après l'extraction de la lessive se présente sous l'apparence d'une masse d'un noir bleuâtre; il doit, comme nous l'avons dit, cette coloration au savon insoluble d'alumine et de fer qu'il contient. L'opération de la madrure a essentiellement pour objet de disséminer ce savon d'alumine et de fer dans le savon blanc à base de soude qu'il colore uniformement, de manière à y produire ces veines ou marbrures bleues qui caractérisent le savon marbré de Marseille.

Les lessives qu'on emploie pour cette opération doivent être d'une limpidité parfaite et privées, autant que possible, de soude caustique. Elles proviennent ordinairement des derniers lessivages à l'eau des barquieux qui ont fourni les recuits pour la lessive de cuite. Les plus fortes marquent de 16° à 18°, les moyennes de 8° à 12° et les faibles de 4° à 8°. On estime que la madrure du savon produit par les 10,000 kilogrammes d'huile exige de 5 à 6,000 litres de ces trois sortes de lessives; mais c'est surtout sur l'état de la pâte que les praticiens se guident.

On commence ordinairement avec de la lessive à 12° ou 15°. Des ouvriers versent peu à peu cette lessive sur le savon, tandis que d'autres, placés sur un madrier qui traverse la chaudière, la font pénétrer dans la masse avec leurs redables. Quand la pâte a été suffisamment abreuvée de cette première lessive on passe à la seconde qui, comme nous l'avons dit, marque de 8° à 10°. Mais, à partir de ce moment, les ouvriers plongent leurs redables jusqu'au fond de la chaudière et les ramènent verticalement jusqu'à la surface; on remarque qu'il se produit un changement lent et progressif dans l'état de la pâte. Jusque-là, elle était en grains durs et concrets, n'ayant entre eux qu'une faible adhérence; mais, sous l'influence de lessives successivement plus faibles, de l'agitation et de la température de la masse, ces grains s'hydratent de plus en plus et deviennent souples et visqueux. On termine l'opération avec des lessives à 5 ou 6° qu'on doit employer peu à peu et avec intelligence, afin de conserver le nerf de la pâte.

On reconnaît qu'on est arrivé au point convenable pour la levée de la cuite quand le savon à demi-liquidé et fondu nage dans la lessive en grosses molécules d'un bleu noirâtre. L'important c'est d'amener la masse de la lessive qui reste au fond de la chaudière à ne plus marquer que 16 à 18 degrés à l'aréomètre Beaumé. C'est un point essentiel.

Ces différents caractères étant reconnus, on coule la cuite entière dans une mise en maçonnerie, dont la capacité correspond à celle de la chaudière dont elle doit recevoir le contenu. Ces espèces de bassins ont de 70 à 75 centimètres de profondeur; ils sont, en outre, munis d'une porte latérale qu'on lute exactement et par laquelle on en extrait le savon solidifié après sa division en blocs.

Quoi qu'il en soit, la pâte de savon mélangée de lessive que les ouvriers puisent dans la chaudière, arrive dans la mise au moyen d'un large canal en bois. Là, elle abandonne peu à peu la lessive qui y était interposée, tandis que le savon d'alumine et de fer se disémine dans sa masse encore fluide pour former la marbrure.

En huit ou dix jours le savon a acquis une consistance assez ferme pour être divisé. On le coupe alors en pains de 100 à 110 kilogrammes. Ce travail s'effectue avec un long couteau fixé dans un manche horizontal qu'on fait mouvoir au moyen d'une corde. Dans plusieurs fabriques cette division se fait au moyen de gros fil de fer qu'on dispose convenablement sur le fond des mises avant de couler le savon.

Mais, quel que soit le moyen employé pour cette division, il est avantageux de laisser les blocs de savon dans la mise avec des recuits bien filtrés, marquant de 18° à 20°. Par cette immersion, qui se prolonge pendant trois semaines ou un mois, le savon devient plus dense, plus ferme et plus beau; son poids aussi augmente de 1 1/2 à 2 pour 100, non par l'effet d'une plus grande hydratation, mais par les sels alcalins qu'il s'assimile. Ce n'est ordinairement qu'après vente qu'on découpe ces blocs en pains: ceux-ci sont placés dans des caisses dites de Marseille. Chaque caisse en contient 40 pains pesant de 108 à 110 kilogrammes.

Remarquons qu'au moment de l'encaissage, le savon marbré n'a pas ce cadre blanc qu'on désigne sous le nom de robe. Cet effet d'oxydation ne se produit que lorsqu'il a séjourné pendant quelques semaines dans les caisses. Cette décoloration exige beaucoup plus de temps pour le marbré bleu vif.

Quant aux rognures qui proviennent des différentes coupes du savon, elles sont à chaque fois introduites dans une nouvelle cuite de marbré; c'est au dernier service qu'on les ajoute dans la chaudière.

Nous rappellerons ici que les savonneries de Marseille fabriquent deux variétés de savons marbrés: le bleu pâle, et le bleu vif. Leur mode de fabrication est identique et les mêmes matières les fournissent. Seulement, pour le dernier, on ajoute à la pâte, vers la fin de la madrure, quatre à cinq millièmes de protoxyde de fer ou colcotar pour lui communiquer la coloration nécessaire à la production d'une marbrure bleu vif.

Les savons marbrés, dans la composition desquels il n'entre aucune autre matière grasse que les huiles végétales, sont les mélanges en proportions diverses de margarate et oléate de soude. Ceux qui résultent de la saponification des mêmes huiles avec les graisses animales contiennent, en outre, du stéarate de soude. Les premiers étant plus solubles, leur action est plus lubrifiante.

Mais, ce qui assigne à ces savons leur véritable valeur, c'est la proportion constante d'acides gras qu'ils renferment. Sous ce rapport ils offrent moins de variations que les autres espèces de savons; car leur marbrure résulte, comme nous l'avons vu plus haut, d'une demi-liquidation; il s'en suit que si, dans le but d'obtenir un rendement plus fort, on hydrate plus complétement la masse, le savon noir alumino-ferrugineux qui est le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

principe colorant qui forme la marbrure, se sépare par son propre poids du savon blanc, et se précipite dans les lessives qui occupent le fond de la chaudière.

Alors, au lieu d'avoir du savon marbré, on a du savon blanc ou à peu près. On voit par cela qu'il existe une relation forcée entre la marbrure et la quantité d'eau que le savon contient. Thénard, qui a fait de ce savon l'objet d'études fort sérieuses, lui assigne la composition suivante :

Acide gras.	61
Soude.	6
Eau.	30
Total.	100

Cette analyse, qui remonte à plus d'un demi-siècle, est exacte pour le savon marbré d'huile d'olive, mais elle cesse de l'être pour le même savon fabriqué avec des mélanges d'huiles d'olive, de sésame, d'arachide et de coton; car ces huiles ayant pour l'alcali une faculté d'absorption ou de saturation plus grande que la première permettent d'obtenir des rendements plus considérables sans avoir besoin de recourir à aucune pratique frauduleuse.

Ces deux savons se composent sur 100 parties :

1° *Bleu pâle.*

Acides gras.	54,5
Soude.	6,3
Sulfate chlorure et sels divers.	2,0
Glycérine et autres matières insaponifiables.	2,0
Matières fixes insolubles. . . .	0,2
Eau.	35,0
Total.	100,0

2° *Bleu vif.*

Acides gras.	51,6
Soude.	6,6
Sulfate chlorure et sels divers.	2,5
Glycérine et autres matières insaponifiables.	2,0
Matières fixes et insolubles. . .	0,3
Eau.	34,0
Total.	100,0

Le marbré bleu vif est toujours un peu moins hydraté, aussi présente-t-il une légère augmentation sur le poids des acides gras, de la soude et des sels solubles.

Ces analyses, nous l'avons reconnu, concordent avec les résultats de la production manufacturière. Il est, en effet, bien prouvé que depuis que les fabricants marseillais font entrer dans leurs mélanges pour les marbrés, les nouvelles huiles mentionnées plus haut, le rendement régulier et normal des cuites est de 180 à 184 pour 100 parties en poids d'huile. Faisons remarquer que le premier rendement s'applique plus particulièrement au bleu pâle et le second au bleu vif. Nous indiquerons, pour terminer, quelques-uns des mélanges les plus employés pour la composition des savons marbrés de première qualité.

Savon marbré bleu pâle, coupe ferme pour l'été :

Ressence de Calabre. . . .	3,000 kil.
Huile de Sésame.	4,000
Huile d'olive.	3,000
Total.	10,000 kil.

Ces proportions sont celles que nous avons supposées pour la cuite ci-dessus. Elles constituent un savon très-mousseux, très-ferme et d'une odeur franche. Les 10,000 kilogrammes d'huiles en produisent de 18,000 à 18,400 kilogrammes

Autre composition pour la même qualité :

Ressence de Calabre. . . .	3,000 kil.
Huile d'olive.	1,700
Huile de sésame	1,700
Saindoux.	3,600
Total.	10,000 kil.

Le savon, qui résulte de ce mélange, est aussi de première qualité. Il est très-consistant et son extrême blancheur fait ressortir davantage la beauté de sa marbrure. Son odeur est agréable, quoique moins franche peut-être que celle du savon précédent qui est entièrement composé d'huiles.

Mais outre ces mélanges qui donnent les deux espèces de savon marbré de première qualité, il en est d'autres d'un prix moins élevé pour les mêmes savons de seconde qualité; car, outre les huiles dont il vient d'être question et qui sont communes aux deux espèces, on fait entrer dans la composition de ces derniers d'importantes quantités d'huiles de coton, de lin, de ravizon, de suif, d'axonge, mélanges dont on varie les proportions à l'infini suivant le prix et la saison.

FABRICATION DU SAVON BLANC DE MARSEILLE. — Ce savon est incontestablement le plus estimé et le plus pur du commerce. Pendant longtemps, l'huile d'olive était employée seule à sa fabrication ; mais, depuis une quinzaine d'années, il ne s'en fait plus, parce qu'il est trop cher. Les compositions qui, aujourd'hui, donnent les premières qualités de ce savon sont des mélanges d'huile d'olive et d'huile d'arachide. Ces huiles doivent d'ailleurs être blanches ou du moins exemptes d'une trop grande coloration ; de plus, elles doivent être nettes et limpides, car, lorsqu'elles sont troubles, le savon qu'on en obtient est toujours moins beau.

La préparation de la lessive qui sert à la confection de ce savon exige aussi des précautions particulières. On y emploie exclusivement la soude douce artificielle, qu'on doit choisir au titre alcalimétrique le plus élevé et contenant le moins de sulfure possible, car on obtient alors des lessives plus riches, plus pures et plus incolores.

Pour en obtenir de la lessive, la soude est d'abord pulvérisée, puis mêlée avec 20 pour 100 de chaux, qu'on hydrate préalablement par des aspersions d'eau froide, jusqu'à ce qu'elle forme une poudre humide. C'est en cet état qu'on l'ajoute à la soude.

La lixiviation du mélange se fait à l'eau, dans des barquieux, comme il est dit page 15. On obtient trois sortes de lessives à des degrés différents, qu'on recueille à part. La première sorte, qui sert pour la cuite, marque 26 degrés environ ; la seconde de 12° à 15°, et la troisième de 7° à 8°. C'est par le mélange à parties à peu près égales de la seconde et de la troisième que l'on prépare la lessive pour l'empâtage.

Pour le reste, ce savon s'obtient par la série d'opérations que nous avons décrites en détail pour le savon marbré, mais avec la madrure en moins et la liquidation en plus. Il y a aussi à remarquer que l'on supprime entièrement le sulfate de fer, qui, dans ce cas, serait très-nuisible par la coloration qu'il communiquerait à la pâte.

Ces diverses réserves faites, nous résumerons à grands traits les principales phases de la fabrication de ce savon. Et, comme précédemment, pour avoir une base, nous admettrons une petite cuite composée de 3,000 kilogrammes d'huile d'olive et 1,000 d'huile d'arachide. Pour opérer la saponification de ces 4,000 kilogrammes d'huiles, la chaudière doit être d'une contenance de 120 à 130 hectolitres. On y introduit d'abord 3,000 à 3,200 litres de lessive à 9° B., puis on chauffe à 50 ou 60° avant d'y faire arriver les huiles, dont on détermine l'incorporation en brassant la masse à l'aide de redables. Quand l'émulsion est bien formée, on soumet le mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lange à une ébullition modérée, afin d'obtenir une combinaison plus stable et plus complète des acides gras avec la soude, et on reconnaît qu'il en est ainsi lorsqu'on n'aperçoit ni huile ni lessive à la surface de la matière.

On commence alors à verser dans la chaudière de la lessive à 12°, par portions de 80 à 100 litres toutes les demi-heures, et on continue ainsi jusqu'à ce que la pâte forme une masse épaisse bien liée et bien homogène. L'empâtage des 4,000 kilogrammes d'huiles exige de 25 à 30 heures d'ébullition continue; quand il est terminé, on enlève le feu et on procède au relargage.

Celui-ci doit s'effectuer avec des recuits de savon blanc à 24 ou 25° B. Il en faut de 800 à 1,000 litres pour obtenir une séparation complète de l'empâtage. La quantité en est suffisante quand la pâte se grumelle et que la lessive s'en sépare claire et limpide. Ajoutons qu'à défaut de recuits on peut employer de la lessive forte contenant quelques kilogrammes de sel marin par hectolitre.

De même que pour le marbré, la cuite de ce savon se fait en plusieurs services. Pour le premier, on verse dans la chaudière de 1,800 à 2,000 litres de lessive douce à 20°, et on chauffe modérément. Quand l'ébullition commence, on retire le feu et on brasse la masse pendant au moins 1 heure. Rendu plus pur par ce premier lavage, le savon est plus apte à se combiner avec les lessives concentrées qui doivent l'amener au point de cuite.

A cet effet, après l'extraction de la liqueur usée, on introduit dans la chaudière une nouvelle charge de 2,400 à 2,500 litres de lessive à 25° ou 26°, et on fait bouillir 12 ou 15 heures. Au bout de ce temps, le savon a acquis une certaine consistance, mais il est encore gras: on achève sa saturation par un nouveau service de 2,000 litres de première lessive forte à 27° ou 28°, qu'on renouvelle, s'il y a lieu, jusqu'à ce que les signes qui annoncent la fin de la cuite soient bien évidents. Ces signes sont les mêmes que pour le savon marbré; mais le plus décisif est la causticité de la lessive après une ébullition de 12 ou 15 heures avec le savon. Outre la causticité, il est encore essentiel que cette lessive ait une densité de 1,250 à 1,260, 28 ou 29 degrés Beaumé, car alors le savon est moins sujet à s'envisquer pendant l'opération toujours délicate de la liquidation.

On pourrait croire, et on a cru effectivement jusqu'en ces derniers temps, que cette opération n'avait d'autre objet que de déterminer au moyen de lessives faibles la séparation du savon d'alumine et de fer qui colore la masse du savon blanc. Il y a assurément du vrai dans cette interprétation, car c'est bien sous l'action des lessives faibles qu'on produit l'effet précité. Mais la cause n'est pas en ce que la pâte de savon est plus hydratée, plus fluide, plus diluée. Elle est uniquement dans l'existence simultanée de deux savons distincts à base de soude dans la masse de savon coloré qui résulte de la saponification de l'huile de l'olive pure ou mélangée. Ces savons, quoique formés par un mélange de margarate et d'oléate de soude, ne sont pas chimiquement identiques; ils n'ont ni la même densité, ni la même consistance, ni la même solubilité. Par suite, lorsque la masse du savon à liquider est arrivée à un certain degré de dilution, une espèce de départ a lieu : l'un des savons qui la composent, et c'est précisément le plus soluble, se dissout alors dans la lessive, et comme il est aussi le plus dense, il entraîne avec lui le savon d'alumine et de fer, le sulfure de fer, l'excès de soude caustique, pour former ce qu'on appelle le gras du savon. L'autre savon, qui est insoluble dans la lessive, qui peut dissoudre le premier, s'en sépare et forme la masse du savon blanc épuré, qui est, comme on sait, beaucoup plus considérable que celle du savon qui passe dans la lessive à l'état de gras. Voilà ce qu'une étude récente des divers produits de la liquidation a révélé et qui explique ce qui se produit pendant cette délicate et complexe opération, dont nous allons aborder immédiatement la pratique.

Pour convertir en savon blanc la masse de savon qui reste dans la chaudière après l'extraction de la dernière lessive de cuite, on procède comme il suit:

On commence par verser dans la chaudière, après en avoir fermé l'épine, de 800 à 1,000 litres de lessive neuve à 4° ou 5° au plus à l'aréomètre. Cela fait, on porte le mélange à l'ébullition, qui doit être très-modérée, ce qui est essentiel pour que l'action puisse s'effectuer d'une manière progressive et uniforme. Rien ne serait, en effet, plus contraire à ce résultat qu'une ébullition violente ou même trop active. On doit aussi avoir la précaution de ramener sans cesse la pâte de savon durcie des bords au centre de la chaudière pour la mettre en contact plus direct avec la liqueur alcaline. On fait usage pour cela d'une large pelle droite en fer munie d'un long manche.

Après une légère ébullition de quelques heures dans cette lessive faible de soude, on s'aperçoit du changement qui s'est produit dans le savon. Celui-ci, qui formait d'abord une masse cohérente, se présente alors en grains à moitié fondus qui nagent dans la lessive. Arrivé à ce point, on continue la liquidation avec de l'eau pure. Cette partie ultime de l'opération requiert les plus grands soins, car le savon doit être tenu en suspension dans la liqueur alcaline jusqu'au moment où la liquidation touche à son terme. Il est pour cela nécessaire que les additions d'eau soient faites par portions successives et peu considérables; il est également important d'entretenir la masse dans une légère ébullition. Au reste, à mesure qu'on approche du terme, l'aspect de la pâte se modifie; elle devient plus liée et plus homogène; la lessive que l'ébullition y amène commence à devenir visqueuse et noire. Ces indices révèlent que le but est atteint. Quoique ces caractères soient suffisants pour des praticiens experts, nous dirons que la lessive qui se trouve à ce moment mélangée au gras du savon a une densité de 1,070 environ ou 10° Beaumé. Ajoutons que la quantité de lessive faible et d'eau, qu'il a fallu employer pour faire descendre la masse de cette lessive à 10° est d'environ 4,000 litres représentant, ou à peu près, un poids équivalent à celui des huiles saponifiées. En résumé, la liquidation du savon produit par 100 kil. d'huile exige 25 livres de lessive à 4 ou 5° et environ 75 litres d'eau pure.

Quoi qu'il en soit, quand la pâte est devenue fluide, et que les parties du fond ramenées à la surface ont acquis par l'ébullition une teinte noire et de la viscosité, l'opération est terminée, car la couleur noirâtre est produite par la précipitation du savon alumino-ferrugineux, et la viscosité par la complète liquidation de toutes les parties de la masse. Ce résultat obtenu, on retire le feu du fourneau, et, suivant la saison, après un repos en chaudière de 40 à 60 heures, on coule le savon dans les mises. On enlève en premier lieu l'écume assez abondante qui s'est formée à la surface et qu'on introduit ordinairement dans une nouvelle cuite. Quant au savon liquidé, on le puise avec des cuillers en fer désignées sous le nom de *pouadous*, dont on remplit des cornues en bois; celles-ci sont portées à mesure dans les mises; le savon y est versé sur une légère couche de chaux, sous une épaisseur de 0m,10 à 0m,12. On extrait ainsi tout le savon blanc épuré et l'on veille avec la plus scrupuleuse attention à n'y introduire aucune partie de gras, ce qui, nécessairement, le rendrait moins pur. Ce dernier est recueilli à part pour être introduit ultérieurement dans une cuite de savon marbré.

En ce qui concerne le savon blanc épuré des mises, il se solidifie, suivant la température, en trois ou quatre jours. Pendant qu'il possède encore une certaine flexi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bilité, on en bat fortement la surface avec des pilons en bois, afin d'en augmenter la densité.

Après cette opération, le savon est divisé dans les mises en parallélippèdes du poids de 20 à 22 kil. Quelque temps après, le savon enlevé des mises et exposé deux ou trois jours dans des séchoirs à air libre, y prend plus de consistance, car il est d'abord un peu mou. Ce n'est cependant qu'après avoir passé quelques semaines dans des caves qu'il acquiert la solidité et la blancheur que le commerce exige.

Tel qu'il est produit par la savonnerie marseillaise, ce savon constitue le type le plus pur des savons du commerce; c'est ce qui explique l'emploi exclusif qu'on en fait pour le décreusage et la cuite de la soie. La teinture en emploie aussi des quantités considérables, surtout pour l'avivage du rouge des Indes ou d'Andrinople.

Quant à la question si importante du rendement, nous dirons qu'il est toujours subordonné à la qualité des huiles et aux soins de la fabrication. En admettant que l'on opère sur les meilleures huiles, les 4,000 kilog. qui ont servi de point de départ à notre opération produisent en moyenne :

Écume.	300
Savon liquidé.	5,600
Gras supposé sec.	1,200
Total.	7,100 kil.

Ces chiffres, qui sont généralement fournis par la grande production manufacturière, ne donnent comme maximum, pour 100 kil. d'huiles, que 140 kil. de savon liquidé ; il n'y a même pas longtemps que le rendement était encore au-dessous. Il y a cependant à remarquer que, dans ce cas, le gras et les écumes représentent à peu près un poids équivalent en savon marbré, dont il faut également tenir compte dans le prix de revient du premier. Relativement à ces produits inférieurs, ils sont, comme nous l'avons déjà dit, introduits dans la fabrication des marbrés au dernier service de la cuite. Nous verrons dans une autre partie de ce travail que le savon blanc façon Marseille peut être obtenu dans des conditions économiques plus favorables peut-être, en procédant à la saponification des huiles avec des lessives de sel de soude très-pures. Il nous faut pour terminer dire quelques mots de la composition de ce savon, car cette question a aussi son importance.

Il existe de ce savon une ancienne analyse de Thénard, que nous ne reproduirons pas, car il est bien reconnu qu'elle ne peut s'appliquer au véritable savon blanc liquidé de Marseille. Celui-ci, en effet, ne renferme, de même que le marbré, que 30 à 34 pour 0/0 d'eau, tandis que l'illustre savant précité en avait trouvé 45 pour 0,0. Il convient d'affirmer ce fait pour rétablir les droits de la vérité si longtemps méconnus. Émanant d'une fabrication loyale, comme c'est de règle à Marseille, ce savon contient :

Acides gras.	59 »
Soude.	6 80
Sels divers.	1 »
Eau.	33 20
Total.	100 »

Telle est la composition constante du savon blanc liquidé provenant d'une production régulière.

FABRICATION DES SAVONS DURS DANS LES FABRIQUES DE L'INTÉRIEUR. Dans les considérations historiques qui précèdent la partie technologique de ce travail, nous avons vu qu'il existe deux grandes sources de production des savons : l'une à Marseille, à laquelle nous venons de consacrer de longs développements ; l'autre à l'intérieur, dont il nous reste à parler.

Il ne sera pas sans utilité de faire remarquer ici que la situation de ces nouvelles fabriques est généralement prospère : car s'inspirant des principes d'une probité élevée, et procédant d'ailleurs, sauf d'indispensables modifications, d'après la méthode marseillaise, elles offrent à la consommation des produits qui, dans l'ensemble, révèlent une fabrication consciencieuse et excellente.

Mais ces fabriques ont pris depuis un certain nombre d'années une telle extension, leur production est devenue si sérieuse et si générale, qu'il nous est impossible de nous étendre sur les nombreuses espèces de savons qu'elles élaborent. Nous donnerons cependant une idée générale et précise des principales, tout en regrettant que le cadre dans lequel nous sommes obligé de nous renfermer ne nous permette pas d'être plus explicite et plus complet.

Ces fabriques, sauf quelques exceptions pour les savons marbrés, opèrent avec des lessives de sels de soude qu'elles préparent, soit par la lixiviation à froid dans des barquieux comme pour les lessives de soude artificielle, soit par voie de dissolution à chaud dans des chaudières chauffées par la vapeur ou simplement par un foyer. Quant aux chaudières, elles diffèrent presque partout de celles de Marseille, car elles sont construites en forte tôle ; elles en diffèrent aussi par la forme fortement inclinée de leurs parois qui les font ressembler à un cône tronqué. La figure 5 montre une de ces chaudières avec son fourneau.

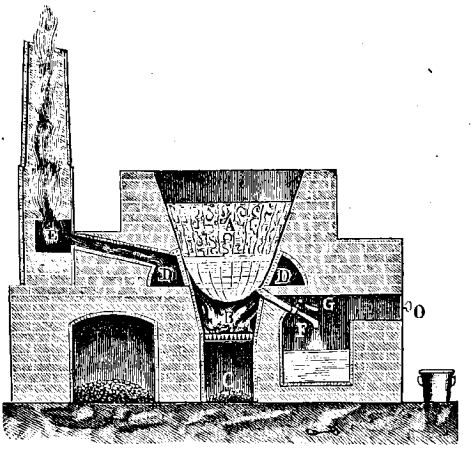


Fig. 5.

Cette disposition se compose de:

A. Chaudière en tôle où s'exécute la saponification.
B. Foyer à grille.
C. Cendrier.
D. Carneau circulaire où passent les produits de la combustion avant de se perdre dans la cheminée. Cette partie de la chaudière est préservée de l'action directe de la flamme par un mur en briques réfractaires liées à l'argile. On augmente ainsi la surface de chauffe, ce qui permet, sans inconvénient pour la cuite, de mieux utiliser la chaleur du foyer.
E. Cheminée.
F. Ecoulement des lessives.
G. Robinet servant à ouvrir et fermer le tuyau F.
H. Citerne commune aux lessives d'épinage.
I. Porte du foyer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme on le voit, ces chaudières à foyer à grille peuvent être chauffées au bois ou à la houille ; mais les fabricants ont à peu près adopté exclusivement le dernier de ces combustibles ; car outre que son pouvoir calorifique est de beaucoup plus considérable que celui du bois, il produit aussi un chauffage plus égal et plus constant.

En ce qui concerne le chauffage par la vapeur, sans revenir sur ce que nous avons dit à cet égard, page 16, nous rappellerons qu'il réalise sur le précédent deux avantages qui doivent être mis en évidence : le premier, c'est qu'il obvie complétement aux inconvénients très-divers qui résultent du chauffage direct, et dont le moindre est d'exposer le fond des chaudières à un feu très-intense qui les détériore rapidement : le second, c'est qu'un seul producteur de vapeur peut chauffer à la fois plusieurs chaudières, ce qui diminue d'autant les dépenses d'entretien des fourneaux, et celle plus importante de combustible. Ce système qui, comme on le voit, réunit les divers avantages du chauffage direct sans en avoir les inconvénients, est de plus en plus employé dans les savonneries de quelque importance ; il est appliqué surtout dans celles de création récente où le désir d'innover et de perfectionner préoccupe tant d'esprits inventifs et sérieux. Au reste, pour faire mieux apprécier l'ordination de ce système, nous avons représenté par notre figure 6 deux chaudières chauffées par des serpentins de vapeur. Cette disposition très-régulière et très-étudiée donne, nous avons pu nous en convaincre, toutes les garanties que la pratique est en droit d'exiger.

LL. Retours de vapeur.
MM. Tuyaux pour la vidange des lessives.
NN. Robinets servant à ouvrir et fermer les tuyaux MM.
OO. Réservoirs pour les lessives qu'on extrait des chaudières.

Maintenant que nous connaissons les chaudières dont font usage les fabriques de l'intérieur, nous nous occuperons de la préparation des lessives qu'elles emploient pour la fabrication de leurs savons.

PRÉPARATION DE LA LESSIVE DE SEL DE SOUDE. Cette lessive s'obtient ordinairement avec les sels de soude les plus purs et les plus riches, qu'on transforme en soude caustique au moyen de la chaux.

L'opération s'effectue ordinairement dans une chaudière en fonte chauffée par un foyer, ainsi que l'indique la figure 7.

Pour procéder d'après une donnée connue, nous admettrons un traitement de 1,000 kilog. de sel de soude à 80 ou 82° alcalimétriques que l'on caustifie par 340 kilog. de chaux. Pour cette quantité, il faut employer une chaudière d'une contenance de 55 à 60 hectolitres, dans laquelle on introduit 3,400 litres d'eau bien limpide.

Lorsque cette eau est en pleine ébullition, on y jette à la pelle le sel de soude par petites portions de 5 à 6 kil., tandis qu'un ouvrier armé d'un fort rabable en fer brasse continuellement la liqueur. Par ce brassage on empêche le sel de s'attacher au fond de la chaudière et d'y former des incrustations cohérentes qu'on ne

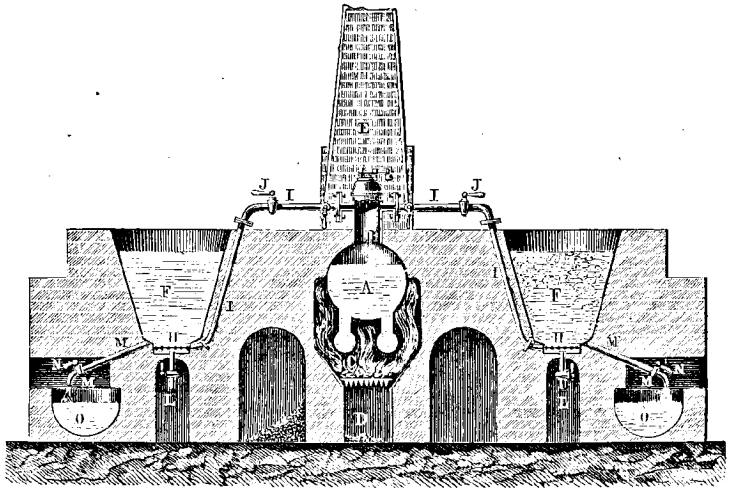


Fig. 6.

En voici, très en résumé, la légende explicative :

A. Chaudière à vapeur à deux bouilleurs.
B. Réservoir de vapeur surmonté d'une soupape.
C. Foyer à grille.
D. Cendrier.
E. Cheminée.
FF. Chaudières en fer où s'opère la saponification des matières grasses.
HH. Serpentins pour le chauffage des chaudières.
II. Tubes conduisant la vapeur dans les serpentins HH.
JJ. Prises de vapeur.

pourrait plus dissoudre qu'après les avoir extraites de la liqueur bouillante et les avoir finement pulvérisées.

Quand tout le sel est ainsi dissous, on prend dans la chaudière 5 à 600 litres de solution que l'on met en réserve pour la fin de l'opération, comme nous le dirons plus bas. L'on ajoute alors dans la liqueur bouillante qui reste dans la chaudière, les 340 kil. de chaux qu'on y introduit peu à peu dans un espace d'environ deux heures, car on doit attendre, avant d'ajouter une nouvelle portion de chaux, que la précédente soit dissoute. Il y aurait danger à vouloir précipiter l'opération, parce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'il viendrait un moment que le bouillonnement serait si fort qu'il serait presque impossible de l'arrêter.

Pendant tout le temps qu'on ajoute la chaux, on n'entretient qu'un petit feu sous la chaudière afin de n'avoir qu'une légère ébullition. Si malgré cette précaution l'ébullition devenait trop vive, il faudrait la modérer par de petites additions d'eau froide afin de prévenir l'expansion du liquide par dessus les bords de la chaudière. A cet effet on doit toujours avoir à proximité de la chaudière un cuvier plein d'eau froide. On pourrait aussi retirer tout le feu du fourneau sans inconvénient, car la température de la liqueur est alors assez élevée pour déliter rapidement et complétement la chaux et assurer ainsi la bonne confection de la lessive. C'est alors le moment de reverser dans la chaudière les 5 à 600 litres de solution de soude qu'on en avait retiré avant de mettre la chaux. Cette mesure de précaution n'a d'ailleurs d'autre but que de faire un vide suffisant dans la chaudière pendant qu'on y ajoute la chaux.

Quoi qu'il en soit, après avoir enlevé tout le feu du fourneau, si on ne l'avait déjà fait, on brasse encore pendant une bonne heure, et on laisse reposer. Peu à peu la chaux se sépare et se précipite; au bout de quinze heures on décante la liqueur claire qui constitue la première lessive forte à 28 ou 30° à l'aréomètre.

Le marc de chaux étant soumis à des lavages successifs donne des lessives d'une densité décroissante.

Pour chacun de ces lavages on emploie 1,000 litres d'eau claire et on brasse pendant quelques heures; on ne cesse de brasser que lorsque la chaux est mise complétement en suspension dans la partie liquide, car c'est seulement dans cet état de division qu'elle abandonne à l'eau les parties de soude qu'elle renferme. Chaque lavage est suivi d'un repos de douze heures au moins afin que la liqueur ait le temps de s'éclaircir. On continue ainsi jusqu'à ce que l'eau du dernier lavage ne marque plus que zéro; on peut alors retirer le marc de la chaudière et procéder, s'il y a lieu, à une nouvelle opération. Le nombre de ces lavages n'est pas moindre de six. Voici d'ailleurs les résultats en lessive que chacun d'eux produit.

Résumé des quantités de lessives obtenues de 1,000 kilogrammes de sel de soude calciné au titre alcalimétrique de 80° D.

Nos.	Eau employée.	Lessive obtenue.	Densité.	Beaumé.
1°	3400	1763	1260	30°
2°	1000	1243	1160	20°
3°	1000	1366	1100	13°
4°	1000	1340	1060	8°
5°	1000	1082	1035	5°
6°	1000	1000	1006	1°
Totaux.	8400 kil.	7694 kil.		

En comparant le poids de la lessive avec celui de l'eau employée, on voit qu'il reste 706 kilogrammes d'eau dans le marc de chaux.

Récapitulation des lessives obtenues de 1,000 kilogrammes de sel de soude.

1re lessive.....	1763 à	30° B.	52,890
2e lessive.....	1243 à	20° B.	24,860
3e lessive.....	1366 à	13° B.	17,758
4e lessive.....	1240 à	8° B.	9,984
5e lessive.....	1082 à	5° B.	5,410
6e lessive.....	1000 à	1° B.	1,000
Totaux en kilog. et degrés.	7694		111,902

Passons maintenant aux principales espèces de savons que l'on prépare avec cette lessive. Mais avant d'aborder ce sujet nous dirons quelques mots des vaisseaux dans lesquels on conserve les lessives.

Dans quelques fabriques on se sert encore de citernes en maçonnerie, que l'on construit ordinairement en sous-sol. Mais aujourd'hui, presque partout, ces constructions, si coûteuses et si peu sûres, sont remplacées, avec un avantage réel, par de forts bassins en tôle, dont les différentes parties sont solidement rivées. Ces

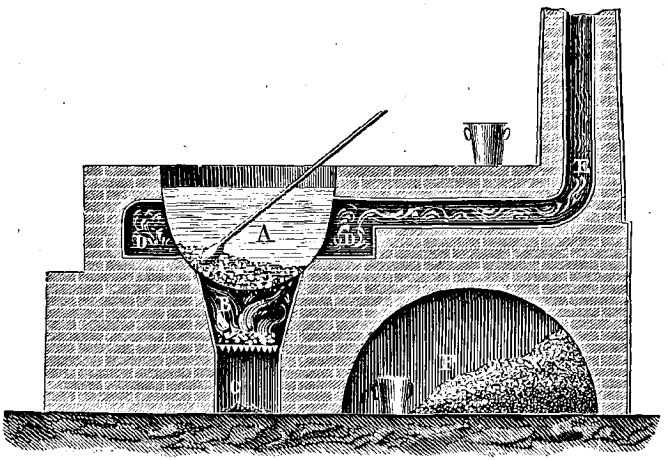


Fig. 7.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bassins, dont la capacité varie de 10 à 50 hectolitres et même plus, sont plantés sur chantier au-dessus du sol de l'atelier, et autant que possible à proximité de la chaudière où l'on prépare la lessive, que l'on y fait arriver au moyen d'un canal.

Quant aux mises dont se servent ces fabriques pour couler les différentes sortes de savons confectionnés, elles sont presque toutes en bois, excepté celles pour le savon marbré obtenu sur lessive, qui, comme à Marseille, sont en maçonnerie. L'usage de ces mises mobiles est devenu général, depuis surtout une vingtaine d'années. On les fait en chêne ou en sapin du Nord, et on les double à l'intérieur avec des feuilles de tôle très-minces, afin que le savon qu'on y verse ne se trouve pas en contact direct avec le bois. Ce doublage leur assure en outre une plus longue conservation ; nous avons vu de ces mises qui nous ont servi huit ou dix ans sans exiger aucune réparation.

Nous ferons remarquer, en terminant, que ces mises s'ouvrent en quatre parties, que l'on assemble à l'aide d'écrous en fer que l'on fixe à leurs extrémités.

Cette disposition permet de retirer avec facilité le savon coulé dans ces mises lorsqu'il s'y est solidifié ; pour cela, il ne faut qu'enlever les quatre côtés de la mise.

SAVON DE SUIF. — Ce savon, outre son odeur spéciale, est un des moins détersifs, ce qui s'explique par la forte proportion de stéarate et de margarate de soude qu'il renferme. Cependant, comme il s'en fait encore en France, nous résumerons l'une des méthodes les plus usitées pour l'obtenir.

Les suifs qui servent à le fabriquer sont de qualité et de provenance très-diverses. Cependant, le suif en branche, fondu par la vapeur comme il est indiqué pages 8 et 9, donne un savon d'une qualité incontestablement supérieure à tous les autres suifs du commerce. Nous avons pu toutefois enlever en grande partie l'odeur particulière qui caractérise ces derniers, en les traitant à la température de l'ébullition avec le tiers ou la moitié de leur poids d'eau acidulée par 1 ou 2 centièmes d'acide azotique. Même par de simples lavages à l'eau bouillante faiblement chlorurée, nous avons obtenu d'assez bons résultats.

Il ne faut pas, au reste, croire que le suif soit une matière de peu d'importance pour la savonnerie. Seul, il est vrai, il ne donne qu'un savon peu recherché : mais combiné avec des huiles ou avec des graisses qui en atténuent la trop grande consistance, il forme la base des principales espèces de savons solides, y compris principalement ceux de toilette. Il est, en somme, pour les savons procédant des graisses animales, ce que les huiles d'olives et de ressence sont pour les produits de la savonnerie marseillaise. Il donne, en effet, à ces matières le degré de consistance qui leur manque pour former des savons solides.

Cela dit, nous exposerons brièvement une des méthodes les plus usitées pour la fabrication de ce savon.

Pour saponifier, par exemple, 1,000 kilogrammes de suif fondu, on verse dans une chaudière d'environ 35 hectolitres, 700 litres de lessive à 9° ou 10° B., que l'on chauffe rapidement. Quand la liqueur commence à bouillir, on y introduit les 1,000 kilogrammes de suif, que l'on divise préalablement à l'aide de fortes pelles en fer. Après quelques heures d'ébullition, on commence à employer de la lessive à 15°, qu'on ajoute peu à peu, jusqu'à concurrence de 400 litres dans la chaudière en continuant toujours l'ébullition Enfin, on termine avec 200 litres de même lessive à 20°. Cette première phase de l'opération, qui constitue l'empâtage, dure de 8 à 10 heures. Lorsqu'elle est à son terme, on enlève le feu et l'on opère le relargage de la pâte.

Celui-ci s'effectue, comme d'ordinaire, avec des recuits provenant de cuites antérieures. Cette lessive est projetée peu à peu sur la pâte, qu'un ouvrier brasse avec son redable. Par cette opération, le savon se transforme graduellement en grumeaux, qui viennent se rassembler à la surface de la chaudière, tandis que la liqueur qui s'en sépare se réunit au fond. Remarquons qu'ici encore, on peut, à défaut de recuits, employer la lessive forte contenant en dissolution quelques kilogrammes de sel marin par hectolitre. Quoi qu'il en soit, on fait écouler la lessive après quelques heures. Pour ne pas multiplier les services de lessive, on opère ordinairement la cuite de ce savon en une seule opération. A cet effet, on verse dans la chaudière 800 litres de lessive à 20°, et on fait bouillir à feu doux 5 à 6 heures ; on commence alors à se servir de lessive à 10°, dont on verse à diverses reprises 300 litres sur la pâte. Et tout en continuant l'ébullition, on amène la lessive de la chaudière de 16° à 18°. Au reste, plus l'ébullition est prolongée et à la fois modérée, plus le savon se sature complétement d'alcali ; cette ébullition a aussi pour résultat de dégager plus parfaitement l'odeur générique inhérente au suif.

Les caractères de la cuite sont d'ailleurs les mêmes que ceux que nous avons fait connaître pour les savons de Marseille. Lorsqu'ils paraissent assez évidents, on enlève le feu, et après 6 ou 8 heures de repos en chaudière couverte, on transvase le savon dans les mises où on le brasse quelque temps pendant qu'il est chaud et fluide pour obtenir une pâte homogène dans toutes ses parties.

Le savon ainsi obtenu est blanc, bien lié et d'une consistance suffisamment ferme pour les savonnages à la main. Les 1,000 kilogrammes de suif, en les supposant de bonne qualité, doivent en produire 1,700 à 1,720 kilogrammes.

Avant d'abandonner ce sujet, nous dirons quelques mots des savons de suif allemands.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail de leur procédé de fabrication. Nous dirons seulement que les fabricants opèrent en général la saponification du suif avec une fois et demi environ son poids de lessive de natrum d'une densité de 1,200 ou 25° Beaumé. Ils emploient d'abord les deux tiers de cette lessive et, après quelques heures d'ébullition, ils ajoutent peu à peu le tiers restant. Pour des quantités de 5 à 600 kilogrammes de suif, l'opération dure 5 à 6 heures. Vers la fin, la pâte présente l'apparence d'une gelée épaisse, qu'on verse dans les mises lorsqu'elle est assez concentrée pour prendre une consistance ferme par le refroidissement. Disons aussi qu'en substituant le suif en branches au suif fondu, ce même procédé donne une espèce de savon à marbrure, et celle-ci résulte des parties adipeuses que la lessive n'a pas complétement dissoutes. On obtient ainsi des savons d'assez belle apparence au rendement de 180 à 190 pour 100 de suif. Mais hâtons-nous de déclarer que ces savons sont inférieurs à ceux préparés sur lessive, et c'est à juste titre qu'on préfère ces derniers.

Savon de suif végétal. — Ce suif, dont nous avons parlé page 7, offre un nouvel exemple des divers et utiles produits que les pays intertropicaux peuvent fournir aux arts industriels. Depuis déjà, en effet, quelques années, on en extrait des acides gras remarquables par leur blancheur et l'élévation de leur point de fusion. Il sert aussi, paraît-il, en Angleterre, à préparer un excellent savon encore peu connu en France.

Pour élucider la question, nous avons directement saponifié 100 kilogrammes de ce suif avec 200 kilogrammes de lessive de sel de soude à 18° B. La moitié de cette lessive a été d'abord introduite dans la chaudière en même temps que la matière grasse. Après une demi-heure d'ébullition, pendant laquelle on n'a cessé de remuer le mélange, nous avons commencé à verser les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

100 kil. restant de lessive. Bientôt la séparation s'est produite, et, après 10 heures de douce ébullition, nous avons terminé l'opération. A ce moment, l'odeur de la vapeur était très-agréable et le savon s'écaillait, ce qui prouve qu'il était arrivé au point de coction convenable. Après 6 heures de repos en chaudière couverte, nous avons tiré le savon sur lessive et l'avons versé dans une petite mise où il s'est solidifié en quelques jours. Les 100 kilogrammes de suif en ont fourni 204 kilogrammes.

Cette matière grasse, comme on voit, se rapproche beaucoup de l'huile de coco ; car, de même que cette dernière, elle retient une forte proportion de lessive. Mais elle a sur l'huile de coco deux avantages importants en savonnerie : 1° elle se sépare plus facilement de la lessive ; 2° elle fournit un savon dont l'odeur n'est pas sans quelque analogie avec les produits de l'huile d'olive.

Nous insistons particulièrement sur ces deux propriétés du suif végétal, et si de nouvelles expériences viennent confirmer la nôtre, ce suif pourrait probablement prendre place parmi les matières grasses destinées à la production des savons solides.

Savon d'huile de coton. — Cette huile, comme nous l'avons vu page 5, se saponifie avec facilité et entre pour une forte proportion dans la fabrication des savons marbrés de seconde qualité. Seule, elle forme un savon presque dur et peu coloré lorsqu'on opère sur de l'huile épurée et blanchie. Son produit ne paraît pas atteindre le rendement élevé des huiles d'arachide et de sésame. Autant que nous avons pu en juger, il ne dépasse pas 160 à 165 pour 100 d'huile. C'est sur cette base qu'il conviendrait, croyons-nous, de se fixer pour apprécier son rapport en savon dans les mélanges où elle intervient.

Savon d'acide oléique. — Il n'y a peut-être pas, en notre siècle, de découverte qui émane plus directement de la science que celle de l'industrie stéarique, dont l'acide oléique n'est qu'un produit secondaire, quoique considérable.

Au début de cette grande industrie, cet acide n'avait que des emplois insignifiants ; aussi est-il resté pendant longtemps sans valeur réelle. M. de Milly dont le nom est, à juste titre, resté cher aux arts, paraît avoir eu le premier l'intuition des services immenses que cette huile pourrait rendre un jour à la savonnerie et il eut le mérite de réaliser en partie ses prévisions.

Ce manufacturier distingué, désirant détruire les préventions qui faisaient rejeter cette matière des savonneries, annexa une savonnerie à son usine de bougies stéariques de la barrière de l'Étoile et transforma en savon tout l'acide oléique provenant de sa fabrication.

Aujourd'hui la haute importance de cet acide pour les savonneries n'a plus besoin d'être démontrée, car elles en transforment annuellement 18 à 20 millions de kilogrammes en savon.

Il existe parmi les chimistes, au sujet de la fabrication de ce savon, une opinion erronée que nous avons déjà combattue dans notre première édition du *Manuel du savonnier*. S'appuyant sur la nature acide de cette huile, ils assurent qu'elle peut produire un savon parfait avec une simple solution de carbonate de soude. D'autres, surenchérissant sur cette donnée, ont conseillé de préparer ce savon en combinant directement des cristaux de soude à l'acide oléique chauffé à + 50° environ. Dans les deux cas on forme un composé auquel, à la rigueur, on pourrait donner le nom de savon ; mais ce que nous pouvons affirmer, c'est qu'il n'est pas un seul fabricant sérieux qui ait adopté ces moyens empiriques. Qu'on le sache, il n'y a que l'emploi de bonnes lessives caustiques de sel de soude qui peuvent donner au savon de cette provenance la beauté, la fermeté et l'homogénéité de composition qui en ont fait un des meilleurs savons connus. Il a même cet avantage qu'il ne contient pas plus de 25 % d'eau lorsqu'il résulte d'une fabrication loyale.

Aujourd'hui, à toutes les fabriques d'acides gras pour l'éclairage se trouve annexée une savonnerie pour la transformation de l'acide oléique en savon. Ces savonneries opèrent d'après la méthode marseillaise et il en est plusieurs qui ont des chaudières d'une capacité telle, qu'une de ces chaudières peut façonner 40 et même 50,000 kilogrammes de savon par opération ; c'est plus colossal encore que ce qui se fait à Marseille. Chacune de ces immenses chaudières est chauffée par un serpentin plat qui en occupe le fond et dans lequel circule de la vapeur sous une pression de 3 ou 4 atmosphères.

La saponification de cet acide s'effectue en plusieurs services et toujours à la température de l'ébullition. Les premiers se donnent avec un mélange à parties égales, ou à peu près, de recuit et de lessive neuve, mélange dont le degré moyen ne descend pas au dessous de 20° B. Pour les services ultérieurs on emploie habituellement de la lessive neuve à 28° ou 30°, parce que cette lessive étant à la fois incolore et riche en soude caustique permet d'obtenir un savon d'une nuance plus claire et plus complétement saturé d'alcali. Au dernier service, on continue l'ébullition jusqu'à ce que la pâte présente les caractères distinctifs d'une parfaite coction et que la lessive de la chaudière marque 28° environ. On retire alors le feu et, après avoir épiné, on soumet à une demi-liquidation la masse de savon qui reste dans la chaudière.

A cet effet, on projette peu à peu à la surface du savon des lessives de recuits des premiers services bien épurés et bien limpides dont on abaisse le degré à 8 ou 10 avec de l'eau. L'opération s'effectue en maintenant la masse savonneuse à une douce ébullition et on termine quand la lessive de la chaudière ne marque plus que 16° à 17° B.

Ce résultat obtenu, on arrête la vapeur, et après 40 ou 50 heures de repos, en chaudière couverte, on coule le savon dans des mises en bois où on le brasse pendant son refroidissement.

Ce mode de fabrication donne un excellent savon, mais il exige beaucoup de temps, car il faut après chaque service, laisser reposer la chaudière avant d'en extraire la lessive qui a produit son effet. Il devient onéreux par la multiplicité des opérations, lorsqu'on cesse d'opérer sur des masses considérables comme c'est le cas pour la plupart des fabriques qui ne sont pas des annexes des stéarineries.

Déjà, nous nous étions préoccupé de cette situation, et dans l'ouvrage sus-indiqué, nous avions signalé à l'attention des praticiens un procédé pour fabriquer ce savon en une seule opération. Des fabricants distingués, pour lesquels ce procédé simplifié avait un intérêt tout particulier, nous ont affirmé en avoir obtenu d'avantageux résultats. Mais des expériences récentes nous ont permis de faire un dosage plus exact et plus précis de la lessive en même temps que de supprimer l'opération de la liquidation.

Pour faire une application de ce procédé, nous supposerons qu'on veuille saponifier 1.000 kilogrammes d'acide oléique de saponification calcaire. Pour cette quantité on emploie 1,200 kilogrammes de lessive de sel de soude à 25° B. On introduit en premier lieu la moitié de cette lessive dans une chaudière de 30 hectolitres environ et on la porte à l'ébullition. On fait alors arriver dans la chaudière l'acide oléique qui se combine presque instantanément avec la lessive en formant avec elle une masse pâteuse très-épaisse. On fait alors bouillir très-modérément pendant quelque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

temps et lorsque la masse devient fluide on y ajoute par portion, mais dans un temps assez rapproché, ce qui reste des 1,200 kilogrammes de lessive. A partir de ce moment on peut soumettre le mélange à une ébullition plus active; et si l'on remarque que la séparation n'est pas bien nette, on peut la provoquer par une addition de recuits d'une opération précédente et à défaut de recuits on peut employer une quantité équivalente d'eau de sel à 18°. Mais cette addition est rarement utile surtout quand la chaudière est à parois fortement inclinées. Après 12 ou 15 heures d'ébullition continue on termine l'opération; la lessive de la chaudière doit alors marquer 21° B. bouillante, et si ce degré n'était pas atteint, on ferait encore bouillir quelque temps. Enfin, après avoir retiré le feu, on laisse reposer 18 ou 20 heures en chaudière couverte. On coule le savon dans les mises où on le brasse comme d'ordinaire.

Le savon ainsi obtenu est de fort belle apparence, la pâte en est douce, lisse et bien fondue. Les 1,000 kilogrammes d'acide oléique en fournissent de 1,600 à 1650 kilogrammes.

Quant à la quantité de lessive qui reste en chaudière elle est d'environ 500 kilogrammes. Cette lessive est fortement colorée en brun et marque comme nous l'avons dit 21° B.

Nous terminerons ce que nous avions à dire sur cette importante fabrication en faisant remarquer que le savon d'acide oléique qu'on trouve dans le commerce, est en briques de 3 ou 4 kilogrammes ou en morceaux d'environ 500 grammes. Ce dernier poids, si adapté aux besoins journaliers, a prévalu, et l'usage de ce savon est devenu général dans toutes les parties de la France. Pour obtenir ces morceaux, on divise d'abord le les blocs de savon en briques, et celles-ci sont à leur tour divisées en fragments du poids de 480 à 500 grammes, que l'on expose pendant quelques heures dans une étuve chauffée à + 30 ou + 35° C. Dès qu'il s'est formé à leur surface une mince couche de savon durci, ces morceaux reçoivent dans des moules creux en cuivre, s'ouvrant en deux ou en quatre parties, ces formes diverses et gracieuses dont les savons des fabriques de l'*Étoile* et des *Deux Mondes*, offrent les types les plus ingénieux et les plus connus. Après une exposition de quelques semaines à l'air, le savon à l'acide oléique contient :

Acide gras.	66
Soude.	13
Eau.	21
Total.	100

Il renferme alors plus de savon réel que les meilleurs savons de Marseille, et c'est cette richesse qui a assuré à ce savon une prééminence parmi les meilleurs produits de la savonnerie, lorsqu'il résulte d'une fabrication loyale.

Savon d'huile de sésame. — Cette huile donne avec la soude un savon très-détersif, agréable d'odeur, mais coloré et n'ayant guère que la consistance du savon mou à base de potasse. Aussi quoique extrêmement précieuse pour la savonnerie, cette huile n'est utilisée qu'après son mélange avec les huiles d'olive et de ressence pour la fabrication des meilleures et des plus belles qualités de savons marbrés. Marseille en emploie annuellement des millions de kilogrammes.

Savon de palme résineux. — Cet excellent savon se fait en une seule opération suivie d'une liquidation plus ou moins complète, car il est toujours levé sur gras. Lorsqu'il est préparé avec de belles matières il est réellement beau et bon. L'odeur en est agréable et rappelle celle de l'huile de palme qui, comme son nom l'indique, est un de ses composants. Sa couleur est d'un jaune orange vif ou aventurine clair. Il est presque neutre, très-soluble, très-détersif, très-mousseux surtout, même à l'eau de mer, ce qui explique l'emploi considérable qu'en font les marines anglaises et américaines. Enfin, sa consistance est égale, sinon supérieure, à celle du bon savon d'acide oléique, mais en vieillissant il devient très-ferme et presque translucide.

Pendant notre séjour en Allemagne, nous avons préparé de grandes quantités de ce savon dont on distingue plusieurs qualités. Mais la première et la plus estimée s'obtient avec la meilleure qualité d'huile de palme naturelle, le suif de bœuf fondu et les colophanes les plus claires. Les proportions ci-après nous fournissaient un magnifique produit:

Huile de palme naturelle. . . .	400
Suif en pains.	350
Résine ou colophane claire. .	250
Total. . . .	1000 kilog.

Pour opérer la saponification de ces matières, on introduit 600 kilogrammes de lessive à 15° dans une chaudière de 35 hectolitres environ, et après avoir allumé le feu on ajoute l'huile de palme et le suif. On fait alors bouillir le mélange qu'on remue continuellement et au bout de quelques heures on y ajoute successivement 400 kilogrammes de lessive à 20° : enfin après une nouvelle ébullition de même durée, on termine la coction avec 600 kilogrammes de même lessive de sel de soude à 25° B.

Comme règle, nous dirons qu'en opérant dans les conditions ci-dessus, la coction exige de sept à huit heures d'ébullition continue. Vers la fin, le savon se présente en grains d'un jaune brun qui s'écaillent quand on les presse entre les doigts.

C'est alors qu'on y introduit la résine préalablement pulvérisée, et qu'on fait pénétrer dans la masse au moyen d'un redable. Quand elle est entièrement dissoute, on ranime le feu et on ajoute peu à peu de la lessive à 10 ou 12° B. pour obtenir un commencement de liquidation de la masse.

La proportion à employer varie de 3 à 400 kilog. On reconnaît que le point utile est atteint quand la pâte est devenue fluide. On doit faire remarquer que cette opération dure une heure et demie ou deux heures et que pendant tout le temps la masse est soumise à une très-légère ébullition, afin que les parties du fond qui sont toujours les plus liquidées, soient successivement amenées à la surface.

Lorsqu'on juge que l'opération est terminée on retire le feu. A partir de ce moment un ouvrier, muni d'une longue palette en bois, brasse légèrement la superficie de la pâte pour en retarder la solidification et faciliter la précipitation du gras.

Ce brassage, d'ailleurs, doit être intermittent et de quelques minutes seulement à chaque fois. Nous ferons remarquer qu'il est essentiel de ne pas remuer profondément la masse, car si l'on allait trop loin, on pourrait atteindre le gras et le mélanger au savon épuré. Quoi qu'il en soit, après 15 ou 18 heures de repos, en chaudière, la pâte paraît parfaitement lisse et homogène ; on l'extrait alors avec précaution et on la porte à mesure dans une mise en bois préparée à l'avance où on la coule sous une épaisseur de 30 centimètres environ. Le gras est ensuite retiré de la chaudière et coulé séparément. L'usage des fabriques est d'introduire ce gras dans un savon résineux de qualité ordinaire. C'est le meilleur emploi à lui donner. Son poids, supposé sec, représente le tiers environ du savon épuré. Ce dernier reste, suivant la saison, trois ou quatre jours en mise. Ce temps écoulé, il est assez ferme pour être divisé.

Préparé dans les conditions précitées, ce savon constitue un des meilleurs et des plus beaux savons jaunes connus. Les quantités de matières grasses précédem-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment indiquées en fournissent, terme moyen, 1,600 kilogrammes.

Pour ce qui concerne les savons résineux ordinaires ou communs, on emploie pour leur fabrication des matières de qualité plus inférieure et on n'y introduit qu'un dixième environ d'huile de palme. Ces savons se préparent habituellement en une seule opération, sans relargage ni liquidation, et on y ajoute de fortes proportions d'huile de résine, qu'on obtient aujourd'hui très en grand, dans des établissements spéciaux, par la distillation des résines à la vapeur d'eau surchauffée. Ayant à parler ailleurs des savons unicolores, nous reviendrons sur ces produits inférieurs.

Savon blanc d'huile d'olive préparé avec la lessive de sel de soude. — Ce savon est très-usité en Belgique, en Allemagne et dans l'Autriche-Hongrie. En ayant fabriqué des quantités considérables, nous résumerons brièvement la méthode que nous avons adoptée et dont nous affirmons ici l'exactitude.

Remarquons d'abord, que cette fabrication comporte l'emploi de bonnes huiles d'olive, bien limpides et que, parmi ces huiles, les fabricants belges et allemands préfèrent généralement celles de Gallipoli ou de la Calabre, comme étant les plus blanches et les plus corsées; ils les préfèrent aussi par ce qu'elles produisent un savon meilleur, plus ferme, d'une odeur plus franche et d'un rendement supérieur à celui que l'on pourrait obtenir avec des huiles d'une qualité inférieure. Ce savon jouit d'ailleurs d'une grande réputation, car étant pur et neutre, il est très-recherché pour le blanchiment des soies écrues et l'avivage du rouge d'Andrinople. Nous avons déjà cité dans un travail antérieur les beaux produits en ce genre de l'usine de Ch. Lammerath de Bruxelles, l'un des plus érudits et des plus savants manufacturiers belges.

Les lessives qui servent à préparer ce savon sont obtenues par les sels de soude et on opère comme il est dit page 23. Il est donc inutile d'insister à cet égard.

Fabrication. Pour saponifier, par exemple, 1,200 kilogrammes d'huile d'olive, on emploie les quantités de lessive ci-après :

Lessive à 10° B	1200
» à 12°	1200
» à 15°	600
» à 20°	600
» à 28°	1400
Total.	5000 kilog.

On chauffe d'abord, la première lessive à 10° B. dans une chaudière de 40 hectolitres environ; quand l'ébullition commence, on y introduit l'huile qui s'émulsionne aussitôt. On fait alors bouillir le mélange et on y ajoute par intervalles, la seconde lessive à 12°, puis quand cette lessive a été consommée on passe après quelques heures à la lessive à 15°, puis à celle à 20° et enfin, on termine par la lessive forte à 28° qu'on introduit aussi successivement dans le mélange. Dès que la masse savonneuse se grumelle, on cesse de brasser : car la lessive qui occupe alors le fond de la chaudière s'oppose à ce que le savon puisse y adhérer. La durée de la coction est d'environ soixante heures : mais comme il faut que la pâte soit bien grainée, on attend, s'il y a lieu, que la lessive de la chaudière marque bouillante 28° B. Ce degré de concentration étant obtenu, on retire le feu et après au moins quatre heures de repos, on fait écouler la lessive, dont on obtient de 800 à 850 kilogrammes.

La liquidation de ce savon se fait comme pour le blanc de Marseille : on introduit en premier lieu dans la chaudière 400 kilogrammes de lessive à 3°. Lorsque le mélange est amené au degré de l'ébullition, on continue avec de l'eau pure qu'on verse par petites portions en ayant soin de ramener, à l'aide d'une large pelle droite en fer, la pâte durcie des bords au centre afin de la mettre en contact avec la partie aqueuse. La quantité d'eau à employer varie de 900 à 1,000 kilogrammes. On termine quand la pâte paraît bien fondue et liée, quoique encore séparée de la lessive. Cette opération demande 12 ou 15 heures d'ébullition modérée.

Enfin, après 50 ou 60 heures de repos en chaudière couverte, on verse la pâte de savon fluide, sur des mises dallées en granit, sous une épaisseur de 11 à 12 centimètres. On brasse légèrement cette pâte pendant son refroidissement afin de l'obtenir parfaitement homogène. Pour le reste, on procède comme il est dit page 20, pour le savon blanc de Marseille.

En somme, le savon ainsi préparé est blanc et ferme, d'une odeur agréable et d'une neutralité suffisante pour les diverses applications auxquelles on le destine. Les 1,200 kilogrammes d'huile d'olive, en fournissent de 1,920 à 1,980 kilogrammes, ce qui rapproche beaucoup sa composition de celle du savon blanc de Marseille levé sur gras. Comme indication utile aux praticiens, nous dirons que la quantité de lessive de liquidation qui reste dans la chaudière est d'environ 1,000 kilogrammes. Le degré aréométrique de cette lessive varie de 10° à 10° et 1/2 B.

Savon marbré germanique. — Il y a déjà longtemps qu'on fabrique en Allemagne un savon à marbrure grise ou brune, par une méthode absolument différente de la méthode marseillaise. Ce savon est formé d'un savon de suif et d'un savon d'huile de coco, que l'on prépare d'abord séparément.

Les plus belles et les meilleures qualités de ce savon mixte s'obtiennent avec le suif blanc, l'acide oléique de saponification calcaire, l'huile d'olive et l'huile de coco. Quant à la lessive on la prépare avec des sels de soude à haut titre, que l'on caustifie avec 60 pour 100 de chaux, en dirigeant l'opération de manière à obtenir la première lessive à 25° B. Pour les détails de l'opération, nous renvoyons le lecteur à la page 23. Cela dit, nous nous occuperons des deux espèces de savon, qui par leur mélange forment le savon marbré, et nous supposerons un traitement de 1,400 kilogrammes de matières grasses.

1° *Savon de suif.* — Pour préparer ce savon on prend :

Suif en pains.	900
Acide oléique de saponification calcaire.	50
Huile d'olive..	50
Total.	1000 kilog.

On commence l'empâtage, avec 950 kilogrammes de lessive à 7°, et après une ou deux heures d'ébullition on passe à la lessive à 12°. On en emploie 1,200 kilogrammes qu'on verse peu à peu dans la chaudière et on termine par une addition de 360 kilogrammes de lessive à 22°. L'opération exige cinq heures d'ébullition soutenue. On projette alors 100 kilogrammes de sel marin dans la chaudière; quand la séparation est effectuée, on augmente le feu et on laisse bouillir trois heures ou mieux, jusqu'à ce que l'écume ait disparu de la surface du savon. On retire alors le feu et on laisse le savon reposer sur lessive.

Savon d'huile de coco. — Ce savon se prépare avec 400 kilogrammes d'huile de coco et 700 kilogrammes de lessive à 23°. Après une heure d'ébullition pendant laquelle on n'a cessé de remuer la masse, on ajoute peu à peu 200 kilogrammes de lessive de potasse à 25°, puis on fait bouillir jusqu'à disparition de l'écume, ce qui exige environ deux heures.

Les deux savons ayant été préparés séparément, on procède à leur mélange. A cet effet, on transvase le savon de suif dans la chaudière qui contient le savon

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'huile de coco et dont la capacité doit être assez grande pour recevoir les deux savons: il est essentiel que le savon de suif soit bien reposé et exempt de lessive, car la présence de celle-ci pourrait modifier les résultats de l'opération. Le mélange est alors soumis à une forte ébullition que l'on continue jusqu'au moment où le savon présente les caractères ci-après :

1° Lorsqu'il forme une forte pastille quand on le presse entre le pouce et l'index;

2° Lorsqu'il se rompt en tombant d'une spatule qu'on plonge dans la masse bouillante.

Lorsque ces caractères se présentent, on introduit dans la chaudière 1,500 grammes de noir d'os et même quantité de noir de Rome. Ces deux matières, qui doivent produire dans le savon une marbrure grise, sont préalablement délayées dans quelques litres de lessive bouillante. Après quelques minutes d'ébullition la couleur se trouve répartie dans la masse qu'elle colore uniformément. Alors on retire le feu et on coule le savon bouillant dans une mise préparée à l'avance. On brasse légèrement pendant quelques minutes, puis on couvre très-soigneusement la mise; car un refroidissement lent de la masse paraît favoriser la formation de la marbrure. Enfin, cinq ou six jours après le coulage, le savon peut être retiré de la mise, qui comme la plupart des mises des fabriques de l'intérieur est en bois doublé de feuilles de tôle et s'ouvre en quatre parties. Le rendement varie de 210 à 220 pour 100 de matières grasses. Remarquons que, pour obtenir une marbrure d'un rouge brun, on substitue le colcotar ou l'ocre rouge, au noir d'os et au noir de Rome. Cette dernière est préférée à l'autre par les consommateurs français.

Savons unicolores. — Quoiqu'on comprenne ordinairement sous cette dénomination tous les savons sans marbrure, y compris ceux d'huile de palme et d'acide oléique, nous ferons remarquer que nous appliquons plus spécialement ce nom aux savons qui retiennent toute la lessive qui a servi à leur saponification. Cette démarcation plus nette et plus précise, caractérise mieux la différence qui existe entre les deux méthodes générales de fabrication de savons durs.

D'ailleurs, ces savons, comme nous l'avons déjà fait remarquer, sont de qualités très-diverses et lorsque les fabricants ne visent pas à des rendements exagérés, il est possible de les obtenir excellents. Cette tendance à bien faire, devient de plus en plus générale; car, instruits par l'expérience, les producteurs sérieux savent aujourd'hui que, malgré leur bas prix, ces produits, au rendement de 4 à 500 pour 100 de matières grasses, n'ont pu réussir à se faire accepter par la masse des consommateurs, qui n'ont pas tardé à reconnaître qu'ils les payaient encore trop cher. Le mal, le grand mal en France, vient en toute chose de ce que nous dépassons toujours le but. C'est par la science et la probité que l'industrie peut grandir et se développer. Tandis, en effet, que les Anglais et les Allemands, peuples si foncièrement positifs et pratiques, réalisent par cette méthode des rendements de 200 à 250 pour 100 de matières grasses; il s'est trouvé chez nous des exploitants qui ont voulu obtenir des rendements imaginaires de 5 à 600 pour la même quantité de matières grasses. Il faut donc reconnaître que c'est nous-mêmes qui avons compromis, dès son début, cette source de production. Mais comme il a été dit précédemment, depuis déjà longtemps, des esprits sérieux, des fabricants probes et expérimentés ont réagi contre cette tendance qui ne pouvait aboutir à rien moins qu'à nous enlever la suprématie que nous avions conquise dans cette belle et importante branche de notre industrie nationale.

Quoique tous ces savons s'obtiennent par empâtage et par conséquent sans relargage, l'opération se divise cependant en deux périodes; la première a spécialement pour objet de combiner les matières grasses avec l'alcali; la seconde, de donner au savon formé le surcroît de rendement qu'on désire lui procurer, soit par une plus grande hydratation de la pâte, soit en y en introduisant, séparément ou ensemble, des solutions de sulfate de soude, de sel marin, de carbonate de soude, de silicate de soude. On voit d'après cela que les savons, préparés d'après cette méthode expéditive, retiennent non-seulement la glycérine des corps gras, mais encore toute la lessive employée à la transformation de ces derniers en savon, ainsi que les divers sels neutres qu'on y introduit en nature ou en dissolution pour en augmenter le rendement.

La saponification des corps gras peut s'effectuer dans les chaudières ordinaires de savonneries. Cependant les chaudières en fonte à fond sphérique, pareilles à celle représentée par la fig. 7, offrent de plus grandes facilités pour le travail.

Nous arrêterons là nos observations et commencerons l'étude de ces savons par ceux à l'huile de coco.

Fabrication des savons à l'huile de coco. — Lorsque ces savons sont fabriqués dans des conditions loyales, ils ne sont pas exempts de tout mérite. Du reste, nous devons faire observer que l'huile de coco n'est pas la seule matière grasse qui entre dans leur composition. L'expérience a en effet prouvé qu'on obtient de meilleurs résultats en associant à cette huile, dans des rapports divers, le suif pour les savons blancs, rouges et gris et le suif mélangé avec l'huile de palme pour le savon jaune. Ces mélanges présentent deux avantages : d'abord, ils diminuent le prix de la matière première, ensuite ils donnent plus de brillant et de douceur aux savons, en même temps qu'ils en atténuent la trop grande solubilité.

Les savons à l'huile de coco qu'on trouve dans le commerce sont diversement colorés; mais les plus recherchés sont les blancs, les roses, les jaunes et les gris. Tous ces savons sont obtenus sans relargage et avec des lessives de sel de soude à un haut titre alcalimétrique.

1° *Savon blanc.* — Pour les premières qualités de ce savon, on choisit l'huile la plus belle et la plus propre: celle de Cochin est ordinairement préférée. Les proportions ci-dessous fournissent de 550 à 600 kilogrammes de savon.

Huile de coco. . .	450
Suif blanc.	50
Total.	200 kilog.

Ces matières étant introduites dans une chaudière d'une contenance d'environ 15 hectolitres, on en opère la fusion à une douce chaleur. On verse alors dessus 200 kilogrammes de lessive à 25° B., et on fait bouillir le mélange que l'on brasse avec le redable. Quand la pâte a acquis de la consistance, on y ajoute peu à peu 50 kilogrammes de lessive de même force que la première, puis on complète la saponification des matières avec 40 kilogrammes de lessive de potasse que l'on emploie également à 25° de l'aréomètre Beaumé.

Enfin, pour donner au savon ainsi obtenu le surcroît de rendement qu'on cherche à obtenir, on y ajoute une solution de 100 kilogrammes de sulfate de soude d'une densité de 1.125 ou 16 degrés Beaumé. L'opération dure environ deux heures, pendant lesquelles on fait bouillir modérément le mélange. On retire alors le feu et on continue à brasser la pâte avec un redable. Lorsqu'elle commence à se figer sur les bords de la chaudière, on la verse dans une mise. Quelquefois le brassage se fait dans la mise même. La solidification de la masse exige trois ou quatre jours, lorsqu'elle est coulée sous une épaisseur qui n'excède pas 40 centimètres. Ce savon se divise en briques ou en morceaux de 500 grammes et quelquefois au-dessous.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On lui communique souvent une odeur agréable en parfumant la pâte fluide au moyen de l'essence d'anis ou de l'essence de mirbane blanche. Quant au rendement, il est, comme nous l'avons dit plus haut, de 550 à 600 kilogrammes pour les 200 kilogrammes de matières grasses. Ce savon est d'une blancheur éclatante, il produit une mousse abondante et est très-ferme sans être cassant. Par sa composition il se rapproche assez des qualités de savon d'huile de coco les plus pures qui se fabriquent en France pour les usages économiques.

2° *Savon rose.* — Le procédé de fabrication de ce savon est le même que pour le blanc. Pour convertir en effet ce dernier en savon rose, il suffit d'y introduire deux ou trois kilogrammes de cinabre préalablement broyé à l'huile de lin. Cette addition se fait naturellement dans la pâte de savon fluide qu'on colore en chaudière; puis on continue à brasser jusqu'à ce que le râble marque un sillon dans la masse, alors on verse le tout dans une mise et on laisse refroidir. Il est inutile que nous fassions remarquer que les proportions de cinabre ci-dessus s'appliquent à une opération de l'importance de la première.

3° *Savon gris.* — Ce savon se prépare en introduisant dans le mélange des matières qui produisent le savon blanc, 5 à 6 kilogrammes d'huile de palme, noircie à la température de l'ébullition par quelques centièmes d'acide azotique et de rognures de zinc. Le tout est ensuite saponifié d'après la méthode précédemment indiquée pour le savon blanc y compris le brassage. On obtient ainsi des savons de nuances très-agéables et dont l'intensité est proportionnelle à la quantité d'huile de palme transformée qui intervient dans le mélange.

4° *Savon jaune.* — Les proportions de matières grasses les plus usitées pour préparer ce savon sont :

Huile de coco.	130
Huile de palme naturelle.	20
Suif.	50
Total.	200 kil.

Pour le reste, on opère comme pour le savon blanc. Lorsque le savon est confectionné, on soutient sa couleur en y ajoutant 5 à 6 kilogrammes d'ocre rouge de première qualité qu'on délaye préalablement dans un peu d'eau. Cette addition de matière colorante doit se faire dans la chaudière pendant que la pâte est encore fluide. Après un brassage suffisant on verse le contenu de la chaudière dans une mise préparée à l'avance.

Ces savons sont, ainsi que nous l'avons fait remarquer, les meilleures qualités usuelles que peut produire l'huile de coco : ceux d'un rendement supérieur subissent un déchet considérable et ne tardent pas à se couvrir d'efflorescences salines, surtout en hiver. Il est très-certain que si l'on appréciait le savon réel que ces produits inférieurs renferment, on verrait que, malgré leur bas prix apparent, les consommateurs les payent plus cher que les meilleurs savons d'huiles ou d'acide oléique. Cependant, il existe d'autres huiles ou matières grasses moins coûteuses que l'huile de coco, dont on peut obtenir aussi des savons d'assez bonne qualité. Parmi ces dernières, l'huile de palmiste vient au premier rang. Observons que cette huile est ordinairement saponifiée avec des quantités relativement minimes d'huile de coco et de suif blanc. Pour obtenir un produit acceptable en ce genre, on ne doit pas chercher un rendement au-dessus de 280 à 300. Voici d'ailleurs des proportions de matières qui fournissent un savon de belle apparence et très-apprécié pour ses propriétés détersives :

Huile de palmiste.	150
Huile de coton.	50
Huile de coton raffinée.. .	50
Suif blanc.	50
Total.	300 kil.

On emploie, pour la saponification de ce mélange de matières grasses, 500 kilogrammes de lessive de sel de soude à 24° B. On commence avec 200 kilogrammes et après quelque temps d'ébullition, on ajoute les 300 kilogrammes restants par portions de 20 à 25 kilogrammes, de 10 en 10 minutes. Quand cette première lessive a été consommée, on ajoute 50 kilogrammes de lessive de potasse au même degré. On fait bouillir quelque temps encore, puis, pour donner le rendement voulu au savon, on verse dans la chaudière une solution de 150 kilogrammes d'eau de sel ou de sulfate de soude d'une densité de 1,125 ou 16° en remuant continuellement pour empêcher que la pâte ne s'attache sur le fond de la chaudière. La durée de l'opération est d'environ trois heures. On reconnaît qu'elle est arrivée à son terme lorsqu'un échantillon de savon pris dans la chaudière acquiert une consistance ferme par le refroidissement. Ce résultat obtenu, on retire le feu et on brasse le savon, qu'on ne verse dans la mise que lorsqu'il est presque froid. Les doses ci-dessus peuvent en fournir 850 à 900 kilogrammes.

Savon d'huile palmiste, de suif et de silicate de soude. — Cette qualité quoique inférieure à la précédente est cependant, d'un usage encore plus économique. Les proportions ci-dessous peuvent être employées avec avantage :

Huile palmiste. . . .	330
Suif blanc.	240
Huile de coton.. . . .	30
Total.	600 kil.

On opère la saponification des matières avec 1,000 kilogrammes de lessive à 22° que l'on introduit par portions successives dans la chaudière. Une heure ou une heure et demie après la dernière addition, on verse peu à peu dans le mélange 200 kilogrammes de silicate de soude à 36°. Il convient de faire observer que la solution de ce sel alcalin doit être préalablement chauffé à + 50° ou + 60° C. On ne doit d'ailleurs, l'introduire dans le savon que sous la forme d'un mince filet, qu'on incorpore à mesure dans la masse par un brassage prolongé. On fait encore bouillir quelque temps, et après avoir retiré le feu, on brasse le savon avant de le verser dans la mise. Des matières grasses ci-dessus on obtient de 1,550 à 1,600 kilogrammes de savon très-ferme et très-détersif.

Savons résineux sans relargage. — Les savons de ce genre se font avec des matières très-diverses et parfois de qualité très-inférieure. Les plus estimés, lorsqu'on ne force pas inconsidérément le rendement, se composent en général de suif, d'acide oléique, d'huile de palme et d'une proportion plus ou moins considérable de résine. En raison de l'énergie de leurs propriétés détersives, ces savons sont très-recherchés pour les usages domestiques. Les marines en consomment aussi de grandes quantités, principalement celles de Russie, d'Angleterre et des États-Unis; car ils sont les seules combinaisons des corps gras avec les alcalis qui puissent fournir une écume abondante avec l'eau de mer. Leurs usages industriels sont toutefois moins importants que leurs usages économiques, car on a cru reconnaître que leur emploi favorise l'éclosion des mites dans les draps; on leur reproche, en outre, de laisser un léger enduit résineux sur les tissus qui empêche ou diminue l'adhérence des mordants qu'on y applique avant la teinture. Tout cela peut être vrai en partie, mais seulement pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les savons où persiste une partie de la résine non saponifiée et à l'état de simple mélange. Cela dit, nous décrirons brièvement un des procédés de fabrication de ces savons qui nous a toujours fourni un bon produit.

Nous partirons du mélange suivant:

Huile de palme.	200
Suif.	800
Acide oléique de saponification.	400
Résine de belle qualité. . . .	600
Total. . . .	2,000 kil.

Pour saponifier ces matières, on emploie 2,000 kil. de lessive de sel de soude à haut titre, d'une densité de de 1,215, correspondant à 26 degrés de l'aréomètre Beaumé. Cette lessive est introduite dans une chaudière d'une capacité de 35 hectolitres environ et chauffée jusqu'à l'ébullition. C'est alors qu'on y ajoute les matières grasses et la colophane, qui doit être préalablement pulvérisée. A partir de ce moment, on brasse continuellement le mélange qu'on fait bouillir à un feu doux et modéré. Par cette ébullition, que l'on prolonge pendant six ou huit heures, on obtient une pâte fortement liée d'un jaune brun, dont la consistance augmente graduellement par la concentration de la lessive. Lorsqu'un échantillon de 40 à 50 grammes refroidi est ferme, on fait passer le contenu de la chaudière dans une mise, et on brasse aussi longtemps que la fluidité de la pâte le permet. Quand le savon est complétement solidifié, on ouvre la mise pour diviser le bloc en gros pains.

Les proportions de matières indiquées plus haut donnent environ 3,000 kil. de bon savon. Ce savon est suffisamment ferme pour les savonnages à la main ; il acquiert avec le temps une translucidité assez remarquable.

Cette fabrication, encore si limitée en France, a acquis une grande importance en Angleterre. Elle s'y réduit, pour ainsi dire, en une simple formule, car on y opère sur des doses ou proportions de matières grasses, de résine et de lessive exactement déterminées, ce qui est assurément un contrôle et une garantie contre les erreurs. L'opération — et c'est le caractère particulièrement original et nouveau du procédé anglais — s'effectue, sous une pression de deux ou trois atmosphères, dans une vaste chaudière autoclave pourvue d'une soupape, d'un manomètre et d'un agitateur en fer dont la tige motrice reçoit le mouvement d'un moteur extérieur qui est ordinairement la vapeur. La figure 8 re-

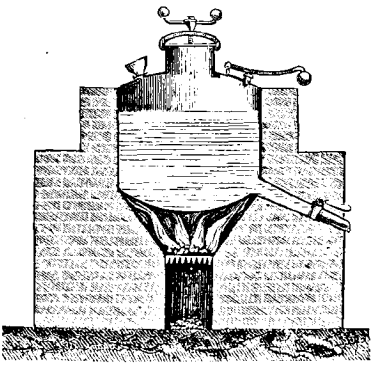


Fig. 8.

présente d'une manière assez précise l'ensemble de cet appareil, que beaucoup de praticiens croient excellent. Ce qui est certain, c'est qu'il est fréquemment employé par les fabricants de la Grande-Bretagne qui s'occupent de la préparation de ce genre de savons. Ce qui prouve qu'en savonnerie, comme en beaucoup d'autres choses, on peut souvent arriver à des résultats identiques par des moyens différents.

Les combinaisons de matières grasses dont se servent les fabricants anglais, pour obtenir leurs savons résineux par simple voie d'amalgame ou d'empâtage, sont très-nombreuses; mais les meilleures, comme chez nous, se composent de graisses animales, d'huile de palme naturelle ou décolorée, d'acide oléique et de belle colophane. Car ces producteurs, à la fois si ingénieux et si éclairés, si pratiques et si ennemis des théories exclusives, du moins en matière industrielle, comprennent parfaitement qu'obtenus dans ces conditions, leurs produits présentent cette unité ou stabilité de composition si nécessaire pour les répandre à travers le monde entier par l'intermédiaire de leur puissante marine. Voici l'une des meilleures formules qu'ils emploient pour les premières qualités de savon de palme résineux :

Huile de palme naturelle. .	500
Suif blanc..	300
Résine n° 1 en poudre. . . .	200
Lessive caustique de sel de soude d'une densité de 1,200 ou 25° B.	1120
Total.	2120 kil.

Fabrication. — On introduit d'abord la lessive dans la chaudière autoclave, et quand elle est bouillante, on y ajoute les matières grasses et la résine. On ferme alors l'appareil et on chauffe pendant quelques heures sous une pression de 2 ou 3 atmosphères. Le savon arrivé au point de cuite convenable est alors extrait de la chaudière par un robinet inférieur et versé dans des mises où il se solidifie.

Nous donnons ci-dessous une autre formule servant à préparer un savon blanc très-doux, mais auquel on ajoute presque toujours une certaine quantité de sulfate ou de silicate de soude pour en augmenter le rendement :

Huile de palme décolorée.	400
Huile palmiste.	400
Suif blanc.	400
Total.	1200 kil.

Fabrication. — Saponifier ce mélange avec 1,600 kilogrammes de lessive de sel de soude à 25° B. ou d'une densité de 1,200. Procéder pour le reste comme ci-dessus.

Remarquons, pour terminer, que cet appareil anglais sert aussi à préparer par amalgame les savons résineux et autres des séries inférieures. Il réalise évidemment pour cette fabrication spéciale quelques avantages comparativement aux chaudières à savons ordinaires. Il y a en effet, célérité dans l'opération, économie de combustible lorsqu'on opère sur des masses, et enfin une combinaison plus rapide des matières, combinaison que paraît favoriser la température élevée à laquelle la réaction s'opère.

II. SAVONS MOUS, OU A BASE DE POTASSE. Ces savons constituent la seconde grande classe des savons solubles employés dans l'économie domestique et dans les arts. Formés de matières grasses où l'oléine prédomine et d'autre part ayant pour base la potasse, ils ont nécessairement une plus grande solubilité que les savons durs à base de soude. C'est même de cette solubilité que découle l'énergie de leurs propriétés détersives.

Les grands centres de production de ces savons sont les pays du nord de l'Europe. Leur fabrication est très-étendue et considérable en Angleterre, en Allemagne, en Suède et surtout en Hollande où elle a acquis un haut degré de perfection. Il s'en fait aussi en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

France, principalement pour les manufactures de draps, qui peuvent rivaliser avec les meilleurs produits de l'étranger.

Tous ces savons sont obtenus sans relargage; ils renferment, par conséquent, la glycérine des matières grasses et toujours aussi un excès d'alcali, qui paraît nécessaire à la plupart de leurs applications.

Les huiles provenant des graines oléagineuses sont principalement employées à la fabrication des savons mous. Considérées au point de vue de la savonnerie, ces huiles se divisent en huiles chaudes et en huiles froides. Les premières, pour ne citer que les plus importantes, sont les huiles de cameline, d'œillette, de chènevis, de lin.

Leur nom d'huiles chaudes leur vient de ce que leur point de congélation est toujours au-dessous de zéro; les deux dernières ne se solidifient que par un abaissement de température de — 27° à 28°. Ces huiles fournissent en toute saison des savons d'une conservation facile, même par les froids les plus intenses de nos climats. Les savons provenant des huiles froides ne peuvent, au contraire, se conserver que dans la saison tempérée : le mélange des deux qualités donne souvent de bons résultats.

Quant aux potasses qui servent à la préparation de ces savons on préfère celles de Russie, d'Amérique et surtout celle de mélasse de betterave, qui est aujourd'hui fabriquée sur une vaste échelle dans nos centres sucriers. Pour cette dernière sorte, la savonnerie place au premier rang les marques de l'usine de M. Alfred Billet, l'un des plus grands producteurs d'alcool et de potasse du département du Nord. Du reste, le lecteur trouvera sur la richesse comparative des principales potasses commerciales d'utiles et précises indications dans le tableau qui figure à la page 10.

Pour préparer la lessive de potasse, on mélange assez fréquemment, dans des rapports divers, les trois sortes de potasses précitées que l'on décarbonate par 35 ou 40 p. 100 de chaux caustique. Mais la potasse raffinée de mélasse de betterave, qui est toujours la plus riche en degrés alcalimétriques, est aujourd'hui employée seule par beaucoup de fabricants.

Préparation de la lessive de potasse. — On emploie ordinairement pour préparer cette lessive une chaudière en fonte à fond sphérique comme celle qui est représentée par la figure 7, page 23. Pour y traiter, par exemple, 500 kilogrammes de potasse, sa contenance doit être de 35 à 40 hectolitres. On y verse d'abord 2,000 litres d'eau que l'on chauffe, en allumant le feu au foyer. Lorsque l'ébullition commence, on y dissout peu à peu la potasse; après quoi on y ajoute la chaux, dont on emploie 200 kilogrammes. Assez ordinairement on met la chaux par portions alternées dans la solution bouillante. Cependant, beaucoup de praticiens trouvent plus simple et meilleur d'employer cette chaux à l'état de bouillie, c'est-à-dire, après l'avoir délitée dans l'eau. Les deux méthodes sont bonnes : mais par la dernière, l'effervescence qui se produit dans le mélange est toujours moins vive : car, même dans ce cas, ce n'est que par portions alternées qu'on introduit cet hydrate de chaux dans la chaudière.

Quoiqu'il en soit, après l'introduction des dernières portions de chaux, on fait bouillir modérément le mélange, pendant une heure environ, en continuant à brasser pour maintenir la chaux en suspension. Alors on retire le feu et après 12 ou 15 heures de repos, on décante la liqueur claire qui forme la première lessive forte.

Le marc de chaux est ensuite épuisé par cinq lavages successifs, pour chacun desquels on emploie 500 litres d'eau. On laisse à chaque fois reposer 12 heures, car il est nécessaire de ne décanter que lorsque la liqueur est devenue parfaitement claire.

Comme nous l'avons fait pour le sel de soude, nous

donnons dans le tableau suivant en quantités, densités et degrés B. les lessives obtenues par 500 kilogrammes de potasse :

POTASSE employée.	EAU employée.	LESSIVE obtenue.	DENSITÉ.	DEGRÉ Beaumé.
kil	k.l.	kil.		°
	2000	1280	1157	20
	500	550	1106	14
	500	560	1073	10
500	500	540	1046	6 1/2
	500	550	1028	4
	500	565	1013	2
500	4500	4045	»	»

De ce tableau il résulte que 100 kilogrammes de bonnes potasses commerciales doivent fournir :

1° Lessive à 20° 256;
2° Lessive à 14 440;
3° Lessive à 10 412;
4° Lessive à 6 1/2 408;
5° Lessive à 4 440;
6° Lessive à 2 413.

Pour fournir quelques indications utiles aux praticiens, nous avons déterminé la quantité de potasse à employer par hectolitre d'eau pour obtenir des solutions à 5, 10, 15, 20, 25, 30 degrés de l'aréomètre de Beaumé. Voici les résultats de notre travail:

Eau à employer.	Degrés à obtenir.	Potasse à employer.
litres	°	kil. gr.
100	5	2 .750
100	10	7 .250
100	15	12 .500
100	20	18 .500
100	25	25
100	30	34

Le carbonate de potasse, dont nous nous sommes servis, était sec et à 62 degrés alcalimétriques.

Comme en savonnerie, il est souvent très-utile de comparer les densités des lessives de potasse et de soude avec les degrés de l'aréomètre de Beaumé. Les praticiens trouveront ces rapports dans le tableau suivant:

Degrés B.	Densités.	Degrés B.	Densités.	Degrés B.	Densités.
0	1,000	17	1,132	34	1,301
1	1,006	18	1,140	35	1,312
2	1,013	19	1,148	36	1,324
3	1,020	20	1,157	37	1,336
4	1,028	21	1,167	38	1,349
5	1,035	22	1,176	39	1,361
6	1,042	23	1,186	40	1,374
7	1,050	24	1,195	41	1,386
8	1,058	25	1,205	42	1,400
9	1,065	26	1,215	43	1,413
10	1,073	27	1,225	44	1,427
11	1,081	28	1,235	45	1,441
12	1,090	29	1,246	46	1,456
13	1,100	30	1,256	47	1,470
14	1,106	31	1,267	48	1,485
15	1,114	32	1,278	49	1,500
16	1,125	33	1,289	50	1,515

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La préparation des savons à base de potasse se fait dans des chaudières pareilles à celles employées pour la fabrication des savons durs. Ces chaudières sont chauffées à feu nu ou par la vapeur. Mais quoique ce dernier mode soit plus rationnel, on s'en tient presque partout au premier.

Pour fournir un exemple de la marche à suivre pour la fabrication de cette espèce de savons, nous supposerons une cuite composée de:

Huile d'œillette. . .	600 kilogrammes.
Huile de chènevis. .	100
Huile de lin.	100
Total. . . .	800 kilogrammes.

On commence pour introduire 400 kilogrammes de lessive de potasse d'une densité de 1114 ou 15° B. dans une chaudière de 30 hectolitres environ. On allume le feu, et, lorsque la lessive est un peu plus que tiède on verse les huiles dessus; on porte ensuite le mélange à l'ébullition et on l'y maintient pendant quelques heures. Il est important de ne pas trop activer le feu, car la masse qui est alors à l'état visqueux pourrait adhérer au fond de la chaudière et y brûler. Il est possible que pendant cette première période de l'opération, il se détache quelques parties d'huile du mélange. Presque toujours, cet accident résulte de l'emploi de lessives imparfaitement décarbonatées ou préparées avec des potasses où les sels neutres abondent. Le plus souvent on parvient à incorporer cette huile dans la masse déjà émulsionnée par des additions de lessive très-faibles et très-pures que l'on ajoute peu à peu et en continuant l'ébullition.

A ce propos nous ferons remarquer qu'une addition de quelques centièmes de savon mou ou de résine dans l'empâtage, accélère considérablement la combinaison de l'alcali avec les huiles, en émulsionnant plus complétement le mélange. Il est encore à remarquer que les huiles anciennes ou rances conviennent beaucoup mieux pour cette fabrication que les huiles neutres ou récentes.

Quoi qu'il en soit, quand le mélange a pris un certain degré de consistance, on continue l'opération avec des lessives à 17 ou 18 degrés. On en emploie environ 600 kilogrammes que l'on ajoute à différentes reprises et par portions de 25 à 30 kilogrammes à la fois. La pâte se sature graduellement et devient de plus en plus épaisse par suite de l'évaporation de l'eau et de l'absorption de l'alcali par les acides gras provenant de la décomposition des huiles. Cependant la cuite ne peut être terminée que par une nouvelle addition de lessive que l'on emploie cette fois à une densité de 1,157 ou de 1,176 correspondant, la première à 20 et la seconde à 22 degrés Beaumé. Elle est introduite, comme précédemment, par portions successives dans la chaudière, jusqu'à ce que le savon soit arrivé au point de cuite convenable. A ce moment son alcalinité est prononcée. Refroidi par portions de 5 à 10 grammes sur une feuille de verre, il est blanc dessus et transparent dessous, principalement au centre; une spatule qu'on plonge dans la masse bouillante et qu'on retire aussitôt, le laisse tomber en plaques courtes et striées. Remarquons qu'avant d'avoir atteint le point de cuisson nécessaire, le savon ne blanchit pas sur le verre et s'écoule de la spatule sous forme sirupeuse.

Lorsque le savon doit contenir de la résine, c'est toujours vers la fin de la cuite qu'on l'ajoute. On fait choix ordinairement d'une résine de belle qualité que l'on pulvérise préalablement. La dose varie de 10 à 15 pour 100 du poids des huiles. Après avoir introduit cette résine dans la chaudière on continue encore l'ébullition pendant quelques heures, en ajoutant peu à peu une certaine quantité de lessive forte pour redonner à la pâte son alcalinité première. Lorsqu'on se propose d'employer de la lessive de soude, c'est ordinairement dans cette dernière période de l'opération qu'on l'ajoute.

Quoi qu'il en soit, lorsque la cuite présente les caractères déjà indiqués, on retire le feu et on laisse le savon en chaudière pendant douze ou quinze heures. Ce temps écoulé il peut être mis en tonneaux; mais on préfère le laisser refroidir quelques jours dans des bassins de tôle, après quoi on en remplit les tonneaux. Ces derniers, de capacités très-diverses, en contiennent depuis 25 jusqu'à 250 kilogrammes.

Ainsi préparé, ce savon est presque translucide lorsqu'il ne contient pas de soude en excès. On le colore souvent en vert au moyen de l'indigo qu'on réduit préalablement en poudre impalpable. La dose pour une cuite de l'importance de celle dont il est ici question est de 5 à 600 grammes.

Quant au rendement, les 800 kilogrammes d'huiles produisent de 16 à 1,700 kilogrammes de savon. Mais lorsqu'on ajoute 100 ou 150 kilogrammes de résine au mélange, le rendement peut arriver à 1,900 kilogrammes. Remarquons que cette faible dose de résine augmente les propriétés détersives du savon, lui donne plus de liant et le rend plus diaphane.

Comme indication utile aux praticiens nous dirons que 100 kilogrammes d'huiles exigent pour leur saponification l'équivalent de 160 à 170 kilogrammes de lessive de potasse d'une densité de 1,176 ou 22° B. En d'autres termes, si la quantité de lessive qu'on emploie à différents degrés pour la transformation en savon mou de 100 kilogrammes d'huiles ou autres matières grasses était amenée par évaporation à 22° B., elle représenterait approximativement les poids précités de 160 à 170 kilogrammes. Nous ferons cependant remarquer que ces chiffres supposent l'emploi d'une lessive préparée avec des potasses dont le titre n'est pas inférieur à 60 degrés alcalimétriques.

Ces matières de choix donnent toujours un savon de première qualité. Mais il s'en fait aussi avec les suifs communs, les graisses de suint et même avec l'huile de poisson qu'on mélange avec de fortes proportions de résine. Ces savons sont toujours inférieurs à ceux provenant des huiles de graines pures, ou mélangées avec l'axonge. Cependant leur bas prix les fait rechercher pour les usages domestiques.

En Allemagne, où les savons mous sont l'objet d'une fabrication importante, il s'en fait trois qualités: la première qui est excellente, est le résultat de la saponification de l'huile d'œillette par la lessive de potasse. La deuxième est le même produit avec addition d'une forte proportion de fécule et quelquefois de résine. La troisième est fournie par les fonds de pile d'huile d'œillette. Les deux dernières sont amenées à une forte consistance au moyen du silicate de soude.

Il est encore une autre méthode de préparer le savon mou dont il nous reste à parler.

Savon mou d'acide oléique. — Depuis les récents développements de l'industrie savonnière dans nos grands centres manufacturiers, les savons mous de qualité supérieure s'obtiennent à l'aide de l'acide oléique qui est bien véritablement la matière grasse qui convient le mieux à la fabrication de cette espèce de savon. A ce propos, qu'il nous soit permis de rappeler que notre frère André Lormé a eu la priorité de cette importante application. Déjà, en effet, depuis une trentaine d'années, il a fait connaître le procédé de fabrication de ce savon; et à partir de cette époque éloignée, ce procédé a été reproduit dans plusieurs ouvrages techniques et de chimie appliquée et plus récemment encore dans les *Merveilles de l'industrie* de M. Louis Figuier, à l'article très-intéressant que l'éminent vulgarisateur a consacré à la savonnerie. Voici cet article:

« Un mode de fabrication des savons mous plus en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapport avec l'état actuel de la science a été mis en usage par M. André Lormé, qui l'a décrit en ces termes:

« Les matières premières de ce savon sont l'acide oléique non distillé, l'huile de palme et la lessive de potasse. Voici les meilleures proportions pour obtenir un produit de qualité supérieure:

Acide oléique.	900
Huile de palme.	100
Lessive de potasse à 20° Beaumé. .	1600
Total.	2600 kil.

« On opère la fusion des matières grasses à une douce température dans une chaudière de la capacité de 35 à 40 hectolitres. On ajoute d'abord 600 kilogrammes de la lessive ci-dessus, et on soumet le mélange à une ébullition modérée. Lorsque les matières sont bien empâtées, on ajoute successivement et par portions de 50 kilogrammes à chaque fois, les 1,000 kilogrammes restant de la lessive à employer. On continue à faire bouillir modérément, et on essaie de temps en temps la pâte par les moyens ordinaires. Lorsque par la concentration de la lessive le savon est arrivé au point de cuite désiré, on enlève le feu et on le laisse reposer dans la chaudière pendant quelques heures. Ce savon est d'une belle couleur jaune brun; s'il doit être coloré en vert, on y ajoute quelques centaines de grammes d'indigo surfin en poudre, qu'on y incorpore par une agitation suffisamment prolongée; lorsqu'on a obtenu la nuance voulue, on coule le savon dans des tonneaux qu'on a préalablement disposés pour le recevoir.

« Le savon ainsi préparé est très-recherché dans le commerce. Il est d'une consistance plus épaisse que celui obtenu par la saponification des huiles végétales. On en emploie depuis quelque temps des quantités considérables pour le désuintage des laines et le blanchissage du linge de ménage. Pour ce dernier et récent emploi, il remplace avec avantage le sel de soude; son action, plus détersive et moins corrosive que celle de ce sel, altère beaucoup moins la fibre des matières textiles.

« Des proportions de matières employées, on obtient, en moyenne, 2,200 kilogrammes de savon, soit un rendement de 220 pour 100 de matières grasses.

« Ajoutons que l'opération exige 7 à 8 heures d'ébullition à feu doux.

« On développe une grande transparence dans ce savon en y incorporant pendant qu'il est encore tiède 1 ou 2 centièmes d'alcool concentré. »

Comme on le voit, dit M. Louis Figuier, l'acide oléique entre ici, et par exception, dans la préparation des savons mous à base de potasse.

Nous ajouterons que notre frère avait, dès les premiers temps, reconnu l'utilité d'introduire une certaine quantité d'huile de palme et de résine dans ce savon. La première lui donnait une nuance plus belle et plus riche en même temps qu'une odeur plus agréable; la seconde en augmentait l'énergie détersive déjà considérable et permettait de l'employer pour les savonnages à l'eau de mer.

Savon à foulon. — Les qualités essentielles d'un bon savon à foulon sont: 1° d'être entièrement soluble; 2° de fournir une mousse persistante et abondante; 3° de ne pas exercer une action trop active sur les filaments de la laine.

On réalise ces conditions d'une façon assez complète par la saponification du suif au moyen d'un mélange de lessives de potasse et de sel de soude. Le résultat de cette saponification fournit un savon blanc, solide, quoique ayant une certaine flexibilité qu'il doit à la potasse. Ce savon est très-peu soluble dans l'eau froide, mais l'eau bouillante en dissout une forte proportion, et la liqueur développe une mousse abondante par l'agitation. C'est la propriété qu'on y recherche.

On obtient ce savon, comme il vient d'être dit, en traitant le suif par deux fois son poids d'un mélange à parties égales de lessive de potasse et de sel de soude, à 15 ou 16° B. Lorsqu'on opère sur des quantités qui ne dépassent pas 100 kilogrammes, on fait bouillir 5 à 6 heures. On dirige l'opération de manière à avoir un rendement de 180 à 190 pour 100 de suif, ce qui est toujours facile. Le savon est alors versé dans une mise où il se solidifie assez rapidement, parce qu'il est coulé sous une épaisseur qui n'excède pas 20 centimètres.

Il se prépare aussi une autre qualité de savon à foulon dans des conditions différentes, et dans lequel le suif est remplacé par l'huile d'œillette. Pour l'obtenir on chauffe cette huile à + 45° ou + 50° C., et on verse dessus, par 100 kilogrammes, 120 kilogrammes de lessive à 25° B., formée à partie égale de potasse et de natrum que l'on caustifie par 60 pour 100 de chaux. On brasse quelque temps le mélange, et, lorsque l'union des matières paraît parfaite, on coule le savon qui est alors presque solide dans des tonneaux fortement cerclés en fer.

FABRICATION DES SAVON DE TOILETTE.

Ces savons aux formes si élégantes et si variées, aux couleurs si délicates et si vives, aux parfums si divers et parfois si exquis, ne sont pourtant, lorsqu'on les considère au point de vue de leur constitution chimique, que des composés salins analogues aux savons ordinaires.

Mais, ce qui les distingue essentiellement de ces derniers, c'est le choix des matières qui entrent dans leur composition, les parfums, les baumes qu'on y introduit, et surtout les soins spéciaux qu'on apporte à leur épuration; car, étant exclusivement destinés aux usages de la toilette, on s'efforce de les obtenir aussi neutres que possible.

Les matières grasses qui servent à les fabriquer sont peu nombreuses. Le suif, l'axonge et l'huile de coco fournissent, à peu d'exceptions près, la base organique des savons blancs, roses et autres de nuances claires. Les mêmes matières, alliées en proportions diverses avec l'huile de palme naturelle, donnent les savons jaunes, verts et bruns par des additions ultérieures de matières colorantes appropriées, dont il sera parlé en temps opportun. Quant à l'alcali — nous ne parlons ici que des savons de toilette durs — on emploie toujours les sels de soude à un titre alcalimétrique élevé, et, ce qui est surtout essentiel, entièrement exempts de sulfure.

Ces savons, du reste, s'obtiennent au moyen des deux méthodes appliquées à la fabrication des savons ordinaires. Par l'une — c'est la méthode marseillaise — on opère la saponification des matières sur lessive; par l'autre on procède par voie d'incorporation directe ou de mélange sans séparation de lessive. Ici, encore, le premier mode donne nécessairement les savons les mieux expurgés d'alcali caustique et de matières salines, car ces diverses substances sont en très-grande partie entraînées par la liquidation qui complète leur épuration. Ceux obtenus par le second mode, n'étant soumis à aucune purification ultérieure sont toujours plus alcalins, et par conséquent moins propres à l'hygiène de la peau.

Parmi les diverses substances employées pour colorer les pâtes de savon incolores qui servent de base aux savons de toilette, les plus usuelles sont: le vermillon pour le rose; le chromate de plomb, l'ocre jaune, la gomme-gutte, le curcuma pour le jaune; le colcotar, l'ocre brun, la terre de Sienne calcinée ou l'infusion alcoolique de caramel pour les différentes nuances de brun; les mélanges de gomme-gutte et de bleu de cobalt ou même d'indigo pour les verts. Il convient, toutefois, de faire observer que depuis déjà quelques années les colorants métalliques sont fréquemment remplacés par l'aniline ou ses dérivés, surtout pour le rose et le violet. Mais ces riches et magnifiques couleurs sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

beaucoup moins stables que les premières et d'un prix très-élevé.

Les parfums que l'on emploie pour donner à ces savons les arômes si divers et si agréables qui les font rechercher pour les soins de la toilette sont principalement empruntés aux deux règnes organiques. La civette et le musc procèdent des animaux; les baumes, le benjoin, le styrax, l'ambre, les résines aromatiques, des plantes. Mais leur source la plus abondante est fournie par les essences végétales. Celles-ci sont aujourd'hui extraites en quantités considérables des fleurs, des fruits, des graines, des écorces d'un grand nombre de plantes indigènes et exotiques, et surtout des immenses cultures florales de notre belle Provence, qui fournissent les espèces les plus estimées pour les emplois spéciaux de la parfumerie et de la savonnerie de luxe.

Terminons ces généralités en faisant remarquer que notre pays a toujours eu une prééminence marquée dans cette branche, aujourd'hui si développée et si importante de l'industrie savonnière. Londres, Vienne, Saint-Pétersbourg, Rome possèdent aussi de nombreuses et considérables usines de savons de toilette; mais leurs produits, quoique en général excellemment élaborés, n'ont jamais pu atteindre le degré de perfection qui caractérise ceux des grandes maisons de Paris, où l'on trouve à la fois cette variété presque inépuisable de formes, de couleurs, de parfums exquis, ce cachet, cette distinction artistique, ces mille détails ingénieux et charmants par lesquels le génie de notre nation se révèle et s'affirme.

Cela dit, nous commencerons l'étude de ces intéressants produits par la fabrication des pâtes de savons épurées qui leur servent de base. Nous nous occuperons d'abord de celles préparées sur lessives.

Savon blanc d'axonge. — Ce savon, étant inodore, forme la base des savons de toilette extrafins. Il est d'autant plus beau que l'axonge qui sert à sa préparation est elle-même plus blanche et plus pure. Cependant, pour le rendre plus mousseux et plus doux, on fait entrer dans sa composition une certaine quantité d'huile de coco. Pour la première qualité de ce savon, on peut prendre :

Axonge blanche.	900 kil.
Huile de coco.	100
Total.	1,000 kil.

Fabrication.— On empâte les matières ci-dessus dans une chaudière de 10 hectolitres, dans laquelle on met 7 à 800 kil. de lessive de sel de soude à 8 ou 10 degrés Beaumé. Après quelques heures d'ébullition, pendant lesquelles on râble continuellement le mélange, on commence à se servir de lessives à 15°, dont on emploie 400 kil. Enfin, quand, après une nouvelle ébullition de quelques heures, la pâte est devenue dense, épaisse et bien liée, on commence à *relarguer*. Dans ce but, on verse dans la chaudière, que l'on maintient toujours à une douce ébullition, des recuits bien épurés et bien limpides à 20 ou 25 degrés, dont on emploie, par portions fractionnées, un poids de 800 à 1,000 kilogrammes. Sous l'influence de cette liqueur salée, l'émulsion savonneuse se transforme graduellement en grumeaux et la lessive en excès s'en détache. Ayant obtenu ce résultat, on enlève le feu, et au bout de quelques heures on *épine* la chaudière. Remarquons qu'à défaut de *recuits* on pourrait obtenir la séparation du savon avec des lessives neuves à 18°, contenant 8 kilogrammes de sel marin par hectolitre.

Cuisson. — Cette opération exige deux services de lessives.

Pour le premier, il convient que les lessives ne soient pas trop concentrées, car on déterminerait prématurément la formation du grain, qui ne doit se former que graduellement à mesure que la pâte se sature d'alcali.

Conséquemment, après avoir *épiné* la chaudière, on y verse 600 kilogrammes de lessive neuve à 20° B., puis on porte le mélange à l'ébullition. Lorsqu'on remarque que le savon commence à se lier, on le sépare de nouveau en ajoutant peu à peu de la lessive de recuit préalablement filtrée sur de vieux marcs de chaux. On peut ainsi utiliser la soude caustique que cette lessive retient encore et réaliser une économie assez grande de lessive neuve. Enfin, au bout de 8 à 10 heures d'ébullition, la lessive de la chaudière ne décèle à la dégustation que la présence de sels neutres. On enlève alors le feu, et, après un repos suffisant, on *épine* une seconde fois.

Pour le second service, on fait bouillir le savon avec 600 kilogrammes de lessive neuve à 25 degrés, et pour compenser l'évaporation qui résulte de l'ébullition, on ajoute dans l'espace de 10 à 12 heures, par portions fractionnées, un poids de lessive égal aux deux tiers du premier, c'est-à-dire 400 kilogrammes.

Assez ordinairement, au bout de ce temps, le savon est arrivé au point de cuisson convenable. Il s'écaille quand on le presse entre les doigs et la lessive contient encore un excès de soude libre que l'on reconnaît aisément à la saveur caustique qu'elle laisse sur la langue. Si ces caractères n'étaient pas assez évidents, il conviendrait de continuer encore l'ébullition; et même, s'il était nécessaire, d'ajouter une nouvelle quantité de lessive neuve pour achever la saturation du savon. Ce résultat obtenu, on laisse reposer quelque temps, et, après avoir fait écouler la lessive, on procède à la liquidation.

A cet effet, on verse dans la chaudière 7 à 800 kilogrammes de recuits incolores à 10 ou 12 degrés. On porte alors le mélange à l'ébullition, et on l'y maintient pendant quelques heures, afin d'enlever au savon l'excès de soude caustique qu'il contient.

Cette première lessive étant soutirée, on continue l'opération avec des recuits ou petites eaux à 5 ou 6 degrés, qu'on ajoute peu à peu pour éviter de lier trop tôt la pâte. Il convient, en effet, que celle-ci soit séparée de la lessive le plus longtemps possible, parce que alors elle se dépouille plus aisément et plus complétement de l'alcali non combiné et de l'excès de matières salines qu'elle retient encore. Pendant tout ce temps, on fait bouillir doucement, en ayant soin de ramener la pâte des bords au centre. Enfin, on finit l'opération en ajoutant avec précaution de petites eaux à 2 ou 3 degrés, ou même de l'eau pure. De même que pour le savon blanc de Marseille, auquel nous renvoyons pour les détails, on reconnaît que la liquidation est à son terme, lorsque les parties du fond que l'ébullition amène à la surface commencent à prendre une teinte grise. Aujourd'hui, on évite d'avoir une trop grande précipitation de *gras*, et, lorsque l'opération a été conduite avec soin, le savon n'en est pas moins pur.

Quelle que soit d'ailleurs la méthode que l'on suive, lorsque la liquidation est terminée, on retire le feu, et après un léger brassage de la masse savonneuse, on couvre soigneusement la chaudière, qu'on laisse reposer 12 ou 15 heures. Ce temps écoulé, on enlève la couche d'écume qui se trouve à la surface du savon liquidé, qu'on coule ensuite dans des mises : ce savon forme, comme toujours, une couche intermédiaire entre les écumes et le gras. Ce dernier, qui est aussi un savon, est plus liquide, plus dense, plus coloré, plus caustique surtout. Il est donc nécessaire de le couler à part sur une autre mise. Quant au rendement, une opération composée comme ci-dessus produit en moyenne :

Savon d'écume.	100
Savon blanc épuré.	1,500
Gras à 50 p. 100 d'eau.	200
Total.	1,800 kil.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le savon d'axonge ainsi préparé a les propriétés qu'on recherche dans un bon savon de toilette. Il est doux et neutre, aussi sert-il de base aux savons extra-fins, et surtout au savon blanc d'amandes amères, qui est un des plus employés pour l'hygiène de la peau.

Le suif constitue aussi une matière première importante pour la fabrication des savons de toilette. Mais étant composé en grande partie de stéarine et de margarine, il forme des savons moins solubles et moins mousseux que l'axonge, où l'oléine domine. En pratique, on obvie à cet inconvénient en saponifiant ce corps gras avec une certaine quantité d'axonge et d'huile de coco, laquelle intervient, du reste, comme on l'a vu précédemment, dans la composition de tous les savons de toilette. C'est particulièrement à cette huile qu'ils doivent l'onctuosité et les propriétés émulsives qui les distinguent.

Il y a pourtant à remarquer que si, dans ces conditions nouvelles, le suif produit un excellent savon, celui-ci retient encore l'odeur générique de la matière première. Cependant cette odeur se trouve très-atténuée en opérant sur des suifs fondus à la vapeur, d'après la méthode indiquée à la page 8, qui fournit des suifs extrêmement purs, presque inodores et absolument exempts de toute matière putrescible.

Les proportions ci-après donnent un excellent produit :

Suif ou graisse de mouton.	500
Idem de bœuf.	200
Axonge blanche.	200
Huile de coco.	100
Total.	1,000 kil.

Quant à la manière de procéder à la saponification de ces matières, elle est identique à celle que nous venons de décrire pour le savon d'axonge. Disons, toutefois, que l'on emploie une plus grande quantité de lessive faible à l'empâtage, afin de dépouiller plus complétement le savon de l'odeur si persistante du suif.

Souvent même on prolonge l'opération jusqu'au moment où la lessive se sépare de la pâte. Le beau savon blanc de Windsor se commence ainsi. Mais les fabricants anglais parfument ce savon en chaudière, vers la fin de la cuite, avec d'assez fortes proportions d'essences communes, afin de dissimuler entièrement l'odeur du principe gras employé. Cependant, depuis un certain nombre d'années, il entre dans la composition de ce classique savon d'assez fortes proportions d'axonge, d'huile d'olive et d'huile de coco, ce qui le rapproche beaucoup de nos savons de toilette français.

Le savon de suif obtenu par les procédés ordinaires de la savonnerie ne peut être totalement privé de son odeur générique. Tels nombreux, en effet, que soient les lavages en chaudière, l'odeur *sui generis* du suif y persiste, quoique fortement atténuée.

On applique, du reste, à ce savon le mode de liquidation ordinaire. Cependant, lorsqu'on désire l'avoir très-pur on le traite après la cuite, à plusieurs reprises, par des solutions neutres de sel marin ou de sulfate de soude d'une densité correspondant à 10° ou 12° B. On continue ainsi jusqu'au moment où la liqueur d'épinage ne contient plus de soude caustique; on achève ensuite sa liquidation à l'eau pure en suivant la marche précédemment indiquée pour le savon blanc de Marseille et le savon d'axonge.

Savon d'huile de palme. — L'huile exotique qui forme la base de cet agréable et aromatique savon, si recherché pour la toilette, est ordinairement saponifiée avec des proportions variables de suif et d'huile de coco : le premier lui donne une consistance plus ferme; la seconde en augmente les propriétés émulsives.

Pour une cuite de 1,000 kilogrammes de matières premières on emploie:

Huile de palme naturelle.	600
Suif blanc.	250
Colophane n° 1.	50
Huile de coco..	100
Total.	1,000 kil.

On opère comme pour le savon d'axonge. Les proportions de matières ci-dessus fournissent une moyenne de 1,500 kilogrammes de savon épuré. Pour obtenir ce rendement, il est essentiel toutefois de ne pas trop liquider la masse savonneuse. Ce savon constitue le savon palme de première qualité; il s'en fait peu à l'huile pure.

Fabrication mécanique des savons de toilette. — Les savons fabriqués en chaudière exigent, pour passer à l'état de savons de toilette, un certain nombre d'opérations communes, qui sont :

1° La réduction en copeaux;
2° Le mélange des parfums et des couleurs;
3° Le broyage;
4° Le pelotage;
5° Le moulage;
6° Le paquetage.

Disons d'abord que ces différentes opérations ou manipulations s'exécutent sans le concours de la chaleur, ce qui fait que les parfums et les aromes que l'on ajoute aux savons se conservent intacts. Il y a encore à remarquer que depuis l'extension prodigieuse qu'a prise cette industrie, on a créé un outillage spécial, très-complet, très-bien combiné, dont nous reproduirons les types les plus essentiels.

1° *Réduction du savon en copeaux.* Le savon que l'on extrait des mises après sa solidification forme des blocs que l'on découpe en pains carrés sur des cadres en bois au moyen d'un fil de fer. Ce travail achevé, les pains sont divisés en copeaux très-minces, car ce n'est que sous cette forme que le savon peut être soumis à un broyage uniforme qui y incorpore le parfum et la couleur qu'on veut lui communiquer.

Le découpage des pains se fait au moyen d'un appareil spécial qui consiste en une sorte de rabot circulaire auquel la matière est fournie à l'aide d'une trémie. La figure 9 montre l'appareil mû à la main. Mû par la vapeur (fig. 10), il peut aisément fournir 3 ou 400 kilogrammes de copeaux par heure.

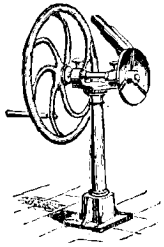


Fig. 9.

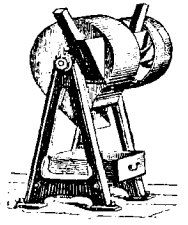


Fig. 10.

2° *Mélange des essences et des couleurs.* Dans les grandes usines où fonctionnent des machines à broyer et à peloter perfectionnées, on obtient des savons immédiatement durs et n'éprouvant aucun déchet ultérieur, en employant un tiers de savon frais tel qu'il sort du rabot avec deux tiers de savon en copeaux préalablement desséché à siccité. Plus souvent encore, on dessèche la masse entière des copeaux dans un courant d'air chaud, ce qui exige une heure à peine.

Quoi qu'il en soit, c'est toujours sur les copeaux de savon secs ou hydratés qu'on répand les essences et les matières colorantes. Pour les savons blancs, on verse directement les essences sur les copeaux; pour les sa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vons colorés, on y délaye préalablement les colorants, et si ceux-ci sont solides, on les réduit d'abord en poudre. Le mélange se fait assez ordinairement dans une grande caisse en bois blanc très-évasée. On brasse, et quand tout est bien mêlé, on procède au broyage.

3° *Broyage*. Parmi les machines, aujourd'hui très-nombreuses, qui sont affectées à ce travail, il y en a de très-perfectionnées. Les broyeuses de MM. Beyer frères méritent, entre autres, une attention particulière, car, grâce à leur bonne exécution elles opèrent avec célérité et économie. Leur broyeuse à quatre cylindres, qui est la plus parfaite, est représentée par la figure 11.

Cette machine se compose de deux cylindres horizontaux inférieurs et de deux cylindres supérieurs disposés dans une position inclinée. Tout le système est mis en œuvre par un pignon de commande, qui reçoit son impulsion d'une machine à vapeur. L'écartement des cylindres est réglé par des volants à main.

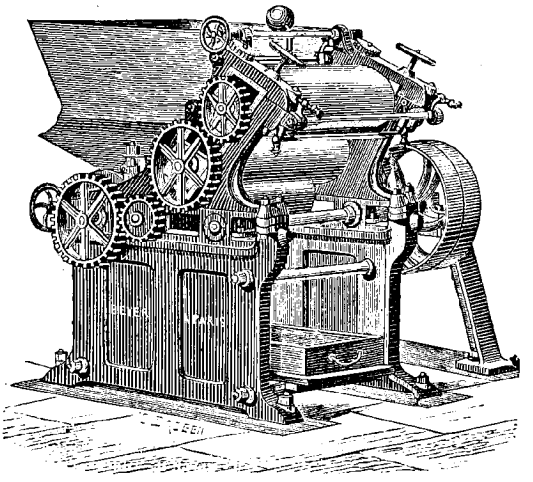


Fig. 11.

Pour faire fonctionner cet appareil, on charge la trémie inférieure avec le mélange de copeaux de savon, d'essence et de couleur que l'on veut travailler. Cela fait, on met les cylindres en mouvement. Le savon,

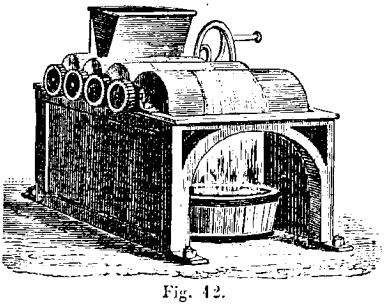


Fig. 12.

d'abord écrasé par les deux premiers cylindres, remonte aux cylindres inclinés, où il subit un nouveau broyage. Arrivé au quatrième, qui est le plus élevé, une forte râclette le rejette dans la partie supérieure de la trémie. Recueilli dans ce compartiment, il retombe dans le compartiment inférieur, passe de nouveau entre les premiers cylindres pour recommencer la même évolution jusqu'au moment où le mélange forme une pâte parfaitement liée et homogène. On presse alors une détente, et une lame qui vient s'appuyer contre le troisième cylindre fait tomber la pâte dans une caisse. La figure 12 montre comment se comporte le savon entre les cylindres. La pâte ainsi obtenue est transformée en petits pains ou pelotes par l'opération du pelotage, dont il va être question.

Disons, pour terminer, que l'avantage particulier de cette nouvelle machine consiste dans le travail automatique qu'elle accomplit en se chargeant d'elle-même, d'où résulte une économie de main-d'œuvre, une production accélérée et la suppression du déchet résultant de la manipulation des pâtes par les ouvriers.

4° *Pelotage*. Le savon ayant été amené par le broyage à cet état d'homogénité nécessaire au mélange des essences et des couleurs, était, il y a peu de temps encore, pilé par parties de 5 à 6 kilogrammes dans un mortier, divisé en morceaux d'un poids déterminé, façonné en petits pains, et enfin moulé après une dessiccation qui se prolongeait pendant trois semaines ou un mois.

Ces manipulations, qui n'étaient pas les seules que comportait ce mode de travail, imposaient une main-d'œuvre considérable qui arrêtait l'essor de la production. La mécanique à laquelle l'industrie moderne doit ses plus grands progrès a fourni là encore une solution inattendue par la création des *peloteuses*. Ces ingénieuses et puissantes machines ont profondément modifié les conditions économiques de cette fabrication. Permettant, en effet, de pétrir, manipuler, façonner, mouler les pâtes de savon sèches, elles ont supprimé par cela même, outre le pétrissage à la main, si long, si imparfait et si coûteux, le séchage, le grattage, le lavage à l'alcool; car elles peuvent livrer directement et presque instantanément à la consommation les produits qu'elles élaborent.

L'industrie possède plusieurs systèmes de ces machines : nous citerons parmi les plus perfectionnées la nouvelle peloteuse de MM. Beyer frères, qui est aujourd'hui très-employée, et dont plusieurs rapports, émanant d'hommes compétents, attestent l'excellence.

L'organe principal de cette machine (fig. 13) se compose d'un fort cylindre en fonte, dans lequel on introduit mécaniquement la pâte de savon colorée et parfumée provenant de la broyeuse. Un pilon mécanique, mû par la vapeur, comprime la pâte, qui arrive à son extrémité inférieure compacte et homogène. Là, la matière savonneuse est refoulée dans une filière d'une section déterminée, dont elle prend la forme, puis est découpée automatiquement en morceaux de même poids qui passent dans un moule, où ils reçoivent leur forme définitive. Cependant, comme leur surface est encore légèrement onctueuse, il est préférable de les exposer quelques heures dans une étuve modérément chauffée. Ils prennent alors par le frappage un poli plus durable, plus brillant et plus beau. Ajoutons qu'une circulation de vapeur d'eau autour du cylindre, donne au savon le degré de plasticité nécessaire au succès de l'opération.

Cette machine, d'un système très-compliqué, mais bien étudié cependant, se prête difficilement à une des-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SAVONS.

cription précise. Nous n'avons voulu, d'ailleurs, qu'en indiquer le principe et le mode de fonctionnement. Répétons, toutefois, qu'elle constitue un système nouveau de fabrication des savons de toilette, qu'elle permet d'obtenir instantanément et d'une qualité parfaite en opérant, comme il est de règle, sur des pâtes de savon parfaitement purifiées.

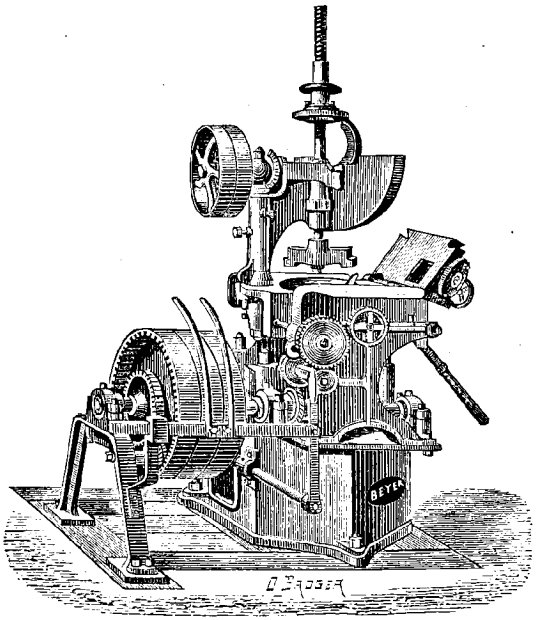


Fig. 13.

5° *Moulage.* Les moules dont on se sert pour frapper

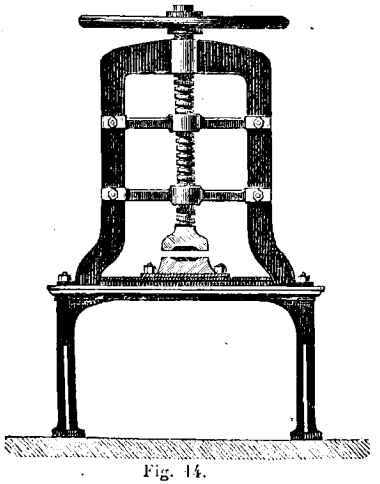


Fig. 14.

les savons de toilette sont de formes et de dimensions très-variées. Assez ordinairement ils portent à l'intérieur une gravure en relief ou en creux qui s'imprime dans les savons; presque toujours aussi ils portent le nom du fabricant.

Ces moules sont, comme d'habitude, formés de deux parties et fonctionnent dans une boîte ou matrice (fig. 14). Leur numéro se rapporte au poids des pains de savon, et le moulage n'entraîne aucun déchet. Ils suivent le mouvement de descente et de montée de la vis de la presse, ce qui permet d'enlever avec facilité le savon qui, après son moulage, reste dans la partie inférieure du moule. La presse peut fonctionner à bras ou par force motrice, c'est-à-dire par la vapeur.

Les petits pains de savon ayant reçu par le frappage leur forme définitive, il ne reste plus qu'à procéder à leur paquetage, opération dont nous dirons quelques mots.

6° *Paquetage.* Nous ne nous occuperons ici que des savons fins. On commence d'abord à les envelopper dans un papier de soie, que l'on recouvre de deux nouvelles enveloppes, la première en papier ordinaire, et la seconde, en beau papier glacé. Cette dernière est ornée de riches dessins coloriés et porte le nom du fabricant.

Quelle que soit, d'ailleurs, leur enveloppe, ces savons sont livrés au commerce par boîtes de trois ou six pains. Ces boîtes, en carton fin d'une blancheur éclatante, sont ordinairement gaufrées à l'extérieur et garnies à l'intérieur d'un papier souple et soyeux presque toujours découpé à jour, ce qui est d'un effet très-gracieux. C'est par l'élégance, l'imprévu, la fraîcheur des accessoires, qu'on donne à ces produits ce caractère de distinction artistique qui est comme la marque de la fabrique française dans les industries de luxe.

Maintenant que nous avons une idée générale du travail mécanique des savons de toilette, nous indiquerons quelques-unes des formules qui servent à les parfumer et colorer.

Ces formules s'appliquent à un poids de 20 kilogrammes de savon. Mais il est évident qu'il n'y a d'essentiel à cet égard que les rapports, et qu'on peut prendre telle quantité de savon que l'on jugera convenable. Parmi ces formules, très-nombreuses, il est une grande partie qui, pour des raisons diverses, seraient difficilement applicables; car sur ce sol fertile chacun a semé un peu à sa manière, et cette manière n'a pas toujours été la meilleure. Il est juste, toutefois, de faire observer que dans cette abondance on ne recommande point, comme dans la plupart des formules anciennes, l'emploi de substances corrosives ou toxiques. C'est un progrès de l'esprit public qu'il convient de constater, car un savon de toilette doit tirer sa valeur principale de son innocuité.

Revenons à nos formules.

1° *Savon d'amandes amères.* — Ce savon est un des plus recherchés pour les usages de la toilette. Il a pour base le savon d'axonge le plus blanc et le plus pur. Pour le composer on prend :

Savon d'axonge.	20 kil.
Essence d'amandes amères. .	200 grammes.

Quelquefois on compose le parfum avec 140 grammes d'essence d'amandes amères et 60 grammes d'essence de bergamotte. Faisons remarquer que cette dernière essence peut être remplacée par un poids équivalent d'essence de citron, de cédrat ou de Portugal, qui sont aussi,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quoique fournies par des organes différents, des produits de l'oranger ou de ses variétés.

2° *Savon de Windsor.* — Pour composer ce savon, on prend :

Savon de suif de bœuf	15
Idem d'axonge	5
Total	20 kil.

Ces proportions donnent un savon très-mousseux et très-doux. On le parfume avec :

Essence de lavande anglaise	20
— de thym blanc	60
— de romarin	20
— de carvi	20
— d'aspic	60
Total	180 grammes.

Le parfum de ce savon n'est pas toujours le même. Mais il se compose ordinairement d'essences des séries inférieures. Celui que nous donnons ici est d'un arome pénétrant et agréable.

3° *Savon à l'œillet.* — Ce savon se distingue par la suave pénétration de son arome. Cependant ce n'est pas à l'œillet qu'il doit son parfum, car celui-ci, plus intense et plus agréable que le produit naturel, est dû à un mélange d'essence de girofle et de géranium.

Pour composer ce savon, on prend :

Savon de suif	12
Idem d'huile de palme	8
Total	20 kil.

Parfumer avec :

Essence de girofle	160
— de géranium	40
Total	200 grammes.

Colorer avec 150 gr. de mine orange ou de cinabre.

4° *Savon jaune, dit de guimauve.* — De même que le précédent, cet excellent savon résulte d'un mélange de savon de suif et de savon d'huile de palme. Pour le préparer on prend :

Savon blanc de suif	10
Idem d'huile de palme	10
Total	20 kil.

Parfumer avec :

Essence de lavande fine	150
— de citron exprimé	32
— de néroli petit grain	32
— de verveine	10
— de menthe anglaise	6
Total	230 grammes.

Ce savon est caractérisé par un arome très-agréable. On maintient sa couleur en y incorporant :

Mine orange	60
Ocre jaune	60
Gomme-gutte en poudre	40
Total	160 grammes.

5° *Savon au musc.* — Ce savon a eu pendant longtemps une vogue très-étendue. Quoiqu'on recherche aujourd'hui des aromes plus délicats et moins accentués, il s'en fait encore d'assez grandes quantités. Pour l'obtenir on prend :

Savon de suif	12
Idem d'huile de palme	8
Total	20 kil.

Parfumer avec :

Teinture d'ambrette	200
— de musc	100
— de vanille	25
— de baume de Tolu	25
Essence de bergamotte	80
— de girofle	10
Total	440 grammes.

Colorer avec 100 grammes de brun de Prusse ou d'infusion de caramel.

6° *Savon d'huile d'olive et de suif.* — Le savon d'huile d'olive bien épuré est excellent pour les usages de la toilette. Mais pour lui donner une base plus ferme, il convient de l'associer au savon de suif. Pour le composer on prend :

Savon blanc de Marseille n° 1	10
Idem de suif	10
Total	20 kil.

On communique à ce savon un parfum délicieux en y ajoutant :

Essence de géranium	50
— de citron	30
— de cédrat	30
— de girofle	30
— d'amandes amères	30
Total	170 grammes.

On donne à ce savon une nuance vert d'eau avec 10 gr. de jaune de chrôme pur et 10 gr. de smalt.

7° *Savon à la fleur d'oranger.* — Ce savon est très-apprécié pour la délicatesse de son parfum. Il a pour base le savon d'axonge de première qualité. Son parfum se compose, pour 20 kilogrammes, de :

Essence de néroli	100
Idem de géranium	60
Total	160 grammes.

On peut encore parfumer ce savon avec :

Essence de néroli	100
Teinture d'ambre	25
Total	125 grammes.

8° *Savon à la rose musquée.* — Pour préparer ce savon, on prend :

Savon blanc d'axonge	15
Idem de suif	5
Total	20 kil.

Parfumer avec :

Essence de rose	80
— de néroli	30
— de géranium	20
— de girofle	10
— de bergamotte	10
Teinture de civette	10
— de musc	10
— de styrax	5
Bois de Rhodes en poudre impalpable	100
Total	285 grammes.

Colorer avec 150 ou 200 grammes de beau vermillon.

2° *Fabrication des savons de toilette à froid par la lessive de cristaux de soude à 36 degrés.* — Cette seconde méthode de fabrication des savons de toilette, sans avoir la valeur de la précédente, qui sera toujours la meilleure pour obtenir des produits d'une pureté irréprochable, offre cependant quelques avantages. Elle n'exige d'abord qu'une bien minime dépense d'installation et peut être exploitée sans de grandes connaissances en savonnerie, car procédant par poids et mesures sur des matières connues et identiques, l'opération, sous certaines conditions de température, se résume en un simple mélange ou amalgame indiquant par des caractères précis le moment où la combinaison est opérée et par conséquent le savon terminé. Cette fabrication peut, en outre, s'exercer sur les plus minimes quantités de matière. Et ici même, à Paris, à côté de nos opulentes usines de savons de toilette, possédant un matériel nombreux et perfectionné, d'humbles industriels gagnent le pain de leurs familles en produisant 20 ou 30 kilogrammes de savon par jour. Il convient de dire que dans ces conditions la durée de l'opération ne dépasse pas 25 ou 30 minutes, alors même qu'on traite plusieurs centaines de kilogrammes de matières grasses.

Ces savons sont, du reste, d'assez belle apparence, surtout lorsqu'ils sont préparés avec soin. Les premières qualités s'obtiennent avec des matières grasses bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

purifiées et des meilleures provenances. On y emploie de préférence les suifs fondus par la vapeur, car étant plus purs que les autres ils donnent des produits plus beaux, plus blancs, moins odorants. Les huiles de coco et de palme qui sont aussi très-employées dans cette fabrication sont préalablement purifiées par plusieurs lavages à l'eau bouillante. Ce ne sont donc que des graisses animales et des huiles végétales parfaitement pures qui servent à préparer les premières qualités de ces savons.

Quelques maisons de Paris, dont les produits en ce genre se distinguent pour leur excellente confection, les fabriquent avec des corps gras parfumés par enfleurage. Ainsi parfumées ces matières fournissent des savons d'odeurs très-agréables, souvent même d'une délicatesse exquise, car l'enfleurage a cet avantage très-précieux de fixer dans les corps gras les arômes des fleurs, sans leur faire subir aucune altération.

Cela dit nous nous occuperons de la préparation de la lessive, qui est l'opération principale de cette fabrication.

Préparation de la lessive de cristaux de soude à 36°. — Dans les savonneries de quelque importance cette lessive se fait dans deux chaudières disposées comme l'indique la figure 15, et ayant chacune un foyer:

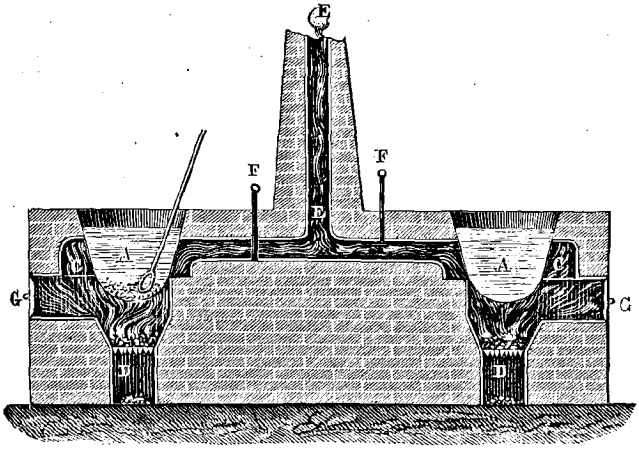


Fig. 15.

A A Chaudières en fonte à fonds sphériques;
B B Foyers à grilles servant à chauffer les chaudières;
C C Cendriers;
E E Cheminée;
F F Registres pour régler le tirage des fourneaux.

Disons d'abord que l'une de ces chaudières est destinée à décarbonater et à laver le marc de chaux, l'autre à évaporer les liqueurs provenant des différents soutirages.

Pour traiter, par exemple, 500 kilogrammes de cristaux de soude, la chaudière à décarbonater doit avoir une contenance de 25 hectolitres environ. On y introduit d'abord 1,500 litres d'eau, on la porte à l'ébullition, puis on y fait dissoudre les cristaux de soude par portions successives de 50 kilogrammes, en agitant la liqueur avec un rable. Quand tout le sel est dissous, on ajoute peu à peu dans la solution bouillante 175 kilogrammes de chaux caustique. Et pendant ce temps on continue à remuer le mélange pour empêcher la chaux de se précipiter. Après la dernière addition de chaux on fait bouillir la chaudière à feu très-doux et égal, environ une heure, puis on laisse reposer. Lorsque la liqueur est devenue limpide on la décante dans la seconde chaudière qui jusqu'à ce moment était restée vide. Le marc de chaux qui reste dans la première chaudière est alors épuisé par des lavages qu'on répète quatre ou cinq fois, et pour chacun desquels on emploie 3 à 400 litres d'eau. A chaque fois on soumet le mélange à un brassage énergique, suivi d'un temps de repos suffisant; on continue ainsi jusqu'à ce que la liqueur qui surnage la chaux ne marque plus que zéro.

L'évaporation dans la seconde chaudière commence en même temps que les lavages; on y réunit à mesure les liqueurs que l'on décante à l'exception toutefois des dernières eaux qu'on emploie dans une opération ultérieure pour le premier lavage du marc de chaux et de soude. A part ces petites eaux, la masse entière des liqueurs est concentrée jusqu'à 34° bouillante. Arrivé à ce point on retire le feu et on laisse lentement refroidir en chaudière. Après quelques jours on décante la lessive qui marque alors 36° ou 37° à l'aréomètre. Quant au léger dépôt cristallin et boueux qui reste dans la chaudière, on le fait repasser dans une nouvelle opération.

Ainsi préparée cette lessive présente toutes les qualités requises pour la fabrication des savons de toilette à froid. Elle constitue un véritable hydrate de soude en dissolution dans l'eau.

Les 500 kilogrammes de carbonate de soude cristallisé que nous avons pris pour point de départ de l'opération ci-dessus, en produisent en bonne pratique 380 kilogrammes à 36°. Quelquefois même on arrive à 400 kilogrammes, lorsque le sel a perdu une partie de son eau de cristallisation. Mais le premier rendement est seul normal et rationnel.

Quoi qu'il en soit, c'est, comme nous venons de le dire, avec cette lessive que l'on prépare tous les savons de toilette à froid par le procédé de la *petite chaudière* dont nous allons nous occuper.

Fabrication. — Les chaudières dont on se sert dans cette fabrication sont en fonte, et on peut y traiter depuis 25 jusqu'à 500 kilogrammes de savon. Elles reposent sur un trépied en fer et on les chauffe à l'aide d'un petit fourneau mobile dans lequel on brûle du charbon de bois. La figure 16 représente très-exactement un de ces appareils.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° *Savon blanc extra-fin.* — Pour donner une idée précise de la manière d'opérer, nous décrirons, comme

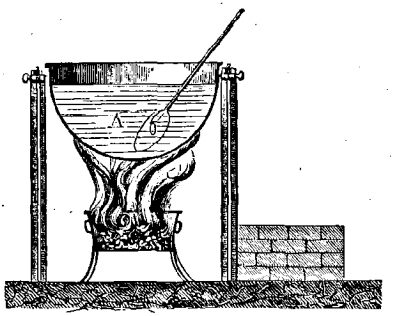


Fig. 16.

exemple, la préparation d'un savon blanc surfin. Pour obtenir 100 kilogrammes de ce savon on prend:

Huile de coco purifiée. . . .	32
Suif très-blanc.	22
Axonge très-blanc.	10
Lessive de cristaux de soude à 36 degrés.	36
Total.	100 kil.

Pour communiquer à ce savon un parfum agréable on y ajoute : Essence de bergamotte. . . 100
» de lavande. 100
» de carvi. 200
» de thym. 100
» de romarin. 100
» de Portugal. . . . 100
Total. . . . . 1000 grammes.

Opération. — Pour commencer l'opération un introduit les corps gras dans la chaudière, et on en opère la fusion à feu doux. C'est alors qu'on ajoute les essences. Puis lorsque la température des matières s'élève à + 30° ou + 32°, on y fait arriver la lessive en un mince filet, en remuant sans interruption le mélange avec une spatule. Pendant l'action on laisse le fourneau sous la chaudière, car bien que l'opération s'exécute à froid l'influence d'une très-douce chaleur facilite la combinaison. Le mélange devient d'ailleurs de plus en plus consistant, car, comme dans le procédé à la grande chaudière, la combinaison naturelle préexistante des corps est préalablement détruite, et ce sont les acides gras qui en résultent qui se combinent à mesure avec l'hydrate de soude pour donner naissance au savon. L'opération, dans ces conditions, dure de 20 à 25 minutes. On reconnaît qu'elle est arrivée à son terme lorsque la spatule qui sert à remuer le mélange marque son passage à travers la masse par un sillon persistant. C'est à ce moment qu'on verse le savon dans la mise, car en le laissant plus longtemps dans la chaudière il se prendrait en masse.

Les mises dans lesquelles on coule ces savons consistent en cadres en bois blanc de 0m,18 à 1m,20 de hauteur, dont les dimensions se rapportent à la quantité de savon qu'ils doivent recevoir. Chaque cadre forme une mise et entre dans une rainure pratiquée sur une espèce de table qui lui sert de fond. Pour empêcher que le savon y adhère on revêt intérieurement ces mises d'une forte toile blanche. Quoi qu'il en soit, dès que le savon est en mise on le couvre avec de fortes couvertures de laine, afin de favoriser la réaction qui lui donne l'homogénité de composition qu'il doit avoir.

Cette réaction se manifeste par une élévation progressive et continue de la température de la masse savonneuse, qui de l'état pâteux et presque solide qu'elle avait au moment où on l'a versée dans la mise devient peu à peu entièrement fluide et visqueuse. C'est réellement par cette réaction spontanée que se produit ou, du moins, que s'achève la saponification ou combinaison des acides gras avec la soude caustique. Car, en effet, dans la première période du travail en chaudière, les éléments constitutifs du savon n'existent, s'il est permis de s'exprimer ainsi, qu'à l'état de simple mélange.

Au reste, quand la chaleur a atteint son maximum d'intensité, il y a de nouveau abaissement de température, et le savon ne tarde pas à se solidifier. Au bout de 24 ou 30 heures, il est assez ferme pour être enlevé de la mise, ce qui est facile en soulevant le cadre. Le savon est alors divisé dans les formes et les poids voulus. Lorsqu'il doit être vendu en barres, on y applique une marque de fabrique; s'il doit être frappé, on expose pendant quelques heures les morceaux à l'étuve, car ce n'est que lorsque leur surface est sèche qu'on peut les passer dans les moules. Enfin, sauf la différence ou les proportions relatives des matières grasses, des parfums et des principes colorants, tous ces savons se préparent par la méthode générale que nous venons de décrire. Nous donnerons pour terminer quelques-uns des mélanges les plus employés dans cette fabrication.

1° *Savon blanc à l'huile de coco.*

Huile de coco.	66
Lessive de cristaux de soude à 36°.	34
Total.	100 kil

2° *Savon Windsor.*

On obtient une qualité très-belle de ce savon en employant :

Axonge.	50
Huile de coco.	16
Lessive de cristaux de soude à 36°,	34
Total.	100 kil.

Voici encore quelques mélanges qui peuvent être employés à la préparation des savons façon Windsor :

3° Suif.	30
Axonge.	12
Huile de coco.	16
Lessive de cristaux de soude à 36°.	52
Total.	100 kil.
4° Suif.	40
Axonge.	4
Lessive de cristaux de soude à 36°.	52
Total.	100 kil.

Ces deux dernières formules donnent des savons très-fermes et d'une pâte fine et bien liée. Cependant, comme la proportion des acides gras concrets y est considérable, leur solubilité est moindre que celle des savons qui résultent des deux premières formules ou mélanges. Ils sont néanmoins fort recherchés pour la barbe parce qu'ils fournissent une mousse persistante. Tous ces savons se préparent, d'ailleurs, d'après la méthode générale décrite ci-dessus. On peut leur donner un parfum très-agréable en y ajoutant par 100 kilogrammes :

Essence de citron.	200
« de verveine.	100
« de géranium. . . .	100
« de bergamotte. . .	100
« de lavande.	100
« de thym.	200
Total. . . .	800 grammes.

Ce parfum, comme toujours, s'ajoute dans les graisses fondues au commencement de l'opération.

Pour obtenir des savons roses, on ajoute ordinairement au mélange des corps gras fondus 8 à 10 grammes de beau vermillon par kilogramme. Quelquefois on remplace le vermillon par une très-faible proportion d'aniline rose qu'on délaye dans un peu d'alcool. Cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

matière colorante donne une nuance plus agréable et plus pure que le vermillon, mais elle manque de fixité.

5° *Savon jaune.*

Pour obtenir la première qualité de ce savon, on prend :

Suif purifié.	30
Huile de palme naturelle.	20
Idem de coco.	16
Lessive de cristaux de soude à 36°.	34
Total.	100 kil.

Pour soutenir la couleur, on ajoute dans les matières grasses fondues 200 grammes de gomme-gutte en poudre impalpable. On peut parfumer ce savon avec :

Essence de lavande..	300
« de menthe..	200
« d'aspic..	100
« de mirbane blanche.	100
Total.	800 grammes.

A ces différentes formules, on ajoute ordinairement quelques centaines de grammes de gomme adragante, que l'on fait tremper à l'avance dans 1 litre d'eau. Cette addition a pour objet de faciliter la combinaison des matières grasses avec la lessive, ce qui est parfois utile.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce mode de fabrication, car ce que nous venons d'en dire suffit à en faire connaître l'économie. Aujourd'hui, beaucoup de savonniers-parfumeurs l'ont adopté et en obtiennent des produits qui ne sont pas sans mérite. Il n'est pas, d'ailleurs, inutile de rappeler que les résultats de cette fabrication dépendent essentiellement du choix des matières grasses, qui doivent autant que possible être de première qualité et purifiées, s'il y a lieu, par plusieurs lavages à l'eau bouillante. On doit aussi apporter le plus grand soin dans la préparation de la lessive et n'employer à sa confection que les cristaux de carbonate de soude les plus purs et les plus blancs. Enfin, quoique la préparation de ces savons constitue une opération très-simple, il n'est pas inutile de dire que, même avec d'excellents matériaux, on pourrait éprouver de sérieux mécomptes si l'on ne possédait pas cet ensemble de connaissances techniques qui, dans les arts industriels, sont la première condition du succès. E. LORMÉ.

SCELLEMENT. On entend par scellement la réunion à demeure du bout d'une pièce de métal ou de bois, avec la pierre ou avec une partie de mur. Pour opérer cette réunion, on creuse dans la pierre ou dans le mur une cavité d'une certaine profondeur et plus large que la section de la pièce à sceller; puis, après y avoir logé la pièce, on remplit les intervalles libres au moyen de substances pouvant se liquéfier et acquérir ensuite une consistance plus ou moins dure.

Les substances que l'on emploie le plus ordinairement sont: le plâtre, le soufre, les mastics de fonte, le ciment romain et le plomb.

Le plâtre, gâché en pâte liquide, et le soufre fondu forment d'excellents scellements, car ils adhèrent plus ou moins fortement aux matières, et comme ils augmentent de volume en passant de l'état liquide à l'état solide, ils remplissent très-bien tous les vides et ne permettent aucun jeu à la pièce scellée.

Les ciments purs et les mastics de fonte font aussi de très-bons scellements, mais ils doivent être comprimés avant leur entière solidification.

Le plomb fondu éprouve un retrait en passant de l'état liquide à l'état solide; il doit donc être *matté* fortement pour remplir les vides et produire un scellement solide.

On peut aussi employer les mastics bitumeux qui sont très-adhérents et acquièrent une très-grande dureté tout en conservant une certaine élasticité.

De toutes ces substances, le plâtre seul s'altère à l'humidité; il ne doit donc être employé que dans les endroits secs.

Le plâtre et le ciment sont seuls employés pour sceller le bois, parce qu'ils sont plus économiques et d'un emploi plus facile.

Le plomb sert seul à sceller les pièces qui sont soumises à des chocs, car le plâtre, le soufre et les ciments s'égrènent par la percussion.

Lorsqu'on veut sceller une pièce dans un mur, il faut y faire une excavation beaucoup plus large que l'espace nécessaire pour loger la pièce, puis maçonner avec du plâtre ou du ciment, après avoir eu soin de mouiller tout l'intérieur de l'excavation pour que les ouvrages anciens et nouveaux se relient.

Les métaux que l'on a ordinairement à sceller sont la fonte et le fer. S'il s'agit de fonte, la partie à sceller doit avoir la forme d'un tronc de pyramide, et autant que possible on y ménage quelques aspérités ou saillies; s'il s'agit de fer, le bout de scellement doit être non-seulement refoulé pour être renflé un peu vers sa base, mais encore on doit y faire des *barbelures*, ou entailles sur les angles, dont les ouvertures soient tournées vers l'orifice du trou de scellement.

L'excavation à faire dans la pierre doit également avoir une forme pyramidale, excepté la partie supérieure qui doit être cylindrique. Quant à sa profondeur, elle dépend de la qualité de la pierre et des efforts que doit supporter le scellement; dans les pierres dures, elle varie de 8 à 9 centimètres, et dans les demi-dures, de 10 à 15 centimètres.

Pour faire les scellements en plâtre, on remplit simplement l'excavation jusqu'à fleur de la pierre ; mais s'il s'agit d'un scellement en plomb, on entoure l'excavation d'un petit bourrelet en terre de 1 à 2 centimètres, et on coule le plomb jusqu'à hauteur de ce bourrelet; dès que le métal est solidifié, on le mate fortement pour faire entrer dans le trou la plus grande partie possible de l'excédant. CURTEL.

SCIE (*angl.* saw, *all.* sæge). La scie est un instrument bien connu sur lequel nous n'aurons ici guères à parler qu'au point de vue du mode d'opérer de la lame d'acier qui la constitue essentiellement; du mouvement à lui imprimer pour les applications principales, les scieries mécaniques faisant l'objet d'un article séparé. Les lames de scie sont en acier laminé trempé très-dur, et portant sur l'un de leurs côtés des dents bien égales faites soit à la mécanique, soit à la main avec un tiers-point. L'action de ces dents sur la matière à travailler enlève à l'état de poussière, de sciure, une partie de celle-ci, en engendrant, de part et d'autre de l'objet fendu, une surface plane plus ou moins unie. La plupart des scies n'opèrent que dans un sens, aussi leur denture est généralement non symétrique. Les dents adoptées par les scieurs de long sont crochues et inclinées dans un sens ; on les fait avec une lime ronde. Dans les scies à chantourner on adopte une denture symétrique en triangle équilatéral, et on les affûte en tenant le tiers-point perpendiculaire à la lame; elles scient en montant et en descendant. Les scies employées pour débiter le bois vert et le bois de chauffage ont également des dents en triangle équilatéral, mais on taille les côtés en biseau court. Pour le bois sec, l'ivoire, les métaux, la denture n'est pas symétrique, les dents sont en triangle rectangle couché sur la partie plane de la lame suivant le plus long des côtes de l'angle droit; elles sont affûtées en tenant le tiers-point perpendiculaire à la lame, et ne mordent que dans un sens. Les scies pour les pierres tendres et le placage ont une denture de même forme que les précédentes, à cela près que les dents sont espacées par des parties planes de la longueur de deux ou trois dents, et qui forment des vides servant à faciliter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le dégagement de la sciure; elles sont animées d'un mouvement très rapide. Enfin certaines scies, pour les pierres dures, n'ont pas de dents.

Pour faciliter le dégagement de la sciure, on donne généralement de la *voie* aux scies, c'est-à-dire qu'on en incline plus ou moins les dents alternativement d'un côté et de l'autre du plan de la lame. Dans quelques scies à main, au lieu de donner de la voie aux dents, on produit un effet analogue en employant pour la confection des bandes d'acier dont l'épaisseur va en diminuant des dents au dos de la lame. Les scies à bois ont moyennement de 2 à 3 dents au centimètre courant, les scies à cuivre 3 1/2 à 4 dents, et les scies à fonte et fer 5 dents.

Certaines scies à lames courtes et épaisses s'emmanchent comme des limes. Les autres scies se montent par leurs extrémités dans un châssis de forme variable, mais toujours disposé de telle sorte que l'on puisse faire varier à volonté la tension de la lame et l'empêcher de plier. Dans les scies à chantourner, les lames sont fixées à des pièces cylindriques qui peuvent tourner parallèlement à l'axe des lames, dans des manchons annulaires qui font partie des châssis; cette disposition permet de faire tourner la lame sur elle-même, et de lui faire suivre des courbes quelconques. Nous terminerons en observant que les bonnes lames de scie doivent être parfaitement élastiques et sonores; on doit avoir soin, avant de les emmancher, de les détremper aux deux bouts, en les faisant recuire, parce qu'elles sont sujettes à se rompre à l'endroit où elles cessent d'être pincées dans les montants.

Nous ne parlerons pas ici des scies à plusieurs lames et des scies circulaires, qui appartiennent essentiellement à la scierie mécanique.

SCIERIE MÉCANIQUE. L'emploi de machines pour scier et débiter les bois s'étend de plus en plus depuis quelques années; les perfectionnements continuellement apportés dans leur construction ont permis de les appliquer avec succès à la fabrication des ouvrages les plus difficiles : les moulures, les parquets, les roues de voiture, les tonneaux, les poulies, etc., s'exécutent maintenant, au moyen de machines, avec une précision et un fini vraiment admirables. Les moteurs inanimés tendent, en un mot, à se substituer presque entièrement au travail manuel pour éviter aux hommes la plus grande partie des pénibles efforts qu'exigeait autrefois la mise en œuvre des matières dures. L'emploi de *scies* de différentes formes aura puissamment concouru à ce résultat, et l'on peut même dire, en général, que le travail mécanique des bois est d'autant plus perfectionné qu'il exige moins souvent l'emploi des autres instruments.

Nous ne décrirons ici que les scieries proprement dites, indépendamment du moteur qui les met en mouvement, et sans entrer dans les détails relatifs à leur application à des ouvrages particuliers, comme la fabrication des tonneaux, etc.

Les scieries sont mises en mouvement par des chutes d'eau, des machines à vapeur, ou par le vent. Ce dernier moteur est employé à cet usage, en Hollande, de temps immémorial. Nous partagerons ces machines en deux grandes classes : les scieries à mouvement alternatif, dans lesquelles le mouvement de la scie est plus ou moins analogue à celui que les ouvriers impriment ordinairement à cet instrument, et les scieries à mouvement continu, comprenant les scies circulaires, dont l'usage se répand de plus en plus, et quelques autres dispositions rarement employées. La première classe étant jusqu'à présent la plus importante, nous devons en parler avant de nous occuper de la seconde

§ I. *Scieries à mouvement alternatif.* Il existe en Suisse, dans quelques parties de la France, et en général dans les pays où il y a des forêts et de nombreux cours d'eau, des scieries mécaniques d'une construction très simple, et qui montrent à la fois les premiers efforts de l'art et les perfectionnements réalisés dans nos scieries bien montées. Les scieries dont nous parlons se composent simplement d'une roue hydraulique construite aussi grossièrement que possible, tournant avec une grande vitesse, et qui met en mouvement un arbre coudé réuni par une bielle à l'une des extrémités d'un balancier, dont l'autre extrémité supporte, au moyen d'une seconde bielle, le châssis de la scie, guidé dans son mouvement vertical de *va-et-vient* par des coulisses en bois. La pièce de bois à débiter est fixée sur un chariot qui roule sur deux poutres horizontales et qui s'avance d'une certaine quantité, à chaque coup de scie, par l'action d'une crémaillère, ou même d'une corde, qui s'enroule sur un treuil commandé par une roue à rochet, conduite elle-même par un doigt ou *cliquet* qui est mû par le châssis de la scie ou le balancier qui la met en mouvement. Nous ne donnons pas le dessin de ces scies peu perfectionnées, parce que leur disposition doit varier avec les localités où elles sont établies, et que d'ailleurs les détails dans lesquels nous allons entrer sur les machines plus parfaites feront facilement comprendre, à ceux qui auraient des machines provisoires à établir auprès des forêts, les dispositions à adopter pour exécuter, presque sans frais, un mécanisme simple et fonctionnant cependant assez convenablement.

Les lames des anciennes scieries étaient toujours mises en mouvement, comme nous venons de l'indiquer, par l'intermédiaire d'un balancier oscillant autour d'une position horizontale. Cette disposition occupait beaucoup de place, et présentait d'ailleurs quelques autres inconvénients qui l'ont fait complétement abandonner. Dans les scieries que l'on établit maintenant, le châssis porte-lame est mis en mouvement par une ou deux bielles fixées directement aux boutons de manivelle de l'arbre moteur. Nous allons décrire cette dernière disposition en prenant pour exemple une scierie à débiter les bois en grume, établie par M. E. Philippe, qui s'occupe depuis longtemps, et avec succès, du travail des bois à la mécanique.

La machine est représentée de côté par la fig. 2245, et de face par la fig. 2246. Les mêmes lettres sont d'ailleurs affectées aux mêmes pièces dans ces deux dessins. Le cadre de la scie, formé de quatre pièces de bois assemblées, est soutenu dans son mouvement vertical alternatif par quatre coulisseaux en fonte ou en bronze, fixés aux extrémités des traverses horizontales *aa'* et *bb'*, qui glissent dans des rainures formées de pièces de bois très dur, boulonnées le long du bâti en fonte, *c d e f*. Des vis calantes, convenablement disposées, permettent de régler l'écartement de ces pièces de bois de manière que le mouvement du châssis soit toujours facile, et ne présente cependant aucun jeu. Les bâtis en fonte, *c, d, f*, sont fixés à leur partie inférieure sur un massif de maçonnerie, et réunis à leur partie supérieure par une corniche qui supporte deux pièces de fonte *g, h*, dans lesquelles sont encastrés les coussinets de l'arbre moteur. La grande hauteur du bâti dont nous venons de parler rend nécessaire un point d'appui L, à la partie supérieure de la machine.

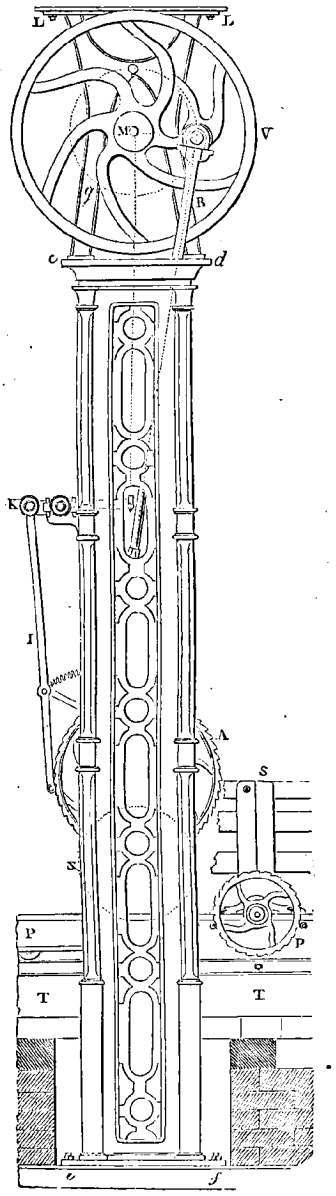
L'arbre moteur M porte une poulie fixe N, qui lui transmet le mouvement, et une poulie folle N', qui reçoit la courroie motrice pendant les moments d'arrêt. Les volants V, fixés aux deux extrémités de cet arbre, portent des boutons de manivelle sur lesquels sont fixées les bielles B, qui, réunies au châssis de la scie par leur autre extrémité, lui transmettent le mouvement de *va-et-vient* dont il doit être animé.

L'arbre à débiter est fixé sur un chariot P P S, porté sur des poulies et des galets qui roulent sur deux rails en fonte parfaitement dressés, et solidement éta-

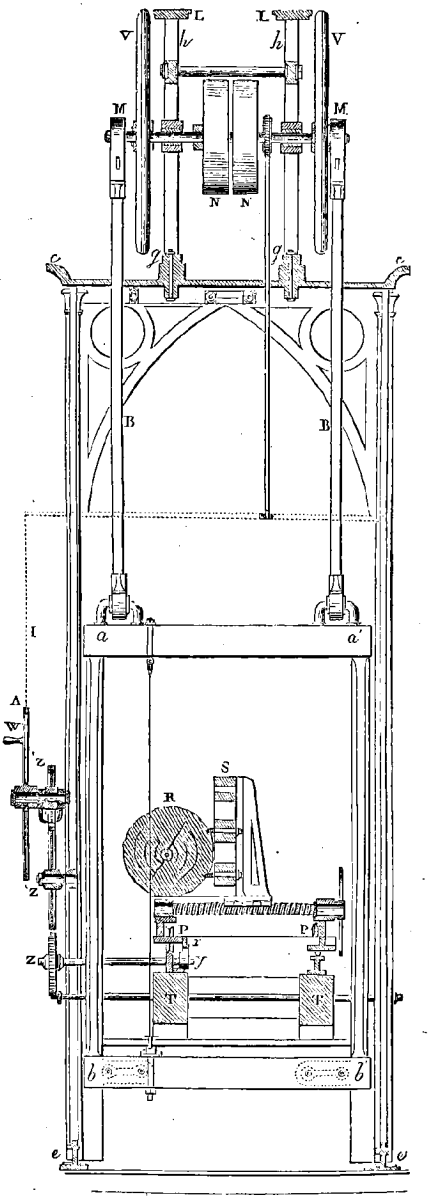
EFERUS - Recherche & Classification numérique

SCIERIE MÉCANIQUE.

llis sur des pièces de bois T, T, qui reposent sur des massifs en maçonnerie. Ce chariot, représenté en élévation, à une plus grande échelle, par la fig. 2247, est



2245.



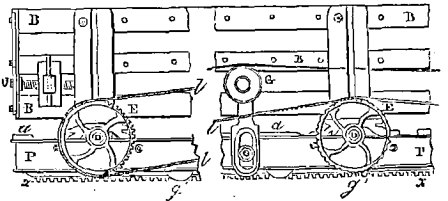
2246.

une des parties les plus importantes de la machine. Nous devons décrire avec soin sa construction et les différents mouvements qu'il est nécessaire de lui impri

mer. Il est formé de deux pièces de fonte de 7 à 8 mètres de longueur P, P, ayant la forme d'un double T, et solidement réunies par des traverses boulonnées. La pièce de bois R est placée sur des traverses *a*, fixées sur ces pièces de fonte. Les galets *g*, fixés de place en place à la traverse de gauche, ont une gorge et embras-

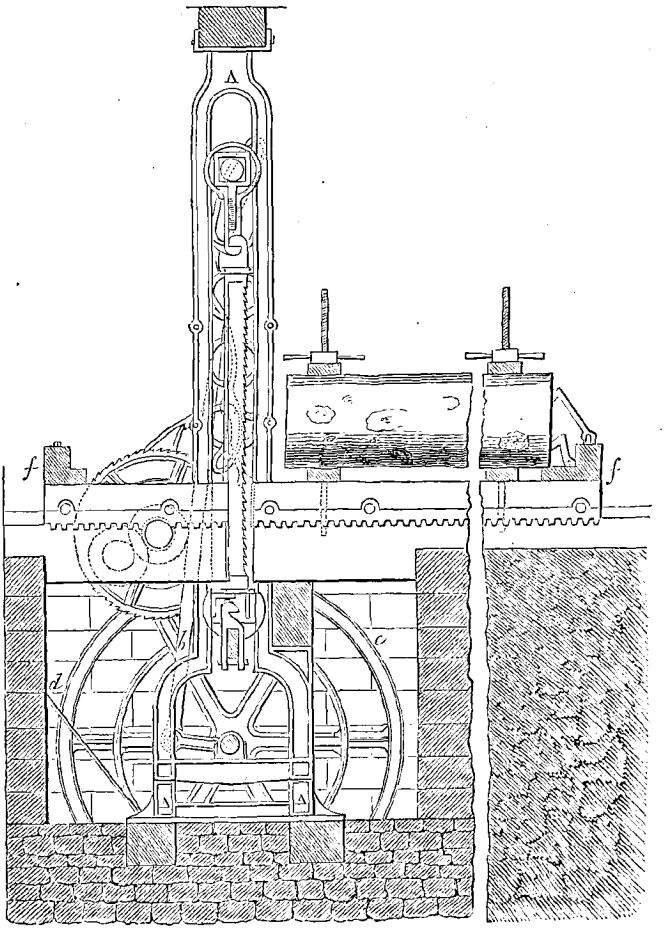
EFERUS - Recherche & Classification numérique

sent le rail (fig. 2246) sur lequel ils roulent, afin d'assurer le parallélisme du mouvement de translation, dont nous parlerons plus loin. Les galets *g*, fixés de l'autre côté, sont au contraire à surface unie. Trois poupées en fonte



2247.

S, réunies par des madriers en bois B, percés de trous à travers lesquels passent les tire-fonds *d*, qui fixent la pièce à débiter, sont établies sur le chariot dont nous venons de parler. Ces poupées servent à faire avancer transversalement la pièce de bois, quand le chariot a été ramené à sa position initiale, pour que la scie puisse découper une nouvelle tranche. Ce mouvement transversal est produit par des vis D, engagées dans des écrous H (fig. 2246), fixés aux poupées. Des roues dentées E, sur lesquelles passe une chaîne sans fin *l*, *l*, forment les têtes des vis D, et rendent solidaires leurs mouvements de rotation ; de sorte que les trois poupées avancent toutes à la fois de la même quantité. Le rouleau G sert à donner à la chaîne *l*, *l*, une tension convenable. Les poupées portent des oreilles dans lesquelles s'engagent des règles en fonte fixées sur le chariot, et qui assurent d'une manière convenable le parallélisme du mouvement que les vis leur impriment. Enfin les poupées extrêmes portent en U une griffe qui sert, comme les tire-fonds *d*, à assujettir la pièce à débiter.



2248

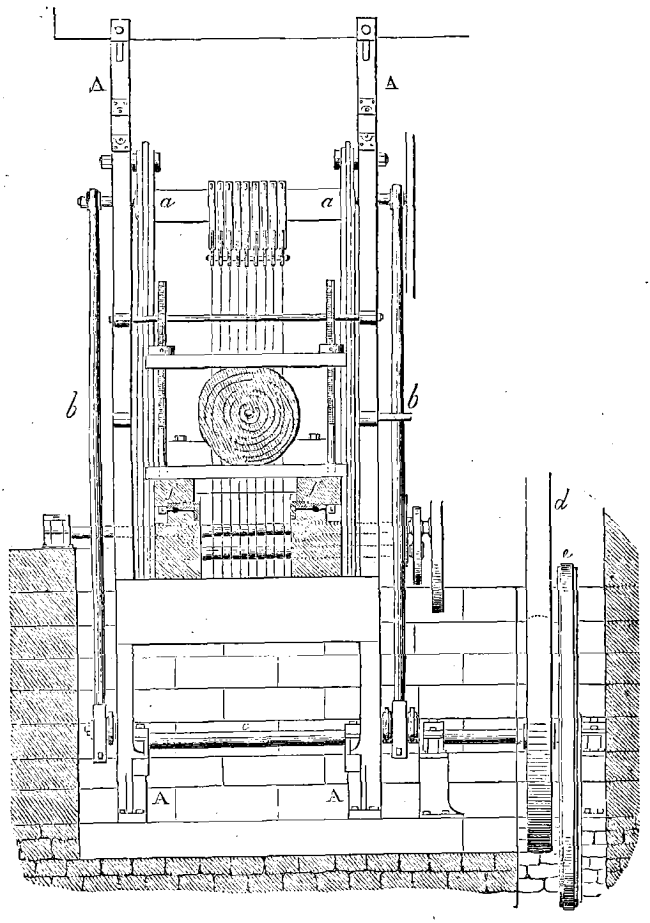
La pièce de bois et le chariot qui la supporte doivent s'avancer d'une certaine quantité à chaque coup de scie. Ce mouvement de translation est produit par le mécanisme que nous allons décrire. Une crémaillère *x* (fig. 2246 et 2247), boulonnée sur le côté gauche du chariot, est commandée (fig. 2244 et 2245) par un pignon *y*, monté sur le même arbre que la roue *z*, qui engrène avec une autre roue Z', conduite elle-même par la roue Z'', montée sur l'arbre de la grande roue à rochet A. Cette dernière roue est mise en mouvement par la fourchette I, suspendue à l'extrémité du petit levier K, dont l'autre extrémité reçoit un mouvement de *va-et-vient* de la tige *o*, ajustée avec l'excentrique *n*, fixé sur l'arbre moteur. Le levier K est percé de plusieurs trous qui permettent de changer le point d'attache de la tige *o*, et par conséquent de faire varier l'amplitude des oscillations de la fourchette I, et par suite, enfin, la quantité dont le chariot s'avance à chaque coup de scie. Un ressort à boudin, que l'on aperçoit sur la fig. 2244, maintient le doigt I constamment appliqué sur la roue à rochet. On peut cependant interrompre le mouvement du chariot en éloignant le doigt I au moyen

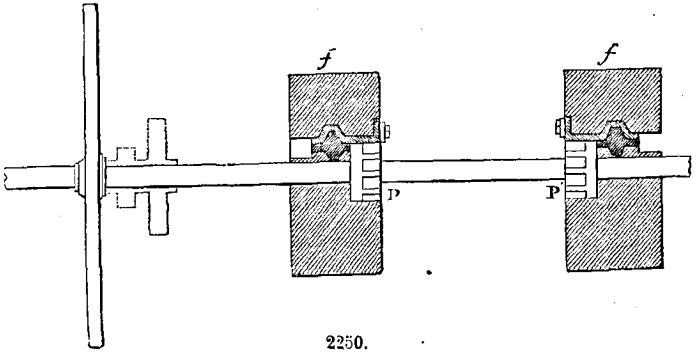
EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une tige attachée à côté du ressort, et terminée par une poignée placée à la disposition de l'ouvrier. Quand le chariot est arrivé à l'extrémité de sa course, on écarte le doigt I, comme nous venons de le dire, et on imprime à la roue A, au moyen de la manivelle W, un mouvement rapide de rotation, en sens contraire de celui qu'elle recevait du doigt I, et on ramène ainsi le chariot à sa position initiale.

La disposition que nous venons de décrire exige une grande hauteur et un point d'appui à la partie supérieure du mécanisme. Il est donc presque toujours préférable de placer l'arbre moteur au-dessous du châssis de la scie, comme l'indiquent les fig. 2248 et 2249. La traverse supérieure *a a'* du châssis de la scie doit alors dépasser le bâti en fonte A, qui lui sert de guide, et venir s'ajuster avec les bielles *b*, *b*, fixées, d'autre part, sur les coudes de l'arbre moteur *c*, qui reçoit le mouvement au moyen de la courroie *d*, et qui porte en outre un volant en fonte *e*. La scierie qui nous occupe maintenant est à plusieurs lames qui agissent *entre* les longrines *f*, *f*, qui forment le chariot, et non plus en dehors d'elles, comme dans la machine précédente. Les deux pièces longitudinales *f*, *f*, sont en bois, et ne peuvent plus être reliées que par deux traverses placées à leurs extrémités, puisque la scie doit passer librement

2249.





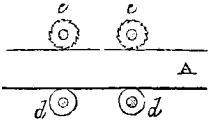
2250.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans toute la longueur du chariot. On est alors obligé de transmettre à l'une et à l'autre un même mouvement de translation, ce qui s'obtient facilement, comme le montre la fig. 2250, en garnissant chacune d'elles d'une crémaillère que l'on met en mouvement par des pignons P, P', montés sur un même arbre. Ces pignons sont d'ailleurs conduits, comme dans le cas précédent, par l'action d'une fourchette agissant sur une roue à rochet. Nous avons supprimé cette partie du mécanisme sur la fig. 2250, pour éviter de la compliquer sans utilité.

La pièce de bois à débiter est fixée sur le chariot par une méthode un peu différente de celle que nous avons fait connaître en parlant de la scierie précédente. L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre cette disposition.

L'une des pièces le plus importantes et les plus coûteuses des scieries qui viennent de nous occuper est le chariot qui porte les pièces de bois à débiter. Sa largeur est, du reste, assez limitée, ce qui empêche d'opérer sur des bois de toutes dimensions. On évite l'emploi de chariots quand il s'agit de réduire des madriers en planches, et en général quand on opère sur des bois déjà régulièrement équarris, au moyen d'un artifice particulier que nous allons expliquer. Le mouvement de translation est communiqué à la pièce de bois A (fig. 2251) au moyen de cylindres cannelés c, c, animés d'un mouvement lent de rotation, contre lesquels elle se trouve pressée au moyen de deux autres cylindres lisses d, d.

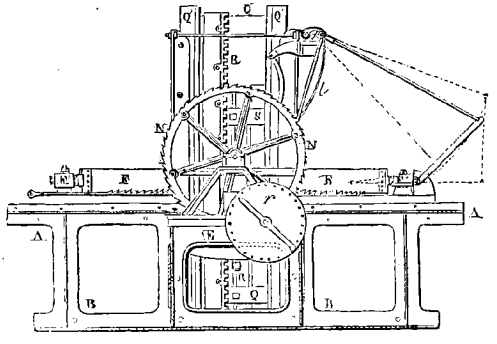


2251.

Scieries à placage. L'invention des machines à scier les bois de placage paraît due à M. Cochot. Cette industrie a pris depuis quelques années, à Paris, un grand développement, mais on comprend cependant que son importance est assez limitée. On emploie presque toujours des scieries à mouvement alternatif, mais disposées bien différemment de celles que nous avons examinées jusqu'à présent. La fig. 2252 représente l'élévation d'une machine de cette espèce. La scie F et son châssis F' sont horizontaux et maintenus, du reste, dans leur mouvement alternatif par des coulisses en bois fixées au bâti en fonte A, comme dans les autres scieries. Le mouvement en est transmis au moyen d'une bielle conduite par un arbre coudé. Nous n'avons pu, faute d'espace, représenter cette partie du mécanisme qui n'offre d'ailleurs rien de particulier. La pièce de bois à débiter Z, est portée par un chariot vertical *s s s''*, qui se meut de bas en haut pendant le travail de la scie. Ce chariot est mis en mouvement, comme de coutume, par une crémaillère R, avec laquelle engrène un pignon N'', conduit par une roue à rochet N, mise en mouvement par une fourchette *l''*, qui communique avec le châssis même de la scie par une série de tiges et de leviers dont la figure 2252 indique suffisamment le jeu. Le mouvement transversal du chariot doit être réglé avec une grande précision à cause de la faible épaisseur et de la régularité que doivent présenter les feuilles de placage. On le produit au moyen d'une vis de rappel *r*, fixée dans le bâti en fonte C D, et qui conduit, au moyen de l'écrou P, le chariot auquel est fixée la pièce Z. La vis R' arrête invariablement, dans la position qu'elle doit occuper, cette partie mobile de la machine, et rend impossible son dérangement pendant le travail. L'aiguille r', fixée sur la tête de la vis motrice *r* et le cadran *r''*, permettent d'obtenir, sans aucun tâtonnement, l'épaisseur voulue pour chaque genre de travail.

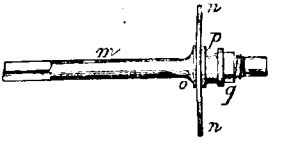
Scieries pour les jantes de roues. Dans les fabriques de roues de voitures, on découpe dans les plateaux de bois les portions de jantes au moyen de scies à mouvement alternatif, qui rentrent dans la classe des machines qui nous occupent. La pièce de bois est alors fixée non plus sur un chariot animé d'un mouvement rectiligne, mais sur une plate-forme d'un diamètre égal à celui de la roue à fabriquer, et tournant autour de son centre. Nous ne donnons point le dessin de cette espèce de scierie, qui n'est, en définitive, qu'un outil d'une industrie particulière, le charronnage mécanique.

§ II. *Scieries à mouvement continu. Scies circulaires.* On attribue à notre compatriote, M. Brunel, l'invention de cette espèce de scie, dont les applications se multiplient chaque jour dans une foule d'industries. La scie circulaire proprement dite est un simple disque de tôle d'acier, dont le diamètre varie depuis quelques centimètres jusqu'à plus d'un mètre, et dont la circonférence est garnie de dents semblables à celles des lames de scies ordinaires. Ce disque est percé d'un trou central, au moyen duquel on le monte sur un arbre en fer, auquel on communique un mouvement rapide de rotation.



2252.

L'ajustement de la scie sur son arbre est très simple, mais il exige une assez grande précision pour que l'instrument donne de bons résultats. Quand il s'agit d'une scie d'un faible diamètre, on se contente de ménager sur l'arbre *m* (fig. 2253) une forte portée *o*, soigneusement tournée, contre laquelle vient s'appuyer la



2253.

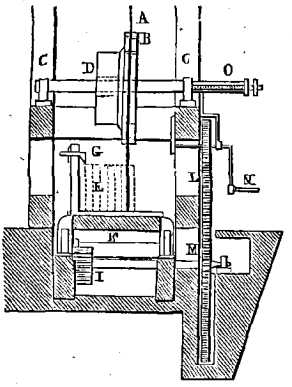
lame de scie *n*, que l'on assujettit fortement au moyen du double écrou *q*, *p*. L'arbre porte d'ailleurs à ses extré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SCIÈRIE MÉCANIQUE.

mités deux trous coniques bien centrés, où s'engagent les pointes sur lesquelles tourne le système. Les scies d'un plus grand diamètre s'appuient également contre une embase montée sur l'arbre, et contre laquelle on les fixe au moyen de vis à têtes fraisées. On place un second disque de l'autre côté de la lame, et on le boulonne avec le premier, comme on le voit en B sur les figures 2253 et 2254. L'arbre de la scie porte d'ailleurs une poulie à gorge, ou à surface unie, pour recevoir la corde, ou la courroie sans fin, qui doit le mettre en mouvement.

2254.

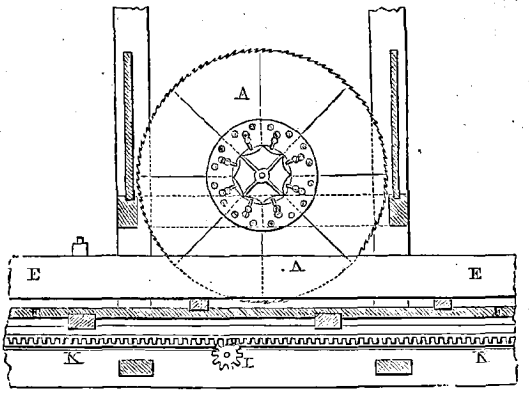


Les figures 2253 et 2254 indiquent l'une des dispositions que l'on peut adopter pour une scierie circulaire de forte dimension. La lame de scie A est fixée sur un arbre en fer qui tourne dans des coussinets C, et qui reçoit son mouvement d'une courroie qui s'enroule sur la poulie D. Le madrier à refendre E, est porté sur un chariot F, qui avance, par l'action du pignon I, sur la crémaillère K. Quand le chariot est arrivé à l'extrémité de sa course, on le ramène à sa position primitive au moyen des roues dentées L et M, et de la manivelle N qui agit sur la première. La vis de rappel O permet en même temps de faire arriver la scie dans un plan parallèle à celui qu'elle occupait, afin de découper une seconde planche. On pourrait également laisser toujours la scie dans la même position, et rendre la pièce de bois mobile sur le chariot, comme on le fait dans la première scierie dont nous avons donné la description.

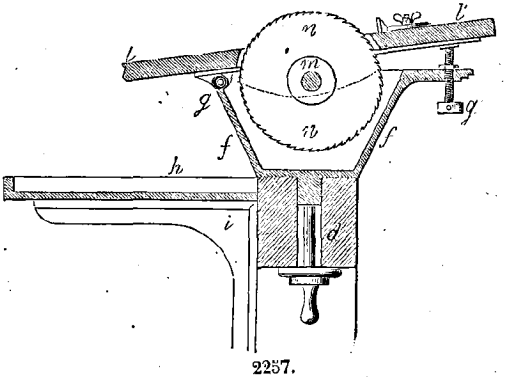
La pièce de bois à débiter est portée, dans la scierie dont nous venons de parler, sur un chariot mobile. Nous devons dire qu'en général on n'emploie pas cette disposition pour les scies circulaires : le bois est presque toujours conduit par un système de cylindres comme ceux dont la figure 2251 représente la disposition.

La lame des scies circulaires, toujours animée d'une grande vitesse et ayant souvent à vaincre des résistances considérables, tend sans cesse à se gauchir, et so-

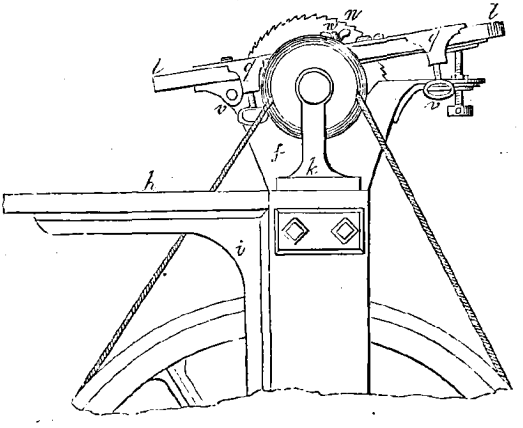
2255.



2256.



2257.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

SCIERIE MÉCANIQUE.

rait bientôt hors de service sans une précaution sur laquelle nous devons appeler l'attention d'une manière toute particulière. Cette précaution consiste à disposer de chaque côté de la lame, et près du point où elle entre dans le bois qu'elle débite, un guide en corne ou en bois très dur. On règle, au moyen de vis, la position de ces guides de manière à ce qu'ils exercent toujours sur la lame une légère pression qui ne lui permette pas de s'écarter du plan vertical dans lequel elle doit tourner.

On dispose souvent sur les poupées d'un tour à pointes ordinaires une petite scie circulaire mise en mouvement par une roue à pied. Cet instrument est on ne peut plus commode pour refendre des planches de métal sur une largeur régulière, à l'aide d'un chariot qui sert à guider, et pour une foule d'autres ouvrages. La scie *n* (fig. 2256) est montée sur un arbre en fer comme celui de la fig. 2254. La poulie à plusieurs gorges *r* reçoit la corde sans fin qui s'enroule sur la roue à pied dont nous n'avons montré qu'une partie parce qu'elle ne diffère en rien des roues des tours ordinaires. La poupée en fonte creuse *f*, dont la fig. 2257 montre complétement la disposition, supporte la tablette *ll'* dont on peut faire varier l'inclinaison au moyen des vis *v* et *g* et au milieu de laquelle passe la scie circulaire. On pose sur cette tablette les pièces à débiter et on les pousse, avec la main, au-devant de la scie. La table *h*, supportée par la console *i*, sert à déposer les bois ou les outils dont on fait usage.

L'une des applications les plus remarquables de la scie circulaire est son emploi dans la fabrication des rails. Quoique cette machine sorte un peu du cadre que nous nous sommes tracé dans cet article, nous croyons devoir donner sur son compte quelques renseignements encore peu connus. La lame de la scie établie au Creusot (Saône-et-Loire) est en *tôle de fer* bien battue, elle a $4^m,00$ de diamètre et $0^m,00275$ d'épaisseur. Les dents ont $0^m,02$ de longueur et $0^m,009$ de saillie. Elle fait huit cent cinquante tours environ par minute. Cet appareil est mis en mouvement par une petite machine à vapeur spéciale de la force de cinq chevaux. Le volant de cette machine est entouré d'une courroie sans fin qui met en mouvement une poulie sur l'arbre de laquelle est un autre volant qui transmet à son tour le mouvement à la scie au moyen d'une seconde courroie. La partie inférieure de la scie plonge dans un vase constamment rempli d'eau. Le rail, préalablement chauffé au rouge, est placé sur une espèce de cadre qui le pousse vers la scie au moyen d'une vis. Cette machine, servie par neuf hommes, peut couper trois cents rails par jour, c'est-à-dire effectuer six cents coupures.

Nous pourrions encore parler ici de différentes scies à mouvement continu formées de lames de ressort dentées et roulant sur deux cylindres, ou bien composées de lames ordinaires ajustées comme les différents anneaux d'une chaîne de Vaucanson. Mais le peu de succès de ces différentes inventions et leur application à des travaux spéciaux, rend inutile leur description. Elles n'ont jusqu'à présent produit que de mauvais résultats.

Conditions d'un bon travail. Pour scier vite et bien des bois tendres avec une scie alternative, il faut la réunion de plusieurs conditions : que la scie ait des dents éloignées et façonnées en crochet ; que la lame soit très-tendue ; que le bois arrive pendant que la lame remonte, afin qu'il soit scié durant le temps du repos du chariot qui le fait avancer. Mais comment faire avancer le bois pendant que la lame remonte, sans que les dents inclinées de haut en bas travaillent à contre-sens? En voici le moyen : la possibilité de progression du bois pendant que la scie remonte s'obtient en donnant de l'inclinaison à la scie par rapport au plan dans lequel se meut le bâti qui la porte ; pour cela on doit établir entre le plan des dents et celui de la coulisse du bâti un angle de quelques degrés, et précisément celui qui correspond à la quantité dont on désire que le bois soit divisé par la lame à chaque descente ; la scie pratiquant en descendant une coupe oblique dans le bois, les dents, à la remonte, s'éloigneront du fond de la coupe de toute la quantité dont elles viennent de pénétrer à la descente ; c'est de ce temps d'éloignement que l'on doit profiter pour faire avancer le bois.

L'insuffisance du sciage opéré par les scies alternatives mal montées, dont les dents frottent contre le bois presque autant à la remonte qu'à la descente, qui ne coupent même qu'avec la moitié ou le dernier tiers des dents de la lame par suite de tous les temps perdus des organes chargés de l'avancement du bois, est sans aucun doute, dit M. Séguier, la raison qui a fait préférer, en Angleterre, les scies tournantes à toutes les autres pour le débit en planches des madriers de sapin.

Un examen attentif, durant l'Exposition, de la manière d'agir des scies alternatives anglaises et autres, nous a démontré qu'elles ne sciaient pas, à chaque course, plus de 5 millimètres de bois dans des madriers de sapin de 25 à 30 centimètres de large, en donnant, au plus, cent quarante coups à la minute, tandis que dans le même temps les scies françaises bien montées progressent dans du bois de mêmes nature et largeur à raison de 15 à 18 millimètres avec des vitesses de deux cent quarante coups.

Scie à ruban. Les progrès de la fabrication de l'acier permettant d'obtenir facilement des lames de scie d'une grande longueur, c'est une combinaison qui se présente naturellement à l'esprit et qui, en effet, a été tentée plusieurs fois, que de réunir ensemble les extrémités d'une longue lame, et la faisant tourner sur deux poulies, d'obtenir une scie continue, en évitant ainsi les pertes de temps et de travail que cause le mouvement alternatif de la scie ordinaire. Plusieurs inventeurs ont, en effet, successivement attaqué la solution du problème; mais bientôt dans la pratique ces appareils avaient été abandonnés.

Il n'en est pas de même de M. Périn, qui a résolu complétement le problème.

La rupture perpétuelle des lames était le grand obstacle au sujet des scies continues ; M. Périn, en employant des lames très-étroites, ce qui est avantageux pour l'exécution des moulures, évite les grandes différences de traction des bords opposés, et en même temps la soudure devient une opération plus facile et moins dispendieuse. Mais le progrès réalisé dépend beaucoup, croyons-nous, de la grande vitesse de la lame, à laquelle cet ingénieux constructeur fait parcourir 1,000 mètres par minute. Le mode d'action de la scie sur les fibres du bois n'est pas le même à une semblable vitesse qu'aux faibles vitesses ordinaires, et le choc des dents les tranche parfaitement sans produire de réactions nuisibles sur la lame. Pour obtenir une semblable vitesse, il faut que les deux poulies qui conduisent la scie soient exécutées et équilibrées avec le plus grand soin.

Enfin, au moyen d'un guide, il a su amortir les vibrations de la lame près de son entrée dans le bois, cause essentielle et fort importante de sa conservation. M. Périn les place le plus près possible du bois, à l'aide d'un porte-guide mobile, et la plate-forme sur laquelle on place le bois est elle-même mobile pour pouvoir le présenter toujours normalement à la denture de la scie. Les fig. 3715 et 3716 représentent l'ensemble des dispositions employées par l'ingénieux inventeur.

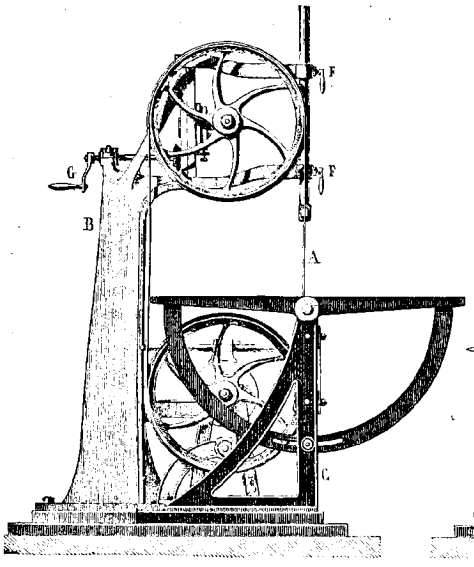
§ III. *Renseignements généraux.* — Nous nous sommes bornés jusqu'à présent à décrire le jeu des principales espèces de scies, et, pour éviter de nous répéter, nous ne sommes entrés, pour chacune d'elles, dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

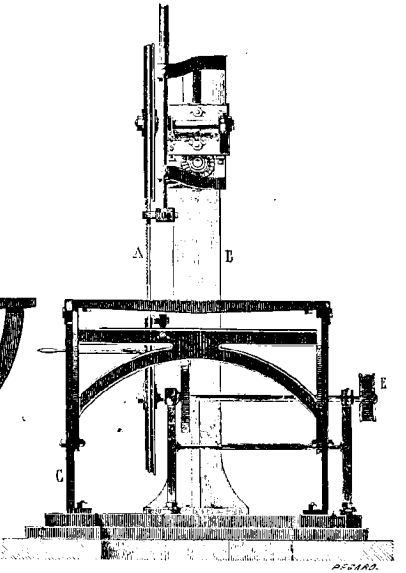
SCIERIE MÉCANIQUE.

aucun détail relatif à sa vitesse, à la force qu'elle consomme, à la forme des dents, etc. Nous allons maintenant revenir avec soin sur ces différentes questions de la plus haute importance pour celui qui doit établir ou diriger des machines de cette espèce.

Lame de scie. La forme des dents de la scie varie avec la nature du bois qu'elle doit débiter, avec la qualité de l'acier dont elle est formée, etc.



3715.



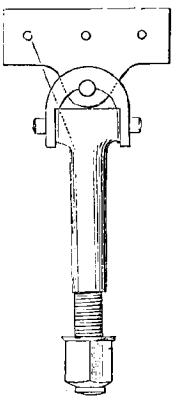
3716

Il serait difficile de donner à cet égard des règles générales, et le mieux est de s'en rapporter à l'expérience d'un ouvrier intelligent. Nous dirons seulement que le volume de la sciure est à peu près quadruple de celui du bois dont elle provient. Cette considération donne une limite du rapport du vide au plein des dents pour un avancement donné de la scie à chaque coup, ou à chaque tour, s'il s'agit d'une scie circulaire : il faut en effet que la sciure, pendant un mouvement, puisse se loger entre les dents pour sortir dans l'instant suivant où la scie n'attaque plus le bois.

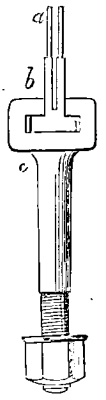
Le *chemin* donné à la scie, c'est-à-dire la quantité plus ou moins grande dont les dents sont déviées du plan de la lame, doit aussi varier avec la nature du bois et la beauté du travail. Il est en général d'autant moins fort que le bois est plus compacte.

La lame est souvent fixée dans le châssis par des méthodes analogues à celles employées par les scieurs de long, c'est-à-dire au moyen de brides en fer serrées par des coins. Il est plus convenable d'employer la disposition indiquée par la figure 2258, qui permet de donner à la scie la tension convenable au moyen d'un écrou, et dont la double articulation donne tout le jeu désirable. La figure 2259 montre sur ses deux faces l'espèce de pince qui fixe la scie à la traverse inférieure du châssis. La pièce *b* peut glisser un peu dans la rainure de la pièce *a*, dans laquelle elle se trouve engagée, ce qui permet d'incliner légèrement la ligne des dents de la scie sur le plan général du châssis.

Travail des scieries. Nous avons indiqué les différents mécanismes qui font avancer le bois à chaque coup de scie ; mais nous n'avons pas dit quelle doit être la vitesse de ce mouvement de progression ; elle dépend de la nature des bois et de la course de la scie. Dans les machines que nous avons prises pour exemple, la course varie de 0m,40 à 0m,60 ; ce sont les limites dans lesquelles il est le plus convenable de se renfermer, et en les adoptant, on peut dire que la pièce de bois doit avancer à chaque coup de scie de deux a cinq millimètres, suivant sa dureté. La première vitesse est très-



2258.



2259.

convenable pour le chêne dur, et la dernière pour les bois blancs peu résistants.

Les scies doivent être animées d'une vitesse de 120 à 150 coups par minute. On peut, d'après ces données, estimer la surface sciée par heure. Ainsi, avec la scierie des figures 2244 et 2245, on peut débiter facilement des arbres de 0m,50 de diamètre ; de sorte que,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en admettant une vitesse de 120 coups par minute, la surface de bois de chêne sciée par heure serait de :

$$0{,}002 \times 120 \times 0{,}50 \times 60 = 7^{m.carr.},20,$$

et celle du bois blanc de :

$$0{,}005 \times 120 \times 0{,}50 \times 60 = 18^{m.carr.},00.$$

Cette scierie exigerait une force de trois chevaux vapeur environ.

La scierie représentée par les figures 2253 et 2254, marchant à 140 tours par minute, et débitant un madrier de bois blanc de $0^m,30$ d'épaisseur, avançant de $0^m,005$ par coup, a scié par heure une surface de :

$$0{,}005 \times 140 \times 0{,}30 \times 60 = 12^{m.carr.},60.$$

Elle exigeait une force de 1 1/2 à 2 chevaux.

En général on peut admettre que chaque cheval-vapeur débite par heure une surface de 3 mèt. car. de bois tendre, et de $2^{m.carr.},00$ à $2^{m.carr.},25$ de bois de chêne. Mais il faut remarquer que le temps perdu pour la mise en place des bois, les réparations de la machine, etc., s'élève à peu près au tiers du temps total du travail : de sorte que la surface sciée par journée de travail de 12 heures n'est égale qu'à huit fois la surface sciée par heure et évaluée, comme nous venons de le faire, en multipliant l'épaisseur de la pièce par l'avance à chaque coup de scie et par le nombre de ces coups.

M. Navier donne pour la force nécessaire au sciage d'un mètre carré de bois un nombre de beaucoup inférieur à celui que l'on déduirait des résultats que nous venons d'indiquer, parce qu'il ne tient pas compte des frottements très considérables que présentent inévitablement les scieries mécaniques, mais en pratique on devra plutôt se tenir au-dessus qu'au-dessous des indications que nous avons données.

Les scieries à placage marchent avec une vitesse beaucoup plus grande que celle des scieries à bois ordinaires; elles donnent 250 à 280 coups par minute, mais l'avance ne doit guère dépasser un demi-millimètre par coup de scie. Les scieries de cette espèce qui marchent à Paris, produisent environ 36 mèt. car. de feuilles par jour. On paye 28 fr. à 30 fr. pour le sciage de 100 kil. de feuilles de 2 millimètres 1/2 d'épaisseur.

La vitesse des scies circulaires est assez variable, et on ignore jusqu'à présent celle qui est la plus convenable. Leur vitesse à la circonférence est ordinairement de 5 à 10^m par seconde, ce qui répond, avec les dimensions adoptées en général de 300 à 500 tours par minute. Ces scies absorbent moins de force que les scies à mouvement alternatif. On admet en moyenne que chaque cheval-vapeur peut scier 5 mèt. car. de bois blanc par heure et environ 4 mèt. car. de bois dur.

L'arbre qui met en mouvement les scies à mouvement alternatif doit être muni de volants pour régulariser le mouvement. On leur donne en général $1^m,00$ à $1^m,30$ de diamètre. Leur poids P, d'après M. Morin, est donné par la formule

$$P = \frac{30000^k}{V^2}$$

et d'après presque tous les constructeurs par la relation

$$P = \frac{25000^k}{V^2}$$

en désignant par V la vitesse par 1" à la circonférence du volant. Ainsi pour un volant de $1^m,10$ de diamètre moyen, devant faire 120 tours par minute, on aurait

$$V = \frac{120 \times 3{,}1415 \times 1{,}10}{60} = 6^m,9$$

et par suite

$$P = \frac{30000}{(6{,}9)^2} = 630^k$$

suivant M. Morin, et

$$P = \frac{25000}{(6{,}9)^2} = 525^k$$

si on adopte, comme cela nous paraît convenable, la marche suivie dans toutes les nouvelles machines.

Le poids du châssis de la scie n'est pas indifférent: il doit se rapprocher, autant que possible, de la moitié de l'effort moyen exercé sur lui. H. MANGON.

SCULPTURE PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES. En traitant ici de la sculpture au point de vue purement industriel, nous ne pouvons songer à parler de l'art du sculpteur proprement dit. Notre but est seulement d'indiquer les moyens économiques de multiplier, réduire l'œuvre de l'artiste, résultat nécessaire de la sculpture industrielle comme de tous les arts d'imitation.

Les procédés usités jusqu'à ce jour peuvent être groupés ainsi qu'il suit :

1° Le *moulage* des objets dans des formes creuses en terre cuite ou en plâtre, soufre, sable, bois, gélatine, fonte métallique, verre, bitume, ciment, pierre factice, etc.

2° Le tour à portrait, amélioré par M. Hulot, et reposant sur des principes établis pour la première fois par M. de la Condamine, qui a publié le premier, en 1733, la description et l'usage d'une machine pour copier sur le tour un portrait ou une médaille en relief. (Voir l'*Histoire de l'Académie*, année 1734, pages 216, 295; l'*Art du tourneur*, par Plumier, édition de 1749, chapitre XII.)

3° La machine de M. Colas, fondée sur le principe du tour à portrait. (Brevet de quinze ans, pris le 22 mars 1837.)

4° La compression des bois à froid, à l'aide de matrices, poinçons et emporte-pièces en acier, gravés en relief, suivant le contour du dessin qu'on veut reproduire.

5° Les procédés de M. Ardisson par le refoulement du bois debout. (Brevet de dix ans, pris le 30 septembre 1839.)

6° L'ESTAMPAGE. (Voyez ce mot.)

7° La machine de M. Sauvage, propre à réduire ou augmenter la dimension des statues et tous autres objets de sculpture en quelque matière que ce soit. (Brevet de quinze ans pris le 3 mai 1836.)

8° Celle de M. Dutel, ayant le même objet. (Brevet de quinze ans pris le 9 novembre 1836.)

9° Celle de M. Grimpé, pour reproduire ou réduire toutes les formes de bois de fusil, et celles des rondes-bosses ou des bas-reliefs artistiques. (Brevet de quinze ans, pris le 31 juillet 1838.)

10° Les nouveaux moyens d'exécution de la sculpture et de la gravure dans des matières dures, telles que porphyre, granite, marbre, pierre, etc., par M. Moreau. (Brevet de cinq ans, délivré le 24 novembre 1838.)

11° Ceux de M. Graenacher pour la combustion à l'aide des moules en fonte. (Brevet de dix ans, pris le 27 décembre 1838.)

12° La GALVANOPLASTIE. (Voyez ce mot.)

13° Enfin les machines de MM. Lebas, Gervaizot, Combettes, Jordan, etc., qui ont pris chacun des brevets d'invention non expirés.

Nous devons ajouter à cette nomenclature les procédés antérieurs et peu ou point connus de deux ingénieurs distingués qui n'ont pas pris de brevet d'invention, de M. Amédée Durand et de Philippe de Girard.

Avant de donner quelques détails sur les procédés mécaniques que nous venons d'énumérer, nous décrirons une curieuse méthode abrégée d'exécution pour la sculpture statuaire, employée en 1822 par M. Amédée Durand.

Le résultat obtenu par cette manière d'opérer fut une statue de $2^m.50$ de hauteur. Cette figure de femme, entièrement drapée fut exécutée en quatre vingt-sept

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jours par l'emploi d'un seul praticien sculpteur et d'un aide. Elle fait partie du mausolée du duc d'Enghien, existant aujourd'hui dans la chapelle du château de Vincennes.

Voici la succession des procédés qui ont été employés :

Le temps était rigoureusement déterminé, soit pour l'exécution du moule, soit pour le travail du marbre, et il fut nécessaire que ces deux opérations, essentiellement successives, se fissent en quelque sorte des concessions mutuelles, et devinssent simultanées dans une certaine proportion.

Ainsi la disposition générale du modèle étant arrêtée, il a fallu commencer à ébonneler le marbre, sans toutefois prendre des points comme on le fait par le procédé ordinaire, où l'on reporte du modèle sur le marbre à l'aide d'un compas et par les intersections des distances du point à déterminer aux points déjà arrêtés ; et voici comment se fit cette première ébauche, sous la condition de rigueur d'éviter tout enlèvement de matière, qui plus tard eût pu faire défaut. Le modèle, étant debout, fut placé de manière à ce qu'une forte lampe projetât sur un panneau en feuillets de bois mince sa silhouette, ou au moins une projection un peu amplifiée de la figure, soit vue de face, soit vue de profil, suivant la convenance. L'image fournie par cette projection étant découpée, donna une silhouette de la figure. Cette silhouette, ou ce calibre de l'un des deux aspects principaux de la figure, fut posée horizontalement sur le marbre, couché lui-même sur le sol. Le travail à faire, d'après ce premier calibre, consiste à couper à grands coups tout le marbre qui se trouvait excéder de cette projection, que dessinait exactement l'emploi d'un fil à plomb.

Cette opération pour l'un des aspects de la figure, celui de face, par exemple, étant terminée, on procéduit de la même manière pour avoir celui du profil, c'est-à-dire que le modèle était présenté dans ce sens à la lumière de la lampe, et que la projection résultant de cette opération était à son tour appliquée sur le marbre, qui lui aussi avait fait un quart de révolution sur lui-même. Par cette manière d'ébaucher, plusieurs personnes peuvent facilement trouver place pour travailler simultanément, et le travail est d'autant plus prompt qu'on n'a pas besoin d'échafaudage.

Cette première ébauche faite, on procéda à la mise au point de la statue. Cette seconde opération la laissa dans la même situation, c'est-à-dire couchée, et conserva aux opérations subséquentes les mêmes facilités qui avaient accompagné la première. La mise au point telle qu'elle est pratiquée est soumise à des pertes de temps considérables. Ainsi, pour peu qu'on admette que pour arriver à l'enfoncement exact qu'on doit obtenir sur la pièce ébauchée, on mesure trois fois cet enfoncement, il résulte que, comme on emploie deux compas et un fil à plomb, il y a au moins neuf mesures à prendre, dont la dernière, celle par le fil à plomb, entraîne la perte de temps nécessaire pour faire *dormir* ce dernier et l'amener à l'état de repos.

A ce sujet, il faut faire remarquer que, par les moyens ordinaires, on procède de proche en proche, partant de points trouvés dans le cours du travail pour déterminer les points ébauchés, et que, une fois une erreur commise, elle peut affecter toutes les opérations pour lesquelles elle a servi de base.

Le moyen employé par M. Amédée Durand consiste à poser trois points, deux à la base du modèle, alors terminé, de la statue, et un sur son sommet. Une barre en bois de sapin, portant à l'une de ses extrémités une pointe en acier, qui entrait dans le dernier point dont il vient d'être parlé, se terminait par une traverse également en bois et formant T. Chaque extrémité de cette traverse portait une pointe qui entrait dans chacun des deux autres points déjà cités. On voit de suite que ce T, qui reliait les points extrêmes de la statue, formait de ces points la base qui devait servir à prendre tous les autres sur le modèle et à les transporter sur le marbre à travailler.

Au moyen de ce même T, les trois points fondamentaux furent transportés sur ce marbre. Il n'y avait donc plus qu'à prendre et transporter de même cette multitude de points intermédiaires, dont chacun, ainsi qu'il a été dit plus haut, donne moyennement lieu à neuf opérations, tant à l'aide du coinpas qu'au moyen du fil à plomb. Pour obtenir ces points, il a suffi de garnir la longue barre de sapin (elle avait $2^m,70$) de tiges se terminant en pointes et mobiles dans tous les sens.

La pointe de chacune de ces tiges était mise en contact avec un des pointifs déterminés sur le modèle. Les différentes articulations qui en avaient procuré la mobilité étaient fixées par les procédés connus, comme dans la graphomètre, mais une seule, qui ne permettait de manœuvrer que dans un plan, comme la charnière, restait libre, et n'était limitée dans son mouvement que par un buttoir, qui la maintenait en rapport avec le point mesuré. Ces armatures de pointes mobiles étaient au nombre de dix, et pouvaient changer de place sur toute la longueur de la grande barre de bois. Avant d'être transportées sur le marbre à travailler, elles avaient été relevées en arrière, et leur abaissement jusqu'au buttoir résultait de l'enlèvement du marbre par les outils ordinaires, et déterminait la place où l'enfoncement du point cherché.

On voit dès lors se substituer à l'emploi des deux compas et du fil à plomb, celui d'une simple pointe à charnière, dont le mouvement est si simple, si sûr et si prompt, que de ce changement résulte une économie considérable de temps.

Tout ce qui vient d'être dit se rapporte exclusivement à la mise aux points qui, ainsi qu'il a été dit, s'exécute la statue étant couchée. On conçoit que, quand il s'agit de draperies à grands plis comme dans le fait rapporté, on peut en pousser l'achèvement très loin, sans redresser la statue et sans recourir aux échafaudages, qui sont si gênants et causent des pertes de temps si considérables.

Tour à portrait. Voyez TOUR.

Quant aux procédés de sculpture par la mécanique, inventés par MM. Dutel, Colas et Grimpé, nous ne pouvons rien dire de mieux ou de plus exact, que ce qui en a été publié dans les rapports du jury des expositions, en 1839 et 1844.

Procédé de M. Colas, en 1839. « La grande difficulté n'étant pas de copier, en le réduisant, un bas relief quelconque et d'en obtenir la copie en telle matière que ce soit, le tour à portrait donnait ce résultat. Elle consistait à copier, dans une dimension différente, la sculpture de ronde-bosse. M. Colas a obtenu ce résultat en le transformant en bas-relief; pour cela, il a divisé son modèle par portions de forme, telles que chacune peut sortir d'un moule d'une seule pièce. Les parties exécutées isolément ont ensuite été réunies et ont composé la statue réduite, qui a été admirée à l'exposition.

« Pour arriver là, M. Colas a dû modifier le tour à portrait dans sa pièce qu'on nomme *barre*, et il l'a fait en mécanicien habile. Le mouvement horizontal alternatif trop rapide de cette barre, eu égard à sa masse, en a été enlevé, et a été transporté à des organes accessoires d'une construction légère. De cette modification ont dépendu le succès des travaux de M. Colas, et la possibilité qu'il possède aujourd'hui, en les changeant de dimensions, de copier tous les morceaux de sculpture. Indépendamment de ces travaux, M. Colas en suit d'autres qui ont pour résultat de copier, sans les diviser, les statues ou bustes de ronde-bosse et d'en obtenir la copie en telle matière que ce soit. » (Voyez tom. III, page 193, des *Rapports du Jury en* 1839.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En 1844. « Ainsi il fait aujourd'hui, il copie, il réduit en marbre, en pierre, en ivoire, en plâtre, en bronze et en bois les statues, les groupes, les bustes, les bas-reliefs, les rondes-bosses, les ornements, enfin tous les motifs qui lui sont demandés, et le tout avec une fidélité scrupuleuse et l'exactitude la plus sévère. » (Voyez t. III, p. 328, des *Rapports du jury en 1844.*)

Réduction des figures de ronde-bosse, par M. Sauvage. M. Séguier a présenté à l'Académie de sciences, séance du 6 août 1840, au nom de l'auteur, plusieurs copies de propositions différentes d'une même figure de ronde-bosse, exécutées au moyen d'un appareil qui n'est qu'une modification du pantographe appliqué à la sculpture, mais qui se distingue de ceux qu'on a employés précédemment, dans le même but, par une grande simplicité, ce qui permet de se le procurer à peu de frais. La substance sur laquelle on opère est un bloc de savon ou de cire qui se taille très-aisément, et sur lequel on fait ensuite un moule qui peut donner un nombre illimité d'épreuves en plâtre ou en métal. La matière plastique, à l'état où l'emploient les statuaires, peut aussi servir pour une réduction.

« *Procédé de M. Dutel*, en 1839. La sculpture qu'a exposée M. Dutel, sortant des appareils, est à l'état d'ébauche, mais d'une précision suffisante quant aux masses. Ce genre de sculpture, obtenu plus particulièrement sur marbre, est produit par une fraise animée d'une grande vitesse.

« Cet instrument est soumis, dans sa translation, à un système de parallélogramme mobile, mis en rapport, à main d'homme, avec le modèle par une touche mousse, comme dans le tour à portrait. Le modèle et la copie obéissent simultanément à un mouvement de rotation lent, qui vient présenter successivement à l'appareil tous les points de leurs surfaces. »

(En 1844.) « Successeur de M. Dutel, M. Alexandre Contzen a fait plusieurs perfectionnements importants à ses appareils, qui sont mis en mouvement par une machine à vapeur de la force de 6 chevaux.

« L'exactitude, la précision de ses appareils, sont réellement remarquables. C'est le modèle lui-même qui, par ses formes et son développement, imprime à l'outil qui travaille le mouvement d'action sur l'objet à exécuter, en conservant cependant la faculté et la facilité de soutenir et changer de forme selon le désir de création du statuaire, et d'avancer plus ou moins, en raison du plus ou moins de temps que l'artiste veut passer à ce même travail pour le terminer. »

Le journal l'*Illustration* a publié dans le numéro du 18 mai 1845, page 180, le dessin en perspective de cette machine. Ce dessin donne bien une idée générale de la composition des organes qui la constituent, mais il laisse à deviner les transmissions de mouvements et la manière de faire marcher les outils propres à opérer la sculpture.

Procédé de M. Grimpé. « En 1839, la société Gosse de Billy a soumis à l'appréciation du jury des sculptures en relief et en creux, rectilignes et curvilignes, des objets à formes simples ou sculptés, des tenons, des mortaises, des queues d'aronde, des languettes, rainures, feuillures, des poulies de marine, d'arçon, saboterie et charronnage, tous confectionnés mécaniquement par les procédés inventés par M. Émile Grimpé, *avec une rapidité extraordinaire*, ajoute M. Blanqui, rapporteur, *et une économie qui varie, selon les difficultés du travail, de 20 à 850 p. 100. Les expériences les plus authentiques sont faites à cet égard.* » (Voir tom. III, p. 178, des *Rapports du jury en 1839.*)

Le fait d'une économie de 20 p. 100 est exact sans doute, quant à l'emploi du procédé de sculpture mécanique, inventé par M. Grimpé, pour faire des moulures en relief et en creux, des incrustations de formes régulières et irrégulières; quant à l'économie de 850 p. 100, c'est sans doute 85 p. 100 qu'on a voulu dire; elle nous paraît douteuse. Quoi qu'il en soit, nous pouvons affirmer que la société Gosse de Billy n'a fabriqué qu'un petit nombre d'objets qui ont été vendus à l'encan après la dissolution de la société en 1840. Depuis cette époque les machines elles-mêmes ont été démontées et abandonnées sans emploi par une cause que nous ignorons.

Feu Philippe de Girard, l'illustre et immortel auteur du principe sur lequel repose la filature mécanique du lin (voyez LIN), a inventé et construit aussi en Pologne, à l'époque de la révolution de 1830, une machine propre à fabriquer les bois de fusil; les encastrements des pièces étaient achevés ensuite à la main.

Plus tard, cependant, M. de Girard a construit une seconde machine qui creusait tous ces encastrements dans huit bois de fusil à la fois, et il envoya, en 1832, à la Société d'encouragement deux bois de fusil fabriqués ainsi, qui y sont encore déposés.

La simple inspection de ces bois démontre rigoureusement qu'ils ont été travaillés mécaniquement.

Il est juste de dire que ces bois de fusil ont été déposés à la Société d'encouragement avant que M. Grimpé n'annonçât la solution du même problème, et qu'il doit avoir eu connaissance du résultat des travaux de M. Philippe de Girard.

Philippe de Girard fixa lui-même le prix de ses machines à la somme de 28,000 florins de Pologne (environ 23,000 francs), que le gouvernement russe lui accorda avec 25,000 francs de gratification en sus, et une pension viagère de 6,000 francs reversible, pour moitié, sur la tête de son frère. Ces machines fonctionnent, depuis cette époque, dans la fabrique impériale de Tula.

M. de Girard nous apprend lui-même, dans un mémoire imprimé en 1844, qu'il écrivit à M. le ministre de la guerre, le 2 mai 1836, pour offrir au gouvernement français de lui vendre des machines semblables.

La réponse de M. le ministre fut que M. Grimpé s'était engagé à faire des machines propres à fabriquer les bois de fusil moyennant la somme de 300,000 francs votée par les chambres, et que l'on supposait qu'il réaliserait ses promesses; mais, depuis, M. Grimpé a renoncé à ce marché.

Philippe de Girard renouvela alors l'offre de livrer ses machines à moitié du prix de celles de M. Grimpé.

Le ministre de la guerre lui écrivit « que la fabrication mécanique des bois de fusil était impraticable, parce qu'il *était impossible* que les garnitures du fusil, faites à la main, pussent s'adapter à des encastrements faits à la mécanique. »

Philippe de Girard répondit « que si on lui donnait cent mille garnitures de divers calibres, il se chargerait de faire cent mille bois auxquels elles s'adapteraient; que c'était tout ce qu'on pouvait lui demander. »

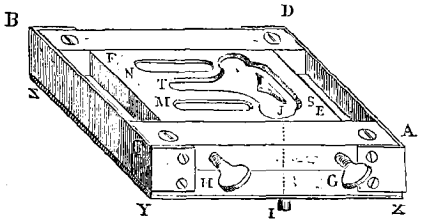
On promit alors de nommer une commission, mais Philippe de Girard est mort en 1845 sans avoir rien conclu. Du reste, tous les plans de ces machines sont restés entre les mains de l'un de ses parents.

Nous avons publié ces faits pour répondre à ce reproche qu'on a adressé souvent à M. de Girard « qu'il *avait abandonné la France*, tandis que c'est le gouvernement français seul qui a méconnu et repoussé ses importantes inventions. Honneur du moins à la Pologne, au gouvernement russe qui a accueilli et récompensé si dignement et si généreusement Philippe de Girard, homme si remarquable, à la fois peintre, sculpteur, et inventeur de la lampe hydrostatique, de la filature mécanique du lin, d'une machine à fabriquer les bois de fusil, etc.

Procédé inventé par M. Amédée Durant, en 1826, pour sculpter ou graver en creux sur le bois et autres matières, en suivant des formes et des profondeurs déterminées, mais planes. La fig. 2260 représente la dispo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sition du travail, dans cet ingénieux procédé, qui nous a été généreusement communiqué par l'inventeur. ABCD caisse ou chariot en bois ou mieux en fonte, dans lequel on dispose la pièce de bois plane EF que l'on veut sculpter en creux. On serre cette pièce de bois à l'aide des deux vis en fer G, H. Le dessous de ce chariot est garni d'une plaque de tôle XYZ découpée à jour, suivant le contour du dessin que l'on veut produire. On assujettit cette plaque avec des vis à tête fraisée. I goupille en fer, fixée perpendiculairement et très solidement sur une table parfaitement dressée; elle entre dans la découpure de la tôle XY correspondant au point J.



2260.

Tout l'appareil, ainsi disposé, est soumis à une machine à percer dont la *mèche* placée perpendiculairement au-dessus de la goupille I est animée d'une grande vitesse. Cette mèche perce d'abord le bois au point J, et ainsi de suite toutes les parties du bois comprises dans le contour irrégulier ST, en ayant soin de faire mouvoir insensiblement le chariot ABCD.

Comme on le voit, le contour exact de la découpure ST est déterminé par la goupille I qui est engagée dans la découpure de la plaque de tôle XY, et fait ainsi l'office de guide et de régulateur; mais, pour que la découpure du bois soit conforme au modèle en tôle, il faut nécessairement que le diamètre de la mèche soit égal à celui de la goupille I.

Ensuite, pour faire les contours M et N, on place successivement la goupille I dans les découpures correspondantes sur la plaque XY, et on soumet alors la pièce de bois EF à l'action de la mèche à percer, comme il est dit précédemment.

Pour faire des filets en relief, sur le pourtour des formes creuses S, M et N, M. Amédée Durand avait imaginé un autre moyen physico-chimique, fondé sur cette propriété commune à tous les bois, d'imbiber les liquides et d'augmenter de forme et de volume lorsqu'ils sont mouillés.

Voici comment il a opéré :

Il a découpé une plaque de tôle semblable à la plaque XY, et il a disposé et *brassé*, sur les arêtes ou contours, des fils de fer aciérés, d'une grosseur variable à volonté. Cette plaque ainsi préparée a été appliquée sur la pièce de bois EF, avant l'opération du découpage, de manière que les fils de fer soient en contact avec le bois et à la place où doit être la découpure, place du reste que l'on a déterminée d'avance, en présentant la pièce sous la machine à percer et marquant trois points de repères. Cela fait, M. Durand a soumis la pièce de bois, recouverte de la plaque, à l'action d'une forte pression (presse à vis, laminoir ou presse hydraulique), de manière que les fils de fer, en s'enfonçant, produisent des contours en creux. Puis il a retiré la pièce, et à l'aide d'un rabot, il a réduit la surface du bois au niveau des parties comprimées; il a plongé ensuite cette pièce dans l'eau froide ou chaude, et les parties du bois qui avaient été comprimées ont repris leur premier niveau, et sont venues former ainsi des filets en relief.

Enfin la pièce a été découpée par le procédé que nous avons décrit ci-dessus.

M. Amédée Durand a employé aussi, pour faire des reliefs sur le bois, un cylindre gravé suivant les contours ou *reliefs* qu'il voulait imprimer dans le bois. Ce cylindre était accouplé avec un second cylindre en fer, engrené de manière à former un véritable laminoir. Dans tous les cas, la pièce de bois était soumise à une pression graduée, afin de ne pas rompre les fibres; et, pour opérer le glissement ou passage de la pièce de bois entre les cylindres, M. Durand avait pratiqué sur le cylindre gravé, dans les parties qui devaient être découpées, des piqûres formant *râpe*.

Procédé de sculpture en bois par la combustion à l'aide de moules, inventé par M. Graenacker. « Dans ce procédé le bois à enlever est brûlé ou converti en charbon; cet effet est dû à l'application, à l'aide d'une forte pression, d'un moule en fonte de fer chauffé jusqu'au rouge; on aperçoit de suite que le moule ne transmet pas immédiatement sa forme au bois, mais la produit avec l'intervention d'une couche de charbon. Remarquons que cette couche ne doit jamais avoir plus de deux à trois millimètres d'épaisseur, ainsi qu'il va être expliqué, et que plus elle est mince, plus la sculpture a de netteté.

« Pour que cette netteté soit obtenue, il faut que la couche carbonisée soit limitée de la manière la plus exacte possible, et qu'il n'y ait entre le moule et la forme produite que du charbon parfait, c'est-à-dire friable et pouvant se détacher facilement sous l'action d'une brosse. La forme perdrait beaucoup de sa netteté, et le procédé de sa certitude, s'il se trouvait entre le charbon parfait et le bois inférieur une couche de bois à l'état de charbon roux, c'est-à-dire carbonisé à différents degrés et cédant irrégulièrement à l'effet du brossage. Pour obtenir ce résultat indispensable de limiter l'action comburante du moule chauffé au rouge, on a la précaution d'immerger le bois à travailler, jusqu'à ce qu'il soit entièrement saturé d'eau; cette eau, sous l'action du moule, se convertit en vapeur et ne permet, dès lors, d'employer qu'une pression intermittente qui en facilite l'écoulement. Si cette pression était continue, la vapeur pourrait se trouver assez comprimée dans certaines places pour que son expansion détachât quelques parcelles de bois et compromît la perfection du résultat.

« L'action du moule sur le bois ne dure que 20 secondes environ; elle est simplement le résultat de l'emploi d'un levier quintuplant le poids de l'ouvrier, qui s'assied dessus et donne à son corps un mouvement vertical très répété; après 20 secondes, le bois est retiré de la presse et jeté dans l'eau pour, d'une part, arrêter la combustion du charbon, et, de l'autre, faciliter sa dispersion sous l'action d'une brosse. Par ces opérations, répétées autant de fois que l'exige la profondeur du moule, on obtient un relief qui reproduit avec fidélité les détails du modèle primitif.

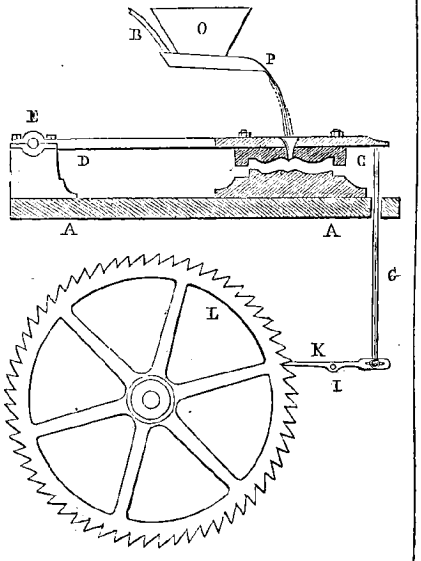
« Une chose à faire remarquer, c'est que l'imbibition du bois par l'eau étant une des conditions du procédé, plus les bois sont spongieux et plus facile est l'opération, et que, par conséquent, les bois les plus communs sont les plus propres à être convertis en objets sculptés. Cette transformation n'affecte pas seulement leur forme, elle a une influence profitable à leur dureté, qui s'en trouve très sensiblement augmentée. L'aspect des sculptures ainsi obtenues sur le bois de peuplier ou de marronnier acquiert beaucoup de ressemblance avec celui du vieux noyer et est d'un effet très agréable. » (*Extrait du Bulletin de la Société d'encouragement*, 1840, page 383.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Procédé de sculpture sur marbre et autres matières dures, par M. Moreau. « Ce procédé, pour produire des figures ou objets sculptés, consiste 1° dans l'emploi d'un moule ou matrice en métal qui porte la contre-partie de la figure ou de l'objet qu'on se propose de sculpter, et dans son application à la surface de la matière qu'il s'agit de travailler; 2° dans des moyens pour opérer cette sculpture, qui consistent dans la répétition de chocs ou coups légers et rapides du moule sur la pierre pour en broyer et triturer le grain, et l'amener ainsi successivement à prendre la forme correspondante au moule qu'on frappe dessus.

« Supposons qu'il s'agisse de sculpter en bas-relief un masque ou médaillon au moyen de l'appareil. D'abord il faut se procurer le moule ou matrice en fonte de l'objet qu'on veut produire; c'est la fonte de fer à laquelle il convient pour ce cas de donner la préférence. Quand on est en possession du moule, il faut le monter dans un appareil mécanique convenable propre à élever et abaisser ce moule, pour que celui-ci percute par une succession de coups légers le bloc de marbre, de pierre, ou tout autre matière qui doit être travaillée.

« L'appareil mécanique, perfectionné par M. Am. Durand, est représenté en coupe, fig. 2261.



2261.

« Le bloc de marbre ou de pierre, qu'il s'agit de sculpter, est placé sur une table A A soutenue par des chevalets fixes et très solides. Le moule C, qui forme la contre-épreuve du médaillon qu'on veut produire, est fortement attaché au levier D composé d'un fort cadre en fer monté sur des pivots E, E. Ces pivots peuvent être ajustés, afin de régler la hauteur convenable du moule au-dessus du bloc. A l'extrémité opposée de ce cadre D, est une tringle adaptée au moyen d'un écrou. Cette tringle se trouve liée à un levier G I, tournant autour d'un pivot et mis en mouvement par son extrémité à l'aide d'une série de dents que porte une espèce de roue à rochet L, qui tourne par le secours d'une manivelle.

« On voit ainsi que, lorsqu'on imprime un mouvement de rotation à la roue à rochet L, les dents qu'elle porte entrent alors en action contre le bras de la bielle G I, et produisent un mouvement d'oscillation, qui se communique par la tringle G au cadre D qui porte le moule C. Ce moule opère donc ainsi, sur la surface du bloc A, une suite de chocs successifs, qui en triturent le grain dans toutes les parties où ce moule vient à frapper.

« Cette trituration est facilitée par l'introduction du sable, de l'émeri, de la poudre de diamant ou autre matière dure en poudre, qu'on introduit avec de l'eau entre les surfaces du moule et de la pierre pendant l'opération : ce à quoi on parvient en pratiquant plusieurs petits trous dans le moule, ainsi qu'on le voit en *a*, *a*, dans la figure 2261, dans les parties les plus convenables pour distribuer la substance pulvérulente le plus également possible.

« A cet effet, cette substance est introduite dans une trémie O, et glisse le long d'un plan incliné ou gouttière P, en même temps que l'eau est versée en très petite quantité par un tube flexible B, ou par tout autre moyen analogue.

« C'est de cette manière qu'on produit cette succession de chocs rapides et légers qui frappent la surface du bloc, et en enlèvent, par une action toute mécanique, les parties proéminentes pour le réduire à la forme qui est la contre-partie de ce moule.

« Vers la fin de l'opération, on emploie des matières pulvérulentes plus fines qu'au commencement, afin que l'objet puisse quitter le moule avec un haut degré de fini. Telle est la délicatesse de ce mode de sculpture, que l'on obtient ainsi les traits les plus fins, même avec les pierres qui s'égrènent le plus, et qui ne supporteraient pas l'action du ciseau ordinaire.

« L'appareil peut très bien opérer sur des surfaces verticales, telles que des frontons, des entablements, des corniches, et même contre des surfaces renversées, comme des soffites, des plafonds, des caissons de voûtes.

Procédé de sculpture en bois par compression, inventé par M. Ardisson. « L'idée fondamentale du procédé consiste dans la compression des bois de bout, mais cette action seule ne serait pas suffisante pour donner des produits assez économiques et assez résistants : on la fait précéder d'une ébauche superficielle faite à main d'homme, et dont les indications sont naturellement fournies par le moule même qui doit parfaire le travail.

« Par ce procédé se trouvent reproduits tout le fini et toute la délicatesse de travail que l'artiste a su donner à la matrice qui opère la compression.

« Le bois qu'on pourrait croire altéré dans ses fibres n'en conserve pas moins une résistance complétement suffisante pour cette destination, ainsi que cela résulte de l'examen de baguettes d'oves et autres ornements ne présentant entre eux que peu de liaison.

« L'humidité, dont on pouvait craindre des effets de déformation à l'égard de ces produits, ne leur fait éprouver aucune altération; et c'est ce qui résulte d'une expérience qui a consisté à maintenir immergée, pendant vingt-quatre heures, une portion d'une baguette d'ornement, sans que la partie ainsi éprouvée ait présenté de différence avec les autres.

« Indépendamment de divers objets d'ornement, M. Ardisson présente une tête de profil dont le relief est des plus élevés, et qui atteste toute l'étendue des applications qu'il peut donner à son procédé. » (Voir *Bulletin de la Société d'encouragement*, mars 1845 p. 90.) ROUGET DE LISLE.

SÉCHOIR (*angl.* hotflue, *all.* Trockenhaus). On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

désigne sous le nom de séchoir le local dans lequel on produit l'opération du séchage, en donnant le nom d'étuves aux appareils dans lesquels on se propose surtout d'échauffer les substances, bien que la plupart du temps les étuves agissent comme de véritables séchoirs.

L'art de sécher a pour but d'enlever à un corps l'eau qui le mouille; c'est donc une véritable évaporation qu'il s'agit de produire. Chacun sait comment cette opération se fait à l'air libre. Il suffit, par un temps chaud, lorsque l'air n'est pas saturé d'humidité, d'exposer à l'air les étoffes humides pour que l'évaporation de l'eau les sèche bientôt. Cette méthode fort économique n'est pas d'un emploi assez constant dans nos climats pour qu'on puisse s'en contenter. L'air souvent saturé d'humidité, la fréquence des pluies dans certaines saisons arrêteraient fréquemment les fabriques. C'est en chauffant l'air qu'on parvient aisément à pratiquer l'opération du séchage.

Séchage à l'air chaud. L'air est saturé par des proportions variables de vapeur d'eau, quand sa température varie. Si donc on chauffe de l'air même saturé, il devient capable d'absorber une nouvelle quantité de vapeur d'eau, dont la tension croît avec la température. La mesure de cet effet est donnée par le tableau suivant :

Poids de la vapeur renfermée dans un mètre cube d'air saturé, à différentes températures, sous la pression de $0^m,76$.

Température.	POIDS en grammes.	Température.	POIDS en grammes.
0°	5,20	55°	88,74
5	7,20	60	105,84
10	9,50	65	127,20
15	12,83	70	141,96
20	16,78	75	173,74
25	22,01	80	199,24
30	28,51	85	227,20
35	37,00	90	251,34
40	46,40	95	273,78
45	58,60	100	295,00
50	63,63		

La première détermination à faire pour calculer les dimensions d'un séchoir est de déterminer la quantité d'eau qu'il s'agit de vaporiser. Tredgold a fait à ce sujet des expériences sur les matières pour lesquelles se pratique habituellement cette opération, c'est-à-dire pour les étoffes. En voici le résultat. Bien entendu que les pièces étaient tordues ainsi que le pratiquent les blanchisseuses pour enlever la majeure partie de l'eau.

	Poids sec.	Poids mouillé.
Flanelle.	1	3
Calicot.	1	2 1/8
Soie.	1	1 29/30
Toile de lin. . . .	1	1 3/4

Ayant déterminé le nombre des pièces d'étoffes à sécher, et, d'après leur poids connu et ce tableau, le poids de l'eau à évaporer, on obtient la quantité d'air qu'il faut chauffer et par suite les dimensions du calorifère qu'il faut établir à cet effet, au moyen du calcul suivant que nous empruntons à M. Péclet.

Soit à évaporer 25 kil. d'eau en une heure, la température de l'air saturé au sortir du séchoir étant 30° température suffisante pour que les vapeurs s'enlèvent bien par les cheminées) et la température de l'air saturé extérieur étant 15°; condition la plus défavorable, mais pour laquelle il faut combiner les appareils, vu qu'elle se rencontre souvent dans le nord de la France.

A 30° et sous la pression $0^m,76$, un mètre cube d'air saturé contient $28^{gr},51$ d'eau, et à 15° il en contient $12^{gr},83$, comme le montre le tableau ci-dessus, chaque mètre cube d'air dissoudra 15,68 grammes d'eau, et pour les 25 kil. il faudra $\frac{25}{0,01568} = 1594$ mètres cubes d'air. Ce volume ramené de 30° à zéro devient $\frac{1594}{1+0,00364\times 30} = 1437$ mètres cubes, dont le poids est $1437 \times 1,3 = 1868$ kil.

La quantité de chaleur que perd l'air chaud pour dissoudre les 25 kil. d'eau, pour les vaporiser, est $650 \times 25 = 16250$ unités; sa température à l'entrée du séchoir est donc $\frac{30° + 16250 \times 4}{1868} = 64°,8$ (4 est le rapport approché des chaleurs spécifiques de l'air et de l'eau à poids égal). La quantité totale de chaleur dépensée est

$$\frac{1868\,(64,8 - 15)}{4} = 23257.$$

Tel est donc le nombre de calories qu'il s'agit de communiquer à l'air.

Si l'on peut employer directement les produits de la combustion pour opérer le séchage, comme c'est le cas de la touraille employée dans la fabrication de la BIÈRE (voyez ce mot), on obtiendra la consommation en combustible, en divisant ce chiffre par la puissance calorifique du combustible, c'est-à-dire 6000 environ s'il s'agit de la houille, puisque rien n'est perdu. Dans le cas le plus fréquent, on ne saurait projeter les produits de la combustion sur les objets à sécher, que saliraient la fumée et les cendres entraînées par le courant d'air. Aussi emploie-t-on le plus souvent l'air chauffé par un calorifère. Le calcul précédent servira à déterminer les dimensions d'un calorifère d'une nature déterminée, en divisant la chaleur totale à obtenir par l'effet utile que l'on sait obtenir dans ce genre de calorifère, et qui atteint difficilement 80 p. 100 de la puissance totale du combustible.

La disposition d'un séchoir doit satisfaire aux conditions de laisser sortir l'air parfaitement saturé. Se composant essentiellement d'une salle qui reçoit par la partie inférieure l'air chaud sortant d'un calorifère, il faut que cet air parcoure toutes les pièces à sécher, et ne se précipite pas vers la cheminée qui lui donne issue en n'en rencontrant qu'une partie. Une excellente disposition consiste à faire sortir l'air saturé au niveau du sol. Le séchoir étant divisé par une cloison qui s'élève jusque vers la partie supérieure, l'air chaud montera dans la première partie pour descendre dans la seconde et sortir par les cheminées dont les orifices sont à la partie inférieure.

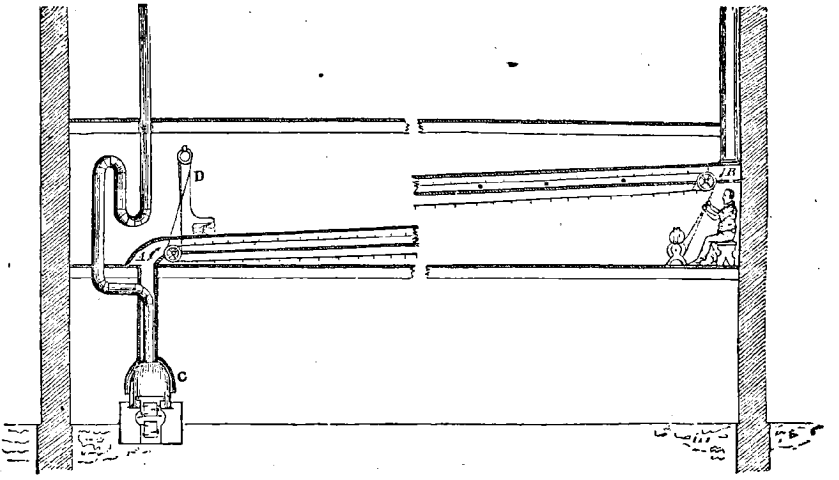
Si par des registres et des orifices convenablement disposés on peut faire arriver l'air chaud dans une des deux divisions et faire varier inversement son issue, on pourra toujours le saturer d'eau. Il suffira de charger les pièces dans la moitié du séchoir à la fois, de telle sorte que l'air chaud sortant du calorifère remonte des pièces déjà à moitié séchées et rencontre dans la 2e division des pièces récemment placées et chargées d'humidité, pièces qui recevront à leur tour l'air chaud directement quand le séchage des premières sera complet et qu'elles seront remplacées par de nouvelles pièces.

Nous n'avons pas à nous étendre ici sur les systèmes de calorifères qui ont été donnés complétement à l'article CHAUFFAGE. L'un des plus convenables est celui de M. R. Duvoir, qui échauffe des quantités d'air extrêmement considérables. Dans un séchoir construit à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la blanchisserie de Gisors, trois calorifères lançant l'air à 120° permettent de sécher, en 6 heures, 150 pièces de calicot qui renferment ordinairement 1130 kilog. d'eau. Le volume d'air lancé est de 55.000 mètres cubes. L'évaporation est de 3k,52 d'eau par kilog. de houille; résultat très satisfaisant si l'on songe qu'à la fin de l'opération il s'en faut de beaucoup que l'air sorte saturé.

La fig. 2262 représente un appareil qui a été employé



2262.

en Angleterre, dans les manufactures d'indiennes, pour sécher les pièces. On voit qu'il consiste dans un calorifère chauffant une colonne d'air dans laquelle on fait passer la pièce d'étoffe, placée sur une chaîne sans fin. Cet appareil est fort imparfait et exige une main-d'œuvre beaucoup trop considérable.

Au lieu de calorifères à air, on peut également employer des calorifères à vapeur ou à eau chaude, ce qui peut surtout être avantageux quand on peut en profiter pour réduire le nombre des feux à conduire dans un établissement dans lequel se trouvent déjà des chaudières à vapeur.

Mais le plus souvent le chauffage à la vapeur s'utilise pour sécher les pièces en les échauffant directement. On y trouve l'avantage d'employer un procédé aussi économique, d'après les résultats obtenus jusqu'ici quant à la consommation du combustible (mais non quant à la main-d'œuvre), que les séchoirs à l'air chaud, mais surtout d'obtenir en même temps que le séchage, un apprêt dû à l'action de calandrage des cylindres chauffés à la vapeur, sur lesquels glisse l'étoffe. Nous avons donné à l'article BLANCHIMENT la description d'un appareil à cylindres pour le séchage et l'apprêt des étoffes, et à l'article PAPIER sa disposition pour le séchage du papier à mesure qu'il se fabrique sur la machine.

Nous terminerons en citant pour mémoire deux procédés employés dans les laboratoires et qui n'ont pas encore trouvé d'application dans l'industrie. L'un, le séchage par le vide, qui, d'après les expériences de M. Gay-Lussac, fournit un moyen de conservation des viandes qui, une fois desséchées, ne se gâtent plus; l'autre, le séchage par l'air mis en mouvement par une force mécanique, un ventilateur par exemple, après avoir été débarrassé de son humidité en passant à travers du chlorure de calcium ou de la chaux vive. M. Péclet pense qu'il y aurait avantage à employer la chaux pour sécher de la sorte la colle-forte qu'on ne peut sécher à chaud et qui moisit souvent dans les séchoirs à l'air libre quand l'air reste longtemps chargé d'humidité.

SEIGLE (*angl.* rye, *all.* roggen). Le seigle est, après le froment, la plus importante des céréales, et sert principalement à la fabrication du pain, soit seul, soit mélangé avec le froment. (Voyez FARINE et PAIN.)

SEL (*administration*). Depuis longtemps l'impôt sur le sel forme, pour les gouvernements, une branche très importante de revenus; la perception de cet impôt a donné lieu à un grand nombre de règlements sur l'exploitation et la surveillance des salines et marais salants. Actuellement toutes les salines sont régies en France par la loi du 17 juin 1840, dont nous allons faire connaître en quelques mots les principales dispositions :

Nulle exploitation de mines de sel, de sources ou de puits d'eau salée naturellement ou artificiellement, ne peut avoir lieu qu'en vertu d'une concession consentie par ordonnance royale délibérée en conseil d'État (art. 1er).

Les lois et règlements généraux sur les mines sont applicables aux exploitations des mines de sel. Les dispositions V et X de la loi du 21 avril 1810 (voyez MINES) seront applicables aux concessions de sel (art. 2).

Les concessions ne pourront excéder vingt kilomètres carrés s'il s'agit d'une mine de sel, et un kilomètre carré pour l'exploitation d'une source ou d'un puits d'eau salée. Dans l'un et l'autre cas, les actes de concession règleront les droits du propriétaire de la surface conformément aux articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810. Aucune redevance proportionnelle ne sera exigée au profit de l'État (art. 4).

Les concessionnaires de mines de sel, de sources ou de puits d'eau salée, seront tenus (art. 5) : 1° de faire, avant toute exploitation ou fabrication, la déclaration prescrite par l'art. 51 de la loi du 24 avril 1806; 2° d'extraire ou de fabriquer annuellement, au minimum, une quantité de cinq cent mille kilogrammes de sel, destiné à la consommation intérieure et soumis à l'impôt; toutefois, une ordonnance royale, susceptible d'être retirée, pourra, dans des circonstances particulières,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autoriser la fabrication au-dessous du minimum (ce minimum sert à diminuer les frais de surveillance et de perception de l'impôt).

Tout concessionnaire ou fabricant qui voudra cesser d'exploiter ou de fabriquer est tenu d'en faire la déclaration au moins un mois d'avance. L'exploitation ou la fabrication ne pourra être reprise qu'après un nouvel accomplissement des obligations mentionnées en l'art. 5 (art. 6).

Tout exploitant ou fabricant de sel dont les produits n'auraient pas atteint le minimum déterminé par l'art. 5, sera passible d'une amende égale au droit qui aurait été perçu sur les quantités de sel manquant pour atteindre le minimum (art. 8).

Toute contravention est punie de la confiscation des matières premières, sels fabriqués, ustensiles de fabrication, moyens de transport, d'une amende de cinq cents à cinq mille francs, et du payement du double droit sur le sel pur, mélangé ou dissous dans l'eau, transporté ou soustrait à la surveillance (art. 10).

Les dispositions ci-dessus, sauf l'obligation du minimum de fabrication, sont applicables aux établissements de produits chimiques dans lesquels il se produit en même temps du sel marin (art. 11).

Des règlements d'administration publique déterminent dans chaque cas les conditions auxquelles peuvent être autorisés l'enlèvement, le transport et l'emploi en franchise, ou avec modération de droits, du sel de toute origine, des eaux salées ou de matières salifères, à destination des exploitations agricoles ou manufacturières, et de la salaison, soit en mer, soit à terre, des poissons de toute sorte (art. 12).

La loi précitée maintient les autres lois et règlements relatifs à l'exploitation des marais salants (art. 15), qui ne peuvent être ouverts sans une autorisation spéciale du gouvernement.

Jusqu'au 1er janvier 1851, des ordonnances royales spéciales règlent : 1° l'exploitation des petites salines des côtes de la Manche; les allocations et franchises sur le sel dit *de troque*, dans les départements du Morbihan et de la Loire-Inférieure; à cette époque, ces ordonnances cesseront d'être exécutoires, et toutes les salines seront soumises aux prescriptions de la loi du 17 juin 1840.

La production des mines de sel, sources et puits d'eau salée, et des marais salants en France a été, en 1843, de 3.778.560 quintaux métriques.

L'impôt sur le sel, fixé par la loi du 28 avril 1816, est actuellement en France de 30 fr. par quintal métrique.

SEL (*angl.* salt, *all.* Kochsalz). Le sel de cuisine ou chlorure de sodium nous est fourni par trois sources différentes : les eaux de la mer, les puits et sources d'eau salée et les mines de sel gemme. Les procédés que l'on suit pour retirer le sel des eaux de la mer, ayant déjà été décrits dans ce Dictionnaire à l'article MARAIS SALANTS, il ne nous reste à parler ici que des puits et sources salées, et des mines de sel gemme.

Le *sel gemme* est souvent cristallisé ou plutôt en masses transparentes ou d'un blanc-laiteux, présentant un clivage cubique facile ; d'autres fois il est lamellaire et les lames s'entrecroisent dans tous les sens : il est alors presque toujours légèrement coloré en gris par une certaine quantité de bitume; enfin il se présente aussi à l'état fibreux, blanc ou coloré en rouge par de l'oxyde de fer, et formant ordinairement des veines, soit dans le sel lamellaire, soit dans les argiles salifères qui accompagnent les masses de sel gemme.

Le sel gemme se trouve dans le sein de la terre, tantôt en couches contemporaines au terrain dans lequel il existe, tantôt en masses ou amas de formation postérieure

Le premier genre de gisement du sel gemme se trouve exclusivement dans le terrain de *trias*, et surtout dans la formation des *marnes irisées* (voyez GÉOLOGIE). Tels sont les gisements de Vic et de Dieuze, dans le département de la Meurthe, et celui de Northwich, en Angleterre.

Le second genre de gisement, en amas postérieurs, est le plus fréquent ; ces amas se trouvent tantôt dans le lias, comme à Bex, en Suisse, tantôt dans le calcaire jurassique, comme à Ischl, Hallein, et les autres mines de sel des environs de Salzbourg, tantôt dans les terrains de craie, comme les célèbres mines de Wieliczka et de Bochnia, en Gallicie, de Cardonne, en Catalogne, et celles de l'Algérie, selon M. Fournel, tantôt même enfin dans les terrains tertiaires, comme aux environs de Burgos, en Espagne. Malgré la grande variété des terrains qui les renferment, ces gisements anormaux de sel sont caractérisés par des circonstances analogues qui sont : la présence de roches éruptives, d'amas de gypse, de dolomies, de sources thermales et bitumineuses, et fréquemment de soufre.

Les sources salées résultent de la dissolution, par des eaux d'infiltration, du sel provenant, soit de bancs de sel gemme, soit d'argiles ou de terrains qui en sont plus ou moins imprégnés. Elles se trouvent ordinairement dans les marnes bigarrées, le grès bigarré, le muschelkalk, le terrain de keuper et quelquefois dans le lias. Tantôt ces sources sortent d'elles-mêmes au jour, tantôt on les atteint en creusant des puits au fond desquels elles se rassemblent, et d'où on les extrait à l'aide de pompes. Elles sont en général inexploitables quand elles contiennent moins de 3 p. 100 de sel ; elles en renferment au plus 26 à 27 p. 100, ce qui correspond à une saturation complète. Lorsqu'une source d'eau salée, soit débouchant au jour, soit exploitée par un puits, a une très faible salure, il convient de creuser non loin de là en amont du premier puits, suivant le pendage des couches, un second puits moins profond dans lequel on installe des pompes qui servent à épuiser une partie des eaux douces d'infiltration; on augmente cet effet en poussant de part et d'autre du fonds de ce puits et suivant la direction des couches, une galerie horizontale pour recueillir, sur une plus grande étendue, les eaux douces susceptibles de diminuer la salure des eaux du puits d'exploitation ; on diminue ainsi, il est vrai, la quantité totale de l'eau qui afflue dans le puits d'eau salée, mais, d'un autre côté, on augmente notablement le degré de salure de cette eau.

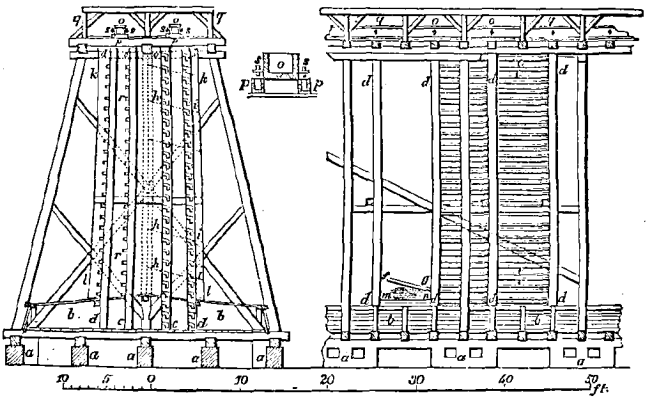
Exploitation des puits et sources d'eau salée.

Bâtiments de graduation. En général les puits et sources d'eau salée fournissent de l'eau trop peu chargée de sel pour pouvoir être immédiatement évaporée par l'action du feu. On commence par la concentrer par une évaporation spontanée à l'air libre, dans des appareils connus sous le nom de *bâtiments de graduation*, disposés de manière à offrir la plus grande surface d'évaporation possible. Autrefois on faisait couler l'eau le long d'un grand nombre de cordes verticales, ou sur des tables légèrement inclinées, alternativement les unes dans un sens et les autres en sens contraire, et placées les unes au-dessus des autres. Actuellement on se sert presque exclusivement de bâtiments de graduation à fagots d'épines, dont les fig. 2263 et 2264 (l'échelle est en pieds) représentent une coupe et une élévation : a, a, sont des piliers en maçonnerie, soutenant le réservoir $b b$, dans lequel se rendent les eaux qui ont passé sur le bâtiment de graduation; c, c, sont les montants intérieurs et d, d, les montants extérieurs, auxquels sont fixées les traverses ou lattes e, e.., qui supportent les fagots d'épines ; ceux-ci ont une longueur un peu supérieure à la distance $c d$, de manière à venir jusqu'en $k l$, et à dépasser un peu les traverses e, e, sur lesquelles on les dispose dans une direction inclinée de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'intérieur à l'extérieur, comme l'indiquent les lignes *h i*, afin de favoriser l'évaporation. L'eau arrive au sommet des bâtiments de graduation, sur les murs en fagots d'épines, par des canaux *o, o*, représentés à une plus grande échelle fig. 2265 et passe de ces canaux par les robinets *s, s*, dans les rigoles *p, p;* dans ces dernières sont pratiquées des échancrures latérales, espacées de 0m,10 à 0m,15, par lesquelles l'eau se déverse sur les fagots où elle se divise en couches excessivement minces, court d'une branche à l'autre et se trouve, pendant tout son trajet, en contact vec l'air qui circule au tra vers des fagots. La disposition que nous ve nons de décrire permet de changer le mode de distribution des eaux, en les faisant arriver sur l'un ou l'autre des murs de fagots suivant la direction du vent. Ces murs doivent d'ailleurs être alignés dans une direction normale à celle habituelle du vent dans la localité. Il va sans dire qu'au-dessus des fagots se trouve un toit en planches qui sert à les abriter contre les pluies.

2263. 2265. 2264.



On partage ordinairement la longueur des bâtiments de graduation en deux ou plusieurs sections; la première reçoit les eaux de source, la deuxième celles qui ont déjà passé sur la première et ainsi de suite. Des pompes placées dans les intervalles, et habituellement mues par des roues hydrauliques, servent à élever l'eau des réservoirs inférieurs pour la porter dans les canaux qui la déversent sur les fagots du bâtiment à la suite.

La section de chaque mur de fagots présente un trapèze dont la largeur est de 3m environ en haut et de 4m en bas, sur une hauteur de 12m, et la longueur de ces murs est de 200 à 400m.

Comme exemple de la manière dont marche la concentration, nous indiquerons les nombres suivants qui se rapportent à l'importante saline de Soodèn près d'Allendorf (Hesse) : la teneur en sel de l'eau salée sortant du puits étant de 4 p. 100, s'est trouvée, après avoir passé

sur le	1er	bâtiment de graduation, de	5,42	p. 100
—	2e	— —	7,31	—
—	3e	— —	9,78	—
—	4e	— —	12,98	—
—	5e	— —	17,02	—
—	6e	— —	22,00	—

En moyenne on peut concentrer les eaux sur les bâtiments de graduation pendant 280 à 300 jours par an, mais il n'y a guère que 200 jours pendant lesquels il soit possible de préparer des eaux assez concentrées pour être immédiatement soumises à l'évaporation sur le feu.

Dans un ensemble de bâtiments de graduation construits comme nous l'avons indiqué, on peut estimer que la quantité d'eau totale vaporisée par an et par mètre carré de surface de l'un des côtés du mur de fagots est de 8 à 10 mètres cubes, suivant que la saison est moins ou plus favorable. Sur cette quantité, il y en a 10 à 12 p. 100 entraînée par la dispersion occasionnée par les vents, et qui produit une perte proportionnelle sur le sel.

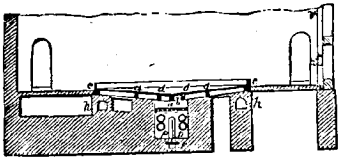
Pendant la graduation, et suivant que les eaux salées sont plus ou moins chargées de sels étrangers, moins solubles, il se forme sur les fagots un dépôt plus ou moins considérable de sulfate de chaux généralement mélangé sur les premiers bâtiments, de carbonates de chaux et de fer. La présence de ces dépôts qui finirait par obstruer les fagots, oblige à les retirer au bout d'un certain temps, pour les nettoyer ou même les remplacer si le dépôt est trop adhérent.

Évaporation dans les chaudières. Lorsque l'eau salée est arrivée sur les bâtiments de graduation à un certain degré de concentration, qui correspond à une salure de 14 à 22 p. 100, suivant le prix plus ou moins élevé du combustible, on continue l'évaporation sur le feu.

Les fig. 2266, 2267 et 2268 donnent le plan et deux coupes, longitudinale et transversale, des chaudières employées à la saline de Dürrenberg : *e f*, est la chaudière enclavée par ses bords dans le massif du fourneau, et reposant en outre par son fond sur les petits murs *d, d,..*, qui servent à répartir aussi également que possible la flamme sous la chaudière. On emploie généralement ces dispositions pour les chaudières de grandes dimensions; pour les petites chaudières on adapte un foyer circulaire central d'où la flamme s'échappe et circule dans un carneau unique disposé en forme de spirale, de manière à ce qu'elle soit le plus longtemps possible en contact avec le fond de la chaudière. La flamme se rend ensuite par les issues *g, g, g*, dans les carneaux *h, h, h*, puis de là dans d'autres carneaux *i, i, i*, placés sous des chaudières chauffées à flammes perdues, et enfin dans les rampants *k, k, k*, qui la conduisent au séchoir *k l*, d'où elle se rend aux cheminées d'appel par les carneaux *n, n, n;* en *l, l, l*, se trouvent des registres qui permettent de faire évacuer au besoin les produits de la combustion par la cheminée *m*. Une hotte *o*, placée en avant de la chauffe *a*, sert à empêcher la fumée de refluer dans l'atelier, lors d'un coup de vent ou par tout autre cause. Au-dessous de la grille se trouve un appareil à air chaud, composé de tuyaux de fonte dans lesquels l'air froid extérieur arrive par le canal *q r*, s'échauffe, passe dans les tuyaux de fonte *s*, et vient déboucher en *t, t, t, t*, dans le séchoir; *r*, est le robinet par lequel on fait arriver dans la chaudière l'eau à évaporer.

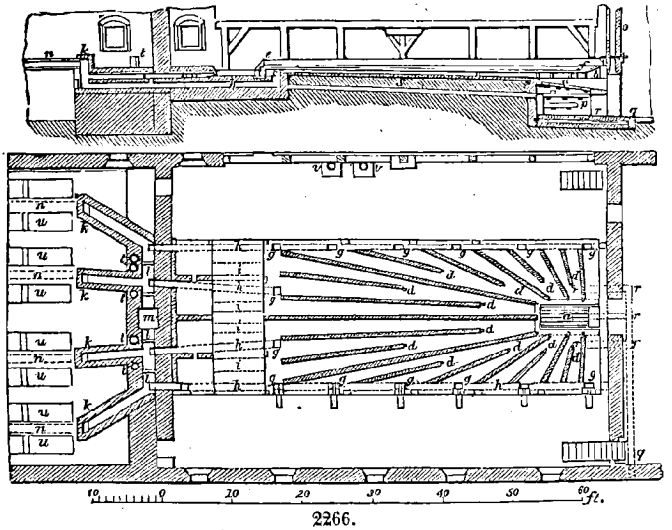
Pour accélérer l'évaporation et entraîner les vapeurs qui se dégagent hors de l'atelier, on place au dessus des chaudières des hottes en planches disposées comme l'indique la fig. 2269 : *d i e k*, sont ces hottes; elles sont composées d'une partie rectangulaire prismatique *e k*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique



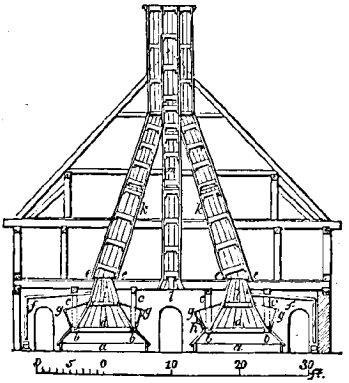
2268.

2267.



2266.

et d'une partie pyramidale *i d;* cette dernière, placée au dessus des chaudières *a*, repose sur un cadre *b b*, supporté, partie par des montants qui s'appuient sur le massif des chaudières, partie par des tirants verticaux *c, c*, solidement reliés par leur extrémité supérieure à la



2269.

charpente de l'atelier d'évaporation. *l m*, est une hotte, servant à donner issue aux vapeurs qui n'auraient pu trouver leur écoulement par les hottes placées au dessus des chaudières.

Le travail comprend deux opérations distinctes, le *schlotage* et le *salinage*, tantôt ces deux opérations se font successivement dans la même chaudière ou *poêle*, qui est en forte tôle de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, tantôt le salinage s'effectue dans une chaudière séparée, en tôle ou en pierres plates rejointoyées avec un ciment composé de chanvre haché, de chaux hydraulique en poudre et d'huile de lin, placée à la suite de la chaudière à schloter et chauffée à flammes perdues.

L'eau concentrée sur les bâtiments de graduation, et amassée dans les réservoirs d'alimentation des chaudières ou *baissoirs*, est introduite dans la chaudière à schloter, et soumise à une vive ébullition. Il se forme aussitôt une écume provenant de matières organiques enlevées et coagulées par l'ébullition; on y ajoute quelquefois un peu de sang de bœuf fouetté dans l'eau froide, pour faciliter la séparation de ces matières. Comme l'eau salée est alors ordinairement saturée de sulfate de chaux, il ne tarde pas à se former un abondant dépôt de *schlot*, sulfate double de chaux et de soude qui se sépare de la liqueur, en entraînant avec lui un peu de sel; on l'enlève avec de longs râbles et on le dépose dans des nuguets carrés en tôle percée où il s'égoutte. Au bout de 15 ou 20 heures de feu, le sel commence à se déposer lui-même. On ajoute alors de nouvelle eau provenant des baissoirs, de manière à rétablir le niveau de l'eau qui s'était abaissé par l'évaporation, et l'on schlote encore pendant 8 à 10 heures, jusqu'à ce que la chaudière soit pleine d'eau bonne à saliner.

On procède alors au salinage soit dans la chaudière même où s'est effectué le schlotage, soit dans une chaudière à la suite; lorsque la température est très modérée, le sel cristallise en trémies; d'autres fois, on en trouble la précipitation en poussant plus ou moins rapidement le feu suivant que l'on veut obtenir le sel en grains plus ou moins fins selon les exigences des consommateurs; aussi voit-on la production varier du simple au décuple par mètre carré de surface de la chaudière, suivant la nature ou plutôt la forme du sel à produire; dans tous les cas, on sépare d'abord un peu d'écume qui se forme, puis on ramasse le sel à l'aide d'une grande écumoire, et on l'égoutte dans des trémies ou des paniers placés au-dessus des chaudières; on le transporte ensuite au séchoir, sorte d'étuve à air chaud, où il achève de se dessécher.

D'après des analyses nombreuses sur des échantillons pris à toutes les époques importantes de l'opération du salinage en chaudières, M. Berthier résume ainsi les préceptes et la théorie de cette opération.

Il faut *schloter à grand feu* pour déterminer la formation du schlot, et par suite la séparation d'une grande quantité de sulfate de soude. Après le schlotage, il est utile de saliner à petit feu pour éviter que le sulfate de magnésie et le chlorure de magnésium ne cristallisent avec le sel marin. Au commencement du salinage, il se dépose peu de sulfate de soude, la quantité en augmente lentement, et tout ce sel est déposé avant la fin

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'évaporation ; le dernier sel obtenu ne contient que du sulfate de magnésie.

Le salinage dure ordinairement plusieurs jours ; on est obligé de l'arrêter lorsque le sel devient impur ; on retire alors les eaux-mères dans lesquelles se sont concentrés les sels étrangers contenus dans toute la cuite, et on les met à part. Ces eaux-mères sont épaisses, visqueuses et odorantes ; elles renferment beaucoup de chlorures de magnésium et de sodium et de sulfate de magnésie ; elles contiennent souvent, en outre, des iodure et brumure de magnésium que l'on en retire dans quelques usines, pour les besoins du commerce. Généralement on tire parti de ces eaux-mères, en les mettant dans un réservoir où elles passent l'hiver ; comme le sulfate de magnésie réagit à une basse température sur le chlorure de sodium ou sel marin, en donnant naissance à du chlorure de magnésium et à du sulfate de soude, il se forme dans ces circonstances un dépôt de sulfate de soude presque pur, et que l'on purifie au besoin avant de le livrer au commerce.

La présence du chlorure de magnésium dans les eaux-mères ou plutôt dans les eaux salées est la cause d'une grande perte en sel dans les eaux-mères, et donne en outre, surtout à la fin de chaque cuite, des sels d'un goût désagréable et déliquescent. C'était une grande amélioration à introduire que de parvenir à s'en débarrasser à peu de frais ; M. Berthier y est parvenu par l'application aussi simple qu'ingénieuse de deux réactions chimiques observées pour la première fois par Grenn, et qui consistent : 1° en ce que la chaux décompose le chlorure de magnésium, en formant du chlorure de calcium et de la magnésie ; 2° en ce que le sulfate de soude et le chlorure de calcium se décomposent mutuellement, et donnent du sel marin et du sulfate de chaux. Or, dans presque toutes les sources d'eau salée il existe du sulfate de soude et du chlorure de magnésium, mais en général le premier de ces sels y est en excès ; si donc l'on ajoute à l'eau salée, avant le schlotage, assez de chaux pour décomposer le chlorure de magnésium, il se formera un dépôt de magnésie et une quantité correspondante de chlorure de calcium qui réagira à son tour sur le sulfate de soude, pour former du sel marin et du sulfate de chaux ; il restera donc un mélange de sulfate de soude, de sel marin et de sulfate de chaux, et, après le schlotage, on pourra saliner sans qu'il reste sensiblement d'eau-mère. Quand on aura à sa disposition d'anciennes eaux-mères, qui sont, comme nous l'avons dit, très-riches en chlorure de magnésium, on pourra s'en servir pour ajouter à l'eau salée le chlorure de magnésium nécessaire à l'entière décomposition du sulfate de soude ; alors, après le schlotage, une évaporation brusque donnera du sel d'une pureté remarquable.

Pendant l'évaporation du sel, il s'attache au fond des *poêles* un peu de schlot que l'on est obligé d'enlever à coups de marteau au bout de douze à quinze cuites ; on conçoit que sa formation est très-fâcheuse, en ce que les chaudières conduisent moins bien la chaleur et qu'on les détériore pour le détacher. Ce dépôt est désigné sous le nom d'*écailles*, en raison de la forme de ses fragments lorsqu'il est enlevé au ciseau.

A Moutiers, en Savoie, pour remplacer en été l'évaporation par le feu, on se sert d'un bâtiment de graduation à cordes, au moyen duquel on obtient directement du sel cristallisé. Ce bâtiment a 90 mètres de longueur, dont 70 sont garnis de cordes ; au sommet du bâtiment sont placés des canaux de 13 centimètres de large, espacés entre eux de 13 centimètres. Des cordes sans fin passent dans des trous percés dans ces canaux et sont maintenues par des solives au bas du bâtiment ; elles ont 7 à 8 millimètres de diamètre. Il y a vingt-quatre fermes dans l'intervalle desquelles se trouvent douze canaux, et ceux-ci portent vingt-trois cordes chacun, ce qui fait quarante-six longueurs de cordes pour chaque canal ; chaque corde ayant 8 mètres 1/4 de longueur, on voit qu'il a fallu près de 100,000 mètres de cordes pour construire le bâtiment. L'eau est élevée par une *noria* dont les seaux la versent dans un canal qui règne dans toute la longueur du bâtiment ; celui-ci la distribue dans des canaux qui se trouvent entre chaque ferme, et de là elle passe dans des canaux qui supportent les cordes, et qui sont munis d'échancrures par lesquelles l'eau coule sur les cordes.

En été on amène l'eau saturée bouillante sur ces cordes, on l'y fait passer plusieurs fois et le sel marin s'y dépose ; quand l'eau devient visqueuse et épaisse, on la conduit au réservoir des eaux-mères. Le sel cristallise sur ces cordes qui se recouvrent ainsi d'une couche de plus en plus épaisse ; lorsqu'elles ont acquis près de 6 centimètres de diamètre, on les décharge en brisant le sel ; celui-ci tombe sur le sol du bâtiment où on le ramasse.

Le salinage d'une cuite, qui durerait cinq à six jours dans les chambres, se fait en dix-sept heures sur ce bâtiment. Le sel est plus pur, mais les eaux-mères sont plus abondantes.

Dans le bâtiment on obtient deux espèces de sel : le premier se forme dans les bassins quand l'eau y séjourne quelque temps, avant d'être élevée sur le bâtiment ; il est en gros cristaux très-blancs ; le second et le plus abondant se produit sur les cordes mêmes. Ces sels sont d'une pureté remarquable. Voici leur composition :

	Sel des bassins.	Sel des cordes.
Sulfate de magnésie. . .	0,40	0,58
— de soude. . . .	0,75	2,00
Chlorure de magnésium..	0,18	0,35
Sel marin.	98,67	97,17
	100,00	100,00

On livre rarement au commerce du sel marin aussi pur ; toutefois ce procédé, plus dispendieux de premier établissement, d'usé et de main-d'œuvre, n'a été adopté qu'à Moutiers ; partout ailleurs on a préféré le salinage en chaudières que nous avons décrit.

Exploitation du sel gemme.

Le sel gemme s'exploite de deux manières essentiellement différentes, soit à l'état solide, par puits et galeries, absolument de la même manière que les autres substances minérales en couches (voyez MINES et HOUILLE), soit à l'état liquide, par dissolution.

Le sel gemme extrait par *puits et galeries* (Northwich, Dieuze, Cardonne, Wieliczka, Bochnia, etc.) est immédiatement livré au commerce, soit en blocs, soit après avoir subi un écrasage ou *égrugeage* préalable, lorsqu'il est suffisamment blanc ; dans le cas contraire, et bien qu'il soit encore souvent plus pur que le sel raffiné provenant de l'exploitation des puits et sources d'eau salée ou des marais salants, on le dissout dans de l'eau, de manière à obtenir une solution concentrée à froid, que l'on fait ensuite cristalliser absolument de la même manière que les eaux salées concentrées sur des bâtiments de graduation, à cette différence près que la solution saline étant plus concentrée, le schlotage marche beaucoup plus rapidement. Lorsque l'on a des sources un peu salées à sa disposition, cas qui se présente assez fréquemment (à Dieuze, par exemple), on emploie ces eaux pour opérer la dissolution du sel gemme à raffiner, ou plutôt on les sature en y ajoutant du sel gemme impur ; on décante, et on procède à l'évaporation comme à l'ordinaire.

L'exploitation des bancs de sel gemme par *dissolution* se fait de deux manières différentes :

Dans le premier procédé, qui est surtout usité dans les mines du pays de Salzbourg et quelques mines de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Souabe, on divise l'intérieur de la mine en un certain nombre de compartiments ou *chambres de dissolution*, dans chacune desquelles on fait arriver des eaux douces. Ces eaux, au fur et à mesure qu'elles se chargent de sel tombent au fond ; on les en retire ordinairement à l'aide d'un siphon qui, une fois amorcé, a un jeu continu. L'orifice de la branche descendante du siphon doit être plongé dans une petite cuvette et constamment recouvert d'eau : on a soin de faire arriver un peu plus d'eau douce que le siphon ne débite d'eau salée, de telle sorte que l'écoulement est continu, tandis qu'on arrête de temps en temps l'arrivée des eaux douces ; il est essentiel de régler l'affluence des eaux douces et l'orifice d'écoulement, de manière que les eaux aient le temps de se saturer complétement. Les eaux saturées de sel sont conduites dans un puisard, d'où on les élève au jour au moyen de pompes ; on les soumet ensuite à l'évaporation comme à l'ordinaire.

Dans le second procédé, usité dans presque toutes les salines de la Souabe, on atteint le gite salifère au moyen d'un trou de sonde (voyez SONDAGE) d'assez forte dimension, dans lequel on installe une pompe élévatoire à piston creux. Les eaux douces des nappes rencontrées dans les couches supérieures des bancs de sel, ou celles qu'on amène au besoin de la surface par l'orifice du trou, dans l'espace annulaire compris entre les parois du trou et les tuyaux d'ascension de la pompe, se chargent peu à peu de sel qu'elles dissolvent en circulant dans les bancs de sel, d'argile ou de gypse salifères ; en raison de leur accroissement de densité, elles tombent au fur et à mesure au fond du trou de sonde, d'où elles sont élevées au jour par la pompe. Dans l'origine, le degré de salure est très-faible, parce que les eaux douces ne font, pour ainsi dire, que lécher les parois du trou de sonde, et restent très-peu de temps dans le trou ; mais bientôt l'enlèvement du sel par dissolution donne lieu à des cavités souterraines qui vont constamment en s'agrandissant, et forment un réservoir d'eau salée, qui reçoit les eaux douces à sa partie supérieure, et verse par le bas, dans le tuyau aspirateur de la pompe, des eaux chargées d'une quantité de sel, croissante avec sa capacité et l'étendue de ses parois solubles. Les vides immenses, résultant de ce mode d'exploitation, s'étendent surtout dans le sens horizontal et ne produisent pas d'affaissement à la surface du sol, parce que leurs parois sont efficacement maintenues par la pression considérable des eaux, dont ils sont complétement remplis. Il se fait quelquefois des éboulements sur une partie de la hauteur du trou, surtout vers le toit de la masse salifère ; il faut alors retirer la pompe, puis forer de nouveau avec la sonde dans l'éboulement.

Les eaux salées amenées au jour sont évaporées sur le feu de la même manière que celles provenant des bâtiments de graduation.

Voir pour le complément de cet article le mot MARAIS SALANTS. P. DEBETTE.

SEL AMMONIAC. Voyez CHLORURE, *hydrochlorate d'ammoniaque*.

SEL GEMME. Voyez SEL.

SEL MARIN. Voyez SEL.

SELS. On donne généralement le nom de *sels* à des composés résultant de la combinaison des acides avec les bases ; on étend ainsi cette dénomination à un grand nombre de composés, qui, dissous dans l'eau, se comportent comme des sels. On distingue ordinairement cette classe de sels sous le nom de *sels haloïdes*. On devrait plutôt regarder ces compssés binaires anhydres comme analogues aux composés binaires formés par l'oxygène, et leurs combinaisons avec l'eau, ou entre eux, comme des sels analogues aux hydrates ou aux sels proprement dits.

Les sels sont solubles ou insolubles. Généralement les sels solubles le sont plus à chaud qu'à froid ; cependant il y a des exceptions : le sulfate de soude, par exemple, est plus soluble à 60° qu'à 100°, et le sel marin l'est à peine davantage à chaud qu'à froid. En se dissolvant dans l'eau, les sels en retardent le point d'ébullition, comme le montre le tableau rapporté à l'article ÉBULLITION : tantôt cette dissolution produit une élévation de température, comme dans le cas du chlorure de calcium fondu ; tantôt elle donne lieu à une production de froid, surtout lorsqu'on emploie l'eau à l'état de glace pilée ou de neige. On profite fréquemment de cette propriété pour produire du froid. (Voyez CONGÉLATION.)

Les sels sont anhydres ou hydratés ; leur degré d'hydratation varie avec les circonstances dans lesquelles ils se sont formés. Lorsqu'on soumet les sels hydratés à l'action de la chaleur, ils fondent souvent dans leur eau de cristallisation, ce qu'on désigne en disant qu'ils éprouvent la *fusion aqueuse ;* lorsque toute l'eau a été chassée, ils peuvent fondre de nouveau et éprouver une *fusion ignée*. Certains sels, renfermant entre leurs lamelles de l'eau, *décrépitent* par l'action de la chaleur, qui détermine le passage de l'eau interposée à l'état de vapeur, dont la tension surmontant la cohésion moléculaire du sel, le brise en fragments qu'elle projette au loin. Certains sels sont volatils, d'autres fusibles, comme nous venons de le dire, d'autres infusibles ; il en est enfin un grand nombre qui sont décomposés par l'action de la chaleur.

Certains sels sont *déliquescents*, c'est-à-dire se liquéfient en attirant l'humidité de l'air atmosphérique : tels sont, par exemple, la plupart des sels de potasse et le chlorure de calcium ; d'autres sels, au contraire, tels que la plupart des sels de soude, sont *efflorescents*, c'est-à-dire qu'exposés à l'air libre, ils perdent peu à peu une partie de l'eau de cristallisation qu'ils renferment, ils s'effleurissent, se délitent et se réduisent en une poudre dont le volume est plus considérable que celui du sel employé.

Les sels se préparent soit directement, soit par voie de double décomposition, en suivant l'une des lois suivantes, découvertes par Berthelot : il y a toujours double décomposition lorsque les deux sels solubles que l'on mélange sont susceptibles de produire, par leur décomposition réciproque, un sel soluble et un sel insoluble, ou un sel plus soluble et un sel moins soluble que les deux premiers ; il en est de même, à une température élevée, quand il peut se former un sel fixe et un sel plus volatif que les deux premiers : ainsi, en chauffant un mélange d'hydrochlorate d'ammoniaque et de carbonate de chaux, il se volatilise du carbonate d'ammoniaque, et il reste du chlorure de calcium.

On donne le nom de *sels neutres* aux sels formés d'un équivalent d'acide et d'un équivalent de base (voyez ATOMES) ; ces sels sont le plus souvent sans réaction sur les réactifs qui décèlent la présence des acides et des bases, le papier de tournesol bleu ou rougi par les acides. Les sels acides et les sels basiques sont ceux qui renferment plus d'acide ou de base que les sels neutres correspondants.

SELS DE VARECH. Voyez SOUDE.

SÉLENIUM. Corps simple métalloïde, ayant beaucoup d'analogie avec le soufre, découvert par Berzélius en 1817. Il se trouve en certaine quantité dans beaucoup de soufres du commerce ; on le rencontre également quelquefois en combinaison avec le plomb, le bismuth, etc. ; fondu et refroidi lentement, il paraît d'abord d'un gris bleuâtre, brillant, puis devient d'un brun rougeâtre à éclat métalloïde, lorsqu'il est complétement refroidi ; en poudre, il est d'un rouge foncé : sa densité est de 4,30. Il fond un peu au-dessus de 100° en donnant en vase clos des vapeurs jaunes, qui sont d'un rouge vif à l'air. Il n'est d'aucun emploi dans les arts.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SEMOULE. Voyez AMIDON.

SÉPIA. La sépia est une couleur brune secrétée par les *seiches*, mollusques marins que l'on trouve en abondance sur nos côtes. On fait d'abord sécher aussi rapidement que possible le sac qui la renferme ; puis on broie la matière desséchée avec un peu de potasse caustique en dissolution; on ajoute une nouvelle quantité d'alcali; on fait bouillir pendant une heure et on filtre. La sépia, composée en presque totalité de carbone à un état de division très-grand, se dissout ; on filtre, on sature l'alcali par un acide ; la sépia se précipite alors parfaitement purifiée; on la lave à grande eau, et on la fait rapidement sécher.

SERPENTINE. Sorte de roche verte de la famille des granits. (Voyez GÉOLOGIE.)

SERRURERIE. La serrurerie comprend la fabrication des ouvrages en fer forgé qui s'emploient dans les constructions, les mécaniques, etc., etc., autres que ceux qui constituent la CONSTRUCTION DES MACHINES proprement dite.

Nous diviserons cet article en deux parties : dans la première nous parlerons des matières premières, nous étudierons les principaux outils du serrurier et les préparations diverses qu'il fait subir aux matières premières qu'il emploie, pour les convertir en pièces de serrurerie; dans la seconde nous nous occuperons de la serrurerie proprement dite, c'est-à-dire de la fabrication et de la fourniture des diverses pièces de la serrurerie.

Nous subdiviserons cette seconde partie en trois sections qui forment trois professions à part, qui sont : 1° le *serrurier en bâtiments;* 2° le *serrurier charron;* 3° le *serrurier mécanicien*. Le premier fait tous les ouvrages en fer forgé qui s'emploient dans les bâtiments; le second fait ceux qui servent au ferrage des voitures; le troisième, enfin, exécute, d'après des dessins, toutes les pièces en fer forgé qui entrent dans la composition des machines.

Ces trois classes de serruriers, bien que s'occupant de la fabrication d'objets différents, rentrent cependant l'une dans l'autre; ainsi les serruriers en bâtiments travaillent dans les ateliers des serruriers charrons et réciproquement. Cependant les *forgerons charrons* et les *tourneurs* travaillent exclusivement : les premiers, chez les serruriers charrons, les seconds, chez les serruriers mécaniciens.

PREMIÈRE PARTIE.

Les matières premières que le serrurier emploie sont le fer, l'acier, le cuivre, le laiton, la houille, le charbon de bois et quelquefois le coke. Ces substances ont été traitées avec tous les détails nécessaires aux articles FER, ACIER, CUIVRE, LAITON, COMBUSTIBLES, etc., nous n'y reviendrons donc pas ici. Nous rappelons seulement qu'avant d'employer telle ou telle qualité de fer, le serrurier doit toujours faire attention aux fonctions que ce fer doit remplir. S'il doit supporter des fardeaux et résister à des pressions, il emploiera du fer fort et dur. Si, au contraire, il doit résister à des efforts de traction, il emploiera du fer doux.

Un morceau de fer, avant d'être changé en une pièce de serrurerie quelconque, subit deux sortes d'élaborations. On commence par lui donner grossièrement la forme qu'il doit avoir, c'est ce qui constitue le *travail de la forge*. Une fois que la pièce est ébauchée, on la finit en la limant, la taraudant, la perçant, etc.; c'est le *travail de l'établi*. Toutes les pièces de serrurerie ne passent pas à l'établi. Il en est un grand nombre qui s'emploient telles qu'elles sortent des mains des forgerons.

Chez les petits serruriers, la forge et l'établi sont situés dans une même pièce. L'établi se trouve dans l'endroit le plus éclairé; la forge, au contraire, se place dans l'endroit le plus obscur afin de mieux juger des couleurs du fer que l'on chauffe. Chez les grands serruriers, la forge et tout ce qui en dépend se trouve dans une pièce généralement au rez-de-chaussée, et l'établi est au-dessus dans une pièce séparée.

Les outils que le serrurier emploie se divisent également en deux classes : 1° les outils de la forge; 2° les outils de l'établi. Les outils de la forge sont : la forge et ses soufflets, les enclumes, les pinces, les broches, les marteaux de toutes grandeurs, les tenailles, les tisonniers, les chasses rondes, carrées et à biseau, les mandrins, les étampes, les tranches, les perçoirs, les tranchets, le casse-fer à froid. Les outils de l'établi sont : les étaux de toutes formes et de toutes grandeurs, les ciseaux, les burins, les mandrins, les filières et tarauds, les machines à forer et leurs forets, les fraises, les trépans, les mèches, les tours, les limes, etc., etc. La plupart de ces outils ont été décrits dans divers articles de ce Dictionnaire, nous compléterons seulement ici ce qu'il y a à dire sur quelques-uns d'entre eux.

La forge du serrurier se compose de la *paillasse*, du *contre-cœur*, qui porte la *tuyère*, de la *hotte* et du *soufflet*. Elle se place d'habitude contre le mur du fond de l'atelier dans lequel sont scellées les barres de fer qui portent la paillasse. Le soufflet se place aussi haut que possible, afin de ménager l'espace et de passer librement au-dessous sans gêner le service. Autrefois les contre-cœur se faisaient en briques; aujourd'hui on remplace la maçonnerie en briques par une plaque de fonte dans laquelle on perce un trou qui laisse passer la tuyère. Cette plaque en fonte dure deux fois plus longtemps que les briques ; on a en outre reconnu que cette disposition économisait du combustible.

Le soufflet généralement employé est un soufflet à deux vents. Il présente cependant de nombreux inconvénients, mais a l'avantage de la simplicité et du bon marché. Il occupe beaucoup de place relativement à l'effet qu'il produit et ne produit pas un vent continu. Le soufflet à trois vents de Rabier est bien préférable ; il donne un vent plus fort, plus continu, et, à force égale, sa grandeur est moitié de celle du précédent (voyez *Collect. des brevets*, tom. II, page 12).

Nous conseillerons aussi aux serruriers l'emploi des *régulateurs* ou *ventimètres*, instruments très-simples, qui permettent de régler la force du vent et d'obtenir à volonté et après de longs espaces de temps exactement la même quantité d'air qui une fois a bien réussi pour une opération.

Le forgeage et le soudage s'exécutent toujours à chaud. On reconnaît aux caractères suivants que le fer est chauffé au point voulu pour être soudé : 1° quand, en faisant agir le soufflet, il sortira du feu de petites étincelles brillantes, qui ne sont autre chose que des parcelles de fer incandescentes détachées de la pièce par la force du vent; 2° quand, en examinant le morceau de fer, on verra que sa surface paraît être couverte d'une couche liquide qui se remue en tous sens, propriété qui a fait donner le nom de *chaude suante* au degré de chaleur auquel il faut élever le fer pour qu'il puisse se souder ; 3° enfin quand le fer, étant retiré du feu, projette de tous côtés des étincelles brillantes. A cet état on le porte sur l'enclume où on le frappe à petits coups, se succédant avec une grande rapidité, pour lui donner du corps; quand il a acquis plus de solidité, on donne des coups plus forts pour lui faire prendre la forme à laquelle on veut l'amener.

Pour souder deux barres de fer, on prépare leurs extrémités de diverses manières. Pour la soudure à simple amorce, les bouts sont préparés en bec de flûte, après les avoir un peu refoulés pour fournir à la perte de la matière par le feu. A cet état on leur donne une chaude suante. Le forgeron et son aide enlèvent chacun une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des pièces qu'ils agitent dans l'air pour faire tomber le charbon. Le frappeur présente sa pièce sur l'enclume et le forgeron pose la sienne dessus. Celui-ci donne quelques coups de marteau à main pour coller les deux pièces ; puis frappeur et forgeron frappent dessus jusqu'à ce que le soudage soit achevé. Le frappeur doit avoir bien soin de frapper exactement où le forgeron frappe, de diriger son coup comme lui et dans le même sens ; enfin il doit mesurer la force de son coup sur celle du forgeron, qui tourne, retourne et promène la pièce sur l'enclume. Si le fer est de mauvaise qualité, il est difficile à souder; on prépare les deux bouts en fourchettes, on fait croiser les branches, on resserre les parties sur l'enclume et l'on chauffe ensemble les deux pièces jusqu'au point voulu pour le soudage.

Le travail du forgeron qui supprime ou au moins réduit au minimum les façons qui doivent le suivre, en raison de ce que son habileté lui a permis d'obtenir la forme définitive du fer qu'il a pétri avec son marteau, est de la plus grande importance, et on doit admirer l'adresse des ouvriers hors ligne qui acquièrent dans les ateliers une juste notoriété.

Nous empruntons à Paulin Désormeaux quelques utiles conseils sur la conduite du feu.

C'est l'œil qui guide et fait juger quand la pièce est assez chaude : quand la flamme devient trop blanche, et qu'il jaillit des étincelles brillantes, le fer est très-chaud. Il faut veiller alors à ne le point grésiller; à ce degré de chaleur, il commence à brûler. Un fer rouverain ou aciéreux ne saurait supporter ce degré de chaleur sans s'altérer plus ou moins; un fer doux supportera plus facilement la chaleur; mais ce degré de chaleur, qu'on nomme *chaleur suante*, nécessaire pour souder, ne l'est point pour que le fer puisse être forgé; la chaleur rouge-clair suffit pour cette opération.

Pour que le vent se répande bien en divergeant, il faut avoir soin de dégager de temps en temps l'orifice de la tuyère à l'aide d'un tisonnier, veiller à ce qu'un gros morceau de charbon ne se trouve pas devant le trou, et ne puisse recevoir seul l'action du vent. Le trou de la tuyère se trouvant élevé de deux centimètres environ au-dessus de l'aire de la forge, qu'on nomme la *paillasse*, il faut avoir soin que le mâchefer et le fraisil ne remplissent pas le dessous de la tuyère. D'une autre part, pour que la chaleur soit très-intense, on ramassa le charbon en masse au-dessus du fer, on le tasse ; on y jette de l'eau afin qu'il fasse une espèce de calotte au-dessus. S'il se forme un conduit, une échappée, par laquelle le vent et la flamme se frayent un passage, il faut les boucher avec du charbon afin de concentrer l'action. Lorsqu'on met le fer au feu, il ne faut point qu'il soit placé devant le trou de la tuyère, ni qu'il reçoive l'action directe du vent; il chaufferait lentement et s'oxiderait beaucoup. Il faut que le vent passe au-dessous, et chasse la flamme sur le fer. On doit remuer le fer de temps en temps, afin que le charbon ne s'attache pas après ; un morceau de charbon qui se soude sur le fer peut le brûler dans cet endroit, tandis que d'ailleurs il n'est pas assez chaud pour être retiré du feu. A mesure que la chaude avance, il faut conduire le vent plus ou moins fort, suivant le degré auquel elle est parvenue; si on voit que l'action languit, il faut remettre un peu de charbon, mouiller de nouveau, reformer sa calotte et souffler vivement. En général, il faut beaucoup de tact et d'habitude pour évaluer de suite ce qu'il faudra de charbon pour la chaude entière. Si on ménage le charbon, le fer chauffera lentement et s'oxidera; pour avoir une *chaude grasse*, il faut mettre du charbon plutôt avec un peu d'excès qu'avec parcimonie. Cependant, il ne faut pas beaucoup dépasser le nécessaire, car, à la chaude suivante, ce charbon à demi brûlé ralentirait l'activité de feu. Il est bon de conserver le fraisil sur la forge, afin de circonscrire l'action du feu; mais il faut avoir soin d'extraire de ce fraisil le mâchefer qui ne doit jamais rentrer dans le feu.

Lorsque le fer est chaud, et qu'il s'agit de le retirer du feu pour le porter sur l'enclume, on doit l'enlever lestement sans le faire toucher au fraisil qui pourrait s'y attacher. Avant de le poser sur la table de l'enclume, on le cogne un peu contre le revers de cette enclume, ou bien on le frotte avec l'angle du marteau, afin de faire tomber les crasses, pailles ou battitures dont il peut être recouvert, et qui, étant frappées sur le fer, s'y incorporeraient et en altéreraient la qualité.

Il y a des pièces fort difficiles à enlever de forge, et, sans une grande expérience, il est très-difficile de savoir comment le forgeron s'y est pris pour les exécuter : souvent il a été contraint de refouler, de ramener son fer, d'employer des étampes, des mandrins, des calibres, etc. Il y a là bien des tours de main qui exigeraient des détails infinis, qui ne pourraient jamais remplacer le moindre apprentissage, et c'est avec grande raison que l'on a pris dans cette industrie le proverbe si sage et si souvent applicable : *c'est en forgeant qu'on devient forgeron.*

Nous avons déjà dit que bien des pièces de serrurerie s'emploient telles qu'elles sortent des mains du forgeron; d'autres au contraire doivent être finies par d'autres façons; il faut les limer, les tarauder, etc., etc. Parlons donc du travail de l'établi.

La pièce doit avant tout être solidement maintenue sur l'établi, pour qu'on puisse agir sur elle, ce qui s'obtient au moyen de l'étau, entre les mâchoires duquel on la serre au moyen de sa vis à filets peu inclinés. (Voy. ÉTAU.)

Pour polir une pièce, on commence par la dégrossir avec les limes. On emploie d'abord le carreau, on continue avec une carrelette et, quand la pièce est tout à fait dégrossie, que sa forme est fixée, on finit avec des limes de plus en plus douces dont le but est de faire disparaître les traces les unes des autres.

Après le marteau, l'outil par excellence du forgeron, le principal outil du serrurier est la lime. C'est en enlevant avec celle-ci les excédants de matière, que l'ajusteur arrive à donner à une pièce forgée les dimensions voulues. Nous parlons ici des petites pièces de serrurerie; car, pour les grandes pièces des machines, on arrive au moyen des machines à raboter, à mortaiser, des tours, etc. (voyez MACHINES-OUTILS), bien plus promptement et bien plus économiquement à obtenir la forme voulue.

Le grand art du limeur est de savoir produire des surfaces parfaitement planes. Il ne faut pas conduire la lime droit devant soi, mais l'obliquer de droite à gauche, puis de gauche à droite en recoupant les tailles; par ce moyen la lime acquiert plus de mordant et ne broute pas sur le fer. Il ne faut pas plus appuyer de la main qui guide le bout de la lime que sur celle qui tient la poignée, car alors, au lieu de produire une surface plane, on en produit une inclinée du côté où on a le plus appuyé. Pour limer en arrondissant, lorsque la pièce n'est pas trop grande, on la prend de la main gauche, et si elle est courte, on la saisit dans un étau à main, et on la lime de la main droite, le fer appuyé sur un bois pris dans l'étau.

Quand on a à former des ornements sur le fer et qu'on veut économiser du temps et de la main-d'œuvre, on emploie des *étampes simples* ou *doubles*. Ces étampes sont faites avec un ou deux morceaux d'acier dans lesquels on creuse la moitié de la forme des ornements que l'on veut donner au fer que l'on moule ainsi, pendant qu'il est rendu malléable par la chaleur. On fait chauffer le fer comme d'habitude; lorsqu'il est chaud on le porte sur l'enclume, on applique l'étampe dessus, puis frappant sur l'étampe à coups de marteau, on fait prendre au fer la forme qu'on désire.

Si ce sont des ornements qu'on veut découper, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commence par les dessiner sur une feuille de tôle, qu'on évide et qu'on applique, après un véritable emboutissage quelquefois, sur la pièce de fer qui doit porter ces dessins; on les termine avec des ciseaux et de petites limes. On finit ensuite l'ouvrage en le polissant, comme nous l'avons dit plus haut.

Nous allons donner, d'après l'*Encyclopédie*, le détail de la manière de procéder dans ce travail des *releveurs de fer*, dont l'industrie oubliée vient d'être reprise de nos jours :

Les étampes si commodes pour former des moulures sur de gros fer, et même pour commencer des ouvrages plus délicats, comme sont les feuilles d'eau, les étampes si utiles en bien des circonstances, ne sont pas propres à faire de grands morceaux d'ornements; elles ne sont bonnes que pour imprimer des moulures sur des pièces massives, ou pour mouler quelques espèces de petites feuilles, encore laissent-elles beaucoup de choses à faire à l'adresse du *serrurier*.

Les ornements les plus légers, qui, quoique minces, ont beaucoup de relief et d'étendue, se font ordinairement de plusieurs morceaux. Par exemple, le rinceau est composé de trois fleurons. On commence ces fleurons au marteau sur des espèces de tas ou tasseaux; c'est ce qu'on appelle *des ornements faits au marteau*.

Le tasseau est une petite enclume qui soutient la pièce pendant qu'on la relève en bosse avec le marteau : c'est de cette façon qu'on fait les plus grands morceaux dont les parties doivent être détachées et ouvertes, c'est-à-dire dont différentes feuilles doivent être sur différents plans.

C'est à quoi servent beaucoup les rapports de différents fleurons, ce que l'on concevra aisément en faisant attention que le rinceau est composé de trois fleurons. Ainsi trois morceaux de tôle découpés et travaillés n'ont plus besoin que d'être assemblés pour faire le fleuron.

Presque tous les ornements de serrurerie sont relevés au marteau. Cependant les ouvrages faits sur le plomb sont mieux finis ; les côtes, les nervures, et les autres parties délicates des feuilles et des fleurons sont mieux représentées : de sorte qu'on fait au marteau les parties d'ornements qui doivent être vues de loin : il serait inutile d'y mettre un grand fini, on ne l'apercevrait pas; mais on travaillera sur le plomb les ornements qu'on doit voir de près, et dont on peut considérer tous les détails, si on ne les fait pas en fonte de cuivre, ce qui épargne de la peine et est meilleur, parce que les fleurons relevés étant fort minces, ils sont souvent rompus lorsqu'on les met à portée de la main.

On ne peut guère se dispenser de travailler sur le plomb les armoiries et les supports, qui quelquefois représentent des hommes et des animaux, lorsqu'on veut qu'ils soient très-finis.

Tous ces ornements se font avec de la tôle, et on a grande attention de choisir la plus douce possible.

L'ouvrier la prend plus ou moins épaisse, suivant qu'il se propose de lui donner plus de relief ce qui exige qu'il l'étende davantage; mais communément il préfère la mince, parce qu'elle est moins chère et plus aisée à travailler.

Quoique la bonne tôle soit assez ductile, cependant elle ne l'est pas autant que l'argent et le cuivre : il faut que l'ouvrier la travaille avec plus de ménagement; et comme elle se durcit et s'écrouit sous le marteau, il faut de temps en temps lui donner des recuits; car tous les ouvrages relevés sur le tas se travaillent à froid : cependant si l'on avait une grande quantité de petits fleurons à faire qui eussent tous la même forme, je croirais possible de les avancer beaucoup à l'étampe.

Pour cela il faudrait avoir deux plaques d'acier, une desquelles porterait le dessin en creux, et l'autre en relief; on mettrait entre ces deux plaques la tôle rougie au feu, et au moyen d'un coup violent, tel que celui que donne le balancier des médailles, le fleuron serait imprimé, et il ne serait plus question que de contourner les différentes parties suivant l'intention du dessin.

Nous avons déjà dit que les dessins de serrurerie se font de la grandeur que doit avoir l'ouvrage, et qu'on n'y trace que les traits sans ombres.

On pousse le dessin des ornements sur un papier qu'on découpe en suivant tous les traits, et on colle le papier sur la feuille de tôle qu'on veut travailler (figure 1).

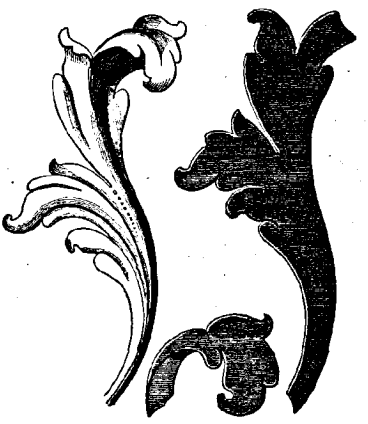


Fig. 2. Fig. 1.

Le contour étant ainsi marqué, le *serrurier* le suit avec un ciseau à froid, et il découpe la tôle comme l'a été le papier qu'il a collé dessus.

Ordinairement le tranchant du ciseau qu'on emploie pour découper la tôle n'est point carré, mais un peu arrondi; c'est une espèce de langue de carpe.

Il faut, quand on dessine des ornements pour la serrurerie, avoir l'attention de choisir ceux qui peuvent être exécutés avec plus de facilité, et qui doivent faire un plus grand effet : c'est pourquoi on ne dessine pas communément les feuilles que présentent les végétaux.

On en a imaginé qui ne ressemblent guère à celles des plantes, que pour cette raison on nomme *feuilles d'ornements*, qui sont fort découpées, et dont les bords se contournent en différents sens ; il faut donc que la tôle qu'on a découpée prenne différents reliefs, que d'une tige il parte différentes feuilles, que ces feuilles soient mises dans différents plans, qu'elles prennent chacune une différente convexité, qu'elles aient des nervures qui présentent un peu l'idée des vraies feuilles.

C'est-là où se montrent le goût et l'adresse de l'ouvrier, talents qu'on ne peut acquérir que par un long exercice.

L'ouvrier qui veut travailler un ornement au marteau, se place entre deux étaux. Dans l'un, il met différents tasseaux ou tas, comme nous le dirons dans un instant, et dans l'autre un morceau de bois ou de plomb.

Les tas ou tasseaux sont des tiges de fer aciéré et trempé, d'environ un pouce de diamètre, et qui ont depuis deux jusqu'à six pouces de hauteur.

Ces tas diffèrent les uns des autres, principalement par leur extrémité supérieure qui fait le dessus des tas : les uns sont faits comme les têtes des marteaux, et ont toutes les variétés des différentes têtes, c'est-à-dire qu'il y en a de plus ou moins convexes : d'autres ressemblent aux pannes des marteaux; ils sont minces par rapport à leur largeur, mais toujours arrondis en dessus : enfin d'autres tasseaux sont fourchus, ils se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

terminent par deux tranches plus ou moins écartées, et chacune plus ou moins minces.

Les tas, qu'on nomme *fendus*, servent pour faire les grosses nervures ou côtes ; ce sont celles qu'on travaille d'abord et qui servent à guider pour les autres; la largeur de la fente du tas détermine la grosseur de la nervure

On appuie la tôle sur le tas dans l'endroit où doit être la nervure, on frappe avec le marteau sur la fente du tas, et il se forme un sillon qui marque la nervure ; et quand on veut faire des nervures plus fines, on prend des tas dont les fentes soient plus étroites.

Les fines nervures se font, ou sur l'arête d'un tas, ou sur un tas formé comme la panne d'un marteau.

Plus le tas est mince, plus la nervure est fine ; car, pour former les nervures, on frappe à droite ou à gauche aux deux côtés du tas. Si l'on veut relever en bosse le milieu d'une feuille, on se sert de tas de différentes grosseurs, dont la tête est arrondie.

Il ne suffit pas d'avoir des tas de différentes grosseurs et figures, il faut aussi avoir des marteaux de différentes formes.

L'ouvrier choisit, suivant ses différentes intentions, les marteaux qui lui paraissent les plus propres à remplir ses vues.

Mais, pour donner certaines rondeurs ou certaines courbures aux feuilles entières, on se trouve très-bien de substituer aux tas ou tasseaux des morceaux de bois ou de plomb, surtout pour former des concavités.

On donne cette forme au bois, mais le plomb la prend par les coups de marteau qu'on donne sur la tôle; on appuie dessus la tôle, et on la forge avec un marteau à tête ronde : le bois ou le plomb cède aux coups de marteaux et la tôle qu'on frappe dessus en prend d'autant mieux la courbure qu'on veut lui donner; ce qui fait que le plomb est préférable au bois, parce qu'étant plus ductile, il obéit mieux aux coups de marteau, et encore parce qu'à chaque coup de marteau on change sa figure et on lui fait prendre celle qu'on désire.

Manière de faire les ornements relevés sur le tas, et finis sur le plomb. — Les serruriers ne sont guère dans l'usage de relever sur le plomb. Cependant on pourrait relever sur le plomb presque tous les ornements qu'on fait sur les tasseaux; l'ouvrage en serait plus long, mais aussi il serait plus parfait. C'est pourquoi nous croyons devoir expliquer cette façon de travailler, quoiqu'on puisse juger qu'elle est trop recherchée par des ouvrages de serrurerie.

Il ne serait pas possible de donner sur le plomb les grands reliefs ; c'est pourquoi on commence toujours par ébaucher l'ouvrage sur le tas, comme nous l'avons expliqué, et on ne fait que les perfectionner sur le plomb.

Quand on travaille sur le plomb, on est encore guidé par les traits du dessin qu'on veut imiter, qu'on fait de la même grandeur que doit être l'ouvrage fini; mais comme il serait difficile de travailler de grandes pièces, on coupe en plusieurs parties les rinceaux qui ont de l'étendue; on travaille en particulier chaque feuille, et quand ils sont finis, on les assemble les uns avec les les autres par des rivets.

Nous avons déjà dit qu'on devait avoir recours à cet expédient lors même qu'on fait des ornements au marteau : sans cela les renversements de feuilles seraient difficiles à exécuter; et quand toutes ces pièces séparées sont bien réunies, elles ne paraissent faire qu'un seul morceau, surtout quand on les voit d'une distance un peu considérable

Pour tout ce travail on a grand soin de n'emboutir que peu à peu, ne donnant qu'une concavité ou une convexité peu sensible aux parties qui doivent en avoir beaucoup; puis on fait recuire, et ce n'est qu'à force de recuits répétés qu'on parvient à bien emboutir.

Le fer n'a pas assez de souplesse pour être traité brusquement; ce n'est qu'à force de ménagements et de patience qu'on parvient à l'étendre sans le rompre. Nous avons parlé plus haut de la forme des tasseaux et de celle des marteaux : ainsi nous pouvons nous dispenser d'y revenir.

A tous les recuits, on commence à travailler sur le tasseau, et quand l'ouvrage est avancé à un certain point, on le relève sur le plomb qui sert à former les reliefs, les creux et les rondeurs.

Tout ce que nous venons de dire ne diffère presque pas des procédés que nous avons expliqués pour les ornements emboutis; aussi n'avons-nous point encore parlé de ce qu'on appelle véritablement *relever sur le plomb.*

Les ouvrages auxquels on se propose de donner cette perfection, doivent commencer par être emboutis, et alors l'ouvrage n'est encore qu'ébauché; ce dernier travail, qu'on appelle *relever sur le plomb* ou *sur le mastic*, est véritablement emprunté du ciseleur.

Pour cette dernière opération, on remplit de plomb fondu ou de mastic tous les creux qu'on a formés en emboutissant; pour cela on borde de terre grasse le pourtour de la tôle, en suivant tous ses contours, et quand cette terre est bien sèche, on coule du plomb fondu dans cette espèce de bassin; on pose la face où le plomb se montre sur un billot de bois; on y arrête l'ouvrage avec de gros clous, dont la tête est en forme de T, pour qu'elle appuie sur les bords de la pièce; car il faut que les coups qu'on donnera pour travailler la pièce, ne la dérangent pas : c'est pourquoi on met tout autour de la pièce les clous presque touchants.

La pièce étant bien assujettie, l'ouvrier travaille à la relever; ce terme exprime fort bien ce qui résultera de son travail.

Il s'agit d'augmenter les reliefs et les creux des endroits emboutis, de détacher de nouvelles parties et de donner du relief à tout l'ouvrage : tout cela s'exécute avec des espèces de ciseaux qu'on nomme *mattoirs.*

Ils diffèrent des vrais ciseaux en ce que l'extrémité qui porte sur la tôle, au lieu d'être tranchante, est toujours taillée par dents et hachures, comme une lime, et cela afin que l'outil engrène sur le métal, et qu'il ne glisse pas lorsqu'on le frappe avec le marteau.

Le mattoir du *serrurier* est, à la force près, le ciselet du ciseleur, et il fait l'effet d'un repoussoir.

Il faut avoir de grands et de petits mattoirs, et dont l'extrémité soit différente; dans les uns elle est carrée, dans d'autres arrondie.

On en a de minces, d'épais, de larges, d'étroits, etc., afin de pouvoir travailler dans toutes les espèces de creux qu'on veut former.

Pour commencer à relever, l'ouvrier se sert d'un des plus gros mattoirs : il le tient de la main gauche, ayant la pointe inclinée vers son corps, et il frappe dessus avec le marteau; commençant par relever ou plutôt par enfoncer tous les traits qui marquent le contour de ce qui a été embouti, en suivant les lignes ponctuées que nous avons vu piquer au commencement.

Il relève ensuite les parties comprises entre ces traits.

Pour relever, il faut placer obliquement le mattoir, et frapper un peu au-dessus du trait, l'inclinaison qu'on donne au mattoir oblige le plomb et le fer à s'élever; le fer s'étend sous les coups, et ce dont il s'étend est employé en convexité : ce qui le prouve, c'est que le contour du dessin n'augmente ni ne diminue; cependant les reliefs augmentent.

Il est vrai que, pour produire cet effet, il suffit souvent de creuser les concavités, et d'enfoncer les endroits qu'on veut sillonner pour faire paraître les nervures des feuilles (fig. 3).

Les contours des feuilles ou de parties de feuilles étant marqués comme nous l'avons dit, on trace les nervures et les côtes avec de la craie, avec laquelle on fait deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traits qui renferment la largeur de chaque nervure; ils se rapprochent à leur origine, où ils concourent presque à un même point, et ils s'écartent pour se distribuer aux différentes parties des feuilles.



Fig. 3.

Il faut prêter une singulière attention à ces nervures; car ce sont elles qui font principalement distinguer les ouvrages qu'on a travaillés sur le plomb de ceux qui sont faits sur le tasseau : les nervures sur le plomb sont plus régulièrement et plus nettement tracées.

On enfonce avec les mattoirs la partie du fer qui est sous chaque trait, d'où il suit que l'entre-deux des traits prend du relief, et forme côte ou arête.

En général, quand on relève sur le plomb, il est à propos de travailler les parties semblables les unes après les autres, et de ne pas finir tout de suite un même côté ou un même fleuron; parce que si l'on agissait ainsi, comme on porterait le plomb d'un même côté, on trouverait des vides sous la tôle, quand on viendrait à travailler un autre côté du même fleuron.

Quand les pièces sont suffisamment relevées et bien finies, on coupe les bords au ciseau, et on fait fondre le plomb qui soutenait la tôle pendant le travail; et quand ces bords sont bien ébarbés, il ne reste plus qu'à les assembler avec des rivets.

Suivant ce que nous avons dit des ornements emboutis ou relevés sur le plomb, on conçoit que ce sont des pièces minces, et terminées par quantité de pointes.

Ces raisons font qu'on ne les place qu'à des endroits élevés, non-seulement parce que les pieds les dérangeraient, mais encore parce qu'ils accrocheraient les habits : c'est une attention qu'il faut avoir quand on dessine des ouvrages de serrurerie.

Et c'est pour cette raison que les serruriers se contentent ordinairement de relever leurs ouvrages sur le tas : le grand fini qu'on leur donnerait sur le plomb ou sur le mastic serait inutile pour des ouvrages qu'on ne voit que de loin. . . . . .

Certaines pièces, après avoir été forgées et limées, doivent encore subir d'autres préparations avant d'être livrées. Quelquefois il faut y faire des mortaises; d'autres fois il faut les tarauder, les couper, etc., etc. Nous renvoyons pour ces opérations aux articles DÉCOUPOIR, FILIÈRES, PERCER, TARAUD, où elles sont décrites avec tous les détails nécessaires.

Le travail de l'acier diffère peu de celui du fer, seulement il se forge à une plus basse température. Quand on forge l'acier, il faut le ménager au feu. Pour le souder, il faut avoir soin de jeter souvent du grès pilé dans le feu et sur la pièce, afin de la couvrir d'un vernis de silicate fondu qui empêche l'action directe du feu et détermine la fusion de la surface de l'acier. Quand il est à l'état voulu d'incandescence, on le frappe à petits coups comme le fer.

Le travail de la fonte se réduit à bien peu de chose; on la *taraude*, on la *perce* et on la *lime* quand sa qualité le permet. Lorsqu'on veut couper une pièce de fonte, on emploie la scie, même pour la fonte dure. La seule précaution à prendre est de chauffer la pièce au rouge; à cet état une scie de menuisier suffit, la fonte n'étant pas plus dure que du bois.

DEUXIÈME PARTIE.

1re SECTION. SERRURIER EN BATIMENTS. — Les ouvrages que le serrurier fournit dans les bâtiments peuvent se diviser en trois classes : 1° les ouvrages en fonte; 2° les gros fers ou les fers de bâtiments; 3° enfin les objets de quincaillerie ou de serrurerie dont le nombre est très-considérable.

1° *Des ouvrages en fonte.* — Les ouvrages en fonte employés dans les bâtiments sont : les plaques de contre-cœur des cheminées, leurs garnitures entières, les réchauds pour fourneaux, les tuyaux de conduite, les barres d'appuis des croisées, les panneaux à jour pour portes et balcons, les colonnes, etc., etc. Nous n'entrerons dans aucun détail sur ces objets; ils viennent tout fondus des usines à fer où on les achète au kilogramme.

2° *Des gros fers ou fers de bâtiments.* — On désigne ainsi tous les fers dont le travail se réduit à celui de la forge, ce qui arrive lorsqu'il s'agit de faire une chaîne, une ancre, un tirant, un harpon, etc., etc. Les dimensions et les assemblages de ces pièces varient avec les circonstances dans lesquelles on se trouve. Le serrurier n'a pas à s'en occuper; il travaille d'après les prescriptions et les dessins de l'architecte. Tous ces ouvrages s'emploient tels qu'ils sortent de la forge sans passer à l'établi.

3° *Des objets de quincaillerie.* — Les objets les plus généralement employés sont les anneaux, les agrafes, les arrêts, les battements, les cadenas, les charnières, les crampons, les équerres, les espagnolettes, les fiches, les gâches, les gonds, les loquets, les pivots, les serrures, les targettes, les verrous, etc., etc. Beaucoup de ces objets sont faits en fabrique et achetés par les serruriers qui n'ont qu'à les poser. C'est surtout en l'icardie, que sont situées, en France, les fabriques de ces produits qui exigent le plus de main-d'œuvre; les autres sortent principalement des usines des Ardennes.

Nous parlerons ici des principales pièces de serrurerie de ce genre en décrivant celles qui s'appliquent aux pièces mobiles, les charnières, gonds, pivots, loquets et enfin les serrures. On trouvera au *Complément* (article SERRURERIE) une étude sur les autres ferrures.

Les pièces qui permettent à une porte, une fenêtre, de s'ouvrir et de se fermer, doivent être établies en rai-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

son du poids de la partie mobile, ce qui influe, non-seulement sur leurs dimensions, mais encore sur leur forme.

Charnières.—Chacun connaît la forme des charnières qui servent, surtout dans les ouvrages légers, à faire tourner une partie mobile autour d'un axe. La charnière se compose de deux feuilles de métal reployées chacune l'une sur l'autre, et d'un bout de fil de métal qu'on nomme *broche* (fig. 4). En repliant sur elle-même la

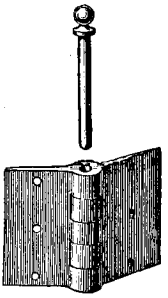


Fig. 4.

feuille de métal, on place une broche dans l'angle, afin que le pli soit arrondi et qu'il forme un bourrelet ou espèce de tube, dans lequel la broche trouvera à se placer lors de l'assemblage. Les deux feuilles ainsi repliées se nomment les ailes ou ailettes de la charnière; l'endroit où elles se réunissent en se pénétrant se nomme le *nœud*. Pour faire ce nœud, on entaille le bourrelet dans les deux ailettes en laissant entre les entailles des parties saillantes qu'on nomme *charnons*. Le nombre des charnons est indéterminé ; mais il est ordinairement ainsi réparti: trois dans une ailette, deux dans l'autre. Les entailles des charnons d'une ailette doivent être juste de la même longueur que les charnons de l'ailette opposée qui doivent s'y placer. Lorsque les choses sont ainsi disposées, on fait entrer les pleins dans les vides et on passe la broche dans le tube du bourrelet ; on la rive par chaque bout, et le nœud est fait.

Les charnières dont nous parlons ici, pour ouvrages en bois, se placent par entaille et encastrement, à l'aide de deux, trois ou quatre vis à tête fraisée en dedans, suivant la longueur. Pour bien poser une charnière, il faut faire son entaille de manière à ce que l'angle des battants se trouve dans l'axe de la broche.

Pour les ouvrages de petite dimension, les charnières se font en cuivre jaune; le travail part toujours d'une bande de ce métal. Cela a permis d'attaquer cette fabrication par des procédés mécaniques.

La machine de MM. Evrard et Boyer, qui tient à la fois de la machine à agrafes et de celle à fabriquer les pointes, était une des pièces les plus curieuses de l'Exposition de 1867. Les charnières finies tombaient de la machine à raison de près de cent par minute.

Il est bien clair que les charnières fabriquées avec de la tôle, dont il vient d'être parlé, ne conviennent pas pour des portes qu'on ouvre et ferme constamment, que le frottement y a lieu dans des conditions défectueuses, que des grippements désagréables s'y produisent nécessairement. On emploie aujourd'hui, bien plus avantageusement, des paumelles.

Paumelles. — C'est un système d'attache qui s'emploie pour les portes légères à dormant en bois ; elles présentent assez peu de largeur pour se loger dans l'épaisseur des feuillures, assez de hauteur pour donner les garanties de solidité nécessaires. Elles se fixent sur le bois au moyen de vis à tête fraisée.

Dans celles que nous représentons (fig. 5 et 6) une rondelle en cuivre est interposée entre les deux pièces afin de rendre leur frottement plus doux.

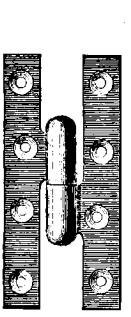


Fig. 5.

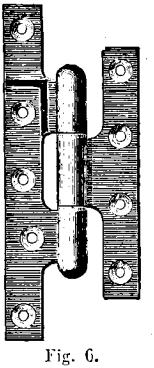


Fig. 6.

Pour les portes d'un poids notable, on emploie les organes que nous allons passer en revue.

Gonds. — On y distingue: le *mamelon* qui sert de pivot, le *corps* ou nœud sur lequel repose le mamelon ordinairement soudé dans un œil, et la *tige* qui se termine de différentes façons; on a ainsi les variétés suivantes :

Gond de scellement qui finit en queue de carpe pour les ouvrages scellés dans une feuillure en pierre (fig. 7).

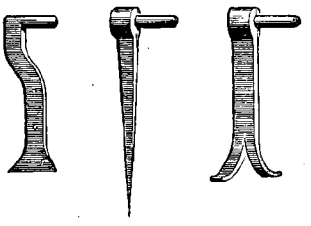


Fig. 9. Fig. 8. Fig. 7.

Gond à pointe pour les ouvrages fixés sur un dormant en bois (fig. 8).

Gond à patte qui se fixe sur le bois au moyen de vis (fig. 9).

Pentures. — Ce sont des bandes de fer arrêtées sur la porte par des clous et terminées par un œil dans lequel entre le gond qui est lui-même fixé dans la feuillure de la porte (fig. 10).

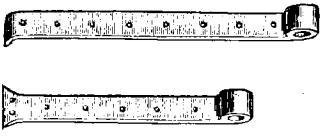


Fig. 10.

Les pentures peuvent acquérir beaucoup de développement et servir à la fois au mouvement, à la consolidation des portes et à leur décoration.

Pivots. — Les grandes portes sont soutenues sur un pivot. Pour les ouvrages rustiques, écuries, granges, etc., le pivot n'est qu'un simple étrier composé de deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

branches entre lesquelles se loge le chardonnet de la porte et d'un mamelon (fig. 11).



Fig. 11.

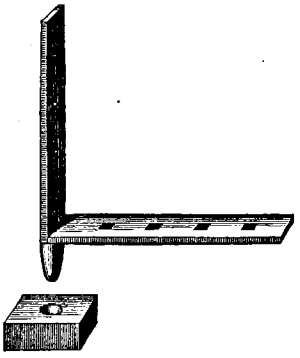


Fig. 12.

Dans les ouvrages plus soignés, ce pivot a la forme d'une équerre; il tourne sur une crapaudine scellée dans une pierre (fig. 12).

Bourdonnière. — C'est la ferrure du haut de la porte qui sert à empêcher son déversement. Elles est formée d'une douille ou collier en fer scellé en haut du jambage, et dans laquelle entre un gond à deux branches fixé sur le haut du chardonnet (fig. 13).

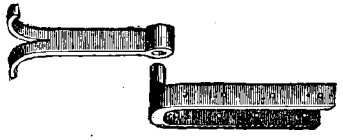


Fig. 13.

Charnières pour grilles. — Pour les portes des grilles d'un poids considérable, comme pour bien des ouvrages de mécanique, il faut revenir aux charnières; mais alors celles-ci sont en fer (on ne peut employer ici la fonte moulée avec sécurité, au moins pour des ouvrages soignés), et les surfaces sur lesquelles le frottement a lieu reçoivent une étendue suffisante pour que l'usure ne puisse les altérer.

Le travail de la lime et du ciseau sont insuffisants pour terminer une charnière semblable; on ne peut plus notamment, comme dans le cas général, obtenir une surface cylindrique concave, comme celle qui doit recouvrir l'extrémité des charnons, en employant la machine à percer; c'est par l'emploi de la fraise qu'on y parvient.

Après avoir percé et alésé dans chaque pièce les trous qui doivent recevoir la broche, on approche le travail, autant que possible, en enlevant la plus grande partie du métal à l'aide de la scie, de la lime et du ciseau. Pour terminer la partie concave, pour rendre les faces des charnons bien perpendiculaires sur l'axe, on taille en fraise coupante la surface et une extrémité d'un petit cylindre d'acier (fig. 14), ayant le diamètre de la concavité, que l'on trempe avec soin. Monté sur une tige à laquelle elle est assemblée au moyen d'un goujon transversal et qui passe dans le trou de la charnière, la fraise vient terminer la concavité par sa surface cylindrique et dresser la surface perpendiculaire à l'axe, par les taillants de sa base. On fait tourner la tige au moyen d'un outil qui reçoit son extrémité carrée. La figure 15 montre cette disposition et la figure 16 une demi-charnière ainsi terminée, appartenant à une pièce de fer. On parvient à l'aide de cet outil à exécuter une charnière et notamment à aléser les concavités qui reçoivent les charnons, avec une grande perfection.

Fig. 14.

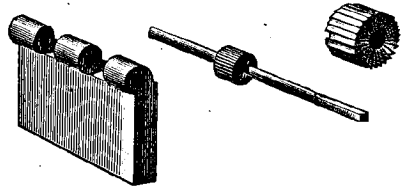


Fig. 16. Fig. 15.

Serrures. — De tous les ouvrages de serrurerie celui qui demande le plus d'habileté et d'adresse chez l'ouvrier, celui qui exige le plus d'attention pour sa bonté et sa sûreté, celui enfin dont l'usage est le plus important, est sans contredit la *serrure*.

Notre intention n'est pas de décrire ici les innombrables serrures inventées jusqu'à ce jour. On peut dire que le nombre en est infini, sans que le plus souvent les prétendus avantages que leur attribuent les inventeurs compensent leur complication et l'accroissement de prix qui en résulte. Nous nous contenterons de dire quelques mots sur les différentes pièces qui entrent dans la composition d'une serrure, et de passer en revue les principaux systèmes que l'on a employés et que l'on emploie aujourd'hui.

La serrure (*angl.* lock, *all.* schlœsser) est une petite machine en fer, quelquefois en cuivre, qu'on applique sur le bord d'un vantail de porte ou d'armoire, ou sur les coffres, tiroirs et secrétaires pour les fermer, et qu'on ouvre ou ferme avec une clef.

Tout le mécanisme de la serrure est enfermé dans une boîte en fer nommée *palâtre*. Cette boîte se compose d'un fond rectangulaire sur lequel sont appliqués les côtés relevés : le plus haut, à travers lequel passe le pêne, se nomme le *rebord*, les trois autres côtés composés d'une feuille de tôle forment ce que l'on appelle la *cloison*. Cette feuille de tôle porte de petites queues saillantes que l'on rive sur la palâtre : la palâtre et la cloison sont donc assemblés d'une manière très-solide.

Le *pêne* de la serrure est une espèce de verrou que met en mouvement la clef (fig. 17). La *tête* du pêne est la partie qui sort de la serrure et qui vient s'engager dans la *gâche*, petit crampon fixé à vis ou à scellement sur le battant de la porte. La *queue* du pêne porte, d'un côté, des parties saillantes nommées *barbes du pêne* sur lesquelles la clef agit, et de l'autre, des *encoches* dans lesquelles tombe un *ergot* qui termine un ressort appelé l'*arrêt du pêne*. Le pêne est *simple* ou *fourchu*, selon que la tête est d'un seul morceau ou formée de plusieurs dents. Enfin, dans l'intérieur de la serrure se trouvent certaines pièces de tôle contournées qui s'accordent avec les découpures faites à la clef; c'est ce que l'on appelle les *gardes* ou *garnitures* de la serrure : ces gardes s'opposent au mouvement de toute clef qui n'aurait pas les entailles nécessaires. La clef se compose de l'*anneau* où on applique la main, du *canon* si elle est forée, ou du *bout* si elle ne l'est pas, et du *panneton*. Le panneton lui-même se compose du *museau*, partie plane ou courbe qui touche le pêne de la serrure, et du *corps* qui est la partie comprise entre le museau et la tige. Le panneton porte diverses entailles pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner passage aux gardes ou garnitures de la serrure. Ces entailles portent différents noms suivant leurs positions. Le canon n'est pas toujours percé d'un trou cylindrique; quelquefois il est en *trèfle*, en *fer de lance*, etc. Tous ces trous s'accordent avec la broche de la serrure fixée bien solidement au palâtre.

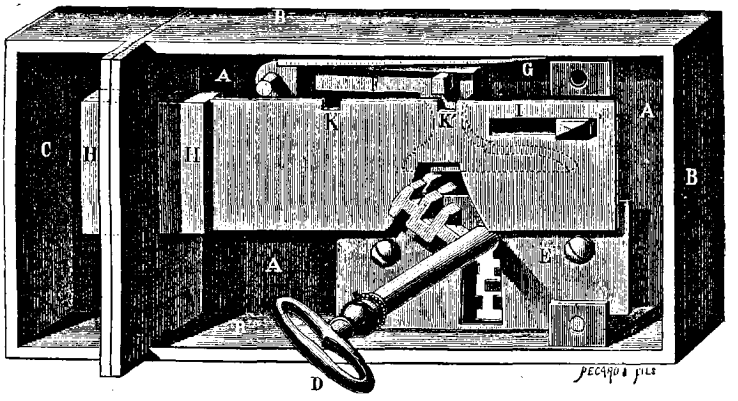


Fig. 17.

Le *verrou* est la serrure réduite à sa plus simple expression. Il se compose d'une barre de fer qui glisse dans des *crampons* et qui ferme une porte ou une fenêtre. Le verrou peut être horizontal ou vertical; on le fait marcher avec la main, avec une clef ou avec une bascule. Les verrous de sûreté sont mus par une clef qui leur est particulière.

Le *loquet* (*fig.* 18) est, de même que le verrou, une serrure excessivement simple; il n'opère pas de fermeture, il ne sert qu'à retenir la porte dans sa position.

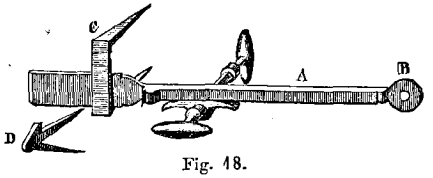


Fig. 18.

Le *bec-de-cane* est une serrure dont le pêne *à demi tour* est taillé en chanfrein; de sorte qu'en poussant la porte elle se ferme d'elle-même, le pêne étant continuellement poussé par un ressort. Le bec-de-cane proprement dit n'a pas de clef, il s'ouvre avec un bouton.

La *serrure à un tour et demi* renferme, comme le bec-de-cane, un pêne poussé par un ressort, et tellement disposé qu'il est poussé au-dehors de la serrure par un tour de clef.

La *serrure à pêne dormant* est celle dans laquelle le pêne ne sort que quand il est poussé par une clef, elle peut être à un tour et demi ou à deux tours.

La *serrure à deux tours et demi* se compose de la serrure à pêne dormant et du bec-de-cane réunis; le pêne est mis en mouvement par une clef à deux tours, et le bec-de-cane par une clef ou un bouton.

Lorsque la clef est *forée*, la serrure porte une *broche* dans laquelle la clef entre; ce sont les *serrures à broches*. D'autrefois la clef n'est pas forée, l'extrémité est formée en bouton et tourne dans un trou pratiqué au fond de la boîte : ce sont les *serrures bénardes*, elles s'ouvrent des deux côtés.

Toutes les serrures que nous venons de passer en revue renferment un pêne qui sort de la serrure et vient s'engager dans la gâche qui est à scellement, à pointes ou à vis.

Il existe un autre genre de serrures dans lesquelles le pêne reste toujours enfermé dans la serrure : il faut que la pièce qui lui sert de gâche porte des anneaux plats qui entrent par des ouvertures pratiquées dans le corps de la serrure; on les nomme des *aubernons*. Les cadenas, les serrures de coffrets, etc., etc., rentrent dans cette classe.

Il y a un troisième genre de serrures que l'on nomme *serrures à combinaison*. Ces serrures se composent d'un mécanisme dont les pièces doivent s'ajuster dans certaines positions pour que la serrure puisse s'ouvrir.

Parmi ces serrures, les unes s'ouvrent avec une clef, d'autres s'ouvrent d'elles-mêmes quand la combinaison en a été convenablement placée.

Il y a enfin un quatrième genre de fermeture qui porte le nom de *secret*. Ce nom lui vient de ce que, pour ouvrir une porte fermée à secret, il faut agir d'une certaine manière pour parvenir à les ouvrir. Une fois ce secret connu, la fermeture devient inutile.

Nous avons vu précédemment que les serruriers mettaient dans l'intérieur de leurs serrures des feuilles de tôle contournées, nommées gardes, qui s'opposent au mouvement de toute clef qui ne porte pas les entailles nécessaires pour les laisser passer.

Les serruriers, pour donner plus de sûreté à leurs serrures, ont varié à l'infini la forme des gardes. Ils ont même fait des serrures dans lesquelles ces gardes sont *mobiles*. Mais, quelque compliquées que soient les serrures à gardes, il n'en est aucune qui soit réellement de sûreté; elles le sont toutes de nom, mais aucune ne l'est en réalité. Il suffit, en effet, d'examiner l'intérieur d'une serrure pour être convaincu qu'elle ne donne aucune garantie de sûreté. Les voleurs, aidés de leurs rossignols, parviennent à ouvrir les serrures que l'on croyait inviolables par suite de la complication de leurs gardes. (Voy. *Complément*, art. SERRURERIE.)

Enfin, si les gardes sont tellement compliquées que les rossignols ne puissent arriver jusqu'au pêne, ils reviennent à la porte à plusieurs reprises, et font si bien qu'à la fin ils fabriquent une clef parfaitement appropriée à la serrure.

On voit donc que les *serrures ordinaires*, que les ser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

rures dites de sûreté ne mettent nullement les propriétaires à l'abri des tentatives des voleurs.

Restent, par conséquent, les serrures à combinaisons. Nous avons vu que ces serrures se divisaient en deux genres : dans le premier, se trouvent les serrures que l'on ouvre avec une clef construite d'une manière particulière et qu'il est impossible d'imiter si on a le soin de ne pas la laisser voir à tout le monde. Dans le second se trouvent celles qui s'ouvrent en plaçant les pièces qui les composent dans des positions connues seulement du propriétaire.

Le *cadenas à lettres*, serrure à combinaison du second

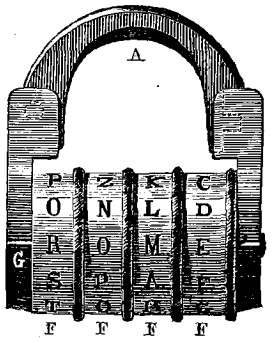


Fig. 19.

genre (fig. 19), se compose de quatre ou plusieurs viroles qui portent les lettres de l'alphabet ou des signes quelconques. Le cadenas ne peut s'ouvrir que quand les quatre signes voulus sont sur une même ligne, dont la direction est tracée sur chacune des plaques qui terminent le cadenas. (Voy., *Complément*, l'explication détaillée de ce genre de cadenas.)

On a construit des serrures sur le même principe : les viroles étaient sur une même ligne, et le pêne, entaillé comme un peigne, ne pouvait se dégager que quand elles étaient placées sur les caractères convenables.

Ces cadenas ou serrures, pour répondre à la sûreté qu'on en attend, doivent être parfaitement construits ; malheureusement c'est ce qui n'arrive presque jamais. Or, rien n'est plus facile que d'ouvrir un cadenas à lettres mal construit.

Les serrures à combinaison du premier genre, c'est-à-dire celles qui s'ouvrent avec une clef, présentent plus de sûreté. La première serrure à combinaison connue est la serrure égyptienne. Cette serrure, remarquable par sa simplicité et sa sûreté, se compose (fig. 20) d'un verrou *v*, passant dans une mortaise pratiquée dans une pièce *b*. Sa course est bornée par une encoche qui vient s'appuyer contre les bords de la mortaise. Dans la pièce *b* on a pratiqué une ouverture *o*, recevant une petite pièce de bois carrée *m*, placée au-dessus du verrou. Cette pièce est garnie de chevilles irrégulièrement placées, et qui répondent à des trous percés dans la partie *h* du verrou. Le verrou lui-même est percé d'un trou longitudinal recevant la clef (fig. 21), qui est en bois, ainsi que tout l'appareil, et qui porte à son extrémité des chevilles disposées de la même manière que les trous pratiqués dans la partie *h* du verrou. Afin que les chevilles plantées dans la pièce *m*, les trous du verrou en *h* et les chevilles de la clef se correspondent, on place ces trois pièces l'une sur l'autre, et on perce les trous du même coup. Supposons que le verrou soit poussé de manière que l'encoche vienne toucher la mortaise : les trous *h* du verrou répondant aux chevilles fixées dans la pièce *m* tombante, et cette pièce descendant par son poids, le verrou se trouve évidemment arrêté. Pour le faire mouvoir, il faut se servir de la clef : pour cela, on l'introduit dans le trou du verrou jusqu'à ce qu'elle touche le fond ; on la soulève, et, comme les chevilles dont elle est garnie répondent aux trous du verrou, toutes les chevilles de la pièce *m* sont soulevées à la fois ; d'un autre côté, les chevilles de la clef étant d'une hauteur égale à l'épaisseur de la partie *h* du verrou, les chevilles *c* sont soulevées au-dessus du verrou, et, en tirant la clef, on entraîne le verrou, qui n'est plus retenu par les chevilles de la pièce *m*.

Fig. 20.

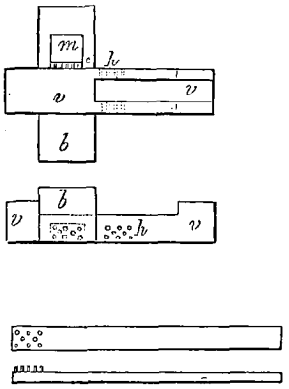


Fig. 21.

Fig. 22.

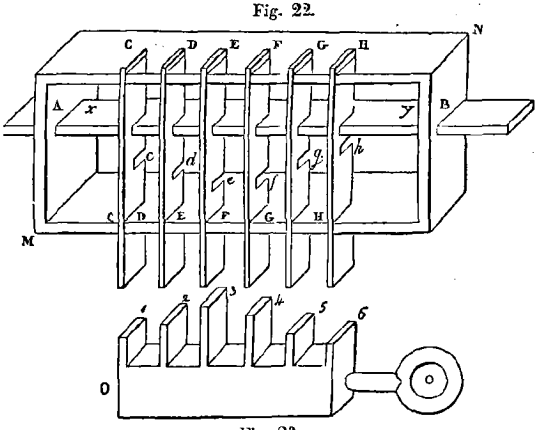


Fig. 23.

Plusieurs serrures à combinaison ont été construites d'après le même principe : nous ne les décrirons pas toutes ici. Parmi ces serrures, celle qui mérite la préférence est sans contredit celle inventée par Joseph Bramah, mécanicien anglais. Si on a le soin de ne pas laisser la clef d'une semblable serrure à la disposition de tout le monde, on peut être assuré d'avoir une serrure tout à fait inerochetable. Sa construction repose sur le principe suivant :

Soit (fig. 22) un cadre rectangulaire M N, dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux petits côtés duquel on a pratiqué deux rainures A, B, dans lesquelles se meut horizontalement un pêne x y. Si, sur chacun de ces grands côtés, on fait six entailles C, D, E, F, G, H, et qu'on place dans chacune ces lames qui empêchent le barillet de tourner autour de la broche p, à moins que les entailles de chacune d'elles ne se trouvent toutes dans le plan de la pièce d'acier, que l'on voit en plan fig. 26. Ce sont les

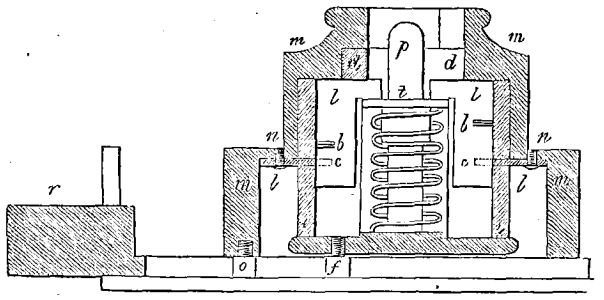


Fig. 24.



Fig. 25.

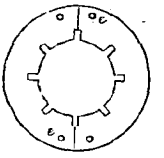


Fig. 26.

d'elles une lame d'acier ou de bon fer qui puisse se mouvoir librement et presque sans jeu dans les entailles, le pêne x y ne pourra avoir aucun mouvement en avant ou en arrière si ces lames se trouvent engagées dans autant d'entailles qu'on en a pratiqué dans sa longueur, vis-à-vis chacune des lames. Mais si ces lames portent à différentes hauteurs des entailles c, d, f, g, h, de la même profondeur dont elles s'engagent dans le pêne, celui-ci sortira avec facilité quand on aura élevé toutes ces lames de manière à ce que les entailles qu'elles portent se trouvent toutes dans la même ligne horizontale que parcourt le pêne. On produit cet effet d'un seul coup en employant une clef (fig. 23) O O, dont les pannetons 1, 2, 3, 4, 5, 6, sont tous d'une longueur inégale et correspondant à la distance où les entailles des lames se trouvent du pêne x y.

Nous allons maintenant indiquer l'application que Bramah a faite de ce principe à la construction de la serrure qui porte son nom.

La fig. 24 montre la coupe de la serrure entière; la figure 25 est le plan du barillet ou partie mobile de la serrure; la fig. 26 est le plan de la plaque fixe qui empêche le barillet de tourner toutes les fois que l'on ne fait pas usage de la véritable clef de la serrure; la fig. 27 représente la clef avec ses entailles et son panneton; la fig. 28 est le plan du pêne.

Un cylindre est ajusté, à frottement doux, dans une masse de laiton m m, qui sert de couvercle à toute la serrure. Au milieu de ce cylindre, que l'on nomme barillet, et dans le sens de son axe, est creusé un trou cylindrique capable de recevoir la broche p avec son plateau t, et le ressort à boudin a. La broche est rivée sur le plateau inférieur, ou mieux ajustée à vis. La broche p, le plateau t et le ressort à boudin a sont en acier. Le plateau t porte un canon qui lui permet de glisser librement et sans jeu le long de la broche p qui est parfaitement cylindrique et polie. Le ressort a tend continuellement à pousser le plateau t vers le bord de la broche p, et c'est par le mouvement de compression que la clef lui imprime qu'elle met en prise toutes les pièces qui composent l'appareil, afin d'en obtenir les effets assurés qu'on en attend.

La fig. 25 montre le plan de la partie supérieure du barillet t sans la broche p. On y voit les huit lames d'acier, l, l, qui constituent le jeu de la machine. Ces huit lames, que l'on voit en élévation en l (fig. 24), appuient, par un talon ménagé dans leur partie supérieure, sur le dessus du plateau t, et l'on voit sur chacune d'elles des entailles b, b, à différentes hauteurs. Ce sont entailles faites au bout de la clef en o (fig. 28), en sens inverse de la distance où elles se trouvent de la plaque c, c, lorsqu'elles sont toutes élevées à la même hauteur par l'effet de la réaction du ressort à boudin; ce sont ces entailles, disons-nous, qui ramènent toutes les entailles b, b, dans le plan de la plaque circulaire c, c, par l'effet de la pression du bout de la clef sur le plateau t, en comprimant le ressort à boudin a, jusqu'à ce que le panneton s de la clef se trouve engagé dans la rainure d, d, d'où il ne peut sortir sans que la clef ait fait un tour entier en avant, ou qu'elle retourne en arrière pour se présenter devant la seule issue qui lui est ménagée, et alors le ressort à boudin a, réagissant librement, la repousse fortement et la fait sortir d'elle-même de l'entrée de la serrure.

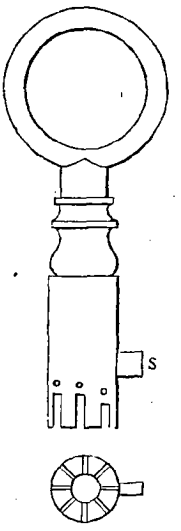


Fig. 27.

Au-dessus du barillet t, t, se trouve une vis f, taraudée dans la base du barillet, et dont la tête est cylindrique et saillante de toute l'épaisseur de la queue g du pêne r. Lorsque la clef est enfoncée suffisamment pour que son panneton puisse s'engager sous la rainure d, alors les échancrures des lames d'acier se trouvent dans le même plan que la lame c, c, le barillet peut tourner,

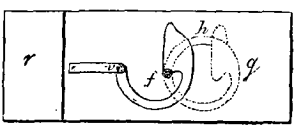


Fig. 28.

et la tête de la vis f décrit un cercle (fig. 28). La fig. 28, qui représente le plan du pêne, montre la position qu'il a quand la serrure est fermée. On y voit la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

place de la vis *f* dans cette position. Les lignes ponctuées, dans cette figure, indiquent le chemin que parcourt la même vis en entraînant avec elle le pêne pour lui imprimer une marche rétrograde. En tournant en sens inverse, la vis appuie au point *h*, et elle ne peut achever sa course sans entraîner avec elle le pêne de la même quantité dont elle l'a fait avancer lorsqu'on l'a fait agir dans l'autre sens. La tête de la vis *v* ne sert, en parcourant l'entaille *e v*, qu'à empêcher le pêne de vaciller à droite ou à gauche.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que cette serrure est réellement incrochetable : il est impossible d'y introduire un rossignol, la véritable clef seule peut entrer. Pour qu'un voleur parvînt à l'ouvrir, il faudrait :

1° Qu'il eût une clef forée d'un trou égal à la grosseur de la broche, et tel qu'il lui restât assez de profondeur, après que la clef s'est appuyée sur le plateau *t*, pour enfoncer les lames d'acier *l*, *l*, assez bas pour que leurs entailles soient dans le plan de la plaque *c*, *c*.

2° Qu'il devînât où doit être placé le panneton *s* de la clef, pour qu'en l'enfonçant les entailles qu'il aurait faites au bas de la clef pussent recevoir les extrémités des petites lames d'acier; mais ce panneton peut être placé à tous les points de la circonférence du bas de la clef. Il faudrait en outre qu'il devînât quel est l'enfoncement indispensable à donner à chacune des entailles de la clef pour ramener l'entaille de chaque lame d'acier dans le plan de la plaque *c c*. Et comment le connaîtra-t-il cet enfoncement?

Un seul moyen reste au voleur pour atteindre son but. Ce moyen c'est de fabriquer une collection complète de clefs dont chacune lui présenterait une des nombreuses solutions qui peuvent se présenter... En outre, il faut supposer qu'on lui laissera le temps d'en essayer successivement plusieurs...

Nous indiquerons en peu de mots la construction de ces serrures incrochetables.

On fait fondre le barillet et le couvercle en laissant assez de matière pour les tourner. Le barillet est en deux pièces : le corps du cylindre et le fond. Le corps du cylindre porte une saillie en retraite *d d;* cette saillie sera entaillée verticalement pour recevoir le panneton *s* de la clef. Le fond du barillet se tourne à part, s'ajuste à sa place et se fixe au cylindre *i i* par trois vis que l'on ne voit pas. On laisse un trou au centre pour le tarauder et y ajuster à vis la broche *p*.

Le couvercle *m* s'ajuste pareillement sur le tour, de manière à ce que le barillet concorde parfaitement avec le couvercle dans toutes ses parties depuis l'angle *n n*, jusqu'au haut.

Au-dessous de l'angle *n n*, on laisse tout autour du barillet une large ouverture cylindrique, nécessaire pour placer la pièce d'acier *c c*, qui est en deux morceaux et fixée par quatre vis.

Le couvercle étant ajusté avec le barillet, on renverse ces deux pièces ensemble, et l'on fait sur la circonférence extérieure du barillet une marque au niveau de l'angle inférieur *n*. On fait sur le tour et à la place de la marque, avec une *échoppe* d'une largeur égale à l'épaisseur de la plaque *c c*, une rainure d'une profondeur suffisante pour que la plaque d'acier *c c* y entre librement et n'y soit pas gênée.

On passe ensuite aux entailles nécessaires pour recevoir les lames *l*, *l*: pour cela, on se sert de l'outil à fendre de l'horloger qu'on nomme *machine à diviser;* on fixe sur le tasseau le cylindre par son fond, qui y est déjà ajusté, et à l'aide d'une *fraise* de l'épaisseur qu'on veut donner aux lames, on fend en 4, en 6 ou en 8, depuis la saillie en retraite jusqu'au-dessous de la lame qui doit le plus s'enfoncer. On sent que ces lames n'ont pas besoin de dépasser de beaucoup la plaque *c c*, et pourvu que celle qui correspond à l'entaille la moins profonde de la clef conserve dans sa plus grande ascension 1 ou 2 mill. jusqu'au-dessous de la plaque *c c*, cela suffit et le cylindre conserve alors une grande solidité.

Après cela, on ajuste les lames *l*, *l*, sans leur faire aucune entaille et on les fait jouer en présentant la clef. On sent combien cela est facile, puisqu'elle est dirigée: 1° par la broche *p*, 2° par l'entaille *d* qui reçoit le panneton *s*, et 3° par les entailles pratiquées au bout de la clef qui font descendre plus ou moins les lames. On enfonce la clef jusqu'à ce que le dessus du panneton *s* soit de niveau avec le dessus de la saillie en retraite *d d;* comme dans cette opération le barillet est séparé du couvercle *m*, le panneton ne trouverait aucun arrêt et la clef, poussée par le ressort à boudin qu'on a comprimé, serait repoussée par la réaction de ce ressort aussitôt qu'on la lâcherait. Pour la tenir dans cette position, on fixe le barillet surmonté de la clef dans un petit outil qui l'embrasse sous son fond et comprime la clef par-dessus à l'aide d'une vis de pression.

Alors, avec une petite fraise montée sur un arbre et placée sur le tour, on fait, par l'ouverture circulaire pratiquée au barillet, vis-à-vis de l'angle inférieur *n*, et dans chacune des lames, une entaille assez profonde pour ne pas gêner la plaque *c c* et pour que les lames elles-mêmes ne soient pas gênées; inutile de dire que la fraise doit être de la même épaisseur que la plaque *c c*. On voit donc qu'en faisant les entailles à la clef avant de les faire dans les lames, il n'est rien de plus aisé que de faire avec précision ce qui est le plus difficile dans la construction de ces serrures.

L'intérieur de la serrure étant construit, il s'agit d'achever le couvercle. On entaille le fond de manière à y laisser passer librement et sans jeu la queue du pêne ; le pêne s'y meut comme dans une coulisse. On découpe dans la queue du pêne une entaille comme on la voit dans la fig. 28, pour que la tête de la vis *f* puisse lui imprimer un mouvement de va-et-vient.

On fixe ensuite le tout sur la plaque de serrure. On a une plaque de laiton fondu coudée à angle droit. Après y avoir pratiqué le passage de la tête du pêne, on pose le couvercle à plat dessus en recouvrant la queue du pêne, et après avoir percé deux trous diamétralement opposés dans les deux blocs de matière qui dépassent la largeur du pêne, on y place deux vis à têtes noyées. Par cette disposition les vis sont cachées et ne peuvent être saisies par les voleurs. On pratique ensuite quatre trous dans la plaque de la serrure. Ces trous reçoivent des vis qui fixent la serrure contre le tiroir, la porte de l'armoire etc., etc. La tête de ces vis étant dans l'intérieur de l'appartement, il en résulte que les voleurs n'ont aucune prise sur elles du dehors.

On fait, d'après ce principe, des grandes serrures de portes cochères qui s'ouvrent avec de très-petites clefs. On peut, à ces serrures de Bramah, ajouter des secrets, ce qui les rend bien plus sûres encore; on peut en laisser la clef sur la porte sans qu'on puisse l'ouvrir. (Voy. *Complément*, art. SERRURERIE, les progrès accomplis dans la construction des serrures pour coffres-forts, etc.)

Pose des sonnettes. — La pose des sonnettes est une partie de l'art à laquelle les serruriers attachent beaucoup d'importance. Rien cependant n'est plus facile que de changer la direction d'un mouvement rectiligne au moyen de leviers coudés ou de poulies de renvoi. Tout consiste à faire agir les leviers ou poulies dans le plan des deux directions que l'on veut donner au fil de fer.

Les leviers coudés que les serruriers emploient, connus sous le nom de *mouvements de sonnette*, sont de petits triangles en fer et en cuivre qui roulent par le sommet d'un de leurs angles sur une petite broche piquée dans le mur. Quelques-uns sont horizontaux, d'autres sont verticaux.

L'ouvrier doit s'arranger de manière à disposer sa transmission suivant les localités et à faire suivre au fil

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la direction qu'elles exigent. Pour cela, il est forcé de percer des trous dans les murs, les cloisons, etc., etc. Il doit donc être muni de tous les appareils nécessaires à cet effet.

Pour peu qu'il y ait trois ou quatre mouvements, on éprouve un peu de roide dans le jeu de la sonnette, par suite du frottement de ces mouvements sur leurs axes, et des frottements du fil de fer dans les trous qu'il traverse. Pour aider à l'effort du ressort auquel la sonnette est attachée, on place dans la direction même du fil des ressorts en fer ou en cuivre composés d'un fil de fer ou de cuivre enroulé en hélice sur un cylindre; c'est ce que l'on appelle les ressorts à boudin.

Les mouvements dont nous venons de parler sont toujours apparents; cela produit un mauvais effet, surtout dans les appartements à corniches. On remédie à cet inconvénient en les remplaçant par des poulies qui se logent dans les cavités pratiquées dans les angles des murs, qu'on recouvre ensuite avec une feuille de tôle dans laquelle on pratique une ouverture pour laisser passer les deux fils.

Mémoires des serruriers. — Nous terminerons ce qui a rapport au serrurier en bâtiments par quelques considérations sur l'estimation des ouvrages de serrurerie; nous dirons ensuite quelques mots sur la manière de régler les mémoires, partie qui intéresse non-seulement les serruriers, mais encore ceux qui les font travailler.

La serrurerie a deux genres de fournitures : le premier renferme les ouvrages faits sur commande et à la convenance des localités, ce sont les *ouvrages de forge;* le second comprend les objets fabriqués connus sous la dénomination de *quincaillerie.*

Il est difficile d'évaluer d'une manière bien exacte le prix de revient des ouvrages de forge. Pour 100 kil. de gros fer mis en place, par exemple, ce prix se compose :

1° Du prix de la matière première, qui varie à chaque instant, et qui aujourd'hui est réglé à des prix tellement bas, qu'il est bien difficile à un serrurier de faire du bon pour ce prix. Pour obtenir une pièce en fer forgé pesant 100 kil., il faut employer plus de 100 kil. de fer brut. On a reconnu, en effet, que pour obtenir 100 kil. de fer forgé, il fallait employer 103 kil. de fer brut. Il y a donc là 3 kil. de fer perdu; c'est ce qui constitue le *déchet.* Ce déchet est excessivement variable; il dépend de la qualité du fer, de celle du charbon, et surtout de l'habileté du forgeron. Dans tous les cas, il doit entrer dans le prix du compte de revient.

2° Du prix du charbon consommé par la forge.

3° Du prix de la main-d'œuvre, dans laquelle se trouve compris le temps employé par le forgeron et son aide pour préparer la pièce.

4° Du prix de la pose, dans lequel on ne comprend que le temps employé par l'ouvrier pour poser l'ouvrage sur place.

5° Enfin de faux-frais, dans lesquels on comprend : 1° la location de la boutique; 2° la patente et les impôts; 3° l'établissement et l'entretien des forges et de leurs accessoires; 4° le transport des ouvrages faits de l'atelier au bâtiment.

Les auteurs varient sur le chiffre que l'on doit allouer aux entrepreneurs pour le déchet et les faux-frais ; tous accordent 1/6e du tout pour le bénéfice. Morizot admet 1/10e pour le déchet et 1/5e de la main-d'œuvre pour les faux frais. Toussaint accorde 1/6e de la main-d'œuvre pour les faux-frais.

L'évaluation des ouvrages de quincaillerie est beaucoup plus facile; elle se compose :

1° Du prix d'acquisition principale ;

2° De celui des menues fournitures, accessoires à certaines pièces et servant à leur pose, comme les vis, les clous, etc., etc. ;

3° Enfin du prix de la pose.

Il y a, en général, trois manières de compter les ouvrages de serrurerie. Les uns se comptent aux poids : ce sont les grosses pièces, les *ancres*, *chaînes*, etc. ; les autres à la mesure linéaire, telles sont les *rampes d'escalier*, les *espagnolettes*, etc. D'autres, enfin, se comptent à la pièce : ce sont les objets fournis en partie par la quincaillerie, les *serrures*, *pommelles*, etc.

Nous ne déterminons ici aucun prix ; ils sont, en effet, si variables, qu'on ne sait pas aujourd'hui ce qu'ils seront dans deux ou trois mois.

Dans tout ce que nous venons de dire, on suppose toujours que les fournitures sont faites dans les premières qualités. Lorsqu'elles seront de qualité inférieure, l'architecte diminuera de 1/5, 1/4 et même 1/2 du prix de fourniture ; si l'ouvrage est mal fait, il le refusera.

Il faut une bien grande habitude des détails de serrurerie et avoir l'œil bien exercé, pour ne pas se laisser imposer par les *énonciations amplifiées* de MM. les serruriers. On rencontre quelquefois des entrepreneurs qui demandent, dans plusieurs articles de leurs mémoires, la fourniture d'un objet. Pour une serrure, par exemple, ils compteront : 1° la *fourniture*, 2° l'*entrée*, 3° les *boulons*, 4° les *vis*, 5° la *gâche*, 6° la *pose*. Leur but est évidemment d'obtenir un prix plus élevé que celui qui est dû. Pour les menues réparations d'objets composés de plusieurs pièces cachées, comme les serrures, on rencontre encore des serruriers qui divisent une légère réparation en plusieurs articles, qui, réunis ensemble, donnent un total excédant de beaucoup le prix du même ouvrage neuf.

C'est au vérificateur à rassembler en un seul article tout ce qui appartient au même objet, et qui a été livré en même temps, comme la serrure et ses accessoires ; il ne doit régler à part que les objets de façon, c'est-à-dire ceux qui ont été *faits exprès* pour le besoin spécial de l'emplacement.

2e SECTION. DU SERRURIER-CHARRON. — Le serrurier-charron s'occupe de tout ce qui a rapport au ferrage des voitures. De tous les ouvrages qu'il emploie, il en est trois qui sont exclusivement fabriqués par lui; les autres peuvent l'être par les serruriers en bâtiments : ces ouvrages sont les *essieux*, les *cols de cygne* et les *ressorts.*

On donne le nom de col de cygne à toute courbure que l'on fait subir à une tringle de fer, et qui imite plus ou moins la forme du cou d'un cygne. Les ferrures de ce genre sont d'un emploi fréquent dans la carrosserie et, étant employées brutes des forges, exigent pour les voitures de luxe une grande habileté chez les forgerons. Dans une voiture, on appelle col de cygne la pièce en fer qui marie l'*avant-train* à l'*arrière-train ;* elle a pour but de former une courbe assez élevée pour permettre aux roues de l'avant-train de passer dessous, disposition qui permet à l'avant-train de pivoter sur la cheville ouvrière, et à la voiture de tourner comme s'il n'y avait que deux roues.

Le col de cygne se fabrique en plaçant une barre de fer de Berry entre deux barres de fer de roche. Ces trois barres sont bien forgées, bien soudées ensemble à la chaude-suante, et amenées à une grosseur qui, suivant la force de la voiture, varie de 0m,04 à 0m,05 d'équarissage. Le col de cygne se fait en deux parties, celle du devant et celle de derrière. Quand la pièce est forgée, on lui donne la courbure nécessaire, courbure qui est déterminée par la forme de la voiture et la hauteur de ses roues. Cela fait, on soude les deux parties ensemble ; on chauffe au rouge cerise ; on forge pour donner définitivement à la pièce la forme et la grosseur voulues; puis on pousse dessus les ornements, s'il doit y en avoir.

Les *ressorts de voitures* sont des assemblages de feuilles minces d'acier, ayant de 3 à 7 millimètres d'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paisseur sur 6 à 8 centimètres de large, qui, par leur élasticité, adoucissent la transmission du choc des roues sur les corps durs.

Les ressorts anciens étaient construits avec une portion de cercle sur laquelle s'enroulait une courroie en cuir qui supportait la voiture. Cette courroie se fixait à un petit cric attaché aux patins derrière le ressort. Il y avait, en général, quatre ressorts par voiture. Aujourd'hui, on donne une autre forme aux ressorts des voitures ; on les fait droits, comme dans les locomotives.

Le ressort est composé de plus ou moins de feuilles d'acier, suivant le poids de la voiture. Les petits en ont cinq, les forts en ont dix, quelquefois douze.

Pour faire un ressort, le serrurier commence par déterminer le diamètre de sa courbure et la longueur de sa queue. Ces deux quantités connues, il en déduit la longueur de la première feuille, qui évidemment sera la plus grande.

Il forme et il lime cette première feuille pour lui donner la forme voulue. La pièce étant préparée, il la place dans une étampe ; puis à quelques centimètres de l'extrémité de la feuille, et au milieu de sa largeur, il fait un petit bouton nommé *tétion*. Ce tétion a une saillie de 6 à 8 millim. et une épaisseur de 8 à 4 millim.

La seconde feuille, plus courte que la première, se pose dessus ; on fait à 5 ou 6 centim. de son extrémité, et au milieu de sa largeur, une mortaise longitudinale de 4 ou 5 millim. de large sur 0m,030 à 0m,035 de long, dans laquelle entre le tétion de la première feuille. A 5 ou 6 centimètres de la mortaise, et toujours au milieu de la largeur de la feuille, on fait un petit tétion, qui a la même dimension que celui de la première feuille, et qui entrera dans la mortaise longitudinale que l'on pratiquera au milieu de la largeur et à quelques centimètres de l'extrémité de la troisième feuille, qui, plus courte que la seconde, se posera également dessus. On continuera ainsi jusqu'à la dernière feuille, qui est la plus courte, et qui porte une mortaise longitudinale sans avoir de tétion. Le tétion a pour but de permettre aux feuilles du ressort de prendre un petit mouvement d'oscillation sans avoir un mouvement latéral.

Quand les feuilles sont ainsi superposées, on pratique, au tiers environ de la plus grande feuille, une mortaise qui traverse toutes les feuilles : c'est là que se place le *collier* du ressort. A partir du collier, on pratique d'autres mortaises pour fixer le ressort sur la voiture : le nombre de ces mortaises varie avec le nombre des points d'appui dont on peut disposer.

Cela fait, on cintre la maitresse tige en lui donnant la courbure voulue ; les autres se modèlent évidemment sur elle. Quand elles sont bien cintrées, on les trempe en paquet au rouge-cerise ; on les recuit légèrement afin d'égaliser la trempe. Il ne reste plus qu'à les poser.

L'*essieu* constitue une partie essentielle de la voiture ; c'est sur lui que repose la charge, et ce sont ses extrémités qui servent d'axes aux roues de la voiture.

Un essieu se compose de deux *fusées coniques*, ordinairement tournées, qui entrent dans une boite en métal fixée dans le moyeu de la roue, et du *corps de l'essieu*, habituellement de forme rectangulaire, sur lequel se placent les brancards ou les ressorts de la voiture. Les extrémités des fusées sont traversées par des chevilles en fer, ou elles sont garnies d'*écrous taraudés*, l'un à droite, l'autre à gauche, pour retenir les roues.

Les essieux se font en *bois*, en *fer* et quelquefois en *acier*.

Les essieux en bois ne sont guère employés que pour les voitures de la campagne et les petites voitures comtoises traînées par un cheval. Les fusées sont garnies au-dessous d'une bande de fer, dont l'extrémité, façonnée en virole, lie le bout de l'essieu et porte le trou de la cheville.

Les essieux en fer sont plus généralement employés. On les fait de plusieurs barres de *fer méplat*, de la meilleure qualité possible, qu'on forge ensemble en ayant soin de diriger *leurs champs* dans le sens de l'effort qui se produit de bas en haut.

L'expérience a appris aux forgerons les dimensions qu'il faut donner aux essieux pour supporter une charge voulue. Ils doivent pouvoir supporter la voiture non seulement quand elle est en repos, mais encore quand elle est en mouvement, ce qui est bien différent ; car dans le premier cas il y a une simple pression, dans le second il y a pression et percussion sans cesse répétée, et qui s'accroit avec le mauvais état du chemin. La solidité de l'essieu est une chose très importante ; de sa rupture résultent les plus graves inconvénients, tant pour les rouliers que pour les animaux qui traînent les voitures : il vaut toujours mieux donner plus que moins.

Dans le tableau suivant, nous donnons les dimensions que les charrons anglais donnent aux essieux des voitures qu'ils construisent :

NATURE des voitures.	Nombre des roues.	Charge sur chaque essieu.	Portée des essieux.	DIAMÈTRE au gros bout.	DIAMÈTRE au petit bout.
		k.	m.	cent.	cent.
Tilbury.....	2	104,5	0,30	3,8	3,2
Cabriolet....	2	296	0,23	4,1	3,5
Briska.....	4	235	0,20	4,1	3,5
Char-à-bancs.	4	248	0,23	4,5	3,8
Landau.....	4	400	0,23	5,1	3,8
Diligence....	4	382	0,28	5,7	4,1
Charrette....	2	609	0,29	6,4	3,4
Wagon.....	4	1015	0,33	7,6	6,4
Charrette de roulage...	4	1420	0,33	8,6	6,9

Pour une charrette pesant 10.000 et traînée par quatre chevaux, on donne au corps de l'essieu une section de 0m,094 sur 0m,067.

Les autres pièces employées au ferrage des voitures rentrent dans la catégorie des pièces fournies par les serruriers en bâtiments.

3e SECTION. DU SERRURIER-MÉCANICIEN. — Le serrurier-mécanicien est celui qui fait toutes les pièces en fer forgé qu'on lui commande, souvent même il fait des machines entières. Il doit savoir forger, limer, tourner le fer, l'acier, le cuivre, exécuter tous les travaux, posséder tous les outils de constructeur mécaniciens. Nous n'entrerons ici dans aucun détail sur ses attributions, et nous renverrons aux articles CONSTRUCTION DES MACHINES, MACHINES-OUTILS, TOUR, etc., de cet ouvrage.

Bien que l'art du serrurier soit très-ancien, il existe cependant bien peu d'ouvrages sur la serrurerie. Les seuls qui méritent d'être consultés sont les suivants :

Duhamel-Dumonceau. *L'Art du serrurier*, faisant partie de la collection des arts et métiers publiée par l'Académie.

Royau. *L'Art du serrurier*, 1 grand vol. in-fol., 1826.

Le baron de Grandpré. *Manuel théorique et pratique du serrurier*, 2e édition.

Thiollet. *Serrurerie et fonte de fer*, 1 vol. in-fol., 1826.

Eck. *De l'emploi du fer et de la fonte dans les constructions.*

A. CURTEL.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GROSSE SERRURERIE. — CONSTRUCTIONS EN FER. Les constructions métalliques s'exécutent en fonte, en fer proprement dit, en tôle ou en acier. Quoique les propriétés et le traitement industriel de ces diverses matières aient été étudiés en détail dans plusieurs articles de ce Dictionnaire, il convient de rappeler ici quelques faits essentiels pour le constructeur, car il importe de ne jamais perdre de vue que les formes de ses ouvrages ne peuvent pas être arrêtées sans tenir compte des propriétés physiques des matériaux et des nécessités techniques de la fabrication.

Nous présentons dans le tableau suivant le résumé d'un grand nombre d'expériences sur l'élasticité et la cohésion du fer et des métaux dérivés.

DÉSIGNATION des Auteurs DES EXPÉRIENCES.	TENSION.		COMPRESSION.		OBSERVATIONS.
	COEFFICIENT d'élasticité [1].	CHARGE de rupture en kilogr.	COEFFICIENT d'élasticité [1].	CHARGE d'écrasement en kilogr [2].	
Fonte.					1. Le millimètre est pris comme unité.
Hodgkinson. Maximum...	»	14	»	111	2. En prismes courts.
— Moyenne....	9096	11.59	8804	63	
— Minimum....	»	9	»	45	
Collet Meygret et Desplaces.					
— Maximum...	12000	»	»	»	
— Moyenne....	6000	»	»	»	
— Minimum....	3000	»	»	»	
Love. Maximum.....	»	20.8	»	»	Fonte de Torteron (Berry).
— Minimum.....	»	14.41	»	»	
Presse hydraulique du pont de Menai.....	»	12	»	»	
Rondelet.....	9029	»	»	»	
	10653	»	»	»	
Navier.....	11000	»	»	»	
Tredgold.....	12144	»	»	»	
Fer.					
Expériences de Perronnet..	»	32.7 à 54.3	»	»	Fer français.
Minard et Desormes.....	»	29.9 à 44.5	»	»	Fer français.
Séguin aîné.....	»	29.7 à 61	»	»	Fer français.
Émile Martin.....	»	31.5 à 35.5	»	»	Fer à câble de Fourchambault.
Telford.....	»	45.2	»	»	Fer de Suède.
Tôle.					
Navier.....	»	40.8	»	»	Dans le sens du laminage.
Id.	»	36.4	»	»	Perpendiculairement au laminage.
Stephenson.....	»	26.4 à 31.57	»	»	Tôles anglaises.
Duleau.....	20000	»	»	»	M. Hodgkinson est arrivé sensiblement au même résultat.
Fairbairn.....	11500	»	»	»	Fers spéciaux.
Hodgkinson.....	»	»	14295	»	
Fil de fer.					
Séguin aîné.....	»	36.1	»	»	Fil de Bourgogne recuit.
Id.	»	73.7	»	»	Fil de Bourgogne non recuit.
Id.	»	51.9 à 89.8	»	»	Fil de Besançon.
Lamé.....	»	74.2 à 143.8	»	»	Fil de Russie.
Ardant.....	18000	»	»	»	
Acier.					
Tenbrinck.....	»	83.4	»	»	Acier anglais, roide.
—	»	48.6	»	»	Acier de Hombourg, très-doux.
—	»	73.2	»	»	Acier de Krupp, roide.
—	»	63	»	»	Acier de Krupp, doux.
Tresca..	»	70.31	»	»	Fil d'acier.
—	18000	»	»	»	Limite d'élasticité = 40 kilogr.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Valeurs moyennes admises dans la pratique des constructions.

DÉSIGNATION DES MÉTAUX.	COEFFICIENT d'élasticité.	CHARGE permanente en kilogr.
Fonte	9000	3 à 3.50
Fer en barres	20000	6, 7, 8
Tôle	20000	6
Fil de fer	»	»
Bessemer	»	10 à 11
Acier	18000	14

Dans la pratique on ne fait supporter aux métaux que des charges permanentes égales au sixième de la charge de rupture.

FONTE. — Voir les articles *fonte*, *fonderie*, du Dictionnaire. — On n'emploie guère dans les constructions que la fonte grise. Sa densité moyenne est de 7,2. Son élasticité, sa ténacité et sa résistance à la rupture sont extrêmement variables.

Les différences considérables que l'on observe dans les résultats du tableau précédent, en ce qui concerne la fonte, peuvent être attribuées à sa provenance ou son mode de traitement; mais il est une autre cause d'incertitude qui a, dans la composition des ouvrages en fonte, une grande importance : c'est l'inégalité de constitution moléculaire due à l'opération du coulage ; elle est d'autant plus sensible que la forme des moules est plus compliquée et que l'épaisseur des pièces est plus grande. Au contact des parois froides du moule la fonte se solidifie plus vite; les molécules intérieures se trouvent dans un état inégal de tension mutuelle : il se produit une véritable trempe du métal des parois. Il faut donc éviter les pièces épaisses, à saillies vives et à contours brusques, et n'admettre que des formes simples et des épaisseurs faibles.

On remarque aussi que la fonte résiste à un effort de compression environ sept fois plus grand que l'effort de tension nécessaire pour la rompre. Elle est très-élastique; en admettant que son coefficient d'élasticité E est égal à 9,000, aussi bien pour la tension que pour la compression, en appelant P la charge d'une barre de fonte, A sa section, i son allongement relatif, on a :

$$i = \frac{1}{9000} \times \frac{P}{A}, \text{ soit } \frac{P}{A} = 3^k,50, \; i = 0{,}000377.$$

Les défauts de la fonte sont très-difficiles à éviter et à reconnaître d'avance.

Elle résiste mal au choc; elle peut s'obtenir avec économie par moulage sous des formes très-variées. Elle se conserve mieux que le fer, surtout dans l'eau.

On en fera avec avantage des supports, socles, sabots, piliers, des colonnes, en observant des proportions telles que l'on n'ait pas à redouter leur flexion, des poutres pleines de faible longueur, des arcs qui pourront atteindre les plus grandes portées, mais à la condition d'être disposés à la manière des voûtes, c'est-à-dire, n'ayant à supporter que des forces comprimantes; des ornements très-compliqués, mais en fonte phosphoreuse, fluide, peu résistante, et en pièces rapportées.

Assemblages. — Les assemblages des pièces de fonte entre elles donnent lieu, généralement, à des dispositions assez simples; on évite de les faire travailler à la traction ; on fait en sorte que les surfaces en contact aient une étendue bien proportionnée à l'intensité des pressions qu'elles exercent mutuellement : il est donc essentiel qu'elles s'appliquent exactement l'une sur l'autre; pour cela, il est souvent nécessaire de les dresser; pour diminuer les frais de cette main-d'œuvre, on ménage aux points convenables des *portées* dont la superficie est en rapport avec l'intensité des pressions transmises. Dans les ouvrages de peu d'importance, on économise la main-d'œuvre du planage en interposant entre les surfaces des matières compressibles comme le plomb, le feutre. Les pièces de fonte ayant généralement peu d'épaisseur, c'est par l'intermédiaire de brides ou d'oreilles en saillie sur leurs parois et de boulons qu'elles sont réunies entre elles.

FER. — Voir les articles du Dictionnaire : *Fer*, *Forge*, *Outillage*, *Machines*, *Machines-Outils*.

La densité moyenne du fer est 7,8.

On peut comparer l'allongement élastique du fer à celui de la fonte; en conservant les notations précédemment admises, on aura :

$$i = \frac{1}{20000} \times \frac{P}{A}, \text{ soit } \frac{P}{A} = 7 \text{ kilog. } i = 0{,}00035.$$

Le fer, en *moyenne*, résiste à l'extension quatre fois mieux que la fonte, mais celle-ci peut supporter sans s'écraser une pression deux fois et demi plus considérable que le fer : néanmoins, la différence entre les deux modes de rupture, qui est si grande pour la fonte ($63 - 11 = 52$), est bien moindre pour le fer ($40 - 25 = 15$); on peut donc employer le fer aussi bien dans un cas que dans l'autre : par conséquent, il résistera très-bien aux efforts de flexion qui se ramènent, comme le montre la théorie de la résistance des matériaux, à des efforts de tension et de compression simultanés.

On en fera des chaînes, des tirants, des poutres de toute portée, des planchers, des arcs, des ferrures de combles, etc.

Les fers que les constructeurs achètent dans le commerce reçoivent diverses dénominations : suivant leurs qualités physiques (fers forts, durs, aciéreux, de roche, fers mous, fers à nerfs, à grains, fers demi-forts, demi-roches, fers rouverains, métis, fers tendres, aigres, brûlés); suivant leur mode de fabrication (fers forgés, fins, martelés, laminés, fondus, corroyés, puddlés, au bois, au coke, de riblons); suivant leurs formes et leurs dimensions (fers marchands, carillons, carrés, ronds, demi-ronds, verge, bandelette, méplat, feuillard, fers à plancher, fers spéciaux). La plupart de ces dénominations ont été définies dans les articles précédemment cités; nous ne voulons ici arrêter l'attention du lecteur que sur deux points importants, la classification des fers par qualités et la fabrication des fers spéciaux.

Classification des fers. — Le grand nombre de termes techniques que nous venons de rappeler suffit pour faire sentir l'utilité d'une classification précise des fers pour les divers besoins de l'industrie : il règne à cet égard un vague regrettable et plusieurs tentatives ont été faites pour en sortir. Nous citerons comme la plus remarquable et la plus pratique celle du Creuzot. Dans ce grand établissement les fers sont classés sous sept types ou numéros, savoir :

N° 1. Fer pour rails de chemins de fer; tendre à chaud, dur à froid, soudant, non rouverain.

N° 2. Qualité ordinaire; usages courants de l'agriculture, du charronnage; fers marchands ordinaires; tôles et fers spéciaux pour constructions civiles, planchers, charpentes, ponts, réservoirs, pièces n'ayant à supporter que des efforts statiques.

N° 3. Qualité ordinaire améliorée; il supporte un travail à chaud déjà difficile; fers de chevaux, tôles communes de la marine militaire, chaudières fixes des machines à vapeur.

N° 4. Fers demi forts; travaux de serrurerie et de petite mécanique; tôles ordinaires de la marine militaire; à l'état corroyé on en fait des fers spéciaux pour les parties contournées des charpentes, des rivets, des boulons.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

N° 5. Tôles de chaudières à haute pression. — Fers forts.

N° 6. Il supporte sans altération un travail à chaud prolongé, et prend très-bien la trempe au paquet; construction des machines, rivets, boulons, locomotives; tôles supérieures de la marine militaire.

N° 7. Qualité supérieure; pièces de fatigue des locomotives, armes perfectionnées.

Chacun des numéros précédents peut encore, pour certains usages où la cohésion établie par le laminage est insuffisante, être livré, après un traitement supplémentaire, sous la dénomination de fer corroyé, moyennant une majoration de 3 à 18 fr. par 100 kilog., suivant la qualité.

Cette classification est établie par des essais journaliers faits à l'usine, à froid et à chaud, qui, pour être comparables, doivent porter sur un même échantillon : on a choisi le rond de 20 millimètres de diamètre, en barres de 200 millimètres de longueur.

Les essais à froid consistent à déterminer la charge de rupture par millimètre carré de la section primitive et de la section rompue et l'allongement relatif. Les essais à chaud ont lieu en ployant à angle droit la barre préalablement portée au rouge vif, en la redressant et en renouvelant cette opération jusqu'à la rupture. On admet que la qualité du fer à chaud est proportionnée au nombre de crochets que l'on en peut obtenir sans le briser.

Pour obtenir le classement, on ajoute le chiffre qui exprime en kilogrammes la résistance instantanée par millimètre carré de la section rompue, au nombre des crochets multiplié par 5, et on prend la moyenne. En comptant la résistance de la section rompue et non celle de la section primitive, on tient compte de l'allongement de la barre et de l'élasticité du métal. C'est ainsi que le tableau suivant a été obtenu.

Il serait fort à désirer, pour la rapidité et la sûreté des transactions commerciales, qu'un mode de classement aussi net se généralisât dans l'industrie.

Il nous manque aussi en France des établissements où les essais sur la résistance des métaux que les constructeurs trouvent dans le commerce pourraient être faits couramment, à l'instar des essais sur les matériaux de maçonnerie et produits agricoles qui s'exécutent au laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

QUALITÉS.	Allongement relatif d'une tige de 200mm de longueur.	A FROID. Résistance par millimètre carré de la section		A CHAUD. NOMBRE de crochets.	COEFFICIENTS de qualités.
		Primitive.	Rompue.		
		k.			
1	0.08	41.2	45.5	8	42.75
2	0.12	39.8	55	10	52.50
3	0.16	39.7	60	12	60.00
4	0.19	38.08	65	14	67.50
5	0.20	38.8	70	16	75.00
6	0.22	38.75	77.5	18	83.75
7	0.25	39.10	90	20	95.00

Travail du fer. — Le fer se forge et se soude à lui-même, propriété précieuse dont on profitera pour disposer les assemblages les plus solides; on pourra aussi, dans toutes les sections des pièces, répartir la matière de manière à obtenir les profils les plus convenables à leur destination : ce sont là deux éléments de supériorité considérable du fer sur toutes les autres matières employées dans les constructions. Mais on n'abusera pas de la forge; en effet, dès que les dimensions des pièces atteignent certaines limites, la forge exige un outillage spécial et dispendieux et une habileté de main-d'œuvre rare; les difficultés du transport et du montage fixent d'ailleurs des bornes au poids des éléments d'une grande construction. On profitera, au contraire, de la solidité que l'on peut donner aux assemblages en fer pour diviser les grands ouvrages en parties d'un poids limité, faciles à transporter et à lever.

Le fer étant livré par le commerce en barres prismatiques, comme les bois, on sera souvent conduit, pour éviter tout déchet et simplifier la main-d'œuvre de transformation, à combiner les pièces de manière à constituer des systèmes de forme invariable, c'est-à-dire composés de triangles, et pour plus de sûreté on fera les calculs de stabilité comme s'il s'agissait de systèmes articulés sans frottement.

La question des assemblages a donc ici une importance capitale; l'introduction des fers spéciaux lui a fait faire un grand progrès, et, avant de l'aborder, il convient de dire quelques mots de ceux-ci.

Fers spéciaux. — Les premiers fers spéciaux ont été fabriqués en 1846 par M. Lagoutte, maître de forges à La Villette, pour la construction des charpentes en fer des machines fixes du chemin atmosphérique de Saint-Germain, sous la direction de M. Flachat.

Les *fers à cornières*, si fréquemment employés dans les ajustages de grande chaudronnerie et de grosse serrurerie en général, particulièrement pour la construction des membrures des bâtiments en tôle ou en bois et fer, sont maintenant livrés au commerce dans les dimensions les plus variées, pesant depuis 20 kilog. jusqu'à 0 kil. 900 le mètre linéaire.

Les fig. 1 à 8 donnent la forme exacte de la section transversale de quelques fers à cornières. Le tableau suivant, très-commode pour les rédactions d'avant-métrés, donne les dimensions et les poids correspondants d'un certain nombre de formes courantes. La *hauteur* est mesurée de l'angle droit de la section du fer à l'extrémité des arêtes supposées égales. L'*épaisseur* est prise à peu près au milieu de la lame. Les chiffres vis-à-vis desquels ne se trouvent pas de numéros de figure répondent à des fers à cornières à sections semblables à celles que donnent les figures, mais qui ne sont pas reproduites, pour éviter de multiplier inutilement les dessins.

Les épaisseurs, en millimètres, des fers dont les figures reproduisent la section, mesurées suivant la bisectrice de l'équerre, sont respectivement : 7, 9; 10, 13; 18, 15; 22, 25.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUMÉROS des figures.	HAUTEUR.	ÉPAISSEUR.	POIDS par mètre courant.
	millim.	millimètres.	kilogr.
	90	15 à 12	15,00 à 19,00
7 et 8	80	14 — 11	12,00 — 16,00
	70	12 — 10	9,70 — 12,00
	65	11 — 9	8,25 — 10,00
5 et 6	60	11 — 9	7,20 — 9,00
	55	10 — 8	5,30 — 7,00
	50	9 — 7	4,80 — 6,50
	45	8 — 6	3,75 — 5,0
3 et 4	40	7 — 5	2,80 — 4,00
	35	6 — 4½	2,05 — 2,85
	30	6 — 4	1,55 — 2,45
	27	5 — 3½	1,33 — 1,80
1 et 2	25	5 — 3	1,03 — 1,65
	23	4 — 3	0,90 — 1,25

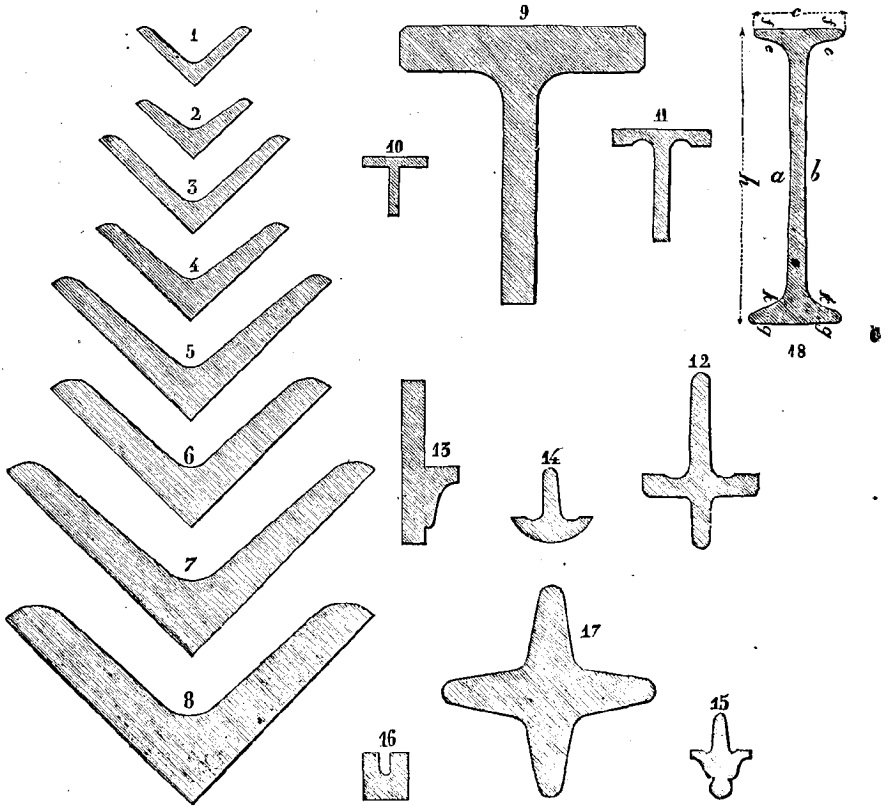
On fabrique également des cornières à lames inégales, des fers *en équerre*, de toutes dimensions, des fers à vitrages et à moulures de toutes formes. Les figures 9 à 16 peuvent donner une idée de ces différents fers, qu'il est inutile d'étudier ici en détail, mais qui fournissent aux ouvriers de goût des ressources de toute espèce pour la construction des lanternes d'escalier de grande dimension, des serres, et de tous les ouvrages analogues. Nous citerons encore les fers dits à bielle (fig. 17), très-convenables pour colonnettes et autres supports. Leur poids varie de 4 à 25 kilog. le mètre.

Les fers à T, à branches égales ou inégales (fig. 9 à 11), se rencontrent dans le commerce sous toutes les dimensions désirables. Leur poids varie de 0k,500 à 50 kilog. et plus le mètre courant.

On désigne sous le nom de fer à double T (fig. 18) des pièces dont la section transversale rappelle celle des rails de chemin de fer; ce sont des barres plus ou moins minces dans leur milieu et fortement renflées sur les bords.

Les nombreux usages auxquels les fers de ce genre sont maintenant appliqués dans les constructions nous obligent à nous y arrêter un instant.

Le profil transversal des fers à double T varie d'une usine à l'autre; mais tous ces fers étant fabriqués avec des laminoirs dont les cylindres sont garnis de rainures offrant en creux la forme du demi-relief de la pièce, on peut obtenir des fers dont le poids par mètre courant varie avec l'épaisseur de la barre qui est réglée par



Fers spéciaux. — Échelle de 0,05 pour les figures 1 à 17.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'écartement des cylindres. Mais la hauteur du double T et la saillie des renflements sur l'âme de la barre sont constants pour tous les fers obtenus avec les mêmes cylindres. La longueur des barres est très-variable, mais elle doit être telle que le poids de la pièce ne dépasse pas 300 kilog. environ; au delà de ce poids, la fabrication devenant difficile.

Cependant ces dimensions peuvent être dépassées dans les établissements bien outillés. A l'exposition universelle de 1867, MM. Petin et Gaudet avaient exposé une série de fers à T laminés qui s'élevaient graduellement jusqu'à un échantillon de 1m,00 de hauteur sur 10 mètres de longueur ayant des nervures de 0m,40 de largeur pesant 2,475 kilogrammes. Il n'y a peut-être pas un aussi grand intérêt que l'on peut être porté à le croire au premier abord à entrer dans cette voie, car les fers laminés de grande dimension offrent, par suite des nécessités de la fabrication, une répartition moins avantageuse du métal que les poutres en tôle et par suite moins d'économie.

Les renflements ou nervures se raccordent avec le corps de la barre par des congés, et toutes leurs arêtes sont arrondies.

Il est très-facile de calculer, à l'aide des formules ordinaires de résistance (voy. RÉSISTANCE), le poids que peut supporter une barre à double T de dimension donnée. Mais il est très-commode, pour éviter de trop longs tâtonnements, de pouvoir estimer immédiatement les dimensions approximatives de la pièce propre à supporter dans des conditions connues une charge déterminée. C'est ce que l'on fait très-aisément à l'aide du tableau suivant, qui donne à la fois les dimensions habituelles des principaux fers à double T des forges de la Providence, et leur poids par mètre courant.

HAUTEUR totale de la section.	HAUTEUR du corps entre les nervures.	SAILLIE des nervures sur le corps.	LARGEUR des nervures.	ÉPAISSEUR du corps correspondant.	POIDS par mètre courant.	VALEUR de $\frac{1}{2}\ p.\ l^2$.
millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	kilogr.	
100	88	19	43 à 45	4 à 7	9 à 12	171 à 191
120	106	20,5	45 à 50	5 à 9	11 à 15	241,1 à 313,1
140	126	20,5	47 à 53	6 à 12	14 à 20	335,4 à 452,5
160	144	20,5	48 à 53	7 à 12	15 à 25	463,6 à 591,6
180	162	23,5	55 à 62	8 à 15	20 à 30	671,9 à 898,7
220	200	27,5	64 à 71	9 à 16	26 à 40	1093,4 à 1532,3
260	236	27	67 à 74	13 à 20	40 à 58	1793,4 à 2271,6

La première colonne de ce tableau exprime la dimension indiquée sur la figure par la lettre *h*. La *largeur* des nervures est la quantité *c*, la *saillie des nervures* sur le corps est égale à la moitié de la quantité *c* diminuée de la quantité *a b*.

Assez ordinairement le corps n'a pas une épaisseur uniforme, on la réduit au milieu.

Les six premières colonnes de ce tableau sont relevées sur les dessins du prix courant des forges de la Providence, la dernière a été calculée par M. Morin. Elle n'est autre chose que le moment fléchissant ou le terme qui, dans la formule ordinaire de la résistance, représente le produit de la moitié de la charge par mètre courant par le carré de la distance qui sépare les points d'appui. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une pièce qui puisse avoir à supporter, au maximum, et par exception, une charge de 280 kilog. par mètre courant, et qui soit placée sur deux appuis espacés de $5^m = 2\,l$ comme une poutre de pont, par exemple, on aura :

$$p = 280 \text{ kil. et } {}^1/_2\ p\ l^2 = \frac{280}{2} \times 2{,}5^2 = 875 \text{ kilog.},$$

nombre qui, tombant entre 671,9 et 898,7, indique que la pièce nécessaire est comprise entre les dimensions intérieures que l'on peut donner au double T dont la hauteur totale est de 180 millimètres.

On livre ordinairement les fers à T avec une flèche de 1.200.

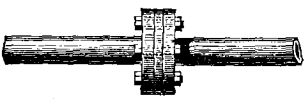
On voit quelquefois employer dans les bâtiments des fers dits à triple T, qui présentent une troisième nervure entre les deux nervures extrêmes. Cette forme, au point de vue de la résistance, est tout à fait irrationnelle. Le fer qui forme la troisième nervure, ne travaillant presque point, est employé en pure perte et augmente inutilement le poids. On le reconnaît aisément à l'aide des formules de résistance, mais une expérience frappante peut le démontrer également. En faisant un certain nombre de trous dans l'axe du corps d'une pièce à double T, la résistance de la pièce ne diminue pas sensiblement. Bien loin donc d'accumuler le métal en nervure aux environs de l'axe de la pièce, on pourrait le diminuer considérablement, si les procédés de fabrication s'y prêtaient et si d'autres considérations n'obligeaient à conserver une certaine force à cette partie de la barre.

On emploie quelquefois, pour consolider des poitrails ou pour appliquer le long des sablières des pans de bois, des fers que l'on pourrait appeler en E, qui ne présentent de nervures que d'un côté, l'autre face étant plane. La résistance de ces fers se calcule comme celle des fers à double T.

PRINCIPAUX ASSEMBLAGES DU FER.

1° *Assemblages droits ou de pièces placées en prolongeles unes des autres.* (Fig. 19 à 22.)

19.



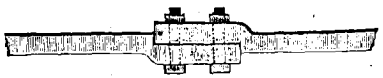
20.



21.



22.



Joint plat serré par des boulons.
Assemblage à mi-fer avec double fourrure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Assemblage à oreilles simples ou doubles, analogue à celui du même nom employé pour la fonte.



23.



24.



25.



26.

Enture à vis (pieux métalliques, tiges de sonde).

Mouffles, assemblages très-employés pour le chaînage des bâtiments, le serrage des frettes et des liens, la consolidation des dômes; on peut régler la tension de ces assemblages en remplaçant les clavettes simples par deux petits coins.

Assemblage à charnière.

Assemblage à trait de Jupiter avec collier.

Les assemblages suivants donnent beaucoup plus de latitude pour le règlement des tensions, ce qui est d'autant plus nécessaire que les pièces à réunir sont plus longues :



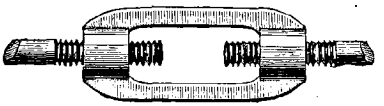
27.



28.



29.



30.

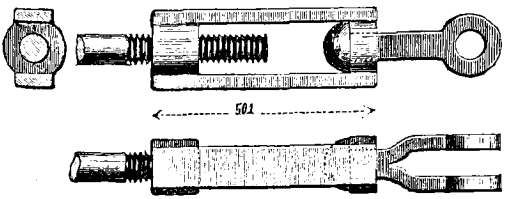


Fig. 31.

Joint à vis ou assemblage à manchon taraudé;
Assemblage à verrin;
Assemblage à double écrou ou à lanterne.

2° *Assemblages d'angles :*

Assemblage à œil des ancres, chaînes, grilles etc.;

Fig. 32.

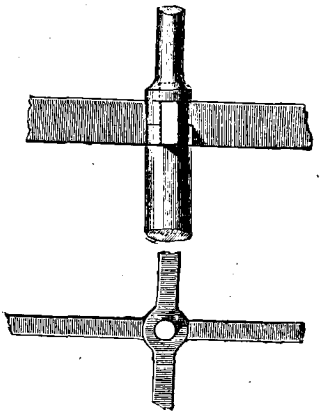


Fig. 33.

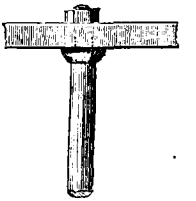


Fig. 34.

Assemblages à tenon et mortaise;
id. à tenon passant avec clef;

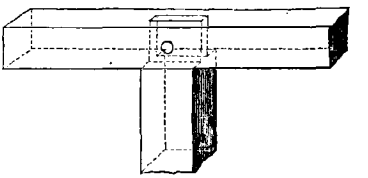


Fig. 35.

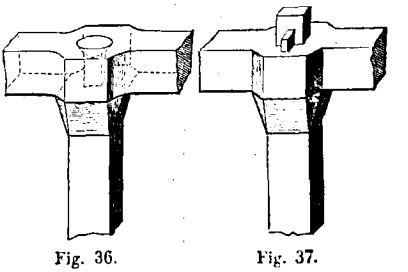


Fig. 36. Fig. 37.

id. id. avec écrou;
id. avec renfort et rivure;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Assemblages à vis;
id. avec goupille filetée et rivée.

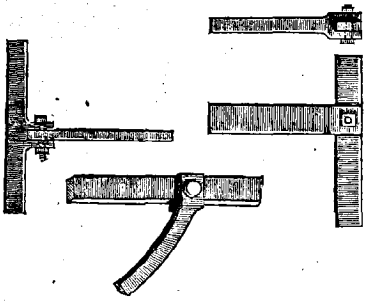


Fig. 38.

3° *Assemblages à mi-fer :*
id. à queue d'hironde;
id. à enfourchement;

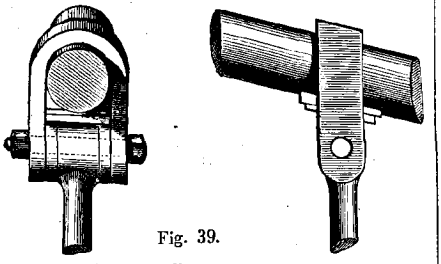
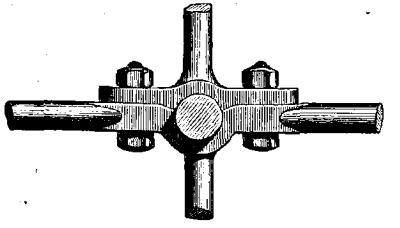
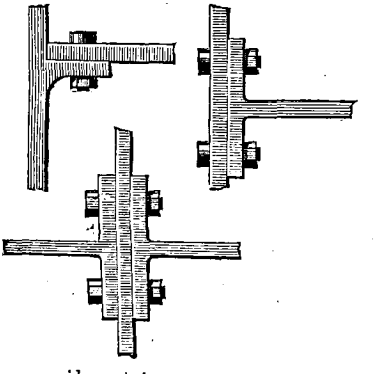


Fig. 39.

id. à collier;
id. à embrèvement et collier, pour angles très-aigus;



40.

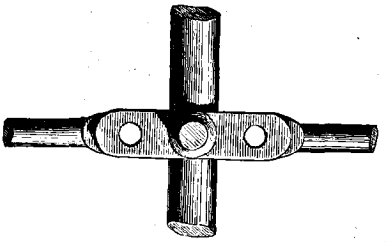


41.

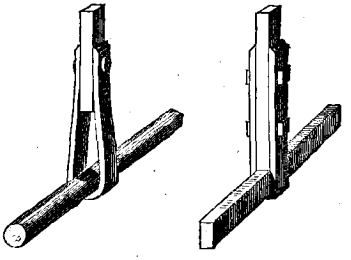
id. à équerres ou à cornières et à T.

4° *Assemblages de pièces qui se croisent :*

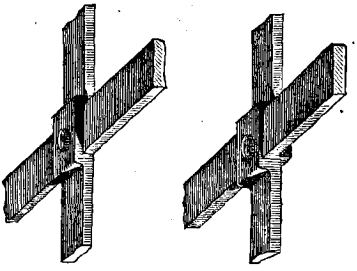
42.



43.



44



Assemblage à entailles simples et doubles.

BOULONS.

La bonne exécution et l'emploi judicieux des assemblages et des boulons constituent le caractère le plus apparent des ouvrages de serrurerie bien exécutés. Il importe donc de se rendre un compte exact des conditions de leur fabrication; malheureusement il règne encore à cet égard beaucoup de vague dans les usages industriels, et cet état de choses a de graves inconvénients; les divers ateliers ont des séries de tarauds et de filières dont les tracés ne se correspondent pas; on se trouve donc souvent dans le plus grand embarras lorsqu'il s'agit de remplacer un écrou ou de faire la réparation la plus simple. Quoique ces inconvénients soient depuis longtemps sentis, les tentatives faites pour les éviter n'ont pas encore abouti à établir l'entente complète qui serait désirable.

En 1841, M. Whitworth soumit cette question à l'Institut des ingénieurs civils de Londres et donna, à la suite d'un mémoire spécial, un tableau des dimensions principales qui furent adoptées par les constructeurs les plus recommandables de l'Angleterre.

M. Armengaud, en 1841, dans sa publication industrielle, et, en 1863, dans le Vignole des mécaniciens, traduisit en mesures françaises les résultats proposés par M. Whitworth.

M. Denis Poulot, ingénieur à Paris, a publié un autre système de classement, en 1862, dans l'Annuaire de la Société des anciens élèves d'Arts et métiers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Redtenbacher (Resultate für den maschinenbau, Heidelberg, 1868) adopte les formules de M. Armengaud.

M. Reynaud (Traité d'architecture, 1867) indique les proportions suivantes :

Dans le cas où le boulon supporte un effort de tension, on calculerait le diamètre du noyau de la partie filetée, en prenant pour unités le millimètre et le kilogramme, par la formule

$$d = 0{,}65\sqrt{P}$$

ce qui suppose que le fer supporte une charge permanente de 3 kilog. par millimètre carré, ou moitié de la charge habituellement admise.

La saillie des filets serait égale à $0{,}1\,d$ et, par conséquent, le diamètre de la partie filetée à $1{,}2\,d$.

L'épaisseur de l'écrou et de la tête devrait être égale à la même quantité $1{,}2\,d$.

Leur diamètre extérieur serait compris entre $2\,d$ et $1{,}5\,d$.

On pourrait appliquer le calcul à la détermination de ces proportions; il convient même de bien se rendre compte que le filet d'un boulon est un corps saillant sur le noyau et en forme de solide d'égale résistance, sur lequel vient se répartir uniformément toute la charge de la tige. Ce filet est donc sollicité par un effort fléchissant dont le moment, par unité de longueur, est très-petit à cause de la petitesse de son bras de levier et par un effort tranchant dont l'intensité maximum se produit au droit de la surface cylindrique du noyau.

La forme hélicoïdale offre ici un moyen de transmettre et de concentrer sur un petit espace un effort considérable.

Les filets de l'écrou sont déterminés par les mêmes considérations; mais si cet écrou était fabriqué avec une substance moins résistante que la tige du boulon, les filets saillants devraient avoir une épaisseur plus grande que ceux de la tige : c'est ce qui a lieu pour les vis à bois.

On serait conduit à diminuer indéfiniment la saillie et le pas des filets, si la pratique n'indiquait certaines limites qu'il ne convient pas de dépasser; il est, en effet, difficile d'ajuster l'écrou sur une vis d'un pas trop fin, et si l'opération est souvent renouvelée, celle-ci s'use rapidement.

L'épaisseur annulaire de l'écrou et de la tête serait déterminée par la condition de répartir uniformément sur les surfaces pressées la totalité de la charge du boulon; il faut aussi pouvoir les saisir et les serrer énergiquement avec la clef.

Dans le cas où le boulon supporte un effort tranchant, on peut déterminer sa section par des considérations analogues à celles que nous développerons plus loin à propos des rivets. La tête et l'écrou peuvent alors être plus petits.

Le ministre de la marine a prescrit enfin, par des circulaires en date des 14 mai 1861 et 25 septembre 1863, d'adopter dans tous les arsenaux les dimensions indiquées dans le tableau ci-dessous.

NUMÉROS.	DIAMÈTRE en dehors du filet.	DIAMÈTRE de l'hexagone circonscrit à l'écrou.	HAUTEUR du PAS.	CHARGES TOTALES que les boulons peuvent supporter, la charge permanente par millimètre carré étant de :		
				5k	3k	1k
20	100	180		31526	18915	6305
19	96	173		28841	17305	5768
18	92	166		26133	15679	5226
17	88	159		23647	14188	4729
16	84	152	6 m/m	21272	12763	4254
15	80	145		19023	11413	3804
14	76	138		16899	10139	3379
13	72	131		14901	8940	2980
12	68	124		13809	8285	2761
11	64	117		12009	7205	2401
10	60	110	5 m/m	10334	6200	2066
9	56	103		8785	5271	1757
8	52	96		7362	4417	1472
7	48	89		6601	3960	1320
6	44	82		5376	3225	1075
5	40	75	4 m/m	4276	2565	855
4	36	68		3302	1981	660
3	32	61		2454	1472	490
2	28	54	3.5	1888	1130	376
1	24	47	3.0	1387	832	277
»	20	40	2.5	955	573	191
»	16	32	2.0	613	368	122
»	12	27	1.5	346	208	69
»	8	19	1.0	150	90	30

Le profil des filets est un triangle équilatéral : quelquefois on arrondit les arêtes. Cette disposition est repoussée par la marine, quoiqu'elle soit favorable à la conservation des arêtes, parce qu'elle rend toujours difficile la concordance parfaite que l'on s'est proposé d'établir entre les produits des divers établissements.

Les boulons doivent être fabriqués avec du fer de très-bonne qualité.

La tête doit être refoulée sur la tige plutôt que soudée. On lui donne, suivant les usages auxquels on l'applique, différentes formes : carrée, hexagonale, quand la tête doit offrir une prise pour fixer le boulon au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moment où on serre l'écrou; ronde ou hémisphérique quand on trouve ailleurs un point d'appui pour le serrage; on la termine quelquefois par un *carré* pour serrer à distance un boulon qu'on ne peut atteindre commodément.

La tige est le plus souvent cylindrique et suit la forme ordinaire des trous obtenus par les machines à percer; on peut la faire carrée ou méplate, soit pour obtenir un point d'appui dans le trou au moment du serrage, soit quand la tige est suspendue dans l'espace pour lui permettre de mieux résister à la flexion. On fait souvent, pour les assemblages des bois, des boulons à tête ronde dont la tige est carrée seulement sur une petite longueur, dans le voisinage de la tête; les arêtes de la petite partie carrée s'impriment suffisamment dans le bois pour la maintenir fixe; ou bien encore on place sous la tête un petit ergot saillant.

L'écrou est ordinairement pris dans un prisme à quatre ou à six pans; on le tourne avec une clef; quand la pression à exercer est faible et peut s'obtenir avec la main, l'écrou se fait en tête de violon ou à oreilles.

Pour éviter toute saillie sur les parements, on loge quelquefois l'écrou dans un vide cylindrique ou tronconique dont il épouse la forme; on le serre alors avec une clef à deux branches qui pénètre soit dans deux trous ou dans deux rainures tracées sur un même diamètre de la face supérieure : l'écrou ou la tête sont dits, dans ce dernier cas, fendus en tête de vis.

Afin d'empêcher l'écrou de se desserrer, on en pose souvent un second ou contre-écrou, qui s'oppose au mouvement en pressant énergiquement le filet de la vis contre celui de l'écrou.

Les exigences si diverses de la construction obligent à donner aux boulons des dispositions très-variées; les plus usitées sont les suivantes (fig. 39 à 54) :

Boulon d'assemblage ordinaire avec rondelle pour répartir uniformément la pression sur la surface d'appui: la dimension de la rondelle est réglée en raison de cette pression et de la différence qui existe entre la résistance du fer et celle de la surface d'appui; dans les boulons d'écartement des murs, la rondelle est quelquefois remplacée par un large bouclier en fonte ou par des ancres ornées qui peuvent former un motif de décoration agréable.

Boulon cylindrique, à clavette et à tête ronde: disposition très-ancienne, d'une exécution rapide et facile, mais offrant moins de précision dans l'assemblage que le boulon à écrou.

Boulon de fondation, à clavette et à écrou; boulon à fausse tête.

Boulon de scellement : la tige est barbelée sur les arêtes; elle se place dans un trou de scellement percé dans la pierre, et le vide restant se remplit avec du plomb.

Boulon cylindrique à tête carrée, encastrée ou noyée dans le bois ou dans le fer, quand on veut éviter toute saillie sur les parements.

Boulons à T, à coulisse ou à crochet, servant à fixer des pièces qui doivent être souvent changées de place et trouvant leur point d'appui dans des coulisses ou rainures en T ou sur des pièces en fer méplat.

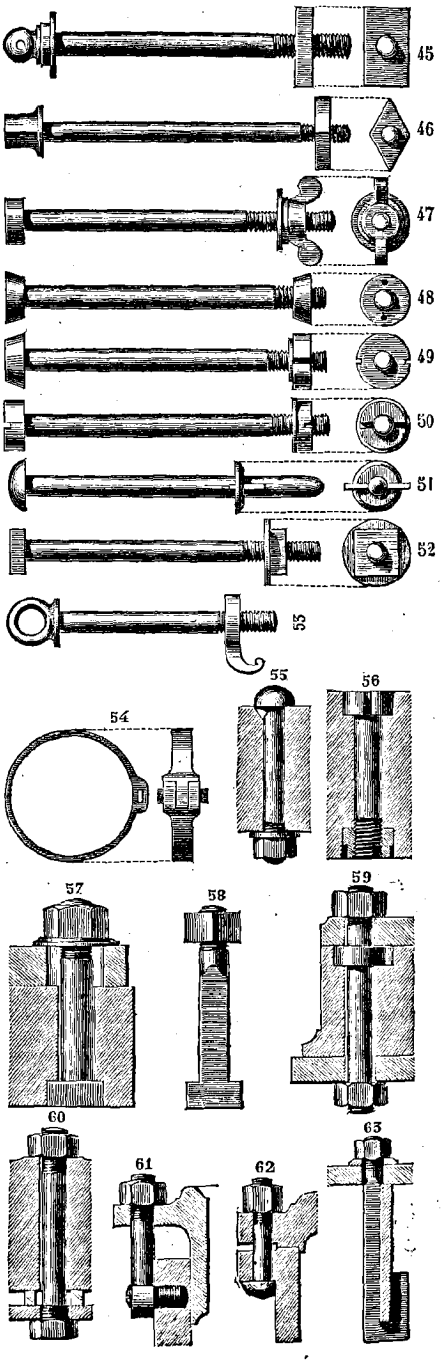
Boulon à œil ou à piton : disposition applicable aux assemblages de fonte quand on n'a pas pu faire venir une bride ou une oreille sur l'une des pièces à réunir. (Tendeurs des combles métalliques.)

Boulon à deux taraudages, dont l'un sous la tête, de manière qu'on peut fixer celle-ci et venir après coup serrer le boulon avec son écrou (ciels des foyers de locomotives).

Boulon à deux écrous, à embase intermédiaire, employé pour réunir trois pièces et permettre d'enlever l'une des deux pièces extérieures sans délier les deux autres.

Boulons à écrou prisonnier, appliqués à consolider des assemblages de charpente, par exemple celui d'une traverse sur une pièce debout.

SERRURERIE.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

DES TOLES. — L'emploi des tôles dans la construction est un des éléments les plus précieux introduits dans la pratique moderne. Il importe de préciser leurs dimensions et leurs résistances.

Les *tôles* ordinairement livrées au commerce sont partagées en *tôles faibles*, qui ont depuis 1/2 jusqu'à 3 millimètres d'épaisseur; en tôles moyennes, qui ont de 3 à 6 millimètres; et enfin en tôles fortes, qui ont de 6 à 12 et même 15 millimètres et plus d'épaisseur.

On appelle sens du laminage d'une feuille de tôle la direction perpendiculaire aux génératrices des cylindres du laminoir au moyen duquel elle a été façonnée. La tôle soumise à un effort présente, dans cette direction, une résistance qui est à celle qu'elle offre dans le sens perpendiculaire dans le rapport de 31,48 à 28,48, circonstance dont il convient de tenir compte dans les assemblages des pièces de chaudronnerie, bien que certaines expériences faites en Angleterre aient infirmé ce fait généralement admis. Les dimensions courantes des feuilles de tôles ne dépassent guère 1m à 1m,10 de largeur sur 1m,40 à 1m,70 de longueur. Bien que l'on fabrique des pièces beaucoup plus fortes, il convient de se renfermer, autant que possible, dans les dimensions répondant à des poids modérés, la fabrication devenant plus coûteuse, plus difficile, et offrant moins de garanties d'une perfection absolue, quand le poids des pièces s'accroît au delà de certaines limites.

Le tableau suivant, emprunté au prix courant des forges de la Providence, donne d'ailleurs une idée des divers échantillons livrés habituellement par le commerce, et des limites dans lesquelles il faudrait se renfermer pour des commandes de dimensions particulières, que toutes les usines à fer exécutent maintenant sans augmentation de prix, lorsqu'il s'agit d'affaires d'une certaine importance.

POIDS.	Épaisseur.	DIMENSIONS MAXIMA : Largeur.	Longueur	Longueur	Largeur.
	millim.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
1re classe, limite de poids, 175 kil.1.	2	1,00	2,00	3,00	0,67
	3	1,10	2,30	3,50	0,72
	4	1,00	2,50	4,00	0,75
	5	1,25	2,60	4 50	0,75
	6 et plus	1,30	2,70	5,00	0,75
2e classe, limite de poids, 275 kil.2.	2	1,05	2,50	3,50	0,67
	3	1,15	2,00	4,00	0,72
	4	1,25	2,50	4,50	0,75
	5	1,30	2,00	5,00	0,75
	6 et plus	1,35	3,75	5,75	0,75
3e classe, limite de poids, 375 kil.3.	2	1,10	2,00	4,00	0,67
	3	1,20	2,50	4,50	0,72
	4	1,30	2,00	5,00	0,75
	5	1,35	3,75	5,75	0,75
	6 et plus	1,40	3,50	6,50	0,75

OBSERVATIONS.

1. La première classe comprend, en outre, les tôles de 0,80 sur 2 mètres de 10 kil. et plus; 1 mètre sur 2 mètres de 25 kil. et plus. Largeur minima à 8 millim. et plus, 0m,50, épaisseur maxima 14 millim., 42 fr. les 100 kil.

2. Largeur minima à 10 millim. et plus, 0m,40, épaisseur maxima 20 millim., 45 fr. les 100 kil.

3. Largeur maxima, à 12 millim. et plus, 0m,30, épaisseur maxima 30 millim., à 48 fr. les 100 kil.

Les prix indiqués dans le tableau ci-dessus, aux observations, varient nécessairement avec le cours des fers.

On est constamment obligé, dans les travaux de chaudronnerie, de réunir entre elles deux feuilles de tôle. Ces assemblages ne peuvent se faire par soudure, on les exécute avec des rivets. Lorsqu'il s'agit de chaudières à vapeur ou de réservoirs à gaz comprimés, on est obligé de rapprocher beaucoup les rivets pour éviter les fuites qui pourraient se produire entre les feuilles de tôle. On a vu, à l'article spécialement consacré à la construction des chaudières, les précautions à prendre pour remplir ces conditions. Lorsqu'il s'agit, au contraire, d'ouvrages de grosse serrurerie, on n'a pas à s'occuper de l'étanchéité du joint, il faut seulement disposer la rivure pour que la résistance de la pièce soit aussi forte que possible. En général, il convient, dans les travaux de cette espèce, de diminuer le nombre des rivets, ce qui revient à augmenter leur diamètre et leur écartement.

Les assemblages de feuilles se font de deux manières principales analysées à l'article CONSTRUCTION DES NAVIRES EN FER. Le plus souvent on les superpose, et puis on les réunit par une ou mieux par plusieurs lignes de rivets disposés en quinconces et parallèles à la rive de la feuille. Dans la seconde manière, au lieu de superposer les deux feuilles, on les met bout à bout, l'on serre leurs extrémités entre deux feuilles de tôle, et l'on réunit le tout par des rivets. Une rivure de cette espèce ne peut céder que par la déchirure des deux feuilles de recouvrement dont il est toujours facile de déterminer l'épaisseur de façon à prévenir cet accident.

L'expérience a démontré que la résistance opposée par les rivets à la force qui tend à les briser par *cisaillement*, en faisant glisser les deux parties l'une parallèlement à l'autre et perpendiculairement à l'arrête du rivet, est égale à la force qui les ferait rompre en agissant parallèlement à leur longueur, c'est-à-dire de 36 à 40 kilogr. par millimètre de section. Il en résulte qu'entre l'épaisseur e des feuilles de tôle, l'écartement a entre les axes des rivets et le diamètre d de ces rivets, on doit avoir la relation

$$\frac{\pi d^2}{4} = a e.$$

Il résulte de nombreuses expériences entreprises par M. Fairbairn, en Angleterre, que la résistance des joints simples à un seul rang de rivets présente moins de résistance qu'une feuille de tôle de même nature et de même surface que la section faite par le centre des trous. Ce que l'on s'explique facilement en observant que, sous l'effort, les feuilles de tôle s'inclinent l'une par rapport à l'autre, et que la traction a lieu alors obliquement au rivet et porte en partie sur ses têtes. Cette inflexion n'a pas lieu lorsqu'on emploie des rivures à deux lignes de rivets, et, dans ce cas, M. Fairbairn a trouvé que la rivure avait la même résistance qu'une feuille de tôle de même surface que la section faite par l'axe des trous, c'est-à-dire de 38k,21 par millimètre carré de section, dans l'expérience dont il s'agit.

La pratique de la construction des chaudières à vapeur a conduit à des dimensions qui s'écartent peu, en plus ou moins, de celles indiquées par les deux règles suivantes:

Le diamètre du corps des rivets est égal à 1, 5 fois l'épaisseur de la tôle, plus 4 millimètres;

L'écartement des rivets est égal à deux fois leur diamètre, plus 10 millimètres.

Mais, nous le répétons, dans les ouvrages de grosse serrurerie, il convient de donner aux rivets des diamètres supérieurs à ceux indiqués par les règles précédentes et de les espacer de manière à satisfaire à l'équation ci-dessus.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le frottement très-considérable qui résulte, entre les tôles, de l'énorme pression que les rivets leur font éprouver l'une contre l'autre, tend encore à accroître de beaucoup la résistance du système. Lorsqu'on cherche, par le calcul, la force avec laquelle un rivet posé au rouge sombre tend à rapprocher les feuilles de tôle qu'il réunit, on est conduit à admettre que deux tôles bien rivées présentent autant de résistance qu'une pièce d'un seul morceau. Cette conclusion, peut-être exagérée, n'est point adoptée par tous les constructeurs; mais, comme les charges permanentes que l'on fait supporter aux constructions sont au plus 1/4, et souvent 1/10 seulement de celles qui produiraient la rupture, on peut, dans le calcul des dimensions des pièces rivetées, que l'on décrira plus loin, les considérer comme d'un seul morceau de métal.

Nous allons maintenant étudier les principales applications du fer aux constructions.

SUPPORTS ISOLÉS. — PILIERS. — COLONNES.

Les expériences sur la résistance des colonnes sont peu nombreuses; elles sont délicates et coûteuses; les plus importantes ont été exécutées par M. Hodgkinson, qui en a tiré les conclusions principales suivantes :

1° Les résistances de prismes semblables sont sensiblement proportionnelles aux surfaces comprimées.

2° La hauteur d'un prisme ou d'un cylindre ne dépassant pas quatre fois le plus petit côté ou le diamètre de la base, la résistance du fer forgé a varié entre 25 et 40 kilog. par mmq; la résistance de la fonte a varié entre 45 et 111 kilog.; elle a été en moyenne de 63 kilog. Ce qui met bien en évidence la supériorité de la fonte pour résister à la compression simple, comme nous l'avons déjà fait ressortir.

3° Au delà de ce rapport la rupture est précédée d'une flexion; la résistance diminue d'autant plus que la hauteur augmente.

4° Lorsqu'un support exposé à fléchir est pourvu de bases larges et bien dressées, qui lui assurent une assiette solide, sa résistance est trois fois plus grande que si ses extrémités étaient arrondies.

5° On peut augmenter de 1/7 la résistance d'un support en lui donnant un renflement suffisant vers le milieu de sa hauteur.

6° La fonte résiste mieux que le fer forgé à la rupture par compression; mais cet avantage est d'autant moins marqué que le rapport de la hauteur à la plus petite dimension de la base est plus élevé; quand ce rapport est égal à 32, il y a égalité entre les deux métaux; au delà de 32 le fer est plus résistant.

La forme d'un cylindre évidé est, toutes choses égales d'ailleurs, la plus avantageuse; mais il est essentiel que l'épaisseur de la colonne soit uniforme, et cette condition est d'autant plus difficile à remplir que la colonne est plus haute. Il y aurait intérêt à augmenter le diamètre et à diminuer l'épaisseur indéfiniment, si l'art du fondeur n'indiquait des limites au-dessous desquelles il serait imprudent de descendre et qui sont les suivantes :

Hauteurs des colonnes en mètres, 2 à 3, 3 à 4, 4 à 6, 6 à 8.
Épaisseurs en millimètres, 12, 15, 20, 25.

D'après les travaux de M. Hodgkinson et de M. Love, plusieurs auteurs ont publié des tableaux donnant la charge que l'on peut faire supporter avec sécurité aux colonnes métalliques; on s'est ordinairement servi pour les dresser des formules de M. Love.

Pour la fonte : $$P = \frac{1250\ D^4}{1{,}85\ D^2 \times 0{,}0043\ L^2}$$

SERRURERIE.

Pour le fer : $$P = \frac{600\ D^4}{1{,}97\ D^2 \times 0{,}00064\ L^2}$$

dans lesquelles P représente la charge permanente exprimée en kilogrammes, D le diamètre et L la hauteur de la colonne exprimés en centimètres. On admet que la charge permanente de la fonte est 1250 kilog. par centimètre carré, ce qui est peut-être beaucoup pour la pratique, et celle du fer 600 kilog.

On admet aussi que la charge d'une colonne creuse est égale à la différence entre celle d'une colonne pleine ayant le diamètre extérieur de la première et celle d'une colonne pleine ayant le diamètre du noyau.

Les supports à section en croix ou en forme de bielle sont aussi quelquefois employés (caves des halles centrales),

Les colonnes pleines s'emploient surtout à Paris pour les soubassements de maisons avec boutiques : on trouve chez les marchands de fonte un assortiment dans les conditions suivantes, variant de 0m,05 en 0m,05 pour la hauteur.

Diamètres.	Hauteurs.	Poids par mètre linéaire.	Charges permanentes.
m.	m.	kil.	kil.
0.070		26.50	
	2.00		13.000
	2.75		8.500
0.081	2.50	40	14.000
	à		
	3.25		9.500
0.094	2.50	52	21.500
	à		
	3.65		13.500
0.108	2.80	63	29.000
	à		
	4.50		15.500
0.120	3.00	85	39.000
	à		
	5.00		19 500
0.135	5.00	99	39.000
	à		
	6.00		22.500

Les colonnes longues sont rarement faites au-dessous du diamètre de 0m,120; elles atteignent 8m,00 de hauteur.

Les colonnes, dites *extra*, sont disposées pour recevoir les poitrails ou solives des planchers de deux et quelquefois trois étages, au moyen de consoles venues de fonte sur leur fût. On les fabrique jusqu'au diamètre de 0m,220 : au delà on n'emploie guère que des colonnes creuses.

Il est très-avantageux d'avoir des bases et chapiteaux venus du même jet; ces appendices sont ordinairement pourvus de goujons de fer qui permettent de sceller facilement les supports à leurs deux extrémités.

Les colonnes creuses se trouvent en dimensions plus variables; elles ont l'avantage d'offrir une assiette mieux établie et un aspect plus monumental; ces colonnes servent souvent de tuyaux de descente, on doit alors adopter des dispositions spéciales pour leurs bases.

Pour les diamètres qui dépassent 0,40 à 0,50, on fait les colonnes par tronçons de 2 à 3 mètres, coulés debout et assemblés à emboîtement ou à bride.

C'est ainsi que sont disposées les enveloppes métalliques des piles de pont à fondations tubulaires dont on a fait un si fréquent usage dans ces derniers temps.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Diamètres.	Hauteurs.	Épaisseurs.	Poids par mètre linéaire.	Charges permanentes.
m.	m.	m.	kil.	kil.
0.120	3.00	0.012	30 à 33	19.500
	3.50	0.014	36 à 40	16.500
	4.50	0 012	44 à 48	13.800
0.147	3.50	0.011	46 à 50	23.200
	4.50	0.015	55 à 60	19.900
	5.50	0.013	61 à 66	16.000
0.160	3.50	0.010	55 à 60	35.000
	4.50	0.015	66 à 72	29.000
	5.50	0.016	74 à 80	24.000
0.200	4.00	0.015	70 à 72	31.000
	5.00	0.016	75 à 80	44.000
	6.00	0.018	83 à 85	40.000
0.250	6.00	0.020	115 à 120	52.000
	7.00	0.022	126 à 130	66.500
0.300	6.00	0.021	147 à 150	108.000
	8.00	0.025	173 à 180	95 500
	9.00	0.027	185 à 190	90.000
	10.00	0.029	197 à 200	85.400
0.350	6.00	0.021	175 à 180	143.600
	9.00	0.027	220 à 230	126.578
	12.00	0.032	250 à 260	106.137

On fait reposer la colonne soit sur un dé de pierre bien dressé, soit sur une plaque de fondation avec boulons de scellement. Dans les constructions soignées, les extrémités des supports et les surfaces métalliques sur lesquelles on les appuie sont planées mécaniquement.

Les chapiteaux sont souvent accompagnés d'ornements d'une certaine importance; il est très-convenable de les faire de pièces rapportées : on évite ainsi beaucoup de chances d'accidents au fabricant. Pour les bases, on les fait venir du même jet que la colonne; il faut alors adopter des moulures simples, sans contour brusque et sans angle rentrant prononcé.

La partie supérieure des colonnes est ordinairement disposée pour recevoir l'assemblage des parties supérieures de la construction; nous donnons ci-contre divers exemples de ces arrangements (fig. 64, 65, 66 et 67).

On peut soutenir des poids très-considérables en accouplant les colonnes deux par deux ou quatre par quatre; on augmente encore très-notablement leur résistance en les réunissant par des entretoises.

Ces constructions présentent en quelque sorte, à l'état rudimentaire, les dispositions appliquées aux grands échafaudages métalliques qui forment les piles de certains viaducs modernes, dont il sera question plus loin.

MURS ET CLOISONS.

Il est rare que l'on ait à exécuter des murs entièrement métalliques. On peut citer en ce genre les murs de quais de Blackwall (Angleterre);

Les fortifications blindées;

Les cloisons en tôle plane ou ondulée, avec lesquelles on fabrique, dans certains établissements anglais, des édifices entiers pour l'exportation aux colonies;

Quelques constructions métalliques, formées d'une ossature dont les vides sont munis de plaques de tôle ou de fonte pleines ou à jour : on peut tirer de ce mode de construction un heureux parti décoratif.

On substitue aussi quelquefois un grillage en fer à un lattis de bois que l'on hourde en mortier ou en plâtre pour faire une cloison.

Le fer est employé de tout temps pour consolider les

SERRURERIE.

ouvrages de maçonnerie, soit sous forme de goujons ou de crampons pour unir les pierres de taille et ajouter à l'action du mortier ou en tenir lieu, comme dans les constructions antiques, soit sous forme d'ancres, de chaînes, de grands boulons pour maintenir l'écartement des murs, pour faire équilibre à la poussée des

Fig. 64.

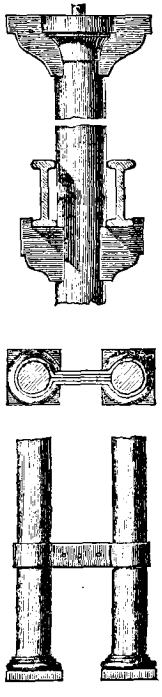


Fig. 65.

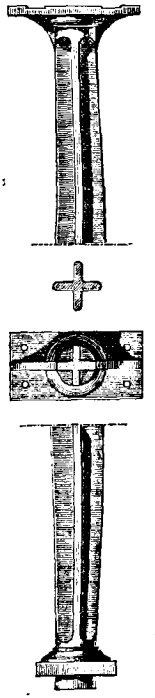


Fig. 66.

Fig. 67.

voûtes dont les culées sont insuffisantes ou qui ont subi des tassements (portiques italiens, coupole de St-Pierre de Rome, portiques en plate-bande du Louvre, du Panthéon, de St-Sulpice, etc.).

Employés à l'intérieur des maçonneries, les fers, surtout quand ils ne sont pas parfaitement protégés contre l'humidité, sont plus ou moins sujets à s'oxider; ils augmentent alors de volume et font éclater la pierre. Il en est résulté des accidents très-graves, et plusieurs grands édifices peu anciens sont menacés de ruine; on se garantirait de ces accidents en recouvrant le fer d'une couche de cuivre par la galvanoplastie, ce qui est facile à obtenir aujourd'hui.

SUPPORTS HORIZONTAUX, POUTRES ET FERMES MÉTALLIQUES.

Poutres en fonte. — En Angleterre, on est habitué depuis longtemps à prodiguer la fonte, que l'on obtient à très-bon marché : c'est dans ce pays qu'on a fait la plus fréquente et la plus ancienne application de ce métal à l'établissement de poutres et de planchers.

En 1801, Watt introduisit dans la construction de la grande filature de MM. Philipps et Lee, à Salford, la forme en T renversé à épaisseur régulière.

Les études de Tredgold montrèrent, vers 1825, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avantages de la forme à double T à semelles égales : les planchers en fonte se multiplièrent rapidement à partir de cette époque.

Cependant plusieurs accidents très-graves se produisirent : Oldham 1844 (Lancashire), prison de Northlach (Glocester); la sollicitude du gouvernement, et l'attention des savants et des industriels s'éveillèrent. M. Hodgkinson entreprit l'étude du problème au point de vue théorique et expérimental. Parmi ses nombreux essais, celui qui paraît avoir le plus influé sur ses conclusions est le suivant : prenant deux prismes semblables de $1^m,28$ de long, portant une nervure, il plaça le premier sur deux appuis avec la nervure en-dessous; il se rompit sous une charge, placée au milieu, de $127^k,50$; il plaça le second avec la nervure en dessus, il se rompit sous une charge de 459 kilog. Ces deux charges sont entre elles dans le rapport de 10 à 36. Cette expérience met en évidence la supériorité de la fonte pour la résistance à la compression. Sous l'empire de ces faits, l'auteur, partant de la poutre en double T de Tredgold, fit fabriquer une série de poutres dans lesquelles on enlevait progressivement une certaine quantité de métal à la semelle supérieure pour l'ajouter à la semelle inférieure, et il les rompit : ces épreuves le conduisirent à admettre le profil en double T à branches très-inégales. L'examen des tableaux d'expériences de M. Hodgkinson a conduit M. Pirel à proposer les formules suivantes pour déterminer les dimensions des poutres en fonte : dans ces formules, P exprime en tonnes de 1000 kilog. la charge de la poutre; l exprime sa longueur; toutes les quantités linéaires sont exprimées en centimètres :

$$h = 1{,}85\sqrt{Pl} \quad e = \frac{1}{15}h \quad b = \frac{3}{5}h \quad b' = \frac{1}{7}b.$$

Cependant on a fait observer que ces conclusions sont fondées sur des épreuves de rupture. Dans la pratique, on se tient fort loin des charges de rupture; dans les limites admises pour les charges permanentes, vers $3^k,50$, les allongements et les raccourcissements élastiques sont sensiblement de même valeur; ce n'est qu'au delà de ces limites que les inégalités de résistance de la fonte à l'extension et à la compression se manifestent. Ce ne serait donc que dans le cas où la poutre serait accidentellement exposée à des charges capables d'amener sa rupture qu'on serait logiquement conduit à la forme en double T à branches inégales : or, on n'admet pas en général cette hypothèse; la forme en double T semble donc, pour la fonte comme pour le fer, la plus économique, celle qui, pour une même quantité de matière employée, permettra de supporter d'une manière permanente la charge la plus forte, sinon celle qui résistera le mieux à la rupture. On est d'autant plus fondé à donner la préférence au double T, que cette forme présente des chances de succès mieux assurées dans les opérations de la fonderie.

M. Guettier a aussi entrepris, aux usines de Marquise, d'intéressantes expériences sur les poutres en fonte, principalement au point de vue de leur application aux ponts et ouvrages d'art courants des chemins de fer. Elles ont porté sur quatre séries de poutres, dont les modèles sont déposés au Conservatoire des Arts et Métiers.

1° Poutres de formes simples de poids uniformes.
Sections en forme de figures géométrique pleines.
— — évidées.
— à double T et à simple T.

2° Poutres à T de même poids et de proportions variables.

3° Poutres de même poids évidées.

4° Types divers.

Ces expériences ont mis en évidence la supériorité des formes en T, la nécessité d'adopter, pour la facilité de la fabrication, des formes aussi simples que possibles, et la convenance d'augmenter la section des poutres vers le milieu, c'est-à-dire vers la section dangereuse. Les poutres évidées présentent peu de garanties de solidité et ne peuvent être considérées que comme des pièces d'ornement, inconvénient qu'on doit attribuer surtout aux difficultés de leur fabrication.

En résumé, la fonte employée en poutres ou en sommiers ne peut résister aussi sûrement que le fer à des efforts peu considérables mais souvent répétés.

La nature et le mode de fabrication de la fonte offrent des chances d'accident et de destruction; il est difficile aux fondeurs les plus consciencieux et les plus habiles d'affirmer qu'il fourniront à coup sûr des produits offrant toutes les garanties exigées.

Il est prudent de ne pas faire de poutres en fonte de plus de $8^m,00$ de portée; cependant d'habiles ingénieurs anglais ont cru pouvoir étendre cette portée jusqu'à 12 et 15 mètres.

M. Guettier conseille encore, pour conserver à la fonte toutes ses qualités à la sortie des moules, de s'abstenir :

1° De congés, goussets ou diaphragmes placés en travers des poutres, ces accessoires augmentant peu la force de la poutre et pouvant gêner et compliquer le moulage, contrarier le retrait et laisser au métal une certaine tension qui diminue sa résistance;

2° De trous venus à la fonte, à moins qu'ils ne soient d'un très-fort diamètre et placés dans des endroits où il serait difficile de les percer à froid;

3° De nervures ou d'ornementations inutiles, qu'il convient de réserver pour les poutres de rive appelées à travailler dans des conditions moins défavorables que les poutres intermédiaires.

Il est essentiel de laisser aux bases des poutres en T une largeur suffisante pour qu'elles restent droites après le refroidissement et ne fouettent pas dans les manœuvres, soit une largeur égale au moins au quart de la hauteur pour la semelle inférieure, au cinquième pour la semelle supérieure.

L'épaisseur des semelles doit être en rapport avec leur largeur pour que la fonte circule librement et ne produise pas de reprise.

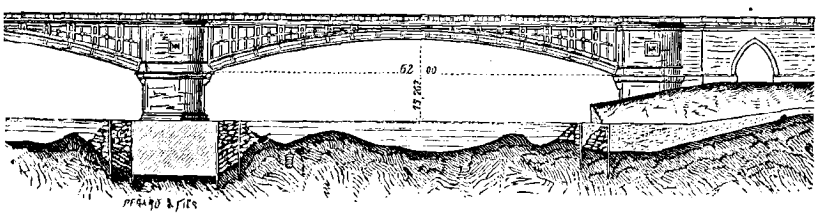


Fig. 68.

Malgré les inconvénients de l'emploi de la fonte elle a été souvent employée pour de grands travaux. Tel est le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

magnifique pont de Tarascon (fig. 68), sur le Rhône, qui est un bel exemple de l'emploi de la fonte pour les grands ouvrages.

Poutres en fer. — Les profils des pièces de fer laminé employées à résister à des efforts fléchissants sous forme de solives, poutres, arbalétriers, pannes, etc., se déduisent de la théorie de la résistance des matériaux. Celle-ci nous apprend que, quand un corps prismatique est soumis à la flexion, la relation exprimant que l'équilibre existe dans une section donnée entre les forces extérieures qui tendent à produire la rupture des corps et les forces moléculaires qui s'opposent à sa destruction est la suivante :

$$P\,l = \frac{R\,I}{V}$$

formule dans laquelle on représente par

P la résultante des charges extérieures, d'un côté ou de l'autre de la section considérée, en tenant compte des réactions des points d'appui;

l la distance de P à la section de rupture;

R la charge que la matière employée peut supporter d'une manière permanente avec sécurité;

I le moment d'inertie de la surface par rapport à une horizontale passant par son centre de gravité;

V la distance à cette horizontale du point de la surface qui en est le plus éloigné.

On peut comparer au moyen de cette formule divers profils offrant une même superficie et correspondant, par conséquent, à un même poids de métal, et sensiblement à une même dépense par unité de longueur. Cette comparaison conduit à des résultats importants pour la pratique: proposons-nous, par exemple, de chercher les charges que pourraient porter des barres de fer de même longueur ayant toutes une section de 100 centimètres carrés, mais présentant des profils différents, et admettons, pour fixer les idées, que l'épaisseur minimum qu'il convient de donner au fer est de un centimètre. Ces charges seront entre elles dans les rapports suivants :

Cercle plein		1,00
Cercle évidé de 1 centimètre d'épaisseur		5,47
Carré posé sur un côté		1,18
Carré dont une diagonale est verticale		0,82
Rectangle; le rapport de la hauteur à la base étant	2	1,63
—	3	2,12
—	4	2,37
—	5	2,70
—	100	10,00
Rectangle évidé, en double T, dont l'épaisseur est de 1 centimètre, le rapport de la hauteur de l'âme à la largeur des ailes étant	1	8,93
—	2	11,67
—	3	12,79
—	4	13,00
—	5	13,07
—	6	13,11
—	10	13,02
—	15	12,78
Croix d'équerre à branches de 1 cent. d'épaisseur		2,91

Ces résultats mettent bien en évidence la supériorité du profil en double T et montrent qu'il atteint sa valeur maximum quand la hauteur de l'âme est égale à six fois la hauteur des ailes.

Pour préciser davantage encore, nous comparerons les profils précédents en les supposant attribués à des poutres de 1 mètre de longueur posées sur deux appuis de niveau, et en fer capable de supporter une charge de 6 kilog. par mmq.; le calcul indique que les divers profils employant la même quantité de métal supporteront des charges bien différentes appliquées au milieu, savoir :

Le cercle plein	6,768 kil.	
Le carré plein	7,968	
Le rectangle au rapport 5	18,162	
Le double T au rapport 1	60,048	Rapports.
— — 5	88,752	1,00
En supprimant une aile du double T précédent de manière à avoir un T simple.	52,896	0,59
En supprimant deux ailes	41,472	0,45
En supprimant l'âme	49,728	0,55
En supposant toute la matière disponible concentrée dans les deux ailes	177,600	2,00

Ainsi, dans l'exemple présent, à une âme pesant 56 kilog. si l'on ajoute deux ailes pesant seulement 22 kilog., ou un supplément de poids et de prix de 0,39, au lieu de 41,472 kilog., la pièce pourra porter 88,752, c'est-à-dire 47,280 ou 1,14 de plus.

On sait d'ailleurs que si, au lieu de concentrer la charge au milieu, on la répartit uniformément sur toute la longueur de la barre, on pourra la doubler sans augmenter la fatigue du support horizontal; on sait aussi que si, au lieu de poser simplement la solive sur les appuis, on l'y encastre solidement, sa résistance augmente de moitié; enfin si, au lieu de lui donner la forme prismatique on lui donne celle d'une solive d'égale résistance, on pourra encore augmenter notablement la charge pour une même quantité de matière attribuée au support.

Il n'y a donc aucun doute à concevoir sur la forme à donner aux pièces fléchies ; c'est celle du double T. Nous allons en citer de nombreuses applications :

I. *Planchers en fer.* — L'augmentation continuelle du prix des bois, la plus grande sécurité contre les incendies, l'avantage de réduire l'épaisseur des planchers à grandes portées, et, enfin, la plus grande habitude de l'emploi du fer, ont amené depuis quelques années à multiplier de plus en plus les planchers en fer. Ils ne coûtent pas maintenant à Paris plus cher que les planchers en bois; leur durée est illimitée et leurs parties constituantes se retrouvent presque intactes dans les démolitions; aussi les planchers de toutes les maisons récemment construites dans les quartiers neufs sont-ils établis dans ce système.

On a beaucoup varié les dispositions des planchers, nous décrirons les plus usitées.

Quand on n'a pas à sa disposition des fers à double T, on peut employer des fers méplats qui sont, il est vrai, plus coûteux, parce qu'à poids égal ils sont moins résistants. Ces fers méplats, dont les équarrissages sont habituellement de 190×9, 165×9, 125×9 millim. pour les portées de 7, 6 et 5^m, sont espacés ordinairement de 0^m,75 à 0^m,80 les uns des autres. Ils sont scellés dans les murs et retenus par des ancres. On les réunit par des entretoises en fer carré de 16×16 millim. ou mieux en fer méplat de 20 millim. sur 10, accrochées sur les solives, et dont la courbure est telle qu'elles soient, à leur partie inférieure, à peu près au niveau du dessous des solives elles-mêmes.

Sur les entretoises on pose de petits fers de 11×11 m., parallèles aux solives, espacés de 0^m,25 environ les uns des autres. On fait sur ce treillage un hourdis en plâtre et plâtras, ou mieux en poteries et plâtre. Le plafond s'exécute en dessous sans lattes. Si le plafond est plein, le carrelage peut se poser directement; dans le cas contraire, on fait un lattis et on pose sur une couche de plâtre. Les parquets peuvent se poser directement sur le remplissage, mais il est d'usage de mettre des lambourdes sur lesquelles on cloue le plancher.

La fig. 69 donne la disposition la plus ordinairement employée aujourd'hui dans les planchers des maisons de Paris. Les solives sont des pièces à double T, semblables à celles dont il vient d'être parlé, engagées dans les murs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et retenues par des ancres. Ces solives sont espacées de 1 mètre environ les unes des autres; on leur donne,

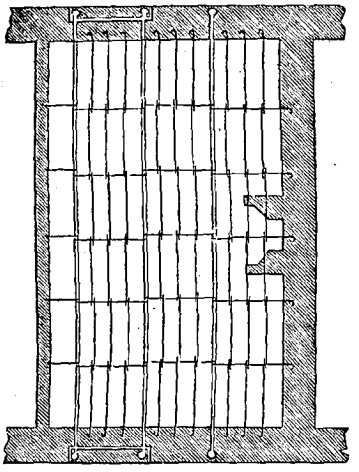


Fig. 69.

avant la pose, une flèche de 1/200 à peu près de l'ouverture. Elles sont réunies par des entretoises en fer rond, boulonnées, perpendiculaires à leur direction. Ces entretoises sont terminées par un crochet solidement scellé dans les murs; elles contreventent les solives. Ces entretoises sont espacées de 0m,80 à 0m,90 les unes des autres. On accroche sur ces entretoises les fantons, espacés de 0m,25, dont la face inférieure est à peu près au niveau du dessous des solives. Le hourdage s'exécute sur ce treillis métallique comme sur celui dont nous avons parlé d'abord.

La fig. 70 indique la disposition en coupe d'un plancher avec entretoises accrochées, disposition que l'on adopte souvent. Les fantons sont vus debout; il y en a trois dans chaque intervalle des solives. Le vide est hourdé en platras, avec plafond en plâtre. Les lambourdes sont posées sur les solives et reçoivent les feuillets du plancher. L'ancre de scellement des solives dans les murs est représentée en plan et en élévation par la fig. 71. Enfin, la fig. 72 montre le double crochet par lequel les fantons s'appuient sur les entretoises et le crochet simple des extrémités scellés dans les murs. Ces divers détails rapprochés du plan d'ensemble de la fig. 69 ne peuvent laisser aucun doute sur le mode d'établissement des planchers dont il s'agit.

SERRURERIE.

Aujourd'hui on laisse le plus souvent les fantons et les entretoises descendre jusqu'au niveau des ailes inférieures des solives.

Dans certaines grandes constructions, le remplissage du plancher se fait en briques creuses ou bien en pots, en tuyaux de drainage scellés au plâtre. Ces remplissages, bien que très-légers, donnent au système une grande rigidité, augmentent sa résistance, sont très-secs et jouissent du grand avantage, pour les maisons de ville, de diminuer beaucoup la communication du bruit d'un étage à l'autre.

Certains constructeurs, dans les planchers de grande portée, contreventent les solives par des croix de Saint-André ou des pièces en fonte; d'autres réunissent les solives par des plates-bandes en fer échancrées au-dessus de chaque solive, scellées dans les murs et contre lesquelles viennent s'appuyer les lambourdes des parquets. On ne pourrait, sans de nombreuses figures, discuter ces divers modes de construction ; mais ce qui précède suffit pour faire bien comprendre la disposition la plus ordinaire des ouvrages en question.

On peut admettre, comme point de départ du calcul des planchers métalliques, les charges suivantes :

Planchers de magasins fortement chargés et animés par le mouvement des colis	par mq.	1200 à 1500 kg.
Ateliers garnis de machines et appareils pesants, magasins de laines, lin, coton fourrages	»	600 à 800
Terrasses, ateliers peu chargés.	»	400 à 500

Habitations. — Poids permanent pour les planchers de 0m,20 d'épaisseur :

Fig. 70.

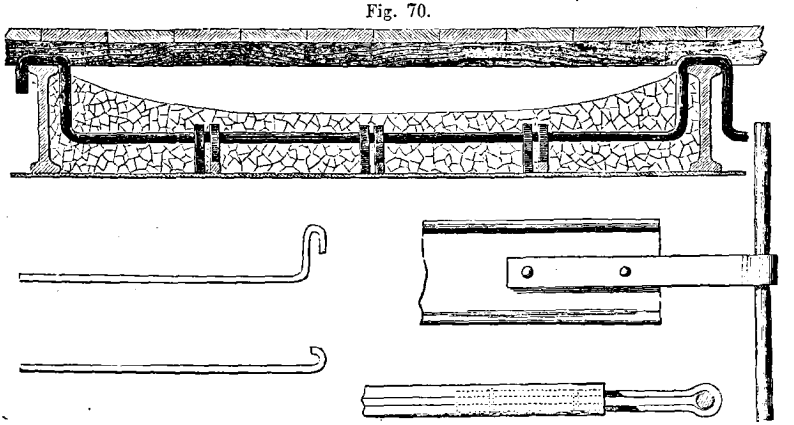


Fig. 71.

Fig. 72.

Hourdage en plâtre.	195
Lambourdes et parquets	24
Scellements de lambourdes	30
Poids du fer	25
Total . . .	274

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

Planchers de 0m,35 d'épaisseur	299
— 0m,40 —	320
Pour les planchers hourdés en briques creuses on compterait un poids mort moindre, soit pour 0m,30 d'épaisseur.	225
— 0m,35	245
— 0m,40	260
Surcharges accidentelles. — Habitations ordinaires, étages lambrissés sous combles, chambres à coucher, cabinets.	76
Salons des 3e et 4e étages	101
Salons des 1er et 2e étages.	130
Magasins et boutiques du rez-de-chaussée.	200
Édifices publics, grands salons.	280
Soit en moyenne, poids permanent et surcharges accidentelles comprises, pour les grands édifices	600
Pour les habitations ordinaires	375

On calcule la dimension des solives au moyen des formules ordinaires de résistance; on trouvera facilement les limites de portées de chaque nature de barre, ou les dimensions des barres à employer pour une portée moyenne. Pour simplifier les tâtonnements, on remarquera seulement ici que les fers à double T de forme ordinaire, employés habituellement dans les constructions d'importance moyenne, ont en hauteur de 1/30 à 1/35 de leur portée. On sait que les solives, posées tant plein que vide, ont ordinairement en hauteur 1/24 de leur portée, et que l'on donne aux poutres une épaisseur égale à 1/18 de leur portée. Ces chiffres suffisent pour indiquer la grande différence d'épaisseur des anciens planchers et de ceux en fer dont on vient de parler.

Le poids du fer par mètre superficiel, pour les planchers disposés comme on vient de l'indiquer, varie de 16 à 35 ou 40 kil. pour des portées comprises entre 3 mètres et 7 ou 8 mètres.

L'épaisseur totale des planchers terminés excède ordinairement de 0m,08 la hauteur des fers des solives.

En estimant le fer à 50 fr. les 100 kil. mis en place, et les remplissages à 1 fr. 50 c. le mètre carré, on trouve que le prix des planchers en fer à double T varie de 9 à 15 fr. pour des ouvertures comprises entre 3m,50 et 8 mètres.

Pour les planchers à grande portée, on peut employer des fermes formées de deux fers à T réunis par des lames de tôle. On forme ainsi un véritable fer à double T, d'une grande hauteur et dont le corps est très-mince. Les poutres ainsi établies peuvent offrir des résistances aussi considérables qu'on le désire; mais elles sont le plus souvent aujourd'hui remplacées par des fermes analogues à celles des ponts en tôle, dont il sera question un peu plus loin.

Poitrails. — Les poitrails sont des poutres destinées à porter les façades des maisons au rez-de-chaussée desquelles on établit des boutiques, ou à supporter les murs de refend au-dessus du vide des étages inférieurs. A Paris, on les compose ordinairement de deux ou trois fers à plancher, maintenus à écartement fixe par des fourrures en fonte et serrés ensemble par des frettes ajustées à chaud. Au niveau du rez-de-chaussée, la charge est habituellement d'environ 25,000 kilog. par mètre courant.

Il serait généralement plus avantageux de les fabriquer avec des poutres en tôle, qui offriraient une solidarité plus complète et une meilleure assiette pour la maçonnerie.

II. *Fermes des combles.* — L'emploi du fer dans les grandes charpentes est devenu à peu près général aujourd'hui.

Les gares de chemins de fer, où les fermes sont toujours apparentes, ont conduit les ingénieurs et les architectes à faire une étude toute particulière des constructions de ce genre, qui présentent, sur la plupart des grandes lignes de chemins de fer, des modèles d'élégance et d'économie.

Les exemples de grandes fermes que l'on va citer seront empruntés à des couvertures de gares, parce qu'elles peuvent mieux que toutes autres montrer les ressources et les procédés de l'art de la grosse serrurerie.

Le calcul complet des dimensions des différentes parties d'une ferme est une opération délicate, qui laisse même encore à désirer, malgré les travaux de mathématiciens habiles. On est donc obligé de recourir à des formules plus ou moins approximatives, mais que l'expérience a reconnue suffisantes pour les applications ordinaires. Il serait inutile de reproduire les indications que l'on trouve à ce sujet dans tous les aides-mémoire. Notre seul but étant ici d'indiquer les ressources, encore peu connues, que présente l'emploi des fers spéciaux dans l'art des constructions, il nous suffira de décrire, en nous aidant de coupes et de quelques vues, les fermes les plus remarquables exécutées en fer depuis un certain nombre d'années.

Tous les dessins ci-après sont à la même échelle, pour que l'on puisse saisir immédiatement l'importance relative des ouvrages pris pour exemples.

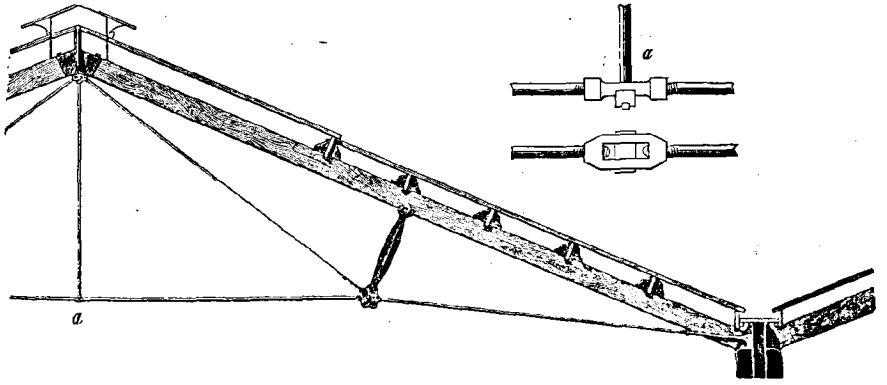


Fig. 73. — Ferme de la gare du chemin de fer de Lyon à Paris. — Échelle de 0,10.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

On exécute souvent les fermes en bois et en fer. Les arbalétriers sont en bois, mais ajustés avec des sabots en fonte, et les tirants, les entrais, les jambettes sont, au contraire, en fer. Nous décrirons d'abord une ferme de cette espèce. L'emploi simultané et bien entendu du bois et du fer dans les charpentes de combles peut recevoir de très-nombreuses applications, et produit même souvent un meilleur effet pour l'œil qu'une charpente entièrement en fer pour les portées moyennes.

Les fermes du comble de la gare de Vierzon et de la plupart de celles du chemin du Nord sont établies dans ce système.

La fig. 73 reproduit les dispositions de la charpente de la gare de Paris du chemin de Lyon, dont la bonne disposition intérieure est généralement reconnue.

Les fermes de cette gare reposent d'un côté sur un mur et de l'autre sur une série de colonnes en fonte, reliées par des arcades fort élégantes; l'ouverture de la ferme est de $21^{m},30$, sa hauteur de $4^{m},48$. Les arbalétriers sont en bois; ils ont $0^{m},30$ sur $0^{m},20$ d'équarrissage. Les pannes, également en bois, ont $0^{m},20$ sur $0^{m},15$; elles sont espacées de $1^{m},40$ les unes des autres. Les tirants et le poinçon sont en fer rond de $0^{m},03$ à peu près de diamètre. Les jambettes sont en fonte; elles ont la forme de petites bielles. La partie supérieure du toit est couverte en verre, le reste est couvert en zinc. Au point de réunion des tirants et des jambettes, ces diverses pièces sont serrées et boulonnées entre deux plaques de fer. La fig. *a* indique l'ajustement de l'entrait et du tirant principal. Les extrémités des arbalétriers sont reçues dans des boîtes en fonte, auxquelles sont fixées, par des étriers en fer, les tirants ou l'entrait.

La distance entre les colonnes qui supportent les fermes est de 10 mètres. Cet intervalle est partagé en trois parties par deux fermes. L'écartement entre ces fermes est donc, d'axe en axe, de $3^{m},30$ environ. Il n'existe dans cet intervalle qu'un seul chevron entamé à mi-bois sur les pannes. Des planches, posées à recouvrement, sont clouées en diagonale sur les pannes et reçoivent la couverture en zinc de l'édifice.

Comme premier exemple de ferme entièrement en fer, nous citerons celle de la gare du chemin de fer de Saint-Germain, à Paris (fig. 74).

Dans la ferme précédente, l'arbalétrier n'était soutenu qu'en un point de sa longueur par une jambette en fonte. Ici, il y a trois jambettes, de manière que chaque demi-ferme présente, comme tracé général, six triangles partiels, tandis que la disposition précédente n'en offrait que deux. La disposition actuelle peut répondre, du reste, aux cas les plus compliqués.

La ferme de Saint-Germain, de l'axe de la colonne au nu du mur, a 27 mètres d'ouverture. La montée est de 6 mètres, l'attache de l'entrait et du tirant principal est à $1^{m},22$ au-dessus de la ligne horizontale passant par les appuis des arbalétriers. Ces pièces sont en fer à double T. Comme on n'aurait pas pu avoir des barres d'un seul morceau de la longueur totale de l'arbalétrier, on a fait la réunion des barres au-dessus des jambettes.

On remarquera d'ailleurs qu'au moyen des six triangles formés par les tirants, les jambettes et l'arbalétrier, cette pièce forme, dans sa totalité et dans ses parties, une véritable poutre armée, dans laquelle les matériaux sont employés de la manière la plus convenable pour obtenir la plus grande résistance possible d'un poids donné de métal. La disposition adoptée en pareil cas par beaucoup d'ingénieurs anglais n'a pas été aussi heureuse, comme on le verra dans les exemples suivants. Dans la ferme de Saint-Germain, les pannes sont, comme les arbalétriers, en fer à double T, mais ajustées de manière que le plan de leur face supérieure se confonde avec celui des faces des arbalétriers eux-mêmes. Elles sont écartées les unes des autres de $1^{m},85$.

Nous ne multiplierons pas davantage les dessins de fermes à une ou à trois contre-fiches. Nous citerons seulement, pour donner un exemple des poids des diverses pièces qui entrent dans une pareille construction, deux exemples de fermes dont l'étude et la construction ont été très-soignées.

Les fermes qui portent la toiture en tôle du magasin de la Providence sont entièrement en fer, à l'exception des contre-fiches qui sont en fonte. L'ouverture de la ferme entre les murs est de $28^{m},60$; elle repose sur le sommet de contre-forts en maçonnerie. La hauteur de la ferme est de $5^{m},50$; la distance de l'assemblage du tirant et de l'entrait à la ligne horizontale passant par l'extrémité de l'arbalétrier est environ de $0^{m},90$. Cela posé, voici le détail des dimensions et des poids des différentes pièces qui entrent dans la construction d'une travée de ce comble.

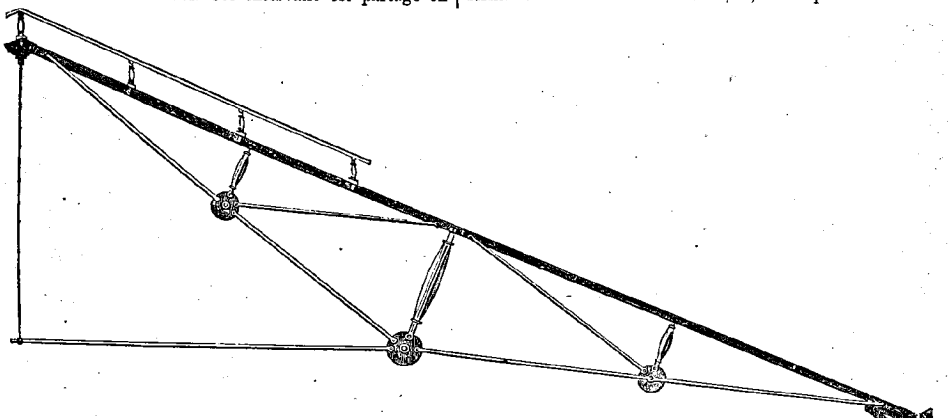


Fig. 74. — Ferme de la gare du chemin de fer de Saint-Germain à Paris. — Échelle de 0,01.

Ferme.

2	arbalétriers en fer à double T, de $0^{m},22$ de hauteur, ayant ensemble $30^{m},20$ de longueur	794
5	tirants en fer rond de $0^{m},04$, ayant ensemble $40^{m},20$	400
2	bielles ou contre-fiches en fonte	140
2	sabots en fonte sur les murs	430

EFERUS - Recherche & Classification numérique

16 boulons de 0m,04	36
8 brides plates en fer de 0m,78 de longueur, et de 0m,075 sur 0m,015, pour assembler les tirants avec les sabots en fonte	56
2 plaques d'assemblage des arbalétriers, de 0m,45 de long sur 0m,20 de large et 0m,014 d'épaisseur, et quatre autres découpées pour réunir les tirants et les bielles	40
4 plaques pour réunir les arbalétriers aux bielles, ayant 1 mètre de long, 0m,18 de largeur et 0m,014 d'épaisseur, et 20 boulons	80
Total	1,676

Travée.

16 pannes en fer double T, de 0m,14 de hauteur et de 5m,25 de longueur, et un faîtage de 0m,16 de hauteur, ensemble	1,354
Boulons d'assemblage	29
16 chevrons en fer double T, de 15m,60 de longueur et de 0m,05 de hauteur	1,129
	2,512

Les travées avec lanternes pèsent 4,658k,50

La couverture en tôle, pour une travée sans lanterne, pèse 2,151k,60

La couverture en tôle, pour travée avec lanterne 1,638k,70

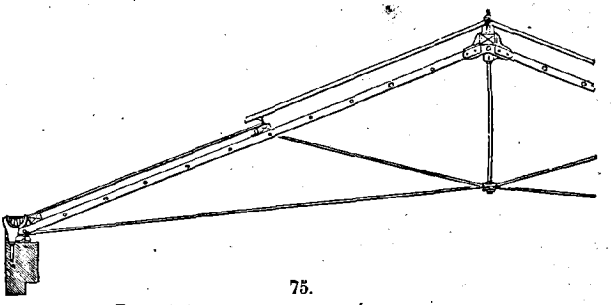
La vitrerie, de 50 mètres carrés de surface pour une travée, pèse 770k

En multipliant les divers poids ci-dessus par le nombre de travées de la construction, ajoutant les produits et divisant par les surfaces, on trouve que le poids total par mètre carré de toiture est de 40k,50, et que le poids par mètre carré de surface couverte est de 42k,80. Au prix des matériaux, à l'époque de la construction de ce comble, le mètre carré de surface couverte est revenu, tout compris, à la somme de 27 fr. seulement.

Le second exemple de poids de pièces de fermes exécutées que nous voulons citer est celui de la gare de Bordeaux. Elle a 30 mètres de portée et 8 mètres de montée. Des consoles en fonte soulagent un peu les extrémités des arbalétriers voisines des murs. Les fermes sont espacées de 4m,18 environ. Chaque arbalétrier est soutenu par trois contre-fiches en fonte et triangulé par des tirants, comme dans la ferme de Saint-Germain, décrite précédemment. Le comble a 120 mètres de longueur ; il se compose de vingt-huit fermes, non compris les portiques. Voici les dimensions et les poids des pièces principales de cette immense construction.

Fermes.

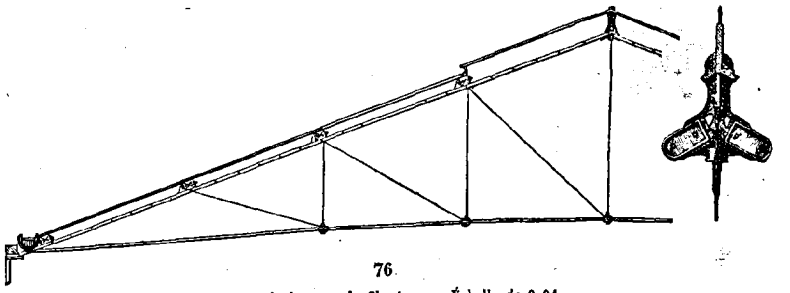
Arbalétriers en fer, double T, de 0m,16 de hauteur, ayant ensemble 34m,80	768
2 plaques posées sous les sabots en fonte	32
2 ancres en fer rond	16
2 grandes bielles en fer forgé	190,50
Fers ronds pour tirants, de diamètres variant de 0m,036 à 0m,018	388,0
Plaques d'assemblage découpées dans des tôles de 0m,012 d'épaisseur, ensemble	398,80
56 équerres en fer, de 0m,075 sur 0m,012, reliant les pannes et les arbalétriers	204,40



75.

Ferme de la gare de Chester. — Échelle de 0,01.

474 boulons	168,0
4 brides d'assemblage de faîtage avec le sabot des cordes	83,00
4 équerres et boulons pour les pannes de faîtage	19,0
L'écrou double d'assemblage de l'entrait et du tirant	8,5
2 sabots en fonte posant sur les murs	80,50
2 consoles en fonte	117,60
4 petites bielles en fonte	141,00
Poids total d'une ferme	2,615,3
28 fermes semblables	73,228,4
29 travées composées chacune de 15 pannes de 4m,15 en fer double T, de 0m,14 de hauteur, pesant chacune 88k,8	38,628,0
20 travées de lanternes composées des pièces suivantes :	
414 chevrons en fer à vitrage, de 7m,5 de longueur, pesant chacun 30k,1	12,461,4
1 borne de faîtage vitré	675,8
Boulons et autres fers	3,821,2
427 balustres en fonte	13,175,0
54 consoles en fonte	1,863,0
664 supports de chevrons	664,0
Poids des travées	71,298,40

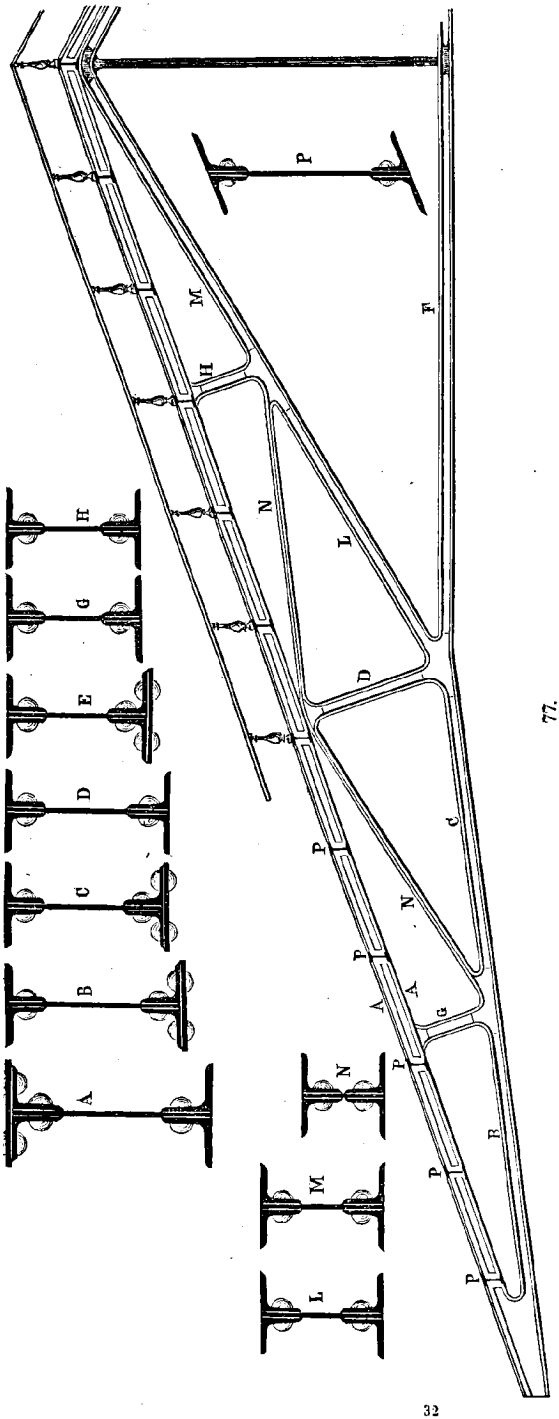


76.

Ferme de la gare de Chester. — Échelle de 0,01.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.



77. Ferme de la gare (R.-D.) du chemin de fer de l'Ouest à Paris. — Échelles de 0,01 pour l'ensemble et de 0,10 pour les coupes.

Poids total du comble. 144,526,8 soit, par mètre carré de surface couverte, non compris la couverture, 40 kil.

Dans les essais, la ferme de la gare de Bordeaux n'a subi qu'une faible flexion sous une charge correspondant à 180 kil. par mètre carré de toiture.

Les fig. 75 et 76 se rapportent à deux fermes de la station de Chester, en Angleterre.

La première figure est celle d'une petite ferme de 14m,6 d'ouverture. Les arbalétriers sont formés de deux fers en E de 3 pouces de hauteur, réunis dos à dos par 14 rivets de 3/4 de pouce de diamètre, mais laissant entre eux un certain espace pour moiser les contre-fiches et les chantignolles des pannes et de la pièce faîtière. Les contre-fiches sont en fer simple T, et viennent se réunir au point d'intersection de l'entrait et du tirant. L'obliquité considérable de ces pièces et leur grande longueur relative les rend peu propres à soutenir l'arbalétrier, qu'elles sont cependant destinées à empêcher de fléchir. Les pannes sont en bois, en partie garnies de tôle. Un châssis vitré occupe le haut du comble.

La fig. 76 est une autre ferme de la même station de 18m,30 d'ouverture, établie dans le même système que la précédente, et plus sujette qu'elle encore à la critique, le poids de l'arbalétrier se trouvant reporté sur des pièces en fer assez longues et très-fortement inclinées. Le tirant devient d'une force considérable, et l'aspect de la construction n'est rien moins que satisfaisant dans son ensemble. La présence des pannes en bois ne paraît pas non plus parfaitement justifiée.

Nous terminerons enfin par la ferme du comble de la grande gare du chemin de l'Ouest, rue Saint-Lazare, à Paris. Cette importante construction forme la transition naturelle des ouvrages de chaudronnerie aux ouvrages en fer forgé, ou de grosse serrurerie proprement dits.

Cette ferme (fig. 77) a 40 mètres d'ouverture et 7 mètres de montée. Elle est entièrement composée de tôle et de fer d'angles combinés de la façon la plus heureuse ; elle fait également honneur à l'ingénieur, M. Flachat, qui l'a projetée, et à l'excellent constructeur, M. Joly, d'Argenteuil, auquel l'exécution en a été confiée.

Les sections A, B,... P, que présente la figure, sont faites aux points du dessin d'ensemble marqués des mêmes lettres. Ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

croquis montrent nettement le mode de construction des différentes pièces, mais on ne pouvait les surcharger des cotes nécessaires à l'indication de toutes leurs dimensions. Nous allons donc faire connaître celles des pièces principales.

Les arbalétriers (section A) sont formés d'une lame de tôle de 10 millim. d'épaisseur et de 0m,30 de hauteur, garnie de quatre cornières, ayant chacune 75 millim. de hauteur et 13 d'épaisseur moyenne. La lame de tôle qui réunit les deux cornières supérieures a 170 millim. de largeur et 14 d'épaisseur.

Les lames verticales des pièces C, D, G ont 9 millim. d'épaisseur; celle des pièces E, H, L, M, est de 8 millim.; la lame de la pièce B a 10 millim., celle de la pièce N en a 7, et, enfin, celle de la panne P n'en a que 6.

Tous les fers à cornière ont 6 centimètres de hauteur. Leur épaisseur moyenne est de 10 millim. pour les pièces B et G, de 8 pour les pièces C, D, E, M, et enfin de 6 pour les pièces H, L, N.

Les hauteurs totales des sections sont indiquées ci-dessous en millim.

B,	C,	D,	E,	G,	H,
270,	245,	240,	220,	200,	200,

L,	M.	N,	P
180,	180,	120,	300.

Le diamètre des rivets est de 20 millim. pour les pièces A et D, de 18 pour B, C, G et H, de 16 pour E, L, M, enfin, de 15 pour N et P.

Les pannes ont été disposées verticalement, au lieu de rester normales aux versants du toit. Cette disposition a présenté quelques difficultés d'exécution.

La couverture est en tôle ondulée. La dépense par mètre carré de surface couverte, couverture comprise, ne dépasse pas 50 fr. C'est un prix bien remarquablement bas pour un comble d'une si énorme portée.

GRANDES POUTRES EN FER. PONTS EN POUTRES DROITES.

Dès que l'on a dépassé les hauteurs usuelles des fers à T du commerce on a recours aux poutres en tôle avec cornières; encore pour la hauteur de 0m,50 (et même au-dessous), est-il facile de voir que l'on peut faire une poutre en tôle présentant la même résistance et pesant 142 kil. au lieu de 145 kil. par mètre courant : il y a donc économie de poids mort, et un prix légèrement inférieur.

Les poutres de grande hauteur auraient par elles-mêmes peu de stabilité et seraient exposées à se gauchir, si l'on ne prenait pas la précaution de les contreventer énergiquement. Ce contreventement s'obtient dans les cas ordinaires, soit au moyen des assemblages des pièces incidentes, soit au moyen de pièces spéciales, en forme de T, assemblées verticalement sur l'âme. D'autres fois, on dédouble l'âme, et au lieu de poutres en double T on a les poutres dites en caisse, ou poutres tubulaires.

Quand les dimensions des poutres croissent encore, on est conduit, par les considérations théoriques, à évider l'âme et à la réduire à ce qui est strictement nécessaire pour établir la solidarité entre les deux semelles. De là divers types déduits de la théorie des systèmes articulés et dont l'emploi a permis de résoudre avec économie et sécurité un grand nombre de problèmes inabordables pour nos prédécesseurs. Les travaux des chemins de fer en offrent aujourd'hui d'innombrables exemples.

Il existe une assez grande diversité dans les dispositions adoptées pour les fermes : leur profil est toujours celui du double T ou de la caisse rectangulaire, mais l'âme verticale qui relie les plates-bandes peut être exécutée de différentes manières.

Poutres à âme pleine. — Ce sont les plus anciennes; les premières poutres en tôle, employées en Angleterre, paraissent avoir été construites vers 1847. Ce sont encore, en général, les plus économiques et les plus faciles à construire, mais leur aspect laisse souvent à désirer.

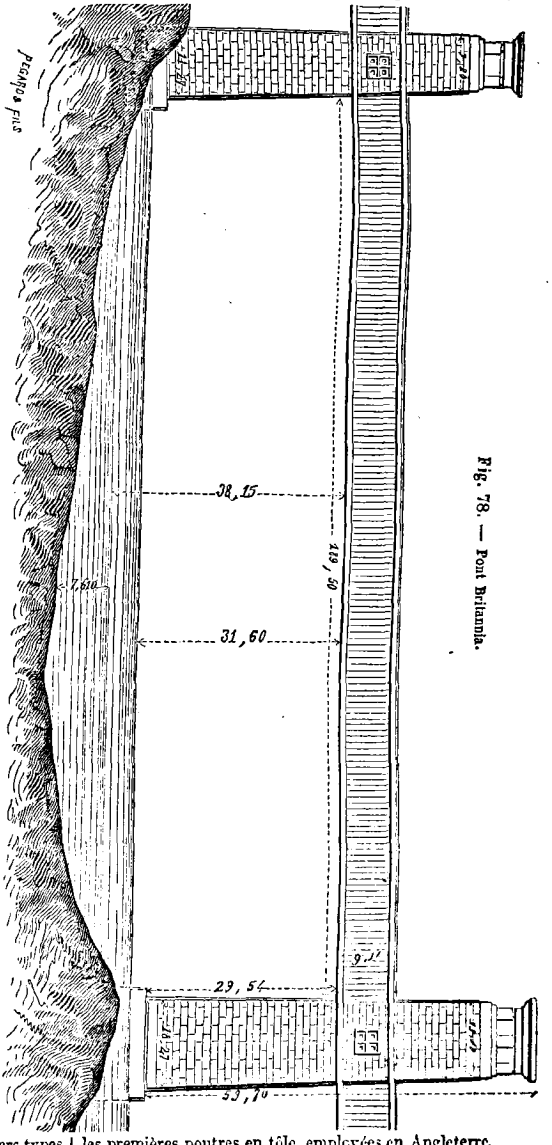


Fig. 78. — Pont Britannia.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

Les poutres du pont de l'embarcadère flottant de Liverpool sont construites dans ce même système. Elles ont 45m,71 de long; leur hauteur est de 1m,67 aux extrémités, et de 2m,59 au milieu; le corps de la poutre a 0m,61 d'épaisseur. La partie supérieure est divisée, par une cloison, en deux canaux rectangulaires, ayant ensemble 0m,76 de largeur et 0m,30 de hauteur.

L'un des premiers spécimens de grands ponts, supportés par des poutres creuses en tôle, a été construit sur le Trent, à Gainsborough, pour le passage du chemin de fer de Manchester et de Sheffield. Ce pont est formé de deux travées de 46m,92 d'ouverture chacune. Les poutres ont 3m,65 de haut.

Les plus grands ouvrages métalliques qui existent ont été exécutés d'après le type à âme pleine. Les plus modestes lui sont aussi restés fidèles.

Parmi les premières il faut citer la plus gigantesque construction en tôle que l'on connaisse le célèbre pont-tube Britannia, construit par M. Stephenson, pour le passage du chemin de fer de Chester à Holyhead. Ce pont se compose de quatre travées : les deux travées extrêmes ont 70m,09 (fig. 78) de portée; les deux travées moyennes offrent un débouché de 140m,26. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les piles et les culées, est de 561m,30. Les vaisseaux à voile peuvent passer sous le pont avec tous leurs mâts dehors. Ce pont se compose de deux tubes rectangulaires en tôle, dans chacun desquels passe une des voies du chemin.

Les efforts les plus grands s'exerçant à la partie inférieure et à la partie supérieure de la caisse, on a formé ces parties d'une série de tubes prismatiques accolés. Le mètre courant de ce pont a coûté 40,000 fr., dont 21,000 fr. pour les fers seulement; c'est un prix excessivement élevé.

Avant d'exécuter ce pont, on a fait de nombreuses expériences sur des modèles à l'échelle de 1/6. La résistance du fer à la compression étant inférieure à sa résistance à l'extension, les parties supérieures du tube devaient présenter une section plus grande que la partie inférieure; mais il fallait définir d'une manière exacte le rapport de ces deux sections. A cet effet, on a augmenté peu à peu les dimensions des feuilles supérieures jusqu'à ce que la rupture du tube eût lieu par le déchirement de la partie inférieure. On a constaté, par ces essais expérimentaux, que les parties inférieures et supérieures du tube résistent respectivement à la rupture par traction et à la rupture par compression avec une égale force, lorsque les sections de ces parties sont entre elles dans le rapport des nombres 22 et 24.

Entrons dans quelques détails sur les avantages qu'offrent les ponts métalliques qui se multiplient tant de nos jours.

Quels que soient, en effet, les avantages des ponts en maçonnerie, il est bien des circonstances où l'on est obligé d'y renoncer, soit par suite de la difficulté de trouver des points d'appui convenables, soit par la nécessité de se maintenir à un niveau déterminé, ou à cause de la lenteur relative inhérente à ce mode de construction, et de la perte d'intérêt des capitaux engagés dans les entreprises, qui en résulte forcément. On a vivement objecté dans l'origine, à l'emploi des métaux, la détérioration auxquels ils sont exposés par l'action chimique des agents atmosphériques; aucun fait, à notre connaissance, ne s'est produit qui soit de nature à diminuer la confiance accordée aux constructions métalliques bien établies et bien entretenues. Elles offrent la solution de difficultés insurmontables par tout autre moyen : et quand même, de loin en loin, il faudrait se résigner à interrompre la circulation sur des voies importantes pendant quelques jours, cet inconvénient ne saurait balancer tous les avantages que l'on en retire habituellement; d'ailleurs l'habileté avec laquelle les ingénieurs de chemins de fer exécutent aujourd'hui les travaux d'entretien et de réparation les plus difficiles en pleine exploitation, permet d'espérer qu'on pourrait, au besoin, éviter tout arrêt, même pour le renouvellement des plus grands ouvrages.

L'usage des poutres droites surtout s'est considérablement étendu dans ces dernières années : ce type présente en effet des propriétés particulières qui, au point de vue de l'économie et de la rapidité des travaux, ont une très-sérieuse valeur.

Les poutres droites n'exercent sur les piles et culées que des efforts sensiblement verticaux; les appuis peuvent, par conséquent, être établis avec plus d'économie et de sûreté; quand les fondations sont difficiles, ou quand les piles sont très-hautes, cette considération est d'un grand poids. Les inconvénients dus aux changements de température peuvent être écartés par l'emploi de glissières, de rouleaux ou de secteurs.

Au-dessous de la ligne horizontale qui limite inférieurement une poutre droite, l'espace est complétement libre : c'est souvent une raison décisive pour y recourir sur les fleuves sujets à des débacles, à des crues violentes, ou fréquentés par une navigation active. Il n'y a guère d'autre solution possible lorsque les conditions d'un tracé imposent un minimum de hauteur au-dessus d'une voie publique ou d'un cours d'eau. On peut à volonté placer le tablier au bas de la poutre comme dans les ponts tubulaires, au sommet ou dans une position intermédiaire, et de là résultent de nouvelles facilités. Les opinions paraissent aujourd'hui fixées sur plusieurs points qui divisaient encore les constructeurs il y a peu d'années. Ces ponts se composent généralement de deux fermes établies avec toute la solidité voulue; on renonce au système des poutres à trois fermes solidaires, et à plus forte raison à celui des poutres indépendantes pour chaque voie; on n'y a plus recours que sur les chemins de fer dont le trafic ne promet pas un développement rapide; on attend que l'accroissement de la circulation l'exige pour établir la seconde poutre. Dans les ponts à plusieurs travées on ne conteste plus guère les avantages de la solidarité : on fait les poutres continues; on réalise ainsi sensiblement les conditions théoriques de l'encastrement vers les points d'appui, qui augmente la résistance des fermes dans une proportion considérable.

Comme exemples de ponts en tôle de dimensions moins considérables que le précédent, mais fort remarquables par leur simplicité et leur économie, nous citerons quelques-uns des ponts du chemin de ceinture de Paris qui ont été les premiers exécutés en France.

Parmi ces ponts, celui qui a été construit sous le chemin de fer de l'Est mérite une mention spéciale, en raison des sujétions particulières qu'il présentait.

Le chemin de ceinture passe sous le chemin de fer de l'Est, qu'il rencontre sous un angle de 25°. L'ouverture de ce pont, suivant le biais, est de 14m,60.

Il était nécessaire de diminuer, autant que possible, la hauteur entre le dessus des rails et le dessous des poutres. Grâce aux dispositions adoptées, on a pu réduire cette hauteur à 0m,415.

Le tablier, comme le montre la demi-coupe (fig. 79), est supporté par trois poutres, reliées par des entretoises placées de 2 en 2 mètres. Les rails sont posés sur des longrines emboîtées dans des caissons en tôle.

Les poutres ont un mètre de hauteur au milieu (fig. 80 et 81), et se réduisent à 0m,22 aux extrémités. La feuille de tôle verticale a 0m,01 d'épaisseur; les lames horizontales ont 0m,40 de longueur et 0m,0135 d'épaisseur. La hauteur des cornières est de 0m,090 et leur épaisseur moyenne de 0m,012.

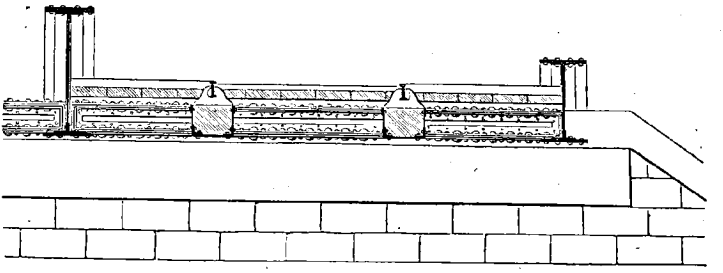
L'entretoise courante (fig. 82) a 0m,23 de hauteur; les lames horizontales ont 0m,36 de largeur; elles sont formées de deux feuilles de 0m,008 d'épaisseur chacune.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La lame verticale a 0m,010 d'épaisseur. Les cornières ont 0m,080 de hauteur et 0m,012 d'épaisseur moyenne.

SERRURERIE.

rectangulaires de 2m,25 de hauteur. Ces tubes sont contreventés par des croix de Saint-André en fer en E, et



79.

Demi-coupe en travers du pont du chemin de fer de l'Est sur le chemin de ceinture. — Échelle de 0,02.

L'entretoise de culée (fig. 83) n'a pas de lames horizontales.



Fig. 80.

Coupe au milieu d'une poutre de rive. — Échelle de 0,05.



Fig. 81.

Coupe au milieu de la poutre intermédiaire. — Éch. de 0,05.

Le caisson (fig. 84) est en tôle de 0m,006, ajustée par des cornières de 0m,08 sur 0m,010.

L'une des dispositions les plus simples que l'on puisse adopter est celle du pont biais construit, pour le passage du chemin de fer de Saint-Germain, sur la grande route avant d'arriver au pont d'Asnières.

Le chemin de fer fait avec la route un angle de 25° environ. Les poutres de tête ont 33m,72, et supportent 4 voies. Il est vrai que l'extrême biais de l'ouvrage fait reporter, par les pièces de pont, une partie du poids sur les maçonneries.

La poutre de tête, dont la figure 85 représente la coupe en travers, a 2 mètres de hauteur. La tôle verticale n'a que 0m,006 d'épaisseur. La lame horizontale inférieure a 0m,015 d'épaisseur et la lame courbe supérieure 0m,008. Au droit des pièces de pont, la poutre est contreventée par une lame verticale, garnie de cornières disposées comme l'indique la figure.

On citera encore, parmi les ponts les plus importants, construits en tôle, dès l'origine, en France, celui sur lequel les chemins de Versailles, R. D., de Saint-Germain, de Rouen et de l'Ouest, traversent la Seine à Asnières.

Ce pont se compose de cinq travées. Les deux extrêmes ont 34m,09 d'ouverture, et les trois autres 32m,7.

Il est formé, comme l'indique la fig. 86 qui représente la coupe en travers d'une voie, de tubes en tôle par des traverses en fer à T qui supportent la voie posée

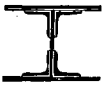


Fig. 82.
Coupe d'une entretoise courante.
Échelle de 0,05.



Fig. 83.
Coupe d'une entretoise de culée.
Échelle de 0,05.



Fig. 84.
Coupe du caisson.
Échelle de 0,05.

sur des longrines en bois, indiquées par un ponctué sur la figure.

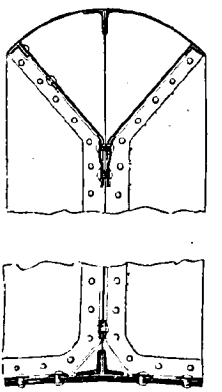


Fig. 85.

Coupe de la poutre du pont biais sur la route d'Asnières.
Échelle de 0,05.

Les fig. 87 et 88 donnent les sections des croix de Saint-André et de la traverse inférieure faites par les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lignes *a b* et *c d* de la fig. 86. La barre en E de la fig. 87 a 200 millim. de largeur et 19 d'épaisseur.

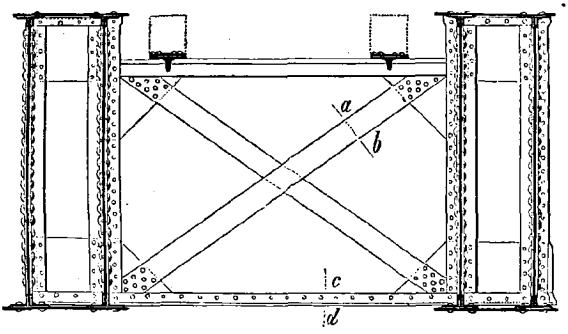


Fig. 86.

Coupe en travers d'une voie du pont sur la Seine, à Asnières. — Échelle de 0,02.



Fig. 87.

Coupe suivant la ligne *a b* de la fig. 76. — Échelle de 0,125.



Fig. 88.

Coupe suivant la ligne *c d* de la fig. 76. — Échelle de 0,125.

Dans tous les exemples précédents, la tôle est employée en poutres droites. Il n'a encore été fait que peu d'essais d'arcs en tôle. Nous ne mentionnerons ici que l'arc de la première arche gauche du pont des Arts, qui offre un spécimen assez curieux de l'emploi des fers à cornières dans la construction des travées de ponts.

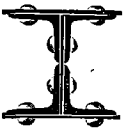


Fig. 89.

Coupe en travers de l'arc de l'arche gauche du pont des Arts. Échelle de 0,10.

La fig. 79 donne la coupe en travers de l'arc dont il s'agit; il a 0m,180 de hauteur; les lames inférieure et supérieure ont 0m,180 de largeur et 0m,841 d'épaisseur, comme la lame verticale. Les cornières ont 0m,080 de hauteur et 0m,011 d'épaisseur moyenne. Les rivets ont 0m,020 de diamètre. L'ouverture est de 23m,70, la flèche de 3m,10.

Le pont d'Arcole à Paris, dû à M. Oudry, est un exemple remarquable de construction (fig. 90). Il rentre en partie dans le genre de ceux dont nous allons parler.

Poutres en treillis. — C'est aux États-Unis qu'on doit les premiers exemples des poutres en treillis.

La plupart des voies de communication de l'Amérique du Nord ont été établies dans des pays presque vierges et elles ont rencontré, comme obstacles principaux, les grands fleuves qui portent à l'océan Atlantique ou au golfe du Mexique le tribut des eaux d'un continent immense. Il a fallu les franchir avec économie, car on ne pouvait attendre un revenu très-rémunérateur d'entreprises exécutées dans ces conditions; avec rapidité, car l'ardeur américaine n'admet pas de lenteurs, et on a dû, par conséquent, utiliser les ressources locales, c'est-à-dire les bois que le sol fournit en abondance et de qualité supérieure. C'est ainsi qu'ont été créés les systèmes de poutres armées en charpente, bien connus en Europe, de Town, Howe, Long, Mac Collun, etc., et décrits à l'article *Ponts* du Dictionnaire.

Entre les mains des ingénieurs américains le bois s'est plié à toutes les exigences; il a permis d'établir des ouvrages d'une grandeur et d'une hardiesse étonnantes: tels le viaduc de Haut-Portage, qui a 80 mètres de haut et 267 mètres de long; le pont de Cascade-Gleen, qui a une ouverture de 84 mètres; les grands ouvrages du chemin de fer du Pacifique, etc. Malgré les défauts du bois, malgré le danger des incendies et la décadence rapide des matériaux, quoique, sauf de rares exemples, les meilleurs ponts ne durent pas vingt ans, la plupart même dix ans, l'économie réalisée sur le capital de premier établissement est considérable, puisque pour des portées de 30 à 50 mètres et pour une seule voie, les ponts reviennent, aux États-Unis, à la faible somme de 360 à 600 fr. le mètre linéaire; le fer n'est donc pas encore généralement préféré au bois de l'autre côté de l'Atlantique.

En Europe, les ponts de fer en treillis se comptaient aujourd'hui par milliers; ils dérivent tous d'un type commun, la poutre en zigzags.

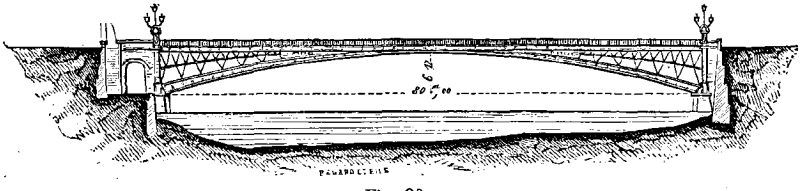


Fig. 90.

On peut se rendre compte très-simplement de la manière dont ce système fonctionne, en se reportant à la théorie élémentaire des systèmes articulés.

On sait que l'on appelle systèmes articulés simples les systèmes dans lesquels aucun des éléments ne présente plus de deux articulations: telles sont les diverses variétés du polygone funiculaire d'où dérivent déjà

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un si grand nombre des formes employées dans les constructions.

On appelle systèmes articulés complexes les systèmes dans lesquels les barres peuvent présenter plus de deux articulations; nous en avons un premier exemple dans les poutres droites à croisillons ou à treillis; on peut se rendre très-aisément compte des conditions d'équilibre de ces poutres.

Considérons d'abord la poutre chargée d'un poids unique en son milieu; la manière la plus simple de la construire consisterait à la former de trois triangles juxtaposés isocèles et égaux entre eux. Le poids 2P serait suspendu au point 0 (fig. 91).

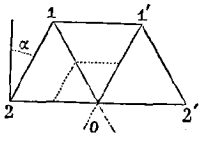


Fig. 91.

Isolons le triangle 011' et considérons-le comme fixé à deux points d'appui inébranlables 1 1'.

Les deux points d'appui seront sollicités par des forces tirantes égales à $\frac{P}{\cos \alpha}$. Pour réaliser ces points fixes on peut établir en 1 1' une barre rigide horizontale, et en 1 2 et 1' 2' deux barres rigides obliques dont les pieds 2 2' seraient maintenus par un tendeur qui les empêcherait de s'écarter.

Les forces nécessaires pour faire équilibre aux tensions 0 1, 0 1' seront obtenues par le parallélogramme des forces; elles tendront à comprimer les barres 1 1', 1 2, 1' 2' et celles-ci devront rencontrer des points d'appui invariables en 2 et 2'. Le côté 1 1' subira une compression égale à 2P tg. α; sur les côtés 1 2 et 1' 2' on aura une compression égale à $\frac{P}{\cos \alpha}$. On arriverait ainsi à franchir un espace 2 2' double de 1 1'.

Pour trouver un appui en 2 et 2' et porter l'espace à franchir à la longueur 3 3' (fig. 92), on peut attacher les

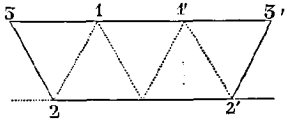


Fig. 92.

points 2 2' à deux tendeurs obliques 2 3, 2' 3' et empêcher le rapprochement des points 3 3' au moyen d'une barre horizontale rigide.

Les efforts de compression dirigés suivant 1 2, 1' 2' seront équilibrés, d'après le parallélogramme des forces par des efforts de tension dirigés les uns horizontalement suivant 2 2' et égaux à 2P tg. α, les autres obliquement suivant 2 3 et 2' 3' et égaux à $\frac{P}{\cos \alpha}$.

On procéderait, de proche en proche, de la même façon jusqu'à l'ouverture totale 8 8', par exemple, et on obtiendrait la figure suivante (fig. 93) :

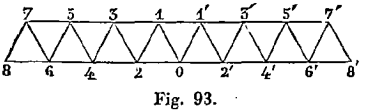


Fig. 93.

Les dernières barres obliques subissant un effort de

compression $\frac{P}{\cos \alpha}$, pour maintenir fixes les deux points 8, 8', il faudra établir entre eux un tendeur subissant un effort P tg. α, et leur appliquer une force verticale P qui représentera la réaction des appuis.

En résumé, toutes les barres obliques, inclinées de manière à rencontrer l'axe vertical de la pièce en dessous, seront soumises à un effort de traction constant égal à $\frac{P}{\cos \alpha}$.

Toutes les barres obliques inclinées, de manière à rencontrer l'axe vertical de la pièce en dessus, seront soumises à un effort de compression constant encore égal à $\frac{P}{\cos \alpha}$.

Toutes les barres horizontales supérieures seront soumises à un effort de compression égal à 2P tg. α; si ces barres sont réunies en une seule, les diverses parties de celle-ci, à partir des points d'appui, subiront les efforts indiqués ci-dessous :

Premiers éléments. . .	75,	7'5'	2P tg α.
Deuxièmes éléments. .	53,	5'3'	4P tg α.
Troisièmes éléments. .	31,	3'1'	6P tg α.
Quatrièmes éléments .		11'	8P tg α.

Toutes les barres horizontales inférieures seront soumises à un effort de traction égal à P tg α pour la première à partir du point d'appui, et à 2P tg α pour toutes les autres; si ces barres sont réunies en une seule, les divers éléments de celle-ci subiront les efforts indiqués ci-après :

Premiers éléments. . .	86,	8'6'	P tg α.
Deuxièmes éléments. .	64,	6'4'	3P tg α.
Troisièmes éléments .	42,	4'2'	5P tg α.
Quatrièmes éléments .		2.2'	7P tg α.

Les efforts de compression successifs dans la longrine supérieure sont entre eux comme les nombres 2, 4, 6, 8; ils croissent suivant une progression arithmétique dont la raison est 2; c'est la série des nombres pairs.

Les efforts de traction successifs dans la longrine inférieure sont entre eux comme les nombres 1, 3, 5, 7; ils croissent suivant une progression arithmétique dont le premier terme est 1 et la raison 2; c'est la série des nombres impairs.

Considérons maintenant une poutre composée de n triangles égaux chargés d'un poids $2p$ en chacun de leurs sommets inférieurs.

Suivons la même marche que pour le problème précédent et isolons le triangle central 011', comme s'il n'y avait à franchir que l'espace 11'.

Nous aurons, comme ci-dessus, sur les côtés 01, 01' un effort de traction $\frac{2p}{\cos \alpha}$, qui tendrait à rapprocher les points 11' sans l'intervention de la barre rigide qui les maintient à une distance constante. Pour maintenir ces deux points fixes et franchir l'espace 22', nous emploierons les deux barres obliques 12, 1'2'.

Ces deux barres seront comprimées avec un effort égal à $\frac{p}{\cos \alpha}$; et la barre 11' avec un effort égal à $2p$ tg α. Mais pour que le système se maintienne en équilibre, il faut que les deux points 22' soient fixes; cette fixité s'obtiendra et l'on arrivera à franchir l'espace 33', en unissant les points 22' par une chaîne inextensible et en suspendant l'appareil par deux chaînes également inextensibles aux points 33'.

La décomposition de la force $\frac{p}{\cos \alpha}$ suivant la direction 22' donnera un effort de traction égal à $2p$ tg α; et suivant la direction 23 un effort de traction égal à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

$\frac{p}{\cos\alpha}$, puisque les triangles sont isocèles. Mais au point 2 se trouve appliquée une charge $2p$ qui ne peut être soutenue que par les chaînes 22' et 23, et qui donne, suivant ces directions, des efforts de tirage égaux respectivement à $2p \operatorname{tg}\alpha$ et $\frac{2p}{\cos\alpha}$; ces efforts viendront s'ajouter aux précédents et donneront en définitive les sommes suivantes :

Sur la chaîne 22' $\quad 4p \operatorname{tg}\alpha$.

Sur la chaîne 23 $\quad \frac{3p}{\cos\alpha}$.

Tout ce qui vient d'être dit pour le côté gauche de la figure pourra se répéter pour le côté droit sans y rien changer.

Il faut maintenant assurer la fixité des points 33'; pour cela on les réunira par une barre rigide, et on supportera celle-ci par deux autres barres rigides et obliques 34, 3'4'. La force $\frac{3p}{\cos\alpha}$, décomposée suivant les directions 33' et 34, donnera sur la seconde une composante égale à $\frac{3p}{\cos\alpha}$ puisque les triangles sont isocèles; sur la première une composante égale à $6p \operatorname{tg}\alpha$: dans l'espace 44' cette composante s'ajoutant à l'effort $2p \operatorname{tg}\alpha$, calculé précédemment, donnera un effort total de compression égal à $8p \operatorname{tg}\alpha$.

Il faut maintenant assurer la fixité des points 44'; on procèdera, comme pour les points 22', avec des chaînes inextensibles, et en tenant compte de la charge $2p$ appliquée en chacun de ces points. Cette charge donnera comme précédemment deux composantes : l'une horizontale et égale à $2p \operatorname{tg}\alpha$; l'autre oblique et égale à $\frac{2p}{\cos\alpha}$. Ces efforts ajoutés aux précédents donneront en 45 un effort total égal à $\frac{5p}{\cos\alpha}$; suivant 44' un effort total égal à $6p \operatorname{tg}\alpha$; suivant 22' un effort total égal à $10p \operatorname{tg}\alpha$.

De même du côté droit de la figure et ainsi de suite.

En résumé, toutes les barres obliques, inclinées de manière à rencontrer l'axe vertical de la pièce en dessous, seront soumises à des efforts de traction croissant du milieu vers les extrémités et formulés par les expressions

$$\frac{p}{\cos\alpha}, \quad \frac{3p}{\cos\alpha}, \quad \frac{5p}{\cos\alpha}, \quad \frac{7p}{\cos\alpha}, \quad \ldots \quad \frac{(2n-1)p}{\cos\alpha},$$

c'est-à-dire croissant comme la série des nombres impairs.

Toutes les barres obliques inclinées de manière à rencontrer l'axe vertical de la pièce en dessus seront soumises à des efforts de compression exprimés par les mêmes formules que les précédentes.

Toutes les barres horizontales supérieures seront soumises à des efforts de compression, et les barres horizontales inférieures à des efforts de tension allant en diminuant du milieu de la barre vers les extrémités, et formulées par les expressions contenues dans les cinquième et septième colonnes du tableau ci-contre, qui résume les calculs d'une poutre en zigzag formée de 10 triangles :

TABLEAU des efforts superposés par les éléments d'une poutre articulée chargée de poids uniformément répartis.

DÉSIGNATION DES BARRES.	BARRES OBLIQUES.		BARRES HORIZONTALES.			
			SUPÉRIEURES.		INFÉRIEURES.	
	tirées.	comprimées.	Efforts isolés.	Efforts cumulés.	Efforts isolés.	Efforts cumulés.
0.1 0.1′ 1.1′	$\frac{p}{\cos\alpha}$		$2p \operatorname{tg}\alpha$	$72\ p \operatorname{tg}\alpha$		
1.2 1′.2′ 2.2′		$\frac{p}{\cos\alpha}$			$4p \operatorname{tg}\alpha$	$84\ p \operatorname{tg}\alpha$
2.3 2′.3′ 3.3′	$\frac{3p}{\cos\alpha}$		$6p \operatorname{tg}\alpha$	$70\ p \operatorname{tg}\alpha$		
3.4 3′.4′ 4.4′		$\frac{3p}{\cos\alpha}$			$8p \operatorname{tg}\alpha$	$80\ p \operatorname{tg}\alpha$
4.5 4′.5′ 5.5′	$\frac{5p}{\cos\alpha}$		$10p \operatorname{tg}\alpha$	$64\ p \operatorname{tg}\alpha$		
5.6 5′.6′ 6.6′		$\frac{5p}{\cos\alpha}$			$12p \operatorname{tg}\alpha$	$72\ p \operatorname{tg}\alpha$
6.7 6′.7′ 7.7′	$\frac{7p}{\cos\alpha}$		$14p \operatorname{tg}\alpha$	$54\ p \operatorname{tg}\alpha$		
7.8 7′.8′ 8.8′		$\frac{5p}{\cos\alpha}$			$16p \operatorname{tg}\alpha$	$60\ p \operatorname{tg}\alpha$
8.9 8′.9′ 9.9′	$\frac{9p}{\cos\alpha}$		$18p \operatorname{tg}\alpha$	$40\ p \operatorname{tg}\alpha$		
9.10 9′.10′ 10.10′		$\frac{7p}{\cos\alpha}$			$20p \operatorname{tg}\alpha$	$44\ p \operatorname{tg}\alpha$
10.11 10′.11′ 11.11′	$\frac{11p}{\cos\alpha}$		$22p \operatorname{tg}\alpha$	$22\ p \operatorname{tg}\alpha$		
12.12 11′.12′ 11.12′		$\frac{11p}{\cos\alpha}$			$24p \operatorname{tg}\alpha$	$24\ p \operatorname{tg}\alpha$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le mode d'étude élémentaire, que nous venons d'appliquer à deux cas très-simples qui se rencontrent souvent dans la pratique, peut également servir pour toutes les pièces symétriques composées de triangles, quelle que soit leur forme, à la condition que les charges seront symétriquement réparties par rapport à l'axe de la pièce. En procédant dans un ordre différent, c'est-à-dire en partant des appuis, on pourra l'appliquer à la plupart des systèmes articulés triangulaires, à la condition de connaître la réaction des points d'appui.

Supposons maintenant qu'au lieu d'adopter la disposition n° 1, que nous venons d'étudier, on prenne la disposition n° 2, qui n'est autre que celle de la pièce précédente retournée sens dessus dessous. On déterminera par le même mode de calcul les efforts supportés par toutes ses parties : on arrivera à des résultats analogues. Imaginons que l'on juxtapose deux poutres ainsi formées; on aura un ensemble désigné ci-contre par le n° 3, capable de supporter la charge $4p$, et qui n'est autre que le système de la poutre à croisillons si généralement employé : on ne pourra, en effet, qu'améliorer la construction en réunissant en deux les semelles hautes et basses des deux poutres et en les réunissant par de bons assemblages au lieu de simples articulations avec les barres obliques.

En admettant cette disposition n° 3, on augmentera la résistance de toutes les pièces comprimées dans une proportion très-notable; car, grâce à leur liaison avec les pièces incidentes par des assemblages, leur longueur libre se trouvera diminuée de moitié; elles seront par conséquent beaucoup moins exposées à fléchir.

Au lieu de juxtaposer ainsi deux poutres seulement, on pourra en réunir quatre, six ou même davantage. On pourra donner aux barres diverses inclinaisons. Enfin, on réalisera les divers systèmes de treillis, à mailles plus ou moins serrées, qui sont aujourd'hui en usage, et dont les principaux types peuvent être résumés ainsi :

N^{os} 1 et 2 Poutres en zigzag;

N° 3 Poutres en treillis formées de zigzags juxtaposés;

N° 4 { Poutres en treillis au nombre de deux;
— au nombre de quatre ou plus;

N^{os} 5 et 6 Poutres composées de compartiments rectangulaires, traversés chacun par une seule diagonale;

N° 7 Poutres formées des deux systèmes précédents juxtaposés.

SERRURERIE.

N° 8 Ponts américains du système Whipple : ils dérivent de la disposition n° 6.

Nous donnerons quelques exemples des plus remarquables applications, si multipliés aujourd'hui, de ces belles constructions :

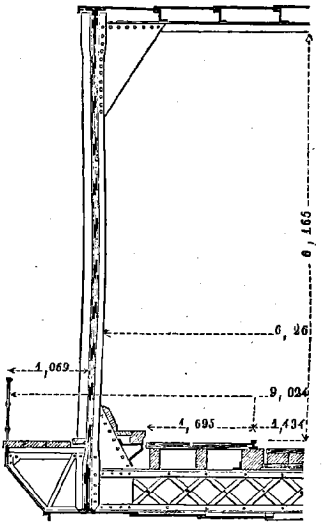


Fig. 94.

1° Le pont de Nogat, près Manenburg (fig. 94 et 95);
2° Le pont de Chepstow (fig. 96) et le pont de Saltash (fig. 97), dus tous deux à Brunel;
3° Le pont de Vindsor (fig. 98).

Poutres à bielles en dessous.—C'est la disposition la plus fréquemment employée pour la construction des arbalétriers des grandes fermes métalliques. Elle offre dans beaucoup de circonstances l'inconvénient d'occuper au-dessous de la poutre un espace plus ou moins considérable et qui peut être mieux utilisé. Ce désavantage peut être atténué en multipliant les bielles.

Ce principe est souvent appliqué en Amérique pour faire des ponts d'une portée moyenne de 35 à 62 mètres. Dans le système Wendell-Bollman, la charge de chaque bielle est reportée directement sur les extrémités.

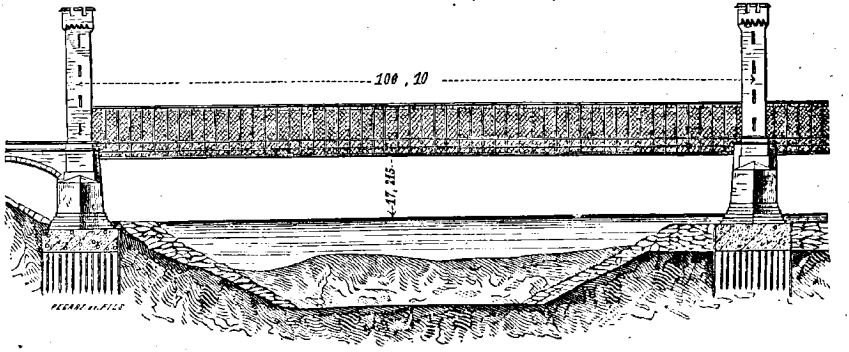


Fig. 95.
Pont de Nogat (près Manenburg).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le système Albert Finck est le plus répandu sur les chemins de fer américains.

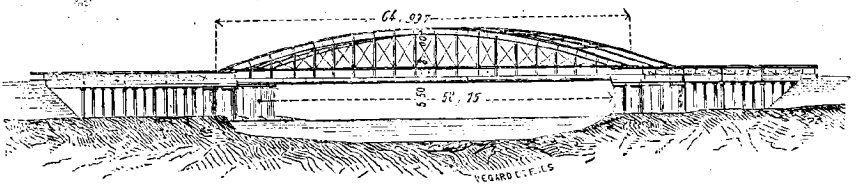


Fig. 96.

Pont de Windsor (Great-Western).

Dans ces ouvrages les pièces comprimées sont en fonte; les autres en fer : cette association des deux métaux dans de pareilles conditions ne paraît pas présenter des garanties de solidité aussi sérieuses que l'usage exclusif du fer.

ferme offre alors la forme d'une caisse rectangulaire très-allongée dans le sens vertical; on augmente la rigidité des barres comprimées en les entretoisant deux à deux par un réseau de plates-bandes (ponts de Drogheda, du Scorff, etc.).

Entre le système à mailles très-serrées (pont d'Offenburg, etc.), et celui des poutres composées d'une

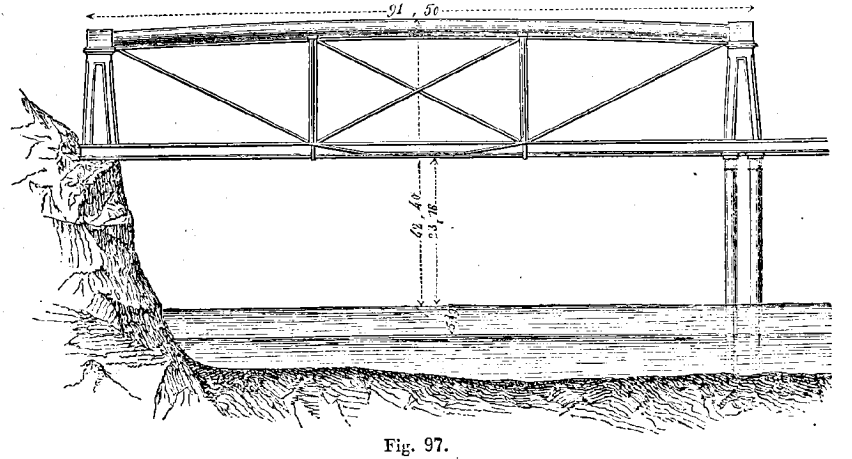


Fig. 97.

Viaduc de Chepstow sur la rivière de Toye.

Les treillis que l'on substitue aux âmes pleines ont été composés tantôt de fers de petites dimensions, formant un réseau à mailles serrées, tantôt de barres de forte section, dessinant de larges quadrilatères ou même de simples triangles. En tout cas, les pièces de l'âme se comportent de deux manières bien distinctes : les unes qui, prolongées, iraient rencontrer l'axe vertical de la travée au-dessus de la poutre, sont exposées à des efforts de compression; les autres, inclinées en sens contraire, résistent à l'extension. Le premier système dérive de l'imitation des poutres américaines en madriers de M. Long. Les barres sont plus nombreuses, mais individuellement plus légères : les efforts sur les plates-bandes sont plus uniformément répartis; mais les assemblages de l'âme avec les plates-bandes et ceux des pièces de contreventement offrent des difficultés d'autant plus graves que la portée est plus grande.

Les barres des premiers ponts en treillis étaient de simples fers méplats : pour donner plus de rigidité aux pièces comprimées et de stabilité à l'ensemble, on adopte souvent maintenant des sections en forme de T, d'U ou d'auge (ponts de l'Eipet, Autriche). Quand les fermes sont très-hautes cet expédient peut paraître insuffisant : on dédouble le treillis; la section transversale de la série de triangles égaux compris entre deux plates-bandes horizontales (Newark, Crumlin, etc.), qui représentent l'extrême opposé, il y a place pour une infinité de combinaisons intermédiaires; elles semblent aujourd'hui préférées aux systèmes absolus. La facilité avec laquelle les pièces simples qui composent les poutres droites, préparées et ajustées dans les grands centres industriels, peuvent être transportées au loin et ajustées sur place, et la diversité des moyens dont on dispose pour leur levage sont comptés au nombre des propriétés les plus avantageuses de ce système, surtout pour les ouvrages à exécuter dans les pays lointains et dépourvus de ressources.

Les petites poutres de 15 à 20 de portée sont posées toutes faites sur deux wagons, amenées sur les rails entre leurs culées et descendues avec des chèvres sur leurs appuis.

On peut construire une poutre droite sur son emplacement définitif, au moyen d'échafaudages provisoires, établis dans le lit des rivières; les fermes sont montées à volonté verticalement ou à plat, et levées en décrivant un quart de révolution. On peut faire le montage à terre, par travée, sur un chantier parallèle au cours de la rivière, placer la poutre terminée sur des pontons, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faire flotter jusqu'à pied d'œuvre, et la lever jusqu'à la hauteur voulue au moyen de presses hydrauliques ou de tout autre engin. Les grandes travées métalliques d'environ 140 mètres d'ouverture de Menai et de Saltash ont été mises en place par ce procédé. A Kowno, sur le Niémen (Russie), les pontons portaient des échafaudages un peu plus hauts que le niveau définitif du tablier : chaque travée, de 78m,72 de long et pesant 500 tonnes, étant présentée, on la descendait sur ses appuis en introduisant de l'eau dans les pontons, qui étaient pourvus de vannes à cet effet.

Mais il existe un procédé plus simple, aujourd'hui très-répandu, qui dispense de tout échafaudage en rivière; il consiste à construire la poutre sur une rive dans le prolongement de l'axe du pont, et à la faire rouler sur des galets d'un point d'appui à l'autre, jusqu'à ce qu'elle atteigne soit la rive opposée, soit une pile située au milieu du fleuve, si le travail a été partagé entre les deux rives. Ce système, appliqué aux grands viaducs à piles métalliques, a permis d'en simplifier extraordinairement la construction, comme on le verra plus loin.

Viaducs à piles métalliques. — La dépense et le temps nécessaires à la construction d'un grand viaduc s'accroissent rapidement avec la hauteur de ses supports. Pour diminuer ces inconvénients, on a substitué aux piles maçonnées des charpentes métalliques : les exemples de ce genre de constructions, dont l'aspect aérien impressionne vivement, ne sont pas encore très-nombreux : on cite les viaducs de Cumlin, en Angleterre (fig. 99); de la Sitter et de Fribourg, en Suisse; en France, on a construit deux grands ouvrages de ce genre, les viaducs de Busseau d'Ahun, sur le chemin de fer de Montluçon à Limoges, et de La Cère, sur la ligne de Figeac à Aurillac. Ils sont dus à M. W. Nordling, qui a publié, à ce sujet, dans le deuxième volume de l'année 1864 des Annales des ponts et chaussées, une notice très-importante.

Le viaduc de Busseau d'Ahun est à deux voies; il a 336 mètres de long et s'élève à 57 mètres au-dessus de l'étiage de la Creuse; le tablier se compose d'une poutre droite de 286 mètres de long, formée de quatres fermes en treillis; il est soutenu par cinq piles en charpente métallique avec soubassement en maçonnerie. Ce viaduc se distingue des précédents par les particularités

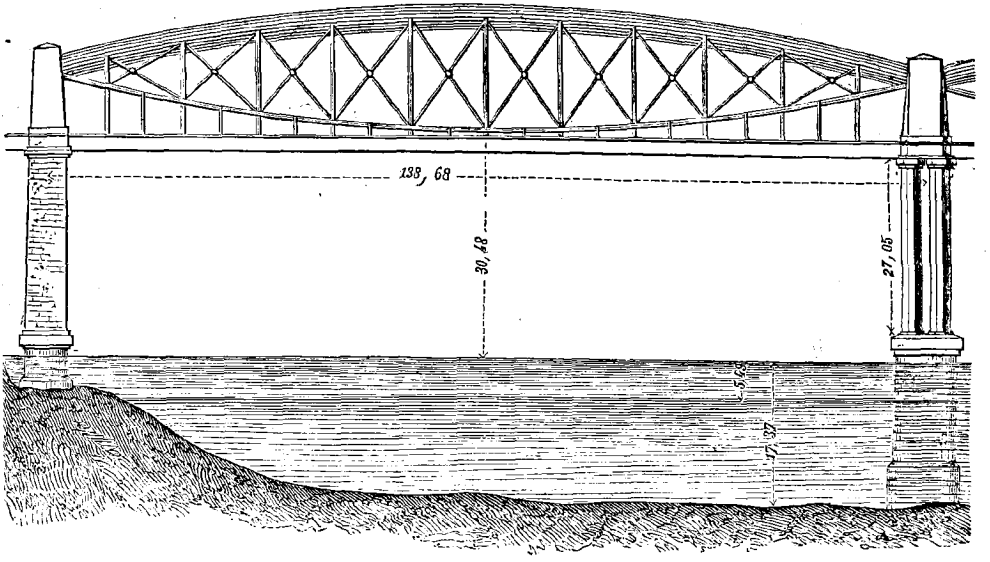


Fig. 98.

Pont de Saltash (South-Devon railway, sur un bras de mer, à 7 milles de Plymouth).

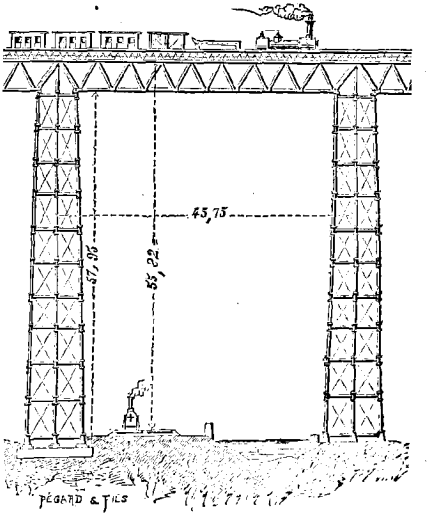


Fig. 99.

suivantes : 1° le nombre des palées de chaque pile est réduit à deux; elles n'ont ainsi, à la partie supérieure, que 6 mètres de longueur et 2 mètres de largeur, d'axe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en axe des colonnes. 2° Les axes des huit colonnes composant les deux palées concourent en un même point dans l'espace et forment les arêtes d'une pyramide; il en résulte un aspect très-clair et très-satisfaisant. Sous aucun point de vue les lignes ne se coupent entre elles et ne forment de ces réseaux embrouillés où l'œil a peine à se reconnaître, et dont l'apparence confuse est souvent reprochée aux constructions métalliques. 3° On admet difficilement, au premier abord, que cet assemblage aérien de légères pièces de fer offre une prise dangereuse à l'action du vent : il résulte cependant des calculs auxquels s'est livré M. Nordling qu'il en est tout autrement; pour obtenir une stabilité suffisante, il a fallu amarrer la superstructure métallique dans les massifs de maçonnerie des soubassements au moyen de barres de fer ayant jusqu'à 0m,09 de diamètre. 4° Pour atténuer le danger des déraillements, le platelage a été rendu imperméable; il a été composé de longrines de 0m,15 d'épaisseur, armées de fortes cornières, et l'approche des garde-corps a été défendue par deux longrines saillantes formant chasse-roues. 5° Afin d'assurer la répartition égale de la charge entre les deux palées d'une même pile, quelle que soit l'inégalité du chargement du tablier, et afin d'éviter ainsi la déformation des piles au moment du passage des trains, le tablier ne repose que sur des appuis à charnière placés au milieu de la distance qui sépare les deux palées.

Le viaduc de la Cère n'a qu'une voie : il est élevé à 55m,30 (fig. 99) au-dessus de l'étiage de cette rivière; sa longueur est de 308 mètres; celle du tablier est de 236m,50; ses piles sont espacées de 50 mètres, et il présente les mêmes particularités que le précédent.

Nous devons renvoyer au mémoire de M. W. Nordling pour l'étude d'un grand nombre de questions importantes, que soulève notamment la proportion à observer entre l'écartement et la hauteur des piles et la comparaison des viaducs métalliques avec ceux en maçonnerie. Il est un fait, toutefois, qu'on ne saurait passer sous silence : c'est l'avantage des premiers au point de vue de la rapidité de l'exécution et de l'économie, dès que la hauteur dépasse 30 mètres. Le tableau suivant permettra d'apprécier la différence des deux systèmes sous ce dernier rapport.

Le mètre linéaire de hauteur de pile métallique a coûté 2,705 fr. à Busseau d'Ahun, et 2,040 fr. à la Cère.

DÉSIGNATION DES VIADUCS.	HAUTEUR AU-DESSUS DU SOL.		PRIX MOYEN.		OBSERVATIONS.
	Moyenne.	Maximum.	par mètre carré.	par mètre carré d'élévation.	
Viaducs métalliques.	mètres.	mètres.	francs.	francs.	
La Litter	42.80	62.40	4536	105.98	Pour une voie.
La Cère	32.50	55.30	2782	84.86	Pour une voie.
Fribourg	52.40	76.00	6060	115.65	Les autres viaducs ont deux voies.
Busseau d'Ahun	35.30	56.50	4473	126.10	
Viaducs en maçonnerie.					
Morlaix	46.30	56.75	»	172	
Chaumont	39.30	53.20	»	259	
Combe de Fin	36.00	44.00	4530	126	
Gartempe	35.80	50.95	7323	205	
Port Launay	»	52.50	6162	154	

La compagnie des chemins de fer du Midi a fait exécuter, sur la ligne de Montpellier à Rhodez, plusieurs viaducs en charpente métallique, dont les hauteurs varient de 20 à 70 mètres; ils sont construits avec d'anciens rails Barlow et Brunel, que la substitution du système à double champignon a laissés sans emploi.

Les avantages économiques des viaducs à piles métalliques sont dus en grande partie à la simplicité de leur levage. Cette opération se fait sans le secours d'aucun échafaudage, par un moyen aussi hardi que simple et ingénieux. Le tablier construit sur le coteau, en arrière de la culée, est lancé dans l'espace par les procédés indiqués plus haut et arrêté à l'aplomb de la première pile à construire : toutes les pièces qui composent cette pile sont présentées, non plus à pied d'œuvre, mais au contraire au niveau du tablier, au-dessus de la place qu'elles doivent occuper. De là, elles sont descendues sur le chantier de montage de la pile avec la plus grande facilité et en même temps avec une économie incomparable et une sécurité complète pour les ouvriers. Ainsi, l'une des grandes piles de Busseau a été montée en cinq jours.

Quand la première pile est terminée, on pousse le tablier en avant de toute la distance qui sépare cette pile de la seconde; on procède de la même manière pour la construction de celle-ci, et ainsi de suite. Ce système de construction des grands viaducs à piles métalliques est une des principales innovations introduites dans ces derniers temps. Il présente toutefois un danger, résultant de l'action exercée sur la tête des piles pendant le lançage du tablier, qui tend à les renverser avec un bras de levier égal à toute la hauteur de la pile. Au pont de Fribourg, on a fait équilibre à cette action au moyen de chaînes de tension reliant les piles invariablement à la hauteur de leur tête. M. Moreaux a employé pour le même objet, aux viaducs de la Cère et de Busseau d'Ahun, un procédé très-ingénieux, qui consistait à placer ses treuils de lançage dans l'intérieur du tablier et à prendre les points d'attache des garants sur les piles construites; il était facile de régler la tension de ces cordes de manière qu'elle fît constamment équilibre à la force d'entraînement exercée sur la pile.

Phares. — Nous terminerons cette étude sur les constructions en fer par la description de phares, qui sont des exemples remarquables de ce genre de construction.

Le premier (fig. 100) (phare de Walder) a été établi sur un fond de sable qui ne permettait guère d'établir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un édifice d'un poids considérable. Il est fondé sur des pieux à vis qui pénètrent à une grande profondeur dans le sol et qui occupent les sommets d'un hexagone, et qui sont solidement reliés à leur sommet entre eux et avec un pieu central. On voit sur la figure le détail des assemblages qui servent à relier tous les éléments du système et à lui donner une rigidité suffisante.

Le second (fig. 401), celui de Roches-Douvres, écueil très-redouté situé à mi-distance entre l'île de Bréhat et celle de Guernessy.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés et rivés de manière à être parfaitement solidaires et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres, et sont maintenus dans leurs positions par des entretoises horizontales. Les feuilles de tôle du revêtement sont boulonnées sur les montants et les entretoises. La construction repose sur un massif en maçonnerie, auquel chacun des seize montants est fixé par six forts boulons de scellement.

L'édifice a 48m,30 de hauteur, depuis sa base jusqu'au niveau de la galerie qui entoure la lanterne.

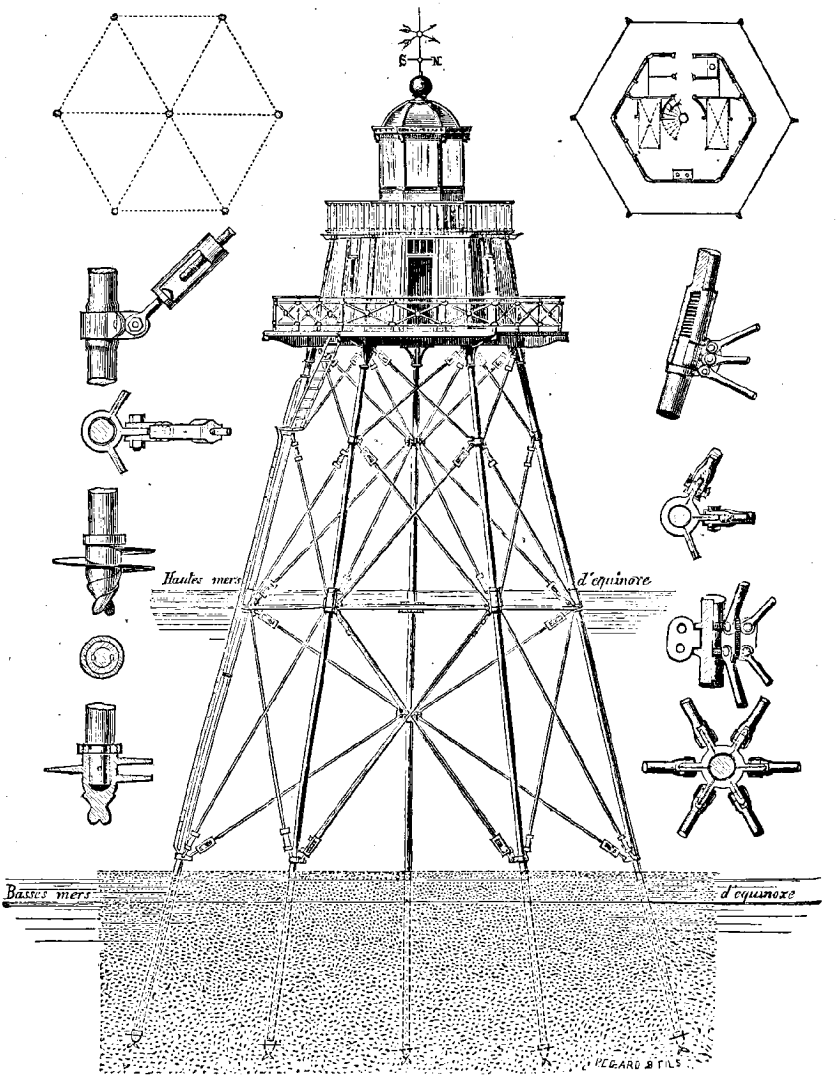


Fig. 400.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un phare de même genre, exécuté également à Paris, a été installé sur un des îlots de la Nouvelle-Calédonie.

E. BAUDE.

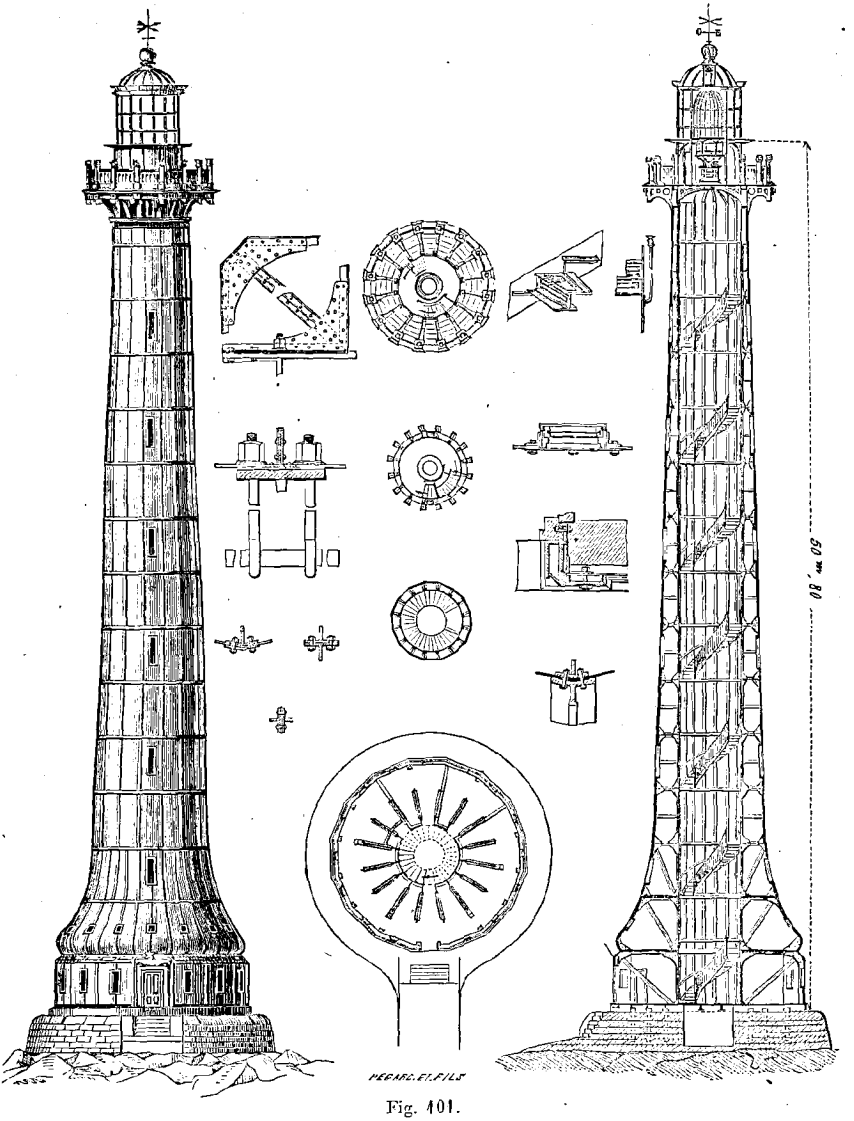


Fig. 101.

SIFFLET D'ALARME. Voyez CHAUDIÈRE A VAPEUR et MACHINE A VAPEUR.

SILICATES. Les silicates sont les combinaisons que le silice forme avec les bases, sous l'influence de hautes températures; on en trouve un grand nombre parmi les minéraux constitutifs de l'écorce terrestre. Ils sont tantôt attaquables, tantôt inattaquables par les acides, excepté par l'acide hydrofluorique, qui les décompose toujours. Dans tous les cas, en les fondant avec le double ou le triple de leur poids de potasse caustique, et même souvent de carbonate de potasse, on obtient un silicate basique qui est décomposé par des acides avec précipitation de silice gélatineuse. Les silicates sont fusibles ou infusibles; on peut poser, comme règle générale, que les silicates multiples sont plus fusibles que les silicates simples. L'étude de la fusibilité des silicates est une question fort importante dans la fabrication des poteries, des verres et dans la métallurgie, où elle permet de séparer les matières terreuses ou gangues qui accompagnent les métaux dans leurs minerais, en liquéfiant ces gangues par l'addition de fondants convenables.

Voyez DOCIMASIE, FER, POTERIE, VERRE, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SILICE (*angl.* silica, *all.* kieselerde). La silice ou acide silicique est composée de ;

Silicium. . . .	0,4804	Si O^3.
Oxygène. . . .	0,5196	

Elle est très-abondamment répartie dans la nature, soit à l'état de pureté presque parfaite, et elle constitue alors l'espèce QUARTZ, soit à l'état de combinaison avec les bases, ou de silicates qui, avec les calcaires, forment toutes les grandes masses de l'écorce terrestre. Seule la silice est absolument infusible dans nos fourneaux. La silice à l'état de quartz, ou après calcination ou même après une forte dessiccation, est tout à fait insoluble dans l'eau et les acides, l'acide hydrofluorique excepté; mais à l'état de gelée, et surtout à l'état naissant, elle s'y dissout souvent en grande quantité.

En quelque état qu'elle se trouve, la silice se combine aisément, par voie sèche, avec les bases; cette propriété permet de se procurer facilement de la silice pure et gélatineuse : il suffit de prendre du sable de rivière lavé par les acides, de le fondre avec la moitié de son poids de carbonate de potasse ou de soude, de reprendre le résidu par un acide ajouté en quantité suffisante pour saturer l'alcali, d'évaporer à siccité pour rendre la silice insoluble, puis de reprendre par un acide faible pour enlever l'alumine, etc. ; on jette ensuite sur un filtre et on lave avec soin. La silice ainsi obtenue est soluble dans la potasse caustique, même après avoir été calcinée.

SILICIUM. Le silicium s'obtient en réduisant, à une faible chaleur, la silice par le potassium ou le sodium; il n'a aucun emploi dans les arts.

SILO. Dans certains pays, on conserve le blé dans des excavations souterraines, auxquelles on a donné le nom de *silos*. Quelquefois ces excavations sont murailles et rejointoyées avec soin, mais le plus souvent on se contente de les pratiquer dans un sol argileux, compacte, homogène et imperméable à l'eau, et on en dessèche l'intérieur avec un feu de paille. On remplit ensuite le silo de grain que l'on y tasse, en ayant soin d'interposer partout une couche de paille entre les parois et le grain ; puis, quand on est arrivé à $0^m,70$ environ en contre-bas du niveau du sol, on recouvre le grain d'un lit de paille et l'on tasse de la terre par-dessus, de manière à former un monticule, pour que les eaux pluviales ne puissent y séjourner et s'infiltrer dans l'intérieur du silo. C'est par ce procédé que l'on conserve pendant plusieurs années, dans les pays chauds, et surtout en Hongrie, en Espagne, en Algérie, etc. des quantités considérables de froment.

SIROP. Les sirops sont des liquides amenés, par l'addition d'une certaine quantité de sucre, à une consistance particulière, que l'on désigne sous le nom de consistance sirupeuse.

Certains sirops se préparent en dissolvant à froid 2 parties de sucre blanc dans 1 p. d'eau distillée aromatique, laissant reposer, et filtrant en décantant. Les autres sirops se préparent ordinairement avec des sucres de qualité inférieure, par coction et clarification. On commence par battre quelques œufs avec de l'eau, on y mêle la cassonnade ou le sucre, puis on y ajoute le reste de l'eau, et on chauffe lentement et graduellement jusqu'à l'ébullition ; l'albumine se coagule et entraîne les matières étrangères, en venant former à la surface une écume que l'on enlève avec une écumoire. Souvent au lieu de mettre d'abord les blancs d'œufs, on les dissout à part dans un peu d'eau, et on ne les ajoute que lorsque le sirop entre en ébulition. On laisse ensuite déposer le sirop, et on le décante ou on le passe à travers une chausse en laine. Les sirops de fruit se préparent comme ci-dessus, en remplaçant l'eau par le suc extrait du fruit par pression.

SODA-WATER. Voyez EAUX GAZEUSES.

SODIUM. Le sodium est le radical de la soude. Ce métal a été découvert en 1807 par Davy; il a les plus grandes analogies avec le POTASSIUM, et se prépare par un procédé absolument semblable. (Voy. ALUMINIUM. *Complément.*)

Le sodium se distingue du potassium par une moindre volatilité et une moindre fusibilité; mais il est un peu plus malléable et se laisse facilement aplatir en feuilles minces, tant qu'il n'approche pas de son point de fusion. Il fond à 90°. Sa densité, à + 15°, est de 0,97. Exposé au contact de l'air, il s'oxyde peu à peu et se recouvre d'une couche de soude; projeté sur l'eau, il y éprouve un mouvement giratoire excessivement rapide, la décompose, s'empare de son oxygène et met en liberté l'hydrogène qui se dégage. Il ne se produit pas de flamme, dans cette circonstance, comme avec le potassium, à moins qu'on ne ralentisse la rapidité du mouvement giratoire par des moyens mécaniques, en rendant, par exemple, l'eau visqueuse par l'addition d'un mucilage de gomme, etc.

Le sodium s'allie en deux proportions avec l'oxygène, pour former la SOUDE (protoxyde de sodium) et le peroxyde ou sesqui-oxyde de sodium.

SOIE (*angl.* silk, *all.* seide). De toutes les matières filamenteuses, la soie est la plus curieuse à étudier et la plus précieuse : la forme sous laquelle elle est produite, son éclat, sa résistance, son élasticité jointe à sa ténuité et à ses propriétés chimiques lui donnent une grande valeur. On peut dire que la soie est aux matières textiles ce que l'or est aux métaux.

Tout le monde sait que, dans le travail de la chenille du mûrier, cette matière cornée et coagulable, qui a la propriété de se durcir au contact de l'air, sort des deux filières de l'insecte en deux brins séparés qui, en se soudant, forment par leur agglomération le fil de soie. L'existence de ces deux brins peut être constatée très-facilement avec une loupe ordinaire, et au microscope elle devient tout à fait sensible. La figure 2279 indique assez exactement la forme de ces fibrilles extrêmement ténues, qu'on peut comparer à deux cannelures accolées et transparentes. Elles ne sont pas cylindriques, mais très-sensiblement aplaties, comme on peut s'en convaincre en les faisant mouvoir dans plusieurs sens opposés pendant qu'on les examine au microscope.



Fig. 2279.

La surface des brins, vue avec cet instrument, présente souvent des inégalités qui ne semblent exister que sur la couche extérieure de la substance qui enveloppe le tube, ou partie extérieure de la matière élaborée par l'insecte, dont nous rechercherons bientôt les causes.

Quoique la soie ait naturellement la forme du fil, elle ne peut être utilisée qu'après un travail et des préparations toutes particulières qui constituent une véritable industrie, *celle du tirage de la soie des cocons*. Comme le progrès de cette spécialité dépend de la parfaite connaissance des conditions dans lesquelles la soie est produite, il est nécessaire d'indiquer au moins succinctement les points essentiels qui peuvent avoir de l'influence sur les résultats industriels.

De la production de la soie. — La graine du papillon femelle, après avoir été fécondée par le mâle, est conservée d'une année à l'autre. Lorsque la saison des bourgeons est venue, on fait alors éclore cette graine en l'exposant à une chaleur artificielle, de façon à faire concorder l'époque de l'éclosion avec celle de l'apparition des premières feuilles des mûriers qui sont la nourriture exclusive des vers à soie. Le petit ver ou petite chenille, convenablement soigné et nourri, se développe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapidement. Il atteint dans une vingtaine de jours la taille et la forme indiquées fig. 2280, il a alors surmonté



Fig. 2280.

bien des périls et des vicissitudes qui seront décrites lorsque nous traiterons de l'éducation des vers à soie.

Quoique les feuilles des mûriers forment la nourriture exclusive des vers à soie, on a cependant démontré par des expériences positives qu'on peut élever des vers avec d'autres végétaux, et entre autres avec une espèce de salade, et en obtenir de la soie de bonne qualité. Nous ne savons pourquoi des expériences semblables, si intéressantes pour la science et pour l'industrie, n'ont pas été plus souvent renouvelées.

La description anatomique des vers à soie a été faite par presque tous les naturalistes. Ils ont tous constaté à l'intérieur de l'insecte l'existence de deux vaisseaux qui descendent de la tête et viennent se coucher sur l'estomac, où, après quelques sinuosités, ils vont se ranger du côté du dos. Ces petits vaisseaux, ordinairement jaunâtres, quelquefois blancs, et la plupart du temps blancs aux extrémités et jaunâtres au milieu, sont les réservoirs de la soie. Chacun d'eux aboutit à une filière ou petit trou formé par un corps charnu. Deux filières semblables vont se réunir à la lèvre inférieure pour pousser la nourriture de l'insecte dans la bouche.

La matière soyeuse arrive des vaisseaux de soie aux filières en deux petites veines parallèles extrêmement déliées. Les vaisseaux de soie se plient et se replient sur eux-mêmes, par un très-grand nombre de révolutions dans le corps de l'insecte, jusqu'à leur dernière extrémité qui est complétement fermée. On n'a pu encore découvrir les communications de ces vaisseaux avec les parties qui doivent les alimenter.

Lorsque la matière de la soie sort des filières du ver, elle a de l'analogie avec une gomme molle. Le contact de l'air la sèche bientôt à un certain degré qui suffit pour que les deux brins se collent, sans cependant acquérir assez de dureté pour s'opposer au dévidage ultérieur du fil, formé par leur réunion. Il est remarquable encore que cette matière n'est plus susceptible d'être sensiblement ramollie par l'eau ou un certain degré de chaleur. Ces trois qualités sont celles qui constituent la plupart des excellents vernis : c'est ce qui a fait assimiler la soie de la chenille à un véritable vernis filé.

Voyons maintenant comment la chenille file ce vernis. Une fois arrivé à un volume plus ou moins considérable, dont la fig. 2280 donne une moyenne, l'insecte est tourmenté, il sent le besoin de se débarrasser de la quantité de soie formée. On lui présente alors quelques points d'appui par de petites branches de bruyères, de bouleaux ou autres. Il commence à y attacher l'extrémité du fil qu'il fait sortir de ses filières; il en produit un premier canevas formé par des mailles assez irrégulièrement entre-croisées. Ce grossier échafaudage ne sert que comme abri à l'insecte et ne fait pas encore partie de son enveloppe de soie proprement dite qu'on nomme *cocon*. C'est dans ce premier canevas, qui constitue ce que les magnaniers et les filateurs nomment la *bourrette*, que le ver établit le cocon. On peut considérer celui-ci comme une espèce de cosse de forme ovoïde, dont les parois se composent de couches de fils de soie superposées et *maçonnées*, comme le sont certains nids d'oiseaux, si ce n'est que les cocons sont fermés de toutes parts. On conçoit que le ver à soie n'a pu obtenir une cuirasse aussi régulière qu'en disposant les couches uniformément autour de lui, concentriquement en commençant par les couches extérieures. Ainsi, après avoir disposé la bourrette, il vient tapisser contre elle sa première couche de soie, ou surface extérieure du cocon qui n'adhère que par points à la bourrette. Celle-ci étant complétement terminée, il en forme une troisième, et ainsi de suite. Les fils n'étant pas encore complétement secs, l'application des uns contre les autres occasionne nécessairement l'aplatissement qu'on remarque dans le fil dévidé.

La disposition du fil sur le cocon offre une suite de courbures régulièrement dirigées comme des nœuds ou des 8. Nous avons cherché à rendre cette disposition dans la fig. 2281. La fig. 2282 donne, sur une échelle plus grande, l'une de ces courbes vues au microscope. L'inspection de cette figure suffit pour faire comprendre qu'en développant cette courbe, on formera un fil continu dont certaines parties, celles qui ont été comprimées par un léger degré de torsion sont par conséquent moins fournies ou plus minces que les parties voisines. On obtiendrait donc un fil inégal si on ne redressait cette irrégularité au dévidage. Ces nœuds ou boucles des fils de la soie peuvent également occasionner le duvet si le fil n'est pas suffisamment étiré. C'est encore à cette disposition du fil qu'on peut attribuer les irrégularités de sa surface. La couche supérieure de gomme se trouvant irrégulièrement comprimée, les points qui subissent la plus forte compression cèdent évidemment plus que les points environnants.



Fig. 2281.

Fig. 2282.

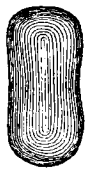
Le ver à soie, comme toutes les chenilles, changeant plusieurs fois de peau pendant sa courte existence, interrompt sa nutrition pendant les mues à cause de l'état maladif qui en est la conséquence.

Or, il est à remarquer que, lorsqu'on développe un cocon et qu'on cherche à le dédoubler, on parvient à détacher quatre couches bien distinctes qui paraissent être formées par la matière que l'insecte s'est assimilée à chacune des mues. Il est important de faire remarquer que la formation du cocon n'a pas lieu d'une manière continue, mais que la chenille s'arrête trois ou quatre fois pendant ce travail, ainsi qu'on peut le vérifier en faisant filer l'insecte dans l'intérieur d'un petit flacon de verre blanc. On conçoit dès lors comment les cocons peuvent être facilement séparés en trois ou quatre couches très-distinctes; car les premières, après chaque temps d'arrêt, venant s'appliquer contre une partie déjà formée et presque sèche, l'adhérence n'est pas aussi grande qu'entre les couches disposées sans interruption les unes sur les autres (1). On peut donc consi-

1. Ce fait, qui nous paraît incontestable, est digne des recherches des naturalistes qui ne manqueront pas d'en découvrir les causes. Ils trouveront peut-être que la masse de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dérer un cocon comme réellement formé par quatre cocons concentriques légèrement collés entre eux; et chacun d'eux peut être envisagé lui-même comme étant également le résultat d'un grand nombre de couches concentriques superposées et plus fortement collées. Si on examine une de ces couches développée, on voit comment tous les brins s'enchevêtrent. Si on compare différentes couches ainsi développées, on reconnaîtra facilement que le fil est plus resserré dans les couches intérieures que dans celles de la surface extérieure; et cela se conçoit, puisque ce dernier périmètre est plus grand que celui de l'intérieur par lequel l'insecte finit son travail. Si on dévide séparément le fil formant chacune des quatre couches, et qu'on en détermine le titre, c'est-à-dire si on compare le poids à la longueur, on trouve qu'à poids égal la longueur augmente de la première à la quatrième couche, si nous désignons par première celle de la surface extérieure du cocon.



2283.

Mais comme le fil d'un cocon est continu de la surface au centre, il en résulte que la grosseur de ce fil n'est pas uniforme, comme on le suppose souvent à tort, mais qu'elle va en diminuant du commencement à la fin du dévidage. On peut évaluer la différence de finesse d'un fil de cocon de 1/3 à 1/4. Il est donc dans le rapport de 3 à 4 fois plus gros à une extrémité qu'à l'autre.

Longueur du fil. La longueur totale d'un fil de cocon est en général proportionnelle à la grosseur du cocon, il est évident que plus la chenille aura fourni de soie, plus la longueur devra être considérable. Cependant, cela n'est pas toujours exact, car il peut arriver que la chenille, qui après le filage se transforme en chrysalide ou nymphe, n'ait pas toujours un volume en rapport avec celui du cocon, et que la tissure du cocon soit plus ou moins serrée. On ferait alors une fausse appréciation si on voulait juger du rendement d'un cocon d'après sa grosseur. Ce rendement peut varier de 12 à 18 p. 100 du poids du cocon pour la même espèce.

Le papillon du ver à soie est de la classe des *papillons nocturnes* ou des *phalènes à antennes pectinées* qui n'ont point de trompe sensible et ne mangent point. La couleur de ces papillons est d'un blanc sale ou jaunâtre. Lorsqu'on laisse percer la coque ou cocon, le fil est naturellement interrompu, et ne présente plus de bouts. Aussi ne laisse-t-on éclore que ceux dont les papillons sont destinés à la reproduction.

La longueur d'un fil de cocon dévidable d'une manière continue a été estimée par plusieurs naturalistes et entre autres par *Malppighi*, à *mille quatre-vingt-onze pieds* et *quelques pouces*. Cette longueur est au-dessous de celle que peut fournir un cocon ordinaire dévidé avec quelque soin. On peut avancer qu'elle est moyennement double; quoique dans l'état actuel des connaissances industrielles, un tiers à un quart au moins de la soie continue ne puisse être dévidé et ne soit utilisé que comme *bourre* ou *frison*, les premières et les dernières couches du cocon sont dans ce cas; les premières, parce qu'elles ont été moins régulièrement disposées par l'insecte, comme nous l'avons vu; les dernières, celles qui enveloppent la chrysalide, parce qu'elles n'offrent plus assez de résistance pour être développées par les moyens pratiques usités; les ruptures trop fréquentes s'opposent alors au dévidage complet.

Ces difficultés naturelles, qui n'ont pas permis jusqu'ici d'utiliser complétement la riche dépouille du ver à soie, ne nous paraissent pas insurmontables. Bientôt, sans doute, nous aurons de nouveaux progrès à signaler dans cette intéressante spécialité.

Tous les cocons n'affectent pas la même forme; on distingue tout d'abord celui du mâle de celui de la femelle par le volume. Le cocon femelle est en général plus fort et plus rebondi par le milieu. Le mâle présente, au contraire, assez ordinairement une courbure rentrante et symétrique, comme l'indique la fig. 2283.

Cette forme est considérée comme la forme normale.

Celle des *cocons pointus* est moins estimée, comme se laissant moins facilement dévider. Cependant il existe des races entières de vers dont les cocons n'affectent pas d'autre forme. Les cocons des Indes anglaises de *Calcutta*, par exemple, ont un volume moindre d'environ 1/3 de celui des cocons ordinaires; ils sont pointus aux deux extrémités. Cette disposition en pointe paraît être la forme normale de ces cocons; il est vrai qu'ils se dévident en général avec difficulté, l'on n'en peut retirer que la moitié en fil continu, l'autre moitié ne peut être employée que comme frison; mais il nous paraît démontré d'après de nombreuses expériences que nous avons répétées avec M. Locatelli, sur des cocons de Calcutta, que la difficulté du dévidage ne provient pas de la forme des cocons, mais plutôt de ce que les couches sont à peine collées entre elles, ou parce que leur formation a lieu dans des climats chauds dont l'atmosphère ne contient pas toujours un degré d'humidité suffisant. Les petits cocons des Indes proviennent de vers habituellement élevés dans les maisons; ils ne constituent pas la seule race de ces pays, il existe une espèce sauvage, dont les cocons ont la grosseur d'un petit œuf de poule; la soie de ces cocons sert aux lignes à pêcher; souvent on ne laisse pas l'insecte former son fil, on le fait périr avant et on tire la *matière soyeuse* comme une espèce de cire molle pour en obtenir les gros fils destinés à la pêche, et connus sous le nom de *crins de Florence*.

Récolte de la soie. On sait que notre récolte de soie est limitée au produit d'une seule éducation par an. Mais dans tous les climats où il est possible d'obtenir deux pousses de feuilles de mûriers dans une saison, on fait jusqu'à 7 à 8 éducations pendant l'été comme cela se pratique en Chine (1).

On compte en Europe jusqu'à trente variétés de cocons provenant d'autant de races de vers à soie; mais il en est beaucoup que l'industrie sériciole distingue, en les classant à part, et qui cependant ne présentent pas ordinairement un caractère tranché. Des lieux de provenances différents, des noms d'éleveurs ont suffi pour établir ces distinctions, qui n'offrent plus d'inconvénient lorsqu'on en connaît la valeur. Ainsi on distingue les races *Pesaro*, *Dandolo*, etc.; les races d'*Aubenas*, de *Loudun*; la race *milanaise*, etc., etc.

Il n'y a réellement de différence marquée entre les cocons de ces races que celle de la quantité de matière qu'ils renferment. La plus grande distinction à établir dans les caractères des cocons de nos climats est relative à leur couleur, qui est tantôt blanche et le plus ordinairement jaune. Les cocons blancs sont, en général, les plus estimés. La qualité de la soie qu'on en retire est supérieure; on n'a pas besoin de la décolorer, et sa blancheur naturelle a toujours quelque chose de plus *franc* que celle de la soie jaune décolorée artificiellement.

Les entomologistes n'ont pu préciser encore s'il

soie n'est pas complétement *transformée* dans l'intérieur de l'insecte lorsqu'il commence à filer et que les interruptions sont des conséquences naturelles des quatre quantités distinctes de soie assimilée lors des quatre âges du ver.

(1) Nous devons la plupart de nos renseignements sur l'industrie chinoise à l'obligeance de M. Heed, delegué de la dernière expédition commerciale en Chine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

existe réellement une race blanche qui se perpétue, ou si la soie blanche pouvait être produite accidentellement par la race jaune : ce dernier fait paraît démontré ; mais peut-être n'est-il que le résultat d'un croisement entre les deux races.

M. Robinet, qui s'occupe d'une manière spéciale et avec tant de succès de la production de la soie, a fait des expériences du plus haut intérêt sur un très grand nombre de races différentes, pour établir le rapport entre le poids du ver et celui du cocon qu'il produit. Il a trouvé qu'en moyenne le poids du ver, au moment de la montée, et par conséquent lorsqu'il contient encore toute la quantité de soie à l'intérieur, est de 1gr.,47 ; celui du cocon avec sa chrysalide de 1gr.,87. Il y a donc là une différence de 2gr.,60. Elle provient nécessairement de l'évaporation et autres pertes, puisque, après la formation de la chrysalide, la soie contient une quantité d'eau bien moindre qu'avant le travail du ver, et que l'insecte s'est en quelque sorte vidé.

M. Robinet a trouvé encore que cette différence entre le poids du ver, lors de la montée, et celle du cocon était très variable avec les races et les années. Ce résultat est fort remarquable ; s'il a été obtenu dans des expériences faites sur des produits amenés sous le même poids au même degré de siccité. M. Robinet attribue les différences signalées à l'état dans lequel on présente les feuilles aux vers ; ceux-ci prendraient un développement plus considérable, quand on les nourrit avec des feuilles humides ; et, quoique la réduction soit plus forte lorsque le ver est plus développé, la nourriture humide n'en serait pas moins favorable, parce que l'accroissement de réduction n'est pas en raison directe de l'augmentation du volume ; il en conclut que l'emploi de la feuille humide favorise dans les larves le développement des matériaux qui composent le cocon.

La variation des quantités de soie contenues dans les cocons se présente pour les races comme pour les individus. On admet donc généralement un rendement de 10 à 18 p. 100, c'est-à-dire que 100 kilogrammes de cocons peuvent rendre de 10 à 18 kilogrammes de soie.

Composition du fil de cocon. Le fil obtenu par le dévidage du cocon n'est pas composé de soie pure, mais de matière hétérogène. On peut le considérer comme formé de trois tubes concentriques ; au centre est la substance fibreuse animale qui constitue la soie ; elle est recouverte d'une double couche de gomme végétale, dont la composition chimique n'est pas la même. Les chimistes qui se sont occupés des analyses de la soie ont évalué le poids des corps étrangers qui la recouvrent à 25 ou 30 p. 100 du poids total ; ces corps doivent disparaître complétement avant la teinture de la soie. La première couche de la surface peut être dissoute à l'eau chaude ; la seconde ne peut être enlevée que par l'eau alcaline.

On a fait remarquer avec juste raison l'avantage de la présence sur le fil de soie d'une espèce de matière imperméable à l'eau, qui préserve la chrysalide, dans l'état sauvage, de l'humidité qui lui serait si défavorable. Cette présence de la gomme empêche également le ramollissement du cocon lors du tirage, ce qui facilite considérablement son dévidage. On a donné le nom de soie *grége* ou *écrue* à la soie telle qu'elle est obtenue par le tirage du cocon ; lorsqu'elle est débarrassée des corps étrangers qu'elle contient on la nomme soie *décreusée* ou soie *cuite*.

Consommation de la soie en France. On évalue à 3.000.000 de kilogrammes au moins la quantité de soie mise en œuvre par an actuellement en France. Sa valeur est variable avec les années et les qualités de la matière. On peut cependant l'estimer approximativement en moyenne à un prix de 55 francs le kilogramme.

Les 3 000 000 de kilogrammes de soie grége représentent donc une valeur en francs de 165.000.000, qui peuvent être considérés comme un des grands revenus de notre industrie agricole du Midi. Malheureusement une partie de la consommation, près d'un tiers, nous vient encore de l'étranger, et échappe par conséquent à la production indigène.

Quelque considérable que soit l'importation de la soie étrangère, elle a diminué graduellement d'une manière sensible depuis un demi-siècle. Toutes les soies de belles qualités nous venaient alors de l'étranger, de la Chine surtout. Aujourd'hui, aucun pays ne produit de meilleure soie que la France, et il en est peu qui puissent atteindre à la perfection des soies françaises, auxquelles il n'y a d'autre reproche à adresser que l'élévation du prix, qui est supérieur, il faut le dire, à celui des soies qu'on offre en concurrence. Mais qu'une amélioration vienne à être introduite dans le tirage de la soie, qu'on diminue la quantité du déchet au tirage des cocons, *comme cela ne peut manquer d'arriver bientôt*, l'agriculture indigène alimentera à elle seule notre grande industrie séricicole, sans avoir besoin d'augmenter les plantations de mûriers. Il est permis de croire qu'alors nous acquerrons définitivement le premier rang dans toutes les spécialités qu'elle embrasse.

Dans l'état actuel des choses, les pays étrangers d'où la soie est importée sont : les États sardes, pour plus des deux tiers ; la Suisse, la Turquie, une partie de l'Italie, l'Espagne pour le reste.

De toutes nos industries, celle des soieries travaille le plus pour l'exportation ; la moitié environ de la soie employée est exportée sous forme de tissus. L'Angleterre et les États-Unis forment nos principaux débouchés. On ne saurait trop répéter que ces pays font les plus grands efforts pour parvenir à se suffire ; déjà ils n'ont rien à nous envier pour les étoffes unies, et nous sont supérieurs pour la production des foulards. Il ne nous reste donc que notre position favorable pour la production de la matière première, et notre supériorité incontestable dans la fabrication des étoffes façonnées. Mais si le sol de l'Angleterre et des Etats-Unis ne se prête pas à la culture du mûrier, les possessions anglaises des Indes produisent la soie grége sur une échelle gigantesque : cette soie n'est pas d'une bonne qualité, il est vrai, et le rendement est faible. Ces faits pourraient nous rassurer, si ces désavantages résultaient réellement de la nature des soies des Grandes-Indes. Il nous est, au contraire, démontré que les inconvénients tiennent aux moyens imparfaits employés jusqu'ici dans ces contrées pour tirer parti des cocons. Les Anglais en sont convaincus comme nous ; aussi ne reculent-ils devant aucun sacrifice pour obtenir des améliorations. Ils ne font pas moins d'efforts pour atteindre à la perfection de nos tissus façonnés ; mais sur ce point nous sommes invulnérables ; car notre supériorité résulte précisément du génie de notre nation, qui ne se transplante pas, ne s'imite pas, et ne peut être surpassé par le bon marché de la force motrice et la perfection des machines.

La Chine et le Japon ont fourni dans ces dernières années des quantités considérables de soie, et comblé, au grand avantage de notre industrie, le déficit causé par la maladie des vers à soie.

Premier degré de préparation de la soie.

ÉDUCATION DES VERS A SOIE. L'éducation des vers à soie qui a pour but la production des cocons, doit nécessairement être subordonnée à la plantation et à la culture du mûrier, car elle ne peut être pratiquée que dans les lieux mêmes où cette culture est possible, les feuilles vertes et fraîches de cet arbuste constituant la nourriture exclusive des vers à soie. Les principales éducations établies sur une grande échelle en France se trouvent dans les départements du Gard,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'Ardèche, de Vaucluse et de la Drôme, qui possèdent environ les trois quarts des mûriers indigènes. Les autres sont situées dans les départements des Bouches-du-Rhône, de l'Hérault, du Var, de l'Isère, de la Loire, de l'Indre-et-Loire, de la Lozère, et dans quelques autres départements, mais en quantité insignifiante.

Tout le monde connaît cependant les heureux essais et les fructueux exemples présentés par M. Camille Beauvais dans son bel établissement modèle situé aux environs de Paris

D'autres tentatives pour la plantation du mûrier sur un sol qu'on avait cru jusqu'alors impropre prouvent que cette culture pourra sans doute s'étendre encore. M. le comte de Gasparin, dans de savantes recherches sur les moyens de déterminer la limite de la culture du mûrier, donne à la fin de son analyse des conclusions que nos lecteurs nous sauront gré de rapporter ici (1).

« 1° La culture du mûrier dont on ne cueille pas la feuille est possible jusqu'à une limite très avancée vers le nord, qui est fixée par l'arrivée fréquente d'une température minimum de —25 degrés.

« Cette limite est tracée par une ligne qui, partant d'un point de la chaîne de Dorrefields en Scandinavie, va aboutir à l'embouchure du Danube, et sépare à l'orient les pays qui sont exposés à éprouver quelquefois cette température rigoureuse, de ceux qui à l'occident et au niveau de la mer peuvent élever le mûrier sans crainte de le voir périr par le froid.

« 2° Les autres circonstances météorologiques limitent cet espace occidental par une ligne qui ne peut être géographiquement déterminée, parce qu'elle est donnée à la fois par la production de la feuille du mûrier et par l'habileté déployée dans l'éducation des vers à soie. Mais si l'on supposait cette habileté égale en tous lieux, au nord et au midi, il paraît que la limite de la culture utile du mûrier ne dépasserait pas la limite de la vigne au prix actuel de la soie.

« 3° Dans l'enceinte que nous avons signalée comme propre à la culture utile du mûrier certaines contrées en sont exclues par des maladies propres aux feuilles de cet arbre.

« 4° Le mûrier peut s'élever sur le flanc des montagnes de l'Europe jusqu'au point où la température moyenne de l'année est de 9° à 44°.

« 5° Les climats habituellement orageux étant plus sujets aux touffes qui précèdent les orages, sont contraires aux vers à soie.

« 6° Les lieux où règnent des fièvres endémiques produites par les effluves des marais leur sont pernicieux. L'effluve atteint souvent des lieux éloignés de son origine par l'intermédiaire de certains vents qui causent une gêne dans les fonctions vitales, sans causer de maladies proprement dites sur les grands animaux, mais qui sont très défavorables aux vers à soie.

« 7° La limite météorologique descend vers le midi à chaque réduction dans le prix moyen des soies, de même qu'elle monte vers le nord si ce prix vient à s'élever.

« 8° L'industrie sérifère n'est jamais une industrie agricole principale, mais un accessoire plus ou moins important dans les pays à grandes fermes et dans tous ceux où les familles des cultivateurs ne sont pas à l'exploitation et où l'on a recours aux valets à gages.

« 9° Les pays à métairies sont plus favorables à cette industrie que ceux à fermages, à raison de la longue durée des baux coloniques et de la stabilité des colons.

« 10° Les cultures spéciales qui emploient de grands capitaux fixés sont exclusives de l'extension de celle du mûrier.

« 11° Les cultures générales qui emploient beaucoup de travaux au printemps s'accordent mal avec l'industrie de la soie.

« D'après ces données, il devient possible de tracer en Europe la limite de la culture utile du mûrier faite en grand et généralisée, et je ne serais pas éloigné de penser qu'elle se dirige le long du cours de la Loire en partant de son embouchure, et allant rejoindre celui de la Moselle, qu'elle suivrait jusqu'à son confluent, sans l'extension des assolements alternes dans le Palatinat et l'Alsace; mais cette circonstance la force à se replier sur les Vosges. La partie des États autrichiens le long du Danube pourrait aussi admettre le mûrier en grande culture partout où la population peut y suffire. C'est dans l'espace de terrain au midi de cette ligne, fixée à grands traits par la Loire et le Danube, que les convenances météorologiques, économiques et agricoles paraissent se réunir le mieux.

« Si l'on en écarte les lieux qui ne sont pas compatibles avec elle en raison de leur altitude (élévation au-dessus du niveau de la mer), je crains que ce qui sera tenté plus au nord, n'ait jamais un caractère de généralité qui pourrait faire de cette culture une partie de la richesse agricole, et ne reste à l'état d'expériences plus curieuses qu'utiles pour le pays, en raison surtout de la distribution, de la propriété, de la répartition de la population et du genre de culture adopté.

« Mais le midi n'oubliera jamais les services que lui ont déjà rendus et que lui rendent tous les jours ces expériences, entre les mains de gens éclairés, savants, qui ont porté une critique judicieuse sur tous les points de la culture et de l'éducation, et ont ouvert une nouvelle ère à cette riche industrie. Qu'ils profitent eux-mêmes de leurs efforts, rien n'est plus juste et ils continueront à jouir de l'avantage que leur donne la supériorité de leurs méthodes d'éducation et de leurs produits, jusqu'à ce qu'ils aient été imités et atteints par la masse des cultivateurs du midi.

« Alors la loi inflexible imposée par la différence des climats reprendra tout son empire et recommencera à peser sur eux. Mais ces temps sont encore éloignés. L'avenir décidera si j'ai bien jugé la question. »

Les détails concernant la plantation et la culture du mûrier étant purement agricoles, nous ne traiterons pas cette question, qui sort d'ailleurs du cadre que nous nous sommes tracé, et ne peut trouver sa place que dans les ouvrages et les mémoires d'agriculture.

L'éducation des vers à soie, quoique pratiquée également dans les campagnes et dans les villes, peut être considérée aussi bien comme une industrie manufacturière qu'agricole, ou plutôt elle doit être regardée comme une industrie à part, sans analogie avec les autres industries; nous ne pouvons cependant nous dispenser d'esquisser au moins à grands traits les travaux intéressants qu'elle embrasse, sans nous exposer à une lacune importante. Aucun travail matériel n'offre à notre avis un exemple plus remarquable de la puissance de l'industrie et des richesses considérables qu'elle crée; quelques semaines à peine suffisent pour suivre et diriger le développement de ces innombrables graines microscopiques dans les diverses et merveilleuses transformations qu'elles présentent, du jour de leur éclosion au jour de leur mort, et pour faire de leurs riches dépouilles une des sources les plus considérables de la fortune publique.

Mais si le temps de l'élaboration de la soie est de peu

(1) *Essai sur l'histoire de l'introduction du ver à soie en Europe, et Mémoire sur les moyens de déterminer la limite de la culture du mûrier et de l'éducation des vers à soie;* par M. le comte de Gasparin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de durée, les soins à prendre pour la mener à bien sont délicats et infinis, ce n'est plus là une industrie où l'intelligence et l'attention peuvent être remplacées par des machines.

Ce n'est cependant pas une de ces industries sur les principes fondamentaux de laquelle on ne soit pas fixé encore, car, au contraire, l'art d'élever des vers à soie se réduit à savoir choisir la graine et à la faire éclore ; à mettre les insectes éclos à l'abri des intempéries, à les maintenir dans le plus parfait état de propreté, au milieu d'un air très pur et suffisamment chargé d'humidité, et à une température convenablement graduée ; et, enfin, à récolter les cocons pour les dévider.

L'instinct de l'insecte lui ferait rechercher la plupart de ces conditions s'il était livré à lui-même. Leur réalisation est encore sans grandes difficultés, dans une exploitation de peu d'importance ; mais on ne les atteint que par les soins les plus intelligents, l'attention la plus soutenue et la disposition la plus convenable des ateliers, lorsqu'il s'agit d'une éducation sur une échelle plus étendue, qui ne peut absolument avoir lieu sous notre climat que dans des ateliers clos, qui doivent alors être facilement ventilés et chauffés afin que les exhalaisons malsaines produites par la respiration, la transpiration, et par la fermentation de la litière d'une agglomération aussi considérable de petits insectes, soient neutralisées.

La fermentation de la litière est d'autant plus à craindre, qu'il est indispensable de maintenir l'air des ateliers à un certain degré d'humidité toujours nécessaire à l'air respirable et qui sert également ici à attendrir les feuilles et à les faire rechercher par les vers.

Autrefois on purifiait ou plutôt on croyait purifier l'air des *magnaneries* (1) par des émanations odoriférantes en y brûlant des aromates, ou on faisait bouillir du vinaigre avec des clous de girofle, ou en saupoudrant les vers de chlorure de chaux. On conçoit toute l'insuffisance de semblables moyens et le danger qu'ils présentaient.

Olivier de Serres et, de notre temps, le comte Dandolo, habile éleveur du Piémont, eurent les premiers l'idée d'avoir recours à des moyens plus sûrs, plus réguliers et plus parfaits, à une ventilation convenable.

Ce moyen fut bientôt perfectionné par M. d'Arcet dont la magnanerie salubre, à ventilation constante et forcée, est si appréciée aujourd'hui.

Nous la décrirons après avoir traité de l'éducation.

Le germe du ver à soie est un œuf ou une graine d'une couleur jaunâtre lors de la ponte et grisâtre plus tard ; la grosseur est à peu près celle d'un petit grain de millet.

La chaleur du printemps, ou une chaleur artificielle, fait bientôt éclore cet œuf et le transforme en un ver ou petite chenille, qui grossit considérablement et prend son développement total dans vingt-cinq jours ordinairement. Pendant cette période, la chenille passe par quatre *mues*. Ces renouvellements de peau des insectes sont annoncés par une espèce de léthargie qui dure pendant vingt-quatre heures et expose les vers à des maladies qui en font périr considérablement. Dès que la mue approche et que la chenille commence à être serrée dans sa peau, elle prend moins de nourriture et diminue de volume ; elle attache alors à ce qui l'entoure des brins de soie pour recevoir son enveloppe. L'écaille du museau sort d'abord, après quoi, la chenille sort de la peau qui reste retenue par les fils de soie qu'elle a accrochés aux objets qui l'entouraient. Quelques vers succombent sans avoir pu changer de peau pendant la mue.

L'appétit de l'insecte est variable avec ses différents états et se ralentit lorsque la chenille a pris son accroissement ; à partir de cet instant son volume et son poids diminuent également. Il rejette ses excréments et la dernière membrane qui le recouvre ; il n'est plus composé alors que de la matière soyeuse et de la substance animale.

La transformation de la première en cocon demande environ trois jours. La métamorphose de la chrysalide en papillon a lieu ordinairement en quinze ou vingt jours. Il perce alors son enveloppe pour aller s'accoupler. Deux ou trois jours après l'accouplement, la femelle dépose de trois cents à cinq cents œufs ; le couple meurt aussitôt après cette ponte.

Dans l'exploitation des vers à soie on ne laisse arriver à leur dernière métamorphose que les insectes destinés à la reproduction ; on étouffe les autres lorsqu'ils sont en chrysalides, afin de pouvoir dévider le fil du cocon sur toute sa longueur.

Nous allons indiquer maintenant la marche recommandée comme la meilleure par la plupart des éleveurs expérimentés depuis Dandolo, pendant la durée totale d'une éducation qui comprend quarante-sept jours environ depuis le premier jour où l'on met les œufs éclore jusqu'après la mort des papillons.

Les points à considérer sont :

1° Le choix de la graine ;
2° Le moment le plus convenable pour l'éclosion ;
3° L'incubation de la graine ;
4° La levée des vers ;
5° Les divers âges des vers et la place occupée ;
6° Les soins à donner aux vers ;
7° Les maladies des vers ;
8° Le boisement et la montée des vers ;
9° Le déramage ou le décoconage ;
10° L'étouffement des cocons ;
11° La construction de la magnanerie.

Du choix de la graine ou des œufs. La couleur d'une bonne graine doit être d'un gris bleu naturel. Il faut avoir bien soin de s'assurer que cette teinte n'a pas été donnée artificiellement avec du gros vin.

La graine jaune, ou rouge-brun, doit être rejetée. La bonne graine est cassante ; la liqueur qu'elle contient ne doit être ni trop claire ni trop visqueuse, et sa densité doit être assez grande pour qu'elle ne surnage pas dans le vin. Quand on achète la graine au moment de la ponte, on est moins exposé à la fraude et on peut la transporter immédiatement ; le voyage offre alors moins d'inconvénients que si on l'effectue dans un temps plus rapproché de l'éclosion ; on conserve la graine dans des boîtes fermées qu'on place dans les lieux les moins exposés à des variations brusques de température, et, par conséquent, dans les caves.

La plupart des éleveurs, pour être sûrs de la qualité des vers, les font produire chez eux par une éducation spéciale. La graine de Japon est la seule qui ne soit pas infectée aujourd'hui par une funeste maladie.

Du moment le plus convenable pour l'éclosion. L'éclosion ayant toujours lieu artificiellement, il devient important de la provoquer à l'époque où l'on peut se procurer des feuilles de mûrier.

L'époque peut donc varier chaque année suivant les progrès de la végétation. Il faut en général que le moment où les vers consomment le plus corresponde à celui où la feuille aura atteint son plus grand développement. L'expérience et l'habitude d'observation peuvent donc seules faire connaître l'époque la plus convenable de l'éclosion.

De l'incubation de la graine. Si on laissait la graine éclore spontanément, l'éclosion de tous les œufs ne se ferait pas en même temps et l'éducation de la masse serait irrégulière ; on a, par cette raison, cherché en tous temps à déterminer cette éclosion par la chaleur artificielle.

(1) Le mot magnanerie, vient de magnan qui, dans le dialecte languedocien, désigne le ver à soie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les moyens employés autrefois variaient et n'étaient pas toujours sans inconvénients; on avait recours à la chaleur d'un fumier, ou à la chaleur animale. Dans ce dernier cas, la graine était contenue dans un sac en coton qu'on se plaçait sur l'estomac pendant le jour, et qu'on mettait entre deux oreillers pendant la nuit. Ce moyen est encore pratiqué dans le Midi pour de petites éducations, mais il est vicieux à cause des variations de température auxquelles est soumise la graine.

Dans les éducations les plus importantes on a recours soit à une *couveuse*, soit à la chambre à éclosion. La couveuse est une boîte en fer-blanc munie d'un appareil chauffé par une lampe; la chambre d'éclosion est simplement une petite pièce chauffée convenablement par un calorifère ou un poêle en faïence.

C'est encore Dandolo qui, l'un des premiers, signala les dangers de l'ancienne méthode adoptée pour l'éclosion et recommanda l'emploi de petites étuves.

Les œufs sont déposés dans de petites boîtes en bois mince; pour 30 grammes d'œufs, les boîtes doivent avoir $0^{m.\,car.},20$ de surface, sur $0^{m},12$ de hauteur. On place sur des morceaux de bois, enfoncés dans le mur, des claies d'osier à $0^{m},60$ de distance l'une au-dessus de l'autre; les boîtes placées sur ces claies sont facilement visitées.

La durée de l'incubation, telle qu'elle est pratiquée par M. Camille Beauvais, est de sept jours. La température dans l'étuve est graduée pendant ce temps de la manière suivante : 1er jour, 17 à 18° R.; 2e jour, 19°; 3e jour, 21°; 4e jour, 21°; 5e jour, 22°; 6e jour, 23°; 7e jour, 24°; éclosion.

D'après Dandolo, le moment de l'éclosion se reconnaît par le changement de couleur de la graine qui, du gris cendré, passe au bleu de ciel et ensuite au violet, puis redevient cendré, jaune, et enfin blanc sale; pendant le séjour des œufs à l'étuve, on a soin de les remuer avec une spatule, afin d'établir une température bien uniforme dans la masse, et de provoquer une éclosion simultanée. Il est à remarquer qu'elle a constamment lieu à 24°.

De la levée du ver. Lorsque les graines sont arrivées à la couleur jaunâtre, les vers sont déjà tout formés et perceptibles à la loupe; on les recouvre alors d'un morceau de papier percé de petits trous, ou d'un morceau de mousseline, au-dessus duquel on place de petits rameaux tendres de mûrier que les vers viennent chercher. Les vers sains sont d'une teinte châtaine; les roux et les noirs sont peu estimés. Quand les feuilles de mûrier sont bien chargées de vers, elles sont enlevées et rangées sur des claies par bandes régulières et espacées de manière à laisser aux insectes, à mesure qu'ils grandissent, une place suffisante. Quelquefois on a un petit atelier destiné aux vers pendant les premiers âges; on les laisse même souvent dans une partie de l'étuve, et on ne les porte à la magnanerie de M. d'Arcet que vers les derniers temps de leur développement.

Les ateliers sont disposés de manière à présenter des espaces variables; le transport de cette fourmilière de petits vers n'étant pas facile, surtout au moment de leur naissance.

Des divers âges des vers et de la place qu'ils occupent à ces âges. On compte cinq âges dans la vie du ver à soie correspondant aux époques des quatre mues et de la montée.

Le 1er âge	comprend	de l'éclosion à la 1re mue;	
Le 2e	—	—	de la 1re à la 2e mue;
Le 3e	—	—	de la 2e à la 3e mue;
Le 4e	—	—	de la 3e à la 4e mue;
Le 5e	—	—	de la 4e à la montée.

La durée de ces âges peut varier légèrement avec le genre d'éducation, et surtout l'élévation plus ou moins grande de température de la magnanerie.

Le tableau publié par M. Brunet de Lagrange, sous les auspices de M. le ministre du commerce et de l'agriculture, sur une éducation hâtive, d'après les méthodes de M. Camille Beauvais et les procédés de ventilation de M. d'Arcet, assigne les durées suivantes pour chaque âge :

1er âge.	4 jours;
2e âge.	4 —
3e âge.	6 —
4e âge.	6 —
5e âge.	7 —

Le même tableau indique 6 jours pour la formation du cocon, et 10 jours depuis la formation du cocon jusqu'après la ponte des œufs et la mort du couple, ce qui donne pour l'éducation complète, à partir de l'éclosion, 40 jours, et 47 en y ajoutant la durée de l'incubation.

Les espaces nécessaires aux vers et à leur nourriture à ces différents âges, sont moyennement les suivants, d'après M. Boullenois, pour une éducation de 31 grammes de graine :

A la fin du 1er	âge environ.	1,31	mètres carrés.
— 2e	—	2,62 à 3,93	—
— 3e	—	5,24 à 7,86	—
— 4e	—	10,48 à 10,72	—
— 5e	—	20,96 à 31,44	—

Soins à donner aux vers. Les principaux soins à donner aux vers consistent dans l'établissement d'une ventilation régulière, le maintien d'un degré d'humidité suffisant, d'une température convenablement graduée et d'une grande propreté dans l'atelier, dans une bonne préparation et une distribution des feuilles bien calculée pour fournir une alimentation continue aux vers, et enfin dans le délitement et le dédoublement.

Pour éviter une variation brusque de température, l'atelier dans lequel le jeune ver est placé doit être à la même température que celle à laquelle l'éclosion a eu lieu. Cette température est pendant le premier âge jusqu'à 20 degrés, et reste la même pendant la durée de l'éducation. L'hygromètre doit toujours marquer de 75 à 85 degrés.

Le nombre des repas doit être de 24 par jour pendant le premier âge, de 18 pendant le deuxième, de 12 pendant le troisième et le quatrième, et 8 pendant le cinquième.

Les feuilles doivent être mondées ou coupées très menues, et distribuées avec un tamis à mailles en fil de fer, et d'environ 8 lignes, pendant les trois premiers âges; au quatrième âge, on coupe encore la feuille, mais beaucoup moins menue : on ne cesse de les couper qu'au cinquième âge.

Le délitement consiste à enlever la litière et les excréments de dessous les vers. Le dédoublement a pour but de les espacer convenablement, de manière à laisser entre eux un espace égal à celui qu'ils occupent sur la claie.

On faisait le délitement naguère encore à la main; il était long, difficile et dangereux pour le ver. On procède maintenant d'une manière beaucoup plus simple et plus sûre au moyen de filets. On pose les filets sur les claies, on jette de la feuille par dessus, puis, une fois que les vers sont montés sur les feuilles, on n'a qu'à soulever les filets pour ôter la litière.

Le dédoublement a également lieu par les filets : on plie deux filets en long et on les pose l'un à côté de l'autre sur les vers, de manière à diviser en deux parties chaque claie. On donne la feuille comme à l'ordinaire, puis on emporte chaque filet sur une claie séparée.

Dans les premiers âges le délitement a lieu moins acu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent que dans les derniers, pendant lesquels la quantité d'excréments est bien plus grande. On peut consulter également le tableau que nous avons cité précédemment sur la manière la plus convenable à adopter pour cette opération. On compte qu'une éducation de 31 grammes d'œufs, estimée 40.000 vers environ, consomme en moyenne les quantités suivantes de feuilles non mondées chaque jour de l'éducation :

1er jour. . .	0k,500	13e jour. . .	20k, »
2e jour. . .	1k, »	14e jour. . .	30k,500
3e jour. . .	2k, »	15e jour. . .	50k, »
4e jour. . .	0k,500	16e jour. . .	32k, »
5e jour. . .	4k, »	17e jour. . .	2k,500
6e jour. . .	11k,500	18e jour. . .	35k, »
7e jour. . .	1k,500	19e jour. . .	75k, »
8e jour. . .	3k,500	20e jour. . .	100k, »
9e jour. . .	7k,500	21e jour. . .	170k, »
10e jour. . .	20k, »	22e jour. . .	230k, »
11e jour. . .	15k, »	23e jour. . .	150k, »
12e jour. . .	1k,500	24e jour. . .	50k, »

Ce qui donne une consommation totale de 1.013k,5.

La variation de l'appétit des vers est remarquable; il est presque nul au commencement des mues.

Des maladies des vers à soie. Pendant l'éducation, les insectes sont exposés à de nombreuses maladies qu'on désigne sous des noms différents suivant les localités. Le nombre de ces maladies diminue cependant journellement avec les perfectionnements de l'éducation. Nous ne pouvons aborder la description des différentes maladies étudiées par Dandolo et plusieurs naturalistes et chimistes, et entre autres par M. Audouin, et M. Bérard qui s'est surtout attaché à étudier la maladie la plus funeste qu'on désigne sous le nom de *muscadine*. C'est dans les écrits de ces savants, dans le traité de Pitaro, et dans les mémoires publiés par la Société séricicole qu'on pourra trouver tous les développements que comporte ce sujet.

Nous devons nous borner à répéter que l'on parvient à éviter la plupart des maladies qui ne sont pas dans la constitution même du ver, en procédant avec les soins que nous avons indiqués.

Si par malheur quelque magnanerie est affectée de mortalité, le meilleur moyen d'y remédier est de purifier les parois, le plafond, le plancher, les claies et les ustensiles avec des fumigations de soufre, et de les laver avec des lessives caustiques.

De la montée du ver et du boisement. Vers la fin du cinquième âge, lorsque le ver a atteint tout son développement, il cesse de manger, perd sa couleur, diminue de volume et devient transparent; il manifeste alors une agitation, une vivacité qu'on ne lui avait vue qu'à sa naissance. Il cherche de tous côtés un point d'appui pour commencer son cocon. Il faut alors se hâter de faciliter son travail au moyen de petits branchages de bruyère, de genêt, de bouleau ou de colza, disposés en plans inclinés, et de manière que la circulation de l'air puisse librement s'établir. A la ferme des *Bergeries* de Sénart, on emploie de petites tringles en bois, percées de trous, dans lesquels on fixe, au moyen de colle forte, des brins de bouleau en les espaçant de 8 à 10 millimètres.

On place le boisement entre les claies en allant des rangées supérieures aux inférieures.

Les chenilles d'une éducation ne montent pas toutes en même temps; il faut au moins vingt-quatre heures pour que toutes commencent à filer et se soient débarrassées des matières étrangères qu'elles contiennent encore. Les dernières au travail sont exposées à recevoir les déjections des premières; c'est à ce moment qu'il est important de les débarrasser des litières et de les nettoyer avec soin pour éviter un grand déchet. Ce nettoyage se fait également aujourd'hui avec des filets en papier imaginés par M. Robert. Les accidents sont plus sûrement évités encore par l'emploi des coconières de M. David. Six à huit jours suffisent pour que tous les cocons d'une éducation soient formés.

Etouffement. Il est indispensable, comme on sait, d'étouffer les chrysalides avant qu'elles ne soient métamorphosées en papillons. Il est cependant nécessaire que les cocons soient parfaitement formés, sans quoi les vers ne seraient pas transformés en chrysalides et tacheraient la soie.

Les divers modes d'étouffement employés sont la chaleur du four, celle du soleil, la vapeur, le bain-marie, l'air chaud et enfin certains gaz; il faut exclure de ces moyens ceux qui ne permettent pas d'apprécier exactement le degré de chaleur; car, une température trop faible laisserait aux papillons le temps de se produire, tandis qu'une trop grande pourrait altérer la soie. La vapeur a l'inconvénient de mouiller les cocons, ce qui peut également nuire à la matière.

Le bain-marie, s'il pouvait facilement s'appliquer sur une grande échelle, serait un excellent moyen, par la facilité qu'il offre d'avoir toujours une température régulière.

Enfin le mode qui paraît le plus sûr est celui de l'emploi de l'air chaud que M. C. Beauvais a le premier pratiqué. Les cocons placés sur des claies mobiles dans un appareil spécial, sont rapidement desséchés par un courant d'air chaud à une température de 75° à 80°. Ce procédé paraît aussi expéditif que favorable; 800 kilogrammes de cocons peuvent être étouffés en un jour avec un appareil d'une dimension moyenne. L'emploi de la chaleur du soleil n'est pas toujours possible, et celui de certains gaz présente des difficultés et nécessite une dépense trop élevée.

Déramage. Les cocons étant bien terminés, on les enlève et on les dispose dans des paniers, on les trie, après avoir étouffé les chrysalides, on sépare ensuite les cocons blancs des cocons jaunes.

La race blanche présente plusieurs variétés; la race *sina* est la plus estimée; viennent ensuite les races d'Annonay, de Novi, etc.

La race jaune, qui est la plus commune, comprend celle de Valence, celle des petits Milanais, etc., etc.

Les cocons des différentes races sont triés suivant leurs qualités, et distingués ordinairement par les désignations suivantes :

Les cocons de première qualité, les cocons pointus, les cocalons, les duppions ou cocons doubles, les soufflons, les cocons perforés, les bonnes chaquettes, les mauvaises chaquettes, les cocons calcinés.

Les cocons de 1re qualité sont les plus serrés et les plus sains, mais ne sont pas toujours les plus gros.

Les cocons pointus sont coniques, comme leur nom l'indique. Cette forme a l'inconvénient de faire briser plus fréquemment le fil pendant le dévidage, par suite du mode généralement employé pour tirer le fil.

Les cocalons, bien que plus gros que les autres, ne donnent cependant pas plus de soie. Leur texture étant moins serrée, on les dévide ordinairement à une température moins élevée.

Les duppions ou cocons doubles sont produits par le travail de deux vers. Leurs fils sont tellement entrelacés que le dévidage continu n'est pas possible.

Les soufflons sont des cocons d'une tissure si lâche, qu'ils sont transparents. Leur dévidage est également très difficile.

Les cocons perforés sont troués à une de leurs extrémités; le fil a par conséquent de nombreuses solutions de continuité.

Les bonnes chaquettes sont des cocons dans lesquels les insectes sont morts avant l'achèvement de leur œuvre; la soie en est moins brillante et moins solide.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On les reconnaît en ce que la chrysalide adhère au cocon.

Les mauvaises chaquettes sont des cocons défectueux, tachés ou gâtés, dont la soie est mauvaise et la couleur noirâtre.

Les cocons calcinés sont ceux dans lesquels les vers sont attaqués de maladies après la construction de leur enveloppe. Ils y sont quelquefois durcis, et quelquefois réduits en poudre blanche.

Description de la magnanerie salubre de M. d'Arcet (1). Le rez-de-chaussée de la magnanerie est en partie divisé dans la longueur par les piliers qui supportent le plancher du premier étage; vers l'extrémité de cet atelier se trouve une cloison qui, le traversant dans toute sa largeur, en isole un espace servant de chambre à air froid ou air chaud, et d'où part la ventilation de la magnanerie. Cette chambre est garnie d'un calorifère dont le tuyau se rend dans la cheminée générale. C'est dans cette partie du rez-de-chaussée que se fera l'échauffement ou le refroidissement de l'air, et le règlement de la ventilation; le restant de l'atelier servira à sécher les feuilles qui seraient récoltées étant humides, et à filer les cocons par le procédé de Gensoul, après la fin de l'éducation.

2284.

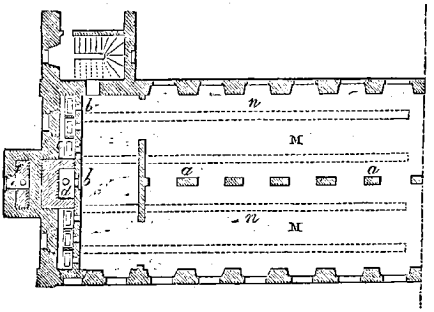


Fig. 2284, plan. C'est dans cet atelier que se placent les vers à soie pendant toute leur éducation. On voit en *b*, *b*, les points de départ des conduits en bois, par lesquels l'air chauffé ou refroidi convenablement, passe de la chambre à air dont nous parlerons dans la magnanerie. Les places indiquées par *n*, *n*, représentent les claies sur lesquelles on élève les vers à soie; une cloison sépare à volonté la grande pièce en deux ateliers tout semblables.

Fig. 2285, coupe verticale de la chambre à air.

d, massif du calorifère.

e, tuyau du calorifère. Il est doublement coudé à droite et à gauche pour échauffer facilement le courant ventilateur qui traverse la chambre à air. Ce tuyau s'élève, en sortant de cette chambre, à quelques mètres de hauteur dans la cheminée générale, où il va établir l'appel qui occasionne la ventilation forcée de tout le système. Le tuyau doit être garni d'une clef à sa partie supérieure, près du plancher. Cette clef, destinée à régulariser le service du calorifère, doit pouvoir se manœuvrer du devant de la cloison, où se tient le chauffeur.

q, *q*, tables sur lesquelles se posent, à droite et à gauche du calorifère, les caisses en cuivre ou en zinc remplies, selon le besoin, d'eau chaude ou de glace. Ces tables occupent la moitié de la largeur de la chambre à air.

r, *r*, caisses en cuivre ou en zinc, que l'on remplit d'eau chaude ou de glace, selon que l'on a besoin de charger d'humidité le courant ventilateur, ou de diminuer la température de cet air.

Je rappellerai ici, pour mieux faire comprendre cette coupe, qu'il existe dans la cloison, qui ferme le devant de cette chambre à air, une porte devant chaque caisse en cuivre pour en faire le service, et entre les pieds des tables, des espèces de chatières laissant entrer la quantité convenable d'air dans la chambre.

Fig. 2286, coupe longitudinale de la magnanerie. Ici tout le système de ventilation se trouve bien développé.

d, massif du calorifère.

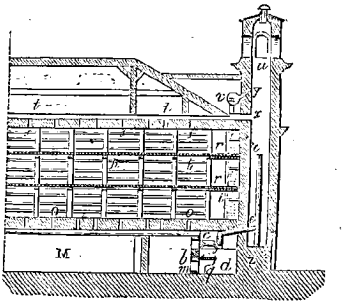
e, tuyau du calorifère.

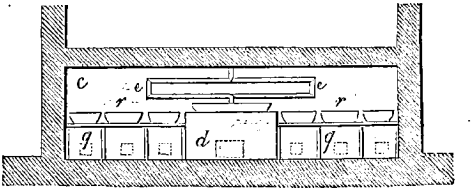
h, claies ou filets sur lesquels on place les vers à soie.

o, *o*, ouvertures ou chatières par lesquelles l'air extérieur entre dans la chambre, en passant sous chaque table et entre leurs montants; la cloison est garnie de huit de ces chatières.

b, porte pour le service du calorifère. Il y a quatre

2286.





2285.

autres portes plus petites à droite et à gauche de celle-ci, pour le service des huit petites caisses placées sur les tables.

t, *t*, orifices d'une des gaines en bois, prenant l'air dans la chambre, et le conduisant au système général de ventilation de la magnanerie.

Quand on ne fait pas de feu, l'air est mis en mouvement dans le conduit *t*, à l'aide d'un tarare qui communique avec la grande cheminée. Une tirette, placée entre le tarare et la cheminée, sert à envoyer à volonté l'air de la magnanerie, soit au tarare, soit directement dans la grande cheminée. Lorsque cette tirette est fermée, et que l'on fait tourner le tarare, l'air de la magna-

(1) Nous renvoyons pour la description complète au *Bulletin de la Société d'encouragement*, auquel elle a été fournie par M. d'Arcet lui-même.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nerie est alors poussé dans la grande cheminée par l'ouverture *y*, qui communique de la caisse du tarare à cette cheminée.

u, grande cheminée de ventilation. Cette cheminée, qui est ici construite avec luxe et dans le but d'orner le bâtiment, aurait pu être établie en pigeonnage, et comme le sont les cheminées ordinaires de nos maisons. Sa section horizontale aurait pu n'avoir qu'une surface triple de celle que présente la somme des sections verticales des quatre conduits.

v, tarare ou ventilateur mécanique. On ne doit s'en servir que dans le cas où il ne faudrait pas échauffer le courant d'air dans la chambre, et où l'on ne voudrait pas employer le fourneau d'appel spécial au pied de la cheminée générale. On peut faire fonctionner ce tarare, soit d'en haut directement, soit d'en bas au moyen d'une corde sans fin et de deux poulies.

x, communication directe du coffre, où viennent se réunir les quatre conduits avec la grande cheminée. La section verticale de ce passage doit avoir, ainsi que la section du coffre en bois qui y aboutit, cinq fois la surface de la section transversale d'un des conduits.

y, conduit par lequel l'air vicié dans la magnanerie passe du tarare dans la grande cheminée. Ce conduit doit avoir la même section que celle donnée au passage *x*.

z, fourneau d'appel spécial, construit en dehors du bâtiment et au pied de la grande cheminée; son tuyau vient se joindre à celui du calorifère, comme on le voit en *e*. Ce fourneau d'appel et le tarare sont établis dans le même but, qui est de pouvoir opérer la ventilation de la magnanerie, lorsque l'air extérieur sera à la température voulue, et dans le cas où cet air se trouvant plus chaud qu'il ne faudrait, il deviendrait nécessaire de le refroidir convenablement, au moyen de la glace, avant de l'introduire dans la pièce où sont les vers à soie.

r, *r*, planchers qui divisent la magnanerie dans sa hauteur en trois étages. Ces planchers servent à tourner tout autour des huit piles de claies, pour en pouvoir faire commodément le service.

i, *i*, petits escaliers destinés à monter aux différents étages sur les planchers *r*, *r*.

Après avoir donné la description de la magnanerie salubre de Villecomble, il nous reste, pour bien faire comprendre les avantages des dispositions qui ont été prises lors de la construction de cet établissement, à développer la marche des opérations qui doivent y être faites.

On a dû compter que, sous l'influence du climat du département de la Seine, il arriverait souvent, surtout pour le service d'une grande magnanerie, qu'on serait obligé de récolter les feuilles trop humides, qu'il faudra les ramener au degré convenable sans retarder les travaux de l'éducation des vers à soie.

Cette opération se fera au rez-de-chaussée de la magnanerie, dans la pièce M (fig. 2286); les feuilles humides seront placées dans un long coffre en bois, sur des cadres garnis de filets et posés horizontalement à deux décimètres au-dessus du fond du coffre, les feuilles étant étendues à une épaisseur égale sur des cadres, et le couvercle du coffre étant fermé, on établira d'un bout du coffre à l'autre, et au moyen d'un grand tarare, un fort courant d'air, dont on pourra, au besoin, élever la température de quelques degrés. Cet air parcourra le coffre dans toute sa longueur, passera en dessous, en dessus des filets et entre toutes les feuilles, ramènera ces feuilles au degré de sécheresse convenable, et sera ensuite rejeté au dehors du bâtiment par une simple gaîne en bois (1).

(1) Si l'on ne craignait pas la dépense et que l'on voulût employer un appareil plus parfait pour opérer le séchage des feuilles humides, on pourrait placer dans le coffre en bois une toile sans fin, se mettant en mouvement au moyen d'un mécanisme convenable; dans ce cas les feuilles devraient toujours être placées sous la toile du côté de la sortie de l'air, et on les retirerait sèches du côté du coffre qui sert d'entrée au courant ventilateur (*).

(*) Un moyen facile à pratiquer et que j'emploie avec avantage consiste à établir un plancher à claire-voie dans le magasin où l'on dépose les feuilles; cette claire-voie, assez serrée pour que les feuilles ne passent pas à travers, est construite à un pied environ du sol. (BONAFOUS.)

Quant à l'incubation des œufs des vers à soie, je pense qu'il n'y a rien à ajouter aux instructions données à ce sujet par Dandolo et Bonafous. Je ne m'occuperai pas non plus de tout ce qui a rapport au mode de nourriture des vers et aux soins qu'il faut avoir pendant toute la durée de leur existence; les deux auteurs que je viens de citer ont fait connaître les moyens les plus propres à assurer le succès des éducations d'après leur expérience et les meilleures théories. Mon but n'étant que d'indiquer comment on peut assainir une grande magnanerie, je passerai immédiatement à ce qu'il faudra pratiquer dans celle de Villecomble, pour tirer sous ce rapport le plus d'avantage possible des dispositions qui y ont été prises, pour faire vivre les vers à soie dans un air pur et toujours maintenu au degré de chaleur et d'humidité admis comme étant le plus favorable à la santé et au parfait développement des vers à soie.

La magnanerie de Villecomble est disposée de manière à pouvoir ne se servir que d'un quart de la grande salle au commencement de l'éducation; il suffira pour cela de séparer avec une forte toile, couverte de papier gris des deux côtés, la magnanerie en deux parties égales, et de boucher en haut et en bas les trous inégaux qui se trouveront à gauche du rideau de toile (1). Cette toile placée dans toute la hauteur et la largeur de la pièce formera à droite un atelier complet sous le rapport de l'assainissement (2). Quand les vers à soie exigeront plus de place, en enlevant la toile qui forme mur de séparation, et en débouchant en bas et en haut tous les trous inégaux de la partie gauche de l'atelier, on doublera le cube de la magnanerie, sans nuire à l'assainissement du local, et sans avoir d'autres dispositions à faire pour en assurer la parfaite ventilation. En se servant de l'atelier fermé à gauche de cette toile, on triplerait l'espace employé pendant les premiers jours de l'éducation des vers à soie; on quadruplerait enfin le cube du premier atelier en enlevant le rideau de toile, et en formant ainsi une seule salle des deux moitiés du côté gauche du bâtiment.

Les dispositions dont je viens de parler seront très favorables au succès de l'entreprise, car elles procureront une économie notable sur la main-d'œuvre et sur la dépense en glace ou en combustible, et donneront, en outre, le moyen d'augmenter l'espace occupé par les vers à soie, dans le rapport de l'accroissement qu'ils prendront à partir de leur premier âge jusqu'à l'époque de leur montée; tel est l'avantage qui résulte de la séparation du grand bâtiment en deux magnaneries égales, et sous tous les rapports parfaitement semblables.

Je supposerai, maintenant, pour plus de clarté, une des deux magnaneries entièrement occupée; je vais dire comment ce travail de la ventilation doit s'y faire, et ce qui suit sera applicable en tout point à la seconde ma-

(1) Au lieu d'une simple toile formant cloison, on pourra se servir, pour séparer l'atelier en deux salles égales, de châssis légers, couverts de toile et de papier gris, comme le sont les panneaux des décorations employées dans les théâtres.

(2) Cette partie de l'atelier, ainsi réduite, offre la condition la plus favorable non seulement pour l'éducation des vers à soie, aux premiers âges, mais aussi pour l'éclosion de la graine; elle devient alors une étuve ou chambre chaude dont la chaleur est plus facile à graduer que par les moyens d'incubation dont on se sert ordinairement. (BONAFOUS.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gnanerie formant le côté gauche du bâtiment, lorsque cette salle servira à l'éducation des vers à soie.

J'admets qu'on est bien d'accord sur le degré de chaleur, d'humidité et de ventilation qu'il faut entretenir constamment dans la magnanerie ; cela posé, voici comment j'opérerais :

Ayant attaché des thermomètres contre les carreaux de deux des portes vitrées de la chambre à air, et ayant placé symétriquement à 1m,6 au-dessus du plancher de la magnanerie deux thermomètres et deux hygromètres pareils, je ferais du feu dans le calorifère *d*, si l'air extérieur était trop froid ; je mettrais de la glace dans les caisses *r* (fig. 2285), si cet air était trop chaud, et je verserais enfin de l'eau dans ces caisses, ou dans quelques-unes d'elles, si l'air employé à la ventilation était trop sec. On conçoit que j'arriverais ainsi facilement, en pratique, à donner au courant ventilateur le degré de chaleur et d'humidité le plus convenable pour entretenir les vers à soie en bon état de santé, et pour les faire parvenir au plus grand développement possible.

Quant au degré de ventilation à donner à la magnanerie, le fait de l'existence de vers à soie à l'état naturel, sur les arbres et en plein air, à la Chine, prouve qu'ici on pourrait ne pas craindre d'outre-passer les limites nécessaires à l'assainissement de la salle ; mais il vaudra mieux ne faire que les atteindre, et il ne faudra que s'aider de l'odorat, pour arriver à ce but. Il suffira, en effet, de ne ventiler la magnanerie que de ce qu'il faudra pour que l'air ne s'y infecte pas vers le haut de la pièce, ce qu'on pourra reconnaître facilement, et à chaque instant, en se plaçant sur le plancher le plus élevé vers les derniers rangs de claies.

Les dispositions adoptées lors de la construction de la magnanerie de Villecomble donnent de grandes facilités pour y pouvoir toujours établir une forte ventilation.

On sait que, dans une pièce disposée de manière à ce que l'air entrant par le bas puisse sortir par des ouvertures égales percées vers le haut, il suffit, en plus, d'une différence d'un demi-degré centigrade entre la température de l'air de la pièce et celle de l'air extérieur, pour donner au courant ventilateur la vitesse nécessaire à l'assainissement de la salle, dans le cas où l'air trouve des ouvertures suffisantes pour y pénétrer et pour en sortir. On voit donc que, dans le climat du département de la Seine, on n'aura point de difficulté pour établir dans la magnanerie la ventilation convenable, qu'on aura très-rarement à y faire usage de glace pour refroidir l'air extérieur, et que par conséquent on n'y aura presque jamais à faire usage du tarare ou du fourneau d'appel, pour donner à la ventilation la direction ascensionnelle qu'il faut lui imprimer.

A Villecomble, il faudra presque toujours échauffer l'air extérieur avant de l'introduire dans la magnanerie, ce but sera facilement atteint au moyen du calorifère *d*. Dans ce cas, la ventilation s'établira d'elle-même, et on n'aura qu'à la régler.

Lorsque l'air extérieur sera assez chaud, on l'obligera à traverser la magnanerie en forçant la ventilation, soit au moyen du tarare *v*, soit en faisant usage du fourneau d'appel spécial, construit au bas de la grande cheminée, et lorsque cet air sera trop chaud on le refroidira au degré convenable au moyen de la glace, dans la chambre à air *b*, et on établira alors la ventilation, soit mécaniquement, au moyen du tarare *v*, soit par le feu, en se servant pour cela du fourneau d'appel spécial *s*. On voit que, sous ce rapport, le système de construction adopté ne laisse rien à désirer. Voyons maintenant comment on pourra n'établir dans la magnanerie que le degré de ventilation convenable.

Ici trois moyens permettent de bien régler la puissance de la ventilation : le premier et le plus simple consiste à ne donner aux chatières *o* que l'ouverture jugée nécessaire pour introduire dans la chambre le volume d'air convenable.

Le second moyen se trouve dans l'emploi raisonné de la tirette placée entre le tarare et la grande cheminée, et qui peut, à volonté, clore en tout ou en partie le passage *x* par lequel l'air vicié, sortant de la magnanerie, peut entrer dans la grande cheminée *u*.

L'emploi plus ou moins rapide du tarare *v* donne enfin un troisième moyen de régler convenablement la ventilation et sans le secours du feu.

Ces essais curieux et intéressants de production de la soie dans les régions du Nord n'ont duré qu'autant qu'ils ont été soutenus par des subventions de l'Etat. Ils ont montré qu'elle était parfaitement possible, mais non qu'elle était avantageuse.

Rendements. Voici les moyennes de rendement qui sont indiquées dans les différents mémoires de MM. Henri Bourdon, Gasparin et Camille Beauvais : 31 grammes de graine peuvent donner environ 25 à 68 kilogrammes de cocons, en consommant de 800 à 1,000 kilogrammes de feuilles de mûriers.

Les variations de rapport sont de 40 à 55 kilogrammes de cocons pour 1,000 kilogrammes de feuilles ; elles dépendent, comme nous l'avons dit, des années, des soins, de la qualité de feuilles et de l'échelle sur laquelle on opère. Le prix de la feuille varie également avec les mêmes circonstances, et suivant que l'éleveur la cultive ou l'achète. Dans ce dernier cas, les prix varient de 7 à 9 francs les 100 kilogrammes.

Quant à la dépense de main-d'œuvre nécessaire, elle est plus constante ; elle peut cependant varier aussi avec l'importance de l'éducation. MM. Camille Beauvais et Brunet de Lagrange comptent qu'il faut 31 journées d'hommes pour une éducation de 31 grammes. M. Henri Bourdon compte 20 journées d'homme, 156 de femme et 30 d'enfant pour une éducation dix fois plus considérable, ou pour 310 grammes. On voit qu'il y a avantage, sous ce rapport, en faveur d'une grande production.

Recherches de M. Pasteur. Le choix, la bonté de la graine est la condition capitale d'une éducation, c'est ce qui a été amplement prouvé lors de la maladie des vers à soie qui a diminué et a un instant menacé de faire disparaître de notre pays la production de la soie, qui est pour le midi de la France une source de richesses.

A la suite d'un rapport de M. Dumas sur l'étendue du fléau en 1865, M. Pasteur, déjà célèbre par ses beaux travaux sur la fermentation, fut prié par le Ministre de l'agriculture d'aller étudier sur place les conditions, les causes du fléau dévastateur et de chercher le remède si désiré. Le savant directeur des études scientifiques à l'Ecole normale partit au mois de juin 1865 pour Alais, dans le département du Gard, le plus important de tous nos départements pour la culture du mûrier et celui où la maladie sévissait avec le plus d'intensité. De 1865 à 1869, il poursuivit sans relâche ses études, et, en 1870, il en publiait les résultats dans un ouvrage intitulé : *Études sur la maladie des vers à soie. Moyen pratique assuré de la combattre et d'en prévenir le retour.*

Nous ne pouvons ici reproduire les détails des travaux de M. Pasteur, nous nous contenterons d'en exposer les principaux traits.

Avant lui, la question avait déjà été étudiée par plusieurs savants français et étrangers, parmi lesquels nous citerons M. de Quatrefages. Mais aucun d'eux, il faut le reconnaître, n'était arrivé à la connaissance exacte du mal et surtout à celle du remède qu'il convenait d'y apporter. M. Pasteur, au contraire, en s'appuyant sur les travaux de ses devanciers, en discutant expérimentalement leurs conséquences, arriva à définir le fléau et à le ramener à deux causes principales. Le microscope, qui, dans ses études sur la fermentation, lui avait déjà

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fourni de si fécondes méthodes d'investigation, devait encore être le principal instrument de ses recherches.

M. Pasteur affirme que toutes les misères de l'industrie séricicole doivent être attribuées à deux maladies distinctes, tantôt associées, tantôt isolées : la *pébrine* et la *flacherie*.

La pébrine, qui doit son nom à M. de Quatrefages, consistait surtout, suivant ce naturaliste, en une espèce de gangrène intérieure qui se révélait par l'apparition de taches à la surface de la peau. M. Pasteur a prouvé que l'existence de ces taches n'était qu'un des côtés accessoires de la maladie, qu'un ver malade était toujours taché, mais que les taches pouvaient exister sans qu'il y eût maladie. Le signe caractéristique de la pébrine est, d'après M. Pasteur, l'existence dans le corps de l'animal de corpuscules qu'on avait trouvés avant lui, mais dont il a défini la nature et le rôle.

La pébrine est excessivement contagieuse; elle se propage d'un ver à l'autre, soit par les feuilles, soit par les piqûres que se font les vers en montant les uns sur les autres, soit par les poussières fraîches des magnaneries. M. Pasteur a fait à ce sujet les expériences les plus concluantes. Beaucoup de personnes avaient craint que cette contagion ne fût un obstacle insurmontable à la guérison du mal, puisque, selon elles, des vers provenant d'œufs parfaitement sains pourraient être atteints par la maladie et mourir avant d'avoir pu faire leur cocon. C'est là qu'est peut-être le plus important résultat des travaux de M. Pasteur : il a démontré d'une manière péremptoire qu'un œuf sain et exempt de corpuscules donnerait toujours un ver capable de filer son cocon : ce ver pourrait, dans le cours de son existence, être atteint par la pébrine, mais cette maladie ne ferait pas chez lui de progrès suffisants pour l'empêcher de filer sa soie. Tout revient donc à employer une *graine* saine, des œufs dépourvus de corpuscules. Cette induction à laquelle il avait été conduit dès le début de ses travaux fut vérifiée par les expériences les plus formelles. Il préleva, en 1866, quatorze échantillons de graines de diverses races faits à Saint-Hippolyte (Gard), et, après les avoir étudiés, il envoyait, en février 1867, à M. Jeanjean, maire de cette ville, un pli cacheté renfermant ses pronostics sur les résultats que l'on devrait obtenir avec ces quatorze graines. Ce pli ne fut ouvert qu'après l'éducation de 1867, et les prévisions de l'illustre chimiste se réalisèrent dans 12 cas sur 14; encore avait-il fait quelques réserves au sujet de ces deux cas exceptionnels.

Voici la méthode formulée par M. Pasteur pour le choix des graines que l'on doit seules employer à la reproduction des vers à soie:

Quand on a une chambrée qui n'a pas été atteinte par la pébrine et qu'on juge que les cocons sont bien formés, ce qui a lieu environ six jours après le commencement de la *montée*, on prélève, sans choix, sur les tables un demi à un kilogramme de cocons que l'on place dans une chambre chauffée, nuit et jour, à 25 ou 30 degrés Réaumur et entretenue à un certain degré d'humidité par un large vase plein d'eau placé sur le poêle; on hâte ainsi le développement des papillons. Dès qu'ils commencent à sortir, on les broie, un à un, dans un mortier avec quelques gouttes d'eau; on examine au microscope une goutte de la bouillie, et l'on note l'absence ou la présence des corpuscules, en indiquant, dans ce dernier cas, le nombre approximatif des corpuscules aperçus dans le champ de l'instrument. Si la proportion des papillons corpusculeux ne dépasse pas 10 pour 100 dans les races indigènes, on peut livrer au grainage toute la chambre d'où proviennent les papillons.

M. Pasteur préfère l'examen des papillons à celui des œufs, il le trouve plus sûr et plus facile pour l'expérimentateur.

Tels sont les principaux points de cette méthode d'investigation; nous avons voulu seulement en exposer le principe, en montrer l'utilité et donner à ceux que cette question intéresse l'idée de lire et d'étudier attentivement le remarquable ouvrage de M. Pasteur.

Ajoutons cependant que le savant chimiste, frappé de ce fait que les ravages de la pébrine étaient bien moins terribles dans les départements de petite culture que dans ceux où l'éducation se faisait dans les plus grandes proportions, a pu attribuer le développement de la maladie à l'agglomération des vers à soie. Il conseille aux départements du Lot, de la Corrèze, du Tarn-et-Garonne, de l'Aude, des Pyrénées-Orientales, des Hautes et Basses-Alpes, de se livrer au grainage en opérant sur des œufs primitivement sains. Il pense que ces départements pourraient suffire à approvisionner toute la France. Il indique, du reste, dans son ouvrage une méthode d'éducation cellulaire qui consisterait, pour les départements de grande culture, à élever dans des compartiments séparés les vers destinés à l'entretien de l'espèce.

Quant à la flacherie, ou maladie des *morts-flats*, M. Pasteur la considère comme tout à fait distincte de la pébrine; lorsque les vers en sont atteints, ils ne mangent plus ou très-peu, restent étendus sur le bord des claies et meurent bientôt. Leur corps noircit, se pourrit bien vite, exhale une odeur fétide et a l'aspect d'un boyau vide et plissé.

La flacherie est une maladie des organes digestifs provoquée par le développement de productions organisées, de vibrions, de ferments, qui y déterminent une véritable fermentation. Elle peut être accidentelle et provenir, ou bien d'une trop grande accumulation des vers aux divers âges de l'insecte, ou d'une trop grande élévation de température au moment des mues; elle peut être héréditaire et avoir pour cause un affaiblissement général de l'espèce produit par la pébrine. L'examen de la poche stomacale des chrysalides permettra de reconnaître, par la présence des vibrions, celles dont les papillons donneront des œufs qui produiront plus tard des vers susceptibles d'être atteints de flacherie. M. Pasteur ajoute d'ailleurs que l'examen des vers au moment de la montée, leur agilité, leur état général, fourniront des données suffisamment sûres au point de vue de la flacherie et indiqueront si l'on doit ou non les employer au grainage. Il affirme qu'il est toujours possible de combattre la prédisposition d'une race à la maladie par des précautions hygiéniques bien comprises, et qu'enfin, par l'éducation cellulaire, on pourra régénérer facilement une race quelconque à l'aide de la plus mauvaise graine, que celle-ci soit atteinte de flacherie ou de pébrine.

Les recherches de M. Pasteur ont été couronnées de succès; en Italie comme en France, les éducateurs soigneux, qui ont appris à se servir du microscope, obtiennent des résultats satisfaisants.

Tirage de la soie du cocon.

Le tirage de la soie a pour but de décoller et de remettre en liberté le fil continu que l'insecte, en formant son cocon, a replié autour de lui par couches successives agglutinées.

La finesse du double fil qui forme le brin élémentaire de la soie est telle qu'on en réunit toujours plusieurs pour former la soie grége produite par l'opération du tirage, qui est le fil le plus fin dont l'industrie des soieries fait usage : on tire la soie du cocon en développant le fil et en le dévidant dans des conditions spéciales que nous allons avoir à examiner. Avant de procéder à cette opération, il y a quelques précautions préliminaires à prendre.

Si, comme cela arrive souvent, on achète les cocons pour les filer, il faut avoir soin de bien examiner leur état de dessiccation, car on sait que la soie est un corps éminemment hygrométrique, et que les chrysalides peuvent être plus ou moins fraîches et avoir un poids plus ou moins grand.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut aussi s'assurer qu'ils sont dans un bon état de conservation, et n'ont pas été attaqués par la moisissure. Il faut examiner en outre s'ils n'ont aucun des défauts que nous avons signalés en parlant de l'éducation. Avant de livrer les cocons aux ouvriers qui doivent les dévider, on a soin de les trier et de réunir ensemble ceux qui présentent les mêmes qualités. Pour opérer le tirage plus facilement, on enlève préalablement avec les doigts la partie duveteuse ou première bourre qui se trouve à la surface des cocons, c'est-à-dire la bourreuse ou le blaise. On met ensuite à part les cocons blancs ou *sina* produisant la soie la plus estimée; les cocons *doubles* dont le dévidage est le plus difficile; les *chiques* qui contiennent de la soie tachée; les *pointus* qui menacent de se trouer par le bout; les *satinés* dont la contexture est molle.

On réserve les cocons de première qualité à faire de la soie organsin pour former les fils de chaînes. La qualité suivante sert pour la trame, et la moins bonne est destinée au poil.

L'opération du tirage de la soie est excessivement simple en apparence, mais elle a besoin, en réalité, plus qu'une autre peut-être, du concours de l'intelligence et du secours d'instruments parfaitement raisonnés, car les mêmes cocons peuvent donner des produits plus ou moins parfaits à des conditions plus ou moins avantageuses, suivant que l'opération du tirage aura été bien ou mal faite. L'opération ne peut avoir lieu que par l'intervention de l'eau chaude, qui a la propriété de décoller le fil replié et de le livrer au dévidage sans opposer de résistance. L'eau employée doit nécessairement être pure et limpide, de manière à n'avoir aucune action nuisible sur la matière soyeuse.

Les caractères qu'un fil de soie parfait doit présenter, sont ceux qu'on exige des fils en général.

Il doit donc être homogène, avoir le même diamètre sur toute sa longueur, et présenter une égale résistance et une élasticité parfaite sur tous les points de la longueur; sa surface doit de plus être nette, lisse, brillante, autant que possible exempte de duvet.

L'opération du tirage doit réaliser ces conditions le plus économiquement possible, et rendre la soie sous une forme telle, que les dévidages ultérieurs qu'on est obligé de faire subir se fassent facilement et promptement avec le moins de déchet possible.

Les machines à tirer la soie des cocons ont été le but de bien des recherches depuis environ un siècle. L'Italie, surtout, qui trouve dans la production des cocons une de ses plus grandes ressources, s'est le plus ardemment préoccupée de ces recherches; aussi les tours à tirer la soie employés en France, sont-ils encore aujourd'hui, sauf quelques modifications, les anciens tours employés en Piémont.

Ces machines se composent ordinairement : 1° d'une bassine à eau chaude pour contenir les cocons à dévider; 2° d'une filière, pour livrer passage à un certain nombre de brins de cocons réunis qui forment le fil grége; 3° d'un appareil croiseur pour mener le fil de manière à l'arrondir, à en comprimer l'humidité, et à faire bien adhérer les brins entre eux; 4° d'un guide doué d'un mouvement alternatif, et qu'on nomme par cette raison le *va-et-vient;* il a pour but de faire croiser le fil sur le dévidoir, afin qu'il ne se colle pas en revenant sur lui-même, et de faciliter le dévidage ultérieur; 5° enfin l'asple ou dévidoir, doué d'un mouvement de rotation continu, et disposé pour recevoir la soie qui lui est amenée par le va-et-vient. L'ensemble de la machine se nomme un *tour*.

Tous les tours connus possèdent les différents éléments que nous venons de mentionner, ils ne diffèrent entre eux que par des modifications apportées, soit dans la manière d'imprimer le mouvement général à la machine, soit dans des changements de dispositions dans chaque organe. Nous allons étudier successivement les modifications les plus importantes. Un des tours les plus anciennement connus est le *tour piémontais*. Sur cette machine on forme deux écheveaux à la fois, en dévidant simultanément une quantité suffisante de cocons pour deux fils, qui se séparent à la sortie de la bassine comme nous le verrons bientôt. L'économie que présente cette méthode l'a fait généralement adopter depuis. Nous citerons les exceptions. Vaucanson avait apporté à cette machine un seul changement, qui consistait dans la manière de croiser les bouts ou fils à leur sortie de la bassine; quoique le système de Vaucanson soit à peu près abandonné aujourd'hui, il en est cependant encore souvent question.

Les anciens règlements sur les fabriques, tant en Italie qu'en France, qui n'admettaient que la croisure simple, déterminaient le nombre de tours d'une bonne croisure, et le rapport de vitesse entre le mouvement de l'asple et celui du va-et-vient. Le nombre de tours pour la croisure simple était de 20 pour les fils les plus fins, et devait augmenter proportionnellement à leur grosseur, et le rapport entre la vitesse de l'asple et celle du va-et-vient était tel, que le fil d'un écheveau ne revenait au même point de l'asple qu'après 875 tours.

Avant d'indiquer les modifications principales qui ont été apportées au tour dont nous venons de parler, disons quelques mots de la marche générale du travail.

Pour commencer l'opération du tirage et arriver à saisir le fil continu, que l'on nomme bout ou fil grége, il faut enlever la bourre ou frison qui garnit la surface des cocons, et qui provient, comme nous l'avons vu, du canevas grossier que l'insecte commence à établir autour de lui pour se procurer des points d'appui et des parois convenables.

L'opération par laquelle on dégage le frison est ce qu'on nomme le battage, et celle par laquelle on l'enlève se nomme la purge. Il faut que la purge soit complète pour que tous les bouts rompus de la surface soient enlevés; mais pour éviter une perte réelle, il ne faut pas qu'elle soit poussée trop loin. On peut obtenir une quantité de bourre qui varie de 18 à 30 p. 100 du poids de la soie. La valeur de la bourre étant moindre que celle de la soie, la meilleure purge est nécessairement celle qui produit la plus petite quantité possible de bourre, sans diminuer la perfection de la soie grége, et qui en même temps dispose le cocon de manière qu'il puisse être facilement et complétement dévidé. Depuis quelque temps on a entrepris des études sérieuses sur cette partie du travail. Pour faire la purge, l'ouvrière plonge à l'avance une certaine quantité de cocons, ordinairement une poignée, dans une bassine d'eau bouillante. Elle les agite ensuite avec un balai en bouleau, en bruyère ou chiendent. Les cocons suffisamment agités, l'ouvrière retire son balai, puis elle saisit tous les brins que le balai a démêlés et les dispose sur les bords de la bassine.

Après la purge, la bourre est mise de côté pour être travaillée d'une manière spéciale, et l'on commence immédiatement le tirage des cocons dans l'eau des bassines, chauffée autant que possible, soit à feu nu, soit à la vapeur. Le battage, la purge et le tirage des cocons ayant lieu dans la même eau, elle se salit bientôt et a besoin d'être renouvelée pour qu'elle ne tache pas la soie; il faut moyennement renouveler l'eau quatre fois par jour.

L'ouvrière assise devant les bassines recueille tous les brins des cocons; elle en prend le nombre nécessaire pour former deux fils. Ce nombre varie depuis trois jusqu'à vingt, suivant la grosseur ou le titre qu'on doit donner à la soie grége.

On ne dépasse guère le dernier nombre, qui est lui-même rarement atteint.

La fileuse forme avec la quantité de brins nécessaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deux fils qu'elle fait passer dans les filières du tour, puis elle croise les brins l'un sur l'autre; elle les dirige dans les guides du va-et-vient, et les porte enfin sur l'asple. Si la jonction des fils se fait irrégulièrement, il en résulte une inégalité qu'on nomme *bouchon*.

Si l'un des fils vient à casser, il se colle à l'autre forme une solution de continuité qu'on nomme *mariage*; il faut alors arrêter l'opération, enlever le mariage, rattacher les fils, les croiser et les mettre en un mot dans la position qu'ils occupaient avant la rupture.

Le passage des fils à travers les filières et la croisure sont indispensables pour établir leur adhérence parfaite, pour les arrondir, et leur donner une surface aussi lisse, aussi unie et une grosseur aussi égale que possible. Une forme ou disposition incommode des filières rendrait la réunion des brins difficile, et pourrait occasionner des inégalités ou bouchons dans le fil. La matière gommeuse et collante de la soie ayant été ramollie par l'eau chaude, les fils grèges se colleraient sur l'asple, si le va-et-vient ne leur laissait le temps de se refroidir et de se sécher, et si on ne les croisait comme nous l'avons dit. Une torsion insuffisante n'arrondirait pas le fil et ne le sècherait pas suffisamment. Une trop grande torsion diminuerait sa force et son éclat.

Le mouvement de va-et-vient doit donc être combiné par rapport à celui de l'asple, de telle manière que le fil y arrive à peu près sec, et que l'entrelacement des différentes couches de l'écheveau se prête facilement au dévidage ultérieur sans occasionner de déchets.

Les moyens que nous venons d'indiquer, employés pour obtenir l'égale grosseur des fils sur toute leur longueur, ne suffiraient pas, si on se bornait à procéder successivement et séparément au dévidage de chaque quantité de cocons; car les brins des cocons allant en augmentant de finesse, à partir de la surface au centre, dans un rapport moyen d'un à quatre, il est évident que, à la fin du dévidage, on obtiendrait un fil sensiblement plus fin qu'au commencement, ce qui serait un défaut. Pour éviter cet inconvénient, l'ouvrière ajoute successivement un nouveau cocon pendant le travail, de manière à échelonner l'époque de l'épuisement de chaque cocon, et à renouveler graduellement ainsi la quantité de cocons nécessaires à un seul fil, ce qui maintient la régularité de grosseur du fil.

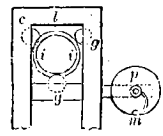
Quel que soit le soin qu'on ait apporté à la construction de ces différentes parties de la machine, il faut, en outre, que le tour soit dirigé par une ouvrière habile et intelligente pour obtenir un travail satisfaisant. C'est presque un axiome de l'industrie séricicole, que la fileuse est tout et l'instrument peu de chose; une ouvrière habile fera mieux avec un tour imparfait qu'une fileuse médiocre avec un tour excellent.

Quelquefois une seule ouvrière tourne la manivelle et surveille le travail, mais généralement l'impulsion est donnée au tour par un enfant ou une femme. L'attention de la fileuse est complétement concentrée sur les cocons de la bassine.

Les défauts les plus ordinaires qui se présentent, dans une soie grége imparfaite, sont les inégalités de grosseur ou bouchons produits par l'adjonction mal faite d'un brin. Les mariages ou enchevêtrements des fils des deux écheveaux séparés; les taches, les inégalités de couleur, les inégalités d'adhérence et de solidité provenant d'une croisure mal faite, et qu'on nomme *mort volant;* les bouts rompus ou solutions de continuité dans les fils.

Les collures ou adhérences des fils qui partent sur certaines parties de l'asple, et que l'on considère généralement comme nécessaires pour conserver la forme de l'écheveau et faciliter son dévidage, seraient également des défauts si elles étaient trop fortes et dépassaient le degré strictement utile.

Tous les efforts tentés jusqu'ici ont eu pour but la construction d'un tour évitant les défauts que nous venons de signaler et facilitant le travail de l'ouvrière. En employant le système de croisure de Vaucanson, on obtenait généralement des fils grèges plus ronds, plus nerveux au toucher et plus secs à leur arrivée sur le dévidoir, mais le fil était plus fatigué que par la croisure unique, et le mécanisme employé se dérangeait souvent.



2287.

La fig. 2287 peut faire comprendre le mécanisme croiseur imaginé par Vaucanson qui substituait la double à la simple croisure. En effet, après avoir croisé les fils destinés aux deux écheveaux à la sortie de la bassine, on le fait passer ensuite dans des barbins *i i*, placés dans l'intérieur d'une lunette *l*, ou poulie à gorge qui peut tourner dans un cadre en bois *c*. Ce mouvement est facilité par les galets *g*, et imprimé par une courroie passant de la poulie *l*, à la partie *p*. Celle-ci est armée d'une manivelle *m*, que l'ouvrier tourne à la main en comptant les tours.

Le mode de transmission de mouvement qui avait été adopté pour le tour, a été modifié et amélioré. Mais le système de la double croisure est resté; on en fait encore quelquefois usage, quoiqu'il ne soit pas complétement à l'abri de reproches, comme nous venons de le voir.

L'effet de la croisure est nécessairement proportionnel au nombre des révolutions que l'on fait faire aux fils en les croisant, et la régularité des fils dépend de la longueur constante de la croisure, et par conséquent du nombre des révolutions que les fils font l'un autour de l'autre. Dans le mécanisme de Vaucanson, ce nombre de révolutions dépendait de celui que la fileuse imprimait à une manivelle. Il était par conséquent exposé à des variations. MM. Villard et Taberin ont, chacun de leur côté, proposé, pour éviter cette cause d'irrégularité, des moyens qui ont été remplacés par des moyens perfectionnés.

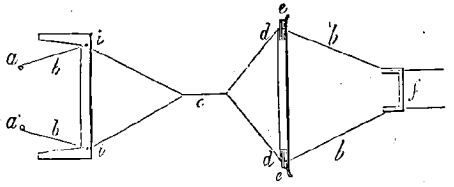
On a surtout cherché à remédier à l'effet des mariages, qui constituent un des défauts les plus graves que la soie pourrait présenter. Comme il nous serait impossible de citer les nombreuses tentatives faites dans ce but, nous allons signaler quelques moyens employés qui ont paru les plus simples et les plus efficaces.

Lorsqu'un mariage a lieu, si la fileuse ne s'en aperçoit pas, le défaut reste dans la soie; si elle s'en aperçoit, elle ne peut l'enlever qu'en faisant revenir l'asple sur lui-même, car sa vitesse acquise ne permet pas de l'arrêter instantanément. Le résultat de cet accident est donc souvent un défaut persistant, et cause en tous cas une perte de temps. Les différents mécanismes proposés pour obvier à cet inconvénient ont toujours pour but d'empêcher la formation des mariages, ou de les couper et de faciliter le rajustement du fil : ils ont par conséquent reçu les noms de *coupe* ou *purge-mariage*.

Coupe-mariage. Un des coupe-mariage les plus simples et dont la disposition est indépendante de la construction du tour, consiste en deux cylindres en verre placés entre la croisure et le va-et-vient. Ces cylindres ont entre eux un intervalle suffisant pour laisser passer librement un fil uni, tel qu'il doit être régulièrement produit, mais trop étroit pour laisser passage à un tourillon ou un mariage. Ce contact de la soie humide contre les cylindres empêche les fils de glisser et d'aller plus loin. La fileuse arrête alors le tour et rajuste les fils. La

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fig. 2288 indique la marche générale des fils, de la bassine au va-et-vient. *a*, *a*, figurent les cocons ; *b*, *b*, les fils ; *i*, *i*, les filières ; *c*, la croisure ou croisade ; *d*, *d*, les barbins déterminant l'écartement du fil de soie. Le second cylindre *e e*, est nommé purgeoir, et *f*, indique le va-et-vient. Cet appareil a été imaginé par MM. Lacombe et Barrois, filateurs de soie à Alais.

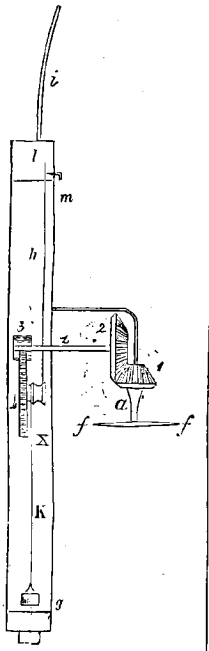


2288.

Beaucoup d'autres tentatives ont été faites, mais nous nous bornerons à citer et à décrire les tours qui paraissent jouir de la plus grande faveur dans l'industrie séricicole. Parmi ceux-là on indique souvent le tour de M. Bourcier de Lyon.

La modification essentielle de ce tour consiste dans la construction du croiseur mécanique, que nous nous bornons par conséquent à décrire (1). Jusqu'ici, malgré toutes les tentatives faites, on était toujours obligé de croiser les bouts à la main, ce que l'on regardait comme une cause d'irrégularité.

Cette croisure est faite avant de commencer le travail sur le petit mécanisme appelé croiseur que l'on voit en X et dont la fig. 2289 donne une vue de côté. Ce croiseur X est formé d'un fuseau *ff*, aux extrémités duquel se fixent les deux fils à croiser. Ce fuseau est porté par un axe *a*, sur lequel sont montés les deux pignons d'angles 1 et 2. L'axe horizontal du pignon 2 reçoit à l'autre extrémité une autre paire de roues d'angles 3 et 4 sur une double gorge extérieure recevant la ficelle *h*, terminée par un bouton *l*, et la ficelle K ; *g*, est un petit contre-poids attaché à la corde K.



2289.

L'ensemble de ce système est enveloppé par la boîte X qui est surmontée d'une tige d'écartement flexible *i*, disposée en forme de T et dont chaque extrémité porte une petite roulette *y*.

Pour opérer la croisure, il suffit de fixer les fils aux extrémités de la fusée *ff*, et de la faire tourner pour lui imprimer le mouvement de rotation ; l'ouvrière tire sur le bouton *l*, jusqu'à ce qu'il soit arrivé au point de repère *m*, qui limite la course, puis elle lâche la corde, et le petit poids en descendant fait tourner l'axe *a*, et par suite la fusée d'une quantité proportionnelle. On voit qu'il n'y a rien de plus facile que de faire varier cette quantité.

Lorsque la croisure est faite, on casse les fils pour les détacher du croiseur et les porter sur le tour. On les applique sur des roulettes d'écartement. On les fait passer, en les faisant croiser une seule fois, pour les maintenir suffisamment rapprochés, dans les guides du va-et-vient qui se trouvent à la partie supérieure du tour et qui dirigent les fils sur l'asple. Comme les guides ont entre eux un espace plus grand que la largeur de l'asple, et que les fils ne peuvent être maintenus dans cette largeur que par la dernière croisure dont nous venons de parler, dès qu'un fil casse, cette croisure disparaît, les fils se trouvent alors séparés d'une quantité plus grande que la largeur du dévidoir, et le fil rompu au lieu de se rouler sur l'asple tombe sur le prolongement de l'axe, et avertit ainsi l'ouvrière de l'accident.

On reproche à ce système les dérangements fréquents que présentent les petites cordes du croiseur.

M. Robinet, qui s'occupe avec tant de zèle et de succès des questions de l'industrie séricicole, a étudié sous un point de vue nouveau les différentes questions qui se rattachent au tirage des cocons. Il a cherché à se rendre compte de l'influence que pouvaient avoir sur la soie les différents modes de croisures, les vitesses variables des tours, le rapprochement plus ou moins grand entre les filières et la bassine contenant l'eau chaude, et il est arrivé aux conséquences suivantes :

1° Dans la filature, la soie éprouve un allongement proportionnel à la résistance qu'elle doit subir pour arriver sur l'asple ;

2° Cet allongement est d'autant plus grand que les causes qui le produisent agissent plus près de la bassine ;

3° La vitesse imprimée à la marche de la soie contribue pour beaucoup à son allongement ;

4° Le ralentissement au contraire paralyse en grande partie l'action des frottements ;

5° L'espèce de frottement qui agit le plus est celui que produit la croisure ;

6° La soie qui n'éprouve aucun, ou presque aucun frottement, a un titre qui n'est que la multiplication du titre de la base ou brin simple du cocon dont elle est extraite ;

7° Au contraire, la soie qui a éprouvé des frottements, et par suite une extension plus ou moins considérable, a un titre qui peut être d'un quart moins fort que celui des cocons dont elle a été formée.

M. Robinet a trouvé en outre que la simple croisure présentait plus d'avantages que la double, que la première conserve à la soie plus de solidité, diminue considérablement les chances de mariages et de ruptures, et permet d'obtenir un titre donné avec un moins grand nombre de cocons. Ce qui réduit aussi les chances d'irrégularité, c'est qu'elle ménage davantage le brillant de la matière. La croisure simple doit donc être généralement préférée d'après l'expérimentation.

M. Robinet, avec tous les bons esprits, s'est occupé de l'importante question du battage des cocons sur laquelle il a publié une instruction détaillée. Tous les filateurs qui travaillent au chauffage à la vapeur pourront consulter avec fruit ce petit mémoire, et celui de M. Ferrier sur le même sujet. M. Ferrier a accompagné sa description d'une série d'excellents dessins indiquant les

(1) La nature de cette publication nous force de tronquer nos descriptions qu'on retrouvera complètes dans l'*Essai sur l'industrie des matières textiles* (chez M. Mathias, libraire).

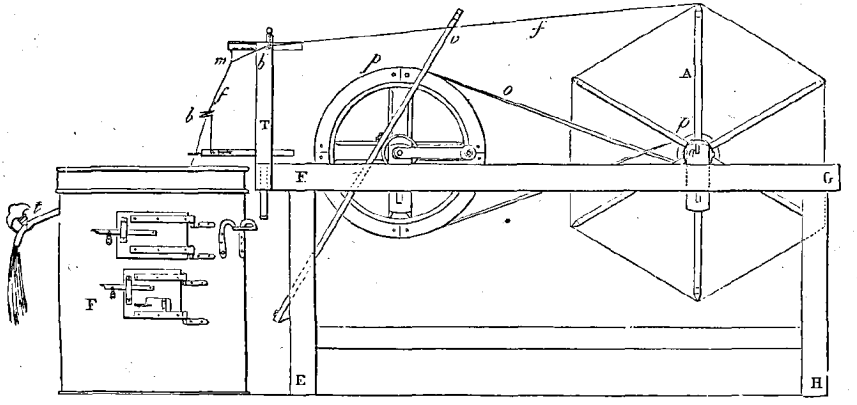
EFERUS - Recherche & Classification numérique

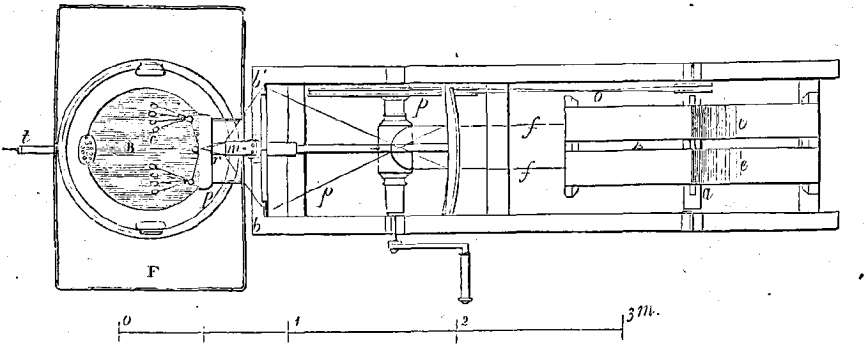
différentes manipulations que l'ouvrière doit exécuter pour mettre le travail en train à partir du battage jusqu'à ce que le tour soit en mouvement.

A la suite de ses recherches M. Robinet a été conduit à construire un tour qu'il a composé de ceux des éléments qui lui ont paru les meilleurs dans les tours usités. Il y a ajouté un mécanisme ingénieux de son invention pour opérer la croisure. Nous allons donner la description de cette machine telle qu'elle fonctionne chez l'auteur qui a bien voulu la mettre à notre disposition.

La fig. 2290 est un plan de la machine; et la fig. 2291 une élévation de la machine et du fourneau.

2291.





2290.

L'ensemble de la machine n'offre rien de particulier, si ce n'est qu'elle occupe peu de place, et qu'elle a peu d'élévation, afin que de jeunes filles puissent y être facilement employées.

F est la masse du fourneau qui reçoit une bassine évasée en cuivre étamé B, qui est garnie du petit robinet *t*, pour la vider. A la suite du fourneau sont disposées comme à l'ordinaire les différentes pièces qui composent un tour à tirer la soie des cocons, c'est-à-dire les *filières*, le *croiseur*, un *brise-mariage*, le *va-et-vient*, l'*asple* ou *guindre*, et les commandes nécessaires pour imprimer le mouvement aux différents organes. Les points d'appui des différentes parties sont établis sur le bâti général en bois E F G H.

Au-dessus de la bassine se trouvent les filières *i*, *i*, qui sont en agate. M. Robinet a eu l'idée de les rendre mobiles de manière à faire varier leur distance de la bassine et à pouvoir les en éloigner au moment de la battue pour qu'elles ne gênassent pas l'ouvrière. A la sortie des filières les brins passent croisés dans un conduit *b*, qui les maintient et empêche les vibrations, qui font que, d'ordinaire, les fileuses ne peuvent pas très bien vérifier la régularité des fils à la croisure.

Un compteur sert à indiquer le nombre des révolutions.

M. Robinet a appliqué à son tour, que nous avons déjà décrit, le *brise-mariage* de M. Chambon, qui consiste en deux tubes de verre qui sont représentés en *b*, *b'*. La tringle ou tige *e* du va-et-vient reçoit son mouvement par l'arbre *a* qui porte la manivelle, faisant en même temps mouvoir la poulie *p*. Cet arbre a une partie renflée au milieu, dans laquelle on a pratiqué une coulisse ou rainure en courbe d'une forme telle, que la tige du va-et-vient y étant engagée pendant que l'arbre *a* tourne, cette tige est forcée de prendre alors un mouvement de va-et-vient régulier.

C'est le même arbre *a* qui transmet le mouvement au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

guindre, par le moyen de la corde croisée *o*, qui passe de la poulie *p* sur la poulie *p'*, disposée sur l'axe du guindre A, qui a ses points d'appui de chaque côté dans le bâti E F G H.

M. Robinet a calculé avec le plus grand soin les dispositions relatives de chacune des pièces. Pour que le travail pût être exécuté dans les conditions les plus favorables, il a rapproché la manivelle motrice de la bassine, afin que la surveillance fût plus facile.

Nous avons vu manœuvrer cet appareil, qui fonctionne très légèrement, et qui doit être d'un entretien à peu près nul. Son rendement, tant sous le rapport de la quantité de soie que sous le rapport de la qualité, ne peut être qu'avantageux, si on apporte à son emploi tous les soins, les connaissances, que son auteur recommande, et qu'il possède à un si haut degré.

Mode de chauffage des tours. Jusque vers l'année 1810, l'eau des bassines était chauffée exclusivement à feu nu. Les bassines étaient placées sur un foyer direct, comme une chaudière de teinture ou toute autre. La tourneuse, ouvrière qui donnait le mouvement à l'asple, était chargée d'entretenir constamment le feu. Ce mode de chauffage, qui est encore appliqué dans les petites exploitations du Midi, présente plusieurs inconvénients. Il occasionne une dépense de combustible assez forte, exige beaucoup de place, et expose la pureté de la soie à être altérée par les émanations du combustible.

C'est pour parer à tous ces inconvénients que M. Gensoul eut l'idée d'appliquer la vapeur au chauffage de l'eau des bassines. Cette idée, si simple et si rationnelle, donna une véritable célébrité à son nom, et causa une heureuse transformation dans l'industrie séricicole. Un générateur unique est chargé d'alimenter de vapeur toutes les bassines qui contiennent l'eau à chauffer. Ce générateur et son foyer sont ordinairement séparés de l'atelier du filage, et l'alimentation se fait par des tuyaux et des robinets convenablement disposés.

Le système de M. Gensoul étant bien connu, et ne présentant d'ailleurs rien de particulier qui n'existe dans tous les appareils de chauffage des liquides par la vapeur, nous croyons pouvoir nous dispenser d'en donner une description plus détaillée.

Force motrice. Une autre innovation consiste dans la substitution de la force motrice de l'eau ou de la vapeur à celle de l'ouvrière pour mouvoir les tours. Quand on en a un grand nombre à faire marcher, et qu'on a un cours d'eau ou une machine à vapeur à sa disposition, rien de plus facile alors que de commander autant de tours que l'emplacement le permet avec un seul arbre. Il suffit de jeter une courroie de la poulie du moteur à une poulie placée sur l'extrémité des guindres, en établissant les rapports convenables entre ces deux poulies, pour obtenir la vitesse voulue, qui ne doit pas être trop grande, afin que les ouvrières aient le temps suffisant pour suivre parfaitement les fils. Le choix du moteur sera déterminé d'après les considérations ordinaires. On devra seulement considérer que pour le tirage des cocons, le moteur ne devra servir qu'une partie de l'année, le moins longtemps possible, car l'expérience a prouvé que pour ce système de filage, le plus répandu actuellement, il y avait grand avantage pour la qualité et le rendement de la soie à dévider les cocons les plus frais possible.

Tour Locatelli Nous avons réservé en dernier lieu la description du tour de M. Locatelli, non parce que sa machine est précisément la plus récemment connue, mais parce qu'elle nous a paru réunir toutes les conditions désirables pour une machine parfaite de ce genre, une construction solide, légère, parfaitement raisonnée, et, en un mot, à la hauteur des connaissances mécaniques de notre époque.

M. Locatelli a pensé qu'il serait bon, pour une matière aussi précieuse que la soie, de construire une machine au moyen de laquelle on pourrait opérer plus régulièrement bien, et indépendamment de l'habileté de l'ouvrière. Il a eu l'ambition de doter l'industrie séricicole d'un appareil au moyen duquel on parviendrait à travailler la soie avec la perfection, l'économie et la facilité que présente aujourd'hui le travail de nos autres matières textiles.

Jusqu'à quel point M. Locatelli a-t-il réussi ? c'est ce que la description suivante va nous permettre de décider en partie.

Le tour de M. Locatelli est représenté en plan figure 2292, en élévation fig. 2293.

Les principales parties qui constituent un tour se retrouvent dans celui-ci. Il a été disposé originairement pour le filage d'un seul écheveau à la fois. Nous allons mentionner succinctement chacune de ces parties, sur lesquelles nous reviendrons ensuite avec quelques détails. Elles occupent les mêmes places relatives que dans la plupart des appareils semblables. En avant de la machine on remarque la bassine S, au-dessus de laquelle est disposée la filière F. Entre la bassine et l'asple est placé un montant vertical *t'*, qui supporte la bobine N en porcelaine et le petit cylindre en verre, entre lesquels la croisure doit être opérée. Au pied du montant se trouve le guide-fil ou va-et-vient *c*, qui reçoit son impulsion par une commande convenablement disposée sur l'axe de l'asple A, auquel l'impulsion est donnée au moyen de la manivelle *m*, mue par une pédale P. On voit que cette dernière disposition est celle adoptée pour un rouet ordinaire. L'asple tourne à sa partie inférieure dans une caisse creuse C D E F. Tout le système est supporté sur des pieds B B, B' B', convenablement disposés et solidement assemblés.

Reprenons maintenant, avec quelques détails, chacune des parties.

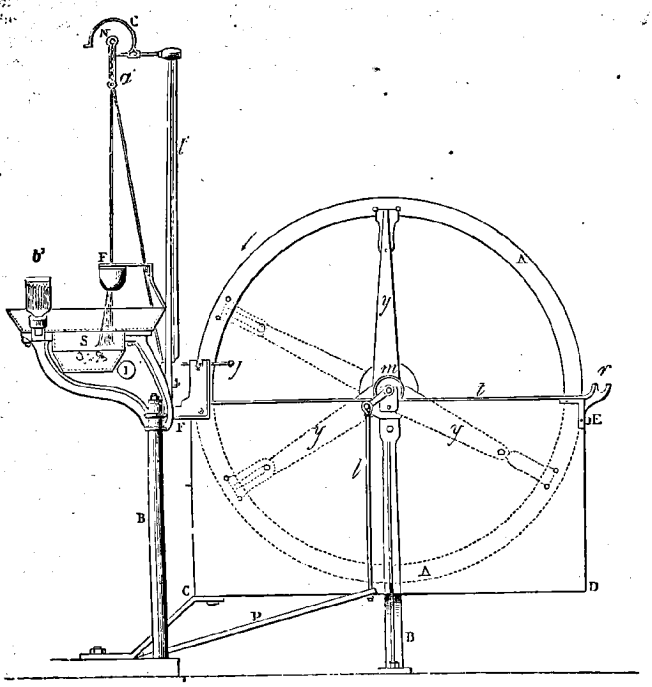
La bassine S est en cuivre étamé : elle reçoit l'eau chaude par le tuyau I, disposé à sa partie inférieure. La brosse *b'*, fixée dans un anneau de la paroi extérieure de la bassine, sert d'essuie-main pour enlever le frison qui pourrait s'attacher aux doigts de la fileuse pendant le travail. La construction de la filière F que l'on voit au-dessus de la bassine, est toute particulière et sans analogie avec celle que nous avions vue jusqu'ici.

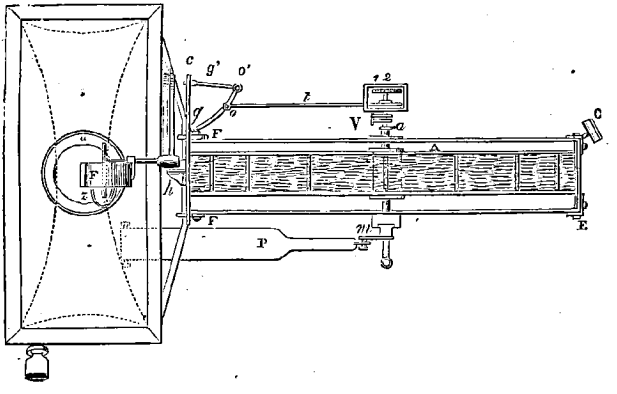
La filière est formée par deux parties, par la courbe concave *z* et par la filière proprement dite *u* (fig. 2294). La courbe *z* sert à disposer le cocon, qui glisse dans la bassine pendant que l'ouvrière retient le brin libre pour le faire passer dans la filière.

Dans le rebord *d* de cette courbe est pratiquée une fente creuse qui établit un petit interyalle entre ce rebord et une plaque en cuivre *p'*, assemblée par dessus comme l'indique la fig. 2294 ; sur cette plaque est percé un orifice ou fente conique. Dans l'épaisseur du rebord de la courbe *z*, se trouve une rainure qui reçoit une lame mince tranchante *u*, indiquée en détail fig. 2295 et 2296. Cette lame ne touche le rebord *p'* qu'à l'orifice de la filière. Enfin, au-dessus de la plaque *p'* et de la filière est disposé un barbin en verre *b'*. On a déjà compris le but de chacune de ces parties. Pour ajouter un brin, la fileuse jette dans la courbe ou espèce de cuillère *z*, le cocon qui se rend dans la bassine, pendant que la fileuse retient dans la main l'extrémité libre du brin qu'elle amène dans la filière F, et tout naturellement autour du barbin *b'*. La partie du brin que l'ouvrière tient à la main se trouve coupée avec une grande netteté par le petit couteau *u*, et le brin est entraîné autour du barbin *b'* par le fil montant, qui n'est jamais exposé à être altéré par un bouchon. Cette addition des nouveaux cocons, et la partie de l'opération que nous venons de décrire, est si rapidement exécutée, qu'il est impossible de la suivre et de comprendre comment

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2293.

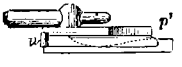




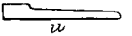
2292.

elle a lieu, si on n'examine les pièces de la filière démontée.

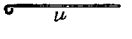
Croisure. La croisure est formée bout sur bout à la sortie de la filière, après que le fil a fait une demi-révolution autour du barbin en



2294.



2295.



2296.

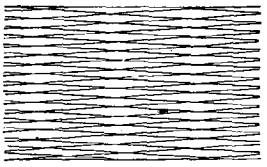
verre b'. Il se dirige verticalement pour se croiser entre le petit cylindre en verre a' et la bobine en porcelaine N, et redescendre ensuite dans le guide du va-et-vient c. La bobine est recouverte d'un chapeau en cuivre c pour préserver la fileuse du jaillissement de l'eau. La croisure est exécutée à la main par la fileuse qui donne au bout 4 révolutions pour un fil de 4 à 5 cocons et qui augmente proportionnellement le nombre des tours avec la quantité de cocons qui doit composer le brin. Cette croisure d'un bout sur lui-même évite le défaut grave du mariage, sans présenter les inconvénients qu'on rencontre dans le travail à la tavelle. Les guides g du va-et-vient sont formés par l'assemblage de deux petites règles i, i, en cuivre, recourbées en retour d'équerre. L'assemblage des règles est fait de manière à réserver de I en h un intervalle seulement suffisant pour recevoir et guider le fil.

On imprime le mouvement alternatif à la tige g du guide par la tringle t de l'excentrique V, qui oscille autour de l'articulation o supportant le bras o' sur lequel glisse la tige q'. L'excentrique V est placé sur un axe qui reçoit son mouvement des petites roues 1 et 2 commandées par l'arbre de l'asple. L'inventeur a calculé les mouvements de l'asple et du va-et-vient, de manière à ce qu'une des courses de celui-ci correspondît à 2/3 et une fraction de révolution du tour, et que le fil de l'écheveau se disposât en zigzag, comme on le voit fig. 2297.

Il résulte de cette disposition que les fils d'un écheveau, après avoir été enlevés du tour, ne sont pas tendus, puisque la longueur du fil pour un tour de l'asple est plus grande que celle de la circonférence développée de ce dernier. On retrouve alors les bouts des brins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec beaucoup plus de facilité. Le système ordinaire ne présente pas cet avantage, parce que la longueur développée d'un tour du fil est à peu près la même que celle de l'asple.



2297.

Le rapport des mouvements de l'asple et du va-et-vient est tel que le bout ne peut revenir occuper le même point sur l'asple qu'après un très grand nombre de révolutions. On a trouvé, en calculant, le chiffre de révolutions de 70.000. Si donc on a commencé le dévidage en un point quelconque du dévidoir, x' par exemple, le fil ne pourra revenir à ce point qu'après 70.000 tours environ de l'asple autour de son axe. Par ces combinaisons le collage du fil replié sur lui-même autour de l'asple est impossible, et l'écheveau est disposé sous la forme d'un réseau parfait, ce qui permet au dévidage de se faire très régulièrement. En résumé ce système diminue les chances de ruptures, remédie aux inconvénients du collage et rend presque nuls les déchets du dévidage.

La forme affectée par les écheveaux provenant des tours Locatelli est très remarquable et suffit pour les faire reconnaître.

Le dévidoir ou asple D est construit par deux cercles en fer étamé e qui sont assemblés parallèlement entre eux à une distance égale à la largeur de l'écheveau à former. 46 palettes en cuivre, fixées à distance égale sur la circonférence entre les deux cercles, forment l'assemblage, et les deux cercles sont réunis en trois parties autour d'un croisillon à trois bras y. Deux segments des cercles sont assemblés à charnière. Cet assemblage a pour but de pouvoir diminuer le développement des circonférences lorsqu'il faut enlever l'écheveau. A cet effet on a disposé une vis qu'il suffit de desserrer pour que la moindre pression fasse rentrer une portion du cercle, et diminue le développement de la circonférence. Les jonctions à charnières des autres parties de la jante se prêtent à ce mouvement en s'ouvrant. On enlève alors l'écheveau à volonté, après avoir placé l'asple sur la courbe r, destinée à lui servir de point d'appui.

Battage et purge des cocons. M. Locatelli attache la plus grande importance au battage des cocons; l'expérience et ses investigations lui ont indiqué que, pour arriver à une purge parfaite avec le moins de déchet possible, il fallait : 1° plonger les cocons un temps déterminé et assez court dans de l'eau dont toute la masse soit en ébullition; 2° abaisser ensuite brusquement, jusqu'à 65° environ, la température de l'eau par l'arrivée d'un jet d'eau froide; 3° battre les cocons à cette température ou plutôt les arroser seulement avec beaucoup de ménagement.

La présence de l'eau bouillante dans le premier moment décolle les brins du frison; la contraction qui s'opère dans le cocon par suite de l'abaissement subit de la température, empêche le maître brin de se décoller, de se mêler et de s'ébouler, ce qui occasionnerait des difficultés et plus de déchets au tirage. Cette espèce de contraction présente de plus l'avantage d'opposer à l'eau une paroi en quelque sorte imperméable, et de préserver ainsi la chrysalide du ramollissement qui serait un inconvénient grave puisqu'il pourrait en résulter une altération de la soie et une diminution dans le rendement. Les précautions à prendre pour l'action mécanique du battage s'expliquent d'elles-mêmes, car si on opérait brutalement sur un fil aussi délié, au lieu d'enlever seulement le frison, on ne manquerait pas de transformer une certaine quantité de soie en frison et d'augmenter par conséquent la quantité du déchet. C'est par ces considérations que M. Locatelli a été amené à fabriquer des petits balais particuliers pour opérer le battage en l'exécutant dans des récipients à part, et à chauffer l'eau directement, sans l'emploi de la vapeur, la vapeur à la pression atmosphérique ne pouvant, d'après l'inventeur, amener l'eau à une température suffisante; mais pour éviter en même temps les inconvénients que présente le chauffage à feu nu, il a établi un fourneau avec une chaudière à eau chaude. Cette chaudière sert au battage des cocons et à l'alimentation de 4 bassines à la fois au moyen des tuyaux T dont nous avons parlé. Hâtons-nous de dire que la construction du fourneau est telle qu'il ne laisse absolument dégager aucune émanation dans l'atelier. Mais si cet inconvénient se présentait, il n'y aurait rien de plus facile que d'établir une cloison entre le fourneau et les tours qu'il alimente.

Purge. Pour exécuter la purge, on dépose une certaine quantité de cocons dans une espèce de tamis en fil de laiton, qu'on place dans la chaudière remplie jusqu'à une certaine hauteur d'eau en pleine ébullition.

On immerge les cocons en les recouvrant par un couvercle en toile métallique. Au bout d'une minute, on fait arriver l'eau froide pour abaisser la température et on prolonge l'immersion d'une minute encore. On enlève ensuite le couvercle et on commence le battage avec les petits balais dont nous avons parlé plus haut. Ces petits balais, qui sont doubles afin d'en faciliter le nettoyage, sont en racines de chien-dent tissées par longues bandes, qui sont ensuite découpées en bandes plus étroites et de manière à ce que leurs extrémités, qui doivent former les pointes des balais, soient coupées en sifflets et agissent mieux sur les cocons. (Nous regrettons de ne pouvoir décrire en détail la fabrication de ces petits balais, mais nous ne pourrions le faire sans trop nous écarter de notre sujet.)

Le battage s'exécute en prenant par le manche l'un de ces balais doubles chaque main, et en le passant à retour d'équerre sous les cocons et en l'agitant légèrement.

Lorsque les cocons sont battus et purgés, on les dépose dans un plateau de service posé sur une tablette à la portée de la fileuse; on réunit tous les maîtres brins, et on les noue autour d'un bouton placé sur le bord du plateau.

Outre les motifs signalés en faveur de cette manière de préparer les cocons, elle présente les avantages de ne pas salir autant l'eau des bassines, d'éviter les *bassinâ*, qui sont des cocons percés par l'action du battage; et, en un mot, d'arriver à une purge qui ne laisse rien à désirer. Nous nous sommes assurés bien souvent de ces résultats, en assistant au tirage de cocons de diverses races, qui étaient d'un dévidage très difficile, et cependant l'opération marchait avec la plus grande promptitude et la plus grande facilité; la soie produite était régulière, exempte de bouchons et d'inégalités; elle présentait un éclat remarquable, se tirait jusqu'à la fin, et laissait une chrysalide dure et présentant une enveloppe à peine sensible.

Nous croyons devoir ajouter que les faits par nous avancés peuvent être facilement vérifiés, et qu'ils ont déjà été appréciés, puisque la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, si justement avare de ses récompenses, a cru devoir, après trois ans d'examen, accorder une médaille d'or à l'inventeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cependant le mérite de cette nouvelle machine est encore bien controversé ; son emploi a soulevé bien des oppositions.

Nous allons examiner et discuter les principales objections consignées dans diverses publications.

Voici ce qu'on a dit :

M. Locatelli s'est proposé de produire de la soie grège susceptible d'être cuite et teinte sans avoir été ouvrée, c'est-à-dire sans avoir été doublée et tordue, comme on est obligé de le faire généralement dans l'état actuel des choses, et a complétement échoué.

L'opération est plus coûteuse avec son tour qu'avec les autres ; son appareil peut à peine faire 250 grammes de soie par jour, quantité bien inférieure à celle que l'on fait généralement.

La vitesse que le tour Locatelli peut prendre, en ne faisant qu'un écheveau, est compensée par les défectuosités que la soie doit présenter en raison même de cette vitesse. C'est une véritable calamité d'avoir une machine avec laquelle le premier individu venu peut obtenir un produit convenable. Le moyen si ingénieux employé pour remplacer les cocons usés dans le tour Locatelli était connu, et il n'a été que modifié et amélioré par lui.

La force motrice, dans le nouveau système, coûte plus que dans l'ancien.

Le tour Locatelli n'offre d'autre garantie pour obtenir une soie régulière que la sévérité de la surveillance des fileuses.

Il ne peut produire qu'un écheveau à la fois ; il ne peut être mû mécaniquement ; enfin, il ne fait ni mieux, ni plus, ni à meilleur marché que les tours reconnus bons dans l'état actuel de l'industrie séricicole.

Voici maintenant ce que nous dirons pour répondre à ces différentes objections. Il importe peu à l'industrie de savoir sous quelles préoccupations les améliorations d'une machine ont été tentées. Il lui suffit de constater les résultats, d'étudier et d'apprécier les moyens employés pour y arriver.

Il serait certes prématuré d'avancer que la soie grège produite par le nouveau tour peut être travaillée comme si elle avait été ouvrée et apprêtée. Nous ne pensons pas que l'inventeur lui-même le prétende. Il est cependant juste et vrai de dire qu'il y a un premier pas de fait dans cette voie si délicate et si difficile. Nous avons pu prendre connaissance de plusieurs attestations fournies par les premiers teinturiers de Milan, annonçant qu'ils avaient pu teindre facilement cette soie grège. Nous avons également vu des échantillons d'étoffes tissées avec cette même soie, et à cet égard, l'honorable M. Chevreul, qui a eu sous les yeux les échantillons dont nous parlons, nous permettra d'invoquer son important témoignage.

Quant à l'affirmation faite qu'une fileuse pouvait à peine produire 250 grammes de soie par jour, elle est complétement inexacte. On trouve dans les procès-verbaux régulièrement dressés à Milan, où la nouvelle machine commence à se propager, sur le rendement de toute une campagne, qu'une fileuse ordinaire a produit, moyennement, 382 grammes en cocons de 4 à 5.

De nombreux procès-verbaux que nous avons sous les yeux, délivrés par les premiers industriels en soie d'Italie, attestent que les nouvelles machines ont travaillé pendant trois mois à l'arrière-saison, par conséquent sur des cocons secs, et que le résultat n'a rien laissé à désirer. Le rendement en soie au tirage a été supérieur et le déchet au décreusage inférieur à ceux que présente la soie traitée par la méthode ordinaire.

Voici d'ailleurs un extrait de ces procès-verbaux qui a été publié par les journaux de Milan.

« Avec le produit obtenu à la filature de Nerviana, où nous avons eu dans la campagne passée le rendement très remarquable de 23 onces 1/12e par chaque dix livres grosses de cocons, nous trouvons en faveur du système Locatelli un avantage de 13 livres, c'est-à-dire 3 1/2 p. 100 en soie contre un déchet de 18 livres, c'est à-dire 3 3/5e p. 100 en fusion, lequel déchet se compense en grande partie par le résultat à la teinture, puisque toutes les expériences faites jusqu'à ce jour démontrent que la soie filée avec le système et le battage Locatelli perd de 2 1/4 p. 100 de moins au décreusage que toute autre soie.

« Nous pouvons donc conclure que malgré le produit peu commun que nous avons annoncé avoir fait dans notre filature à Nerviana, nous avons trouvé avec le système Locatelli un avantage de 6 p. 100 en soie produite. Si en outre on considère la perte insignifiante en frison et la différence très légère dans les frais de filature, un tel résultat est certainement digne de considération. »

Les défectuosités que doit présenter la soie provenant du nouveau tour, sont une pure hypothèse ; il est facile de s'en convaincre en le voyant travailler et en examinant les produits qu'on en retire. Nous ne pensons pas qu'il soit possible de voir une soie plus ronde, plus nette et plus brillante ; et cela se conçoit : la plupart des inégalités et défectuosités viennent ordinairement d'une jonction des brins mal faite et des mariages. Or, par le nouveau système les mariages sont impossibles et tout le monde est d'accord à dire que la manière d'ajouter les brins nouveaux est on ne peut plus prompte et plus sûre. On prétend seulement qu'elle n'est pas neuve. Quoique cela ne change rien aux résultats, disons cependant par esprit de justice que les avantages de ce mode de rattachage proviennent surtout de la construction de la filière, et qu'il nous a été impossible de rien trouver de semblable dans tout ce que l'on a fait jusqu'ici. Nous ne pouvons pas admettre non plus que simplifier le travail d'une industrie soit jamais un malheur.

Nous avons déjà vu pourquoi l'appareil qui nous occupe n'emploie pas la vapeur. Ce serait une erreur de penser que les bassines sont exposées aux inconvénients produits par le chauffage direct, puisque le foyer est complétement séparé des bassines de la soie. Quant à la question économique il est difficile de la résoudre d'une manière satisfaisante par des dissertations.

Les expériences comparatives peuvent seules fournir les données nécessaires à sa solution.

Il en est de même sur la dépense à faire pour mouvoir le tour.

Rien ne s'oppose d'ailleurs à l'emploi d'un moteur quelconque si on y trouvait de l'avantage.

Mais est-il bien rationnel d'affirmer qu'un travail durant au plus un quart de l'année, nécessitant peu de force motrice et forcément disséminé dans nos campagnes, doive être concentré dans de vastes exploitations, desservies par la force motrice de l'eau ou de la vapeur ? N'est-il pas sage, moral et avantageux au contraire de maintenir à nos travailleurs de la campagne la seule industrie, pour ainsi dire, qui puisse y être exercée dans des conditions favorables, « sans que l'ouvrier soit soustrait aux joies du foyer domestique, à la paix de la vie des champs, sans que la dignité du père de famille ait à se résigner à des désordres où tout sentiment moral vient s'éteindre, » comme le disait en une autre occasion le célèbre président de la Société d'Encouragement (1).

« Ce ne sont pas seulement les cultivateurs et les propriétaires aisés qui peuvent se livrer à l'éducation des vers à soie, dit un auteur qui s'occupe spécialement de cette question, les plus pauvres habitants des campa-

(1) Discours de M. Dumas, séance générale du 9 juillet 1845.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gnes sont encore certains d'y trouver une précieuse ressource ; car c'est un des caractères particuliers de cette industrie de pouvoir se diviser et se fractionner, pour ainsi dire, à l'infini. Il en est de la soie comme d'une manne précieuse dont chacun, suivant ses forces et son travail, est appelé à recueillir sa part. »

Le reproche que l'on faisait au tour de ne produire qu'un écheveau à la fois n'a plus besoin d'être réfuté. L'inventeur en effet, bien qu'il pense qu'on peut arriver à des résultats aussi économiques en tirant un écheveau qu'en en tirant deux, s'est cependant rendu aux désirs qu'on lui a manifestés, et dispose maintenant ses tours de façon à produire un ou deux écheveaux à volonté et avec la même facilité.

Il n'est pas bien démontré enfin que le nouveau tour avec ses accessoires soit sensiblement plus cher que les anciens avec le générateur, mais cette différence existerait-elle, elle se trouverait compensée par la perfection de la construction du tour nouveau qui n'exige aucun entretien, et par sa durée.

Peut-on maintenant soutenir qu'un appareil qui ne présente aucun des inconvénients qu'on lui reproche, qui de plus offre des dispositions d'un avantage incontestable et incontesté dans lequel on a su combiner la marche du travail d'après les données que l'on considère comme les plus favorables, ne soit pas appelé à rendre de véritables services ?

Il importe que l'industrie séricicole en France ne reste pas stationnaire, car elle se verrait bientôt dépasser par les industries étrangères, dont les progrès peuvent faire prévoir une concurrence redoutable. Or, la France ne peut maintenir sa supériorité dans cette spécialité que par l'amélioration des conditions économiques de toutes les parties qui concourent à la production de la soie et le maintien de la perfection de ses produits. Si dans quelques-uns des perfectionnements ont été réalisés, il en est d'autres qui laissent encore un champ vaste ouvert au progrès.

Le tirage de la soie est de ce nombre. La machine qui procurerait à l'industrie un accroissement dans la production aurait rendu un immense service au pays.

La machine Locatelli peut-elle prétendre à ce résultat?

Quelque favorables que paraissent les renseignements fournis par les industriels italiens, ils ne peuvent suffire pour faire juger complétement l'appareil nouveau, et pour nous permettre de trancher la question. Pour apprécier l'utilité du système Locatelli, il est nécessaire que des expériences comparatives, faites sur une grande échelle, fournissent des résultats certains et déterminés ; car on sait que la quantité de soie contenue dans les cocons varie considérablement, non seulement avec les races, mais aussi avec les individus d'une même race. Il ne suffit donc pas de dire qu'un poids déterminé de cocons a donné telle quantité de soie, pour pouvoir estimer le rendement d'une manière absolue, et si l'on veut se prononcer sur la part réelle que la machine peut avoir à l'augmentation du rendement, il importe de fixer à l'avance le rapport du poids de la matière sérique à celle de la chrysalide. Dans l'intérêt même de la vérité et de notre industrie nationale, nous appelons de tous nos vœux l'attention de l'administration supérieure ou des sociétés savantes sur le système Locatelli. Il appartient à la Société d'Encouragement, qui a déjà donné son approbation aux ingénieux travaux de l'inventeur, d'éclairer complétement la question, en déterminant d'une manière incontestable les résultats qu'on peut obtenir des différents systèmes en présence.

Préparation de la bourre. Les déchets de soie qui ne peuvent se travailler d'une manière continue sont de plusieurs sortes ; la première et la meilleure provient des cocons qui ont été percés et des déchets qui sont faits au moulinage.

On a pu voir aussi que malgré les soins apportés au tirage des cocons, il y avait toujours un déchet. La bourrette et le frison que forment les premières couches du cocon, et l'enveloppe mince qui reste autour de la chrysalide après le tirage, ne peuvent jamais être retirés par le tour, et servir aux mêmes usages que la soie en fil continu. Ces déchets se présentent en masses pelotonnées et collées par la gomme de la soie. Pour en tirer parti, il faut procéder à leur dégommage, ce qui s'opère, en général, en les faisant macérer dans de l'eau pendant un temps suffisant pour dissoudre la gomme. On procède ensuite à des pressages réitérés pour faire sortir l'eau gommée. Après avoir fait sécher la matière, elle est préparée par des battages mécaniques qui sont suivis d'un peignage ou d'un cardage, suivant que les filaments qu'on obtient sont longs ou courts, suivant aussi les usages de l'établissement.

Les déchets ainsi préparés peuvent être filés comme le sont les matières textiles en général ; ce sont les fils résultant de ces déchets de soie qu'on connaît sous le nom de *bourre de soie* ou fantaisie. Ces fils, fatigués au travail, présentent nécessairement moins de solidité, et surtout un aspect beaucoup plus duveteux, qui diminue sensiblement l'éclat de la soie et lui donne une apparence cotonneuse, ce qui en réduit également la valeur. Le travail de ces déchets est généralement exécuté dans les maisons de détention, à cause du bas prix de la main-d'œuvre, et laisse considérablement à désirer sous tous les rapports. Il est évident qu'on pourrait mieux utiliser ces matières qu'on ne le fait, et en obtenir du fil d'une valeur supérieure. Les pressages et battages ne peuvent convenir à un corps de la nature de la soie. La chimie parviendra sans doute à trouver un moyen pour mettre facilement tous les frisons collés en liberté sans les altérer ; il sera possible alors de les préparer plus convenablement.

Cette question, dont quelques industriels s'occupent, mérite de fixer l'attention de tous les hommes compétents, sa solution complète pouvant avoir une grande importance, non seulement parce qu'on parviendrait à mieux utiliser un déchet précieux à notre propre industrie, mais aussi parce qu'on pourrait tirer un parti avantageux des déchets considérables de ce genre des cocons qui nous viennent des Indes, où ils sont chargés pour lester les bâtiments, et sont vendus ensuite à vil prix en Europe.

La chrysalide, après avoir été entièrement dépouillée de la matière soyeuse, peut être employée comme un excellent engrais, si on a soin de la mélanger à d'autres ; sans cela elle donnerait une odeur très désagréable aux produits du sol qu'elle aurait formés. Les Chinois l'utilisent aussi comme aliment pour les hommes et la volaille. Ils s'en servent également pour des préparations pharmaceutiques.

Moulinage de la soie.

Dans l'état actuel de l'industrie séricicole, la soie grége formée, comme on le voit, par la réunion de brins élémentaires chargés de gomme, et qui ne sont, pour ainsi dire, que collés ensemble, ne peut servir à aucun usage sans avoir été doublée et surtout tordue. Les doublages et les torsions ont pour but d'augmenter la résistance des fils, et d'empêcher les brins constituants de se décoller, de se diviser lors de la cuite, du dégommage ou du décreusage qui en rendrait le dévidage ultérieur impossible (1).

(1) Il y a cependant quelques heureux essais de faits pour parvenir à disposer les fils de la soie grége, de manière à leur faire supporter la cuite. Un essai de ce genre, fait par M. Teissier, a été couronné par la Société d'encouragement. Nous avons vu que M. Locatelli avait également obtenu des résultats favorables ; mais aucun des moyens proposés n'est encore imité sur une grande échelle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les différentes opérations de dévidage, de doublage et de torsion qu'on fait subir à la soie grége pour la transformer en fils propres à être décreusés et employés au tissage, sont comprises dans la spécialité qui a été désignée sous le nom de *moulinage*.

Le moulinage, qui constitue une des préparations fondamentales de la soie, comprend quatre opérations qui sont :

1° Le dévidage des écheveaux de la soie grége sur des bobines ;

2° La torsion imprimée séparément à chaque fil des bobines ;

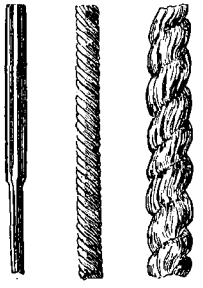
3° Le doublage de deux des fils précédents réunis ensemble par une nouvelle torsion, et leur dévidage sur des bobines ;

4° La réunion, par la torsion, de deux ou d'un plus grand nombre de fils obtenus par l'opération précédente, leur dévidage sur des guindres pour les transformer de nouveau en écheveaux. Par la seconde opération que nous venons de mentionner, et qu'on nomme quelquefois premier tors ou premier apprêt, on obtient un fil qui est désigné sous le nom de *poil*.

Le fil résultant de la troisième porte le nom de trame.

La quatrième, qu'on désigne quelquefois par deuxième tors ou deuxième apprêt, et qui produit les fils les plus doublés et des plus tordus, a pour objet la formation des chaînes, les tissus, qui ont reçu le nom d'organsins (1).

Les fig. 2298, 2299 et 2300, présentent, sur une échelle considérablement augmentée, la première la forme la plus ordinaire d'un fil grége : l'extrémité la plus uniforme représente le fil le mieux préparé ; la seconde, d'un fil de trame, et la troisième d'un organsin.



2298. 2299. 2300.

Ces diverses opérations étant pratiquées par des espèces de moulins tournants, la spécialité qui les comprend a tiré de là son nom.

Le moulinage peut donc être considéré comme un filage sans étirage, et être assimilé au retordage ordinaire de fils qui ne constitue qu'une opération secondaire dans le travail de la plupart des autres matières filamenteuses.

On a cependant en tous temps attaché, avec raison, une grande importance au moulinage des soies, et cela se conçoit, les considérations que nous avons fait valoir en parlant de la torsion en général étant également applicables ici. On doit d'autant moins les perdre de vue qu'il s'agit de la matière la plus précieuse. Il est nécessaire de se rappeler que non seulement une torsion trop grande énerve la matière en occasionnant un travail inutile, mais aussi que cette opération diminue le brillant, ce qui est un inconvénient, surtout pour des fils auxquels on cherche à conserver autant que possible leur éclat.

Autrefois, lorsque l'industrie était régie par des règlements, ils fixaient le nombre de tours par unité de longueur que les mouliniers devaient donner aux différentes espèces de soies destinées à former des fils de trame ou de chaîne. L'exécution de ces règlements eût pu être favorable à l'industrie s'ils eussent pu prévoir les nombreux cas qui peuvent se présenter et fournir une formule générale applicable à chaque cas particulier. Comme il n'en était certes pas ainsi, ces règlements ont plutôt entravé que fait avancer le progrès. En effet, le moulinier a tout intérêt à ne pas dépasser un certain degré de torsion, et son expérience et son intérêt sur ce point sont un guide plus sûr que les règlements. Il n'a pas non plus intérêt à donner une torsion insuffisante, puisque la soie se livre au poids plutôt qu'à la longueur. Le raccourcissement résultant de la torsion ne peut donc pas lui causer de dommage. Aussi l'organsinage s'est-il perfectionné peu à peu depuis que chaque industriel a été libre de travailler comme il le jugeait convenable. Ce progrès a été très lent cependant ; ce n'est guère que depuis quelques années qu'on a commencé à diversifier l'ouvraison des soies suivant les genres de tissus auxquels on la destine. Cette manière de procéder a été reconnue d'une telle utilité qu'il s'est formé des établissements adonnés spécialement à chaque genre.

Mais si les règlements dont nous avons cru devoir dire un mot renfermaient des dispositions défavorables au progrès de l'industrie, ils imposaient, en revanche, des obligations qui devaient mettre le commerce des soieries à l'abri des actes de mauvaise foi dont nos grands centres industriels souffrent aujourd'hui. Ils déterminaient avec soin les distinctions à faire entre les différentes qualités de soie, l'état de pureté dans lequel elles devaient être livrées, et la longueur des asples, des dévidoirs, afin qu'on ne produisît que des écheveaux d'une mesure uniforme et déterminée. On a été obligé de revenir peu à peu à ces sages prescriptions, en les modifiant, pour les mettre en harmonie avec les connaissances et les exigences de l'industrie de notre époque. L'établissement du conditionnement des soies est aujourd'hui une institution d'utilité publique. Les efforts que l'on fait pour arriver à ne livrer que de la soie dévidée sur des asples à *tours* comptés et présentant tous la même circonférence, et recevant le même nombre de révolutions pour former l'écheveau, dérivent de la même tendance. Enfin, le moyen le plus efficace proposé par M. Arnaud pour éviter les soustractions frauduleuses de la soie, connues sous le nom de *piquage d'onces*, et l'utile association qui s'est formée à Lyon pour propager ce moyen, se proposent également, d'une manière plus en harmonie avec notre état social, le but moral et les heureux résultats que les anciens règlements voulaient atteindre. Nous aurons à revenir sur chacun de ces moyens après avoir décrit les opérations du moulinage. Si les opérations de l'organsinage sont dirigées avec plus de soins et d'intelligence depuis quelque temps, les machines employées à ce travail sont restées à peu près ce qu'elles étaient au dernier siècle. Aucune spécialité industrielle n'est demeurée aussi étrangère au progrès mécanique. Nous savons que, malgré cela, nos soies moulinées sont estimées. Mais en obtenant ce résultat par des machines perfectionnées, on ferait mieux, avec plus de régularité, on produirait davantage en économisant de la force, et par conséquent à meilleur marché : on serait sûr alors de maintenir notre supériorité sur la concurrence étrangère. Un jour viendra où peut-être la force des choses amènera les améliorations que nous désirons, mais on aura peut-être à regretter de ne pas les avoir introduites plus tôt. Nous allons passer successivement aux descriptions des machines employées dans le moulinage et nous verrons les recherches qu'elles ont donné lieu, l'habileté des ouvriers étant d'ailleurs l'élément le plus indispensable.

Premier dévidage. Ce dévidage a surtout pour but de nettoyer la soie, de rattacher les fils rompus, d'enlever les bouts et les inégalités pour obtenir un fil aussi homogène et aussi régulier que possible. Cette opéra-

(1) Ce nom vient de l'italien et veut dire tordre. C'est par cette raison qu'on désigne quelquefois les opérations de moulinage sous le nom d'organsinage.

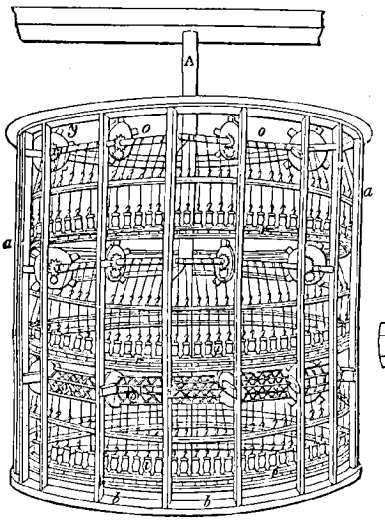
EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion occasionne nécessairement un déchet variable avec l'état de pureté et la qualité de la soie. Il est rarement au-dessous de 2 p. 100 pour les soies de bonne qualité; il s'élève souvent jusqu'à 8 p. 100 pour les soies inférieures de nos pays, et peut aller de 30 à 50 p. 100 lorsqu'on traite des soies exotiques, qui ont été produites grossièrement et sans soin.

Deuxième dévidage pour l'organsinage. Lorsqu'on veut produire de l'organsin, après avoir tordu les fils séparément et les avoir disposés en écheveaux, on transforme les écheveaux en bobines; c'est donc un nouveau dévidage à opérer. Cette opération sert à doubler, tripler, quadrupler, etc., les fils suivant l'usage auquel on les destine; le second dévidage n'offre rien de particulier.

Ce sont les fils des bobines précédemment tordus qu'on transporte sur d'autres bobines. Dans leur trajet de l'une à l'autre, les fils sont de nouveau purgés en passant entre deux guides garnis de draps, qui les frottent pour les débarrasser de toute impureté.

Moulin rond. On emploie depuis un temps immémorial deux autres systèmes de moulins à tordre, connus sous le nom de moulin rond et de moulin ovale, à cause de la disposition donnée aux bobines autour de ces machines. Quelques mots vont suffire pour faire comprendre ces anciens systèmes fort compliqués par des moyens de commandes surannés, mais très simples, quant au principe qui leur sert de base. La fig. 2301 donne l'élévation d'un moulin rond vu en perspective; les fuseaux ici sont disposés circulairement sur plusieurs rangs ou étages en hauteur. Dans l'étage le plus élevé au-dessus de la première rangée des fuseaux, des petites bobines en bois disposées horizontalement sur des baguettes, et destinées à recevoir le fil des fuseaux au-dessus des rangées de fuseaux inférieurs, se trouvent des asples *s* pour recueillir les fils de ces fuseaux. Les rangées supérieures ont pour but de donner le premier tors ou premier apprêt. Les rangées inférieures sont dévidées sur des asples, servant au second apprêt, et par conséquent à l'organsin.

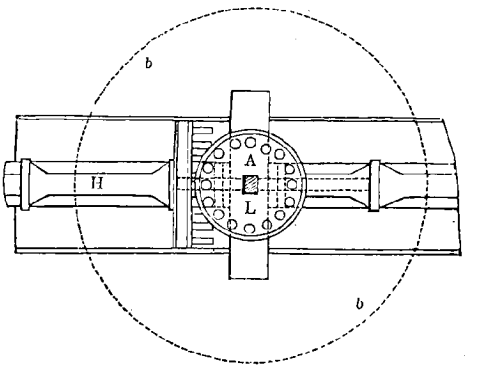


2301.

Il y a un bâti général composé de montants verticaux réunis ensemble par des cercles en bois *b*, *b*. Au milieu de ce vaste système se trouve un arbre vertical principal A (fig. 2302), commandé à sa partie inférieure par une roue à cheville H' engrenant avec la lanterne L et recevant son impulsion par l'arbre de commande du moteur.

C'est sur l'arbre vertical A que l'on prend ensuite les différentes transmissions intérieures pour commander : 1° une courroie qui enveloppe les renflements de tous les fuseaux. Cette courroie reçoit son impulsion par l'extrémité des rayons qui partent du centre de l'arbre, et fait tourner le fuseau par le frottement qu'elle exerce; 2° les mouvements des bobines supérieures, des guindres inférieurs, sont imprimés par les commandes *a* et *y*. Cette énonciation suffit pour faire comprendre qu'il est impossible qu'il y ait uniformité de mouvement entre les bobines commandées directement, et d'une manière indépendante par des rouages et les fuseaux, auxquels le mouvement est communiqué par le passage alternatif des bras et le frottement inévitablement irrégulier des courroies; et cependant l'harmonie entre ces mouvements est une condition essentielle pour produire un bon travail. L'ensemble de cette communication de mouvement, par sa complication inutile, la grossièreté de sa construction, rappellent involontairement l'ancienne et célèbre machine de Marly. Nos lecteurs qui désireraient avoir plus de détails sur cette machine, la trouveront décrite bien amplement dans l'*Encyclopédie méthodique*, publiée en 1786.

Moulin ovale. Le moulin ovale est presque aussi ancien et plus en usage encore que le précédent; il y a des moulins à simple et à double rang de bobines. La fig. 2303 donne une partie de l'élévation de face d'un moulin ovale à double rangée de bobines et la fig. 2304 en donne le plan. Les deux rangées de bobines sont disposées l'une au-dessus de l'autre, comme l'indiquent les figures, et suivant la courbe elliptique indiquée dans le plan. La rangée supérieure occupe une périphérie de la courbe moindre que celle qu'occupe le rang inférieur. Le mouvement est encore imprimé aux bobines par des courroies; *y* et *z* représentent ces courroies, se dirigeant d'une poulie horizontale P mue par la commande générale du moteur, qui donne son impulsion à la manivelle M, sur les broches des bobines. Ces courroies sont tendues, guidées, et dirigées dans leur parcours par les rouleaux verticaux de tension *x*, *x*. Ces rouleaux peuvent changer de place pour tendre plus ou moins les

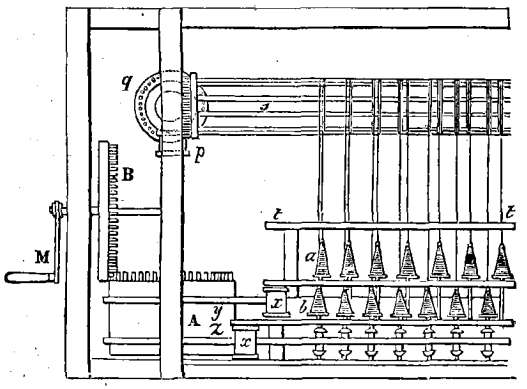


2302.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

courroies. L'inspection de la figure suffit pour faire comprendre le reste des mouvements. Les asples *s* sont commandés de chaque côté par les roues L, L, recevant elles-mêmes le mouvement de l'arbre *r*, sur lequel se trouve une troisième roue semblable *q*, commandée par un pignon *p*. Ce pignon est fixé sur un arbre vertical *v*, mû par la roue horizontale A, qui engrène avec la roue B, à laquelle l'arbre de la manivelle M communique directement le mouvement.

2303.



Ce que la commande de ces machines, et surtout le moyen de faire tourner les fuseaux des broches, offre de défectueux ne pouvait échapper à Vaucanson. Il remarque que le frottement d'une courroie sur les broches des bobines, quelle que soit la forme du moulin à retordre, ne peut jamais produire une torsion égale. Pour obvier à cet inconvénient, il imagina la chaîne connue sous son nom; mais comme cette chaîne, pour rendre l'effet que l'inventeur en attendait, devait être d'une exécution parfaite, et que tous les chainons, qui peuvent être considérés comme des dents d'une crémaillère, devaient être très égaux entre eux; il inventa en même temps une machine pour construire les chaînes elles-mêmes.

La machine de Vaucanson eut peu de succès; il serait difficile d'en donner un motif sérieux, car la mécanique, de nos jours, n'a rien produit de plus rationnel et de plus pratique. On va en juger.

Le célèbre ingénieur s'était posé la solution du problème dans les termes suivants :

1° De proportionner la vitesse de rotation des fuseaux au renvidage qui se fait sur les bobines, de façon que celles-ci prissent la même quantité de fils à chaque révolution des fuseaux, quoique ceux-ci diminuent, et que les bobines augmentent de diamètre à chaque révolution.

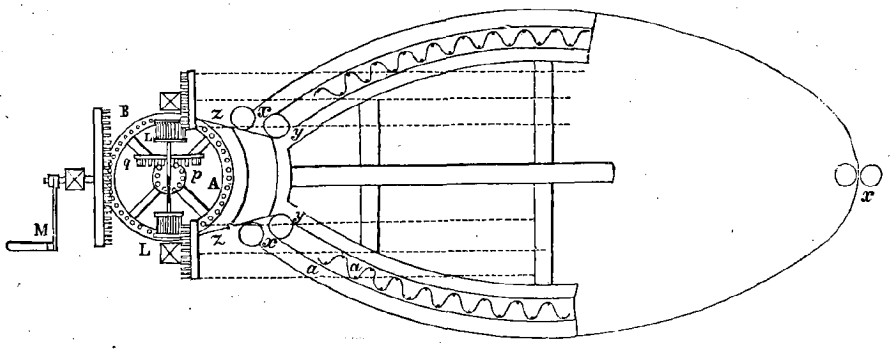
2° Eviter, pour varier le degré de tension, le changement des rouages que nécessitaient les anciens moulins.

3° Donner un mouvement de va-et-vient aux guides des fils, afin d'obtenir un renvidage uniforme, ce qui n'avait pas lieu pour les anciens moulins.

Les conceptions mécaniques si nettes et si claires de Vaucanson ne pouvant être trop reproduites, nous donnons un extrait de son Mémoire adressé à l'Académie des Sciences, en 1751, et dans lequel il indique comment il a résolu ce problème.

Les fuseaux sont placés sur deux lignes droites et parallèles, qui peuvent avoir 10, 20 ou 30 pieds de longueur, suivant la grandeur du lieu.

On peut mettre plusieurs rangs de fuseaux sur la hauteur du moulin, suivant que le bâtiment est plus ou moins élevé. Tous les fuseaux de chaque rang sont mis en mouvement par une chaîne sans fin *a*, dont les maillons engrènent avec un petit pignon que porte la tige de chaque fuseau, de façon que, dans le temps que le premier mobile qui conduit les chaînes a fait une révolution



2304.

tous les fuseaux du moulin en font un nombre déterminé, et ce nombre est aussi invariable que le serait celui des révolutions d'un pignon qui engrénerait avec une roue dentée ordinaire.

Les bobines y reçoivent leur mouvement par le même mobile que les fuseaux, mais avec cette différence que leur vitesse diminue à mesure qu'elles se remplissent de soie, toutes les fois que le va-et-vient, par son mouvement de retour, a distribué le fil de soie sur toute la bobine; sa circonférence ou son volume se trouve augmenté de la grosseur de ce même fil. C'est aussi à chaque mouvement du va-et-vient que s'opère la diminution de vitesse des bobines, et cela dans la même raison de la grosseur du fil. S'il faut que le fil de soie soit distribué cent mille fois par le va-et-vient sur toute la longueur de la bobine pour la remplir entièrement, chaque mouvement de va-et-vient fait diminuer la vitesse de la bobine d'un cent millième; si la soie est d'un quart plus grosse, la vitesse en est diminuée d'un soixante-quinze millième; si elle est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus grosse de moitié, la vitesse est diminuée d'un cinquante millième; enfin, toutes ces différences de diminution peuvent opérer par degré à chaque mouvement du va-et-vient, et toujours proportionnellement aux différentes grosseurs de soie. Le va-et-vient n'y reçoit pas son mouvement par une manivelle; mais il est produit par la révolution d'une portion de cercle denté, qui engrène alternativement avec des crémaillères, ce qui rend la vitesse très uniforme, au moyen de quoi tous les pas de l'hélice, formés par le fil de soie sur la bobine, se trouvent parfaitement égaux entre eux et dans tous les temps, soit que les bobines soient vides ou pleines, au quart ou à la moitié; elles tirent toujours à chaque tour qu'elles font une même longueur de soie, pendant que les fuseaux ont tous fait un même nombre de révolutions, d'où il résulte une soie toujours également apprêtée, c'est-à-dire toujours également tordue dans toutes ses parties.

Le plan du moulin forme un parallélogramme de 16 pieds de long sur 15 pouces de large; outre que cette forme est beaucoup plus avantageuse pour le service du moulin, qui se trouve partout éclairé, elle épargne la moitié du terrain.

La construction est beaucoup plus légère; elle est entièrement dégagée de toutes ces grosses masses et de ces longues pièces de bois, qui se déjettent considérablement, et qui dérangent toujours la forme des moulins; tous les mouvements y sont fort libres; il n'y a pas la moitié des frottements qui se trouvent dans les moulins ordinaires : aussi ne faut-il qu'une très petite force pour le faire mouvoir.

Le travail du moulin s'y fait beaucoup plus commodément. Quand il faut augmenter ou diminuer l'apprêt, on est obligé, dans un moulin ordinaire, de changer soixante et douze pignons. Un seul suffit dans le moulin nouveau pour augmenter ou diminuer la vitesse de toutes les bobines, et par conséquent pour changer tout l'apprêt.

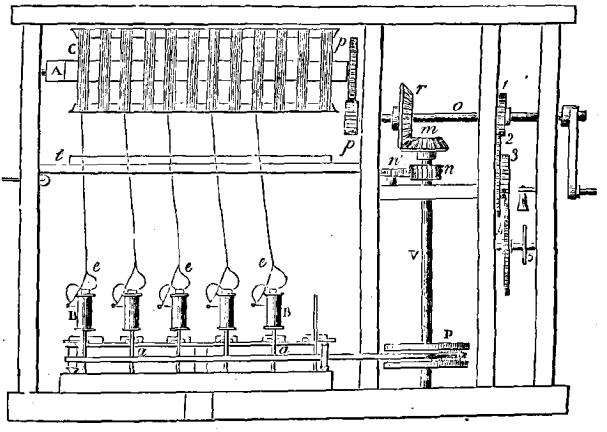
Lorsque la soie a reçu un premier apprêt, c'est-à-dire lorsqu'elle a été tordue à un bout, on joint plusieurs de ces bouts ensemble, qu'on dévide à la main sur de nouvelles bobines, qui sont ensuite portées sur un autre moulin pour tordre chaque fil double ou triple à contre-sens du premier, et le faire monter en écheveau sur un guindre. La fig. 2305 représente un guindre : on donne ce nom aux moulins de second apprêt, que l'on fait mouvoir plus communément avec une courroie sans fin qui embrasse tous les fuseaux. On voit que la courroie fait tourner les fuseaux avec moins d'irrégularité que les maillons de la chaîne, parce qu'elle appuie continuellement sur eux et ne les abandonne jamais, au lieu que les maillons ne viennent les toucher que par intervalles.

Mais quand on observe ce mouvement avec quelque attention, on voit que, pour peu que la courroie soit plus ou moins tendue, la vitesse des fuseaux est plus ou moins grande, et que, s'ils ne sont pas disposés sur un cercle parfait, ceux qui sont plus en dedans sont moins pressés par la courroie, et tournent par conséquent plus lentement que ceux qui sont plus en dehors. Ainsi, on peut, sans se tromper de beaucoup, regarder les révolutions des fuseaux, dans ces moulins, comme étant aussi inégales que celles des fuseaux dans le moulin du premier apprêt.

La soie, au lieu de monter de dessus les fuseaux sur des bobines, comme dans le moulin du premier apprêt, monte ici sur des guindres. Ces guindres sont des espèces de dévidoirs ou chevalets composés de quatre lames de bois de 3 pieds environ de longueur attachées vers leurs extrémités sur deux croisillons montés sur un même arbre. Le pourtour de ces chevalets ou guindres a environ 26 pouces.

Chaque fil de soie, qui se trouve double ou triple dans ce moulin, est conduit sur ces guindres par une petite boucle de fer fixe et s'y dévide en écheveaux. Quand l'ouvrier juge que l'écheveau est assez gros, il en fait la *capieuse*, c'est-à-dire qu'il casse le fil montant pour le plier autour de l'écheveau qui vient d'être achevé; il fait ensuite glisser cet écheveau de côté pour donner place à un autre, qui ne peut se former que vis-à-vis la petite boucle de fer qui conduit le fil de soie; et comme tous les écheveaux se trouvent faits à peu près dans le même temps, l'ouvrier répète la même opération sur tous les autres en faisant le tour du moulin. Il résulte trois grands inconvénients de cette méthode.

Premièrement, le fil de soie, qui est conduit sur le guindre par une boucle immobile, s'y dévide toujours au même endroit, et forme un écheveau en talus fort étroit et fort épais, parce que les fils de soie, montant toujours l'un sur l'autre, font des tours qui augmentent continuellement de grandeur, au point que les derniers ont 18 ou 24 lignes de plus que les premiers. Or, quand ces écheveaux se trouvent entre les deux chevilles du teinturier ou du lustrage, il faut que la soie des plus petits tours s'écorche ou se casse pour que l'action de la cheville arrive jusqu'aux plus grands. Cela occasionne un déchet très considérable dans le dévidage de ces soies; beaucoup de perte de temps à l'ouvrier, parce qu'il en emploie presque toujours au-



2305.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tant à rechanger les fils cassés ou écorchés qu'à fabriquer l'étoffe; ce qui l'engage souvent à savonner ou à falsifier sa soie pour la faire couler plus aisément, et enfin beaucoup de pertes au fabricant, qui se trouve, en outre, avoir une étoffe beaucoup moins bonne et beaucoup moins belle.

Le second inconvénient, qui résulte de la méthode, est que la grosseur de tous les écheveaux n'est jamais la même, puisqu'elle dépend toujours du plus ou moins d'attention de l'ouvrier. Les écheveaux devraient tous être petits et bien égaux; mais comme le moulin va ordinairement jour et nuit, il arrive que ceux qui se font pendant la nuit sont le double plus gros que ceux qui sont faits pendant le jour, ce qui dépend de l'heure à laquelle on a capié le soir.

Le troisième inconvénient vient de ce que l'écheveau se faisant toujours à la même place sur le guindre pour faire place à un autre écheveau, quand le temps est humide ou pluvieux, les lames en bois du guindre se trouvent considérablement enflées, et on a toutes les peines du monde à faire glisser l'écheveau, et ce n'est ordinairement qu'aux dépens de quantité de fils cassés ou écorchés qu'on en vient à bout.

Ces inconvénients ont été prévus et ont été tous évités dans le nouveau moulin pour le dernier apprêt; les révolutions des fuseaux y sont toutes aussi régulières et toutes aussi constantes que dans le moulin du premier apprêt, puisque le mécanisme est absolument le même à cet égard; la soie y monte en écheveaux sur des guindres; mais tous les fils y sont conduits par des boucles ou guides attachés sur des tringles, qui ont un petit mouvement d'allée et venue, et qui promènent insensiblement chaque fil de soie sur le guindre, et lui font former un écheveau de 10 lignes de large sur un quart de ligne d'épaisseur.

Quand les guindres ont fait deux mille quatre cents révolutions, et que chaque écheveau se trouve avoir deux mille quatre cents tours, il part, sans qu'on touche au moulin, une détente qui fait subitement reculer les tringles où sont attachés les guindres, ce qui fait changer de place à tous les fils de soie qui viennent former un nouvel écheveau à côté du premier. Après deux mille quatre cents autres révolutions, la détente part de nouveau, et tous les fils de soie se trouvent encore dans une nouvelle place pour former un troisième écheveau, ce qui se répète constamment jusqu'à ce que tous les guindres se trouvent couverts d'écheveaux. Incontinent après le dernier tour du dernier écheveau, le moulin s'arrête de lui-même, et avertit l'ouvrier par une sonnette de lever les guindres qui sont pleins et d'en remettre de vides.

On sent aisément que moyennant cette nouvelle manière, les écheveaux faits sur ces moulins sont tous de la même grosseur, puisqu'ils ont tous exactement 2.400 tours; que les premiers et les derniers tours de chaque écheveau sont à très peu de chose près de la même longueur, puisque tous les écheveaux n'ont qu'un quart de ligne d'épaisseur; qu'il n'est plus besoin de faire passer chaque écheveau sur le guindre pour faire place au suivant, puisque sans toucher au moulin les fils de soie changent eux-mêmes de place, et viennent former des écheveaux les uns à côté des autres, jusqu'à ce que les guindres soient entièrement couverts. Il est bien vrai qu'on est obligé de changer plus souvent de guindres, parce que la largeur des écheveaux et la petite distance qui les sépare ne permettent pas qu'il y en entre autant que par la manière ordinaire, mais le temps que l'on emploie à changer plus souvent de guindres, se trouve bien regagné par celui qu'on emploie ordinairement aux capieuses; ils ne se font point ici sur le moulin. On a bien plus de facilité lorsque le guindre en a été ôté; on le fait beaucoup mieux et on y perd moins de soie. On trouve d'ailleurs un avantage bien considérable sur la main-d'œuvre, puisque une femme peut fort à son aise servir quatre de ces machines, tandis qu'il faut un homme très agile et très adroit pour en servir une à l'ordinaire. Enfin, il est facile de concevoir que les soies qui, après avoir été tirées de la coque avec soin, seront montées sur ces nouveaux moulins y recevront un tors parfaitement égal dans toutes leurs parties, soit dans le premier, soit dans le second apprêt; que ces soies ne seront plus si maltraitées à la teinture et au lustrage; qu'elles seront plus aisées à travailler sur le métier, et qu'il en résultera des étoffes beaucoup meilleures, plus belles, et fabriquées en beaucoup moins de temps.

Moulin à dévider. Lorsque la soie a été ouvrée, il est nécessaire de la dévider de nouveau pour la disposer sous forme d'écheveaux, composés eux-mêmes d'échevettes ou flottes séparées. Ce nouveau dévidage est indispensable pour pratiquer sur la soie les opérations de la cuite, du décreusage, de la teinture. On emploie en France, depuis une dizaine d'années, avec assez de succès, un moulin à dévider qui a été imaginé par M. Belly, de Lyon. La fig. 2307 présente une vue horizontale du moulin, prise au-dessus des guindres. Ce moulin étant circulaire, on n'a représenté que le quart de la machine, le reste étant symétrique.

La fig. 2306 est une élévation de la machine.

Elle se compose d'une table ronde *p*, supportée par un bâti sous forme de T, dont on voit un pied en B. Les guindres à dévider se trouvent disposés en un certain nombre, ordinairement au nombre de 16, autour de la table comme on le voit en *r,r*. Les guindres sont assemblés à leur partie inférieure dans les poignées à charnières, qui leur permettent de s'incliner.

Les roquetins qui doivent recevoir la soie des guindres pour la transformer en bobines, sont disposés dans des poupées sur le champ de la table, tout autour de sa circonférence, en un nombre égal à celui des guindres. Ces roquets ont un mouvement circulaire autour de leur axe. Ce mouvement leur est transmis par des poulies *z,z*, dont les axes ont leurs extrémités placées entre deux pointes fixées dans des poupées évidées *x, x*. Une des extrémités des broches des roquets est garnie de drap, et vient s'appuyer contre une face de la poulie disposée obliquement. Le frottement qui en résulte, lorsqu'on donne l'impulsion aux poulies, fait tourner les roquets; on peut augmenter ou diminuer plus ou moins le frottement, en serrant ou desserrant les petites vis que porte le système.

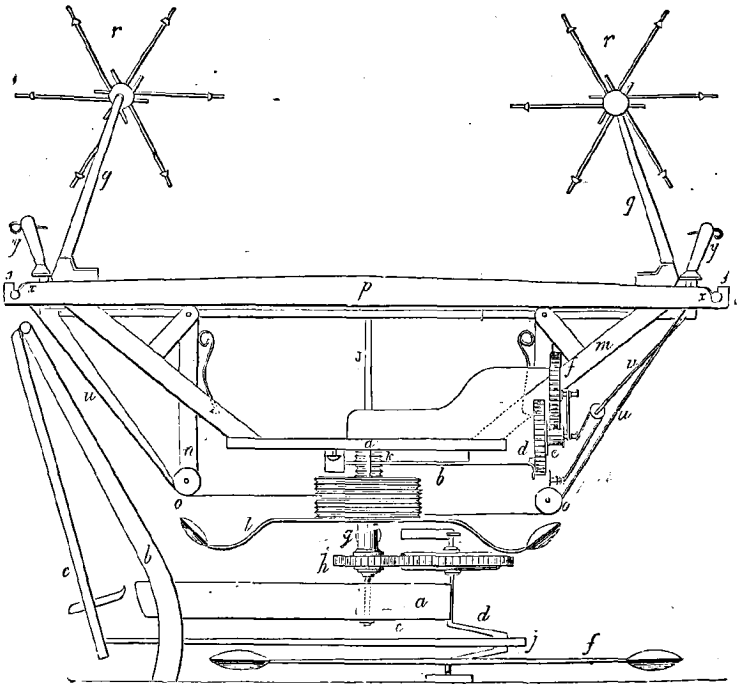
Les fils, pour passer des guindres sur les roquets, traversent les barbins *y*.

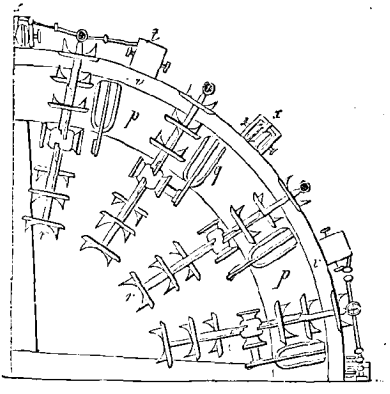
La fig. 2306 fait comprendre comment le mouvement est imprimé aux différentes parties. Au pied du moulin se trouve une manivelle *d*, attachée à une bielle *y*, qui est mise en mouvement par la tige à charnière *e*, à la partie inférieure de laquelle elle est fixée. Pour imprimer le mouvement, l'ouvrière qui est assise devant la machine pose un pied sur la pièce oscillante de la tige à articulation *c*, qui peut prendre alors la position indiquée en lignes ponctuées sur l'axe de la manivelle; au-dessous d'elle on a placé un croisillon de trois bras, terminés chacun par une lentille pesante. Ce croisillon remplit les fonctions de volant. Au côté opposé du croisillon la manivelle porte sur son axe la roue *e*, engrenant avec le pignon *h*, disposé sur le canon vertical *g*, qui repose à sa partie inférieure dans un pivot de la traverse *a* du bâti, et à sa partie supérieure dans un cercle qui forme la base des montants *m* du bâti. Le canon *g* porte une poulie *i*, munie de huit gorges, et à laquelle est fixé un second croisillon à lentilles *l l*. Au-dessus de la poulie *i*, sur le même canon *g*, est une vis sans fin *k*, qui engrène avec une roue *a*, dont l'axe *b* communique le mouvement à un pignon *c'*. Le pignon *c'* transmet successivement la vitesse aux roues *d', e, f*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un cordon attaché à cette dernière va passer sur une petite poulie à laquelle est lié le cordon *o*, qui enveloppe la poulie *z* des roquets, et retourne se fixer par son autour de l'arbre vertical *z*, afin que l'ouvrière puisse amener devant elle au besoin, et sans les déranger, les roquets dont les fils se seraient cassés. Ces pièces don-

2306.





2307.

tre extrémité autour d'une des gorges de la poulie *t*, en passant sur des poulies de tension *o*, qui portent les bras à articulation. La table de la machine peut tourner autour de l'arbre vertical *z*, afin que l'ouvrière puisse amener devant elle au besoin, et sans les déranger, les roquets dont les fils se seraient cassés. Ces pièces donnent le mouvement de va-et-vient à un cercle du même diamètre que celui de la table *p*, tournant sur des roues de friction et portant des tubes de verre placés en face de chaque guindre, comme c'est lors des différentes opérations qui suivent l'organsinage, surtout lors du décreusage et de la teinture qu'ont lieu les soustractions frauduleuses. On a souvent proposé, pour les éviter, de former des écheveaux d'une même longueur déterminée, lors du dernier dévidage, comme cela a lieu pour les autres fils en général, et de diviser les écheveaux en un certain nombre de parties ou échevettes. Afin de faciliter au besoin la vérification de la longueur, lorsque la soie rentre de la teinture, plusieurs mécaniciens ou industriels ont proposé des dévidoirs dans ce but.

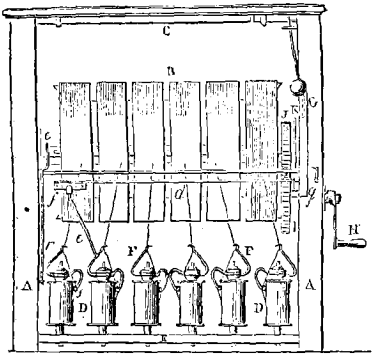
Dévidoir de Guilléni. Une des machines qui ont été le plus appréciées et récompensées, est le dévidoir de M. Guilléni, qu'il a nommé compteur ou régulateur transposant, et qui a été décrit avec soin dans le Bulletin de la Société d'Encouragement. Ce dévidoir, une fois mis en mouvement, produit des écheveaux d'une égale longueur, au moyen d'un compteur disposé pour le faire arrêter dès que l'écheveau est arrivé au nombre de tours voulu, qui forme ordinairement une longueur de 3,000^{m}.

Le fil est légèrement et convenablement croisé dans l'écheveau, ce qui est, comme nous l'avons déjà signalé, une condition essentielle pour faciliter les dévidages ultérieurs. La division en échevettes a lieu par

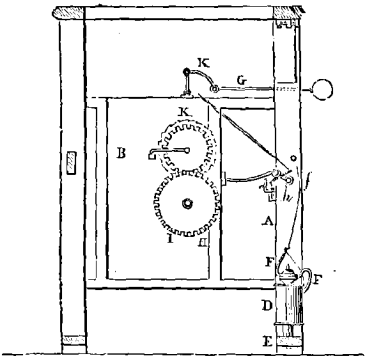
EFERUS - Recherche & Classification numérique

un mécanisme, pendant le dévidage, sans qu'on ait besoin d'arrêter le dévidoir. Enfin, si un fil venait à casser pendant l'opération, l'effet de la rupture arrête le mouvement du dévidoir.

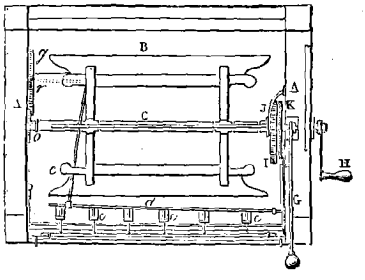
La fig. 2309 donne une élévation longitudinale de la machine. La fig. 2308 est un plan vu en dessus. La figure 2310 est une section verticale du mécanisme disposé dans l'intérieur et du côté droit du bâti, et qui sert à arrêter le mouvement en cas de rupture du fil. La fig. 2311 donne une vue de côté de la communication de mouvement de va-et-vient. Comme toutes les machines de ce genre sont à peu près composées des éléments que nous avons eu à décrire déjà, nous pensons pouvoir nous borner à indiquer simultanément les pièces dont se compose celle-ci et leurs fonctions.



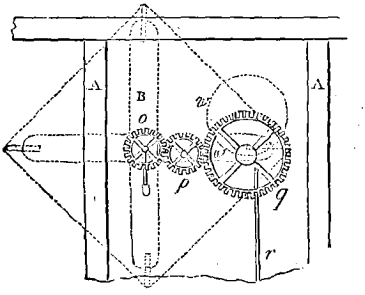
2309.



2310.

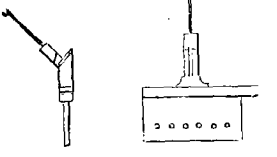


2308.



2311.

Des bobines D, chargées de soie, on fait passer le fil dans l'ailette F, et de là sur une traverse *f*, garnie d'une baguette de verre, puis le fil s'infléchit pour passer dans un barbin en se rendant sur les guindres. Lorsqu'on fait tourner la manivelle H des guindres, les fils se croisent sur les écheveaux par un mouvement de va-et-vient que les barbins leur communiquent. Les mouvements des barbins et leur rapport avec celui du guindre est établi de la manière suivante : l'arbre C du guindre porte une roue *o*, engrenant avec la roue *p* qui à son tour, communique sa vitesse à la roue *q*. A cette dernière est attachée excentriquement une tringle *r* qui monte et descend pendant le mouvement de rotation du guindre. Cette tringle est réunie à un bras de levier horizontal *s*, auquel est fixée la tige *e* communiquant le



2312. 2313.

mouvement au patin *f* de la tringle *porte-barbin d*, alternatif dans une coulisse et un petit galet *g* disposé à cet effet. Ces barbins ont la forme indiquée fig. 2312 et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2313 ; ils sont à charnières et se ploient lorsqu'ils ne sont plus soutenus par le fil. L'arrêt instantané du dévidoir, lorsqu'un fil se rompt, est opéré de la manière suivante :

Aussitôt que le fil casse, le barbin, qui n'est plus soutenu, s'abat et tombe sur un petit châssis *h* qui règne sur toute la longueur de la machine. Ce châssis, en basculant par l'effet de la boule dont il est chargé, engage le levier horizontal *i* qui fait corps avec le châssis dans les dents. Ce levier *i* fait reculer une détente *j*, pressée par un ressort, et qui soutient le levier d'embrayage *c*. Celui-ci, étant dégagé, s'abat par les effets du poids de la boule qu'il porte, et prend la position inclinée. Il lève en basculant le patin *h*, et fait agir un mécanisme qu'on voit fig. 2310. Ce mécanisme se compose d'un levier coudé *l*, mobile sur son centre *m*, et armé, à son extrémité inférieure, d'une fourchette qui embrasse le canon de la roue à rochet K. Lorsque la pièce *n* agit sur le levier, il s'écarte du haut, fait reculer le rochet et le dégage des ergots de la roue 5. Cette roue étant libre tourne sur l'axe L, qu'elle n'entraîne plus avec elle, et le métier s'arrête. Le fil étant rattaché, l'ouvrier relève la bascule *e*, et toutes les pièces qui correspondent reprennent leur mouvement. Nous avons dit que le mécanisme disposait de lui-même successivement, sur le guindre, les écheveaux en échevettes parallèles entre elles, en ménageant entre elles un certain espace vide : cela s'exécute au moyen d'un compteur placé en dehors du bâti, et que les figures n'indiquent pas. Sur l'axe *o* est monté un pignon fixé sur une barre mobile. Ce pignon engrène avec deux autres roues qui communiquent à un échappement. Ce dernier agit sur une pièce, ou espèce de bec, qui opère le déplacement de l'échevette. Il résulte de la disposition du mécanisme : 1° qu'après 3,000 révolutions du guindre, la combinaison des engrenages du compteur fait remonter la barre *o*, *o*, comme le montrent les lignes ponctuées ; alors la tige *r*, parcourant un plus long espace qu'il n'est nécessaire pour la croisure des fils, transmet le mouvement à la tringle *e*, qui fait passer le barbin de la flotte achevée à celle qu'on doit commencer ; 2° au moment où la flotte est terminée, le mouvement du guindre est arrêté de la manière indiquée précédemment. Soit que le dévidage d'écheveaux à tours comptés ait présenté quelques difficultés réelles, soit que les dévidoirs proposés n'aient pas rempli toutes les conditions qu'on en désirait, soit qu'ils n'aient pas présenté assez de garantie à cause de l'allongement que la soie gagne à la teinture, ou enfin qu'il ait été impossible de vaincre les usages reçus, il n'en est pas moins vrai que son emploi ne peut être considéré que comme une exception. Il faut avouer, d'un autre côté, qu'il ne peut mettre à l'abri des soustractions qui ont lieu pour une matière que le teinturier reçoit et rend au poids ; car on sait que la soie perd une quantité considérable, moyennement 30 p. 100, de corps étrangers par le décreusage, qu'il faut effectuer avant la teinture ; et qu'elle gagne, au contraire, un poids assez notable par l'addition de la matière colorante qui donne jusqu'à 80 p. 100 de surcharge. Ces causes de variations du poids brut de la soie présentent des changements continuels. Pour les éviter, on avait cherché à déterminer d'un côté la perte que les diverses soies du commerce devaient subir au décreusage, et de l'autre l'augmentation qu'elles pourraient acquérir par l'addition des matières tinctoriales. Mais il est difficile de faire ces appréciations d'une manière assez exacte pour tous les cas qui peuvent se présenter, à moins que de faire chaque fois une opération chimique assez longue et onéreuse, et même elle ne pourrait toujours constater des falsifications que l'on peut faire subir à la matière colorante en y ajoutant des matières étrangères de peu de valeur pour augmenter la densité de la soie, ce qui cause une double perte : celle provenant de la soustraction et celle occasionnée par les défectuosités qui résultent de cette coupable manœuvre. Il a donc fallu avoir recours à des moyens plus sûrs, plus prompts et plus faciles à la fois : M. Arnault de Lyon est parvenu à résoudre ce problème si difficile et si important de la manière la plus heureuse.

Pour comprendre le procédé, il faut savoir que la soie envoyée à la teinture par le fabricant est disposée pa paquets pesant environ 1k,50 chacun ; que ces paquets sont divisés en 20 parties ou *mains* ; chaque main est divisée en quatre *pantines*, et chaque pantine est formée de 2, 3, 4 écheveaux ou flottes. Les flottes, les pantines, les mains et les écheveaux sont séparés par des liens qui maintiennent convenablement les fils pendant les opérations de la teinture pour les empêcher de se mêler et de présenter des difficultés lors du dévidage ultérieur.

Le procédé Arnault consiste à se servir, pour les mains et les pantines, de liens différant entre eux par leur nature, leur couleur ou leur contexture. Après avoir fait ces liens et avoir pesé la masse, le fabricant choisit une main dont il pèse chacune des quatre pantines avec une exactitude de 1/10e de gramme près ; il pèse ensuite avec le plus grand soin le poids de la main, c'est-à-dire des quatre pantines réunies, comme vérification. Il note exactement ces poids et les pantines sur lesquelles il a opéré avant de livrer à la teinture. Lorsque la soie lui est rendue par le teinturier, le fabricant pèse de nouveau de la même manière les parties et la masse. Supposons, pour fixer les idées, que le poids de la main après le teinturier soit égal à 1, si le fabricant a livré 100 mains, elles devront peser 100. Si le poids est sensiblement plus grand ou plus petit que 100, il y a eu fraude ; si ce poids est plus grand, c'est une preuve que la soustraction a eu lieu sur la main qui a servi pour faire la vérification ; si le poids de la masse est plus petit, c'est une preuve qu'il y a eu soustraction d'une partie de la masse.

On voit que le procédé n'est complétement efficace qu'autant qu'il n'y aurait pas une égale soustraction sur chaque main et chaque pantine, ce qui est pour ainsi dire impossible. Les soustractions n'ont jamais lieu que par portions ; aussi le moyen de M. Arnault offre-t-il toute la sécurité désirable, surtout si l'on s'astreint à opérer minutieusement sur les pantines. Ce procédé a paru présenter de tels avantages aux villes de Lyon et de Saint-Etienne qu'une société, composée par les industriels les plus honorables de la localité, s'est constituée dans le but d'exploiter le procédé Arnault. Cette compagnie a pris le nom de Société de garantie contre le piquage d'once. Le jury central de la dernière exposition s'exprime de la manière suivante sur le procédé de M. Arnault :

« Malgré la simplicité, l'économie, et surtout à cause de l'efficacité de son procédé, il a fallu à cet artisan honorable douze ans de lutte énergique contre l'indifférence, les préventions et les coupables manœuvres des intérêts qu'il venait attaquer. »

Et plus loin, le rapport ajoute :

« Depuis un an seulement, à l'époque de l'organisation de la Société de garantie contre le piquage d'once, Arnault reçut d'elle une rémunération, et cependant le brevet qui lui garantit la propriété de son procédé expire dans deux ans. Le jury croit faire un acte de haute justice en décernant à Jean Arnault la médaille d'or.

« Il désire que l'éclat de cette récompense contribue à la propagation de son procédé dans toutes les fabriques de France. »

CONDITION DES SOIES Il ne suffit pas de se mettre à l'abri du piquage d'once pour éviter toutes les causes de falsification ou d'erreur qui peuvent se présenter

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les transactions du commerce de la soie. On sait en effet que la soie est un corps très hygrométrique, et peut absorber de 10 à 30 p. 100 de son poids d'eau.

Aussi, la plupart des pays pour lesquels le commerce de la soie a quelque importance, se sont-ils préoccupés de la recherche d'un moyen qui puisse mettre les transactions commerciales à l'abri des erreurs provenant de cette variation. Dès 1750, la ville de Turin possédait un établissement ou plutôt un séchoir destiné à amener toutes les soies sur lesquelles on opérait à un degré de siccité uniforme. A Lyon et à Saint-Etienne, cet exemple fut suivi dans des maisons particulières. Ce ne fut qu'en 1805 qu'un décret institua un établissement public et unique pour chacune des villes de Lyon et de Saint-Étienne. La direction de ces établissements fut confiée aux administrations locales, qui durent subvenir aux frais, et furent autorisées à en percevoir les revenus. Ces établissements reçurent le nom de *conditions*, et la dessiccation qu'on fait subir aux soies celui de conditionnement.

Les moyens employés dans ces premiers établissements pour arriver au but qu'on se proposait étaient défectueux; on ne tarda pas à s'en apercevoir. La soie, à l'instant de la vente, était portée dans des salles de la condition pour y être exposée à une température de 18° à 20° Réaumur, pendant 24 heures lorsque c'était de l'organsin, et 48 lorsque c'était de la trame.

La soie pour trame et les écheveaux d'organsin, étaient étalés sur des tiroirs en toile métallique. Les soies ainsi disposées étaient placées dans de grandes cases grillées, fermées par un scellé, disposées dans les salles dont la température était élevée à 18° ou 20° Réaumur par des poêles ou fourneaux.

On constatait le poids des ballots avant et après leur dessiccation. Le second poids obtenu devenait le poids marchand, d'après lequel le vendeur devait livrer la soie. Lorsqu'on opérait sur de la trame, on ne faisait jamais subir qu'une seule épreuve à la soie. Le poids obtenu après une première exposition à la condition, devenait le poids légal. Lorsqu'on opérait au contraire sur de l'organsin, on renouvelait le séchage pendant 24 heures, si la matière avait perdu plus de 2 1/2 et moins de 4 1/2 p. 100, et on prolongeait l'opération pendant 48 heures lorsque la perte dépassait ce dernier chiffre, et après ce dernier séchage on formait le poids du commerce. Ce mode d'opérer ne pouvait remédier à une foule d'inconvénients et d'irrégularités qui se présentaient avec les variations atmosphériques et le plus ou moins d'encombrement des salles de l'établissement. Lorsque le vent soufflait et que le temps était sec, la dessiccation était considérable et les épreuves avaient besoin d'être renouvelées; par des temps humides les effets contraires avaient lieu. Dans le premier cas le vendeur se plaignait, dans le second la perte était pour l'acheteur. L'exposition relative des ballots dans la salle avait également une influence sur les variations que présentaient les poids de la soie. Comme il était impossible d'avoir une température constante dans tous les points de l'établissement à cause des portes, des fenêtres, et que l'état hygrométrique y variait également avec la plus ou moins grande quantité de soies et l'état dans lequel elles se trouvaient, etc., il en résultait souvent que des soies provenant des mêmes sources, travaillées de la même manière, présentant la même qualité et conditionnées simultanément, offraient entre elles des variations considérables. Cela dépendait uniquement de leur disposition dans la salle et de leur voisinage des portes ou de soies humides. Le renouvellement des épreuves dont les durées étaient déterminées, ne pouvait offrir aucune garantie, puisque les causes d'irrégularité étaient, pour ainsi dire, permanentes. Il a été prouvé que des soies, que la condition considérait comme parfaitement sèches, contenaient encore une quantité notable près de 10 p. 100 d'eau.

L'ancien mode de conditionnement présentait donc de graves inconvénients qui n'étaient même pas rachetés par la promptitude de l'opération et l'économie des manipulations, puisqu'on faisait subir le séchage à toute la masse. Le service était au contraire long, compliqué et pénible, puisqu'il fallait opérer sur des ballots entiers, prolonger quelquefois leur séjour assez longtemps pour causer une perte d'intérêt sensible, et les employés étaient obligés de séjourner dans une atmosphère sèche et malsaine. C'est donc avec juste raison que ce système avait soulevé des réclamations et rassurait si peu les acheteurs, qu'ils attendaient autant que possible le vent du nord et un temps sec pour faire leurs achats. Il en résultait alors, dans la condition, une accumulation de soies qui entravait et ralentissait la marche des opérations, et qui fournissait une source d'humidité sur laquelle l'acheteur n'avait pas compté.

La chambre du commerce de Lyon, qui avait reconnu depuis longtemps les vices du mode de conditionnement dont nous venons de parler, après avoir fait vainement un appel aux savants et aux hommes spéciaux pour trouver un moyen sûr et facile d'opérer la condition, chargea, en 1831, M. Léon Talabot de l'étude de cette importante question qu'il résolut bientôt de la manière la plus complète. Près de dix années se sont écoulées en essais et en expérimentations pour constater d'une manière authentique les résultats et la valeur du nouveau système d'après lequel est construite la condition actuelle de la ville de Lyon, qui a été instituée comme établissement d'utilité publique par une ordonnance royale en date du mois d'avril 1843.

Le système de M. Talabot est aussi simple que sûr. Au lieu de chercher à enlever par le séchage la masse d'humidité contenue dans la soie, comme on prétendait le faire par l'ancien procédé, M. Talabot a cherché à déterminer quelle quantité absolue d'humidité renfermaient les soies à conditionner. Pour cela il soumet la soie à une dessiccation complète en l'exposant à une température de 102° à 103° centigrades. Des pesées faites avant et après cette dessiccation donnent le poids brut de la soie, le poids perdu après le séchage et par conséquent la quantité d'humidité que contenait la soie et par suite le poids absolu de la soie entièrement sèche. Mais au lieu d'opérer sur toute la masse à conditionner, il suffit de faire subir la dessiccation à quelques écheveaux comme échantillons, et en déduire ensuite la quantité d'humidité de la masse par une règle de proportion.

A la condition publique de Lyon, on procède de la manière suivante :

On constate d'abord le poids brut du ballot, c'est-à-dire le poids de la soie et de son enveloppe; on pèse ensuite cette dernière pour la défalquer du poids brut afin d'avoir le poids exact ou poids net de la soie. On extrait de cette soie un certain nombre d'écheveaux, souvent au nombre de trente, d'autant de places différentes du ballot. On divise ces écheveaux ou échantillons en trois lots qu'on pèse immédiatement avec le plus grand soin. On dessèche ensuite d'une manière absolue deux de ces lots dans des appareils différents. La concordance parfaite que les deux résultats doivent offrir sert comme moyen de contrôler l'exactitude des balances des appareils et les soins que les employés apportent à l'opération. Le lot mis en réserve ne sert qu'autant que l'on trouverait une différence de 1/2 p. 100 dans le résultat de la dessiccation des deux premiers : alors on renouvellerait l'opération avec le troisième.

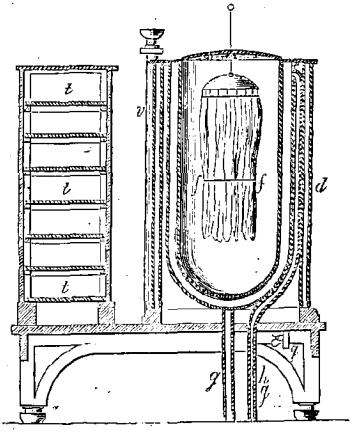
Lorsqu'on a constaté la concordance parfaite dans la dessiccation des deux échantillons, on en déduit facile-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pient le poids absolu de la soie du ballot. En effet le poids des deux lots, avant leur dessiccation complète, est à leur poids complétement desséché comme le poids net du ballot qui a été constaté est à son poids absolu, qui est le seul terme inconnu de la proportion (1). Quel que soit donc l'état de la soie lors de la vente, l'acheteur sait exactement, par une étiquette de la condition, la quantité réelle de soie sur laquelle il doit compter.

Les ventes ne sont cependant pas basées sur le poids absolu de la soie ; on a cru convenable d'y ajouter un certain poids de tolérance, tant pour représenter la quantité d'humidité qu'elle contient à la température ordinaire et dans son état normal, que pour faciliter le passage de l'ancien au nouveau système de conditionnement; on a jugé convenable d'ajouter au poids absolu, trouvé après la dessiccation complète, 11 p. 100 de ce poids comme équivalant moyennement à la quantité d'humidité que le commerce admet dans ses transactions, mais bien sur cette quantité augmentée de 11 p. 100. Cette manière d'opérer ne présente plus aucun inconvénient, puisqu'elle établit des conditions connues et égales pour tous.

Nous avons donné la coupe (fig. 2314) de l'appareil de dessiccation de M. Talabot tel qu'il fonctionne à la condition de Lyon.



2314.

L'appareil se compose : 1° d'un casier AB formé par sept tiroirs dont les six inférieurs de 2 à 7 servent à recevoir les échantillons, et le septième contient la collection des poids et les petites pinces qui servent à manier les poids. Ces tiroirs portent des numéros d'ordre indiquant les appareils auxquels ils appartiennent; 2° d'un cylindre fermé à sa partie inférieure seulement, destiné à recevoir les écheveaux à dessécher. Ce cylindre métallique est garni par une double enveloppe formant un espace vide autour de lui et qui reçoit la vapeur du générateur par le tuyau *o*. Afin de maintenir la température, on recouvre le cylindre par une cloche cylindrique en cuivre dont les parois entrent dans les coulisses réservées dans l'épaisseur du cylindre. La partie supérieure de la cloche est tournée et disposée pour recevoir le couvercle qui peut s'ôter à volonté lorsqu'on veut introduire la soie. La fente que l'on remarque dans le couvercle, sert à livrer passage à une tige attachée au fléau d'une balance.

Les tuyaux inférieurs servent l'un à amener la vapeur, et l'autre à l'écoulement de l'eau de condensation. Ils sont fermés ou ouverts à volonté par des robinets. Tout l'appareil est solidement fixé sur le support en fonte. Après avoir fait les premières pesées sur le ballot et les échantillons, on accroche ces derniers, comme l'indique la fig. 2314. On les lie à la partie inférieure pour les empêcher de toucher les parois du cylindre. On lâche la vapeur dans l'appareil, et on ouvre un robinet qui se trouve à sa partie supérieure, pour laisser dégager l'humidité de la soie. Lorsque l'appareil est arrivé à une température de 108°, on ferme le robinet et on laisse les échantillons jusqu'à ce que la balance n'indique plus la moindre variation; on constate alors le poids de ces échantillons et on ne les retire qu'après, afin que le pesage ait lieu avant que la soie n'ait pu absorber de nouveau l'humidité de l'air.

Des expériences positives ont démontré qu'à la température de 108° la soie ne contenait plus aucune trace d'humidité; que cette haute température n'avait cependant pas la moindre influence fâcheuse sur la ténacité ni l'élasticité de la soie qui ne prennit pas moins bien les couleurs les plus délicates.

Si à ces considérations on ajoute que l'opération a lieu promptement, que l'on peut vendre le ballot à conditionner pendant que l'on opère sur les échantillons, on comprendra que le problème a été résolu sans rien laisser à désirer et que l'établissement de Lyon sera bientôt imité, non seulement dans nos villes de France, mais dans tous les pays étrangers qui font le commerce de la soie, ce qui pourra considérablement faciliter les transactions d'un pays à l'autre.

Moulinage anglais. Les Anglais, qui n'ont introduit chez eux le moulinage des soies que dans ces derniers temps, n'ont pas jugé convenable de copier les machines employées au même travail dans les pays auxquels ils allaient faire concurrence. Ils ont pensé avec juste raison qu'on pouvait construire des machines plus perfectionnées susceptibles de produire à meilleur marché; ils n'ont pas reculé devant les premiers sacrifices à faire qui devaient être supportés par de vastes établissements. Le travail de la soie n'est exécuté en effet que sur une grande échelle chez nos voisins et avec des soies grèges qu'ils tirent de l'étranger, de l'Italie et de la France, et en partie de leurs vastes colonies qui font tous les jours de nouveaux progrès et qui sont loin d'avoir atteint le but auquel elles peuvent rationnellement prétendre. Et cependant pour certains articles de soieries, et notamment pour les foulards et beaucoup d'articles unis, il nous est impossible de produire aux mêmes conditions que les Anglais. Que sera-ce donc lorsqu'ils parviendront à travailler seulement d'une manière passable l'énorme quantité de soies en cocons que leur fournissent les Indes et dont ils savent si peu tirer parti dans l'état actuel de leur industrie séricicole? Toutefois, il faut dire qu'ils n'ont pas réussi aussi bien qu'aurait dû le faire croire leur habileté mécanique en remplaçant par de la fonte le bois des moulins de nos organsineurs du Midi; et c'est avec grande raison que M. Poncelet fait remarquer que les habiles filateurs de soie de France et d'Italie ont fait fort sagement de ne pas se hâter d'abandonner leurs machines en bois pour adopter les machines plus modernes des constructeurs anglais, qui n'ont pu encore fournir d'aussi beaux produits que ceux obtenus à l'aide des premières.

(1) Soit *p* le poids des échantillons avant leur dessiccation,
p' le poids des échantillons après leur dessiccation,
P le poids net de la soie des ballots,
x le poids absolu de la soie du ballot, on aura :

$$p : p' :: P : x.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est à supposer, dit-il, que les mécaniciens anglais se sont trop hâtés, dans l'origine, d'arrêter, d'immobiliser en quelque sorte leur système de construction de machines à mouliner la soie, d'autant plus que pour les faire moins chèrement, on les a privées des plus délicats organes qu'on rencontre dans les bancs à broches modernes, pour assurer l'uniformité d'enroulement et de tors des fils tant recommandée aux mouliniers de France par leur illustre maître, Vaucanson. Les propriétés physiques spéciales de la soie à la fois continue, tenace, extensible et contractile, sont autant de motifs sérieux de s'abstenir d'abandonner un genre de machines que l'on peut perfectionner sans doute, en y appliquant toutes les ressources de la mécanique, mais en se gardant de renoncer à l'élasticité, à la légèreté qui conviennent à la nature du travail à effectuer.

Préparation au marabout. Nous avons dit que la torsion est ordinairement donnée à la soie avant la teinture; on opère en effet de cette manière pour les fils de trame et d'organsin. Mais quelquefois, lorsqu'on veut obtenir de la soie plus torse et plus forte pour certaines étoffes, on lui fait subir une torsion avant et une après la teinture.

La soie ainsi ouvrée est connue dans le commerce sous le nom de *marabout*. On emploie en général la plus belle soie blanche pour produire le marabout. On sait qu'on ne peut imprimer une torsion à un fil quelconque sans que sa longueur diminue. Cette diminution pour le marabout peut être de 4 à 5 p. 100 de la longueur, tandis que la force du fil devient d'environ une fois et demie plus grande qu'avant l'application de la seconde torsion.

Ce serait une erreur de supposer que la force de l'organsin sera toujours proportionnelle à la quantité de torsion; si on voulait pousser celle-ci trop loin, le fil serait bientôt énervé, comme nous l'avons déjà fait remarquer ailleurs. Il ne faut pas perdre de vue, d'un autre côté, qu'on n'obtient cet excédant de force que par une diminution de longueur et une dépense notable de force motrice, et que la torsion ternit les fils brillants. On devra donc moins tordre en général ceux qui sont destinés aux étoffes brillantes, telles que le satin et les peluches, par exemple. Les fils pour crêpes, pour rubans, devront, au contraire, recevoir un apprêt plus fort.

Passage à la vapeur. Après le moulinage, les fils ont en général une tendance à se brouiller, à se mêler, en vertu de leur élasticité qui agit en sens inverse de la torsion. Comme il est important de neutraliser cet effet, on a soin de les passer à la vapeur, qui pénètre les filaments et fait disparaître cette tendance en maintenant cependant la torsion.

Déchet de la soie au moulinage. Les opérations du moulinage ne peuvent se faire sans occasionner un déchet assez considérable, provenant, soit des défectuosités dont il faut débarrasser les fils, soit des ruptures et accidents occasionnés dans les manipulations que nécessite le moulinage; ces déchets varient nécessairement avec les qualités naturelles de la soie, les soins qu'on a apportés à son tirage, ainsi qu'avec le nombre de préparations qu'on lui a fait subir. La perte est donc plus considérable pour l'organsin que pour la trame; on estime cette perte de 5 à 10 p. 100 pour la trame, et cette quantité peut s'élever jusqu'à 20 p. 100 pour l'organsin. Il est cependant curieux de faire remarquer que le crépage ou torsion nécessaire au marabout n'occasionne presque pas de déchet; il faut attribuer cette diminution de perte à l'humidité qu'on a soin d'entretenir dans ces moulins. Il serait probablement avantageux d'en faire autant pour les moulins ordinaires; on a constaté en tout temps qu'une légère humidité était favorable aux manipulations et au dévidage de la soie. Aussi les bonnetiers qui emploient la soie mettent-ils la bobine à dévider dans un pot de grès placé dans un second vase plus grand; ils versent de l'eau entre les deux, et l'humidité qui traverse le vase poreux suffit pour faciliter l'opération.

Débouillissage ou décreusage. Les déchets dont nous venons de parler ne sont ni les seuls, ni les plus considérables que la soie éprouve. Le décreusage qu'on est obligé de faire subir à la soie pour lui enlever toute la matière gommeuse dont les fils naturels sont enduits, afin de rendre à ces fils leur flexibilité, leur douceur, leur éclat, et les prédisposer convenablement pour recevoir la matière colorante, lui fait subir un déchet nouveau; la diminution de poids éprouvée par la soie dans cette opération est moyennement de 25 à 26 p. 100.

C'est généralement par une ébullition dans de l'eau de savon que ce dégommage a lieu. On emploie ordinairement une partie de savon pour trois de soie, et on prolonge l'ébullition à pleine eau pendant quatre heures. Cette opération a besoin d'être faite avec soin pour ménager les fils; il faut surtout éviter que la soie puisse adhérer aux parois de la chaudière, ce qui occasionnerait des brûlures.

Le décreusage a été décrit en détail à l'article BLANCHIMENT, nous n'avons pas à nous en occuper davantage; nous dirons seulement qu'on a essayé plusieurs modes de décreusage, et entre autres l'emploi de la vapeur, mais qu'aucun moyen nouveau n'a encore complétement réussi. La vapeur ne laisse pas autant d'éclat et de blancheur aux fils, qui deviennent moins dilatés et moins gonflés qu'ils ne le sont ordinairement après le décreusage au savon. Le décreusage à la vapeur offrant, d'un autre côté, les moyens d'extraire la gomme de la soie, sans mélange, et de pouvoir par conséquent l'utiliser sans frais, il est possible qu'on en revienne à se servir de la vapeur si l'on trouve le moyen de remédier aux inconvénients signalés.

Dénominations de la soie ouvrée. La soie moulinée est désignée dans le commerce sous différents noms, presque tous tirés du genre d'apprêts qu'elle a reçus. Outre les noms de *grége*, de *poil*, de *trame* et d'*organsin* que nous avons définis, on distingue l'*ovale*, qui est une soie faiblement tordue; elle sert à faire des lacets, des broderies, la couture des gants.

La *soie plate* est une soie grége commune, formée par le tirage de 20 à 25 brins ensemble; elle est spécialement réservée pour broder la tapisserie.

La *grenadine* est une soie ouvrée à deux bouts très-serrés; elle sert à faire des effilés, de grandes dentelles quand elle est commune; la plus fine sert à faire des dentelles noires.

La *grenade* est une autre espèce de soie formée par deux bouts très-tordus; on l'emploie surtout pour la passementerie et la fabrication des boutons.

La *fantaisie* provient de la bourre et du frison cardés et filés comme les filaments discontinus; elle sert à la bonneterie et à la fabrication des foulards.

Le *fleuret monté* provient des déchets de soie; on le travaille comme la fantaisie, on lui donne une forte torsion; on la désigne également sous le nom de galettes aux environs de Lyon: le fleuret est employé pour la passementerie; il forme ordinairement la chaîne des galons d'or et d'argent.

Terminons ce travail en rappelant que c'est à Olivier de Serres que la France doit surtout son industrie séricicole. Il publia, en 1599, un ouvrage intitulé: *De la cueillette de la soye par la nourriture des vers qui la forment.* Son but, disait-il, était d'apprendre à tirer des entrailles de la terre le trésor de soye qui y est caché. Henri IV, enthousiasmé à la lecture de ce livre, fit faire par l'auteur, dans le Jardin des Tuileries, les premiers essais, qui eurent un succès complet. ALCAN.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOLAIRE (CHALEUR). L'utilisation directe pour des emplois industriels de la chaleur solaire, cause première de toute chaleur, de toute action chimique, de toute vie végétale ou animale à la surface de la terre, est une des plus curieuses questions qui puissent être étudiées. Si son utilisation indirecte par l'intermédiaire des corps dans lesquels son action s'est accumulée, les bois, le charbon de terre par exemple, est bien plus facile et plus régulière, l'étude du problème n'en est pas moins digne d'intérêt, et il suffirait de peu de progrès dans les appareils propres à concentrer et emmagasiner la chaleur solaire, pour qu'on parvienne à en tirer parti pratiquement, dans les contrées au moins où le soleil déverse, pendant de longues heures, des quantités de chaleur énormes.

On peut citer les noms de bien des hommes illustres qui se sont proposé de résoudre ce difficile problème : Héron d'Alexandrie (100 ans avant J. C.), Porta (1550), Salomon de Caus (1576), Robert Fludd (1515), Martini (1640), Kircher (1680), Bélidor (1700), Ducarba (1800), Oliver Evans (1821). Archimède ne doit pas être cité ici, puisqu'il s'occupait d'enflammer au loin avec son miroir ardent, et non d'engendrer un travail mécanique.

De nos jours, Ericson entreprit de faire fonctionner une petite machine à vapeur par l'action solaire, ce que faisait en même temps M. Mouchot, professeur de physique au lycée de Tours, qui reprit l'étude théorique de la question, en analysant toutes les connaissances acquises par les recherches modernes sur les propriétés de la chaleur rayonnante, les conditions de sa réflexion et de son absorption, et put construire l'intéressant appareil dont nous allons parler, grâce au libéral encouragement de l'empereur Napoléon III. Ces travaux indiquent l'état le plus avancé de cette curieuse question.

La construction d'un appareil destiné à utiliser la chaleur envoyée sur la terre par le soleil, dit très-bien M. Delahaye (*Revue industrielle*), exige la connaissance plus ou moins complète, 1° de la quantité de chaleur produite en un temps donné sur une surface donnée par le rayonnement solaire ; 2° des pouvoirs de réflexion et d'absorption des différentes substances qui peuvent être employées. Nous rappellerons brièvement les résultats obtenus par les physiciens modernes à ce sujet :

1° D'après les expériences de *Pouillet*, si l'atmosphère n'existait pas, il tomberait en une minute, sur chaque centimètre carré du grand cercle qui sert de base à l'hémisphère éclairé par le soleil, une quantité de chaleur représentée par le nombre 1,7633 en prenant pour unité la quantité de chaleur qui élève de 0° à 1° la température d'un gramme d'eau, soit donc plus simplement la fraction de calorie 0,0017633, et, par suite, pour un mètre carré de surface 17,633 calories. Dans le trajet vertical, l'atmosphère absorbe au moins 21 °/₀ et au plus 28 °/₀ de la chaleur incidente, même par un beau temps : ainsi, en supposant le soleil au zénith de Paris, on peut admettre que sur 1,000 rayons pénétrant verticalement dans l'atmosphère, il en arrive en moyenne 759 jusqu'à la surface du sol. *Forbes* et *Kaemtz*, à la suite de longues expériences, arrivèrent à cette conclusion que la portion de chaleur qui, dans nos climats, parvient jusqu'au sol, n'est pas aussi grande que le pensait Pouillet : elle représente seulement 53 0/0, et non pas 75 0/0 des rayons émis. D'autre part, des expériences de *Sir John Herschell*, au cap de Bonne-Espérance, l'avaient conduit à penser que la chaleur solaire arrivant verticalement, serait suffisante pour fondre, par minute, une couche de glace de 0 mm. 4195. Pouillet aurait trouvé, de son côté, qu'à Paris, le soleil, par un beau jour, envoie assez de chaleur pour fondre par minute une épaisseur de glace de 0 mm. 1786. Il est facile de se rendre compte que le nombre de calories nécessaires à la fusion de ces poids de glace, serait, pour une surface d'un mètre carré, de 13,932 calories dans le premier cas et de 12,993 calories dans le second. En admettant que le soleil donne par mètre carré, dans notre climat, 10 calories par minute, on doit être sensiblement dans le vrai.

2° Les études de *Melloni* ont fait connaître que la quantité de chaleur rayonnante transmise par une plaque de verre diminue quand l'épaisseur de la plaque augmente ; d'autre part, le verre ne se laisse pas traverser par la chaleur émise par une source obscure. Si l'on dispose sous une cloche de verre une plaque métallique recouverte de noir de fumée, les rayons lumineux viendront échauffer le métal, et la chaleur obscure rayonnée par la plaque ne sortira plus de la cloche. Le noir de fumée possède au plus haut degré le pouvoir d'absorber les rayons calorifiques et lumineux.

3° La chaleur rayonnante se concentre au foyer d'un miroir sphérique sans donner lieu aux pertes qui se produisent quand elle traverse des lentilles, tout en pouvant produire des températures élevées.

Il résulte des recherches de MM. *La Provostaye* et *Desains* que l'argent est le métal qui réfléchit le mieux la chaleur solaire et qu'un miroir argenté en renvoie 92 0/0.

Les éléments que nous venons d'énumérer se trouvent fort convenablement utilisés dans l'appareil combiné par M. Mouchot, que nous allons décrire.

Le récepteur ou générateur solaire se compose de trois pièces distinctes : un miroir métallique à foyer linéaire ; une chaudière noircie, dont l'axe coïncide avec ce foyer ; une enveloppe de verre, laissant arriver les rayons du soleil jusqu'à la chaudière, mais s'opposant à leur sortie dès que celle-ci les a transformés en rayons obscurs. Le miroir a la forme d'un tronc de cône à bases parallèles : la génératrice de ce tronc de cône fait avec l'axe un angle de 45° ; c'est la meilleure forme qu'on puisse assigner à ces sortes de miroirs, parce que les rayons incidents parallèles à l'axe se réfléchissent alors normalement à cet axe, et donnent un foyer d'intensité maximum pour une même ouverture du miroir. La paroi réfléchissante se compose de 12 secteurs, en plaqué d'argent, supportés par un châssis de fer dans lequel ils glissent à coulisse. Le diamètre d'ouverture du miroir est de 2,60m. ; celui du fond de 1 m., d'où il suit que la surface d'insolation normale de l'appareil est de 4 mètres carrés. Le fond du miroir est un disque de fonte, ajouté pour diminuer l'effort du vent.

Au centre de ce disque, s'élève la chaudière, dont la hauteur est celle du miroir. Elle est en cuivre, noircie extérieurement, et se compose de deux enveloppes concentriques en forme de cloche, reliées à leur base par une bride de fer. La plus grande enveloppe a 80 centimètres de haut, la plus petite 50 centimètres ; leurs diamètres respectifs sont de 28 et de 22 centimètres. L'eau d'alimentation se loge entre ces deux enveloppes, de manière à former un cylindre annulaire de 3 centimètres d'épaisseur. Le volume du liquide ne doit guère excéder 20 litres, afin de laisser 10 litres environ pour la chambre de vapeur. L'enveloppe interne reste vide : elle est terminée par un tube de cuivre qui s'ouvre d'un côté dans la chambre de vapeur et communique de l'autre, par un tuyau flexible, soit avec le moteur, soit avec le fourneau d'un alambic. Un second tuyau flexible partant du pied de la chaudière sert à son alimentation. Enfin sur la conduite de vapeur sont fixés les appareils de sûreté.

Quant à l'enveloppe de verre, c'est une cloche de 85 centimètres de haut sur 40 centimètres de diamètre et 5 millimètres d'épaisseur. Elle laisse donc un intervalle constant de 5 centimètres entre ses parois et celles de la chaudière et n'est adhérente que par son pied au fond du miroir.

Ainsi disposé le générateur doit tourner de 15° par heure, autour d'un arbre parallèle à l'axe du monde, et s'incliner graduellement sur cet arbre, eu égard à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déclinaison du soleil. Pour atteindre ce double but, l'appareil s'appuie par des tourillons sur un arbre perpendiculaire à leur axe, et cet arbre forme, du Nord au Sud, avec l'horizon, un angle égal à la latitude du lieu.

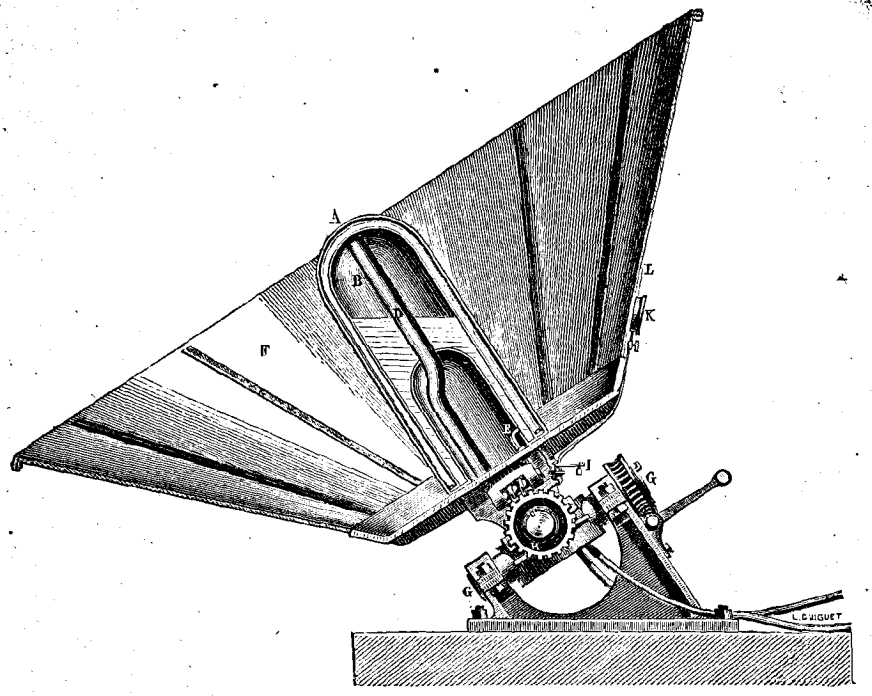


Fig. 1.

De là résultent deux mouvements qui permettent au générateur de suivre le cours du soleil, puisque, par une demi-révolution de l'arbre, il tourne du levant au couchant, tandis qu'une rotation annuelle de 46° au plus sur ses tourillons l'amène en regard du soleil, quelle que soit la position apparente de cet astre. Ces deux mouvements s'effectuent chacun au moyen d'un engrenage à vis sans fin et n'exigent qu'un coup de manivelle, le premier de demi-heure en demi-heure, le second tous les huit jours.

Nous joindrons ici la légende qui permettra de retrouver sur le dessin les diverses parties de l'appareil qui vient d'être décrit. A cloche en verre, B cylindre enveloppe, D tuyau abducteur, E tuyau d'alimentation, F miroir conique en plaqué d'argent, G G arbre permettant de varier l'orientation, H roue servant à faire varier l'inclinaison de l'appareil sur l'arbre G G, K manomètre, L niveau d'eau.

Pour compléter la description précédente par quelques résultats d'expérience, il nous suffira d'ajouter qu'avec la chaudière solaire installée à Tours dans les conditions précitées, en quarante minutes, 20 litres d'eau à 20° ont atteint une température de 121°, avec une pression de deux atmosphères, pour s'élever ensuite jusqu'à 5 atmosphères. Avec 15 litres d'eau, en moins d'un quart d'heure, l'eau à 100° atteignait la température de 153°, soit une pression de 5 atmosphères. Enfin, par un temps exceptionnellement chaud, on a pu vaporiser par heure 5 litres d'eau. La vapeur était utilisée à faire fonctionner une pompe élévatoire.

Arrivé à ce point, le générateur solaire paraît susceptible d'applications utiles dans les contrées où règne un soleil ardent, dans le midi de la France, mais surtout en Algérie et aux Indes, où l'on peut compter sur 200 jours de grande chaleur par an. Deux perfectionnements doivent permettre d'atteindre une utilisation sérieuse.

Le premier est de mettre le bouilleur solaire en communication avec une chaudière d'une capacité notable, moins parce que celle-ci pourra être chauffée au besoin à l'aide de combustible, que parce qu'elle servira de réservoir de chaleur, utilisant toute l'action solaire même pendant qu'on ne dépensera pas de vapeur. Le second consiste à augmenter les surfaces exposées à l'action du soleil, non-seulement en augmentant autant que possible l'appareil principal, mais encore en dirigeant sur le réflecteur de celui-ci, l'action d'autres surfaces, de doubles réflecteurs simples, peu coûteux, faciles à placer.

Obtenir, par l'action du soleil, l'élévation de l'eau, le battage des grains, et effectuer ainsi une partie du travail des fermes, etc., ce serait un immense résultat.

En regard de celui-ci, nous n'insisterons pas sur des résultats curieux obtenus par des appareils de petite dimension, tels que cuire un pot-au-feu en trois heures, ou de distiller de petites quantités de liquide alcoolique placé dans un cylindre occupant l'axe du réflecteur.

SON (*angl.* bran, *all.* kleie). Le son qui provient de la mouture des céréales est employé pour rembourrer des coussins ou des pelottes, nettoyer les tissus et les gants, faire des emballages, monter les cuves au pas-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tel, etc. Il sert également, surtout délayé dans l'eau, à la nourriture des chevaux, des moutons, des lapins et des volailles.

SON (*acoustique*). Le son est produit par la vibration des corps solides, liquides et gazeuz; ces vibrations sont transmises à nos sens par le secours de l'air; ainsi, en plaçant une sonnerie sous le récipient d'une machine pneumatique, le bruit de la sonnerie devient de plus en plus faible à mesure que l'on raréfie l'air, et finit par ne plus être perceptible.

On distingue dans un son trois choses : son intensité qui dépend de l'étendue des vibrations, son timbre (voy. TIMBRE) qui varie avec la nature même du corps vibrant et la manière dont les vibrations simultanées y sont produites, et le ton qui est déterminé par la vitesse des vibrations.

Quelle que soit la manière dont les vibrations soient produites, la cause ayant cessé d'exister, elles se continueront avec une amplitude ou intensité décroissante jusqu'à ce qu'elles s'éteignent, mais en conservant toujours le même ton. Un morceau de musique se faisant entendre à des distances variables sans autres altérations que dans l'intensité des sons, il s'ensuit que, dans un même milieu, la vitesse de propagation est la même pour tous les sons quel que soit leur ton. Cette vitesse de propagation est d'environ 333^{m} dans l'air calme et non agité par les vents. D'après cela, par exemple, lorsqu'il tonne, la distance à laquelle l'orage éclate est égale à autant de tiers de kilomètre qu'il s'écoule de secondes entre l'instant où l'on aperçoit l'éclair et celui où l'on entend le roulement du tonnerre.

Les sons sont d'autant plus graves que le corps vibrant fait un moindre nombre de vibrations par seconde. Au-dessous de 32 et au-dessus de 8912 vibrations par seconde, on ne peut plus apprécier les sons; un homme ne peut guère rendre des sons plus graves ou plus aigus que ceux qui correspondent à 192 et 633 vibrations par seconde; pour la femme ces limites sont ordinairement de 576 et de 1720 vibrations par seconde.

Sans entrer ici dans le détail du rapport des sons (voy. ACOUSTIQUE), nous dirons seulement que deux sons sont à l'octave l'un de l'autre quand le nombre des vibrations correspondantes sont entre eux comme 1 : 2. Cet intervalle se trouve divisé en 12 demi-tons qui sont égaux dans les instruments dits à tempérament ou à sons fixes.

SONDAGE A LA MER. Il n'y a que peu d'années qu'on s'est occupé sérieusement de mesurer la profondeur des mers. Nos connaissances à cet égard sont encore fort peu avancées. Le bassin de l'Atlantique du N.-E. est à peu près le seul qui ait été assez complétement étudié.

Toutes les études portent à croire que le fond des mers est accidenté comme la surface du continent; qu'il s'y trouve des vallées et des montagnes dont les écueils et les îles qui surgissent au milieu de l'Océan nous représentent les sommets les plus élevés.

Près des rivages, on a observé que la forme du terrain se continuait sous l'eau et que la valeur des dépressions égalait à peu près celle des hauteurs. Ainsi les côtes les plus abruptes sont en même temps les côtes près desquelles la mer est la plus profonde. Près des terres plates et basses, l'augmentation de la profondeur est au contraire lente et graduelle.

La connaissance de la profondeur des mers est devenue très-intéressante depuis la découverte de la télégraphie électrique. On comprend facilement combien l'étude de la configuration du fond de la mer est importante et nécessaire pour l'établissement des lignes sous-marines, et c'est pour y parvenir que les reconnaissances les plus importantes ont été faites.

Méthode pour sonder à de grandes profondeurs. L'expérience a démontré qu'au delà de 2,500 à 3,000 mètres on ne peut accorder aucune confiance aux sondes faites par les moyens habituels, c'est-à-dire avec un plomb de sonde auquel est fixée une ligne en filin.

Par suite de cette difficulté, on a eu recours à un grand nombre de procédés; nous croyons qu'il est inutile de les énumérer ici; aucun de ces procédés n'ayant donné de résultats satisfaisants pour résoudre le problème par les moyens directs, on a tenté d'y parvenir par une voie détournée. En poursuivant les opérations, on prit l'habitude de noter exactement le temps qu'un poids déterminé met à descendre de 183 en 183 mètres (100 fathoms), puis en employant toujours des lignes de même dimension, identiques en poids et en volume, on parvint à établir une loi empirique des vitesses pour la descente. Des expériences répétées avec un boulet du poids de 14^{k},5 ont donné pour résultat :

PROFONDEUR en mètres.	DURÉE de la descente.	PROFONDEUR en mètres.	DURÉE de la descente.
183.....	1^{m} 02^{s}	2930.....	4^{m} 08^{s}
366.....	1 25	3110.....	4 19
549.....	1 43	3290.....	4 23
732.....	2 05	3370.....	4 29
915.....	2 21	3660.....	4 32
1098.....	2 34	3840.....	4 45
1281.....	2 44	4020.....	4 49
1460.....	2 56	4210.....	5 01
1640.....	3 07	4390.....	5 04
1830.....	3 18	4570.....	5 01
2010.....	3 26	4750.....	4 58
2200.....	3 39	4940.....	5 18
2380.....	3 43	5120.....	4 38
2560.....	3 50	5300.....	4 44
2740.....	4 00	5490.....	4 40

A l'aide de cette loi on peut apprécier avec assez d'exactitude le moment où, le poids cessant d'entraîner la ligne, celle-ci n'obéit plus qu'à l'action des courants sous-marins, car ces courants lui impriment une vitesse uniforme, tandis que le poids lui communique une vitesse croissante. Néanmoins on ne peut obtenir ainsi qu'une approximation.

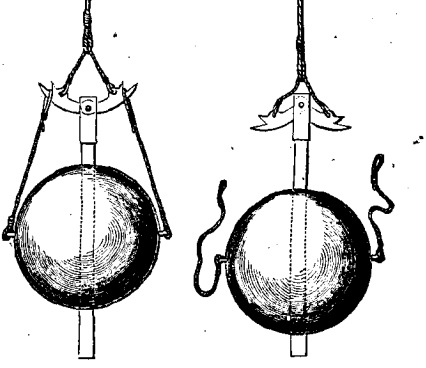


Fig. 1.

Les lignes qu'on emploie sont éprouvées à une tension de 14 kilogrammes, et 183 mètres de ces lignes pè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sent environ un demi-kilo. Elles ont une longueur de 18,000 mètres et elles s'enroulent sur un cylindre qui peut tourner librement. Les sondes sont faites dans une embarcation et non à bord du navire, parce que la dérive est moins grande et qu'on est plus sûr du moment où le poids touche le fond.

Le poids qui fait descendre la ligne est habituellement un boulet de 14 ou de 29 kilogrammes, traversé suivant un diamètre par une tige qui porte un déclic à sa partie supérieure, et auquel la ligne de sonde est fixée par une patte d'oie (fig. 1). Le boulet est porté par les deux pointes inférieures du déclic pendant la descente et il y est maintenu par deux attaches à boucles qui décapèlent lorsque le choc du boulet contre le fond fait renverser le déclic.

Ce système de déclic très-simple est dû au midshipman Brooke, de la marine américaine; le sondeur ainsi perfectionné a pris son nom et s'appelle sondeur Brooke. Le talon de la tige est creusé et garni de suif pour procurer l'adhérence du fond et en rapporter des spécimens.

Dans la campagne hydrographique du *Phare*, dit Kerhalet, pendant laquelle nous avons dressé les cartes du détroit de Gibraltar, nous nous sommes servis d'un sondeur préférable, dans notre opinion, à celui de Brooke. Ce sondeur (fig. 2), dont la description se trouve dans les

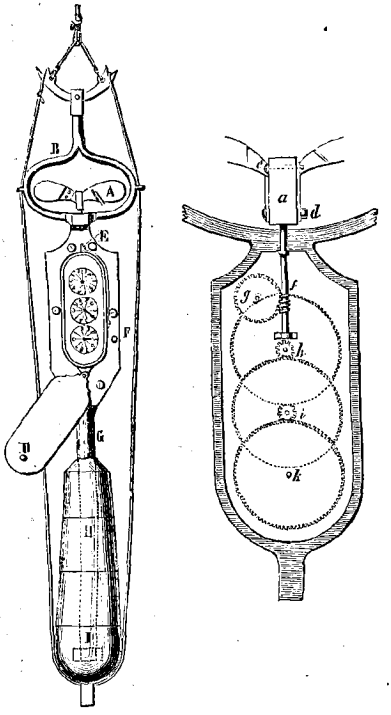


Fig. 2.

Annales hydrographiques (1857, 3e trimestre, page 276), a sur le précédent le grand avantage d'indiquer, au moyen de roues dentées, les dizaines, les centaines et les mille de mètres filés, jusqu'à 10,000 mètres. On peut sans difficulté appliquer à ce sondeur pour les très-grands fonds le système de déclic du sondeur Brooke

Par le mode d'enregistrement de cet instrument on obtient la profondeur avec bien plus d'exactitude qu'en la calculant par le temps employé par la descente. Malgré les violents courants du détroit, nous avons pu sans déclic et avec les moyens ordinaires, sonder exactement au moyen de cet instrument par des profondeurs de 1,010 mètres; cette profondeur est la plus grande que l'on obtienne dans le détroit de Gibraltar, un peu à l'E. de la ligne qui relierait Gibraltar à Ceuta. On peut à volonté varier le poids suivant les profondeurs, et sous la tige qui le traverse sont placés des tuyaux de plumes ordinaires destinés à recevoir et à rapporter les spécimens du fond. Dans le sondeur employé à bord du *Phare*, les ailettes héliçoïdales du sondeur Lecoëntre font tourner la vis sans fin qui donne le mouvement à un système de roues dentées et de pignons constituant un compteur qui fonctionne bien, de sorte qu'on peut lire directement la profondeur à laquelle le poids a touché le fond, tout en comparant le résultat à la longueur de la ligne filée, ou au temps employé pendant la descente.

BATHOMÈTRE DE WILLIAM SIEMENS. L'auteur de cet ingénieux appareil est parti de l'idée que la gravitation totale de la terre, mesurée à sa surface normale, est composée des attractions séparées de toutes ses parties, et que l'influence attractive de volumes égaux des diverses matières varie en raison directe de leur densité, et en raison inverse du carré de la distance au point où se prend la mesure.

La densité de l'eau de mer est environ 1,026; celle des solides constituant la croûte de la terre est environ 2,763, densité moyenne de la pierre calcaire des montagnes, du granit, du basalte, du schiste et du grès; il en résulte que la présence d'une couche d'eau de mer doit exercer une influence sensible sur la gravitation totale du globe, si l'on en prend la mesure à la surface de la terre.

On détermine mathématiquement la valeur de cette influence, en considérant d'abord la puissance attractive d'une couche mince de substance située dans un plan perpendiculaire au rayon de la terre, en supposant que la terre soit une sphère parfaite, de densité uniforme, non soumise à l'action de la force centrifuge.

On démontre que l'attraction A, exercée par chaque tranche semblable, est représentée par l'expression

$$d^2A_1 = 2\pi\, dh \sin a\, da;$$

h est la distance verticale de la tranche au point d'attraction.

En intégrant cette expression d'abord entre les limites $h = 0$ et $h = R$, R étant le rayon de la terre puis entre les limites $a = 0$, $a = 2\pi$, on a:

$$(1) \qquad A_1 = 2\pi h \left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h}{2R}}\right).$$

Dans cette expression, on peut négliger le terme $\sqrt{\frac{h}{2R}}$ pour les petites valeurs de h; et la formule devient

$$(2) \qquad A_1 = 2\pi h;$$

A_1 représente l'attraction totale due à la profondeur h, que nous supposerons être celle de la mer en l'endroit considéré. Pour avoir l'attraction totale A de la terre, il faut dans la première formule (1) faire $h = 2R$, ce qui donne:

$$(3) \qquad A = \frac{4}{3} R\pi;$$

On en conclut:

$$(4) \qquad \frac{A_1}{A} = \frac{2\pi h}{\frac{4}{3}\pi R};$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ou, définitivement:

$$(5) \qquad \frac{A_1}{A} = \frac{h}{\frac{2}{3}R}.$$

Il en résulte que, si l'eau de mer n'était pas pesante, l'attraction totale de la terre mesurée à la surface de la mer diminuerait dans le rapport de la profondeur h à $\frac{2}{3}$R; et en tenant compte du poids de l'eau de la mer, la pesanteur diminuerait au niveau de la mer dans le rapport de la profondeur h à $\frac{614}{579}$R, ou à peu près comme h est à R.

Ce rapport serait absolument exact, si l'intérieur de la terre avait la densité de sa surface pierreuse; mais le coefficient que nous venons d'obtenir doit être diminué par rapport à la densité de la surface pierreuse, ou à peu près dans le rapport de $\frac{2.75}{5,4}$. M. Siemens pense, toutefois, qu'il est plus sûr de ne pas se reposer entièrement sur ces déductions mathématiques dans la construction de l'échelle à mettre en usage, et il préfère recourir à des comparaisons faites avec la ligne de sonde.

Le bathomètre consiste principalement dans une colonne de mercure verticale contenue dans un tube d'acier, ayant à ses deux extrémités des lèvres en forme de coupe, de manière à augmenter les surfaces terminales du mercure. La coupe inférieure est fermée au moyen d'un diaphragme fait avec une mince feuille d'acier plissé, et le poids de la colonne de mercure est balancé au centre du diaphragme par la force élastique, indépendante de la gravité, de deux ressorts d'acier en spirale trempés convenablement, et de même longueur que la colonne de mercure (fig. 3).

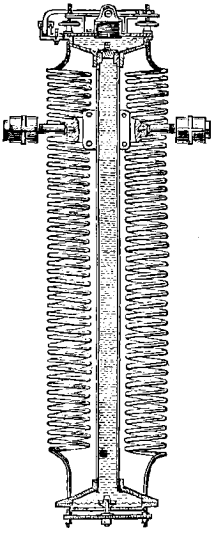


Fig. 3.

Une des particularités de cette disposition mécanique, c'est qu'elle est parathermale, la diminution de la force élastique des ressorts, par suite de l'élévation de température, étant compensée par une diminution semblable de force potentielle dans la colonne de mercure, diminution qui dépend des proportions données aux surfaces du tube d'acier et de ses lèvres en forme de coupe.

SONDAGE A LA MER.

L'instrument est suspendu à une petite distance au-dessus de son centre de gravité, au moyen d'un joint universel, dans le but de lui faire conserver la position verticale, malgré le mouvement du navire; les oscillations verticales du mercure sont presque entièrement évitées à l'aide d'une contraction locale de la colonne de mercure, réduite à un très-petit orifice. La lecture de l'instrument s'effectue au moyen du contact électrique que l'on établit entre l'extrémité d'une vis micrométrique et le centre du diaphragme élastique. Le pas de la vis et les divisions de sa circonférence sont proportionnées de manière que chaque division représente la diminution de pesanteur due à une brasse de profondeur.

Les variations de la pression atmosphérique n'ont aucun effet sur la graduation de cet instrument, mais il serait nécessaire, jusqu'à un certain point, de faire une correction pour les variations de densité atmosphérique, car ces variations affectent le poids relatif de la colonne de mercure; mais dans la pratique on peut se soustraire à la nécessité de cette correction en excluant la pression atmosphérique, tant de la surface supérieure que de la surface inférieure du mercure: il suffira pour cela de réunir les deux extrémités de la colonne. La seule correction qui soit indispensable est celle due à la latitude; elle est donnée par un tableau qui accuse des variations moindres sur mer que sur terre: cette diminution est due à l'absence des masses qui s'élèvent au-dessus de la surface, à la distance plus grande des masses irrégulières des constituants de la terre, et enfin à la densité très-uniforme de l'eau de mer.

A ce tableau sont jointes des tables donnant les résultats des observations faites avec cet instrument dans une double traversée de l'Atlantique à bord du bateau à vapeur le *Faraday*. Ces mesures ont été prises pendant l'expédition du navire destinée à la pose des câbles sous-marins. Les relevés de l'instrument étaient comparés avec ceux des sondages que l'on faisait au moyen de l'appareil à fil d'acier de sir William Thomson; dans tous les cas, ces comparaisons ont été suivies d'un accord aussi complet qu'on pouvait le désirer, en tenant compte du fait que la ligne de sonde donne la profondeur immédiatement au-dessous du navire, tandis que le bathomètre donne la profondeur moyenne d'une certaine surface dont l'étendue dépend de la profondeur; on a pu s'assurer aussi que les deux instruments s'accordent, sur une pente unie, autant qu'on pouvait l'espérer.

Il y a lieu de croire que le bathomètre peut rendre des services précieux aux marins, en les avertissant des changements de profondeur longtemps avant qu'ils aient atteint un fond dangereux. Le bathomètre a permis dans un cas de découvrir l'extrémité perdue d'un câble télégraphique par la seule connaissance de la profondeur de la mer au point où cette extrémité avait été perdue. On pourra aussi, au moyen du bathomètre, reconnaître la position d'un navire sans relevés astronomiques, lorsque les lignes d'égale profondeur de l'Océan seront connues exactement.

Résultats des grandes sondes. Les plus grandes profondeurs auxquelles on ait atteint le fond de la mer, se trouvent dans l'océan Atlantique du Nord; et autant qu'on en peut juger par les sondages exécutés jusqu'à ce jour, les profondeurs de cet océan approcheraient de 8,244 mètres. La partie située entre les parallèles de 35° et de 40° de latitude N. et les méridiens de 40° et de 65° de longitude O., immédiatement au S. des grands bancs de Terre-Neuve, est celle qui paraît offrir les plus grands fonds. Entre l'Irlande et Terre-Neuve

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'étend un plateau dont la profondeur ne dépasse pas 3,000 mètres; c'est sur ce plateau qu'on a fait passer le câble du télégraphe électrique destiné à relier l'Angleterre aux États-Unis. Dans l'océan Atlantique du S., il paraît probable que les plus grandes profondeurs se trouvent au S. du parallèle de 35°. On a fait dans cette partie de l'océan trois grandes sondes, l'une de 15,149 mètres, l'autre de 14,091 mètres, et la dernière de 12,000 mètres. Toutefois aucune de ces sondes n'a donné de résultat satisfaisant, et plusieurs autres, faites depuis dans ces mêmes parages, ont accusé des profondeurs de 7,000 et de 5,490 mètres.

Dans le golfe du Mexique la profondeur maximum obtenue est de 1,800 mètres. Dans l'océan Pacifique les officiers américains ont obtenu des sondes avec spécimens du fond à des profondeurs de 6,039 mètres, de 4,860 mètres et 3,770 mètres. L'amiral du Petit-Thouars en a fait une de 4,000 mètres sans obtenir le fond et une de 3,790 mètres.

Dans l'océan Indien les officiers américains affirment avoir fait une sonde de 12,672 mètres, qui nous paraît douteuse, d'autant plus que la ligne a cassé et qu'on n'a pu par suite avoir de spécimen du fond. Dans cette même mer, l'amiral du Petit-Thouars a fait une sonde de 1,584 mètres. Ces deux mers sont du reste encore fort peu connues sous le rapport de la profondeur.

Dans les mers polaires, Scoresby a sondé par 76° et 77° de latitude N. jusqu'à 2,200 mètres sans trouver le fond, et Ross a eu 1,739 mètres sur le parallèle de 67° S. La profondeur des mers serait donc considérable si ces sondes ont été faites exactement et si le poids n'a pas été entraîné par les courants, ce qui nous paraît assez probable.

Dans le bassin O. de la Méditerranée, le plus grand fond qu'on ait obtenu est de 2,900 mètres; dans le bassin E., entre Malte et Candie, on a eu 3,970 mètres; entre Rhodes et Alexandrie, 2,930 mètres. Quant aux autres mers intérieures, elles sont comparativement peu profondes, et l'on peut facilement les étudier sur les cartes de navigation.

SONDAGE, SONDE. La sonde est un instrument servant à forer, dans des terrains quelconques, des trous d'un faible diamètre, servant le plus souvent à la recherche des nappes d'eaux souterraines ascendantes (voyez *puits* ARTÉSIENS), ou à celle de couches perméables absorbantes, permettant de se débarrasser des eaux superficielles dont on veut se défaire. C'est au moyen de trous de sonde, dans lesquels on installe des pompes élévatoires, qu'on exploite souvent, par dissolution, les bancs de sel gemme ou de terrains salifères. On emploie aussi la sonde, soit pour l'exploitation des terrains stratifiés et surtout des terrains houillers, soit pour forer des cheminées servant à l'écoulement des eaux ou à l'aérage d'une mine, soit enfin pour reconnaître le gîte en arrière des fronts de taille ou de galeries, lorsqu'on craint de rencontrer des eaux remplissant d'anciens travaux ou des cavités naturelles. Enfin, on se sert fréquemment de petites sondes, dans les travaux publics, etc., pour reconnaître jusqu'à une certaine profondeur la nature du sol sur lequel on doit asseoir ces travaux.

Le sondage à de grandes profondeurs peut s'opérer par trois procédés distincts : 1° le sondage avec une sonde à tige rigide, dans lequel on est obligé de remonter fréquemment la sonde pour curer le trou au moyen d'outils particuliers; c'est le procédé le plus long et le plus coûteux, mais il est cependant encore presque exclusivement employé en France; 2° le sondage à la corde ou sondage chinois; 3° le sondage avec une sonde à tige rigide, tubulaire, et dans laquelle le curage du trou est supprimé, par le procédé que M. Fauvelle, de Perpignan, a fait connaître dans la séance du 31 août 1846 de l'Académie des Sciences, qui n'est pas entré dans la pratique. Après avoir décrit ces trois procédés, nous dirons quelques mots sur des sondes particulières, et d'une application toute spéciale, que l'on rencontre quelquefois dans les arts.

I. SONDAGE AVEC SONDE ORDINAIRE A TIGE RIGIDE.

Composition d'une sonde. — Une sonde ordinaire se compose de la *tête*, qui sert à suspendre la sonde; des *outils*, qui attaquent la roche au fond du trou ou sur ses parois, et des *tiges*, qui réunissent la tête aux outils.

Tête. — La tête de la sonde (fig. 2338) se compose d'un anneau tournant A, par lequel la sonde est suspendue, et d'un ou deux œils B, C, destinés à recevoir des leviers pour faire tourner la sonde.

Tiges. — Les tiges sont ordinairement en fer carré de 0m,025 de côté pour un trou de 0m,06 à 0m,07 de diamètre et 20m au plus de profondeur; de 0m,030 de côté pour un trou de 0m,08 à 0m,10 de diamètre et 20m à 50m de profondeur; de 0m,035 de côté pour un trou de 50 à 150m de profondeur, etc. Chaque bout de tige a ordinairement au plus 5 à 6m de longueur. Ces bouts sont assemblés entre eux avec la tête et avec les outils, soit à enfourchement (fig. 2339), soit à vis et à douille (figure 2340). Ce dernier mode d'assemblage est le plus habituellement usité; il n'a d'autre inconvénient que de ne pouvoir se prêter au mouvement de rotation que dans un seul sens. La tête de sonde est toujours terminée par une douille, et les tiges portent toutes une vis et une douille, de sorte que toutes les douilles tournent leur ouverture vers le bas; cette disposition a pour but de maintenir les assemblages aussi propres que possible.

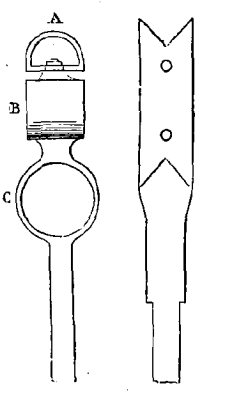


Fig. 2338.

Fig. 2339.


Fig. 2340.

Outils. — Les outils servent, soit à entailler la roche, soit à extraire les débris des roches broyées, soit enfin à retirer du fond du trou les parties brisées de la sonde.

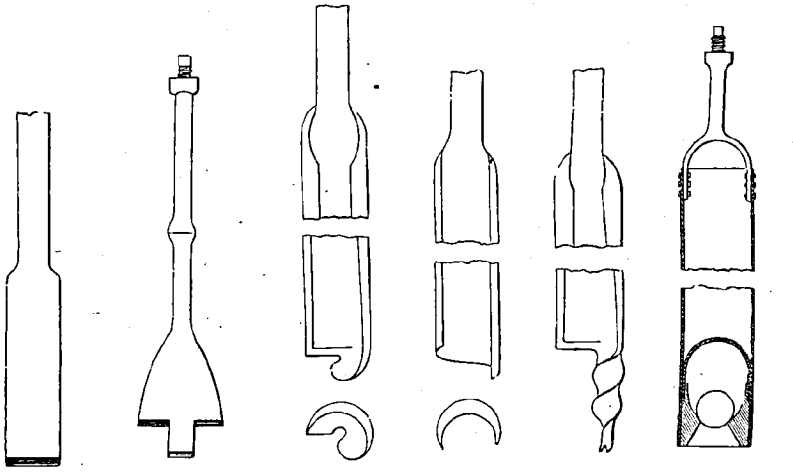
Les outils qui servent à entailler la roche se divisent également en plusieurs classes, suivant qu'ils attaquent la roche par son extrémité ou latéralement, et surtout suivant qu'ils agissent par rotation ou par percussion.

Les outils agissant par percussion sont exclusivement employés dans les roches qui offrent une certaine dureté; on leur donne le nom de *trépans* ou de *ciseaux*. Le tranchant du trépan simple est droit (fig. 2341), courbe ou à pointe et à double biseau; ce biseau doit être d'autant plus obtus que les roches à attaquer sont plus dures. Dans le sondage d'un grand diamètre, on se sert souvent du *trépan à teton* (fig. 2343), qui porte en son

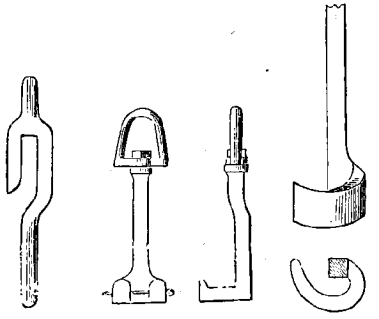
EFERUS - Recherche & Classification numérique

milieu un second ciseau plus petit ou téton, servant à commencer le trou sur un plus faible diamètre. On se sert aussi quelquefois de trépans à tranchants en croix. On emploie souvent pour couper les rognons de silex que l'on rencontre dans les terrains de craie, une cloche cylindrique creuse, à bords tranchants et aciérés, qui agit par percussion.

Dans les terrains tendres et friables, on se sert quelquefois d'outils agissant par rotation, et qui servent en même temps à ramener au jour les matières désagrégées; ce sont les *tarières* (fig. 2343). Dans les argiles on supprime la mèche; la tarière ainsi modifiée (figure 2344) est connue sous le nom de *tarière à glaise*. Enfin, dans les sables faiblement agrégés, on remplace souvent (fig. 2345) la mèche de la tarière ordinaire par un *trépan rubanné*, destiné à désagréger le sable que la tarière ramène ensuite au jour sous la forme de carotte.



2341. 2342. 2343. 2344. 2345. 2346.



2347. 2348. 2349.

On se sert ordinairement pour élargir les trous, quand il en est besoin et qu'ils ne sont pas tubés, d'un outil qui se compose d'un cylindre d'un diamètre un peu plus faible que celui du trou, et sur le contour duquel on fixe dans le plan passant par son axe, quatre ou un plus grand nombre de lames à tranchant aciéré. Pour aléser ou équarrir les trous, lorsque cela est nécessaire, M. Degousée emploie souvent un outil qui consiste en une forte tige en fer, sur laquelle sont fixés deux disques en fer réunis entre eux par quatre barres carrées en fer aciéré, qui sont bombées et attaquent les parois du trou par leurs arêtes: cet outil agit en rodant.

On se sert pour le curage des trous, soit de tarières, soit, le plus souvent, de cylindres avec soupapes à boulets, avec ou sans tige (fig. 2346), que l'on suspend tantôt à l'extrémité des tiges, tantôt, et presque toujours, à l'extrémité d'une corde.

Les outils dont on se sert pour la manœuvre de la sonde, sont : la *clef de retenue* (fig. 2347), qui se place au-dessous d'un renflement de la tige, et qui sert à maintenir la sonde suspendue dans le trou; le *pied de bœuf* ou *clef de relevée* (fig. 2348), qui saisit également la ligne des tiges sous un épaulement, et qui sert à suspendre la tige au câble de l'engin; et le *tourne à gauche*, de même forme que la clef de retenue, qui est employé pour désassembler les tiges.

Les outils destinés à retirer du fond du trou les parties brisées de la sonde, portent le nom d'outils accrocheurs; ce sont la caracole, le tire-bourre, la cloche à écrou et les accrocheurs à pièces avec ou sans ressorts: la *caracole* (fig. 2349) sert à saisir une tige brisée au-dessous d'un collet, pour la ramener au jour avec la portion de la sonde liée à cette tige. Le *tire-bourre*, qui a absolument la forme des tire-bourres employés pour décharger les armes à feu, n'est guère employé que pour retirer la corde du cylindre à soupape, lorsqu'elle s'est rompue et qu'une partie est restée dans le trou avec la cloche. La *cloche à écrou* est une cloche conique, portant intérieurement un filet de vis triangulaire en acier trempé, destiné à mordre sur la tête d'une tige restée dans le trou, et que l'on ne peut saisir avec la caracole, parce que la rupture a eu lieu à une trop grande distance d'un nœud d'assemblage. L'*accrocheur à pinces* le plus efficace est celui de *Kind*, et est représenté figure 2350; il remplace avec avantage la cloche à écrou. Il se compose d'un fort anneau en fer *a*, évidé à l'intérieur en forme d'entonnoir, et lié à une fourche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SONDAGE.

dont les deux branches *b* se réunissent en *c*, à une tige carrée *d*, sur laquelle est enfilé un coulant *e*, qui peut monter et descendre le long de cette tige depuis la bifurcation *c* jusqu'au goujon *h;* au coulant *e*, sont suspendues par des retours d'équerre *g*, *g*, les deux branches *f*, *f*, de la pince, dont les extrémités sont encore engagées dans l'anneau *a*, lorsque le coulant *e* a été remonté jusqu'à venir buter contre le goujon *h*. Ces deux branches, qui sont dentelées et aciérées intérieurement, se rapprochent en s'enfonçant dans l'intérieur de l'anneau *a*, lorsque le coulant descend. Pour se servir de cet accrocheur, on le visse au bas de la ligne des tiges, on repousse le coulant *e*, contre le goujon d'arrêt *h*, on écarte avec la main les mâchoires dentelées des pinces, et on les maintient écartées en logeant dans la denture un petit étai en bois, puis on descend la sonde; quand on est parvenu à coiffer avec l'anneau *a* la partie supérieure de la tige ou de la pièce rompue, celle-ci pénètre entre les mâchoires et repousse l'étai de bois qui tombe; le coulant *e*, et les branches de la pince descendent par leur propre poids, jusqu'à ce que les mâchoires dentelées viennent s'appliquer sur la pièce, sur laquelle les dents sont serrées par suite de la forme extérieure des pinces, qui s'introduisent, à la manière d'un coin, entre l'anneau et la pièce. Quand on relève ensuite la sonde, ces mâchoires serrent d'autant plus que le système des pinces est tiré vers le bas par le poids, et la résistance de la pièce que l'on veut ramener au jour. Une sorte de caracole *k*, fixée au-dessous de l'anneau *a*,

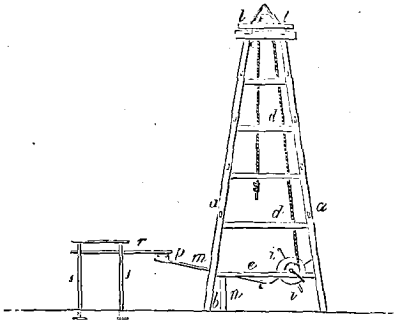


2350.

sert à ramener au besoin dans la position verticale et dans l'axe du trou la tige à coiffer avec l'anneau.

Manœuvre de la sonde, engins. On place d'abord sur le sol un fort madrier, dans lequel on a pratiqué un trou circulaire ayant un diamètre de très peu supérieur à celui des trépans; il sert à empêcher les éboulements superficiels. On traverse ensuite la terre végétale et même les argiles, s'il y en a, avec une tarière à bras, en ayant soin de maintenir l'outil bien vertical, ce qui se fait quelquefois en le dirigeant au moyen d'un arbre foré, de 1 à 2^{m} de longueur, qu'on plante dans le sol. D'autres fois, on traverse la terre végétale par un puits d'un diamètre assez grand, au fond duquel on commence le sondage. Cette disposition est surtout à recommander pour les forages qui doivent être poussés à une profondeur considérable, parce qu'elle active de beaucoup l'assemblage et le désassemblage des tiges, en augmentant de fait de la hauteur du puits la hauteur de l'engin qui sert à cette manœuvre. Arrivé au roc dur, on substitue à la tarière un trépan simple à biseau, plus ou moins obtus, que l'on soulève à bras et que l'on fait battre, en lui faisant faire chaque fois 1/5 à 1/6 de tour, et en jetant de l'eau dans le trou, quand il est sec, pour rafraîchir les outils et les empêcher de se détremper. Lorsqu'on a atteint une profondeur de 8 à 10^{m}, il est nécessaire de recourir à un engin pour soulever la sonde.

La fig. 2351 donne l'élévation d'un engin à quatre montants, d'une simplicité remarquable et d'une manœuvre très facile, employé par l'ingénieur allemand Kind dans les sondages à des profondeurs moyennes, de 80^{m} au plus. *a*, *a*, sont les montants de l'engin, fixés à leur partie inférieure sur des semelles *b*, *b*, reliés à leur partie supérieure par les pièces *c*, *c*, et consolidés dans l'intervalle par des entretoises *d*, *d*, sur lesquelles on pose quelques planches servant à faciliter l'accrochage et le dévissage des tiges à une hauteur quelconque; F, est le treuil sur lequel s'enroulent deux cordes dont l'une sert à descendre et à remonter la sonde, et l'autre à la manœuvre du cylindre à soupape; jusqu'à une profondeur de 30^{m}, on fait mouvoir le treuil avec deux manivelles; au-delà, on le fait tourner en agissant sur les extrémités des leviers *i*, *i;* au sommet de l'engin se trouve la poulie de renvoi *k*, sur laquelle passe la corde qui sert à relever la sonde. Pour des trous de 10 à 20^{m}, on se sert de la même corde pour relever la sonde et pour manœuvrer le cylindre à soupape; pour des trous plus profonds, on emploie deux cordes distinctes; la corde qui sert à descendre le cylindre à soupape passe sur une poulie de renvoi placée à la partie supérieure de l'engin, et est manœuvrée, suivant le cas, soit à bras, soit au moyen du treuil F, soit à l'aide d'un treuil particulier.



2351.

Le levier de battage *m m*, peut basculer autour d'un axe en fer qui traverse les poteaux *n*, *n;* on suspend la tête de la sonde, au moyen d'une chaîne en fer, à un crochet fixé à l'une des extrémités du levier de battage, tandis qu'à l'autre bout, en *p*, on adapte une barre transversale sur laquelle les ouvriers agissent pour soulever la sonde; quand celle-ci retombe ensuite par son propre poids, l'excursion du levier *m* est limitée, parce que son extrémité *p* vient frapper l'extrémité d'une perche élastique en bois *r*, solidement fixée entre les montants *s*, *s*, et faisant ressort. Cette disposition a surtout pour but de diminuer de beaucoup le fouet des tiges, et par suite de prévenir en grande partie la dégradation des parois du trou et les fréquentes ruptures des tiges qui en résultent; souvent aussi, on facilite le battage de la sonde, en équilibrant une partie de son poids, lorsque la profondeur devient considérable, par l'addition d'un contre-poids que l'on place vers l'extrémité *p* du levier de battage.

Sauf les dimensions, on peut aisément se servir, avec quelques légères modifications, de l'engin ci-dessus pour le forage à de très grandes profondeurs. On fait mouvoir au moyen d'une roue à marches, munie d'un frein, le treuil servant à monter et à descendre la sonde; un petit treuil à manivelles séparé dessert le cylindre à soupape pour curer le trou. Le levier de battage est tantôt mû à bras, tantôt soulevé par des cames mises en mouvement soit par un treuil séparé, soit par la roue à marches ci-dessus; la meilleure disposition à adopter pour ces cames est de les composer d'un certain nombre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de rouleaux mobiles sur leurs axes et ajustés entre deux disques parallèles disposés comme ceux d'une lanterne.

L'attaque du terrain se fait, comme nous l'avons dit, soit au moyen de trépans, soit au moyen de tarières; avec les trépans, qui sont seuls employés dans les terrains durs et résistants, on broie les roches par un mouvement de percussion, qui consiste à soulever l'outil et toute la sonde à une hauteur variable, depuis 0m,15 jusqu'à 0m,70, suivant les circonstances, et à les laisser retomber en même temps qu'on fait tourner d'une petite quantité la sonde sur son axe; avec les tarières, on laisse porter la sonde de tout son poids sur le fond du trou et on agit en rodant, c'est-à-dire en imprimant à la tige un mouvement de rotation continu. Les trous forés par battage se maintiennent, en général, beaucoup mieux dans la verticale que les trous forés en rodant; en outre le battage avec des outils de forme appropriée à la nature de la roche avance plus vite que le rodage et donne lieu à moins d'accidents, le rodage fatiguant beaucoup par torsion la tige de la sonde, tandis que le battage ne donne lieu qu'à un fouet ou vibration des tiges lors du choc, fouet que l'on a entièrement fait disparaître par l'introduction de coulisses qui rendent l'outil et une faible portion de la sonde, placée au-dessus, indépendants de la ligne supérieure des tiges.

Lorsque les outils ou le trou sont encombrés de débris, il faut relever la sonde : on la suspend à cet effet, au moyen d'un pied de bœuf ou clef de relevée (figure 2348), à l'extrémité du câble de l'engin. En agissant sur le treuil ou la roue à marches, on relève la sonde de manière à amener hors du trou autant de nœuds d'assemblage que possible; on place alors une clef de retenue (fig. 2347) au-dessous de l'épaulement du nœud inférieur; on dévisse avec un tourne-à-gauche la partie des tiges hors du trou; on fait ensuite descendre la clef de relevée, en tirant sur le câble, et, saisissant de nouveau la sonde, au-dessus de la clef de retenue et au-dessous de l'embase de l'emmanchement, on soulève une autre longueur de sonde égale à la première, que l'on désassemble de même, et ainsi de suite; la descente de la sonde se fait en répétant la manœuvre ci-dessus en sens inverse.

Quand le forage s'exécute en rodant avec une tarière, celle-ci remonte presque toujours remplie des débris du terrain formant dans son intérieur une *carotte* compacte que l'on en détache avec une curette : il n'y a plus qu'à redescendre l'outil dans le trou. Quand, au contraire, on a foré en battant, à l'aide d'un trépan quelconque, on remonte comme ci-dessus la sonde; puis on procède au curage du trou, soit avec une tarière, soit avec un cylindre à soupape à boulet. La tarière plus ou moins fermée ne peut être employée que quand les débris de la roche sont susceptibles de faire une pâte de quelque consistance avec l'eau dont le trou est toujours rempli jusqu'à une assez grande hauteur; on la visse à l'extrémité des tiges de la sonde et on la remplit en rodant. Le cylindre à soupape peut être employé dans tous les cas; on le descend dans le trou, quelquefois en le vissant à l'extrémité de la ligne des tiges, le plus souvent en le suspendant au bout d'un câble qui s'enroule sur un treuil; on le remplit en lui imprimant un mouvement d'oscillation, ou de sonnette, au milieu des débris délayés dans l'eau qui remplissent la partie inférieure du trou.

Il est tout à fait indispensable que le contre-maître, chargé de la conduite du sondage, place des échantillons des terrains ramenés au jour, de diverses profondeurs, dans des casiers numérotés, et qu'il inscrive, sur un journal du sondage tenu avec le plus grand soin, la nature du terrain reconnu, avec renvoi aux échantillons du casier, ainsi que les moindres circonstances de l'opération.

Dans des sondages de 0m,03 à 0m, 10 de diamètre, avec la sonde que nous venons de décrire, il faut de 3 à 8 ouvriers, suivant les profondeurs, entre 0m et 100m; au-delà, on n'augmente guère le nombre des ouvriers, mais on va plus lentement.

Comme exemple de la vitesse avec laquelle on opère, nous citerons les nombres suivants obtenus par M. Fantet pour des sondages de 0m,08 de diamètre :

1° Terrain houiller ordinaire, composé de bancs de grès houiller médiocrement dur alternant avec des schistes houillers :

Profondeur.	Ouvriers.	Jours.	Journées d'ouvrier par mèt. cour.
0 à 25m	3	14	1,68
25 à 30	4	3	2,40
30 à 35	5	3	3,00
35 à 40	6	4	4,80
40 à 50	7	6	4,20
50 à 70	7	18	6,30
70 à 80	8	12	9 60

2° Terrain houiller très dur, composé surtout de bancs de grès :

Profondeur.	Ouvriers.	Jours.	Journées d'ouvrier par mèt. cour
0 à 25m	3	18	2,16
25 à 30	4	5	4,00
30 à 35	5	4	4,00
35 à 40	6	3	3,60
40 à 50	7	9	6,30
50 à 70	7	24	8,40
70 à 80	8	17	13,70

Ces exemples indiquent clairement que, par cette méthode, le prix de revient du mètre courant croît très rapidement avec la profondeur, et peuvent en donner une idée.

Glaisage et tubage des trous. La nature plus ou moins ébouleuse d'une partie des terrains que traverse un trou de sonde, oblige généralement à en soutenir les parois en tout ou en partie, au moyen de tubes de retenue. Dans les trous de sonde peu profonds et d'un faible diamètre, destinés seulement à l'exploration du sous-sol, il suffit souvent de glaiser les trous, c'est-à-dire d'en consolider les parois avec un enduit de glaise; le meilleur glaisage s'effectue en retirant la sonde, remplissant le trou, jusqu'au bout du banc ébouleux, avec de la glaise en pâte très consistante, la tassant avec une masse, puis forant dans la glaise tassée avec une tarière à glaise.

Les tubes de retenue se font presque exclusivement en tôle de fer; on leur donne un diamètre extérieur un peu plus faible que celui du trou et, quoique ordinairement on les enfonce en tournant, on leur donne une épaisseur de tôle assez forte pour qu'on puisse sans crainte faciliter leur enfoncement par de légers coups de mouton sur leur tête, M. Degousée leur donne 0m,005 d'épaisseur pour un diamètre de 0m,33; 0m,003 pour 0m,25; 0m,002 pour 0m,15. Chaque bout de tube a environ 2m de longueur; sa suture longitudinale s'exécute avec des rivets en fer doux, espacés de 0m,04 à 0m,05, dont les têtes sont arrondies et aplaties en goutes de suif intérieurement et extérieurement. On assemble ces bouts au moyen de manchons en tôle et de petits boulons à vis à tête plate; on fixe d'abord le manchon sur le tube inférieur, on soulève ensuite le tube supérieur au moyen du câble de l'engin, on le laisse descendre dans le manchon et on le fait tourner jusqu'à ce que les trous du tube correspondent à ceux du manchon; on descend successivement les boulons dans le tube en les suspendant au moyen d'une ficelle par le crochet ménagé à leur extrémité; on saisit ces ficelles avec de petits crochets recourbés que l'on passe dans les trous en regard sur le manchon et le tube et on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

attirer les boulons dans ces trous ; on y ajuste alors les écrous que l'on serre jusqu'à refus ; on coupe à la scie la partie du boulon qui dépasse l'écrou et on rive.

La ligne de tubes arrivée au fond du trou, on continue le forage sur un diamètre moindre de 0m,02 que celui intérieur des tubes. Lorsqu'on rencontre à une profondeur plus considérable de nouveaux bancs ébouleux, tantôt on procède à un nouveau tubage avec des tubes d'un diamètre moindre, tantôt on élargit le trou pour faire suivre la colonne de tubes de retenue. Ce dernier procédé est surtout employé lorsque les assises solides qui séparent les bancs ébouleux ont une faible épaisseur. Les outils élargisseurs que l'on emploie dans ce cas agissent soit en rodant, soit par percussion ; les premiers se composent d'un cylindre portant des échancrures dans lesquelles sont logées des lames ou pièces dentées mobiles autour d'un axe, qui s'ouvrent de manière à attaquer le terrain quand on fait tourner l'outil dans un sens, et qui se ferment quand on fait tourner l'instrument en sens contraire pour le retirer. Les outils élargisseurs à percussion sont de formes très variées : ils sont ordinairement munis de ressorts qui en ouvrent les branches lorsqu'ils arrivent au-dessous de la colonne des tubes ; des renflements pratiqués sur ces branches au-dessus des taillants viennent presser contre les parois du tube et forcent l'outil à se refermer quand on vient à le remonter.

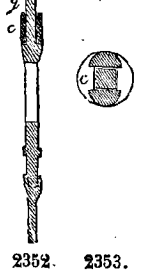
Lorsqu'on prévoit que les frais d'élargissement seront trop considérables, ou quand la pression du terrain sur la surface extérieure des tubes ne permet pas d'enfoncer plus profondément la première ligne de tubes de retenue, on se trouve dans la nécessité d'en introduire une seconde d'un diamètre moindre. Le plus souvent on donne à cette seconde colonne la profondeur totale du trou, de sorte qu'elle se trouve en recouvrement sur la première ligne de tubes ; le posage de cette seconde colonne se fait alors absolument comme celui de la première et n'offre rien de particulier. On se sert quelquefois de colonnes perdues qui ne s'élèvent pas jusqu'à l'orifice du trou de sonde. Ordinairement on termine cette colonne, à la partie supérieure, par un tuyau plus fort muni d'un écrou intérieur, dans lequel on engage un tampon à vis qui se fixe à l'extrémité des tiges de la sonde et sert à descendre la colonne. Cette colonne ne pouvant plus être prolongée par sa partie supérieure, il faut lui donner tout d'abord la longueur approximative qu'elle devra avoir. Pour faire filer dans le terrain la colonne perdue, lors de l'approfondissement du trou, on fixe à l'extrémité des tiges un tampon en bois qui pénètre sur une certaine hauteur dans l'intérieur des tuyaux, et qui est pourvu d'un rebord plus large, par lequel il s'appuie sur leur contour supérieur ; ce rebord fait l'effet de mouton et sert à enfoncer par percussion la colonne de tubes. Si le terrain continue à être ébouleux, après que l'on a enfoncé la colonne perdue autant que sa longueur le permettait, il faut recourir à un nouveau tubage d'un moindre diamètre, ou extraire la colonne trop courte, qu'on ne peut allonger sur place.

Pour retirer les colonnes de tubes de retenue, M. d'Alberti a employé avec succès le moyen suivant : on descend à l'extrémité des tiges de la sonde un tampon tronçonique tourné la pointe en haut et dont la grande base a un diamètre un peu plus faible que celui de la colonne de tuyaux à extraire ; on descend ensuite par-dessus, au moyen d'une corde, un manchon de douves en bois, maintenues à la partie supérieure par un ou deux cercles minces en fer et terminées intérieurement par le bas en biseau, de manière à faire coin ; il en résulte une adhérence très forte, lorsqu'on cherche à remonter le tampon, et généralement suffisante pour entraîner la colonne. Si l'on ne peut y parvenir, il est toujours facile de dégager l'outil, en laissant descendre le tampon, tandis qu'on retient le manchon au moyen des cordes qui ont servi à le descendre.

Nous citerons encore un arrache-tuyaux aussi simple qu'ingénieux, basé sur le même principe que le précédent et dû à Kind : il consiste en un morceau de bois de 0m,50 à 0m,60 de long, renflé dans son milieu en forme de navette, fortement cerclé à ses deux extrémités et traversé par une tige que l'on assemble à l'extrémité de celles de la sonde. On le descend jusque vers le bas de la colonne de tubes à extraire, puis on verse dans le trou un panier de gravier à gros grains qui, se logeant entre le tuyau et la partie supérieure de la navette, font coin, quand on relève la sonde, entre le bois et les tubes qui sont alors entraînés. S'il s'agit d'une colonne perdue, on pose sur la navette, avant de l'introduire dans le trou de sonde, un tuyau en tôle de 2m de long, muni d'une anse dans laquelle on passe une corde, et rempli de gravier. Arrivé à la profondeur où l'on veut saisir la colonne, on relève avec la corde le tuyau de tôle ci-dessus, et le gravier qu'il renfermait vient se loger comme précédemment entre la navette et la colonne de tubes à extraire. Lorsque cette dernière ne cède pas sous un effort moindre que celui que la ligne des tiges peut supporter sans se rompre, on dégage facilement la navette en la laissant descendre jusqu'au-dessous de la colonne, où il se trouve presque toujours quelques cavités ou parties plus larges par lesquelles le gravier s'écoule.

Perfectionnements récemment apportés au sondage avec tiges rigides. Dans le sondage, tel que nous venons de le décrire, les dépenses et les difficultés de tout genre croissent très rapidement avec la profondeur ; les causes principales qui produisent ces effets sont au nombre de trois, le temps considérable qu'il faut employer pour l'extraction et pour la descente de la sonde, l'énorme poids des tiges, et le fouet de celles-ci contre les parois du trou, lorsqu'on agit en sonnant, fouet d'autant plus sensible que la longueur des tiges est plus grande et qui produit d'une part la dégradation des parois de trou de sonde, voire même des éboulements, et de fréquentes ruptures de tiges.

Pour prévenir ces effets désastreux du fouet des tiges, d'Oeynhausen et Kind imaginèrent à la même époque, en 1834, de diviser la ligne des tiges en deux parties presque indépendantes par l'interposition d'une coulisse dont les fig. 2352 et 2353 donnent une coupe longitudinale et une coupe transversale. On voit clairement sur ces figures que les deux parties de la tige ne sont pas solidaires, bien que la rotation de l'une puisse se transmettre à l'autre. Lorsque dans le battage, l'outil que porte la partie inférieure vient frapper le fond du trou, la partie supérieure demeure suspendue au câble de l'engin et continue à descendre en glissant le long de la coulisse sans participer aux vibrations produites par le choc dans la partie inférieure ; il va sans dire que la levée du battage doit toujours être moindre que la longueur de la coulisse. La partie supérieure des tiges n'a donc d'autre fonction que de soulever la partie inférieure et de lui imprimer le mouvement de rotation pendant la manœuvre du battage. On soutient ou contre-balance la partie supérieure des tiges au moyen d'un contre-poids, ou d'un ressort de choc en bois analogue à celui que nous avons décrit en parlant des engins.



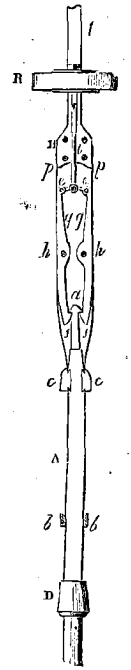
2352. 2353.

Cette division de la tige en deux parties de fonctions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

essentiellement distinctes, a permis à Kind d'opérer un nouveau perfectionnement très important qui consiste d'une part à diminuer la longueur de la partie inférieure ou agissante de la sonde, en augmentant le poids de l'outil et l'écarrissage des tiges, et d'autre part à former la partie supérieure avec de longues tiges en bois qui pèsent un peu moins que le volume d'eau qu'elles déplacent dans le trou, de sorte que le poids à soulever par les ouvriers n'augmente point avec la profondeur du trou; il s'ensuit que l'on n'a pas besoin d'augmenter le nombre des ouvriers avec la profondeur.

C'est avec grand succès que M. Kind a imaginé de remplacer la coulisse que nous venons de décrire par une sorte de mouvement à déclic beaucoup plus parfait et représenté dans la fig. 2354. Le trépan placé à l'extrémité de la sonde se visse au bout de la tige D, terminée à sa partie supérieure par une pièce méplate A, laquelle est elle-même comprise et peut glisser entre deux platines p, p (on n'en voit qu'une sur la figure, la platine antérieure ayant été enlevée pour laisser voir le mécanisme du déclic), boulonnées à la pièce méplate B; cette dernière sert à les relier aux tiges supérieures de la sonde, par le moyen d'une barre carrée f, terminée par un tenon fileté. Pour empêcher la pièce A de quitter la platine, ces dernières sont réunies à leur partie inférieure par un anneau en fer bb, solidement boulonné, et la pièce A est munie d'oreillettes c, c, assemblées à rainures; cette pièce A est terminée au-dessus des oreillettes par une tige carrée portant à son extrémité une saillie triangulaire a, qui est saisie, à la remonte de la tige, par les pinces s, s; ces pinces se composent de deux branches $q\,s$, $q\,s$, terminées par les cames s, s, mobiles autour des boulons h, h, fixés aux deux platines, et réunis de l'autre côté par deux articulations c, c, à une double tige t, laquelle glisse dans l'épaisseur des platines et de la pièce B; les deux branches de cette double tige t sont liées à un disque R, formé de rondelles de cuir superposées, d'un diamètre à très peu près égal à celui du trou, assez flexibles pour que la résistance de l'eau puisse les courber, et serrées par des écrous entre deux disques de tôle d'un plus faible diamètre; le disque R est enfilé et peut glisser librement sur la barre f, depuis les platines jusqu'au renflement de la barre f, qui limite son ascension à la partie supérieure. Quand après avoir soulevé à une hauteur convenable la tige de la sonde, entraînant le trépan, on la laisse tomber librement, la résistance opposée par l'eau qui remplit le trou au mouvement du disque empêche ce dernier de suivre la tige qui descend d'abord sans lui; ce mouvement relatif ouvre les pinces, et le trépan, devenu indépendant de la tige, tombe plus rapidement. Le renflement supérieur de la barre f force bientôt le disque à suivre le mouvement de la tige, et à venir se placer de manière à ce que les cames s, s soient au-



2354.

dessous de la saillie a, la résistance de l'eau sur le disque maintenant les pinces écartées. Lorsqu'on relève la sonde, la résistance de l'eau agissant en sens contraire, empêche encore la sonde de suivre le mouvement, les pinces se ferment, les cames saisissent la saillie a, et le trépan est entraîné dès que les oreilles c, c, viennent passer sur l'anneau bb.

C'est à l'aide de cet outillage perfectionné que Kind est parvenu à atteindre au trou de sonde de Mondorf, près Luxembourg, une profondeur qui est actuellement de plus de 700 mètres, c'est-à-dire environ de 150 mètres plus grande que celle du fameux puits de Grenelle.

Tubage définitif des trous de sonde. Les trous de sonde destinés, soit à amener au jour les eaux jaillissantes, soit à se débarrasser des eaux de la surface en les faisant absorber par une couche perméable, doivent être munis d'un tubage fait avec soin. Ce tubage a pour but de prévenir les éboulements, et surtout, dans les puits artésiens proprement dits, d'empêcher l'absorption d'une partie des eaux par les couches perméables; à cet effet, la base de ce tubage doit s'appuyer sur la couche imperméable qui recouvre immédiatement la couche aquifère, et il faut qu'il y ait une jonction exacte entre son contour extérieur et cette couche.

Le tubage avec des tuyaux en bois est le plus durable et le plus économique, mais il a le grave inconvénient de diminuer notablement le diamètre intérieur du trou de sonde, à cause de l'épaisseur considérable ($0^m,03$ à $0^m,04$ au moins) qu'il faut donner aux tuyaux; on assemble ceux-ci à mi-bois et à emboîtement, consolidé extérieurement par des bandes ou un manchon en tôle mince noyé dans le pourtour du bois.

On emploie quelquefois des tubes en fonte assemblés, soit à emboîtement et à vis, soit à tabatière et recouvrement avec rivets; ils sont de plus longue durée que les tubes en tôle de fer. Ces derniers, seuls employés comme tubes de retenue, sont d'un mauvais service pour le tubage définitif, l'expérience ayant démontré qu'ils sont assez promptement détruits par l'oxydation, même avec les eaux les plus pures.

On se sert ordinairement de tubes en cuivre rouge laminé, quelquefois étamés à l'intérieur, et qui, recevant une épaisseur beaucoup moindre que ceux en tôle de fer, ne reviennent en définitive qu'à un prix plus élevé de moitié en sus, et durent infiniment plus longtemps.

Lorsque les eaux sont sulfureuses, on emploie avec avantage des tubes en zinc, comme l'a fait M. Degousée à Enghien.

Enfin, au puits de Grenelle, on s'est servi avec succès de tubes en tôle galvanisée.

Quel que soit le mode de tubage employé, le tube d'ascension étant descendu dans le trou, on l'assujettit, et on garnit le vide existant entre les parois du trou et le contour extérieur du tube, dans toute sa hauteur, en y coulant du bon béton.

Le tuyau d'ascension une fois établi, on le prolonge provisoirement au-dessus de la surface du sol, jusqu'à ce que l'eau ne puisse plus s'écouler par son orifice supérieur; on détermine ainsi le *niveau hydrostatique* des sources qui l'alimentent. On l'abaisse ensuite suivant la hauteur à laquelle on veut élever l'eau et le débit que l'on veut obtenir, ce dernier diminuant très rapidement à mesure que l'on élève le déversoir qui donne issue aux eaux montantes.

Lorsque l'on constate une certaine diminution dans le volume d'eau débité primitivement par un puits artésien, la première chose à faire est de déterminer de nouveau le niveau hydrostatique de ce puits.

Si ce niveau n'a pas varié, la diminution du volume d'eau tient, soit à une obstruction de la sonde, soit à un engorgement des canaux souterrains provenant d'éboulements intérieurs dans la couche aquifère, soit quelquefois à l'existence d'un nouveau puits foré dans le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

voisinage. On remédie à l'obstruction du puits, en y faisant de nouveau passer la sonde armée d'une tarière, un cylindre avec soupape à boulet, ou tout autre instrument approprié. L'engorgement des canaux souterrains n'est en général qu'accidentel et momentané ; il suffit presque toujours, pour le faire cesser, de produire des variations brusques dans le mouvement de la colonne d'eau ascendante, soit en bouchant imparfaitement le tuyau avec un cylindre en bois et le retirant brusquement, soit en faisant jouer avec une grande vitesse dans le tuyau, un véritable piston de pompe garni d'un clapet.

Si le niveau hydrostatique s'est abaissé, l'accident est beaucoup plus grave, et il est à peu près certain que la diminution observée tient à un défaut de jonction du tube ascensionnel avec les bancs supérieurs à la couche aquifère, ou à des avaries survenues dans la hauteur de ce tube, par où une partie des eaux montantes s'infiltre dans les terrains perméables supérieurs. Il faut alors extraire le tube mal assujetti ou détérioré et lui en substituer un autre, opération délicate et coûteuse, qui nécessite presque toujours l'élargissement du trou de sonde dans une grande partie de sa profondeur.

SONDAGE A LA CORDE.

Le sondage à la corde ou *sondage chinois*, est le procédé de sondage le plus simple que l'on connaisse, et c'est le plus ancien, puisqu'il est employé de temps immémorial par les Chinois, qui n'en connaissent point d'autres. Il en est fait mention pour la première fois en Europe dans une relation d'un voyage pittoresque, publié à Amsterdam à la fin du dix-septième siècle, où il est dit que « les Chinois pratiquent des trous dans la terre, à de très grandes profondeurs, à l'aide d'une corde armée d'une main de fer, laquelle rapporte au jour les détritus du fond. » Plus récemment, en 1827, le missionnaire Imbert est venu confirmer ce fait, et donner des détails plus circonstanciés sur ce mode de forage, en faisant connaître ce qu'il avait observé dans la province de Ou-Tong-Kiao, où, dit-il, « on a trouvé, sur un espace de quatre lieues de large sur dix de long, plusieurs dizaines de mille puits, forés de temps immémorial, pour l'exploitation des eaux salées et des bitumes, qui se rencontrent à peu près à 1.800 pieds de la surface. » Quelques puits qui avaient perdu leur sel ont été poussés jusqu'à 3.000 pieds de profondeur, et ont donné naissance à ce qu'il appelle des volcans artificiels, c'est-à-dire à des courants de gaz hydrogène carboné, que l'on emploie pour produire la chaleur nécessaire à la cristallisation du sel dans des chaudières de fer, au nombre de plus de trois cents dans un seul établissement.

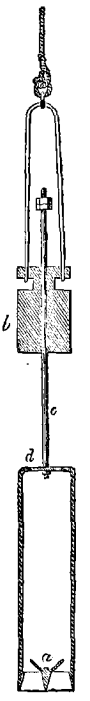
C'est après avoir eu connaissance de la relation du père Imbert, que notre savant collaborateur, M. *Jobard*, prit pour le sondage, au moyen de l'appareil chinois perfectionné, un brevet de 15 ans, actuellement tombé dans le domaine public, ce qui nous permet de décrire l'outillage aussi simple qu'ingénieux qu'il a imaginé.

L'engin que l'on emploie ordinairement est très simple ; c'est une simple chèvre munie d'une poulie de renvoi et d'un treuil sur lequel s'enroule la corde. On imprime à celle-ci un mouvement de sonnette au moyen de plusieurs cordelettes, sur lesquelles agissent les ouvriers employés au battage ; ces cordelettes sont fixées à la corde par une sorte de porte-mousqueton que l'on peut faire glisser à volonté sur la corde, au fur et à mesure que le puits s'approfondit. La levée de la sonde varie de 0m,30 à 0m,60 au plus. On emploie des cordes en aloès ou des câbles en fil de fer avec âme en chanvre ; les cordes en chanvre présentent moins de résistance et de durée ; les Chinois se servent de cordes en bambou tressé.

Dans les terrains durs M. Jobard emploie un mouton ou pilon coulé en coquille, pour que les dents qui le terminent aient la dureté de l'acier. Ce mouton est représenté en coupe fig. 2355 et en plan fig. 2356. Il est terminé par une tige de fer *a*, portant à sa partie inférieure une pointe d'acier qui sert d'amorçoir et retombe toujours dans le trou de direction. Le haut de la tige, qui peut avoir plusieurs mètres, est muni d'une espèce de croix de Malte en acier *b*, ou seulement d'une simple couronne, pour prévenir toute déviation de l'outil de la ligne verticale. Le mouton est cannelé extérieurement pour permettre aux boues de se dégager, et il est creusé à l'intérieur de manière à former un cône renversé *c c*, destiné à recevoir les détritus qui jaillissent par les cannelures à chaque coup, pendant le battage. Quand ce cône intérieur est plein de détritus, ce qu'il est facile de savoir lorsqu'on connaît la capacité de ce cône, le diamètre du trou et l'avancement produit, on relève l'outil pour le vider.

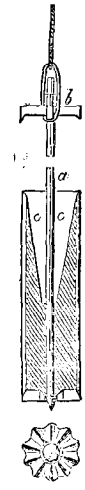
Lorsque l'on se trouve obligé de recourir à un tubage pour soutenir les parois du trou, il est nécessaire, pour faire filer la colonne de tubes, de creuser au-dessous sur un diamètre plus grand : il suffit, pour cela, de suspendre le mouton par un point qui ne passe pas par son centre de figure, comme l'indique la fig. 2357 ; il incline alors d'un côté et produit, en tournant sur lui même, un trou plus large que son propre diamètre, ce qui permet de faire filer le tubage sans effort.

Dans les terrains mous, M. Jobard se sert d'un emporte-pièce ou cuillère à soupape munie d'un mouton, comme le représente la fig. 2358 : *a*, *a*, sont deux soupapes qui s'ouvrent en ailes de papillon au fond d'un cylindre, formé d'une forte tôle aciérée à sa base ; quand il s'agit d'enlever de la boue, du sable ou de l'argile, il suffit de descendre cette cuillère au fond du trou



2358.


2357.



2356.

2355.

et de faire jouer le mouton *b* qui glisse le long de la tige *c* et frappe à petits coups sur la tuyère pour la faire entrer dans la matière molle ; cette matière soulève les soupapes et pénètre dans le cylindre ; quand on retire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le tout, les soupapes se referment, si la matière est meuble; mais elles restent ouvertes si la matière est plastique, ce qui n'empêche pas celle-ci d'être entraînée et amenée au jour. Quand il ne s'agit que de ramener des gros sables peu agrégés, des cailloux ou des galets roulés, il suffit, pour ramener la cuillère pleine, de lui imprimer pendant quelque temps un mouvement de sonnette, parce que la chute de cet instrument produit dans son intérieur un courant ascensionnel très rapide qui enlève les cailloux et les fait monter dans la cuillère, tandis que l'eau se dégage par les trous *d*, percés à la partie supérieure.

Une personne que nous citerons à cause du grand nombre de sondages à la corde qu'elle a entrepris et menés à bonne fin, bien qu'elle se serve d'un outillage moins parfait que celui que nous venons de décrire, M. Goulet-Collet, de Reims, emploie dans ses sondages l'instrument représenté en coupe fig. 2359 et en plan fig. 2360 : c'est un tube en forte tôle *a*, de 2m de longueur, armé à sa base d'un cercle d'acier et de deux couteaux en croix *b*. Cet outil en tombant hache, pour ainsi dire, le fond du puits dans tous les sens; l'eau se déplace par l'intérieur, mais il a l'inconvénient de ne rien rapporter, et on est obligé de le retirer de temps en temps pour nettoyer le trou avec un cylindre à soupape ordinaire. Il en serait autrement si on plaçait à l'intérieur de ce long cylindre plusieurs étages de petits balcons creux, dans lesquels viendraient se déposer les matières solides qui sont élevées à chaque coup par l'eau.

2359.



2360.

Pour donner une idée de l'extrême bon marché du sondage à la corde, nous dirons que, bien que les outils de M. Collet ne soient pas disposés de manière à servir en même temps pour le curage du trou, cet habile sondeur fore, en ce moment, dans le terrain crétacé de la Champagne, des puits aussi profonds qu'on le désire, à 9 fr. le mètre courant; son appareil complet de sondage ne coûte pas 500 fr., et il fore, à l'aide de deux ouvriers seulement, de 8 à 11m par jour dans la craie. M. Goulet a foré dans ce terrain, depuis quelques années, près de 100 puits, et chacun de ses puits a donné de l'eau pure à une fabrique ou à un particulier, pour la somme de 150 fr. à 300 fr. au plus.

Les nombres que nous venons de citer sont sans réplique, et pour les terrains analogues à la craie, au moins, on emploie encore presque exclusivement le sondage avec des tiges rigides.

SONDAGE AVEC TIGE RIGIDE CREUSE, ET CURAGE CONTINU DU TROU.

Nous venons de voir que la principale cause de la lenteur du forage avec les sondes à tige rigide, venait de la nécessité où l'on se trouvait de retirer de temps à autre l'outil du trou pour curer ce trou au moyen d'un outil approprié; nous avons également vu qu'on augmentait beaucoup la vitesse de forage en remplaçant la tige rigide par une corde, ce qui abrège considérablement la montée et la descente de la sonde, et en disposant l'outil foreur de manière à recevoir en même temps les detritus de l'opération, ce qui supprime l'emploi d'un outil particulier pour le curage. Au lieu de chercher à augmenter la rapidité de la manœuvre du curage du trou, comme on l'avait fait pour la substitution de la corde à la tige rigide de la sonde on pouvait se proposer de faire disparaître cette opération en la rendant continue et indépendante du mouvement de la sonde; c'est en abordant la question sous ce point de vue, que M. Fauvelle est arrivé à l'ingénieuse solution que nous allons décrire :

L'appareil de M. Fauvelle se compose d'une sonde creuse, formée de tubes vissés bout à bout; l'extrémité inférieure de la sonde est armée d'un outil perforateur, approprié aux terrains qu'il s'agit d'attaquer. Le diamètre de cet outil est plus grand que le diamètre des tubes, afin de réserver autour de ceux-ci un espace annulaire, par lequel l'eau et les déblais puissent remonter. L'extrémité supérieure de la même sonde est en communication avec une pompe foulante au moyen de tubes articulés qui suivent le mouvement descendant de la sonde sur une longueur de quelques mètres. La sonde est animée d'un mouvement de rotation au moyen de tourne-à-gauche, ou de percussion par un treuil à déclic. La chèvre et le treuil pour monter, descendre et soutenir la sonde, ne présentent rien de particulier.

Lorsqu'on veut faire agir la sonde, on commence toujours par mettre la pompe en mouvement. On injecte jusqu'au fond du trou, et par l'intérieur de la sonde, une colonne d'eau qui, en remontant dans l'espace annulaire compris entre la sonde et les parois du trou, établit le courant ascensionnel qui doit entraîner les déblais; on fait alors agir la sonde comme une sonde ordinaire, par battage; et, à mesure qu'une partie de la roche est broyée ou détachée par l'outil, elle est à l'instant entraînée dans le courant ascensionnel. Il résulte de cette marche que les déblais étant constamment enlevés par l'eau, on n'a plus besoin de remonter la sonde pour les enlever, ce qui procure une très grande économie de temps. Un avantage aussi précieux, pour le moins, c'est que l'outil perforateur n'est jamais engorgé par les detritus et qu'il agit toujours sans entraves sur le fond du trou. Si l'on ajoute à cela que l'expérience prouve que les éboulements sont presque toujours nuls dans les terrains où la sonde en détermine presque toujours, on aura énuméré les principaux avantages de ce nouveau mode de sondage. Ils sont d'ailleurs constatés pour le forage que M. Fauvelle vient de faire, à Perpignan, sur la place Saint-Dominique. Ce forage, commencé le 1er juillet 1846, était terminé le 23, par la rencontre de l'eau jaillissante à une profondeur de 170 mètres; si de ces vingt-trois jours on défalque trois dimanches et six journées perdues, il reste pour le temps réel employé au forage quatorze jours de travail effectif, à 10 heures par jour, ce qui représente un avancement moyen de 12 mètres par jour de travail.

Dans le système que nous venons de décrire, on voit que l'injection de l'eau a lieu par l'intérieur de la sonde. L'expérience a fait reconnaître à M. Fauvelle que, lorsque l'on rencontre des graviers ou des pierres d'un certain volume, il était préférable d'injecter l'eau par le trou et de la faire remonter par l'intérieur de la sonde. La vitesse plus grande qu'il est possible d'imprimer à l'eau, et le calibre plus exact de l'intérieur de la tige de la sonde, permettent de remonter ainsi des pierres que la manœuvre ordinaire obligerait à broyer préalablement. M. Fauvelle a remonté, par ce moyen, des cailloux de 0m,06 de longueur sur 0m,03 de grosseur. L'idée de faire remonter l'eau par l'intérieur de la sonde, offre un moyen facile de forer au-dessous d'une nappe d'eau jaillissante sans avoir besoin de pompes; il suffira de fermer hermétiquement l'orifice du puits, de manière à laisser libre le jeu de la sonde, et à ce que l'eau jaillissante soit forcée d'aller toujours chercher le bas de la tige creuse pour trouver une issue; elle y entraînera et ramènera au jour tous les déblais. Dans les trous forés à une profondeur considérable et sur un grand diamètre, on pourra aisément réduire le poids de la sonde en faisant en bois la tige creuse, et faciliter ainsi la ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nœuvre ; mais dans ce cas, comme l'outil est fixé d'une manière rigide à la sonde, on amoindrira l'effet utile de l'outil sur la roche. On pourra bien, pour éviter la vibration de la tige, interposer une coulisse entre celle-ci et l'outil, seulement cette disposition ne remédiera pas à la perte de force vive due à la masse de la sonde, et nous ne voyons pas comment on pourra le faire, car l'obligation de conserver la circulation de l'eau s'oppose à l'emploi du déclic imaginé par Kind (voir plus haut figure 2354), ou de tout autre mécanisme basé sur les mêmes principes.

SONDES DIVERSES.

Sondes employées dans l'intérieur des mines. On emploie la sonde dans l'intérieur des mines dans trois cas différents :

1° On exécute au fond des puits un forage vertical pour explorer le terrain inférieur. On se sert d'une sonde ordinaire et, même avec une tige rigide, on se passe d'engin, et on emploie un simple treuil placé sur l'orifice du puits ; on peut alors retirer ou descendre la sonde par parties d'une longueur considérable et égale à la profondeur du puits ;

2° On fore des trous de sonde pour établir des communications entre deux groupes de travaux, soit pour l'écoulement des eaux, soit pour les besoins de l'aérage. Ces communications sont verticales ou inclinées, et ont généralement une faible longueur, ce qui en rend le forage assez facile ; il est souvent nécessaire de leur donner un diamètre considérable, et qui dépasse quelquefois 0m,50. Lorsqu'elles sont verticales on les exécute par le sondage à la corde ; quand elles sont inclinées, on ne peut les forer qu'avec une sonde à tige rigide ;

3° Enfin, et surtout dans les mines de houille, on se fait fréquemment précéder par des trous de sonde destinés à reconnaître le terrain, pour s'assurer contre le danger des lacs souterrains ou des mofettes ; ces trous doivent être faits sur le plus faible diamètre possible, parce qu'il est bien plus aisé de les boucher au besoin. La tige de la sonde est en fer rond de 0m,015 à 0m,025 de diamètre, et l'outil qui la termine a 0m,030 à 0m,035 au plus de large. Les trous ayant au maximum 4 ou 5m de profondeur, la sonde est exclusivement manœuvrée à bras par deux hommes. On exécute généralement ces trous dans l'épaisseur des gîtes exploités, et à peu près parallèlement au plan des couches, les uns sur le front des tailles ou galeries, dans la direction même de l'axe de ces dernières, les autres dans les angles et dans des directions formant des angles de 45° avec la précédente.

Sonde du tourbier. Nous terminerons cet article par quelques mots sur la sonde spéciale dont se sert fréquemment le tourbier pour l'exploration du sous-sol. Cette sonde, terminée par une tarière d'un faible diamètre, a une tige rigide en fer divisée en parties égales, dont chacune représente la hauteur que l'on donne, dans le pays, aux pointes de tourbe. Le tourbier enfonce chaque fois la tarière d'une profondeur égale à une division de la tige, et détermine ainsi, d'abord l'épaisseur des terres de recouvrement, puis celle du banc de tourbe, estimée en pointes, et sa qualité au niveau de chacune de ces dernières.

P. DEBETTE.

SONNETTE. Voyez CHOC, MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE et SERRURERIE.

SOUDE (*angl.* et *all.* soda). Dans le terme générique *soude*, nous avons à comprendre plusieurs produits qui ont dans l'industrie une grande importance. Ainsi la soude, considérée à l'état caustique, constitue les lessives des savonniers et des blanchisseurs ; à l'état de carbonate, elle constitue : 1° le sel de soude du commerce ; 2° les cristaux de soude, sans parler de la soude brute, qui est la matière première du sel de soude, ni des sesqui-carbonate et bi-carbonate.

Avant de nous occuper des procédés de fabrication de ces divers produits et de leurs usages, il faut d'abord en étudier les propriétés.

Soude ou oxyde de sodium. Cette substance n'est employée qu'à l'état d'hydrate. L'hydrate de soude est un corps blanc, solide, fusible au-dessous de la chaleur rouge, très caustique. Il est indispensable de le conserver à l'abri du contact de l'air, car exposé à l'air il en attire fortement l'acide carbonique et passe à l'état de carbonate. Il a d'ailleurs une grande analogie avec la potasse pour les propriétés, tant physiques que chimiques (voir POTASSE).

Carbonate de soude neutre. Ce sel est blanc, d'une saveur âcre, un peu caustique ; il agit comme les alcalis. Il est très soluble dans l'eau, et plus à chaud qu'à froid. Il présente, sous le rapport de ses propriétés chimiques, beaucoup d'analogie avec le carbonate de potasse, mais il en diffère essentiellement par ses propriétés physiques.

Il s'obtient en très beaux cristaux, tandis que le carbonate de potasse est incristallisable. Il s'effleurit au contact de l'air, tandis que le carbonate de potasse tombe en déliquescence. Il éprouve la fusion aqueuse et, par une élévation de température, la fusion ignée. Il est indécomposable par la chaleur.

Voici sa composition :

1° A l'état sec :

Acide carbonique.	41,42
Soude.	58,58
	100,00

2° A l'état cristallin :

Acide carbonique.	15,43
Soude.	21,81
Eau.	62,76
	100,00

Sesqui-carbonate Pendant longtemps il a été confondu avec le carbonate ordinaire, mais sa composition et ses propriétés sont bien différentes. Ainsi, il est inaltérable à l'air ; il se conserve même si bien, qu'on assure que les murailles de Cassar, fort d'Afrique, actuellement en ruines, ont été construites avec des masses considérables de ce sel, qui se rencontre dans quelques lacs de cette contrée.

C'est presque toujours le sesqui-carbonate de soude qu'on a rencontré dans la nature. Celui qu'on retire des lacs est mêlé avec une certaine quantité de sel marin et de sulfate de soude ; il porte dans le commerce le nom de *natron*.

Quelques lacs d'Egypte et de Hongrie étant à sec chaque année pendant les grandes chaleurs, on trouve abondamment sur leur fond solide et pierreux des masses salines d'un gris rougeâtre, qu'on détache au moyen de pioches et autres instruments de fer. Cette matière est le natron. En hiver, les mêmes lacs se remplissent d'une eau fortement colorée qui transsude à travers les pierres, et qui, s'évaporant au retour de la belle saison, laisse chaque année aux riverains une récolte de ce riche don de la nature, qui ne leur coûte que la peine de le ramasser. Ce sel a dû attirer depuis fort longtemps l'attention des peuples anciens, qui, ne connaissant pas d'autre carbonate de soude, l'ont appliqué à la fabrication du verre et des lessives.

MM. Boussingault et Mariano de Rivero ont observé, en Colombie, une espèce de sesqui-carbonate de soude nommée *urao* dans le pays.

Les carbonates de soude se trouvent aussi dans un grand nombre d'eaux minérales, dont les plus connues en France, et peut-être celles qui renferment le plus de ces sels, sont les eaux de Vichy, dans l'Allier. Cette circonstance a fait soupçonner que dans un grand nombre de localités, ces sels sont amenés à la surface du terrain

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par des eaux qui sont plus ou moins chargées, en sorte qu'il a pu s'en faire des dépôts plus ou moins considérables dans les temps anciens.

Bi-carbonate. Ce sel contient deux fois plus d'acide carbonique que le carbonate neutre. Bien préparé, il est très blanc; il n'a qu'une faible saveur alcaline, mais verdit sensiblement les couleurs bleues végétales. Si on fait bouillir sa dissolution, une partie de l'acide se dégage et il se forme du sesqui-carbonate.

Il est susceptible de cristalliser, mais généralement on le trouve sous la forme de croûtes d'une texture feuilletée. Il n'est pas très soluble dans l'eau, car 100 parties d'eau n'en dissolvent que 2,33.

Nous venons d'énumérer les principales propriétés des carbonates de soude et de l'hydrate de soude, parlons maintenant des procédés de fabrication.

Bien longtemps le carbonate de soude s'est extrait exclusivement, en France et en Espagne, des plantes qui croissent sur le bord de la mer, telles que le *salicornia europæa*, le *salsola tragus*, l'*atriplex*, le *salsola kali*. On cultive avec soin, sous le nom de barille, l'espèce la plus estimée des *salsola*. Ces plantes contiennent de l'oxalate de soude, qui est transformé en carbonate par la calcination.

Les plantes étant coupées et séchées, on les brûle en plein air dans des fosses. La chaleur résultant de cette opération et la proportion des substances salines sont telles que, si on brasse fortement les cendres lorsqu'elles sont encore rouges, elles forment de petites masses en demi-fusion. On trouve, après le refroidissement, une masse très dure, de couleur ardoisée, et très riche en alcali, à laquelle on donne le nom de soude. Les soudes brutes, ainsi obtenues, renferment en proportions diverses du carbonate et du sulfate de soude, du sulfure de sodium, du sel marin, du carbonate de chaux, de la silice, de l'oxyde de fer, et enfin du charbon échappé à l'incinération.

Les soudes les plus estimées sont celles d'Alicante, de Malaga, de Carthagène; elles contiennent de 25 à 30 p. 100 de carbonate de soude sec. Les soudes que l'on récolte en France ne sont pas aussi riches; la soude de Narbonne contient 14 à 15 p. 100 de carbonate de soude, et la *blanquette*, ou soude d'Aigues-Mortes, 3 à 8 p. 100.

Enfin, on connaît dans le commerce sous le nom de *soude de Varech* un produit que sa composition rend très digne de figurer parmi les potasses. La soude de Varech se prépare sur la côte de Normandie, au moyen de plantes marines connues sous le nom de *goëmon;* c'est un fucus, qui peut flotter sur l'eau, que l'on exploite. Cette propriété permet d'en former des radeaux, que l'on fait aisément arriver aux endroits où ils doivent être brûlés. La combustion s'en fait dans une fosse, et à mesure que le résidu de l'incinération entre en fusion on le rassemble en masse; c'est ce qu'on appelle la soude brute. Pour en extraire les sels de Varech, on lessive cette soude et on évapore la liqueur. On obtient des sels formés à peu près de:

Sulfate de potasse.	19	100
Chlorure de potassium. . . .	25	
Sel marin.	56	

M. Gay-Lussac, qui en a analysé plusieurs, regarde cette composition comme une moyenne. Comme on le voit, ces sels sont d'un grand intérêt par leur richesse en potasse, ce qui permet de les appliquer à la fabrication de l'alun et à celle du salpêtre. On reconnaît les sels de Varech à la présence de quelques traces d'iodure de potassium.

Avant la révolution française on ne connaissait dans les arts que les soudes naturelles, et comme notre pays est peu riche en ce produit, c'étaient principalement les soudes d'Espagne, d'ailleurs très estimées, qui alimentaient la consommation. En 1793, lorsque la guerre vint interrompre les relations commerciales entre les deux pays, le Comité de salut public, pour répondre aux besoins de nos manufactures, et surtout de nos fabriques de savon, fit un appel à tous les chimistes français pour la recherche d'un procédé propre à la production. A cette glorieuse époque de dévouement et de prodiges de toute espèce, on décrétait, pour ainsi dire, les découvertes utiles à la patrie en même temps que les victoires, et l'ère de la régénération politique fut aussi celle de la science. L'appel du Comité de salut public fut entendu; plusieurs procédés furent proposés et essayés; mais de tous, celui de Leblanc, chirurgien français, est seul resté. Une fabrication de trente ans n'y a guère apporté de modifications; c'est donc, à très peu de chose près, le procédé de Leblanc que nous allons décrire.

Delamétherie avait donné, dans le cours de chimie qu'il faisait au collége de France, avant la révolution, les premières indications sur la fabrication de la soude artificielle. Il conseillait l'emploi du sulfate de soude et du charbon. Leblanc, qui s'occupait alors de chimie et suivait les cours de cet illustre professeur, essaya ce procédé; mais, ne réussissant pas, il fut, dans la suite de ses expériences, conduit à ajouter du carbonate de chaux.

Le sel marin est le produit naturel qui sert de base à l'opération; ce chlorure de sodium est transformé par l'acide sulfurique en sulfate de soude, qui passe lui-même à l'état de carbonate sous l'action simultanée de la chaleur, du charbon et de la craie.

On sait déjà ce qui se passe dans la réaction de l'acide sulfurique sur le chlorure de sodium. Pour transformer le sulfate de soude sec en carbonate, on emploie 100 parties de sulfate de soude, 100 de craie et 55 de charbon. Il y a formation de carbonate de soude et de sulfate de chaux, qui est réduit par le charbon à l'état de sulfure de calcium, qui s'unit à une partie de chaux provenant de la décomposition du carbonate de chaux. La dose du sulfate de soude varie avec sa pureté. Le sulfate des bastringues (voir plus bas) ne contient que 3 à 4 p. 100 de matières étrangères, tandis que le sulfate des cylindres en renferme 20 à 22 p. 100; aussi faut-il, pour lui, porter sa dose de 100 à 125.

Il a été parlé à l'article *acide* HYDROCHLORIQUE des appareils que l'on emploie quelquefois pour la fabrication du sulfate de soude, mais quand cette fabrication est très importante, le procédé des cylindres n'est pas employé pour plusieurs motifs: d'abord parce que la décomposition n'est pas complète (1) dans les cylindres, et que le sulfate de soude qui en provient contient toujours du fer et un excès d'acide nuisible dans beaucoup d'emplois; ensuite, parce que le procédé des fours, dont nous allons parler, est plus économique. Cette transformation du sel marin en sulfate de soude, qui est très facile en elle-même, cause de grands embarras, précisément à cause de l'énorme quantité d'acide hydrochlorique, dont il est quelquefois impossible de trouver le placement (2), et dont on ne peut obtenir la condensation sans de grands frais. Si cet acide pouvait sans inconvénient s'échapper dans l'atmosphère, voici le procédé qu'on suivrait généralement dans les localités où on ne peut tirer parti de l'acide hydrochlorique, procédé qu'on a suivi et qu'on suit encore quelquefois.

On fabrique dans un même four le sulfate de soude et la soude. C'est ce four double à réverbère dont la sole est divisée en deux compartiments elliptiques et dont la voûte est très basse. La première portion de la sole, celle la plus rapprochée du foyer, est destinée à la fabrication de la soude. La seconde est réservée à la fabrication du

(1) Pour la décomposition complète, il faut à la fin de l'opération pousser la température au rouge.

(2) C'est ce qui arrive pour les fabriques de Marseille.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOUDE.

sulfate ; elle est toujours en grès et dure à peine quelques mois, à cause de l'action énergique de l'acide sulfurique. On fait tomber l'acide sulfurique sur le sel marin au moyen d'une ouverture pratiquée dans la voûte Le sulfate de soude produit est retiré par une porte latérale du four et reçu sur le sol de l'usine. On le broie ensuite avec du charbon et de la craie, et on introduit le mélange dans la première partie du four, dont la sole doit être rouge. On brasse la matière de quart d'heure en quart d'heure ; au bout de quelques instants elle devient pâteuse et puis entre en fusion ; il se dégage alors une foule de bulles d'oxyde de carbone qui viennent brûler au contact de l'air. Il se dégage aussi de l'acide hydro-sulfurique et de l'hydrogène carboné, dont l'hydrogène est fourni par l'eau qui se trouve dans les matières employées. Lorsque l'opération est terminée, on enlève la soude au moyen d'un rable en fer, avec lequel on l'attire dans de grands plateaux en fonte.

Avec un four dont la sole du premier compartiment a 3^m,30 de long sur 2^m,65 de large, et celle du deuxième compartiment 2^m,65 de long sur 2^m,30 de large, on peut décomposer en vingt-quatre heures 1.600 kil. de sel marin au moyen de 2.000 kil. d'acide sulfurique à 50^o, et l'on obtient 2.000 kil. de sulfate de soude qui, mêlés avec 2.000 kil. de craie et 1.000 à 1.060 kil. de charbon, sont transformés en soude, et en fournissent 1.300 kil. de bonne qualité.

Dans quelques usines on a imaginé, pour mieux profiter encore de la chaleur perdue, de disposer le four en trois compartiments. Le plus éloigné du foyer sert à la décomposition du sel ; l'intermédiaire termine cette décomposition ; enfin, celui qui est le plus près du foyer est destiné à transformer le sulfate en soude brute.

Ce procédé du four double ou triple présente, pour la condensation de l'acide hydrochlorique, des obstacles insurmontables ; car le tirage qu'exige la fabrication de la soude est si grand, qu'il est, pour ainsi dire, impossible d'y appliquer avec fruit aucun des moyens de condensation décrits sans nuire au succès de l'opération ; de plus, les produits gazeux, formés dans la transformation du sulfate de soude en carbonate, nuit singulièrement à la condensation des vapeurs d'acide hydrochlorique et à la qualité de l'acide recueilli. D'un autre côté, l'absence de condensation peut être la source de très graves inconvénients ; car l'acide, entraîné dans la cheminée, cause aux environs des dommages considérables pour la santé des habitants, pour la végétation qu'il détruit, et même pour les habitations qu'il détériore. Ainsi, dans les environs des fabriques de soude, tous les clous des toitures en ardoises sont rapidement corrodés, lorsque l'acide n'est pas condensé ou ne l'est qu'incomplétement.

Aussi des règlements de police, auxquels on ne tient peut-être pas assez la main, ordonnent expressément aux fabricants de soude de condenser tout l'acide hydrochlorique.

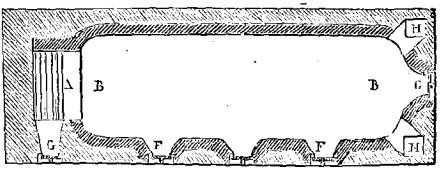
Pour arriver à ce but, on opère la fabrication du sulfate dans un four spécial double à réverbère, c'est-à-dire que la décomposition du sel, commencée dans la partie la plus éloignée du foyer, se termine dans la partie la plus rapprochée. On décharge le deuxième compartiment du four, lorsque le dégagement d'acide hydrochlorique cesse d'être abondant, et que l'état de fluidité a diminué très sensiblement. On tire alors la matière par une ouverture latérale sur les dalles en grès de l'atelier, ce qui causerait un dégagement de vapeurs acides nuisibles aux ouvriers, si le four n'avait pas, dans le deuxième compartiment, deux parties, l'une pour défourner, l'autre en face et au dehors pour recharger. Dans l'origine, il se trouvait, dans ce deuxième compartiment, une bassine en plomb, dans laquelle on faisait agir l'acide sulfurique sur le sel marin. La bassine en plomb a été, comme nous l'avons dit, remplacée par des dalles en grès. L'appareil que nous venons d'indiquer porte quelquefois le nom de *bastringue*.

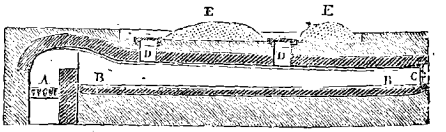
On dirige la fumée dans une série de condenseurs, au sortir desquels elle est conduite dans la cheminée d'un four à soude, qui forme appel à cause de son grand tirage ; ou bien encore on dirige les vapeurs dans une vaste chambre remplie de blocs de carbonate de chaux, et de là elles passent dans un long canal ou galerie garnie de semblables moellons plus tendres et plus spongieux superposés à sec, de façon à laisser entre eux beaucoup d'interstices libres, et dont les parois sont faites aussi avec des blocs calcaires ; et, quand on le peut, on adosse ce canal à une colline, de manière à le faire servir en même temps de cheminée. Dans le cas contraire, il faudrait élever à l'extrémité une cheminée d'appel pour la fumée. Quand on a des masses d'air convenable pour concourir à cette condensation, il est toujours possible d'y parvenir ; il suffit de faire passer le gaz à travers une tour remplie de cailloux, qui sont arrosés sans cesse par un filet d'eau. Un canal en pente ferait le même effet qu'une tour.

Les vapeurs d'acide hydrochlorique attaquent le carbonate de chaux, forment du chlorure de calcium soluble, et dégagent de l'acide carbonique : la plus grande partie de l'acide hydrochlorique peut être ainsi éliminée avant que les gaz n'arrivent à la cheminée. Ce mode de condensation, assez efficace, offrait cependant un inconvénient assez grave : les murs des canaux de condensation, promptement attaqués, exigeaient des réparations fréquentes et dispendieuses. Il paraît que, il y a plusieurs années, on est parvenu, après bien des essais, à préserver ces murs au moyen du marc ou résidu du lessivage de la soude brute, qu'on y applique en couche épaisse et fortement tassée.

C'est spécialement pour les fabriques de soude de Marseille qu'un procédé économique de condensation offre beaucoup d'intérêt. Nous avons entendu dire que dans deux fabriques de sulfate de soude qui fournissent les verreries du bassin de Charleroy (Belgique), on appliquait à la condensation de l'acide hydrochlorique des appareils présentant pour la forme et le fonctionnement beaucoup d'analogie avec les condenseurs des machines à vapeur. Il est évident que ces pompes doivent être garnies de plomb à l'intérieur.

2361.





2362.

La figure 2361 représente le plan, et la figure 2362 la coupe d'un four de très-grande dimension (four de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Clément-Desormes). A, foyer; BB, four proprement dit; DD, ouvertures percées dans la voûte du four, et destinées à introduire le mélange de sulfate de soude, de craie et de charbon, mélange dont deux tas sont représentés en E, E; C, FFF, portes de travail; G, porte du foyer; H, H, ouvertures conduisant à la cheminée les produits de la combustion.

La forme et les dimensions d'un four à soude ont une grande influence, tant sur la qualité que sur le prix de revient du produit. C'est ce qui a fait proposer récemment un four à double étage qui doit être avantageux mais d'une construction difficile.

Le tableau suivant prouve combien la grandeur des fours influe sur la qualité et sur la quantité des produits obtenus.

FOURS.	Longueur.	Largeur.	Produits par jour.
Leblanc et Dizé. . . .	2m	1m,50	375×5= 1.875k à 30c
Payen. . . .	3m	1m,66	500×6= 3.000k à 33c
D'Arcet. . .	Pas de renseignements.		
De Marseille.	3m,25	2m,66	467×6= 2.802k à 32c
Clément. . .	6m	2m,00	1500×6= 9.000k à 40c
	9m	3m,00	3000×6=18.000k à 40c

Quant à la forme du four, nous dirons que la forme elliptique est la seule convenable pour que la température puisse être uniforme dans toutes ses parties, et l'uniformité de chaleur est la condition indispensable pour que la soude soit d'une qualité marchande. Ainsi, lorsque Leblanc, qui s'associa avec Dizé, voulut passer de ses essais de laboratoire faits dans des creusets, et ayant parfaitement réussi, à l'application industrielle, la soude qu'il fabriqua fut refusée par le commerce comme empreinte d'une forte odeur de soufre. La faute provenait de la forme rectangulaire qu'il avait donnée au four; la chaleur à l'endroit des arêtes n'était pas assez forte pour achever la décomposition. C'est donc à un défaut dans la construction de son fourneau que Leblanc dut la non réussite de son entreprise. Cet échec recula de quelques années la fabrication de la soude artificielle en France, et c'est à d'Arcet qu'on est redevable d'avoir perfectionné le four de Leblanc et Dizé, et d'avoir ainsi rendu à l'industrie un service signalé, en amenant, à l'état de réalité, cette fabrication qui n'était encore qu'à l'état d'espérance.

Quant à Leblanc, son insuccès causa sa ruine au moment où il pouvait s'attendre à se voir indemniser de ses longs travaux et des sacrifices d'argent qu'il avait dû faire dans le cours de ses expériences; et celui à qui la France est redevable d'une branche d'industrie si importante, qui a affranchi nos manufactures d'un tribut annuel de plus de 20 millions de francs, mourut de chagrin et presque de misère dans un hôpital. Voilà la récompense qui, trop souvent, attend, dans notre pays, ceux qui se sacrifient pour l'intérêt général.

Revenons maintenant à la fabrication de la soude. Si la soude est destinée aux blanchisseurs, le sulfate qu'on emploie contient de préférence 10 pour 100 de sel marin, qui rend la soude plus soluble; par la même raison, on fait usage, dans la décomposition du sulfate, de charbon, dont une partie est en morceaux assez gros : ce charbon n'est pas entièrement brûlé, et ses fragments assez volumineux restent engagés dans la pâte de la soude brute; ces fragments concourent à faciliter l'accès de l'air, la division, et par suite le lessivage.

Pour préparer quelques autres soudes, notamment celles des savonneries, on laisse également dans le sulfate un excès de sel marin. Dans toutes les autres circonstances, le sulfate doit être pur.

Le charbon de bois peut, dans la fabrication de la soude, être généralement remplacé par la houille ou charbon de terre, qui est plus économique.

Les proportions que Leblanc et Dizé avaient indiquées dès la découverte du procédé sont restées à peu près les mêmes; voici comment on peut représenter théoriquement en équivalents les réactions, comme elles se passent probablement.

Produits employés :

2 at. sulfate de soude sec. . . .	= 1782
3 at. carbonate de chaux. . .	= 1893
11 at. charbon.	= 825
	4500

Produits obtenus :

2 at. carbonate de soude sec. . .	= 1330
2 at. sulfure de calcium } combinés.	= 1270
3 at. chaux }	
10 at. oxyde de carbone.	= 1750
1 at. de charbon, perte, etc. .	= 150
	4500

Ou bien en formules on a :

$$2(SoO,SO^3)+3(CaO,CO^2)+11C=2(SoO,CO^2)+2(CaS)+CaO+10CO+1C.$$

Voici maintenant deux comptes de fabrication de la soude brute, l'un à Paris, l'autre à Marseille, donnés par M. Payen dans son cours du Conservatoire.

A Paris :

14.982 kil. sulfate des cylindres à 17 fr.	2.546f,94c
13.500 kil. craie à 10 fr. les 1000 kil. .	135f, »
7.680 kil. poussier de charbon à 3 fr. 75 c. les 100 kil.	283f, »
Frais généraux et main-d'œuvre. . .	400f, »
10 voies de houille à 40 fr. . . .	400f, »
Embarillage.	180f, »
Transport, escompte et perte. . . .	335f,06c
Total. . .	4.285f,00c

Produit : 22.400 kil. soude brute.

22.400 : 4.285 fr. :: 100 : 19 fr.

A Marseille :

Sel marin, 3.600 kil. à 1 fr. . . .	36	588 f
Acide sulfurique à 50°, 4.500 kil. à 10 f.	450	
Main-d'œuvre et frais généraux. .	62	
Houille, 20 hectolitres.	40	
Craie 4.500 kil. à 10 f.	45	250 f.
Houille combustible et mélange, 5000k	125	
Main-d'œuvre et frais généraux.. .	80	
Total. .		838 f.

Produit : 6.160 kil. soude.

6.160 : 838 :: 100 : 13,60

Nous devons faire remarquer, à propos de ces comptes de revient, que le sulfate de soude des cylindres ne vaut aujourd'hui à Paris que 12 francs les 100 kil., que la houille, hors barrière, ne vaut guère que 35 francs la voie. D'un autre côté, nous pensons qu'à Marseille l'acide sulfurique des chambres ne vaut pas plus de 8 fr. les 100 kil. Du reste, comme ces matières varient de prix assez souvent, il faudra changer ces prix suivant les circonstances. M. Payen fait remarquer judicieusement qu'à Marseille les matières premières coûtent moins cher qu'à Paris, mais qu'en revanche l'acide hydrochlorique a une plus grande valeur dans cette dernière ville; de sorte qu'il y a presque compensation pour le prix de revient dans ces deux lieux de production.

Les emplois de la soude brute sont aujourd'hui bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moins importants qu'autrefois : dans la plupart des cas, on préfère employer le sel de soude, ou soude raffinée, dont nous allons parler.

Soude raffinée. Outre ce nom et celui de sel de soude, le produit du raffinage de la soude brute portait encore, il y a quelques années, les noms de *soude blanche, petite potasse, potasse factice :* celui de sel de soude prévaut généralement aujourd'hui.

Le raffinage de la soude est une opération fort simple, puisqu'elle se borne à lessiver la soude brute, rapprocher la solution, dessécher et calciner le produit salin obtenu ; elle présente cependant quelques difficultés en raison de la forme plastique du marc ou matières insolubles, forme qui s'oppose à la pénétration de l'eau.

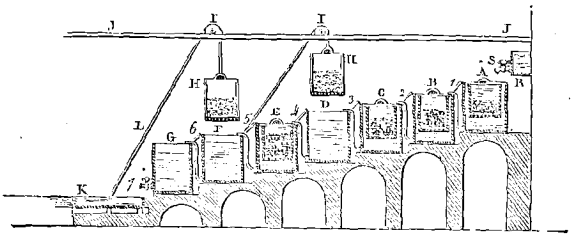
On peut opérer le lessivage des soudes brutes par trois procédés différents qui sont le touillage, la filtration et l'appareil de double déplacement.

Le procédé de touillage a été indiqué par Loysel et décrit exactement dans tous ses détails par ordre du Comité de salut public. La soude tamisée est délayée dans environ quatre fois son poids d'eau, on laisse déposer pendant une heure et demie, et ensuite on décante la liqueur surnageante, qu'on rend plus riche en la délayant avec de la soude non encore lavée, tandis que le marc du premier touillage est traité par de l'eau pure, et ainsi de suite. C'est donc un lavage méthodique qui, pour sa mise à exécution, exige cinq ou six tonneaux : ce procédé donne des dissolutions qui marquent 17° à l'aréomètre, et il présente cet inconvénient que l'eau n'agit que lorsque le mélange est mis en mouvement.

Le procédé de filtration, bien connu d'ailleurs, est méthodique, comme le précédent, mais il présente cet avantage que l'eau filtrant à travers une couche de soude, la solution qui s'écoule est continuellement remplacée par de l'eau moins chargée.

Le procédé de déplacement, analogue au procédé de touillage, en diffère cependant essentiellement en ce que le liquide et la soude marchent tous les deux en sens contraire. La fig. 2363 représente la coupe générale d'un appareil à double déplacement.

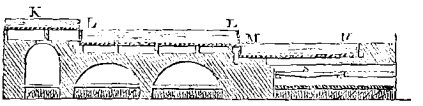
A, B, C, D, E, F, sont des vases en tôle ou en fonte dans lesquels s'opère le lessivage de la soude brute ; G, dernier vase où on laisse déposer la dissolution de soude avant de la soutirer dans les chaudières d'évaporation ; H, panier en tôle, dont le fond seul est percé de trous nombreux : c'est dans ces paniers qu'on place la soude qu'on veut lessiver ; I, chariot à poulie servant à transporter les paniers remplis de soude d'un vase inférieur à un vase supérieur ; J, petit chemin de fer suspendu sur lequel se meut le chariot qui doit transporter les paniers en tôle ; K, réservoir d'eau alimentant le premier vase A au moyen d'un robinet S.



2363.

1, 2, 3, 4, 5 et 6, tuyaux en fonte faisant communiquer la partie inférieure d'un vase avec la partie supérieure du vase suivant. On remarquera que ces tubes sont disposés de manière à pouvoir déverser le liquide dans les paniers ; ce liquide est donc obligé de traverser toute la soude brute contenue dans ces derniers avant de sortir des vases. Cette disposition est une véritable amélioration apportée à l'ancien procédé qui consistait à avoir des paniers percés de trous dans toute leur hauteur, et à faire arriver le liquide dans le vase, au lieu de le faire tomber au-dessus du panier. On gagne par cette modification 4 ou 5 degrés de concentration, c'est-à-dire qu'on obtient ainsi des dissolutions à 20 et même à 23 degrés, et on diminue sensiblement les frais d'évaporation.

La dissolution est décantée dans les chaudières d'évaporation K, L, M (fig. 2364), en tôle, alimentées par le



2364.

robinet 7. Ces chaudières en gradins sont chauffées par les produits de la combustion du foyer N. Lorsque la dissolution marque à chaud 28 à 30° dans la chaudière M, on la fait couler sur la sole d'un four à réverbère, où la dessiccation et la granulation s'opèrent. Ce four est chauffé au coke très modérément d'abord, afin d'éviter l'agglomération en masses et en croûtes adhérentes à la sole ; on remue aussi constamment. Lorsque le dessèchement semble complet, on chauffe plus fortement afin de faire rougir le sel et de brûler quelques matières organiques qui le saliraient. L'opération terminée, on défourne et on laisse refroidir sur un plateau en tôle avant d'embariller.

Pendant le lessivage de la soude brute, toutes les matières solubles qu'elle contient se dissolvent ; ainsi en supposant que, dans la décomposition du sulfate de soude par la craie, il se formât seulement du carbonate de soude et du sulfate de chaux, lors de la dissolution il se reformerait du sulfate de soude et du carbonate de chaux, et il se produirait une décomposition analogue si au lieu de sulfate de chaux il n'y avait que du sulfure de calcium ; aussi faut-il que ce sulfure se trouve combiné à de la chaux, avec laquelle il forme un oxy-sulfure insoluble.

Quel que soit le procédé de lavage, il importe de ne se servir que d'eau ou de solutions froides ou tièdes ; si l'on faisait usage d'eau ou de solutions bouillantes, on favoriserait la dissolution et la réaction du sulfure de calcium, et on obtiendrait des lessives sulfurées. On trouve, dans le commerce, du sel de soude à divers degrés de richesse, degrés que l'on titre par l'alcalimètre (voir ALCALIMÈTRE). Le bon sel de soude titre au moins 80°. Il vaut aujourd'hui 43 francs les 100 kil. en gros.

Ce serait ici le moment de parler des procédés qui ont été proposés depuis quelques années pour la fabrication du sel ou carbonate de soude ; cependant il nous semble préférable de remettre leur description après l'étude que nous avons à faire des dérivés du carbonate de soude.

Carbonate de soude ou *cristaux de soude.* Le sel de soude qu'on emploie à la fabrication des cristaux doit être le plus blanc et le plus riche du commerce : on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commence assez souvent par lui faire absorber le plus possible d'alcali carbonique de l'atmosphère, car le sel de soude contient toujours une quantité plus ou moins forte de soude caustique ; pour cela, on l'étend à l'air en couches minces qu'on remue de temps en temps pour arriver plus facilement au but proposé ; puis on fait dissoudre, et dans la dissolution on fait passer quelquefois de l'air atmosphérique au moyen d'un tambour ventilateur à force centrifuge, toujours en vue de carbonater la soude caustique. Lorsque la dissolution faite nécessairement dans de l'eau bien chaude marque 30° à l'aréomètre de Beaumé, on opère une sorte de clarification en y ajoutant un demi-millième de chaux vive qu'on délaie bien dans toute la masse, puis on laisse déposer ; il se forme du carbonate de chaux qui, en se précipitant, entraîne les corps étrangers. Dès que la température est descendue à 60 ou 70°, on tire au clair dans des cristallisoirs en zinc ou en cuivre, ou dans de grandes terrines d'une capacité de 50 litres La cristallisation doit se faire dans un lieu à température constante, de manière qu'elle dure trois ou quatre jours ; lorsqu'elle est à son terme, on fait égoutter les terrines, et on porte les pains de cristaux dans une étuve où la dessiccation se termine. Le carbonate doit de suite être emballé dans des tonneaux bien clos en bois blanc, et dans tous les cas on doit le conserver dans un magasin humide : sans cela, il s'effleurirait.

Les eaux-mères des cristaux sont évaporées à sec pour faire du sel de soude à bas titre qu'on livre au commerce.

Les cristaux de soude, chauffés dans une chaudière plate, se fondent, se dessèchent ; en agitant sans cesse avec un rable ou un ringard, on réduit en poudre qui, refroidie et emballée en tonneaux, est expédiée sous le nom de *carbonate sec*, *cristaux de soude desséchés*. Le principal but de cette opération est de diminuer les frais de transport en enlevant aux cristaux les 62/100es d'eau qu'ils recèlent.

Usages du carbonate de soude. Il est peu de substances qui aient reçu autant d'applications que le sel de soude. Son emploi le plus fréquent est de servir, caustifié ou non, au blanchissage du linge, au blanchiment de presque tous les tissus, en raison de la propriété que possèdent les alcalis et les sels alcalins de dissoudre les matières organiques grasses ou colorantes qui salissent les étoffes. Les soudes sont la base des savons durs et des savons résineux. Le sel de soude est employé en grande quantité dans les fabriques de glaces, de gobeleterie, de verres à vitres ; conjointement avec les cristaux de soude, il sert journellement dans les ateliers de peinture et d'indiennes, notamment pour dissoudre la matière colorante du rocou, du carthame, pour la confection de la belle couleur dite des Indes. Il est encore utilisé dans la préparation des chlorures désinfectants, dans la fabrication du borax, etc.

Préparation du bicarbonate de soude. Bien que la fabrication de ce sel ne soit pas bien importante, elle est cependant digne d'intérêt.

Pour le préparer en grand, il suffit de placer dans des caisses en bois blanc le carbonate de soude cristallisé, d'y porter le gaz acide carbonique lavé, et d'exercer une pression, en ne permettant au gaz de s'échapper qu'après avoir soulevé une colonne d'eau de 40 à 60 centimètres ; bien entendu que l'on fait toujours arriver d'abord le gaz dans celles qui approchent le plus du terme de saturation, et qu'il est forcé de traverser en dernier lieu celles qui renferment le carbonate de soude le moins attaqué.

Ce mode de préparation n'est employé que depuis les résultats publiés par Smith et vérifiés par Boullay. Ce chimiste a observé qu'en mettant en contact sous une faible pression, de l'acide carbonique et des cristaux de soude, le sel perd bientôt sa transparence, conserve sa forme, et devient poreux et friable. En prenant une texture feuilletée, le sel perd une grande partie de son eau de cristallisation qui ruisselle sur les parois du vase. Cette eau contient nécessairement en dissolution du carbonate et du bicarbonate qu'on obtient par évaporation. Quand l'absorption de l'acide carbonique cesse, on retire la masse de l'appareil, on la délaie dans une petite quantité d'eau, on fait égoutter celle-ci ; enfin on comprime le sel et on le sèche à l'air.

Aujourd'hui la presque totalité du bicarbonate de soude est préparée au moyen de l'acide carbonique naturel qui se dégage en abondance de certaines sources. A Vichy, entre autres, on en fait des quantités assez considérables au moyen d'un appareil imaginé par M. Brosson, appareil qui a la plus grande analogie avec celui que nous avons indiqué tout-à-l'heure.

Ce qui fait la valeur du bicarbonate, c'est la quantité d'acide carbonique qu'il renferme ; il est facile d'en faire l'essai, puisque ce sel, étant bien saturé, doit par la chaleur dégager un équivalent d'acide carbonique, soit en poids 275 pour 1053, ou 26 p. 100 ; et, comme le litre d'acide carbonique pèse 1gr,980, il s'ensuit que 1k de bicarbonate doit dégager un peu plus de 130 litres d'acide ; mais jamais on ne rencontre le bicarbonate à cet état de saturation d'acide.

Le bicarbonate de soude est spécialement employé dans la préparation des liqueurs rafraîchissantes, surtout aujourd'hui qu'on a mis dans les mains du public des appareils où l'eau gazeuse se forme facilement sans contenir de bitartrate de soude. Dans les laboratoires, il sert de réactif ; les teinturiers l'utilisent quelquefois à cause de sa faible réaction alcaline pour neutraliser certains acides, celui de la garance par exemple. Enfin, il est employé dans la préparation des pastilles digestives de d'Arcet qui facilitent la digestion et imitent en quelque sorte les effets des eaux de Vichy.

Soude ou lessive caustique. Bien que le carbonate de soude jouisse de propriétés alcalines, son action n'est pas à beaucoup près aussi énergique qu'elle le serait, si l'acide carbonique ne venait pas saturer, neutraliser en partie les propriétés des bases. L'acide carbonique est heureusement de tous les acides celui qui prive le moins les alcalis de leur énergie et celui qu'on leur enlève le plus facilement. *Caustifier* un alcali, c'est lui enlever son acide carbonique, et pour arriver à ce but, on fait, depuis un temps immémorial, usage de la chaux qui, en se combinant avec l'acide carbonique, forme un sel complétement insoluble. Généralement on fait réagir la chaux sur l'alcali dans l'eau que l'on maintient en ébullition pendant une heure ; la soude reste en dissolution tandis que le carbonate de chaux se dépose. On s'aperçoit que la dissolution est caustique quand elle ne fait plus d'effervescence avec les acides ou quand elle ne trouble plus l'eau de chaux. Nous disons que généralement on porte à l'ébullition, et non pas toujours, car pour certains usages l'emploi de l'eau chaude pourrait nuire.

Le poids de chaux à employer pour caustifier complétement le carbonate de soude, dépend évidemment de la quantité d'acide carbonique qu'il renferme. En supposant la soude combinée exactement avec l'acide carbonique, il y aurait dans le carbonate 41,43 p. 100 d'acide ; la théorie indique que pour absorber cette quantité d'acide carbonique il faut 53,57 de chaux vive supposée pure. Mais jamais la chaux n'a cet état de pureté absolue, et il vaut mieux dans tous les cas en employer un peu trop, ce qui est sans inconvénient, que pas assez ; d'un autre côté il faut considérer qu'il y a toujours dans le sel de soude un peu de sels étrangers. En égard à ces diverses considérations, il est sage d'employer au moins 60 p. 100 de chaux vive et partant une quantité proportionnelle de chaux éteinte.

On n'est pas bien d'accord sur l'état dans lequel la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaux doit être employée. Les uns veulent que la chaux soit éteinte à l'avance, les autres disent que la chaux vive doit être préférée, en ce sens que placée dans la dissolution du carbonate alcalin elle s'y éteint en augmentant singulièrement la température du mélange et apportant nécessairement une économie de combustible. Les savonniers trouvent un avantage à faire le mélange de la potasse ou de la soude avec la chaux vive en même temps que l'énorme chaleur dégagée facilite la désagrégation des morceaux de salin dont quelques-uns sont très durs.

La quantité d'eau employée joue un grand rôle dans la réaction; la chaux n'agit en effet sur le carbonate en dissolution que si elle est en dissolution elle-même, et on sait qu'elle est très peu soluble. Voilà du moins l'opinion de plusieurs chimistes. Mais il serait peut-être plus exact de dire que la quantité d'eau influe surtout en ce que la dissolution du carbonate est moins forte et que la chaux n'agit pas facilement pour décarbonater si cette dissolution marque plus de 10 à 12 degrés au pèse-sel. Nous trouvons aujourd'hui dans les réactions chimiques un assez grand nombre d'exemples de corps qui agissent sans être en dissolution, pour croire qu'il doit en être de même de la chaux.

Quoi qu'il en soit, le rôle de l'eau en certaine quantité est incontestable et on admet généralement qu'il faut de 7 à 8 parties d'eau pour une de carbonate à caustifier. Il faut aussi qu'il y ait agitation dans le mélange, car le carbonate de chaux déposé empêcherait le contact de la chaux et de la dissolution. C'est à Descroizilles, le père, qu'on doit cette remarque importante du rôle de l'eau dans la caustification. Il prétendait lui que la chaux doit être en dissolution pour agir.

Pour obtenir de la soude caustique pure, il faut, au lieu de sel de soude, employer des cristaux et suivre d'ailleurs la marche qui a été indiquée pour la préparation de la potasse caustique (voyez POTASSE).

L'eau seconde de la soude n'est autre chose qu'une lessive caustique de sel de soude. Pour la conserver caustique, on met dans le vase bien bouché qui la contient un peu de chaux vive qu'on met de temps en temps en suspension dans la liqueur par agitation. On regarde souvent l'*eau seconde de potasse* comme préférable en ce qu'elle décrasse plus facilement et qu'elle attaque moins les pinceaux, car c'est dans les nettoyages de peinture que ces eaux sont surtout employées.

Il y a aussi de l'eau seconde colorée; on lui donne la couleur avec de la sciure de bois.

Dans les premières années de la fabrication de la soude, on songea à remplacer dans beaucoup d'usages la potasse par la soude; mais la routine s'opposant à cette substitution, on dut tromper ses injustes préventions. Pour cela on fabriqua des *potasses factices*, qui n'étaient autre chose que de la soude préparée de manière à imiter la potasse pour l'aspect et la couleur; c'est ainsi qu'on donnait la couleur rouge avec de l'oxyde de cuivre. Aujourd'hui le bon sens et les connaissances plus avancées du public dans les arts chimiques, rendent presque nulle la fabrication de la potasse factice; nous n'en parlerons donc pas.

Nous avons à parler maintenant des procédés nouveaux qui ont été conseillés depuis une dizaine d'années pour la fabrication du carbonate de soude.

Nous n'avons qu'à citer pour mémoire deux procédés qui n'ont pas reçu d'application. Le premier consistant à amener le sulfate de soude à l'état de sulfure de sodium qui, en dissolution dans l'eau, est décomposé par l'acide carbonique; le deuxième mettant à profit l'action réciproque à l'état liquide du chlorure de sodium et du sesqui-carbonate d'ammoniaque. En faisant dissoudre du sesqui-carbonate d'ammoniaque dans une solution saturée de sel marin, il se précipite du carbonate de soude et il reste dans la liqueur de l'hydrochlorate d'ammoniaque, qu'on utilise pour préparer du nouveau carbonate d'ammoniaque. Un inconvénient principal de ce procédé, c'est qu'il ne peut y avoir double décomposition complète entre les deux sels employés, l'un étant un sel neutre, l'autre un sesqui-carbonate. Il y avait par cela même et ensuite par la transformation du chlorhydrate d'ammoniaque en carbonate un déchet d'ammoniaque assez considérable qui, vu le prix élevé du carbonate, rend le procédé trop coûteux pour être appliqué avec avantage.

M. Becquerel, de l'Institut, a communiqué à l'Académie des sciences une note très-intéressante dont nous extrayons ce qui suit.

« Essayer de retirer la soude et la potasse de leurs sels respectifs en n'employant seulement que le fer ou la fonte, l'eau et l'air à la température ordinaire, est un problème qui au premier abord présente des difficultés; mais pour quiconque connaît toute la puissance de l'action chimique de l'électricité, ces difficultés ne sont pas de nature à arrêter longtemps.

« Schéele avait déjà reconnu que le fer décomposait le sel marin en donnant naissance à de l'alcali minéral.

« Lorsqu'un morceau de fer ou de fonte est plongé en partie dans une solution de sulfate de soude ou de chlorure de sodium, il se produit des effets de transport dont nous allons faire connaître la cause. On sait que les actions combinées de l'air, de l'eau et du sulfate de soude, sur un morceau de fer qui plonge entièrement dans la solution, suffisent pour décomposer le sulfate; il se forme du protosulfate de fer qui est immédiatement décomposé par la soude mise à nu, et il se précipite de l'oxyde de fer qui passe peu à peu à l'état d'hydrate de peroxyde; mais il n'en est plus de même quand le fer n'est plongé qu'en partie : il se forme alors du protosulfate de fer qui reste en dissolution, tandis que la soude sort de celle-ci pour se placer sur la partie non immergée du métal, où elle se combine immédiatement avec l'acide carbonique de l'air ambiant; de là il résulte du carbonate de soude qui cristallise en houppes soyeuses très près de la surface du liquide. Au bout de peu de jours on a des masses assez volumineuses qu'on enlève facilement. Les réactions ont lieu à peu de distance de la surface du liquide, là où le métal s'oxyde le plus facilement. Aussi la quantité de carbonate de soude formée dans un temps donné est-elle la même que la partie immergée du métal, soit égale à un décimètre ou à un centimètre. »

Quant à la cause de la décomposition, M. Becquerel dit, « qu'il y a là un phénomène de transport analogue à celui qui a lieu sous l'influence des forces électriques; il suffit pour cela de considérer la partie immergée et la partie non immergée du métal, l'une comme le pôle positif, l'autre comme le pôle négatif d'un couple voltaïque, et rien n'est plus simple que de justifier l'existence de ce couple; la partie immergée est attaquée par la solution, celle qui ne l'est pas est en dehors de cette solution, elle est recouverte d'une couche d'eau hygrométrique qui sert à constituer le circuit électro-chimique, de sorte que l'on a les mêmes effets que ceux produits lorsqu'on plonge une lame de métal dans deux liquides superposés, dont l'un attaque le métal et l'autre ne l'attaque pas : le phénomène est donc purement électro-chimique.

« L'expérience a été faite sur une assez grande échelle pour savoir jusqu'à quel point il était possible d'appliquer à l'industrie le procédé dans le but d'obtenir de la soude par la décomposition, soit du sulfate de soude, soit du chlorure de sodium. J'ai fait construire à cet effet six cylindres creux en fonte, ouverts par les deux extrémités, de 33 centimètres de diamètre, 23 centimètres de hauteur et 3 centimètres d'épaisseur. Ces cylindres ont été mis dans des baquets renfermant une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

solution de sulfate de soude marquant 14 degrés. Le niveau de la solution se trouvait à 2 centimètres en contre-bas de l'extrémité supérieure.

« Pour recueillir le carbonate de soude, on a placé sur la partie supérieure du cylindre un plateau de cuivre évidé au milieu et dont les bords étaient rabattus avec pression sur les parois intérieures et extérieures du cylindre et ne faisaient que toucher la solution; on avait ainsi des couples voltaïques bien établies composées de fonte, de cuivre et d'une solution de sulfate, mais le cuivre n'était là, je le répète, que pour recueillir du carbonate de soude au fur et à mesure qu'il se formait sans être coloré par la rouille. 24 heures après on a commencé à apercevoir des cristaux de carbonate de soude sur le cuivre, lesquels ne tardèrent pas à recouvrir toute la surface annulaire du plateau. Au bout de 15 jours on a pu recueillir sur chaque cylindre une cinquantaine de grammes de carbonate de soude très pur, très blanc et privé sensiblement de sulfate de soude. L'effet n'était pas plus marqué que quand on n'employait seulement que la fonte.

« Au lieu d'un plateau annulaire évidé au milieu, j'ai employé un plateau plein qui n'a pas tardé à se recouvrir de carbonate de soude. Bien que ce procédé très simple ne puisse être l'objet d'une exploitation en grand à cause du développement considérable de pièces de fonte qu'il exigerait, cependant on peut l'employer avec succès sur le bord de la mer et presque sans frais pour des besoins personnels ou de petites exploitations, puisqu'il ne faut que des morceaux de vieille fonte, des bassins et un abri. J'ajouterai encore que dans les localités où le combustible manque et où il est impossible de se procurer de l'alcali par l'incinération du bois, on pourra utiliser ce procédé. Un autre motif m'a encore guidé dans mes recherches : le développement incessant de la civilisation diminuant de jour en jour nos ressources en combustibles, nous devons nous attacher, comme je l'ai déjà dit en exposant le traitement électrochimique des minerais d'argent, de cuivre et de plomb, à chercher les moyens de former un jour une foule de produits indispensables aux besoins de la vie sans l'emploi de la chaleur. »

Nous arrivons à un procédé dû à M. Balard, procédé qui a pour but non pas de faire du carbonate de soude, mais d'extraire des eaux-mères des marais salants la matière première du carbonate, c'est-à-dire le sulfate de soude.

On sait que les travaux de Green et de M. Berthier ont indiqué le moyen d'extraire des eaux-mères des salines une quantité plus grande de sel marin en faisant agir le sulfate de soude sur le chlorure de calcium obtenu lui-même en traitant par un lait de chaux les eaux-mères riches en chlorure de magnésium. M. Balard a pris pour ainsi dire la contre-partie de ce procédé. Cet habile chimiste, connaissant par les travaux qui l'avaient mené à la découverte du brôme la composition exacte des eaux-mères des marais salants, songea au moyen de transformer en sulfate de soude le sulfate de magnésie qu'elles contiennent et cela par l'intervention du chlorure de sodium (sel marin) qui se trouve nécessairement aussi dans ces eaux-mères.

Les analyses de Bouillon-Lagrange et de Vogel, que semblait corroborer une analyse récente des eaux de la Méditerranée, indiquaient que ce sulfate de magnésie supposé transformé en sulfate de soude, devait être le 1/4 du chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer. M. Balard a trouvé lui que ce 1/4 devait être réduit au 1/7; de plus, qu'on devait encore restreindre cette quantité à 1/8 à cause de la présence dans lesdites eaux-mères de sels calcaires solubles qui par la concentration donnent lieu à un dépôt de sulfate de chaux aux dépens des sulfates solubles; ainsi restreinte cette quantité est encore considérable, car pour une saline du Midi d'une contenance de 200 hectares elle représente annuellement une masse de 2.500.000 kilog de sulfate (1).

A priori la transformation du sulfate de magnésie en sulfate de soude paraissait facile; la réfrigération de ces eaux-mères donne lieu en effet au dépôt d'une certaine quantité de sulfate de soude, quand elle a lieu à quelques degrés au-dessous de zéro; mais 1° cet abaissement de température est très rare dans le midi de la France, 2° il ne se dépose, même à la faveur de cette circonstance, qu'une petite quantité de sulfate de soude.

En recherchant les causes qui pouvaient s'opposer à la formation du sulfate de soude dans ces circonstances, M. Balard a remarqué que le chlorure de magnésium nuit à la solubilité du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium, sels entre lesquels la décomposition doit avoir lieu, et favorise au contraire celle du sulfate de soude qu'on veut précipiter. Le chlorure de magnésium doit donc être éliminé autant que possible. Le sel marin au contraire nuit à la solubilité du sulfate de soude et favorise sa précipitation : il faut donc en ajouter et heureusement on en a à discrétion.

Éliminer le chlorure de magnésium, ajouter du chlorure de sodium en excès, toute la question est là.

Ainsi préparée cette solution complexe qui fournit déjà du sulfate de soude à 10 degrés au-dessus de zéro, en donne à 0° les 0,8 de ce qu'on pourrait obtenir par la décomposition complète des sels en présence; aussi quand, faite en été et conservée jusqu'à l'hiver à l'abri de la pluie, elle est étendue sur les immenses cristallisoirs du salin, en couches d'un décimètre de hauteur, il suffit d'une nuit pour faire déposer sur ces grandes surfaces quelques centimètres d'épaisseur de sulfate de soude cristallisé.

L'eau-mère est coulée rapidement, car elle contient du chlorure de magnésium, et redissoudrait beaucoup de sulfate, si la température venait à s'élever. Des ouvriers nombreux ramènent en tas une masse considérable de sulfate de soude. Par des froids rigoureux, l'eau de mer à 16 ou 18° B fournit aussi des quantités considérables de ce produit.

Le sulfate de soude ainsi recueilli est hydraté, ce qui est un inconvénient pour son emploi; mais il ne contient pas de sulfate de magnésie, et il est sans excès d'acide et sans fer, substances qui nuisent à sa qualité.

Le mode d'exploitation proposé par M. Balard n'est pas seulement un annexe de la fabrication du sel marin dans les localités bien disposées, où les niveaux et l'imperméabilité du terrain permettent d'évaporer l'eau de mer aux moindres frais; l'évaporation de ces eaux-mères peut être exécutée industriellement avec beaucoup de fruit, abstraction faite du sel marin lui-même. Le sel servirait à niveler le terrain, en même temps qu'il saturerait les eaux-mères et servirait de sol au sulfate de soude, que de cette manière on obtiendrait exempt de matières terreuses, ce qui serait un double avantage.

M. Balard a trouvé, par l'application de son procédé, que, dans une saline de 200 hectares, on obtenait facilement 600.000 kilogrammes de sulfate de soude au lieu de 2.600.000 qu'indique la théorie. Or, comme la consommation de la France est de 50 millions de kil. de sulfate, il suffirait d'employer à l'évaporation de l'eau de mer 20.000 hectares environ. Ce n'est qu'une petite fraction de ce que, depuis Hyères jusqu'à Perpignan, la France possède en étangs peu profonds, en plages

(1) La saline citée par M. Balard produit annuellement 20 millions de kil. de sel. Or, comme l'eau évaporée ne contient que 25 kil. de sel par mètre cube, il en résulte qu'en une année il s'évapore sur la surface de cette seule saline la quantité énorme de 800.000 mètres cubes d'eau de mer, soit 40 centimètres de hauteur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

livelées et séchées, que l'agriculture n'enlèvera que bien difficilement aux plantes marines, dont elles sont en quelque sorte le domaine.

En faisant la part des améliorations probables, certaines mêmes, suivant lui, M. Balard dit que cette surface peut être réduite à 5 ou 6.000 hectares, dont les salines du Midi représentent déjà une moitié.

Il ne faut pas perdre de vue, ajoute M. Balard, que l'emploi de l'acide muriatique nécessitera toujours la fabrication d'une certaine quantité de sulfate de soude par l'ancien procédé.

Dans la fabrication du sulfate de soude des eaux-mères des marais salins, il faut, comme on le voit, deux conditions, de la chaleur en été et du froid en hiver. Dans le Midi, le premier élément ne manque jamais; mais M. Balard a dû se préoccuper du second, et chercher le moyen, ou de l'augmenter par des méthodes artificielles, ou de s'en passer tout à fait.

L'augmentation du froid a été obtenue facilement par M. Balard, en utilisant le froid qui accompagne la dissolution du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium, et en opérant cette dissolution en hiver avec de l'eau refroidie; la température s'abaisse de 5 degrés au-dessous du point qu'elle avait atteint pour arriver au terme où le dépôt de sulfate de soude est abondant.

Se passer du froid était chose plus difficile; M. Balard y est parvenu, en utilisant une singulière propriété du sulfate de soude. Ce sel, on le sait, se déshydrate à chaud au sein d'une dissolution saturée. Dans cet état naissant, il s'unit avec d'autres sulfates; le sulfate de chaux, par exemple, et c'est là toute la théorie du schlotage. Eh bien, le mode d'action que le sulfate de soude anhydre exerce sur le sulfate de chaux il l'exerce sur le sulfate de magnésie; et une solution qui contient à la fois du chlorure de sodium et ce sulfate donne, par l'action de la chaleur, un véritable schlot magnésien qui, se dédoublant, par la dissolution à chaud et le refroidissement ensuite, en sulfate de magnésie plus soluble et en sulfate de soude hydraté qui cristallise, permet ainsi d'isoler ce dernier composé à l'état pur.

Ainsi, où la température s'abaisse suffisamment, le froid; là où le froid ne se manifeste que d'une manière irrégulière, l'application du feu, et par ces méthodes diverses on atteint le même but, celui de transformer le sulfate de l'eau de mer en sulfate de soude sur le sol, presque sans appareils, sans condenseurs, sans vapeurs d'acide chlorhydrique, sans l'emploi d'acide sulfurique ni de soufre, dont la consommation va se trouver réduite de plus de moitié. En effet, de 23 millions de kilogrammes de ce dernier, qui sont introduits annuellement en France, 13 millions n'ont pour objet que de transformer en sulfate le sel marin qui sert à fabriquer la soude, et sont rejetés comme inutiles à l'état d'oxysulfure de calcium des marcs de lessivage.

Ce n'est pas seulement à l'extraction du sulfate de soude que M. Balard prétend faire servir les eaux-mères des marais salins, mais aussi à l'extraction de sels de potasse, chlorure de potassium ou sulfate, lesquels sels de potasse seraient utilisés à la préparation du salin, qui, par suite des progrès de la civilisation en Russie et en Amérique, par suite du déboisement de ces pays, tend à devenir de plus en plus rare.

Comme l'extraction de la potasse présente avec celle de la soude beaucoup d'analogie, nous pouvons très bien ici aborder ce sujet sans cependant nous étendre longuement à cet égard.

Les eaux-mères du sulfate de soude obtenu par le procédé Balard contiennent toute la potasse que renferme l'eau de mer, quantité qui, pour l'eau de la Méditerranée, est de 1/2000 environ, en la supposant toute à l'état de sulfate de potasse.

L'évaporation de ces eaux, toujours sur le sol, laisse cristalliser en abondance un mélange salin, d'où une simple dissolution peut extraire ce sel déjà connu, sulfate double de potasse et de magnésie, à 6 atomes d'eau, et dont la saline de 200 hectares a fourni, en 1844, environ 200.000 kilogrammes, qui représentent 90.000 kilogrammes de potasse pure.

Mais cette quantité n'est elle-même que la moitié de ce que l'analyse indique dans les eaux; l'autre moitié reste dans les eaux-mères; elle pourrait en être séparée par une évaporation, à l'aide du feu qui la fournit à l'état de chlorure double de potassium et de magnésium, qu'on dédoublera par les moyens connus, soit la différence de solubilité. M. Balard indique même d'autres moyens pour tirer parti des eaux-mères; c'est de les traiter par un sel d'alumine, par exemple celui qu'on obtient par la lixiviation des lignites ou des schistes pyriteux avant l'extraction du sulfate de fer; de l'alun de potasse, se précipitera sur le sol même des salines, et il suffira de le raffiner. Seulement, de cette manière, on n'aura pas le sel de potasse à l'état d'isolement.

Un sel de potasse, le muriate ou le sulfate, étant obtenu, on pourra s'en servir comme de matière première pour la fabrication de la potasse artificielle.

M. Balard a trouvé qu'une saline de 200 hectares rapporterait 180.000 kilogrammes de sulfate de potasse. Or, comme la totalité de la potasse consommée en France dépasse à peine 5 millions de kilogrammes, il faudrait, pour répondre aux besoins de toute la consommation, consacrer à l'évaporation de l'eau de mer 5 à 6.000 hectares de terre au plus. Donc, du jour où la France suffira à sa consommation de sulfate de soude par celui extrait des eaux-mères des salines, elle produira quatre fois plus de potasse qu'elle n'en consomme elle-même.

Nous avons vu à MARAIS SALANTS comment la production artificielle du froid est venue fournir une solution complète du problème (que M. Balard a attaqué de tant de manières différentes). Nous n'y reviendrons pas.

Les procédés de M. Balard, s'ils prennent de l'extension, viendront faire concurrence à d'autres procédés appliqués, depuis quelques années seulement, à l'extraction des sels de potasse et de soude contenus dans les résidus de la distillation des mélasses de betterave.

Depuis quinze ans à peu près, M. Dubrunfaut a reconnu que les vinasses de betteraves peuvent, après l'extraction de l'alcool, être traitées avantageusement pour obtenir la potasse ou les sels de potasse qu'elles renferment.

Il a trouvé que, de 100 kilogrammes de mélasse, on peut retirer 10 à 12 kilogrammes de résidu salin très riche en alcali, et il est parvenu à monter en grand l'industrie qui a pour but la fabrication de la potasse indigène.

D'après les expériences de M. Dubrunfaut, les sels provenant de l'incinération des vinasses renferment pour 100 parties :

7 à 11 de sulfate de potasse;
20 à 17 de chlorure de potassium;
27 à 45 de carbonate de potasse;
25 à 34 de carbonate de soude;
Quelques 100es de cyanure de potassium.

Quand on purifie le salin des mélasses par cristallisation, on obtient un sel double formé de 1 atome de carbonate de potasse, 1 atome de carbonate de soude et 12 atomes d'eau. Il cristallise très facilement en prismes obliques rectangulaires, qui absorbent à l'air l'acide carbonique, et donnent du bicarbonate de soude poreux, tandis que le carbonate de potasse forme une dissolution qui s'écoule.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour extraire avec économie le salin des mélasses, il faut charger de mélasse le liquide à fermenter de manière qu'il rende 4 ou 5 p. 100 d'alcool. On le distille et on se sert du résidu pour une nouvelle fermentation avec égale quantité de mélasse, et on distille de nouveau. De cette manière, la liqueur est plus riche en sels, on l'évapore; le résidu calciné au rouge pour brûler les matières organiques fournit lui-même, dans cette véritable combustion, une chaleur assez considérable pour se passer de combustible dans les fours à réverbère de calcination, une fois l'opération bien mise en train.

M. Robert de Massy, de Saint-Quentin, a voulu perfectionner le mode d'évaporation de ces vinasses. Il a fait établir une tour d'une assez grande hauteur, dans laquelle sont empilées des espèces de rigoles en tôle, présentant une immense surface d'évaporation aux vinasses qui viennent s'y répandre uniformément; des ventilateurs aspirant les produits de la combustion dans tous les fourneaux de l'établissement, fours à réverbères de calcination et autres, lancent l'air chaud dans la tour de manière à ce qu'il traverse le liquide qui tombe goutte à goutte d'une rigole à l'autre, et en opère rapidement l'évaporation. C'est un bâtiment de graduation d'une nouvelle espèce, sur lequel on remonte les vinasses jusqu'à ce qu'elles aient atteint un certain degré de concentration. Alors, en sortant de la tour, elles se rendent dans des chaudières d'évaporation, chauffées elles-mêmes par la flamme des fours à réverbère, dans lesquels le liquide évaporé est projeté au moment où il va cristalliser.

Nous ferons seulement, sur ce nouveau système, quelques observations. D'abord, disons que les vinasses de distillation étant acides à cause de l'acide sulfurique qu'on ajoute dans les cuves pour faciliter la fermentation, on les neutralise avec de la chaux qu'on ne doit employer qu'avec précaution. La tôle dont M. Robert de Massy fait usage dans sa tour de graduation s'altère avec une grande rapidité; de plus, le fer ainsi oxydé est entraîné en partie par le liquide, soit mécaniquement, soit même à l'état de combinaison, ce qui présente un inconvénient ainsi que nous le verrons tout à l'heure, outre la dépense assez grande occasionnée par le remplacement des tôles mises hors de service. Le bois ne pourrait pas être employé, car il est bientôt carbonisé par la haute température qui règne surtout dans le bas de la tour. Peut-être la terre cuite ou le grès résisteraient-ils mieux que le fer ou le bois. Enfin, il paraîtrait que le liquide, en se graduant, peut absorber des gaz sulfureux provenant de la décomposition des sulfates dans les fours à réverbère et de la houille employée, ce qui contribue à rendre la potasse sulfureuse.

La concentration est poussée jusqu'à 25 degrés dans les chaudières évaporatoires; et la *cuite* a lieu dans les fours à réverbère; lorsque la masse devient pâteuse, il faut la retirer rapidement, car elle se vitrifierait, et deviendrait très difficile à lessiver. C'est dans cette cuite que la présence du fer est nuisible; car avec lui se trouvent tous les éléments nécessaires à la formation d'un cyanoferrure qui rend presqu'impropres à la fabrication de l'alun les sels de potasse, sulfate et chlorure, qu'on va extraire pendant le raffinage.

Le salin est lavé méthodiquement dans une série de bacs en plomb, où l'on fait barboter de la vapeur. On soutire le liquide lorsqu'il est arrivé à une concentration de 20 degrés, et on le filtre. Cette lessive est amenée dans une chaudière en fer battu, ayant une forme un peu conique, où elle est concentrée jusqu'à 45 degrés environ. On a soin de touiller, pour empêcher d'adhérer à la chaudière, les sels qui se déposent et qu'on enlève d'ailleurs avec un chaudron. Ces sels, sont le sulfate de potasse, le chlorure de potassium, et sur la fin de la concentration des carbonates de potasse et de soude. Ces sels sont séchés et vendus séparément.

La lessive arrivée à 45 degrés est versée dans des refroidissoirs et y reste 24 heures, là s'achève le dépôt du sulfate de potasse et du chlorure de potassium qui cristallisent sur les parois. Ainsi débarrassée d'une grande partie des sels étrangers, la lessive de potasse est concentrée de nouveau et empâtée dans un jeu de bassines de fonte; c'est dans celle la plus rapprochée du foyer qu'a lieu la calcination à feu nu, calcination qui exige des précautions pour éviter la formation de croûtes, qui, en se brisant, occasionnent des projections très dangereuses pour les ouvriers. La potasse ainsi calcinée est livrée au commerce au titre de 62 à 63°. Elle contient de la potasse caustique, des carbonates de potasse et de soude (ce dernier en assez faible quantité), du sulfate de potasse, du chlorure de potassium, un peu de fer et du sulfure de potassium. Ce sulfure de potassium, qui nuit beaucoup à la qualité de la potasse, provient évidemment en partie de la réduction des sulfates pendant la *cuite* et aussi de l'absorption par la potasse de l'acide sulfureux produit par la combustion de la houille; enfin, il est très possible, comme nous l'avons dit plus haut, que la graduation donne aussi naissance à du sulfate de potasse, nécessairement plus réductible que le sulfate. Comme on le voit, il y a encore des améliorations à réaliser dans cette fabrication. A. MALLET.

SOUDER. — FER A SOUDER. Une petite masse de cuivre, et quelquefois d'acier, fixée à l'extrémité recourbée d'un manche de fer que termine à l'autre bout une poignée de bois, telle a été l'origine, et presque jusqu'à ces derniers temps, l'outil désigné sous le nom de *fer à souder*. Pour la plupart des métaux, tels que le plomb, le zinc, le cuivre mince, le fer-blanc, on rapprochait et l'on superposait les parties à réunir; puis avec le fer à souder, préalablement chauffé dans un brasier de charbon, on fondait à l'endroit de la superposition un métal d'un degré plus fusible servant de soudure, et l'on opérait ainsi ce qu'on pourrait appeler une sorte de collage mécanique.

On comprend que tout au moins cette manière de chauffer le fer à souder était défectueuse. Le brasier portait avec lui des dangers, ainsi que le démontre, entre autres exemples, l'incendie de la cathédrale de Chartres. Les vapeurs de charbon ne sont pas des plus favorables à la santé des ouvriers; enfin, et surtout, le chauffage ainsi obtenu est inégal et imparfait, à ce point que le refroidissement ayant lieu dès que l'on opère, le fer à souder n'est au degré de chaleur voulue que pendant l'intervalle d'une seconde, le temps de passer d'une température trop élevée à une température trop basse.

M. Desbassayns de Richemont, l'inventeur de l'appareil que nous avons décrit et représenté à l'article *Chalumeau aérhydrique*, a obvié à tous ces inconvénients de la manière la plus heureuse.

Un dessin ne nous sera pas indispensable, si nous nous reportons à ce que nous avons dit du chalumeau aérhydrique. Qu'on imagine en effet que la tige N N N (voir la figure 397) soit remplacée par le manche *creux* d'un fer à souder, et que la petite masse de cuivre qui doit le terminer soit fixée au-dessous de l'extrémité du gland par lequel sort le mélange enflammé. Dès lors, l'ouvrier, ayant réglé la flamme, tient dans ses mains un fer à souder, chauffé précisément au degré désirable, et qui peut y être maintenu pendant des journées entières sans qu'il soit besoin de l'échanger ou de l'abandonner un seul instant; de là résulte une triple économie de main-d'œuvre, de combustible et de difficultés dans le travail. A l'heure du repos, on ferme les robinets, et toute dépense cesse en même temps que disparaît toute cause de danger d'incendie. Pour le chauffage des fers à souder dans les ateliers, la flamme du chalumeau aérhydrique peut même être remplacée, le plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

souvent avec avantage, par une flamme produite avec le gaz de l'éclairage public, au milieu de laquelle est insufflé un jet d'air. Il faut pour cela modifier la construction intérieure du manche creux, qui se compose alors de deux tubes excentriques. Tout Paris a pu voir dans l'atelier de fabrication de lampes de MM. Levavasseur, rue Montmorency, la première application de ce dernier procédé. L'épreuve a été décisive, et l'impossibilité d'avoir à Paris le gaz pendant le jour, et par conséquent la nécessité d'un emplacement pour les gazomètres alimentés de nuit par les compagnies, a seule retardé l'adoption générale de ce mode de chauffage des fers à souder, dans toutes les industries qui ne peuvent encore se servir de la flamme directe.

SOUDURE AUTOGÈNE. M. Desbassayns de Richemont a nommé ainsi la soudure d'un métal par lui-même, obtenue avec le seul intermédiaire de la chaleur, sans le secours d'un autre métal ou alliage plus fusible.

La *soudure autogène du plomb*, par exemple, consiste donc dans la réunion du plomb à lui-même, de telle sorte qu'il n'y a pour ainsi dire plus *soudure* dans l'acception ordinaire du mot, mais bien reconstitution de plusieurs pièces de plomb en une seule et même masse parfaitement homogène, et dont aucune partie ne peut être distinguée du reste par l'analyse chimique. Ce résultat est facile à obtenir à l'aide du chalumeau aérhydrique. Au besoin, le lecteur peut recourir à la description que nous avons faite de cet instrument (fig. 395), et nous prendrons pour point de départ l'*outil de feu*, le *dard de flamme*, intense, mobile, réglé à volonté, que nous a donné l'appareil dont nous avons indiqué le facile mécanisme. Pour souder le plomb sur lui-même, l'ouvrier place bord à bord les parties à réunir, il les décape avec le grattoir, en appuyant sur l'arête de manière à enlever un peu plus que la partie salie ou oxydée ; et, tenant d'une main une mince lanière ou baguette de plomb décapé et de l'autre main le dard de flamme, il opère, en avançant assez rapidement, la fusion simultanée des deux parties rapprochées et de l'extrémité de la baguette, si bien que celle-ci rétablissant ce qui a dû être enlevé sur les arêtes par le grattoir, la réunion se trouve complète et ne saurait même, si l'ouvrier est adroit et si on y attachait d'ailleurs quelque importance, être reconnue par des yeux exercés. Avec quelques dispositions particulières et certains *tours de main*, difficiles à décrire, pour les soudures verticales, les soudures d'angles, les nœuds, etc., il n'est pas de difficulté qui, au moyen du chalumeau aérhydrique, ne devienne bientôt un jeu d'enfant.

De la simple définition que nous avons donnée des soudures autogènes, il résulte nécessairement qu'elles sont à l'abri des chances de pertes, qui, dans l'ancien système, avaient pour causes les différences de dilatation du plomb et de ses alliages avec l'étain, différences qui se font particulièrement sentir dans les grands froids ou à des températures élevées ; les actions électro-chimiques qui se développent dans certaines circonstances, par suite du contact de deux substances métalliques hétérogènes ; les réactions extrêmement énergiques qu'exercent sur les alliages de plomb et d'étain une foule d'agents chimiques qui n'attaquent pas le plomb ; la grande fragilité de ces mêmes alliages, qui, à chaud surtout, se brisent quelquefois au moindre choc ; la difficulté de faire bien prendre et adhérer l'ancienne soudure à la surface du plomb, où elle n'est parfois qu'à peu près scellée sans que l'ouvrier puisse le savoir ; enfin l'emploi de la résine, qui si souvent masque pour un temps des fuites très prononcées.

Mais c'est surtout pour les arts chimiques, et notamment pour les chambres de plomb servant à la fabrication de l'acide sulfurique, que la soudure autogène est d'un usage indispensable. Avec elle plus de difficultés pour la confection en plomb pur des cornues, flacons, bassines, chaudières, bacs à dérocher, cristallisoirs, serpentins, vases ou barriques pour le transport des acides, etc. Veut-on avoir réunies la résistance chimique du plomb et la résistance mécanique du fer, du cuivre, du bois ? un simple recouvrement en plomb soudé sur lui-même sur un vase quelconque fait avec l'une de ces matières, présente ce double avantage. Aussi toutes les fabriques de produits chimiques ont-elles trouvé un précieux secours dans l'emploi de l'appareil aérhydrique. Les fabriques d'acide sulfurique, surtout, lui ont fait bon accueil. On sait que les établissements dans lesquels cet acide est fabriqué se composent d'appareils ou séries de chambres en plomb, qui présentent habituellement une capacité de 750 à 1500, et quelquefois de 6000 à 7500 mètres cubes, et il n'est aucune de ces fabriques dont la construction n'emploie plusieurs milliers de kilogr. de soudure à l'étain. Le contact constant du plomb et de la soudure avec l'acide sulfurique, et surtout avec les vapeurs nitreuses, produit des réactions tellement énergiques, que peu de temps suffit pour déterminer de nombreuses fuites, qui finissent par mettre hors de service sinon l'intégralité des appareils, du moins une partie des chambres qui la composent. Aussi les fabricants étaient-ils obligés chaque année à des réparations ou à des reconstructions partielles, d'autant plus coûteuses qu'elles entraînent avec elles tous les frais de démolition, échange de plomb, chômage et remontage des appareils. Tout cela a disparu avec la soudure autogène, et la moindre fuite, s'il s'en déclarait une, pourrait être réparée à l'instant, fut-ce même pendant le travail des chambres.

SOUDURE DU PLATINE, DE L'OR, DE L'ARGENT, DU CUIVRE. Ce que nous venons d'indiquer pour les réparations instantanées des chambres de plomb dans les fabriques d'acide sulfurique, s'applique également au cas où une perte se déclare dans la chaudière de platine à concentrer. Au lieu d'arrêter les travaux, de démonter la chaudière, de l'envoyer à l'atelier de réparation, et de perdre ainsi beaucoup de temps et d'argent, l'ouvrier peut à l'instant même où une fuite se déclare, la réparer sur-le-champ avec un fil d'or et la flamme aérhydrique. Les soudures des objets d'or et d'argent offrent en général la même facilité d'exécution. Mais il n'en est pas toujours ainsi pour ce qui regarde le cuivre, à cause des fortes épaisseurs des objets à souder. Le chauffage étant ralenti d'autant, la conductibilité du métal fait perdre une grande partie du calorique Il faut donc, quand il s'agit de faire *sur place* une réparation à une forte pièce, à une locomotive par exemple, ou à des chaudières à sucre, appareils de chauffage à la vapeur, etc., prendre de très grandes précautions pour concentrer d'abord, par l'emploi de charbon allumé et de terres réfractaires, une certaine élévation de température sur un même point. Un dard de flamme puissant et bien alimenté peut alors déterminer d'une manière sûre la parfaite fusion de l'alliage qui, dans les cas semblables, sert de soudure. Des recherches utiles, en vue de faciliter les opérations de ce genre, opérations si coûteuses par suite du démontage, nous paraissent pouvoir être faites par les ingénieurs des chemins de fer. Cette dernière partie de la question vaut bien la peine qu'on y consacre quelque attention, et nous la croyons de nature à recompenser dignement un succès définitif. J. DELBRUCK.

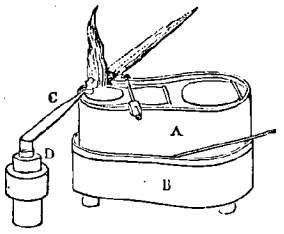
SOUFFLET, SOUFFLERIE. Voyez MACHINE SOUFFLANTE.

SOUFFLER LE VERRE. On a déjà parlé de la lampe d'émailleur (voy. ÉMAIL), mais sans entrer dans aucun détail sur la construction des instruments en verre, et le travail des petits objets d'ornement en verres colorés ou en émail. L'importance de ce sujet nous oblige à y revenir ici pour expliquer avec soin la marche à suivre dans quelques-unes de ces opérations Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

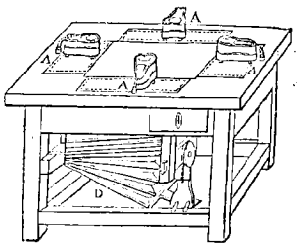
exemples que je choisirai suffiront pour mettre le lecteur attentif en état d'exécuter lui-même les appareils dont il pourrait avoir besoin.

La lampe A (fig. 2365) est en fer-blanc, elle repose



2365.

dans une cuvette B, destinée à recevoir l'huile qui pourrait s'écouler et à l'empêcher de se répandre. Cette lampe est placée sur une table en bois (fig. 2366), au-dessous de laquelle est solidement fixé sur deux traverses un soufflet à double courant d'air, mis en jeu par une pédale. Le chalumeau C (fig. 2365), formé d'un tube conique en fer-blanc, ou d'un simple tube de verre effilé et convenablement recourbé, est fixé, au moyen d'un bouchon de liège percé, dans le tube D qui apporte le vent du soufflet et qui débouche près du bord de la table comme on le voit fig. 2366. On dispose dans un



2366.

petit tiroir, placé sous la table, des ciseaux, quelques limes, de petites tiges de métal, des bruxelles, et quelques morceaux de pierre à fusil qui complètent l'outillage de la lampe du souffleur.

La mèche, formée d'un faisceau de fils de coton sans torsion, passe à travers une ouverture circulaire, pratiquée dans le couvercle de la lampe et destinée à la recevoir. Le diamètre de la mèche dépend de la grosseur du verre; il doit être à peu près égal à celui des plus gros tubes que l'on veut travailler, et varie, par conséquent, de 1 à 4 centimètres. L'ouverture du chalumeau doit être en rapport avec la mèche, il suffit de lui donner de $0^m,0005$ à $0^m,0018$ de diamètre pour les mèches comprises dans les limites que nous venons d'indiquer. On fait d'ailleurs varier, suivant le besoin, l'intensité du vent du soufflet en le chargeant d'un poids plus ou moins fort. La hauteur de la mèche, au-dessus de l'huile, ne doit pas dépasser 1 ou 2 centimètres. On doit donc toujours entretenir la lampe à peu près remplie d'huile.

Toutes les huiles peuvent être employées dans la lampe. L'huile de colza épurée est cependant la plus convenable. Quelques ouvriers trouvent avantageux de brûler un mélange d'huile et de graisse, qui paraît donner un feu plus chaud que celui fourni par l'huile seule.

Quand on veut se servir de la lampe, on allume la mèche après l'avoir imprégnée, pour plus de facilité, d'un peu d'essence de térébenthine; on la mouche avec des ciseaux pour enlever les flammèches, on la partage en deux parties par une ligne située dans le prolongement du bec du chalumeau, et enfin on met le soufflet en mouvement. Si la mèche et le bec du chalumeau sont bien disposés, l'un par rapport à l'autre, ce que l'on obtient facilement après quelques tâtonnements, il se produit un jet de flamme, dirigé dans le prolongement du chalumeau et au milieu duquel on expose les tubes que l'on veut travailler. La flamme doit être vive, pas trop longue, et produit dans ce cas un bruit caractéristique que l'on reconnaît bientôt.

Avant de décrire la construction des instruments, nous devons indiquer quelques précautions que l'on doit toujours observer et parler des opérations les plus ordinaires du travail qui nous occupe.

Les tubes que l'on emploie doivent être, autant que possible, bien réguliers, sans bulles ni nœuds. On les place par ordre de grosseur sur des tablettes horizontales, et non pas, comme on le fait quelquefois, debout ou supportés seulement par leurs extrémités sur des chevilles en bois; car, dans ces deux dernières positions ils prennent à la longue, par l'action de la pesanteur, une courbure sensible, qu'il est ensuite assez difficile de leur faire perdre. On doit toujours essuyer et sécher avec soin les tubes avant de les chauffer, et ne présenter que peu à peu ceux d'un gros diamètre à l'action de la flamme, qui les ferait briser sans ces précautions. Les tubes de cristal (verres plombeux), que l'on est quelquefois obligé d'employer, noircissent quand on les expose longtemps à l'action du feu. On rend cette altération moins rapide en mettant sur la mèche, avant de l'allumer, un peu d'eau de savon.

On peut employer, pour couper les tubes, un grand nombre de moyens. Nous en signalerons quelques-uns. On coupe les tubes d'un petit diamètre en y faisant un trait avec une lime tiers-point, ou un morceau de pierre à fusil; en appuyant à faux dans l'endroit où on a fait le trait, on détermine facilement la rupture. Les tubes plus forts présentent un peu plus de difficulté : on est obligé de prolonger le trait de lime sur une partie de la circonférence et de déterminer la rupture en approchant un charbon incandescent, ou bien un anneau de fer rouge, avec lequel on touche le tube, légèrement mouillé d'avance, au point où l'on veut produire la cassure. Quelquefois on se borne à entourer le tube avec un fil imprégné d'essence de térébenthine que l'on allume, et on le touche avec le doigt mouillé au moment où la flamme s'éteint. Les moyens que nous venons d'indiquer sont les plus simples et nous n'en indiquerons pas plusieurs autres de même espèce, qui peuvent être également suivis. Nous dirons seulement que pour les tubes gros et épais, les cols de matras, etc., la méthode la plus sûre consiste dans l'emploi d'une roue de graveur sur verre, ou, à son défaut, dans celui d'un fil mince de cuivre ou d'acier, monté sur un archet, et auquel on imprime un mouvement de va-et-vient, après lui avoir fait faire un tour sur le tube, et avoir déposé sur ce dernier un peu d'émeri, mouillé avec de l'huile ou de l'essence de térébenthine.

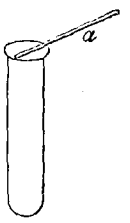
Quelle que soit la méthode employée pour couper les tubes, leurs extrémités ouvertes doivent presque toujours être *bordées*, c'est-à-dire adoucies et légèrement fondues par l'action de la chaleur; on y parvient facilement en présentant à la flamme de la lampe le bord du tube. Quelquefois on évase légèrement l'ouverture d'un tube, en appuyant et en tournant dessus une petite tige métallique *a* (fig. 2367).

Pour *courber* les tubes d'un petit diamètre, on les chauffe à la lampe, au rouge sombre, sur une certaine partie de leur largeur et on les plie alors avec la plus grande facilité suivant la direction voulue. Cette opé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOUFFLER LE VERRE.

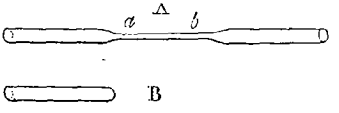
ration peut même s'exécuter sans peine à la flamme d'une lampe à esprit-de-vin. Les tubes un peu plus forts, de 6 à 10 millimètres d'épaisseur, s'aplatiraient un peu dans les coudes au moment de leur flexion, si on ne prenait pas le soin de les fermer par une extrémité et de souffler avec précaution par l'autre bout pendant qu'on les courbe. La pression de l'air intérieur s'oppose à la déformation du tube, auquel on peut ainsi conserver une section constante dans toutes ses parties



2367.

Enfin on courbe les tubes très gros, en les chauffant sur un fourneau rempli de charbons ardents et en soufflant dedans, comme nous venons de le dire, ou bien en les remplissant, avant de les chauffer, de sable très sec qui s'oppose à leur déformation ; mais ce second moyen est moins simple que le précédent, et il vaut mieux avoir recours au soufflage dans les circonstances ordinaires.

On *ferme* les tubes de différentes manières : quand ils sont très petits, il suffit de présenter leur extrémité à la lampe pour que les bords ramollis se rapprochent et se soudent. Quand on opère sur un tube plus gros et d'une longueur suffisante, on le saisit par ses extrémités avec le pouce et l'index de chaque main, en le supportant en même temps sur les doigts du milieu, et on présente sa partie moyenne à la flamme, en lui imprimant un mouvement régulier de rotation avec les doigts. Quand le verre est convenablement échauffé, on écarte les deux mains et le tube s'étrangle comme on le voit en A (fig. 2368). On le coupe alors en *a* et *b* pour laisser peu de longueur à la partie effilée, et on chauffe à la flamme l'extrémité *a*, qui se soude rapidement. Le tube est alors fermé, mais on doit encore chauffer toute l'extrémité, et quand elle est bien rouge, on la retire du feu, on souffle avec précaution par l'extrémité ouverte et on obtient enfin le tube régulièrement bouché B. On opère de même pour l'extrémité *b*.



2368.

Il arrive souvent que l'extrémité bouchée du tube présente une grande épaisseur, ce qui le rend facile à briser par l'action des changements brusques de température. On évite ce défaut en chauffant fortement cette extrémité, dont on approche un autre petit tube de verre, un peu moins chaud, qui se soude avec elle et enlève, quand on le retire, une partie de la masse du gros tube. Quand l'épaisseur se trouve ainsi convenablement réduite, on chauffe de nouveau l'extrémité, et on lui donne la forme régulière qu'elle doit avoir, en soufflant, comme nous l'avons dit, par l'autre bout du tube.

Quand on veut, enfin, fermer un tube un peu fort et d'une longueur déterminée, on chauffe à la lampe son extrémité et on rapproche ses bords jusqu'à ce qu'ils se touchent et se soudent, en appuyant dessus une petite tige métallique. On enlève, s'il y a lieu, l'excédant de matière et on termine le tube comme nous l'avons indiqué pour le cas précédent.

Le *soufflage des boules* présente différents cas : 1° Pour former une boule à l'extrémité d'un tube d'un diamètre peu considérable, il suffit de le fermer, de le chauffer fortement pour que le verre s'accumule un peu à l'extrémité, et enfin de souffler, par le bout ouvert, avec précaution et en imprimant au tube un léger mouvement de rotation. Si la boule obtenue d'abord n'était pas assez grosse, on la chaufferait de nouveau et on répéterait la même opération.

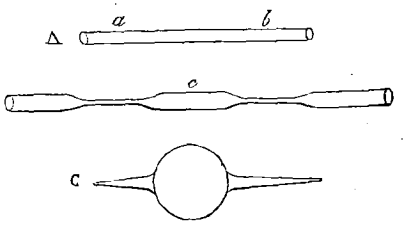
2° On a souvent besoin de souffler une boule au milieu d'un tube : on y parvient en chauffant le tube au point où l'on veut placer la boule, refoulant un peu le verre pour l'accumuler en ce point, et en soufflant par une des extrémités du tube en fermant avec le doigt, ou autrement, l'autre extrémité. La pression de l'air suffit pour étendre le verre mou et lui donner la forme sphérique (fig. 2369). L'opération que nous venons de



2369.

décrire est assez délicate; cependant, avec un peu d'habitude, en chauffant uniformément le tube et lui imprimant un léger mouvement de rotation pendant l'insufflation, on arrive promptement à faire ainsi des boules parfaitement régulières, dont le centre coïncide avec l'axe du tube et qui peuvent avoir jusqu'à 0m,035 ou 0m,040 de diamètre.

3° Un grand nombre d'appareils s'exécutent au moyen de boules, soufflées séparément, comme nous allons l'indiquer, et soudées ensuite aux tubes adjacents. On est toujours obligé d'avoir recours à ce dernier moyen, quand on a besoin de boules d'un fort diamètre réunies à des tubes minces. Voici comment on exécute ces boules. On prend un tube A (fig. 2370) d'un diamètre plus ou moins fort, suivant la grosseur de la boule que l'on veut obtenir, on le chauffe aux points *a* et *b*, et on l'effile de manière à produire le tube B, puis on casse les parties effilées et il reste alors l'olive *c* entre deux pointes. On présente l'une des pointes à la flamme pour la fermer, on chauffe fortement l'olive et enfin on souffle par la pointe ouverte, ce qui produit la boule C.



2370.

Pour *souder* les tubes, on commence par les évaser légèrement, comme nous l'avons indiqué en *a* (fig 2367), puis on chauffe à la fois les deux extrémités ainsi préparées, et on les approche l'une de l'autre pour les faire adhérer. On refoule un peu la matière, et, en fermant l'extrémité de l'un des tubes, on souffle par le bout de l'autre en exerçant en même temps une légère traction dans le sens de la largeur, pour éviter qu'il ne se forme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au renflement. Si on veut donner encore plus de force à la soudure, on la place de nouveau dans la flamme, on refoule de nouveau la matière, et on répète la première opération. Quand les tubes à souder n'ont pas le même diamètre, on commence par évaser le plus petit et on étire le plus gros, de manière à les amener à présenter l'un et l'autre la même ouverture, puis on opère comme nous l'avons indiqué d'abord.

Nous allons décrire maintenant la construction de quelques instruments, et montrer qu'elle ne consiste que dans l'exécution successive des opérations élémentaires dont nous avons parlé d'abord.

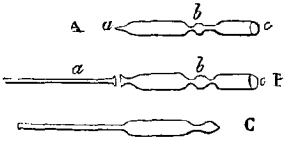
Les *thermomètres à boules* se construisent en soufflant une boule à l'extrémité d'un tube capillaire par la méthode que nous avons indiquée ci-dessus (1°). Cette opération peut se faire avec un chalumeau et la flamme d'une chandelle. Les thermomètres à cylindres sont formés d'un tube cylindrique *soudé* à l'extrémité d'un tube capillaire. Nous avons dit comment s'exécute une soudure de cette espèce. On trouvera d'ailleurs au mot *thermomètre* les détails relatifs au remplissage et à la graduation de ces instruments.

Les *aréomètres* à boules se soufflent, comme nous l'avons dit (2°). La construction des *aréomètres* à cylindre est un peu plus compliquée; voici comment elle s'exécute : on prend un tube cylindrique de deux centimètres de diamètre environ et de 1/2 millimètre d'épaisseur; on le chauffe en deux points éloignés de cinq à six centimètres, et on l'étire de manière à lui donner la forme A (fig. 2371); on ferme la partie rétrécie *a*, puis on chauffe en *b*, et, en soufflant par l'extrémité ouverte *c*, on produit un petit renflement destiné à recevoir le reste; on chauffe alors le point *a*, et soufflant de nouveau, on forme une petite boule dont on crève la partie supérieure. On a alors la pièce B, qu'il ne s'agit plus que de souder à la tige *a*. A cet effet, on ferme le tube en *c*, et on exécute la soudure comme nous l'avons dit. Il ne reste plus, pour terminer l'instrument, qu'à chauffer le renflement *b*, pour l'étirer et lui donner la forme d'une petite poire, et à fermer la pointe qui le termine. On obtient ainsi l'instrument C, dont la graduation s'effectue comme il est indiqué au mot ARÉOMÈTRE, page 489.

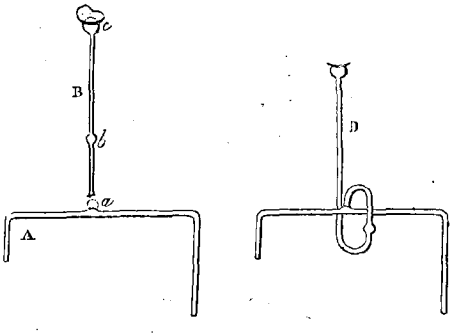
de cette ampoule, et, en soufflant comme la première fois, on lui fait prendre un grand développement, indiqué par les points, et on casse le verre très mince qui forme cette espèce de cloche. Le tube courbé se trouve ainsi préparé. D'un autre côté, on souffle une boule *b*, sur la longueur du tube B, comme nous l'avons dit (2°), puis à l'extrémité de ce tube on souffle ou on soude une seconde boule *c*; on soude alors le tube B sur l'ouverture pratiquée au tube A; on chauffe la partie supérieure de la boule *c*, et en soufflant fortement par une extrémité du tube courbé, pendant que l'autre est fermée, on produit une cloche très mince indiquée par des points sur la figure; on la brise et on borde l'ouverture de l'entonnoir ainsi produit en le présentant à la flamme. Il ne reste plus qu'à donner au tube B la courbure convenable pour obtenir enfin le tube de Welter terminé D.

Les pipettes, les syphons à deux branches, les tubes en S, les tubes en entonnoir, les burettes, les tubes de Liebig, etc., s'exécutent comme les instruments dont nous avons parlé jusqu'à présent; nous ne nous arrêterons pas davantage à décrire ces différents objets. Leur inspection seule suffit pour faire comprendre, d'après ce que nous avons dit, le moyen de les exécuter.

Nous ne pouvons pas décrire ici l'art complet de la fabrication de ces mille petits ornements que l'on fait en émail ou en verre coloré. Le goût de l'ouvrier, son talent comme modeleur, l'adresse avec laquelle il manie les émaux, ramollis par la chaleur, sont autant de qualités qu'une longue habitude et une disposition spéciale peuvent seules procurer. Nous dirons seulement que les opérations fondamentales, le métier, pour ainsi dire, de cette industrie, sont les mêmes que pour le soufflage du verre blanc. On soude les tubes d'émail, on les courbe, on les souffle comme les tubes ordinaires, mais, nous le répétons, ce n'est qu'à force d'adresse que l'on obtient les formes si gracieuses et si variées que présentent presque toujours ces petits ouvrages. Nous expliquerons, seulement comme exemple, la construction d'un de ces petits cygnes que l'on vend, comme jouet d'enfant, chez presque tous les marchands de cristaux. On prend un tube d'émail blanc, et on en forme d'abord, en l'effilant, une olive entre deux pointes



2371.



2372.

Décrivons enfin la construction d'un *tube de Welter;* elle offre à peu près toutes les difficultés qui peuvent se présenter dans le genre de travail qui nous occupe. On commence par courber un tube de manière à lui donner la forme A (fig. 2372); on dirige ensuite l'extrémité du dard de la flamme sur un point de la partie supérieure, et, en bouchant avec le doigt l'une des extrémités, on souffle par l'autre de manière à former l'ampoule *a*; on chauffe de nouveau la partie supérieure analogue à celle de la fig. 2370, B. On ferme une des pointes, et, après avoir chauffé l'olive, on souffle par la pointe ouverte, en tirant un peu en long, pour former le sphéroïde qui doit constituer le corps de l'oiseau; on lui donne, en le réchauffant, si cela est nécessaire, et le façonnant avec une petite tige de métal, instrument principal de l'émailleur, la forme légèrement aplatie qu'il doit avoir. On allonge ensuite en l'étirant la pointe fermée, on lui donne la courbure du col de l'ani-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mal, et on souffle à l'extrémité un petit renflement qui forme la tête, puis on soude un bout de tube jaune pour imiter le bec et un point d'émail noir de chaque côté de la tête pour simuler les yeux. Il reste enfin à fermer la pointe restée ouverte et à lui donner à peu près la forme de la partie postérieure du cygne. On construit d'une manière analogue tous les oiseaux, seulement on soude de petites pièces d'émail de différentes couleurs pour former successivement les ailes, les pattes, la queue, etc.

L'émail et les verres colorés se filent facilement à la lampe et produisent des fils d'une finesse, d'un éclat et d'une souplesse vraiment remarquables. Voici comment s'exécute cette opération : On chauffe une baguette d'émail près de son extrémité, et la tenant d'une main, on saisit avec l'autre main, armée d'une petite pince, l'extrémité chauffée, on écarte les deux bras, ce qui forme ainsi un fil d'un mètre environ de longueur, adhérant d'une part au tube principal, et de l'autre à la petite masse entraînée par les pinces. On fixe cette dernière extrémité sur un point de la circonférence d'une petite roue en tôle, de 0m,40 à 0m,50 de diamètre, montée sur un arbre horizontal, et disposée à une petite distance de la lampe. On chauffe alors de nouveau le tube principal, au point où il commence à s'effiler, en le tenant d'un main, tandis que de l'autre on met en mouvement la roue dont nous avons parlé. L'émail ramolli cède à la traction exercée sur lui et vient en fil fin s'enrouler sur la roue. On avance peu à peu le tube dans la flamme et il se trouve bientôt entièrement transformé en un fil d'une grande longueur. Ces fils d'émail ou de verre ont plusieurs applications curieuses : on en fait des perruques qui produisent une illusion complète, ils servent à la confection de ces jolies aigrettes si souples et d'un éclat si agréable, que tous les charlatans mettent sur leurs écloppes. Tout le monde connaît d'ailleurs les produits remarquables, vendus sous le nom d'étoffes de verre, qui ne sont autre chose que des tissus en fils d'émail et de soie. Un très habile émailleur de Saumur a fait une application excessivement intéressante des fils dont nous parlons : il s'en sert pour imiter le poil de la plupart des animaux. Il assortit leurs couleurs avec celles des peaux naturelles, et après avoir coupé les fils d'une longueur convenable, il les colle, par une de leurs extrémités, sur une surface solide en copiant la disposition de la peau qu'il veut imiter. J'ai vu chez lui des tigres, des hyènes rayées, des axis et autres animaux de grandeur naturelle, admirablement modelés et recouverts du *poil de verre* dont nous parlons. L'imitation est si parfaite que ces animaux remplaceraient avec avantage les peaux empaillées, toujours altérées, qui encombrent nos cabinets.

Les *yeux artificiels*, pour les poupées (1) et pour les animaux empaillés s'exécutent également en émail. Ce travail exige, comme les précédents, beaucoup de goût et d'habitude, quand il faut pour la première fois imiter un œil donné, et choisir convenablement les émaux et la couleur, mais on parvient à le faire exécuter par des femmes ou des enfants quand on doit fabriquer une grande quantité d'yeux de même espèce. Nous allons indiquer sommairement la manière d'opérer. Le fil de fer recuit sur lequel les yeux sont ordinairement montés est engagé, en partie, dans la moelle d'un petit morceau de bois, afin de pouvoir, sans se brûler, le tenir à la main. L'ouvrier tient ce fil, ainsi disposé de la main gauche, et saisit de la main droite une baguette d'émail ordinairement blanc qu'il soude à la lampe en l'enroulant sur le bout de fil de fer, de manière à former une petite masse de matière sur laquelle il soude ensuite l'émail coloré qui forme la rétine, ou le fond de l'œil. On soude ensuite l'émail qui forme la pupille, et par dessus on applique la masse de verre *transparent*, blanc, ou coloré, qui produit l'effet de l'humeur aqueuse, et à travers laquelle on aperçoit le fond de l'œil et la pupille. Après avoir appliqué chaque nouvelle teinte d'émail, on fond la masse entière, puis on l'aplatit perpendiculairement au fil de fer en appuyant dessus une petite lame de métal. Quand tous les émaux sont appliqués on répète deux ou trois fois cette opération, et on termine en chauffant assez l'œil pour lui donner la forme arrondie qu'il doit avoir. Ces opérations ont pour but de fondre et d'adoucir les nuances des différents émaux, et de donner au produit l'éclat particulier qu'il doit présenter.

Les grains de chapelet se font quelquefois à la lampe, mais le plus souvent par des procédés analogues à ceux employés pour la fabrication des PERLES (voyez ce mot).

Les boules *argentées* que l'on met en si grande quantité dans les bouquets de fausses fleurs communes, vendues dans les campagnes, ne sont autre chose que des boules de verre blanc, dans lesquelles on a versé un alliage de bismuth et de mercure qui jouit de la propriété d'adhérer fortement au verre. H. MANGON.

SOUFRE (*angl.* sulphur, *all.* schwefel). Le soufre est un corps simple, solide à la température ordinaire, d'une couleur jaune particulière; la chaleur seule de la main suffit pour faire casser le soufre en bâton; il se fond à 108° et reste d'abord très liquide jusqu'à 160° environ, puis devient visqueux et se fonce en couleur en devenant brun; entre 200° et 250° il atteint son maximum de viscosité, et si on le plonge alors subitement dans l'eau, il conserve encore quelque temps son état de mollesse, ce qui permet de s'en servir pour prendre des empreintes; il finit peu à peu cependant par reprendre sa dureté et sa couleur ordinaires. En vases clos, le soufre donne déjà quelques vapeurs vers 150°; il bout à 316° environ et distille alors en donnant une vapeur jaune-orangé, dans laquelle plusieurs métaux, tels que le cuivre et l'argent, brûlent avec beaucoup de vivacité. Sa densité est de 1,98; il n'a pas de saveur; quand on le frotte, il dégage une légère odeur. Il est généralement opaque, et demi-transparent seulement quand il est cristallisé. Par le frottement il développe de l'électricité négative et résineuse.

Quand on chauffe le soufre au contact de l'air, il s'enflamme et brûle avec une flamme bleue en produisant de l'acide sulfureux dont l'odeur piquante est caractéristique et prend de suite à la gorge. Il se combine directement avec l'hydrogène, le chlore, le brôme, l'iode et presque tous les métaux, en formant avec ces derniers une série de combinaisons binaires, les sulfures, que l'on regarde généralement comme des sels, mais que nous croyons devoir plutôt considérer comme n'en étant nullement et comme formant une série parallèle à celle des combinaisons binaires de l'oxygène, comprenant, par conséquent, des *sulfacides* et des *sulfides*, selon qu'ils jouent le rôle d'acides ou de bases. Les sels connus sous les noms d'hydrosulfates seraient d'après cette manière de voir de véritables hydrates.

Le soufre est complétement insoluble dans l'eau; il est très peu soluble dans l'alcool absolu et dans l'éther, beaucoup plus à chaud dans les huiles grasses et les huiles volatiles et surtout dans le sulfure de carbone et le chlorure de soufre : par le refroidissement de ces dissolutions saturées à chaud, le soufre se sépare sous la forme de cristaux semblables à ceux que présente le soufre natif; le soufre se dissout également dans une dissolution bouillante d'alcali ou de sulfite alcalin, en donnant naissance à un hyposulfite alcalin.

Le soufre est un corps dimorpho c'est-à-dire qu'il

(1) La fabrication des yeux de poupées, qui paraît au premier abord si peu importante, a été longtemps la spécialité et le monopole de deux marchands de Liverpool dont elle a fait la fortune.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est susceptible de cristalliser sous deux formes appartenant à des systèmes cristallins différents. Les cristaux de soufre natif dérivent d'un prisme rhomboïdal droit sous l'angle de 102° et sont généralement des octaèdres à base rectangulaire simples ou cunéiformes; les cristaux artificiels, que l'on obtient en fondant du soufre et en le faisant cristalliser par simple refroidissement, dérivent au contraire d'un prisme rhomboïdal oblique.

Le soufre natif est assez répandu dans la nature; il est ordinairement jaune, cependant on en trouve de blanc et même de gris cendré et de brun marron; dans tous les cas la flamme qu'il donne en brûlant et l'odeur qu'il répand le font immédiatement reconnaître. Il y affecte trois sortes de gisements : 1° en rognons disséminés dans des couches de terrain tertiaire, et de formation contemporaine : ce gisement est assez fréquent, mais ne produit que peu de soufre; 2° en amas irréguliers, dans le terrain de craie, associés à du gypse et à du sel gemme, et probablement de formation plus récente ainsi que ces derniers : c'est dans ces circonstances que se trouvent les mines de Sicile, qui fournissent actuellement la presque totalité du soufre que consomme l'Europe; 3° produit par sublimation dans les terrains volcaniques ou par la décomposition des eaux thermales qui contiennent de l'hydrogène sulfuré en dissolution : presque tous les volcans donnent du soufre, qui se sublime constamment à travers certaines fissures et vient se condenser en partie dans les cendres ou sables qui forment la surface du sol; telles sont les solfatares de l'île Bourbon, de la Guadeloupe et de Pouzzoles. Les eaux thermales sulfureuses ne produisent qu'une quantité insignifiante de soufre.

Les mines de soufre de la Sicile produisent annuellement environ 50 millions de kilogrammes de soufre, et pourraient au besoin en fournir une quantité bien plus considérable; les mines les plus importantes sont situées près de Cattolica, Girgenti, Licata, Caltanisetta, Caltascibetta, Centorbi et Sommatino. En 1787, il se déclara un incendie si violent dans la mine de Solfara-Grande, près de Sommatino, qu'on fut obligé d'abandonner la mine; cet incendie dura deux ans, au bout desquels un mineur ayant mis la région incendiée en communication avec une partie inférieure de la mine, on put recueillir plus de 65 millions de kilogrammes de soufre fondu parfaitement pur, sans compter celui qui s'écoula dans une petite rivière qui passe près de cette mine.

Les minerais de Sicile sont généralement fort riches et renferment de 30 à 50 p. 100 de soufre que l'on en sépare par une liquation; la chaleur nécessaire à cette opération est produite par la combustion d'une partie du soufre que renferme le minerai : nous allons donner une idée des méthodes de traitement que l'on suit en Sicile, en nous servant d'un mémoire encore inédit de M. Adrien Paillette, mémoire qui sera bientôt publié dans son entier.

La liquation s'opère dans de petits trous cylindriques à fond concave et légèrement incliné vers l'orifice de coulée. Ces fours, dont les parois sont construites en calcaire compacte, sont le plus souvent alignés par groupes de 10 à 20 et même plus, dans un lieu autant que possible abrité contre les vents. Un seul ouvrier peut en desservir 5 à 6. On emploie les plus gros morceaux de minerai pour former sur la sole du fourneau une voûte ou canal qui aboutit au trou de coulée; on les cale avec des morceaux presque aussi gros, on les recouvre ensuite de minerai de plus en plus fin, et on termine le tas en lui donnant la forme d'un dôme recouvert d'une couche de menu légèrement damée.

Le chargement terminé on allume le tas par la partie supérieure au moyen d'une fascine préalablement trempée dans du soufre fondu et qu'on secoue à la surface du tas après l'avoir enflammée. Après 4 ou 8 heures de feu, il s'est rassemblé au fond du fourneau une masse de soufre en fusion qui y occupe une hauteur de 0m,20 à 0m,25; on débouche alors le trou de coulée et on reçoit le soufre fondu dans des moules en bois préalablement mouillés. Une fois la fonte commencée, on ne rebouche plus le trou de coulée, de sorte que le soufre coule d'une manière continue; quand il ne vient plus de soufre, on laisse refroidir le fourneau pour le décharger et enlever les crasses produites par les gangues du minerai.

Près de Girgenti et pour traiter également des minerais riches, on emploie des fourneaux rectangulaires voûtés que l'on remplit du reste comme les précédents; ces fours, dont les parois sont en briques et de peu d'épaisseur, sont placés dans des chambres en maçonnerie ayant une chauffe à une de leurs extrémités; avec du bois que l'on y jette, on échauffe les parois du fourneau et de la chambre; puis on ferme toutes les issues, lorsque la chaleur accumulée dans ces parois et dans les gaz chauds qui remplissent la chambre, est suffisante pour produire la séparation par liquation du soufre chargé dans le fourneau. Ce procédé est, comme on le voit, intermédiaire entre celui précédemment décrit et celui de la distillation proprement dite, exclusivement employée pour les minerais qui contiennent au plus 15 à 20 p. 100 de soufre, et même dans tous les cas, lorsqu'on peut aisément se procurer du combustible végétal ou minéral.

C'est ce dernier procédé que l'on emploie à la célèbre solfatare de Pouzzoles, près de Naples. Dans cette ancienne bouche volcanique, le soufre se condense en quantité considérable dans le sable qui recouvre le cirque formant l'intérieur du cratère. On enlève ce sable jusqu'à la profondeur de 10m (plus bas, la température est trop élevée pour qu'on puisse y travailler), et on le soumet à la distillation pour en retirer le soufre qu'il contient. On exploite ainsi successivement le sable qui recouvre tout le cirque, et on rejette dans les tranchées celui qui a été soumis à la distillation. La sublimation naturelle du soufre par les fissures du terrain se faisant d'une manière continue, le sable se recharge de soufre, et, au bout de 25 à 30 ans, il est assez enrichi pour pouvoir être de nouveau soumis à la distillation. Cette dernière s'opère dans 12 pots cylindriques en terre cuite placés sur deux banquettes parallèles dans un four chauffé au bois. Les pots distillatoires communiquent trois par trois au moyen de conduits en terre cuite avec d'autres pots faisant fonction de récipient et placés à l'extérieur sur le sol de l'atelier. La charge de chaque pot est de 20 à 25 kil. de sable et on en retire moyennement 7 à 8 kil. de soufre, soit 90 kil. par fournée qui dure environ 7 heures, et on brûle pendant ce temps, dans le fourneau, de 70 à 80 kil. de menu bois.

Le soufre brut ainsi obtenu est plus ou moins impur; il peut bien être employé dans cet état pour la fabrication de l'acide sulfurique, mais il a besoin d'être purifié pour les autres besoins du commerce. Cette purification se fait très en grand aux environs de Marseille; à cet effet on charge le soufre dans des grandes cornues en fonte (fig. 2373) dont la panse *a* a environ 1m de diamètre, 0m,60 de profondeur, 3 centimètres d'épaisseur, et reçoit 400k de soufre brut; le chargement terminé, on lute sur la panse le chapiteau *b* et on remplit les vides autour avec du sable. Le col de la cornue vient déboucher dans une chambre de condensation *d*, de 7m de long, 3m,50 de large et 4m,20 de long, dont les murs ont 0m,80 d'épaisseur. Il y a ordinairement deux cornues pour une chambre des dimensions ci-dessus. A la partie supérieure de la chambre se trouve une cheminée, portant un clapet *e* destiné à donner issue à l'air et aux gaz renfermés dans la chambre, lorsqu'en s'échauffant ou par tout autre cause leur tension devient trop considérable. La grille est placée à 0m,20 environ en contrebas du fond des cornues. Le feu ayant été allumé le soufre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

arrive bientôt près de son point d'ébullition; il s'enflamme alors et brûle à la surface, mais l'acide sulfureux

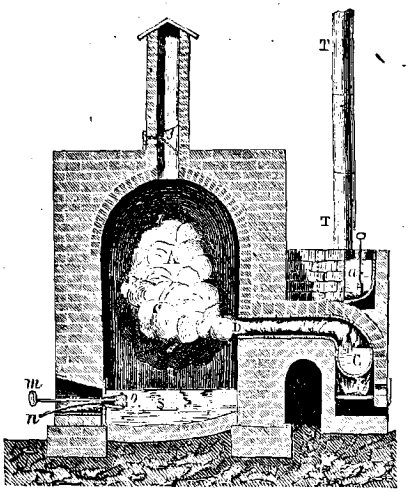


Fig. 2373.

qui se forme et remplit la chambre ne tarde pas à éteindre la flamme; les vapeurs de soufre qui se dégagent se déposent alors sur les parois de la chambre de condensation sous la forme d'une poudre fine très-ténue, connue sous le nom de fleur de soufre. On n'allume d'abord le feu que sous une seule cornue; la distillation commence au bout d'une heure; après trois heures on allume le feu sous la seconde cornue. Au bout de six heures, la distillation est terminée dans la première cornue; on ôte alors le feu et on recharge de nouveau la cornue après l'avoir laissée un peu refroidir. On continue ainsi successivement la distillation en rechargeant alternativement une des cornues toutes les trois heures, pendant six jours et cinq nuits; dès le troisième jour, les parois de la chambre de condensation s'étant suffisamment chauffées, le soufre en fleur commence à fondre et couler sur le sol; à la fin du sixième jour la température de la chambre est de 140° à 150°; on cesse alors le travail, et le lendemain matin, dès que la température s'est abaissée à 125° environ, on coule le soufre dans des moules en bois que l'on plonge dans l'eau froide pour hâter la solidification. C'est ainsi qu'on obtient le *soufre en canon* du commerce.

Lorsqu'on veut obtenir du *soufre en fleur*, l'opération doit être conduite assez lentement pour que la température des parois se maintienne au-dessous de 105° à 108°. Le soufre en fleur ainsi obtenu renferme constamment un peu d'acide sulfureux et souvent d'acide sulfurique; pour l'en dépouiller, il faut le laver avec soin à l'eau chaude, puis le faire sécher.

En Allemagne on fabrique une certaine quantité de soufre au moyen des pyrites de fer jaunes et blanches; celles-ci, à l'état de pureté, renferment 54,26 p. 100 de soufre, et en abandonnent par la distillation en vase clos les 3/7 ou 23,26 p. 100, en se transformant en pyrite magnétique; cette dernière, exposée en tas à l'air et suffisamment arrosée, se convertit en sulfate de fer ou vitriol vert, qu'on lessive et qu'on fait cristalliser ensuite par évaporation pour le verser dans le commerce. On introduit la pyrite dans de grands vaisseaux cylindriques ou rectangulaires, en fonte ou en terre cuite, maçonnés horizontalement dans des fours à réverbère de forme appropriée et connus sous le nom de fourneaux à galère; ces vaisseaux communiquent avec des récipients que l'on a soin de rafraîchir convenablement. Le soufre ainsi obtenu a une couleur verte due à ce qu'il renferme une certaine quantité de sulfure de fer. On lui fait subir une première purification en le fondant à une très-basse température dans une chaudière en fonte de grandes dimensions, et le coulant dans un tonneau en bois d'un faible diamètre et d'une hauteur au moins triple, dans lequel on le laisse refroidir spontanément; quelques jours après on enlève les cercles du tonneau; le sulfure de fer, ayant une densité plus considérable, a gagné le fond du tonneau avec la plus grande partie des matières étrangères et forme à la partie inférieure du pain une couche qui s'en sépare nettement et qui est souvent employée en place de soufre pour la fabrication de l'acide sulfurique. Le soufre purifié qui est au-dessus est encore soumis à une nouvelle distillation avant d'être livré au commerce. Comme les pyrites de fer renferment presque toujours une proportion plus ou moins forte de pyrites arsenicales, le soufre que l'on en retire est presque toujours souillé par une faible quantité de sulfure d'arsenic qui doit, dans certains cas, en interdire l'emploi.

Les principaux usages du soufre sont la fabrication de l'acide sulfurique, de la poudre, des allumettes, d'un grand nombre de produits chimiques et pharmaceutiques, le blanchiment des tissus de laine, de soie, des chapeaux de paille, etc. P. DEBETTE.

SOUFROIR. Voyez BLANCHIMENT, etc.

SOUPAPE. Voyez MACHINE A VAPEUR et POMPE.

SOUPAPE DE SURETÉ. Voyez CHAUDIÈRE.

SOURCES ARTIFICIELLES. Bernard de Palissy, dans son livre *Des Eaux et Fontaines* (1686), alors que la plupart des savants, Descartes par exemple, croyaient que les eaux des sources provenaient de la mer, et que l'action de feu central de la terre expliquait leur apparition à de grandes hauteurs, comprit parfaitement que la pluie, la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère alimentait seule tous les cours d'eau (V. article AGRICULTURE, Météorologie), et combinant ce principe avec ses nombreuses observations, il écrivit son traité pour montrer le moyen de faire partout des fontaines artificielles, et établit les principes de tout ce qui a été fait depuis lui dans cette voie pour l'utilisation des eaux de surface. Nous croyons par suite devoir rapporter ici presque tout ce travail, n'en excluant que quelques passages sur les sels que les progrès de la chimie ont démontré être mal fondés.

DES EAUX ET FONTAINES. *Pourquoi il y a des sources en pays plats comme ès montagnes.* Venons à présent à la cause pourquoi il y a aussi bien des sources ès plats pays et campagnes comme ès montagnes. Tu dois entendre que si toute la terre était sableuse, déliée ou spongieuse, comme les terres labourables, l'on ne trouverait jamais source de fontaines en quelque lieu que ce fût. Car les eaux des pluies qui tomberaient sur les dites terres, s'en iraient toujours en bas jusques au centre et ne se pourraient jamais arrêter pour faire puits ni fontaines. La cause donc pourquoi les eaux se trouvent tant ès sources qu'ès puits, n'est autre qu'elles ont trouvé un fond de pierre ou terre argileuse, laquelle peut tenir l'eau autant bien que la pierre; et si quelqu'un cherche de l'eau dans des terres sableuses, il n'en trouvera jamais si ce n'est qu'il y ait au-dessous de l'eau, quelque terre argileuse, pierre, ou ardoise, ou minéral, qui retiennent les eaux des pluies quand elles auront passé au travers des terres. Tu pourras me mettre en avant que tu as vu plusieurs sources sortant des terres sableuses, voire dans les sables même: à quoi je réponds comme dessus, qu'il y a dessous quelque fond de pierre, et que si la source monte plus haut que les sables, elle vient aussi de plus haut...

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOURCES ARTIFICIELLES.

THÉORIQUE. Dès le commencement tu m'as promis de me montrer à faire des fontaines ès lieux stériles d'eau, et quelque part que je voudrais ; mais jusqu'ici tu ne m'en as pas dit encore un seul mot.

PRATIQUE. Tu n'es guères sage ; ne crois-tu pas que le médecin prudent n'ordonnera jamais une médecine à un malade, si premièrement il ne connaît la cause de la maladie ? En cas pareil, ne fallait-il point que, auparavant que t'apprendre à faire des fontaines, je te monstrasse la cause de celles qui se font naturellement? Ne sais-tu pas que je t'ai promis dès le commencement de t'apprendre à faire des fontaines à l'imitation de celles du souverain fontainier?... Je ne te puis sagement instruire, que je n'aie entendu de toi si le lieu où tu veux faire ta fontaine est montueux ou plat : parce que selon la commodité du lieu il faut que la chose soit désignée, ou autrement l'on travaillerait en vain.

THÉORIQUE. J'ai une maison champêtre auprès de laquelle il y a une montagne assez roide et ma maison est près du pied de la dite montagne.

PRATIQUE. Si ainsi est, tu as une grande commodité pour construire ta fontaine à peu de frais et te dirai comment. Il n'est point de montagne qui ne soit fondée de rochers, comme je t'ai dit plusieurs fois; tu te peux donc assurer que si tu prends garde qu'il n'y ait quelque trou ou fente le long de la montagne, tu pourras recueillir une grande quantité d'eau, et la faire descendre jusqu'auprès de ta maison. Prends donc garde qu'il n'y ait quelqu'ouverture par laquelle ton eau se puisse perdre; et, s'il y en a, ferme-la de pierres et de terre, et puis rempare la circonférence à dextre et à senestre du lieu que tu auras destiné pour recevoir les eaux des pluies. Et ayant ainsi fait un rempart en manière de chaussée, toute l'eau qui tombera dedans ton enclos se viendra rendre au lieu que tu lui auras préparé. Et ce fait, tu feras deux réceptacles, l'un après l'autre : le second plus bas que le premier : afin que l'eau du premier, étant déjà purifiée, se vienne rendre au second. Et pour purifier les eaux, faut qu'elles passent au travers d'une grande quantité de sable que tu auras mis au-devant du premier réceptacle et faut maçonner les pierres du premier réceptacle sans mortier, afin que les eaux puissent passer jusques au second, ou bien faire quelque grille d'airain, ou une platine percée de petits trous, afin qu'il ne passe rien que l'eau; et ainsi quand elle aura passé à travers le sable et le premier réceptacle, elle sera bien affinée quand elle se rendra au second, et au bas d'icelui, pour ce que le premier réceptacle sera grand et découvert en l'air comme un étang, il faudra faire un troisième degré plus bas que les deux autres, duquel sortiront les eaux pour les usages de la maison. Si tu veux enrichir la face du réceptacle du côté que tu tires de l'eau, tu la pourras enrichir de telle beauté que bon te semblera, soit en façon de roc ou autrement et aussi tu pourras planter des arbres à dextre et à senestre, que tu feras courber en forme de tonnelle ou de cabinet, pour donner beauté à ta fontaine.

THÉORIQUE. Je crains une difficulté, qui est que quand il pleut asprement de pluie d'orage, les eaux qui descendent violemment du haut de la montagne ne viennent à amener une quantité de terre, sables et autres choses, qui empêchent le cours de la fontaine ou bien des eaux qui se pourraient rendre en icelle.

PRATIQUE. Pour vrai je connais à ce coup que tu n'es pas aliéné de jugement, et parce que je vois que tu es attentif à mes paroles, je te ferai ci-après un portrait ou dessin convenable pour la place ou lieu que tu m'as fait entendre, pour faire ta fontaine. Et pour obvier à la malice des grandes eaux qui se pourraient assembler en peu d'heures par quelque tempête, il faut qu'après que tu auras désigné ton parterre pour recevoir les eaux, tu mettes de grosses pierres au travers des plus profonds canaux qui viennent en ton parterre. Et par tel moyen la violence des eaux et ravines sera amortie, et ton eau se rendra paisiblement dans tes réceptacles.

THÉORIQUE. Et si je voulais faire une fontaine en un lieu champêtre, que la terre fût de niveau comme l'on voit communément aux campagnes, y aurait-il quelque moyen d'en faire?

PRATIQUE. Oui bien ; mais c'est à plus grands frais que non pas ès montagnes : d'autant plus que là où la place est droite, il faut lui donner pente à force d'hommes.

THÉORIQUE. Comment est-il possible de lui donner pente si elle n'y est pas de nature?

PRATIQUE. Encore n'est-ce pas le pis: car il est bien aisé de donner pente à force d'hommes; mais le pis est qu'étant haussée d'un côté et abaissée de l'autre, il la faut nécessairement paver: car autrement tout ne vaudrait rien.

THÉORIQUE. Il faut donc conclure tout en un coup que cela ne peut se faire : pourquoi il n'en faut plus parler.

PRATIQUE. Si fait, si fait : et la chose est bien aisée, moyennant que l'on veuille employer du temps et de l'argent.

THÉORIQUE. Je te prie de me dire comment tu y voudrais procéder.

PRATIQUE. Je voudrais en premier lieu choisir un champ bien près de la maison, et selon la grandeur de la famille je voudrais faire mon parterre. Ayant tendu mes cordeaux j'aurais un nombre de mercenaires auxquels je ferais ôter la terre du bout prochain à la maison, où je vaudrais faire les réceptacles, et je la ferais porter à l'autre bout de mon parterre. Par ce moyen, je n'aurais pas sitôt baissé la partie prochaine de la maison de deux pieds, que l'autre partie ne se trouvât plus haute de quatre pieds, qui serait une hauteur assez capable pour amener toutes les eaux des pluies qui tomberaient dedans ton parterre. Les frais de cela ne sont pas si grands qu'ils vaillent le disputer. Mais quant aux frais du pavé, il pourrait coûter plus ou moins, selon la commodité des étoffes qui se trouveront près du lieu.

THÉORIQUE. Et quel besoin est-il de paver ce parterre?

PRATIQUE. Parce que tu m'as dit que c'est un pays plat, et que tu as tâché à y faire des puits, où tes prédécesseurs et toi avez beaucoup dépensé, et n'avez su trouver de l'eau. Je t'ai dit ci-devant que si toutes les terres étaient sableuses et spongieuses, que les eaux des pluies passeraient soudain aussitôt qu'elles seraient chûtes ; et que si toutes terres étaient ainsi que jamais ne pourrait avoir de source de fontaine, et que les fontaines ne sont causées que de ce que les terres sont foncées de pierre ou de quelque minéral. Pour ces causes quand tu aurais fait apporter les terres du bout de ton parterre à l'autre, et qu'il serait tout préparé à recevoir les pluies, cela ne servirait de rien; parce qu'elles ne trouveraient rien qui les peut arrêter; voilà pourquoi je t'ai dit qu'il faut nécessairement que ton parterre soit pavé, afin qu'il puisse contenir l'eau. Je n'entends pas qu'il faille que ce soit un pavé taillé ni choisi de pierres dures, comme celui des villes, ni assis avec du sable, s'il ne se trouve sur le lieu ; mais les poser toutes cornues avec de la terre simplement. Voilà comment je l'entends, afin que tu ne penses que la dépense soit si grande; et s'il se trouve de la pierre plate, comme l'on voit en plusieurs contrées, il les faut mettre de plat, afin qu'elles tiennent plus de place; pourvu qu'elles puissent empêcher que les terres ne boivent l'eau, c'est tout un, comment elles seront mises.

THÉORIQUE. Et si je veux ériger ma fontaine en quelque lieu où il n'y ait point de pierre?

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRATIQUE. S'il n'y a point de pierre, fonce de la brique. S'il n'y a ni pierre, ni brique, fonce de la terre argileuse.....

THÉORIQUE. Et si mon parterre était pavé de pierre, de brique ou de terre d'argile, mon champ ne me pourrait servir sinon pour recevoir les eaux, et ce serait grand dommage à un pauvre homme, qui n'aurait qu'un peu de terre, de l'employer en une fontaine seulement.

PRATIQUE. Si tu veux me croire, ledit parterre te portera grand profit et utilité, à savoir, en y plantant un grand nombre d'arbres fruitiers de toutes espèces et les planter par lignes directes; et puis paveras ton parterre, et à l'endroit d'un chacun arbre, tu laisseras trois ou quatre pouces de terre sans être pavé, afin que ledit pavé n'empêche pas l'accroissement des arbres. Et quand cela sera fait, tu pourras faire apporter sur ledit pavé de la terre jusqu'à un pied de haut et davantage; après tu pourras semer telles espèces de légumes que tu voudras... et, si tu préfères, du foin, qui servira de pâturage.

THÉORIQUE. Mais si je couvre le parterre pavé de terre et que je sème quelque chose dessus, les eaux qui passeront submergeront les semences que j'y aurai semées.

PRATIQUE. Tu as fort mal retenu le propos que je t'ai dit plusieurs fois, que les terres spongieuses et labourées ne peuvent contenir l'eau, par quoi tu dois entendre que les pluies qui tomberont dedans ton parterre descendront à travers les terres jusque sur le pavé, et étant sur ledit, trouvant la pente d'icelui, descendront jusqu'aux réceptacles. Cela te doit faire bien considérer que les eaux des pluies qui tombent par les montagnes, terriers et toutes places qui ont inclination vers le côté des rivières ou fontaines, ne s'y rendent pas soudain. Car si ainsi était, toutes les sources tariraient en été, mais parce que les eaux qui sont tombées durant l'hiver sur les terres ne peuvent passer promptement, mais petit à petit, descendent jusqu'à ce qu'elles aient trouvé la terre foncée de quelque chose, et quand elles ont trouvé le roc, elles suivent la partie inclinée se rendant ès rivières.....

THÉORIQUE. Ne saurais-tu donner quelque invention de laquelle puissent s'aider les laboureurs en plat pays sans être contraints de paver la sole?

PRATIQUE. Si j'étais homme de village et que mon habitation fût en pleine campagne, j'aurais espoir de trouver quelque fontaine pour la provision de ma famille.

J'élirais quelque pièce de terre prochaine de ma maison, et l'ayant haussée d'un bout, comme je l'ai dit ci-devant, je voudrais avoir certains maillets de bois et battrais la terre fort unie; et étant ainsi battue et bien dressée, je ferais les réceptacles que j'ai dit ci-dessus. Ensuite, je chercherais en quelque part, soit pré ou bois, quelque terre qui fût bien épaisse d'herbe, et d'icelle je ferais un si grand nombre de gazons, que j'en aurais pour former tout le dedans de mon parterre, et afin que les racines des herbes entrassent d'un gazon à l'autre, je remplirais toutes les jointures de terre fine, et lors ce serait un pavé de pré qui amènerait les eaux jusqu'au réceptacle, par le moyen de son inclinaison.

J'ai vu plus d'un millier de prés naturels qui n'avaient pas trois pieds de pente, où toutefois les eaux se rendaient à la partie basse du pré et demeuraient là un bien long temps avant que la terre les eût sucées; car la quantité des herbes et racines empêche que la terre ne puisse sucer l'eau, comme les terres labourées. Je ne dis pas que les fentes qui viennent en été à cause de la siccité ne puissent boire une partie des eaux quand les terres sont altérées, mais l'inclinaison ou pente du parterre cause que la plus grande part des eaux se rendent au réceptacle.

Si tu avais seulement bordé ton parterre de plusieurs espèces d'arbres, cela donnerait ombrage audit parterre, afin que le soleil ne fît fondre lesdits gazons. Item je voudrais laisser croistre l'herbe desdits gazons, sans la couper, et les pluies descendantes du haut du parterre en bas feraient coucher ton herbage, et lors elle servirait de couverture aux fentes de la terre.

— Le curieux traité de Palissy comprend à bien peu près, en germe au moins, tout ce qui a été tenté pour l'utilisation des eaux de surface, toutefois on doit y joindre le principe formulé par M. Belgrand, à savoir que ce sont presque exclusivement les pluies d'hiver et surtout la neige qui font les sources, et qu'un hiver peu pluvieux répond à une baisse de tous les cours d'eau, quel que soit l'été. En effet, à la saison chaude, l'évaporation est considérable, et la terre, sauf dans les parties dures, non labourées et surtout en pente, absorbe, pour la perdre ensuite par évaporation, toute l'eau qui tombe. Il faut des pluies abondantes pour qu'en plaine la terre soit mouillée à plus de 15 à 20 centimètres. L'hiver, au contraire, la terre saturée laisse descendre à de bien plus grandes profondeurs, l'eau qui cesse de s'évaporer sensiblement, et se réunit dans les couches qui forment les réservoirs qui alimentent les sources. D'où l'on doit conclure que dans tous les systèmes où l'infiltration des terres est en jeu, il faut compter surtout sur les quantités d'eau réunies dans les réceptacles pendant l'hiver, pendant la saison pluvieuse.

SPATH-CALCAIRE. Voyez CARBONATE *de chaux*.

SPATH-FLUOR. Voyez FLUORURE *de calcium*.

SPATH-PESANT. Voyez BARYTE (*sulfate de*).

SPIRAL. Voyez HORLOGERIE et MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

STATISTIQUE DE LA FRANCE. La production générale d'un pays peut se partager en deux grandes branches :

La production agricole ;

La production industrielle.

On a donné dans le chapitre Ier de l'article AGRICULTURE (voir ce mot) les principaux chiffres officiels relatifs à la première branche de notre richesse nationale.

On se propose de reproduire ici les chiffres les plus essentiels des résultats fournis par l'administration sur notre production industrielle, que complètent les renseignements sur l'industrie française que l'on trouvera dans le travail sur l'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE, qui termine ce volume.

On devrait encore y ajouter, pour donner une idée complète de l'activité industrielle de la France, quelques renseignements relatifs au commerce dont le rôle est d'approvisionner les usines en matières brutes et de placer les produits élaborés.

Statistique industrielle. Lorsqu'on songe à la variété des travaux industriels, on comprend combien est difficile l'exécution d'une statistique tant soit peu exacte, et combien doit encore laisser d'incertitude le travail le plus consciencieux. Toutefois, le soin extrême apporté dans ces derniers temps aux travaux de la statistique de la France, donne aux résultats qu'elle fournit un haut degré d'intérêt, et fait de cet immense travail l'un des plus remarquables qui existent en ce genre.

Les premières recherches statistiques sur l'industrie française furent faites sous Louis XIV, pendant l'administration de Colbert. Les résultats obtenus sont en quelques points assez curieux. Ainsi, tandis que le tissage des laines n'employait que 60,440 ouvriers, et ne fournissait en moyenne qu'un mètre d'étoffe par habitant et par an, la fabrication des dentelles occupait 17,300 ouvriers, c'est-à-dire près de 30 p. 100 du nombre de bras employés à la fabrication des lainages.

En 1788, une statistique industrielle entreprise par M. de Tolosan, et très-remarquable déjà, indique pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STATISTIQUE.

la production industrielle de la France à cette époque les chiffres suivants :

Produits minéraux..	163,160,000 fr.	18 p. 100
Produits végétaux. .	316,500,000	34 —
Produits animaux. .	451,800,000	48 —
	931,460,000 fr.	

L'industrie des lainages avait sextuplé déjà depuis le règne de Louis XIV ; mais la France tirait alors de l'étranger la totalité des soies qu'elle mettait en œuvre.

L'industrie, devenue libre par la révolution de 1789, entra dans cette voie de prodigieux développements dont nous recueillons les fruits. Voici quelle était déjà, d'après Chaptal, la production en 1812 :

Produits minéraux..	391,572,000 fr.	22 p. 100
Produits végétaux. .	771,638,000	42 —
Produits animaux. .	508,385,000	28 —
Autres produits. . .	148,405,000	8 —
	1,820,000,000	100

Ainsi fut doublée, en vingt-cinq ans, la richesse industrielle de notre pays.

Ces premiers chiffres établis, arrivons aux données plus détaillées et plus précises de la statistique officielle. On a laissé de côté dans ce travail, pour y revenir plus tard dans une autre partie relative aux arts et métiers, et non encore publiée, les ateliers occupant moins d'une dizaine d'ouvriers. Voici d'ailleurs comment sont réunis les renseignements. Les tableaux élémentaires sont dressés par département et par arrondissement, chacun d'eux est divisé en colonnes portant les indications suivantes : Nature des établissements. — Communes où ils sont situés. — Noms des fabricants.—Valeurs locatives. — Montant des patentes. — Valeur annuelle des matières premières. — Valeur des produits fabriqués annuellement. — Nombres et salaires des ouvriers, hommes, femmes ou enfants. — Moteurs ; moulins à eau, à vent, à manége.—Machines à vapeur. — Chevaux, bœufs. — Feux : fourneaux, forges, fours. — Machines : métiers, autres, broches.

C'est le dépouillement de ces immenses tableaux qui fournit les récapitulations suivantes, où on n'a fait entrer que les chiffres relatifs aux éléments les plus importants de la question.

Le tableau placé au bas de la page présente d'abord le sommaire de l'ensemble du travail industriel.

La production totale indiquée dans ce tableau se répartit de la manière suivante entre les trois classes de produits minéraux, végétaux et animaux :

	VALEURS ANNUELLES DES	
1° PRODUITS MINÉRAUX.	Matières premières.	Produits fabriqués.
Région du Nord oriental.	167,744,147	290,597,231
— Midi oriental.	51,279,742	137,633,702
— Nord occident.	126,743,034	200,298,673
— Midi occident.	35,494,811	70,798,163
Totaux. . .	381,261,734	699,327,769
2° PRODUITS VÉGÉTAUX.		
Région du Nord oriental.	304,315,172	472,644,344
— Midi oriental.	397,584,378	471,677,251
— Nord occident.	789,307,915	1,017,627,511
— Midi occident.	321,112,340	383,184,502
Totaux. .	1,812,319,805	2,345,133,608
3° PRODUITS ANIMAUX.		
Région du Nord oriental.	275,655,886	381,808,326
— Midi oriental.	315,212,438	528,428,732
— Nord occident.	102,921,469	454,673,338
— Midi occident.	37,143,743	57,775,563
Totaux. . .	730,933,536	1,122,685,959

Si l'on rapproche ces trois totaux, on trouvera que la production industrielle de la France se résume de la manière suivante :

Produits minéraux.	699,327,769
Produits végétaux.	2,345,133,608
Produits animaux	1,122,685,959
	4,167,147,336

c'est-à-dire qu'elle a plus que doublé depuis 1812, date de la statistique dressée par Chaptal.

DÉSIGNATION.	INDICATION DES RÉGIONS				
	Nord oriental.	Midi oriental.	Nord occidental	Midi occident.	TOTAUX
Nombre d'établissements. . . .	7,177 f.	13,390 f.	27,456 f.	23,774 f.	71,497 f.
Montant des patentes.	1,347,774	834,881	1,549,049	811,746	4,543,450
Valeur annuelle des matières premières.	750,376,809	764,176,558	1,018,972,418	393,750,894	2,927,276,679
Valeur des produits fabriqués annuellement.	1,145,049,901	1,137,739,685	1,372,599,522	511,758,228	4,167,147,336
NOMBRE D'OUVRIERS.					
Hommes.	229,023	238,227	207,553	93,105	767,908
Femmes.	93,440	77,478	83,575	24,344	278,837
Enfants.	58,078	29,663	43,737	12,187	143,665
MOTEURS.					
Moulins à eau.	2,413	7,661	12,425	14,187	36,686
Moulins à vent.	314	474	4,198	3,963	8,649
Manéges..	312	609	438	388	1,747
Broches à filer.	2,544,874	453,156	2,310,439	85,670	5,093,839

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉPARTEMENTS PAR RÉGIONS.	NOMBRE D'ÉTABLISSEMENTS.			MONTANT DES PATENTES.			VALEUR ANNUELLE DES MATIÈRES PREMIÈRES.			VALEUR DES PRODUITS FABRIQUÉS ANNUELLEMENT.			
	Produits minéraux.	Produits végétaux.	Produits animaux.	Produits minéraux.	Produits végétaux.	Produits animaux.	Produits minéraux.	Produits végétaux.	Produits animaux.	Produits minéraux.	Produits végétaux.	Produits animaux.	TOTAUX.
NORD ORIENTAL.													
Nord.	295	1,686	422	61,284	271,025	75,610	25,484,828	96,000,973	98,803,777	46,732,674	145,735,360	153,604,376	346,072,410
Pas-de-Calais.	18	617	6	3,787	13,651	2,030	1,908,480	19,417,380	3,928,495	3,847,852	33,263,260	5,662,515	42,773,627
Ardennes.	211	224	235	45,325	2,026	54,878	26,864,853	3,531,715	103,595,489	39,060,089	5,534,326	122,178,232	166,772,658
Meuse.	47	126	0	26,124	11,669	0	6,480,066	8,583,960	0	12,131,421	11,737,550	0	21,868,971
Moselle.	35	144	12	30,191	6,368	2,213	6,369,367	6,210,807	2,181,466	12,618,962	10,329,940	3,434,505	26,378,407
Bas-Rhin.	14	303	10	9,082	14,404	3,022	3,648,532	7,104,252	2,132,410	6,931,078	15,400,577	3,829,100	26,160,815
Haut-Rhin.	35	285	8	25,216	145,861	3,594	6,784,551	74,028,563	2,381,885	13,991,041	111,866,754	3,545,559	129,403,345
Doubs.	88	46	9	16,272	5,727	976	7,338,891	5,453,288	631,290	12,082,804	6,931,948	796,540	19,811,292
Jura.	23	33	3	7,085	1,578	91	3,299,436	729,989	40,070	5,793,349	1,281,373	99,920	7,114,642
Aisne.	22	227	45	26,764	23,158	7,506	8,184,253	8,742,840	9,703,310	13,017,515	19,695,889	19,266,040	52,077,444
Marne.	38	103	182	6,645	14,923	49,449	812,083	8,848,897	40,733,807	2,650,769	15,681,926	57,854,203	76,186,900
Meurthe.	22	156	15	21,714	9,225	2,532	5,131,473	4,932,949	1,919,967	15,012,874	9,778,752	3,334,407	28,126,033
Seine-et-Marne.	120	79	7	8,221	17,766	1,821	628,253	22,338,676	555,950	3,483,624	25,162,224	1,000,950	29,646,798
Aube.	10	92	28	3,521	11,209	2,233	2,960,324	11,647,500	1,179,900	4,063,620	18,250,224	3,056,200	25,370,062
Haute-Marne.	94	31	3	78,767	440	333	16,027,638	186,836	467,125	25,281,178	584,394	815,500	26,681,072
Vosges.	31	172	0	11,688	11,286	0	5,383,005	10,142,086	0	10,298,867	14,978,901	0	25,277,562
Yonne.	16	20	1	6,388	1,013	162	2,710,926	414,582	240,000	3,495,810	726,024	272,000	4,493,834
Côte-d'Or.	181	83	50	45,107	12,109	3,987	13,242,667	8,677,364	1,557,610	18,728,977	10,670,861	2,238,592	31,635,430
Haute-Saône.	64	70	9	45,284	11,938	1,108	11,035,396	10,007,582	471,075	14,356,173	13,167,445	662,560	28,186,178
Cher.	26	11	0	25,950	1,313	0	5,236,593	130,472	0	8,875,711	272,394	0	9,148,105
Nièvre.	84	18	3	34,685	1,903	733	12,906,232	315,110	187,280	20,148,043	420,817	160,074	20,828,934
Totaux pour la région.	1,474	4,527	1,058	540,200	595,476	212,089	167,744,147	306,776,776	275,655,886	290,597,231	472,644,344	331,808,326	1,145,049,901
MIDI ORIENTAL.													
Ain.	24	80	12	1,704	6,098	4,449	108,170	6,249,792	3,255,950	558,298	8,151,325	6,962,000	15,673,623
Isère.	500	83	70	23,068	7,693	11,150	6,169,899	5,250,931	9,879,332	14,112,242	7,927,992	15,573,315	37,613,549
Hautes-Alpes.	16	34	36	196	1,111	1,537	23,600	930,288	1,001,840	63,369	1,181,510	1,413,539	2,658,418
Basses-Alpes.	42	10	47	298	269	2,715	38,092	65,778	1,530,140	184,535	143,305	2,365,334	2,693,174
Var.	271	106	44	8,855	5,774	5,483	1,497,796	1,534,623	3,060,300	4,242,593	2,190,952	3,886,825	10,320,370
Bouches-du-Rhône.	200	215	418	41,786	60,424	17,444	8,946,639	95,850,396	8,977,835	26,860,074	106,928,854	12,400,372	146,189,300
Gard.	56	238	142	33,437	24,101	25,833	1,788,476	10,501,959	14,905,382	7,320,111	16,007,578	20,756,683	44,584,372
Hérault.	145	435	137	6,320	33,324	28,530	876,435	31,461,551	21,850,451	3,354,070	35,357,657	31,228,469	69,940,196
Aude.	67	94	61	6,249	8,349	8,858	788,147	7,635,991	5,535,907	1,756,844	8,771,187	9,863,091	20,391,122
Pyrénées-Orientales.	158	250	19	3,984	13,885	85	1,275,930	2,591,045	126,200	2,149,549	4,146,890	237,900	6,524,339
Allier.	187	685	33	16,574	24,451	2,121	4,540,646	13,400,197	429,715	13,607,056	15,247,317	650,541	29,504,914
Saône-et-Loire.	603	1,160	0	7,833	30,830	0	3,009,208	71,664,230	0	9,843,711	75,679,270	0	85,522,981
Rhône.	24	77	228	11,167	8,100	23,940	2,752,000	17,659,468	145,243,795	6,459,981	30,311,169	201,143,800	237,914,750
Puy-de-Dome.	570	2,181	1	499	2,093	184	2,296,470	26,970,300	403,385	8,252,109	32,350,767	519,470	41,122,346
Loire.	170	197	287	37,796	31,809	45,487	12,297,075	30,179,877	41,728,599	23,846,383	38,485,423	63,241,520	130,573,326
Cantal.	26	791	2	1,216	16,390	325	87,680	8,919,233	146,000	301,455	10,470,289	237,800	11,009,544
Haute-Loire.	3	11	13	183	135	980	227,850	238,679	921,960	428,000	422,410	1,316,684	2,167,094
Ardèche.	5	728	210	3,211	15,259	38,275	1,042,117	8,167,727	23,438,268	1,459,684	10,279,870	26,172,272	37,911,826
Drôme.	56	406	157	2,608	22,701	25,401	193,685	38,725,303	14,765,112	743,032	43,153,729	18,532,475	62,429,236
Aveyron.	11	6	57	4,437	295	21,948	1,409,351	73,503	6,815,788	4,213,152	165,697	9,629,202	14,008,051
Lozère.	0	5	7	0	186	1,599	0	61,040	988,000	0	118,935	1,766,000	1,884,935
Vaucluse.	49	303	122	2,837	26,140	14,813	2,350,456	20,390,447	8,501,479	2,377,454	24,185,128	10,541,640	37,104,219
Totaux pour la région.	3,198	8,095	2,108	214,253	321,041	291,157	51,270,748	397,884,378	316,312,439	137,688,702	473,677,201	429,488,702	1,040,854,605

STATISTIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NORD OCCIDENTAL.														
Somme.	44	1,053	94	1,554	69,642	13,777	1,054,068	36,745,147	9,772,739	1,648,486	46,224,054	14,705,962	62,579,502
Seine-Inférieure.	112	1,077	48	22,560	121,686	6,556	13,321,211	161,857,873	3,243,999	21,076,594	22,464,429	4,207,510	249,338,633
Calvados	252	637	243	6,812	59,314	21,447	651,320	38,029,949	12,609,959	3,527,439	46,837,442	18,190,717	68,555,598
Manche	124	795	42	6,002	30,314	1,981	2,117,923	17,306,089	1,296,212	3,981,124	20,236,989	1,762,040	25,979,153
Ille-et-Vilaine.	281	972	65	10,318	30,130	5,522	1,351,366	26,875,850	1,915,069	3,524,239	32,244,006	3,613,270	39,381,515
Côtes-du-Nord.	24	1,736	31	2,785	41,566	1,300	411,221	26,788,652	532,694	765,383	29,747,810	675,672	31,186,865
Finistère.	19	102	10	1,172	10,225	8,589	154,505	5,431,619	1,030,912	1,076,041	8,838,940	2,900,455	12,315,436
Morbihan.	481	1,427	166	8,836	54,511	3,179	1,205,186	52,286,513	679,732	2,313,820	62,483,157	1,245,122	66,042,099
Loire-Inférieure.	209	4,617	636	28,182	226,644	27,167	9,993,683	112,867,459	11,933,400	21,853,879	125,270,898	14,635,800	161,760,577
Oise.	141	720	440	16,578	45,904	22,805	3,638,613	21,221,886	9,982,378	6,435,064	26,788,782	15,125,924	48,349,770
Eure.	95	664	61	22,455	77,099	26,036	16,857,825	19,026,992	16 604,778	23,833,825	65,409,992	27,208,452	116,452,269
Seine-et-Oise.	115	306	57	11,765	46,977	9,940	5,390,152	50,299,950	5,585,077	9,231,002	36,967,595	9,618,300	55,816,897
Seine(1).	55	72	29	16,780	25,252	8,234	52,121,033	72,185,785	8,328,240	61,853,617	92,440,490	10,952,138	165,264,245
Orne.	231	807	64	18,394	35,555	3,446	7,363,807	21,829,124	3,377,038	12,222,631	26,566,818	4,693,619	43,483,066
Eure-et-Loir.	200	603	46	9,990	42,644	3,935	1,192,384	32,433,822	1,216,041	3,040,876	36,997,428	2,331,239	42,160,543
Loiret.	250	1,007	85	14,896	44,527	6,121	1,235,374	21,253,005	4,559,024	3,699,992	24,760,598	7,108,042	35,568,632
Mayenne.	151	715	49	5,811	31,329	1,545	3,878,905	13,656,709	1,396,650	5,925,282	16,178,744	1,879,140	23,983,166
Sarthe.	290	3,091	94	20,902	61,121	6,959	2,348,319	38,759,185	3,129,041	4,972,741	46,022,469	4,107,290	55,002,500
Loir-et-Cher.	185	167	14	4,981	9,456	1,209	894,230	8,530,472	1,711,867	1,975,788	9,894,357	3,774,590	15,644,735
Maine-et-Loire.	75	277	6	13,715	27,051	1,369	1,166,494	15,400,018	645,569	5,827,380	20,154,993	1,328,035	27,310,408
Indre-et-Loire.	22	547	38	3,001	24,965	4,550	583,415	16,532,816	3,551,050	1,504,470	19,720,520	4,600,021	25,825,011
Totaux pour la région.	3,448	21,392	2,318	247,500	1115912	185,637	126,743,034	789,307,915	102,921,469	200,398,673	1.017,627,511	154,673,338	1,372,599,522
MIDI OCCIDENTAL.														
Vendée.	807	2,219	247	8,633	36,039	3,489	462,776	3,269,556	1,350,400	1,686,141	39,074,734	2,597,565	43,258,540
Charente-Inférieure	241	1,167	25	5,448	41,145	1,379	3,476,616	12,297,690	398,076	8,174,614	14,588,921	1,044,330	23,801,885
Gironde.	131	1,362	41	7,134	41,579	2,782	4,814,116	43,452,067	1,795,573	7,451,973	51,892,199	2,376,367	61,720,539
Landes.	290	851	29	12,039	33,094	1,125	1,979,555	11,360,458	378,722	4,514,877	12,658,701	491,142	17,464,720
Basses-Pyrénées.	103	1,482	257	3,451	31,116	9,814	1,472,220	14,320,407	3,750,472	4,488,083	17,660,014	7,577,837	29,725,934
Deux-Sèvres.	134	426	47	4,982	13,231	4,660	541,637	5,913,886	3,319,885	812,239	6,922,155	4,595,728	12,360,822
Vienne.	35	300	15	5,148	12,703	940	1,741,054	17,860,939	1,448,534	3,107,673	20,606,085	1,852,300	25,565,980
Indre.	47	454	48	14,792	19,859	5,337	2,005,636	8,724,437	2,438,669	4,241 520	10,606,770	3,626,720	18,475,010
Charente.	386	1,364	89	16,946	92,416	2,574	2,987,582	17,101,562	1,036,693	4,980,912	21,841,577	1,741,793	28,564,282
Haute-Vienne.	253	867	103	16,694	33,477	7,519	3,632,116	7,199,846	3,481,775	7,721,631	9,236,155	5,867,415	22,824,201
Creuse.	82	810	54	2,037	16,307	4,372	89,528	10,377,467	2,294,581	494,780	11,539,979	3,310,176	15,364,885
Dordogne.	68	1,644	11	7,327	24,855	616	2,974,524	24,302,384	292,390	4,978,707	27,296,872	373,805	34,649,384
Corrèze.	36	344	4	2,000	13,271	104	448,946	9,529,579	21,104	1,338,160	10,922,651	47,500	12,308,311
Lot-et-Garonne.	227	1,223	69	11,628	37,206	2,544	1,389,238	18,027,551	750,414	2,078,670	26,237,869	904,162	29,220,701
Lot.	23	121	13	1,171	4,406	403	413,573	1,201,511	123,970	684,242	1,410,396	198,418	2.293,056
Gers.	35	1,830	30	11,590	44,064	2,103	220,524	18,924,380	1,540,432	785,276	21,454,301	2,002,321	24,242,498
Tarn-et-Garonne.	60	82	19	993	6,929	2,809	275,608	10,852,647	1,614,514	852,563	12,886,015	2,352,860	16,091,438
Tarn.	97	353	498	6,980	23,328	7,800	804,275	10,810,872	4,681,689	2,083,857	12,110,062	7,046,615	21,241,434
Hautes-Pyrénées.	88	393	23	1,825	13,884	909	187,337	18.103,580	711,500	1,123,034	20,490,071	918,315	22,532,320
Haute-Garonne.	31	727	55	7,635	25,645	4,974	2,405,026	24,853,572	3,501,345	4,395,950	30,068,837	5,310,830	39,740,617
Ariége.	228	118	101	20,834	8,055	4,607	3,073,104	3,186,149	2,281,955	4,931,809	3,670,639	5,609,264	12,211,712
Totaux pour la région.	3,445	18,549	1,780	169,327	572,609	69,810	35,494,811	321,112,340	37,143,743	70,798,163	383,184,503	57,775,563	511,758,228
Totaux des 4 régions.	11,557	52,681	7,259	1171280	2600504	748,702	381,261,734	1,812,319,703	730,983,536	699,327,769	2,338,508,978	1,122,685,959	4,167,147,336
(1) Paris excepté, v. plus loin.		71,497			4,543,450			2,927,276,679			4,167,147,336		

STATISTIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STATISTIQUE.

Les salaires sont évalués de la manière suivante par les auteurs de la Statistique de la France :

	Hommes	Femmes.	Enfants.
Région du Nord oriental. .	2f,02	1f,00	0f,70
— Midi oriental. .	2f,18	0f,98	0f,74
— Nord occidental.	2f,22	1f,10	0f,78
— Midi occidental.	1f,86	0f,82	0f,60
Moyennes.	2f,07	1f,02	0f,72

Si l'on tient compte des chômages si nombreux dans les travaux manufacturiers, on reconnaîtra que la position de l'ouvrier industriel est bien loin d'être satisfaisante en France. On doit remarquer, de plus, qu'un certain nombre d'ouvriers d'élite reçoivent des salaires de beaucoup supérieurs aux chiffres précédents, ce qui réduit encore la part du plus grand nombre des travailleurs de nos fabriques.

Le grand tableau des pages antéprécédentes indique les données principales relatives à chaque département de la France continentale. Les chiffres relatifs à la Corse ne sont pas encore publiés.

Ce tableau indique la répartition du travail industriel en masse par département. Le tableau de la page suivante indique, au contraire, la masse afférente à chaque industrie, considérée dans l'ensemble des départements. Le défaut d'espace ne nous permet pas d'en donner le détail par département.

Dans le tableau ci-dessous on a rangé les départements par ordre alphabétique, pour faciliter les recherches, et vis-à-vis de chacun d'eux on a placé des chiffres qui indiquent le rang qu'ils occuperaient dans une liste par ordre d'importance dressée pour les branches principales de notre production. Les chiffres manquants indiquent que la production du département est nulle, ou inférieure à 2 millions, en produits de la nature considérée.

NOMS des DÉPARTEMENTS.	NUMÉROS DE CLASSEMENT par ordre d'importance de la production.							NOMS des DÉPARTEMENTS.	NUMÉROS DE CLASSEMENT par ordre d'importance de la production.						
	Total.	En produits minéraux.	En produits végétaux.	En produits animaux.	En fer.	En tissus de coton.	En tissus de laine.		Total.	En produits minéraux.	En produits végétaux.	En produits animaux.	En fer.	En tissus de coton.	En tissus de laine.
Ain.	67	»	67	27	»	»	16	Loiret.	34	50	30	25	»	»	»
Aisne.	24	17	40	14	»	»	8	Lot.	83	»	»	»	»	»	»
Allier.	40	16	47	»	5	»	»	Lot-et-Garonne. .	41	62	28	»	»	»	»
Alpes (Basses-). .	84	»	»	49	»	»	»	Lozère.	85	»	»	»	»	»	»
Alpes (Hautes-) .	82	»	»	»	»	»	»	Maine-et-Loire. .	45	35	38	»	»	»	»
Ardèche.	31	»	64	9	»	»	»	Manche.	49	48	37	»	»	»	»
Ardennes. . . .	4	3	71	3	2	»	1	Marne.	12	58	45	5	20	»	3
Ariége.	74	40	73	30	»	»	18	Marne (Haute-). .	46	6	»	»	1	»	»
Aube.	52	47	41	45	»	10	»	Mayenne.	55	34	43	»	»	»	»
Aude.	62	»	66	10	»	»	7	Meurthe.	44	12	63	43	»	»	»
Aveyron.	70	46	»	22	19	»	12	Meuse.	59	22	54	»	8	13	»
Bouches-du-Rhône.	7	5	4	18	»	»	»	Morbihan.	15	»	8	»	»	»	»
Calvados.	14	52	10	13	»	»	11	Moselle.	47	18	60	42	»	»	15
Cantal.	75	»	59	»	»	»	»	Nièvre.	61	10	»	»	10	»	»
Charente. . . .	42	37	33	»	»	»	»	Nord.	4	2	4	2	3	9	2
Charente-Infér. .	56	27	49	»	»	»	»	Oise.	22	33	26	15	»	12	»
Cher.	77	25	»	»	9	»	»	Orne.	24	49	27	32	»	»	»
Corrèze.	73	»	66	»	»	»	»	Pas-de-Calais. . .	26	49	19	29	»	4	9
Corse.	»	»	»	»	»	»	»	Puy-de-Dôme. . .	28	26	20	»	»	»	»
Côte-d'Or. . . .	36	11	57	52	6	»	»	Pyrénées (Basses-)	38	42	42	24	»	»	»
Côtes-du-Nord. . .	37	»	24	»	»	»	»	Pyrénées(Hautes-)	58	»	36	»	»	»	»
Creuse.	69	»	55	44	»	»	»	Pyrénées-Orient. .	79	60	72	»	»	»	»
Dordogne.	35	38	25	»	12	»	»	Rhin (Bas-). . . .	18	31	16	37	»	8	»
Doubs.	63	20	69	»	»	»	»	Rhin (Haut-). . .	9	15	3	11	»	2	»
Drôme.	17	»	13	12	»	»	13	Rhône.	3	32	22	1	»	3	5
Eure.	10	7	7	8	17	6	6	Saône (Haute-). .	13	13	50	»	4	14	»
Eure-et-Loir. . .	27	57	16	51	»	»	»	Saône-et-Loire. . .	11	23	6	»	14	»	»
Finistère. . . .	72	»	65	16	»	»	»	Sarthe.	20	39	12	6	»	»	»
Gard.	23	28	11	10	18	»	»	Seine.	5	1	5	19	»	»	»
Garonne (Haute-).	29	13	23	31	»	»	»	Seine-et-Marne. .	39	55	29	»	»	»	»
Gers.	54	»	31	53	»	»	»	Seine-et-Oise. . .	19	24	17	23	»	»	»
Gironde.	18	30	9	18	»	»	4	Seine-Inférieure. .	2	8	32	35	»	1	»
Hérault.	13	51	18	7	»	»	4	Sèvres (Deux-). .	71	»	70	31	»	»	»
Ille-et-Vilaine. . .	30	53	21	10	»	»	»	Somme.	16	»	11	16	»	»	»
Indre.	61	15	58	39	13	»	»	Tarn.	60	61	53	26	»	»	»
Indre-et-Loire. . .	50	»	39	33	»	»	»	Tarn-et-Garonne.	66	»	51	50	»	»	»
Isère.	32	11	68	11	11	»	10	Var.	76	11	71	36	»	»	»
Jura.	78	36	»	»	»	»	»	Vaucluse.	33	59	31	20	»	»	»
Landes.	65	11	52	»	16	»	»	Vendée.	25	»	11	17	»	»	»
Loir-et-Cher. . .	68	»	62	38	»	»	»	Vienne.	51	56	35	28	»	»	»
Loire.	8	4	15	4	7	11	17	Vienne (Haute-).	57	29	61	»	»	»	11
Loire (Haute-). .	81	»	»	»	»	»	»	Vosges.	53	21	18	»	»	5	»
Loire-Inférieure. .	6	8	2	17	15	7	»	Yonne.	80	51	»	»	»	»	»

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NATURE DES PRODUITS.	NOMBRE d'établissements.	MONTANT des PATENTES.	VALEUR annuelle des MATIÈRES PREMIÈRES.	VALEUR des PRODUITS fabriqués annuellement.	OUVRIERS. HOMMES. NOMBRE.	HOMMES. SALAIRE.	FEMMES. NOMBRE.	FEMMES. SALAIRE.	ENFANTS. NOMBRE.	ENFANTS. SALAIRE.	NOMBRE DES MACHINES A VAPEUR
1. Produits minéraux.			francs.	francs.	•	fr. c.		fr. c.		fr. c.	
EAUX SALÉES NATURELLES; salines, sel marin, raffinerie.	538	2,577	1,288,285	15,343,467	16,591	1,92	3,829	0,82	1,316	0,53	18
CARRIÈRES; exploitation.	2,690	47,816	4,869,488	29,531,742	26,900	1,88	1,120	0,97	1,660	0,88	35
GALETS et SABLES	6	420	0	197,500	91	2,31	0	0	0	0	0
HOUILLE; extraction.	189	52,935	5,165,035	23,470,567	20,287	1,96	188	0,98	2,927	0,84	225
— fours à coke.	2	262	605,000	706,000	115	1,95	13	0,90	0	0	0
— gaz d'éclairage.	29	13,509	1,550,064	5,076,455	593	2,51	2	1,25	0	1,00	3
ASPHALTE; bitume, exploitation.	15	5,252	432,680	1,464,800	518	2,17	72	0,80	37	0,68	0
TOURBE; extraction.	60	2,435	54,265	202,225	201	2,35	165	1,00	94	0,75	0
SOUFRE; raffinerie et poudre à canon.	4	419	1,072,000	2,028,000	79	2,93	41	1,08	11	1,37	0
CHAUX (fours à).	598	23,181	4,673,471	8,831,749	4,195	1,64	187	1,08	193	0,75	3
PLATRE (fours à).	127	5,119	987,980	2,280,578	978	1,65	57	0,75	83	0,35	3
MARBRE; scierie, marbrerie.	34	2,091	283,347	1,333,728	703	1,92	0	0	1	0,60	0
TRAVAUX PUBLICS (entreprises de).	11	586	3,632,699	6,137,094	3,356	2,05	15	1,09	148	0,72	20
ATELIERS DE CONSTRUCTION; granit, pierre.	43	2,758	3,192,924	6,568,395	4,249	1,95	0	0	70	0,65	0
TERRE ARGILEUSE; tuiles, briqueterie, carreaux.	3,529	138,983	7,720,524	23,290,360	13,344	1,76	2,190	0,95	2,435	0,71	11
— — faïence, poterie, terre à pipe.	624	29,949	3,644,337	10,659,432	6,455	1,87	1,738	0,80	1,464	0,55	8
PORCELAINE.	91	14,393	3,641,676	9,838,493	4,640	1,79	1,360	0,76	841	0,53	3
VERRERIE; bouteilles, cristaux, glaces.	140	63,116	13,335,163	36,156,556	14,092	2,67	1,124	1,04	1,784	0,76	57
FER; minerai, exploitation, lavage.	135	16,079	3,798,818	8,292,218	1,408	2,26	318	0,86	167	0,89	10
— fonte.	249	135,313	33,145,191	49,964,194	10,234	2,14	848	1,05	919	0,88	71
— ouvrages en fonte, fonderie, bouches à feu, projectiles, mécanique.	41	20,560	7,900,717	11,900,415	3,268	2,67	216	0,94	332	0,86	27
— fontes et fers.	234	176,357	46,678,905	81,607,349	16,014	2,24	530	0,96	1,292	0,90	82
— fers en barres et forgés.	219	85,144	23,412,247	36,061,418	6,303	2,30	412	0,90	546	0,90	32
— fers martelés et laminés, tôles, fer-blanc, chaudières.	75	39,806	32,241,944	41,566,180	3,628	2,72	161	1,12	449	0,85	15
— tréfilerie, clouterie, chaînes, aiguilles, épingles, hameçons.	412	44,345	23,878,258	36,702,527	15,035	2,14	1,800	1,03	3,024	0,75	12
— fers marchands.	182	52,049	21,812,132	35,042,262	7,322	2,58	788	0,94	1,025	0,87	14
— fers et aciers.	462	10,986	5,498,550	13,791,807	14,116	3,72	127	1,15	1,640	0,90	15
— quincaillerie, serrurerie, etc.	171	7,984	3,294,121	9,233,250	4,340	2,39	11,070	0,91	1,071	0,52	12
— armes de guerre.	5	2,979	577,601	1,741,953	2,801	2,03	80	0,75	73	0,80	1
— armes de chasse	49	3,430	176,113	1,000,000	1,500	3,00	300	0,75	200	0,60	»
— construction de machines, chaînes, câbles	133	54,194	20,466,413	42,211,969	11,477	3,05	191	0,82	666	0,95	113
— fers ouvragés, instruments aratoires.	76	13,283	6,528,250	12,688,415	5,477	2,53	829	1,13	996	0,74	18
ÉTAIN; extraction, capsules.	2	40	105,500	226,000	104	2,00	»	0	4	0,40	0
MINERAI de plomb et d'argent.	3	213	»	576,442	660	1,25	166	0,60	88	0,47	0
PLOMB LAMINÉ; tuyaux, céruse, plomb de chasse.	24	7,274	5,422,153	6,798,058	464	2,43	2	1,25	38	0,90	17
ZINC, CUIVRE; fil de laiton, etc.	30	5,160	7,311,446	8,797,348	523	2,04	12	1,25	127	0,76	»
A suivre d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

STATISTIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NATURE DES PRODUITS.	NOMBRE d'établissements.	MONTANT des PATENTES.	VALEUR annuelle des MATIÈRES PREMIÈRES.	VALEUR des PRODUITS fabriqués annuellement.	OUVRIERS. HOMMES. NOMBRE.	HOMMES. SALAIRE.	FEMMES. NOMBRE.	FEMMES. SALAIRE.	ENFANTS. NOMBRE.	ENFANTS. SALAIRE.	MACHINES A VAPEUR NOMBRE
Suite des produits minéraux.			francs.	francs.		fr. c.		fr. c.		fr. c.	
Suite d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
CUIVRE LAMINÉ; chaudronnerie	5	537	321,260	487,765	111	2,43	2	0,75	12	1,05	»
CUIVRE et PLOMB ouvragés	2	1,114	1,705,400	1,832,700	50	3,75	»	1,25	»	»	»
CUIVRE et ÉTAIN; cloches, canons, doublage	30	4,620	6,885,251	9,075,638	814	2,69	6	1,25	53	1,00	2
OR et ARGENT; affinage	1	175	42,172,350	42,195,000	15	4,00	»	»	»	»	»
— — fabrique des monnaies	1	600	20,000	»	80	2,50	»	»	»	»	1
— — bijouterie, orfévrerie	77	5,503	1,797,865	2,468,939	385	2,45	51	1,30	42	0,83	»
MÉTAUX DIVERS; cendres de métaux	45	8,344	10,570,336	14,306,251	1,606	2,49	201	0,97	187	0,69	13
PRODUITS CHIMIQUES	110	63,368	18,311,758	44,786,577	4,838	2,06	387	1,10	385	0,90	55
INDUSTRIES DIVERSES	54	6,032	1,080,217	2,255,958	566	2,16	136	1,30	158	0,71	4
Totaux	11,557	1,171,280	381,261,734	699,327,769	233,527	2,26	20,774	0,99	26,460	0,80	900
2. Produits végétaux.											
BOIS, FER, construction de bateaux et navires	160	11,272	9,657,453	15,761,959	4,704	23,04	13	1,15	223	0,98	8
— de toutes sortes	1,086	30,334	9,829,381	18,900,525	5,150	1,82	425	0,78	262	0,75	20
TAN (moulins à)	22	721	397,950	483,043	42	1,90	4	1,35	2	0,75	»
LIÉGE; bouchons	63	1,167	164,000	360,610	252	1,40	8	0,60	8	0,50	»
RÉSINE; térébenthine, colophane, etc.	111	6,400	1,803,020	2,177,666	371	1,94	20	1,00	5	1,00	2
GOUDRON	27	206	163,562	249,170	92	1,90	»	»	»	»	»
CÉRÉALES (moulins à)	34,079	1.054,031	1,024,042,732	1,178,813,214	717,38	1,66	4,201	0,81	2,571	0,58	53
— minoterie	24	4,112	6,343,111	6,920,101	159	1,85	27	0,92	15	0,93	»
— amidonnerie	22	3,578	820,890	1,171,155	202	1,73	54	0,85	15	0,45	»
FROMENT; biscuit de mer, farine étuvée	4	1,422	1,859,700	2,221,200	94	2,82	1	2,00	5	1,52	4
ORGE; bière	3,227	145,744	38,495,232	65,635,740	9,425	2,05	19	1,18	8	0,90	6
DISTILLERIE; alcool	1,437	142,736	38,463,775	45,207,765	2,970	2,14	211	1,05	29	0,70	6
BETTERAVES; mélasse, alcool	1	736	300,000	390,000	40	2,00	»	»	»	»	1
FROMENT, POMMES DE TERRE; féculerie, etc.	42	6,802	3,796,236	5,210,891	604	1,88	161	0,76	57	0,72	14
OLIVES; huiles, épuration	191	9,019	2,228,125	4,253,908	1,729	3,02	10	1,08	858	1,00	»
GRAINES OLÉAGINEUSES; huile	1,504	79,357	57,156,125	66,211,085	3,749	4,84	574	0,86	145	0,63	63
HUILE, ALCALIS, SAVONS	70	34,815	39,168,922	43,180,629	689	2,38	»	»	26	1,00	1
CHICORÉE moulue	21	3,043	460,525	1,082,900	186	1,63	203	0,84	36	0,67	3
SUCRE INDIGÈNE (fabrique de)	246	56,844	8,623,215	22,432,379	10,559	1,56	3,992	0,90	2,198	0,71	212
— raffineries	89	44,814	122,198,092	139,892,082	3,236	2,50	26	1,15	87	1,04	64
CONFISERIE, CHOCOLAT	34	1,255	705,709	946,487	134	2,48	11	1,25	»	»	2
GARANCE EN POUDRE, GARANCINE	33	12,183	9,312,820	11,102,520	296	2,52	64	1,01	13	1,37	2
VINS MOUSSEUX (fabriques de)	19	11,513	5,025,488	10,743,710	392	2,03	79	1,27	»	1,00	»
— vinaigre	151	24,179	1,914,484	2,537,313	309	1,95	0	0	0	0	»
CONSERVES ALIMENTAIRES; pruneaux	2	0	1,000,000	3,960,000	85	1,75	600	1,25	160	1,00	»
A suivre d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

STATISTIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STATISTIQUE.

NATURE DES PRODUITS.	NOMBRE d'établissements.	MONTANT des PATENTES.	VALEUR annuelle des MATIÈRES PREMIÈRES.	VALEUR des PRODUITS fabriqués annuellement.	OUVRIERS. HOMMES. NOMBRE.	HOMMES. SALAIRE.	FEMMES. NOMBRE.	FEMMES. SALAIRE.	ENFANTS. NOMBRE.	ENFANTS. SALAIRE.	NOMBRE des MACHINES A VAPEUR.
Suite des produits végétaux.			francs.	francs.		fr. c.		fr. c.		fr. c.	
Suite d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
PAPETERIE.	401	84,054	20.741,000	38,640,294	6,793	1,76	7,960	0,84	1,873	0,58	53
IMPRIMERIE.	628	55,910	6,854,221	16,770,506	5,541	2,64	332	1,25	766	0,77	6
LITHOGRAPHIE.	248	11,960	764,360	2,335,130	895	2,73	58	1,26	172	0,73	»
IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE, LITHOGRAPHIQUE; objets variés.	20	1,968	306,795	672,738	2,89	2,87	20	1,35	30	0,68	»
CARROSSERIE; grosses voitures.	26	2,676	660,000	840,000	134	3,40	»		»		»
TEINTURES et COULEURS.	2	598	1,438,000	1,638,000	110	2,20	31	1,50	60	0,50	1
COTON; ouate.	1	250	15,000	35,000	10	1,50	»	»	8	0,75	1
— filature.	566	259,469	94,246,762	147,206,902	22,807	1,96	23,531	1,01	16,726	0,59	244
— fils retors, ganses.	4	766	378,000	585,000	51	2,30	102	1,12	27	0,64	1
— mèches de chandelles.	2	864	276,000	405,360	25	2,25	65	1,00	45	0,75	»
— tissage, molletons, calicots, etc.	1,409	176,710	91,988,834	154,869,063	64,944	1,44	49,944	0,85	21,988	0,50	79
— tricot, bonneterie.	75	7,320	3,757,992	8,827,877	4,466	1,71	2,995	0,88	1,137	0,58	3
— passementerie.	4	1,506	880,700	1,102,000	250	2,05	393	0,26	100	0,59	2
— tulle.	19	1,657	4,959,402	11,222,801	6,497	2,09	4,201	1,00	79	0,53	3
— machines à tulle.	1	247	45,560	549,500	40	1,50	15	0,75	5	»	»
— dentelle.	1	60	5,440	20,100	»	»	150	0,50	250	0,25	»
— broderie.	25	2,218	344,077	2,663,500	»	»	6,040	0,85	100	0,50	»
— blanchisserie.	177	26,438	22,085,783	30,114,525	2,727	2,00	893	1,06	239	0,64	26
— teinturerie, impressions.	110	44,950	38,563,932	5,191,673	7,527	2,65	2,318	1,23	4,124	0,56	54
CHANVRE; filasse apprêtée, peignerie.	21	1,083	718,750	955,050	177	1,38	»	»	2	0,75	
— étoupes, filature, fils.	7	1,619	1,086,125	2,038,048	735	1,55	157	0,85	102	0,65	2
— cordages et filets.	631	16,994	6,132,624	9,056,589	2,561	1,67	1,460	0,92	969	0,68	6
— tissage, toiles cirées, etc.	17	21,39	1,891,150	3,187,467	860	2,95	171	1,43	130	0,48	1
CHANVRE et LIN; filature, fils.	66	21,549	14,758,390	24,315,936	2,827	2,20	1,876	1,06	1,337	0,70	33
— — filature, tissage.	2,933	6,329	24,371,158	39,445,736	21,591	1,46	8,180	0,70	1,869	0,61	16
— — dentelles.	2	224	8,200	262,100	»	»	560	1,04	1,040	0,35	»
— — blanchisserie.	3	373	36,485	103,800	22	1,60	3	1,00	5	0,75	1
— — toiles cirées.	1	77	30,000	40,000	3	1,50	»	»	»	»	»
LIN et COTON; filature, fils.	1	411	83,525	144,018	11	2,20	48	1,15	17	0,62	»
— — tissage.	214	14,179	6,736,635	10,150,796	4,180	1,39	1,980	0,81	1,855	0,51	»
— — blanchisserie.	48	10,006	14,292,391	16,360,462	952	1,90	259	0,94	109	0,82	5
LIN, CHANVRE, COTON, toiles cirées.	3	781	237,125	342,150	130	2,00	20	1,25	14	1,00	»
LIN et CHANVRE; filature, blanchisserie.	9	4,072	4,064,229	6,509,890	491	2,35	540	1,15	413	0,80	10
LIN; peignage, blanchisserie, fils.	8	3,721	1,386,340	2,288,000	224	1,97	635	0,91	109	0,68	4
— étoupes, filature, fils.	23	9,803	6,313,069	10,051,520	876	2,70	1,339	1,30	1,018	0,80	14
— tissage.	1,855	18,422	2.298.771	3,608,754	2,708	1,33	929	0,69	238	0,51	3
A suivre d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NATURE DES PRODUITS.	NOMBRE d'établissements.	MONTANT des PATENTES.	VALEUR annuelle des MATIÈRES PREMIÈRES.	VALEUR des PRODUITS fabriqués annuellement.	OUVRIERS. HOMMES. NOMBRE.	HOMMES. SALAIRE.	FEMMES. NOMBRE.	FEMMES. SALAIRE.	ENFANTS. NOMBRE.	ENFANTS. SALAIRE.	NOMBRE des machines à vapeur
Suite des produits végétaux.			francs.	francs.		fr. c.		fr. c.		fr. c.	
Suite d'autre part.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
LIN et LAINE; tissage	50	3,450	70,000	100,000	50	1,00	»	»	»	»	»
COTON et LAINE; filature, teinture, tissage	15	6,308	4,281,133	9,269,681	2,457	2,03	1,341	1,00	950	0,55	14
— — tissage, bonneterie, couvertures	16	7,733	6,957,600	10,243,600	2,265	1,62	1,839	0,90	1,329	0,59	3
— — teinture, impressions	42	23,362	18,779,818	26,777,962	3,484	1,80	1,612	1,26	1,947	0,66	13
— — blanchisserie, apprêt	2	4,991	61,398	168,000	105	1,75	25	0,85	10	0,75	»
— — tissage, velours, rubans, etc.	16	5,640	4,731,100	7,792,000	3,400	1,55	1,605	1,06	1,685	0,48	»
COTON, LAINE, LIN; étoffes diverses	5	912	843,692	1,453,231	522	1,61	144	0,52	19	0,50	1
COTON et SOIE; filature, tissage, etc.	9	2,255	1,274,400	2,612,500	785	1,98	475	1,05	240	0,54	4
— — teinturerie	53	1,952	2,231,746	2,569,055	104	2,40	13	1,13	»	»	»
COTON, LAINE, SOIE; tissage	43	7,409	3,949,454	7,954,291	3,135	2,44	1,557	0,92	2,205	0,53	»
— — — impressions	2	907	3,605,000	4,830,000	859	2,53	225	1,00	530	0,50	3
COTON, LAINE, POILS DE CHEVRE; tissus	25	1,840	877,050	1,667,400	293	1,66	843	0,95	34	0,34	1
CHANVRE, LIN, COTON, SOIE; blondes, etc.	3	»	43,032	415,964	»	»	1,029	1,20	114	1,00	»
ÉQUIPEMENTS MILITAIRES	1	314	»	475,000	150	1,60	80	0,09	5	0,70	»
INDUSTRIES DIVERSES	137	14,457	6,497,614	13,400,583	2,669	1,81	3,358	0,96	1,267	0,65	6
Totaux	52,348	2,600,504	1,812,319,805	2,338,508,988	296,581	2,01	141,939	1,04	72,786	0,72	1073
3. Produits animaux.											
LAINE; peignerie, corderie, peaux travaillées	134	21,087	25,360,443	34,060,069	4,371	2,05	2,398	0,99	1,618	0,60	9
— filature	507	108,078	101,218,444	134,999,618	13,285	1,78	9,134	0,93	8,291	0,56	142
— tissage, mérinos, stoffs, diverses	652	50,866	34,842,344	56,190,455	9,940	1,84	6,381	0,88	3,413	0,58	37
— tissage, draps, tapis, feutres, etc.	1,038	136,995	145,731,975	217,009,925	43,067	1,78	26,625	0,89	13,323	0,56	60
— foulerie	43	4,088	5,652,067	6,214,625	114	2,37	21	1,00	27	0,60	»
— teintureries	50	11,091	22,292,375	24,709,320	1,901	2,21	109	1,28	128	0,75	19
TISSUS MÉLANGÉS	516	67,712	76,012,267	115,827,285	24,747	1,95	8,569	1,08	4,765	0,66	45
SOIE; magnanerie, filage, tissage, etc.	1,459	165,875	233,503,810	406,377,455	109,662	2,11	46,127	1,01	9,326	0,70	145
FILS et TISSUS DIVERS; teintureries	14	695	173,952	294,295	113	1,80	27	1,20	2	»	»
PEAUX; tannerie, corroierie, etc.	1,395	101,298	51,239,087	73,957,371	9,361	1,94	8,629	1,04	506	0,79	22
CUIRS; cordonnerie, sellerie	115	9,914	1,291,608	2,054,275	2,320	1,44	685	0,64	239	0,53	»
CUIRS VERNIS (fabrique de)	2	375	516,000	625,000	70	3,50	6	1,75	6	1,85	1
POILS et CRINS; chapellerie comprise	214	14,370	4,199,172	9,194,586	4,147	2,71	1,945	1,08	410	0,64	»
SUIF, CIRE; chandelles, bougies	151	11,833	9,400,694	11,664,490	531	1,92	247	1,00	69	0,67	12
SUIF, GRAISSE; savons	3	660	3,642,500	4,196,000	67	3,30	»	»	»	»	3
OS et DÉBRIS; noir animal, colle, engrais	64	7,098	2,131,314	3,537,009	678	1,84	197	1,05	67	0,99	16
OS, IVOIRE, NACRE; tabletterie	131	1,846	504,921	1,010,024	698	2,05	278	1,20	87	0,65	»
CONSERVES ALIMENTAIRES; salaisons, etc.	77	3,505	4,949,009	5,903,658	821	1,36	1,377	0,95	104	0,40	2
POISSONS DE MER; pêche, salerie, huilières, etc.	615	10,723	3,493,022	8,439,298	8,840	1,93	2,668	1,00	1,456	0,57	»
INDUSTRIES DIVERSES	79	20,593	4,778,532	6,421,201	710	2,28	579	1,97	202	»	6
Totaux	7,259	748,702	730,933,536	1,122,685,959	235,443	1,95	116,002	0,99	44,039	0,66	520
Totaux généraux	71,497	4,543,450	2,927,276,679	4,167,147,336	767,908	2,07	278,837	1,02	143,665	0,72	2494

STATISTIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On remarquera qu'il n'a pas été possible jusqu'à présent de défalquer, dans les nombreux documents que l'on vient d'analyser, la valeur des élaborations cumulées subies successivement par les matières premières ou par les produits fabriqués en passant d'un département à l'autre. L'administration se propose d'entreprendre ce travail compliqué, mais on n'a encore rien publié à cet égard. La valeur de la matière première figure donc plusieurs fois dans une partie des chiffres qui précèdent. Cette observation était indispensable pour qu'on ne se méprenne pas sur leur véritable signification.

On ne peut même pas déduire des renseignements fournis par la statistique officielle la part qui revient à la main-d'œuvre dans la production industrielle. Il résulte seulement des chiffres qu'elle fournit que l'ensemble des salaires d'un jour de travail s'élève à 1,977,420 fr., mais on ignore le nombre total des jours de travail. Il ne paraît pas atteindre 250 jours par année, en prenant la moyenne des industries. Dans cette hypothèse, la somme revenant au travail s'élèverait à 494,355,000 par an, soit environ 39 p. 100 de la différence entre la valeur totale des produits fabriqués annuellement, évaluée à 4,457,447.336 fr., et celle des matières premières estimée à 2,927,276.679 fr.

D'après les derniers recensements, déjà assez anciens, il est vrai, notre marine marchande compte : 59 navires de 400 tonneaux et au-dessus; 187 de 300 à 400 tonneaux; 539 de 200 à 300; 1,200 de 100 à 200; 1,485 de 60 à 100; 1,037 de 30 à 60; 10,518 de 30 et au-dessous : en total 15,825 navires jaugeant ensemble 647,10 tonneaux. HERVÉ MANGON.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE PARISIENNE. Le travail ci-après, renfermant les résultats d'une enquête faite avec beaucoup de soin par la Chambre de commerce de Paris, offre pour la première fois une exposition exacte (sauf les erreurs inséparables d'un semblable travail, et la tendance de chaque industriel à indiquer par amour-propre un chiffre trop élevé de ses affaires) de la grande industrie qui s'exerce dans la capitale, et mérite à juste titre de la placer en tête des grands centres industriels.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE PARISIENNE,

Résultant de l'enquête faite par la Chambre de Commerce de Paris en 1847 et 1848.

(Les prix des matières premières sont confondus avec la main-d'œuvre.)

GROUPES D'INDUSTRIES.	NOMBRE de fabricants.	NOMBRE d'ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
1° ALIMENTATION.	3,673	10,428	226,863,080
2° BATIMENT.	4,061	41,603	145,442,679
3° AMEUBLEMENT.	5,713	36,484	137,145,246
4° VÊTEMENT.	29,213	90,064	240,947,293
5° FILS ET TISSUS.	3,799	36,685	105,848,474
6° PEAUX ET CUIRS.	426	4,573	41,762,965
7° CARROSSERIE, SELLERIE.	1,253	13,754	52,357,476
8° INDUSTRIES CHIMIQUES ET CÉRAMIQUES.	1,259	9,737	74,546,606
9° TRAVAIL DES MÉTAUX, MÉCANIQUE.	3,404	24,894	103,631,600
10° TRAVAIL DES MÉT. PRÉCIEUX, BIJOUT. ORFÉVR.	2,392	16,819	134,830,276
11° BOISSELLERIE, VANNERIE.	1,561	5,405	20,482,304
12° ARTICLES DE PARIS.	6,124	35,679	128,658,777
13° IMPRIMERIE, GRAVURE, PAPETERIE.	2,235	16,705	51,471,873
Totaux.	64,816	342,530	1,463,628,350

1° Alimentation.

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Bouchers.	500	1,429	74,893,432
Boulangers.	604	2,646	60,242,390
Brasseurs.	22	238	3.851,500
Brûleurs de café.	46	59	2,033,070
Charcutiers.	384	833	15,731.312
Chocolatiers.	72	396	3,896.977
Confiseurs.	84	659	6,262,262
Conserves alim. (fab. de).	17	161	1,623,000
Crémiers, fromagers.	237	66	337,798
Distill. fabr. de liqueurs et de sirops.	119	318	8,276,805
Eaux gazeuses et minérales (fab. de).	26	189	942.700
Épiciers fabricants.	1,125	955	9,621,259
Glaciers.	43	134	1,224,160
Pâtes aliment. (fab. de).	16	151	1,569,728
Pâtissiers.	356	1,696	12,255,087
A reporter.	3,648	9,926	202,731,480

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report.	3,648	9,926	202,731,480
Raffineurs de sucre.	9	435	23,500,000
Vinaigriers et moutard.	16	63	631,600
Total.	3,673	10,428	226,863,080

C'est surtout pour cette section que l'on doit se rappeler l'observation faite ci-dessus, qu'on n'a pas séparé dans ces chiffres le prix des matières premières de celui des frais de fabrication.

2° Bâtiment.

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Bateaux (constructeurs de barques et déchir. de).	16	53	365,500
Carrelage (entrepr. de).	13	93	302,500
Charpentiers.	121	3,545	16,137,000
Couverture et plomberie des bâtim. (entrep. de).	106	1,166	6,082,600
Échelles (fabricant d').	8	17	64,900
A reporter.	264	4,874	23,952,500

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	264	4,874	23,952,500
Lettres en relief (fab. de).	22	109	487,000
Maçons.	364	9,287	26,853,740
Marbriers pour bâtiment.	102	992	4,728,980
Menuisiers en bâtiment. .	1,042	8,434	26,958,885
Menuisiers-parqueteurs. .	20	206	639,100
Menuisiers-rampistes. . .	22	71	172,940
Menuisiers-treillageurs. .	29	58	241,400
Ornemanistes pour décoration de bâtiment. . .	34	436	1,258,200
Pavage (entrepren. de). .	61	2,851	8,384,600
Peintres en bâtiment. . .	866	5,571	16,134,510
Poëliers-fumistes et fabr. d'appar. de chauffage. .	326	2,829	10,171,847
Scieurs de bois pour charpente et menuiserie. .	53	277	1,534,520
Serruriers en bâtiment. .	733	4,869	18,600,835
Tombeaux (constructeurs et sculpteurs de). . . .	124	470	1,453,710
Trottoirs (construct. de).	15	263	2,875,412
Vidanges (entrepren. de).	6	306	1,964,500
Totaux. . .	4,061	41,603	145,412,679

3° Ameublement.

Albâtre (sculpteurs en).	19	69	233,964
Appareils pour éclairage au gaz (fabricants d').	50	707	3,785,500
Billards (fabricants de).	55	260	1,326,900
Bronze (fabricants de). .	188	2,711	18,493,979
Bronze (ciseleurs sur). .	229	986	1,312,000
Bronze (doreurs sur). .	53	416	1,920,900
Bronze (fondeurs de). . .	38	1,251	5,050,000
Bronze (metteurs au). . .	21	46	82,000
Bronze (monteurs de). .	108	434	871 200
Bronze (tourneurs en). .	41	153	292,040
Bronze (vernisseurs sur).	75	442	743,060
Cadres et moulures (fabricants de).	197	1,107	4,041,100
Canniers, empailleurs et rempailleurs de chaises.	188	202	250,635
Crins (peigneurs, trieurs et apprêteurs). . . .	20	219	1,084,150
Doreurs sur bois.	143	1,162	4,461,020
Ebénistes et menuisiers en meubles.	1,831	9,046	27,982,950
Fauteuils et chaises (fabricants de).	254	1,827	5.061,540
Lampistes.	226	1,974	7,880,581
Literie (fab. d'art. de). .	338	680	3,305,053
Marbriers pour ameublements.	79	631	2,160,950
Marqueteurs et découp. .	98	406	1,148,529
Miroitiers.	87	632	4,754,700
Mouleurs en plâtre et en composition.	51	177	671,750
Papiers peints (fabr. de).	139	3,295	10,227,150
Scieurs de bois pour l'ébénisterie et marchands de bois débité.	47	300	2,291,800
Sculpteurs, ébénistes. . .	174	620	1,011,110
Sculpteurs-modeleurs de statuettes de bronze. .	110	517	1,580,860
Sculpteurs sur bois. . .	44	505	1,139,400
Stores (fabricants de). . .	17	142	630,600
Tapissiers.	476	3,920	20,663,202
Tourneurs en chaises. . .	223	958	1,892,998
Tourneurs de bois pour ameublements.	94	389	792,700
Totaux. . .	5,743	36,184	137,145,246

4° Vêtement.

DÉSIGNATION	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Blanchisseurs.	4,847	8,763	12,060.187
Buanderies et lavoirs publics (entrepren. de). .	163	238	1,018,550
Casquettes (fabric. de). .	526	4,056	7,623.851
Chapeliers.	639	4,093	16,762,680
Chaussonniers.	278	1,913	3,602,977
Confectionneurs de vêtements de femmes. .	195	1,352	7,632,012
Cordonniers, fabricants de chaussures.	6,048	20,929	43,282,487
Corsets (fabricants de). .	645	2,968	5,084,245
Costumiers.	16	84	323,550
Couturières.	5,175	6,813	9,630,148
Fourreurs et pelletiers. .	86	638	4,336,950
Fripiers et marchandes à la toilette.	180	55	394,450
Guêtriers.	37	280	726.655
Lingerie (entrepren. de).	1,966	10,190	26,553,698
Modistes.	852	2,717	12,326,113
Poils pour la chapellerie (coupeurs et prép. de).	29	596	2,506,185
Repriseuses.	234	114	222,250
Sabots et galoches (fabricants de).	27	97	205,500
Tailleurs d'habits. . . .	6,891	22,215	80,649,320
Teinturiers-dégraisseurs.	394	1,092	3,722,935
Visières (fab. de). . . .	48	861	2,282,550
Totaux. . .	29,216	90,064	240,947,293

Ce qui est bien remarquable dans cette section c'est le nombre immense d'entrepreneurs, grâce à la facilité d'établissement dans des professions où l'habileté de l'ouvrier est presque une condition suffisante de succès. Le nombre de ces entrepreneurs (dont il est vrai les établissements ont souvent bien peu d'importance) atteint presque moitié du nombre total des entrepreneurs de la ville de Paris.

5° Fils et tissus.

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Apprêteurs de tissus et décatisseurs de drap. .	69	820	1,940,600
Blanchisseurs de tissus. .	29	343	673,044
Bonneteries (fab. de). . .	262	2,650	4,754,747
Bourses et sacs en broderie (fab. de).	86	900	1,670,560
Broderies (fab. de). . . .	68	999	1,872,650
Brodeurs et fab. de brod.	509	3,970	6,007,965
Canevas en coton (fab. de).	7	144	500,400
Châles (fab. de).	224	2,490	9,898,480
Chasubliers et brodeurs pour ornem. d'église. .	19	183	1,246,200
Chaussons (fab. de tissus pour).	10	79	451,600
Couvertures et molletons (fabricants de).	34	650	2,100.750
Cris (fab. de tissus en). .	26	136	392,879
Découpeurs de châles et de tissus.	13	44	49,200
Dentelles (fabricants, ravaudeuses et blanchisseuses de dentelles). .	627	1,058	1,915,196
Dessinateurs de fabrique.	66	721	1,337,900
Dessinateurs pour brod. .	92	258	588,346
Épeutisseuses de tissus. .	17	126	67,500
A reporter. .	2,158	15,571	35,467,978

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	2,158	15,571	35,467,978
Filateurs et retordeurs de coton.	35	2,103	7,230,000
Filateurs et retordeurs de laine.	16	1,066	5,966,000
Filat. de bourre de soie. Fileurs, moulineurs et retordeurs de soie. .	10	215	389,500
Frangeuses de châles. .	181	1,041	608,360
Gaufreurs et imprimeurs sur étoffes.	35	226	777,050
Gilet (fab. de tissus pour).	40	1,597	3,801,130
Imprimeurs sur tissus. .	3	711	1,215,000
Liseurs de dessin. . . .	23	229	492,680
Ouate (fab. d').	31	228	888,600
Passementerie (fab. de).	992	9,494	28,404,987
Peigneurs de laine. . . .	20	1,075	7,189,300
Peluche (fab. de).	29	269	947,725
Pleurs et dévideurs de coton, de laine et de cachemire.	49	515	1,808,440
Pleurs et dévid. de soie.	50	359	1,466,540
Rubans (fab. de). . . .	9	51	146,750
Tapis (tondeurs et rentrayeurs de).	5	36	76,314
Teintur. de fils et tissus.	54	778	4,804,000
Tissus pour robes, meubles, boutons et feutre (fabricants de).	52	1,065	3,895,050
Tuyaux et sacs sans coutures, toiles en lin et en chanvre (fab. de). .	7	56	242,800
Totaux. . .	3,799	36,685	105,818,474

6° Peaux et cuirs.

Corroyeurs.	271	2,460	23,424,890
Cuirs vernis (fab. de). .	5	184	1,568,000
Mégissiers.	28	173	1,612,500
Parcheminiers.	3	11	220,000
Peaussiers et maroquin.	81	672	4,292,575
Tanneurs.	26	899	10,232,400
Teinturiers en peau pour ganterie.	12	174	442,600
Totaux. . ,	426	4,573	41,762,965

7° Sellerie, Carrosserie, Équipement militaire.

Carrossiers	194	3,772	19,397,324
Charrons-forgerons. . . .	132	778	2,890,400
Chasse (fab. d'articles de)	35	268	796,250
Équipement militaire (fabricants d'articles d').	118	3,928	9,801,350
Lanternes de voitures (fabricants de).	30	172	545,900
Malletiers.	42	319	1,582,328
Maréchaux-ferrants. . .	93	361	1,450,500
Menuisiers en voitures. .	48	458	1,045,250
Pêche (fab. d'art. de). . .	21	70	198,900
Peintres en voitures. . .	53	542	1,050,824
Selliers-harnacheurs, garnisseurs, arçonniers et bourreliers.	283	1,601	8,945,030
Selliers-ceinturonniers. .	27	213	674,900
Selliers-éperonniers, plaqueurs et fab. quincaill. pour harnais et voit. .	106	538	1,690,720
Serruriers en voitures. .	71	734	2,317,500
Totaux. . .	1,253	13,754	52,357,176

8° Industries chimiques et céramiques.

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Allumettes, veilleuses et mèches (fab. de). . . .	42	668	1,441,250
Amidon et fécule (fab. d').	13	87	951,000
Bougies et chandelles (fabricants de).	38	307	7,804,800
Briques, carr. et tuyaux de cheminées (fab. de).	30	621	2,759,100
Caoutchouc (fabr. d'ouvrages en).	25	577	2,176,000
Charbon préparé et noir animal (fab. de). . . .	31	99	525,800
Cirage et vernis (fab. de).	47	140	969,365
Clarification de l'eau (entrepreneurs pour la) .	3	209	330,000
Coul. et vernis (fab. de).	128	526	6,999,905
Cuirs à rasoirs (fab. de).	14	37	121,500
Daguerréotype (fab. de).	34	48	346,500
Dents artificiell. (fab. de).	75	97	852,200
Emaux pour yeux artificiels, boutons en porcelaine, maillons en verre (fabricants d').	10	513	605,400
Encres à écrire et imprimer (fab. d').	25	96	930,170
Epurateurs d'huile. . . .	14	82	12,260,000
Equarrisseurs.	3	6	564,000
Fondeurs de suif.	19	83	7,847,431
Gaz pour l'éclair. (fab. de).	3	405	2,050,000
Gélatine et colle (fab. de).	16	113	1,025,500
Poëles et carr. en faïence (fabricants de).	7	130	632,000
Porcelaine (décorat. de).	158	2,748	4,392,100
Porcelaine (fabric. découpeurs, useurs et raccommodeurs de). . . .	17	167	559,500
Poteries en terre cuite, en grès et en faïence. . .	32	399	1,090,450
Préparateurs d'anim. pour l'histoire naturelle. . .	22	37	447,100
Produits chimiques (fabricants de) (1). . . .	41	159	3,489,700
Produits pharmaceutiques (fabricants de).	197	188	6,353,235
Salpêtriers.	4	59	436,000
Substances tinctoriales (fabricants de).	25	195	2,681,500
Toiles et papiers cirés (fabricants de).	14	240	1,473,000
Verres (bombeurs de). .	25	94	338,700
Verres (peint. et dor. sur).	17	149	364,800
Verres et cristaux (tailleurs, graveurs et dépolisseurs).	95	357	1,492,000
Verroterie (fab. de). . .	15	103	239,600
Totaux. . .	1,259	9,737	74,546,601

9° Travail des métaux, Mécanique.

Armuriers.	127	547	3,277,078
Balances et poids (fab. de).	48	226	1,491,600
Bandagistes.	101	698	2,243,110
Boucles et agrafes (fab. de).	49	220	1,302,700
Chaudronniers.	206	1,298	5,963,080
A reporter. . .	5,501	2,989	13,977,568

(1) Beaucoup d'usines pour la fabrication des produits chimiques ne peuvent se fixer à Paris, étant considérées comme établissements insalubres; elles se trouvent dans la banlieue. Nous renvoyons à la statistique générale pour la production de ces usines appartenant au département de la Seine

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	5,501	2,989	13,977,568
Cloches et timbres (fabricants de).	9	43	165,800
Cloutiers.	64	407	1,848,528
Couteliers.	234	571	2,607,075
Estampeurs.	29	122	1,917,200
Etameurs.	40	126	360,700
Ferblantiers.	231	927	3.313,250
Feuilles et potée d'étain (fabricants de).	8	98	376,000
Fondeurs de métaux. . .	77	1,979	10,933,550
Instruments de chirurgie (fabricants d').	32	298	1,122,700
Lamineurs et planeurs de métaux.	13	90	678,000
Limes (fab. de).	47	459	1,385,770
Lits en fer (fab. de). . .	19	434	2,068,000
Mécaniciens construct. de machines.	238	6,635	25,647,850
Menuisiers-modeleurs. .	30	119	310,500
Métiers à tisser (fab. de).	23	199	814,900
Métiers (fab. d'organ. de).	37	136	345,605
Moulures, tubes et devantures en cuivre (fab. de).	23	296	1,316,200
Œillets mécaniq., amorces (fab. de), et ferreurs de lacets.	22	387	1,518,500
Opticiens et fab. d'instruments de précision.	332	2,030	7,270,430
Plombiers, pompiers et fontainiers.	150	1,039	6,357,350
Potiers d'étain.	59	444	1,909,730
Quincaillerie (fab. d'articles de).	60	257	814,830
Serruriers-mécaniciens et fab. de boul. de vis, etc.	111	1,054	3,077,580
Serruriers pour meubles. .	162	839	2,618,700
Taillandiers et fabricants d'outils.	219	945	3,508,185
Tôle vernie (fabric. de), peintres, doreurs et argenteurs sur métaux. .	89	440	1,636,200
Tourneurs de métaux. .	158	774	2,432,500
Tréfileurs et fabricants de toiles métalliques. . .	87	487	3,292,000
Totaux. . .	3,104	24,894	103,631,601

10° Travail des métaux précieux, — Bijouterie, Orfévrerie, Joaillerie.

Affineurs d'or et de platine.	3	50	900,000
Apprêteurs et tireurs d'or, d'argent et de cuivre. .	8	57	378,100
Batteurs d'or et d'argent.	34	627	4,959,135
Bijouterie en acier poli (fabricants de).	142	1,975	4,963,500
Bijoutiers pour deuil. . .	46	233	813,100
Bijouterie fausse.	342	2,182	6,525,332
Bijouterie fine.	450	4,401	41,599,934
Bijoutiers-garnisseurs. .	20	100	505,500
Ciseleurs, graveurs et guillocheurs.	162	513	1,141,700
Doreurs et argent. pour orfévrerie et bijouterie.	90	644	4,355,276
Émailleurs-peintres, fab. de plaques émaillées. .	69	415	1,345,900
Émaux et pierres fausses (fab. d').	13	34	182,800
A reporter. . .	1,379	11,231	67,683,277

STATISTIQUE.

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	1,379	11,231	67,683,277
Essayeurs.	5	17	138,000
Estampeurs et graveurs de matrices pour orfévrerie et bijouterie.	58	277	760,900
Fondeurs d'or et d'argent.	13	42	603,400
Graveurs de camées et graveurs de pierres fines.	60	205	773,764
Joaillerie fausse (fab. de).	16	237	848,200
Joaillerie fine (fab. de). .	35	538	19,288,900
Lamineurs pour l'orfévrerie et la bijouterie. . .	5	53	640,000
Lapidaires.	96	160	800,780
Laveurs et fondeurs de cendre et regrets d'orf.	16	86	2,930,000
Monteurs de boîtes de montres.	26	103	283,600
Mosaïque (fab. de). . . .	6	57	267,000
Orfévr. en arg. (fab. de).	42	671	14,322,200
Orfévrerie et argenterie en argent (fab. de petite).	67	494	4,613,900
Orfévres cuilléristes en argent.	17	280	10,090,000
Orfévr. en plaqué (fab. d').	54	791	6,332,600
Orfévrerie en maillechort et en cuivre (fab. d'). .	13	337	1,773,300
Orfévres - cuilléristes en maillechort.	16	351	866,800
Perles fines (fab. de) et souffleurs de perles. . .	40	222	606,185
Perles (enfil. et mont. de).	48	84	173,510
Planeurs pour orfévrerie et daguerréotypie. . .	21	60	249,100
Polisseuses et brunisseuses pour orfévrerie et bijout.	253	474	504,080
Reperceuses pour bijout.	60	53	85,880
Sertisseuses pour joaill. .	46	96	210,900
Totaux. . .	2,392	16,819	134,830,276

11° Boisselierie, Vannerie.

Boisseliers.	107	336	1,460,534
Brosserie commune. . .	146	579	2,234,980
Cordiers.	51	614	2,657,540
Formiers.	58	170	385,800
Layetiers, coffretiers et emballeurs.	297	1,379	6,387,370
Liége (fab. de bouchons et d'ouvrages en).	38	215	928,300
Mottes à brûler (fab. de).	33	87	121,350
Paillassons (fab. de). . . .	46	149	250,050
Pinceaux et brosses à peindre (fab. de). . . .	37	259	928,700
Plumeaux (fab. de). . . .	13	159	752,500
Sciurs de bois à brûler. .	136	278	715,595
Sparterie (fab. d'ouv. en).	33	73	123,353
Tonneliers.	235	384	1,291,640
Tourneurs en bois. . . .	191	441	1,448,935
Vanniers.	140	282	795,680
Totaux. . .	1,561	5,405	20,482,304

12° Articles de Paris.

Acordéons (fab. d'). . .	61	288	1,391,197
Baleine (fendeurs de). . .	28	142	1,863,950
Bimbeloterie (fab. de). .	370	2,099	4,321,209
Boutons en corne, os et nacre (fab. de).	78	608	1,700,050
A reporter. . .	537	3,134	9,276,406

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	537	3,137	9,276,406
Boutons en métal et en tissu (fab. de).	57	1,349	4,194,370
Brosserie fine (fab. de). .	117	859	2,238,390
Cadrans de montres et de pendules (fab. de). . .	24	36	149,900
Cannes, fouets et cravaches (fab. de).	163	962	3,507,208
Cartonnage et pastillage (fab. de).	361	2,169	5,375,770
Chapeaux de paille (monteurs et garnisseurs de).	105	2,160	6,412,453
Chapeaux de paille (fab. de tresses et agréments pour).	11	121	384,540
Chapeaux de paille (blanchisseurs et apprêt. de).	57	225	297,800
Cheveux (fab. de postiches et apprêt. d'ouvr. en)	688	973	3,580,665
Éventails (fab. d'). . . .	119	565	2,912,800
Figuristes en cire. . . .	9	36	135,300
Fleurs artific. (fab. de)..	618	6,153	11,055,668
Gainiers.	129	512	1,582,380
Ganterie en peau (fab. de).	182	1,950	11,268,247
Ganterie en tissu. . . .	38	228	261,710
Horlogers et fab. de fournitures d'horlogerie. .	978	2,294	9,110,310
Instruments de mus. à cordes et à archets (fab. d').	18	19	300,700
Instruments de musique à vent en bois (fab. d'). .	15	78	318,000
Instruments de musique en cuivre (fab. d'). . .	37	199	1,620,500
Lunettes (fab. de mont. de).	99	150	1,394,027
Nécessaires (fab. de). . .	157	980	3,877,150
Orgues (fab. d'). . . .	39	113	1,111,950
Parapluies et ombrelles (fabricants de). . . .	375	1,121	7,108,129
Parfumeurs.	102	721	9,711,853
Peignes (fab. de).. . . .	242	811	2,897,010
Pianos et harpes (fab. de).	191	2,889	11,186,070
Plumassiers.	61	657	2,571,800
Portefeuilles et articles de maroquinerie (fab. de).	112	895	3,501,660
Tabletterie (fab. de).. . .	366	1,750	6,292,101
Tabletterie pour parapluies (fab. de). . . .	71	301	739,860
Totaux. . .	6,121	35,679	128,658,777

13e Imprimerie, Gravure, Papeterie.

Brocheurs.	111	891	1,095,300
Cartes à jouer (fab. de) .	11	263	916,500
Cartes et cartons en feuil., papiers et cartes porcelaine (fab. de).	30	380	1,167,000
Chiffons (lav. et trieurs de).	21	71	1,170,000
Cire et pains à cacheter (fab. de).	19	81	552,000
Coloristes et enlumin. .	232	725	637,815
Crayons (fab. de). . . .	19	92	150,500
Doreurs sur tranches, sur peau et sur papier. . .	60	201	606,518
Écrivains et dessinateurs pour la lithographie. .	56	95	318,830
Éditeurs d'images et d'estampes.	18	872	2,859,200
Encriers à pompe et art. de bureau (fab. d'). . .	37	175	583,900
A reporter. . .	650	3,819	11,157,623

DÉSIGNATION.	NOMBRE des fabricants.	NOMBRE des ouvriers.	IMPORTANCE des affaires.
Report. . .	650	3,819	11,257,623
Fondeurs, graveurs de caractères et clicheurs. .	10	777	1,816,500
Graveurs de matrices . .	39	101	321,717
Graveurs en taille-douce.	168	360	1,015,355
Graveurs sur bois et sur acier pour la typogr. .	39	193	521,950
Graveurs sur bois pour l'impression des étoffes et des papiers peints. .	36	171	295,000
Graveurs sur métaux pour cachets, timbres, etc.	159	351	969,950
Graveurs sur métaux pour l'impression des étoffes.	8	89	235,800
Imprimeurs-lithographes et en taille-douce. . .	291	2,238	7,798,861
Imprimeurs-typographes.	81	1,536	15,217,211
Papiers à polir, sacs en papier (fab. de). . . .	38	161	616,800
Papiers de luxe et de fantaisie (fab. de). . . .	99	819	3,070,079
Plumes à écrire (fab. de).	15	101	121,531
Registres (fab. de). . . .	110	610	3,051,100
Règles, chevalets, etc. (fabricants de).	25	58	201,500
Régleurs de papier. . . .	26	207	213,200
Relieurs.	378	1,895	1,211,300
Totaux. . .	2,235	16,705	51,171,873

RÉSUMÉ. Les résultats de l'enquête de 1848-1850 comprennent à la fois les nombres fournis pour l'industrie des départements (Paris excepté) et ceux qui viennent d'être donnés pour l'industrie parisienne, c'est-à-dire que les résultats totaux sont les suivants:

Valeur des produits fabriqués annuellement pour toute la France (Paris excepté).	1,167,117,336
Pour l'industrie parisienne.	1,163,628,350
Total.	5,630,775,686

Nous allons donner maintenant les chiffres d'une enquête plus récente, faite sur des bases un peu différentes, et qui en outre, par suite d'une diminution sensible de la valeur de l'or produite dans l'intervalle, ne sont pas absolument comparables. Ces nombres sont toutefois vrais dans leur signification générale.

Indépendamment de changements dans la méthode suivie, sans doute par le désir de mieux faire, dans les désignations et les groupements, il faut encore tenir compte de l'esprit dans lequel un relevé a été fait pour la production annuelle, qui fait, suivant les circonstances, prendre les chiffres les plus élevés ou les moindres au lieu des chiffres moyens, qui devraient seuls être admis et soigneusement discutés. Faite au lendemain d'un traité de commerce qui inaugurait la liberté commerciale, l'enquête de 1865 avait pour objet de constater les résultats favorables qu'elle avait produits, et était faite avec le désir de les trouver très-importants.

ENQUÊTE FAITE DE 1860 A 1865.

Cette enquête a porté principalement sur la production manufacturière; elle comprend la totalité des usines, tandis que celle effectuée après 1848 ne s'occupait que des ateliers comptant plus de 10 ouvriers. Cela explique, après l'accroissement considérable dû à une époque de prospérité et l'augmentation des prix de toutes choses, l'augmentation si notable du chiffre de la production.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRODUCTION INDUSTRIELLE DE LA FRANCE (1860-1865)

(moins celle des villes de Paris et de Lyon et celle des manufactures de l'État).

RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

DÉSIGNATION DES GROUPES.	NOMBRE des établissements.	VALEUR VÉNALE des établissements.	OUVRIERS. Hommes.	Femmes.	Enfants.	VALEUR des matières premières.	VALEUR des produits fabriqués.
						fr.	fr.
1. Industrie textile	12,480	548,918,680	308,481	306,898	69,948	1,592,156,033	2,332,871,554
2. Industrie extractive	4,894	415,248,615	98,254	3,624	7,139	6,587,997	166,011,897
3. Industrie métallurgique	1,136	224,317,400	97,325	3,759	4,282	254,448,648	411,475,520
4. Fabrication d'objets en métal	2,020	92,428,250	67,512	4,448	3,342	107,963,441	210,289,948
5. Industrie du cuir	3,035	49,499,380	17,873	860	479	155,241,993	203,024,731
6. Industrie du bois	2,471	24,698,850	12,866	1,255	518	54,100,091	78,280,313
7. Industrie céramique	2,015	62,167,403	35,757	6,310	5,899	29,369,069	96,919,274
8. Produits chimiques	1,644	74,109,223	16,608	3,307	1,699	197,949,594	291,582,526
9. Industrie du bâtiment	13,026	89,423,037	55,000	6,247	6,651	22,338,899	99,810,502
10. Industrie de l'éclairage	787	69,356,400	4,072	737	172	48,174,132	68,210,382
11. Industrie de l'ameublement	151	18,514,440	4,547	1,962	892	6,421,160	17,277,539
12. Industrie de l'habillement et toilette	1,294	19,634,760	19,185	32,735	2,937	61,173,380	113,902,318
13. Industrie de l'alimentation	52,845	720,186,284	143,462	24,257	6,701	2,306,849,169	2,803,818,858
14. Industrie des transports	478	20,960,150	16,904	441	1,026	23,167,183	46,716,730
15. Industrie relative aux sciences, lettres et arts; imprimerie, gravure, papeterie	1,663	90,034,500	31,503	18,529	4,965	68,459,211	146,140,620
16. Industrie de luxe et plaisir	224	4,491,400	3,881	2,171	551	6,759,825	13,944,600
Totaux	100,163	2,524,013,772	933,230	417,540	117,201	4,941,157,825	7,130,287,310
			1,467,971				

Ainsi, d'après ce tableau, il y avait en France, en 1864-1865, 100,163 établissements industriels dont la valeur vénale était estimée à 2 milliards 524 millions.

Ces établissements dépensaient 4,944 millions de matières premières et 194,340,000 francs de combustible, pour aboutir à un chiffre total de fabrication de 7,130 millions.

Le nombre des ouvriers de tout sexe et de tout âge travaillant environ deux cent cinquante jours par an s'élevait à 1,468,000.

La force motrice employée était de 495,304 chevaux-vapeur, fournis, pour 296,100, par 52,464 roues et turbines; 152,339, par 9,471 machines à vapeur; 39,569, par 11,332 moulins à vent, et 7,296, par 5,515 manéges.

Enfin, l'industrie textile possédait 9,675,000 broches et l'industrie du fer 496 hauts fourneaux.

Nous donnerons encore le tableau de la production industrielle par départements.

DÉPARTEMENTS.		DÉPARTEMENTS.		DÉPARTEMENTS.	
	fr.		fr.		fr.
1. Seine	1,989,698,733	31. Saône-et-Loire	78,104,635	61. Charente-Inférieure	35,563,812
2. Nord	799,834,160	32. Finistère	76,326,020	62. Morbihan	35,512,975
3. Rhône	600,556,819	33. Côte-d'Or	75,019,620	63. Aude	34,931,083
4. Seine-Inférieure	440,333,034	34. Maine-et-Loire	71,300,800	64. Allier	32,667,841
5. Bouches-du-Rhône	271,854,370	35. Aube	66,920,950	65. Haute-Marne	32,864,382
6. Loire	224,338,675	36. Doubs	66,618,510	66. Yonne	31,701,983
7. Eure	213,136,049	37. Drôme	65,438,010	67. Gers	30,896,530
8. Haut-Rhin	196,258,280	38. Tarn	60,164,337	68. Vienne	28,603,925
9. Aisne	184,935,418	39. Lot-et-Garonne	57,170,944	69. Mayenne	26,720,520
10. Somme	176,525,707	40. Ain	52,677,470	70. Loir-et-Cher	26,516,225
11. Marne	161,907,783	41. Puy-de-Dôme	52,424,952	71. Landes	26,115,075
12. Loire-Inférieure	161,010,884	42. Indre	50,038,208	72. Haute-Loire	25,726,270
13. Ardennes	160,144,314	43. Meurthe	49,833,456	73. Tarn-et-Garonne	25,544,940
14. Pas-de-Calais	158,081,790	44. Loiret	49,197,500	74. Côtes-du-Nord	24,832,331
15. Bas-Rhin	148,484,655	45. Dordogne	48,958,818	75. Ariége	22,906,650
16. Ardèche	144,259,135	46. Sarthe	48,902,710	76. Lot	20,228,960
17. Ille-et-Vilaine	143,813,200	47. Nièvre	48,807,410	77. Basses-Pyrénées	19,583,936
18. Oise	131,329,920	48. Manche	48,306,390	78. Hautes-Pyrénées	19,174,619
19. Moselle	124,000,280	49. Meuse	46,219,433	79. Pyrénées-Orientales	15,984,975
20. Gironde	122,432,060	50. Deux-Sèvres	45,793,220	80. Alpes-Maritimes	15,675,110
21. Isère	116,235,728	51. Haute-Vienne	44,355,855	81. Corse	14,147,300
22. Gard	115,608,116	52. Var	44,260,885	82. Basses-Alpes	14,019,480
23. Seine-et-Oise	109,610,500	53. Aveyron	43,428,723	83. Creuse	13,742,300
24. Vosges	104,172,915	54. Charente	43,337,065	84. Hautes-Alpes	11,828,968
25. Vaucluse	101,780,500	55. Eure-et-Loir	42,385,500	85. Savoie	9,351,220
26. Haute-Garonne	99,241,062	56. Indre-et-Loire	41,746,860	86. Haute-Savoie	6,963,700
27. Calvados	97,361,820	57. Haute-Saône	40,606,370	87. Lozère	6,087,675
28. Hérault	94,458,470	58. Vendée	39,611,836	88. Corrèze	5,713,940
29. Seine-et-Marne	88,782,550	59. Cher	39,609,850	89. Cantal	3,567,458
30. Orne	82,061,623	60. Jura	39,480,900		

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INDUSTRIE PARISIENNE EN 1860.

Le tableau ci-après, combiné en vue d'être comparable aux précédents, donne des chiffres trop faibles relativement à ceux donnés pour 1848. Il ne comprend pas les bouchers, les boulangers, les traiteurs, les marchands de vin, les couturières et une foule d'autres spécialités jugées étrangères à l'industrie manufacturière.

DÉSIGNATION DES GROUPES.	NOMBRE des établissements.	LOYERS.	OUVRIERS. Hommes.	Femmes.	Enfants.	VALEUR. Chiffre d'affaire.
						fr.
1. Industrie textile	2,740	3,028,047	9,798	17,869	1,320	130,442,983
2. Industrie extractive	12	29,285	238	»	»	895,213
3. Industrie métallurgique	165	463,585	4,265	24	97	30,423,190
4. Fabrication d'objets en métal	2,733	3,704,516	23,270	1,022	169	149,424,705
5. Industrie du cuir	496	715,375	5,234	466	66	77,752,845
6. Industrie du bois	1,261	1,397,748	4,107	763	17	84,726,204
7. Industrie céramique	306	394,535	1,394	104	239	8,842,400
8. Produits chimiques	929	1,787,387	4,944	1,993	479	96,870,770
9. Industrie du bâtiment	78	176,910	1,779	10	65	9,233,000
10. Industrie de l'éclairage	188	264,590	4,052	315	29	39,417,400
11. Industrie de l'ameublement	2,742	2,345,571	14,100	1,142	1,558	75,273,048
12. Industrie de l'habillement et toilette	3,145	3,932,948	18,774	19,782	298	156,820,791
13. Industrie de l'alimentation	648	1,979,272	4,500	1,063	»	168,738,441
14. Industrie des transports	1,533	2,551,867	14,398	1,742	95	88,402,195
15. Industrie relative aux sciences, lettres et arts	2,724	3,658,188	20,652	4,101	654	136,552,368
16. Industrie de luxe et plaisir	2,709	2,847,607	12,564	3.804	107	167,932,315
Totaux	22,409	29,277,431	144,069	54,200	5,193	1,421,747,888

En résumé, Paris contenait, en 1860, 22,409 établissements faisant un chiffre d'affaires de 1,422 millions à l'aide de 203,462 ouvriers et de 8,216 chevaux-vapeur.

En y réunissant les affaires des maçons, bouchers, boulangers, etc., le chiffre devrait être augmenté de 4 ou 500 millions et de plus de cent mille ouvriers.

En y comprenant les établissements de l'État, le chiffre de la production du département de la Seine tout entier est de 1,989,698,733 francs.

INDUSTRIE LYONNAISE.

L'industrie lyonnaise peut être portée à 500 millions de francs, dont 400 pour les soieries employant 19,000 tisseurs (hommes) et 20,000 tisseuses (femmes).

ÉTABLISSEMENTS DE L'ÉTAT.

La fabrication des tabacs et celle des monnaies portent sur des chiffres très-considérables, mais modifient peu la valeur des matières premières en réalité, au moins quand on ne tient pas compte de l'impôt, qui, pour le tabac, élève la valeur de 49 millions à 291.

La valeur des produits fabriqués est de 704 millions, en employant 389 millions et demi de matières premières. Nombre d'ouvriers 31,529; chevaux-vapeur par machine à vapeur 2,313; 1,789 par roues hydrauliques.

RÉSUMÉ.

On doit donc évaluer, pour 1860-1865, ainsi qu'il suit, les forces de l'industrie manufacturière de la France:

Nombre des établissements	125,000
Nombre des ouvriers	1,800,000
Importance des affaires	10,000,000,000
Moteurs ou chevaux-vapeur	502,000

Des conditions de production. L'administration, en publiant les nombres fournis par l'enquête, a publié quelques renseignements généraux accusés par les bulletins fournis par les fabricants. Le plus curieux est le suivant. On peut admettre que, pour une valeur de 100 francs, le prix de revient moyen, dans l'ensemble de la fabrication française, se divise ainsi qu'il suit:

3 francs pour l'intérêt du capital immobilisé (immeubles et machines); 15 francs pour la main-d'œuvre; 55 francs pour l'achat des matières premières;

7 francs pour le combustible; 20 francs pour les frais d'administration, les impôts, les assurances, etc., etc.

STÉRÉOTYPIE. La stéréotypie est une opération qui permet d'obtenir en un seul bloc de fonte une page semblable à une page composée en caractères mobiles, de telle sorte qu'on puisse mettre celui-ci en magasin et faire un nouveau tirage quand il est nécessaire sans nouveaux frais de composition. Ces frais qui forment une partie très-notable de l'impression, surtout depuis que l'emploi de la presse mécanique a diminué les prix du tirage, se trouvant répartis sur un nombre d'exemplaires considérable, on peut livrer ceux-ci à très-bas prix. Il faut encore pour le succès du procédé que les frais du stéréotypage soient peu considérables pour qu'il y ait économie, et sous ce rapport le procédé actuellement en usage laisse peu à désirer.

Depuis l'origine de l'imprimerie on a souvent trouvé avantageux de garder certains ouvrages tout composés; ce sont surtout ceux qui demandent une très-grande correction, à laquelle on ne peut arriver qu'en corrigeant successivement les fautes qu'on découvre sur une même composition, et non en en faisant une nouvelle dans laquelle passeraient de nouvelles fautes; mais on trouvait un obstacle dans le maniement de toutes ces pages, et il était à craindre qu'à chaque tirage quelque accident ne forçât toujours à en recomposer un certain nombre, d'où introduction de nouvelles fautes.

Firmin Didot, voulant exécuter les tables de logarithmes de Callet et arriver à une grande correction, conçut l'idée de souder les pages par le pied, de manière à en faire un tout. Il réussit fort bien dans cette opération, dont l'exécution ne laissait pas que d'être assez délicate, et put conserver ainsi l'ouvrage composé sans être exposé à recomposer quelques pages à chaque tirage. La correction de cette édition est parfaite, ce qui est bien précieux pour un ouvrage de ce genre.

Il n'est pas besoin de dire qu'on ne pourrait songer à l'emploi d'un pareil moyen dans le but unique d'éviter les frais de composition. La fabrication des caractères d'imprimerie exige trop de précision pour qu'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

puisse espérer arriver jamais à les livrer à assez bas prix, pour que le capital qui se trouve ainsi détruit ne rende pas une pareille spéculation fort douteuse dans la plupart des cas.

Aussi n'est-ce pas à ce procédé qu'on s'est arrêté pour la production de pages fixes. M. Didot en sentit l'inconvénient et proposa un autre procédé. Il consistait, comme tous ceux dont nous allons parler, à prendre une contre-épreuve de la composition mobile, pour pouvoir employer ensuite celle-ci à produire d'autres pages. Les caractères qui servaient à faire la composition étaient moins hauts que les caractères ordinaires et fondus en alliage très dur. Cet alliage se faisait en ajoutant du cuivre à l'alliage ordinaire composé de plomb antimoine et étain, pour en augmenter la résistance. La fonte de ces caractères offrait quelques difficultés, parce que l'alliage moins liquide devait se travailler à une température plus élevée, et prenait plus difficilement l'empreinte. La page étant composée, on l'enfermait dans une boîte d'acier, où elle se trouvait serrée dans tous les sens par des vis de pression. Cette boîte se montait au-dessous d'un balancier à vis, analogue à celui qui sert à frapper les pièces de monnaie; au-dessous on mettait une plaque de plomb doux, dont la surface était bien dressée; puis d'un coup de balancier on imprimait la page dans la plaque, et on frappait une matrice de page.

La matrice ainsi obtenue s'ajustait dans un mandrin qui se montait à la partie inférieure d'un mouton. On mettait du métal à caractères dans un tiroir en carton, et quand celui-ci commençait à se refroidir, approchait de l'état pâteux, alors, en faisant tomber le mouton, le métal se moulait parfaitement dans la matrice. Il y a ici peu de danger de fondre la matrice, le plomb étant moins fusible que l'alliage. On retirait avec un canif le cliché; puis on le dressait comme on fait par les procédés actuellement en usage. Nous en parlerons plus loin.

On ne pouvait guère employer ce procédé que pour de petits formats, à cause de la difficulté de faire tomber les pages bien d'aplomb sur la matrice, ce qui était un inconvénient notable. Un autre inconvénient était que les lettres pouvaient se refouler quand elles n'étaient pas assez dures, ce qui pouvait arriver si l'ouvrier avait laissé passer trop de temps sans recharger son creuset, le cuivre et l'antimoine montant toujours à la surface du bain métallique et se brûlant rapidement. Enfin la dépense était assez considérable, surtout par l'obligation d'avoir des caractères spéciaux pour le stéréotypage, tandis que par le procédé actuel on emploie tous ceux qui se trouvent dans les imprimeries.

Ce procédé était, on le voit, assez voisin de celui que nous avons décrit à l'article POLYTYPIE.

Procédé Herhan. Le procédé Herhan est extrêmement ingénieux; il supprime la fonte des caractères comme une opération superflue, quand le produit à obtenir est une planche stéréotype. Ce sont les matrices elles-mêmes, qui peuvent être produites en grand nombre par le même poinçon, qui servent à composer la page matrice, et au moyen de celle-ci il suffit d'une seule opération de clichage pour avoir la page stéréotype. Ce procédé paraît donc d'une simplicité extrême et doit donner une netteté parfaite à l'œil de la lettre, puisque, opérant avec des matrices en cuivre, on peut clicher à une haute température, et qu'on n'a que la seconde contre-épreuve du poinçon au lieu d'avoir la quatrième; mais malheureusement il est tout à fait défectueux en ce que pour chaque matrice il faut faire un travail très difficile, puisqu'il faut la justifier de hauteur pour l'œil, de hauteur totale et d'approche, de force de corps. On était bien parvenu, en justifiant le poinçon et en frappant la matrice au moyen d'un balancier dans lequel il était ajusté, à diminuer ce travail, mais il y avait toujours à retoucher. Or on comprend combien devaient coûter, à cause de la précision qui était nécessaire, 20.000 matrices seulement, et c'est bien le moins qu'on puisse supposer, pour composer un ouvrage; et encore en perdant beaucoup de temps puisque les lettres devraient être distribuées presqu'aussitôt qu'on aurait fini de composer. Si l'on ajoute à cela la difficulté que présente la composition de ces matrices, l'impossibilité des corrections qui résulte de ce qu'on ne peut tirer d'épreuves, on comprendra facilement les causes de l'insuccès d'un ingénieux procédé, pour lequel on a infructueusement dépensé des sommes considérables.

En général, tous les procédés qui exigent pour leur emploi des dépenses spéciales ne peuvent pas avoir de succès, ainsi dans le cas qui nous occupe une entreprise qui réussit avec un caractère donné ne peut réussir avec une autre, sans pourtant pouvoir payer les frais nécessaires pour le stéréotypage. C'est précisément là le grand avantage des procédés employés actuellement, où le moule est fait directement sur les caractères qui se trouvent chez l'imprimeur, et avec lesquels le cliché est produit à peu de frais.

Stéréotypie au moyen du plâtre. La page de l'ouvrage qu'on veut stéréotyper étant composée en caractères mobiles ordinaires, et les corrections faites, on la serre fortement dans un châssis en fer au moyen de biseaux et de coins, de manière qu'une lettre ne puisse pas s'enlever; après avoir placé la page sur un marbre et enfoncé avec un taquoir les lettres qui peuvent se trouver trop hautes. Cela fait, on pose sur le châssis un petit cadre d'un demi-pouce environ plus large que la page, qui va en s'évasant vers le haut. Un premier enduit d'un corps gras est passé sur la lettre pour éviter toute adhérence, puis faisant une bouillie très claire de plâtre de Paris bien cuit, broyé et passé au tamis de soie très fin, on l'applique avec un pinceau et avec une brosse dure et fine; on frappe sur la page pour chasser l'air et faire pénétrer le plâtre dans tous les creux, puis faisant une bouillie épaisse on remplit le châssis, et on fait sortir l'excédant en promenant une règle à sa surface. Quand le plâtre est pris on enlève verticalement le châssis, qui à cause de son biseau entraîne le moule en plâtre.

Quand ce moule a séché à l'air pendant quelques heures, on le sèche dans un four fortement chauffé pendant plusieurs heures; on peut alors fondre le cliché. Pour cela on a des cuvettes de fonte garnies d'un couvercle qui entre dedans; on place entre les deux une plaque de fonte dressée à l'épaisseur convenable, pour que celle-ci étant contre le couvercle, l'espace vide soit égal à la hauteur qu'on veut donner au cliché, plus celle du moule au plâtre.

On place le moule au fond de cette cuvette, l'œil vers le fond. Il paraît plus naturel de le placer inversement, mais alors il faudrait le fixer au fond, parce que le métal le soulèverait, ce qui ne serait pas aisé, et l'expérience a prouvé qu'on réussissait bien en le retournant. Cela fait, on saisit la cuvette par les deux bords au moyen d'une pince fixée au bout d'une potence tournante, on l'amène au-dessus d'un bain de métal dans lequel on la fait descendre. Le métal entre par deux ouvertures, soulevant alors la cuvette on vient la placer sur le rafraîchissoir, qui est une auge remplie de sable mouillé. Le refroidissement commence ainsi par la partie inférieure. On place alors sur le couvercle un poids de 10 à 15 kilos, qui chasse l'excédant de métal et donne une pression qui force la matière d'entrer dans les creux. Le cliché est alors fait, et il n'y a plus qu'à casser le moule en plâtre et à nettoyer la surface du cliché. Ce qui est bien remarquable, c'est que le plâtre remplit admirablement toutes les conditions désirées; il se laisse mouiller par le métal, ce que ne ferait pas l'argile, par exemple, et par conséquent celui-ci entre dans les délicats les plus fins. De plus, sur les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

surfaces brillantes le plâtre prend un certain poli, et la surface de l'œil du cliché est brillante et ne présente pas de grenu.

Le cliché étant fait, il faut encore lui faire subir quelques préparations. Elles consistent principalement à le dresser d'épaisseur, ce qui se fait au moyen d'un tour muni d'un mandrin à vis et mâchoires sur lequel on monte le cliché, l'œil de la lettre contre le plateau; il est dressé à l'aide d'un burin fixé sur un support à chariot; à tailler en biseau les bords, ce qu'on fait au moyen d'un rabot à fer oblique; à creuser un peu au ciseau les blancs formés par les cadrats hauts, qui pourraient maculer au tirage. Enfin il faut remplacer les lettres défectueuses; pour cela, on chasse avec un ciseau de dimensions convenables la lettre manquée, on perce le cliché, puis on introduit une lettre mobile, qu'on ajuste d'approche et de ligne; puis on la soude au pied avec de l'étain et un fer à souder, et on polit à la lime l'excédant de soudure. Le cliché est alors bon à imprimer.

On ne laisse aux clichés que peu d'épaisseur, afin de diminuer le poids de la fonte qui doit rester inactive; au moyen de supports auxquels on les adapte par de petites griffes qui tiennent par le serrage de la forme, on leur rend la hauteur des caractères mobiles, quand on met sous presse.

Le métal des clichés est composé, en général, de 15 p. 100 d'antimoine et 85 p. 100 de plomb. On ne peut les rendre très durs, parce que les clichés ayant peu d'épaisseur seraient trop sujets à se casser sous l'effort de la presse, pour peu qu'ils fussent faussés. Ce qui est remarquable, et ce qui prouve bien les effets de trempe qu'éprouve la lettre dans le moule du fondeur, c'est que fait avec la même matière, un cliché s'écrasera beaucoup plus vite qu'un caractère.

L'emploi du procédé de stéréotypie en plâtre a été tenté pour la reproduction des gravures en relief qui servent pour l'impression des toiles peintes, mais des difficultés assez grandes ont empêché ce procédé, que nous croyons usité dans quelques fabriques, de prendre un grand développement, et lui ont fait préférer, dans ce cas particulier, le procédé de *polytypie* avec matrices de bois, que nous avons indiqué à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES. Ces gravures étant nécessairement très droites, afin de fournir des impressions de quelque netteté avec des couleurs coulantes comme celles qu'on emploie, le moule en plâtre se retire mal; mais l'inconvénient majeur résulte de la difficulté d'avoir des pièces identiques. Le retrait du moule varie beaucoup avec la quantité d'eau avec laquelle on a gâché le plâtre, avec le degré de chaleur qu'il a éprouvé dans le four. De semblables retraits empêchent de former une planche par la multiplication d'un dessin élémentaire, ou ne permettent de le faire que très imparfaitement, même avec une grande habileté pratique.

Le stéréotypage au plâtre n'est pas le seul procédé employé pour la typographie, un autre système, dit *au papier*, donne des résultats moins parfaits, mais qui suffisent dans beaucoup de cas, quand le travail est bien exécuté. Il offre l'avantage de pouvoir être obtenu à l'aide d'appareils d'une grande simplicité.

Clichage au papier. Ce genre de clichage plus rapide, plus économique que celui au plâtre, n'exigeant pas l'emploi de l'huile pour graisser les caractères, ce qui rend leur emploi ultérieur plus difficile, s'est substitué généralement à celui-ci pour la fabrication des livres.

Mais c'est surtout pour l'exécution des journaux tirant à un nombre considérable d'exemplaires, qu'il a fourni le point de départ d'une véritable révolution, en donnant le moyen de multiplier en très-peu de temps le nombre des compositions, ce qui permet d'imprimer aussi rapidement qu'on le désire une quantité immense de feuilles. Une presse avec une seule composition ne suffisant pas, c'est sur deux, trois, quatre, cinq presses, et plus, que peut s'opérer simultanément le tirage.

Décrivons le mode d'opérer, et d'abord la fabrication du creux, du moule dans lequel on coule le métal. Les empreintes sont prises au moyen de feuilles de papier superposées, entre chacune desquelles on étale avec un pinceau une sorte de pâte souple faite de blanc d'Espagne et de colle de pâte ou de peau. Ces sortes de cartons mous et légèrement humides sont nommés *flans*.

Ces *flans* une fois posés sur la composition mobile, le mouleur, à l'aide d'une brosse de crins résistants, frappe à coups redoublés en partant du milieu pour arriver vers les bords, et fait ainsi pénétrer ces cartons mous dans les moindres creux formés par les reliefs des caractères. Quelques personnes, pour obtenir le même résultat, font passer ces *flans* appliqués sur la composition sous un cylindre dont la pression remplace plus ou moins avantageusement, selon la grandeur des vides, la brosse dont nous venons de parler. Ce dernier procédé permet de gagner deux ou trois minutes, ce qui c'est beaucoup; mais il ne peut être utilement employé que lorsque la composition serrée ne laisse pas de trop larges profondeurs dans lesquelles la pression du cylindre peut difficilement faire pénétrer le carton qui sert de moule. Il est considéré comme moins sûr que celui de la brosse, lorsque l'ouvrier mouleur est habile et soigneux.

Une fois ces flans moulés, soit par la brosse, soit par le cylindre, sur tous les vides des caractères mobiles, on place le tout sur une plaque de fer chauffée à une température élevée ce qui fait évaporer l'eau encore contenue dans cette empreinte humide. Le clicheur veille avec attention à ce que sa plaque n'ait pas une chaleur suffisante pour faire fondre le métal du caractère, qu'il ne s'affaisse pas par le pied sous la pression qu'on exerce quelquefois sur le flan pour le maintenir contre tout déplacement, à l'aide d'une plaque serrée par une vis.

Lorsque le séchage du moule de carton est terminé, il est placé dans un moule à charnière en fer, représentant dans ses proportions la page que l'on veut obtenir, où il est maintenu par un châssis qui l'encadre, d'épaisseur telle que le vide représente l'épaisseur assez faible des clichés pour les livres, et pour les journaux, à un millimètre près en comptant celle du moule de carton, la hauteur des caractères d'imprimerie. C'est ce vide que le métal, plomb et régule d'antimoine, qui va former le cliché, va remplir. Dans le dernier cas, des noyaux fixés sur la face extérieure du moule diminuent le poids du cliché.

Le métal en fusion contenu dans une vaste cuiller en fer est apporté et versé tout d'un trait dans le moule qui contient la matrice de carton. On laisse le métal se figer, on y aide par des aspersions d'eau froide faites sur l'extérieur du moule, puis enfin on ouvre ce moule et on en retire et le cliché et le flan. Si le métal, trop chaud, adhère au carton, si le flan a été carbonisé trop fortement en quelques points, toute l'opération est à recommencer. Le clicheur cherche, avec les plus grandes précautions, à détacher le moule. Si le moule vient aisément sans se déchirer, si l'œil est bien pur, l'opération a réussi et le flan peut encore servir. Veut-on obtenir six, huit, dix clichés semblables, il suffit de remettre le flan dans le moule et d'y verser autant de fois du métal.

Au sortir de ce coulage, le cliché n'est pas encore tout à fait prêt. Il faut encore, à l'aide de scies, de rabots, de ciseaux, mettre ses bords d'équerre, et enlever les parties trop saillantes qui maculeraient le papier.

On est parvenu à effectuer tout ce travail, pour les journaux, avec une bien grande rapidité. Vingt-cinq minutes environ suffisent pour la production du pre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mier cliché. Et pourtant, au gré des journaux, il faudrait encore gagner quelques instants, afin que l'insertion des dernières nouvelles puisse en profiter. Aussi le *Times*, en Angleterre, a proposé une récompense assez forte à qui trouverait un moyen abréviatif faisant gagner cinq minutes.

Les grands avantages qu'offre le clichage au papier ne sont pas contestables. On doit citer parmi ceux-ci la possibilité notamment, de faire des clichés formés de parties de cylindre, au moyen de châssis et de moules cylindriques, et par suite de réaliser des presses mécaniques continues, simples de construction et extrêmement rapides. Son défaut est que la perfection du moulage n'est pas certaine, qu'elle dépend toujours du soin de l'ouvrier et non d'une propriété physique des corps en quelque sorte, comme le moulage en plâtre. De plus, les arêtes ne sont jamais bien vives, aussi ne peut-il servir pour la reproduction des gravures sur bois.

Clichage à l'aide du bois debout. A l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES, nous avons fait apprécier les grands avantages de l'introduction des clichés pour multiplier les sujets qui se répètent dans un dessin et pour obtenir une production rapide et économique, en remplaçant les petites planches par des planches de grande étendue pouvant se monter sur des perrotines ou machines analogues; nous avons parlé de certaines gravures que l'on obtennit en partant d'un creux obtenu dans le bois de tilleul debout, et par suite dans un sens où l'élasticité des fibres se prête à la sortie du cliché fondu dans les creux pratiqués dans le bois.

Nous décrirons ici un curieux procédé de gravure de ce genre obtenu à l'aide de la chaleur facilement maniée de la flamme d'un bec de gaz, pour exécuter ces matrices en bois debout, qui permettent d'obtenir de très-élégants produits, avec une dépense relativement minime.

On a d'abord imaginé d'exécuter les matrices en bois debout, par le refoulement des fibres à l'aide d'une série d'outils enfoncés à la main, chacun d'eux représentant un détail de dessin à reproduire. Si ce mode permet de reproduire un plus grand nombre de planches, avec une somme moindre d'adresse personnelle que s'il fallait les graver directement, puisque l'habileté du graveur est concentrée sur la production des outils partiels, le succès du travail est assez douteux et la durée d'exécution reste encore considérable. On comprend que les matrices ainsi obtenues servent de moules pour la production d'un cliché en métal.

L'art de la gravure des planches d'impression des tissus était arrivé à ce point, lorsque, vers 1849, M. Schultz, dessinateur à Paris, importa en France l'idée, d'origine anglaise, de la machine dont nous allons donner une description. L'appareil fut construit à Paris, et fonctionna à Puteaux chez MM. Bernoville, Larsonnier et Chesnet. On doit croire que les essais furent peu heureux, ou tout au moins que la machine construite sur les indications de M. Schultz était bien imparfaite, car le procédé de gravure qu'elle réalise ne fut pas apprécié à Mulhouse dans les quelques ateliers où on tenta de l'introduire.

MM. Heilman frères ont repris les essais qui jusqu'alors avaient été infructueux, et c'est à leur constante persévérance, à leur étude approfondie du procédé, qu'on doit la réalisation d'un système dont les résultats sont extrêmement remarquables. Voici en quoi il consiste :

Une *mortaiseuse à pédale* donne le mouvement à un outil tranchant de forme quelconque, mais répondant à un détail du dessin voulu. Les dimensions de cette mortaiseuse sont plus réduites encore que celles de la plus petite des machines analogues usitées dans les ateliers de construction; cependant les dispositions essentielles sont les mêmes. Un tube à deux branches lance constamment deux jets de gaz convergents dans la direction de l'outil qui, sous l'action de la flamme, s'échauffe rapidement pendant sa marche. Le bois dessiné qu'il s'agit de graver en creux est conduit à la main et reçoit l'action de l'outil. Échauffé à une température déterminée, celui-ci pénètre le bois à une profondeur constante en le brûlant, et produit ainsi un creux dont les contours ont une netteté et une régularité remarquables. On arrive, de la sorte, à produire, en deux ou trois jours au plus, une planche ou une matrice qui exigeait souvent un mois dans le système du bois avec cuivre implantés en relief, et une semaine au moins avec la méthode de gravure en creux par compression du bois. (Voir le dessin ci-après.)

Le bois soumis au travail de la mortaiseuse doit être préparé d'une façon spéciale, dans le but d'empêcher les fendillements sous l'action de l'outil brûleur et de la flamme du gaz. On prend ordinairement du tilleul de choix, et la préparation consiste dans une mise au four conduite avec les plus grands soins.

Les matrices obtenues à la mortaiseuse servent à la production de clichés qu'on obtient en coulant dans cette matrice en bois un métal dont voici la composition :

Plomb.	1/3
Bismuth	1/3
Zinc	1/3
Antimoine	1/20 du tout.

Cet alliage, qui doit au zinc et à l'antimoine une dureté très-convenable, donne des empreintes d'une grande finesse.

Le bois brûlé en creux est recouvert et comprimé par un bois dressé, muni d'une série de rainures, lesquelles sont destinées à distribuer le métal liquide et communiquent avec un orifice ou jet principal qui reçoit l'alliage en fusion.

Les clichés ainsi obtenus, après avoir été assemblés et fixés sur un bois pour former la planche d'impression, doivent être soumis à un dernier travail qui est le rabotage. Pour cela, on verse sur la planche de la colophane en fusion qui remplit toutes les parties creuses du cliché d'assemblage. Ainsi garnie, la planche est soumise à l'action d'une machine à raboter.

La colophane ayant été dissoute ensuite par l'essence de térébenthine, la planche est prête à fonctionner; elle exige à peine une révision et un travail de grattoir vertical à la main pour faire disparaître quelques imperfections de détail.

Clichés de musique. On a appliqué avec quelque succès le procédé qui vient d'être décrit à la production des clichés pour l'impression de la musique. On lui a donné le nom de pyrostérotypie. Je reproduirai ici une partie de l'intéressante notice publiée par l'imprimerie impériale, qui a présenté cette invention à l'Exposition de 1862, et la figure de l'outil à gaz qui sert pour effectuer le travail.

La recherche des procédés usuels pour l'impression de la musique sur la presse typographique a été l'objet des tentatives les plus suivies, des essais les plus laborieux de tous les imprimeurs éminents qui se sont succédé depuis le commencement du seizième siècle jusqu'à nos jours.

Dans un ouvrage de Nicolas Wollick, imprimé à Cologne en 1501, on remarque déjà des morceaux de plain-chant imprimés en caractères mobiles. En l'année 1503, Ottavio Petrucci en Italie, Pierre le Hutin en 1525, Jacques de Sanlecque et Guillaume Le Bé, de 1537 à 1545, en France, portent l'art de graver et d'imprimer la musique au plus haut degré de perfection qu'il fût alors possible d'atteindre. En 1552, Adrien Leroy et Robert Ballard obtiennent du roi Henri II un privilége exclusif pour l'impression de la musique; mais, sous l'empire du privilége, cette industrie de-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

meure stationnaire, et ce n'est que deux siècles plus tard, en 1754, que Breitkopf, à Berlin, reprend avec avantage les essais de ses devanciers, et fait faire à l'impression de la musique en caractères mobiles un nouveau et remarquable progrès. Il est bientôt suivi, dans cette voie, par Cooper de Londres, Reinhardt de Strasbourg, et, à Paris, par les frères Gando, par Fournier et plus récemment par deux associés, Olivier et Godefroid. Enfin, de nos jours, MM. Duverger, Tantenstein, Curmer et Derriey ont cherché également, avec plus ou moins de succès, à résoudre le problème, depuis si longtemps posé, de remplacer avec économie, pour l'impression de la musique, les planches de métal gravées ou frappées, dont l'usage a prévalu jusqu'à présent.

Nous avons traité, à l'article FONDERIE EN CARACTÈRES, de la plupart des procédés, souvent insuffisants, mais toujours ingénieux, de cette longue série d'inventeurs. Nous nous bornerons à rappeler que si les premiers inventeurs n'avaient pu, en composant les notes comme des caractères typographiques, éviter de nombreuses interruptions aux points de jonction de leurs portées, le but a été atteint, sous le rapport de la belle exécution, sinon sous celui de l'économie, par MM. Duverger et Curmer (en faisant une matrice, semblable à celle que M. Duverger faisait dans le plâtre, dans la pâte de papier, où se produisent malheureusement des entraînements qui exigent des retouches), et cela parce qu'ils ont, l'un et l'autre, renoncé à l'emploi exclusif des caractères mobiles, et fait intervenir la stéréotypie.

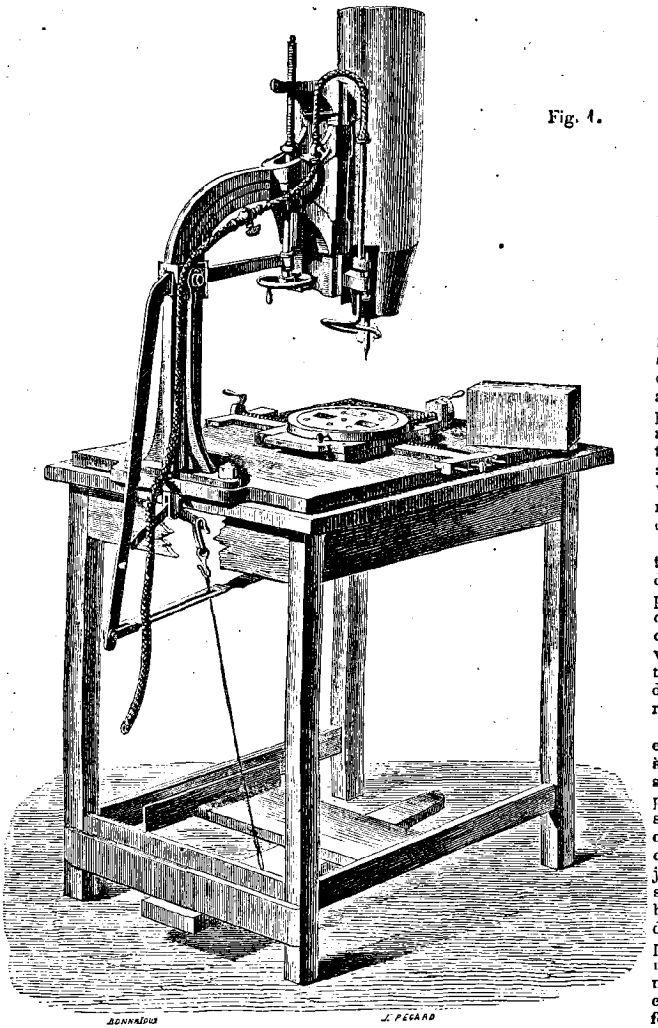


Fig. 1.

Les procédés de la pyrostéréotypie sont d'une simplicité extrême. Ils ont une grande analogie avec ceux employés pour la frappe des notes sur les planches d'étain, telle qu'on la pratique aujourd'hui; ils peuvent, comme cette dernière, être exécutés par des femmes.

Un bloc de bois de tilleul, convenablement dressé, remplace la planche de métal. Sur celui-là, comme sur celle-ci, on trace à l'avance la place et l'écartement des portées, la division des mesures, la répartition des notes.

Dans cet état, le bloc est placé sur la machine à brûler, munie successivement des différents poinçons d'acier représentant les signes, les clefs ou les notes, et qui, chauffés par un double jet de gaz d'éclairage, sont enfoncés dans le bloc autant de fois qu'ils doivent figurer dans la page; ils y pénètrent à une profondeur déterminée et y laissent une empreinte nette et uniforme. (Voir la figure 1.)

Le moule est presque achevé. Il se complète par l'addition de bandes de carte d'une épaisseur égale à celle qu'on veut donner à la planche, et qu'on rapporte sur les bords; on le ferme enfin à l'aide d'une plaque de fonte bien dressée, puis on l'ajuste entre les jumelles d'une petite presse montée à charnière sur une cuve remplie d'eau.

Cette disposition de la presse permet de faire prendre au moule, soit la position horizontale pour l'ajustement des pièces, soit la position verticale pour le coulage de la matière en fusion, qui s'effectue en la forme ordi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

naire par l'orifice ménagé à cet effet. L'eau contenue dans la cuve sert à activer le refroidissement du moule.

L'application à la typographie des procédés qu'on vient de décrire semble appelée à rendre de nouveaux services, non-seulement pour l'impression de la musique, mais encore pour celle de toutes les figures au trait, à lignes courbes ou diagonales, si difficiles à exécuter avec les matériaux ordinaires dont l'imprimerie dispose, ou si coûteux à graver.

Un matériel fort simple, peu encombrant, peut suffire à une exploitation régulière et largement développée.

Les produits fabriqués par ces procédés sont bons et paraissent devoir être fabriqués à des prix modérés, surtout si on ajoute au chariot porte-outil, des limbes divisés, placés sur la tête des vis qui font mouvoir le chariot à angle droit, de telle sorte que le poinçon ayant été placé exactement une première fois, on puisse à coup sûr l'enfoncer sur une portée quelconque ou entre portées, en faisant tourner la vis d'un angle mesuré par un certain nombre de fois la division portée sur le limbe pour l'écart d'une portée.

Il est au reste bien remarquable de voir que, finalement, les procédés qui peuvent permettre de remplacer par des clichés en relief la planche gravée en creux se rapprochent tout à fait de ceux employés pour la gravure de celle-ci. C'est un creux gravé absolument comme elle, plus profondément seulement, qui devient la matrice dans laquelle se moule le cliché, et la similitude des procédés doit faire que le prix de revient soit assez peu différent. L'avantage de pouvoir mélanger cette musique avec la typographie et le bas prix de l'impression d'un relief doivent assurer le succès de ce procédé.

STOPPEURS. Pour mouiller avec les câbles en chaînes, on se dispense de prendre une bitture sur le pont, comme on le faisait avec les câbles en chanvre ; on les laisse filer à l'extérieur sous l'action de leur poids, en les arrêtant lorsque l'on juge qu'il s'en est écoulé une longueur suffisante ; on mesure facilement cette longueur en comptant le nombre des maillons de jonction qui ont passé devant un point fixe. Pour stopper, on fait subir à la chaîne un frottement très-énergique sur les parois du manchon en fonte placé à son

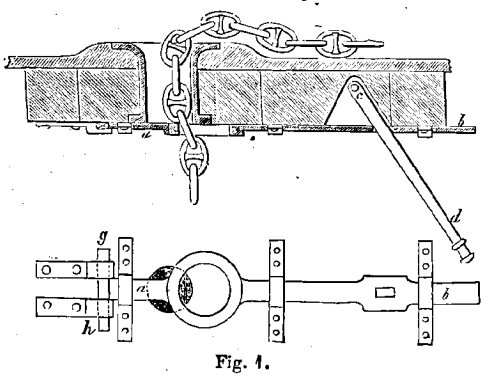


Fig. 1.

passage à travers le pont ; on se sert à cet effet d'un appareil spécial, nommé l'*étrangloir à lunette*, composé d'un verrou en fer forgé *a b* (fig. 1) appliqué contre la face inférieure du massif du manchon et percé d'une ouverture circulaire ; un levier *c d* permet à volonté de faire coïncider les ouvertures du verrou et du manchon, ou de réduire de plus en plus le passage de la chaîne ; le levier étant manœuvré dans le faux-pont par un petit palan, la lunette exerce une pression assez considérable sur la chaîne, et les frottements qui en résultent absorbent peu à peu les forces vives qui l'animent, jusqu'à ce que s'engageant définitivement entre deux maillons consécutifs, elle la rende tout à fait immobile, sans qu'il en résulte de secousse violente, comme il s'en produirait si la chaîne était arrêtée brusquement lorsqu'elle est animée de toute sa vitesse.

Au mouillage, l'effort des chaînes s'exerce principalement sur les bittes et sur les bosses du pont ; cependant, lorsque le navire fatigue beaucoup, cet effort peut se faire sentir sur les stoppeurs, que l'on doit compter au nombre des points d'attache de la chaîne ; on aura donc toujours soin de tenir l'étrangloir à lunette fermé, lorsque l'on sera au mouillage, et pour qu'il ne soit pas déplacé accidentellement, on le maintiendra en position à l'aide d'une clavette *g h*. Pour mouiller, on retire la clavette, on ouvre l'étrangloir en agissant sur le levier *c d*, et on laisse filer la chaîne. On a essayé à différentes reprises soit antérieurement, soit ultérieurement à l'invention de l'étrangloir à lunette, de combiner des appareils plus énergiques, et susceptibles d'arrêter la chaîne dans un temps très-court ; mais loin d'en obtenir quelques avantages, il en est toujours résulté des inconvénients, se traduisant soit par la rupture de l'appareil lui-même, soit par des déliaisons fâcheuses dans la charpente du navire. L'étrangloir à lunette est donc le seul employé dans la marine militaire ; toutes ses dimensions sont déterminées en fonction du calibre de la chaîne de la manière suivante :

Manchon.

Diamètre extérieur.	7,50
Épaisseur de matière	1,00
Diamètre de la collerette	13,00
Rayon de l'évasement.	3,75

Étrangloir à lunette.

Largeur de la lunette.	2,00
Épaisseur de la lunette	1,60
Largeur de la tige	2,70
Épaisseur de la tige	1,00
Longueur du levier.	34,00
Épaisseur sur le droit ou diamètre.	1,40

Lorsque l'on vire au cabestan, nous avons déjà fait observer que si les chaînes ne sont pas convenablement présentées sur la couronne, elles sont exposées à désengrener au passage des mailles de jonction ; cet effet peut encore se produire si la chaîne n'est pas parfaitement régulière, ou si, l'ayant été primitivement, ses dimensions se trouvent altérées par l'usure provenant d'un long service ; si la chaîne désengrenait par l'une ou l'autre de ces causes, elle filerait à l'extérieur, puisque lorsque l'on vire au cabestan l'étrangloir est nécessairement ouvert pour la laisser redescendre dans la cale, et l'ancre retomberait à la mer, ce qui pourrait occasionner de graves embarras ; pour obvier à ce danger, on a jugé convenable de placer, entre le cabestan et l'écubier, un *linguet* agissant directement sur la chaîne, et propre à la retenir dans le cas où elle échapperait de la couronne. De même que pour tous les organes qui se rattachent à la manœuvre des ancres, il a été imaginé un grand nombre de ces linguets, parmi lesquels nous nous bornerons à décrire le linguet à *pied de biche* ou linguet Legoff, que la marine militaire a définitivement adopté. Il consiste en un chemin de fer en fonte, avec cannelure centrale et rebords latéraux (fig. 2) destinés à maintenir les directions des maillons horizontaux et verticaux ; il est placé sur le trajet de la chaîne et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ajusté sur un massif en bois qui l'élève à la hauteur convenable pour qu'elle y bride en appuyant d'une manière sensible; dans le sens de la longueur, ce che-

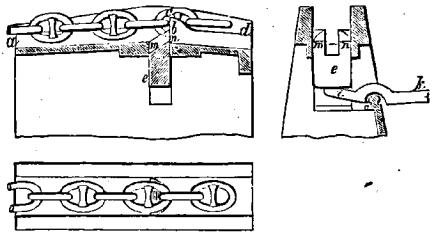


Fig. 2.

min de fer est divisé en deux parties distinctes *ab, cd*, présentant un ressaut *bc*, dont la hauteur est égale au moins à l'épaisseur d'un maillon horizontal; une pièce mobile *e*, dont la surface supérieure est taillée en plan incliné *mn*, permet de raccorder à volonté ces deux parties du chemin de fer, de manière que sa surface, bien qu'irrégulière, devienne continue et n'oppose plus aucun obstacle au passage de la chaîne; la pièce mobile *e* présente d'ailleurs le prolongement de la cannelure verticale, et sa forme générale rappelle celle d'un pied de biche; c'est cette circonstance qui a motivé le nom donné à l'appareil. Un levier *ik*, placé sur le côté, sert à manœuvrer le pied de biche: lorsqu'il est soulevé, la chaîne glisse sur le chemin de fer en suivant ses sinuosités; lorsqu'il est abaissé, chaque maillon horizontal vient tomber au ressaut du chemin de fer, et buttant à sa partie avant contre la saillie *bc*, s'oppose à tout mouvement rétrograde de la chaîne. Toutes les fois que l'on vire au cabestan, le pied de biche doit être abaissé; lorsque l'on file de la chaîne il est soulevé, et il convient de le maintenir dans cette position tant que l'étrangloir à lunette est ouvert; une fois la chaîne définitivement stoppée, on peut abaisser le pied de biche, qui constitue alors un arrêt supplémentaire agissant à la manière des bosses. Quelquefois on s'est servi du linguet comme de stoppeur; en l'abaissant lorsque la chaîne file, elle se trouve en effet arrêtée instantanément, même lorsqu'elle est animée des plus grandes vitesses; mais il en résulte alors tous les inconvénients que nous avons signalés à propos de stoppeurs agissant trop brusquement, et le linguet ne doit pas être employé à cet usage auquel il n'est pas destiné.

L'extrémité du câble est fixée au corps du navire par un amarrage particulier, nommé *étalingure;* cet amarrage contribue quelquefois à la tenue du câble, et, dans cette prévision, il convient de consolider soigneusement ses points d'attache; mais pour les câbles-chaînes, la condition la plus importante est que l'étalingure puisse être larguée promptement dans les cas d'appareillage forcé, où l'on est obligé de filer son câble par le bout. A cet effet, on emploie un appareil nommé *étalingure mobile;* il est susceptible de différentes formes.

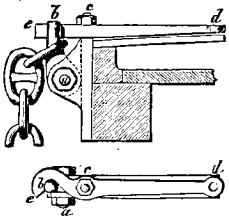


Fig. 3.

Nous représentons dans la figure ci-jointe (fig. 3) le modèle actuellement en usage dans la marine militaire: l'étalingure mobile est placée en dehors des puits aux chaînes, dans quelque endroit toujours parfaitement accessible.

STORAX ou STYRAX. Voyez BAUME.

STORE. Espèce de rideau qu'on descend verticalement, autant qu'on veut, à l'aide d'un appareil mécanique et que l'on place ordinairement aux fenêtres des voitures et des appartements pour se garantir des rayons du soleil. Le store se compose essentiellement d'un cylindre creux en bois traversé intérieurement par un axe en fer; on le dispose horizontalement au haut de la croisée, et le rideau étant enroulé à la surface, on peut le descendre au degré voulu. Un ressort à boudin en gros fil de fer, proportionné au poids du rideau, enveloppe l'axe central en fer, sans frotter ni sur cet axe, ni sur la concavité de l'enveloppe cylindrique en bois; il est fixé par un de ses bouts au bout de l'axe, et par l'autre extrémité à une roue à rochet vissée sur la base du cylindre creux; un cliquet, dont le manche fait saillie au dehors, vient butter contre la roue à rochet. Il résulte de cette disposition que, lorsque le rideau est tiré en bas, le cylindre en bois tourne et le ressort en fil de fer se bande; l'encliquetage retient le cylindre et le ressort ainsi bandé; mais lorsqu'on dégage la roue à rochet, en tirant une corde attachée au manche saillant du cliquet, le ressort qui n'est plus retenu se débande et fait tourner le cylindre pour le ramener, ainsi que le rideau, dans sa situation primitive.

STRASS. Voyez VERRE.

STRONTIANE. Oxyde de strontium rangé dans la classe des terres alcalines et qui a la plus grande analogie avec la baryte par l'ensemble de ses caractères. La strontiane se trouve ordinairement dans la nature à l'état de sulfate; en calcinant ce dernier au rouge, dans des creusets, avec 1/6 de son poids de charbon, on obtient du sulfure de strontium qui, délayé dans l'eau et traité par l'acide hydrochlorique, laisse dégager de l'hydrogène sulfuré et donne du chlorure de strontium que l'on obtient cristallisé en faisant évaporer la dissolution. Ce sel cristallise en aiguilles prismatiques incolores et est très-soluble dans l'eau. Sa dissolution alcoolique brûle avec une flamme pourpre très-brillante. C'est le seul sel de strontium que l'on prépare un peu en grand dans les arts; il est employé dans les feux d'ARTIFICE pour produire une belle flamme pourpre.

STUC. Voyez PLATRE.

STUFFING-BOX. Voyez MACHINE A VAPEUR.

SUBLIMATION. Voyez DOCIMASIE et MÉTALLURGIE.

SUCCIN. Voyez AMBRE JAUNE.

SUCCINIQUE (ACIDE). 1° Cet acide se produit par la distillation sèche de l'ambre jaune. Le produit distillé est formé d'un liquide aqueux et d'un sublimé cristallin imprégné d'une huile. On dissout à chaud la masse sublimée dans le liquide aqueux, on sépare, autant que possible, l'huile à l'aide d'un filtre mouillé, et l'on évapore à cristallisation.

L'acide succinique ainsi obtenu, encore très-impur, est purifié par le chlore gazeux ou au moyen de l'acide nitrique chaud, et soumis finalement à la cristallisation dans l'eau pure.

2° On peut obtenir l'acide succinique par l'oxydation des matières grasses, en épuisant sur celles-ci l'action de l'acide nitrique bouillant, opération très-longue. Le mélange, évaporé à cristallisation, est composé surtout d'acide succinique et d'acide oxalique.

3° Le procédé le plus avantageux pour la préparation de l'acide succinique consiste à mettre le malate de calcium en fermentation avec du fromage pourri. Le dépôt cristallin est un mélange de succinate et de carbonate de chaux, dont on retire l'acide succinique à l'aide de l'acide sulfurique, et des purifications par le noir animal, enfin par sublimation pour faire disparaître les dernières traces de chaux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SUCRE.

SUCRE (*angl.* Sugar, *all.* Zucker). Jusqu'à ce que les nouvelles théories chimiques aient reçu de l'expérience, des observations et du temps, une consécration nécessaire, on ne peut, sans risquer de se placer à côté de la vérité, admettre une définition du sucre différente de celle qui dérive des expérimentations de Lavoisier. D'après les faits observés par cet homme illustre, le sucre, placé en présence du ferment, de l'eau, de l'air et d'une certaine température, se dédouble en alcool vinique et en acide carbonique, dans les proportions qui représentent à très-peu près le poids total du sucre soumis à cette transformation. C'est donc à ce caractère particulier, à cette transformation en alcool et en acide carbonique, que l'on reconnaît l'espèce chimique à laquelle on a donné le nom de sucre. Les expériences de M. Pasteur ont bien démontré que, dans la fermentation du sucre, il se produit souvent, sinon toujours, quelques produits de nature différente, tels que la glycérine, l'acide succinique, etc. On doit faire observer, à ce sujet, que, tout en admettant l'exactitude matérielle des résultats constatés par M. Pasteur, on ne peut, sans préjuger la question, reconnaître ces productions comme absolues, les causes particulières ne paraissant pas avoir été suffisamment examinées.

Nous appellerons donc du nom de sucre toute matière organique soluble, cristallisable ou colloïde, présentant cette propriété fondamentale de pouvoir fermenter par l'action de la levûre, et se transformer en alcool et acide carbonique, dans les *circonstances normales de la fermentation*.

Cette définition, tout à fait rationnelle, apporte dans l'étude des sucres une délimitation certaine, et elle permet de former un groupe bien défini, qui se sépare nettement des hypothèses et laisse seulement le champ libre aux certitudes dues à l'observation.

Il en résulte qu'il ne faut pas confondre avec les sucres proprement dits, les sucres réels, un certain nombre de substances douées de saveur sucrée, telles que la mannite, la glycyrrhizine, etc, lesquelles ne peuvent fournir d'alcool par fermentation directe. De même, on ne saurait ranger parmi les sucres un groupe de matières dont les observations de M. Berthelot ont fait faire une classe très-voisine, sous le nom de glucosides. Sous un certain nombre d'influences et, particulièrement, par l'action de l'ébullition en présence des acides affaiblis, ces substances fournissent un sucre et une matière dérivée, se rapprochant ou s'éloignant plus ou moins de la matière primitive. On peut regarder ces glucosides comme matières productives d'un sucre et d'autre chose, mais, dans l'état normal et primaire, ils ne sont pas des sucres. C'est ainsi que le tannin, par exemple, soumis à une certaine action, produit de l'acide gallique et du sucre glucose, dont il sera question plus loin ; mais, cette transformation ne permet pas, évidemment, de considérer le tannin comme un sucre, puisque, traité directement par fermentation, il ne fournit pas d'alcool et d'acide carbonique dans les conditions indiquées plus haut.

Il existe encore une autre raison, capitale et déterminante, pour grouper dans un cadre plus restreint que celui des néo-théoriciens l'espèce sucre dérivée de la production organique. Cette raison est essentiellement chimique et peut s'appeler une raison de composition. En effet, les sucres actuellement connus sont essentiellement formés de carbone et d'eau, exactement comme la cellulose, la fécule, la gomme et la dextrine, dont ils ne sont que les homologues plus hydratés. En somme, si la cellulose et la fécule insolubles sont représentées à l'état anhydre par 12 équivalents de carbone et 9 équivalents d'eau, leur hydrate étant $C^{12}H^{9}O^{9} + HO$, on trouve par l'observation que la transition normale entre la gomme et la dextrine, qui sont seulement des hydrates de cellulose $C^{12}H^{10}O^{10}$, est représentée par l'adjonction d'une ou de plusieurs molécules d'eau, laquelle s'est opérée sous l'influence des fonctions organiques. Si la gomme ou la dextrine $C^{12}H^{9}O^{9} + HO$, peut être considérée comme le monohydrate de la cellulose, les sucres $C^{12}H^{11}O^{11}$, $C^{12}H^{12}O^{12}$, $C^{12}H^{13}O^{13}$, $C^{12}H^{7}O^{14}$, etc, ne sont autre chose évidemment que des hydrates plus hydratés de la même cellulose. Il paraît clair, pour tous les observateurs impartiaux dont l'esprit se place à l'abri des idées préconçues, de réunir ces hydrates dans un même groupe, et de retrancher de cette série tous les corps dont la composition régulière n'indique pas des hydrates plus ou moins hydratés de la même cellulose. De cette condition chimique, il résulte nécessairement que tous les corps, même fermentescibles alcooliquement, doués même de la saveur sucrée organoleptique, qui ne présenteraient pas cette composition normale de 12 équivalents de carbone copulés avec $10 + x$ équivalents d'eau ne doivent pas être considérés comme des sucres.

Ces considérations préliminaires m'ont paru indispensables pour donner du genre sucre une idée catégorique, et pour éviter, autant que possible, que le lecteur puisse tomber dans la confusion issue de théories peu justifiables.

Les divers sucres peuvent être groupés de différentes manières. Au point de vue chimique, on peut considérer les sucres sous le rapport du nombre d'équivalents d'eau qu'ils renferment et, regardant la cellulose anhydre comme le point de départ ou comme corps saccharigène, $C^{12} + 9HO$, voir dans les gommes et dextrines des monohydrates de saccharigène, et, dans les sucres, des bi-hydrates, tri-hydrates, quadri-hydrates, penta-hydrates, etc, du même saccharigène, pourvu qu'ils présentent la condition fondamentale de la fermentescibilité alcoolique. Dans un sens plus pratique et plus rapproché du point de vue industriel, les sucres peuvent être divisés en deux catégories distinctes : les sucres cristallisables et les sucres incristallisables. Les premiers peuvent encore être différenciés par la forme cristalline et par des caractères particuliers ; les seconds offrent un caractère commun, celui de la non-cristallisation, et ils se différencient par leur degré d'hydratation et par certaines réactions spéciales.

CARACTÈRES DES ESPÈCES DE SUCRE.

Dans l'ordre chimique comme au point de vue de l'importance commerciale, agricole, et industrielle, le sucre ordinaire, dit encore sucre cristallisable, sucre prismatique et sucre de canne, occupe le premier rang. Sa composition est représentée par la formule $C^{12}H^{11}O^{11}$, que nous écrivons pour plus de précision $C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO$. On donne encore à ce sucre, dans la nouvelle nomenclature, le nom de saccharose.

Le sucre des fruits acides, sucre liquide ou incristallisable, contient un équivalent d'eau de plus et répond à la formule $C^{12}H^{12}O^{12} = C^{12}H^{9}O^{9} + 3HO$.

Ce même sucre peut cristalliser en un hydrate plus hydraté dont il sera question sous le nom de glucose. On lui donne encore le nom de lévulose, par la raison que sa dissolution fait dévier à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux.

Le sucre de champignons a pour formule

$$C^{12}H^{13}O^{13} = C^{12}H^{9}O^{9} + 4HO.$$

Le sucre de fécule ou glucose, extrêmement répandu dans la nature, présente la composition

$$C^{12}H^{14}O^{14} = C^{12}H^{9}O^{9} + 5HO$$

et il est complétement identique avec le sucre liquide des fruits acides surhydraté.

Enfin, on considère encore comme un sucre le sucre de lait, lactine ou lactose, dont la composition répond à une formule double de celle du sucre liquide, soit à $C^{24}H^{24}O^{24}$ ou $2(C^{12}H^{9}O^{9} + 3HO)$.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette nomenclature renferme les sucres proprement dits, réellement connus et étudiés et, pour compléter ces renseignements, nous ajoutons un résumé rapide sur les principales substances non fermentescibles, présentant une saveur sucrée, et sur les glucosides, susceptibles de se transformer partiellement en sucre sous l'action des acides étendus.

Les principales matières sucrées non fermentescibles, et qui ne paraissent pas pouvoir se placer parmi les sucres proprement dits, sont : 1° la *Sorbine*, isomère du sucre de fruits, mais qui ne fermente pas alcooliquement en présence de la levûre de bière. La nature réelle de cette substance paraît mériter d'être sérieusement approfondie. Viennent ensuite 2° la *Mannite*, $C^{12}H^{14}O^{12}$; 3° la *Dulcose*, isomère de la mannite; 4° la *Phycite*, même composition; 5° la *Quercite*, $C^{12}H^{12}O^{10}$, 6° la *Glycyrhizine*, $C^{36}H^{24}O^{14}$; 7° la *Phlorétine*, $C^{12}H^{7}O^{4}$; 8° l'*Olivile*, $C^{28}H^{18}O^{10}$; 9° l'*Orcine*, $C^{16}H^{11}O^{7}$; 10° la *Glycérine*, $C^{6}H^{8}O^{6}$, d'origine végéto-animale; 11° l'*Inosite*, $C^{12}H^{12}O^{12} + 4HO$ ou $C^{12}H^{9}O^{9} + 7HO$, d'origine animale; et 12° le *Glycocolle*, $C^{4}H^{5}O^{4}Az$, lequel est un produit artificiel d'origine animale.

Il est digne d'observation que la sorbine, non fermentescible, provenant du suc des fruits du sorbier, présente la composition exacte du sucre liquide fermentescible des fruits acides, et rentre par conséquent, sous ce rapport, dans le groupement général des sucres, dont elle ne diffère que par l'absence de la transformation alcoolique. D'un autre côté, une matière animale, l'inosite, vient compléter la série de composition des sucres proprement dits, et elle est isomère avec la Sorbine cristallisée

$$C^{12}H^{12}O^{12} + 4HO,$$

bien qu'elle ne fermente pas alcooliquement et qu'elle provienne du règne animal.

Les glucosides les plus remarquables, dont la propriété est de se transformer en sucre par l'action des acides faibles à l'ébullition, sont : 1° la *Salicine*, $C^{26}H^{18}O^{14}$, qui se change en glucose et *Salirétine;* 2° l'*Hélicine*, $C^{26}H^{16}O^{14}$, qui se dédouble en glucose et en essence de reine des prés, sous l'action des alcalis, de la synaptase et de la levûre; 3° la *Phloridzine*, $C^{24}H^{16}O^{14}$, que les acides faibles changent en sucre et *Phlorétine;* 3° la *Populine*, $C^{40}H^{22}O^{16}$, transformée par les acides en sucre de fruits, salirétine et acide benzoïque; 5° le *Tannin*, $C^{40}H^{18}O^{26}$, qui se change en acide gallique et en sucre de fruits par les acides faibles; 6° enfin l'*Amygdaline*, $C^{40}H^{22}O^{22}Az^{2}$, que la synaptase transforme en acide prussique, essence d'amandes amères et sucre.

Parmi toutes ces matières, sucres proprement dits, matières sucrées non fermentescibles et substances transformables, les seules dont l'étude présente une certaine importance sont celles qui peuvent offrir un intérêt industriel ou commercial, et je crois devoir en résumer les caractères.

A. *Sucre ordinaire, prismatique, ou sucre cristallisable.* — Cette espèce est la plus importante de toutes, à ce point que, dans la langue vulgaire, elle est représentée par le terme générique sucre, sous lequel on n'a pas l'habitude de comprendre les autres variétés du groupe.

Ainsi qu'il a été dit tout à l'heure, le sucre cristallisable est le moins hydraté des sucres, et il représente un monohydrate de cellulose ou un bi-hydrate de saccharigène (cellulose anhydre).

Le sucre pur est solide, incolore, inodore, et offre une densité de 1,6065. Il présente cependant une sorte d'odeur de pierre à fusil, après un frottement énergique, et il produit une phosphorescence quand on le casse ou qu'on le frotte dans l'obscurité. Le sucre pilé présente une saveur et une odeur légèrement caramélisées.

Le sucre cristallise en prismes rhomboïdaux quadrangulaires à quatre ou six faces, terminés par des sommets dièdres, (*fig. 1*). La solubilité du sucre est assez remarquable. Son véritable dissolvant est l'eau, dont il



Fig. 1.

faut un tiers de son poids à + 15° pour le dissoudre, tandis qu'il est soluble dans moitié moins d'eau bouillante. C'est une erreur de l'avoir considéré comme soluble en toutes proportions dans l'eau bouillante, c'est-à-dire dans l'eau à + 100°, car, si l'on peut faire dissoudre du sucre en toutes proportions dans un liquide aqueux chaud, c'est seulement parce que le sucre étant fusible par lui-même à une température donnée, la température de la solution augmente à mesure qu'on y introduit une nouvelle quantité de matière, ce qui porte la proportion de sucre dissous au-delà des véritables limites. Mais en maintenant le liquide dissolvant, aqueux ou sirupeux, à + 100°, c'est-à-dire à la température de l'ébullition de l'eau, on ne peut faire dissoudre que 6 unités de sucre dans l'unité pondérale d'eau.

Le sucre est insoluble dans l'éther, et à peu près insoluble dans l'alcool absolu froid. L'alcool absolu bouillant en dissout $\frac{1}{80}$, qui se dépose par le refroidissement; mais le pouvoir dissolvant de l'alcool par rapport au sucre augmente avec l'hydratation du menstrue, et l'alcool à 0,83 en dissout déjà 0,25 de son poids.

Le sucre sec et pur, en petits cristaux, est inaltérable à l'air sec, mais il s'altère à l'air humide, et peut se changer partiellement en sucre incristallisable.

Quand on soumet le sucre à l'action de la chaleur, il entre en fusion vers + 175°, et il se prend par refroidissement en masse amorphe, transluciде, qui constitue le sucre d'orge. Cette masse, exposée à l'air, devient opaque après quelque temps, et elle cristallise du dehors en dedans, sous forme de rayons convergents vers l'axe.

Lorsqu'on maintient le sucre à la chaleur de + 180° pendant un certain temps, il devient incristallisable. Il en est de même si l'on fait bouillir pendant 15 à 20 heures sa dissolution aqueuse, à moins qu'elle ne renferme des alcalis susceptibles de s'unir au sucre.

Entre + 210° et + 220°, le sucre se change en un produit brun, visqueux, incristallisable, amer, non sucré, qui est le *caramel*, $C^{12}H^{9}O^{9}$. Ce produit est soluble dans les alcalis, il forme des sels avec les bases puissantes, et doit être rangé parmi les acides faibles. Au-dessus de + 220°, le sucre commence à se décomposer en fournissant de l'eau, de l'acide acétique, de l'acétone, de l'acide formique, des huiles, des goudrons, des gaz inflammables et éclairants, etc. Le résidu est un charbon brillant, très-léger et volumineux, qui brûle complétement au contact de l'air, si le sucre est chimiquement pur.

On peut prendre note de ce fait que le sucre n'est pas précipitable par l'acétate ou le sous-acétate de plomb, ce qui donne un moyen de le séparer d'un grand nombre de matières organiques dans les études que l'on peut faire au sujet de ce produit.

Le principal caractère des sucres consiste en ce qu'ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

éprouvent la fermentation alcoolique en présence de la levûre à la température moyenne de + 15° à + 25°; et le sucre prismatique fermente dans ces conditions. Cependant il ne paraît entrer dans le mouvement de transformation qu'au fur et à mesure que, sous l'action simultanée de l'eau et du ferment acidule, il s'est changé en sucre de fruits, $C^{12}H^{12}O^{12}$.

Cette circonstance permettrait de considérer le sucre prismatique comme l'anhydride des sucres, et de les regarder comme non fermentescibles à cet état anhydre, si l'on possédait quelque moyen certain d'apprécier les détails du fait qui vient d'être signalé.

Le sucre cristallisable est profondément altéré par les acides. Tous les acides minéraux et la plupart des acides organiques le changent en sucre incristallisable, même quand ils n'existent qu'en faible proportion dans la solution. L'action devient plus rapide en présence d'une plus forte proportion d'acide, ou de l'élévation de la température. Tous les acides organiques agissent sur le sucre dans le même sens, quoique leur action soit beaucoup plus lente et moins sensible. L'acide acétique, dont l'action est presque nulle, ne modifie le sucre qu'avec une extrême lenteur.

Lorsque le sucre a été transformé par les acides, il entre très-rapidement en fermentation; mais les produits de cette transformation varient, suivant la composition du milieu et les circonstances concomitantes, et il peut se former de l'alcool, de l'acide lactique, de la matière visqueuse, de l'acide butyrique, etc. Les détails de ces transformations sont décrits à l'article *Fermentation*.

La dissolution du sucre prismatique offre la propriété de dévier à droite le plan de polarisation des rayons lumineux, mais quand ce sucre a été hydraté par l'action des acides étendus, qu'il a été *interverti*, en devenant du sucre incristallisable, il dévie à gauche ce même plan de polarisation.

En agissant sur le sucre à froid, avec l'acide azotique concentré, monohydraté, on le transforme en une substance explosible analogue au fulmi-coton ou *pyroxyle*, ou encore à la *xyloïdine*, ou azotate de fécule. Comme dans la préparation du fulmi-coton, on peut agir avec un mélange d'acide sulfurique et d'acide azotique concentré; si l'on opère avec de l'acide plus affaibli et à chaud, on transforme le sucre, suivant les circonstances, en acide oxy-saccharique ou oxalhydrique, puis en acide oxalique, par suite de la fixation de l'oxygène de l'acide sur le carbone du sucre.

L'acide sulfurique, en agissant sur le sucre, dans des circonstances variables, le transforme en acides glucique, apoglucique, formique, ulmique, humique, en humine et ulmine, et des corps dérivés de moins en moins hydratés.

L'action des bases sur le sucre est assez nette, ce corps se combinant aux alcalis, à la façon des acides faibles, pour former des sucrates, sur lesquels, cependant, on manque encore de données chimiques suffisamment arrêtées. La plupart des sucrates étant insolubles ou peu solubles dans l'alcool concentré, l'emploi de ce menstrue permettrait de les isoler dans un grand nombre de cas, et de pouvoir en faire une étude qui manque encore à l'industrie, malgré les services qu'elle pourrait en attendre.

Les principaux sucrates connus ou indiqués sont : le sucrate monobasique de lithine, $LiO.C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO$; le sucrate de baryte, $BaO.C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO$, qui renferme 30,948 de baryte et 69,052 de sucre. Ce sucrate est décomposable par un courant d'acide carbonique, mais il supporte sans décomposition une température de + 200°.

Le sucrate de strontiane $SrO.C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO$, est très-analogue au sucrate de baryte, et contient 23,23 de strontiane avec 76,77 de sucre.

Le sucrate monobasique de chaux, $CaO,C^{12}H^{9}O^{9},2HO$, contient 14,07 de chaux et 85,93 de sucre.

Le sucrate sesquibasique de la même base,

$$3CaO.2\,(C^{12}H^{9}O^{9} \times 2HO),$$

renferme 19,718 de chaux et 80,282 de sucre.

On peut également mentionner pour mémoire la combinaison du sucre avec la chaux et le carbonate de chaux, nommée sucrate d'hydrocarbonate de chaux par MM. Boivin et Loiseau.

Les sucrates de magnésie, de manganèse, et de fer ont été peu étudiés.

Le sucrate bibasique de plomb $2PbO,C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO$, renfermant 56,608 d'oxyde de plomb et 43,392 de sucre, perd un équivalent d'eau dans le vide et devient anhydre par la dessication à + 160°, en sorte qu'il renferme en ce dernier état le sucre à l'état de $C^{12}H^{9}O^{9}$, mais l'hydratation se reproduit quand on cherche à isoler le sucre de cette combinaison.

Le sucre se combine avec le sel marin et forme le composé $NaCl.2\,(C^{12}H^{9}O^{9} + 2HO)$, renfermant 14,592 de sel et 85,408 de sucre. Il se forme des combinaisons analogues avec le chlorure de potassium et le chlorhydrate d'ammoniaque, et comme ces combinaisons sont déliquescentes, elles peuvent apporter un grand préjudice dans les opérations industrielles, et retenir dans les eaux-mères une très-grande proportion de sucre engagé. Les combinaisons du sucre avec la chaux sont également déliquescentes et peuvent devenir très-nuisibles dans la fabrication, si l'on n'apporte pas une attention soutenue aux opérations. De même, les alcalis, formant des sucrates alcalins dans les liqueurs sucrées, réagissent encore en produisant du glucose au dépens du sucre libre, et en formant des composés acides analogues à l'acide humique ou à l'acide ulmique.

La composition centésimale du sucre prismatique est de:

Carbone.	42.105		Saccharigène.	89.474
Hydrogène . . .	6.433	ou		
Oxygène.	51.463		Eau.	10.526
	100.000			100.000

B. *Sucre des fruits acides, liquide ou incristallisable.* — Ce tri-hydrate de saccharigène présente pour composition:

Carbone. . . .	40.000		Saccharigène.	85.000
Hydrogène . .	6.667	ou		
Oxyène	53.333		Eau.	15.000
	100.000			100.000

Ce sucre, bien desséché, présente un aspect gommeux et une saveur moins sucrée que celle du précédent. Il est insoluble dans l'alcool absolu, très-soluble dans l'alcool à 0,84 et soluble en toutes proportions dans l'eau. Ses dissolutions devient à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux et, quand on le soumet à l'action de la chaleur, il éprouve les mêmes modifications et les mêmes décompositions que le sucre prismatique.

Le sucre liquide des fruits acides fermente directement au contact de la levûre, et produit normalement deux équivalents d'alcool et quatre équivalents d'acide carbonique, lorsque l'action est régulière.

L'action des acides affaiblis est nulle sur ce sucre, mais les acides concentrés agissent sur lui comme sur le sucre prismatique. Il noircit très-rapidement par les alcalis à la température de l'ébullition, en fournissant des produits humiques. La dissolution sirupeuse laisse déposer des cristaux mamelonnés de glucose, qui dévient à droite le plan de polarisation de la lumière.

On rencontre le sucre liquide dans la plupart des fruits acidules.

C. *Sucre de champignons.* — Ce quadry-hydrate de saccharigène a pour composition:

Carbone. . . .	38.099		Saccharigène.	80.952
Hydrogène . .	6.875	ou		
Oxygène . . .	55.025		Eau.	19.048
	100.000			100.000

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il cristallise en prismes quadrangulaires à base rhombe, terminés par un sommet dièdre, et fermente alcooliquement en abandonnant un équivalent d'eau.

D. *Sucre de fécule ou glucose.* — Cette espèce est un pentahydrate de saccharigène et renferme:

Carbone. . .	36.364		Saccharigène.	77.273
Hydrogène . .	7.070	ou		
Oxygène . . .	56.566		Eau.	22.727
	100.000			100.000

Le glucose est le plus abondant de tous les sucres, et on le rencontre partout dans la nature végétale. Il semble être normal de le considérer comme du sucre de de fruits $C^{12}H^9O^9 + 3HO$, qui aurait pris deux équivalents d'eau de cristallisation, et serait devenu

$$C^{12}H^9O^9 + 5HO.$$

De cette manière de voir, il résulterait que ce sucre ne devrait pas être considéré comme une espèce particulière, mais seulement comme une forme plus hydratée du sucre liquide.

La cristallisation de ce sucre est assez confuse, il est mou et de consistance pâteuse. La densité du glucose est de 1.386; il est deux fois et demie à trois fois moins sucré que le sucre prismatique. Soluble en toutes proportions dans l'eau bouillante, il exige pour se dissoudre 1 partie et demie d'eau froide. Il est insoluble dans l'alcool absolu froid, mais soluble dans 60 parties du même alcool bouillant, et dans 5 ou 6 parties d'alcool à 0,83.

Le glucose se ramollit à + 60°, fond à + 100°, et perd deux équivalents d'eau, tout en demeurant dextrogyre. Au-dessus de la fusion, il se caramélise, noircit et se décompose à la façon des autres sucres. Quand on le fait bouillir longtemps, avec un acide faible, à l'abri de l'air, il se transforme en produits ulmiques. En présence de l'air, il se forme en outre de l'acide formique. L'action de l'acide sulfurique, à la température de + 100°, produit de l'acide sulfo-saccharique. L'acide azotique, en agissant sur le glucose, produit une matière explosible, de l'acide saccharique, de l'acide oxalique, suivant les circonstances de la réaction, comme avec le sucre prismatique.

Le glucose noircit très-rapidement en présence des alcalis, par la formation d'un produit humique noir nommé acide mélassique par M. Péligot. Le mélassate alcalin continue à agir sur le sucre libre. La dissolution de chaux éteinte dans le glucose donne lieu à la formation d'acide glucique, qui se transforme en acide apoglucique, quand on fait bouillir cette dissolution à l'air. Les glucosates se forment moins facilement que les sucrates : on connaît cependant le glucosate de chaux $3\,CaO\,.\,2\,(C^{12}H^{14}O^{14})$; le glucosate de plomb, $6\,PbO\,.\,2\,(C^{12}H^{14}O^{14})$; le glucosate de baryte, $3\,BaO\,.\,2\,(C^{12}H^{14}O^{14})$, dont le premier et le dernier sont sesquibasiques.

Le glucose se combine très-facilement avec le sel marin en beaux cristaux incolores, qui sont des pyramides doubles à six pans, représentés par la formule

$$NaCl\,.\,2\,(C^{12}H^{12}O^{12} + 2HO).$$

A la température de l'ébullition, le glucose réduit le tartrate de cuivre dissous dans la potasse, et précipite le cuivre à l'état d'oxydule Cu^2O. Cette réduction appartient, du reste, à un si grand nombre de corps organiques, que l'on est obligé de faire les plus grandes réserves au sujet de son emploi pour les déterminations saccharimétriques.

Le glucose fermente directement en mettant, comme sa composition l'indique, deux équivalents d'eau en liberté; d'où il suit qu'à poids égal il fournit moins d'alcool que les sucres précédents. Ainsi, le sucre prismatique produit, *théoriquement*, par 100 parties pondérales, 53.801 d'alcool; le sucre de fruits 51.111, et le glucose n'en fournit que 46.465.

Le sucre de miel paraît n'être qu'un mélange de sucre liquide $C^{12}H^9O^9 + 3HO$, et de glucose $C^{12}H^9O^9 + 5HO$, accompagné de quelques matières extractives et aromatiques. Il semble que cette question ait besoin d'études ultérieures pour que l'on puisse adopter une opinion définitive à cet égard.

E. *Lactine, lactose ou sucre de lait.* La composition de la lactine est représentée par les valeurs doublées de celles du sucre liquide.

Carbone. . . .	80.000		Saccharigène. .	170.000
Hydrogène. . .	13.334	ou		
Oxygène. . . .	56.666		Eau.	30.000
	200.000			200.000

Les dissolutions de ce sucre dévient à droite le plan de polarisation de la lumière; il cristallise en parallélipèdes terminés par des pyramides à quatre faces; il est dur, incolore et d'une saveur douce et un peu sucrée. Il est soluble dans le double de son poids d'eau bouillante ou six fois son poids d'eau froide, mais il est insoluble dans l'alcool et l'éther.

Le sucre de lait paraît fermenter alcooliquement lorsqu'il est bien débarrassé des matières étrangères. Les conditions de cette fermentation et la production d'acide mucique et d'acide oxalique par l'action de l'acide azotique sur ce sucre m'ont amené à le considérer comme un véritable glucosate de gomme ou de dextrine, répondant à la formule $C^{24}H^{18}O^{18} + 6HO = C^{12}H^9O^9 = 5HO + C^{12}H^9O^9\,.\,HO$. Comme il est assez inutile de s'arrêter ici sur les caractères des matières sucrées non fermentescibles et des glucosides, je prendrai la liberté de renvoyer le lecteur aux détails insérés à ce sujet dans mon ouvrage sur les sucres, et j'aborde dès maintenant les questions de technologie relatives à l'extraction du sucre prismatique (1).

ESSAI DES MATIÈRES SACCHARINES. Le sucre prismatique étant l'objet principal, sinon unique, de cette étude, je laisserai de côté les autres espèces sur lesquelles il est fourni des indications suffisantes en d'autres endroits de cet ouvrage, dont une reproduction ne pourrait faire qu'un double emploi inutile.

Le sucre prismatique se trouve « dans les tiges du *saccharum officinarum;* dans le tronc des *acer saccharinum*, *dasycarpum*, *campestre*, *rubrum*, *platanoïdes*, *pseudo-platanus*, *tartaricum*, *negundo*, etc.; dans la racine de *beta vulgaris* et *cycla*, de *pastinaca sativa*, de *daucus* et de *sium sisarum*. On trouve aussi du sucre (dont l'espèce n'est pas toujours bien déterminée) dans les nectaires de presque toutes les fleurs, dans les fruits de *cucumis melo* et *chate*, *carica papaya*, *achros sapota* et *mammosa*, *mammea americana*, *durio zibethinus*, *chrysophyllum microcarpum;* de plusieurs espèces d'*annona*, de *musa paradisiaca* et *sapientum*, et de *phœnix dactylifera*, dans les tiges de *zea mais*, *borassus flabelliformis*, *mipa fruticans*, *cocos fructifera*, *pinus abies*, *carpinus betulus*, etc.; dans les racines de *triticum repens*, *hydrophylax maritima*, *polypodium vulgare* (2). »

On peut ajouter à cette liste le *bambou*, le *bouleau blanc*, le *noyer blanc*, le *varech sucré*, la racine de *persil*, etc.

Comme il importe extrêmement de s'assurer, en industrie, de la présence du sucre dans les matières premières que l'on veut traiter, on a proposé divers moyens d'essai, dont un résumé rapide ne peut qu'intéresser le lecteur.

Essai par dessiccation. Ce mode d'essai exige la connaissance préalable de la composition de la plante à examiner. En prenant la betterave pour exemple, si l'on coupe des tranches très-minces au milieu d'une racine,

1. *Guide pratique du fabricant de sucre*, par N. Basset; vol. I, page 68 et suiv.

2. L. Gmelin, *Chimie organique*, 1823.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on en prenne le poids exact, et qu'on les fasse ensuite sécher à l'étuve, jusqu'à ce qu'elles soient devenues cassantes et ne perdent plus de leur poids, le résidu indiquera le chiffre des matières solides et, par différence, celui de l'eau de végétation. Si l'on sait, d'autre part, que la betterave renferme un poids N de matières solides autres que le sucre, le poids du résidu moins N indiquera la proportion de sucre renfermé dans le poids des tranches examinées, d'où il sera facile de revenir à la proportion centésimale.

Ce procédé est inexact, à raison des différences et des écarts de composition dus à la nature du sol, aux engrais, au climat, au mode de culture, etc.

Essai par évaporation. Après avoir divisé la matière essayée, on exprime la pulpe, on la lave et on la presse à plusieurs reprises, puis on fait évaporer le liquide filtré, au bain-marie, jusqu'à siccité. Du poids du résidu, comparé à celui de la matière première, on déduit par approximation la proportion du sucre; mais, comme ce sucre est accompagné de matières étrangères qui n'ont pas été séparées, le résultat est toujours exagéré, et le procédé ne présente pas plus de valeur que le précédent, sinon moins encore.

Essai par fermentation. En faisant fermenter le jus d'une matière sucrée, extrait aussi exactement que possible, on déduit de l'alcool obtenu le chiffre du sucre cristallisable, qui est de 100 parties pondérales pour 53.80 d'alcool. Ce procédé est encore illusoire, puisque, dans la plupart des circonstances, le sucre prismatique est accompagné de sucre de fruits ou de glucose, et qu'en outre la fermentation produit des corps dérivés du sucre différents de l'alcool. On comprend, d'ailleurs, que l'on puisse également prendre pour base du calcul la quantité d'acide carbonique dégagé par la fermentation, en adoptant le coefficient $\frac{51,46}{100}$, mais les objections qui viennent d'être faites n'en conservent pas moins toute leur valeur.

Essai par élimination. Ce procédé a été indiqué par M. Péligot. On pèse une certaine quantité de tranches de betteraves, prise dans le rayon, c'est-à-dire entre l'écorce et le centre, et on la fait sécher avec soin à + 100°, jusqu'à ce qu'on ne constate plus de perte de poids. La différence entre le résidu et le poids primitif donne la proportion d'eau. Le résidu sec, pulvérisé, et traité à plusieurs reprises et à l'ébullition par l'alcool à 85°, donne encore un résidu insoluble, que l'on fait sécher, afin de connaître par différence le poids du sucre dissous dans la liqueur alcoolique. On pourrait également l'obtenir en faisant évaporer celle-ci au bain-marie jusqu'à dessiccation. Si l'on traite le résidu insoluble dans l'alcool par l'eau bouillante, on dissout l'albumine et la plupart des sels, et la partie insoluble, desséchée, donne le poids du ligneux, tandis que les matières différentes du sucre sont dosées par différence.

Ce mode d'essai est le plus simple et le plus complet de ceux qui ont été proposés.

Essai par la Calcimétrie. — Ce mode d'essai, dû à M. Péligot, repose sur le dosage du sucre par la proportion de chaux dissoute dans un liquide sucré, et il est basé sur ces faits, que 1000 parties d'eau dissolvent 1 partie de chaux hydratée, Ca O, HO, et qu'un équivalent de sucre (2137,5) dissout un équivalent de chaux hydratée (462,5). On comprend que le liquide à examiner, porté vers + 80° de température, et additionné d'un lait de chaux en excès, puis filtré avec les précautions nécessaires pour éviter les pertes, soit soumis à une vérification volumétrique à l'aide d'une liqueur acide titrée, permettant d'apprécier la quantité de chaux dissoute. J'ai indiqué dans mon ouvrage spécial les raisons pour lesquelles ce mode me paraît être d'une flagrante inexactitude. Je me borne à rappeler que les liqueurs essayées peuvent contenir des substances différentes du sucre et pouvant s'unir à la chaux, que l'on n'est pas encore très-certain de la combinaison qui s'effectue entre le sucre et la chaux dans cette condition, enfin, que la chaux met en liberté les alcalis des jus, ce qui donne lieu à une appréciation exagérée.

Essai densimétrique — On essaye encore souvent les jus sucrés en prenant leur densité, soit à l'aide de l'aréomètre de Baumé, soit à l'aide du densimètre centésimal. A ce propos, il n'est pas inutile de faire observer que l'aréomètre, dit de Baumé, n'est plus maintenant l'instrument de ce chimiste, et qu'il est construit sur des bases toutes différentes, celles de Baumé étant incertaines et arbitraires. On a pris pour le 0° la densité de l'eau pure et pour le 66°, celle de l'acide sulfurique pur et monohydraté à 1,842. En représentant la densité par d et le nombre des degrés de Baumé correspondant par N, on a donné les formules suivantes, à l'aide desquelles on peut revenir des degrés de densité aux degrés de Baumé et réciproquement.

$$d = \frac{144.300,}{144,3 - N} \qquad N = 144,3 - \frac{144.300,}{d}.$$

Il y a encore un instrument dont nos voisins d'outre-Rhin font grand cas, sous le nom de saccharimètre de Balling, lequel marque 0° dans l'eau distillée, 1° dans une dissolution de sucre pur en poids pour 99 d'eau, etc.; mais, comme il est facile de s'en rendre compte, cette sorte d'aréomètre, pas plus que tous les autres, ne peut donner d'appréciations exactes que pour les solutions de sucre pur.

Les indications du densimètre de Gay-Lussac donnent pour résultat de l'appréciation une augmentation de 1 gramme par litre pour chaque dixième de degré et cette augmentation pondérale correspond à 2 gr.,44 de sucre dissous. La fraction réelle est 2 gr.,444987555. Un centième de sucre dissous par litre équivaut à une augmentation de densité de 0,00409.

Si l'on se sert de l'aréomètre de Baumé, on trouve que cet instrument marque 1° dans une liqueur contenant 0,018 de sucre par litre, et que le 35me degré correspond à 0,666 de sucre. On obtient la valeur très-approchée d'une solution sucrée en multipliant le nombre de degrés de Baumé par le nombre fixe 0,0185, qui est la moyenne entre les densités faibles et les densités élevées. Un sirop à 50 °/₀ de sucre, dont la densité est de 1,230, marque environ 27° Baumé.

Dosages du sucre. — Procédé Payen. —On obtient une liqueur d'épreuve en ajoutant 50 centimètres cubes d'acide acétique de 1050,98 de densité (7° B.) à 1 litre d'alcool à 0,88, et en faisant dissoudre dans le liquide 50 grammes de sucre blanc et sec pulvérisé. Suivant M. Payen, cette quantité est celle qui est nécessaire à la saturation, mais pour que le liquide reste saturé malgré les variations de température, on y introduit un excès de sucre candi blanc. Pour essayer un sucre, on en prend un échantillon moyen dont on pèse 10 gr., qu'on introduit dans un tube à expériences. On agite d'abord avec 10 centimètres cubes d'alcool anhydre, pour enlever l'eau de l'échantillon; on laisse reposer, on décante et on laisse égoutter. On agite alors avec 50 cent. cubes de la liqueur d'épreuve, puis on laisse reposer, on décante. On recommence encore cette opération, puis on lave le résidu avec de l'alcool à 98°. Ce résidu, recueilli sur un filtre, lavé et séché, donne par différence le poids des matières étrangères solubles. On obtient le poids des substances étrangères insolubles en faisant dissoudre le sucre dans l'alcool à + 60°, on filtre, on lave le filtre, on fait sécher et l'on prend le poids des matières insolubles. Ce procédé, aussi minutieux que puéril, ne peut apporter aucun avantage à la pratique et n'a pas été adopté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SUCRE.

Procédé de M. Dumas. — Après avoir ajouté à un litre d'alcool, à 85°, 50 grammes d'acide acétique à 8° B., on ajoute dans la liqueur un excès de sucre, de manière à la saturer. Ce liquide marque 74° à l'alcoomètre, et on s'en sert pour le dosage du sucre. En agitant 50 gr. de sucre avec un décilitre de liqueur d'essai, on dissout les matières solubles; on laisse reposer, et la liqueur filtrée est essayée par l'alcoomètre, qui accuse une diminution de 0,01 pour chaque degré d'augmentation de densité. Ce procédé est nécessairement incomplet, puisqu'il ne tient nul compte du chiffre des matières minérales, ni d'autres substances étrangères.

Saccharimétrie. — La saccharimétrie a pour objet de déterminer la nature et la proportion du sucre contenu dans un liquide. Elle se pratique par deux méthodes dont l'une, basée sur des réactions de chimie, porte le nom de saccharimétrie chimique, et l'autre, fondée sur les lois qui régissent la lumière, se nomme saccharimétrie optique.

Saccharimétrie chimique. — On sait que le sucre est un *réducteur* énergique, c'est-à-dire qu'il enlève facilement l'oxygène à un certain nombre de corps. Les faits de la saccharimétrie chimique sont basés sur cette propriété.

D'après M. Maumené, un morceau de mérinos blanc, ayant été imbibé par une dissolution de bi-chlorure d'étain dans le double de son poids d'eau, et séché ensuite, peut servir à reconnaître la présence du sucre en ce que, si l'on fait tomber sur ce mérinos une goutte du liquide essayé et qu'on l'expose à la chaleur, l'étoffe noircit si le liquide renferme du sucre. Ce n'est ici qu'une sorte d'appréciation qualitative.

D'après M. Elsner, la solution d'acide arsénique, mélangée avec celle du sucre prismatique, du sucre de raisin ou du sucre de fécule, prend une belle couleur rose au bout de cinq ou six heures. Cette couleur passe ensuite au pourpre, puis après plusieurs jours, au rouge brun.

En faisant bouillir 50 à 60 grammes d'eau additionnée de 2 ou 3 grammes de carbonate de soude, et de 1 ou 2 grammes de sous-azotate de bismuth, si l'on ajoute un peu de la solution sucrée à essayer, le bismuth se précipite en poudre noire dans le cas de la présence du sucre de fécule.

La dissolution du tartrate de cuivre dans la potasse est réduite à l'ébullition par les solutions de glucose, et il se précipite du sous-oxyde rouge de cuivre. La dissolution d'acétate de cuivre précipite également de l'oxydule de cuivre, quand on la fait bouillir avec une dissolution de sucre prismatique; celle de sulfate de cuivre précipite du cuivre métallique ; il en est de même de la dissolution d'azotate de protoxyde de cuivre (CuO, AzO^5); le chlorure d'or et les azotates d'argent et de mercure précipitent le métal à l'ébullition en présence d'une dissolution sucrée.

Ce sont ces phénomènes de réduction qui ont servi de bases au procédé de la saccharimétrie chimique, dont voici le résumé succinct.

La méthode de Frommherz repose sur la réduction par le glucose d'une solution d'essai ou liqueur saccharimétrique renfermant du cuivre dissous dans la potasse. On prépare cette solution cupro-potassique dans de très-bonnes conditions par la méthode suivante. On dissout 40 gr. de sulfate de cuivre dans 160 gr. d'eau, et l'on y ajoute 3 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque. On prépare à chaud une seconde solution contenant 80 gr. de crème de tartre et 130 gr. de soude dans 600 gr. d'eau distillée, que l'on place dans un vase d'un litre. On y ajoute le sel de cuivre ammoniacal et l'on complète le volume avec de l'eau distillée.

Il sagit de titrer cette liqueur. Pour cela on fait dissoudre à chaud 1 gramme de sucre prismatique pur et sec dans 80 grammes d'eau environ. On ajoute alors à la liqueur 6 à 8 gouttes d'acide chlorhydrique, et l'on porte à l'ébullition pendant 5 minutes. Tout le sucre cristallisable est changé en sucre liquide $C^{12}H^9O^9 + 3HO$. Après refroidissement, on verse le liquide dans une éprouvette graduée, on lave la capsule avec un peu d'eau et l'on ajoute au liquide le produit de ce lavage, puis on complète exactement le volume de 100 cent. cubes, et l'on agite. 1 centimètre cube de cette solution renferme 1 centigramme de sucre cristallisable interverti.

On introduit de la liqueur saccharimétrique jusqu'au 0° de l'échelle, dans une burette compte-gouttes graduée en dixièmes de centimètres cubes ; on remplit également une burette semblable avec la dissolution de sucre interverti. On prend alors un *tube d'essai*, à large diamètre (fig. 2), dans lequel on introduit quelques centimètres

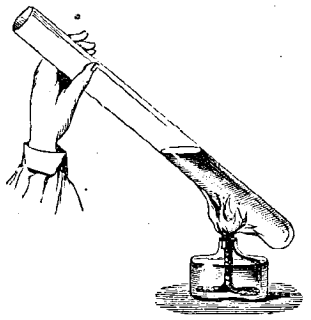


Fig. 2.

cubes de la liqueur saccharimétrique, et l'on ajoute si l'on veut, un peu d'eau distillée pour augmenter le volume, puis on porte à l'ébullition et l'on ajoute à ce moment et goutte à goutte, de la solution sucrée, en rétablissant l'ébullition à chaque addition, jusqu'à ce que la décoloration soit complète.

Ce résultat étant obtenu, on lit sur les burettes le volume de la solution cupro-potassique employée, et celui de la solution sucrée qui a suffi pour le décolorer. Le reste de l'appréciation n'est plus qu'une affaire de calcul, puisque chaque centimètre cube de la solution sucrée représente un centigramme de sucre prismatique ou une quantité proportionelle de sucre liquide. On inscrit sur le flacon le résultat obtenu.

Pour tous les essais saccharimétriques à faire par cette méthode, on se trouve en face de deux circonstances, dont il faut tenir compte : ou le jus extrait, le liquide donné, la solution essayée, ne renferme que du glucose, ou il contient en outre du sucre prismatique. Dans tous les cas, on commence par faire la décoloration d'un petit volume de la liqueur saccharimétrique, à l'aide de la liqueur sucrée normale versée goutte à goutte, et l'on tient note du résultat, c'est-à-dire de la quantité de sucre incristallisable trouvée dans la solution. Aussitôt après, on fait bouillir 100 centimètres cubes de la même liqueur sucrée, avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique et, après l'interversion, on laisse refroidir, et l'on rétablit le volume de 100 centimètres cubes avec de l'eau. Cela fait, on exécute un nouvel essai, avec cette liqueur transformée, et l'on obtient un nouveau résultat, dont la valeur égale le chiffre du glucose préexistant dénoncé par la première opération, plus celui du sucre prismatique transformé en glucose. On soustrait du total le premier de ces chiffres, et l'on ramène le reste à la valeur du sucre prismatique, en tenant compte des deux équivalents 2137.50 et 2250.

Tous les essais de toutes les matières sucrées se font

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exactement sur la même base et de la même manière, en observant toutefois de pratiquer la décoloration, lorsqu'elle est indispensable, comme dans le cas de certaines mélasses. Cette décoloration se pratique par l'acétate de plomb, le plus habituellement, mais je préfère m'en dispenser et me contenter d'atténuer le liquide essayé jusqu'à ce que la nuance en soit devenue insignifiante. Il suffit à la décoloration d'essai de ramener les nuances à l'identité.

Il est bon de savoir que $8^{grs},55$ de sucre prismatique correspondent à 9 grammes de sucre de raisin.

Il y a une objection sérieuse à faire contre ce procédé, au moins dans les cas où l'on veut l'employer pour rechercher le sucre dans des matières peu connues, où il peut se trouver accompagné d'une foule d'autres substances. Cette objection repose sur ce fait que le sel de cuivre est réductible par un grand nombre d'autres corps différents du sucre, et que, par conséquent, dans beaucoup de circonstances, il est impossible de se prononcer d'une manière absolue sur les résultats.

Saccharimétrie optique. La saccharimétrie optique est basée sur les changements imprimés à la lumière par une colonne de dissolution sucrée.

Les lois de la polarisation circulaire et les données relatives au spectre, à la réflexion, à la réfraction sont indiquées en différents endroits de cet ouvrage, et il devient inutile d'y consacrer une longue description.

M. Biot a beaucoup étudié les phénomènes de la polarisation circulaire et il en a fait avantageusement l'application à l'appréciation des sucres, dont les uns sont dextrogyres et les autres lévogyres. Voici la reproduction de la table des rotations et des richesses sucrières correspondantes, dressée par le savant observateur.

Tableau des rotations imprimées au plan de polarisation d'un même rayon rouge par diverses proportions de sucre de canne, dissoutes dans l'eau distillée, et observées à travers une même épaisseur de 160 millimètres.

Proportion de sucre candi dans l'unité pondérale de la dissolution.	Densité de la dissolution, celle de l'eau distillée étant 1.	Arc de rotation décrit par le plan de polarisation du rayon rouge à travers une épaisseur de 160 millimètres.
0,01	1,004	0,888
0,02	1,008	1,783
0,03	1,012	2,684
0,04	1,016	3,593
0,05	1,020	4,509
0,06	1,024	5,432
0,07	1,028	6,363
0,08	1,032	7,300
0,09	1,036	8,244
0,10	1,040	9,196
0,11	1,045	10,153
0,12	1,049	11,128
0,13	1,053	12,104
0,14	1,057	13,087
0,15	1,062	14,079
0,25	1,105	24,413
0,50	1,231	54,450
0,65	1,311	75,394

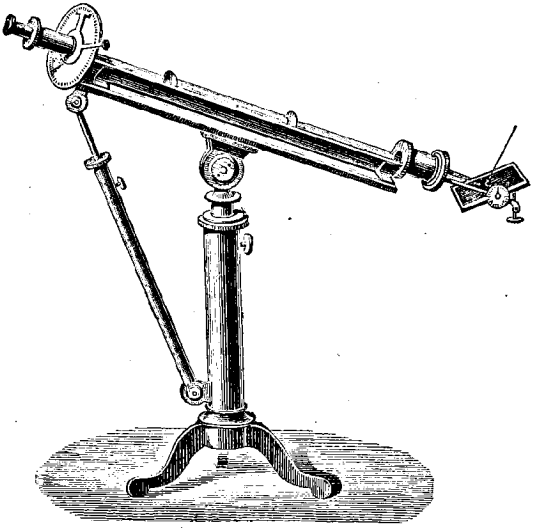


Fig. 3.

L'instrument de M. Biot est représenté fig. 3.

Depuis les recherches de cet homme éminent, beaucoup d'autres physiciens se sont occupés de la même question, et sans qu'on ait à s'arrêter à l'instrument de M. Mitscherlich, qui n'est guère qu'une imitation de celui de M. Biot, il peut être utile de décrire sommairement celui de M. Soleil, modifié encore et perfectionné par M. J. Duboscq. Cet appareil, connu sous le nom de *saccharimètre*, et représenté par la figure 4, n'est au fond, pour l'observateur, qu'un tube formé de trois parties, dont deux fixes, comprenant les deux extrémités de A à B et de C à D; l'autre, mobile, formant la portion centrale que l'on insère entre les deux autres, B et C, et qui est tantôt un simple tube BC, long de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

20 centimètres, tantôt un tube B'C', long de 22 centimètres et muni d'un thermomètre (fig. 5). Ces tubes ont été remplis de la dissolution sucrée dont on veut déterminer le titre.

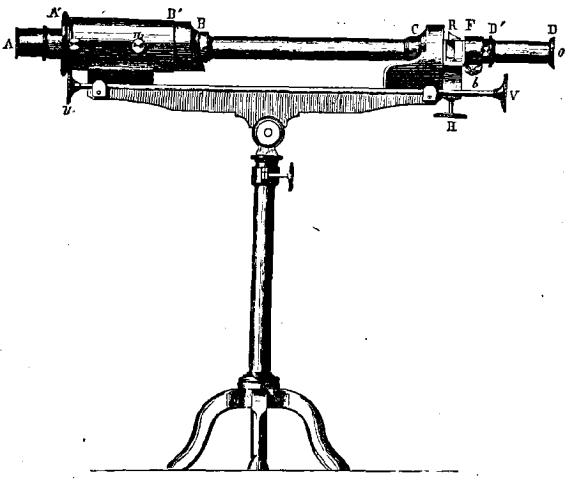


Fig. 4.

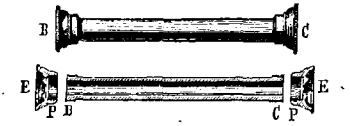


Fig. 5

L'opérateur ne doit faire attention qu'à cinq organes ou parties mobiles, sur lesquelles seules il doit agir :

1° Un petit tube mobile antérieur ou porte-oculaire DD', contre lequel il applique son œil, et qu'il enfonce ou retire vers lui, de manière à voir distinctement à travers le liquide ;

2° Un petit bouton vertical V, qui sert à régler l'instrument, à faire coïncider le zéro de l'échelle avec le zéro de l'indicateur (fig. 4) ;

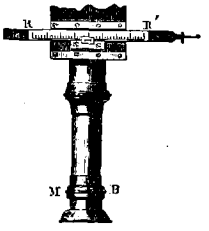


Fig. 6.

3° Un grand bouton horizontal H (fig. 4 et 7), par lequel on rend uniforme la teinte de l'objet de la vision ;

4° Un anneau molleté B, à l'aide duquel on donne à ce même objet de la vision la teinte ou la couleur la plus propre à une évaluation précise ;

5° Enfin une règle divisée ou alidade RR', sur laquelle on lit le nombre qui donne la richesse du sucre examiné (fig. 4 et 6).

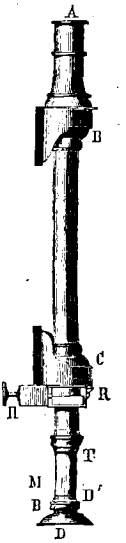


Fig. 7.

Manière d'opérer. — 1° Devant l'ouverture du saccharimètre on place une lampe modérateur ou toute autre bien allumée, de manière que la lumière passe par l'axe de l'instrument et le traverse ;

2° On remplit d'eau pure un tube semblable à celui qui contient la solution sucrée, et on l'insère dans l'appareil, à la place qui lui est réservée entre la partie oculaire et la partie objective ; puis, plaçant son œil à la partie antérieure D, on enfonce ou l'on retire le tube mobile DD' jusqu'à ce qu'on voie distinctement, à l'extrémité du saccharimètre situé du côté de la lampe, une surface circulaire ou un cercle rond partagé en deux demi-disques ou demi-cercles égaux, colorés chacun, soit d'une seule et même teinte ou nuance, soit de de deux teintes ou nuances différentes et séparées par



Fig. 8.

une ligne noire qui doit apparaître bien tranchée et bien nette (fig. 8) ;

3° Si, comme cela arrive en général, les deux demi-disques n'ont pas la même teinte, ne sont pas colorés de la même nuance, on tournera le grand bouton horizontal H, soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, jusqu'à ce que les teintes ou couleurs des deux demi-disques soient parfaitement identiques et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'œil ne puisse discerner entre elles aucune différence ;

4° On fait tourner le bouton molleté B, soit de droite à gauche, soit de gauche à droite, jusqu'à ce que les deux demi-disques soient colorés de la teinte sensible. Si, quand on est arrivé à la teinte sensible, l'égalité de nuances n'était pas absolument parfaite, on la rétablirait en revenant au bouton horizontal H ;

5° On regardera si, sur la règle divisée, la ligne ou trait zéro coïncide exactement avec le trait ou la ligne noire de l'indicateur I. Si la coïncidence n'est pas parfaite, on l'établira en faisant tourner soit de haut en bas, soit de bas en haut, le petit bouton vertical V.

L'instrument alors est parfaitement réglé, et l'on peut procéder à la détermination de la richesse et du titre de la dissolution sucrée;

6° On retire le tube rempli d'eau et on lui substitue le tube rempli de la dissolution sucrée. En regardant après cette substitution, on verra que l'uniformité de teinte n'existe plus, que les deux demi-disques sont colorés de nuances différentes. On rétablit l'uniformité en faisant tourner le grand bouton horizontal, jusqu'à ce que les deux nuances soient parfaitement identiques.

Comme la solution sucrée est le plus souvent colorée, la teinte uniforme rétablie n'est pas, en général, la teinte sensible, à laquelle il faut cependant revenir et que la couleur propre de la dissolution a fait disparaître: on fera donc aussi tourner le bouton molleté pour ramener la teinte sensible ; cette teinte revenue, l'égalité des nuances des deux demi-disques que l'on avait crue établie ne sera pas parfaite, et il faudra faire tourner encore une fois le bouton horizontal H pour qu'elle soit absolue ;

7° La teinte des deux demi-disques étant bien uniforme, bien égale, et cette teinte étant bien la teinte sensible, il ne reste plus qu'une chose à faire, c'est de regarder sur la règle divisée RR' à quel trait de l'échelle correspond le trait de l'indicateur, celle des divisions qu'il indique : le nombre correspondant à cette division donne immédiatement en centièmes le titre ou la richesse de la solution sucrée.

La méthode générale, qui sert de guide dans la pratique du saccharimètre, repose sur quelques données très-simples : 1° une dissolution aqueuse de 16gr,35 de sucre candi pur et sec et d'un volume de 100 centimètres cubes, observée dans un tube de 20 centimètres, marque 100° au saccharimètre ; 2° il s'ensuit que pour essayer un sucre brut on doit en peser 16gr,35, le faire dissoudre dans l'eau, le décolorer par l'acétate de plomb, porter le volume à 100 centimètres cubes, filtrer, puis faire l'observation; comme il peut se trouver du sucre incristallisable dans le sucre essayé, on prend 50 centimètres cubes du même liquide, et on y ajoute 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur et fumant; on chauffe jusqu'à + 68°, on laisse refroidir, on filtre et l'on fait l'observation, dont les résultats sont évidemment en sens inverse ; 4° pour l'analyse des mélasses, on procède exactement de la même façon et en deux fois avec la liqueur normale et avec la liqueur acidulée, mais on a la précaution d'agir avec un poids et un volume triples de ce que l'on fait avec le sucre pur; 5° pour les jus de canne à sucre ou vesous, on prend un poids donné de canne à sucre, dont on exprime le jus, et l'on procède également aux deux notations avant ou après acidulation; 6° on procède de la même façon pour le jus de betterave.

M. Clerget, qui a consacré de nombreuses années à l'étude de la saccharimétrie optique, a dressé des tables de résultats fort intéressantes, qu'il est malheureusement difficile de reproduire, mais on peut se dispenser de les consulter et obtenir par le calcul le pouvoir rotatoire et la richesse sucrière d'une solution observée au saccharimètre, en se servant de la formule suivante, indiquée par M. Moigno : soient T la température à laquelle on opère, S la somme ou la différence des déviations avant ou après l'inversion, la différence si elles sont du même sens, la somme si elles sont de sens contraire, P le pouvoir rotatoire, R la richesse saccharine ou la quantité de sucre contenue dans un litre de la solution, on a :

$$P = \frac{200\,S}{288 - T} \qquad R = \frac{P \times 16{,}35}{10} = P \times 1{,}635.$$

« A la température de + 15°, la déviation, avant l'inversion, étant de + 75°, après l'inversion de + 20°, on aura : S = 95 ; P = 69,507 ; R = 113,79. La table donne 70 et 114gr,45. »

Une observation importante à faire à l'égard de la saccharimétrie optique, observation qui a même été l'objet de débats dans les assemblées législatives, repose sur ce fait que le résultat de l'observation varie suivant les observateurs, et que les résultats du même observateur peuvent encore varier suivant certaines dispositions matérielles ou morales, qui influent sur la vision, en modifient l'acuité, ou procurent des différences dans les teintes sensibles. On ne peut guère garantir les résultats de la saccharimétrie optique à une approximation plus grande que 1 ou 2 centièmes. En somme, le mode d'essai le plus certain pour le fabricant est l'essai par élimination ou le procédé de M. Péligot; le plus rapide, donnant également de très-bons résultats pour les matières dont la composition générale est connue est l'emploi du réactif de Frommherz, ou de la liqueur cupro-potassique. J'indique un peu plus loin d'une manière sommaire les procédés à suivre pour déterminer les matières différentes du sucre qui peuvent exister dans les jus à traiter en industrie, cette détermination étant de la plus haute importance manufacturière et devant être considérée comme une opération usinière préparatoire.

CULTURE DES PLANTES SACCHARIFÈRES.

Il n'existe aujourd'hui que la betterave, la carotte, la canne et le sorgho qui puissent être considérées comme des plantes saccharifères de grande culture, et ce qui suit sera appliqué spécialement à ces plantes, avec d'autant plus de raison qu'il n'est pas probable que d'ici à une longue série d'années d'autres plantes sucrières importantes se présentent à l'exploitation.

En ce qui concerne l'étude du sol en général, de ses éléments constituants, des conditions de fertilité des sols, tant par leur composition que par les engrais et les amendements, l'article agriculture du présent Dictionnaire fournit des notions très-suffisantes, et il est à peu près inutile de revenir ici sur ces questions.

A un point de vue plus spécial et relativement aux conditions agricoles à réaliser pour la production du sucre prismatique, il convient de choisir les terres fraîches, riches en humus, plutôt sablo-calcaires qu'argileuses, pour y cultiver les plantes à sucre. Avant toutes choses, on doit éviter les terrains trop riches en matières azotées non décomposées, ou en sels alcalins solubles, et surtout en chlorures. Cela tient à la facilité avec laquelle les plantes sucrières s'assimilent les alcalis, dont la présence est extrêmement nuisible aux opérations de l'usine et à la production saccharine elle-même. Il convient de se rappeler, en outre, que les engrais trop azotés, les excitants trop énergiques, conduisent à l'augmentation du volume des plantes saccharines et, en même temps, à la diminution de la richesse sucrière.

L'ameublement du sol à une aussi grande profondeur que possible est une des conditions indispensables à cette culture, les plantes saccharifères ayant besoin d'un sol très-perméable à quelque point de vue que l'on se place. De même, une des plus grandes fautes qui aient été commises sous ce rapport consiste dans le défaut d'assolement, grâce auquel les plantes arrivent à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la dégénérescence par l'appauvrissement du sol, et qui conduit directement à une diminution progressive dans les rendements culturaux.

En ce qui concerne les engrais favorables aux plantes sucrières, on doit rejeter tous les engrais essentiellement azotés, et les excitants ne devront être employés qu'à une faible dose reconnue utile par l'expérimentation. Les chiffres de C.-W. Johnston donnent à ce sujet des détails intéressants, appliqués au froment, mais que l'on peut parfaitement rapporter à toutes les plantes sucrières, dont le produit essentiel, le sucre, est du même groupe que l'amidon. Suivant cet observateur :

Les *engrais végétaux* ont fourni 60 d'amidon et 10 de gluten.

Le fumier d'étable a produit	62	d'amidon et	12	de gluten.	
— de cheval	—	62	—	14	—
— de mouton	—	42	—	33	—
Le sang	—	41	—	43	—

Pour la betterave, l'avantage des racines petites ou moyennes est très-marqué par rapport aux grosses racines, et tous les observateurs conviennent que le sol ne doit être fumé que l'année qui précède sa culture ; que, sur fumier neuf, elle acquiert plus de volume, mais aux dépens de la matière sucrée. Payen lui-même, après avoir professé l'opinion contraire par rapport à la canne, déclare la même chose, et il ajoute qu'un excès de substances azotées et salines dans le sol rend très-difficile l'extraction du sucre.

Le guano ne peut être employé qu'à titre d'excitant, et à la faible dose indiquée par l'expérience.

La carotte, dans le cas où l'on aurait à la cultiver pour sucre, se trouve placée dans les mêmes conditions.

Il est reconnu pour la canne à sucre que les pailles et les engrais enfouis en vert sont la fumure par excellence de cette plante, que les sels minéraux lui sont nuisibles, mais qu'elle redoute surtout les matières animales ou les engrais trop azotés, et que, si le guano lui fait acquérir un grand développement, c'est au détriment de la valeur sucrière. La canne redoute les matières salines autant que la betterave, et cette affirmation est le résultat d'expériences positives.

De même encore, le sorgho ne veut qu'une vieille fumure ou des engrais enfouis en vert, des débris végétaux, et redoute les engrais ammoniacaux ou azotés et l'excès inutile de matières salines.

Les plantes saccharines requièrent impérieusement la destruction des mauvaises herbes, la plus grande propreté, et des binages réitérés produisant une bonne aération du sol.

En ce qui concerne la récolte des plantes sucrières, elle ne doit se faire, sauf les cas d'accidents ou d'intempéries, que lorsque ces plantes ont atteint leur maximum de richesse saccharine, c'est-à-dire lorsque leur jus cesse d'augmenter de densité.

Les principes à appliquer pour la conservation des plantes sucrières se bornent à empêcher la fermentation, c'est-à-dire à procéder par abaissement de la température au-dessous de + 5°, par élimination du ferment, des matières albuminoïdes ou de l'eau, par l'action du froid et la soustraction de l'air.

CULTURE DE LA BETTERAVE. — La betterave paraît avoir été introduite d'Italie en France vers 1595, suivant Olivier de Serres. Elle appartient au genre *bette*, de la famille de Chenopodées (pentandrie digynie de Linné). On en connaît un très-grand nombre d'espèces, parmi lesquelles il convient de signaler seulement la betterave de Silésie, betterave à sucre française (acclimatée), blanche à collet vert; la jaune blanche de Castelnaudary, la jaune pâle à chair blanche... J'ai trouvé plusieurs fois une très-grande richesse sucrière dans la jaune longue, la jaune ovoïde des Barres, et la jaune globe. Les races allemandes sont très-riches, mais ne produisent qu'un petit rendement en poids par hectare. Les principales variétés de ces races sont : la blanche allemande à collet vert, la blanche de Magdebourg, la blanche de Breslau, la blanche impériale, la blanche électorale.



Fig. 9.

On connaît sous le nom de betteraves acclimatées des betteraves allemandes auxquelles la culture a fait



Fig. 10.



Fig. 11.

prendre plus de volume sans trop en abaisser la richesse; on peut obtenir le résultat inverse avec la race française par sélection, et en augmenter la richesse sucrière sans en diminuer le volume. C'est ce qui résulte, d'ailleurs, des observations et des expériences de M. Vilmorin.

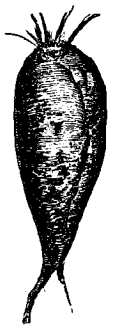


Fig. 12.

Au point de vue de la division pratique, on peut ranger toutes les betteraves en quatre groupes principaux, suivant les formes de la racine, lesquelles sont représentées par les types des figures 9, 10, 11, 12.

En ce qui concerne la structure anatomique de la betterave, il est utile de savoir que cette plante est d'autant plus riche en sucre qu'elle est plus abondante en zones concentriques vasculaires, très-reconnaissables à leur coloration blanche, que la portion supérieure des racines, qui a crû hors de terre, que le collet renferme très-peu de sucre et beaucoup plus de sels que les autres portions ; mais il ne semble pas que l'importance attribuée par les Alle-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mands à la configuration des feuilles puisse être l'objet d'une observation sérieuse.

La betterave à sucre aime une terre franche, plutôt sablonneuse, perméable, pauvre en matières minérales et riche en humus, et aussi profonde que possible. On doit repousser les terres salpêtrées, riches en matières salines et surtout en chlorures alcalins.

Le sol doit être préparé aussitôt après la moisson par un labour préparatoire ; puis, avant l'hiver, par un second labour plus profond ; enfin par un labour de printemps, suivi d'un hersage. M. de Valcourt a conseillé la culture en billons, que M. Decrombecque a pratiquée avec succès.

Avant tout, la terre à betterave doit être assainie, être très-perméable et riche en humus. L'expérience a démontré les bons effets de l'acide phosphorique et des phosphates employés comme amendement, mais les véritables observateurs sont unanimes pour rejeter les chlorures et les alcalis, qui sont toujours plus nuisibles qu'utiles.

La betterave doit être cultivée sur vieille fumure, et l'engrais auquel on doit donner la préférence est le fumier de ferme, à la dose de 50,000 kilogrammes par rotation de quatre ans. Les engrais verts sont très-utiles à la betterave, mais le guano doit être rejeté de sa culture de la manière la plus absolue. M. Corenwinder considère cette matière non-seulement comme un mauvais engrais, appauvrissant les betteraves, mais encore comme la cause de la plupart des difficultés de travail rencontrées dans les usines (1).

La terre ayant été bien préparée, on procède à l'ensemencement du 15 avril au 15 mai, et même un peu plus tôt, si la température le permet, si l'on n'a pas à craindre les dernières gelées du printemps.

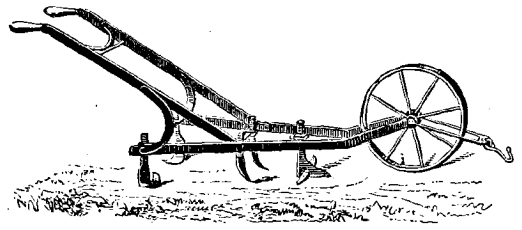


Fig. 13.

On se procure de la semence provenant d'une bonne espèce sucrière, on la débarrasse par le frottement ou par une opération mécanique des aspérités, et après l'avoir fait tremper pendant 48 heures, dans de l'eau ou du jus de fumier étendu, ou de l'eau de chaux, ou de la dissolution de salpêtre (5 p. %), dans un mélange d'eau et d'urine, ou une dissolution de phosphate acide de chaux, on la praline avec de la chaux éteinte ou des phosphates en poudre. Puis on sème, soit à la volée, soit en rayons, en demeure ou en pépinière. Le semis sur place en rayons est préférable pour la fabrication sucrière, et les rayons sont écartés de 45 à 50 centimètres pendant que les graines sont placées de 25 à 35 centimètres l'une de l'autre. Cette opération peut s'exécuter à la main derrière le rayonneur, ou au semoir. Il vaut mieux employer une quantité de graine un peu plus considérable pour éviter les manquements. Le semis à la main, en lignes, demande 3 kilogrammes, l'ensemencement au semoir 6 kilogrammes, et le semis à la volée 12 kilogrammes au moins.

Quand on sème en pépinière pour replanter ensuite, on emploie de 30 à 40 kilogs par le semis à la volée pour un hectare, et il faut compter un hectare de pépinière pour 12 ou 15 hectares de transplantation.

La profondeur la plus utile pour l'ensemencement est d'environ 13 millimètres.

Dans le cas de semis en pépinière, les jeunes racines seront transplantées dans un terrain bien préparé et bien meuble, vers la fin de mai, lorsqu'elles ont acquis la grosseur du petit doigt. On a soin de conserver autant que possible le pivot et de couper les feuilles à 10 centimètres du collet. La plantation se fait à une distance de 25 à 30 centimètres dans tous les sens. On peut faire cette opération au plantoir, à la bêche ou à la charrue.

La betterave est une des plantes qui exigent le plus de façons et de binages. Les betteraves semées sur place doivent être sarclées aussitôt qu'elles ont trois ou quatre feuilles, et l'on bine le plant repiqué aussitôt qu'il est bien repris. Il faut à la betterave au minimum une surface de 6 décimètres carrés, et le maximum correspond à 18 décimètres carrés. La moyenne entre ces deux chiffres est extrêmement convenable pour les races françaises. On exécute un second binage lorsqu'on a éclairci les plants pour les mettre à distance convenable, puis on en fait un troisième vers la fin de juillet. Il a été reconnu d'ailleurs que le buttage est très-avantageux aux betteraves destinées à la sucrerie, mais que ces racines ne doivent pas être effeuillées, sinon 8 ou 10 jours avant l'arrachage. On comprend que ces cultures puissent être exécutées à la charrue dans la culture en lignes et, parmi les engins usités, la houe à cheval (fig. 13) est un des plus convenables et des plus commodes.

On a observé que la quantité de chaleur nécessaire à la betterave, depuis l'ensemencement jusqu'à la maturité, est de 3000° à 3150°. La température moyenne du climat de Paris, d'après Bouvard, fournit 3239° du 10 avril au 31 octobre. Il a été constaté que les betteraves sont moins riches dans les années qui n'atteignent pas le chiffre normal de 3000°.

En général, la richesse saccharine des betteraves est en raison inverse de leur grosseur. D'autre part, il a été reconnu par les observations de M. Péligot, par celles de Scheibler, que la proportion du sucre s'élève avec la durée du séjour de la racine en terre.

On doit arracher les betteraves aussitôt qu'elles sont mûres, c'est-à-dire lorsque leur richesse sucrière cesse de s'accroître, et que la végétation s'arrête, ce qui est indiqué par les feuilles, qui jaunissent et se fanent. On enlève la fane en la tordant, puis on extrait les racines, soit à la main, soit à l'instrument, à la bêche ou à la charrue, suivant les cas ; on évite de les froisser en détachant la terre, et on les laisse pendant quelques jours sur le sol, si la gelée n'est pas à craindre, afin de les faire sécher. Dans le cas contraire, on les transporte sous un hangar, où on en opère le triage pour séparer les racines altérées et meurtries.

L'usage général en France est de conserver les betteraves en silos, mais la règle fondamentale est de les maintenir à une température moyenne de + 6° à + 7°, en les soustrayant à l'humidité, et en les aérant d'une manière convenable. En somme, les moyens de conservation applicables suivant les cas sont la dessiccation en cossettes, la congélation, vers — 4° ou — 5°, dans les pays où elle est possible, la mise en tas, la conservation en magasins, en caves, hangars ou celliers, et l'en-

(1) Les lecteurs qui seraient désireux d'approfondir la question culturale relativement aux plantes sucrières, et pour lesquels ces données sommaires seraient insuffisantes, peuvent consulter le livre très-complet et très-détaillé consacré à cette étude dans le *Guide du Fabricant de sucre*, vol. 1, p. 269 et suiv.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

silage. J'ai indiqué il y a fort longtemps l'interposition du poussier de charbon comme un excellent moyen de conservation des racines. Th. de Saussure et M. Stenhouse l'ont également préconisée.

En Russie, à cause de l'âpreté de l'hiver, on préfère conserver les racines dans des caves installées spécialement pour cet usage. En France, on emploie de préférence la mise en tas, ou l'ensilage. La première de ces deux méthodes est assez peu avantageuse, l'action des gelées se faisant sentir plus aisément dans cette condition, et les betteraves étant exposées à subir la putréfaction.

L'*ensilage* des betteraves se pratique de la manière suivante :

A la partie la plus élevée du champ, inaccessible aux eaux provenant des pentes voisines, on creuse un fossé de 1m,50 de largeur moyenne sur 1m,20 environ de profondeur, et une longueur arbitraire. La fig. 14 ci-dessous

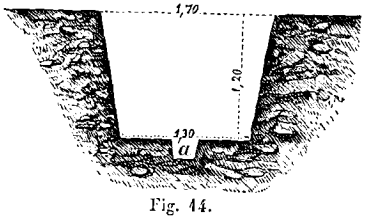


Fig. 14.

donne une coupe transversale de ce fossé. Dans le fond, on pratique un fossé plus petit ou une rigole *a*, qui règne dans toute la longueur, et à laquelle on donne environ 30 centimètres de largeur et de profondeur. Cette rigole sert de carneau d'écoulement pour les gaz et pour les eaux qui pourraient pénétrer accidentellement dans le silo. On la remplit de fascines, dont on dispose également une couche de 10 centimètres dans le fond même du silo.

Cela fait, on place les betteraves dans le silo, avec le plus de régularité possible, en mettant les plus grosses en dessous : on a soin de dresser à chaque extrémité, et de 2 mètres en 2 mètres, une fascine ou un clayonnage vertical, qui repose sur la fascine de la rigole *a* et s'élève jusqu'au sommet du tas. Cette fascine est destinée à servir de cheminée d'aération. Lorsque les racines sont placées jusqu'au niveau du sol, on continue le tas au-dessus de ce niveau, mais en le disposant en forme de toit, comme l'indique la figure 15. Cette figure fait

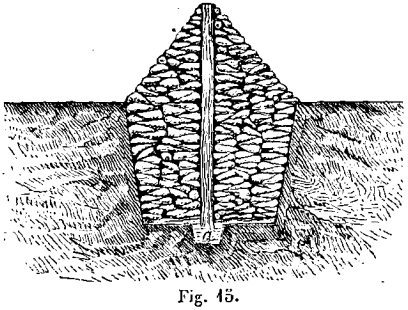


Fig. 15.

également apercevoir la disposition d'un clayonnage vertical servant de cheminée d'aération.

Lorsque les choses sont ainsi exécutées, on recouvre la partie hors de terre, formant toit, à l'aide de 30 centimètres de terre que l'on bat fortement avec le dos de la pelle, en commençant par le bas. On établit alors de chaque côté une rigole parallèle au silo et qui est destinée à l'écoulement des eaux, en sorte que la coupe définitive peut être parfaitement représentée par la figure 16. Un orifice *b* reste découvert au-dessus de

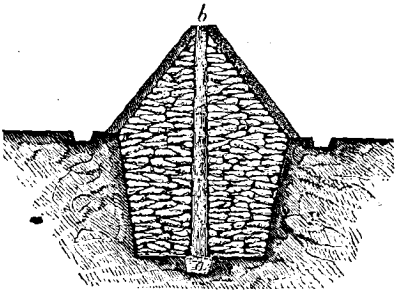


Fig. 16.

chaque cheminée d'aération. Ces orifices, ainsi que les deux extrémités de la rigole *a*, correspondant aux cheminées d'aération, sont bouchés pendant les froids à l'aide d'un tampon de paille, appliqué avec soin ; mais on a soin d'enlever ces bouchons toutes les fois que le temps le permet.

Ce mode de conservation serait le plus convenable et le plus parfait, si l'on avait soin d'interposer entre les betteraves du poussier de charbon de bois ou du tan. Il est indispensable de laisser les betteraves découvertes ou très-peu couvertes, jusqu'à ce que les tas soient refroidis et bien ressués; c'est alors seulement que l'on procède à la couverture à l'aide de la couche de terre indiquée par la figure 16.

La betterave doit être assolée et une des plus grandes fautes que l'on ait commises a consisté à la cultiver en grand nombre d'années de suite sur le même sol. Sa véritable place dans une rotation est après un blé fumé, ou avant un blé et après un chanvre ou un colza fortement fumé. Elle succède également très-bien aux féverolles fumées et à toutes les plantes qui exigent un engrais considérable. La betterave est une des meilleures préparations pour le froment.

Le rendement de la betterave par hectare pourrait être très-considérable, en admettant les moyens d'une culture rationnelle et sérieuse : on a obtenu plus de 80000 kilogrammes en Silésie. Aujourd'hui le rendement ne paraît pas dépasser la moyenne pratique de 45000 kilogrammes. Les frais de culture s'élèvent au maximum à 10 fr. aux mille kilog. sur ce rendement, et une récolte plus abondante conduit nécessairement à une diminution de ce chiffre. En fait, le prix de revient rapporté au sucre est à peu près le même en France qu'en Allemagne, soit d'environ 20 fr. par sac de sucre pendant qu'il atteint 27 fr. en Russie. Le produit en sucre d'un hectare peut varier suivant le rendement cultural, et à la richesse moyenne de 10, 5 %, de 2000 à 5000 kilog. par hectare.

Les expériences de M. Vilmorin ont démontré que la betterave est extrêmement docile aux améliorations qu'on veut lui faire atteindre, mais la réciproque est vraie, et il est peu de plantes qui soient aussi sensibles à l'influence de la culture et des engrais. (1).

(1) En ce qui concerne la culture de la carotte, et surtout de la carotte blanche, qui pourrait rendre de très-grands services comme succédanée de la betterave, comme cette culture n'a pas encore été adoptée par la fabrication sucrière, le lecteur pourra se reporter à ce qui a été dit dans le *Guide du Fabricant de sucre*, vol. I, p. 623 et suiv.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CULTURE DE LA CANNE A SUCRE. — La canne à sucre (fig. 17) est une grande et belle plante de la famille des

et j'ai en outre observé la présence du glucose dans les nœuds supérieurs de la canne, au-dessous de la flèche



Fig. 17.

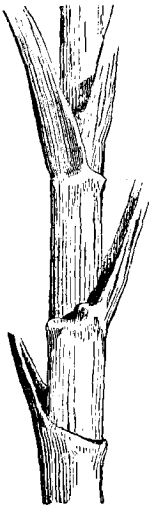


Fig. 18.

graminées, du genre saccharum, et de la tribu des andropogonées. La disposition particulière des feuilles engainantes et opposées, genouillées au point où elles se séparent de la gaîne, et celle des bourgeons axillaires, placés au niveau des nœuds, est indiquée par les figures 18, 19 et 20, et ces figures, dessinées d'après nature, permettent d'éviter une description aussi longue que fastidieuse. Lorsque la canne est arrivée au terme de sa croissance, il s'élance de son sommet un jet allongé, surmonté par une panicule de fleurs blanchâtres (fig. 21), et ce jet porte aux colonies le nom de flèche. Les tiges de la canne ne sont pas creuses, comme cela arrive dans beaucoup de graminées; le tissu en est plein, rempli d'une moelle spongieuse, traversée longitudinalement par des faisceaux vasculaires très-nombreux, dont on peut apprécier la disposition par les figures 22 et 23. En ce qui concerne la structure de cette plante, on remarque entre la périphérie et le centre un vernis extérieur, formé de cérosie ; l'épiderme ; une masse de tissu cellulaire traversée par les faisceaux vasculaires ; ceux-ci plus abondants vers la périphérie. Le tissu cellulaire renferme le sucre, mais on trouve des granules d'amidon dans les jeunes tiges et dans les parties non mûres, et dans la flèche même, en sorte que les observations faites sur cette plante semblent conduire à cette conclusion que le sucre prismatique dérive du glucose par une simple déshydratation, laquelle est produite par la maturation de la plante. On remarque que cette observation est contraire aux conclusions de M. Péligot, qui accusait seulement du sucre cristallisable dans la canne, mais qui n'avait probablement pas expérimenté sur des parties non mûres, et à différentes époques de la végétation.

Les principales variétés cultivées de la canne à sucre sont : la *canne violette*, la *batavia* ou *violette à rubans*, la *canne verte à rubans*, la *canne d'Otaïti* et la *canne de Bourbon*, ou *canne créole*. La canne violette à rubans ou canne de Batavia est très-vigoureuse et paraît résister le mieux aux intempéries. C'est ce qui semble résulter de la culture des États-Unis, et ce que j'ai pu constater moi-même dans des expériences suivies à Paris.

La canne végète très-bien dans les terres fortes, basses ou humides, mais elle y devient moins riche en sucre et renferme plus de sucre liquide. En partant à la fois des principes et de l'expérience, on trouve qu'il faut à la canne une terre riche en humus, substantielle, profonde,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-meuble ou facile à ameublir, d'une humidité moyenne, comme les sols légers d'alluvions argilo-

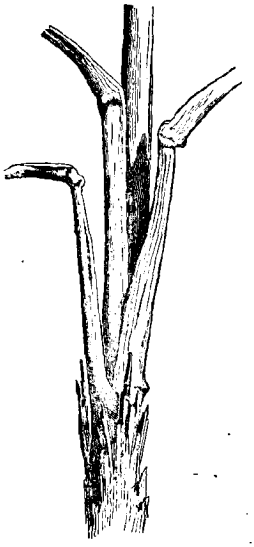


Fig. 19.



Fig. 20.

sablonneux et riches en débris végétaux. Elle craint les terres *neuves*, nouvellement défrichées et, au point

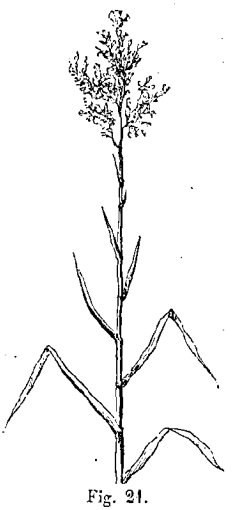


Fig. 21.



Fig. 23.

de vue de la production sucrière, il est préférable de la cultiver sur des vieilles terres, malgré les préjugés de certaines localités. Dans beaucoup de contrées, on pratique l'écobuage des terres neuves, destinées à la canne, et cette opération est très-profitable en ce qu'elle fait disparaître l'excès de l'ammoniaque et des matières azotées.

En général, on partage les terres en pièces carrées, aboutissant au chemin d'exploitation, et séparées entre elles par des intervalles de 5 à 7 mètres. Dans ces

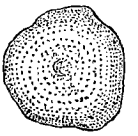


Fig. 22.

pièces, on creuse à la houe des fosses de 0m,45 à 0m,50 de long sur 0m,35 de large et 0m,16 à 0m,20 de profondeur. La terre qui en provient est mise à côté pour recouvrir plus tard la jeune plante, à peu près comme nous agissons dans la culture des asperges.

Il faut très-peu de matières minérales à la canne, bien qu'elle puisse les absorber en proportion assez notable. C'est surtout une plante à silice. Ses principaux besoins correspondent à la nécessité de l'air et de la lumière pour les parties aériennes, à un grand assainissement du sol, un ameublissement convenable, et beaucoup de perméabilité quant aux portions souterraines. La composition de ce sol sera toujours bonne, si elle se rapproche de la moyenne générale. L'emploi des amendements pour la canne est soumis à des règles d'expérience et de sens commun, en vertu desquelles on doit admettre que si l'argile calcinée et pulvérisée, le chaulage, le marnage, l'addition de phosphates, peuvent être très-utiles, l'usage des cendres crues, des platras et autres matières riches en principes salins doit être proscrit.

Les meilleurs engrais pour la canne sont les pailles de la plante, les engrais verts, le fumier et les composts formés surtout de bagasses épuisées. Quant au guano, toutes les observations sérieuses portent à le proscrire d'une manière absolue, et il en est de même des engrais liquides, à moins qu'on ne les emploie à très-faible dose, et comme excitants, dans la préparation des composts. Le mode d'application des engrais varie nécessairement suivant la méthode de culture employée, mais il importe de recouvrir toujours la substance fertilisante.

L'époque de la plantation de la canne doit se choisir de manière à donner à la plante la plus longue durée possible, et de façon que, dans le cours de sa végétation, elle puisse profiter, pour son développement, de la saison humide, et pour sa maturation, de la saison sèche. Aux Antilles, on plante du commencement de septembre à fin décembre, de janvier à avril et du milieu d'avril au milieu de juin. La meilleure règle consisterait à suivre les idées de M. de Caseaux, et à planter en mai pour récolter un an plus tard.

Les cannes se reproduisent de rejetons ou de boutures, que l'on doit choisir aussi robustes que possible ; les yeux doivent en être bien portants et vigoureux, et provenir d'un tronçon bien développé. On doit éviter les entre-nœuds du sommet comme trop tendres et trop aqueux.

Les boutures ou les œilletons et rejetons de canne se plantent au plantoir, à la houe, à la charrue, en carré, en quinconce, en ligne, en fosse ou sur ados. La plantation peut se faire dans la verticale ou obliquement, ou encore horizontalement dans les fosses. Quand on plante en lignes, continues ou interrompues, soit à la charrue, soit à la main, il est bon de faire déposer l'engrais dans le fond du sillon, de le recouvrir d'un peu de terre et d'y planter ensuite les boutures ou les œilletons. On recouvre avec de la terre très-meuble sur une épaisseur de 10 à 12 centimètres. En somme, ce qu'on peut faire de mieux consiste dans la plantation en lignes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

continues, à 0m,25 ou 0m,30 de profondeur, que l'on fera suivre d'un remplissage progressif en temps utile. Il faut compter employer de 7 à 8000 kilogrammes de cannes pour la plantation d'un hectare.

Au bout de 8 à 10 jours, dans de bonnes conditions, on commence à voir sortir les bourgeons des plantations (fig. 24). Si les cannes ne reprennent pas toutes, on rem-



Fig. 24

place les manques; cette opération se nomme le recourage. Les autres soins de culture consistent dans deux ou trois binages, des sarclages, le buttage. Celui-ci ne doit pas dépasser 0m,25 à 0m,35 d'élévation verticale, mais avoir la plus large base possible.

Il importe également beaucoup au succès des plantations de cannes de pouvoir leur distribuer une dose d'humidité suffisante par des irrigations convenables. C'est le seul moyen d'éviter les retards dans la maturation, qui proviennent le plus souvent d'une reprise de la végétation, sous l'influence de la moindre pluie qui survienne à l'époque qui précède la coupe.

S'il est d'une mauvaise pratique d'enlever les feuilles vertes, il est très-utile de pratiquer l'effeuillage des feuilles sèches, afin de hâter la maturité des nœuds correspondants, mais je crois que la plus grande faute que l'on puisse commettre par rapport à la canne consiste dans l'abus des plantations intermédiaires, lorsque les lignes ne sont pas très-distancées.

La récolte de la canne doit se faire lorsqu'elle a atteint sa maturité industrielle, c'est-à-dire quand elle renferme le maximum de sucre cristallisable. Cette circonstance se présente un an, quinze mois ou même seize ou dix-huit mois après la plantation. Le colonel Codazzi a fourni à cet égard une donnée intéressante. Suivant cet observateur, la canne mûrit en douze mois par une température moyenne de + 25°,6; en quatorze mois par + 23°,2 et en seize mois par + 19°,2. On a émis l'opinion que les rendements en sucre sont proportionnels à la durée de la végétation, ce qui peut être exact dans certains cas, mais cependant ne doit pas être pris comme règle absolue. Suivant M. de Caseaux, un nœud est mûr lors de la chute de la feuille qui lui appartient et la canne ne gagnerait plus rien après le treizième mois. L'émission de la flèche n'est pas un indice certain de maturité, et souvent même cette circonstance correspond avec une plus mauvaise qualité du jus et une plus grande difficulté dans le travail.

Les nœuds de la canne mûrissent à partir du sol, c'est-à-dire en raison de leur âge, et la partie supérieure peut encore être en pleine végétation, lorsque les nœuds inférieurs ont dépassé la limite de la maturité. Les cannes folles venant de terres neuves, les flèches et les amarres, les cannes passées ou grillées, sont peu propres à la fabrication,

On n'a pas encore de moyens industriels sanctionnés par l'expérience pour conserver les cannes coupées, et en raison de l'altération rapide qui les fait entrer en fermentation, le mieux à faire est de traiter cette plante au fur et à mesure de la récolte.

On coupe les cannes par le pied, à l'aide d'un coutelas, et suivant une section oblique; on les divise en tronçons de 1 mètre à 1m,30; on les réunit en bottes, que l'on transporte aussitôt à l'usine. Il va sans dire que l'on supprime avec soin, à ce moment, les flèches au niveau du dernier nœud dont la feuille est tombée, le jus des portions supérieures non mûres ne pouvant que nuire à la fabrication.

La production moyenne d'un hectare de cannes est d'environ 70,000 kilogrammes en matière exploitable, avec une bonne culture, mais elle est souvent très-inférieure à ce chiffre, bien qu'il ait été démontré qu'on peut le dépasser beaucoup avec des soins bien entendus.

Le prix de revient des mille kilogrammes de canne peut être évalué en moyenne à 7 francs, dans des conditions rapprochées des cultures européennes.

Aussitôt après la récolte, il faut s'empresser d'ameublir le sol près des lignes, de réparer les accidents de la coupe sur les touffes, de rechausser les plantes, après leur avoir fourni les engrais et les amendements utiles; mais il va de soi qu'on ne peut vaquer à ces opérations qu'après avoir soigneusement enlevé les pailles et les amarres provenant du travail de la coupe. Ce n'est qu'à l'aide de soins sérieux et de l'adaptation, dans les limites du possible, des méthodes de la culture moderne, que l'on peut parvenir à conserver en bon état une plantation de cannes pendant une longue série d'années, sans être obligé de recourir à la mesure barbare du défrichement. J'ai conseillé le renouvellement partiel à l'égard de la canne à sucre, pour laquelle il me paraît aussi profitable que pour la vigne, pourvu que les lignes de culture soient suffisamment espacées.

Déjà la culture de la canne a fait en Algérie des progrès considérables, et dans un nombre d'années assez limité, il est à espérer que notre colonie africaine pourra prendre rang parmi les pays producteurs de sucre. J'ajouterai toutefois que les cannes d'Algérie sont moins riches en sucre cristallisable et renferment plus de glucose que les cannes des Antilles, ce qui nécessite plus de soins à la récolte et une élimination plus attentive des parties non mûres, que l'on peut, du reste, utiliser par la distillation.

CULTURE DU SORGHO SUCRÉ. — La canne à sucre du nord de la Chine (*holcus saccharatus*) est une graminée de la tribu des phalaridées (fig. 25), dont la racine persistante est douée d'une très-grande vitalité. Cette plante a été introduite en France par M. de Montigny en 1851.

Les observations culturales relatives à la betterave et à la canne s'appliquent en grande partie au sorgho quant au choix du sol, aux engrais et à la préparation de la terre.

La graine de sorgho, après avoir été trempée dans l'eau pendant un jour ou deux, se sème en lignes ou à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la volée, d'aussi bonne heure que possible, c'est-à-dire dès que les gelées ne sont plus à craindre, soit dans la



Fig. 25.

première quinzaine d'avril, afin de donner à la plante la plus longue végétation possible. On peut même semer en pépinière dès le mois de mars, pour repiquer lorsque la plante a atteint une hauteur de 0m,15.

Le semis de sorgho ne commence à lever qu'au bout de dix à quinze jours. On sarcle lorsque la plante a atteint 0m,10 à 0m,15, et l'on donne un second binage un mois après. Une ou deux irrigations sont utiles, pourvu qu'elles soient pratiquées avec modération. Chaque graine produit de six à huit cannes de deux à quatre mètres de hauteur, et dont le diamètre inférieur peut atteindre 0m,02 à 0m,03. Les épis ont de 0m,15 à 0m,40 et fournissent de 5 à 400 grammes de graine.

Le sorgho demande cinq à six mois pour arriver à sa maturité, qui s'annonce par la couleur violet foncé de la graine. La récolte se fait en coupant les cannes à mesure de leur maturité, et en supprimant les parties supérieures et la flèche.

Cette plante doit être traitée à mesure de sa récolte, et l'on ne sait encore rien de sérieux sur les moyens de conservation à employer.

Malgré l'utilité que l'on pourrait espérer du sorgho, à l'exemple des Américains, chez lesquels on est parvenu à donner à cette plante une véritable utilité en sucrerie, sa culture, après un engoûment peu réfléchi, a été presque abandonnée en France, sans motifs bien péremptoires.

En fait, le sorgho pourrait fournir 60,000 kilogrammes par hectare, au prix de revient de 8 francs à 8 fr. 50 aux mille kilogrammes, pour une richesse de plus de 80 kilogrammes de sucre prismatique (83,62), et 44k,10 de sucre incristallisable.

DE LA NATURE DES JUS SUCRÉS. — RÉACTIONS.

Dans les applications industrielles, les notions théoriques ont pour but principal de faire connaître la matière à traiter, les réactions par lesquelles elle peut être altérée, celles qui en favorisent l'extraction ou la préparation, en un mot, elles sont seulement le préliminaire obligé des opérations de manufacture. Quoi qu'on en ait dit, le travail usinier bien conduit ne doit être autre chose que la répétition faite en grand et dans des conditions économiques d'un travail de laboratoire bien exécuté. Les résultats doivent être similaires, si les détails ont été suivis avec autant de soin dans l'un et l'autre cas, et c'est une très-grande erreur, due surtout au manque de pratique et d'observation, que de vouloir établir une différence entre les résultats de laboratoire et les résultats manufacturiers, car une telle opinion équivaudrait à dire que l'une ou l'autre des deux manières d'opérer a été mal comprise.

Le côté sérieux de la question manufacturière en sucrerie repose sur des données essentiellement techniques, et ces données doivent être passées brièvement en revue avant d'entrer dans les détails des procédés proprement dits.

On doit connaître d'abord l'influence des matières étrangères sur le sucre, si l'on veut en opérer l'extraction d'une façon rationnelle et avantageuse. Or, le sucre peut être accompagné par des substances très-diverses. Il peut se trouver en présence de matières hydro-carbonées, de principes pectiques, de matières grasses, résinoïdes ou essentielles volatiles, de substances azotées, d'acides végétaux ou de bases végétales, de matières minérales ou extractives; enfin, les corps impondérables peuvent encore exercer une certaine action sur le principe saccharin.

Parmi les corps hydro-carbonés, la fécule se présente en première ligne, mais comme, à l'état normal, on peut toujours s'en débarrasser soit par filtration, soit par l'action de la chaux ou du tannin, on peut la considérer comme ne présentant qu'une importance assez secondaire.

La dextrine, la matière gommeuse et le glucose présentent cet inconvénient d'entraîner dans les eaux-mères une partie du sucre cristallisable, qui équivaut souvent à un poids égal de ces substances. D'autre part, on sait que le glucose se colore rapidement en brun marron sous l'influence des solutions alcalines, et l'on peut regarder la présence du glucose comme la cause principale de la coloration des sirops cristallisables.

On a beaucoup parlé de l'influence pernicieuse des principes pectiques sur la cristallisation, mais il paraît présumable que les auteurs de ces appréciations avaient fondé leurs raisonnements sur des données imaginaires. En effet, de *tous les principes pectiques*, les uns sont complétement insolubles par leur nature, les autres le deviennent par l'action des réactifs employés en sucrerie, et il n'y a pas lieu de s'en préoccuper. L'acide métapectique seul, ou l'acide parapectique, est soluble et ne peut se produire que par une très-longue ébullition, à laquelle on ne doit jamais avoir affaire.

Les graisses n'ont d'autre inconvénient en sucrerie que celui d'introduire de la glycérine dans les sirops, et d'engager un poids de sucre proportionnel dans les eaux-mères. Il est à noter que les acides gras seuls sont éliminés dans le travail. Les matières résineuses ou résinoïdes n'ont pas d'action chimique, à raison de leur insolubilité. Quant aux principes essentiels volatils, ils n'apportent un ennui dans les opérations que s'ils sont

ÉFERUS - Recherche & Classification numérique

doués d'une mauvaise odeur; mais, dans ce cas, il est des réactifs, tels que le tannin et l'acide phosphorique, qui ont la propriété de les éliminer ou de les transformer.

Les matières azotées ont une très-grande influence sur les solutions sucrées. En effet, par une ébullition prolongée dans les liquides aqueux, la plupart de ces matières pourraient devenir solubles, passer à une sorte d'état gélatineux, s'opposer à la cristallisation du sucre par l'épaississement des sirops, et engager une partie du principe extractible dans les eaux-mères ou mélasses. D'autre part, le ferment, qui est également une matière azotée, mais dont l'organisation n'est pas douteuse, peut réagir rapidement sur le sucre et le transformer en produits divers. Dans certaines conditions favorables, une partie de ferment peut détruire très-promptement cinquante parties de sucre, et ce résultat désastreux est loin d'être sans exemple dans la fabrication du sucre de cannes. On sait, d'ailleurs, que si le ferment est paralysé par la chaleur, il est détruit par les acides ou les alcalis, et précipité par la chaux et le tannin.

A propos des matières albuminoïdes, il convient encore d'ajouter que ces substances étant très-solubles dans les liqueurs alcalines même faibles, il est d'une extrême importance de les éliminer avant l'alcalisation des jus sucrés, laquelle se produit en fabrication par l'emploi de la chaux éteinte comme il est dit plus loin.

Tous les acides végétaux transforment le sucre en glucose par une réaction plus ou moins lente. L'acide acétique ne présente qu'une action très-faible, et le tannin est encore moins énergique. Un des acides les plus nuisibles en sucrerie est l'acide lactique, précisément en raison de la propriété qu'il présente, en dehors de celles dont il vient d'être question, de redissoudre les matières albuminoïdes, même quand elles ont été coagulées, ou qu'elles ont été rendues insolubles par les astringents.

L'action des bases végétales est insignifiante.

Les alcalis sont destructeurs du sucre, qu'ils transforment en glucose d'abord, et dont ils colorent ensuite la solution jusqu'au point de la faire passer au noir brun. Les carbonates alcalins eux-mêmes perdent leur acide carbonique en présence du sucre à l'ébullition, et repassent à l'état caustique. Après cette décomposition ils agissent comme les alcalis.

Le principal inconvénient de la chaux est de mettre dans les solutions sucrées les alcalis en liberté, ce qui expose à l'action destructive de ces bases. La baryte et la strontiane agissent sur le sucre dans le même sens que le chaux, ou à très-peu près. La lithine a été insuffisamment étudiée. La magnésie n'a que très-peu d'action. L'alumine est complétement inerte. Les oxydes de zinc, de fer et de plomb ne paraissent pas être entièrement précipités par les réactifs en présence du sucre.

Tous les acides minéraux transforment le sucre en glucose, d'autant plus rapidement que la dose en est plus considérable et la température plus élevée.

La plupart des sels entraînent une certaine portion de sucre dans les mélasses, même lorsqu'ils ne présentent aucune réaction nuisible. Tel est le cas des sulfates alcalins et des sulfates de chaux et de magnésie. Le sulfate d'ammoniaque se décompose, en partie, à mesure que la température s'élève dans les sirops, et cette décomposition met de l'acide sulfurique en liberté. Le sulfate d'alumine ne présente aucune espèce d'inconvénient chimique, sauf le cas où il se trouve en présence de chlorures, et il se forme un sulfate d'une autre base et du chlorure d'aluminium hydraté, facilement décomposable, qui réagit par son acide chlorhydrique.

Les chlorures solubles, les chlorures alcalins surtout entraînent dans les eaux-mères une quantité de sucre très-considérable, par suite de la propriété qu'ils présentent de se combiner à deux équivalents de sucre, et de former ainsi un composé presque toujours déliquescent. Le chlorure de potassium entraîne 4,582 de sucre par unité; le chlorure de sodium, 5,852; le chlorhydrate d'ammoniaque, 6,395, et le chlore considéré comme unité chimique immobilise 9,6457 de sucre prismatique.

Bien que l'acide phosphorique puisse transformer le sucre en glucose, les phosphates sont inoffensifs sur le principe saccharin, et l'expérience a démontré qu'ils favorisent la cristallisation de la masse, et ne retiennent qu'à peine poids pour poids de sucre immobilisé. Ils jouissent tous d'une propriété de décoloration très-énergique.

On connaît peu l'action des nitrates, mais les silicates solubles, conseillés dans un temps, ne peuvent qu'introduire dans les solutions des alcalis dont l'influence est pernicieuse.

Les matières extractives sont à peu près insignifiantes au point de vue de la sucrerie, et les principes colorants qui en font partie peuvent presque toujours être détruits ou éliminés à l'aide d'agents appropriés.

Quant aux corps impondérables, on doit avouer que les actions qui en résultent sont trop peu définies pour qu'on puisse en déduire des conclusions sérieuses; cependant, il est certain que la chaleur et la lumière agissent sur les dissolutions sucrées et les transforment en glucose, mais l'action du fluide électrique, très-énergique en présence du ferment, n'a pas encore été suffisamment étudiée dans les autres circonstances pour qu'il puisse en être question ici, même d'une manière sommaire.

PRINCIPES GÉNÉRAUX SUR LESQUELS EST BASÉE L'EXTRACTION DU SUCRE.

La fabrication ou l'extraction du sucre cristallisé comprend dans tous les cas : 1° la *préparation de la matière première*; 2° l'*extraction du jus sucré*; 3° la *purification du jus*; 4° la *concentration du jus purifié*; 5° la *filtration* et la *décoloration*; 6° la *cuite* ou complément d'évaporation; 7° la *cristallisation*; 8° la *purge* des cristaux; 9° l'*épuisement des eaux-mères*; 10° l'*utilisation des résidus*. Ces diverses opérations sont indispensables dans toutes les conditions, et quelle que soit la matière première dont on se sert. C'est précisément parce que ces opérations composent le travail type dans toutes les circonstances, qu'il est absolument indispensable d'en avoir une connaissance suffisante avant de se préoccuper des particularités.

1° *Préparation de la matière première.* — Dans l'état actuel de la fabrication, on a affaire à des racines ou à des tiges. Les racines doivent être nettoyées de la terre, des pierres et, en outre, on doit enlever les portions altérées du collet. Aujourd'hui, ce travail se pratique à l'aide du laveur mécanique, dont la figure 26 donne un aperçu très-suffisant. La préparation des graminées sacchariféres ne requiert pas de lavage, mais elle exige impérieusement la séparation des parties non mûres, qui ne peuvent qu'apporter un excès de glucose dans les sirops et déterminer l'immobilisation d'une quantité de sucre proportionnelle.

2° *Extraction du jus sucré.* — Pour extraire le jus sucré des matières sacchariféres, on est obligé d'agir par la pression ou par la macération, et presque toujours de diviser préalablement la substance à traiter. Cette opération comprend : 1° la division de la matière sacchariféres; 2° l'extraction du jus sucré par pression, par déplacement ou par macération.

La division de la matière première varie nécessairement suivant le mode d'extraction employé. Lorsqu'on procède par macération ou déplacement, on peut se contenter de diviser les racines en cossettes à l'aide du coupe-racines, et d'appliquer aux graminées sacchari-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fères un mode de division analogue, par l'action d'un instrument établi sur les principes du hache-paille,

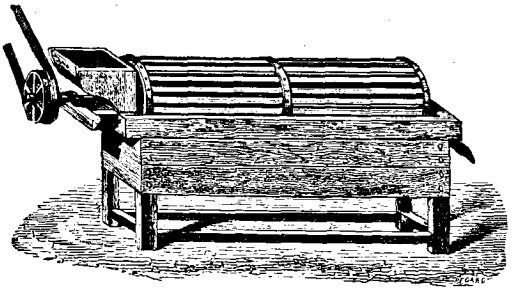


Fig. 26.

avec les modifications indiquées par la nature même de la matière.

Si le jus doit être extrait par pression, la division des racines sucrées doit se fait par la râpe, et au sujet de cet instrument bien connu, il convient de rappeler le principe sur lequel son action doit être réglée en sucrerie. Etant donnée la figure 27 représentant le cylindre

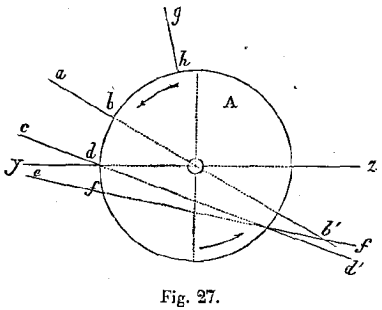


Fig. 27.

diviseur d'une râpe, si les racines arrivent à la râpe, au-dessus de son axe, suivant une direction *abb'*, par exemple, elles sont fortement repoussées et l'action des rabots devient très-pénible. Mais, en revanche, la pulpe est très-fine et la matière aussi bien divisée que possible, parce qu'elle reste plus longtemps au contact des dents de la râpe.

Si la matière arrive dans le plan de l'axe, suivant *edd'*, elle est moins repoussée, les rabots fatiguent moins et la besogne marche plus vite; mais la pulpe est moins fine. Enfin, lorsque les racines suivent une direction *eff*, au-dessous de l'axe du cylindre, celui-ci les attire avec une incroyable rapidité; mais la pulpe serait trop grosse et mal divisée si l'on n'avait la précaution de diminuer le calibre des dents de scie et de les rapprocher.

Il y aurait peut-être avantage à faire arriver la matière suivant une direction presque verticale *gh*; mais alors les rabots ordinaires devraient être remplacés par un levier et, dans tous les cas, on devrait faire parvenir les racines au cylindre, sur le côté, à quelque distance de la perpendiculaire au plan de l'axe, si l'on voulait obtenir une rapidité suffisante.

C'est l'inclinaison *eff* que l'on adopte de préférence en pratique, à raison de l'économie de temps qu'elle procure.

Le plus habituellement, la division des graminées sacharifères se fait par écrasement en même temps que l'extraction du jus par pression. Dans le cas des racines sacharifères et suivant le mode de division adopté, on extrait le jus de la matière divisée, soit par les presses ordinaires, à simple effet ou à effet continu, soit par les presses hydrauliques, ou par les filtres-presses, ou encore par la pression due à la force centrifuge dans des turbines ou des essoreuses. Les tiges sacharifères sont le plus souvent comprimées entre les cylindres d'un laminoir (moulin à cannes) qui les écrase, tout en expulsant une partie du jus (vesou) plus ou moins considérable.

La seule observation à faire au sujet de l'extraction des jus sucrés par pression repose sur ce fait, admis par tout le monde, que l'action de la pression, si énergique qu'on la suppose, n'est pas suffisante pour enlever toute la substance sucrée de la matière première. Il y a perte de jus dans les résidus, et cette perte équivaut en moyenne à 15 pour 100 du sucre, dans les conditions habituelles du travail. De même pour l'emploi des cylindres lamineurs dans le travail de la canne, on doit reconnaître que leur action est encore plus insuffisante, en ce sens qu'elle laisse dans les résidus ou bagasses une proportion de sucre plus considérable encore.

L'extraction par macération ou déplacement serait la plus rationnelle de toutes les opérations possibles, si elle était pratiquée d'une manière convenable, puisque, par ce moyen, on peut parvenir à l'épuisement à peu près complet de la matière sacharifère. Cependant, comme la question des frais de main-d'œuvre prime la situation, on s'arrête le plus souvent avant d'avoir complété l'extraction et, en pratique, il reste encore une certaine quantité de sucre dans la matière macérée (1).

3° *Purification du jus.* — Quel que soit le mode employé pour l'extraction d'un jus sucré, et quel que soit ce jus, la partie la plus importante du travail industriel à exécuter en sucrerie consiste dans la purification du liquide sucré. Cette opération doit être faite d'autant plus rapidement que la température ambiante est plus élevée, et que le liquide sucré renferme plus de ferments, de matières albuminoïdes. La purification du jus a pour objet de séparer les matières étrangères qui s'y trouvent suspendues ou dissoutes. Les premières peuvent s'éliminer par simple filtration; les secondes ne disparaissent que sous l'influence d'un traitement chimique. Le ferment et les matières albuminoïdes peuvent être séparées par le tannin, quelques substances azotées sont coagulables par la chaleur; presque tous les acides organiques et les bases végétales sont précipités par la chaux; un grand nombre de sels minéraux, végétaux ou mixtes, sont dans les mêmes conditions. Les matières colorantes sont absorbées par le charbon d'os. En résumé, toutes les substances étrangères doivent être éliminées ou transformées en produits inoffensifs, et la purification des jus comprend nécessairement, en suite de ce qui vient d'être dit, une purification mécanique ou filtration, une purification physique résultant de l'action de la chaleur, une purification chimique résultant de l'emploi de divers agents éliminateurs ou transformateurs, et enfin la décoloration.

La purification chimique des jus, la seule qui puisse offrir des difficultés d'exécution, peut être pratiquée

(1) Voir pour les détails relatifs à la macération le 2e vol. du *Guide du Fabricant de sucre*, page 101 et suiv.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec des agents fort nombreux. On a conseillé l'*acide sulfurique* à froid, les *chlorures d'oxyde*, l'*acide oxalique*, l'*acide sulfureux* et les *sulfites*, l'*alcool*, l'*acétate de plomb*, la *baryte*, la *strontiane*, les *aluns*, le *sulfate d'alumine*, le *sulfate de zinc*, le *sulfate de fer*, le *plâtre*, le *peroxyde de fer hydraté*, le *tannin*, la *chaux*, etc.

Les seuls réactifs dont l'emploi soit rationnel et justifié par la pratique expérimentale sont le tannin et la chaux, et c'est celle-ci qui est le plus habituellement employée. Dans la méthode courante, on porte le jus extrait à la température de + 85° à + 90°; on y introduit, en agitant, une proportion de chaux en lait prévue

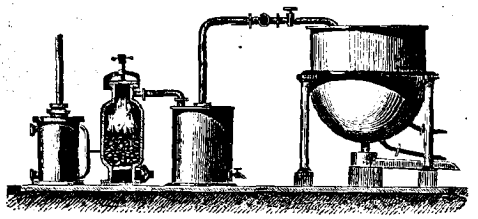


Fig. 28.

suivant la nature du jus, on porte au premier bouillon, et on laisse reposer, afin de pouvoir soutirer la partie claire. Les dépôts et les écumes sont ensuite soumis à une pression qui en extrait le jus sucré. Le dosage de la chaux ne peut guère se faire que d'une manière expérimentale, et il varie suivant la composition du jus. On considère, dans la pratique, que chaque degré de l'aréomètre de Baumé accuse la présence de 10 grammes de chaux hydratée sèche dans un litre de lait de chaux.

La principale objection à faire contre le chaulage emprunte surtout sa valeur à la présence du glucose, lorsqu'il existe dans les liquides sucrés. En effet, la chaux met les alcalis en liberté, et ceux-ci réagissent sur le glucose qu'ils colorent en brun, dans le cas où ce principe existe dans les liqueurs. Il convient encore d'ajouter que la chaux n'élimine qu'une partie seulement des matières étrangères du jus, et que l'action de cet agent est beaucoup moins complète qu'on ne l'avait cru autrefois. Si, au contraire, on a soumis les jus à l'action du tannin, que la liqueur ait été clarifiée avant le chaulage, ce qui est d'absolue nécessité, l'emploi ultérieur de la chaux n'aura plus que très-peu d'inconvénients et présentera le maximum d'avantages. Il se formera du tannate de chaux qui agira comme décolorant, et il suffira d'un très-faible excès de la terre alcaline pour décomposer les quelques sels qui auraient pu échapper à l'action du tannin.

Dans tous les cas, après l'emploi de la chaux, précédé ou non de celui du tannin, il est indispensable d'éliminer l'excès de cette même chaux, et c'est dans cette partie du travail que l'imagination des chimistes industriels semble avoir été de la grande plus féconditè. On a proposé et employé, pour éliminer la chaux en excès : l'*acide sulfurique*, l'*alun de potasse*, l'*alun d'ammoniaque*, les *sulfates d'ammoniaque*, *d'alumine*, *de magnésie*, *de zinc*, *de fer*, *de manganèse*, les *carbonates d'ammoniaque* et *de soude*, le *carbonate acide de chaux*, l'*acide oxalique*, l'*oxalate d'ammoniaque* et celui *d'alumine*, l'*acétate* de cette dernière base, le *bisulfite de chaux*, l'*acide borique*, le *savon*, les *acides gras*, la *caséine*, l'*acide phosphorique*, le *phosphate acide de chaux*, le *phosphate d'alumine*, le *phosphate d'ammoniaque*, etc.; enfin, l'*acide carbonique*, qui clôt à peu près cette longue liste de ces corps, bien qu'il soit un des premiers par ordre de date et qu'on l'emploie aujourd'hui en pratique courante (1).

(1) *Guide du Fabricant de sucre*, 2e vol., p. 135 et suiv.

Dans la pratique ordinaire, le jus clair sortant du chaulage reçoit un courant d'acide carbonique jusqu'à ce que la plus grande partie de la chaux soit transformée en carbonate, qu'il n'y ait plus qu'une très-faible réaction alcaline, et que la liqueur se débarrasse rapidement des matières suspendues. Il serait plus rationnel de pousser à son terme l'action de l'acide carbonique, plutôt que de laisser, suivant un préjugé trop répandu, un quantum fantaisiste d'alcalinité dans les liqueurs. L'acide carbonique est complétement inoffensif sur le sucre, sauf le cas où il se rencontre des pectates alcalins qui se transforment en mélapectates très-solubles, bruns, et colorent fortement les liquides. On obtient l'acide carbonique en sucrerie soit par la combustion du charbon, soit par la calcination du calcaire, soit encore par l'emploi simultané de ces deux moyens. La figure 28 représente l'appareil dit des frères Rousseau, qui est, à très-peu près, le même que celui de Barruel.

Cet appareil se compose d'une *pompe* pneumatique, d'un *four* pour la combustion du charbon, et d'un cylindre laveur. La pompe prend l'air extérieur par aspiration et le refoule dans le four, au-dessus de la grille qui supporte le charbon, et le gaz, produit par la combustion, est chassé dans le cylindre, d'où il est envoyé, selon le besoin, dans la chaudière à saturer.

D'accord en cela avec les chimistes les plus éminents et avec les spécialistes les plus distingués, j'ai conseillé de compléter la purification des jus par l'emploi de l'acide phosphorique ou d'un phosphate soluble dans le but de précipiter le reste de la chaux, et de transformer les carbonates alcalins en phosphates inactifs sur le sucre. Ce conseil, suivi par un grand nombre de fabricants intelligents, leur a donné les meilleurs résultats au point de vue de la séparation du sucre cristallisé et de la décoloration des produits qui ne peuvent plus se colorer de nouveau, puisque les phosphates alcalins ne réagissent pas sur le glucose de la même façon que les alcalis libres. Dans la pratique ordinaire, la décoloration des jus se fait par la filtration à travers une couche de noir d'os, qui est formé, sur 100 parties, de :

Phosphate de chaux.	76,2570
Carbonate de chaux.	8,4870
Phosphate de magnésie.	4,9395
Fluorure de calcium.	3,3165
Matières minérales.	90,000
Charbon d'origine organique. . . .	10,000
Total.	100,000

Les propriétés de cette matière ont été étudiées par MM. Bussy et Payen (1821), qui en ont reconnu la propriété décolorante et le pouvoir absorbant quant à la chaux. Malgré l'abus qui a été fait de cette matière, le noir peut rendre des services réels, comme décolorant, lorsqu'il n'est pas alcalin, et que les alcalis du jus ont été transformés.

M. Dumont a imaginé le premier d'employer le noir en grains comme matière filtrante, et son appareil, indiqué par la figure 29, a été fort longtemps le seul employé dans la fabrication et le raffinage des sucres. C'est un grand cylindre de tôle ou de cuivre AI pouvant contenir de 3,000 à 5,000 kilogrammes de noir; au-dessus du fond C se trouve postérieurement un trou d'homme B, pour la vidange du noir, lorsqu'il est *usé*, c'est-à-dire lorsque l'action décolorante a disparu. Un robinet F à flotteur G amène le liquide du réservoir J.

On place d'abord sur le faux fond une toile de coton mouillée, puis on charge le noir préalablement humecté; on le dispose par couches de 30 centimètres que l'on tasse au fur et à mesure. Lorsque le filtre est rem-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pli à 40 ou 50 centimètres du bord supérieur, on recouvre le noir d'une toile humide, et l'on place

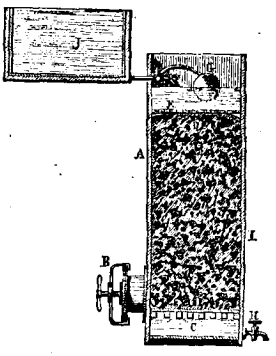


Fig. 29.

sur celle-ci un disque métallique perforé. Le flotteur sert à maintenir le liquide à un niveau à peu près constant.

La forme des filtres à noir a été modifiée depuis Dumont, mais on peut dire que les principes de la filtration sur noir n'ont pas varié. Cette filtration s'opère sous la pression ordinaire ou sous l'action d'une pression plus forte, empruntée à la vapeur et fonctionnant en vases clos.

Dans la pratique industrielle, il arrive souvent que l'on filtre sur noir les jus défécués et carbonatés, qu'on leur fait subir une deuxième filtration décolorante après concentration jusque vers 15° B., puis une troisième vers 27° ou 28° B., avant la cuite. Certains fabricants ne font que cette dernière filtration. Lorsque le noir n'a plus d'action, on l'épuise par lessivage (dégraissage) du jus sucré qu'il a absorbé, et on lui fait subir la revivification, par une nouvelle calcination.

4° *Concentration du jus purifié.* Le jus purifié et décoloré doit perdre par évaporation la plus grande partie de l'eau qui tient le sucre en dissolution, et cette élimination d'eau est l'objet de la concentration, qui peut se produire par le chauffage à la vapeur ou le chauffage par l'air chaud, à l'air libre ou dans le vide.

Sauf quelques fabriques arriérées des pays coloniaux, la plupart des établissements sucriers opèrent l'évaporation par la vapeur, soit à l'air libre, soit à l'aide du vide. Il ne conviendrait pas cependant de proscrire d'une manière absolue l'emploi du feu nu, car, en dehors du chauffage par masses, qui doit toujours être rejeté, le chauffage à feu nu par surfaces et le chauffage tubulaire pourraient rendre de très-grands services dans certaines conditions déterminées du travail. L'Anglais Fryer a appliqué à son appareil de concentration à feu nu les principes mis en lumière par Curaudau, et dont la

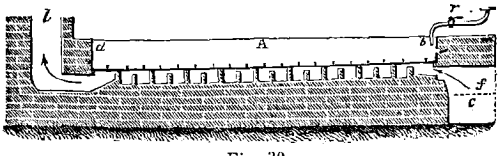


Fig. 30.

figure 30 fait comprendre les données. Dans l'idée de Curaudau, la flamme et les gaz chauds produits par la

combustion sont forcés de frapper le fond d'une chaudière plate A, légèrement inclinée de *b* en *d*, pour se rendre à la cheminée d'appel *l*. Le liquide à concentrer arrive en *b* par le robinet *r*, et des diaphragmes en chicane le forcent à circuler sur toute la surface de A jusqu'en *d*, sur une épaisseur moyenne très-faible de un à deux centimètres. Dans cette disposition, aucune des parties de la surface n'échappe à l'action du calorique; la plus forte chaleur s'applique aux liquides plus faibles en *b*, et les gaz chauds arrivent en *d*, presque dépouillés de leur calorique. Le danger de la caramélisation est presque écarté, puisque l'opération est continue et l'utilisation du calorique aussi complète que possible. Avec une chaudière de ce genre, on peut vaporiser, par mètre carré et par heure, de 70 à 100 kilogrammes d'eau, selon le tirage de la cheminée et la nature du combustible employé.

L'emploi de la vapeur est cependant beaucoup plus commode, puisque, avec un seul foyer, il est possible de transporter le calorique dans tous les points de l'établissement. Un véritable progrès accompli dans l'application de la chaleur à la concentration des liquides sucrés date de l'emploi des appareils à basse pression, ou des appareils à concentrer et à cuire à l'aide du vide. L'un des premiers qui aient été employés utilement est celui de Degrand, figure 31; il se composait d'une chaudière A et d'un serpentin C pour la condensation des vapeurs. La chaudière était chauffée par un tube intérieur en serpentin. Pour y faire le vide, on y introduisait de la vapeur par un tube et l'on chassait tout l'air contenu dans l'appareil par un robinet placé sur la sphère même, à l'extrémité du serpentin. Le liquide à concentrer était aspiré par des tubes. La condensation de la vapeur se faisait par un courant d'eau ou de jus, qui circulait sur les spires du serpentin en C, et qui y arrivait par un robinet dans une caisse de distribution G.

Cet appareil était destiné à faire la concentration du liquide sucré sur le serpentin de la caisse C et à en opérer la cuite dans la chaudière A, à basse pression. Tous les appareils qui ont été faits depuis reposent au fond sur les mêmes principes et présentent seulement des perfectionnements ou des améliorations de détail.

Au point de vue de la concentration, on applique également le vide, dans un but d'économie de combustible, à l'aide d'appareils qui sont dits à simple, double ou triple effet, suivant que l'on emploie une chaudière ou bien deux ou trois vases communiquants et commandés par une aspiration unique. On comprend que la chaudière à simple effet ne soit autre chose que la chaudière à basse pression ordinaire, dans laquelle une pompe fait le vide relatif, tout en aspirant les vapeurs produites. Dans les chaudières à effet multiple, outre cette organisation type, qui est le point fondamental de ces sortes d'appareils, la vapeur produite par l'évaporation du liquide dans la première chaudière est utilisée, en outre, pour l'échauffement du liquide de la seconde; la vapeur de la seconde sert à échauffer le liquide de la troisième, etc., c'est-à-dire que dans ces sortes d'appareils tout a été calculé dans le but d'économiser le plus possible de combustible.

On verra plus loin que la plupart des autres dépenses n'ont en sucrerie qu'une valeur très-relative, comparativement à celle qui résulte de l'application du calorique.

5° *Filtration des jus et sirops.* A divers temps de l'opération, et au fur à mesure de la concentration, les liquides perdent de leur limpidité par la précipitation ou la mise en suspension de substances dissoutes qui de-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

viennent graduellement insolubles. On débarrasse les liqueurs de ces substances par la filtration simple ou le

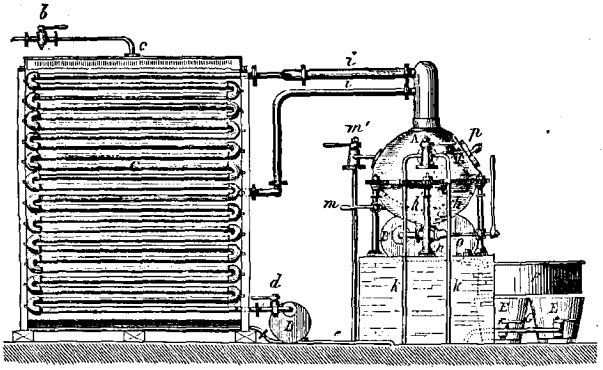


Fig. 31.

débourbage, à l'aide de la caisse ordinaire à débourber, fig. 32, ou du filtre Taylor, ou encore par filtration

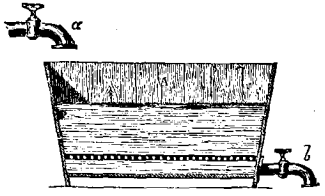


Fig. 32.

latérale. Le plus communément on filtre sur noir, dans des filtres plus ou moins analogues au cylindre de Dumont. En principe, un jus neutre, filtré sur noir neutre, parfaitement décoloré et dont les alcalis ont été transformés en phosphates, ne se colore plus à la concentration.

6° *Cuite des sirops*. La cuite n'est que le complément de la concentration. Les jus sucrés, filtrés, décolorés, amenés à 27° B. de densité, ou à 30 pour 100 de richesse saccharine, doivent être amenés en moyenne à 40 ou 42 pour 100 d'eau seulement pour laisser déposer le

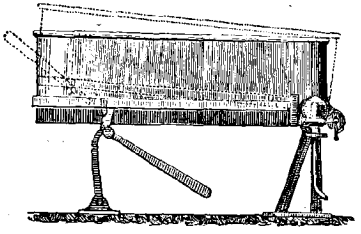


Fig. 33.

sucre par cristallisation. Dans la fabrication moderne, on complète la concentration, on fait la cuite, dans des appareils à basse pression ou à cuire dans le vide, dont il a été déjà parlé. Le sirop se cuit, en pratique, c'est-à-dire se concentre, jusqu'à ce que l'on obtienne ce qu'on appelle la *preuve*. Les différentes preuves sont celles au filet, au soufflé, à l'eau ou au boulé, au thermomètre. La preuve par la densité est défectueuse, en raison de l'épaississement du sirop.

En principe, les sirops neutres se cuisent bien, et ne présentent que la mousse caractéristique qu'on retrouve dans la concentration de tous les corps solubles; mais les sirops acides se colorent vers la fin, et les sirops alcalins noircissent en présence du glucose et moussent considérablement par suite de la présence des matières albuminoïdes dissoutes.

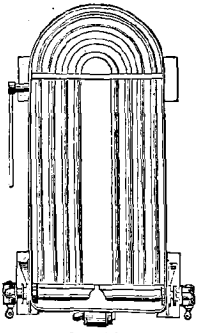


Fig. 34.

On peut faire à la cuite l'air libre ou dans le vide. Pour cette dernière cuite, le problème à résoudre, quoique fort simple, exige cependant une certaine attention et de l'habitude pratique, lorsque l'on veut produire la cristallisation dans l'appareil. C'est ce qu'on appelle la *cuite en grains*. Lorsqu'on est arrivé à un certain point de concentration, il est urgent de procéder par recharges successives dont les conditions sont expliquées en détail dans la suite de cet article. La cuite ordinaire, ou en sirop, n'est autre chose, même dans le vide, qu'une concentration poussée jusqu'à la preuve, qui ne dépasse pas habituellement le *filet*, ou la cuite à 15 pour 100 d'eau. La cuite à l'air libre se fait dans des chaudières à serpentin, basées en général sur la reproduction de la chaudière de Pecqueur, figures 33 et 34.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Appréciation du produit cristallisable par 100 kilogr. de masse cuite, selon le degré de la cuite.

Eau restant dans la masse.	Sucre dissous dans la mélasse.	Matières étrangères de la mélasse.	Produit brut cristallisable extractible.
15	32,70	19,05	33,25
14	30,52	17,78	37,70
13	28,34	16,51	42,15
12	26,16	15,24	46,60
11	23,98	13,97	51,05
10	21,80	12,70	55,50
9	19,62	11,43	59,95
8	17,44	10,16	61,40
7	15,26	8,89	68,87
6	13,08	7,62	71,30
5	10,91	6,35	77,74

Les diverses preuves avec les températures de l'ébullition auxquelles elles se produisent sont indiquées dans le tableau suivant :

PREUVES.	Température de l'ébullition.	Contenance sur 100 parties.	
		EN SUCRE.	EN EAU.
Filet.....	109°	85	15
Crochet léger....	110 ,5	87	13
Crochet fort.....	112	88	12
Soufflé léger....	116	90	10
Soufflé fort.....	121	92	8
Cassé petit.....	122	92,67	7,33
— grand.....	128 ,5	95,75	4,25
— sur le doigt.	132 ,5	96,55	3,45

Ces chiffres présentent des différences notables avec la table de Dutrone.

DEGRÉS du thermomètre centigrade.	THERMOMÈTRE de RÉAUMUR.	EAU de dissolution enlevée à chaque degré du thermomètre.	PRODUIT en sucre qui peut cristalliser pour chaque degré.
	Degrés.	kil. gr.	kil. gr.
103,75	83	» »	» »
105,00	84	4,810	8 »
106,25	85	11,560	19,250
107,50	86	18 »	89 »
108,75	87	24,600	41 »
110,00	88	31,266	52 »
111,25	89	33,750	56 »
112,50	90	36,187	60,312
113,75	91	38,062	63,250
115,00	92	39,250	66,187
116,25	93	41,475	69,125
117,55	94	43,250	72,062
118,75	95	45 »	75 »
120,00	96	46,420	77 »
121,25	97	48,470	80,312
122,50	98	50,080	83,187
123,75	99	51 »	85 »
125,00	100	52,370	87,250
126,25	101	53,083	88,355
127,50	102	54,062	90,062
128,75	103	55,225	91,250
130,00	104	55,750	92,437
131,25	105	56,475	94,125
132,50	106	57,218	95,312
133,75	107	58,406	97 »
135,00	108	58,906	98,125
136,25	109	59,475	99,125
137,50	110	60 »	100 »

Ces indications de Dutrone sont très-intéressantes à consulter, surtout quand on en rapproche une seconde série complémentaire, dont j'ai formé le tableau suivant, afin de scinder et de faire mieux saisir l'excellent travail de cet observateur. Ces données sont évidemment applicables aux dissolutions aqueuses de sucre pur.

DEGRÉS du thermomètre centigrade.	THERMOMÈTRE de RÉAUMUR.	EAU qui est restée combinée au sucre à l'état de sirop après la cristallisation.	SUCRE qui reste combiné à l'eau à l'état de sirop après la cristallisation.
	Degrés.	kil. gr.	kil. gr.
103,75	83	60 »	100 »
105,00	84	55,190	92 »
106,25	85	48,440	80,750
107,50	86	42 »	70 »
108,75	87	35,400	59 »
110,00	88	28,734	48 »
111,25	89	26,250	44 »
112,50	90	23,813	39,688
113,75	91	21,938	36,750
115,00	92	20,750	33,813
116,25	93	18,525	30,875
117,50	94	16,750	27,938
118,75	95	15 »	25 »
120,00	96	13,580	23 »
121,25	97	11,530	19,688
122,50	98	9,920	16,813
123,75	99	9 »	15 »
125,00	100	7,630	12,750
126,25	101	6,917	11,625
127,50	102	5,938	9,938
128,75	103	4,775	8,750
130,00	104	4,250	7,533
131,25	105	3,525	5,875
132,50	106	2,682	4,688
133,75	107	1,594	3 »
135,00	108	1,094	1,875
136,25	109	0,525	0,875
137,50	110	» »	» »

Dans la plupart des fabriques, au lieu de concentrer seulement jusqu'à un point tel que le sirop puisse abandonner des cristaux en un temps plus ou moins long, on fait faire la cristallisation dans l'appareil lui-même, en sorte que, au lieu d'en retirer un sirop plus au moins concentré, on en fait sortir, à la fin de l'opération, une sorte de pâte cristalline dont il ne s'agit plus que de séparer les cristaux après un temps assez court. C'est ce que j'ai nommé tout à l'heure la cuite en grains.

On connaît encore, sous le nom de cuite sèche, ou fabrication de concret, un genre de concentration dans lequel l'opération est poussée à ses dernières limites, à ce point que le résultat obtenu est une sorte de pâte cristalline, presque sèche, très-analogue à la pâte du sucre d'orge, et renfermant à la fois le sucre, les sels et les eaux-mères du jus. Ce genre de cuite peut se faire par le vide, à l'air libre ou par l'air chaud.

7° *Cristallisation. Extraction du sucre des masses cuites.* Si l'on a cuit, si l'on a terminé la concentration à la preuve au filet ou au crochet, à 15 pour 100 ou à 10 pour 100 d'eau, ou si l'on a cuit en grains, soit à l'air libre, soit sous basse pression, on est dans des conditions très-variables quant à la valeur de la masse.

L'hectolitre des sirops cuits au filet ou au crochet pèse de 140 à 145 kilogrammes. Le même volume de masse grenée pèse de 144 à 148 kilogrammes.

Les sirops contiennent, en moyenne, sur 100 kilogrammes :

68 à 87 de sucre;
10 à 15 d'eau;
5 à 15 de matières étrangères.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SUCRE.

Les masses grenées sont également très-variables dans leur composition. Elles peuvent renfermer :

70 à 90 de sucre ;
6 à 12 d'eau ;
5 à 16 de matières étrangères.

Les principes qui dirigent la cristallisation des sirops sont très-simples : la cristallisation est d'autant plus lente que la solution est moins riche, moins saturée, plus aqueuse, et elle est d'autant plus rapide dans le cas contraire. Toute cristallisation d'un corps plus soluble à chaud qu'à froid est ralentie par la chaleur, accélérée par le refroidissement, et les cristaux formés sont d'autant plus volumineux que la cristallisation est plus lente. Les cristaux sont toujours purs quand ils sont simples, et ne contiennent pas d'eaux-mères interposées.

La pratique de la cristallisation des sirops ne présente pas de difficultés sérieuses. En général, on laisse la température s'abaisser lentement, jusque vers + 75°, en ayant soin d'agiter le sirop avec un mouveron, *lorsqu'on vient de le verser*. Bientôt, les cristaux de sucre commencent à paraître ; c'est ce qu'on appelle la *formation du grain* ; une croûte cristalline de sucre se montre à la surface.

En général, les bons sirops cuits au filet un peu serré (13 à 14 pour 100 d'eau), *montrent le grain* vers + 105° à + 100° ; les *sirops recuits* vers + 94° à + 92°, et les seconds recuits de + 75° à 70°. Les cuites au filet léger (15 pour 100 d'eau) ne grènent guère avant d'être descendues à + 85°.

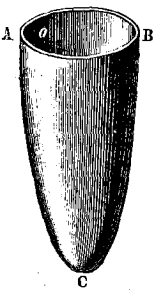
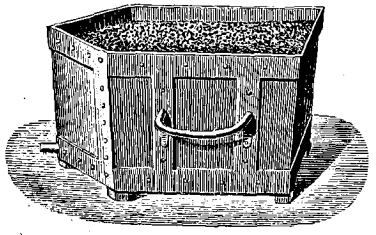


Fig. 35.

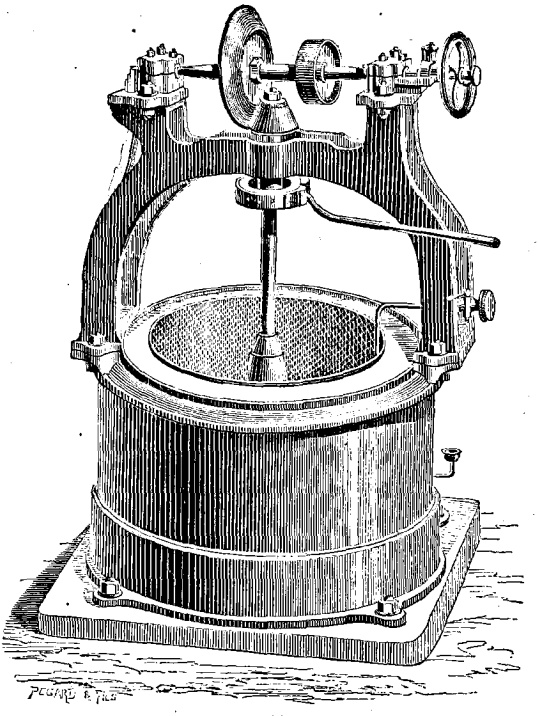
Quand le grain se montre, on introduit le sirop dans des formes (fig. 35), des caisses (fig. 36) ou des bacs. Ce dernier mode est le plus communément adopté en France.


Fig. 36.

Quant au sirop cuit dans le vide, on procède de la même façon, après avoir réchauffé jusques vers + 90° ou + 100°.

Les masses grenées sont laissées simplement en repos pendant dix à douze heures, après quoi on isole les cristaux.

8° *Purge ou séparation des cristaux*. On sépare les eaux-mères des cristaux formés par un égouttage simple ou forcé, suivi ou non d'un clairçage.


Fig. 37.

Dans la cristallisation en formes, on place la forme sur un pot d'égouttage, après avoir enlevé le bouchon ou la *tape*, et on laisse écouler l'eau-mère naturellement, après quoi on peut opérer un ou plusieurs clairçages, pour blanchir le sucre, suivant les mêmes principes que ceux qui dirigent les opérations du raffinage.

L'égouttage dans les caisses se fait très-simplement (fig. 36), en débouchant l'ajutage de sortie et laissant couler le sirop d'égout, sous la seule influence de l'atmosphère.

Dans le cas où l'on fait cristalliser en bacs, et dans le cas de la cuite en grains, le mode d'égouttage le plus généralement adopté consiste dans l'action de la turbine ou l'emploi de la force centrifuge, sur les masses cristallisées. La figure 37 donne une idée d'ensemble de la turbine française.

Cette turbine reçoit l'action du moteur de l'usine par une poulie de transmission et une courroie. Le mouvement est commandé par deux cônes à friction de diamètres différents, que l'on peut, à volonté, écarter ou rapprocher, et l'appareil est muni d'un organe de débrayage et d'un frein. Un tube courbe, de petit diamètre, communiquant avec la prise de vapeur, peut, au besoin, apporter un jet de vapeur sur le produit et le laver.

Ordinairement cette turbine présente un diamètre de 0,70 à 0,80 et une hauteur de 0,30 à 0,32 prise sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

portion active du cylindre intérieur mobile. Avant d'introduire les masses cristallines ou pâtes dans la turbine, et afin d'éviter le mauvais effet qui résulterait des agglomérations cristallines, on fait passer d'abord la matière dans un malaxeur, dont la figure 38 donne une idée très-suffisante.

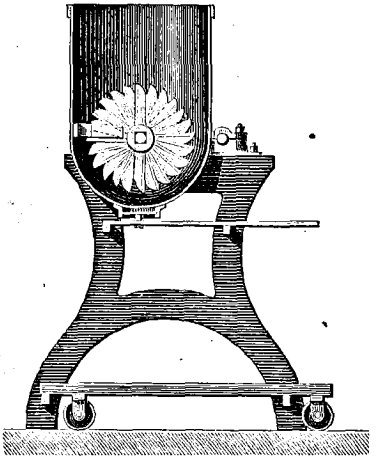


Fig. 38.

Quand l'eau-mère a disparu, on peut arrêter le mouvement de la turbine, enlever le sucre et l'envoyer au séchoir, sans autre opération, ou bien encore on peut blanchir la masse en jetant dans la turbine des sirops de moins en moins colorés, des clairces successives saturées, qui, passant à travers la couche de sucre, enlèvent les restes de l'eau-mère qui salit et colore le produit. Une clairce préparée à + 100° en saturation, présente les densités croissantes suivantes, à mesure que la matière se refroidit.

TEMPÉRATURES.	DENSITÉS. Poids du litre.	DEGRÉS de Baumé.
°	gr.	°
+ 100	1297,66	33,1
95	1298,82	33,2
90	1300,00	33,3
85	1302,34	33,5
80	1304,70	33,7
75	1307,06	33,9
70	1309,43	34,1
65	1313,01	34,4
60	1315,40	34,6
55	1317,80	34,8
50	1321,42	35,1
45	1325,06	35,4
40	1327,50	35,6
35	1329,95	35,8
30	1333,73	36,1
25	1337,35	36,4
20	1341,07	36,7
15	1344,73	37,0

On remplace ou l'on complète souvent le clairçage par l'action rapide d'un jet de vapeur ménagée que l'on dirige sur le sucre contenu dans la turbine pendant qu'elle est en mouvement et à la fin de l'opération.

9° *Épuisement des eaux-mères.* Après avoir extrait un sucre de *premier jet*, on est en présence d'une certaine quantité d'eau-mère ou de sirop d'égout de premier jet, que l'on doit considérer comme une solution saturée de sucre et d'autres matières solides. En moyenne, ces eaux-mères représentent 45,5 pour 100 de la masse cuite. En les soumettant à une nouvelle concentration, de manière à enlever l'excès d'eau, et à n'en laisser que 10 à 12 pour 100, comme on a fait pour la première cuite, on obtient un nouveau sirop que l'on fait cristalliser en bacs, et dont la cristallisation est plus lente que celle des premiers jets. Les cristaux ne se séparent que dans un laps de temps variant de deux à huit ou dix jours. Quand cette cristallisation est terminée, on sépare les cristaux par les mêmes procédés qui ont été employés pour les premiers jets. On fait encore concentrer les sirops d'égout de deuxième jet, après quoi on les livre à la cristallisation lente, dans de grands bacs ou des citernes, et ce n'est guère qu'au bout de quatre à six mois que l'on peut en isoler les cristaux. En moyenne, 100 kilogrammes de masse cuite produisent:

Sucre de premier jet. . . .	54k,70	} =	69,21
Sucre de deuxième jet. . .	10 ,53		
Sucre de troisième jet. . .	4 ,18		
Mélasse.			22,79
Total.			92,00
Eau évaporée.			8,00
			100,00

Il va de soi que plus les jus sont riches en sucre et pauvres en matières étrangères, plus aussi les rendements en sucre cristallisé sont élevés. Les données suivantes de Walkhoff fournissent des indications moyennes exactes:

RICHESSE de la masse en sucre sur 100 de parties solides.	RENDEMENT		
	De 1er jet.	De 2e et 3e jets.	Total.
%			%
84	58,3	9,7	68
85	60,2	9,8	70
86	62,0	10,0	72
87	63,6	10,4	74
88	65,4	10,6	76
89	67,0	11,0	78
90	68,8	11,2	80

C'est ici le lieu d'indiquer la pratique industrielle dont j'ai conseillé l'adoption, et qui consisterait à faire rentrer les sucres inférieurs de second et de troisième jet dans la cuite des premiers produits, afin de n'avoir plus dans chaque fabrique qu'un seul type de qualité constante.

10° *Utilisation des résidus.* Les différents résidus de la fabrication sucrière sont:

1° Les *pulpes*, les *cossettes* et les *bagasses*;

2° Les *écumes* et les *dépôts* de *chaulage*, de *carbonatation*, de *phosphatage*;

3° Les *mélasses*;

4° Enfin, les *noirs épuisés*.

Les pulpes pressées, provenant des racines saccharifères par l'action de la râpe, les cossettes provenant de la division par le coupe-racines, constituent une excellente nourriture pour le bétail, pourvu toutefois qu'elles ne soient ni trop aqueuses, ni altérées. Quant aux bagasses, c'est-à-dire aux résidus de l'écrasement des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cannes par les laminoirs, on les emploie comme combustible dans les pays où l'on traite la canne, mais cette mesure barbare équivaut à se servir de sucre en place de charbon, car bien souvent les 2/5 de la matière saccharine sont restés dans ces résidus, après le laminage. C'est là le principal défaut de la fabrication exotique.

Les écumes et autres dépôts de fabrication, ainsi que les noirs épuisés, sont utilisés en agriculture comme engrais, à raison des matières azotées, des phosphates et des autres sels minéraux qui en font partie, mais auparavant ces résidus doivent être épuisés du jus sucré qu'ils peuvent contenir à l'aide d'une pression énergique, que l'on exécute aujourd'hui d'une façon très-commode au moyen du filtre-presse (fig. 39).

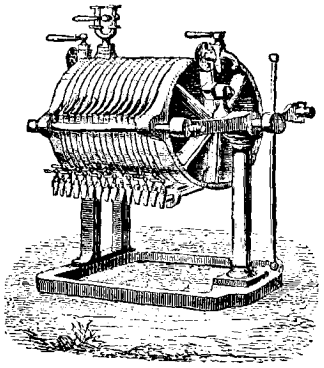


Fig. 39.

En admettant que les mélasses soient une solution saturée des sucres cristallisable et incristallisable et de différentes autres matières, on comprend qu'un des désidérata de la sucrerie repose sur l'isolement du sucre prismatique de ces résidus. En général les mélasses présentent une densité de 1.410 à 1.453, et renferment 18 à 20 d'eau, 50 de sucre (tout sucre), et 30 à 32 de matières étrangères, dont 10 d'alcalis.

Le moyen vulgaire de les utiliser consiste à les soumettre à la fermentation et à en extraire par distillation du rhum, du tafia ou de l'esprit. Les liquides épuisés concentrés fournissent des sels alcalins, surtout dans le traitement des mélasses de betteraves.

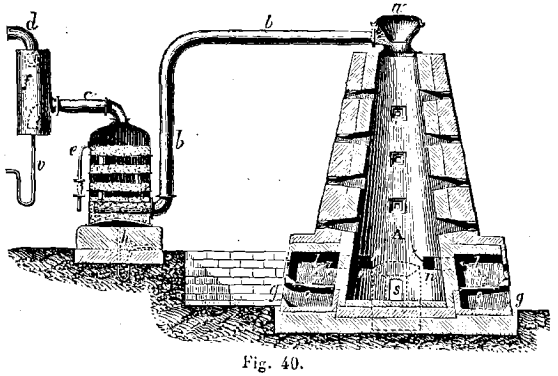


Fig. 40.

J'indique un peu plus loin les principaux moyens conseillés pour extraire le sucre des mélasses.

DES PRINCIPAUX AGENTS CHIMIQUES EMPLOYÉS EN SUCRERIE.

La préparation de la plupart de ces agents a été indiquée en divers articles du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, et s'il en est question ici, même sommairement, c'est seulement dans le but de faire connaître quelques appareils ou quelques procédés plus spécialement usités dans l'industrie sucrière.

1° *De la chaux et de l'acide carbonique.* Pour les usages de la sucrerie, on recherche le calcaire le plus pur, et la chaux se prépare exactement comme par les méthodes ordinaires, bien connues, lorsqu'on n'utilise pas l'acide carbonique qui provient de la calcination de la pierre à chaux. Comme habituellement la fabrication de la chaux est le moyen le plus économique d'obtenir l'acide carbonique, en même temps que la base calcique, on a adopté des engins spéciaux ou des dispositions particulières, qui permettent de recueillir à la fois l'acide carbonique venant du calcaire et celui du combustible. En chiffres, un kilogramme de calcaire commun fournit en moyenne par la calcination 377^{g},4 d'acide carbonique; le résidu est de 622^{g},6 tenant 480^{g},3 de chaux réelle, et 138^{g},2 de matières étrangères. On sait encore d'autre part que la combustion de 75 kilogrammes de coke, égalant 70 kilogrammes de carbone réel, fournit en pratique 128^{k},34 d'acide carbonique et 81^{k},67 d'oxyde de carbone, lorsque la théorie indique comme résultat d'un travail perfectionné 256^{k},67 d'acide carbonique.

L'acide carbonique peut être obtenu par les différents moyens suivants:

1° Décomposition du calcaire par la chaleur, avec ou sans utilisation de l'acide carbonique de la combustion, avec ou sans l'intervention de la vapeur d'eau.

Dans les procédés de cette méthode normale, on obtient à la fois la chaux et l'acide carbonique; c'est la meilleure marche à suivre, et l'acide obtenu est d'autant plus pur que l'on n'y mélange pas les produits de la combustion.

2° Méthode mixte, dans laquelle on fait calciner un mélange de calcaire avec du charbon.

3° Oxydation du carbone par la combustion du charbon de bois ou du coke dans des fours spéciaux, au milieu d'un courant d'air produit par aspiration, ce qui est préférable, ou par insufflation, par refoulement.

4° Utilisation du mélange gazeux qui s'échappe des foyers de combustion destinés à chauffer les générateurs, etc. Ce mode est le plus économique, lorsqu'on n'a pas besoin de préparer la chaux.

5° Enfin, utilisation de l'acide carbonique de la fermentation.

Quel que soit le mode de production de l'acide carbonique, ce gaz doit être refroidi et lavé avant d'être envoyé dans le liquide sucré chaulé. Il est bien évident, d'ailleurs, que les appareils de production diffèrent complétement de ceux que l'on emploie pour la fabrication de la chaux seulement, puisqu'ici on est obligé de recueillir les gaz pour les diriger sur un point déterminé. Ce serait un hors-d'œuvre inutile que de vouloir décrire dans une étude sommaire une faible partie des engins qui ont été inventés ou préconisés pour la production du gaz carbonique en sucrerie : tous concourent au même but par de simples modifications de détail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 40 ci-dessus donne une coupe verticale d'une disposition construite par la maison Cail et Compagnie. A est la cuve d'un four à chaux continu producteur d'acide carbonique. Cette cuve porte des regards par

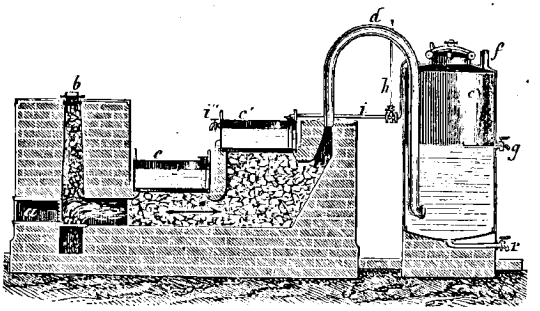


Fig. 41.

lesquels on peut surveiller l'opération et faire descendre le *calcaire* à mesure que l'on a retiré de la *chaux*, par une des portes inférieures *s*. Le calcaire est introduit par le haut, après qu'on a ôté le couvercle en fonte *a'*. On en remplit toute la capacité et on a soin d'en ajouter à mesure que la production s'effectue. Le foyer est marqué en *m*, et *g* est le cendrier. On brûle le combustible sur la grille *o*, et les gaz chauds pénètrent dans le four en *n* par des carnaux *l*. Le gaz produit est appelé par une pompe aspirante. Il se dirige par le tube *bb* dans un vase intermédiaire, où il est lavé dans plusieurs couches minces d'eau. De là il passe en *f* par *c*, et il laisse déposer la faible proportion d'eau entraînée. Cette eau s'écoule par *v*, et le gaz se rend par *d* vers la pompe et les chaudières de saturation.

Cet agencement est fort rationnel et bien compris sous le rapport de la production du gaz. Le produit se compose, en effet, de l'acide carbonique à peu près pur provenant de la décomposition du calcaire et de celui qui vient du combustible.

Le four allemand de Kindler se distingue par une introduction méthodique du combustible, calculée de manière que le gaz produit ne puisse se décomposer et se réduire au contact du charbon non incandescent; la figure 41 en donne les dispositions principales.

2° *Fabrication et revivification du noir d'os.* La fabrication du noir d'os, employé en sucrerie comme décolorant et absorbant, consiste dans la carbonisation en vase clos des os d'animaux, concassés au préalable et débarrassés de leurs matières grasses par l'ébullition. Les os *verts*, par opposition aux os *secs*, qui ont été longtemps exposés à l'air, renferment un maximum de susbtance organique, et donnent par la calcination un maximum de charbon et un produit très-décolorant. La calcination de ces matières se fait de différentes manières: ou bien dans des pots couverts disposés sur les côtés d'un fourneau de galère, ou dans des cornues en ⊓, quand on veut recueillir les produits gazeux de la calcination. Le charbon obtenu, refroidi, est trituré en noir en grains et en noir fin, que l'on sépare par le blutage. Le produit de 1 000 kilogrammes d'os se dédouble ainsi:

Graisse 6 %.		60 kilog.
Noir 60 %	Noir en grains 475	600
	Noir fin. . . 125	
Perte 34 %.		340
		1000 kilog.

Le prix de revient des 100 kilogrammes de noir est de 10 francs environ.

La revivification consiste dans les procédés employés pour rendre au noir qui a servi sa propriété décolorante. Pour cela, on le débarrasse par un lavage des matières solubles, et on le calcine à nouveau pour carboniser les matières organiques absorbées. On peut revivifier le noir de 20 à 25 fois; la perte éprouvée à chaque opération étant de 4 à 5 pour 100.

Je dois ajouter cette considération pratique, relativement à la revivification, que le noir perd de sa valeur, comme absorbant et comme décolorant, par les nouvelles calcinations qu'on lui fait subir, en sorte que la perte de 4 à 5 pour 100 attribuée à chaque opération, ne doit se comprendre que pour la diminution de poids, la perte relative à la qualité utile étant tout à fait en dehors de cette appréciation sommaire.

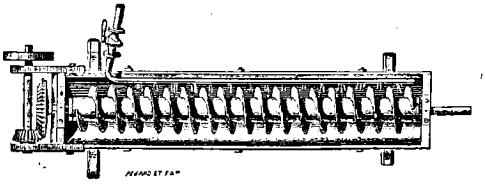


Fig. 42.

Le lavage du noir se fait par l'action de l'eau seule ou des lessives alcalines, mais de préférence par l'acide chlorhydrique faible ou l'acide acétique. A la suite du lavage par les liquides acidules, qui ont surtout pour objet de séparer la chaux absorbée, on comprend qu'il faille faire un lessivage très-complet à l'eau seule, pour enlever l'acide et surtout les sels de chaux formés par le lavage. Les opérations de lavage s'exécutent en France à l'aide de la vis d'Archimède, dont la figure 42 fait voir en plan la disposition spéciale. En Allemagne on a adopté, depuis quelques années, le laveur de Klusemann, représenté par la figure 43.

Cette machine reçoit le charbon par la trémie A, vers la partie la plus déclive; un filet d'eau arrive à l'autre extrémité par le tube à robinet *t* et se répand, de proche en proche, dans les cases successives 6, 5, 4, 3, 2, 1. Un arbre extérieur anime, d'un mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-lent, des palettes qui ont pour fonction de prendre le noir dans une case et de le faire passer dans la case suivante, à la rencontre du courant d'eau. L'extrémité des palettes est une lame en fer, présentant une certaine flexibilité, et le noir, doucement soulevé par ces doigts artificiels, passe dans une case voisine, en ne franchissant chaque fois qu'une faible hauteur, ce qui ménage la matière tout en lui faisant subir un bon lavage.

Un autre mode de traitement du noir consiste à profiter de cette circonstance qu'il renferme du sucre, des matières azotées altérables, des ferments et d'autres matières de nature analogue, et à le soumettre à la fermentation pour séparer toutes ces matières étrangères. On produit cette destruction, soit par immersion dans l'eau tiède à 30° ou 35°, soit par la simple exposition du noir humide en tas au contact de l'air. La première opération, ou fermentation humide, dure 8 à 10 jours; la seconde, ou fermentation sèche, exige 15 à 20 jours. Elles doivent être évidemment toutes deux suivies d'un lavage à l'eau.

Le traitement du noir par les alcalis ne paraît pas devoir être adopté par la pratique, à raison de sa cherté et des inconvénients qu'il peut entraîner.

Après ces opérations préparatoires le noir est soumis à la calcination, comme il a été dit, et l'on a inventé pour cet objet une multitude de fours à revivifier, dont quelques-uns offrent en pratique de bonnes conditions de travail. En France, le four Blaise est généralement adopté, et il est assez connu pour que je puisse éviter d'en faire une description spéciale. Le four Blaise fournit deux hectolitres de noir revivifié par tube et par 24 heures.

Un des meilleurs fours employés en Allemagne est celui de Schatten, qui rend 360 kilogrammes par tube et par 24 heures, mais auquel on peut reprocher de fournir un produit mal calciné, à raison du diamètre trop grand de ses tubes. La figure 44 donne une coupe verticale de la disposition de Schatten.

D'un foyer A les gaz pénètrent dans un four B. Dans ce four sont disposés des tubes de calcination verticaux *fff* en fonte, ouverts par le haut et fermés en bas par un registre. Le quart inférieur *aa* de ces tubes sort du four à travers une plaque de fonte et sert pour refroidir le noir. Le second quart *bb* est exposé à la plus grande chaleur du foyer, et c'est dans cette partie que se fait la calcination, qui est à peine commencée dans le troisième quart *cc*, et le quatrième quart *dd* sert à compléter la dessiccation, commencée en C sur une plate-forme chauffée par le carneau qui conduit les gaz à la cheminée. Ces portions des tubes sont séparées par des plateaux solides en fonte *e e' e'' e'''*.

Le noir, séché plus au moins complétement sur la plate-forme, est jeté dans les tubes. Une partie se calcine en *bb*, tandis que, dans la *mise en train*, la partie contenue en *aa* doit être reprise pour être rejetée dans les tubes. On retire cette portion, et le contenu de *bb*, descendant en *aa*, se trouve remplacé par les portions supérieures. On remplit les tubes par le sommet. Après cette première opération, on retire, toutes les 20 minutes, 5 kilogrammes de noir refroidi, par le registre du bas, et l'on recharge en haut. La marche se suit alors uniformément.

On évalue la température la plus utile à la revivification à une moyenne de + 275°, et le noir qui a subi cette opération augmente de densité dans une proportion très-notable. L'hectolitre de noir neuf pèse 77 à 80 kilogr., et le noir revivifié pèse de 90 à 115 kilogr.

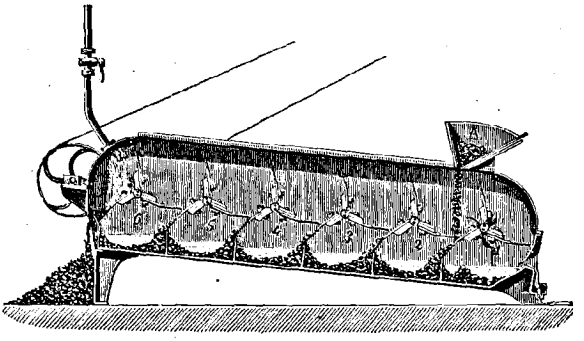


Fig. 43.

Je mentionne seulement pour mémoire la revivification à l'aide de la vapeur surchauffée à + 300°, proposée par MM. Laurent et Thomas, et qui n'a pas encore été adoptée par la pratique.

3° *Du tannin.* Depuis que j'ai conseillé, en 1854, l'emploi du tannin en distillation et en sucrerie, dans le but d'améliorer la valeur des résidus alimentaires, en augmentant leur richesse en matières azotées, de purifier les moûts et les jus en les débarrassant de l'excès de ces substances qu'ils renferment ordinairement, et de favoriser par suite le travail de la fermentation en distillerie et de la purification des jus en sucrerie, il s'est opéré sur cette donnée un mouvement dont l'importance n'est pas contestable. Les observations faites

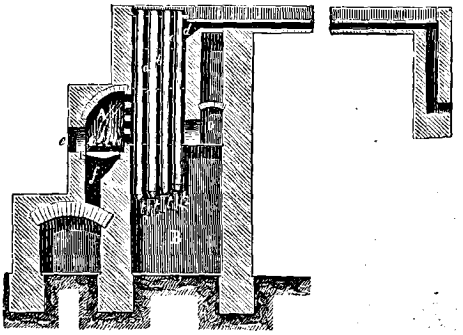


Fig. 44.

en Allemagne ont complétement justifié mes conseils et mes prévisions, sous cette réserve cependant que, dans les fabriques allemandes, l'emploi du tannin s'est borné à des expériences concluantes, qui sont restées à l'état platonique. En France, la sucrerie n'a pas encore procédé dans cette voie, mais la distillerie ayant déjà commencé à substituer les astringents aux acides minéraux, l'idée a fait du chemin, et il s'est organisé une fabrique assez importante d'extraits tanniques, applicables à la purification des jus et des moûts.

Quoi qu'il en soit, au lieu d'employer le tannin des droguistes, tannin de Pelouze, ou acide gallo-tannique, isolé de la noix de galles, on agit d'une manière beau-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coup plus simple et plus méthodique en se contentant de se servir de l'infusion des écorces ou des fruits astringents, pourvu que ces matières ne renferment pas de principes vénéneux, de matières gommeuses ou sucrées, ni de substances colorantes rebelles aux actions ordinaires de la sucrerie.

Je n'ajouterai qu'un mot au sujet de l'emploi du tannin. La plupart de ceux qui en ont fait usage ont commis une erreur très-grave. Le jus tanné tient en suspension des particules très-ténues de tannate d'albumine, qu'il est très-difficile, sinon impossible, de séparer par filtration. Si l'on ne sépare pas ces matières avant le chaulage, le tannate se décompose par l'action de la chaux, l'albumine et les matières azotées se redissolvent sous l'influence des alcalis libres, et l'on est certain d'avoir, quoi qu'on fasse, une cuite mousseuse, de mauvais sirops recouverts d'une couche visqueuse de matières gélatineuses, en un mot, de faire un mauvais travail. Il est un moyen très-simple d'éviter cet inconvénient, lequel consiste à faire bouillir les jus pendant quelques minutes, seuls ou avec un peu de phosphate acide de chaux, avant le chaulage. Le tannate se précipite très-rapidement par le repos, et les jus décantés peuvent être chaulés sans donner lieu à l'accident qui vient d'être mentionné.

4° *De l'acide phosphorique et des phosphates solubles.* La préparation de ces corps a déjà été décrite dans les pages du Dictionnaire; je ne m'y arrêterai donc point, et je me contenterai d'insister encore une fois sur la nécessité de transformer les alcalis en phosphates, si l'on veut éviter la recoloration des sirops, malgré des filtrations réitérées sur noir. L'acide phosphorique et les phosphates solubles sont presque les seuls agents utilisables qui ne portent pas obstacle à la cristallisation du sucre.

EXTRACTION DU SUCRE DE BETTERAVE.

Les notions générales qui précèdent suffisent au point de vue technologique pour qu'un industriel sérieux, habitué à la chimie de la manufacture, puisse traiter les jus de toutes les plantes saccharifères. Il est donc inutile de s'étendre sur les détails relatifs à l'extraction du sucre de telle ou telle plante, puisque le traitement des diverses matières saccharifères est toujours conforme aux règles générales qui viennent d'être résumées. Cependant, comme il peut être utile de comparer avec quelques détails les différents procédés et les appareils plus ou moins perfectionnés, employés par la pratique moderne, je crois devoir passer rapidement en revue les principales questions relatives à l'extraction du sucre de la betterave et de la canne, et surtout au point de vue des différences que peut présenter le travail manufacturier. En plaçant l'étude de la betterave en première ligne, on commet, à la vérité, un anachronisme incontestable, puisque la canne à sucre a été la matière première de l'extraction du principe saccharin bien avant qu'il ne fût question de la betterave; mais comme le travail technique de cette dernière s'est emparé depuis longtemps de la première place industrielle, pendant que la canne est restée en arrière, dans une imitation lointaine des procédés employés pour sa rivale, c'est par la racine européenne qu'il est utile de commencer ce résumé, la sucrerie de cannes n'étant plus qu'une reproduction ou une imitation de la sucrerie européenne.

C'est en 1747 que Margraf isola le sucre de la betterave; trente-cinq ans plus tard (1782), le chimiste Achard reprit ces expériences oubliées et, en 1799, il était arrivé à extraire de la betterave du sucre en pains, dont la mosconade ne devait revenir qu'à 0f,75 au kilogramme. Les travaux d'Achard, dans son domaine de Kunern, trouvèrent des imitateurs en Allemagne et en Russie; mais les événements politiques arrêtèrent l'élan de la nouvelle industrie en Allemagne jusque vers 1836.

En France, dès 1799, sur les communications d'Achard, une commission de l'Institut fut nommée et fit un rapport favorable à la nouvelle industrie. Mais ce fut surtout la condition particulière créée par le blocus continental qui donna à la sucrerie indigène une puissante impulsion, grâce à la protection de l'empereur Napoléon Ier, qui s'efforça, par tous les moyens possibles, de constituer la nouvelle industrie. La Société d'encouragement apportait elle-même son contingent d'efforts, et les travaux des Drapiez, des Lampadius, des Derosne, des Bonmatin, des Chaptal, des Mathieu de Dombasle et d'une foule d'autres, créèrent en quelques années l'ensemble de la sucrerie française, auquel le temps n'a fait qu'apporter de nouvelles conditions de stabilité par les progrès de détail, relatifs surtout à l'outillage, qui ont été introduits dans la pratique.

La râpe de Burette, la râpe de Thierry, les pilons de Drapiez, la cardeuse Pichon et Moyaux, les râpes de Caillon, de Sauer-Schwabenheim, de Dombasle, abandonnées depuis, il est vrai, ont servi à établir les principes sur lesquels repose la division de la matière saccharifère.

La presse continue de Lauvergnat, celle d'Isnard, et quelques autres, ont précédé l'emploi de la presse hydraulique et des presses continues de la fabrication moderne.

Le lévigateur de Pelletan (1837) appliqua l'hélice à l'extraction du jus par lévigation; le déplacement de la matière sucrée fut également opéré par lévigation par le procédé Huard et Fonju; le filtre-presse du comte Réal employait l'action d'une colonne d'eau pour épuiser la matière, à peu près dans les mêmes conditions que M. Moreau d'Arluc a cherché depuis (1856) à mettre en pratique. M. Legavrian appliquait l'action du vide par aspiration à l'enlèvement du jus sucré; l'illustre Mathieu de Dombasle créait la méthode de macération, et l'appareil de Delimal produisait une bonne application mécanique des principes de Dombasle. Divers inventeurs tentèrent même de produire la macération continue et, parmi eux, on peut citer Hallette et Boucherie, dont le macérateur à effet constant représente une tentative ingénieuse pour l'utilisation de l'hélice à axe vertical.

Cette première période de la sucrerie indigène offre aux observateurs les données les plus curieuses sur les différentes parties du travail usinier, pour lequel tout se créait, depuis les presses à écumes jusqu'au filtre Dumont, depuis la chaudière Hallette, encore employée en défécation, jusqu'à la chaudière de Dubrunfaut et à celle de Pecqueur, qui pourraient encore aujourd'hui rendre des services dans un grand nombre de circonstances.

La fabrication du sucre de betteraves est entrée dans la période des progrès scientifiques. Aujourd'hui, le fabricant cherche à savoir ce qu'il fait et à procéder suivant les indications d'une saine technologie. Il apprécie sa matière première par les caractères extérieurs, suivant les constatations de la pratique; il en recherche les caractères essentiels en observant la densité du jus, la richesse absolue en sucre, la richesse relative en sucre, par rapport aux autres matières solides, la proportion et la nature des matières minérales et, enfin, la proportion des matières azotées. Ce sont ces observations préalables qui lui permettent de se rendre compte de la possibilité de traiter telle ou telle matière première sans s'exposer à des pertes ou à des déceptions.

La préparation des racines se fait d'après les principes généraux indiqués précédemment. Parmi les instruments de division, il est juste de mentionner le coupe-racines de Champonnois pour la division en cos-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

settes, les râpes de Fesca, de Klusemann, de Robert et de Champonnois, dont la puissance est très-considérable. Le dispositif de l'engin de Klusemann, fig. 45, mérite une mention particulière, à raison du moyen ingénieux à l'aide duquel l'action des poussoirs mécaniques se trouve supprimée. Au fond, cet instrument ressemble aux autres râpes, en ce qui concerne le tambour et la garniture de lames. Mais, à la partie antérieure du tambour et en avant de celui-ci, on remarque un cylindre *c*, muni de cannelures qui forment des espèces de cames, et qui est commandé par une roue dentée *a*. Cette roue est sous la dépendance d'une poulie qui reçoit le mouvement par un manchon disposé sur l'arbre du tambour, et elle ne fait qu'un tour pour 25 tours de râpe. Il en résulte que le cylindre à cannelures *c*, marchant en sens contraire du tambour, est animé d'un mouvement très-lent par rapport à celui de la râpe.

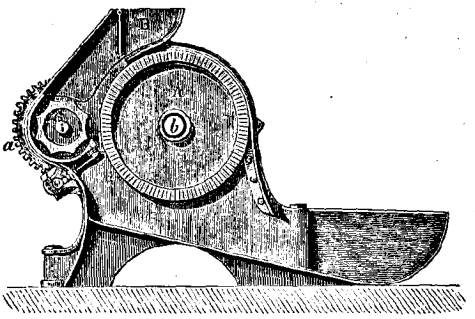


Fig. 45.

Les betteraves, jetées dans la trémie B, poussent un volet mobile disposé verticalement au fond de cette trémie, et elles pénètrent dans un espace inférieur, entre le tambour et le cylindre. Elles se trouvent alors saisies par les cannelures et pressées uniformément contre le tambour, sans pouvoir rétrograder vers la trémie. Le volet mobile, en se relevant, se trouve appuyé contre la paroi oblique de la trémie et s'oppose à tout mouvement de ce genre. Dans cette machine, fort bien comprise, le travail est d'une grande uniformité et la pression est constante.

La râpe de Champonnois est très-puissante et peut produire de 6 à 7,000 kilogrammes de pulpe par heure, pourvu qu'elle soit activement alimentée, et c'est un des meilleurs instruments qui existent pour la division des racines.

On évalue qu'une surface active de râpe, égale à 70 décimètres carrés, suffit à un travail de 1,000 kilogrammes par heure, à raison de 650 tours par minute, ce qui produit une surface développée de 27,300 mètres. On compte un cheval-vapeur pour 450 kilogrammes de betteraves par heure de travail. Enfin, pour empêcher les lames de s'obstruer, on fait arriver sur le tambour un filet d'eau, dans la proportion de 20 à 25 pour 100 du poids des racines. Il est utile que cette eau soit aussi pure que possible.

Lorsque la pulpe est produite, elle est soumise à la pression. Un pelleteur mécanique (fig. 46) introduit cette matière dans les sacs, dont la charge moyenne correspond à 150 grammes par décimètre carré. Quelquefois, la pulpe se place seulement sur des toiles, dont on relève les angles, et que l'on sépare par des claies, comme on le fait d'ailleurs pour les sacs. On forme dans les deux cas des piles de pression, que l'on soumet le plus souvent à une pression préparatoire, puis ensuite à l'action de la presse hydraulique. En moyenne, en travaillant avec des piles de 1m,40 de haut formées par 61 sacs de 0m,70 de côté, on peut très-bien suffire à une fabrication de 50,000 kilogrammes à l'aide de deux presses hydrauliques.

L'observation pratique a démontré que le produit en jus augmente avec la durée de la pression pendant les 30 premières minutes. Sur 100 parties de pulpe normale, sans eau à la râpe, on a obtenu, en moyenne, par une pression de 32k,3975 au centimètre carré, sur des piles de 0m,18 de côté :

En 5 minutes.		69 p. 0/0 de jus.		
10	—	74,45	Diff. en plus	5,75 0/0
15	—	78,55	—	3,70
20	—	80,50	—	1,95
25	—	81,45	—	0,95
30	—	82,20	—	0,75

Après une durée de 30 minutes, les résultats cessent d'avoir la moindre valeur. En général, le produit est plus considérable avec des pulpes très-finement divisées et avec un jus moins visqueux, mais avec une seule pression, si énergique qu'on la suppose, il reste encore environ 1/6 du jus réel dans les pulpes. Aussi a-t-on proposé d'employer la lévigation ou la macération pour retirer les matières solubles qui se trouvent encore dans les tourteaux pressés, mais ce genre d'amélioration ne semble pas encore avoir fait des progrès bien significatifs.

La grande tendance de la fabrication actuelle se porte vers le remplacement des presses hydrauliques par les presses continues, dans le but surtout d'éviter une partie des dépenses de la main-d'œuvre qui influent énormément sur le résultat définitif. Les différentes questions industrielles soulevées par l'essai et l'emploi d'un grand

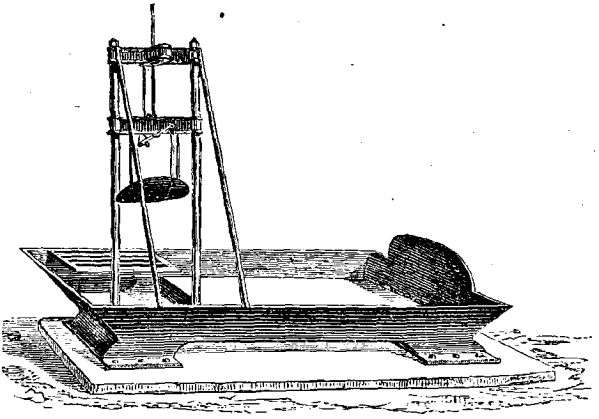


Fig. 46.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nombre de ces presses ne sont pas encore assez résolues pour que l'on puisse en apprécier d'une manière définitive les conséquences pratiques.

En Allemagne, plusieurs fabricants extraient le jus par la turbine, mais cette méthode ne fournit que des résultats peu satisfaisants en présence de la grande quantité d'eau nécessaire pour obtenir l'épuisement complet.

L'extraction du jus par la macération se pratique par différentes méthodes : celles de Mathieu de Dombasle, celle de Schützenbach, etc. ; mais le système de Robert, connu sous le nom de procédé de diffusion, a trouvé outre-Rhin un grand nombre de partisans. Il sera dit plus loin un mot de ces différentes méthodes, considérées comme procédés particuliers.

Après l'extraction du jus, dans tous les systèmes possibles, on procède à la purification.

4° *Purification du jus.* — Comme cette partie du travail moderne a été l'objet d'une foule de procédés et de méthodes, il convient d'insister sur ce point, qu'elle repose sur la nature et la quantité des matières étrangères au sucre qui se trouvent renfermées dans la liqueur. Or, le jus contient en moyenne, dans de bonnes conditions, 1,5976 de matières étrangères, dont 0,7703 de sels et 0,8273 de matières azotées et autres, et ce sont ces matières que l'on a pour but d'éliminer dans la purification.

La défécation par le chaulage, à la température de + 85° à + 90°, présente une action assez nette, pourvu que la proportion de chaux soit portée à la dose convenable, mais on admet que le chaulage n'enlève guère que 15 à 18 pour 100 des matières étrangères, tant dans les écumes que dans les dépôts, en sorte que cette réaction ne peut pas être considérée comme suffisante.

Les vases dans lesquels se fait cette opération sont très-surbaissés dans la pratique allemande (fig. 47). Le faux-fond, en tôle ou en fonte, est indiqué par *e e'* ; *d* est le robinet qui permet l'introduction de la vapeur, *f* sert au retour du produit de la condensation, et le syphon *b* tionner sans se baisser le robinet de vapeur de la prise A. B est le tube de retour de la condensation du faux-fond.

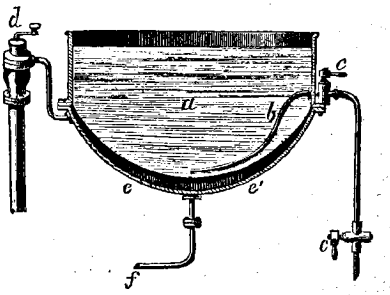


Fig. 47

Un tube abducteur D, à deux branches, porte le liquide à sa destination. Une particularité assez remarquable de ce dispositif consiste en ce que le tube C, qui amène la liqueur au tube D, est percé de fentes verticales, destinées à laisser passer le jus tout en retenant les matières suspendues.

Les résidus sont épuisés par le filtre-presse, mais il serait utile de les laver avant cette pression, pour atténuer le jus qu'ils renferment et diminuer la perte qui en est la conséquence. Cette perte représente environ 50 pour 100 du poids des écumes, c'est-à-dire 17,5 par 1000 kilogrammes de jus.

Le jus chaulé est soumis à l'action de l'acide carbonique ou à la saturation, dans le but d'enlever l'excès de chaux, comme il a été dit plus haut. La forme des chaudières à saturation est très-variable. La figure 49 représente un des bons modèles de la forme quadrilatère,

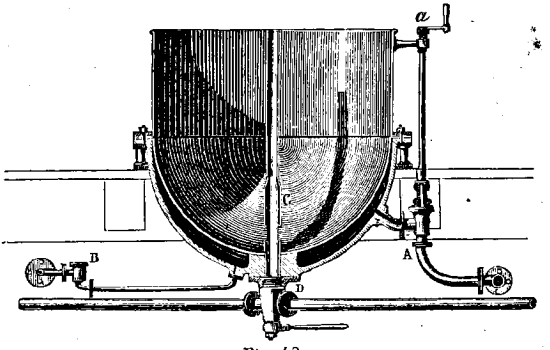


Fig. 48.

sert à soutirer le liquide par les robinets *cc*. Dans un autre dispositif, *b* est remplacé par un robinet de fond, et il existe un petit purgeur pour faire sortir l'air du faux-fond, quand on y introduit la vapeur, ce qui est d'une utilité incontestable.

Les chaudières françaises ont beaucoup plus de hauteur, et la pratique démontre que les précipités s'y font mieux et que la clarification y est meilleure. La fig. 48 représente un très-bon type des constructeurs Brissonneau. La coupole et le cylindre de cette chaudière sont réguliers; *a* est la manivelle qui permet de faire fonc- adoptée par la maison Cail. La réaction de l'acide carbonique, découverte par Barruel, est devenue une des nécessités de la fabrication moderne perfectionnée. L'acide carbonique décolore les liquides et précipite une partie notable des matières étrangères, surtout quand on additionne dans le travail un peu de chaux par fractions, pour atteindre le maximum des effets cherchés.

Quoi qu'il en soit, les jus chaulés, qui ont subi la carbonatation, sont encore, dans l'universalité des fabriques, soumis à la filtration sur noir, et l'on ne prend pas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les précautions nécessaires pour transformer les carbonates alcalins dont l'action sur le glucose détermine à un moment donné la recoloration des jus et des sirops. Le noir neuf décolore quatre à cinq fois plus que le vieux noir revivifié, et la décoloration croît avec la quantité du noir, sans cependant que le résultat soit proportionnel au chiffre employé.

Le filtre Dumont a été beaucoup modifié dans la pratique, et aujourd'hui on emploie très-fréquemment des filtres en batterie ou en circulation, fonctionnant sous pression. La figure 50 indique la coupe d'un de ces filtres. Au fond du cylindre se trouve une grille au-dessus de l'espace *e*; cette grille présente des interstices assez étroits, et le plus habituellement on la recouvre d'un canevas mouillé ou d'un treillis. En bas et en arrière du filtre, au-dessus de la grille, un trou d'homme *a* permet de faire la vidange du noir épuisé. Un autre trou d'homme *b* ferme hermétiquement l'ouverture du sommet, et c'est par cette ouverture que l'on introduit le noir neuf ou revivifié, ou un mélange de ces deux sortes de noir. Lorsque le filtre est rempli jusqu'au niveau *d*, on ferme *b*, et l'on fait arriver le liquide à traiter par un des robinets du système *mn*, à l'aide duquel on peut amener en *c*, et à volonté, du jus, du sirop, de la vapeur ou de l'eau.

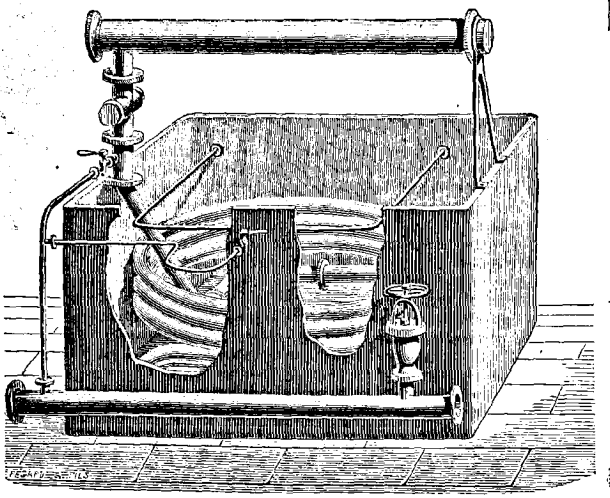


Fig. 49.

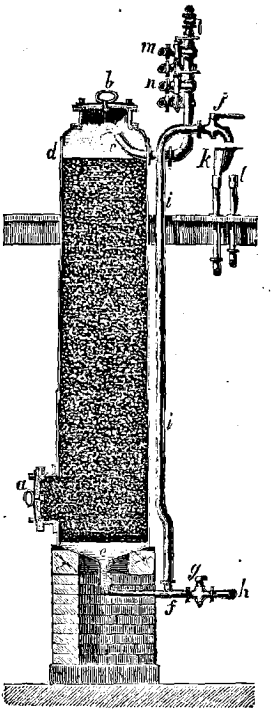


Fig. 50.

Le liquide pénètre dans la masse A, parvient dans l'espace *e* et s'échappe par le tube *f*. Le robinet *g* étant fermé, la liqueur remonte dans le tube syphoïde *ii* et sort par le robinet *j*, pour se rendre dans un caniveau d'abduction. Le tube conducteur diffère selon la nature et la destination des liquides, selon que l'on traite des jus ou des sirops ou que l'on procède au lavage du filtre.

Lorsque plusieurs filtres sont en batterie, le tube *i* sert à conduire les liquides du premier dans le second, etc.

On emploie encore assez fréquemment des filtres ouverts agissant sans pression.

La dimension de ces engins est calculée à raison de 420 kilogrammes de noir pour 880 kilogrammes de liquide, et de 80 kilogrammes pour les sirops qui en proviennent. L'activité du noir diminue au bout de 5 à 6 heures, et l'on calcule le nombre des filtres sur la quantité de jus à faire passer à travers la matière dans un temps donné.

En somme, la richesse des jus en sucre augmente avec la quantité du noir employé, dans la proportion indiquée par les chiffres suivants :

Jus normal non filtré, richesse relative,			80 0/0
— filtré sur	10 0/0	de noir —	81,5 0/0
—	20	» —	82,00
—	30	» —	83,00
—	40	» —	84
—	50	» —	84,5 0/0

Il convient de faire observer cependant que la perte en jus resté dans le noir, malgré les lavages ou dégraissages, compense à peu près cet avantage, et Walkhoff lui-même reconnaît que le noir ne joue qu'un rôle insignifiant dans la séparation de la chaux.

Le noir neuf a pour densité 765 à 773 grammes ; le noir vieux, arrivé à 1,200 ou 1,210 grammes de poids au litre, n'a plus qu'une valeur insignifiante, et il est à noter que la perte en jus, après le lavage, est d'environ 5 pour 100.

5° *Concentration du jus purifié.* — Dans la plupart des fabriques modernes, la concentration se fait dans le vide, à l'aide d'appareils à effet multiple, qui emploient principalement la vapeur détendue venant des machines, et seulement la faible quantité de vapeur directe nécessaire pour compléter l'action. La figure 51 donne l'idée générale d'un de ces appareils à concentrer à triple effet, à propos desquels je me bornerai à faire observer que l'économie du combustible dépensé peut atteindre la proportion de 838 kilogrammes à 98 kilogrammes, ces chiffres indiquant le premier la quantité de combustible dépensé par une chaudière à simple effet, et le dernier représentant la dépense d'un triple effet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque les jus sont concentrés à 50 pour 100 de richesse, on les soumet à une nouvelle filtration sur noir, puis on les fait cuire, c'est-à-dire qu'on leur enlève l'excès d'eau qui s'opposerait à la cristallisation du sucre.

Lorsque ce sirop est cuit et qu'il donne la preuve au crochet faible, on fait une addition de clairce à 27° B., qui ne doit pas dépasser 1/25 de ce qui reste à introduire dans l'appareil. Lorsque la preuve est revenue au crochet, on fait une nouvelle addition de clairce, et ainsi de suite, jusqu'à ce que tout soit introduit.

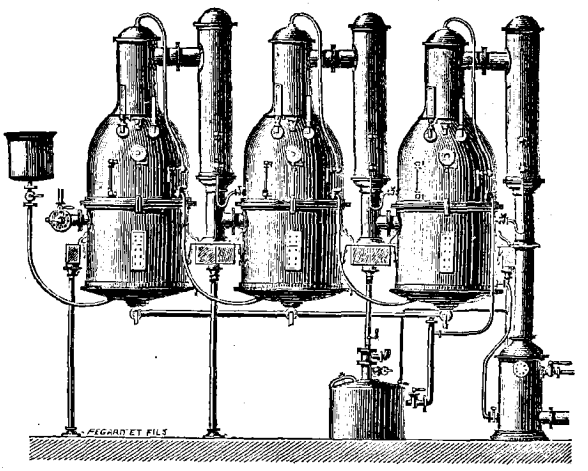


Fig. 51.

6° *Cuite.* — Dans les installations perfectionnées, la cuite se fait par des appareils à basse pression, dans lesquels on produit la cristallisation par la cuite en grains. Les principes sur lesquels repose cette opération sont assez simples, mais je crois utile de les résumer.

L'abaissement de la température d'ébullition, que les appareils à basse pression peuvent conduire de + 80° à + 65°, est la condition de la séparation des cristaux au sein même du sirop soumis à la concentration, de la *formation du grain*, que l'on observe dans les sirops clairs, lorsque la température en est descendue au-dessous de + 80°. Si un sirop, contenant 10 à 15 p. 100 d'eau, commence à montrer du grain, lorsqu'il est refroidi à ce point et si cette formation du grain est favorisée par l'agitation ou le mouvage de la masse, on doit admettre que, dans les appareils à basse pression, par + 70° de température, avec le mouvement de l'ébullition pour auxiliaire, le sucre se séparera en cristaux plus ou moins nets, aussitôt que la concentration sera telle qu'il ne pourra plus rester en dissolution. C'est sur ces faits que repose le principe capital de la cuite en grains.

On comprend encore que le grain sera d'autant plus net et mieux formé que l'opération sera conduite plus lentement, et que les cristaux seront d'autant plus gros et mieux définis que le sirop sera moins concentré relativement.

Pour avoir de gros cristaux, il faudra donc cuire plus lentement et moins *serrer* la cuite; c'est le contraire qu'il faut faire lorsqu'on veut avoir du grain très-fin.

Ces données générales seront rendues plus compréhensibles par la description de la marche suivie en pratique.

On fait arriver dans l'appareil, après avoir fait le vide, environ les 2/5 du sirop à 27° B. (1230 d.) nécessaire pour une cuite complète.

En général, vers la sixième addition, on trouve, en prenant la preuve, que les cristaux ont commencé à se former. Vers la dix-huitième, ils sont devenus nets, d'une bonne grosseur, et résistants.

Jusqu'alors, il a fallu *ménager la cuite*, en diminuant la température et en chauffant avec moins d'activité; mais, à ce moment, et pour les dernières additions de clairce, on peut procéder avec un peu plus de rapidité, tout en augmentant le vide, de façon à diminuer la température intérieure. Cette précaution rend la masse moins compacte et atténue le sirop, de manière qu'il se sépare plus aisément des cristaux.

Lorsque la preuve est obtenue, après la dernière addition, les cristaux restent sur le doigt et la séparation ne présente qu'un peu de sirop, détaché du grain, lorsque l'opération a été bien conduite. Les cristaux ne doivent pas se dissoudre entre les doigts lorsqu'on les malaxe dans un peu d'eau.

On procède alors à la vidange, et la masse est envoyée aux cristallisoirs.

Le succès de ce genre de travail est certain avec les *clairces neutres;* mais il n'en est pas de même avec les *clairces alcalines* qui donnent souvent des cuites grasses, fort difficiles à concentrer. Les *clairces acides* donnent des *cuites folles.*

Plus un jus a été purifié des matières étrangères au sucre, mieux la cuite se fait et plus nets sont les cristaux. On peut dire, sans exagération, que la cuite peut servir de contrôle au travail préliminaire, en sorte que, si le cuiseur est attentif, il peut presque toujours se rendre compte de l'opération, préalable à la cuite, qui a été mal faite ou négligée.

1° Lorsque l'on ajoute du sirop à la cuite, on force un peu la proportion si l'on veut obtenir de gros cristaux; c'est le contraire dans le cas opposé. Pour la production de gros grains, il importe, en effet, de laisser les cristaux se former lentement, tandis que, pour les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

petits grains, il convient de troubler la cristallisation tout en accélérant le travail.

2° Plus la cuite est lente, plus on forme de gros cristaux ; c'est là un principe général de cristallisation qui trouve ici son application, puisque la cuite en grains est, à la fois, un complément de concentration et une cristallisation.

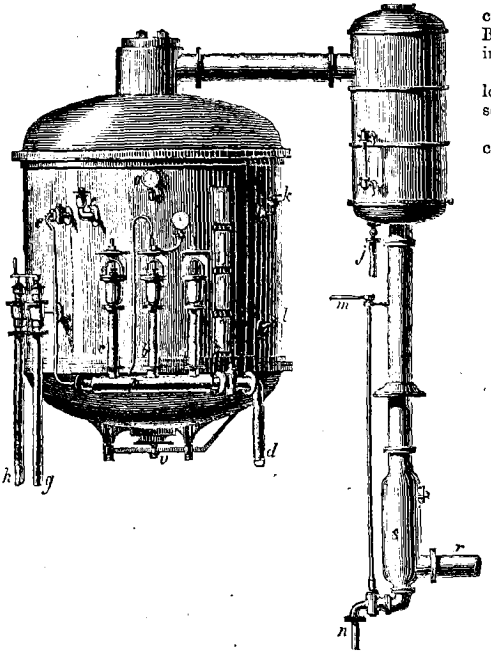


Fig. 52.

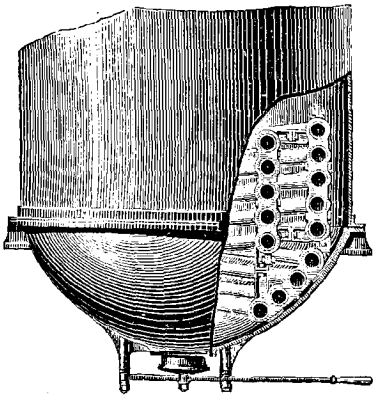


Fig. 53.

3° Les petites charges fréquemment répétées et la cuite rapide donnent des cristaux plus fins.

SUCRE.

4° Plus la preuve prise avant les additions de clairce est légère et plus on obtient de gros cristaux.

Les preuves trop fortes au commencement du travail sont un des plus grands obstacles à la réussite.

La figure 52 donne la vue d'une chaudière à cuire dans le vide, provenant des ateliers des frères Brissonneau, et la figure 53 montre la disposition intérieure des serpentins.

De la prise générale *d*, la vapeur pénètre, à volonté, dans l'une des prises *a*, *b*, *c*, dans l'un des serpentins.

Les sirops de premier jet sont aspirés par le tube *h*; ceux de deuxième jet par *g*. La sonde *l* sert à prendre

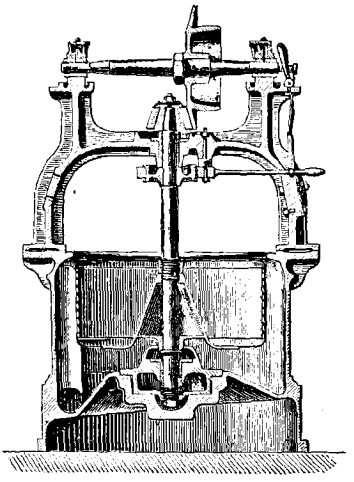


Fig. 54.

les preuves, *k* est le robinet à beurre, *o* l'indicateur du vide, sans parler du manomètre indicateur de la pression de la vapeur, très-visible sur la figure. Un petit robinet sert à faire rentrer l'air dans l'appareil ; *e* est une prise de vapeur pour le nettoyage, et la vidange *v* est un cône, dont la manœuvre est fort commode. Dans le condenseur, un indicateur de niveau *i* permet de surveiller les sirops entraînés, et le moment où il convient de les expulser par le tube *j*. Enfin, dans la partie inférieure *s* se trouve le tube d'injection d'eau froide, qui est amenée par le tube *n* et dont le débit est réglé par le robinet *m* ; le tube *r* se relie à la pompe d'aspiration.

7° *Cristallisation des masses cuites.* — La fabrication perfectionnée employant habituellement la cuite à basse pression, les cristaux sont produits dans l'appareil, au moins pour les premiers jets. Cependant, on cuit encore les seconds jets en sirop ou en filet, et dans quelques fabriques qui ont conservé les anciens errements, la cuite des premiers jets se fait également en sirop. Dans tous les cas, il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit plus haut sur la cristallisation.

8° *Purge ou séparation des cristaux.* — Les masses cristallisées, étendues d'un peu de sirop, et divisées dans un malaxeur, sont purgés à la turbine. La figure 54 donne une coupe des meilleures turbines actuellement employées. Une seule observation est à faire au sujet de la purge forcée, pour laquelle on doit considérer comme une mauvaise pratique d'employer l'eau ou un jet de vapeur complémentaire, lorsqu'on peut atteindre les meilleurs effets de blanchiment par l'usage des sirops

EFERUS - Recherche & Classification numérique

saturés de moins en moins colorés, sans courir le risque de dissoudre du sucre.

9° *Épuisement des eaux-mères.* — Il semble que tout soit encore à faire dans cette question, car, mis à part le traitement osmotique de E. Dubrunfaut, rien n'a encore été fait de sérieux dans le but d'éliminer les matières étrangères qui s'opposent à la cristallisation du sucre renfermé dans les mélasses.

10° *Utilisation des résidus.* — L'emploi agricole pour la nourriture du bétail des pulpes et des cossettes, l'utilisation, sous forme d'engrais, des écumes, des dépôts et des noirs épuisés, la transformation des mélasses en alcool par la fermentation rentrent dans les principes généraux, qui ont été exposés. Les écumes et les dépôts, séparés du jus qui s'y trouve renfermé, à l'aide du filtre-presse, contiennent encore cependant une certaine proportion de sucre, qu'on ne peut guère évaluer à moins de 1,49 pour 100 de la masse totale. L'emploi du filtre-presse pour l'épuisement des résidus est un des progrès les plus intéressants qui aient été accomplis par la sucrerie moderne. La première idée de cet engin appartient à l'Anglais Needham Kite. Elle a été perfectionnée par Daneck et Trinks; mais, aujourd'hui, il en existe un très-grand nombre.

PROCÉDÉS PARTICULIERS.

Parmi les milliers d'inventions qui se sont fait jour en sucrerie, il y en a quelques-unes qui ont attiré l'attention des industriels d'une façon plus ou moins permanente, et sur lesquelles il peut être utile de dire quelques mots.

Division des racines.— Il a été parlé de la râpe Champonnois, et un peu plus loin j'indique quelques particularités relatives au coupe-racines de Robert.

Extraction du jus. — Parmi les procédés par pression, on peut mentionner, à titre de renseignement, l'appareil de M. Robert (à Raucourt), malgré l'insuccès des tentatives de l'inventeur. L'appareil Lair, qui n'est qu'une sorte de presse hydraulique, dont la figure 55

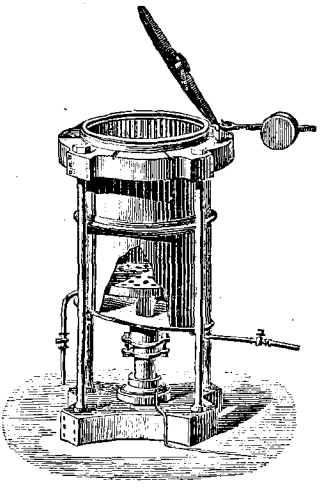


Fig. 55.

fait voir les détails, n'a pas laissé de traces dans l'industrie, malgré l'ingéniosité des dispositions qu'il présente. Les presses continues, qui semblent être l'objet de l'engouement actuel, justifié quant au principe, sinon quant aux créations des inventeurs, sont devenues extrêmement nombreuses. La presse Poizot et Druelle, la presse Champonnois, la presse Lebée, etc., se disputent actuellement la confiance de la sucrerie. La presse Champonnois est indiquée par la figure 56.

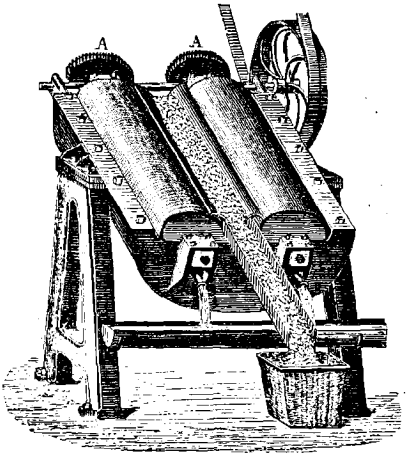


Fig. 56.

Deux rouleaux ou cylindres en bronze, à surface cannelée, inclinés à 45°, tournent en sens inverse dans une chambre métallique. Les liquides peuvent passer de l'extérieur à l'intérieur des cylindres. Ces rouleaux sont revêtus, à l'extérieur, par un fil de laiton triangulaire, de trois millimètres de côté, dont les tours en hélice sont écartés d'un dixième de millimètre. Ces cylindres étant placés dans une chambre demi-cylindrique de même diamètre que la somme de leur diamètre, et d'une longueur égale à leur hauteur, il existe, entre les cylindres et le fond de la chambre, un espace triangulaire curviligne, dans lequel une pompe aspirante et foulante dirige la pulpe qu'elle puise dans le réservoir de la râpe. Cette pulpe est saisie et comprimée entre les cylindres. Le jus passe à travers l'enveloppe en fil de laiton et pénètre dans l'intérieur des cylindres par les ouvertures des cannelures, pour s'échapper ensuite par la partie déclive et s'écouler dans un caniveau. La pulpe sort, entre les cylindres, en une sorte de galette qui se brise facilement.

Au fond, la presse Champonnois ne fournit que 80 pour 100 de jus et 20 pour 100 de pulpe, d'où il suit que la perte reste de 16 pour 100, comme avec les presses hydrauliques. En tout cas, la plupart des inventeurs ont compris la nécessité de faire une seconde pression après une trempe de la pulpe.

La macération, inventée par M. Mathieu de Dombasle, ne se pratique pas en France. En Allemagne, Schützenbach traite les pulpes dans une série de douze cuves, à l'aide desquelles il retire 125 kilogrammes de jus pour 100 kilogrammes de pulpes, la durée de l'opération étant fixée à 45 minutes. La principale objection à faire contre cette adaptation de la macération repose sur le grand excès d'eau employé, sur la perte du sucre dans les eaux d'épuisement, représentant environ 1 p. 100, sur l'augmentation considérable des frais de concentration, et l'emploi d'un matériel extrêmement encombrant [1]. Schützenbach a encore proposé, après Payen,

(1) Voir *Guide du Fabricant de sucre*, vol. II, p. 645 et suiv.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de diviser les racines en cossettes, de les faire sécher pour pouvoir en extraire ensuite le sucre par macération en temps utile; mais, en outre des frais de dessiccation, qui rendraient ce procédé inapplicable avec certains cours commerciaux, on ne voit pas bien quelle peut être l'utilité de cette méthode. Il en est de même de l'idée du même inventeur, empruntée d'ailleurs à M. Péligot, de vouloir extraire le sucre des cossettes sèches par l'intermédiaire de l'alcool. Ces choses doivent être signalées au lecteur, mais elles ne méritent pas que l'on perde du temps à les discuter.

Une des grandes gloires allemandes en sucrerie repose sur le procédé de macération de M. Robert, de Seelowitz, lequel, d'ailleurs, n'est que la reproduction, avec accompagnement d'appareils coûteux, des données françaises appliquées à la macération. M. Robert divise les racines à l'aide d'un bon instrument, dont la fig. 57

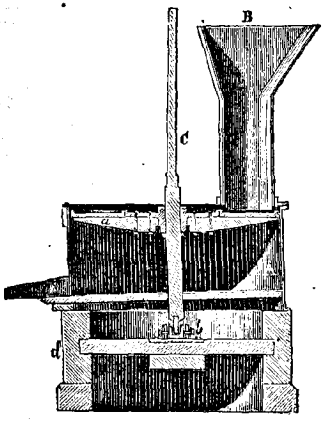


Fig. 57.

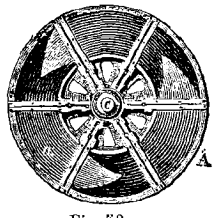


Fig. 58.

donne une coupe en élévation, la fig. 58 représentant une coupe horizontale au-dessus des couteaux.

La vitesse de cet appareil a été réglée entre 150 et 200 tours, et le seul reproche un peu fondé qu'on lui ait adressé repose sur la complication des couteaux et les réparations qu'ils exigent.

Le corps de cylindre A renferme les couteaux diviseurs et un espace pour recevoir les cossettes qui s'échappent par un dégorgeoir latéral. Les racines lavées sont introduites par la trémie B et sont pressées par leur poids contre l'instrument de division, lequel reçoit un mouvement circulaire horizontal par l'arbre c, qui tourne entre deux crapaudines, sous l'action de l'engrenage *d* sur *e*.

Aucune portion des racines ne peut échapper à l'action des couteaux, et la machine n'exige qu'une dépense de force insignifiante, puisqu'il suffit d'un cheval et demi pour un travail journalier de 100,000 kilogrammes, de l'aveu même de Walkhoff, qui est loin d'être un partisan de la diffusion Robert.

Les couteaux étaient d'abord disposés de manière à diviser les racines en petits prismes rectangulaires d'un centimètre de côté et de longueur variable; mais, depuis, le constructeur les a modifiés de façon à obtenir des lanières plus minces, sans toutefois que l'appareil présente de modifications frappantes.

Les betteraves, arrivant par la trémie B, sont divisées par les couteaux *a a' a''*; les cossettes tombent au-dessous du disque qui supporte ces couteaux et s'échappent latéralement. Elles sont reçues sur des wagons, dont la charge normale est de 450 kilogrammes, et sont transportées vers l'appareil de macération.

Toute cette question de la diffusion a beaucoup passionné la fabrication allemande, mais comme il s'agit plutôt en tout cela d'une affaire de chaudronnerie que d'autre chose, la fabrication française s'est tenue complétement à l'écart.

Sans parler des autres procédés de macération qui ont été conseillés, j'ajouterai que Walkhoff a proposé l'épuisement des pulpes pressées par une seconde division à l'aide d'une sorte de carde, puis par l'action ultérieure du déplacement dans un vase très-analogue à celui de Moreau d'Arluc ou du comte Réal, s'il n'en est la reproduction exacte. Cet appareil, représenté par la figure 59, est un

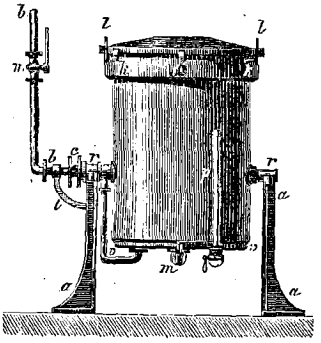


Fig. 59.

vase métallique, clos par un couvercle à écrous *ll*. Il repose, par deux tourillons *rr*, sur les supports *aa*. Comme l'axe *rr* est creux et réuni par un presse-étoupe au tube *bb*, on comprend que l'on puisse le faire tourner et basculer sur les supports, dans toutes les positions, sans interrompre l'arrivée de l'eau, qui dépend du robinet *n*. Le tube *bb* est soutenu par un contrefort *b*. Le robinet *n* sert à l'introduction de l'eau qui est alimentée par un réservoir supérieur.

Walkhoff dit que ce réservoir peut être élevé plus ou moins, de 4 à 30 pieds (1 à 10 mètres environ) sans que le résultat soit sensiblement modifié. Il résulte de cette observation que le travail consiste dans une simple lévigation. Cette eau passe par l'intérieur du tube *o*, débouche dans le vase lévigateur par les orifices du serpentin, percé de trous, qui le termine, et s'élève graduellement dans la matière pour sortir par le haut. La pulpe est maintenue en haut par un couvercle en tôle perforée. On fait recueillir le produit tout le temps qu'il a une densité suffisante. L'eau d'épuisement s'écoule par *m*. On comprend que l'on puisse réunir facilement une batterie de ces presses-filtres, comme les appelle l'auteur, et que, par un tube *p* à robinet, on puisse conduire le liquide d'un appareil vers un autre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de manière à économiser l'eau et à augmenter la densité.

Cette idée du spécialiste allemand repose sur des bases rationnelles, sauf peut-être en ce qui concerne quelques détails peu importants, et l'inventeur prétend que, en 30 minutes, 100 kilogrammes de pulpes lui restituent 20 kilogrammes 42 de jus, à 2°,75 B., représentant 8,47 de jus normal, à 7°,5 B. Il en résulterait que ce rendement, joint aux 84 pour 100 de jus de pression, fournirait un rendement total très-satisfaisant de 92,47 pour 100. Il n'y a pas lieu, du reste, de s'occuper de deux autres engins destinés au même but, et qui ont été certainement empruntés à la vieille fabrication française. Quoique ces appareils soient très-rationnels en principe, et qu'ils aient été grandement améliorés par l'observateur allemand, on ne peut en méconnaître l'origine.

Le procédé de M. Maumené consiste à extraire le jus aussitôt après la récolte des racines, et à le traiter à froid par une proportion de chaux qui varie de 30 à 50 millièmes. Ce jus chaulé, conservé dans des citernes, serait traité en temps utile, par la saturation et les opérations ultérieures.

M. Champonnois a conseillé de faire rentrer dans la macération des pulpes tout le sirop de premier égout, de manière à éviter les mélasses...

D'autres inventeurs, tels que MM. Leplay, Rousseau, Périer et Possoz, Lair, etc., se sont préoccupés de la production des sucrates insolubles, mais cette idée n'a encore fourni aucun résultat manufacturier réellement pratique.

Une autre méthode, relative à l'extraction du jus, est celle de M. Linard, et consiste dans l'établissement de râperies destinées à diviser la betterave sur des points plus ou moins éloignés d'une sucrerie centrale, vers laquelle les jus sont dirigés par un système de canalisation. Cette méthode peut être favorable aux intérêts des grands établissements industriels, mais elle paraît être opposée à ceux de la production agricole. En somme, il y a peut-être là une question de matériel plutôt qu'autre chose.

Purification du jus. — Un seul chaulage constitue la défécation simple. La répétition de cette opération sur le jus clair déjà chaulé porte le nom de défécation double, et l'on appelle défécation trouble celle dans laquelle on ajoute de la chaux, en brassant la masse, de manière à disséminer les écumes et à forcer le dépôt à se faire au fond des vases.

L'élimination de la chaux a toujours été l'objet des inquiétudes de la fabrication. Achard, qui défécquait par l'acide sulfurique très-faible, neutralisait ensuite son agent par le carbonate de chaux. Derosne et Howard éliminaient la chaux par le sulfate d'alumine ou l'alun de potasse; Boucher employait la même réaction. M. Claëss de Lombeck utilisait l'acide pectique extrait de la pulpe pour éliminer la chaux de défécation; M. Dubrunfaut, à la suite de Proust et de Drapiez, mutait les betteraves, la pulpe et le moût, par l'action de l'acide sulfureux; puis il défécquait par la chaux, et neutralisait par l'acide sulfurique. M. Mialhe a proposé l'oxalate d'alumine, Oxland l'acétate de la même base...

L'Allemand Krüger a indiqué la dissolution ammoniacale de caséine pour la précipitation de la chaux, et après que Garcia eût fait connaître son traitement consistant dans la réaction des savons alcalins sur les jus chaulés, Wagner proposa l'emploi de l'acide oléique. M. E. Rousseau a conseillé de traiter les jus par le peroxyde de fer hydraté et le sulfate de chaux; M. Kessler, à la suite de Morgenstern, a indiqué le sulfate de magnésie pour l'élimination de la même base; enfin, sous le nom de noir défécquant, M. Leplay a fait essayer en fabrication l'emploi d'un noir pénétré de carbonate de soude; M. Possoz a conseillé également l'emploi de ce carbonate alcalin, qui avait déjà été breveté par Dubrunfaut en 1829.

Aucun de ces procédés n'est demeuré dans la pratique, qui s'en tient, même dans la fabrication perfectionnée, à l'emploi de l'acide carbonique, dont l'idée première appartient à Barruel.

Dès 1812, cet observateur avait créé d'une manière complète, la méthode de saturation, et ses procédés ont été reproduits, en 1849, par MM. Rousseau frères. Kuhlmann, Schatten et autres avaient déjà essayé de faire sortir de l'oubli la méthode de Barruel, qui est au fond celle suivie dans la pratique courante de la sucrerie.

En 1855, Michaëlis avait l'idée de fractionner les doses dans le chaulage, et plus tard, en 1859, MM. Périer et Possoz prennent un brevet pour l'application de ce fractionnement. Le procédé de Fray et Jellineck (1863) préconise l'introduction de la chaux à froid dans des conditions déjà connues auparavant. Enfin, M. Pesier recommande l'emploi de l'alcool sur les sirops à 50 pour 100 pour l'enlèvement de la plus grande partie des matières étrangères.

En ce qui concerne la conservation des jus, et en dehors du procédé de M. Maumené, l'histoire de la sucrerie met l'industriel en présence de toutes sortes de choses. Proust (1810), Drapiez (1811), Perpère (1812), Dubrunfaut (1829), avaient conseillé l'emploi de l'acide sulfureux; Stollé (1838) recommandait l'action du bisulfite de chaux; Boutin (1846), celui du sulfite d'alumine, indiqué également par Jacquemard. Tous ces procédés réunis constituent le procédé Melsens, qui consiste dans l'usage du bisulfite de chaux, à titre d'agent de blanchiment et de conservation. La pratique européenne a su se garder contre les erreurs de ce procédé.

En ce qui concerne la transformation des alcalis, Michaëlis a eu l'idée malheureuse de vouloir employer le chlorure de calcium pour transformer les alcalis libres et certains sels alcalins en chlorures; cette pratique, essentiellement opposée aux règles de la chimie sucrière, n'a trouvé quelques adeptes qu'en Allemagne. Il en est de même du procédé Siemens et Breunlin, qui consiste dans l'emploi du chlorure d'aluminium pour le même but. Il semble inutile de mentionner le conseil de MM. Périer et Possoz relatif à l'emploi du carbonate de soude, qui rentre dans ce qui a été dit tout à l'heure, et il suffit d'ajouter que le seul moyen sérieux et pratique, vérifié d'une manière complète et satisfaisante pour rendre les alcalis inoffensifs, consiste dans l'emploi de l'acide phosphorique et des phosphates solubles. Le procédé Reynoso, reposant sur la séparation de la chaux par le phosphate d'alumine, lequel a été également proposé par Dominique, rentre également dans l'emploi des phosphates.

Traitement des résidus. — Si l'on considère que les mélasses renferment 50 pour 100 de leur poids en tout sucre, c'est-à-dire en sucre prismatique cristallisable et en glucose, on comprend qu'il puisse être d'une importance extrême pour la fabrication de rencontrer un procédé chimique facilitant l'extraction de la plus grande partie du sucre cristalisable. Ici, comme dans ce qui précède, les conseils ont été nombreux et les succès bien rares.

Le procédé Margueritte consiste à mélanger de l'alcool à 85° avec 5 pour 100 d'acide sulfurique, et à faire dissoudre 1 kilogramme de mélasse à 45° B. par litre de ce menstrue, dans lequel les bases, transformées en sulfates, sont insolubles. On sépare ces sulfates par filtration, puis on ajoute au sirop un litre d'alcool à 95° pour le dosage ci-dessus. Le sucre cristallise en huit ou dix jours, à moins qu'on ne sursature par un peu de sucre en poudre, auquel cas la cristallisation se fait en six heures. Ce procédé peut rendre jusqu'à 0,38 ou 0,40 du sucre de la mélasse, et il mérite d'appeler l'attention

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'industrie, bien qu'il ne semble pas encore être entré dans la pratique.

Le sucrate de baryte, étudié par M. Péligot, est très-peu soluble dans l'eau saturée d'hydrate de baryte, aussi MM. Dubrunfaut et Lepay ont-ils appliqué la baryte hydratée à l'enlèvement du sucre des mélasses. La baryte doit être ajoutée dans la proportion d'un équivalent relativement au sucre et, en outre, d'un excès pouvant saturer 15 à 16 grammes d'acide sulfurique par litre. Le sucrate lavé, traité par l'acide carbonique, restitue le sucre, dont on continue le traitement par la méthode connue.

M. Dubrunfaut a substitué depuis le sulfure de barium à la baryte hydratée, mais ce procédé, connu sous le nom de procédé barytique, paraît avoir été complétement abandonné.

Il est à peine utile de mentionner les différents procédés par lesquels de nombreux inventeurs ont essayé de faire des agglomérés de chaux et de sucre, auxquels ils ont donné le nom de sucrates calcaires; ces différents procédés n'ayant fourni aucun resultat sérieux jusqu'à présent, et paraissant tous être plus ou moins copiés les uns sur les autres. La seule méthode relative à l'épuisement des résidus, qui ait rendu quelques services à la sucrerie, et qui soit mise en pratique dans un certain nombre d'usines, consiste dans l'application des faits de l'osmose, dus à M. Dubrunfaut. La description de l'osmogène de cet inventeur forme le complément des procédés de la raffinerie exposés plus loin.

EXTRACTION DU SUCRE DE LA CANNE.

Au point de vue historique, l'étude du sucre devrait, comme il a été déjà dit, commencer par celle du sucre de cannes, mais l'ancienne méthode applicable à cette graminée saccharifère étant tombée en désuétude partout où l'on cherche à progresser, la fabrication du sucre de cannes se trouve calquée sur les procédés de la sucrerie de betterave, en sorte que, pour un industriel versé dans la pratique, il suffit de connaître la sucrerie indigène pour pouvoir pratiquer la sucrerie exotique, dans ce que l'on a nommé les méthodes perfectionnées.

Eau	771,7
Sucre	209,0
Sels minéraux	17,0
Produits organiques	2,3
	1,000,0

La composition de la canne fraîche, déduite de celle des cannes séchées, serait:

Eau	72,1
Sucre	18,0
Ligneux	9,9
	100,0

Il en résulte que la canne, à 18 pour 100 de sucre contient 90,1 de vesou à l'état frais. Or, M. Dupuy a observé qu'on retire seulement de 56,4 à 61,8 de vesou pour 100 parties de canne, et la moyenne de 60 accuse une perte de 30 pour 100 dans la pratique. Il est bon de faire remarquer, en général, que le rendement de la fabrication vulgaire en sucre cristallisé varie de 4 à 6 pour 100 au lieu de 18 pour 100 qui se trouvent contenus dans la plante, et l'extraction du jus est encore si peu comprise, même dans ce qu'on appelle la fabrication perfectionnée, que, par les puissantes usines de la maison Cail, on ne retire pas plus de 65 de jus normal, correspondant à 9,5 de produit.

Le procédé de la fabrication vulgaire est très-simple, et voici en quoi il consiste:

Lorsque les cannes sont récoltées, ou plutôt au fur et à mesure de leur récolte, on les transporte dans un magasin qui porte le nom de *parc aux cannes*. Ce magasin doit être situé le plus près possible des *laminoirs* à écraser la canne, autrement dit du *moulin*. Les cannes sont introduites entre les cylindres, en bois, en pierre ou en métal, disposés verticalement ou horizontalement; lorsqu'elles ont passé dans un sens, présentées par un ouvrier, un autre les repousse dans le sens opposé, en sorte qu'elle subissent deux pressions. Le jus est reçu sur une table entourée d'une rigole, et de là il se rend quelquefois directement dans les chaudières, mais plus souvent dans un réservoir ou bac, où on le laisse reposer pendant une heure.

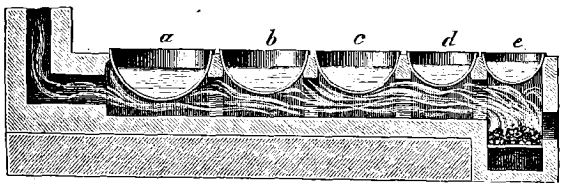


Fig. 60.

Les chaudières sont réunies au nombre de cinq sur un fourneau allongé, et cette réunion de chaudières porte le nom d'*équipage*. Le feu est alimenté par de la bagasse, et le foyer est placé sous la chaudière à cuire, la plus petite de toutes, qu'on nomme la *batterie*. Les chaudières sont rangées dans l'ordre indiqué par la figure 60 ci-contre.

La chaudière *a*, la plus éloignée du foyer, se nomme LA GRANDE, *b* LA PROPRE, *c* LE FLAMBEAU, *d* LE SIROP, et *e* LA BATTERIE. Autrefois, chacune de ces chaudières avait son foyer particulier; mais, aujourdhui, l'équipage est chauffé par un seul foyer sous la chaudière *e*. Le jus, arrivant en *a*, est porté à une température très-variable, additionné d'un peu de chaux, puis écumé. On le puise avec un puisoir et on le met en *b*, dans la propre; *a* se remplit de nouveau. Il se forme dans la propre de nouvelles écumes que l'on enlève et que l'on rejette dans la grande. Le jus, déjà concentré, est versé dans le flambeau en *c*, où il se concentre davantage, et où on l'examine pour reconnaître sa limpidité. De là il passe en *d* dans le sirop, puis il arrive dans la batterie, où il parvient à la consistance de la cuite.

En sortant de la batterie, le sirop est mis dans un bac à refroidir et, lorsqu'il montre le *grain*, on le remue avec un mouveron, puis on le verse dans des tonneaux

Il ne faudrait donc, d'une manière nécessaire, aucune description du travail sucrier de la canne, si la nature même de cette plante n'exigeait la connaissance de quelques détails particuliers, et s'il n'était nécessaire d'avoir au moins une notion de la fabrication vulgaire pour en apprécier les inconvénients.

Selon M. Péligot, il n'existe que du sucre prismatique dans la canne. Cette opinion de l'illustre chimiste est en désaccord avec les observations de la plupart des spécialistes, précisément parce que les circonstances dans lesquelles M. Péligot s'est trouvé sont absolument différentes de celles de la pratique habituelle, et qu'il n'a opéré que sur des jus provenant de cannes très-mûres et non altérées. La densité du vesou ou jus de cannes pur a été trouvée de 1,088, ce qui correspond à 11°,8 B., et la composition de ce jus serait représentée par les données suivantes, sur 1,000 parties:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placés debout, dont le fond inférieur est percé de trous, munis de bouts de cannes formant chevilles. Lorsque la cristallisation est faite, on enlève les chevilles pour déterminer l'égouttage. Cette pratique est encore suivie dans beaucoup d'habitations; cependant la plupart des fabricants laissent *grener* leur sirop pendant vingt-quatre heures, puis ils le mettent en formes et, lorsque la masse est solidifiée, ils enlèvent la *tape* de la pointe, et font l'égouttage comme il est pratiqué en Europe pour les sucres bruts.

Le sucre égoutté, imparfaitement séché, est embarillé lorsqu'il doit s'expédier complétement brut. Quelquefois il subit un ou deux terrages, et constitue la *cassonade à une* ou *à deux terres*.

Le vesou ou vin de cannes fermente avec une grande rapidité, sous l'influence d'un ferment particulier, qui se trouve dans la plante à l'état globulaire, et dont l'action est extrêmement énergique au contact de l'air. Cette circonstance nuit encore à la quantité du rendement, que l'on peut apprécier ainsi, sur 1,000 kilogrammes de canne :

Sucre restant dans la bagasse. . .	87,50	
Sucre obtenu.	60,00	= 176,00
Valeur saccharine de la mélasse. .	28,50	

En général, le fabricant perd au moins 61k,40 de matière sucrée restée dans la bagasse, et 51k,74 sous forme de mélasse. Les grandes usines de la maison Cail obtiennent 63k,08 de premier jet, 23k,05 de deuxième jet et 3k,40 de troisième jet, soit en tout 94k,53, lorsque le rendement moyen de 59,3 en jus devrait produire 96k,85 de sucre, indépendamment du sucre resté dans la bagasse. Je ne m'arrête à la fabrication vulgaire que pour constater simplement l'insuffisance du rendement, et j'ajoute que, dans cette fabrication, on ne prend aucune des précautions nécessaires pour extraire un maximum de jus, pour purifier le liquide obtenu et en retirer la plus grande quantité possible de sucre. Cela tient principalement à l'usage erroné en vertu duquel on cherche à utiliser le résidu de la canne ou la bagasse en guise de combustible. Et comme cette bagasse brûle d'autant mieux qu'elle retient plus de sucre, il s'ensuit que c'est par la combustion de la plus grande partie du produit cherché qu'on arrive à en extraire une faible portion.

Fabrication perfectionnée. — Dans la fabrication moderne du sucre de cannes, la presque totalité des données est calquée sur celle de la sucrerie de betteraves.

On débute dans le travail par l'appréciation de la canne, à l'aide de ses caractères extérieurs, qui indiquent la maturité industrielle de la plante, par la chute des feuilles, la teinte mate et jaune des entre-nœuds, et l'absence d'altération visible. Les caractères essentiels se déduisent, comme pour la betterave, de la densité du jus, de la richesse absolue, de la proportion et de la nature des matières minérales, et de la proportion des matières azotées. Sous le rapport de la densité seulement, il convient de savoir qu'un jus à 1,088 ou 11°,8 B. renferme 209 grammes de sucre par litre, et que 0,001 de densité correspond à 2gr,375 de sucre par litre, chaque degré de B. représentant 17gr,71 de sucre pour le même volume. Ces données correspondent à 1,7 de matière minérale, et à 0,23 de substances organiques. Dans ces conditions, on devrait obtenir un rendement de 25,37 de masse cuite pour 100 parties de vesou normal, ce qui conduirait à 20,29 de masse cuite pour l'extraction régulière de 80 kilogrammes de jus par 100 kilogrammes de cannes, et à l'extraction de 17k,319 de sucre au lieu de 5 à 6 kilogrammes.

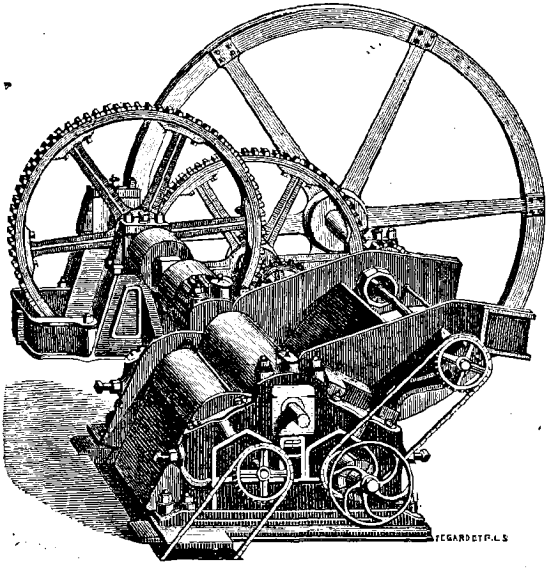


Fig. 61.

La canne n'a pas d'autre préparation à subir avant le travail que l'élimination des parties écrasées, gelées, altérées, des nœuds non mûrs, des branches ou rameaux adventices, et des portions fermentées. C'est dans le cannier, au moment de la coupe, que se pratique cette opération, ainsi que la division des tiges en tronçons de 1 mètre environ, et leur réunion en fagots plus ou moins faciles à transporter.

L'extraction du jus s'opère encore à peu près partout à l'aide du moulin ou des laminoirs, et la figure 61 représente l'une des meilleures dispositions de la maison Cail.

Un certain nombre de fabricants font subir à la canne une deuxième pression, après une imbibition par l'eau, afin d'augmenter autant que possible le rendement en vesou.

La purification du vesou de cannes se fait par le chaulage à la défécation, par la carbonatation et la filtration sur noir, et la seule différence consiste dans la diminution de la dose de la chaux, qu'on n'emploie guère que dans la proportion de 4 à 6 millièmes.

La concentration se fait dans les grandes usines comme dans la pratique européenne, et un certain nombre de fabriques ont adopté les appareils à effet multiple et à basse pression. Cependant, plusieurs fabricants se servent d'un appareil à l'air libre, connu sous le nom d'appareil Wetzell. Cet instrument (fig. 62) se compose essentiellement d'une auge demi-cylindrique ou surbaissée, dans laquelle tourne une série de tubes isolés dans leur longueur, mais communiquant à chaque extrémité avec une boîte à vapeur. Tout le système

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tubulaire, rempli de vapeur, qui pénètre par une extrémité, et dont la condensation s'échappe par l'autre, tourne dans le liquide à concentrer ou à cuire. Chaque tube, en sortant du liquide, en emporte une couche

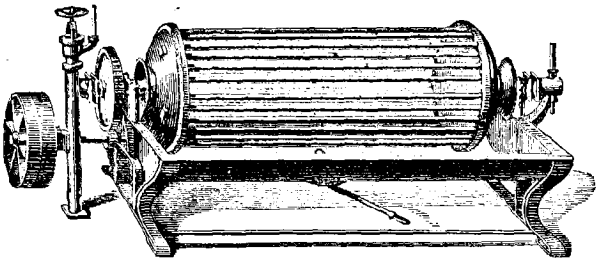


Fig. 62.

mince superficielle, dont l'eau s'évapore, presque en totalité, avant que les tubes rentrent dans la liqueur par leur mouvement de révolution. L'évaporation est extrêmement rapide dans cet appareil, et il est employé très-avantageusement dans un grand nombre de sucreries de cannes.

La méthode de Philippe consiste à diviser les cannes par le hache-cannes, leur faire subir une certaine lévigation, à l'aide d'une hélice, et les soumettre ensuite à la pression dans une presse rotative à cylindre intérieur excentré. En dehors de l'appareil de concentration et l'appareil de cuite du même inventeur, on ne peut qu'applaudir à la tentative rationnelle qu'il a essayé de faire adopter pour l'extraction du vesou, et c'est le côté de cette méthode qui paraît le plus digne d'intérêt. Le hache-cannes de Philippe, représenté par la figure 63,

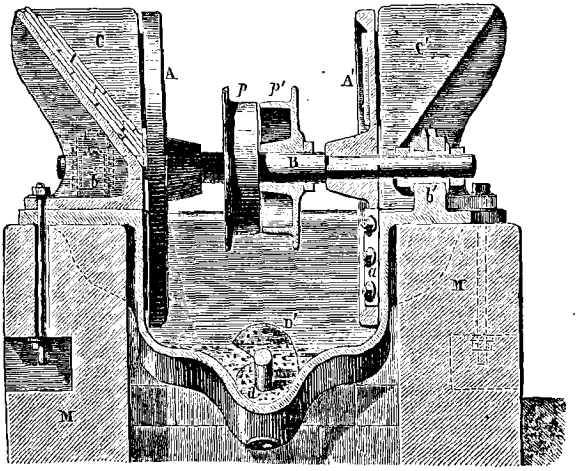


Fig. 63.

La filtration des sirops, la cuite, la cristallisation, le traitement des masses cuites, la purge ou la séparation des cristaux, l'épuisement des eaux-mères et l'utilisation des résidus se basent exactement sur les mêmes principes que les parties correspondantes de la sucrerie indigène. La seule exception à faire est relative à l'utilisation des bagasses, ou résidus de la pression des cannes, que l'on emploie le plus souvent comme combustible.

La canne à sucre a été moins exploitée par les procédés particuliers que la betterave, et je ne reviendrai pas sur ce qui a été dit précédemment à cet égard, la plupart des méthodes ou des procédés indiqués relativement à la betterave ayant été indiqués par les inventeurs comme applicables à la canne. Cependant quelques méthodes d'ensemble méritent une mention particulière et, parmi ces méthodes, celle de Philippe et celle de Fryer présentent quelques faits intéressants.

consiste en une sorte de coupe-racines double, c'est-à-dire composé de deux plateaux en fonte A et A', calés sur un même arbre B, muni d'une poulie fixe p, qui lui communique le mouvement, et d'une poulie folle p' pour recevoir la courroie motrice lorque l'on veut amener l'arrêt.

L'arbre B tourne dans les coussinets en bronze de deux paliers b et b', dont les cuvettes sont fondues avec une sorte de cuvette D' destinée à recevoir les produits divisés, et qui sert en même temps, par ses larges rebords, de plaque d'assise à l'appareil; ces rebords, en effet, sont boulonnés sur le massif en maçonnerie M, avec les deux trémies en fonte C et C' dans lesquelles on jette la canne par brassées.

Ce qui produit la division en rouelles, ce sont les quatre couteaux a, fixés sur des surfaces inclinées ménagées sur la face des plateaux comme on le voit parti-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

culièrement sur le détail de la figure suivante et, au pied de chaque plan incliné, une fente est ménagée pour l'échappement des rouelles qui peuvent alors tomber dans la cuvette D'.

Les cossettes, ainsi obtenues par l'action du hache-cannes, et arrivées dans le fond incliné de la cuvette, commencent à subir la lévigation. La forme de cette cuvette est telle, que « par une bride, elle vient se raccorder avec le tube cylindrique en fonte (fig. 64), qui

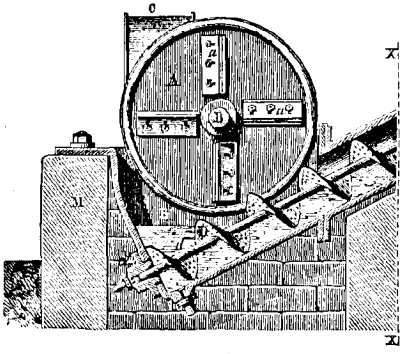


Fig. 64.

sert d'enveloppe à la vis *u*. Celle-ci est en tôle perforée, et son arbre en fer *d* tourne par son extrémité inférieure sur un pivot à lentille et à vis de réglage...; l'extrémité supérieure tourne dans un collet en bronze, ajusté dans le couvercle même de l'enveloppe, et elle est munie d'une vis sans fin, qui reçoit le mouvement d'une roue à denture hélicoïdale, dont l'axe porte la poulie E (fig. 65), actionnée par un des arbres de l'usine.

Cette vis hélicoïdale est, à proprement parler, l'instrument unique de la lévigation des cossettes, et l'on comprend que les tronçons de canne, séparés par l'instrument de division, franchissent très-aisément le tube qui renferme l'hélice, en s'imbibant plus ou moins des liquides qu'ils rencontrent, de manière à subir une osmose plus ou moins complète.... Lorsque les cossettes sont arrivées à l'extrémité supérieure de l'hélice, elles tombent dans une presse continue de forme rotative, dont le *Génie industriel* donne une bonne description. « Elle se compose d'une enveloppe circulaire G, fondue avec sa plaque d'assise G', la trémie G'' et avec des brides; à celles-ci sont boulonnés les deux fonds H, qui portent les coussinets de l'arbre H', sur lequel est calé le tambour creux excentré I.

« C'est celui-ci qui fait l'office de presseur, en entraînant, au moyen de six palettes en bronze *j*, dont il est porteur, les rouelles de cannes déversées par la vis dans la trémie, qui viennent occuper successivement des espaces de plus en plus étroits, entre l'enveloppe et la périphérie du tambour, pour être enfin expulsées par le dégorgeoir *g*, disposé à cet effet à l'endroit de l'enveloppe qui, du point le plus étroit, va en s'élargissant.

« Le tambour I est en fonte, et sa paroi percée d'une multitude de petits trous qui, à la périphérie, débouchent dans des gorges circulaires parallèles, recouvertes par une tôle en acier *i*, elle-même percée de petits trous, de sorte que le jus extrait par la pression peut pénétrer sans difficulté à l'intérieur du tambour, d'où il s'échappe latéralement par une ouverture *i'*, placée dans la ligne verticale centrale. Là, par un tuyau J, la pompe J' le prend et l'élève par le tuyau F' dans l'enveloppe de la vis, afin d'opérer la lévigation de la canne au fur et à mesure que les rouelles s'élèvent pour se rendre à la presse. Il est entendu que la pompe J' pourrait être remplacée par un monte-jus ou par tout autre moyen.

« Les six palettes en bronze *j* sont fondues creuses, chacune avec trois compartiments, comme on le voit dans la figure 65; celui du milieu est occupé par une

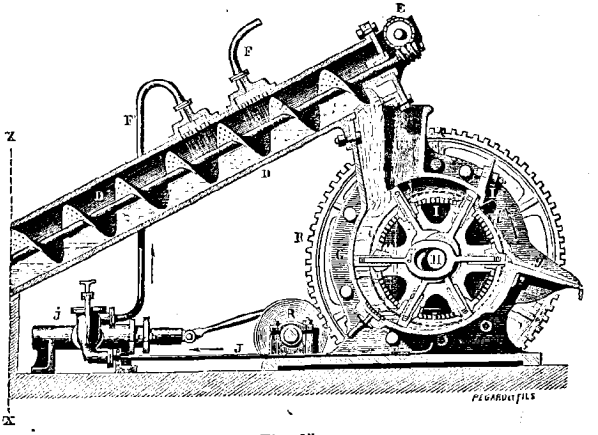


Fig. 65.

« On remarque aussi vers le sommet de l'enveloppe deux espèces de petites boîtes en fonte, qui sont destinées à recouvrir de petits orifices, par lesquels les liquides, arrivant par les tuyaux F et F', sont projetés à l'intérieur sur les spires de l'hélice. »

sorte de petit piston double *j'*, reliant deux à deux celles des palettes qui sont diamétralement opposées; de cette façon, elles se trouvent toujours maintenues en contact avec l'intérieur de l'enveloppe, quelle que soit la position qu'elles occupent par rapport à l'axe; pour éviter les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frottements et rendre les joints hermétiques, une certaine élasticité est donnée à l'action du piston *j'* par la superposition, au fond des palettes, de deux épaisseurs de caoutchouc *j''*, recouvertes par une lame métallique.

« Un secteur en bronze *k*, avec garniture en caoutchouc, est aussi appliqué, dans un but analogue, pour fermer l'enveloppe à l'endroit où les rouelles, pressées au maximum, sont conduites au dehors par le dégorgeoir *g*; deux vis de réglage *k'* permettent de donner à ce secteur la position excentrée dans laquelle il est convenable de le maintenir.

« Pour détacher les rouelles, qui peuvent rester attachées à la paroi *i* du tambour, il y a au-dessus du dégorgeoir une raclette L, et afin qu'elle puisse se soulever pour livrer passage aux palettes *j*, elle est maintenue en contact par un système de contre-poids qui permettent cette évolution.

« Quand au mouvement du tambour, comme il est nécessaire qu'il tourne très-lentement, on a disposé un double harnais d'engrenages, composé du pignon *r*, qui fait partie de la poulie P, montée folle, comme celle P', à l'une des extrémités de l'arbre H'; par la grande roue R, engrenant avec ce pignon son arbre K, muni du pignon *r'*, on commande la grande roue R' qui est clavetée à l'extrémité de l'arbre H', auquel est ainsi communiqué le mouvement, retardé dans les rapports existants, soit de 1 à 4 pour chaque paire d'engrenages. »

La marche de ce matériel d'extraction est facile à concevoir. On jette la canne dans les trémies du hache-cannes, c'est là toute la main-d'œuvre. Cette canne, divisée en cossettes, tombe dans le lévigateur, à la partie inférieure de cet organe; elle se trouve en contact avec le vesou moins dense qui provient de la presse; puis, à mesure qu'elle s'élève, avec de l'eau chaude, additionnée de deux à quatre millièmes de lait de chaux. La température de l'eau est d'environ +70°, dans le but de faciliter la dissolution du sucre et d'obtenir la coagulation des matières albuminoïdes. Lorsque les cossettes ont parcouru toute l'étendue du cylindre lévigateur, elles tombent dans la presse, dont le tambour presseur agit avec une vitesse de 1m,50 à 2 mètres.

L'inventeur évalue la puissance de pression à 540,000 kilogrammes par chaque case de son cylindre, et la durée de la pression est de 1 minute par 10 kilogrammes de canne. Il conseille en outre la suppression de la filtration sur noir, et s'appuie à cet égard sur d'excellentes raisons pour considérer cet agent comme inutile et nuisible.

Dans le système Philippe, la concentration se fait à l'air chaud, à l'aide de l'instrument représenté par la figure 66.

Cet appareil se compose d'un grand tambour horizontal en tôle A, d'une capacité assez grande pour permettre l'expansion des vapeurs. Le liquide à concentrer y est amené sous forme de brouillard par un jet violent qui vient se briser contre une lentille *a*, placée dans l'axe central du tambour. Ce jet est produit par un injecteur Giffard B, qui l'aspire dans un serpentin *b*. D'autre part, au fond du tambour, et au-dessous du jet de liquide pulvérisé, un tuyau de large diamètre C amène les gaz chauds provenant d'un générateur spécial.

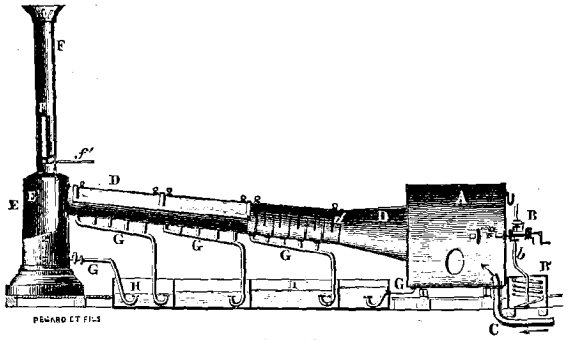


Fig. 66.

Ce tambour est relié avec un tube de conduite D, en tôle, offrant une disposition inclinée, comme l'indique la figure, et présentant dans sa longueur des diaphragmes *d d* disposés en chicane, afin d'augmenter le parcours des vapeurs et de les forcer à déposer les particules de sirop entraînées par le courant gazeux. A l'autre extrémité, cette conduite débouche dans une colonne de sûreté verticale E, surmontée d'une cheminée F, pour l'entraînement des vapeurs. Une injection de vapeur, amenée par le tube *f'* dans le cône F', et destinée à activer le tirage; enfin, une séparation produite par une cloison E' empêche les sirops entraînés de se mélanger avec les produits plus aqueux qui pourraient se condenser. Des tubes de retour G portent les sirops entraînés dans des réservoirs H, disposés de façon à partager les produits selon leur densité, qui est décroissante à partir du tambour. La marche de cet appareil est assez facile à comprendre. En admettant, d'après Péclet, qu'un kilogramme d'air absorbe d'autant plus d'humidité que la température de ce mélange gazeux est plus élevée, et sachant que, à +100°, par exemple, l'humidité absorbée par un kilogramme est de 0,29¼ et que, à 200°, un kilogramme d'air peut entraîner jusqu'à 8k,197 d'eau, on comprend que le gaz chaud, pénétrant par C dans le tambour A, entraîne dans la conduite D et la cheminée F l'eau du vesou et détermine une concentration rapide de la liqueur. Les gaz chauds, empruntés au générateur, ne coûtent rien ou presque rien, mais on doit les purifier des substances pyrogénées, et, sous ce rapport, bien que M. Philippe reconnaisse la nécessité de cette purification, on ne trouve pas indiqués dans sa description les détails du moyen pratique pour la produire.

L'inventeur fait observer que l'acide carbonique de ces gaz chauds a l'avantage de neutraliser l'alcalinité si la chaux a été mise en excès, et il établit que la température théorique de l'intérieur du tambour ne peut dépasser 100°, et qu'elle est pratiquement de +60° à +70° seulement. Cette donnée est assez compréhensible, puisque les gaz, en absorbant l'humidité du vesou, emploient, en quelque façon, leur calorique à la vaporisation de cette humidité, c'est-à-dire à la formation de vapeur à +100°. M. Philippe déclare que la dépense en combustible ne s'élève qu'à 1,000 kilogrammes de houille, destinée à l'épuration des gaz, d'où il nous semble résulter que cette épuration doit se faire en faisant traverser, par le courant gazeux, une masse incandescente. L'économie accusée serait de 4 francs par 100 kilogrammes de sucre, sans compter l'augmentation du rendement.

L'inventeur complète son système par un appareil à cuire dans le vide.

Le système de l'Anglais Fryer ne constitue pas, à proprement parler, une méthode d'ensemble, et il repose sur l'emploi d'un appareil de concentration et de cuite, sans rien modifier aux conditions habituellement mauvaises de l'extraction et de la purification des jus. Au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fond, la machine Fryer, en ce qui concerne l'idée originale, a emprunté tout ce qu'elle a d'important à l'appareil de Curaudau, qui avait déjà été reproduit par Payen et Buran pour la concentration des solutions boriques.

L'appareil Fryer consiste en deux instruments séparés, dont le premier sert à concentrer le vesou jusqu'à une densité voisine de 27° à 28° B. Le second sert à terminer la concentration ou à opérer la cuite de ce premier sirop, à l'aide d'un courant d'air chaud, qui est mis en contact avec le sirop, pendant que celui-ci est constamment agité par des lames héliçoïdales.

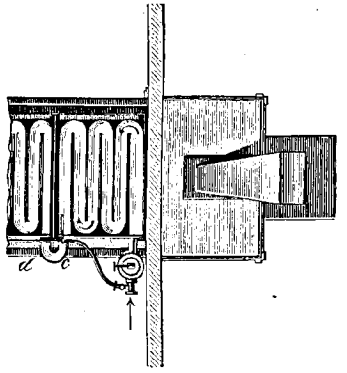


Fig. 67.

Les figures 67 et 68 représentent la vue en plan de l'appareil, dont la face supérieure indique avec une précision suffisante le chemin parcouru par les vesous. Les figures 69 et 70 donnent la coupe verticale de l'instrument en passant par l'axe. Dans la figure 70, l'appareil à air chaud et l'appareil à cuire sont dessinés en perspective, et vus de côté. Les dessins ont dû être coupés, en raison des exigences typographiques, afin de conserver aux détails des dimensions suffisantes pour l'intelligence de la machine de Fryer, dont la construction ne présente, d'ailleurs, aucune difficulté sérieuse.

La coupe verticale de l'appareil permet d'en établir le montage, ou, tout au moins, d'en comprendre les dispositions et de pouvoir exécuter facilement les indications des constructeurs.

Au fond, l'appareil est complexe : il constitue un ensemble dont la première partie répond à la vaporisation du jus sur grandes surfaces et faibles épaisseurs ; un organe particulier (*j* des figures) sert à échauffer

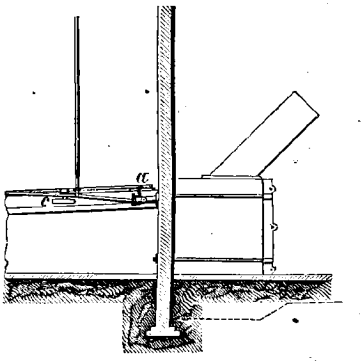


Fig. 69.

l'air qui doit être employé à la cuite et qui est appelé de l'extérieur par un ventilateur *y* et par l'intermédiaire d'une cheminée *k*. Cet air circule entre les tubes de *j*, par lesquels s'échappent les gaz chauds de la combustion, qui ont produit la concentration en passant sous les traits ou plateau de vaporisation. C'est donc la chaleur perdue qui sert à échauffer l'air employé à la cuite ou à la concentration complémentaire et, sous ce rapport, l'idée de Fryer est très-économique. Il convient de faire grande attention à ce point. En effet, l'économie de la fabrication domine aujourd'hui toutes les questions industrielles et l'on ne peut s'empêcher d'accorder au moins l'estime, sinon toute son adhésion, à une méthode ou à un appareil qui réalise cette économie. Et la diminution des frais ne portât-elle que sur un point, il y aurait encore à constater un mérite partiel, dont l'importance ne peut pas échapper au lecteur.

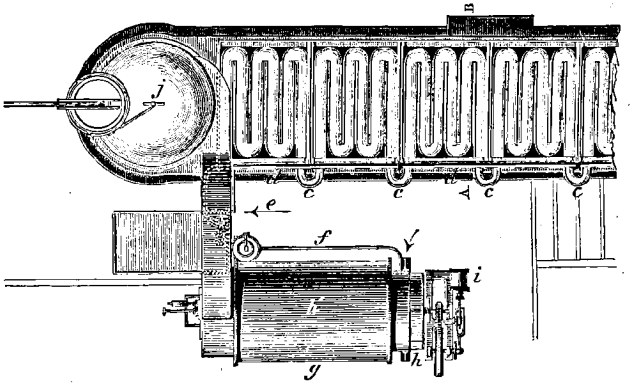


Fig. 68.

Je décris cet appareil avec plus de détails, d'après

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une intéressante notice publiée par les constructeurs français.

« Le jus, après avoir été clarifié à la manière ordinaire, mais sans addition de chaux, ou au moins avec juste ce qu'il en faut pour produire une légère réaction alcaline sur le papier réactif, est admis à couler en nappe soigneusement réglée sur la partie du *concretor* appelée les *plateaux* ou *traits* (*b* des figures). Ces plateaux sont des vases en fonte rectangulaires et de peu de profondeur. Ils ont environ 1m,50 sur 1m,80 chacun, et 0m,15 de profondeur, et sont divisés, à leur face supérieure, par des nervures qui s'étendent alternativement depuis un bord jusque près de l'autre. Il y a plusieurs de ces plateaux, et ils sont reliés entre eux de manière à permettre leur dilatation et leur contraction au moyen de parties coudées (*c* des figures) sur lesquelles on peut, à chaque instant, vérifier et rectifier la marche de la concentration. Toute la série est placée dans une position inclinée (environ 35 millimètres de pente par mètre) et soumise à un feu intense de bagasse ou autre combustible, dont la flamme passe sous toute leur longueur. Le vesou entre sur le trait à sa partie supérieure (*a* de la fig. 69), près du foyer, et coule d'un côté à l'autre sur toute la série, parcourant ainsi une surface d'une longueur totale d'environ 120 mètres, jusqu'à ce qu'il arrive au point le plus bas (*e* de la fig. 68), en bouillant rapidement pendant tout le temps; de sorte que sa densité, qui était de 9° 1/2 à 10° B. à l'arrivée, est de 28° B. à la sortie. L'épaisseur de la nappe ne dépasse pas 12 millimètres 1/2, et la concentration s'opère dans un intervalle de temps très-court.

« Les produits de la combustion, après avoir parcouru le dessous des plateaux, traversent un grand nombre de tuyaux de fonte d'un diamètre de 5 centimètres et d'une longueur de 1m,80, qui sont placés verticalement à l'intérieur d'un grand cylindre en tôle (*j* de la figure) sur lequel est placée la cheminée. Un ventilateur aspirant (*h* de la figure) fait circuler autour des tuyaux l'air qui se trouve ainsi amené à une température de 150°. Cette chaleur est utilisée de la manière suivante : un cylindre (*g* des figures) d'un diamètre d'environ 1m,20 est placé horizontalement, de telle manière que le courant d'air chaud y est aspiré de part en part par le ventilateur. Les extrémités du cylindre portent des parties annulaires qui lui permettent de retenir une épaisseur de 100 à 125 millimètres de liquide. Le cylindre porte, en outre, intérieurement, une série de lames héliçoïdales en tôle arrangées de façon que, lorsque le cylindre tourne, le liquide coule sur tout le développement et présente ainsi une très-grande surface à l'action desséchante de l'air chaud. Le jus, à sa sortie des plateaux, et converti alors en sirop, est conduit par un tuyau (*f* de la figure 68) dans le cylindre, où il entre à l'extrémité opposée à celle de l'arrivée de l'air chaud, et traverse le cylindre en augmentant progressivement de densité, jusqu'à ce que, enfin, il en sorte avec une consistance ressemblant à de la bouillie épaisse, qui, par le refroidissement, se change en produit concret solide. »

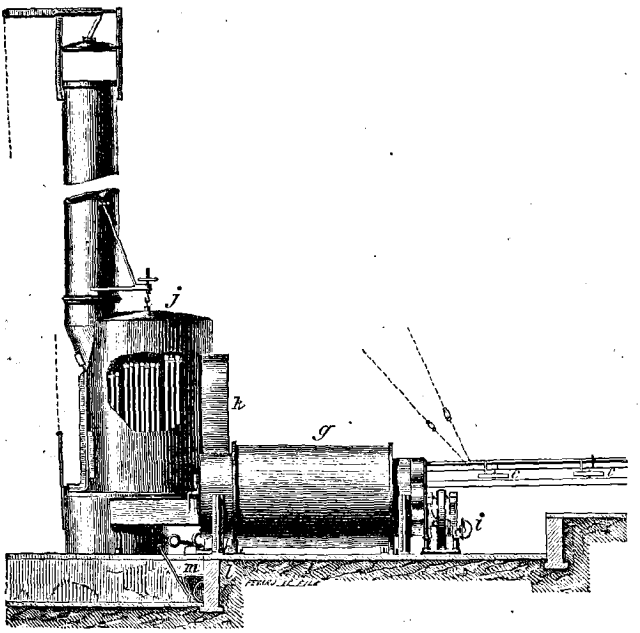


Fig. 70.

Les figures 71 et 72 reproduisent deux vues, en perspective, du calorifère à air, du caniveau incliné du ventilateur et du cylindre à cuire. Ces dessins concourront puissamment à l'intelligence de cet appareil, dont le mérite principal, à mon sens, a été d'opposer une digue aux envahissements de certains établissements de chaudronnerie et de démontrer aux planteurs l'absurdité des méthodes qu'on leur conseille, qu'on leur fait payer, et qui ne sont, en définitive, avantageuses que pour les constructeurs.

Ainsi, il est parfaitement entendu que les plateaux du concretor où les traits constituent un appareil éva-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

poratoire à feu nu, sur larges surfaces et petites épaisseurs; que le cylindre est un appareil de cuite, mobile, échauffé par l'air chaud seulement. J'ajouterai, à la louange de l'inventeur, que cet air chaud, dont la

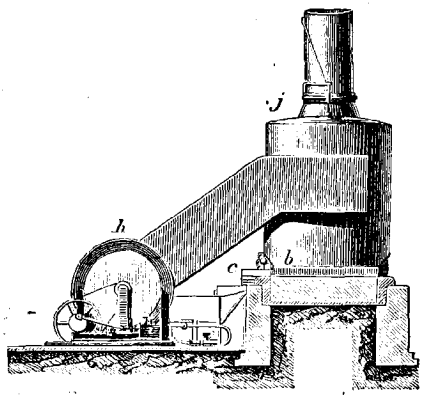


Fig. 71.

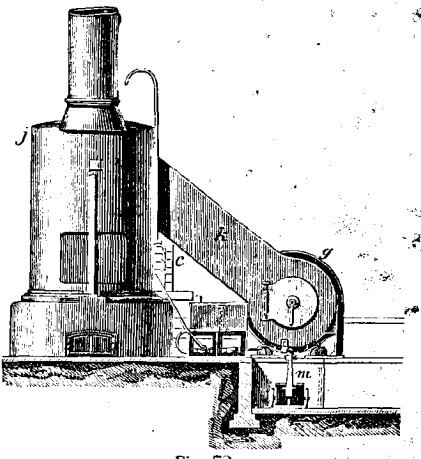


Fig. 72.

température n'a été élevée que par le contact avec les tubes par lesquels s'échappent les gaz de la combustion qui ont circulé sous les plateaux, n'a pu se mélanger avec les matières empyreumatiques d'aucune nature, et qu'il se présente sous un maximum de pureté qu'on ne rencontre pas dans l'organisation de M. A. Philippe. Cette partie de l'idée de Fryer est peut-être la plus intéressante.

Au fond, l'objection principale à faire au sujet de l'appareil de Fryer repose sur la place considérable qu'il exige et sur le prix assez élevé auquel l'inventeur a coté ses machines, mais on doit le considérer comme un bon instrument de concentration, en laissant toutefois à la raffinerie le soin de décider à l'égard des avantages ou des inconvénients présentés par le sucre concret. La raffinerie anglaise s'en accommode fort bien, et ne semble pas avoir rencontré dans le traitement de ce produit les obstacles accusés à l'avance par les industriels français.

En résumé, la fabrication du sucre exotique présente peu de données industrielles intéressantes, en dehors de l'imitation des procédés européens, et la conclusion à laquelle on est contraint d'arriver est que, même avec des dépenses exorbitantes, une plante renfermant 180 kilogrammes de sucre par tonne n'en rend guère que 94 au maximum, dans les installations les plus coûteuses, 50 à 60 dans les installations anciennes, lorsqu'il semble facile, par des méthodes rationnelles et des engins simples, par des dépenses beaucoup moins considérables, d'en extraire 120 à 125 kilogrammes.

L'extraction du sucre de sorgho étant à peu près complétement abandonnée, même à un point de vue purement idéal et spéculatif, je ne crois pas devoir entrer dans les détails que comporterait cette fabrication, laquelle serait d'ailleurs absolument analogue au travail de la canne, et devrait se baser sur les principes généraux exposés précédemment.

Les châtaignes, qui renferment environ 14 pour 100 de sucre cristallisable, avec 20 pour 100 de fécule, ont été l'objet de travaux d'extraction assez intéressants, à l'époque du blocus continental, et ont appelé alors l'attention du gouvernement et des corps savants. Mais aujourd'hui qu'un intérêt purement historique, et l'extraction du sucre prismatique se fait à peu près exclusivement par le traitement de la betterave ou de la canne à sucre, dans les pays où l'industrie sucrière a acquis une certaine importance.

dans l'état actuel de l'agriculture européenne, il est peu probable que l'on ait à prévoir des circonstances à la suite desquelles de semblables tentatives deviennent nécessaires. Le sucre de châtaigne ne présente donc

On ne peut cependant passer complétement sous silence l'extraction du sucre d'érable ou de maple, qui présente une importance relative assez considérable. Ce sucre se récolte dans l'Amérique septentrionale en quantités notables, et bien qu'il soit consommé dans le pays même, à peu près en totalité, les procédés suivis pour extraire le sucre de la séve de l'érable n'en sont pas moins très-intéressants.

« C'est ordinairement dans le courant de février ou dès les premiers jours de mars qu'on commence à s'occuper de ce travail; à cette époque la séve entre en mouvement, quoique la terre soit encore couverte de neige, que le froid soit très-rigoureux, et qu'il s'écoule presque un intervalle de deux mois avant que les arbres entrent en végétation. Après avoir choisi un endroit central, eu égard aux arbres qui doivent fournir la séve, on élève un appentis, désigné sous le nom de *sugar camp*, camp à sucre; il a pour objet de garantir des injures du temps les chaudières dans lesquelles se fait l'opération et les personnes qui la dirigent. Une ou plusieurs tarières d'environ trois quarts de pouce de diamètre, de petits auges destinés à recevoir la séve, des tuyaux de sureau ou de sumac de 8 à 10 pouces, ouverts sur les deux tiers de leur longueur et proportionnés à la grosseur des tarières, des seaux pour vider les auges et transporter la séve au camp, des chaudières de la contenance de 15 ou 16 gallons (60 à 64 litres), des moules propres à recevoir le sirop arrivé au point d'épaississement convenable pour être transformé en pain, enfin, des haches pour couper et fendre le combustible, tels sont les principaux ustensiles nécessaires à ce travail.

« Les arbres sont perforés obliquement de bas en haut, à 18 ou 20 pouces de distance l'un de l'autre; il faut avoir l'attention que la tarière ne pénètre que d'un demi-pouce dans l'aubier, l'observation ayant appris qu'il y avait un plus grand écoulement de séve à cette pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fondeur que plus ou moins profondément. On recommande encore et on est dans l'usage de les percer dans la partie de leur tronc qui correspond au midi : cette pratique, quoique reconnue préférable, n'est pas toujours suivie.

« Les auges, de la contenance de 2 ou 3 gallons (8 à 12 litres), sont faits le plus souvent, dans les États du Nord, de pin blanc, de frêne blanc ou noir, ou d'érable; sur l'Ohio, on choisit de préférence le mûrier, qui est très-commun; le châtaignier, le chêne et surtout le noyer noir et le *bitter nut*, ne doivent point être employés à cet usage, parce que la sève se chargerait facilement de la partie colorante et même d'un certain degré d'amertume dont ces bois sont imprégnés. Un auget est placé à terre, au pied de chaque arbre, pour recevoir la sève qui s'écoule par les deux tuyaux introduits dans les trous faits avec la tarière; elle est recueillie journellement et portée au camp, où elle est déposée provisoirement dans des tonneaux, d'où elle est tirée pour emplir les chaudières. Dans tous les cas, elle doit être bouillie dans le cours des deux ou trois premiers jours qu'elle a été extraite du corps de l'arbre, étant susceptible d'entrer promptement en fermentation, surtout si la température devient plus modérée. On procède à l'évaporation par un feu actif, en ayant soin d'écumer pendant l'ébullition, et on ajoute à la richesse de la liqueur par l'addition successive de nouvelles quantités de sève, jusqu'à ce qu'enfin elle prenne une consistance sirupeuse; on la passe alors, après qu'elle est refroidie, à travers une couverture ou toute autre étoffe de laine, pour en séparer les impuretés dont elle pourrait être chargée.

« Quelques personnes recommandent de ne procéder au dernier degré de cuisson qu'au bout de douze heures; d'autres, au contraire, pensent qu'on peut s'en occuper immédiatement. Dans l'un où l'autre cas, on verse la liqueur sirupeuse dans une chaudière qu'on n'emplit qu'aux trois quarts et, par un feu vif et soutenu, on l'amène promptement au degré de consistance requis pour être versée dans les moules ou baquets destinés à la recevoir. On connaît qu'elle est arrivée à ce point, lorsqu'en prenant quelques gouttes entre les doigts on sent de petits grains. Si, dans le cours de cette dernière cuite, la liqueur s'emporte, on jette dans la chaudière un petit morceau de lard ou de beurre, ce qui la fait baisser immédiatement. La mélasse étant écoulée des moules, ce sucre n'est plus déliquescent comme le sucre brut des colonies.....

L'érable à sucre est l'*acer saccharinum*, mais la plupart des érables en contiennent aussi, bien qu'en proportions moins importantes. On estime que la sève du maple contient de 2 1/2 à 3 pour 100 de sucre cristallisable.

Dans l'Inde, on extrait le sucre prismatique d'une variété de palmier-dattier, et dans certaines contrées des Indes orientales, on utilise le sucre produit par diverses plantes, et notamment par le *borassus flabelliformis*. Dans les pays du Nord, on prépare une sorte de sirop ou de miel par la concentration de la sève des bouleaux.

RAFFINAGE DU SUCRE BRUT.

Lorque les cristaux de sucre sont obtenus à l'aide d'une matière végétale quelconque et par les procédés anciens ou par ceux de la fabrication perfectionnée, ils sont encore loin d'être purs et de pouvoir être livrés à la consommation, bien que le sucre extrait de la canne soit directement consommable à raison de la saveur franche et de l'arome agréable qu'il présente. Il est nécessaire de soumettre ce produit à une purification ultérieure, pour l'obtenir sous la forme préférée par l'usage et la consommation. C'est cette purification du sucre brut qui est l'objet de ce qu'on nomme le raffinage.

Pour le technologiste, les opérations du raffinage sont loin de présenter l'importance qu'on a voulu leur attribuer, et, comme dans toutes les opérations similaires de la chimie appliquée, elles reposent sur quelques principes fort simples, parfaitement connus dans une foule d'autres spécialités, et qui ne demandent au fond qu'une somme d'efforts et d'intelligence beaucoup moindre que celle requise par la fabrication la plus élémentaire. Il ne conviendrait pas, en effet, pour un industriel sérieux, de prendre le change en présence des établissements immenses affectés au raffinage des sucres, car l'étendue des installations, le capital argent immobilisé, le nombre des ouvriers employés ne représentent que la nécessité de produire des masses, et n'ont rien de commun avec les difficultés prétendues d'un travail qui n'en comporte aucune.

Ceci posé, on peut dire que le raffinage des sucres repose sur deux principes fondamentaux, qu'il suffit d'appliquer rationnellement pour obtenir de bons résultats. Le premier de ces principes consiste en ce que la purification des sucres, comme celle de tous les cristaux en général, doit se faire par une nouvelle cristallisation. Le second se déduit de la proposition de Thénard, dont voici la formule :

Un sel ou un corps soluble cristallisé étant donné, mélangé avec d'autres solubles, si on fait passer à travers les cristaux impurs une dissolution saturée de ce même sel pur, elle ne dissoudra plus du sel dont elle est saturée, mais elle pourra dissoudre les autres sels qui l'accompagnent.

Tout le raffinage consiste donc à faire redissoudre les sucres obtenus dans la moindre quantité d'eau possible, à les faire cristalliser dans des vases et sous des formes convenues et à laver les cristaux avec une solution saturée de sucre, qui peut dissoudre et entraîner les matières étrangères interposées sans dissoudre du sucre lui-même.

L'art de raffiner le sucre remonte à une époque très-éloignée, et de la Perse cette branche de l'industrie sucrière passa à Venise, puis en Allemagne, puis en Hollande, où il était déjà en plein succès dans la première moitié du dix-septième siècle. Les Anglais commencèrent à raffiner le sucre vers 1659, et c'est en 1692 que les colonies françaises se mirent à appliquer les procédés de purification de la matière sucrée.

L'ancienne méthode de raffinage était fort simple; elle consistait à dissoudre ou à faire fondre le sucre dans la chaudière à clarifier, c'est-à-dire à préparer la *clairce*, le *sirop clair* ou la *clairée*. Cette chaudière (figure 73)

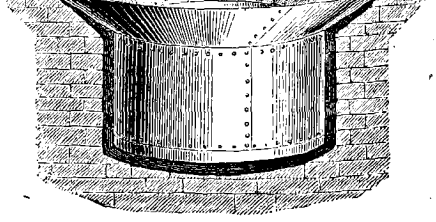


Fig. 73.

était un cylindre à fond plat, d'un diamètre à peu près égal à la profondeur, et d'une capacité plus ou moins considérable. Elle était munie d'une bordure très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

évasée au-dessus de son niveau supérieur, dont le but était de s'opposer à la sortie des écumes. Le second instrument était une seconde chaudière, *chaudière à clairce* ou à *clairée*, dont les dimensions et la forme étaient à peu près les mêmes que la précédente, sauf l'évasement qui n'existait pas. On faisait aussi des chaudières à clairée de forme hémisphérique. Cette chaudière était tout simplement une chaudière de concentration, une sorte d'intermédiaire entre la chaudière à clarifier et la *chaudière à cuire*.

Celle-ci était sans bordure évasée, tout à fait semblable à la chaudière à clarifier.

Comme cela se comprend aisément, il n'était pas question d'un autre mode d'application de la chaleur que par le *feu nu;* aussi était-on obligé de donner au fond de ces chaudières une épaisseur plus grande que dans la partie cylindrique, afin qu'elles pussent résister plus longtemps à l'action du feu.

Des *mouverons* ou râbles en bois à long manche, des *blanchets* à filtrer en étoffe de laine, un *panier à passer*, quelques seaux et bassins, une grande écumoire surtout, l'*écumeresse*, comme la nommaient les ouvriers, complétaient cette partie du matériel.

La portion du matériel, les détails de l'instrumentation, usitée dans le traitement des *sirops à cristalliser après la cuite*, ne différaient pas sensiblement de leurs modernes correspondants. Les opérations étaient au fond les mêmes.

On avait les *rafraichissoirs*, ou bacs à rafraîchir, à faire refroidir les sirops sortant de cuite, les *formes* et leurs *bacs*, les *becs-de-corbin* pour faire l'*empli*, le couteau à *opaler*...

Lorsque la cristallisation était faite, il fallait *primer* les formes, en y enfonçant la prime pour faciliter l'écoulement du sirop, les placer sur les *pots d'égout*, afin de faire la *purge*. On *lochait* ensuite les pains, on faisait les *fonds* et l'on procédait au *terrage*. Ce *terrage* était suivi du *plamotage*, d'un second *lochage*, enfin, de l'*étuvage*.

Lorsqu'on avait fait dissoudre du sucre dans l'eau de chaux, portée à une certaine température arbitraire, vers + 50° ou + 55° environ, on y ajoutait du sang de bœuf ou des blancs d'œuf battus, et la liqueur, soumise à l'action croissante de la chaleur, laissait bientôt s'élever des écumes dues à la coagulation de l'albumine, qui entraînait les matières étrangères, et ces écumes étaient enlevées à l'aide de l'écumoire ou *écumeresse*. Le sirop, ainsi clarifié et écumé, était filtré à travers le *blanchet*, placé sur le panier à passer, et il subissait, dans la chaudière à clairer, une concentration vers 35° à 37° B. De là on le faisait passer dans la chaudière, où on le concentrait jusqu'à la preuve au filet; après quoi, et à la suite d'un court séjour dans des rafraichissoirs, la masse mouvée, commençant à présenter le grain, était versée dans les formes pour y cristalliser et subir ensuite les autres opérations du raffinage, lesquelles n'ont pas beaucoup varié en principe.

Dans le raffinage moderne, on trouve :

1° La *dissolution* du sucre et sa *clarification* avec le sang de bœuf et le noir fin, dans une *chaudière à clarifier*.

Ceci est de la méthode ancienne; on y a ajouté :

2° Le passage du sirop, mélangé avec les agents de clarification, dans une seconde chaudière où la matière est chauffée pour la coagulation de l'*albumine du sang*, mouvée et agitée.

La chaudière ancienne à clarifier s'est dédoublée; on en fait la besogne dans deux vases, ou deux séries de vases, pour la rapidité du travail seulement, sans qu'il y ait d'autre raison de cette modification, insignifiante au point de vue des principes;

3° Le passage dans *la caisse à débourber*, qui remplace le *panier à passer* et le *blanchet*, ce qui est au fond la même chose;

4° Le *passage intermédiaire* dans un récipient, un bac, une citerne quelconque et la reprise par un *monte-jus* pour porter à la *filtration décolorante*;

5° La *filtration décolorante*;

6° La *cuite*;

7° La mise en *réchauffoir*, puis l'*empli*, etc., comme dans l'ancien travail, sauf la *turbine* et le *clairçage*.

En somme, les opérations du raffinage sont rangées dans l'ordre suivant :

1° *Clarification*; 2° *Débourbage*; 3° *Décoloration*; 4° *Cuite*; 5° *Cristallisation*; 6° *Purge*; 7° *Blanchiment*; 8° *Dessiccation*.

Après un essai préalable des sucres, pour en apprécier la qualité et notamment l'acidité ou l'alcalinité, afin de pouvoir, autant que possible, les mélanger de manière à obtenir des sirops neutres, on introduit dans une chaudière (fig. 74) 250 à 260 litres d'eau, dont on

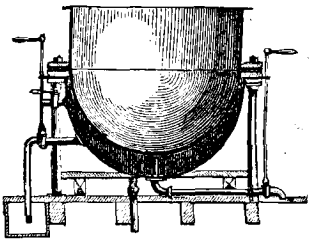


Fig. 74.

élève la température d'une manière lente et progressive, puis on y ajoute 750 kilogrammes de sucre environ, et l'on brasse avec un râble jusqu'à ce que la dissolution soit opérée, et que le sirop accuse 37° à 39° B. On ajoute quelquefois à ce sirop des sirops provenant de la fabrication et qui doivent être clarifiés à nouveau.

La température étant portée de + 45° à 55°, on peut clarifier dans la chaudière de refonte ou dans une autre chaudière. Dans tous les cas, on ajoute au sirop de 2 à 4 pour 100 de noir fin, et de 1,5 à 2,25 de sang de bœuf frais ou conservé. On brasse de manière à opérer un mélange aussi intime que possible, jusqu'à ce que la température soit arrivée au-dessus de + 80°. On laisse se prononcer le bouillon, et l'on envoie le mélange aux débourbeurs, dans lesquels s'opère une première filtration destinée à remplacer l'écumage et le passage au blanchet de l'ancienne raffinerie. Après le débourbage, les sirops sont filtrés sur du noir d'os neuf ou revivifié, ou en mélange, de manière à obtenir des clairces peu colorées, que l'on envoie ensuite à la cuite.

C'est ici le lieu de mentionner la nécessité de vérifier l'intensité de coloration des liquides destinés à être filtrés sur le noir, de manière à connaître la proportion de cette substance à employer. Parmi les nombreux colorimètres proposés, celui de M. J. Duboscq (fig. 75 et 76) se distingue par une grande simplicité de principe et une très-grande élégance, bien que, exactement comme tous les autres instruments du même genre, il ne puisse servir à différencier que les tons d'une même couleur ou d'une même teinte.

Cet appareil se compose d'une lunette A, portée sur un support métallique dans lequel elle entre à frottement doux, de manière à pouvoir être rapprochée ou écartée d'une sorte de boîte quadrangulaire, dont la partie supérieure porte une ouverture circulaire. Cette boîte fait office de chambre noire, et elle renferme le système optique grâce auquel les deux teintes compa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rées peuvent être perçues simultanément par l'œil appliqué à l'oculaire de la lunette. La face inférieure de

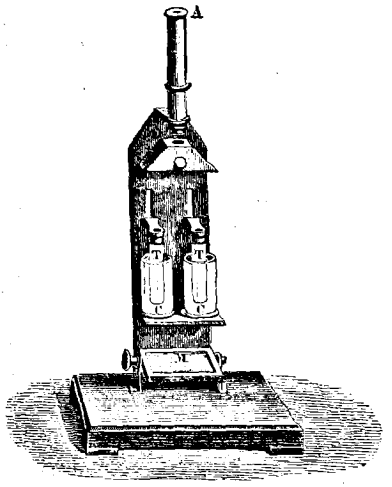


Fig. 75.

cette chambre noire porte deux ouvertures, dans le prolongement des verticales passant par l'axe des tubes qui *plongent* dans le liquide à examiner.

Au-dessous de ces ouvertures, et en correspondance d'axe avec elles, sont deux tubes portés chacun par un support; ce support est mobile et il s'élève ou s'abaisse par le mouvement d'un bouton à crémaillère. Ce mouvement permet de faire plonger chaque tube, d'une certaine quantité, dans les liquides à comparer, lesquels sont placés dans deux godets formés d'un morceau de tube en verre. Le fond de ces godets est une plaque de cristal, mastiquée sur le bord du tube, et il est, en outre, vissé sur une garniture en laiton. Les deux godets reposent sur les deux ouvertures d'une plaque porte-objets, au-dessous de laquelle une glace mobile tourne sur un axe horizontal, de manière à réfléchir la lumière et à permettre de diriger le rayon lumineux. La plaque métallique sur laquelle est monté cet ensemble porte, à l'arrière, une échelle double, graduée de 0 à 50 millimètres, et les plaques de glissement des tubes font office de vernier le long de ces échelles.

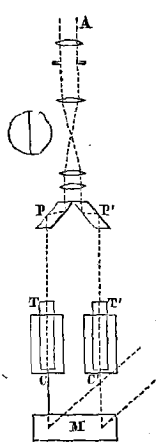


Fig. 76.

La figure 76 ci-contre fait comprendre facilement les dispositions théoriques de l'instrument. Au-dessous de la lunette A, la chambre noire est occupée par deux prismes P et P' qui sont réunis par l'arête supérieure et forment un angle droit. La bissectrice correspond au centre de la lunette, en sorte que le cercle de la vision est partagé en deux demi-cercles, et ces deux demi-cercles présentent chacun un ton différent, suivant que le rayon lumineux a traversé une couche liquide de même nuance plus ou moins épaisse, ou des couches de nuance différente, mais d'épaisseur variable. En effet, si l'on suppose les deux liquides identiques de ton et d'épaisseur, le rayon parviendra à l'œil dans les mêmes conditions après avoir traversé les prismes, et les deux demi-cercles présenteront le même ton, bien qu'ils soient séparés par une ligne obscure due à la réunion des prismes. Le rayon lumineux, après avoir frappé le miroir M, se relève suivant la verticale en C C', et traverse la couche du liquide coloré qui se trouve entre le fond de chaque godet et du tube correspondant. On comprend que les deux rayons doivent rester identiques, si la couche traversée est de même ton et de même épaisseur. Ces rayons pénètrent dans les prismes P et P', où ils se réfléchissent à angle droit pour se relever verticalement suivant la loi de réflexion. Ils passent à travers les lentilles de la lunette et se croisent, en sorte que l'œil perçoit à gauche la coloration du demi-cercle correspondant au godet de droite, et réciproquement. Si la couche colorée est plus épaisse dans un godet que dans l'autre, le demi-cercle en relation offrira un ton plus foncé, et il en sera de même, à épaisseurs égales, si les liquides sont de tons différents. On comprend aisément la possibilité de comparer les liquides de même teinte, puisqu'il doit suffire d'augmenter l'épaisseur de la couche moins colorée et de diminuer celle de la couche plus foncée jusqu'à ce que les deux demi-disques présentent une identité complète.

La cuite des sirops, filtrés sur une quantité de noir indiquée par l'essai colorimétrique, se fait dans le vide à l'aide d'un appareil identique à ceux dont on se sert en fabrication. En général, dans le raffinage moderne, on cuit en grains les premiers produits et même les plus beaux des produits secondaires. Les produits inférieurs, produits de reprise ou bas produits se cuisent habituellement en filet, en sirop, et sont soumis à une cristallisation plus ou moins lente, dont le produit cristallisé, turbiné, rentre dans la fabrication.

Le sirop cuit est réchauffé vers + 80°, puis introduit dans les formes, après qu'on a bien mélangé la masse cristalline. Le local où se fait l'empli doit être maintenu à la température moyenne de + 35°. Au bout de 15 heures, on enlève la tape des formes, et on laisse se commencer la purge ou la séparation des eaux-mères, au-dessus de rigoles d'égout ou sur des planchers-lits-de-pain, qui ont pour but de conduire les eaux-mères ou sirops d'égout vers un récipient spécial. Après 12 ou 14 heures, la patte des pains est sèche à la main; le sucre, débarrassé du *sirop vert*, est devenu du sucre vert égoutté, mais il n'est complétement égoutté qu'au bout de six jours, pendant lesquels on s'assure de l'état des pains en en lochant quelques-uns, c'est-à-dire en les retirant un instant de la forme pour les examiner.

Le travail des greniers, qui commence ordinairement par l'égouttage ou la purge, se continue par le lochage de tous les pains d'une série, par la préparation des fonds, c'est-à-dire par le remplissage des dépressions de la patte, à l'aide des débris de sucre enlevés sur le pourtour, sur une épaisseur d'environ 0m.03. Il ne s'agit plus alors que de laver les cristaux, de les faire égoutter, et de soumettre les pains à la dessiccation.

Le lavage des cristaux se faisait, dans l'ancienne fabrication, par le terrage, qui consistait à placer sur la patte des pains une bouillie argileuse, laissant échapper son eau très-lentement, de manière à former un sirop aux dépens des fonds, et à blanchir le sucre par le passage de ce sirop à travers la masse du pain. On renouvelait ce terrage deux ou trois fois, jusqu'à ce que l'on eût obtenu la nuance suffisante. Aujourd'hui, on se contente de verser sur la patte des pains, après avoir fait les fonds, de la clairce blanche qui passe à travers le pain, et enlève les matières colorantes et les substances solubles étrangères. Quatre doses de clairce, d'un kilogramme chacune, suffisent ordinairement au blanchi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment des pains et, après six jours d'égouttage, le sucre est assez sec pour pouvoir être soumis aux opérations ultérieures. On abrége maintenant la durée de cet égouttage en plaçant les formes sur des cônes garnis de caoutchouc, faisant joint hermétique; en ouvrant un robinet, on fait communiquer l'ouverture de la tête de la forme avec une pompe aspirante, dont l'action enlève promptement les dernières traces de sirop. C'est ce qu'on appelle l'égouttage forcé par la sucette.

Lorsque les pains sont égouttés, on les *plamote*, c'est-à-dire qu'on régularise la patte du pain à l'aide d'un *rifflard*; on loche les pains pour les vérifier, on les retourne sur la base, puis, lorsqu'ils sont parvenus à un état suffisant de dessiccation moyenne, on les recouvre de papier, et, après 24 heures d'exposition à l'air, on les soumet à une dessiccation graduelle à l'étuve.

Les débris de sucre provenant du travail, mélangés avec des sirops qui ont servi à laver les seconds produits, servent à fabriquer des produits secondaires pour lesquels on se comporte exactement de la même manière. Ces seconds produits sont les *lumps* ou les *bâtardes*. On fabrique encore une troisième qualité, connue sous le nom de *vergeoise*, et les bas produits, recuits et soumis à la cristallisation, fournissent des sucres de turbine, qui rentrent dans le travail, et, en fin de compte, une mélasse épuisée qu'on livre au distillateur, après avoir cherché parfois à en extraire encore une portion du sucre qu'elle renferme.

SUCRE CANDI. On peut considérer la fabrication du sucre candi comme une sorte de raffinage incomplet, en ce sens que le sucre brut, soumis à une cristallisation nouvelle, abandonne une partie de ses impuretés dans les eaux-mères, mais que, en raison de la grosseur des cristaux et de leur complexité, il reste de cette eau-mère interposée entre les plans des faces cristallines. D'après Berzélius, le sucre candi retiendrait 5,6 d'eau sur 100 parties; on distingue le candi blanc, le candi paille et le candi roux, dont les nuances proviennent des matières employées à la fabrication.

Après dissolution du sucre, on clarifie le sirop avec le noir fin et les œufs, on filtre et l'on cuit au soufflé. On met en cristallisation dans des vases en cuivre hémisphériques (fig. 77), qui doivent être très-lisses à l'intérieur

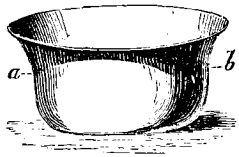


Fig. 77.

et présenter 15 à 20 petits trous *a*, *b*, qui servent à laisser passer les fils sur lesquels s'attacheront les cristaux. Quand les fils sont placés, on bouche à l'extérieur ces trous avec de petits morceaux de papier gommé. Les terrines remplies sont portées dans une étuve spéciale, où l'on maintient la température vers + 50° ou + 52°. La cristallisation est terminée en un temps variable de 6 à 12 jours. Quand elle est finie, on détache une portion de la croûte cristalline, on décante le sirop, on fait égoutter, puis on détache les cristaux, après avoir plongé l'extérieur de la bassine dans l'eau bouillante. Les cristaux détachés sont mis à l'étuve, et après 24 heures de dessiccation, on les encaisse.

PROCÉDÉ BOIVIN ET LOISEAU. MM. Boivin et Loiseau, ont imaginé un procédé particulier qui s'applique spécialement au raffinage. Il consiste à préparer une sorte de magma gélatineux, en faisant passer un courant d'acide carbonique dans une dissolution de sucre renfermant au moins un poids égal de chaux. C'est à ce magma que MM. Boivin et Loiseau donnent le nom de sucrate d'hydrocarbonate de chaux. Les liquides doivent avoir une densité de 20°, et la température, au moment de l'introduction de l'acide carbonique, doit être à + 20°. Cette combinaison se décompose par l'ébullition et par l'action de l'acide carbonique. A la fonte, on met de ce magma dans la chaudière, on ajoute du sucre brut et du sirop au besoin dans l'eau de dissolution, pour former une clairce à + 30° B., on porte à l'ébullition et l'on filtre. Les sirops sont ensuite soumis à la carbonatation, à une nouvelle filtration, à la décoloration par le noir, à la cuite, etc. J'ai fait voir dans mon ouvrage spécial les avantages et les inconvénients qui peuvent résulter de ce procédé [1].

OSMOSE. Une amélioration applicable à la raffinerie aussi bien qu'à la fabrication consiste dans l'extraction du sucre des mélasses épuisées par la méthode osmotique de M. Dubrunfaut. Bien qu'on puisse appliquer logiquement à cette extraction le procédé Margueritte, et même le procédé Boivin et Loiseau, ces deux procédés ne paraissant pas encore avoir été mis en usage dans la fabrication, c'est l'emploi de l'osmogène qui semble avoir été jusqu'à présent adopté par l'industrie.

L'appareil employé par M. Dubrunfaut, pour l'analyse osmotique des mélasses, et auquel il a donné le nom d'osmogène, est représenté par les figures 78 et 79

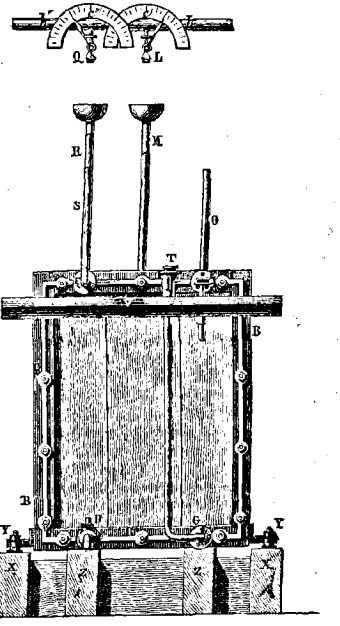


Fig. 78.

Il se compose de cadres en bois de hêtre ou de chêne, de 15 millimètres d'épaisseur, et portant 0m,90 de large sur 1m,15 de hauteur. Ces cadres sont au nombre

(1) *Guide du Fabricant de sucre*, vol. III, p. 638 et suiv.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de cinquante et, quand ils sont réunis, ils sont maintenus par des pièces en fonte BB, lesquelles sont fixées

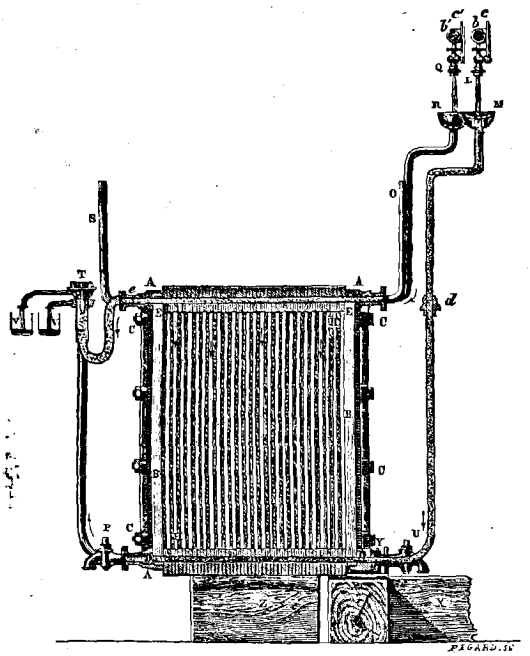


Fig. 79.

à des planches de chêne de 0m,045 d'épaisseur, à l'aide des boulons à écrou cc, qui permettent d'exécuter la pression des cadres les uns contre les autres, lorsqu'ils ont été montés comme il va être dit. Ces cadres sont percés, en haut et en bas, de deux séries de trous qui se correspondent à travers le bois et forment quatre canaux, dont deux pour l'arrivée et la sortie de la mélasse, et deux pour l'arrivée et la sortie de l'eau. Deux de ces conduits, l'un en haut et l'autre en bas, communiquent avec les cadres des numéros pairs, tandis que les deux autres communiquent avec les numéros impairs. Il en résulte que la mélasse qui arrive par le tuyau vertical M et entre par le canal horizontal D, monte dans les compartiments des numéros impairs, pendant que l'eau, pénétrant par le conduit R, exécute un mouvement absolument contraire. Il s'ensuit que, si l'on sépare les cadres les uns des autres par une feuille de parchemin, de manière que les joints soient parfaitement étanches, la mélasse occupera tous les espaces impairs pendant que l'eau circulera dans tous les espaces pairs, et que les deux liquides exécuteront un trajet considérable, en contact indirect l'un avec l'autre, et séparés seulement par l'épaisseur de la membrane animale. Il est évident que, dans ce trajet d'environ 50 mètres carrés, le liquide dialytique aura un temps considérable pour agir sur la matière à analyser, dans les conditions mêmes réclamées par le principe de la *macération*.

Le parchemin animal est avantageusement remplacé par le parchemin végétal ou papier sulfurique, qui en présente toutes les propriétés principales, et dont l'emploi est beaucoup plus économique. L'étanchéité des joints est assurée par des bandes de caoutchouc de 0m,07 de large sur 0m,001 à 0m,0015 d'épaisseur, et tous les autres joints sont mastiqués au minium avec la plus grande attention pour que l'appareil conserve parfaitement les liquides.

Le robinet L, à index mobile, sert à apporter la mélasse dans des proportions prévues, et à la faire arriver dans l'entonnoir M, par lequel elle pénètre dans le canal D, et dans les numéros impairs. Les tubes O et S servent à expulser l'air de l'intérieur à mesure que l'eau et la mélasse remplissent les cavités des cases. L'eau arrive dans l'entonnoir du tube R par le robinet gradué à index Q. Un tube syphoïde à éprouvette porte dans le caniveau V les mélasses traitées, et permet d'en vérifier la densité lorsqu'elles ont perdu tout ou partie des sels. De même, T sert à observer la densité de l'eau lorsqu'elle s'est emparée des matières salines, et VV' sont des caniveaux ou rigoles en tôle pour l'écoulement des liquides provenant du travail. P sert à vider les compartiments à mélasse, et U remplit le même office pour les cases à eau. Enfin, l'appareil peut basculer sur sa base, à l'aide de tourillons YY, de manière à faciliter le montage et le nettoyage.

Après avoir vérifié les feuilles de parchemin, de manière à rejeter toutes celles qui présenteraient des trous ou des points faibles, on les fait tremper dans l'eau pendant un quart d'heure. On tend alors une première feuille, aussi régulièrement que possible, sur le premier cadre inférieur. Sur cette feuille on place le second cadre, puis une autre feuille, un autre cadre, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on ait fini le montage des cadres. On dispose alors la pièce de tête sur le dernier cadre, on serre les écrous c, on redresse l'appareil, et on commence à introduire les liquides.

L'eau doit être d'abord portée à l'ébullition, et la mélasse subit une sorte de clarification par une addition de 1 millième environ de carbonate de soude et d'un peu de sang, pour séparer la chaux et les écumes. On laisse déposer, pour n'envoyer dans l'appareil qu'un liquide bien décanté, le plus clair possible. Cette préparation sommaire est indispensable, pour que les cadres ne se salissent pas trop vite, et puissent fonctionner plus longtemps. On fait alors arriver les liquides par les robinets d'alimentation, de manière à maintenir dans les cadres pairs et impairs le même niveau, et de façon à éviter toute inégalité de pression. Il va sans dire que, pendant cette introduction, les robinets d'air Q et S doivent être ouverts. L'identité de l'écoulement et l'égalité de niveau doivent être maintenues jusqu'à ce que l'appareil soit rempli uniformément dans les cadres pairs et les cadres impairs, et que les liquides commencent à couler dans les tubes à éprouvette, dont les aréomètres indiquent les densités relatives et permettent de régler la marche de l'instrument.

En principe général, plus la durée de l'opération est prolongée, et plus faible est la densité de la mélasse qui sort de l'instrument. Plus la mélasse est diluée, et plus elle a perdu de sels. Ceux-ci sont passés dans l'eau, mais cette eau elle-même dissout beaucoup plus de sucre pendant un temps plus long, et la quantité du travail réel se trouve en outre notablement diminuée. Il y a donc un intérêt sérieux à régler l'introduction des liquides de manière à opérer le travail en un temps moyen expérimental, qui fournisse une purification suffisante sans donner lieu à une dilution exagérée. En

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyenne, on fait sortir la mélasse osmosée à 12° B. chaud, et l'eau à 6° B., ce qui répond à peu près à 15°B. pour la mélasse et 8° B. pour l'eau, après refroidissement. Cette réglementation est une affaire de tâtonnements.

L'eau chargée de sels est beaucoup moins foncée en couleur que la mélasse traitée, mais elle offre une saveur saline, pendant que la mélasse est devenue plus sucrée et d'un goût moins âcre.

L'usage de l'appareil de M. Dubrunfaut conduit en moyenne à une restitution de 15 kilogrammes de sucre par 100 kilogrammes de mélasse. La mélasse débarrassée d'une partie de ses sels, qui sont passés dans l'eau d'osmose est filtrée, concentrée, mise en cristallisation. On turbine au bout d'un mois. Le sirop d'égout, traité de nouveau, peut encore rendre 15 pour 100 de son poids ou 9 kilogrammes de sucre, ce qui donne un résultat total de 24 kilogrammes. Le traitement de 1,000 kilogrammes de mélasse paraît coûter environ 35 francs pour un seul traitement, c'est-à-dire pour l'obtention de 150 kilogrammes.

Quelque ce procédé ne soit en quelque façon qu'un palliatif, c'est le plus remarquable et le plus pratique de ceux qui ont été proposés jusqu'à présent, et l'osmogène a rendu à la sucrerie des services considérables.

Les mélasses, épuisées de sucre autant que possible, soit que l'on adopte ou non la méthode osmotique, sont ensuite soumises à la distillation, dans le but de transformer en alcool le sucre qui y reste engagé. Les vinasses épuisées, riches en sels alcalins, lorsqu'elles proviennent de la betterave, sont ensuite concentrées et desséchées, pour fournir un salin de potasse que l'on purifie suivant les méthodes connues, et dont on retire aujourd'hui une grande partie de carbonate du potasse employé dans les arts et l'industrie. N. BASSET.

SUIE. La suie, qui se dépose dans les cheminées et les tuyaux que traverse la fumée des combustibles végétaux, est utilisée pour préparer la couleur brune à l'eau connue sous le nom de BISTRE. On emploie aussi la suie pour effectuer la trempe en paquets de divers objets en fer, dont on veut aciérer la surface.

L'agriculteur fait grand cas de la suie, qui renferme, d'une part, de la matière azotée et, d'autre part, de la créosote, qui détruit les insectes. Répandue sur les jeunes trèfles, sur les jeunes blés à raison de 15 à 20 hectolitres par hectare, elle donne d'excellents résultats. Sur les semis de colzas, on emploie jusqu'à 50 hectolitres à l'hectare.

SUIF. On donne le nom de suif à la graisse des animaux de boucherie, contenue dans les cellules du tissu adipeux. Ces cellules sont de petits sacs membraneux à parois minces et transparentes parcourues par des vaisseaux sanguins. Si on laisse le suif naturel exposé à l'air un peu humide, ces éléments organisés qui sont mélangés avec lui, provoquent une fermentation qui altère la graisse. Aussi se hâte-t-on de le séparer de ces tissus, en profitant de sa fusibilité par la chaleur et en employant divers procédés. Le suif est, en effet, fusible vers 38 degrés.

Dans l'article consacré aux arts INSALUBRES, Grouvelle, en décrivant les dispositions adoptées par D'Arcet pour assainir les fondoirs de suif, a indiqué les divers modes d'extraction du suif que le savant chimiste a expérimentés pour séparer les graisses des membranes animales auxquelles elles adhèrent; et à l'article SAVON, M. Lormé a décrit le mode d'emploi de la vapeur surchauffée.

On a vu que l'emploi de l'acide était surtout avantageux, la fonte à l'acide donnant des suifs blancs et peu odorants, et le rendement s'élèvant de 84 à 85 p. 100 de la matière première, en chauffant à l'aide d'une injection de vapeur. Les crétons étant acides ne sont utilisés que pour engrais. Les fabricants de chandelles donnent, l'été, la préférence aux suifs extraits sans acides, ceux pour l'extraction desquels on a employé de l'acide sulfurique laissant alors suinter une matière fluide, due à l'action de l'acide sulfurique sur la matière grasse neutre.

SUINT. Matière grasse, onctueuse, très-odorante, qui provient du dégraissage des laines et qui résulte de la transpiration des moutons, dont il revêt la toison. Il renferme une quantité de potasse assez grande pour que MM. Maumené et Rogelet aient pu fonder à Reims une industrie prospère en utilisant les eaux de désuintage des laines comme source de potasse. Ils ont publié sur le suint un travail important, dont nous rapporterons les conclusions :

1° Le suint est neutre. Vauquelin et Chevreul l'avaient trouvé alcalin, mais cet effet est dû à une production de carbonate d'ammoniaque par suite d'une fermentation putride;

2° La base des sels contenus dans le suint est la potasse, avec une très-petite quantité de chaux et de magnésie. La soude en est absente (cette dernière proposition a été contestée par plusieurs chimistes);

3° Le mélange de sels de potasse qui constitue la partie soluble du suint laisse, par la calcination, du carbonate de potasse mêlé seulement de chlorure de potassium, de sulfate, de silico-aluminate, de phosphate de potasse, d'un peu de chaux, de magnésie, d'oxydes de fer et de manganèse.

Le mélange de sels de la partie soluble du suint est appelé, pour abréger, *suintate brut*, et on donne le nom de *suintine* au mélange d'élaïdine et de stéarérine.

100 parties de laine ordinaire laissent de 10 à 20 parties de suintate sec. Les meilleures laines du Soissonnais donnent un maximum de 20 p. 100; les moins riches, comme celles de Buenos-Ayres, présentent seulement 12 et même 10 p. 100. Une toison pesant en moyenne 5 kilogrammes peut fournir en moyenne 0k,8 de suintate sec.

En faisant abstraction de la terre adhérente, on a environ :

Laine pure.	46
Élaïdine ou stéarérine. . . .	40
Suintate sec.	22
Humidité.	22
	100

La suintate laisse toujours sensiblement le même poids de salin, en moyenne 52 p. 100. La composition du salin est :

Carbonate de potasse.	86,78
Chlorure de potassium.	6,18
Sulfate de potasse.	2,83
Silice, alumine, acide phosphorique, chaux, magnésie, oxydes de fer, de manganèse et de cuivre.	4,21
	100,00

SULFATES. On donne le nom de sulfates aux sels formés par l'acide sulfurique. Les sulfates métalliques sont tous complétement décomposés par une chaleur plus ou moins élevée; il résulte en général de cette décomposition un mélange d'acide sulfurique anhydre, d'acide sulfureux et d'oxygène, et un oxyde au maximum. Les sulfates alcalins sont indécomposables par la chaleur; parmi eux on doit citer le sulfate de chaux, le plâtre, si abondant dans la nature, qui fournirait au besoin tout le soufre dont l'industrie a besoin. Cette extraction, en partant de la réduction du sulfate et de sa conversion en sulfure par le charbon, constituerait une industrie souvent projetée. Les acides phosphorique, arsénique, borique et silicique en chassent par voie sèche l'acide sulfurique. Aucun acide ne les décompose par voie humide. Les sulfates neutres sont pour la plupart solubles dans l'eau, à l'exception du sulfate de plomb qui est insoluble, et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sulfates de mercure et d'argent qui sont assez peu solubles; ils sont en général insolubles dans l'alcool. Dans les sulfates neutres la quantité d'oxygène de l'acide est triple de la quantité d'oxygène de la base.

SULFITES. Les sulfites, sels formés par l'acide sulfureux, sont peu permanents et aisément décomposés par la chaleur; ils sont peu solubles; par l'exposition à l'air ils se transforment peu à peu en sulfates; ils peuvent dissoudre beaucoup de soufre et se changer par là en hyposulfites; beaucoup d'acides les décomposent : quand ils sont en dissolutions concentrées, les acides sulfurique et hydrochlorique en dégagent l'acide sulfureux avec effervescence. Dans les sulfites neutres la quantité d'oxygène de l'acide est double de la quantité d'oxygène de la base.

SULFURES. On donne le nom de sulfures aux combinaisons binaires dont le soufre constitue un des éléments. Les sulfures alcalins et terreux sont seuls solubles. La chaleur décompose complétement quelques sulfures métalliques, et ramène les persulfures des autres métaux à l'état minimum de sulfuration. Tous les sulfures sont décomposés par le grillage avec dégagement d'acide sulfureux et formation de sulfate; il se produit d'autant plus de sulfate que le grillage s'opère à une température plus basse et que l'oxyde qui se forme est une base plus forte; le grillage transforme le sulfure en oxyde pur lorsque le sulfate, qui pourrait se produire, est décomposable par la chaleur et que l'on chauffe suffisamment pour opérer cette décomposition. Lorsqu'ils sont exposés à l'air humide, ou lorsqu'on les tient constamment humectés au contact de l'air, la plupart des sulfures se décomposent peu à peu à la température ordinaire et se transforment en sulfates, sans qu'il y ait aucun dégagement d'acide sulfureux. Le chlore gazeux décompose tous les sulfures à une température plus ou moins élevée. Les sulfures métalliques sont en général moins attaquables par les acides que les métaux purs; quand l'acide est décomposé, il se sépare du soufre et il se forme une proportion plus ou moins grande de sulfate; quand l'eau est décomposée, il se dégage de l'hydrogène sulfuré, et il se dépose du soufre si le sulfure en contient un excès; quelquefois l'acide et l'eau se décomposent simultanément. L'acide nitrique attaque tous les sulfures à l'aide d'une douce chaleur, et souvent même à froid, à l'exception du sulfure de mercure; l'eau régale les décompose tous; l'acide sulfurique n'attaque que les sulfures des métaux très oxydables, excepté le persulfure de fer et le sulfure de zinc; l'acide hydrochlorique attaque les mêmes sulfures que le précédent et en outre ceux d'antimoine et de plomb. Les alcalis dissolvent un certain nombre de sulfures métalliques obtenus par voie humide; ils les décomposent tous plus ou moins complétement par voie sèche. A la chaleur rouge les nitrates décomposent tous les sulfures en transformant le soufre en acide sulfurique. Les sulfures et les sulfates métalliques se décomposent en général réciproquement à une température plus ou moins élevée, en donnant lieu à un dégagement d'acide sulfureux.

Les sulfures se combinent facilement avec les combinaisons binaires du même ordre, tels que les oxydes, les séléniures, les arséniures, les chlorures, etc., pour former des composés salins que l'on désigne sous le nom de *sulfo-sels* et que l'on regarde généralement comme des sels doubles, mais qui, comme nous l'avons expliqué à l'article SOUFRE, doivent être considérés comme des sels simples. Les sulfures simples et les sulfo-sels sont très répandus dans la nature et constituent l'une des classes les plus abondantes de minerais métalliques.

On obtient les sulfures métalliques par l'un des procédés suivants, qui s'appliquent aussi aux autres sulfures : 1° par combinaison directe; 2° en chauffant un oxyde avec du soufre; 3° en réduisant à la chaleur rouge un oxyde par l'hydrogène sulfuré; ou 4° par le sulfure de carbone; ou 5° un sulfate, par l'hydrogène, l'hydrogène sulfuré ou le sulfure de carbone; ou 6° un chlorure, par du soufre en vapeur; 7° en réduisant un sulfate par le charbon; 8° en chauffant au creuset brasqué un métal ou un oxyde, avec un persulfure alcalin ou un mélange de carbonate alcalin et de soufre en excès; 9° en précipitant une dissolution métallique par l'hydrogène sulfuré ou par un sulfure alcalin.

SULFUREUX (ACIDE). *Propriétés.* Cet acide est gazeux et incolore; son odeur, celle du soufre qui brûle, est bien connue; elle irrite les voies respiratoires, provoque la toux. Respiré en grande quantité, cet acide resserre la poitrine, suffoque et asphyxie. Il éteint les corps en combustion et rougit la teinture de tournesol qu'il fait passer ensuite à la couleur de vin paillet.

Sa densité est 2,234. Il est indécomposable par la chaleur; un froid de 20° au-dessous de zéro suffit pour le liquéfier, et si on le comprime, le froid ne doit pas être aussi intense. Le liquide obtenu est incolore, transparent, très volatil, bouillant à — 10°, et produit par son évaporation un froid tel qu'il fait baisser le thermomètre jusqu'à — 57°. Si la boule d'un thermomètre à mercure est entourée d'une éponge imbibée d'acide sulfureux liquide, le métal peut se congeler. M. Boutigny, d'Evreux, a découvert qu'en laissant tomber dans un creuset d'argent chauffé au bain-marie à 100° de l'acide sulfureux anhydre goutte à goutte, la solidification s'opère avec bruit. L'eau dissout 37 fois son volume d'acide sulfureux; on obtient la dissolution au moyen de l'appareil de Woolf. La dissolution d'acide sulfureux jouit de toutes les propriétés du gaz à l'air, elle se convertit lentement en acide sulfurique. L'acide sulfureux sec ne se combine à aucune température, ni à l'oxygène pur, ni à l'oxygène de l'air; mais avec le secours de l'humidité la combinaison a lieu.

Préparation. Dans les laboratoires on prépare l'acide sulfureux en enlevant à l'acide sulfurique une partie de son oxygène au moyen de certains métaux, tels que le mercure et le cuivre, avec l'aide de la chaleur. On obtient pour résidu du sulfate du métal employé; cette réaction est quelquefois mise à profit dans la préparation du sulfate de cuivre.

Ce mode de préparation n'est pas mis en usage pour les besoins des arts à cause de son haut prix, quand on ne veut pas utiliser les résidus, ou de la complication amenée par la fabrication du sulfate de cuivre quand il y a utilisation des résidus. Passons donc à d'autres plus économiques et plus simples.

M. Berthier conseille de chauffer dans une petite cornue de verre un mélange de quatre parties de fleurs de soufre avec cinq parties de peroxyde de manganèse. La moitié du soufre se convertit en acide sulfureux, tandis que l'autre se combine avec le métal pour former du sulfure de manganèse.

Si on veut combiner l'acide sulfureux avec des bases en dissolution, on peut traiter l'acide sulfurique par le bois en copeaux qui agit comme désoxygénant. Il se forme donc alors de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux, sans aucun autre résidu que de l'eau, par le contact des deux substances employées (si elles sont d'ailleurs en proportions convenables), ce qui dans la préparation d'une substance gazeuse est d'un grand avantage. Que ce soit d'ailleurs une dissolution ou une combinaison d'acide sulfureux que l'on veuille obtenir, l'acide carbonique dégagé ne nuit jamais, car il est chassé à mesure que le gaz sulfureux arrive en quantité suffisante.

On pourrait encore, pour obtenir l'acide sulfureux, traiter de l'acide sulfurique par du soufre, si ce corp

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne fondait pas à une température plus élevée que celle nécessaire à la réaction, et ne rendait par là l'opération tumultueuse et difficile à régler. Dans ce mode de préparation il n'y aurait pas non plus de résidu, l'acide sulfurique cédant au soufre l'oxygène dont il a besoin pour passer à l'état d'acide sulfureux. Mais le procédé le plus simple à employer, et qu'il faut mettre en application toutes les fois qu'on le peut, consiste à faire brûler du soufre au contact de l'air. Dans plusieurs circonstances ce procédé s'applique, ainsi que nous allons le voir, avec la plus grande facilité; mais dans d'autres il est nécessaire d'avoir un courant d'acide sulfureux avec pression capable de lui faire traverser des couches plus ou moins hautes de liquides; alors le seul artifice à employer est de produire de l'acide sulfureux dans une chambre, d'où on l'aspire au moyen d'une machine quelconque, d'un ventilateur à force centrifuge par exemple, pour lui faire déprimer les liquides qu'il doit traverser. C'est ainsi qu'on peut produire très-économiquement des dissolutions d'acide sulfureux ou des sulfites dont l'emploi dans les arts et les manufactures tend à augmenter tous les jours.

L'acide sulfureux est principalement employé pour le blanchiment des matières animales, des soies et des laines par exemple, et pour le traitement de la gale; nous allons parler de ces divers emplois.

Voici le procédé pour blanchir par l'acide sulfureux. Dans une chambre disposée à cet effet, on suspend, au moyen de perches, les étoffes mouillées et on allume du soufre dans une terrine. On ferme alors la porte qu'on lute le plus exactement possible; l'acide sulfureux formé par la combustion du soufre est condensé par l'eau qui imprègne les étoffes et agit alors pour décolorer. Lorsqu'on juge l'opération terminée, on ouvre la porte pour donner issue aux vapeurs sulfureuses avant de pénétrer dans la chambre.

La disposition du soufroir est d'une grande importance; celle que nous venons d'indiquer présente plusieurs inconvénients. D'abord, pendant la combustion du soufre, de l'acide sulfureux s'échappe par les joints des croisées, s'il y en a, et il est bon qu'il y en ait au moins une pour éclairer la pièce; de plus, au moment où on ouvre la porte, l'acide sulfureux et les gaz délétères produits par la combustion s'échappent en abondance, et ces émanations nuisent non-seulement aux ouvriers employés dans l'usine, mais aussi aux habitants du voisinage.

Pour remédier à ce grave inconvénient, d'Arcet a conseillé d'établir dans le soufroir une ventilation, un renouvellement d'air suffisant pour entraîner, quand il en est besoin, tous les gaz nuisibles à la santé.

A cet effet, les châssis des croisées doivent être fixes ou clore exactement. La porte du soufroir doit aussi fermer hermétiquement, et pour cela on en garnit les joints avec des morceaux de peau de mouton couverts de leur laine ou avec des lisières de drap. Cette porte est percée à sa partie inférieure d'une petite ouverture qu'on ferme en tout ou en partie avec une petite porte à coulisse formant une véritable chatière.

A la partie supérieure du soufroir se trouve une ouverture plus grande d'un tiers que la chatière, destinée à la sortie des gaz délétères; elle est aussi fermée par une porte à coulisse ou registre qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté au moyen d'une corde passant sur des poulies de renvoi. Cette ouverture est le commencement d'une cheminée destinée à conduire les gaz dans l'air à la plus grande élévation possible, et dans laquelle on doit entretenir un appel assez puissant par un foyer spécial dont on utilise d'ailleurs la chaleur.

Quand on veut se servir du soufroir, les tissus que l'on doit blanchir étant disposés sur des perches ou sur des cordes, on fait un peu de feu dans le fourneau d'appel; ensuite on place le soufre de manière à ce que l'acide sulfureux se répande le plus également possible dans la pièce; on allume, on ferme la porte d'entrée et la chatière, mais on ouvre le registre de la cheminée et on le referme presque entièrement lorsque le soufre est bien allumé et que la dilatation a fait sortir une certaine quantité d'air et d'acide sulfureux. Si on ne ferme pas complétement, c'est pour que de l'acide sulfureux ne s'échappe point par les joints de la porte et de la chatière, et qu'au contraire le petit appel qui se fait dans la cheminée détermine par ces mêmes joints l'entrée d'un peu d'air atmosphérique.

Lorsque le soufrage est terminé, on fait du feu dans le fourneau d'appel, on ouvre entièrement le registre et peu à peu celui de la chatière qu'on laisse enfin tout ouverte pendant le temps que l'expérience indiquera comme nécessaire; il y a alors une bonne ventilation qui enlève tout l'acide sulfureux et l'azote résidu de la combustion, et cette ventilation continue même lorsqu'on entre dans le soufroir, où on peut travailler sans être incommodé.

D'Arcet a aussi indiqué, en se fondant sur le même principe, la ventilation de plusieurs petits soufroirs accolés l'un à l'autre au moyen d'une seule cheminée d'appel, de manière qu'un des soufroirs puisse toujours être en activité.

Le mode de blanchiment des laines ou des soies par l'acide sulfureux gazeux laisse à désirer en ce sens que les matières ne sont pas également blanchies dans toutes leurs parties, et il n'est pas douteux que du jour où la dissolution d'acide sulfureux pourra être livrée à bas prix dans le commerce, on n'adopte de préférence cet agent pour y blanchir les écheveaux ou les étoffes par immersion.

Dans son action décolorante l'acide sulfureux agit par son affinité pour l'oxygène pour former de l'acide sulfurique, et les matières végétales sont soumises à cette action tout aussi bien que les matières animales, tandis que le chlore agit, lui, par son affinité, pour l'hydrogène. On avait cru longtemps qu'il était impossible de faire renaître la couleur enlevée par l'acide sulfureux; mais, il y a douze ans, M. Kuhlmann a démontré que cette opinion était erronée. Il parvint à la recoloration, et cela en employant un agent décolorant, le chlore, différant seulement dans son mode d'action. Voici une des expériences qu'il fait à l'appui de son opinion.

Dans un flacon d'acide sulfureux gazeux il plonge quelques pétales de roses qui blanchissent au bout de quelques instants; il les plonge alors dans un flacon de chlore, et la couleur reparaît pour disparaître encore si l'action du chlore est trop prolongée.

Expliquons maintenant cette curieuse expérience. L'acide sulfureux agit en enlevant de l'oxygène, le chlore en enlevant de l'hydrogène, et si l'absorption de ces deux éléments se fait en proportions convenables, les matières n'auront en définitive perdu que de l'eau, et ordinairement la perte de ce liquide ne modifie pas les couleurs des substances organiques.

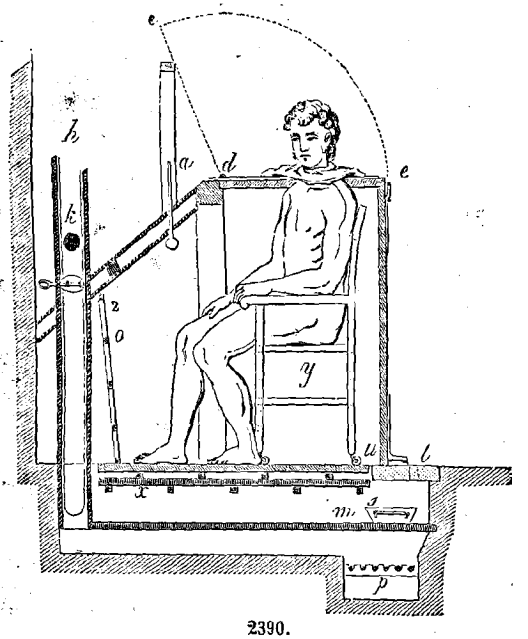
Il est à remarquer que les substances qui ont été blanchies par l'acide sulfureux reprennent leur couleur à l'air, très-probablement en absorbant l'oxygène qu'elles ont perdu.

L'acide sulfureux est encore employé pour blanchir la colle de poisson, la gomme adragante, les pailles qui servent à la confection des chapeaux. Il enlève les taches de fruits et de vin sur les linges et les vêtements; si on n'a pas d'acide en dissolution à cet effet, on fait brûler du soufre sous un cornet de papier qui sert de cheminée; l'acide sulfureux s'échappe par le sommet ouvert du cornet où on a placé la partie de l'étoffe tachée. On peut avec des fumigations sulfureuses assainir les lazarets, les vaisseaux où se dégagent les miasmes pestilentiels, désinfecter les hardes, matelas, couvertures

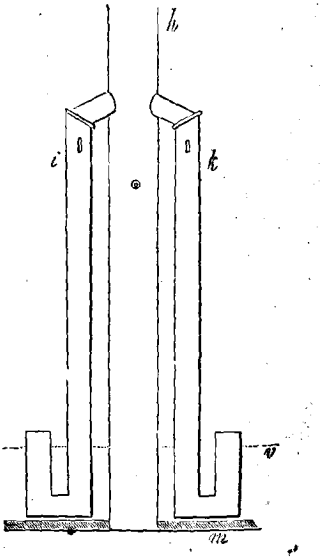
EFERUS - Recherche & Classification numérique

de malades infectés, de galeux, etc. C'est avec de l'acide sulfureux qu'on empêche la fermentation acide des liquides alcooliques, tels que le vin, la bière. On se contentait autrefois de placer le moût de vin dans des tonneaux où on avait auparavant brûlé des mèches soufrées; aujourd'hui on y verse du sulfite de chaux en poudre qui est décomposé par l'acide tartrique du vin; l'acide sulfureux mis en liberté reste en dissolution et du tartrate de chaux insoluble se précipite, se dépose.

C'est encore avec l'acide sulfureux qu'on parvient quelquefois à éteindre les feux de cheminée qui ne sont pas très violents et qu'on prend au début. On projette sur le foyer une assez grande quantité de fleurs de soufre. L'explication de ce fait est facile à donner. En projetant du soufre en fleur autant que possible sur le combustible, il se forme par la combinaison du soufre avec l'oxygène de l'air qui alimente le foyer, de l'acide



2390.



2391.

sulfureux qui monte dans la cheminée et se trouve en contact avec les corps enflammés, auxquels il ne peut nécessairement fournir d'oxygène, élément nécessaire de leur combustion.

Bien que dès 1657 Glauber eût indiqué l'efficacité de l'acide sulfureux contre la gale, avant M. Galès en 1813 aucun essai n'avait été fait pour appliquer cette idée. Les procédés imparfaits et incommodes ont été perfectionnés si heureusement par d'Arcet, qu'aujourd'hui ils ne laissent plus rien à désirer sous le rapport de la simplicité et de l'économie, et ils sont actuellement adoptés dans tous les hôpitaux pour le traitement des maladies de la peau. Terme moyen dix fumigations suffisent pour le traitement d'une gale simple, et dans l'appareil pour un malade seul, chacune des fumigations ne revient qu'à 5 centimes, savoir 1 cent. pour le soufre et 4 pour le combustible, de sorte que le traitement complet ne revient qu'à 50 centimes, et si l'appareil était à 12 places, chaque fumigation ne coûterait que 4 centimes par personne.

Les appareils de d'Arcet sont ingénieux; nous ne donnerons une idée que de celui pour un malade seul.

Il se compose d'une boîte en bois dans laquelle on fait entrer le malade, après avoir élevé la température de l'appareil à un degré convenable. A cet effet on allumé le feu d'un foyer *p* (fig. 2390), surmonté d'une plaque de fonte *m m*, parallèle au sol de la chambre; la fumée de ce foyer passe par la cheminée *h*. Le malade pose sur un plancher en bois de chêne, soutenu par des barres de fer reposant elles-mêmes sur une plaque en fonte *x*, de manière que le plancher de bois étant séparé du plancher de fonte par un courant d'air, le feu ne peut pas prendre et le malade n'éprouve pas une chaleur trop forte. Ce double plancher ne touche d'aucun côté aux parois de la chambre et laisse ainsi passage à l'air chauffé par les plaques *m*. En o se trouve une claie en bois à mailles serrées, placée parallèlement à la cheminée *h*, pour en éloigner les pieds du malade qui pourraient se brûler par le contact. La figure représente une coupe de l'appareil fumigatoire.

Quand le malade est entré dans la boîte, on ferme la porte visible dans la figure en *e u*, on baisse le couvercle horizontal jusqu'alors levé en *d e*, de manière à faire passer la tête du malade à travers; on fait entourer le cou avec une serviette qui ferme ainsi l'espace restant entre le cou du malade et les bords du trou.

En *a* est représenté un thermomètre dont la boule est dans l'appareil et l'échelle au dehors, afin que le malade, placé dans la boîte, puisse voir à quelle température son corps est exposé. Dans la cheminée du foyer *h* viennent se rendre de chaque côté deux tuyaux d'appel représentés en *i*, *k* (fig. 2391). Ces tuyaux d'appel se terminent par un double coude dans l'intérieur de la boîte et un peu au-dessus du double plancher. La partie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

horizontale de ces tuyaux d'appel pose sur la plaque de fonte qui élève leur température et détermine ainsi un tirage au moment où commence la fumigation. Ces tuyaux d'appel sont munis de clefs qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté.

Alors on ouvre les clefs des tuyaux d'appel assez pour que le vide, qu'ils produisent dans la boîte, n'attire que peu d'air extérieur; puis on introduit le soufre par le trou *l* (il y en a deux semblables) dont on enlève le tampon. Par la combustion du soufre il se produit de l'acide sulfureux qui, entrant dans la boîte par les intervalles du plancher et des parois, circule autour du malade, et, gagnant la partie inférieure de la boîte, entre dans les tuyaux pour être jeté au dehors avec la fumée du foyer.

On peut d'ailleurs, au moyen de cette boîte, donner toute autre fumigation avec de légères modifications pour l'introduction et la volatilisation des substances.

Si on veut que la fumigation soit d'acide sulfureux, saturé de vapeur d'eau, on place, sous une des ouvertures, munie d'un tampon à entonnoir, une caisse en tôle *s*, dans laquelle, chauffée convenablement, on laisse tomber goutte à goutte de l'eau qui se réduit en vapeur et produit l'effet demandé.

Lorsque le malade doit sortir de la boîte, il faut que l'acide sulfureux ne se répande pas dans la chambre; pour cela on ouvre les deux trous *l* de même que les clefs des tuyaux d'appel, et on ferme celle *t* de la cheminée, de sorte que l'acide sulfureux s'échappe avec l'air qui entre dans la boîte, et bientôt il ne reste plus que de l'air pur.

SULFURIQUE (ACIDE). Basile Valentin, alchimiste allemand, qui vivait au XV^me^ siècle, a découvert, on le pense du moins, l'acide sulfurique en traitant le sulfate de fer par la chaleur.

Nous avons à étudier l'acide sulfurique à divers états, tant pour ses propriétés que pour sa préparation.

Propriétés. — 1° *De l'acide anhydre.* L'acide sulfurique n'a pas toujours l'apparence qu'on lui connaît généralement; on peut l'obtenir sans eau : c'est alors l'acide sec, anhydre, solide à la température ordinaire, cristallisé en aiguilles blanches, soyeuses, rayonnant d'un même centre, semblables à des fils d'amiante, ayant une grande affinité pour l'eau qu'il enlève à l'air en donnant lieu à d'épaisses vapeurs; aussi faut-il le conserver dans des tubes de verre scellés à la lampe. Il fond à 25 degrés et se vaporise presque aussitôt. Si on verse quelques gouttes de cet acide dans de l'eau, chacune d'elles produit l'effet d'un fer rouge. Il paraît que cet acide anhydre, dissolvant beaucoup mieux l'indigo que l'acide ordinaire et même celui de Nordhausen, est quelquefois employé pour obtenir une dissolution sulfurique d'indigo renfermant le moins d'acide possible. L'acide étendu d'eau ne bout plus vers 25 degrés, la température d'ébullition augmente et peut monter jusqu'à 310 degrés pour une certaine quantité d'eau. Il y a entre l'acide et l'eau une véritable combinaison chimique qui constitue l'acide sulfurique ordinaire, qu'on nomme pour cela *acide sulfurique hydraté;* c'est l'acide du commerce.

2° *De l'acide ordinaire.* Liquide, il est oléagineux, inodore et incolore lorsqu'il est pur, très caustique, désorganisant rapidement toutes les matières organiques. Une goutte suffit pour rougir une grande quantité de tournesol. La chaleur le décompose en eau, en oxygène et en acide sulfureux. Il ne fume pas à l'air, mais il en attire l'humidité; si le contact de l'atmosphère saturée est assez prolongé, si on a soin de mêler de temps en temps les diverses couches du liquide, il peut absorber jusqu'à 15 fois son poids d'eau; en même temps il se colore et devient brun. Cette coloration provient de la décomposition des poussières organiques, toujours en suspension dans l'atmosphère qu'il charbonne fortement. Cette décomposition est due à la grande affinité de l'acide pour l'eau dont il s'empare en déterminant sa formation par la combinaison de ses éléments, oxygène et hydrogène, qui se trouvent dans ces substances, et le carbone mis à nu colore ce liquide. C'est là son mode général d'action sur toutes les matières organisées; on le voit en plongeant quelques petits morceaux de bois dans une certaine quantité d'acide. Il faut donc conserver l'acide sulfurique dans des flacons bouchés à l'émeri.

L'acide coloré et étendu de l'eau qu'il a absorbée, peut être ramené à son état primitif par l'action de la chaleur; les acides sulfureux et carbonique qui se forment alors par l'action désoxygénante du carbone sur l'acide sulfurique, se volatilisent ainsi que l'eau, et lorsque des vapeurs blanches apparaissent l'opération est terminée.

L'acide sulfurique est composé de :

1 at. soufre.	201,16	ou 40,14
3 at. oxygène. . . .	300,00	59,86
	501,16	100,00

L'acide sulfurique du commerce le plus concentré, contient encore 18,32 d'eau p. 100; il marque alors 66 degrés à l'aréomètre de Baumé, et sa densité est 1,848. On peut donc dire qu'il renferme :

1 at. acide sulfurique sec.	501,16	ou 81,68
2 at. eau.	112,48	18,32
	613,64	100,00

Il ne peut se congeler qu'à 10 ou 12 degrés au-dessous de zéro; mais s'il est légèrement étendu, sa congélation peut se produire à zéro, et même à 4 ou 5 degrés au-dessus il produit des cristaux transparents. Versé en petit filet dans l'eau, il la traverse en se rendant à la partie inférieure du vase à cause de sa densité; mais si on agite, il y a un grand dégagement de chaleur proportionnel à la quantité d'acide employé. Si l'on mêle 25 parties d'eau et 500 p. d'acide sulfurique, la température s'élève jusqu'à 105°. Si le mélange est fait à parties égales, la température n'est que de 95°. D'après cela, on ne sera pas surpris que Lavoisier et Laplace aient trouvé qu'il se produit, en mêlant 734 parties d'eau et 979 d'acide ordinaire, assez de chaleur pour fondre 1.529 parties de glace.

Pour opérer un mélange d'acide sulfurique et d'eau, on est obligé de prendre des précautions, car le vase, s'il est de verre, casse par suite de l'élévation subite de température, ou bien une portion du liquide peut être projetée.

Il ne faut jamais verser l'eau dans l'acide, mais ce dernier par portions dans l'eau, et avoir soin de remuer le mélange après chaque addition, et, autant que possible, ne pas faire le mélange dans un vase de verre ou de grès.

L'acide sulfurique détermine par son affinité pour l'eau, la fusion de la glace ou de la neige avec laquelle il est mis en contact, et il peut y avoir, d'après les proportions des deux corps employés, dégagement de chaleur ou production de froid.

Ces résultats divers s'expliquent facilement; la fusion de la glace ne peut s'opérer sans l'absorption d'une certaine quantité de chaleur; la combinaison de l'acide et de l'eau provenant de la fusion dégage, au contraire, une certaine quantité de calorique; suivant donc que la première quantité sera plus petite ou plus grande que la seconde, il y aura production de chaleur ou de froid.

Si l'acide sulfurique à 66° est étendu d'eau, on ne peut pas juger de la quantité d'eau introduite par le pèse-acide, car il n'y a pas ici simple mélange, mais véritable combinaison entre les corps. Des tables ont été dressées pour apprécier les quantités d'eau mélangées d'après les degrés marqués par l'aréomètre. Pour connaître la véritable richesse de l'acide sulfurique du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commerce, il faut chercher la quantité de base qu'il sature, son degré acidimétrique, 100 parties d'acide à 66, saturant exactement 173,55 de carbonate de soude pur et sec. C'est au degré acidimétrique qu'il faudrait l'acheter; mais ce mode n'est pas adopté, la constatation du degré aréométrique étant bien plus simple que celle du degré acidimétrique, et atteignant très bien généralement le but du commerce, car la fraude ne serait possible que par une falsification que rendrait illusoire le bas prix de l'acide, à défaut de la probité des fabricants qui, heureusement, est très rarement suspectée. L'utilité des tables est donc indispensable; nous allons donner la plus usitée :

Degrés de l'aréomètre de Baumé.	DENSITÉ de l'acide, l'eau étant = 1.	QUANTITÉS d'acide sulfurique hydraté ordinaire pour 100.	QUANTITÉS d'eau pour 100	NOM de l'observateur
66	1,842	100	0	Vauquelin.
60	1,725	84,22	15,78	» »
60	1,717	82,34	17,66	D'Arcet.
55	1,618	74,32	25,68	Vauquelin.
55	1,618	74,32	25,68	D'Arcet.
54	1,613	72,70	27,30	id.
53	1,586	71,17	28,83	id.
52	1,566	69,30	30,70	id.
51	1,550	68,30	31,70	id.
50	1,532	66,45	33,55	id.
50	1,524	66,45	33,55	Vauquelin.
49	1,515	64,37	35,63	D'Arcet.
48	1,500	62,80	37,20	id.
47	1,482	61,32	38,68	id.
46	1,466	59,85	40,15	id.
45	1,454	58,02	41,98	id.
45	1,466	58,02	41,98	Vauquelin.
40	1,375	50,41	49,59	id.
35	1,315	43,21	66,79	id.
30	1,260	36,52	63,48	id.
25	1,210	30,12	69,88	id.
20	1,162	24,01	75,99	id.
15	1,114	17,39	82,61	id.
10	1,076	11,73	88,27	id.
6	1,023	6,60	93.40	id.

L'acide sulfurique ordinaire, c'est-à-dire l'acide hydraté, peut se combiner avec diverses quantités d'eau. A mesure que la densité diminue, son point d'ébullition s'abaisse de même successivement. Par l'ébullition de l'acide hydraté étendu d'eau, de l'eau se dégage, et l'acide reste jusqu'à ce qu'il soit arrivé au point de 310°.

La table ci-après montre les divers points d'ébullition de l'acide ordinaire étendu d'eau.

L'acide hydraté peut également dissoudre l'acide anhydre, et alors sa densité augmente et son point d'ébullition s'abaisse rapidement; mais sa densité n'arrive jamais à 1,97, et son point d'ébullition ne descend pas non plus à 25° C.

3° *De l'acide de Nordhausen.* Il existe une variété d'acide sulfurique connu sous le nom d'acide sulfurique *fumant* ou *glacial* de Nordhausen (du nom de la ville d'Allemagne où on le prépare). Il renferme de l'acide anhydre, de l'acide ordinaire et de l'acide sulfureux. Ses propriétés tiendraient le milieu entre celles des deux acides déjà étudiés, s'il ne contenait pas d'acide sulfureux; chauffé, il perd l'acide anhydre, l'acide sulfureux, et reste à l'état d'acide ordinaire. C'est à la volatilisation de l'acide anhydre qu'il contient qu'il faut attribuer les vapeurs blanches qu'il exhale. Cet acide est employé dans les arts spécialement pour dissoudre l'indigo, avec lequel on veut teindre la laine en bleu de Saxe.

DENSITÉ.	POINT d'ébullition.	DENSITE.	POINT d'ébullition.
1,852	327° centigr.	1,769	217° centigr.
1,849	318 —	1,759	212 —
1,848	310 —	1,744	204 —
1,847	301 —	1,730	198 —
1,845	293 —	1,715	194 —
1,842	284 —	1,699	190 —
1,838	277 —	1,684	186 —
1,833	268 —	1,670	182 —
1,827	260 —	1,650	177 —
1,819	253 —	1,520	143 —
1,810	255 —	1,408	127 —
1,801	240 —	1,30	116 —
1,791	230 —	1,20	107 —
1,780	224 —	1,10	103 —

Préparation de l'acide sulfurique. Nous commencerons par la préparation de l'acide ordinaire. Il y a bien loin du procédé suivi aujourd'hui à celui employé par les premiers chimistes qui ont observé l'acide sulfurique. Nous avons déjà vu qu'ils l'obtenaient en traitant par la chaleur le sulfate de fer; de là le nom d'*huile de vitriol*, et même de *vitriol*, nom usité encore quelquefois aujourd'hui. Plus tard, on s'aperçut que la combustion du soufre dans des cloches humides fournissait aussi cet acide, et on le prépara par ce nouveau procédé, en le désignant sous le nom d'*oleum sulphuris per campanam*. Lefèvre et Lemery imaginèrent de favoriser la combustion en ajoutant au soufre du nitrate de potasse, ils obtinrent un résultat bien plus avantageux; et longtemps on suivit cette indication, en opérant la combustion dans de grands ballons de verre humides. Enfin, on substitua les chambres de plomb à ces capacités de verre, et dès ce moment l'acide sulfurique put être fabriqué en assez grande quantité, et livré à assez bas prix pour rendre de grands services à tous les arts chimiques.

C'est encore aujourd'hui avec du soufre et du nitrate, ou du moins avec sa partie essentielle, l'acide nitrique, que se fabrique l'acide sulfurique ordinaire, et on peut dire que cette fabrication a été aussi perfectionnée que possible, et que la pratique a devancé la théorie, car c'est tout au plus si on est bien fixé sur les diverses réactions auxquelles donnent lieu les corps mis en présence. C'est Clément Désormes qui a mis sur la voie.

Si dans un ballon d'une certaine capacité, et dont les parois sont humides on fait arriver par deux tubes adaptés au bouchon de l'acide sulfureux et du deutoxyde d'azote, ce dernier gaz, trouvant de l'air dans le ballon, passe à l'état d'acide hypo-nitrique, ainsi que l'indiquent les vapeurs rutilantes; au bout d'un certain temps, il se dépose sur les parois du ballon des cristaux blancs, formés, selon Clément, d'acide sulfurique, d'acide hypo-nitrique et d'eau. En faisant arriver de la vapeur d'eau dans le ballon, les cristaux se dissolvent, l'eau se charge d'acide sulfurique, et il se dégage du deutoxyde d'azote qui repasse à l'état d'acide hypo-nitrique pour recommencer avec l'acide sulfureux, qu'on introduit de nouveau, la réaction de tout à l'heure.

Plus tard, Berzélius a annoncé que les cristaux se composaient d'acide sulfurique, d'acide nitreux et d'eau, et on a vu qu'on pouvait très bien, en pratique, substituer l'acide nitrique à l'acide hypo-nitrique, et originairement au deutoxyde d'azote. Dans cette manière de raisonner, l'acide nitrique céderait à l'acide sulfureux une partie de son oxygène; de là de l'acide nitreux. L'intervention de l'eau venant séparer l'acide sulfuri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que, l'acide nitreux mis en liberté, et ne pouvant exister à l'état d'isolement, se décompose instantanément en acide nitrique et en deutoxyde d'azote, qui au contact de l'air passe à l'état d'acide hypo-nitrique qui, sous l'influence de l'eau, redevient acide nitrique. L'acide sulfureux agit incessamment et exclusivement sur l'acide nitrique, constamment régénéré dans les diverses phases de l'opération.

La composition des cristaux que nous venons d'indiquer est loin d'être admise par tous les chimistes. M. Péligot prétend, lui, qu'il n'y a pas formation de cristaux. Il fait remarquer qu'en pratique les cristaux ne se forment jamais quand les chambres fonctionnent avec régularité ; ils ne sont qu'un accident de la fabrication, accident très rare aujourd'hui par suite des perfectionnements. Il propose la théorie suivante, qui lui semble expliquer d'une manière satisfaisante et simple tous les phénomènes qui se passent réellement dans la fabrication de l'acide sulfurique. Elle repose sur les faits suivants :

1° L'acide sulfureux décompose l'acide nitrique. Le premier se transforme en acide sulfurique et le second en acide hypo-nitrique ;

2° L'eau change ce dernier acide en acide nitrique et en acide nitreux ;

3° L'acide nitreux, sous l'influence d'une quantité d'eau d'autant plus grande, devient à son tour de l'acide nitrique et du bi-oxyde d'azote ;

4° Ce bi-oxyde d'azote, en contact avec l'air atmosphérique, reproduit de l'acide hypo-nitrique, que l'eau transforme en acides nitreux et nitrique.

Ces réactions excluent l'intervention d'aucun composé cristallin ; elles sont nettement représentées par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} &Az\,O^5, Aq\,(1) + S\,O^2 = S\,O^3, Aq + Az\,O^4 \\ &2\,Az\,O^4 + Aq = Az\,O^3 + Az\,O^5, Aq \\ &3\,Az\,O^3 + Aq = 2\,Az\,O^2 + Az\,O^5, Aq \\ &Az\,O^2 + 2\,O = Az\,O^4 + \text{etc.} \end{aligned}$$

M. Baudrimont n'admet pas que l'acide hypo-nitrique soit un produit nécessaire de l'action de l'acide sulfureux en excès sur l'acide nitrique. Il dit que, si les cristaux ne se forment pas dans les chambres de plomb, comme on l'a reconnu généralement, le composé des cristaux peut exister un instant à l'état moléculaire, les molécules étant détruites avant d'avoir pu s'aggréger alors ce n'est plus simplement l'acide sulfureux qui enlève de l'oxygène à l'acide nitrique pour devenir de l'acide sulfurique, ce sont leurs éléments qui s'unissent d'abord et produisent un composé qui se détruit par la présence de l'eau et donne naissance à de l'acide sulfurique et à de l'acide nitreux. Cette explication de la formation de l'acide sulfurique conduit même directement à faire admettre que les cristaux ont la composition trouvée par M. Laprovostaye, à cela près qu'ils ne sont pas anhydres.

En effet $Az\,O^5 + H^2O + 2SO^2 = 2SO^3\,Az\,O^3\,H^2O$ ou plutôt $= \left\{\begin{matrix} SO^4H^2 \\ SO^4\,Az\,O^2 \end{matrix}\right.$ c'est ce composé qui sous l'influence de l'eau produit de l'acide sulfurique et de l'acide nitreux.

$$\left.\begin{matrix} SO^4H^2 \\ SO^4\,Az\,O^2 \end{matrix}\right\} + Aq = 2\,SO^3\,H^2O + Az\,O^3 + Aq$$

Tout récemment M. Barreswil est venu formuler une nouvelle opinion sur la théorie de la préparation de l'acide sulfurique. Il y a été conduit par suite de la découverte d'un nouvel acide d'azote auquel il donne le nom d'acide pernitreux. Cet acide correspond à l'acide hypermanganique.

En partant des faits signalés par l'auteur, on peut établir les propositions suivantes qui sont d'une importance incontestable dans la théorie de la préparation de l'acide sulfurique :

1° Le bioxyde d'azote et l'acide sulfureux, au contact de l'air, s'unissent pour former le composé $SO^3, Az\,O^2$, combinaison de l'acide sulfurique et de l'acide nitreux.

2° Ce composé très instable se décompose dans l'eau, suivant les proportions du véhicule, soit en acide hypo-nitrique et en deutoxyde d'azote, soit en acide nitrique et en deutoxyde d'azote, ou bien en acide pernitreux et en deutoxyde d'azote.

3° L'acide hypo-nitrique avec l'acide sulfureux régénère la combinaison de l'acide sulfurique et de l'acide nitreux, et par conséquent le bioxyde d'azote.

4° L'acide nitrique forme, avec le bioxyde d'azote l'acide pernitreux qui, avec l'acide sulfureux, produit finalement du deutoxyde d'azote et de l'acide sulfurique.

Ainsi l'absorption de l'oxygène par l'acide sulfureux dépend non d'une oxydation directe, mais d'une part de la formation et de la décomposition successive d'un composé $SO^3\,Az\,O^3$, d'autre part de la réaction du bioxyde sur l'air et de celle de ce gaz et de l'acide nitreux sur l'acide nitrique.

En partant de ces faits, M. Barreswil croit pouvoir non pas remplacer mais résumer les trois principales théories qui ont été émises sur la fabrication de l'acide sulfurique ; avec les partisans de la première il admet la formation d'un composé instable ; seulement, comme M. Baudrimont, il ne croit pas nécessaire que ce composé existe à l'état cristallin ; il peut tout aussi bien être en dissolution dans l'acide sulfurique qu'on introduit à dessein dans la fabrication, ou exister éphémèrement en suspension dans l'atmosphère des chambres. Il admet avec M. Berzélius la nécessité de la formation d'un corps très oxydant, seulement il croit que ce composé est l'acide hypo-nitrique et ne peut être l'acide nitreux. Enfin avec M. Péligot il convient que la formation d'acide nitrique est un résultat nécessaire, mais il conteste que cet acide soit directement attaqué par l'acide sulfureux, et croit qu'il n'est réduit que parce qu'il est préalablement décomposé par le deutoxyde d'azote, avec lequel il forme soit l'acide pernitreux, soit l'acide nitreux, qui sont les seuls oxydants.

Quelle que soit la manière de voir qu'on adopte, le résultat est toujours le même et la théorie de la préparation s'explique très bien aujourd'hui. Seulement nous croyons devoir faire une observation.

Il semblerait possible, d'après la théorie, qu'une certaine quantité d'acide nitrique pourrait agir indéfiniment sur l'acide sulfureux sans être renouvelée ; mais il n'en est pas ainsi : l'air qui a servi à la combustion du soufre contient toujours beaucoup d'azote qui ne joue aucun rôle dans les diverses réactions, azote qu'on est obligé d'expulser et qui entraîne une grande quantité de vapeurs rutilantes ; il paraît même qu'une fois les gaz *nitreux* arrivés à l'état de bioxyde d'azote, il en est une portion qui passe à l'état de protoxyde, gaz tout à fait inerte.

Aussi il est important d'employer les gaz nitreux à l'état le plus avancé d'oxydation afin qu'ils arrivent le plus tard possible à l'état de bioxyde d'azote ; on a essayé d'introduire directement le bioxyde d'azote dans les chambres, comme la théorie semblait le permettre ; mais on a obtenu un rendement bien inférieur à celui qu'on obtient en employant l'acide nitrique.

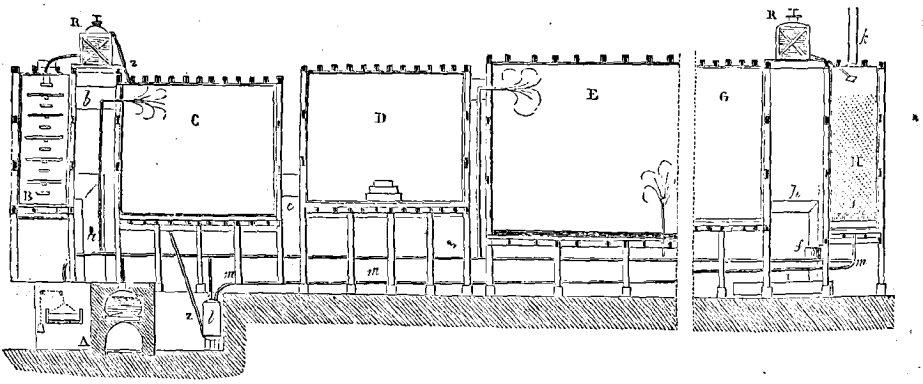
L'appareil que l'on emploie généralement aujourd'hui pour préparer l'acide sulfurique se compose de plusieurs chambres en plomb rectangulaires placées l'une à la suite de l'autre, avec les accessoires, comme le four à soufre, les chaudières à vapeur, etc. Nous allons d'ailleurs donner un détail sommaire de cet appareil à l'aide d'un dessin.

La fig. 2392 est la coupe générale

(1) Aq indique une quantité d'eau indéterminée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En A se trouvent les fours à brûler le soufre, dont la fig. 2394 représente une coupe transversale, dans la disposition adoptée pour l'utilisation de la chaleur, provenant de la combustion du soufre, à la préparation de la vapeur d'eau nécessaire à la réaction. Alors on emploie deux fours accolés. Dans la fig. 2392 l'un de ces fours est vu de face; l'autre est vu en coupe. Leur cheminée commune *a*, conduit l'acide sulfureux dans un petit tambour de plomb B, à la partie supérieure duquel arrive de l'acide sulfurique, qui s'écoule d'une manière continue en sortant du vase R (vase de Mariotte, dont nous dirons quelques mots tout à l'heure). Ce vase R est alimenté par un vase *l*, recevant de l'acide riche en gaz nitreux. Ce vase *l* a la disposition d'un monte-jus, c'est-à-dire que la vapeur, par la pression qu'elle exerce à la surface du vase, chasse l'acide par le tube *x, z*. Cet acide arrive dans le vase *l* par le tuyau *m m m*, et



2392.

provient d'un appareil H dont nous parlerons plus tard.

L'acide sulfureux sortant du four par la cheminée *a*, se trouve donc en contact dans le vase B avec de l'acide sulfurique, auquel il enlève des vapeurs nitreuses, vapeurs qui vont servir à la fabrication de l'acide sulfurique. La cheminée *a* doit être haute d'au moins 7 mètres, pour donner au gaz sulfureux une force ascensionnelle assez grande pour vaincre la résistance d'un long parcours. Après avoir parcouru le vase B dans toute sa hauteur, l'acide sulfureux sort par le tuyau *b*, qui est de fonte, pour se rendre, avec l'air qui n'a pas servi à la combustion du soufre, dans une première chambre ou tambour C, d'une capacité de 90 à 100 mètres cubes. Dans plusieurs usines, l'acide sulfureux arrive directement dans cette première chambre C sans passer par l'appareil B. Ce premier tambour C est assez souvent appelé dénitrificateur; nous verrons tout à l'heure pourquoi. Un tuyau partant des chaudières lance de la vapeur dans la partie supérieure du tuyau de fonte précisément à l'endroit où il débouche dans le tambour C, pour que l'acide sulfureux se trouve dès son entrée dans les conditions nécessaires à la réaction. Les gaz se rendent ensuite au moyen du tube *c* dans le second tambour ayant les mêmes dimensions que le premier. C'est dans cette deuxième chambre que se trouve l'acide nitrique nécessaire à la production de l'acide sulfurique. Une série de vases de grès ou capsules est placée en manière de cascade, se déversant l'une dans l'autre et présentant une large surface de contact à l'acide sulfureux et à l'air qui arrivent incessamment dans le deuxième tambour. Ces vases de grès sont alimentés d'acide nitrique au moyen d'un tuyau ou siphon pénétrant dans la chambre et communiquant extérieurement avec un vase contenant de l'acide nitrique, de manière à en faire arriver dans la chambre une quantité plus ou moins grande suivant la convenance. Cette série de vases peut être remplacée par une pièce en grès représentant un petit château d'eau.

L'acide sulfurique produit dans ce deuxième tambour se rend dans le premier au moyen d'un petit tuyau non indiqué dans la figure, pour que là, sous l'influence d'un grand excès d'acide sulfureux, les composés nitreux en dissolution soient volatilisés et servent aussi à la formation d'acide sulfurique. De là le nom de dénitrificateur donné au premier tambour qui, lui, envoie, ainsi que les autres petites chambres G et F (voir figure 2396) son acide dans la chambre principale E où se passent la plupart des phénomènes de la formation de l'acide sulfurique. Cette chambre reçoit les gaz du second tambour D par le tuyau *d*, et communique au moyen du tuyau *e* avec le premier tambour en queue F; les gaz circulent dans une caisse en plomb (non représentée dans la figure), à chicanes verticales, faisant fonction de condenseur, d'où ils se rendent dans le dernier tambour en queue G. Ces deux dernières petites chambres, où se terminent les réactions, servent à utiliser les gaz non combinés et à condenser les dernières parties de l'acide sulfurique. Certains fabricants ont même adopté dernièrement trois chambres de queue.

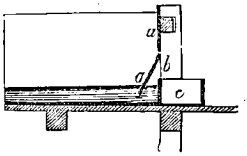
En sortant du dernier tambour G, les gaz circulent encore dans un réfrigérant I qui condense les dernières traces d'acide sulfurique, et ils se rendent enfin dans un appareil H destiné à retenir et à absorber le plus possible de vapeurs nitreuses.

Cet appareil, de l'invention de M. Gay-Lussac, se compose, comme l'indique la figure, d'un cylindre ou tambour en plomb contenant des fragments de coke retenus par un diaphragme *s* (fig. 2392); sur ce coke tombe en filet constant de l'acide poussé jusqu'à environ 60° de concentration parce qu'il est alors plus propre à absorber les vapeurs nitreuses; cet acide est fourni par le réservoir de Mariotte R' qui l'amène dans un vase oscillatoire à double poche, dont chaque poche bascule, tandis que l'autre se remplit. De cette manière l'acide se répartit plus uniformément sur le coke et se trouve dans une condition plus favorable pour la condensation des gaz nitreux. C'est à cet acide sulfurique que l'acide sulfureux enlève les gaz nitreux en le rencontrant dans l'appareil B de tout à l'heure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

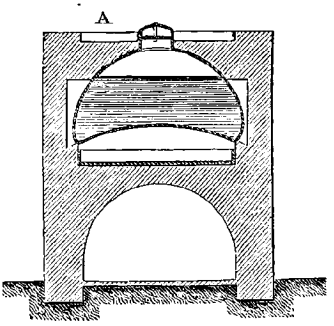
La fig. 2392 indique suffisamment que l'on peut lancer dans toutes les chambres de la vapeur au moyen de tuyaux, et fournir ainsi l'eau si nécessaire à la formation de l'acide sulfurique. Ces jets de vapeur ont encore l'avantage de faire tourbillonner les gaz, de renouveler les surfaces et de rendre les réactions plus faciles.

L'acide sulfurique se rend en définitive, nous l'avons déjà dit, dans la chambre principale où on le prend pour le concentrer. Il faut donc de temps en temps prendre le niveau de l'acide dans la grande chambre; c'est pour cela que jadis la fermeture inférieure de cette chambre était entièrement hydraulique. Aujourd'hui on adopte la disposition représentée dans la fig. 2393.



2393.

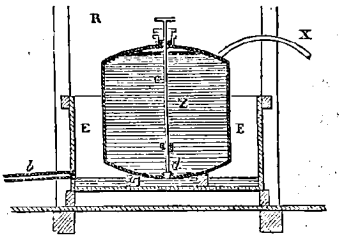
Dans la partie la plus basse de la chambre de plomb, dont le plancher est évidemment en pente, la lame de plomb *a a* faisant le prolongement de la paroi est déviée et se trouve disposée en soufflet, de manière à former une fermeture hydraulique. Par l'ouverture *b* on introduit une lame de plomb divisée en centimètres et millimètres pour mesurer la hauteur du liquide. *c* est une espèce de boîte dans laquelle on remet la lame de plomb lorsque le niveau a été pris. Un tube à siphon traversant la paroi inférieure de la chambre conduit l'acide soit dans un réservoir, soit directement dans les vases.



2394.

La fig. 2394 représente sur une plus grande échelle la coupe d'un four à soufre avec le générateur qu'il chauffe.

La fig. 2395 donne le détail du vase de Mariotte employé pour obtenir l'écoulement constant d'acide sulfurique; ce vase présente pour sa disposition de l'analogie avec le réservoir à huile des lampes à niveau constant. Il se compose essentiellement d'une capacité Z en plomb ou en cuivre ou tôle plombée, reposant sur deux supports garnis de plomb *a a*. La paroi inférieure est percée d'une ouverture que ferme une petite soupape conique *d*, dont la tige *c c* passe à frottement doux dans un *stuffing-box*, de manière que ladite soupape peut se soulever très facilement; on voit dès lors que la soupape, en même temps qu'elle laissera échapper de l'acide, donnera passage à des bulles d'air qui neutraliseront la pression de la colonne liquide, et le niveau constant sera celui du vase E E, de sorte que le tuyau *b* donnera lieu à un écoulement constant.



2395.

On alimente le vase Z directement par un tuyau X, ou bien on fait arriver le liquide dans un réservoir supérieur, duquel on fait passer dans Z par un tuyau muni d'un robinet.

M. Gay-Lussac a annoncé que l'absorption des gaz nitreux avec la dénitrification de l'acide sulfurique produisait une économie très sensible d'acide nitrique, et qu'on arrivait à ne plus employer que 3 kilogr. de nitrate, soit à peu près 4 kilogr. d'acide nitrique pour 100 de soufre, tandis qu'ordinairement la quantité d'acide est de 8 à 10 p. 100 environ.

L'acide sulfurique qu'on extrait de la grande chambre, et qui marque de 50 à 53°, doit être aussi dénitrifié. Depuis plusieurs années, MM. Poisat et compagnie, de la Folie-Nanterre, qui ont eu longtemps pour associés MM. Holker et d'Arcet, lesquels ont apporté de notables perfectionnements dans la fabrication de l'acide sulfurique, dénitrifient leur acide sulfurique des chambres en le soumettant à un courant d'acide sulfureux aspiré directement dans le four à soufre, de sorte que l'acide sulfurique contient toujours de l'acide sulfureux.

Ainsi, aujourd'hui il n'est plus permis, à un fabricant d'acide sulfurique, de vendre de l'acide contenant des gaz nitreux condensés, sans avoir recours d'ailleurs au moyen très simple indiqué en 1841 par M. Pelouze. Ce moyen consiste dans l'emploi du sulfate d'ammoniaque qu'on ajoute en très faible quantité à l'acide sulfurique nitreux; sous l'action de la chaleur les produits azotés sont décomposés, il se dégage de l'azote et il reste de l'eau et un peu d'acide sulfurique qui s'ajoute à celui que l'on purifie.

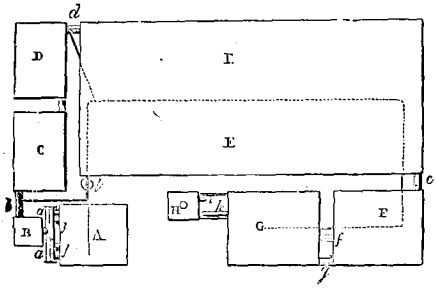
M. Desbassyns de Richemont a indiqué d'ailleurs un procédé qui permet de reconnaître des traces de ces composés nitreux : il suffit pour cela de verser sur l'acide sulfurique quelques gouttes de sulfate de protoxyde de fer; ce dernier s'empare de l'oxygène de la combinaison d'azote, passe à un état d'oxydation plus avancée, et devient d'une couleur rouge très prononcée.

L'appareil de Gay-Lussac a présenté dans l'application, surtout pour la partie placée à la suite des chambres et destinée à l'absorption des vapeurs rutilantes ou nitreuses, des inconvénients insurmontables. On a trouvé que cette absorption ainsi pratiquée contrariait singulièrement le tirage nécessaire à la marche régulière des chambres, et malgré le haut prix payé pour la concession du procédé, l'usine de Chauny a dû renoncer à l'emploi de cet appareil. Une ventilation artificielle, une aspiration à la sortie de la chambre seraient nécessaires pour l'emploi d'un procédé semblable.

Revenons maintenant aux chambres de plomb.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fig. 2396 représente en plan la disposition des chambres de plomb, que, dans la figure principale, nous avons pour plus de simplicité, supposées placées toutes à la file.

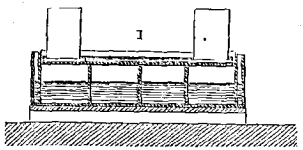


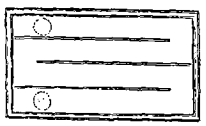
2396.

A, sont les fours à soufre et chaudières ; *a*,*a*, les cheminées de ces deux fours se réunissant en une seule se rendant dans l'appareil B, qui, par le conduit b, communique au premier tambour C. D, est le deuxième tambour ; E E, est la chambre principale qui par le conduit *e* envoie les gaz non condensés dans les deux petites chambres de queue F et G. *f* indique le tuyau qui entre dans le condenseur, et *g* le tuyau qui en sort. *h* est l'entrée et *i* la sortie du deuxième condenseur. En H est l'appareil Gay-Lussac pour l'absorption des gaz nitreux.

La fig. 2397 est une coupe en travers des condenseurs, et la fig. 2398 en est le plan ; l'inspection de ces coupes nous dispense de toute autre description.

2397.





2398.

Il est nécessaire maintenant de donner quelques chiffres sur la fabrication de l'acide sulfurique, produit assez important pour attirer toute notre attention.

La surface de la sole du four en briques où se produit l'acide sulfureux doit être calculée de telle manière qu'on puisse brûler au moins 66 kilogr. de soufre par 24 heures et par mètre carré. La quantité d'air que l'on doit laisser entrer dans le four est très importante, puisque non seulement il sert à brûler le soufre, mais encore il doit fournir la plus grande partie de l'oxygène nécessaire à transformer l'acide sulfureux en acide sulfurique ; il faut de 6 à 7 mètres cubes d'air par kilogr. de soufre brûlé ; on règle cette quantité au moyen du régulateur placé sur la cheminée.

Pour que l'appareil se trouve dans de bonnes conditions, il est convenable que le gaz de la première chambre renferme 12 p. 100 d'oxygène, et celui de la dernière 4 p. 100.

La quantité d'eau est également très importante à déterminer puisque d'elle dépend entièrement la réussite de l'opération. Si l'on en faisait arriver trop dans les chambres, l'acide sulfurique se produirait bien, mais il serait trop faible et exigerait dès lors trop de combustible pour sa concentration ; si on n'en introduisait pas assez, le rendement diminuerait considérablement et pourrait même tout à coup cesser.

On a reconnu qu'on obtenait les meilleurs résultats en lançant assez d'eau dans les chambres pour que l'acide qu'on tire de la chaudière principale marque de 50 à 53° à l'aréomètre. Or, cette quantité est très facilement calculable. Dans l'acide à 66° il existe 112 d'eau pour 613, c'est-à-dire un peu plus du 5me du poids de l'acide sulfurique ; or, 100 de soufre donnent maintenant au minimum 300 d'acide sulfurique à 66° qui contiendront à peu près 60 kilogr. d'eau. L'acide à 50° ne contient que les 2/3 de son poids d'acide à 66° ; il faut donc ajouter à ces 300 kilogr. d'acide à 66°, 150 kilogr. d'eau pour arriver à 50°. 150 kilogr. d'eau, plus 60 kilogr. existant dans l'acide à 66° donnent 210 kilogr. d'eau contenus dans les 450 kilogr. d'acide à 50°. En définitive pour 100 de soufre il faut au moins introduire dans les chambres 210 kilogr. d'eau. Le générateur doit donc être capable de fournir 300 kilogr. pour parer aux pertes.

On a aussi reconnu que pour être dans les meilleures conditions possibles il fallait brûler 100 kilogr. de soufre pour 100 mètres cubes de la capacité totale des chambres au maximum, et 66 kilogr. au minimum.

Maladies des chambres. La fabrication de l'acide sulfurique dans les chambres peut présenter des anomalies qu'il est bon de connaître afin de les éviter.

1° Si la température est trop élevée dans le four à soufre, ou que l'on n'introduise pas une quantité suffisante d'air, il se volatilise de la fleur de soufre qui se condense dans les chambres ; on produit donc moins d'acide, et, en outre, le soufre que l'on recueille plus tard dans le fond des chambres est imprégné d'acide sulfurique et doit être lavé pour servir de nouveau.

Si l'acide qu'on tire de la chambre principale contenait du soufre en suspension il serait essentiel de le laisser déposer, surtout s'il est destiné à la concentration, car par l'action de la chaleur du soufre, pour passer à l'état d'acide sulfureux, il prendrait tout l'oxygène nécessaire pour cette transformation à l'acide sulfurique qui passerait en partie lui-même à l'état d'acide sulfureux ;

2° S'il y a excès de sécheresse dans les chambres, les réactions ordinaires n'ont plus lieu, quelle que soit la quantité de soufre brûlé et d'acide nitrique employé ; le rendement peut alors diminuer énormément ;

3° Le défaut d'acide nitrique peut amener de graves perturbations dans la marche de l'appareil ; dans ce cas on perd une partie de l'acide sulfureux qui se dégage dans l'atmosphère.

Pour remédier à la trop haute température du four, M. Grouvelle, mettant à profit l'idée émise par Clément Desormes, a établi il y a plusieurs années, dans l'usine des Trois-Fontaines, près de Bruxelles, une espèce de quinquet à double courant pour la combustion du soufre. La sole du four est remplacée par des barres de fer parallèles (une espèce de grille) sur lesquelles on place des caisses de fonte liées l'une à l'autre, mais séparées cependant par un intervalle qui permet à l'acide d'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

river dans le four; c'est dans ces caisses qu'on place le soufre. Lorsqu'elles sont chargées, on allume le soufre, on les fait entrer dans le four; le courant d'air s'établit par les intervalles des caisses, et la combustion se continue jusqu'à ce qu'il ne reste plus dans les caisses que les matières terreuses qui se trouvent dans le soufre employé. A cet instant on remplace ces caisses par d'autres charges de soufre. La porte du four est alors nécessairement bouchée avec de la terre grasse.

Le procédé de soudure autogène imaginé par M. Desbassyns de Richemont a rendu un grand service à la fabrication de l'acide sulfurique ; les parois des chambres sont, pour ainsi dire, aujourd'hui d'une seule lame de plomb.

EMPLOI DES PYRITES. Nous avons toujours raisonné comme si on employait le soufre en nature pour la production de l'acide sulfureux, mais ce cas n'est pas tout à fait exceptionnel aujourd'hui et on se sert généralement de pyrites, qui se rencontrent abondamment dans beaucoup d'endroits.

La première idée de l'application des pyrites à la fabrication de l'acide sulfurique appartient à Clément Desormes; mais les tentatives que ce savant fabricant a faites dans cette direction n'ont pas abouti à un résultat pratique. Voici la raison de cet insuccès. Pour rendre les pyrites plus combustibles, Clément Desormes y ajoutait une certaine quantité de charbon et laissait passer un trop grand excès d'air. Le gaz sulfureux produit était par conséquent mélangé avec de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, et l'on sait aujourd'hui que, dans ces conditions, sa transformation en acide sulfurique ne s'opère plus qu'avec une extrême difficulté. Pour que cette transformation soit facile et complète, il faut que l'acide sulfureux ne soit accompagné que des éléments de l'air lui-même. A cet égard, on a même observé que la marche régulière de l'opération est entravée par les vapeurs d'acide sulfurique qui résultent quelquefois du grillage des pyrites, lorsque le sulfate de fer formé à une basse température distille à une température plus élevée. Cette circonstance fait comprendre la nécessité de régler avec soin le grillage des pyrites, opération délicate qui peut offrir le double inconvénient ou de verser dans les chambres des vapeurs d'acide sulfurique ou d'y dégager de l'acide sulfureux porté à une trop haute température. Toutes ces conditions ont été parfaitement étudiées par MM. Perret et fils, de Lyon, possesseurs des anciennes mines de cuivre de Chessy et Saintbel, devenues trop pauvres pour être exploitées pour cuivre, et qui dont devenues une source de fortune depuis qu'on utilise, pour la fabrication de l'acide sulfurique, les pyrites qui renferment près de 50 pour 100 de soufre. C'est à eux que revient l'honneur d'avoir les premiers résolu dans la pratique toutes les difficultés que présente l'emploi des pyrites dans la fabrication de l'acide sulfurique. Dès 1833, ces fabricants distingués ont fait à ce sujet des expériences qui ont été couronnées de succès. Leurs procédés avaient déjà passé depuis deux ans à l'état d'application, lorsqu'ils ont pris, à la date du 20 novembre 1835, un brevet qui constate leurs droits de priorité.

La pyrite en morceaux, de la grosseur d'une noix, débarrassée du poussier qui empêcherait le passage de l'air, brûle très-bien seule quand on la place sur une assez grande épaisseur, dans un foyer en briques préalablement échauffé. Mais la grande quantité de menu que produit la pyrite de Chessy, qu'employait M. Perret, lui fit chercher et trouver la disposition convenable pour brûler en même temps le menu et les morceaux, en partant de la facile combustion de ceux-ci. Voici la disposition qui lui a réussi.

A une petite distance de la couche de pyrites en fragments brûlant dans le four à cuve ordinaire, est placée une sole en terre réfractaire, formée de ces grandes briques de 6 centimètres d'épaisseur dont on se sert dans les verreries pour étendre le verre à vitres. Concevons maintenant sept autres soles de ce genre, séparées par un intervalle de 10 centimètres, fixées dans une maçonnerie où sont ménagées des ouvertures disposées de manière que le courant d'air provenant des pyrites grillées puisse, en serpentant, lécher la surface des menus, en poudre ou en petits morceaux, déposés sur ces soles. Ces couches, échauffées par les produits de la combustion de la pyrite en fragments, brûleront par l'introduction de l'air dans la masse, distilleront lentement leur soufre, de telle sorte qu'après trente-six heures le résidu ne renfermera plus que 4 à 5 pour 100 de soufre non brûlé.

La température s'élevant à mesure qu'on s'approche de la couche supérieure, le nombre de huit soles, d'abord adopté par M. Michel Perret, lui a paru pouvoir être dépassé, et il a construit des appareils de ce genre, dans lesquels il a pu faire intervenir d'une manière utile jusqu'à seize de ces surfaces en briques réfractaires. Mais leur superposition conduisant à des fours trop élevés, il a divisé ces seize soles en deux massifs, construits sur un même plan à côté l'un de l'autre, de manière que le gaz de la huitième sole supérieure, conduit par un carneau, pût aller à son tour passer sur la surface de la couche inférieure de la seconde rangée. La température s'élève dans ces fours, elle croît depuis la cuve où brûle la pyrite en morceaux jusqu'à la sole la plus élevée, ce qui montre avec quelle facilité l'air pénètre dans le mélange de pyrite en poudre et en grains qui occupe sur les soles une épaisseur d'environ 3 centimètres.

On conçoit que pour que la circulation de l'air ait lieu dans le sens désiré, il faut qu'il ne se trouve pas d'autres ouvertures que celles qui sont dans la maçonnerie, sur le côté de ces soles, et que cet air ne puisse ni s'introduire ni circuler dans le sens de leur grand axe. La chose est facile pour la partie postérieure, car il suffit d'encastrer la brique dans le mur du fourneau. Mais une pareille disposition ne peut s'appliquer à la partie antérieure par laquelle doit s'opérer le chargement et le déchargement du minerai, au moyen de portes correspondantes à chaque sole.

Pour cela, on laisse un intervalle entre la partie antérieure de la sole et le mur, intervalle qui, lors du chargement de la sole inférieure, se remplit de poussier retenu par un registre fermé. Dans le chargement de la deuxième sole, on fait tomber aussi du poussier qui, s'appuyant sur le tas inférieur, sur le mur de devant et sur la sole même, y forme un petit talus, et ainsi de suite pour les différentes soles, en montant. Veut-on procéder au déchargement, on ouvre ce registre ; le poussier qui le recouvrait tombe dans les appareils destinés à le recevoir; une râclette nettoie la sole et fait aussi tomber la poudre dans cette cavité par une manœuvre qui se reproduit pour chaque sole successive. La charge a lieu toutes les trente-six heures; pendant ce temps on brûle 1,000 kilogrammes de pyrite menue.

On a tenté, en augmentant le mouvement des pyrites, de supprimer les cuves, en ne conservant que les étages a tablettes. On a construit des fours à étages composés seulement de tablettes horizontales, sur lesquelles on peut brûler convenablement les poussières de pyrites sans le secours d'autre chaleur que celle qui résulte de leur propre combustion. Sur ces tablettes les couches peuvent être plus épaisses que sur celles des fours à cuve; mais elles ne restent pas en repos pendant tout le temps du grillage. A des époques déterminées, toutes les quatre heures par exemple, on fait passer la poussière d'un étage à l'étage inférieur; celle de la tablette la plus inférieure tombe dans le cendrier, tandis que la tablette la plus élevée reçoit une nouvelle couche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de pyrite crue. Par cet avancement graduel vers les bouches d'accès d'air, on remue complétement les poussières, et avec un bon tirage on obtient une combustion des poudres aussi satisfaisante que celle des fragments dans les fours à cuve. Le seul inconvénient un peu grave est l'entraînement d'une quantité notable de poussière ferrugineuse dans l'acide des chambres.

La recherche et l'exploitation des pyrites ont pris, par suite de leur emploi dans la fabrication de l'acide sulfurique, une importance considérable. En 1866 les amas de Chessy et Sainbel ont fourni 66,440 tonnes de pyrites, sur lesquelles 3640 tonnes ont fourni 180 tonnes de cuivre de cémentation.

En Espagne les puissants amas de pyrite cuprifère, situés dans le sud de l'Espagne, particulièrement dans la province de Huelva, fournissent des quantités considérables de pyrite de fer (246,137 tonnes en 1866), qui sert à la fois de minerai pour le soufre et pour le cuivre qu'elle contient.

La zone métallifère de la province de Huelva se continue en Portugal dans la province d'Alentejo; la mine de San-Domingo, où la masse pyriteuse a une puissance de 44 mètres, alimente bonne partie des usines anglaises (167,028 tonnes en 1866).

CONCENTRATION DE L'ACIDE. L'acide obtenu dans les chambres de plomb peut être employé dans certaines industries, telles que la fabrication du sulfate de fer, du sulfate d'ammoniaque, de l'acide nitrique, de l'acide stéarique, etc., sans qu'il soit besoin de concentration; il y a alors économie sensible, car il est proportionnellement moins cher que l'acide concentré, pourvu que les frais de transport ne viennent pas compenser la différence de prix; mais souvent aussi l'acide doit être concentré, c'est-à-dire privé de l'eau qu'il contient (nous ne parlons pas de l'eau de composition), et en même temps purifié de certaines matières étrangères. Ainsi pour la dissolution de l'indigo et l'affinage des métaux précieux on est obligé d'amener l'acide à 66°.

On commence cette opération dans des bassines en plomb, d'une large surface et d'une profondeur peu considérable, mais on ne peut la pousser que jusqu'à 60°, car au delà la température d'ébullition pourrait très-bien amener la fusion du plomb; on est donc obligé de terminer la concentration dans des cornues en verre ou des vases de platine. Les premières étaient seules employées autrefois; maintenant dans toutes les fabriques un peu considérables on fait usage des seconds, malgré leur grande valeur; la mise de fonds est plus grande, mais la concentration est plus économique que dans les cornues en verre.

Pendant la concentration, il se dégage l'acide sulfureux et les acides nitrique et hypo-nitrique qui peuvent être contenus dans l'acide sulfurique.

La figure 2399 représente la coupe de tout l'appareil de concentration. A, A', sont les chaudières de plomb où l'acide monte jusqu'à 60° pour alimenter ensuite la cucurbite de platine B. Un syphon, *s s*, établit la communication entre les deux chaudières par suspendu qu'on remonte l'intermédiaire d'un vase ou descend au moyen de poulies de renvoi. Quand on le remonte, son niveau monte par rapport à celui de la chaudière A, et dès lors l'écoulement diminue; si on l'abaisse l'écoulement augmente et le liquide tombe plus abondamment dans la chaudière A' par le dégorgeoir du vase *v*. Il en est de même pour le syphon *s'*, *s'*, et le vase *v* qui fournit de l'acide à la cucurbite B, ou plutôt au syphon s^2.

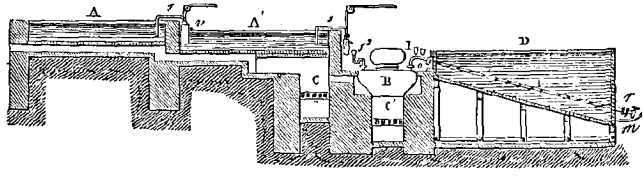
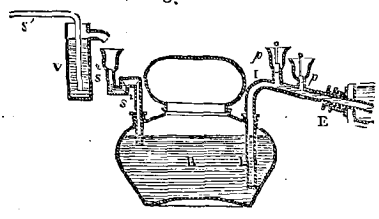


Fig. 2399.

Comme on le voit, l'alimentation peut, au moyen de cette disposition, être réglée suivant un certain débit et d'une manière continue; il faut alors que l'extraction de l'acide à 66° soit aussi continue. Cette extraction est obtenue par le syphon I, I dont on peut apprécier les détails par les figures 2400 et 2401. Ce syphon est en platine: il a pour but et pour effet de soutirer l'acide concentré et de le refroidir avant de le laisser couler dans les tonrilles.

La courte branche plonge dans le vase de platine par une tubulure *ad hoc*, la longue branche se subdivise bientôt en deux autres qui se réunissent vers l'extrémité du syphon garnie d'un robinet toujours en platine. Les deux branches sont plongées sous une certaine inclinaison dans un réfrigérant dont l'eau est sans cesse renouvelée. L'eau froide arrive par le tuyau *m* qui débouche au bas de la cuve, et l'eau chaude s'échappe par le dégorgeoir *o* placé à la partie supérieure opposée. La petite branche recourbée est munie de deux entonnoirs *p*, *p'*, fermés à volonté par deux obturateurs ou soupapes à tige au moyen desquels on amorce facilement le syphon. Le tube du syphon a le même diamètre avant la bifurcation et après la réunion. E est une boîte à filasse qui donne passage au tube du syphon pour entrer dans le réfrigérant D; pour sa sortie, même disposition.

Fig. 2400.



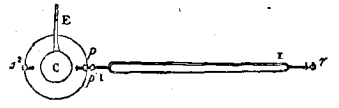


Fig. 2401.

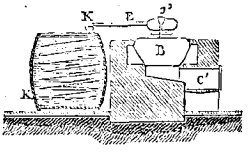
C'est à M. Bréant qu'on doit le syphon que nous décrivons. Le tube principal offre un passage double de celui des syphons ordinaires; la surface réfrigérante étant proportionnelle à son écartement, l'abaissement de température de l'acide doit être le même qu'avec les anciens syphons. M. Bréant a aussi indiqué la division du tube principal en quatre autres tubes, mais cette disposition n'est guère employée quand la marche est continue; elle présente de l'avantage quand l'opération n'est pas continue, car alors il est nécessaire de vider le plus rapidement possible la cucurbite pour passer à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une autre concentration, et la disposition Bréant permet de le faire quatre fois plus vite qu'avec un syphon ordinaire quand l'appareil est en marche continue.

Le robinet *r* du syphon est ouvert d'une quantité telle que la dépense soit en rapport avec l'arrivée dans la cucurbite.

La fig. 2402 est une coupe en travers de la cucurbite montrant le serpentin de plomb entouré d'eau dans lequel se rendent les vapeurs d'eau entraînant une certaine quantité d'acide et qui s'y condensent entièrement; cet acide très faible est introduit dans les chambres de plomb.



2402.

Lorsque l'appareil de concentration est continu il n'est pas nécessaire de mettre d'armature à la cucurbite, non plus que de la faire poser sur des plaques en fonte; avec une marche continue, on doit veiller avec soin à l'appareil, car il n'y a alors que la hauteur du liquide dans la chaudière qui sépare l'acide à 66° de l'acide à 60°; une ébullition ralentie suffit pour diminuer le degré de l'acide concentré. L'acide sulfurique est bien réellement à 66° quand les vapeurs qui se dégagent marquent également 66°; rarement en pratique on arrive à ce terme.

La chaudière en platine pèse, en moyenne, 52 kilogr., elle peut concentrer 4000 kilogr. en 24 heures. Lorsque la concentration se fait avec intermittence il faut avoir grand soin de ne jamais syphonner entièrement dans l'acide, et d'en laisser toujours un tiers dans la chaudière. Si on ne prenait pas cette précaution, le platine serait exposé à de brusques changements de température par l'introduction de l'acide à 60°, et la solidité de la chaudière serait bientôt compromise.

Cette chaudière se conserve longtemps sans beaucoup de soudures à l'or, si on évite d'y introduire avec l'acide, un métal ou du chlore. Un grain de plomb suffit pour la percer; quant au chlore, sa présence d'acide sulfurique est due quelquefois à du chlorure de sodium contenu dans l'acide nitrique employé dans les chambres.

C'est pour remédier aux inconvénients que présentent les vases de platine tant pour le prix d'achat que pour les chances de réparation que M. Kuhlmann a proposé, dans les années 1844 ou 1845, d'opérer la concentration de l'acide dans des chaudières de plomb, en abaissant nécessairement la température d'ébullition au moyen du vide opéré incessamment dans la chaudière; avec cet artifice la température d'ébullition de l'acide à 66° est moins élevée que la température de fusion du plomb. Ce savant chimiste a concentré par ce procédé de l'acide dont un échantillon a figuré à l'exposition nationale de 1844; mais nous ne savons s'il a adopté ce procédé dans sa fabrique de Loos; si en un mot il l'a rendu manufacturier.

Le même M. Kuhlmann a fait, il y a une quinzaine d'années, des recherches sur la formation et la fabrication de l'acide sulfurique par l'action de l'acide sulfureux sur l'oxygène de l'air, action favorisée par la force catalytique de l'éponge de platine portée au rouge, sur laquelle passait le mélange des deux gaz. La réaction est bien nette, bien positive, l'acide sulfurique se forme, et il est constant que l'acide sulfurique ainsi formé doit contenir très peu d'eau, qu'on pourrait ainsi arriver à obtenir de l'acide presque anhydre; malheureusement la force catalytique de l'éponge de platine ne tarde pas à s'émousser, et pour lui rendre sa première énergie il est indispensable de porter le platine à une température rouge. Aussi l'expérience vint bientôt prouver à M. Kuhlmann qu'il fallait renoncer à l'idée d'introduire cet ingénieux procédé dans les fabriques d'acide sulfurique, qui n'ont aujourd'hui, on peut le dire sans crainte, plus de grands perfectionnements à espérer, par suite des améliorations récentes qui ont été apportées dans cette industrie, améliorations que nous avons fait connaître ci-dessus. Les variations de prix qui se font sentir sur cet article sont dues principalement aux variations des prix des matières premières, soufre et nitrate de soude, et à un effet de la concurrence ou de l'entente qui peuvent s'établir entre les fabricants.

L'acide du commerce, celui obtenu par les procédés que nous venons d'indiquer, n'est pas pur; il contient toujours en dissolution quelques sels étrangers, du sulfate de plomb, et quelquefois du per-sulfate de fer (sulfate ferrique). Le soufre employé le plus souvent dans la fabrication n'a pas été distillé; il contient une certaine quantité de sulfure de fer que la combustion, dans la chambre de plomb, fait passer à l'état de sulfate. Comme ces sels sont très peu abondants, ils ne peuvent nuire ordinairement aux opérations industrielles. On a trouvé, de plus, que l'acide des chambres renferme toujours de l'arsenic à l'état d'acide arsénieux et d'acide arsénique, d'après les observations de M. Orfila.

On peut constater la présence et déterminer la quantité des sels étrangers, en évaporant 100 grammes d'acide sulfurique dans une capsule de platine, et il est considéré comme bon lorsqu'on n'obtient qu'un résidu de 5 millièmes.

Lorsqu'on veut, pour des recherches de laboratoire, se procurer de l'acide sulfurique pur, exempt de matières étrangères, on distille celui du commerce dans un appareil distillatoire en verre. On a soin de placer dans la cornue quelques fils de platine, pour éviter les soubresauts qui se produisent généralement dans l'ébullition d'un liquide que contient un vase de verre.

Il nous reste, pour compléter ce que nous avons à dire de l'acide sulfurique du commerce, de donner son prix de revient :

Compte de fabrication de l'acide sulfurique, pour une consommation de 1,600 kil. de soufre (1).

Soufre, 1.600 kil. à 16 fr. les 100 kil.	256 fr.	
Acide nitrique, 134 kil. à 45 fr. les 100 kil.	60	30
Houille, 20 hectol. à 2 fr. 50 c.	50	
Main-d'œuvre, direction, loyer, intérêts.	136	
Réparations.	35	
Frais de concentration.	45	
Transports, escomptes.	82	
Emballages.	107	
	771 fr.	30

Production, 4.800 kil. à 66° :

$$4.800 : 771 :: 100 : x = 16 \text{ fr.}$$

Nous pensons que ce chiffre de 16 fr. est trop fort dans l'état actuel des choses, et que pour les bons fabricants il doit être réduit de 2 fr. au moins. Ainsi, entre autres rectifications, signalons qu'au lieu de 134 kil. d'acide nitrique, on peut par le procédé Gay-Lussac réduire cette quantité à 64 kil.

Voici, toujours d'après M. Payen, le coût de la con-

(1) Ce compte a été donné par M. Payen dans son cours du Conservatoire; nous n'avons modifié que les prix du soufre, de l'acide nitrique et de la houille, en maintenant les quantités.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

centration (de 52° à 66°) dans un vase en platine contenant 400 litres :

Main-d'œuvre.	18 fr.
Houille.	29 fr. au maximum.
Vase en en platine, intérêts, réparations, etc.	25
Chaudières en plomb, intérêts, réparations, etc.	8
	80 fr.

Pour 4.000 kil. d'acide concentré :

$$4.000^k : 80 :: 400 : x = 2 \text{ fr.}$$

Préparation de l'acide sulfurique anhydre. Nous avons déjà vu, à propos de l'acide ordinaire, qu'on pourrait obtenir de l'acide anhydre en combinant l'acide sulfurique à l'oxygène, sous l'influence de l'éponge de platine. Il suffirait de refroidir convenablement les vapeurs produites pour les ramener à l'état solide ; mais ce procédé ne paraît pas devoir être manufacturier.

On peut obtenir l'acide anhydre en traitant par la chaleur de l'acide de Nordhausen dans une cornue garnie d'un récipient, dont on maintient la température au-dessous de 18 degrés. Les gouttes d'acide anhydre qui distillent se prennent en cristaux incolores ; l'acide sulfureux traverse le récipient sans être condensé. Si on veut obtenir cet acide en grande quantité, voici le procédé qu'on peut suivre ; il est indiqué par Berzélius :

On mêle 3 parties de sulfate de soude, récemment rougi au feu et par conséquent anhydre, avec 2 parties d'acide sulfurique ordinaire à 66°, et on chauffe peu à peu jusqu'au rouge naissant la matière, qui d'abord monte beaucoup, et puis s'affaisse ; on la coule en plaques que l'on brise et qu'on distille dans une bonne cornue de terre, et l'on conduit la vapeur dans un ballon refroidi avec de la glace.

On peut par ce procédé obtenir près de 1 kil. d'acide anhydre pour 2 kil. d'acide ordinaire employé ; le résidu, traité par une nouvelle quantité d'acide ordinaire, peut procurer indéfiniment de l'acide anhydre.

On a fabriqué quelque temps à Auteuil de l'acide anhydre par un procédé dû à M. Laroque, préparateur à l'École de pharmacie ; mais le procédé employé a été tenu secret.

Il n'est pas douteux que les arts consommeraient une quantité très grande d'acide anhydre, s'il était livré dans le commerce à un prix raisonnable.

Préparation de l'acide fumant ou de Nordhausen. Voici la théorie de la préparation de cet acide, du moins dans les errements suivis jusqu'à ce jour. Si on calcine un sulfate décomposable par la chaleur, voici ce qui arrive : d'abord l'eau que ce sulfate contient se sépare du sel, à une température peu élevée, en presque totalité ; ensuite l'acide sulfurique se dégage, et on obtiendrait ainsi de l'acide anhydre sans la petite quantité d'eau qui reste unie au sulfate. Comme l'acide sulfurique commence à se décomposer à peu près à la température de décomposition des sulfates, il s'ensuit qu'une bonne portion de l'acide sulfurique mis en liberté se transforme en oxygène et en acide sulfureux ; et rappelons ici que l'acide sulfureux est absorbable par l'acide sulfurique. Ainsi donc, en calcinant un sulfate on obtient un mélange d'acide sulfurique anhydre, d'acide ordinaire et d'acide sulfureux en des quantités variables.

Cela posé, le sulfate à calciner doit nécessairement être à bas prix. Si donc on voulait fabriquer cet acide en France, on emploierait le sulfate de fer du commerce de qualité inférieure, ou bien le mélange de sulfates de fer et d'alumine, connu sous le nom de *magma* dans les départements de l'Aisne et de l'Oise ; mais, jusqu'à présent, c'est spécialement sur le sulfate de fer qu'on a essayé d'opérer. Si le sulfate de fer (sulfate de protoxyde) desséché est soumis à la calcination, on n'obtient d'abord qu'un dégagement d'acide sulfureux, dégagement assez abondant dû à la décomposition de la moitié de l'acide sulfurique, qui doit céder de son oxygène au protoxyde de fer pour le faire passer à l'état de peroxyde, et cette peroxydation doit précéder le dégagement d'acide sulfurique, car il y a formation d'un sous-sulfate de peroxyde ; de sorte qu'il serait beaucoup plus rationnel de transformer d'abord la couperose en sulfate de peroxyde, au moyen d'acide sulfurique et d'un peu d'acide azotique, et la théorie comme l'expérience prouvent qu'il y aurait avantage à opérer cette transformation. Il va sans dire que si on a comme résidu d'une fabrication du sulfate de peroxyde de fer, il y aura une immense économie à l'employer.

Tout l'acide connu sous le nom d'acide de Nordhausen se fabrique maintenant en Bohême, qui se trouve actuellement placée dans des circonstances de fabrication tellement favorables que des usines plus anciennes placées dans les autres parties de l'Allemagne ont dû renoncer à soutenir la concurrence.

On se sert pour cette fabrication d'argiles très chargées de pyrites, appartenant en général à la formation de l'argile plastique et supérieures aux couches de lignite. En lavant ces argiles, on en retire les pyrites, que l'on calcine en vases clos, dans des fourneaux à galère (voyez SOUFRE) pour en retirer une certaine quantité de soufre. Le résidu est de la pyrite magnétique que l'on expose en tas à l'air libre, pendant plusieurs années, en les arrosant et les lessivant de temps en temps ; le produit du lessivage est évaporé jusqu'à cristallisation dans des chaudières de plomb. On obtient ainsi du sulfate de protoxyde de fer (vitriol vert, couperose verte) qui est en général livré au commerce. Les eaux-mères qui restent après la séparation du sel cristallisé sont évaporées jusqu'à siccité ; elles laissent un résidu qui consiste essentiellement en sulfate de peroxyde de fer, et qui, après avoir été fortement desséché, est soumis à la distillation dans des cornues en terre. On place ces cornues les unes à côté des autres dans un four à galère, dans une position presque horizontale, très légèrement inclinée en avant. Le four contient deux cents cornues placées sur trois étages ; il est chauffé par trois foyers : chaque cornue est mise en communication par son col avec un récipient en terre qui repose en présentant une forte inclinaison, sur un banc de briques qui règne dans toute la longueur du four. On aura une idée de cet appareil en se reportant aux fig. 1757-1758 (MÉTALLURGIE), qui représentent le fourneau employé dans le duché des Deux-Ponts, pour le traitement des minerais de mercure. Les deux cents cornues, dans lesquelles on introduit le sulfate de fer, n'en renferment ensemble que 225 à 250 kilogr. ; on retire de 100 parties de sel desséché, 45 p. d'acide fumant à 76°. Quand l'opération est terminée, on enlève le peroxyde de fer qui reste dans les cornues. L'acide sulfurique fumant ainsi préparé renferme 10 à 11 p. d'eau ; il a, pour densité 1,9 ; il est principalement employé pour opérer la dissolution de l'indigo, pour laquelle il ne faut que 3 ou 4 p. d'acide fumant, tandis qu'il en faut 7 à 8 d'acide ordinaire à 66°. Le seul moyen exact de déterminer la richesse d'un acide sulfurique fumant, est de déterminer la quantité de chlorure de barium qu'il peut décomposer ou mieux d'en faire l'essai acidimétrique au moyen d'une dissolution titrée de carbonate de soude.

MALLET.

SUMAC. On donne le nom de sumac aux feuilles récoltées sèches et réduites en poudre plus ou moins grossière, de plusieurs espèces de plantes, la plupart exotiques, appartenant à la famille des térébinthacées. Le sumac est employé comme matière tinctoriale, soit comme matière tannante. On en importe annuellement en France environ 1100 kilogr., valant 400.000 francs.

SYPHON. Le syphon, instrument très employé pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

décanter les liquides, consiste en un tube recourbé presque à 180°, dont les deux branches sont d'inégales longueurs. Après l'avoir rempli de liquide, que l'on maintient en plaçant un doigt à chaque extrémité, on le renverse de manière à faire plonger la plus courte branche dans le liquide à décanter et à ce que l'extrémité de la branche la plus longue soit à un niveau plus bas que celle de l'autre branche ; la pression qui s'exerce sur chaque extrémité étant égale à la pression atmosphérique diminue de la hauteur du liquide renfermé dans la branche correspondante, cette pression sera plus considérable à l'extrémité de la branche la plus courte, et l'écoulement se fera d'une manière continue par l'extrémité de l'autre branche, avec une vitesse due à la différence de niveau entre la surface du liquide à décanter et l'extrémité de la branche la plus longue ; ou le niveau du liquide dans le récipient si cette dernière branche plonge dans un récipient. On adapte souvent la plus courte branche du syphon sur un flotteur, ce qui lui permet de suivre les mouvements du liquide à décanter. Lorsque les syphons ont des dimensions trop considérables pour les amorcer comme il vient d'être dit, ou lorsqu'ils sont fixes, on les remplit, après avoir bouché l'extrémité des branches, par une ouverture pratiquée à la partie supérieure du coude ; après avoir fermé cette ouverture, on débouche d'abord l'orifice de la plus courte branche, puis l'autre orifice. Enfin, dans le même cas, on amorce quelquefois le syphon au moyen d'une pompe à faire le vide communiquant avec le coude du syphon : il faut alors que les deux branches du syphon aient leurs extrémités plongées dans le liquide, qui s'élève par l'effet de la pression atmosphérique extérieure.

T

TABAC (*angl.* tobacco, *all.* Tabak). La fabrication du tabac n'est point libre en France, comme on le sait; elle ne présente pas par conséquent pour les industriels régnicoles un intérêt aussi positif que la plupart des autres fabrications; mais comme objet de curiosité générale, comme très peu connue en France, comme utile aux pays étrangers où elle est permise à tous, elle mérite qu'on s'y arrête particulièrement.

§ I. *Introduction du tabac en Europe.* On sait que le tabac et l'usage qu'on en fait ont été transportés du nouveau-monde dans l'ancien par les conquérants de l'Amérique. A peine ont-ils mis le pied sur le nouveau monde, que l'habitude de fumer le tabac, répandue universellement parmi les indigènes, frappe les hardis visiteurs. Lorsque Christophe Colomb aborda l'île qu'il nomma San-Salvador, il chargea deux hommes de son équipage d'explorer le pays. « Ceux-ci trouvèrent en chemin, dit-il dans son journal (1), un grand nombre de naturels, tant hommes que femmes, qui tenaient en main un tison composé d'herbes dont ils aspiraient le parfum. » Las-Cases nous apprend, dans son *Histoire générale des Indes*, que le tison signalé par Colomb « est une espèce de mousqueton bourré d'une feuille sèche que les Indiens appellent tabacos, et qu'ils allument par un bout, tandis qu'ils hument par l'autre extrémité, en aspirant entièrement sa fumée avec leur haleine. »

Ce ne fut qu'en 1518 que Cortez envoya des graines de cette plante à Charles-Quint. Quarante ans après, le président Nicot, ambassadeur de France en Portugal, ayant cultivé du tabac dans son jardin et lui ayant reconnu de nombreuses propriétés, en présenta à la reine Catherine de Médicis. Catherine de Médicis en devint enthousiaste, le mit en vogue et la mode s'en empara avec fureur. On supposait cette plante douée de toutes sortes de propriétés. Elle guérissait de tous les maux, de la migraine, des fluxions, de toutes les plaies, des morsures de chiens enragés, de la goutte, que sais-je encore? On disait que les Cannibales s'en servaient contre le poison dont étaient frottées leurs flèches, et que, s'en allant à la guerre, ils portaient dans un pied de cerf du poison, dans un autre du jus de l'herbe verte du tabac ou des feuilles sèches. Dès qu'ils en avaient appliqué sur une plaie, quelque grave que fût la blessure, ils étaient hors de danger. Aussi toutes sortes de noms lui sont donnés par la reconnaissance populaire : c'est *l'herbe à l'ambassadeur* ou *nicotiane*, *l'herbe à la reine*, *l'herbe médicée*, *l'herbe sainte* à cause de ses grandes vertus. Mais de tous les noms qui furent donnés à cette plante, il ne lui est resté que le nom de *tabac* à cause de l'île de Tabago où elle fut sans doute d'abord remarquée.

§ II. *Composition chimique.* Le tabac (*nicotiana tabacum* L.) appartient à la famille des solanées qui renferme tant de plantes vénéneuses. On compte un grand nombre d'espèces différentes de nicotianes, qui se distinguent les unes des autres par la forme et la grandeur de leurs feuilles, mais qui jouissent toutes des mêmes propriétés. La plante est annuelle et se compose d'une tige rameuse et cylindrique, haute de près de 2 mètres, ornée de feuilles très grandes et présentant, aux extrémités des rameaux, de grandes fleurs roses, vertes ou bleuâtres, selon les espèces. Le fruit est une capsule ovoïde, pointue, renfermant un très grand nombre de graines très petites, irrégulièrement arrondies.

Toutes les parties de la plante, et surtout les feuilles, présentent une odeur qui est loin d'être agréable et qui ne le devient, pour les personnes accoutumées à l'usage du tabac, qu'après la fermentation que subissent les feuilles dans la fabrication. Son odeur irritante a sans doute indiqué l'emploi de la plante qui fut d'abord essayée comme remède universel contre tous les maux. Cette plante renferme, en effet, plusieurs principes très actifs que la chimie a essayé de séparer. Ces principes sont loin d'être tous connus; le plus remarquable est la *nicotine*, que signala d'abord Vauquelin, mais dont la composition n'a été trouvée que depuis peu de temps par nos expériences et celles de quelques autres chimistes, MM. Ortigosa, Melsens, etc., qui n'en obtinrent qu'après nous à l'état de pureté en suivant le procédé de préparation que nous avons donné. C'est un poison qui tue avec une rapidité effrayante lorsqu'il est administré à très petites doses, mais très concentré, à un animal à jeun. Comme il n'entre qu'en très petites proportions dans le tabac, l'effet de ce poison est considérablement atténué dans les usages ordinaires de la plante; il n'agit plus que comme un narcotique peu redoutable, lorsque par l'habitude on s'est prémuni contre son influence. Parmi les autres principes, il faut citer encore l'acide malique et d'autres acides, ainsi qu'une matière azotée, qui jouent un grand rôle dans la fabrication du tabac manufacturé.

(1) « Hallaron los dos Christianos por el camino mucha gente que atraveseba a sus pueblos, mugeres y hombres con un tizon en la mano, yerbas para tomar sus sahumerios que acostumbraban. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Enfin le tabac contient une quantité de cendres très considérable, variable suivant les différentes parties de la plante, moindre dans les racines, plus grande dans les tiges, dans les côtes, puis dans les feuilles, et enfin plus petite dans les graines. Cette quantité est en nombres ronds, pour chacune de ces parties de la plante, dans l'ordre où nous les avons nommées, de 7, 10, 22, 23 et 4 p. 100 de la matière desséchée à 100 degrés. Ces cendres renferment une proportion très forte de carbonate de potasse, au moins le tiers. Comme dans les manufactures de France on brûle les côtes, et que les employés de la culture brûlent aussi les tiges et les racines, il en résulte que journellement les cendres de tabac sont livrées au commerce, à cause de la potasse qu'elles contiennent.

§ III. *Hygiène.* Cela peut paraître étrange au premier abord, mais on est très peu fixé sur les modifications que l'usage du tabac introduit dans les fonctions animales. Toutefois, quand on réfléchit que les résultats de son action dépendent des dispositions constitutionnelles et des conditions hygiéniques des personnes qui en font usage et des diverses doses auxquelles on l'emploie, on ne s'étonne plus des variations innombrables que présentent les faits observés souvent sans beaucoup de soin, et des difficultés qu'on rencontre à les coordonner.

1° *Tabac pris comme médicament.* Quand on administre le tabac comme médicament, il engourdit les fonctions vitales par sa vertu narcotique; comme poison, il anéantit ces fonctions après les avoir violemment excitées. Nous ne dirons ici ni les guérisons extraordinaires qui lui ont été attribuées, ni les accidents qu'il a pu causer. Longtemps on s'est servi de lavements de fumée de tabac dans le cas d'asphyxie par immersion, pour rappeler à la vie des noyés dont les intestins avaient perdu presque toute leur impressionnabilité : celle-ci se réveillait sous l'influence d'une irritation dangereuse dans la plénitude de la vie, mais utile dans l'état d'engourdissement qui précède la mort.

Quant aux cas d'empoisonnement par le tabac, ils ne sont pas moins nombreux que ceux de guérison; ils ont seulement le malheureux avantage d'être bien prouvés, tandis que les derniers sont si peu démontrés qu'on a renoncé à se servir du tabac comme médicament. Santeuil mourut, comme on sait, pour avoir bu un verre de vin dans lequel, par une cruelle plaisanterie, on avait mis du tabac d'Espagne.

Quant aux accidents attribués à l'action d'une atmosphère chargée des émanations de tabac, il est probable qu'ils sont supposés, car les ouvriers des manufactures de tabac ne contractent aucune maladie particulière à leur travail, et s'il faut en croire quelques rapports de médecins attachés aux manufactures royales, ils paraissent même se trouver très bien de l'influence de ces émanations.

Cherchons maintenant à apprécier l'influence physiologique et morale que le tabac exerce dans les usages ordinaires. On sait qu'on prend du tabac en fumée par la bouche, en poudre par le nez, en feuille par la bouche.

2° *Tabac à fumer.* C'est sans doute comme moyen d'assainissement, et pour éloigner les insectes innombrables qui affligent les pays peu habités, que les sauvages du nouveau monde imaginèrent de bourrer des feuilles sèches de tabac dans des roseaux et d'en aspirer ensuite la fumée pour la répandre autour d'eux. C'est du moins une explication plausible d'un tel usage puisque les Lapons, par exemple, brûlent autour de leurs cases des espèces d'agaries dont la fumée écarte les insectes.

Si l'on explique facilement l'usage de la pipe parmi les sauvages de l'Amérique, il n'en est pas de même en Europe, car l'habitude de fumer ne s'acquiert qu'au prix d'un noviciat peu encourageant. La première fois qu'on fume, on est saisi de symptômes d'empoisonnement, vertiges, maux de tête, vomissements. Ces symptômes disparaissent peu à peu, lorsqu'on a le courage de recommencer. Dans tous les cas, une fois qu'on a vaincu la première répugnance (et l'invention des cigarettes est destinée à rendre cette victoire si facile, que les femmes se hasardent à fumer), l'habitude prend une telle force qu'on voit rarement un fumeur y renoncer. Elle procure un enivrement auquel on se livre avec plaisir et qui fait passer le temps dans l'oubli des ennuis qui assiègent tout homme, souvent dans l'oubli du devoir. Nous ne croyons pas aux empoisonnements immédiats par la fumée du tabac, et nous n'avons pas assez d'observations connues pour savoir si la santé des fumeurs est altérée par cet usage, et si la vie moyenne en est diminuée. Néanmoins le tabac est bien réellement un poison; il ne peut produire que du mal, mal auquel résistent les constitutions robustes des hommes mûrs, mais qui doit avoir une action réelle sur l'enfance. Une organisation faible qui n'a pas assez de vigueur pour lutter contre l'influence détériorante d'une substance délétère, ne saurait se développer convenablement et prendre la force dont elle a besoin en s'usant au contact d'un poison. D'autre part cet usage n'étant pas naturel, détourne les besoins de leur voie directe, et, comme un besoin satisfait en appelle un autre, l'habitude de la pipe chez les enfants peut engendrer en eux une habitude plus malfaisante lorsqu'ils seront devenus hommes. Déjà, pour les fumeurs déterminés, il n'est pas de tabac assez fort. Qui sait donc si l'usage de l'opium ne viendra pas succéder à celui du tabac? Dans tous les cas, si l'usage de la fumée de tabac ne nuit pas immédiatement et toujours à la santé du corps, il nuit certainement à celle de l'intelligence, dont il endort les forces. Les peuples de l'Orient, autrefois si puissants, aujourd'hui si mortellement engourdis, doivent peut-être une partie de leur dégradation à ce vice que l'on met tant en honneur parmi nous. Le tabac facilite le penchant qu'ont tous les hommes à ne rien faire, en diminuant l'ennui et le remords que l'inaction complète ne manque jamais de faire naître. Il dissout les réunions de la famille, d'où les hommes s'échappent pour aller fumer. Voyez les tavernes où l'Allemand, le Flamand, l'Anglais, le Hollandais vivent sans causer, sans penser, heureux d'être plongés dans une fumée épaisse qui semble, avec la bière, leur procurer plus de jouissance que ne feraient les épanchements du coin du feu.

3° *Tabac à priser.* L'usage du tabac en poudre ne remonte pas moins haut que celui du tabac à fumer. On prise, soit pour le seul plaisir d'aspirer une matière odorante, soit aussi pour se procurer une excitation directe et souvent renouvelée. C'est un plaisir facile à se procurer, qui ne demande aucune préparation, qui n'exige aucune perte de temps et qui ne peut d'ailleurs causer sur l'économie animale une action aussi détériorante que ferait la fumée de tabac. Cet usage autrefois général, pour ainsi dire aristocratique, car les cadeaux de tabatière étaient des présents royaux, ne s'étend guère aujourd'hui comparativement à celui du tabac à fumer. Il semble avoir atteint sa limite.

4° *Tabac à mâcher.* Si les personnes, qui font usage du tabac à mâcher, mâchaient réellement le tabac et avalaient la dissolution résultante, ce serait de tous les usages du tabac le plus pernicieux; mais la *chique* ne fait que séjourner entre les parois internes des joues et la face externe des dents inférieures, et elle n'a d'action que par l'effet de son séjour dans la bouche ou par une succion très faible. C'est une habitude réservée aux marins parce que l'usage de la pipe leur est interdit. Elle est prise aussi par les pauvres parce qu'elle est moins chère que celle de la pipe. Du reste, elle n'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas moins persistante que les deux autres habitudes.

§ IV. *Impôt sur le tabac en France.* La plupart des gouvernements européens ne tardèrent pas à mettre un impôt sur ce nouveau genre de consommation, dont le succès promit, dès son apparition, un revenu considérable; mais le gouvernement français comprit le premier quel parti le trésor pouvait en tirer. C'est Richelieu qui, en 1621, fit tarifer la consommation du tabac à 40 sous le 100 pesant. La levée de cet impôt resta placée dans les attributions de la ferme générale jusqu'en 1697. A cette époque, la ferme du tabac fut distraite de la ferme générale, et louée à un particulier moyennant 150.000 livres pour l'État, et une somme annuelle de 100.000 livres qui devait être payée à la ferme générale pour abonnement des droits d'entrée, de sortie et de circulation. Le prix du bail s'éleva jusqu'à 4 millions en 1718; le bail fut repris alors par la ferme générale, qui paya pour cette exploitation particulière un loyer toujours croissant, et qui fut porté à 32 millions en 1790. A cette époque, le prix du tabac était à peu près le même qu'aujourd'hui; c'est-à dire que la ferme le vendait 3 livres 6 sous, et le débitant 4 livres tournois la livre. La quantité totale de tabac vendu s'élevait à 7 millions de kilogr., et la ferme faisait un bénéfice réel d'environ 6 millions de francs.

Sous le régime de la ferme, la culture était prohibée; sept manufactures, situées à Paris, Dieppe, Morlaix, Tonneins, Cette, le Havre, Toulouse et Valenciennes, fournissaient à tous les besoins de la France. Trois provinces, cependant, la Franche-Comté, la Flandre et l'Alsace, avaient le privilége de la liberté de la culture, de la fabrication et de la vente. Du reste, c'était par des lois d'une rigueur extrême que la ferme défendait ses droits dans toute la France; on ne se contentait pas de punir la fraude par l'amende et les galères; des tribunaux spéciaux appliquaient même la mort aux coupables du crime odieux d'avoir soustrait à l'impôt quelques livres de tabac.

On pense bien que l'Assemblée nationale ne laissa pas debout un régime aussi contraire aux idées libérales. Malgré l'opposition de l'abbé Maury, de Cazalès, de Barnave, de Mirabeau, elle décréta, le 24 février 1791 : « Qu'il serait libre à toute personne de cultiver, fabriquer et débiter du tabac dans le royaume; que l'importation du tabac étranger fabriqué, continuerait à être prohibée, et que le tabac étranger en feuilles pourrait être importé moyennant une taxe de 25 livres par quintal, réduite aux trois quarts pour les navires français qui importeraient directement du tabac d'Amérique. »

C'était donc un simple droit de douane que l'on substituait au régime antérieur, aussi le revenu que le trésor retirait du tabac se réduisit presque à rien. C'est en vain que l'on diminua d'abord les droits d'entrée (décret du 5 septembre 1792) pour les rétablir ensuite en l'an V; c'est en vain que l'on décréta en l'an VI que les droits sur les tabacs venant de l'étranger seraient augmentés de manière à donner un produit de 10 millions : ce n'était pas assez de décréter un revenu en principe; il fallait déterminer les moyens par lesquels on parviendrait à le percevoir, et d'ailleurs les besoins de l'État, toujours croissants, sollicitaient une prompte réforme dans l'administration chargée de la levée des impôts. Le 22 brumaire an VII on décréta un droit d'entrée de 30 francs par quintal sur les feuilles étrangères importées par les navires étrangers, et de 20 francs sur les tabacs importés par les navires français. On assujettissait en outre à une taxe de 4 décimes par kilogr., le tabac fabriqué en poudre et en carotte, et à une taxe de 24 centimes le tabac à fumer et en rôle. La culture du tabac restait complétement libre. On prenait de nombreuses précautions pour assurer le recouvrement de l'impôt, mais afin d'éviter les *formes vexatoires et contraires aux droits de citoyens*, on chargeait les administrations municipales de la surveillance de la fabrication et de la vente. Cette surveillance, était trop indulgente, car le revenu du trésor augmentait à peine; aussi la loi du 10 floréal an X transféra cette surveillance à la régie de l'enregistrement, en même temps qu'elle augmentait les droits de fabrication, les amendes et les précautions nécessaires pour assurer la perception. L'impôt restait encore au-dessous de 5 millions; aussi le 5 vendémiaire an XII intervient une loi qui décrète des licences et pour les fabricants et pour les débitants; le droit d'entrée s'élève successivement pour les tabacs importés par les navires étrangers, de 100 francs, où il était en l'an XII, à 200 fr. en 1806, à 440 fr. en 1810, et, pour les tabacs importés par les navires français, de 80 fr. à 180 et 396. Il est de plus créé un droit de vente pour le fabricant, et des vignettes dont le prix est fixé à 1 centime. La culture est grevée à son tour; les planteurs sont assujettis à des déclarations de culture, à des acquits à caution, à des visites perpétuelles des employés de la régie de l'enregistrement. A la faveur de toutes ces mesures, l'impôt s'accrut, mais en l'an XII il atteignit à peine 9 millions, en l'an XIII 12 millions, en l'an XIV 16 millions, et les années suivantes il resta au-dessous de cette limite extrême. Il fallait donc, pour tirer parti de ce genre de consommation, pour rendre au trésor ces 30 millions et plus qu'il rapportait autrefois, en finir avec les demi-mesures et avoir recours à un remède énergique. L'Empereur, peu habitué aux moyens-termes, ne recula devant aucune des conséquences du régime qu'il va établir.

Il s'exprime ainsi dans le préliminaire du décret du 29 décembre 1810 : « Les tabacs qui, de toutes les matières, sont la plus susceptible d'imposition, n'avaient pas échappé à nos regards. L'expérience nous a démontré tous les inconvénients des mesures qui ont été prises jusqu'à ce jour. Les fabricants étant peu nombreux, il était à prévoir que l'on serait obligé d'en réduire encore le nombre. Le prix du tabac fabriqué était aussi élevé qu'à l'époque de la ferme. La plus faible partie des produits entrait au trésor, le reste se partageait entre les fabricants. A tant d'abus se joignait celui que les agriculteurs étaient à leur merci.

« Après de mûres réflexions, nous avons jugé que toutes les considérations, même les intérêts de l'agriculture, veulent que la fabrication du tabac ait lieu par une régie au profit du trésor; que la culture sera suffisamment garantie et protégée lorsque nous imposerons à la régie l'obligation de ne fabriquer les tabacs qu'avec les produits de la culture du sol français; que la consommation restant ainsi la même, l'agriculture ne pourra recevoir aucun dommage de l'établissement de la régie, et qu'enfin sans augmenter les charges de nos peuples, nous acquerrons une branche de revenus qu'on évalue à près de 80 millions, ce qui permettra d'apporter une diminution de pareille somme au tarif des contributions personnelle et foncière. »

Ainsi, en suivant une marche timide, par des conquêtes successives sur les franchises accordées par l'Assemblée nationale, l'impôt des tabacs arrive enfin au régime actuellement en vigueur. Ce régime n'est accepté par la Restauration que comme mesure provisoire, et en 1819, les Chambres, saisies pour la première fois des questions qu'il soulève, le prorogent jusqu'au 1er janvier 1826. Par des prorogations successives, après des discussions très approfondies, après une enquête faite par la Chambre des députés, l'existence de ce régime, maintenu d'abord jusqu'en 1829, puis jusqu'en 1837 et 1842, est enfin assurée jusqu'en 1852. Il n'a subi depuis son établissement que des changements peu sérieux, car il a atteint le but qu'on se proposait; il donne un revenu de plus en plus considérable, et il va tantôt produire ces 80 millions annoncés par Napoléon.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est ce régime que nous nous proposons d'exposer en le prenant pour exemple d'une industrie où les mécomptes sont sagement évités, où les produits sont sûrement calculés d'après la consommation probable, où le gain de l'ouvrier n'est pas successivement diminué pour augmenter outre mesure les bénéfices du capitaliste, où l'on ménage les intérêts de tous pour faire les plus gros bénéfices sans mécontenter personne : organisation de travail que nous voudrions voir imiter par les industries privées. Ce régime a pour base la restriction de la culture, qui n'est permise qu'à certains départements moyennant des licences et sous la surveillance incessante des employés de l'administration ; le monopole de la fabrication exclusivement réservé à l'administration et celui de la vente cédé à des débitants commissionnés.

§ V *Législation étrangère relative au tabac.* Dans les États-Unis d'Amérique et dans quelques États de l'Europe, l'industrie du tabac est laissée à la libre concurrence, et ne diffère en rien des autres industries. Tout en restant facultative elle est réglementée par des lois particulières dans certains États de l'Europe ; d'autres États ont mis cette industrie en ferme, et quelques-uns en ont fait un monopole qui est exploité par le gouvernement lui-même.

1° *Pays de régime libre.* Dans les États-Unis d'Amérique, l'industrie du tabac consiste surtout dans la culture, la vente et l'exportation de tabacs en feuilles qui s'expédient sur tous les points du globe. La fabrication porte sur 1 million 1/2 de kilogr. de tabac environ ; ce tabac est destiné à la consommation intérieure ou à l'exportation dans quelques contrées de l'Amérique. Cette fabrication et la vente ne sont soumises à aucune espèce de contrôle. Mais comme il est dans l'intérêt des divers États de donner le plus de garanties possibles aux amateurs des diverses nations, et de faciliter la vente du tabac, qui est une des principales richesses du pays, les tabacs en feuilles destinés à être exportés, sont soumis, dans les magasins publics, à une inspection faite par des officiers jurés. Ces officiers dépouillent les *boucauts* afin de reconnaître si le tabac y est homogène, s'il est loyal et *marchand ;* dans ce cas, ils en détachent des types qui servent à conclure la vente. Quand les tabacs sont reconnus non marchands, ils l'indiquent par le mot *refusé*. Ces derniers tabacs sont consommés dans le pays ou expédiés selon leur valeur évaluée à l'amiable.

L'exportation n'est soumise dans les États-Unis à aucun droit ; elle est variable suivant les années dans des proportions assez considérables ; elle s'est élevée, en 1840, à 144 millions de kilogr. environ. Sur cette quantité, la Virginie, les Carolines et la Géorgie ont expédié 67.000 boucauts, ou 45 millions de kilogr. ; le Maryland, l'Ohio et la Colombie, 39.000 boucauts, ou 16 millions de kilogr.

Nous n'avons parlé que des tabacs exportés en feuilles. Les principales exportations de tabacs fabriqués consistent en tabacs à mâcher, dont il existe dans toute l'Amérique, et surtout dans la Virginie, renommée pour ce produit, de nombreuses fabriques.

Dans l'île de Cuba, il règne la plus entière liberté tant pour la liberté que pour la fabrication et la vente du tabac. Mais l'exportation d'ailleurs facultative, est soumise à un droit de sortie de 1 fr. 25 c. par millier de cigares.

Le nombre de fabriques de cigares qui s'élèvent à Cuba n'est pas connu ; les produits de ces fabriques sont consommés dans le monde entier. L'exportation des cigares a été, en 1840, de 171 millions ; les plus estimés viennent surtout de la Havane.

Porto-Rico et la Terre-Ferme exportent aussi une assez grande quantité de tabac, mais la culture y est moindre aujourd'hui qu'autrefois. C'est de la Terre-Ferme que proviennent les tabacs de *Varinas*, dont on fait pour la pipe un grand usage en Hollande et en Allemagne.

TABAC.

Ainsi, en Amérique, le tabac est une source, non pas de revenu pour les gouvernements, mais de richesse pour l'agriculture et l'industrie particulière. On y cultive le tabac non pas seulement pour la consommation intérieure, mais principalement pour l'exporter dans le monde entier. On ne cherche pas à grever d'un impôt une plante qui est un des plus beaux produits du pays et une des principales branches de son commerce.

2° *Pays placés sous le régime simple de l'impôt.* L'Europe, malgré la transplantation générale du tabac qui y a été faite, ne saurait s'affranchir complétement du tribut qu'elle doit payer à l'Amérique pour ses tabacs, dont la supériorité est incontestable. On conçoit donc que les États de l'Europe n'ont pas le même intérêt que ceux d'Amérique à protéger ce genre de production, et on comprend qu'ils l'aient frappé d'un impôt particulier. Cependant dans un grand nombre d'États d'Europe l'industrie du tabac est laissée à la libre concurrence : Danemarck, Suède, Russie, Hollande, Belgique, la Suisse moins le Valais, et les États d'Allemagne qui forment maintenant le Zollverein. La fabrication et la vente des tabacs n'y sont gênées par aucun contrôle ni par aucunes restrictions spéciales ; seulement la fabrication, la vente, la culture et l'importation des feuilles étrangères y sont soumises à des impôts plus ou moins élevés, comme sont tous les autres commerces, toutes les autres industries :

		Production	Importation de tabac étranger	Consommation individuelle
Danemarck	(1840).	.—	—	1k,030
Suède	(1840).	—	—	0k,530
Russie	(1840).	10.000.000k	2.000.000k	—
Belgique	(1843).	2.196.609k	10.474.143k	2k,000
Hollande	(1840).	2.500.000k	2 000.000k	1k,310
Zollverein	(1842).	27.069.500k	14.200.500k	1k,380

Le régime auquel est soumise l'introduction du tabac est homogène dans tout le Zollverein qui réunit tous les États germaniques, à l'exception seulement des États autrichiens au midi, du Hanovre et des villes anséatiques au nord. Un droit d'entrée de 44 fr. 25 c. frappe le quintal de 100 kil. de tabacs en feuilles importées ; un droit double frappe le tabac fabriqué ordinaire ; les 100 kil. de cigares sont taxés à 112 fr. 50 c. Ce droit est très élevé, surtout en comparaison du bas prix du tabac. Aussi la culture de cette plante a-t-elle pris en Allemagne un développement considérable depuis l'établissement du Zollverein. Le Zollverein a reçu, en 1842, 6.583.811 fr. de droits d'entrée, c'est-à-dire que le tabac fournit 7 p. 100 du total des droits d'entrée de l'association allemande.

Dans les États du nord du Zollverein, la Saxe, la Hesse électorale, la Thuringe et la Prusse, on prélève en outre un impôt *de passage* de 5 fr. par 100 kil. pour le tabac qui provient des États du sud. Enfin, en Prusse, les terres plantées en tabac sont soumises à un impôt spécial proportionnel à leur étendue et à leur fécondité.

3° *Pays placés sous un régime restrictif.* L'Angleterre, tout en laissant à l'industrie privée la libre concurrence de la fabrication et de la vente du tabac, retire de l'impôt assis sur cette matière un énorme revenu. La culture du tabac y est absolument interdite ; mais outre un droit d'importation très élevé, il y a des droits de licence, de fabrication et de débit, qui font monter le revenu total à 80 millions de fr. Ce revenu, à peu près égal à celui que le gouvernement français retire actuellement, est assis sur une consommation moins considérable d'un tiers que celle de France. Cette différence provient de ce que l'impôt qui pèse sur cette marchandise est beaucoup plus fort en Angleterre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'en France. Sans compter les droits de licence, de fabrication ou de vente qui ne sont qu'une très minime fraction de l'impôt total, puisqu'ils ne s'élèvent qu'à 1.200.000 fr., l'impôt monte en Angleterre à 8 fr. 12 c. par kilogramme, et il n'est en France, comme nous l'expliquerons plus loin, que de 4 fr. 74 c. Le droit que paye le tabac en Angleterre est donc le double de celui qu'il paye en France. Cependant, si l'Angleterre consommait autant que la France, c'est-à-dire 15 millions de kil., l'impôt ne rapporterait que 110 millions, tandis qu'avec une taxe double l'impôt s'élèverait en France à 150 millions. La législation française est donc plus profitable à l'État que la législation anglaise; elle n'est pas moins avantageuse au consommateur, car la taxe que le tabac supporte en élève les prix, par kilogramme :

	En Angleterre.	En France.
Pour le tabac à fumer, à 9fr,51 et 10fr,83		8 et 12 fr.
Pour la poudre. . . . à 9fr,51 et 14fr,93		8 et 12 fr.

Il est juste de dire qu'en France la régie paye assez convenablement ses ouvriers et ses employés, et ne cherche pas à réduire constamment ses salaires, comme feraient de simples fabricants, d'où il résulte qu'elle fabrique à un prix plus élevé qu'en Angleterre. Il faut ajouter aussi que les fabricants anglais introduisent dans leurs tabacs une quantité d'ingrédients étrangers, qui ne sont pas soumis aux droits, puisque la fabrication augmente de 25 p. 100 la quantité de matière première. En outre, le droit d'importation étant considérable, il se fait en Angleterre une contrebande très active. La consommation légale du royaume britannique n'était en 1842 que de 10 millions de kilogrammes de tabac ordinaire et de 86,000 kil. de cigares; on doit présumer que la consommation réelle a atteint un chiffre double, soit à cause de la contrebande, soit à cause de la sophistication. On a vu en effet la consommation individuelle légale diminuer avec l'augmentation de droit du tarif de 1841, ce qui prouve que cette augmentation de droit n'a été qu'une prime pour la fraude. Dans tous les cas le tabac est plus cher en Angleterre qu'en France, et ni le trésor ni les consommateurs n'ont intérêt, en France, à changer le système de l'impôt pour adopter le système suivi de l'autre côté du détroit.

4° *Régime de la mise en ferme.* Les États qui ont mis en ferme l'industrie du tabac sont : Portugal, Naples, Toscane, Pologne et Valais (Suisse), et enfin l'Espagne depuis le 1er mai 1844. En Toscane, Portugal et Espagne, la culture est absolument interdite; à Naples et en Pologne elle est restreinte; dans le Valais elle est interdite aux particuliers et permise à la ferme seulement. Quant à l'importation, la fabrication et la vente, elles sont absolument interdites, excepté à la ferme dont le prix du bail constitue la totalité de l'impôt; seulement en Portugal et dans le Valais il y a en outre un droit d'importation.

	Production. kilogr.	Importation kilogr.	Produit de l'impôt.	Consommation individuelle
Portugal.	—	1.300.000	8.500.000f	—
Toscane.	—	400.000	1 400.000	0k,290
Naples.	500.000	330.000	4.500.000	—
Pologne.	1.200.000	400.000	1.200.000	0k,331
Valais.	24.000	—	6.800	—
Espagne.	—	—	40.000.000	—

5° *Régime du monopole.* Les États qui appartiennent en Europe au régime du monopole exercé par le gouvernement sont : Parme, États sardes, États romains, Autriche moins la Hongrie. Dans deux de ces États, Parme et les États sardes, la culture est interdite; elle n'est que restreinte dans les États romains et l'Autriche. L'impôt provient, comme en France, de l'excédant du prix de vente sur le prix de revient.

Il n'a pas dépendu de nous de rendre les détails qui précèdent plus complets, car il est bien difficile d'obtenir des renseignements sur l'état de toute industrie soit à l'étranger, soit même en France. Les comptes rendus publiés par le gouvernement sont d'une imperfection réellement extraordinaire. On peut en juger d'après les erreurs dont est remplie l'enquête faite sur le tabac en 1836, par la Chambre des députés, qui certes se trouvait en position d'exiger des renseignements exacts; nous nous en sommes d'abord rapporté aux chiffres publiés par la commission de la Chambre, mais nous avons bientôt reconnu qu'ils se contredisaient les uns les autres et qu'ils n'étaient d'accord sur aucun point avec l'état de l'industrie du tabac à l'étranger. Dans tous les cas, il résulte évidemment de tous les détails que nous avons donnés, quelque incomplets qu'ils soient d'ailleurs, que le meilleur moyen de prélever un impôt très considérable sur la consommation du tabac consiste à en faire une industrie exploitée par l'Etat lui-même. L'histoire rapide que nous avons faite des vicissitudes subies par cet impôt en France conduit à la même conclusion, car malgré tous les efforts faits pour concilier un revenu considérable avec un régime plus ou moins libre, ce revenu atteignait à peine 15 millions, et dès l'établissement du monopole par l'Etat sans aucune transition pour ainsi dire, il a tout à coup plus que doublé. Nous croyons aussi que, dans l'intérêt du trésor, le monopole du tabac exploité par l'Etat est bien préférable à la cession qui en serait faite à une compagnie. L'Etat absorbe non seulement l'impôt établi sur la marchandise, mais encore les bénéfices que feraient les industriels adjudicataires de la ferme. Cette industrie abandonnée par l'Etat, deviendrait, comme toutes celles qui exigent des capitaux considérables, la proie d'un petit nombre de spéculateurs, et le consommateur n'aurait certainement pas un produit meilleur et moins cher. Comme l'impôt du tabac est le plus juste de tous les impôts, et que l'Etat ne peut en retirer un revenu considérable qu'au moyen du monopole, nous soutenons ce monopole comme une exception très raisonnable. Cependant la raison de l'intérêt du trésor n'est pas complétement suffisante pour expliquer une telle mesure, car autrement l'Etat devrait se faire fabricant de sucre, par exemple, et couper court ainsi à toutes les difficultés qui lui sont suscitées par les deux industries rivales des colonies et des ports de mer d'une part, et des fabricants de sucre de betterave d'autre part. Il y a encore, selon moi, je le répète, une raison bien légitime à donner de la confiscation d'une industrie semblable par l'Etat : c'est la surveillance qu'il doit exercer sur la fabrication d'un produit nuisible, auquel la corruption de nos mœurs pourrait mélanger des produits plus nuisibles encore; ce sont les empêchements qu'il doit apporter à sa généralisation, ce sont les entraves qu'il met par un impôt à l'adoption générale d'une déplorable habitude.

§ VI. *De la culture du tabac en France.* La culture du tabac en France n'est autorisée que dans six départements; ce sont ceux où la culture était la plus considérable sous le régime de libre plantation : le Nord, le Pas-de-Calais, le Bas-Rhin, le Lot, le Lot-et Garonne et l'Ile-et-Vilaine. Dans ces départements, quelques arrondissements, et dans les arrondissements, quelques cantons seulement, sont appelés à jouir du privilége de planter du tabac, sous le contrôle incessant des employés de la Régie. Cependant ce n'est pas au terrain, mais bien au propriétaire du terrain, qu'est accordé ce privilége, de telle sorte que ce ne sont pas toujours les mêmes terrains qui sont plantés en tabac. Il arrive que beaucoup de propriétaires ou fermiers renoncent volontairement au privilége qui leur est accordé, soit à cause du régime arbitraire auquel ils sont soumis, soit pour des raisons personnelles, et le privilége change souvent de mains

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les autorisations de planter du tabac sont accordées par le préfet du département, qui d'ailleurs est chargé, par la loi du 28 avril 1816, de tous les arrêtés réglementaires concernant la culture. La Régie fixe chaque année la quantité de tabac dont elle a besoin pour son approvisionnement, et répartit cette quantité entre les divers départements producteurs. Pour faire cette répartition, on tient compte sans aucun doute des quantités que chacun d'eux est dans l'habitude de fournir; mais, comme tout dans le monopole du tabac est subordonné à l'intérêt de l'impôt, auquel on est toujours disposé à sacrifier la culture, on fait en sorte de demander l'approvisionnement aux cultures dont les produits conviennent le mieux aux besoins de la fabrication, et peuvent être obtenus aux prix relativement les plus modérés.

L'uniformité ne peut être établie entre les diverses contrées pour ce qui concerne les diverses méthodes de culture, car les différents sols ne sont pas partout également fertiles, les engrais ne sont pas partout également abondants et de même nature. L'espèce de tabac cultivée n'est pas non plus partout la même; sur certains points, la graine qu'on emploie donne des plants d'une très grande dimension; sur d'autres points, les plants prennent une croissance beaucoup moindre, et par conséquent ont besoin de moins de place. Enfin, certains départements produisent du bon tabac pour la poudre, et par conséquent doivent prendre une forte végétation : ce sont le Lot, le Nord, le Lot-et-Garonne, l'Ile-et-Vilaine. D'autres, comme le Pas-de-Calais et le Bas-Rhin, au contraire, produisent des tabacs légers, propres surtout à la fabrication du tabac à fumer, et par conséquent on doit s'abstenir d'amender les terres, et d'espacer beaucoup les plants. Ce sont ces considérations qui ont déterminé la Régie à permettre 40,000 pieds de tabac par hectare, et jusqu'à 15 feuilles par pied dans certains départements, tandis que dans d'autres départements on n'accorde que 10.000 pieds par hectare et 8 feuilles par pied. Dans tous les cas, la loi et les dispositions réglementaires prises en conséquence laissent au planteur la latitude d'un cinquième tant au-dessus qu'au-dessous du nombre de pieds portés dans son permis. Le service actuel de la culture est chargé d'assurer l'exécution des règlements qui sont arrêtés chaque année par les préfets en conseil de préfecture. Les agents de ce service sont ainsi appelés à vérifier si les semis, puis les plantations remplissent les conditions voulues par les permis, à rechercher les plantations non autorisées et à assurer leur destruction, à surveiller l'écimage, à compter les pieds, puis les feuilles de chaque pied, à constater les dégâts éprouvés par les plantations, pour que les cultivateurs puissent être déchargés de leurs obligations, à faire détruire après la récolte les tiges et les racines, à surveiller constamment les abus auxquels donne lieu le dépôt du tabac entre les mains des planteurs jusqu'au moment où il est remis dans les magasins de l'Etat, ou parti pour l'étranger, s'il doit être exporté. Enfin, ils assistent à la réception des tabacs par les experts commis à cet effet. Ce service est dirigé dans chaque département à culture de tabac, par un inspecteur chargé en même temps de la surveillance des magasins des feuilles; 185 agents suffisent d'ailleurs à tous les soins qu'il exige, sauf au moment des inventaires. On prend alors des employés auxiliaires pour exécuter les travaux extraordinaires qui se présentent.

La préparation du tabac par les planteurs exige, en moyenne, à peu près quinze mois de soins assidus. D'abord le tabac est élevé en plants, dont le semis se fait dans la première quinzaine de février; le tabac est ensuite repiqué, et la récolte se fait en août et en septembre. On procède ensuite à la dessiccation, et ce n'est que dans le mois de mai suivant que le tabac est livré à la Régie. Pour préparer les terres il ne faut pas moins de trois labours à la charrue, et après la plantation il faut labourer à la bêche, rapprocher la terre des pieds, sarcler les herbes parasites, abattre les feuilles inférieures, feuilles de terre, écimer les plants et abattre les rejets. On procède ensuite à la récolte, on porte le tabac au séchoir, on fait le triage des feuilles, on les met en manoques, c'est-à-dire en poignées plus ou moins fortes, selon l'usage du pays, et liées par la tête au moyen d'une feuille cordée; on livre enfin les manoques à la Régie.

Lorsque le planteur vient livrer ses tabacs aux magasins de l'État, il les présente à l'appréciation d'experts nommés par le préfet de chaque département où la culture du tabac est autorisée. Ces experts doivent être connaisseurs, n'avoir aucun intérêt dans la culture du tabac, et parmi eux doivent se trouver nécessairement le garde et le contrôleur de chacun des magasins où les tabacs sont livrés. La commission d'expertise divise les tabacs en trois classes, fait de plus une classe de tabacs non marchands qui sont achetés à des prix très réduits, et une classe de tabacs rejetés que l'on brûle. Les prix qui sont appliqués à chaque classe varient pour les divers départements et sont fixés par la Régie d'après la qualité relative des tabacs de divers crus, en prenant pour terme de comparaison les prix des tabacs d'Amérique de qualité correspondante.

La totalité des frais que le service de la culture exige ne s'est élevée en 1844 qu'à 281.622 fr., outre 95.000 fr. payés comme indemnités aux experts chargés du classement des tabacs livrés par les planteurs. Cette dernière dépense est effectuée au moyen d'une retenue de 1 centime par kilogr. sur ce qui revient aux planteurs, et elle ne coûte rien à l'État. Les frais de service de culture payés par l'État, ne sont, en conséquence, que de 2 fr. 38 c. par quintal de feuilles de tabac utilisées dans les manufactures.

Le tableau suivant rend compte de l'état actuel de la culture du tabac en France.

Tabacs indigènes de la récolte de 1843, livrés en 1844.

NOMS des départements.	Nombre des		Quantités		
	Planteurs.	Hectares.	Demandées à la culture.	Livrées et donnant lieu à paiement.	Exportées
			kil.	kil.	
Bas-Rhin. .	5635	2753	4000000	4660875	503759
Nord. . . .	2216	1181	3200000	2657306	53000
Ile-et Vil. .	922	461	950000	554759	»
Pas-de-Cal.	1911	574	970000	973554	113932
Lot.	6267	1651	1300000	1263907	»
Lot-et-Gar.	4169	2959	1900000	1659835	»
Totaux. .	21170	9579	12320000	11770235	680691

La culture du tabac est complétement à la merci de l'administration, et les planteurs sont soumis au régime le plus arbitraire qu'il soit possible d'imaginer. Dès qu'ils ont la permission de planter, ils sont sous la dépendance de la Régie, dont les employés veillent constamment sur les champs de tabac, et punissent d'amendes considérables les moindres infractions aux règlements; les planteurs sont forcés de passer par toutes les conditions qui leur sont faites, et d'accepter les décisions de la Régie et les prix qui leur sont donnés. Les prix furent dans l'origine de l'établissement du monopole assez considérables pour encourager l'agriculture à supporter patiemment le régime de dépendance auquel elle est soumise dès qu'elle cultive du tabac. Mais, à dater de 1836, ils furent à peine suffisants pour indemniser le planteur de ses frais, et nul doute que l'agriculture, si les tarifs fixés à cette époque n'eus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sent pas été un peu augmentés, aurait bientôt renoncé, dans plusieurs départements, au moins, à la culture du tabac. C'était du reste évidemment l'intention de l'administration, encouragée à suivre cette voie par le haut commerce et la grande industrie des transports qui désiraient vivement avoir à acheter et à transporter les 10 à 11 millions de kilogr. de feuilles annuellement fournis par la culture indigène. L'administration a renoncé depuis 1842 à cette pensée, et nous sommes heureux d'avoir contribué à ce résultat, en combattant vivement par la voie de la presse le projet non avoué de dépouiller l'agriculture de quelques-uns de nos départements de quelques bénéfices qui eussent été absorbés par l'agriculture étrangère.

D'après une moyenne de treize ans, le taux moyen de 100 kilogr. jusqu'en 1836, était de 70 fr. 84 c., ce qui portait le revenu de l'hectare à 868 fr. 19 c. Un nouveau tarif fixé par décision ministérielle du 17 août 1835, ne fit plus monter pendant la seconde période de quatre ans, de 1837 à 1840, le taux des 100 kilogr. qu'à 60 fr. 38 c., et le revenu de l'hectare ne fut plus que de 708 fr. 87 c. Pendant cette même période, la quantité de tabac prise à la culture baissa de 12 millions à 8 millions de kilogr., l'administration ayant décidé que le tabac indigène n'entrerait plus dans la fabrication que pour les quatre cinquièmes, au lieu des cinq sixièmes.

Depuis 1841, le prix moyen des 100 kilogr. s'est successivement relevé; le tableau suivant rend compte de l'état actuel des revenus que procure la culture du tabac par hectare, dans les divers départements où elle est autorisée, et des variations considérables que les revenus présentent d'un département à un autre.

Revenus de la culture du tabac en 1843.

NOMS des départements.	SOMMES payées.	PRIX moyen par 100 kil.	Prod. de l'hectare en kilog.	Prod. de l'hectare en argent
	fr.	fr. c.		fr.
Bas-Rhin. . .	2.021.480	43,37	1.875	813
Nord.	2.091.098	78,69	2.277	1.812
Ille-et-Vilaine.	394.732	70,61	1.203	849
Pas-de-Calais.	660.956	67,89	1.912	1.298
Lot.	1.007.119	79,68	766	610
Lot-et-Gar. .	1.433 675	86,37	561	485
Total. . . .	7.606.060	» »	» »	» »
Prod. moyen.	» »	64.61	1.228	793

Les variations que l'on remarque entre les produits s'élèvent du simple au quadruple; elles ont diminué depuis quatre ou cinq ans; mais elles ne s'expliquent pas encore complétement par la supériorité ou l'infériorité relatives des tabacs de divers crus; elles devraient par conséquent tendre à être moins tranchées.

Dans ces derniers temps, l'administration a fait quelques essais de plantation de tabac en Corse et en Algérie; il paraît que les résultats obtenus promettent d'excellents tabacs, mais l'agriculture de ces contrées ne s'est pas encore proposé de produire régulièrement et en grande quantité cette matière; il n'est pas probable que la Régie elle-même puisse faire une telle entreprise.

§ VII. *Achat des tabacs étrangers.* Les feuilles de tabac sont livrées aux manufactures par les magasins à l'état de manoques rassemblées en boucauts ou en balles, pesant de 400 à 700 kil. Les tabacs indigènes dont nous venons d'examiner la production, sont apportés par les planteurs dans les magasins; des tabacs étrangers y sont aussi directement livrés par le commerce, quand les achats ont été faits, ce qui est le cas le plus général, par suite d'une adjudication. Quand les tabacs ont été achetés par l'intermédiaire des consuls, ils y arrivent grevés de frais de transport variables qu'acquitte alors le trésor; la valeur des tabacs en magasin comprend toutes les dépenses effectuées jusqu'au moment de l'emmagasinage.

Les cigares sont les seuls tabacs étrangers fabriqués qu'achète la Régie.

Pour l'année 1844, le compte sommaire des tabacs achetés s'établit ainsi; il donne une idée exacte de la valeur réelle actuelle des différents tabacs :

11.897.492k	de tabacs indigènes pour la somme de.	7.633.687f
	Prix moyen par 100 kil. : 64 fr. 16 c.	
	Il convient d'y ajouter pour le service de la culture. .	281.622
	Ce qui porte le prix moyen à 66 fr. 53 c.	
1.647.982	de tabacs d'Europe pour. .	1.233.381
	Prix moyen par 100 kil. : 74 fr. 84 c.	
7.178.542	de tabacs d'Amérique pour. .	5.618.844
	Prix moyen général par 100 kil. : 78 fr. 27 c.	
189.894	ou 47.473.500 cigares de la Havane pour.	5.454.910
	Prix moyen par 100 kil. : 2,872 fr. 60 c.	
	— par cigare : 11c,49.	
25.158	ou 6.289.483 cigares de Manille pour.	426.879
	Prix moyen par 100 kil. : 1,696 fr. 80 c.	
	— par cigare : 6c,787.	
552	de tabacs en cours de fabrication pour.	3.026
	Prix moyen par 100 kil. : 547 fr. 93 c.	
172.650	de tabacs saisis pour. . . .	230.096
	Prix moyen par 100 kil. : 133 fr. 27 c.	
21.111.970k		20.882.445f
	Prix moyen général par 100 kil. : 98 fr. 95 c.	

Les achats des tabacs en feuilles de diverses provenances d'Europe et d'Amérique se répartissent ainsi :

	Quantités.	Valeurs.	Prix moyen par 100 k.
Hongrie.	1.361.905k	934.740f	68f 63
Levant et divers crus d'Europe (Hollande, Tombeky, Macédoine, Magnésie, Argolide, Syrie, Algérie, etc.)	286.077	329.487	102 58
Cuba.	45.718	261.940	572 94
Virginie.	1.614.184	1.228.867	76 12
Maryland.	2.609.438	2.340.850	89 84
Kentucky.	2.841.832	1.526.004	53 69
Divers crus (Colombie, Chine, Java, Paraguay, Porto-Rico, Brésil, Nouvelle-Grenade, etc.)	71.370	236.845	331 85

§ VIII. *Magasins.* Tous les tabacs achetés sont expédiés dans les vingt magasins de l'Etat où ils sont reçus, expertisés et ensuite conservés jusqu'à ce qu'il en soit demandé livraison par les manufactures. Les frais que nécessite le service des magasins montent à 708.258 fr., somme qui augmente la valeur des ta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bacs achetés et manutentionnés dans le courant de l'année de 3 fr. 40 c. par 100 kil.

Dans les magasins ont été employés, en 1844, 1340 ouvriers tant gagistes que salariés. Le nombre des gagistes était de 418 qui ont touché 117.500 fr. 49 c., soit pour la journée moyenne, sur 38,612 jours de présence, 3 fr. 04 c. Les ouvriers salariés au nombre de 1192 n'ont reçu que 240.779 fr., ce qui fait par ouvrier 201 fr. 99 c., somme qui, au premier abord, paraît très faible, mais qu'explique la position en province de 19 magasins sur 20, et l'intermittence des travaux pour cette classe d'ouvriers.

§ IX. *Transport des feuilles des magasins aux manufactures.* La Régie a fait transporter des magasins aux manufactures, en 1844, 19.875.436 kil. de tabacs en feuilles et de tabacs saisis. En vertu d'un marché passé en adjudication publique, le 18 août 1841, pour cinq ans, à partir du 1er avril 1842, les transports s'effectuent, par *terre*, moyennant 2c,39 par quintal métrique et par kilomètre, et par *eau*, moyennant 1c,18, aussi par quintal et par kilomètre parcouru. Le taux moyen du prix de transport a été de 4 fr. 54 c. par chaque quintal, somme qui augmente d'autant la valeur vénale du tabac.

§ X. *Préparation générale du tabac dans les manufactures.* Les soins et les travaux dans les dix manufactures où se fabriquent tous les tabacs de la Régie ont porté sur 44.790.880 kil., savoir : 24.680.804 kil. existant à l'inventaire du 1er janvier 1844, et 20.110.076 kil. nouveaux (comprenant les expéditions des magasins et 234.641 kil. pris directement en charge). Toutefois les ateliers n'ont reçu, à nouveau, que :

7.952.872k	en feuilles de France.
1.882.094	en feuilles d'Europe.
8.616.795	en feuilles d'Amérique.
126	en cigares de la Havane.
16.006	de tabacs renvoyés des entrepôts.
169.959	de tabacs saisis.
10.835	de côtes.
18.648.687	en totalité.

Cette liste indique les proportions respectives des diverses sortes de tabacs manutentionnées annuellement.

Les dix manufactures de la Régie sont situées à Paris, Lille, le Havre, Morlaix, Bordeaux, Tonneins, Toulouse, Lyon, Strasbourg et Marseille. Elles occupent 4.083 ouvriers gagistes ou salariés. Chaque manufacture est dirigée par un régisseur chargé de la responsabilité générale de tous les travaux qui y sont exécutés ; un inspecteur préside particulièrement à la fabrication, et un contrôleur exerce une surveillance active sur toutes les opérations, sans pouvoir exécutif. Ces trois employés forment le conseil supérieur de la manufacture, qui prend toutes les mesures nécessaires au besoin du service. Un sous-inspecteur est adjoint à l'inspecteur dans les principales manufactures. Un directeur-général et quatre sous-directeurs, dont deux remplissent les fonctions d'inspecteurs spéciaux et ont pour adjoints deux sous-inspecteurs spéciaux, dirigent le service général et forment le conseil supérieur des tabacs, chargé de prendre toutes les décisions relatives à la culture, aux achats et à la fabrication. Le service de la fabrication se trouve ainsi composé de soixante employés supérieurs, qui, depuis 1831, se recrutent parmi les élèves de l'École Polytechnique, à moins que quelque protégé, fils ou parent d'un député ou d'un employé du ministère des finances, ne parvienne à se placer dans le service à l'aide d'un examen plus ou moins sérieux sur les mathématiques, la chimie et la physique. Cet état actuel de l'administration des tabacs n'a pas été constitué sans quelques variations. D'abord elle faisait partie de l'administration des contributions indirectes ; elle en a été séparée en 1831 et placée sous la direction d'un chef spécial qui vient d'être entouré du conseil supérieur dont nous avons parlé. Puis est arrivée une organisation des bureaux en trois grandes divisions : personnel, achats et fabrication, comptabilité. C'est ainsi que s'est étendue une administration qui ne formait autrefois que la moitié d'une des quatre divisions de l'administration des contributions indirectes.

Sur les dix manufactures, il y en a neuf qui fabriquent les tabacs ordinaires à priser et à fumer du prix de 7 fr. le kil. et les tabacs supérieurs à fumer du prix de 11 fr. 10 c. A Marseille, on ne fabrique que des cigares, soit à cause du peu d'étendue des bâtiments, soit parce qu'avant le monopole, ce genre de fabrication avait pris dans cette ville un assez grand développement qu'on lui a laissé depuis. A Paris seulement, on fabrique du tabac à priser supérieur du prix de 11 fr. 10 c. Morlaix et Tonneins fabriquent spécialement des tabacs en carotte. Enfin les manufactures de Lille et de Strasbourg produisent des tabacs à priser et à fumer d'un prix inférieur, tabacs auxquels on a donné le nom de *tabacs de cantine*. Ces tabacs à prix réduits ont pour objet de diminuer l'introduction frauduleuse des tabacs étrangers sur la frontière, en diminuant les avantages que les fraudeurs peuvent retirer de la contrebande.

La fabrication du tabac a pour but l'obtention de deux produits principaux, la *poudre* ou tabac à priser, le *scaferlati* ou tabac à fumer ; les cigares ne forment qu'une annexe de ce dernier genre ; les carottes sont destinées à tenir lieu des deux produits ; enfin, les rôles ou tabac à mâcher, sont destinés à satisfaire un goût singulier qui ne tend point à se généraliser ; quant au tabac de cantine, nous venons de voir qu'il a surtout un but fiscal à atteindre. Nous allons expliquer comment s'obtiennent ces divers produits, en commençant par les procédés de fabrication qui altèrent le moins la nature des feuilles ; auparavant nous décrirons les opérations préliminaires auxquelles sont soumises les feuilles, quelle que soit d'ailleurs leur destination : l'ouverture des boucauts, l'époulardage, la mouillade, l'écôtage.

1° *Ouverture des boucauts.* Les feuilles de tabac arrivent dans les manufactures renfermées dans des boucauts, des nattes ou des ballots de grosse toile. Le premier soin de l'inspecteur de la fabrication est de faire prendre le poids brut des boucauts, d'en faire briser l'enveloppe et d'en peser la tare, afin de prendre seulement en charge le poids réel. Chaque boucaut est alors séparé en plusieurs fragments cylindriques qui, d'après leur état, sont expédiés à l'atelier d'époulardage, les plus beaux pour le tabac à fumer, les autres pour le tabac à priser.

2° *Ecabochage.* C'est une opération qui ne se pratique que pour certaines espèces de feuilles, comme celles de Hollande, qui ont été réunies par les planteurs en manoques ayant des têtes ou *caboches* formées uniquement de grosses côtes. On coupe les caboches avec un couteau à bras, mobile à l'extrémité d'une table, autour d'un point d'attache ; les feuilles séparées sont placées dans des mannes et portées à l'époulardage.

3° L'*époulardage* consiste à délier les manoques, à les secouer de manière à faire tomber le sable et la poussière qui souillent les feuilles, à détacher celles-ci les unes des autres, à les trier, à les placer dans différentes mannes dont est entouré l'ouvrier, suivant qu'il juge qu'elles sont propres à telle ou telle destination, par exemple, à servir de *robes* pour les cigares, à entrer dans la confection des rôles, ou bien seulement, à cause de leur mauvais état de fermentation, à être réduites en poudre.

C'est une des opérations les plus essentielles de la fabrication, et une des plus pénibles pour l'ouvrier, à cause de la poussière continuelle dont il est entouré.

Le maître-ouvrier reçoit les mannes des mains des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ouvriers, examine si les feuilles ont été bien classées, constate le poids des mannes afin de régler les salaires d'après la tâche accomplie, et enfin place les tabacs dans diverses cases, suivant leur destination.

4° *Mouillade.* La mouillade consiste à arroser les feuilles avec une dissolution de sel ordinaire (chlorure de sodium); elle a pour but de les disposer aux opérations subséquentes en leur rendant la souplesse enlevée par la dessiccation sur le terrain, et les mettant ainsi en état de résister à la manutention sans se briser. La présence du sel dans le tabac a pour but d'empêcher la fermentation de devenir putride et d'en éloigner les insectes qui s'introduisent dans toute matière en fermentation. C'est à la présence du sel que le tabac doit principalement la propriété que tout le monde lui connaît, d'être hygrométrique.

L'atelier de la mouillade est à côté de celui de l'époulardage; la dissolution saline se fait au moyen de 10 kil. de sel pour 100 litres d'eau. On superpose plusieurs lits de feuilles que l'on arrose successivement; l'eau excédante s'écoule dans des rigoles.

En 1844, 601.705 kil. de sel ont été employés à la mouillade des 18.648.687 kil. livrés aux ateliers, ce qui fait moyennement 32 grammes de sel par chaque kilogramme de tabac fabriqué. La Régie achète son sel grevé de l'impôt, comme ferait un particulier. En 1844, elle l'a payé 39c,11 le kil.; comme le droit de consommation perçu par l'Etat est de 30 c., il en résulte que le trésor ne débourse réellement que 9c,11 par kil. de sel qui est introduit dans le tabac.

Dans les ateliers, on laisse se perdre l'eau excédante de la mouillade; on prétend, mais cela ne repose sur aucune idée raisonnable, qu'elle ne saurait servir à arroser de nouveau le tabac.

5° *Ecotage.* Cette opération est réservée aux femmes, comme étant extrêmement facile; elle consiste à prendre d'une main les feuilles par un bout, et à arracher de l'autre main la grosse côte dans toute la longueur de la feuille. Les ouvrières sont rangées de manière à prendre les feuilles dans des mannes placées à leur gauche, à jeter les feuilles écotées dans des mannes placées à droite, et à jeter les côtes derrière les bancs sur lesquels elles sont assises. Les feuilles écotées sont portées ensuite sur des tables ou claies où des femmes sont occupées à les repasser, à ôter les nervures qui auraient pu échapper aux écoteuses et à faire tomber toute matière étrangère. De là les feuilles passent dans les divers ateliers auxquels elles sont destinées.

Les côtes et les caboches, ainsi que les balayures d'ateliers, constituent les résidus de fabrication qui sont détruits par la combustion. En 1844, les ateliers ont livré aux magasins d'expédition 17.520.893 kil., et à la destruction 1.524.709 kil.; les résidus forment donc 8 p. 100 des matières premières. Il faut excepter les côtes des tabacs étrangers qui sont introduites dans les tabacs de cantine (voir plus loin, § XVII).

§ XI. *Fabrication des cigares.* De toutes les manutentions du tabac, c'est la fabrication des cigares qui altère le moins la nature de la plante.

Des femmes roulent des débris longitudinaux de feuilles entre leurs doigts et ensuite en les serrant, elles les revêtent d'une *robe*, c'est-à-dire d'une feuille convenablement taillée qui ne présente aucune déchirure; avec un peu de colle de pâte, elles attachent enfin l'extrémité de la robe sur le corps du cigare.

Après l'inspection du contre-maître qui doit vérifier d'une part s'ils ne sont pas trop ou trop peu serrés, de manière à ce qu'ils puissent être fumés, et d'autre part s'ils ont le poids moyen voulu, les cigares passent au séchoir, où ils sont exposés à une température qui ne dépasse pas 30 degrés. Après la dessiccation ils sont portés au magasin et mis en boîte.

On ne fabrique en France que les cigares à 5 et à 10 centimes; les autres cigares proviennent de la Havane, de Manille, de la Colombie, de la Nouvelle-Grenade, de Bahia. Les cigares à 10 centimes sont dits étrangers; ils se font effectivement avec des feuilles étrangères de Maryland et de Havane. On n'en fabrique qu'aux manufactures de Marseille, Bordeaux, Tonneins et Paris, qui, en 1844, en ont livré aux magasins d'expédition :

Marseille.	7.405 kil. ou	1.851.250 cigares.
Bordeaux.	10.335	2.583.850
Tonneins.	1.990	497 500
Paris.	45.202	11.300.500
Totaux.	64.932 kil.	16.233.100 cigares

Les cigares à 5 centimes sont faits avec des feuilles de France; ils sont à paille ou ordinaires. Il s'en fabrique six fois plus environ que de cigares à 10 centimes; six manufactures en ont livré, savoir :

Marseille.	218.778 kil. ou	54.694.500 cigares.
Toulouse.	26.876	6.469.000
Bordeaux.	23.030	5.507.500
Tonneins.	35.464	8.791.000
Strasbourg.	10.902	2.725.500
Paris.	46.731	11.682.750
Totaux.	361.481 kil.	89.879.250 cigares.

On voit que la manufacture de Marseille fabrique les deux tiers de ce genre de produits.

§ XII. *Fabrication des rôles.* On entend par rôles, comme nous l'avons dit, les tabacs à mâcher ou à *chiquer*. On en distingue de deux espèces : les rôles menus filés qui sont classés parmi les tabacs supérieurs, et qui sont faits en feuilles de Virginie pures; les gros rôles dont la consommation est plus ordinaire. La fabrication de ce genre de produits est un peu plus compliquée que celle des cigares; toutefois la feuille de tabac y conserve encore sa nature. Elle se compose de cinq opérations successives : filage, mise en rôles, passage à la presse, ficelage, mise à l'étuve.

1° *Filage.* Le filage se fait au rouet, qui se compose d'un cylindre de bois mobile d'abord sur son axe et ensuite sur un autre axe perpendiculaire au premier. L'ouvrier fileur reçoit des mains d'un enfant les feuilles de tabac tendues en écheveaux plus ou moins gros, selon le diamètre que doit avoir le boudin; un autre enfant lui prépare les *robes;* il contourne ces dernières autour des premières feuilles, et alors à un signe qu'il fait, un troisième aide tourne la manivelle et fait tourner le rouet autour de l'axe perpendiculaire au cylindre de bois; le fileur pendant ce temps appuie le boudin sur une table tandis que le tabac se tord. Quand environ un mètre de boudin se trouve filé, le troisième aide fait enrouler ce boudin sur le cylindre de bois du rouet; un déclic empêchera ce cylindre de se dérouler, tandis que le rouet tordra le bout suivant.

2° *Rôlage.* Lorsque les rouets des fileurs sont pleins, on les transporte dans l'atelier des rôleurs où le tabac filé est dévidé de dessus le rouet et enroulé sur des bobines, simples chevilles de bois, de manière à donner des rôles d'un kilogramme ou d'un demi-kilogramme pour les gros rôles; d'un demi ou d'un quart ou d'un huitième de kilogr. pour les rôles menus filés. Les bouts étant coupés sont ensuite attachés avec de la ficelle.

3° *Pressage.* Les rôles sont introduits dans des moules ou trous cylindriques de dimensions convenables, lesquels sont rangés sur une table de manière à ce que des cylindres de bois, percés en leur centre pour laisser passer les chevilles, pénètrent dans les moules et puissent y peser sur les rôles. On met sur un chariot plusieurs lits horizontaux des rôles ainsi arrangés, de manière qu'ils occupent une hauteur de 1m,50 environ, et on pousse le chariot sur le plateau mobile d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

presse hydraulique. On fait alors mouvoir la pompe, et les cylindres de bois aplatissent fortement les rôles contre les parois des moules dans lesquels ils sont enfermés. Quand il est sorti une certaine quantité de jus de tabac, le presseur juge l'opération terminée, ôte les rôles de dessous la presse et les enlève des moules.

4° *Ficelage.* Les rôles reviennent à l'atelier des rôleurs, où on enlève les chevilles et où on place une ficelle plombée à travers le trou central laissé par la place de cette cheville.

5° *Mise à l'étuve.* Les rôles sont enfin portés à une étuve, entretenue par un courant d'air chaud à une température de 40 degrés centigrades. Après quelques jours de séjour dans l'étuve, ils sont suffisamment secs pour qu'on les transporte au magasin d'exposition.

La fabrication des rôles menus filés prend seule un certain accroissement. En 1844, les différentes manufactures ont livré :

	Rôles menus filés.	Gros rôles.	Rôles à prix réduits.
Morlaix. . .	1.745k	22.994k	» »
Bordeaux. .	7.505	» »	» »
Tonneins. .	624	1.389	» »
Lille. . . .	1.610	22.539	20.317
Strasbourg. .	910	55.999	13.733
Lyon. . . .	1.695	25.736	» »
Paris. . . .	32.101	108.489	» »
Totaux.	45,509k	237,126k	34,050k

§ XIII. *Fabrication des carottes.* Autrefois la fabrication, tant des carottes à pulvériser ou à râper, que des carottes à fumer, était très importante; la supériorité incontestable que possèdent la poudre et le scaferlati sur leurs anciens rivaux, feront bientôt disparaître les carottes, dont la seule image servira encore désormais à indiquer au chaland l'entrée d'un débit de tabac. Les carottes à pulvériser, rangées parmi les tabacs supérieurs, et qui sont faites avec des feuilles de Virginie, ont presque disparu. Voici l'état de fabrication des carottes en 1844 :

	Carottes à pulvériser.	Carottes à fumer.
Morlaix. . .	64 kil.	426.000 kil.
Tonneins. . .	4.064	22.396
Paris.	168	» »
Totaux. .	4.296 kil.	448.396 kil.

La fabrication des carottes ne diffère de la fabrication des rôles, qu'en ce que au lieu de mettre en rôles on met en carottes ; le rôlage est remplacé par le carotlage. Les ouvriers déroulent le tabac de dessus le rouet, le coupent par bouts égaux, rassemblent les bouts au nombre de huit dans un moule, et les soumettent à une forte compression pendant vingt-quatre heures. Au sortir des presses, les carottes sont tirées de leurs moules, ficelées et rognées par les deux bouts.

§ XIV. *Fabrication du scaferlati ou tabac à fumer haché.* On distingue deux espèces de scaferlati, le scaferlati étranger ou supérieur en maryland, varinas et levant, et le scaferlati ordinaire dit *caporal*, sans compter le scaferlati de cantine ou à prix réduit. Le scaferlati ordinaire est fait au moyen du mélange de feuilles de choix indigènes du Bas-Rhin et du Pas-de-Calais, et étrangères de Maryland, Hongrie, etc. Les mélanges sont effectués à la mouillade.

Les opérations spéciales à cette fabrication sont : le hachage, la torréfaction, le séchage, et enfin la mise en paquets.

1° *Hachage.* Depuis un certain nombre d'années, les anciennes machines à bras de de Parcieu ont été remplacées par des machines bien supérieures mues par la vapeur ou des cours d'eau. Les feuilles de tabac sont entassées par un ouvrier, dans une coulisse où elles sont entraînées par une toile sans fin, mue d'un mouvement discontinu de même sens, calculé de telle sorte que la masse des feuilles avance juste de la quantité convenable, pour qu'un couteau mû d'un mouvement de va-et-vient et guidé dans des coulisses, tranche constamment en descendant la même épaisseur des feuilles. Le couteau remonte sans produire d'effet; en ce moment, la toile sans fin a fait avancer le tas de feuilles qui sont coupées de nouveau en minces filaments par la descente du couteau. Il est évident qu'on aurait pu s'arranger de manière à avoir des couteaux à deux tranchants, hachant en montant et en descendant.

2° *Torréfaction.* Il est important, pour que la fumée du tabac conserve l'arome aimé des consommateurs, que le scaferlati fermente le moins possible. Or, on sait que la meilleure manière de *tuer les ferments* est de coaguler la matière fermentescible par une chaleur d'au moins 60°. C'est ce qui a conduit à soumettre le tabac haché à la torréfaction qui ne se fait pas d'une manière identique dans toutes les manufactures. Tantôt on fait séjourner durant quelques minutes le tabac sur des tuyaux juxta-posés et formant de longues tables, dans lesquels passe de la vapeur produite par une chaudière à une pression de quatre à cinq atmosphères. Tantôt on se contente de projeter rapidement le tabac sur des plaques de tôle chauffées à une température voisine du rouge. Dans l'un et dans l'autre cas, le tabac dégage un principe âcre et piquant qui fait pleurer les yeux. Quand la torréfaction a été bien conduite, le tabac ne peut plus fermenter que fort difficilement et dans le cas seulement où il séjourne quelque temps en tas considérables. C'est malheureusement le cas habituel dans les manufactures françaises à cause de leur petit nombre et de l'énorme quantité de produits qu'elles doivent fournir.

3° *Séchage.* Au sortir de la torréfaction, le scaferlati est porté dans des séchoirs entretenus, quand il en est besoin, par des courants d'air chaud à une température de 16 à 20°. Il est posé sur des claies serrées où on le retourne souvent jusqu'à ce qu'il soit sec. Alors on le livre à des ouvrières qui l'étendent sur des tables à claires-voies où elles le purgent des morceaux de côtes trop gros et autres matières étrangères qui, si elles s'y trouvaient, feraient crier le consommateur. Elles font aussi tomber les filaments réduits en poussière et provenant d'une torréfaction trop vive, car le fumeur ne voudrait point les mettre dans sa pipe.

4° *Empaquetage.* L'atelier de l'empaquetage est celui où les ouvriers sont forcés de développer la plus grande activité ; enfants et hommes y sont continuellement agités de mouvements rapides qui produisent sur le spectateur le plus singulier effet. Nous allons essayer d'en donner une idée.

Le tabac est apporté dans des mannes et déposé sur une claie d'osier à hauteur d'appui ; à côté se trouve une balance où un ouvrier pèse le tabac d'une manière continue (on fait ensemble tous les paquets de même poids, soit de 1.000 ou de 500 grammes pour le scaferlati ordinaire ; de 500, 250 ou 125 gr. pour le scaferlati étranger). Le peseur fait tomber le tabac dans des vases en fer-blanc ouverts en dessus et sur l'une des faces latérales ; un enfant qui sert à la fois quatre empaqueteurs, prend ces vases et les jette sur la table autour de laquelle sont rangés ces derniers. Chacun de ceux-ci prend le papier d'enveloppe, le place sur un mandrin d'un volume égal à la capacité intérieure que doit avoir le paquet, en repliant à l'une de ses extrémités le papier, comme on a l'habitude de le faire ; il jette alors le mandrin, entouré de papier, dans un trou pratiqué dans un bloc placé à côté de la table ; retire le mandrin, verse le tabac dans le sac tout formé, presse avec les poings, puis avec le mandrin, replie le papier de manière à fermer le sac, le retire, et cachète avec de la cire rouge, toujours entretenue fondue au milieu de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la table au moyen d'un tuyau où passe de la vapeur; en entourant le papier sur le mandrin et formant le côté opposé avant de le placer dans le bloc, il avait également cacheté avec de la cire. Toutes ces opérations ne prennent guère plus d'une minute à l'empaqueteur.

Les paquets sont ramassés par un enfant et mis dans une manne mobile sur des roulettes pour être portés à un autre enfant colleur des vignettes. Ce dernier étend sur une planche douze vignettes, dont la longueur est telle qu'elles enveloppent un paquet dans le sens le plus long; il passe dessus de la colle au moyen d'une brosse, et ensuite, en moins d'une minute, les douze vignettes sont collées par une manœuvre si rapide qu'on voit à peine chaque paquet passer entre les mains de l'enfant, et se recouvrir de la vignette.

Le contre-maître de l'atelier vérifie le poids de quelques-uns des paquets pris au hasard; s'il ne trouve pas le poids voulu avec une tolérance de 5 grammes en plus ou en moins, il fait refaire les paquets. Cette vérification est de rigueur, car les paquets seront dorénavant livrés au consommateur sans nouvelle constatation de poids.

Les paquets sont enfin emportés au magasin des expéditions dans une manne que font rouler deux enfants en courant.

Les différentes manufactures ont livré, en 1844, aux magasins d'expéditions pour l'approvisionnement des entrepôts, les quantités de scaferlati suivantes :

	Étranger.	Ordinaire.	De cantine.
Morlaix.	1.025k	623.300k	»
Toulouse.	1.580	367.400	»
Bordeaux.	2.641	278.625	28.750k
Tonneins.	760	131.400	»
Lille.	222	166.240	2.737.470
Strasbourg.	810	114.445	1.435.570
Lyon.	2.249	1.199.590	355
Paris.	31.607	1.731.276	»
Le Havre.	951	611.893	»
Totaux.	41.845k	5.223.869k	4.202.145k

§ XV. *Fabrication des cigarettes.* La Régie a cherché depuis 1843 à exploiter cette nouvelle branche de produits. Il est évident qu'elle obtiendrait des revenus assez considérables, si elle pouvait empêcher les fumeurs de fabriquer eux-mêmes les cigarettes et de garder les bénéfices qu'ils procureraient à la Régie en achetant celles qu'elle vend si cher. Mais la fabrication des cigarettes est si facile pour le fumeur qui n'a qu'à rouler le tabac dans du papier, entre ses doigts; elle est d'une si grande complication, en comparaison, pour la Régie qui doit s'arranger de manière à pouvoir garder longtemps les cigarettes en magasin, et à les soumettre à des transports qui les brisent, que nous doutons qu'elle puisse jamais devenir importante.

Le kilogramme contient 1000 cigarettes; il en est de deux sortes, à 5f et 7f.5, ou bien à 50 et à 75f le kil. Les cigarettes à 5f sont faites en grande partie avec les débris qui tombent des claies dans la fabrication du scaferlati étranger et ordinaire; les autres sont plus soignées et sont faites avec les tabacs hachés du Levant et de Maryland mélangés.

Le principe de la fabrication est bien simple; il consiste à enrouler le papier sur un moule en bois, mis à la suite d'un petit morceau de bois creux qui sert à maintenir la cigarette. Le tout est placé dans un petit bloc creux. L'ouvrière alors enlève le moule et refoule du tabac; elle plie et colle alors l'extrémité libre du papier.

On a essayé de faire le papier avec les côtes de tabac, afin de ne donner au fumeur ou consommateur que du tabac. Cette tentative n'a pas réussi.

La fabrication des cigarettes n'est encore établie qu'à la manufacture de Paris, qui, en 1844, en a livré au magasin d'expéditions 10.359 kilogrammes.

§ XVI. *Fabrication du tabac en poudre.* Autant on s'attache à empêcher toute fermentation dans la fabrication du scaferlati, autant au contraire on recherche les circonstances qui peuvent la favoriser dans la fabrication de la poudre. Comme il n'existe en France que dix manufactures pour fabriquer les 17 millions de kil. de tabac que l'on y consomme actuellement dans une année, la manutention porte sur de grandes quantités, et l'on est par conséquent dans de bonnes conditions pour obtenir une pleine fermentation, et par contre, il doit être difficile d'éviter complétement tout phénomène de cette espèce. On peut attribuer à cette circonstance l'infériorité que présente souvent le tabac de la France devant les tabacs des pays étrangers où la fabrication étant libre, elle ne saurait être concentrée dans des manufactures aussi peu nombreuses et aussi considérables que les nôtres. Cette même raison explique complétement encore la supériorité bien établie du tabac à priser français sur tous les tabacs en poudre d'Europe. Ce qu'il y a même de remarquable, c'est que la poudre dite étrangère, qui est vendue comme tabac supérieur, est souvent bien moins bonne que la poudre ordinaire, ce qui provient toujours de ce que la qualité du tabac de choix dont elle est composée ne compense pas l'infériorité d'une fermentation faite au moyen de moindres quantités.

Le tabac en poudre ordinaire se compose essentiellement avec 70 ou 75 p. 100 de tabacs indigènes du Lot, Lot-et-Garonne, Nord, etc.; et de 30 à 25 p. 100 de tabacs étrangers de Virginie, Kentucky, etc. On y mélange en outre toutes les feuilles légères qui ont déjà subi un commencement de fermentation et qui sont impropres à la fabrication du scaferlati, des rôles ou des cigares; on y met enfin tous les tabacs provenant des saisies.

Les feuilles, après la mouillade, sont soumises aux opérations successives suivantes : le hachage, la fermentation en masses, le moulinage, le tamisage, la fermentation en cases et la mise en tonneaux ou en paquets.

1° *Hachage.* Le hachage des feuilles destinées à la poudre se fait d'une manière bien moins parfaite que pour le Scaferlati, mais aussi bien plus rapide. Il suffit effectivement que le tabac soit haché cinq ou six fois plus gros, et au lieu d'employer un seul couteau, se mouvant d'un simple mouvement de va-et vient rectiligne; on se sert de plusieurs couteaux rangés sur la surface d'une roue cylindrique rapidement mobile autour de son axe; sa surface vient frotter contre les feuilles entassées et amenées par une toile sans fin. Le tabac haché retombe dans l'intérieur de la roue et descend à un étage inférieur.

2° *Fermentation en masses.* Le tabac est alors soumis aux mélanges des diverses sortes arrêtés par le conseil supérieur de l'administration et porté dans la salle des masses. Une salle contient de sept à huit masses; ce sont des tas formés de 20 à 40 mille kilogr. occupant presque toute la hauteur de la salle, dont les parois et le plancher sont en bois de chêne. 40 ou 50 centimètres sont seulement réservés entre le plafond et la surface supérieure des masses, et un étroit corridor règne le long de la salle qui est constamment fermée. Le tabac est tassé assez fortement par les massiers, et au centre on place un tube creux en bois dans lequel descend un thermomètre. Il est bien de mêler au tabac du centre une certaine portion de tabac étant déjà en train de fermenter, afin de hâter la fermentation nouvelle et d'accélérer ainsi la fabrication de la poudre qui demande souvent jusqu'à quinze mois. Au bout de dix à quinze semaines, la température a atteint 70 à 80°; il s'est dégagé une très grande quantité de carbonate d'ammoniaque et de carbonate de nicotine, et presque tout l'acide du tabac a disparu. Le carbonate d'ammoniaque constitue le montant du tabac. L'air ne doit jouer aucun rôle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le phénomène qui se passe alors. Quand l'air pénètre dans les masses, la fermentation devient acétique.

Par des visites fréquentes on constate les températures successives que prennent les masses, et on surveille la marche de la fermentation. La chaleur produite est si grande, que le tabac serait souvent carbonisé et amené à l'état d'humus, si on ne soignait pas suffisamment les masses, et si on n'y pratiquait pas des tranchées pour abaisser la température quand elle s'élève trop rapidement.

3° *Moulinage.* Le tabac provenant des masses est porté dans des moulins où il est réduit en poudre. Un moulin est formé d'abord d'un cône en fonte creux, placé la base en haut et le sommet en bas; la surface interne du cône est couverte de raimures héliçoïdales aboutissant au sommet et présentant des lames en relief. Un cône plein placé en sens inverse est mobile autour de son axe d'un mouvement de rotation alternatif, et vient ainsi faire appuyer contre les lames en relief du premier cône d'autres lames héliçoïdales et obliques aux plans passant par l'axe du cône et les arêtes. Le tabac devenu assez friable par la fermentation est ainsi serré et desserré dans les raimures du cône fixe. La poudre s'écoule par le sommet inférieur du cône fixe percé d'une ouverture convenable.

4° *Tamisage.* Des moulins, le tabac tombant sur un plan incliné, descend sur des tamis animés d'un double mouvement de va-et-vient continuel par des excentriques convenables mues par la machine motrice de la manufacture. La poudre d'un grain convenable passe à travers les tamis et tombe sur une toile sans fin qui l'entraîne sur un plan incliné d'où elle descend vers les cases. Le tabac non suffisamment pulvérisé reste sur le tamis d'où il est rejeté par le mouvement de secousse latérale, et il est repris pour repasser aux moulins.

5° *Fermentation en cases.* Les cases sont des cellules de 20 à 30 mètres cubes fermées de toutes parts par des planches et des madriers de chêne où on case la poudre qui s'y entasse en masses de 20 à 35 mille kilogr. Au centre se trouve aussi un tube creux où descend un thermomètre. Au bout de deux ou trois mois la température commence à s'élever; elle a atteint 40° environ, après sept ou huit mois. Alors cette seconde fermentation qui a surtout pour but de développer l'arome du tabac est complète. On défait la case par une porte latérale et on enlève le tabac dans des sacs.

6° *Mise en tonneaux ou en paquets.* On porte le tabac dans une espèce de grand bassin en bois où on brise les sortes de mottes qui se sont agrégées, et on l'enlève par une noria sur des tamis d'où il sort pour être mis en tonneaux, ou en paquets ayant les poids déterminés par les demandes des entreposeurs. On ne fait de petits paquets que pour le tabac étranger. On le met aussi dans de grands tonneaux pour le conserver quelque temps dans le magasin des expéditions. Enfin on fait quelquefois des mélanges de différentes sortes de tabacs pour satisfaire les goûts de certains consommateurs.

Les diverses manufactures ont livré, en 1844, les quantités suivantes aux magasins des expéditions :

	Poudre étrangère.	Poudre ordinaire.	Poudre de cantine.	
Marseille. . .	800 k	400 k	»	»
Morlaix. . .	40	478.802	»	»
Toulouse. . .	425	870.545	»	»
Bordeaux. . .	290	562.336	»	»
Tonneins. .	340	327.012	»	»
Lille.	15	351.469	192.886	
Strasbourg. .	283	233.987	352.007	
Lyon. . . .	2.435	573.104	740	
Paris. . . .	11.853	2.240.778	»	»
Le Havre. .	69	646.488	»	»
Totaux. .	16.550 k	6.284.621 k	545.633 k	

§ XVII. *Des tabacs de cantine.* La fabrication des tabacs de cantine, ou à prix réduits, ne diffère de celle des tabacs ordinaires, qu'en ce que l'on n'y emploie que des tabacs indigènes ou des tabacs étrangers de qualité tout à fait inférieure, et qu'en ce qu'on y mélange les 600.000 kilogr. de côtes provenant annuellement de l'écotage des tabacs étrangers. En 1844, il a été livré par les manufactures 4.781.828 kilogr. de tabacs de cantine, soit 27 p. 100 de la production totale.

§ XVIII. *Frais totaux de fabrication.* Pour fabriquer la totalité de 17.520.893 kilogr. de diverses sortes, livrés en 1844 par les ateliers des dix manufactures de France, il a été dépensé :

En traitements.	479.007 fr.
En frais de main-d'œuvre et fournitures de toutes espèces. .	4.011.917
Total. . .	4.490.924 fr.

soit 24 fr. 08 c. par 100 kilogr.

4.083 ouvriers ont été employés dans les manufactures et ont reçu en gages et en salaires 2.521.339 fr., soit pour la journée moyenne, sur 52.560 journées de présence, 4 fr. 02 c.

Il reste pour les salaires 2.309.668 fr., qui, à raison de 3.937 ouvriers salariés, donnent pour le salaire annuel de chacun d'eux 586 fr. 65 c., ou par journée moyenne, à raison de 309 jours de travail par an, 1 fr. 90 c.

Le prix peu élevé de ces salaires tient surtout à ce que certaines parties de la fabrication qui exigent le plus de main-d'œuvre, sont exécutées exclusivement par des femmes (écotage et fabrication des cigares) ou en grande partie par des enfants (empaquetage).

§ XIX. *Transports des manufactures aux entrepôts.* Il a été transporté des manufactures aux entrepôts 17.640.879 kilogr. de tabacs de toutes sortes, y compris les cigares de la Havane, Manille, etc. La dépense totale s'est élevée à 1.916.543 fr., soit 3 fr. 61 c. par 100 kilogr., ce qui est sensiblement moindre que les frais moyens de transports des magasins aux manufactures donnés au § IX, ce qui s'explique, parce que la distance moyenne à parcourir est plus considérable dans ce dernier cas que dans celui que nous venons d'examiner.

§ XX. *Des entrepôts.* 357 entrepôts sont ainsi approvisionnés de tous les tabacs, qui sont ensuite vendus aux débitants par les entreposeurs. Ceux-ci reçoivent une remise moyenne de 0 fr. 65 p. 100 sur la valeur vénale de vente aux débitants, soit, en totalité, en 1844, de 692.906 fr., c'est-à-dire moyennement de 1.940 fr. 91 c. par entreposeur. En comptant les frais de loyers et de toutes espèces dans les entrepôts, ainsi que les remises aux entreposeurs et les frais de service de la répression de la fraude, dont nous parlons au § XXII, on trouve qu'ils élèvent de 5 fr. 81 c. la valeur moyenne de 100 kilogr. de tabac mis à la disposition des débitants.

Les diverses manufactures ne peuvent expédier des tabacs ordinaires que dans les départements qui les avoisinent, afin que chaque manufacture ait toujours un approvisionnement certain à desservir. Sans cette sage précaution, il arriverait que des préjugés sans consistance, car l'administration s'attache à maintenir partout le même genre et la même perfection de fabrication, amèneraient l'écoulement de tous les produits d'une manufacture, et laisseraient encombrée telle ou telle autre.

§ XXI. *Valeur réelle du tabac.* Résumant tous les frais énoncés précédemment, nous trouvons pour la valeur réelle des 100 kilogr. de tabac vendus dans les entrepôts :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Prix d'achat (§ VII).	98 fr.	95 c.
Frais de magasins (§ VIII). . .	3	40
Frais de transport des feuilles (§ IX).	4	54
Frais de fabrication (§ XVIII). .	24	08
Frais de transports des tabacs fabriqués (§ XIX).	3	61
Frais d'entrepôt (§ XX). . .	5	81
Valeur réelle. . . .	140 fr.	39 c.

Le prix moyen de vente des entreposeurs aux débitants est de 614 fr. 48 c. ; l'impôt moyen ou le bénéfice de la Régie est donc de 474 fr. 09 c. par 100 kilogr., c'est-à-dire que le gain est de 337 p. 100.

§ XXII. *Répression de la fraude.* On conçoit que la valeur fictive si élevée que l'impôt donne au tabac, a dû être un appât bien puissant pour l'introduction en fraude des tabacs fabriqués à l'étranger. Quelque sévère qu'eût été la répression de la fraude, il n'est pas douteux que la chance d'un bénéfice de plus de 300 p. 100 aurait donné lieu à d'énormes importations, si la Régie n'avait diminué sur nos frontières la différence qui existe entre la valeur réelle et la valeur fictive des tabacs. Dans ces contrées, elle fait donc vendre, à prix réduits, des tabacs de moindre qualité, dits tabacs de cantine. Elle diminue ainsi l'appât offert aux contrebandiers, qui, malgré cette précaution, ne continuent pas moins d'exercer leur hasardeuse industrie. Sur les bords du Rhin se trouve un certain nombre de fabriques, dont les produits sont consommés en France.

Néanmoins, ce n'est pas sur les frontières seulement que se fait la contrebande du tabac. Les tabacs de cantine sont à des prix qui vont en croissant à mesure que l'on pénètre dans l'intérieur de la France. Ces prix s'élèvent successivement de 1 fr. 70 c. à 2 fr. 15 c., 2 fr. 55 c., 3 fr. 40 c. et 5 fr. 55 c. ; ils sont en moyenne de 2 fr. 25 c. Comme il existe encore, ainsi qu'on le voit, une différence notable entre les prix des tabacs de cantine de diverses zones, il se fait une contrebande très active, qui a pour objet de transporter ces tabacs d'une ligne à une autre. Cela fait, un changement de vignettes suffit pour donner aux paquets de tabac une valeur bien supérieure à celle qu'ils avaient d'abord. Cette contrebande est organisée en grand ; ce sont des troupes d'enfants, de chiens, ou des hommes à cheval qui font passer les tabacs. Comme les lignes sont assez rapprochées pour qu'on puisse souvent les franchir toutes en une nuit, il en résulte que le bénéfice est assez considérable pour couvrir les frais de ce commerce frauduleux. Pour y mettre un frein, on ne permet pas aux débitants de tabac de nos départements limitrophes une provision de plus de 3 kilogr. de chaque espèce de tabac. En outre, un service de surveillance spéciale, coûtant 390.000 fr., et composé de 207 employés, qu'aident d'ailleurs la gendarmerie et les employés des douanes, est chargé de la répression de la fraude dans les départements traversés par les lignes. Les lignes s'étendent à travers les départements suivants : Nord, Pas-de-Calais, Moselle, Bas-Rhin, Haut-Rhin, Ardennes, Doubs, Aisne, Meuse, Meurthe, Vosges, Haute-Saône, Jura, Somme et Ain. On ne peut dire si l'infiltration du tabac de cantine s'étend beaucoup au-delà de ces départements ; dans tous les cas, cette infiltration remplace celle des tabacs étrangers, qui ne se fait plus que sur l'extrême frontière, et c'est un grand avantage. Du reste, la vente du tabac de cantine est fort considérable, car elle s'élève à près de 5 millions de kilogr., sur lesquels il y a plus de 4 millions de kilogr. de tabac à fumer.

§ XXIII. *Vente des tabacs aux débitants et aux consommateurs.* La vente des tabacs est confiée à des débitants spéciaux, soumis à un cautionnement fixé en raison de la population, et s'élevant du minimum de 50 fr., dans les petites localités, au maximum de 1,500 fr., à Paris. Leurs bénéfices résultent de l'excédant des prix de vente aux consommateurs sur le prix d'achat chez les entreposeurs ; cet excédant, variable selon les diverses sortes de tabac, est établi par un tarif administratif.

L'excédant total est monté, en 1844, à la somme de 15.423.220 ; il devient de plus en plus considérable à mesure que les bénéfices de la Régie et la consommation du tabac augmentent. Toutefois, le bénéfice moyen de chaque débitant ne suit pas cette même progression, parce que dans le désir de satisfaire aux demandes, le gouvernement augmente le nombre des débitants suivant une progression non moins rapide que celle suivie par la consommation ; les chiffres suivants le prouvent manifestement.

	Nombre des débitants.	Bénéfice total.	Bénéfice moyen par débitant.
1840	28.619	13.715.713 fr.	479 fr. 25 c.
1841	29.356	14.298.726	487 08
1842	30.486	14.596.210	478 78
1843	31.400	15.058.435	479 57
1844	32.267	15.423.220	477 98

La garantie certaine de la bonne foi mise dans la vente des tabacs fabriqués par l'État, repose tout entière sur le mode qui consiste à en charger des agents commissionnés et révocables. Il faut, en effet, que les débitants vendent tous au même prix une marchandise qui ait partout la même qualité ; il faut qu'on puisse s'assurer que le tabac, substance qui se détériore au simple contact de l'air, est toujours dans un bon état de conservation, reste pur de tout ingrédient étranger, comme argile ou chicorée, matières que la fraude y mêle souvent, et ne soit pas humecté ; il faut aussi empêcher que les débitants puissent vendre du tabac de contrebande. C'est en vain que l'on chercherait à obtenir la réalisation de ces conditions préservatrices des droits des consommateurs et des droits du Trésor, si l'on accordait le droit de vendre du tabac à quiconque présenterait certaines conditions de solvabilité et de bonne foi et payerait une licence ; car la fraude présenterait trop d'avantages pour qu'on ne fût pas encouragé à lutter contre une pénalité peu rigoureuse, quand on considère surtout qu'on ne saurait plus aujourd'hui employer ces barbares moyens de répression d'autrefois, qui ne parvenaient cependant pas à arrêter la contrebande. C'est à peine si l'on pourrait soumettre les débitants libres aux visites des agents du contrôle ; bientôt ces visites passeraient pour vexatoires et inquisitoriales, deviendraient odieuses, et, en supposant qu'elles pussent amener la constatation d'un délit de fraude, les magistrats ne sauraient appliquer une peine bien grave au marchand coupable d'avoir ajouté quelques grammes d'eau à une substance aussi peu nécessaire que le tabac. La Régie, au contraire, pouvant révoquer ses agents en cas d'infidélité ou d'infraction aux règlements, et leur ôter ainsi leurs moyens d'existence, exerce une surveillance tout à fait efficace.

Les bureaux de tabac, en cas de vacances, sont généralement donnés à des veuves de militaires sans fortune, à de vieux employés inférieurs privés de ressources, sans que le titulaire précédent ait aucune influence sur la transmission de sa charge. A Paris, seulement, tout débitant qui veut cesser de l'être, peut se démettre en faveur d'un acquéreur, pourvu que celui-ci apporte deux démissions. Cette faculté est tolérée, parce qu'en général la vente du tabac ne peut être à Paris qu'un accessoire à un autre commerce, à cause du prix élevé de location des boutiques et des frais considérables que nécessite l'établissement. A chaque mutation, le gouvernement peut néanmoins disposer d'un bureau en faveur d'une personne qui a des titres à sa bienveillance. Tout en flétrissant sévèrement les trafics électoraux que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'on a pu faire des bureaux de tabac et des bureaux de poste, on doit avouer que c'est un moyen de récompense placé très justement entre les mains du pouvoir.

Voici quels sont les prix des différents tabacs livrés à la consommation par la Régie.

	Prix de revient du kil.	Prix de vente au débitant.	Prix de vente au consomm.	Bénéfice de la Régie par kil.
Tabacs supérieurs.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Tabac à priser. .	2.09	11.10	12 »»	9.01
Tabac à fumer. .	2.47	11.10	12 »»	8.62
Rôles à mâcher. .	2.63	9.80	11 »»	7.17
Carottes à râper. .	2.03	9.50	10 »»	7.47
Cigares à 10 c. .	7.42	22 »»	25 »»	14.58
Cigares à 5 c. . .	3.45	11 »»	12.50	7.55
Tabacs ordinaires.				
Tabac à priser. .	1.44	7 »»	8 »»	7.56
Tabac à fumer. .	1.98	7 »»	8 »»	5.02
Rôles à mâcher. .	» 92	7 »»	8 »»	5.08
Carottes à râper. .	1.93	7 »»	8 »»	5.07
Tabacs de cantine.				
	1.36	5.55	6.50	4,26
	1.06	3.40	4 »»	2.34
Tabac à priser. .	» 95	2.55	3 »»	1.60
	» 90	2.15	2.50	1.25
	1.92	5.35	6,50	3.53
Carottes, gros rôles et tabac haché.	1.69	3.40	4 »»	1.71
	1.45	2.55	3 »»	1.10
	» 95	2.15	2.50	1.10
	» 90	1.70	2 »»	» 80
Cig. de la Havane.				
Cigares à 25 c. .	32.47	56 »»	62.50	23.35
Cigares à 15 c. .	20.21	32.50	37,50	12.30

Le kilogramme contenant 250 cigares, on reconnaît que la Régie bénéficie de 9 c. et demi sur le cigare à 25 c., et de 5 c. sur le cigare à 15 c. Ce n'est que depuis 1842 que la Régie vend les cigares de la Havane, dits *régalia*, 25 c. Elle a augmenté de 5 c. le prix de chaque cigare, afin d'établir une grande différence entre les deux espèces de cigares de la Havane, dans l'espoir d'écouler plus facilement les cigares à 15 c. qui encombrent les magasins et qui sont souvent d'une qualité tout à fait inférieure. La vente des panatelas à 50 et à 60 c. et des cigarettes n'a pas encore grande importance.

La Régie vend en outre à la marine, aux hospices et aux droguistes, des tabacs fabriqués ou en feuilles, à des prix inférieurs; mais cette vente est fort peu considérable.

En résumé, la vente des tabacs, suivant les espèces, se récapitule ainsi :

	Quantités vendues.	Montant de la vente par la Régie aux débitants.	Montant de la vente par les débitants aux consommateurs.	Différence représentant le bénéfice des débitants.
Tabacs supérieurs (y compris cigares et cigarettes).	k. 636230	fr. 11940044	fr. 15495791	fr. 1555747
Tabacs ordinaires.	12012257	84085797	96098055	15012257
Tabacs de cantine.	4758105	40670945	42528162	1857216
Totaux.	17386592	106696786	122120006	15423220

ou, sous une autre forme, en comptant les rôles, les cigares et les cigarettes dans les tabacs à fumer, les carottes dans les tabacs à priser, et les ventes directes des entreposeurs aux consommateurs :

Tabacs à priser. .	6.743.337 kil. pour	45.160.354
Tabacs à fumer. .	10.664.661	61.836.560
Totaux. . .	17.407.948 kil.	106.996.914

§ XXIV. *Importation de tabacs fabriqués.* L'importation des tabacs fabriqués est frappée de droits très forts qui élèvent de beaucoup au dessus du prix des tabacs de la Régie, la valeur de ceux que, sous prétexte de santé ou d'habitude, quelques personnes tiennent à introduire. Ces droits ont été en 1844 :

De 6.678 k pour	668 k	de tabacs à 10 fr.
538	36	15
90.809	1.009	cigares à 90 fr. le mille.
60.469	1.679	36 fr. le kil.

§ XXV. *Exportation de tabacs fabriqués.* Les tabacs de la Régie livrés aux prix ordinaires payés par les débitants aux entreposeurs auraient du mal à soutenir la concurrence à l'étranger avec les nombreuses sortes de tabacs qu'on y trouve, quoique ces tabacs soient pour la plupart du temps inférieurs aux tabacs français. Afin de favoriser l'exportation de ses tabacs la Régie a accordé des primes de 40 p. 100 sur les tabacs supérieurs, de 25 et de 15 p. 100 sur les tabacs ordinaires. Malgré cette faveur la vente pour l'exportation n'a pas encore pris d'importance réelle. En 1844, 34.630 kil. de tabacs ont été exportés avec primes et ont donné les résultats suivants :

	Produit brut.	Primes allouées.	Produit net.
Primes de 40 p. 100	39.888 f	15.955 f	23.933 f
— 25 —	197.969	49.492	148.477
— 15 —	10.802	1.620	9.182
Totaux.	257.359 f	67.067 f	190.292 f

§ XXVI. *Bénéfice réel de la Régie.* Le bénéfice réel que fait la Régie se compose de l'excédant de toutes ses recettes sur toutes ses dépenses, plus de l'augmentation survenue dans son capital; il ne comprend donc pas seulement les sommes mises annuellement par la Régie à la disposition du trésor. Le capital qui à l'origine du monopole ne s'élevait qu'à 25.568.400 fr., était au 31 décembre 1844 de 77.476.248 fr. Les bénéfices réels ont suivi constamment une progression croissante depuis 1811, ainsi qu'il résulte des chiffres suivants :

Dans les six derniers mois de 1814, et les années 1812, 1813 et 1814, les bénéfices ont été de 93.355.842 fr.

En 1815	32.123.303 fr.	En 1831	45.920.930 fr.
» 1816	33.355.321	» 1832	47.751.597
» 1817	39.482.994	» 1833	49.230.280
» 1818	41.705.861	» 1834	50.813.714
» 1819	41.412.893	» 1835	51.700.181
» 1820	42.219.604	» 1836	55.629,540
» 1821	41.950.997	» 1837	59.008.112
» 1822	41.584.489	» 1838	61 682.425
» 1823	43.129.723	» 1839	66.001.841
» 1824	44.030.453	» 1840	70.111.457
» 1825	44.993.057	» 1841	71.989.095
» 1826	45.728.982	» 1842	73.804.142
» 1827	46.385.633	» 1843	77.368.735
» 1829	46.375.633	» 1844	79.499.379
» 1830	45.632.490		

Ainsi s'est trouvée réalisée et la prédiction de Napoléon que le monopole des tabacs devait arriver à verser chaque année 80 millions dans les coffres de l'État.

Les recettes s'accroissent toujours avec une grande rapidité. Je donnerai ici pour la faire apprécier les chiffres qui se rapportent à 1860.

En 1860, il a été vendu 29,224,497 kil. de tabac qui se décomposent ainsi qu'il suit :

17,636,095 kil. de tabac ordinaire (scaferlati, poudre ordinaire, gros rôle). Prix de vente aux débitants, 7 fr. 55 le kil.

7,499,874 kil. de tabacs à prix réduits. Prix de vente aux débitants, 2 fr. 46.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1,241,538 kil. de tabacs de troupe. Prix de vente aux débitants, 1 fr. 30.

2,846,990 kil. de tabac étranger et de luxe, y compris les cigares de la Havane et de Manille qui entrent dans ce résultat pour 129,069 kil. Prix de vente moyen aux débitants, 13 fr. 82.

Le bénéfice net réalisé par l'État, en 1860, a été de 137,115,688 fr. 97; en 1870, 212,000,000 de fr.

Le revenu produit par l'impôt du tabac n'aurait jamais pu être obtenu par un autre régime que celui que nous venons de développer dans tous ses détails. On ne peut élever aucun doute sur ce fait, quand on compare le revenu actuel à celui qu'eût produit l'impôt sur le tabac pendant la période de 11 années qui a été marquée par tous les essais infructueux qui ont amené cette mesure si favorable au trésor. Pendant ces 11 années, l'impôt n'a produit en effet que 122 millions, c'est-à-dire moins que le produit d'une année actuellement, et à peine le produit de quatre années à l'origine du monopole. Pour une substance si facile à frelater et comme le montre amplement l'expérience de l'Angleterre où l'industrie est libre, mais le droit d'entrée énorme, le monopole garantit au consommateur la livraison d'un aussi bon tabac que la liberté.

§ XXVII. *Consommation individuelle.* Nous avons vu au § XXIII que la France consomme maintenant plus de 17 millions de kil. par an. En calculant la consommation individuelle, on trouve par tête, en 1844, 511 grammes; en rapprochant ce résultat des détails donnés au § V sur la consommation étrangère, on reconnaît qu'un Français consomme autant de tabac qu'un Russe, deux fois plus qu'un Italien, mais trois fois moins qu'un Allemand ou un Hollandais, et quatre fois moins qu'un Belge.

Sur le total de 511 grammes consommés par tête en France, il y a 198 grammes de tabac à priser et 313 gr. de tabac à fumer, c'est-à-dire que l'habitude de fumer est à celle de priser comme 158 est à 100. Cette proportion est bien loin d'avoir toujours existé; car, d'après M. de Necker, la consommation individuelle totale était, sous le régime de la ferme, en 1783, de 320 à 375 grammes, et la consommation du tabac à fumer n'était que le 1/12e de la totalité du tabac vendu, c'est-à-dire de 30 grammes environ. La différence de proportion indique quel changement de goût s'est opéré; la quantité individuelle de tabac à priser n'a pas augmenté, tandis que celle du tabac à fumer a plus que décuplé.

La consommation individuelle varie d'ailleurs considérablement d'un département à un autre. Les départements où elle est la plus grande sont les suivants :

	Tabac à priser.	Tabac à fumer.	Totaux.
Pas-de-Calais. . .	169g	1,436g	1,605g
Nord.	134	1,430	1,564
Seine.	539	724	1,263
Haut-Rhin	272	878	1,150
Bouches-du-Rhône	320	826	1,146
Bas-Rhin.	262	638	900
Les départements où elle est la plus faible sont :			
Aveyron	108g	40g	148g
Lozère	115	45	160
Charente.	130	45	175
Haute-Loire . . .	85	90	175
Ariége	127	53	180
Gers	123	61	184
Lot.	152	39	191
Deux-Sèvres . . .	138	60	198

Il résulte de ce rapprochement ce fait curieux que dans les départements où la consommation individuelle est la plus forte, la consommation du tabac à fumer l'emporte de beaucoup sur celle du tabac à priser, tandis que précisément le contraire se présente dans les départements où la consommation individuelle est la plus faible.

BARRAL.

TAFFETAS D'ANGLETERRE. On prépare le taffetas d'Angleterre en étendant du baume du Pérou dissous dans quatre fois son poids d'alcool sur du taffetas déjà recouvert d'une couche de colle de poisson.

TAILLER (MACHINE A) LES DENTS D'ENGRENAGE ET A DIVISER LES PLATES-FORMES. Dans la construction des engrenages en fonte, quel que soit le soin qu'on apporte à la confection des modèles et au moulage, jamais on n'arrive à des pièces brutes assez bien fondues pour avoir un engrènement doux et sans choc; aussi est-on dans l'habitude de rediviser et de retailler toutes les dents. Cette opération se fait de deux manières, à la main et à la machine.

Pour faire ce travail à la main, il faut d'abord tracer sur la pièce la forme exacte des dents, après quoi l'ouvrier n'a plus qu'à suivre avec le burin et la lime les traits marqués. Pour faire le tracé des dents, on fait venir à la fonte les dents de 2 à 3 millim. plus fortes dans toutes leurs dimensions, on dresse sur le tour les deux faces latérales bien parallèlement l'une à l'autre, puis on tourne la surface extérieure, et en même temps on trace le cercle primitif. Cela fait, on pointe le milieu des dents, on en marque l'épaisseur, et, avec un compas, on trace les courbes qui déterminent leur forme. Ensuite, et pour le cas d'une roue droite, prenant une équerre à talon ou T, dont l'une des branches s'appuie sur la face qui vient d'être divisée et l'autre sur le pourtour de la roue, on trace par des lignes parallèles la partie supérieure de la dent, en plaçant successivement cette équerre sur l'intersection des courbes avec l'arête circulaire de la roue. Cette opération demande beaucoup de soin et de précision, parce que le succès de la suivante en dépend. Celle-ci consiste à tracer sur la deuxième face la forme de la dent, de manière qu'elle soit, autant que possible, identique et symétrique à celle qui se trouve sur la première face. On se sert pour la tracer des rayons dont on s'est servi pour tracer la première, et on a pour repère l'intersection des traits parallèles, avec l'arête circulaire, correspondante à cette deuxième face.

Le tracé terminé, un ouvrier enlève au burin et à la lime l'excédant de fonte, en ayant soin de suivre le plus exactement possible les traits indiqués.

Dans les roues d'angle, les traits qui indiquent l'épaisseur de la dent à la partie supérieure ne sont plus parallèles, ils convergent tous vers le sommet du cône. Pour les tracer, on se sert d'une règle en fer, qui tourne autour du sommet de ce cône en s'appuyant sur la surface extérieure des dents. On recherche le sommet du cône à l'aide d'un autre cône en bois, portant à sa partie inférieure un cylindre qui s'ajuste dans la lunière de la roue, et terminé à sa partie supérieure par une pointe en fer, sur laquelle vient se fixer la règle à tracer. En l'enfonçant plus ou moins, on arrive par tâtonnement à trouver le sommet du cône, ce qu'on reconnaît sans aucun doute, quand la règle s'appuyant sur la pointe en fer, s'applique exactement et partout sur le pourtour de la roue.

Quel que soit le soin qu'on apporte à une semblable division, qu'avec une grande habitude seule on peut rendre satisfaisante, il est impossible d'arriver à des résultats identiques pour des roues de même dimension et pour deux roues qui doivent engrener l'une avec l'autre.

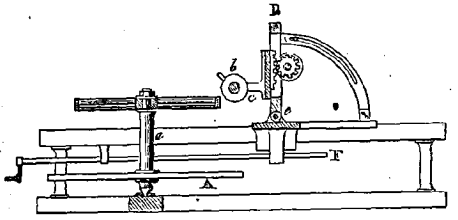
Aussi a-t-on cherché à substituer au travail manuel un travail mécanique, plus commode et plus rigoureux. Les machines à tailler les engrenages résolvent ce problème, et aujourd'hui elles sont employées dans presque tous les ateliers de construction; en outre, les grandes dimensions qu'on est parvenu à leur donner, permettent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de diviser mécaniquement la presque totalité des roues employées dans l'industrie.

Ces machines, où les deux opérations de la division et de la taille se trouvent réunies, se composent de deux parties distinctes, d'une plate-forme et d'un porte-outil.

La plate-forme est un plateau horizontal A (fig. 2403), en cuivre ou en fonte, sur lequel sont tracées un certain nombre de circonférences concentriques, divisées en des nombres différents de parties égales. C'est sur cette plate-forme, mobile autour d'un axe vertical *a*, qu'on fixe la roue à tailler.



2403.

Le porte-outil est un châssis en fonte B (fig. 2404), portant des glissières, entre lesquelles se meut le support de l'outil *c*. L'outil est généralement une fraise montée sur un arbre horizontal *b*, animé d'un mouvement de rotation très rapide; de sorte que l'approchant et l'abaissant à mesure qu'elle pénètre dans la fonte, elle enlève l'excédant de matière et forme le vide de la dent.

La plate-forme étant mobile autour d'un axe vertical, on conçoit qu'en amenant successivement chaque division de la circonférence dont les divisions correspondent au nombre de dents de la roue, on pourra la diviser en dents à peu près identiques. La seule cause d'erreur résiderait dans la plus ou moins parfaite division de la plate-forme, et aussi dans la bonté de la fraise.

Le porte-outil a un mouvement de translation qu'on lui communique à l'aide d'une vis sans fin. On peut aussi l'approcher ou l'éloigner du centre du plateau, et diviser des roues de différents diamètres. Outre ce mouvement de translation, le porte-outil a un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal *e*, placé à la partie inférieure, et qui permet de l'incliner plus ou moins; c'est afin de s'en servir pour tailler aussi les roues d'angle.

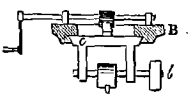
Dans les engrenages de petites dimensions, en bronze et en fer, on découpe directement les dents sur la machine. Pour les engrenages de grandes dimensions, on les fait venir à la fonte, mais on s'arrange de manière à avoir au moins deux à trois millimètres à enlever de chaque côté; le travail n'est pas plus long et use beaucoup moins les outils.

Il faut attacher beaucoup de soins à la taille des engrenages; leur bonne exécution est très importante. Ainsi des engrenages bien divisés résistent mieux que les autres, parce qu'ils donnent moins de choc et qu'ils ont un mouvement plus doux, plus uniforme.

Dans les machines à diviser, la pièce qui exige dans sa construction un soin tout particulier, c'est la plate-forme; là, on le conçoit, est toute la valeur de la machine.

Aussi la division de ces plates-formes en circonférences concentriques, divisées elles-mêmes en un certain nombre de parties égales, mais différent, est une opération longue et minutieuse. Le premier moyen qui a été employé a été de diviser par tâtonnements et à la main une autre circonférence concentrique, mais d'un rayon beaucoup plus grand, de manière qu'en rapportant par des rayons les divisions de la première sur la deuxième, les erreurs fussent atténuées dans le rapport de leurs dimensions.

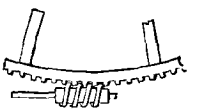
Cette méthode conduit nécessairement à refaire la même opération pour chaque nouvelle circonférence qu'on veut diviser en un certain nombre de parties égales, ce qui est très long et sujet à beaucoup d'inexactitude, puisqu'en définitive la première division se fait par tâtonnements et à la main.



2404.

Ce qu'on doit chercher, c'est une méthode qui ne laisse aucun tâtonnement, et qui n'oblige pas à recommencer pour une nouvelle circonférence les essais faits pour une autre.

Les méthodes employées aujourd'hui par la plupart des fabricants d'instruments de précision, reposent sur la division exacte de la circonférence extérieure d'un plateau, en parties égales très petites, à l'aide d'une vis tangente d'un pas très fin (fig. 2405). Expliquons-nous : soit un plateau en cuivre ou en fonte de 2m de diamètre, par exemple, porté sur un axe vertical, on divise avec un taraud ou vis sans fin, d'un pas de 1 millim., le pourtour de ce plateau en divisions qui seront équidistantes entre elles de 1 millimètre, et comme cette quantité est très petite, elle se trouvera renfermée sensiblement un nombre exact de fois dans la circonférence. Ce nombre est indiqué par un compteur, qui marque le nombre de révolutions que fait la vis sans fin pour un tour entier du plateau. Supposons que ce nombre de divisions soit 10.000, le compteur étant divisé en 100 parties, par exemple, on pourra apprécier des 100e de millim., puisque chaque division de la plate-forme est de 1 millim. C'est donc comme si on l'avait divisé en 1.000.000 de parties, et alors si on a une circonférence à diviser en un nombre premier de parties, pourvu que ce nombre ne dépasse pas 1.000, on pourra atteindre à une division suffisamment exacte.



2405.

Soit, par exemple, une circonférence à diviser en 101 parties, le nombre 101 est contenu dans 1.000.000, 9900,99 ou 9,901 fois, ce qui fait dire que chaque division de la circonférence à diviser contiendra 99 divisions de la première, plus une fraction 0,01, qui s'apprécie par une division du compteur.

C'est par un calcul et une opération analogues qu'on obtiendra les divisions des circonférences, suivant tel nombre qu'on voudra, pourvu qu'il soit assez petit pour être contenu un grand nombre de fois dans le nombre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

total des divisions appréciables, car c'est sur cette hypothèse que repose l'exactitude de la méthode.

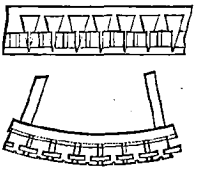
Le pointage de ces divisions sur la plate-forme n'est plus qu'une opération très simple, et qui se fait à l'aide d'un foret placé au-dessous et manœuvré à la main.

Quelque soin qu'on apporte à la division de ces plates-formes, on ne peut pas compter sur une précision mathématique. Les divisions faites sur la circonférence extérieure, bien que petites, pour éviter des erreurs, en laissent encore; ainsi, sur les 40.000 divisions supposées, il arrive qu'en comptant le nombre des divisions contenues dans chaque quart de la circonférence, ce nombre n'est pas égal; de là des causes d'erreurs qui nécessitent des corrections minutieuses. Nous ne voulons pas entrer dans tous ces détails d'application; notre but a été de donner l'idée générale, et surtout le principe de la construction de ces appareils.

Nous allons maintenant nous occuper d'une nouvelle machine à diviser de M. Decoster, qui est fondée sur la division variable et exacte d'une très grande circonférence, laquelle sert ensuite à diviser des circonférences plus petites.

Cette machine se compose d'une grande roue verticale, placée à l'extrémité d'un arbre horizontal tournant sur deux coussinets. La surface annulaire de cette roue est divisée en parties égales par un certain nombre de petits blocs, ou parallélipipèdes en fonte d'alliage particulier, fondus par les procédés de la fonderie en caractères, car leur identité est la condition essentielle de la précision du procédé. Ces blocs (fig. 2406 et 2407) sont maintenus en s'engageant dans une coulisse annulaire. Ils peuvent à volonté être enlevés ou remplacés, de façon qu'en diminuant ou augmentant ainsi le nombre des divisions, elles conservent leur équidistance. Un levier d'arrêt, placé sur le côté, maintient la roue fixe aux points de divisions qu'on veut avoir, en s'engageant dans des encoches faites sur le milieu de chaque bloc.

2406.



2407.

La plate-forme à diviser se monte sur l'axe même de la roue, et un foret horizontal placé en avant y marque les divisions.

Détaillons maintenant cet ensemble :

La grande roue, d'un diamètre de $2^{m},63$, est tournée extérieurement; dans l'épaisseur de la jante se trouve une rainure à talons, dans laquelle viennent se placer 400 petits blocs fondus, tous exactement semblables, et tels qu'ils forment ensemble une circonférence de 8 mèt. de développement.

On enfile ces blocs dans la rainure par une ouverture latérale qu'on referme ensuite. Les blocs ont sur la jante de la roue une saillie de 1 centim. ; ils portent à leur partie supérieure et en leur milieu une encoche, et de chaque côté des rainures obliques affleurant la jante, et sur lesquelles viennent presser des coins triangulaires, qui écartent les blocs quand on en enlève quelques-uns, de façon que leur écartement de centre en centre présente toujours des dimensions égales.

Le mouvement d'avance leur est donné par un anneau en fonte, concentrique avec la roue, et qui, manœuvré par des poignées glissant dans une rainure héliçoïdale, faite dans la jante, la fait avancer jusqu'à ce que les coins aient marché de la quantité nécessaire pour remplir le vide produit par l'enlèvement des blocs.

Ces blocs étant identiques et les coins égaux, toutes les circonférences qu'on tracera seront divisées en parties égales.

La construction de cet anneau demande beaucoup de soins ; il faut que la partie latérale sur laquelle les coins s'appuient soit dressée bien plane, pour qu'ils y portent tous ; il faut aussi lui donner assez de largeur pour l'empêcher de se voiler. La quantité dont il avance n'est pas toujours égale sur toute la circonférence, il y a souvent eu quelques points du retard, qui provient de l'inégalité dans les hélices, qui sont au nombre de six.

On corrige ce défaut en poussant l'anneau là où il est en retard à l'aide de sergents, dont la vis appuie sur le pourtour.

Il faut avoir soin dans cette manœuvre des coins, de presser ni trop, ni trop peu. Dans le premier cas, on tendrait à comprimer les blocs et à les déformer, et dans le deuxième, il pourrait y avoir entre eux du jeu, ce qui rendrait les divisions inégales. Pour s'assurer du point d'arrêt, on marque à l'aide d'un vernier la quantité dont cet anneau de pression doit avancer ou reculer, et cette quantité, qui dépend du nombre de blocs enlevés, est donnée par une table calculée à cet effet.

Un levier, placé sur le côté de la roue, porte une saillie, qui épouse exactement la forme de l'encoche faite dans les blocs, et assez profonde pour maintenir bien fixe le système.

Ce levier, assez long, est aminci de manière à faire ressort sur lui-même, de façon à s'appliquer exactement dans les encoches. Il est porté sur un châssis glissant entre des glissières et mû par une vis sans fin, qui permet de l'approcher ou de l'éloigner de l'axe de la roue, et le rendre tout à fait libre.

Pour faire sur les plates-formes qu'on divise l'empreinte des divisions, on place un foret horizontal, qu'on peut manœuvrer dans deux sens, l'un perpendiculaire à la plate-forme, pour percer les divisions, l'autre parallèle, pour tracer les circonférences de différents diamètres.

Cette machine, construite suivant les dimensions que nous avons données, peut, par l'enlèvement de 200 blocs, donner directement toutes les divisions de 200 à 400, ainsi que les nombres diviseurs de ceux compris dans cette série.

Telle est la machine de M. Decoster, simple dans sa construction, peu coûteuse d'établissement et d'entretien, ce qui doit dans les arts mécaniques lui faire donner la préférence sur beaucoup d'autres; ajoutons aussi qu'elle donne des divisions suffisamment exactes pour la pratique.

M. Decoster emploie cette machine pour tailler les roues d'engrenages, et pour cela il les fixe, comme une plate-forme à diviser, sur l'axe de la roue. Pour les maintenir fixes, il saisit la couronne entre deux mordaches mobiles, placées sur le support de l'outil, et manœuvrées par une vis sans fin. L'engrenage centré et calé, et les blocs disposés de manière à donner le nombre de divisions correspondant au nombre de dents, on découpe le vide de la dent à l'aide d'une fraise *f*, qu'on fait avancer parallèlement à l'axe de la machine.

Cette fraise diffère de celles employées jusqu'ici, en ce qu'elle est animée d'un mouvement de rotation, selon son axe, comme un foret. Sa forme présente, en coupe longitudinale, celle en creux de la dent, et sa surface, qui est circulaire, porte des rainures héliçoïdales nécessaires pour entamer la fonte. Elle se visse sur un axe horizontal, qui reçoit d'un moteur un mouvement de rotation. Ces fraises ainsi construites sont préférables aux autres, parce que, quelle que soit la grandeur de l'engrenage, elles exigent peu d'acier, réussissent presque toujours à la trempe, demandent moins de main-d'œuvre, coûtent par conséquent moins cher.

Le porte-outil peut, en desserrant la vis, se mettre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de façon que la fraise marche obliquement à l'axe de la machine, et permette ainsi de tailler les roues d'angle, qu'on est cependant, dans ce cas, obligé de retoucher à la main, parce qu'avec l'outil on ne peut faire que des rainures droites, et que dans les roues d'angle elles sont obliques. Ceci est un inconvénient; on ne devrait jamais avoir à retoucher un engrenage divisé par une machine.

En résumé, nous venons de décrire deux systèmes de machines à tailler les engrenages : dans l'un les roues sont placées sur un axe vertical, dans l'autre sur un axe horizontal. Ces deux systèmes sont bons si les plates-formes sont bien divisées, et si elles sont d'un diamètre supérieur à celui des roues à tailler, afin d'atténuer autant que possible les erreurs qui peuvent se trouver sur les premières divisions.

Le système Decoster n'a pas donné dans la pratique les résultats que l'on avait pu en attendre; le mouvement égal et simultané des coins n'a lieu qu'imparfaitement, et on n'obtient pas ainsi la précision à laquelle on arrive avec la vis sans fin (Voir l'article MACHINE-OUTILS pour le complément du présent article).

MATHIEU.

TALC. Minéral gras et onctueux au toucher, ayant beaucoup d'analogie avec le mica, dont il diffère surtout en ce qu'il n'est pas élastique (Voyez GÉOLOGIE).

TAMIS. Un tamis consiste en un cercle ou tambour, généralement en bois, sur lequel se trouve tendue une toile dont le tissu est d'autant plus serré qu'on veut obtenir une poussière plus fine; cette toile est en fil de métal, en crin, en fil de chanvre, en gaze ou en soie, selon l'usage qu'on en veut faire. On l'applique en la tendant sur le bord du cercle, dans lequel on fait entrer de force un autre cercle d'un diamètre un peu plus petit: la toile se trouve ainsi arrêtée et tendue; on coupe ensuite ce qui dépasse les bords du petit cercle. Quelquefois on recouvre l'ouverture d'un autre tamis dont l'étoffe est remplacée par une peau, et qui entre comme un couvercle de tabatière, pour enfermer exactement la poudre qu'on veut tamiser et n'en rien perdre.

TAM-TAM. Les tam-tam et les cymbales se font avec un bronze qui contient: cuivre 0,80 et étain 0,20. Cet alliage offre la singulière propriété d'être très-cassant lorsqu'il a été refroidi lentement, et au contraire de devenir malléable lorsqu'après l'avoir chauffé au rouge-sombre, on le trempe en le plongeant dans l'eau froide.

D'Arcet a fondé sur cette propriété une fabrication des tam-tam; mais on réussit mieux en suivant le procédé chinois qui consiste à travailler le métal au rouge-sombre et le trempant ensuite.

TAN. Le tan, ou mieux les écorces végétales renfermant du tannin, est utile en raison de la quantité de ce réactif précieux qu'il renferme; il sert pour agir sur la gélatine, l'albumine, etc., et aussi dans la teinture pour fournir des précipités noirs avec les sels de fer. Les progrès du déboisement en Europe, pendant que la consommation du tan augmente sans cesse, tendent à faire croître le prix du tan, même sans applications nouvelles de cette substance, qui convient tout particulièrement pour le travail des sucs végétaux, pour débarrasser les jus des bases qui gênent la séparation des matières sucrées, alcooliques, etc. On a donc senti la nécessité de rechercher des végétaux, autres que le chêne, à exploiter, car on a reconnu que la plupart des écorces des végétaux renfermaient du tannin, un petit nombre en quantité suffisante pour valoir les frais d'exploitation; quelques-uns, dans les pays chauds, semblent pouvoir fournir des ressources précieuses à l'industrie. Nous en dirons quelques mots après avoir parlé de la préparation ordinaire du tan et d'abord nous indiquerons la nature du tannin ou principe actif du tan.

Le tannin ou acide tannique, matière tannante des végétaux, est une matière incolore, très-soluble dans l'éther, d'une saveur astringente; il précipite les solutions de gélatine et des alcalis en blanc, et les sels de peroxyde de fer en bleu noir. A l'air, en dissolution dans l'eau, il se transforme en acide gallique. On l'obtient aisément en plaçant un tampon de coton au fond d'une allonge effilée à son extrémité, le remplissant à demi avec de la noix de galle pulvérisée, versant dessus de l'éther, fermant avec un bouchon et posant la pointe en bas, dans le col d'une fiole; au bout de quelques jours on trouve dans la fiole deux couches bien distinctes. En évaporant l'inférieure, qui est la plus dense, on obtient du tannin sec et pur dans la proportion de 50 p. 100 de la noix de galle employée.

Préparation du tan. — L'écorce de chêne doit être détachée de l'arbre, séchée, hachée, puis finement pulvérisée. L'époque à laquelle on enlève l'écorce n'est pas indifférente. Ainsi celle enlevée au printemps, quand la sève est en pleine activité, contient d'après Davy, 6,04 p. 100 de tannin, tandis que celle recueillie en automne n'en renferme plus que 4,38.

Pour enlever l'écorce du chêne, on en coupe une couronne circulaire aux deux extrémités du tronc, puis on l'arrache par bandes en la fendant de haut en bas; on la sèche ensuite lentement et à l'ombre. C'est là le travail qui se fait en forêt, aussitôt après l'abattage des taillis de chêne; les écorces sont mises en bottes de 16 à 18 kilogrammes pour la vente. Décrivons les opérations usitées pour les broyer.

Les longs fragments ou cannelles sont d'abord divisés en morceaux de deux à six centimètres pour former des écorçons propres à la fabrication du tan.

On employait autrefois de petites hachettes pour faire ce travail à la main, mais il était bien aisé de faire cette opération mécaniquement, ce qui a lieu au moyen d'un appareil analogue au hache-paille des fermes, ou plutôt au coupe-chiffons des papeteries. Les écorces étendues sur un plan incliné sont fournies par deux cylindres aux lames d'acier, tournant rapidement au-devant d'eux.

Pour réduire en poudre les écorces de chêne, on a employé tous les moyens de broyage, les pilons, les meules verticales et horizontales; mais le tan travaillé en masse, s'échauffe assez souvent et se détériore. On préfère généralement les moulins à noix, analogues aux moulins à café (fig. 1). Des appareils à dents de scie

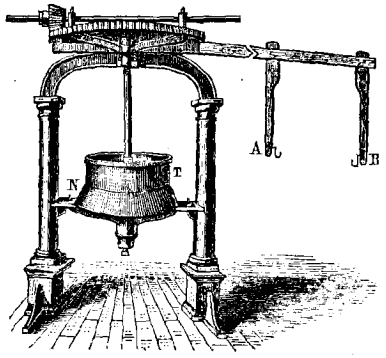


Fig. 1.

rappelant les rapes des sucreries de betteraves sont établies avec assez de succès par plusieurs constructeurs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Substances pouvant remplacer l'écorce de chêne. — Il est difficile d'apprécier la quantité de tan consommée dans les différents pays; des calculs basés sur le nombre d'hectares livrés chaque année à l'écorçage, donnent pour la France une production de 225 à 250 millions de kilogrammes. Or, la tannerie a besoin du double de cette quantité, ce qui explique le prix élevé du tan, qui atteint 14 à 15 francs les 100 kilogrammes, et les nombreuses recherches relatives aux succédanés. Nous donnerons ici des détails sur cette intéressante question en mettant à profit un rapport intéressant fait par M. Cavaré à l'Exposition de 1867.

La noix de galle est la substance la plus riche en tannin : mais précisément parce qu'elle fournit le tannin dans un état remarquable de concentration et de pureté, elle est recherchée pour les emplois les plus délicats de cette substance, et assez rare d'ailleurs, elle est par suite en général trop chère pour être employée pour la tannerie. (Voy. GALLIQUE *acide*.)

Le marc de raisin distillé pour en retirer tout l'alcool avait, dit-on, l'avantage de donner dans un bref délai un cuir excellent et d'une odeur douce et agréable. Les pommes de pin, et surtout les pommes de mélèze réduites en poudre, paraissent aussi propres, les unes et les autres, à remplacer l'écorce de chêne; nous ne connaissons pourtant pas d'établissement qui ait continué à employer d'une manière courante ces deux produits.

La myrtile (vaccinium myrtilus), qui vient aisément dans le nord de la France, peut, étant coupée au pied, donner chaque année un bois qui se sèche facilement, inaltérable à l'humidité et d'une mouture facile. Employée à proportion de moitié inférieure à celle du tan, elle donne plus promptement un cuir de qualité supérieure.

La Russie exposait en 1867 une substance encore peu connue, la racine du statice (*statice coriaria, statice latifolia*). Cette plante vient naturellement dans les steppes de la Russie méridionale, et ses racines très-fortes pénètrent profondément en terre; depuis longtemps les Kalmoucks l'emploient, concurremment avec le lait aigri, pour préparer les peaux de bouc et de mouton dont ils font leurs vêtements. Le statice vient aussi naturellement dans le midi de la France, dans l'Espagne et le Portugal. Autour de Narbonne, on rencontre très-fréquemment la variété appelée *statice limonium* (Linnée), dont la racine, fort grosse, est très-riche en tannin. Les tanneurs de ce pays l'emploient avec avantage et la proclament supérieure au tan; on obtiendrait avec elle une économie de matière et de temps, un cuir souple, moelleux, d'une belle couleur et résistant bien à l'humidité.

En Angleterre et en Irlande on avait préparé des infusions de bruyères qui donnaient de bons résultats; ce procédé paraît pourtant abandonné. Les feuilles de l'artichaut (*cynara scolymus*) (Linn.), du cardon (*cynara cardunculus*) (Linn.), du prunellier (*prunus spinosa*) (Linn.), les tiges de la ciguë, *conium maculatum*, infusées dans de l'eau bouillante, ont servi à préparer des cuirs d'un bon usage; mais elles ne sont jamais entrées dans le domaine industriel. En Écosse, au contraire, on se sert couramment, pour préparer les cuirs légers, des écorces du *larix europeus* et du bouleau blanc (*betula alba*).

L'Italie et l'Espagne ont envoyé à l'Exposition des baies de genièvre, des feuilles de myrte et de bousserole ou petit buis (*arbutus uva ursi*) (Linn.), des feuilles et des écorces de tamarix.

Les tanneurs se servent encore, à défaut d'écorce de chêne, d'écorces moins riches, telles que celles du châtaignier, du sapin, du frêne, du peuplier d'Italie, du hêtre, du saule, etc.

Châtaignier. Dès l'année 1825 M. Michel, de Lyon, avait remarqué que le fer, au contact du bois du châtaignier humide, donnait du tannate de fer, et, depuis cette époque, il avait substitué, dans la teinture en noir des soies, le bois de châtaignier à la noix de galle. Plus tard, il eut l'idée de l'appliquer au tannage des peaux, et, après quelques insuccès, il parvint à un bon résultat. En appliquant au bois de châtaignier le procédé de dosage du tannin, indiqué par M. Malaguti, on a trouvé une moyenne variant de 5 à 6 pour 100, suivant l'âge et la qualité des échantillons, les vieux arbres étant bien préférables aux jeunes. Le bois, découpé en bûchettes, peut attendre impunément en plein air le moment où il sera envoyé au moulin à tan, car la pluie pénètre difficilement le châtaignier, et n'enlève le tannin que sur une faible couche de la surface.

L'emploi du bois de châtaignier exige quelques précautions particulières; il doit être parfaitement sec avant d'être envoyé au moulin à tan, sinon il se combine avec le fer des outils broyeurs et produit des taches sur le cuir; son tannin est absorbé très-rapidement, et si on laisse les peaux trop longtemps au contact du bois et du jus, on n'obtient que des cuirs mous, des *cuirs mouillés;* il faut éviter avec soin les eaux calcaires, qui donneraient des cuirs tachés ou ayant du moins une teinte générale grisâtre; cela est facile en préparant les nouveaux jus avec les eaux provenant d'anciens jus. M. Hanriot (de la Tour du Pin), s'est livré à la fabrication de l'extrait concentré de bois de châtaignier en utilisant les vieux arbres des montagnes des Alpes; ses produits sont très-recherchés, surtout par les fabricants d'alcool.

Nous nous sommes étendu sur ce sujet, parce que, si les résultats futurs répondent à ceux qui sont déjà atteints, il y aura dans ce produit une grande ressource pour la tannerie française. L'expérience a montré en effet que le bois de châtaignier, le plus riche en tannin, provient d'arbres de 80 ans, à l'écorce rugueuse, et dont le tronc est impropre à la charpente. Un hectare contient 80 arbres, dont chacun fournit en moyenne 3,000 kilogrammes de bois, soit 240,000 kilogrammes par hectare. Pour obtenir les 240 millions de kilogrammes de matières tannantes qui manquent en France, il suffirait d'abattre 1,000 hectares par an, et d'avoir, par suite, 80,000 hectares de châtaigniers aménagés. Or, d'après une statistique récente, la surface consacrée à la culture du châtaignier est de 578,236 hectares, c'est-à-dire, au moins huit fois de quoi compléter le déficit, et trois ou quatre fois ce qu'il faudrait pour alimenter exclusivement la tannerie française.

Sumac. Le sumac des corroyeurs (*rhus coriaria*), originaire d'Asie, introduit en Europe en 1596, se rencontre aujourd'hui en Provence et dans le Languedoc. Il gèle plus au Nord. C'est un arbrisseau de 3 à 4 mètres de hauteur. On récolte ses feuilles pour les vendre aux tanneurs, qui s'en servent pour le tannage des peaux de mouton destinées à la fabrication des maroquins; le sumac offrant l'avantage de ne pas colorer les peaux.

La récolte des feuilles de sumac se fait pendant les mois de juillet et d'août. On coupe les rameaux et on les laisse sur le sol pour les faire sécher. On sépare les feuilles par un battage, puis on les porte à un moulin pour les pulvériser.

Un hectare de terrain planté en sumac produit au moins 1,000 kilogrammes de feuilles sèches.

On importe en France chaque année deux millions de kilogrammes de sumac de Sicile, d'une valeur de 800,000 francs. Bien que la qualité en soit recherchée, c'est une conquête à faire par nos cultivateurs du Midi et les colons d'Algérie.

Produits originaires de l'Amérique, des colonies, etc. — Chaque pays a su trouver dans les végétaux qui le cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vrent, des écorces ou des bois propres au tannage. En l'absence d'analyse, de résultat comparatif, dit M. Cavaré, nous ne pouvons, le plus souvent, qu'énumérer les plantes, sans porter un jugement raisonné sur leur valeur industrielle.

On doit signaler en premier le *divi-divi*, fruit de la *cæsalpina coriaca*, très-répandu sur les côtes du Mexique, de la Colombie et des Antilles, et abondant dans l'Inde. Il contient 36 à 40 pour 100 de tannin. Il est employé en grande quantité et avec succès en Angleterre pour le tannage des cuirs forts.

La noix d'arec, fruit d'un palmier qui croît abondamment à Ceylan, très-riche en tannin, et dont l'Angleterre reçoit trois ou quatre millions de kilogrammes.

Le cachou, extrait obtenu en faisant bouillir le bois réduit en poudre de plusieurs espèces de légumineuses croissant dans l'Inde et divers pays de l'Asie, et surtout le fruit du *mimosa catechu*. Ce dernier (terre du Japon) coûte jusqu'à 120 fr. les 100 kilogrammes, mais il renferme 50 à 55 pour 100 de tannin.

Dans les contrées tropicales, où on doit naturellement chercher des approvisionnements pour notre industrie, on peut signaler les végétaux ci-après :

A la Martinique, les écorces du *caltapa longissima* ou chêne des Antilles, qui croît abondamment dans cette île et jouit de propriétés semblables à celles du chêne d'Europe; du *byrsonima spicata* et du *malpighia spicata*, appelé vulgairement bois-tan ; du *mangifera indica* ou manguier.

A la Guadeloupe, les écorces du *byrsonima altissima* et du *malpighia altissima* ou moureiller ; du *bucida buceras* (Linn.) ou gris-gris ; du *conocarpus erectus* ou palétuvier gris ; du *psidium pomiferum* (Linn.), ou goyavier à fruits durs; de l'*inga dulcis* ou bois doux.

La Guyane française produit le *rhizophora mangle*, ou palétuvier rouge, dont l'écorce contient de six à sept fois plus de tannin que l'écorce de chêne et se réduit plus facilement en poudre.

Au Sénégal, on trouve les gousses de l'*acacia nilotica*, ou neb-neb, et de l'*acacia adamsonia*, ou gonakié. On les emploie concurremment avec les glumes du sorgho au tannage des maroquins. Le Gabon produit une matière tannante assez curieuse, connue sous le nom de séve de combo, et très-riche, dit-on, en tannin.

L'Inde emploie l'écorce du *tectona grandis*, du *ventilago maderaspatana*, du *terminalia chebula*, ou mirobolan citrin. Mais parmi les produits qui, déjà sortis des limites de la consommation locale, sont devenus l'objet d'un commerce important, il faut citer les fruits de plusieurs espèces de mimosa, le divi-divi et la noix d'arec, dont il a été parlé plus haut. La Cochinchine fournit aussi des noix d'arec.

Dans les colonies anglaises, on trouve dans la Nouvelle-Galles du Sud, les écorces de l'*urtica gigas* ou grande urticaire, du *brachychyton luridum* ou sycomore, du *melaleuca uncinata* ou arbre à thé. Dans la Tasmanie et à Queensland, les écorces d'*acacia melanoxylon*. Dans l'Australie du Sud, les mêmes écorces, et, en outre, celle de l'*eucalyptus*.

Dans le Canada, les Indiens tannent avec l'écorce du bouleau les peaux des animaux tués à la chasse ; aussi leurs cuirs contractent-ils une odeur analogue à celle du cuir de Russie. Les colons emploient presque uniquement l'écorce de l'*abies canadensis* ou pruche, un des plus beaux arbres de ce pays, que l'on trouve surtout sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Entre Québec et Montréal, on abat un grand nombre de ces arbres pour faire les traverses des chemins de fer. La consommation locale ne pouvant utiliser toutes les écorces, on a eu l'idée de faire macérer le surplus dans l'eau bouillante et de concentrer la liqueur de manière à obtenir un extrait de tan liquide. Nous avons vu à l'Exposition quelques flacons de cet extrait que l'Angleterre commence à importer d'une manière remarquable.

Les Indes anglaises préparent un extrait analogue, appelé gambier, avec l'*uncaria gambir*, et l'Angleterre n'en consomme pas moins de 10,000 tonnes par an.

Cette énumération, quoique bien longue, ne comprend pas pourtant le nom de toutes les plantes que les divers pays emploient au tannage des peaux. On voit donc que si l'on n'a pu encore trouver de produits artificiels jouissant des mêmes propriétés que le tannin, on rencontre ce dernier répandu dans la nature avec abondance, avec profusion même; il suffit de le chercher. Malheureusement, la science est restée jusqu'ici presque étrangère à ces questions intéressantes; loin de se livrer à une étude rationnelle, les tanneurs se sont laissés guider par l'empirisme; une longue expérience a seule établi la classification des matières employées dans la tannerie, mais elle ne peut servir à rien en face de produits nouveaux; il faut recourir aux méthodes scientifiques. D'un côté, le développement toujours croissant de la production des cuirs ; d'un autre côté, le défrichement qui atteint peu à peu toutes les forêts européennes, forceront les intéressés à sortir de cette routine, et il leur sera facile de substituer des produits nouveaux à l'écorce de chêne, devenue trop rare. Ils peuvent chercher parmi les végétaux d'Europe des espèces dont on a méconnu jusqu'ici la richesse en tannin; le succès qui a couronné l'emploi du châtaignier constitue un heureux encouragement. Ils peuvent encore soumettre à des analyses précises, suivies, les échantillons de bois et d'écorces exotiques, et importer ceux qui auront donné les meilleurs résultats; ils peuvent étudier les extraits qu'envoient le Canada, l'Inde, les colonies, et faire préparer ceux qui supportent sans altération le voyage et les variations de température.

EMPLOI DE LA TANNÉE ÉPUISÉE.

Presse à sécher la tannée. Tout le monde sait l'énorme quantité de tan qui se consomme dans les tanneries; on sait aussi que le tan épuisé, ou *tannée*, est employé à confectionner des mottes à brûler, mais sans que cette consommation puisse arriver à débarrasser les tanneurs de leur excédant de tannée. On a pensé à employer cette matière comme combustible pour produire la vapeur nécessaire aux machines à vapeur actionnant des machines qui se multiplient dans le travail des cuirs, mais comme la tannée sortant des fosses est imprégnée d'une quantité d'eau considérable, il fallait la faire sécher. Le moyen employé jusqu'à ce jour était l'étendage sur une grande surface, à l'air libre et au soleil ; en été on faisait des provisions de tannée sèche pour l'hiver. C'était là un moyen primitif, nécessitant de vastes terrains, peu économique et souvent compromis. M. Breval a pensé qu'il était possible de sécher suffisamment la tannée et, de plus, de recueillir les jus de tannin qu'elle contenait encore. Il construisit alors sa presse cylindrique (fig. 2), dans laquelle la tannée jetée dans une trémie, au sortir des fosses, passe sous les cylindres, d'où elle sort aussi sèche qu'il est possible de l'obtenir à l'air libre. On peut alors la jeter dans des fourneaux disposés convenablement, où elle brûle parfaitement, sans avoir besoin d'y mélanger aucun autre combustible. On sèche ainsi 16 mètres cubes de tannée pendant dix heures de travail. Le jus de tan s'écoule d'un autre côté, et peut, après un dépôt préalable, être reversé dans la circulation de la fabrique. On extrait ainsi environ 60 pour 100 de jus en moyenne. Cette machine, bien qu'elle ne soit, à proprement parler, qu'un accessoire pour la fabrication, n'en est pas moins un véritable progrès apporté à l'industrie de la tannerie. Elle rend libres les vastes terrains nécessaires au séchage de la tannée, et permet aux industriels, non-seulement de ne pas faire de dépenses de chauffage, mais encore de pouvoir trouver le place-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment de l'excès de tannée dans les fabriques voisines, en les alimentant d'un combustible, de médiocre qualité il est vrai, mais aussi d'un prix très-bas.

La figure 2 montre la coupe de cette presse à cylin-

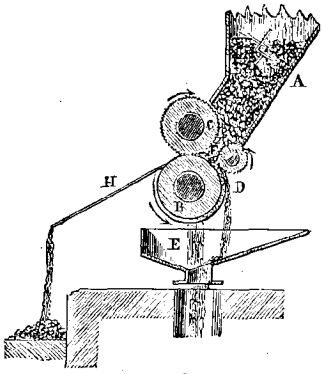


Fig. 2.

dre, fort simple en apparence, mais fort remarquable par la perfection avec laquelle un mécanicien expérimenté a résolu un problème bien compris, par une machine opératrice répondant complétement aux besoins d'une industrie.

La tannée humide est projetée dans une trémie A, munie d'un agitateur qui assure le mouvement de descente; le cylindre inférieur B est lisse, le cylindre supérieur C est seul cannelé. Un cylindre cannelé D, plus petit, tournant en sens inverse du cylindre C, exerce une première pression sur la tannée qui fait sortir l'eau qui s'écoule dans la cuvette E, action complétée par la pression entre B et C. La tannée s'écoule sur la table H, non pas sèche, mais pouvant être parfaitement utilisée comme combustible pour le chauffage d'une chaudière à vapeur, en chargeant le foyer sur le devant, pour que la dessiccation puisse se compléter par l'action du feu.

La presse Breval peut sécher en dix heures 12 ou 15 mètres cubes de tannée avec la force d'un cheval et demi. Le jus de tan extrait par la machine filtre à travers une plaque percée de trous et tombe dans une cuvette, d'où il est conduit au dehors.

TANNAGE. Les peaux, dit Dumas, sont formées d'une matière animale que l'eau bouillante convertit facilement en gélatine. Elles s'imprègnent d'eau et se putréfient dans les lieux humides. A l'air, elles se dessèchent et acquièrent une dureté et une raideur qui en rendent la destruction par le frottement prompte et facile.

Le tannage a pour effet de combiner la matière animale de la peau avec le tannin, et de produire ainsi un composé insoluble dans l'eau froide et peu disposé à s'en pénétrer, peu attaquable même par l'eau bouillante, ne fournissant pas de matière animale pure aux dissolvants, mais leur cédant toujours à la fois de la matière animale et du tannin. Il résulte de ces diverses propriétés que le cuir est devenu imputrescible, car il est évidemment devenu impropre à servir d'aliment aux animaux et aux animalcules microscopiques qui figurent dans toutes les fermentations putrides.

Le cuir est plus dur, plus résistant que la peau; mis en contact avec de l'eau, il s'en imprègne comme une éponge, mais bientôt il la perd par l'évaporation. La peau, au contraire, la conserve ensuite longtemps et peut alors éprouver des altérations putrides.

Comment le tannin opère-t-il pour conserver aux peaux leur souplesse tout en les rendant imputrescibles? On admet assez généralement que c'est surtout en agissant sur les fibres qui constituent la peau, en empêchant leur adhérence, tout en s'opposant à leur fermentation.

TANNAGE.

Il importe de connaître comment sont formées les peaux, ce qui rend compte des façons destinées à conserver certaines parties et à en faire disparaître d'autres.

La couche supérieure traversée par les poils est l'*épiderme*, presque translucide et formée de cellules.

La portion la plus externe de l'épiderme s'appelle *couche cornée*. C'est un tissu mort qui disparaît continuellement par l'usure. Au-dessous de l'épiderme vient le réseau muqueux, rempli d'un liquide; c'est un appareil d'exhalation et le siége du tact. Vient enfin une troisième couche, le *derme*, bien plus épaisse que les précédentes, composée non de cellules mais d'un feutrage serré de tissus fibreux. C'est cette partie de la peau qu'il s'agit de rendre imputrescible par le tannage. Sous le derme se trouve le tissu conjonctif sous-cutané.

Les *peaux* qui arrivent à l'atelier de tannage se divisent en trois catégories : les peaux fraîches, les peaux salées, et les peaux desséchées; c'est dans ces deux derniers états que nous arrivent les peaux de l'Amérique du sud. La nature propre des peaux nous portera à diviser la description des procédés de tannage en deux classes, suivant que l'on se propose d'obtenir des cuirs mous ou des cuirs forts : les cuirs mous se fabriquent avec les peaux de vaches, de veaux, de chevaux, etc.; les cuirs forts, avec les peaux de bœufs, de buffles, etc.

Tannage des peaux destinées à donner des cuirs mous. Ces peaux sont, comme nous l'avons dit, celles de vaches, de veaux, de chevaux, etc. On commence par les laver, s'il se peut, dans une eau courante, pour les ramollir et les dessaigner; cette opération ne dure que deux ou trois jours pour les peaux fraîches; elle est plus longue pour les peaux sèches, et surtout celles qui sont salées, qu'il faut non-seulement laver, mais fouler aux pieds, étirer chaque jour, passer au chevalet, etc., jusqu'à ce qu'elles soient convenablement assouplies.

Aussitôt le *dessaignage* terminé, on porte les peaux à l'atelier de *pelanage*, qui se compose ordinairement de cinq bassins rectangulaires, en bois ou en maçonnerie, remplis de lait de chaux plus ou moins fort; chaque bassin peut renfermer de cent cinquante à trois cents peaux; on fait passer celles-ci successivement dans les cinq bassins, en commençant par le *plain mort*, c'est-à-dire le plus faible ou le plus épuisé, et finissant par le *plain neuf*, ou le plus énergique que l'on vient de revivifier en y ajoutant de la chaux parfaitement éteinte et passée au tamis. Le pelanage dure de trois à quatre semaines. On emploie environ un hectolitre de chaux par vingt à vingt-cinq peaux de moyenne grandeur.

Le pelanage terminé, on procède au *débourrage* ou *épilage*, opération qui consiste, comme l'indique son nom, à enlever le poil et l'épiderme en râclant la peau de haut en bas avec un couteau émoussé, dit couteau rond. Cela fait, on lave les peaux dans l'eau et on leur fait subir sur le chevalet les quatre opérations suivantes, en les lavant dans l'eau entre chacune : 1° On écharne, c'est-à-dire on enlève la chair et les impuretés qui restent attachées à la peau, avec un couteau tranchant à lame circulaire; 2° on rogne les lambeaux inutiles de la peau et surtout on baisse les parties fortes avec un couteau de forme appropriée; 3° on adoucit le grain de la fleur, c'est-à-dire le côté du poil, avec une queurse ou pierre à affûter emmanchée comme un couteau rond; 4° enfin, on nettoie parfaitement les deux côtés de la peau, avec un couteau à lame circulaire, jusqu'à ce que l'eau de lavage sorte bien limpide.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les figures ci-après (fig. 3) représentent les principaux outils servant au travail des peaux: A, couteau à écharner, ayant la courbe du chevalet incliné sur lequel on place la peau pour le travail de rivière; B, queurse à lame d'ardoise; C, couteau drayeur, dont il sera parlé plus loin en traitant de la corroierie; D étire à mettre au vent, c'est-à-dire à étendre, allonger la peau; E petite queurse à lame de pierre.

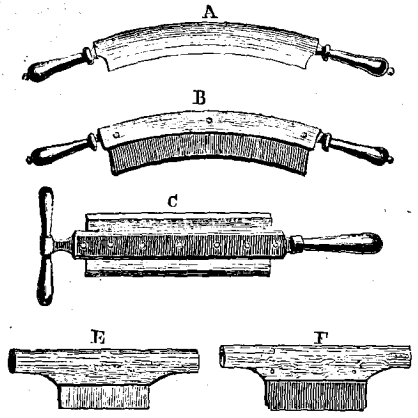


Fig. 3.

Les peaux, après les opérations ci-dessus décrites, ne sont pas encore suffisamment gonflées pour être soumises au tannage proprement dit; on opère ce gonflement par l'opération du coudrement, qui consiste à les introduire dans des cuves, contenant une dissolution de *tannée* (tan épuisé en grande partie dans les fosses et altéré par un long séjour à l'air) acide et faible, dite *jusée*, marquant 0°,4 à l'aréomètre; on relève les peaux chaque jour, pendant les trois à quatre premiers jours, en ajoutant à chaque immersion un à deux panniers de tannée et y agitant les peaux pendant quelques heures; on laisse ensuite les peaux en repos pendant trois ou quatre jours, puis on les porte dans une dissolution de tan neuf marquant 0°,9; enfin, après avoir augmenté à deux ou trois reprises la force de la dissolution et agité à chaque fois les peaux comme ci-dessus, on les laisse reposer pendant une quinzaine de jours.

Au bout de ce temps, on porte les peaux aux fosses où s'opère le tannage proprement dit: on place d'abord au fond des fosses une couche de vieux tan de 0m,15 environ, puis une couche de tan neuf de quelques centimètres; on dispose par dessus les peaux en les séparant par des couches de tan et, enfin, au-dessus de la dernière couche de tan, on place une couche de tannée de 0m,33, que l'on recouvre de planches chargées de pierres. On fait alors arriver dans la cuve de l'eau déjà chargée de tan qui, humectant toutes les parties, dissout le tannin, le porte sur la peau, et détermine la combinaison avec la matière animale. Les fosses ainsi remplies contiennent six à sept cents peaux et sont abandonnées à elles-mêmes pendant trois à six mois; pendant cet intervalle, on ne relève les peaux qu'une seule fois pour les disposer en sens inverse, celles de dessus au fond et réciproquement, entre de nouvelles couches de tan neuf.

Peaux de veaux. Les procédés qui viennent d'être décrits se rapportent surtout au travail des peaux de vaches; les peaux de veaux, plus facilement altérables, doivent être travaillées avec plus de soin. On les débourre à la queurse, espèce de couteau à lame d'ardoise, et non au couteau à lame métallique, la fleur étant très-fine et ne devant jamais être altérée.

Le travail au couteau ne peut être exécuté que par une main très-exercée. L'ouvrier doit toujours travailler en fauchant, attendu que les coups directs et fortement appuyés font pénétrer le couteau dans la peau et la détériorent. Après les façons de rivière, pour donner à ces peaux plus de souplesse, on les soumet au foulage. Quatre hommes, munis d'un pilon en bois dur, frappent sur les peaux placées dans un baquet avec très-peu d'eau. On rompt ainsi le nerf de la peau, ce qui lui donne de la douceur et de la souplesse.

Après les refaisages, l'agitation des peaux dans des cuves remplies de jus de tan et de tan neuf, opération qui dure un mois, les petites peaux sont généralement tannées, mais elles n'ont pas le corps et la fermeté nécessaires à leur qualité, ce qu'elles acquerront en fosses. On donne aux peaux de veaux légères une seule fosse; quand on a des peaux de veaux plus lourdes, on passe en deux fosses, dans chacune desquelles le contact est prolongé de six semaines à deux mois.

Peaux de cheval. Pour les peaux de cheval, on remplace souvent le tannage proprement dit dans des fosses, par le *tannage à la flotte*, qui ne dure que trois semaines environ, et qui s'opère tout comme le travail des cuves ou mise en jusée, en employant des dissolutions de tan neuf de plus en plus fortes. On n'obtient toutefois ainsi que des produits de seconde qualité.

Peaux de moutons et de chèvres. Les peaux de chèvres se tannent, à peu de chose près, comme celles de veaux; seulement elles demandent plus de façons de rivière, à cause de leur nature sèche. Les peaux de moutons sont délainées au moyen du procédé employé pour la mégisserie, c'est-à-dire par un mélange de chaux et d'orpin qu'on étale sur la chair. On plie la peau et on l'abandonne en cet état; vingt-quatre heures suffisent, en été, pour obtenir le délainage. On passe ensuite les peaux délainées aux plains, afin de les gonfler, et on les travaille de rivière, puis dans les passements et les refaisages, enfin en fosses. La peau de mouton tannée est dite *basane*.

Tannage des peaux destinées à donner des cuirs forts. Ces peaux sont celles de bœufs, buffles, etc.; leur préparation, pour fournir des cuirs souples aussi compacts que possible, diffère de celle des cuirs mous en quelques points que nous allons faire connaître:

Le pelanage est supprimé et remplacé par une légère fermentation putride que l'on fait subir aux peaux entassées dans une chambre échauffée; depuis quelques années, on remplace cette opération par une autre qui consiste à exposer les peaux, pendant 24 heures, à l'action de la vapeur d'eau dans une chambre ou étuve maintenue à une température entre 20° à 25°. On procède ensuite, comme à l'ordinaire, à l'épilage. Le gonflement des peaux au passage à la jusée est très-long lorsqu'on n'emploie que du jus de tan aigri; on l'accélère considérablement en ajoutant à la jusée, dans tous les *passements*, excepté le premier, de l'acide sulfurique jusqu'à ce qu'il marque 10 à 12° au pèse-vinaigre.

Les peaux gonflées par le passage dans des jus acides, le tannage proprement dit commence dans une fosse dite de refaisage. Dans cette fosse, on place les cuirs avec du jus de tan non aigri et des morceaux d'écorce de chêne. On les laisse séjourner environ un mois dans cette fosse, puis on les couche en fosses. On répète trois fois cette opération. La première poudre (tan) se donne sur la fleur; elle doit être fine, et le contact dure deux à trois mois; la seconde se donne sur chair, plus grosse que la première poudre, et l'opération dure trois à quatre mois. On pourrait la faire durer plus longtemps sans inconvénients. Enfin, la troisième écorce ou poudre se donne sur la fleur. On emploie de la grosse écorce et l'on prolonge le contact pendant quatre à cinq mois,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce qui fait en totalité, pour le cuir, neuf mois à un an de fosse.

Machines à refendre. Les cuirs tannés de bœuf ont une épaisseur considérable; lorsque, pour leur emploi, ils doivent être amincis, on peut y arriver par le dérayage à la main; mais alors on perd toute l'épaisseur ôtée au cuir primitif, cette épaisseur surabondante étant enlevée par couches et en morceaux, sous forme de *bourriers*. La scie ou la machine à refendre permet, au contraire, d'enlever, d'une seule fois et en un seul morceau, toute l'épaisseur excédante, et ce cuir ainsi enlevé, qu'on nomme *croûte*, a encore une valeur pour des emplois déterminés.

On a commencé par se servir, pour ce travail, d'une scie de forme circulaire qui refendait le cuir par bandes successives; aujourd'hui on opère sur le cuir dans toute sa largeur, au moyen d'un couteau rectiligne, d'une longueur supérieure à la plus grande largeur de la peau. Le couteau, animé d'un mouvement alternatif rapide, faisant 4 à 500 oscillations par minute, coupe le cuir bien tendu, la fleur en dessous, en commençant l'opération par la culée, pour la terminer à la tête; les machines sont aujourd'hui construites avec une telle précision, qu'on peut refendre les cuirs en trois épaisseurs. On ne s'est pas contenté de scier ainsi les cuirs tannés; on a voulu, et c'est ce qui se pratique le plus ordinairement aujourd'hui, refendre les cuirs après le travail de rivière, avant le tannage. On profite ainsi des surfaces nouvelles pour obtenir un tannage plus rapide. C'est ce qu'on appelle scier ou refendre les *cuirs en tripes*.

Les cuirs forts tannés sont nettoyés sur des tables en bois, au moyen de brosses ordinaires, puis séchés pendant quelques jours à l'air libre. Enfin, on termine le cuir en le martelant, soit à la main, soit au moyen du marteau mû par une roue hydraulique ou une machine à vapeur (voir plus loin), ou par le roulement très-énergique d'un cylindre de bronze, chargé de poids plus ou moins forts; dans tous les cas, on facilite singulièrement le travail en chauffant, à la vapeur ou autrement, l'enclume ou le bloc sur lequel reposent les cuirs.

Procédés divers pour le tannage des peaux. Les procédés qui viennent d'être exposés et qui permettent d'obtenir une excellente fabrication, ont le défaut d'être lents et d'exiger une main-d'œuvre considérable. Nous allons passer en revue les principales modifications qui ont été tentées et qui ont eu peu de succès au point de vue de la durée du travail, la lenteur de l'action chimique paraissant une condition essentielle de la qualité du produit, de la modification complète de la peau que doit produire le tannage. Au contraire, c'est avec succès qu'on a fait appel aux machines, malgré la différence existant entre chaque peau, ce qui en rend l'application difficile et limitée bien souvent à aider au travail manuel pour le foulage, le battage, la refente des peaux, etc. Nous passerons en revue les principaux procédés qui ont été essayés, en nous aidant du travail de M. Perrault sur la tannerie.

On doit d'abord citer les travaux de M. Séguin, qui, en 1794, fit usage de l'acide sulfurique mélangé en faible proportion à des jus de tannée, pour obtenir l'ébourrage et le gonflement des cuirs. Il obtenait le tannage dans des cuves de force graduée. En quinze jours le tannin pénétre, disait-on, jusqu'au centre des cuirs les plus forts, se combine avec la matière animale, et lui donne le caractère d'imputrescibilité et de solidité qui rend la peau propre à la fabrication des chaussures.

Ce procédé fut proclamé, dans le style ampoulé de l'époque, une immense découverte. Fourcroy, dans un rapport à la Convention, disait : La théorie du tannage est aujourd'hui tellement éclaircie, les procédés de Séguin sont d'une telle simplicité, qu'on s'étonnerait, au premier abord, qu'ils aient été tant de temps méconnus, si l'on ne savait que les choses les plus simples sont les dernières auxquelles les travaux des hommes arrivent dans tous les genres. Cette simplicité est telle que chaque citoyen pourrait faire chez lui, plus facilement même qu'il ne fait la lessive, les cuirs nécessaires à la fabrication de ses souliers. . . . .

Enrichi par les récompenses de la Convention, par des fournitures considérables aux armées, Séguin ne put empêcher, malgré l'appui des savants, que l'usage ne vînt démontrer la mauvaise qualité de ses cuirs, et il fallut reconnaître qu'il était impossible d'arriver, autrement que par une action lente, à la production de cuirs compacts, solides et séchant facilement après avoir été soumis à l'humidité.

L'emploi de la chaux dans le pelanage a l'inconvénient d'en laisser dans la peau, à l'état de combinaison insoluble, une certaine quantité qui ralentit considérablement l'absorption du tannin. M. Boudet a proposé de lui substituer la soude caustique : avec cet alcali, le pelanage ne dure que de deux à trois jours, les peaux se dégorgent plus facilement sur le chevalet, et le tannage s'opère dans moitié moins de temps. 2 kilogr. de carbonate de soude dissous dans 50 litres d'eau et rendus caustique par l'addition de 1k,50 de chaux éteinte en poudre, suffisent pour le pelanage de 100 kilogr. de peaux fraîches. On a aussi essayé le sulfure de calcium qui agit encore plus rapidement que la soude caustique, et qui facilite beaucoup le tannage; les tanneurs accusent ce dernier procédé de donner des cuirs trop gonflés d'eau.

En Angleterre, on a repris de plusieurs manières le procédé à la danoise, consistant à plonger les peaux, après le gonflement, dans une légère dissolution de tan, où elles reçoivent un commencement de tannage; on prend alors deux peaux, autant que possible de la même grandeur et de la même forme, que l'on place grain contre grain, puis on coud exactement et tout autour les bords qui se correspondent avec du gros fil ciré de cordonnier; on suspend alors ce sac; puis, à l'aide d'un entonnoir passé dans une ouverture réservée à la partie supérieure du sac, on remplit le sac avec une solution de tan froide; bientôt la liqueur exsude peu à peu à travers le sac; on la reçoit dans un vase placé au-dessous et on la reverse dans le sac. Lorsque les peaux deviennent dures et fermes, quoique toutes leurs parties soient également humides, on élève la température de l'atelier de tannage de 20° jusqu'à 60°, en maintenant cette dernière chaleur jusqu'à ce que les peaux soient devenues complétement dures et fermes sur tous les points; on vide alors le sac, en coupant au fond quelques points de couture, et, après avoir coupé les bords, on termine les peaux à la manière ordinaire; par ce procédé, disent ses partisans, le tannage ne dure que dix à quinze jours.

MM. Knowlis et Cie accélèrent l'absorption du tannin, en suspendant les peaux dans un vase fermé hermétiquement, dans lequel on introduit une dissolution de tan, après y avoir fait le vide.

M. Vauquelin a donné un procédé complet de tannage et de corroyage, duquel il est resté dans la pratique quelques appareils importants. Il diminuait beaucoup le temps du tannage, en opérant mécaniquement l'écharnage, en tannant presque complétement à la flotte et seulement à la fin, pendant une dizaine de jours, dans des fosses, en débourrant par l'exposition pendant 12 heures, dans des étuves, à l'action directe de la vapeur vésiculaire à 30°, et en soumettant fréquemment les cuirs à l'action de pilons dans une espèce de moulin à foulon.

On a souvent essayé d'accélérer le tannage par une action méthodique de la matière tannante, fondée sur la méthode de déplacement, et plusieurs fabriques emploient actuellement des procédés basés sur ce principe.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est ainsi que M. Sterlingue a tenté avec quelques succès d'appliquer la méthode de déplacement aux fosses, c'est-à-dire d'envoyer des jus forts aux fosses les plus anciennes, pour envoyer le jus déplacé aux plus nouvelles.

Nous donnerons quelques détails sur une tentative due à des praticiens expérimentés, conçue dans un ordre d'idée qui nous semble logique.

« Pour enlever les jus épuisés, lit-on dans le brevet pris pour l'application de cette méthode, on se sert d'une pompe installée dans une cheminée en bois placée dans la fosse. En répétant l'opération un certain nombre de fois, et en graduant la force des nouveaux jus avec les précautions nécessaires, on arrive à réduire à quatre ou six mois la durée du tannage, mais dans la pratique, ce mode d'opérer présente des variations, des inégalités, que le raisonnement explique.

« En effet, pour abreuver une fosse nouvellement couchée avec du tan neuf, il fallait 80 tines d'eau; le tan en absorbe la plus grande partie.

« Lorsque l'on enlève le jus de la fosse, on n'en obtient d'abord que 8 à 10 tines; pour en avoir davantage, il faut laisser égoutter la fosse, ce qui a le grave inconvénient de laisser la fosse dans des conditions différentes : après l'enlèvement du jus, la fosse s'affaisse insensiblement; il s'opère un tassement que l'introduction de nouveaux jus ne peut pas changer, et, dès lors, la combinaison des corps est gênée, les cuirs sortent plus maigres et moins pesants, quoique tannés.

« En se bornant aux 8 à 10 tines de la première extraction, on ne peut les remplacer que par 10 à 12 tines de jus nouveau, dont on ne peut élever le degré que dans une certaine mesure, pour ne point saisir les cuirs aux surfaces; car alors ils ne tanneraient plus ou ne tanneraient que très-difficilement. Pour éviter l'un et l'autre de ces écueils, MM. Bérenger et Sterlingue ont essayé d'introduire des jus nouveaux d'un degré supérieur, en même temps qu'ils enlevaient celui de la fosse.

« Un train de fosses à jus, qui se compose ordinairement de cinq à six fosses, dans lesquelles on établit des cheminées et des pompes pour faire passer à bras d'homme le jus d'une fosse dans l'autre, a été soumis à des expériences dont le détail suit :

« Ces six fosses ont été mises en communication par la partie supérieure de la cheminée, à 15 centimètres en contre-bas, par un tuyau fixe, d'une fosse à l'autre ; alors il a suffi d'ouvrir le robinet d'eau claire sur la fosse la plus faible, qui, étant remplie, a déversé son trop plein dans la fosse voisine, et successivement jusqu'à la fosse la plus forte; l'eau arrivant toujours par le haut, et ne s'échappant que par le tuyau percé, placé entre le double fond qu'on avait eu soin d'établir dans chaque fosse, ce tuyau étant en communication avec la cheminée, il s'en est suivi que les jus n'ont pu s'échapper d'une fosse dans l'autre qu'après avoir traversé toute la tannée. Par ce moyen, le lessivage s'est opéré seul et parfaitement; toute la main-d'œuvre du pompage d'une fosse à l'autre a été épargnée.

« Les jus de chaque fosse se trouvent ainsi naturellement gradués et à la disposition de la passerie; lorsque la fosse la plus faible se trouve épuisée de son tannin, qu'elle ne rend plus que de l'eau claire, il faut jeter la tannée, ce qui s'opère après avoir pompé la dernière eau; alors on bouche le tuyau de communication, on emplit la fosse de tannée nouvelle, et la fosse la plus vieille devient la plus jeune et ainsi de suite successivement. »

M. Squire a cherché à remplacer les cuves par un tonneau à claire-voie, mobile autour de son axe et divisé en compartiments. Ce tonneau étant immergé jusqu'à l'axe, les peaux placées dans les compartiments plongés sont soumises à l'action du jus, puis, par un mouvement de rotation, elles sortent du liquide et sont remplacées par les peaux qui étaient à l'air. Ce procédé a été repris par M. Knoderer de Strasbourg. Son tonneau est complétement fermé, et reçoit les cuirs et le tan; puis on fait tourner. On arrive ainsi à tanner assez promptement.

L'emploi des tonneaux dans la tannerie offre des avantages pour diverses façons, notamment pour fouler les peaux et les débarrasser bien complétement de la chaux après la sortie des plains, car celle-ci s'oppose à l'action du tan.

Corroyage des cuirs mous. Les cuirs arrivant du tannage sont ramollis par un trempage dans l'eau, puis assouplis en les foulant aux pieds; on les nettoie alors du côté de la chair, avec un couteau à tranchant émoussé, puis on les écharne ou draye du même côté, pour leur donner une moindre épaisseur, et par suite plus ou moins de souplesse, soit avec un couteau à tranchant dont le fil est rebattu à angle droit avec la lame, soit avec un couteau annulaire légèrement courbé, le vide central servant à passer la main.

La drayoire, ou couteau à revers, donnée plus haut en C, surtout employée pour ce travail, a ordinairement 27 à 30 centimètres de longueur, sur 14 à 16 de largeur. L'un des tranchants de la lame est rabattu, ce qui constitue le revers. L'instrument est muni de deux manches, dont l'un se trouve dans le sens de la lame, tandis que l'autre lui est perpendiculaire.

Avec la drayoire on enlève, s'il y a lieu, les parties saillantes du cuir, et une pellicule sur toute la superficie, seul moyen d'obtenir l'égalité parfaite. Les cuirs sciés sont aussi terminés avec le couteau à revers, opération qui remplace le travail fatigant du ponçage à la pierre, autrefois usité.

Lorsque les peaux ont été nettoyées et drayées, on les tire à la paumelle (fig. 4); celle-ci est une pièce de

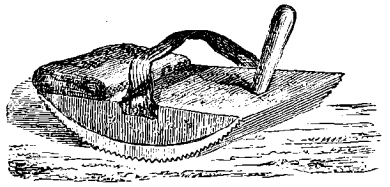


Fig. 4.

bois de 0m,30 de long sur 0m,11 de large, plate et unie en dessus, et bombée en dessous dans le sens de la longueur, de manière à ce que la plus grande épaisseur se trouve au milieu: la partie bombée est silonnée de cannelures transversales peu profondes, plus ou moins fines; sur la partie plate se trouve une anse en cuir dans laquelle passe la main d'un ouvrier robuste qui vient saisir la poignée. On opère comme suit: on plie un quartier de la peau, fleur contre fleur, on avance la paumelle et on la retire fortement, en ramenant par soubresauts le quartier de la peau qui frotte sur le milieu; on agit de même sur les trois autres quartiers; en répétant l'opération sur la fleur, on abat le grain que l'on vient de former et on rend la peau plus lisse et plus douce; on termine quelquefois, dans ce dernier but, avec des paumelles plates en liége. On rend enfin les cuirs aussi uniformes que possible en les étirant fortement sur une plaque en cuivre ou en fer, suivant que l'on craint ou non de colorer la peau. C'est ce qui s'appelle la mise au vent. Les cuirs corroyés qui sont livrés au commerce après avoir seulement subi les préparations que nous venons de décrire, sont connus sous le nom de *cuirs étirés.*

Les *cuirs en suif*, employés surtout par les selliers et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les bourreliers, se préparent en flambant légèrement à un feu clair les cuirs étirés, les étendant sur une table, et appliquant sur les deux faces et en plus grande quantité du côté de la chair, du suif dur fondu, au moyen d'un pinceau en laine; on laisse le cuir s'imbiber 8 à 10 heures, on le foule, on passe la paumelle du côté de la chair, on tend la peau sur une table, la fleur en dessus, on l'unit avec l'étire, on essuie avec les débris du drayage pour enlever l'excès de suif, puis on noircit immédiatement en posant successivement trois couches de noir, au moyen d'un torchon de laine ou d'une brosse de crin. La liqueur tinctoriale qui altère le moins le cuir s'obtient en faisant digérer de la vieille ferraille dans du vin ou de la bière aigres; le sel soluble de fer obtenu réagit sur le tannin du cuir et produit du tannate de fer insoluble d'un beau noir. Après la mise en couleur, on passe une couche de bière aigrie, on donne le grain avec la paumelle, on dégraisse la fleur en frottant avec un morceau de laine, on fait reparaître le grain avec une paumelle fine, et on lustre la peau avec une décoction d'épine-vinette.

Les *cuirs en huile* se préparent comme les cuirs en suif, à cette différence près, qu'on remplace le suif par de l'huile de poisson ou mieux par le dégras des chamoiseurs, qui est un mélange d'huile de poisson, et de la potasse, qu'on emploie pour dégraisser les peaux qui se passent en chamois.

Quand on veut conserver aux cuirs en suif et en huile leur couleur naturelle, on supprime la teinture en noir et on donne le lustre avec une infusion de graine d'Avignon et de safran dans de la bière.

Machines de la corroierie. — Marguerite mécanique. La marguerite, grande paumelle en bois, dont la longueur est de 40 à 50 centimètres, est le principal outil du corroyeur pour travailler le cuir, lui donner le grain, etc. Pour soulager l'ouvrier d'un travail très-pénible et le mettre à même de mieux utiliser son habilité et son intelligence, on a construit la marguerite mécanique que représente la figure 5. Le cuir plié

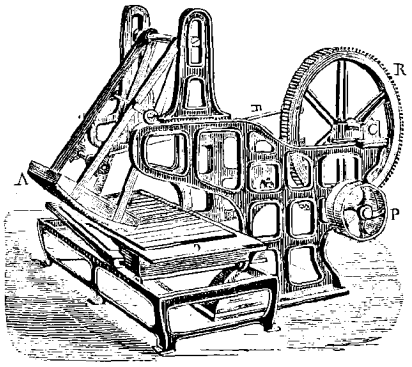


Fig. 5.

est placé sur une table mobile C. La marguerite A en forme d'arc de cercle, appuie sur le cuir à l'endroit du pli, et grâce au mouvement de va-et-vient dont elle est animée par le levier E, qu'actionne la roue R, qui reçoit le mouvement du moteur de l'usine par une courroie s'enroulant sur la poulie P, elle opère comme l'outil à main pour frotter et rouler le cuir sur lui-même. L'ouvrier déplaçant la table mobile, lors de la fin du mouvement d'élévation de la marguerite, vient soumettre successivement à son action tous les points de la surface du cuir à travailler.

Machine à battre les cuirs. On a longtemps battu à bras ou comprimé avec de forts rouleaux les cuirs forts pour en augmenter la compacité et leur donner un aspect uni recherché des acheteurs. Cette opération est bien mieux exécutée par des machines à battre; la figure 6

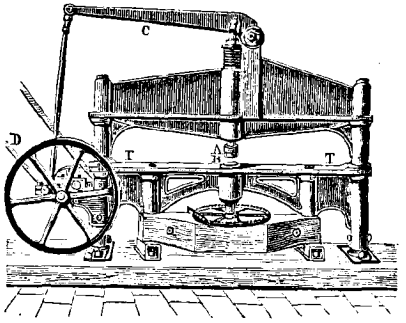


Fig. 6.

représente la plus répandue. Elle est formée d'un fouloir vertical mobile, garni à son extrémité inférieure d'un disque en bronze A; d'un fouloir immobile inférieur, garni également d'un disque en bronze B; d'un levier C, qui met le premier fouloir en mouvement. Le tout est monté sur un solide bâti en fonte. Le cuir à travailler repose sur une longue table horizontale en bois TT, assez étroite pour que l'ouvrier puisse s'approcher du milieu. Le cuir est déplacé par l'ouvrier de manière que tous ses points soient successivement soumis à l'action des deux disques, dont le diamètre est de 10 centimètres, et qui exercent une pression de 6,000 kilogrammes environ. La figure montre comment la machine motrice fait tourner l'axe, muni d'un volant, sur lequel est calée la manivelle, qui actionne par une bielle le levier qui presse sur la tête de la tige du marteau. Il donne en général 180 à 200 coups par minute.

On construit quelquefois cette machine avec un seul montant, le marteau et l'enclume étant sur le devant, pendant que le mécanisme moteur est placé en arrière. Cette disposition est plus commode que la précédente pour le battage des cuirs entiers de grande dimension, qui ne pourraient passer entre les montants de la machine précédente, sans lui donner des dimensions très-grandes.

Machine à écharner. Nous citerons encore ici la curieuse machine à écharner et à ébourrer de M. Ott, de Saint-Denis (fig. 7), qui est une machine multiple

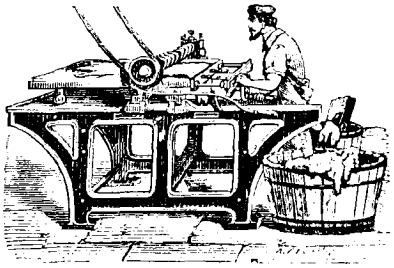


Fig. 7.

dans son emploi; elle travaille spécialement la petite peau. Elle a été successivement employée à l'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bourrage et à l'écharnage des peaux de mouton destinées à être maroquinées; puis, à la mise au vent de ces mêmes peaux tannées, après leur passage dans le bain de sumac. Le simple changement du cylindre travailleur suffit pour obtenir ces diverses opérations. Une table mobile, dont on règle la hauteur par rapport au cylindre, entraîne la peau dans son mouvement de translation au-dessous du cylindre; celui-ci est garni de deux séries de lames, disposées en hélice à sa circonférence, mais partant de la moitié de la hauteur de ce cylindre pour venir aux extrémités. Par ce moyen, la peau est rejetée de chaque côté, et s'étend complétement ; on évite ainsi les plis, et, par conséquent, les déchirures. La pression fait écouler l'eau et la chaux dont sont imprégnées les peaux soumises à l'action de ces machines. On remplace les cylindres garnis de couteaux d'acier, qui servent à l'ébourrage et à l'écharnage, par d'autres en ardoise pour les façons de chair, ou bien, lorsqu'on veut mettre au vent des cuirs tannés, par des cylindres en cuivre, garnis d'hélices doubles du même métal.

Cuirs de Russie. Les cuirs de Russie se préparent comme suit : on traite d'abord les peaux comme dans le tannage ordinaire, puis après que l'on a écharné et donné les façons sur le chevalet, on les fait macérer 48 heures, dans un bain que l'on prépare en prenant 1 kil. de farine de seigle pour dix peaux, la faisant fermenter avec du levain, et délayant dans une quantité d'eau suffisante; on transvase les peaux dans des cuves pleines d'eau où on les laisse dégorger, puis on les lave à la rivière; on les plonge et les travaille ensuite deux fois par jour, pendant quinze jours, dans une décoction d'écorce de saule; enfin, on les imprègne du côté de la chair avec l'huile empyreumatique provenant de la distillation de l'écorce de bouleau. Le cuir ainsi obtenu est coloré en rouge et très-recherché, parce qu'il n'est pas sujet à se moisir à l'humidité et qu'il n'est jamais attaqué par les insectes qu'il éloigne même de son voisinage par sa forte odeur.

CUIRS VERNIS. (Voyez ce mot.)

Cuirs hongroyés. Les cuirs hongroyés, ou cuirs de Hongrie, diffèrent des cuirs tannés, en ce que l'on remplace le tan par du chlorure d'aluminium, obtenu par double décomposition au moyen de l'alun et du sel marin, et par du suif dont on imbibe le cuir. On remplace presque toujours l'épilage à la chaux par un rasage soigné. Après l'écharnage, on plonge les peaux et on les piétine dans une dissolution chaude de 2 1/2 à 3 kil. d'alun, et de 1 1/2 à 2 kil. de sel marin; on les passe et les piétine ensuite dans de l'eau chaude, puis on recommence une seconde fois la même série d'opérations ; on les laisse ensuite tremper huit jours dans de l'eau alunée, on les fait sécher, soit à l'air, soit dans une étuve, et lorsqu'ils sont suffisamment secs on les piétine de nouveau, puis on les blanchit par l'exposition au soleil. On les passe enfin en suif avec de la graisse fondue et à une température assez élevée. Les cuirs ainsi fabriqués ont beaucoup de force et de souplesse; ils sont particulièrement recherchés par les bourreliers-selliers.

Mégiss-rie. Nous avons consacré ailleurs un article assez complet à cette industrie, nous y renverrons le lecteur. (Voyez MÉGISSERIE, *Complément.*)

Chamoiserie. Le chamoiseur emploie les mêmes peaux que le mégissier, et les premières opérations sont les mêmes, c'est-à-dire l'épilage à l'aide de l'orpin, et l'immersion prolongée des peaux dans un bain de son, après l'écharnage et le travail de rivière. A partir de ce point le travail diffère, on n'emploie pas d'alun, et, au sortir du bain de son, on imprègne la peau d'huile de poisson, par des foulages répétés.

On passe ensuite la peau dans une étuve légèrement chauffée, pour faciliter l'absorption de l'huile; on leur donne la façon sur le chevalet ; on les dégraisse en les faisant tremper pendant une heure dans une lessive tiède de potasse, marquant 2 degrés à l'aréomètre; on les retire et on les tend; enfin, on termine en les étirant au palisson.

Maroquin. Le maroquin se fait avec des peaux de chèvre, et souvent aussi de mouton. On fait revenir les peaux sèches pendant deux à quatre jours dans de l'eau d'une opération précédente; on les écharne; on opère l'épilage à la chaux et on fait dégorger avec le plus grand soin, soit dans une roue à laver, soit en les faisant digérer vingt-quatre heures dans un bain de son aigri.

Les peaux destinées à être teintes en rouge sont alors cousues deux par deux, la chair en dedans, de manière à former un sac, puis passées dans un bain de chlorure d'étain, et ensuite dans un bain de cochenille. Après les avoir rincées on les tanne, en décousant une partie du sac pour y introduire la quantité de sumac nécessaire au tannage, gonflant le sac en y insufflant de l'air, liant vivement l'orifice avec une ficelle, puis les agitant sans cesse en tous sens, pendant quatre heures, dans une faible dissolution de sumac; après les avoir relevées deux fois en vingt-quatre heures, le tannage est terminé. Les peaux qui doivent recevoir une couleur autre que le rouge, sont immédiatement tannées à la flotte, au sumac, après le dégorgeage; on les nettoie ensuite, on les sèche et on les met en magasin. Avant de les teindre, on les fait revenir en les plongeant dans de l'eau à 30°, puis les soumettant à un foulonnage énergique; on les nettoie ensuite et on les plie en deux, chair contre chair, en faisant adhérer autant que possible les deux parties, au moyen d'un couteau rond émoussé. Le noir se donne à la brosse avec une dissolution de fer dans de la bière aigrie; le bleu se teint à froid dans la cuve à indigo; le jaune, et toutes les nuances, dans une dissolution d'épine-vinette ; les violets et les pensées, en donnant une ou deux couches de bleu, puis passant dans un bain de cochenille plus ou moins chargé. On comprime ensuite fortement les peaux de même couleur, en les empilant sur le plateau d'une presse hydraulique, pour chasser l'excès d'eau et la couleur non fixée, ou, plus simplement, on les passe une à une sur la table d'un laminoir.

Le rouge d'aniline a permis de simplifier beaucoup la teinture des peaux en rouge. Il n'exige aucun mordant et teint les peaux sans aucune préparation spéciale.

Quelle que soit sa couleur, on termine le maroquin, avant qu'il ne soit complétement desséché, en l'amincissant avec un couteau droit à fil relevé, puis on le met dans l'huile pour lui rendre sa souplesse, enfin on le lustre avec des cylindres lamineurs en cristal de roche. On lui donne le grain à l'aide de la paumelle; on obtient un grain en losange, en passant dans deux sens un cylindre en bois dur (buis ou poirier), taillé à sa surface en vis très-fine.

Chagrin. Nous donnerons ici la fabrication orientale, remplacée dans nos pays par l'exécution d'un grain rendu saillant par un travail à la paumelle ou par la pression d'une planche ou d'un cylindre gravé. Après avoir tanné la peau au tan ou à l'alun, les Orientaux la fixent dans un châssis, puis, pour former le grain, ils répandent, du côté de la chair, des graines de moutarde, et l'exposent au soleil. Ils font aussi pénétrer la graine dans le cuir en le foulant aux pieds, ou en le soumettant à l'action d'une presse. Lorsque la peau est sèche, on fait tomber les graines qui ont fait naître des aspérités qui persistent sur le cuir.

Les gainiers emploient une espèce de chagrin, dit *galuchat*, qui provient de la peau du poisson de mer nommé roussette, chien de mer et sagri, qui ressemble au requin. Cette peau est recouverte d'aspérités ou grains ronds; elle est très-rude et donne un cuir extrêmement solide.

Parchemin. L'industrie du parchemin, si florissante au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyen âge, restée fort importante jusqu'à la Révolution, alors que tous les actes publics s'écrivaient sur parchemin, est aujourd'hui fort réduite.

Les peaux qu'emploie le parcheminier sont généralement celles de mouton, le vélin est obtenu avec des peaux de très-jeunes veaux. Il reçoit, en général, ces peaux du mégissier après le débourrage et le passage à la chaux, son travail consistant surtout à les râcler, les polir et les sécher.

A cet effet, il faut tendre les peaux sur la herse, cadre de bois de 1^m,60 de long sur 1^m,30 de large, dont les côtés portent de grosses chevilles. Delalande, dans son *Art du Parcheminier*, décrit ainsi la manière de tendre la peau sur la herse.

On passe des chevilles ou brochettes dans la peau en y faisant quatre trous à chaque endroit où l'on met une brochette; une ficelle qui embrasse les brochettes par dessous va s'enrouler sur une cheville que l'on tourne pour tendre la peau sur la herse. On passe dix-huit ou vingt brochettes, quelquefois davantage, dans les bords d'une peau. Celle de la tête doit être plus longue que les autres et passer dans sept ou huit trous, parce que cette partie de la peau, qui est la plus forte, a besoin d'une plus forte tension; cette brochette est prise à ses deux extrémités et tient à deux chevilles différentes.

L'écharnage se fait avec un couteau demi-rond, coupant d'un bord, que l'ouvrier tient par ses deux poignées et qu'il promène de haut en bas sur la surface de la peau tendue. Il enlève ainsi des charnures, minces pellicules, souvent très-longues, du côté de la chair. L'autre face est râclée avec l'outil retourné, ne coupant plus, pour extraire l'eau de chaux.

On saupoudre alors les deux côtés de poussière de chaux éteinte et on fait sécher à l'ombre.

Les parchemins pour l'écriture, pour faire disparaître toute inégalité, sont repassés à une seconde façon, dite *raturage*, qui s'effectue avec le fer à raturer sur le parchemin libre, et poncés ensuite à la pierre ponce, surtout du côté de la fleur, qui est le plus rude.

Fourrures. Pour conserver les fourrures, c'est-à-dire les peaux recouvertes de leurs poils, celles-ci sont soumises aux opérations de la chamoiserie.

TAPIOKA. Voyez AMIDON.

TAPIS. Voyez TISSAGE.

TAPISSERIE. Voyez BRODERIE et TISSAGE.

TARARE. Voyez MOULIN.

TARAUD. C'est un outil à l'aide duquel on fait les écrous en bois ou en métal. Nous nous occuperons d'abord des tarauds qui sont destinés à opérer sur les métaux. Ils peuvent être faits avec la filière double, mais il est préférable de les faire au tour, ils sont plus réguliers et plus forts n'ayant pas été tourmentés par l'action de la filière qui relève toujours un peu le métal malgré les soins qu'on apporte dans sa construction. On appelle *mères* les tarauds faits au tour. Il y a des ateliers où tous les tarauds sont des *mères*, il en est d'autres où on ne fait que quelques mères qui servent à tarauder des coussinets au moyen desquels on reproduit d'autres tarauds.

Il est bon, avant de s'occuper de la construction des tarauds, d'étudier leurs formes et de se rendre bien compte de leur manière d'opérer. On peut les diviser en deux classes : les tarauds cylindriques et les tarauds coniques. Les tarauds d'une même classe peuvent différer les uns des autres par la manière dont on y pratique les *dégagements*, coupures longitudinales parallèles à l'axe du taraud, et qui sont destinées à donner issue aux copeaux et à créer sur les filets des angles qui attaquent la matière.

Tarauds cylindriques. La figure 2408 représente un taraud cylindrique : comme les tarauds, il se compose de trois parties : la tête, le collet et la vis.

La *tête a* est carrée ou plate suivant la confection de l'œil du *tourne-à-gauche*, double levier qui embrasse la tête du taraud et qu'on tourne avec les deux mains.

TARAUD.

Le *collet b* est une partie tournée lisse qui sépare la tête de vis dont le diamètre doit être plus faible que celui du fond des filets de la vis.

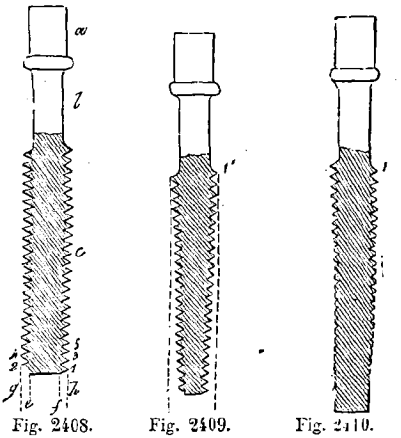


Fig. 2408. Fig. 2409. Fig. 2410.

La *vis c* est la partie opérante du taraud, celle à la confection de laquelle on doit apporter le plus de soins. Ce sont les variations de sa forme qui établissent une distinction entre les divers tarauds

La vis du taraud représentée dans la fig. 2408 est cylindrique, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des filets, il en résulte qu'il n'y a que la partie inférieure qui opère, et que les parties 2, 3, 4, viennent passer, sans l'agrandir, dans l'écuelle formée par la partie 1, ne servant alors qu'à guider le taraud.

Le taraud cylindrique n'est ordinairement employé que pour terminer les trous commencés avec les tarauds coniques représentés dans les fig. 2409 et 2410, dont le diamètre inférieur est égal à celui du trou que l'on veut tarauder. On ne peut se servir du taraud cylindrique, pour faire l'opération complète, qu'en rendant le trou conique à la partie supérieure ; mais ce procédé est mauvais parce que les vis qu'on doit introduire dans l'écrou peuvent y éprouver du ballottement. Quand on veut tarauder on emploie donc en premier lieu les tarauds coniques, on les enfonce complétement dans le trou jusqu'à ce que les filets aient pénétré dans le métal; on les retire et on introduit pour finir l'écrou, le taraud cylindrique dont le filet inférieur, étant de même grosseur et de même diamètre que les filets de la partie supérieure du taraud conique, pénètre facilement dans l'écuelle qu'ils ont formée, et à mesure qu'il s'enfonce l'approfondit également sur toute la longueur de l'écrou. Quelquefois on n'emploie qu'un seul taraud, conique à la partie inférieure et cylindrique vers la partie supérieure, sur une longueur au moins égale à l'épaisseur de l'écrou; la partie conique commence le filet et la partie cylindrique l'achève complétement.

Nous devons dire un mot au moyen du taraudage à l'aide d'une série de tarauds cylindriques; ces tarauds ont tous le même pas, mais des diamètres différents; le premier qu'on introduit est le plus faible en diamètre, il ne fait que commencer l'écrou; le second qui est un peu plus gros l'approfondit; on en emploie successivement un troisième ou quatrième d'un diamètre de plus en plus fort, jusqu'à ce que les filets soient totalement imprimés. Ce procédé exige l'emploi d'un nombre considérable de tarauds, aussi n'est-il employé que dans les cas fort rares où les trous sont très-profonds. Le premier filet attaquant seul

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TARAUD.

la matière, la résistance est indépendante de la profondeur du trou; tandis que, comme nous le verrons plus tard, les tarauds coniques sont d'autant plus difficiles à conduire que le trou à tarauder est plus profond.

Tarauds coniques. Il y a deux moyens de rendre les tarauds coniques : 1° en tournant dès le principe la partie qui doit être filetée en forme de cone tronquée (fig. 2409); 2° en filetant le taraud comme s'il devait être cylindrique et en le rendant plus tard conique à sa partie extérieure, soit au tour, soit à la lime (fig. 2410). Dans le premier cas, le fond et l'extérieur des filets sont situés sur des surfaces coniques; dans le second, le taraud n'est conique qu'à l'extérieur, et le fond des filets est situé sur une surface cylindrique. Les figures font très bien comprendre la différence qui existe entre ces deux espèces de tarauds. Le taraud (fig. 2409) a ses dents inférieures pointues et mord plus facilement que le taraud (fig. 2410), dont les dents inférieures ne sont pas aiguës, et enlève dès l'abord une plus grande quantité de matière que le second. On remédie à cet inconvénient en limant avec un tiers-point les crêtes de trois ou quatre des dents inférieures de celui-ci, qui prend alors très bien, surtout si on a eu soin de laisser en avant du filetage un bout non fileté de même diamètre que le plein du taraud. Ce bout reçoit la forme du dégagement et forme une espèce d'équarrissoir qui prépare parfaitement le trou et fait mordre de suite le taraud.

Le diamètre inférieur des tarauds coniques est égal à la grosseur du trou à tarauder, le diamètre supérieur à la profondeur des filets de l'écrou. La saillie d'un filet sur le filet inférieur suivant est par conséquent d'autant plus faible qu'il y a un plus grand nombre de filets dans le taraud. Cette saillie représentant la somme des épaisseurs des copeaux enlevés par tous les dégagements d'un même filet, il en résulte que plus le taraud sera long, plus il sera facile à tourner puisque chaque filet enlèvera moins de matière.

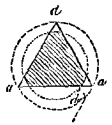
La résistance sera d'autant moindre que la profondeur du trou sera plus petite, parce qu'il y aura une moindre quantité de filets qui travailleront. Si donc on a à tarauder des trous profonds, il faudra faire le taraud très long afin que chaque filet prenne moins de matière; si le trou est peu profond on fera le taraud moins long, parce qu'à mesure qu'on tournera il se dégagera à la partie inférieure une portion de filet égale à celle qui s'engage à la partie supérieure, et le nombre des filets qui attaquent la matière restant constant on enlèvera par tour la même épaisseur de copeau.

Le mode d'action du taraud conique a la plus grande analogie avec celui de la filière conique simple (voir FILIÈRES), et les considérations que nous avons présentées à son sujet sur la forme la plus convenable à donner aux dégagements sont applicables ici dans toute leur généralité. La partie opérante des filets d'un taraud doit avoir peu d'étendue dans le sens de la circonférence, parce que tout le travail qui a lieu dans l'intérieur des filets est du travail de refoulement; les dégagements doivent être aussi grands que possible; s'ils n'existaient pas, la matière ne serait plus coupée, mais totalement refoulée; le taraud serait très dur à conduire et le sommet des filets de l'écrou n'offrirait aucune résistance.

Le taraud diffère de la filière simple avec laquelle il présente tant d'analogies par la propriété précieuse d'être aiguisable, soit à la meule circulaire, soit à la pierre à l'huile, ce qui peut rendre son usage très prolongé. Dès que les angles sont émoussés ils ne coupent plus, ils refoulent la matière; il faut alors les affûter promptement si l'on ne veut pas faire avec lenteur et difficulté un mauvais travail.

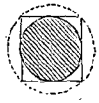
Il nous reste, pour finir ce que nous avions à dire sur la forme des tarauds, à parler des dégagements qu'on pratique sur toute leur longueur pour livrer passage à l'huile et aux copeaux.

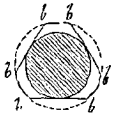
Dans les tarauds cylindriques, le dégagement ne sert qu'au passage de l'huile; le filet inférieur travaillant seul, chasse devant lui le copeau, et les filets suivants ne rencontrent plus de matière à enlever. Il n'en est pas de même pour les tarauds coniques qui coupent sur toute la longueur du tour; leurs dégagements servent à la fois au passage de l'huile et à celui des copeaux. La forme des dégagements est assez variable, elle ne dépend souvent que du caprice des ouvriers qui ont chacun une méthode différente; leur nombre est déterminé d'ordinaire par le rapport qui existe entre le diamètre du plein du taraud et la profondeur des filets. Quelques figures sont nécessaires pour bien faire comprendre cette théorie.



2411.

Soit le plus petit des arcs concentriques de la fig. 2411, le corps du taraud, et le plus grand celui du sommet des filets. Si on fait le dégagement suivant les lignes a, a, on affaiblira le corps du taraud; si on les fait suivant les lignes b, b (fig. 2412), les filets ayant beaucoup d'étendue dans le sens de la circonférence, ils refouleront la matière (il est entendu ici que nous ne nous occupons que des tarauds coniques).

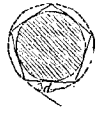

2413.



2412.

On peut encore faire quatre dégagements, comme dans la fig. 2413, de manière à obtenir quatre angles vifs; mais ces angles s'useront, le taraud diminuera de diamètre extérieur et il sera mis plus rapidement hors d'usage. On doit faire les dégagements de manière à ce que la partie extérieure conservée du filet ait assez d'étendue pour que le diamètre du taraud soit conservé dans l'affûtage, et pas assez pour qu'elle refoule trop la matière; la fig. 2414 donne un exemple de cette disposition. On ne doit pas croire que, pour que le taraud coupe vivement, il faut que ses angles soient pointus, c'est une erreur; il suffit que les dégagements fassent avec la circonférence du taraud l'angle le plus grand possible, afin que le copeau enlevé se dégage facilement et ne fasse pas l'effet d'un coin en restant interposé entre la dent du taraud et la partie qu'elle attaque. Dans les tarauds à cinq et six pans (fig. 2415), cet effet a lieu d'une manière très marquée; le copeau se dégage difficilement, il exerce une pression énergique contre la matière non encore enlevée, la refoule, et rend le taraud très dur à conduire. On recommande alors avec raison de tarauder en tournant dans un sens, et en détournant ensuite d'une moindre quantité, le copeau enlevé tombe quand on détourne, s'échappe par le dégagement, et ne produit plus autant l'effet de refou-

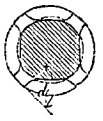

2414.


2415.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lement dont nous avons parlé; effet qui ne dépend absolument que de la forme des dégagements.

Les tarauds triangulaires sont ceux qui coupent le plus vivement, parce qu'ils offrent au copeau un dégagement facile; cette forme n'étant pas applicable aux tarauds dont le corps est très gros relativement aux filets. On emploie souvent de préférence à la forme à cinq pans, indiquée dans la fig. 2415, la forme de la fig. 2416; les dégagements ne sont plus plans, mais ont la forme d'une gorge rentrante pratiquée, sur toute la longueur du taraud. Les angles coupants ont environ 90 degrés et coupent plus vivement que ceux de tous les tarauds que nous avons décrits jusqu'ici. Cette manière de dégager les tarauds est employée dans plusieurs grands ateliers et produit de fort bons résultats, surtout pour la fabrication des gros écrous à la machine; son seul inconvénient est de rendre le taraud moins facilement aiguisable, car on ne peut raviver les angles que sur l'angle de la meule circulaire, ou avec la pierre à l'huile; mais ce léger défaut est compensé, et au delà, par le bon usage du taraud et par la perfection du résultat obtenu.



2416.

Le taraud est un outil très bien entendu, d'un usage facile, exigeant peu de réparations et remplissant son but quand il a été bien combiné, sans une grande dépense de force motrice, et sans exiger de la part de l'ouvrier qui le conduit beaucoup d'intelligence. Aussi, l'opération du taraudage à la main est-elle le plus souvent confiée à des hommes de peine. Beaucoup d'essais ont été faits non pour perfectionner le taraud, qui est un outil à peu près parfait, mais pour en changer le système.

On trouvera dans les *Bulletins de la Société d'encouragement* le détail d'un taraud qui peut à volonté faire un écrou à droite ou à gauche; il se compose d'un cylindre dans lequel est insérée une lame d'acier, dentée sur les deux longs côtés, et dont les dents seules dépassent le périmètre du cylindre. On introduit le bout du cylindre dans le trou à tarauder, et l'on fait prendre les premières dents qui sont très saillantes, comme dans le taraud conique, puis on tourne à droite ou à gauche en appuyant sur le tourne-à-gauche; une fois que le tracé est fait pour une ou deux dents l'inclinaison ne peut plus varier. Nous ne sachons pas que ce taraud soit appliqué quelque part; l'inclinaison des filets ne dépendant que de la pression qu'on exerce sur le taraud, il doit être difficile de faire entrer exactement une dent dans le filet tracé par la dent inférieure. Dans le taraud ordinaire on n'a besoin d'exercer aucune pression, il s'enfonce de lui-même dans la matière et trace à l'intérieur du trou des filets qui ont immédiatement l'inclinaison convenable.

On trouvera dans le trente-neuvième volume des *Bulletins de la Société d'encouragement* la description de plusieurs tarauds qui ont beaucoup d'analogie, quant au principe, avec les filières à trois et quatre coussinets; les parties coupantes ne font pas corps avec le taraud, mais sont rapportées dans des rainures pratiquées sur toute sa longueur, et peuvent s'écarter plus ou moins de l'axe au moyen de vis de pression, de manière à pouvoir tarauder des trous de dimensions assez différentes. Ces tarauds sont ingénieux, mais leur construction est compliquée et difficile; ils ne peuvent, en outre, être employés que pour de gros diamètres, aussi ne sont-ils pas répandus dans les ateliers de construction, où l'on n'a jamais à tarauder que des trous dont la grosseur est déterminée à l'avance, et pour lesquels on fait un certain nombre de tarauds de dimensions différentes. Cependant, ces tarauds à parties coupantes rapportées ont un avantage qu'il est bon de signaler : c'est celui d'avoir des angles plus vifs et plus facilement affûtables que ceux de tous les autres genres de tarauds; aussi les copeaux ont-ils un dégagement plus facile, et l'on obtient des écrous plus nets et dans lesquels la matière n'est nullement refoulée. Les fig. 2417, 2418 et 2419 peuvent donner une idée de ce genre de tarauds.



2417.



2418.



2419.

Construction des tarauds à métaux. On choisit ordinairement pour la fabrication des tarauds de l'acier fondu de première qualité, qu'on forge comme à l'ordinaire, et qu'on tourne ou qu'on lime pour lui donner la forme circulaire, cylindrique ou conique. Il est préférable de tourner les tarauds, ils sont beaucoup plus réguliers que lorsqu'ils ont été limés.

Nous avons dit qu'on faisait quelquefois les tarauds à la filière; on les filète alors comme s'il s'agissait d'un boulon ordinaire. Quand on veut les faire au tour on les place entre les deux pointes et on trace l'hélice au moyen d'un burin placé sur le support à chariot; on termine au peigne et on obtient des tarauds parfaitement réguliers. Quand on n'a pas de tour à chariot, on commence par tracer une hélice peu profonde sur le taraud au moyen de la filière double, puis on le place entre les deux pointes du tour et on forme le filet au moyen du peigne qui est guidé dans son mouvement d'avancement par l'hélice tracée au moyen de la filière. Ce procédé de fabrication est simple, mais on obtient des tarauds moins réguliers que ceux qui sont faits au tour à chariot. S'il reste sur le taraud des jarrets peu considérables, on les fait disparaître en le faisant tourner assez rapidement sur le tour à pointes et en approchant un peigne très coupant, qu'on laisse courir sans autre conducteur que le taraud lui-même, et sans trop prendre de matière; par ce moyen très simple le jarret disparaît aux dépens de la force des pleins.

L'angle des filets est ordinairement de 60 degrés, s'il était plus faible le filet serait trop maigre et il serait difficile d'arriver à la coïncidence parfaite entre les filets de la vis et ceux de l'écrou. En général, un taraud dans lequel les pleins sont égaux aux vides produit des écrous ou des filières à coussinets dans lesquels les écuelles sont plus grandes que les pleins; ces coussinets reproduisent des vis dans lesquelles les pleins sont à peu près égaux aux vides, et qui par conséquent entrent facilement dans les écrous.

Il est facile de comprendre la raison pour laquelle les vides de l'écrou sont plus grands que les pleins du taraud qui l'a formé; jamais un taraud n'est d'une régularité parfaite, il y a toujours des parties de filets un peu plus inclinées que les autres; et ces parties trop inclinées ne peuvent se loger dans l'écuelle de l'écrou, qu'en l'agrandissant aux dépens du plein du filet. C'est par un motif analogue qu'une filière reproduit une vis dont le plein est plus faible que son écuelle; la différence dépend aussi de la grosseur de la vis relativement à la grosseur de la mère qui a formé la filière. Ainsi nous avons vu (voir FILIÈRES DOUBLES) que lorsque le diamètre de la vis était plus fort que celui de la mère,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la filière lors même qu'elle serait parfaitement régulière, reproduirait des écuelles qui dépasseraient les pleins en grosseur d'une quantité d'autant plus forte que la différence des diamètres serait plus considérable.

Avant de tremper les mères on ajuste la tête dans l'œil du tourne-à-gauche et on pratique les dégagements à la lime ou à la machine à raboter; l'opération de la trempe ne présente pas beaucoup de particularités; les mères sont trempées dans toute leur force; pour les faire revenir on les prend avec des pinces rouges, et on les immerge quand la couleur jaune-paille apparaît; pour de gros tarauds on emploie une méthode différente, après les avoir plongés dans l'eau, quand ils sont au rouge-cerise, on les imbibe d'huile au moyen d'un tampon et on les place au-dessus d'un brasier de charbon, en ayant soin de les faire tourner lentement; quand l'huile prend feu on les immerge rapidement. Les tarauds cylindriques ne sont trempés durs qu'à l'extrémité de la vis.

Tout ce que nous venons de dire est applicable aux tarauds aussi bien qu'aux mères, mais, nous le répétons, il est préférable de n'employer que des mères, car les angles des tarauds qui d'ordinaire sont formés de métal relevé se fendillent souvent à la trempe.

Les très gros tarauds peuvent sans inconvénient être faits en fer pour être ensuite trempés en paquet; mais il faut avoir soin de les laisser longtemps au feu afin que la cémentation pénètre à 1 ou 2 millimètres au-dessous des écuelles; sans cette précaution les tarauds perdent de leur diamètre quand on les force dans des trous. Les tarauds moyens peuvent aussi être faits en fer, mais ils sont meilleurs en acier; les petits tarauds doivent être faits en acier.

Tarauds à bois. Leur forme et leur genre de fabrication varient suivant le diamètre des écrous qu'ils sont destinés à produire, ils sont ordinairement en fer; pour de petits écrous ils sont faits à la filière double et on leur donne de l'entrée en les faisant coniques; ils n'ont que cinq ou six filets et on leur fait par le bas un dégagement triangulaire; les deux ou trois derniers filets sont pleins, leur diamètre ne dépasse guère 1 centimètre; comme ils refoulent la matière plutôt que de la couper, ils feraient éclater le bois si on les employait pour de gros trous.

De 1 à 5 centimètres on fait souvent les tarauds en fonte; on filète sur le tour un modèle en bois auquel on donne une forme conique analogue à celle des tarauds à métal, avec cette différence que toute la conicité est reportée sur cinq ou six filets seulement. Les tarauds reviennent de la fonderie parfaitement conformes; il n'y a plus qu'à les mettre sur le tour dont le pointage est conservé, et à enlever la croûte d'oxyde; les filets sont un peu repassés au peigne à la volée. On y pratique ordinairement quatre dégagements, qui n'ont à eux quatre que le huitième de la circonférence. Ces tarauds sont assez doux à conduire; le bois refoulé dans l'intérieur des filets qui ont beaucoup d'étendue rentre dans les dégagements en vertu de son élasticité et est coupé par les angles des filets; il serait bon, par les raisons que nous avons indiquées à l'occasion des tarauds à métal, de donner moins d'étendue aux filets et davantage aux dégagements; on éviterait ainsi d'exercer sur les faces de l'écrou un effort qui tend à le faire éclater.

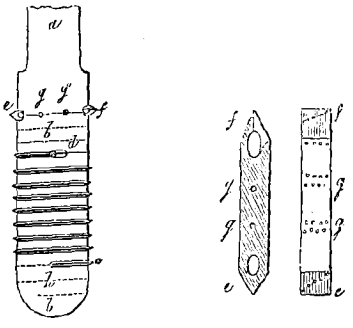
De 5 à 10 centimètres on fait les tarauds en fer, leurs coupes sont assez variées; les fig. 2420, 2421 et 2422 sont celles qui sont le plus généralement employées; le mode d'action de ces tarauds ne diffère en rien de celui des tarauds de diamètre inférieur.

Tous ces tarauds refoulent, râpent et écorchent le bois, tandis que la filière à bois coupe sans production sensible de chaleur, et produit des vis parfaitement nettes. Il existe des tarauds à bois qui, fondés sur



2420. 2421. 2422.

le même principe, produisent des résultats analogues; tel est celui que nous représentons dans les fig. 2423,



2423. 2424. 2425.

2424 et 2425. *a*, est le collet, *b*, le cylindre, corps du taraud; au-dessous des diamètres de 4 centim. ce taraud est en fer, pour les plus grandes dimensions on le fait en bois dur. On trace au tour sur le cylindre l'hélice *h* dont le pas doit être égal à celui des écrous que l'on veut obtenir. Si on opère sur du fer, on formera le filet *c* en dégageant l'entre-deux des filets avec une échoppe, et on avive le filet avec l'angle du burin; si on opère sur le bois on se contente d'indiquer l'hélice *h* par un trait dont on verra plus tard l'usage.

On fait en acier deux fers analogues à celui qui est représenté dans la fig. 2424, l'un d'eux est plus court que l'autre d'une quantité égale à une demi-hauteur de filet; il est marqué *d* sur la fig. 2423. Ces deux fers sont placés sur la ligne d'hélice de manière à dépasser le cylindre d'une certaine quantité. *g g*, sont des trous pratiqués dans les fers correspondant à d'autres trous pratiqués dans le cylindre, et dans lesquels on passe des goupilles qui en contiennent les fers en place.

Pour tarauder un trou du diamètre du cylindre on introduit le taraud dans ce trou, le filet *c* s'engage dans le bois et guide les fers dans leur mouvement d'hélice; le fer *d* attaque d'abord le bois par celui de ces bouts que l'on voit sur la figure; ce bout dépasse le cylindre d'une quantité égale au quart de la profondeur du filet, quand on a tourné d'un demi-tour l'autre extrémité du fer *d* qui dépasse le cylindre d'une demi-épaisseur de filet, agrandit l'écuelle formée par la première extrémité; quand on a tourné deux tours environ le second fer *e f* termine le filet par ses deux pointes *e* et *f*; la première *e* saille sur le cylindre *c* d'une quantité égale aux trois quarts de la profondeur du filet; la seconde *f* a exactement la forme de l'écuelle et la termine complétement, les copeaux passent au travers des trous que l'on voit pratiqués aux extrémités des fers et se dégagent facilement. La longueur du fer *d* est égale au diamètre du cylindre, plus aux trois quarts de la hauteur d'un filet; celle du fer *e f* à ce même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diamètre, plus au sept quarts de la hauteur du filet. Ces fers sont trempés à l'huile et revenus bleu-clair afin qu'il soit possible de les raiver avec un grattoir.

Quand le corps du taraud est en bois le filet taillant *c* se fait facilement au moyen de pointes de fer qu'on place de 5 en 5 millimètres sur la ligne d'hélice *h* et qu'on lime sur place à deux biseaux ; les premiers clous doivent être très rapprochés, se toucher presque, et avoir peu de saillie au-dessus du périmètre du cylindre; à mesure qu'on se rapproche du premier fer *d*, ils vont en augmentant de grosseur et de saillie pour que l'ouvrage de ce fer soit déjà préparé et qu'il soit moins sujet à s'engorger. L'espace entre les clous sert à loger la sciure de bois.

Ce taraud fonctionne très bien ; il peut tarauder un trou à l'extrémité d'une planche de sapin sans la faire fendre. Il diffère par un principe de la filière à bois en ce que l'hélice qui détermine le mouvement descensionnel est située en avant des fers qui forment le filet. Dans la filière à bois, le cylindre à fileter est d'abord rencontré par le fer, puis s'engage dans un écrou qui le guide dans le mouvement d'hélice. On pourrait faire des tarauds sur ce principe au moyen d'une vis qui entrerait exactement dans l'écrou que l'on voudrait former et à la partie inférieure de laquelle on placerait des fers ou des clous placés en hélice destinés à former l'écrou ; comme dans la filière à bois le filet de la vis entrerait immédiatement dans l'écuelle creusée par le fer ou les clous, et le taraud serait guidé parfaitement dans son mouvement descensionnel. Des tarauds de ce genre ont été employés par quelques personnes, et ont produit, à ce qu'il paraît, de fort bons résultats. Néanmoins leur usage n'est pas généralement répandu. E. DUBIED.

TARIÈRE. Instrument à l'aide duquel on perce les trous d'un fort diamètre ; c'est un des outils les plus employés par les charpentiers. Il consiste essentiellement en une mèche de grande dimension mue par un levier transversal ou tourne-à-gauche. Les quatre grandes opérations du travail manuel sont, dit P. Desormeaux : diviser, dresser, percer, assembler. Entre elles le percement est celui qui exige le moins de dépense de force intellectuelle, le succès de l'opération est tout entier renfermé dans la perfection de l'outil ; c'est par suite au perfectionnement de celui-ci que l'on doit s'appliquer.

La série des tarières commence à la tarière à cheviller des charpentiers, c'est-à-dire dans de grandes dimensions à la mèche-cuiller, dont la cavité reçoit le copeau formé, qui n'étant pas poussé pour en sortir, s'y comprime, bourre et par suite force à interrompre souvent le travail pour nettoyer la tarière. C'est un inconvénient auquel on remédie avec les tarières en hélice qui sont de deux sortes.

Les premières ne portent contournée en hélice que la pointe extrême qui rappelle celle des vrilles. Comme la cannelure est verticale, le copeau s'y amasse aussi facilement que dans les anciennes tarières, et il faut la retirer fréquemment. Cet effet a lieu d'autant plus souvent que l'outil pénètre très-rapidement, appelé par la vis tire-fond qui le termine ; il n'est presque pas besoin d'appuyer pour la faire entrer, le mouvement giratoire suffit.

L'idée de faire monter le copeau en lui faisant suivre une hélice est passée de la théorie dans les faits, et on trouve depuis longtemps dans le commerce des tarières fort bien exécutées marquées *Sorby*, qui remplissent fort bien cette fonction. Les fig. 1, 2 et 3 représentent une tarière de cette espèce ; le bout central *a* est limé en vis, en tire-fond, et attire sur le bois les deux couteaux *b*, *c*, qui mordent ensemble. Dès qu'ils ont levé les copeaux, il en monte un dans chacune des deux hélices concaves dont est formé le corps de la tarière. Elle est faite avec un morceau d'acier plat qu'on tord à chaud, jusqu'à ce que l'inclinaison de l'hélice ait 45° au moins; par le bas, du côté de la

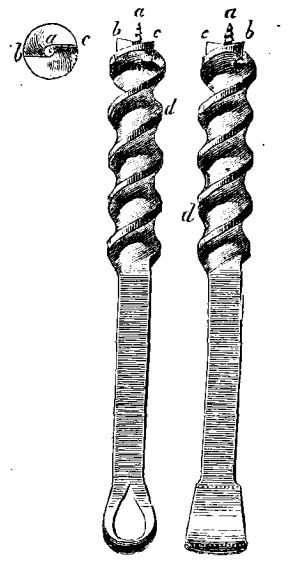


Fig. 1. Fig. 2.

vis d'appel *a*, on diminue cette inclinaison, qui serait trop grande pour que les couteaux pussent couper le bois, et on la ramène à 20 ou 25 degrés. Les couteaux sont rendus coupants au moyen d'un évidement pratiqué à la naissance de chaque filet.

TARTRATES. Sels formés par l'acide tartrique ; il n'y en a que deux qui aient quelque importance, ce sont :

1° Le *bi-tartrate de potasse* ou *crème de tartre*, que l'on obtient en purifiant par plusieurs cristallisations successives, et même en décolorant par le noir animal, le *tartre brut* ou *lie de vin ;* l'eau froide n'en dissout que 1 à 1/2 pour 100, tandis que l'eau bouillante en dissout 15 pour 100 ;

2° Le *tartrate double de potasse et d'antimoine* ou *émétique*, qui s'obtient en faisant bouillir une dissolution de bi-tartrate de potasse avec de l'oxyde ou un sous-sel d'antimoine ; l'eau froide en dissout 7 p. 100, et l'eau bouillante 15 p. 100 de son poids.

TAS. Enclume carrée, généralement un peu bombée.

TEINTURE. On connaît sous le nom de teinture l'art de communiquer aux diverses matières textiles des colorations variées. M. Chevreul définit la teinture, l'*art d'imprégner, aussi profondément que possible, le ligneux, la soie, la laine et la peau, de matières colorées qui y restent fixées mécaniquement ou par affinité chimique, ou enfin à la fois par affinité et mécaniquement.* (Travaux de la commission française, t. V. *Tapisseries*, p. 51.) Nous aurons à traiter de cette partie très-importante de la science industrielle, dans ses rapports avec les divers tissus que l'homme a su, par de persévérants efforts, introduire dans les usages domestiques : le lin, le chanvre, le coton, parmi les matières textiles d'origine végétale; la soie, la laine, parmi les matières textiles d'origine animale. Nous ne devons mentionner ici que pour mémoire les matières textiles d'origine minérale, comme les verres filés, les asbestes, les amiantes, etc., matières qui, comme la soie, la laine, le coton, ont été transformées en tissus. La colo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ration de ces substances n'est pas du domaine de la teinture.

La coloration des fibres textiles, par certaines matières colorantes déterminées, n'est pas le résultat d'une simple superposition mécanique. Nous démontrerons par la suite que si l'étoffe peinte ne peut être considérée d'une manière absolue comme un composé chimique parfaitement défini; elle doit l'être au moins comme le produit de l'affinité réciproque de l'étoffe et de la couleur. C'est là ce qui distingue la *teinture* de la *peinture*.

Mais pour que les couleurs puissent s'unir aux tissus et contracter une adhérence, sans laquelle il n'y a pas de teinture, il faut qu'elles soient présentées dans un très-grand état de division, tel que celui, par exemple, qui résulte de la dissolution du principe utile dans un liquide approprié. La porphyrisation de la matière colorante et sa suspension dans l'eau, même dans tout autre liquide, ne sauraient convenir pour autre chose que le cas des colorations artificielles obtenues par simple pénétration de la couleur dans les alvéoles des fibres textiles. Ce ne sera que le cas exceptionnel : il n'y a là, en effet, qu'un cas particulier de teinture.

Pour obtenir des teintes belles, solides, uniformes sur les fils et sur les tissus de coton, de chanvre, de lin, de laine et de soie, il faut que ces matières soient complétement, convenablement au moins, dépouillées de toutes substances étrangères, colorées, grasses, gommeuses ou résinoïdes qui s'y trouvent naturellement, ou que le tissage ou le filage y ont introduites, et qui feraient obstacle à la fixation des couleurs dont on voudrait les teindre. Les matières textiles doivent donc être soumises préalablement aux opérations du blanchiment.

L'art de la teinture embrasse ainsi pour le savant, comme pour l'industriel, des connaissances excessivement complexes. L'un et l'autre, en effet, doivent faire une étude approfondie des principaux caractères des matières textiles elles-mêmes, tant au point de vue des opérations du blanchiment, qu'à celui plus spécial de la teinture proprement dite. N'importe-t-il pas de savoir comment ces éléments se comportent, lorsqu'on les expose à l'action des divers réactifs pendant les opérations du dégraissage, de la décoloration et de la teinture, soit par voie d'immersion, soit par voie d'impression directe ou par l'intermédiaire des mordants?

N'importe-t-il pas encore, pour l'un et l'autre, d'approfondir les propriétés des matières colorantes organiques ou minérales; ne faut-il pas savoir les préparer, les purifier, déterminer leur valeur commerciale et apprécier les fraudes auxquelles donnent lieu les transactions dont elles sont l'objet? Aujourd'hui la confection seule des extraits de bois de teinture constitue l'une des plus importantes industries dont le chimiste puisse désirer connaître les secrets.

Nous aurons à distinguer dans l'art de la teinture des principes que la science a posés, que l'industrie accepte et dont elle ne s'écarte pas; ces principes forment un corps de doctrine reconnue par les fabricants, que les notions scientifiques professées dans tous les centres industriels ont rendus familiers aux idées de progrès.

La teinture ne se pratique pas seulement sur les fibres en laine, ou flocons, ou fils ou tissus, pour l'obtention des colorations uniformes. Souvent elle doit conduire à la reproduction de couleurs dans lesquelles on fait intervenir les procédés de teinture proprement dite, et ceux de l'impression, lorsqu'on applique par les voies mécaniques, ou des réserves ou des enlevages. Nous aurons donc à considérer dans leur ensemble les diverses méthodes employées à l'impression des tissus. Ici nous aurons à faire apprécier les diverses phases du mordançage, des réserves, des enlevages, combinés avec les opérations du fixage des mordants, de l'avivage des couleurs et de leur fixation.

Nous terminerons cet article par un examen aussi complet que possible des moyens d'essai que fournit la science à l'industrie pour la guider dans la recherche des méthodes employées dans la fabrication ou dans la teinture.

J'ai pensé qu'il était convenable, pour faire comprendre l'importance des industries que nous allons étudier, de grouper des chiffres qui permettent d'apprécier d'une manière exacte les progrès qu'ont réalisés, depuis le commencement de ce siècle, les industries du coton, du lin, du chanvre, de la laine et de la soie; progrès auxquels assurément ne sont pas restés étrangers les perfectionnements apportés dans l'art de la teinture et de l'impression pendant la même période. A ces deux industries nous associons celles qui concernent le blanchiment et la confection des matières tinctoriales.

Bien qu'il ne rentre pas dans notre cadre de traiter *ex professo* des diverses phases par lesquelles passent les diverses matières textiles pour prendre la forme de fils ou de tissus, nous pensons devoir extraire des rapports officiels contenus dans les travaux de la Commission française près l'Exposition de Londres, en 1851, des chiffres exacts qui fixent d'une manière bien positive l'influence qu'exercent sur la classe ouvrière, sur son bien-être, et sur la circulation générale des capitaux, les industries du blanchiment, de la teinture et de l'impression sur étoffes. Ces industries reçoivent directement et successivement les fils et les tissus, consommés rarement sans avoir été blanchis, apprêtés, teints ou imprimés.

Le programme très-étendu que nous venons d'exposer nous donne toute latitude pour développer sans répétitions oiseuses des faits connus, les progrès réalisés dans les diverses branches qui, par leur ensemble, constituent l'art de la teinture. Cet article sera donc complété, pour ceux qui désireront en faire *un tout* presque synoptique, par la lecture des autres travaux contenus dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*. Nous aurons soin, du reste, de renvoyer aux articles pour plus amples informations. Nous aurons, par cette méthode, toute possibilité d'intercaler avec ordre les nombreuses observations, tant théoriques que pratiques, qui ont pris place dans la science et dans l'industrie depuis 1855, et qui ont trait, soit au blanchiment, soit à la teinture proprement dite, soit à l'impression, soit encore à la préparation mécanique ou chimique des matières tinctoriales. Nous commencerons par l'étude des faits commerciaux qui nous semblent propres à démontrer l'importance des industries qui s'occupent des matières textiles. Nous la ferons suivre d'observations nouvelles sur les propriétés de ces matières considérées au point de vue chimique. La découverte de nouveaux principes propres à dissoudre ces matières pourra un jour jeter les plus vives lumières sur la nature des phénomènes de la teinture proprement dite.

§ I. DES MATIÈRES TEXTILES

Considérées dans leur développement industriel et leur rapport avec les opérations de la teinture.

Coton. — L'industrie du coton, originaire de l'Inde, ne s'introduisit que lentement et tardivement en Europe, d'abord par les Maures qui, dans le dixième siècle tentèrent de la naturaliser en Espagne. De nouveaux essais furent faits dans le quatorzième et le quinzième siècle en Italie et dans les Pays-Bas, mais sans qu'il en résultât aucune industrie de quelque importance.

C'est en 1569 que la première balle de coton fut importée dans le Royaume-Uni: en 1641 la fabrication était complétement installée sur une grande échelle à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Manchester. En 1678, on y tissait environ 900,000 kilogrammes de coton par an. Mais, à cette époque déjà, de nombreuses réclamations s'élevaient contre l'introduction des tissus de coton des Indes; on demanda la prohibition qui ne put être décrétée qu'en 1700 : à l'ombre de cette protection, l'industrie se développa tellement qu'en 1851 elle représentait 700 millions de francs d'exportation, et 600 millions de francs de consommation intérieure. En France à la même époque cette même fabrication ne représentait que 50 millions d'exportation, mais 580 millions de consommation intérieure. Dans ce premier chiffre figurent beaucoup de tissus de coton teints ou imprimés. Ainsi, pendant 1849, les toiles peintes figurent pour 900,000, et en 1850 le même article figurait pour une somme de 1,488,540 francs.

La consommation par habitant de France en 1790 était 1/5 de kilogramme, lorsqu'en Angleterre chaque habitant disposait de 1 kilog. 1/2.

L'enquête de 1834 a constaté que 34 millions de kilogrammes entraient à cette époque dans les manufactures françaises et qu'ils arrivaient au consommateur pour une somme de 600 millions. En Angleterre 125 millions de kilogrammes sont mis en œuvre, 72 millions sont exportés, c'est-à-dire 450 millions de francs.

Alors la France spécialisait dans l'industrie cotonnière la perfection du travail, l'amélioration des fils; l'Angleterre au contraire spécialisait la production à bon marché. Dans ces deux voies différentes depuis 1816 chacune de ces deux nations avait triplé sa production et réduit ses prix de moitié. Elles étaient arrivées au même résultat.

En récapitulant depuis 1816 jusqu'en 1849 les chiffres qui représentent la mise en œuvre des cotons en Europe M. Mimerel (rapport sur l'Exposition de Londres) a dressé le tableau suivant comprenant des périodes décennales :

En 1816.	80	millions de	kilogrammes
1826.	140	dito	dito
1836.	246	dito	dito
1846.	500	dito	dito
1849.	540	dito	dito

Ce n'est pas seulement le climat qui détermine l'emploi des tissus de coton; la civilisation exerce aussi son influence sur cette partie de la consommation publique et cette observation explique l'importance que nous attachons à ces documents statistiques. En effet, si le bas prix du vêtement de coton est cause de son emploi fréquent par le peuple, la souplesse du tissu, la délicatesse des couleurs qui le teignent, le rendent propre encore à l'usage des classes plus aisées. On en pourrait déduire, avec M. Mimerel, que le bien-être et la richesse d'une nation peuvent dans certaines limites se mesurer d'après l'importance de leur consommation en tissus de coton.

A l'appui de cette opinion je reproduis ici le tableau qui résume par nationalité la consommation de chaque habitant :

Angleterre . .	2 k. 1/2	Autriche . . .	1 k. 1/4
Belgique . . .	2 »	Suisse.	1 1/4
France	1 1/2	Espagne. . . .	1 »
Zollverein. . .	1 1/2	Russie	» 1/2

Nous observerons relativement à la France que, plus élégante dans ses habitudes, sa population se vêt avec des tissus plus fins, c'est-à-dire d'une plus grande superficie pour un même poids. « Si les habitudes de « l'Angleterre pénétraient chez nous, la consommation « s'élèverait pour chaque habitant au delà de 2 kilog. »

En cherchant à faire l'évaluation des salaires attribués à l'industrie du coton, on trouve que la masse filée et tissée par année s'élève à 485 millions de kilogrammes ayant une valeur de 6 francs l'un, ce qui fait plus de 3 milliards. La valeur des matières premières et des substances tinctoriales est environ de 800 millions; il faut déduire la valeur du loyer et l'intérêt des capitaux engagés. Il reste environ 2 milliards. En France, où la consommation représente 630 millions, la part des salaires est donc d'une importance considérable, environ 378 millions.

L'Amérique et la Russie sont sans doute appelées à changer cet état de choses, et peut-être dans un avenir assez rapproché. La première possède le coton, et la seconde jouit de la main-d'œuvre à des prix très-faibles. Aujourd'hui les Américains importent en Chine pour 10 à 12 millions de francs de tissus non imprimés; lorsque leurs tissus imprimés seront plus satisfaisants ils en introduiront beaucoup plus; l'exportation dans les Indes est tellement menacée qu'on a dû protéger les produits de la métropole par une différence de 5 pour 100 sur les droits qu'ils payent à l'entrée. Les produits anglais payent 5 et les produits américains 10 pour 0/0.

L'Angleterre cherche à conjurer ce danger qu'elle voit grossir à l'horizon; elle veut introduire dans l'Inde, en même temps qu'elle favorise son exportation, les cotons d'Amérique en les naturalisant. Jusqu'ici ses essais sont restés sans résultats, malgré de nombreux sacrifices; car il y va du chômage de ses nombreux ateliers dans un avenir plus ou moins prochain, si par la suite leur alimentation reposait sur le bon plaisir d'une nation rivale; l'Angleterre ne s'arrête pas devant les obstacles que lui présente la nature transformant sur le sol des Indes les longues soies de l'Amérique en espèces à duvet très-court. Elle appelle le chimiste à son aide et dès 1851 un fabricant anglais présentait à l'Exposition des produits obtenus avec le lin et possédant l'aspect du coton.

Ce que tente l'Angleterre dans les Indes, la Russie l'essaye dans ses provinces du Caucase. Dès 1849 on filait à Moscou, en cotons indigènes, presque la dixième partie des cotons que l'empire russe tout entier consomme annuellement.

La France, plus heureuse que l'Angleterre, a l'espoir de posséder dans sa colonie d'Alger les plus belles ressources pour produire le coton; c'est assurément une conquête agricole et industrielle bien capable de payer les sacrifices de sang et d'argent que le pays s'est imposés. Ces considérations ont une certaine importance; car la substitution de cotons nouveaux à ceux auxquels on a recours aujourd'hui, pour la filature et le tissage, conduira à des modifications dans les rapports de ces matières textiles avec les matières colorantes. Nous reviendrons sur cet intéressant sujet, en nous occupant de la teinture proprement dite. (Voyez COTON.)

Lin et chanvre. — Plus de trente années s'étaient écoulées depuis que le filage mécanique du coton avait transformé l'industrie anglaise; des progrès considérables avaient été signalés dans la main-d'œuvre et dans la qualité du travail, et, de ce côté du détroit, peu de distance séparait notre industrie de celle de la Grande-Bretagne. Le lin avait résisté; il restait encore dans le domaine de la quenouille et du rouet. Cependant la filature du lin devait ouvrir un nouvel avenir à nos manufactures et le prix d'un million de francs pour l'inventeur de la filature mécanique du lin ouvrit les yeux sur l'importance de la question. M. Philippe de Girard réalisa les conditions du programme, et s'il fut privé des récompenses auxquelles lui donnaient droit et son génie et sa persévérance, il ne faut en accuser que les préoccupations qui pendant les années 1812 et 1813 absorbaient la France et son gouvernement.

Avant comme après Philippe de Girard, on avait proposé divers systèmes en vue de la filature mécanique du lin; mais quelques-uns d'entre eux n'avaient pour but que d'appliquer à la filature mécanique du lin les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

méthodes en usage dans la filature du coton. L'entière réussite devait au contraire avoir pour base et pour point de départ ce que la pratique avait appris dans la filature à la main; il fallait faire exactement ce que fait la fileuse elle-même : aller chercher dans la poignée de lin la petite quantité de brins dont elle a besoin, les démêler, les tendre et les humecter avec de la salive. Inventés en 1810, comme le prouvent les brevets pris à cette époque par Philippe de Girard, puis appliqués à Paris, en Autriche, en Saxe, ces procédés, basés, d'une part, sur l'emploi de peignes qui basculent les uns sur les autres, vont chercher et étirer les filaments pour les conduire au cylindre étireur, d'autre part, sur l'emploi de l'eau tiède pour dissoudre la matière glutineuse qui soude les fibrilles composant le filament de lin, ces procédés restèrent inconnus en Angleterre jusqu'en 1819. Des documents irrécusables prouvent en effet que c'est dans la période qui sépare 1820 de 1824 que la filature mécanique du lin fut établie dans le Royaume-Uni. Des essais plus ou moins heureux avaient été faits, mais ils ne conduisirent pas à des résultats complets. L'invention ne doit dater que du jour où la révolution s'est accomplie, et nous avons dit qu'elle l'avait été par l'emploi de l'eau chaude et des peignes sans fin créés par Philippe de Girard. Telle est la part de la France dans l'application de la mécanique à la filature du lin. La part de l'Angleterre est considérable, surtout dans les perfectionnements, car c'est elle qui a réglé les machines préparatoires, c'est elle qui a complété le système de l'assortiment des machines, c'est elle encore qui a trouvé le filage à sec des étoupes.

L'importance du blanchiment dans ses rapports avec les étoffes de lin motive l'exposé que nous allons présenter ici des détails sur l'importance de l'industrie linière en Angleterre comme en France. Ces détails sont extraits presque textuellement du rapport de M. Legentil sur l'Exposition universelle de Londres en 1851.

Si la France a tardé trop longtemps à s'approprier la filature mécanique du lin, la Belgique et l'Allemagne ont encore montré moins d'empressement. On trouve la cause de cette situation dans la culture même du lin très-répandue sur ce territoire. Le lin était filé, puis tissé manuellement par des ouvriers débiles, ce travail s'alliant du reste aux travaux des champs; les capitaux d'ailleurs étaient beaucoup moins pressés de se porter sur cette industrie exercée déjà dans des conditions d'un salaire très-modique.

En Angleterre de nombreux et très-habiles mécaniciens, une population ouvrière familiarisée depuis longtemps avec l'usage des machines, la vue de fortunes colossales créées par l'exploitation de l'industrie cotonnière, tous ces puissants mobiles entraînèrent les spéculateurs. L'Angleterre marcha donc d'un pas ferme dans cette carrière, après avoir pris une avance considérable sur toutes les autres nations.

L'accroissement annuel de la filature et du tissage du lin devrait être le plus puissant encouragement à la culture de cette matière textile dans les pays qui la cultivent et la mettent en œuvre. Il n'en est cependant rien, comme le prouvent les données statistiques qu'on a pu recueillir. Une des grandes difficultés de la culture du lin réside dans l'opération du rouissage; c'est tout à la fois une cause de retard dans la solde du travail du producteur, une cause d'insalubrité dans la localité qui se charge de miasmes, surtout lorsque le rouissage s'opère dans des eaux stagnantes.

Depuis 1847 des essais ont été faits pour faire disparaître les inconvénients de cette préparation; l'eau chaude proposée par M. Schenck n'exige déjà plus pour les tiges de lin que soixante heures d'immersion. En 1850, M. Doulan a proposé le broyage mécanique du lin qui sépare la tige ligneuse du filament, et qui supprime le rouissage; on file la filasse à sec, et l'on fait bouillir le fil avant le tissage. Ce moyen ne peut servir qu'à l'obtention de fils très-communs. Enfin, M. Claussen propose de plonger la tige dans une solution chimique appropriée; trois heures d'immersion suffisent pour détacher la filasse de la tige ligneuse qu'elle enveloppe. Il va plus loin : il blanchit complétement la filasse, la divise et la *cotonise* en quelque sorte. Mais y a-t-il avantage à faire du coton avec du lin? pourquoi ne pas réserver le cœur du lin qui produit un élément textile plus précieux que le coton?

De toutes les nations, celle qui cherche le plus actuellement à répandre la culture du lin est l'Angleterre; elle fonde ses espérances de succès sur la division du travail; on veut séparer les deux industries, celle de la production du lin et celle de la préparation de cette matière textile. La culture s'augmentera du jour où le cultivateur pourra vendre et livrer sa récolte sur pied. La préparation, le rouissage et le teillage du lin se feront beaucoup mieux, lorsque ces deux opérations s'exécuteront dans des ateliers spéciaux, en dehors des champs, où le filateur pourra réunir intelligence, économie, activité.

L'Irlande peut suffire aux besoins de l'Angleterre; l'étendue du sol de cette contrée qu'il est possible de cultiver peut s'estimer à 15 millions d'acres (1 acre = 65 ares 60 centiares); il est admis que chaque acre donne 250 kilogr. de filasse, ce qui équivaut à 380 kilogr. par hectare.

Or, la Grande-Bretagne possède un million cinq cent mille broches, qui consomment annuellement 120 à 125 kilogr. de filasse, dont elle tire les trois quarts de l'étranger. Pour trouver chez elle-même la totalité de son approvisionnement, elle n'aurait à ensemencer que 500,000 acres; l'Irlande y suffirait seule, car cette superficie ne représente que la trentième partie de sa surface totale. Le lin d'Irlande est bon; il produit toutes les variétés extra-fines que la Belgique seule est en mesure de produire.

L'Angleterre poursuivra certainement le but qu'elle se propose, la propagation de la culture du lin, car elle sent qu'un jour ou l'autre ses manufactures de coton manqueront de la matière première dont elles font une si prodigieuse consommation. (Voyez CHANVRE et LIN.)

Laine. — Peu de laines en fil ou tissus sont livrées en blanc à la consommation; si l'on excepte quelques casimirs et les flanelles, la laine n'est consommée que lorsqu'elle a reçu les diverses opérations de la teinture. Avec les développements de l'industrie des laines doit donc encore se développer l'art de la teinture. A ce titre nous trouvons intéressants les chiffres que M. Randoing a réunis à l'occasion du travail de la commission française pour l'Exposition universelle de Londres.

D'après cet honorable industriel, l'histoire de l'industrie de la laine peut se résumer en France en quatre périodes distinctes.

La première commence à la fin du seizième siècle, à la fondation de cette industrie, et la création des grands établissements dont la principale force consistait dans les nombreux priviléges qui leur étaient concédés; elle se termine en 1789.

La deuxième période comprend la durée de l'Empire et le commencement de la Restauration. La situation de la France vis-à-vis de l'Europe entière impose au chef de l'État l'obligation de faire de l'industrie l'un des leviers de son action; la fabrication des draps, secondée par les soins donnés à l'agriculture, comme encore par l'esprit d'invention qui caractérise ce siècle, suit l'impulsion des sciences positives, elle sort de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'ornière et ne repose plus sur des priviléges ; prenant son point d'appui sur les besoins du pays, elle devient une cause de prospérité.

La troisième période commence vers 1818. Les manufacturiers adoptent sur une grande échelle l'emploi des machines, qu'ils substituent à la force matérielle de l'homme. Il en résulte dans la main-d'œuvre une diminution considérable, une baisse de prix qui développe la consommation dans une proportion à la suite de laquelle deux crises successives apprennent au producteur à régler sa marche de manière à ne plus s'exposer à de nouveaux désastres.

La quatrième époque commence en 1830. Elle embrasse une longue période pendant laquelle s'effectue le développement régulier de toutes les branches de la fabrication. Les progrès de la teinture et l'influence du goût viennent se joindre au perfectionnement des outils, et permettent d'ajouter aux produits français des qualités nouvelles.

L'histoire des progrès de l'industrie de la laine en France se lie entièrement à l'histoire de la production de la laine brute. Vers le milieu du dix-huitième siècle, la France n'occupait que le septième rang, si l'on classait les nations par ordre du mérite des laines qu'elles pouvaient produire ; elle venait après l'Espagne, la Hollande, l'Angleterre, la Saxe, le Palatinat et le Danemark. Elle tirait de l'étranger en 1780 la moitié de la laine qu'elle mettait en œuvre. Les laines d'Espagne étaient particulièrement employées dans les filatures d'Elbeuf, Louviers, Sedan, Reims, Abbeville, Amiens, Rouen. En 1782 la France en reçut pour 14 millions de francs ; en 1812 sa production s'élevait à 84 millions de francs. Depuis cette époque, il y a développement non-seulement en quantité mais encore en qualité. Le croisement de nos races avec les races espagnoles a relevé nos produits jusqu'à parvenir au troisième rang. Aujourd'hui nous possédons des laines magnifiques, et nous n'importons plus que le cinquième des laines mérinos que le filateur demande pour les transformer.

En 1851 on pouvait évaluer à 40 millions les moutons de toute nature qui vivent en France. Chaque toison pèse en moyenne, y compris celles des agneaux lavés à dos, 1k,800, soit 72 millions de kilog. de laine à raison de 3 fr. 50 c. le kilog., ce qui fait 252 millions de francs pour toutes qualités.

La moyenne de l'importation des années 1849, 1850, et 1851 est de 55 millions, soit en tout 307 millions. En admettant, ce qui est assez exact d'après une série nombreuse de prix de revient, que la valeur de la laine brute ne soit que le tiers de la valeur d'un tissu quelconque au moment où le consommateur l'achète, le nombre total des tissus de laine fabriqués en France s'élèverait à 921 millions aux époques considérées. On livrait alors à l'exportation 116 millions ; il resterait donc pour la population le chiffre de 805 millions ; ce chiffre, pour de nombreuses raisons, ne peut être considéré que comme un minimum.

En Angleterre, d'après les relevés officiels, dans la même période, la laine représentait une valeur créée égale à 925 millions, c'est-à-dire à peu près la même que chez nous.

Nous croyons devoir terminer cet aperçu par l'exposé de quelques chiffres qui représentent le développement des exportations. Mais il convient, pour pouvoir comparer les chiffres que donnent nos douanes à ceux fournis par les douanes anglaises, de réunir aux tissus de laine les exportations qui résultent du trafic des tapis et de la bonneterie.

La moyenne des exportations françaises des années 1827 à 1836 pour les tissus de laine divers, y compris les tapis et la bonneterie en général, a été de 38 millions ; les exportations des mêmes produits pendant l'année 1851 se sont élevées à 122 millions 500 mille francs. Le progrès réalisé pendant 20 ans a donc été 220 pour cent.

Les exportations de l'Angleterre ont été en 1830 de 118 millions, en 1851 de 246 millions 500 mille francs. C'est seulement 110 pour cent., c'est-à-dire que la proportion d'accroissement a été double pour la France de ce qu'elle a été pour l'Angleterre. Nous exportons même en Angleterre surtout en tissus de mérinos et tissus de nouveautés.

On suppose, d'après des chiffres officiels, que l'industrie des laines représentait, vers 1852, 146 millions, distribués en France sous forme de salaire par année de 300 jours à raison de 1 fr. 25 c. par journée de 10 heures de travail. (Voyez LAINE.)

Soie. — L'importance de la teinture dans ses rapports avec la soie donne une valeur toute spéciale aux quelques chiffres que nous présentons ici.

On évalue à 3 millions de kilog. la quantité de soie grége annuellement mise en œuvre en France. La valeur de cette matière, variable chaque année, peut être fixée, terme moyen, à 55 fr. le kilog.; c'est donc une valeur de 160 millions qui se trouvent servir de base première aux confections de soieries et de rubans.

Sans vouloir suivre avec M. Arlès Dufour toutes les alternatives de malaise et de bien-être qu'ont subies les fabricants de soieries depuis le quinzième siècle jusqu'à nos jours (Rapport sur l'Exposition de Londres, travaux de la commission française, 1854, Paris), nous constaterons que depuis 1848 jusqu'à 1852 l'industrie des soies a été des plus florissantes. Le nombre des métiers dépassait alors 60,000. Cette situation exceptionnelle tient à ce que plus de la moitié de ses productions s'exportant, elle souffre relativement peu des crises et même des révolutions intérieures, pourvu que ses débouchés extérieurs restent ouverts.

Les 60,000 métiers qui travaillent pour Lyon sont dispersés dans l'agglomération lyonnaise, le département du Rhône et les départements voisins.

Les agitations politiques ainsi que les questions de main-d'œuvre ont fait porter loin de la ville les métiers à tisser, même les métiers mécaniques ; cela s'explique par la valeur des matières premières qu'elle emploie, et qui élève bien autrement que pour le coton, la laine et le lin le capital qu'exige l'établissement des grandes usines.

On peut assurément évaluer à 375 millions par an pendant les années 1850, 1851 et 1852 la production des articles dans lesquels la soie domine.

§ II. DES MATIÈRES TEXTILES

Étudiées au point de vue de leurs propriétés physiques et chimiques.

Maintenant que nous sommes convaincus de l'importance des industries auxquelles se rattache, par de nombreux liens, l'art de la teinture, nous devons, sans aller plus avant dans l'exposé des diverses considérations fiscales, économiques ou autres, qui pourraient s'y rattacher, indiquer d'une manière complète les notions que nous possédons sur les propriétés physiques et chimiques des matières textiles employées et désignées dans le chapitre qui précède. Cette étude, pour laquelle nous éviterons les répétitions et de trop longs détails en renvoyant le lecteur aux articles spéciaux concernant chaque matière textile en particulier, nous initiera promptement à la théorie de l'art de la teinture, à la pratique de l'une des industries les plus dignes d'intérêt. Elle nous permettra de comprendre les différences que présente la teinture en flocons, la teinture en écheveaux et la teinture en tissus. Elle nous fera saisir enfin les modifications qu'on remarque dans les procédés pratiques appliqués aux étoffes de soie, de laine ou de fil et de coton.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous étudierons les matières textiles dans l'ordre que nous avons suivi jusqu'à présent, en les divisant en matières d'origine végétale et matières d'origine animale.

Matières d'origine végétale.

A cette catégorie appartiennent le coton, le chanvre et le lin. Ce sont les seules matières textiles d'origine végétale dont nous nous occupions ici.

Coton ou laine d'arbre. — Le coton est, comme on sait, le produit d'un arbre ou d'un arbuste qu'on nomme *cotonnier*, de l'ordre des mauves ; il ne croît que dans les pays chauds, entre le trentième degré de latitude et la ligne ; les terres argileuses, rocheuses, sablonneuses lui conviennent ; toutes les expositions lui sont bonnes, sauf celle du vent du nord, qui pourrait en dessécher les feuilles. Les fibrilles du coton dont l'industrie fait usage ne sont autre chose que les poils qui forment le duvet de la graine du cotonnier, dont les sucs ont disparu par le développement et la dessiccation. De la finesse des fibrilles, de leur longueur, de leur élasticité, de leur force et de leur douceur dépend la qualité du coton ; celui qui réunit ces qualités au plus haut degré a le plus de valeur, d'après M. Michel Alcan, si bon juge en pareille matière.

Rappelons ici qu'il y a plusieurs espèces de cotonniers qui toutes ne se prêtent pas avec la même facilité, avec le même bonheur aux opérations de la teinture. Les uns ont la forme d'arbre, les autres n'atteignent pas au delà de la hauteur des arbustes. On distingue, dans le commerce, les cotons suivant la longueur des fibrilles ; on les nomme *cotons à longues soies* ou *cotons à courtes soies*. La longueur des premiers varie de $0^m,0202$ à $0^m,039$; la longueur des seconds est comprise entre $0^m,014$ et $0^m,025$; il y a donc dans cette dernière classe des cotons de la même longueur que les cotons longues soies ; leur qualité ne permet pas alors de les admettre dans la première classe.

En général, les cotons longues soies viennent de Géorgie, de Bourbon, d'Égypte, de Cuba, de Carthagène.

Les courtes soies viennent de la Louisiane, de Cayenne, de Madras et d'Alexandrie. L'Algérie fournit actuellement à la France des cotons de très-belle qualité. Nous renvoyons à l'article COTON, publié dans le premier volume de ce Dictionnaire, où le lecteur trouvera l'exposé de toutes les méthodes de préparation du coton et les procédés perfectionnés employés dans la filature de cette matière textile.

Chanvre. — Le chanvre est une plante annuelle, *cannabis sativa* ; la tige droite, velue, dure au toucher, creuse en dedans, a généralement de $1^m,43$ à 2 mètres de hauteur ; elle est recouverte d'une écorce qui se sépare en filaments assez déliés. La graine est connue sous le nom de *chènevis* ; Linnée en attribue l'origine à la Perse.

Les chanvres les plus estimés sont ceux de l'Auvergne et de l'Anjou, mais ils ont beaucoup moins de souplesse que les lins ; il est d'ailleurs difficile de les teindre en couleurs claires, car on ne peut les blanchir complétement.

Lin. — Le lin est une plante annuelle à tige fine, qui s'élève moins que celle du chanvre ; elle n'atteint guère que de $0^m,70$ à $0^m,80$; elle est creuse et formée de filaments réunis par une substance agglutinative que le rouissage peut dissoudre, et qui contrarierait beaucoup le teinturier si par des procédés spéciaux on n'en savait débarrasser complétement les fils et les tissus. Les filaments du lin comme ceux du chanvre ne sont autre chose que des tubes vasculaires articulés et cloisonnés ouverts à leurs deux extrémités. Cette contexture de la fibre textile ne semble pas être étrangère à la coloration de la fibre par les matières tinctoriales ; ceux qui n'ont voulu voir dans les divers phénomènes de la teinture que des actions physiques s'appuyaient sur cette organisation de la matière textile. Nous verrons que pour concevoir une idée bien exacte de ces sortes de phénomènes, il faut faire la part à toutes les influences qui sont en jeu. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on trouve dans la laine et dans la soie une organisation, sinon semblable, au moins équivalente.

Le lin et le chanvre ont d'ailleurs avant d'être mis entre les mains du teinturier à subir de nombreuses opérations qui les transforment, les purifient, les façonnent en fils et en tissus ; nous engageons le lecteur à lire attentivement les articles si bien présentés par M. Alcan sous le titre de LIN. Les traitements manufacturiers qu'on fait subir à ces deux matières textiles sont les mêmes ; il faut les connaître pour apprécier le rôle dans la teinture de plusieurs des agents dont nous ferons usage par la suite. L'article TISSAGE du même auteur doit encore être étudié pour nous faire saisir le rôle des substances accidentelles que le tisserand introduit pour effectuer son ouvrage et dont il est important que le teinturier fasse disparaître jusqu'aux dernières traces s'il veut produire dans les meilleures conditions de succès et de bon marché.

Propriétés chimiques des fibres d'origine végétale. — Considérées sous le rapport chimique, les fibres textiles du lin, du chanvre et du coton représentent de la cellulose pure, débarrassée de toute matière incrustante. Nous devons en faire une étude approfondie, surtout au point de vue du teinturier. Nous ne pouvons ignorer en effet comment cette fibre se comporte au contact des divers liquides dont le teinturier doit faire usage ; il nous faut aussi connaître les altérations qu'elle peut subir de la part des éléments employés pour la décolorer lorsqu'elle possède par elle-même une coloration propre qui doit disparaître surtout pour l'obtention des couleurs très-claires et pures. L'art du blanchiment comme celui de la teinture exige donc la connaissance des propriétés chimiques de la cellulose organisée.

La cellulose pure est formée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dans des proportions qui conduisent à la formule $C^{12} H^{10} O^{10} = C^{12} H^9 O^9 + HO$; elle contient en effet :

Carbone.	990	44,4
Hydrogène	125	6,17
Oxygène	1000	49,39
	2025	100,00

A l'état de pureté, c'est une substance incolore, diaphane, insoluble dans l'eau, dans l'acide acétique, dans l'alcool, dans l'éther, dans les huiles grasses et dans les huiles essentielles ; elle résiste à l'action des acides et des alcalis étendus, mais sa résistance est variable avec l'état d'agrégation sous lequel elle se présente.

La cellulose se conserve assez longtemps lorsqu'on l'expose à l'air sec ; mais sous l'influence de l'air humide, elle se désagrége d'abord, puis finit par subir une véritable décomposition.

Le chlore, le brôme, l'iode, en dissolutions étendues ne l'attaquent que faiblement ; mais s'ils agissent à l'état de dissolutions concentrées, les altérations sont profondes, surtout sous l'influence des rayons solaires. Non-seulement ils agissent comme des corps déshydrogénant tantôt en s'emparant d'une partie de l'hydrogène, tantôt en fixant de l'oxygène par suite de leur tendance à décomposer l'eau ; ils agissent encore en vertu des acides chlorhydrique, bromhydrique, iodhydrique formés, dans les deux cas, aux dépens de l'hydrogène de la cellulose ou de l'hydrogène de l'eau décomposée.

Le chlore, le brôme et l'iode attaquent encore la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cellulose en dissolution étendue, lorsque ces corps sont au contact d'une base énergique caustique hydratée, même carbonatée ; la dissolution de potasse ou de carbonate de potasse en présence du chlore, du brôme ou de l'iode désagrége la cellulose.

Les alcalis, la potasse, la soude, les oxydes solubles, la chaux, la baryte, les carbonates alcalins de potasse et de soude en contact avec la cellulose, agissent différemment sur elle, suivant qu'ils sont concentrés ou étendus, carbonatés ou caustiques, avec ou sans le contact de l'air. Les alcalis caustiques en dissolution faible, et les alcalis carbonatés même en dissolution concentrée n'excercent en général qu'une action assez peu prononcée sur la cellulose ; elle est fortement contractée par les alcalis caustiques employés à l'état de liqueurs concentrées ; un tissu de coton, de lin, de chanvre se crispe, lorqu'on le touche avec un alcali concentré.

Lorsque, d'après M. Pelouze, on n'élève pas la température au delà de 160° et qu'on chauffe un mélange de cellulose et de potasse caustique, si l'on verse un acide dans la liqueur provenant du lessivage, on obtient une matière qui présente la composition et les propriétés générales de la cellulose, mais qui se dissout soit à froid, soit à chaud dans les alcalis.

Avec le concours de leur eau d'hydratation les alcalis deviennent fortement oxydants à l'égard de la cellulose ; si l'on chauffe au-dessus de 160°, lorsque la cellulose est en excès, on obtient de l'ulmine, et lorsque l'alcali domine à 280° il se forme de l'oxalate de potasse ; à 400° l'oxalate se détruit, il n'y a plus que du carbonate de potasse. La formation de ces sels alcalins est accompagnée d'un dégagement d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau d'hydratation. L'oxygène s'est porté sur la cellulose.

L'action de la chaux sur la cellulose est très-remarquable ; cet oxyde n'agit en effet, même à l'état très-concentré, qu'en présence de l'air : dans le vide il n'y a pas d'altération ; dans l'oxygène, au contraire, on remarque une désagrégation très-rapide. Cette expérience prouve que la destruction du tissu résulte d'une oxydation de la matière elle-même ; elle conduit à penser que dans la teinture en noir, il existe une cause d'altération semblable, et que lorsqu'on dépose sur un tissu des protoxydes de fer ou de manganèse pour les faire passer ensuite à l'état d'oxydes plus oxygénés, la fibre elle-même peut s'oxyder.

L'action des acides sur la cellulose est variable avec l'état de concentration de l'acide ; elle varie encore avec la nature de l'acide. L'acide sulfurique étendu n'exerce sur la cellulose qu'une action très-faible, lorsque le contact n'est pas prolongé. A la longue, la fibre passe à l'état de désagrégation, se gonfle et devient soluble dans l'eau ; elle passe à l'état de dextrine. L'acide sulfurique concentré opère immédiatement cette transformation, si l'on a soin d'ajouter l'acide seulement goutte à goutte, en remuant toujours.

L'acide chlorhydrique étendu forme une matière sucrée par une ébullition prolongée avec la cellulose ; il suffit de quelques centièmes d'acide pour changer en glucose le papier, le vieux linge et la sciure de bois.

L'acide chlorhydrique concentré devient, d'après M. Pelouze, un excellent dissolvant de la cellulose ; il la dissout rapidement avec la plus grande facilité.

L'eau forme dans ce liquide un précipité blanc de cellulose ; mais si l'on attend un ou deux jours, on n'observe plus de précipité, quand on ajoute l'eau : la cellulose a complétement disparu et la liqueur présente tous les caractères d'une dissolution de glucose.

L'acide nitrique étendu d'eau et à froid se comporte avec la cellulose comme l'acide sulfurique étendu. A chaud, il la désagrége d'abord, agit ensuite comme oxydant et la transforme en acide oxalique.

L'acide nitrique concentré et l'acide nitrique fumant agissent sur la cellulose en la dissolvant ; l'eau précipite de cette dissolution une matière blanche pulvérulente, insipide, azotée, que M. Braconnot rapprochait de la xyloïdine, composé curieux qui se forme quand on traite l'amidon dans les mêmes conditions.

Si, au lieu de traiter la cellulose (coton, chanvre, lin, papier) par l'acide azotique monohydraté, c'est-à-dire ne contenant qu'un seul équivalent d'eau, nous l'immergeons pendant quelques minutes dans cet acide, et si nous la retirons ensuite pour la laver à grande eau, nous obtiendrons une matière douée d'une grande combustibilité, tout en conservant la forme de la cellulose ; on la nomme pyroxyline. Le collodion n'est autre chose que la partie de la pyroxyline qui se dissout dans un mélange d'éther et d'alcool, contenant 8 parties d'alcool pour 100 d'éther.

L'acide chromique et le bichromate de potasse, dont nous verrons qu'on fait en teinture un usage important, peuvent, à l'état de dissolution étendue, se trouver en contact avec les fibres textiles végétales, sans leur faire subir d'altération appréciable, pourvu que le contact n'ait pas lieu sous l'influence de la lumière solaire. Il faut éviter l'action du soleil, qui désagrége promptement, surtout avec une dissolution concentrée.

Les caractères qui précèdent, et sur lesquels nous avons cru devoir nous étendre longuement, fixent donc les limites dans lesquelles on peut faire agir sur les tissus de coton, de lin, de chanvre, les liquides dont on fait usage dans le blanchiment et la teinture. Nous rappellerons qu'ils semblent se confondre avec ceux qui distinguent l'amidon dont la composition chimique est d'ailleurs exactement la même. Ces deux matières ne sont cependant pas identiques, et nous devons faire ressortir ici l'une des plus importantes différences que le teinturier puisse observer.

Les fibres du coton, du lin, du chanvre, mises en contact avec certains sels de fer et d'alumine, s'emparent des oxydes de ces sels ; ils forment des composés particuliers qui sont capables alors de déterminer l'absorption des matières colorantes propres à teindre ces fibres. L'amidon n'offre aucun indice de cette propriété. On s'en sert pour épaissir les sels de fer et d'alumine qu'on veut combiner aux fibres végétales.

Ces fibres jouissent d'ailleurs d'une certaine affinité pour quelques matières colorantes, comme l'indigo, le carthame, le curcuma qu'elles attirent fortement. Dans cette circonstance, les fibres ne peuvent être décolorées qu'en faisant intervenir une action chimique énergique capable de déplacer la matière colorante.

Faut-il attribuer l'adhérence de l'oxyde ou de la matière à l'organisation spéciale des fibres différentes de celle de l'amidon? L'action qu'exerce sur la cellulose la liqueur cupro-ammoniacale peut permettre de décider la question ; car elle fait disparaître l'organisation sur laquelle nous avons insisté. J'ai disposé quelques expériences qui, malheureusement, ne sont pas assez avancées pour que je puisse faire prévoir les résultats qu'il faut en déduire ; elles ont pour base les observations qui suivent et qui permettent d'éliminer l'influence de la forme fibreuse.

M. Schweitzer a remarqué que l'eau-mère de l'hyposulfate double de cuivre et d'ammoniaque et le sous-sulfate vert de cuivre dissous dans l'ammoniaque possèdent la propriété de dissoudre plusieurs substances organiques : la cellulose, l'amidon, la soie ; la cellulose est précipitée par des solutions concentrées de sels alcalins, de miel, de gomme, de dextrine. La cellulose en dissolution se sépare par l'évaporation en plaques membraneuses amorphes.

M. Péligot prépare un excellent dissolvant de la cellulose (coton, lin, chanvre,) en versant à plusieurs reprises de l'alcali volatil sur de la tournure de cuivre, dont on remplit une allonge placée verticalement ; il se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produit une dissolution bleue, capable de dissoudre un poids de cellulose à peu près égal à celui du cuivre qu'elle contient. Introduit dans cette dissolution, le coton se transforme d'abord en une gelée épaisse qui disparaît bientôt par l'agitation et l'addition d'une certaine quantité d'eau. L'addition d'un acide en excès régénère la cellulose inaltérée, mais dépourvue toutefois de son organisation primitive. Il m'a paru très-intéressant d'examiner comment se comporterait cette cellulose vis-à-vis des matières tinctoriales employées dans l'industrie; en supposant qu'on observe une différence dans le résultat comparatif, on serait fondé, les expériences étant concluantes, à maintenir la séparation qu'on admet entre la cellulose et l'amidon.

Il est vrai que si la cellulose précipitée perdait la propriété d'attirer les matières colorantes, on pourrait objecter l'altération moléculaire que la matière aurait subie. Mais il est évident aussi qu'on touche alors aux questions les plus secrètes de la nature et qu'il ne faut présenter de solution qu'avec la plus grande réserve. Jusqu'à présent, d'ailleurs, on a considéré la cellulose comme un produit unique; d'après les expériences de M. Frémy, les savants confondraient sous ce nom des composés isomériques pouvant, sous l'influence de certains réactifs, affecter un état uniforme. M. Payen n'admet pas complétement cette théorie. D'après lui, la cellulose qui résiste, avant toute modification, à l'action du réactif cupro-ammoniacal, celle, par exemple, qui constitue *le papier de riz*, ne diffère pas beaucoup de celle qui constitue les fibres textiles, les poils de la graine du cotonnier et les cellules des divers tissus des plantes.

« Toutes les fibres corticales ne sont pas homogènes; « leurs parois sont épaissies, les unes par des couches « concentriques de cellulose presque pure, immédiate- « ment soluble dans l'oxyde de cuivre ammoniacal; « les autres, par la cellulose plus ou moins injectée et « soluble, seulement après épuration.

« Les différences que présentent les propriétés de la « cellulose, primitivement homogène dans les orga- « nismes végétaux, dépendent de sa cohésion et de la « nature des substances injectées. »

M. Payen ne regarde pas comme impossible qu'on parvienne à démontrer l'existence de divers états isomériques de la cellulose, mais il ne regarde pas cette démonstration comme acquise à la science, dans l'état actuel de nos connaissances.

Matières d'origine animale.

Nous ne comprendrons dans cette étude que la laine et la soie; nous étudierons ces matières textiles au point de vue de leurs propriétés chimiques et de leurs qualités physiques.

Laine. On donne le nom de laine, comme on sait, à la matière filamenteuse qui recouvre la peau des moutons, régulièrement percée d'une infinité de pores qui laissent passer la sécrétion constituant la laine. On sait que cette matière flexible se prolonge à l'extérieur de la peau par des développements partant de la base et s'accumulant au sommet pour s'y dessécher. Elle remplit une fonction semblable à celle que remplissent les cheveux, les poils, les plumes; sa constitution est analogue.

Vue au microscope, la laine prend la forme de tubes cannelés, striés, et ayant un canal médullaire, rempli d'air ou d'un liquide plus ou moins coloré. La laine est généralement contournée sur elle-même, plus ou moins frisée, ce qui la distingue des cheveux et des plumes; il existe une grande variété de laines qui se différencient par la longueur des brins ou par leur grosseur. On les sépare sous le premier rapport en laines longues ou laines courtes; les unes ont plus de 0m,08 à 0m,10 de longueur; les autres sont de dimensions au-dessous. On nomme ces dernières *laines à cardes;* les autres, *laines à peignes;* il convient du reste de faire remarquer ici que toutes les parties d'une même toison ne fournissent pas des brins de même longueur ou de même grosseur. Les flancs représentent ordinairement les parties les plus estimées.

Les laines se divisent encore en deux grandes espèces surtout au point de vue du teinturier. Les *laines de toisons* qui proviennent de la tonte annuelle des animaux, et les *laines mortes* qui proviennent des peaux des animaux tués pour la boucherie ou morts de maladie. Les affinités de ces matières textiles pour les matières colorantes sont fort différentes.

Nous n'avons pas à nous occuper ici des divers précédés de préparation auxquels on soumet les laines pour les livrer au filateur. Ces opérations ont été décrites avec tout le soin possible par M. Michel Alcan à l'article LAINE. L'auteur y décrit toutes les opérations de la filature et la fabrication des tissus, comprenant le tissage, le dégraissage, l'épincetage, le foulage, le lainage, le tondage, le séchage à la rame, le passage à la vapeur, le décatissage et l'apprêt. Nous nous bornerons à présenter ici les propriétés chimiques de la laine, telle qu'elle se présente après la tonte.

Propriétés chimiques de la laine. — La laine à l'état naturel n'est pas un corps homogène. Les filaments textiles sont chargés d'un corps étranger sécrété par l'animal en même temps que la laine proprement dite, et dont la quantité varie avec la qualité des fibres textiles. Les qualités ordinaires en contiennent rarement au-dessous de 20 p. 100. Les belles laines en renferment généralement de 75 à 80 p. 100; on nomme *suint* ou *surge* cette sécrétion de nature graisseuse. Le désuintage doit toujours précéder tout travail. La laine est souvent vendue en suint par le cultivateur. Quelquefois l'éleveur lave la toison sur le dos de l'animal, la laine a subi ce qu'on nomme le *lavage à dos;* on lave encore après la tonte, la laine subit alors le *lavage à chaud* ou *lavage marchand.*

La laine débarrassée de son suint par les laveurs se nomme *laine lavée;* encore chargée de suint, elle se nomme *laine en suint* ou *laine surge.*

Quel que soit l'état de la laine lavée, quand on la met dans le commerce, elle contient encore de 10 à 15 p. 100 de suint; l'expérience et l'habitude permettent d'apprécier cette contenance sans une trop grande erreur.

La nature du suint et sa composition chimique offrent le moyen d'apprécier exactement ce qui se passe dans l'opération du désuintage.

La laine surge macérée dans l'eau froide s'y ramollit en abandonnant à ce véhicule le suint qu'elle contient; l'eau devient trouble, laiteuse, écumeuse comme de l'eau de savon. A cette première macération succède une série de lavages à l'eau chaude, puis une macération nouvelle avec de l'urine putréfiée pour dissoudre les matières qui n'ont pas disparu sous l'influence des premiers traitements.

D'après M. Chevreul, la laine agitée rapidement dans un grand volume d'eau cède à celle-ci la matière soluble du suint, et retient presque toute la matière grasse; celle-ci, à l'état de pureté, est insoluble dans l'eau; cependant elle peut être enlevée sous forme d'émulsion, lorsque la partie soluble du suint est concentrée, et qu'elle reste un temps suffisant en contact avec la matière grasse. La partie du suint soluble dans l'eau froide est essentiellement formée de carbonate de potasse, de sulfate de potasse, de chlorure de potassium, de phocinate de potasse, d'un autre sel de potasse dont l'acide est volatil, mais faiblement odorant, d'une matière organique contenant de l'azote et du soufre, enfin de deux sels savonneux à base de potasse, dont les acides sont les acides stéarérique et élaïérique, acides obtenus en traitant par la potasse deux matières grasses neutres qu'on trouve adhérentes à la laine lavée et que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Chevreul nomme *stéarérine* et *élaïérine*. Il y a en outre un sel ammoniacal.

Cette partie soluble du suint est en mélange avec la terre appliquée mécaniquement à la toison, et qui se dépose dans la cuve de lavage, puis avec une certaine quantité de stéarérine et d'élaïérine sous forme d'émulsion, et d'une petite proportion de matière contenant du soufre et de l'azote.

La laine traitée par l'eau contient encore une matière grasse que l'alcool peut enlever par épuisement; ce liquide enlève en effet une matière qu'on doit considérer comme excrétée par l'appareil glanduleux du poil et comme faisant partie du suint. Des brins de laine mérinos lavés à l'eau froide montrent souvent au microscope la matière grasse excrétée comme la gomme et la résine laque sur de jeunes branches d'arbres.

La matière grasse de la laine est au moins formée de deux matières grasses neutres, la stéarérine et l'élaïérine. L'une se ramollit à 45 degrés et fond à 60 degrés, elle cristallise; la seconde est liquide à 15 degrés, et ne cristallise pas. Très-difficiles à saponifier, elles donnent des acides stéarérique et élaïérique mêlés d'une petite quantité d'acide *phocénique*; il est probable que ce dernier est en combinaison à l'état latent avec une matière différente de la stéarérine et de l'élaïérine.

La laine épuisée par l'alcool ne cède à l'acide chlorhydrique que très-peu de matière inorganique, lorsque toute matière étrangère minérale a disparu par le désuintage. Pour avoir la laine pure, il est nécessaire de la laver encore à l'eau pour enlever tout l'acide chlorhydrique, puis de la sécher et de la traiter par l'alcool, qui dissout encore des traces de matière grasse, et enfin par l'eau pure, qui élimine tout l'alcool. En résumé, un échantillon de laine mérinos en suint a donné à M. Chevreul, après dessiccation à + 100°.

Matière terreuse	26.06
Suint soluble dans l'eau froide	32.74
Graisses particulières	8.57
Matières terreuses fixées par la graisse	1.40
Laine proprement dite	31.23

La laine, après ce traitement, diffère notablement de la soie par une quantité notable de soufre. Cependant cet élément ne paraît pas être immédiatement combiné dans la fibre; il semble faire partie constituante d'un composé particulier qui lui est adhérent. En effet, le soufre peut être séparé d'un tissu de laine, en faisant macérer celui-ci dans un lait de chaux, pendant trente à quarante heures, le traitant successivement par l'acide chlorhydrique et par l'eau, puis recommençant ces traitements jusqu'à ce que l'eau de chaux n'enlève plus de soufre. Comme on peut séparer ainsi la plus grande partie de cet élément de la laine, et que celle-ci, sauf des déchirements et la diminution de ténacité qu'elle a subie, après avoir été soumise jusqu'à vingt-huit fois à l'action successive de la chaux et de l'acide chlorhydrique, conserve toujours sa forme filamenteuse, on est conduit à considérer le soufre comme un élément, non de la laine, mais d'un autre composé qui lui semble associé. La laine, privée de soufre, se rapproche beaucoup plus de la soie par la manière dont elle se comporte avec les oxydes métalliques dont les oxydes sont susceptibles de se sulfurer facilement, qu'elle ne le faisait avant d'être désulfurée.

On démontre facilement dans la laine la présence du soufre :

1° Le carbonate de soude à 2° Baumé, maintenu rendant une heure en contact à 75° centigrades avec la laine désuintée se charge de sulfure de sodium; on en constate la présence, ou par un sel de plomb, ou par l'acide sulfurique qui dégage de l'hydrogène sulfuré;

2° L'ébullition de la laine avec des acides faibles, surtout après ébullition avec des alcalis, dégage une odeur sensible d'hydrogène sulfuré;

3° L'acétate de plomb liquide colore la laine en gris noirâtre à la température de l'ébullition;

4° Une dissolution d'oxyde de plomb dans la potasse se colore en noir au contact de la laine désuintée; des sels d'étain en dissolution se comportent de même.

Abstraction faite du soufre et des matières salines, la laine est composée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote dans des proportions mal connues encore. M. Ure a donné, dans son Dictionnaire, une analyse dont nous rapprochons les résultats de celle de M. Scheerer. Nous mettons en regard une analyse des cheveux, d'après M. Van Laer, et celle des poils de la barbe d'après M. Scheerer.

	Laine		Cheveux.	Poils de la barbe.
	Ure.	Scheerer.	Van Laer.	Scheerer.
Carbone	53,70	50,60	49,77	51,99
Hydrogène	2,80	7,00	6,37	6,72
Azote	12,30	17,00	17,14	17,28
Oxygène et soufre	31,20	24,60	26,72	24,00

La laine supposée pure est plus dense que l'eau; elle est très-hygrométrique; 100 parties de laine sèche absorbent 7,75 parties d'eau; insoluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther, elle résiste à l'action des acides et des alcalis très-affaiblis. Nous allons étudier ses caractères en présence des divers réactifs.

Le chlore, le brôme, l'iode désorganisent la laine; cette action est plus profonde encore en présence des alcalis.

Les dissolutions de potasse ou de soude à l'état de concentration dissolvent la laine; il se forme des acides particuliers; la baryte, la chaux, la strontiane l'altèrent également. Les *pelades*, laines mortes enlevées par la chaux de la peau des animaux abattus pour la boucherie, ont perdu le moelleux et le nerf que les laines vivantes conservent même après de nombreux lavages.

La laine est altérée par l'acide nitrique affaibli et par les nitrates acides; ils la colorent en jaune. L'acide nitrique concentré produit avec cette matière filamenteuse un abondant dégagement de vapeurs rutilantes; il se forme en même temps de l'azote et de l'acide carbonique. Le liquide évaporé fournit une quantité notable d'acide oxalique. L'acide sulfurique concentré modifie la laine; il se forme une matière analogue aux substances grasses. D'après M. Boettger, cette propriété peut être mise à profit pour l'analyse des tissus mélangés. Si l'on soumet à l'action de ce réactif un mélange de laine et de lin ou de coton, ces deux derniers sont détruits plus ou moins vite et les filaments qui résistent sont exclusivement de la laine qui brûle avec son odeur caractéristique. L'acide chlorhydrique qui possède aussi la propriété de désorganiser les filaments de coton a été mis à profit pour séparer les fils de coton qui sont mélangés aux vieux chiffons de laine qu'on remet en œuvre. Nous insisterons plus loin sur l'action de la potasse pour analyser les étoffes mélangées.

Lorsqu'on met la laine en contact avec certaines dissolutions salines, elle peut, suivant la nature du sel, se combiner simplement avec ces dernières sans les altérer, ou les décomposer partiellement et se combiner avec les produits de leur altération. MM. Thénard et Roard ont démontré les propositions suivantes :

L'alun se combine intégralement à la laine.

L'acétate d'alumine s'y combine partiellement, mais par la dessiccation à l'air, il se réduit en sous-acétate d'alumine et en acide acétique qui s'évapore.

Le bitartrate de potasse dissous dans l'eau est réduit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par la laine en acide tartrique qui s'y unit et en tartrate de potasse qui reste en dissolution dans l'eau. Ces faits ont une grande importance dans les opérations de la teinture. Pendant le mordançage des tissus de laine avec l'alun et le sel de tartre, la laine s'unit à la fois à l'acide tartrique et à l'alun.

Le tartrate de peroxyde d'étain dissous dans l'acide chlorhydrique prépare la laine à fixer la couleur de la cochenille comme le fait l'acétate, dont nous étudierons la composition plus loin.

Dans certaines circonstances l'altération que la laine fait subir aux dissolutions salines est beaucoup plus profonde ; elle agit comme agent réducteur puissant. C'est ainsi, par exemple, qu'elle ramène à l'état de sels de protoxyde les sels de peroxyde de fer ; elle agit encore de même avec certains sels dont les acides sont beaucoup plus facilement réductibles que ne l'est le peroxyde de fer.

De même que la fibre ligneuse, la laine peut absorber certaines matières colorantes ; elle se prête de la sorte aux opérations de la teinture, mais on remarque des différences notables dans l'intensité de la coloration. En faisant des essais comparatifs avec des matières colorantes jaunes, bleues et rouges, sur des laines provenant de moutons vivants, de moutons morts en état de santé, de moutons malades et de moutons morts de maladie, on a vu que les dernières n'avaient pris qu'une très-faible teinture. Les premières seules avaient présenté des résultats complétement satisfaisants. M. Roard, directeur des teintures aux Gobelins de 1803 à 1815, fait remonter à cette cause les différences que présentent à l'égard de la teinture les diverses laines, quand on cherche à les teindre en bottes ou en écheveaux.

La laine doit dans tous les cas, avant d'être mise entre les mains du teinturier, être désuintée, blanchie et filée ; rarement elle est teinte en toison. Cependant nous verrons qu'on la soumet quelquefois en flocons aux opérations de la teinture. Le désuintage est décrit à l'article BLANCHIMENT, nous n'avons pas à l'étudier ; les détails dans lesquels nous sommes entrés au sujet de la composition du suint permettent de saisir la théorie de la pratique dans tous les détails du travail industriel. Il nous suffit de rappeler que le désuintage des laines ne doit pas être fait au-dessus de 60° et que les laines ne doivent pas rester dans le bain plus d'un quart d'heure. Ces observations de M. Roard sont conformes à ce qui se fait dans la pratique ; le savon de Flandre est le meilleur agent de désuintement.

Soie. —Nous commencerons l'étude de cette matière première en rappelant que nous n'avons pas à nous occuper ici de l'élevage des vers à soie, présentée déjà sous le titre SOIE par M. M. Alcan avec tous les détails convenables. Nous insisterons seulement sur les caractères physiques et chimiques de la soie considérée dans ses rapports avec la teinture.

De toutes les matières filamenteuses, la soie, comme nous l'avons dit, est la plus importante ; son éclat lui donne une valeur considérable, elle est la plus brillante ; sa résistance et la richesse des colorations qu'elle peut recevoir de la teinture la placent au-dessus de toutes les matières textiles.

Le fil obtenu par le dévidage du cocon se nomme *soie grége* ou *soie écrue*. La soie grége n'est pas composée d'une substance homogène ; elle se présente sous forme de deux filaments accolés formés par la solidification du liquide que sécrète la chenille ; la substance fibreuse qui constitue le filament est au centre de la matière solidifiée ; elle est recouverte de deux substances gommeuses de compositions différentes. M. Roard a confirmé vers 1807 ce que l'on savait de la composition de la soie grége, qu'elle est formée d'une matière gommeuse soluble dans l'eau, non cristallisable, qui entre pour les 0,24 ou 0,25 de son poids ; il constata la présence dans la soie d'une huile volatile odorante, de la cire et d'une matière colorante fluide à 30°, que M. Chevreul regarde comme une matière colorée et non comme un principe colorant, car il n'existe dans les soies écrues jaunes ou oranges de belle qualité qu'en quantité très-faible. M. Chevreul a constaté de plus que la matière appelée gomme est susceptible de se prendre en gelée comme la gélatine. La soie abandonne à l'acide chlorhydrique, à l'alcool, à l'eau des principes étrangers même après avoir été dépouillée de la gomme qui recouvre les fils. Le traitement par l'alcool a pour but d'enlever les acides gras du savon, et le traitement à l'eau de séparer tout l'alcool.

Il est important, avant de travailler la soie, d'enlever toutes les matières étrangères qu'elle contient. Une première couche de matière gommeuse est soluble dans l'eau chaude. La seconde ne l'est que dans une eau légèrement alcaline ; la soie dépouillée de matières étrangères prend le nom de *soie décreusée* ou *cuite* ; on appelle *décreusage*, *dégommage* ou *cuite de la soie* l'opération qui a pour but d'enlever ces matières étrangères.

D'après M. Mulder, 100 parties de soies écrues, jaunes ou blanches, contiendraient :

	Soie jaune.	Soie blanche
Fibre soyeuse.	53,37	54,04
Substance analogue à la gélatine	20,06	19,08
Albumine.	24,43	25,47
Graisse ordinaire.	1,30	1,11
Graisse résineuse.	0,10	0,30
Matière colorante.	0,05	0,00

M. Mulder avait successivement traité la soie par l'alcool et l'éther pour enlever à chaud la graisse et les matières colorantes, par l'acide acétique bouillant et concentré pour enlever l'albumine et la substance analogue à la gélatine, enfin par l'eau pour compléter l'action de l'acide acétique.

La matière qui résiste à ces actions peut être considérée comme la soie pure, la fibroïne, malgré 0,003 de cendres ; on ne peut, en effet, sans la désorganiser, enlever le soufre, le phosphore, le chlore, le potassium, le sodium, le calcium qui constituent ces cendres.

D'après le même chimiste, la fibroïne pure contient :

Carbone	48,53	49,27
Hydrogène.	6,50	6,50
Azote	17,35	17,02
Oxygène et soufre. . . .	27,62	27,30

La fibre soyeuse, insoluble dans l'éther, l'alcool, les huiles grasses et essentielles, est soluble dans l'acide sulfurique concentré ; à froid, la dissolution est visqueuse et d'un brun clair ; à chaud, elle est d'un beau rouge, et enfin d'un brun foncé à mesure que par l'oxydation il se forme de l'acide sulfureux. Les acides arsénique et phosphorique dissolvent à froid la soie ; l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique exigent le concours de la chaleur.

Les alcalis concentrés dissolvent la soie ; mais les acides ou l'eau la précipitent de cette dissolution plus ou moins altérée.

Les carbonates et bicarbonates alcalins n'altèrent pas la soie.

Quelques sels sont fixés en nature par la soie comme par la laine ; l'alun est dans ce cas.

L'action du cuprate d'ammoniaque sur la fibre soyeuse est très-remarquable ; elle se confond avec celle que la même dissolution exerce sur le coton. D'après M. Schlossberger, l'oxyde ammoniacal de nickel dissout également la soie ; mais il ne dissout ni l'amidon, ni le coton. La solution de soie n'est précipitée ni par les sels étrangers, ni par le sucre ou la gomme ; les acides faibles précipitent la dissolution en flocons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

incolores ayant l'aspect de l'hydrate d'alumine. Le liquide qui surnage est verdâtre.

La dissolution des matières textiles dans les sels ammoniacaux capables de les dissoudre ne s'effectue pas en présence du carbonate d'ammoniaque. Cette réaction n'est donc tranchée qu'autant que le réactif est nouvellement préparé. C'est que la dissolution des oxydes de cuivre et de nickel dans le carbonate d'ammoniaque sont inertes vis-à-vis de la cellulose et de la soie.

On rencontre dans la soie la propriété de soutirer certaines matières colorantes et certains oxydes aux dissolutions salines qui les renferment; les oxydes fixés sur la fibre soyeuse servent d'intermédiaire pour faire adhérer celles des matières colorantes qui ne se fixeraient pas directement.

Les soies sont conduites à l'atelier pour être teintes après le conditionnement pour éviter le piquage d'once. Nous renvoyons pour la pratique du décreusage à ce que contient l'article Blanchiment de la soie (voyez Blanchiment). Nous nous bornons à rappeler l'observation de M. Roard, à laquelle l'industrie n'a peut-être pas attaché l'importance qu'elle mérite. M. Chevreul pense que le point le plus intéressant du Mémoire de Roard, lu devant l'Académie des sciences le 12 avril 1807, est la démonstration de la possibilité de décreuser la soie plus rapidement et plus économiquement qu'on ne le fait ordinairement, lorsqu'on sépare l'opération en trois actes : le dégommage, la cuite et le blanchiment; ces trois opérations exigent de cinq à six heures, tandis que le procédé de Roard n'exige qu'une heure de bouillon. Voici la méthode :

Pour une partie de soie, on emploie 15 parties d'eau, de 50 à 60 parties de savon pour 100 parties de soie jaune, de 8 à 16 parties de savon pour 100 parties de soie écrue blanche. Lorsque le savon est dissous dans l'eau, une demi-heure avant le bouillon on y plonge la soie pour la maintenir une heure au bouillon.

« Il est incontestable, » ajoute M. Chevreul, « qu'en opérant avec soin ce procédé réussit. » *Travaux de la Commission française*, t. V; *tapisseries*, p. 45.

§ III. Spécification des tissus

destinés à la teinture.

Les détails que nous venons d'exposer sur les propriétés des fibres textiles considérées au point de vue physique et chimique seraient bien incomplets, si nous ne faisions pas connaître, au moins d'une manière sommaire, sous quelles formes le teinturier peut rencontrer ces matières. La classification la plus convenable est celle qui regarde les divers tissus que le consommateur réclame; ils se présentent avec des degrés de délicatesse excessivement variés. On verra que dans le blanchiment, comme dans la teinture et l'impression, on réunit aux procédés chimiques l'emploi de forces mécaniques; or, l'énergie des divers agents qu'on emploie doit être choisie d'après la nature de la fibre, et surtout aussi, quand il s'agit d'efforts matériels, d'après la nature de l'étoffe, c'est-à-dire d'après son degré de finesse et de résistance. Nous commencerons donc par faire connaître sous leurs désignations les plus répandues celles des étoffes que nous pouvons être appelés à mentionner dans les opérations qui vont suivre :

1° Avec la fibre textile du coton, on confectionne, *comme étoffes unies*, le calicot, la percale, le croisé, les jaconas, la mousseline, le velours de coton, le barége, l'organdi; *comme étoffes ouvragées*, la mousseline à jour, les organdis rayés, les balsorines, le crêpe de Chine, le crêpe façonné, le barége ouvragé, la percale brochée, les piqués grecs;

2° Avec la fibre textile du lin : les toiles de lin, les toiles fines et les batistes;

3° Avec la fibre textile de la laine : le casimir, la mousseline-laine, le mérinos, le cachemire d'Écosse, la flanelle, le drap;

4° Avec les fibres textiles de la soie : les foulards, les crêpes et les taffetas.

Il est convenable de citer ici les tissus mélangés de laine et de coton, de laine et de soie, de coton et de soie qui sont dans les arts vestiaires, pour hommes et pour femmes, l'objet d'une consommation particulière et considérable. On désigne sous le nom de mi-laine, ou vulgairement *chaîne-coton*, ceux qui contiennent à la fois de la laine et du coton; la laine forme ordinairement la trame. On trouve dans ces classes des variétés d'étoffes si nombreuses, et les noms que le commerce leur donne sont si arbitraires (presque toujours bizarres, souvent empruntés aux hommes, aux choses ou aux événements nouveaux), qu'il faut renoncer à les conserver; elles ne sont d'ailleurs que passagères.

Il est difficile de définir par des caractères spéciaux et descriptifs ces divers tissus, mais il est bon de se familiariser avec ceux qui diffèrent entre eux par leur grossièreté plus ou moins primitive. Pour ceux-là, les moyens mécaniques les plus brutaux peuvent, en quelque sorte, être appliqués; pour les autres, les appareils de battage doivent être moins violents et d'autant moins offensifs que l'étoffe à laver présente un plus grand état de finesse, et partant une plus grande valeur.

Essais des tissus. Si la nature physique de l'étoffe dirige le teinturier dans le choix des agents auxiliaires mécaniques dont il doit faire usage, ce n'est pas non plus sans étude préalable qu'il applique les agents chimiques. Nous avons appelé l'attention sur les réactions différentes qui se passent au contact des diverses matières textiles et d'un même agent chimique. De plus, la nature intime même d'un seul tissu peut présenter des irrégularités, en présence de la teinture et la même fibre ne se conduit pas toujours d'une manière identique lorsqu'elle provient de localités différentes. L'expérience a fait voir, comme M. Persoz le rappelle dans son *Traité de l'impression sur étoffes*, 2e volume, p. 4, que le coton de Fernambouc se teint mieux en rouge turc que le coton de Géorgie, et que le coton de Macédoine est inférieur aux deux autres dans tous les genres de teinture, parce qu'il ne prend jamais que des teintes maigres et ternes.

Les toiles de coton colorées par la teinture d'un mordant imprimé, par conséquent épaissi, présentent parfois des filaments qui n'ont pas retenu la couleur dont l'ensemble était recouvert; ces filaments, qu'aucun caractère physique ne signalait, constituent au milieu des masses colorées des points blancs auxquels on assigne pour cause et pour origine la présence de *coton mort*. En attendant qu'on puisse faire disparaître ce défaut, il faut le mettre à nu, qu'il provienne de tubes obstrués, de torsions trop énergiques, de nœuds d'articulations, d'une cellulose parasite, de bruns avortés, etc.

Pour la laine, même observation, même impossibilité de teindre en nuances unies des mélanges de laines mortes et de laines vivantes; les brins de laine vivante fixent une forte proportion de matières colorantes; les brins de laine morte, au contraire, ne prennent qu'une coloration faible et sans éclat.

La nature du tissu n'est pas moins importante à connaître, lorsqu'il s'agit d'étoffes mélangées; les couleurs, par exemple, que reçoivent les mi-laines sont nécessairement en relation avec les proportions respectives des fibres de coton et de laine que le tissu contient; et comme d'ailleurs une couleur donnée ne se fixe pas de la même manière sur la laine et sur le coton, on est souvent forcé de faire, pour amener une égale intensité de coloration sur les deux matières, un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

mélange dont les éléments conviennent aux différentes fibres et soient en rapport avec la quantité de celles-ci. Il est inutile de dire que le teinturier doit, pour composer sa couleur et la rendre adhérente au tissu, connaître la composition, la nature de la fibre qui la forme.

Les considérations qui précèdent prouvent que le premier soin du manufacturier est de reconnaître la nature de la fibre qu'il doit teindre, et cette recommandation ne perd en rien de son poids lorsqu'il s'agit de fils au lieu d'étoffes ; l'intérêt est le même.

Or, il est toujours facile de distinguer si la matière textile est d'origine végétale ou d'origine animale ; il suffit de traiter à chaud la matière en essai par une dissolution concentrée de potasse caustique ; la laine et la soie se dissolvent ; le lin, le coton et le chanvre restent sans se dissoudre.

L'action de l'acide sulfurique concentré dans des conditions déterminées permet de reconnaître la nature de la fibre, et nous rappelons encore que l'action des dissolvants ammoniacaux de cuivre, de nickel peuvent permettre de distinguer la soie du coton ou du lin.

Quant à la valeur de la fibre à l'égard de son affinité pour telle couleur donnée, le mieux est d'essayer en petit une teinture dans la nuance voulue pour ne pas s'exposer à perdre dans des travaux exécutés sur une grande échelle des capitaux et du temps.

Dans un grand nombre de circonstances, comme nous venons de le dire, il est indispensable de connaître le rapport des fibres végétales aux fibres de nature animale ; car c'est sur ces rapports que sont établies les compositions des bains de teinture ; c'est encore sur eux qu'on détermine le genre de teinture possible sur une étoffe en tissu mélangé.

Analyse des tissus mélangés. — Plusieurs méthodes sont possibles pour faire apprécier les poids respectifs de laine et de coton, par exemple, contenus dans une étoffe donnée. Quelquefois, lorsque la différence entre l'aspect des fibres des deux espèces est considérable, on pèse séparément, après avoir séché à 100° l'étoffe prise pour l'analyse, les fibres de laine et celles de coton qu'on a séparées par un défilochage complet. D'autres fois, lorsque les fils de chaîne et de trame sont tous deux mélangés et que le départ des filaments d'une sorte ne détruit pas la contexture du tissu, on prend un centimètre carré de l'étoffe, par exemple, et faisant disparaître, en les tirant, les fibres d'une espèce de chaîne et de trame, on compte les fibres qui restent. On peut s'aider pour cette analyse de l'action chimique de la potasse en dissolution concentrée. Lorsque l'étoffe en expérience a été pesée après la dessiccation à 100°, l'ébullition fait disparaître tout ce qui est laine et tout ce qui est soie. Le résidu se compose des filaments de fil ou de coton, filaments isolés et mêlés, si toute la chaîne ou toute la trame était soluble ; filaments entrelacés sous forme de tissu plus lâche, si la chaîne et la trame étaient elles-mêmes mélangées.

On a tiré parti pour faire cette analyse de la manière dont ces tissus mélangés se comportent avec certaines couleurs. Pour ne citer qu'un exemple, le carmin d'indigo qui prend directement sur la laine ne teint pas le coton, à moins que ce dernier n'ait été préparé par des méthodes convenables ; mis en contact avec une étoffe laine et coton, il ne lui communiquera donc qu'une coloration dont l'intensité sera proportionnelle à la quantité de laine contenue dans le tissu. On trouve cette méthode très-expéditive, beaucoup plus commode même, que le moyen direct qui consiste à compter le nombre de fils que présente un tissu sur un centimètre carré et de le traiter par la potasse hydratée pour déterminer le nombre de fils qui disparaissent par le traitement chimique. Ce procédé présente, en effet, outre l'avantage de donner le rapport des fils de laine aux fils de coton dans un tissu mélangé, celui de fournir une indication précieuse sur la valeur de la fibre animale ou végétale en regard des opérations du blanchiment, de la teinture ou de l'impression.

C'est en se préparant des *normes* avec des matières colorantes déterminées, et des tissus composés dans des proportions connues qu'on peut se faire une idée bien précise des éléments sur lesquels la fabrications doit rouler.

Eau hygrométrique absorbée par les étoffes. — Plusieurs motifs ont conduit à déterminer la quantité d'eau que les diverses matières à l'état de tissu peuvent conserver même après dessiccation et reprendre dans un air saturé d'humidité. M. Chevreul s'est occupé de cette question ; elle a de telles conséquences pour la sécurité des transactions commerciales, que les chambres de commerce ont établi dans la plupart des villes de France des *conditions* pour déterminer la quantité réelle de soie et de laine que contiennent les soies écrues et les laines filées. Les expériences de M. Chevreul ont porté sur les matières textiles fournies par la cellulose, la laine et la soie, sous les différents états de coton en poils, de filasse de lin et de chanvre, de soie écrue et de soie décreusée, de laine en suint et de laine lavée, enfin sur ces mêmes éléments à l'état de fils et de tissus.

Une étoffe complétement séchée à 100, 110 et 120 degrés contient une proportion d'eau égale à celle qui se trouve dans un échantillon de la même étoffe placée dans la même atmosphère que la première, sans avoir été préalablement desséchée. M. Chevreul a déterminé la proportion d'eau que ces étoffes absolument sèches absorbent quand on les expose dans des atmosphères marquant 65, 75, 80 et 100 degrés de l'hygromètre de de Saussure.

Les étoffes étaient dans un tube de verre plongé dans un bain d'huile à 120° pendant trois heures ; un courant d'air séché sur du chlorure de calcium traversait lentement le tube dans toute sa longueur. La perte n'a pas été plus grande dans le vide sec. Une température de 100° aidée du courant d'air sec suffit pour dessécher complétement. Il est résulté de ces expériences que 100 parties d'étoffes préalablement bien séchées absorbent à la température de 20°, et dans une atmosphère marquant 100° à l'hygromètre de de Saussure, des quantités d'eau variables entre :

Pour les étoffes de coton. . . .	23,30 et 30,87
Pour les étoffes de chanvre. . .	24,34 » 35,40
Pour les étoffes de lin	26,65 » 32,87
Pour les étoffes de laine	28,01 » 36,70
Pour les étoffes de soie.	28,91 » 33,20

On voit d'après ces nombres que les étoffes, quelle que soit leur nature, absorbent à peu près la même quantité d'eau, et qu'en moyenne elle peut être le quart du poids de l'étoffe.

Eau d'imbibition fixée par les étoffes. — S'il n'y a que peu de différence dans le poids de la vapeur d'eau fixée par les divers tissus sous forme d'eau hygrométrique, il n'en est plus de même de l'eau d'imbibition que ces étoffes retiennent après avoir été tordues et comprimées. Il est convenable de connaître les chiffres que représentent ces quantités pour les différents tissus ; car deux considérations importantes pour l'ingénieur le forcent à en tenir compte :

1° L'altération que le passage de l'étoffe dans les bains fait subir à ces bains en enlevant du liquide et les éléments qu'il tient en dissolution ; on ne saurait, sans altérer la force de ces bains, maintenir constant le niveau par l'addition de nouvelle quantité d'eau.

2° L'effort calorifique qu'il convient d'appliquer à l'étoffe pour dégager cette eau, lorsque tout travail étant fini, le tissu doit être séché.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'expérience a démontré qu'en moyenne après immersion et expression :

100 parties de calicot retiennent. . .	125 p.	d'eau.
100 — d'étoffes de laine	200 p.	—
100 — d'étoffes de soie.	92 p.	—

Ces quantités n'ont évidemment rien d'absolu; elles varient nécessairement avec la finesse du tissu pour une même nature de fibres textiles, et de plus, toutes choses égales d'ailleurs, avec l'énergie des moyens mécaniques employés pour exprimer l'étoffe. Le fabricant doit, pour évaluer les conditions de travail que nous avons énoncées tout à l'heure, établir quelques essais qui lui fourniront des données plus précises en opérant sur ceux des tissus qui font ordinairement la base de ses opérations en réglant la torsion de façon à la rendre à peu près constante. Cette épreuve doit être faite tout aussi bien sur les fils en écheveau que sur les fibres tissées et façonnées en étoffes.

Marques des matières textiles à teindre. —Nous l'avons déjà dit, les matières textiles à teindre, en fils ou en tissus, sont soumises avec ordre et méthodiquement à des séries d'opérations mécaniques et chimiques fixées d'avance conformément aux lois de la science, conformément encore aux règles de la pratique. Il faut pouvoir suivre sans erreur toute matière en fabrication, afin de surveiller le travail. En général, ces opérations sont nombreuses pour les pièces *écrues*, c'est-à-dire pour celles qui n'ont encore reçu que l'opération du tissage; qu'elles aient été tissées à la main ou mécaniquement, il faut les blanchir avant de les teindre en uni, comme encore avant de leur appliquer des couleurs variées par les méthodes de l'impression. Pour comprendre la plus grande généralité des cas, nous supposerons qu'on ait à teindre des pièces écrues; il y a donc nécessité de les marquer : d'ailleurs, le blanchisseur et le teinturier doivent les rendre à ceux qui les leur fournissent.

Ces marques doivent être faites avec des matières qui résistent aux traitements par lesquels passe l'objet à teindre, quelle que soit la période de la fabrication. On se sert ordinairement d'encre d'imprimerie, ou d'une encre formée d'huile de lin siccative, dans laquelle on délaye de la sanguine ou du noir de *fumée*. Si l'on veut teindre ou blanchir des écheveaux, on ajoute la marque au lien, de manière à ce qu'il ne se sépare pas, ou bien, c'est le lien lui-même qui reçoit la marque. Lorsqu'on opère sur des étoffes, on appose les marques aux extrémités de la pièce qu'on nomme *chefs*. Il est alors facile de les reconnaître durant toutes les phases de la teinture.

Préparation de la matière textile. Lorsque la pièce à teindre est marquée, les opérations de la teinture peuvent commencer si la nuance est foncée et que la matière soit suffisamment dégraissée; il faut la décolorer après le dégraissage, si l'on veut obtenir des nuances fraîches et délicates. Ces opérations doivent être précédées elles-mêmes, lorsqu'il s'agit d'étoffes, du rasage ou de l'épluchage du tissu. Il est très-rarement praticable lorsqu'on opère sur des fils.

Le rasage a pour but de faire disparaître les duvets et brins de fils qui rendent le blanchiment inégal, ou qui s'opposent à la régularité des teintes unies dans la teinture ou qui détruisent la perfection de l'impression en se rabattant sous le rouleau pour se relever ensuite, en laissant des parties pour lesquelles elles ont formé réserve; d'ailleurs, le duvet qui recouvre les étoffes rend les couleurs dont on les charge ternes et sans éclat.

Cet épluchage s'exécute soit par des procédés mécaniques, soit par des procédés chimiques. Le premier se nomme *tondage*, le second *grillage* ou *flambage*. Dans l'un on procède par *ablation*, dans l'autre on procède par *combustion*.

Le tondage peut se faire à la main : autrefois des femmes nommées *tondeuses* étaient chargées d'enlever, au moyen de ciseaux courbes, toutes les inégalités que présentent sur les tissus les fils quelque bien filés qu'ils aient été; ce moyen était long, dispendieux, incomplet, car il pouvait y avoir des oublis ou des accidents. On se sert aujourd'hui de machines pour remplacer le travail manuel; grâce aux perfectionnements dont les *tondeurs mécaniques* ont été l'objet, on fait usage de ces outils, qui n'étaient primitivement employés qu'au tondage des étoffes de laine (voyez LAINES), pour l'épluchage des calicots, madapolams. Nous ne répéterons pas ici la description de toutes ces machines. Nous dirons seulement que quelques étoffes ne sont rasées que d'un côté; d'autres le sont sur les deux faces; quelques unes sont tondues en une seule fois; d'autres enfin le sont à plusieurs reprises, par des passages successifs; on obtient ainsi, sans entamer l'étoffe, un rasage qui ne laisse ni fils ni duvet.

On peut enlever le duvet des tissus et des fils au moyen de la combustion par grillage et flambage; on a pu lire à l'article GRILLAGE la description des appareils dont on se sert pour griller et pour flamber les tissus. Dans le grillage on fait passer l'étoffe à griller sur une plaque métallique portée au rouge; dans le flambage on l'expose à l'action d'une flamme en combustion; tantôt c'est la flamme d'une lampe à l'alcool; d'autres fois, c'est la flamme produite par la combustion du gaz d'éclairage. Cette opération s'effectue sans inconvénient pour l'étoffe, parce que les fibres d'origine végétale et d'origine animale ne conduisent la chaleur que très-imparfaitement, et parce que leur destruction ne s'effectue qu'à des températures assez élevées. Nous renvoyons à l'article précité le détail des appareils employés au grillage des tissus et au flambage à l'alcool ou au gaz des étoffes destinées à la teinture.

D'après certains fabricants, il est préférable de ne griller ou flamber les étoffes qu'après les opérations du blanchiment; ils donnent pour raison que les opérations mécaniques auxquelles sont soumises les étoffes pendant le dégraissage déterminent toujours l'apparition d'un nouveau duvet : quelques-uns pensent que le grillage en cuisant les graisses que l'étoffe contient rend le blanchiment plus difficile et la teinture moins régulière; des expériences directes ont démontré d'une manière très-claire à M. Persoz que les huiles employées pour le rouge turc, par exemple, se décolorent au contraire plus rapidement après qu'avant le flambage. Toutefois, il faut admettre que le grillage peut être nuisible lorsque, par exemple, les tissus ont été tachés par des sels de fer ou d'alumine; par la calcination, ces oxydes perdent leur solubilité dans les acides faibles; ils restent adhérents à l'étoffe; toutefois, l'alumine a moins d'inconvénients que le fer, qui, dans certains cas, réductible sous l'influence de la fibre, peut lui faire contracter avec certaines matières colorantes une adhérence complète, cause de taches accidentelles.

Les fabricants les plus soigneux commencent par griller les tissus avant de blanchir; quand le blanchiment est terminé, on donne un rasage au moyen de la tondeuse, et même souvent encore, après ce travail, on fait passer au flambage pour enlever jusqu'aux moindres traces de duvet.

§ IV. BLANCHIMENT
des tissus de lin, de coton, de laine et de soie.

Nous avons traité en détail, à l'article BLANCHIMENT, de cette opération capitale pour la teinture. Nous n'avons pas à y revenir ici, ayant écrit cet article en même temps que le présent travail, et nous étant préoccupé, en l'écrivant, de faire en sorte que l'ensemble formât un tout aussi complet qu'il nous était possible de le faire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

§ V. Théorie des phénomènes de teinture.

La théorie des phénomènes dont il s'agit a longtemps dépassé le pouvoir de la science, et la teinture était fondée entièrement, jusques dans ces dernières années, sur des recettes empiriques, et cela est encore vrai dans bien des cas.

Il appartient à notre époque, disait avec tant d'autorité M. Dumas, en tête des pages qu'il a consacrées à la teinture, dans son admirable *Traité de chimie appliquée aux arts*, de mettre à sa place cet art si utile, et de le porter au premier rang parmi nos plus belles industries chimiques.

« Il faut, pour obtenir ce résultat, dissiper les nombreux préjugés qui environnent toute industrie marchant au hasard : la science moderne y parviendra peu à peu; elle transformera les recettes qui constituent toute la science du teinturier en règles certaines et invariables, fondées sur une connaissance scientifique des matières colorantes; elle tracera la marche des améliorations; elle écartera les difficultés qui surgissent dans la fabrication; elle ouvrira enfin un nouveau champ aux recherches pour la production de couleurs brillantes et solides.

« C'est à la chimie que la teinture sera redevable de tous ses progrès; et déjà, si l'on jette un regard en arrière de quelques années, on ne peut s'empêcher d'admirer tout ce qu'elle doit sous ce rapport à cette science. Le blanchiment des étoffes, l'application solide de couleurs nouvelles et brillantes, le moyen de les varier à l'infini : tout porte l'empreinte profonde de l'influence de la chimie. »

Ceci est bien plus vrai encore aujourd'hui qu'à l'époque où le savant chimiste écrivait, et les nombreux travaux que nous allons passer en revue le démontreront surabondamment.

Et d'abord qu'est-ce que la teinture?

On désigne généralement sous le nom de teinture l'art qui a pour objet de fixer les matières colorantes sur les fils ou les tissus. Nous répéterons que d'après M. Chevreul on doit préciser cette définition en la modifiant de la manière suivante :

L'art de teindre consiste à imprégner, aussi profondément que possible, le ligneux, la soie, la laine et la peau, de matières colorées qui y restent fixées mécaniquement ou par affinité chimique, ou enfin à la fois par affinité et mécaniquement.

On teint en effet par *imprégnation mécanique*, par *imprégnation chimique* et tout à la fois par *imprégnation chimique et imprégnation mécanique*. C'est l'ensemble de ces trois moyens qui constitue la science du teinturier.

Imprégnation mécanique. — Depuis près de trente ans, on colore dans l'atelier de teinture des Gobelins des fils au moyen de matières qui n'y sont fixées que mécaniquement par adhésion et par interposition. Ce procédé ne donne que des couleurs très-claires; mais si l'on emploie des matériaux solides, comme le charbon, l'outremer, l'oxyde vert de chrome, pur ou combiné par le feu, du peroxyde de fer, de l'ocre, du cinabre, du phosphate de cobalt, on obtient des couleurs inaltérables, tandis qu'au contraire la production des mêmes nuances par l'affinité chimique ne conduit qu'à des couleurs éphémères. Des soies et des laines, colorées en gris-perle par un mélange d'outremer et de charbon employées en tapisseries pour meubles se sont parfaitement conservées après dix ans d'usage, lorsque quinze jours de soleil auraient suffi pour décolorer les mêmes nuances obtenues par les procédés ordinaires.

Imprégnation chimique. — Les étoffes de coton et les tissus de soie plongés quelques heures dans la dissolution d'un sel de peroxyde de fer se colorent par affinité chimique; elles enlèvent du peroxyde de fer à l'acide; c'est l'exemple d'une fixation de couleur par affinité chimique; que cette couleur soit végétale, animale, minérale, la coloration s'effectue en raison du même principe.

Imprégnations chimiques et imprégnations mécaniques simultanées. — D'autre part, des étoffes avant d'être lavées à grande eau à leur sortie d'un bain ferrugineux, passées dans un bain alcalin, en sortent bien plus foncées qu'elles ne l'auraient été sans l'intervention de l'alcali. Dans ce cas, outre l'oxyde de fer fixé par l'affinité chimique, il y a la portion de cet oxyde qui est adhérent par son interposition mécanique; c'est le peroxyde provenant de la décomposition par l'alcali du sel ferrugineux en excès qui pénétrait les fibres textiles quand on les a retirées du bain. Une petite quantité de l'alcali qui se combine à l'oxyde de fer contribue encore à foncer la couleur de l'étoffe.

Tels sont les trois cas principaux qui peuvent se présenter dans les opérations pratiques de la teinture.

On a défini généralement la teinture l'art d'appliquer des matières colorées ou colorantes sur les étoffes, de ligneux, de soie, de laine, par l'intermédiaire d'un corps souvent incolore qu'on nomme *mordant*. Cette définition, qui nous semble devoir être rejetée comme incomplète, est vivement combattue par M. Chevreul qui s'appuie sur les motifs suivants :

1° Elle ne comprend pas le cas ou l'on teint par imprégnation d'une matière qui n'adhère que mécaniquement.

2° Elle ne comprend pas le cas où l'on teint par affinité en plongeant un tissu dans une dissolution ferrugineuse, dans du sulfate d'indigo, dans une cuve d'Inde, dans une dissolution de brou de noix.

3° Elle ne comprend pas le cas où, après avoir combiné du peroxyde de fer à de la cellulose ou de la soie, on la convertit en bleu de Prusse en passant l'étoffe dans un bain de cyanoferrite ou de cyanoferrure de potassium acidulé.

Nous admettrons donc avec l'illustre directeur des teintures des Gobelins que cette définition est trop restreinte, et d'ailleurs, sans proscrire le mot de *mordant*, il ne faut l'employer que comme expression d'atelier dont il est difficile, sinon impossible de donner une explication rationnelle en tant qu'on cherche à la généraliser. Si dans d'autres industries le mot de mordant peut être synonyme de fixatif, ici cette expression devient impropre, car elle ne signifie pas assez; les mordants dans les arts n'agissent en aucune façon chimiquement, leur rôle est basé sur leurs propriétés physiques. En teinture, au contraire, il y a réaction chimique indubitable et leurs affinités spéciales les font choisir dans des cas déterminés. Cette considération nous conduit en effet à considérer les étoffes colorées comme formées par l'adhérence de la fibre avec un composé défini dans la nature, la proportion, l'arrangement des éléments lorsqu'il s'agit d'une teinture dans laquelle l'affinité rassemble plusieurs corps mis en présence. Ce composé peut être binaire comme le peroxyde de fer, ternaire comme la carthamine, quaternaire comme l'indigotine. Il peut être un principe colorant quaternaire comme l'indigotine, ou ternaire comme la carmine, la lutéoline, l'hématine, uni tantôt avec une base, tantôt avec un acide insoluble, tantôt avec un sous-sel ou même un sel neutre.

Dans tous les cas, on comprend que le poids de l'étoffe est toujours très-fort relativement à celui du composé coloré, et comme la première doit conserver sa ténacité, il faut éviter dans la teinture l'emploi de toute pratique qui tendrait à l'altérer dans sa ténacité, son brillant, sa souplesse.

Qu'on admette aujourd'hui qu'il convient de ne plus sacrifier à l'usage, il nous sera bien vite accordé qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sérait préférable de dire *aluminer, enferrer, plomber*, etc., les tissus qu'on veut colorer au moyen de la garance, de la gaude, etc., puisque ces expressions ne représentent à l'esprit qu'un fait évident, la fixation sur l'étoffe d'une certaine quantité d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de plomb, etc. Quant à l'expression générale de *mordançage*, ne suffirait-il pas de la remplacer par celle de *préparation*, alors il faudrait dire *tissus préparés*, terme générique pour toutes les pièces ayant subi les préparations nécessaires, quelles qu'elles soient, au point de vue chimique, pour les rendre propres à contracter adhérence avec les matières colorantes ou colorées. On s'est servi longtemps, pour désigner la préparation qu'on faisait subir au coton, du mot *animaliser* ; il est inutile de dire que l'usage ne l'a pas conservé.

La science de la teinture, ou, ce qui revient au même, la chimie appliquée à cette industrie doit, ainsi que nous l'avons dit ailleurs, définir les corps nécessaires à toutes les opérations d'atelier, les circonstances les plus favorables à l'action mutuelle des étoffes et des corps mis en contact avec elles, les conditions les plus convenables à l'adhérence complète de la coloration, la nature des produits colorés. Pour faire cette étude d'une manière profitable, utile, il faut attaquer la question dans son ensemble et former des divisions qui satisfassent un esprit logique. « Il est évident, dit à ce sujet M. Chevreul dans son rapport sur les tapisseries exposées à Londres, qu'il n'existe pas de difficultés lorsqu'une étoffe mise en contact avec une matière colorante dissoute dans un liquide la précipite en s'y unissant et formant avec elle un principe insoluble.

« Telle est l'action du sulfate d'indigotine sur une étoffe; il reste sur celle-ci une matière colorante qui résiste à l'eau, c'est du sulfate d'indigotine et non de l'indigotine, puisqu'on peut l'enlever à l'étoffe avec de l'eau alcalisée chaude.

« Telle est encore l'action d'une étoffe sur la solution d'un sel à base de peroxyde de fer ; il se produit, suivant toute apparence, un sous-sel de peroxyde, lequel peut être réduit par des lavages ultérieurs à l'état de peroxyde pur.

« Mais lorsqu'un corps acide, alcalin ou salin, dissous dans l'eau n'est pas dans le cas de laisser un corps coloré sur les étoffes ou que l'eau employée en quantité suffisante peut dissoudre tout le corps coloré qui s'y est fixé d'abord, comment reconnaître s'il y a action mutuelle entre les corps mis en présence? On le peut par une méthode qui consiste à comparer l'état d'une solution acide, alcaline, saline avant et après son contact avec une étoffe donnée. On peut reconnaître alors :

« 1° Que l'étoffe a absorbé proportionnellement plus d'eau que du corps dissous.

« 2° Que le contraire a eu lieu.

« 3° Que la solution est après le contact dans l'état où elle était auparavant. Ce résultat n'est pas un motif de conclure qu'il n'y a pas d'action, parce que, à la rigueur, il peut y en avoir une. Si on la soupçonne, il est nécessaire de répéter l'expérience en employant des solutions faites dans des proportions différentes de celles qu'on a employées en premier lieu. »

Par l'emploi régulier de cette méthode expérimentale, M. Chevreul a constaté qu'une solution aqueuse d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique qui se concentrent sur le ligneux, parce que celui ci attire proportionnellement plus d'eau que d'acide, devient plus étendue par le contact de la laine et de la soie, celles-ci absorbant plus d'acide que d'eau.

Il a vu qu'il est des sels solubles qui s'unissent aux étoffes par une affinité assez forte pour que l'eau froide cesse d'en dissoudre une quantité sensible aux réactifs, et cependant ces étoffes en retiennent une quantité appréciable. Tel est l'azotate de plomb et la laine. La laine lavée jusqu'à ce qu'elle ne cède plus de sel de plomb sensible à l'acide sulfurique en retient assez pour brunir par l'acide sulfhydrique quand on la plonge dans cet acide.

C'est donc après avoir étudié les actions des acides, des alcalis et des sels sur les étoffes, qu'on pourra déterminer les réactions qui se passeront entre les principes colorants maintenus en dissolution ou précipités au moyen de ces mêmes agents.

La pratique journalière des ateliers a fait voir que sous ce rapport toutes les substances connues colorantes d'origine végétale et d'origine animale se conduisent de manières bien différentes dans leurs rapports avec les fibres textiles.

Dans certains cas il suffit, en effet, pour obtenir une teinture durable, de mettre la matière colorante dissoute en contact avec le fil ou le tissu; nous citerons l'indigotine, la carthamine, la curcumine.

Dans d'autres circonstances les couleurs ne se fixent qu'au moyen de certains agents intermédiaires qui sont nécessaires pour faire adhérer la couleur ; de cette espèce sont la garance, la cochenille, les bois de Brésil et de Campêche, etc.

D'autre part une matière colorante donnée ne se conduit pas de la même manière avec toutes les fibres textiles, et les teinturiers n'ignorent pas que le coton, le lin, la laine et la soie n'offrent pas à la teinture en une nuance donnée la même facilité; de plus les couleurs obtenues n'offrent pas la même résistance.

La force qui détermine entre les deux corps, fibre et principe colorant, une adhérence déterminée n'est donc pas la même pour toutes les fibres. Quelle est la cause de cette adhérence, quelle est la cause de cette inaltérabilité pour celles de ces substances colorées qui jouissent d'une grande solidité? Elle a pendant longtemps et à juste titre été l'objet des préoccupations des hommes éminents qui depuis plus de soixante-dix ans ont voulu jeter sur l'industrie de la teinture les lumières de la science.

Des opinions très-diverses ont été tour à tour admises à ce sujet. Il nous paraît digne d'intérêt de les discuter ici.

Hellot et Lepileur d'Apligny ne voient dans la fixation des couleurs qu'un effet mécanique ; Berthollet, Macquer, Bergmann, M. Chevreul, M. Persoz et d'autres voient dans cette fixation un effet chimique. Nous avons déjà fait sentir qu'il fallait, pour rester dans le vrai, faire la part à chaque influence et reconnaître dans beaucoup de cas la simultanéité des effets physiques et chimiques sur les phénomènes de la coloration des étoffes par voie de teinture. Cette question, de nouveau remise à l'ordre du jour par l'un des plus habiles manufacturiers de l'Angleterre, M. Walter Crum qui semble opiner vers les idées de Hellot et Lepileur, est devenue l'origine de travaux consciencieux et très-importants; tout récemment encore M. Kuhlmann, d'une part, et M. Verdeil, d'autre part, ont présenté des observations que nous mentionnerons en leur lieu et par ordre chronologique.

Opinion de Hellot. — Hellot voit dans la fibre de la laine la cause de l'adhérence; les matières colorantes s'y fixent parce qu'elles pénètrent dans les cavités laissées à l'intérieur des fibres, lorsque ces canaux ont été dilatés par la chaleur; elles s'y trouvent mastiquées ensuite par les astringents qui font presque toujours partie des bains de teinture; elles y sont comprimées enfin par les lavages à l'eau froide.

Opinion de Lepileur d'Apligny. — Lepileur d'Apligny, postérieurement à Hellot, applique à la soie, au lin, au coton même, les théories que le premier savant applique à la laine. Il retrouve dans la fibre textile, quelle que soit son origine, une contexture, une orga-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nisation similaire en tubes ou sacs ; et c'est par la plus ou moins grande ténuité de ces tubes ou sacs, c'est par la différence de leur diamètre et de leur longueur, qu'il explique l'énergie variable avec laquelle les fibres de coton, de laine ou de soie s'emparent d'une matière colorante donnée.

Opinion de Dufay et de Bergmann. — Dufay, en 1737, et Bergmann, beaucoup plus tard, en 1776, ont eu recours aux affinités chimiques, pour expliquer la propriété dont jouit une substance colorante de s'unir à telle matière textile, de préférence à telle autre. Bergmann, principalement, dans son travail sur l'indigo, expose nettement que si le sulfate d'indigo se trouve absorbé par la laine en plus grande quantité que par la soie, la cause doit résider dans la différence des affinités des deux fibres pour la matière colorante, puisque dans un cas, pour une même dissolution de sulfate d'indigo, la laine enlève au bain de teinture toutes ses parties colorantes, tandis que, dans le cas de la soie, une partie seulement de la coloration se trouve absorbée.

Opinion de Macquer. — Penchant au commencement de sa carrière scientifique vers les idées de Hellot, Macquer n'hésite plus à déclarer, en 1778, que non-seulement les colorations des tissus tiennent à la quantité de matière introduite dans les pores ou sacs que les fibres présentent, mais qu'elles résultent encore de certains jeux d'affinité puissante entre la matière des fibres elles-mêmes et la matière colorante. Il insiste surtout sur les phénomènes que présentent les couleurs qu'on ne peut fixer que par l'intermédiaire de l'alumine ou de l'oxyde de fer, et qui contractent, par la présence de ces intermédiaires, une solidité presque complète. Toutes les notions fournies par l'empirisme ont été l'objet, de la part de Macquer, d'études plus approfondies que celles qu'on avait tentées avant l'application de la théorie de l'affinité, pour expliquer l'adhérence des matières colorantes aux fibres textiles. Macquer fut conduit, par des observations intéressantes, à poser en principe qu'on recourt à l'emploi de l'alumine, du fer, etc., pour fixer les matières colorantes solubles dans l'eau ; mais qu'on s'en dispense, toutes les fois qu'on veut colorer au moyen des substances qu'il désigne sous le nom de matières *résino-extractives*, savoir, les principes colorants du brou de noix, du sumac, du santal, de la racine de noyer, de l'écorce d'aulne ; ou bien encore les matières *résineuses*, comme l'indigo, le rocou, l'orseille, le carthame. L'objet de la teinture, dans les idées de Macquer, était de précipiter à l'état de matières insolubles, par l'intermédiaire de l'alumine et du fer, les matières solubles qui, par le contact de la fibre et à l'état naissant, s'y combinaient alors, comme les matières résineuses ou résino-extractives.

Une expérience très-curieuse, et que Maquer cite, semble mettre hors de doute l'importance de l'affinité chimique exercée par les divers tissus, sur une matière colorante donnée ; elle nous paraît avoir contribué puissamment à faire intervenir dans l'esprit du savant académicien l'influence des forces chimiques.

« Si, après avoir aluné, autant que possible, 500 grammes de laine et 500 grammes de soie, on les teint ensuite séparément, chacune dans un bain de cochenille, elles prendront l'une et l'autre un cramoisi très-beau et très-solide ; mais à quantité de cochenille égale, dans chaque bain, la couleur de la laine aura infiniment plus de plénitude et d'intensité que celle de la soie ; cette différence est si grande, qu'on ne peut parvenir à donner au cramoisi de la soie autant d'intensité qu'à celui de la laine qu'en y employant une quantité de cochenille plus que double, c'est-à-dire qu'il faut 76 grammes de cet ingrédient pour donner aux 500 grammes de soie un cramoisi aussi plein que celui que les 500 grammes de laine prennent avec 30 grammes de cochenille. Et l'on ne peut pas dire, avec M. Lepileur d'Apligny, que cela vient de ce que les pores de la soie étant beaucoup plus fins que ceux de la laine, elle ne peut prendre les parties les plus fines de la cochenille, tandis que la laine les prend toutes, parce que ses pores sont plus grands ou plus nombreux ; s'il en était ainsi, il devrait rester beaucoup de couleur dans le bain, où la soie a pris tout ce qu'elle peut prendre, et a refusé d'en prendre davantage ; or, c'est ce qui n'arrive point ; au contraire, il est constant que la soie, à raison de 76 grammes de cochenille par 500 grammes de soie, laisse son bain aussi clair et aussi épuisé de couleur que l'est celui de la laine teinte par 30 grammes de cochenille. »

Il y a donc, dans ce cas, une quantité considérable de carmine à l'état latent ; elle l'est, parce que la combinaison de la carmine avec la soie n'a pas la même intensité de couleur que la combinaison correspondante de laine et de carmine.

Opinion de M. Walter Crum. — Tout en modifiant l'opinion de Hellot, M. Walter Crum a remis ou voulu remettre en vigueur les idées de Hellot, en les modifiant toutefois. Nous allons donner, d'après M. Persoz, un aperçu de l'opinion de M. Walter Crum, en présentant, d'après ce même savant, les faits qui permettent de réfuter la théorie du manufacturier anglais.

En s'appuyant sur les anciennes expériences de Th. de Saussure sur le charbon qui peut absorber les gaz sans les dénaturer, en proportions variables, suivant la nature de ces gaz, suivant sa nature propre et sa porosité, M. Walter Crum déclare que plusieurs des opérations de la teinture sont du domaine des actions capillaires décrites par de Saussure, en accordant toute confiance aux observations microscopiques qui ont porté sur les fibres de coton composées, comme on le sait, de tubes creux et transparents. L'hypothèse de la porosité des fibres étant une fois admise, on fixe la base minérale d'une couleur obtenue de la garance, l'alumine ou l'oxyde de fer, par exemple, en la traitant par un acide volatil, l'acide acétique ; il se fait une solution qui par le temps, au contact de la fibre dans l'intérieur de laquelle elle pénètre, se décompose en abandonnant l'oxyde et l'acide se dégage ; cette solution s'altérerait de même sans le concours du coton. Et si la base reste adhérente, au point de résister à l'action du lavage le plus complet, c'est que l'oxyde déposé dans le tube ne peut plus en être éloigné par des méthodes mécaniques. Postérieurement, le coton préparé par l'immersion dans le sel alumineux est en contact avec le bain de garance. La matière colorante se combine en vertu d'une véritable action chimique.

M. Walter Crum s'appuie, pour établir sa théorie, sur ce que l'on ne pourrait faire dépendre l'adhérence des couleurs de la force d'attraction qui unit les corps atome à atome, sans admettre en même temps la désorganisation de l'étoffe ; et l'expérience prouve qu'après avoir enlevé la matière colorante par des agents chimiques appropriés, la fibre se retrouve sans altération ; elle n'a pas perdu ses propriétés caractéristiques.

Soit à l'œil nu, soit à l'aide du microscope, on découvre que la teinture n'est pas uniforme, que la coloration est accumulée dans l'intérieur des tubes, que la coloration soit jaune, rouge ou bleue. Dans la teinture en bleu par l'indigotine, il n'y aurait pas combinaison, simplement dépôt d'indigo bleu dans l'intérieur des fibres.

M. Persoz répond à ces arguments, en ce qui concerne la décomposition de l'acétate d'alumine, que M. Walter Crum a pris comme exemple que la décom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

position par une surface inerte comme le mica, le verre, est très-faible, tandis qu'au contraire elle est beaucoup plus forte avec l'intervention d'un tissu de coton. D'ailleurs, on a fait une observation capitale qui trouve sa place ici. Lorsqu'on évapore une dissolution d'alun cubique dans une capsule, un verre de montre, par exemple, il se dépose de l'alun cubique. Mais si l'on a fait plonger dans la dissolution un tissu de coton avant l'évaporation, on obtient, indépendamment des cristaux cubiques, des cristaux d'alun octaédrique. Les tissus ont donc enlevé, sans autre influence, une certaine quantité d'alumine. Quant à ce qui concerne l'existence des sachets, sacs ou canaux, et leur remplissage par l'oxyde, on n'en comprend pas bien la possibilité, puisque dans l'impression les sels d'alumine sont appliqués visqueux et épais. Sous cette forme, ils ne chassent que bien imparfaitement l'air dont les tubes sont remplis. L'objection prend une gravité plus grande encore en présence de ce fait, qu'on apprête avec l'empois d'amidon, auquel on ajoute une certaine quantité de sulfate de cuivre, les pièces qu'on veut teindre en bleu de cuve, afin d'économiser une portion d'indigo. Dans ce cas, l'apprêt devrait être un obstacle à la teinture, car il remplit les pores des fibres; il paraît au contraire les favoriser.

A ce fait nous pouvons ajouter plusieurs faits analogues. Lorsqu'on veut obtenir le rouge turc, on commence par saturer de préparations huileuses les toiles à teindre; on les plonge ensuite dans des compositions astringentes, comme une décoction de noix de galle, de sumac, etc., avant de faire intervenir le sel d'alumine qui doit s'emparer de la matière colorante de la garance.

Lorsqu'on dépose à la surface d'une toile de coton du sulfate de plomb, qui est, comme on le sait, insoluble dans l'eau, ce sel ne contracte aucune adhérence à la fibre; mais on peut le fixer par un simple passage dans l'eau de chaux. Le sel n'a pu cependant pénétrer dans les pores de la fibre, en devenant soluble.

Enfin, beaucoup de couleurs qui n'ont avec les étoffes que peu d'adhérence, même quand on les présente avec certaines préparations, s'y fixent avec une grande énergie lorsqu'on fait intervenir l'oxyde d'étain. Cet oxyde, de même que les corps gras et les corps astringents dont on fait usage dans la fabrication du rouge d'Andrinople, ne devrait-il pas, s'il n'y avait pas d'autre action que celle du corps vésiculaire, gêner la coloration, loin de la favoriser?

Dans le cas de couleurs imprimées, le microscope fait voir que la surface seule est teinte; et ce qui prouve qu'il en est ainsi, c'est que la couleur disparaît encore par l'emploi des rongeants épaissis. Si la couleur avait pénétré les fibres, l'acide épaissi pourrait-il, en s'introduisant dans les cellules, dissoudre la matière colorante? Il y a, d'ailleurs, une limite dans l'épaisseur à laquelle il convient d'appliquer la couleur; trop d'épaisseur donne une nuance qui manque d'éclat et de transparence.

Telles sont les preuves que M. Persoz oppose aux idées de simple action capillaire : il formule lui-même sa pensée, qui ne s'éloigne peut-être que par les expressions de celle de M. Chevreul, dont le nom se retrouve chaque fois qu'on parle de teinture; c'est celui de tous les chimistes modernes qui, par ses fonctions aux Gobelins, devait le plus approfondir cette étude intéressante. Ses travaux sur ce sujet sont devenus classiques.

Opinion de M. Chevreul. — D'après l'illustre académicien, les *phénomènes de teinture* se rapprochent de ceux qu'on considère comme dépendant des forces moléculaires, causes de l'action chimique; il démontre que ces phénomènes sont du nombre de ceux que l'on

constate, lorsque deux ou plusieurs corps sont en contact, et que leur combinaison ou juxtaposition s'effectue d'une manière lente. Nous n'insistons pas puisque nous avons déjà mentionné l'art de la teinture d'après la définition même de cet illustre savant.

Opinion de M. Persoz. — M. Persoz, formulant sa pensée, déclare que la fixation des couleurs sur les étoffes n'est due qu'à l'attraction. Pour arriver à cette démonstration, il établit quelques considérations générales sur la fixation des matières colorantes, puis il passe en revue les principaux phénomènes d'attraction, dans le double but de faire remarquer les différences qu'ils peuvent offrir, et de découvrir ceux qui présentent le plus d'analogie avec la fixation de telle ou telle couleur. Nous empruntons à son traité de l'impression, presque textuellement, l'exposé qu'il fait lui-même de son opinion.

« Le règne organique et le règne inorganique, le premier surtout, fournissent un grand nombre de substances qui possèdent la propriété de teindre les étoffes, soit qu'elles constituent des couleurs par elles-mêmes, soit qu'elles entrent comme éléments dans des composés colorants plus compliqués; mais pour recevoir une application, ces substances simples ou composées doivent réunir, si ce n'est par elles-mêmes, du moins par l'intervention de corps convenablement choisis, deux qualités essentielles : la première, celle d'*être insolubles ou peu solubles*; la seconde, celle de *résister le plus possible à l'action destructive de l'air et des rayons solaires*. La première de ces qualités est indispensable, car vient-elle à faire défaut, il y a coloration de l'étoffe, mais il n'y a pas teinture, dans l'expression restreinte du mot; un simple lavage à l'eau suffit pour faire disparaître la couleur. La seconde ne l'est pas au même degré, puisqu'elle dépend de la stabilité qu'on désire donner aux couleurs déposées sur le tissu.

« L'indigotine, la carthamine, la curcumine, le peroxyde de fer, l'oxyde de chrome, le sulfure d'arsenic, le sulfure d'antimoine sont des matières colorantes par elles-mêmes. Quand on interroge l'expérience sur les moyens de les faire adhérer aux tissus, au point qu'ils fassent corps avec eux, on trouve qu'il est dû toute nécessité ou de former ces corps sur l'étoffe même, en mettant en présence de celle-ci les éléments qui les constituent, et dont un, au moins, doit être soluble, ou, si ces couleurs sont préalablement formées, de les faire entrer dans une combinaison soluble dont on imprègne le tissu pour les mettre ensuite en liberté, de telle sorte qu'elles soient en contact immédiat avec lui, lorsqu'elles passent de l'état soluble où elles se trouvent dans leur combinaison, à l'état d'insolubilité qui leur est propre, lorsqu'elles sont isolées. »

L'indigo blanc est soluble; l'air le transforme ensuite en indigo bleu qui n'est plus soluble. La couleur rouille s'obtient au moyen du sulfate de protoxyde de fer, qui se décompose à l'air, en formant de l'oxyde de fer hydraté. La carthamine et les sulfures d'arsenic et d'antimoine se préparent aussi sur l'étoffe même. Pour toutes les autres matières colorantes, le principe est donc le même; la garance, dont le principe colorant est soluble, n'est fixée qu'à l'état de laque.

Les bois de teinture et l'acide chromique doivent être déposés sur l'étoffe à l'état de sel soluble, puis précipités; il n'y a proprement dit d'adhérence que lorsque le composé se forme sur la fibre même. L'usage a fait passer en loi que la fibre est imprégnée d'abord du corps qui présente pour le tissu le plus d'affinité. On opère la décomposition par le corps qui en présente le moins. S'il y a peu de différence entre l'affinité des deux éléments pour la fibre, on fixe indifféremment l'une ou l'autre. Pour teindre en noix de galle et fer, on plonge sans grand avantage l'étoffe dans la noix de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

galle, pour la décomposer par le sel de fer, ou bien, on commence par *enferrer* l'étoffe pour l'*engaller* ensuite.

Nous devons donc distinguer dans tous les cas deux phases successives dans les phénomènes de la teinture :

1° Formation du principe colorant, résultant de l'action chimique analogue à celle des décompositions parfaitement connues.

2° Fixation de la couleur, c'est-à-dire coloration, adhérence de la matière qui vient d'être formée. Ces deux phases ne peuvent être confondues.

A quelle classe de phénomènes chimiques comparerons-nous les phénomènes qui déterminent l'adhérence ? Dans quel cas se forme-t-il une combinaison ? Nous pouvons admettre trois circonstances particulières.

A. Lorsque deux corps dont les particules sont en présence présentent des propriétés physiques très-éloignées, les composés qui résultent de leur combinaison ont des propriétés très-différentes de celles des éléments constitutifs. Les phénomènes dont il est question ici sont toujours accompagnés de dégagement de chaleur.

B. Mais lorsque les corps qu'on met en présence n'ont que des propriétés très-analogues, les phénomènes qui se produisent à leur contact ne semblent capables de déterminer autre chose qu'une juxtaposition immédiate des corps en présence. A cet ordre d'idées nous rapporterons les cristallisations par voie d'attraction des sulfates isomorphes, des aluns et des silicates. Nous nous représentons la puissance de cette force par la superposition de lames d'alun de chrome sur des cristaux d'alun d'alumine, et par l'adhérence que présentent les deux faces juxtaposées.

C. L'attraction capillaire permet d'expliquer une troisième série de métamorphoses considérées sous le point de vue de l'adhérence à laquelle elles conduisent. On sait que le charbon absorbe les gaz en raison de la nature du gaz sur lequel on opère ; la quantité de gaz absorbé varie avec la pression sous laquelle a lieu l'expérience et la température que possède le charbon. D'autres substances possèdent aussi le même pouvoir. Les gaz sont condensés souvent sous un poids considérable ; dans ces conditions, ni le gaz, ni le charbon n'ont été chimiquement altérés.

Ayant à choisir entre ces trois ordres de phénomènes, M. Persoz explique l'adhérence des matières colorantes aux tissus de soie, de laine et de coton par une juxtaposition immédiate et simple de la couleur sur la fibre ; il s'appuie sur de nouveaux faits, la superposition par exemple d'une couche d'indigo et d'oxyde de fer sur une étoffe donnée ; l'expérience prouve que la couche a pris d'autant moins d'adhérence qu'elle a pris plus d'épaisseur.

« Si l'adhérence dépendait des pores, toutes les substances insolubles devraient pouvoir être logées dans ces pores, le sulfate de baryte, comme le chromate de plomb, le carbonate de baryte, comme l'oxyde de plomb, l'oxyde de zinc comme l'alumine et l'oxyde d'étain. Or, l'expérience prouve-t-elle qu'il en soit ainsi ? Ne démontre-t-elle pas, au contraire, que les uns, tels que le sulfate et le carbonate de baryte, le sulfate et le carbonate de chaux, n'adhèrent jamais à la fibre, quelles que soient les conditions dans lesquelles on les place, tandis que les autres s'y combinent avec la plus grande facilité ? Dans l'opinion que nous soutenons, ces différences de résultat n'ont rien d'extraordinaire, puisque les dimensions des équivalents des corps n'étant plus les mêmes, ne présentant pas tous des faces semblables à celles de la fibre, ils n'ont pas une égale aptitude à y adhérer.

« Il est d'ailleurs un fait qui nous semble justifier l'influence de la dimension et de la forme de la molécule dans la fixation des matières colorantes : c'est que parmi les oxydes métalliques, ceux qui se combinent aux tissus avec le plus d'énergie et dans les conditions les moins différentes sont précisément les hydrates des trois oxydes isomorphes, alumine, oxyde de fer, oxyde de chrome. »

Toutefois je ferai remarquer que cet argument ne saurait être présenté d'une manière absolue, car on trouve dans les oxydes de plomb et d'étain, dont le volume atomique diffère beaucoup du volume de l'alumine et de l'oxyde de fer, une tendance souvent considérable pour faire adhérer les couleurs.

Dans tout ce qui précède nous avons vu qu'on n'avait pas fait intervenir comme cause de l'adhérence la composition chimique des fibres textiles. Les différents rapports qu'on observe entre l'hydrogène, l'oxygène et le carbone de la cellulose provenant du lin, du chanvre et du coton, et ces éléments pris dans la laine et la soie ont paru sans influence sur l'affinité que ces diverses substances produisent à l'égard des matières colorantes ; néanmoins on a cru pouvoir attribuer à l'azote un rôle plus actif accrédité dès l'origine dans l'esprit des premiers chimistes qui se sont occupés de cette question. Macquer, entre autres choses, avait écrit :

« Ce qui paraît résulter de plus général de ces détails particuliers, c'est que la laine et même toutes les matières d'origine animale sont de toutes les substances qu'on peut teindre celles qui se prêtent le mieux aux opérations de la teinture, que le fil et toutes les matières d'origine végétale sont au contraire celles qu'il est le plus difficile de teindre, celles qui prennent le moindre nombre de couleurs et de plus qui les prennent les moins belles et les moins solides ; enfin que la soie et les autres substances qui paraissent tenir le milieu entre les matières purement animales et celles qui sont purement végétales tiennent aussi le milieu à cet égard dans les opérations de la teinture. »

Partant de cette idée, quelques teinturiers ont considéré, dans la teinture en rouge d'Andrinople, l'emploi des fientes et des bouses comme devant introduire dans le coton un principe azoté, comme capable de lui communiquer une sorte d'animalisation. Cette théorie dut être abandonnée lorsqu'on apprit à remplacer dans la pratique ces bains animalisés par des liquides, tels que les dissolutions de silicates ou de phosphates alcalins. D'autres preuves contre la doctrine de l'animalisation sont fournies par M. Kuhlmann dans son travail remarquable sur la teinture des matières textiles modifiées par l'introduction de la vapeur nitreuse dans leurs molécules.

Voici les conclusions intéressantes qu'il a consignées dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences t. XLII, p. 673 et 711.

Opinion de M. Kuhlmann. — Lorsqu'on transforme en pyroxyle un tissu de coton ou de laine et du coton en laine, et qu'on cherche à teindre les produits qui résultent de la transformation, contrairement à toute prévision, et surtout à la doctrine qui tendrait à faire admettre d'une manière absolue l'existence de l'azote dans la matière à teindre, la pyroxyline se refuse à la teinture. Ce fait résulte des expériences qui suivent et que nous allons exposer d'une manière sommaire.

La pyroxyline, formée par un mélange d'acide nitrique monohydraté et d'acide sulfurique concentré, a été soumise à des opérations pratiques de teinture et d'impression en fabrique, en même temps que les mêmes échantillons de tissu de coton et de lin et les cotons en laine sur lesquels on avait prélevé l'échantillon pour le transformer.

Les échantillons disposés pour l'essai ont été foulés, rincés, lavés à l'eau bouillante, lavés à froid, séchés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et calendrés ; on les a chargés d'une même préparation de fer, d'alumine ou de fer et d'alumine. Ces essais devaient servir à l'obtention de six nuances.

Pour le *noir*, on imprime du pyrolignite de fer à 7 degrés Baumé, épaissi à l'amidon ;

Pour le *puce*, 2 parties de pyrolignite de fer à 10 degrés et 1 partie de pyrolignite d'alumine épaissi à l'amidon ;

Pour le *rouge*, pyrolignite alumine à 8 degrés, épaissi à l'amidon ;

Pour le *violet*, pyrolignite de fer à 1 degré, épaissi à l'amidon ;

Pour le *lilas*, pyrolignite de fer à 1/2 degré, épaissi à l'amidon soluble ;

Pour le *bois*, décoction de cachou avec l'acide acétique mêlé d'un peu de nitrate de cuivre.

Après l'impression, les tissus sont restés suspendus six jours dans la chambre à oxyder froide et six jours dans la chambre à oxyder chaude ; on a dégommé par l'immersion dans un bain de bouse de vache additionné de craie, à 70° pendant 10 minutes, nettoyé, puis dégommé pour la seconde fois dans le même bain, à la même chaleur, nettoyé de nouveau, rincé. La teinture s'est faite simultanément pour tous les échantillons avec de la garancine dans un bain d'eau de rivière légèrement acidulé : on est entré à 35 degrés en élevant progressivement la température de manière à arriver en trois heures à 85 degrés. On a foulé, rincé et nettoyé, puis séché. Les échantillons teints ont été séparés en deux, une moitié blanchie par le chlorure de chaux.

Toutes ces opérations permirent de constater les résultats suivants :

Tous les tissus azotés restèrent excessivement pâles, comparés aux tissus non azotés, malgré la surabondance de matière tinctoriale.

Le tissu azoté, quoique se refusant à se charger de la préparation métallique, semble posséder la propriété de se combiner sans le concours de ces derniers avec une partie de la matière colorante de la garance, à en juger par la nuance jaunâtre qui persiste même après le passage en chlorure.

Ces mêmes faits se sont reproduits avec de la pyroxyline préalablement lavée à l'eau faiblement alcalisée par le carbonate de soude.

La teinture en noir de galle avec le pyrolignite de fer a conduit aux mêmes observations ; les tissus azotés ne prirent que peu de fer et restèrent après la teinture très-pâles en comparaison des tissus de coton et de lin non transformés en pyroxyline.

Quelques teintures en bleu de Prusse sur du coton en laine donnèrent lieu, comme pour la teinture en noir, à la même observation ; le coton pyroxylé ne prit qu'une nuance très-pâle comparativement avec la couleur du coton non pyroxylé. Même résultat avec la teinture du coton en laine en remplaçant la garance par le bois de Brésil.

M. Kuhlmann a voulu voir s'il était possible de restituer au coton pyroxylé sa propriété de se teindre en le ramenant par la méthode de M. Béchamp à son état primitif.

Après avoir fait bouillir la pyroxyline avec du chlorure de fer et l'avoir mis à digérer avec l'acide chlorhydrique, puis lavé, on trouve que le coton dénitrifié reprend, en grande partie du moins, la propriété de recevoir les couleurs. Ces expériences sont donc concluantes ; mais elles ne prouvent pas d'une manière absolue la non-aptitude du coton auquel on assimile de l'azote à prendre les teintures. Dans ce même travail, en effet, M. Kuhlman fait voir que du pyroxyle qui, dans certaines conditions, perd une partie de son principe nitreux, devient plus apte à s'emparer des matières colorantes que le coton dans son état primitif. Ces faits nouveaux résultent des expériences suivantes exécutées sur un coton pyroxylé qui avait perdu, sous l'influence d'une décomposition spontanée, presque les 2/3 de la vapeur nitreuse qu'il contenait à l'état normal.

La teinture en garance, la teinture au bois de Brésil, se fixent par l'intermédiaire de l'alumine, non-seulement mieux que sur le coton pyroxylé, mais avec plus d'éclat et de plénitude que sur le coton non azoté, toutes choses égales d'ailleurs, dans les opérations de préparation et de teinture. L'addition au coton pyroxylé d'une certaine quantité d'un sel de protoxyde de fer détruit la stabilité de la combinaison des vapeurs nitreuses et de la cellulose, et permet de constater que, d'une manière générale, la pyroxyline, en perdant une partie de ses éléments nitreux, non-seulement perd sa résistance à se combiner avec les oxydes métalliques et les couleurs, mais devient même infiniment plus apte à se charger de ces corps que le coton non transformé.

En poursuivant l'étude de ces phénomènes, on observe des relations excessivement remarquables entre l'aptitude que la cellulose présente à la teinture et la nature des modifications qu'on lui fait subir en la mettant en contact avec l'acide nitrique ou le mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, dans des circonstances telles que la formation de la pyroxyline soit entravée. Ainsi le bois de Brésil communique au coton non azoté préparé par l'acétate d'alumine une couleur rouge violacée. Une immersion de vingt minutes dans l'acide nitrique à 34 degrés, suivie d'un lavage à grande eau, et d'un passage dans une faible dissolution de carbonate de soude avant l'aluminage du tissu, fournit une couleur rouge beaucoup plus nourrie et beaucoup moins violacée que celle que prend le coton dans son état normal. Un effet bien sensible est produit même par l'immersion du coton pendant une demi-heure dans le même acide étendu de deux fois son volume d'eau. Dans ce dernier cas le coton n'est pas sensiblement altéré dans sa solidité.

Les résultats suivants ont une grande importance.

Lorsqu'on traite pour les teindre en bois de Brésil les préparations suivantes, après les avoir lavées à grande eau, passées dans un bain chargé de carbonate de soude, lavées encore et passées dans un bain d'acétate d'alumine, avant bousage et lavage définitif :

N° 1. Coton sans préparation acide ;

N° 2. Coton resté cinq minutes dans un bain acide formé par le mélange de 2 volumes d'acide nitrique à 34° et 1 volume d'acide sulfurique à 66° ;

N° 3. Coton resté deux minutes dans un mélange de 1 volume d'acide nitrique à 34° et 1 volume d'acide sulfurique à 66° ;

N° 4. Coton resté vingt minutes dans un mélange de 1 volume d'acide azotique à 34° et 2 volumes d'acide sulfurique à 66° ;

N° 5. Coton resté vingt minutes dans un mélange de 1 volume d'acide azotique à 34° et 2 volumes d'acide sulfurique à 66° et 1/2 volume d'eau.

On observe que le n° 1 prend une couleur rouge pâle violacée ; le n° 2 prend une teinte rouge moins violette, mais encore assez pâle ; le n° 3 une couleur plus nourrie et plus vive ; le n° 4 une couleur rouge-ponceau, beaucoup plus foncée, assez analogue à celle qu'on obtient avec la pyroxyline décomposée ; enfin le n° 5 prend une couleur rouge foncée d'une couleur extraordinaire, la plus belle nuance obtenue dans tous ces essais.

Ainsi ces expériences prouvent d'une manière évidente qu'une immersion dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique donne de très-belles couleurs écarlates, et que le mélange qui convient le mieux renferme 1 volume d'acide azotique à 34°,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2 volumes d'acide sulfurique à 66° et 1/2 volume d'eau.

L'orseille et la cochenille ont été de même essayées avec la préparation d'alumine ; on a fait ces essais avec :

N° 1. Coton immergé vingt minutes dans un bain d'acide nitrique ou d'acide azotique 2 volumes, 1 volume d'acide sulfurique ;

N° 2. Coton plongé 20 minutes dans un bain de 1 volume acide nitrique et 1 volume acide sulfurique ;

N° 3. Coton plongé 20 minutes dans un bain de 1 volume d'acide nitrique et 2 volumes d'acide sulfurique.

On observe : 1° pour les essais faits au moyen de la cochenille, avec le n° 1, une teinte giroflée pâle peu différente de celle obtenue avec le coton sans préparation ; pour le n° 2 une teinte beaucoup plus foncée, et pour le n° 3 une coloration au moins double de celle de l'essai précédent.

On observe, pour les essais faits au moyen de l'orseille, des colorations violettes dont l'intensité se trouve en rapport avec les résultats fournis par la cochenille.

Lorsqu'on se sert de garancine, comme matière tinctoriale, un bain d'acide nitrique seul donne sur coton une nuance un peu plus jaune, mais égale en plénitude à celle qu'on obtient sur le coton qui n'a pas reçu d'immersion dans l'acide; 2 volumes d'acide azotique et 1 volume d'acide sulfurique donnent la même nuance, mais plus foncée; 1 volume d'acide azotique et 1 volume d'acide sulfurique fournissent une nuance très-foncée, qui rappelle celle du rouge d'Andrinople avant l'avivage; 2 volumes d'acide azotique et 2 volumes d'acide sulfurique fournissent une coloration très-foncée, légèrement jaunâtre. Enfin, 1 volume d'acide azotique, 2 volumes d'acide sulfurique, 1/2 volume d'eau donnent une couleur rouge très-vive et beaucoup plus foncée que les précédentes.

La laine, la soie, les plumes, les crins, traités, comme le coton, par les acides que nous venons d'indiquer, offrent la même aptitude à se teindre par la garancine, l'orseille, la cochenille, la décoction de Brésil, et les avantages qu'on retire de l'action des acides, au point de vue de la richesse et de l'intensité de la nuance, sont des plus remarquables. L'acide nitrique étendu de cinq fois son volume d'eau fournit déjà des avantages très-marqués.

Malheureusement, au point de vue pratique, les fils et les tissus sont profondément altérés par ces immersions acides; ces observations ne sauraient donc être, au moins quant à présent, utilisées dans l'industrie. Il n'y a d'espoir d'en tirer parti qu'autant que la matière colorante peut appartenir au groupe des substances qui se forment et s'appliquent au moyen de l'acide nitrique. L'acide picrique, par exemple, qui ne se fixe pas sur le coton, même par l'intervention de l'alumine, donne des nuances très-nourries, lorsque le coton est traité par le bain acide. L'acide agit alors comme matière colorante et comme intermédiaire; il sert à produire des nuances composées, soit en donnant des bains d'acide picrique, soit en le mêlant aux autres couleurs, après les préparations métalliques qui servent à fixer la matière tinctoriale. Ces couleurs composées, très-vives et très-éclatantes, sont plus particulièrement applicables à la teinture sur laine et sur soie; dans la teinture sur coton, l'acide nitrique fixé altère à la longue la couleur, et la fait virer au jaune. Dans tous les cas, les composés nitrés auraient des inconvénients dans la pratique, par suite de la grande combustibilité que possèdent les tissus, lorsqu'ils ont été traités par l'acide nitro-sulfurique.

Les expériences qui précèdent, et sur lesquelles nous avons cru devoir insister parce qu'elles sont nouvelles et parce qu'elles pèsent d'un grand poids dans la question qui nous occupe, semblent donc conduire à des résultats qui peuvent réduire à peu de chose l'influence de la contexture des fibres dans les opérations de la teinture.

M. Kuhlmann formule lui-même son opinion de la manière suivante :

« Si l'on ne peut faire dépendre la fixation des couleurs d'un principe à application constante, celui par exemple qui reposerait uniquement sur la composition de la matière à teindre; si, comme le démontre M. Chevreul, cette aptitude procède souvent aussi des propriétés particulières de la matière colorante elle-même, se fixant mieux sur telle ou telle étoffe, on peut établir dès aujourd'hui, que la composition chimique du corps à teindre a la plus grande influence sur cette fixation, que les teintures sont de véritables combinaisons chimiques, et que les effets dus à la capillarité et à la structure particulière de la matière filamenteuse ne sont que secondaires. »

Ces expériences me paraissent démontrer, d'une manière évidente, que l'adhérence ou la fixation des couleurs dépend, en grande partie du moins, d'une action chimique entre les matières colorantes et les étoffes dans leur état naturel, ou ces étoffes diversement modifiées, soit par leur combinaison avec d'autres corps, soit par un arrangement moléculaire particulier de leurs principes constitutifs. Elles me semblent prouver plus que les arguments de M. Persoz, qui sépare l'action chimique proprement dite de l'action d'adhérence, cette dernière n'étant produite que par juxtaposition.

On peut, du reste, prouver que, dans le cas de l'intervention de l'acide nitrique, cet acide n'agit pas comme corps se mettant en liberté, pendant l'opération de la teinture. En effet, les tissus nitrés à différents degrés ne perdent pas après la teinture leur grande combustibilité, pas plus sous ce rapport que la pyroxyline elle-même. D'ailleurs, d'une part, les étoffes pyroxylées ne prennent pas plus de coloration dans les bains à réaction acide que dans les bains à réaction alcaline; d'autre part, la pyroxyline, spontanément décomposée, attire bien plus énergiquement que le coton naturel les couleurs quelles qu'elles soient, dans l'une comme dans l'autre circonstance.

Peut-on attribuer à de simples modifications moléculaires les modifications remarquées sous l'influence des intermédiaires, dans l'aptitude des fils et tissus à fixer les matières colorantes et former avec elles de véritables combinaisons chimiques? M. Mercer a fait voir, il y a quelques années, que les tissus de coton donnaient dans l'impression et la teinture des couleurs beaucoup plus nourries, lorsqu'on les plongeait dans une dissolution concentrée de soude caustique, avant toute application de sel métallique. On n'a voulu voir dans ce fait qu'un seul rapprochement des fibres dont l'étoffe est composée; mais il est plus vraisemblable d'admettre une action chimique dont l'existence n'est pas liée d'une manière absolue à la présence des alcalis caustiques, potasse ou soude. L'altération des tissus de coton par le chlore, par l'acide chlorhydrique et par l'acide fluorhydrique, ne modifie en rien l'aptitude à fixer les matières colorantes. Au contraire, les acides phosphorique et sulfurique concentrés agissent d'une manière très-efficace pour ajouter à la plénitude et à l'éclat de la teinture. Sous l'influence de ces acides, la cellulose, comme nous l'avons dit, se modifie; elle prend un aspect translucide, par suite d'une transformation moléculaire qui concourt à la production d'une certaine quantité de dextrine et de glucose. La composition de la cellulose ne subissant même aucune altération, n'est-on pas en droit de croire aux changements possibles dans les aptitudes relatives à la teinture présentées par deux substances isomères? Cette dernière manière d'interpréter les faits dans ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conditions est formulée par M. Kuhlmann, dans son travail (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIII, p. 900 et 953). « Un arrangement moléculaire nouveau peut conduire à des combinaisons chimiques nouvelles; et le résultat d'une plus grande intensité de couleur dans la teinture, sans être expliqué par l'état purement physique de la matière, par une espèce de contraction des fibres du coton ou du lin, doit être attribué de préférence à des combinaisons chimiques différentes.

« La teinture repose essentiellement sur une combinaison chimique entre la matière colorante et la matière textile naturelle ou diversement combinée ou modifiée; l'état physique de cette matière n'intervient dans le phénomène que d'une manière accessoire.

« Il est, d'ailleurs, difficile de distinguer ce qui appartient à l'affinité chimique proprement dite de ce qui est le résultat de la cohésion; ce qui, dans la teinture du charbon, par exemple, procède des propriétés chimiques de ce corps de ce qui est le résultat de sa porosité.

« Dans la plupart des cas, les deux actions réunies concourent au même but et se confondent en quelque sorte. »

On le voit ici : la définition de la teinture, telle que nous l'avons donnée d'après M. Chevreul, conduit forcément à reconnaître un ensemble de phénomènes complexes, et M. Kuhlmann, partisan éclairé de l'action chimique, fait néanmoins la part de l'action mécanique. Là, en effet, est la vérité. Tous les auteurs qui se sont occupés dans ces derniers temps de la théorie de la teinture sont d'accord sur ce point, et s'ils semblent différer d'opinion, c'est sur la part afférente à chaque action dans l'ensemble du phénomène; c'est plus, au fond, à cause des termes par lesquels ils représentent l'action que par le principe de l'action elle-même.

Depuis les travaux de M. Kuhlmann, M. Verdeil a réuni de nombreux éléments pour approfondir encore la question. Ce travail important est nouveau, et pour ne pas le tronquer je reproduis ici l'extrait que l'auteur en a donné lui-même dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVII, p. 961. Il a pour base des observations qui sont personnelles à l'auteur.

« Si l'on examine au microscope des fibres isolées de ligneux, de soie ou de laine qui ont été colorées par les procédés ordinaires de la teinture, on reconnaît que la substance de la fibre est teintée par pénétration du principe colorant : la fibre est uniformément colorée, transparente; on n'aperçoit aucune particule colorante insoluble à sa surface, elle est homogène, privée de pores et de canaux. Il faut excepter toutefois les étoffes colorées par le chromate de plomb ou par l'oxyde de chrome qui sont teintes en partie par le dépôt du principe colorant à la surface de la fibre et en partie par pénétration. Dans quelques cas exceptionnels, la soie teinte en noir est colorée par une sorte d'incrustation peu adhérente a la fibre. Cette enveloppe se brise et laisse voir la fibre teinte également par pénétration. En dehors de ces cas particuliers, les fibres textiles teintes sont constamment colorées par pénétration du principe colorant et par son union intime sur la substance même de la fibre.

« Les procédés employés dans la pratique pour colorer les étoffes varient suivant la nature des tissus. En effet, tandis que les fibres d'origine animale, laine et soie, s'emparent des principes colorants en dissolution dans un bain de teinture dans lequel entre un sel métallique faisant l'office de *mordant* [1], le ligneux, au contraire, placé dans les mêmes conditions, ne fixera pas trace de couleur.

« Pour que du coton, du fil ou du chanvre puisse se colorer de manière à ce que ni les lavages à l'eau ni le frottement n'enlèvent la couleur, il faut de toute nécessité que le principe colorant soit rendu insoluble lorsqu'il a pénétré la substance de la fibre. La laine et la soie semblent, au contraire, posséder une véritable affinité pour les principes colorants mélangés avec des mordants.

« Dans le but d'expliquer ces phénomènes de coloration, j'ai étudié l'action des sels d'alumine, de fer, d'étain, employés comme mordants sur les étoffes de laine et de soie. J'ai constaté que ces substances d'origine animale possédaient la propriété de fixer une certaine quantité de la base du mordant avec lequel on les mettait en contact. »

Cette propriété est commune à toutes les substances azotées, albumine, musculine, etc., qui constituent les tissus du corps des animaux.

Par l'incinération de l'étoffe de laine ou de soie mordancée, on retrouve dans les cendres, soit le fer, soit l'alumine, soit l'étain, à l'état d'oxyde.

« La quantité de la base ainsi fixée est très-faible; elle suffit cependant pour déterminer dans l'étoffe et dans l'albumine une coloration intense au contact d'un principe colorant en dissolution avec lequel l'oxyde se combine.

« M. Chevreul a démontré déjà que la soie se charge d'oxyde de fer par son contact avec une dissolution de sulfate de fer. M. Chevreul a observé, en outre, que de la laine et de la soie, par leur contact prolongé avec du peroxyde de fer hydraté, fixaient de l'oxyde de fer, tandis que le coton n'en fixait pas trace.

« Les chiffres suivants indiquent la proportion de cendres que j'ai obtenue par l'incinération des étoffes mordancées :

	En 100 parties.	
Laine mordancée par l'alun.	0,75	cendres.
id. id. id.	0,72	id.
id. le sulfate d'alumine.	0,86	id.
id. l'alun et le tartre.	1,12	id.
id. l'acétate de fer.	0,75	id.
id. le deutochlorure d'étain. . . .	1,25	id.
Soie mordancée par l'acétate d'alumine.	0,50	
Soie mordancée par l'acétate de fer. .	1,00	cendres.
id. id. l'alun	0,40	id.
Albumine		
coagulée en présence de l'alun . .	1,30	id.
id. du sulfate d'alumine. .	3,00	id.
Caséine en contact avec l'alun.	2,66	id.

Le ligneux placé dans les mêmes conditions ne fixe pas trace de la base du mordant.

Le produit de l'incinération, dont les proportions sont indiquées plus haut, est presque complétement formé par l'oxyde du mordant. Les cendres de la laine mordancée à l'alun renferment 80 p. 100 d'alumine.

« La faible proportion d'oxyde fixé par les étoffes de laine et de soie mordancées ne semble pas en rapport avec l'intensité de coloration qu'elles acquièrent par leur contact avec un principe colorant formant une combinaison avec l'oxyde qu'elles ont fixé. Aussi est-ce dans la constitution physique de la fibre qu'il faut chercher la cause du degré de coloration qu'elles peuvent acquérir par la teinture.

« Les fibres de la laine et de la soie sont très-transparentes; les corps colorés transparents n'exigent qu'une très-faible proportion de principes colorants pour paraître d'une couleur foncée vus par réflexion. L'expérience que je vais décrire prouve bien que c'est en vertu de ce principe que les étoffes teintes de laine

[1] Nous conservons ici ce mot, mais comme terme d'atelier. Nous reviendrons bientôt sur la signification de cette expression. Nous n'avons pas voulu changer le texte de l'extrait rédigé par M. Verdeil. A. S.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et de soie possèdent cette coloration intense qui les caractérise.

« De l'albumine congulée par la chaleur dans de l'eau renfermant du deutochlorure d'étain est colorée ensuite au contact d'une dissolution de cochenille. L'albumine se teint comme une étoffe mordancée ; par la dessiccation, la masse acquiert une teinte grenat foncé. Si l'on broie la masse, la couleur change ; elle devient rouge clair. En continuant de broyer, on obtient une couleur de plus en plus claire, qui arrive au rose. Examinées au microscope, à leurs divers états de division, les particules n'ont subi d'autre modification qu'une diminution de volume. Elles restent toujours transparentes. Ce phénomène ne se produit pas dans un corps coloré opaque dont la couleur ne se modifie pas en suite d'un broiement, même prolongé. »

Cet effet de la transparence dans les corps colorés explique la coloration des tissus qui composent le corps des animaux ; cette coloration déterminée par des quantités très-faibles de sang est due, sans nul doute, à la transparence des chairs.

La transparence des tissus qui composent les pétales des fleurs occasionne également cette intensité de coloration, que la faible proportion de principes colorants qu'elles renferment ne pourrait déterminer dans un corps opaque.

Pour résumer les résultats auxquels l'auteur se trouve conduit, il pose lui-même les conclusions suivantes :

« 1° Les fibres qui composent les étoffes teintes, qu'elles soient d'origine végétale ou d'origine animale, sont colorées uniformément dans leur substance même ;

« 2° Les fibres de la laine et de la soie ont la propriété de fixer directement une certaine proportion de la base des sels métalliques employés comme mordants ;

« 3° La proportion de base fixée par l'étoffe mordancée et par conséquent la proportion du principe colorant retenu par l'étoffe teinte est très-faible. La transparence de la fibre et son diamètre ont une action sensible sur le degré de coloration qu'elle peut acquérir. »

On peut remarquer que M. Verdeil admet qu'il n'y a pas de ligne de démarcation bien nette entre les causes physique, chimique, mécanique auxquelles on peut attribuer les phénomènes de teinture.

Les réflexions que nous avons présentées au sujet des différents mémoires que nous venons d'analyser nous dispensent d'insister davantage et nous conduisent à regarder comme essentiellement complexes les phénomènes dont le teinturier doit s'occuper. Nous y reviendrons d'ailleurs en parlant des intermédiaires connus dans les ateliers sous le nom de mordants ; nous y reviendrons encore en parlant de la solidité des diverses teintes que le teinturier doit savoir produire.

Bornons-nous à rappeler que les phénomènes de teinture sont le résultat d'effets multiples et qu'il faut représenter l'adhérence de la couleur à la fibre :

1° Par pénétration, par voie de capillarité ;

2° Par juxtaposition, par voie de contact et de cohésion :

3° Par combinaison, par voie d'affinité chimique.

Dans tous les cas, la transparence de la fibre n'est pas sans jouer un rôle dans le degré de la coloration.

§ VI. Des préparations générales auxquelles on soumet les fibres en vue des opérations de la teinture.

Mordants. — Nous avons vu que parmi les matières colorantes les unes s'unissaient directement aux laines, aux fils, aux tissus qu'elles pouvaient teindre immédiatement, que d'autres au contraire n'étaient capables de prendre d'adhérence aux fibres textiles qu'autant qu'on faisait usage de certaines matières auxiliaires, comme quelques oxydes, certains corps gras qu'on nomme *mordants* et qui fonctionnent comme intermédiaires.

Jusqu'à ce jour on a donné le nom de mordant à toute substance qui jouit de la double propriété de s'unir d'une part aux tissus, d'autre part aux matières colorantes. Si nous posons ici comme principe, que nous développerons plus loin, que les substances colorables ou colorées se combinent aux oxydes métalliques pour former des composés insolubles, il semblerait que tous les composés oxydés pourraient remplir le rôle de mordants et devenir par conséquent la base des principes colorés plus ou moins adhérents aux tissus. Il n'en est cependant pas ainsi ; nous ne pouvons, en effet, citer que quelques oxydes qui jouissent de cette faculté parmi les substances d'origine minérale. Quant aux corps d'origine organique, nous ne trouvons que quelques corps gras modifiés et quelques principes organisés.

Parmi les oxydes métalliques, ceux qui possèdent au plus haut degré la propriété de rendre adhérentes les couleurs, matières colorables ou matières colorées, nous ferons remarquer que les plus énergiques, l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome sont isomorphes, qu'ils ont le même volume pour leur équivalent, qu'ils passent de l'état soluble dans les acides à l'état d'oxydes insolubles avec dégagement de chaleur, etc.

C'est ici le lieu de bien définir le terme de mordant en usage dans les ateliers. Emprunté sans aucun doute à l'industrie décorative, si la préparation dans laquelle on plonge l'étoffe à teindre n'avait d'autre effet que de fixer la couleur comme le fait le mordant, par exemple, dans la dorure sur bois, ce terme pourrait être entendu sans commentaire ; mais les phénomènes de la teinture sont loin d'être aussi simples, et nous ne pouvons admettre le mot mordant que comme terme d'atelier abréviatif au même titre que le mot degré centésimal quand il s'agit de définir une température. Nous avons dit qu'il est impossible de ne pas considérer l'étoffe teinte comme une agglomération de molécules composées dans laquelle on doit faire intervenir souvent avec modification chimique la fibre elle-même, le mordant proprement dit et la matière colorante. Si donc nous adoptons le terme de mordant, c'est avec la restriction que nous lui donnons ici et seulement pour représenter un effet, sans prétendre en aucune façon en expliquer la cause. Le *mordant* ne rend pas la couleur adhérente toujours de la même manière ; il n'agit pas non plus toujours d'une même façon identique ; dans certains cas il ne fait éprouver à l'étoffe que des changements de nuances qui tiennent à la nature des réactions acides ou basiques en présence desquelles ont lieu les phénomènes de teinture ; les modifications peuvent encore dépendre du volume des sels métalliques employés ; quelques exemples fixeront les idées : dans un bain de cochenille une étoffe préparée par l'alumine prendra une nuance lilas, tandis qu'une étoffe préparée par l'oxyde de plomb se colore en rouge. L'hydrate d'étain et l'hydrate d'alumine passés dans un bain de cochenille donnent des rouges différents, tirant au violet dans le premier cas, tirant sur le jaune dans le second cas. Ces exemples démontrent l'importance sur la nuance de la combinaison chimique qui prend naissance. L'action peut être encore beaucoup plus compliquée. Les préparations ferrugineuses font subir au composé coloré des altérations préalables ; il est remarquable que la garance donne avec les sels de fer une couleur très-foncée ; on prépare de la sorte des violets intenses qui sont presque noirs.

Dans les opérations de la teinture, la préparation dont on charge les étoffes et les tissus a la plus grande

EFERUS - Recherche & Classification numérique

influence sur les résultats de l'opération. Nous insisterons donc ici sur un grand nombre de points, et, nous plaçant au point de vue le plus général, nous considérerons les mordants dans leur rôle, pour obtenir non-seulement les teintes unies, mais aussi les impressions en couleurs. L'impression sur étoffe fait usage, en effet, des opérations de la teinture proprement dite, pour produire une grande variété de dessins, par la méthode des réserves ou des enlevages appliqués par voie d'impression. Il convient ici de remarquer que l'impression n'a d'autre but que d'apposer rapidement et mécaniquement les dessins qui ne pourraient être déposés à la main qu'avec une grande lenteur et beaucoup de dépenses. Les faits mécaniques ont été traités à l'article IMPRESSION; nous ne saurions établir de distinction entre les phénomènes chimiques qui se passent dans une teinture unie et dans la teinture imprimée.

Nous devons avant tout considérer le rôle chimique que la préparation doit jouer après son adhérence à l'étoffe. Supposons donc qu'au lieu de poser de l'hydrate d'alumine sur un tissu donné, nous ayons appliqué de l'alumine calcinée. L'expérience, d'après ce que nous connaissons des propriétés de l'alumine, prouve que le dépôt n'est pas capable de se colorer. Si, d'autre part, après avoir appliqué l'alumine hydratée, on la dessèche lentement ou rapidement, on trouve dans les tissus préparés des propensions bien différentes à se laisser teindre en garance, par exemple. Dans un cas, la coloration sera brillante et colorée; dans l'autre, la nuance sera faible et terne. Il y a donc, indépendamment de la nature chimique de la préparation, des circonstances spéciales qui correspondent à des états physiques particuliers indispensables au succès de l'opération, et sur lesquelles il convient de porter notre attention; nous allons le faire, en nous occupant des diverses préparations métalliques ou organiques qu'on fait subir aux fils comme aux tissus, pour les rendre propres à la teinture.

Préparations aluminées.

L'aluminage d'une matière textile s'opère avec des matières qui contiennent de l'alumine, et dans lesquelles cette alumine joue des rôles bien différents, tantôt acide, tantôt basique.

Préparations dans lesquelles l'alumine joue le rôle de base. — Les sels d'alumine sont très-nombreux; mais ils ne sauraient tous être employés au même titre : les uns, insolubles, se détacheraient au moindre choc, au moindre frottement; les autres, solubles, ne possèdent pas au même degré la propriété de céder aux tissus de l'alumine hydratée, conservant une énergie chimique suffisante pour se combiner à la matière colorante.

On remarque parmi les sels aluminеux solubles trois sortes différentes, dont l'action se résume de la manière suivante :

Les uns sont basiques ou peuvent le devenir, en abandonnant une portion de leur acide; ils n'ont besoin, pour céder aux tissus une partie de leur base, que du simple contact avec l'étoffe : ce sont l'acétate d'alumine, l'alun cubique, l'oxalate, le butyrate, le formiate et l'hyposulfite d'alumine;

Les autres sont acides ou neutres; dans quelques-uns, l'alumine se dépose avec ses propriétés caractéristiques, lorsqu'on sature l'acide par une base, ou dès qu'on opère par une double décomposition la formation d'un sel basique analogue à ceux dont nous avons parlé tout à l'heure; de ce nombre, sont le sulfate, le séléniate, le chlorate, le bromate, le nitrate, le chlorure et l'alun octaédrique;

Enfin, quelques sels d'alumine sont remarquables par le rôle de la base qui semble y être *masquée*; elle ne se dépose pas sur les tissus avec l'adhérence nécessaire à la teinture. A ce dernier ordre appartiennent le tartrate, le citrate et le malate d'alumine.

Les deux premiers groupes de sels alumineux conviennent très-bien pour l'aluminage des tissus; on agit soit directement, soit indirectement; dans un cas, le tissu s'empare de l'alumine, sans autre intermédiaire que le jeu de l'affinité de la fibre pour l'alumine; dans l'autre, au contraire, il faut faire intervenir un sel convenablement choisi, pour précipiter la base, tantôt en totalité, tantôt en partie seulement.

Tous les sels que nous venons de nommer offrent dans la pratique des avantages et des inconvénients sur lesquels il est bon d'être fixé. Il convient de les passer en revue.

Le nitrate d'alumine et le chlorure d'aluminium agissent surtout lorsqu'on met en liberté l'alumine par un passage dans un bain alcalin; cependant le chlorure se décompose spontanément au contact de la fibre; on ne peut néanmoins en faire usage qu'autant qu'on ne teint pas le coton, le lin et le chanvre; car s'il n'attaque pas la soie par l'acide chlorhydrique qui se trouve mis en liberté, les fibres d'origine végétale sont attaquées sensiblement; c'est surtout dans l'impresssion que cette action est à redouter.

L'oxalate d'alumine ne cède pas toujours sa base. Au moment de sa préparation, il est privé de cette propriété; c'est à ce point même, que l'acide oxalique peut être employé dans certains cas, pour enlever aux tissus l'alumine déposée, lorsqu'on veut obtenir une réserve blanche par voie d'*enlevage sur mordant*. Mais par suite d'un contact prolongé ou par l'exposition à la température de 100°, l'oxalate subit une métamorphose qui le transforme et le rend apte à céder de l'alumine aux tissus sur lesquels on l'appose.

Le plus répandu des sels auxquels on emprunte l'alumine est l'alun; l'usage de cette matière, qui ne donne une bonne préparation que lorsqu'elle renferme un excès de base, ne s'est répandu depuis l'époque la plus reculée que parce que le sel naturel est précisément dans ce cas : au reste, on rend l'alun ordinaire aussi convenable pour cet usage que l'alun naturel, en ajoutant un peu de natron ou de carbonate de soude. On peut même en mettre assez, pour précipiter un excès d'alumine, à la condition de redissoudre le précipité d'abord formé par une addition de vinaigre. C'est ce que l'industrie a pratiqué pendant fort longtemps. L'intervention de l'acétate de plomb paraît tout européenne; mais il est impossible de préciser la date de cette innovation et de dire qui la mit en pratique pour la première fois.

Les mordants d'alumine sont très en usage dans l'impression; on leur fait alors surtout quelques additions. Dans l'origine, on ajoutait à l'acétate de plomb de l'acétate de cuivre, du sel marin, de l'acide arsénieux, du sulfure d'arsenic, de la craie, du sel ammoniac; l'état d'ignorance dans lequel étaient ceux qui s'occupaient de teinture avait sans doute fait introduire, dans les mélanges destinés à l'aluminage des étoffes, des substances inertes; mais on ne saurait refuser à certaines d'entre elles plusieurs avantages, soit pour prévenir l'adhérence de l'oxyde de fer dont la présence devait nuire à la pureté des nuances de la garance, soit pour maintenir l'étoffe, avant la teinture, dans un état d'humidité nécessaire pour conserver de l'alumine déposée dans de bonnes conditions.

Maintenant on se sert exclusivement d'alun octaédrique; et si dans certains cas ce sel, en se fixant sur l'étoffe qu'on met en présence de l'eau chaude, en contact avec une matière colorante, forme un sous-sel d'alumine et de principe colorant, il peut se faire aussi que l'alun subisse une décomposition plus avancée, ne laissant adhérente à l'étoffe qu'une combinaison d'alumine et de principe colorant. Cet effet a toujours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lieu, lorsqu'on passe une étoffe alunée ou colorée dans une eau légèrement alcaline. On obtient donc constamment une bonne préparation, en partant de l'alun, lorsqu'on sature, par une quantité convenable d'acétate de plomb, de chaux, de baryte, de strontiane, une partie de la base : on obtient de la sorte, par une double décomposition, des sulfates plus ou moins insolubles et de l'acétate d'alumine en quantité proportionnelle. On peut faire usage encore d'acétate de potasse, d'ammoniaque, de soude, qui ne font naître aucun trouble dans la liqueur, ou des carbonates d'ammoniaque, de potasse et de soude, à la condition de ne les ajouter qu'en proportion convenable, pour opérer la transformation de l'alun octaédrique en alun cubique.

Nous pouvons réduire à trois les principaux composés dont on se sert pour aluminer les tissus. Les voici :

Alun.	40k,00	— 27k,00	— 20k,25
Cristaux de soude.	4 ,00	— 2 ,70	— 2 ,28
Acétate de plomb.	40 ,00	— 20, 20	— 13 ,50

On commence par introduire dans un baquet l'alun finement pulvérisé ; on y verse la quantité d'eau chaude nécessaire pour opérer la dissolution ; on ajoute à la liqueur le carbonate de soude, puis enfin on verse l'acétate de plomb. L'effet se produit instantanément ; on obtient du sulfate de plomb qui se précipite immédiatement ; on agite, puis on attend le refroidissement. Il n'est pas indifférent d'ajouter le carbonate de soude avant ou après la précipitation ; dans le premier cas, il sature l'alun, en formant de l'alun cubique ; dans le second cas, il se porte sur l'acide acétique et forme des acétates de potasse et de soude. Une telle préparation est basique, et plus ou moins déliquescente.

Lorsque le dépôt s'est effectué lentement, on décante la partie claire qu'on conserve séparément dans des vases de verre ou de grès. Les eaux de lavage des dépôts servent à faire des *mordants faibles* ou d'autres préparations des mêmes mordants.

On n'est pas obligé de séparer les dépôts de sulfate, lorsqu'on doit épaissir la préparation. Comme le sulfate de plomb ne prend d'adhérence avec la fibre textile que lorsque les tissus qui l'ont reçu sont plongés dans une eau de chaux, sa présence n'a pas d'inconvénient ; il devient alors un puissant élément d'économie, puisqu'il permet de réduire la proportion de l'épaississant (gomme, fécule ou amidon).

On pourrait avoir une seule préparation qui servirait de base aux compositions faibles ou fortes, dont on peut avoir besoin dans des circonstances données. Jusqu'à présent, les fabricants préfèrent en avoir plusieurs qui diffèrent par leur densité, c'est-à-dire par les proportions d'alun et d'acétate de plomb employés pour les obtenir. L'usage n'est pas d'ailleurs ici basé seulement sur la routine. Dans le cas des impressions, il n'y a que peu de cas où l'on ait besoin d'une préparation plus forte que les préparations d'une densité moyenne, et d'autre part, les sels chargés d'acétate d'alumine se décomposent spontanément à la longue, en abandonnant du sous-acétate d'alumine en proportions variables, ce qui jette la perturbation dans les dosages primitifs.

On commence à faire usage aujourd'hui, d'une manière à peu près générale, du sulfate d'alumine pour les compositions propres à l'aluminage des tissus, et surtout pour préparer les *mordants rouges*. Ce sel se prépare en grand pour les besoins de l'industrie. La composition moyenne des bonnes livraisons de M. Pommier, de Paris, quai de Jemmapes, contient :

Eau.	52	—	théoriquement.
Alumine.	14	100	100
Acide sulfurique. .	34	236	234,4

Pour préparer le mordant rouge, en partant de ce sel, on prend 110 parties d'une dissolution de sulfate d'alumine marquant 30° Baumé, si l'on opère à chaud, 33° si l'on opère à froid ; on y ajoute 100 parties d'acétate de plomb dissous dans 30 parties d'eau ; on obtient alors une dissolution très-concentrée d'acétate d'alumine, marquant 15 à 16° Baumé.

Dans quelques fabriques, on remplace l'acétate de plomb par le pyrolignite de même métal. Mais on peut substituer à ces deux sels les acétates de baryte, de chaux et de strontiane, de soude, de potasse et d'ammoniaque ; jusqu'à ce jour, on n'a tiré parti que de l'acétate de chaux ; la réaction qui donne naissance à l'acétate d'alumine est la même dans les deux cas, et cette dernière méthode est éminemment économique. L'oxyde de plomb qui entre dans la composition du sel employé représente plus des 2/3 de la valeur du produit. Il est à peu près complétement perdu, puisqu'on se sert actuellement du sulfate de plomb, seulement comme produit accessoire, pour frelater les chromates de plomb et la céruse. L'emploi des acétates de chaux offrirait encore cet avantage dans l'impression sur étoffe, qu'il laisserait un résidu de sulfate de chaux, qu'on n'éloignerait pas, et qui pourrait permettre un épaississage économique.

M. Kœchlin a proposé depuis longtemps un mordant qu'il est regrettable de ne pas voir employer plus généralement. On neutralise une dissolution d'alun par le carbonate de potasse, jusqu'à ce que les flocons refusent de se dissoudre par une nouvelle agitation ; on porte à l'ébullition la dissolution saturée, pour former le sulfate alumineux basique qu'on recueille et qu'on traite par l'acide acétique, qui le dissout très-bien. On obtient de la sorte une composition alumineuse des plus simples et des plus fidèles. Si, dans la fabrication de ce mordant sur une petite échelle, on perd le sulfate de potasse et une partie de l'alun qui s'échappe avec les eaux mères, cet inconvénient n'existe pas dans une préparation en grand, puisqu'on retrouverait dans la fabrication de l'alun tous les éléments qui ont une certaine valeur.

Lorsque le commerce pourra fournir de l'hydrate d'alumine d'une composition constante et facilement soluble dans l'acide acétique, on l'utilisera pour produire directement l'acétate d'alumine, que l'expérience classe tous les jours parmi les meilleurs mordants. Les qualités spéciales de l'acide acétique rendent très-propres aux préparations des tissus les acétates métalliques. Mais quand on fait usage d'acétate d'alumine dans le mordançage, il est convenable de bien faire observer que ce sel demande à ne pas être conservé. Si l'on dissout de l'alumine gélatineuse dans de l'acide acétique, de manière à obtenir une liqueur qui marque 8 à 9° à l'aréomètre de Baumé, et qu'on conserve cette dissolution dans des flacons bien bouchés, on s'aperçoit, au bout de plusieurs jours, qu'il s'est fait un précipité blanc, plus ou moins cristallin, renfermant toute l'alumine, tandis que la liqueur est devenue fortement acide ; Gay-Lussac avait déjà remarqué que les dissolutions d'acétate d'alumine, qui renferment du sulfate de soude ou de potasse, se troublent par la chaleur, mais reprennent leur limpidité en refroidissant. M. Tissier a vu que, même dans le cas de sel d'alumine parfaitement pur, il y a dépôt, et que ce dépôt est formé par un sous-acétate d'alumine, qui ne contient que deux équivalents d'acide acétique.

La décomposition toute spontanée, qui fait que l'alumine dissoute dans l'acide acétique passe lentement à l'état de combinaison soluble, sans qu'il soit nécessaire pour cela de la moindre élévation de température, conduit à l'explication de bien des accidents qui se produisent avec ce composé, dans le mordançage des tissus, lorsqu'on a conservé ce sel pendant plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ou moins de temps. Au reste, la décomposition est sans contredit singulièrement activée par la présence de la fibre elle-même, qui tend à s'emparer de l'alumine, pour la fixer elle-même. M. Persoz s'étend longuement sur cette décomposition ; elle est mise hors de doute par ses expériences.

M. Kopp a découvert dans les hyposulfites des propriétés semblables à celles que nous venons de distinguer dans l'acétate d'alumine ; aussi cette circonstance permettra-t-elle de substituer dans bien des cas ces derniers sels aux acétates dans la préparation des mordants. En effet, de même que les acétates, les hyposulfites sont généralement solubles dans l'eau ; leur acide est extrêmement faible et ne peut même pas exister à l'état libre, puisqu'il se dédouble immédiatement en acide sulfureux et en soufre, qui tous deux sont sans action corrosive sur la fibre végétale et animale ; enfin les hyposulfites à base de sesquioxydes sont généralement décomposés et les bases mises en liberté par la simple dessiccation.

Les hyposulfites de chaux et de soude sont les sels au moyen desquels se préparent ces nouveaux mordants. L'hyposulfite de chaux s'obtient très-économiquement en faisant réagir dans un appareil barboteur l'acide sulfureux provenant de la combustion du soufre ou des pyrites sur du sulfure ou de l'oxysulfure de calcium. La solution, évaporée avec précaution et à une douce chaleur, fournit des cristaux d'hyposulfite de chaux contenant 6 équivalents d'eau. La solution d'hyposulfite de chaux, décomposée par le carbonate ou le sulfate de soude, donne, par la concentration, des cristaux d'hyposulfite de soude contenant 5 équivalents d'eau.

En ajoutant à des solutions de sulfate d'alumine ou d'alun les hyposulfites de soude ou de chaux, on obtient de l'hyposulfite d'alumine. C'est une liqueur claire, limpide, qui ne s'altère que lentement au contact de l'air. Bouillie ou évaporée à siccité, elle dégage de l'acide sulfureux et donne un résidu d'alumine, de sous-sulfate d'alumine et de soufre.

Pour préparer une toile en alumine, on n'a donc qu'à l'imprégner de solution d'hyposulfite d'alumine et à la faire sécher. Toute l'alumine se trouve fixée. Le dégagement d'acide sulfureux, qui pour les toiles de coton est, à la vérité, un inconvénient assez grave, pourrait au contraire devenir avantageux lorsqu'il s'agit de tissus de laine ou de soie. L'hyposulfite d'alumine présente cette circonstance favorable, qu'il empêche jusqu'à un certain point la fixation du fer que peuvent contenir l'alun ou le sulfate d'alumine, surtout si l'on ne prolonge pas trop le séchage après l'application du sel ; cela provient de ce que le fer ne peut se fixer sur la fibre textile qu'à l'état d'oxyde ou de sous-sel ferrique et de ce que l'hyposulfite ferrique n'existe pas. Dès qu'un sel ferrique se trouve en présence d'un hyposulfite, le sel ferrique est réduit à l'état de sel ferreux, et il en résulte évidemment qu'aucune parcelle de fer ne peut se fixer sur le tissu, tant qu'il existe encore dans la dissolution la moindre quantité d'hyposulfite d'alumine non décomposée. Ce n'est qu'après que l'alumine s'est complétement fixée, après que l'acide hyposulfureux libre a disparu en se décomposant, que le fer pourrait s'oxyder à son tour et se combiner à la matière textile.

Si l'on veut préparer un mordant d'hyposulfite d'alumine épaissi à l'amidon ou à la farine, il faut commencer par préparer de l'hydrochlorate d'alumine sirupeux en décomposant du sulfate d'alumine ou de l'alun par du chlorure de calcium basique, filtrant et évaporant fortement la liqueur. Par le refroidissement, celle-ci laisse cristalliser du sel ammoniac ou du chlorure de potassium, et les eaux mères, renfermant surtout de l'hydrochlorate d'alumine, sont ensuite évaporées de nouveau à une température voisine de 100°, jusqu'à ce qu'elles se recouvrent d'une pellicule assez consistante.

C'est cette matière qu'on incorpore à froid dans de l'empois d'amidon ou de farine ; ensuite, à la couleur épaisse on ajoute une quantité d'hyposulfite de soude telle que les 2/3 ou les 3/4 de l'hydrochlorate d'alumine soient transformés en hyposulfite d'alumine.

Préparations dans lesquelles l'alumine joue le rôle d'acide. — Dans un certain nombre de préparations alumineuses, l'alumine fait fonction d'acide. M. Hausmann, et bien longtemps avant lui M. Macquer, s'était servi de ces composés pour déposer sur les calicots l'alumine nécessaire à l'adhérence de certaines couleurs. En Angleterre même, on en fait une application sérieuse sur une très-grande échelle pour l'impression des étoffes au moyen du rouleau. On sait que l'alumine se dissout dans la potasse ou la soude pour former des aluminates alcalins solubles, qui se décomposent ensuite sous l'influence d'un acide, de l'acide carbonique de l'air, par exemple, en régénérant de l'alumine. Industriellement, les tissus imprégnés d'aluminate alcalin sont exposés dans l'air ; la potasse ou la soude se saturent peu à peu pour mettre l'alumine en liberté ; on arriverait assurément plus vite au résultat qu'on veut obtenir en faisant passer l'étoffe dans des étuves chargées d'air saturé d'acide carbonique préparé par la combustion de mauvais combustible, ou d'acide acétique dissous dans une grande quantité d'eau.

D'après M. Wagner, non-seulement les aluminates alcalins peuvent être employés, mais on peut faire usage des aluminates de magnésie, de zinc et de fer ; on obtient aussi sur tissu la fixation simultanée de deux matières dont l'adhérence doit concourir à l'obtention d'une nuance donnée.

Il est très-rare que la méthode ordinairement employée permette de saturer complétement toute la potasse ; aussi passe-t-on la pièce dans un bain de sel ammoniac ; la base alcaline s'empare du chlore et l'alumine et l'ammoniaque deviennent libres sans former de combinaison ; la première se fixe à l'étoffe, tandis que la dernière reste en dissolution dans l'eau ou bien se volatilise. L'expérience a prouvé que ce dernier moyen n'offre pas tous les avantages qu'on est tenté d'en attendre, et qu'il est de beaucoup préférable de charger l'air d'acide carbonique artificiel. L'alumine mise en liberté par le chlorhydrate d'ammoniaque n'offre en aucune façon le brillant de celle qui se dépose lentement.

Les préparations d'alumine sont employées seules ou mélangées avec d'autres préparations pour rendre les tissus aptes à se teindre avec certaines matières colorantes, qui sans ces intermédiaires ne contracteraient pas avec les fibres textiles une adhérence convenable : nous citerons la garance.

Préparations ferrugineuses.

De même que les sels qui contiennent de l'alumine, les substances qui renferment de l'oxyde de fer ne peuvent servir de préparation aux tissus qu'autant qu'on les amène à l'état soluble et qu'elles abandonnent ensuite à la fibre, soit spontanément, soit sous l'influence d'agents convenablement choisis, une portion notable d'oxyde doué de propriétés efficaces. A quel état convient-il que le fer soit mis en contact avec l'étoffe pour qu'il la prépare dans les conditions les plus avantageuses ? Le fer présente plusieurs états d'oxydation dans les divers sels que le commerce nous offre. Or, l'expérience a fait connaître qu'il n'y a pas d'altération de la matière textile toutes les fois que le protoxyde de fer hydraté déposé sur un tissu passe lentement à l'état de peroxyde de fer et qu'il n'a pas perdu, par une trop grande cohésion, son affinité pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les matières colorantes ; on conserve cette affinité par la précipitation de sous-sels ou de sels neutres insolubles.

On a remarqué que l'acétate de protoxyde de fer était une bonne préparation ferrugineuse, agissant directement sur la fibre, quelle que soit la méthode employée pour sa préparation. Néanmoins, d'après M. Schlumberger, auquel on doit des expériences intéressantes sur ce sujet, le sel préparé par l'acide pyroligneux est préférable toutes les fois qu'on applique la préparation à la planche, parce qu'il y a contact de l'air plus prolongé ; l'acétate de fer pur doit être préféré toutes les fois qu'on fait usage de rouleau, c'est-à-dire dans toutes les conditions dans lesquelles on travaille rapidement et dans les genres pour lesquels les pièces doivent être dégorgées immédiatement. De plus, il convient que l'air n'ait pas peroxydé le fer dans l'acétate ferreux ; cependant cette manière de voir ne saurait s'appliquer à tous les sels de fer, car le sulfate de peroxyde de fer donne, quel que soit le temps depuis lequel on l'a conservé, des colorations en rapport avec la force de la dissolution ; le sulfate de fer peroxydé paraît même préférable au sulfate de protoxyde pour obtenir avec la garance des tons violets, pâles ou foncés, comme aussi pour les noirs.

Lorsqu'on se sert, comme préparation ferrugineuse, d'acétate de fer, l'expérience conseille d'appliquer de préférence le sel sur le tissu ; il s'y décompose peu à peu et forme un sel basique qui s'oxyde à l'air. Or, dans cette circonstance, il faut prendre certaines précautions pour éviter l'altération de la fibre. On n'ignore plus actuellement, surtout d'après les expériences de M. E. Schwartz, que la fibre s'oxyde elle-même lorsqu'elle se trouve en contact, au moment de l'oxydation, avec une matière avide d'oxygène.

Cette action de l'oxyde de fer peroxydé sur les matières organiques ne saurait être mise en doute. M. Kuhlmann a démontré la conversion de l'essence d'amandes amères en benzoate à 100° dans un tube scellé, sous l'influence du sesquioxyde de fer ; la réduction de cet oxyde par du glucose, du sucre et des analogues ; son action sur les extraits d'un grand nombre de bois colorants. MM. Paul Thenard et Hervé Mangon ont apporté leurs preuves, et M. Hervé Mangon pense que les phénomènes se produisent en vertu de la présence, dans la réaction, d'un certain sel produit sans doute par un acide probablement identique avec l'acide crénique qui réduit spontanément le sesquioxyde de fer.

Quoi qu'il en soit de cette explication, le rôle des sels de fer est incontestable ; et parmi les expériences les plus curieuses qu'on puisse citer, nous relaterons celle dans laquelle M. Wurtz de Washington a démontré que la dissolution de sel de peroxyde de fer pouvait blanchir les dissolutions bleues d'indigo, les solutions de tournesol, de carmin et de cochenille qui sont détruites par le perchlorure de fer. Dès 1840, M. Dumas expliquait la formation de l'encre par l'oxydation du fer aux dépens de l'acide gallique ; les observations de M. Persoz et de M. Barreswil ont confirmé cette théorie.

M. Kuhlmann a répété l'expérience sur la décoloration de l'indigo par les sels de peroxyde de fer ; ce transport de l'oxygène n'est pas sans inconvénient pour la solidité de l'étoffe ; qu'on l'admette par *entraînement*, c'est-à-dire par l'oxydation simultanée de la fibre et de l'oxyde, lorsque l'oxyde de fer protoxydé se transforme en peroxyde, ou par une succession d'oxydations séparées s'attaquant à la fibre et résultant de la réduction de l'oxyde de fer, ce qu'il y a de certain, c'est que la fibre elle-même est sous l'influence d'une propriété comburante qu'on peut attribuer à l'oxyde de fer. Cette dernière interprétation peut s'expliquer à

la façon de ces phénomènes qu'on désigne sous le nom de *combustion du sang*.

Dans leurs rapports avec la teinture, ces phénomènes ont été étudiés par Schlumberger. Il résulte de ses recherches sur l'impression en noir des faits qui doivent être pris en sérieuse considération et qu'on peut étendre à la teinture proprement dite ; comme on le dit généralement, le noir a le défaut de *brûler* les tissus :

1° L'altération de l'étoffe n'a lieu généralement que sur des échantillons traités par des dissolutions concentrées ; rarement des étoffes préparées avec des dissolutions marquant 4 degrés Baumé sont altérées par la teinture.

2° L'acétate ferreux altère le tissu, mais beaucoup plus lorsqu'on l'emploie pur que lorsqu'on le fait servir avec une addition d'acétate de plomb en excès.

3° L'addition des fécules et de l'amidon s'oppose à l'altération ; elle est augmentée d'ailleurs par l'exposition à la radiation solaire, et nulle, au contraire, toutes choses égales d'ailleurs, pour une exposition à la lumière diffuse, ou dans l'obscurité.

4° Dans tous les cas l'affaiblissement du tissu se développe dans les premiers jours de l'oxydation, de telle sorte que le 21e jour un tissu quelconque a perdu de sa ténacité tout ce qu'il doit perdre par le fait de l'oxydation.

Suivant qu'on fait passer les échantillons en bouse à la température de l'ébullition ou à celle de 50°, suivant qu'on les plonge ou non, à la sortie du bain de bouse, dans un bain de chlorure de chaux, on observe des signes d'altération plus ou moins avancée : faible pour un bousage à 50 degrés non suivi d'un passage au bain de chlorure, elle est prononcée pour un bousage à l'ébullition suivi d'un passage au bain décolorant.

L'usage a conduit à mêler aux préparations de fer certains composés, métalliques ou non, dont le but multiple peut se résumer ici en disant qu'ils doivent :

1° Favoriser la fixation de l'oxyde de fer ;

2° Prévenir une oxydation par trop rapide ;

3° S'opposer à la dessiccation trop prompte ;

4° Conserver à l'impression une grande netteté dans le cas où la teinture ne doit pas conduire à des teintes unies.

Au nombre de ces divers composés, nous constatons des sels de cuivre, des huiles empyreumatiques, l'acide arsénieux, du chlorure de zinc, du chlorure d'ammoniaque, du nitrate de potasse, des chlorates de potasse et de soude, du saccharate de chaux, de l'acide oxalique, de l'acide acétique, etc.

L'action des sels de cuivre me paraît obscure, s'il n'est pas possible de la rattacher à l'action directe de la matière colorante sur l'oxyde de cuivre lui-même déposé sur le tissu.

L'acide pyroligneux qu'on préfère à l'acide acétique renferme des matières empyreumatiques qui retardent l'oxydation du fer et s'opposent à l'altération de l'étoffe. Cette différence est importante au point de vue de la teinture en noir.

L'acide arsénieux, qu'on emploie souvent pour teindre en violet et en lilas, remplit ces deux rôles ; d'une part, formant avec l'oxyde de fer une combinaison insoluble, il conserve à cet oxyde les propriétés chimiques de cette base ; d'autre part, il ralentit directement ou indirectement l'oxydation sous l'influence de l'air atmosphérique.

Le chlorure de zinc introduit dans la préparation du noir ne peut pas avoir d'action directe sur les résultats obtenus ; cependant l'oxyde de zinc peut entrer en combinaison avec l'oxyde de fer et former des composés multiples avec la matière colorante. J'ai fait voir que l'oxyde de fer et l'oxyde de zinc se combinent pour former un corps défini d'une couleur ocreuse particu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lière. L'oxyde de zinc dans tous les cas combat la tendance des matières amylacées à se coaguler.

Le chlorate de potasse, le chlorate de soude, l'azotate de potasse et le sel ammoniac sont surtout en usage pour l'impression à laquelle ils donnent des dessins très-nets. Certains fabricants qui s'en sont servis dans leurs ateliers en ont été très-satisfaits. Hausmann préférait, dans beaucoup de préparations, l'addition de substances capables de dégager de l'ammoniaque.

Le sucre, l'acide tartrique, l'acide citrique ou le jus de citron, le saccharate de chaux sont surtout employables pour les nuances claires, parce qu'il y a précipitation d'une partie de l'oxyde de fer, et parce qu'en outre une partie des bases salifiables se trouve complétement masquée.

Des expériences souvent répétées ont prouvé que, dans la teinture en noir, le pyrolignite de fer ou l'acétate de protoxyde non épaissi produisent, en 6 heures d'exposition à l'air, des couleurs qui, considérées au point de vue de leur intensité, sont aussi vigoureuses que si l'exposition avait duré 21 jours; que des préparations épaissies n'offrent que de légères différences en faveur de ceux qui sont exposés pendant 21 jours, différences qui disparaissent totalement, si l'on expose, durant 10 heures, au lieu de 6 ces mêmes échantillons avant de les teindre; que les préparations dont l'oxydation se fait en 6, jours, en 10 heures ou en 18 heures, donnent toujours à la teinture des nuances plus riches et plus intenses que quand ces préparations ont séjourné à l'air durant 10 jours, et à plus forte raison pendant 21 jours; et que ces différences se font surtout remarquer avec l'acétate ferreux, qui, ne renfermant pas comme le pyrolignite une substance capable d'en retarder l'oxydation, présente toujours des teintes moins favorables : le sel existe sur les fibres à l'état de phosphate de fer ou d'arséniate, suivant qu'on a pris pour le dégommage ou de la bouse de vache ou de l'arséniate double de potasse et de chaux. Ce fait explique comment l'étoffe, chauffée vers 160 ou 180 degrés, pourrait ne pas perdre la propriété de se teindre, ce qui n'arriverait pas avec un simple dépôt d'oxyde de fer peroxydé.

Nous devons admettre que, dans l'opération du mordançage par les sels de fer et par l'acétate de protoxyde, l'oxyde de fer se dépose à l'état d'oxyde ferreux; l'oxydation a lieu sur le tissu; il se forme un acétate basique qui conserve à l'oxyde ses propriétés utiles en présence des matières colorantes, et qui, sous l'influence des sels à bouser, se transforme en phosphate ou en arséniate; l'oxydation doit être lente et progressive, car si l'action est énergique, la solidité de l'étoffe est compromise, et l'oxyde de fer peut passer à l'état isomérique, difficilement soluble dans les acides, et dès lors incapable de fixer les matières colorantes.

Les sels de fer sont acides ou neutres. Les sels acides sont évidemment impropres à la teinture; d'après ce que nous venons de dire, il en est autrement des sels neutres; par leur oxydation, les sels de protoxyde de fer forment un sel qui, pour devenir neutre, exigerait trois fois plus d'acide que le sel primitif n'en contient; il y a donc formation d'un sel basique très-peu stable, apte à céder au tissu quelque peu de base capable à son tour de fixer la matière colorante. On a prétendu, d'ailleurs, que la coloration du sous-sel influait elle-même sur la nuance du tissu. Ainsi les arséniates et les phosphates sont peu colorés, tandis que les sous-azotates sont très-colorés. Cette proposition n'est admissible que dans le cas où le sel de fer est, à lui seul, la matière colorante. Tout porte à croire que, dans le cas d'une teinture proprement dite, les acides arsénique, phosphorique, azotique sont éliminés sous l'influence des lavages convenables, et surtout par les lessivages avec des eaux alcalines; la coloration ne résulte alors que de la combinaison de l'oxyde de fer avec la fibre et la matière colorante.

Il faut une si faible quantité d'oxyde de fer pour modifier les teintes de la garance avec les préparations alumineuses, qu'il convient d'éviter le contact du fer métallique même avec les tissus qui doivent être teints en rouge. Le sulfure de fer et le fer qui se rouille agissent comme mordants ferrugineux, en fixant la couleur.

Les emplois importants qu'on fait aujourd'hui des sels de fer dans l'industrie des toiles peintes ont appelé l'attention des chimistes sur la composition de plusieurs sels, tels que les acétates et les azotates. On doit à MM. Péan de Saint-Gilles, Scheurer-Kestner et Oudemans, des observations intéressantes qui permettent d'expliquer quelques réactions obscures du mordançage au sel de fer.

D'après M. Scheurer, il existe plusieurs azotates de fer.

Quand on traite le fer métallique par de l'acide de 1,034 de densité, le produit dissous contient de l'azotate de protoxyde de fer et de l'azotate d'ammoniaque. Avec de l'acide azotique de 1,073 de densité, le produit soluble est formé d'un mélange d'azotate de protoxyde et de peroxyde de fer accompagné d'azotate d'ammoniaque. Un acide de 1,115 de densité ne fournit que de l'azotate de peroxyde sans formation d'ammoniaque. Avec un acide d'une densité supérieure à 1,115, on forme des azotates de peroxyde, de composition variable avec les circonstances de l'opération. En employant l'acide à 1,332 de densité, pour dissoudre une quantité convenable de fer, on obtient une dissolution de 1,580 de densité, qui dépose, en se refroidissant, de beaux prismes rectangulaires à quatre faces, qui deviennent presque incolores, en les séchant sur du papier buvard; ils contiennent 18 équivalents d'eau, et correspondent à la composition de l'azotate neutre de peroxyde de fer. Ils se décomposent à la chaleur avec la plus grande facilité; à 50°, il s'en dégage déjà des vapeurs acides; pendant l'ébullition, il se dépose un sel basique insoluble.

Le sel neutre peut dissoudre à froid différentes proportions d'oxyde de fer hydraté, et former ainsi des sels basiques à deux et trois équivalents d'acide. L'azotate à deux équivalents d'acide se prépare, par exemple, en faisant dissoudre 100 grammes de cristaux neutres dans de l'eau, précipitant par l'ammoniaque la totalité du fer, et ajoutant encore pour dissoudre le fer oxydé, parfaitement lavé, 200 grammes de cristaux. Pour préparer l'azotate tribasique, on prend 200 grammes de cristaux, qu'on décompose par l'ammoniaque, et qu'on redissout dans 100 grammes de cristaux purs.

Ces trois azotates de fer sont donc solubles, et par l'ébullition ils précipitent des sels insolubles; on les en sépare en étendant d'eau et filtrant. Ces sels sont décomposables à 130°; ils abandonnent de l'acide, pour se transformer en oxydes; ils sont insolubles dans l'acide azotique, mais très-solubles dans l'acide chlorhydrique.

Le sel qui se forme par l'ébullition du sel neutre peut être supposé contenir un équivalent d'azotate tribasique et un équivalent de peroxyde de fer à un seul équivalent d'eau.

Le sel qui prend naissance par l'ébullition d'un sel sesquibasique peut être supposé contenir un équivalent d'azotate tribasique de fer et deux équivalents de peroxyde de fer à un seul équivalent d'eau.

Le sel qui se forme par l'ébullition de l'azotate tribasique peut se représenter par la combinaison de l'azotate tribasique de fer avec trois équivalents de peroxyde de fer hydraté.

Ces sels de fer peuvent donc être employés avanta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

geusement, par suite de la propriété qu'ils possèdent de se dédoubler en sels insolubles par l'ébullition; il convient, pour expliquer certaines réactions, de tenir compte des propriétés que ces sels présentent encore, et dont on doit l'observation à MM. Scheurer-Kestner.

L'azotate de fer neutre et les deux azotates basiques dont nous venons de parler, renfermés dans des tubes scellés et soumis à la température de l'eau bouillante, sont altérés : les sels basiques deviennent rouge brique; la dissolution limpide par transparence semble trouble, vue par réflexion. Le sulfate de soude précipite la dissolution. Le liquide, séparé du dépôt, offre la composition de l'azotate neutre. Quant à l'azotate neutre, il n'est pas modifié. Le précipité fourni par le sulfate de soude contient un équivalent d'eau pour un équivalent de fer; il est soluble dans l'eau pure, mais insoluble dans les acides concentrés. Cette dissolution ne donne pas les caractères des sels de fer avec les ferrocyanures et sulfocyanures.

Ainsi la chaleur exerce sur les deux azotates basiques une action analogue à celle qu'elle produit sur l'acétate de fer, à cette différence près : tandis que l'acétate de fer est décomposé d'une manière complète en oxyde de fer et en acide acétique, les azotates basiques sont décomposés en oxyde de fer et en azotate neutre, ce dernier sel résistant à la décomposition. La lumière agit de même que la chaleur. Aussi faut-il éviter de conserver ces dissolutions basiques qui perdent leur énergie en vieillissant.

Les acétates de peroxyde de fer se préparent facilement, d'après M. Oudemans, en traitant par l'acide acétique concentré (dix fois le poids du fer) le peroxyde de fer préparé par le fer converti par l'eau régale en sesquichlorure de fer précipité par l'ammoniaque ; on fait macérer pendant 10 heures de 50 à 60° et, après un peu de repos, on décante la liqueur claire, on évapore sur des assiettes à 60°; on obtient de la sorte un produit solide qu'on achève de dessécher pendant quelque temps à 110° et qui représente une composition définie ; il peut ainsi servir comme préparation ferrugineuse très-fidèle dans le cas où le peroxyde de fer doit jouer un rôle actif. Mais il faut tenir compte de certaines circonstances observées par M. Péan de Saint-Gilles.

Les recherches de ce chimiste ont fait voir qu'une dissolution d'acétate de peroxyde de fer, chauffée dans un bain-marie à l'ébullition pendant dix à douze heures, reste transparente par transmission et devient opaque par réflexion; elle n'a plus de saveur et cesse d'accuser les réactions de l'oxyde de fer, par exemple avec les ferrocyanures. Le sulfocyanure lui-même ne décèle par la plus petite quantité d'oxyde de fer. Les acides précipitent de la liqueur un précipité ocreux, brun, insoluble, dans les acides même concentrés.

L'hydrate de sesquioxyde de fer pur, sous l'influence de l'eau et de l'ébullition, se modifie lui-même peu à peu et acquiert les mêmes propriétés que l'oxyde de fer traité par l'acide acétique et chauffé comme nous l'avons dit plus haut, cet hydrate ne contient que 10 p. 100 d'eau; de plus il ne possède plus la propriété de devenir incandescent quand il passe de la température ordinaire à la température rouge. Il est, en un mot, dans cet état particulier prévu par M. Persoz et attribué aux oxydes à 3 équivalents d'oxygène quand ils sont impropres à la teinture. L'hydrate modifié ne joue donc plus le rôle de base ; il est isolé et ne joue nullement le rôle de l'oxyde de fer dans les sels ferriques. Ces faits ont une importance réelle pour la théorie de la teinture et pour celle de l'impression, c'est à ce titre que nous les rapportons ici. Il en résulte la nécessité pour les industries qui nous occupent de ne préparer les sels de fer qu'en évitant avec soin une plus forte élévation de température dont on serait tenté de faire usage pour faciliter la dissolution. Nous donnons à cette occasion la méthode employée dans la pratique.

Les acétates et pyrolignites de fer se préparent en grand dans les fabriques d'indiennes; on utilise, à cet effet, la solubilité du fer métallique dans l'acide acétique ou même dans le vinaigre. L'acide acétique dont on se sert est l'acide pyroligneux. On chauffe à 40 ou 50 degrés de l'acide pyroligneux ou de bon vinaigre, on le verse dans un tonneau sur de la ferraille bien nettoyée et qui plonge complétement dans l'acide; le tonneau est couvert; au bout de trois ou quatre jours on soutire par la partie inférieure 40 ou 50 litres qu'on reverse par la partie supérieure et ainsi de suite pendant trente ou quarante jours; après ce temps, le sel est formé. Si l'on a fait usage de bon vinaigre et que l'opération ait été bien menée, la dissolution qu'on obtient sous le nom de *bain de noir* marque 7 à 8 degrés Baumé, dans le cas contraire, elle ne marque que 6 à 7 degrés ; si l'on a fait usage d'acide pyroligneux, le sel marque 13 à 16 degrés suivant le degré de concentration de l'acide dont on a fait usage.

Ce sel peut s'obtenir encore au moyen d'une double décomposition par le mélange d'une dissolution de sulfate de protoxyde de fer et d'acétate de plomb; on tire à clair pour enlever la totalité du sulfate de plomb qui forme un dépôt inutile.

Les analogies que présente l'acide hyposulfureux avec l'acide acétique ont conduit à penser que l'hyposulfite de fer pourrait servir de bonne préparation pour la teinture des tissus en couleurs qui exigent le concours du fer. L'hyposulfite de fer se prépare en ajoutant de l'hyposulfite de soude à du sel à base de protoxyde ; ce mordant renferme un corps qui s'oppose à l'oxydation trop vive du métal. Il se fixe un sous-sel après la fibre sans l'altérer sensiblement.

Les préparations ferrugineuses s'emploient soit isolément, soit en mélange avec les préparations alumineuses ; dans le premier cas, elles concourent avec les matières colorantes rouges à la production des lilas, des gris et des violets; avec les matières colorantes jaunes, elles forment des gris olive et des verts bruns ; avec le secours d'un mélange de matières colorantes jaunes et rouges, elles produisent une foule de nuances intermédiaires depuis le gris clair jusqu'au noir le plus foncé.

Lorsque les préparations ferrugineuses sont associées aux compositions alumineuses, elles fournissent avec les matières colorantes rouges des nuances plus ou moins intenses tirant au noir; avec les matières colorantes jaunes, des jaunes plus ou moins olivâtres selon qu'il y a plus ou moins de fer; avec un mélange de matières colorantes jaunes et rouges, des couleurs brunes, feuille morte, bois pourri, qui varient à l'infini suivant qu'on change dans la préparation les rapports de l'alumine à l'oxyde de fer, ou les proportions des matières colorantes jaunes et rouges dont on fait usage pour composer le bain de teinture.

Préparations chromiques.

Les analogies qui rapprochent les oxydes d'alumine et de fer permettent de penser que l'oxyde de chrome peut convenablement préparer les tissus pour les rendre propres à la teinture. En effet, on se sert des sels de chrome pour préparer les toiles qui doivent passer en campêche, en brésil, en garance, en quercitron. Les composés qui servent de base à la préparation chimique sont de nature essentiellement variée ; et comme l'oxyde de chrome forme des sels très-différents, que les uns jouissent de propriétés oxydantes très-prononcées, l'action de ces composés est très-complexe, car elle peut se porter tout à la fois sur la fibre animale ou végétale et sur la matière colorante elle-même ; il peut y avoir combinaison de l'étoffe avec l'oxyde de chrome à l'état

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sesquioxyde et oxydation de la matière colorante, puis adhérence par nouvelle combinaison entre la couleur et l'étoffe modifiées toutes les deux. Généralement on admet que le bichromate de potasse agit dans la teinture en oxydant la laine; on peut combattre cette opinion par une série d'expériences :

1° En faisant réagir sur le tissu du permanganate de potasse à chaud ou à froid, ou du ferrate de potasse, et constatant que cette laine (qu'on considère comme oxydée par la réduction de l'acide métallique), teinte au bain de campêche avec le chlorure d'étain, ne prend pas la même couleur que sous l'action du bichromate;

2° En soumettant le tissu à l'action d'une dissolution bouillante d'acide chromique pur, ce qui lui donne une teinte verte (par le fait de la réduction de l'acide chromique, conséquence, selon les autres, d'une oxydation de la laine), et démontrant que par la teinture, la laine prend la couleur bronze, au lieu du bleu, qui est la couleur produite par le bain du chromate employé à la manière ordinaire.

Selon MM. Blockey et Sugden, le bichromate en nature se fixerait sur le tissu (c'est du moins ce que les auteurs pensent, d'après la couleur jaune que prend la laine); et ce serait à la faveur de cette préparation de bichromate de potasse que se ferait la teinture.

M. Barreswill regarde comme probable que dans le mordançage par le bichromate, qui le plus souvent est aciduié, il y a une légère destruction du tissu, par le fait de la réduction partielle de l'acide chromique, et qu'il se forme un oxyde intermédiaire de chrome qui reste fixé sur la laine, pour être ultérieurement réduit par l'oxyde d'étain, et transformé par suite en sesquioxyde de chrome, susceptible de s'unir à la matière colorée pour former un sel simple de chrome ou peut-être un sel double stanno-chromique. L'idée d'oxydation du tissu paraît être abandonnée.

M. Boutarel, chef d'une importante maison de teinture à Clichy, n'admet pas complétement cette manière de voir : car une étoffe préparée par le bichromate de potasse, et plongée dans un bain de campêche et de chlorure d'étain, prend une couleur bleuâtre, qui, si le bain est assez concentré, finit par devenir rougeâtre.

Pour obtenir une couleur avec du bichromate et du campêche, on doit mordancer en bichromate d'abord, laver, puis teindre en campêche. En mettant ensemble le colorant et le bichromate, on ne peut teindre. La première expérience faite pour prouver que le bichromate n'a aucun effet oxydant lui paraît avoir bien peu de valeur; car on semble conclure que si le bichromate agissait comme oxydant, il devrait donner la même teinte que les oxydes de fer et de manganèse. Or, ces trois oxydes, teints en campêche, donnent des tons très-différents : on doit conclure que la teinture, dans tous les cas, peut être considérée comme résultant de la formation d'une molécule très-complexe.

Lorsqu'on mordance une étoffe en bichromate de potasse, et qu'on la teint ensuite dans un bain de campêche suffisamment concentré, on obtient du noir, soit qu'on ait empêché la réduction de l'acide chromique en ajoutant de l'acide nitrique dans le bain de mordançage, soit qu'on ait, au contraire, favorisé la réduction, en y ajoutant de l'acide sulfureux. Dans le premier cas, l'étoffe est jaune; dans le second cas, elle est verte; mais elle donne toujours du noir dans un bain de campêche suffisamment concentré. Pourtant, c'est dans le premier cas que la teinture s'opère le plus facilement. Du reste, voici une expérience qui prouve encore le même fait.

On mordance un morceau de laine dans un bain de bichromate de potasse et d'acide nitrique; on le lave, et on l'expose encore humide aux rayons solaires, en cachant la moitié du tissu avec du papier. La partie éclairée devient verte, la partie cachée reste jaune. On teint ce morceau dans un bain de campêche : la partie jaune prend d'abord une nuance plus foncée que la partie verte, mais bientôt la différence disparaît, et il devient impossible de distinguer les deux moitiés. Ces différences peuvent s'expliquer par les modifications que subit l'oxyde de chrome dans certaines circonstances étudiées par M. Fremy. On pourrait supposer avec M. Barreswill que, dans la teinture en bleu pourpre, le chrome est à l'état d'oxyde (modification rouge ou plutôt violette), et que dans la teinture finale noire, il existe à l'état d'oxyde (modification verte, qui est la plus stable).

Ces observations semblent d'accord avec celles de M. Camille Kœchlin, auquel l'industrie des toiles peintes doit l'application de l'oxyde de chrome. Après avoir constaté que les sulfites alcalins dissolvent l'oxyde de chrome, et qu'un excès d'alcali pur ou carbonaté n'empêche pas la dissolution, et qu'il la rend beaucoup moins stable, M. Kœchlin a tiré parti d'une réaction très-nette de sulfite de soude sur le chromate de potasse. Le sulfite de soude en mélange avec un acide susceptible de déplacer l'acide sulfureux, décomposé par le chromate de potasse, puis rendu alcalin par l'ammoniaque, produit de l'oxyde de chrome; cet oxyde peut, suivant les proportions des divers réactifs qui constituent le mélange, se produire insoluble ou soluble, et affecter les diverses couleurs sous lesquelles il est connu : verte, violette ou rouge.

On prépare le sulfite à 13°, nécessaire pour produire ces réactions, en soumettant des cristaux de soude à l'action de l'acide sulfureux; on obtient des dissolutions qui marquent 41° Baumé, et qui cristallisent quand on neutralise l'excès d'acide; un litre d'une telle dissolution réduit 450 grammes de bichromate de potasse, ce qui correspond à 285 grammes d'acide sulfureux; on la ramène par une addition d'eau, de manière à marquer 13° Baumé.

Avec 100 parties d'une semblable dissolution de sulfite de soude à 13° et

1° 5 parties de chromate acide de potasse, l'ammoniaque en excès produit une dissolution verte;

2° 5 parties de chromate et 2 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque produit une dissolution verte;

3° 5 parties de chromate de potasse et 4 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque donne une dissolution violette;

4° 5 parties de chromate et 8 parties d'acide sulfurique, l'ammoniaque forme une dissolution rouge;

5° 10 parties de chromate et 4 parties d'acide, l'ammoniaque donne un précipité vert;

6° 10 parties de bichromate et 8 parties d'acide, l'ammoniaque forme un précipité violet;

7° 10 parties de bichromate de potasse et 16 parties d'acide donnent un précipité violet rougeâtre.

Il est important que l'acide soit ajouté d'abord au chromate : on ajoute ensuite le sulfite alcalin.

Pour la teinture en campêche, on fait usage d'un mordant de chrome, qu'on forme au moyen de bichromate de potasse additionné de son poids d'acide sulfurique; on ajoute peu à peu une certaine quantité de mélasse ou de dextrine, pour désoxyder l'acide chromique. On prépare l'étoffe à chaud dans ce mélange étendu d'une proportion d'eau suffisante; pour 56 à 60 kilogrammes de coton, on emploie le même poids de campêche et l'oxyde de chrome résultant de la décomposition de 67 grammes de chromate acide de potasse.

On peut employer avantageusement l'alun de chrome pour effectuer le mordançage des tissus. Ce que nous avons déjà dit des propriétés de l'alun ordinaire nous dispense d'entrer ici dans de plus amples détails.

Les sels de chrome sont employés, surtout aujour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'hui, pour l'obtention des couleurs rabattues; celles qui sont les plus communes sont les noirs dits au chromate.

Les matières colorantes en général n'acquièrent, avec l'oxyde de chrome, que des nuances sales et ternes; celles qui donnent les laques les plus pures sont le quercitron, la garance, le campêche et le brésil.

Préparations stanniques.

L'oxyde d'étain constitue l'une des préparations les plus remarquables employées dans l'art de la teinture. Son usage date au moins de 1630. Il est intéressant de citer ici la composition pour l'*escarlatte* d'Hollande, tirée d'un manuscrit que possède M. Chevreul, qui le doit à l'obligeance d'Adrien de Jussieu, lequel le tenait de ses ascendants. Ces procédés sont tels qu'ils étaient pratiqués en 1666 et 1667 dans la teinturerie fondée par Gobelin. Voici l'extrait que j'emprunte au travail de M. Chevreul sur l'Exposition de Londres, p. 21. L'écarlate à l'oxyde d'étain ne date que de 1630 : on en est redevable à Cornelius Drebbel, Hollandais; elle fut pratiquée sur une grande échelle à Leyde, par Kuffelar, teinturier, gendre de Drebbel, puis importée par un nommé Jean Gluck ou Kloech.

On trouve dans l'ouvrage cité les moyens de faire les *escarlattes rouges dittes de graine*, au moyen de l'*alun*, du *tartre*, de l'*arsenic*, de la graine et du *pastel* d'escarlatte ou *vermillon*, qu'une note marginale définit *vermisseaux qui s'engendrent dans la graine*. On y donne des recettes pour faire le *pourpre oriental* ou *escarlatte d'Hollande*, qui, par les différences qu'elles présentent, prouve que l'on n'était pas encore fixé sur un procédé préférable à tout autre En effet, dans une recette, on prescrit pour le *bouillon* l'emploi simultané du *tartre*, du *sel armoniac*, de la *farine de poix*, d'*esprits*, de l'*alun*, du *sel gemme*, ou bien, du *sel armoniac*, du salpêtre raffiné, du *tartre*, de la *farine*, de l'alun, des esprits dont on donne des proportions diverses. On prescrit pour la *rougie*, ce qu'on nomme *cocheniller*, la cochenille dite *mestec*, le *tartre blanc*, l'*amidon blanc* et les esprits. Ces recettes sont remarquables, dit M. Chevreul :

1° Par l'absence de la dissolution d'étain dans l'une d'elles; mais comme on opérait dans une chaudière de ce métal fin, c'était le vaisseau qui fournissait l'étain nécessaire à la constitution de la couleur;

2° Par l'emploi simultané de l'alun et des acides ; une autre recette intitulée : *La vraye manière de faire l'escarlatte d'Hollande*, prescrit une composition d'eau-forte et d'étain.

Eau forte.	2 livres.
Étain fin d'Angleterre. . .	4 onces.

La dissolution faite, on ajoute ensuite à

Eau.	75 seaux.
Cristal de tartre.	2 livres.

Voilà le bouillon pour un drap de 35 brasses.

Dans la rougie, on emploie

Eau.	75 seaux,

à laquelle on ajoute une dissolution d'étain composée avec

Eau forte.	4 livres.
Étain fin.	8 onces.

On fait chauffer, et quand le bain est sur le point de bouillir, on y met

Cochenille.	67 à 70 onces.

Si l'on veut une couleur rosée, on ajoute 2 livres de tartre.

Pour que la dissolution fût possible dans l'eau forte, il fallait que celle-ci contînt de l'acide chlorhydrique ou un chlorure.

Les sels d'étain sont les seuls qui jusqu'ici donnent à la cochenille la magnifique couleur qu'on connaît sous le nom d'écarlate. Nous allons étudier ceux que l'industrie préfère employer.

L'étain forme, comme on sait, deux combinaisons avec l'oxygène; l'une agit à la façon d'une base, l'autre à la façon d'un acide; de là deux modes d'emploi dans l'art de la teinture. Au reste, les deux sels préparent la toile sur laquelle ils abandonnent de l'oxyde d'étain, qui contracte avec elle une grande adhérence. On se règle, sur le choix à faire entre les deux sortes de sels, sur la nature de l'étoffe et sur la nuance qu'on veut obtenir.

Composés dans lesquels l'oxyde d'étain agit comme base. — Les préparations dans lesquelles l'oxyde d'étain joue le rôle de base sont de deux sortes, suivant que l'étain est à l'état de protoxyde ou de peroxyde d'étain. Le protochlorure d'étain est la préparation la plus répandue; en contact avec un tissu quelconque, il lui laisse de l'oxyde d'étain, car l'eau seule le décompose déjà; il se forme un sel soluble acide qui reste dissous, et un sel insoluble qui se précipite et se dépose sur la fibre. On en fait usage pour les couleurs vapeurs; mais comme ce sel ne se détruit que par double décomposition, il en résulte une quantité proportionnelle d'acide chlorhydrique qui détruit les tissus, surtout le coton. On a recours, pour combattre cet effet, à l'acétate de potasse ou de soude, dans la solution de laquelle on fait passer les pièces foulardées dans le protochlorure d'étain. Les acétates agissent à la façon des bases.

Au lieu d'employer le protochlorure d'étain, on fait souvent usage du sulfate de protoxyde d'étain dissous dans l'acide chlorhydrique.

Sur 10 kilogrammes d'étain en grenaille, introduits dans un vase de porcelaine, de grès ou de verre, on verse 15 kilogrammes d'acide chlorhydrique du commerce exempt de fer, on ajoute peu à peu dans ce mélange 7k,5 d'acide sulfurique à 66°; il y a dégagement de chaleur, et l'étain, violemment attaqué, se dissout sans peine, dès le commencement, plus difficilement à mesure que la concentration s'opère; on termine l'action en élevant la température à la fin de l'opération jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus d'hydrogène. On obtient, par le refroidissement, une masse de cristaux qui contiennent un léger excès d'étain, et qu'on étend d'eau, pour que le tout pèse huit fois le poids de l'étain dissous, c'est-à-dire 80 kilogrammes.

La difficulté de trouver des vases en porcelaine d'une capacité suffisante pour l'opération que nous venons de décrire a fait rechercher les vases en métal. On prépare aujourd'hui, dans les fabriques, les chlorures et les sulfates d'étain dans de grandes chaudières en cuivre, étamées fortement en dedans et en dehors. On a fait usage de capsules d'étain; mais elles sont trop sujettes à se fondre, si l'on ne prend pas assez de précautions dans la conduite du feu.

Si l'on chauffe à 100 degrés dans un bain-marie de l'acide sulfurique de Nordhausen, dans lequel on fait dissoudre jusqu'à saturation complète du protochlorure d'étain et qu'on dessèche jusqu'à ce que le mélange prenne la consistance d'un mortier durci, qu'on conserve à l'abri de l'air, on obtient une bonne préparation capable de faire adhérer aux fibres textiles les matières colorantes qui forment laque avec l'oxyde d'étain.

Les sels de peroxyde d'étain peuvent également, ainsi que nous l'avons dit, servir d'intermédiaire entre les fibres et les matières colorantes dans les opérations de la teinture. On prépare pour cet effet les bichlorures d'étain au moyen des deux méthodes suivantes, qui pratiquement donnent d'excellents résultats.

1° 10 kilog. d'étain sont traités par 80 kilog. d'acide nitrique à 26 degrés, dans lequel on a fait dissoudre 10 kilog. de sel ammoniac.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° 10 kilog. de protochlorure d'étain sont traités par un mélange formé de 16 kilog. d'acide chlorhydrique du commerce et 8 kilog. d'acide nitrique.

3° Suivant M. Kopp, l'hyposulfite d'étain permet de fixer sur les tissus une proportion assez considérable d'oxyde d'étain qui donne à la teinture des nuances assez vives. L'hyposulfite de soude ne doit être mêlé qu'à des sels de bioxyde d'étain ou aux composés multiples à base d'oxyde stannoso-stannique, parce qu'au contact des sels de protoxyde, il se forme rapidement ou du sulfure ou de l'oxysulfure d'étain.

Composés dans lesquels l'étain joue le rôle d'acide. — Dans d'autres composés l'étain fait fonction d'acide; ces préparations sont fréquemment employées; on en fait usage lorsqu'on peut détruire la combinaison dans des conditions telles que l'oxyde stannique puisse se fixer sur l'étoffe. Pour préparer le stannate de potasse on fait dissoudre de l'oxyde d'étain, ou mieux du protochlorure d'étain dans la potasse qu'on ajoute en grand excès pour faire redissoudre le précipité qui s'est formé tout d'abord. Ce composé n'offre qu'une faible résistance. L'acide carbonique de l'air tend à le décomposer en mettant en liberté du protoxyde d'étain qui s'oxyde lui-même sous l'influence de l'air atmosphérique. Cette même décomposition s'effectue déjà sans le concours de l'air; car le protoxyde d'étain se dédouble par un nouvel arrangement moléculaire en étain métallique et en peroxyde d'étain. Quant à l'étain métallique, il s'oxyde à son tour pour donner finalement de l'acide stannique.

En définitive, on voit donc que c'est toujours de l'acide stannique qui se dépose sur les tissus. Quelques fabricants obtiennent un résultat immédiat en faisant usage du bichlorure d'étain pour obtenir une bonne préparation stannique. On le précipite par la potasse, et le dépôt est dissous dans une quantité convenable de potasse en excès.

On n'a que rarement recours aux sels d'étain pour produire les nuances garancées, mais on s'en sert quelquefois pour combattre les effets produits par la présence de l'oxyde de fer; on en fait encore usage pour modifier par substitution, ce qu'on nomme *conversion*, une étoffe teinte avec le concours de préparations alumineuses. On s'en sert avec le plus grand avantage dans l'établissement de toutes les couleurs d'application et surtout pour fixer les couleurs dites *couleurs vapeurs*. Nous aurons plus loin à revenir sur les principes qui guident le fabricant dans la préparation des matières colorantes de cette sorte.

Préparations organiques (mordants organiques).

Les matières minérales que nous venons d'étudier ne sont pas les seules qui soient aptes à rendre adhérentes aux tissus celles des matières colorantes d'origine organique qui ne contractent par elles-mêmes aucune combinaison avec les fibres textiles, quelle que soit leur nature. Nous avons déjà fait comprendre, en parlant du blanchiment, que certaines substances de la classe des matières grasses, modifiées dans certaines circonstances, jouissent de la propriété que nous venons de rappeler, et qu'elles agissent dans les opérations de la teinture comme de véritables *mordants*.

Toute la fabrication du rouge turc ou rouge d'Andrinople repose sur l'emploi d'huiles convenablement modifiées pour pouvoir faire contracter aux tissus d'origine végétale une véritable coloration d'un rouge éclatant sous l'influence de la garance. On donne à ces huiles modifiées, ou capables de se modifier, le nom d'huiles tournantes; elles sont devenues, de la part des chimistes les plus distingués, l'objet d'études très-intéressantes, et le type auquel on a rattaché la plupart des intermédiaires propres à la teinture entièrement destructible sous l'influence de la chaleur, que leur origine et leur nature ne permettraient pas de classer parmi les mordants inorganiques ou minéraux.

Il existe d'ailleurs certaines substances qui, après teinture, retiennent sur la laine, la soie et le coton non blanchi, les matières colorantes qui nécessiteraient des mordants. On n'en connaît pas la nature, les fibres végétales sont les seules qu'on ait pu débarrasser de ce mordant. En serait-il de même de la soie et de la laine? Que sont les tissus débarrassés de ce mordant organique; est-ce cette substance qui rend les tissus réducteurs? Ces questions restent encore à résoudre.

Nous trouvons, parmi les intermédiaires organiques propres à fixer les couleurs, des substances organisées, animalisées, c'est-à-dire produites directement avec ces qualités sous l'influence de la vie, d'autres matières ne jouissant des propriétés utiles que nous énumérons qu'après avoir été modifiées dans des circonstances données. Nous allons chercher à présenter à ce sujet quelques réflexions suggérées par certaines substances appartenant à des groupes bien différents

Matières albuminoïdes. — Lorsqu'on soumet à la teinture des œufs pour leur donner les couleurs diverses des œufs de Pâques, on se contente de les faire bouillir dans des décoctions de différentes matières tinctoriales, de bois de Brésil, de bois de Campêche, de pelures d'oignon, de pain de tournesol, d'orseille, etc. Toutes ces couleurs se fixent parfaitement bien sans aucune intervention de matière particulière, avec cette seule différence que tel œuf prend la matière colorante d'une manière plus prononcée que tel autre. Dans ce cas, comme l'a démontré M. Kuhlmann, la coloration se trouve déterminée non pas par le sel calcaire dont la coquille est formée, mais par un enduit albuminoïde azoté qui revêt la surface sous une épaisseur plus ou moins variable. En effet, si l'on traite pendant un certain temps des œufs par de l'acide chlorhydrique affaibli, en ayant soin de ne faire atteindre par le liquide que la moitié de la surface de chaque œuf, les parties attaquées se couvrent d'une matière émulsive blanche qu'un simple lavage à l'eau suffit pour détacher. Les parties non atteintes sont alors les seules qui fixent les couleurs, ce sont celles qui sont naturellement recouvertes d'un enduit naturel qui ressemble assez à de l'albumine coagulée. Les parties des œufs qui ont eu le contact de l'acide restent parfaitement blanches.

L'affinité de l'albumine pour les matières colorantes est d'ailleurs démontrée par les colorations que prend dans les bains de brésil, de campêche, etc., de l'albumine coagulée par la chaleur. Ces curieux résultats ont conduit M. Kuhlmann à faire quelques essais de teinture sur des étoffes de coton, de laine et de soie préalablement préparées avec de l'albumine coagulée soit au moyen d'un acide, soit par la chaleur. Il est évident, d'après ces essais, que l'albumine est convenable pour les tissus de coton, qu'elle convient moins pour la soie et qu'elle ne donne que des avantages à peu près insensibles pour les tissus de laine. Au moins faut-il admettre qu'il en est ainsi dans l'emploi de la garance, du brésil et du campêche.

Nous avons déjà cité celle des expériences de M. Verdeil sur laquelle il s'appuie pour démontrer que la transparence des fibres est une des causes les plus influentes de l'intensité que possède une teinture donnée. Elles prouvent la tendance de l'albumine à fixer les oxydes métalliques.

Lorsque de l'albumine est coagulée dans l'eau renfermant du bichlorure d'étain, et que la coagulation est obtenue par la chaleur en présence d'une solution de cochenille, on obtient une teinture grenat foncé, comme si l'on avait opéré sur un tissu véritable. Les substances albuminoïdes peuvent donc servir de pré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paration propre à faire adhérer sur les divers tissus les matières colorantes, tout comme le peuvent faire les matières minérales que nous avons déjà passées en revue.

Il ressort des essais de M. Kuhlmann que les matières azotées coagulables sont très-énergiques pour fixer sur les tissus, dans toutes les conditions d'insolubilité désirables, les oxydes métalliques, même de ceux dont les sels ne se décomposent que très-difficilement au contact des étoffes. Des expériences comparatives, faites par exemple avec l'acétate d'alumine, le chlorure de manganèse, le sulfate de zinc, le sulfate de cuivre, le sulfate de protoxyde de fer, le perchlorure de mercure et le chlorure de platine, ont fourni les résultats suivants, mis en contact avec la décoction de bois de Brésil et la garance. Je les réunis, d'après M. Kuhlmann, dans le tableau suivant (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIII, p. 932).

NATURE de la préparation.	BOIS DE BRÉSIL.		GARANCE.	
	Coton naturel préparé par le sel avant teinture.	Coton albuminé.	Coton naturel.	Coton albuminé.
Eau pure	rouge violacé pâle.	rouge violet foncé.	rougeâtre.	rougeâtre.
Acétate d'alumine . . .	rouge brun.	rouge violet foncé.	rouge brun.	plus nourrie.
Chlorure de manganèse .	giroflé.	giroflé noir.	violet sale.	plus foncée.
Sulfate de zinc.	rouge violet clair.	violet foncé.	violet terne.	plus foncée.
Sulfate de cuivre. . . .	rouge violet clair.	violet foncé.	violet brun.	violet brun.
Sulfate de protox. de fer.	rouge violet.	noir violacé.	violet foncé.	plus foncée.
Perchlorure de mercure.	giroflé.	noir à reflet rouge.	giroflé brun.	beauc. plus foncée.
Chlorure de platine . . .	rouge brun sale.	noir plus foncé.	brun clair.	plus rouge.

De tous ces essais on peut tirer cette conclusion, que la pratique ne manquera certes pas d'utiliser prochainement, que l'albumine, étant appliquée d'une manière uniforme à la surface des tissus de coton, peut servir d'une bonne préparation pour y fixer les couleurs de la garance et du bois de Brésil; qu'elle convient mieux encore pour faire adhérer divers oxydes avec lesquels elle forme des combinaisons insolubles. Dans la teinture proprement dite, les tissus chargés de ces préparations absorbent les couleurs avec plus de facilité que si le mordançage avait eu lieu, soit avec l'albumine seule, soit avec les sels métalliques pris isolément.

Matières gélatineuses. — Certaines matières qui, par leurs propriétés générales, rappellent la gélatine, possèdent des caractères semblables. Lorsqu'on prépare quelques tissus au moyen de la gélatine, il convient de la fixer, en la coagulant au moyen du tanin. M. Kuhlmann, auquel on doit ces recherches intéressantes, a pu constater que la gélatine, en permettant de fixer très-abondamment le tanin sur des étoffes données, peut intervenir d'une manière très-efficace dans la teinture en noir ou en gris par les sels de fer. Les couleurs ainsi préparées possèdent la plus grande solidité.

Matières tannantes. — Des résultats analogues ont lieu lorsque inversement on fixe des matières qui jouissent des propriétés du tanin avec une immersion dans de l'eau chargée de gélatine. Ce dernier procédé trouve une application très-heureuse dans les teintures en noir, en produisant une combinaison avec le tanin et l'oxyde de fer. Le tanin seul intervient encore avec une étonnante énergie pour fixer sur les étoffes l'acétate d'alumine qu'il décompose facilement, et pour obtenir des nuances excessivement nourries.

Matières grasses. — Le véritable type des mordants organiques doit être choisi dans les huiles fixes dont on se sert pour la préparation des teintures qu'on nomme rouge turc ou rouge d'Andrinople. Mais toutes les huiles fixes ne sont pas également propres à donner de bons résultats, c'est-à-dire des nuances vives et suffisamment foncées.

On doit à M. Pelouze d'excellentes recherches sur cet objet; nous les présenterons ici presque textuellement.

Les huiles employées généralement pour la fabrication du rouge d'Andrinople sont des huiles d'olive provenant, pour la plus grande partie, des États du Levant, de l'Italie ou du midi de la France. On les distingue des autres corps gras par la dénomination d'*huiles tournantes*, qui rappelle la propriété qu'elles présentent, étant mêlées à de faibles dissolutions alcalines, de produire une émulsion lactescente. Une huile de cette nature est d'autant plus estimée, que cette émulsion est plus parfaite, et que sa partie grasse est plus de temps à se séparer du liquide aqueux. Pour distinguer une huile tournante d'une huile ordinaire ou flambante, il suffit d'en laisser tomber une ou deux gouttes dans un verre à expériences, en partie rempli d'une solution de soude caustique marquant 1 1/2 à 2 degrés. La première devient opaque, la seconde reste transparente. C'est le procédé que suivent ordinairement les industriels qui vendent ou qui achètent les huiles tournantes; ils jugent, d'après le plus ou moins d'opacité des gouttes oléagineuses, si la propriété qu'ils recherchent est plus ou moins développée dans l'échantillon d'huile soumis à l'essai.

Les huiles propres à la fabrication du rouge turc sont d'un prix assez élevé; on a donc tenté de leur substituer des huiles de qualité inférieure et d'une valeur vénale beaucoup moindre, en les mêlant au jaune d'œuf, en les traitant par l'acide nitrique, etc.; mais il paraît que ces essais n'ont pas été suivis de résultats industriels, puisque l'industrie des toiles peintes en rouge d'Andrinople continue toujours à consommer des quantités considérables d'huile d'olive naturellement tournante.

M. Pelouze a démontré que ces huiles naturellement tournantes ne sont autre chose que des mélanges d'un corps gras neutre avec un corps gras acide. En effet, lorsqu'on traite par l'alcool les huiles d'olive tournantes, quelle que soit leur provenance, elles lui cèdent toutes une quantité notable d'acide oléique et margarique. La proportion de ces acides varie de 5 à 15 pour 100; on retire également ces acides des mêmes huiles en faisant chauffer celles-ci pendant quelques minutes avec un alcali.

L'huile d'olive ordinaire, celle qui sert aux usages de la table, ne contient pas d'acide gras ou du moins n'en contient que des quantités insignifiantes; il est facile de s'en assurer par l'épreuve que nous venons d'indiquer. Or, si nous rappelons que les huiles pures

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'obtiennent par la division et la compression immédiate des olives arrivées à leur point de maturité, et que le remaniement des tourteaux, la fermentation des olives en tas, ou toute manipulation qui a pour effet de multiplier les points de contact de l'huile avec les matières qui l'accompagnent et de prolonger ce contact, ont pour résultat certain l'acidification de l'huile, nous verrons réunies dans la pratique toutes les conditions les plus favorables à la transformation de l'huile vierge en huile tournante (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XL, p. 605, et t. XLII, p. 1196).

Ces faits sont d'ailleurs prouvés d'une manière absolue par les observations suivantes :

On trouve depuis quelques années, dans le commerce, des huiles de diverses espèces également propres à la fabrication du rouge turc. Ces dernières sortent de la maison de MM. Boniface frères, de Rouen, la seule en France qui sache préparer des huiles artificielles tournantes. Ces fabricants n'ont pas fait connaître les procédés à l'aide desquels ils arrivent à ce résultat important. Mais on peut prouver que les huiles provenant de l'usine de MM. Boniface contiennent des proportions très-notables d'acide oléique et d'acide margarique.

M. Chevreul a fait, il y a plus de vingt ans, une observation qui cadre avec cette manière de voir; il a extrait du coton teint en rouge d'Andrinople deux matières huileuses, l'une neutre au tournesol, l'autre qui le rougit et qui est formée d'acides oléique et margarique, c'est-à-dire des mêmes acides qui se forment spontanément dans les huiles par le contact des substances qui les accompagnent dans leurs graines.

Si l'huile d'olive tournante est presque exclusivement employée dans la fabrication du rouge turc, cela tient surtout à ce que les olives se prêtent mieux que les graines oléagineuses à la réaction qui donne naissance aux acides gras ; aujourd'hui que le rôle de cette huile est parfaitement connu, rien ne semble plus facile que de la remplacer avec économie par des huiles à bas prix, telles que celles d'œillette, de sésame, de colza, de palme, etc. Il suffit de broyer les graines ou les amandes qui les contiennent et de les abandonner un certain temps à elles-mêmes avant d'en extraire l'huile. Un second moyen plus simple encore consiste à mêler directement aux huiles ordinaires quelques centièmes de leur poids d'acide oléique et margarique provenant des fabriques de bougies stéariques. Ce moyen a réussi d'une manière complète entre les mains de M. Steiner, fabricant de toiles peintes à Manchester. Personne en Europe ne fabrique autant de rouge turc que cet habile industriel, et personne n'était mieux placé que lui pour juger du mérite du mélange artificiel d'huile ordinaire et des acides gras indiqués.

La fabrication française est d'ailleurs aussi sur le point de tirer parti des travaux de M. Pelouze. MM. Henry et fils à Bar-le-Duc ont répété ces essais et sont parvenus à des résultats pratiques. « La proportion de l'acide oléique qu'il convient d'ajouter aux huiles ordinaires varie suivant les huiles ; si 100 parties d'huile exigent, pour tourner, 5 parties d'acide oléique, d'autres échantillons en demandent jusqu'à 15, tandis que 2 pour 100 suffisent pour quelques-uns ; l'expérience seule peut indiquer la proportion exactement convenable, car un excès d'acide oléique ramène l'huile ordinaire à ses propriétés primitives. Ils ont remarqué que les huiles, pour être de bonne nature, ont besoin d'avoir subi préalablement un certain degré d'épuration et que les huiles brutes ainsi préparées se coupaient moins bien avec une même lessive de soude. »

L'époque très-prochaine à laquelle les huiles grasses communes, autres que les huiles d'olive, prendront leur place dans l'industrie des toiles peintes m'engage à présenter ici le résumé d'expériences qui font connaître les circonstances les plus convenables à l'acidification des matières grasses. Je laisse parler ici M. Pelouze, l'éminent chimiste auquel on doit l'étude de ces phénomènes.

Nous ne parlerons pas ici de l'altération lente que les matières grasses éprouvent au contact de l'air ; cette altération, encore aujourd'hui fort obscure, semble d'ailleurs ne pas être liée d'une manière immédiate avec le dédoublement de la matière grasse en acide et glycérine ; elle est accompagnée d'une absorption d'oxygène et d'un dégagement d'acide carbonique qui font admettre une sorte de combustion lente, bien éloignée des phénomènes de saponification. Les faits que nous allons exposer font pressentir la tranformation des huiles ordinaires en huiles propres à la confection du rouge d'Andrinople : ils décèlent le dédoublement très-net des corps gras en acide gras et glycérine sans que l'air intervienne dans la réaction.

« Lorsque les graines et les diverses semences oléagineuses sont soumises à la division qui brise les cellules et met en contact intime les substances dont elles se composent, les corps gras neutres que contiennent ces cellules se changent en acide gras et en glycérine.

« Il se passe ici quelque chose d'analogue à ce qu'on remarque dans le raisin, la pomme, et dans beaucoup d'autres fruits dont le sucre se transforme aussitôt qu'on déchire les cellules qui l'isolent du ferment en alcool et en acide carbonique. Des graines de colza, de lin, de moutarde, d'œillette, de pavots, d'arachide, de sézame, de cameline, de camomille ; des noix, des noisettes, des amandes douces, des amandes amères ont été successivement broyées dans un mortier ; l'huile retirée immédiatement soit par la pression, soit par l'éther et la benzine ne contenait pas ou ne contenait que des traces d'acide gras.

« Une certaine quantité de la plupart des espèces des graines ci-dessus désignées sous des poids variant de 2 à 6 kilogrammes ont été réduites en farine et renfermées dans des bocaux bien bouchés. Au bout de quelques jours, ces farines contenaient toutes des quantités notables d'acide gras et de glycérine qui augmentaient incessamment.

« Ainsi encore, des noix réduites en pâte ont donné, sous l'influence d'une température de 12 à 25 degrés, après cinq jours, 9 p. 100, et après huit jours 15 p. 100 d'acide gras.

« Dans l'huile de sésame on a trouvé, après huit jours, 6 p. 100 ; après un mois, 17 ; après trois mois, 47 pour 100 d'acide gras. Les huiles d'œillette et de pavot se sont comportées à peu près de la même manière.

« Les amandes douces, après trois semaines, ont donné de l'huile contenant moins de 4 p. 100 d'acide gras ; l'huile d'arachide, au bout d'un mois, en contenait 6 p. 100, après trois mois, 11 p. 100. La graine de lin et celle de colza, après trois semaines, fournissaient une huile contenant 5 à 6 p. 100 d'acide.

« La saponification dont il est ici question paraît varier d'ailleurs, non-seulement avec la température, mais encore avec les quantités de graines employées : l'huile d'œillette est celle qui fournit le plus d'acide gras fourni spontanément ; une huile provenant d'une graine en poudre contenait jusqu'à 85 à 90 p. 100 d'acide gras. »

Gluten. — D'après M. Walter Crum, on augmente l'affinité du coton pour les matières colorantes, telles que l'orseille, l'acide picrique, la pourpre française, l'indisine, en la combinant, si ce terme est conve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nable, avec le gluten des céréales ; la préparation s'obtient de la manière suivante : Le gluten, abandonné dans des vases appropriés jusqu'à ce qu'il soit devenu mucilagineux, est complétement liquéfié ; le liquide saturé par une solution de carbonate de soude précipite le gluten modifié; 5 kilogr. de gluten exigent 500 à 550 grammes d'une solution d'une densité de 1,15 ; le précipité gluant et élastique est lavé à trois reprises avec un litre d'eau pure, puis mis à dissoudre de nouveau dans 434 grammes d'une solution d'une densité égale à 1,080. Le gluten se transforme de la sorte en un liquide mucilagineux qu'on peut étendre à consistance convenable pour l'impression à la planche ou l'impression au rouleau. L'expérience a fait voir que dans ce dernier cas on l'étend ordinairement pour les quantités indiquées de 3500 grammes d'eau de bonne qualité. Les fils ou tissus de lin et de coton sont mis en contact avec cette liqueur, et séchés ou vaporisés, soit exposés dans un courant d'air humide et chaud : on lave et on dégorge ensuite.

Après avoir subi cette préparation, les fibres textiles peuvent contracter une adhérence suffisante avec les matières qui ne teignent que très-mal l'orseille, la pourpre française, le violet d'aniline ; quand on opère par voie d'impression au moyen de ces mêmes couleurs, on vaporise une seconde fois.

Les premiers essais faits pour animaliser le coton étaient fondés sur l'emploi du gluten brut. On se bornait alors à laisser le gluten brut se liquéfier le plus possible, puis on le mélangeait avec le tiers de son poids d'une dissolution de soude caustique d'une densité de 1,080. La liqueur mucilagineuse ainsi préparée servait directement, mais elle restait infidèle dans bon nombre de circonstances.

Toutes les considérations qui précèdent, et sur lesquelles nous croyons inutile de revenir, nous ont fait connaître les diverses préparations auxquelles on soumet les fils ou les tissus, pour les rendre propres à fixer les matières colorantes. Nous avons vu qu'on donnait le nom de mordants à ces diverses préparations, qu'elles soient de nature organique ou de nature inorganique. Occupons-nous actuellement des matières colorantes, et, pour généraliser l'étude des phénomènes de teinture, considérons les matières tinctoriales dans leur nature, dans leurs rapports avec la laine, la soie, le coton, le lin et le chanvre, dans leurs caractères d'ensemble, dans leurs propriétés chimiques, dans les méthodes applicables non-seulement à leur préparation, mais encore à la détermination de leur valeur commerciale.

§ VII. DES MATIÈRES COLORANTES

considérées dans leur nature, leur origine, leur préparation, etc.

Lorsque l'homme sut faire, pour se vêtir, quelques tissus grossiers, il dut chercher à décorer ces vêtements par l'application de matières colorées ; certes il y a loin des premières tentatives de cet art de la teinture aux temps historiques, aux merveilles qu'il peut étaler actuellement aux yeux du consommateur. Les progrès de la chimie ont assurément créé d'immenses ressources, comme nous pourrons en juger par la suite de ces études : mais comme plusieurs matières colorables sont d'un emploi très-simple, il est assez permis de regarder l'époque de leur application première comme très-reculée.

Hâtons-nous de le dire, il n'a fallu rien moins que toute l'influence des sciences chimiques pour faire de l'art de la teinture un corps de doctrine basé sur des expériences variées, exactement observées et scrupuleusement discutées.

Nature des matières colorantes.

La nature organique nous offre à l'étude un grand nombre de matières colorées ; la nature minérale en présente de même un nombre assez considérable ; parmi les premières, quelques-unes sont devenues d'un emploi général, soit en raison de leur solidité, soit à cause de l'éclat et de la richesse de leur nuance, soit enfin par leur bas prix et par la facilité de leur application industrielle.

Les couleurs minérales ont aussi quelquefois des teintes fort brillantes qu'il faut employer toutes les fois qu'on le peut ; mais cette substitution des principes minéraux colorés aux principes organiques n'est pas toujours heureuse. Ceux-ci jouissent généralement, en effet, d'une transparence qui surpasse beaucoup celle des substances minérales. Ces dernières couleurs ont, en effet, l'inconvénient de couvrir, et ce qu'on recherche dans la peinture à l'huile devient un inconvénient grave dans la teinture des étoffes, puisque ces matières masquent, par leur opacité, le brillant naturel au tissu. On n'a guère recours aux couleurs minérales que pour la teinture du coton qui ne possède pas par lui-même un très-grand éclat.

Matières d'origine minérale. — Nous ne nous occuperons ici que des couleurs organiques ; les substances colorantes minérales insolubles, pour être d'une bonne application sur les fils et les tissus, s'obtiennent en général par double décomposition effectuée toujours sur l'étoffe même ; leur préparation et leur étude rentrent d'une manière générale dans le cadre des traités de chimie pure. Il nous suffit de citer le sulfure d'antimoine, le chromate de plomb, les sulfures d'arsenic, les iodures de mercure pour faire comprendre la variété de nuances qu'on peut emprunter aux matières d'origine minérale.

Matières colorantes d'origine organique. — Les matières colorantes dont nous allons présenter l'histoire sont répandues dans le commerce sous le nom de *matières tinctoriales*. Elles sont tantôt des êtres organisés, comme le kermès, la cochenille ; tantôt des parties de végétaux, la racine de garance, l'écorce de bois jaune, les bois de Brésil ou de Campêche, la fleur de carthame ; tantôt le résultat de certaines opérations qu'on a fait subir à des matières végétales, à certaines plantes, comme l'indigo, le pastel, le tournesol, l'orseille ; à certains liquides d'origine variée, comme l'aniline, qui fournit des nuances violettes ou rouges, l'indisine et la fuchsine. On ne doit les considérer, à juste titre, que comme des éléments de teinture complexes dans leur essence, dont on doit séparer la véritable matière colorante, la seule utile dans la pratique.

Dans certains cas, la matière colorée se trouve naturellement formée dans la matière colorante brute, ou dans l'extrait qu'on en prépare ; dans d'autres cas, au contraire, la matière tinctoriale ne contient qu'un principe immédiat colorable. On a pu, par des recherches savantes, isoler un grand nombre de ces principes, tant colorables que colorés, et nous devons dire que c'est la voie la plus fertile que l'industrie puisse jamais suivre pour obtenir des perfectionnements nouveaux dans cet art déjà si perfectionné.

Les recherches de MM. Chevreul et Robiquet ont ouvert la carrière, et fourni des méthodes dont la pratique s'est bien vite emparée. D'autre part, l'étude des diverses matières organiques, nous dévoilant leurs tranformations, a conduit à la production immédiate de principes colorés inconnus, et que les arts chimiques préparent aujourd'hui pour les besoins de la teinture.

Nous compléterons actuellement ces données générales par le tableau qui suit contenant l'indication des principales substances tinctoriales et leur désignation dans le commerce.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MATIÈRES TINCTORIALES du Commerce.	DÉSIGNATION SCIENTIFIQUE ET SUBSTANCES desquelles elles dérivent.	PRINCIPES COLORANTS PURS qu'on en a extraits.	COULEURS qu'on en obtient.
1. Cochenille, insecte du	cactus coccinilifer.	carmine.	rouge.
2. Kermès, insecte du	quercus coccifera.	carmine.	
3. Laque-laque, résine produite par le	coccus ficus	carmine.	
4. Laque-Dye.	coccus lacca.	carmine.	
5. Racine de Samadra.	samadra indica.	saméderine colorable. saméderine colorée.	rouge pourpre.
6. Racine de grémil.	lithospernum arvense.	lithosphermine.	rouge.
7. Garance.	rubia tinctorum. rubia cordifolia. rubia perigrina.	alizarine. purpurine. xanthine.	rouge. rouge. rouge.
8. Bois du Brésil.	cæsalpina brasiliensis.	brésiline colorable. brésiline colorée.	rouge.
9. Bois de Santal.	pterocarpus santalin.	santaline.	rouge.
10. Bois d'amaranthe.	palo morado.	amaranthine colorable. amaranthine colorée.	rouge pourpre.
11. Tiges du sorgho.	sorghum saccharatum.	sarghine	rouge.
12. Graine de peganum.	peganum harmala.	harmaline colorable. harmaline colorée.	rouge.
13. Safranum (fleurs du)	carthamus tinctorius.	acide carthamique.	rouge.
14. Carmin de pourpre du	guano, acide urique.	murexide.	rouge.
15. Rouge de goudron.	goudrons de bois (créosote). goudrons de houille.	acide rosolique.	rouge.
16. Rouge d'aniline.	aniline, produit de la décomposition de la nitrobenzine, de la distillation des goudrons, etc.	acide fuchsique { fuschine. azaleïne. cristallinéïne	rouge rosé.
17. Orcanette.	anchusa tinctoria.	anchusine.	violette.
18. Violet d'aniline.	aniline oxydée par le bichromate de potasse, etc.	indisine, harmaline roséine, purpurine, violine.	violet.
19. Orseille de terre.	variola dealbata.	lécanorine formant :	violette.
20. Orseille des îles.	lichen rocella.	l'orcine colorable. l'orcéine colorée.	
21. Orseille des murailles.	lichen tartareus.	l'orcéinate d'ammoniaque.	
22. Pourpre française	orseille faite à chaud.	métorcéinate calcaire.	violet.
23. Indigo (fécule).	indigofera, polygonum tinctorium.	indigotine colorable, indigo blanc. indigotine colorée, indigotéine	bleu.
24. Carmin d'indigo.	indigo traité par l'acide sulfurique.	sulfoindigotate.	bleu.
25. Bois de Campêche.	hematoxylon campechianum.	hématine colorable hématine colorée.	violet bleu.
26. Mauve noire.	malva sylvestris.	malvine	bleu gris.
27. Vert des feuilles.	matière colorante des feuilles.	chlorophille { phylloxanthine. phyllocyanine.	jaune. bleu.
28. Chardon.	cinara scolymus	cinarine	vert.
29. Vert de Chine, lo-kao.	nerprun, rhamnus		vert bleu.
30. Quercitron, écorce du.	quercus tinctoria.	quercitrin	jaune.
31. Bois jaune.	morus tinctoria.	morin colorable morin coloré.	jaune.
32. Gaude, tiges du	reseda luteola.	lutéoline. chrysorhamnine.	jaune d'or. jaune.
33. Fustet.	rhus cotinus	fustine	jaune.
34. Sarasin.	polygonum fagopyrum.	rutine. crocine	jaune. jaune.
35. Gardenia	gardenia grandiflora.	crocétine.	jaune.
36. Graine de Perse	rhamnus tinctoria.	rhamnine xanthorhamnine.	jaune. jaune fauve.
37. Curcuma, racine du	curcuma longa et rotunda.	curcumine	jaune.
38. Rocou (pâte).	bixa orellana	bixine bixéine	jaune. jaune orange.
39. Acide picrique.	acide phénique, huile de houille traitée par l'acide nitrique	acide picrique	jaune.
40. Baies de Sambucus.	sambucus ebulus.		noire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La dernière colonne définit la substance utile qui a fait le sujet des études spéculatives de la science. Nous commencerons par les matières rouges, nous finirons par les matières jaunes. Nous intercalerons quelques couleurs composées, violettes ou vertes, et quelques-uns des principes qui, quoique encore sans emploi dans la teinture, peuvent être introduits dans l'industrie, ou dont l'exemple peut être pris comme modèle dans l'examen des matières colorantes d'origine organique.

Composition chimique. — Considérées sous le point de vue de la constitution chimique, c'est-à-dire de la nature et du nombre des éléments simples qui les composent, et des rapports qui existent entre eux, toutes les matières colorantes isolées des matières tinctoriales contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène; quelques-unes contiennent de l'azote; de ce nombre sont l'indigo, la fuchsine, l'indisine, etc. Généralement assez riches en carbone, elles se rapprochent des résines, par plusieurs de leurs propriétés; cependant beaucoup d'entre elles, chargées d'oxygène, se rapprochent davantage des matières neutres; elles ne contiennent pas plus de carbone que le bois. Insistons cependant sur la grande variété de types qu'on rencontre, et qu'on doit rencontrer dans des matières d'origine et de coloration si diverses. Nous verrons, en effet, quelques matières colorantes se comporter comme de véritables acides (acide carthamique, fuschine), tandis que d'autres, au contraire, auront des tendances basiques et des réactions alcalines (hématine); plusieurs matières colorées n'ont de coloration qu'à l'état de sels parfaitement définis (bleu de Prusse, orcéinate d'ammoniaque). Quelques-unes, enfin, sont complétement inertes (indigotéine) et ne se combinent que lorsqu'on les a profondément modifiées dans leur nature intime.

Propriétés des matières colorantes.

Depuis longtemps on savait que la plupart des principes d'origine animale ou végétale sont très-altérables; ils le sont beaucoup moins qu'on ne le pensait, si l'on tient compte des circonstances complexes dans lesquelles on les place. On a vu que parmi les matières colorées, les unes, exposées à la chaleur, soutiennent une température plus élevée, lorsqu'elles n'ont pas le contact de la lumière, que lorsqu'elles y sont exposées. D'autres se conservent des années entières dans le vide lumineux ou dans l'air obscur, tandis qu'elles s'altèrent au bout de quinze jours au contact de l'air et de la lumière. Leur décomposition est le résultat de l'action simultanée de la lumière et de l'oxygène atmosphérique. D'autres, enfin, s'unissent aux alcalis solubles sans le contact de l'oxygène, et se conservent sans altération des mois entiers, lorsqu'elles s'altèrent très-promptement au contact de l'air.

Les expériences auxquelles M. Chevreul a soumis le curcuma, l'indigo, le rocou, le carthame, l'orseille, l'acide sulfindigotique et le bleu de Prusse, ont donné des résultats conformes aux observations qui précèdent. Toutes ces matières colorantes, considérées après leur application sur coton, sur laine et sur soie, ont été scrupuleusement étudiées et examinées sous le rapport des altérations qu'elles subissent de la part de la lumière, dans le vide sec, dans l'air sec, dans l'air saturé d'eau, dans l'atmosphère, dans la vapeur d'eau, dans le gaz hydrogène sec, dans le gaz hydrogène saturé de vapeur d'eau. La durée de l'exposition a été de deux ans. Les notions qu'on a déduites de ces expériences ont fixé les conditions dans lesquelles se font remarquer les différences de solidité d'une couleur donnée; nous y reviendrons, en définissant les couleurs de grand, de moyen ou de petit teint.

Chaleur. — Nous aurons à distinguer l'action de la chaleur sur la matière colorante elle-même ou dans ses rapports avec l'affinité de la fibre pour la substance tinctoriale, c'est-à-dire dans ses rapports avec l'art de la teinture. Nous commencerons en nous plaçant à ce dernier point de vue.

TEINTURE.

On sait que certaines matières, comme la zircone, l'oxyde de titane, préparées par voie humide, plusieurs sels comme les antimoniates chauffés dans les environs d'une température rouge, deviennent incandescents et perdent leur solubilité dans les acides. Quelques matières organiques, sans exiger, pour présenter des phénomènes analogues, une température aussi considérable, jouissent de propriétés semblables. L'exemple de l'albumine cuite paraît très-propre à faire comprendre l'action de la chaleur en teinture. Si l'on applique de l'albumine fraîche sur une étoffe quelconque, qu'on la fasse sécher et qu'on la traite par l'eau, elle se dissout; si l'on fait cuire, au contraire, l'albumine sèche, on la congule par la chaleur; en vain on la traitera par l'eau, elle ne se dissoudra plus; cette simple modification, en quelque sorte physique, explique comment la chaleur peut fixer une matière soluble sur un tissu, soit que la matière cuite ait de l'affinité pour l'étoffe, soit qu'elle n'en ait pas. On comprend qu'un grand nombre de matières colorantes se rapprochent de l'albumine, lorsqu'on connaît les températures auxquelles ont lieu les phénomènes que M. Chevreul désigne sous le nom de phénomènes de coction ou de cuisson; ce premier ordre de faits acquiert encore de l'importance, si l'on songe que plusieurs substances, appliquées froides ou tièdes sur des tissus donnés, n'ont pas ou n'ont que peu d'affinité pour les tissus; lorsqu'on les présente chaudes, en élevant la température, l'affinité naît ou augmente d'intensité: la matière colorante est fixée; on conçoit, comme possible, le cas où la matière colorante complexe ne serait insoluble qu'après une certaine élévation de température; cette matière insoluble resterait alors fixée solidement à l'étoffe, soit que celle-ci eût réellement de l'affinité pour la matière colorée, soit qu'elle n'en eût pas.

Nous rappellerons ces principes lorsque nous parlerons de la fixation de couleurs dites *couleurs vapeurs*. Pour généraliser l'action de la chaleur, en tant qu'elle est capable de modifier l'affinité de l'étoffe pour la couleur, citons un fait qui prouve que ce qui se passe dans le fixage à la vapeur se reproduit dans la chaudière du teinturier. Nous avons déjà mentionné cette observation de M. Chevreul, qu'un sel cuivreux, fixé sur la laine, tache l'étoffe lorsqu'on la passe à la vapeur, parce que la base passe à l'état de sulfure par la réaction du soufre naturel de la laine. Si l'on plonge à froid de la laine dans la solution d'un sel de cuivre, on enlève, au moyen de l'eau froide, la majeure partie du sel qui s'est séché sur l'étoffe, après qu'on l'a retirée du bain de sel; mais en la plongeant dans l'eau bouillante, de bleuâtre qu'elle est, elle devient couleur de rouille, et dès lors on ne peut séparer la moindre quantité de sel de cuivre adhérent, par la raison qu'il s'est formé du sulfure de cuivre insoluble, absolument comme dans le cas où la laine, passée dans le sel de cuivre, a subi l'action de la vapeur.

Il n'est donc pas possible de nier l'influence de la chaleur pour fixer les couleurs sur les étoffes. Quelle est, en dehors de l'action de la chaleur sur la matière colorante en contact avec la fibre textile, l'action de la chaleur sur la matière colorante isolée? Essentiellement variable même sous l'influence d'une chaleur ménagée, tantôt la modification est permanente, tantôt au contraire elle n'est que passagère. La curcumine, matière colorante jaune du curcuma, et l'hématine, matière colorante du bois de Campêche, exposées l'une et l'autre à l'action de la chaleur, changent de nuance; mais ces modifications disparaissent par le refroidisse-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment. La carthamine, au contraire, reste complétement altérée.

Sous l'influence d'une température élevée, les matières colorantes organiques, de même que toutes les substances non minérales, sont altérées; leurs éléments se dissocient pour former des groupements plus simples, dont la nature se rapproche d'autant plus des matières minérales que la température de leur décomposition se trouve plus élevée. Sous l'influence d'une chaleur ménagée quelques-unes entrent en vapeur, et se condensent sous forme cristalline. L'alizarine, matière colorante rouge de la garance, est dans ce cas; quelques-unes sont volatiles par elles-mêmes, d'autres exigent le concours d'une vapeur inerte; l'indigotéine, matière colorante bleue de l'indigo, dans les circonstances de sa vaporisation se trouve entraînée par les produits qui résultent de la décomposition d'une partie de la substance mise en expérience.

Lumière. — Dans certaines conditions, la chaleur et la lumière se comportent de même en altérant, l'une et l'autre, la matière colorante. MM. Gay-Lussac et Thénard ont cherché comment se comportent différentes matières colorantes dans l'air humide et dans l'air sec sous l'influence de la lumière, et dans le même milieu sous l'influence de la chaleur.

La carthamine, matière colorante rose du safranum qui, décomposée par la lumière, devient d'un blanc sale, subit la même altération sous l'influence de la chaleur, lorsqu'on maintient la température à 160 degrés pendant une heure.

L'hématine, extraite du bois de Campêche, décomposée par la lumière, devient rousse, et subit la même altération après une heure et demie sous l'influence de 180 degrés. La couleur rouge de la Brésiline qu'on extrait du bois de brésil, et qui disparaît presque complétement sous l'influence de la lumière, disparaît de même lorsqu'on la maintient pendant deux heures à 190 degrés. La couleur orange du curcuma, devenue rouille sous l'action de la lumière, prend la même nuance après une heure et demie de contact avec l'air à la chaleur de 200 degrés.

La lutéoline, matière colorante de la gaude qui prend à la lumière un ton ocreux, s'altère de la même manière au contact de l'air sec et de la chaleur quand on maintient la chaleur à 210 degrés pendant deux heures et demie.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, M. Chevreul a répété les expériences de MM. Thénard et Gay-Lussac en les étendant et les modifiant. Comme les résultats auxquels il est parvenu démontrent d'une manière incontestable qu'on ne saurait expliquer les phénomènes de la teinture en faisant abstraction de l'affinité de la matière colorante pour le tissu, nous les indiquerons en parlant de la solidité des couleurs quand nous exposerons les méthodes de la teinture proprement dite. Nous nous bornerons à dire ici que si les observations du savant directeur des Gobelins ne confirment pas en tout point celles de ses devanciers, les différences s'expliquent par les différences de température auxquelles les divers expérimentateurs ont fait leurs essais. On sait que plus la température est élevée, plus on s'expose à déterminer des réactions secondaires entre les divers éléments de la matière colorante généralement complexe. Une infinité de causes étrangères viennent d'ailleurs s'ajouter à celles que provoquent directement la chaleur et la lumière; ces modifications ne dépendent pas tant encore des milieux dans lesquels l'expérience se produit que des substances accidentelles entraînées par la matière colorante elle-même. La carthamine pure, qui résiste assez bien lorsqu'elle est fixée par un tissu plus ou moins chargé de matières grasses, s'altère très-rapidement sous la seule influence de l'air ordinairement chargé de quelques traces d'ammoniaque.

Quoi qu'il en soit, on ne saurait admettre, sans exagérer la portée de ces résultats, que la lumière et la chaleur agissent seulement d'une manière directe; il est beaucoup plus rationnel de regarder les altérations observées comme résultant des réactions chimiques qui s'accomplissent soit entre les éléments de la matière colorante et ceux qui sont introduits par l'étoffe, ou la matière colorante elle-même. Nous ne pouvons perdre de vue que l'étoffe colorée est une molécule excessivement complexe qui se forme, par la réunion de la fibre, des préparations dont elle est chargée, de la matière colorante et de tous les éléments étrangers fournis par les matières principales mises en présence.

L'action de la lumière est quelquefois utile.

Les anciens employaient la lumière comme agent de coloration; ils la faisaient agir sur des tissus imprégnés de sécrétions de coquillages pour obtenir la pourpre de Tyr que nous formons aujourd'hui de toutes pièces au moyen de l'alloxane ammoniée.

Les teinturiers des Indes exposent à la lumière leurs tissus imbibés d'émulsions; les teinturiers en rouge ont recours à ce moyen qu'ils combinent à la chaleur. L'action de la lumière solaire sur les dérivés des huiles est telle qu'en faisant agir isolément certains rayons du spectre sur des résines ou des essences oxydées ou nitrées, on détermine une variété considérable de composés colorés. On sait que l'un des rouges de Laurent se produit sous l'influence des rayons solaires sur les thyonapthamates. M. Jules Persoz vient de faire voir qu'avec l'aide de la chaleur, la lumière qui conserve à peu près intact l'acide nitrocuminique transforme cet acide en une magnifique couleur rouge. Cette métamorphose, qui ne s'opère que sur l'acide après l'insolation, s'effectue avec une puissance remarquable sur le tissu, lorsqu'on dissout l'acide nitrocuminique dans l'ammoniaque et qu'on épaissit à la gommeline pour imprimer un tissu de coton, et qu'on passe ensuite en acide nitrique faible pour fixer l'acide nitro-cuminique; l'étoffe exposée directement aux rayons solaires, puis chauffée sur un cylindre chaud, laisse voir une impression d'une magnifique nuance écarlate. Nous verrons plus loin l'action de la lumière sur la matière colorante remarquable dont les Chinois ont fait emploi pour l'obtention de la couleur qu'on désigne en Europe actuellement sous le nom de vert de Chine et qu'ils empruntent à certaines variétés de nerprun.

L'action de la lumière n'est pas toujours également efficace; elle dépend évidemment de l'intensité des rayons lumineux; son énergie doit être en outre attribuée soit à la présence de corps qui accélèrent l'altération, soit à l'influence de substances qui retardent physiquement la modification dont on poursuit l'étude.

Prouvons-le par des faits :

Une étoffe teinte en bleu de cuve, exposée pendant l'été sur le pré directement à la radiation solaire, éprouve une forte décoloration, tandis qu'en hiver la même étoffe subit une décoloration à peine sensible.

Un tissu teint uniformément en bleu se trouve considérablement altéré dans sa nuance par une exposition à la lumière, mais il résiste s'il a reçu postérieurement à la teinture une immersion dans un bain de chlorure d'étain.

Le rouge de garance fixé par l'alumine est beaucoup moins stable que lorsqu'on l'a fixé par l'alumine additionnée d'un sel d'étain.

Quelques observations précises, citées par M. Persoz, tendent à faire admettre que dans quelques circonstances l'action de la lumière sur les matières colorantes est essentiellement physique.

Une préparation d'alumine et de fer donne sur les tissus, avec le bois de Campêche, un noir très-brillant. Si l'on mêle au bois de Campêche du quercitron ou de la gaude susceptibles de fournir un élément jaune, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

obtient une teinture qui diffère très-peu de la précédente ; mais ces deux noirs, exposés à l'action de la lumière, sont loin de présenter le même degré de solidité. Celui qui contient du jaune est beaucoup plus résistant que celui qui n'en renferme pas. Et cependant les deux matières prises isolément présentent à peu près la même inaltérabilité. Or, si l'on admet que les matières colorantes absorbent ou réfléchissent inégalement les rayons lumineux et que la matière jaune absorbe ceux qui détruisent l'hématine, on peut expliquer, au moins dans certaines limites, les différences que présentent ces deux noirs.

Il est d'ailleurs prouvé que certains rayons, tels que le violet, par exemple, altèrent très-promptement un grand nombre de matières colorantes ; la lumière blanche seule avec insolation suffit pour altérer en quatre heures la plus belle nuance de rouge que nous connaissions, la fuchsine ; seize jours d'insolation la décolorent notablement, un mois la détruit complétement. La laine, la soie et le coton teints en fuchsine ont moins de solidité que la carthamine dans les mêmes conditions d'insolation et celle-ci moins encore que la cochenille, surtout lorsque cette dernière est en combinaison avec le sel d'étain.

Oxygène. — L'oxygène exerce sur les matières colorantes, comme sur les matières organiques d'origine animale et végétale, une action toujours prononcée, mais variable suivant l'état d'oxydation de celle-ci, suivant encore leur état d'isolement ou de mélange ; l'état de l'oxygène lui-même exerce une influence variable, car l'action est lente avec l'oxygène libre, active au contraire avec l'oxygène à l'état naissant, active encore avec l'air lumineux. M. Chevreul a fait voir en 1837 l'influence de l'oxygène atmosphérique dans la plupart des cas où les étoffes teintes avec les matières colorantes d'origine organique se décolorent par leur exposition à la lumière du soleil, en prouvant que ces mêmes étoffes se conservent des années entières dans le vide lumineux. Et tandis que certaines couleurs se détruisent complétement, d'autres peuvent se décolorer et reprendre spontanément leur nuance.

Le bleu de Prusse dans le vide lumineux se décolore en passant d'abord au blanc, puis à une couleur brune de terre d'ombre, mais il se recolore en bleu par le contact de l'oxygène.

On sait aujourd'hui que quelques couleurs, au contraire, peuvent gagner au lieu de perdre en intensité. Le jaune d'acide picrique sur laine a gagné pendant huit mois du jaune orange à l'orangé, montant vers le rouge. Sur soie l'effet est moins sensible.

En étudiant l'action de l'oxygène au point de vue le plus général, on voit qu'elle s'exerce tantôt sur un principe immédiat *colorable*, avec lequel ce corps se combine pour former un principe immédiat *coloré*, tantôt, au contraire, cette action s'exerce sur un principe coloré déjà, dont la nuance s'altère, se détruit plus ou moins en se transformant le plus souvent en un produit jaune ou brunâtre.

L'oxygène jouera donc deux rôles éminemment différents : utile, quand il concourt à la formation du principe coloré ; nuisible, lorsqu'il altère la matière colorée pour en faire disparaître la nuance. Les phénomènes qui se passent sans cesse sous nos yeux témoignent à chaque instant de ce double rôle. Les fleurs et les fruits ne nous montrent-ils pas constamment des colorations variées et vives à certaines époques qui disparaissent dans l'âge caduc. Une opinion fort ancienne avait regardé l'oxygène comme agent destructeur. Une étude approfondie des phénomènes de coloration présentés par les matières végétales a démontré qu'au moins sous l'influence vitale, influence au reste encore fort obscure, il faut admettre avec Fourcroy :

1° Que l'oxygène en combinaison avec les substances végétales en change la couleur ;

2° Que les modifications apportées aux dites couleurs varient avec les proportions d'oxygène absorbé ;

3° Que généralement les nuances les plus foncées deviennent claires et que l'extrême de celles-ci se trouve être la décoloration la plus complète ;

4° Que cette dégradation cependant n'a pas lieu dans toutes les matières végétales, comme l'avait annoncé Berthollet ;

5° Que plusieurs couleurs végétales rouges, violettes, pourpre, marron, etc., sont dues à des proportions diverses d'oxygène, mais qu'aucune de celles-là n'est entièrement saturée de ce principe ;

6° Que cette saturation complète donne le plus souvent des couleurs jaunes, qui sont les moins altérables de toutes ;

7° Que non-seulement les matières végétales colorées par l'oxygène changent de couleur suivant les proportions de ce principe, mais qu'elles changent aussi de nature et qu'elles se rapprochent d'autant plus de l'état résineux qu'elles sont plus voisines de la couleur jaune ;

8° Enfin que telle est la cause de l'altérabilité des rouges, des bruns et des violets tirés des végétaux ; car l'emploi du chlore donne un moyen de les fixer, de les rendre durables, en les imprégnant d'une certaine quantité d'oxygène, c'est-à-dire en imitant le procédé de la nature.

Pour étudier d'une manière complète l'action de l'oxygène sur les matières colorantes, il nous a paru convenable de diviser la question et de séparer les cas où l'oxygène agit sur la substance isolée de ceux où l'action se développe au contact des bases salifiables, ou des bases salifiables et de l'ammoniaque.

Le cas le plus simple est celui dans lequel l'oxygène pur est absorbé par la matière colorante isolée. Il y a généralement oxydation.

On sait qu'une toile trempée dans une cuve d'indigo reste jaune verdâtre tant qu'elle n'est pas au contact de l'oxygène, mais que dès qu'elle est soumise à l'action de l'air elle bleuit. L'indisine, matière colorante violette, extraite de l'aniline, dérivée de l'indigo, conserve les affinités de la molécule indigotique et donne des réactions en tout point comparables. L'indisine à l'état soluble est incolore ou légèrement verdâtre ; elle passe au violet pur par l'exposition à l'air. L'oxygène est bien évidemment dans ces deux cas la cause de la coloration. Il n'agit qu'en enlevant l'hydrogène que renferment les matières colorées ou non colorées. Le bois de Campêche mouillé perd sa couleur naturelle qui tourne à l'orange pour se transformer en une substance rouge violacée qu'on nomme campêche préparé.

La garance qu'on expose à l'air prend une couleur plus foncée que lorsqu'on la conserve à l'abri de l'air ; les sucs de pastel, de betterave, de sumac, se foncent en couleur lorsqu'ils vieillissent, par suite d'une absorption d'oxygène. La couleur est d'autant plus foncée que la dissolution est plus ancienne.

Quelques couleurs ne s'altèrent ou ne se forment que lorsque l'oxygène intervient en présence de matières alcalines. L'hématine, principe colorant du bois de Campêche, la brésiline, principe utile du bois de Brésil, la carmine, matière colorante de la cochenille, la matière colorante bleue de la violette, les matières jaunes qui colorent les fibres textiles ne présentent pas de colorations au contact des alcalis en dehors du concours de l'oxygène ; mais ces matières prennent de suite leurs colorations caractéristiques aussitôt qu'on fait intervenir le concours de l'air. Quant à la garance, elle se transforme en une matière peu soluble qui ne prend plus d'adhérence avec l'oxyde de fer : on comprend déjà le parti que l'art de la teinture a dû tirer de ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diversos observations, puisque quelques-unes des matières les plus riches exigent, pour devenir utiles, le concours simultané de l'air et de certaines bases alcalines.

Quelques matières colorantes ne se développent enfin qu'en vertu de l'addition de l'azote aux principes non colorés contenus dans la matière tinctoriale. Les observations de Robiquet sur les lichens et sur l'acide gallique, celles de Heeren, Stas et Kane sur l'orcine démontrent d'une manière absolue ce fait important : que l'ammoniaque agit comme les bases fixes en présence de l'air ou de l'oxygène. Le phénomène le plus important qu'on puisse rappeler maintenant est évidemment la transformation de l'orcine, matière incolore peu soluble que contiennent les lichens, en orceïne, matière violette très-riche et très-soluble, l'une des matières colorantes les plus remarquables.

Nous avons déjà fait pressentir l'importance du rôle que l'oxygène joue dans les opérations du teinturier, suivant qu'il s'exerce sur des matières colorables ou sur des matières colorées. Le rôle est surtout actif lorsque l'oxygène provient d'oxydes et d'acides métalliques réductibles qui abandonnent l'oxygène à l'état naissant. Le principe colorable peut être oxydé, c'est-à-dire transformé en une matière utile, de même qu'il peut être détruit ensuite par une action trop énergique ou trop longtemps prolongée. Les acides chromiques ou le bichromate de potasse, par exemple, exercent une action de cet ordre sur l'hématine. Nous citerons comme exemple la transformation remarquable du sulfate d'aniline, du sulfate de xylidine, du sulfate de cumidine, tous composés incolores, en indisine, magnifique couleur violette. Quelle que soit la véritable molécule qui fournisse le noyau de la combinaison, aniline ou toute autre molécule complexe, il faut admettre son oxydation par l'oxygène abandonné par l'acide chromique au moment de sa réduction en oxyde chromique ; le liquide qui surnage renferme du sulfate de sesquioxyde de chrome. Nous avons présenté déjà l'explication de ce qui se passe dans le mélange lorsque nous avons étudié les préparations de chrome.

En présence des sels de cuivre, il se forme souvent avec les matières colorables des laques dont la constitution n'est pas parfaitement définie. Si nous mêlons le principe colorant de la garance avec l'acétate de cuivre, il se forme immédiatement un précipité coloré qui contient à la fois du cuivre, de l'oxygène, du carbone et de l'hydrogène, c'est-à-dire les éléments de la matière colorante, et qu'on peut considérer avec tout autant de raison ou comme une combinaison d'oxyde de cuivre et de la matière colorante, ou comme une combinaison de la matière colorante oxydée avec l'oxyde de cuivre à l'état d'oxydule, ou comme une combinaison de la matière colorante oxydée avec du cuivre entièrement réduit, ou bien enfin comme une combinaison dans laquelle le cuivre jouerait le rôle de copule. Cette dernière hypothèse ne serait pas la moins vraisemblable, car aucun des agents qu'on emploie ordinairement pour trahir la présence de l'oxyde de cuivre ne décèle cet oxyde dans le produit de la réaction. On peut admettre en principe que toutes les fois qu'un composé minéral oxydé, soit acide, soit basique, facilement réductible, se trouve en contact avec une matière colorante, il y a réduction. Il résulte du mélange deux composés nouveaux, un oxyde réduit et un principe coloré, ou un métal réduit et un oxyde supérieur qui peuvent rester combinés ou simplement mélangés. On explique ainsi, par exemple, la transformation de l'aniline en fuchsine par le nitrate de mercure; mais il faut admettre avec restriction cette hypothèse qui n'est pas d'accord avec la réaction de l'acide arsénique sur l'aniline ; la couleur rouge se développe sans aucune réduction de l'acide arsénique, comme nous nous en sommes assurés MM. Persoz, de Luynes et moi. Un arrangement moléculaire nouveau peut résulter de la simple mise en présence des éléments qu'on considère. Quant à l'aniline, nous citerons ce fait bien inattendu de sa transformation en une matière rouge, qui ne le cède en rien comme éclat à la fuchsine, par le seul contact de cette substance avec le furfurol, huile volatile qu'on extrait du son.

Les mêmes réactions d'oxydation dont nous venons de parler ont lieu lorsqu'on met en contact des matières colorées avec les oxydes ou les acides réductibles. Mais, dans ce cas, si l'action est prolongée, les matières colorées peuvent être détruites sans que rien puisse les ramener à leur état primitif, c'est-à-dire à l'état de substances colorables. Dans le cas d'une action ménagée, la matière colorée peut être au contraire ramenée par des circonstances spéciales à son point de départ ; c'est ainsi, par exemple, que l'indigo, que l'indisine incolore peuvent être obtenues au moyen de l'indigo bleu ou de l'indisine violette ; mais l'indigo et l'indisine ne peuvent être transformés ni en indigo bleu, ni en indigo jaune blanc, ni en indisine primitive, lorsqu'on les a soumis à des agents oxydants puissants ; la molécule primitive se trouve détruite. Cette destruction est surtout facile par l'emploi de l'oxygène à l'état naissant. On devra donc éviter, à moins de nécessité particulière, l'emploi des mélanges qui peuvent fournir de l'oxygène à l'état naissant ; nous citerons en première ligne l'eau oxygénée, le chlore et l'eau, les acides chloreux et hypochloreux, un mélange d'acide chlorhydrique et de peroxyde de manganèse, le chlore et les hydrates de potasse ou de soude.

Tous ces mélanges sont employés dans l'industrie lorsqu'on veut enlever ou détruire une couleur ; ils prennent le nom de *rongeants* lorsqu'on en fait usage pour faire naître *par enlevage* sur un fond uni des dessins blancs. Il est encore d'autres mélanges dans lesquels interviennent les corps analogues au chlore, comme le brome et l'iode, qui joueraient le même rôle; mais jusqu'à ce jour leur prix élevé rend leur emploi peu favorable, et leur action sur les matières colorantes est généralement plus faible que celle que peuvent exercer le chlore ou ses dérivés.

L'oxydation des matières colorantes donnerait lieu certainement à des observations utilisables par la pratique, si des recherches convenablement dirigées en faisaient comprendre toute la valeur. On pourrait, sous des influences déterminées, créer et des nuances nouvelles et des principes plus solides que ceux que nous connaissons aujourd'hui; malheureusement on ne sait pas encore dans quelles conditions exactes les matières colorées prennent tel ou tel état d'oxydation ; on n'a jusqu'à présent enregistré que des changements trop brusques, qui ne permettent pas de mettre en lumière les résultats d'une oxydation lente et progressive. Le sucre de raisin, que nous pouvons assimiler aux matières colorantes, se modifie d'une manière remarquable au contact des sels d'oxyde de cuivre et de la potasse ; il se forme de l'oxydule de cuivre ; le sucre de canne, si voisin par ses propriétés et sa composition, se comporte d'une manière toute différente. Mais ce dernier, mis en contact d'un acide quelconque, prend de suite les caractères du sucre de raisin. Supposons que les modifications se trahissent par des modifications dans les nuances ; de quelles ressources ne seraient-elles pas pour le teinturier, ces transformations acquises à si peu de frais! Cet exemple, que je choisis entre mille, donne une idée bien nette des avantages que pourrait procurer l'étude des matières colorantes dirigée dans la direction que j'indique ici. C'est en partant de ces principes qu'on est parvenu dans ces derniers temps à rendre solide la couleur extraite de l'orseille et qu'on a pu rendre encore moins altérable l'indigotéine par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

contact du principe colorant avec les chlorures d'étain, de mercure et l'acide arsénieux.

Chlore, brome, iode. — Le chlore, comme le brome et l'iode qui sont avec raison rangés dans la même famille naturelle, agit tantôt d'une manière directe, tantôt d'une manière indirecte. Nous avons envisagé déjà les propriétés de ce corps en présence de la matière colorante du lin dans les opérations du blanchiment; ce n'était évidemment qu'un cas particulier de l'étude plus générale que je vais exposer ici.

L'action du chlore sur les matières colorantes est indirecte; toutes les fois qu'elle s'exerce en présence de l'eau, il y a formation d'acide chlorhydrique et dégagement d'oxygène à l'état naissant. Il y a dans ce cas oxygénation; l'action se porte sur le principe colorable qui peut devenir coloré, ou sur le principe coloré qui peut être détruit par une oxydation trop avancée.

Le chlore agit directement toutes les fois qu'il n'y a pas intervention de l'eau; sous l'influence des rayons solaires l'action peut être nulle ou vive; elle se traduit suivant les cas par une fixation de chlore, ou par une élimination d'hydrogène à l'état d'acide chlorhydrique qui se dégage, ou par une élimination d'hydrogène à l'état d'acide chlorhydrique qui se combine avec la matière modifiée par la substitution du chlore à l'hydrogène; la substitution porte sur un ou plusieurs équivalents d'hydrogène.

Pour ne présenter qu'un exemple, nous citerons l'indigo, qui subit quelques transformations remarquables sous l'influence du chlore.

L'indigo bleu, finement broyé, soumis à l'action du chlore sec, à l'abri de la lumière solaire, ne s'attaque pas; sous l'influence de la lumière diffuse, il s'altère légèrement en formant de l'acide chlorhydrique. Il se détruit promptement, au contraire, sous l'influence d'une radiation très-vive. Sous l'influence du chlore humide en excès, l'indigo blanc passe successivement à l'état d'indigo bleu, puis d'indigo jaune; après cette dernière transformation, on ne peut pas ramener l'indigo sous sa forme primitive d'indigo blanc ou d'indigo bleu.

Le brome et l'iode agiraient, comme le chlore, sur les matières colorantes, colorées ou colorables.

Hydrogène.— Une étude complète de l'action de l'hydrogène ou des corps avides d'oxygène sur les matières colorantes conduirait assurément à des résultats pratiques aussi certains que celle que nous avons fait entrevoir au sujet de l'oxydation des mêmes substances. Dans l'état actuel de nos connaissances, des phénomènes de réduction, dans lesquels l'hydrogène semble jouer son rôle désoxygénant, permettent de faire revenir, à l'état soluble et non coloré, des matières colorées que leur insolubilité ferait éloigner des ateliers de teinture.

Quant à la théorie pure, aucune expérience ne semble prouver jusqu'à ce jour que l'hydrogène libre soit capable d'agir directement sur une matière colorante, soit en s'y combinant, soit en éliminant une certaine proportion d'oxygène sous forme d'eau, mais bien évidemment l'hydrogène à l'état naissant ou l'un de ses composés non oxygéné désoxyde certaines matières colorantes et forme avec elles des composés particuliers.

L'action de ces composés a surtout été suivie sur les principes colorés; il est bien probable que l'action ne s'exerce pas exclusivement sur ces derniers, que les matières colorables elles-mêmes sont modifiées dans des circonstances déterminées, et que les transformations qu'elles éprouvent pourraient être fructueusement introduites dans les ateliers de teinture. On ne saurait présenter d'ailleurs une explication plausible de certains phénomènes observés dans la pratique sans admettre que la matière colorable elle-même est profondément modifiée sous l'influence de certains agents réducteurs. Nous en trouverons la preuve en expliquant ce qui se passe dans les cuves montées à l'indigo. Généralement on peut accepter en principe que les substances colorées soumises à l'action des agents réducteurs sont réduites et forment des combinaisons d'un ordre à part, avec perte de tout ou partie de leur couleur propre.

C'est ainsi que des matières colorées se désoxydent ou s'unissent toujours à l'hydrogène ou l'une de ses combinaisons en changeant de couleur, lorqu'elles se trouvent en contact :

1° Avec des matières organiques en putréfaction, principalement dans les circonstances qui déterminent la fermentation muqueuse. L'indigo se réduit dans une cuve montée par de l'urine en putréfaction, il se dissout sous l'influence de l'ammoniaque qui joue le rôle de base, à l'état d'indigoture d'ammonium, par la même raison qu'en présence de la chaux il se fait de l'indigoture de calcium. La teinture de tournesol, renfermée dans un flacon à l'abri du contact de l'air, se couvre de moisissure en se décolorant. La couleur primitive reparaît sous l'influence de l'air. L'indisine en contact avec l'hydrosulfate d'ammoniaque se décolore promptement.

2° Le phosphore, l'arsenic, l'antimoine, l'étain en présence d'une base salifiable (potasse, soude, chaux) réduisent les matières colorantes.

3° Le zinc en présence de l'acide sulfurique et de l'eau.

4° L'éther, l'alcool et le même acide agissent comme réducteurs énergiques. Ce rôle des matières réductrices pourrait être considéré, d'après tous les chimistes, à deux points de vue différents. Pour quelques cas, les oxydes réducteurs avides d'oxygène s'empareraient de celui de la matière colorante; il en résulterait un composé moins oxygéné que le principe primitif. Dans d'autres cas, l'action ne serait pas immédiate, l'eau devant intervenir; il se dégagerait de l'hydrogène qui modifierait la nuance de la matière organique, tantôt en se combinant directement avec la substance colorée, tantôt en éliminant une certaine quantité d'oxygène à l'état d'eau. Il est évident qu'on vertu des caractères excessivement variés que présentent les matières que nous étudions, on peut trouver que sous l'influence d'un même réactif la réaction diffère beaucoup d'un corps à l'autre; des recherches délicates prouveraient que les deux hypothèses sont parfaitement admissibles, en fournissant des exemples à l'appui de chacune de ces interprétations.

De tous les composés réducteurs, deux surtout ont fixé l'attention d'une manière toute spéciale; ce sont l'acide sulfureux et l'hydrogène sulfuré.

L'action de l'hydrogène sulfuré a principalement été étudiée par M. Chevreul. L'hématine en contact avec l'acide sulfhydrique jusqu'à saturation devient jaune, et la solution mise à l'abri du contact de l'air pendant quelques jours perd sa couleur et se conserve intacte dans un flacon bien bouché; bouillie sur du mercure, dans le vide barométrique, elle perd de l'acide sulfhydrique et l'hématine reparaît sans altération, mais pour disparaître par suite d'une nouvelle combinaison qui s'effectue spontanément au moment du refroidissement. Si l'on neutralise à l'abri du contact de l'air l'hématine saturée d'acide sulfhydrique par un alcali fixe, l'hématine se sépare en combinaison avec la potasse, en même temps qu'il se forme du sulfure alcalin. Ces deux expériences ont prouvé que l'hématine se combine sans modification avec l'acide sulfhydrique.

Quant à l'acide sulfureux dont on fait usage pour blanchir la soie, la paille, la laine, nous avons dit qu'il n'est pas décolorant au même titre que le chlore, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'il n'altère pas la composition de ces substances comme le font le chlore et l'oxygène. Il ne paraît pas qu'il y ait au delà d'une simple combinaison. C'est au moins ce qui résulte de ces anciennes expériences, sur l'interprétation desquelles tous les chimistes sont d'accord. Une rose rouge plongée dans l'acide sulfureux devient blanche en peu d'instants; mais placée sous une cloche remplie de chlore, elle reprend sa couleur primitive, en même temps que l'acide sulfureux se transforme spontanément en acide sulfurique. Une étoffe de laine ou de soie teinte en rouge au moyen de la fuchsine, placée dans un bain d'acide sulfureux, se décolore immédiatement. Le sirop de violette est décoloré par l'acide sulfureux : l'ammoniaque ramène au violet la coloration de la liqueur; le résultat final est un liquide vert provenant de l'action de l'ammoniaque sur le sirop de violette. L'acide sulfureux forme donc, au moins dans un grand nombre de cas, si ce n'est dans tous, une combinaison avec les matières colorantes : la coloration primitive reparaît lorsqu'on expulse l'acide sulfureux en l'engageant dans une nouvelle combinaison.

Carbone. — Le carbone, employé sous forme convenable, jouit de la singulière propriété de décolorer un bain de teinture quelconque, en rendant insoluble la matière colorante vis-à-vis de laquelle il se comporte comme en présence des gaz. Cette propriété très-développée dans le charbon, surtout le charbon poreux, se rencontre dans d'autres substances, principalement dans les oxydes métalliques en tête desquels il faudrait mettre les oxydes d'aluminium, de fer et de chrome, si nous n'admettions pas qu'il y a plus qu'une simple action de contact entre les oxydes que nous venons de nommer et les matières colorantes. M. Persoz fait remarquer que le pouvoir décolorant de ces oxydes paraît être en rapport avec la propriété qu'ils possèdent de se fixer aux tissus pour former des *mordants* dans le sens de l'expression consacrée.

Eau. — Lorsque les matières colorantes sont en contact avec l'eau, en tant que l'eau ne contient pas de gaz dissous, on remarque une action dissolvante variable avec la température, avec la nature du principe coloré, avec la facilité que possèdent les couleurs de se conserver intactes sans altération. L'eau, comme véhicule, doit donc être étudiée de près; elle dissout ou ne dissout pas les matières colorées; elle peut les altérer, et nous ne saurions oublier que nous avons posé comme principe absolu que dans les opérations de la teinture il était avant tout nécessaire de rendre soluble le principe dont on veut se servir pour teindre une étoffe donnée.

Les matières colorantes peu riches en oxygène, comme l'indigotéine, sont complétement insolubles dans l'eau. Celles qui sont plus oxygénées semblent au contraire plus solubles; l'alizarine et la lutéoline, qui contiennent 5 équivalents d'oxygène, sont assez peu solubles. La brésiline et l'hématine, qui contiennent plus d'oxygène que les précédentes, sont plus solubles : il ne faudrait néanmoins pas croire que la solubilité croît avec le degré d'oxydation : l'expérience, dans certains cas, prouve qu'une oxygénation qui rapprocherait la matière colorante de l'état résineux s'opposerait à sa solubilité dans l'eau.

L'action de l'eau comme véhicule est d'ailleurs modifiée pratiquement par celle des matières qu'elle charrie ou dissout communément; on ne se sert que rarement d'eau distillée dans l'industrie : est-elle, par exemple, chargée d'oxygène ou d'air atmosphérique, elle oxydera les matières colorantes, elle transformera l'indigo blanc en indigo bleu qui ne se dissout pas; est-elle chargée de certains sels, elle ne dissoudra pas diverses couleurs qui seraient parfaitement solubles dans l'eau pure : la teinture en carmin d'indigo, en garance, en gaude offre des faits à l'appui de ces observations curieuses.

A l'état de vapeur, l'eau se comporte d'une façon très-remarquable, et nous avons déjà fait ressortir ce que l'influence de la chaleur peut produire sur la tendance des matières colorantes à se fixer aux tissus. Dans certaines circonstances, cette influence deviendrait à peu près nulle, si le rôle de l'eau ne venait s'ajouter à celui de la chaleur dans l'application des couleurs dites *couleurs vapeurs*.

L'eau n'est plus aujourd'hui le seul véhicule dont on fasse usage.

Oxydes. — Nous négligerons ici les phénomènes d'oxydation et de réduction qui nous ont occupé déjà plus haut et nous chercherons à déterminer le rôle des bases au contact des diverses matières colorantes en usage dans l'art de la teinture.

Dans un grand nombre de circonstances les matières colorantes se combinent aux oxydes pour former de véritables sels, les uns solubles, les autres insolubles; tantôt la matière colorable seule jouit de cette propriété dont la matière colorée se trouve entièrement privée. A l'appui de cette observation, nous citerons l'indigo blanc qui se combine très-facilement à la potasse, à la soude, à la chaux, tandis que l'indigotéine (indigo coloré) ne contracte aucune combinaison. Lorsque la matière colorable se présente dans un état convenable, la combinaison est des plus faciles; elle s'effectue très-souvent à froid, toujours à chaud. On donne le nom général de *laques* aux combinaisons des matières colorantes avec les oxydes insolubles comme l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome.

Pour déterminer la combinaison des oxydes avec les matières colorées, dans le cas de principes également solubles, il suffit, à titre général, de mettre la matière colorable soluble en contact avec l'oxyde en question; lorsque l'oxyde n'est pas soluble la combinaison s'effectue toujours si l'oxyde est hydraté; les oxydes qui n'attirent pas la couleur sont ceux qui, sous l'influence de la chaleur ou de certaines circonstances, ont perdu toute solubilité dans les acides en même temps qu'ils ont abandonné leur eau d'hydratation. Pour fixer les idées, nous citerons les oxydes de fer, d'alumine et de chrome qui ne se combinent pas aux matières colorantes lorsqu'ils ont perdu leur eau d'hydrate par une circonstance quelconque, et qui se combineraient immédiatement avec les matières colorantes s'ils étaient à l'état de gelée.

La chaux, la baryte, la strontiane, l'oxyde de plomb jouissent aussi de la propriété de se combiner aux matières colorantes solubles et de dépouiller complétement les bains de teinture. Quant aux oxydes solubles, comme la potasse, la soude, l'ammoniaque, quelquefois même la chaux, elles forment des combinaisons solubles, à moins que ces éléments ne se trouvent en présence d'une dissolution saturée, et que l'excès de sel ne rende insoluble soit la combinaison formée, soit même la matière colorante.

S'il est facile d'obtenir une combinaison soluble de la matière colorante avec un oxyde convenablement choisi, rien n'est plus simple encore que de préparer les combinaisons insolubles. Nous trouvons à chaque pas, dans cette partie de la science qui nous occupe maintenant, l'application des règles les plus générales de la chimie minérale; elles conduisent à la précipitation de composés parfaitement définis d'une couleur et d'une composition invariables.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

1° Lorsque la matière colorante est soluble par elle-même on peut la mettre en présence d'un sel soluble dont on précipite la base au moyen d'un réactif plus puissant. La matière colorante est entraînée sous forme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de laque par l'oxyde précipité. Une dissolution de garance, mélangée d'alun, précipite par l'ammoniaque une laque de garance. Généralement cette méthode ne conduit pas à des composés parfaitement brillants

2° Lorsque la matière colorante est soluble par elle-même, elle peut être déplacée et précipitée par l'ébullition à l'état de sel lorsqu'on a mélangé la dissolution de matière colorante avec un sel de potasse ou de soude capable de former par la chaleur un sous-sel insoluble. C'est ainsi qu'on présence d'une dissolution de garance, une dissolution d'alun saturée à froid de carbonate de potasse ou de carbonate de soude, ou d'acétate de plomb se trouble déjà vers 60°, suivant son état de concentration, en entraînant la matière colorante de la garance.

3° Lorsque la matière colorante est encore soluble, on met en présence un sel basique qui forme à la fois un sel neutre soluble, et la laque se précipite par voie de double décomposition. L'acétate tribasique de plomb, par exemple, forme de l'acétate neutre qu'il est facile d'isoler par filtration de la laque plombeuse qui se sépare.

4° Lorsque la matière colorante existe à l'état de dissolution à la faveur d'une base soluble avec laquelle elle forme une combinaison soluble, on ajoute un sel soluble qui contienne l'oxyde qu'on veut combiner. C'est ainsi que l'indigoture de chaux, traité par le chlorure d'étain, forme, par double décomposition, un indigoture d'étain, sel insoluble qui se précipite. L'indisine, en combinaison avec la potasse après réduction, se comporte de même.

Il est facile de voir que dans tous ces cas la matière colorante se comporte à la façon d'un acide. Au reste, on le prouve en cherchant à la déplacer; on n'y parvient qu'en faisant usage d'un acide plus énergique. Si les matières colorantes, en général, sont considérées comme des acides, elles doivent présenter pour un oxyde donné des affinités différentes, et là encore l'expérience confirme cette manière de voir. Met-on, en effet, dans un même bain une dissolution de garance, de cochenille et de gaude, l'alumine fixera successivement la garance, puis la cochenille, et enfin la gaude. Disons néanmoins que ces caractères ne sont pas absolus et que nous avons déjà cité l'exemple de l'hématine qui, vis-à-vis de l'acide sulfureux, se comporte comme le ferait une base. Il y aurait un intérêt réel à dresser une table des proportions chimiques concernant les matières colorantes organiques. La société de Mulhouse a proposé pour ce travail une médaille d'argent; le programme indique l'utilité de cette table, qui devrait contenir les proportions chimiques des principes colorants purs et dans l'état où le commerce les livre, et pour celles des matières colorantes qui sont solubles l'équivalent des décoctions à des degrés aréométriques donnés; de ces proportions pourraient se déduire celles de tel ou tel mordant propre à la composition des couleurs et la préparation des laques, comme on calcule la composition de tout sel dont on cherche l'acide, connaissant la base.

Acides.— D'après ce qui précède, on voit que l'action des acides sur les matières colorantes tend, conformément à ce qui se passe dans les ateliers et les laboratoires, à mettre en liberté les matières colorantes, soit qu'elles se trouvent engagées dans les matières tinctoriales, soit qu'elles existent en combinaison avec le tissu, soit enfin qu'elles restent à l'état de liberté dans le liquide sans contracter d'adhérence avec l'étoffe Ces réactions sont en effet utilisées dans la pratique ou pour rendre soluble la matière colorable engagée dans un bain à l'état de composé non soluble, ou pour enlever la couleur déposée d'une manière uniforme sur une étoffe qu'il faut décorer de dessins variés, (*enlevage*) ou

pour empêcher la couleur de prendre sur certains points (*réserve chimique*).

Les cas de contact des acides inorganiques avec les matières colorantes sont donc fréquents dans l'industrie. Voyons à déterminer les phénomènes qui peuvent se présenter; ils seront nécessairement variables avec la nature de la matière colorante, avec la température à laquelle l'expérience aura lieu, avec la nature et l'état de concentration du liquide employé.

Lorsque l'acide sulfurique est concentré et qu'on le fait agir à froid, il peut n'être qu'un simple dissolvant, et les observations de tous les jours ont démontré que les matières colorantes qui ne s'altéraient pas au contact de l'acide sulfurique étaient douées d'une grande solidité. Il suffit, en effet, d'étendre d'eau pour faire reparaître la matière colorante avec toutes ses propriétés primitives. C'est ce qui arrive lorsqu'on traite la garance par l'acide sulfurique concentré. L'alizarine se précipite avec ses caractères distinctifs quand on étend d'eau la dissolution. Dans certaines circonstances l'acide sulfurique entre dans le molécule qu'il modifie; il se copule surtout avec les matières colorantes volatiles. C'est ainsi qu'il forme avec l'indigo bleu, l'alizarine, la lutéoline, des composés acides analogues à l'acide sulfovinique.

Si l'on fait intervenir la chaleur, les matières colorantes non volatiles se détruisent; en général, elles se charbonnent, tantôt avec dégagement de produits contenant du soufre, tantôt sans formation d'acide sulfureux.

L'acide azotique oxyde quelques-uns de ces corps sans altérer leur constitution moléculaire; mais le plus souvent, il les détruit pour donner naissance à des produits très-variés.

L'acide chlorhydrique concentré détruit le plus grand nombre des matières colorables ou colorées, particulièrement les matières colorantes non volatiles.

C'est surtout au contact des acides étendus que les matières colorantes sont exposées dans les opérations de l'industrie; comme les acides concentrés attaquent les fibres, on doit éviter leur action dans la teinture proprement dite.

Lorsqu'une matière colorante est mise en contact à froid avec un acide étendu, sa solubilité diminue, si cette matière est soluble; il n'y a pas d'action, si la matière colorante est insoluble à chaud. S'il y a dissolution, la matière colorante se précipite par refroidissement sous forme cristalline.

Le simple contact des acides étendus avec les matières colorantes doit assurément les modifier de la même manière qu'il agit sur le sucre de raisin. Les opérations journalières font admettre des altérations de cet ordre qui est de nature à donner une explication plausible de l'appauvrissement que subissent certains bains de teinture abandonnés à leur propre décomposition.

La première influence d'une matière acide sur une couleur végétale est d'en modifier la nuance : on admet généralement que les couleurs rouges tournent à l'orangé, que les couleurs bleues passent au rouge et que les jaunes sont éclaircies en passant au vert. Ces nuances sont ramenés à leur couleur primitive par l'addition des alcalis; les rouges sont ramenés au rouge vineux, les bleus passent au jaune foncé et les jaunes sont à peine altérés. On peut donc toujours ramener, dans certaines limites au moins, une nuance altérée par un acide au moyen d'une base et réciproquement, on donne dans les arts le nom de *virement* à l'action dont nous parlons; on en fait usage pour rassortir une nuance donnée.

A quoi tiennent ces modifications? Évidemment nous ne pouvons confondre ici deux sortes de phénomènes, l'un essentiellement physique qui constitue le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

virement dont nous venons de parler; l'autre exclusivement chimique et qui résulte de la mise en liberté d'un acide végétal coloré dont la couleur était masquée par suite d'une combinaison avec une base alcaline. Dans cet ordre de faits nous rappellerons l'action d'un acide quelconque sur la teinture bleue de tournesol. La coloration bleue résulte de la combinaison de l'acide rouge avec une base; l'acide met l'acide végétal en liberté; il est soluble, il colore donc en rouge le liquide primitivement bleu; ici rien d'obscur, et tous les chimistes sont d'accord. Il n'en est plus de même de la cause qui fait virer les couleurs, et c'est surtout à l'altération des principes simples colorés, qu'on ne peut considérer comme des sels, qu'il faut appliquer l'hypothèse que nous allons présenter. Or, si l'on admet avec M. Chevreul que les couleurs ne sont pas dans la matière, qu'elles résultent des impressions que nous en éprouvons sous l'influence de la lumière blanche qui n'est pas réfléchie dans son ensemble, mais dans quelques-unes de ses parties seulement, il est vraisemblable d'admettre que toutes les circonstances qui modifieront la molécule d'une substance modifieront de même sa couleur. Ne peut-on pas concevoir certaines contractions des molécules colorées sous l'influence des acides ou des bases, contractions qui ne seraient pas capable de se trahir par d'autres caractères que ceux qui prendraient naissance dans une modification légère de la nuance primitive? Au reste, nous n'entendons présenter cette explication qu'avec la plus grande réserve et ne la produire que dans le cas où la transformation d'une nuance donnée en une nouvelle nuance, si voisine qu'elle soit de la première, n'est accompagnée d'aucune métamorphose chimique, d'aucune évolution moléculaire.

Sels. — L'action des sels sur les matières colorantes peut être étudiée sous divers points de vue. Sous le rapport d'une intervention purement physique, les uns retardent momentanément la solubilité d'une matière colorante soluble par elle-même, d'autres la favorisent au contraire, quelques-uns, à ce chef, sont sans influence aucune.

Sous le rapport d'une intervention chimique, tandis que plusieurs sels agissent à la façon des bases, d'autres se comportent comme des acides. Dans ces deux circonstances, l'action est multiple; car l'influence relative au virement s'ajoute généralement à celle qui résulte des décompositions que la chimie peut prévoir et expliquer. Les sels dont l'action est équivalente à celle des bases sont surtout les sels à acides minéraux ou végétaux doués d'une faible énergie chimique; les carbonates et les acétates saturent les couleurs avec leurs bases comme si dans le mélange ces dernières étaient en liberté.

Nous avons vu comment les matières colorantes solubles se comportaient avec les sels en étudiant les moyens à l'aide desquels on rend insolubles ces principes pour les déposer avec adhérence sur les fibres textiles. Nous n'avons donc pas à revenir sur ce sujet. Nous rappellerons seulement que toutes les fois que la matière colorante est soluble sous forme de sel, elle peut former une laque insoluble par voie de double décomposition, quand on sait choisir parmi tous les sels celui dont la base forme un composé non soluble. Comme exemple nous citerons la décomposition de l'indigoture de chaux par le protochlorure d'étain. Souvent même, la dissolution simple de la matière dans l'eau, lorsque la matière colorante est soluble, se dépouille complétement au contact d'un sel. Témoin la solution d'hématine avec le sel d'étain : dans cette réaction il se forme de l'oxyde d'étain et de l'acide chlorhydrique; le protoxyde d'étain s'empare de la matière colorante et l'acide chlorhydrique n'exerce pas plus d'action sur la laque colorée que si l'on avait opéré sur un mélange alcalin. On peut rapprocher de ces faits l'influence de certains sels calcaires qui n'agissent qu'en vertu de la chaux qu'ils contiennent; on utilise cette propriété dans les opérations du garançage en additionnant le bain de quercitron et de fustet.

Dissolvants organiques. — L'alcool et l'éther sont employés, et si leur prix élevé permettait de les introduire avantageusement dans les pratiques de l'atelier, ils pourraient rendre de grands services à l'industrie qui nous occupe; nous verrons que l'on a déjà fait usage du premier, au moins pour isoler les principes utiles contenus dans les matières tinctoriales. On fait usage aujourd'hui d'esprit de bois, d'acétone, de sulfure de carbone, etc., comme dissolvants des matières colorantes.

Si nous exceptons l'indigotéine, toutes les matières colorantes sont solubles dans l'alcool et l'éther, surtout si l'on fait usage de la chaleur pour faciliter la dissolution; la matière colorante se sépare par le refroidissement sous forme de cristaux plus ou moins nets et brillants. La dissolution n'est que rarement accompagnée d'altération; cependant il se manifeste quelquefois des modifications qui se décèlent par des changements de nuances et de propriétés.

L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique en mélange avec l'alcool dissolvent toutes les matières colorantes, surtout à chaud, et c'est dans ces circonstances que les phénomènes de réduction que nous venons de rappeler sont les plus fréquents. L'indisine est décolorée par ces mélanges.

L'acétone et l'esprit de bois sont de bons dissolvants pour certaines matières colorantes. On est peut être à la veille d'en faire usage d'une manière pratique pour remplacer les extraits aqueux de plusieurs matières tinctoriales. Ces dissolvants, au reste, mélangés à l'acide sulfurique jouissent des mêmes propriétés réductrices que le mélange d'acide sulfurique et d'alcool. L'indigo, la garance, la gaude subissent des altérations profondes.

L'essence de térébenthine est encore un bon dissolvant de certaines substances colorantes; elle agit sur le rouge d'Andrinople.

Le sulfure de carbone dissout l'anchusine, principe colorant de l'orcanette. Lorsque les dissolvants organiques n'agissent pas sur le principe colorant pur, ils peuvent servir à les dépouiller des matières étrangères qui les souillent; c'est ainsi que, dans le procédé de Perkin, le naphte est employé pour séparer l'indisine de la résine qui l'accompagne; c'est ainsi que le sulfure de carbone débarrasse la curcumine des impuretés qui s'y trouvent associées.

État naturel des matières colorantes. — Nous avons vu que les matières organiques colorantes étaient fournies par le règne végétal et le règne animal. Comment se forment-elles? C'est là certainement un mystère encore inconnu, mais dont il ne faut pas désespérer de trouver l'explication. Personne assurément ne peut dire à quelles substances il faut recourir pour engendrer de l'indigotéine avec les feuilles des indigofères, de la carthamine avec les fleurs du carthamus tinctorius, de l'alizarine avec les principes accumulés dans les racines des rubiacées. Mais bien qu'on n'ait encore pu suivre jusqu'à présent ces métamorphoses intéressantes, on ne peut admettre qu'elles soient des secrets impénétrables. N'est-on pas parvenu dans ces derniers temps à préparer, au moyen d'intermédiaires éloignés, des composés qu'on considérait autrefois comme exclusivement du domaine des actions vitales? L'acide oxalique, l'acide racémique, l'acide tartrique, l'acide acétique, l'urée, les matières grasses sont aujourd'hui des produits de laboratoire. Assurément ce serait méconnaître la puissance de la synthèse chimique et les ser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vices qu'elle a déjà rendus à l'homme que d'admettre que la science ne pourra jamais résoudre de semblables problèmes. On a déjà fait dans la reproduction des matières colorantes de tels progrès, qu'il serait prématuré de penser que quelques-uns au moins des principes colorés des animaux ou des végétaux employés en teinture ne sauraient jamais être reproduits de toutes pièces.

M. Stenhouse a fait voir que le furfurol en contact avec l'aniline donne immédiatement une magnifique couleur rouge. On a découvert l'aniline dans quelques variétés de champignons; le furfurol est une huile extraite du son. Ces trois faits conduisent naturellement à cette conclusion que les couleurs des fleurs peuvent être le résultat du contact de certains liquides produits à des époques déterminées de la vie des plantes. L'expérience conduira certainement un jour à la découverte de faits de même ordre, mais traduits par des colorations différentes.

Ainsi que nous l'avons dit, l'oxygène joue certainement un rôle important dans la formation des matières colorantes; mais ce serait aller trop loin que de croire que tous les principes immédiats colorés usités dans la teinture dérivent tous de l'oxydation de matières primitivement formées dans les végétaux ou les animaux. De simples dédoublements moléculaires, possibles sous l'influence des forces vitales, sont capables de transformations complètes dont nous trouvons des analogues dans les faits purement acquis dans les laboratoires. La salicine, par exemple, distillée sur de l'hydrate de chaux, perd une partie de son carbone à l'état d'acide carbonique et fournit une substance huileuse incolore, volatile, qui, sous l'influence du chlorure de calcium, forme à son tour à la longue une matière colorante rouge-cerise qui se place entre celle de la cochenille et de l'orseille. L'acide nitrocuminique, qu'on prépare en faisant agir l'acide nitrique fumant sur un des produits de l'oxydation de l'essence de cumin, ne conserve sa blancheur et sa limpidité que lorsqu'on le maintient à l'abri du contact de l'air; sous l'influence des rayons solaires, il se forme une poudre rouge qui rappelle la couleur du carmin, et susceptible de contracter adhérence avec les fibres ligneuses. Des recherches semblables à celles que nous indiquons pourraient conduire même à des colorations différentes de celles qu'on retire des substances tinctoriales, et pour ne faire qu'une citation nous dirons avec la société de Mulhouse que les travaux de Laurent sur la naphtaline ont permis d'entrevoir dans les dérivés chlorés et chloroxydés de cette substance une mine de couleurs d'autant plus intéressantes que leur composition chimique les rapproche de l'alizarine. Cette coïncidence remarquable a déjà conduit, en Angleterre comme en France, à des travaux de recherches et d'applications de la plus haute importance, dont la pratique est encore privée par l'absence de la matière première et la longueur de sa préparation.

Ces difficultés disparaîtront aussitôt que les acides chloroxynaphtalique et perchloroxynaphtalique seront préparés d'une manière courante, et qu'on pourra se procurer les acides et leurs sels à des prix qui puissent rivaliser avec ceux de l'alizarine, c'est-à-dire dès que leur valeur se placera dans les environs de 100 francs le kilog.

Cette nouvelle source de coloration sera des plus riches; en effet, la naphtase, produit de distillation de la nitronaphtaline, colore l'acide sulfurique en bleu violacé; la binitronaphtaline donne dans l'alcool saturé d'ammoniaque un composé cramoisi foncé; la trinitronaphtaline forme avec les alcalis des dissolutions rouges; la naphtylamine produit des sels qui s'oxydent en se colorant en violet, et elle se dissout dans l'acide sulfurique avec une coloration bleue très-

vive; la nitronaphtylamine est un alcali rouge carminé; l'azonaphtylamine se dissout dans l'acide sulfurique avec une coloration violette persistante; les thionaphtamates à réactions acides se colorent en rouge; l'acide sulfonaphtalique se décompose en une résine rouge violacée; les chloroxynaphtalates et perchloroxynaphtalates sont des sels de toute beauté, insolubles, aux plus brillantes couleurs; à base de cuivre ils sont cramoisi, à base de plomb, rouge-orangé, à base de cobalt et de cadmium, vermillon; à base de chrome, ils sont rouges. Ces acides se fixent parfaitement avec les préparations en usage aujourd'hui dans la teinture ordinaire. S'il était possible de remplacer dans l'acide chloroxynaphtalique le chlore par son équivalent d'hydrogène, on produirait l'acide oxynaphtalique ou l'alizarine, et cette substitution ne conduirait à rien moins qu'à pouvoir garancer avec les produits de la distillation de la houille.

L'introduction récente de l'aniline comme matière colorable, celle plus ancienne de la murexide comme matière colorée, donnent tout espoir de voir s'accroître considérablement le nombre des matières résultant des transformations opérées dans les laboratoires sur des substances incolores.

L'art de la teinture et celui des toiles peintes en sont arrivés non-seulement à comprendre l'importance de l'étude des matières colorantes qu'on rencontre toutes formées, mais encore à demander qu'on poursuive la préparation de toutes les matières qui décèlent une couleur. Il y a quelques fruits à récolter actuellement partout où se produit une matière colorée, et les difficultés chimiques non plus que la rareté des substances ne peuvent être des obstacles. La murexide et l'aniline, qui ne se voyaient, il y a moins de trois ans, que dans des tubes scellés, comme spécimen de collections, sont des conquêtes industrielles aussi bien sous le rapport de la production sur une grande échelle que sous celui de l'application et de la transformation d'un principe en une matière des plus utiles. Les alcalis organiques doivent étendre considérablement l'avenir de la teinture. Le problème à résoudre ne se place certainement pas sous des auspices plus défavorables que ne l'était celui de la murexide. A côté de l'aniline, un nombre imposant de bases s'offre aux études du chimiste. Nous citerons les alcalis de l'opium, la morphine et la codéine qui produisent du rouge, la narcotine qui donne du vert avec l'acide sulfurique, la nitroméconine qui se colore en rouge avec les alcalis. La strychnine donne du violet; la dissolution nitrique de la brucine est ramenée par le protochlorure d'étain du rouge au violet; la théobromine oxydée colore l'épiderme en rouge et la magnésie en bleu foncé. La sanguinarine se colore en rouge dans les atmosphères acides; la nitronaphtylamine est un alcali rouge-carmin. Les dérivés nitriques de la caféine fournissent un homologue de l'acide urique, l'acide amalique qui se colore en violet sous l'influence des alcalis, et teint l'épiderme en rose très-pur. Enfin la quinine avec l'ammoniaque et de l'eau chlorée fournit une couleur verte, du violet, du rouge, à mesure que le chlore augmente. Les dérivés chlorés des amides quinoniques de Laurent, la quinone et l'hydroquinone seront aussi plus tard utilement employés. Il est vrai que plusieurs des colorations que nous venons d'indiquer sont passagères, d'autres n'existent que dans des véhicules à l'action desquels ne résistent pas les fibres textiles; mais nous verrons plus loin que les méthodes qui permettent de rendre solides les couleurs tirées de l'orseille ne sont plus un secret pour personne; on a rencontré dans l'application de la murexide, de l'acide sulfindigotique, de l'acide sulfopurpurique les mêmes difficultés inhérentes aux obstacles créés par les véhicules; elles ont été surmontées ou tournées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec habileté. La première entrave viendrait d'abord des prix de la matière; mais à l'origine on n'exigera certainement pas la même pureté que pour les produits que réclame la pharmacie, et les siècles ou mieux les années futures exigeront seules des produits mieux purifiés; l'époque présente recevra des substances tinctoriales complexes desquelles on retirera des produits plus purs, mais qui prendront place dans les arts au même titre que certains extraits, que l'indigo, que le rocou, etc.

Quoi qu'il en soit de l'avenir de la science chimique, lorsqu'on la considère dans son aptitude à la découverte ou à la préparation des couleurs végétales, nous ne pouvons plus actuellement, comme on le faisait autrefois, assimiler une substance tinctoriale à de simples mélanges d'un principe immédiat coloré plus ou moins souillé de matières étrangères. Toutes les expériences exécutées jusqu'à présent tendent au contraire à démontrer une composition généralement beaucoup plus complexe. On peut y rencontrer :

1° Le principe immédiat incolore, ou diversement coloré, générateur du principe utile et coloré (principe colorable) (lécanorine dans les lichens);

2° Le principe colorable (orcine, dans les mêmes matières);

3° Le principe coloré plus ou moins propre à la teinture (orcéine dans l'orseille);

4° Le principe coloré plus ou moins altéré, plus ou moins détruit par suite d'une oxydation, d'une fermentation, d'une hérémacausie plus ou moins prolongée.

Il est évident que le mélange de ces divers principes est essentiellement varié dans les différentes matières employées en teinture; les propriétés caractéristiques de quelques-unes d'entre elles les protégent d'une manière plus ou moins efficace contre toute chance d'altération; l'indigotéine, par exemple, insoluble dans l'eau comme dans les véhicules les plus énergiques, ne passera pas à l'état d'indigo détruit aussi facilement que l'indigo blanc qui se dissout à la faveur d'un alcali et qui peut alors subir la fermentation putride; sous l'une ou l'autre de ces deux formes, il sera toujours moins impressionnable que d'autres matières entièrement solubles dans l'eau. Au reste, il n'est pas toujours également facile d'isoler les substances génératrices du principe colorable, le principe colorable, le principe coloré lui-même et les produits de l'altération de ce dernier; si l'on a pu suivre dans certains lichens, par exemple, la transformation successive de la lécanorine en orcine, et celle de l'orcine en orcéine, rien d'analogue ne s'est offert aux yeux des chimistes qui ont fait des produits de la garance l'objet de leurs études. Dans quelques cas, au contraire, c'est le principe générateur de la matière colorable qui manque; il n'est possible de suivre que la formation de la matière colorée et les produits de son altération. L'indigo blanc se transforme facilement en indigotéine, et bien que les produits de sa destruction ne soient pas connus au point de les formuler ou d'en déduire la composition d'après celle de l'indigo, rien n'est plus simple de prouver, d'après les comptes de fabrication, qu'il existe des produits altérés dans les bains épuisés ou mis hors de service par une fermentation mal conduite.

Quel est le but du teinturier mis en présence d'une matière tinctoriale quelconque? Lorsqu'il existe un principe générateur de la couleur, en opérer la transformation, et si la matière colorable existe toute formée, déterminer les réactions capables de donner naissance au composé coloré. Enfin, lorsque cette dernière s'est produite, l'extraire pour la débarrasser autant que possible des substances étrangères qui souilleraient son éclat, ou détruiraient sa solidité. Dans un grand nombre de cas, une simple décoction, un extrait concentré, un extrait solide sont plus que suffisants pour contenir le principe coloré sous une forme convenable pour la pratique. Dans d'autres cas, au contraire, il faut avoir recours à des voies détournées dont le choix repose sur une étude approfondie des propriétés caractéristiques de la matière tinctoriale, considérée comme une sorte de minerai complexe, et qui dépend de la nature des principes colorés appréciés à leur plus grand état de pureté.

Il est assez remarquable que les couleurs qu'on a pu jusqu'à présent extraire des diverses substances tinctoriales se soient rapportées aux trois couleurs simples, rouge, bleu et jaune. Les autres couleurs ne sont que des mélanges; par exemple, le rouge orangé est un mélange de rouge et de jaune, le violet un mélange de bleu et de rouge; le vert est formé de jaune et de bleu.

Quelques exceptions à cette règle peuvent néanmoins être citées, surtout parmi certaines couleurs violettes qu'on n'a pas encore décomposées de manière à séparer le principe bleu de la substance rouge. Je veux parler de la couleur dite orseille qu'on retire avec un éclat sans pareil des lichens traités par l'ammoniaque et l'eau. Nous citerons encore l'indisine ou violet d'aniline. Quant aux verts, on est plus avancé. On a pensé tout d'abord que la couleur désignée sous le nom de *lo-kao* et qui s'extrait des nerpruns de Chine, devait être verte et formée de toutes pièces. On l'a dédoublée. La chlorophylle elle-même, qu'on a regardée si longtemps comme un principe unique, s'est transformée de la manière la plus nette entre les mains habiles de M. Frémy en deux nuances élémentaires, l'une jaune, la *phylloxanthine*, l'autre bleue, la *phyllocyanine*.

Tous les autres tons ne sont que les mélanges variés en proportions différentes de rouge, de jaune et de bleu. M. Chevreul a démontré, par exemple (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIX, p. 243), que les feuilles du hêtre, de l'épine-vinette, du noisetier pourpre renferment des parties vertes et des parties rouges en proportions variables, qui conduisent aux nuances brunes variées que ces feuilles présentent aux diverses époques de leur végétation; que la giroflée brune des jardins doit sa couleur au mélange de parties jaunes et de parties violettes; qu'il en est de même des fleurs d'iris, d'oreille d'ours, etc., enfin (*Comptes rendus*, t. XLV, p. 397), que les bords bruns des feuilles de *geranium zonale* étaient colorés par un mélange de parties vertes imbibées par un liquide rouge ou violet qui remplit les cellules juxtaposées aux parties vertes : l'alcool permet de les séparer.

Extraction des principes colorants.—Les progrès de la chimie ont conduit facilement le teinturier à faire usage des matières colorées, ramenées par des traitements convenables au plus grand état de pureté. Le tableau que nous avons déjà présenté nous démontre que généralement on a séparé des matières tinctoriales des principes colorables et colorés. Nous ne saurions admettre cependant en principe avec M. Preisser que toujours existent simultanément un principe incolore colorable duquel dérive la matière utile, quelle que soit sa nuance, et le principe coloré lui-même. Ce qui est vrai pour quelques cas ne l'est pas pour tous, au moins dans l'état actuel de nos connaissances; il est plus général de voir une même substance tinctoriale contenir deux ou trois principes différents et différemment colorés; et la science est parvenue sans trop de peine à les isoler en mettant à contribution deux méthodes qui reposent, l'une sur la solubilité des matières, et l'autre sur leur insolubilité dans l'eau.

Pour séparer les principes colorés ou colorables, on fait usage de méthodes variées suivant la nature des substances qu'on veut isoler, suivant qu'elles sont ou non solubles dans l'eau ou dans tout autre véhicule.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Matières peu solubles.—Après avoir divisé la matière tinctoriale, on la traite par l'alcool jusqu'à ce que ce véhicule n'enlève plus aucune partie soluble. Une portion de la matière colorante se dépose par refroidissement; le reste est soumis à une distillation qui permet de recueillir l'alcool et de séparer un résidu chargé de sucre et de matière grasse qu'on éloigne par des lavages successifs à l'éther et à l'eau chaude. Le principe colorant n'apparaît d'ailleurs avec ses caractères propres que lorsqu'on l'a fait cristalliser plusieurs fois dans l'alcool et qu'on l'a sublimé, s'il supporte sans s'altérer l'action de la chaleur. On peut commencer par épuiser la matière par l'éther et l'eau avant de la traiter par l'alcool. Cette méthode permet de substituer l'esprit de bois, l'acétone, l'acide acétique ou l'acide chlorhydrique à l'esprit-de-vin. Si l'on fait usage d'acide, il faut ne l'employer qu'à l'état de concentration convenable pour ne pas détruire le principe qu'on cherche à séparer.

Matières solubles. — Lorsque le principe qu'on veut isoler est soluble dans l'eau, le procédé le plus simple consiste à traiter par l'eau froide ou tiède les matières tinctoriales convenablement broyées et à plonger dans la liqueur conservée dans des vases bouchés une peau verte gonflée pour absorber le tanin que renferment généralement les infusions aqueuses. La liqueur débarrassée de la matière astringente est précipitée par l'acétate de plomb basique ou le protochlorure d'étain qui se combinent avec la matière colorante. Le précipité lavé doit ensuite être traité par l'hydrogène sulfuré qui forme du sulfure métallique, tandis que la matière colorante est dissoute avec ou sans modification par l'excès d'acide; on la retire par concentration, évaporation dans le vide ou à l'air libre, suivant les propriétés de la substance.

Lorsque la matière résiste à l'action de l'acide sulfurique concentré, il est assez rationnel de traiter la matière tinctoriale par un mélange de quatre volumes d'acide sulfurique concentré et un volume d'alcool; on comprime le magma résultant de la réaction pour en extraire un liquide qui se trouble par l'addition de l'eau en déposant la matière colorée, peu ou point soluble dans ce véhicule acidulé On purifie la matière ainsi préparée par des cristallisations et sublimations répétées. En traitant de la sorte l'indigo, la garance, le quercitron, la gaude, le kermès, la cochenille, on isole une matière colorante, l'acide sulfindigotique, l'alizarine, la lutéoline, la carmine.

Toutes ces méthodes ont pour but d'isoler la matière colorante pour la soumettre aux études du chimiste, lorsqu'il désire en connaître les diverses propriétés. Mais quand on n'a que peu de matières colorantes on procède par voie de teinture, on arrive de la sorte à faire ressortir les différences que présentent entre eux les divers principes colorants; on soumet aux principaux réactifs des échantillons d'étoffes de laine ou de soie teints avec les matières qu'on veut définir. Cette méthode est surtout précieuse pour l'étude des matières qui se fixent directement sans intermédiaire; elle donne des résultats précis dans tous les cas, quand on tient compte des réactions dues à la fibre, aux matières qu'elle contient, aux substances qui ont servi d'intermédiaire pour donner la teinture.

Extraits aqueux. — Nous ne croyons pas devoir insister sur ce point que ces méthodes, applicables avec fruit, pour permettre d'isoler dans les laboratoires les substances tinctoriales qu'on veut soumettre à l'étude en définissant aussi complétement que possible leurs éléments constitutifs, ne pourraient être, aujourd'hui du moins, du domaine de l'industrie. Un jour viendra où des méthodes, même coûteuses maintenant, prendront rang dans les fabriques. Mais on se borne généralement pour beaucoup de celles dont le principe est soluble dans l'eau à les traiter par ce véhicule. On concentre ainsi, dans un liquide peu considérable, le principe utile de ces matières tinctoriales; les bois de teinture principalement sont ainsi débarrassés d'une grande quantité de substances sans valeur. Depuis longtemps on prépare à Paris et dans les environs des *extraits* que le commerce accepte comme un progrès très-sérieux, quoique la décoction ne contienne pas encore les principes à l'état de pureté : la teinture et surtout l'impression ont le droit d'exiger davantage.

Nous pourrons abréger ici ce que nous aurions à dire de la préparation des extraits parce que le premier volume de cet ouvrage a donné sous le titre EXTRAIT des renseignements circonstanciés et précis. Nous aurons à présenter seulement quelques observations en ce qui regarde surtout leur application et les avantages qu'on en peut tirer.

Ainsi qu'on le sait, la préparation des extraits comprend trois opérations distinctes.

On commence par réduire les bois, les écorces, les racines, les graines à l'état de poudre assez ténue pour que ces matériaux puissent abandonner facilement à l'eau les substances solubles dont ils sont chargés; les bois sont avec les écorces les matières premières auxquelles il est indispensable de faire subir cette division; elle se fait à la main ou par des moyens mécaniques; la première méthode, trop coûteuse, est abandonnée presque partout, surtout pour des fabrications quelque peu considérables.

On procède ensuite à l'épuisement de la matière réduite en copeaux ou plus finement broyée, s'il y a lieu. On emploie la décoction dans l'eau bouillante; on aurait une grande économie à faire des lavages méthodiques à chaud en faisant en sorte que le bois neuf soit traité d'abord par une solution presque saturée, tandis que, au contraire, le bois épuisé se trouverait en contact avec de l'eau pure, pour enlever les dernières traces de matières colorantes. Cette installation, presque impossible pour les teinturiers qui préparent eux-mêmes leur décoction, devient, au contraire, très-praticable dans les établissements qui fabriquent des extraits; ainsi comprise, cette disposition systématique présenterait de sérieux avantages.

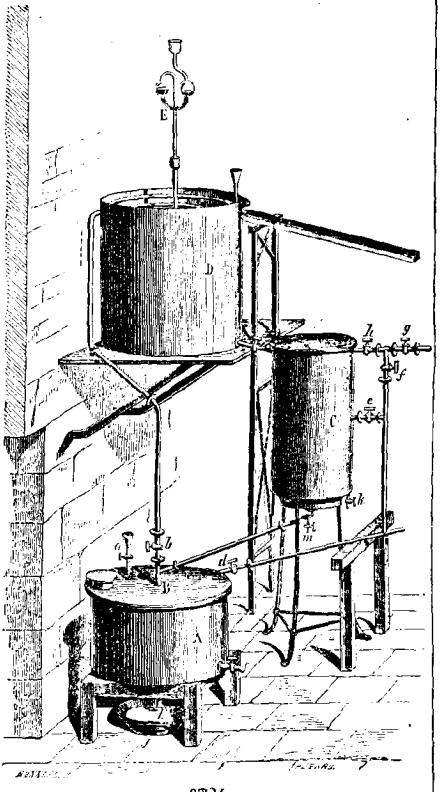
Dans une fabrique des environs de Paris, cinq générateurs, d'une force de 150 chevaux, alimentent une machine, d'une force de 40 chevaux, qui met en mouvement deux varlopes circulaires; les copeaux sont placés dans des tonneaux rangés en batteries sur des chantiers exhaussés. Les quatre batteries contiennent 300 tonneaux; chaque tonneau reçoit à volonté des jets de la vapeur qui traverse les copeaux, échauffe la masse et se condense en partie sur le bois, en partie aussi sur une capsule plate en cuivre qui fait fonction de couvercle. Un robinet placé dans la partie inférieure permet d'écouler le liquide chargé de matière colorante : on le verse après un repos suffisamment prolongé dans la capsule, où la concentration s'effectue sous l'influence de la chaleur et de l'évaporation à l'air libre.

La concentration termine la fabrication des extraits; elle s'effectue dans des chaudières chauffées à la vapeur. Les extraits concentrés à 30° Baumé sont transvasés dans des pipes placées debout sur des chantiers, dans une pièce isolée servant de rafraîchissoir où ils se déposent; on soutire les liquides froids pour les verser dans des barils bien joints et solidement cerclés; ils sont généralement expédiés dans cet état. Parfois on concentre davantage; on obtient ainsi des extraits durs qui se prennent en masse; mais, au moins pour quelques matières, l'augmentation de la dépense conduit à des produits inférieurs, et, dans ce cas, il n'y a profit ni pour le fabricant ni pour le consommateur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les copeaux épuisés servent à l'alimentation des foyers des générateurs de vapeur : les dépôts qu'on tire des pipes de décantation se vendent aux teinturiers de *petit teint*, principalement pour la teinture du coton ; on en jette aussi quelquefois dans les chaudières pour éviter les inconvénients des incrustations dues aux sels calcaires.

La préparation des extraits contribue sans doute à la formation d'une substance résineuse qui n'est pas sans rendre difficile l'emploi de ces matières; elle est retenue dans le liquide avec d'autant plus de facilité que ces extraits sont plus concentrés. A partir de 8 degrés Baumé, les décoctions deviennent des véhicules de plus en plus énergiques qui ne laissent déposer cette résine qu'avec la plus grande lenteur, si la concentration, au delà de cette limite, s'est effectuée sans que le dépôt ait eu le temps de se faire complétement. Il est



3724.

vrai qu'on se débarrasse par un encollage au moyen de la gélatine de cette matière étrangère, mais on perd évidemment une portion des matières utiles qu'on a concentrées. On passe sur cette perte parce que les couleurs qu'on en obtient sont incomparablement beaucoup plus pures. Concentrées de nouveau, ces décoctions redeviennent précipitables par la gélatine. On ignore si la résine ne se forme pas aux dépens de la matière colorante et les circonstances dans lesquelles cette transformation est possible. Des recherches dirigées dans le but de répondre à cette double question auraient une grande utilité; elles contribueraient évidemment à fixer l'opinion sur le rôle des agents destructeurs des principes colorés et sur le mode de leurs transformations.

Extraits alcooliques. — On obtient une plus grande pureté dans les extraits alcooliques toutes les fois que la matière colorante est soluble dans l'alcool. Comme ces préparations se répandent de plus en plus, nous croyons utile de faire connaître ici l'appareil proposé par M. Kopp, applicable au traitement des substances tinctoriales, ou par l'alcool ou par l'esprit de bois.

A (fig. 3724) représente une caisse pour recevoir la vapeur d'eau; B est le récipient dans lequel se rassemble la matière colorante extraite par l'alcool ; C un cylindre dans lequel on place la matière tinctoriale ; il contient à l'intérieur un cylindre I qui reçoit la matière enveloppée dans une toile métallique H pour être retirée avec plus de facilité; D est un condenseur à eau froide ; E un tube surmonté d'un appareil à boules renfermant un peu de mercure pour laisser dégager et rentrer un peu d'air, et au besoin dégager un excès de vapeur.

Pour opérer l'extraction, on remplit avec soin et en tassant le plus également possible le cylindre métallique de la matière qu'on veut traiter, et qu'on a réduite en fragments assez petits ; quand le cylindre est bien rempli et mis en place (fig. 3725), on étale à sa surface et bien horizontalement une étoffe de laine qu'on recouvre ensuite d'une plaque de tôle percée de trous; on dispose enfin une rigole qui conduit l'alcool deversé par le robinet *i* vers l'axe central, pour se répandre de là, uniformément, dans toutes les parties du cylindre. Ces précautions sont nécessaires pour obtenir une extraction régulière. Tous les robinets étant fermés, on verse de l'alcool ou de l'esprit de bois dans le grand cylindre, jusqu'à ce que la masse qu'il renferme soit complétement imbibée et que le liquide commence à couler dans le récipient B. On ferme alors bien exactement le cylindre C au moyen du couvercle G, et on ouvre les robinets *d* et *i*; la vapeur d'un générateur arrive dans le cylindre A, porte bientôt l'alcool du vase B à l'ébullition ; la vapeur de l'alcool ne peut s'échapper par *b*; elle se rend en C, et tout en opérant l'extraction de la matière colorante, elle en élève la température.

Dès qu'on sent que le robinet *i* s'échauffe, on ouvre le robinet *b*, la vapeur s'y rend et vient se condenser dans le serpentin D, et s'écoule par le robinet *i* pour retomber sur les matières qu'on veut épuiser dans le cylindre H, et dissoudre la substance colorante; l'extrait se rend dans le récipient B, l'alcool s'en dégage pour coopérer à de nouvelles dissolutions.

Il est très-utile d'établir la communication entre B et C, au moins sur une petite longueur, par un tube de verre qui permet de reconnaître l'époque à laquelle la dissolution alcoolique cesse d'être colorée ; à défaut d'un tube de verre, on utilise le petit robinet *m* au moyen duquel on peut examiner à tout instant la nature du liquide qui se rend en B. Quand on juge que l'extraction est complète, on ferme le robinet de vapeur *d*, et en ouvrant *a* et *c* on laisse écouler l'eau de condensation et la vapeur non condensée ; afin d'évacuer l'eau qui peut s'accumuler dans le cylindre A, le robinet *c* doit être ouvert de temps en temps pendant la marche de l'appareil (fig. 3724).

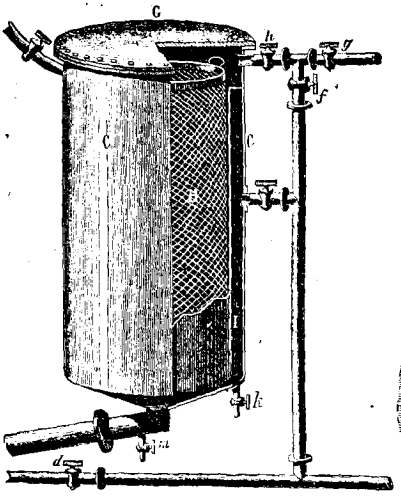
Si pendant l'opération on voulait entretenir une température assez élevée dans le cylindre C pour faciliter la dissolution de la matière colorante, on ouvre de temps en temps un robinet *e* qui admet la vapeur dans l'enveloppe des deux cylindres intérieurs, et le robinet *k* qui rejette l'eau de condensation accumulée dans cette enveloppe.

Quand on a laissé refroidir l'extrait alcoolique con-

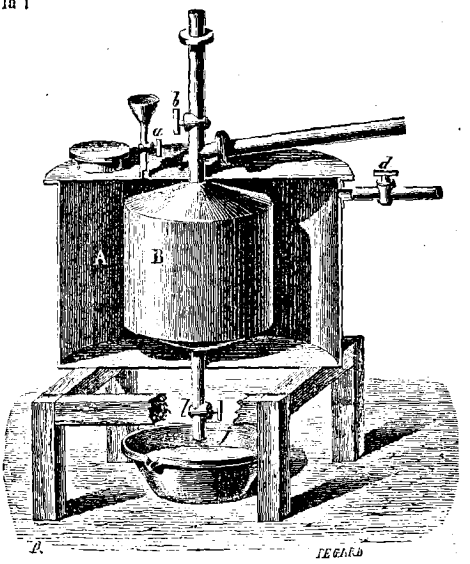
EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

tenu dans B, on ouvre le robinet *l* et l'on reçoit la teinture dans un vase approprié *j*. Si le liquide n'est pas trop visqueux à froid, on refroidit, en introduisant de l'eau dans la caisse A par le robinet *a* ; dans le cas contraire, on laisse l'extrait s'écouler pendant qu'il est encore chaud. La fig. 3726 indique les détails de la caisse A et du récipient B.



3725.



3726.

Il reste à recueillir encore l'alcool ou l'esprit de bois qui mouille toujours la matière après son épuisement ; on se sert à cet effet du récipient B comme condensateur ; on ouvre les robinets *e* et *k* après avoir fermé les robinets *b* et *i* ; l'alcool contenu dans le cylindre H se réduit en vapeur et se condense en B, en dissolvant la matière adhérente aux parois, et trop visqueuse pour s'être entièrement écoulée ; on enlève la teinture faible par le robinet *l*. On peut les ajouter à l'extrait ou s'en servir comme alcool pur dans l'opération suivante.

Pour ne pas perdre la vapeur d'alcool que contient encore le cylindre I, on peut ouvrir les robinets *f* et *h* pour faire pénétrer la vapeur d'eau qui dissout l'alcool, de sorte qu'il se condense dans le récipient B un mélange d'alcool et d'eau ; en ouvrant le robinet *l* on écoule cet alcool faible, qui peut en outre contenir les principes solubles à l'eau abandonnés par la matière épuisée.

Lorsqu'on veut rejeter la substance inutile à l'état sec, on laisse fermé le robinet *f*, on ouvre les robinets *h* et *g*, et par un aspirateur ou par un soufflet on force de l'air dans le récipient I. On condense encore une certaine quantité d'alcool. Par la première méthode, la perte en alcool est à peu près insignifiante.

On ouvre alors le cylindre C ; on retire le cylindre en toile métallique H ; on rejette le résidu qu'on remplace par de nouvelle matière ; le récipient B est généralement convenablement nettoyé en faisant l'office de condensateur.

Extraction par voie de teinture.—Nous avons indiqué que les étoffes teintes au moyen d'une substance donnée offraient une méthode rapide et précise pour déterminer les caractères chimiques du principe qui est la cause de la coloration. Cette méthode repose sur l'affinité du tissu pour la matière colorante, affinité suffisante pour enlever au bain de teinture la substance colorée qu'il tient en dissolution.

La pratique a quelquefois recours à des opérations de ce genre pour préparer des bains d'une plus grande pureté : la teinture des soies nous offre l'exemple de l'emploi de tissus de coton et de laine pour dépouiller certaines matières colorantes de principes étrangers qui se fixeraient simultanément sur la soie dont ils altéreraient la vivacité.

C'est ainsi que pour enlever complétement le principe jaune que contient la carthamine, on commence par teindre des écheveaux de coton qu'on traite ensuite par un bain alcalin pour les décolorer : la matière qui est déposée sur le coton est plus pure que celle que le bain de teinture aurait fournie directement.

C'est ainsi que pour teindre la soie par l'acide sulfo-indigotique, on commence quelquefois par teindre des étoffes de laine ; ces laines teintes sont décolorées dans des bains qui servent ensuite à passer les soies qu'on veut colorer en bleu tendre.

Dans ces deux cas, les teintures intermédiaires, sur coton et sur laine, sont essorées, rincées, essorées de nouveau, comme s'il s'agissait de pièces propres à livrer. Il est convenable de se servir des mêmes tissus autant de fois qu'on le peut, et de ne les rejeter que lorsque ces teintures et décolorations répétées les ont mis hors d'usage.

On comprend que cette méthode nécessitant quelques dépenses de main-d'œuvre s'applique surtout à la teinture des soies qui peuvent supporter des frais plus considérables que la laine et le coton.

Essai des matières colorantes. — Quel que soit l'état sous lequel se présentent au fabricant les substances tinctoriales dont il fait usage, il est pour lui de la dernière urgence d'en poursuivre la vérification, tant pour reconnaître les fraudes auxquelles le fournisseur n'a pas craint d'avoir recours afin d'augmenter ses bénéfices, que pour reconnaître la perte que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'un ou l'autre doit subir en raison des altérations que le temps ou les circonstances dans lesquelles les matières tinctoriales ont été placées ont fait éprouver à celles-ci. La science offre au consommateur diverses méthodes précieuses pour reconnaître le degré de pureté des matériaux qu'il met en œuvre et la richesse comparative des éléments dont il a fait acquisition : d'après les unes, on évalue par un procédé physique ou chimique la valeur réelle de la matière colorante contenue dans une substance donnée; d'après les autres, au contraire, on se livre à des essais pratiques exécutés sur une petite échelle, qui décèlent la quantité de la matière vendue, son éclat, sa richesse et sa solidité.

Principe du colorimètre. — Il est évident que deux substances tinctoriales de même espèce, mais inégalement chargées de principe colorant, donnent, employées à poids égal avec des volumes égaux de dissolvants, des colorations d'intensités proportionnelles à la quantité de matière colorante qu'elles renferment. Pour apprécier la différence qui existe dans l'intensité de deux liqueurs colorées, M. H. Labillardière introduit les liqueurs dans des tubes gradués sur la même échelle, il les place dans une boîte disposée convenablement, il étend d'eau la plus forte jusqu'à ce qu'elle soit ramenée au ton de la plus faible; il détermine ainsi le rapport qui lie les deux matières colorantes en essai.

Voici textuellement, d'après M. Labillardière, la description de l'appareil et la manière de s'en servir.

« Le colorimètre se compose de deux tubes de verre bien cylindriques, de 14 à 15 millimètres de diamètre, et de 33 centimètres de longueur environ, bouchés à leur extrémité, égaux en diamètres et en épaisseur de verre, divisés dans les cinq sixièmes de leur longueur, à partir de leur extrémité bouchée, en deux parties égales en capacité, et la seconde portant une échelle ascendante divisée en 100 parties; ces deux tubes se placent dans une petite boîte de bois par deux ouvertures pratiquées l'une à côté de l'autre à la partie supérieure, et près d'une des extrémités à laquelle se trouvent deux ouvertures carrées du diamètre des tubes, pratiquées en regard de leur partie inférieure, tandis qu'à l'autre extrémité se trouve un trou circulaire par lequel on peut voir la partie inférieure des tubes en plaçant la boîte entre son œil et la lumière, et juger très-facilement par cette disposition la différence ou l'identité de nuance de deux liquides colorés introduits dans les tubes.

« Après avoir traité ou dissous comparativement dans l'eau ou toute autre liqueur convenable, on n'introduit de ces dissolutions dans les tubes du colorimètre que jusqu'au 0 de l'échelle supérieure; on les place ensuite dans la boîte par les deux ouvertures pratiquées à cet effet, et après avoir comparé leur nuance, si l'on trouve une différence, on ajoute de l'eau à la plus foncée, et si l'on agite ensuite le tube après avoir bouché l'ouverture avec le doigt, si après cette addition d'eau on remarque encore une différence, on continue d'en ajouter jusqu'à ce que les tubes paraissent de la même nuance. On lit ensuite sur le tube dans lequel on ajoute l'eau le nombre des parties de liqueur qu'il contient. Ce nombre, comparé au volume de la liqueur contenue dans l'autre tube (100), indique le rapport entre le pouvoir colorant, ou la quantité relative des deux matières tinctoriales, et si, par exemple, il faut ajouter à la liqueur la plus intense 25 parties d'eau pour l'amener à la même nuance que l'autre, le rapport en volume des liqueurs contenues sera dans ce cas comme 125 : 100, et la qualité des matières colorantes relative sera représentée par le même rapport puisque la quotité de ces matières est proportionnelle à leur pouvoir colorant. »

Cette méthode exige certaines précautions, suivant la nature de la coloration du liquide rouge, jaune ou bleu; le grand reproche qu'on peut lui faire, c'est d'exiger que les matières mises en expérience soient dans un même état et d'une grande pureté. Quelques exemples vont en fournir la preuve; évidemment ce procédé ne peut accuser les différences *réelles* présentées par des mélanges de principes colorés différents; on sait que certaines colorations d'intensité considérable se détruisent par un simple phénomène physique lorsqu'on les mélange. On serait exposé sans contredit à ne pas croire chargée de cobalt une liqueur qui pourrait en contenir beaucoup si l'oxyde de nickel s'y trouvait simultanément mêlé dans des proportions déterminées. On sait que c'est sur ce même principe que repose la décoloration des verres à vitres par l'oxyde de manganèse; le verre naturellement coloré par l'oxyde de fer en vert clair perd cette nuance si l'on introduit une coloration rose par une addition d'oxyde de manganèse.

Procédés chimiques. — Les procédés chimiques qui peuvent remplacer avantageusement la méthode du colorimètre offrent une plus grande exactitude que ce dernier moyen d'essai. Les uns sont directs, les autres indirects.

Les moyens directs reposent sur l'emploi de méthodes qui ressemblent à celles qu'on suivrait pour préparer à l'état de pureté les matières utiles. Suivant les caractères de la matière, on la fait dissoudre dans un véhicule convenable (eau, alcool, éther, acide acétique, suivant les cas); on filtre, puis on évapore pour peser le résidu qu'on regarde comme proportionnel à la valeur réelle de la substance tinctoriale brute ou purifiée; ou bien on fait une décoction de la matière en essai; on traite la dissolution limpide par un sel de plomb ou d'étain qu'on lave et qu'on pèse pour le brûler, afin de tenir compte, par le poids des oxydes de plomb ou d'étain qui restent, de la quantité de la matière organique disparue. Cette dernière est regardée comme proportionnelle à la richesse de la matière en expérience.

Ces méthodes, disons-le, ne sont pas rigoureuses; la première détermination est inexacte, car il peut y avoir altération du produit coloré; d'ailleurs on dissout avec la matière colorante le sucre, la gomme, les matières grasses qui lui sont associées; la seconde, erronée de même, ne peut donner que des indications approximatives; car le tanin, les phosphates, silicates, etc., et d'autres matières étrangères, sont précipités comme les substances qu'on veut doser par les sels d'étain et de plomb. Nous ferons le même reproche à la méthode qui consiste à traiter par un véhicule convenable jusqu'à complet épuisement un poids égal de chacune des matières à titrer, et à comparer les poids des résidus desséchés au même point, à 100° par exemple, dans une étuve de Gay-Lussac. On commet ici l'erreur de regarder comme matière colorante toutes les parties solubles qui sont associées à cette dernière.

Les moyens indirects reposent sur deux principes différents :

a. On fait une dissolution de la matière contenue dans un poids convenu de substance; on la décolore par une liqueur titrée de chlore ou de chlorure de chaux. Connaissant le volume de chlore nécessaire pour décolorer complétement une dissolution connue de la matière colorante pure, on apprécie la richesse de l'échantillon soumis à l'essai.

b. On incinère un poids déterminé de la substance dont on veut apprécier la valeur; on compare le poids du résidu au poids que donne la matière normale. On suppose que les végétaux venus dans un même terrain, ou que les insectes provenant d'une source identique doivent laisser une même quantité de cendres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On objecte à ces deux procédés, pour le premier qu'il ne permet pas de déterminer exactement la nature des mélanges de deux matières colorantes différentes de puissance variée ; et pour le second, que, pris isolément, s'il peut donner des indications utiles, il ne peut être d'un secours absolu.

Procédés pratiques. — De tous les moyens employés pour reconnaître la valeur réelle des substances tinctoriales ou les fraudes par lesquelles elles ont été modifiées, celui qui fournit les plus utiles renseignements est, sans conteste, celui qui, plaçant l'industriel dans les conditions de l'emploi qu'il veut faire, lui permet de déterminer de suite la valeur réelle de la matière qu'il étudie. Non-seulement on peut juger de la qualité d'une garance donnée par la vue des nuances qu'on en peut obtenir, mais il est encore facile avec un peu d'habitude de déterminer sa valeur tinctoriale, en opérant avec des poids déterminés la teinture de surfaces convenues et comparant la vivacité, la richesse, l'éclat des nuances avec celles produites au moyen de garances normales employées sous des poids variés. On établit ainsi des types auxquels on rapporte les essais. Nous aurons occasion de revenir sur ce sujet en parlant plus loin des garances du commerce.

§ VIII. Des substances tinctoriales et des principes colorables ou colorés qu'elles contiennent.

Quel ordre suivrons-nous pour l'étude de ces diverses matières? Les rangerons-nous par groupes naturels, présentant de l'analogie dans leur manière d'être soit au point de vue de leur composition chimique, soit au point de vue de leur origine? Les classerons-nous par couleurs, c'est-à-dire d'après les nuances que ces principes fournissent dans leur application à l'art de la teinture? La première méthode conviendrait mieux assurément dans des leçons de chimie pure; la seconde nous semble préférable dans un article sur la teinture, et c'est celle que nous adopterons. Toutefois, nous devons dire que ce travail ne comporterait pas, sans des développements trop considérables, l'étude complète de chacun des principes colorants que nous avons mentionnés. Il ne rentre pas dans le cadre que nous nous sommes tracé de faire un travail *ex professo*, ni de rien répéter de ce qui se trouve déjà décrit dans ce Dictionnaire au titre spécial des diverses matières tinctoriales antérieurement traitées. Nous croyons devoir nous borner à renvoyer le lecteur aux articles GARANCE, INDIGO, etc., déjà publiés. Nous n'aurons à développer que les points nouveaux ou les faits que l'industrie a cru pouvoir enregistrer depuis l'époque à laquelle a paru le deuxième tirage du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* (1855). On a d'ailleurs fait, dans ces dernières années, des conquêtes importantes, comme on pourra le voir par l'exposé que nous allons présenter.

Classification de M. Chevreul.

La méthode que nous allons suivre à l'effet de classer les couleurs repose sur les procédés mis en relief par M. Chevreul pour nommer et définir les couleurs. D'après M. Chevreul, toutes les couleurs se suivent dans un ordre circulaire rouge, violet, bleu, vert, jaune-orangé. Ce serait ici le lieu de placer une analyse étendue de la construction hémisphérique de M. Chevreul; mais comme elle est présentée dans ce Dictionnaire, CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS, nous nous bornerons, en renvoyant le lecteur à cet article, à donner ici quelques détails qui font comprendre comment on a pu passer de la construction hémisphérique aux tables chromatiques dont la pratique est facile à saisir.

Couleurs pures. — On sait que toute couleur est *simple* ou *composée*, *franche* ou *éteinte*, c'est-à-dire *pure* ou *rompue*, comme on le dit en peinture ; *vive* ou *rabattue*, comme on le dit en teinture. Comment M. Chevreul propose-t-il de comparer et de définir les couleurs et leurs modifications? On suppose un cercle : on le partage en trois parties égales par trois rayons; à l'extrémité de l'un quelconque de ces trois rayons, on écrit *rouge;* à l'extrémité du rayon de droite, on écrit *jaune;* à l'extrémité de celui de gauche, on écrit *bleu*. On partage de nouveau chacun des intervalles ainsi formés par de nouveaux rayons qui se nomment *orangé*, entre le rouge et le jaune ; *vert*, entre le jaune et le bleu ; *violet*, entre le rouge et le bleu. En partageant encore en deux chacun des six espaces formés, on obtient le *rouge-orangé*, l'*orangé-jaune*, le *jaune-vert*, le *vert-bleu*, le *bleu-violet* et le *violet-rouge*. On divise alors chacun des intervalles cités en six parties égales en remplissant par exemple la première à partir du rayon sécant rouge avec du rouge, les cinq autres par des mélanges convenablement composés de rouge et de jaune pour permettre le passage insensible et toujours par équidistances d'une couleur à sa voisine; les cinq espaces en question prennent les noms de premier rouge, deuxième rouge, troisième rouge, quatrième rouge, cinquième rouge; on continue de la même manière pour toutes les autres couleurs.

Le cercle primitif se trouve donc remplacé par un nouveau cercle formé de soixante-douze parties angulaires égales, ayant toutes leur angle le plus aigu sur le centre du cercle et nommées invariablement. On conçoit que toute couleur simple ou composée, mais *pure*, c'est-à-dire sans mélange de gris, se trouvera forcément correspondre à l'un quelconque des soixante-douze types primitifs en supposant qu'elle ne soit pas comprise entre deux types consécutifs. Les nuances sont d'ailleurs assez rapprochées pour que ce cas ne se présente que rarement. On peut, au surplus, faire l'intercallation par 1/2, 1/3, 1/4, etc.

Couleurs rabattues. — Les couleurs *rabattues* sont, de même, définies au moyen de types ou de normes qui s'établissent avec la plus grande facilité. A cet effet, on suppose placé sur chacune des couleurs préparées dans le premier cercle un quart de cercle perpendiculaire au plan du premier. Supposons-le divisé par des rayons équidistants en dix parties égales ; on obtient dix espaces qu'on remplit du ton qui leur correspond modifié pour le premier par $\frac{1}{10}$ de noir, pour le second par $\frac{2}{10}$ de noir, pour le troisième par $\frac{3}{10}$ de noir et ainsi de suite jusqu'au dernier, ou $\frac{10}{10}$ de noir qui donne le *noir pur*.

Pour l'exécution pratique de la construction chromatique hémisphérique, on la réduit à dix cercles chromatiques. Le premier comprend les couleurs pures, le deuxième cercle contient les gammes rabattues par $\frac{1}{10}$ de noir ; le troisième, celles rabattues, porte $\frac{2}{10}$ de noir, etc.

Couleurs dégradées. — Toutes les couleurs pures ne sont pas également intenses, la puissance de la coloration peut être atténuée par du blanc. M. Chevreul indique la hauteur de la couleur par la distance de cette couleur au centre du cercle et voici comment : on a marqué sur l'un quelconque des rayons qui séparent les soixante-douze nuances vingt et un points également espacés, et par ces vingt et un points on fait passer vingt et une circonférences, qui divisent en vingt-deux espaces toutes les bandes angulaires correspondantes aux soixante-douze nuances. Pour remplir chacune de ces divisions, on suppose toutes les nuances dégradées de telle façon que le centre étant blanc, le premier espace est légèrement teinté, le deuxième un peu plus, le troisième encore davantage, jusqu'au vingtième qui est près du noir. Toutes ces couleurs sont encore équidistantes au point de vue de l'effet qu'elles produisent sur l'œil. La première division est marquée 0, c'est le blanc ; la dernière est le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

noir, elle est marquée 24. L'ensemble de cette dégradation se nomme *gamme;* il y en aurait donc soixante-douze dans le cercle complet. Les parties de cette gamme se nomment *tons;* le ton compris entre la première et la seconde circonférence se nomme le *premier ton;* celui composé entre la seconde et la troisième circonférence se nomme *deuxième ton*, et ainsi de suite.

On voit que cette méthode se rapproche beaucoup de celle en usage en géométrie pour déterminer la position d'un point dans l'espace, lorsqu'on la rapporte à un système de trois axes perpendiculaires entre eux.

On peut commencer indifféremment l'étude des couleurs par l'une ou l'autre nuance simple. Nous présenterons d'abord les caractères des matières tinctoriales propres à fournir le rouge, en passant aux matières bleues, puis aux matières colorantes jaunes. Nous les grouperons sans avoir égard à leur origine animale ou végétale, comme aussi sans nous astreindre à d'autre ordre que leur nuance, qu'elles se développent soit par des transformations de laboratoire, soit simplement par le traitement du bois, de l'écorce, des racines ou des fleurs des végétaux employés dans les bains de teinture.

Il semble admis en principe aujourd'hui que les noms des matières pures qui donnent leur valeur aux substances tinctoriales doivent dériver du nom de la substance elle-même qu'on termine en *ine*, lorsque le principe est colorable *(orcine)* et en *éine* lorsque la matière est colorée *(orcéine)*. Nous adopterons cette nomenclature : si leur caractère est acide on termine leur nom par *ique* (acide *carthamique*, acide *fuchsique*). Pour établir l'uniformité dans le langage, nous ne ferons que de rares exceptions en faveur des principes par trop connus pour être désignés sous de nouveaux noms.

1. Cochenille (*carméine*).

On peut recourir à l'article COCHENILLE de ce Dictionnaire pour apprendre à connaître les diverses variétés de cochenille que le commerce présente. Leur usage et la récolte de cette substance tinctoriale sont aussi suffisamment expliqués pour que nous n'y revenions pas. Nous ferons la même observation en ce qui regarde le kermès ; nous n'aurons plus qu'à décrire ici les caractères chimiques de la matière colorante qui se trouve dans ces diverses substances tinctoriales, matière que MM. Pelletier et Caventou nommaient *carmine* et à laquelle elles doivent leur emploi dans les arts. Nous la nommerons *carméine*.

Carméine.— Lorsqu'après avoir fait macérer la cochenille dans l'éther, pour la priver de quelques matières grasses qui l'accompagnent, on la traite par l'alcool à diverses reprises, il se dépose par refroidissement une matière grasse d'une très-belle couleur rouge. A ce dépôt se réunissent des cristaux qui se forment sous l'influence d'une évaporation plus prolongée. Préparée de cette manière la carméine renferme encore un peu de matière grasse ; pour l'en dépouiller complétement on la fait redissoudre dans de l'alcool à 40 degrés, puis on y ajoute un même volume d'éther ; le mélange se trouble d'abord, s'éclaircit ensuite, et la carméine pure se dépose au bout de quelques jours sous forme d'une poudre rouge qui tapisse les parois du vase.

La carméine est une poudre fusible à 40°. Très-soluble dans l'eau, insoluble dans l'éther, elle ne se dissout bien que dans l'alcool étendu. Le tanin, l'albumine et la gélatine ne troublent pas sa dissolution. Si les acides qui coagulent l'albumine semblent la précipiter, cette réaction est due à la présence des matières animales dont elle n'a pas été complétement dépouillée.

La plupart des acides font virer sa couleur au rouge vif, au rouge jaunâtre, puis au jaune, sans que la carméine soit altérée, s'ils ne sont pas concentrés. L'acide borique ne fait que la rougir, en se comportant comme une base de peu d'énergie.

La potasse, la soude et l'ammoniaque la virent au violet-cramoisi, sans l'altérer, au moins à l'abri du contact de l'air et sans le secours de la chaleur.

La baryte et la strontiane ne la précipitent pas ; la chaux forme une laque violette. L'alumine en gelée précipite toute la carméine de l'eau qui la contient. A froid, sa combinaison est d'un très-beau rouge, mais à chaud elle devient cramoisie, puis violette. La présence des alcalis maintient la couleur éclatante, tandis que quelques gouttes d'acide font virer au violet. Le protochlorure d'étain agit sur la carméine comme une base, le bichlorure comme un acide. Les sels neutres d'ammoniaque, de potasse, de soude font virer au violet ; les sursels de ces bases conduisent à l'écarlate, sans qu'il y ait de précipité dans aucun cas. Les sels de baryte, de strontiane, de chaux la font passer au violet ; le sulfate de chaux seul précipite la carméine. Le nitrate de mercure la précipite en écarlate. Le nitrate d'argent paraît être sans action sur elle.

Le chlore fait jaunir la carméine ; l'iode la décompose pareillement. Il en est de même de l'acide sulfurique concentré qui la transforme en une matière noire. L'acide chlorhydrique la modifie ; et sous l'influence de cet acide, il se forme une sorte de résine jaune, amère ; sous l'action de l'acide nitrique, la carméine se transforme en une matière cristallisée dont la composition n'est pas encore déterminée. A chaud, sous l'influence simultanée de l'oxygène et des alcalis, sa décomposition est prompte, la couleur passe du violet au rouge et du rouge au jaune.

M. Preïsser a démontré que la carméine résulte de l'altération d'un composé particulier non coloré. Pour l'obtenir, on épuise de la bonne cochenille par l'éther, puis on en fait une forte décoction dans l'eau qu'on traite par l'oxyde de plomb hydraté qui forme avec la matière colorante un précipité volumineux. Ce dépôt est traité par l'hydrogène sulfuré, et la liqueur limpide laisse déposer en refroidissement des cristaux incolores qui deviennent entièrement blancs par des lavages à l'éther et des pressions entre des doubles de papier joseph. C'est ce corps qui prendra le nom de *carmine*.

Le principe incolore duquel dérive la carméine est d'une odeur désagréable. Soluble dans l'eau et l'alcool, peu soluble dans l'éther, il se colore lentement au contact de l'air ; sa dissolution devient d'un jaune-rouge sur les bords par l'ébullition ; elle se colore et dépose par la concentration de magnifiques flocons du carmin le plus pur. Lorsqu'on la fait bouillir avec du bichromate de potasse, il se forme une liqueur rouge qui ne tarde pas à laisser un résidu formé de carmine et d'oxyde de chrome.

Le principe incolore rougit par l'action des acides, surtout par l'action de l'acide nitrique ; il y a dissolution ; les alcalis le colorent de suite en rouge-violet. L'acétate de plomb donne un précipité blanc qui devient d'un bleu foncé par suite de son exposition à l'air.

L'action de la chaleur altère la carmine sous quelque état qu'on la considère ; elle se décompose sans se volatiliser. Les produits de son altération sont ammoniacaux.

La cochenille est employée dans les arts à l'état brut ; on n'en fait pas d'autres préparations que celles du carmin qu'on confectionne pour les besoins de quelques industries.

Lorsqu'on fait des teintures communes, on remplace, comme on le sait, la cochenille par le kermès ou la lake-lake, ou bien encore la lake-dye.

2. Kermès (*carméine*).

Le kermès est le corps desséché de quelques espèces de *coccus;* les plus estimés sont le *coccus quercus*, le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coccus polonicus et *le coccus uva ursi*. Le bon kermès est rouge foncé, plein, d'une odeur agréable. Sa matière colorante a les propriétés de celle de la cochenille. Son usage a beaucoup diminué depuis la découverte de l'Amérique, c'est-à-dire depuis l'introduction du coccus cacti.

Avec le sel d'étain par le procédé employé pour la cochenille, on obtient un écarlate presque aussi beau que celui que donne la cochenille elle-même.

3. LAKE-LAKE (*carméine*).

La *lake-lake* ou lake de *résine lake* résulte du lavage de la résine pulvérisée par de l'eau bouillante légèrement alcalinisée par de la soude. On précipite par l'alun, de l'alumine, la résine et la matière colorante. L'alumine forme un sixième du poids total de la matière; la résine forme un tiers du produit.

4. LAKE-DYE (*carméine*).

La lake-dye est une résine analogue à la précédente, mais la matière colorante n'y est pas complétement insoluble dans l'eau : on la met en liberté par un traitement acide : on emploie les mordants d'étain pour faire adhérer le principe dissous qui n'est que de la carméine. La lake-dye est assez employée; les progrès de la teinture en répandront l'usage; c'est pour cette raison que nous l'avons indiquée.

5. SAMADRA INDICA (*samadérine*).

C'est au même titre que nous mentionnons ici l'existence d'un principe amer dans l'écorce et les fruits du *samadra indica*, arbre qui vient dans l'île de Java; ce principe amer est accompagné d'une huile et d'une résine; il a reçu le nom de *samadérine*. On pourra peut-être utiliser un jour ses dérivés, si l'on parvient à leur donner une certaine solidité.

Samadérine. — Pour obtenir le principe amer du samadra indica, on traite la substance par l'eau, on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, et l'on reprend par de petites quantités d'alcool qui laissent la samadérine insoluble; en dissolvant de nouveau dans l'eau et décolorant par le noir animal, on obtient la matière à l'état de pureté. La samadérine est neutre, blanche, sous forme de feuilles cristallines, mais elle donne avec l'acide sulfurique une coloration rouge violet qu'il serait intéressant de rendre persistante. Elle n'est pas volatile.

6. GRAINE DE GREMIL (*lithospermine*).

Nous transcrivons ici les résultats des recherches de MM. Ludwig et Kromayer sur une matière colorante rouge d'une nature résineuse, sans usage jusqu'aujourd'hui, mais qui peut être utilisée puisque l'écorce du gremil (*lithospermum arvense*) forme un peu plus du cinquième du poids total de la racine. Cette matière est peut-être destinée, sous peu de temps, à prendre rang parmi les substances tinctoriales.

Lorsqu'on traite par l'alcool à 80 degrés additionné d'un peu d'acide acétique l'écorce de la racine du lithospermum arvense, on obtient, en séparant l'alcool par distillation, un résidu aqueux duquel se sépare une résine noirâtre. On sépare cette résine par le filtre pour l'agiter avec l'éther; au bout de quelque temps le liquide qui surnage se colore en gris bleu; en évaporant, on remarque une coloration passagère qui conduit à une résine noire.

Lithospermine. — La dissolution alcoolique de cette dernière devient d'un beau bleu par l'addition d'un alcali; nous l'appellerons *lithospermine*. L'acide sulfurique concentré la dissout et la colore en rouge; une addition d'eau provoque un dépôt de résine avec coloration verte. L'acide nitrique la détruit complétement, le carbonate de soude la dissout très-peu; la dissolution se colore en bleu. En ajoutant un peu d'acide sulfurique, le mélange devient d'un beau rouge, dû sans doute à la matière floconneuse qui se sépare et qui se dissout dans l'alcool et dans l'éther. En comparant cette matière à l'anchuséine que MM. Boley et Widler ont trouvée dans l'*alkanna tinctoria*, MM. Ludwig et Kromayer ont vu que ces deux principes se comportent de la même manière avec l'eau, l'alcool et l'éther, mais la lithosperméine se dissout dans l'éther avec coloration bleue, tandis que l'anchuséine se dissout avec une coloration rouge.

D'après M. Kopp, la lithosperméine semble n'être autre chose qu'une huile éthérée résinifiée.

7. GARANCE (*alizarine, purpurine, xanthine*).

La garance est sans contredit l'une des matières colorantes les plus précieuses que l'on connaisse, tant à cause de sa solidité que par suite de la grande variété des nuances qu'elle peut produire avec les diverses préparations auxquelles on soumet les matières textiles. C'est la racine d'une plante de la famille des rubiacées (*Rubia tinctorum*).

Caractère des racines de garance.— On trouvera dans ce Dictionnaire, à l'article GARANCE, tous les détails les plus précis sur les variétés, la culture, la préparation des garances employées dans les arts; la composition sous le rapport chimique, les diverses préparations qu'on a proposées pour concentrer sous le plus petit volume possible le principe utile de ces racines sont exposées également avec méthode. Nous n'aurons donc pas à les reproduire; nous les compléterons par l'indication sommaire des principaux composés que les chimistes, qui se sont occupés de l'examen des garances ont extraits de cette matière tinctoriale, l'*alizarine*, la *purpurine* et la *xanthine*. La xanthine n'a pas reçu d'application. Les couleurs qui proviennent de la purpurine ne semblent pas avoir toute la solidité désirable; l'alizarine seule est donc la véritable richesse de la racine des rubiacées. C'est sur elle qu'ont porté tous les efforts des fabricants pour l'isoler et la concentrer; c'est sa présence qui doit fixer la valeur réelle du produit.

Alizarine. — L'alizarine se présente à l'état de pureté sous forme de petites aiguilles d'un rouge orangé, inodore, insipide, peu soluble dans l'eau pure à froid, plus soluble à chaud. La dissolution, rosée d'abord, passe bientôt au rouge brunâtre. Les dissolutions acides n'en dissolvent pas; on fait usage dans la pratique de craie pour faciliter la dissolution; l'alcool et l'éther les dissolvent en se colorant en rouge et en jaune.

L'alizarine donne des dissolutions couleur pensée par sa combinaison avec les alcalis solubles, soude, potasse, ammoniaque; ces dissolutions précipitent en bleu par les eaux de chaux, de baryte, de strontiane. L'acide sulfurique concentré la dissout complétement; la solution rouge brun précipite abondamment par l'eau l'alizarine sous forme de flocons jaunâtres, sans altération dans leur composition. La chaleur la fait fondre et sublimer. Peu soluble dans une dissolution d'alun, elle se distingue de la purpurine qui s'y dissout parfaitement.

La méthode la plus convenable pour obtenir l'alizarine est celle de MM. Robiquet et Colin. La garance est traitée par les 2/3 de son poids d'acide sulfurique concentré; on ajoute l'acide par petites proportions, en remuant, pour éviter une trop forte élévation de température. On laisse le tout au repos pendant quelques jours; pendant ce traitement les matières étrangères à l'alizarine sont charbonnées et l'alizarine dissoute. On sépare par des lavages le charbon sulfurique qui retient en mélange l'alizarine déposée par sa séparation de l'acide au moment où l'on a versé l'eau sur le mélange. Le résidu, lavé légèrement avec de l'alcool froid pour séparer quelques matières grasses, est épuisé par l'alcool chaud qui dissout l'alizarine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Purpurine. — La purpurine ressemble par son aspect à l'alizarine ; sa couleur est seulement plus foncée, elle tire un peu plus sur le rouge. L'éther en dissout à peine ; la solution évaporée dans le vide laisse des cristaux les uns ponceau clair, les autres ponceau foncé. Elle se dissout dans l'eau plus facilement que l'alizarine. L'ammoniaque, la potasse, la soude donnent avec ce principe des composés de couleur groseille, qui sont précipités en rouge par les eaux de baryte, de strontiane et de chaux.

La dissolution de la purpurine dans l'acide sulfurique est d'un rouge plus vif que celle de l'alizarine ; l'eau la précipite sous forme de flocons d'un jaunâtre foncé.

L'alun dissout la purpurine en donnant une liqueur rose d'une très-belle nuance. La purpurine est très-fusible, et donne, par le refroidissement, une masse à cristaux radiés ; elle se volatilise, et les cristaux qui se condensent sont plus foncés que ceux d'alizarine sublimée. Traitée par l'ammoniaque, la purpurine distillée donne une dissolution d'un rouge violacé très-vif.

Pour obtenir la purpurine, on lave la garance à grande eau, et on la traite ensuite par une dissolution d'alun dans l'eau distillée. Cette dissolution, qui formerait avec le carbonate de soude ou l'ammoniaque une laque rose, précipite par l'acide sulfurique de la purpurine qu'on purifie soit par sublimation, soit par des cristallisations répétées dans l'alcool.

La purpurine donne des couleurs plus rosées que celles extraites de l'alizarine, mais elles sont moins solides.

Xanthine. — M. Kuhlmann a donné le nom de xanthine à la matière colorante jaune de la garance ; elle se présente sous forme d'extrait de couleur orangée foncée, très-soluble dans l'alcool et dans l'eau ; elle ne se dissout que faiblement dans l'éther; les acides la font virer au jaune citron, les alcalis à l'orangé rougeâtre.

L'acide sulfurique précipite de sa dissolution une poudre verte qui ne se dissout pas dans l'eau. C'est elle qui communique à la garance son odeur particulière; elle possède une saveur légèrement sucrée avec un arrière-goût amer. Si les sels métalliques ne la précipitent pas de ses dissolutions, elle donne, avec certains oxydes métalliques, des laques rouges ou roses très-brillantes.

Pour préparer la xanthine, on évapore à siccité l'extrait alcoolique de la garance, puis on le fait digérer avec l'eau froide qui ne dissout que la xanthine ; elle entraîne une matière étrangère qu'on précipite avec l'acétate de plomb. On filtre, et dans le liquide clair on ajoute de l'eau de baryte en léger excès ; on obtient un dépôt formé d'oxyde de plomb et de xanthine. Ce dépôt est lavé par de l'eau chargée de baryte ; on ajoute de l'acide sulfurique qui transforme l'oxyde de plomb en sulfate de plomb ; on sature exactement par de la baryte l'excès d'acide sulfurique, il se dépose du sulfate de baryte, et ce mélange solide est traité par l'alcool après évaporation à siccité; l'alcool ne dissout que la xanthine qui se dépose par refroidissement et concentration.

Il est évident que ces trois matières sont les principes utiles des bains de garance, et qui fournissent la couleur aux fibres textiles. On a donc cherché, par des moyens variés et même fort détournés, des méthodes propres à les concentrer pour remplacer la garance elle-même par des substances tinctoriales dérivées de la garance, offrant au consommateur sous un petit volume ces éléments en quelque sorte condensés, mais dans tous les cas dépouillés de la majeure partie des éléments étrangers. On sait, d'après l'article GARANCE, que le commerce a fini par accepter la colorine, la garancine et le garanceux, qu'on prépare actuellement pour les besoins de la teinture sur une grande échelle. On commence à faire pénétrer dans les ateliers des produits qu'on peut regarder comme de l'alizarine presque pure. On a fait de nombreux essais. Quelques-uns sont à la veille de recevoir une solution pratique consacrée par l'expérience. Les diverses méthodes d'extraction reposent sur les diverses propriétés de l'alizarine que nous venons de mentionner. Comme on le rappelle dans le *Répertoire de chimie* (t. I, p. 43, *Barreswill*). Elles sont variées.

Pour extraire la matière colorante des racines de garance, on a tour à tour utilisé son peu de solubilité dans l'eau froide, sa presque insolubilité dans des liqueurs acides, et sa solubilité dans l'alcool, l'esprit de bois, le sulfure de carbone, les huiles grasses, les alcalis caustiques ou carbonatés, et la solution aqueuse et bouillante d'alun. La racine de garance, fraîche et n'ayant point encore subi cette espèce de fermentation mal connue par laquelle sa force colorante se développe avec le temps jusqu'à un certain maximum, à partir duquel elle diminue de nouveau, contiendrait, d'après les recherches de MM. Schunck et Rochleder, une substance particulière qui, n'étant pas par elle-même une matière colorante, formerait à l'ébullition avec les acides étendus par dédoublement de l'alizarine et une matière sucrée particulière. De ce fait on peut tirer la conséquence que la préparation rationnelle de l'alizarine ou des extraits alizariques ne doit point porter sur la garance en nature ou sur la garance lavée (fleurs de garance), mais sur la garance préalablement soumise à l'ébullition avec une liqueur acide, c'est-à-dire sur la garancine ou le carmin de garance. Cette conclusion est confirmée par les observations anciennes de M. Decaisne, et par celles plus récentes de MM. Gerber et Dollfus.

Azale. — Pour préparer leur extrait purifié, qu'ils nommèrent *azale*, MM. Gerber et Dollfus épuisent la fleur de garance par de l'esprit de bois bouillant, concentrent les liqueurs ainsi obtenues et y ajoutent ensuite une certaine quantité d'eau pour en précipiter la matière colorante. Ils obtiennent généralement 6,75 p. 100 d'extrait brut d'une couleur jaune brunâtre. En traitant ensuite la fleur de garance déjà bien épuisée par l'esprit de bois seul au moyen d'une nouvelle addition de ce liquide, rendu légèrement acide par 1 p. 100 d'acide sulfurique, ils produisent de nouvelles liqueurs colorées, fournissant presque autant d'extrait que le premier traitement. Le résidu ligneux ne contenait alors plus de traces de matière colorante.

Alizarine commerciale. — D'après MM. Verdeil et Michel, l'alizarine presque pure est préparée par la méthode suivante :

On fait ramollir les racines de garance dans une eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique; on écrase entre des cylindres la pulpe acidifiée pour éliminer une certaine quantité de liquide ; on termine par l'action d'une forte presse hydraulique. Les racines ainsi préparées sont ensuite macérées pendant quarante-huit heures dans une solution faible de carbonate de soude ou de potasse marquant 2 à 4° Baumé.

On sépare par l'expression le liquide alcalin chargé de matière colorante et on renouvelle la macération, mais en employant pour cette seconde opération une liqueur alcaline moitié plus faible. On précipite la matière colorante encore impure de ces liqueurs alcalines en les sursaturant par un acide.

Le précipité recueilli sur un filtre, lavé avec un peu d'eau, exprimé et desséché, est ensuite épuisé par de l'esprit de bois ou de l'alcool bouillant. Les solutions alcooliques clarifiées sont enfin concentrées dans un alambic pour retrouver l'alcool ou l'esprit de bois, et l'extrait purifié reste comme résidu dans l'appareil

EFERUS - Recherche & Classification numérique

distillatoire. Cet extrait peut servir soit pour la teinture, soit pour l'impression. Généralement de pareils extraits renferment encore une certaine quantité de matières résineuses qui nuisent soit à la pureté, soit à la vivacité des teintes. Ces matières résineuses étant moins solubles dans des solutions chargées de sels que dans l'eau pure, on pourrait trouver dans cette circonstance l'explication de l'effet avantageux que M. Gatey a dit récemment avoir obtenu par l'addition de sel marin au bain de teinture, lorsqu'on teint des toiles préparées en garance, garancine et alizarine.

Pour séparer les matières résineuses de l'alizarine, on peut utiliser les observations intéressantes de MM. Plessy et Schützenberger sur la solubilité de l'alizarine dans l'eau surchauffée sous de fortes pressions. Ces chimistes ont constaté que de l'eau, dont la température est à 250 degrés, dissout 3,16 p. 100 de son poids d'alizarine, tandis qu'à la température de 10 degrés elle n'en dissout que 0,034 p. 100.

On pourrait encore, d'après les observations de M. Arnaudon, faire usage de la glycérine pour dissoudre l'alizarine.

Alizarine sublimée. — M. Kopp a purifié cette matière en sublimant l'alizarine après avoir chauffé graduellement et avec beaucoup de précaution un extrait très-concentré. La sublimation de l'alizarine, indiquée par MM. Robiquet et Colin, est une opération très-connue et pratiquée par tous les chimistes et industriels qui se sont occupés de recherches sur la matière colorante de la garance. Mais on sait qu'elle ne réussit bien que sur de petites quantités de matières, et qu'elle exige des substances déjà purifiées. En outre, l'opération entraîne toujours la perte d'une quantité notable d'alizarine. D'ailleurs, comme la vapeur de l'alizarine est très-pesante, elle ne s'élève que difficilement, et lorsqu'on est obligé de la chasser à une certaine hauteur, ce qui est le cas lorsque l'alizarine est accompagnée de beaucoup de matières étrangères, il arrive inévitablement qu'elle se décompose au moment même de sa sublimation. On n'obtient, en effet, que des quantités très-minimes d'alizarine en chauffant directement la garance, la fleur de garance et la garancine.

Au reste, le ligneux et l'acide pectique, comme aussi toutes les substances résineuses qui souillent ces extraits, éprouvent aussi la décomposition sèche, et les cristaux d'alizarine sont souillés de quantités plus ou moins considérables de matières empyreumatiques. Pour éviter ce dernier inconvénient, M. Vilmorin, d'une part, et M. Stackler, d'autre part, voulant se procurer une alizarine pure, ont modifié l'ancien procédé de MM. Gaultier de Claubry et Persoz, en épuisant la garancine lavée, ou l'extrait alcoolique de garance par des solutions bouillantes d'alun, d'ammoniaque ou de potasse.

La liqueur filtrée, possédant une belle couleur rouge orange, est séchée dans un bain-marie. En l'agitant fréquemment, on obtient une poudre cristalline d'alun revêtue d'alizarine amorphe. Le produit desséché est broyé, puis épuisé à son tour par de l'alcool, de l'esprit de bois ou du sulfure de carbone bouillant; la solution filtrée, bouillante, donne par le refroidissement des aiguilles jaunes et soyeuses d'alizarine pure. M. Barreswill, auquel j'emprunte ces détails intéressants, a fait les mêmes observations, en traitant de la laque de garance récemment préparée, bien lavée et encore humide, par du bisulfate de potasse en solution bouillante et concentrée. Les produits de la réaction sont de l'alun, du sulfate neutre de potasse, et la matière colorante est mise en liberté. On évapore le tout à siccité au bain-marie, on broie le résidu desséché et on l'épuise par l'esprit de bois, l'alcool ou le sulfure de carbone.

L'altération qui se produit ordinairement dans la sublimation de l'alizarine disparaît lorsque la vapeur de ce corps, au moment même de son apparition, se trouve entraînée mécaniquement et soustraite à l'action ultérieure de la chaleur. On y arrive en sublimant et distillant l'alizarine dans un courant un peu rapide de vapeur d'eau surchauffée. Il est préférable d'opérer directement sur la garancine. On la prépare à la manière ordinaire, par ébullition de la garance broyée dans l'acide sulfurique étendu, lavage jusqu'à ce que les liqueurs ne soient presque plus acides, expression à la presse hydraulique, et dessiccation dans une étuve.

Il n'est pas indispensable de neutraliser les dernières traces d'acide, comme cela se fait ordinairement par l'addition d'une petite quantité de craie ou de carbonate de soude, puisque, à la température à laquelle se sublime l'alizarine, ces traces d'acide sulfurique réagissent plutôt sur l'acide pectique et le ligneux que sur la matière colorante.

Graduer exactement la température de la vapeur d'eau surchauffée et la maintenir constante pendant un temps donné, tels sont les deux points essentiels à réaliser.

M. Kopp, auquel on doit l'idée de ce perfectionnement, a fait connaître un appareil qui conduit à ces résultats.

La vapeur provenant d'un générateur passe dans une série de tuyaux, sorte de jeu d'orgue disposé dans un four à reverbère; la flamme circule autour de ces tuyaux; la vapeur s'échauffe et acquiert une température convenablement élevée : à sa sortie du four, elle se rend dans une petite chambre de fonte où aboutit également un tuyau de vapeur provenant directement du générateur; au moyen de cette disposition ingénieuse, en réglant les quantités de l'une et de l'autre, on peut obtenir une température régulière entre 100 à 350 degrés centigrades.

La vapeur à température réglée est conduite, au sortir de la chambre en fonte, dans un cylindre de fonte ou de cuivre qui renferme, entre deux diaphragmes, la garancine sèche réduite en fragments de la grosseur d'une noix. Ce cylindre est lui-même enveloppé d'un autre cylindre concentrique, qui reçoit de la vapeur surchauffée dans le but d'éviter la déperdition de chaleur du cylindre enveloppé; cette vapeur se perd directement dans l'air.

La vapeur passant sur la garancine entraîne l'alizarine et la porte dans le réfrigérant. Celui-ci se partage en deux parties : la première, conservant une température de 100 degrés, reçoit l'alizarine condensée; la deuxième, refroidie complétement, fournit de la vapeur liquéfiée; on rassemble sur un filtre l'alizarine sublimée. Les eaux de condensation sont réunies et destinées à la teinture ou à la confection de la liqueur de garance.

Des racines de garance traitées dans cet appareil se recouvrent d'alizarine qui doit ainsi s'y trouver toute formée.

Essais des garances. — Nous avons dit que la valeur de l'alizarine est encore considérable, environ 100 fr. le kilogramme. On a cherché par différents moyens à falsifier les produits qui la contiennent, depuis les racines de garance jusqu'à ses dérivés. Aussi c'est à ces produits qu'on a, dans ces dernières années, tenté d'appliquer les modes de contrôle les plus variés et les plus intelligents. Tout récemment encore le *Bulletin de la Société de Mulhouse*, n° 146-1859, reproduit un mémoire de M. Pernod sur ce sujet bien digne de fixer l'attention. Nous reproduisons les réflexions que fait à cette occasion M. Barreswill dans le *Répertoire de chimie*, t. I, p. 218. Nous les ferons suivre des mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

thodes qui ont été proposées jusqu'à ce jour pour essayer les garances, garancines, colorines, etc. Elles sont basées sur des principes variés et dont on fait usage souvent concurremment pour contrôler les résultats les uns par les autres. Nous comblerons ainsi la lacune que présente l'article GARANCE contenu dans le premier volume de cet ouvrage.

Les observations de M. Pernod sont utiles à consigner. L'auteur admet que la garance et la garancine pourraient être falsifiées soit par des substances astringentes renfermant une quantité plus ou moins grande de tanin, soit par certains bois de teinture; il propose un procédé simple et facile pour déjouer une pareille fraude.

On plonge dans une dissolution de sulfate de fer, partiellement oxydée par l'air atmosphérique, une feuille de papier blanc peu collé que l'on sèche d'une manière complète en l'exposant à l'air ou mieux à une douce chaleur; on verse ensuite sur ce papier une petite quantité d'alcool à 87 ou 88 degrés, et pour l'humecter le plus uniformément possible on le suspend par un angle. Ainsi préparée, cette feuille est placée sur une feuille de verre et saupoudrée, à l'aide d'un tamis de soie assez fin, d'une très-petite quantité de la poudre à essayer, en ayant soin, lors du tamisage, de placer le tamis très-près de la feuille de papier, précaution nécessaire pour le cas où les substances mêlées à la garance seraient ou plus fines ou plus légères que celle-ci.

Lorsque l'alcool est complétement évaporé, on lave le papier à l'eau commune et l'on observe la couleur qu'il a prise.

Si la garance est pure, on n'a qu'une coloration rouille ou brun clair; est-elle falsifiée, des taches particulières produites par la poudre étrangère apparaissent avec une couleur qui trahit la nature de l'addition. En effet, ces taches sont bleues si l'adultération a pour cause une poudre renfermant du tanin; elles se produisent quand même la poudre étrangère ne cède rien à l'eau (tels seraient, par exemple, l'écorce et le fruit du pin), attendu que l'alcool qui mouille le papier, mouillant aussi ces substances, en isole facilement la matière astringente.

Si l'on veut rechercher la présence d'un bois coloré, tel que le bois de Brésil, le campêche, le cuba, etc., on imprègne le papier de bichlorure d'étain au lieu d'employer le sulfate de fer, puis on le place sur une lame de verre et on le saupoudre comme il a été dit. Les moindres parcelles de campêche marquent en violet, le brésil en cramoisi; le cuba se révèle par une coloration jaune.

« Ce procédé est, en somme, simple et facile à exécuter au moment de la réception des marchandises. Il est bon que de semblables moyens soient mis à la disposition de l'acheteur, si l'on veut en finir avec la fraude commerciale qui, jamais en aucun temps, n'a été plus générale qu'elle n'est aujourd'hui. Le plus souvent, une expérience aussi simple que celle de M Pernod suffirait pour mettre en garde contre la sophistication qu'encourage l'acheteur par son apathie. »

Lorsque l'on s'est assuré de la nature de la falsification, il faut rechercher dans quelle proportion elle affecte la valeur de la marchandise. On a pour atteindre ce but différents moyens approximatifs. Nous allons les exposer en rappelant d'une manière sommaire les principes sur lesquels ils reposent.

Lorsqu'on ajoute aux garances, dans le but d'en augmenter le poids, des matières étrangères telles que de la brique pilée, des sables et des argiles, il suffit de délayer la garance suspecte avec 100 à 150 fois son poids d'eau. La garance reste suspendue sur l'eau, et les impuretés dont la pesanteur spécifique est beaucoup plus considérable tombent au fond; on peut en évaluer la quantité approximativement par décantation.

Une seconde méthode plus exacte consiste à faire l'incinération d'un poids donné de matière. On compare le résidu sous le double rapport des proportions et de la qualité (toutes choses égales d'ailleurs) avec celui que laissent les garances pures d'origine connue.

Les garances pures séchées à 100 degrés peuvent ne renfermer que 5 p. 100 de cendres inorganiques; des essais nombreux ont fixé les limites supérieures du poids du résidu que doit fournir une incinération complète. MM. Girardin et Labillardière ont constaté 8.80 p. 100 dans l'alizari de Provence avec son épiderme; d'après M. Chevreul l'alizari du Levant contient 9.80 de cendres; suivant M. Schlumberger, l'alizari d'Alsace en renferme 7, et celui d'Avignon 8.76. — On voit, d'après ces chiffres, que la quantité de cendres n'est pas constante, mais qu'il est probable qu'on ne se trompera pas beaucoup en admettant que ce qui dépasse 9 à 10 est le résultat d'une sophistication. Certains échantillons pris dans le commerce ont fourni jusqu'à 25 p. 100 de cendres.

Lorsque la falsification des garances se fait au moyen des matières organiques colorées ou non, les moyens sont moins rigoureux et dans tous les cas beaucoup moins simples. On recherche surtout à doser le principe colorant propre à la garance, et les méthodes employées donnent la valeur tinctoriale de l'échantillon soumis à l'essai.

Dans l'une de ces méthodes proposée par M. Meillet on prend 10 kilog. de garance; on fait dissoudre 2 kilog. d'alun dans 20 litres d'eau marquant 60 degrés centigrades; on porte le tout lentement à l'ébullition, qu'on maintient pendant une demi-heure. La décoction est jetée sur des toiles; on l'exprime fortement; trois traitements pareils suffisent pour épuiser la garance. On laisse reposer le liquide pendant quelque temps, puis on y jette, avant le complet refroidissement des liqueurs mélangées, 625 gr. d'acide sulfurique à 66° étendu de deux fois son poids d'eau. Il se précipite d'épais flocons rougeâtres qui ne tardent pas à gagner le fond de la liqueur, celle-ci passe du rouge pourpre au jaune verdâtre; on décante les liqueurs surnageantes, on lave le résidu à plusieurs reprises, et lorsqu'il est sec par son exposition à l'air libre, il forme des écailles luisantes d'un jaune brun. Dans cet état, l'alizarine ne serait pas encore pure; on fait chauffer le précipité non encore desséché dans une liqueur alcaline, formée d'une partie d'alizarine impure, une partie et demie de carbonate de potasse et douze parties d'eau. On sature le carbonate par l'acide sulfurique, et le nouveau précipité constitue l'alizarine que M. Meillet regarde comme l'alizarine pure et qu'il a proposé pour les usages de la teinture. Les belles garances SF rendent en général de 2 à 2 1/2 p. 100 d'alizarine, quelquefois 3 p. 100.

J'emprunte au traité de M. Persoz l'analyse qu'il a présentée du procédé pratique suivi par M. Schlumberger. Ce procédé consiste à teindre au moyen d'un poids constant de garance une quantité donnée de toile mordancée, et à comparer cette toile teinte, puis avivée, à une gamme de teinture dont la gradation des teintes correspond à des doses connues de garance. Dans ce but on prépare d'avance une certaine quantité de toile mordancée, en ayant soin, lorsqu'elle est épuisée et qu'on doit la remplacer, d'employer les mêmes mordants et d'opérer dans les mêmes conditions. M. Schlumberger se sert d'un dessin à fond d'un double rouge. Ce fond doit, en outre, être à double violet avec noir et blanc, quand on veut juger de toutes les nuances que fournit la garance. On se procure ensuite une petite chaudière de 2 décimètres de haut sur 3 à 5 décimètres de diamètre, selon le nombre d'essais qu'on se propose de faire. A 3 ou 4 centimètres du fond de cette chaudière, on fixe une grille sur laquelle on pose des flacons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à large col de plus d'un litre de capacité chacun. La chaudière doit être munie d'un couvercle percé de trous par lesquels sortent les orifices des flacons qui se trouvent ainsi parfaitement maintenus.

« Pour former la gamme qui doit servir plus tard à estimer, par comparaison, la valeur relative des garances, on coupe des morceaux égaux de toile mordancée de 0m,327 carrés par exemple, puis choisissant une garance de la pureté de laquelle on est parfaitement certain et qui donne en teinture de bons résultats, on fait des pesées exactes de 1, 2, 3 et 15 gr., proportion insuffisante pour saturer les mordants. Ces divers poids sont mis chacun avec un échantillon dans les flacons placés dans la chaudière et qui renferment 750 gr. d'eau distillée préalablement amenée vers 40 degrés centigrades. La chaudière, faisant fonction de bain-marie, est placée sur un réchaud de charbon embrasé recouvert d'une plaque de fer; on ferme le cendrier pour avoir un feu régulier tel que la température du liquide ne s'élève que de 5 degrés par quart d'heure, et qu'après une heure et 30 minutes elle soit arrivée vers 70°. On pousse alors le bain-marie à l'ébullition, on maintient la température de 100 degrés pendant une demi-heure. Cette première teinture finie, les échantillons correspondant au nombre de grammes de garance employés pour les teindre sont retirés des flacons pour être dégorgés, lavés et séchés; chacun d'eux est alors coupé pour former deux parties égales. Une série est conservée telle qu'elle sort du dernier rinçage, une série est soumise à la nouvelle teinture, mais avec la moitié seulement de la garance employée dans la première opération. Après cette dernière teinture, on dégorge, on lave, on dessèche de nouveau, puis on divise les échantillons en deux nouvelles parties; une série se trouve encore conservée, tandis que les autres sont destinées à subir les opérations de l'avivage pour fixer le fabricant sur l'éclat et la solidité de la nuance fournie par la garance choisie pour type. S'il s'agit d'un dessin à double fond rouge, l'avivage se fait dans une petite chaudière de cuivre bien étamée où l'on introduit avec 4 litres d'eau chaude à 60 degrés 10 gr. de savon et la dernière série des échantillons; on maintient le tout à la même température pendant une demi-heure, puis on remplace le bain de savon par un autre bain chauffé pendant le même temps et à la même température que le précédent, et composé de 4 kilogr. d'eau et 5 gr. d'acide nitrique d'une densité de 1,327; ce second bain est remplacé par un bain de savon semblable au premier, mais qui cette fois est chauffé jusqu'à l'ébullition. Ajoutons qu'après chaque passage les échantillons sont dégorgés et rincés avec soin.

Ces opérations terminées, on peut donc composer :

1° Une première série d'échantillons qui ont reçu une première teinture dont l'intensité de la nuance est proportionnelle à la quantité de garance employée.

2° Une seconde série qui a reçu la seconde teinture, dont le ton est par conséquent double de la précédente, et parmi lesquels il s'en trouve dont les mordants ont été saturés de matière colorante.

3° Enfin une série qui a subi l'avivage, et d'après laquelle on peut juger de la vivacité de la nuance tout aussi bien que de sa solidité.

ALIZARINE ARTIFICIELLE. La fabrication de l'alizarine à l'aide des hydro-carbures extraits des goudrons de houille a été obtenue par MM. Graebe et Liebermann. Pour connaître la nature de l'hydro-carbure dont pouvait dériver l'alizarine, ils ont eu l'heureuse idée de la réduire en la soumettant à l'action de la poudre de zinc, et ont ainsi obtenu l'anthracène, hydro-carbure qui passe à la distillation des goudrons vers 400°.

Cet important résultat conduisait naturellement à chercher le moyen de reconstituer l'alizarine en partant de l'anthracène par des réactions compliquées, mais qu'il n'y avait plus qu'à simplifier pour atteindre un grand résultat industriel. Nous décrirons, d'après M. Wurtz, le mode le plus simple de préparation.

1° Dans de grandes cuves en fonte émaillée, on introduit une partie d'anthracène et quatre parties d'acide sulfurique concentré. On chauffe pendant 4 ou 5 heures à 100 degrés, puis on porte la température à 160 degrés, où on la maintient jusqu'à ce qu'une goutte prélevée sur la masse se dissolve dans l'eau sans produire un précipité. On laisse alors refroidir, puis on reprend la masse par trois fois son poids d'eau. S'il restait un excès d'anthracène non dissous, il faudrait le séparer par filtration. L'anthracène n'est pas toujours pur; il peut être mélangé avec d'autres carbures d'hydrogène et avec des homologues supérieurs. On peut arriver à les séparer de l'anthracène par l'opération même que nous décrivons, c'est-à-dire par l'action de l'acide sulfurique.

2° La solution acide que l'on obtient ainsi, étant débarrassée par filtration du résidu insoluble, renferme un mélange d'acide anthracène-bisulfureux et d'acide sulfurique. Il s'agit d'oxyder le premier de ces acides pour le transformer en acide anthraquino-bisulfureux. Pour cela, on porte la liqueur à l'ébullition et on la maintient bouillante pendant quelque temps, de manière à la concentrer peu à peu, puis on y ajoute, pour une partie d'anthracène, trois parties de bioxyde de manganèse. Ce dernier doit être très-finement pulvérisé. On préfère généralement celui qui provient de la régénération du manganèse ayant servi à la préparation du chlore. En fixant l'oxygène dégagé par l'acide sulfurique sur le bioxyde de manganèse, l'acide anthracène-bisulfureux se convertit en acide anthraquino-bisulfureux; il se forme du sulfate de manganèse.

Pour se débarrasser de ce sel, on étend la liqueur avec une grande quantité d'eau et on y ajoute un lait de chaux; il se forme du sulfate de chaux et de l'hydrate manganeux, tandis que l'anthraquino-bisulfite de calcium reste en dissolution. On passe au filtre-presse, puis on le décompose à chaud par un léger excès de carbonate de soude; l'ébullition est maintenue jusqu'à ce que le précipité de carbonate de chaux soit devenu grenu, de manière à se déposer facilement. On décante alors et on évapore à siccité la solution d'anthraquino-bisulfite de sodium.

3° Dans de grands cylindres en fonte, chauffés au bain d'huile et munis d'agitateurs à ailettes qui permettent non-seulement d'agiter constamment la masse, mais de la ramener de bas en haut, on introduit trois parties d'anthraquino-bisulfite de sodium sec et deux à trois parties d'alcali caustique, auquel on ajoute une petite quantité d'eau pour faciliter le mélange. On emploie la soude, la potasse ou un mélange des deux alcalis. On chauffe au-dessus de 200 degrés, en maintenant la température entre 200 et 280 degrés, jusqu'à ce que la masse ait pris une couleur violet bleu foncé.

Pour contrôler la marche de l'opération et pour apprécier la richesse du produit, on prélève un échantillon, on le dissout dans une quantité d'eau déterminée, et on le précipite par une proportion convenable d'acide sulfurique étendu; il se produit un précipité jaune brun que l'on jette sur un filtre disposé sur un vase dans lequel on fait le vide au moyen d'une trompe. Le précipité étant rassemblé sur le filtre, ce que la disposition indiquée permet de faire rapidement, on le sèche et on le pèse. On arrête l'opération lorsqu'on a atteint le poids cherché.

On fait arriver alors, avec précaution et par petites portions, de l'eau bouillante dans la masse contenue dans la chaudière après l'avoir laissé refroidir. On peut aussi la couler et la traiter par l'eau dans des vases appropriés. La solution, débarrassée par filtration de quelques matières insolubles, est décomposée à chaud par un léger excès d'acide sulfurique étendu ou d'acide chlorhydrique. Pendant la saturation, il se dégage de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

grandes quantités d'acide carbonique et d'acide sulfureux que l'on peut recueillir. L'alizarine se précipite en gros flocons denses d'une couleur jaune brunâtre. Le précipité est reçu sur un filtre-presse construit de façon à pouvoir y passer plusieurs mètres cubes de liquide dans l'espace de quelques minutes, et aussi à pouvoir laver le précipité à l'eau froide et à l'eau chaude. On livre le produit à l'état de pâte orangée.

8. Bois de Brésil (*brésiline*, *brésiléine*).

La dénomination de bois de Brésil ou de Fernambouc, simplement *brésil* dans le commerce, s'applique à plusieurs espèces de bois provenant de différents arbres du genre cæsalpinia. Ces bois renferment tous une matière colorante rouge à laquelle M. Chevreul a donné le nom de *brésiline*, et dont nous nous occuperons particulièrement ici, renvoyant aux articles BOIS DE TEINTURE et EXTRAITS de ce Dictionnaire pour les renseignements qui concernent les bois eux-mêmes.

Caractères de la décoction. — L'infusion aqueuse de bois de Brésil précipite par la chaux, par la baryte, par le protochlorure d'étain, par l'acétate de plomb des laques d'un rouge cramoisi. On l'emploie dans les Indes depuis les temps les plus reculés. On n'en avait jamais fait usage en Europe avant la découverte de l'Amérique. On s'en sert pour obtenir la teinture en cramoisi ; la décoction doit être conservée plusieurs mois pour donner des tons vigoureux. On arrivera peut être à trouver des nuances solides; quant à présent, les couleurs qu'on en obtient manquent de fixité, elles sont dues à la *brésiléine*.

Brésiléine. — La brésiléine pure cristallise en petites aiguilles de couleur orangée, solubles dans l'eau, l'alcool et l'éther; l'acide sulfhydrique décolore sa dissolution aqueuse, elle vire au jaune par quelques gouttes d'acide sulfurique; les alcalis forment avec elle des composés laqueux violets et pourprés. Les protoxydes d'étain et de plomb forment des composés insolubles; l'hydrate d'alumine forme une laque de couleur intermédiaire à celle que fournissent les alcalis et les acides.

Sous l'influence de la chaleur, la brésiléine se décompose; il distille une eau légèrement acide, un produit alcalin, et dans le résidu pourpré se retrouverait sans doute la brésiléine cristallisée.

La décoction dans l'eau ne s'altère pas; loin de là, l'expérience journalière des ateliers prouve que la dissolution ancienne est plus riche que celle qui n'est préparée que depuis quelques jours.

Sous la double influence des alcalis hydratés et de l'air, la brésiléine s'altère en absorbant de l'oxygène.

D'après M. Preïsser, de Rouen, il existerait dans le bois des cæsalpinia, quelles que soient leurs variétés, une matière incolore qui, sous l'influence de l'oxygène de l'air, se transformerait en brésiléine. Ce principe incolore, qu'on pourrait nommer *brésiline*, aurait une saveur sucrée avec un arrière-goût légèrement amer; il serait soluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther. L'ébullition de la liqueur aqueuse suffirait pour déterminer la transformation de ce principe en brésiline; l'acide sulfurique le colore en jaune d'abord, puis en une substance noire résinoïde; l'acide chlorhydrique et l'acide azotique le colorent en rouge vif. Avec ce dernier acide, sous l'influence de la chaleur, il se dégage des vapeurs rutilantes qui sont accompagnées de la formation d'une quantité notable d'acide oxalique.

Lorsqu'on met en contact la brésiline avec de l'acide chromique ou du bichromate de potasse en poudre fine, il se fait une vive effervescence, il se forme des quantités notables d'acide formique qu'on sépare par distillation, la liqueur se colore de plus en plus, puis il se forme une laque cramoisie contenant de la brésiline et de l'oxyde de chrome. Sous l'influence de l'acide chlorhydrique, le principe colorant disparaît, il ne reste plus que de l'oxyde vert de chrome.

9. Bois de santal (*santaline*).

On désigne sous le nom de santal rouge le bois qui provient du *ptærocarpus santalinus*. Il donne en teinture des nuances qui varient du fauve au rouge; il ne se colore presque pas par l'eau bouillante. Le principe colorant de ce bois a reçu le nom de *santaléine*.

Santaléine.—La santaléine est une substance d'apparence résineuse rouge brun, fusible à 100 degrés. Peu soluble dans l'eau, elle se dissout dans l'alcool, qui devient jaune ou rouge, suivant les proportions dissoutes; l'éther la dissout aussi.

Les dissolutions aqueuses de potasse, de soude, d'ammoniaque dissolvent la santaline et la colorent en rouge violet. Une addition d'un acide faible en précipite la santaline sans altération. La dissolution alcoolique précipite en pourpre par le chlorure d'étain, en violet par les sels de plomb, en écarlate par le bichlorure de mercure, en violet foncé par le sulfate de fer, en rouge brun par le nitrate d'argent; les sels d'alumine ne la précipitent que par leur eau de dissolution.

M. Preïsser a décomposé la santaline en divers principes, au nombre desquels il indique un composé cristallisable incolore qu'il regarde comme le principe actif de la santaline. Ce principe non azoté peut être isolé par le traitement au moyen de l'hydrogène sulfuré d'une laque plombique obtenue par la solution de santaline. La matière colorable est dissoute dans l'éther et séparée par l'évaporation. Cette matière se colore à l'air avec le contact des alcalis; elle prend une nuance très-vive rouge pur.

10. Bois d'amarante (*amarantine*).

On comprend sous le nom de bois d'amarante, bois violet, etc., différentes sortes de bois d'ébénisterie originaires de l'Amérique méridionale et des Antilles; on est encore dans la plus grande incertitude quant à l'espèce botanique et même à la famille à laquelle ils appartiennent. M. Arnaudon a fait l'examen d'un grand nombre de ces bois dans le but de trouver quelques caractères distinctifs qui pussent en former un groupe purement chimique, que l'on désignerait sous le nom de bois d'amarante, et qui viendrait se ranger dans la série des bois de teinture. De ses minutieuses recherches il résulte que les différents bois de ce groupe, notamment le *pao colorado*, le *bois violet de Cayenne*, le *peuple heat*, le *tanané*, le *palo morado*, etc., contiennent tous une même matière incolore susceptible de se transformer sous l'influence de la lumière en une autre matière de couleur rouge pourpre.

La chaleur, avec ou sans le concours des acides qui ne font qu'accélérer le changement, conduit aux mêmes résultats; mais il paraît démontré que la matière colorable, susceptible de devenir colorée, passe à cet état et devient rouge pourpre par une cause autre que l'oxydation.

Il semble résulter des recherches de M. Arnaudon cette conclusion, qu'il faudra peut-être généraliser, que cette cause doit être plutôt recherchée dans une modification moléculaire des éléments préexistants dans le bois que dans une absorption d'oxygène pris à l'extérieur, et que la matière colorable est en plus forte proportion dans les bois de ce groupe qui sont les moins colorés à l'intérieur.

Ce mémoire de M. Arnaudon est d'un grand intérêt pour les chimistes qui se livrent à l'étude des matières tinctoriales. Il peut offrir à l'art de la teinture des nuances nouvelles qui sont susceptibles de satisfaire aux caprices de la mode en introduisant dans les ateliers une matière tinctoriale inconnue. C'est en considération de ce vœu que nous avons placé le travail de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Arnaudon dans cet article, bien que les résultats qu'il annonce n'aient pas encore été sanctionnés par la pratique.

11. Rouge de sorgho (*sorghine*).

Lorsqu'on laisse fermenter les tiges du sorgho (*sorghum saccharatum*), après qu'on en a retiré le jus sucré, de telle sorte que la température ne s'élève pas trop, on obtient au bout de quinze jours, s'il ne s'est pas développé de fermentation putride, une masse d'une couleur rouge ou rouge brun. On la dessèche, puis on la fait moudre.

Pour isoler la matière colorante on fait infuser la poudre pendant douze heures dans l'eau froide; le résidu, traité par une lessive de soude très-faible, perd la matière colorante qu'on précipite sous forme de flocons rouges, en neutralisant au moyen de l'acide sulfurique; on la recueille sur un filtre qu'on lave et qu'on fait ensuite dessécher; la couleur rouge, ainsi préparée, se dissout facilement dans l'alcool, dans les liqueurs alcalines, dans les acides faibles, etc.

Pour teindre, avec elle, la laine et la soie, on fait usage des mordants d'étain ordinairement employés; M. Winter a trouvé que les teintures rouges au sorgho résistaient très-bien à la lumière et aux savonnages modérés, même à chaud.

D'après les renseignements les plus récents, l'extraction et l'utilisation de la matière colorante du sorgho seraient connues et pratiquées industriellement en Chine, où la culture de cette plante se fait sur une très-grande échelle.

La culture du sorgho, qui tend à se répandre en France, peut donc un jour ajouter aux substances tinctoriales et rémunérer encore le cultivateur en partie déjà couvert de ses dépenses par sa récolte en alcool ou en sucre.

12. Peganum harmala (*harmaline*).

M. Gobel a décrit sous le nom d'*harmaline* une substance qu'on rencontre dans les semences du *peganum harmala*, et qui se transforme, sous certaines influences déterminées, en une matière colorante rouge. C'est à tort que MM. Monnet et Dury donnent cette désignation au produit dérivé de l'aniline trouvé par M. Perkin.

MM. Schlumberger et Dollfus ont publié dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse* une note intéressante sur la matière colorante extraite du *peganum harmala*. Comme pour l'orcéine des lichens, la matière colorante n'existe pas toute formée dans la semence qui contient une matière colorable; c'est cette dernière qui se transforme en ce nouveau principe que MM. Gobel et Fritch avaient découvert.

Lorsqu'on humecte avec 15 parties d'eau et 7 parties d'ammoniaque liquide 10 parties de graine de *peganum harmala*, il suffit de quatre à cinq jours d'exposition au contact de l'air pour obtenir la formation du principe colorant. On fait macérer dans l'alcool qui se charge d'abord d'une couleur jaune foncée verdâtre. On décante, et le résidu comprimé pour extraire toute la partie liquide est traité par une nouvelle quantité d'alcool qui fournit une liqueur d'un rouge foncé pur; quand on épuise complétement les graines par ce même traitement alcoolique, on trouve, après distillation de l'alcool, 16 p. 100 du poids de la graine en matière colorante sèche composée de deux substances, l'une rouge et l'autre jaune, qui se séparent au moyen de l'ammoniaque, qui dissout la seconde en précipitant la première. La matière colorante rouge a reçu le nom d'*harmaline*. Nous l'appellerons *harmaléine*.

Harmaléine. — Cette matière est soluble dans l'acide sulfurique à 1,6 sans subir d'altération; elle se dissout également à froid dans l'acide acétique; elle est peu soluble dans l'éther. Elle se comporte vis-à-vis des préparations métalliques en usage dans la teinture des garances tout autrement que l'alizarine, car elle ne

précipite ni les sels d'alumine, ni ceux de fer, ni ceux d'étain; elle teint directement les tissus de coton, de laine et de soie sans le secours d'aucun intermédiaire; elle se rapproche sous ce rapport du principe colorant de l'orseille, avec laquelle elle présente une grande analogie sous le rapport de son origine et des circonstances qui président à sa formation. Il reste encore à trouver la matière curieuse qui, sous l'influence de l'air, de l'ammoniaque et de l'eau, donne naissance à l'harmaline; il reste encore à fixer la composition de la substance incolore et de ses dérivés. Dans les conditions de préparation que nous venons d'apprécier, elle n'offre, après son application sur les tissus, qu'une faible solidité. L'exposition au soleil la fait promptement passer au jaune, et le bain de savon bouillant la décolore complétement. Les récentes modifications apportées dans l'emploi de l'orseille, qui devient une coloration d'une certaine résistance, feraient admettre la possibilité d'en augmenter la solidité; il peut être possible de rencontrer une méthode capable d'enlever à l'harmaline les inconvénients de sa fugacité.

13. Safranum (*acide carthamique*).

On pourra trouver à l'article carthame de ce Dictionnaire ce qui regarde l'histoire de cette matière tinctoriale, la forme sous laquelle on la rencontre dans le commerce, sa provenance, ses diverses qualités, et les procédés dont on fait usage pour en extraire le principe colorant auquel on a donné le nom d'*acide carthamique*. Nous n'aurons plus ici qu'à décrire les propriétés de cette matière considérée dans son état de pureté.

Acide carthamique. L'acide carthamique se présente généralement sous forme de petites plaques minces qui, vues par réflexion, sont d'un jaune d'or avec des reflets verts; vues par transmission, elles sont rouges. Insoluble ou presque insoluble dans l'eau froide, il se dissout dans l'alcool; à froid, la dissolution est d'un beau rose; à chaud, elle est orangée; il est moins soluble dans l'éther; l'oléine et les huiles volatiles ne le dissolvent pas. Les carbonates alcalins le dissolvent; les acides, et notamment l'acide citrique et l'acide acétique, le précipitent en flocons d'un beau rose. Les alcalis caustiques le dissolvent en l'altérant sous l'influence de l'air. Quoique l'acide carthamique soit insoluble dans l'eau froide, il y demeure si longtemps en suspension quand il est pur, qu'on aurait beaucoup de peine à l'en séparer. On le réunit au moyen d'une chausse par filtration.

M. Preïsser a vu que l'acide carthamique peut perdre, sous l'influence de l'acide sulfhydrique, une partie de l'oxygène qu'il contient en se convertissant en un corps incolore auquel il a donné le nom d'*acide carthameux*. Cet acide se présente sous forme de petites aiguilles prismatiques d'une saveur légèrement amère, peu soluble dans l'alcool, moins soluble dans l'eau. Il se colore à l'air en jaune clair. L'acide sulfurique le dissout sans le colorer. L'acide chlorhydrique et l'acide nitrique le dissolvent également sans coloration à l'aide d'une légère chaleur. Pour sa transformation en acide carthamique, il faut le double concours de l'air et des alcalis. En effet, il résiste bien à l'oxygène pur sous une cloche à mercure; mais il devient jaune d'abord, puis rose ensuite, lorsqu'on fait arriver sous la cloche une petite quantité de potasse. L'addition d'un acide fait apparaître alors des flocons d'acide carthamique. L'ammoniaque se conduit comme la potasse, mais avec plus de lenteur.

L'acétate de plomb précipite l'acide carthameux à l'état de laque blanche, qui devient rose avec le contact de l'air. Projeté sur des charbons ardents, l'acide carthameux se fond, se boursoufle, se décompose en exhalant une odeur piquante, mais sans laisser de résidu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le rose de carthame, très-brillant sur soie, n'a malheureusement pas une solidité très-grande. Il passe à la seule exposition à l'air. Il paraîtrait néanmoins qu'on peut le fixer au soleil. M. Rondot a vu pratiquer cette opération en Chine, et quelques documents, extraits par M. Stanislas Julien de l'*Encyclopédie japonaise*, rendent vraisemblable cette pratique, contraire à ce que nous savons des propriétés de l'acide carthamique et de sa fugacité. Nous verrons plus loin comment on a pu rendre plus solide la couleur de l'orseille.

14. Carmin de pourpre (*acide urique, murexide.*)

Le guano, dont l'usage comme engrais est des plus importants, est devenu la source d'une intéressante matière tinctoriale depuis qu'on a su transformer en murexide l'acide urique que cette substance contient. En présence de l'application intéressante qui vient d'être faite à la teinture des dérivés de l'acide urique, la Société de Mulhouse a proposé comme sujet de prix la préparation artificielle et directe de l'acide urique, autrement qu'en en faisant l'extraction des matières animales.

La murexide découverte par MM. Liebig et Woehler, dans leur travail classique sur l'acide urique, est devenue dans ces derniers temps d'une importance assez grande par son introduction comme matière colorante dans l'art de la teinture et la fabrication des indiennes. Il en est résulté que la préparation de ce corps, ainsi que celle de l'acide urique dont la murexide provient, a pris le rang d'une opération industrielle, se pratiquant déjà maintenant sur une échelle assez large. Nous allons passer en revue la préparation de l'acide urique et les circonstances dans lesquelles a lieu sa transformation en murexide.

Acide urique. — Les matières premières dont on extrait l'acide urique sont les excréments de serpents, d'oiseaux et surtout le guano, riche en urate d'ammoniaque. Les excréments de serpents renferment de l'acide urique presque pur, libre ou combiné à de l'ammoniaque; mais ils sont trop rares pour servir autrement qu'à des expériences de laboratoire. C'est du guano qu'on retire presque tout l'acide urique utilisé maintenant en industrie. Voici du reste la méthode proposée par M. Stadeler pour découvrir l'acide urique dans les matières qui le contiennent. On précipite la liqueur au moyen de l'acétate basique de plomb. On forme un urate insoluble qu'on décompose par l'hydrogène sulfuré; l'acide urique, séparé du sulfure de plomb par filtration, cristallise en tables hexagonales.

D'après M. Broomann, on épuise à chaud le guano par de l'acide chlorhydrique étendu. On laisse déposer les matières insolubles et on soutire le liquide clair et encore tiède, avec lequel on traite de la même manière de nouvelles quantités de guano, jusqu'à ce que l'acide soit à peu près saturé. La dissolution contient le carbonate et l'acétate d'ammoniaque, les phosphates de chaux et de magnésie, le phosphate ammoniaco-magnésien, le carbonate de chaux, une certaine quantité d'oxalate de chaux, etc. On peut utiliser cette liqueur soit comme engrais, soit pour la préparation des sels ammoniacaux, des phosphates et des oxalates.

Le résidu qui n'est pas dissous dans l'acide hydrochlorique est de nouveau traité à chaud par de nouvelles quantités de cet acide, puis lavé, égoutté et séché.

Il renferme surtout de l'acide urique, mélangé de sable, d'argile, de sulfate de chaux et de matières organiques (albumine, mucus, etc.) d'une couleur jaunâtre. Il peut servir directement à la préparation de la murexide.

Si l'on veut purifier davantage l'acide urique, on peut faire usage soit d'acide sulfurique, soit d'alcalis, ou de sels alcalins étendus. L'acide sulfurique concentré dissout facilement l'acide urique, surtout en chauffant de 60 à 80 degrés. Par le refroidissement on obtient quelquefois de gros cristaux d'une combinaison d'acide urique avec 6 équivalents d'acide sulfurique. Lorsqu'on étend d'eau cette solution sulfurique, l'acide urique se précipite de nouveau à peu près pur, et on n'a plus qu'à le filtrer, le laver et le sécher.

En faisant bouillir l'acide urique impur avec une solution étendue de potasse ou de soude caustique (1 de soude pour 12 à 15 d'eau), on obtient de l'urate alcalin soluble; la solution filtrée, sursaturée par un acide, laisse de nouveau déposer l'acide urique.

Au lieu de sursaturer directement par un acide cette dissolution, on peut la concentrer jusqu'à ce qu'elle se prenne en bouillie visqueuse qu'on jette encore chaude sur une toile et qu'on exprime. La masse est ensuite seulement délayée dans de l'eau bouillante et décomposée par l'acide chlorhydrique. Le résidu filtré et lavé représente de l'acide urique presque pur. Les eaux mères alcalines provenant de l'expression fournissent, par l'addition d'un acide puissant, de l'acide urique impur, qu'on purifie par une nouvelle dissolution dans une solution alcaline faible. 100 kilog. de bon guano peuvent fournir de 2 1/2 à 8 kilog. d'acide urique. Le traitement par l'acide sulfurique concentré, ou par les liqueurs alcalines, peut aussi être appliqué directement au guano, mais avec moins d'avantage.

MM. Boettger et Landerer ont conseillé pour épuiser le guano de remplacer les alcalis caustiques par le borax qui dissout moins de matières animales.

Murexide. — Nous commencerons par exposer en quelques mots les préparations sur lesquelles repose la formation de ce corps remarquable à plus d'un titre; nous trouvons la théorie parfaitement présentée dans le travail de Gerhardt auquel nous renverrons pour de plus amples détails (*Traité de chimie*, t. I, p. 519). Les idées de cet éminent chimiste ont été pleinement confirmées par les travaux plus récents auxquels la murexide a donné lieu.

Les procédés à l'aide desquels on prépare la murexide sont assez nombreux, même dans l'industrie; M. Kopp fait connaître les suivants :

1° D'après M. Broomann, on mélange dans des vases en terre de petites quantités d'acide nitrique à 1,41, pesanteur spécifique avec de l'acide urique brut et desséché. Pour plus d'économie, on peut prendre le guano purifié directement par l'acide chlorhydrique. Les deux corps réagissent l'un sur l'autre; l'acide urique se dissout en s'oxydant aux dépens de l'acide azotique; il se dégage du gaz dans lequel on peut reconnaître la présence du bioxyde d'azote. On ne réussit qu'autant que la température du mélange ne s'élève pas trop. A cet effet on n'opère que sur de petites portions à la fois, et l'on place les vases de terre dans lesquels s'effectue la réaction dans une capsule remplie d'eau froide pour tempérer la chaleur qui se dégage pendant la dissolution. On ajoute donc alternativement de l'acide azotique et de l'acide urique par petites parties à la fois, et l'on attend chaque fois que l'action soit épuisée pour faire une nouvelle addition. Quand on a traité toute la masse que l'on veut transformer, on abandonne le mélange à lui-même : au bout de quelques jours, il est pris en une masse pâteuse assez épaisse. C'est de cette masse qu'il faut extraire la murexide.

On épuise par de l'eau chaude; il est nécessaire de ne pas arriver à la température de 100 degrés centigrades. Le lavage se fait avec très-peu d'eau pour obtenir des liqueurs aussi concentrées que possible. Elles sont jaunes ou rougeâtres; elles peuvent être décolorées par le noir animal purifié; mais cette dernière opération n'est guère nécessaire. La solution renferme des dérivés de l'acide urique au nombre desquels on cite surtout de l'alloxane, de l'alloxantine, du nitrate d'urée, des sels ammoniacaux et quelques autres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

substances pouvant prendre naissance dans l'acte d'oxydation de l'acide urique.

On évapore dans des vases en fonte émaillée très-larges, en ayant bien soin de ne pas dépasser une température de 80° c. et de ne point opérer sur de trop fortes proportions de matière. A cet effet, on verse un peu de solution dans le vase chauffé vers 75° ou 80° c., et l'on attend, en remuant constamment, qu'elle ait acquis, par concentration, une consistance pâteuse; on ajoute alors une nouvelle quantité de solution qu'on concentre en remuant, et ainsi de suite en versant peu de liquide à la fois. Après la concentration de toutes les liqueurs, on laisse refroidir et l'on obtient de la sorte une substance pâteuse ou même solide, d'une couleur brune, rougeâtre ou violette, présentant quelquefois un reflet verdâtre. C'est là le *carmin de pourpre* de M. Broomann.

Dans cette dernière opération, l'ammoniaque provenant de la dissolution de l'urée libre et du nitrate d'urée réagit à l'état naissant sur l'alloxantine et l'alloxane pour former de la murexide.

La présence des matières organiques étrangères peut même être utile, en ramenant une certaine quantité d'alloxane à l'état d'alloxantine. C'est dans ce but qu'on ne décolore pas toujours.

2° Lorsqu'on ajoute de l'ammoniaque à une solution chaude d'alloxantine, elle devient pourpre, par suite de la formation de la murexide; mais cette coloration disparaît très-facilement soit par le refroidissement, soit par l'ébullition de la liqueur.

L'eau, l'excès d'ammoniaque et l'oxygène de l'air exercent dans cette circonstance une action décomposante sur la murexide. Pour l'éviter, M. Clark conseille d'opérer comme l'avait déjà fait M. Gmelin, c'est-à-dire de faire passer du gaz ammoniac sur de l'alloxantine sèche réduite en poudre, ou mieux encore, de traiter l'alloxantine sèche ou humide par une solution alcoolique d'ammoniaque ou de carbonate d'ammoniaque, ou par du gaz ammoniac saturé de vapeurs alcooliques. La murexide, étant insoluble dans l'alcool, est protégée par ce dernier contre une action trop prolongée de l'ammoniaque en excès; on prépare l'alloxantine soit en réduisant l'alloxane par l'hydrogène sulfuré, soit en portant à l'ébullition un mélange d'une partie d'acide urique avec 32 d'eau, et ajoutant peu à peu de l'acide nitrique faible jusqu'à dissolution complète de l'acide urique; la solution, évaporée aux 2/3, est abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours dans un local frais; elle dépose des cristaux d'alloxantine, qu'on peut purifier par cristallisation.

3° Plus récemment M. Clark a modifié cette méthode en la rendant plus pratique.

Il sature de l'acide nitrique de 1, 4 P. sp. étendu d'environ son volume d'eau, à une température très-peu supérieure à 60 degrés centigrades, par de l'acide urique; il résulte de ce traitement une dissolution chargée des produits de l'oxydation de l'acide urique. On traite par l'ammoniaque, en réalisant les conditions suivantes :

On mélange le liquide à froid et petit à petit avec une quantité d'ammoniaque qui n'est que la moitié de celle qu'il faudrait pour rendre alcaline la solution d'alloxane.

L'ammoniaque n'est ajoutée que par petites portions à la fois, d'un côté, pour qu'il n'y ait point élévation de température, et de l'autre pour que le liquide ait le temps de reprendre sa réaction acide. En effet, une pareille solution, rendue faiblement alcaline à froid ou neutralisée, reprend bientôt après sa réaction acide. Cet effet n'a plus lieu lorsque la neutralisation a été faite à chaud.

Le mélange ainsi préparé, chauffé à 60°, donne par le refroidissement des cristaux de murexide

Voici les proportions indiquées pour préparer la murexide très-pure et en grande quantité. A 100 litres du liquide provenant du premier traitement de l'acide urique par l'acide azotique et marquant 30° Baumé, M. Clark ajoute peu à peu 23 à 30 litres d'ammoniaque liquide à 18° Baumé, en ne versant à la fois que les 4/5 d'un litre. Après avoir opéré le mélange complet, on chauffe le tout à 75° c. Par le refroidissement la murexide cristallise; on la recueille sur une toile.

Les eaux mères sont traitées exactement de la même manière pour ce qui concerne la température, mais la force de l'ammoniaque ne doit plus être que de 4 1/2° B.

Les eaux mères de cette nouvelle opération peuvent être réunies aux opérations subséquentes ou traitées une troisième fois avec de l'ammoniaque qui ne marque plus qu'un peu moins de 2° à l'aréomètre de Baumé.

A l'état de pureté, la murexide cristallise en prismes à 4 pans raccourcis, d'un vert doré magnifique; placés entre l'œil et la lumière, ils paraissent d'un rouge-grenat; ils produisent une poudre rouge qui prend sous le polissoir une couleur verte d'un éclat métallique. Peu soluble dans l'eau froide, elle se dissout en plus grande quantité dans l'eau chaude; elle est insoluble dans l'alcool et l'éther; elle se dissout dans la potasse caustique en prenant une magnifique couleur bleue; desséchée à l'aide de la chaleur, elle perd, suivant MM. Liebig et Wœhler, 3 à 4 p. 100 d'eau d'hydratation.

Sa solution dans l'eau à 35° donne, avec le nitrate d'argent, un précipité rouge qui devient vert par la dessiccation et qui prend sous le polissoir un reflet métallique; l'acétate de plomb fournit de même un précipité.

Une dissolution bouillante de murexide traitée par l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique dépose des paillettes nacrées, que Proust qui, le premier, les a préparées, nommait *acide purpurique*. Cette réaction fait entrevoir la constitution réelle de la murexide, qu'on peut regarder comme un *purpurate d'ammoniaque*. En effet, la liqueur débarrassée de l'acide purpurique contient du sulfate ou du chlorhydrate d'ammoniaque. En partant de ces données il est facile de formuler, tout en tenant compte de la composition centésimale à laquelle l'analyse a conduit, les transformations successives que subit l'acide urique et la production de la murexide; MM. Proust, Fritsche et Gmelin étaient arrivés à la même conclusion. En effet, l'acide purpurique est un acide éphémère qui, dès qu'il se trouve en liberté, se métamorphose en alloxane en dialuramide et en ammoniaque; on avait autrefois regardé comme des corps différents la murexane et l'uramile; Gerhardt a fait voir que ces deux corps n'en font qu'un qu'il nomme dialuramide. Or, l'acide urique oxydé plus ou moins énergiquement peut produire de l'alloxane et de l'urée, ou de l'alloxantine plus de l'urée; l'alloxane soumise à l'ébullition prolongée ou bien encore à l'influence des corps réducteurs se convertit en alloxantine, et cette dernière, sous l'influence de l'ammoniaque, forme du purpurate d'ammoniaque avec élimination d'eau.

Ces réactions expliquent la succession des phénomènes qu'on observe dans la transformation de l'acide urique en purpurate d'ammoniaque. La dialuramide sous l'influence des corps oxydants peut reproduire la murexide.

Le carmin de pourpre préparé pour les besoins des arts ne peut se fixer sur les fibres textiles ou les tissus (soie, laine et coton) que par l'intermédiaire des sels métalliques capables de former avec l'acide purpurique des précipités colorés insolubles. Les meilleurs résultats ont été fournis par l'emploi des sels de mercure et de zinc. Les premiers donnent une coloration rouge et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ourpre; les seconds conduisent à des nuances oranges et jaunes. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet qui présente un grand intérêt de nouveauté. Mais avant d'abandonner l'étude de la murexide, nous devons ajouter qu'il serait intéressant de voir abaissé considérablement le prix de l'acide urique; le résultat ne semble devoir être atteint qu'autant qu'on le préparerait artificiellement et directement, au lieu de l'extraire avec plus ou moins d'économie des matières animales. Il y aurait, dans des recherches dirigées dans le sens que nous ne faisons qu'indiquer, espérance d'un profit considérable.

La murexide constituait probablement la célèbre pourpre des anciens. D'après M. Lacaze-Duthiers, les *murex*, dont on a tiré le nom de murexide, contiennent une substance colorante renfermée dans un organe particulier qu'on retrouve dans d'autres mollusques, principalement dans les *helix*; elle ne se colore en pourpre que par l'exposition à l'air au contact des rayons solaires.

15. Créosote (*acide rosolique*).

Il y a quinze ans, j'avais constaté dans des chaux ayant servi longtemps à la purification du gaz de houille la présence d'une matière particulière capable de produire une magnifique couleur rouge-cerise; cette matière, ou du moins une substance équivalente, a été retrouvée et proposée comme matière applicable à l'art de la teinture; il y a tout lieu de penser que ce principe n'est autre que l'acide *rosolique* de Runge.

Acide rosolique — D'après M. Smith, lorsqu'on traite la créosote par un mélange de soude caustique et d'oxyde de manganèse à la chaleur de sa volatilisation, il se forme du rosolate de soude soluble dans l'eau, qu'on décompose par un acide; ce corps est d'une magnifique couleur rose; malheureusement jusqu'à présent il n'est pas inaltérable à l'air, et l'acide carbonique suffit pour l'altérer. Cette circonstance a rendu jusqu'à présent son application de la plus grande difficulté. Ce point a fixé l'attention de plusieurs chimistes, et M. Dussart a publié sur ce sujet les observations suivantes:

Quand on répète les expériences de Runge, on obtient en effet un corps rouge dont l'intensité de couleur s'accroît par la combinaison avec les alcalis, et qui forme une laque rouge avec l'alumine; mais la quantité de ce produit est toujours faible. Les réactions de l'acide rosolique font supposer qu'il est identique avec les produits de l'oxydation de l'acide phénique en présence des alcalis; son existence se rattacherait donc aux composés si remarquables préparés par Laurent. L'acide de M. Dussart est un corps rouge très-friable, fusible avec décomposition. Lorsque, après sa précipitation, on le sèche à 80° degrés, il se transforme isomériquement et se présente avec une couleur vert-cantharide très-brillante; la pulvérisation le ramène à son premier état; acide faible, il est peu soluble dans l'eau, très-soluble dans l'alcool et l'éther, soluble dans les carbonates alcalins sans déplacement d'acide carbonique, soluble dans les alcalis caustiques avec une magnifique couleur rouge-cerise précipitable par les acides les plus faibles et ne formant pas de laque avec l'alumine. L'acide extrait de la créosote semble contenir des matières qui sont la cause de la formation de cette laque dans le cas où elle se forme. La chaux, la baryte, la strontiane donnent des sels moins solubles; les sels métalliques précipitent des sels insolubles différemment colorés. Distillé sur de la chaux potassée, il régénère de l'acide phénique en même temps qu'une portion se détruit. L'acide sulfureux liquide ne le décolore pas. D'après les recherches de M. Dussart, l'acide extrait de la créosote n'aurait pas la même composition.

MM. Arnaudon et Persoz fils ont examiné ce produit au point de vue de la teinture, ils ont pu le fixer; l'acide libre donne sur la laine et sur la soie préparées par l'alun une magnifique couleur jaune orangé; lorsqu'on fait virer cette couleur dans un bain d'eau de baryte à 25 degrés centigrades, on obtient la couleur rouge-cerise caractéristique de ce principe qui semble laisser à désirer quant à la solidité.

Les recherches récentes de M. Hugo-Mueller semblent devoir confirmer les idées de M. Dussart sur l'origine de l'acide rosolique, qu'il rattache à l'acide phénique. Pour l'extraire en effet du goudron de gaz, on le traite par un sel de chaux qu'on épuise au moyen d'une dissolution bouillante de carbonate d'ammoniaque; la dissolution filtrée présente une magnifique couleur carmin; lorsqu'on évapore à siccité, il se dépose une résine qui n'est que de l'acide rosolique impur; on le purifie en le traitant successivement par l'alcool, l'hydrate de chaux, l'eau et l'acide acétique. Plusieurs traitements successifs abandonnent l'acide rosolique à l'état de pureté. C'est une substance amorphe d'un vert foncé, possédant les reflets des cantharides; sa poussière est rouge, mais elle prend un éclat doré lorsqu'on la frotte sur un corps dur et poli. Elle est translucide en lames minces; elle présente alors une couleur rouge-orange.

L'acide rosolique précipité par l'eau de sa dissolution alcoolique se présente sous forme de flocons rougeâtres purs qui s'agglomèrent à 60° et se résolvent en un liquide lourd d'un vert foncé presque noir. Ce liquide est soluble dans l'alcool, l'éther, l'acide phénique, la créosote et les acides acétique, chlorhydrique et sulfurique. Quand on emploie l'eau bouillante comme dissolvant, il se précipite par refroidissement sous forme d'une poudre rouge-cinabre. Il est insoluble dans le chloroforme, la benzine et le sulfure de carbone.

L'acide rosolique est un acide très-faible; il ne se combine qu'avec l'ammoniaque, et les alcalis purs forment des sels colorés en rouge; mais ces combinaisons sont tellement instables, que l'acide carbonique de l'air suffit pour les décolorer; la lumière solaire agit de même. Cette circonstance rendra probablement son emploi dans l'industrie excessivement difficile; cependant il est possible qu'on puisse remédier au manque de solidité; il paraît même que les manufacturiers anglais sont sur la voie, s'il est vrai qu'ils transforment, comme MM. Lowe et Calvert l'ont annoncé, les produits du goudron de houille en une matière colorante rose capable de rivaliser avec les roses de carthame et les cramoisis de garance. Cette couleur, d'un prix encore très-élevé, résiste, d'après les chimistes que nous venons de nommer, aux savons et à la lumière. Avec de semblables qualités, ce principe, provenant d'une matière première qui n'est certes pas rare, ne peut manquer de trouver sa place dans la grande industrie. A ces colorations se rattacheraient évidemment les composés de Laurent, sur lesquels nous avons insisté lorsque nous avons voulu faire pressentir l'importance de l'avenir des arts chimiques dans leur application à l'art de la teinture.

16. Rouge d'aniline (*fuchsine, azaléine, acide fuchsique*).

Alexandre Hervey, chimiste distingué de Glascow, a mis à profit dès 1857, la coloration que l'aniline produit avec le chlorure de chaux, et les manufactures d'Angleterre sont parvenues à fixer cette couleur sur les tissus de coton. A de nouveaux titres l'aniline a pris dans la teinture une place importante depuis qu'elle sert à produire la plus riche et la plus éclatante couleur rouge que l'industrie possède.

D'après M. Fritsche, lorsqu'on soumet à la distillation sèche l'acide anthranilique ou l'indigo dissous dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

potasse, après l'avoir mêlé de deux fois son poids de sable ou de verre en poudre pour multiplier les surfaces, il se dégage de l'acide carbonique en même temps qu'il se condense dans le récipient un liquide particulier, base des magnifiques couleurs rouges et violettes dont la chimie vient de doter l'art de la teinture. Ce liquide constitue l'*aniline*, qu'on avait désignée successivement sous les noms de *cristalline*, de *benzidame*, d'*amide phénique*, de *cyanol*, jusqu'à l'époque à laquelle le nom d'aniline prévalut dans la science.

Aniline.—Nous venons d'indiquer deux circonstances dans lesquelles l'aniline prend naissance; elles sont très-variées, et nous croyons devoir en indiquer quelques autres parce qu'elles pourront peut-être un jour fournir aux besoins de l'industrie.

1° La nitrobenzine en dissolution alcoolique, saturée d'abord par de l'ammoniaque, puis par de l'hydrogène sulfuré, donne un dépôt de soufre et des aiguilles jaunes cristallines à 0°, qui par le repos se transforment en aniline; on la dégage par l'ébullition. Chauffée sur de la chaux rouge, la benzine nitrique se transforme encore en ce même liquide.

2° Le phénate d'ammoniaque, scellé dans un tube de verre pour être abandonné quinze jours dans un four à des températures convenables, fournit de l'aniline.

3° Runge et Hoffmann en ont constaté la présence dans l'huile de goudron.

4° Par la distillation de la salicylamide sur de la chaux vive, il se dégage de l'aniline, si la température n'est pas trop élevée.

5° Les espèces chlorées et bromées du genre isatine, de même que l'isatine, mêlées à de la potasse et distillées avec ménagement, fournissent de l'aniline.

Jusqu'en 1854, l'aniline n'était considérée que comme une substance curieuse; on ne la connaissait guère que dans les laboratoires, l'industrie ne s'en préoccupait en aucune façon tant son prix était élevé; cette situation dut changer quand on entrevit pour l'industrie la possibilité d'en tirer parti. Grâce aux travaux de MM. Renard frères et Franc, grâce aux recherches suivies de M. Béchamp, ainsi qu'aux travaux pratiques de M. Tabourin, la fabrication de l'aniline est aujourd'hui courante industriellement, et cette matière peut être livrée sous le prix de 20 à 25 fr. le kilogramme.

Voici la méthode proposée par M. Béchamp: dans une cornue spacieuse on introduit une partie de nitrobenzine, 1,2 de limaille de fer bien décapée, une partie d'acide acétique concentré du commerce (vinaigre de Mollerat) exempt d'acide minéral. La quantité d'acide acétique doit être telle que le fer y soit complétement immergé; bientôt, sans chauffer, la réaction s'établit d'elle-même; elle devient excessivement vive, la température s'élève, et le liquide entre en ébullition; on refroidit le récipient, il se forme de l'aniline, de l'acétate d'aniline, et un peu de nitrobenzine qu'on recueille dans un récipient ajusté sur la cornue. Lorsque la cornue est refroidie, on ajoute ce qui s'est déjà volatilisé, puis on distille aux trois quarts. On verse dans la cornue un lait de chaux presque pâteux, puis on distille tant qu'il passe de l'aniline. Au produit distillé on ajoute un excès d'une dissolution concentrée de potasse, ou de carbonate de soude, ou d'hydrate de chaux; l'aniline hydratée se sépare et vient à la surface. En ajoutant la nitrobenzine par petites portions à la fois, on modère l'opération, qui est tellement régulière que MM. Renard frères et Franc, à Lyon, fabriquent actuellement jusqu'à 100 kilog. d'aniline par jour.

La nitrobenzine se prépare avec la benzine retirée du goudron. Les huiles légères de houille à 27 degrés donnent à la distillation, entre 70 et 80 degrés, de 25 à 30 p. 100 de benzine, qui fournit environ 90 p. 100 de nitrobenzine. Dans ces bonnes conditions, l'aniline rentre à 20 fr. le kilog.; on vend à Londres 25 fr. le kilog. d'aniline anglaise. L'industrie française produit donc l'aniline au prix que M. Béchamp avait fixé. M. Perkin, en Angleterre, régularisant l'action de l'acide chromique sur l'aniline, a préparé le violet d'aniline que MM. Franc et Tabourin fabriquent, sous le nom d'indisine, sur une vaste échelle. MM. Renard frères et Franc ont ouvert une voie nouvelle d'application de l'aniline, en étudiant avec M. Verguin la magnifique couleur rouge que l'aniline produit dans des circonstances variées; on en tirera bientôt du bleu.

A l'état de pureté, l'aniline est un corps incolore d'une densité de 1,028, doué d'une odeur aromatique forte et désagréable; peu soluble dans l'eau, elle se mélange en toutes proportions avec l'alcool et l'éther. Le contact de l'air la colore en brun rouge brunâtre et finit par la transformer en une résine jaunâtre. Elle bout à des températures qui ont été fixées entre 182 et 228°; elle coagule l'albumine.

La solution des hypochlorites alcalins se colore par l'aniline en bleu foncé violacé; le chlorure de chaux produit le même effet; la couleur est variable d'intensité, suivant la concentration du liquide. Cette couleur passe au rouge sale au contact des acides.

L'aniline décompose les sels de peroxyde et de protoxyde de fer; il se précipite des oxydes hydratés; elle précipite aussi les sels de zinc et d'alumine. Elle précipite encore les chlorures de mercure, de platine, de palladium et d'or. Les nitrates d'argent et de mercure résistent sans altération. L'aniline forme avec les acides des composés définis qui cristallisent dans l'alcool et dans l'eau; les alcalis minéraux régénèrent l'aniline inaltérée. Le chlore gazeux la noircit avec dégagement d'acide chlorhydrique; au bout de quelques instants tout le liquide ne forme plus qu'une masse résinoïde noire, qui donne de l'acide phénique trichloré lorsqu'on la soumet à la distillation.

L'acide nitrique étendu dissout l'aniline sans l'altérer; il se forme du nitrate d'aniline qui rougit à l'air. Mais l'acide concentré fumant la transforme en un principe qui devient jaune, et finit par se transformer avec une réaction très-vive en acide picrique.

Rouge d'aniline. — Telles étaient les propriétés connues de l'aniline, lorsque M. Verguin, attaché comme chimiste au laboratoire de MM. Renard frères de Lyon, découvrit la transformation remarquable que ce corps subit lorsqu'on le met en contact à la température de l'ébullition avec le bichlorure d'étain. Cette réaction de l'aniline et du bichlorure d'étain est tellement tranchée que, quelles que soient les proportions du mélange, on obtient toujours la magnifique coloration rouge-groseille qui caractérise la fuchsine. Elle se forme tout aussi bien en présence d'un excès du bichlorure d'étain que lorsqu'il y a de l'aniline en excès. On forme dans une marmite en fonte émaillée (de Rogeat frères à Lyon) un mélange de 8 kilogrammes d'aniline anglaise et de 4k.5 de bichlorure d'étain (liqueur fumante de Libavius). Cette marmite est placée au-dessus d'un foyer mobile. On prépare le mélange à froid en ajoutant le bichlorure par petites portions et agitant légèrement sous une hotte dans laquelle on lance de la vapeur pour activer le tirage. On le laisse au repos une heure ou deux, puis on chauffe en agitant et maintenant à l'ébullition durant le temps nécessaire au développement de la nuance, c'est-à-dire environ 20 minutes. On la juge en regardant par transparence la tige de verre qui sert d'agitateur. La masse, d'un rouge vif intense et d'une consistance mielleuse, est abandonnée quelques instants au refroidissement et coulée dans des vases de grès pesés; on en retire environ 12 kilog.; on la livre au commerce sous le nom de *fuchsine*. Elle doit ce nom, non pas à ce fait qu'en al-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lemand Fuch veut dire Renard, nom de l'inventeur, circonstance fortuite, mais parce qu'elle rappelle la brillante couleur des fleurs qui composent le genre *fuchsia*.

Le bichlorure d'étain hydraté peut concourir à la formation du rouge d'aniline, comme la liqueur fumante de Libavius.

Le bichlorure d'étain n'est pas le seul agent qui, chauffé sur de l'aniline, la transforme en fuchsine.

Lorsqu'on porte à la température de l'ébullition un mélange de 2k.3 de protonitrate de mercure et 4k.2 d'aniline anglaise, on observe qu'après une heure de contact la masse prend une consistance à peu près sirupeuse et la couleur rouge violacé de la fuchsine ; une quantité considérable de mercure réduit s'accumule au fond du vase, et on le sépare par décantation. La masse rouge, coulée dans des pots de grès, est mise dans le commerce par MM. Monnet et Dury sous le nom d'azaléine, d'après le brevet de M. Gerber-Keller.

Les propriétés physiques et chimiques de ces substances prouvent l'identité complète de la fuchsine et de l'azaléine.

C'est encore de la fuchsine qui prend naissance dans le contact à la température de 200° de l'aniline avec le protosulfate d'étain, le fluorure d'étain, le nitrate d'urane, le nitrate de peroxyde de fer, l'iodoforme et l'iode. Dans toutes ces circonstances, la production de la fuchsine se constate de la manière la plus nette tant par l'application qu'on en peut faire à la teinture des fibres textiles de nature animale (laine et soie), que par la mise en évidence des caractères essentiels qui la distinguent.

A la liste des corps que nous venons d'indiquer il faut en ajouter d'autres, le bichlorure de mercure, le perchlorure de fer, le protochlorure de fer, le protochlorure de cuivre, le bisulfate d'étain, le protosulfate de mercure, le deutosulfate de mercure, le deutonitrate de mercure, le nitrate d'argent, le bifluorure d'étain, le bifluorure de mercure, le bibromure de mercure, l'iodure d'étain, le chlorure d'urane, le chlorate de mercure, l'iodate de mercure, le sesquichlorure de carbone, tous ces corps agissant à la température d'environ 200°. Nous généralisons les circonstances dans lesquelles se forme la fuchsine en disant que *trois* éléments concourent toujours à la produire ; l'un est physique, c'est la chaleur, et que, tandis que deux de ces agents l'*aniline* et la chaleur dont le degré correspond au point d'ébullition de l'aniline, environ 200°, sont invariables et constants, le troisième est essentiellement variable, comme on en peut juger d'après les nombreux brevets qu'on a voulu greffer sur le premier brevet de MM. Renard frères et Franc. Il n'y a rien d'étonnant qu'on ait pu remplacer l'un quelconque des agents que nous venons d'indiquer par l'acide nitrique (brevet Depouilly et Lauth), ou l'acide arsénique (brevet Girard et Delaire), ou l'oxyde puce de plomb (Girard et Delaire, *cristallinéine*). MM. Renard frères et Franc, dans leur brevet du 8 avril et les additions qui s'y rattachent, renoncent eux-mêmes à décrire toutes les substitutions possibles lorsqu'ils disent : « étant bien entendu que quelles que soient les manipulations effectuées, quels que soient les corps employés, nul ne peut fabriquer la matière rouge extraite par nous de l'aniline, sans porter atteinte à notre droit d'inventeurs, qui a pour base première, pour but exclusif et pour résultat définitif, non pas un procédé, ni une substance quelconque, mais bien la nouvelle matière rouge résultant de nos travaux. »

Le tribunal de la Seine a confirmé ces prétentions par un jugement en date du 31 août 1860, conformément aux conclusions d'un rapport d'expert Persoz, de Luynes et Salvétat, dont nous extrayons la majeure partie des renseignements que nous avons reproduits ici.

Si la fuchsine est un produit constant de la réaction individuelle de différents agents sur l'aniline à la température en quelque sorte déterminée par le point d'ébullition du mélange fixe, nous devons faire remarquer que suivant les circonstances et la nature de l'agent employé cette fuchsine peut être obtenue sensiblement pure, ou bien se trouver accompagnée d'un excès d'aniline, d'une matière violette qui semble n'en être qu'une modification, d'une petite quantité d'*indisine*, avec la matière goudronneuse qu'accompagne toujours cette dernière lorsqu'elle vient à prendre naissance.

Pour comprendre qu'il puisse en être ainsi, nous répéterons les résultats de quelques expériences que nous avons dirigées dans le but d'établir, s'il était possible, la cause de la transformation de l'aniline en fuchsine.

Les chimistes qui jusqu'à ce jour ont abordé cette délicate question répondent que la fuchsine résulte d'un phénomène d'oxydation qui se produit soit directement lorsque l'agent variable peut fournir l'oxygène nécessaire, soit indirectement lorsqu'on fait intervenir un composé bromé, chloré, fluoré qui décompose l'eau pour mettre de l'oxygène en liberté. Au premier abord, cette opinion paraît assez fondée, mais elle ne rend pas compte de la formation de la fuchsine, lorsqu'on remplace le nitrate de protoxyde de mercure par le sesquichlorure de carbone, par l'acide arsénique, par le sulfate de protoxyde d'étain, etc.

Les choses ne nous paraissent pas être si simples qu'on le prétend. Et, d'abord, si dans la préparation de la fuchsine au moyen du nitrate de mercure, tout le mercure se trouve revivifié, la fuchsine ainsi préparée n'est jamais pure, elle est toujours accompagnée d'une forte proportion de résine et d'une faible quantité d'indisine qui donne un ton plus ou moins bleu. L'action est des plus complexes. D'autre part, quand on a recours à l'acide arsénique, la fuchsine se produit sans réduction de l'acide arsénique, c'est-à-dire sans formation d'acide arsénieux, comme le fait voir l'expérience suivante :

On prend 12 gr. d'acide arsénique pur qu'on a fait dissoudre dans 12 gr. d'eau, et on mêle le tout avec 10 gr. d'aniline pure. Ce mélange introduit dans un appareil distillatoire est porté progressivement, dans l'espace de six à sept heures, de la température ordinaire à celle de 100, 120, 160 et 180°. Une portion de l'aniline, 2 gr. environ, échappe à la réaction et vient se condenser dans le récipient. Quant au résidu, il se dissout presqu'en entier dans l'eau, et l'arsenic se retrouve en totalité dans la liqueur à l'état d'*acide arsénique*. C'est à peine si l'on peut constater les traces d'*acide arsénieux*.

On n'est donc pas fondé, d'après cette expérience, à dire que la fuchsine est le résultat d'une oxydation subie par l'aniline.

Au reste, ce n'est pas le seul fait qui justifie cette proposition; le nitrate d'aniline employé comme agent variable de la réaction transforme l'aniline en fuchsine, sans qu'il se dégage la moindre trace de l'un de ces composés nitreux qui apparaissent toujours et nécessairement toutes les fois que l'acide nitrique ou les nitrates interviennent dans une réaction comme agent oxydant.

Selon toute probabilité, le développement de cette matière colorante, si tant est qu'elle dérive uniquement de la molécule aniline, résulterait d'une modification physique ; en un mot, ce serait un changement d'état moléculaire provoqué par l'agent chimique variable que l'on met en présence de l'aniline. On s'explique ainsi comment, en faisant varier les conditions de température et la nature de l'agent, on parvient à faire naître un produit rouge plus ou moins violacé.

Nous avons actuellement plusieurs faits qui autorisent une pareille hypothèse ; c'est d'abord ce dérivé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'indigo signalé dans la brochure sur le vert de Chine (Paris, 1858), qui, seul, et par l'unique fait d'une variation de température imprimée à sa dissolution, permet de réaliser *toutes les couleurs simples binaires ou ternaires*, le ponceau excepté. D'autre part, M. Jules Persoz vient de démontrer (*Répertoire de chimie*, 1860) que la lumière secondée de l'action de la chaleur provoque un ébranlement moléculaire dans les éléments constitutifs de l'acide nitrocuminique, dont l'effet est la production d'une belle couleur cramoisie.

Quels que soient les procédés appliqués à la préparation de la fuchsine, nous avons démontré, et par les propriétés des teintures obtenues et par les caractères physiques, qu'il se formait toujours une même substance, et nous avons conclu que l'azaléine, la fuchsine, la cristallinéine étaient identiques au double point de vue de leurs applications et de leur nature chimique.

Nous ferons remarquer que ces trois matières se comportent également bien à la teinture ; toutefois, lorsqu'on prépare la fuchsine au moyen du bichlorure d'étain et des dosages que nous avons indiqués, le rouge d'aniline traité par l'eau bouillante peut être immédiatement employé, tandis que lorsqu'on fait usage du sel de mercure, la couleur est accompagnée de résine, qu'il faut éliminer par une ébullition préalable, prolongée plusieurs heures, pour éviter les taches dont les tissus peuvent être maculés. Si l'on veut imprimer, la fuchsine préparée par le bichlorure d'étain doit être délayée dans l'acide acétique, puis épaissie à la gomme. On se sert d'acide acétique pour atténuer les effets du composé d'étain qui détruit au fixage la vivacité de la nuance.

Nous terminerons cette étude par l'exposé des caractères chimiques de la fuchsine, en ne perdant pas de vue que ces caractères appartiennent aux trois substances qu'il convient de confondre et qu'on avait désignées pour des motifs qu'il est facile de saisir sous les noms d'azaléine et de cristallinéine.

Lorsqu'on veut isoler la matière colorante de tout principe étranger, on délaye le rouge d'aniline brut dans six ou sept fois son volume d'alcool et on filtre pour éloigner les parties insolubles. On verse de l'ammoniaque dans chacune des dissolutions alcooliques jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de précipité ; on jette sur un nouveau filtre pour éliminer tout ce qui n'est pas soluble ; il reste un liquide incolore ou légèrement ambré contenant la totalité de la matière colorante. La liqueur ammoniacale est saturée par de l'acide acétique ; on y verse une dissolution saturée de bichromate de potasse, qui produit un précipité rouge qu'on recueille sur des filtres et qu'on lave. Le lavage doit être fait avec précaution, parce que tant que la liqueur et les eaux de lavage sont chargées de matières salines, le précipité ne se dissout pas sensiblement ; mais aussitôt que l'eau sort exempte de sels, la liqueur devient d'abord rouge-orange, à cause des dernières traces de chromate de potasse, et enfin rouge-groseille pur. A partir de ce moment, en lavant à l'eau chaude, on obtient une dissolution de la matière colorante pure, quelle que soit l'origine du produit ; l'évaporation la dépose sous forme d'une masse verte magnifique ayant les plus beaux reflets de la cantharide. On peut teindre en rouge vif sans avoir à constater les différences qui caractérisent quelques-uns de ces produits, l'azaléine, par exemple.

On peut substituer à l'ammoniaque, employée comme base capable de s'emparer de la matière colorante pour former avec elle une combinaison soluble, la baryte ou la chaux caustique en dissolution, à froid, mais surtout à chaud ; dans ces circonstances, la fuchsine entre en dissolution comme l'aurait fait, à froid, l'acide carthamique, au contact des carbonates alcalins, sans perdre de ses propriétés tinctoriales, puisqu'il suffit, pour les remettre en évidence, de saturer par un acide les liqueurs alcalines, et de plonger dans le bain la soie ou la laine.

Les dissolutions provenant des traitements successifs indiqués ci-dessus, contenant la matière colorante pure, ont été soumises à l'action comparative de quelques réactifs, à l'effet de constater les différences qui pourraient exister entre elles.

Les alcalis caustiques, les carbonates alcalins en opèrent la décoloration soit à froid, soit à chaud, mais sans détruire la couleur, car celle-ci reparaît à volonté moyennant l'intervention d'une quantité convenable d'acide.

Le chlorure de platine trouble à peine ces dissolutions ; mais, au bout d'un certain temps, il se forme dans toutes un précipité pourpre violacé.

Le chlorure d'or donne spontanément un précipité pourpre foncé dans toutes ces liqueurs.

Le sulfocyanure de potasse versé dans ces dissolutions n'y produit d'abord rien de sensible ; mais, au bout d'un certain temps, on y voit apparaître un précipité couleur pourpre de Cassius.

Le protochlorure d'étain, à froid, décolore presque complétement toutes ces dissolutions ; à chaud, elles affectent une couleur rosée lie de vin ; et si, pareillement modifiées, on y verse quelques gouttes d'acétate de soude, il se forme à l'instant une laque rose.

A froid, les couleurs de toutes ces dissolutions se modifient déjà d'une manière notable en présence du perchlorure d'étain ; à chaud, l'altération est bien plus prononcée, car on ne peut précipiter de la liqueur qu'une laque rosâtre et sale.

Mélangés avec les dissolutions de manganate et de permanganate de potasse, il ne se fait aucun précipité, et cependant, il y a altération de la matière colorante, puisque ces liqueurs ne teignent plus qu'en nuance fauve.

Les sels d'urane produisent, au bout d'un certain temps, un léger précipité dans toutes ces dissolutions.

L'hyposulfite de soude fait virer la nuance rouge-cerise à une nuance violacée.

Le chlore bleuit d'abord ces liqueurs et les décolore ensuite.

Le chlorure de chaux décolore partiellement toutes ces liqueurs à froid ; si, au contraire, on le fait réagir à chaud, la destruction de la matière colorante est complète, et le chlorure stanneux ne peut plus faire reparaître la couleur.

Les sels saturés à base alcaline ne donnent lieu à un précipité dans ces dissolutions qu'autant que les liqueurs sont extrêmement concentrées, et qu'un précipité peut prendre naissance en vertu de cette action spéciale qui fait que le carmin d'indigo, que le savon, corps très-solubles dans l'eau, peuvent y devenir insolubles sous l'influence de certaines matières salines.

L'acide sulfureux décolore ces dissolutions ; mais l'intervention d'un agent oxydant, employé avec précaution, permet de les faire renaître.

Cette étude chimique de la fuchsine se complète facilement par l'expérience répétée directement sur des tissus teints.

Exposés à l'action du chlore gazeux, tous les échantillons se comportent de la même manière : les couleurs bleuissent d'abord, puis disparaissent, en apparence du moins, car elles reparaissent, profondément modifiées, il est vrai, lorsqu'on plonge les échantillons ainsi modifiés par le chlore dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

L'acide sulfurique concentré se comporte d'une manière remarquable en présence de ces couleurs fixées par la teinture : toutes les parties du tissu où l'on dépose cet acide passent immédiatement au jaune-citron ; cette nuance étant une fois bien développée, si l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rince l'échantillon, les parties jaunes repassent au gris, et enfin à leur ton primitif, si l'on plonge les échantillons dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

L'acide hypochloreux concentré appliqué sur ces échantillons teints modifie la couleur, qui passe au gris violacé; ici encore la destruction de la matière tinctoriale n'est point complète, puisqu'il suffit d'immerger les échantillons dans l'acétate d'ammoniaque, de rincer ensuite pour faire revivre la couleur, un peu dégradée à la vérité, ce qui n'a pas lieu avec l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique nitreux concentré, et étendu d'eau au moment même, altère la couleur de tous ces échantillons; dans aucun cas, on ne peut la faire reparaître; le tissu même est altéré.

Les échantillons immergés dans un bain d'acide sulfureux ne tardent pas à s'y décolorer; mais leur couleur n'est point détruite; on peut la faire reparaître dans tous, à l'intensité près, moyennant l'intervention d'un agent oxydant agissant progressivement.

Le sulfhydrate d'ammoniaque décolore immédiatement tous les tissus; une portion de la matière tinctoriale modifiée passe en dissolution à la faveur du rôle basique de ce sulfhydrate. Les parties de la matière colorante qui ont abandonné le tissu, comme celles qui y sont adhérentes, sont toujours régénérées au moyen de l'acide acétique.

L'ammoniaque se combinant avec la matière colorante pour former un composé incolore, les échantillons teints, étant plongés dans cette dissolution alcaline, s'y décolorent, avec cette particularité, que le changement de couleur est plus rapide dans l'échantillon teint avec la fuchsine produite au moyen du bichlorure d'étain. La présence de la résine dans les autres produits explique cette circonstance.

Les alcalis caustiques et carbonatés se comportent de la même manière que l'ammoniaque avec toutes ces dissolutions, pourvu qu'on élève la température s'il s'agit des carbonates; et pour remettre en évidence la couleur de la fuchsine avec toutes ses propriétés caractéristiques, il suffit de neutraliser par l'acide acétique les parties imprégnées par l'alcali.

Au surplus, l'identité de la matière colorante extraite des divers produits que le commerce prépare, purifiée et ramenée à un état comparable, est mise hors de doute par un ordre de preuves essentiellement chimiques.

On prétendait que la fuchsine préparée par le bichlorure d'étain était chlorée, et qu'en conséquence il était impossible de la confondre avec la matière obtenue par le nitrate de mercure, agent qui, de son côté, ne peut fournir que de l'oxygène.

Cette manière de voir ne s'accorde pas avec l'expérience. En effet, si l'on prend l'une ou l'autre des matières obtenues par le bichlorure d'étain ou par le nitrate de mercure, en les brûlant dans un creuset de platine avec un mélange de nitre et de carbonate potassique purs, on ne trouve pas de chlore dans le résidu de la combustion, lorsque la purification de la matière a été complète.

D'autre part, en dosant les deux éléments importants de la fuchsine extraite de tous ces produits bruts, rouges dérivés de l'aniline, savoir, le carbone et l'azote, on retrouve toujours environ 70 p. 100 de carbone et 13 p. 100 d'azote.

M. Béchamp, admettant que la fuchsine est oxydée, la représente par les formules

$$C^{12}H^{5}AzO \text{ ou } C^{12}H^{6}AzO$$

qu'il croit qu'on devra doubler. (*Annales de chimie*, t. LIX, p. 407). Elles correspondent à 72,5 de carbone et 14,10 d'azote.

Quel caractère peut-on assigner à la fuchsine, relativement à sa manière d'être vis-à-vis des autres corps? Sans vouloir contester qu'elle puisse jouer le rôle de base dans certains cas, nous nous croyons autorisés à admettre qu'elle remplit non moins souvent, et peut-être plus, le rôle d'acide. Sous l'influence des acides, la fuchsine peut toujours teindre, car, dans ces circonstances, elle est libre et apparaît avec toutes ses propriétés. Au contraire, en dissolution dans les bases puissantes, potasse, soude, ammoniaque, etc., avec lesquelles elle fonctionne comme un véritable acide, elle devient incolore; elle ne teint plus; il faut l'intervention d'un acide pour la déplacer et pour lui rendre son aptitude à se combiner avec les fibres textiles.

Il est donc incontestable que la fuchsine se produit dans un grand nombre de circonstances avec les mêmes caractères organoleptiques et chimiques; il n'en reste que plus curieux qu'on ait été si longtemps à découvrir cette précieuse transformation de l'aniline que tant de chimistes, et des plus habiles, avaient maniée si souvent (Fritsche, Laurent, Gerhard, Hoffmann).

S'il est un essai qui devait frapper les savants et les industriels, et leur donner une idée du pouvoir colorant renfermé dans l'aniline, c'est évidemment l'expérience de Stenhouse qui fit voir qu'il suffit de quelques gouttes de *furfurol* pour colorer l'aniline en rouge intense; la réaction est si nette que ces deux agents deviennent les réactifs les plus précieux qu'on connaisse pour se déceler réciproquement.

Lorsqu'on traite par le furfurol une dissolution d'aniline dans l'acide acétique moyennement concentré, en ajoutant le furfurol goutte à goutte, la liqueur devient rouge; le liquide se décolore par le repos, en même temps qu'il se forme sur les parois du vase une masse poisseuse foncée qui possède le reflet vert des cantharides et qui constitue la matière colorante presque pure. Cette substance, lavée et séchée, devient dure et cassante avec un magnifique éclat vert doré.

M. J. Persoz a fait une étude de ce corps remarquable dans lequel le furfurol semble entrer comme partie constituante; presque insoluble dans l'eau, cette matière se dissout dans l'alcool, dans l'esprit de bois et dans l'acide acétique concentré; comme la fuchsine, elle est décolorée par l'ammoniaque et reprend sa couleur par l'acide acétique concentré.

Soumise à des essais de teinture, elle se combine directement aux tissus de laine et de soie; les nuances sont aussi vives que celles obtenues au moyen de la fuchsine; malheureusement elles n'ont aucune stabilité; elles disparaissent en quelques heures, même à l'abri de la lumière; en fragments épais, la couleur s'altère aussi, elle colore alors l'alcool en brun.

Le furfurol est-il seul capable de colorer l'aniline en rouge? M. Horace Kœchlin a remarqué qu'en traitant par l'acide chlorhydrique un mélange d'aniline et de goudron de bois, on obtient une matière d'un très-beau rouge qui rappelle par ses propriétés le produit que M. Renard livre au commerce sous le nom de fuchsine, et dont vainement on lui conteste la propriété.

17. Orcanette (*orcanettine, anchusine*).

On emploie en pharmacie, pour colorer en rouge les matières grasses, une substance particulière qu'on désigne sous le nom d'orcanette, et dont l'étude eût pu suivre celle de la racine de gremil, c'est la racine du *lithospermum tinctorium*. On nommait d'abord orcanettine le principe colorant qui se trouve surtout dans la partie corticale. On la traite par l'éther, on filtre et on fait évaporer. Le résidu fusible à 60 degrés est une résine impure à laquelle on a donné le nom d'orcanettine.

Orcanettine. — Ce principe est soluble dans l'alcool et dans l'éther qu'il colore en rouge; l'eau n'en dissout que des traces et précipite toute l'orcanettine de sa

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dissolution alcoolique ; l'acide acétique la dissout ; sa dissolution ne précipite pas la gélatine.

La potasse, la soude, la baryte, la strontiane forment avec elle des dissolutions bleues ; l'acétate de plomb forme un précipité bleu ; le précipité est plus abondant avec le sous-acétate. Le chlorure d'étain donne un dépôt cramoisi, les sels de fer et d'alumine un précipité violet. La couleur de ces laques, qu'on peut employer dans l'impression, a motivé la place que nous donnons à cette matière colorante en tête des matières violettes. L'acide sulfurique la décompose ; l'acide nitrique la transforme en une matière jaune amère et en acide oxalique. Elle est détruite par le chlore. La solution alcoolique d'orcanettine additionnée d'eau bouillante passe au violet et vire au bleu par la concentration ; elle s'altère par l'évaporation, en laissant une matière noire comme résidu. Ce résidu colore l'alcool et l'éther en lilas et les huiles en bleu. Les acides le verdissent et les alcalis le ramènent au bleu.

Pelletier a fait voir que l'orcanettine n'était pas un principe défini ; il en a retiré l'*anchusine*, qu'il considère comme plus pure.

Anchusine. — M. Lepage, pharmacien à Gisors, pour préparer l'anchusine épuise l'orcanette réduite en poudre grossière par le sulfure de carbone ; il distille les liqueurs réunies et expose pendant quelque temps à la chaleur du bain-marie le résidu qu'il traite par une liqueur alcaline contenant 2 p. 100 de soude caustique. L'anchusine se dissout ; on la traite par l'acide chlorhydrique ; le précipité ne se forme qu'après vingt-quatre heures au moins ; on le lave et on le fait sécher.

Nous avons dit l'analogie que présentait au point de vue des caractères chimiques la lithospermine extraite par MM. Ludwig et Kromayer de la racine de grémil, et la matière que MM. Bolley et Wydler ont retirée de l'alkanna tinctoria, plante également de la famille des borraginées.

Ces matières, qu'on peut précipiter à l'état de laques, pourront être employées dans l'impression ; elles produiront des nuances particulières qui peuvent constituer des nouveautés à des moments donnés.

18. VIOLET D'ANILINE (*aniléine, harmaline, indisine*).

Nous avons déjà fait connaître les propriétés de l'aniline ; nous rappellerons celles qui ont servi de point de départ à son emploi dans l'art de la teinture pour obtenir des nuances d'un magnifique violet. On lit dans Gerhardt :

« La solution des hypochlorites alcalins se colore par l'aniline en bleu violacé. Cette couleur est très-fugace et passe rapidement au rouge sale, surtout au contact des acides. Une coloration bleue semblable se produit avec l'acide sulfurique et le chromate de potasse.... Une solution aqueuse d'acide chromique produit dans les solutions d'aniline un précipité coloré en vert, bleu ou noir, suivant la concentration de la liqueur précipitée. On peut mêler l'aniline avec l'acide nitrique étendu sans qu'elle se décompose ; mais, en employant l'acide nitrique concentré et fumant, il suffit d'en verser quelques gouttes sur l'aniline pour qu'elle se colore à l'instant même en bleu foncé.

« Lorsqu'on fait agir du chlore sur l'aniline dissoute dans l'acide chlorhydrique, le liquide se colore en violet, se trouble et sépare une masse brune et résinoïde (*loc. cit.*, p. 82).

« Lorsqu'on mélange une petite quantité d'un sel d'aniline sur de la porcelaine avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, puis avec une goutte d'une solution de chromate de potasse, on voit apparaître au bout de quelques minutes une belle couleur bleue qui disparaît bientôt après (*loc. cit.*, p. 86).

« Les combinaisons de l'aniline avec les acides sont généralement incolores ; toutefois elles rougissent à l'air, surtout quand elles sont humides, et prennent alors une légère odeur (*loc. cit.*, p. 85). »

Tel était en 1856 l'état de nos connaissances touchant le développement des couleurs au moyen de l'aniline, et il n'est pas inutile de faire remarquer qu'en signalant comme on l'a fait l'instabilité des couleurs produites, on écartait naturellement toute idée de les appliquer.

Fort heureusement pour l'industrie, M. Perkin, reprenant l'étude des phénomènes de coloration produits par l'aniline, réussit à isoler la matière violette sur une certaine échelle, et put ainsi se livrer à l'examen de ses propriétés tinctoriales. Son travail fut couronné d'un plein succès, et donna lieu en Angleterre, le 26 août 1856, à la demande d'une patente scellée le 2 février 1857.

Dans ce brevet, Perkin ne fait que mettre à profit les données expérimentales acquises à la science ; pour former la couleur il suffit d'oxyder l'aniline, et pour obtenir cette oxydation, il a recours au bichromate de potasse, l'un des agents oxydants les plus énergiques. Voici comment on opère :

On prend une solution froide de sulfate d'aniline, ou de toluidine, ou de xylidine, ou de cumidine, ou un mélange de ces solutions et une quantité suffisante d'une solution froide d'un bichromate soluble contenant assez de base pour convertir l'acide sulfurique contenu dans les solutions ci-dessus mentionnées en un sulfate neutre. On mélange ces solutions et on les laisse reposer pendant dix ou douze heures. Ce mélange consistera alors en une poudre noire et une solution d'un sulfate neutre.

On verse le tout sur un filtre, on lave le dépôt à l'eau jusqu'à ce qu'il soit débarrassé du sulfate neutre, et l'on sèche la substance ainsi obtenue à la température de 100 degrés centigrades ; on la traite plusieurs fois avec du naphte provenant du goudron de houille, jusqu'à ce qu'elle soit débarrassée d'une résine soluble dans le naphte : mais toute autre substance que le naphte du goudron de houille dans laquelle la substance brune serait soluble et la matière colorante insoluble pourrait être employée.

On débarrasse le résidu du naphte par l'évaporation et on le fait digérer avec de l'esprit de bois, ou mieux dans de l'alcool ou tout autre liquide dans lequel la matière colorante est soluble. La matière colorante se trouve alors en solution ; on sépare l'alcool de la matière colorante par la distillation à la température convenable. C'est encore par l'acide sulfurique et le bichromate que MM. Renard frères et Franc, à Lyon, préparent le violet d'aniline, qu'ils livrent au commerce sous le nom d'*indisine*.

25 kilog. d'aniline sont transformés en sulfate par 13 kilog. d'acide sulfurique étendu à 5 degrés, c'est-à-dire par 650 kilog. d'eau ; le sulfate d'aniline est traité par 25 kilog. de bichromate de potasse ; au bout de 48 heures, on décante pour enlever une poudre noire qu'on fait sécher et qui pèse 32 kilog. ; ces 32 kilog. sont traités par 495 litres d'alcool, qu'on étend de 210 litres d'eau ; on filtre et on distille ; on trouve sur le filtre un résidu pesant 10 kilog. 250 ; après le départ de l'alcool, 120 kilog. de dissolution aqueuse représentent le produit utile.

4 kilog. 800 de cette dissolution qui représente 1 kilog. d'aniline, traités par 450 grammes de carbonate de soude, précipitent 34 grammes de matière colorante sèche ; on voit donc, d'après cette expérience, que le kilogramme d'aniline fournit 4,800 grammes d'indisine à l'état de carmin, 34 grammes de matière colorante pure et 440 grammes de matière résineuse noire insoluble dans l'eau, l'alcool et les éthers.

Depuis les travaux de Perkin, on a eu recours dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'industrie à d'autres moyens plus économiques pour préparer l'indisine. Si, comme on l'a vu, l'opération se réduit à oxyder l'aniline, on comprend que tout naturellement on ait été conduit à remplacer l'acide chromique, qui est d'un prix assez élevé, par le chlore sous l'influence de l'eau, par l'acide chloreux, par les hypochlorites, etc.

Enfin, comme dans toutes ces circonstances, on produit toujours simultanément une couleur et une résine; on s'explique l'emploi de diverses méthodes de séparation appliquées jusqu'ici et qui se réduisent les unes à enlever la matière colorante et à laisser la résine pour résidu, et les autres, au contraire, à dissoudre la résine et à laisser l'indisine comme résidu non soluble.

Indisine. — Nous nommerons ainsi la matière colorante violette qui dérive de l'aniline sous l'influence des agents oxydants; nous abandonnerons les noms d'harmaline et d'anilèine, en préférant le premier qui rappelle davantage la grande analogie que cette matière colorante présente avec l'indigo. On a voulu confondre à la fois la fuchsine et l'indisine en soutenant que, formées toutes les deux en vertu d'une même et unique cause, on développait à volonté l'une ou l'autre par le même procédé; nous avons vu qu'il n'en est rien et que les deux méthodes sont essentiellement différentes; il n'y a de commun que l'intervention d'un seul corps, l'aniline; d'ailleurs, les caractères de ces deux corps sont tellement tranchés, qu'il n'y a pas lieu de les prendre l'un pour l'autre.

En effet, la fuchsine se dissout dans l'ammoniaque, et l'indisine y est insoluble; la fuchsine se dissout dans l'acide sulfurique qu'elle colore en jaune; l'indisine se dissout également dans cet acide, mais pour le colorer en bleu; la fuchsine est décolorée par l'acide sulfureux; l'indisine résiste à l'action de cet agent réducteur; enfin, l'indisine étant le résultat de l'oxydation de l'aniline, qui est aussi un des dérivés de l'indigo, elle conserve avec ce dernier corps des analogies qui sont telles, qu'oubliant pour un instant que l'indisine est une couleur violette, on pourrait la prendre pour l'indigo, en réalisant sur elle tous les phénomènes de réduction et d'oxydation qu'on obtient si facilement avec l'indigo dans les nombreuses circonstances où l'on fixe industriellement cette matière tinctoriale sur les tissus de laine et de coton.

On admet bien que l'indisine dérive directement de l'aniline; mais quand on considère qu'un kilogramme d'aniline fournit moins de 40 gram. de couleur pure, on est tenté de se demander si la coloration n'est pas au contraire un produit accidentel. Il y a nécessité dans l'état actuel de nos connaissances de bien définir la véritable nature de l'aniline, telle que le commerce la prépare. Je crois à la présence d'au moins quatre substances différentes huileuses, basiques, mais formant des sels cristallisant dans des systèmes différents et de solubilités fort éloignées les unes des autres. A laquelle de ces substances faut-il attribuer la formation de la fuchsine et celle de l'indisine?

Nous avons vu qu'on n'est pas entièrement d'accord sur la génération de l'acide fuchsique; la même incertitude règne sur la composition de l'indisine. D'après M. Wilm, elle serait représentée par la formule

$$C^{36}\,H^{17}\,Az^{3}\,O^{2},$$

et l'équation

$$3\,(C^{12}H^{7}\,Az) + O^{6} = C^{36}H^{17}\,Az^{3}\,O^{2} + 4\,(HO)$$

rendrait compte de sa génération.

D'après M. Scheurer, elle devrait être représentée par la formule

$$C^{30}\,H^{14}\,Az^{2}\,O^{2},$$

et l'équation

$$5\,(C^{12}\,H^{7}\,Az) + O^{6} = 2\,(C^{30}\,H^{14}\,Az^{2}\,O^{2}) + Az\,H^{3} + 4\,(HO)$$

rendrait compte de la réaction. Toutefois on ne retrouve pas d'ammoniaque parmi les produits formés.

Quoi qu'il en soit, voici les différentes méthodes au moyen desquelles on prépare l'indisine et les variétés que l'industrie prépare actuellement.

D'après MM. Beale et Kirkham, on mélange un volume d'une dissolution aqueuse saturée d'aniline avec un volume d'acide acétique marquant 5 degrés à l'aréomètre; à cette dissolution acide on ajoute graduellement un volume de chlorure de chaux faible; on arrête l'addition du chlorure de chaux quand la liqueur a pris une belle nuance d'un bleu violet.

On peut remplacer le chlorure de chaux par un dégagement de chlore qu'on fait passer à travers la solution d'acétate d'aniline.

Pour obtenir des dissolutions plus concentrées, on se sert d'hydrochlorate d'aniline marquant 1° ½ Baumé, auquel on ajoute un volume d'acide acétique à 5° et le même volume de chlorure de chaux marquant également 5 degrés.

Dans tous les cas, le liquide se colore d'abord en bleu violacé, puis en lilas. Il teint en ces mêmes nuances.

On peut encore se servir, comme agent oxydant réagissant sur les sels d'aniline étendus d'eau, de peroxyde de manganèse, de peroxyde de plomb ou de permanganate de potasse. D'après Kay, si l'on combine 50 parties d'aniline, 40 parties d'acide sulfurique d'une densité de 1,85 étendu de 1,400 parties d'eau, il suffit d'ajouter à la dissolution de sulfate d'aniline 200 parties de peroxyde de manganèse; on chauffe le tout à 100 degrés en agitant tant qu'il se forme un précipité. Le produit liquide qui renferme la matière colorante en dissolution est séparé par filtration du précipité. Ce dernier est débarrassé de toute la matière colorante qu'il peut contenir par l'acide sulfurique étendu; on filtre et on réunit les deux dissolutions limpides; on y verse de l'ammoniaque qui précipite la matière colorante. Le précipité recueilli, lavé et desséché, est traité par l'alcool ou l'esprit de bois qui dissolvent la matière colorante.

D'après Price, l'oxydation peut être obtenue par l'emploi du peroxyde de plomb résultant de l'action du chlorure de chaux sur l'acétate de plomb, lavé et conservé à l'état humide. La réaction se fait à la température de l'ébullition; suivant les proportions employées, on obtient des couleurs différentes, que l'auteur a nommées *violine d'aniline, purpurine d'aniline* et *roséine d'aniline.*

Violine d'aniline. — On dissout 4 parties d'aniline, 4 parties d'acide sulfurique, 80 parties d'eau et 5 parties de peroxyde de plomb qu'on ajoute dans le liquide porté à 100 degrés. On filtre la liqueur bouillante; elle renferme, outre la matière colorante, du sulfate d'aniline non décomposé; en ajoutant un petit excès de soude, on isole l'aniline qu'on sépare par distillation. Le résidu est lavé à l'eau froide, puis dissout à chaud par une liqueur contenant de l'acide tartrique, on filtre et on concentre pour réduire. Pendant la concentration il se dépose encore des matières résineuses.

Purpurine d'aniline. — Si l'on prend 8 parties d'aniline, 4 d'acide sulfurique, 80 d'eau et 5 de suroxyde de plomb, on obtient une couleur plus pourprée; les eaux mères sont traitées comme nous l'avons dit au sujet de la violine.

Roséine d'aniline. — Lorsqu'on prend 4 parties d'aniline, 2 d'acide sulfurique, 80 d'eau, et 10 de peroxyde de plomb, on obtient une liqueur plus rosée que la précédente.

D'après M. William, lorsqu'on décompose le sulfate d'aniline impur par de l'hypermanganate de potasse, il se fait un précipité qui contient des matières colo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rantes bleues, violettes ou pourpres, exemptes des matières impures brunes auxquelles le bichromate de potasse donne naissance. La couleur précipitée, lavée et desséchée, est traitée par l'huile légère de houille qui enlève quelques impuretés, puis traitée par de l'alcool pour dissoudre la matière colorante.

Dans cette réaction, il se forme, outre l'indisine, une seconde matière qui reste en dissolution et qui teint la fibre textile, surtout la soie, en rouge cramoisi, ou rouge écarlate.

L'aniléine, l'indisine et l'harmaline se rencontrent dans le commerce sous forme liquide en dissolution dans l'alcool ou l'esprit de bois; c'est un liquide violet, assez clair pour qu'on doive le gommer sans addition pour l'employer à l'impression; il présente quelquefois des gouttelettes qui se résolvent par la chaleur en une liqueur homogène.

Le violet d'aniline s'unit aux tissus sans mordant; mais si l'on veut obtenir sur coton toute l'intensité possible, il faut, ainsi qu'il convient pour les matières colorantes qui teignent les tissus du règne animal plus facilement que les fibres végétales, recourir à l'emploi des mordants organiques recommandés pour la première fois par Haussmann, et dont l'usage a été généralisé par M. Broquette.

Pour l'indisine, il suffit d'une préparation du coton avec une eau d'albumine à 50 gr. par litre; les cotons huilés pour rouge turc donnent toutefois des nuances plus solides que ceux qui sont albuminés.

Nous terminerons cette note par une observation de M. Berthelot, qui croit qu'on ne peut affirmer la présence de l'aniline dans les produits de certaines réactions d'après la coloration qu'on obtient par le concours du chlorure de chaux; il cite, entre autres faits, qu'il a constaté la même coloration en traitant l'acide phénique par l'ammoniaque, puis, par le chlorure de chaux; le point capital pour le teinturier serait la production d'une coloration aussi vive que celle que donne le violet d'aniline par tout autre moyen conduisant à moins de dépenses.

19. Orseille de terre (*lécanorine, orcine, orcéine*).

L'orseille est assurément, parmi les matières colorantes employées en teinture, l'une de celles qui fixe le plus l'attention. Les travaux dont cette matière est devenue l'objet, les intéressants résultats qu'ont mis en évidence les recherches de Robiquet en ont fait une sorte de type auquel on a rapporté plus tard la formation des principaux principes colorables, desquels on a fait dériver des substances colorantes, seules utiles dans les arts de la teinture. Quant à l'origine de l'orseille, quant à l'histoire des variétés diverses que le commerce présente au choix du consommateur, quant encore aux procédés généraux au moyen desquels on prépare ces différents produits, nous n'aurions rien à dire au delà de ce que M. Mallet a cru devoir citer dans son article ORSEILLE; nous nous bornerons à nommer les trois principales matières auxquelles on emprunte l'orseille du commerce. Nous avons déjà cité l'orseille de terre, ou *variolaria dealbata*, qui croît sur les rochers sauvages de l'Auvergne ou des Pyrénées.

20. Orseille des iles (*orcéine*).

L'orseille la plus estimée provient du *lichen rocella* qu'on rencontre principalement aux Canaries et aux îles du cap Vert. Le commerce s'en faisait par Lisbonne; les variétés découvertes en abondance dans le royaume de la Guyane ont amené sur le prix de vente des lichens du cap Vert une diminution de près de 60 p. 100.

21. Orseille des murailles (*orcéine*).

Le *lichen tartareus* sert ordinairement à préparer la matière qu'on nomme *persio* ou *cudbear*. Comme la transformation de ces végétaux en orseille est la même, nous ne nous arrêterons pas plus longtemps sur ce sujet. Nous insisterons seulement sur la partie théorique de cette fabrication en exposant les caractères spéciaux de la matière colorable et ceux du principe coloré qui constitue la majeure partie de la substance tinctoriale à l'état d'orseille, de cudbear ou de persio. Nous reprendrons la fabrication à l'année 1855 et nous mettrons en parallèle divers procédés connus aujourd'hui pour communiquer à la couleur de l'orseille une certaine solidité.

La matière colorante n'existe pas toute formée dans le lichen, mais elle se produit par suite de la transformation très-remarquable que subit la *lécanorine*, matière très-intéressante contenue dans le lichen, susceptible de produire avec le concours de l'eau sous l'influence des alcalis et des bases alcalino-terreuses de l'acide carbonique et une substance particulière, incolore, non azotée que Robiquet a su préparer à l'état de liberté; c'est l'*orcine* qu'il a fait connaître par ses propriétés et sa composition.

Il résulte de nombreuses expériences que nous avons faites, MM. Fremy, Cahours et moi, nommés experts dans le procès de contrefaçon Frezon contre Pommier, que le lichen peut être considéré comme formé par le mélange de trois parties distinctes, savoir :

1° Une partie insoluble, non susceptible de se colorer, constituant la majeure partie de la plante et formée de matières herbacées, ligneuses ou terreuses, indécomposables par l'eau froide ou par l'eau chaude;

2° Une partie soluble formée de substances salines ou gommeuses; cette seconde partie est comme la première non colorable;

3° Enfin une partie blanche qui joue le plus grand rôle dans la fabrication de l'orseille, que nous avons étudiée d'une manière attentive; cette substance n'est pas soluble dans l'eau froide; elle se détache en grande partie quand on frotte le lichen au sein de ce liquide; la macération humide la met à l'état de liberté; elle reste en suspension dans l'eau. L'eau chaude la modifie d'une manière rapide en facilitant sa transformation sous l'influence simultanée de l'eau, de l'ammoniaque et de l'air. Mise en suspension dans l'eau, elle ne se dépose qu'avec une excessive lenteur, elle reste sur les filtres de papier auxquels elle s'attache fortement, mais elle traverse les filtres de laine peu feutrée. Elle est très-soluble dans l'ammoniaque. C'est la matière utile des lichens dans la fabrication de l'orseille; c'est elle qui, s'altérant sous l'influence simultanée de l'air humide et de l'ammoniaque, donne naissance à l'orcine colorable, et conséquemment aux autres composés colorés qui peuvent en dériver.

Orcine. — Pour préparer l'orcine à l'état de pureté, on emploie, d'après Robiquet, le procédé suivant : on épuise le lichen par l'alcool bouillant, le liquide laisse déposer par refroidissement des flocons blancs cristallins, d'une matière résineuse, la dissolution est évaporée jusqu'à consistance d'extrait. On broie cet extrait avec de l'eau froide qu'on renouvelle jusqu'à ce qu'elle n'ait plus de saveur. Les solutions aqueuses, réunies par l'évaporation à consistance sirupeuse et abandonnées à elles-mêmes dans un lieu frais, laissent déposer au bout de quelques jours de longues aiguilles d'orcine; on comprime ces dernières dans du papier joseph pour les ressuyer; on les décolore par le noir animal, puis on les fait cristalliser de nouveau. L'orcine forme alors de longs prismes opaques d'un blanc jaunâtre. Ils sont hydratés.

L'orcine est soluble dans l'alcool et dans l'eau; sa dissolution possède une saveur sucrée très-prononcée; elle est fusible; sous l'influence de la chaleur, elle perd d'abord de l'eau pour se transformer en orcine anhydre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette dernière entre en ébullition à 290 degrés, puis elle distille sous forme de sirop, sans laisser de résidu. Aucun sel métallique ne la précipite, à l'exception du sous-acétate de plomb; ce sel fournit un précipité lourd, caséeux. Au contact de l'air et des alcalis, la solution aqueuse d'orcine brunit fortement. Au contact de l'ammoniaque, elle forme un produit coloré d'une nuance violette des plus riches; c'est l'orcéine, matière colorée des orseilles.

Orcéine. — Il faut, pour la formation de l'orcéine, le concours simultané de l'air humide et de l'ammoniaque; l'ammoniaque seule est absorbée par l'orcine, sans modification, puisque, par simple évaporation de l'alcali volatil, l'orcine reparaît avec ses propriétés primitives, l'eau se borne à la dissoudre. L'oxygène sec est sans action sur elle. Il n'en est plus de même sous l'influence simultanée de ces trois agents. Il se forme d'abord de l'orcéine, puis de l'*orcéinate d'ammoniaque*.

Pour exécuter cette transformation, on met l'orcine en poudre dans une soucoupe à fond plat, qu'on place sur un verre à pied contenant de l'ammoniaque liquide, puis on recouvre le tout d'une cloche. Dans l'espace de 24 heures l'orcine prend une couleur brun foncé, elle finit par devenir violacée; elle se dissout alors dans l'eau, qu'elle colore en un magnifique violet.

L'orcéine se dissout dans l'ammoniaque à laquelle elle communique une couleur pensée très-riche, et dans les alcalis fixes avec une couleur rouge violacée. L'addition d'un acide sépare l'orcéine de ces dissolutions. Par distillation sèche, elle répand une odeur ammoniacale; ce qui prouve qu'elle est azotée. Les sels de plomb et d'argent déterminent dans la dissolution d'orcéinate d'ammoniaque des précipités d'un rouge noirâtre foncé. Le sulfhydrate d'ammoniaque fait disparaître la couleur rouge de la dissolution ammoniacale. La couleur rouge reparaît au contact de l'air.

Les relations qui lient les compositions par lesquelles on représente la lécanorine, l'orcine et l'orcéine, sont des plus simples. Si l'on admet la formule

$$C^{18}H^{8}O^{8}$$

pour représenter la composition de la lécanorine, l'équation

$$3\,(HO),\ +\ C^{18}H^{8}O^{8} = C^{16}H^{8}O^{4},\ 3\,(HO) + 2\,(CO^{2})$$

rend parfaitement compte de sa transformation en orcine, et l'équation

$$C^{16}H^{8}O^{4},3(HO) + O^{5} + AzH^{3} = C^{16}H^{9}AzO^{7} + 5\,(HO)$$

explique la formation de l'orcéine dans laquelle les trois équivalents d'eau de l'orcine sont entrés à titre nouveau par un nouvel arrangement moléculaire.

Mais, si simples que soient ces calculs, il est vraisemblable que les orseilles du commerce doivent leurs propriétés à des principes plus variés qui jouissent à des degrés différents de la propriété de se décolorer à l'air; nous allons le voir en cherchant à faire connaître les conditions dans lesquelles on a préparé les orseilles solides.

On a proposé, comme on l'a vu dans le t. II de ce Dictionnaire à l'article ORSEILLE, pour faire l'orseille un moyen très-simple, l'épuisement par l'eau chaude et le traitement des dissolutions par l'ammoniaque comme dans les anciennes méthodes. Ce procédé, breveté le 31 octobre 1848 en faveur de M. Ch. Pommier, est décrit de la manière suivante dans la description du brevet et dans un certificat d'addition du 5 novembre 1848.

« Ma méthode consiste à prendre à l'état brut un lichen tinctorial quelconque, même l'orseille de terre de diverses provenances, l'épuiser au moyen de l'eau bouillante par des lavages successifs, et traiter simplement ces eaux de lavage par les moyens connus de la fabrication d'orseille, c'est-à-dire par les alcalis, l'urine, la chaux, et, dans certains cas, par des additions d'acides et de sels différents.

« Dans certains cas, je me réserve le droit d'épuiser, soit à chaud, soit à froid, les matières tinctoriales désignées dans mon brevet, soit avec de l'urine, de l'eau alcaline ou saturée de chaux.

« Après l'épuisement des lichens ou des orseilles de terre par l'eau bouillante, l'urine ou l'eau alcaline saturée de chaux, je me réserve aussi le droit de filtrer ces liquides ou de les laisser déposer pour les décanter ensuite, afin de les débarrasser d'une matière étrangère à celle colorante et les mettre après cette opération en fabrication, comme je l'ai décrit dans mon brevet.

« Je me réserve aussi le droit d'extraire la matière colorante des lichens ou des orseilles de terre désignés dans mon brevet, par la distillation, et la mettre ensuite en fabrication, après l'avoir débarrassée des matières étrangères principalement résineuses. »

Le tribunal de la Seine, ne voyant dans ce procédé qu'une séparation préalable, a jugé que ce brevet de M. Ch. Pommier n'était qu'une contrefaçon de celui de Frezon dont nous croyons devoir exactement donner la description; il est fâcheux qu'à cette époque les intéressants travaux de M. Stenhouse n'aient pas été plus connus en France; le tribunal eût conclu tout autrement.

M. Frezon agit sur la matière blanche détachée de la fibre ligneuse par frottement et macération; il la maintient en suspension dans l'eau froide et se débarrasse du ligneux par une filtration grossière qui joue le rôle d'un véritable tamisage. L'eau qui retient en suspension la matière blanche, c'est-à-dire la matière utile, est soumise à l'influence d'un sel d'étain qui produit une espèce d'encollage, et rassemble sous forme d'un précipité cette matière blanche qui, plus tard, se change en matière colorable par l'action de l'eau, de l'air et de l'ammoniaque. Nous le laisserons parler.

Pour obtenir ce qu'il nomme *orseille pure et universelle, pure*, parce qu'elle ne contient aucun des corps inutiles et nuisibles que renferment les orseilles du commerce, *universelle*, parce qu'elle s'emploie telle qu'on la livre au consommateur, soit pour la teinture, soit pour l'impression et dans tous les genres, il dit :

« Pour fabriquer mon orseille pure, je me sers indistinctement de toutes espèces de lichens et de variolaires; le travail étant le même pour toutes ces plantes, je ne parlerai que des lichens.

« Après avoir enlevé aux lichens les corps nuisibles à la fabrication, je les soumets à un lavage d'eau simple que j'exécute comme suit :

« Pour faire le lavage des lichens je me sers de trois barques en bois, nos 1, 2 et 3, je les remplis d'eau jusqu'à hauteur convenable pour pouvoir y mettre les lichens que je veux laver et pouvoir les brasser.

« En supposant que les barques dont je veux me servir soient assez grandes pour contenir chacune 33 kil. de lichens, je dispose d'une partie de lichens du poids de 100 kil. que je divise en trois parties égales. J'en prends une première portion que je mets dans la barque n° 1, et je la brasse à peu près pendant 20 minutes soit avec une fourche ou un bâton, puis je la retire dans un panier que je place sur l'un des bouts de la barque pour que l'eau qui s'en égoutte tombe dedans; de là je la mets dans la barque n° 2, dans laquelle je la brasse aussi longtemps, et je prends les mêmes précautions pour la retirer; ensuite je la transporte dans la barque n° 3, et après avoir été brassée comme dans les précédentes barques je la lève dans le panier, et quand elle est assez égouttée je la mets dans une grande cuve en bois blanc; je fais suivre aux deux autres portions de la même partie la même marche que j'ai suivie pour la première, et je réunis tous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les lichens des trois portions dans la grande cuve en bois blanc.

« Avant de commencer le lavage d'une autre partie de lichen que je divise également en trois portions, je vide, par le secours d'une pompe ordinaire, l'eau de la barque n° 1 dans une cuve-filtre placée assez élevée pour pouvoir placer au-dessous une cuve de dimension plus grande que la cuve-filtre; la cuve-filtre est tout simplement un tonneau dans lequel je pose à 15 centimètres du fond un cercle auquel est attaché un tissu de laine un peu feutré, et en dehors, à la partie inférieure de la cuve, se trouve un robinet qui donne passage au liquide filtré et qui tombe dans la cuve qui est au-dessous.

« La barque n° 1 étant vide, je la remplis d'une nouvelle eau et je change les numéros des barques; je place le n° 1 sur le n° 2 ancien, le n° 2 sur le n° 3 ancien, et le n° 3 sur la barque n° 1 qui est vide; après ce changement fait, j'exécute le lavage de cette seconde partie divisée en trois portions, comme j'ai fait pour la partie précédente, en commençant dans la barque n° 1 et finissant dans la barque n° 3.

« Les lichens, après être ainsi lavés, sont broyés par l'action d'un moulin garni de meules en pierre; ce moulin ressemble à ceux qui sont employés pour moudre le blé, seulement la trémie, au lieu d'être carrée, se trouve être ronde et conique, et, au centre, se trouve un arbre placé verticalement; à la partie supérieure, il y a un pignon d'angle ou une poulie par laquelle il reçoit un mouvement rotatif; cet arbre porte, sur toute la longueur intérieure de la trémie, des bras dont les longueurs suivent la forme conique de la trémie; au-dessus de cette trémie se trouve un conduit en plomb, et à son extrémité un robinet pour régler la dépense d'eau que m'amène ce conduit, afin de conserver les lichens qui sont, dans la trémie, dans un état voisin de pâte liquide.

« En dehors du moulin, à la hauteur de la partie supérieure de la meule du dessous (celle qui est immobile), se trouve un robinet par lequel s'écoulent les lichens broyés, qui tombent de là dans une cuve placée au-dessous.

« De ces lichens qui ont été broyés par ce moulin j'extrais la matière qui doit faire la base de mon orseille. Pour obtenir cet extrait, j'emploie les moyens connus pour extraire les corps solubles par des lavages répétés à l'eau simple et à froid. Je réunis ces eaux de lavage en une seule liqueur que je filtre avec la cuve à filtrer, qui est faite comme celle qui m'a servi pour filtrer les eaux de lavage des lichens avant d'être broyés; ce filtrage n'a d'autres effets ici que de débarrasser la liqueur de quelques fragments provenant du tissu organique des lichens.

« Cette liqueur ainsi obtenue contient, en outre de la matière qui me sert à fabriquer l'orseille pure, plusieurs corps dont il faut la séparer.

« Pour séparer la matière qui doit servir à la fabrication de l'orseille pure des autres corps étrangers et nuisibles contenus dans cette liqueur, j'y parviens en employant les sels qui ont la propriété de précipiter.

« Après avoir mis la liqueur filtrée dans une cuve à décanter, munie à son intérieur de plusieurs robinets placés les uns au-dessus des autres, de manière à pouvoir laisser écouler les eaux surnageantes au-dessus du précipité, je verse un peu de deutochlorure d'étain liquide et j'ai soin de bien remuer le tout; après quelques heures de repos, il se forme un précipité; j'ouvre les robinets les uns après les autres, en commençant par celui placé le plus haut, et je finis par celui le plus rapproché de la partie supérieure du précipité qui est d'une couleur blanche un peu verdâtre; l'eau surnageante est d'un blond foncé, mais bien vif; je suppose que cette eau contient tous les corps résineux, gras et gommeux; le précipité est mis sur un filtre plat (semblable à ceux employés dans la fabrication de l'indigo) pour y être lavé avec de l'eau simple et froide; on répète ce lavage jusqu'à ce que l'eau qui s'en écoule ne soit plus acidulée, et je laisse le précipité sur le filtre pour laisser égoutter jusqu'à ce que la pâte se fendille.

« Cette pâte, arrivée à cet état, forme la matière qui me sert à fabriquer mon orseille pure, et à laquelle il ne manque plus qu'à faire développer cette belle couleur connue de l'orseille par l'action simultanée de l'air et de l'ammoniaque.

« J'observerai ici que je ne peux, dans cette description, indiquer la quantité qu'il faut de deutochlorure d'étain liquide pour précipiter la matière qui constitue mon orseille pure, cela dépendra de la force et de la quantité du liquide sur lequel on opère; également je n'entends pas m'attacher à n'employer comme précipitant que le deutochlorure d'étain liquide; on peut se servir de tous les agents qui ont la propriété de précipiter les extraits aqueux provenant des lichens (nous avons observé que l'acide chlorhydrique possède cette propriété).

« Pour transformer cette pâte en la matière que j'appelle *orseille pure*, je la mets dans une barque en bois pareille à celle employée dans la fabrication d'orseille ordinaire; je l'arrose avec de l'alcali volatil et je la brasse très-souvent dans les premiers jours; après quinze jours de travail, elle commence à paraître d'une bonne nuance, mais elle n'est vraiment bonne qu'après un mois de fabrication dans la barque.

« La nuance violetée ou rougeâtre peut se produire par l'action des mêmes sels employés dans la fabrication ordinaire.

« J'obtiens par ces procédés mon orseille *pure et universelle;* alors elle est en pâte un peu liquide. Il suffit de la faire sécher dans une étuve et de la pulvériser pour la mettre en poudre sèche (ou dans un état très-voisin).

« Les eaux provenant des lavages des lichens avant d'être broyés suivent les mêmes opérations que la liqueur obtenue des lichens qui ont été broyés, mais il faut les fabriquer séparément et en faire une seconde qualité. »

M. Dumas avait appelé l'attention des industriels sur différents points de la fabrication de l'orseille. On lit, en effet, dans son *Traité de chimie*, t. VIII : « Les détails de la fabrication de l'orseille, ayant toujours été tenus secrets, ne sont qu'imparfaitement connus. On doit le regretter, aujourd'hui surtout que les différentes matières tinctoriales qui se forment dans cette opération ont été soumises à une étude attentive; il est probable que les lumières de la science permettront de produire dans un temps plus ou moins long une matière plus abondante, plus pure et plus solide. »

Il y a dix ans à peine que ces lignes étaient écrites, et toutes ces conditions ont été réalisées à la gloire de l'industrie; elles ont été pratiquées sans le concours de la science, au moins de la science pure. Les travaux de M. Stenhouse ont fait connaître la méthode rationnelle de la séparation préalable. Les procédés de M. Pommier donnent une liqueur *abondante*, très-riche. La méthode de M. Frezon conduit à des produits plus *purs*. Enfin personne ne peut dénier à la maison Guinon, Marnas et Bonnet de Lyon, l'honneur d'avoir extrait, pour la première fois, de l'orseille une couleur d'une certaine solidité Le commerce fournit aujourd'hui diverses matières qui possèdent une résistance beaucoup plus grande que celle que l'orseille présente ordinairement. Nous pouvons citer, en les désignant sous les noms qu'ils ont dans l'industrie, l'orcéine violette de M. Meissonnier, l'orseille solide de M. Hé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laine, chimiste à Lyon, qui fournit au prix de 10 fr. le kilogramme trois couleurs *également résistantes* et qui ont déjà pris rang dans les ateliers, et la pourpre française découverte par MM. Guinon, Marnas et Bonnet, teinturiers à Lyon. De graves questions de priorité sont encore pendantes, nous n'avons pas à les résoudre ici. Mais nous croyons qu'au nom de l'équité, en laissant à M. Stenhouse le mérite de la séparation préalable, l'idée d'avoir obtenu la matière solide en observant la température à laquelle elle se forme appartient seule à MM. Guinon, Marnas et Bonnet. Les travaux de M. Stenhouse ont doté le domaine public de la séparation préalable. MM. Guinon, Marnas et Bonnet nous semblent valablement brevetés.

Nous allons décrire maintenant les méthodes au moyen desquelles on a transformé l'orseille du commerce en un produit plus stable.

22. POURPRE FRANÇAISE (*méta-orcéinate de chaux*).

MM. Guinon, Marnas et Bonnet, de Lyon, ont découvert que l'orseille préparée sous l'influence d'une certaine température contenait un principe nouveau, auquel ils ont donné le nom de *pourpre française*. Il y a environ trois ans que ces teinturiers ont introduit dans l'industrie cette nouvelle matière colorante violette, qui joint à un éclat magnifique les avantages d'une solidité relative, et qui a pris immédiatement son rang parmi les matières tinctoriales de premier ordre. Nous ferons suivre cet énoncé des réflexions fort judicieuses que M. J. Persoz a fait insérer dans le *Répertoire de chimie industrielle*, t. I, par 190.

« Si l'on n'examinait sa préparation que d'une manière superficielle, on dirait que cette matière n'est autre que de l'orseille ordinaire, puisqu'elle se forme par l'action mutuelle des mêmes éléments, les lichens, l'ammoniaque et l'air, et qu'il n'y a de différence pour la préparation que dans les conditions successives de température où l'on fait réagir ces éléments, suivant les diverses phases de la métamorphose que subissent les acides colorables des lichens; or ce sont ces conditions qu'il a fallu déterminer d'une manière précise, puisque d'elles seules dépendait le succès de la fabrication de la nouvelle matière, et l'on conçoit facilement que MM. Guinon et Marnas n'y soient arrivés qu'après de nombreux tâtonnements.

« Si faibles que soient les modifications apportées par ces habiles teinturiers au procédé ordinaire de fabrication de l'orseille, elles ont suffi cependant pour changer complétement la nature du produit, tant dans ses caractères physiques que dans ses propriétés chimiques. Ainsi, tandis que l'orseille ordinaire tire à une couleur vineuse sale, sous l'action des acides acétique et tartrique, la matière de MM. Guinon leur résiste parfaitement, ainsi qu'on peut s'en assurer sur les échantillons des teintures qu'ils livrent au commerce. »

Voici, d'après MM. Marnas et Guinon, la marche qu'il faut suivre pour préparer la pourpre française.

« On traite à froid les lichens par une solution ammoniacale ou alcalisée par le carbonate de soude, de manière à dissoudre les acides colorables qu'ils renferment.

« Après quelques minutes de contact, on jette le mélange sur une chausse, et on exprime les lichens, de manière à enlever le plus complétement possible la liqueur adhérente, puis on précipite par l'acide chlorhydrique. Le précipité, étant filtré, lavé et égoutté, est redissous dans l'ammoniaque, et on expose à froid la solution au contact de l'air. »

M. Jules Persoz ajoute :

« Jusqu'ici le procédé de M. Guinon est semblable à celui que les chimistes ont toujours suivi dans la préparation des acides colorables des lichens; mais, au lieu d'abandonner la liqueur à elle-même, jusqu'à ce que la matière colorante de l'orseille soit complétement formée, M. Guinon observe le moment où cette liqueur prend la teinte rouge cerise. Quand elle est arrivée à ce degré, il la porte à l'ébullition et l'y maintient pendant quelque temps. Il l'introduit ensuite, en couches de 5 à 6 centimètres de hauteur, dans des vases à fond plat, de 2 à 3 litres de capacité, qui sont chauffés dans une étuve à une température constante de 70 à 75 degrés. L'opération est terminée lorsque la liqueur a pris une teinte pourpre, et qu'étendue sur du papier blanc, elle ne change plus de nuance, même en desséchant.

« On peut précipiter par l'acide sulfurique ou l'acide tartrique la matière colorante ainsi formée, c'est la pourpre française; mais il est mieux de la précipiter à l'état de laque, pour éviter la présence d'un acide rouge qui change sa nuance. »

On la précipite de préférence à l'état de laque calcaire par le chlorure de calcium; la matière violette est ainsi précipitée; il est vrai qu'elle ne l'est pas en totalité, mais au moins elle est seule. On peut aussi faire usage d'alun, qui forme une laque d'alumine avec la solution ammoniacale de pourpre française.

Orcéine solide.—M. Meissonnier a désigné sous ce nom l'orseille solide, qu'il livre au commerce également sous forme de laque. C'est une matière qui se confond, par ses caractères physiques, avec la pourpre de M. Guinon, et qui dérive de l'orseille universelle de M. Frezon. On prépare, dans tous les cas, l'orseille après avoir opéré la séparation préalable conformément aux indications de M. Stenhouse; mais il me paraît indispensable, pour obtenir une matière colorante solide fixée par le chlorure de calcium dans la liqueur ammoniacale, que cet alcali réagisse à la température si bien déterminée par MM. Marnas et Guinon. Des essais dirigés dans cette voie m'ont prouvé qu'il n'existe de principe violet solide précipitable par les sels de chaux qu'en quantité minime, si la réaction de l'ammoniaque sur la dissolution du lichen ne s'est faite qu'à la température ordinaire. M. Meissonnier emprunte donc à la propriété de MM. Guinon, Marnas et Bonnet.

Orseille solide.—Pour préparer en grand cette variété d'orseille, on délaye, d'après M. Hélaine, dans une cuve ou tout autre vase convenable, de l'orseille commerciale avec 20 fois son poids d'eau distillée bouillante, et s'il existe dans l'atelier des conduits de vapeur, on se sert d'eau froide et on élève la température avec la vapeur en ayant soin que l'eau de condensation comprise, le liquide se trouve dans la proportion indiquée. On y verse ensuite un poids d'ammoniure d'étain égal à celui de l'orseille, délayé dans l'eau distillée, et on agite jusqu'à ce que la température se soit abaissée de 60 à 50 degrés. On filtre ou on décante. La pâte comprimée est traitée à nouveau par 10 fois son poids d'eau à 40 ou 50 degrés. La liqueur est réunie à la première.

Pour préparer l'ammoniure d'étain, on verse dans une dissolution d'oxymuriate d'étain du commerce un excès d'ammoniaque étendue, et après avoir fait égoutter la pâte on la dissout dans l'ammoniaque concentrée.

Quant aux eaux qui surnagent le premier dépôt, on y ajoute, pendant qu'elles sont encore chaudes, la moitié du poids de l'ammoniure d'étain qu'on a déjà versé dans la première décoction, et on y verse une dissolution de chlorure de baryum, de magnésium ou d'eau de baryte. On obtient de la sorte un second précipité qui peut servir directement ou à la teinture ou à l'impression.

Pour ne rien perdre, on additionne le liquide clair qui s'est séparé de la laque terreuse d'une certaine

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quantité d'acide chlorhydrique, qui sépare des matières d'apparence grasse. La nouvelle liqueur est d'une belle teinte orangée; la soie et la laine s'y teignent en cette couleur dans le bain acide; exposée à l'action de l'air et de l'ammoniaque, elle passe également à l'orange, et donne également au bain acide, sur laine et sur soie, une couleur *saumon* ou *abricot*.

La pâte épuisée, comme il vient d'être dit, traitée par une eau acide à l'ébullition, donne une teinture *amarante*, pour la conserver, on y ajoute un peu d'acide, et par la dessiccation on l'obtient sous forme de *cudbeard*. Traitée par l'eau chargée d'acide chlorhydrique pour la soie, la crème de tartre pour la laine, elle fournit la couleur orseille solide, qui résiste aux avivages avec l'acide chlorhydrique de 1 à 4 degrés.

En avivant avec les acides acétique, tartrique, citrique, etc., et ajoutant du carmin d'indigo, de la cochenille ou du safranum, on obtient des teintes variées qui peuvent être d'un très-grand secours dans les ateliers. Nous ne devons pas perdre de vue que les recherches de M. Hélaine ont porté sur l'orseille du commerce et qu'elles ne peuvent engendrer le métaorcéinate d'ammoniaque; elles ont conduit à l'isolement de ce produit quand il existe, elles sont incapables de le développer quand il n'existe pas.

Les observations qui précèdent semblent prouver que l'orseille est un composé mixte qui n'a pas la simplicité qu'on serait tenté de lui attribuer d'après les travaux de Robiquet, et que des traitements successifs et convenablement choisis permettent d'en séparer des principes colorables ou colorés, différents comme nuances et aussi comme solidité; ces derniers préexistent dans les lichens, ou résultent, soit d'une destruction plus ou moins avancée de l'orcéinate d'ammoniaque, soit d'une réaction incomplète de l'ammoniaque sur les principes colorables des lichens. On ne trouve rien dans la description de M. Hélaine qui définisse nettement les conditions dans lesquelles se forme l'orseille solide. On la retrouve si elle existe; mais si dans le traitement des lichens il ne s'en est pas formé, la méthode décrite est insuffisante pour la développer.

On ne peut faire le même reproche aux procédés de M. Guinon.

On vient de voir toute l'importance industrielle des recherches dont sont devenues l'objet les couleurs tirées de l'orseille; il serait très-intéressant d'étudier, au même point de vue, la préparation des couleurs altérables qu'on n'a produites jusqu'à présent qu'à des températures ordinaires. La valeur des résultats acquis est de nature à conduire à de prochains perfectionnements dans la fabrication d'un assez grand nombre de produits colorables.

23. Indigo *(indigo blanc, indigotéine)*.

Les réactions auxquelles donne lieu l'indigo bleu dans quelques circonstances parfaitement définies, pourront un jour fournir la clef de bien des phénomènes chimiques que présentent les matières colorées. Au nombre des principes les plus intéressants à coup sûr, on peut placer la fécule bleue fournie par les plantes du genre *indigofera*.

On rencontre dans le commerce, sous le nom d'indigo, le produit d'une préparation spéciale à laquelle on soumet les feuilles de certaines plantes. Les pains cubiques que la consommation reçoit sont un composé très-variable dans lequel l'indigo bleu domine; il entre au moins pour 50 pour 100 du poids de la matière brute.

Nous renvoyons à l'article INDIGO de ce Dictionnaire pour ce qui concerne l'histoire de ce produit, sa préparation, ses débouchés, les variétés que l'industrie rencontre; nous chercherons dans ce travail à faire connaître, surtout au point de vue chimique, les caractères de l'indigotine et sa composition de laquelle résulte la méthode employée pour son application à l'art de la teinture. L'indigotine n'est autre chose que le principe utile de l'indigo; elle est insoluble et ne prend par elle-même aucune adhérence à l'étoffe; il faut l'appliquer à l'état soluble; c'est sous certaines influences réductrices que l'indigo bleu se transforme en *indigo blanc*, forme sous laquelle il se dissout.

Indigo blanc. — Lorsqu'on traite sur les côtes de Coromandel les végétaux qui renferment de l'indigo, c'est toujours des feuilles sèches qu'on l'extrait; on fait infuser pendant deux ou trois heures les feuilles concassées, on passe la dissolution à travers un tissu peu serré, on bat la liqueur et on ajoute environ 48 litres d'eau de chaux pour 100 kilog. de feuilles sèches. On agite pendant quelques minutes; enfin on laisse déposer. Quand le dépôt est formé, on décante; on lave avec un peu d'eau bouillante et on met à égoutter sur une toile le dépôt lavé. On soumet alors l'indigo pâteux à l'action d'une presse, puis on coupe la masse en morceaux cubiques qu'on dessèche à l'air; chacun de ces morceaux peut peser 90 grammes.

L'indigo n'existe donc pas tout formé dans les plantes; il se trouve à l'état soluble, incolore et peut-être même à l'état plus complexe, sous forme d'une matière analogue à la lécanorine du lichen, susceptible de se dédoubler dans l'eau en indigo blanc et d'autres produits : c'est alors l'indigo blanc qu'il conviendrait de désigner sous le nom d'*indigotine*.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on ajoute à la dissolution de l'indigo blanc un excès de chaux, on détermine la formation d'un sel de chaux qui se précipite. Ce sel absorbant l'oxygène de l'air passe petit à petit à l'état d'indigo, bleu qu'il conviendrait de dénommer indigotéine. La chaux, devenue libre, se trouve dissoute dans l'eau ou précipitée sous forme de carbonate de chaux.

Pour obtenir à l'état de pureté l'indigo blanc, il serait difficile de le prendre directement dans les feuilles.

Comme on connaît les conditions dans lesquelles l'indigotéine se décolore, c'est à cette source qu'on doit aller la puiser. Et en effet, lorsqu'on place dans un petit tonneau d'environ 100 litres de capacité du sulfate de fer, de la chaux et 500 grammes d'indigo bleu, on aperçoit une décoloration complète de la masse : on verse le liquide tiède au commencement de l'opération dans des flacons chargés d'acide carbonique pour éviter le contact de l'air; quand les flacons sont à peu près pleins, on y verse de l'acide chlorhydrique étendu et bouillant, de manière à les remplir tout à fait de liquide : on bouche les flacons, et pour les conserver on les immerge complétement dans l'eau.

Dès qu'on a versé l'acide chlorhydrique, l'indigo blanc se précipite en flocons d'un blanc sale; laisse-t-on le flacon à l'air, celui-ci pénètre peu à peu, et l'indigo passe au vert sale, puis au bleu dans sa partie supérieure. Lorsque l'indigo blanc s'est déposé, on jette le tout sur des filtres placés dans un entonnoir dans lequel circule ou de l'hydrogène ou de l'acide carbonique. On lave avec de l'eau bien dépouillée d'air et complétement refroidie. On dessèche l'indigo dans le vide d'une machine pneumatique; après la dessiccation complète, on remplit l'appareil d'acide carbonique.

Préparé comme nous venons de le dire, l'indigo blanc est une poudre solide, cristalline, fibreuse, soyeuse, plus dense que l'eau, inodore et sans saveur; insoluble dans l'eau, il est soluble dans l'alcool et dans l'éther qu'il colore en jaune : il ne s'unit pas avec les acides faibles. Les alcalis, c'est-à-dire la potasse, la soude, l'ammoniaque, la chaux, la baryte, la strontiane, la magnésie forment des dissolutions qui, saturées d'indigo blanc, sont complétement solubles. Mais si l'on ajoute, au contraire, un excès de chaux, il se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forme un sel insoluble ; par double décomposition, on forme des indigotures insolubles avec les sels qui contiennent de l'alumine, du protoxyde de fer, de l'étain, du plomb, du cobalt et du manganèse. Ces composés, généralement blancs, bleuissent à l'air. L'indigoture d'étain seul donne de l'indigo par sublimation. Le sulfate de protoxyde de fer qu'on verse avec précaution dans une dissolution d'indigo blanc, produit un dépôt noir qui devient bleu par un excès de sulfate. L'indigo blanc, soumis à la chaleur, devient bientôt d'un pourpre foncé. Chauffé dans le vide, il se décompose sans développer de gaz; il se produit de l'eau, de l'indigo bleu et du charbon.

Les acides concentrés l'attaquent promptement. L'acide sulfurique fumant le dissout instantanément, la dissolution est pourpre; l'acide nitrique la fait virer au bleu; l'acide nitrique concentré altère l'indigo blanc qui bleuit rapidement. Au reste, l'indigo blanc devient instantanément bleu dans l'eau aérée; il se fait de l'*indigotéine* par une absorption d'oxygène, d'autant plus rapide que la masse est plus divisée.

Indigotéine.—L'indigo bleu, suffisamment pur pour la plupart des recherches, se prépare en pulvérisant l'indigo du commerce pour le laver successivement à l'eau bouillante, à l'alcool bouillant, à l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique également bouillante. Le résidu est presque à l'état de pureté. L'indigo bleu tout à fait pur s'obtient ou par voie humide ou par sublimation. Dans le premier cas on part de l'indigo blanc qu'on transforme par l'oxydation à l'air libre en indigo bleu. L'indigo régénéré, bien lavé et séché, est épuisé par l'alcool qui le débarrasse du rouge d'indigo, et par le sulfure de carbone qui le dépouille du soufre libre provenant du sulfure de calcium qui l'accompagne presque toujours. En effet, la réaction des matières organiques sur le sulfate de chaux, forme du sulfure de calcium que l'acide chlorhydrique décompose avec dépôt de soufre.

Lorsqu'on soumet à l'action d'une douce chaleur, sous une épaisseur peu considérable, de l'indigo brut concassé, on remarque à la surface de la couche un lacis de cristaux, qu'on enlève pour les soumettre à un triage attentif. Ces cristaux d'un bleu pourpre constituent l'indigotéine pure. M. Kopp a proposé la fabrication industrielle de l'indigo bleu par voie de sublimation en se servant, pour éviter l'altération du produit, d'un courant de vapeur d'eau surchauffée. Nous nous sommes étendu longuement sur ce sujet en parlant de son application à l'étude de l'alizarine.

A l'état de pureté, l'indigotéine est volatile, elle présente de magnifiques vapeurs pourpres, lorsqu'on la projette en petits grains sur une plaque métallique convenablement chauffée. Lorsqu'on distille en vase clos, une partie seule se sublime sans altération, l'autre se décompose en produisant de l'eau, du carbonate d'ammoniaque, de l'huile et des gaz inflammables; il reste un dépôt de charbon. On décompose la vapeur d'indigo par son passage dans un tube de verre dont la température est supérieure au point de volatilisation de cette matière.

L'air et l'oxygène n'agissent point sur l'indigo bleu, l'eau n'en dissout pas trace; il est insoluble dans l'éther, et l'alcool n'en dissout que fort peu en se colorant en bleu. Les acides faibles sont sans action sur lui; toutefois, les acides qui peuvent céder facilement l'oxygène l'attaquent rapidement. L'acide nitrique concentré peut l'enflammer par son simple contact; moins concentré, il donne naissance aux *acides picrique* et *indigotique*; plus étendu encore, il détermine l'oxydation de l'indigotéine qu'il transforme en *isatine*. L'acide sulfurique concentré dissout l'indigo en prenant une teinte verte; mais à la fin la liqueur devient d'un beau bleu, sans dégagement d'acide sulfureux. L'acide sulfurique fumant donne un liquide d'un rouge pourpre.

Les alcalis carbonatés ou caustiques agissent comme les acides faibles. L'indigo bleu, délayé dans de la potasse ou de la soude caustique, s'y maintient en suspension et ne se sépare que très-difficilement par le repos ou la filtration.

Le chlore exerce sur l'indigo bleu des actions variées suivant les conditions de l'expérience ; à l'état sec, le chlore et l'indigo ne réagissent pas l'un sur l'autre, ni à une température basse, ni à 100°. Mais vient-on à délayer l'indigo bleu dans l'eau de manière à le réduire en une bouillie dans laquelle on fait passer un courant de chlore, la couleur bleue de l'indigo disparaît, de l'acide chlorhydrique se dissout, et le liquide contient des produits chlorés dérivés de l'isatine. Le brome, en réagissant sur l'indigo, conduit à des produits en tout semblables aux précédents. Sous l'influence des corps réducteurs, la potasse et le glucose, il y a décoloration.

Il est curieux de voir cette décoloration se produire dans des circonstances tout opposées. M. Wurtz, de Washington, a démontré, vers 1858, que les dissolutions de peroxyde de fer peuvent décolorer l'indigo ; M. Kuhlmann a présenté la même observation. Les sels de fer sont ramenés au minimum. On pourrait tirer parti de ce fait en se servant des sels de peroxyde de fer comme rongeant de l'indigo.

Si nous cherchons à représenter par des formules la composition de l'indigo bleu et celle de l'indigo blanc, nous voyons qu'elles ne diffèrent l'une de l'autre que par un équivalent d'hydrogène. L'indigo bleu a pour formule $C^{16}\ H^5\ Az\ O^2$, et l'indigo blanc $C^{16}\ H^6\ Az\ O^2$. Voyons s'il est possible d'expliquer simplement la transmutation de ces deux corps l'un dans l'autre.

Ajoute-t-on à l'indigo bleu l'hydrogène qui lui manque, on le transforme en indigo blanc, qu'on peut représenter par les deux formules (1) et (2)

$$C^{16}\ H^5\ Az\ O^2 + H = \begin{cases} (1)\ C^{16}\ H^6\ Az\ O^2 \\ \text{ou} \\ (2)\ C^{16}\ H^5\ Az\ O, HO. \end{cases}$$

Quant à l'indigo blanc, vient-on à le mettre en contact avec l'oxygène, il se forme un oxyde supérieur avec élimination d'un équivalent d'eau.

(4) $C^{16}\ H^6\ Az\ O^2 + O = C^{16}\ H^5\ Az\ O^2 + HO$

(3) $C^{16}\ H^5\ Az\ O, HO + O = C^{16}\ H^5\ Az\ O^2 + HO.$

Les conditions de l'expérience sont ainsi facilement expliquées. Les équations (3) et (4) rendent compte de la transformation au contact de l'air de l'indigo blanc en indigo bleu, quelle que soit la formule par laquelle on représente l'indigo blanc.

Lorsqu'il y a réduction, on explique avec autant de facilité la formation de l'indigo bleu.

20 gram. de sulfate de protoxyde de fer, auxquels on ajoute 10 gram. d'indigo bleu, sont précipités par 10 gr. de chaux; il se forme de l'oxyde de fer qui passe de l'état de peroxyde aux dépens de l'eau ; il en résulte de l'hydrogène qui se porte sur l'indigo bleu directement, ou qui, enlevant une molécule d'oxygène, fixe un équivalent d'eau.

(5) $C^{16}\ H^5\ Az\ O^2 + H = C^{16}\ H^6\ Az\ O^2$

(6) $C^{16}\ H^5\ Az\ O^2 + H = C^{16}\ H^5\ Az\ O, HO.$

Ces interprétations sont donc d'accord avec la théorie et la pratique des ateliers. Nous aurons plus tard à les revoir en parlant de la teinture proprement dite.

24. Carmin d'indigo *(acide sulfo-indigotique).*

L'indigo rendu soluble par les moyens que nous venons de passer en revue n'est pas la seule matière colorante dérivée de l'indigo bleu. Nous avons vu que l'acide sulfurique jouit de la propriété de dissoudre cette matière; on a fait usage de cette nouvelle dissolution.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand on traite une partie d'indigo desséché dans une étuve à 100 degrés par 15 à 20 parties d'acide sulfurique et qu'on élève la température à 50 ou 60 degrés, l'indigo se dissout sans dégagement d'acide sulfureux, passe au jaune, puis au vert, pour revenir à sa nuance primitive, le bleu foncé. Il reste en dissolution des matières particulières : un acide sulfo-indigotique d'après M. Chevreul, sulfindylique suivant M. Dumas, et l'excès d'acide sulfurique que souille encore un acide complexe sulfuré que Berzélius a nommé hyposulfo-indigotique. Pour débarrasser l'acide sulfo-indigotique de toutes ces matières et de celles qui proviennent de l'indigo du commerce, on l'étend d'eau, puis on filtre pour éloigner tout ce qui n'est pas soluble. En ajoutant de la potasse on forme des sels potassiques, et comme le sulfo-indigotate de potasse ne se dissout pas en présence du sulfate de même base, il se précipite dans la liqueur qui ne renferme plus que du sulfate et de l'hyposulfo-indigotate; on le lave avec un peu d'eau lorsqu'on l'a jeté sur un filtre ; on le lave ensuite avec de l'acétate qui enlève le sulfate de potasse et qu'on éloigne à son tour par un lavage à l'alcool. Ce qui reste sur le filtre est le *carmin d'indigo* qu'on vend dans le commerce à l'usage des teinturiers sous le nom d'indigo soluble. Pour diminuer les frais de fabrication, on remplace la potasse par la soude ; on évite d'ailleurs les lavages, parce que le sulfate de soude qui cristallise à la surface du sulfindigotate peut être facilement enlevé mécaniquement quand l'efflorescence s'est produite.

Lorsqu'on n'emploie, pour traiter l'indigo, que cinq parties d'acide sulfurique pour une d'indigo, la dissolution s'opère encore sans dégagement d'acide sulfureux pourvu qu'on n'élève pas trop la température; mais la liqueur, au lieu d'être bleue, reste pourpre et précipite quand on vient à la traiter par l'eau; le volume du précipité varie avec les circonstances de l'expérience, savoir : la température de la réaction, la concentration de l'acide, etc.

Lorsqu'on fait usage de l'acide des chambres et que l'on ajoute l'eau dans la dissolution acide, aussitôt que le dépôt a disparu ou qu'on fait bouillir cette dissolution étendue, on obtient un précipité très-abondant que M. Walter Crum a nommé *phénicine*, et que M. Berzélius a nommé *pourpre d'indigo*. Nous le nommerons, avec M. Chevreul, acide sulfopurpurique.

Le sulfate d'indigo qu'on emploie dans la teinture est-il plus avantageux sous forme d'acide sulfo-indigotique, ou sous forme d'acide sulfopurpurique ; un mélange de ces deux composés présente-t-il les plus grands avantages? Si cette question était tranchée dans un sens ou dans l'autre, rien ne serait plus facile que de diriger la fabrication dans la voie la plus capable de conduire à l'un ou l'autre de ces composés. Quoi qu'il en soit, aujourd'hui le sulfate d'indigo se prépare en fabrique en faisant dissoudre un kilog. d'indigo brut du commerce, finement broyé et pulvérisé par un mélange d'un kilog. d'acide sulfurique de Saxe et un kilog. d'acide sulfurique concentré ordinaire. On abandonne à lui-même le mélange d'acide et d'indigo pendant 48 heures; puis, pour favoriser la dissolution, on chauffe le mélange au bain-marie jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur, ajoutée dans un vase rempli d'eau, s'y dissolve en colorant fortement la liqueur sans produire de précipité. Cette dissolution refroidie contient du pourpre d'indigo mêlé d'acide sulfo-indigotique, si le contact de l'acide sulfurique en a développé. On l'étend d'eau tant que le mélange ne marque pas 18 degrés Baumé. Le tour de main de cette préparation consiste à s'opposer à l'élévation de température qui détruirait une partie de la matière colorante. Quand on veut préparer du pourpre d'indigo, le mieux est de séparer par un alcali tout ce qui peut s'y dissoudre ; pour préparer le carmin d'indigo, cette précaution devient inutile, car par la filtration le sulfo-indigotate de potasse est débarrassé des matières insolubles, et par l'acétate de soude on éloigne les substances étrangères solubles.

Le carmin d'indigo se dissout très-facilement dans l'eau pure ; quand à cette dissolution on ajoute une dissolution saline à base de potasse, de soude, de baryte, de strontiane, de chaux, de plomb, d'argent ou de mercure, elle se trouble et le sel se dépose quelquefois après avoir éprouvé la double décomposition. Les sels à base d'ammoniaque, de manganèse, de zinc, de cuivre, d'alumine, de protoxyde et de peroxyde de fer ne précipitent pas.

Les sulfo-indigotates se décolorent par la potasse et reprennent la couleur bleue qui leur est propre quand on les sature par un acide, pourvu, toutefois, qu'ils n'aient pas été portés à la température de l'ébullition ; l'acide bleu se trouve détruit dans ces circonstances.

Le bleu, précipité de la sorte, prend le nom de *distillée*. Il se trouve plus pur et se vend plus cher.

Les bleus qu'on obtient en teinture par la dissolution de l'indigo dans l'acide sulfurique sont plus vifs, mais moins solides que ceux qu'on obtient par le bleu de cuve. Il est probable que, dans le traitement par l'acide sulfurique, l'indigo se trouve modifié sinon dans sa nature, au moins dans celle des combinaisons qu'il forme avec les fibres textiles. Ce bleu, connu longtemps sous le nom de bleu de Saxe ou de composition, ne date que de 1740. Découvert par le conseiller Barth à Grossen-Hayn, il fut longtemps tenu secret, mais cependant il se répandit peu à peu. Dans l'origine sa composition était très-compliquée. Il se formait en faisant réagir d'abord l'acide sulfurique sur l'alumine, l'antimoine et d'autres substances minérales; on n'introduisait d'ailleurs l'indigo qu'après la dissolution de ces éléments étrangers.

25. Bois de Campêche *(hématine, hématéine)*.

M. Chevreul a déjà depuis longtemps étudié les propriétés de la dissolution des bois de Campêche dont l'emploi date en Europe de la découverte de l'Amérique. Le principe utile de la décoction de cette matière tinctoriale est connu sous le nom d'*hématine*. Nous avons fait connaître comme BOIS DE TEINTURE, dans ce Dictionnaire, les caractères et les usages de cette substance; nous n'y reviendrons pas, mais nous nous étendrons plus longuement sur les propriétés chimiques de l'hématine pure, qui dans ces derniers temps a figuré parmi les sujets traités par les chimistes les plus distingués.

Hématine. — Le procédé d'extraction de M. Chevreul consiste à traiter le campêche en poudre par l'eau pure; l'extrait concentré repris par l'alcool est soumis à l'évaporation qui dépose des cristaux, si l'on a pris le soin d'étendre d'un peu d'eau le liquide sirupeux provenant de la concentration de l'alcool.

Le procédé de M. Chevreul a reçu de M. Erdmann une légère modification qui a permis d'obtenir l'hématine avec plus de pureté. M. Erdmann prend l'extrait qu'on trouve dans le commerce, il le pulvérise avec cinq à six fois son poids de sable pour s'opposer à l'agglutination; il le traite ensuite par six fois son volume d'éther. La dissolution dans l'éther contient l'hématine et quelques matières étrangères; le liquide décanté, évaporé jusqu'à consistance sirupeuse, est repris par l'eau, qui au bout de quinze jours sépare des cristaux qu'un lavage à l'eau froide suffit pour décolorer. 1 kilog. d'extrait et 5 kilog. d'éther ont fourni 125 gr. d'hématine.

L'hématine pure n'est pas rouge, elle est à peine colorée; elle se rapprocherait donc de la léconorine et de l'orcine par sa propriété de se transformer en une matière colorée sous l'influence de l'oxygène et des bases. La couleur des cristaux d'hématine varie du jaune-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

paille au jaune de miel, leur poussière est jaune pâle, leur saveur est douce et sucrée. L'hématine est peu soluble dans l'eau froide; l'eau bouillante en dissout assez pour qu'elle puisse se séparer sous forme de cristaux par le refroidissement. L'hématine se colore fortement sous l'influence de l'air et de l'ammoniaque, à ce point qu'elle est le réactif le plus sensible pour déceler la présence de ce gaz dans de l'air qui n'en contiendrait que des traces. L'hydrogène sulfuré détruit la combinaison colorée. L'hématine ne contient pas d'azote; elle retient tantôt 8, tantôt 3 équivalents d'eau. A 120° elle a perdu toute l'eau qu'elle peut abandonner sans se décomposer. L'hématine anhydre ou l'hématine hydratée se comporte de la même manière sous l'influence des divers réactifs.

Soluble dans l'éther et dans l'alcool, l'hématine n'est pas détruite par les acides chlorhydrique et sulfurique étendus; il y a dissolution des cristaux avec coloration rouge de la liqueur; l'acide nitrique concentré l'attaque même à froid; il se forme en abondance de l'acide oxalique. Le chlore la détruit, mais l'action n'est pas nette; il se forme une masse résinoïde brunâtre sans apparence de principe cristallin.

L'eau de baryte donne avec l'hématine un précipité d'un blanc bleuâtre qui se fonce au contact de l'air et passe au bleu foncé, puis au rouge brun; la potasse colore l'hématine en violet; à l'air la coloration passe bientôt au rouge pourpre, puis au jaune brun, puis au brun sale. Le produit brun dissous dans la potasse ne forme pas de précipité par les acides.

L'acétate de plomb neutre ou basique donne avec l'hématine un précipité, d'abord parfaitement blanc, mais qui se colore rapidement en bleu par son contact avec l'oxygène de l'air. La couleur finit par devenir tout à fait bleue. Le nitrate d'argent est réduit par l'hématine; il se dépose de l'argent métallique et la liqueur prend une teinte jaune. L'alun ne donne pas de précipité.

L'action de l'ammoniaque sur l'hématine est intéressante. D'après M. Erdmann, il se forme une nouvelle matière qui joue le rôle des acides et qui se combine avec l'excès d'ammoniaque.

Hématéine.—Lorsqu'après avoir fait dissoudre l'hématéine dans l'ammoniaque liquide, on l'abandonne au contact de l'air, la couleur de la dissolution d'abord rouge se fonce de plus en plus et finit par devenir rouge noire, presque opaque. Tant que la dissolution n'a pas dépassé la teinte pourpre, on n'obtient pas de précipité par la saturation de l'ammoniaque au moyen de l'acide acétique; mais ce précipité apparaît lorsque la couleur est devenue noire, c'est l'hématéine qui se précipite sous forme d'un dépôt ocreux rappelant la couleur de l'oxyde de fer hydraté. Dès que ce caractère se manifeste, il faut ne renouveler qu'avec précaution l'ammoniaque qui disparaît; par l'évaporation spontanée, le vase se couvre de cristaux grenus, violets, très-colorés, solubles dans l'eau qu'ils colorent en pourpre, c'est de l'hématéinate d'ammoniaque; les acides précipitent de l'hématéine, elle n'est pas azotée. Elle est d'une couleur ocreuse, mais par la dessiccation elle devient dichroïte et réfléchissant les couleurs des cantharides. En couche mince, elle laisse passer une lumière rouge; l'hématéine est peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau chaude qui la dépose par refroidissement sous forme de cristaux pailletés.

L'hydrogène sulfuré ne ramène pas l'hématéine à l'état d'hématine; il n'agit que comme acide, la dissolution dépose par la concentration de l'hématéine inaltérée.

On peut se rendre compte de ces diverses réactions en représentant la composition de l'hématine par la formule

$$C^{16}\,H^{8}\,O^{7} = C^{16}\,H^{7}\,O^{6}, HO.$$

Sous l'influence de l'oxygène, il y aurait un équivalent d'hydrogène enlevé à l'état d'eau. On aurait, comme pour l'oxydation de l'indigo :

$$C^{16}\,H^{8}\,O^{7} + O = C^{16}\,H^{6}\,O^{6}, 2\,(HO).$$

Au reste, la question est encore assez obscure pour qu'on n'ose proposer une formule qu'avec la plus grande réserve.

26. Fleurs de mauve noire (*malvéine.*).

On a fait emploi pendant l'année dernière, en Turquie, de 14,000 quintaux de fleurs de mauve noire desséchées; on ignorait l'usage auquel ce produit était destiné; personne n'osait affirmer que les teinturiers s'en servissent, car on n'avait pas encore pu fixer sur laine, sur coton, sur soie, la matière colorante que contient la mauve.

M. E. Kopp a repris l'étude de cette substance, qu'une culture sur une grande échelle a fait classer parmi les matières premières de prix abordable. Leur valeur, qui était, en effet, de 424 francs, ne dépasse pas actuellement 50 francs les 100 kilogrammes.

Pour extraire le principe colorant contenu dans les mauves, on traite les fleurs par l'eau bouillante après avoir séparé la base des pétales, qui ne contient aucune matière utile et introduirait dans le bain une trop grande quantité de principes mucilagineux. L'infusion faite dans l'eau distillée et filtrée sur une chausse se présente sous forme d'un liquide d'une couleur rouge violacée un peu gluant si la dissolution est concentrée. Les acides le font virer au rouge cramoisi, l'addition d'un alcali ramène la couleur au violet, puis au bleu légèrement verdâtre; l'addition des alcalis à l'infusion la fait de suite passer au vert.

L'infusion aqueuse précipite en vert par l'eau de chaux; les sels d'alumine basique donnent à la longue un précipité d'un bleu pur; l'acétate de plomb décolore complétement la liqueur : il se fait un précipité bleu très-volumineux; le sulfate de cuivre donne un dépôt d'un très-beau bleu. Avec les sels de mercure, on a des précipités bleus; les sels d'étain se comportent de même; le sulfate de fer donne un dépôt bleu violacé d'une assez belle nuance; le perchlorure de fer précipite en brun, il y a destruction de la matière; de semblables phénomènes se produisent avec les chlorures décolorants, l'acide chromique et le bichromate de potasse.

La matière colorante de la mauve noire appartient donc à la classe des matières végétales, caractérisées par la propriété d'être rougies par les acides et verdies par les alcalis; ces matières se rencontrent assez fréquemment dans la nature, comme, par exemple, dans les dahlias violets, les feuilles de choux rouge, la violette, etc.

On peut donner à ce principe le nom de *malvéine*. La dissolution aqueuse l'abandonne sous forme d'extrait.

Malvéine.—La matière colorante de la mauve est très-soluble dans l'alcool; elle se dissout également, mais moins facilement, dans l'éther; ces teintures présentent une nuance pourpre très-riche.

Elle se dissout sans altération dans l'acide sulfurique concentré, même chauffé jusqu'à 60 ou 80 degrés centigrades; la dissolution possède une couleur pourpre très-belle et très-pure. On peut tirer parti de cette circonstance pour préparer directement avec les fleurs de mauve une solution sulfurique. A cet effet, on humecte les pétales secs avec un peu d'acide sulfurique concentré; en broyant le tout dans un mortier en porcelaine légèrement chauffé, on obtient une pâte homogène, rouge brun, assez épaisse; on l'abandonne plusieurs heures avant de la traiter par l'eau bouillante, on filtre; la dissolution limpide est d'un beau rouge

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pourpre très-foncé. Il reste sur le filtre une matière ligneuse ou pectineuse à demi carbonisée, qui ne retient qu'une petite quantité du principe colorant.

L'extrait alcoolique, plus pur que l'extrait aqueux, permet de séparer plus facilement la malvéine du mélange. Cette teinture, évaporée doucement au bain-marie, laisse un résidu d'apparence résineuse; ce résidu, en contact avec l'eau, s'y dissout presque complétement, à l'exception d'une très-petite quantité de matière grasse ou résineuse; il a été impossible, jusqu'à présent, d'obtenir la matière colorante à l'état de pureté ou avec des caractères de pureté suffisants pour en faire l'analyse; la teinture éthérée donne par l'évaporation spontanée des grumeaux à apparence cristalline, mais à la loupe on n'y retrouve pas de structure régulière.

Soumise à la distillation sèche, la matière colorante se carbonise sans donner de sublimé cristallin; il se forme une huile épaisse empyreumatique, à réaction acide; l'absence d'ammoniaque autorise à penser qu'elle ne contient pas d'azote.

Lorsqu'on reprend par l'eau le résidu de l'évaporation de la liqueur alcoolique, on obtient avec les réactifs des résultats différents de ceux fournis avec la liqueur aqueuse préparée directement avec les fleurs de mauve.

Ainsi elle ne donne de précipité ni par les sels d'alumine ni par le bichlorure d'étain; les premiers la colorent seulement en beau bleu violacé, et le second en rouge pourpre; avec le sulfate de protoxyde de fer et le protochlorure d'étain, les précipités sont beaucoup moins abondants et la liqueur reste fortement colorée. La solution ne précipite ni par le tanin ni par la gélatine.

La nature des préparations qu'on a fait subir aux fibres modifie la nuance que l'on peut obtenir en teinture avec les solutions aqueuses de fleurs de mauve.

On obtient : sur coton, avec le sel de fer fort, une couleur noire; avec le sel de fer faible, une coloration bleu noirâtre; avec les sels d'alumine, une couleur bleue violacée; avec les sels d'étain, un violet bleuâtre;

Sur laine, avec l'oxychlorure d'étain, un violet assez foncé; avec les sels de fer, un noir bleuâtre ou du bleu grisâtre; avec les sels d'alumine, un bleu grisâtre ou violacé; avec les sels d'antimoine, un violet brunâtre;

Sur soie, avec les sels d'étain, une nuance violette assez belle.

27. Vert des feuilles (*chlorophylle*).

On n'a pas fait encore usage comme matière colorante du principe vert des feuilles qu'on trouve dans presque toutes les plantes et qu'on a désigné sous le nom de chlorophylle.

Cette substance douée de propriétés toutes spéciales avait été considérée pendant longtemps comme un principe immédiat *sui generis;* on lui avait reconnu des caractères spéciaux et la propriété remarquable de se décolorer sous l'influence de l'hydrogène à l'état naissant. M. Sachs avait observé que l'oxygène, sans le concours de la lumière, pouvait faire renaître la coloration verte. Ses propriétés chimiques ont été reconnues par Pelletier, Berzélius, Mulder et M. Morot. M. Verdeil, dans un travail récent, assimilait la matière verte des feuilles au principe colorant du sang; il admettait qu'elle contient du fer.

M. Frémy, dans des recherches remarquables, a fait voir que la chlorophylle n'est pas un principe immédiat simple, mais qu'elle résulte du mélange ou de la combinaison de deux corps, l'un bleu, l'autre jaune.

La chlorophylle n'est que l'extrait brut de feuille par l'alcool. Nous donnerons ici l'exposé du travail de M. Frémy, parce que les données qu'il renferme rentrent dans l'étude des phénomènes que nous examinons en ce moment.

Pour rechercher si la matière colorante des feuilles est composée de deux principes différemment colorés, M. Frémy l'a mise en contact avec une substance dont l'affinité pour les matières colorantes peut être modifiée comme on le veut, c'est l'alumine hydratée. On augmente ou diminue l'affinité de cet oxyde par des additions d'eau ou d'alcool absolu.

Or, comme la matière jaune des feuilles paraît avoir moins d'affinité pour l'alumine que n'en a l'autre substance colorée, lorsque la substance est très-alcoolique on obtient une laque d'un vert foncé, tandis que l'acool retient en dissolution une substance d'un beau jaune; quand, au contraire, la dissolution est étendue d'une grande quantité d'eau, toute la matière colorante se combine à l'alumine qui fournit alors une laque analogue à la couleur verte des feuilles.

En agissant sur cette laque avec des agents d'une faible énergie chimique, on la décompose; et parmi ces agents, les uns agissent sur le principe jaune, les autres sur le principe bleu. Le sulfure de carbone porte son action sur le principe jaune. Son contact fonce donc la laque en la rendant plus verte; l'éther, l'alcool, l'essence de térébenthine isolent la matière verte avec sa coloration primitive. Quelques agents réducteurs modifient la chlorophylle et la transforment en une substance d'un jaune magnifique, très-soluble dans l'alcool et l'éther. Les acides faibles et surtout l'acide chlorhydrique reconstituent dans la dissolution alcoolique une matière colorante verte.

Lorsqu'on traite par un mélange de deux parties d'éther et une partie d'acide chlorhydrique étendu d'une petite quantité d'eau le corps qui provient de l'altération de la chlorophylle, on obtient, en agitant le flacon qui contient le mélange, une dissolution éthérée qui s'empare du principe jaune et un liquide acide qui reproduit une substance d'un bleu magnifique. Pour reconstituer le vert, il suffit d'ajouter de l'alcool en quantité suffisante pour redissoudre les deux matières isolées.

M. Frémy appelle *phylloxanthine* la matière jaune des feuilles et *phyllocyanine* la matière bleue; la phylloxanthine est beaucoup plus stable que la matière bleue.

Des études analogues appliquées aux autres couleurs de la nature végétale conduiront peut-être à la découverte de principes nouveaux dont l'industrie saura tirer parti. C'est dans ce but que nous avons présenté l'extrait que nous venons de lire et qui présente sous un jour nouveau les questions que la chimie moderne doit prochainement élucider.

28. Vert du chardon (*cinaréine*).

M. Verdeil a fait connaître de la manière suivante une matière colorante nouvelle susceptible de fournir comme le lo-kao du vert sans mélange. Si l'on fait bouillir dans l'eau la partie charnue des capitules des fleurs non encore développées du chardon ou de l'artichaut (*cinara scolymus*), on obtient un liquide incolore qu'on sépare par expression; l'addition du carbonate de soude développe dans ce suc, sous l'influence de l'air, une couleur vert-jaune que l'addition de l'acide acétique fait virer au vert-bleu. L'acétate de plomb forme dans cette liqueur verte un précipité vert; ce précipité est décomposé par l'acide sulfurique étendu dans beaucoup d'alcool à 40°. La dissolution alcoolique se colore en jaune-brun; le plomb se trouve éliminé à l'état de sulfate, et la matière colorée est alors précipitée par une addition d'éther qui retient les corps gras et astringents.

Le précipité recueilli sur un filtre et lavé encore à l'éther, puis à l'eau, constitue la matière colorante libre et à l'état de pureté. C'est un principe hydrogéné

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et azoté, insoluble dans l'eau et les acides ; il se dissout dans les alcalis qu'il colore en vert : l'alun et le perchlorure d'étain le précipitent de cette dissolution alcaline, en formant des laques d'un vert foncé qui, desséchées, conservent leur nuance et résistent à l'action de la lumière.

Cette matière verte, qu'on pourrait nommer *cinaréine*, est différente, ainsi que l'a fait observer M. Persoz, de celle du nerprun ; néanmoins elle pourrait être utilisée si ses qualités à la lumière lui communiquent les avantages qu'on recherche, surtout pour les verts applicables à la teinture des soies.

29. Vert de Chine (*vert de nerprun, lo-kao*).

Nous avons étudié, jusqu'à présent, les substances rouges, violettes et bleues. Il eût été difficile, il y a quelques années, de mentionner une seule couleur directement verte ; toutes les nuances, quelque variées qu'elles fussent, étaient préparées dans l'industrie par des mélanges ou des superpositions de couleurs transparentes jaunes et bleues.

Des recherches récentes vont nous donner l'occasion de faire connaître une singulière substance, dont la science a constaté la nature et les propriétés, et que l'industrie peut reproduire avec des éléments indigènes. Cette matière, découverte en Chine, a fixé l'attention sur une série de matières tinctoriales des plus convenables pour l'obtention des nuances vertes qui prennent un éclat très-vif, même à la lumière artificielle. Le travail que nous allons analyser réunissant toutes les données scientifiques et tous les documents industriels peut servir de base aux recherches nouvelles qu'il serait convenable de tenter sur d'autres matières analogues, susceptibles de donner des nuances plus ou moins vertes. Nous commencerons par présenter une courte notice historique sur le lo-kao, ou vert de Chine ; nous la ferons suivre de l'exposé des caractères chimiques de la matière telle qu'on la connaît.

Les renseignements qui suivent sont extraits de la notice remarquable publiée sur ce sujet par la chambre de commerce de Lyon, et qui contient à la fois les observations dues à MM. N. Rondot, Persoz et Michel.

Lors de la distribution aux diverses chambres de commerce des produits apportés de Chine par les délégués français, la société de Mulhouse reçut, entre autres produits, divers tissus écrus, blanchis et teints. Un de ces tissus, teint en vert, qui présentait cette particularité, qu'il avait un envers d'un vert jaunâtre et un endroit d'un vert bleuté plus foncé, appela l'attention de M. Daniel Koechlin-Schouc, qui le signala comme teint par un vert particulier jusqu'alors inconnu ; il insista pour que des renseignements fussent recueillis sur cette fabrication chinoise.

Le document le plus complet fut fourni par un savant missionnaire, le R. P. Hélot, qui a étudié sur place la méthode employée pour obtenir cette teinture. Voici le résumé de ce procédé, tel qu'il est présenté dans la notice sur le vert de Chine, et la teinture en vert chez les Chinois, par M. Natalis Rondot, p. 70 :

« L'écorce fraîche du *hong-pi la-chou*, d'abord bouillie, reste infusée pendant deux jours ; l'infusion de l'écorce sèche dure dix jours. » (D'après ce renseignement, la matière serait dans la plante à l'état soluble et non coloré). « On opère avec deux bains séparés, on ajoute de l'eau de chaux à l'un et à l'autre. On plonge les toiles sept à dix fois dans le bain de *hong-pi*, ensuite trois fois dans celui de pi-pi ; on fait sécher après chaque immersion. On étend les toiles à la tombée de la nuit ; mais l'action du soleil est indispensable, la toile n'est teinte que du côté qui a été exposé au soleil. »

Telle est la communication qui devint le point de départ de M. Michel, de Lyon, pour ses recherches sur les matières colorantes des nerpruns indigènes. Les plantes employées par les Chinois, et que M. Decaisne a reconnues comme appartenant à la famille des nerpruns (*rhamnus utilis* et *rhamnus chloroforus*), n'existent pas en France. M. Michel a dû faire ses premiers essais sur des nerpruns indigènes, se rapprochant, autant que possible, des indications du R. P. Hélot.

Les expériences ont été faites sur des toiles de coton de 50 cent. de long, sur 33 cent. de large, bien nettoyées de tout apprêt. Les bains ont été préparés dans des casseroles de fer émaillé. Les toiles ont été plongées dans le bain, pendant un quart d'heure ; elles ont ensuite été étendues sur le pré ; le lendemain, elles ont été relevées, elles étaient sèches. Nous pouvons suivre le détail et le progrès des opérations au point de vue de la teinture ; ces étoffes, au sortir du bain, étaient à peine colorées en jaune roux très-faible ; dès la pointe du jour, elles acquirent une coloration très-apparente à la surface supérieure.

Plusieurs espèces de nerpruns ont été mises en essais.

L'alaterne a donné des nuances gris fauve d'autant plus brunes que la densité du bain était plus grande et les opérations plus multipliées. La bourdaine a présenté les mêmes résultats, seulement le jaune dominait. Le nerprun purgatif a produit, le premier jour, une couleur claire d'un vert assez prononcé ; le deuxième jour, la nuance a tourné au gris ; le troisième, au gris-violet, qui, à mesure que les opérations se multipliaient, a pris de l'intensité. Cette nuance violacée a été ramenée subitement au vert par une dissolution faible et bouillante d'alun.

Ces expériences ont prouvé qu'on peut obtenir des nerpruns un principe coloré qui y existe à l'état incolore, et si nous les rapprochons de ce que nous savons des missionnaires, elles semblent concluantes en raison de la déclaration formelle du R. P. Hélot, qui affirme que la lumière est indispensable à la production de la couleur verte ; la synthèse est donc sous ce rapport venue confirmer ce que l'observation et les traditions avaient enseigné.

En ce qui concerne l'influence de la lumière sur la coloration verte extraite des nerpruns, M. Michel, dans le but de lever tous les doutes, a fait des expériences qui me paraissent irréfutables.

1° En immergeant dans un bain de nerprun deux coupons de la même étoffe, si l'un seulement est exposé sur le pré, comme on l'a dit, tandis que l'autre est soumis pendant le même temps à l'action de l'air d'une cave très-obscure, le coupon qui a reçu la lumière se trouve coloré lorsque l'autre n'a pas éprouvé la moindre modification.

2° La même épreuve, répétée dans des vases, l'un opaque, l'autre transparent, renfermant chacun un coupon trempé dans le bain de nerprun, a conduit au même résultat.

En Chine, il paraît qu'on emploie simultanément le rhamnus chlorophorus et le rhamnus utilis, le premier pour donner à la couleur de l'éclat et du brillant, le second pour ajouter à la vigueur de la couleur. La préparation de la matière colorante qu'on a voulu rapprocher des procédés suivis pour la fabrication de l'indigo brut, s'exécute au moyen de toile grossière à surfaces rudes, sur lesquelles la couleur se dépose en quelque sorte mécaniquement, et qu'on en détache par des frictions répétées. Nous aurons occasion, plus tard, de revenir sur les procédés de teinture proprement dite ; nous ne nous occupons ici que de la préparation du *lo-kao* supposé pur ; des teintures successives ont surchargé de ce principe les toiles dont nous avons parlé. On augmente la richesse de la décoction par des additions d'alun ou de carbonate de soude, avant d'y plonger les toiles de coton. Ces dernières étant surchargées de couleur par 15 à 20 immersions, suivies d'autant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'expositions à l'air et au soleil, sont plongées dans de l'eau froide, puis agitées très-vigoureusement.

L'excès de couleur se détache et nage dans les eaux de lavage qu'on réunit dans une chaudière. On étend un lit de fils de coton à la surface de l'eau, puis on chauffe. Durant l'ébullition, la matière colorante, qui est en suspension, se dépose sur les fils de coton. On continue en mettant dans la chaudière de nouvelles eaux de lavage, jusqu'à ce que les fils soient suffisamment chargés de couleur.

Les fils sont alors lavés dans de l'eau claire et froide en les frottant dans les mains; le lo-kao se détache et se précipite. Le précipité, recueilli d'une manière quelconque, après avoir été bien lavé, se présente sous forme de pâte très-fine; on l'étend sur une feuille de papier fin, qui repose sur de la cendre; on la fait sécher d'abord à l'ombre, ensuite au soleil.

La couche de lo-kao ou de vert de Chine proprement dit se détache du papier, se bossue en séchant, et se brise en petites lames irrégulières, minces, légères, dures, d'une couleur bleue, avec reflets violacés et parfois verdâtres. Sa cassure récente est tantôt d'un vert sale, grisâtre, tantôt d'un bleu foncé ou violacé. Ces divers tons ou reflets se manifestent parfois sur une même lame, qui, malgré cela, lorsqu'on la frotte sur du papier, se colore toujours en un beau vert d'eau, d'une nuance turquoise fort agréable; il faut généralement un lit de fils de coton du poids de 3,620 grammes pour épuiser les eaux de lavage de 300 pièces de toile; on en extrait, d'après le R. M. Edkins, 283 grammes de lo-kao, dans l'état que nous allons indiquer plus bas; chaque kilogramme de vert de Chine représente donc 1,060 pièces de toile teinte; chaque pièce est longue d'environ 6,3 mètres sur 36 centimètres de largeur.

M. Guinon, de Lyon, parvint à s'en procurer une certaine quantité; c'est ainsi qu'il a pu teindre les beaux verts sur soie qui figurèrent pour la première fois à l'Exposition universelle de Paris.

Lo-kao. — Le *lo-kao* ou vert de Chine du commerce, dont le prix a varié, pour ces dernières années, de 250 à 500 fr. le kilogramme, n'est point une matière homogène, car, en l'incinérant, on en retire des quantités de cendres variant de 21,5 à 33 pour 100.

L'analyse de cendres de lo-kao, reçues en Hollande, a donné à M. Bleekrode jusqu'à 52 pour 100 d'argile, 31 pour 100 de chaux, et 12,5 de phosphate de chaux, et 1 d'oxyde de fer.

Le lo-kao est insoluble dans les huiles essentielles, les alcools, les éthers, le sulfure de carbone. En contact avec l'eau pure, il s'y gonfle généralement, se délaye dans 25 à 30 fois son poids de ce liquide, mais sans jamais s'y dissoudre complétement. Dans les cas les plus favorables, il reste toujours 30 pour 100 de la matière primitive sur le filtre.

Les recherches de M. Persoz ont démontré dans ce vert la présence d'un principe bleu, la *cyanine*, et un principe jaune que nous reconnaîtrons ailleurs. Le mélange de ces deux nuances constitue le *lo-kao*.

Les solutions aqueuses concentrées se conservent très-bien; mais, étendues d'eau, elles ne tardent pas à se troubler; par ce moyen, on les purifie d'une grande partie des substances étrangères auxquelles est mélangée la matière colorante utile. Les carbonates, phosphates et borates alcalins se comportent exactement comme l'eau pure. Une solution aqueuse de lo-kao peut subir quelquefois en vases clos une espèce de fermentation; elle se trouble et forme un dépôt d'abord violacé, puis rouge sanguin, très-soluble dans l'acétate de chaux.

Les acides faibles, non oxydants et non réducteurs, et surtout l'acide acétique, facilitent la dissolution du lo-kao. Mais s'ils sont énergiques, si leur contact est prolongé, et surtout si l'on porte la liqueur à l'ébullition, ils peuvent altérer profondément la matière colorante. Avec l'acide chlorhydrique, le lo-kao se coagule, et la partie caillée délayée dans l'eau forme un précipité gris de fer foncé.

Ce précipité, saturé par l'ammoniaque, ne régénère plus du vert, mais du bleu.

Traité par le sulfhydrate d'ammoniaque, il développe une belle couleur pourpre, et, par le protochlorure d'étain, un rouge saumon; il se dissout complétement dans une eau de savon bouillante, en affectant une couleur verte, que le sulfhydrate d'ammoniaque change en une belle teinte pourprée; le chlorure d'étain employé en proportion convenable précipite une laque d'un rose intense.

Les acides réducteurs, les uns à froid, les autres à chaud, réduisent la solution du lo-kao et y déterminent la formation d'un précipité pourpre violacé.

L'hydrogène sulfuré ne réduit le lo-kao que passagèrement, en donnant à sa solution une couleur particulière et rouge de sang foncé facilement altérable. Une étude particulière de cette combinaison aurait de l'intérêt; elle se décompose à l'air; l'hydrogène se brûle, le soufre se dépose et la liqueur finit par reprendre sa couleur verte primitive.

Les acides oxydants comme l'acide nitrique, l'acide chlorique, l'acide chromique, détruisent le lo-kao; par une oxydation ménagée, on peut obtenir une couleur rose tendre.

Les alcalis caustiques favorisent au premier abord la dissolution du lo-kao; mais, par un contact prolongé ou par l'ébullition, ils détruisent la couleur, qui passe subitement au brun, en formant une nouvelle matière colorante qu'on ne peut plus ramener au vert, mais qui se fixe parfaitement sur calicot, surtout avec le concours de l'alumine et de l'oxyde d'étain.

Les sulfures alcalins fixes agissent de la même manière; mais le sulfhydrate d'ammoniaque réduit et dissout le vert de Chine sans le détruire. En imprégnant du coton de cette solution et l'exposant à l'air, le lo-kao se réoxyde et se fixe sur la toile. Le lo-kao gonflé par l'eau se dissout à chaud, en très-forte proportion, dans une solution de phosphate et de borate alcalins; les bains colorés, ainsi formés, teignent directement en vert les tissus de coton.

L'ammoniaque liquide, le carbonate d'ammoniaque, les acétates alcalins sont également d'excellents dissolvants, mais le meilleur est le savon.

Si l'on délaye du lo-kao gonflé dans un bain chaud, tenant en solution 5 à 6 millièmes de savon blanc et qu'on y plonge du calicot blanc, on le retire teint en un vert d'eau des plus purs. Ces caractères établissent de grandes différences entre cette matière et l'indigo, dont on était tenté de le rapprocher à d'autres égards.

Les chlorures de zinc et de magnésie font virer la teinte verdâtre du lo-kao au bleu pur. Le chlorure d'étain, tout en dissolvant le vert de Chine, fait passer la couleur au rouge sanguin. Cette dissolution, qu'on peut employer avec succès à la teinture de la soie, n'a besoin que d'être saturée par une base puissante ou par un acétate alcalin, pour que, après une exposition à l'air, le vert se trouve régénéré.

Le perchlorure d'étain agit à la manière des acides. Le lo-kao forme des laques à base d'alumine, d'étain et de chaux, dont on peut tirer parti pour l'impression des tissus.

La principale application du lo-kao est la teinture des soies pures. Elle est due à la beauté et à l'intensité extraordinaires que cette couleur acquiert à la lumière artificielle. Ce magnifique éclat à la lumière, que les uns attribuent à l'homogénéité de la couleur, les autres à la pureté de nuance du bleu et du jaune qui forment ce vert, donne au lo-kao une incontestable supériorité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur toutes les autres teintures vertes connues et lui a valu le nom de *vert de lumière*.

Nous donnerons plus loin la méthode qu'on suit pour opérer la teinture qu'il serait logique de regarder comme une teinture mécanique.

30. Quercitron (*quercitrine*).

Le quercitron est fourni par une espèce de chêne *quercus nigra* : c'est l'écorce qui produit la matière tinctoriale.

Une décoction de quercitron faite par une ébullition d'un quart d'heure, avec une partie de quercitron et cinq parties d'eau, se trouble et dépose une matière cristalline que M. Chevreul a nommée *quercitrin*. D'après M. Rochleder, les fleurs et les fruits du marronnier d'Inde contiennent le même principe. Les cotylédons coupés en morceaux minces et recouverts d'alcool à 36 degrés, dans un vase fermé, pendant 8 ou 10 jours, donnent une dissolution jaune d'or qui contient de la quercitrine.

Pour l'extraire des fleurs de marronnier, M. Rochleder traite les pétales avec de l'alcool bouillant; il filtre; il se sépare, par refroidissement, des cristaux jaunes qu'il purifie par une nouvelle filtration. Il distille au bain-marie pour recueillir l'alcool; il ajoute de l'eau sur le résidu qui se sépare en deux couches; la plus dense renferme des résines, la plus légère contient la quercitrine. Cette solution rougeâtre donne, avec l'acétate neutre de plomb, un précipité jaune soluble en partie dans l'acide acétique; le résidu insoluble est de la résine. La solution acide est précipitée par l'acétate basique de plomb. Ce précipité contient beaucoup de quercitrine. 84 kilos de fleurs ont donné 30 grammes de quercitrine pure.

M. Rochleder reconnaît cependant que le meilleur procédé pour préparer la quercitrine consiste à l'extraire du quercitron. Il faut, pour obtenir d'assez grandes quantités de cette matière, faire bouillir l'écorce avec de l'eau; on filtre en exprimant la masse dans une toile. La décoction est abandonnée au refroidissement et l'écorce épuisée de nouveau par une même quantité d'eau bouillante. La première dissolution dépose de la quercitrine impure, la seconde en renferme beaucoup moins, on recueille sur un filtre en toile et on laisse égoutter; en ajoutant de l'acide chlorhydrique à la liqueur filtrée, il se précipite des flocons jaunes volumineux qu'on sépare par filtration; on fait chauffer au bain-marie tant que la liqueur dépose de la quercitrine, on filtre. Pour purifier les divers dépôts successivement obtenus, on triture au bain-marie avec de l'alcool et on filtre; la plupart des impuretés sont enlevées par l'alcool; on fait dissoudre dans l'alcool bouillant, on filtre à chaud, et on précipite la matière colorante par l'eau bouillante qu'on verse aussi longtemps qu'il se fait de trouble dans la liqueur. Après le refroidissement, la plus grande partie de la matière colorante s'est précipitée, on la recueille sur un filtre en toile et on la purifie par un nouveau traitement.

Quercitrine.—La quercitrine cristallise sous forme de petites écailles d'un jaune assez pâle. Il est facile de constater sa réaction acide au moyen du papier de curcuma rougi par la chaux; peu soluble dans l'alcool, dans l'éther, dans l'eau, la solution est d'un jaune pâle; elle ne précipite pas la colle de poisson.

Les dissolutions aqueuses de potasse et d'ammoniaque la font passer au jaune-vert plutôt qu'au jaune-orangé. L'eau de baryte en précipite peu à peu des flocons d'un jaune roux. Une dissolution d'alun y développe graduellement une belle couleur jaune. Mais la réaction est très-lente; les acétates de plomb et le cuivre forment une laque d'un beau jaune; le protochlorure d'étain se comporte de la même manière; le sulfate de peroxyde de fer la fait passer au vert olive; il se produit un précipité qui n'est bien déposé qu'au bout de plusieurs heures.

L'acide sulfurique dissout la quercitrine; la solution d'un orangé verdâtre se trouble par l'eau. L'acide nitrique fait passer la couleur à l'orangé-rouge.

Une dissolution de quercitrine dans l'eau donne à la laine, préparée par l'alun, une couleur jaune un peu plus pâle et plus verdâtre que celle qu'on obtient avec le morin. Elle se comporte de même avec la soie. Mais cette dernière, préparée par un sel de peroxyde de fer, reçoit un gris olive moins foncé que celui qu'on prépare avec le morin.

La quercitrine est le principe actif des décoctions de quercitron. Cette décoction préparée par l'ébullition de 10 parties d'eau et d'une partie de quercitron, pendant un quart d'heure, est d'un rouge orangé brun, elle ne se trouble pas par le refroidissement. Elle a l'odeur de l'écorce de chêne, sa saveur est astringente; elle précipite la colle de poisson. Elle contient, d'après M. Chevreul, des chlorures, des sulfates, de la chaux.

Les dissolutions alcalines de potasse, de soude, d'ammoniaque, de chaux, de baryte, de strontiane, en foncent la couleur. Ces trois dernières précipitent, en outre, des flocons d'un jaune roux. La décoction du bois jaune ne précipite pas. Le protochlorure d'étain y fait naître un dépôt roussâtre; l'alun ne la trouble que faiblement; l'acétate de plomb la précipite en flocons épais d'un jaune roux; l'acétate de cuivre la précipite en flocons fins d'un jaune foncé tirant sur le verdâtre. Le sulfate de peroxyde de fer colore la liqueur en vert vif; il se précipite, à la longue, des flocons d'un vert olive.

L'acide sulfurique concentré précipite des flocons roux solubles dans un excès d'acide; si l'acide est étendu, il affaiblit la couleur et précipite également des flocons. L'acide nitrique à 34 degrés se conduit de même, mais la liqueur acide qui redissout les flocons est d'un beau rouge brun.

31. Bois jaune (*morin blanc, morin jaune, moréine.*)

On rencontre parmi les bois de teinture une espèce particulière qu'on nomme *morus tinctoria*, et qui provient du Brésil et des Antilles. C'est le bois jaune; cette substance a été l'objet d'un travail très-important de M. Chevreul, qui a fait connaître la nature du principe utile contenu dans le bois jaune. Nous étudierons cette matière sous le nom de *morin*.

Lorsqu'on examine attentivement des bûches de bois jaune, on trouve quelquefois des parties jaunes et des parties distinctes d'un blanc rosé. Traitées par l'éther, ces matières abandonnent par cristallisation, la première une substance jaune cristalline, la seconde une substance cristallisée, presque incolore; celle-ci se trouve accompagnée d'un résidu rouge qui lui donnait sa nuance couleur de chair. En fractionnant les cristaux obtenus par l'évaporation de l'éther, les premiers qui se déposent sont jaunes et les seconds sont blancs; on leur enlève leur dernière teinte jaunâtre en les lavant à l'eau froide. Ils constituent le morin blanc, qu'on pourrait nommer *morine*.

Morine. — Ce nouveau produit possède une saveur douceâtre, astringente, amère, bien plus faible que celle du morin; il a moins d'action sur la colle de poisson; il devient d'un jaune plus foncé par les alcalis; la baryte ne le précipite pas; il précipite immédiatement par l'acétate de cuivre. Sa solution devient rouge-grenat par le protosulfate de fer; celle du morin jaune devient verdâtre.

L'acide sulfurique le fait passer au jaune roux; à la distillation, il donne de l'eau, des gaz et un liquide qui se condense en cristaux plus clairs que ceux fournis par le morin jaune.

S'il était prouvé que le morin jaune dérive du morin

EFERUS - Recherche & Classification numérique

blanc, il conviendrait d'appeler *moréine* le principe jaune qui paraît être l'élément utile dans la décoction de bois jaune.

Morin jaune (moréine).—Lorsqu'on fait concentrer et refroidir convenablement une infusion de bois jaune dans l'eau pure, on obtient une matière qui semble avoir cristallisé confusément; elle est jaune, mais elle peut présenter accidentellement des parties rougeâtres ou orangées.

Peu soluble dans l'eau, même bouillante, sa solution chaude dépose par refroidissement des flocons qui, recueillis sur un filtre, prennent un aspect cristallin. La dissolution refroidie est légèrement jaunâtre. Plus soluble dans l'alcool que dans l'éther ou dans l'eau, le morin cristallise de sa dissolution alcoolique sous forme de cristaux jaunes en aiguilles qui se disposent en mamelons.

La dissolution du morin dans l'eau trouble la colle de poisson; elle se colore en jaune très-pur au contact des alcalis, potasse, soude, ammoniaque, baryte, chaux, strontiane; elle passe au jaune verdâtre par une addition d'alun; le sulfate de peroxyde de fer la fait passer au vert-dragon, il y a précipitation; elle ne précipite pas immédiatement avec l'acétate de cuivre.

L'acide sulfurique concentré en avive la couleur; l'acide nitrique bouillant l'attaque et forme de l'acide oxalique. L'acide nitrique à 34 degrés fait passer sa couleur au rougeâtre et trouble sa dissolution. Sous l'influence de l'oxygène, le morin se transforme en une matière rouge.

Soumis à la distillation, le morin fond, se colore en rouge brun, abandonne de l'eau, puis un liquide qui se condense en cristallisant, sous forme d'aiguilles jaunâtres; elles paraissent être du morin inaltéré.

Nous avons dit que le morin était le principe utile du bois jaune. La décoction de ce bois, employée par le teinturier, faite avec une partie de bois pour 10 d'eau bouillante, est d'un rouge orangé vif, tant qu'elle est chaude; elle se trouble par le refroidissement en laissant déposer du morin pulvérulent. Abandonnée plus longtemps, elle laisse cristalliser une nouvelle quantité de morin. Cette décoction est inodore, d'une saveur amère, astringente; elle précipite la colle de poisson en flocons d'un jaune orangé; elle contient des sulfates et des chlorures, mais pas de chaux. Les dissolutions aqueuses de potasse, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et même de chaux, la font passer au rouge orangé brun verdâtre; le protochlorure d'étain y fait naître un précipité jaune; l'alun la précipite en jaune serin, l'acétate de plomb en jaune rouge, l'acétate de cuivre en jaune brun. Le sulfate de peroxyde de fer la colore en brun verdâtre et précipite des flocons vert olive.

Une dissolution aqueuse d'iode est sans action sur elle; mais une dissolution de chlore qu'on y mêle à volume égal la précipite légèrement en y développant une couleur rougeâtre, qu'un excès de chlore fait disparaître entièrement.

La décoction de bois jaune exposée sur le mercure au contact de l'oxygène passe au rouge. Par une épreuve comparative, faite dans les mêmes conditions, mais à l'abri du contact de l'air, cette décoction n'éprouve pas d'altérations.

De la laine et de la soie, préparées avec de l'alun, mises en contact dans des dissolutions saturées à 12 ou 16 degrés des différentes matières colorantes extraites du bois jaune, se colorent assez promptement. Le morin jaune donne un jaune un peu moins verdâtre que le morin blanc; le morin rouge donne une couleur orangée terne. La soie préparée par le sulfate de peroxyde de fer prend dans le morin jaune une couleur olive, dans le morin rouge une couleur plus foncée, dans le morin blanc une couleur marron clair.

32. Gaude *(lutéoline).*

La gaude, qui se cultive toujours pour les besoins de la teinture, est très-répandue partout; elle fournit une belle couleur jaune qui existe principalement sur les sommités des tiges fleuries: elle se trouve dans le commerce sous la forme de bottes sèches. M. Chevreul a donné le nom de *lutéoline* au principe colorant que la plante renferme.

Lutéoline. — A l'état de pureté la lutéoline est une matière peu soluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'éther; fusible, volatile, elle se sublime sous forme de belles aiguilles transparentes, légèrement jaunâtres. Ces observations sont dues à M. Chevreul.

Une dissolution aqueuse de potasse la colore en jaune très-riche qui passe au roux par l'absorption de l'oxygène de l'air. Les eaux de baryte, de strontiane, de chaux et d'ammoniaque se comportent de la même manière. L'acétate de plomb, l'acétate de cuivre, l'alun précipitent sa dissolution en jaune foncé. Les sels de peroxyde de fer la précipitent en jaune olivâtre. L'acide sulfurique très-pur y développe une magnifique couleur jaune, tirant plutôt sur le rouge que sur le vert; il se forme aussi des flocons roux. L'acide nitrique concentré la dissout; la solution d'un jaune orangé verdâtre précipite par l'eau. D'après M. Preisser, on obtient, au moyen de la dissolution de gaude, une liqueur d'un jaune clair qui précipite par refroidissement une abondance de cristaux jaunes pâles. Quand on fait bouillir ce liquide avec de l'acide chromique sirupeux, il se forme des paillettes d'un jaune d'or qui rappellent celles formées par l'iodure de plomb. Ces mêmes cristaux s'obtiennent encore par le contact prolongé de l'air. La matière jaune serait la *lutéoléine*. D'après M. Preisser, la lutéoline est une substance blanche, incolore, qu'on peut sublimer. Elle se comporte avec les acides comme M. Chevreul l'a décrit.

Une décoction de gaude contient une certaine quantité de tanin qui, s'altérant à l'air, masque les véritables caractères chimiques de la matière colorante. Cette décoction filtrée après le refroidissement présente l'aspect d'un liquide d'un jaune un peu roux. La potasse fait passer la couleur au jaune d'or un peu verdâtre. La baryte y fait naître un précipité floconneux d'un beau jaune. L'alun n'y fait qu'un léger précipité jaunâtre. Le protochlorure d'étain et l'acétate de plomb donnent des précipités jaunes assez abondants. Le précipité produit par l'acétate de cuivre tire sur le vert. Le chlore fait passer la nuance au roux, mais la couleur redevient jaune par un excès du réactif.

Les caractères chimiques de cette matière colorante permettent de la classer parmi celles qui jouissent d'une grande solidité.

33. Fustet *(fustine).*

On cultive en Provence, pour les usages de la teinture, un arbrisseau qu'on nomme *fustet* et dont le nom botanique est *rhus cotinus;* il appartient à la famille des térébinthacées.

La décoction du fustet dans l'eau contient une matière particulière que M. Chevreul a séparée le premier et que nous nommerons *fustine.*

Fustine.—Pour l'obtenir à l'état de pureté, M. Preisser sépare le tanin de la décoction au moyen d'un peu de gélatine. Il évapore à peu près à siccité pour reprendre le résidu par l'éther. La solution colorée distillée donne un nouveau résidu qu'on reprend par l'eau; la liqueur est traitée par l'hydrate de plomb, qui forme une laque qu'on décompose par l'hydrogène sulfuré. On obtient enfin un liquide incolore qui laisse déposer de petits cristaux jaunâtres, faciles à purifier complétement par de nouveaux lavages à l'éther.

La fustine possède une saveur légèrement amère;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle est soluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther; les solutions au contact de l'air se colorent assez rapidement, l'acide sulfurique la dissout en lui donnant une couleur jaune claire; l'acide azotique la colore plus rapidement avec l'application d'une légère chaleur.

La potasse, la soude et l'ammoniaque lui communiquent immédiatement une belle coloration rouge. L'acétate de plomb la précipite en blanc, mais le précipité jaunit peu à peu, le sulfate de peroxyde de fer le fait passer au vert olive.

34. Sarrasin (*rutine, ilixanthine*).

On avait signalé, dans ces dernières années, dans le sarrasin *(polygonum fagopyrum)*, une matière colorante bleue, semblable à l'indigo. Cherchant à vérifier cette assertion, M. Schunck n'a pu trouver la moindre trace de matière se transformant en indigo, mais il a constaté dans les feuilles la présence d'une matière jaune parfaitement cristallisée.

Rutine. — Pour préparer cette substance, on traite par l'eau bouillante les feuilles de la plante lorsqu'elles ont atteint leur développement complet; la décoction filtrée dépose par l'acétate de plomb les matières étrangères, tandis que la matière colorante reste en dissolution parce qu'on n'a pas mis assez de réactif pour la précipiter. On décompose par l'acide acétique qui dépose de longues aiguilles, qu'il faut redissoudre dans l'alcool; le liquide alcoolique laisse cristalliser la matière pure par une vaporisation ménagée.

La rutine est entièrement neutre; elle se décompose par la chaleur en produisant une huile empyreumatique; elle se dissout peu dans l'eau froide, plus facilement dans l'eau bouillante; l'alcool la dissout en quantité considérable. L'acide sulfurique la dissout également, l'eau la précipite de cette dissolution. A chaud, la réaction est accompagnée de l'altération du principe colorant, l'acide nitrique forme de l'acide oxalique. Le chlore la résinifie. Elle se dissout dans les liqueurs alcalines, les acides la précipitent de ces dissolutions; mais il doit y avoir altération au bout d'un certain temps, car les acides cessent de la précipiter après une exposition prolongée au contact de l'air.

La solution aqueuse de rutine donne avec les sels d'alumine un précipité floconneux jaune, avec le protosulfate de fer, il y a coloration verdâtre, qui fonce peu à peu, en même temps qu'il se fait un précipité pulvérulent vert foncé; le perchlorure de fer ne donne pas de dépôt, la liqueur prend une coloration d'un vert olive; l'acétate de plomb précipite en jaune orangé; l'acétate de cuivre forme un dépôt par l'ébullition; le précipité se redissout par refroidissement.

La rutine semble teindre le calicot, mais elle ne teint ni la laine ni la soie.

Cette matière colorante déjà signalée par M. Weist dans le *ruta graveolens* paraît identique à l'ilixanthine trouvée par M. Moldenhauer dans l'*ilex aquifolium*. Il y aurait intérêt à la comparer avec les matières colorantes jaunes extraites par M. Lepage, pharmacien de Gisors, de l'*epilobium velu* et de l'*ulmaire*, des *epilobium spicatum* et *montanum* et de l'onagre *(œnothera)*, qui sont capables de teindre la laine.

35. Gardenia grandiflora (*crocetine, crocine*).

M. Rochleder appelle *crocine* une matière colorante jaune qu'il a retirée du *gardenia grandiflora*. Cette matière paraît identique au principe colorant que renferment le safran *(crocus sativus)* et quelques colchiques.

La dissolution aqueuse de crocine est décomposée par les acides chlorhydrique et sulfurique à chaud. Il se formerait aux dépens de cette matière un sucre, et la nouvelle substance que l'auteur appelle *crocétine*.

Crocétine. — Une étoffe, préparée par un sel d'étain et plongée dans un bain de crocétine, prend une teinte d'un vert jaune foncé, qui, sous l'influence de l'ammoniaque, passe au jaune d'or. M. Rochleder pense que les Chinois font usage de cette matière pour la teinture des étoffes jaunes destinées aux mandarins.

36. Graine de Perse, (*chrysorhamnine, xanthorhamnine*).

On trouve dans le commerce, sous le nom de graine de Perse, les fruits du rhamnus tinctoria, qui fournissent une très-belle couleur jaune. Leur aspect est souvent variable; tantôt ces baies sont grosses, pleines, et d'un brun olivâtre; tantôt elles sont petites, ridées, et d'un brun foncé. Elles sont exportées du Levant.

Les baies brunes et les baies jaunâtres ne contiennent pas le même principe colorant.

M. Kane a donné le nom de chrysorhamnine à la matière colorante d'un jaune d'or, et xanthorhamnine à celle d'une couleur fauve, qui se produit par l'altération de la première.

Chrysorhamnine. — Elle se prépare en faisant infuser dans l'éther les baies du rhamnus tinctoria. C'est une matière d'un aspect cristallin, qu'on peut obtenir en masses étoilées et brillantes, formées d'aiguilles courtes et soyeuses. A peine soluble dans l'eau froide, elle se change dans l'eau bouillante en xanthorhamnine; elle se dissout peu dans l'alcool, qui l'altère quelque peu. Les dissolutions alcalines se comportent de même. Lorsqu'on ajoute à la dissolution de cette matière dans l'alcool de l'acétate de plomb, on obtient une magnifique laque d'un jaune superbe.

Xanthorhamnine. — La chrysorhamnine mise en ébullition dans l'eau, surtout au contact de l'air, ne se précipite plus sous forme cristalline par le refroidissement; elle reste dissoute en produisant un liquide jaune olivâtre. La liqueur évaporée jusqu'à siccité laisse une masse brune tout à fait insoluble dans l'éther, mais qui se dissout dans l'alcool et dans l'eau, qui est son meilleur dissolvant. Elle dérive de la chrysorhamnine par la fixation d'un équivalent d'eau et de deux équivalents d'oxygène.

M. Phipson a trouvé dans l'écorce et le tissu médullaire du *nerprun bourgène* et du *nerprun purgatif* une matière colorante jaune, qu'il désigne sous le nom de rhamnoxanthine, et qui pourrait bien n'être que la chrysorhamnine étudiée par M. Kane dans la graine de Perse.

Rhamnoxanthine. — Pour l'extraire, on fait digérer les branches de nerprun pendant environ quatre jours avec du sulfure de carbone; on laisse évaporer à la température ordinaire, puis on reprend le résidu par l'alcool qui dissout la matière colorante. On fait évaporer l'alcool, on reprend par l'éther et l'on obtient de petits cristaux jaune d'or, violacés, insolubles dans l'eau pure, dans l'eau acidulée, dans l'eau salée, mais qui sont solubles dans les alcalis, l'éther, l'alcool, le sulfure de carbone. La rhamnoxanthine donne une solution pourpre avec les alcalis et les carbonates alcalins; les acides les détruisent, et la coloration jaune apparaît de nouveau.

L'acide sulfurique concentré fait passer la rhamnoxanthine du jaune au *vert-émeraude;* pour conserver cette couleur, il faut enlever l'acide rapidement, car le vert passe au pourpre, puis au rouge, puis enfin au jaune. Le vert qui prend naissance dans ces circonstances résiste aux acides étendus tout aussi bien qu'aux alcalis faibles; il diffère de la chlorophylle et se rapproche, par ses propriétés, du vert de Chine que nous avons étudié plus haut.

La rhamnoxanthine forme avec les différents oxydes des laques rouges, brunes, jaunes. Elle forme une belle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laque violette, si, après l'avoir dissoute par l'ammoniaque, on la sature par l'acide nitrique, et qu'on l'additionne de magnésie.

Elle se combine directement à la laine et à la soie, qu'elle peut teindre sans intermédiaire en brun, rouge ou jaune; elle a beaucoup moins d'affinité pour les fibres végétales.

37. CURCUMA (*curcumine*).

Le curcuma, connu dans le commerce, est une racine tuberculeuse, allongée, ridée; d'un jaune pâle extérieurement, d'une chair plus brune à l'intérieur. Elle possède une odeur particulière, une saveur amère, et un arrière-goût épicé. Elle est employée dans la teinture des soies et provient du *curcuma rotunda*.

Lorsqu'on traite, par l'eau chaude, la racine réduite en poudre, on n'enlève pas toute la matière colorante; il faut laver d'abord avec l'alcool froid qui sépare la majeure partie des matières résineuses, puis on traite par l'alcool bouillant. On évapore le liquide et le résidu repris par l'éther abandonne tout le principe colorant, c'est-à-dire la *curcumine*.

Curcumine. — Après dessiccation, la curcumine ressemble beaucoup aux résines; fusible à 40 degrés, elle se dissout dans les huiles et dans les graisses, peu dans l'eau froide, davantage dans l'eau bouillante. Pour l'obtenir à l'état de pureté complète il faut reprendre par l'alcool le résidu laissé par l'évaporation de l'éther et traiter la dissolution par une dissolution alcoolique d'acétate de plomb. Il se forme immédiatement un précipité rouge qu'on lave, qu'on dessèche et qu'on délaye dans de l'eau pour le décomposer par de l'hydrogène sulfuré tant qu'il reste de l'oxyde de plomb non précipité sous forme de sulfure. On lave la poudre, on la dessèche et on la traite à l'état sec par l'éther, qui dissout la curcumine en laissant le sulfure de plomb.

La curcumine est très-peu soluble dans le sulfure de carbone. M. Lepage en a profité pour débarrasser le curcuma de son huile volatile et d'une partie de ses principes résineux en le traitant à deux reprises par ce dissolvant; il le sèche ensuite et l'épuise par l'eau alcaline; l'addition d'un acide en précipite la curcumine, mais il est indispensable pour la purifier de la dissoudre encore dans de l'éther rectifié.

En évaporant lentement l'éther, ou mieux en l'exposant à l'évaporation spontanée, la curcumine se dépose en petites lames minces inodores, d'un brun cannelle; quand on la réduit en poudre, elle donne une belle couleur jaune; elle fond sous l'influence de la chaleur, s'agglutine et brûle avec beaucoup de fumée. Sous l'influence de la chaleur, elle se décolore.

Les acides étendus ne la dissolvent pas; mais les acides concentrés la dissolvent sans l'altérer; lorsqu'on verse de l'acide sulfurique sur la curcumine en poudre, il se forme un liquide rouge cramoisi que l'eau décompose, il se forme des flocons d'un jaune verdâtre qui sont de la curcumine sans altération. Les acides chlorhydrique et phosphorique se comportent de même. L'acide acétique la dissout sans modifier la couleur primitive. L'acide azotique étendu de son volume d'eau n'altère pas à froid la curcumine qui se détruit avec dégagement de gaz si l'on fait intervenir la chaleur; il y a formation d'une résine et d'une substance soluble jaune qui reste dissoute. La résine est une belle couleur jaune, la substance soluble est cristallisable.

La solution de curcuma sert à préparer le papier de curcuma; ce réactif devient brun par les alcalis comme par les acides. Lorsqu'on fait une réaction acide on dissout la curcumine qui forme une dissolution brune. Lorsqu'on produit une réaction alcaline, il y a combinaison de la curcumine avec l'alcali pour former une liqueur brune; il y a toutefois cette différence entre les deux épreuves que l'eau détruit immédiatement la couleur produite par les acides, tandis que cet effet n'a pas lieu lorsqu'on a mis le papier en contact avec un alcali. Lorsqu'un acide faible rend au papier de curcuma sa nuance jaune primitive, c'est que l'acide se combine avec l'alcali, détruisant ainsi la cause de la coloration.

38. ROCOU (*bixine, bixéine*).

Le rocou n'est autre chose que la chair rougeâtre des fruits du *bixa orellana*. Cette matière vient en majeure partie de l'Amérique espagnole, des Indes orientales et du Brésil. C'est une pâte molle, d'un rouge vif, qui répand l'odeur de la violette; on peut la considérer comme formée par la réunion de plusieurs matières. J'y ai soupçonné pendant longtemps l'existence d'au moins deux principes colorés, l'un jaune et l'autre rouge, causes de la nuance orange que le rocou possède, surtout sur les points qui ont eu le contact de l'air. J'ai vu, dans le laboratoire de M. Jacquelain, trois substances différentes, extraites d'un rocou qui venait d'Espagne.

L'eau bouillante dissout complétement le rocou, mais la décoction est trouble, rougeâtre, d'une odeur et d'une saveur désagréables; en dissolution, elle ne fermente qu'au bout d'un temps assez long; les alcalis y forment un précipité blanc, et lui donnent une couleur orangée claire; les acides la font virer au rouge. L'alcool dissout aussi les matières colorantes du rocou; la liqueur est rouge. Les dissolutions alcalines dissolvent la matière jaune, les acides la précipitent sous forme de flocons orange, le sulfate de fer et l'alun agissent de même; le sulfate de cuivre donne un précipité jaune brun, le protochlorure d'étain un dépôt jaune citron.

Le rocou, d'après M. Preïser, contient une matière jaune, capable de s'altérer et de se transformer en une substance rougeâtre; il nomme la première *bixine* et la seconde *bixéine*.

Bixine. — Pour préparer cette matière, on traite la solution aqueuse du rocou par l'hydrate de plomb, qui forme une laque; l'hydrogène sulfuré décompose cette laque, et les liqueurs filtrées rapidement et concentrées donnent de petits cristaux blancs, aiguillés, qui sont la bixine. Elle possède une saveur amère, désagréable. Elle se colore petit à petit au contact de l'air, mais avec assez de lenteur. Elle n'a qu'une couleur très-faible; sous l'eau, sa blancheur persiste; elle est volatile, soluble dans l'eau, dans l'alcool, dans l'éther; elle se dissout encore dans l'acide sulfurique, qui forme un liquide jaune; le rocou brut prend avec l'acide sulfurique une couleur bleue particulière, qui n'appartient donc pas à la bixine pure. L'acide azotique la jaunit, l'acide chromique, qui n'agit qu'avec lenteur, lui communique une coloration jaune orangé.

Bixéine. — C'est sous l'influence simultanée de l'air et de l'ammoniaque que le rocou se colore en rouge; le produit de cette transformation a reçu le nom de bixéine; ce corps ne cristallise pas, il affecte la forme d'une poudre rouge, qui se colore en bleu sous l'influence de l'acide sulfurique, et qui se combine encore avec l'oxyde de plomb et les alcalis.

La couleur du rocou se fixe sans préparation sur la laine, la soie, le lin, le coton; elle manque de résistance à l'air, mais elle résiste assez à l'action des savons et des acides. Elle résiste mieux à l'action du chlore que le rouge de garance. On l'emploie surtout pour la teinture de la soie. Nous reviendrons plus loin sur les conditions pratiques dans lesquelles l'opération réussit.

39. ACIDE PICRIQUE (*acide carbazotique*).

M. Guinon, teinturier à Lyon, a fait connaître, en 1847, l'emploi de l'acide picrique pour teindre en jaune solide et brillant la soie qu'il n'altère pas. Depuis, on a fait une grande consommation de cette matière pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la teinture des laines en couleurs unies, de nuances vertes composées, d'une extrême richesse et de la plus grande variété. J'extrais d'une notice publiée par M. Guinon, dans les *Annales de la société nationale d'agriculture, d'histoire naturelle et des arts utiles de Lyon*, 1849, les détails qui suivent :

La teinture en jaune par l'acide picrique est tout à la fois remarquable par l'éclat et la solidité de la couleur qu'on en obtient, et par une application simple et facile.

L'acide azotique donne naissance, on le sait, par son contact avec les matières organiques, à des composés très-variés; entre autres produits très-stables, il forme avec plusieurs composés de nature organisée l'acide picrique, qui, découvert en 1788 par Hausmann, retrouvé plus tard parmi les produits de l'oxydation de l'indigo, de la salicine, de l'aloès et des huiles de houille, n'avait encore reçu jusqu'à ce jour aucune application industrielle; on s'était contenté d'indiquer parmi ses propriétés saillantes celle de tacher la peau en une couleur jaune brillante et solide. Le travail de Laurent sur l'huile de houille a donné le moyen de préparer l'acide picrique très-économiquement.

M. Guinon opère de la manière suivante :

Dans une capsule, ou terrine de grès, dont la capacité doit être au moins triple du volume des matières employées, on met d'abord trois parties d'acide azotique du commerce à 36 degrés, dont on élève la température à 60 degrés centigrades. On retire la capsule du feu, puis au moyen d'un tube de verre effilé à son extrémité inférieure, que l'on fait plonger dans l'acide, on verse peu à peu une partie d'huile de houille, dont le point d'ébullition est compris entre 160 et 190 degrés centigrades. Chaque addition d'essence qui traverse l'acide chaud produit immédiatement une vive réaction, de laquelle résultent échauffement de la masse et dégagement tumultueux d'acide carbonique et de bioxyde d'azote. Si le liquide menace de s'extravaser, on cesse de verser de l'huile et on tempère l'action par l'addition d'un peu d'acide froid. Lorsque toute l'huile qu'on a dessein de transformer est employée, la majeure partie se trouve déjà convertie en acide picrique. Mais il en reste encore beaucoup dans un état intermédiaire, sous forme d'une matière résineuse rougeâtre; pour compléter, autant que possible, la transformation, on ajoute trois nouvelles portions d'acide azotique, on porte le tout à l'ébullition et l'on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, en ayant soin de ne pas laisser la matière se dessécher; sans cette précaution, la masse s'enflammerait.

On peut encore préparer à froid l'acide picrique en mélangeant simplement deux parties d'acide azotique avec une partie d'huile de houille. Il se produit de la chaleur, des gaz et de l'acide picrique; mais l'effervescence est moins vive que dans le premier cas; il se produit peu de vapeurs nitreuses, et l'on obtient une matière résineuse gluante qu'on doit traiter à chaud par l'acide azotique et faire évaporer comme précédemment.

Le liquide sirupeux se prend, dans les deux cas, par refroidissement, en une masse pâteuse, jaunâtre, dont le poids est d'environ le sixième des matières employées. Il se compose d'acide picrique, d'un peu de matière résineuse et d'acide azotique; on sépare l'acide picrique en faisant bouillir la masse dans l'eau, qui le dissout et l'abandonne ensuite par refroidissement sous forme de cristaux. Deux ou trois cristallisations le donnent à peu près pur. Mais, pour arriver à la pureté chimique, il faut le combiner à l'ammoniaque et le précipiter ensuite par un acide, puis le faire cristalliser de nouveau. Il constitue, dans cet état, une masse de cristaux transparents, d'un jaune citron clair.

Je dois à l'obligeance de M. Guinon jeune, de Lyon, le dessin de la disposition ci-contre (fig. 3727), à l'aide de laquelle on éloigne toute chance de danger. L'opération est régulière, tranquille; elle conduit à des produits remarquables. Cette disposition peut être adoptée dans beaucoup de cas analogues où les réactions sont tumultueuses et violentes.

Sur un fourneau A on a réservé huit bains de sable B, formés par une cuvette métallique qu'on peut chauffer à volonté par un foyer commun. Chaque bain de sable reçoit un ballon de verre C dans lequel, au moyen d'un large tube D, on fait affluer sur l'acide nitrique l'huile de houille ou l'acide phénique, qui s'écoule par un entonnoir E d'un récipient en bois F, qui contient la quantité nécessaire à l'opération; l'instillation se fait goutte à goutte. Les produits de la réaction qui se fait à froid s'échappent et se condensent dans un réservoir commun en grés G, maintenu par un support en métal H. Quand la réaction se trouve terminée à froid, on chauffe pour transformer la résine. Le résidu de l'opération est vidé dans les cruches K qui servent de cristallisoirs : le collet L des mêmes tourilles sert d'entonnoir; pour égoutter les cristaux, on met dans le fond du collet renversé quelques fragments de tuiles en terre très-cuite qui font l'office d'amiante et retiennent les cristaux en séparant un liquide très-acide qu'on fait rentrer dans les opérations subséquentes. On comprend qu'on peut avoir autant de fourneaux qu'on le désire. On réunit dans une cheminée commune tous les tubes de dégagement qui s'échappent des condenseurs G.

Il n'est pas nécessaire, pour les besoins de la teinture, de purifier complétement l'acide picrique, on se borne à laver à l'eau froide la masse pâteuse, pour enlever l'acide azotique en excès, puis on redissout dans l'eau bouillante, à laquelle on ajoute 100 grammes d'acide sulfurique pour 100 litres d'eau, pour séparer la matière résineuse qui reste avec l'acide picrique. La présence de cette matière donnerait à la soie une odeur désagréable, et ternirait la couleur en lui laissant une nuance rougeâtre. On obtient de la sorte une liqueur suffisamment pure, qui, étendue d'une quantité d'eau en rapport avec la nuance qu'on veut produire, peut être immédiatement employée comme bain de teinture.

En comparant la teinture en jaune par l'acide picrique avec les mêmes nuances obtenues par d'autres principes, M. Guinon prouve que l'acide picrique doit être préférable à la gaude, au bois jaune, au quercitron, à la graine de Perse, au curcuma, au fustet et au rocou. Ses convictions sont basées sur les motifs suivants :

1° La gaude donne une couleur riche qui résiste à l'eau et au soleil; mais elle est altérée par les acides; on ne peut la combiner aux matières textiles sans le secours de l'alun, et ce n'est que par des manipulations assez longues qu'on parvient à lui donner sur soie tout l'éclat qu'elle peut offrir. Les boutons et la fleur du *saphora japonica*, dont les Chinois se servent pour leurs teintures jaunes, ont les mêmes défauts que la gaude, elles portent de plus une nuance un peu plus orangée.

2° Le bois jaune et le quercitron présentent les mêmes inconvénients; ils ne fournissent pas d'ailleurs des nuances assez pures. On a dû les abandonner pour les couleurs jaunes, et s'ils servent encore, c'est pour la préparation des verts et de plusieurs couleurs composées. On peut en dire autant de la graine de Perse, qui, d'ailleurs, est d'un prix élevé.

3° La couleur que l'on obtient par le curcuma ne présente aucune solidité; la lumière directe du soleil la détruit en quelques instants; on est donc forcé de se priver de cette couleur pure et brillante.

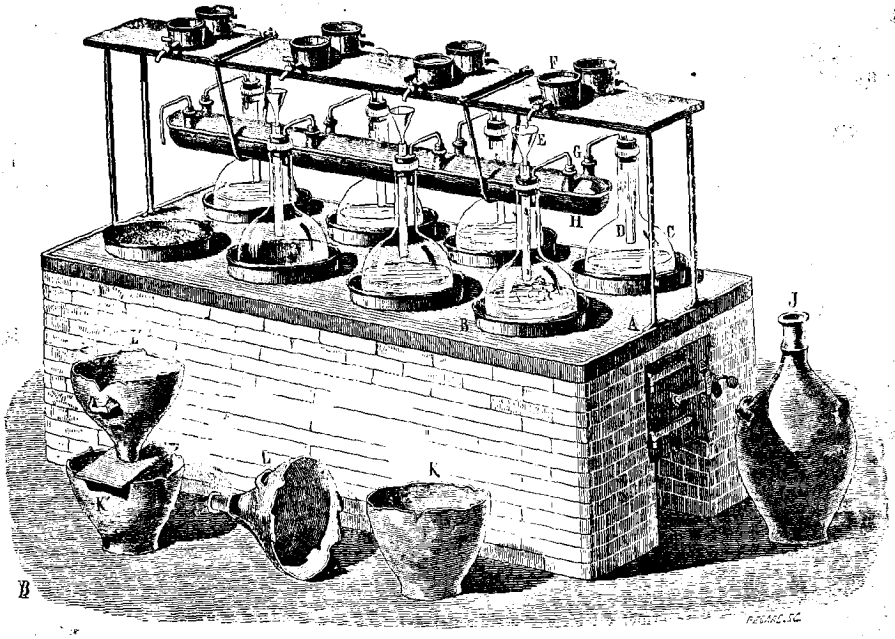
4° Quant au fustet, quant au rocou, ces matières ne sauraient produire de jaunes clairs; ils ne peuvent encore donner que des nuances tirant à l'orangé.

La teinture à l'acide picrique réunit les avantages suivants, qui ont été reconnus par la plupart des teinturiers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° Prix peu élevé. Cette assertion pourrait paraître douteuse, si l'on se bornait à considérer le prix même de l'acide picrique à l'état solide, surtout il y a quelques années; mais on doit tenir compte du prix actuel

Nous terminerons cet article en rappelant les diverses circonstances dans lesquelles l'acide picrique prend naissance. Cet acide, qui, précisément par cette cause, a reçu les noms d'*amer de Welter*, d'*acide nitropicrique*,



3727.

et prendre en considération la puissance colorante de cette matière, dont un gramme suffit pour teindre un kilogramme de soie de couleur paille, nuance moyenne.

2° Emploi simple et prompt, sans intermédiaire.

3° Beauté comparable à celle du curcuma; résistance à l'action de l'air, à l'influence destructive de la lumière solaire.

M. Guinon termine en faisant ressortir cet avantage que l'acide picrique s'applique à la teinture des soies souples en produisant des nuances paille ou maïs que le curcuma seul fournissait auparavant, mais avec une solidité que le curcuma ne peut donner. De plus, cette teinture communique le toucher craquant à toutes les soies cuites et souples, condition recherchée pour le brillant et la qualité des étoffes.

Toutefois, l'acide picrique ne peut être employé que pour la teinture en jaune clair ou moyen, jusqu'à la nuance soufre ou citron clair, ou même encore jusqu'à la nuance maïs, avec addition de rocou; mais cette circonstance ne saurait enlever à ce nouveau procédé l'importance qu'il tire des avantages qui précèdent, car, à présent au moins, les nuances jaune clair, pâle et nankin sont demandées en proportion beaucoup plus considérable que les jaune vif, jonquille ou bouton d'or. Enfin il serait nuisible d'ajouter une trop grande quantité d'acide picrique au rocou et aux autres principes qui pourraient être altérés par oxydation. Cet inconvénient n'est assurément pas à redouter pour les nuances claires et moyennes.

d'*acide nitrophénisique*, d'*acide trinitrophénique*, d'*acide carbazotique*, d'*acide chrysolépique*, pourra, dans la suite, être obtenu par d'autres méthodes très-économiques; l'industrie ne l'a préparé jusqu'à ce jour qu'au moyen de l'huile de houille; il nous semble intéressant de faire connaître les principes organiques qui, jusqu'ici, l'ont fourni parmi les produits de leur oxydation.

On le prépare en faisant bouillir l'indigo bleu avec 10 ou 12 parties d'acide nitrique à 1,43 de densité, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs rouges. Par le refroidissement du mélange, l'acide carbazotique se dépose à l'état d'un magma souillé d'impuretés. Pour le purifier, on le dissout dans la potasse caustique, puis on le précipite par l'acide nitrique. L'acide qu'on obtient à l'aide de la salicine est d'une grande pureté, il ne nécessite pas d'autre purification. Enfin M. Schunck l'a rencontré dans les eaux mères provenant de l'action de l'acide azotique sur l'aloès.

D'autres matières organiques, plus ou moins répandues, la laine, la soie, la coumarine en fournissent. On pourrait le préparer encore dans de bonnes conditions d'économie, en prenant, non plus les huiles de Laurent bouillant entre 160 et 190 degrés, mais, d'après les observations de M. Bobeuf, en traitant de préférence les huiles lourdes qu'on agite avec de la soude pour former un liquide aqueux qui se prépare des huiles non saponifiables; on le décompose par l'acide chlorhydrique. Les huiles séparées par ce nouveau traitement sont em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ployés, comme il est dit plus haut, d'après la note de M. Guimon. (Lyon, 27 avril 1849.)

40. Sambucus ebulus.

Nous avons dit qu'on faisait usage actuellement en teinture des fleurs de mauve noire. On pourra se servir également et au même titre du bain de sambucus pour obtenir une teinture en noir. A cet effet, on écrase les fruits, on les place pendant deux ou trois jours dans un vase de terre, puis on exprime la masse, et le liquide filtré devient tellement foncé qu'il faut l'étendre de 200 parties d'eau pour l'amener à la nuance du rouge vineux; 1200 parties d'eau conservent encore une nuance violette; le suc évaporé laisse 10 p. 100 de résidu soluble dans l'alcool, insoluble dans l'éther. Avec les sels de fer, il se forme un précipité noir qu'on peut employer en teinture.

§ IX. De la teinture proprement dite

considérée dans ses résultats généraux.

L'art de la teinture, c'est-à-dire la science d'appliquer sur les étoffes les couleurs variées que la nature nous fournit ou que l'art nous enseigne à créer, fut trop longtemps soumis aux règles de la routine : notre époque féconde en grandes découvertes aura certainement le mérite d'avoir fait de cette industrie ce qu'elle est aujourd'hui; mais si la chimie a, dans ces progrès, une part considérable, il est incontestable que les arts mécaniques ont eu de leur côté, sur les développements pratiques de cet art, une influence des plus salutaires. Voici les termes mêmes dans lesquels M. Dumas, si bien placé pour juger la question, expose cette double action de la science à laquelle il réserve plus encore dans un avenir prochain.

« Née de tâtonnements empiriques, longtemps la teinture ne fut soumise qu'aux lois de la routine.

« Il appartient à notre époque de mettre à sa place cet art si utile, et de le porter au premier rang parmi nos belles industries chimiques; il faut, pour obtenir ce résultat, dissiper les nombreux préjugés qui environnent toute industrie marchant au hasard; la science moderne y parviendra peu à peu : elle transformera les recettes qui constituent toute la science du teinturier en règles certaines et invariables, fondées sur une connaissance scientifique des matières colorantes; elle tracera la marche des améliorations; elle écartera les difficultés qui surgissent dans la fabrication; elle ouvrira enfin un nouveau champ aux recherches pour la production des couleurs solides et brillantes.

« C'est principalement à la chimie que la teinture sera redevable de tous ces progrès; et déjà, si on jette un regard en arrière de quelques années, on ne peut s'empêcher d'admirer ce qu'elle doit sous ce rapport à cette science. Le blanchiment des étoffes, l'application nouvelle de couleurs solides et brillantes, le moyen de les varier à l'infini, tout porte l'empreinte profonde de l'influence de la chimie. La mécanique est venue aussi apporter à l'art de la teinture son concours indispensable dans toute industrie de premier rang : c'est à elle que l'on doit ces machines si parfaites qui ont simplifié le travail et qui permettent d'obtenir, avec une grande économie, avec une précision et une rapidité merveilleuses, ces tissus si divers et si richement coloriés qui sont maintenant répandus dans les classes les plus pauvres de la société. »

Depuis quinze ans que ces lignes sont écrites, que de services réels l'art de la teinture en pleine prospérité n'a-t-il pas enregistrés!

Maintenant que nous connaissons, dans leur histoire et dans leurs propriétés, les matières colorantes dont on fait usage dans les ateliers, nous pouvons approfondir avec fruit les divers procédés à l'aide desquels on teint les différents tissus de nature animale ou végétale que

l'industrie livre au commerce. Nous croyons toutefois devoir présenter ici sous forme de résumé celles des matières tinctoriales qui sont plus spécialement employées à la teinture d'une matière textile donnée, qu'elle soit à l'état de fil, d'écheveau, de tissu.

Nous devons distinguer les couleurs, en tant qu'elles sont appliquées sur une fibre textile quelconque, en couleurs *simples, binaires, ternaires, quaternaires*, etc.

Les couleurs simples sont le bleu, le rouge, le jaune.

Les couleurs binaires sont le violet, l'orangé, le vert.

Les couleurs ternaires sont les tons qui précèdent, plus ou moins modifiés par des mélanges.

Le noir et les tons rabattus sont en général des nuances très-composées.

Nous avons déjà vu dans l'étude que nous avons faite des matières colorantes qu'elles ne se comportaient pas de la même manière avec les divers tissus, suivant qu'ils étaient d'origine animale ou d'origine végétale. L'industrie a dû faire son profit de ces observations, et comme la manière dont une matière colorée se comporte à la lumière sur une étoffe donnée n'est pas la même pour toutes, que sa résistance est variable avec la nature du tissu sur lequel on l'a placée, le teinturier doit connaître *a priori* les chances de résistance qu'auront ses produits dans les circonstances où le consommateur devra les placer. Cette nouvelle considération ajoute à la nécessité de choisir pour un tissu donné les matières colorantes qui lui sont applicables. Nous examinerons à ce point de vue celles qu'on emploie sur laine, sur soie, sur coton, pour teindre en rouge, en bleu, en jaune, en violet, en vert, en orange.

Couleurs simples *(rouge, bleu, jaune)*.

Teinture en rouge. — On se sert de garance, de murexide, de cochenille, de fuchsine, etc.

Laine. — Le rouge s'obtient sur *laine* avec la garance, le brésil, la cochenille, la lake-lake, la murexide; les plus belles nuances roses sont fournies par la fuchsine. Les préparations de garance et d'étain donnent des nuances belles, pleines, brillantes; l'écarlate ne s'obtient qu'avec les sels d'étain. Tantôt on passe dans le bain de teinture l'étoffe préalablement préparée par ce sel métallique, tantôt on prépare à l'alumine; on garance, puis on déplace l'alumine par double décomposition au moyen du sel d'étain.

Soie. — La soie est généralement teinte par le carthame, on emploie quelquefois la cochenille; aujourd'hui on fait un emploi considérable de fuchsine. Le bois de Brésil est une véritable ressource; on a fait usage de la murexide et de quelques nuances tirées de l'orseille solide. Ces nouveautés ne datent que d'une année. On ne connaît pas sur soie la véritable écarlate.

Coton. — On teint le coton en rouge par le carthame, la garance, la cochenille, le bois de Brésil. La cochenille et le carthame fournissent des couleurs très-riches mais malheureusement fugaces. Le rose de carthame n'a, jusqu'à ce jour, été remplacé par aucune autre coloration. On a cependant annoncé la production d'un rose magnifique tiré de l'huile de goudron. Nous avons déjà donné quelques renseignements positifs à ce sujet, digne de toute l'attention des teinturiers. Certainement la fuchsine s'appliquera d'une manière industrielle. Quelques heures d'exposition au soleil suffisent pour faire passer la couleur du carthame. On peut colorer les étoffes de coton avec le rouge produit par l'iodure de mercure.

Teinture en bleu. — Le bleu s'obtient sur tissu par l'application de l'indigo, du bleu de Prusse, et par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

la laque bleue que forme la décoction de campêche avec l'oxyde de cuivre.

Laine. — L'indigo se fixe sur la laine au moyen des cuves ; on le fait dissoudre au moyen de la chaux, de la potasse ou de la soude à l'état d'indigo blanc; les laines trempées dans ces cuves absorbent une certaine quantité de cet indigo qui, sous l'influence de l'air de l'atmosphère, s'oxyde et passe, en vertu des réactions que nous connaissons, à l'état d'indigo bleu. La richesse de la nuance dépend de la quantité d'indigo fixé. La qualité du bleu dépend du soin avec lequel est faite l'immersion et de la régularité du contact de l'étoffe humide avec l'oxygène de l'atmosphère. La solidité de la couleur est assurée, puisque l'indigo n'est accompagné d'aucune substance capable à la longue de réagir sur lui.

On préfère presque toujours, pour teindre dans les nuances claires, employer l'indigo dissous dans l'acide sulfurique. Mais pour détruire l'effet de l'excès d'acide qui doit opérer la dissolution, on combine cette matière avec l'ammoniaque ou la soude, pour former des sulfindigotates de soude ou d'ammoniaque qui ont moins d'énergie destructive sur la laine, et qui teignent tout aussi bien après une préparation convenable au moyen de l'alun. On doit remarquer néanmoins que la teinte est riche, mais qu'elle laisse à désirer sous le rapport de la solidité Le sulfindigotate d'alumine ou l'acide sulfindigotique manque de stabilité.

La laine se teint encore en bleu par une immersion dans une décoction de bois de Campêche en présence du sulfate ou de l'acétate de cuivre. Ce bleu ne résiste pas ; on le nomme *bleu faux* ; mais il possède un certain éclat qui le rend très-utile.

Le bleu de Prusse s'applique encore sur laine ; il est connu sous le nom de *bleu de France*. On l'obtient, soit en déposant sur la laine l'oxyde de fer et faisant intervenir ensuite l'acide prussiano-ferrique jaune et l'acide prussiano-ferrique rouge, ou en faisant intervenir directement l'acide prussiano-ferrique jaune, dont on détermine la décomposition sur l'étoffe par l'intermédiaire de l'air qui le transforme en bleu de Prusse.

Quelle que soit la méthode préférée lorsqu'on fait usage des prussiates, ils ne peuvent être employés qu'à la condition d'être dépouillés de leur base par des acides ou des sels acides. Un grand inconvénient résulte pour l'obtention des nuances foncées de la nécessité de faire usage à cet effet dans l'impression, des acides tartrique et oxalique, c'est-à dire des acides les plus coûteux.

Ces considérations, et d'autres qui sont plutôt encore du ressort de l'art de l'indienneur, ont conduit la Société de Mulhouse à proposer un prix pour l'introduction dans le commerce des drogues propres à l'impression et à la teinture de l'acide prussiano ferrique, ou des prussiates de calcium et de baryum. L'inconvénient de la pratique actuelle est énorme puisqu'il force, pour faire emploi du prussiate qui varie de 3 à 4 fr. le kilogramme, à sacrifier au moins le même poids d'un acide qui vaut plus cher que lui.

Soie. — La soie se teint en bleu par le moyen du bleu de Prusse, en plongeant la soie préalablement préparée par le sel de fer dans une dissolution d'acide prussiano-ferrique jaune. Pour avoir un bleu solide, on a recours à l'indigo. Mais on n'arrive dans ce cas à des nuances foncées que par l'addition d'une teinture d'orseille ; on peut encore associer à la fois la cochenille, l'orseille, ou le bleu de Campêche, et l'indigo ; mais comparées à celles que fournit le bleu de Prusse pur, ces nuances paraissent ternes et rabattues.

J'ai vu des soies teintes en un bleu magnifique extrait de l'aniline; les procédés sont encore secrets; ils conduiraient au plus beau bleu connu jusqu'alors.

Coton. — Le coton peut recevoir le même bleu que la laine ; seulement lorsqu'on veut fixer l'indigo bleu sur le coton, on se sert d'une cuve spéciale qu'on nomme *cuve au vitriol* et qui se monte avec de la chaux et du sulfate de protoxyde de fer.

TEINTURE EN JAUNE. — On se sert de gaude, de curcuma, de quercitron, d'acide picrique, etc.

Laine. — Les jaunes sur laine se font avec la gaude, le quercitron, le bois jaune ; on se sert du curcuma, du rocou, du fustet; ces substances sont, du reste, excessivement variées ; on a proposé la camomille, les genêts et d'autres fleurs sur les principes colorants desquelles nous nous sommes étendus plus haut.

Le quercitron, le bois jaune et la gaude fournissent une couleur jaune assez solide ; le fustet donne un jaune très-brillant; le curcuma, facile d'application, manque de résistance aux agents atmosphériques; on ne l'applique guère que sur les étoffes de fantaisie ; il est exclu de la pratique dans la teinture des draps ou des étoffes de laine destinées à résister à de certaines fatigues.

Soie. — On fait usage sur soie des mêmes matières que sur laine, mais on y ajoute le rocou pour les nuances virant à l'orangé. L'acide picrique, ainsi que nous l'avons dit et dans les circonstances que nous avons énumérées, a pris une place importante, pour la soie comme pour la laine, comme matière colorante propre aux teintures brillantes et solides.

Coton. — On joint, pour teindre le coton, les graines de Perse et d'Avignon aux matières qui précèdent, l'acide picrique excepté, qui ne teint le coton qu'autant que cette matière a pu, d'après les expériences de M. Kulhmann, être préparée par l'acide azotique. Le chromate de plomb, qui donne aussi sur le coton une couleur d'un vif éclat, est employé dans une foule de circonstances, soit comme teintes unies, soit comme couleurs d'impressions obtenues par fixation, soit à l'albumine, soit par double décomposition; ce dernier procédé se trouve être de beaucoup le plus simple et le plus commode.

COULEURS BINAIRES (*violets, orangés, verts*).

Généralement les couleurs binaires s'obtiennent par l'application sur l'étoffe des deux matières simples qui, par leur mélange ou leur superposition, peuvent produire la couleur en question; il est évident qu'il faut tenir compte alors de leur action mutuelle, des circonstances générales dans lesquelles la couleur est appliquée, de la réaction acide ou basique sous l'influence de laquelle elle prend de l'adhérence avec le tissu, de la nature enfin du tissu lui-même, puisqu'il est des matières colorantes qui ne se fixent pas sur une fibre textile d'une origine déterminée. Quelques exemples fixeront les idées.

Violets. — Généralement les couleurs violettes sont obtenues par la superposition de couleurs rouges sur des nuances bleues ou réciproquement; on fait un choix de la méthode à suivre, suivant que le violet est pâle ou foncé, suivant aussi que la nuance ne sera reproduite avec exactitude que par un virement acide ou alcalin.

Nous avons fait connaître les qualités particulièrement remarquables de l'orseille; elle donne immédiatement des nuances violettes sur soie, sur laine et sur coton. Les nuances sont, à volonté, claires ou vigoureuses, suivant l'état de concentration du bain, ou le nombre des teintures successivement apposées. Il est peu de matières qui aient rendu d'aussi grands services aux teinturiers qui ne reprochaient à cette couleur qu'une fugacité trop grande. Grâce aux travaux de MM. Guinon, Marnas et Bonnet, que nous avons longuement exposés, la teinture sur laine et sur soie se trouve maintenant dotée d'une couleur d'orseille solide comparativement aux anciennes couleurs.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'indisine ou violet d'aniline fournit aussi directement du violet sur coton, sur laine et sur soie. Ce sont les plus solides.

Orangés. — Les couleurs qui tiennent de l'orangé se préparent trop souvent involontairement en fixant les matières colorantes rouges. En effet, ces dernières sont presque toujours mélangées dans les substances tinctoriales qui les fournissent avec des matières jaunes, ou bien elles donnent naissance à des produits de cette nuance avec les préparations métalliques dont la réaction est acide.

Verts. — Le vert s'obtient toujours par la réunion en mélange ou par superposition des couleurs jaunes et des couleurs bleues. On les prépare, par exemple, avec le bleu d'indigo de cuve, ou le bleu de sulfate d'indigo, modifiés après coup par des jaunes appropriés à l'étoffe qu'on veut teindre, à la nuance qu'on veut produire, à la durée qu'on cherche à produire, à la méthode qu'on a suivie pour appliquer l'indigo. Les verts de cuve sont solides; les verts de Saxe le sont beaucoup moins; à l'indigo, dans les premiers, on associe le jaune solide comme le bois jaune. Le jaune des seconds est extrait du curcuma qui résiste mal à l'action de la lumière solaire.

On sait, d'après ce que nous avons dit plus haut, que les Chinois produisent directement sur soie une couleur verte très-brillante et très-remarquable qui se prépare directement et qui conserve un éclat très-vif à la lumière artificielle. Grâce aux travaux de M. Persoz, grâce encore à l'initiative de la chambre de commerce de Lyon, on a pu connaître, ainsi que nous l'avons vu, l'origine de cette matière, les procédés au moyen desquels on la prépare, et les méthodes que l'on emploie pour en faire l'application.

COULEURS TERNAIRES (*noirs et bruns*).

TEINTURE EN NOIR. — La couleur noire est souvent difficile à produire, lorsque le consommateur exige que ce noir possède des reflets de nuances données; on ne peut alors les obtenir que par des couleurs très-composées.

Laine. — Mais la laine a tant d'affinité pour la teinture en noir qu'elle donne une coloration assez facile. On peut, à volonté, sur ces fibres en écheveaux, ou sur les laines en toisons, fixer l'oxyde de fer, pour faire bouillir ensuite dans la décoction de matière tannante, ou suivre la méthode inverse qui consiste à préparer l'étoffe avec la matière tannante pour terminer par le bain contenant l'oxyde de fer. On brunit alors avec le bain ferrugineux. On peut joindre le cuivre au fer; les substances qu'on préfère sont alors la noix de galle et le campêche, le vitriol vert et le vitriol bleu; ces matières deviennent les éléments du principe noir qui se dépose sur le tissu.

Soie. — La teinture en noir sur soie présente des difficultés particulières : elle semble au moins généralement exiger qu'on commence par procéder à la combinaison préalable de la fibre textile, qui l'absorbe en grande abondance, avec le tanin, surtout le tanin de châtaignier. On finit ensuite la teinture en passant la soie dans un bain de fer dont chaque industriel fait mystère.

Coton. — Pour teindre le coton, on commence toujours par fixer le fer sur le tissu qui l'attire avec énergie; on termine ensuite en faisant bouillir l'étoffe avec des décoctions de noix de galle plus ou moins mêlées de campêche.

De la pureté des nuances.

Tels sont les principes généraux que l'expérience a fait admettre. Pour les compléter, nous devons placer ici la remarque suivante à laquelle on n'attache pas assez d'importance, lorsqu'on analyse les phénomènes optiques auxquels donne lieu l'examen d'une étoffe teinte en couleurs binaires. M. Chevreul a parfaitement fait ressortir l'influence des faits sur lesquels je désire fixer l'attention, en l'étudiant sur l'art de mélanger les fils diversement colorés; il a tiré parti de ses observations pour définir et perfectionner l'art du tapissier. Le savant directeur des teintures aux Gobelins a cherché les modifications que les diverses couleurs éprouvaient l'une à côté de l'autre, pour en déduire ce qui doit se passer lorsque ces couleurs sont mélangées par une sorte de porphyrisation. C'est, en effet, la même impression que perçoit l'œil lorsqu'on broie des couleurs, lorsqu'on teint simultanément des nuances différentes, ou lorsqu'on superpose des tons variés. D'après M. Chevreul, « l'art de mélanger les fils diversement colorés, soit en en réunissant plusieurs ensemble pour former un fil complexe, ou en les entre-croisant à la manière de ce que l'on appelle une hachure en dessin, et dans les deux cas, avec l'intention de ne produire que la sensation d'une seule couleur, et de la produire sûrement telle qu'on la veut, cet art dérive d'un principe très-général qu'on nomme *principe du mélange des couleurs.* »

Ce principe s'applique aussi bien au mélange des fils colorés qu'emploient le tisseur de châles, le tisseur d'étoffes de soie, le fabricant de mosaïques, etc., qu'à la préparation, par les méthodes de la teinture, des couleurs binaires, ou des couleurs rompues et rabattues par le mélange des couleurs simples ou binaires avec le noir, en appliquant sur des étoffes des matières colorées aussi intimement mélangées que le sont celles des peintres.

Des études de M. de Chevreul sur le principe des mélanges des couleurs il résulte, lorsqu'on applique sur des étoffes des matières colorées qui n'ont point d'action chimique mutuelle capable de modifier leurs couleurs respectives, deux vérités que nous allons formuler en peu de mots.

Nous avons limité les circonstances dans lesquelles les axiomes que nous énonçons restent en dehors de toute discussion. Pour préciser les faits, nous rappellerons comme exemple particulier la superposition du jaune de gaude sur une étoffe colorée par du bleu de cuve; les deux couleurs conservent leurs nuances respectives, mais elles produisent du vert par leur mélange.

Or, dans toutes les circonstances analogues, qu'il s'agisse de violet ou d'orangé,

1° Pour obtenir des couleurs franches, orangées, violettes ou vertes, par le mélange du rouge avec le jaune, du jaune avec le bleu, du bleu avec le rouge, il faut que chaque mélange ne renferme que les deux couleurs qui doivent constituer l'orangé, le vert et le violet.

2° Si les couleurs mélangées sont au nombre de trois il en résulte toujours du noir ou du gris, et dès lors on obtient :

a. Du noir et du gris normal, si le mélange présente des couleurs mutuellement complémentaires;

b. Du noir ou du gris normal, plus une couleur sensible, si le mélange des couleurs n'est pas mutuellement complémentaire. Il en résulte ce que les teinturiers nomment une *couleur rabattue*, et ce que les peintres appellent une *couleur rompue.*

Ces deux principes sont applicables à tous les arts qui parlent aux yeux par les couleurs. Les conséquences en sont immédiatement applicables à l'art de la teinture. Si le teinturier sait, après une étude approfondie des qualités optiques des couleurs, connaître à fond celles qu'il peut appliquer sur une étoffe donnée, ne peut-il pas être certain de faire toujours des couleurs binaires parfaitement pures, s'il élimine toute

EFERUS - Recherche & Classification numérique

substance colorante capable d'introduire une troisième couleur dans le mélange qu'il en fera.

D'un autre côté, ne fera-t-il pas assurément du noir ou des couleurs rabattues du ton qu'on lui demande, s'il sait créer sur l'étoffe des couleurs mutuellement complémentaires, qui se neutraliseront d'une manière exacte, s'il veut avoir du noir ou du gris normal, ou dont l'une sera en excès, s'il désire une couleur rabattue ?

Ne sait-on pas que pour transformer en une étoffe blanche un tissu légèrement coloré, il suffit d'en neutraliser la nuance par sa complémentaire ; tel est le principe de ce qu'on nomme l'azurage des étoffes qui ont une légère couleur rousse. L'œil juge une étoffe ou généralement une surface quelconque blanche quoiqu'elle soit teintée d'une ombre légère, tandis qu'il la jugerait colorée, si cette teinte ombrée se réduisait en les deux teintes complémentaires qui seraient équivalentes. L'art de faire du noir en teinture donne le moyen de neutraliser une couleur en y ajoutant sa complémentaire ; le blanchisseur emploie ce moyen pour qu'une étoffe, très-légèrement colorée, paraisse plus blanche qu'elle ne le paraîtrait, s'il n'en avait pas neutralisé la couleur par la complémentaire de celle-ci.

§ X. DE LA TEINTURE

considérée sous le rapport de la stabilité des couleurs.

Nous voyons, par ce qui précède, que les principes généraux sur lesquels se base l'art de la teinture reposent sur l'observation des faits optiques, chimiques et mécaniques tout à la fois, et nous rappellerons ici qu'il est impossible de regarder les phénomènes de teinture comme uniquement dus à l'affinité chimique, et qu'on n'est pas plus fondé lorsqu'on les rapporte à de simples phénomènes mécaniques. Dans cette dernière hypothèse, la matière colorante devrait se conduire de la même manière vis-à-vis de la lumière, quelle que soit l'étoffe (laine, soie, coton) sur laquelle elle est appliquée ; or, on a remarqué, sous ce rapport, des différences tranchées que nous avons déjà signalées à titre sommaire, mais sur lesquelles nous pouvons revenir actuellement.

On s'explique les différences de stabilité d'une même matière colorante selon qu'elle est appliquée sur des tissus de coton, de laine ou de soie, en prenant en considération les actions chimiques qui s'accomplissent au contact de la matière colorante et des tissus.

L'expérience a conduit M. Chevreul à poser les conséquences suivantes, après avoir étudié la même matière colorante dans ses rapports avec une étoffe déterminée qu'il plaçait simultanément dans le vide, dans la vapeur d'eau, sous l'influence de la lumière solaire, à l'abri de la lumière solaire.

Nous commencerons par exposer les phénomènes très-remarquables observés sur le bleu de Prusse soumis dans le vide à l'action de la lumière.

Lorsqu'on place des étoffes de coton, de laine ou de soie dans un flacon dans lequel on fait le vide et qu'on l'expose à l'action de la lumière solaire directe, on voit ces étoffes blanchir en perdant du cyanogène, ce qu'on peut facilement constater en plaçant dans le flacon qui contient l'étoffe un petit tube ouvert rempli de fragments de potasse. Si le vide est humide, le cyanogène se transforme en une matière brune qui se dépose sur l'étoffe et sur les parois du vase. Sous l'influence de la lumière solaire le bleu de Prusse se décompose donc en cyanogène et protocyanure de fer. Les étoffes blanchies à la lumière, exposées au contact de l'air, se colorent progressivement. Rien de semblable ne se produit si l'air ou l'oxygène sont remplacés par de l'acide carbonique. Dans le premier cas, l'oxygène se portant sur une portion du fer forme du peroxyde de fer, tandis que le cyanogène qui se sépare en proportion équivalente convertit une certaine quantité de protocyanure en percyanure qui reproduit du bleu de Prusse avec le reste du protocyanure.

Dans le vide, avec une température de 170° à 190° en dehors de la radiation solaire, les étoffes teintes en bleu de Prusse présentent les mêmes phénomènes, sans toutefois blanchir complétement, dans l'espace de quelques heures ; la décoloration est accompagnée d'un dégagement de cyanogène. La coloration se reproduit sous l'influence de l'oxygène ou de l'air atmosphérique, et dans les deux cas on peut produire sur la même étoffe, un certain nombre de fois, cette succession remarquable de décoloration et de coloration tranchées.

Une étoffe de coton teinte en bleu se décolore encore au milieu de l'eau distillée privée d'air, mais exposée directement à l'action du soleil il n'y a pas de dégagement gazeux ; l'eau seule forme du bleu de Prusse lorsqu'on y ajoute du carbonate d'ammoniaque, de l'acide chlorhydrique et du protosulfate de fer ; il y a donc encore ici dégagement de cyanogène.

A côté de ces remarquables observations nous allons placer les faits suivants que l'expérience a permis de constater, et qui sont de nature à guider le teinturier dans le choix des couleurs qu'il doit prendre pour l'application des couleurs simples, binaires ou ternaires sur un tissu déterminé.

Le carthame, le rocou, l'orseille, l'indigo, l'acide sulfindigotique sur la soie se conservent dans le vide.

Le curcuma s'altère dans le vide, mais moins que dans l'air.

Le curcuma et le carthame sont plus stables sur le coton que sur la laine et la soie.

Le rocou l'est plus sur la soie que sur le coton et sur la laine.

L'orseille est moins stable sur le coton que sur la soie et la laine. La pourpre française est moins altérable encore sur laine et sur soie.

L'acide sulfindigotique est beaucoup plus stable sur la soie que sur la laine.

L'acide picrique, qui gagne sur la soie par une exposition de trois mois au soleil, perd ensuite, quand sur la laine il gagne, même au bout de huit mois, en virant à l'orangé.

Il faut ajouter ici, pour n'y pas revenir plus loin, que certaines matières organiques ou minérales ajoutent à la solidité des couleurs adhérentes.

Nous reprendrons du reste ces faits pour citer des exemples, lorsque nous définirons les couleurs de *grand* et de *petit teint*.

Il résulte encore des recherches de M. Chevreul que l'intensité de la couleur exerce sur sa résistance une influence notable. Cette observation est la conséquence de ce principe posé par le savant académicien, « qu'à la rigueur, on pourrait blanchir des étoffes de lingeux, lors même que la matière colorante serait plus inaltérable que l'étoffe elle-même, par la raison que la matière colorée se trouvant en quantité très-faible on pourrait la détruire en détruisant une quantité proportionnelle de l'étoffe sans que celle-ci fût sensiblement affaiblie dans sa ténacité. Cette remarque explique parfaitement comment des matières colorées telles que l'indigotine, les principes colorants de la garance, de la cochenille, de la gaude, etc., qui de tout temps ont été réputées de bon teint, ne le sont plus à proprement parler lorsqu'elles ne sont appliquées qu'en faible quantité de manière à faire les tons les plus clairs des gammes dont les tons foncés sont avec juste raison déclarés de grand teint.

Grâce aux tons clairs qu'on prépare aujourd'hui dans l'atelier des Gobelins, par interposition ou imprégnation, on peut à la rigueur exécuter une foule de tons clairs solides qui manquaient à l'ancienne palette, en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

recourant aux matières colorées inaltérables à l'air comme le bleu d'outremer, le cinabre, les sesquioxydes de fer et de chrome, le phosphate de cobalt fondu, etc.

Ces mêmes observations ont conduit M. Chevreul à faire le *rabat* des teintes rabattues au moyen des couleurs de bon teint qui sont complémentaires. Avec l'indigo de cuve, la garance, la gaude, on fait des couleurs grises ou rabattues, qui ont une résistance bien supérieure à celle des gris faits au moyen des astringents et des sels de fer. On commence à produire aujourd'hui, d'une manière industrielle, de ces couleurs solides qui résistent en raison de la grande intensité de leur nuance. Au reste, le filateur fera lui-même ces nuances en filant des mélanges voulus de fibres blanches et de fibres teintes en nuances foncées de couleurs déterminées.

Couleurs de grand et de petit teint.

Quelle que soit la nature de la matière textile qu'on veut teindre en uni, soit en fil, soit en tissu, les industriels divisent les teintures en couleurs *bon teint*, et en couleurs *mauvais teint*. A l'époque des *jurandes* et des *maîtrises* on distinguait, et ces désignations se sont perpétuées, les nuances de grand et de petit teint, d'après leur origine; cette division était complétement inexacte, incertaine, puisque des expériences de tous les jours ont fait voir qu'une couleur, selon la manière dont elle est appliquée ou fixée, peut contracter une combinaison intime avec la fibre, ou n'y adhérer que faiblement, rester inaltérable dans certaines circonstances, ou s'altérer et disparaître entièrement dans d'autres.

Nous ajouterons encore que plusieurs des sels déposés mécaniquement sur les tissus ne résisteraient pas aux moyens d'épreuves que nous allons décrire, bien qu'ils résistent parfaitement aux influences de la lumière et de l'air. D'ailleurs, dans un autre ordre d'idées, M. Chevreul a démontré l'influence de la nature de la fibre, mise hors de doute par ses nombreux travaux.

Nous citerons encore, pour corroborer cette opinion sur l'insuffisance des moyens d'essai pour classer les couleurs en grand et petit teint, un dernier fait tiré de l'action du campêche. Lorsqu'on a formé des laques violettes en préparant l'étoffe avec un sel d'alumine, et en teignant, la couleur résiste à l'eau, mais s'altère à l'air; quand on prépare une couleur d'application au moyen du protochlorure d'étain, la laque résiste à l'air, mais elle disparaît dans l'eau bouillante; enfin traitée par le chromate de potasse, elle se sature d'oxygène, et dans ces conditions, elle résiste non-seulement à l'air, à l'eau, mais encore aux autres agents atmosphériques.

Lorsque Dufay fut chargé par l'administration supérieure de travailler au perfectionnement de l'art de la teinture, son premier soin fut de reviser les statuts, ordonnances et règlements des teinturiers en ce qui concerne particulièrement la distinction des teintures en *grand* et *bon teint* d'avec les teintures en *petit teint*. Les règlements revisés furent surtout ceux des années 1669 et 1671. D'après son travail :

Une couleur est réputée de bon teint lorsqu'elle résiste au soleil et à la rosée des nuits, douze jours d'été et dix-huit jours d'hiver; elle est réputée de petit teint lorsqu'elle est plus ou moins effacée dans les mêmes circonstances. Cette règle une fois admise, on juge une couleur A en exposant à l'air un petit morceau d'étoffe teint en une couleur B que l'on sait être de petit teint, comparativement avec un morceau de l'étoffe teinte en couleur A jusqu'à ce que la couleur soit devenue ce qu'elle devient par une exposition au soleil pendant douze jours d'été. Ce résultat obtenu, on compare A et B; puis on conclut. Dufay choisit ensuite pour étudier la résistance des couleurs de grand et petit teint les *débouillis* tels que l'alun de Rome, le tartre rouge et le savon blanc, d'après la considération de ne pas décolorer les étoffes de grand teint, et de réduire, autant que possible, les couleurs de petit teint à la même apparence que le fait l'exposition de douze jours au soleil d'été. Ces principes furent confirmés par Hellot qui n'apporta que de légères modifications. Ils servent encore de base à la distinction des couleurs en couleurs de grand et de petit teint que les arts ont conservés.

Lorsqu'on ne peut ou ne veut juger la solidité d'une nuance, soit parce que le soleil manque, soit parce qu'on est désireux de connaître immédiatement le résultat d'un essai, le teinturier s'adresse aux réactifs chimiques ou plus rapidement aux épreuves anciennes que nous venons de nommer *débouilli*, ou *bout*. Avant de traiter cette question, entrons dans quelques détails qui complètent ceux donnés ci-dessus.

Un praticien expérimenté, M. Gonfreville, s'est livré à des recherches sur l'action du soleil et de la pluie sur les principales couleurs. Nous reproduirons ici la notice dans laquelle il avait consigné le résultat de ses expériences pour la première édition de cet ouvrage. On verra qu'il pose la question ainsi que nous venons de le dire.

On divise les procédés, dit-il, en trois classes :

Première classe pour les couleurs grand teint.

Deuxième classe pour les couleurs bon teint.

Troisième classe pour les couleurs petit teint. Telles sont les qualifications adoptées dans les ateliers.

1° Une couleur *grand teint* est éminemment fixe ou solide; elle doit résister non-seulement aux agents ordinairement usités pour l'entretien et la propreté de l'étoffe à laquelle elle s'applique, comme les lessives, les savonnages, le dégras, les acides faibles, mais encore à l'action plus puissante du soleil, de l'air, de la pluie, du temps en un mot. On conçoit cependant que cette résistance ne peut pas être illimitée, que cette fixité n'est jamais absolue, et que *grand teint* ne veut pas dire indestructible; car le chimiste a toujours à sa disposition quelques agents pour détruire instantanément, *enlever* ou *ronger* toutes les teintures sans altérer l'étoffe; mais on comprend sous ce nom la couleur qui, par comparaison, résiste le mieux et le plus longtemps à ces épreuves et autant que l'étoffe elle-même, et qui dès lors est estimée et classée de première qualité.

2° Une couleur *bon teint*, dans des limites moins étendues, résiste aussi, avec quelques légères modifications, aux lessives, aux savonnages, etc., et au soleil, à l'air, à la pluie et au temps; mais des altérations successives et moins lentes que sur les précédentes résultent peu à peu de leur action.

3° Une couleur *petit teint* ou faux teint, de la dernière qualité, tout le monde le sait, s'altère promptement, et quelquefois même instantanément, par un simple lavage dans l'eau, et se détruit, se bringe, se vire ou se fane facilement par l'air, le savon, etc. Il est bon d'observer ici que plusieurs couleurs évidemment de mauvais teint, résistent cependant assez bien à l'action de quelques acides énergiques, quoique immédiatement attaquées ou modifiées par l'action de la lumière et de l'air seuls. Le jaune au curcuma, le rose au carthame, le bleu au cyanure de fer, le capucine au rocou, le violet au campêche sur mordant d'étain, etc., qui tous sont *virés* par un bain acide, résistent conséquemment très-bien au vinaigre et même aux acides minéraux de moyenne force, et cependant les alcalis, le savonnage, même très-faible, et quelques heures d'exposition au soleil, suffisent pour les altérer et bientôt les effacer totalement.

Ainsi pour fixer nettement les idées à cet égard, et pour bien faire saillir les différences essentielles qui existent entre ces trois classes de teintures, on citera

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ici, pour exemple, une épreuve bien décisive qui les fait reconnaître irrévocablement, et qui a été faite directement dans ce but.

Une série très-nombreuse d'échantillons de coton, lin, soie et laine, teints en toutes couleurs de diverses qualités, a été disposée avec beaucoup de soin pour cette épreuve; pour cela, chaque échantillon séparément a été dévidé, étendu et rangé fil par fil, comme pour l'ourdissage d'une chaîne, autour de larges bandes de forts cartons.

On a fixé ces cartons horizontalement sur la tête de pieux élevés et placés au milieu d'une vaste prairie, de manière à ce que depuis le lever jusqu'au coucher du soleil ils ne pussent recevoir aucune ombre, et on les a laissés ainsi attachés et exposés toujours du même côté, depuis le 4 août 1832 jusqu'au 4 février 1833, six mois. Durant cet espace de temps, cinq fois on a été obligé de renouveler les numéros d'encre ordinaire de la petite vertu, qui s'effaçaient; on notait les époques auxquelles chaque couleur était sensiblement altérée, puis détruite. On avait conservé avec soin une série pareille bien enveloppée, outre que la partie inférieure des cartons avait été couverte d'un double carton collé avec précaution tout autour sur les bords, pour empêcher l'action de l'air, etc., sur cette moitié des échantillons.

Chaque couleur disparut successivement à diverses époques selon sa qualité; en résumé, il a été constaté que les échantillons teints *sur apprêts huileux* en chayaver et en garance, étaient les seuls qui aient pu résister pendant tout ce temps, mais toutefois encore avec des différences entre eux; les couleurs en garance étaient altérées très-sensiblement, tandis que celles en chayaver étaient à peine éclaircies, sauf seulement, il faut bien le constater ici, deux nuances sur mordant d'étain pour lesquelles une réaction de l'oxyde avait eu lieu, ce qu'on peut assurément éviter; le coton en était très-affaibli lui-même.

La poussière, la fumée les avaient toutes un peu salies et ternies, mais par un fort savonnage bouillant on les a revivifiées. On glissa en place du carton une latte, et on leur fit ainsi, sans les déplacer, subir l'avivage à la chinure qu'ils faisaient avec la partie inférieure; alors seulement on put constater rigoureusement les différences survenues par cette longue épreuve, avec les demi-échantillons préservés et enveloppés sous les cartons, et surtout avec ceux qui avaient été conservés séparément avec soin. Des échantillons, au nombre de soixante, de cette épreuve décisive ont été compris dans le tableau de l'exposition de 1834. Pour abréger, de, ceci nous concluons que : 1° les couleurs au chayaver et à la garance avec apprêts huileux et convenablement *mordantées* et *avivées*, sont bien de *grand teint*, mais encore à deux degrés différents; 2° les couleurs de garance sans apprêts huileux, celles du quercitron, de la cochenille, de la gomme laque, du capilapodie, du cassa, du noona, du jong-koutong, de l'indigo, qui ont résisté de deux à quatre mois, sont de *bon teint*; et toutes celles au Brésil, au calliatour, au campêche, au bois jaune, au fustet, à l'orseille, à l'orcanette, au santal, au saffranum, au rocou, au curcuma, qui se sont effacées complétement en quelques jours, ou même quelques heures, sont de *petit teint*, sauf encore à quelques différences près, selon le système et les mordants employés dans les procédés de ces mêmes teintures ou de ces mêmes agents.

Revenons à la méthode de Dufay qui est plus facilement appliquable dans la pratique.

Pour cette épreuve on a reconnu qu'il est nécessaire de séparer en trois classes toutes les couleurs dans lesquelles les laines peuvent être teintes, tant en bon teint qu'en petit teint, et de fixer la composition des

débouillis, c'est-à-dire la dose des matières qui doivent altérer les couleurs comprises dans chacune des trois classes.

Les couleurs comprises dans la première classe sont débouillies avec l'alun de Rome; celles de la seconde avec le savon blanc, celles de la troisième avec le tartre rouge, c'est-à-dire avec le tartre brut encore mélangé de la matière colorante qui se rencontre dans la lie du vin rouge.

Pour faire un débouilli, l'expérience et les conventions admises fixent la dose des composés chimiques, la quantité d'eau, le poids de l'échantillon, la température du liquide, la durée de l'opération dont les résultats varieraient beaucoup sans cette précaution.

Le débouilli fait avec l'alun de Rome se prépare en mettant dans un vase de terre ou terrine 15 gr. d'alun dans 500 gr. d'eau. Lorsque la dissolution bout à gros bouillons, on y met 4 gr. de l'étoffe dont on veut faire l'épreuve; on l'y laisse bouillir pendant cinq minutes, on la retire, on lave à l'eau froide, on fait sécher, puis on compare.

Pour le débouilli de savon blanc, on met seulement 7 à 8 gr. de savon blanc haché dans 500 gr. d'eau; on fait bouillir à gros bouillons, on jette l'échantillon et on maintient le contact pendant cinq minutes.

Le débouilli de tartre rouge se fait de même et avec les mêmes doses que celui d'alun : il faut seulement employer le tartre en poudre et le dissoudre entièrement avant d'y plonger l'étoffe à classer.

On doit débouillir avec l'alun les cramoisis de toute nuances, l'écarlate de Venise et les nuances qui s'y rapportent, les violets et les gris de toutes nuances, les pourpres et les bleus. A l'inspection de la couleur après l'épreuve, on juge par la couleur qui reste si la couleur est de faux teint.

On débouillit avec le savon blanc les jaunes clairs et foncés, toutes les nuances de vert et de jaune, les rouges de garance, les bruns clairs, canelle, tabac, etc.

On débouillit au tartre les couleurs dénommées sous la désignation de fauve ou couleurs de bois foncé ou clair. Quant au noir, il faut toujours en faire l'essai par un débouilli beaucoup plus actif; car il faut voir si l'échantillon qu'on veut classer a reçu le pied de bleu qui lui donne de la solidité. Pour cette épreuve on met dans 490 à 500 gr. d'eau, 30 gr. d'alun de Rome, et 30 gr. de tartre rouge, on fait bouillir le tout et on y jette l'échantillon qu'on maintient à l'ébullition tumultueuse pendant un quart d'heure; on le lave ensuite à l'eau fraîche. Il sera facile de reconnaître alors si l'échantillon a reçu le pied d'indigo, car dans ce cas il devra rester coloré en bleu presque noir; dans le cas contraire le fond ne conservera qu'une couleur grise. Les gris de fer et de noix de galle n'ont besoin de subir aucun débouilli; on les fait tous de même, et si l'on s'est conformé d'une manière complète aux indications que nous avons données, ils sont brillants et de bonne qualité.

Depuis que les jurandes et les maîtrises n'existent plus, l'industrie est libre de faire des étoffes quelconques, à moins de conventions spéciales entre l'acheteur et le vendeur. Toute garantie cependant ne peut disparaître pour l'acheteur, mais il faut qu'il demande au marchand l'indication de la matière employée pour teindre la marchandise vendue. Si le commerce consentait, pour les objets de valeur, à devenir exigeant, il y aurait lieu de compléter l'éducation des masses et de déposer au Conservatoire des arts et métiers ou aux Gobelins, par exemple, une série de teintes exposées au soleil, en permettant la confrontation des échantillons avec une série semblable soigneusement conservée dans des tiroirs à l'abri de la radiation solaire. Ces idées émises par M. Chevreul contrarieraient les abus qui sont condamnés dans d'autres industries et que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

loi frappe comme fraude sur la nature des marchandises vendues.

Couleurs d'origine minérale. Dans cet examen il n'est question que des couleurs d'origine végétale, les couleurs d'origine minérale sont le plus généralement *grand teint.* Nous avons vu que ce n'est que dans un petit nombre de cas qu'elles peuvent être employées, vu leur absence de transparence; toutefois nous citerons ici les plus remarquables : aux sels de fer, les premiers employés pour les couleurs noires, rouille et chamois, sont venus successivement se joindre l'arsenite de cuivre qui donne des verts de diverses nuances; le bleu de Prusse si heureusement employé en 1814 par Raymond père, de Lyon, pour les bleus et les verts; les sulfures d'arsenic appliqués par Braconnot et Houton-Labillaudière, pour les teintes jaune, aurore et carmélite; le chromate et le sous-chromate de plomb indiqués par Lassaigne, dès 1820, pour produire depuis le jaune-clair jusqu'au rouge-orangé; l'iodure de mercure d'un si beau rouge, le phosphate de Cobalt, le vert d'émeraude par l'hydrate d'oxyde de chrome (voy. ÉMERAUDE, *Complément*) dû à M. Guiguet, sont des éléments précieux pour l'impression plus encore que pour la teinture.

§ XI. DE LA TEINTURE *considérée dans ses méthodes générales.*

Ces préliminaires posés, nous pouvons aborder avec fruit l'étude des procédés de teinture.

On teint ou pour obtenir des fonds uniformes, ou pour faire naître par places sur des tissus donnés des colorations interrompues ou variées.

Le but de la première méthode est la teinture proprement dite. Le but de la seconde est obtenu par l'impression; on imprime quelquefois la préparation (*mordant*), quelquefois la couleur elle-même (*enluminage*), souvent des parties qu'il faut réserver (*réserves*), souvent des substances destinées à faire disparaître des parties colorées (*enlevages*), souvent enfin des matières qui ont pour effet de convertir une couleur d'une nuance en une nuance voisine ou fort différente (*couleurs conversions*). Mais cette seconde méthode n'exclut pas la teinture proprement dite; elle n'est qu'un cas particulier de l'art de la teinture qui, presque toujours, à moins qu'on ne fasse que des colorations plastiques, exige comme complément la teinture elle-même. Occupons-nous des opérations de la teinture elle-même, c'est-à-dire de la coloration qu'on obtient par l'immersion de l'étoffe entière dans un bain de teinture ou successivement dans des bains de teinture, et de préparations convenablement choisies.

Les matières premières, telles que le coton, la laine, la soie, le lin, le chanvre qui sont destinés au tissage ou à l'emploi direct, doivent être teintes par cette méthode; les tissus, les draps, les étoffes de soie et celles de coton se teignent aussi fort souvent par cette méthode, mais la couleur n'a plus alors ni la même solidité, ni la même intensité; les filaments qui composent le fil ont reçu par le tissage et la filature une torsion qui ne permet pas à la couleur de pénétrer aussi profondément que lorsque la matière est brute. Ce dernier mode de travail est beaucoup plus économique, puisqu'il absorbe moins de matière colorante; mais à la consommation on ne tarde pas à distinguer une étoffe teinte en laine d'un drap teint en pièce.

On teint encore ces matières premières en fils: c'est ce qu'on appelle teindre en *écheveaux;* cette méthode s'applique surtout à la laine et à la soie; elle tient nécessairement le milieu comme solidité, éclat et dépense entre les deux précédentes. La couleur s'applique beaucoup plus facilement que sur l'étoffe même; on emploie encore un peu moins de couleur que pour la teinture en filaments bruts en *flocons* ou en *toison.*

Les exemples que nous choisirons s'appliqueut aux opérations de la teinture sur laine, sur coton, sur soie, tant à l'état de flocons qu'à l'état de fils et sous forme de tissus.

Laine. — En parlant de la laine en flocons, nous la supposerons lavée; de plus elle aura subi toutes les opérations qui suivent généralement la tonte et qui précèdent la teinture proprement dite. Mais nous dirons en deux mots cependant que le blanchiment ne s'exécute que rarement pour des laines qu'on doit teindre en masse et surtout en couleurs foncées.

La laine se teint en flocons toutes les fois qu'on veut avoir des draps solides, d'une couleur bien uniforme; il faut, toutefois, exclure la teinture en noir qui a pris actuellement une grande extension et qui se pratique sur des draps en pièce.

La teinture en laine filée satisfait aux besoins de la tapisserie, de la passementerie et du tissage de toutes les étoffes de fantaisie si nombreuses aujourd'hui, dites *étoffes de nouveautés,* qui se fabriquent sur une très-grande échelle.

Enfin la teinture en drap se donne aux draps noirs; dans les autres genres, la teinture est beaucoup moins solide que lorsqu'on tisse des fils préalablement teints.

Soie. — La majeure partie des soies sont colorées à l'état d'écheveaux. On les livre ensuite aux divers ateliers de tapisserie, de passementerie, de rubannerie et de tissage.

Coton. — Quant aux cotons, on peut les teindre soit à l'état brut, soit à l'état de fil, ce qui est l'exception, soit enfin à l'état de tissus. On colore les ouates à l'état de coton non filé, mais en quelques nuances seulement; les fils sont teints plus rarement, cependant les cotons en fil sont souvent teints en bleu pour les tissus tricotés.

Le lin et le chanvre reçoivent moins souvent que les autres matières les opérations de la teinture. On profite surtout de l'éclatante blancheur qu'ils possèdent lorsqu'on a fait disparaître la matière colorante qui les colore à l'état naturel pour les consommer à l'état blanc. Cependant les besoins du tissage pour certains piqués et quelques étoffes de lin demandent des fils teints préalablement.

§ XII. DISPOSITIONS GÉNÉRALES *d'une teinturerie.*

Dans une teinturerie bien installée, pour ne pas gêner le service il faut au moins trois salles affectées aux opérations de la teinture. Si l'on teint des laines, il est bon de réserver une salle spéciale pour le blanchiment ou dessuintage; on a dans tous les cas un atelier pour le bleu d'indigo qui nécessite une température déterminée, et deux chambres spéciales dans lesquelles on exécute les autres nuances de grand et de petit teint.

Le laboratoire doit être spacieux, bien éclairé, suffisamment élevé, et convenablement disposé pour la préparation des drogues qui ne sont pas faites en fabrique et pour les essais de contrôle auxquels doit pouvoir se livrer tout fabricant intelligent et soucieux de sauvegarder ses intérêts.

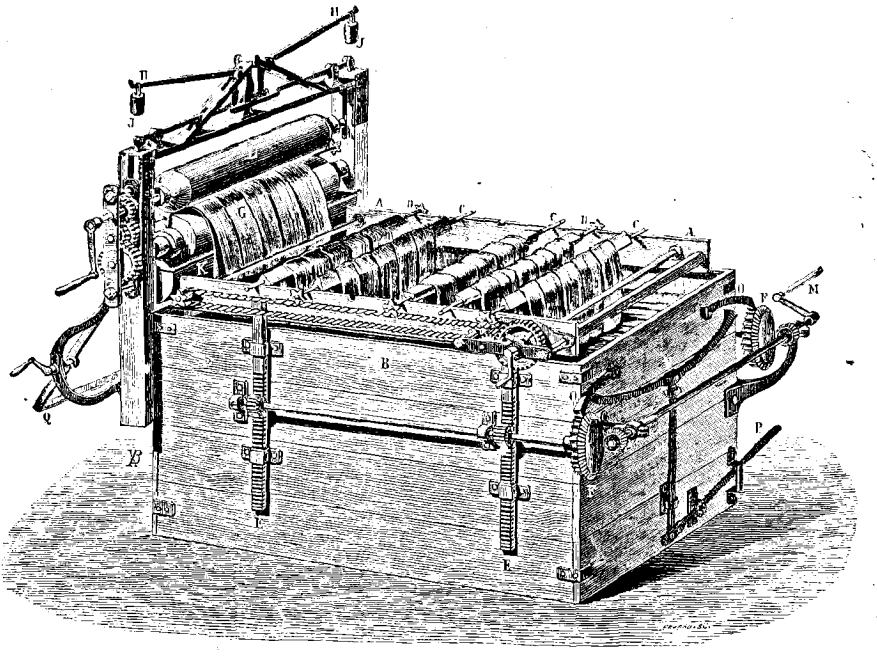
Les marchandises teintes, celles à teindre, celles à dessuinter, dans le cas où l'usine se charge de ce soin, doivent être séparées et placées dans des magasins distincts, les premiers à proximité des ateliers d'apprêt et des chambres où se font la vérification et l'empaquetage pour éviter les pertes de temps et la circulation inutile des produits prêts pour la consommation, qu'ils soient à l'état de fils ou de tissus.

Lorsque l'emplacement d'un atelier est arrêté,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme il contient les bains qu'on chauffe à l'ébullition, et les cuves d'avivage ou de rinçage, il faut se réserver dans la toiture ou sur les parois la possibilité de donner à volonté des échappements aux vapeurs qui gêneraient le travail des ouvriers, ou qui retomberaient sous forme de gouttelettes entraînant les oxydes coloriés provenant du plafond ou des montants et tacheraient les tissus. Des pentes convenables doivent éconduire au dehors, sans danger pour les marchandises, les eaux de condensation et les poussières métalliques ou terreuses qu'elles peuvent entraîner. L'atelier doit être pavé proprement, avec pente pour l'écoulement des eaux; et lorsque le sol n'est pas en pierre inattaquable aux acides, il convient de l'enduire de chaux et de ciment pour que les eaux d'éclaboussures ou d'égouttages n'y

on place, adossées aux murs, les caisses nécessaires à la teinture, aux préparations des tissus, aux avivages et passages aux acides; de manière que de simples robinets placés immédiatement au-dessus de chacune des caisses, dont on a limité le nombre et déterminé l'usage, puissent amener ou la décoction ou la dissolution convenable qu'on prépare dans un ou des ateliers spéciaux qui peuvent n'être séparés de l'atelier principal que par un mur de refend. Sur l'autre côté du rectangle on dispose les appareils à dégorger, à laver, à rincer, etc., chapeau, plateau, batoir, etc.; ces deux séries doivent être séparées par un cours d'eau limpide, abondante, aussi pure que possible. De plus, de l'eau doit être distribuée à certaine hauteur en quantité suffisante dans tous les ateliers pour régler la densité des bains; les eaux



3728.

séjournent pas. On peut se servir de la pente naturelle pour rejeter à l'extérieur les bains épuisés; mais il vaut mieux, et pour éviter les inconvénients de la vapeur qu'ils répandent dans l'atmosphère, et pour économiser la chaleur qu'ils conservent encore, les faire éconduire par des conduits enveloppant les tuyaux d'arrivée de l'eau froide dans les bains. Dans tous les cas, tout doit être disposé pour que le travail s'exécute avec la plus grande propreté, la plus grande économie, la plus grande rapidité.

Un étendoir à l'air libre, un étendoir à couvert soit dans un hangar spacieux, soit dans un vaste grenier de manière qu'on y puisse en toute saison étendre et sécher à l'ombre les étoffes qui sortent des bains de teinture et des cuves de rinçage, sont le complément forcé de tout atelier de teinture.

Le meilleur plan à donner à l'atelier est évidemment la forme d'un large rectangle; sur une des longueurs, impures doivent être mises dehors aussi complétement que possible.

Le mode de chauffage des *bains de teinture*, ou des *bouillons* employés dans l'usine intéresse au plus haut point le génie civil; jusque dans ces derniers temps, le chauffage à feu me semble avoir été préféré; mais si le chauffage à la vapeur directe n'a pas été généralement admis, parce qu'il change en quelque sorte à chaque instant la composition des bains par la condensation toujours constante de la vapeur qui s'ajoute, il ne peut en être de même du chauffage indirect par double fond ou par serpentin de vapeur. Ce mode offre bien, il est vrai, quelques inconvénients qui résultent d'un entretien plus coûteux, d'une surveillance plus assujettissante, à cause des robinets nombreux qu'il faut visiter souvent et des soubresauts que l'entrée de la vapeur occasionne toujours; mais il n'y a pas d'établissement dans lequel on l'ait introduit qui n'ait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à se louer, après quelque temps de pratique, d'une grande régularité dans les manœuvres, et d'une économie notable sous le rapport du combustible.

Outillage.

Les bains de teinture, les diverses préparations qui mettent l'étoffe en état d'absorber les principes colorants des bains de teinture, les bouillons, etc., doivent être conservés à des températures déterminées pendant le temps de l'opération ; on les y maintient dans des chaudières dont la disposition, la grandeur et la nature dépendent des opérations auxquelles elles sont destinées.

Chaudières. — Les chaudières sont généralement de cuivre rouge ou de cuivre jaune ; il est urgent d'en avoir au moins une en étain destinée principalement à l'écarlate, et subsidiairement aux couleurs délicates dans la préparation desquelles la dissolution d'étain doit intervenir. Le cuivre jaune vaut toujours mieux que le cuivre rouge.

On peut substituer aux chaudières métalliques les cuviers de bois qui n'ont d'autre inconvénient que de ne pouvoir être parfaitement nettoyés après chaque opération. Cette observation perd sa valeur si la même chaudière, dans une teinturerie importante, ne sert qu'à la même couleur. Une cuve d'une grande dimension, qu'on ne peut sans perte de temps vider à la *poche*, doit être munie dans sa partie la plus déclive d'une ouverture qu'on ferme à volonté pour écouler le bain lorsqu'il est épuisé.

Il est à noter en passant qu'une grande cause de perte pour les teinturiers qui ne travaillent qu'à façon résulte généralement d'un outillage insuffisant, qui ne permet pas de réserver les bains incomplétement épuisés ; lorsque la quantité de pièces à teindre n'est pas assez grande pour enlever la totalité de la matière colorante, il faut bien perdre ce qui reste, si l'on n'est pas outillé pour réserver les bains appauvris pour des opérations subséquentes, quand elles se présenteront. Cette observation a sa valeur lorsqu'on traite des couleurs qui coûtent cher.

Les abords des chaudières doivent être faciles ; lorsqu'elles sont en métal, on peut les chauffer en dessous à feu nu ou par un double fond ; on les chauffe, lorsqu'elles sont en bois, par une circulation de vapeur. Pour plus de commodité, lorsqu'on chauffe directement, les foyers des chaudières sont placés sous un même manteau de cheminée.

Si les chaudières sont chauffées par un bouilleur, il convient de le placer dans la partie de l'atelier la plus commode pour éviter une trop longue conduite de la vapeur. Cette disposition permet de régler facilement la température des bains en plaçant au plus loin les chaudières destinées à la confection des nuances qui ne doivent pas être portées à l'ébullition. Le matériel des chaudières doit être assez considérable pour qu'on n'ait pas sans cesse à vider, nettoyer et rincer celles qui viennent de servir et qu'on destine à la teinture dans une nouvelle couleur. Il faut autant de cuves qu'on emploie de mélanges différents pour que le travail ne soit pas interrompu par un outillage insuffisant.

On dispose au-dessus de chaque chaudière, à diverses hauteurs suivant les circonstances, des perches pour faire égoutter les étoffes ou les écheveaux de laine et de soie, lorsqu'on n'en a que de petites parties à teindre ; par cette disposition le liquide qui s'écoule retombe dans la chaudière ; on passe des bâtons dans tous les écheveaux, et ces bâtons sont mis en travers sur les perches.

On doit à M. F. Deshayes un appareil ingénieux au moyen duquel on peut opérer mécaniquement la teinture en écheveaux. Nous allons le faire connaître, d'après le *Bulletin de la société d'encouragement*, t. VII, 2e série, p. 323.

Une caisse rectangulaire, en bois, en briques, en métal contient le liquide colorant ; il peut être chauffé, soit directement, soit par une circulation de vapeur placée dans le fond de la caisse. Dans cette caisse descend à volonté, par le moyen d'un système de crémaillères, un châssis qui reçoit dans une position transversale les bâtons sur lesquels on passe les écheveaux. Ces bâtons ont une section triangulaire, une des faces légèrement courbe. Une chaîne de Vaucanson rencontrant les roues dentées qu'ils portent à leur extrémité les entraîne dans un mouvement de rotation continu circulaire, qui remplace le lissage à la main.

Deux bâtons voisins reçoivent un mouvement en sens inverse pour éviter que les écheveaux ne s'arrêtent et ne se mêlent pendant le travail. On obtient cette condition par une disposition très-simple qui consiste en deux chaînes engrenant avec les roues des bâtons alternants. Après que les écheveaux sont mis en place et les lissoirs fixés sur les tourillons réservés sur le châssis, on abat au moyen des crémaillères, et on mène plus ou moins vivement suivant la nature de la nuance qu'on désire obtenir, au moyen d'une manivelle qui commande les deux chaînes de Vaucanson.

Lorsque l'immersion est suffisante on relève le châssis, toujours au moyen des crémaillères ; on laisse égoutter, puis on procède à l'essorage.

A cet effet, la partie postérieure de l'appareil porte un bâti dans lequel sont engagés deux cylindres, l'un en bois, l'autre en caoutchouc ou en bois à surface recouverte d'une toile de fil enroulée six à sept fois, qui frottent l'un sur l'autre, en vertu d'une pression qu'on peut régler à volonté. Le cylindre inférieur porte une échancrure dans laquelle on engage successivement chacun des bâtons chargé des écheveaux qu'il porte. La partie arrondie du bâton se met en dehors, et termine la surface du cylindre ; par la rotation des deux cylindres, les fils sont comprimés, et l'excédant du liquide dont ils étaient chargés s'écoule dans une rigole pour être ramené dans le bain sans aucune perte.

Après s'être dégagés des cylindres, les écheveaux restent disposés pour recevoir une nouvelle passe.

On répète les opérations de l'immersion, du lissage et de l'essorage sans remaniement, autant de fois qu'on le juge nécessaire pour arriver à l'échantillonnage définitif.

Cet appareil est représenté en vue, fig. 3728. A représente le châssis mobile qui descend dans la cuve B ; les lissoirs C et D supportent les écheveaux ; ils portent l'un une rosette, l'autre une tige unie ; E est la crémaillère qui, au moyen de la roue F, fait monter le châssis ; G est le cylindre de l'essoreuse ; H le levier qui, avec le poids J, règle la pression pour chasser le liquide des fils dans le réservoir K, en agissant sur le cylindre supérieur L ; M est la manivelle qui met en mouvement les crémaillères, N un ressort qui soulève les cliquets OO quand on veut, en mettant le pied sur le bras du levier P, faire descendre le châssis par son propre poids.

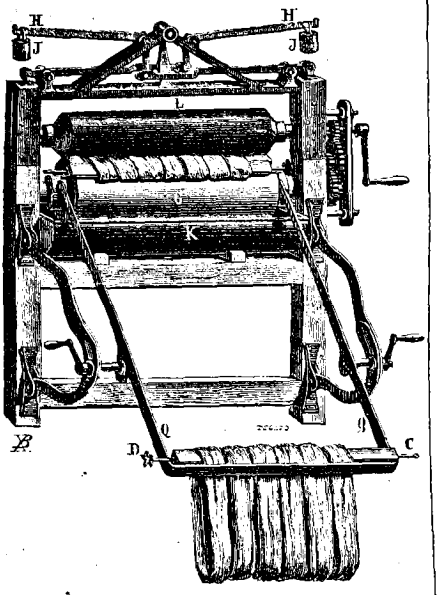
Q est une armature en fer sur laquelle glisse le lissoir, après qu'il se dégage du cylindre, lorsque les écheveaux qu'il porte ont été suffisamment essorés.

La fig. 3729 est l'essoreuse vue par derrière, dégagée de la caisse sur laquelle on la fixe ordinairement.

L'appareil de M. Deshayes conduit à des économies notables, par suite de la suppression des nombreuses manœuvres auxquelles on soumet les écheveaux dans la teinture par les procédés ordinaires. On supprime l'intervention des ouvriers dont l'apprentissage est long, souvent délicat, toujours coûteux ; enfin on donne à chaque brin, d'une manière régulière et rapide la nuance demandée, quelle qu'elle soit ; enfin, on con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

serve au coton son nerf et sa résistance en évitant les torsions qui machurent les brins en contact immédiat avec les chevilles dans l'essorage à l'espart.



3729

Lorsqu'on doit teindre des pièces d'étoffes entières, ou bien elles sont disposées sur un tour mobile au-dessus de la chaudière, mû par une manivelle, ou par un moteur mécanique placé suivant la nature du bain à des hauteurs plus ou moins considérables.

Lorsqu'on craint que l'étoffe ne se crispe on l'enroule sur un cylindre de bois qui s'ajuste par ses extrémités sur deux fourches en fer assujetties sur la plateforme du fourneau. On peut encore faire usage de la machine à fouларder ou à plaquer dont nous avons déjà donné la description.

On se sert pour dégorger, rincer, laver et sécher des appareils que nous avons déjà mentionnés lorsque nous avons traité du blanchiment. Nous n'aurons qu'à dire quelques mots des conditions auxquelles doivent satisfaire les étuves ou les séchoirs.

Séchoirs. — Lorsqu'on applique sur des tissus des couleurs délicates, il faut les sécher promptement; on obtient ce résultat en portant les objets teints dans les *chambres chaudes;* ce sont de vastes chambres, chauffées avec des poêles ou des courants d'air appelés, soit par des ventilateurs, soit par des foyers spéciaux, soit enfin par des calorifères à eau chaude ou à vapeur.

La chaleur doit s'y répandre uniformément, le renouvellement de l'air doit être facile et la température variable de 35 à 45 degrés suivant la nature des opérations.

Quand on a des soies à dessécher, on les suspend sur une perche mobile qu'on nomme *brantoir* et qui, renouvelant l'air par agitation, hâte la dessiccation.

Lorsque la chambre chaude a la largeur suffisante (4 à 5 m.), les pièces sont étendues par les deux bouts; dans le cas contraire, le cadre qui supporte les pièces est circulaire et la pièce est alors dite en *limaçon;* elle tire ce nom de la forme spirale qu'affecte l'étoffe à sécher. Comme on a besoin de soufrer quelques tissus, et qu'on peut avoir à reprendre des tissus reteints qu'il faut épingler sur un métier, on se réserve dans deux parties de l'étuve un soufroir distinct et un emplacement libre pour le métier lui-même.

Nous ne saurions indiquer ici ni le nombre ni la forme des instruments spéciaux que le teinturier doit avoir sous la main, mais il faut surtout qu'il soit muni de thermomètres et d'aréomètres qui lui serviront à régler d'une part la température de ses bains, et d'autre part la force des décoctions ou des bouillons.

Pour éviter les taches que les objets teints recevraient nécessairement s'ils se trouvaient en contact avec le fer, dont l'oxydation est si facile en présence de l'humidité, tous les ustensiles destinés au transport, à l'égouttage, au dépôt des tissus doivent être en bois sain, à moins qu'on ne les établisse en pierres inattaquables aux acides. Les brouettes et les barquettes doivent être chevillées en bois sans fer; les banquettes doivent être en planches ou en maçonnerie revêtues de ciment hydraulique.

Manipulations. — Qu'on s'occupe de la teinture des laines, des soies, du lin ou du chanvre, les manipulations qu'il faut leur faire subir sont à peu près les mêmes, et les seules différences qu'on remarque tiennent plus à l'état sous lequel se présente la matière textile, flocons, toison, fils ou tissus. On appelle *mise* la partie qu'il faut teindre.

Si la laine est en toison ou en flocons, on peut l'enfermer dans des filets à fortes mailles qui forment un paquet; on pose sur la chaudière une espèce d'échelle très-large dont les échelons sont fort rapprochés, et l'on y met la laine pour l'égoutter, l'éventer, ou pour la changer de bain.

Nous avons dit comment on opérait lorsque la teinture s'effectue sur des écheveaux; on passe des bâtons dans chacun des écheveaux qu'on manœuvre plus ou moins rapidement. En raison des besoins de l'opération, suivant que le mélange ou le feutrage des fils est plus ou moins facile, on les tord plus ou moins, on en fait des chaînes, des paquets, etc. On fait tremper, en les tournant sur des bâtons placés en travers des chaudières, pour que chaque portion plonge à son tour, les fils soutenus par ces bâtons qu'on nomme *lissoirs.*

Lorsqu'on teint les tissus et les fils, il faut les tordre pour exprimer l'excédant du bain maintenu par imbibition et capillarité. On se sert d'une pièce de bois cylindrique scellée par un bout dans un mur, simplement enclavée quelquefois dans la mortaise d'un poteau et qu'on nomme *espart.* La tête de l'espart est arrondie et polie.

On appelle *brevet* l'addition faite à un bain de composition déterminée des matières qui lui donnent ses qualités; on se sert d'un *râble* pour opérer le mélange du bain, et pour maintenir en suspension les résidus insolubles qui se déposent au fond des cuves.

Nous en savons assez maintenant pour décrire les manipulations générales auxquelles donnent lieu les opérations de la teinture. Ces opérations ne sont ni difficiles ni compliquées; elles ont pour objet de mettre la substance qu'on veut teindre au contact des matières colorantes qui sont en dissolution dans le bain, de faire concourir les actions de l'air, de la lumière, de la chaleur soit à la fixation du principe utile, soit à leur développement, soit à leur éclat, et d'éliminer avec soin celles qui sont nuisibles et qui par conséquent n'ont pas été fixées.

Lorsqu'on opère la teinture sur les étoffes tissées, qu'on a plusieurs pièces entières, on les enroule sur le tour dont nous avons déjà parlé. On commence par enrouler sur le tour le commencement de l'étoffe, le faisant tourner promptement, on le charge d'une pièce, ou de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plusieurs pièces réunies bout à bout, si le tissu n'est ni trop lourd ni trop épais. On le tourne ensuite à contre-sens pour que la partie plongée la première le soit la dernière à la seconde immersion, et que par là la teinture soit aussi régulière qu'il est possible. Il arrive souvent que pour des pièces qui absorbent facilement la couleur et qui sont teintes en foncé, on se borne à passer l'étoffe en boyau sur le tour qui n'est plus cylindrique mais à section polygonale, et qu'on fait agir comme lissoir. Le mouvement que reçoit le tour ou trinquet fait plonger alternativement dans le bain toutes les parties de la pièce ou des pièces qui sont réunies.

L'art de la teinture comme la plupart des industries possède son langage d'atelier qu'il faut connaître et sur lequel il faut s'entendre; nous donnerons actuellement, pour abréger les descriptions qui vont suivre, l'explication de la plupart des termes employés dans le plus grand nombre des teintureries des villes. Nous les classerons par ordre alphabétique.

A ces termes nous en ajouterons d'autres qui représentent chacune des phases diverses par lesquelles la matière à teindre doit passer.

Abattre la mise, c'est faire descendre la fibre, tissu, fil ou flocon dans le bain; cette même expression sert encore pour indiquer l'opération pendant laquelle on retire la fibre du bain de teinture, avant de l'éventer.

Apprêter, c'est communiquer aux articles à teindre plus d'affinité pour les substances colorantes au moyen des mordants; ce sont des intermédiaires tendant à les unir, à les combiner chimiquement en plus grande quantité avec plus de solidité; c'est, en un mot, chercher par des intermédiaires spéciaux à rendre les couleurs plus belles, plus intenses et surtout plus fixes.

Nous ne saurions encore parler actuellement d'une autre sorte d'apprêts qui ne s'appliquent que lorsque le tissu est confectionné; ils ont pour but de lui donner une fermeté, un brillant, un coup d'œil favorables à la vente, comme de le disposer et de le plier afin de le conserver et transporter plus facilement.

Les apprêts qui procèdent du mordançage, et dont nous avons déjà fait connaître l'utilité sous le nom de *mordants organiques*, sont de plusieurs sortes : on distingue depuis longtemps, selon les termes de l'atelier, des *apprêts gras* et des *apprêts maigres*.

On range parmi les premiers : les bains *animalisés* (bains *bis*, bains de *fiente*), les bains *huileux;* (blancs ou jaunes), et les *sickious* on classe dans les seconds : les bains *alcalins* et les bains *astringents* (de galle, sumac, cachou, nona, dividivi, etc.).

Il serait plus convenable, dans l'état actuel de l'art de la teinture, d'étendre cette division et de distinguer comme nous l'avons proposé les *apprêts gras* : 1° bains animalisés; 2° bains sickious; 3° bains blancs; 4° bains jaunes, qui ne se donnent qu'après des bains astringents et des mordants, et les *apprêts maigres ;* 5° les astringents, comme les bains de galle, etc., qui en général dans les ateliers sont connus sous le nom d'*engallage*, quoiqu'ils ne soient que très-rarement préparés avec la noix de galle seule ; 6° les apprêts résineux, nouvellement introduits et utilement appliqués avant plusieurs teintures métalliques ; chacun de ces apprêts sera conséquemment indiqué à l'article teinture de chaque différente couleur, puisque en effet ils varient de nature, de propriétés, de force et de nombre, selon le genre et l'espèce, le ton et la qualité des couleurs, soit grand teint, bon teint et petit teint. Il est bien entendu que ces trois grandes divisions de la qualité du teint ont des intermédiaires qui résulteront de la superposition de nuances de teints différents ; on donnera, par exemple, *un pied de bon teint* dans quelques procédés de bon marché, pour finir en petit teint.

Aviver, c'est soumettre à certaines opérations les étoffes quand elles ont subi l'action des bains colorants; il est extrêmement rare qu'une teinture n'ait pas besoin au moins d'une opération ultérieure pour être belle, pour acquérir toute sa pureté, ou pour être échantillonnée rigoureusement; tantôt il faut la débarrasser, indépendamment de ce que les mordants peuvent avoir apporté, du dissolvant même de la substance colorante fixée; tantôt il faut vivifier cette substance même, alliée naturellement à d'autres principes, et souvent il faut le concours de plusieurs opérations instantanées ou successives pour arriver à ce résultat; l'ensemble de ces opérations se nomme *avivage*. Les lavages et rinçages ne font qu'enlever les parties les plus grossières non fixées et les résidus insolubles qui salissent l'étoffe teinte.

Pour choisir un exemple que nous emprunterons à l'industrie du garançage (teinture en rouge de garance), il reste toujours aux teints de garance une nuance fauve qui absorbe en partie, qui cache, couvre et ternit la couleur rouge principale ; et lorsqu'on fait usage de certains mordants, la séparation de ces deux couleurs est un problème hérissé de difficultés.

La partie fauve de la garance ne peut pas s'enlever par l'action seule des alcalis, de l'avivage ; il faut y joindre et y faire concourir aussi l'action des acides, et le *rosage* est nécessaire pour en débarrasser et purger pour ainsi dire complétement la couleur; cette opération est le complément de l'avivage ; ces deux opérations, dans ce cas, sont inséparables, et elles concourent mutuellement à la perfection de la couleur que la première prépare, prédispose, et que la seconde finit. L'avivage se termine par le rosage; il comprend l'intervention d'un acide ou d'un sel acide, agissant sur les couleurs grand teint du moins, par une action spéciale au sel d'étain ou d'un acide sur la couleur débarrassée des principes fugaces que contient la racine de garance ; comme ce mot l'indique, on a donné plus d'extension à cette expression technique.

Cheviller, c'est tordre à la cheville, c'est-à-dire exprimer par torsion autour de l'*espart* la partie du liquide qui n'a pris que par capillarité l'adhérence avec la fibre textile.

On sait aussi que le travail des soies exige une opération particulière à laquelle on donne le nom de *chevillage*. Le chevillage consiste dans une sorte de traction à laquelle on soumet les écheveaux après la teinture pour les rendre lisses ; on opère généralement sur des matteaux pesant de 4 à 500 gr.; avec plus on risquerait d'altérer la soie par suite des efforts qu'il faudrait exercer sur un diamètre trop considérable.

Pour cheviller à la main, l'écheveau passé dans la cheville est enroulé sur lui-même tordu, détordu et tordu de nouveau, quand on a déplacé les points en contact avec la cheville. C'est un travail excessivement pénible, qu'on n'avait fait que de main d'homme jusqu'à ces dernières années, et qui s'exécute maintenant mécaniquement, au moyen d'un appareil ingénieux que j'ai vu fonctionner à Lyon dans plusieurs teintureries importantes. Je dois à l'obligeance de M. Guinon de pouvoir donner un aperçu du mécanisme au moyen duquel on remplace le travail de 10 hommes. Le travail dure de 2 à 6 minutes; pour les soies cuites, il n'est que de 2 à 3 minutes; pour les soies simplement assouplies, il dure de 5 à 6 minutes.

On doit à M. Guinon de Lyon la disposition qui permet d'éviter à l'ouvrier une manœuvre excessivement fatigante, quand il faut enlever ou retirer les soies chevillées, ou quand il faut soulever le poids de 100 kil. pour rapprocher les chevilles et passer une nouvelle série de matteaux.

Le dessin d'autre part représente (fig. 3730) l'ensemble du mécanisme; les organes qui concourent à son fonctionnement peuvent être essentiellement variables. A

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

est une cheville horizontale en acier poli tournant autour d'un axe ; elle est placée immédiatement au-dessus d'une seconde cheville B coudée, pouvant recevoir un mouvement de rotation autour d'un axe vertical. Ce mouvement permet à l'écheveau pris entre les deux chevilles de se tordre sur lui-même ; l'effet de la torsion raccourcit le fil ; la cheville B peut donc s'élever en entraînant un poids de 100 kil. C, qui remplace l'effort musculaire de l'homme. Huit systèmes de chevilles semblables sont juxtaposés et forment une sorte de batterie. La figure ci-dessous n'en représente que six, faute de place. Les chevilles enfermées sont mises en mouvement au moyen d'une crémaillère horizontale D, animée d'un mouvement de va-et-vient qui communique à la tige verticale le mouvement circulaire alternatif devant faire monter et descendre le poids en tordant la soie sur elle-même.

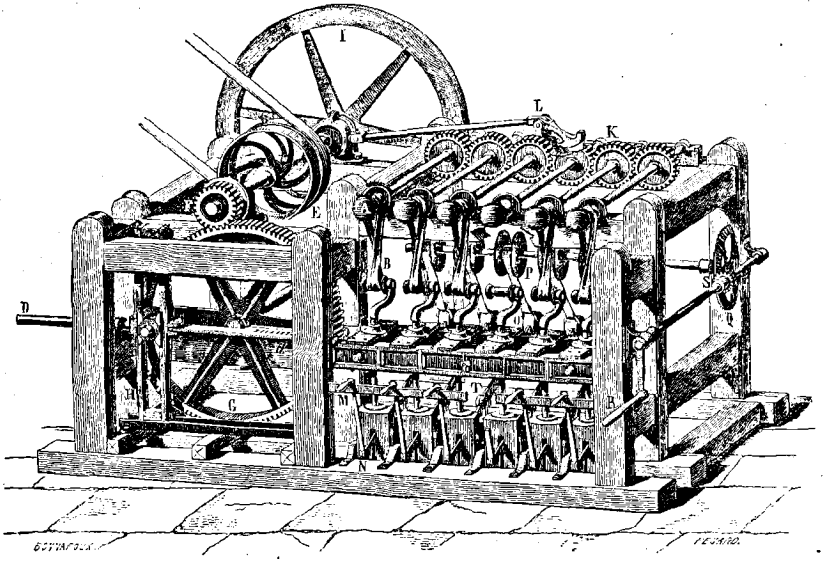
Le moteur est tel qu'on le voudra : ici c'est une poulie Q, engrenant avec un pignon qui commande une roue G. Cette dernière est liée par une glissière H à la crémaillère D, qui reçoit de la sorte un mouvement alternatif de va-et-vient horizontal. I est un volant monté sur l'arbre moteur qui donne en outre aux roues K un mouvement circulaire intermittent au moyen du levier à rochet L. M (fig. 3731 et 3733) est

Débouillir, c'est traiter pour les préparer à la teinture les fibres textiles qu'on doit immerger dans les bains colorants ; on distingue dans la pratique en grand, des débouillis variables avec la nature de la teinture qu'on veut appliquer au coton filé ; mais à titre plu général *débouilli* se dit de certains liquides de com position déterminée, à l'aide desquels on pourra classer les couleurs en couleurs *grand et petit teint*.

Pour les couleurs de grand teint, sans exception, le débouilli se fait avec des lessives alcalines de 1 à 2 degrés dans lesquelles on ajoute des bains gras dits *avances sickious*, les résidus de l'opération du dégraissage, ou directement une certaine quantité d'huile ; l'operation se fait dans une chaudière autoclave.

Pour les cotons destinés à être teints en bleu de cuve, en jaune de gaude, de quercitron, en vert de bleu de cuve et quercitron, en noir, etc., de bon teint, on se contente généralement d'un débouilli à l'eau pure et à vase découvert.

Pour les couleurs ou nuances vives et claires de bon teint en général et pour quelques-unes de petit teint, outre le débouilli on donne un demi-blanc, ou même un blanc fin, sur le pré de préférence ou par le chlorure de chaux suivi d'un vitriolage, selon les procédés déjà décrits.



3730.

nne poignée assemblée au point N, avec un levier tournant au point T, chargé à son extrémité d'un contrepoids O ; en élevant le point N, le galet V tourne sur son axe et relève le poids dont l'effort est diminué par la masse O. Cette dernière est manœuvrée facilement et sans effort au moyen d'une corde et d'un tambour P de la roue Q et de la manivelle R qui met en mouvement un pignon monté sur l'arbre S. U représente le pignon que commande la crémaillère.

Les figures 3732 et 3734 font voir le détail des chevilles inférieures avec leurs poids et les galets qui sont logés dans leur intérieur. Dans toutes ces figures les mêmes lettres désignent les mêmes organes ou les mêmes parties des mêmes organes.

Dégorger, ou *dégommer*, c'est enlever à l'étoffe ce qui n'y est pas bien intimement combiné et qui contrarierait dans l'opération de la teinture proprement dite. Il y a divers bains de dégorgeage ; le principal en teinture de coton, en écheveaux et en grand teint est le bain alcalin et huileux de fiente de mouton. Pour dégorger ou dégommer les mordants en indiennes on emploie plutôt la bouse de vache ; de là le nom de *bouser*, synonyme de passer en *bouse*.

Voyez l'article BOUSAGE de ce Dictionnaire. Pour la teinture en général, il y a d'autres agents, d'autres bains, qui remplissent le même but sur les diverses préparations et suivant le teint qu'on veut préparer. Ainsi les teinturiers distinguent, savoir : pour le grand et le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

bon teint, les bains blancs, les sels, la décoction de sumac, etc., l'eau de chaux, le phosphate de soude et de chaux (*sel à bouser*), la craie, etc. D'autres sont plus spécialement affectés aux petits teints, tels que : 1° le bain faible du teint; 2° l'eau tiède; 3° le son; 4° l'eau de savon légère, etc.

Disborder, c'est enlever la soie d'un bain de teinture ou d'eau de savon pour la laver; on donne le nom de *disbordure* à la petite quantité l'eau dont on se sert pour effectuer le lavage.

Donner un brevet, c'est ajouter au bain des matières nouvelles.

Donner un bouillon, c'est amener par une passe l'étoffe à l'état de tissu mordancé. Dans les opérations de garançage, on appelle *bouillon* le bain de mordant, alumineux ou ferrugineux; on nomme *rougie* le bain de garance.

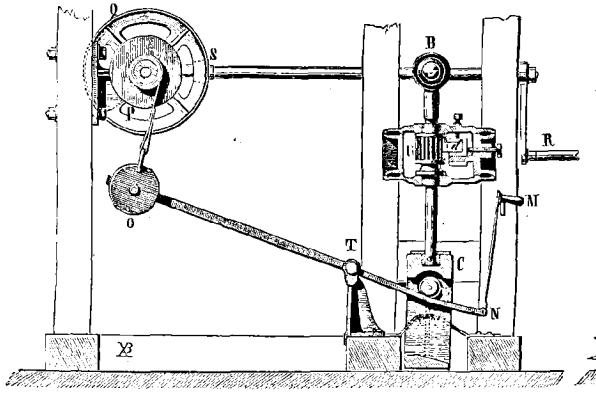
Donner une passe, c'est immerger une étoffe, un écheveau, un fil même, dans un bain de teinture ou dans faisant glisser sur les lissoirs pour mettre alternativement toute la longueur des fils en contact avec les bains ou les bouillons.

Mordancer, c'est préparer en les immergeant dans un bain convenablement composé les tissus qui ne se chargeraient pas de couleur lorsque cette couleur exige pour se fixer le concours d'un intermédiaire. Nous ne reviendrons pas sur la signification de cette expression qui, comme nous l'avons déjà dit, ne peint pas à l'esprit d'une manière exacte les phénomènes qui se passent pendant l'immersion ou l'acte de la teinture.

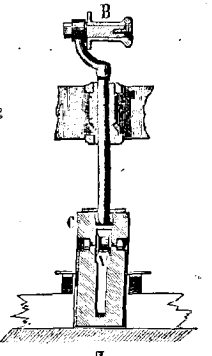
Pallier, c'est remuer avec le râble le dépôt qui se forme quand on ajoute au bain un nouveau dosage pour former un tout homogène; on pallie souvent un bain dans lequel on n'a rien ajouté pour éviter que le marc ne s'attache à la cuve et n'occasionne des soubresauts.

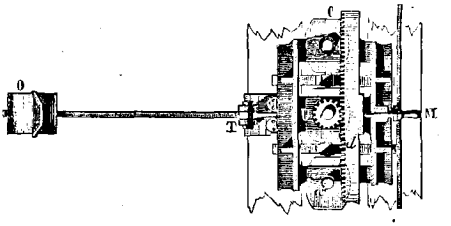
Rougir, c'est enlever au moyen d'une composition alcaline, acide, dégageant du chlore ou cédant de

3731.

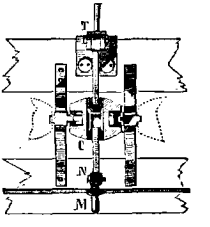


3732.





3733.



3734.

une préparation métallique, lorsque la teinture exige pour être complète deux ou plusieurs immersions ; on obtient ainsi les bleus, les noirs etc., par deux, trois ou quatre *passes*.

Donner un pied, c'est donner une première teinture à des étoffes ou des fils qui doivent être rechargés d'une autre nuance pour obtenir une couleur composée binaire. Les noirs grand teint reçoivent ainsi généralement un *premier pied de bleu* de cuve.

Éventer la mise, c'est battre la mise, la mettre en contact avec l'air atmosphérique, en l'agitant le plus possible pour renouveler les surfaces et développer les réactions dans lesquelles l'oxygène doit intervenir.

Lisser, c'est faire tourner les fils à teindre en les

l'oxygène une couleur déposée sur un tissu. C'est agir avec beaucoup plus d'énergie qu'on ne le fait pour *virer*, ou pour débouillir. Bien que cette expression de rongeant, synonyme d'altérant, d'enlevage, soit plus usitée dans l'impression sur étoffes, on s'en sert souvent pour la teinture proprement dite; elle devient synonyme alors de débouillir. On enlève par les altérants les couleurs des tissus qu'on reporte à la teinture pour en modifier la nuance. Les bains de chaux pour quelques couleurs métalliques, les chlorures de potasse, de soude et d'ammoniaque, les acides oxalique, tartrique, citrique, acétique, etc., sont employés comme *rongeants*. Leur degré de concentration est proportionnel à leur force, et tel rongeant étendu ne sert que pour blanchir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un tissu garancé, lorsque, plus concentré, il produit des enlevages.

L'acide hypochloreux libre peut être employé dans ces conditions, si l'on tient compte de la décomposition de l'hypochlorite de chaux en présence des sels de zinc.

En décomposant un équivalent d'hypochlorite calcique par un quart, un demi, ou un équivalent entier de sulfate zincique, on obtient un liquide d'une force blanchissante de plus en plus énergique, et qui finit par présenter tous les caractères d'une solution d'acide hypochloreux pur.

Les tissus passés dans ce bain dilué s'y blanchissent parfaitement sans que la nuance des rouges et des roses se ternisse; ils paraissent, au contraire, s'y aviver. Cette méthode est de beaucoup préférable à celle proposée par M. Steinbach, il y a quelques années seulement. Lorsqu'on applique une solution d'hypochlorite de chaux sur les pièces à blanchir, et qu'on les sèche ensuite sur des tambours chauffés à la vapeur pour convertir le sel en chlorate et chlorure, on arrête une action ultérieure; mais cette nouvelle application à l'art de blanchir les tissus garancés offre l'inconvénient de brunir sensiblement les rouges et les roses.

Roser, c'est porter au rose, et en généralisant éclaircir, vivifier, développer, exalter une couleur bon teint ou petit teint. On emploie quelquefois aussi par analogie ce terme pour désigner l'action du savon seul, employé directement après l'avivage.

Roser une étoffe ou toute autre matière à teindre, c'est changer le ton jaune d'une couleur rouge en une nuance qui tire davantage sur le cramoisi ou sur la couleur des roses.

Sickiouter se dit de l'opération par laquelle on passe une étoffe dans un bain de *sickious*, résidus des bains d'apprêts huileux des grands teints; ce nom vient des schettys indiens. Cette opération se fait quelquefois après le garançage dans le but de préparer à l'avivage; ce bain a nécessairement une réaction alcaline.

Teindre, proprement dit, s'entend de l'opération spéciale et bien distincte, au moins en grand teint, par laquelle on applique la substance colorante sur l'étoffe préparée par les opérations précédentes.

Ces diverses opérations, on le sait, ne sont cependant pas toujours distinctes; dans certains cas il n'y a pas d'apprêts organiques; dans d'autres, il n'y a pas de mordançage; la teinture se confond avec le mordançage quand le mordant fonctionne lui-même comme matière colorante; dans certains cas, de petit teint par exemple, on met immédiatement le mordant avec le bain colorant, quoiqu'en général on puisse prouver qu'il y aurait un avantage réel, pour épuiser parfaitement les bains de teinture, à faire de même que pour les grands teints, ces opérations séparément, ou d'après un certain mode de pratique qui ne les confonde pas absolument. La teinture, au reste, peut être simple, lorsque la couleur est simple, double ou triple, lorsque la couleur est composée, et suivant les cas, chaque teinture devra on pourra nécessiter les opérations antérieures et postérieures à la teinture proprement dite. Nous ajouterons, pour compléter l'ensemble des observations qu'il convient de présenter ici, qu'il est souvent indispensable d'apporter à la succession des passes quelques modifications en raison seulement de la nuance ou de la teinte qu'on veut produire; il est facile de prévoir que pour une nuance très-claire toutes ces opérations doivent être un peu différentes de celles convenables pour une nuance très-foncée. C'est ainsi qu'un mordant faible bien lavé n'a besoin que d'un dégorgeage faible, et qu'on peut même s'en passer. C'est ainsi que de faibles apprêts ne suffisent pas pour une teinture corsée et que de forts apprêts sont inutiles pour des couleurs légères; de même, les proportions des principes actifs du bain doivent être nécessairement augmentées et diminuées par les mêmes motifs; les liquides employés pour *aviver, roser* ou *virer* les teintes faibles, un lilas clair par exemple, n'ont pas besoin d'autant de force, *du même degré*, et du *même bouillon*, que pour les nuances fortes, un violet pur et un plus foncé; ce sont des observations de pratique auxquelles on pourrait en joindre quelques autres, qu'il serait impossible même de résumer ici, mais qui conduisent au succès complet des opérations.

Virer, c'est modifier par un dissolvant faible ou non la nuance que la teinture présente quand elle ne correspond pas à l'échantillon donné. Le virage opère une sorte de conversion. Le bain qui le produit a pour but, presque exclusivement dans les petits teints, de modifier la couleur directement par un sel avec excès de base ou d'acide pour l'amener soit à la nuance, soit au ton donné; ainsi, par exemple, en passant une couleur jaune de gaude dans un bain acide, on la détruit en apparence, elle devient blanche; mais en observant que la couleur n'est nullement enlevée du tissu, qu'elle n'est que virée, et qu'en passant dans un bain alcalin, le jaune reparaîtrait très-intense, on voit là l'exemple d'une nuance mixte où trop de jaune dominant sur l'échantillon peut être viré proportionnellement par un acide pour la ramener au ton demandé.

L'alunage qu'on donne à quelques couleurs de grand teint, après un avivage et même après un rosage, sur les couleurs puce, palliacat, mordoré, giroflée, mauve, etc., fait encore l'effet d'un bain de virage, utile ici pour échantillonner; il s'applique aussi comme rosage et comme mordant; l'alunage, dans les dispositions convenables, a aussi la propriété d'augmenter le poids du coton, et on le donne encore quelquefois en vue de cette seule spéculation par question d'économie.

§ XIII. De la teinture

considérée sous le rapport des procédés pratiques qu'elle met en usage.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer vont nous permettre d'exposer rapidement les opérations de la teinture en les appliquant aux diverses nuances qu'on produit journellement dans les ateliers. Les manipulations de la teinture, quoique peu variées et paraissant très-simples, exigent néanmoins des soins particuliers, une surveillance incessante et un coup d'œil très-exercé, qui permette de juger les qualités du bain, la température, la force, le degré d'appauvrissement des dissolutions, d'éliminer toutes les circonstances qui causeraient des inégalités dans les nuances, de déterminer avec précision si les nuances qui sortent du bain sont conformes à celles qui servent d'échantillon, enfin de graduer entre une série de nuances les différences que le commerce et la mode imposent au fabricant.

Pour échantillonner, il faut une très-grande habitude, et si cette opération, déjà difficile pour les lainages, offre de bien grands obstacles pour les couleurs claires, il faut un œil bien exercé pour juger sur soie et sur coton les couleurs foncées rabattues, surtout celles qui ne prennent leurs tons qu'après un avivage nécessité par les matières tinctoriales employées.

Appliquons actuellement les connaissances que nous avons acquises aux procédés de teinture applicables à la laine, à la soie et au coton.

Il nous semble inutile de donner dans cet article de nombreux dosages; il faudrait, pour répondre à tous les cas de la pratique, entrer dans des détails extrêmement multipliés et peu utiles. Nous ne nous occuperons en ce moment que des dosages usités pour la teinture de la soie, de la laine et coton, qu'au-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tant qu'elles seront nécessaires à l'exposé des méthodes.

Nous devons ajouter, d'ailleurs, comme réserve s'appliquant aux diverses recettes, que leur efficacité dépend en général de la mise en pratique des tours de main et de la qualité des matières colorantes employées.

Les tours de main connus des ouvriers ne se décrivent pas, et telle indication suffisamment précise pour celui qui sait, pour l'homme du métier, est obscure et souvent incomplète pour celui qui n'est pas initié. Dans tous les cas, les prescriptions que nous donnerons ne doivent être considérées que comme des exemples dont il convient de ne pas trop s'écarter pour obtenir une couleur donnée.

1. TEINTURE EN ROUGE.

La couleur rouge, comme nous l'avons vu, s'obtient avec différentes matières prises dans le règne végétal ou dans le règne animal; quelques-unes sont empruntées aux matières préparées artificiellement. Les rouges tirés de ces diverses substances varient dans leur teinte suivant leur origine et celle de la matière qui les fournit. On n'a pu jusqu'à ce jour les remplacer l'un par l'autre, en préparant au moyen de toutes les matières tinctoriales rouges une couleur uniforme.

Garance.

Lorsqu'on se sert de garance, toutes les opérations doivent être soignées, et de plus la qualité de la garance, sa provenance, parfaitement connue; tantôt, en effet, elle donne des nuances d'un rouge très-vif, tantôt, au contraire, elle ne produit que des nuances à reflets violacés ou jaunâtres, qui ne sont acceptables ni les uns ni les autres. Des observations précises ont permis d'expliquer ces effets et la richesse comparative des diverses garances; nous allons les résumer d'après M. Persoz.

La garance doit être envisagée sous le point de vue de son origine, sous celui de son âge et sous celui des altérations qu'elle a pu subir. Il est admis aujourd'hui qu'en employant pour une teinture en garance l'eau distillée d'une part, et de l'autre une garance provenant de terrains siliceux, on n'obtiendra pas de couleurs solides; tandis que la même garance, traitée par des quantités convenables de carbonate de chaux, ou mêlée d'une garance provenant de terrains calcaires, donnera les teintes les plus vives et les plus capables de résister aux agents atmosphériques lorsqu'on y aura recours pour aviver et blanchir les couleurs garancées. La craie semble un élément indispensable à la teinture en garance.

Entre les garances Paluds qui sont calcaires et celles d'Alsace qui ne le sont pas, il se trouve un grand nombre d'intermédiaires dont on n'aurait pas à s'occuper, s'il était possible, sans dépense inutile, de dépasser certaines limites dans la proportion de craie qu'il faut ajouter aux bains; mais il est constant que la craie fait fonction de base et qu'elle appauvrit le bain en précipitant à l'état de laque une quantité considérable de l'élément utile. Il faut donc tenir compte et de la craie que contient la garance et de celle qu'apportent les eaux dont on fait usage.

En ce qui concerne l'âge, il résulte d'observations anciennes que les garances d'un certain âge sont plus favorables à la teinture que les garances récemment récoltées. Il faut faire intervenir le développement des racines.

Lorsque les eaux dont on fait usage sont pures naturellement ou proviennent de la condensation des machines à vapeur, comme on s'en sert généralement pour alimenter les bains de teinture, cet élément n'a que peu d'importance; mais il n'en est plus de même lorsque ce liquide se trouve mêlé de substances salines provenant du sol qu'il traverse pour arriver au jour. Quand les eaux sont chargées de calcaire à l'état de bicarbonate, on les en dépouille ou par l'ébullition ou par l'addition d'une quantité de chaux égale à celle que contient le bicarbonate, ou par une addition de potasse et de soude, ou par du son de froment, ou par une petite quantité d'acide sulfurique ou d'acide oxalique. S'il y a tout à la fois du bicarbonate de chaux et du chlorure de calcium, l'addition de la potasse précipite toute la chaux; il se forme d'abord du carbonate de chaux et du carbonate de potasse qui, réagissant sur le chlorure de calcium, forme du chlorure de potassium et du carbonate de chaux; il s'ajoute au carbonate de chaux provenant du bicarbonate primitif. Il faut éviter cependant l'excès de carbonate de potasse. Si tout le sel n'est pas précipité par l'addition de la potasse, on peut, et c'est préférable, ajouter une certaine quantité de savon. Ce moyen est plus dispendieux.

Le mieux est dans beaucoup de cas de mettre la garance en présence de matières qui possèdent, comme les principes colorants de la garance, la propriété de précipiter la chaux, mais qui n'ont pas une aussi grande valeur; c'est ainsi qu'on explique l'addition du sumac et du quercitron.

Lorsque la chaux est à l'état de sulfate, on s'en débarrasse au moyen du carbonate de potasse ou de soude, qui par double échange forme du sulfate alcalin et du carbonate de chaux.

La magnésie se comporte à l'égard des réactifs que nous venons d'indiquer, comme à l'égard de la teinture, exactement de la même manière; il est donc facile d'en dépouiller l'eau; d'ailleurs, on sait que les eaux magnésiennes se présentent beaucoup plus rarement que les eaux calcaires.

Au point de vue de la teinture en rouge au moyen de la garance, le fer est un des éléments les plus nuisibles, car non-seulement il appauvrit les bains, mais il altère et fait grisonner les teintures; on s'en débarrasse par le phosphate de fer ou par la crème de tartre; il est indispensable de surveiller avec attention les eaux même les meilleures, qui par suite de crues accidentelles peuvent charrier ou dissoudre quelque peu d'oxyde de fer.

On a cherché par des expériences directes à se rendre compte de l'action qu'exerce la craie dans les opérations du garançage, lorsqu'elle a pour effet d'ajouter à la garance d'Alsace un pouvoir qu'elle n'a pas par elle-même; on s'est demandé si ce corps sature un acide dont l'existence est signalée dans le garançage, ou s'il devient partie intégrante de la combinaison colorée qui se combine avec le tissu lui-même. M. Persoz n'admet pas que la première raison soit sérieuse, car s'il n'y avait qu'un acide à saturer, tout autre corps que la chaux conduirait au même résultat; or l'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi. Au surplus, il a prouvé que dans l'acte du garançage il y a, lorsqu'on ajoute de la craie, fixation d'une certaine quantité de chaux qu'on retrouve dans les cendres, avant comme après l'avivage.

Non-seulement la chaux est remarquable par la nature de son action sur les bains de teinture, mais même les acides et les alcalis ont une influence très-notable; elle est en sens contraire de celle que la chaux paraît exercer. D'après des essais publiés dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse*, les alcalis diminuent le rendement des garances et les acides nitrique, acétique, etc., en font autant. Quant aux oxydes, il est remarquable, comme M. Schlumberger l'a déjà fait voir, que l'oxyde, l'hydrate et le carbonate de cuivre, annulent complétement le pouvoir colorant d'une garance.

Il est digne de remarque que les acides cependant redonnent une certaine force à des bains de garance épuisés, lorsque ces acides, comme les acides sulfu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rique, oxalique forment des sels calcaires insolubles. Il est vraisemblable d'admettre que le bain se charge d'un précipité de chaux avec la matière colorante, et que cette dernière ne se trouve mise à nu que par le déplacement qui résulte de l'addition de l'acide.

Le garançage proprement dit se compose d'opérations distinctes, le bouillon et la rougie. On pratique le bousage sur calicot et l'avivage sur toute teinture de garance. L'opération est quelquefois simple; la première teinture prend le nom de *retirage*, et la seconde celui de *garançage proprement dit*. Cependant cette distinction ne se fait pas toujours, parce que le fabricant a tout intérêt à rechercher une économie de main-d'œuvre.

Il ne faut pas élever à l'ébullition la température de la rougie, c'est-à-dire le bain de garance, car on a remarqué qu'avec la chaleur, le principe jaune se fixait sur la laine. En supposant qu'on ait à teindre de la laine en flocons, on compose le bouillon de la manière suivante, en prenant 100 kilogr. de laine pour base du calcul, 25 kilogr. d'alun, 6 kilogr. de tartre. Quand la matière est dissoute, on plonge la laine pendant trois heures dans la chaudière, qu'on amène progressivement à l'ébullition, puis on la place, après l'avoir lavée, dans des barques ou paniers, pour qu'elle reste sept à huit jours dans un endroit humide et fermé. Il faut éviter un excès de tartre qui ferait jaunir.

Pour faire la rougie, on mettra 50 kilogr. de garance d'Avignon extra-fine. On *pallie*, puis on plonge la laine qu'on mène et qu'on mouille également. On lave avec soin pour éliminer les parties ligneuses qui se fixeraient entre les filaments. On ajoute au garançage quelques kilogrammes de composition d'écarlate pour faire virer au rouge et donner à la teinture, en même temps que de l'éclat, de la solidité.

Lorsqu'on travaille sur des pièces, le bouillon, pour une pièce de 20 mètres qui pèse de 18 à 20 kilogr., contient 3.5 kilogr. d'alun et 1 kilogr. de tartre.

On fait bouillir pendant trois heures, on évente et on porte à la cave. La rougie se fait avec 6 kilogr. de garance et 1 kilogr. de composition d'écarlate; on mène vivement les pièces pour qu'elles ne soient pas tachées. On met beaucoup moins de garance que dans le cas de la teinture en toison, parce que la couleur, ne pénétrant que peu dans l'intérieur des fils, n'entraîne pas une aussi grande consommation. Nous avons cité cet exemple, qui est général, pour faire comprendre ce qui est déjà dit dans l'article de ce Dictionnaire.

Teinture de la soie. — D'après M. Guhlich, on obtient avec la garance une très-belle teinture en rouge en prenant pour 1 kilog. de soie 122 gr. d'alun et 30 gr. de dissolution d'étain. On laisse reposer la liqueur et on décante. On immerge la soie qu'on ne laisse séjourner que 12 heures. On a fait d'autre part une dissolution de garance avec 2 à 3 gr. bouillie dans une infusion de noix de galle. On maintient pendant une heure le bain à 60°, puis on porte à l'ébullition en donnant 5 à 6 bouillons pendant 2 minutes environ; on enlève la soie qu'il suffit de laver à grande eau pour la faire sécher au soleil. Cette couleur est vive, éclatante, solide comme le rouge d'Andrinople. L'alun peut être remplacé par une dissolution de fer qui donne une teinte violette très-riche. On peut lui donner plus d'éclat en l'avivant au moyen d'une teinture au brésil qu'on ajoute à la soie préparée par le sel d'étain, comme nous allons le dire.

Bois de Brésil.

Le rouge produit par le bois de Brésil s'applique aux étoffes communes ou tout au moins à celles pour lesquelles on ne peut exiger une grande stabilité. Les acides le font jaunir et les alcalis le font bleuir. On ne peut employer le bois en nature; l'usage est d'en faire une décoction qui permette d'obtenir des nuances vives et nourries. Il est d'usage aussi de conserver ces décoctions dans des cuves; car il est constant que le temps améliore le principe colorant contenu dans le bois de Brésil en augmentant son pouvoir tinctorial.

D'après M. Chevreul on obtient un très-beau rouge sur laine (rouge *amarante*), avec le bois de Brésil en opérant de la manière suivante: pour 10 kil. de laine, on monte la chaudière avec 2,400 gr. d'alun et 1,200 gr. de crème de tartre; on y manœuvre pendant 2 heures, on lève et on évente. On monte un bain neuf avec du brésil, puis on y lisse la laine pendant un quart d'heure à la température de 60°. Lorsque la nuance est au point voulu, conforme à l'échantillon, on lève, et on met de côté les 2/3 du bain qu'on soutire par un robinet, ou bien qu'on puise avec une poche; on refroidit avec de l'eau pure qu'on ajoute au bain pour remplacer le liquide qu'on a rejeté: on fait violeter la nuance avec de l'urine chargée d'ammoniaque. On lisse de nouveau, on lève et on lave.

Teinture de la soie. — Berthollet a fait connaître un dosage pour teindre la soie dans la nuance rouge *cramoisi* dont on s'éloigne peu même encore aujourd'hui; d'après les dosages qu'il a donnés, on prend de la soie cuite à raison de 20 parties de savon pour 100 de soie. L'alunage n'a pas besoin d'être aussi fort que pour le cramoisi solide qu'on obtient de la cochenille. On lave à la rivière et on lisse dans un bain de brésil d'une puissance déterminée par la nuance qu'on veut obtenir. Lorsqu'on a fait usage d'eau pure, de condensation de machine à vapeur, débarrassée de sels calcaires, la couleur est trop rouge, on la fait bleuir en passant la soie dans un bain légèrement alcalin ou même en lissant dans le bain additionné d'un peu de potasse. On peut encore laver dans une eau naturellement dure, jusqu'à ce que la nuance voulue ait été produite.

Pour préparer des cramoisis foncés ou bruns, on ajoute à la décoction de brésil une infusion de campêche, après que la soie a reçu un premier passage en brésil, puis on y mêle même un peu de carbonate alcalin, selon la nuance qu'on veut obtenir.

Murexide.

L'emploi de la murexide pour colorer les tissus ne date, ainsi que nous l'avons dit, que de quelques années, et l'application de cette nouvelle matière colorante, qui peut être regardée comme une conquête toute moderne, n'a pas été sans être accompagnée de nombreuses difficultés, tant dans ses rapports avec la teinture proprement dite que dans ceux qu'elle présente actuellement avec l'art d'imprimer les étoffes. Nous n'aurons pas occasion de revenir sur l'article IMPRESSION pour étoffes, très-complet dans le premier volume du Dictionnaire; nous étudierons donc, en parlant des couleurs nouvelles que la science a fournies à l'industrie, les conditions qui permettent d'appliquer à l'impression ces matières encore peu répandues.

La murexide, ou *carmin de pourpre*, ne se fixe sur les matières textiles, soie, laine, coton, fil que par l'intermédiaire des oxydes métalliques, capables de former avec ce composé des laques colorées, de véritables *purpurates* insolubles.

Les meilleurs résultats obtenus jusqu'à ce jour dans la pratique ont été fournis par l'emploi des sels de mercure pour les nuances rouges et pourpres, et par les sels de zinc pour les nuances orangés et jaunes. Il paraît indifférent de procéder comme pour les noirs en préparant d'abord avec les sels et teignant ensuite, ou bien en teignant d'abord et fixant après; il est même possible encore d'effectuer le mélange des deux matières, de filtrer et de faire passer le tissu qui s'empare de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laque au moment de sa formation au contact de la fibre. Par exemple, on teint la soie en pourpre, lorsque après avoir mélangé de la murexide et du sublimé corrosif, on lisse la soie dans la dissolution; la fibre textile absorbe la matière colorante en prenant une nuance plus ou moins foncée, suivant qu'elle a séjourné plus ou moins longtemps dans le bain limpide plus ou moins concentré.

Pour teindre la laine en pourpre, on la mordance d'abord avec un sel de mercure, soit du sublimé corrosif additionné d'acide oxalique, soit du sulfate de mercure, soit du tartrate double de mercure et de potasse, préparé par l'ébullition du bioxyde de mercure avec de la crème de tartre.

A ces sels il faut ajouter, à cause de l'action réductrice de la laine, un corps oxydant, tel que l'eau de chlore, du chlorure de chaux, du perchlorure ou de l'oxychlorure d'étain. Après la préparation et le lavage de la laine, on la teint dans un bain de murexide, soit seule, soit mélangée d'un sel alcalin, comme, par exemple, d'oxalate de soude.

Pour teindre en jaune on remplace les sels de mercure par ceux de zinc.

On peut faire usage des mêmes procédés pour fixer les produits d'oxydation encore incolores de l'acide urique, comme, par exemple, l'alloxane, l'alloxantine ou la simple dissolution de l'acide urique dans l'acide nitrique. Les tissus qui en sont imprégnés acquièrent une nuance rouge lorsqu'on les soumet à une température un peu élevée (par un courant d'air chaud, par le contact avec un métal chauffé, etc.). Pour fixer cette couleur, on passe la toile à travers un bain de sel de mercure ou de zinc.

Les produits d'oxydation incolores de l'acide urique se prêtent, suivant M. Brooman, assez facilement à la production de genres enluminés.

On teint, par exemple, une toile de coton en uni; on ronge ensuite la murexide au moyen de rongeants simples ou de rongeants mordants, qui, étant teints plus tard dans un bain d'une autre matière colorante, peuvent produire des dessins blancs, verts, noirs, jaunes, etc.

Au moyen d'une solution de murexide et de divers sels métalliques, on peut préparer différentes laques insolubles ou très-peu solubles, dont plusieurs présentent des teintes extrêmement vives et variées. Complétons les notions générales que nous venons d'exposer par des exemples pris dans la teinture en murexide de la laine, de la soie et du coton. Nous les empruntons aux communications publiées par le *Répertoire de chimie*, 1re année.

Teinture de la laine. — Les essais publiés jusqu'ici pour la teinture de la laine en murexide ont donné des résultats très-tardifs. Les meilleurs sont dus à M. Wurtz, directeur d'une fabrique de produits chimiques à Leipzig, qui les obtint en se servant de murexide préparée par MM. Depouilly frères et Cie de Paris, en suivant le procédé breveté de ces inventeurs.

On commence par nettoyer à fond les fils ou tissus de laine en leur donnant successivement des bains tièdes de carbonate de soude et de savon assez concentrés.

Ce nettoyage est tellement indispensable pour l'obtention de belles nuances, qu'il faut y porter la plus grande attention et employer des solutions alcalines aussi fortes que peut les supporter sans être altérée la fibre animale.

La laine, bien lavée, égouttée, éventée, est ensuite introduite dans le bain de teinture qu'on compose de la manière suivante :

Sur 12 kil. de laine :

Eau.	350 litres.
Murexide en poudre.	500 gr.
Nitrate de plomb. . .	15,000 gr.

On délaye et dissout la murexide dans une partie d'eau tiède avant de la verser dans la chaudière; d'un autre côté, on dissout le nitrate de plomb dans 30 à 35 litres d'eau bouillante; on verse la solution dans la chaudière et on y introduit immédiatement la laine. La teinture ne s'effectue pas immédiatement, la combinaison de la laque et du tissu est très-lente.

La température du bain ne doit pas dépasser 28 degrés centigrades; on le laisse refroidir peu à peu, graduellement. La laine doit y séjourner pendant quinze ou vingt heures.

On la retire, on la rince légèrement et on la fait passer dans le bain d'avivage et de fixage, dans lequel elle séjourne de cinq à sept heures, suivant que la nuance doit être plus ou moins bleuâtre.

Ce bain d'avivage, qui est toujours froid, se compose de :

Eau.	400 litres.
Sublimé corrosif. . . .	1 kilog.
Acétate de soude. . . .	3 kilog.

Après la teinture d'une partie de laine, une autre partie ayant le même poids peut être teinte de la même nuance, si l'on ajoute aux bains les trois quarts des matières primitivement employées.

D'après M. Depouilly, la murexide peut teindre la laine en cramoisi, mais cette dernière nuance demande des soins particuliers; la laine doit être préparée convenablement. Après avoir été bien blanchie et lavée, on finit par la faire passer dans un bain d'eau de chlore très-faible. Ce passage en chlore la rend un peu jaunâtre, mais cette légère coloration ne produit point d'effet nuisible à la teinture.

On donne un premier bouillon dans une solution aqueuse de sublimé corrosif et d'acide oxalique, renfermant 1 p. 100 de sel de mercure. On lave et on teint dans une simple dissolution de murexide dans l'eau.

On peut aussi procéder de la manière suivante : On pèse des quantités égales de murexide et de carbonate de soude dans de l'eau à 60 degrés centigrades; on dissout d'abord le carbonate de soude, puis la matière colorante rouge. On rend ensuite le bain acide par l'addition d'acide oxalique, ou mieux encore, de bioxalate de potasse, puisqu'il faut éviter d'avoir un bain trop acide, qui ne se conserve pas bien; on teint à chaud à 60 ou 70 degrés centigrades.

Enfin, l'on peut aussi imprégner la laine d'une solution assez concentrée de murexide, l'exprimer fortement et la laisser sécher à l'air; on l'introduit ensuite dans un bain qui marque au thermomètre 40 à 50 degrés, et qui renferme :

Eau.	10 kil.
Sublimé.	60 gr.
Acétate de soude . . .	75 gr.

Teinture de la soie. — M. Depouilly donne les recettes suivantes pour teindre en pourpre ou en cramoisi. On chauffe de l'eau à 80 ou 90 degrés centigrades et on y dissout environ 5 p. 100 de son poids de murexide. D'un autre côté, on prépare un bain de solution aqueuse de sublimé corrosif (4 p. 100 du poids de l'eau), qu'on acidule par de l'acide acétique. Ce bain doit être parfaitement clair et limpide.

On ajoute à la solution froide de la matière colorante une quantité du bain de sublimé équivalente à trois fois le poids de carmin de pourpre employé. On teint à froid et en agitant continuellement la soie et le bain coloré, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la nuance désirée.

On avive ensuite dans une solution aqueuse froide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sublimé, renfermant 3 p. 100 de ce sel : cet avivage est très-important, puisqu'il donne de l'éclat à la couleur; on lave ensuite très-exactement, et la nuance reste d'autant plus belle que le lavage a été plus parfait.

On peut opérer d'une autre manière, qui est surtout employée pour la teinture des tissus en soie de Chine.

On dissout dans de l'eau tiède autant d'acide oxalique qu'elle peut en retenir; dans cette solution on introduit le carmin de pourpre, et dès qu'il est dissous on y verse immédiatement le bain de sublimé corrosif, composé d'après les préparations indiquées plus haut; on teint à froid.

Toute l'opération doit être exécutée avec une grande rapidité, parce que l'acide oxalique peut réagir sur le carmin de pourpre et le détruire, au moins en partie, si l'on attend trop longtemps avant d'ajouter le chlorure mercurique. Un passage en eau de savon, à 80° centigrades et renfermant en savon 30 p. 100 du poids de la soie, fait virer la couleur au cramoisi violacé.

Pour réussir dans de pareilles préparations, il est nécessaire d'employer une murexide de bonne qualité, comme celle que MM. Depouilly préparent.

Pour teindre la soie en jaune, on opère comme précédemment; seulement, au lieu de sublimé corrosif, on emploie environ la même quantité d'un sel de zinc quelconque, pourvu qu'il soit aussi neutre que possible. Après la teinture, on passe la soie dans une solution de carbonate de soude tellement faible qu'elle marque à peine à l'aréomètre, et on finit par un lavage des plus soignés.

Impressions en murexide. — L'application de la murexide dans l'impression des laines présente des difficultés toutes particulières, cette matière colorante ne supportant pas le vaporisage et ne pouvant par conséquent point être imprimée conjointement avec d'autres couleurs-vapeurs. M. Th. Wurtz annonce cependant avoir réussi à préparer des laques de murexide qui permettent d'imprimer sur laine, conjointement avec d'autres couleurs, la pourpre dans toutes les nuances, depuis le pourpre foncé jusqu'au rose clair le plus vif.

La murexide est employée pour l'impression sur coton; voici, d'après M. Kopp, la méthode proposée par M. Lauth : on commence par fixer sur le tissu de l'oxyde de plomb, soit en plaquant en acétate de plomb, séchant et passant dans une solution d'ammoniaque caustique, soit en passant dans la cuve au plombate de chaux (solution d'oxyde de plomb dans de l'eau de chaux). En teignant ensuite dans un bain de murexide, on obtient une combinaison de la matière colorante avec l'oxyde de plomb. Mais ce purpurate de plomb fixé sur le tissu ne présentant par lui-même une nuance ni suffisamment belle, ni suffisamment vive, il faut encore le transformer en purpurate de mercure. On y arrive en plongeant le tissu dans un bain renfermant 1 à 1,5 p. 100 de nitrate mercurique, de sublimé corrosif, ou d'un mélange de ces deux sels, avec addition d'une certaine quantité d'acétate de soude.

Pour l'impression, on prépare une couleur en épaississant du nitrate de plomb à chaud et ajoutant ensuite à froid une quantité de murexide suffisante pour obtenir la nuance désirée. On imprime, on sèche et on passe le tissu dans un bain avivant et fixant, renfermant par hectolitre d'eau 1/2 kilog. de sublimé corrosif et 1 kilog. d'acétate de soude, plus une certaine quantité d'acide acétique. D'après quelques fabricants, il est utile, après l'impression, de maintenir le tissu pendant plusieurs heures dans un endroit un peu humide, et de le faire passer ensuite à travers une chambre chauffée à 70° centigrades, et dans laquelle on fait dégager du gaz ammoniac; le passage à travers cette chambre doit être rapide : il ne faut pas qu'il dépasse une minute.

La beauté de la nuance, sa vivacité dépendent de la pureté de la murexide employée et du peu d'élévation de la température qu'elle a subie pour être fixée.

M. Kopp nous a fait connaître un second procédé. M. de Kurrer emploie la murexide en poudre ou en pâte; il procède de la manière suivante.

On prépare d'abord la couleur d'impression.

Dans 72 litres d'eau bouillante on dissout 24 kilog. de nitrate de plomb, et lorsque la solution s'est refroidie jusqu'à 62° centigrades, on y incorpore 5 kilog. de murexide sèche en poudre ou 15 kilog. de murexide en pâte en même temps que 36 kilog. de gomme pulvérisée. Le tout étant très-homogène, on fait passer à travers une toile ou un tamis fin, et on laisse refroidir la couleur qui est prête à être imprimée.

Après l'impression, les toiles sont suspendues dans un local humide, jusqu'à ce que les places imprimées se soient ramollies, puis on procède à la fixation du purpurate plombique au moyen de l'ammoniaque. A cet effet, on suspend les toiles pendant une heure dans une chambre dans laquelle le gaz ammoniac se dégage graduellement d'un mélange de chaux vive et de sel ammoniac.

Les toiles, après avoir été soumises à l'action du gaz ammoniac, sont ensuite passées par le bain de sublimé corrosif, composé de 2,600 gr. de sublimé dissous dans 1,500 litres d'eau. A cet effet, on attache trois pièces bout à bout (la pièce ayant en moyenne 45 mètres de longueur sur 1 mètre 20 de largeur), et on les manœuvre au moyen du tourniquet dans le bain chauffé. Pour trois nouvelles pièces il faut ajouter au bain chaque fois environ 100 gr. de sublimé corrosif. Si les pièces sont peu chargées, le bain peut servir avec ces additions successives de sublimé au passage de trente pièces; mais si celles-ci étaient chargées de grands dessins, il faudrait renouveler le bain après le passage de vingt pièces.

En opérant de cette manière, on obtient des impressions d'un rouge pourpre très-brillant. Pour obtenir des nuances plus claires, on n'a qu'à étendre la couleur d'impression avec du bain de gomme pure en quantité plus ou moins considérable.

Les couleurs de murexide imprimées de cette manière sur coton supportent un savonnage à 60° centigrades sans grand préjudice et peuvent même être chlorées au rouleau; mais elles ne supportent point le vaporisage, ce qui empêche d'associer la murexide aux couleurs-vapeurs ordinairement employées pour l'enluminage.

Sur toiles teintes en nuances unies par la murexide, on peut produire des dessins en modifiant la combinaison colorante au moyen d'agents oxydants ou réducteurs.

En imprimant, par exemple, un sel de zinc acide, on produit des dessins orange; avec un sel stanneux on obtient des dessins gris.

D'un autre côté, en appliquant la murexide sur toiles teintes en bleu d'indigo, un peu clair, on obtient des dessins violets, et sur une toile jaune des dessins orange très vifs.

Sur tissus de soie ou de laine teints en murexide, on peut faire apparaître des dessins jaunes en imprimant de l'acide picrique additionné d'un acide capable de détruire la murexide.

On peut préparer une couleur d'application sur coton en ajoutant à 1 litre de la couleur au nitrate de plomb 32 gr. de sublimé corrosif et autant d'acétate de soude dissous chacun dans 250 centimètres cubes d'eau bouillante. Cette couleur ne peut être appliquée qu'avec des planches ou des rouleaux de bois, les rouleaux métalliques décomposant le sublimé et altérant la nuance. Les toiles imprimées sont suspendues et éventées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pendant trois à quatre jours et lavées ensuite dans de l'eau courante.

Après le passage des pièces dans le bain de sublimé, on les suspend dans de l'eau courante, et l'on finit par le passage dans l'acétate de soude.

Le bain d'acétate de soude se compose de 3,000 litres d'eau renfermant en dissolution 1 kilog. d'acétate de soude et 1 kilog. de sel ammoniac.

Dans ce bain, on agite ensemble dix pièces pendant vingt minutes; on les retire, on les rince dans l'eau courante, on les exprime dans l'hydro-extracteur, et on les fait enfin sécher à la température ordinaire; dix nouvelles pièces sont traitées dans le même bain après qu'on y a fait dissoudre préalablement 1 kilog. d'acétate de soude.

Carthame.

Le prix élevé du carthame fait surtout réserver cette matière pour la teinture de la soie; au reste, rien de plus facile que de faire cette teinture, lorsque le carthame dont on fait usage est convenablement préparé.

Teinture de la soie. — Le carthame se combine avec la soie sans aucune préparation; l'acide carthamique est, sans contredit, l'une des matières tinctoriales les plus faciles à manier; son affinité pour la soie et le coton est telle, qu'il suffit de plonger ces matières dans une eau qui tient en suspension ce principe nouvellement précipité pour qu'elles se colorent immédiatement en un beau rose brillant.

Si l'on veut avoir des nuances très-délicates sur soie, il faut d'abord appliquer la couleur sur le coton, le laver avec soin, puis dissoudre le rose dans le carbonate de soude; il reste en contact avec le coton un principe colorant, jaune ou jaunâtre, dont la dissolution est dépouillée. Le carthamate alcalin est ensuite décomposé par un acide faible comme le jus de citron, en présence des écheveaux de soie sur lesquels on veut transporter la couleur. On obtient ainsi des roses plus purs, plus brillants, plus unis.

On peut obtenir avec le carthame la couleur *ponceau*. Il suffit de faire des passes successives jusqu'à ce que la soie cesse d'enlever au bain de la matière colorante. C'est ainsi qu'on prépare le ton le plus haut que l'on puisse préparer avec le carthame. On suit la même marche pour les cerises foncés et les nacarats; mais, en pareil cas, il faut donner un pied de rocou. Au surplus, la cochenille donne facilement sur soie les couleurs les plus vives.

Cochenille.

Les plus beaux tons rouges qu'on puisse obtenir sur laine portent le nom d'écarlate; ils ont un reflet jaune; les écarlates à reflet rouge sont connus sous le nom de ponceau. L'emploi de la cochenille est basé sur la propriété que possède la matière colorante de la cochenille de se fixer avec la dissolution de tartre ou de protochlorure d'étain. Les compositions d'étain ont, à cause de cette propriété, reçu dans l'industrie le nom de composition d'écarlate, ou même simplement d'écarlate. La préparation de ces couleurs exige, comme les autres teintures en rouge, deux opérations successives, le *bouillon* et la *rougie*. On doit choisir de l'eau pure pour le bouillon, ou du moins aussi pure que possible; on doit éviter les sels métalliques dont le plus grave inconvénient serait d'altérer la nuance. On doit se servir de bassines d'étain pour la rougie; cependant on peut faire usage de caisses de cuivre, si l'on a soin, par de fortes cordes, de maintenir les objets à teindre pour les empêcher de prendre contact avec la chaudière elle-même.

Le bouillon contient toujours une première dose de cochenille; cette précaution est indispensable pour les couleurs foncées. Lorsque le bain est préparé pour le bouillon, on y verse la dose convenable de tartre et de cochenille, c'est-à-dire pour 50 kilog. de drap, 3 kilog. tartre, 250 gr. cochenille, 250 gr. composition d'étain. On passe les pièces et on les mène pendant un quart d'heure. On ralentit et on laisse bouillir pendant une heure et demie. On lave à l'eau courante les pièces préparées par ce bouillon. On prépare un nouveau bain, dans lequel on jette à l'ébullition 2 kilog. 750 de cochenille qui vient former à la surface une sorte d'écume lie de vin. Quand cette écume crève, on rafraîchit le bain pour y passer les pièces; quelques minutes avant, on avait versé la composition d'étain sous le poids de 7 kilogrammes.

Le ton jaune de l'écarlate semble provenir de la destruction d'une partie du principe colorant rouge par suite du contact avec l'acide tartrique, ou l'acide chlorhydrique; on la regarde à ce titre comme très-coûteuse; on a cherché s'il n'y aurait pas moyen de l'obtenir avec économie par l'addition d'un principe jaune; les essais ne réussissent guère que pour les étoffes grossières. Les matières colorantes jaunes sont alors le fustet ou le curcuma; ils conduisent à des tons faux et rabattus. Quand on fait usage du fustet, on l'introduit sous le poids d'un kilogramme dans le bouillon dont les doses ont été données plus haut. Quand on fait usage du curcuma, c'est généralement avec la rougie qu'on l'introduit; dans les deux cas, on cherche l'économie de la matière coûteuse, de la cochenille, en la remplaçant pendant le travail; on diminue les doses de tartre et de composition d'étain.

Teinture des laines en écheveaux. — Comme on ne peut redouter l'inexactitude des dosages donnés par M. Chevreul, directeur des teintures aux Gobelins, nous emprunterons à ses communications désintéressées les procédés et dosages dont on se sert dans les ateliers qu'il dirige au grand honneur des sciences appliquées.

On prépare sur laine avec la cochenille, indépendamment de l'écarlate, du ponceau, du rose, de la couleur groseille, de l'amarante.

Pour teindre en ponceau pour 10 kilog. de laine en écheveau, la chaudière étant à l'ébullition, on la monte avec 600 gr. de solution d'étain pour l'écarlate, 600 gr. de crème de tartre, 100 gr. de cochenille moulue, et 100 gr. de curcuma en poudre. On y lisse les écheveaux pendant une heure et demie; on lève les laines, puis on les lave à l'eau courante. Voilà pour le bouillon.

La rougie se compose de 600 gr. de dissolution d'étain pour l'écarlate, de 200 gr. de crème de tartre, et 900 gr. de cochenille moulue. On lisse le bouillon jusqu'à la nuance; on lève et on lave à l'eau courante.

Pour les roses à la cochenille, toujours pour 10 kil. de laine, préalablement blanchie à l'acide sulfureux, puisque la nuance est très-claire, on monte le bain avec de l'eau qu'on a fait bouillir, mais dont la température n'est plus qu'à 50 degrés; on a fait dissoudre au bouillon 1 kilog. de crème de tartre et 250 gr. d'alun. On ajoute plus ou moins de cochenille ammoniacale, suivant la puissance de la nuance qu'on veut préparer; on lisse la laine le plus promptement possible; plus la manœuvre est rapide, plus la couleur est éclatante.

Pour teindre en groseille, on monte le bain avec 2 kilog. de crème de tartre, 1 kilog. d'alun et 1 kilog. de cochenille ammoniacale; la quantité de cochenille est, du reste, variable avec la nuance plus ou moins foncée qu'on veut préparer, et jusqu'à laquelle on mène la laine au bouillon, ce qui peut durer de une heure à une heure et demie. On lève, puis on rince à l'eau courante.

Pour obtenir l'amarante, on monte la cuve avec 2,400 gr. d'alun, 1,200 gr. de crème de tartre, on manœuvre pendant deux heures sur le bouillon; on lève et on évente; on fait bouillir dans le bain pendant un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quart d'heure 1 kilog. de cochenille moulue; on arrête le bouillon; on entre les laines, qu'on lisse pendant une heure. Pour assurer la nuance, on donne un bouillon pendant un quart d'heure; on lève, on évente, puis on lave à l'eau courante.

Lake-dye.

On allie souvent à la cochenille le lake-dye. On opère au moyen de deux bains distincts. Pour obtenir la couleur ponceau, supposant qu'on veuille teindre 10 kil. de laine, on garnit la chaudière avec 1,200 gr. de dissolution d'étain pour écarlate, 1,200 gr. de crème de tartre, 100 gr. de cochenille en poudre, 100 gr. de curcuma pulvérisé; on lisse pendant environ une heure, on lève et on rince. On remonte ensuite le même bain avec 1,200 gr. de dissolution d'étain, 400 gr. de crème de tartre, 1,250 gr. de lake-dye pulvérisé; on lisse encore les laines pendant trois quarts d'heure; on soutire le bain; on lave de suite pour éloigner la matière résinoïde que cette substance tinctoriale contient en quantité notable.

On monte à neuf la chaudière avec 600 gr. de dissolution d'étain, 200 gr. de crème de tartre et 250 gr. de cochenille moulue; on lisse au bouillon pendant une heure environ, ou mieux tant que la nuance n'est pas obtenue; on lève, puis on rince à l'eau bouillante.

Kermès.

Lorsqu'on fait usage du kermès pour teindre la laine on distingue deux opérations, le bouillon et la rougie; on se sert pour le bouillon de la même composition que pour l'alunage de la laine. La rougie comporte en kermès les 2/3 du poids de la laine et quelquefois même le poids exact lorsque la graine n'est pas nouvelle. On mène la mise jusqu'à ce qu'on soit à la hauteur que l'on désire. La couleur que le kermès communique à la laine a moins d'éclat que celle que la cochenille reçoit après qu'on la fait monter avec les sels d'étain. On a pendant longtemps nommé l'écarlate au kermès *écarlate de graine*, parce qu'on confondait cet insecte avec une graine.

On nomme écarlate semi-graine la couleur obtenue par l'emploi simultané du kermès et de la garance. Ce mélange fournit une couleur très-solide, mais qui n'a pas tout l'éclat qu'on peut désirer. Le kermès donne néanmoins des teintes roses assez jolies; il est regrettable que son emploi ne soit pas plus répandu de nos jours.

Fuchsine.

La plus belle coloration rouge qu'on connaisse aujourd'hui s'obtient sur soie par la matière colorante extraite de l'aniline par MM. Renard frères, de Lyon, d'après les observations de M. Verguin. Aucune matière colorante à ma connaissance, dit M. Chevreul, n'est comparable à la fuchsine pour l'éclat, l'intensité et la pureté de la couleur. Avant la fuchsine, c'était la carthamine qui donnait le plus beau rose.

Aucune teinture, si ce n'est la carthamine, ne donne plus facilement tout ce qu'on en attend. Il n'y a de précaution à prendre qu'avec certaines variétés d'origine déterminée, comme l'azaléine, qui sont accompagnées, pendant la transformation de l'aniline sous l'influence des agents transformateurs, d'un excès de sels d'aniline ou de matières résineuses qu'il faut éliminer avec soin.

Un bouillon dans une certaine quantité d'eau, puis une filtration dans une chausse de laine, telles sont les précautions qui suffisent pour donner un bain convenable.

Quand on se sert de l'azaléine, on obtient généralement une nuance un peu plus violacée qu'avec la fuchsine de M. Renard; nous avons déjà dit que cette circonstance tient non pas à ce que la matière colorante est différente, mais bien à ce qu'elle est accompagnée d'indisine ou d'un autre principe bleu différent de l'indisine et de la fuchsine.

La coloration de la laine et de la soie se fait sans préparation : cependant généralement on ajoute au bain un peu d'acide tartrique pour aviver la nuance. On n'opère pas au-dessus de 50 à 60 degrés centigrades; on mène vivement jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance désirée.

Nos appréciations, au sujet du brevet de M. Renard, ont été vivement critiquées dans l'*Industriel alsacien* (21 octobre 1860).

Ces attaques, dont la forme semblerait dévoiler des intérêts froissés, me prouvent que les experts ont touché juste. Le document dont je parle se termine d'ailleurs par des conclusions qui ne tendent rien moins qu'à consacrer les droits de M. Renard et frères, de Lyon. Ni M. Perkin, au premier jour, ni M. Hoffmann, actuellement, ne revendiquent pour eux l'honneur de la découverte du fait capital industriel que M. Verguin a le premier observé, et que MM. Renard ont appliqué. Tant que ces chimistes n'auront pas parlé, je persisterai dans mon opinion qui n'a rien de fâcheux pour leur mérite, savoir : que M. Hoffmann n'avait pas attaché la moindre importance aux colorations qu'il avait observées, colorations en dehors des recherches qu'il poursuivait, et que M. Perkin n'avait pas eu l'occasion de voir la coloration rouge dont on lui a tout d'abord attribué la découverte.

2. TEINTURE EN VIOLET.

Orseille.

On sait qu'il est très-facile d'obtenir avec l'orseille la magnifique teinture violette amarante qu'elle est susceptible de donner. Il suffit, en effet, pour opérer une teinture, de délayer dans un bain d'eau tiède la quantité d'orseille qu'on juge nécessaire pour la quantité de laine ou de soie sur laquelle on veut opérer. On chauffe ensuite le bain dans lequel on peut ajouter un peu de dissolution d'étain en portant la température dans les environs de 90 à 95 degrés, on mène la mise autant de temps qu'il en faut pour arriver au ton demandé. On n'obtient toutefois de nuances agréables sur laine que celles qui sont assez foncées.

En rappelant une ancienne observation d'Hellot, savoir, que l'orseille à laquelle on ajoute une petite quantité de sel d'étain devient plus solide que l'orseille pure, on se demande comment il se fait qu'on ait attendu jusqu'à ces dernières années pour fixer une couleur tellement utile en teinture, que Berthollet déplorait l'abus que les teinturiers étaient portés à faire de cet élément.

Teinture de la soie. — L'orseille seule colore la soie dans les nuances lilas; elle servait surtout autrefois pour modifier le ton de certaines teintures obtenues au moyen d'autres principes.

Pour teindre en orseille, on fait bouillir dans une chaudière ce qu'il en faut pour une quantité donnée de soie blanchie; on fait écouler toute chaude l'orseille débarrassée des impuretés qui restent au fond de la cuve de dépôt, si l'on se sert d'orseille ordinaire, et on lisse avec beaucoup de rapidité les soies dégorgées avec du savon, jusqu'à ce qu'on ait obtenu la nuance conforme à l'échantillon. On lève et on rince à la rivière.

Les diverses améliorations introduites dans la fabrication de l'orseille ont singulièrement amélioré cette teinture qui rend aujourd'hui les plus grands services pour les soieries. Nous avons déjà dit les nuances différentes que produisent MM. Guinon, Marnas et Bonnet de Lyon.

On avait déjà remarqué que la couleur gagnait en solidité, lorsqu'avant ou pendant le passage en orseille la soie avait le contact avec une dissolution d'étain.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette méthode permet la fixation simultanée des autres principes colorants que le sel d'étain peut rendre adhérents à la soie.

Lorsqu'on fait usage de la pourpre française avant sa précipitation sous forme de laque, il suffit, pour monter un bain de teinture, de dissoudre dans un peu d'ammoniaque et d'étendre d'une quantité convenable d'eau pure.

Lorsqu'on fait usage de la laque calcaire, on commence par mettre la matière colorante en liberté par l'addition d'un acide capable de former avec la base un composé peu ou point soluble; on a recours à l'acide sulfurique ou à l'acide oxalique.

On ajoute ensuite de l'ammoniaque pour dissoudre la matière colorante; le bain de teinture se trouve tout monté.

On peut aussi teindre directement avec la laque calcaire, pourvu qu'on ajoute au bain du carbonate d'ammoniaque. Par l'effet d'une double décomposition déterminée par l'élévation de température, l'acide carbonique s'unit à la chaux, tandis que la matière colorante entre en dissolution en se combinant avec l'ammoniaque.

Lorsqu'on veut obtenir avec la pourpre française des nuances bien pures, il est bon de blanchir d'avance à l'acide sulfureux la laine ou la soie.

En somme, on voit que rien n'est plus facile que de teindre avec la matière de M. Guinon, et comme elle résiste à l'action des acides, il en résulte qu'on peut passer les fibres teintes en pourpre dans toutes les couleurs qui ne se fixent que par les acides, et arriver à produire ainsi les effets les plus variés. M. Persoz a fait connaître qu'en l'associant au carthame on obtient des nuances fleur de pêcher, groseille, rose des Alpes, qui ne laissent rien à désirer; les échantillons que M. Guinon a bien voulu mettre à ma disposition démontrent qu'en l'associant à l'indigotate de soude, elle peut produire toutes les nuances violettes jusqu'au bleu violacé. Les avantages de l'orseille solide ne se bornent pas à la teinture; on peut s'en servir pour l'impression, en préparant une laque avec l'alumine. On la dissout dans l'acide acétique, on ajoute un peu de magnésie, on épaissit à l'albumine, puis on vaporise après l'impression.

Mais il existe une méthode plus rapide, qui consiste, suivant la nature des tissus, à imprimer simplement un mélange d'albumine et de matière colorante, et à dessécher; on peut encore imprimer de l'albumine seule, la faire sécher, et passer ensuite le tissu dans un bain de pourpre française, monté comme on l'a vu. Les parties chargées d'albumine se teignent seules: l'albumine fait fonction de mordant organique.

Indisine, anilèine.

Nous avons déjà dit tout l'intérêt qui s'attache à la production du nouveau violet d'aniline; nous avons fait connaître les conditions les plus avantageuses dans lesquelles s'effectue son application au coton. Ce perfectionnement dans l'art de la teinture a mis en relief l'importance des mordants organiques. Depuis les travaux d'Hausmann sur la valeur des mordants, de nombreuses applications en ont été faites, et l'albumine a servi pour fixer l'orseille d'abord, le violet d'aniline ensuite. M. Barreswill cite ce fait intéressant que, dès 1847, M. Dollfus-Ausset de la maison Dollfus-Mieg a fait imprimer de l'albumine préalablement dissoute dans l'eau et additionnée d'une petite quantité d'huile, pour donner à l'étoffe une certaine souplesse que ne possède plus le tissu lorsque l'albumine est coagulée. En supposant une impression en uni on teint dans un bain d'orseille; en sortant du bain on vire en passant la couleur dans un bain d'eau de chaux faible.

L'emploi du violet d'aniline en teinture repose sur la même préparation, et c'est, d'après M. Barreswill, à l'année 1847 qu'il faut faire remonter la première application des principes posés par Hausmann dans son travail sur les mordants organiques.

L'albumine s'emploie pour la fabrication du violet d'aniline de trois manières différentes. C'est surtout comme impression qu'on en fait usage à Mulhouse. Trois maisons semblent se disputer l'honneur de ce perfectionnement remarquable. M. Dollfus-Mieg, MM. Kœchlin frères et Steinbach-Kœchlin; enfin M. Perkin prend sa part dans la priorité.

Le procédé le plus direct consiste à épaissir la dissolution d'indisine avec de l'albumine. Ce serait la méthode la plus simple, donnant les résultats les plus convenables par rapport à la solidité de la teinture, si le précipité que forment les deux principes pouvait être divisé, et si le tamisage ne conduisait pas à des pertes considérables.

Le second procédé consiste à préparer le tissu par une eau d'albumine; on imprime ensuite la dissolution de l'aniléine sur les tissus préparés. Cette méthode fournit les nuances les plus transparentes et les plus unies. On ne peut lui opposer que les inconvénients de la roideur que prend l'étoffe, et les difficultés de l'enluminage par rentrures.

Une troisième méthode, très-ingénieuse, consiste à teindre dans la dissolution d'aniléine l'étoffe imprimée préalablement en albumine; on blanchit ensuite les fonds au moyen du chlorure de chaux.

3. Teinture en bleu.

Bois de Campêche.

On emploie le campêche pour teindre en bleu la laine et la soie, pour obtenir des nuances violettes ou noires, enfin pour *remonter* un pied léger de bleu solide ou de cuve.

On donne aux bleus de campêche le nom de *bleus faux;* ces couleurs, du reste, à part les inconvénients de leur peu de solidité, offrent de grands avantages à cause de la facilité de leur exécution.

On commence par donner un bouillon, composé, par exemple, pour 100 kilog. de laine, de 4 kilog. d'alun et 200 gr. de tartre; le bouillon dure une heure et demie; on verse dans le bain une décoction de campêche, et on précipite en bleu par le sulfate de cuivre, qui donne une nuance d'un bleu pur. On plonge la laine à l'ébullition, puis on la mène vivement pendant un quart d'heure. On lève, on évente, puis on lave. Le bleu de roi ou bleu d'enfer s'obtient au moyen de plusieurs passages. Voici les doses pour 100 kilog. de laine; on garnit le bain de 10 kilog. d'alun, 2 kilog. de tartre, 1 kilog. de vitriol bleu et des copeaux de campêche; on plonge la laine, on la mène, puis on laisse bouillir trois heures. On ajoute de nouveaux copeaux, on fait bouillir encore jusqu'à ce que la teinture ait acquis l'intensité désirée. On ajoute ordinairement de la sorte de 15 à 18 kilog. de copeaux. On fait bouillir une demi-heure, et on ajoute la laine, qu'on maintient à l'ébullition pendant une heure. On peut donner un premier pied de bleu solide. On peut donner deux ou trois passages successifs. Quelquefois, on termine par un avivage, surtout quand on ajoute du sel d'étain dans la composition. On avive par un bain qui contient 200 gr. de sulfate de cuivre par pièce de drap. On mène pendant un quart d'heure d'ébullition, on abat, on évente et on lave.

Le campêche, appliqué pour teindre la soie, est d'un usage assez répandu; la teinture se fait à la température de 30 ou 40 degrés.

La réaction du bichromate de potasse sur la décoction de bois de Campêche a conduit à des nuances nouvelles. M. Kopp, qui les a décrites, en fait le résumé suivant :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« On sait depuis longtemps, qu'en ajoutant à une décoction de bois de Campêche une petite quantité de bichromate de potasse, soit pur, soit additionné de son poids d'acide sulfurique, on obtient un liquide bleu foncé constituant une encre très-économique et pouvant servir à la teinture. Les proportions suivantes ont été indiquées pour la teinture du coton.

« A 500 litres d'extrait liquide de campêche, marquant 2 degrés Baumé, on ajoute 1,500 gr. de bichromate de potasse, préalablement dissous dans de l'eau et additionnés de 3 kilog. 1/2 d'acide chlorhydrique à 22 degrés Baumé. On plonge les toiles ou les écheveaux de fil de coton dans la liqueur, et l'on élève la température peu à peu jusqu'à l'ébullition. Le coton se teint ainsi en bleu indigo foncé, qui prend une teinte violacée, si on le sèche sans le laver préalablement; si, au contraire, on lave d'abord dans l'eau ordinaire, ce reflet violet disparaît et la nuance devient bleu noirâtre très-foncé. Cette teinture est très-économique, puisque les proportions ci-dessus indiquées peuvent servir à teindre 1,000 à 1,200 kilogrammes de coton.

On peut aussi commencer par préparer un mordant de chrome en dissolvant 1 kilogramme de bichromate de potasse dans l'eau, ajoutant 1 kilog. d'acide sulfurique, et ensuite, peu à peu, une quantité suffisante de mélasse ou de dextrine pour désoxyder l'acide chromique.

Dans ce liquide, suffisamment étendu d'eau, on mordance la toile à chaud et on la teint ensuite en campêche, ou bien l'on ajoute le mordant au bain de teinture, et l'on y plonge la toile, en élevant peu à peu la température jusqu'à 90 à 95 degrés centigrades.

Pour teindre 50 à 60 kilog. de coton, on emploie la décoction d'un poids égal de bois de Campêche, et le mordant de chrome résultant de la réduction de 67 gr. de bichromate de potasse.

La couleur est à peu près solide et résiste assez bien aux acides étendus comme aux alcalis faibles.

Indigo.

Toute la théorie de la teinture en bleu d'indigo peut se résumer en deux mots. On plonge l'étoffe dans une dissolution d'indigo blanc, puis on l'expose au contact de l'air pour former sur la fibre textile de l'indigo bleu. L'indigo bleu se réduit dans la pratique par le contact avec un alcali.

Quelle que soit la nature de l'alcali dont on fasse usage, on opère toujours dans des bassins qui prennent le nom de *cuve*, et qui se distinguent suivant la température à laquelle on opère, suivant la nature de la fibre qu'on veut teindre en *cuves à froid* ou *cuves à chaud*. Ils ont ordinairement 3 mètres de profondeur sur 2 mètres 50 de diamètre. Cette capacité, commode pour les manipulations, s'oppose au refroidissement trop rapide de la masse totale. La cuve cylindrique est en bois ou en cuivre, l'une et l'autre matière ont leurs avantages et leurs inconvénients. On les couvre dans tous les cas; un crible en corde forme un fond fixé sur la *champagne*, dont la section est celle de la cuve; il est maintenu par des cordes et des crochets attachés sur le bord de la cuve. Pour faire la passe des écheveaux, on les suspend sur les bâtons après les avoir distribués par matteaux de poids égaux. On commence par les humecter dans l'eau chaude. Pour les étoffes, on les mouille dans l'eau tiède, on les bat et on les dispose sur la champagne; pour les flocons, on les enferme dans des filets qu'on fait descendre dans la cuve, également bouillis. Ces précautions empêchent l'air emprisonné dans la fibre sèche d'entrer dans la cuve. La manœuvre se fait pour les écheveaux en lissant, et pour les tissus en menant de la tête à la queue, puis inversement en évitant le contact de l'air. Pour faire bleuir, on tord avec un moulinet, on évente. On passe une fois, deux fois, trois fois, suivant le ton et la hauteur du ton qu'on veut obtenir.

L'appareil que M. Deshayes m'a communiqué peut être d'un emploi fort avantageux même pour la teinture en bleu de cuve des filés de coton; je l'ai vu manœuvrer dans son établissement de la Carneille (Orne). Le lissage mécanique est avantageux pour des nuances égales.

Dans la méthode ordinaire, pour éviter le refroidissement et le contact de l'air, on recouvre la cuve de son couvercle composé de deux ou trois segments égaux. Pour maintenir un bain dans sa plus grande activité, conserver l'indigo blanc en plus grande quantité possible, on *pallie* souvent; c'est l'opération la plus fatigante; il faut cependant ne passer les mises que lorsque le dépôt a gagné le fond et qu'on a replacé la champagne; cette condition est nécessaire, à moins qu'on ne veuille pas teindre en uni et qu'on cherche à faire des bleus faïencés, qu'on prépare au moyen des *cuves troubles*.

On donne à l'atelier qui renferme les cuves le nom de *guède* et les ouvriers qui dirigent la cuve s'appellent *guederons;* ces dénominations ne sont cependant pas en usage partout, car on ne les connaît pas en Normandie, au moins pour la teinture des cotons filés.

Les cuves de bain sont difficiles à réchauffer; les cuves de cuivre peuvent, au contraire, subir les réchauds avec promptitude et facilité quand on juge à propos d'élever la température pour s'opposer au refroidissement qu'occasionnent le passage de l'étoffe et la durée de l'opération. Cependant les cuves de bois peuvent suffire lorsqu'on possède des serpentins destinés à conduire la vapeur pour chauffer indirectement.

Nous avons indiqué l'article de ce Dictionnaire qui mentionne les différents dosages employés pour teindre (voyez, article. INDIGO). On y trouvera décrit toute la manœuvre et le montage d'une cuve à froid, nous n'y reviendrons donc pas; cependant nous compléterons ces notions en présentant ici d'une manière sommaire les diverses cuves en usage pour les laines et les phénomènes particuliers qui servent de guide au teinturier pour connaître l'état de sa cuve. On distingue, parmi les cuves montées à l'indigo, les cuves au pastel, les cuves de vouède, les cuves de potasse, les cuves à la cendre gravelée, les cuves allemandes, les cuves d'inde. Nous étudierons principalement sur la cuve au pastel la marche de l'opération. Nous aurons peu de chose à dire pour faire comprendre en quoi les premiers diffèrent des derniers.

Cuves de pastel. — Le pastel *isatis tinctoria* contient une matière colorante bleue semblable à l'indigo, une matière colorante jaune fauve, une substance azotée coagulable par la chaleur, une autre non coagulable dans les mêmes circonstances, différents sels dont les acides sont végétaux et les bases alcalines et terreuses; il est à présumer que les matières azotées réagissent comme réducteurs et facilitent la transformation de l'indigo bleu, c'est-à-dire sa dissolution et sa décoloration.

Monter une cuve, c'est mettre l'indigo bleu maintenu suspendu dans l'eau en contact avec des matières capables de lui fournir indirectement ou directement l'hydrogène dont la fixation est accompagnée de la séparation d'un équivalent d'eau basique; il ne faut employer que des matières incapables de produire une coloration nuisible à celle de l'indigo; ces avantages sont réunis dans le pastel, le vouède, la garance. Cette dernière substance fournit une teinture violette, quand elle est en contact avec un alcali; en contact avec l'indigo, la nuance qu'elle fournit possède plus d'intensité. Elle agit en outre par l'affinité que possèdent pour l'oxygène certains de ses principes constituants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les cuves au pastel contiennent ordinairement, quand on travaille en grand, 10 kil. d'indigo et 10 kil. de garance ; on pourrait descendre cette quantité de moitié sans trop d'inconvénient. On ajoute du son et de la gaude ; mais il faut être sobre de ces éléments dont la décomposition est assez rapide ; le son exciterait une fermentation putride, la gaude s'altérerait encore plus promptement : on n'en met ordinairement que 2 à 3 kil. pour les 10 kilog. d'indigo que nous venons d'indiquer. Ces additions ne sont pas indispensables.

Le pastel s'ajoute tantôt en fragments, tantôt en poussière ; sous cette dernière forme il agit plus rapidement, il faut alors évidemment une surveillance plus active.

Quand le bain a subi l'ébullition nécessaire à l'opération, on ajoute le pastel, on transvase et on met 3 à 4 kil. de chaux pour dissoudre l'indigo. On pallie et on laisse déposer quatre heures, on couvre la cuve pour éviter le contact de l'air, on pallie. La cuve ne possède pas encore d'allure décidée ; le bain ne possède que l'odeur des matières qu'il tient en dissolution, et qui proviennent de la garance, de la gaude et du pastel ; on continue de pallier de trois heures en trois heures.

Mais au bout de vingt heures la fermentation se produit, l'odeur devient ammoniacale, le liquide prend une couleur d'un jaune fauve ; de plus, une sorte d'écume bleue se forme à la surface du bain, et la nuance de l'eau, prise à l'extrémité d'un tube de verre, se colore en vert d'abord, en bleu bientôt après, si le contact de l'air est suffisamment prolongé. C'est que l'indigo contenu dans le pastel a passé dans la dissolution à l'état d'indigo bleu sous l'influence de la fermentation, et ces réactions prouvent que le bain est en état d'opérer la transformation de l'indigo qu'on pourrait y mêler. On choisit ce moment, en effet, pour ajouter l'indigo, broyé convenablement dans des moulins en fer et réduit à l'état de pâte par une porphyrisation complète, quelquefois aidée par l'addition d'une petite quantité de potasse ou de soude. Mais comme une portion de la chaux qu'on a déjà mise dans le bain est saturée par l'acide carbonique produit par la fermentation, ou par les acides qui proviennent des garances, de la gaude, par l'acide lactique qui résulte de l'altération du son, il faut en ajouter ; on verse de nouveau 2 à 3 kilog. de chaux vive. L'air en sature d'ailleurs un certain poids.

L'indigo ne se dissout pas de suite ; il exige, au contraire, un certain temps variable avec l'origine de la matière ; l'indigo de Java demande neuf à dix heures, ceux du Bengale n'en demandent pas plus de six ; après avoir ajouté l'indigo, qu'on met en même temps que la chaux, on pallie en répétant cette opération toutes les trois heures, on recouvre et on laisse reposer pour pallier encore de nouveau. La cuve doit alors prendre une teinte jaune roux foncé ; elle se recouvre d'une *fleurée* bleue très-prononcée, et de plus la surface a l'aspect cuivré. On peut alors immerger les pièces ; mais on a remarqué que les premières teintes sont d'une nuance moins vives que les dernières ; cette différence tient à ce qu'il se fixe tout d'abord en même temps que l'indigo les principes jaunes de la garance, de la gaude, du pastel. Le coton présente moins que la laine cette teinture rabattue. Les fibres textiles ont bien vite pris tout ce qu'elles peuvent prendre au bain ; il faut les exposer à l'air ; l'indigo se régénère à l'état d'indigo bleu ; un nouveau passage fixe une nouvelle quantité de bleu, et c'est par plusieurs passages successifs qu'on obtient les bleus les plus foncés. Pour ne pas perdre d'indigo, la marche la plus rationnelle consiste à faire les premières passes dans les cuves très-pauvres, les dernières dans les cuves montées à neuf. Un jeu de dix cuves échelonnées, composées d'une même manière, conduit à l'économie la mieux entendue, puisqu'en renouvelant une cuve tous les cinq jours pour la teinture des fils de coton, on a dix cuves de puissances différentes, la plus pauvre épuisée étant remplacée par une nouvelle qui reçoit les écheveaux montés au ton le plus élevé. L'épuisement complet d'une cuve se fait avec des écheveaux qui n'ont reçu d'autre traitement qu'un débouilli dans l'eau pure pour dégager tout l'air qu'ils contiennent à l'état sec. Au bout de cinq jours, la dernière cuve, c'est-à-dire la neuve, devient l'avant-dernière, et ainsi de suite. On prépare le bleu d'enfer par des passages répétés.

Cuves de vouède. — Le vouède est, comme le pastel, une matière qu'on ajoute en Normandie aux cuves d'indigo pour les monter rapidement. Comme cette matière renferme moins de principe colorant bleu que le pastel, on l'additionne d'une petite quantité d'indigo de Bengale. Le vouède est une plante du genre *isatis* qui, suivant les uns, constituerait une espèce distincte de l'*isatis tinctoria*, suivant d'autres, au contraire, n'en serait qu'une simple variété. On prépare la cuve de vouède comme s'il s'agissait d'une cuve de pastel. On jette dans la cuve le vouède haché, en même temps qu'on prépare un mélange formé de 1 kil. d'indigo broyé, 4 kil. de garance et 7 kil. de chaux éteinte. On verse le bain bouillant dans le vouède dont l'indigo sert à faire connaître le moment où le liquide peut dissoudre celui qu'on doit ajouter. La chaux est en excès puisqu'il n'y a pas de fermentation ammoniacale. Lorsque la cuve est en état, le liquide devient roux ; on continue le travail comme nous l'avons dit pour les cuves de pastel. Les cuves de vouède passent pour donner des nuances plus vives que ces dernières. Mais elles durent moins longtemps. On voit des cuves de pastel bien dirigées dans leur action marcher avec vigueur pendant cinq ou six mois de travail.

On a modifié la cuve au pastel en y ajoutant en même temps que la chaux une certaine quantité de potasse ; la cuve se monte, par exemple, avec 3 kil. d'indigo, 8 kil. de garance, 2 kil. de son, 4 kil. de chaux et 2 kil. de potasse ; la cuve pleine d'eau se trouve chauffée dès le matin à 90 ou 95 degrés ; on met 20 kil. de pastel dès que la température est à 50 degrés ; le bouillon devient brun jaune ; il apparaît de petites bulles à sa surface au bout de quatre heures, si l'on fait usage de vapeur pour échauffer, au bout de huit heures, si l'on se sert d'une cuve à foyer. On pallie toutes les trois heures ; quand le bouillon répand l'odeur ammoniacale, on ajoute les matières que nous avons indiquées, mais en n'employant que 3 kil. d'indigo et 7 kil. de garance, on laisse reposer ; suivant que la fermentation se décide, on ajoute de la chaux ou on n'en met pas.

Quand on a pallié de nouveau, que la chaux n'est plus qu'en quantité convenable, on verse 3 kil. d'indigo, et 1 kil. de garance ; on réchauffe la cuve et on pallie. On répète cette opération plusieurs fois pendant vingt-quatre heures, et le cinquième jour on commence le travail, la cuve étant en état.

On doit maintenir la température de la cuve très-égale. Trop chaude, elle fait virer au rouge le bleu déposé, par suite de l'influence de la garance. Une cuve ainsi convenablement montée dure en général trois mois ; elle peut durer davantage, mais avec l'âge, elle ne donne pas une bonne économie ; car l'indigo semble disparaître. Comme le travail appauvrit le bain de toute la couleur déposée sur l'étoffe, on en ajoute de temps à autre, environ trois fois par semaine ; on le met le soir vers dix heures ; on pallie toutes les trois heures pendant vingt-six à quarante heures, pour que tout l'indigo puisse entrer dans la dissolution. Tous les soirs on entretient l'activité du bain par l'addition de 1 kil. 1/2 de garance. Il vaut mieux n'ajouter l'indigo que par petites parties ; on en perd par une fermentation trop

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

active. Quand un bain est épuisé, on soutire avec des oraps tout l'indigo qu'il renferme; pendant cette opération, qu'on arrête quand il n'y a plus de teinture, on n'ajoute plus que de la garance.

On trouve ici naturellement la supériorité de la méthode que nous avons retracée plus haut et qui s'oppose à ce que les cuves vieillissent; les cuves épuisées peuvent être employées pour en monter de nouvelles; il est préférable de monter les neuves avec tous matériaux nouveaux.

La teinture systématique au moyen des cuves échelonnées est surtout économique dans les établissements très-vastes, ou dans ceux qui ne s'occupent que de la teinture en bleu d'indigo. Je l'ai vu pratiquer à la Carneille dans l'Orne avec le plus grand succès.

Cuves d'inde, dites encore *cuves gravelées*. — Ce sont après les cuves froides dont on trouvera la composition dans ce Dictionnaire à l'article INDIGO, les plus simples et les plus faciles à conduire.

Pour monter une cuve, on commence par faire bouillir dans une masse d'eau convenable une quantité de garance et de son proportionnelle à l'indigo qu'on veut faire entrer dans le bain. Après deux heures d'ébullition, on verse les cendres gravelées, qu'on fait bouillir également pendant deux heures; on rafraîchit, puis on ajoute l'indigo qui a commencé sa transformation dans un bain analogue, mais dans une petite chaudière; on gagne ainsi du temps et l'on peut éviter bien des accidents qui doivent nécessairement entraîner une perte notable sur la quantité de l'indigo mis dans la cuve. En supposant qu'on veuille employer 10 kil. d'indigo, on emploiera 20 kil. de cendres gravelées, 6 kil. de garance et 2 kil. de son. Ces cuves sont ordinairement montées au moyen d'une chaleur modérée.

Cuves à la potasse. — Lorsque dans les cuves d'inde on remplace les cendres gravelées par de la potasse on monte les cuves à la potasse; on opère avec plus de célérité que par la chaux, mais les nuances sont rabattues par suite de la réaction de l'alcali sur la décoction de garance.

Cuves allemandes. — On donne ce nom aux cuves montées avec le carbonate de soude cristallisé et la chaux caustique pour enlever l'acide carbonique aux cristaux de soude. Tout l'avantage de cette cuve réside dans la substitution à la potasse qui coûte cher d'un alcali moins coûteux comme la soude qu'on amène à l'état caustique dans l'opération elle-même; la conduite de l'opération est d'ailleurs assez délicate; on monte la cuve avec 5 kil. d'indigo, 10 kil. de cristaux de soude, 2 kil. 1/3 de chaux éteinte et 1 kilog. de son. Cette cuve sert à la teinture des laines.

Quelle que soit la nature de la cuve, sa conduite demande une surveillance constante; lorsqu'elle est en bon état, il ne faut pas la laisser s'altérer; car, d'une part, l'indigo ne se dissout que lorsqu'il peut être soustrait au contact de l'air, et qu'il est dans des conditions telles qu'il s'empare de l'équivalent d'hydrogène qui le transforme en indigo blanc. D'autre part, sous l'influence d'une fermentation putride, il se décompose et perd sa couleur; rendu soluble, il suit le mouvement moléculaire qui détruit les matières azotées avec lesquelles il est en contact, tandis que, mis en macération avec l'eau pure, il ne s'altère que très-difficilement. Or le pastel et le vouède sont fortement chargés de principes comptant l'azote au nombre de leurs éléments constitutifs.

Sous l'influence d'une fermentation trop active, les caractères du bain changeraient donc au détriment du teinturier. Sa couleur deviendrait analogue à celle de la bière, l'écume blanche, l'odeur fade, sans dégagement d'ammoniaque, et si cette allure se prolongeait pendant quelques jours, une forte odeur de matières animales en putréfaction, accompagnée d'un dégagement notable d'hydrogène sulfuré, succéderait aux caractères normaux, qui sont le signe d'une allure régulière. La chaux dans les cuves de pastel et de vouède, la potasse dans les cuves d'inde, la soude dans les cuves allemandes s'opposent à ces accidents. Mais il faut les renouveler. En effet, pendant l'acte de la fermentation, il se dégage de l'acide carbonique qui sature la chaux dans les cuves de pastel et l'alcali dans les autres cuves; il se dépose dans les unes du carbonate calcaire; il se dissout dans les autres des carbonates alcalins, toujours en quantités variables, d'autant plus considérables que la fermentation se trouve être plus active.

Les conditions dans lesquelles sont les cuves varient donc à chaque instant. Ajoutons à cela que leur composition change encore, non-seulement à cause du travail qui prend une quantité notable d'indigo pour le transporter sur la fibre textile, quelle qu'elle soit, mais encore à cause de l'oxydation d'une partie de l'indigo soluble au contact de l'air introduit par l'atmosphère qui baigne la surface ou qu'amène l'étoffe. Il y a donc des modifications incessantes dans la quantité d'indigo contenu dans le bain sous forme convenable à la teinture. C'est pour régulariser cette composition qu'on est forcé de pallier de temps en temps; l'indigo régénéré par le contact de l'air se dissout de nouveau, recharge le bain.

Mais pour teindre de nouvelles mises, il faut que les parties insolubles se soient déposées. On comprend sans peine qu'elles s'attacheraient aux fibres et feraient *réserve* sur les points qu'elles couvriraient. Ces manipulations entraînent donc de grandes lenteurs, surtout quand les cuves sont montées depuis quelque temps et que la *pâtée*, pied ou fond de cuve, présente une grande ténuité.

Le bain possède par lui-même tous les éléments pour être bien gouverné; mais ce n'est qu'à la condition d'être surveillé, de pallier en temps voulu et de maintenir les alcalis en proportions convenables pour arrêter ou ralentir des fermentations trop développées.

Malgré tous les soins qu'on apporte à ce travail, les cuves peuvent être fortes ou faibles, *roides* ou *douces*. Il faut savoir les ramener au point convenable. La cuve forte est celle qui présente un excès de chaux. La cuve douce en manque; le premier accident est peu dangereux; le second est beaucoup plus grave, car il est accompagné d'une destruction complète d'une partie de l'indigo.

A quels signes extérieurs reconnaîtra-t-on ces deux allures? A l'état normal, la fleurée abondante est légèrement cuivrée, le bain est jaune, l'odeur franchement ammoniacale, sans trop de force; les bulles qu'on excite à la surface sont rapidement écartées.

Lorsque la cuve est forte, l'odeur est fortement ammoniacale, piquante, le bain brun foncé, les bulles sont soudées, à reflets argentés. Il y a trop de chaux; on corrige ce défaut par une addition de sulfate de fer. Berzélius a constaté que la chaux possède la propriété de former avec l'indigo blanc deux combinaisons différentes, l'une soluble dans l'eau, l'autre avec excès de chaux, complétement insoluble. La présence de ce dernier composé dans les cuves fortes dissimule l'indigo, mais ne le détruit pas; l'addition d'un acide propre à s'emparer de l'excès de chaux le fait reparaître. L'emploi du sulfate de protoxyde de fer dans ce cas, consacré par l'expérience, équivaut à l'addition d'un acide; il se forme du sulfate de chaux et de l'indigoture soluble.

Lorsque la cuve est douce, le bain est orangé, jaune, sale; l'odeur est ammoniacale, faible, sucrée, surtout si la cuve est neuve; il n'y a pas de fleurée. Il faut ajouter de la chaux pour s'opposer à la fermentation qui semble se porter sur l'indigo et l'entraîner dans une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

evolution moléculaire qui le détruit. On ignore quels sont les produits de cette altération, mais les comptes d'une fabrique ne permettent pas de mettre en doute une destruction partielle.

Il est donc indispensable qu'il y ait toujours dans les cuves de pastel ou de vouède un léger excès de chaux; si la fermentation prenait un accroissement considérable, il en résulterait l'accident le plus grave auquel les cuves puissent être sujettes, et qu'on nomme *coup de pied*. Ce terme indique que le pastel ou le vouède, qu'on nomme *pied de cuve*, sont la cause du désordre. Au moment où l'accident se prépare, des bulles grises ou blanchâtres surnagent le bain; elles sont accompagnées de particules de pastel ou de vouède, entraînées dans le mouvement de fermentation; la cuve *broue*. L'odeur ammoniacale a totalement disparu; il ne reste plus que l'odeur des matières en digestion dans le bain. Le bain ne contient plus en dissolution qu'une très-faible quantité d'indigo; si l'on pallie la cuve, on voit un mouvement encore plus violent, qui, sur les bords de la cuve, imite l'ébullition. On doit se hâter d'ajouter de la chaux. L'indigo n'existe plus dans la cuve; son état est tellement destructeur, que si l'on passait une pièce teinte en bleu pour ajouter à la hauteur du ton bleu qu'elle possède déjà, sa couleur, même acquise, pourrait disparaître et se dissoudre dans le bain. Dans les cuves chaudes, cet accident n'est pas sans gravité. Cependant, quand elles ne sont pas trop vieilles, on peut chercher à les remettre en état en ajoutant de la chaux. Quand ce phénomène se présente sur des cuves froides, il n'y a pas autant de dangers, puisqu'on est presque toujours alors sur le point de donner un *réchaud*.

Ce réchaud permet de modifier l'allure du bain. On donne ce nom à l'opération qui a pour but, en élevant la température du bain, d'augmenter son activité; elle occasionne une grande perte de temps, lorsque les cuves que l'on veut réchauffer sont montées dans des vaisseaux de bois; car il faut alors transvaser une partie du bain dans une chaudière, et le renvoyer ensuite dans la cuve. Ce mouvement met l'indigo blanc en contact avec l'air et le fait passer à l'état insoluble. On verse dans la cuve, dès qu'on a prélevé le liquide qu'on veut réchauffer, du son, de la garance et de l'indigo broyé. On pallie le pied. Quand le bain est chaud, on renvoie le liquide dans la cuve, on pallie de nouveau, puis on laisse reposer, en ne travaillant que lorsque le bain est convenablement chargé d'indigo soluble.

On s'en assure en plongeant un échantillon d'étoffe ou plusieurs écheveaux, les laissant séjourner un quart d'heure, les lavant, les tordant et les exposant à l'air après les avoir éventés. Les fibres sont jaunes-verdâtres à leur sortie du bain, mais le contact de l'air doit les faire verdir d'abord, puis bleuir ensuite.

Lorsque les cuves sont en cuivre, les réchauds se font avec la plus grande facilité par chauffage direct.

Pour prévenir les accidents auxquels sont sujettes surtout les cuves de pastel, il est préférable de faire usage de pastel ou de vouède récolté sans fermentation.

Emploi des hypo-sulfites. Un élégant procédé pour la teinture par l'indigo, en employant un autre genre d'action de désoxygénation, a été décrit à l'article INDIGO par l'un des inventeurs. Nous y renverrons le lecteur.

Teinture de la soie. — Lorsqu'on veut teindre la soie par l'indigo, le fabricant monte une cuve d'inde. A cet effet, on prend 1200 litres d'eau, 6 kilos de potasse ou de soude, 2 kilos de son et 2 kilos de garance. On délaye dans l'eau le son, la garance et l'alcali. On porte à l'ébullition pendant quelque temps, puis on verse le tout, liquide et marc, dans la cuve proprement dite, à laquelle on ajoute l'indigo parfaitement broyé. On agite vivement; on couvre la cuve autour de laquelle on fait un peu de feu, ou dans laquelle on maintient un courant de vapeur de manière à tenir la température du bain dans les environs de 50 degrés centigrades. On pallie et on répète cette opération de douze heures en douze heures, jusqu'à ce que le bain soit prêt pour la teinture. La cuve est ordinairement en état au bout de quarante-huit heures. Alors le bain présente les qualités normales que nous avons fait connaître.

Au moment de teindre la soie, on verse une petite quantité de cendres gravelées, 1 kil. environ, et 125 gr. de garance; on remue le tout. Après quatre heures de repos, on passe la soie. La température est telle que la main puisse sans douleur endurer l'impression de la chaleur. On plonge alors la soie dans ce bain après l'avoir préalablement fait cuire avec le tiers de son poids de savon blanc, et l'avoir dégorgée par deux ou quatre battues dans une eau courante. La soie doit être teinte par petites parties; chaque matteau se plonge l'un après l'autre au moyen d'un bâton qu'on place en travers de la cuve. On lisse à plusieurs reprises, on évente, puis on jette dans l'eau pure; ce lavage est terminé par la torsion sur le rouleau ou l'espart.

Après la teinture, la dessiccation doit être prompte; on l'obtient l'hiver dans une chambre chaude, en exposant la soie sur un châssis qu'on agite pour faciliter l'évaporation. Quand le bain s'affaiblit, on le remonte en y ajoutant un demi-kilo de cendres gravelées, un peu de garance et une poignée de son bien lavé; on pallie. Quand l'indigo lui-même se trouve épuisé, l'addition qu'on en fait est encore accompagnée d'une addition proportionnelle de son, de garance et d'alcali. Nous recommandons ici l'usage de cuves systématiques qui s'épuisent sans qu'on soit obligé de les remonter en indigo.

L'indigo seul ne teint la soie que dans les nuances claires; pour obtenir de la vigueur, on donne un premier pied d'orseille fort pour le *bleu turc*, faible pour le bleu de roi : ce dernier peut être plus solide quand on le prépare avec de la cochenille au lieu d'orseille pour le premier pied. On le nomme *bleu fin*. Les autres bleus se font sans pied; la différence de nuance tient à la richesse du bain et au nombre de passages qu'on donne aux fils.

On a souvent à teindre des soies écrues. Elles se teignent en général avec plus de facilité que les soies cuites et en nuances plus foncées : si la même cuve doit servir aux deux genres de fabrication, on commence par teindre les soies cuites, on termine par les soies crues qui cèdent une partie de la matière gommeuse dont elles sont chargées et qui pourrait nuire à la teinture des soies cuites.

Carmin d'indigo. — La coloration par l'acide sulfo-indigotique demande une préparation préalable pour la laine. On prépare avec l'alun et le tartre; on met dans le bain le carmin d'indigo; on en verse une proportion plus ou moins considérable, suivant le ton plus ou moins foncé qu'on veut obtenir. Les nuances claires peuvent se faire à la suite des nuances foncées; cependant elles ont beaucoup plus d'éclat lorsqu'on les obtient au moyen de bains nouveaux.

Supposons qu'on veuille teindre des tissus de laine ou de laine mélangés de soie; on fait bouillir la laine pendant une heure dans un bain de crème de tartre à raison de 250 gram. par kilogr. d'étoffe. On lève; on verse dans le bain la quantité voulue de bleu soluble préalablement dissous et décanté. On mène jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance demandée. On retire et on lave. L'opération se fait au bouillon pour les tissus pure laine; mais pour les mélanges laine et soie, on donne un bouillon à la crème de tartre mélangée d'alun; on teint sans bouillir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour teindre la soie pure, on prépare à l'eau tiède dans un bain d'alun, on lève, on lave et l'on teint ensuite dans le bouillon d'alun dans lequel on a versé le bleu soluble en quantité convenable pour la nuance désirée.

M. Chevreul a donné les dosages qui suivent pour teindre la laine pure et les tissus composés laine et soie. Pour 10 kil. de laine, on prépare un bouillon composé de 1250 gr. d'alun et de 675 gr. de crème de tartre. On mène les laines pendant une demi-heure à 70 degrés, on lève et on évente; on ajoute dans le bain plus ou moins de carmin d'indigo dissous, on lisse la laine jusqu'à la nuance voulue. Si l'on veut un ton virant sur le rouge, on met en même temps que le carmin d'indigo de la cochenille ammoniacale. On rince.

Bleu de Prusse.

Tous les chimistes connaissent la réaction des sels de fer sur les prussiates jaunes et rouges. On obtient dans des conditions déterminées de magnifiques précipités bleus dont l'industrie s'est emparée, surtout pour les soieries, et qu'on a su depuis de longues années appliquer sur les autres matières textiles. Les perfectionnements les plus importants dans ce genre de teinture sont dus à M. Raymond, qui a pu l'aviver en la rendant tout à la fois brillante et nourrie. Les bleus qui se forment dans ces circonstances rencontrent la fibre textile au moment de leur précipitation et se combinent avec elle pour y contracter une adhérence convenable.

On peut établir qu'il y a deux procédés pour produire la teinture en bleu de Prusse. Dans l'un, on dépose sur l'étoffe une certaine quantité de fer oxydé, qu'on bleuit ensuite en le mettant au contact d'une dissolution de prussiano-ferrure jaune acidulée par l'acide sulfurique en quantité suffisante pour former du bisulfate de potasse avec la potasse du ferrocyanure; on passe la laine préparée par le bain ferrugineux dans ce bain bouillant; il se forme du bleu de Prusse avec une nuance verdâtre qu'on fait disparaître par une nouvelle immersion dans un bain de prussiano-ferrure rouge, acidifié comme le premier par l'acide sulfurique. L'étoffe réduit une partie de l'oxyde de fer pour former du bleu.

Dans le second procédé, beaucoup plus simple, on met à profit l'action de l'air sur l'acide prussiano-ferrique libre. On plonge en conséquence les étoffes dans un bain de prussiate jaune acidifié par l'acide sulfurique pour les exposer ensuite au contact de l'air qui dépose du bleu de Prusse. C'est ainsi que le bleu s'applique sur les mousselines laines: le tourniquet sur lequel les pièces sont enroulées pour retomber dans la cuve est assez élevé pour que l'oxydation se fasse et que la coloration jaune déposée sur le tissu passe successivement au vert, puis au bleu. La nuance peut être montée par un lissage plus ou moins continu jusqu'à la hauteur voulue; il n'y a plus qu'à l'aviver dans un bain spécial.

Teinture de la laine. — Comme exemple de teinture par ce second procédé, nous choisirons la teinture en bleu des mousselines laines. Lorsque les pièces ont été dégraissées au savon ou mieux encore au carbonate de soude, on les lave à l'eau pure; elles sont alors prêtes à recevoir la teinture au bleu de Prusse.

Le bain de teinture se compose pour chaque pièce, ayant à peu près 60 mètres de long, de 360 gram. de prussiate jaune de potasse, 360 gram. d'acide sulfurique, 500 gram. d'alun. Le tout est dissous dans 60 à 80 litres d'eau. On emploie le tourniquet élevé pour donner le contact de l'air aux pièces qu'on mène très-vivement pendant une heure à la température de 35 à 40 degrés centigrades; au moyen d'un serpentin, la température est montée jusqu'à 60 degrés pendant la deuxième heure; on termine par un lissage à 100 degrés pendant une dernière heure. On mène vivement afin que le tissu reçoive alternativement et dans toutes ses parties l'action de l'air et du bain. Environ une heure avant d'abattre, on ajoute dans le bain 15 gram. de sel d'étain; quand l'opération est terminée, on abat et on lisse jusqu'à ce que la pièce soit froide; le fixage se fait avec le temps. Il ne faut donc pas aviver immédiatement, une bonne partie de la couleur se détacherait. On avive plus tard, on foulonne avec de la terre qui distrait toute la matière non combinée; on lave à l'eau courante.

Le bain d'avivage se compose de 500 gr. d'alun, 360 gr. d'acide sulfurique et 15 gr. de sel d'étain par pièce de 60 mètres; on dissout, on fait tourner une heure, puis on rince.

L'avivage n'est pas nécessaire lorsqu'on teint des pièces destinées à l'impression d'enlevage pour blancs, ou pour fournir des nuances par superposition; on voit qu'on n'opère qu'avec une extrême lenteur, et sans sels de fer. Cette méthode paraît être la seule qui conduise à des nuances égales, claires et brillantes. Suivant M. Stephan de Berlin, on obtient par ce même moyen les nuances les plus claires.

On porte à l'ébullition le bain monté par du prussiate jaune, on en approche le tissu pour le plonger aussitôt qu'on y a versé, pour une partie de cyanoferrure, une demi-partie d'acide tartrique qu'on a fait dissoudre préalablement. On mène vivement pendant un quart d'heure pour éviter les taches; il est bien entendu que pendant le travail il faut éviter que le bain ne se trouve en contact avec aucune partie métallique capable de se dissoudre dans l'acide, et d'altérer la nuance. Après que l'étoffe sort du bain elle est d'un bleu verdâtre qu'on développe avec un grand éclat en faisant passer le tissu dans un bain acidifié par l'acide sulfurique, ou l'acide azotique ou l'acide chlorhydrique.

M. Raymond, qui a donné son nom à la teinte bleue fournie par le bleu de Prusse, a fait connaître la méthode à laquelle il donne la préférence et qui peut servir d'exemple à l'appui du premier procédé que nous avons indiqué d'une manière succincte. On donne d'abord un bain de rouille, puis un bain de bleu.

Pour faire le bain de rouille, on procède de la manière suivante: Dans une cuve de 6 à 700 litres de capacité qu'on garnit avec 60 kil. d'acide sulfurique à 66 degrés et 60 kil. d'acide nitrique à 35 degrés, on ajoute par petites portions 260 kil. d'eau; on ajoute encore par petites portions 360 kil. de couperose verte. La réaction accompagnée d'une vive effervescence s'arrêterait si l'on n'élevait la température progressivement jusqu'à l'ébullition. Après quelques bouillons, on verse un mélange fait préalablement de 65 kil. d'acide sulfurique à 66 degrés, 150 kil. de crème de tartre rouge et 100 kil. d'eau. On pallie en ajoutant de l'eau jusqu'à ce que le liquide marque 36 degrés à l'aréomètre de Baumé. On laisse déposer pendant trois ou quatre jours, on soutire, puis on conserve dans des tonneaux.

Pour donner le bouillon de rouille, on commence par remplir la cuve à peu près au trente-cinquième de sa capacité de la dissolution à 36 degrés dont la préparation précède, on la remplit d'eau en agitant toujours; la liqueur marquera un demi-degré; si l'eau pure marque 0 degré, on chauffe jusqu'à 40 ou 60 degrés; si l'on veut teindre un drap, on l'étale sur le tour dans sa largeur et on l'immerge; au bout de quelques instants, le tissu se sera chargé d'une couche de rouille assez foncée pour se teindre en bleu par son contact avec l'acide prussiano-ferrique; on le relève, et, sans le laisser égoutter trop longtemps, on le lave à l'eau courante.

Quand on veut produire plusieurs nuances de bleu, les passes se font dans la même cuve; on commence par les moins foncées qu'on immerge à la température ordinaire; quand on veut des nuances vigoureuses on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

opère à chaud, même à l'ébullition; on élève alors graduellement la température pour éviter les tissus vergés, c'est-à-dire teints d'une manière inégale. Lorsqu'on juge que le bain s'appauvrit, il est convenable de le remonter; à cet effet on ajoute de la dissolution marquant 36 degrés en quantité qu'on regarde comme équivalente à celle que les étoffes ont enlevée. Mais à la longue les bains changent de nature, parce que l'oxyde de fer est enlevé par la fibre; il est convenable de temps en temps de les remonter à nouveau.

La mise en bleu se compose de deux opérations distinctes. Dans la première on remplit une cuve de bois, munie d'un tour, d'eau de source qu'on chauffe à 30 degrés par un courant de vapeur; on arrête le feu, puis on jette 850 gr. de prussiate jaune de potasse pour chaque pièce de 10 kil. On pallie, et quand le mélange est bien fait, on déroule le drap qu'on fait plonger dans le liquide pendant 12 ou 15 minutes, après quoi on le relève. Le résultat de cette première immersion ne porte sur le drap qu'une petite quantité de bleu de Prusse. La seconde opération porte sur l'étoffe la quantité d'acide prussiano-ferrique nécessaire pour transformer en bleu de Berlin la totalité de l'oxyde de fer fixé. On prend une quantité d'acide sulfurique à 66 degrés égale à celle du prussiate jaune employé, soit 850 gr.; on y ajoute trois ou quatre fois son poids d'eau, puis on verse le 1/3 du tout dans le bain de prussiate, en agitant pour obtenir un mélange complet; on y fait descendre la pièce, on laisse plonger pendant un quart d'heure, on lève; on ajoute le second tiers de la liqueur acide, on plonge de nouveau pendant un quart d'heure; on répète cette manœuvre trois fois jusqu'à ce que le tout soit versé dans le bain. On cesse de remuer le drap qu'on plonge en entier, on porte à l'ébullition en élevant la température graduellement. Après quelques bouillons, on relève le drap pour le passer à l'eau courante.

S'il n'est pas possible de se rendre un compte exact de la quantité de bleu de Prusse déposée sur un tissu pour le teindre en une nuance donnée, on peut admettre sans trop d'erreur qu'il faut pour teindre 1 kilog. de laine en bleu d'*enfer* 100 gr. de prussiate, 85 gr. pour du bleu dit bleu *pers*, 65 gr. pour le bleu *turquin*, 40 gr. pour le bleu céleste, et 15 gr. seulement pour le bleu naissant.

Ici, comme par l'autre méthode, on fait précéder l'avivage d'un foulonnage soigné; le liquide froid dans lequel on foulonne contient 500 gr. de savon, 10 litres d'eau; cette opération élimine toutes les particules de bleu qui ne sont pas adhérentes; elle dure 15 à 20 minutes, on lave à l'eau courante, puis on passe à l'avivage.

L'avivage des bains foncés se fait avec une eau froide contenant environ 0,03 de son poids d'ammoniaque liquide. On plonge les draps dans le bain d'avivage en les dévidant par le mouvement de rotation qu'on imprime au tour. Lorsqu'il s'agit d'aviver des teintes claires, après avoir foulonné comme précédemment à froid dans une eau de savon, le drap passe dans une cuve remplie d'eau de source à proximité d'une source de vapeur; elle devra contenir pour chaque litre d'eau 5 gr. d'acide sulfurique à 66 degrés et 5 gr. de tartre rouge dissous dans 10 gr. d'eau. On pallie le bain, on chauffe à l'ébullition; on place le drap sur le tour, on le dévide pendant un quart d'heure en maintenant la température, on le relève pour le rincer à l'eau courante.

Ces mêmes manœuvres sont applicables à la teinture des laines en toison; on prend seulement la précaution de ne pas remuer le filet qui contient la matière à teindre.

Teinture du coton. — On se sert pour teindre le coton par le bleu de Prusse de bleu préparé d'avance qu'on choisit de la meilleure qualité et qu'on dissout dans trois ou quatre fois son poids d'acide chlorhydrique; on fait digérer pendant vingt-quatre heures, en remuant de temps en temps, puis on laisse déposer. Le coton blanchi et bouilli, mis en digestion avec l'acétate d'alumine à 5 ou 6 degrés Baumé, séché, puis lavé, se teint en bleu dans la liqueur acide, chargée de bleu de Prusse et mêlé dans 20 à 25 fois son poids d'eau chaude; on lisse jusqu'à la teinte voulue pour égaliser la nuance, on l'abat dans le bain quelques minutes, on lève, on tord, puis on évente; on lave, et on fait sécher.

Dans d'autres manufactures, on donne au coton un pied plus ou moins fort de rouille en le passant alternativement et à plusieurs reprises dans une dissolution de sulfate de fer marquant 4 à 5 degrés Baumé, puis dans une dissolution de potasse marquant 2 degrés; on tord, on fait sécher et on lave.

D'autre part, pour 60 kilog. de coton, on pulvérise 6 kilog. de bleu de Prusse; on délaye dans 1 kilog. d'acide sulfurique, on verse le liquide dans le bain, et quand le mélange est complet, on passe le coton chargé d'oxyde de fer. On laisse la fibre plonger jusqu'à ce qu'elle ait pris la nuance voulue. On lève, on évente et on sèche.

Il paraît qu'en appliquant les procédés de la laine à la teinture du coton, le bleu qu'on obtient présente plus de résistance. Dans ce cas, on prépare avec un sel de fer (pyrolignite ou sulfate) marquant 1 à 2 degrés; on dégomme à l'eau de craie marquant 60 degrés; on teint avec 150 à 160 grammes de prussiate jaune décomposé par 60 ou 75 grammes d'acide sulfurique pour 100 litres d'eau à 37 degrés de chaleur. On rince, et on avive dans une eau d'acide sulfurique marquant moins de 2 degrés.

Teinture de la soie. — L'opération consiste à tremper la soie cuite d'abord dans un bain qui donnera un pied de fer, puis dans un bain d'acide prussiano-ferrique. En supposant cinq pièces de soie étendues les unes à la suite des autres, on prépare une dissolution de fer en faisant dissoudre 8 kilog. de couperose dans 2 kilog. d'acide nitrique à 35 degrés; on étend d'eau jusqu'à ce que le mélange marque 40 degrés. Pour préparer le premier bain, on ajoute à 150 litres d'eau 2 litres de composition ferrugineuse et 125 grammes de sel d'étain. On donne une première passe à la soie dans ce bain, on lave et on rince dans une eau de savon presqu'à l'ébullition; on lisse au large, on donne six tours et on lave au foulard; l'étoffe après avoir reçu son pied de fer peut entrer dans le second bain qui contient 150 grammes de prussiate dissous dans 250 litres d'eau. On donne trois tours dans ce bain, on lève et on ajoute 625 grammes d'acide sulfurique; on donne quatre tours, on lisse, on abat, et, sans laver, on fait rentrer dans le premier bain; on donne cinq tours, on rince au foulard; on fait passer au deuxième bain, on donne cinq tours, on lève, on rince, et la teinture est terminée comme bleu Raymond.

En changeant les proportions et augmentant les dosages du protochlorure d'étain, on obtient un bleu beaucoup plus vif et plus intense, surtout si l'on avive dans le bain faible d'acide sulfurique.

4. Teinture en vert.

Nous n'avons pas à nous étendre sur les nuances vertes qu'on obtient en teinture par des immersions simultanées ou successives en jaune et bleu, et qui nous ont occupé déjà suffisamment pour n'y pas revenir. Nous ne décrivons ici que les nuances vertes particulières, dont le type, jusqu'à ce jour, est représenté par le vert de Chine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEINTURE.

Vert de Chine.

La curieuse matière qu'on désigne actuellement sous le nom de vert de Chine a circulé pendant assez longtemps en Europe sans qu'on ait remarqué ses qualités. Il semble résulter de quelques documents que Bancroft, chimiste anglais en 1793, Kurrer, chimiste allemand en 1801, et Gustave Schwartz en 1837, s'en étaient occupés. On avait importé sous le nom d'*indigo vert* de petites quantités de cette matière, qui atteint encore le prix énorme de 360 à 500 francs le kilog.

La teinture de la soie et la teinture du coton par le moyen du lo-kao n'a pas été sans offrir de sérieuses difficultés pour les premiers qui se sont occupés de ces recherches. Les résultats obtenus d'abord par MM. Ch. Benner et Dupéray sur coton, par M. Dupéray sur soie, ceux de M. Michel, de Lyon, font espérer qu'entre les mains des habiles teinturiers de nos jours, cette teinture fournira des couleurs dont nous avons fait ressortir ailleurs tous les avantages. On trouve dans la notice sur le vert de Chine publiée par les soins de la Chambre de commerce de Lyon d'intéressants détails sur ces teintures. Nous allons en donner un extrait. Nous ferons connaître sans commentaires les méthodes usitées en Chine pour teindre directement avec les écorces, et pour teindre avec le lo-kao ; nous terminerons par un exposé des méthodes auxquelles on a recours en France aujourd'hui pour tirer parti de la matière colorante des nerpruns indigènes ou exotiques.

Teinture des toiles de coton au moyen des écorces. — Les procédés employés en Chine ont été répandus par MM. Arnaud Tison, Hélot et Sinclair.

D'après M. Arnaud Tison, on fait infuser l'écorce pendant quinze à vingt minutes dans de l'eau chaude ; la toile est plongée dans le bain froid sans préparation ; on l'étend la nuit sur la terre pour éviter les rayons solaires et des températures trop élevées ; la gelée paraît nécessaire au succès de l'opération. Pour obtenir des nuances foncées, on passe l'étoffe à plusieurs reprises dans le même bain et dans les mêmes conditions.

D'après le P. Hélot, l'écorce fraîche est bouillie, puis infusée pendant deux jours ; certaines espèces exigent une infusion de six jours. On opère avec deux bains séparés, l'un et l'autre reçoivent de l'eau de chaux. Les deux espèces *hong-pi* et *pe-pi* sont nécessaires. On plonge les toiles sept à huit fois dans les bains de hong-pi, et trois fois dans le bain de pe-pi ; on fait sécher après chaque immersion. On étend les toiles à la tombée de la nuit ; c'est là le procédé qu'on suit dans la localité nommée *A-zé*.

A Khin-tcheou-fou, les procédés diffèrent : on fait bouillir l'écorce fraîche du *pe-pi-lo-chou* avec 63 gr. de potasse pour 100 kilog. de liquide ; on plonge les toiles deux ou trois fois dans le bain ; on fait sécher au soleil après chaque immersion. Dans la province de Canton on fait usage d'alun au lieu de potasse ou de chaux. Si les deux méthodes d'A-zé et de Khin-tcheou-fou sont différentes, c'est que dans cette dernière ville on veut seulement teindre la toile, tandis qu'à A-zé la teinture n'est qu'un moyen particulier pour la préparation du lo-kao ; les écorces des deux variétés de nerpruns sont alors nécessaires.

Suivant M. Sinclair, on fait bouillir l'écorce dans l'eau chaude ; on maintient l'ébullition pendant une heure ; on ajoute à la fois de la potasse et de l'alun ; on décante, on filtre, on laisse reposer pendant une nuit, puis on trempe les pièces dans le bain ; on les étend sur le sol à l'air libre pour les faire sécher, mais le matin, à l'heure où le soleil est le moins ardent. Il faut faire passer très-souvent l'étoffe et sécher une vingtaine de fois afin d'obtenir une nuance foncée.

Tels sont les procédés importés de Chine pour la teinture au moyen des nerpruns. M. Michel a remarqué que, par suite de l'immersion dans un bain d'écorce de nerprun et de l'extension sur le pré pendant la nuit, l'étoffe prend un endroit, le côté le plus exposé même à la radiation nocturne. Ce phénomène paraît être dû, d'après M. Mercer, au transport à travers l'étoffe, sur la surface supérieure par suite de l'évaporation spontanée, d'une plus grande quantité du principe colorant entraîné par l'eau qui l'a dissous.

Teinture des cotons au moyen du lo-kao. — Malgré son prix très-élevé, même à la Chine, le lo-kao sert à teindre en nuances claires les étoffes les plus communes. 7 à 24 centimes de lo-kao suffisent, d'après M. N. Rondot, selon l'intensité de la nuance, pour teindre un mètre carré. A Sou-tchéou-fou et à Chang-Haï, la méthode est la suivante :

Le lo-kao est dissous à chaud dans de la potasse (cendres lessivées) ; la toile bien lavée doit être plongée dans le bain, dont la température est maintenue vers 50 à 60 degrés, tordue à la cheville, éventée, plongée une seconde fois, tordue de nouveau, rincée dans l'eau claire et séchée par l'exposition à l'air libre. La force de la potasse doit être très-variable, puisque dans les différentes recettes son poids varie pour 100 gram. de lo-kao de 1600 gr. à 30 gr. seulement.

Le coton se teint aussi très-bien dans un bain formé de lo-kao, dissous dans le sulfhydrate d'ammoniaque ; mais comme il faut oxyder à l'air, on n'obtient de coloration qu'à l'aide de manœuvres coûteuses.

Le meilleur procédé, tant pour la facilité de l'opération que pour la régularité des produits, consiste à faire dissoudre 50 à 60 gr. de savon blanc dans 10 lit. d'eau, à délayer une quantité convenable de lo-kao gonflé ou purifié ; on chauffe le bain dans lequel il suffit de plonger les fils ou les étoffes de coton.

Nous n'aurons pas occasion de parler de l'impression ; son application par voie mécanique sur les tissus de coton est des plus élémentaires. Il suffit, en effet, d'imprimer sur calicot aluné ou non aluné de l'eau de gomme, dans laquelle on a délayé, soit du lo-kao brut, soit du lo-kao purifié, soit des laques alumineuses, le tout avec ou sans addition d'acétate d'alumine, d'alun, ou de l'un des agents employés dans la teinture. Pour purifier le lo-kao, on le fait dissoudre dans le carbonate de potasse, pour obtenir une dissolution concentrée, qu'on laisse éclaircir, qu'on décante et qu'on étend ensuite de beaucoup d'eau pour précipiter la matière colorante. On peut aussi traiter une partie de lo-kao gonflé par une fois et demie son poids d'acide acétique du commerce, qui dissout les bases carbonatées et phosphatées ; on délaye le tout dans 500 parties d'eau ; on obtient une liqueur très-chargée de matière colorante, que l'on filtre et qu'on précipite par l'ammoniaque ; la nouvelle laque se dépose, surtout si l'on a versé quelque peu d'alun dans la liqueur acide.

On peut encore imprimer une solution épaisse de lo-kao faite dans le protochlorure d'étain acide, sécher et passer le calicot dans un bain clair d'acétate de chaux saturé de chaux ; ou bien former une solution concentrée de lo-kao dans du savon, l'épaissir, l'imprimer et vaporiser le tissu chargé du mélange.

Teinture des soies et des tissus de soie. — Il n'est pas douteux qu'on ne puisse teindre les soies avec le lo-kao ; il n'est pas moins démontré qu'on peut employer à cet usage l'écorce même du nerprun de la Chine. Il paraît certain, d'après des témoignages dignes de foi, que le lo-kao sert surtout pour teindre les étoffes de choix : le siége de cette industrie est, en Chine, à Sou-tchéou-fou et à Hang-tchéou-fou. Au reste, d'après les renseignements qu'ont fournis le père Hélot et le rév. M. Edkins, la méthode à suivre pour teindre la soie avec l'écorce ou le lo-kao ne diffère pas, comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

principe, de celle qu'ils ont décrite pour teindre le coton. Néanmoins le dissolvant qu'ils emploient dans le cas de la teinture de la soie n'est indiqué nulle part.

La teinture de la soie par le lo-kao est aujourd'hui un fait acquis en France. A l'appui de cette assertion, je transcris ici le passage suivant extrait de la notice de M. N. Rondot:

« A Lyon, M. Guinon, en mars 1853, et M. Michel, en avril de la même année, pour ne parler que des plus heureux, entreprirent des essais qui leur donnèrent bientôt des résultats très-intéressants; mais l'application industrielle du vert de Chine ne date que du printemps de 1855. En avril 1855, M. Guinon teignit avec du lo-kao pur des velours épinglés et coupés en une couleur verte, que son analogie avec celle de l'acétate de cuivre fit appeler *vert Vénus*. L'addition de jaune au lo-kao n'eut lieu que vers le mois de juillet, et l'on obtint alors la nuance vert Azof, qui est charmante à la lumière.

« C'est vers cette époque que M. Michel découvrit le procédé qui porte son nom. Ce procédé, depuis le milieu de l'année 1856, est pratiqué d'une manière utile par plusieurs teinturiers de Lyon.

« Le lo-kao n'était encore que peu connu, M. Guinon seul en avait fait usage; il tenait caché, comme il tient encore aujourd'hui, le procédé qui lui est propre. Le secret de l'origine de la couleur de ces robes élégantes, tant remarquées dans l'automne de 1855, fut même si bien gardé, que M. Michel ne le connut qu'après la publication de son travail. Son mémoire attira l'attention générale sur cette nouvelle matière, et la consommation en augmenta de suite notablement. Pour ne citer qu'un exemple, M. Guinon, qui avait teint avec le vert de Chine environ 1500 kilog. de soie d'avril 1855 à mars 1856, en teignit plus de 3500 kilog. d'avril 1856 à mars 1857. »

S'il nous est impossible de rien dire des méthodes employées par M. Guinon pour opérer la teinture en vert au moyen du lo-kao, nous pouvons faire connaître le procédé de M. Michel, tel qu'il l'a donné dans une note lue le 6 mars 1856 à la Chambre de commerce de Lyon.

On a fait digérer 5 grammes de lo-kao pendant trois jours dans 30 grammes de solution d'alun marquant 5 degrés, on broie ensuite la couleur, qu'on délaye de nouveau dans 250 grammes de la même dissolution d'alun; on agite le mélange trois ou quatre fois dans la journée. Le lendemain on décante avec précaution le liquide, qui paraît presque noir. On répète cette opération trois jours de suite. On obtient ainsi un litre de dissolution verte alumineuse; pour bien épuiser le dépôt, on fait une cinquième opération avec 280 grammes de solution d'alun, et on conserve la liqueur faible qui résulte de ce dernier traitement pour commencer une nouvelle dissolution verte. Le résidu non soluble est d'environ 30 p. 100.

Au moment de teindre, on étend le litre de solution verte alumineuse de quinze litres d'eau de puits, plus ou moins, suivant la qualité calcaire de l'eau dont on se sert, et en introduisant dans le bain ainsi préparé 1 kilog. de soie cuite et lavée au savon, on obtient la nuance la plus claire, en un seul bain et en moins d'une demi-heure.

Pour des nuances plus foncées, on passe la soie successivement dans deux, trois, quatre, etc., bains semblables. Les soies, après la cuite et le lavage au savon, contiennent une certaine quantité de chaux qui leur sert de mordant; aussi le premier bain de dissolution verte est-il rapidement épuisé. Pour continuer cette action du mordant de chaux dans les bains suivants, on donne un bain d'eau calcaire plus ou moins prolongé, entre chaque bain de matière colorante. Comme la couleur ne présente jamais d'inégalités de nuance, il est inutile de tordre et de remettre en bâtons. On lève la soie sur une grille ou sur des bâtons pour la passer d'un bain à l'autre.

Pour nettoyer la soie après la teinture, on la rince d'abord légèrement; on lui donne un bain de terre à foulon, et on la lave ensuite comme à l'ordinaire. Les soies, ainsi teintes, sont brillantes, soyeuses et ne déteignent plus par le frottement.

On doit à M. Persoz d'autres indications que nous croyons devoir placer ici, principalement à cause de la nouveauté du sujet. On compose, avec une solution de lo-kao dans le protochlorure d'étain faiblement acidulé, mêlé d'une certaine quantité d'eau, le bain dans lequel on manœuvre, à la température ordinaire, la soie que l'on veut teindre. En peu de temps, elle se charge d'une couleur rouge-saumon pâle; on la retire pour la passer dans une eau légèrement ammoniacale, soit dans un bain formé d'acétate de chaux, sursaturé de base. On voit immédiatement la soie changer de nuance, passer au pourpre, puis au bleu. Après avoir laissé l'oxygène de l'air agir sur la matière colorante, on rince, et l'on passe dans une dissolution de graine de Perse. Quand le lo-kao conserve la couleur violette, les verts obtenus ne donnent pas de nuances brillantes à la lumière.

Une autre méthode consiste à préparer la soie par un passage dans un bain d'alun, puis à la manœuvrer dans un bain chargé de lo-kao, dissous dans le sulfhydrate d'ammoniaque, comme s'il s'agissait de teindre en bleu de cuve, c'est-à-dire en faisant succéder à chaque immersion dans le bain une exposition à l'air, non plus pour *déverdir*, comme on le dit dans la teinture en bleu, mais pour *dérougir*, en acceptant l'expression de M. Persoz. Il est curieux de voir une étoffe verte sortir ainsi d'un bain pourpre foncé.

Enfin, on peut encore délayer le lo-kao gonflé dans une lessive de potasse, saturée de protochlorure d'étain; la soie plongée dans ce bain n'a plus besoin, pour devenir d'un beau bleu céleste, que de recevoir le contact de l'air; on fait du vert en l'associant à du jaune brillant à la lumière.

M. Persoz a décrit plusieurs méthodes pour teindre le coton. En partant du lo-kao, ou des laques alumineuses, on modifie la nuance par des additions de carbonate, de phosphate, de pyrophosphate ou de borate de soude, ou bien encore par de faibles proportions de sels d'alumine, de magnésie et de zinc. On maintient le bain à 40°. Le sel de zinc donne une nuance bleue; les sels de soude maintiennent la couleur vert d'eau.

Teinture de la laine. — On a cru longtemps à l'impossibilité de teindre ou d'imprimer la laine au moyen du vert de Chine. Cependant M. Persoz recommande les procédés suivants qui s'opposent à l'action réductrice exercée par la fibre sur la matière colorante.

On délaye dans l'eau la laque d'étain, qu'on prépare en précipitant par le chlorure double d'ammoniaque et d'étain la liqueur acide chargée de lo-kao dissous dans l'acide acétique et versant de l'acétate de soude en poids égal à celui de chlorure double ajouté; on chauffe ce bain en y ajoutant de temps en temps de petites quantités d'acide oxalique. Le tissu de laine qu'on y passe sort parfaitement teint. On teint encore la laine au moyen d'un bain chargé de lo-kao dissous dans le protochlorure d'étain légèrement acide; la laine, chair saumon d'abord, passe au bleu dans une dissolution d'acétate de soude.

Pour imprimer sur laine, on fait encore usage d'un mélange de laque violette à base d'étain et d'acide oxalique; on imprime, on vaporise, et la couleur verte se trouve fixée dans toute sa pureté.

Le vert de Chine se modifie dans sa nuance par son association avec des couleurs jaunes. Le jaune par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'acide picrique convient parfaitement. Les Chinois font usage, à cet effet, du *hoang-ichi*, fruit d'une espèce de *gardenia*, ou du hoaï-hoa, bouton de la fleur du styphnolobium japonicum, ou *sophora japonica*, ainsi qu'il résulte de la lettre du P. Hélot sur la préparation du vert de Chine, et d'une lettre du professeur Bleekrode, de Delft, auquel on avait écrit de Chine que les toiles grossières de coton teintes avec le lo-kao reçoivent un premier pied de hoaï-hoa.

5. Teinture en jaune.

Parmi les teintures en jaune appliquées sur les différents tissus, on trouve des nuances solides et d'autres qui ne le sont pas. On teint rarement la laine en jaune pur; mais cette couleur fait la base d'une foule de nuances composées, d'une grande consommation. La soie souvent, au contraire, reçoit de vives couleurs jaunes qui servent à la préparation des couleurs binaires.

Gaude.

La gaude est la matière que l'on préfère dans la teinture des laines; elle doit cet emploi spécial à la manière dont elle se comporte avec les alcalis qui la transforment en un jaune clair au lieu de lui donner un œil rougeâtre, comme ils le font dans leur contact avec les autres jaunes. Ces draps ne changent donc pas par l'opération du foulonnage auquel on les soumet. La gaude donne des colorations bien moins solides que la garance et l'indigo.

Teinture de la laine. — Lorsqu'on opère sur la laine en toison, on prépare un bouillon qu'on dose, pour 100 kilos de laine, en ajoutant, dans quantité suffisante d'eau de pluie ou de citerne, 20 kilos d'alun et 5 kilos de crème de tartre. Après trois heures d'ébullition, on lève, puis on conserve la laine humide dans des caves pour que la combinaison se fasse aussi complétement que possible; on lave ensuite.

Pour le gaudage, on fait le bain avec des eaux stagnantes qui paraissent donner au jaune une nuance plus brillante On ajoute, pour faire bouillir, de 60 à 100 kil. de gaude suivant sa provenance et sa richesse; on l'enferme dans des sacs qu'on surcharge de croix en bois pour l'empêcher de flotter à la surface. On maintient l'ébullition jusqu'à ce que la gaude soit dépouillée complétement et que le bain soit bien chargé.

On a, dans quelques endroits, l'habitude d'ajouter au bain un peu d'alcali pour dorer la nuance : on se sert indifféremment ou de craie ou de carbonate de chaux; on enlève les sacs, on rafraîchit le bain, puis on plonge les toisons ou les fils; on mène aussi vivement que possible pour n'avoir pas de parties tachées; après un quart d'heure d'ébullition, le bain doit être dépouillé; on abat, puis on évente.

Lorsqu'on veut teindre la laine en pièce, on compose le bouillon pour une pièce de 16 à 18 mètres qui pèse 17 à 20 kilos, en prenant pour faire dissoudre 4 kilos d'alun et 1,5 de tartre; on laisse à la cave comme pour la laine en flocons, on lave, puis on procède au gaudage. A cet effet, on plonge dans un bain frais, qui contient de 8 à 12 kilos de gaude, suivant sa qualité. On a, dans certaines fabriques, exagéré cette quantité de gaude; elle est plus que suffisante, surtout si l'on a soin de jaunir par deux immersions; comme la première ébullition en eau chaude peut laisser de la gaude non dissoute, on fait bouillir les sacs une deuxième fois dans le même bain, auquel on ajoute un peu de carbonate de soude. On rejette le bain après cette seconde passe.

La gaude appliquée sur laine peut être modifiée par des additions de fustet, de garance ou de bleu; on obtient ainsi des verts de nuances variées, des chamois et des verts-dragon, olive, bronze, etc.

On substitue, dans le midi de la France, à la gaude les fleurs de genêts qui donnent un jaune-verdâtre; les genêts poussent spontanément et leur matière colorante n'est pas chère; on les nomme *trentanel* dans les environs de Bédarrieux, *parjole* dans les environs de Vienne. Ils remplacent la gaude dans ses principaux usages comme couleur simple ou composée.

Teinture du coton. — La teinture en gaude sur coton se pratique sur la fibre préalablement alunée. Le coton prend mieux l'alunage quand il a reçu le dépouilli par la lessive alcaline. On prend pour composer le bouillon, pour 10 kilos de coton, 2,5 d'alun, c'est-à-dire le quart du poids de la mise; on laisse tremper pendant vingt-quatre heures, on lève, puis on sèche sans laver.

Le gaudage s'effectue dans un bain qui résulte de la décoction de 12k,5 de gaude; on lisse vivement jusqu'à ce qu'on ait atteint la nuance voulue. Berthollet donne comme addition à cette préparation une nouvelle passe pendant une heure dans une dissolution de sulfate de cuivre contenant 2k,5, c'est-à-dire le quart du poids du coton. On lève et on passe encore dans une dissolution de savon blanc contenant 2k,5 de savon; cette passe est faite à la température de l'ébullition. On mène vivement pour égaliser la nuance et on porte à 100 degrés pendant une heure, on lève, on rince et l'on fait sécher.

Quand on veut des tons vifs, on se dispense d'aluner: on emploie le double de gaude; on mène jusqu'à ce que les écheveaux aient pris la teinte demandée; on lève, on ajoute un peu de lessive de soude, puis on fait une nouvelle passe qui dure un quart d'heure. On lève, on tord, on rince et on fait sécher. Pour éviter les salissures, on enlève les bottes de gaude quand l'ébullition a dissous toute la matière colorante.

Lorsqu'on a des tissus à teindre, on foularde dans de l'acétate d'alumine à 7 degrés, on sèche à la chambre chaude pendant deux ou trois jours. On dégomme dans de l'eau à 40 degrés avec 1 à 2 kil. d'alcali, on rince. Pour le gaudage, on passe l'étoffe dans le bain chargé de gaude par trois quarts d'heure d'ébullition, on enlève le sac qui contient la gaude, on refroidit à 40 degrés, on plonge les pièces, puis on manœuvre pendant le temps nécessaire pour que la nuance soit montée. En variant les doses de gaude, d'alun ou d'acétate d'alumine, on fait varier les nuances, qui sont d'ailleurs variables encore avec la température à laquelle on teint; en opérant à froid on obtient les nuances les plus claires.

Teinture de la soie. — La gaude sert pour la teinture de la soie en jaune franc; la soie cuite dans 20 parties de savon pour 100 de soie est alunée et rincée. On prépare un bain avec 20 kil. de gaude pour 10 de soie. La décoction se fait par une ébullition de trois quarts d'heure. On laisse déposer, on arrête toutes les impuretés par filtration, on laisse refroidir; puis, lorsque la température n'est plus que de 30 degrés, on passe la soie qu'on mène jusqu'à ce que la couleur soit uniforme. Pendant cette opération on fait bouillir la gaude avec de nouvelle eau; on rejette la moitié du premier bain, on la remplace par la décoction fraîche; ce nouveau bain est à 35 degrés. On lisse et on remonte avec une petite addition de potasse qu'on a mise au moment où l'on a mêlé les deux décoctions; cette addition se fait d'ailleurs pendant la manœuvre, suivant que la nuance doit être plus dorée; on tord à la cheville et on échantillonne. Une nouvelle passe est indispensable si la couleur n'est pas assez montée. On associe le rocou et le bleu de cuve pour varier les nuances. Le rocou la fait tourner à l'orangé, le bleu de cuve donne une nuance verdâtre. Il est indispensable de cuire fortement la soie avec 30 kil. de savon pour 100 de soie, si l'on cherche des nuances très-claires. La soie qui a reçu l'azurage peut être teinte en verdâtre par le seul fait de l'addition du jaune sur l'azurage préalable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Graine de Perse.

La graine de Perse, comme nous l'avons dit, est le fruit d'une espèce particulière de rhamnus. Les recherches sur le vert de Chine ont fixé l'attention sur ces espèces botaniques ; les baies, les fruits et les écorces ont été l'objet d'essais nombreux; plusieurs ont été suivis de résultats intéressants. Les baies vertes du *rhamnus infectorius* (graine d'Avignon), du *rhamnus saxatilis* (graine de Perse), du rhamnus alaternus et du rhamnus amygdalinus contiennent une matière colorante jaune. Ces matières se retrouvent quelquefois dans d'autres parties, d'autres espèces ; elles se comportent à la teinture comme les baies elles-mêmes ; mais on a remarqué que l'état de maturité fait varier la couleur. Nous donnerons ici les circonstances dans lesquelles la couleur jaune persiste.

Les fruits du rhamnus frangula (bourdaine) cueillis avant la maturité, avant juillet et août, teignent en jaune brillant et solide, d'après Dambourney. Le rhamnus infectorius contient dans ses baies, avant maturité, le jaune de graine d'Avignon ; le rhamnus catharticus donne un jaune fauve lorsque la baie n'est pas mûre; on sait qu'après la maturité le jus fournit le *vert de vessie*. Les rhamnus tinctorius auxquels plusieurs botanistes rapportent les baies qui constituent la graine de Perse sont plus estimés des teinturiers ; ils fournissent une couleur jaune très-brillante. L'écorce intérieure du rhamnus infectorius, à l'état frais, l'écorce fraîche du bourdaine et sa racine donnent une matière jaune soluble et brillante ; l'écorce du rhamnus catharticus se comporte de même ; l'écorce et les feuilles du rhamnus alaternus colorent en jaune, et le rhamnus frangula donne un jaune verdâtre.

Si l'on remarque avec M. N. Rondot, que le bois du rhamnus alaternus donne une couleur bleu foncé et que l'écorce fraîche du même nerprun et des rhamnus catharticus, frangula et infectorius contiennent une matière jaune, on conçoit la préparation du vert de Chine telle que l'a donnée le P. Hélot. Disons en passant que rien n'est plus remarquable que les évolutions de la matière colorante contenue dans les nerpruns, qui passe du rouge au violet, au bleu, au vert, au jaune. Il est probable que le vert de Chine est formé, comme nous l'avons dit, d'un bleu et d'un jaune qui possèdent tous deux séparément la propriété de ne rien perdre de leur éclat à la lumière artificielle, et qui se trouvent réunis dans le *rhamnus chlorophorus*.

Nous avons vu qu'à la Chine on trouvait un jaune très-convenable pour modifier le bleu des nerpruns dans le fruit d'un gardenia (*hoang-tchi*), ou dans la fleur du *sophora japonica* (*hoaï-hoa*). Cette circonstance nous conduit à présenter ici l'histoire de ces teintures.

Sophora japonica. — (Hoaï-hoa).

Un prêtre de l'ancienne mission de Péking, le R.-P. Cibot, a fait connaître la manière dont on prépare le hoaï-hoa : les propriétés de la matière colorante sont les mêmes que celles de la rutine extraite des boutons de fleurs du *capparis spinosa*, et de la substance cristallisable découverte par M. Weiss, dans le ruta graveolens.

D'après le P. Basile de Glémona, le *hoaï-hoa* serait extrait d'un arbre semblable à l'acacia ; le principe colorant est retiré des fleurs. En effet, la fleur du sophora fournit, d'après MM. Fortuneet Hoffmann, une teinture jaune, la pulpe des gousses une couleur orange ou jaune ; M. Martins déclare que le mélange des boutons de fleurs, des pédoncules et des tiges sert à teindre en beau jaune les vêtements de soie des mandarins.

TEINTURE.

M. Natalis Rondot fait connaître en ces termes la méthode pratiquée devant lui.

« On met le hoaï-hoa dans une chaudière pleine d'eau, on chauffe, on maintient l'ébullition pendant une heure et demie, et l'on plonge dans ce bain la pièce qui depuis la veille au soir était dans un bain d'alun. »

Voici, d'après Kong-tching, teinturier chinois de Canton, comment on procède :

« Prenez de l'eau bouillante, mettez-y le hoaï-hoa et laissez-le longtemps dans cette eau ; au bout d'un certain temps, la couleur et l'odeur montent ; décantez; le résidu n'est bon à rien. Prenez cette eau ; pour la rendre tiède, ajoutez de l'eau chaude et plongez la pièce dans ce bain. Manœuvrez-y bien la pièce. Cela fait, il faut de l'eau de source pour rincer la pièce. Après le rinçage, la toile a une belle couleur jaune ; vous devez faire usage pour cette teinture d'un peu d'alun. Commencez par mettre la pièce dans une eau d'alun, un jour et une nuit, ou une seule nuit ; teignez ensuite, c'est fini. »

Deux autres teinturiers chinois, Tchu-Yune et U-ching, se servent par les mêmes méthodes du hoaï-hoa pour teindre les tissus de coton ; ils obtiennent des jaunes très-vifs sur cette matière ; à Ting-haï, on teint des toiles en jaune pur au prix de 25 centimes le mètre carré; Sang-sine, fabricant de tapis à Ning-po, prépare, avec ces boutons de fleurs sur laine et sur poil de chèvre, des jaunes assez brillants.

Ces indications, précieuses au point de vue de la teinture, ont été confirmées par les observations des teinturiers européens ; à peine avait-t-on connu la nature du hoaï-hoa, que MM. Michel, Guinon et Renard retirèrent des fleurs du sophora japonica des jardins de Lyon une belle teinture jaune. M. Martius obtint le même résultat avec les fleurs provenant des jardins de Kew.

Quelques observations et plusieurs documents écrits tendent à faire admettre qu'on peut teindre en vert au moyen du sophora japonica. Nous pensons que cette teinture ne se produit que lorsqu'on a déjà mis un peu de bleu ; c'est ce qui résulte des communications de M. Meadows : « Pour teindre en vert 1,000 pieds de toile de coton de 1 pied et demi de large, il faut 18 à 19 kilog. de hoaï-hoa, 3,780 d'alun et 300 litres d'eau ; on fait bouillir pendant six heures, on met ensuite la toile dans ce bain, on fait bouillir pendant trois ou quatre heures, on la fait sécher au soleil, on remet la pièce dans le bain, on la soumet à une ébullition nouvelle, on étend encore au soleil, et l'on recommence une ou deux fois de plus, selon que l'on veut un vert plus ou moins foncé. Il est d'usage dans le Tche-kiang de teindre le coton comme la soie d'abord en bleu clair, avant de teindre l'un ou l'autre en vert. » Dans la teinture en vert, il se peut qu'on ajoute au hoaï-hoa quelque peu d'écorce de nerprun donnant la coloration bleue. Je penche vers cette opinion.

Ces renseignements m'ont paru devoir trouver leur place ici et pouvoir servir de base aux tentatives qu'on pourrait faire pour utiliser le principe colorant que M. Schunck a retiré des feuilles du polygonum fagopyrum (sarrasin).

Gardenia grandiflora (hoang-tchi).

Nous avons fait connaître en son lieu la matière colorante jaune que M. Rocheleder a retirée du gardenia grandiflora et qu'il a nommée *crocine*. L'opinion du docteur Rocheleder, que cette matière est employée par les teinturiers chinois, se trouve confirmée par l'examen qu'on a fait du tchi ou hoang-tchi, par les documents écrits qui nous ont été transmis par M. N. Rondot et par les essais auxquels M. Persoz s'est livré sur des fruits importés de Chine et recon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nus comme provenant du gardenia grandiflora, plante de la famille des rubiacées. Nous transcrirons ici les renseignements que renferme à ce sujet la notice sur le vert de Chine publiée par M. Rondot sous les auspices de la Chambre de commerce de Lyon.

On connaît sous le nom de *tchi* trois espèces distinctes qu'on rapporte aux variétés *radicans*, *florida* et *grandiflora*. Elles possèdent des qualités différentes au point de vue du teinturier. L'une est représentée par des fruits allongés *tchi-tse*, l'autre par des fruits ovoïdes moins gros que le précédent *chan-tchi*, la troisième beaucoup plus petite sans désignation. Le fruit allongé est le plus répandu; le plus ovoïde est le plus estimé, mais le moins riche en principe colorant. Kongtching a teint à Canton de la soie, devant M. Rondot, en une couleur jaune très-estimée par les Chinois, et Tchu-Yune a coloré du coton par la même substance tinctoriale. Cette matière sert à donner un pied de jaune pour beaucoup de verts sur coton et sur tissus de soie, quelquefois pour des étoffes qu'on veut teindre en écarlate, en cerise, en cramoisi, par l'addition du carthame.

Le hoang-tchi, que la Chambre de commerce de Lyon tenait du docteur Martin d'Erlangen, appartient à la variété *tchi-tse;* les fruits donnés par M. Remi Smith et C^e^ appartiennent à l'espèce *chan-tchi*.

M. Persoz a fait sur le hoang-tchi des expériences intéressantes qui peuvent être, quoique incomplètes, résumées dans les termes suivants :

« On épuise les graines et les capsules par le sulfure de carbone qui enlève la totalité du corps gras sans se charger d'une quantité sensible de matière colorante. Le corps gras une fois parfaitement enlevé, on fait agir l'esprit de bois rectifié qui dissout très-bien la matière colorante; mais comme elle est logée dans les cellules, il faut des traitements réitérés pour l'enlever en totalité. On soumet à la distillation la dissolution; il reste pour résidu dans la cornue une substance jaune rougeâtre, d'apparence cristalline, soluble dans l'eau qu'elle colore comme le ferait l'acide picrique.

« Cette matière colorante, qui se comporte à la manière des acides faibles, puisqu'elle s'unit aux divers oxydes, notamment aux oxydes d'alumine, de fer, d'étain, avec lesquels elle forme des laques, présente cette particularité, qu'elle donne directement sur soie et sans le secours d'aucun auxiliaire un jaune pur brillant à la lumière artificielle, inaltérable par les acides et les alcalis, excepté l'acide nitrique, qui la détruit.

« Son mode de fixation sur la soie est des plus simples; il suffit de faire avec l'eau pure une décoction de fruits, ou mieux encore de la graine seulement lorsqu'on veut avoir des nuances plus pures. Quand on fait usage d'eau ordinaire, il faut ajouter au bain 2 gram. d'alun et 1 gram. d'acide oxalique par litre d'eau. Le bain ainsi monté, on y plonge la soie à la température de 40 à 50 degrés; elle s'y teint très-promptement.

« Pour teindre la laine, il faut faire intervenir dans le bain une assez forte proportion de composition d'étain ou bien aluner préalablement la fibre.

« Quant à la teinture du coton, elle se fait toujours très-bien, si l'on a mordancé à l'avance cette fibre par les acétates d'alumine ou de fer. »

Bois jaune.

Le bois jaune donne une teinture solide sur laine, soit qu'on l'emploie directement, soit qu'il se fixe avec un intermédiaire.. Le grand défaut de cette matière, bien que très-résistante à l'air, résulte de l'altération qu'elle subit au contact des alcalis; elle ne peut servir de base à toute fabrication dans laquelle la teinture doit être suivie du foulonnage. Le bois jaune ne peut donc être réservé que pour certaines colorations en jaune ou en nuances qui en dérivent sur tissus de laine; on ne saurait s'en passer dans toutes les nuances qui tiennent du vert de Saxe et dans lesquelles le bleu de Saxe joue un rôle plus ou moins important.

Les opérations pratiques auxquelles nous avons vu qu'on soumettait la gaude se confondent avec celles auxquelles on soumet le bois jaune. On remarque cependant plus de fraîcheur dans la première; aussi réserve-t-on la dernière pour les couleurs composées et les tons rabattus.

Le bois jaune appliqué sur la laine communique à l'étoffe une certaine roideur qui donne de la rudesse au toucher. Il est présumable que le tanin que le bois contient est la cause de ce phénomène, qu'on évite par l'addition de rognures de peau; la gélatine précipite le tanin : il serait intéressant de voir par des expériences directes si cette opération altérerait les qualités du bois jaune, considéré sous le rapport de sa résistance à la lumière.

Pour teindre de la laine avec le bois jaune, on donne un bouillon avec 240 ou 260 gr. d'alun et 240 à 260 gr. de tartre pour 1 kil. de laine; on ne rince pas, on fait bouillir ensuite dans un bain qui contient pour la même quantité de laine 1 kilo de bois jaune auquel on ajoute un peu de composition d'étain pour l'écarlate; l'ébullition dure un quart d'heure, puis on échantillonne.

On teint la soie lorsqu'on l'a préparée par le bain d'alun, on rince et on teint dans la décoction tiède sans addition.

On ne fait la teinture du coton qu'en associant la gaude et le bois jaune. La décoction contient à la fois les parties solubles abandonnées à l'ébullition par les deux matières tinctoriales. La préparation est celle de la teinture en jaune par la gaude seule.

Quercitron.

Lorsqu'on plonge la laine dans une décoction faite de quercitron et d'alun à poids égaux, on obtient une coloration jaune très-vive; l'ébullition du quercitron pendant deux minutes suffit pour enlever toute la matière colorante que le quercitron renferme; on immerge l'étoffe en donnant la nuance la plus foncée, on passe les nuances claires dans des bains appauvris, mais non encore épuisés. Par ce moyen, les parties fauves sont enlevées et les nuances claires restent plus pures. Au sortir du bain, on avive en donnant une passe dans une eau blanchie par un peu de craie; dans ces circonstances, la couleur ne semble pas offrir la même solidité que lorsqu'on soumet l'étoffe au bouillon avant de la teindre. On commence par préparer la laine en la faisant bouillir pendant une heure dans une dissolution d'alun contenant pour 12 kilos de laine 2 kilos d'alun; on n'ajoute pas de tartre. On passe dans un bain qui a reçu à l'ébullition 2 kilos de quercitron; on manœuvre jusqu'à ce que la couleur soit suffisamment montée; on lève, on avive avec de la craie qu'on jette dans le bain, on pallie, puis on abat, on mène encore huit à dix minutes.

On obtient une nuance plus foncée si l'on fait usage de composition d'étain. On prépare une nuance tirant sur le vert en ajoutant du tartre; 10 parties de quercitron, 5 d'alun, 7 de composition d'étain produisent un jaune très-brillant, doré, sans tourner à l'orange.

Teinture de la soie. — On peut remplacer dans la teinture de la soie la gaude par le quercitron. On passe la fibre en alun, puis on teint. A cet effet, le bain contient pour 12 kilog. de soie 2 kilog. de quercitron; on manœuvre dans le bain à 30 ou 40 degrés; on avive par une addition de craie ou de potasse. On peut encore ajouter à la dissolution d'alun un peu de composition d'étain.

Teinture des tissus de coton. — On foularde dans l'a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cétate d'alumine à 7 degrés ; on fait sécher à la chambre chaude ; trois ou quatre jours après, on peut teindre. On dégomme dans un bain d'eau marquant 40 degrés et contenant 1 à 2 kilog. de craie.

La teinture se fait en préparant un bain dans lequel on met par pièce à teindre 1 ou 2 kilog. de quercitron renfermé dans des sacs à tissu peu serré. On fait bouillir près d'une heure, plutôt moins que plus, on enlève les sacs, et on remplit d'eau froide le bain qui n'était qu'à moitié dans la chaudière ; on ajoute 20 à 30 grammes de colle par kilog. de quercitron ; quand la température ne marque plus que 35 à 40 degrés, on plonge les pièces qu'on manœuvre pendant 15 à 20 minutes. On réchauffe par la vapeur. On obtient des jaunes clairs en diminuant les doses, ou bien en se servant de bains ayant déjà fourni des colorations foncées.

Fustet.

Le seul reproche qu'on puisse faire au fustet comme matière tinctoriale résulte de son peu de résistance à l'air. Il ne donne aucune nuance bon teint. Cependant son usage est considérable dans la teinture sur mérinos, parce que les nuances auxquelles il conduit ne peuvent être produites par d'autres matières.

On peut l'employer avec le tartre et l'alun, lorsque les couleurs qu'on veut produire n'exigent pas une grande fraîcheur. La meilleure préparation qui lui convienne est le tartre additionné de composition d'écarlate.

On procède de la manière suivante : on fait un bouillon de sel d'étain et de tartre ; on y ajoute la décoction de bois de fustet. On mène jusqu'à ce que le drap ait la teinte voulue. Pour obtenir des nuances claires, il est indispensable d'éviter l'ébullition, parce qu'à cette température le fustet s'altère et produit une couleur d'une nuance plus ou moins rousse qui se trouve fixée.

Pour préparer le bain de teinture, on commence par remplir la chaudière de l'eau la plus pure ; si l'on a de l'eau de pluie ou de l'eau de puits, on la filtre pour éliminer toutes les matières étrangères qui pourraient maculer le tissu. On rince la chaudière chaque fois qu'on la monte avant la filtration. On fait bouillir, on jette alors le bois dans le bain, enfermé dans un sac de toile ; on maintient l'ébullition pendant une demi-heure au plus ; le bain chargé de matière colorante est d'un brun foncé. Une étoffe plongée dans le bain ne se colorerait qu'en jaune fugace. Le tartre et la composition d'étain fixent la matière sous forme d'un précipité d'un jaune vif. On versedonc, avant de plonger les pièces, la composition d'écarlate et le tartre ; on pallie bien et on plonge les pièces ; on les mène vivement jusqu'à ce qu'elles aient atteint la nuance voulue ; on fait sortir les pièces du bain au moins deux ou trois fois, parce que le ton s'égalise bien mieux par cette exposition à l'air. Pour remplacer la décoction qui s'épuise, on place le nouet qui tient le fustet une seconde fois à l'ébullition, et on ajoute une nouvelle quantité de tartre et d'écarlate pour remplacer la portion de ces sels enlevée par les tissus.

D'après M. Chevreul, pour teindre 10 kilos de laine, on amène presqu'à l'ébullition le liquide de la chaudière ; on la garnit avec 1,200 gr. de crème de tartre et 700 gr. de dissolution d'étain pour l'écarlate, on ajoute le sac de toile qui contient le fustet, et lorsque le bain est légèrement coloré, on entre les laines ; on retire le sac et les laines sont lissées jusqu'à la nuance. Quand on a fait l'échantillonnage, on lève et on rince. Si l'on veut arriver à la nuance dorée, lorsque les laines ont reçu le pied de jaune jugé convenable, il faut lever les laines et verser dans le bain plus ou moins de cochenille moulue, tout en manœuvrant la mise pour arriver au ton demandé, bouton d'or ou jaune foncé.

Curcuma.

Quoique le jaune s'obtienne souvent sur soie par le moyen de la gaude, on emploie quelquefois le curcuma ; c'est surtout pour préparer les jaunes modifiés par le bleu pour produire du vert. Le curcuma donne des nuances peu solides.

On fait en Chine un grand usage du curcuma longo, qui se nomme *kiang-hoang*, et qu'on trouve très-répandu dans les provinces de Kouang-Toung, de Kouang-Si, de To-Kien, de Tché-Kiang, de Sse-Tchouen. C'est la teinture jaune le plus en usage et le meilleur marché. On la rend plus durable en donnant un pied de *hoang-teng* (rotin jaune) ; le curcuma ne coûte guère, en poudre, que 80 centimes le kilog.

Pour employer le curcuma, on verse de l'eau bouillante sur la matière en poudre, on pallie, on laisse reposer, puis on décante ; on ajoute un petit verre de jus de citron pour 600 gr. de curcuma, et 2,400 gr. de curcuma pour 600 gr. de soie soumise à la teinture. Quelques teinturiers préfèrent le vinaigre au jus de citron ; d'autres ne font aucune addition d'acide.

Acide picrique.

C'est à la teinture des soies que M. Guinon a le premier appliqué l'acide picrique. Nous avons donné plus haut la manière de préparer cet acide dans un état de pureté suffisante pour les besoins de la teinture.

La dissolution d'acide picrique étendue d'une quantité d'eau convenable, mais en rapport avec la nuance qu'on veut produire, est mise dans le bain ; il n'est besoin d'aucun intermédiaire pour favoriser la combinaison de la matière colorante avec la soie. On doit opérer à la température de 30 ou 40 degrés pour que la réaction se fasse bien également ; à leur sortie du bain, les soies teintes par l'acide picrique doivent être mises au séchoir sans aucune opération ou lavage.

L'acide picrique est appliqué depuis assez longtemps à la teinture des couleurs vertes et jaunes rompues sur mousselines laines. Les précautions à prendre sont les mêmes que lorsqu'il s'agit de la soie ; il est seulement nécessaire d'élever un peu plus la température du bain, surtout pour les nuances foncées.

On ne peut reprocher à cette teinture que son altérabilité sous l'influence des lavages répétés.

Rocou.

Lorsqu'on fait usage du rocou, qui donne les nuances jaune orangé, comme nous l'avons dit, on facilite la dissolution en ajoutant au bain de petites quantités d'alcali, qui détruisent encore une partie de la teinte rouge provenant de l'altération à l'air de la matière colorante jaune. Le rocou, coupé par morceaux, mêlé de son poids de cendres gravelées, est amené quelque temps à l'ébullition dans une chaudière, et le bain est prêt. La laine est manœuvrée jusqu'à la nuance voulue. On peut modifier la nuance avec des additions de matières colorantes qui teignent la laine ; mais rarement on fait usage de rocou pour teindre les draps, parce que la nuance n'est pas solide, et parce qu'on peut arriver à cette teinture par d'autres principes plus résistants ; on s'en sert donc exclusivement pour les soies.

Teinture de la soie. — Lorsqu'on veut teindre en aurore, en orange, en rouge orangé, les soies sont cuites dans le savon, à raison de 20 parties pour 100 ; elles sont dégorgées et plongées dans une dissolution alcaline de rocou qui fait fonction de bain de teinture ; le bain est chargé suivant la nuance qu'on veut obtenir ; on le porte à 60 degrés à peu près. On manœuvre, on lève et on tord pour échantillonner. Si la teinte n'est pas assez foncée, on abat de nouveau pour lisser, retordre et rincer. Lorsque la nuance est au point voulu, deux battues en rivière éliminent l'excédant du rocou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

non combiné. La teinte aurore est produite par le rocou seul ; pour les nuances orange et rouge orangé, il faut ou virer, ou rougir par une addition de principe colorant rouge.

On vire au rouge les soies teintes en aurore au moyen d'une passe dans une eau chargée de vinaigre, d'alun ou de jus de citron. L'acide détruit la combinaison de la matière colorante avec l'alcali qui facilitait la dissolution. Le rocou reprend la couleur rouge qui lui est propre. Pour les nuances très-foncées, les soies teintes au rocou, virées au rouge par un bain d'alun, sont encore montées par un nouveau passage ou dans le bain de brésil, ou dans un bain de carthame. On se sert à cet effet des vieux bains de safranum. On doit sécher à l'abri du contact de la lumière les soies teintes avec le rocou.

Teinture des cotons. — Lorsqu'on veut teindre le coton au moyen du rocou, le bain se prépare en broyant cette matière avec le double de son poids de carbonate de potasse; on laisse déposer le liquide après l'avoir pallié convenablement. On transporte dans un bain chauffé pour y entrer le coton. On ajoute du tartre pour que le bain devienne légèrement acide ; on lisse le coton; on le tourne, s'il est en pièces. La couleur devient ainsi très-vive et très-unie. On termine par un léger lavage; on sèche dans une étuve.

6. Teinture en nuances composées.

Nous avons pu voir, d'après les nombreuses substances énumérées ci-dessus, la richesse des ressources que la science moderne a mises à la disposition des teinturiers. On se ferait une idée bien fausse de la variété des nuances que le consommateur peut demander, si l'on perdait de vue que toutes les matières colorantes dont les propriétés chimiques sont voisines peuvent se mélanger en quelque sorte en proportions indéfinies, et que la transparence de la plupart de ces couleurs permet de les placer les unes sur les autres, et de préparer ainsi par voie de superposition des tons mélangés très-variables, et tout aussi brillants que ceux qui peuvent provenir de mélanges solubles. Comme le premier pied ne sature pas la fibre, on peut faire prendre à l'étoffe de nouvelles couleurs dans des bains chargés de matières colorantes différentes.

Le cortége des couleurs composées vives et brillantes que l'industrie produit est tellement varié, qu'on est forcé pour les nommer d'aller chercher des noms pris dans toute sorte de langues et de notions, dans tout ordre d'idées, etc.; on peut les ramener, ainsi que nous l'avons dit, à quatre classes distinctes.

Ce que nous avons indiqué sur la teinture en rouge, en jaune, en bleu nous dispense de plus grands détails; nous nous bornerons à l'énoncé de quelques principes généraux.

Nous distinguons:

1° Les nuances formées de jaune et de bleu, formant le *vert et ses dégradations;*

2° Les nuances formées de rouge et de bleu, formant le *violet et ses dégradations;*

3° Les nuances de jaune et de rouge, formant l'orange, l'orangé et ses dégradations.

4° Nous rangerons dans la quatrième classe toutes les nuances qui participent à la fois du bleu, du jaune et du rouge. Elles se subdivisent en trois séries suivant que l'une d'elles domine par rapport aux autres.

Dans les *marrons* et les nuances qui l'environnent, le rouge domine; dans les verts olive et les nuances dérivées, c'est le jaune qui se trouve en excès. La 3e série contient les couleurs dites tête de nègre et les tons qui s'y rapportent dans lesquels le bleu semble dominer.

Les noirs et les gris appartiennent à la série neutre dans laquelle ni le bleu, ni le rouge, ni le jaune ne sont en excès, chacune de ces nuances étant en proportion convenable pour se neutraliser complétement. Les gris sont formés par du noir auquel se mêle plus ou moins de fibre blanche non colorée. Nous avons vu qu'on devrait, pour obtenir chacune de ces nuances douées d'une grande solidité, qu'elles soient pures ou se classent dans la 1re, 2e ou 3e série, former le fil de laines blanches et de laines colorées dans la nuance la plus foncée.

Teinture en jaune et bleu.

(Verts, verts bleus et verts jaunes.)

Pour teindre en vert, on commence par teindre en bleu; on rince, on teint en jaune. Lorsqu'on teint de la laine, il faut choisir comme teintures celles qui ne sont pas altérées au foulonnage, c'est-à-dire par le contact avec les alcalis. Nous avons vu que certains mélanges qui peuvent s'employer exactement dans les mêmes conditions teignent immédiatement en vert; mais en général, à l'exception du vert de Chine, ces nuances n'ont pas un grand éclat à la lumière artificielle. Pour qu'un vert soit brillant à la lumière d'une lampe, par exemple, il faut que le bleu et le jaune qui le composent le soient aussi pris isolément. Or on a remarqué que beaucoup de bleus se dénaturent le soir en tournant au violet et même au pourpre, en même temps que les jaunes ou faiblissent ou tournent à l'orangé. Il est évident que l'harmonie du vert sera détruite le soir et que l'impression sur l'œil sera celle d'un mélange de bleu, de rouge et de jaune, c'est-à-dire d'un ton plus ou moins rabattu.

La graine de Perse fournit un jaune brillant même à la lumière artificielle, bien qu'il vire légèrement à l'orangé; mais en supposant qu'on ne puisse en faire usage, on trouverait dans les analognes du hoaï-hoa et du hoang-tchi un jaune satisfaisant à toutes les conditions.

Quant au bleu, l'indigo, soit dans le bleu de cuve, soit dans le carmin d'indigo, le fournirait dans l'état convenable, si l'on avait le soin d'éloigner du bain le pourpre d'indigo et la phéniceine qui modifient la nuance des bleus en altérant leur pureté. Lorsqu'on a préparé le bleu convenablement purifié, lorsqu'on a saturé d'oxyde d'étain une lessive faible, on sature cette dernière d'indigo ou de sulfate d'indigo. On plonge alors dans cette cuve montée par l'étain les tissus à teindre pour obtenir un bleu de ciel pur au ton voulu; on donne sur ce premier pied de bleu le jaune en rapport avec la nuance verte qu'on veut préparer. M. Persoz a composé de cette manière des verts brillants à la lumière, qui se rapprochaient beaucoup de celui que fournit le lo-kao des Chinois.

Teinture en violet, rouge et bleu.

(Violet, pourpre, amarante et cramoisi.)

Lorsqu'on forme le *violet* par la superposition du rouge et de l'indigo, les deux nuances doivent avoir la même intensité. Il faut fixer d'abord la nuance bleue par la cuve d'inde, ou toute autre cuve d'indigo, terminer par la rougie. Telle est la méthode dont on ne s'écarte pas. Si l'on commençait par appliquer la cochenille, le rouge serait en partie détruit par la réaction de l'alcali nécessité par la cuve d'indigo. Il faudrait exagérer la dose de cochenille, c'est-à-dire augmenter la dépense.

La couleur *pourpre*, dans laquelle le rouge est en plus forte proportion que dans le violet, se prépare au moyen du campêche, de l'alun, du tartre et du sel d'étain comme bouillon; on bleuit avec le campêche; dans cette préparation, le rouge est fourni par la réaction du bouillon acide sur le campêche.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le *cramoisi*, plus rouge encore que le pourpre, provient de la cochenille qui donne avec les diverses préparations métalliques des nuances plus ou moins jaunes; on la fait virer au moyen des alcalis ; l'ammoniaque est généralement préférée.

L'amarante, plus rouge que le cramoisi, s'obtient avec une moins grande dose de bleu ; on teint comme pour le cramoisi que nous venons de voir. On surcharge avec du bleu qu'on tire du campêche ou du sulfate d'indigo. On teint en rouge d'abord, on passe ensuite dans le bain de bleu.

Nous ne voulons pas allonger cet article en donnant des compositions variées pour produire sur laine, sur soie et sur coton, les nuances en quelque sorte innombrables qui tiennent du rouge et du bleu. Nous nous bornerons à transcrire les doses indiquées par M. Chevreul pour préparer le violet sur laine.

Teinture de la laine en violet. — On prend, d'après M. Chevreul, pour 10 kilog. de laine à teindre en violet fin, 1 kilog. d'alun, 2 kilog. de crème de tartre pour monter un bouillon ; on manœuvre les laines au bouillon pendant un quart d'heure ; on lève et on évente. Après avoir rafraîchi le bain, on ajoute de la cochenille ammoniacale et du carmin d'indigo dans des proportions déterminées par la nuance que l'on veut obtenir ; on lisse jusqu'à la hauteur demandée ; on lève et on lave.

On peut remplacer la cochenille par le bois de Campêche. On monte le bouillon avec 2,500 gr. d'alun, 1,250 gr. de crème de tartre et 1,250 gr. de composition d'étain; on fait bouillir pendant une heure et demie ; on lève, on met au frais et on laisse sur le mordant pendant trois jours ; on rince et on monte un bain faible de campêche à 70 degrés; on lisse jusqu'à la nuance voulue.

Teinture de la soie. — On se sert pour teindre la soie dans les nuances violettes soit de cochenille et de bleu de cuve, ou de bois de Brésil, soit d'orseille. Le violet fin se fait avec la cochenille et le bleu de cuve.

Pour obtenir le violet fin, on prépare la soie, puis on lui donne la rougie par la cochenille, comme pour avoir le cramoisi ; seulement, on ne met dans le bain ni crème de tartre ni dissolution d'étain ; on met plus ou moins de cochenille, suivant la nuance qu'on veut faire. On prend ordinairement, pour un beau violet, 16 kilog. pour 100 kilog. de soie. On teint, on lave à la rivière en donnant deux battures; on passe ensuite dans une cuve plus ou moins forte, suivant la hauteur du bleu qu'on veut superposer. On lave et on sèche avec précaution.

Lorsqu'on remplace la cochenille par le bois de Brésil, on obtient des nuances qui peuvent ne pas manquer d'un certain éclat, mais qui ne sauraient être considérées comme résistantes.

Teinture en jaune et rouge.

(Écarlate, orange et rouge orangé.)

On donne le nom d'*écarlate* à la couleur que forme la cochenille précipitée par un sel d'étain. Dans ce cas, le jaune que prend l'étoffe paraît résulter de la destruction d'une partie de la cochenille employée. On a donc économie à joindre à la cochenille, pour en diminuer le poids, une matière colorante jaune. On a donné la préférence au fustet et au curcuma. On obtient toutes les nuances qui dérivent de l'orange en variant les doses de la composition d'étain, de la cochenille et des matières colorantes jaunes (fustet, curcuma, gaude, etc.).

7. Teinture en noir.

On sait que le composé formé par l'oxyde de fer, l'acide gallique et le tanin, qui constitue l'encre ordinaire, d'un gris violet, lorsqu'il est étendu, paraît noir quand il est concentré, et qu'il peut servir à la teinture en noir des laines, des soies, du fil et du coton; on l'associe généralement aux composés formés par les sels de cuivre et le campêche.

Teinture de la laine. — D'après M. Chevreul, pour teindre en noir la laine en écheveaux, on commence par la lisser dans un bain de carbonate de soude à 2 degrés Baumé et à 5 degrés centigrades pendant environ une demi-heure ; on rince à l'eau courante, puis on fait bouillir avec de l'eau qu'on a légèrement étendue d'alun ; on donne un bouillon de quelques minutes, puis on laisse déposer le bain, qu'on tire à clair dans une barque en bois. La température étant descendue vers 70 degrés, les laines sont placées dans un panier à claire-voie, de dimension telle qu'il puisse descendre facilement dans la barque. On presse les laines, puis on les descend dans le bain, de manière qu'elles y plongent entièrement. On les laisse tremper une heure ou deux, on les retire ensuite pour les rincer ; elles sont dans cet état disposées pour la teinture.

On passe dans un bouillon qui contient 500 gr. de sulfate de fer et 1 kilog. de tartre rouge ; on rince à fond. On monte un deuxième bain avec du campêche qu'on fait tourner avec un peu d'acétate de cuivre ; on y lisse les laines jusqu'à ce que le noir soit suffisamment monté ; on rince pour enlever toutes les molécules qui ne sont pas adhérentes.

Lorsqu'on veut teindre de la laine en pièce comme des draps, on commence par leur donner un pied de bleu de cuve qui fournit un noir plus solide avec une nuance toujours plus pure et plus intense.

Les proportions auxquelles on accorde généralement la préférence sont 5 kilog. de noix de galle, 30 de bois de Campêche, et 5 de sulfate de fer pour 100 kilog. de drap. Voici comment on procède dans d'autres localités :

Pour 110 à 120 mètres de drap passés au bleu de cuve, on prend 5 kilog. de noix de galle, 4 kilog. bois d'Inde, 1 kilog. de sulfate ou de pyrolignite de fer, 1 kilog. d'acétate de cuivre ; on mélange à 100 degrés. Quand le bain est bien noir, on partage la liqueur en trois parties ; le premier tiers est refroidi jusqu'à 40 degrés; on y trempe l'étoffe qu'on manœuvre sur le tour. On lève et on évente; on ajoute dans la liqueur le deuxième tiers, auquel on mélange 3 à 4 kil. de sulfate de fer; on trempe, puis on lève et on évente de nouveau ; enfin, on ajoute le dernier tiers, puis 1 kilog. de sulfate de fer et 2 à 3 kilog. de sumac ; on élève à l'ébullition, on trempe l'étoffe, après avoir rafraîchi, on lève, on évente, on rince et on foulonne ; on rince à la rivière.

On opère plus simplement encore en passant le drap bleu sur un bain de noix de galle bouillant pendant deux heures ; on le passe ensuite dans un bain de bois d'Inde et de sulfate de fer sans faire bouillir. On lave et on foulonne.

On trouvera dans les ouvrages spéciaux des milliers de dosages qui tous oscillent autour de ceux que nous venons de donner. Les méthodes sont variables avec les localités; le tanin est fourni tantôt par une plante, tantôt par une autre; le commerce distingue donc les noirs ou d'après le nom de la localité qui la fournit, ou du nom des ingrédients qui composent le bain ; on connaît le noir de Sedan, le noir de Vienne, le noir de Bédarrieux, le noir de Montauban, le noir au chromate, le noir au pudis, etc.

On donne le nom de *noir à la jésuite* au noir brillant fait à l'aide d'un appareil particulier qui permet le contact de l'air pendant la teinture même. Le tour est placé à 3 mètres au-dessus de la chaudière, de façon qu'il y ait toujours 6 mètres de drap hors du bain et en contact avec l'atmosphère. On prépare, comme dans les autres fabrications, une décoction de noix de galle,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sumac et de campêche; on plonge les tissus à 100 degrés pendant une heure ou deux, on abat, on évente jusqu'à ce que la mise soit refroidie. On ajoute au bain un demi-kilog. d'acétate de cuivre par pièce de 15 mètres; on plonge l'étoffe et on la mène pendant deux heures à l'ébullition; on abat et on évente pour faire refroidir; on verse alors dans le bain du protosulfate de fer qu'on utilise dans la dernière passe des tissus. L'action de l'air, pendant que la pièce circule à sa sortie du bain, facilite l'oxydation du protoxyde de fer; on obtient une coloration plus uniforme et plus intense.

Teinture de la soie. — Quoique la soie grége prenne la teinture en noir très-facilement, il est nécessaire de la cuire pour que la coloration soit régulière et brillante.

On fait décreuser la soie par une ébullition avec le cinquième de son poids de savon; on maintient l'ébullition pendant quatre ou cinq heures; on blanchit au soufre et on teint après un nouveau lavage avec une eau légère de savon blanc.

On passe la soie décreusée dans un fort bain de galle, ordinairement de 8 kilog. pour 10 kilog. de soie. On fait bouillir et on laisse dans le bain refroidi pendant trente-six heures; on lève, on rince et on tord. On passe ensuite dans un bain de sulfate de fer; on rince et on lave à l'eau de savon. Au lieu de sulfate de fer on peut employer le pyrolignite de fer à 5 degrés Baumé; on tord à la cheville et l'on sèche après un léger lavage. On procède ensuite à la répétition des mêmes opérations pour avoir des noirs foncés. Une ou deux teintures suffisent pour des noirs ordinaires; il en faut une troisième pour des noirs intenses; une quatrième conduit au noir pesant. Il va sans dire que chaque engallage est suivi d'un rinçage et d'une passe en eau chargée de fer, sulfate ou pyrolignite.

Pour l'engallage, on économise souvent les galles d'Alep, auxquelles on ajoute des noix de galle blanches. On fait aujourd'hui dans les villes de Lyon et de Saint-Étienne une consommation assez considérable de galles de Chine.

La teinture est dite à un, deux ou trois *feux*, suivant qu'elle a reçu une, deux ou trois teintures superposées. La nuance sera d'autant plus égale qu'on aura lissé avec une plus grande régularité, suivant aussi qu'on aura tordu plus complétement. On adoucit par un passage en savon.

On doit à M. Michel, de Lyon, une intéressante notice sur la teinture des soies en noir, dans laquelle il fait connaître les observations qu'il a faites pendant une pratique de plus de quarante ans.

Le tanin de châtaignier, qui se trouve sous le poids de 6 p. 100 dans les bois passés, trop vieux pour être consommés comme bois de chauffage, lui paraît être le plus convenable pour le noir *à la galle*.

L'infusion des copeaux de châtaignier faite à froid est d'une couleur fauve clair. Si on filtre l'infusion pour l'avoir bien limpide, elle ne tarde pas à se troubler et à laisser déposer une poudre d'un blanc ocreux qui augmente par l'ébullition; c'est de l'acide ellagique. Par la fermentation spontanée qui se développe dans une infusion faite à froid ou concentrée jusqu'à marquer 10 à 12° Baumé, l'acide tannique se transforme en acide gallique; dans un liquide qui marque 20° cette transformation n'a plus lieu, et le liquide se conserve indéfiniment; si la température de la décoction n'a pas dépassé 50°, le liquide peut s'étendre d'eau sans aucune décomposition; mais si la température a dépassé 60°, il se forme un corps nouveau qu'on peut comparer à l'acide ulmique et qui ne sert plus à l'engallage; il se précipite quand on étend d'eau. Ces circonstances limitent les conditions dans lesquelles le tanin de châtaignier peut être utilement préparé pour la teinture des soies.

Les pieds-de-noir étaient originairement très-compliqués. D'après M. Michel, l'oxyde de fer doit se trouver dans le bain au minimum d'oxydation et à l'état nentre; de là, nécessité d'ajouter de la limaille de fer aux bains de noir; l'emploi de la gomme, du sucre et d'une petite quantité de bitartrate de potasse lui paraît nécessaire pour les bains permanents; ils s'opposent à la précipitation d'une partie du composé noir formé dans la liqueur au contact de l'étoffe engallée : la gomme turi semble de toutes les gommes celle qui donne le meilleur résultat dans les bains très-denses.

La composition ferrugineuse la plus convenable est un mélange à poids égaux de sulfate, de protoxyde de fer et de pyrolignite.

Dans ces conditions, l'ancien bain qu'il fallait maintenir à 35° Baumé se remplace par un bain de 1 à 2° Baumé que chaque teinture épuise.

Ce nouveau procédé apporte une grande régularité dans les opérations, une grande économie dans les fournitures, comme dans la main-d'œuvre; il débarrasse de la crainte continuelle d'altérer les soies.

L'économie dans les fournitures consiste dans la suppression des matières gommeuses, et de tous les ingrédients que l'empirisme avait entassés dans les pieds-de-noir. Quant à la main-d'œuvre, elle est bien simplifiée; avec les bains denses et gommeux, il faut cinq ou six fois tordre fortement à la cheville les soies chaudes, les secouer vivement pour faciliter l'oxydation. Avec les bains faibles et sans gomme, il suffit, après chaque immersion, de lever les soies et de les placer sur deux grandes barres, où l'air les oxyde pendant qu'on réchauffe le bain pour l'immersion suivante.

Teinture du coton. — On apporte une grande économie dans la teinture en noir de la fibre du coton en faisant usage de pyrolignite de fer préparé, comme nous l'avons dit en parlant des préparations ferrugineuses.

On commence, d'après Vitalis, par engaller 100 kil. de coton avec 16 kilog. de noix de galle. On peut ajouter à la noix de galle du sumac et du bois d'Inde; alors, on diminue la dose de noix de galle; on donne un premier bain à 50 degrés à peu près; le coton trempe quatre à cinq heures; on lève, on tord et on fait sécher *on* plein air si le ciel est pur, sous des hangars si le temps est couvert.

Lorsque le coton est bien sec, on le plonge dans un bain d'eau tiède qui contient la quantité de pyrolignite de fer en rapport avec la nuance qu'on veut obtenir. On manœuvre pendant une demi-heure, en levant, éventant, rabattant et menant de nouveau la mise pour égaliser la teinture. On engalle de nouveau, puis on donne sans sécher une nouvelle passe dans le bain de pyrolignite de fer; dans ce cas, l'engallage et le bain ferrugineux sont un peu plus faibles. On répète encore ces deux opérations à la suite l'une de l'autre sans sécher; on lève, on évente pendant un quart d'heure, puis on lave et on fait sécher.

On donne au coton teint en noir une assez grande souplesse en le passant, après la teinture, dans un bain blanc semblable à celui dont on fait usage dans la fabrication du rouge d'Andrinople. A cet effet, on verse sur une partie d'huile tournante 36 à 40 parties d'eau chargée de soude marquant 1 degré Baumé; on emploie 60 gr. d'huile pour 1 kilog. de coton. On tord et on fait sécher, on lave à l'eau courante, on bat et on sèche de nouveau pour la dernière fois. On peut ajouter encore à la solidité du noir en associant à l'engallage une décoction de gaude, qui donne un principe jaune ca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pable d'absorber ceux des rayons dont l'influence destructrice sur la teinture en noir est le plus à redouter.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les méthodes appliquées jusqu'à ce jour à l'art de la teinture; on pourra voir la variété des couleurs qu'il est possible de produire en variant la composition des bains et les superpositions que les caractères spéciaux des matières colorantes rendent industriellement praticables. Nous terminerons par un aperçu succinct sur les rapports qui lient la teinture proprement dite avec l'art de l'indienneur, c'est-à-dire l'art d'imprimer sur tissus. Nous dirons enfin quels sont les procédés auxquels le fabricant peut et doit recourir pour reconnaître la nature de la matière colorante employée pour produire un effet donné, que cet effet soit produit par un tissu teint en uni, ou par une étoffe imprimée.

§ XIV. DE LA TEINTURE

considérée dans ses rapports avec l'impression.

Les détails dans lesquels nous sommes entrés, quelque variés qu'ils soient, ne donnent encore qu'une idée bien imparfaite de l'étendue des services que la teinture rend aux arts vestiaires. Nous n'avons en effet compris dans tout ce qui précède que la fabrication des fonds unis. Or, rien ne saurait égaler le nombre illimité des dessins qu'on peut obtenir au moyen de la teinture quand on sait associer ses méthodes à celles de l'impression proprement dite. Nous pouvons supposer que le tissu qu'il faut teindre a reçu par une première impression ou des dessins sur lesquels la couleur ne prendra pas (réserve mécanique), ou des dessins d'une nature telle qu'ils s'opposeront à l'adhérence de la teinture qu'on veut appliquer par immersion (réserve chimique), ou des dessins faits avec des matières qui modifieront la nuance déposée par le bain (couleurs conversions); la teinture vient alors après l'impression des réserves mécaniques et chimiques, et des couleurs conversions; dans d'autres cas, on procède d'abord à la teinture et sur le fond uni on vient appliquer par le moyen de l'impression soit des rongeants capables de détruire la couleur du fond (enlevages), soit des dessins qui se superposent aux fonds pour en modifier la teinte ou par superposition, ou par conversion.

Supposons pour fixer les idées qu'on veuille obtenir un fond bleu avec des figures s'enlevant sur le fond.

Deux cas peuvent se présenter : ou la figure est assez foncée pour absorber complétement la couleur du fond, on l'imprime alors directement, ou la couleur du fond ne peut être absorbée; il faut alors réserver les figures, c'est-à-dire qu'il ne faut appliquer aucune couleur sur les parties qu'occuperont ces figures, soit qu'on les réserve, si le fond se pose le premier, soit qu'on ne les couvre pas, si le fond se pose en dernier lieu. Cet exemple, que nous allons étudier sous toutes ses formes, nous fera comprendre les services que se prêtent mutuellement la teinture et l'impression, qu'on ne devrait pas séparer, car elles ne forment qu'une même industrie.

La réserve se fait au moyen de la gravure qui ne se charge pas de couleur et qui ne la dépose que sur les places voulues, en respectant celles qui doivent rester blanches. Si l'on imprime le mordant, une passe dans un bain fixera le fond. La réserve se fera encore au moyen d'effets mécaniques ou chimiques destinés tantôt à prévenir l'adhérence d'un fond sur certains points donnés (c'est *imprimer une réserve*), tantôt à enlever au tissu pour obtenir des dessins blancs ou colorés, (c'est *imprimer un enlevage.*) On combine donc, pour préparer les tissus imprimés et les méthodes de l'impression et la teinture proprement dite, qu'on pourrait appeler par voie d'*immersion*.

Quant à multiplier les effets avec le moins de main-d'œuvre possible, la chimie apprend à préparer des mélanges qui peuvent agir à la fois comme réserves, comme enlevage, et même comme couleurs conversions, et l'on admettra sans peine que la meilleure des couleurs sera celle qu'il sera possible

1° De fixer sur une étoffe de manière à produire des dessins blancs sur un fond coloré, ou des fonds colorés avec un dessin blanc réservé;

2° De ne pas fixer en entravant l'adhérence par une réserve;

3° De ronger pour la faire disparaître;

4° D'imprimer comme réserve pour un fond donné;

5° D'imprimer comme enlevage sur un fond quelconque;

6° De convertir en des nuances plus ou moins foncées ou plus ou moins claires et plus ou moins en rapport avec la couleur primitive.

Pour épuiser ce sujet reprenons notre fond bleu sur lequel on demande de fixer une rose jaune, par exemple; six méthodes se présentent. La plus simple sera naturellement préférée. On peut :

1° Imprimer à la planche le bleu comme fond, le jaune comme rentrure;

2° Imprimer à la planche le jaune comme fleur, le fond comme rentrure;

3° Imprimer un jaune composé de telle sorte que le bleu ne se fixe pas sur lui, puis teindre en bleu. Le jaune est dit *réserve sous bleu;*

4° Imprimer sur le bleu, mis par teinture, un jaune qui détruise le bleu en conservant sa couleur propre. Le jaune est dit alors *jaune enlevage sur bleu;*

5° Teindre en bleu, imprimer un enlevage blanc et rentrer la fleur jaune (enluminage);

6° Teindre en jaune, imprimer un enlevage blanc et rentrer le fond bleu (enluminage).

Sur ces six méthodes, quatre exigent la réunion des procédés de la teinture proprement dite et de l'impression. Et, dans certains cas encore, pour les deux premières, serait-on forcé d'imprimer les mordants et de passer ensuite dans les bains de teinture. On le voit cet exemple, des plus simples, met en relief l'importance de la teinture dans l'art de l'indienneur. Au surplus, il ne faudrait pas croire que dans le cas où la teinture proprement dite est employée pour la confection des toiles imprimées il faille autant d'immersions que de nuances. On trouve dans les genres garancés, monochromes, dessins fond sur fond ou polychromes, des dessins très-variés qui résultent de la coloration différente que prend la dissolution de garance avec les différentes préparations métalliques qu'on a préalablement imprimées. Si les impressions successives apportent sur le tissu des épaisseurs variées d'une même préparation, ou des épaisseurs également variées de préparation différente, un même bain de garance fixera sur l'étoffe des dessins dégradés d'une même couleur, ou des dessins dégradés de couleurs également variées. On sait que les préparations d'alumine, de fer, d'alumine et de fer, forment avec la garance des dessins rouges, roses, lilas, gris, etc.

Nous ne saurions étudier d'une manière complète ici l'art de l'imprimeur sur étoffes; nous renvoyons le lecteur à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFE que contient le présent volume de ce Dictionnaire. On y trouvera le détail des outils nécessaires et des différents modes de faire, suivant qu'on imprime en creux ou en relief, en une ou plusieurs couleurs, d'une manière intermittente ou continue. Nous nous bornerons à représenter une classification des diverses matières qu'on oppose avant ou après la teinture, et qui jouent le rôle de ce que nous avons appelé *réserve* ou *enlevage*.

Le rôle de ces divers agents est trop directement lié, tant au point de vue chimique qu'au point de vue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mécanique, à la nature des matières colorantes apportées par les bains, pour qu'un exposé méthodique concernant ces éléments de la décoration des tissus ne complète pas rigoureusement les études que nous avons présentées dans cet article. D'ailleurs cette exposition, différente de celle qu'on peut lire dans l'article impression, fixera les idées.

RÉSERVE. — Toute substance choisie de manière à s'opposer à la fixation d'une couleur qu'on pose par immersion ou même par placage sans modifier la couleur, sans altérer le tissu, sans s'opposer à l'adhérence de la couleur sur les autres points, fait fonction de *réserve*. Si la réserve laisse apparaître la couleur propre du tissu, c'est un *blanc réserve* qu'on emploie. Si la réserve laisse sur le tissu, postérieurement à la teinture, une nuance donnée sur les points réservés, c'est *une couleur réserve* qu'on applique. Les réserves doivent être composées de telle sorte qu'elles disparaissent aisément après avoir joué leur rôle. Primitivement les réserves se composaient de cire qu'on posait au pinceau sur les parties qu'il fallait protéger. Aujourd'hui les réserves agissent en vertu de principes bien différents; elles sont ou *mécaniques*, ou *chimiques*, ou *physiques*.

La réserve agit rarement en vertu d'un seul principe; elle peut être appliquée soit à l'égard du mordant, soit à l'égard de la couleur proprement dite. Une réserve mécanique, par exemple la cire, protégera d'une manière tout aussi certaine le tissu de coton, qu'on l'applique sur l'étoffe elle-même sans préparation ou sur l'étoffe préalablement plaquée (*mordancée*).

La *réserve mécanique* se compose de réserve de cire, de graisses, de corps gras huileux, d'huiles essentielles.

La *réserve chimique* agit sur la teinture en précipitant, par exemple, la matière colorante avant son contact avec la matière textile; d'autres fois, elle peut détruire la matière colorante et la décolorer, l'altérer seulement dans d'autres circonstances; l'action chimique peut se porter sur un seul ou sur tous les éléments : il faut se guider dans le choix qu'on en peut faire d'après le degré de résistance de la couleur et du tissu, la saturation et la réaction acide ou basique de la couleur.

La *réserve physique* agit matériellement en absorbant la matière colorante et s'opposant à l'action de la fibre; la terre de pipe est la réserve par excellence; les corps insolubles, comme les sulfates de plomb, de baryte, etc., peuvent être employés concurremment.

ENLEVAGE. — Faire naître, sur un fond uni, teint ou préparé par impression, une coloration blanche ou différente, tout en respectant la solidité du tissu, tel est le but de l'enlevage. Son mode d'action se définit: l'altération par nouvelle combinaison ou par destruction de la couleur qui forme le fond uni. C'est donc une réaction chimique se décelant par une dissolution de la matière déposée, ou par une destruction du principe coloré. On distingue les *acides* et les *rongeants*.

La couleur est-elle complétement détruite, laisse-t-elle apparaître l'étoffe blanchie, l'enlevage est dit *blanc enlevage*. On porte l'énergie de l'enlevage tantôt sur le mordant quand la couleur exige pour la teinture une préparation métallique, tantôt sur la matière organique lorsque la couleur adhère sans intermédiaire, tantôt sur la matière colorante organique et sur le mordant quand la matière colorante n'a pu se fixer qu'avec un auxiliaire métallique, tantôt enfin sur la matière inorganique lorsque celle-ci fait fonction de matière colorante. On obtient ces divers résultats par les acides, par une sorte de combustion de la matière colorante, par une dissolution et une combustion simultanée, par divers moyens appropriés aux caractères de la matière minérale, lorsque celle-ci se trouve être la cause de la coloration.

Les *enlevages acides* agissent ou par dissolution de la préparation métallique, ou par formation d'un composé dans lequel l'oxyde est masqué, ou par une transformation résultant d'un mouvement moléculaire capable de rendre l'oxyde insensible au contact de la matière colorante avec lequel il cesse de se combiner.

Les acides employés sont les acides oxalique, tartrique et citrique.

Les *enlevages comburants* agissent principalement sur les couleurs produites par la matière organique; l'acide chromique, le chlorure de chaux, l'acide hypochloreux, qui brûlent les matières colorantes ou les altèrent en les décolorant à la façon du chlore, peuvent être regardés comme les types de ces espèces.

Dans un grand nombre d'enlevages on doit considérer l'action comme mixte; la partie minérale de la laque se trouve éliminée par l'acide qui la dissout et la partie organique est brûlée dans un cas, décolorée dans l'autre, par l'agent comburant.

Lorsque la couleur déposée forme une laque, un acide seul peut la détruire si les deux éléments sont solubles dans l'acide employé. Si la couleur est un véritable sel inorganique, comme un chromate insoluble, chromate de plomb, un iodure insoluble, iodure de mercure, on doit choisir, parmi tous les composés que la chimie nous apprend à manier, ceux dont l'action sur la fibre la respectera le plus.

S'il est convenable de séparer ainsi les modes suivant lesquels les enlevages agissent, il faut prendre garde de trop exagérer la valeur de cette distinction, car l'acide hypochloreux, par exemple, agit à la fois comme acide et comme décolorant. On doit à M. Sacc l'introduction de l'acide hypochloreux, et le tour de main qui permet d'en faire usage; on ne peut l'employer directement en l'imprimant, tant parce qu'il se décompose rapidement, que parce qu'il attaque toutes les matières organiques avec lesquelles il est mis en contact. Or M. Sacc a tiré parti de la manière dont il se comporte en présence des sels de zinc. Il suffit, en effet, de substituer les sels de zinc à l'acide tartrique pour obtenir des enlevages blancs sur les tissus colorés, en les passant dans une solution d'hypochlorite de chaux.

Cette méthode réussit à merveille. De plus, en augmentant ou en diminuant la dose du sel zincique, on augmente ou diminue l'énergie du rongeant, au point qu'on peut obtenir par ce moyen des dégradations de nuances aussi nettes, aussi pures que possible et qu'on ne saurait réaliser par aucun autre procédé.

Voici comment on doit opérer :

On imprime au rouleau sur les tissus teints et savonnés l'enlevage suivant : eau, 1,500 gr.; sulfate de zinc, 400 gr.

Quand l'impression est sèche, on passe pendant deux minutes dans un bain froid monté à 2 degrés de l'aréomètre de Baumé avec de l'hypochlorite de chaux marquant 100 degrés chlorométriques, puis on lave et on sèche. Ce nouveau procédé d'enlevage est beaucoup plus rapide, plus sûr et plus économique que l'ancien, puisque le sulfate zincique ne coûte que 30 cent. le kilog., tandis que l'acide tartrique vaut 4 fr. le kilog.

Cette réaction résulte de cette curieuse propriété de l'acide hypochloreux de ne contracter aucune combinaison avec les sels de zinc.

M. Sacc, à qui l'on doit cette intéressante et féconde application, semble vouloir en reporter le mérite à M. Balard, qui a remarqué le premier l'action des sels de zinc sur l'hypochlorite de soude. Il est tout aussi juste de faire la part de l'un et de l'autre chimiste, du savant qui a découvert le fait et de l'ingénieux praticien qui en a su faire, quinze ans après, une heureuse application.

Lorsque l'enlevage est composé de telle sorte qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laisse à la place de la couleur qu'il a fait disparaître une couleur différente de celle de la fibre elle-même, on fait usage d'une *couleur enlevage*. Ces composés sont peu nombreux ; ils se pourraient confondre avec les couleurs conversions, car l'effet qu'ils produisent provient de substitution de matières colorantes ou d'oxydes métalliques nouveaux à ceux que la couleur contenait primitivement. Ils résultent encore de l'altération de la nuance par des préparations métalliques appropriées.

Pour ne laisser aucun doute dans l'esprit du lecteur sur les rapports de la teinture et de l'impression, nous allons supposer deux exemples, l'un de réserve et l'autre d'enlevage destinés à produire, l'un comme l'autre, des dessins blancs sur des fonds de couleur, le premier sur bleu de cuve, le second sur rouge de garance.

Veut-on faire une réserve blanche sur bleu de cuve, on imprimera comme *blanc réserve* un mélange de 2 kilog. acétate de cuivre, 2 kilog. sulfate de cuivre, 500 gr. d'alun qu'on étendra dans 10 litres d'eau avec 5 kilog. de terre de pipe et 5 kilog. de gomme de Sénégal ; on bassinera suffisamment ; on ajoute 300 gr. de nitrate de cuivre et 300 gr. d'acide sulfurique. Le tissu imprimé, passé au bleu de cuve une ou plusieurs fois suivant le ton désiré, sort avec les réserves blanches, le mélange imprimé jouissant de la propriété de précipiter l'indigo sans lui permettre de contracter d'adhérence avec les parties réservées.

Veut-on produire un blanc enlevage sur rouge turc, deux méthodes se présentent, soit qu'on agisse sur le mordant, soit qu'on agisse après toute teinture.

Dans le premier cas, on imprime au rouleau le mélange suivant : dans 10 litres d'eau, 2 kilog. de gomme arabique, 1,500 gr. d'acide oxalique, 2,500 gr. d'acide tartrique ; on épaissit avec 3 kilog. de terre de pipe. Ce mélange dissout et fait disparaître la préparation d'alumine étendue sur toute la surface de la pièce. On garance dans le bain de rougie. La garance ne se fixe que sur les parties alunées ; le dessin apparaît en blanc sur le fond rouge.

Dans le second cas, l'étoffe est teinte en rouge uni. On imprime avec 12 kilog. acide tartrique, 8 kilog. de terre de pipe, 1 litre d'eau gommée, 1,660 gr. de chlorure d'étain à 66 degrés. On passe dans la cuve à décolorer par le chlorure de chaux très-alcalin. Le chlorure ne se trouve décomposé pour dégager du chlore que sur les points imprimés dont la réaction est acide : le chlorure détruit le rouge, et les points imprimés apparaissent en blanc.

Couleurs conversions. — A ces procédés qu'on peut varier en quelque sorte à l'infini par les méthodes de l'enluminage avec les couleurs dites de *rentrure*, il faut ajouter les ressources que peuvent offrir les *couleurs conversions*. En effet, on modifie encore les couleurs obtenues par teinture soit avant, soit après le fixage et par voie mécanique ou par voie chimique.

On agit par voie mécanique et sur la teinture et sur la préparation métallique dans le genre *frappé* ; on fait de la sorte apparaître des dessins fond sur fond. En frappant avec la planche l'uniformité de la couleur disparaît, la partie qui correspond à la planche se détache sur le fond ; lorsqu'on frappe sur le tissu simplement aluné, la teinture en garance fait apparaître des dessins d'une autre nuance que le reste du fond. On ajoute à la régularité de ce travail en se servant d'eau légèrement gommée, comme M. Broquette l'a proposé.

On sait que le gaufrage n'est que le produit de l'écrasement sur certains points des fibres ou tuyaux qui composent le tissu. La réflexion inégale de la lumière blanche produit des ombres et des lumières qui font croire à certains dessins. On les nomme *moirés*. M. Persoz range ces effets parmi ceux qu'il désigne sous le nom de *conversions mécaniques*.

On obtient des *conversions chimiques* tantôt en opérant sur les préparations métalliques qui servent d'intermédiaire pour fixer la couleur, tantôt sur les couleurs elles-mêmes avant même qu'elles soient fixées. Dans le premier cas, par exemple, en agissant sur le mordant, il est facile de convertir un dessin uni en un dessin à deux teintes, en superposant des mordants de même base mais formés de sels à différents acides, l'un décomposable spontanément, l'autre exigeant un passage dans un bain alcalin ; on passe dans le bain de teinture. Les parties surchargées d'alumine prendront une teinte foncée, les autres prendront une nuance plus faible. Un seul passage dans le bain fera ressortir des dessins monochromes et dégradés, qu'on nomme genre double teinte. On obtient encore le même effet et d'une manière plus simple ; on imprime, par exemple, et l'on plaque un mordant d'alumine chargé de nitrate d'alumine, on imprime ensuite de l'acétate de soude par places seulement. L'acétate de soude décompose le nitrate d'alumine, renforce la dose d'alumine ; il fonctionne comme *blanc conversion*. On passe au bain de bouse et l'on teint en garance ; on obtient les mêmes effets rouge fin sur bande fond rose.

Au lieu d'imprimer un blanc conversion sur un mordant, on peut composer deux mordants qui se convertissent à leur point de contact en des nuances plus élevées ; on prépare de la sorte des étoffes rayées dont les rayures, se coupant sous certains angles, présentent au point d'intersection une nuance beaucoup plus violette, presque noire même. Les mordants de fer et d'alumine se prêtent très-bien à ces différents genres.

On peut produire des effets conversion par une autre méthode chimique. Nous poserons le principe et nous l'appliquerons à quelques exemples. Lorsqu'une substance colorée ou colorable se trouve en mélange avec des préparations métalliques, qu'elle ne change pas l'affinité de l'étoffe pour l'oxyde, et qu'elle ne s'unit d'ailleurs au tissu qu'à la condition de certaines modifications qu'on lui fait subir, elle est capable de produire des *conversions* colorées.

Supposons qu'on veuille produire des effets de double nuance en violet ou rose passant au brun ; nous imprimerons le dessin qu'on veut convertir avec un mélange de pyrolignite de fer ou d'acétate d'alumine et d'une certaine quantité de cachou, qui ne devient adhérent au tissu qu'après une exposition à l'air ou par une oxydation sous l'influence du bichromate de potasse. En imprimant sur certains points du bichromate de potasse, on fixe le cachou de telle sorte que la teinture fait apparaître des dessins double nuance, parce qu'à la nuance du sel métallique s'ajoute celle qui convient au cachou.

Quelques sels métalliques peuvent convertir comme le fait le cachou. Si nous imprimons des bandes en aluminate de potasse auquel nous aurons ajouté quelque peu de prussiate jaune, et que sur ces bandes on imprime par places des dessins avec un mélange d'acide tartrique et d'acétate de fer, on obtient par la vaporisation des dessins en bleu de Prusse résultant de la réaction du sel de fer et du cyanoferrure ; le bousage fait disparaître le cyanure non fixé, en même temps qu'il enlève l'oxyde de fer mis en liberté par l'acide tartrique. Une passe de ce tissu dans un bain de cochenille fera ressortir le bleu de Prusse sur les bandes colorées en rose.

Les conversions chimiques s'opèrent enfin sur les colorations terminées. Un des agents le plus souvent employé pour obtenir ces sortes de conversions est le bichromate de potasse dont l'action sur les matières colorantes est des plus variées, tantôt oxydant, tantôt

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déposant de l'oxyde de chrome qui se substitue, par échange de base, à la laque primitive pour donner à l'oxyde des colorations différentes et des conversions curieuses. On transforme de la sorte le campêche en noir, le quercitron en olive, la graine de Perse en jaunâtre, si l'on a précipité sur l'étoffe ces décoctions au moyen d'un sel d'alumine.

COULEURS VAPEURS. — Nous ne pouvons terminer cet aperçu sur les rapports de la teinture avec l'impression sans dire au moins quelques mots, non sur la composition des couleurs vapeurs, mais sur les principes qui ont servi de base à cette industrie, et qui prennent chaque jour une extension nouvelle. On a pu voir l'influence que nous avons reconnue avec M. Chevreul à la chaleur comme moyen d'ajouter à l'affinité de la couleur et de la fibre. Il y a plus d'énergie dans la combinaison, plus de résistance aux agents extérieurs, la couleur cuite est plus solide.

Les premiers essais faits pour rendre adhérentes les matières colorantes sur les tissus datent des temps modernes ; en Angleterre on n'y fit d'abord pas trop d'attention ; cependant on obtint des colorations fixées à la vapeur, sur laine et sur soie, vers 1819, dans les environs de Paris, à Beauvais, à Logelbach. Aujourd'hui le fixage à la vapeur est à peu près général sur soie, laine, fil et coton.

Quelle est la théorie de cette opération? On dépose sur l'étoffe tantôt un corps soluble qui, comme l'acide prussianoferrique, se décompose sous l'influence de la chaleur en formant du bleu de Prusse, lequel se combine à la fibre, tantôt une laque, composé salin qu'on fait dissoudre dans un acide capable de contre-balancer l'énergie de la matière colorante, et qui s'empare momentanément de la base pour la lui restituer sous l'influence de la vapeur, soit que cet acide doive disparaître par le fait de la chaleur, soit qu'il perde dans certaines circonstances son affinité primitive; tantôt enfin on dépose une matière colorante en mélange avec un sel dont elle peut déplacer l'acide qui, disparaissant comme dans les cas que nous venons d'exposer, la laisse libre de contracter combinaison simultanément avec la base et l'étoffe.

On le voit, ce sont là des conditions qui nous ont paru de toute nécessité pour la teinture ordinaire : principes solubles présentés à l'étoffe, précipitation de la matière en contact avec l'étoffe, affinité développée par une élévation de température ; de plus coction du principe binaire ou ternaire après sa formation ; coction à laquelle M. Chevreul attribue la résistance aux agents atmosphériques. Il est évident qu'ici, comme dans la teinture ordinaire, nous constaterons l'influence des diverses fibres qui n'attireront pas avec la même énergie toutes les matières colorantes. Il en est quelques-unes qui nécessitent une sorte de préparation ; mais généralement, dans ce cas, cette préparation n'est pas réclamée par les fibres, elle semble l'être beaucoup plus par la matière colorante qui, solide à l'état du mélange, demande à se trouver dissoute quand elle doit être fixée par la vapeur, et, dans la majeure partie des circonstances, l'agent qui doit fournir l'élément acide capable de dissoudre la matière colorante apporte en même temps l'auxiliaire nécessaire à l'adhérence de la substance colorante avec la fibre textile. Telle doit être au moins l'action des chlorures d'étain ou d'alumine qu'on ajoute aux couleurs vapeurs dans la plupart des cas.

L'acide oxalique, l'acide tartrique agissent dans le même sens : ils dissolvent la laque, la maintiennent soluble tout le temps de l'impression et n'abandonnent les oxydes qui se combinent avec la matière colorante et la fibre que sous l'influence de la vapeur d'eau suffisamment chaude. L'acide acétique offre sur les matières qui précèdent l'avantage de se dissiper complétement par la chaleur. Quelques composés agissent ensuite comme oxydants en remplaçant l'air qui n'intervient qu'avec lenteur dans la teinture ordinaire. Nous citerons enfin l'influence de la chaleur capable seule de déterminer certaines réactions ; à cette classe appartiennent quelques colorations purement inorganiques ; nous mentionnerons, comme exemple parmi les plus récentes, la fixation dans les impressions sur coton des sulfures métalliques résultant de la décomposition des hyposulfites correspondants.

En ajoutant de l'hyposulfite de soude à certains sels métalliques, tels que ceux d'antimoine, d'arsenic, de bismuth, il y a bientôt réaction entre les éléments mis en présence, de manière à donner naissance à des sulfures insolubles dont plusieurs possèdent des nuances assez pures et assez vives. Malheureusement, cette transformation est déjà sensible à froid, et au bout de fort peu de temps le mélange ne saurait être utilisé pour la toile peinte, puisque, pour que le sulfure métallique soit bien fixé, il est indispensable qu'il se forme sur l'étoffe même. M. Sacc a tiré parti de cette réaction pour utiliser d'autres sulfures. En effet, d'autres sels, tels que ceux de cadmium, de nickel, de cuivre, de plomb et de mercure (à l'état de sublimé corrosif), ne se décomposent pas immédiatement en présence de l'hyposulfite de soude ; la réaction qui donne naissance aux sulfures de ces métaux n'a lieu qu'à une température élevée ou à froid, mais alors seulement après un intervalle de temps très-prolongé. Il résulte de ce fait la formation de quelques couleurs vapeurs, toutes inaltérables à la lumière et dont plusieurs sont très-solides. Comme ces réactions sont nouvelles, nous présentons ici les dosages employés dans l'usine de Wesserling. L'épaississant est l'eau de gomme préparée par parties égales d'eau et de gomme; la solution d'hyposulfite de soude renferme 200 gr. de sel solide par litre d'eau.

Jaune de cadmium. — On dissout 40 gram. de chlorure de cadmium cristallisé dans 250 gr. de solution de gomme contenant un kilog. par litre; on ajoute un quart de litre d'hyposulfite de soude liquide contenant 200 gr. d'hyposulfite par litre; on imprime, on vaporise et on lave. On obtient de la sorte un jaune très-beau qui supporte bien le bain de garance.

Vert de cuivre. — 25 gr. de sulfate de cuivre sont dissous à chaud dans 250 gr. de solution de gomme, puis on ajoute 250 gr. d'hyposulfite de soude liquide.

Ce vert est très-beau et peut, sans éprouver de changement, subir le bain de garance. Il est aussi très-homogène : sur un fond blanc, il vaut mieux l'épaissir avec le léiocome qu'avec la gomme; mais il a l'inconvénient qu'imprimé par un temps chaud, il sèche très-promptement.

Gris de nickel. — 25 gram. de chlorure de nickel, 250 gram. de solution gommeuse et 250 gram. de solution d'hyposulfite de soude.

Gris de plomb. — 25 gram. de nitrate ou 50 gram. d'acétate basique de plomb, 250 gram. de solution gommeuse, 250 gr. de solution d'hyposulfite de soude.

Gris de mercure. — 10 gram. de sublimé corrosif, 250 litres d'hyposulfite sodique.

IMPRESSIONS PLASTIQUES. — Il ne faut pas confondre avec les méthodes qui précèdent celle qui conduit à l'application sur un tissu donné des matières colorées fixées au moyen de l'albumine ou du blanc d'œuf.

Il n'y a pas de réaction chimique, de teinture proprement dite dans ce genre qui prend actuellement une très-grande extension ; le principe colorant est fixé parce qu'il est enveloppé de toutes parts par une eau chargée d'albumine, qu'on porte ensuite à la température convenable pour la coaguler. On a tiré parti de cette façon d'une foule de matières inertes colorées ;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous citerons le vert émeraude, le gris de fumée, les phosphates de cobalt, le bleu dit outremer artificiel, et une série d'oxydes de toute nuance et de toute valeur; on imprime à la planche et au rouleau en une infinité de couleurs soit à un, soit à plusieurs tons, ou sur fond blanc ou sur fonds obtenus par voie de teinture, cependant généralement sur blanc.

On se ferait toutefois une idée fort inexacte de ce genre de travail si l'on admettait que toute matière colorée, quelle qu'elle soit, peut être employée; il faut d'abord une ténuité excessive qui permette à la poussière de pénétrer dans les tailles de la gravure; il faut ensuite que la matière abandonne facilement le rouleau pour s'attacher aux fibres du tissu; or, bien peu de matières vitrifiées satisfont à cette double condition.

Pour donner une idée de l'importance de ce genre, il nous suffira de rappeler ici que la consommation de l'albumine faite par les fabriques d'Alsace seules est d'environ 125,000 kilog. par an, ce qui représente 37,500,000 œufs, c'est-à dire le produit de 250,000 poules.

Ces relevés font comprendre l'intérêt qui s'attache à la conservation de l'albumine des œufs et aux recherches qu'on a faites jusqu'à ce jour pour remplacer cette matière par des substances équivalentes, toutes les fois que cette substitution s'est trouvée possible.

On dessèche le blanc d'œuf pour assurer sa conservation. A cet effet, on casse l'œuf et on sépare le blanc du jaune. En hiver et au printemps, quand les œufs sont frais et la température peu élevée, on laisse reposer le blanc de deux à six jours, on le bat avec une spatule et on le passe à travers un linge pour retenir les germes et les impuretés. La dessiccation se fait en étendant le liquide dans des vases en zinc très-plats posés sur des claies qu'on maintient à la température constante de 30 degrés. Pour faciliter la séparation de l'albumine sèche des plaques sur lesquelles elle s'est séchée, on essuie ces dernières avec un linge légèrement graissé; on charge chaque plaque d'un demi-litre ou 1 litre de blanc; la dessiccation se fait en deux ou trois jours; vingt-quatre douzaines d'œufs donnent six litres de blanc, 4 litres de jaune. On retire par la dessiccation 1 kilog. d'albumine sèche.

L'opération réussit le mieux en mars, avril et mai. Pendant l'été, les œufs sont plus chers et le rendement moins considérable.

On a proposé différentes matières pour remplacer l'albumine de l'œuf: nous citerons le *sérum* du sang et le *frai*, c'est-à-dire les œufs que les femelles des poissons déposent à certaines époques de l'année en quantité très-considérable.

L'albumine du sérum s'obtient très-facilement, d'après M. Lénecht, en décantant le liquide qui surnage les caillots du sang, après qu'on l'a laissé déposer dix à quinze heures. On sépare par un nouveau repos de six à dix heures, dans des vases plats, un deuxième dépôt. On soutire et on dessèche à 40 degrés.

La partie du sérum qui resterait colorée est mise au repos et traitée par la colle de poisson, qui sépare les impuretés par une véritable coagulation. On remue le mélange et on laisse clarifier dans des vases de forme haute

L'albumine tirée du frai peut s'extraire du frai séché, tel qu'on le trouve actuellement dans le commerce, du frai extrait du poisson au moment de la pêche, et du frai des poissons salés.

Quand on traite le frai séché il faut le moudre grossièrement, l'arroser d'eau et décanter la dissolution obtenue pour séparer un dépôt; on dessèche au-dessous de 40 degrés.

Le frai de poisson frais donne de l'albumine à meilleur marché que les frais desséchés ou salés. Après l'avoir purifié et débarrassé du sang qu'il contient, au moyen d'un lavage à l'eau, on l'écrase pour laisser déposer le liquide obtenu; on décante et on sèche à l'étuve jusqu'à 40 degrés.

Si l'on opère sur du frai salé, on lave avec de l'eau pour enlever l'excédant de sel; on'écrase ensuite pour faire sécher, ainsi qu'il vient d'être dit.

D'après M. Dollfus, l'albumine du frai s'obtient avec facilité et en grande quantité, mais le liquide obtenu par la compression des œufs est souillé d'une matière grasse, qui représente quelquefois jusqu'à la moitié du poids total du liquide. — Les résultats sont plus favorables quand on opère sur du frai récolté peu de temps après la pêche; ils sont désavantageux, au contraire, quand ou fait usage de frai de poissons salés. Le produit contient alors, outre la matière grasse, de l'albumine insoluble, et de plus il est coloré.

La matière grasse est un obstacle à l'emploi de l'albumine du frai, car elle enlève une grande partie de l'adhérence que les couleurs doivent acquérir. Cet inconvénient est tel que M. Dollfus n'oserait proposer actuellement aux imprimeurs la substitution de cette matière à l'albumine des œufs. Toutefois, il conserve l'espoir qu'en opérant sur du frai de poisson dissous au moment même de la pêche, on pourra, si l'on parvient à séparer la matière grasse, rendre un grand service à l'industrie des toiles teintes et imprimées.

Ces détails nouveaux publiés par la Société de Mulhouse sont trop récents pour avoir été présentés en leur place. Nous terminons, en les mentionnant ici, ce que nous avons à dire des rapports de la teinture avec l'impression.

§ XV. DES OPÉRATIONS *qui suivent et terminent la teinture.*

Lorsque les tissus ont reçu la teinture, soit en uni, soit avec dessins imprimés par les diverses méthodes auxquelles l'indienneur a recours, on ne les met dans le commerce qu'après les avoir séchés et apprêtés, quelquefois même calandrés. Nous n'aurons pas plus à décrire ici les opérations de l'apprêt ou du calandrage que celles relatives à la vaporisation. Les dernières sont décrites à l'article IMPRESSION SUR ÉTOFFES. Quant aux premières, nous leur avons consacré des articles spéciaux dans ce même Dictionnaire. A propos du BLANCHIMENT, le lecteur a pu retrouver les méthodes employées pour l'apprêt, la dessiccation et le calandrage. Les appareils dont on se sert pour sécher les tissus sont d'ailleurs décrits d'une manière toute particulière à l'article ESSORER, et le mot CALANDRE complète les descriptions déjà données dans les articles déjà cités.

Nous devons nous borner à rappeler ici, sous forme succincte, l'utilité de ces diverses opérations.

Les APPRÊTS qu'on fait subir aux tissus blancs, imprimés ou teints, ont pour but d'ajouter du corps à la fibre, de rehausser l'éclat des couleurs, d'enlever les plis et de lustrer les surfaces. On distingue, suivant le cas, des apprêts chimiques et des apprêts mécaniques.

Apprêts chimiques. — On emploie pour l'apprêt des toiles et des cotons l'amidon et la fécule, l'alun et le savon, la cire pour le satinage; pour les soies, on fait usage de gomme et de dextrine; pour les laines, l'alun donne un avivage brillant.

Ces matières sont appliquées par le foulardage ou par le bain de cuve. On sèche d'abord par expression, puis par dessiccation.

Pour exprimer l'excès de liquide enlevé par les étoffes, on tord à la cheville, on comprime entre des cylindres les tissus mis en boyau ou tendus en large, ou bien encore on se sert des hydro-extracteurs à grande vitesse et force centrifuge.

La dessiccation se fait dans des séchoirs à l'air libre,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les chambres chaudes, ou par des cylindres dans lesquels circule de l'eau chaude ou de la vapeur.

Apprêts mécaniques.—Le calandrage représente exactement l'opération du repassage d'une étoffe plus ou moins empesée sur une grande échelle.

Le brillanté de certains tissus est obtenu par un lissage qui résulte de la compression que l'étoffe reçoit en passant entre deux cylindres, l'un en cuivre, l'autre en carton. Pour les autres on fait usage des machines à lisser. Lorsque les tissus sont de laine, on les comprime au moyen de presses en les séparant par des plaques chauffées par une circulation de vapeur.

§ XVI. ANALYSE DES COULEURS *appliquées par teinture et impression.*

Nous terminerons cet article par l'exposé des méthodes auxquelles il faut avoir recours pour reconnaître soit à titre de contrôle, soit à titre de renseignement de toute autre nature, l'origine d'une teinture, lorsqu'elle est déposée sur une étoffe donnée. Cette étude est intéressante, elle est essentiellement chimique et de plus elle est utile à tout industriel qui désire non-seulement surveiller sa propre fabrication, mais aussi chercher à réaliser promptement les améliorations ou progrès que ses concurrents peuvent produire.

Ici, comme dans toute recherche analytique, on doit faire usage d'un petit nombre de réactifs qui par des propriétés caractéristiques soient des témoins fidèles. Il faut ensuite et préalablement établir des séries, afin de procéder par élimination, méthode infaillible et prompte.

En résumant les notions de teinture que nous avons présentées plus haut, nous pouvons établir de suite que la matière colorante fixée sur le tissu peut être :

Entièrement organique — couleur se fixant par elle-même ;

Entièrement métallique — couleur purement minérale ;

Couleur formée par mélange de principes organiques et de principes inorganiques — couleur ne se fixant que par le concours d'un intermédiaire.

Or l'action de la chaleur nous permet de classer de suite une teinture donnée ; en effet :

1° Lorsqu'on incinère une étoffe recouverte d'une couleur complétement organique, les cendres que laisse l'échantillon ne sont formées que des cendres que le tissu lui-même laisserait dans les mêmes circonstances. Et, comme contrôle, vu que le chlore et l'acide hypochloreux détruisent toute couleur animale ou végétale, l'étoffe doit se décolorer sous l'influence de ces agents soit en devenant blanche, soit en présentant la couleur que la fibre prendrait sous l'influence de ces réactifs.

2° Lorsqu'on incinère une étoffe chargée d'une couleur purement minérale, on retrouve dans les cendres du tissu la matière colorante ou intacte, ou modifiée suivant sa nature ; il faut alors soumettre ces cendres à l'analyse ordinaire considérée dans sa plus grande généralité. Lorsqu'on a reconnu les éléments utiles dans la coloration primitive, l'action du chlore doit venir la confirmer ; car la coloration résiste généralement à cet agent, et, dans le cas contraire, les modifications doivent être conformes à celles que présenteraient les éléments dont on soupçonne la présence comme cause de la coloration.

3° Lorsqu'on incinère un tissu coloré par une matière organique en combinaison avec un oxyde métallique, on trouve que la matière colorée s'altère ; on recherche dans les cendres la matière métallique qui a servi d'intermédiaire ; on la trouve par les procédés que le chimiste connaît : l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome, l'oxyde d'étain se retrouvent facilement. Quant au tissu coloré, le chlore enlève ou modifie la nuance, et le tissu peut être, après lavage, essayé vis-à-vis de la garance, de la cochenille, du quercitron ou du campêche ; la coloration nouvelle que l'étoffe prend à la teinture permet de contrôler les résultats obtenus.

Nous allons actuellement faire connaître les résultats offerts par chaque matière colorante. Nous prendrons les nuances simples, parce qu'il est toujours possible de ramener à ces composés les nuances binaires et ternaires que la consommation peut avoir à juger.

Rouges.

1er GROUPE. La fuchsine et le carthame seuls se fixent sans auxiliaire.

2e GROUPE. Le rouge de chrome et les iodures de mercure, les sulfures d'antimoine et d'arsenic sont les couleurs minérales qui peuvent être employées. Les chimistes savent les différencier.

3e GROUPE. La garance, le bois rouge, la cochenille, la murexide doivent être classés parmi les rouges fixés par des intermédiaires.

Le rouge tiré de la fuchsine se décolore par les alcalis, il reparaît par l'addition d'acétate d'ammoniaque ; il ne laisse pas de résidu par l'incinération.

Le *rouge de carthame* disparaît par le chlore ; il ne laisse pas de résidu par l'incinération ; il est décoloré par les alcalis carbonatés ou caustiques. Le jus de citron dépose des flocons roses si le liquide est chargé de matière colorante.

Les *rouges de garance* et ceux formés par les dérivés de la garance passent au jaune ou au jaune orangé quand on les mouille par l'acide chlorhydrique. Si on les traite après cette modification par un lait de chaux, on voit apparaître une nuance violette brillante qui repasse au rose par un lavage avec l'eau de savon. Quant aux cendres laissées par les rouges de garance, elles sont alumineuses ou tout à la fois chargées d'alumine et d'étain.

Les *rouges au bois* virent à la teinte groseille par l'acide chlorhydrique et le chlorure d'étain ; quand on passe en chaux, il ne se forme qu'un violet peu stable qui disparaît en savon, sans reproduire la nuance rouge primitive.

Les *rouges de cochenille* diffèrent de ceux qui précèdent, parce que l'acide sulfurique qui fait passer les premiers au jaune orangé donne une coloration rouge vif aux teintures dues à la cochenille.

Les *rouges à la murexide* se reconnaissent facilement à la présence d'un sel de mercure par lequel ils sont fixés ; la calcination qui dissipe à la fois toute la matière colorante et le sel de mercure rapproche la teinture en murexide de la couleur obtenue du carthame ; les caractères distinctifs de cette dernière et la présence du mercure dans la première ne permetent pas la moindre confusion.

Bleus.

Il n'y a que l'indigo, les bleus de campêche et le bleu de Prusse qui doivent nous occuper ici ; les bleus minéraux qu'on pourrait rencontrer comme le bleu outremer (silicate alumineux mêlé de sulfure de sodium), les bleus de cobalt (silicate de cobalt, aluminate de cobalt, phosphate de cobalt et d'alumine, *bleu Thénard*), triple silicate de cobalt, d'alumine de zinc et d'alcali (*bleu persan*), ne peuvent être appliqués que comme impression plastique ou teinture mécanique, et d'ailleurs ils se retrouveraient dans les cendres à peu près sans altération, sauf toutefois l'outremer qui pourrait être complétement décoloré.

1er GROUPE. L'indigo posé comme indigo de cuve forme le premier groupe, et se fixe sans intermédiaires.

2e GROUPE. Le bleu de Prusse peut faire partie de la seconde classe, car les éléments qu'il perd ne doivent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas plus être considérés comme couleur que l'eau dans l'hydrate de fer qui constitue la couleur rouille.

3e Groupe. Le bleu faux formé par le bois de Campêche et l'oxyde de cuivre fournit la seule matière bleue qu'on puisse chercher dans le troisième groupe.

Le *bleu d'indigo* est le bleu solide par excellence; il résiste à l'action de l'acide sulfurique concentré ; l'ébullition avec la potasse caustique ne le modifie pas. Sa cendre ne contient ni fer ni cuivre. Le bleu d'indigo peut avoir été fixé sous forme de bleu de Saxe, carmin d'indigo, sulfo-indigotate, etc.; on le découvre par la dissolution de potasse qui fait disparaître la coloration; un acide la fait reparaître.

Le *bleu de Prusse* est détruit par la chaleur ; il donne à l'incinération sur une lame de platine un résidu d'oxyde de fer quelquefois pur, quelquefois additionné d'oxyde d'étain. La potasse le décolore en lui faisant prendre une couleur de rouille; il se décolore avec l'acide sulfurique concentré; par l'immersion dans l'eau la coloration reparaît, mais affaiblie. Un caractère propre aux couleurs provenant du bleu de Prusse résulte de l'action de la lumière sur cette couleur. L'exposition à la lumière solaire décolore le tissu; l'obscurité ramène au bleu les parties décolorées.

Le *bleu au campêche* est tellement impressionnable aux acides qu'il passe au rouge aussitôt qu'il a leur contact; il est décoloré par la chaleur et laisse une cendre qui renferme du cuivre. En effet, cette cendre bouillie dans l'acide nitrique donne une liqueur qui, neutralisée par l'ammoniaque, fournit un précipité pourpré par le prussiate jaune de potasse, et par l'ammoniaque en excès un liquide d'un bleu céleste. On ne doit pas oublier qu'il ne faut chercher le cuivre que dans les cendres, car il forme avec les matières colorantes des combinaisons dans lesquelles ses propriétés sont masquées.

Nous avons dit que les bleus foncés recevaient souvent un premier pied de bleu de cuve. Une pareille étoffe qui est finie par des bains de campêche ou de bleu de Prusse perdra toujours une partie de sa nuance par les alcalis et les acides ; on retrouvera le bleu solide après le traitement, la nuance aura seulement beaucoup diminué. Si le bleu de cuve est recouvert de bleu de Prusse, la cendre sera ferrugineuse; elle sera chargée de cuivre, si l'on a rechargé de bleu par l'oxyde de cuivre et le campêche.

Jaunes.

Nous avons vu qu'on pouvait trouver, dans l'état actuel de l'industrie, les jaunes de gaude, de quercitron, de graine, de fustet, de curcuma, d'acide picrique, de substances astringentes, de rocou, les jaunes de chrome, l'orpiment, le sulfure de cadmium, le naukin ou le chamois.

1er Groupe. Le jaune obtenu de l'acide picrique constitue le type d'un jaune présentant une telle affinité pour la fibre que rien ne peut l'enlever complétement.

2e Groupe. Dans ce groupe se classent les couleurs minérales, comme les jaunes de chrome, d'arsenic, de zinc, de cadmium, que leur caractère chimique permettra toujours de retrouver dans les cendres. Les oxydes de fer et de manganèse qui donnent à l'état d'hydrate, d'arséniate ou de phosphate des couleurs variées, se classent immédiatement à côté de ces couleurs jaunes minérales.

3e Groupe. Les autres jaunes qui nécessitent pour se fixer l'intervention des sels métalliques se rangent dans le troisième groupe.

Le *jaune à l'acide picrique* ne se décolore pas par les acides; il faiblit un peu dans les dissolutions alcalines, il ne laisse aucun résidu par l'incinération.

Le *jaune de gaude* est détruit par l'acide hypochloreux; l'acide sulfurique concentré le fait virer légèrement au jaune verdâtre. La potasse ne l'attaque pas; elle peut le ramener au jaune d'or.

Les *jaunes au quercitron* sont détruits par le chlore et par l'acide hypochloreux, mais ils ne virent sensiblement à l'orangé, ni par les acides, ni par les alcalis, ni par les sels d'étain ; l'acide nitrique leur fait prendre une teinte rougeâtre.

Le *jaune de graine* est détruit par le chlore et l'acide hypochloreux ; la potasse le fait virer au jaune turc ; le chlorure d'étain les fait passer à l'orangé.

Les *jaunes de fustet* virent au rouge par l'acide sulfurique ; l'acide nitrique les détruit.

Les *jaunes de curcuma* sont décolorés par le chlore ; ils virent à l'orangé par les alcalis.

Les *jaunes au rocou*, difficilement attaqués par le chlore, sont enlevés par l'acide nitrique; mais l'acide sulfurique les attaque difficilement; ils prennent d'abord une nuance bleu verdâtre, puis passent au brun foncé.

Orangés.

Les orangés résultent généralement du mélange ou de la superposition des jaunes et des rouges; quelquefois ils sont directement fournis par des matières orangées, dont la plupart appartiennent aux substances minérales.

Verts.

On peut distinguer parmi les matières colorantes vertes les verts à base d'indigo, les verts à base de bleu de Prusse, les verts obtenus par les jaunes et le campêche, les verts de Chine, les verts métalliques.

Les *verts à base d'indigo* présentent, comme caractère commun, d'être détruits par la chaleur sans laisser d'autre résidu que celui que donnerait le jaune seul ; ils sont décolorés par le chlore et par l'acide hypochloreux en laissant du jaune s'il résiste à ces agents, ou seulement un des éléments du jaune, l'oxyde métallique, s'il est détruit comme l'est le principe bleu.

Les *verts à base de bleu de Prusse* sont inaltérables par le chlore gazeux, par l'acide nitrique et par l'acide hypochloreux quand ils ont pour base jaune le chromate de plomb; la potasse caustique l'attaque en faisant disparaître à la fois le jaune et le bleu. Lorsque le principe jaune est une couleur végétale, le vert s'altère par le chlore et par l'acide hypochloreux qui le font passer au bleu ; et la potasse, au contraire, n'altérant pas le jaune, mais faisant disparaître le bleu, laissera voir une coloration jaunâtre avec une nuance olivâtre.

Les *verts au campêche* rougissent fortement par l'acide qui détruit l'hématine; ils noircissent quand on les couvre d'une couche de chromate de potasse.

Les *verts de Chine* présentent des caractères spéciaux qui s'opposent à ce qu'on puisse les confondre avec l'indigo. Une étoffe immergée dans la potasse en présence des sels réducteurs se décolore en donnant un liquide qui colore le calicot en vert d'abord, en bleu ensuite, quand on le fait dégorger au contact de l'air. Un mélange formé de quatre volumes d'acide sulfurique et d'une partie d'alcool qui dissout l'indigo fixé sur tissu ne décolore pas le tissu teint par le vert de Chine.

Un tissu teint par le vert de Chine immergé dans le sulfhydrate d'ammoniaque passe au pourpre ; par le rinçage et l'exposition à l'air il reprend ses couleurs primitives.

Le chlorure d'étain fait virer la nuance à l'orangé ; mais ce caractère est commun à d'autres verts composés, ceux, par exemple, qu'on formerait avec le tournesol et ses congénères et un jaune végétal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les verts métalliques sont formés ou de verts ou de jaunes métalliques et de bleus; on trouve dans l'examen des cendres la solution du problème. Il est possible de former des verts de toutes pièces, tels sont les arsénites de cuivre et l'oxyde de chrome. On sait que ce dernier est appliqué dans l'impression sur une grande échelle à l'état d'oxyde de chrome hydraté (voyez ÉMERAUDE, vert ÉMERAUDE).

Violets.

Les violets sont obtenus ou par des mélanges ou par des superpositions. Quelques composés, de l'orseille, de la garance et l'aniline, donnent directement des nuances violettes; d'autres exigent des superpositions.

Les *violets garancés* laissent comme résidu des cendres chargées d'oxyde de fer; elles sont décolorées par l'acide hypochloreux ou par le chlore; l'oxyde de fer reste sur l'étoffe qui, lavée, peut produire dans des décoctions de matières tinctoriales, les couleurs que chacune d'elles prend en contact avec le sels de fer. L'acide chlorhydrique faible les fait virer au jaune orangé sale d'une intensité variable avec celle du violet primitif. Un lait de chaux sous l'influence de l'acide détermine une couleur violette brillante et persistante en présence même d'un bain de savon bouillant.

Les *violets au campêche* laissent, après incinération, une cendre blanche formée d'oxyde d'aluminium; ils sont détruits par l'acide hypochloreux; l'acide chlorhydrique les fait virer au rouge; un lait de chaux, suivi d'un passage en eau de savon, leur donne une teinte grisâtre qui finit par disparaître.

Les *violets à la cochenille* se distinguent de ceux au campêche, d'abord par leur nuance, puis par les réactions offertes par les cendres dont la composition est déterminée.

Les *violets d'orseille* se reconnaissent à leurs caractères propres; fugaces, ils s'altèrent au contact des acides, ne laissent pas de résidu lorsqu'on les incinère; ils reprennent au contact de l'ammoniaque leur couleur primitive, si l'acide qui les a fait virer n'est pas trop concentré. Lorsque la couleur d'orseille est obtenue par la pourpre française, elle résiste aux acides à 4 degrés; on peut trouver après incinération un résidu d'étain ou de magnésie, base de la laque qu'on a déposée sur le tissu, si l'on a des impressions à déterminer.

Les *violets d'aniline* se reconnaissent à leur grande vivacité; toute nuance violette paraîtra noire à côté de la teinture en indisine. Leurs caractères ont été donnés au sujet de l'aniline; nous nous bornerons à renvoyer le lecteur aux caractères spécifiques que nous avons présentés en parlant de l'anilcine elle-même.

SALVÉTAT.

TÉLÉGRAPHIE. De deux mots grecs, τῆλε et γραφω, j'écris au loin. Ce mot a été imaginé pour désigner les procédés au moyen desquels on transmet d'un lieu à un autre des nouvelles, des avis, ou des ordres, à l'aide de signaux visibles, répondant aux lettres de l'alphabet, à des chiffres ou à des mots. A ce système primitif, de nouveaux systèmes sont venus s'ajouter. L'électricité, l'acoustique, l'air comprimé ont fourni des moyens de communication semblables, et aujourd'hui le mot télégraphie s'applique par extension à tout système de correspondance lointaine, quel que soit le système, le moyen de communication adopté.

Nous allons étudier ces divers systèmes qui se classent naturellement dans les trois catégories suivantes :

1° Les télégraphes aériens;
2° Les télégraphes pneumatiques;
3° Les télégraphes électriques.

Nous ne dirons que quelques mots des systèmes qui n'offrent plus que peu d'intérêt en présence des merveilleux résultats fournis par la télégraphie électrique. Celle-ci a procuré des moyens de transmission *instantanée*, et par suite elle a fait disparaître, en quelque sorte, les distances qui séparent les lieux les plus éloignés. Grâce à cette admirable découverte, l'humanité toute entière est appelée à vivre d'une même vie, car non-seulement les continents sont sillonnés, sur toute leur étendue, de fils conducteurs, mais encore ils sont réunis par des câbles sous-marins immergés dans les mers les plus profondes, traversant les océans les plus étendus.

PREMIÈRE PARTIE.

TÉLÉGRAPHIE AÉRIENNE.

La télégraphie est d'origine française : personne ne nous conteste l'honneur de la découverte. Ce n'est pas cependant qu'on n'ait, longtemps avant les frères Chappe, employé des signaux pour transmettre des avis à de grandes distances. L'idée remonte sans doute à l'origine des sociétés Ce qui est nouveau, ce qui appartient à Chappe, c'est l'invention d'un véritable système de correspondance; ce qui revient à la France, c'est la gloire d'avoir la pemière appliqué ce moyen puissant de gouvernement.

Origine de la télégraphie. Les feux, la fumée, les étendards, les sons des instruments, furent employés comme moyens télégraphiques par tous les peuples primitifs.

Dans la première scène d'*Agamemnon*, Eschyle nous représente un vieux serviteur épiant le feu allumé sur le mont Ida, qui, répété sur le mont Athos, doit faire connaître à Clytemnestre l'événement à la fois désiré et redouté de la prise de Troie. La langue grecque est d'ailleurs remplie de mots relatifs à l'art des signaux. César nous apprend que les Gaulois, d'une province à l'autre, s'avertissaient, au moyen de feux allumés sur les montagnes, de tous les mouvements de son armée. La France offre les restes de tours bâties par les Romains, et qui nous font connaître le mode de télégraphie usité chez eux. Dans un des compartiments les plus élevés de la colonne Trajane est figuré un officier, le casque en tête et l'épée à la main, commandant les signaux. L'instrument consiste en un flambeau de poix-résine suspendu au bout d'une longue perche: cette perche sort de la fenêtre d'une guérite et y rentre tour à tour. Aux signaux faits avec des torches ou des drapeaux, on substitua plus tard des bâtons ou des planches. Polybe fait mention d'un certain Cléoxène, qui avait inventé une méthode à l'aide de laquelle on pouvait faire lire à une grande distance ce qu'on voulait communiquer. Végèce, qui écrivait au quatrième siècle parle de la brachygraphie comme d'un procédé si connu, qu'il juge inutile de le décrire. Tamerlan se servait de drapeaux pour dicter des conditions aux villes assiégées. Et enfin les Chinois ont, à ce qu'il paraît, poussé fort loin l'art de la correspondance aérienne.

L'art télégraphique ne pouvait réellement se développer que par suite des progrès de l'optique. Pour écrire de loin il faut voir de loin. Ce fut un de nos académiciens les plus distingués, Amontons, qui à la fin du dix-septième siècle proposa d'employer les lunettes d'approche à l'observation des signaux transmis de loin. Les essais d'Amontons ne firent qu'exciter la curiosité, mais n'eurent pas d'application. Il préparèrent, sans doute, les succès de Chappe, conjointement avec les essais de Hooke et Hoffmann, qui imaginèrent de se limiter à un petit nombre de signaux mobiles; Hooke inventa en 1695 une machine fort compliquée; Linguet, enfermé en 1782 à la Bastille, demandait, comme unique prix de sa liberté, à mettre en pratique un instrument de son invention, pour correspondre jusqu'aux distances les plus éloignées. Le ministère ne voulut pas l'écouter, et on le fit sortir de la Bastille sans condition. Bergstrasser, de Hanau, publia en 1784 un traité complet de *Synthéma-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tographie; le tort de ce savant fut de compliquer la question en indiquant une multitude de signaux divers, soit opaques, soit transparents; outre la lumière il faisait aussi usage du son de la trompette et même de l'artillerie. S'il ne pouvait disposer que de deux signaux, il composait de leurs arrangements répétés un alphabet, d'après le système de l'arithmétique binaire. Malgré ces essais on ne doit regarder comme les véritables inventeurs du télégraphe que ceux qui eurent assez de persévérance pour le mettre à exécution et le faire universellement adopter. Cette gloire est celle des frères Chappe.

Découverte de Chappe. C'est pendant la Révolution française et au moment où les dangers de la patrie nécessitaient dans la correspondance une rapidité que rien ne pût entraver, que l'abbé Chappe rendit publique sa grande découverte. On n'entrevit pas de suite les immenses services que le télégraphe devait rendre. Un premier essai ayant eu lieu sur les pavillons de la barrière de l'Étoile, la machine fut enlevée pendant la nuit. Un second télégraphe fut établi dans le parc de Monceau. Cette fois, le peuple s'y rend, le brûle, et peu s'en faut que les auteurs accourus à la nouvelle du sinistre ne figurent dans l'auto-da-fé. Mais le temps des épreuves et des mécomptes touchait à sa fin; le 12 juillet 1793 une expérience solennelle eut lieu en présence des commissaires nommés par la Convention: le succès fut complet. On reconnut qu'en 13 minutes 40 secondes la transmission d'une dépêche de quelques lignes pouvait se faire à la distance de 48 lieues.

On décréta l'établissement d'une ligne de douze télégraphes, de Paris à Lille; peu de temps après elle transmettait la nouvelle de la prise de Condé sur les Autrichiens, et l'assemblée pouvait y répondre séance tenante, en quelques minutes, par cette phrase: « L'armée du Nord a bien mérité de la patrie. »

De nouvelles lignes rayonnèrent aussitôt dans plusieurs directions.

La grande idée dont l'abbé Chappe venait de faire hommage à la France, avait été conçue par lui, dès sa première jeunesse. Les frères Chappe étaient nés à Burton, département de la Sarthe. Claude, l'abbé, se trouvait dans un séminaire près d'Angers; ses frères étaient dans un pensionnat situé en face et à une demi-lieue de distance. L'abbé, dont les jours de congé n'étaient pas aussi fréquents que l'étaient, pour ses frères, les jours de sortie, voulut triompher de l'éloignement qui les séparait. Après beaucoup d'essais infructueux, il imagina de se servir d'une grande règle de bois tournant sur un pivot; aux deux extrémités de la règle, tournaient aussi sur des pivots des ailes moitié plus petites: on obtenait ainsi, en faisant varier les angles autour des trois axes de rotation, cent quatre-vingt douze signes différents, qu'il était facile de distinguer à l'aide de longues-vues. Le jeune abbé et ses frères étaient parvenus à se transmettre rapidement des phrases d'une certaine longueur. C'était là, comme on voit, le germe du télégraphe. Mais l'exécution en grand présentait des obstacles. Les frères Chappe, aidés des conseils de Bréguet, firent leur machine, à peu près telle qu'elle existe aujourd'hui. Ils furent en outre aidés dans la composition de leur langue télégraphique par un de leurs cousins, Léon Delaunay, ancien consul à Lisbonne et à Philadelphie, qui était versé dans la théorie et la pratique des chiffres de la diplomatie. L'abbé Claude Chappe est mort le 25 janvier 1805; le dernier de ses frères est décédé en 1825, directeur des télégraphes. Un télégraphe en bronze forme la décoration principale de sa tombe, au cimetière de l'Est.

Description du télégraphe français. Le télégraphe français, dont nous donnons la description à l'époque de son fonctionnement, se compose de trois branches mobiles dans un même plan vertical: une branche principale nommée *régulateur*, et deux petites branches appelées *indicateurs*, portées à chaque extrémité du régulateur. Le régulateur (fig. 1), fixé par son milieu à un mât qui

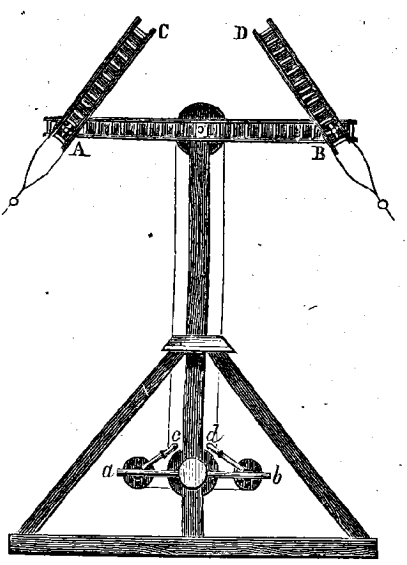


Fig. 1.

s'élève de 4 à 5 mètres au-dessus du toit, a 4 mètres de long et 3 décimètres de large. Chaque indicateur est long d'un mètre, et porte à son extrémité une queue en fer, sorte de lest qui sert à l'équilibrer. Ces trois branches du télégraphe, qu'on peint en noir afin qu'elles se détachent sur le fond du ciel, sont mues à l'aide de trois cordes sans fin de fil de laiton, de trois poulies et de trois pédales; les cordes communiquent dans une chambre placée au-dessous du toit avec les branches d'un autre télégraphe, qui est la reproduction en petit du télégraphe extérieur: c'est ce second appareil que le guetteur manœuvre; l'appareil placé au-dessus du toit ne fait que répéter les mouvements imprimés directement à la machine intérieure.

Le régulateur est susceptible de quatre positions: 1° verticale; 2° horizontale; 3° oblique de droite à gauche; 4° oblique de gauche à droite. Les ailes peuvent former des angles droits, aigus ou obtus. On trouve, dans les cent quatre-vingt-douze combinaisons prises une à une, les vingt-quatre lettres de l'alphabet et tous les signaux dits de *police*. Ceux-ci, bien connus des *stationnaires*, ou employés de chaque poste, indiquent l'activité, le repos, le brouillard, où les autres obstacles qui interrompent la transmission d'un poste à l'autre. Ce ne serait pas assez pour traduire une longue dépêche: on a donc réuni deux à deux les cent quatre-vingt-douze signes primitifs, ce qui donne $192 \times 192 = 36{,}864$. Un vocabulaire imprimé comprend la distribution complète de ces 36,864 signes. On en a affecté un à chacune des syllabes possibles dans notre langue, d'après la combinaison des consonnes avec les voyelles et diphthongues. Il reste encore une multitude de signaux pour exprimer des phrases convenues à l'avance et annonçant que tel événement prévu est ou n'est pas arrivé.

Depuis les dernières années de l'emploi du télé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

graphe aérien, on a imaginé de fixer horizontalement le régulateur et de remplacer ses quatre positions par celles d'un indicateur supérieur nommé *mobile*, soutenu par son milieu et pouvant être horizontal, vertical ou incliné de 45°. Cette complication apparente est une amélioration et une simplification incontestables ; le jeu des pédales est moins difficile, et l'on n'éprouve pas les dérangements auxquels la complication de l'instrument primitif exposait fréquemment la manœuvre.

La distance entre les différentes stations des lignes télégraphiques est en moyenne de trois lieues. La vitesse de la transmission des dépêches varie suivant la direction des lignes. On reçoit à Paris des nouvelles de Calais (68 lieues) en 3 minutes par le moyen de 33 télégraphes; celles de Lille (60 lieues) en 2 minutes par 22 télégraphes; celles de Strasbourg (120 lieues) en 6 minutes 1/2 par 44 télégraphes; celles de Toulon (207 lieues) en 20 minutes par 100 télégraphes; celles de Brest (150 lieues) en 8 minutes par 54 télégraphes.

Télégraphes étrangers. Les autres peuples, notamment les Anglais, n'ont pas imité tout à fait le télégraphe de Chappe. Dans les pays brumeux, les signaux opaques sont rarement visibles. On préfère des fanaux placés derrière des volets mobiles, et dont les combinaisons sont assez variées pour offrir une multitude de signes.

Systèmes divers. A peine l'invention de Chappe fut-elle connue qu'un grand nombre de savants s'efforcèrent de la perfectionner. En l'an VI, Bréguet et Bétancourt présentèrent à l'Institut un télégraphe à cadran circulaire d'une composition très-ingénieuse ; Peytes-Montcabrier essaya avec succès à Rochefort un télégraphe qu'il nomma vivigraphe et qu'on peut établir en 24 heures; Edelwrantz, dans un traité sur le télégraphe, proposa des perfectionnements simples et ingénieux ; en 1820, M. de Saint-Haouen inventa un nouveau modèle.

Enfin on proposa divers systèmes pour éclairer les branches du télégraphe pendant la nuit soit avec des verres de couleur, soit simplement avec la lumière du gaz. Enfin on proposa de remplacer par des tours garnies d'orifices éclairés et colorés diversement, de manière à obtenir aisément un télégraphe de nuit.

Le télégraphe aérien n'a plus aujourd'hui d'application importante que dans la marine. A l'aide de pavillons de diverses couleurs convenablement disposés le long du grand mât, et aidés par un code international qui fait disparaître la différence des langages, les marins peuvent se demander des secours, des vivres, etc., communiquer d'un navire à un autre.

DEUXIÈME PARTIE.

TÉLÉGRAPHIE PNEUMATIQUE.

Communications acoustiques. Le docteur Arnolt raconte, que revenant d'Amérique en Europe, un jour, par une brise de terre, un matelot prétendit entendre le son des cloches. On était à cent lieues des côtes! Tout le monde de rire. Le docteur, lui, prend la chose au sérieux ; il remarque que la voile est concave, se place à son foyer, et entend distinctement le son des cloches. Il prend note du jour et de l'heure, et six mois après, de retour en Amérique, il s'informe, et apprend qu'en effet, au jour et l'heure de cette curieuse observation, il y a eu branle-bas général des cloches à l'occasion de la fête de Rio-Janeiro.

Ainsi, à l'air libre, le son s'était transmis à cent lieues de distance.

Un autre jour, le même physicien entendit d'un côté à l'autre d'un lac qui a sept lieues de large, les cris de marchands d'huîtres, et le bruit des rames.

Le docteur Arnolt ne doute pas qu'on ne puisse remplacer ainsi les télégraphes par le langage parlé. Tout l'appareil consisterait en une surface concave placée sur une éminence, à une extrémité de la ligne, et à quelques lieues de là, à l'autre extrémité, en un porte-voix parabolique dirigé vers cette surface. On recueillerait les sons en se plaçant au foyer de celle-ci. Ce serait là, il faut en convenir, un moyen de correspondance peu dispendieux ; malheureusement son efficacité est au moins fort douteuse.

Tubes acoustiques. Denys le Tyran recueillait de son lit les plaintes des malheureux qui gémissaient dans ses cachots; en Angleterre, en Russie, il y a des hôtels et des ateliers, où le maître peut, sans sortir de son cabinet, donner à tous les étages des *ordres verbaux*, et ce système est appliqué aujourd'hui dans une foule de maisons et évite bien des mouvements inutiles. Mais il y a loin de là à employer ce mode de communication entre des distances considérables; par exemple, entre deux villes éloignées l'une de l'autre de plusieurs lieues.

Le son fait, comme on sait, 340 mètres par seconde; c'est bien peu par comparaison à l'électricité ; cependant, toute désavantageuse que soit la comparaison, le son fait 306 lieues à l'heure, 7,344 lieues en un jour. Si donc le son pouvait être transmis sans s'altérer dans des tuyaux cylindriques, on voit que, fût-on obligé d'établir sur de longues lignes de nombreuses stations intermédiaires, il offrirait un moyen de correspondance qui, même en présence des télégraphes électriques, ne serait pas à dédaigner. Ce mode de correspondance pourrait d'ailleurs être établi à peu de frais, au moyen de tubes de fer.

Non-seulement les tubes propagent très-bien le son, mais ils en accroissent énormément la puissance. D'après M. Bouvard, un coup de pistolet tiré à l'une des extrémités d'un tube, fait entendre à l'autre extrémité le bruit du canon. M. Jobard a reconnu que le mouvement d'une montre qui n'est pas sensible à la distance de 30 centimètres, s'entend très-bien au bout d'un tuyau de 16 mètres sans que la montre touche le métal, et même lorsqu'elle en est éloignée de plusieurs pieds. MM. Biot et Hassenfratz ont fait des expériences plus décisives encore.

Ces messieurs placèrent des tubes dans un aqueduc. Les tubes soutenus par des supports de pierre qui les isolaient du sol, faisaient de nombreux retours sur eux-mêmes, circonstance qu'on peut supposer désavantageuse. Mais en revanche, les expériences étaient faites la nuit, au milieu du plus profond silence. Dans ces conditions la voix la plus basse se fit entendre à près de 1 kilomètre, à 951 mètres de distance : suivant les auteurs de cette expérience, « *le seul moyen de ne pas être entendu à cette distance eût été de ne pas parler du tout.* »

M. Jobard répéta ces expériences. Il fit placer 600 pieds de tubes de zinc de 3 pouces de diamètre dans un vaste atelier. Ces tubes, dont les diverses portions étaient mal jointes, formaient entre eux onze coudes à angles droits : ils montaient et descendaient d'étage en étage; partie était appendue aux murs, partie était couchée sur le plancher. « *Plusieurs centaines de personnes ont constaté qu'on s'entendait parfaitement même à voix basse.* »

Cette expérience a mis hors de doute un point que celle de MM. Biot et Hassenfratz ne résolvait pas, c'est que le bruit extérieur n'entrave pas les communications acoustiques. Pendant cette expérience des machines à vapeur marchaient; des tours, des limes et des marteaux ébranlaient tous les étages de l'atelier.

L'établissement de tubes acoustiques a été l'objet des études d'ingénieurs distingués. On a reconnu que les conditions du succès résident dans la nature des tubes qui doivent être composés de métaux sonores, cuivre, zinc, fer, etc..., et dans l'isolement le plus complet possible de ces tubes par rapport au sol. Enfin, M. Jobard pense avec raison, ce nous semble, que le diamètre

EFERUS - Recherche &.Classification numérique

des tuyaux doit se rapprocher le plus possible de celui de la bouche humaine.

Ce système n'a jamais été mis en pratique pour de grandes distances, et à juste raison; il ne paraît admissible que pour les communications intérieures d'un établissement.

Poste atmosphérique. On donne le nom de télégraphie pneumatique ou poste atmosphérique à un mode d'envoi des dépêches au travers d'un tube, en employant l'air comprimé ou raréfié, qui a été organisé pour aider le service de la télégraphie électrique, dans des circonstances où le nombre des dépêches est très-grand entre des points peu éloignés.

C'est à Londres que ce système a pris naissance; les premiers appareils ont été organisés par Latimer Clarke, et les moyens de transmission étendus et variés avec succès par MM. Culley et Sabine, ingénieurs du post-office.

Après Londres, Berlin, Paris, Vienne ont successivement adopté le nouveau système et établi pour leur service de dépêches intérieures des réseaux de tubes analogues.

La faveur qui a accueilli ce mode de transmission, qui sous le rapport de la rapidité n'a aucune prétention à lutter avec l'électricité, provient uniquement des conditions spéciales qui se rencontrent dans la majorité des grandes villes, à savoir que le service télégraphique doit y transporter un nombre considérable de dépêches à des distances généralement très-réduites. Dans ces conditions, l'électricité est dépassée en vitesse par des agents dont le mode d'action est beaucoup moins instantané, mais dont la capacité de transmission est singulièrement plus étendue.

Pour expliquer cette proposition un peu abstraite, je prendrai pour exemple un fil télégraphique ayant à transmettre un certain nombre de dépêches à 1,000 mètres seulement de distance, et je lui comparerai un tube pneumatique faisant un service analogue. Le fil enverra successivement les dépêches, et il ne pourra pas en envoyer plus de quarante à l'heure; il nécessitera un employé à chaque extrémité. Le tube franchira l'espace en une minute et y transportera facilement cent dépêches; ces dépêches pourront en outre être manuscrites, être secrètes, et l'appareil n'étant intéressé que par le volume et par le poids de ces dépêches, quel que soit le nombre de mots inscrits sur la dépêche, la transmission sera aussi rapide, et tout ce service n'exigera que deux employés. L'exemple ci-dessus montre un cas où le tube pneumatique présente de la manière la plus indiscutable un avantage sur le fil électrique; le raisonnement indique que cet avantage diminue à mesure que le nombre des dépêches à transmettre devient moindre, et diminue également à mesure que la distance qui sépare les deux points augmente. Il arrive donc un moment où le fil reprend tous ses avantages : c'est lorsqu'il peut transmettre toutes les dépêches dans un temps plus court que celui demandé par le tube pour les transporter.

Ce mode de distribution et de collection des dépêches dans les grandes villes donne, partout où le trafic est extrêmement important, d'excellents résultats; les installations établies dans ces villes varient de forme suivant le mode d'exploitation, mais le principe est toujours le même et se résume à ceci. Un tube aussi bien calibré que possible réunit les deux points entre lesquels on veut correspondre : une ou plusieurs boîtes contenant les messages sont introduites dans ce tube par un appareil dont les organes essentiels sont toujours les mêmes, à savoir : une fermeture du tube en arrière, et une tubulure amenant, entre l'extrémité de ce tube et le train fermé, un courant d'air comprimé déterminant derrière le train une pression H, plus considérable que la pression atmosphérique h qui s'exerce à l'autre extrémité; c'est sous cette différence de pression H-h que le train s'avance dans la ligne en s'éloignant du point où l'air comprimé est introduit dans la ligne.

Veut-on faire revenir le message : le même point est mis en communication avec un réservoir où la pression est moindre que la pression atmosphérique h qui s'exerce à l'autre extrémité. H-h est négatif, et le train mis à l'extrémité de la ligne s'élance vers son origine et y parvient au bout d'un certain temps. L'appel d'air est alors suspendu par la simple fermeture du robinet, et une porte analogue à celle qui a servi à l'expédition sert à retirer le train du tube.

Une communication électrique permet aux employés placés aux extrémités des tubes de contrôler et de diriger toutes leurs manœuvres.

Les moyens de comprimer l'air et de faire le vide peuvent être tous les moyens connus pour ce genre de travail (Voy. air comprimé où le principe du système a déjà été indiqué). Il semble toutefois qu'après différents essais, les machines à vapeur actionnant directement des pompes à air, ayant donné les services les plus réguliers, ont été pour ainsi dire universellement adoptées dans toutes les villes possédant des télégraphes pneumatiques.

Quant au mode d'exploitation, suivant l'importance des trafics, il se fait par réseaux circulaires exploités d'une manière continue ou d'une manière alternative, ou par système rayonnant exploité de la même manière. Dans les deux cas, la pression est utilisée pour chasser les trains, le vide pour les attirer. Le système rayonnant semble être celui qui a été installé dès le début, comme le plus simple, et il est maintenu là où il y a un trafic extrêmement important, comme rendant les services les plus directs. La plus grande installation en ce genre est celle de Londres, où des dispositions spéciales sont prévues pour que les tubes soient traversés par un courant d'air continu, dans lesquels, au moyen de sortes d'écluses, on introduit les boîtes à expédier, et l'on retire au fur et à mesure de leur arrivée celles que l'on est chargé de recevoir. Une des premières installations proposées pour Paris, en 1860, par M. Antoine Kieffer, était disposée d'une manière analogue (brochure de M. Amédée Sebillot). En 1866, au moment de l'établissement des premières lignes pneumatiques de Paris, ce système ne prévalut pas, et les premières constructions en ce genre, exécutées à Paris par MM. Mignon et Rouart, furent faites en adoptant le tracé par réseaux, et exploitées par des courants intermittents réguliers de dépêches, mode d'exploitation plus économique que le premier, tout en étant un peu moins rapide.

Nous empruntons à une note de MM. Mignon et Rouart la description de cette installation.

La ligne. Elle est formée de tubes en fer, bien réguliers, de 65 millimètres de diamètre intérieur. Pour relier les tronçons de cette ligne, il convient d'employer un joint très-précis.

Ce joint est à emboîtement, et pour être convenablement fait, il doit se composer de parties tournées; les brides étant posées bien normalement à l'axe des tubes de la ligne, l'étanchéité se trouve assurée par une lame de caoutchouc extrêmement mince comprimée par les boulons du joint. Faite avec ces précautions, la jonction de deux tuyaux ne présente rien de difficile dans la construction de la ligne, et si l'on a soin d'espacer les joints le plus possible, c'est-à-dire de les porter de 7m.50 et 8 mètres les uns des autres, la ligne qu'on voudra établir entre deux points destinés à être reliés se rapprochera aussi pratiquement que possible d'un tube théorique d'un seul morceau à section constante.

Quelle est la limite des rayons de courbure qu'on peut employer?

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TÉLÉGRAPHIE.

Elle dépend évidemment du mode de construction des véhicules qui doivent circuler dans le tube formant la ligne. Ces véhicules sont de deux natures : ceux qui reçoivent directement l'action motrice de l'air sont les wagonnets ou chariots moteurs, et ceux qui obéissent à cette action sont des chariots simples ou porteurs de dépêches.

Chariots. Les chariots porteurs sont des boîtes cylindriques à enveloppes concentriques, constituées comme le sont les étuis à cigarettes ; l'enveloppe extérieure est en cuir, l'intérieure peut être en cuir ou en métal. Les dépêches sont placées dans ces boîtes, qui peuvent chacune en contenir environ quarante.

Les chariots moteurs sont des cylindres de bois ou de métal creux, à l'arrière desquels est disposé un cuir A (fig. 2) dont les bords retournés en dehors sont



Fig. 2.

déchiquetés en dents pouvant chevaucher l'une sur l'autre, comme on le voit dans les pistons de certaines pompes. On comprend qu'avec cette disposition, la pression de l'air agissant à l'arrière du chariot aura pour effet, tout en le faisant avancer, d'appliquer le cuir contre les parois du tube, de manière à éviter les déperditions.

Les chariots porteurs, comme les chariots moteurs, ont un diamètre sensiblement inférieur à celui du tube de la ligne, soit, dans le cas qui nous occupe, de 55 millimètres, c'est-à-dire 10 millimètres de moins que l'intérieur du tube. La longueur des premiers est d'environ $0^m,140$; celle des seconds est peut-être un peu plus petite.

On a préconisé l'emploi de chariots à roues ; mais il est évident que, pour une marche rapide, les roues devraient fournir un nombre de tours en quelque sorte impossible à réaliser en pratique. En outre, pour ce genre de chariots, il faudrait des lignes à grande section, et dès lors l'emploi de l'air comme moteur ne serait plus économique.

Avec les chariots moteurs courts, des courbures notables peuvent être adoptées sans inconvénient.

Force motrice. Examinons maintenant quelle est la force motrice mise en œuvre.

Dans l'installation que nous décrivons, elle est empruntée à l'eau de la ville. Voyons donc comment cette eau peut servir à produire la compression de l'air et le vide, et pratiquement suffit pour faire facilement vingt convois par heure.

Pour la compression de l'air, supposons un réservoir complétement fermé, dans lequel plonge un tube jusqu'à sa partie inférieure. Supposons, en outre, ce tube plongeur relié à un autre réservoir à ciel ouvert, rempli d'eau, comme celui d'une distribution d'eau de ville, et installé à $10^m,33$ au-dessus du premier. Un robinet étant placé sur le parcours du tuyau plongeur, il est évident que, lorsqu'on l'ouvrira, l'eau du réservoir supérieur s'écoulera dans le réservoir inférieur, en y comprimant l'air jusqu'à ce que sa pression fasse équilibre au poids de l'eau qui tend à s'écouler, c'est-à-dire, dans le cas qui nous occupe, jusqu'à ce que la pression de l'air renfermé dans le réservoir inférieur soit devenue égale à deux atmosphères, son volume ayant diminué de moitié ; de sorte que, si le réservoir inférieur a une capacité de 2 mètres cubes, on aura à sa disposition 1 mètre cube d'air comprimé à deux atmosphères, dont la compression aura été obtenue par un mètre cube d'eau descendue du réservoir supérieur dans le réservoir inférieur.

Quand au vide, il est aussi facile à obtenir. Supposons un réservoir fermé disposé à $10^m,33$ au-dessus du sol, et muni d'un tube avec robinet, qui descend et plonge dans un baquet placé à terre. Remplissons complétement d'eau ce réservoir, en ayant soin de fermer le robinet du tube de descente. Ouvrons ensuite ce robinet, l'eau va s'écouler, passer par-dessus les bords du baquet et se répandre sur le sol. Dans ces conditions, le réservoir constituera la chambre d'un baromètre à eau, dans laquelle il se produira un vide presque absolu ; l'écoulement ne s'arrêtera que quand l'eau sera arrivée au bas du réservoir, de sorte que l'écoulement de 1 mètre cube donnera naissance à un vide de 1 mètre cube que l'on pourra utiliser à volonté.

Tout le travail pour obtenir de la force motrice se borne donc à ouvrir et à fermer des robinets. C'est en raison de la simplicité de cette méthode que l'administration des lignes télégraphiques a pu confier la manœuvre des appareils à ses facteurs ordinaires et organiser un service relativement compliqué, sans être obligée d'avoir recours à aucun élément nouveau et spécial.

Appareil expéditeur et récepteur. Le mode de production de force motrice étant expliqué, nous allons donner la description d'un appareil tête de ligne, qui met cette force en jeu et sert à la fois à l'expédition et à la réception des chariots moteurs et porteurs de dépêches.

L'appareil qui est en fonction est représenté en élévation de face (fig. 3). Le tube de ligne B, venant aboutir au sol même des bureaux, se termine par une partie verticale C montant à environ $2^m,50$ au-dessus et complétement bouchée. Sur cette partie verticale, à une hauteur convenable, $0^m,70$ environ, est placée une boîte en fonte D, munie, sur sa surface antérieure, d'une porte rectangulaire s'ouvrant pour l'introduction et la sortie des chariots ; cette porte, manœuvrée par une poignée à excentrique, est disposée de manière à fermer hermétiquement.

Des faces latérales de la boîte partent des branchements E E', sur lesquels sont placés des robinets munis de secteurs dentés F F' se manœuvrant à l'aide de vis sans fin. Ces robinets correspondent à deux tuyaux GG', l'un aboutissant à la cuve à air comprimé et l'autre à l'air libre.

Les vis sans fin qui commandent les secteurs F F' des robinets sont reliées entre elles de manière que les mouvements de ces robinets soient solidaires, et combinés pour que l'un se ferme quand l'autre s'ouvre. Cette disposition a pour effet d'empêcher les erreurs dans les manœuvres et de les simplifier. La boîte en fonte D formant le corps de l'appareil est portée par une colonne à jour H appuyée sur le sol.

La manœuvre de ces appareils est extrêmement simple.

Lorsqu'on veut les faire fonctionner pour l'expédition, on introduit les chariots dans la boîte, en ayant soin de placer en queue du train le chariot moteur ; ces chariots tombent nécessairement dans le tube C qui se trouve béant à la partie inférieure de la boîte. L'introduction faite, on ferme la porte, et si l'on doit opérer à l'air comprimé, on ouvre la communication avec les réservoirs d'air comprimé, opération qui a pour effet, en même temps, de fermer l'échappement à l'air libre. L'air comprimé agit alors sur l'arrière du chariot moteur et envoie le train à destination.

Lorsqu'on veut, au contraire, faire partir les chariots sous l'appel du vide, qui doit alors être fait à l'autre extrémité de la ligne, il suffit, après avoir fermé la porte d'introduction, de laisser l'appareil en l'état, car, au repos, la communication avec l'air libre se trouve ouverte, et l'accès de la pression atmosphérique peut ainsi se faire derrière le chariot moteur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour faire fonctionner les appareils pour la réception, nécessairement la communication avec l'air com-

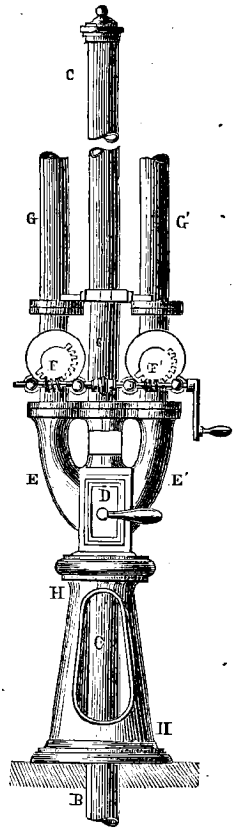


Fig. 3.

primé est fermée et l'échappement à l'air libre ouvert. Les chariots arrivent à destination, et, par conséquent se trouvent amenés à l'orifice de la ligne dans la boite D. Mais à ce moment, en vertu de la vitesse acquise, ils dépassent cette boite et s'introduisent dans le cul-de-sac fermé qui la domine; l'air comprimé, trouvant une issue latérale, s'échappe, et son action sur les chariots est anéantie à ce moment. Les chariots, arrivant en vitesse et s'amoncelant dans le cul-de-sac qui se trouve devant eux, y compriment l'air, qui les renvoie comme un ressort et les fait retomber inertes dans la boite de l'appareil, où on les recueille en ouvrant la porte.

Il est facile d'utiliser l'appareil lui-même pour prévenir de l'arrivée des chariots; à cet effet, il suffit de disposer dans l'intérieur du cul-de-sac un contact électrique ou même un simple sifflet à air, qui agit sous l'influence de l'air comprimé par les chariots.

Dans les dispositions que nous venons de décrire, l'appareil est installé verticalement; mais on peut aussi bien le disposer horizontalement.

Nous n'entendons pas indiquer ici toutes les formes des appareils pouvant résoudre la question; il suffit d'avoir montré les principes sur lesquels ils doivent être construits.

Pour terminer la description de tous les éléments qui entrent dans la composition des appareils de transmission pneumatique de MM. Mignon et Rouart, il est essentiel de dire un mot des robinets employés, qui sont d'une construction toute spéciale.

Ce genre de robinet ne permet aucune fuite et la construction en est fort simple.

Les robinets ordinaires fuient plus ou moins extérieurement, c'est-à-dire qu'ils laissent écouler les fluides entre la clef et le boisseau. Pour éviter ces fuites, il faut boucher toute issue possible, et c'est ce que réalise le système de robinet de MM. Mignon et Rouart. A la partie inférieure, le boisseau est plein, et quant à la partie supérieure, c'est-à-dire à la périphérie qui sépare la clef du boisseau, une rondelle de caoutchouc y est appliquée, sur laquelle un disque métallique exerce une pression au moyen d'écrous.

Les distances à parcourir par ces systèmes sont, en général, assez limitées, ne dépassent pas 5 à 6,000 mètres, mais avec des relais il serait facile de les augmenter. C'est dans cet esprit qu'a été dressé le projet d'une ligne de Paris à Versailles, pour le service de l'administration, l'envoi immédiat de pièces exigées par la discussion dans les assemblées qui y siégent.

M. Crespin a publié un projet intéressant de système de relais pour les lignes de grande longueur, qui mérite d'être connu.

La ligne, que nous supposerons de longueur illimitée, est escortée de deux canalisations secondaires réunissant des réservoirs de vide et de pression chargés d'alimenter les relais placés sur la ligne aux endroits convenables. Ces relais sont de deux natures. Ceux qui sont chargés de vider d'air la ligne sont espacés de cinq en cinq kilomètres dans le cas où la ligne serait parcourue par trains espacés de quart d'heure en quart d'heure. La raison de cet écartement est que l'épuisement de la ligne se poursuivant toujours, il est nécessaire d'un temps un peu moindre pour épuiser cinq kilomètres, et par suite il n'est pas nécessaire de rapprocher davantage ces appareils. Ils sont, du reste, extrêmement simples : un piston s'élevant dans un cylindre entraine avec lui une valve fermant la ligne et un tiroir ouvrant la communication avec les réservoirs de vide. Le piston est élevé dans le cylindre au passage d'un train par l'action de la contrepression qui suit le train ; il ferme la ligne derrière lui, et commence immédiatement l'épuisement de la section que le train vient de parcourir. La valve que porte ce relai n'a aucun des inconvénients que comporte celle contenue dans le premier relai de pression, attendu qu'elle se rouvre d'elle-même après que l'épuisement de la section que dessert le relai de vide est terminée ; opération qui généralement est faite dans la moitié du temps prévu, séparant le passage de deux trains. De plus, comme ces appareils sont espacés de 5 en 5 kilomètres et que la moitié au moins sont dans des établissements fabriquant l'air comprimé et le vide, ils sont surveillés par des agents.

Les relais de pression espacés de kilomètre en kilomètre deviennent de simples souffleurs s'ouvrant au passage du train et soufflant pendant tout le temps que le train parcourt leur section ; ils ne sont plus composés que d'un piston portant un contrepoids, actionnant un tiroir qui est le tiroir de pression et du piston régulateur qui suspend l'admission après que le soufflage a duré le temps convenable ; l'air pénètre dans la ligne par une sorte de lanterne découvrant des orifices ayant deux fois la section de la ligne, et la commande du soufflage est donnée par le train lui-même qui, en agissant sur une détente, fait tomber un contrepoids placé sur le piston commandant le tiroir. Le soufflage est instantané, il est suspendu par l'action du piston régulateur qui ferme la communication conduisant à la ligne et emprisonne de l'air comprimé dans une petite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chambre placée entre cette fermeture et le tiroir. L'effet de cet air comprimé au moment où la pression se perd dans la ligne, c'est-à-dire au moment où le train a franchi la section, est de soulever le piston actionnant le tiroir et de remettre tout en place pour l'attente du train suivant. Cet appareil, qui est l'âme du nouveau système, est extrêmement simple et n'a besoin d'aucune surveillance pour son fonctionnement. Il est accompagné d'un réservoir d'air comprimé capable de desservir la section.

TROISIÈME PARTIE.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Un télégraphe, ou mieux une correspondance télégraphique, se compose :

1° De deux appareils semblables, séparés entre eux par une distance plus ou moins grande;

2° D'un fil conducteur de l'électricité, plus ou moins long, qui les réunit;

3° D'une pile (voyez PILE) pour produire l'électricité nécessaire à faire fonctionner la machine;

4° De plusieurs petits appareils que nous ne décrirons pas tous, parce qu'en général ils sont plutôt commodes qu'utiles; ils varient de nombre et de formes suivant les lieux, suivant le temps.

Nous donnerons d'abord, d'après M. Pouillet, un bref résumé des principes généraux sur lesquels repose l'établissement d'une ligne télégraphique :

« Deux fils de métal joignent les deux stations qui doivent correspondre, comme, par exemple, Paris et Berlin; ils sont isolés avec soin, ne communiquant électriquement ni entre eux ni avec le sol, ce qu'on obtient, par exemple, en les suspendant en l'air et les soutenant par des poteaux espacés de cinquante mètres en cinquante mètres.

« Si, à Berlin, une pile est disposée ayant son pôle positif en communication avec l'un de ces fils et son pôle négatif avec l'autre, cela ne suffit pas pour que le courant s'établisse; car, à Paris, le circuit reste ouvert, puisque les extrémités des deux fils ne communiquent pas entre elles. Mais si, à Paris, l'on ferme le circuit en joignant les deux fils ou en les réunissant par un arc conducteur quelconque, le courant s'établit à l'instant, le fluide électrique circule d'une manière permanente, avec la vitesse qui lui est propre (et qui, on le sait, est pour ainsi dire infinie), dans toute l'étendue des fils et dans tous les appareils qui les réunissent à l'une et à l'autre de leurs extrémités.

« On dit alors que le fluide vient de Berlin à Paris par le fil qui communique avec le pôle positif de la pile, et qu'il retourne de Paris à Berlin par le fil qui communique avec son pôle négatif.

« Cependant il faut bien se garder de prendre à la lettre ces expressions d'aller, de retour et de circulation, qui sont reçues dans la science; elles ne veulent pas dire que le fluide électrique circule en effet ou qu'il éprouve un mouvement de translation apalogue à celui du liquide qui se meut dans un tube, ou à celui du gaz, qui va du gazomètre au bec d'éclairage; elles signifient seulement que le fluide électrique fait sentir ses effets sur les différents points du circuit.

« Quand le son va frapper un écho et revient à son origine, on peut dire aussi qu'il a un mouvement d'aller et de retour ou un mouvement de circulation, et l'on sait bien cependant qu'en réalité ce n'est pas l'air lui-même qui se transporte depuis le point où il est ébranlé jusqu'à la surface qui fait l'écho, et depuis cette surface jusqu'au point primitif du départ; au lieu de se transporter, l'air vibre, et ce sont ces vibrations qui se transmettent successivement, et de proche en proche, avec une certaine vitesse; c'est donc le mouvement qui va et qui revient, qui se transmet et qui circule, et non pas le fluide lui-même, ou, en général, le milieu dans lequel le mouvement s'accomplit.

« C'est là ce qu'il faut entendre quand on parle de la transmission de l'électricité, comme quand on parle de la transmission du son ou de la lumière.

« Le courant électrique circule donc de Berlin à Paris et de Paris à Berlin sous la condition : 1° que la pile donne de l'électricité; 2° que les fils soient bien isolés; 3° que le circuit reste exactement fermé sur tous les points de son trajet sans offrir nulle part la moindre solution de continuité.

« S'il arrive que les fils communiquent électriquement entre eux, si, par exemple, on les réunit par un fil fin de métal, par un filet d'eau ou d'humidité, ou, en général, par un arc conducteur, cet arc conducteur devient à l'instant le siége d'un courant dérivé qui affaiblit dans une certaine proportion le courant dévolu à la portion restante du circuit.

« Ce qui arrive pour une seule dérivation arrive pour un nombre quelconque, et l'on conçoit que si les poteaux où s'attachent les fils ne leur donnent pas un isolement parfait, il en résulte autant de courants dérivés que de poteaux, c'est-à-dire vingt par kilomètre, et qu'alors les piles les plus énergiques deviennent bientôt insuffisantes pour faire passer un courant efficace dans une ligne télégraphique d'une étendue considérable.

« La théorie permet de calculer les intensités du courant dans les diverses portions d'un circuit ainsi ramifié de la manière la plus complète, pourvu que l'on connaisse tous les éléments de ces ramifications.

« La théorie avait pareillement indiqué un moyen, doublement économique d'établir un circuit entre deux points très éloignés, comme Berlin et Paris. Ce moyen consiste à remplacer l'un des fils par la terre elle-même. Supposons en effet qu'il n'y ait qu'un seul fil de métal étendu entre ces deux points, et qu'à Paris son extrémité communique au sol par une large plaque de métal plongeant dans la Seine, ou seulement dans l'eau d'un puits, qu'à Berlin le pôle négatif de la pile communique aussi à l'eau d'un puits, et, par suite, aux eaux de la Sprée; on comprend qu'à l'instant où le pôle positif touchera l'extrémité du fil, le courant viendra, comme tout à l'heure, de Berlin à Paris par le fil de métal; mais qu'au lieu de retourner de Paris à Berlin par le second fil qui n'existe plus, il s'en retournera par le sol. On dit alors que la terre fait partie du circuit, et l'on réalise ainsi une double économie en ce que l'on évite la dépense d'un second fil, et en ce que la terre lui oppose bien moins de résistance que le deuxième fil dont elle tient la place.

« Ajoutons un mot sur les signes télégraphiques.

« Le courant qui passe d'une manière continue dans un circuit formé par deux fils ou par un seul fil et la terre, ne produisant qu'un effet constant et uniforme, est peu propre à donner les signes essentiellement variés qui sont indispensables à l'expression de la pensée. Il est donc nécessaire de tirer du courant des effets différents et de combiner entre eux ces effets jusqu'à ce que l'on obtienne enfin autant de signes qu'il en faut pour reproduire tout ce que les langues humaines peuvent exprimer. On y parvient d'une manière très simple en interrompant le courant pour le rétablir ensuite, et en disposant les choses pour que ces alternatives donnent naissance à un mouvement de va-et-vient plus ou moins rapide; pour cela, on introduit dans le circuit un électro-aimant qui devient aimant pendant que le courant passe, et qui cesse de l'être aussitôt que le courant est interrompu. Pendant qu'il est aimant, il attire son armature, et dès que le courant cesse il y a un ressort qui la rappelle; ainsi l'armature oscille ou vibre en quelque sorte entre l'action du ressort et celle de l'électro-aimant. Ces vibrations peuvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TÉLÉGRAPHIE.

se faire avec une rapidité presque incroyable, car il est très facile de construire des appareils qui en exécutent plusieurs centaines dans une seconde, et assurément l'on parviendrait sans peine à décupler ce nombre Mais, comme on le voit, il y a là une condition essentielle à remplir, c'est un rapport nécessaire entre la vivacité du ressort qui rappelle l'armature et la puissance attractive de l'aimant qui l'entraîne en sens contraire, puissance qui dépend elle-même de plusieurs données, et surtout de l'intensité du courant.

« Ce mouvement de va-et-vient une fois obtenu avec la régularité et la vitesse que l'on veut lui donner, il est facile de le transformer en mouvement de rotation et d'avoir ainsi une aiguille qui peut, par exemple, parcourir un cadran sur lequel on inscrit ou les lettres de l'alphabet ou d'autres signes conventionnels. »

C'est la découverte de l'action des courants électriques sur l'aiguille aimantée et des phénomènes de l'électro-magnétisme qui ont permis la transmission à distance des forces capables de mettre des signaux en mouvement. Nous le montrerons plus loin en passant en revue l'histoire de ce grand progrès, mais auparavant, nous décrirons d'abord les premiers appareils employés en France, au moment où la télégraphie électrique vint faire concurrence à la télégraphie aérienne, qu'elle devait bientôt remplacer, et fournir une ressource si utile à l'exploitation des chemins de fer.

La France, en 1845, était tout à fait en arrière; mais à cette époque Arago, membre de la chambre des députés, fit un rapport qui appelait l'attention du gouvernement sur la nécessité d'introduire dans notre pays ce système rapide de communication, et il fut voté, d'après les conclusions du rapporteur, un crédit pour établir une ligne d'essai entre Paris et Rouen, dont la distance est de 338 kilomètres.

PREMIERS TÉLÉGRAPHES EMPLOYÉS EN FRANCE.

Ces télégraphes étaient de deux sortes :

1° Les télégraphes analogues au télégraphe aérien;

2° Les télégraphes à cadran.

Le premier représente les signaux du télégraphe Chappe, et le second indique à la vue les lettres de l'alphabet et une série de chiffres.

Dans chaque système le principe mécanique est le même, c'est-à-dire qu'ils sont fondés sur le fait, qu'un aimant attire le fer; seulement, dans celui de l'Etat le mécanisme est double, et dans celui du chemin de fer il est simple.

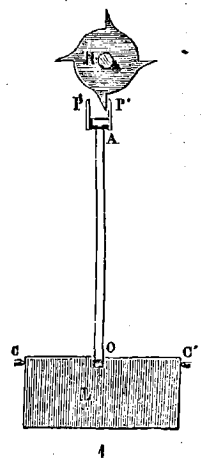
L'aimant qui entre dans ces deux appareils, comme nous venons de le dire, est ce qu'on appelle un aimant temporaire; il consiste donc en un cylindre de fer enveloppé par un fil de cuivre entouré de soie, dans lequel on fait à volonté passer un courant électrique; à ce moment, le fer étant aimanté, attire un levier aussi en fer, et quand on interrompt le courant, l'aimantation cessant, le levier en fer revient à sa position première, rappelé qu'il est par un ressort disposé à cet effet. On a ainsi un mouvement de va-et-vient, que l'on a transformé en un mouvement circulaire.

Voici comment M. Bréguet s'y est pris pour rendre cet effet:

R dernière roue d'un rouage d'horlogerie (fig. 1); elle peut se mouvoir très-vite et il faut peu de force pour l'arrêter.

P, P', deux petites pièces d'acier qui viennent s'opposer l'une après l'autre au mouvement de rotation de la roue; elles sont placées à l'extrémité du bras de levier O A, dont les centres de mouvement sont en C et C.

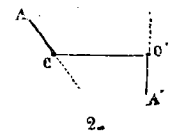
L, autre levier ayant les mêmes centres de mouvement et d'une forme plate et rectangulaire. C'est cette plaque que l'électro-aimant doit attirer quand il devient aimant par le passage du courant, et qui doit retourner à sa première position quand l'aimantation vient à cesser.



1

Dans ce moment, une dent de la roue appuie sur la pièce P', et si, par l'aimantation, L est attirée en avant, P' ira en arrière, quittera la dent de la roue; celle-ci avancera, mais ne pourra le faire que d'une demi-dent, parce que l'autre pièce P viendra se placer devant la dent suivante; l'aimantation cessant, un ressort ramène le levier O A, la pièce P quitte la dent de la roue, qui vient alors se reposer sur P', en ayant encore avancé d'une demi-dent; cette opération se répète autant de fois que l'on veut et avec les mêmes circonstances.

La roue a quatre dents, par conséquent elle avance de 1/8e de circonférence chaque fois; donc si l'on place une aiguille sur l'axe de la roue, cette aiguille prendra huit positions différentes autour de son centre; c'est ainsi que se font les indications de télégraphe que M. B. construit pour l'Etat; seulement dans la même boîte il y a deux mouvements d'horlogerie, deux électro-aimants et deux leviers O A (fig. 2). Il y a donc aussi sur le cadran, extérieurement, deux aiguilles A A' pouvant prendre indépendamment l'une de l'autre leurs huit positions autour du centre C, C'. Ces huit positions, combinées les unes avec les autres, donnent soixante-quatre signaux, que l'on est parvenu à doubler par un signal de convention. En un mot, ce télégraphe rend tous les signaux du vocabulaire Chappe, et a permis de combiner le télégraphe électrique avec la télégraphie aérienne, ce qui était un avantage immense surtout au début de l'application du nouveau système.



2.

A cet appareil, que l'on nomme *récepteur*, parce qu'il reçoit les signaux, il faut adjoindre un autre qui distribue, ou mieux établit et interrompt le courant électrique dans le récepteur; cet instrument est ce que l'on nomme le *manipulateur*. Cet appareil est double, ou plutôt composé de deux colonnes semblables.

La fig. 3 représente une colonne vue en perspective.

La colonne repose sur une embase, dans le haut elle est traversée par un axe A, qui sur le devant porte la manivelle M, et de l'autre côté la roue R, qui porte une cannelure de forme quadrangulaire.

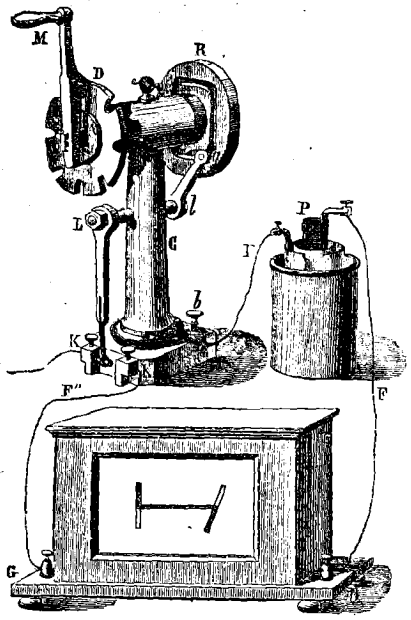
D, diviseur fixé par des vis sur le haut de la colonne et concentrique à l'axe de la manivelle; c'est une roue qui porte huit entailles, dans lesquelles peut entrer une dent d'acier faisant partie de la manivelle C, centre de mouvement des deux leviers L et *l*.

l porte un galet *g* qui entre dans la cannelure de la roue R.

L peut se mouvoir entre deux contacts métalliques K et K', fixés sur une plaque en ivoire; ils portant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chacun un petit ressort contre lequel vient se faire le contact.



3.

Quand on prend la manivelle dans sa main et qu'on la fait mouvoir, R tourne en même temps, et la cannelure, par sa forme, donne un mouvement de va-et-vient à *l*, et par conséquent aussi à L qui lui est solidaire au moyen de l'axe A. On voit alors que L oscille entre les contacts K et K', qui sont placés pour cela aux limites extrêmes de l'oscillation.

Maintenant, soit P une pile, F, F' les réophores. Mettons F en communication avec l'embase au moyen d'un bouton *b*, F' avec le bouton D du récepteur, et relions le bouton gauche G avec le contact K'.

Chaque fois que L viendra en contact avec K', le circuit de la pile sera complété, il passera dans le récepteur, l'électro-aimant correspondant sera devenu un aimant. La palette L sera attirée et l'aiguille prendra une certaine position si l'on avance la manivelle d'un cran, L se reportera sur K, le courant sera interrompu, la palette L retournera à sa place et l'aiguille prendra une nouvelle position, et ainsi de suite. En tournant les deux manivelles, les deux aiguilles en suivront exactement tous les mouvements.

Les instruments sont construits de manière à pouvoir faire prendre à l'aiguille 3,000 positions différentes dans une minute. Mais quand l'on transmet on est obligé à des temps d'arrêt, aussi on n'arrive qu'à faire 250 signaux réels dans une minute.

On profitait dans ce système de l'expérience de la télégraphie ancienne pour produire des signaux le plus simplement possible, avec le minimum d'angles; pour faire représenter à chacun d'eux non-seulement des lettres, mais encore les signes abréviatifs les plus convenables.

TÉLÉGRAPHE A CADRAN. L'État a des employés spéciaux; il peut donc avoir des instruments assez compliqués. Les chemins de fer, au contraire, où l'on

met des télégraphes dans toutes les stations, même les plus petites, ne peuvent avoir des employés très-habiles à manier ces appareils; il faut que chacun puisse faire usage de l'instrument sans avoir besoin d'une étude trop longue; aussi est-ce pour cela que l'on a adopté généralement le télégraphe à cadran de M. B., qui n'a de commun avec ceux qui ont été faits avant lui que le cadran usuel.

Récepteur. L'appareil est représenté dans son ensemble par la fig. 4. Le cadran porte les 25 lettres

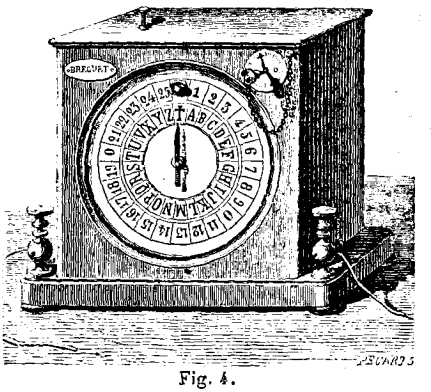


Fig. 4.

de l'alphabet, qui, avec la croix, font 26 signaux différents, auxquels correspondent 26 positions de l'aiguille. On verra plus loin comment le mécanisme de l'instrument permet à l'aiguille de s'arrêter au milieu de l'une quelconque de ces divisions.

Au repos, l'aiguille doit toujours être à la croix, comme dans la figure 4. Cette position est celle d'où on part et à laquelle on doit toujours revenir.

Dans la transmission d'une dépêche, l'aiguille, parcourant rapidement le cadran de gauche à droite sans jamais rétrograder, fait un temps d'arrêt sur chacune des lettres composant la dépêche et sur la croix à la fin de chaque mot, pour le séparer bien nettement du suivant. Il faut suivre l'aiguille de l'œil et saisir ses temps d'arrêt, quoiqu'ils soient fort courts; c'est à quoi on arrive par une pratique de quelques jours.

La fig. 5 représente la dernière disposition intérieure donnée à l'instrument, dont la fig. 4 donne l'aspect extérieur. Il est vu par derrière, et l'aiguille est cachée par le cadran ce comme quelques autres parties essentielles.

L'armature en fer doux est portée par les deux vis *v*, *v'*, de telle sorte qu'elle peut osciller autour de la ligne *vv'* de suspension. La tige *t* liée à l'armature oscille avec elle, et vient buter de côté et d'autre sur les vis de réglage *r*, *r'*, au moyen desquelles on peut varier les limites du mouvement de l'armature. Quand l'appareil est au repos, le petit ressort boudin R tend à maintenir constamment la tige *t* appuyée contre la vis *r*.

Si un courant vient à passer dans les bobines de l'électro-aimant E, l'armature se trouve attirée et s'approche de l'électro-aimant autant que possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que la tige *t* de l'armature vienne buter contre la vis *r'*. Si ensuite le courant est interrompu, l'attraction qu'exerçait l'électro-aimant sur l'armature cesse, le ressort R, qui n'a pas cessé d'agir, mais qui a cédé sous l'action plus forte de l'aimantation, entraîne l'armature et lui fait faire un second mouvement en sens inverse du premier. Il est souvent nécessaire d'augmenter ou de diminuer la force du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ressort R : on y arrive en tournant dans un sens ou dans l'autre l'axe du limaçon L (fig. 5), ce qui pro-

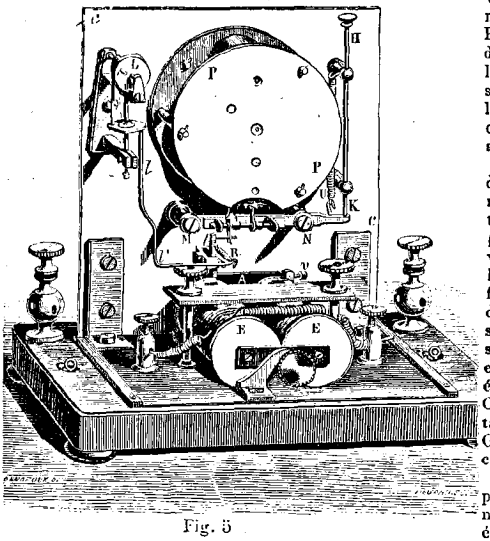


Fig. 5

duit un mouvement du levier *ll*, à l'extrémité auquel est attaché le ressort boudin R. Cet axe traverse le cadran et la face antérieure de la boîte, de telle sorte qu'on peut (fig. 4), au moyen d'une petite clef dite *de réglage*, tendre ou détendre le ressort sans démonter la boîte; une petite aiguille portée par la clef se meut devant le cadran de réglage et permet d'apprécier de combien on agit sur le ressort. Le rouage maintenu par les platines PP est un mouvement de pendule ordinaire. Il se compose d'un barillet qui contient le ressort moteur, et de trois mobiles qui transmettent son action à une dernière roue dite *roue d'échappement*, à cause de sa fonction que nous allons expliquer. C'est sur l'axe même de cette roue, prolongé au travers du cadran *cc*, qu'est placée l'aiguille indicatrice.

La roue d'échappement est double, c'est-à-dire qu'elle est composée de deux roues juxtaposées de telle façon, que les 13 dents de l'une sont juste au milieu des intervalles des 13 dents de l'autre. Ces 26 dents, en nombre égal aux lettres du cadran, viennent buter sur la petite pièce d'acier *p*, dite *palette d'échappement*, qui arrête le rouage. Cette palette est portée par un axe *aa'*, qui porte également une fourchette X; dans cette fourchette entre une cheville horizontale portée par la tige *t*, et par laquelle les mouvements de l'armature sont transmis à la palette *p*. Supposons l'appareil au repos, au départ la dent 1 est en prise sur la palette *p*, et l'aiguille est en face de la croix, dans la position verticale. Si l'armature, attirée par l'électro-aimant, fait un mouvement d'arrière en avant, la palette, faisant un mouvement semblable, glisse sur la dent 1 et la laisse échapper; le rouage se met en marche, mais la palette, qui est venue se placer dans le plan de la roue de devant, arrête la dent 2. On voit que la roue a avancé de 1/26 de tour et par conséquent l'aiguille d'une lettre : elle était au début en face de la croix; elle est maintenant sur l'A.

Si maintenant l'armature, cessant d'être attirée par

l'électro-aimant, fait un nouveau mouvement d'avant en arrière, la palette *p* laisse échapper la dent 2 et vient arrêter la dent 3; la roue a avancé de nouveau de 1/26 de tour et l'aiguille est sur le B. On voit ainsi que, par une série d'envois et d'interruptions du courant, on fera prendre à l'aiguille les 26 positions correspondant aux 26 signes du cadran; il est important de noter que l'interruption du courant correspond à la croix ou aux chiffres pairs, et le passage du courant aux chiffres impairs.

Cadran manipulateur. Il se compose (fig. 6) d'une planche de forme carrée, sur laquelle est monté, au moyen de trois colonnes, un plateau circulaire ou cadran en laiton. Ce plateau porte sur son pourtour des échancrures se trouvant en regard des lettres et des nombres que l'on a gravés sur le cadran, sur deux circonférences. Une manivelle est articulée, au centre du plateau; sur son axe est montée une roue, sur le plan de laquelle est creusée une gorge sinueuse, et dont les sinuosités sont régulières et produisent un nombre d'allées et venues égal à celui des signes gravés sur le cadran. Cette roue produit dans son mouvement de rotation le mouvement de va-et-vient du levier G qui oscille autour du centre O, et va toucher alternativement les contacts P, P'.

Dans la planche sont incrustées dix petites platines ou pièces de contact, auxquelles viennent aboutir les fils qui conduisent le courant électrique dans les divers appareils qui composent le poste : devant le cadran se trouve aussi une plaque oblongue; elle porte ces mots : « *Communication directe.* » En outre, on voit deux languettes mobiles L, L' qui sont susceptibles d'être dirigées, l'une à gauche sur les contacts S', S', E'; l'autre,

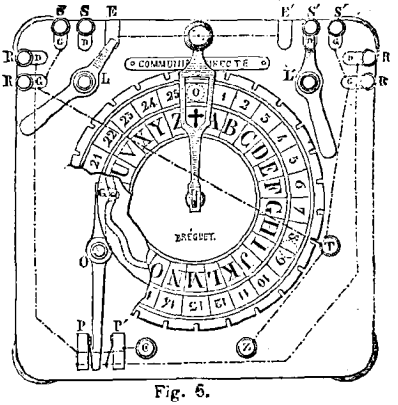


Fig. 6.

celle de droite, sur les contacts semblables S, S, E, ainsi que sur la plaque oblongue. Ces deux pièces sont appelées commutateurs de lignes.

Il y a encore trois boutons, dont deux C et Z sont destinés à recevoir les fils venant des pôles de la pile et l'autre T le fil de la terre.

Les différentes parties du manipulateur sont reliées entre elles par des fils métalliques qui passent dessous la planche et qui sont représentés dans la figure par des lignes ponctuées. Toutes les platines S', S', R', R', à droite et à gauche, communiquent au bouton T qui, de son côté, est réuni au bouton Z.

Des colonnes qui supportent le cadran, celle qui est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

placée sous la croix communique avec la plaque E E.

Le bouton S est relié au contact P.

Le contact P' communique avec les platines R, R de droite et de gauche.

On voit enfin qu'il y a communication immédiate entre la colonne qui est sous la croix et celle qui sert de centre de mouvement au levier L, puisque toutes eux sont fixées au cadran.

Toutes les fois que la manivelle du manipulateur est placée sur un nombre impair 1, 3, 5, etc., la pile L est en contact avec P, et si, au contraire, cette manivelle est sur les nombres pairs 0, 2, 4, etc., le contact aura lieu avec P'.

Quand on veut faire une lettre, par exemple Q, on prend la manivelle en la soulevant un peu, puis on la porte sur la lettre Q; l'aiguille du récepteur a suivi tous les mouvements et s'arrête aussi sur Q, et ainsi des autres lettres. Après chaque mot, on revient à la croix. Quoique ces instruments soient réglés de manière à faire faire à l'aiguille du récepteur 4,000 signes dans une minute, en tournant la manivelle d'un mouvement continu, on ne peut dans la correspondance que passer soixante à quatre-vingts lettres, ce qui tient aux temps perdus nécessaires pour aller, d'une part, sur une lettre déterminée, et, d'autre part, à cause d'un temps d'arrêt obligé sur la lettre envoyée, pour que celui qui la reçoit ait le temps de la lire.

SONNERIE TREMBLEUSE. Nous donnerons encore ici la sonnerie tremblouse qui sert presque toujours aujourd'hui pour avertir d'un poste à l'autre.

Cet instrument est représenté par la fig. 7.

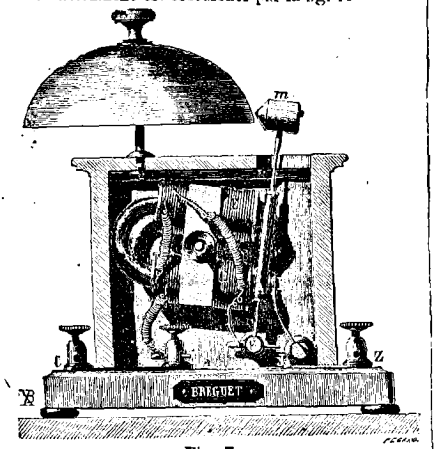


Fig. 7.

Un courant envoyé dans l'appareil suit la bande de cuivre CD, parcourt le fil de l'électro-aimant E, est conduit ensuite en F, suit l'armature A, le ressort R et la bande JZ, pour retourner à la pile.

Dès que le circuit est fermé hors de cet appareil, l'armature est attirée par l'électro-aimant et le contact en R cesse d'avoir lieu; de là il résulte que l'électro-aimant cesse d'attirer l'armature, qui retombe sur le ressort et referme le circuit; le courant passant de nouveau, l'armature est de nouveau attirée, etc.; ces effets se reproduisant successivement avec rapidité, l'armature prend un mouvement d'oscillation ou de tremblement qui dure autant que le circuit est complet hors de l'appareil.

A chaque attraction de l'armature, le marteau *m* qu'elle porte vient frapper le timbre, ce qui produit un bruit très-intense.

On remarque que l'armature n'est pas portée par un axe et sur des pointes de vis comme dans les instruments précédemment décrits, on a trouvé plus avantageux de le faire porter par un ressort flexible qui fait en même temps fonction de ressort antagoniste.

L'administration des télégraphes français emploie ces sonneries dans certains postes montés avec le télégraphe Morse; elles peuvent fonctionner à 100 kilomètres (lignes établies avec du fil de fer de $4^m/_m$) et même à une distance plus grande, pourvu que les électro-aimants aient un nombre de tours et une résistance convenables.

HISTOIRE DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE. Maintenant que l'on est familiarisé avec les questions qui font le sujet de cet article, nous pouvons donner quelques détails sur cette importante découverte, qui, annulant les distances, constitue une des plus brillantes conquêtes que l'humanité ait jamais réalisées.

On pense généralement qu'il faut absolument une pile pour qu'un télégraphe puisse exister; mais cependant, vers 1774, *Lesage*, savant de Genève, imagina le premier télégraphe électrique, et à cette époque la pile n'existait pas, puisqu'elle ne fut découverte par Volta qu'au commencement de notre siècle. Il employa l'électricité statique, et se servait pour électro-moteur d'une machine électrique. Un fil particulier était affecté à chaque lettre; il y en avait vingt-quatre. Il y avait en outre autant d'électro-moteurs que de fils, et ceux-ci étaient isolés le mieux possible en les immergeant dans la résine fondue.

En faisant passer la décharge de la machine par tel ou tel fil, l'électromètre correspondant indiquait la présence du fluide électrique par l'écartement des balles de sureau, et ce mouvement représentait la lettre en rapport avec cet électromètre.

Bétancourt établit ce système à Madrid. Ce n'était encore qu'une solution scientifique; cependant l'idée était déjà matérialisée, mais non pas arrivée à l'état pratique, vu la difficulté insurmontable d'isoler parfaitement le conducteur de l'électricité statique, ce qui est difficile même dans un cabinet de physique.

En 1794, *Reiser*, un Allemand, donna dans le *Magasin périodique* de Voigt la description d'un télégraphe, consistant en une machine électrique et une table de verre, dans laquelle étaient incrustées toutes les lettres de l'alphabet; ces lettres étaient en métal, communiquaient toutes par leur fil respectif, bien isolé, avec la machine, et l'électricité étant envoyée par un fil, la lettre à laquelle il touchait devenait brillante.

D'après le *Magasin* de Voigt de 1798, le docteur *Salva* construisit en Espagne un télégraphe fondé sur ce principe. Une nouvelle fut apportée ainsi d'une grande distance à l'infant don Antonio.

Franklin eut aussi l'idée d'appliquer l'électricité à la transmission des dépêches.

Ainsi, en Europe, en Amérique, cette idée germait dans les cerveaux; elle n'attendait plus que la découverte d'un moteur sûr et commode.

Ce ne fut pourtant que onze ans après la découverte de Volta, en 1811, que *Somering* eut la première idée de son application aux télégraphes. De tous les phénomènes remarquables que produit la pile, on ne connaissait encore que la décomposition de l'eau. Il fit avec elle ce que Lesage avait fait avec des électromètres, c'est-à-dire qu'il plaça autant de fils que de lettres, et à l'extrémité de chaque fil était un voltamètre.

Coxe, de Philadelphie, fit mention de l'application du galvanisme à la construction des télégraphes, mais ne donna aucun moyen pratique (1).

1. *Annales* du docteur Thomson, 1re série, t. VII, p. 162, 1816.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dix ans après la découverte de la pile, *Œrsted* fit une autre découverte fondamentale, celle de la déviation de l'aiguille aimantée par le courant électrique, et dans cette même année 1810, l'illustre physicien *Ampère*, dans un mémoire qu'il publia sur ce fait, s'exprima ainsi :

« Autant d'aiguilles que de lettres de l'alphabet qui seraient mises en mouvement par des conducteurs qu'on fait communiquer successivement avec la pile, à l'aide de touches de clavier qu'on abaisserait à volonté, pourraient donner lieu à une correspondance télégraphique qui franchirait toutes les distances, et serait aussi prompte que l'écriture ou la parole pour transmettre la pensée. »

Peu de temps après la découverte d'Œrsted, un instrument d'une sensibilité extrême, le multiplicateur ou galvanomètre, fut imaginé par Schweiger, et permit de faire mouvoir l'aiguille aimantée par la moindre trace de courant électrique.

En 1823, *Ronalds* fit un télégraphe avec un cadran, dont les signaux apparaissaient par une petite ouverture les uns après les autres; c'est le premier télégraphe à cadran.

En 1832 et 1833, le baron *Schilling* imagina un télégraphe qu'il expérimenta à Saint-Pétersbourg, et pour la première fois fit l'emploi d'un timbre avertisseur, pour prévenir le correspondant du moment de l'envoi d'une dépêche.

Cooke et *Wheastone* établirent en Angleterre le télégraphe du baron Schilling, mais en réduisant le nombre des fils d'abord à cinq, puis à deux, et même à un seul fil; mais le cas le plus usuel est le télégraphe à deux fils.

La première ligne établie le fut en 1837, entre deux stations du chemin de fer de Londres à Birmingham.

En 1838, *Morse*, de New-York, communiqua à l'Académie des sciences un nouveau télégraphe de son invention, où fut faite pour la première fois l'application de la découverte de M. Arago en 1823, savoir, l'aimantation du fer par un courant électrique.

Un électro-aimant dont le fil est le prolongement du conducteur placé sur la ligne, devient aimant quand le courant circule. Dans cet état, il attire un morceau de fer fixé à un levier, et l'autre extrémité de ce levier porte une pointe qui alors vient frapper sur une bande de papier qui se déroule devant elle.

Si le courant n'existe qu'un instant très-court, la pointe marque un point; s'il persiste un moment, une seconde ou deux, elle fait un trait, et ce mélange de points et de traits permet de composer un alphabet.

L'appareil de Morse eut ces avantages sur ceux qui l'avaient précédé, qu'un seul fil était suffisant pour établir une correspondance, et que les dépêches y laissaient des traces.

Steinhel a construit en 1838 et établi à Munich un télégraphe qui imprime aussi des points et des traits sur une bande de papier. Morse a fait usage d'une pointe sèche, et Steinhel a employé une pointe chargée d'encre; au lieu d'avoir une seule pointe il en avait deux; il ne faisait pas des traits, mais seulement des combinaisons de points. Son télégraphe n'est pas, comme celui de Morse, resté dans la pratique, mais on doit noter que ce fut un de ceux qui les premiers employèrent la terre comme second conducteur.

En même temps que ses aiguilles marquaient des points, elles pouvaient aussi faire entendre un son en frappant chaque fois sur un timbre.

1840. *M. Wheastone* expérimenta à l'Observatoire un télégraphe à cadran qui devait peu différer de celui que Ronalds avait construit en 1823.

1842. *M. Jacobi* expérimenta entre Tsarkoé-Selo et Saint-Pétersbourg, distance de 25 kilomètres. Contrairement à l'usage qui est de faire porter les fils sur des poteaux, il les enfouit sous terre. Cependant, sur une longueur de 9 kilomètres, il supprima un des fils et le remplaça par le sol, et l'intensité du courant se trouva doublée.

A peu près à la même époque, il faisait des expériences sur la possibilité d'employer la terre comme portion du circuit. Il s'en servit même comme électromoteur. En enfonçant dans le sol une plaque de cuivre et une plaque de zinc, chacune à l'extrémité d'un fil d'un myriamètre, il obtint un courant capable de faire fonctionner un télégraphe; les plaques avaient 26 centimètres carrés de surface.

1845. *M. Bréguet* fait pour l'administration des lignes télégraphiques de France un télégraphe à deux cadrans pouvant représenter les signaux des télégraphes aériens. Le 11 mai, ce système fut essayé pour la première fois devant la commission nommée par le gouvernement. La ligne fut inaugurée par ces mots : « Comment va Bréguet? — Bien, il fume un cigare. »

A la même époque, M. Bréguet fit un nouveau télégraphe à cadran à l'usage des chemins de fer. Ces deux systèmes décrits ci-dessus ont été jusqu'en 1849 exclusivement employés, le premier par l'État, et l'autre par tous les chemins de fer.

Passons à la description des divers appareils construits depuis cette époque.

DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHES. Les inventions les plus ingénieuses se succèdent chaque jour pour le perfectionnement du télégraphe électrique : nous décrirons les plus remarquables.

TÉLÉGRAPHE A AIGUILLES DE COOKE ET WHEASTONE. Cet appareil, le plus simple de tous, presque celui indiqué par Ampère en 1820, est usité en Angleterre, et dans quelques États de l'Allemagne; il est à multiplicateur et à deux aiguilles.

La fig. 8 montre l'extérieur de l'instrument. Sur le devant sont deux aiguilles ayant une position verticale : dans le bas sont les deux manettes qui servent à les faire mouvoir.

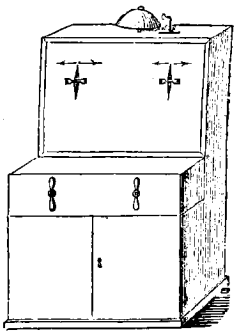


Fig. 8.

Les signes ou lettres sont représentés par les oscillations, soit d'une aiguille, soit de toutes deux ensemble; leurs excursions sont limitées à de fort petits arcs, par de petites chevilles contre lesquelles elles viennent buter.

Par exemple, aiguille gauche :

Un mouvement à gauche sera le signe + dans nos télégraphes et se fera après chaque mot.

Deux mouvements représenteront A.

Trois mouvements représenteront B.

Un mouvement à gauche, puis un à droite, C; et ainsi de suite.

On voit de quelle manière on peut se former un alphabet.

Les mouvements des aiguilles sont produits par des mouvements semblables des manettes. Chaque fois que la main se porte d'un côté ou de l'autre, elle fait mouvoir un commutateur qui change le sens du courant, et, par conséquent, fait dévier l'aiguille dans un sens et dans l'autre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TÉLÉGRAPHIE.

Nous donnons (fig. 9) une vue de côté de l'intérieur de l'appareil ; les deux parties étant tout à fait semblables, on se fera facilement une idée du tout.

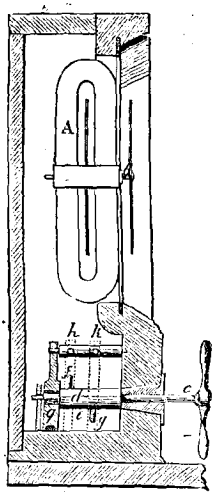


Fig. 9.

A est le multiplicateur, qui est formé d'environ 300 mètres du fil de cuivre couvert de soie. Le fil est enveloppé sur deux cadres, séparés par une petite distance, pour donner passage à un axe horizontal *b* qui porte deux aiguilles, une qui oscille dans l'intérieur, et l'autre qui paraît devant le cadran : toutes deux sont aimantées ; cette disposition représente donc le système de Nobili. Le courant agit sur les deux aiguilles dans le même sens. Celle qui est extérieure sert en même temps d'indicateur. Le manipulateur ou commutateur, qui est dans le bas de l'appareil, consiste en un axe *cd* dont la partie du milieu *e* est en ivoire, et les autres parties *c* et *d* en métal.

L'extrémité *c* porte une poignée ou manette, et l'autre *d* un tourillon qui tourne dans la pièce *g*.

Sur la partie *d* est une cheville *f*, parallèle à la poignée. Elle est placée verticalement dans l'état de repos.

Dans la direction opposée et parallèle est une cheville *g* fixée sur la partie *c*.

Les pôles de la batterie viennent aboutir aux écrous Z et C (fig. 10), et communiquent aux ressorts intérieurs *k* et *m*, qui appuient, l'un sur la partie *c* et l'autre sur la partie *d*, et sont de la sorte en liaison avec les chevilles *g* et *f* qui deviennent alors les pôles de la batterie.

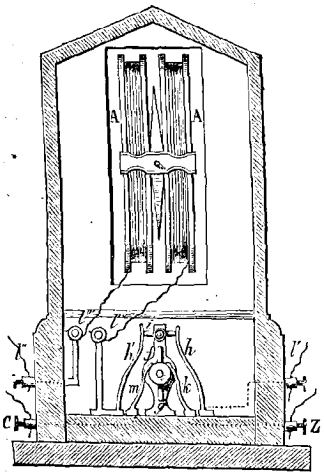


Fig. 10.

Deux ressorts *h* et *h'* sont placés sur la base de l'instrument ; ils appuient contre deux pointes *i*, qui sont portées par une colonne fixée au fond de la boîte.

L'un de ces ressorts *h'* est relié avec le fil *l'* pendant que l'autre *h* l'est avec *l*¹ par une petite colonne placée sur son pied. Le courant venant par le fil *l'* passe par la position *i*, entre dans le fil du multiplicateur, et arrive à *l*³, où s'attache le fil qui vient de la station éloignée.

Quand on veut envoyer un signal, on tourne la manette ou clef (fig. 11), par exemple, vers la gauche,

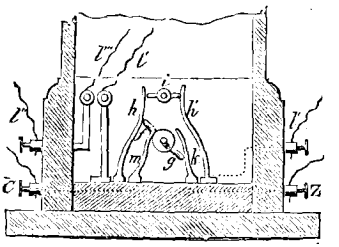


Fig. 11.

ce qui porte la cheville *f* sur le ressort *h* ; ce ressort *h* quitte la pointe *i*. Alors, voici la marche du courant. Le pôle cuivre est en C ; le courant passe par *m*, dans la partie *d* de l'axe de la pointe *f* ; il arrive au ressort *h*, entre dans le multiplicateur, en ressort par *l*³ et *l*², suit le fil, entre dans l'appareil du correspondant, où la clef est droite, par le fil *l* au point de départ, puis rejoint par le sol, suivant la location ordinaire, le pôle zinc.

Si la clef était tournée de l'autre côté, la pointe *f* toucherait *h'* et le point *g* le ressort *h* ; ce serait alors celui-ci qui quitterait la pointe *i*. On voit de suite que le courant serait changé de sens. L'aiguille dévierait donc dans un autre sens.

Ce télégraphe a l'avantage d'être très-simple dans sa construction, puisqu'il n'y a aucun rouage, la mécanique n'y est pour rien. Il se meut par suite avec de faibles courants.

TÉLÉGRAPHE MORSE. Le télégraphe de Morse est de ceux qu'on appelle écrivants ; il laisse en effet de la dépêche reçue une trace en signes conventionnels, avantage considérable qui en a fait la supériorité. Il a été employé d'abord en Amérique, puis en Allemagne ; son usage s'est encore plus répandu dans ces dernières années, et il a été adopté par tous les gouvernements de l'Europe pour les communications internationales.

Récepteur. L'appareil est représenté fig. 12. La cage PP contient un mouvement d'horlogerie à ressort d'une assez grande force, dont la vitesse est régularisée au moyen d'un volant régulateur.

L'un des axes du rouage prolongé en dehors de la cage porte le rouleau ou cylindre N, sur lequel vient appuyer un second rouleau de même dimension. Une bande étroite de papier emmagasinée sur la roue C vient passer entre ces deux cylindres, dont la surface est rugueuse et est entraînée par le mouvement du rouage. Le rouleau supérieur est mobile autour de l'axe *o* ; au moyen de la vis *k* et du ressort *m*, on règle la pression du rouleau supérieur sur l'inférieur.

Pour mettre le papier en place, on le fait passer dans un premier guide *g*, où il est légèrement pressé par un ressort d'acier plat, puis dans un second G qui a la forme d'une bobine vide, et enfin on le glisse entre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les deux rouleaux en soulevant le supérieur. Le rouage est arrêté ou mis en marche au moyen du levier H. Au-dessus de l'électro-aimant E on voit l'armature A

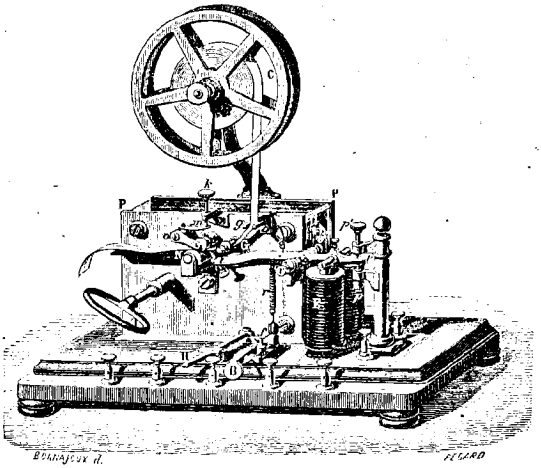


Fig. 12.

cylindrique. Le levier *ll'* de l'armature est porté sur deux pointes de vis *v*, *v'*; sa course est limitée par les vis *p*, *p'*.

Au repos, le levier est maintenu par le ressort antagoniste *r* dans la position figurée, butant contre la vis *p'* supérieure; mais, quand le courant passe dans le fil des bobines, l'électro-aimant attire l'armature, qui s'abaisse jusqu'à ce que le levier bute contre la vis *p* inférieure; la tension du ressort antagoniste se règle au moyen du bouton B qui fait tourner une vis sans fin à pas très-étroit; cette vis est portée par deux collets fixes et fait mouvoir la pièce *f*, à laquelle est attachée l'extrémité du fil de soie qui tire le ressort *r*. Avec cette disposition, il faut donner un mouvement considérable au bouton pour augmenter ou diminuer

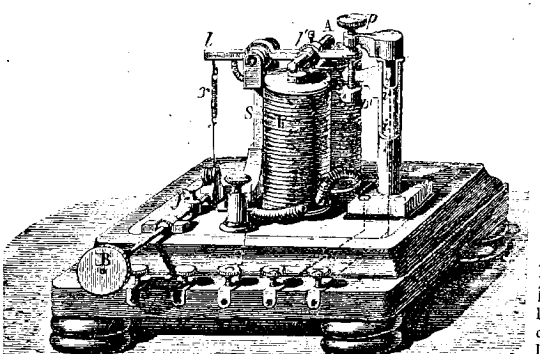


Fig. 13.

d'une manière sensible la tension du ressort, et on peut ainsi obtenir exactement la force qui donne le meilleur réglage. L'extrémité *l* du levier porte un *style* ou pointe traçante en acier dont la position peut être réglée par le pas de vis et le bouton qui la termine inférieurement; quand le levier vient buter contre la vis inférieure *p*, le style vient toucher le papier et pénètre légèrement dans une rainure pratiquée dans le rouleau supérieur, de manière qu'il produit une saillie en relief dans le papier; cette saillie a la forme d'un point, si l'armature n'est abaissée qu'un instant et d'un trait si l'attraction dure plus longtemps.

La combinaison de ces deux signes, point et trait, correspondant à des envois de courant presque instantanés ou prolongés un peu, permet d'obtenir des signaux très-nombreux. Les lignes ci-dessous donnent l'idée de l'alphabet employé.

a	b	c	d	e
·—	—···	—·—·	—··	—

Relai. Il faut pour faire fonctionner l'appareil Morse une aimantation assez énergique, à cause du poids considérable du levier et de la nécessité de gaufrer le papier. On n'obtiendrait pas une marche régulière et suffisamment rapide avec le courant envoyé directement d'une station éloignée; on est obligé pour y arriver d'employer un appareil accessoire, appelé *relai*, qui est très-sensible, c'est-à-dire qui peut marcher avec un très-faible courant et qui a pour mission de fermer le circuit d'une pile locale dont l'énergie est suffisante pour faire fonctionner le récepteur Morse.

Le relai est représenté par la fig. 13.

L'armature A et son levier *ll'* sont très-légers et obéissent par conséquent rapidement à l'attraction de l'électro-aimant E; le ressort antagoniste se règle de la même manière que celui du récepteur au moyen du bouton B qui est porté par une vis sans fin; cette vis fait avancer ou reculer la pièce *f*, à laquelle est attachée l'extrémité du fil de soie qui tire le ressort *r*.

Les vis *p*, *p'* servent à régler la course de l'armature, mais elles ont encore une autre fonction : la colonne qui les porte est représentée en coupe et montre qu'elles sont isolées l'une de l'autre par un tube de bois ou d'ivoire *ii*, la vis inférieure communique par le tube de cuivre formant l'enveloppe de la colonne au bouton R, *récepteur*; d'ailleurs, la tige de l'armature communique par son support S au bouton C auquel aboutit le pôle cuivre de la pile locale; si donc on réunit le bouton R au bouton du récepteur communiquant avec l'électro-aimant et le deuxième bouton du récepteur au pôle zinc de la pile locale, ce circuit local se trouve fermé chaque fois que le levier et l'armature viennent toucher la vis *p'*; il en résulte que le levier *ll'* du récepteur suit les mouvements du levier *ll'* du relai, et que les courants envoyés, pendant un temps plus ou moins long, de la station éloignée dans le relai, produisent sur la bande de papier du récepteur des traces de longueur correspondante.

Manipulateur. L'appareil est représenté fig. 14

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TÉLÉGRAPHIE.

Le levier *H* est maintenu dans la position figurée, c'est-à-dire en contact avec la pièce *p*, par un ressort R d'acier placé au-dessous; c'est la position du repos ou d'attente; le levier est en communication avec le fil

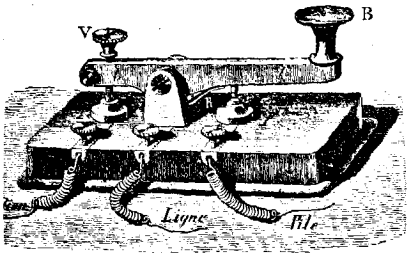


Fig. 14.

de la ligne, comme l'indique la figure. En saisissant le bouton B avec la main, on fait basculer le levier autour de son milieu et on l'abaisse jusqu'au contact de *p'* qui est réuni à la pile; on envoie ainsi le courant dans un relai, et aussi longtemps on le maintient dans cette position, aussi longtemps l'armature du relai est attirée par l'électro-aimant, et son levier abaissé de manière à envoyer le courant de la pile locale dans le récepteur Morse; ainsi le levier du relai suit le mouvement du levier du manipulateur, comme le levier du récepteur suit les siens. La vis V sert à régler la course du levier pour la facilité de l'employé.

Au lieu de faire gaufrer le papier par une pointe sèche, on préfère aujourd'hui faire tracer à l'encre les signes à l'aide d'une molette garnie d'encre qui vient appuyer sur le papier comme fait la pointe sèche. On obtient ainsi un télégraphe imprimeur, en signes conventionnels. La solution complète consiste à imprimer la dépêche en lettres, comme l'a fait M. d'Arlincourt pour le télégraphe à cadran, et M. Hughes dans l'appareil à clavier que nous allons décrire.

TÉLÉGRAPHE IMPRIMEUR DE HUGHES A GRANDE VITESSE. — M. Hughes, professeur dans une université des États-Unis d'Amérique, a construit un télégraphe imprimeur qui transmet les dépêches avec une merveilleuse rapidité, et n'a besoin pour fonctionner que de courants très-faibles.

Acquis par l'administration française, il est employé avec succès par elle pour les lignes les plus longues et les plus chargées.

Les principes sur lesquels repose cet appareil sont le synchronisme du mouvement des appareils en mouvement, et l'emploi de l'électricité seulement pour agir sur un organe d'arrêt; les détails du mécanisme combiné en vue de la multiplicité des opérations et de la vitesse des mouvements ne méritent pas moins d'attirer l'attention que l'ingéniosité de la conception.

Chaque appareil, dit M. Blavier dans son savant et si complet *Traité de Télégraphie*, auquel nous empruntons cette description, comprend trois axes distincts qui sont mis en mouvement par le même mécanisme d'horlogerie.

Sur l'un des axes est fixée la roue des types.

Le second qui constitue le manipulateur est vertical et porte un bras horizontal tournant avec la même vitesse angulaire que la roue des types, au-dessus d'un disque percé de trous disposés circulairement. Chaque trou est traversé par une lame métallique ou *goujon*, qui est en relation avec une des touches d'un clavier. Ces goujons sont reliés au pôle de la pile, et le bras horizontal, qu'on nomme le *chariot*, au fil de la ligne. Quand on abaisse une touche, le goujon correspondant se soulève, et, au moment où le chariot passe au-dessus, un contact métallique s'établit, le courant est envoyé sur la ligne.

Le troisième axe est destiné à produire l'impression et n'est mis en mouvement qu'au moment où le courant traverse l'électro-aimant. Il porte des cames dont l'une soulève un petit marteau cylindrique, et l'applique contre la roue des types; une seconde came le fait tourner après l'impression et fait avancer le papier.

Malgré l'intermittence du mouvement de l'axe imprimeur, celui du chariot et de la roue des types n'est pas altéré, grâce à l'addition d'un volant qui emmagasine la force vive, et d'un régulateur à lame vibrante.

Deux appareils identiques sont placés aux extrémités d'une ligne, et les axes sont animés d'un égal mouvement de rotation.

L'impression a toujours lieu, du reste, au point de départ en même temps qu'au point d'arrivée, afin que les conditions mécaniques des deux appareils soient identiques.

La roue des types n'est pas calée sur son axe; elle peut se déplacer en tournant sur elle-même au moment où l'axe imprimeur soulève le marteau.

Une came spéciale s'engage entre les dents d'une roue dentée, dite *roue correctrice*, qui tient à la roue des types, et fait avancer ou reculer cette dernière sans rompre sa liaison avec le rouage moteur, de manière à amener un caractère en face du marteau. La concordance entre les appareils placés aux deux extrémités de la ligne se trouve ainsi rétablie à chaque impression, pourvu que l'écart ne dépasse pas la moitié de l'espace qui sépare deux lettres.

Il fallait, de plus, pouvoir établir promptement l'accord entre les appareils en communication, quand il est rompu par une circonstance accidentelle. Arrêter le moteur aux deux stations eût été impraticable, car le mouvement n'est régulier et uniforme qu'au bout d'un instant, quand il a atteint sa vitesse normale. La roue des types peut être arrêtée isolément à l'aide d'une pédale dans une position fixe, toujours la même, telle, par exemple, que le caractère qui correspond au blanc ou à la croix, se trouve au-dessus du marteau; le premier courant qui arrive dans l'électro-aimant met en mouvement les roues des types dans des conditions identiques.

Chaque transmission commence par l'abaissement de la touche qui représente le signal de convention, blanc ou croix; le courant envoyé, au passage du chariot sur le goujon correspondant, fait partir la roue qui se trouve ainsi d'accord avec le manipulateur.

La roue des types tourne avec une grande vitesse. Si le marteau était terminé par une surface plane, il en résulterait un frottement nuisible à la pureté de l'impression, aussi est-il remplacé par un petit cylindre qui, au moment où il se soulève, est, par une disposition spéciale, animé d'un mouvement de rotation contraire à celui de la roue des types. L'impression a donc lieu, comme l'envoi du courant, sans aucun arrêt des rouages.

La fig. 15 est une vue d'ensemble de l'appareil; la fig. 16 en est une projection horizontale.

La roue Z reçoit directement le mouvement du moteur, et le transmet par les mobiles 1, 2 et 3 à l'axe D de la roue des types, à l'arbre vertical du chariot et à l'axe imprimeur P. Tous les axes des rouages sont supportés par un seul bâtis.

En avant se trouve le clavier portant sur chaque touche une des lettres de l'alphabet; elles sont liées par des leviers à des goujons disposés circulairement sous le disque N et font lever. *g* est le chariot, H la roue des types, F la roue correctrice, R le cylindre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

imprimeur ou marteau, A l'électro-aimant, T' un commutateur qui sert à modifier la communication, quelles on attache les fils de pile, le fil de ligne et le fil de terre.

Fig. 15.

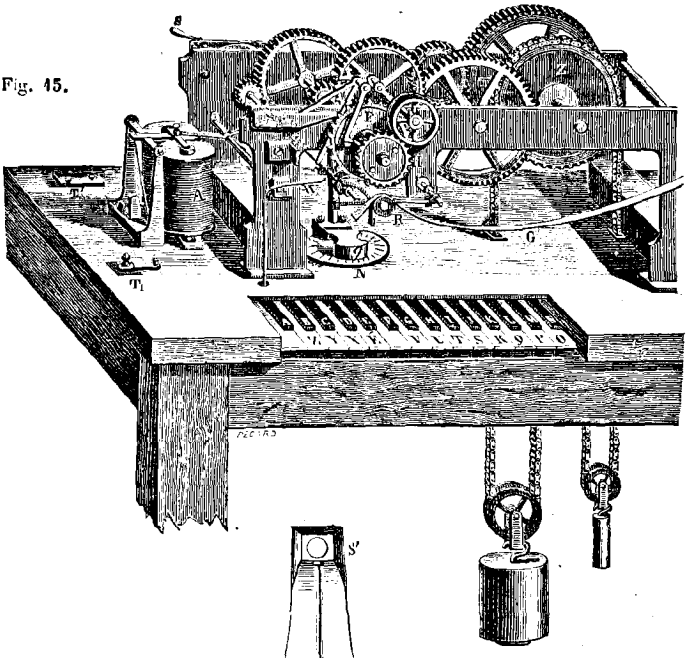
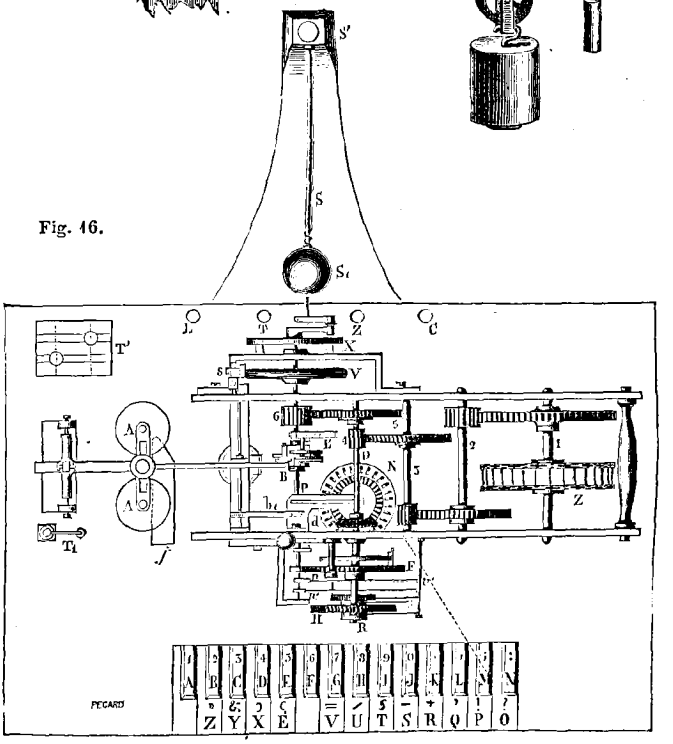


Fig. 16.



T, un interrupteur qui permet de couper la communication avec la ligne. Z, C, T sont les bornes aux-

Nous devons renvoyer au bel ouvrage de M. Blavier les lecteurs désireux de connaître, dans tous leurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

détails, la disposition des diverses pièces de cet appareil, toutes si ingénieusement disposées pour atteindre le but proposé, d'une très-grande vitesse de transmission; nous nous contenterons de donner, d'après cet auteur, la description de la marche de l'appareil, ce qui fera bien comprendre le rôle rempli par chacune des différentes pièces.

Marche de l'appareil. — Concevons deux appareils semblables, éloignés l'un de l'autre, reliés par un fil conducteur, et supposons qu'on soit parvenu à rendre leurs mouvements à peu près synchroniques.

Les poids qui font mouvoir les axes des deux appareils ayant été remontés et agissant, l'axe vertical du manipulateur (du chariot *g*) tourne d'un mouvement uniforme, et parcourt, aux deux postes, la circonférence dans le même temps.

A chacun des postes, on a arrêté la roue des types en abaissant une pédale; l'espace blanc se trouve au-dessus du marteau; la partie pleine de l'axe de la roue des types H (montée sur cet axe par un canon creux) tourne seule.

Quant à l'axe imprimeur, la portion antérieure qui porte des cames est immobile; l'autre partie avec le volant V à grande vitesse (700 tours par minute) et le régulateur à lame vibrante SS', tourne rapidement.

L'employé qui veut transmettre appuie d'abord sur la touche, *blanc*. Au moment où le chariot arrive au-dessus du goujon correspondant, l'extrémité de la pièce *g* se soulève, et le courant passe à la partie supérieure de son arbre (séparée de la partie inférieure par une plaque d'ivoire), traverse l'électro-aimant et se rend sur la ligne.

En traversant l'électro-aimant, le courant neutralise l'action attractive de l'aimant permanent placé dans la bobine A (heureuse disposition imaginée par M. Hughes, pour accroître la sensibilité de l'appareil, en faisant que l'intensité du courant nécessaire pour le faire marcher dépende de la différence entre la force attractive antagoniste et la traction due à la tension du ressort de rappel, différence que l'on peut rendre aussi petite que l'on voudra), l'armature, repoussée par le ressort, fait basculer rapidement un levier, et par suite un cliquet agissant sur une roue dentée; l'axe P exécute par suite une révolution rapide.

Le cylindre R est soulevé et vient toucher la roue des types; mais le papier ne reçoit aucune impression, puisque à ce moment l'espace vide se trouve au-dessus. Il retombe et tourne un peu sur lui-même, en faisant avancer le papier, sous l'action d'un cliquet.

Quand le cylindre R est levé, un cliquet embraye en même temps la roue des types pendant l'impression; aussitôt après, elle redevient libre et recommence à tourner.

En résumé, cette première émission du courant a eu pour effet de mettre la roue des types en marche et d'accord avec le chariot, à part un retard constant, dû à ce qu'il s'écoule un petit intervalle de temps entre le moment du passage du chariot sur un goujon soulevé et celui où le cylindre porteur du papier arrive au contact de la roue des types; c'est une constante pour chaque appareil qui dépend de la vitesse relative des axes, et aussi de l'intensité du courant qui fait marcher plus ou moins rapidement l'armature, le fluide ne se transmettant pas instantanément d'une extrémité à l'autre du conducteur.

Si l'on abaisse une seconde touche, celle, par exemple, qui porte la lettre T, le courant est envoyé de nouveau au moment du passage du chariot sur le goujon correspondant à la touche T et traverse l'électro-aimant. L'axe imprimeur exécute une nouvelle révolution, soulève encore le cylindre porteur du papier; il est évident que le cylindre arrive contre la roue des types au moment même où la lettre T passe au-dessus, puisque le mouvement angulaire du chariot et de la roue des types est le même. La lettre T s'imprime donc et le papier avance.

L'abaissement d'une troisième touche produit le même effet, la lettre qu'elle porte s'imprime également et il en est de même pour toutes les suivantes.

En arrivant dans l'appareil au poste qui reçoit, le courant traverse l'électro-aimant, l'axe vertical, les pièces supérieures du chariot et se rend à la terre par le support de l'axe vertical. Le premier courant produit la mise en marche de la roue des types qui se trouve ainsi d'accord avec le chariot de l'appareil d'où part la transmission.

Le second courant produit par l'abaissement de la touche T, arrivant à son tour, fait de nouveau tourner l'arbre des cames et amène le cylindre imprimeur au contact de la roue des types à l'instant même où T se trouve vis-à-vis, si les deux mouvements sont parfaitement synchroniques.

S'il existe une petite différence, une came vient agir sur la roue correctrice liée à la la roue des types, de manière à amener la lettre T, à l'arrivée comme au départ, exactement dans la verticale, au-dessus du cylindre imprimeur.

Si la différence entre les deux mouvements était telle que, dans l'intervalle du passage du blanc à la lettre T, la roue des types eût avancé ou retardé, au poste qui reçoit, d'une quantité supérieure à la moitié de l'espace qui sépare deux lettres consécutives, c'est-à-dire de 1/56 de tour, la came s'engagerait entre les deux dents précédentes ou suivantes de la roue correctrice, et ce n'est plus la lettre T qui s'imprimerait, mais la lettre S ou la lettre U. L'appareil devrait être réglé.

La troisième lettre s'imprime comme la lettre T, et toute la transmission se reproduit à l'appareil récepteur ainsi qu'à l'appareil transmetteur.

Si, à un moment donné, l'employé qui reçoit veut interrompre, il envoie le courant en abaissant une ou plusieurs touches; le correspondant est averti de l'interruption par l'introduction de signes étrangers et suspend la transmission. On abaisse, aux deux postes, la pédale qui arrête la roue des types, puis la transmission reprend son cours, et est toujours précédée par l'abaissement de la première touche blanche.

Cette manœuvre de l'envoi du signe *blanc*, après l'arrêt de la roue des types, doit précéder toute transmission. Elle est analogue à celle qui, avec les appareils à cadran ordinaires, consiste à ramener à la croix l'aiguille du récepteur et le levier du manipulateur.

Vitesse de transmission. — Lorsqu'un courant traverse l'électro-aimant pendant que l'axe des cames et la plaque d'échappement sont en mouvement, il ne peut produire aucun effet.

Les courants successifs, envoyés pendant une transmission, doivent donc se succéder à un intervalle au moins égal à celui de la durée complète de l'axe imprimeur.

Dans les appareils tels qu'on les construit actuellement, l'axe imprimeur tourne sept fois plus vite que le chariot et la roue des types. Lorsqu'il achève une révolution, le chariot a exécuté 1/7 de tour et se trouve au-dessus du quatrième goujon suivant. Il faut, en outre, un petit arrêt pour le désembrayage de l'axe imprimeur.

Les touches qu'on abaisse successivement doivent donc être séparées par un intervalle de quatre touches au moins. Ainsi, après avoir transmis la lettre A, si l'on abaissait immédiatement les touches B, C, D ou E, les lettres correspondantes ne seraient pas imprimées sur le papier. La première lettre qu'on puisse transmettre après A est F, après F la lettre K et ainsi de suite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si, après la lettre A, on devait transmettre l'une des quatre suivantes B, C ou D, E, il faudrait attendre que le chariot eût dépassé ces lettres pour qu'il ne pût rencontrer le chariot rencontré qu'au tour suivant.

Chaque mot exige donc pour être transmis un nombre minimum de tours de chariot.

Le mot télégraphie exige huit tours :

1er tour.... *t*; 2e tour... *é*, *l*; 3e tour *é*; 4e tour, *g*, *r*; 5e tour, *a*, *p*; 6e tour... *h*; 7e tour... *i*; 8e tour.. *e*.

L'habileté de l'employé consiste à ne jamais laisser passer le chariot sans transmettre une nouvelle lettre, toutes les fois qu'il est possible. Non-seulement on transmet ainsi plus rapidement, mais encore l'appareil fonctionne mieux, les deux mouvements n'étant jamais absolument synchroniques. Autrement, les légères différences de mouvement, insensibles pour une petite traction de tour, s'accumulent, et leur somme qui représente l'écart de position des deux roues des types, est d'autant plus grande que le temps qui s'écoule entre deux impressions est plus long.

La came correctrice qui rétablit l'accord éprouve d'autant plus de résistance que les impressions se succèdent à de plus grands intervalles, et elle produit des secousses nuisibles qui usent les organes de l'instrument.

La roue des types ne peut, en effet, tourner sur son axe qu'à l'aide d'un effort considérable, étant montée à frottement dur (à l'aide d'un cuir) sur l'axe et serrée entre deux plaques. Il importe sauf le cas de l'action de la came correctrice, qu'elle ne puisse se déplacer sur l'axe.

En résumé, la vitesse de transmission que l'on obtient avec l'appareil Hughes, grâce à la rapidité et à la continuité de son mouvement, dépasse de beaucoup celle qu'on peut obtenir avec les autres appareils. Sur les lignes de 400 à 500 kilomètres, il permet de transmettre aisément 55 à 60 dépêches de 20 mots en moyenne par heure, à condition que le travail soit continu et que l'ordre des transmissions soit rarement changé. Dans les mêmes conditions, on en obtient à peine 35 à 40 avec l'appareil Morse, et 20 ou 25 au plus avec des appareils à cadran ou des appareils imprimeurs à échappement.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE BAIN. L'appareil électro-chimique de Bain a été le premier employé d'une série toute particulière d'appareils.

Il ne comporte pas d'électro-aimant; le rouage sert à faire dérouler une bande de papier.

Ce télégraphe est fondé sur ce principe qu'un courant électrique décompose un sel métallique, en faisant reparaître au pôle négatif un produit coloré.

Soient F une bande de papier (fig. 47) imprégnée d'iodure de potassium, par exemple, R un rouleau

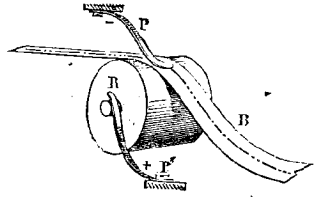


Fig. 47.

métallique sur lequel elle passe.

P, le pôle négatif d'une pile qui, au moyen d'un ressort, presse sur le papier.

P', le pôle positif.

Et supposons que dans le circuit se trouve intercalée la clef.

Tant que le circuit ne sera pas fermé, le papier ne changera pas de couleur; mais du moment que l'on établira un contact, une marque noire paraîtra aussitôt sur le papier, et la longueur de la marque dépendra du temps qu'on aura laissé le circuit fermé. Dès lors on voit que l'on fera un point en ne faisant que frapper, et un trait en restant un instant sur la clef; on pourra, par conséquent, former les signaux de la même manière qu'avec le télégraphe de Morse.

Pour obtenir rapidement la transmission de longues dépêches, Bain change le mode d'envoi ou de manipulation; ce n'est plus la main d'un employé qui fait les signaux, ils sont envoyés par une machine sur laquelle ils ont été préalablement disposés.

Pour cela, il découpe dans une bande de papier des trous ronds et d'autres longs; ils sont groupés de la même manière que les signaux formés de points et de traits.

Si donc l'on pose cette bande de papier, ainsi percée, sur un cylindre métallique, et que la bande imprégnée d'une dissolution soit aussi placée sur un cylindre en cuivre, si sur cette bande on fait appuyer un ressort en métal, et qu'alors on fasse glisser la bande de papier, il arrivera que lorsqu'un trou passera sous le ressort, celui-ci touchera le cylindre: quand ce sera un espace sans trou, le ressort en sera séparé; un autre trou long venant à se placer sous le ressort, celui-ci sera de nouveau en contact avec le cylindre, et d'autant plus longtemps que l'ouverture sera plus longue, et ainsi de suite.

Ceci compris, mettons les deux appareils qui portent, l'un la bande de papier chimique, l'autre celle découpée, dans le même circuit d'une pile. Ce circuit sera fermé quand une ouverture passera sous le ressort, il y aura une marque noire sur le papier chimique; un espace non découpé arrivant, le circuit est ouvert, la dissolution n'est pas décomposée, il n'y a point de marque noire; ainsi on aura sur la bande de papier chimique autant de marques qu'il y aura de trous dans la bande découpée, et ces marques devront avoir entre elles les mêmes proportions de grandeur que celles de la bande percée.

Il faut donc avoir un découpoir pour préparer la dépêche à envoyer, puis on la roule sur un cylindre et on la porte sur une machine qui la déroule, en la faisant passer rapidement entre un cylindre et un ressort.

Par ce moyen, Bain espérait envoyer beaucoup plus de signaux dans un temps donné qu'avec les autres télégraphes, mais l'attente de l'auteur est loin d'avoir été justifiée, la netteté des signes était insuffisante pour les grandes lignes. Aussi ce système a-t-il été abandonné.

TÉLÉGRAPHE CASELLI. Le pantélégraphe Caselli est électro-chimique, et combiné en vue de transmettre non pas des signes conventionnels, mais l'écriture même de l'expéditeur. La dépêche écrite par l'expéditionnaire est directement placée sur le pantélégraphe, et se produit à la station d'arrivée. Vous écrivez quelques lignes à Paris, vous dessinez un portrait, un plan; quelques minutes après, les lignes, le portrait, le plan sont reproduits avec la plus scrupuleuse fidélité.

Pour comprendre comment cet effet se produit, il suffit de savoir qu'à la station de départ se trouve une pointe métallique assujettie à parcourir de droite à gauche, suivant des lignes parallèles successives, une surface convexe horizontale sur laquelle est disposé un papier métallique sur la surface duquel la dépêche à reproduire est écrite à l'encre ordinaire épaissie, qui n'est pas conductrice. Cette pointe, en rayant successivement toutes les parties de la surface passera inévitablement sur chacun des points de la dépêche. Sup-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

posons donc à la station d'arrivée une pointe semblable parcourant en même temps et avec une régularité identique la même surface recouverte d'un papier chimique, trempé dans un bain formé de cyano-ferrure jaune de potassium et d'un peu de nitrate d'ammoniaque qui assure l'humidité du papier; chaque fois que la première pointe rencontre l'encre de la dépêche un courant passe dans la seconde pointe et produit sur le papier une coloration par la pointe en fer qui engendre du bleu de Prusse. Chacune des lignes de la dépêche se reproduit ainsi sur le papier chimique à mesure que la pointe balaye sa surface.

On sait qu'il faut un certain temps pour qu'une ligne télégraphique se décharge, donc la pointe ne sera plus sur l'encre à la station de départ que néanmoins l'action électrique se continuant à l'arrivée prolongera la coloration du papier, d'où des bavures qui, en s'entre-croisant, rendront l'épreuve illisible. En outre, il faut que les deux pointes marchent rigoureusement de la même façon de part et d'autre, que l'une n'avance pas ou ne retarde pas un peu sur l'autre? Tels sont, en effet, les deux obstacles contre lesquels étaient toujours venues échouer les nombreuses tentatives faites jusqu'ici pour réaliser la télégraphie autographique, dont la possibilité avait été entrevue dès l'origine de la télégraphie électrique, et dont M. Bakwert avait montré un premier essai à l'Exposition de Londres en 1851. M. Caselli a levé l'un aussi bien que l'autre avec un rare bonheur.

Voici comment il est arrivé à décharger instantanément la ligne au poste de réception, tout en la laissant chargée sur le parcours. Le fil de ligne communique avec la terre à ses deux extrémités. Une pile Daniell, dont le nombre d'éléments peut varier de 150 à 80 pour une distance comme de Paris à Lyon, charge la ligne d'une manière permanente. Au delà de la pile et dans la station même de départ, l'inventeur embranche un fil qu'il met en communication avec la terre. Tout le courant s'échapperait donc par cette dérivation qui n'oppose aucune résistance en comparaison du fil de ligne, si l'on n'avait soin de placer dans le circuit une résistance suffisante, un rhéostat qui règle, pour ainsi dire, la dépense d'électricité. Un cinquième environ du courant continue à parcourir le fil de ligne; les autres quatre cinquièmes passent dans cet embranchement. C'est dans ce petit circuit que l'on place l'appareil télégraphique. Le courant arrive par la pointe et continue sa route par le papier argenté qui recouvre la surface cylindrique. Voici pour le poste de départ.

Au poste d'arrivée, la pointe en communication avec le fil de ligne reçoit constamment le courant; elle produirait donc une coloration continue sur le papier chimique; mais une petite pile de quelques éléments interposés dans le circuit envoie un courant inverse qui neutralise et au delà l'action électrique de la ligne. Admettons maintenant que les pointes au poste de transmission et de réception soient mises en mouvement et parcourent le papier argenté d'une part, le papier chimique de l'autre. Chaque fois que la première passera sur de l'encre, elle créera par cela même une résistance au courant dérivé de la station; l'électricité, comme refoulée, ne pouvant plus s'échapper par la dérivation du fil supplémentaire, passera dans le fil de ligne, et cette augmentation d'intensité sera accusée dans la pointe du poste d'arrivée par une coloration du papier. La pointe vient-elle à quitter l'encre, la faible augmentation d'intensité de la ligne sera aussitôt déchargée au poste d'arrivée, et le reste du courant du nouveau équilibré par la petite pile accessoire.

Disons comment M. Caselli parvient à rendre rigoureusement solidaires les mouvements de ses deux

pointes aux deux stations. C'est ce que fera bien comprendre la description de l'appareil.

Le pantélégraphe se compose simplement d'un long pendule de 2 mètres de longueur (fig. 18) terminé à

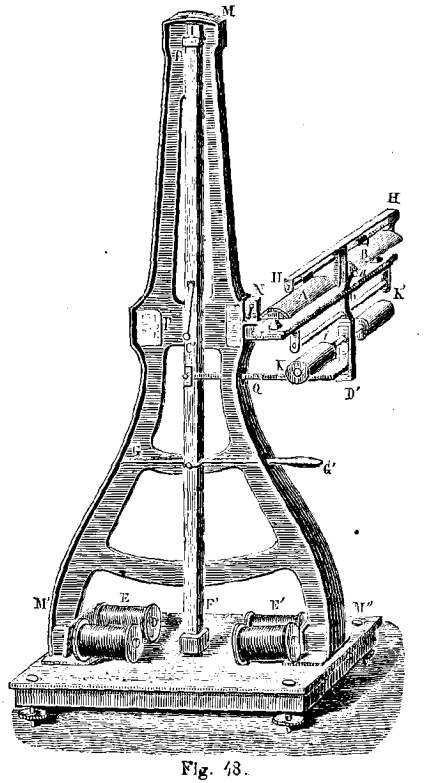


Fig. 18.

sa partie inférieure par une lourde lentille assujettie à se mouvoir entre deux électro-aimants qui ont pour fonction de commander la marche du pendule. Elles s'aimantent et se désaimantent à chaque oscillation, et retiennent la lentille pendant une fraction de seconde. Celle-ci tombe ensuite, remonte jusqu'à la bobine opposée, en vertu de sa hauteur de chute, puis retombe, et les oscillations se perpétuent ainsi. Vers

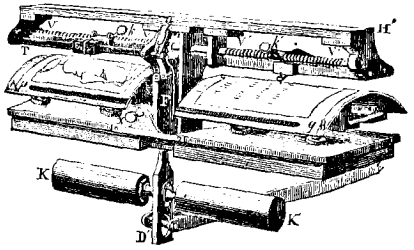


Fig. 19.

le milieu de la tige du pendule est fixée une biellc horizontale *g* reliée par son extrémité à la partie infé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TÉLÉGRAPHIE.

rieure d'un petit bras de levier vertical *h*, qui supporte le stylet; au-dessous et en contact se trouve la surface cylindrique sur laquelle on place le papier de la dépêche comme sur un pupitre (fig. 19). Le mouvement de va-et-vient du pendule entraîne la bielle et oblige le bras du levier, et, par suite, la pointe à s'avancer successivement de droite à gauche et de gauche à droite, en s'appuyant constamment sur le papier. Le stylet parcourt ainsi toute la surface dans le sens transversal; en même temps, et à chaque oscillation du pendule, une vis sans fin, commandée par un encliquetage, fait avancer le stylet d'une fraction de millimètre dans le sens perpendiculaire. La dépêche est donc ainsi parcourue par une série de lignes extrêmement fines.

A la gauche du pendule on place une petite bielle comme à sa droite, commandant le mouvement de va-et-vient et l'avancement d'une seconde pointe; chaque instrument est double; on utilise donc l'oscillation du pendule dans chaque sens, ce qui permet d'envoyer ou de recevoir à la fois deux dépêches distinctes.

Pour faire marcher rigoureusement, en même temps, les pointes à la station de départ et d'arrivée, il suffit d'obtenir le synchronisme des pendules moteurs, ou l'aimantation simultanée des électro-aimants. M. Caselli parvient à ce résultat à l'aide de deux horloges régulatrices, dont le pendule vient à chaque oscillation faire naître un contact qui détermine le passage du courant d'une petite pile locale à travers les électro-aimants qui actionnent le grand pendule du pantélégraphe. On conçoit de suite que si l'on arrive à faire fonctionner simultanément ces horloges, le balancier, à chaque oscillation, pourra envoyer ou interrompre le courant dans les bobines et déterminer le synchronisme des pendules moteurs. Or, il est facile de s'apercevoir que les deux horloges ne sont pas d'accord, en transmettant une large ligne droite tracée suivant une génératrice du cylindre de départ. Si les appareils ne sont pas d'accord, la ligne transmise sera placée obliquement aux génératrices; donc, pour assurer le synchronisme des horloges, la question est simplement ramenée à retarder ou avancer l'une d'elles jusqu'à ce que la ligne apparaisse droite; ce qui s'obtient à l'aide d'une vis agissant sur un petit ressort placé à droite du balancier.

Un petit télégraphe Morse est placé sur l'appareil, à portée de l'employé et facilite beaucoup la transmission des ordres du service.

S'agit-il d'envoyer de Paris à Lyon, une dépêche, un plan, de la musique, écrivez sur le papier métallisé et placez ce papier sur la surface du pupitre du pantélégraphe. Faites jouer la sonnerie pour prévenir que l'appareil va se mettre en marche et laissez osciller le pendule; la pointe va parcourir le papier. A Marseille, le pendule se met en mouvement, et le stylet se promène sur le papier chimique. Des points apparaissent çà et là, puis des lignes, des commencements de lettres qui naissent à mesure que la pointe avance; enfin les traits se coordonnent, et la dépêche est entièrement reproduite sans le secours de la main de l'homme. On peut voir ainsi sur le pupitre de droite et de gauche du pantélégraphe se dessiner, peu à peu, comme par magie, de ce côté des mots, de celui-ci un paysage, un portrait : on voit, en un mot, tout dessin de se décalquer lui-même, à des centaines de lieues de distance.

Sur la ligne de Paris à Lyon, dont la longueur est de 500 kilomètres, le stylet parcourant une longueur de 111 millimètres en 2/3 de seconde, des traits de 1 millimètre et même 1/2 millimètre se reproduisent assez nettement. La durée du contact dans ces conditions est d'environ 1/333 ou 0",003.

On transmet avec l'appareil Caselli, régulièrement, 30 dépêches de 20 mots à l'heure, et dans certaines conditions exceptionnelles on a pu arriver jusqu'à 60 à l'heure.

DES LIGNES ÉLECTRIQUES. Nous donnerons ici une courte description des objets employés pour établir une ligne électrique, avec les dessins de ces appareils.

Il y en a deux espèces :

Celles dites aériennes,

Celles dites souterraines.

Les premières sont composées comme suit :

Des poteaux en sapin, plus ou moins élevés suivant les localités, 6 à 9 mètres, placés chacun à 100 mètres de distance, et enfoncés dans le sol de 1 à 2 mètres. Ils sont injectés de sulfate de cuivre, pour éviter la pourriture du bois par l'humidité.

Sur chaque poteau est un petit appareil (fig. 20),

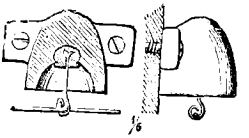


Fig. 20.

qui sert à supporter le fil et à l'isoler; il est en porcelaine et a la forme d'une cloche renversée. Il porte deux oreilles au moyen desquelles on le fixe au poteau avec deux vis.

Dans l'intérieur de la cloche est placé un crochet en fer, maintenu par du soufre.

De kilomètre en kilomètre sont placés des appareils pour tendre le fil, appelés tendeurs. Ils sont (fig. 21)

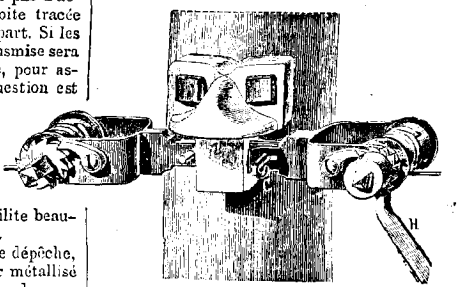


Fig. 21.

en tôle de fer, et, à chaque extrémité, il y a un treuil avec rochet, que l'on peut tourner de manière à roidir convenablement le fil.

Le milieu est passé dans une pièce en porcelaine et retenu par une cheville. Cette pièce en porcelaine est fixée au poteau par deux forts boulons.

Les cloches, au moyen de leur crochet, servent à supporter le fil à hauteur convenable; et les tendeurs à le tendre suffisamment, afin qu'il ne baisse pas trop entre deux poteaux.

Ces supports sont faits en porcelaine afin d'isoler le fil de tous les points où il est attaché, parce que la porcelaine, comme tous les corps vitrifiés, n'est pas conducteur de l'électricité.

Quand le fil passe le long des bâtiments, ou qu'il doit y être arrêté, on fait usage de poulies en porcelaine, dans lesquelles on passe le fil en les plaçant de champ (fig. 22), ou bien au moyen desquelles on l'arrête en les mettant à plat et les maintenant par une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forte vis; on fait faire un tour au fil, puis on contourne l'extrémité qui revient autour de la partie tendue.



Fig. 22.

Le fil généralement employé est du fil de fer, de 4 millimètres de diamètre et galvanisé. Pour établir une continuité indispensable, les réunions des fils sont faites en tordant ensemble deux extrémités bien découpées et souvent en assurant le contact en entourant cette partie d'un alliage de plomb et d'étain.

Pour les lignes souterraines, on fait usage de fil de cuivre couvert de gutta-percha, que l'on place à 0m,50 ou 0m,60 dans le sol. Quelquefois ce fil a de plus une couverture en plomb, pour mieux le préserver de l'humidité, si quelques fissures venaient à se faire à l'enveloppe de gutta-percha.

En France, on ne fait usage de ce fil ainsi recouvert qu'exceptionnellement, pour le passage dans les lieux habités et dans les chemins de fer, pour la traversée des tunnels, qui sont toujours plus ou moins humides.

CABLES SOUS-MARINS. Les applications de la télégraphie électrique, cette admirable et encore si récente conquête de l'humanité semblaient ne pas pouvoir s'étendre aux relations des pays séparés par la mer. En effet, la condition absolue de l'établissement d'une communication télégraphique entre deux points, c'est leur jonction par un fil métallique qui ne soit en contact en aucun point de son parcours avec des corps bons conducteurs de l'électricité. Or, l'eau et surtout l'eau de mer est assez conductrice pour rendre impossible la transmission d'un courant électrique par l'intermédiaire d'un fil métallique immergé.

Le problème ne pouvait être résolu qu'en recouvrant le fil métallique d'une enveloppe à la fois souple et résistante, qui le préservât du contact de l'eau, et le mit à l'abri des ruptures par des causes accidentelles, notamment permettre son immersion à des profondeurs souvent très-considérables.

Les premières lignes sous-marines étaient de simples conducteurs en cuivre, isolés par une ou plusieurs enveloppes de gutta-percha; jetées dans la mer sans protection, elles se rompirent presque immédiatement, et on sentit le besoin de donner une protection efficace à ces fils.

On entoura la gutta-percha d'une couche épaisse de filin goudronné maintenue et protégée elle-même par des fils de fer d'assez gros diamètre, enroulés en hélice comme les brins extérieurs d'un câble ordinaire (fig. 23).



Fig. 23.

On a fabriqué beaucoup de câbles télégraphiques sous-marins de ce genre, contenant plusieurs fils conducteurs isolés les uns des autres. Dans ces derniers temps on a pris le parti, pour les câbles longs, de ne mettre qu'un seul conducteur.

La figure ci-jointe représente en vraie grandeur le câble qui réunit Port-Vendres à Alger. Il se compose de deux câbles différents. Les parties qui sont dans le voisinage des côtes et dans de petites profondeurs sont très-fortement protégées pour résister aux agitations de la mer et aux causes de destruction nombreuses auxquelles elles sont exposées (fig. 24), celles qui sont dans de grandes profondeurs ont besoin d'une moindre protection (fig. 25), l'enveloppe protectrice est formée

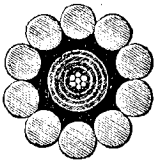


Fig. 24.

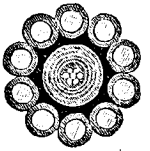


Fig. 25.

de même nombre de fils dans toute l'étendue du câble, mais pour la partie des eaux profondes, ces fils sont plus fins et recouverts chacun séparément d'une enveloppe de filin goudronné.

Le conducteur est unique, mais pour lui donner plus de souplesse, on l'a composé de sept fils de cuivre distincts et réunit en faisceau; il est recouvert de quatre enveloppes de gutta-percha qui sont appliquées successivement pour en assurer la parfaite continuité.

La fabrication et la pose de ce câble, d'une longueur à vol d'oiseau de 760 kilomètres, ont été entreprises par MM. Glass, Elliot et C° à raison de 1,900,000 fr., soit 2,500 fr. par kilomètre.

On a cru autrefois que les lignes sous-marines n'exigeraient aucun frais d'entretien; mais il est aujourd'hui démontré que les câbles se rompent souvent par accident, surtout lors de l'opération de la pose qui entraîne des tractions considérables, variables avec la profondeur de la mer, et que de plus ils s'usent avec le temps, c'est-à-dire que l'enveloppe protectrice des fils de fer se dissout à la longue dans l'eau de mer, même quand ils ont été galvanisés, d'où il résulte que la gutta-percha mise à nu se coupe ou se détruit.

Les lignes sous-marines courtes sont placées, en général, dans des eaux peu profondes, et on donne à leur enveloppe protectrice une très-grande solidité; quand elles se brisent, on les relève, on remplace les parties détériorées, et on les replace sans de très-grandes difficultés.

Les lignes sous-marines d'une grande longueur, au contraire, ne peuvent, dans les grandes profondeurs, être relevées ni par conséquent réparées que très-difficilement. Aussi presque toutes celles qui ont été posées ont été perdues successivement.

Il a été établi dans une enquête faite en 1861, en Angleterre, que sur 18,884 kilomètres de câbles sous-marins immergés à cette époque, 14,000 étaient hors de service, dont une très-petite partie a pu être relevée et 4,800 fonctionnaient encore.

On doit conclure de là que la construction des câbles sous-marins n'est pas encore parvenue à un degré suffisant de perfection et de nombreux inventeurs s'efforcent de les perfectionner. La gutta percha ne paraît pas suffisamment inaltérable, devient aisément cassante, aussi a-t-on essayé en Angleterre un composé dit *Chatterton*, analogue, croyons-nous, à la glu marine. Pour diminuer le poids du câble dans l'eau, on a augmenté les épaisseurs de filin, ce qui diminue les dangers de rupture, lors de l'immersion, par la traction exercée par la partie pendante. De forts rubans de fil pourraient remplacer en partie les fils de fer, ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au moins éloigner ceux-ci de fil de cuivre, dont le voisinage paraît la cause du ralentissement de la propagation de l'électricité dans les câbles sous-marins comparés aux fils aériens. L'armature de fer qui entoure le câble en communication immédiate avec l'eau de mer, a une influence nuisible que démontre la plus grande rapidité de propagation obtenue avec des câbles qui, comme celui de Port-Vendres, ont une armature formée des fils de fer recouverts de filin. C'est dans ce système qu'a été construit le câble transatlantique de 1866, le premier qui ait été un succès qui marquera dans les fastes de l'humanité.

C'est en enroulant le câble sur un système de deux grandes roues à gorges, parallèles, qu'on en fait le déroulement, en restant maître de la vitesse du déroulement, par l'emploi de freins à frottement agissant sur la circonférence de ces roues. Cette vitesse est, en effet, une condition capitale du succès de l'opération. Si le navire marche trop rapidement, la chaînette que forme le câble prend une longueur très-grande, et la tension va croissant jusqu'au point de rupture. Si le déroulement est trop rapide, la tension est faible, le câble descendant verticalement, mais il y a des longueurs inutilement déposées au fond de la mer, et le câble peut se trouver de longueur insuffisante.

C'est par suite de l'habileté acquise dans le placement et le relèvement du câble que les Anglais sont parvenus au succès dans la difficile opération de l'établissement du câble transatlantique entre l'Europe et l'Amérique. Parmi ces conditions, on doit compter en premier lieu la suppression des temps d'arrêt et des soudures en mer nécessités par l'établissement du câble en plusieurs fractions, ce qui a fait trouver au magnifique navire de Brunel, au *Great-Eastern*, si stable à la mer, pouvant seul contenir dans ses flancs le câble transatlantique convenablement enroulé, un heureux emploi.

DES HORLOGES ÉLECTRIQUES.

Aussitôt que l'on eut fait des télégraphes électriques, c'est-à-dire que l'on eut trouvé le moyen de transmettre à une distance quelconque le mouvement à une aiguille autant de fois qu'on le désirait, et aussi d'une manière régulière, il vint naturellement à l'esprit que ce que l'on faisait avec la main on pouvait le produire mécaniquement. Dès lors on pensa à plusieurs applications, telles que de transmettre à distance le jeu du pianiste (application curieuse mais sans utilité), mais surtout au moyen bien plus intéressant de transporter l'heure à distance; et l'on construisit des horloges électriques. Bain, en Ecosse, fut le premier qui fit cette application, puis d'autres personnes le suivirent, mais elle n'a jamais pris beaucoup d'extension, et cela pour plusieurs raisons. La première, c'est que les personnes qui s'en sont occupées n'en voyaient que la partie curieuse, et ne connaissaient pas assez les lois physiques qui régissent ce genre de machine, et leurs dispositions n'étaient pas assez rationnelles; ensuite, comme pour faire cette application dans les villes il fallait, en général, que les conducteurs fussent placés sous terre, les dispositions devenaient très coûteuses, et de plus peu sûres. Nous citerons, comme exemple, les travaux faits en ce sens par Jacobi, à Saint-Pétersbourg, qui ne put, malgré sa science, parvenir à établir des conducteurs souterrains dans lesquels il n'y eût pas de pertes d'électricité. Mais depuis que la gutta-percha a pénétré en Europe, que l'on a appris à la manier, on est parvenu à envelopper des fils métalliques de manière à les rendre parfaitement isolés, et l'on a obtenu la possibilité d'établir avec sécurité des conduits souterrains d'une grande longueur.

Du système à choisir. Il y a deux systèmes en présence :

1° Celui où l'électricité est le véritable moteur;

2° Celui où l'électricité joue le rôle d'échappement, c'est-à-dire où elle laisse seulement échapper à des instants déterminés et réguliers une force motrice, comme le fait un échappement ordinaire.

Dans le premier cas, l'horloge électrique se compose d'un cadran derrière lequel se trouve un système de roue appelé minuterie, une des roues est à rochet, et un électro-aimant qui fait mouvoir un levier, dont l'extrémité porte un cliquet qui à chaque mouvement du levier fait avancer la roue à rochet d'une dent, mouvement qui représente soit une seconde, soit une minute, suivant que l'électricité arrive autour des cylindres de fer au bout d'une seconde et à chaque minute.

Dans le second système on fait usage d'une véritable horloge, sauf que le pendule ordinaire n'existe plus, et qu'il est remplacé par un levier mû par l'électro-aimant. A l'extrémité de ce levier sont deux petites pièces d'acier, sur lesquelles reposent alternativement les dents de la roue d'échappement. Ainsi le levier laisse échapper à chaque mouvement une dent, dont le mouvement peut indiquer une seconde ou une minute, ou même une fraction quelconque de temps. C'est, comme l'on voit, le même mécanisme que celui d'un télégraphe.

Pour faire mouvoir ces deux systèmes, il faut dans l'un et l'autre cas avoir ce que l'on est convenu d'appeler l'horloge-type; c'est elle qui doit distribuer le courant électrique aux horloges à des intervalles de temps réguliers choisis d'avance. On peut le considérer comme un vrai transmetteur ou manipulateur de télégraphe, mais qui est mû mécaniquement.

Il y a plusieurs dispositions en usage pour arriver au résultat voulu; en voici quelques-unes :

Sur un des axes de l'horloge-type est placée une roue avec des alternatives de bois et métal, et sur cette roue repose un ressort métallique; si l'on conçoit que la partie métallique de la roue soit en rapport avec le pôle d'une pile, et que le ressort communique avec l'autre pôle, on voit que dans le mouvement de rotation de la roue, le courant est interrompu à chaque dent de bois et rétabli à chaque dent de cuivre. Alors si dans le circuit se trouve placé l'électro-aimant d'une des horloges indiquées plus haut, on voit de suite qu'il y aura un mouvement produit à chaque passage d'une dent de métal par l'aimantation de l'électro-aimant résultant de l'action du courant électrique.

On a aussi employé le mouvement du pendule de l'horloge-type pour établir ou interrompre le circuit électrique au moyen des oscillations. Pour cela le pendule porte une petite lame de ressort qui frotte sur un petit arc en bois et métal; chaque fois que le ressort frotte sur le métal le courant est établi, et interrompu quand il touche sur le bois.

D'autres fois on a supprimé ce frottement continuel, et l'on a placé près du pendule une petite lame de ressort contre laquelle il vient appuyer à la fin de son oscillation.

Enfin l'on a établi dans l'horloge-type un mécanisme spécial qui, à chaque intervalle de temps, produit la rotation d'une roue qui, en passant, établit et interrompt le circuit.

Nous allons maintenant examiner les dispositions que nous venons d'indiquer, et dire celles que nous préférons.

De l'horloge-type. Notre but a été, dans quelques constructions que nous avons faites, de pouvoir employer comme telle une horloge astronomique, sans que sa régularité en soit altérée; nous avons ainsi disposé une pendule de l'Observatoire de Paris, et nous avons lieu d'en être satisfait.

Les transmetteurs qui agissent en faisant frotter un ressort sur une roue sont vicieux, en ce que le métal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'usant, il se forme une traînée de particules métalliques sur le bois, dont la surface devient dès lors conductrice : de plus, le frottement doit être assez fort pour assurer le passage du courant; il y a alors résistance sensible, et surtout inégale : de ces deux causes découlent des irrégularités inévitables.

Le ressort contre lequel vient frapper le pendule est une disposition qui est des plus faciles à faire et meilleure que celles qui précèdent. Elle est applicable partout et à très peu de frais; elle peut et doit troubler les oscillations, mais seulement au point de vue astronomique, car pour l'usage civil, cela répond parfaitement à ce que l'on peut désirer.

La meilleure disposition que nous ayons trouvée, et qui répond parfaitement au point de vue astronomique, est la suivante :

Sur l'axe de la roue d'échappement est une roue à rochet d'un diamètre égal aux deux tiers de la première; elle porte le nombre de dents en rapport avec l'effet à produire, que l'on veuille faire marquer les secondes ou les minutes. Sur cette roue repose un ressort léger, qui est levé quand une dent passe, et abaissé quand elle a passé; il est maintenu de manière à ne jamais toucher au fond d'une dent; à une certaine distance près du centre de mouvement, il porte une pointe arrondie en platine, qui repose sur une autre pointe de même métal. Quand le ressort se trouve entre deux dents, il y a séparation; le contraire a lieu, quand il est enlevé par une dent. Ces deux pointes de platine sont en relation chacune avec un des pôles d'une pile; on voit donc que le courant se trouve établi et interrompu régulièrement par l'abaissement et l'élévation du ressort, et par conséquent peut faire marcher une horloge en faisant avancer l'aiguille d'une fraction quelconque de temps.

Des horloges électro-magnétiques. Le premier système que nous avons indiqué est simple, mécaniquement parlant, et peut être employé pour de petites distances, parce que là on développe aisément une force magnétique suffisante, mais il n'est plus applicable pour de grandes longueurs de conducteurs; il faut alors une forte pile, et comme on arrive à obtenir à peu près la force magnétique à son maximum, la moindre cause de variation dans l'intensité électrique empêche le levier d'avoir la force suffisante pour opérer un effet mécanique. On peut bien obvier à cet inconvénient au moyen d'un relai et d'une seconde pile; à côté de l'horloge même, le relai est mis en mouvement par l'horloge type; il met en action la pile additionnelle qui, étant à côté de l'électro-aimant de l'horloge électro-magnétique, peut donner une grande puissance d'action à l'aimant; mais comme ceci, tout en donnant plus de sûreté à l'action, demande un petit appareil de plus, *le relai* et la *pile additionnelle* ou *locale* amènent néanmoins d'autres causes d'erreur par la complication due à cette disposition, qui multiplie les organes.

Le second système se compose d'un mouvement de pendule complet, jusqu'à la roue d'échappement; celle-ci est retenue par deux petites palettes d'acier, placées à l'extrémité d'un levier mû par un électro-aimant. L'électricité n'a dans ce cas qu'à laisser échapper une force, et pour cela n'a d'autre résistance à vaincre que la pression des dents de la roue d'échappement sur les palettes d'acier; et comme nous pouvons donner aisément à l'électro-aimant une force suffisante pour surmonter cette résistance, avec une pile assez faible, il s'ensuit qu'en donnant un excès de force à l'électro-aimant, nous sommes certains d'assurer les fonctions en tout temps, et à de grandes distances.

Cette dernière disposition est celle que nous regardons comme la meilleure, et que nous proposons en conséquence d'adopter.

Maintenant, comme malgré tous les soins apportés à une machine, ce n'est toujours qu'une construction sortant de la main des hommes, et par suite faillible; nous conseillons de faire mouvoir les aiguilles au moins chaque seconde plutôt que chaque minute; car si un contact vient à manquer, cela ne représente que la 3600me partie d'une heure, au lieu que dans le cas où les contacts se feraient chaque minute, un seul faisant défaut indiquerait une erreur de 1 minute en plus ou en moins; il y a donc un avantage réel à faire mouvoir les aiguilles par les plus petites fractions de temps possibles.

Puisque l'on correspond directement de Paris à Marseille, c'est-à-dire à plus de 200 lieues de distance, par la même raison on peut de Paris faire marcher une horloge à cette distance, mais une ligne de 3 kilomètres est influencée par les orages, et à plus forte raison une plus longue; pour les télégraphes, cela est peu important, parce que la dépêche qui n'arrive pas à 1 heure 5 minutes arrive à 1 heure 10, mais l'horloge de Marseille devrait toujours marquer l'heure de Paris, ni plus ni moins, ce qui bien souvent n'aurait pas lieu.

Aussi l'application des horloges électriques ne peut être faite que dans des limites très-restreintes, par exemple pour une grande administration, pour toute une gare de chemin de fer. Le système de remise à l'heure décrit à HORLOGERIE est bien préférable.

DE L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ COMME FORCE MOTRICE.

Nous dirons ici quelques mots d'une question plus générale que celles qui précèdent, et qui les comprend; nous voulons parler de l'emploi de l'électricité comme force motrice.

C'est en effet parce que le courant électrique détermine des mouvements et surtout fait naître la puissance d'attraction sur le fer doux transformé en aimant temporaire, que les systèmes précédents sont possibles.

Toute disposition, facile à imaginer, qui fera naître des interruptions successives dans un courant, pourra produire le mouvement rectiligne alternatif d'un morceau de fer doux. La question de produire un mouvement quelconque, à l'aide de ce mouvement, n'est plus qu'une question simple de cinématique, et pourra servir à imiter la disposition d'une foule de machines connues, notamment celle de la machine à vapeur. On s'est amusé à construire pour les cabinets de physique diverses petites machines, telles que batteries de pilons, etc.

Si de semblables machines sont très-intéressantes par leur nouveauté et parce qu'elles paraissent ouvrir une voie nouvelle de production de travail mécanique bien importante, puisque c'est dans cette voie que s'est rencontrée l'admirable découverte de la télégraphie électrique, il faut prendre garde de ne pas en exagérer la valeur et ne pas s'imaginer qu'il est possible d'obtenir des résultats économiques qui permettent d'établir une comparaison entre les machines électro-magnétiques et la machine à vapeur. Tous les résultats obtenus ont été contraires aux rêves des inventeurs (voy. *Complément* MACHINE MAGNÉTO-ÉLECTRIQUE); nous renverrons à l'INTRODUCTION pour l'exposé des véritables principes à cet égard.

Le problème inverse qui consisterait à produire de l'électricité à l'aide de la force motrice, et dont nous trouvons le type dans la machine électrique, dans laquelle le dégagement de l'électricité est obtenu à l'aide du frottement, est un des plus grands progrès qu'on puisse espérer des progrès de la science. Produire de l'électricité à l'aide des forces naturelles, des puissances hydrauliques, par exemple c'est le moyen de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

décomposer l'eau et produire de l'hydrogène, c'est-à-dire de la chaleur aussi bien que du mouvement. Les essais tentés jusqu'ici et dont le plus remarquable est l'application des aimants dans la machine de Clarke, exécutée sur une grande échelle pour l'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE des phares, et fondée sur les beaux travaux de Faraday sur les courants d'induction, sont fort importants, et la possibilité d'atteindre industriellement le but indiqué ne paraît nullement contraire à ce que nous savons. BREGUET.

TENON. Voyez ASSEMBLAGE.

TENUE DES LIVRES. Nous empruntons à un rapport de M. Costaz, fait à l'Académie des sciences, un exposé très lucide des principes de la tenue des livres en parties doubles, méthode qui a pour objet la solution du problème suivant :

Étant donné un capital composé d'une manière connue, destiné à être successivement engagé en totalité ou par parties dans divers emplois, et à subir par des causes quelconques des modifications dans sa grandeur et dans sa nature, suivre ce capital dans ses transformations successives, déterminer pour une époque prise à volonté la valeur, la nature et la position de chacune de ses parties, les augmentations ou les diminutions qu'il a éprouvées, faire connaître les causes de ces variations et la part que chaque cause a eue soit dans l'effet total, soit dans chaque effet partiel.

La méthode qui résout le mieux ce problème, la seule peut-être qui le résolve dans toute son étendue, est celle qui est connue parmi nous sous le nom de Tenue des Livres en parties doubles, et dans d'autres pays sous le nom de Méthode italienne, parce qu'elle a été découverte en Italie, dans le moyen âge, lorsque ce pays, à qui l'Europe moderne doit la renaissance de tous les arts, de toutes les sciences et de la bonne méthode philosophique, était l'intermédiaire des communications commerciales entre l'orient et l'occident de l'ancien monde. La plus grande partie de la nomenclature actuellement en usage dans la pratique de cette méthode, porte encore l'empreinte d'une origine italique, et l'on cite un traité explicatif de ses procédés, publié en italien, vers l'année 1495, par *Fra Luca Paciolo di Borgo*.

Toute comptabilité exige indispensablement l'emploi de deux livres ou registres.

Dans le premier, les opérations sont inscrites par ordre de dates, avec tous les détails nécessaires pour constater la nature et tous les effets de l'opération. Ce livre, qui est le fondement de la comptabilité, est jugé si important par les lois, qu'elles ont réglé et fixé quelques-unes des conditions de sa forme et de sa tenue. Il porte le nom de *Journal*; les affaires y sont rapportées sans aucun égard à leur analogie ou à leur dissemblance; il constate leur existence, mais il ne montre pas leur situation. Cet objet est rempli au moyen d'un autre livre qui s'extrait du journal, et qui, dans le langage technique, est appelé quelquefois *Livre de raison*, et plus souvent le *Grand-Livre*. Toutes les affaires dont on veut suivre la marche y ont un article séparé ou compte, dans lequel elles sont inscrites sans aucun mélange avec les affaires d'une nature différente. On caractérisera en peu de mots, et sous la forme concise du langage algébrique, la destination et le service de ces deux registres en disant que : *Dans le Journal les affaires sont ordonnées par rapport au temps et dans le Grand-Livre par rapport à leur nature.*

La dénomination de méthode à parties doubles usitée en France provient de ce fait, que toute opération commerciale, tout transfert ou mouvement de valeur constitue nécessairement un débiteur et un créancier ou créditeur.

Le créancier et le débiteur sont souvent des personnes avec qui celui au nom duquel la comptabilité est tenue est en correspondance d'affaires; mais ces mots peuvent aussi désigner des emplois de quelque partie du capital : par exemple, si un négociant achète pour mille francs de marchandise et qu'il paye comptant, la marchandise sera débiteur de la caisse : on déterminera toujours avec sûreté quels sont le créancier et le débiteur par une règle déduite de cette considération que pour qu'il y ait lieu à reconnaître un nouveau débiteur et un nouveau créancier, il faut que quelque valeur ait fait un mouvement et ait changé de place ou emploi. *Le créancier est au point de départ, le débiteur au point d'arrivée.*

Le grand-livre contient donc une équation toujours subsistante, dont chaque nouvelle opération modifie quelque terme, mais sans troubler l'égalité. Dès qu'on aperçoit que cette égalité n'existe plus, on est sûr qu'il a été commis quelque faute de calcul qu'on doit se hâter de rechercher et de rectifier. Cette propriété offre un moyen d'assurer l'exactitude arithmétique des comptes.

Le rapprochement des deux membres de l'équation placés terme à terme en regard l'un de l'autre, forme ce que dans la pratique on appelle *le Bilan* ou *la Balance*.

Au mérite de constater l'exactitude des écritures, la balance réunit celui de présenter sous la forme la plus concise et la plus nette le résumé, et, en quelque sorte, l'image des effets de la gestion à laquelle le capital a été soumis; si le capital initial a reçu des accroissements ou subi des diminutions, et sert à en déterminer le montant et les causes.

Lorsqu'une comptabilité est organisée, c'est-à-dire lorsque les différents points de vue sous lesquels une entreprise doit être considérée sont déterminés, et que les comptes dans lesquels les différentes opérations doivent être coordonnées sont établis, la méthode des parties doubles conduit en quelque sorte le praticien par la main; il n'a besoin que du degré d'attention nécessaire pour ne point commettre d'erreur dans la transcription et la pose des nombres. Mais la détermination des comptes nécessaires à établir pour porter la lumière dans toutes les parties d'une comptabilité, est une opération qui demande des raisonnements quelquefois compliqués et délicats : c'est comme la mise d'un problème en équation. Elle suppose une connaissance entière de l'entreprise dans laquelle on veut engager le capital, des règles de l'administration ou gestion à laquelle il doit être soumis, et une analyse complète des moyens qu'on aura à sa disposition et de la manière d'en faire usage.

Le résumé succinct qui précède renferme tout l'esprit de la comptabilité, connue sous le nom de tenue des livres en parties doubles.

Nous ajouterons quelques mots sans pouvoir toutefois entrer dans des applications nombreuses qui forment la substance de tous les traités de tenue des livres.

Comme nous l'avons dit dans l'introduction, l'esprit de cette méthode est la même que la notion des quantités positives et négatives en algèbre. C'est sur le mouvement des comptes positifs et négatifs que repose toute la tenue des livres, et c'est la somme algébrique (c'est-à-dire avec les signes + et —) de ces comptes qui donne le bilan, la position de l'affaire en chaque instant.

Pour ce qui est de la multiplicité des comptes à établir, il est de règle de réduire au nombre strictement nécessaire ceux qui se rapportent aux valeurs *invariables*, qui, telles que le numéraire, entrent et sortent des comptes pour le même chiffre. Il y a au contraire presque toujours pour l'industriel grand avantage à multiplier tous les comptes se rapportant à des objets dont les valeurs sont variables, et surtout à ceux qui entrent comme parties essentielles de la fabrication. C'est par des comptes bien entendus de matériel, ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tières, combustible, etc., qu'un fabricant s'aperçoit de l'importance de chacune de ces dépenses, du point où il doit redoubler de surveillance, où il peut chercher des perfectionnements fructueux.

Nous ajouterons que tous les comptes devront être arrêtés à époque fixe et la position générale de l'affaire vérifiée par un inventaire qui peut se faire à un instant quelconque, mais qui, à cause des dérangements auxquels il entraîne, se fait habituellement une fois l'an dans les fabriques bien tenues, et autant que possible à l'époque où les travaux ont le moins d'activité

TÉRÉBENTHINE (*Galipot, Résine, Brai*, etc.). Nous nous occuperons, dans cet article, d'un grand nombre de substances dont la nature ou les propriétés présentent des analogies plus ou moins complètes et dont il convient de réunir l'histoire, soit parce que plusieurs de ces matières sont l'objet d'une même fabrication, soit parce qu'il eût été impossible d'éviter de nombreuses répétitions en s'en occupant séparément.

La confusion qui règne en général dans la classification des corps dont nous allons parler, rendra nécessaire une longue énumération dont on nous pardonnera l'aridité si nous parvenons, comme nous en avons l'espoir, à présenter avec ordre ce sujet compliqué.

On donne le nom de térébenthine au suc résineux qui découle naturellement, ou au moyen d'incisions, de plusieurs espèces d'arbres de la famille des térébinthacées et de celle des conifères. Le nom de térébenthine vient du mot grec τερεω (je blesse), qui rappelle les incisions au moyen desquelles on obtient cette substance, ou du mot τερεβινθος, parce que le fruit de l'arbre qui produit la térébenthine la plus anciennement connue ressemble à un pois chiche.

Les térébenthines exercent une action énergique sur les organes des voies urinaires et sont souvent employées avec succès soit au commencement, soit à la fin des affections gonorrhéiques.

On peut classer, d'une manière générale, parmi les térébenthines les produits résineux, mêlés d'huiles essentielles, et les baumes liquides qui ne renferment pas d'acide benzoïque. Le baume de Judée, le baume de copahu, etc., devraient donc figurer ici; mais nous ne nous en occuperons pas parce qu'on en a déjà parlé au mot BAUMES. Nous croyons que la classification que nous venons d'indiquer, quoique trop générale et peut-être peu rationnelle au point de vue scientifique, est encore aujourd'hui la plus convenable. Quoi qu'il en soit, on distingue dans le commerce plusieurs espèces de térébenthines proprement dites que nous allons passer en revue.

I. *Térébenthine de Chio*. Cette substance est d'un blanc verdâtre, transparente et presque insipide. Elle est très anciennement connue, puisque Pline en fait mention; c'est elle qui a donné son nom aux corps analogues. La térébenthine de Chio découle naturellement ou par incision du *pistacia terebinthus* L., arbre qui se plaît dans les pays chauds, l'Inde, la Perse, la Syrie, et surtout à Chio. On le trouve jusque dans nos départements méridionaux, mais sa croissance y est incomplète et il ne produit pas de résine.

II. *Térébenthine de Venise*. Elle est produite par le *pinus larix*, L. On la recueille en pratiquant dans le tronc des mélèzes les plus vigoureux, à 0m,60 au-dessus du sol environ, des trous de tarière dans lesquels on introduit de petites gouttières en bois, par lesquelles le produit s'écoule assez abondamment au printemps. La térébenthine de Venise est plus odorante et plus transparente que celle de Chio : on la confond souvent avec celle de Strasbourg dont nous allons parler.

III. *Térébenthine du sapin ou de Strasbourg*. On extrait cette substance du *pinus picea*, L. «Les habitants des lieux où viennent les sapins, dit Duhamel, grimpent avec beaucoup d'adresse à la cime des arbres les plus élevés à l'aide de souliers armés de crampons; l'un de leurs bras les soutient à l'arbre; l'autre est armé d'une corne de bœuf, ou d'un instrument en fer-blanc qui affecte la même forme : ils crèvent avec lui les tumeurs qu'ils trouvent et remplissent bientôt cette corne qu'ils vident ensuite dans une bouteille de fer-blanc qu'ils portent à leur ceinture. Cette bouteille à son tour est vidée dans des outres qui servent au transport dans les villes où le commerce s'en fait en grand. On peut faire ainsi deux récoltes par an, la première au printemps, la seconde en automne. Cette espèce fournit près d'un quart d'huile essentielle. »

On purifie cette espèce de térébenthine en la filtrant à travers des feuilles du sapin (*pinus excelsa*) placées au fond d'une espèce d'entonnoir formé en roulant l'écorce du même arbre.

La térébenthine de Strasbourg est très transparente, presque incolore et fréquemment employée en médecine : elle entre dans la préparation des pilules de Stahl, de l'onguent de térébenthine camphré, etc. La térébenthine cuite des pharmacies s'obtient en faisant bouillir dans l'eau de roses, ou même dans l'eau pure, le corps qui nous occupe de manière à le débarrasser d'une partie de son huile essentielle.

IV. *Térébenthine commune ou du pin*. Cette substance est de beaucoup la plus importante de la classe qui nous occupe; elle a, par elle-même, de nombreuses applications et les produits qu'elle fournit sont l'objet d'un commerce important. On la recueille en abondance dans la Dordogne et dans les Landes où croissent parfaitement le *pinus sylvestris* et le *pinus maritima* L., arbres d'où elle découle. La récolte se fait de mai à septembre; voici comment on y procède. On choisit les pins de 0m,35 à 0m,40 de diamètre et, avec une hache, on enlève près du pied une bande d'écorce de 0m,12 de largeur et de 0m,50 de hauteur; puis, avec une espèce d'herminette bien tranchante, on fait au bas de cette partie dénudée une incision de 0m,007 de profondeur, de 0m,03 de hauteur et de la largeur de la bande d'écorce enlevée d'abord. Tous les huit jours on fait une semblable incision au-dessus de la précédente, de sorte que la plaie ainsi formée acquiert en un an 0m,80 à 1m de hauteur. L'année suivante on enlève une seconde bande d'écorce au-dessus de la première et on pratique de nouvelles incisions. On continue ainsi chaque année jusqu'à ce qu'on atteigne une hauteur de 4m à 5m. On commence alors, près des racines, une nouvelle entaille parallèle et semblable à la première. On fait de cette manière le tour de l'arbre et on ne revient à la première entaille qu'après avoir laissé au temps le soin de la cicatriser. La térébenthine qui s'écoule de l'arbre est reçue dans un vase, ou simplement dans une petite fosse creusée à cet effet. Les arbres traités comme nous venons de l'indiquer vivent de soixante à quatre-vingts ans et fournissent 3 à 4 kilogrammes de térébenthine par an. On peut leur en faire fournir beaucoup plus en pratiquant à la fois plusieurs incisions, mais ils ne donnent dans ce cas que deux ou trois ans.

Le *galipot* est un mélange très pur de résine et d'essence recueilli sur les incisions mêmes des pins. On désigne aussi quelquefois sous ce nom le produit brut tout entier fourni par les arbres. On emploie le galipot à quelques usages particuliers et surtout pour le mélanger aux cires communes avec lesquelles on prépare les cierges jaunes.

Le produit fourni par les pins est un mélange de résine et d'essence qu'il s'agit d'abord de purifier soit pour le livrer immédiatement au commerce, soit pour le soumettre à d'autres opérations. On y parvient en exposant au soleil, ou à la chaleur d'une étuve, la matière brute réunie dans des tonneaux dont le fond percé de trous est recouvert de paille, ou même seulement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TEREBENTHINE

dans des tonneaux mal joints dont les fentes servent de filtres. Les premiers produits qui s'écoulent sont les plus liquides et les plus purs : on les vend sous le nom de *térébenthine fine* ou *térébenthine au soleil*.

Le procédé que nous venons de décrire exige un temps assez long et entraîne nécessairement la perte d'une grande quantité d'essence qui se dégage dans l'air ; aussi le remplace-t-on toujours aujourd'hui par une méthode due à M. Chevalier et qui présente le double avantage d'améliorer les produits et d'augmenter des deux tiers leur quantité. Cette méthode consiste à mettre la matière brute recueillie au pied des pins dans un sac de toile, entouré d'un tissu d'osier et suspendu dans une chambre où l'on peut circuler. Un tuyau percé de trous sur toute sa largeur et par lequel on peut faire arriver de la vapeur, pénètre dans le sac. Quand la térébenthine brute est placée dans le sac, il s'en écoule d'abord, même à froid, un produit très pur et très liquide qui peut remplacer avec avantage les térébenthines de Chio et de Venise. On introduit ensuite la vapeur ; les matières se ramollissent, la térébenthine s'écoule en abondance et l'opération est terminée en quelques heures. On doit modérer l'action de la vapeur pour éviter de liquéfier toute la résine qui, sans cette précaution, se mêlerait en trop grande quantité avec la térébenthine. Du reste, si cet accident se produisait, on y remédierait facilement en mêlant au produit une partie de la térébenthine écoulée à froid.

Le résidu resté dans les sacs après l'action de la vapeur, ou dans les tonneaux, quand on opère au soleil, est fondu et filtré à chaud sur de la paille. Il sert à la préparation de l'essence de térébenthine, dont il renferme encore une certaine quantité, de la colophane, etc., produits dont nous allons maintenant décrire les propriétés et le mode de préparation.

a. Huile essentielle de térébenthine. On obtient cette huile essentielle en distillant dans un alambic la térébenthine, quand on ne la vend pas dans son état naturel, ou bien, ce qui a lieu le plus souvent, le résidu fondu et filtré que l'on obtient après avoir séparé la térébenthine par l'action de la vapeur ou du soleil, comme nous l'avons indiqué ci-dessus. L'essence va se condenser dans le serpentin de l'appareil et il reste dans la cucurbite la partie résineuse ou colophane. La distillation de 100 kil. de térébenthine fournit une douzaine de kilos d'essence et un peu moins de 88 kil. de colophane.

L'essence du commerce renferme toujours de la résine, formée par l'action de l'air, et une certaine quantité d'eau. Pour l'obtenir pure, il faut la mélanger avec un peu de chaux vive qui s'empare de l'eau, la décanter et la distiller une seconde fois, et enfin, si on a besoin d'un produit absolument pur, la laisser digérer avec du chlorure de calcium et la redistiller avec beaucoup de précaution. L'essence ainsi préparée est incolore, limpide, très fluide; sa densité à la température de 22° est de 0,86. Elle entre en ébullition à 156°. Son odeur est forte et désagréable. Elle renferme, d'après M. Dumas, $C^{40}H^{32}$, ou bien :

Carbone.	88,5
Hydrogène.	11,5
	100,0

Les flacons d'essence mal bouchés ou renfermant de l'eau se tapissent avec le temps de cristaux blancs étoilés qui ont été étudiés par plusieurs chimistes et qui paraissent être un hydrate d'essence de térébenthine. Sans entrer ici dans l'histoire de cette substance, qui n'a pour les arts aucun intérêt, nous dirons seulement qu'il faut éviter sa production parce qu'elle altère les propriétés de l'essence.

L'essence de térébenthine forme avec l'acide chlorhydrique une combinaison connue sous le nom de camphre artificiel (voyez CAMPHRE), que nous n'examinerons pas en ce moment, mais qui paraît destinée à jeter quelque lumière sur la nature intime encore assez mal connue de l'essence de térébenthine.

b. Colophane ou *Arcanson.* Ce produit est le résidu de la préparation de l'essence de térébenthine. Il est d'autant plus pur que les matières premières l'étaient elles-mêmes davantage. La térébenthine obtenue à la vapeur ou au soleil donnerait la plus belle qualité. — Cette substance est employée dans quelques vernis et par les luthiers. Son nom vient, dit-on, de Colophon, ville d'Ionie, où on la préparait autrefois.

La colophane peut être représentée par de l'essence de térébenthine oxygénée : sa formule paraît être $C^{80}H^{64}O^4$. Mais il ne faut pas la regarder comme un produit simple; c'est un mélange de trois résines au moins, dont deux sont acides et ont reçu les noms d'acides sylvique et pinique. Ces composés, déjà étudiés avec soin, méritent de fixer l'attention des industriels, car ils jouent, sans aucun doute, un rôle très important dans la fabrication des savons résineux dont les applications tendent sans cesse à s'étendre davantage.

c. Résine commune, ou *Poix résine*, ou *Brai sec.* Quand au lieu de recueillir la colophane au moment où cesse le dégagement des vapeurs d'huile essentielle, on la verse bouillante dans un vase de bois où on la brasse fortement avec 10 p. 100 d'eau environ, on obtient la résine commune que l'on verse dans des moules en sable de $0^m,50$ de diamètre et de $0^m,10$ à $0^m,12$ de profondeur dans lesquels elle se solidifie. Ce produit ainsi préparé retient environ 6 p. 100 d'eau ; il est opaque, beaucoup moins coloré et moins fragile que la colophane, que l'on est forcé d'emballer dans des barriques, tandis que la résine peut s'expédier dans de simples bâches en roseau. La résine fond plus facilement que la colophane et s'attache moins au fond des vases. Elle est soluble dans les alcalis, les huiles grasses et dans l'éther. L'alcool en dissout le tiers de son poids. Sa densité est de 1,073, suivant Thomson.

La résine mélangée avec du soufre et du suif forme une excellente matière pour le calfatage des navires. Elle sert également à la préparation du mastic de fontainier, qui n'est autre chose qu'un mélange d'une partie de résine avec deux parties de brique finement pulvérisée et fondues ensemble. — On peut préparer avec la résine un gaz d'éclairage de très bonne qualité (voyez ÉCLAIRAGE), mais dont le prix est malheureusement trop élevé.

La résine soumise à la distillation produit une huile fixe et une huile volatile. Ces liquides ont été jusqu'à présent peu employés en France (voyez GRAISSAGE). Ils paraissent cependant susceptibles de nombreuses applications qu'il serait intéressant de découvrir.

d. Barras ou *Perrine.* On désigne ainsi le produit obtenu en faisant fondre et filtrer à une douce chaleur les matières résineuses solidifiées à la surface des incisions.

e. Poix de Bourgogne. C'est du galipot filtré avec soin et convenablement épaissi par la chaleur.

f. Brai gras. La paille à travers laquelle on a filtré les térébenthines, les tonneaux qui ont servi à les renfermer, et en général tous les résidus des préparations précédentes, renferment une certaine quantité de résines et de térébenthine que l'on utilise, comme nous allons l'indiquer, pour la préparation du brai gras. On charge toutes ces matières par l'ouverture supérieure d'un four présentant la forme d'un cône renversé, ovale ou circulaire, de 3^m à 4^m de hauteur et de $1^m,80$ à 2^m de diamètre. Une ouverture, ménagée à la partie inférieure de ce four, permet aux produits de cette espèce de distillation de couler dans une rigole qui les conduit dans des baquets en bois remplis d'eau dans lesquels ils se rassemblent. On obtient ainsi une masse d'un brun

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Transport à la brouette. La brouette consiste en une caisse rectangulaire en bois, soutenue par une roue placée à son extrémité antérieure et par deux pieds placés à l'aplomb de la paroi postérieure; les châssis latéraux se prolongent de manière à former deux brancards entre lesquels se place l'ouvrier. La forme de la caisse de la brouette terrassière française est presque rectangulaire; la jante de la roue est large et plate. L'homme qui soulève les brancards et pousse la brouette devant lui, supporte à peu près 1/5e de son poids. On a cherché à répartir différemment la charge, de manière à ce que l'homme n'ait qu'à maintenir l'équilibre pendant la marche; mais on ne parvient à soulager l'ouvrier qu'en rendant la manœuvre du déchargement de la brouette plus difficile et même en diminuant l'espace réservé à la charge; aussi on a dû y renoncer. Nous trouvons cependant dans le *Portefeuille de l'Ingénieur de chemins de fer*, par MM Perdonnet et Polonceau, une note de M. Brabant sur les brouettes françaises comparées aux brouettes anglaises, que nous croyons devoir citer. La comparaison porte principalement sur l'application de la brouette au chargement des wagons de terrassement; mais nous pouvons dire que la brouette anglaise a une supériorité certaine non seulement dans ce cas, mais pour tous les autres usages des terrassements.

« La brouette étant l'appareil dont l'usage est le plus fréquent pour le transport des terres, beaucoup d'ingénieurs l'ont étudiée et ont cherché à la modifier en variant la position de la charge par rapport à celle de la roue, en augmentant le diamètre de la roue, en allongeant les brancards. Ces modifications ont eu peu de résultats, les ouvriers ont toujours préféré la brouette terrassière ordinaire..... Afin de fatiguer moins l'homme qui pousse la brouette, nous avons dit que quelques personnes avaient cherché à rapprocher de la roue le centre de gravité de la charge. Ce système serait avantageux dans le cas où on roulerait sur un plancher parfaitement résistant, uni et horizontal; mais dans les travaux les circonstances sont toutes différentes, et si le sol cède sous la charge de la roue, ou qu'un léger obstacle se présente, l'homme, qui ne peut exercer qu'un faible effort dans le sens horizontal, se trouve arrêté et ne peut vaincre l'obstacle; il préfère donc avoir sur les bras une plus forte partie de la charge, et dégageant ainsi sa roue, l'empêcher de s'enfoncer dans le sol, en général peu résistant, sur lequel elle s'appuie, ou lui permettre de surmonter plus facilement les obstacles que lui présente un chemin inégal et toujours couvert des terres et pierres tombées aux voyages précédents. Ajoutons encore que les charges étant ordinairement conduites en montant, la charge de la roue est encore un désavantage, car dans ce cas, on voit toujours l'ouvrier qui pousse une brouette se baisser pour amener la charge sur ses bras, dégager la roue, et exercer son effort le plus possible parallèlement au plan qu'il gravit.

« On peut donc considérer la charge de la brouette ordinaire comme bien placée par rapport à la roue, dans notre brouette terrassière, et ce n'est pas là qu'est l'inconvénient que présente cet appareil pour les travaux au moyen de wagons.

« Lorsqu'on exécute des travaux de terrassement par le moyen de chemins de fer, une fois la voie placée, il faut y amener les terres, ce qui se fait au moyen des brouettes. Il est donc convenable de pouvoir décharger directement de la brouette dans le wagon, sans quoi on a un jet de plus à effectuer pour toutes les terres ainsi déblayées; tandis qu'une fois les brouettes chargées, il est parfaitement indifférent sous le rapport de la dépense de les décharger auprès du wagon ou dans le wagon même.

« Cependant la brouette française ne peut pas se décharger sans se retourner presque complétement, ce qui nécessite que l'homme qui la conduit soit placé de manière à pouvoir faire ce mouvement, c'est-à-dire sur un espace très large. Dès lors, il faut, pour décharger de la brouette dans le wagon, établir au-devant de ce dernier un plancher, très lourd par suite de l'étendue qui lui est nécessaire, et dispendieux à changer de position; en sorte qu'en définitive, on préfère ordinairement déposer les terres près du wagon et charger à la pelle, ce qui occasionne une dépense considérable et fait souvent perdre en grande partie l'avantage des terrassements au moyen des wagons.

« En Angleterre, on emploie pour les terrassements une brouette dont les parois sont très évasées et les côtés très inclinés et n'ayant qu'une faible saillie sur le fond. Quant au centre de gravité de la charge, il se trouve placé, relativement à la roue et aux extrémités des brancards, exactement de la même manière que dans la brouette française. De cette disposition il résulte : 1° que le centre de gravité de la charge se trouve situé beaucoup plus bas, relativement aux brancards, que dans la brouette française, ce qui la rend plus stable et plus facile à conduire; 2° que le contenu peut être déchargé en inclinant la brouette sous un angle de 45 degrés, ce qui peut se faire en laissant la brouette porter toujours sur la roue, et sans que l'homme se déplace et se dessaisisse des brancards, de telle sorte que ce déchargement peut s'effectuer très promptement et par un ouvrier placé sur une planche très étroite. Le déchargement dans le wagon se fait dès lors avec la plus grande facilité, en plaçant au-dessus un simple madrier.

« Quant à la capacité de la brouette anglaise, elle est la même que celle de la brouette française. Cependant, en général, on la charge davantage sans que pour cela le roulage en soit plus difficile. Cela résulte des dispositions suivantes :

« La roue, qui est du même diamètre que celle employée en France, est en fonte au lieu d'être en bois. Son moyeu est terminé en pointe et lui sert d'axe, la jante n'a que 0m,025 d'épaisseur, et est terminée par une surface arrondie, tandis que dans la brouette française elle est large de 5 centimètres et plate. La brouette anglaise, avec cette roue de fonte, ne peut rouler que sur des planches. Mais sa roue étroite et à jante courbe écarte devant elle la terre et les pierres qui se trouvent sur son passage, et le roulage devient dès lors doux et facile. Dans la brouette française, au contraire, la jante de la roue étant large et plate, forme devant elle un bourrelet de terre et de pierres sur lequel elle monte, et qui, s'opposant à son mouvement, exige de la part de l'ouvrier des efforts très considérables et force à diminuer la charge qu'il conduit. »

Tout travail peut être ramené, comme point de comparaison, à un poids élevé à une certaine hauteur. Si l'on prend pour unité de la quantité d'action, 1 kilogr. transporté à un mètre, on trouve par expérience que la quantité de travail utile fournie par un homme, travaillant dix heures par jour, marchant à une vitesse de 50 centimètres par seconde, et transportant 60 kilogr. de terre dans une brouette qu'il ramène à vide, est de 1.080.000 kilogrammètres. De ces nombres et du poids d'un mètre cube de terre, on peut facilement déduire la longueur du *relais* du transport à la brouette, pour enlever dans la journée une quantité donnée de terre. Ainsi, supposons qu'un piocheur fournisse 12 mètres par jour, le mètre cube pesant 1.820 kilogr., la longueur du relais sera d'environ 30 mètres. C'est à ce chiffre qu'on fixe le plus ordinairement cette longueur. Pour le transport vertical, on établit des rampes inclinées au dixième ou au douzième. La longueur des relais est alors de 20 mètres environ.

La formule dont on se sert, dans le génie militaire,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour déterminer le nombre N de relais à parcourir, en admettant 1m,60 pour la hauteur verticale que rachète chaque rampe, est

$$N = \frac{H}{1.60}\left(\frac{D - \frac{H}{1.60} \times 20}{30}\right)$$

dans laquelle D représente la distance horizontale des centres de gravité du déblai et du remblai, et H la différence de niveau entre ces deux points. N ne peut jamais être moindre que $\frac{H}{1.60}$.

Nous trouvons dans l'ouvrage de M. Carl Etzel, sur l'organisation des grands chantiers de terrassements, des renseignements précieux sur le mode le plus convenable à employer pour disposer les ateliers de transport à la brouette.

Ainsi, pour attaquer un déblai, on divise la profondeur de la tranchée, parallèlement à la surface du chemin de fer, en tranches de 3 à 4 mètres de hauteur, et en longueur en parties de 30 mètres, sur chacune desquelles on établit un atelier. Quand la première tranche est enlevée, on attaque la seconde, en ménageant une rampe en sens inverse, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on parvienne au fond de la tranchée. Les rampes ont généralement 1m,50 de largeur, et le sommet de la rampe inférieure est séparé du pied de la rampe supérieure par un palier de 3 mètres environ. Elles doivent toujours être munies de planches bien propres, ou sur lesquelles, lorsqu'il pleut, on jette des cendres ou des décombres pour empêcher les travailleurs de glisser. Quand les rampes sont accolées deux à deux, on laisse également 3 mètres de distance entre leurs sommets.

Pour former un remblai, on y arrive par une suite de rampes qui, à mesure qu'elles approchent du couronnement du remblai, diminuent de largeur. Ces rampes doivent être disposées de manière que leur largeur, de 1m,50, se trouve moitié dans le profil définitif du remblai, moitié en dehors de ce profil, et que l'excédant de terre formant la saillie des rampes sur le talus définitif, compense ce qui manque au-dessus de la moitié intérieure, lorsque l'on dresse les talus.

Pour réduire au minimum les transports horizontaux, qui dans cette méthode sont presque entièrement perdus pour le résultat utile et définitif qu'on se propose, on emploie avantageusement des moyens mécaniques pour le transport vertical.

Après avoir commencé l'exploitation d'une tranchée au moyen d'une brouette, tant que le transport peut s'opérer sur des rampes accessibles, *perpendiculairement à l'axe de cette tranchée*, on établit dans l'inclinaison du talus de la tranchée, et perpendiculairement à son axe, de distance en distance, des plans inclinés sur lesquels le transport est continué par des chevaux.

Ces plans inclinés sont de diverses sortes, suivant qu'ils doivent recevoir des brouettes ou des wagons. Pour les brouettes, on établit deux voies en fortes planches, terminées par un plancher horizontal et espacées de 3 mètres. Dans l'axe de chacune des voies on place des poteaux munis de poulies, l'une en haut et l'autre en bas, au niveau du plancher; la corde qui passe sur les poulies d'un poteau est dirigée sur les poulies de l'autre au moyen d'un système de poulies de renvoi, de manière à ce qu'un cheval placé au bas du plan incliné puisse, par cette corde continue, enlever une brouette pleine et faire descendre en même temps une brouette vide.

Si l'on veut se servir de petits wagons, on substitue une voie de fer aux planches et on fait remonter ou descendre les wagons par un cheval. D'autre fois, et pour des tranchées considérables, on emploie une machine fixe à la manœuvre des wagons.

Nous avons vu, aux fortifications de Paris, une manœuvre très simple pour enlever les terres du fossé au-dessus de l'escarpe. L'appareil consiste en un poteau avec des poulies. A une des extrémités de la corde, terminée par trois crochets, on attache une brouette qu'un cheval, attelé à l'autre extrémité, enlève rapidement au sommet du mur. Ces appareils sont toujours doubles, et placés à une distance telle l'un de l'autre que le cheval utilise l'aller et le retour. Cette méthode est expéditive et donne de bons résultats.

Transport au tombereau. Nous n'avons rien de particulier à dire sur ce mode de transport, qui se substitue à la brouette quand le nombre des relais devient trop considérable. Pour décider à quelle distance l'usage de la brouette est plus coûteux que celui du tombereau, il faut connaître les prix (qui varient suivant les localités) de la journée d'un rouleur et de celle d'un tombereau attelé d'un, deux ou trois chevaux. Une brouette porte environ 4 centièmes de mètre cube; un tombereau à un cheval 37 centièmes, et à deux chevaux 80 centièmes de mètre cube. Un cheval transportant des matériaux, marchant à une vitesse de 1m,40 par seconde, et revenant à vide, produit dans la journée de dix heures 15.120.000 kilogrammètres. En général, pour les distances plus grandes que trois relais, il y a plus d'avantage à employer le tombereau que la brouette.

Transport par wagons sur chemins de fer. Nous diviserons, comme l'a fait M. Etzel, le travail du transport par wagons en trois périodes, savoir : le chargement des wagons, leur transport et leur déchargement. Le but de ce mode de terrassement est de compenser les déblais et les remblais, ou de faire servir les terres extraites d'une tranchée à former le remblai en avant ou en arrière de cette tranchée.

« La première condition à observer dans l'exploitation d'une tranchée, dit M. Etzel, est de donner au travail le front le plus étendu possible, afin d'obtenir un résultat suffisant dans un délai donné. On y arrive, d'une part, pour un déblai d'une profondeur très considérable, en le divisant en plusieurs couches ou assises, dont chacune est exploitée au moyen d'un système de voies de terrassement; d'autre part, par la disposition particulière de ces voies de terrassement, qui n'est pas la même lorsque l'on peut employer aux travaux de terrassement des rails fabriqués exprès pour cet usage, ou lorsqu'on est obligé de se servir de rails définitifs. »

Nous nous bornerons à citer quelques exemples d'organisation des travaux au point de *chargement*.

Soit une tranchée à exploiter : on commence par enlever à la fois tout le profil de la tranchée, au moyen de brouettes et de tombereaux. Dès qu'on a gagné la longueur nécessaire pour l'emplacement d'un système de voies de terrassements, on pose sur le fond de la tranchée quatre voies parallèles à l'axe de cette tranchée, et espacées de 3 mètres d'axe en axe; toutes ces voies se réunissent du côté du remblai à faire en une seule, qui se divise immédiatement après en deux. Le mode le plus simple pour le travail serait de placer un wagon sur chaque voie, les quatre wagons avançant parallèlement et chacun enlevant la partie du profil qui se trouverait devant lui; mais il ne serait pas le plus avantageux, parce que le nombre des wagons qui pourrait être chargé à la fois serait trop restreint. On préfère pousser en avant les deux voies du milieu, qui enlèvent en l'attaquant de côté l'espace sur lequel doivent être avancées les deux voies extrêmes. On parvient ainsi à donner au front du travail un développement convenable, et à placer jusqu'à seize wagons qu'on charge simultanément. On ne peut cependant augmenter indéfiniment le nombre des wagons en chargement, à cause des manœuvres nécessaires pour les conduire à la décharge. Les wagons, dès qu'ils sont chargés, sont pris par des chevaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et menés par différents changements de voie dans une voie de garage ; les chevaux ramènent immédiatement des wagons vides et vont reprendre les wagons pleins pour la décharge. A mesure que l'étendue de la tranchée augmente, on reporte en avant les changements de voie, pour perdre le moins de temps possible dans la manœuvre de la substitution des wagons vides aux wagons pleins.

Lorsque la profondeur d'une tranchée est peu considérable et sa longueur importante, on peut commencer son exploitation en plusieurs points, en établissant à la surface du terrain deux voies de transport sur les bords et tout le long de la tranchée à exploiter. Puis on attaque à des distances de 200 mètres environ des tailles qui descendent jusqu'au niveau du chemin. Dès qu'on a l'espace suffisant, on établit une voie dans le fond de la tranchée, et l'on continue comme nous l'avons dit plus haut.

Si la profondeur de la tranchée est considérable, on la divise en deux ou trois couches parallèles de 4 à 6 mètres d'épaisseur, et on les attaque, soit simultanément, soit successivement. Mais les assises supérieures étant très larges, il faut un plus grand nombre de voies de terrassement.

Les manœuvres nécessaires pour remplacer les wagons pleins par des wagons vides entraînent toujours une grande perte de temps, et il est de la plus haute importance de développer convenablement le front de chargement pour que cette perte soit un *minimum* ; nous renvoyons pour cette partie à l'ouvrage de M. Etzel. Ces manœuvres, du reste, changent ainsi que le mode de chargement, quand on doit se servir des rails destinés aux voies définitives, au lieu de rails fabriqués exprès pour ce genre de travaux, les dimensions des premiers n'admettant que des courbes d'un assez grand rayon. Dans ce cas, en effet, la longueur totale du système d'embranchement deviendrait trop considérable, le déplacement des voies trop difficile ; aussi, le cube à enlever dans un certain délai étant donné, on détermine le nombre de wagons nécessaires, et on les place tous à la suite les uns des autres sur une des voies du fossé qu'on a ouvert à profondeur. Le chargement a lieu au moyen de brouettes qu'on vide directement dans le wagon ou à la pelle.

On conduit les wagons à la *décharge*, soit avec des chevaux, soit avec des locomotives, suivant la distance à parcourir. On verra, par un tableau que nous donnons plus loin, à quelle distance il est préférable de se servir de locomotives. Quand on se sert d'une machine, il suffit d'une seule voie de transport, posée avec tout le soin possible et partagée à chaque extrémité en deux voies, sur une longueur suffisante au stationnement d'un nombre de wagons proportionné à l'étendue des ateliers établis aux points de chargement et de déchargement : on en règle le nombre par la condition que le temps nécessaire à leur chargement à l'une des extrémités et à leur déchargement à l'autre soit égal au temps que met la locomotive à faire le double voyage qui sépare ces deux points.

Pour le transport par les chevaux, on établit deux voies dont l'une est destinée exclusivement à la circulation des wagons vides, et l'autre à celle des wagons pleins : car les trains conduits par des chevaux étant composés d'un plus petit nombre de wagons et allant avec beaucoup moins de vitesse que les trains remorqués par une machine locomotive, on est forcé, pour apporter au service l'activité nécessaire, de faire partir un ou plusieurs trains, sans attendre le retour des trains précédents.

Lorsque la tranchée est exploitée en deux assises, on raccorde la voie de l'assise supérieure à celle de l'assise inférieure, pour parvenir au point de déchargement, au moyen d'une pente. Quand cette pente est faible, on la franchit, soit par des chevaux, soit même par la locomotive. Lorsqu'elle est trop forte, on établit un *plan incliné automoteur*, sur lequel le poids d'un train de wagons chargés descendant, est employé à remonter un train de wagons vides. Nous ne nous étendrons pas sur la manière dont est organisé le service des plans automoteurs. Les parties principales sont un tambour supérieur sur lequel s'enroule une corde dont chaque extrémité est attachée à un train montant ou descendant ; cette corde est soutenue dans son trajet par la gorge de poulies placées de distance en distance.

Les retards dans les travaux d'un chantier de terrassement sont presque toujours causés par une organisation insuffisante du travail sur le point de déchargement ; on doit donc attacher la plus grande importance à le disposer de manière à pouvoir opérer la décharge d'un train de wagons dans le temps nécessaire à la charge d'un nouveau train. Il y a deux différents procédés pour atteindre ce but. On peut donner au remblai immédiatement toute sa largeur, en employant un rang de wagons placés perpendiculairement à l'axe du remblai et versant par devant. Dans ce cas les voies de déchargement se réunissent en une seule en arrière, qui se partage immédiatement en deux, l'une pour les wagons pleins, l'autre pour les wagons vides. Quand le remblai est considérable on le forme en deux assises. Mais on a reconnu par la comparaison des divers systèmes employés pour le déchargement : 1° Que la quantité de travail fourni augmente dans une proportion beaucoup plus faible que le nombre des voies de déchargement ; 2° que la perte de temps causée par une grande distance du point de stationnement des wagons destinés à la décharge à l'extrémité de la voie de déchargement, et par le déplacement d'un système de voies très compliqué, peut l'emporter sur l'avantage résultant de l'établissement d'une voie de déchargement de plus.

On a été conduit par cette considération à un second procédé imaginé par M. Clapeyron, pour les travaux de terrassement du chemin de fer de Saint-Germain, et qui permet de simplifier beaucoup le système de voies en réduisant le nombre des embranchements. Il consiste à pousser la formation du remblai sur la largeur d'une seule voie avec une grande rapidité en avant, au moyen d'un échafaud mobile, et à compléter le reste de la largeur du remblai par deux simples voies de déchargement.

Cet échafaud mobile a reçu le nom de *baleine* : c'est une poutre armée qui porte un chemin de fer sur lequel on place les wagons de terrassement qu'on vient de vider à l'extrémité d'un remblai en voie d'exécution. La baleine pose par une de ses extrémités sur le remblai et par l'autre sur un système de charpente qui lui-même est assis sur un petit chariot. Ce chariot est placé sur un petit chemin de fer auxiliaire établi sur le terrain au pied du remblai et que l'on enlève d'un bout, tandis qu'on le prolonge de l'autre, lorsque le remblai avance. Un wagon de terrassement étant vidé à l'extrémité du remblai, dans l'espace que laissent entre elles les deux branches parallèles de la baleine ; on le pousse à l'extrémité antérieure, on en fait autant pour le second et l'on continue jusqu'à ce que la baleine soit couverte de wagons vides. Un seul cheval les enlève alors et les reconduit au point de chargement.

On fait marcher la baleine en avant en faisant reculer le chariot qui la suppporte, et en poussant la partie qui pose sur le remblai au moyen de crics et de pinces.

Le déchargement des wagons avec des baleines se fait plus rapidement qu'avec des voies d'évitement. Ainsi, sur les grandes baleines employées aux chemins de Saint-Germain et de Versailles, vingt-quatre ouvriers déchargeaient dix wagons en quatre minutes : mais ces baleines coûtent 4,500 fr. et exigent des réparations

EFERUS - Recherche & Classification numérique

assez dispendieuses. Au chemin de Versailles (rive gauche), dans des circonstances à la vérité très favorables, l'on a déchargé, par jour d'un travail effectif de 15 heures, sur deux grandes baleines placées d'un seul côté de la tranchée, jusqu'à neuf cents wagons de la contenance de $1^{mc.}$ 1/2, ce qui fait un volume de $1.350^{mc.}$

Au chemin fer de Lille, à la frontière de Belgique, l'on s'est servi de petites baleines de 12^{m} de long et de 6^{m} de hauteur qui ne coûtaient que 300 fr., et qui ont rendu de très bons services. Avec ces baleines, douze ouvriers déchargeaient cinq wagons en six minutes. Le nombre des wagons déchargés sur chaque baleine était ordinairement de vingt par heure, ou un par 3 minutes. En 1842, on a déchargé sur quatre petites baleines, par jour de 24 heures d'un travail continu, neuf cents wagons de la contenance de $1^{mc.}$ 1/4, ce qui fait un volume de $1.125^{mc.}$.

La hauteur des remblais que l'on peut faire avec des baleines est de 2 à 9^{m}.

En résumé, M. *Brabant* qui a fait d'importants travaux de terrassement au chemin de la rive gauche et au chemin de Lille, pose les principes suivants pour le déchargement :

1° Faire usage des baleines toutes les fois que les accidents de terrain ne sont pas trop brusques, quand la hauteur des remblais dépasse 3^{m} et que le cube a quelque importance ;

2° Proportionner les baleines à la hauteur et aux cubes des remblais à faire ;

3° Décharger sans baleine avec évitement dans les remblais de peu d'importance, quand la hauteur est au-dessous de 2 ou 3^{m}, ou que le terrain est semé d'accidents fréquents qui donnent lieu à des tranchées et à des remblais dont les hauteurs varient brusquement, mais dont les volumes ne sont pas considérables ;

4° Enfin, décharger sans baleine et sans évitement, quand il s'agit seulement d'élargir un cavalier déjà formé, parce qu'alors ce rélargissement peut se faire d'une manière très prompte, avec de longues files de wagons de côté.

Nous ne pouvons mieux terminer cet article qu'en donnant à nos lecteurs un tableau, calculé par M. Brabant, et qui comprend les frais de terrassement de toute nature ; tels que fouille, charge, transport, déchargement, régalage, frais de matériel et faux frais. Les chemins sont supposés horizontaux. Les prix des déblais transportés au wagon résultent de séries de prix établis d'après les travaux exécutés à la tranchée de Clamart. (Nous devons dire qu'on a sacrifié dans ces travaux l'économie à la célérité). Pour les transports au tombereau, on a supposé que le tombereau attelé de deux chevaux avec son conducteur coûtait 14 fr. par jour de 10 heures, que le temps perdu à la charge et à la décharge était de 1/40 de jour, que sur un chemin en terre deux chevaux peuvent traîner $0,80^{mc.}$ de terre et parcourir 36000^{m} par jour ; enfin, que sur une route bien entretenue, deux chevaux traîneront $1^{mc.}$ de terre et parcourront 36000^{m} également par jour. (Voir ce tableau ci-contre.)

Tableau de comparaison du prix de revient pour déblais transportés sur des chemins horizontaux.

DISTANCE des transports.	TRANSPORTS au tombereau sur		TRANSPORTS en wagons traînés par	
	des chemins de terre.	des routes entretenues.	des chevaux.	des locomotives.
	f.	f.	f.	f.
1000 mètr.	2.2195	1.7580	2.3085	2.3808
1500 —	2.7955	2.1470	2.5420	2.5783
1600 —	2.9107	2.2248	2.5887	2.6174
1700 —	3.0259	2.3026	2.6354	2.6565
1800 —	3.1411	2.3804	2.6821	2.6956
1900 —	3.2563	2.4582	2.7288	2.7347
2000 —	3.3715	2.5360	2.7755	2.7738
3000 —	4.5235	3.3140	3.2425	3.1648
4000 —	5.6755	4.0920	3.7095	3.5508
4500 —	6.2515	4.4810	3.9430	3.7513
4600 —	6.3667	4.5588	3.9897	3.7904
4700 —	6.4819	4.6366	4.0364	3.8295

Machines diverses employées aux terrassements. Nous avons dit que la fouille des terres s'exécute le plus généralement avec la pioche. Cependant on a proposé de fouiller mécaniquement le sol. Parmi les machines essayées, nous citerons celle de M. *Cochrane*, connue sous le nom d'*excavateur américain*, et celle de M. *Boutan*.

L'excavateur se compose d'une machine à vapeur établie sur un bâti qui peut avancer par la force même de la vapeur, d'une grue en bois ou en fonte et d'une énorme pelle armée de dents en fer. Cette pelle est mue par des chaînes qui vont d'un treuil, fixé à la machine, passer sur les poulies de la grue et agir à différents points de la caisse de la pelle : l'une de ces chaînes est destinée à faire la pelle à s'enfoncer en terre, et les autres à la soulever et à la transporter lorsqu'elle est pleine. Lorsqu'elle est amenée au-dessus du terrain à creuser, on lâche un déclic et elle tombe de tout son poids sur la terre où ses dents s'enfoncent : la machine à vapeur agit alors sur une chaîne qui traîne obliquement la pelle, de manière à ce qu'elle se remplisse, puis les autres chaînes l'enlèvent, la grue tourne sur son pivot et la pelle se décharge dans les wagons. Cette machine a été employée au chemin de fer du Nord, à celui du Havre et à celui de Tours.

La machine de M. *Boutan* consiste simplement dans l'application de la charrue à la fouille des terres. Cette charrue attaque le terrain par bandes parallèles et suivant la section que l'on veut donner à la tranchée. Elle est mue par un manége ; au fond de la tranchée on place des wagons dans lesquels tombe la terre que la charrue a fouillée : on voit que cette machine exécute simultanément la fouille et la charge. M. Boutan a aussi employé pour enlever les terres fouillées par la charrue, une grande pelle à manches, qui, traînée sur le sol par un manége, se remplit et arrive ainsi jusqu'au remblai à former. Mais ces combinaisons n'ont pas eu le résultat qu'en espérait l'auteur.

Les machines destinées à enlever et à transporter les terres ont été nombreuses dans les fortifications de Paris ; mais très peu ont réussi. Nous citerons seulement la méthode employée au bois de Boulogne. On remplissait dans le fossé de petits wagons qui étaient enlevés par un manége à la hauteur du mur d'escarpe. Là, les wagons étaient placés sur un petit chemin de fer formé d'une seule file de rails. Ce chemin consiste en longuerines sur lesquelles on fixe le rail à une certaine hauteur au-dessus du sol. Ces longuerines sont fixées à des poteaux montants : une poulie supporte la caisse du wagon au moyen d'un fléau en fer ou d'une tige coudée qui reporte le centre de gravité du système dans l'axe du chemin de fer. On conçoit que par cette méthode, on peut adopter des courbes d'un très petit rayon.

P. TOURNEUX.

TERRE CUITE. Voyez POTERIE.

THÉ. On donne le nom de Thé aux feuilles desséchées du *Thea viridis*, arbuste qui a assez de ressemblance avec le myrte, et qui est cultivé sur une très grande échelle en Chine. Après avoir cueilli ces feuilles, on les dispose sur des claies placées sous des hangars ; on les fait ensuite sécher en les posant sur des plaques de métal placées sur des fourneaux et les agitant. Elles sont ensuite agitées ou froissées jusqu'à ce qu'elles s'enroulent et se frisent. Pour le thé noir les feuilles sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

préalablement exposées au soleil. Dans le commerce, on classe les thés en thés verts et thés noirs ; on dit qu'ils sont *perlés* ou *poudre à canon*, suivant qu'ils sont roulés en grains plus ou moins gros. Les principales variétés de thés connues dans le commerce sont, en commençant par les thés les plus communs :

En thés verts.	*En thés noirs.*
Thé Hayswen-Kine.	Thé Boa.
Thé Tonkay.	Thé Camphou.
Thé Hyson.	The Souchong.
Thé perlé.	Thé Campouy.
Thé poudre à canon.	Thé Pékao.
Thé Chulan.	Thé Anhay.
Thé impérial.	

Les thés verts ont une saveur astringente et piquante, une odeur forte ; ils sont très-excitants et causent des insomnies. Les thés noirs ont moins de force et sont moins aromatiques et moins excitants. L'infusion de thé se prépare souvent avec un mélange, à parties égales, de thé vert et de thé noir.

THERMO-ÉLECTRICITÉ. Le grand principe de l'équivalence des forces physiques qui a fourni les si curieux appareils étudiés à l'article EQUIVALENT MÉCANIQUE de l'électricité, les machines électro-magnétiques et magnéto-électriques, doit trouver sa vérification dans des appareils permettant la conversion de la chaleur en électricité. Les phénomènes qui vérifient ce principe, dits thermo-électriques, appartiennent à la science depuis les expériences de Seebeck, qui datent de 1821, mais pendant bien des années ils n'ont pu fournir de résultats industriels, les générateurs thermo-électriques ne rendant, en électricité, qu'une proportion très-petite de la chaleur dépensée.

Un important progrès, une nouvelle disposition de la pile thermo-électrique a singulièrement rapproché du but à atteindre, et un appareil de laboratoire est devenu un appareil d'atelier.

Nous parlerons d'abord des phénomènes en jeu dans ce genre d'appareils et des lois constatées par les physiciens.

L'expérience fondamentale de Seebeck était celle-ci : on forme un rectangle métallique, à l'aide d'un barreau de bismuth soudé par ses extrémités à une lame de cuivre; dans l'intérieur on place une aiguille aimantée et tout le système est amené dans le méridien magnétique.

Si l'on chauffe l'une des soudures, la déviation de l'aiguille indique la production d'un courant électrique ; si l'on chauffe l'autre soudure, le courant change de sens, comme le montre la déviation inverse de l'aiguille.

Becquerel a montré que la production d'électricité par la chaleur apparaissait dès qu'il n'y a pas symétrie dans un conduit métallique, au point de vue de l'état moléculaire de la substance conductrice dont il est formé. Il le prouve par l'expérience suivante :

Un fil de platine est relié par ses deux extrémités aux pôles d'un galvanomètre; on forme une spirale en tordant une partie de la longueur de ce fil, et on chauffe le fil d'un côté de la spirale, à l'aide d'une lampe à alcool. La spirale produisant une résistance, un courant électrique se manifeste dans le galvanomètre.

Il suit de là qu'on établira un *couple thermo-électrique* en soudant l'un à l'autre deux métaux différents. En mesurant les effets obtenus avec les divers métaux, on les a rangés dans l'ordre suivant: antimoine, fer, zinc, or, plomb, étain, argent, platine, bismuth; chaque métal étant positif, par rapport à celui qui le suit et négatif par rapport au précédent.

L'antimoine et le bismuth étant placés aux deux extrémités de l'échelle, devaient être les éléments de la pile la plus énergique et ont été en effet seuls employés tant qu'on n'a pas songé à faire usage que des métaux purs. Pour accroître les effets, on multiplie les éléments, on forme une chaîne thermo-électrique, à laquelle on a donné une forme commode pour lui faire tenir peu de place et chauffer en même temps les soudures de rang impair, en les rapprochant de manière à en faire un cube maintenu par une monture en cuivre. C'est avec ces éléments que Melloni et Nobili construisirent leur appareil électrique, de la plus admirable sensibilité pour reconnaître les moindres traces de chaleur, mais absolument insignifiant comme producteur d'électricité.

Théoriquement, cependant, le problème de la conversion de la chaleur en électricité paraît très-soluble, si l'on parvient à bien déterminer scientifiquement les conditions auxquelles il faut satisfaire.

On peut trouver une grande analogie entre les phénomènes électro-thermiques et les phénomènes calorifiques, ainsi que l'a montré Clausius dans des recherches qui l'ont conduit à assimiler une chaîne thermique à une machine mue par la chaleur. Partant du fait expérimental que d'une part, dans un couple thermo-électrique de bismuth et d'antimoine, le courant passe au point de contact chauffé du bismuth à l'antimoine, et au point de contact refroidi de l'antimoine au bismuth, et que d'autre part un courant extérieur qui traverse le couple anéantit de la chaleur dans la première direction et en produit dans la seconde, il en conclut que le point de contact maintenu chaud correspond à la partie chauffée de la machine à calorique, et le point de contact maintenu froid au condenseur.

Il nous paraît, dit De la Rive, qu'on peut comparer ce qui a lieu dans ce cas avec ce qui se passe avec un fluide élastique. Si on le chauffe, il produit par son augmentation de pression un travail mécanique, mais s'il produit ce travail mécanique par sa simple dilatation, il se refroidit en absorbant une quantité de chaleur équivalente à ce travail. De même si on chauffe le point de contact des deux métaux, il se produit un travail mécanique moléculaire qui détermine un courant; mais si on produit ce même courant autrement qu'en chauffant, il en résulte un travail moléculaire qui absorbe de la chaleur et par conséquent occasionne un refroidissement.

Il demeure évident pour nous, que la propagation de la chaleur n'est qu'un moyen de déterminer des changements moléculaires qui donnent naissance aux manifestations électriques, comme la propagation de l'électricité n'est à son tour qu'un moyen de produire des perturbations dans l'état des particules, qui entraînent une rupture dans l'équilibre de la température.

On voit, en poursuivant dans cette voie, combien les phénomènes thermo-électriques sont propres à faire comprendre comment la chaleur se convertit en électricité et l'électricité en chaleur. Nous n'insisterons pas davantage sur ces considérations purement théoriques et passerons à la description des appareils qui font passer les piles thermo-électriques dans la pratique des ateliers, résultat immense, même théoriquement, car leur vulgarisation, leur construction et leur maniement par une foule de personnes conduira bientôt à perfectionner ces appareils, c'est-à-dire à la production très-économique de l'électricité par la conversion presque intégrale de la chaleur en électricité.

C'est en abandonnant les métaux purs, en employant des sulfures, des oxydes et enfin des alliages que l'on s'est avancé vers le succès.

Becquerel avait reconnu qu'un couple formé de cuivre pur et de cuivre sulfuré à sa surface donnait un courant plus intense que les couples purement métalliques. Plus tard, Bunsen expérimenta le couple formé par de la pyrite de cuivre et un alliage d'antimoine et d'étain, et obtint des résultats très-supérieurs à ceux connus auparavant.

M. Ed. Becquerel reprit l'étude de l'emploi des sul-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fures métalliques. Il reconnut que la faculté thermo-électrique des corps est exclusivement dépendante de leur état physique, observation remarquable qui ouvrait la voie qui devait conduire au succès. Le couple maillechort et sulfure de cuivre chauffé vers 5 à 600 degrés équivaut à 1/4 d'un couple à sulfate de cuivre.

MM. Mure et Clamond trouvèrent avantage à remplacer le sulfure de cuivre par le sulfure de plomb, par la galène et surtout combinèrent leur heureuse disposition des couples en couronne, autour de la source de chaleur, sur laquelle nous revenons ci-après. Le sulfure de plomb se grille un peu moins rapidement que le sulfure de cuivre, mais la destruction ne tarde pas longtemps. Cette difficulté a disparu dans l'appareil dont il nous reste à parler.

La propriété la plus remarquable des piles thermo-électriques, dit M. du Moncel, est la grande constance des courants qu'elles fournissent. Cette propriété a été utilisée, dès l'origine, dans les recherches de Pouillet sur les lois des courants électriques, dans celles de Melloni sur la polarisation que la chaleur éprouve lorsqu'elle traverse certaines substances ; plus tard, Becquerel s'en est servi pour constater et observer de loin la température des lieux inaccessibles.

Les effets de grande énergie ont été obtenus par M. Edmond Becquerel, en employant le maillechort accouplé avec un mélange de nickel et de cadmium, et c'est de cette manière que sont faites les piles de ce genre fabriquées par M. Rumkorff. La disposition qui permet d'employer des températures élevées est due à M. Farmer, de Boston, qui fit voir deux de ses modèles à l'Exposition universelle de 1867. Elle a été adoptée et considérablement améliorée par MM. Clamond et Mure, quand ils présentèrent à l'Institut, en 1869, une pile formée de sulfure de plomb, ou galène, et de fer, qui donnait des effets intenses, mais qui n'avait ni solidité, ni durée, ni constance, à cause du grillage et du fendillement de la galène.

M. *Clamond* a repris seul la solution de ce problème, et, abandonnant la galène, il est revenu à l'emploi des alliages métalliques qui lui ont permis de construire un appareil d'une stabilité et d'une durée remarquables. Il a conservé toutes les dispositions dont l'expérience avait démontré les avantages; il a continué à prendre le fer pour l'un des éléments, et il a formé l'autre élément d'un alliage d'antimoine et de zinc. Pour avoir une marche constante et empêcher l'augmentation graduelle de résistance intérieure, il fallait s'opposer à l'oxydation des contacts des lames polaires, et empêcher le fendillement et la séparation du barreau en différentes parties par des plans perpendiculaires à sa longueur. La première condition a été remplie par un plissement de la lame de fer, qui présente au contact la forme d'une ou plusieurs charnières, lesquelles, lors de la coulée de l'alliage, sont prises dans la masse fondue et enveloppées de métal. La deuxième condition a été réalisée en coulant l'alliage, lorsqu'il est à une température peu supérieure à celle de sa solidification, dans un moule échauffé près du point de fusion. On s'oppose ainsi à une tendance vers la cristallisation qui produirait des fissures ou plans de clivage, suivant lesquels la masse tendrait à se diviser.

Cette pile, représentée dans la figure ci-contre, se compose de cinq couronnes annulaires superposées, dont chacune couvre une surface de 7 décimètres carrés ou en tout 35 centimètres carrés. Chacune d'elles contient dix éléments du poids de 200 grammes qui sont groupés en tension, et sont séparés par des lames d'amiante. Ces couronnes peuvent être réunies en tension ou en quantité, suivant les besoins; trois d'entre elles équivalent à un élément de Bunsen de $0^m,18$ de hauteur; ce générateur a donc une force électro-motrice qui est à celle d'un élément de Bunsen comme 5 est à 3. M. *Clamond* fait, suivant les besoins, des éléments de poids très-différents, depuis 50 grammes jusqu'à 4 kilogrammes, et il a reconnu, par expérience, que la

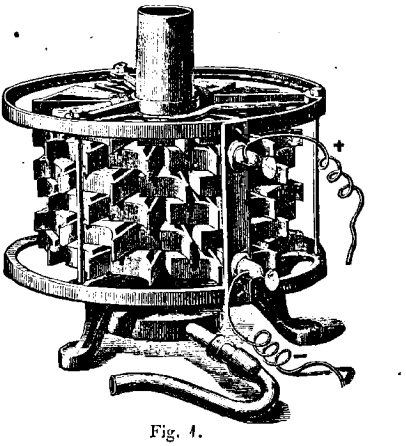


Fig. 1.

quantité de cuivre déposée par l'action du courant est proportionnelle au poids des éléments.

La chaleur est produite par un tuyau central en terre réfractaire, percé de trous. Le gaz, mélangé à l'air, sort de l'intérieur de ce tuyau, et vient brûler dans la surface annulaire comprise entre le tube et les barreaux. La dépense de gaz est constante et fixée par un régulateur.

Cet appareil fonctionne d'une manière régulière dans plusieurs ateliers de galvanoplastie, et, en dépensant 170 litres de gaz à l'heure, valant, environ, 5 centimes, il fait déposer 20 grammes de cuivre par heure. Le prix du dépôt est ainsi de 2 francs 50 centimes par kilogramme. Ce générateur d'électricité est remarquable par sa constance; une fois installé et réglé, il marche pendant des mois entiers, sans entretien ni surveillance aucune.

THERMOMÈTRE. On nomme ainsi les instruments destinés à mesurer les températures. La notion de température est surtout fondée sur la constatation d'effets produits par la chaleur dans une circonstance déterminée. La dilatation des corps étant l'effet le plus facile à constater, c'est sur la mesure de celle-ci qu'est fondé le thermomètre.

La régularité de la dilatation des gaz fait que le plus exact de tous les thermomètres est le thermomètre à air, mais comme il est d'un usage peu commode, celui généralement employé dans l'industrie, sans nous occuper du thermomètre à air employé seulement pour les recherches scientifiques, se compose d'un tube renfermant un liquide, ordinairement du mercure, quelquefois de l'esprit-de-vin. Par le contact du corps chauffé le liquide du thermomètre se dilate, et c'est la grandeur de cette dilatation qui est prise pour mesure de la température.

Cette notion du thermomètre fera facilement comprendre le but des précautions que l'on doit prendre pour sa construction, et que nous allons exposer en peu de mots:

Le thermomètre est formé d'un tube cylindrique, à l'extrémité duquel est soudé un réservoir contenant une quantité de liquide considérable, relativement à celle qui est renfermée dans le tube, dont le diamètre est très-petit, la dilatation mesurée étant celle du liquide diminuée de celle de l'enveloppe. Pour le remplir de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mercure, on chauffe le réservoir et on plonge l'extrémité ouverte dans un vase renfermant du mercure chaud. A mesure que le réservoir se refroidit, le mercure monte dans l'intérieur du tube, arrive dans le réservoir et le remplit en partie.

Retournant alors le tube, on chauffe le réservoir jusqu'à l'ébullition du mercure, dont la vapeur chasse l'air renfermé dans le tube ; le retirant subitement du feu, on le retourne dans le mercure chaud, qui remplit l'appareil. Enfin, on chauffe encore, pour que le mercure se dilate assez pour atteindre l'extrémité du tube, qu'on ferme alors à la lampe.

Il ne reste plus qu'à graduer le thermomètre. Pour cela, on le plonge dans la glace fondante, et l'on marque le point où le mercure reste stationnaire ; c'est le zéro de l'échelle thermométrique. On le plonge ensuite dans l'eau bouillante, et l'on marque d'un trait le point où s'arrête la colonne de mercure ; ce point est l'autre extrémité de l'échelle. Dans le thermomètre centigrade, cette échelle comprend cent divisions (que l'on reporte au delà des deux points extrêmes). Dans le thermomètre Réaumur, cet intervalle était divisé en 80 parties seulement ; 4 degrés Réaumur égalent donc 5 degrés centigrades.

Les Anglais emploient le thermomètre de Farhenheit, dont l'échelle diffère beaucoup de la précédente. Le zéro du thermomètre centigrade correspond au 30e du thermomètre Farhenheit, et le degré 100 au 212e du même thermomètre. L'échelle au lieu d'être de 0 à 100° est donc de 32 à 212, c'est-à-dire divisée en 180 parties. Or, 180 : 100 :: 9 : 5, donc pour convertir un nombre de degrés Farhenheit en degrés centigrades, il faut en retrancher 32 et multiplier le résultat par 5/9.

Le thermomètre à alcool et le thermomètre à mercure s'accordent nécessairement aux deux points qui ont servi à fixer l'échelle ; dans l'intervalle, ils peuvent s'écarter l'un de l'autre et s'écartent réellement, ainsi que le montre l'expérience. On conçoit en effet que si, dans certaines conditions, le thermomètre à mercure marque 20° par exemple, c'est que sa température correspond à une dilatation du mercure, comptée à partir de zéro, égale à 20 fois la centième partie de sa dilatation totale entre zéro et 100° ; le thermomètre à alcool étant placé dans les mêmes conditions et prenant la même température, rien ne prouve que le liquide différent qu'il renferme doive éprouver aussi une dilatation égale à la même fraction de sa dilatation totale entre zéro et 100 degrés, c'est-à-dire qu'il doive marquer 20° comme le thermomètre à mercure.

On distingue dans les thermomètres deux sortes de sensibilités, qui sont deux propriétés bien distinctes. La première est la propriété de se mettre rapidement en équilibre de température avec les corps environnants : elle dépend surtout de la petitesse du réservoir. La seconde est celle d'apprécier avec exactitude de petites variations de température : elle exige que le degré occupe sur la tige une longueur suffisante pour pouvoir être subdivisée en un certain nombre de parties égales ; un thermomètre satisfera d'autant mieux à cette dernière condition, que son réservoir sera plus gros et sa tige plus capillaire.

Les machines à diviser la ligne droite s'appliquent utilement à la construction exacte des échelles thermométriques.

Thermomètres métalliques. On se sert quelquefois de la dilatation des métaux pour apprécier des températures élevées, sans chercher toutefois à les évaluer en degrés comparables à ceux du thermomètre centigrade. Nous parlons ci-après de cette application aux hautes températures ; mais disons d'abord quelques mots du thermomètre métallique de Bréguet, qui peut être employé pour les températures peu élevées, et dont les indications sont très-promptes par suite de la grande conductibilité des métaux pour la chaleur.

Cet instrument se compose de trois bandes très-minces de platine, or et argent, soudées ensemble et contournées en hélice. L'extrémité supérieure de cette hélice est fixée à une tige métallique ; l'autre porte une aiguille légère qui marche horizontalement sur un cadran. L'inégalité de dilatation fait tordre la bande métallique et, par suite, dérouler l'hélice. Les divisions du cadran indiquent le nombre de degrés.

Pyromètres. Les pyromètres métalliques se composent en général d'une barre d'argent ou de platine, plongée dans le foyer de chaleur et sortant à l'extérieur. Un levier coudé ajusté à une pièce peu dilatable, comme une bande de porcelaine cuite, sur laquelle butte l'extrémité de la barre métallique, et poussé par celle-ci et l'autre branche, indique sur un cadran l'effet produit. On a employé aussi un compas en platine, entre les branches duquel on place une barre qui, en se dilatant, repousse les deux branches.

Il est évident que de semblables instruments ne peuvent être que des moyens de reconnaître si on obtient la température convenable à une opération industrielle, et nullement de la mesurer, ce qui est en effet l'indication habituellement cherchée dans l'industrie. Aussi, le plus souvent, se guide-t-on par l'effet même de la température. Ainsi, pour apprécier si la température d'un four à porcelaine est convenable, on peut retirer de temps à autre des pièces d'essai, sur lesquelles on juge l'action de la chaleur.

Le pyromètre de Wedgwod est fondé sur la propriété de l'argile de se contracter par la cuisson. Il consiste en deux règles de cuivre convergentes entre lesquelles on place une boule d'argile d'une longueur déterminée, dont la longueur diminue en raison de la température élevée à laquelle il est soumis. (V. *Complément*, THERMOMÈTRE.)

THERMOSTAT. Voyez RÉGULATEUR DU FEU.

TIMBRE. Une plaque, un corps en vibration se divise pour ainsi dire toujours en plusieurs parties qui vibrent séparément, indépendamment de la vibration principale. Si les vibrations de ces parties existaient seules, nous aurions un son plus aigu que celui qui correspond à la vibration principale supposée seule. La coexistence des deux modes de vibrations engendre donc un son composé, et l'on peut concevoir un tel son formé d'un grand nombre de sons simultanés, rendus par un même corps sonore, et parmi lesquels le son le plus grave, qui correspond à la vibration principale, domine parce qu'il est plus intense ; on l'appelle le son fondamental. Les cordes surtout se subdivisent avec la plus grande facilité, et suivant une loi très-simple. Les subdivisions sont toujours d'égales longueurs, et les nombres des vibrations secondaires sont des multiples exacts du nombre des vibrations principales ; de sorte que les intervalles des sons supérieurs au son fondamental sont toujours les nombres entiers 1, 2, 3, 4, etc. On appelle ces sons les *harmoniques* du son fondamental.

Toutefois, cependant, tous les sons composés, formés par l'ébranlement d'un corps, ne sont pas formés par les harmoniques de son fondamental. Par exemple, quand on frappe une cloche, l'oreille distingue aisément les sons divers qui sont simplement mêlés. Ce genre de sons n'est pas harmonieux, est désagréable. Celui dans lequel il n'entre que les harmoniques du fondamental est le vrai son musical ; c'est pour lui que doit se définir le *timbre*. L'oreille ne saurait alors reconnaître les sons composants ; tous ces sons se fondent en quelque sorte entre eux, forment un assaisonnement du son fondamental, en lui donnant un caractère tout particulier qui varie avec l'instrument.

On démontre expérimentalement que les notes harmoniques des sons musicaux, loin d'être une illusion de l'ouïe, ont une existence parfaitement réelle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si l'on prend une corde métallique tendue sur une caisse d'harmonie, en l'ébranlant convenablement, nous ferons entendre le son fondamental mêlé avec ses harmoniques. Mais on peut, en variant le mode d'ébranlement, augmenter l'intensité de tel ou tel de ces harmoniques, et alors nous changerons le timbre de ce son fondamental. Par exemple, si on fait prédominer les harmoniques les plus élevés, le timbre ressemblera à celui de la même note rendue par la trompette.

C'est à M. Helmholtz qu'est duè cette belle découverte du timbre, dont la nature était restée complétement obscure jusqu'à lui.

Il résulte de ces expériences que le timbre d'un son est réellement produit par la combinaison de plusieurs notes simples d'intensités différentes, et qui appartiennent à la série harmonique. Cette explication peut sembler contraire au témoignage de nos sens, puisque d'ordinaire nous ne nous rendons pas compte de l'existence de plusieurs notes dans un son musical.

Mais il faut distinguer ici entre la perception ou sensation, qui est complexe, et l'impression que reçoit l'esprit, qui est *une*. Ainsi, l'oreille perçoit bien plusieurs notes, lorsqu'une corde de violon fait entendre le *fa;* mais l'ensemble de ces notes n'éveille en nous que le souvenir d'un *fa* particulier, du *fa* de violon, car nous n'avons aucun intérêt direct à analyser autrement l'impression que nous produit cette note. La physiologie nous offre un grand nombre d'exemples d'illusions tout à fait semblables, ainsi; nous regardons comme des couleurs simples des teintes que le prisme décompose en une infinité de nuances. La théorie de la vision binoculaire montre avec évidence que, pendant toute notre vie, nous voyons doubles tous les objets.

Nous ne nous rendons pas plus compte de la nature complexe d'un son musical que nous ne nous apercevons de la duplicité de l'image d'un objet que nous regardons avec les deux yeux; et c'est cependant cette duplicité qui produit l'impression du relief, ainsi que cela est démontré par les effets du stéréoscope. Le timbre est le relief des sons.

Nous ne sommes accoutumés qu'à distinguer entre eux les sons de différents instruments ou les voix de plusieurs personnes; et dans ce cas, nous avons encore à notre disposition, en dehors du timbre, une foule d'autres caractères distinctifs qui nous facilitent le jugement, par exemple les petits bruits qui précèdent ou suivent la production du son, sa durée, sa force, ses intermittences et ses variations, et d'autres propriétés individuelles. Mais le timbre, en tant que son complexe, n'est décomposé par l'oreille dans ses éléments constitutifs que lorsqu'elle a été formée à cette tâche.

On appelle *fourniture* un jeu d'orgue formé de trois à sept tuyaux d'étain pour chaque note, qui sont accordés dans le rapport des consonnances harmoniques. Les tuyaux de chaque note sont à l'octave ou à la quinte les uns des autres; quelques organiers y font entrer la tierce, surtout ceux d'Italie, qui l'emploient toujours dans leur *ripieno*. Cet assemblage de petits tuyaux résonnant avec les grands et confondant leur son de manière à ne plus produire qu'une sensation douteuse, réuni aux jeux de fond, donne le plein jeu; effet qui donne une idée très-juste de la nature du timbre.

Une des plus remarquables découvertes de M. Helmholtz consiste dans la composition du timbre des voyelles.

Prenez un diapason qui donne *si bémol*$_4$, et tenez-le à la main devant votre bouche; le son est très-faible et vous l'entendez à peine. Prononcez une des voyelles E, I, O, U à voix basse, et le diapason ne s'entend pas davantage. Mais prononcez de même la voyelle A, et le son *si bémol*$_4$ devient très-distinct Évidemment il est renforcé par la résonnance de l'air contenu dans votre bouche. Vous pouvez prononcer un A grave ou un A aigu, et l'effet est exactement le même. Le résultat ne changera pas si l'expérience est faite par une autre personne, quel que soit le sexe et l'âge. Quelle est l'explication de ce singulier phénomène?

Lorsqu'on prononce la voyelle A, le larynx émet un son composé d'harmoniques : le son fondamental peut changer et c'est lui qui détermine la hauteur; mais la bouche se dispose toujours de manière à renforcer le terme de la série harmonique partie de ce son, qui est le plus voisin de *si bémol*$_4$: elle constitue un résonnateur accordé pour cette note, et c'est la résonnance de l'air qu'elle contient alors qui donne au son le timbre de la voyelle A. La vibration des cordes vocales dans le larynx donne la hauteur; la résonnance de la bouche donne le timbre. La grandeur de la bouche n'influe pas, parce que sa résonnance dépend à la fois de l'écartement des lèvres, et du volume d'air qu'elle contient : en diminuant l'ouverture et le volume d'un résonnateur on peut lui conserver la même résonnance.

A chaque voyelle correspond une note spécifique. Ainsi le timbre de O est obtenu quand la bouche est disposée de manière à faire résonner *si bémol*$_3$.

On trouve donc une seconde démonstration du principe de M. Helmholtz dans la synthèse artificielle des voyelles. Imaginez une série de diapasons dont les sons fondamentaux forment une suite de sons harmoniques, qui comprend *si bémol*$_4$. En faisant vibrer simultanément tous ces diapasons, on aura un son composé, dont la hauteur sera celle du son le plus grave de la suite harmonique : si l'intensité du son *si bémol*$_4$ est assez grande pour qu'il prédomine, on aura le timbre de la voyelle A. Comme la même suite renferme *si bémol*$_3$ on pourra au contraire renforcer cette note, et le son composé prendra le timbre de la voyelle O.

Il ne faut pas confondre ces recherches scientifiques avec l'imitation de la voix humaine. Les consonnes résultent de certains bruits dus au mouvement de la langue et des lèvres, ils accompagnent le son des voyelles dans la prononciation des mots. On a cherché à imiter ces bruits à l'aide de membranes et l'on est parvenu à faire entendre les mots papa, maman, assez grossièrement.

TIRAGE. L'emploi industriel des combustibles est très-loin, dans la pratique, de permettre l'utilisation complète de leur puissance calorifique. Prenons pour exemple un des cas les plus avantageux, celui du chauffage d'une chaudière à basse pression. L'expérience apprend que 1 kilog. de houille y produit 6 kilog. de vapeur, soit $650 \times 6 = 3900$ calories, tandis que la combustion *parfaite* de la houille en produit 7050. Il se produit donc une perte de 44 p. 100 dont la majeure partie est utilisée à déterminer le tirage, et la moindre est due au refroidissement du fourneau. Cette perte, nécessaire pour le tirage, qui s'élève à 50 p. 100 pour les chaudières à haute pression, ne peut-elle être diminuée? Est-il dans beaucoup de cas un mode de tirage préférable à l'emploi des cheminées? Telle est la question que M. Grouvelle a traitée dans un article intéressant publié en 1834, dans la *Revue Européenne*, et auquel nous empruntons la majeure partie de ce qui suit, en y ajoutant les résultats de recherches plus récentes.

Nous ne nous occupons dans cet article que du tirage au point de vue de la meilleure utilisation possible du combustible dans les foyers où il est brûlé complétement. Quant aux fourneaux des usines métallurgiques qui dégagent souvent des quantités considérables de gaz combustibles, il est clair qu'il faut employer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ceux-ci à alimenter un nouveau foyer, comme il a été dit aux articles COMBUSTIBLES, FER, etc.

Passons en revue les procédés de tirage qu'il est possible d'employer suivant les cas.

Il y a quatre procédés bien distincts pour établir le tirage dans un fourneau :

1° Par la température élevée et la légèreté relative de l'air brûlé, dont une partie de la chaleur a été seulement utilisée;

2° Par la pesanteur relative de l'air brûlé et complétement refroidi ;

3° Par la puissance d'un jet de vapeur ;

4° Par les moyens mécaniques.

1° *Tirage par la fumée à moitié refroidie.* Ce procédé, le seul qui soit employé jusqu'à présent dans toutes les industries, a le défaut grave de nécessiter une perte considérable de combustible, sur laquelle les remèdes partiels appliqués n'ont eu que bien peu d'influence, car cette perte est la condition même de son existence.

Un bon tirage ne peut en effet être obtenu dans une cheminée qu'autant que les produits de la combustion conservent une température de 350° à 400°; il en résulte une perte de chaleur nécessaire et qu'on ne saurait éviter sans changer de système. Mais ce procédé est d'une application si facile, si éprouvée, si universelle, qu'il doit, dans la plupart des cas, servir de base au système de construction employé. En effet, partout, les appareils de chauffage établis ont été destinés à ce genre de tirage; et pour pouvoir être adoptée dans les ateliers, l'application des autres procédés ne doit pas exiger un changement complet qui serait trop difficile ou trop inquiétant.

C'est sur les modifications à apporter dans les principes et les proportions suivant lesquelles sont établis tous les fourneaux de ce système, qu'ont été dirigés les travaux et les recherches de tous les constructeurs. Il en est résulté des règles assez générales aujourd'hui, pour obtenir les meilleurs résultats possibles dans l'emploi des cheminées. (Voyez CHEMINÉE.)

2° *Tirage par l'air brûlé refroidi.* Ce procédé est très peu connu et n'a encore été l'objet que de tentatives partielles et de quelques résultats heureux de la part de M. d'Arcet. Cependant il peut avoir de très heureuses applications dans des circonstances déterminées, surtout en l'ajoutant à un autre procédé. Il présente en effet cette condition avantageuse, que, au contraire du procédé ordinaire dans lequel on obtient d'autant plus de tirage que l'on perd plus de chaleur, lui, par son principe même, n'admet aucune perte, et que le tirage y est d'autant meilleur que la chaleur développée dans le foyer a été mieux utilisée avant le dégagement de la fumée au dehors.

Avec le procédé ordinaire, il faut employer une quantité d'autant plus grande de chaleur à rendre la colonne d'air brûlé assez légère, pour un bon tirage, que cet air brûlé contenant environ un huitième ou un dixième de son volume d'acide carbonique, serait, à égalité de température, plus lourd que l'air extérieur non brûlé.

Mais dans le système dont il est ici question, c'est l'excès même de poids de l'air brûlé sur l'air frais, à température à peu près égale, que l'on emploie pour produire le tirage. En laissant donc tomber l'air brûlé, et complétement refroidi de l'étage supérieur d'un bâtiment dans une cheminée descendante, l'excès de poids de la colonne d'air brûlé rendu plus lourd par l'acide carbonique qu'il contient, déterminera le tirage, et entraînera une colonne d'air pur à travers le foyer, les appareils et les conduits destinés à absorber la chaleur.

On voit immédiatement qu'en disposant ces appareils, quand le travail à faire et les localités le permettent, de manière que la colonne d'air chauffé et brûlé par le foyer monte et courre ensuite horizontalement aussi longtemps qu'elle est plus légère que l'air extérieur, et qu'au moment précis où elle est assez refroidie pour devenir plus lourde, elle tombe dans la cheminée descendante, adossée au bâtiment, on aura toutes les conditions les plus avantageuses pour obtenir un excellent tirage, sans aucune perte de chaleur.

Dans ce procédé de tirage par l'air froid brûlé, la condition essentielle est de ne pas laisser monter la colonne d'air, dès qu'elle a acquis une densité égale à celle de l'air extérieur, et de ne pas la laisser descendre, avant qu'elle ait acquis cette densité ou une densité supérieure, parce que dans le premier cas, on chargerait inutilement la colonne d'air chaud, et l'on diminuerait sa force ascensionnelle : dans le second cas, on diminuerait le poids et la vitesse de la colonne descendante d'air froid, ce qui de toute façon ralentirait le tirage.

La température à laquelle l'air brûlé à moitié, tel qu'il sort ordinairement des foyers, a une densité égale à celle de l'air pur à 0°, est de 15° à 16° centigrades. Dans la plupart des fourneaux, l'air est plus qu'à moitié brûlé, ce qui le rend plus lourd encore.

Pour que le tirage soit bon, il faudra donc abaisser jusqu'au-dessous de ce point la température de la fumée.

Si la température extérieure de l'air atmosphérique est plus élevée que 0°, l'air sera plus léger, et alors même une différence de 15° entre la température de l'air brûlé et celle de l'air pur compensera l'excès de poids du premier sur le second. A ce degré, l'air, en y comprenant la quantité d'eau produite par l'hydrogène contenu dans le combustible, si le combustible est de la houille, emporte une quantité de chaleur égale seulement à 2 p. 100 de la chaleur totale dégagée par le combustible.

Avec ce combustible, l'eau produite est encore facilement emportée en vapeur par l'air à 15°, sans qu'il y ait aucune condensation dans les conduits. Avec le bois, la perte sera de 3 p. 100, mais 2/3 de la vapeur produite se condenseront dans les tuyaux qui devront être disposés en conséquence ; cette quantité condensée s'élèvera à près de 0^k, 400 environ par chaque kilogr. de bois. Si, au contraire, on voulait éviter cette condensation, il serait nécessaire de ne pas laisser descendre l'air brûlé au-dessous de 42° ou 43°, et la perte de la chaleur par la fumée s'élèverait alors à 12 p. 100 du combustible consommé. A cette température, il n'y aurait plus tirage de haut en bas, parce que l'air brûlé serait plus léger que l'air pur à 0°.

En pareil cas, il serait nécessaire de faire descendre le courant de fumée au dehors, dans un tuyau en tôle ou cuivre, placé autant que possible du côté du nord pour que la vapeur se condense, et l'air se refroidisse jusqu'à 10° ou 12° au moins pour produire le tirage.

Il serait mieux encore d'envelopper le tuyau d'une gaine en bois dans laquelle on ferait passer de l'air dont on se servirait quand il aurait été ainsi échauffé, soit pour la ventilation des ateliers, soit pour fournir à un calorifère ou à un séchoir.

On voit que par ce moyen, si le bâtiment se trouve placé près d'une rivière sur laquelle on puisse jeter cette fumée, on évitera de la verser dans l'air, d'où elle porte souvent sur les terrains environnants des flocons de suie très fâcheux dans plusieurs industries, comme la fabrication des toiles peintes. On pourrait alors condenser ainsi toute la suie.

En résultat définitif, on voit que le tirage par ce procédé ne coûterait que 3 à 4 p. 100 du combustible consommé.

3° *Tirage par un jet de vapeur.* Ce procédé de tirage est connu depuis fort longtemps ; il a été utilisé chez les anciens qui plaçaient au-dessus de leurs foyers une boule de bronze destinée à injecter par un petit orifice un jet de vapeur dans leurs cheminées pour en aug-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

menter le tirage. Vitruve en parle positivement, et il se trouve rapporté dans la *Caminologie* et dans quelques autres ouvrages.

En laissant de côté, pour un instant, son application si capitale aux locomotives, pour d'autres emplois industriels, il était complétement resté inappliqué, lorsqu'il a été employé de nouveau d'une manière remarquable par M. Pelletan, qui ignorait peut-être tous les travaux antérieurs, et qui a saisi avec sagacité le principe de ses effets. Le jet de vapeur produit un vide autour de lui, et appelle ainsi toute la colonne d'air en lui donnant un mouvement rapide de translation; d'où résulte un tirage extrêmement fort dans les carneaux et dans le foyer. Ce phénomène est certainement analogue à celui qui a été observé par M. Poncelet, dans les tuyères des hauts fourneaux. Il a vu, en effet, que la force du courant d'air chassé dans le creuset du haut fourneau est beaucoup plus grande quand le bout du porte-vent est placé à l'entrée de la tuyère, que lorsqu'il y est engagé complétement et qu'il la ferme hermétiquement. Il se produit alors un vide autour de ce jet d'air qui sort avec une vitesse considérable en se dilatant, et entraîne avec lui une grande quantité de l'air environnant. C'est ce que M. Pelletan a fort bien observé dans le cas d'un jet de vapeur, et il s'en est servi pour entraîner l'air d'un cylindre dans un autre, dans une machine à monter de l'eau. Il avait fondé sur cet appel de l'air plusieurs machines ingénieuses, notamment une turbine à vapeur, qui n'a pas donné de résultats pratiquement utilisables.

Cette disposition si importante pour obtenir des combustions rapides, et qui a trouvé une si belle application dans les locomotives, n'offre pas d'avantages au point de vue de l'économie. Il paraît prouvé par l'expérience de chaque jour, que le tirage produit par la vapeur envoyée directement dans une cheminée, et perdue ensuite entièrement au dehors avec la chaleur qu'elle contenait, et à la température encore assez élevée qu'elle conserve, coûte autant, pour le moins, que le tirage ordinaire à l'air chaud; tant par la quantité de chaleur qui la constitue et qui est perdue, que par la perte déjà faite dans la production même de cette vapeur.

Recherches expérimentales sur le tirage par la vapeur. L'application si étendue de ce moyen de tirage aux locomotives, dont il a créé la puissance de vaporisation, a fait naître d'intéressantes recherches sur la mesure des effets produits en raison des divers éléments qui sont à considérer dans chaque cas particulier. Ces éléments sont : la pression de la vapeur, la grandeur et la position de l'orifice de sortie de cette vapeur, la section et la longueur de la cheminée, enfin la grandeur de l'orifice d'entrée de l'air.

M. Zeuner à Zurich, et MM. Nozo et Geoffroy à Paris, ont cherché à déterminer expérimentalement les relations de ces divers éléments en projetant un jet de vapeur sortant d'une tuyère d'orifice variable, dans une cheminée en tôle de position et de dimensions également variables.

Nous donnerons d'abord les résultats obtenus par M. Zeuner.

La longueur de la cheminée paraît indifférente, tant qu'elle ne descend pas jusqu'au triple de son diamètre, auquel cas la vapeur ne la remplit pas assez pour empêcher l'air extérieur de s'y précipiter et de produire des remous latéraux.

Quant à l'écartement du bas de la cheminée et de l'orifice de la tuyère, son influence est à peine sensible tant que la tuyère n'est pas abaissée au point de permettre au jet de vapeur de s'épanouir en une nappe plus grande que la section de la cheminée ; ou bien qu'elle ne soit élevée jusqu'au niveau de la base de la cheminée ou même dans l'intérieur de celle-ci. Alors la dépression intérieure se trouve nulle dans le premier cas, et fort amoindrie dans le second, parce que sans doute la vapeur fait l'office d'un obturateur qui arrête les masses d'air appelées vers la cheminée. M. Zeuner indique, comme le plus convenable, un écartement égal à une ou deux fois le diamètre de la cheminée.

Quant à la relation qui existe entre le tirage et la pression de la vapeur, à l'influence des sections des passages offerts au mouvement de l'air, l'expérience démontre les faits suivants :

La pression de la vapeur variant de 1/4 en 1/4 d'atmosphère depuis 1/4 jusqu'à 2 atmosphères pour une tuyère de 10 millim. de diamètre, et depuis 1/4 jusqu'à 1 3/4 atmosphère pour une tuyère de 14 millim. de diamètre, dans l'une et l'autre de ces circonstances, le rapport des sections de la cheminée et de la tuyère ayant varié depuis 225 jusqu'à 8, dans la boîte ouverte où pénétrait l'air et où se dégageait la vapeur le tirage est proportionnel à la pression de la vapeur, à la différence entre sa force élastique et la pression atmosphérique.

Ce curieux résultat n'est autre chose que la confirmation de la puissance de la machine locomotive en tant qu'appareil en quelque sorte vivant, capable d'augmenter ses efforts, puisqu'elle montre que la production de vapeur croît avec la dépense de celle-ci, employée à la fois à produire le mouvement et à activer la combustion.

La différence entre la pression atmosphérique et la pression du mélange d'air et de gaz dans la boîte à fumée d'une locomotive, dépend des rapports qui existent d'une part entre la section F" de l'entrée de l'air et la section F de la tuyère, et d'autre part entre la section F' de la cheminée et la section F de la tuyère.

Si nous appelons m la valeur du second rapport $= \frac{F'}{F}$

et n celle du premier $= \frac{F''}{F}$ et ξ la différence de pression, la dépression; si nous faisons successivement

$$n = 8,\ 16,\ 32,\ 64,\ \text{etc.}$$

à chacune de ces valeurs correspondra une valeur de m, savoir :

$$m = 12,\ 26,\ 46,\ 91,\ \text{etc.}$$

qui rendra ξ un maximum.

Quant à la valeur de la dépression correspondant aux rapports m et n et à la force élastique de la vapeur, elle est implicitement exprimée dans la valeur de la quantité d'air appelé, et qui peut se déduire soit de calculs que permet la théorie mécanique de la chaleur, en faisant un seul tout de la force vive mécanique et de celle moléculaire qui a la forme de chaleur latente ou spécifique, force vive dont la variation est égale au travail élémentaire de la résultante des pressions qui agissent sur une tranche du fluide, soit expérimentalement à l'aide d'anémomètres placés dans des tubes de diamètres connus, par lesquels on fait passer l'air.

M. Zeuner a déduit de ses calculs les conséquences suivantes :

La quantité d'air appelé décroît proportionnellement à la racine carrée de la pression du jet de vapeur.

A chaque valeur de n correspond une valeur de m pour laquelle la vitesse de l'air est un maximum.

L'étendue de la section F", par laquelle l'air pénètre, a une influence limitée sur le tirage; celui-ci croît d'abord proportionnellement à cette ouverture, puis moins rapidement jusqu'à n'éprouver aucune variation. Ainsi pour $m = 8$ et 16 qui sont les valeurs les plus caractéristiques dans les limites des expé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

riences, la masse d'air appelé ou le tirage cesse d'augmenter avec n à partir de $n = 2\,m$.

Les expériences de MM. Nozo et Geoffroy confirment les résultats précédents ; nous n'indiquerons que ceux particuliers auxquels ils sont parvenus.

1. Une cheminée de section donnée produit le tirage maximum lorsque sa hauteur est égale à sept fois son diamètre, et cela quelle que soit d'ailleurs la section de passage des gaz, celle de l'échappement et la pression de la vapeur.

2. Une masse de vapeur dépensée dans un certain temps sous différentes pressions, c'est-à-dire dans la pratique des locomotives *avec différentes sections de tuyères*, et avec la cheminée la plus favorable eu égard à chacune de ces sections, produit un appel proportionnel à la pression : par conséquent d'autant plus considérable que la section de la tuyère est plus petite, ou que la vitesse de la décharge est plus grande.

3. Une tuyère multiple, agissant sur une cheminée tubulaire, devra appeler, à travers une résistance donnée, une quantité d'air égale à celle qu'appellerait une tuyère unique d'une section égale à la somme des sections partielles, appliquée à une cheminée unique d'une section égale à l'ensemble des sections de la cheminée tubulaire, avec cet avantage, qu'il suffit de donner aux tubes de la cheminée tubulaire une hauteur égale à six ou huit fois leur diamètre.

4. Les expériences relatives à la longueur et à la section des cheminées ont porté à croire que le tirage dans les locomotives n'est produit que par l'entraînement de la vapeur et que la direction de la cheminée devait être sans conséquence. C'est ce que l'expérience faite avec des cheminées horizontales a pleinement confirmé ; résultat important dont M. Pétiet a tiré un excellent parti pour la construction des grosses locomotives du Nord à quatre cylindres, en profitant de la place occupée habituellement par la cheminée verticale pour agrandir considérablement la chaudière surmontée par une cheminée presque horizontale.

Recherches de M. Siemens. M. Siemens, dans une série de recherches évidemment inspirées par l'injecteur Giffard, a montré tous les avantages que pouvait présenter une bonne disposition des ajutages pour conduire l'air et la vapeur de manière à éviter des pertes de forces vives utiles par tourbillonnement.

La figure 1 donne une section longitudinale de l'in-

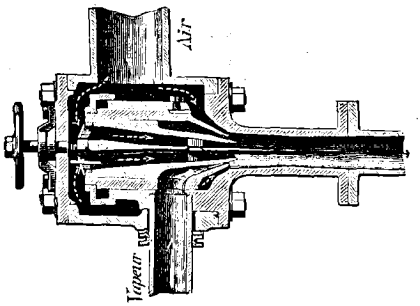


Fig. 1.

jecteur perfectionné; le jet de vapeur très-mince a la forme d'une colonne cylindrique, vide à l'intérieur, et qui s'échappe d'un orifice annulaire formé par les deux tuyères coniques, entre lesquelles la vapeur est amenée par un tuyau qu'elles enveloppent. La tuyère intérieure peut être avancée ou reculée au moyen d'une vis à main, ce qui permet de diminuer ou d'augmenter la section de l'orifice, et de régler à volonté la sortie de la vapeur. L'air — ou le gaz — sur lequel la vapeur doit agir est introduit par le tuyau supérieur, au moyen d'un second orifice également annulaire qui entoure le premier, et aussi par la partie centrale de l'appareil restée creuse à cet effet. Le tuyau dans lequel se fait l'injection de la vapeur affecte, à la partie inférieure, la forme conique, de façon à former, avec la tuyère extérieure, un troisième orifice annulaire, capable de faire converger l'air très-rapidement vers l'axe du tuyau, au moment de son passage, et dont on règle la section en ajustant convenablement la tuyère, au moyen d'un écrou fixé à sa partie inférieure. Au delà de l'orifice du nez des tuyères, le tuyau conserve encore une forme légèrement conique permettant de maintenir la convergence déjà indiquée, sur une longueur qui varie avec la section de l'orifice annulaire extérieur dont nous venons de parler, et aussi avec la pression de la vapeur employée; la longueur la plus favorable est comprise entre douze et vingt fois la largeur de l'orifice en question. Le but que l'on se propose est, en adoptant cette disposition, d'assurer le mélange complet de la vapeur et de l'air dans cette chambre; au delà, et jusqu'à son extrémité, le tuyau augmente constamment de diamètre, en prenant une forme parabolique. Quelquefois, pour empêcher la production d'une sorte de tourbillonnement au milieu des courants qui se combinent, on place au centre de la tuyère intérieure une sorte de fuseau terminé en pointe.

Fig. 2.

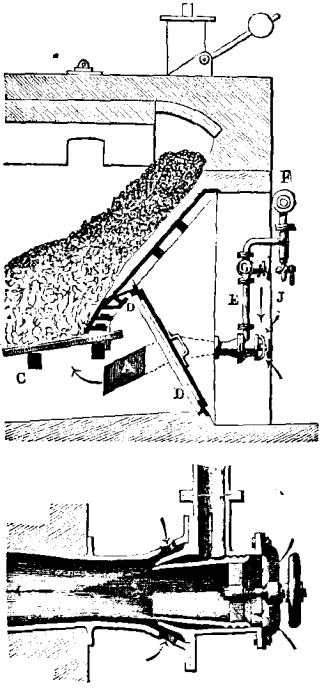


Fig. 3.

L'ensemble de ces dispositions permet d'obtenir un effet utile bien plus grand dans les diverses applications que l'on en a vues.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une longue série d'expériences faites avec un injecteur ainsi établi, tantôt pour l'aspiration, tantôt pour la compression de l'air, a conduit l'inventeur aux conclusions suivantes:

1° La quantité d'air que débite, par minute, un injecteur dépend, pour une tension déterminée de vapeur, de la surface de contact ménagée entre l'air et la vapeur;

2° La perfection du vide obtenu et l'intensité de la pression atteinte dépendent de la tension de la vapeur employée, toutes choses égales d'ailleurs.

Le tableau ci-après donne quelques résultats obtenus avec l'appareil employé encore comme *aspirateur* pour faire le vide dans un récipient clos mesurant 6^{mc},378. Les quatre dernières colonnes montrent le vide produit, évalué en millimètres de mercure, tandis que la première colonne fait connaître le temps pendant lequel l'aspirateur a continué son action. La pression de la vapeur dans la chaudière était de 3^{k},24 par centimètre carré, et la section de l'orifice annulaire livrant passage à la vapeur variait de 32 à 129 millimètres carrés.

DURÉE DE L'OPÉRATION	Section de l'orifice annulaire de l'injecteur en millimètres carrés.			
	32	65	97	129
Minutes.	Vide estimé en millimètres de mercure.	Vide estimé en millimètres de mercure.	Vide estimé en millimètres de mercure.	Vide estimé en millimètres de mercure.
1....	223	254	235	216
2....	331	343	343	343
3....	368	380	413	400
4....	394	394	438	432
5....	400	402	457	451
6....	»	»	470	464
7....	»	»	476	470

M. Siemens a proposé plusieurs applications de son soufflleur; nous citerons ici celle qui nous paraît la plus intéressante.

Soufflerie des fours Siemens. L'auteur a eu occasion d'employer fréquemment l'injecteur comme soufflet pour accélérer la distillation du combustible dans ses fours à gaz, comme le montrent les figures 2 et 3.

L'appareil soufflant est placé dans un des murs latéraux du four, et le courant combiné d'air et de vapeur qui en sort se rend par l'ouverture A dans l'espace C qui se trouve au-dessous de la grille du foyer et est fermé par les portes D. La petite quantité de vapeur qui entre avec l'air est juste suffisante pour faciliter la production de gaz combustible : en passant à travers le combustible incandescent, elle se convertit en hydrogène et en oxyde de carbone. La vapeur est amenée à l'injecteur par la conduite E qui se détache d'une conduite maîtresse F, approvisionnant un certain nombre d'appareils destinés à toute une série de fours. Une soupape G est ménagée dans la conduite E pour fermer le passage à la vapeur vers les injecteurs qui ne sont pas en service, et un petit robinet sert à se débarrasser de l'eau qui pourrait se former dans la conduite par condensation.

Ces soufflleries appliquées à la production du gaz ont présenté les avantages suivants : elles permettent l'emploi de la poussière de charbon de la plus mauvaise qualité; en même temps elles doublent la production du gaz de chaque four consumant ce combustible pauvre; enfin elles améliorent la qualité du gaz par la production de l'hydrogène que forme la vapeur d'eau mélangée à l'air.

4° *Tirage par les procédés mécaniques.* Le quatrième procédé de tirage est le tirage mécanique dans lequel la vitesse est imprimée à l'air par une machine mue soit par un cours d'eau, soit par une machine à vapeur, soit par un moteur animé. Deux systèmes de machines y sont employés : les soufflleries à piston, et les ventilateurs qui ne doivent l'être en général que quand la pression à laquelle on a besoin de travailler n'est pas considérable.

Il est bien reconnu aujourd'hui que la vitesse à imprimer à l'air qu'exige la combustion d'une quantité donnée de combustible coûte théoriquement plus cher quand on se sert pour la lui imprimer du combustible même, comme d'habitude, que quand on emploie un moteur convenable, quand son emploi est possible. Clément et Péclet l'ont clairement démontré.

Les *machines soufflantes* ne sont pas employées en général pour économiser les dépenses de tirage, mais bien pour donner à celui-ci une grande énergie qui détermine une combustion très-active et par suite produit la chaleur nécessaire aux opérations industrielles. Mais elles pourraient être employées, et celles qui ne consomment pas un trop grand travail en résistances passives le sont quelquefois, pour obtenir une économie dans des cas où le refroidissement de la fumée peut être obtenu utilement comme pour chauffer l'eau des bains, ou l'air des ateliers, ou pour produire la ventilation des mines, etc.; car il est évident que si la fumée devait sortir à 300°, il n'y aurait rien de mieux à employer qu'une cheminée, puisqu'à cette température le tirage physique y a lieu sans dépense accessoire.

Il est facile de montrer la supériorité du mode de tirage par procédé mécanique, dans des cas où il est applicable, sur le tirage obtenu par la chaleur. Soit à faire passer à travers un fourneau la quantité d'air nécessaire pour brûler 60 kilog. de houille par heure, soit 960 mètres cubes d'air; il suffira, avec un ventilateur, d'employer la force d'un homme ou le sixième d'un cheval-vapeur, qui ne coûte pas en houille brûlée plus de 1/2 kil., tandis qu'avec le procédé ordinaire le tirage coûterait 25 à 30 kil. de houille.

Aux bains Vigier, à Paris, un homme faisant tourner un ventilateur, aspirant les produits de la combustion qui traverse l'eau destinée aux bains, suffisait pour faire brûler par heure 85 kil. de bois équivalant à peu près à 42 kil. de houille; ce qui correspond à peu près aux résultats susénoncés et montre que le tirage mécanique ne coûte pas plus de 1 p. 100 du combustible.

Remarquons qu'il est plus économique au point de vue du travail de lancer l'air plutôt que de l'aspirer, puisque dans le premier cas c'est l'air froid qui est envoyé dans le foyer, tandis que dans le second ce sont les produits de la combustion qu'il s'agit d'aspirer, c'est-à-dire un volume beaucoup plus grand, par l'effet de la chaleur, d'acide carbonique, d'azote et d'oxygène ayant échappé à la combustion.

TIROIR. Voyez DÉTENTE et MACHINE A VAPEUR.

TISSAGE (*angl.* weaving, *all.* Weberei). Le tissage, envisagé dans l'ensemble des moyens mis aujourd'hui en usage pour produire des étoffes de tout genre, est devenu un des arts industriels les plus difficiles et les plus compliqués.

Desmarets, dans un intéressant et savant mémoire adressé à l'Académie des Sciences, sur les tissus trouvés dans des tombeaux, distingue trois époques tranchées dans l'histoire des progrès du tissage.

La première signale l'établissement de plusieurs rangs de lisses sur les métiers horizontaux par les tisseurs grecs d'Alexandrie. La seconde comprend les travaux de l'industrie gauloise, attestés par Pline et Ammien Marcellin. La troisième nous donne ceux de l'industrie française qui a produit les étoffes trouvées dans les tombeaux de Saint-Germain-des-Prés.

Si aux moyens de tissage décrits dans les passages

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que nous venons de citer, nous comparons les métiers à tisser employés de nos jours par les peuplades sauvages, qu'on peut supposer leur avoir été transmis d'âge en âge, on restera convaincu que le système de tissage le plus anciennement pratiqué se rapprocherait le plus de celui que nous connaissons sous le nom de système à *basses lisses*. L'examen attentif d'un métier dont se servent les naturels de l'île Oualan que M. le capitaine *Duperrey*, membre de l'Institut, a rapporté de l'un de ses voyages autour du monde, nous a confirmé dans cette opinion. M. Duperrey, en nous montrant ce métier, a eu l'obligeance de nous faire voir les espèces de ceintures au tissage desquelles il est exclusivement employé (les naturels ne portant pas d'autres vêtements). Nous avons pu admirer le goût des dessins de ces bandes façonnées, ainsi que leur parfaite exécution.

Les progrès contemporains dans l'art du tissage consistent principalement dans l'établissement du travail mécanique pour les étoffes simples et unies, et dans la simplification des métiers qui servent aux tissus ornés. Des améliorations secondaires, qui ne sont cependant pas sans importance, sont venues s'ajouter aux premières et concourir pour leur part aux progrès que l'on remarque dans les différentes parties de l'art du tissage tel qu'on le pratique aujourd'hui.

Notions générales du tissage. Avant de décrire la série des opérations par lesquelles on transforme les fils en étoffes, nous croyons convenable de résumer aussi succinctement que possible la méthode générale du tissage après avoir indiqué les caractères fondamentaux de toutes les étoffes. Cette exposition nous permettra d'aborder plus facilement la classification des tissus et de rendre plus intelligible tout ce que nous aurons à dire dans cet article.

Un tissu, ou une étoffe de nature quelconque, est une surface flexible et élastique de dimensions données, formée par l'entrelacement régulier de fils soumis à une certaine tension et dont la superposition détermine l'épaisseur du tissu.

La liaison des fils de presque tous les tissus (nous indiquerons plus loin ceux qui font exception) s'effectue le plus communément par le croisement de deux séries de fils perpendiculaires entre eux; ceux de la première sont longitudinaux, isolés les uns des autres et tendus parallèlement dans un même plan horizontal ou vertical suivant le système. Les fils de la seconde entrelacent transversalement ceux de la première. On peut les considérer comme un seul fil successivement replié et serré sur lui-même, de manière à remplir graduellement l'espace vide laissé sur toute la longueur des fils de la première série.

Le système des fils longitudinaux a reçu le nom de *chaîne*, celui des fils transversaux est appelé *trame*.

Une seule course de trame égale à la largeur de la chaîne est désignée sous le nom de *duite*; plusieurs duites de couleurs différentes superposées ont reçu le nom de *passée*.

La résistance d'une étoffe à la traction est supérieure à celle de la somme des fils qui la composent.

Elle peut être considérée comme proportionnelle à celle des fils multipliée par le nombre de liaisons ou d'entrelacements nécessaires à sa confection.

L'espace occupé par une étoffe peut être moindre, égal ou supérieur à celui qu'auraient occupé tous les fils qui la constituent, si on les avait rangés régulièrement les uns auprès des autres sans les croiser.

Les causes de ces variations de dimensions dépendent nécessairement de la circonvolution produite par l'entrelacement des fils (1).

(1) Il est bien entendu que nous n'envisageons ici que le changement de dimensions résultant du tissage; ceux qui proviennent du feutrage appartenant à une cause toute différente.

La surface d'un tissu peut varier sur la longueur, ou sur la largeur, ou dans les deux sens à la fois.

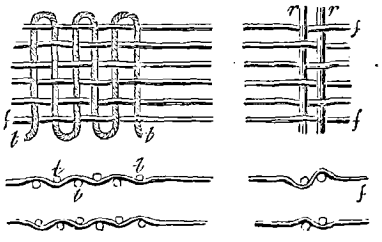
La cause d'allongement provient de la tension que l'on fait subir aux chaînes composées en général de fils élastiques. Le raccourcissement est le résultat du repliement des fils de la chaîne autour de ceux de la trame. L'élargissement provient des espaces vides qui restent entre eux. Le rétrécissement résulte du repliement autour de la chaîne des fils de la trame qui forment en quelque sorte une série d'anneaux occupant une longueur moindre que celle de leur développement. Lorsque l'une ou l'autre de ces causes vient à prédominer dans le tissage, les résultats qui en dépendent se manifestent sur le tissu.

Ces considérations vont trouver leur éclaircissement naturel dans les descriptions qui vont suivre.

Donnons d'abord les moyens les plus élémentaires nécessaires pour produire les étoffes les plus simples.

Pour former un tissu des plus simples soient *f, f, f* une série de fils isolés parallèles entre eux dans un même plan horizontal soumis tous à la même tension et enroulés sur deux cylindres (la figure 2438 représente

2438.



2439.

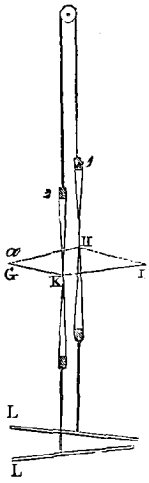
un plan et la figure 2439 une coupe). C'est entre ces fils qu'il s'agit d'établir une liaison intime de manière à les relier pour produire la surface flexible dont nous avons parlé plus haut.

Supposons tous ces fils séparés en deux parties égales : en fils de numéros pairs et en fils de numéros impairs. On passe deux tiges rigides *r, r*, perpendiculairement à la direction des longitudinaux : la première au-dessus de tous les pairs et au-dessous des impairs, et la seconde au-dessus de tous les impairs et au-dessous des pairs, ainsi que l'indiquent les figures. Cette disposition, qu'on nomme *envergure*, permet d'embrasser facilement en même temps tous les fils de chaque moitié de la chaîne, sans avoir besoin de les chercher et sans s'exposer à les mêler. Chaque fil de la chaîne passe dans un nœud ou boucle, ou un petit orifice d'un fil vertical : il y en a par conséquent autant que de fils dans la chaîne. Tous ceux correspondant aux fils pairs horizontaux, sont réunis à leurs deux extrémités. L'ensemble de ce système se nomme une *lisse* ou *lame*. Il y a de même une lisse pour les fils impairs. Ces dispositions fournissent les moyens de faire baisser ou monter simultanément l'une ou l'autre série, suivant qu'on baisse ou lève la lisse correspondante. On fait mouvoir les deux l'une après l'autre en établissant une communication entre elles au moyen d'une corde qui passe sur une poulie.

L'une monte pendant que l'autre baisse. Par ce mouvement les fils de la chaîne prennent la direction indiquée fig. 2440, et forment par conséquent un angle *a* proportionnel au chemin parcouru par la corde de la poulie. Cette corde est commandée elle-même par les leviers ou marches L, L, auxquelles elle est attachée. Les choses étant dans cet état, l'on fait passer un fil dans l'angle perpendiculairement à la chaîne sur toute sa

EFERUS - Recherche & Classification numérique

largeur, et l'on donne ensuite aux lames le mouvement opposé ; c'est-à-dire on baisse les fils qui avaient été levés et on lève ceux qui avaient été abaissés. Le fil en travers se loge dans le sommet de l'angle *a* et remplit complétement un espace égal à son diamètre. Le même angle *a* se reproduit avec la seule différence que les fils, qui dans le premier mouvement en composaient le côté supérieur, en forment maintenant le côté inférieur. On fait passer une seconde duite parallèle à la première et on referme de nouveau l'angle.



2440.

On a alors la disposition de tissu la plus simple et qui est celle de la plus grande partie des tissus. On voit (figure 2438) que la première duite passe alternativement sur tous les fils pairs et sous tous les fils impairs ; la seconde, au contraire, sous tous les fils pairs et sur tous les fils impairs.

La trame est renvidée sur un petit cylindre logé dans un creux de la navette que nous décrirons en détail plus loin.

Mais pour que le tissu ait la résistance voulue, il faut que chaque duite soit bien également serrée dans le sommet de l'angle *a*.

Le serrage régulier qui établit la liaison intime de la duite avec la chaîne s'obtient par le choc qu'on imprime à la première au moyen d'un levier d'une forme particulière, propre à le laisser fonctionner entre les fils de la chaîne et qu'on nomme *battant*. (La description du battant trouvera sa place lors de celle des métiers à tisser.)

Il suffit de répéter les deux mouvements de la chaîne, d'avoir soin de fournir la duite nécessaire et de la serrer convenablement par le choc pour former un tissu. Il est facile de voir que dans l'étoffe qui résulte des croisements que nous venons d'indiquer, les deux surfaces présentent exactement la même apparence ; nous donnerons pour exemple la toile, la plupart des cotonnades, des lainages et des taffetas. Il ne serait d'ailleurs pas possible de donner un aspect différent au tissu résultant des entrelacements en se bornant à diviser tous les fils de la chaîne en deux parties égales dans les lisses. Les moyens seront moins limités lorsqu'on poussera cette division plus loin et qu'on augmentera proportionnellement le nombre de lames.

Nous verrons, en traitant des *armures*, les effets variés que l'on peut obtenir par les divisions des fils de la chaîne convenablement combinées.

Tous les tissus formés par des chaînes et des trames nécessitent l'intervention des éléments que nous venons d'indiquer ; mais ils doivent être modifiés suivant la nature des fils que l'on emploie et le genre de tissu que l'on veut produire.

Les caractères fondamentaux à distinguer dans une étoffe sont la *force*, la *régularité* et l'*élasticité*.

La force d'une étoffe dépend de celle des fils qui la composent, de leur roideur et de leur quantité.

La régularité est une conséquence de l'homogénéité des fils, du bon ordre, de leur disposition et de l'application convenable des forces de traction auxquelles ils sont soumis.

L'élasticité provient de celle naturelle des fils suffisamment ménagée. Elle peut être égale sur les deux dimensions ou prédominante sur l'une ou l'autre, suivant que la quantité relative de chaîne ou de trame sera prédominante ou que la tension diminuera sur l'un ou l'autre élément. Il résulte de ces principes que, toutes choses égales d'ailleurs, *la tension à donner aux fils d'un tissu doit être proportionnelle à la force qu'il doit avoir*, puisque de son degré dépend la quantité de fils que peut contenir l'unité de surface. Remarquons que cette tension est une conséquence : 1° de celle que l'on exerce par traction sur les fils longitudinaux de la chaîne ; 2° de celle à laquelle est soumis le fil de la trame. Cette dernière est la résultante : 1° de l'impulsion donnée au fil par la navette ; 2° du choc qui lui est imprimé par le battant. Ces éléments qui agissent sur la chaîne et la trame doivent augmenter et diminuer dans un même rapport. L'importance de l'action uniforme et constante de ces forces sur les fils pendant toute la durée du tissage est évidente, car on ne saurait la diminuer ou la ralentir sans qu'une irrégularité ne se manifestât aussitôt sur l'étoffe.

Il est évident aussi que la grandeur de l'angle ou ouverture de la chaîne à chaque coup de navette prise au moment où le battant vient serrer la duite, doit être d'autant moindre que le tissu doit acquérir plus de force et de roideur. On dit que l'on travaille *à pas clos* ou *à pas ouvert* suivant que les fils de la chaîne forment un angle aigu ou obtus.

Si maintenant, au lieu de fils de même nature, on en emploie de natures différentes, les tensions doivent être proportionnelles à la force et à l'élasticité des fils et généralement en raison directe de leur finesse, puisqu'ils renferment d'autant plus de matière et sont d'autant plus forts que leurs numéros sont plus élevés.

Il est très difficile dans l'état actuel de la science d'indiquer d'une manière absolue les efforts de traction qu'il faut faire subir aux fils et par conséquent les poids qui doivent charger la chaîne et le battant. L'ouverture de la chaîne la plus convenable, la nature des fils, leur finesse et leur perfection, ainsi que le mode de croisement, étant très variables, c'est par l'expérience seulement que l'on peut déterminer ces éléments dans les différents cas qui peuvent se présenter ; théoriquement on peut simplement faire comprendre les inconvénients qui résulteraient si l'on ne restait pas dans des limites convenables. Une tension trop forte de la chaîne troublerait l'élasticité des fils, les affaiblirait et pourrait déterminer des ruptures. Elle ne devra même dans aucun cas atteindre la limite de leur ténacité, car dans le tissage, ils sont exposés à des mouvements brusques et à des frottements sensibles qui diminuent par conséquent leur force. Il est donc important de ne la pas pousser au-delà du degré nécessaire, pour obtenir la roideur, la solidité du tissu, et en même temps, pour ne pas dépenser un travail inutile. La pression exercée contre la trame par le battant et par conséquent son poids doit varier également suivant la force à donner aux étoffes. D'un poids trop fort résulterait une pression, et par suite un raccourcissement des fils de la chaîne trop grand. Une trop faible tension de la chaîne, ou un poids insuffisant du battant, produirait des tissus creux, qui n'auraient ni la roideur ni la solidité convenables.

Les variétés d'étoffes sont si nombreuses, les noms que le commerce leur donne sont si arbitraires et si étrangers à leurs caractères et aux moyens de fabrication, que nous avons cru devoir tenter une classification qui nous permît de ranger dans quelques groupes principaux tous les tissus, et de réunir dans le même groupe ceux qui sont produits par des moyens identiques, indépendamment de la nature de leurs fils.

Nous sommes loin de nous faire illusion sur le mérite de la classification que nous avons adoptée, et alors qu'on ne lui attribue pas une portée plus grande que celle que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous avons entendu lui donner nous-mêmes, il est nécessaire d'expliquer notre pensée en quelques mots.

Nous n'avons pas eu la prétention de substituer une nomenclature nouvelle et rationnelle à celle dont le commerce a l'habitude de se servir. Le plus souvent on donne aux étoffes des noms bizarres ou des noms célèbres empruntés aux hommes, aux choses ou aux événements, et qui ne sont quelquefois pas complétement étrangers au débit des produits, et cela suffirait peut-être pour que l'on refusât d'accepter une innovation. Nous avons seulement voulu établir des distinctions positives entre les classes de tissus formés par des combinaisons d'entrelacement de fils qui présentent des apparences tranchées, ranger dans les mêmes groupes tous les tissus engendrés de la même manière et arriver à donner une idée exacte des moyens employés à former un tissu déterminé.

Cette classification pourra, en quelque sorte, et toutes choses égales d'ailleurs, servir de guide dans l'appréciation de la valeur intrinsèque d'une étoffe. En effet, la véritable valeur de celle-ci consiste dans les propriétés et les qualités de la matière première, ainsi que dans les caractères extérieurs qu'elle présente. Or, les propriétés d'une matière dépendant de sa nature peu variable, et sur laquelle il est en général impossible de se méprendre, il n'y a donc pas d'importance à comprendre ces propriétés dans une classification générale.

Les qualités d'une même matière première au contraire étant très variables et ne pouvant être appréciées que par une longue expérience, il serait difficile de les faire entrer comme bases dans une classification théorique; les deux premiers éléments doivent donc en être exclus. Il n'en est plus de même des caractères extérieurs que présentent les étoffes. Ils dépendent d'une part de la nature des fils employés et de l'autre des systèmes d'entrelacement adoptés pour en établir les liaisons entre ces fils. Celles-ci ont donc le double but de former le corps du tissu, de lui donner sa solidité et de présenter des combinaisons d'entrelacement, telles que le tissu offre à l'œil l'aspect le plus flatteur. L'influence que peuvent avoir les différents modes de croisement sur cette apparence est surtout très sensible dans les étoffes brillantes, telles que les tissus de soie.

Les systèmes de croisements de fils usités, et avec lesquels l'industrie est familiarisée, sont très nombreux et peuvent considérablement varier encore; mais ils dérivent tous de quelques combinaisons qui peuvent être clairement définies, et auxquelles toutes nouvelles pourront être ramenées. Mais aussi bien que les modes de liaisons, le nombre d'assemblages de fils employés dans une trame est variable. Dans les tissus unis les plus simples, on ne se sert ordinairement que de deux systèmes de fils, d'une trame et d'une chaîne; mais à mesure qu'on veut obtenir des étoffes plus riches, ou qui doivent présenter des effets plus variés et plus élégants on fait usage d'un plus grand nombre de systèmes, tantôt dans l'un ou dans l'autre sens, tantôt dans les deux à la fois. Ces additions ont lieu pour certains genres de tissus sur toute leur surface; pour d'autres, sur une partie seulement, comme nous le verrons plus loin.

Le mode de liaison des différents systèmes de fils entre eux, quel que soit d'ailleurs leur nombre, est également déterminé par quelques règles fondamentales. Comme la complication des combinaisons, ainsi que le nombre de systèmes usités sont en général proportionnels à la valeur des étoffes, il est rationnel de prendre ces éléments pour base principale de notre classification. Elle se trouve ainsi établie sur quelques principes pour ainsi dire immuables, dont la combinaison plus ou moins compliquée peut, en quelque sorte, dans la plupart des cas, déterminer la valeur relative des tissus. En effet, elle indique le degré de travail qu'une étoffe aura subi au tissage, et qui est ordinairement en raison de la valeur même de la matière employée.

CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES TISSUS (1).

Envisagés sous le point de vue de leur constitution élémentaire seulement, tous les tissus peuvent être rangés en trois grandes classes :

1° *Les tissus à corps plein, à fils serrés et rectilignes;*
2° *Les tissus à jours et à fils mixtilignes;*
3° *Les tissus à mailles et à fils curvilignes.*

Les tissus de la première classe sont formés par des systèmes de fils qui se croisent invariablement à angles droits, et ne laissent entre eux que des espaces imperceptibles à l'œil nu. C'est la classe la plus riche en genres et en variétés; elle comprend depuis la toile à voile la plus grossière jusqu'aux magnifiques *moquettes anglaises*, produites à l'aide des artifices et des combinaisons les plus compliquées du tissage. Ces variétés peuvent se distinguer en cinq genres différents :

Tissus du premier genre. Le premier renferme tous les tissus unis qui peuvent se produire à la marche, par conséquent toutes les espèces qui peuvent être formées par les diverses combinaisons de couleurs, de reflets, de croisements ou d'armures. A l'aide d'une chaîne et d'une trame seulement, les modes d'entrelacement de ces deux systèmes sont limités par le nombre de leviers ou marches, et par conséquent par celui des lames qui leur correspondent. Les effets obtenus au tissage, subordonnés au soulèvement et à l'abaissement simultanés d'une série de fils de chaîne, se bornent par cette raison aux combinaisons simples, dont les figures les plus compliquées seraient formées de lignes droites de grandeurs assez sensibles.

Dans ce genre, nous placerons toutes les étoffes exécutées pour les armures fondamentales, la toile, les draps unis ou croisés, les calicots, les cotonnades de toutes sortes, les taffetas, les serges, les satins, les coutils, les rayés quelconques, les damassés, etc. Ces variétés de tissus ne présentent de différences que dans les modes de croisements des deux systèmes de fils.

Deuxième genre, tissus doubles. Ce genre se distingue très facilement du précédent et de tous les autres par la présence de deux chaînes. Il renferme des étoffes analogues aux mèches et à celles présentant deux surfaces d'aspect différent, les velours unis, coupés ou frisés, les peluches et en un mot tous les tissus ayant deux fils superposés en longueur. Le caractère distinctif de ce genre étant très tranché, nous n'avons pas à y insister. On peut y distinguer plusieurs variétés, depuis les étoffes à deux jusqu'à celles à quatre et cinq chaînes.

Troisième genre. Nous rangerons dans celui-ci les tissus formés d'une trame et d'une chaîne seulement, et dont les fils produisent des figures quelconques, des sphères parfaites aussi bien que des lignes droites, et avec lesquels on peut opérer comme avec autant de points qui n'auraient que leur grosseur. L'exécution des tissus de ce genre nécessite des moyens mécaniques nouveaux pour faire mouvoir les fils isolément, et non plus par série comme avec les lames. C'est ce résultat que réalisaient les anciens métiers à la tire, le métier plus récent de Vaucanson, et qu'a atteint surtout le métier à la Jacquart.

Toutes les étoffes façonnées ordinaires, dont les fils forment en même temps le fond et le liage, soit dans les cotonnades, les lainages de fantaisie ou la soierie s'obtiennent de cette façon et appartiennent, par conséquent, au troisième genre.

(1) Nous avons pensé qu'il était convenable de placer cette classification en tête de l'article *tissage*, comme introduction naturelle, afin de ne pas scinder nos descriptions; nous supposons cependant que nos lecteurs ont déjà pris connaissance de ce qui suit concernant le tissage.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quatrième genre. Ce genre se compose des tissus des genres précédents perfectionnés : au lieu d'en former le fond et le liage par une seule duite, on chasse ou superpose deux duites, l'une destinée à former le fond ou le corps du tissu, l'autre le liage du dessin avec le fond. Ce travail, qui est surtout celui appliqué aux beaux châles français, aux riches étoffes pour meubles, fait disparaître les inégalités d'épaisseur qu'on peut observer dans les tissus du troisième genre.

Ce genre exige généralement les combinaisons des aiguilles de la Jacquart et des lames. Nous l'avons classé à part parce qu'il comprend un élément nouveau et important, celui d'un deuxième et quelquefois d'un troisième fil en travers.

Cinquième genre. Nous rangeons dans le cinquième genre les étoffes pour la production desquelles il faut avoir recours à tous les moyens précédents réunis, c'est-à-dire aux lames ou lisses, aux doubles chaînes des tissus unis et au mécanisme de la Jacquart ; les riches étoffes de velours broché, les châles doubles, les plus beaux tapis basses lisses, qu'on nomme la moquette anglaise, en sont les principales variétés (1).

Tissus de la seconde classe à jours et à fils mixtilignes.

Les étoffes de cette classe sont formées d'une chaîne et d'une trame comme les tissus unis ; mais tous les fils de la chaîne ne restent pas parallèles entre eux et également tendus comme dans ceux-ci ; certains d'entre eux, disposés à distances régulières, font une révolution héliçoïde, tantôt autour du fil qui se trouve à leur droite, et tantôt autour de celui de gauche. Ils laissent à la place qu'ils occupaient d'abord un espace libre entre deux duites successives. Ces jours sont, avec la forme qu'affectent les fils, les caractères distinctifs de ce genre. Les gazes, en général, les balzorines, les tarlatanes, sont les principales étoffes de cette classe. On distingue deux genres dans cette classe, les tissus unis à jours et ceux à jours façonnés.

Troisième classe. Tissus à mailles et à fils curvilignes.

La troisième classe, enfin, embrasse tous les tissus à mailles formées par la révolution d'un seul fil non tendu autour de lui-même et d'aiguilles génératrices, ou par le croisement de deux systèmes de fils tendus conservant des vides entre eux. Les tissus de cette classe peuvent être rangés en trois genres principaux :

Tissus du premier genre. Nous comprendrons dans le premier genre les tricots de toute espèce, quelles que soient leurs qualités, et qui sont toujours caractérisés par des mailles plus ou moins grandes, formées d'une courbe allongée rétrécie dans son milieu et présentant une élasticité parfaite dans tous les sens, qui rend les tissus qu'ils composent éminemment propres à envelopper parfaitement les formes qu'ils sont destinés à couvrir. Les seuls ornements que les tricots reçoivent, consistent dans des dessins formés par des jours réservés lors du travail. La différence de valeur de ces étoffes provient principalement de la nature et de la finesse des fils employés. Elles ne peuvent être formées qu'à l'aide de métiers spéciaux, puisqu'il s'agit de réaliser des conditions tout à fait autres que pour les tissus que nous avons eu à examiner jusqu'ici ; les métiers à tricots employés sont basés, en effet, sur des principes qui diffèrent complétement de ceux sur lesquels sont construits les autres métiers à tisser. Voyez BONNETERIE.

Tissus du deuxième genre. Nous rangerons dans ce genre toutes les dentelles et les tulles unis qui sont aussi composés de mailles ; mais celles-ci, au lieu d'être des boucles courbes, élastiques, formées par une révolution d'un seul fil sans tension, sont généralement des hexagones résultant du croisement de deux systèmes de fils tendus, qui ne peuvent, par conséquent, offrir l'élasticité des tissus du genre précédent. Ce caractère distinctif nous indique également qu'ils nécessitent, pour leur tissage, la construction de métiers nouveaux remplissant des conditions toutes particulières. Les variétés de ce genre dépendent également de la nature et de la valeur des fils employés. Voyez TULLE.

Tissus du troisième genre. Les tulles et les dentelles sont souvent ornés par des broderies élégantes, exécutées tantôt en les tissant sur le corps même de l'étoffe, tantôt les ornements se font à part et sont appliqués ensuite. Ce travail se fait généralement à la main pour les dentelles précieuses. On en fait également avec le métier à la Jacquart, ou avec celui de M. Josué Heilmann. Nous avons rangé toutes les dentelles et les tulles ornés dans un même genre, mais c'est celui qui renferme le plus de variétés, puisqu'il contient en effet depuis le tulle façonné, fabriqué couramment avec les machines, jusqu'à ces magnifiques produits de Valenciennes, de Caen, de Nancy, d'Alençon, pour l'exécution desquels il faut une habileté toute particulière. Toutes les distinctions dans lesquelles nous pourrions entrer à ce sujet seraient insuffisantes, et n'apprendraient rien ni aux ouvrières qui en font la spécialité, ni aux consommateurs qui ont pu comparer la plupart de ces légers tissus. Voyez BRODERIE.

Malgré toute la simplicité de cette classification, nous pensons qu'une étoffe quelconque peut y trouver sa place ; l'indication de la classe et du genre d'un tissu apprend immédiatement l'espèce de métier sur lequel elle a été exécutée, et les éléments fondamentaux qui la constituent.

Il suffira, par exemple, de dire qu'un velours façonné est un tissu du cinquième genre de la première classe, pour indiquer que sa production a exigé tous les moyens mécaniques dont le tisserand peut faire usage, qu'il est composé de deux chaînes au moins et d'une certaine quantité de trames superposées, et que c'est par conséquent un des plus chers. On aura des indications analogues pour tous les genres.

On connaîtra donc immédiatement par la dénomination des tissus les moyens mécaniques employés à les confectionner, et la quantité relative de matière qui les compose. Pour arriver à se rendre compte de la variété à laquelle ils appartiennent, il faudra les décomposer en les défilant, pour saisir avec exactitude les modes de croisements ; et pour parvenir à les produire, il faudra être familiarisé avec tous les éléments de l'art du tissage, dont nous allons commencer l'étude.

Opérations du tissage.

Les opérations à exécuter peuvent se diviser en *opérations préliminaires et en opérations du tissage proprement dit.*

Les premières ont pour but la disposition convenable des fils et de toutes les parties du métier, suivant le tissage que l'on a en vue. Les secondes transforment les fils en tissus.

Les opérations préliminaires pour les étoffes ornées, simples ou doubles, se réduisent aux suivantes :

1° Le bobinage ;
2° L'ourdissage ;
3° Le pliage et montage de la chaîne ;
4° Le parage ;
5° La préparation de la trame ;
6° Le remettage ;
7° Le montage du métier ou son armure.

Pour les étoffes façonnées, il faut ajouter :

8° La mise en carte du dessin ;

(1) Nous n'avons pas cherché à faire entrer les beaux tapis à hautes lisses dans cette classification, car le travail de ces tissus ne peut d'ailleurs se confondre avec aucun autre, et appartient plus aux beaux-arts et à la broderie qu'au tissage proprement dit.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

9° Le lisage, le perçage et l'assemblage des cartons;
10° Les divers empoutages;
11° L'appareillage du métier, comprenant le collétage et le pendage.

Les principaux métiers employés sont les suivants :

Basses lisses. { 1° Le métier à marches mû par l'ouvrier; 2° Les métiers mécaniques; 3° Les métiers à cylindres; 4° Le métier à la Jacquart;
Hautes lisses. { 5° Le métier à hautes lisses; 6° Le métier mixte à basses ou à hautes lisses à volonté;
Métiers à mailles. { 7° Les métiers à tulle; 8° Les métiers à tricot.

Du bobinage. Lorsque les fils sont livrés par la filature sous forme d'écheveaux ou de fuseaux, comme cela arrive toujours pour ceux destinés pour la chaîne, et quelquefois aussi pour ceux de la trame, il faut alors transformer ces écheveaux et ces fuseaux en nouvelles bobines, pour opérer plus facilement dans les préparations ultérieures. Cette transformation a lieu par un simple dévidage; on dispose une série de bobines les unes à côté des autres, que l'on commande simultanément, et sur lesquelles on fait monter le fil provenant des broches ou des écheveaux. Les machines à bobiner peuvent présenter quelques modifications sous le rapport de la disposition des bobines, qui sont placées horizontalement ou verticalement, et sous le rapport de la transmission du mouvement; mais ces modifications n'ayant aucune importance au fond, nous nous sommes bornés à indiquer la disposition d'un des bobinoirs les plus répandus dans le tissage mécanique. La fig. 2441 donne une vue de côté de la machine, et la fig. 2442 une vue de face d'une partie seulement de la longueur du bobinoir. On ne voit que trois broches, tandis qu'il y en a soixante à soixante-dix de chaque côté.

Les broches *b* sont fixées sur une traverse *t* (si on avait des écheveaux à dévider, ce serait sur un asple qu'on les enroulerait); les bobines B sont disposées à la partie supérieure dans des axes, qui portent des noix ou petites poulies à une certaine hauteur, et qui reposent par leur extrémité inférieure dans des crapaudines *e* de la traverse *r*. Dans son trajet du fuseau *b* à la bobine B, le fil passe sur une tringle cylindrique *f*, garnie de drap ou de peluche dont le frottement sert à enlever une partie du duvet du fil. Entre les fuseaux et les bobines se trouvent de petits guides. Ces dernières reposent sur une pièce mobile *c*, qui monte et descend pour que le fil soit uniformement enroulé sur la hauteur. Toutes les traverses et les différents points d'appui de la machine sont reliés à un bâti en fonte composé de trois montants, un à chaque extrémité, un au milieu. EFGH, est celui de l'une des extrémités, sur lequel reposent les transmissions de mouvements. Celles-ci se composent d'un cylindre R en fer-blanc, donnant le mouvement aux broches par des cordes à boyaux qui partent de sa périphérie pour envelopper les noix des broches. Ce cylindre reçoit l'action du moteur à une de ses extrémités par des poulies; l'autre extrémité porte un pignon 1, qui engrène avec une roue intermédiaire 2, dont l'axe commande le pignon 3, faisant tourner la roue 4. L'axe de cette dernière porte un excentrique X, dont le mouvement fait décrire un arc de cercle au levier L, qui transmet une impulsion à la poulie G, qui prend par suite un mouvement circulaire alternatif et fait, par conséquent, marcher le chariot ou balancier *c*, sur lequel se trouvent les bobines, en l'élevant et l'abaissant dans des coulisses disposées à cet effet par des tringles *n*, qui y sont attachées. Les petites poulies *i*, *i*, sont des galets de tension pour maintenir les cordes ou chaînes *s*.

La vitesse imprimée à la poulie motrice, et par conséquent au tambour R, est moyennement de 110 à 120 tours par minute; celle des broches des bobines est de 540 à 550 dans le même temps, et l'excentrique fait 3 tours environ. On pourra facilement calculer d'après cela le travail théorique de cette machine dans un temps donné.

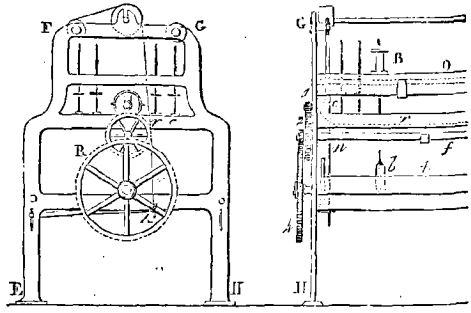
De l'ourdissage. — *Ourdir*, c'est assembler parallèlement entre eux, à une égale longueur et sous la même tension, un certain nombre de fils dont l'ensemble a reçu le nom de *chaîne*.

Les nuances des fils d'une chaîne sont déterminées d'après les effets qu'on veut obtenir dans le sens longitudinal du tissu; elles ne varient guère que pour les étoffes à raies, les diversités de couleurs étant plus généralement produites par des effets de trame, et pour les tissus chinés, par une impression ou un trempage des fils de la chaîne dans la teinture avant ou après l'ourdissage, suivant la méthode employée.

On peut distinguer deux espèces de chaînes :

1° Les chaînes destinées à former les étoffes simples et le fond des étoffes à poils;

2° Les chaînes destinées uniquement à produire le velouté ou duvet des étoffes à poils.



2441. 2442.

La longueur des premières est proportionnelle à celle des tissus.

La longueur des secondes doit être égale au développement total des boucles nécessaires pour le duvet de l'étoffe.

Le nombre de fils dans les deux cas est proportionnel à la largueur du tissu, toutes choses égales d'ailleurs, et en raison inverse de la grosseur des fils et des espaces vides qui les séparent, prise entre les deux lisières. Les fils de cordons ou de lisières de nature plus commune, sont comptés à part.

L'ourdissage peut être simple, double, triple, quadruple, etc., suivant qu'on opère sur 1, 2, 3, 4, etc., fils ensemble.

Pour donner plus de solidité à l'étoffe et la fournir davantage dans le cas de la réunion de plusieurs fils, on ne les considère à l'ourdissage que comme un seul.

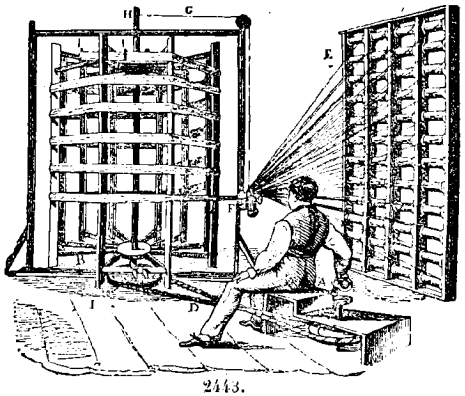
L'ourdissage est généralement simple pour les cotonnades, les toiles, la draperie et les étoffes en laine rase; il est au moins double pour les beaux châles brochés, et c'est pour les différents articles de soieries qu'il est le plus variable.

Quelquefois aussi, lorsque le tissu doit présenter des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

côtes qui alternent dans le sens de la longueur de la pièce, on ourdit alternativement à fil simple et à fil double ou triple, suivant les grosseurs des côtes en relief que l'on veut obtenir.

Description de l'ourdissoir. La machine à ourdir le plus généralement employée pour l'ourdissage à la main



2443.

est l'*ourdissoir rond*, représenté en élévation fig. 2443; HF est le bâti de l'ourdissoir, qui est un asple à axe vertical, E est le montant du porte-roquets qu'on nomme *cantre*. On ourdit ensemble un certain nombre de fils dont la réunion est désignée sous le nom de *portée*. Le nombre de fils d'une portée peut varier avec les localités; il est le plus communément de quarante fils. L'assemblage de 20 fils est une *demi-portée* ou *musette*, nom employé plus généralement dans la soierie. Cette demi-portée est dévidée comme un seul ruban, et s'enroule autour de l'ourdissoir en formant un nombre de spires placées à égale distance sur toute la hauteur, dont le développement total doit être égal à celui de la longueur de la chaîne que l'on veut obtenir. Comme celle-ci peut être variable, l'ourdissoir a ordinairement la plus grande hauteur nécessaire, et quand on a des chaînes d'une moindre longueur on place alors des traverses pour limiter la course. L'ourdisseur fait prendre aux fils la direction convenable pour amener tous les fils à la traverse; elle les rassemble par un nœud, puis les fixe sur des chevilles I de l'ourdissoir. Il est important de faire cette attache en croisant les fils.

Cette manière d'arrêter la chaîne s'appelle *enverjure*. Elle a pour but de maintenir les fils dans leurs positions respectives, de les empêcher de se mêler, et de faciliter la recherche d'un fil dont on aurait perdu la trace par la rupture ou autrement.

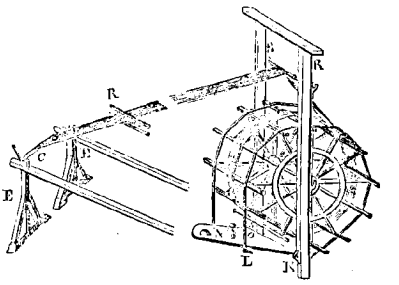
Une fois la musette enverjée ou encroisée, on met l'ourdissoir en mouvement par une manivelle A qui commande la poulie C; cette poulie commande l'ourdissoir par une corde D qui l'enveloppe. La disposition régulière des fils en spire, sur la hauteur de l'ourdissoir, a lieu de la manière suivante :

L'arbre vertical de l'asple se termine à sa partie supérieure par un axe H en fer, sur lequel s'enroule une corde G, qui de cet axe passe sur une petite poulie *t*, et vient s'attacher, parallèlement aux montants, à une pièce mobile F nommée *plot*, qui sert de guide aux fils réunis. A mesure que la corde s'enroule dans un sens, le plot et, par conséquent, la musette montent; lorsqu'au contraire l'ouvrière change la direction du mouvement, le plot et la musette descendent; lorsqu'ils sont au bas on enverje également comme on a fait au commencement, puis on continue le mouvement de va-et-vient comme il vient d'être indiqué. Il est essentiel que les distances entre les spires soient autant que possible égales entre elles, afin que les fils soient bien soumis à la même tension. C'est à cet effet que la poulie de renvoi ou petit cylindre porte une petite roue à rochet avec un cliquet, qui servent de régulateurs à la marche du plot; celui-ci glisse le long du montant du devant, qui doit être bien uni. Il est nécessaire que l'ourdissoir soit bien établi et que son axe soit parfaitement vertical.

Lorsque la chaîne est ourdie, on a soin de fixer les enverjures par des liens, afin qu'elles ne se dérangent pas; et pour que les fils ne se mêlent pas, on les réunit sous la forme d'anneaux. C'est de cette disposition que vient le nom de *chaîne* qu'on donne aux fils ourdis

Pliage et *montage*. Pour plier une chaîne, on l'enlève de l'ourdissoir et on la dispose sur le cylindre ensouple du métier à tisser. Cette opération se pratique encore généralement de la manière suivante :

La chaîne, divisée par demi-portées, est placée sur un tambour *t t* (fig. 2444), en commençant par le bout de l'enverjure; on remplace le lien par une baguette B, après quoi on fait passer les musettes dans un rateau R de la largeur de l'étoffe à produire, en introduisant chacune d'elles entre deux dents qui, ainsi disposées, se rendent dans le même ordre sur le cylindre C, destiné au métier à tisser, et qui pendant le pliage est disposé sur les deux cabres E E, attachés invariablement au plancher.



2444.

La chaîne est fixée au cylindre ou rouleau du métier par une baguette d'enverjure, qui vient se placer dans une rainure pratiquée à cet effet; un ouvrier fait tourner le cylindre pour produire l'envidage, tandis qu'un autre tient le rateau à la main pour dégager les adhérences qui pourraient exister entre les musettes.

La tension de la chaîne est maintenue par l'effet d'un poids N, qu'on avance ou recule sur une espèce de tablier à bascule OK, assemblé à charnière à la partie inférieure des montants QR du tambour.

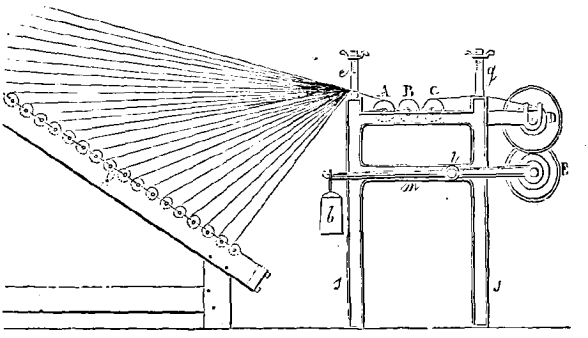
Ce dernier est embrassé par une courroie, liée à la bascule de manière à opérer un certain frottement sur ses bras et à tendre convenablement les fils. Lorsque l'opération touche à sa fin, on défait le rateau en enlevant son chapeau supérieur, et on achève d'enrouler la chaîne sur l'ensouple.

Ourdissoir mécanique. L'ourdissage que nous venons de décrire demanderait trop de temps si on l'appliquait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au tissage mécanique ; il a donc fallu imaginer un ourdissage mécanique.

La machine se compose (fig. 2445) d'une espèce de casier incliné, sur lequel on peut réunir plus ou moins de fils. Dans celle que nous représentons, il y a dans le sens de la largeur 10 rangées de bobines pleines et 36 dans le sens de la longueur, ce qui fait 360 bobines ou fils pour tout le banc; le plan ne représente que trois rangées, parce qu'on a supprimé les répétitions inutiles.



2445.

L'axe de ces bobines vient se loger dans une petite encoche le long des traverses parallèles *a a*, de manière à les maintenir fixes pendant le dévidage et à pouvoir facilement les enlever après, ou au besoin pendant l'opération. Chacun des fils *d*, après avoir été introduit entre les dents d'un peigne *e*, passe successivement sur le rouleau A, sous le rouleau B et sur le rouleau C. Ceux-ci placés dans un même plan horizontal sur le bâti *s s* de l'ourdissoir, tournent sur leur axe par la simple tension des fils de la chaîne, qui passent ensuite dans un second peigne *g*, après avoir été tendus par les règles *r*, et vont s'enrouler sur le cylindre D, que le tambour E entraîne dans son mouvement de rotation par l'effet de la pression directe qu'il exerce sur lui. Cette pression s'opère au moyen d'un poids *b* suspendu à l'extrémité d'un levier *m*, mobile sur un support *t*, et dont l'autre bout est réuni à l'axe du tambour E. Ce poids peut varier de 1 à 15 kil. suivant la finesse des fils; il faudra nécessairement l'augmenter avec leur grosseur. Le mouvement est donné au tambour par une poulie motrice, qui fait environ 95 tours à la minute.

Les ourdissoirs mécaniques ne sont pas toujours disposés comme nous venons de l'indiquer; au lieu d'être établies sur un bâti incliné en amphithéâtre, les bobines sont quelquefois placées horizontalement sur des montants tout à fait verticaux. On préfère même cette dernière disposition, comme présentant plus de facilité pour remarquer les fils cassés; lorsqu'un semblable accident arrive on dégrène aussitôt la machine pour l'arrêter et renouer les fils.

Encollage et parage. Les fils des chaînes, étant soumis à des mouvements assez rapides et à des chocs brusques pendant le tissage, ont besoin de pouvoir glisser facilement dans les dents du peigne et dans les boucles des lisses, et de présenter une résistance suffisante. Pour faciliter le glissement et augmenter la solidité des fils, on les enduit de colle ou parement.

Toutes les matières textiles, excepté la soie, sont encollées avant d'être tissées. L'opération se fait à la main ou mécaniquement, suivant que l'ourdissage est exécuté manuellement ou à la mécanique. Dans le premier cas, comme cela a lieu pour les fils de laine, on se borne à étendre la colle sur la chaîne avec des brosses; dans le second cas, celles-ci, trempées dans de la colle, sont mues par le moteur de la manière que nous indiquerons bientôt. La nature du parement employée varie avec celle des fils. La colle animale est exclusivement réservée aux laines, et la colle végétale aux fils de coton, de lin et de chanvre.

La colle animale paraît mieux convenir aux fils de laine, parce qu'elle pénètre davantage et conserve un certain degré d'humidité favorable au tissage. La colle végétale sur les fils de laine s'écaille en séchant, et leur donne une certaine roideur en faisant, comme on dit, *criquer* la laine. Pour éviter ces inconvénients, nous avons quelquefois engagé à faire l'encollage en écheveaux. Nous avons vu avec intérêt que MM. Vay-son reprenaient ce moyen et se livraient à des expériences sur le parage des fils de laine, car c'est une des parties du tissage qui laissent le plus à désirer. La colle se fait généralement en cuisant des rognures de peau, que l'on applique sur la chaîne aussi également que possible.

L'encollage mécanique des fils végétaux est bien plus en progrès, et présente une facilité, une régularité et une économie telles, qu'on l'exécute même pour certaines étoffes de coton qui sont encore tissées à la main.

Avant de décrire les machines employées, nous allons donner quelques recettes de colles que nous avons pu obtenir de nos premiers établissements de tissage.

Première recette :

Fécule.	7k,500
Amidon grillé.	125k
Sulfate de cuivre.	500

Le sel de cuivre étant efflorescent, aide à la dessiccation et préserve la colle de la fermentation, de la décomposition et des atteintes des rats et des souris. La cuisson de cette colle est faite ordinairement à la vapeur.

Deuxième recette :

Fécule.	11k,500
Fécule grillée.	0k,500
Eau.	140k
Sulfate de zinc.	500

On fait bouillir à feu nu pendant trois quarts d'heure.

Troisième recette :

Fécule.	10k,500
Fécule grillée.	450
Sulfate de cuivre.	200
Sulfate de zinc.	200
Eau.	105k

Cuite à feu nu pendant trois quarts d'heure.

Quatrième recette :

Eau.	130k
Fécule	13k
Fécule grillée.	1k,250
Sulfate de zinc.	730

Cuite à la vapeur pendant vingt minutes. On préfère

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ordinairement le sulfate de zinc, parce qu'il est incolore et moins cher.

Si, pour un tissu, on se contentait d'enrouler les fils de la chaîne sur deux rouleaux parallèles, comme nous l'avons indiqué précédemment, sans leur faire subir aucune préparation, il arriverait infailliblement que, par suite du travail qu'ils ont à supporter pendant l'opération du tissage, ils se détordraient presque tous à l'endroit des lisses qui les soulèvent, et se casseraient. Afin d'éviter cet inconvénient, et de leur conserver toute la force que leur a communiquée la torsion, on a soin de les enduire de colle qui, en séchant rapidement, les maintient dans la position où le métier à filer les a abandonnés.

La machine à parer et encoller les chaînes a donc pour but, de disposer les fils bien parallèlement avant de les enrouler sur le cylindre de derrière du métier à tisser, et de les enduire de colle en quantité suffisante pour qu'ils résistent au travail du tissage. A cet effet, elle se compose (fig. 2446) d'un bâti horizontal aux extrémités duquel sont des cannelures, en nombre suffisant pour recevoir les rouleaux A, A, A, en sortant de l'ourdissoir, chargés chacun d'un nombre de fils déterminé d'avance.

C et C sont deux peignes ou plaques en acier percées d'un grand nombre de fentes verticales très rapprochées. Les fils sont passés avec ordre dans ces peignes, chacun dans une dent, et vont de là se réunir aussi régulièrement que possible sur le cylindre B, placé à la partie supérieure d'un bâti vertical, après avoir passé préalablement entre les deux cylindres E E et sous le cylindre D. Au bout de quelques tours du cylindre B, la disposition des fils sur ce cylindre est aussi régulière que lorsqu'ils sortent des peignes.

Les cylindres E E sont destinés à coller les fils de la manière suivante :

Le cylindre inférieur est entouré de flanelle et plonge dans une auge pleine de colle liquide de farine; le cylindre supérieur est comme le premier entouré de flanelle, et sert uniquement à répartir la colle sur les fils aussi uniformément que possible.

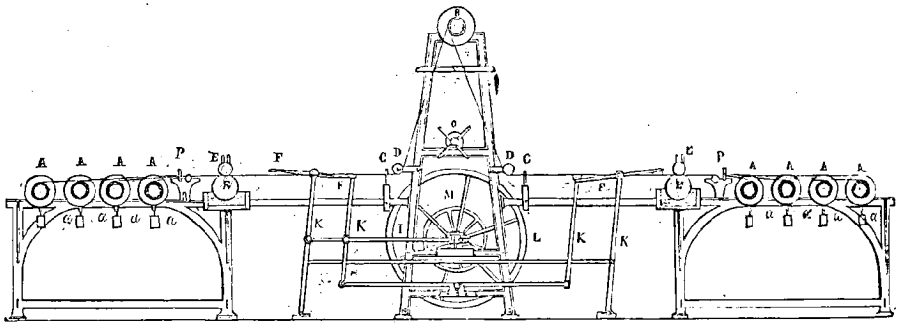
F F sont des brosses douées d'un mouvement rectiligne alternatif et agissant en dessus et en dessous des fils, de manière à les bien imprégner de colle, et à ne leur en laisser que la quantité nécessaire.

En O est un ventilateur à force centrifuge, qui lance de l'air chaud sur les chaînes, afin qu'elles soient complétement sèches quand elles arrivent sur le cylindre B.

On imprime moyennement une vitesse de 130 à 140 tours à la minute à la poulie motrice. La vitesse du ventilateur est ordinairement de 400 révolutions dans le même temps.

Le chauffage des machines à parer et des ateliers où elles se trouvent a lieu le plus fréquemment et le plus convenablement par un tuyau de vapeur disposé transversalement sous le ventilateur de chacune d'elles. De cette façon le ventilateur aspire directement l'air chaud pour le diriger sur les fils. La température nécessaire à un atelier varie nécessairement avec l'état hygrométrique de l'air et avec la finesse des fils. Par un temps sec, 20 à 22° centigrades suffiront, tandis qu'il faudra jusqu'à 30 et 34° si l'atmosphère est chargée d'humidité. On comprend aussi que les fils fins sècheront toujours un peu plus facilement que les gros, ou dans le même temps avec 2 ou 3 degrés de chaleur de moins.

Préparations des fils pour trame. Des dévidages et des mouillages constituent les préparations des fils de trame avant de les soumettre au tissage. Les premiers ont pour but de les disposer sous la forme la plus convenable pour les loger dans la navette et pour faciliter leur développement de la manière la plus régulière, sans occasionner de perte de temps ni de déchet. Le mouillage n'a lieu que dans certains cas, toutes les fois que les fils ont besoin d'une grande flexibilité et que la quantité à loger dans l'unité de surface devient considérable, en un mot toutes les fois qu'il faut produire un tissu très serré et que la matière peut être exposée à l'eau pure ou à une eau savonneuse sans inconvénient, car ce n'est jamais qu'avec ces liquides qu'on la mouille.



2446

On a cherché à supprimer complétement l'opération intermédiaire du dévidage pour trame, en faisant produire aux métiers à filer des canettes assez parfaites et convenablement disposées pour pouvoir être placées directement dans la navette. Mais ce n'est encore que dans le filage du coton et en partie dans celui de la laine peignée qu'on est parvenu à obtenir ce résultat favorable. Les broches des métiers à filer sont garnies, comme on sait, de petits cylindres en carton autour desquels s'enroulent les fils sous forme de petits cônes qu'on nomme *canettes*.

On n'a jusqu'à présent pu atteindre cette condition avantageuse pour les autres matières, soit parce que les métiers à filer ne permettent pas d'y arriver, soit parce que la forme des navettes qui doivent recevoir les canettes exige des dispositions particulières. Quoi qu'il en soit, dans l'état actuel des choses, on est obligé d'avoir recours à des machines à faire les canettes, pour les fils de lin, de laine cardée, une partie de ceux en laine peignée et pour la soie.

Les machines en usage sont assez variées. Pour le lin et la laine elles sont si simples et ont tant d'analogie avec la plupart des machines à dévider précédemment décrites, que nous avons cru pouvoir nous dispenser d'en donner un dessin spécial. Pour le lin, une seule

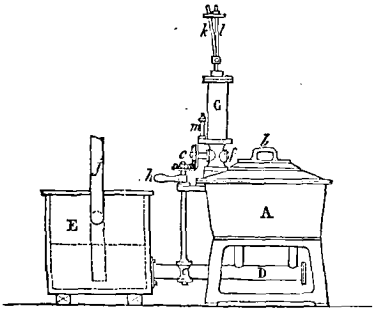
EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

machine dévide un certain nombre de canettes à la fois; mais pour les laines et surtout pour les fils en laine cardée, au lieu d'employer un dévidoir pour produire également plusieurs canettes simultanément, on les forme généralement encore l'une après l'autre absolument comme cela se pratiquait avant l'application du travail mécanique. Les raisons qu'on donne pour opérer ainsi ont si peu de valeur que nous sommes convaincus de voir bientôt adopter les canettières par l'industrie des laines cardées. C'est pour le tissage de la soie que les machines à faire les canettes ont été le plus perfectionnées. Dans toutes, on se propose d'en former dont le fil soit régulièrement disposé autour de la petite bobine de manière à se dérouler facilement jusqu'au bout sans se mêler.

Mouillage des trames. Tous les fils pour trame, excepté ceux de la soie, sont susceptibles d'être mouillés dans certains cas, lorsqu'ils ne présentent pas assez de résistance ou lorsqu'on veut obtenir un tissu très serré par l'augmentation du nombre de duites dans l'unité de surface. On mouille les canettes soit à l'eau pure, soit à l'eau de savon. Ce dernier liquide est surtout employé pour les fils très fins, afin de faciliter leur glissement entre ceux de la chaîne et leur tassement dans l'angle formé par eux. Ce mouillage a lieu tantôt par une simple immersion des canettes dans le liquide dont on les retire pour les faire égoutter, mais le plus souvent on se sert d'une pompe. M. Kohler du Vieux-Thann a imaginé une petite pompe spéciale pour cette opération. Une seule de ces machines suffit pour le mouillage des canettes de 350 à 400 métiers.

Nous donnons (fig. 2447) une élévation de l'appareil de M. Kohler qui suffit pour le faire bien comprendre.



2447.

L'appareil se compose : du réservoir E qui contient l'eau pure ou la dissolution de savon; le tube *j* sert à l'arrivée de vapeur pour faire la dissolution de savon; de la caisse en fonte A dans laquelle on dispose les canettes à mouiller, et qui est hermétiquement fermée, et de la pompe C destinée à faire le vide, de façon à faire arriver le liquide par le tuyau D sur les canettes. Lorsqu'on a établi la communication entre cette caisse et le réservoir E, et qu'on l'a interceptée entre celle-ci et la pompe C, ce qui a lieu au moyen de la relation des deux roues d'angle *e* qui existent entre les deux robinets *e* et *f*, il suffit de diriger ceux-ci dans l'un ou l'autre sens par le manche *h*. Le petit tube *m* est une *éprouvette* pour indiquer le degré de raréfaction de l'air qui est ordinairement suffisante après 100 coups de piston qui sont imprimés par la tige *k* guidée dans des montants *ll* qui maintiennent la verticalité du piston. Pour disposer les canettes dans la caisse en fonte A, on les embroche d'abord au nombre de 15 à 20 dans de petits fuseaux en laiton; on les dispose dans des espèces de doubles fonds en fer-blanc percés de petits orifices qu'on place ensuite dans la caisse. On met autant de ces plateaux ou doubles fonds que la caisse en peut contenir, on replace ensuite le couvercle *b* et on fait mouvoir la pompe C. Le vide étant opéré, on intercepte la communication entre la pompe et la caisse pour la rétablir entre cette dernière et le tuyau D de la caisse E. On fait la même manœuvre deux ou trois fois suivant la grosseur des canettes ou qu'elles sont plus ou moins serrées; on ôte ensuite le couvercle *b;* on enlève les plateaux qu'on dépose sur la grille qui couvre l'appareil pour les laisser égoutter.

Remettage et armures. La chaîne étant enroulée et disposée convenablement sur un cylindre ensouple du métier à tisser, il s'agit d'établir la communication entre tous les fils et les leviers qui doivent les faire mouvoir, ce qui a lieu, comme nous l'avons vu, par l'entremise des *lisses* ou *lames*. L'opération qui a pour but de faire passer les fils dans celles-ci, et de leur faire occuper les places convenables pour pouvoir effectuer des croisements déterminés entre eux, se nomme *remettage*.

Nous avons déjà vu qu'il fallait au moins deux lisses pour faire l'étoffe la plus simple, et que ce nombre allait en augmentant à mesure que l'on veut obtenir des dessins plus compliqués par l'entrelacement des fils.

La réunion de lisses nécessaires à produire un effet déterminé est désignée sous le nom de *remise*.

Le nombre des lisses est toujours infiniment moindre que celui des fils d'une chaîne, chacune d'elles en reçoit par conséquent une assez grande quantité qui est généralement égale pour chaque lisse. Elle peut cependant varier dans certains cas, comme on le verra plus loin.

Après le remettage, il faut établir la communication entre les lisses et les leviers ou marches qui doivent leur transmettre le mouvement. Lorsqu'il y a plus de deux lisses, on peut les faire mouvoir dans autant d'ordres différents que l'on peut obtenir de permutations avec un nombre égal à celui des lisses, mais les effets de croisement différents qui en résultent sont assez limités et peuvent être déterminés à priori.

Les relations des lames avec les marches ont reçu le nom d'*armures*. Ce nom est également réservé aux entrelacements des fils qui en sont la conséquence.

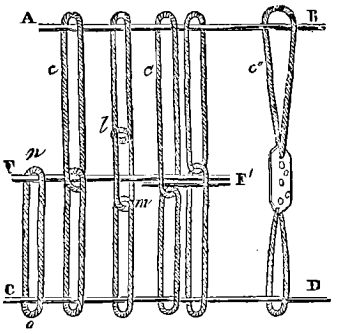
Le remettage et la formation des armures reposent sur des principes du tissage qui ont tant de corrélations entre eux, qu'il nous a paru indispensable d'en donner une description simultanée; cependant nous croyons devoir expliquer auparavant avec quelques détails la construction des *boucles*, *mailles* et *maillons*, et des *lisses*.

Une maille est une boucle formée par une petite corde verticale destinée à livrer passage à un ou plusieurs fils de la chaîne. Un maillon, qui a la même destination, est un petit orifice, percé dans une plaque de verre ou toute autre matière solide, fixé également à une corde verticale. Une maille peut être formée de plusieurs boucles disposées les unes au-dessus des autres et un maillon peut être percé de plusieurs orifices superposés. La fig. 2448 représente différentes mailles et maillons; *a* est une maille à une boucle, désignée sous le nom de maille simple ou à crochet; *a'* est une maille composée de deux boucles réunies et est nommée maille à *coulisse*. La maille *l m*, est une maille à grande coulisse composée d'une seule boucle allongée dans laquelle le fil peut glisser de haut en bas et de bas en haut. On désigne enfin sous le nom de maille à culotte une demi-maille *n o* fixée par sa partie inférieure à la lisse et qui sert dans certains cas spéciaux à rabattre les fils qui sont passés dans une maille à grande coulisse; F et F' représentent les fils passés dans les mailles. Le maillon *c''* est figuré avec trois orifices *o o*. Une lisse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

ou une lame est composée de l'assemblage d'un plus ou moins grand nombre de mailles de même espèce réunies verticalement et parallèlement entre elles au moyen



2448.

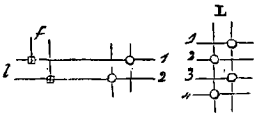
de deux petites règles en bois AB, CD, nommées *lisserons* ou *lamettes*. Les lisses sont presque exclusivement réservées à la production des étoffes unies des trois premiers genres, on ne s'en sert que comme moyens accessoires dans le tissage des étoffes façonnées. Les maillons qui peuvent se mouvoir isolément servent au contraire à produire les tissus façonnés dont chaque fil doit au besoin pouvoir être mû séparément.

Nous allons d'abord décrire le remettage et les armures employés pour les tissus unis. Ne pouvant nous étendre longuement sur cette spécialité, nous chercherons surtout à en faire saisir les principes élémentaires. L'emploi des armures est d'ailleurs moins fréquent depuis que la machine à la Jacquart a été propagée. Dès que le nombre de lisses dépasse une certaine quantité, une trentaine par exemple, il est plus avantageux de leur substituer la mécanique à la Jacquart.

Armures fond de toile ou taffetas. De tous les tissus, les plus simples sont les toiles et la batiste pour le chanvre et le lin; la mousseline et les cotonnades en général pour le coton; le drap ordinaire pour la laine; le taffetas pour la soie. Le tissage de toutes ces étoffes est exécuté absolument de la même manière. Il n'y a de différence entre elles que dans la nature et la finesse des fils, et par conséquent dans leur quantité. Si on examine ces tissus à la loupe, si on les défile, on s'apercevra facilement qu'ils présentent les croisements indiqués dans les fig. 2438 et 2439. La fig. 2438 donne la surface de l'étoffe; on a représenté les fils *f f* de la chaîne, et les fils *t* de la trame écartés entre eux pour les faire mieux distinguer. On voit (fig. 2439) les deux positions relatives après deux coups de battant successifs; *r r* représentent les deux baguettes d'enverjure qui divisent les fils de la chaîne en deux parties égales.

La fig. 2449 donne la disposition du remettage et de l'armure qui doivent être adoptés dans ce cas.

Pour indiquer le premier, on trace autant de lignes horizontales *l l*, qu'on doit employer de lisses, et autant de lignes verticales *f f* qu'il faut de fils pour le genre de croisements que l'on veut obtenir avant de revenir à la première lisse. Le nombre de fils nécessaire pour exécuter le tracé d'un remettage, est ce qu'on nomme un *cours*, ou une *course*; pour le cas dont il s'agit, la course se réduit à deux fils: si donc, on avait dans la chaîne un nombre considérable de fils *l*, *l*, le tracé du remettage indiquerait que tous les fils pairs doivent être passés dans les mailles d'une lisse, et les fils impairs dans celles de l'autre. Pour le tracé de l'armure qui détermine l'ordre du mouvement des lisses, les lignes horizontales 1 et 2 (fig. 2449) indiquent encore les lisses,



2449.

2450.

et les lignes verticales désignent les leviers ou marches.

Pour l'armure taffetas, ou fond de toile dont nous nous occupons, chaque lisse a, par conséquent, sa marche; il suffit donc d'appuyer sur l'une ou l'autre pour entraîner la lisse correspondante et les fils qu'elle porte.

Ordinairement, on réunit les deux lisses par une corde (fig. 2440) que l'on fait passer sur la poulie *p* en appuyant sur l'un des leviers L; la lisse correspondante descend pendant que l'autre monte, et les fils *f f* fixés par leurs deux extrémités aux cylindres forment alors le parallélogramme G H I K, dont l'angle *a* près de l'ouvrier est celui dans lequel on chasse la duite. Au mouvement suivant, la lisse 1, qui précédemment était élevée, est foulée, tandis que la lisse 2 s'élève. Le même parallélogramme G H I K se reforme avec cette différence, que les fils qui en formaient dans le premier mouvement les côtés supérieurs, en composent maintenant les côtés inférieurs et réciproquement.

Lorsqu'une chaîne contient une très grande quantité de fils, comme par exemple, pour certains taffetas, au lieu d'employer deux lisses, on en emploie quatre, afin que chacune ne porte que le quart des fils et que le mouvement soit allégé. Cette division entre un plus grand nombre de lisses, donne plus de facilité pour arriver à une tissure régulière. Le remettage, dans ce cas, s'exécute comme l'indique la fig. 2450; 1, 2, 3, 4, sont les lisses, et L L les marches. La course de remettage est alors de quatre fils, et chaque marche L fait mouvoir deux lisses; 1 et 3 se meuvent ensemble dans un sens, pendant que 2 et 4 se meuvent dans le sens opposé, car les lisses sont attachées deux à deux à une même corde, comme les précédentes, et leur mouvement a lieu de la même manière.

Il est évident que pour ce genre de tissus deux passages successifs de la trame suffisent pour que tous les fils de la chaîne aient été couverts et découverts de la même manière sur la largeur qu'elle embrasse; il s'en suit aussi que le tissu présente identiquement le même aspect des deux côtés, qu'il est par conséquent sans envers.

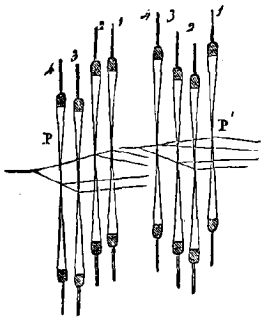
Armure batavia ou croisée. Avec deux lisses il est impossible d'obtenir une autre croisure que celle que nous venons d'indiquer. Lorsqu'on voudra produire des aspects plus compliqués, il faudra nécessairement en augmenter le nombre. Nous venons de démontrer qu'avec quatre lisses, on pouvait produire l'armure fond de toile; nous allons voir qu'avec le même nombre de lisses, le même remettage et une modification dans le mouvement des lisses, on parvient à obtenir une croisure différente et un effet nouveau. Au lieu de faire mouvoir les deux paires de lisses alternativement, on fait mouvoir les quatre lisses de manière que chacune se meuve deux fois de suite; une fois avec la lisse qui la précède, et une fois avec celle qui la suit. Cette combinaison du mouvement

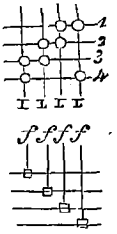
EFERUS - Recherche & Classification numérique

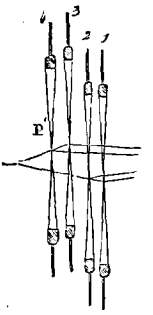
des lisses produit l'armure, connue sous le nom d'armure *croisée* ou *batavia;* toutes les étoffes croisées sont tissées avec celle-ci, que nous allons expliquer en détail.

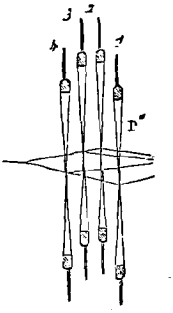
père et donnent les coupes correspondantes aux croisements opérés par les quatre positions P P' P'' P''' de l'armure que nous venons d'indiquer. Afin d'embrasser

2453.





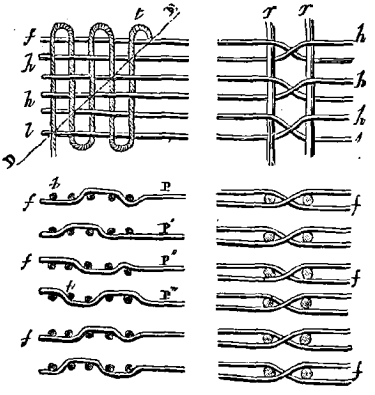




2455. 2456. 2454. 2457 2458.

La fig. 2451 indique la disposition des fils dans le tissu. On remarque que les baguettes d'enverjure *r r*

2451.



2452.

de la chaîne sont passées de manière à séparer par moitié les fils en les croisant. Les coupes de la fig. 2452 montrent comment sont disposés les fils de la trame, par rapport à ceux de la chaîne, après chaque mouvement. La fig. 2453 donne l'ordre du remettage, et la fig. 2454 la disposition de l'armure, c'est-à-dire l'ordre dans lequel les marches doivent soulever les lisses. Quand le remettage a été exécuté comme l'indique la fig. 2453, c'est-à-dire quand on a passé successivement chaque fil de la chaîne dans les lisses 1, 2, 3, 4, qu'on a répété cette opération un nombre de fois égal à celui des fils de la chaîne divisés par 4 ; chacune d'elles est chargée d'un même nombre de fils, et leur mouvement doit être exécuté d'après les indications de la fig. 2453 dans laquelle LL, indiquent les 4 marches, et les chiffres 1, 2, 3, 4, les 4 lisses. Les fig. 2455, 2456, 2457 et 2458, montrent comment le mouvement des lisses s'o-

plus facilement les quatre mouvements différents de l'armure, nous allons les indiquer dans un seul tableau.

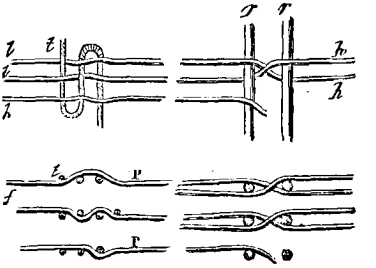
Positions des lisses :

Dans les mouvements.	Lisses levées.	Lisses baissées.
P	2 et 1	4 et 3
P'	1 » 4	3 » 2
P''	4 » 3	2 » 1
P'''	3 » 2	1 » 4

Il résulte de ces positions, combinées au remettage fig. 2453, que les croisements affectent une direction diagonale (fig. 2451). C'est la succession de ces diagonales qui produit dans les tissus croisés les sillons parallèles qui les caractérisent. Ceux-ci peuvent être plus ou moins sensibles et diversifiés suivant que la grosseur des fils varie ou que les entrelacements s'exécutent en les reculant d'un ou de plusieurs à chaque mouvement, et suivant qu'on fait usage de fils ordinaires ou qui ont reçu une torsion spéciale.

Armure sergée. Si au lieu de quatre lisses, on n'en

2459.



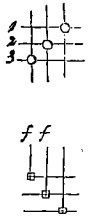
2460.

emploie que trois correspondant chacune à une marche L, L, L, pouvant se mouvoir isolément, on produira

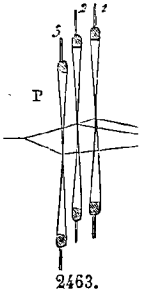
EFERUS - Recherche & Classification numérique

encore un tissu croisé; il suffira pour cela de leur imprimer successivement les positions représentées par les fig. 2459 et 2460. Les effets des croisements à chaque duite sont figurés en P P' P" (fig. 2463, 2464 et 2465) et la fig. 2461 donne l'entrelacement que les fils offrent à la surface des tissus. Cette armure a reçu le nom d'*armure sergée*. Elle se reconnaît par des sillons plus petits et plus serrés que ceux de la précédente. Les étoffes sergées sont très solides, puisque les liaisons ont lieu fil à fil; aussi les emploie-t-on surtout pour les tissus communs qui doivent offrir une grande résistance.

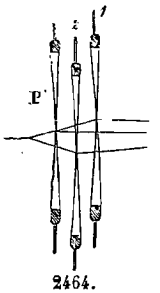
2461.



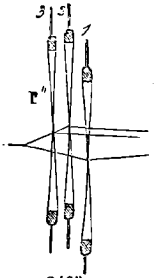
2462.



2463.



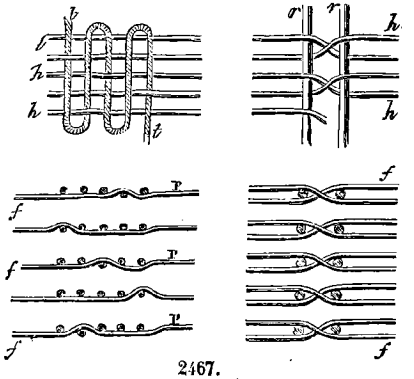
2464.



2465.

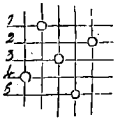
Armure satin. L'armure que nous venons de décrire change de nom lorsque, au lieu d'opérer avec trois lisses, on agit avec un plus grand nombre. Elle prend alors le nom d'*armure satin*. On ne fait guère de satin avec moins de cinq lisses. Cette quantité va en augmentant avec la richesse et le brillant que l'on veut donner aux tissus; on fait des satins de 5, de 7, de 8, de 12 et de 16 lisses; on dépasse rarement ce nombre. Nous donnons l'exemple d'un de cinq lisses; la fig. 2468 indique son remettage, qui est toujours suivi à la course; la figure 2469 représente le tracé de son armure. Les figures 2470, 2471, 2472, 2473 et 2474 donnent les différentes positions des lisses qui résultent de chaque mouvement de marche. La figure 2467 fait voir les croisements des fils de la trame et de la chaîne correspondant aux cinq positions P, P', P", P"', P"". Enfin, la fig. 2466 indique l'aspect que présentent les fils à la surface du tissu. Une armure satin, d'un plus grand nombre de lisses, ne serait pas plus difficile à comprendre.

2466.

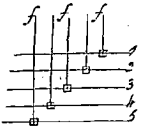


2467.

2468.

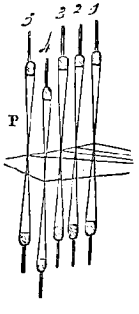


2469.

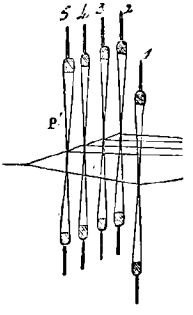


L'inspection des coupes de la fig. 2467 démontre que, dans ce genre de tissu, ce sont les fils *t t t* de la trame qui sont les plus en évidence. Or, ceux-ci sont toujours moins tordus que ceux de la chaîne. Les premiers réfléchissent, par conséquent, davantage la lumière et sont plus brillants; c'est ce qui explique la cause de l'apparence qu'offrent ces variétés en général. Ils sont, en effet, d'autant plus éclatants qu'ils ont été produits avec le concours d'un plus grand nombre de lisses, puisqu'alors la quantité de trame devient de plus en plus dominante et le nombre des solutions de continuité des liaisons visibles diminue. Les satins sont dits, dans ce cas, à *effet de trame*; si, au contraire, les rôles sont renversés, c'est-à-dire si le mouvement

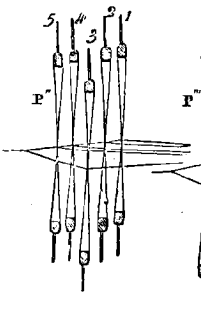
2470.



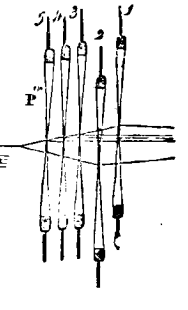
2471.



2472.



2473.



2474.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des lisses était tel, que celles qui levaient restassent baissées et *vice versâ*, on aurait un satin à effet de chaîne.

Toutes les variétés de croisements ou d'armures obtenus par des lisses seulement, peuvent être ramenées aux quatre fondamentales que nous venons de décrire. Nous devons cependant dire quelques mots des effets divers qu'on parvient à réaliser en variant le remettage. Dans celui qui a été donné, on se borne à passer successivement les fils les uns après les autres dans les lisses, suivant l'ordre de leur position, en commençant à gauche de l'ouvrier, par celle qui s'en trouve la plus éloignée, et en finissant par celle qui en est la plus rapprochée : c'est ce qui lui a fait donner le nom de *remettage suivi*. On sait qu'après une course, on recommence de nouveau par la première lisse, et on continue dans le même ordre que précédemment.

Remettage suivi à retour. Au lieu de suivre la marche que nous venons d'expliquer, on peut faire le remettage dans un ordre différent, soient 1, 2, 3, 4, les lisses d'une armure ou d'une remise; *fff*, les fils à remettre; après avoir passé ceux-ci successivement dans les lisses 1, 2, 3, 4, au lieu de recommencer la seconde course par celle 1, comme pour le précédent, on la recommence, au contraire, par celle 3, puis celle 2, pour revenir à la première. C'est de cette marche rétrograde régulière qu'est venu le nom de remettage *suivi à retour*; par cette modification on peut obtenir de petits dessins à *chevrons*. Le mode d'opérer varie surtout pour les fils destinés à former des tissus façonnés, lorsqu'on a des dessins compliqués à produire.

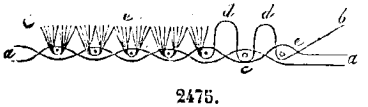
Remettage interrompu. Souvent le passage des fils ne peut avoir lieu qu'irrégulièrement de manière que les quantités pour chaque lisse varient. Tous les remettages de ce genre sont des *remettages interrompus*.

Dans les armures que nous venons de décrire, les lisses sont destinées à concourir à la production d'un même effet; elles se meuvent dans un ordre déterminé qui est constamment répété. Il n'en est pas toujours ainsi.

Remettage par deux ou plusieurs remises. Il y a trois cas principaux dans lesquels les tissus exigent plusieurs remises : 1° lorsque la chaîne contient une quantité considérable de fils, on les partage en plusieurs remises pour faciliter leur mouvement; 2° lorsqu'on veut produire des étoffes doubles ou à poils, il est nécessaire d'employer deux chaînes, l'une servant à la manœuvre des fils de fond, et l'autre à celle des fils de la seconde ou du poil; 3° lorsqu'un dessin présente certains effets compliqués, chaque remise en produit une partie. Ce remettage a été désigné sous le nom de *remettage sur deux ou plusieurs remises*. Lorsqu'il a lieu par parties avec des maillons, on l'appelle *remettage à plusieurs corps*.

La description des moyens employés pour produire les étoffes velues ou à poils dont les velours offrent de si beaux échantillons, nous fournira un des exemples les plus simples d'un remettage sur deux remises.

Opérations préliminaires des tissus du deuxième genre de la première classe. Les tissus de velours les plus simples sont formés par la superposition de deux chaînes entrelacées l'une dans l'autre : celle inférieure sert à composer le fond ou corps du tissu; la supérieure est



2475.

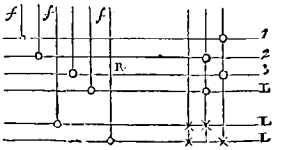
destinée à former le poil de l'étoffe. La fig. 2475 donne une coupe faite dans l'épaisseur d'un tissu de velours

pour faire saisir plus clairement les fonctions de chaque système de fils; *a a*, représentent la chaîne; les petits cercles *c*, indiquent la trame dans la partie tissée; *b*, les fils de la seconde chaîne destinée à former le poil ou la peluche, et qui se rencontrent avec celle du fond à l'angle *e*. Le tisserand place dans cet angle une baguette en cuivre B ou *fer*, qui occupe toute la largeur de l'étoffe; elle est par conséquent disposée au-dessous des fils de la peluche et au-dessus de la chaîne du fond. Un des côtés de ce fer est aplati, l'autre a une rainure sur toute sa longueur. L'ouvrier est muni d'au moins deux de ces baguettes placées et retirées successivement dans les boucles, à mesure qu'on les exécute. Il est nécessaire de ne pas enlever les deux à la fois pour que ces boucles ne puissent se défiler. Lorsque le velours doit présenter une surface à poil, on coupe avec un petit couteau ou *rabot* spécial le sommet des boucles *d d* (fig. 2476) avant de retirer



2476.

la baguette. Lorsqu'au contraire on veut produire ce qu'on nomme des *velours épinglés ou frisés*, on ôte la baguette et la boucle reste formée, comme on le voit en B B (fig. 2476). Les détails succincts que nous venons de donner sur la constitution des tissus de velours doivent faire comprendre la nécessité d'opérer sur deux chaînes de différentes longueurs. En effet, la première n'a besoin que de la longueur que l'on veut donner à l'étoffe, mais la seconde doit être assez longue pour former l'étendue des boucles. Ce nombre est connu dans chaque cas particulier, la hauteur des baguettes étant également déterminée. Ce produit du nombre des boucles, par leur développement autour d'une baguette, donnera la longueur totale de la chaîne nécessaire à la formation de la peluche. On conçoit qu'elle sera variable avec la hauteur et le nombre de ces fers, qui sont en général proportionnels à la beauté de l'effet que l'on veut obtenir; il n'est pas rare de voir des velours ayant vingt-cinq boucles par centimètre. Le rapport le plus généralement établi entre la longueur de deux chaînes, pour un velours de bonne qualité, est de un à six, c'est-à-dire que la chaîne supérieure a six fois la longueur de celle inférieure.



2477.

La fig. 2477 indique à gauche le remettage, et à droite l'armure; cet exemple présente le cas d'un coup de fer contre quatre coups de fond; très souvent on diminue le nombre de ces derniers avec la force du velours. La figure donne la disposition des remises dans lesquelles passent les chaînes *f f*, venant des deux ensouples *c c'*, pour être tissées en B où l'on a simulé l'étoffe formée. Elle montre que la course du remettage se compose de deux fils de la chaîne du fond passés dans les lisses L L' pendant que ceux de la chaîne de la peluche s'engagent dans les lisses 1, 2, 3, 4 de la seconde remise.

Ce que nous venons de dire est surtout applicable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au tissage des velours de soie. Celui des velours de coton diffère du précédent par la direction qu'on donne à la partie veloutée; au lieu d'être formée, en coupant les fils de la chaîne supérieure dans le sens de la trame, et par conséquent perpendiculairement à leur direction, elle l'est au contraire par la section longitudinale dans le sens de la chaîne, qui a été tissée simple ou double sans l'insertion des baguettes, comme nous le verrons plus loin.

Le coupage, au lieu d'être fait pendant le tissage même, est exécuté après sur la pièce entière. En France, il est encore pratiqué à la main; en Angleterre, on est parvenu à le faire à la mécanique. ce qui donne avec économie d'excellents résultats.

Opérations préliminaires des tissus du troisième genre de la première classe. — Étoffes de gazes ou à jours, de fils mixtilignes.

Nous allons indiquer en quelques mots les principes du remettage et des armures de gazes avant de passer aux opérations préliminaires que nécessitent les étoffes façonnées.

Les tissus à jours sont formés par l'entrelacement d'une chaîne et d'une trame comme tous ceux que nous avons examinés jusqu'ici, avec cette différence qu'ils présentent des espacements de grandeurs marquées et égales entre les deux systèmes de fils qui proviennent du

2478.



2479.



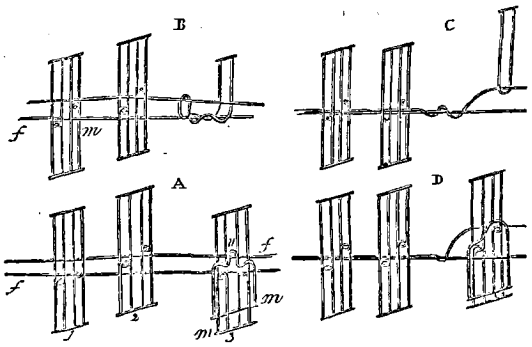
2480.

l'ourdissage. Pour que cet effet puisse être produit, il faut nécessairement que ceux qui doivent tourner autour des autres soient moins tendus qu'eux et que le remettage en soit fait d'une manière particulière. Il faut de plus qu'ils soient disposés sur un ensouple séparé. Les fils rectilignes des étoffes de gazes con servent le nom de *fils droits ou fixes*. Ceux de révolution sont nommés *fils de tours* ou *tours anglais*. Chacun d'eux, au lieu de se lever et de se baisser alternativement, comme cela a lieu pour les tissus ordinaires, ne peut se mouvoir que dans un sens. Celui fixe est toujours baissé et celui de tour au contraire est toujours levé. Le mouvement de ce dernier n'est effectué que de deux en deux coups de trame. Pour qu'ils produisent les révolutions que nous venons de décrire, il faut des dispositions de remettage et de lisses particulières. Les fig. 2480 et 2481 montrent ces dispositions.

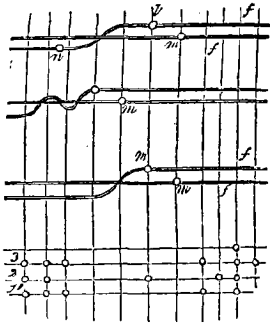
Les fils passent en même temps dans deux lisses ordinaires 1 et 2, dont la première se nomme *lisse fixe*, parce qu'elle reçoit le fil droit, et la seconde *lisse de correspondance*, parce qu'elle sert comme intermédiaire à établir le croisement *avec une lisse anglaise à culotte*. Celle-ci est composée de la réunion de deux lisses entières et d'une demie. La première *m*, en est une à coulisse qui ne se lève pas, et qui reçoit par conséquent également le fil fixe; la seconde *m'* est une maille à coulisse qui se lève au contraire à un intervalle de deux coups de trame. Les deux se trouvent réunies par une demie *r*, qui est comme à cheval sur elles. C'est cette dernière qui reçoit le fil de tour après son passage dans la première à coulisse et qui, pour traverser la demi-maille, est obligée de passer sous le fil fixe.

Tissus façonnés. Nous savons que par l'emploi des lisses il est impossible d'arriver à des effets très variés

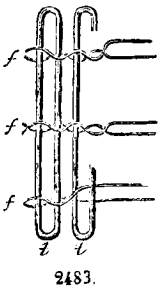
2482.



2481.



vide réservé entre eux lors de l'ourdissage. Les figures 2478, 2479 et 2483 sont une configuration de la disposition relative des fils grossie pour mieux faire saisir leur mode d'entrelacement. On voit qu'une de leurs parties suit la direction rectiligne, que les autres enveloppent les premiers en faisant une certaine révolution autour d'eux. Les fils *t* sont droits et ceux *f* sont contournés autour d'eux. Ce mode d'entrelacement est convenable pour maintenir parfaitement les vides réservés par



2483.

sans une grande complication dans le montage du métier, une perte de force et de nombreuses chances d'erreurs. En effet, comme nous l'avons vu, les dessins que l'on peut obtenir par l'entremise des lames, sont bornés aux figures qui seraient formées par des lignes droites de longueurs assez sensibles. Ces moyens deviennent donc insuffisants lorsqu'il s'agit de reproduire, par le tissage, les ornements les plus délicats, d'imiter les gravures en taille-douce ou l'impression la plus parfaite. Aujourd'hui, cependant, nous retrouvons à chaque pas des preuves qui indiquent que la solution de ces problèmes n'offre plus aucune difficulté et peut à peine exciter notre curiosité. Il n'en était pas de même lorsque, à l'exposition de 1825, l'habile professeur de l'École de la Martinière, M. Maisiat, vint démontrer les immenses ressources que pouvait offrir le métier à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

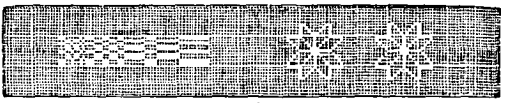
Jacquart, en exposant le testament de Louis XVI encadré de magnifiques ornements. Tout le monde admira alors la parfaite exécution de ce véritable chef-d'œuvre. Depuis, chacune de nos expositions brilla par de remarquables tissus de ce genre. A celle de 1844, on a vu la belle tête de Jacquart reproduite avec la pureté du burin par les moyens si simples de son invention. Cette découverte a réellement quelque analogie, par sa simplicité et par sa nature, avec celle de l'imprimerie. On commettrait cependant une grave erreur en attribuant à notre époque la connaissance de tous les artifices qu'exige le tissage des étoffes façonnées, car ils sont connus depuis plusieurs siècles, ainsi que nous l'avons déjà constaté : l'industrie contemporaine a simplifié les moyens, grâce à la diffusion des connaissances mécaniques : nous aurons souvent occasion d'appuyer la vérité de ces assertions dans les descriptions qui vont suivre.

Composition des dessins. Les sujets de dessins façonnés sont quelquefois copiés sur des tableaux ou ornements déjà existant sous une forme quelconque ; mais le plus souvent ils sont l'œuvre des dessinateurs spéciaux pour les tissus. Les connaissances qu'exige cette spécialité sont donc plutôt du ressort des beaux-arts que de celui de l'industrie proprement dite; il ne suffit cependant pas d'être un habile dessinateur pour réussir complétement dans ce travail : il faut encore que l'artiste soit bien pénétré des moyens qui seront employés pour réaliser son œuvre, afin de chercher à rendre cette exécution plus facile, plus économique, et à faire en sorte que l'harmonie des couleurs soit toujours observée. Pour remplir ces conditions et surtout la dernière, le dessinateur doit savoir que le mariage des nuances a lieu au tissage par la liaison de fils qui réfléchissent et absorbent diversement la lumière suivant qu'ils sont plus ou moins tordus ou qu'ils sont employés dans telle ou telle direction.

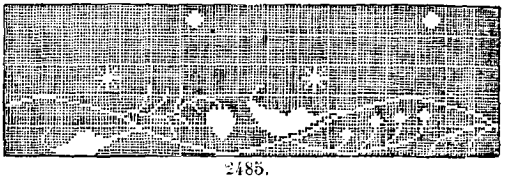
Mise en carte. L'opération de la mise en carte vient immédiatement après la composition ; elle a pour but de retracer sur le papier le dessin à tisser, en indiquant la position de chaque fil de la chaîne et de la trame et l'effet qu'ils devront produire dans l'étoffe. Ceux auxquels on peut arriver par les armures se concevant facilement à priori et les moyens à employer étant simples et limités, ce genre de tissage n'exige par conséquent pas *la mise en carte*.

Ce que nous allons dire concerne donc essentiellement les tissus façonnés, quoiqu'on puisse l'appliquer à tous les genres sans distinction.

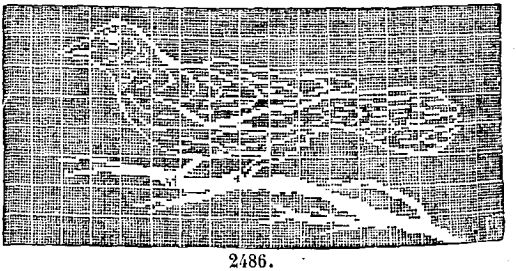
Pour indiquer toutes les positions relatives des fils de la chaîne et de la trame dans le sujet qu'on veut tisser, on le dessine sur un papier quadrillé, de telle sorte que les lignes verticales figurent les fils de la chaîne et les horizontales ceux de la trame. En colorant ensuite le dessin avec les teintes qu'on lui destine, on jugera facilement à l'avance de l'effet qu'offrira l'étoffe fabriquée. C'est ce tracé reproduit sur le papier quadrillé qu'on a désigné sous le nom de *mise en carte*. Le dessin ou l'esquisse étant arrêtée, on divise sa surface en petits carrés qui doivent servir de points de repère pour la transporter sur la mise en carte (1). Le nombre des petits carrés sur l'esquisse doit, par conséquent, être en rapport avec celui des grands du papier quadrillé nécessaire à la mise en carte du dessin. Les fig. 2484, 2485 et 2486 donnent un exemple d'un dessin mis en carte exécuté sur du papier quadrillé nommé du 10 en 10. On voit en effet que chaque carré principal est subdivisé en 10 parties sur chacun de ses côtés ; ce sont les



2484.



2485.



2486.

carrés principaux qu'on avait d'abord tracés sur l'esquisse de grandeur naturelle. Chacun des petits carrés occupe la place d'un fil; les interlignes de ceux horizontaux représentent les fils de la trame, et les verticaux ceux de la chaîne. La réduction du tissu, c'est-à-dire le rapport entre les nombres des fils de la chaîne et de la trame pour l'unité de mesure, étant déterminée, on comptera donc chaque petite division comme l'un de ces fils et on indiquera sur le papier quadrillé la place de chacun d'eux dans le dessin à exécuter, comme on le voit dans les figures. Il suffit de lui donner une teinte enluminée ou plus foncée pour se rendre compte de la quantité de fils qu'il embrasse. Comme chaque petit carré ne représente qu'un seul fil, et qu'ils occupent toujours un espace bien plus considérable que celui qui leur est réellement nécessaire dans le tissu ou dans le dessin exécuté de grandeur naturelle, il en résulte que la mise en carte exige toujours une surface plus considérable que celle du dessin exécuté. Celle-ci sera à celle de la première comme l'intervalle des carrés est à la distance entre les fils. Si donc la grandeur d'un carré est double de la distance entre les fils du tissu, la mise en carte occupera une place double de celle de la figure à tisser ; ce rapport est généralement plus grand.

Il n'y a rien d'absolu dans la division des papiers quadrillés. On peut les faire établir suivant le besoin et la variation des réductions. Cependant on se sert le plus communément de celui dont chaque division principale forme un carré parfait divisé en 10 autres plus petits. C'est ce qu'on nomme du papier de 10 en 10, et la surface du carré contient par conséquent 100 divisions. Les papiers quadrillés existent dans le commerce en différentes grandeurs, et portent les numéros 1, 2, 3, suivant les réductions. Ceux ayant les plus grands interlignes ser-

(1) L'invention de la mise en carte remonte à 1770; elle est attribuée à Revel, peintre d'histoire assez médiocre, qui eut le premier l'idée de reproduire des fleurs sur les étoffes, et qui, après quelques essais, arriva aux moyens pratiqués aujourd'hui pour la mise en carte. L'idée de colorier la mise en carte se présenta bientôt; on en fit usage dès 1774, et on la doit à Philippe de la Salle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent aux tissus dont les fils sont les plus gros ou les plus espacés.

On distingue ensuite des divisions

de 8 en 5,
de 8 en 6,
de 8 en 20,
de 10 en 12,
de 12 en 25.

Au lieu de diviser le papier en carrés parfaits, on le divise aussi en rectangles. Les nombres ci-dessus indiquent le rapport des côtés. Comme on emploie autant que possible les papiers réglés en correspondance avec les réductions en trame et en chaîne, si l'unité de surface, le centimètre carré par exemple, renferme autant de duites que de fils de chaîne, il est clair qu'il faudra se servir de papier dont le nombre de carrés de la base sera égal à celui de la hauteur, afin de représenter plus fidèlement la configuration des fils tels qu'ils seront disposés dans le tissu; si les réductions varient, il faudra choisir un numéro et des divisions le plus possible en rapport avec cette variation.

Il est de convention d'énoncer toujours en premier les nombres des fils de la chaîne; la désignation d'un papier de 8 en 10, indiquera donc que le rapport des fils de la chaîne à ceux de la trame sera :: 8 : 10 et ainsi de suite. Le papier réglé en petits carrés n'est pas le seul employé pour la mise en carte. On se sert assez souvent, surtout pour la fabrication des châles, de papier brioleté. Les divisions, au lieu de représenter des carrés parfaits, sont des rectangles offrant la figure de petites briques, disposées comme elles le sont ordinairement dans la maçonnerie, c'est-à-dire joints sur plein et *vice versâ*. Cette modification du papier de mise en carte permet de lier deux fils à la fois, d'économiser par conséquent la moitié du lisage et d'apporter par suite une économie proportionnelle dans le montage du métier. Nous reviendrons sur cette méthode imaginée par M. Eck en 1823.

La mise en carte ne servant que comme moyen intermédiaire pour le tissage du dessin, et pour désigner d'une manière exacte et détaillée les points où les fils de la chaîne ou de la trame doivent être vus ou cachés; ou, en d'autres termes, pour indiquer tous les contours que ces fils doivent déterminer dans leur entrelacement, il s'agit maintenant de démontrer comment on parvient à résoudre le problème posé, c'est-à-dire comment on réalise ce que demande la mise en carte.

Remarquons d'abord que tous les points foncés ou noirs marquent des points où les fils de la chaîne doivent être apparents, tandis que tous les autres qui présentent une nuance plus claire désignent la trame. Il faut donc que tous les fils de la trame qui correspondent aux points noirs, soient recouverts par la chaîne, et que celle-ci soit cachée par les fils de la trame apparents. Il faut par conséquent que dans le premier cas ceux de la chaîne soient baissés ou restent immobiles pour se laisser recouvrir par la duite en cet endroit, tandis que dans le second ils doivent être soulevés pour laisser passer la duite au-dessous d'eux; le travail se borne d'après cela à faire mouvoir ces différents fils aux places déterminées par la mise en carte. Quant au mouvement de la trame, il reste toujours le même; la duite passe à chaque course dans toute la largeur de l'étoffe. Les effets variés qu'elle produit ne proviennent que du plus ou moins grand nombre de fils dessus ou dessous lesquels elle passe. Seulement lorsqu'il s'agit de tramer en diverses couleurs, on emploie autant de *canettes* qu'il faut de nuances, en ayant soin de bien observer leur ordre tel qu'il a été indiqué par la lecture du dessin.

Pour pouvoir faire agir à volonté d'une manière indépendante tous les fils de la chaîne, chacun d'eux est fixé à une aiguille verticale (nous verrons dans la description des métiers à tisser comment cette communication est effectuée). Chacune de ces aiguilles a par conséquent son petit carré correspondant sur la mise en carte; en levant, pour fournir le passage à la duite, toutes celles dont les places indiquent que les fils de la chaîne doivent être apparents seront soulevées avec ceux qui y sont fixés, et il est évident que l'effet sera obtenu puisque celles qui n'auront pas été levées, se laisseront recouvrir par la trame.

Mais on conçoit que s'il fallait opérer en manœuvrant chaque fil à la main, le travail deviendrait long, compliqué, coûteux et sujet à bien des erreurs; aussi a-t-on trouvé depuis bien longtemps des moyens plus sûrs et surtout plus économiques. Ils ont été graduellement perfectionnés. Nous n'indiquerons pour le moment que le principe sur lequel est basé celui qui est exclusivement employé aujourd'hui et qui constitue l'élément principal de l'invention de Jacquart. Il consiste dans une bande de carton sur laquelle sont marquées toutes les places des aiguilles qui portent les fils de la chaîne; cette bande est percée de petits trous en tous les points où ils doivent rester immobiles, tandis qu'on laisse le carton intact aux points où il s'agit soit de les soulever, soit de les abaisser, pour laisser voir ceux de la trame. On perce ainsi pour chaque duite autant de bandes de cartons qu'il y a de couleurs dans cette duite. L'ensemble de cartons d'une duite est désigné sous le nom de *passée*, parce qu'ils sont en effet les mobiles des fils qui ont reçu ce nom. Si maintenant on présente une bande de carton ainsi préparée au-dessus des aiguilles de la chaîne, il s'ensuivra que celles correspondant aux petits trous les traverseront et resteront dans leurs positions, tandis que celles qui rencontreront des parties pleines seront repoussées par le plus léger effort et feront par conséquent dévier les fils qu'elles portent. La course de la trame ne variant pas dans sa direction rectiligne horizontale, les recouvrira nécessairement, et on obtiendra de cette façon une ligne du dessin, celle tracée sur une rangée des petits carreaux pour une couleur; si donc on a autant de bandes de cartons semblables qu'il y a de rangées de petits carrés et de couleurs dans le dessin, et qu'on les présente successivement aux aiguilles dans l'ordre indiqué par la mise en carte, on exécutera tout le dessin de la même manière. Chaque carton est, pour ainsi dire, la matrice nécessaire pour former la partie du dessin comprise dans la largeur d'une duite.

Les choses ne se passent pas tout à fait ainsi dans le métier à la Jacquart. Les communications de mouvements entre les cartons et les aiguilles sont mieux appropriées, comme nous le verrons lorsque nous décrirons la machine; nous ne voulons ici que bien faire saisir le but de cette ingénieuse invention.

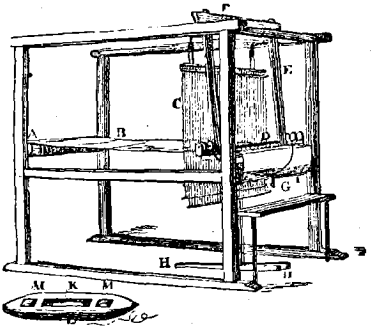
L'opération du percement des cartons dans l'ordre exigé par la mise en carte est nommée *lisage*. Lorsque le dessin est lu, on procède au montage du métier qui doit exécuter le tissu; c'est-à-dire qu'on dispose la chaîne sur l'ensouple du derrière; on la déroule ensuite pour exécuter le remettage des fils, l'assemblage des lisses ou des maillons avec les parties qui doivent les faire mouvoir, la distribution des fils entre les dents du peigne du battant, pour aller enfin la fixer au cylindre ensouple du devant. L'exécution de ce travail est fort délicate et demande une connaissance parfaite de tous les organes du métier, lorsqu'il s'agit de le préparer pour tisser des étoffes façonnées; nous avons par conséquent réservé ce sujet pour ne le traiter qu'après avoir décrit les différents métiers à tisser.

Description des métiers à tisser. Un métier à tisser se compose toujours de parties mobiles ou organes exécutant le travail, et de parties fixes qui servent de points d'appui ou de bâti aux premières.

La fig. 2187 représente en perspective un metier à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tisser réduit à sa plus simple expression et à peu près semblable à ceux qui sont connus depuis les temps les plus reculés, et qui sont encore usités pour le tissage à la main. La partie immobile se compose d'un bâti rectangulaire dont les montants réunis forment un ensemble solidaire ajusté à angles droits de manière à pouvoir résister aux ébranlements. Il supporte les pièces mobiles qui se composent : 1° du cylindre ou ensouple du derrière A, recevant la chaîne; 2° des lisses CC en plus ou moins grand nombre, la figure n'en offre que deux; 3° des leviers ou marches H H qui font manœuvrer ces lisses, par l'entremise des cordes attachées à leurs extrémités inférieures et par d'autres, qui les réunissent à leurs extrémités supérieures en passant sur des poulies ; 4° du *rot* ou *peigne* E, placé au bout d'un levier vertical qui peut prendre un mouvement autour de l'axe F; c'est l'ensemble de ce système qui porte le nom de *battant;* 5° de la *poitrinière* D en bois sur laquelle passe l'étoffe tissée; 6° du cylindre ou ensouple du devant G sur lequel la chaîne tissée et tendue vient s'enrouler par un cliquet.



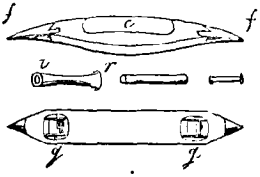
2488. 2487.

Nous revenons sur ce métier si simple et si connu en quelques mots qui suffiront pour en faire connaître les fonctions. La chaîne fixée dans les deux lisses et passant entre les dents du peigne ou battant, étant convenablement tendue sur les deux ensouples par l'un des moyens de tension que nous examinerons, et les deux marches H H restant dans le même plan, tous les fils de la chaîne seront parallèles entre eux et formeront une ligne à peu près horizontale de D en A. Le peigne E occupe alors une position verticale au lieu de la direction inclinée qu'on remarque dans la fig. 2487.

Pour commencer à tisser, l'ouvrier se place en avant du cylindre G sur un banc disposé à cet effet et que l'on voit par la figure. Il pose un pied sur l'une des marches, sur H par exemple; elle descend alors, fait baisser la lisse C avec tous les fils qu'elle porte pendant que la marche H' monte avec tous les siens Ils forment en conséquence un parallélogramme ; c'est dans l'angle que l'on fait passer la navette contenant la trame. A chaque passage, elle fournit une duite de la largeur de la chaîne; une duite étant chassée, l'ouvrier fait mouvoir le peigne E avec une certaine force, de façon à bien égaliser la duite, et à la serrer suffisamment au sommet de l'angle. Ce mouvement exécuté, il le recommence avec le levier H' et les parties correspondantes. La chaîne reprend encore les mêmes positions dans l'espace que précédemment, avec la seule différence que les fils qui composaient dans le premier mouvement les côtés inférieurs du parallélogramme, en forment maintenant les supérieurs et *vice versâ*, de manière que la duite est incorporée entre eux, absolument comme les règles d'enverjures, et forme avec ceux de la chaîne un corps très intimement lié; on chasse une seconde duite dans le nouvel angle formé, et on la serre de nouveau comme la première fois, et ainsi de suite pendant tout le travail. Comme le fil de la trame ainsi logé forme des sinuosités dessus et dessous ceux de la chaîne, il tend toujours à rétrécir la largeur de celle-ci; pour limiter ce rétréoissement et conserver une dimension régulière à l'étoffe, on place à plat une règle ou *temple*, fixée de chaque côté dans la lisière au moyen de pointes. A mesure qu'une certaine quantité est tissée, on l'enroule sur le cylindre G qui porte une petite roue à rochets.

De la navette. Pour chasser la trame on se sert d'une des navettes, représentées fig. 2488, 2489 et 2490. Une cavité ou *chase* reçoit la canette qui repose sur son axe r dont les deux extrémités forment tourillons. Lorsqu'on chasse la navette, son mouvement fait dérouler le fil d'une duite à travers un trou pratiqué

2489.



2490.

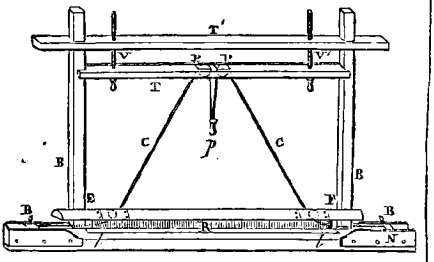
dans l'épaisseur de l'outil. Comme les navettes doivent passer le plus rapidement possible, on les fait en bois dur et sec, et pour augmenter la solidité, on en ferre les deux extrémités; afin qu'il y ait moins de frottement contre les fils, on diminue les surfaces frottantes en leur donnant une certaine courbure ; souvent aussi on munit leur partie inférieure de galets comme on le voit en *g* (fig. 2490).

Le poids de la navette et le volume de la chasse doivent être proportionnels à la largeur de l'étoffe à produire. La première condition est nécessaire pour que le mouvement, qui est uniformément retardé par le frottement, soit moins irrégulier; la seconde est exigée pour qu'elle porte le plus de fil possible, et pour diminuer la perte de temps nécessaire à son remplacement. L'axe de la canette qui reçoit la trame n'a pas toujours la même forme. Pour les matières ordinaires, on emploie généralement celle indiquée. Elle se compose de deux cônes renversés montés sur un axe placé dans la chasse. Cette disposition permet au fil de se dévider régulièrement sans s'enmêler. Mais on voit que ce mouvement du fil varie non seulement avec la vitesse de la navette, mais encore avec la circonférence de la canette qui va en diminuant à mesure que le dévidage avance; pour obvier à ces causes d'irrégularités, on emploie plus fréquemment pour les matières délicates la canette dite à dérouler. L'axe est fixé d'un côté au moyen d'une fourche *g*, et de l'autre, il est arrêté par une goupille qui le maintient immobile. Il porte deux petites branches ou ressorts en baleine, qui pressent sur le fil à mesure qu'il se déroule. Ce petit système de l'axe avec ses ressorts porte le nom de *pointizelle*.

Il existe plusieurs autres espèces de navettes. A toutes, il faut chercher à faire remplir les conditions suivantes : 1° Elles doivent avoir un mouvement aussi régulier que possible pendant toute leur course; 2° la longueur du fil fournie par chacune doit être la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même ; 3° le dévidage doit se faire très uniformément sans mêler la trame. Tantôt l'impulsion de la navette a lieu directement à la main, et ce cas est le plus rare; l'ouvrier la chasse alors d'une main et la reçoit de l'autre, avec laquelle il la renvoie ensuite de même; tantôt, et presque toujours, la navette est attachée à l'extrémité d'une petite corde qui passe sur une poulie de renvoi fixée au battant et dont l'autre extrémité est garnie d'une poignée p (fig. 2491) que l'ouvrier manœuvre pour donner un coup de trame. Cette disposition est connue sous le nom de *navette volante*.



2491.

Du battant. La fig. 2491 donne l'ensemble d'un battant garni d'une navette et disposé pour fonctionner. C'est un des plus simples et des plus généralement employés pour les étoffes légères, telles que les cotonnades, les gazes, les batistes, etc. La pièce inférieure ou masse N doit être la partie la plus lourde, on peut faire varier son poids; elle porte en saillie et en avant les boîtes B B qui renferment la navette à laquelle le mouvement est imprimé par le *chasse-navette*. Cette pièce appelée *taquet* ou *rat* a deux saillies *ss* qui glissent entre deux rainures pratiquées dans la boîte. Quand la corde *c* la fait mouvoir son étrier *e* chasse la navette; le fond des boîtes et le seuil *ll'* sont de niveau pour qu'elle puisse être lancée sans obstacle.

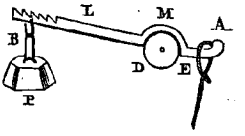
C'est dans la masse N d'un côté et dans la poignée E F de l'autre que se trouve assemblé le peigne formé par une réunion de lames métalliques ou de roseau (c'est de ce dernier que lui vient le nom de *rot*). Cette partie inférieure du battant est réunie aux montants verticaux B B qu'on fait aussi longs que le métier le comporte pour avoir un levier d'une puissance aussi grande que possible. Ils soutiennent les deux traverses horizontales T T' parallèles entre elles : la première porte les poulies, les cordes des navettes et les vis V V' qui traversent la seconde T'; celle-ci fait fonction d'écrou lorsqu'on fait monter ou descendre les pièces verticales B'B' du battant, de manière à faire varier les bras du levier suivant qu'on doit frapper avec plus ou moins de volée.

Des cylindres ensouples. Pour compléter l'explication des différentes parties du métier, nous allons revenir sur les cylindres ensouples dont nous n'avons dit que quelques mots. On sait que l'un de ces rouleaux, celui du derrière, reçoit la chaîne et l'autre l'étoffe, et qu'il faut pour exécuter le tissage que la chaîne éprouve une certaine tension variable suivant la nature et le genre du tissu, mais qui doit rester la même pendant toute la durée du tissage d'une étoffe.

On emploie différents moyens pour opérer cette tension, nous allons passer en revue les principaux :

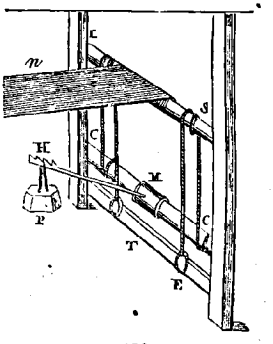
Le valet de frottement représenté fig. 2492 est un des plus anciennement connus; l'ensouple D est embrassé par la courbe frottante M du bras du levier L qui a son point d'appui en A. L'action de la force de tension peut être modifiée, soit en approchant, soit en écartant

2492.



le poids P qui opère le frottement, soit en le diminuant. Ce système a l'inconvénient d'exiger une charge considérable difficile à manœuvrer.

Un des modes les plus usités pour la soierie surtout est l'emploi de la *bascule à rouleau* représentée fig. 2493;



2493.

sur le bâti du métier est fixé un cylindre de treuil C C qui porte sur la moitié de la longueur un manchon M, percé de plusieurs trous destinés à recevoir une extrémité du bras du levier, l'autre est chargée des poids de tension P; l'ensouple est comme précédemment enveloppée à chaque bout d'une corde dont l'un est fixé à une traverse T du métier et l'autre au cylindre CC'. Lorsqu'on veut faire varier la pression on change le levier de trou, ou l'on fait glisser le poids P sur les crans du levier O. La chaîne *n* se trouve ainsi tendue à volonté sur l'ensouple I J. Il existe encore plusieurs autres modes de tension, comme ils n'offrent rien de particulier et qu'on peut les comprendre au premier coup d'œil, nous nous bornerons à celui que nous venons d'indiquer.

Rouleau du devant. Les moyens que nous venons de décrire ne sont appliqués que sur le cylindre du derrière de la chaîne, il est vrai, mais n'en transmettent pas moins la même tension à la partie tissée.

Le rouleau du devant est le point qui reçoit la puissance et celui du derrière celui où agit la résistance. La tension transmise sera par conséquent la même pour tous les points de la chaîne dans un temps déterminé; mais elle varie à mesure qu'on déroule les fils et qu'on les enroule sous forme de tissu. Le diamètre de l'ensouple qui porte la chaîne diminue, tandis que celui sur lequel s'enroule l'étoffe augmente, il y a donc la

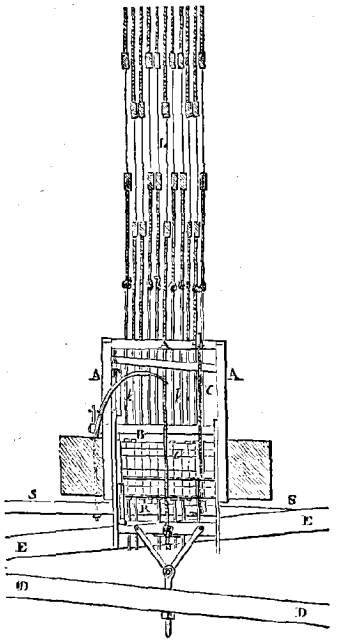
EFERUS - Recherche & Classification numérique

une première cause de variation dans la tension. Il en existe une autre encore, c'est l'enroulement intermittent du tissu sur son ensouple. Il ne se fait que lorsque l'ouvrier en a produit une certaine quantité. La distance d'où il frappe avec le battant augmentant, le bras du levier diminue relativement, et si l'impulsion reste la même, le serrage des fils va en s'affaiblissant dans l'intervalle d'un enroulement à l'autre. Cet envidage du tissu se fait généralement au moyen d'un encliquetage ou d'un levier qui entre dans des trous du cylindre que l'ouvrier fait tourner à la main.

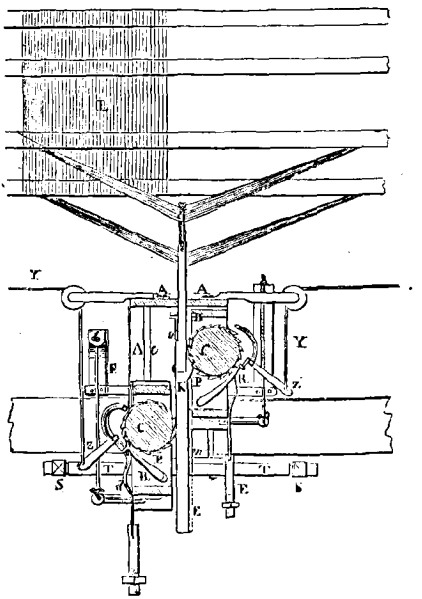
Métier à cylindres multiples. Le métier à double cylindre pour faire mouvoir les lisses peut être considéré comme intermédiaire entre les métiers à marches dont nous venons de parler et ceux à la Jacquart dont nous aurons à nous occuper plus loin. Il en existe plusieurs basés sur le même principe, dus encore à Vaucanson ; mais celui qui nous a paru le plus simple, le plus pratique, et le plus économique, est celui qu'a inventé, en 1844, M. *Pesnel*, ouvrier mécanicien.

Supposons qu'il s'agisse de faire une étoffe qui exige un grand nombre de lisses, 25, par exemple, et que l'armure soit telle que chacune d'elles ait besoin d'être mue alternativement ; dans le système des métiers à marches, il faudrait avoir recours à 25 leviers, contre-leviers et à leurs cordages correspondants. Si pour éviter ces complications, l'usure et l'entretien des cordes, ainsi que les erreurs auxquelles l'ouvrier est exposé, on veut employer le mécanisme de Jacquart, le lisage du dessin, le secours des cartons et le montage du métier, qui en sont la conséquence, deviennent indispensables. Quoique le métier à la Jacquart soit bien répandu, il existe cependant encore des pays où l'on est peu familiarisé avec son emploi, et où l'on recule devant les dépenses qu'il occasionne ; c'est principalement dans les endroits où l'on produit des étoffes façonnées, peu compliquées et avec des matières communes. Il en est ainsi pour les articles façonnés de *Roubaix*, de *Flers*, d'*Alsace*, beaucoup d'espèces de rouenneries et même des étoffes de fantaisie en laine à la fabrication desquelles les métiers à la marche peuvent être employés avec avantage. Le but de celui de Pesnel est de remplacer très favorablement les complications des leviers dans toutes ces circonstances.

Principe du métier. Soit un certain nombre de lisses montées comme à l'ordinaire sur une chaîne ; au lieu d'attacher chacune d'elles à une corde fixée à un levier correspondant, on la lie par sa partie inférieure à une tige ou lame métallique que l'on voit en détail en *k* (fig. 2494 et 2495). Ces lames portent une saillie ou mentonnet *mm*, passent dans une plaque horizontale percée d'autant de trous qu'il y a de tiges. Cette disposition maintient les lisses bien parallèlement dans des plans verticaux ; le mouvement leur est imprimé au moyen d'un cylindre C placé en avant des lames et qui porte des vis dont la tête forme came et vient s'appuyer sur les saillies *m* des tringles qu'elles doivent faire baisser.



2494.



2495.

Il s'agit maintenant d'expliquer comment la position des vis sur le cylindre doit être déterminée, par quel moyen s'effectue son mouvement, et enfin le but des deux cylindres.

Quant à la détermination des places des cames ou vis sur la périphérie du cylindre, il sera facile de comprendre comment on y arrive. Supposons qu'à la place d'un cylindre on ait une plaque verticale portant des divisions verticales et horizontales dont les intersections correspondent aux lames, que cette plaque chemine ver-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ticalement et qu'elle présente successivement une de ces divisions aux lisses; dans le premier mouvement correspondant à la première division, elle en fera alors baisser autant qu'on aura implanté de vis sur les intersections; l'ordre de leur mouvement, et par conséquent celui des fils de la chaîne correspondante, se fera suivant la disposition des vis; si la plaque continue à se mouvoir elle abandonnera bientôt les premières lisses, en reprendra de nouvelles selon la disposition des vis sur la seconde division, et ainsi de suite. Dans le métier Pesnel, la plaque verticale est remplacée par un cylindre horizontal. Les choses se passent tout à fait de la même manière, parce qu'on a divisé ce cylindre suivant ses génératrices, et sa base en un égal nombre de parties. La détermination des points que doivent recevoir les petites cames pour produire un effet voulu sur le tissu, dépend de l'opération, que l'on nomme *lisage*, que nous aurons à étudier bientôt en détail.

Transmission de mouvement. Le cylindre C, qui porte les vis, peut tourner dans un châssis en bois A, qui peut lui-même prendre un mouvement de translation de haut en bas et de bas en haut, dans des coulisses pratiquées latéralement dans une boîte, ou petit bâti B fixe établi sous le métier. Le châssis est attaché à un levier ou pédale, destinée à recevoir l'impulsion du pied du tisserand. Le cylindre C porte sur un des côtés de son axe une roue à rochet P, garnie d'autant de doubles dents qu'il y a de divisions au cylindre. Elles sont de deux grandeurs et ont deux directions différentes : la fonction des grandes est réglée de manière à ce que le chemin que chacune d'elles fait décrire au cylindre soit égal à chacune de ces divisions; il y en a par conséquent autant que de ces dernières; les petites sont disposées de façon à engrener avec un rochet, qui empêche le cylindre de revenir sur lui-même pendant sa rotation. La disposition du mécanisme est symétrique; il y a deux cylindres C, un de chaque côté du petit bâti B. Chacun communique à un levier E, de manière à être mis en mouvement alternativement, et à pouvoir commander une double quantité de lisses, ce qui nécessiterait un diamètre double, si l'on n'employait qu'un seul cylindre.

Lorsque l'ouvrier baisse l'une des marches, il fait descendre le châssis correspondant et le cylindre qu'il porte, et qui ne tourne pas alors. Les vis qui y sont fixées pressent sur les saillies des lames K, et les font baisser avec leurs fils; c'est à ce moment que l'ouvrier chasse la trame; il abandonne le premier levier pour agir sur le second. Pendant ce temps, le premier système, cylindre et châssis, remontent de leur propre mouvement par l'entremise du ressort F, auquel le cadre est attaché par une corde r; à chaque course la roue à rochet rencontre un arrêt q qui la fait tourner d'une dent, de manière à ce qu'elle présente une division, et par conséquent une combinaison de vis nouvelles aux lames K des lisses. Lorsque l'ouvrier remarque un défaut dans son ouvrage et juge nécessaire de le détisser, il fait rétrograder les cylindres; ce qui est exécuté par le moyen d'une corde Y qui agit sur le levier R. Celui-ci peut entrer dans les dents de la roue à rochet, et les faire tourner dans le sens opposé à celui qu'elles prennent lors du travail. La foule de ce métier, c'est-à-dire l'action des fils, ayant lieu en dessous de manière à les faire baisser, le *façonné* se produit par conséquent en dessus, ce qui facilite la surveillance du travail. Tout le mécanisme prend très peu de place, et peut être appliqué à un métier à tisser ordinaire quelconque.

Métiers mécaniques à tisser. Le tissage mécanique a été la conséquence forcée de l'invention des machines à filer, dont la production fut telle, que les moyens ordinaires de tissage devinrent bientôt insuffisants; aussi les premières tentatives du tissage automatique eurent-elles lieu en Angleterre, pour le coton, peu de temps après les succès des inventions de Highs, d'Hargrave et d'Arkwrigt. Il est curieux de voir que l'invention des machines à filer fut une conséquence de l'insuffisance du filage à la main, qui ne pouvait produire assez pour alimenter le tissage, et que le tissage mécanique, à son tour, prit naissance pour pouvoir marcher de pair avec le nouveau système de filature. Ce sont là d'ailleurs des résultats très naturels qui pouvaient être prévus à l'avance, et qui se représentent dans mille circonstances analogues. Il est évident pour nous que si la filature automatique eût existé du temps de Vaucanson, le métier qu'il inventa pour tisser mécaniquement les étoffes unies et façonnées, eût eu un véritable succès, car ce célèbre ingénieur, dont toutes les découvertes étaient empreintes du cachet du génie, l'eût bientôt rendu complétement pratique.

Aucune spécialité industrielle ne présente une quantité plus considérable d'inventions ou, pour être plus exact, d'inventeurs. Depuis que l'impulsion a été donnée, chaque jour a vu apparaître un nouveau métier mécanique à tisser, tant en Angleterre qu'en France; et cependant aucun n'a encore complétement réalisé toutes les conditions que doit présenter un métier mécanique parfait; rappelons que ces conditions sont les suivantes :

La chaîne doit être également tendue pendant toute la durée du travail; la trame doit se dérouler uniformément, et être constamment serrée avec la même force; le tissu doit toujours recevoir le choc du battant au même point et avec la même intensité; l'enroulement de l'étoffe fabriquée doit être uniforme, de manière à ce qu'on enroule une quantité égale dans le même temps. Ces conditions doivent être réalisées sans fatiguer les fils; le métier doit pouvoir s'arrêter instantanément et de lui-même, lorsqu'un fil vient à casser; son montage doit être prompt, facile, et les éléments de rechange qui le composent exiger peu d'entretien. Enfin, toutes les parties doivent être calculées de manière à présenter un maximum de résistance avec un minimum de matière.

On peut voir par ce succinct énoncé, qui n'est qu'un résumé de la théorie du tissage que nous avons donnée précédemment, que la difficulté de la construction d'un métier ne réside pas dans les moyens d'opérer mécaniquement les différents mouvements. Les progrès de la science offrent, en effet, de nombreux systèmes pour effectuer ces commandes; mais le succès dépend de leur choix, de la combinaison plus ou moins heureuse entre elles, et, en un mot, de la parfaite harmonie entre tous les organes qui constituent la machine. Bien que beaucoup de métiers mécaniques qui ont été proposés n'aient pu être adoptés, le nombre de ceux en usage est encore assez considérable. Sans différer d'une manière sensible entre eux, ils ont quelques particularités qui ont suffi pour les distinguer et les faire breveter. On cite généralement dans l'industrie l'ancien *métier Roberts*, le métier *Heilmann*, le métier *A. Kœchlin et compagnie*, celui de *Stone*, de *Meyer*, de *Decoster*, de *Quemin*, de *Debergue*, etc., etc. Comme il suffit de bien comprendre un seul de ces métiers pour pouvoir se rendre compte de tous les autres, nous nous bornerons à la description de celui de Sharps et Roberts, considéré à juste titre comme fort bien combiné.

Nous décrirons successivement : 1° le bâti; 2° la disposition de la chaîne; 3° le mouvement des lisses; 4° le mouvement du battant; 5° le mouvement de la navette; 6° les communications du mouvement; 7° le mécanisme d'arrêt.

1° *Bâti.* Le bâti, qui est tout en fonte, se compose de deux pans d'une seule pièce ABA'B' tout à fait semblables, et de différentes traverses qui les réunissent. Chacun de ces pans se compose lui-même de deux montants verticaux AA' et BB', de deux traverses horizon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

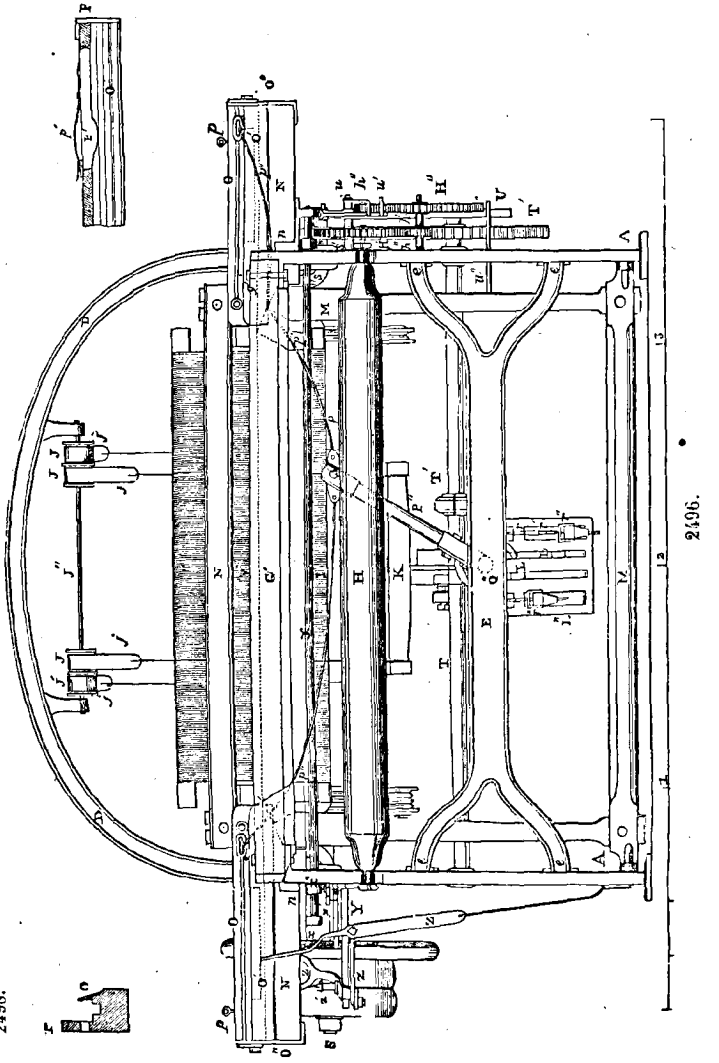
tales AB, A'B', et d'une traverse oblique et courbe C : le montant AA', qui correspond à la partie antérieure du métier a un prolongement supérieur *a*, et une saillie latérale et antérieure *a'* en forme de crochet relevé qui est destinée à supporter l'ensouple de l'étoffe ; le montant BB', qui correspond à la partie postérieure du métier, a un prolongement supérieur *b* en forme de crémaillère, et une saillie latérale et extérieure *b'* à plusieurs

se boulonner à droite et à gauche sur les deux prolongements opposés et qui est destinée à supporter les lisses ;

2° La traverse antérieure E, qui présente à chaque bout une fourche *e e* par laquelle elle se boulonne contre les deux montants opposés AA', AA'.

2° *Disposition de la chaîne.* La chaîne est enroulée sur l'ensouple F, dont les deux bouts se trouvent portés sur

2497.



2496.

2498.

crochets relevés qui est destinée à supporter l'ensouple F de la chaîne ; vers le milieu de la traverse supérieure AB de chaque pan s'élève aussi un prolongement vertical *d d*.

Les traverses de consolidation qui réunissent les deux pans et les deux bouts du bâti sont :

1° La grande courbe en anse de panier D, qui vient

les crochets *b'* des montants postérieurs du bâti ; de là elle vient passer sur le rouleau en bois G pour s'étendre à peu près horizontalement de l'arrière à l'avant du métier en traversant les lisses et le battant, comme nous le verrons tout à l'heure. L'étoffe se fait en *g''*, et la chaîne, alors munie de sa trame, vient glisser sur la forte traverse en bois G' pour redescendre et s'enrouler

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

sur l'ensouple de l'étoffe H que l'on appelle aussi quelquefois ensouple de travail.

La condition de conserver à la chaîne une tension constante pendant toute la durée du travail, malgré la variation du diamètre du cylindre qui porte la chaîne est une des plus difficiles à satisfaire. On y parvient en chargeant une corde qui passe sur une poulie fixée sur l'ensouple F, de poids, en forme de rondelles, et dont il est facile de varier l'action en en changeant le nombre. Un contre-poids plus faible agit en sens inverse afin de mieux maîtriser l'action du poids de tension. L'ensouple H de l'étoffe est pareille à celle de la chaîne, mais les axes en fer qu'elle porte à ses deux bouts sont retenus par des crochets *h*, afin qu'ils puissent tourner sans se déranger, et l'un d'eux, celui de droite, se prolonge au dehors pour porter la roue dentée H'; un peu au-dessous de cette roue un fort boulon *h'''* servant d'axe à la roue-à-rochet H'' et au petit pignon *h'* qui fait corps avec elle et qui engrène avec la roue H'. Il en résulte que la roue-à-rochet H'', par son mouvement, fait tourner le pignon *h'*, puis la roue H', puis l'ensouple H, dans le sens convenable, pour que l'étoffe s'enroule; et il en résulte encore qu'en arrêtant la roue-à-rochet H'', le cliquet *h''* empêche l'étoffe de se dérouler et par conséquent la chaîne de se détendre.

3° *Mouvement des lisses.* Les lisses ou lames sont composées comme à l'ordinaire; on les voit en I, I pour la lame antérieure, et en I', I' pour la lame postérieure. Les œillets de la première, dans laquelle passe la moitié des fils de la chaîne, les fils pairs, par exemple, sont sur deux rangs, ainsi que les œillets de la seconde, dans laquelle passe l'autre moitié de la chaîne ou les fils impairs : on les met sur deux rangs et dans des plans différents, afin que les fils de la chaîne qui les traversent puissent se rapprocher davantage. Ainsi, les fils pairs étant reçus dans la lame I, I, on fait passer les numéros 2, 6, 10, etc., dans le premier rang, par exemple, et les numéros 4, 8, 12, etc., dans le second; il en est de même pour la seconde lame I', I', qui reçoit les fils impairs : les numéros 1, 5, 9, etc., passeront dans les œillets du premier rang et les numéros 3, 7, 11, etc., dans les œillets du second rang : alors, il n'y a entre deux fils pairs consécutifs qu'une demi-épaisseur du fil de l'œillet, au lieu de deux demi-épaisseurs (ou d'une épaisseur entière) qui s'y trouveraient si les œillets étaient sur le même rang et dans le même plan.

C'est pour remplir ce but qu'il y a aussi deux règles ou baguettes I, I, en-dessus et en-dessous, afin que les fils qui portent sur le premier rang d'œillets soient reçus sur les deux premières en haut et en bas, et que ceux qui portent sur le second rang d'œillets le soient sur les deux dernières; il en est de même de la seconde lame I', I'.

Les baguettes de la première lame sont attachées en haut, chacune par deux cordes terminées par des lanières de cuir *j*, *j* dont les extrémités sont clouées sur les poulies en bois J, J; les baguettes de la seconde lame sont pareillement attachées par deux cordes terminées par deux lanières en cuir *j'*, *j'* dont les extrémités sont clouées sur les poulies en bois J', J' : ces deux dernières poulies ont un moindre diamètre que les premières; enfin les deux systèmes de poulies J, J et J', J' sont fixés sur un arbre en fer J'' soutenu à ses deux extrémités par les pièces *j''*, *j''* attachées par des boulons sur l'anse de panier D.

A leur partie inférieure, les lames sont aussi attachées par deux cordes aux fortes règles en bois K et K', au milieu desquelles sont fixées par des boulons des tringles en fer *k* et *k'*, qui viennent s'articuler aux marches L et L'; mais elles s'y articulent dans des rainures, afin que l'on puisse suivant le besoin faire varier leur point d'attache.

Il reste maintenant à indiquer comment les marches L et L' peuvent monter et descendre, et comment elles font en même temps monter et descendre les lisses.

Une double équerre L'' est fixée contre la traverse postérieure E', et en dehors, à laquelle sont adaptées à boulons les deux pièces *l''*, qui portent à leur partie inférieure l'axe en fer *l'''*; c'est sur cet axe que sont montées par des têtes en forme de douille les marches L et L', et qu'elles peuvent se mouvoir sans se déranger; mais, pour mieux assurer encore leur mouvement, elles sont guidées à leur autre extrémité dans les fentes d'une plaque en fonte L''', et alors il est impossible qu'elles puissent dévier; la plaque L''' porte encore près de ses bords 2 autres fentes dont nous verrons plus tard l'usage.

Pour supporter la plaque L''' et pour supporter aussi diverses autres pièces essentielles, il y a deux fortes contre traverses parallèles Q qui viennent se boulonner d'une part contre la traverse antérieure E, et d'une autre part contre la traverse postérieure E'; c'est contre l'une de ces contre-traverses que la plaque L''' est attachée par un boulon.

Il résulte de cette disposition qu'à mesure que la marche L s'abaisse pour abaisser la première lame, la marche L' se relève nécessairement, parce que les lanières ou courroies *j*, *j* ne peuvent pas se dérouler sur leurs poulies sans que les lanières *j'*, *j'* ne s'enroulent sur les leurs, et réciproquement; ainsi, à mesure que l'une des lisses descend, l'autre est forcée de remonter : cependant, l'articulation de la tringle *k* sur la marche L se faisant plus loin de l'axe de rotation *l'''* que celle de la tringle *k'* sur sa marche L', il est évident qu'en s'abaissant du même arc, la première fait plus de chemin que la seconde; la lame II qui lui correspond descend donc toujours un peu plus que la seconde I' I'; par conséquent, si les poulies J, J et J', J' étaient égales, il arriverait que, quand la deuxième lame descend, la première remonterait moins haut, et le passage de la navette serait plus resserré : on remédie à cet inconvénient en donnant aux poulies J, J de la lame de devant un diamètre un peu plus grand que celui des poulies J', J' de la lame de derrière; alors, quand celle-ci descend d'une certaine quantité, elle fait remonter la première d'une quantité un peu plus grande, et l'on s'arrange pour qu'il y ait compensation.

Pour ouvrir la chaîne alternativement dans un sens et dans l'autre, tout se réduit donc à abaisser successivement chacune des marches, avec la condition de ne pas gêner le mouvement de celle qui doit remonter : c'est à quoi l'on parvient au moyen des deux galets *l*, *l'* qui sont alternativement pressés par un excentrique dont nous expliquerons plus tard la forme et le mouvement.

4° *Mouvement du battant.* Le battant exécute ses manœuvres d'oscillation sur un axe en fonte M', qui est presque à fleur du sol, dont les extrémités arrondies en forme de tourillons viennent reposer dans les pattes-à-coussinets *m'*, *m'* adaptées avec des boulons contre les traverses inférieures A'B' des pans du bâti; les deux balanciers en fonte M, M solidement fixés vers les extrémités de l'axe M' s'élèvent jusqu'à la hauteur des parties supérieures des lames; à une certaine hauteur, chacun des balanciers s'élargit, et sa nervure postérieure se bifurque et se renfle postérieurement pour offrir deux trous ronds *m*; c'est à cet endroit que viennent s'articuler aux deux balanciers les deux bielles destinées à lui imprimer le mouvement; un peu au-dessus de ces articulations, chacun des balanciers porte encore à sa partie antérieure une espèce d'équerre *n*, et c'est sur ces équerres que repose la pièce en bois N qui forme la traverse supérieure du battant et qui est d'ailleurs fixée aux balanciers par des boulons; enfin, tout à fait à leur partie supérieure, les balanciers sont fendus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans leur largeur et reçoivent la traverse en bois N' qui se fixe aussi par deux boulons passant dans les fentes, en sorte qu'il suffit de desserrer les écrous pour enlever la traverse N'.

Le peigne ou *ros n'* se loge dans l'intervalle compris entre les pièces N et N'; c'est pourquoi il importe que l'on puisse facilement enlever la pièce N' pour changer de peigne : la traverse N est revêtue à sa surface supérieure d'une sorte de semelle qui est pareillement en bois et qui doit être légèrement touchée par les fils dans les diverses positions que prend le battant pendant son mouvement.

Telles sont les pièces qui constituent le battant proprement dit : les autres pièces qui sont encore liées au battant sont, comme nous allons le voir, destinées au jeu de la navette.

5° *Mouvement de la navette.* La traverse N se prolonge de chaque côté au dehors des balanciers, et c'est sur ces prolongements que sont formées à droite et à gauche les boîtes dans lesquelles la navette vient successivement se loger; chacune de ces boîtes est formée seulement par trois parois longitudinales, c'est-à-dire disposées dans le sens de la longueur de la traverse N, et par une paroi transversale, c'est-à-dire disposée à l'extrémité même de la traverse N et perpendiculairement à sa longueur; cette dernière paroi, qui est, à proprement parler, le fond de la boîte, n'est autre chose qu'une plaque en fer O'' fixée par un boulon contre le bout de la traverse N, et c'est contre elle que vient frapper le taquet ou chasse-navette au moment où il est repoussé par la navette. Des trois autres parois, l'une est horizontale et se trouve formée par le prolongement de la surface supérieure de la traverse N, afin que la navette reste sur le même plan dans toute l'étendue de sa course. Les deux autres parois sont antérieures et postérieures. La première O' est un plan incliné (fig. 2497 et 2498), et la seconde P, qui est la plus élevée, est tout à fait droite : entre ces deux parois se trouve la tringle en fer O qui sert de guide au chasse-navette *o;* elle est fixée d'une part au fond de la boîte, et de l'autre à un boulon qui passe dans les fentes des balanciers et qui s'y trouve arrêté par un écrou : les deux chasse-navettes *o* sont en cuir très dur et coulent librement sur leur guide; ils reçoivent l'extrémité de la ficelle ou du lacet qui les met en mouvement pour lancer la navette. La paroi postérieure P contient une pièce mobile très importante P' : c'est une espèce de levier qui tourne autour de l'axe *p*, et qui se trouve sans cesse pressé autour en avant par le ressort *p'*; comme son épaisseur est un peu plus grande que celle de la paroi P, il en résulte que son extrémité mobile forme toujours saillie dans l'intérieur de la boîte et que la navette ne peut pas entrer sans la repousser en arrière en forçant l'action du ressort *p'* et en faisant tourner toute la pièce P' autour de son axe *p*. Nous verrons que c'est au moyen de cette disposition que le métier s'arrête de lui même quand la navette est arrêtée en chemin et n'arrive pas dans sa boîte comme elle doit le faire.

Le mécanisme qui lance la navette est essentiellement un peu compliqué, non pas tant pour la difficulté de lui imprimer la vitesse convenable que par la nécessité de la faire partir à un instant précis qui se trouve déterminé à la fois par la position des lisses et par celle du battant : on voit sur la figure la ficelle *p''* qui fait partir le chasse-navette, et le fouet P''' qui tire la ficelle pour la faire agir. Il reste seulement à faire comprendre comment le fouet est mis en mouvement. Les 2 contre-traverses Q, Q, fixées aux traverses E et E' par des boulons *q*, portent un petit cadre en fonte Q' soutenu par les boulons *q'*; ce cadre porte, à son tour, sur deux coussinets bien ajustés, l'axe Q'' auquel le fouet P''' est adapté, et il porte en même temps une sorte d'excentrique R; sur cet excentrique est fixée par le milieu de sa longueur la double courroie *r*, dont les deux bouts viennent passer dans les têtes des boulons *r''*; enfin, des étriers *r'*, arrêtés plus ou moins haut par des écrous sur les boulons *r''*, reçoivent les extrémités des deux leviers R' qui sont disposés de chaque côté des marches L, L' et qui sont, comme ces marches, mobiles autour de l'axe *l'''* et alternativement abaissés par les excentriques. On conçoit que, l'un de ces leviers étant rapidement abaissé par l'action de l'excentrique, la courroie fait tourner le petit excentrique qui entraîne l'axe Q'', et cet axe à son tour fait osciller rapidement le fouet P''' qui tire la ficelle d'un côté ou de l'autre, fait partir le taquet et lance la navette, mais, en même temps que l'un des leviers descend, l'autre est forcé de remonter puisqu'il est tiré en haut par la courroie, et il faut disposer les choses pour qu'il ne soit pas gêné dans son mouvement et pour qu'il puisse l'accomplir sans presser l'excentrique et sans cependant le quitter.

6° *Communications de mouvement.* L'arbre moteur qui met en jeu tout le mécanisme du métier est représenté en S. On voit qu'il est soutenu par les traverses supérieures A B des deux bouts du bâti et qu'il se prolonge en dehors pour porter à droite la roue dentée S', et à gauche le volant *s''* et les deux poulies *s*, *s'*, l'une *folle* et l'autre *fixe*. Dans l'intérieur du bâti, vis-à-vis des balanciers M, M du battant, il offre deux coudes S'', S'', dirigés dans le même sens et dans le même plan, au milieu desquels viennent s'ajuster les bielles *s'''* qui vont s'articuler ensuite aux deux balanciers M, M. Il est évident, d'après cela, qu'à chaque tour de volant, le battant fait une oscillation entière et qu'il vient forcément frapper la duite au même point : si ce volant fait cent tours par minute, il faudra que la navette passe cent fois pour donner cent duites au battant.

La roue dentée S' fait autant de tours que le volant, mais, comme elle engrène dans la roue dentée T' qui a un diamètre double, celle-ci ne fait qu'un demi-tour exactement pour chaque révolution du volant.

La roue dentée T' est montée à l'une des extrémités de l'arbre T des excentriques, qui prend ses points d'appui sur les traverses obliques et courbes des bouts du bâti; cet arbre est en outre soutenu vers le milieu de sa longueur par un collet brisé T'' qui est fixé sur l'un des flasques Q; on lui donne ce troisième point d'appui parce qu'il importe qu'il ne fléchisse pas et qu'il tourne avec une régularité parfaite.

Les excentriques *t*, *t'* sont montés sur l'arbre T et tournent avec lui pour venir alternativement presser les marches L, L' ainsi que les leviers R' : on pourra se faire une idée nette des effets qu'ils produisent en remarquant d'abord qu'ils ont exactement la même courbure et qu'ils sont diamétralement opposés.

Il résulte de leur construction que, si du centre commun des 2 excentriques on mène un rayon quelconque qui rencontre les deux contours, la somme des deux portions interceptées par le centre et par chacun des contours sera constante, et c'est là précisément la condition essentielle que doivent remplir les courbures des excentriques.

En effet, les deux galets *l*, *l'* des deux marches L, L' étant à la même distance de leur axe commun de rotation *l'''* et devant toujours être en contact, l'un avec l'excentrique *t* et l'autre avec l'excentrique *t'*, il est nécessaire que l'un s'abaisse autant que l'autre s'élève, ou, en d'autres termes, il est nécessaire que la somme de leurs distances au centre commun des excentriques soit constante.

Quant au rapport qui doit exister entre les grands et les petits rayons de courbure des excentriques, il dépend de l'ouverture que l'on veut donner à la chaîne : dans nos figures, cette différence est de 5 centimètres, et, comme la moyenne distance comptée à partir des points

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'attache des tringles k, k' avec les marches L, L' jusqu'à l'axe de rotation l''' est les 8/5 de la distance des galets l, l' au même axe, il en résulte que le mouvement des lisses sera les 8/5 de 5 centimètres ou 8 centimètres : pour ouvrir davantage, il faudrait éloigner les points d'attache des tringles k, k' ou prendre des excentriques dont les rayons eussent une plus grande différence.

Il est facile de voir maintenant comment on règle l'instant où le fouet P'' lance la navette. En effet, les deux leviers R', qui donnent tour à tour le coup de fouet, sont mis en jeu par deux galets t attachés aux excentriques et diamétralement opposés. Vers le milieu de la longueur de ces leviers, leur surface supérieure offre un arc de 1/8 de circonférence qui est de même rayon que le plus grand arc des excentriques; c'est là seulement qu'ils sont pressés par les galets t'', et ils le sont brusquement au moment même où le galet rencontre la première extrémité de cet arc, en sorte que le levier s'abaisse instantanément de toute la quantité dont il doit s'abaisser, et, pendant que le galet parcourt le reste de l'arc du levier, il ne fait que le maintenir au même point de dépression. On voit qu'il est très facile de donner aux boulons qui portent les galets t'' diverses positions sur les excentriques, et par conséquent qu'il ne l'est pas moins de lancer la navette un peu plus tôt ou un peu plus tard : cependant, on ne peut la lancer que quand la chaîne est ouverte; c'est pourquoi les boulons porte-galets ne peuvent se mouvoir que dans une certaine étendue toujours comprise entre les extrémités des grands arcs des excentriques. Puisqu'il y a deux galets diamétralement opposés, il est évident que, pour chaque tour des excentriques, la navette est lancée deux fois : or, comme un tour des excentriques répond à deux coups de battant, il en résulte qu'il y a, comme cela doit être, un coup de battant à chaque passage de la navette.

7° *Mécanisme d'arrêt.* Le métier étant mis en mouvement par une courroie qui passe sur la poulie-fixe z', il suffit pour l'arrêter de faire sauter la courroie sur la poulie-folle z; alors, s'il ne s'arrête pas brusquement, il n'aura plus du moins que sa vitesse acquise, qui sera bientôt éteinte si les dimensions du volant ont été convenablement déterminées. L'ouvrier n'a donc qu'à pousser la courroie lorsqu'il veut arrêter le métier : mais, s'il arrive, par exemple, que la navette s'arrête dans la chaîne, on conçoit que jamais la main de l'ouvrier ne peut être assez prompte pour empêcher que le battant ne vienne donner son coup en poussant la navette devant lui et ne rompe par conséquent les fils de la chaîne ou les dents du peigne; il est donc nécessaire d'adapter au métier un mécanisme au moyen duquel il s'arrête de lui-même dans de telles circonstances, et c'est ce mécanisme que nous allons décrire.

On voit sur la figure un axe X dont les deux extrémités sont soutenues un peu au dehors du bâti par les pièces en fonte x, x, qui sont elles-mêmes fixées sous la traverse supérieure N du battant; cet axe porte à l'un de ses bouts, à gauche du métier, un levier coudé à peu près à angle droit dont la position est réglée par la vis x'; la branche X' s'élève derrière la boîte-à-navette et s'engage sous le ressort p', tandis que la branche X'' s'avance horizontalement : ce même axe porte, à l'autre bout, un levier analogue, mais qui n'a que la branche verticale; la branche horizontale lui manque.

Quand la navette arrive dans sa boîte, elle doit, comme nous l'avons vu précédemment, repousser le levier P' qui fait une saillie intérieure, et par conséquent elle doit repousser la branche X' du levier coudé qui va s'appuyer contre son extrémité mobile; ainsi, la navette ne peut pas entrer dans sa boîte sans faire tourner l'axe X d'une certaine quantité, et sans élever la branche horizontale X'' d'une quantité correspondante : toutes les fois que cet effet se produit, la branche X'' ne rencontre rien sur son chemin pendant le mouvement du battant, et le métier marche avec sa vitesse accoutumée.

TISSAGE.

Mais, quand la navette n'arrive pas dans sa boîte, l'axe X ne tourne pas, la branche X'' n'est pas relevée, et c'est elle qui vient faire partir une détente pour arrêter le métier au moment où le battant commence à revenir.

Lorsqu'on tisse de la toile en grande largeur, de $1^m,40$, par exemple, la vitesse de l'arbre moteur S doit être de 75 révolutions environ par minute; pour celle qui ne dépasse pas $0^m,90$, on peut compter de 90 à 95. Pour les métiers à coton, le nombre de tours dans le même temps, pour des largeurs de $0^m,90$, varie de 100 à 115, suivant les systèmes de métier.

On peut juger maintenant par l'ensemble des combinaisons que nécessite un métier à tisser mécaniquement, et par la précision pour ainsi dire mathématique avec laquelle chaque organe doit fonctionner, que ce n'est pas un des problèmes industriels les moins difficiles à résoudre, que celui qui a pour but la création d'une machine automatique pouvant tisser avec perfection tous les fils, quelles que soient leur nature et la variation de leurs titres:

Il n'existe jusqu'à ce jour aucun métier mécanique qui puisse servir indistinctement à toutes les matières. Presque toutes les étoffes façonnées, et certaines étoffes unies même, sont encore exclusivement tissées à la main; telles sont celles en laines cardées, en laines peignées et la soierie en grande partie. Nous ne connaissons en France qu'un seul établissement (1) où l'on fasse le tissage de la soie unie à la mécanique, et une seule maison (2) où la même tentative ait été faite pour les mérinos. Le tissage mécanique de ce dernier article est plus avancé en Belgique, et surtout en Angleterre.

Ce travail se borne donc chez nous exclusivement aux cotonnades et aux toiles de lin et de chanvre. Ces dernières se font cependant encore en partie manuellement, mais cette spécialité diminue tous les jours et ne saurait subsister longtemps. Il est évident aussi que du moment où il y aura réellement économie et avantage à tisser mécaniquement les lainages et la soierie, les métiers actuellement existants pourront avec de bien légères modifications être appliqués à ce travail. Ce qui s'oppose à ce mode de tissage pour les laines en général, et surtout pour la laine cardée, c'est le peu de résistance qu'offrent les fils de cette matière aux brusques mouvements mécaniques, qui occasionnent des ruptures plus fréquentes, et rendent par conséquent le travail plus défectueux et plus coûteux. Quant aux étoffes de soie, qui ont besoin d'une si grande perfection, dépendant de l'attention et de la surveillance lors du travail, on comprend aussi que le tissage mécanique ne peut présenter un très grand avantage, surtout dans les localités où la main-d'œuvre est à bas prix. Cependant on ne peut douter que le tissage automatique n'arrive pas un jour à être exclusivement employé pour toutes les matières : de nombreuses tentatives surgissent chaque jour, aussi bien pour le travail des façonnés que pour celui des étoffes unies. On conçoit d'ailleurs tout ce que la création d'un métier mécanique présente d'aliments aux investigations de la science. Chacun de ces éléments est susceptible de modifications; un résumé succinct des parties auxquelles on les a appliquées jusqu'ici en fournira une preuve, et pourra en même temps servir de guide aux recherches sur la matière.

Un des points principaux qui aient exercé la sagacité

(1) L'établissement de M. Thomas d'Avignon.
(2) M. Croutelle de Reims.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des mécaniciens, a été le mode de tension à imprimer à la chaîne sur les ensouples, de façon à la maintenir régulière pendant toute la durée du travail, malgré le changement des diamètres des cylindres enrouleurs et déroulеurs.

On s'est d'abord servi de simples poids et contre-

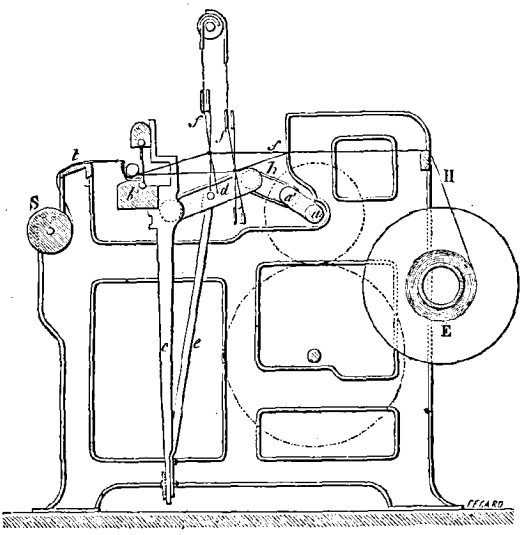


Fig. 2499.

poids manœuvrés à la main; on a ensuite cherché à modifier cette tension avec la variation du diamètre des cylindres par le métier lui-même, soit au moyen d'un mécanisme mû par un des arbres du métier, soit par une combinaison mécanique dépendant du battant. Les commandes employées pour faire fonctionner les lisses, ou plutôt les marches auxquelles elles communiquent, le battant et la navette, ont également été modifiées. Les lisses sont mues tantôt par des manivelles et tantôt par des excentriques. Il en est de même du battant, qui le plus souvent reçoit son mouvement par des excentriques, placées sur l'arbre moteur à la place des bielles que nous avons mentionnées dans le métier Roberts. Le battant peut donner un ou deux coups. Sa forme peut varier elle-même. La navette, au lieu d'être chassée par deux fouets comme cela a lieu presque généralement maintenant, et surtout pour les étoffes larges, reçoit quelquefois encore son mouvement par un seul fouet.

Progrès du tissage. Le trait qui nous frappe le plus à l'examen des nombreux métiers à tisser, dit M. Callon dans son rapport sur l'Exposition de Londres, c'est évidemment pour le tissage, comme pour la filature, la tendance à automatiser de plus en plus les diverses fonctions, même les plus délicates, de chaque appareil. Il ne s'agit plus seulement de métiers mécaniques pour les tissus de coton unis ou bien rayés par de simples effets de chaîne. On voit, au contraire, des métiers fonctionnant automatiquement pour les tissus les plus variés, soit par la nature de la matière employée, soit pour la plus ou moins grande complication des effets de chaînes et de trames.

Métiers à grande vitesse. Nous citerons en première ligne le métier Taylor, conduit habituellement au moyen de poulies coniques, afin de pouvoir faire varier la vitesse à volonté. Il marche habituellement en battant de deux cent soixante à trois cents coups par minute, et peut aller jusqu'à quatre cents coups et plus. La disposition employée pour obtenir ces grandes vitesses se borne essentiellement, tout en laissant la distance ordinaire entre le battant du métier et l'arbre à manivelle ou vilebrequin, à reporter en arrière le point d'attache des deux bielles, ou à faire celles-ci beaucoup plus courtes qu'à l'ordinaire, à interposer une articulation entre la manivelle et le battant, comme on le voit en *hh'* dans la fig. 2499 qui est une coupe de ce métier. On comprend facilement qu'avec une bielle dont la longueur est égale à peine à une fois et demie le rayon de la manivelle, une excursion entière du battant ne se compose plus de deux parties symétriques, comme cela aurait lieu avec une bielle de longueur infinie, mais qu'au contraire la portion de l'excursion qui correspond au coup du battant contre la duite s'effectue plus rapidement que l'autre. Il en résulte que, pour une excursion totale de grandeur donnée égale au diamètre de la manivelle, le passage de la navette reste plus longtemps ouvert, ou, ce qui est la même chose, que pour un temps donné nécessaire au passage de la navette chassée avec une même vitesse initiale, on peut battre un plus grand nombre de coups par minute.

On remarquera seulement que ce système met en jeu, d'une manière plus prononcée encore que dans les métiers ordinaires, l'inertie du battant et de toutes les pièces qui participent à son mouvement. Or, on sait que déjà, même avec les vitesses ordinaires, les ébranlements du métier sont très-sensibles, et se communiquent même aux planchers et à tout l'édifice dans les grands ateliers de tissage qui ne sont pas placés au rez-de-chaussée. Il y aurait donc grande convenance à adopter ici une disposition proposée et réalisée avec succès par M. Ernest Stamm, laquelle consiste à placer un battant postiche du côté opposé du vilebrequin, et à le commander par des manivelles placées à 180 degrés de celles qui commandent le véritable battant. En vertu de la symétrie, et en supposant d'ailleurs que les deux battants aient le même moment d'inertie par rapport à leur axe d'oscillation, toutes les forces d'inertie s'équilibreront, et l'on évitera ainsi ces mouvements de trépidation dont il vient d'être parlé et dont on connaît les effets destructeurs.

Parmi les progrès à signaler nous citerons encore les suivants :

4° L'emploi presque général de casse-trames agencés de différentes manières, pour arrêter le métier toutes les fois que la duite, par une cause quelconque, ne s'est pas régulièrement formée sur toute la largeur de l'étoffe, soit que la trame ait cassé, soit que la navette ait dévié de sa course ou ne l'ait pas complétée. Dans ce dernier cas, une disposition particulière se remarque sur plusieurs métiers. Elle a pour effet, toutes les fois que la navette n'arrive pas à fin de course en temps utile, de mettre en jeu un déclic qui rend le peigne du battant mobile autour de son arête supérieure, et prévient les inconvénients bien connus qui se produisent lorsque, suivant l'expression consacrée, on vient à tisser la navette.

Ces divers appareils de sûreté sont appelés à devenir d'un usage de plus en plus fréquent, à mesure que le tissage mécanique étendra son domaine à des tissus plus légers et qu'on lui demandera plus de vitesse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est seulement grâce à eux que l'on tire de l'emploi d'un moteur toute l'économie de main-d'œuvre qu'il est permis d'en attendre, parce qu'il devient possible d'augmenter le nombre des métiers confiés à chaque ouvrier. Un casse-trame d'un jeu sûr est donc un accessoire très-intéressant dans un métier mécanique quelconque; il est à peu près indispensable, quand on veut marcher vite avec des trames peu résistantes, et donner à chaque tisserand plus d'un métier à conduire.

L'électricité s'est appliquée fort heureusement dans ce cas pour obtenir des efforts suffisants, par l'établissement du courant déterminé par la rupture d'un fil de la chaîne.

2° Diverses dispositions pour soulager les fils de chaîne au moment où les lisses fonctionnent pour laisser passer la navette.

Elles consistent, en général, à faire passer ces fils entre l'ensouple de derrière et les règles d'enverjure, sur une tringle qui, au lieu d'être fixée invariablement, comme à l'ordinaire, est susceptible de prendre un petit mouvement. Tantôt cette tringle est appuyée sur des ressorts qui cèdent lorsque la tension de la chaîne augmente par le jeu des lisses, et qui, ainsi, restreignent les variations de cette tension. Tantôt, au contraire, le mouvement est obligatoire, ou constitue ce que les Anglais appellent *a positive motion*. Un système articulé, en relation avec le battant, rappelle la tringle, détend les fils au moment où les lisses jouent, et la repousse de manière à produire le maximum de tension au moment où le battant chasse la duite. La tringle mobile pourrait être placée sur le devant du métier comme à l'arrière.

3° Des solutions variées du problème très-important et encore assez imparfaitement résolu, d'un enroulement régulier de l'étoffe et d'un déroulement correspondant de la chaîne, sous une tension parfaitement uniforme.

La solution la plus intéressante est peut-être celle du métier à voiles de MM. Parker et fils, de Dundee. Ce métier n'est pas nouveau, car il est aujourd'hui ce qu'il était à l'Exposition de 1855, où il a obtenu une médaille d'honneur. Rien de plus remarquable comme bonne construction. Les mouvements des deux ensouples sont solidaires et commandés par le jeu du battant. La tension est déterminée par le système de deux poids relevés à tour de rôle par des cames et agissant avec des bras de levier dont la longueur varie proportionnellement au rayon d'enroulement de l'ensouple du devant.

4° Enfin diverses dispositions concernant le mouvement de la navette.

Ainsi, par exemple, on cherche à obtenir une vitesse initiale de la navette, indépendante de la vitesse actuelle du métier. Cela est important pour éviter en général des inégalités de tension dans la trame et des ruptures fréquentes lorsque le métier va vite. Il faut que la vitesse initiale suffise amplement, mais sans trop d'excès, à la course entière de la navette. A cet effet le mouvement du battant sert alternativement à remonter un ressort faisant fonction de réservoir de force, et à lâcher un déclic qui laisse, au moment opportun, ce ressort agir sur le levier du chasse-navette. Une autre disposition consiste, dans le métier à plusieurs navettes, à faire dépendre leur mouvement, comme celui de la boîte qui les renferme, non pas du mouvement du battant, mais de celui de la mécanique Jacquart. Il en résulte des facilités particulières pour détisser en cas de besoin, et par suite une assez grande économie de temps.

Dans une troisième disposition qui peut être indiquée, bien qu'elle ne soit encore qu'en projet, on a cherché à remplacer la navette ordinaire par une petite navette en fer conduite par l'attraction d'un aimant glissant le long du battant un peu au-dessous du peigne. Cet aimant étant en dehors des fils de chaîne, peut être mis en mouvement d'une façon quelconque, tandis que la navette ordinaire qui est lancée, sans pouvoir y être conduite, dans l'intérieur de l'angle formé par les fils de chaîne, doit être chassée avec une grande vitesse initiale. Ce mouvement brusque casse ou énerve les fils, et tend souvent à produire ces trames traînantes d'un effet si fâcheux dans les étoffes de soie unie. La disposition proposée permet d'avoir, avec une vitesse moyenne égale ou même supérieure, un départ beaucoup plus doux; en outre, on peut tisser les étoffes les plus légères, sur une largeur quelconque, qui n'est plus limitée que par les convenances de construction du métier lui-même, et non par celles du mouvement de la navette.

Ces indications suffisent pour montrer combien le métier mécanique est l'objet d'études, dont la multiplicité même montre que le problème d'un bon métier mécanique n'est pas encore bien complétement résolu. C'est en effet une question assez simple pour certains tissus ordinaires, lorsqu'on ne cherche pas une trop grande vitesse, mais qui devient au contraire fort complexe, fort délicate, lorsqu'on veut aller très-vite, ou lorsqu'on veut satisfaire à toutes les conditions d'un bon travail avec des fils très-fins et peu élastiques.

Métiers à bosses pour la nouveauté. Pour quelques combinaisons simples, on emploie des métiers mécaniques spéciaux, munis de dispositions particulières qui ont été variées de bien des manières. Nous donnons une des meilleures, un système à bosses dû à un constructeur américain.

Les bosses sont disposées sur une chaîne sans fin placée sur le côté du métier, avançant d'un maillon par chaque tour. La bosse qui en fait partie rencontre une lame verticale répondant aux fils qui doivent être levés pour un tour, produisant une levée des fils et une course de navette.

On ne peut faire ainsi que des carreaux variés, qui changent de couleurs avec des boîtes à navette *revolver*, tournant par l'effet de l'arbre des bosses.

Ces métiers semblent d'importance secondaire à cause des limites assez resserrées des combinaisons qu'ils permettent de produire automatiquement, mais il faut songer qu'il s'agit d'articles d'un usage très-fréquent et qui par suite se produisent par millions de pièces.

Métier de Vaucanson. On doit reporter à un célèbre mécanicien l'invention du métier mécanique, ou au moins la première réalisation d'un des plus grands progrès de l'industrie moderne. Nous pensons qu'on lira avec intérêt l'extrait suivant du numéro du *Mercure* (1745), dans lequel Vaucanson annonçait l'invention de son métier mécanique :

« M. Vaucanson, si célèbre dans les mécaniques, vient de mettre au jour une vraie merveille de l'art dans un objet de grande utilité. C'est une machine avec laquelle un bœuf ou un âne font des étoffes bien plus belles et bien plus parfaites que les meilleurs ouvriers en soie.

« Cette machine consiste en un premier mobile en forme de cabestan, qui peut communiquer son mouvement à plusieurs métiers à la fois, pour y faire toutes les opérations nécessaires à la fabrication des étoffes.

« Ce cabestan mu par une force quelconque, on voit sur le métier l'étoffe se fabriquer sans aucun secours humain, c'est-à-dire la chaîne s'ouvrir, la navette jeter la trame, le battant frapper l'étoffe avec une justesse et une égalité que la main de l'homme ne saurait jamais avoir.

« L'étoffe se roule d'elle-même à mesure qu'elle se fabrique; la chaîne est toujours également tendue, la trame toujours également couchée, et l'étoffe toujours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frappée au même point et avec la même force; et tout cela se fait sans fatiguer la soie, et sans qu'elle reçoive aucun frottement, car la navette passe la trame sans toucher la chaîne, ni même le peigne, et les lisses qui font ouvrir la chaîne ne la touchent jamais deux fois au même endroit. Cet ingénieux auteur a trouvé le moyen de déterminer la quantité de soie qu'il veut faire entrer dans cette étoffe, en donnant plus ou moins de poids au battant sur lequel il la fait frapper, en tenant la chaîne plus ou moins tendue, et en donnant plus ou moins de trame.

« Les lisières fabriquées sur le nouveau métier sont plus belles et plus parfaites que celles des étoffes ordinaires; l'auteur ayant trouvé moyen de supprimer une pièce appelée *temple*, qui gâte les lisières par des trous que les pointes y font.

« Est-il question de recharger la navette ou de raccommoder un fil cassé, on arrête le métier sur-le-champ, en poussant un bouton qui peut se trouver aux quatre coins du métier, et sous la main d'un enfant préposé pour veiller à quatre de ces métiers, dont la seule occupation consiste à nettoyer la soie, raccommoder les fils cassés et garnir les navettes, qui contiennent six fois plus de trame que les navettes ordinaires.

« Cet arrêt suspend comme un éclair tous les mouvements du métier, dans tel état qu'ils puissent se trouver; et lorsqu'on le fait repartir, ce qui s'opère avec la même facilité, les mouvements reprennent sur-le-champ où ils ont cessé; cet arrêt est d'ailleurs particulier à chaque métier et sans aucune influence sur les autres, en sorte qu'on arrête celui qu'on veut sans que les autres cessent de travailler.

« Un cheval attelé au premier moteur peut faire travailler trente de ces métiers; une chute d'eau, un bien plus grand nombre, et si l'on voulait y employer des hommes, un seul en ferait aller six sans peine; un métier fait autant d'étoffe par jour que le meilleur ouvrier quand il ne perd pas de temps. »

TISSAGE DES ÉTOFFES FAÇONNÉES. Le savant général Piobert, qui connaissait aussi bien les procédés des industries qui s'exercent dans la ville de Lyon, dont il était originaire, que les théories de l'artillerie auxquelles il a fait faire tant de progrès, a consigné, dans le rapport du jury de l'Exposition universelle de 1855, le résumé suivant, d'une netteté parfaite, des découvertes successives accomplies dans les moyens de fabrication des étoffes façonnées; découvertes qui ont singulièrement contribué à l'admirable développement de notre belle industrie des soies.

Dès le milieu du siècle dernier, on avait généralement reconnu tout ce que la perfection des étoffes de soie devait à l'incessante activité, aux soins infatigables des fabricants de Lyon : goût exquis, élégance et richesse dans les dessins, légèreté, délicatesse et variété dans les compositions, fraîcheur et harmonie dans les couleurs, tout était répandu avec profusion dans leurs admirables productions. Cet état brillant est encore celui de nos jours. Si cette partie importante de la fabrication, objet constant de tant de soins, obtient depuis si longtemps un tel succès, il n'en a pas toujours été de même pour les moyens mécaniques employés au tissage, que la routine a souvent fait négliger. En effet, pendant plus de deux siècles, nous voyons mettre en usage, pour tisser les plus belles étoffes, le métier connu des Chinois depuis des milliers d'années, modifié seulement dans une de ses parties. La modification apportée vers 1606, par Claude Dagon, consistait à ramener horizontalement, au moyen des poulies d'un cassin, les cordes de rame qui primitivement étaient verticales et soulevées par un deuxième ouvrier placé au-dessus du métier; par suite, cet ouvrier, nommé tireur des lacs et placé sur le côté du métier, dut agir au contraire de haut en bas sur la rame, soit directement au moyen des cordes de lisage, soit par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs samples, systèmes de cordes descendant verticalement dans un même plan jusqu'au sol où elles étaient fixées. Cette dernière disposition, dite *grande-tire*, permit d'augmenter presque indéfiniment le nombre de lacs ou la hauteur et les couleurs du dessin. Avec la première disposition, dite *petite-tire*, on put bien accélérer le travail en facilitant le tirage par l'emploi de boutons agissant sur les cordes de lisage et placés sous une planche à portée du tireur (1620-1625); mais la confusion des cordes dans le corps de lisage, diminuée, il est vrai, par les dispositions ingénieuses de Galantier, de Blâche et de Taillandier frères, n'en subsistait pas moins encore pour les grands dessins. Aussi l'emploi de ce système fut toujours assez restreint; il le fut un peu moins lorsque les petites mécaniques, comme celles de Ponson et de Verzier, qui dispensaient d'un tireur de lacs, prirent un peu d'extension et qu'on parvint, au moyen de cette dernière, à exécuter avec la plus grande facilité des dessins qui avaient cent vingt cordes ou ligatures, et deux cent quatre-vingt-huit coups de hauteur. Quant aux autres mécanismes inventés pour remplacer le tireur, ils ne purent jamais entrer dans la pratique: tels furent les métiers à clavier, à tambour ou cylindre d'orgues, à cylindres percés ou avec relief, à bec de cane, à chapelet; enfin, les inventions tant vantées de Regnier aîné (1755), de Fleury-Dardois (1776) et de Perrin (1778), de Paulet (1777) et de Claude Rivey (1779).

Cependant, on avait trouvé depuis longtemps un procédé qui devait un jour l'emporter sur tous les autres, et être universellement employé pour toutes les espèces de tissus façonnés : l'idée de Basile Bouchon (1725), bientôt fécondée par le chef d'atelier Falcon, mettait entre les mains des ouvriers le moyen le plus propre à soustraire les métiers de grand façonné à la complication inextricable des nœuds et des cordes, en substituant à chaque lac une bande de carton percée de trous en des points déterminés par le dessin et enlacée avec ses voisines, de manière à former une surface continue et flexible. Chaque corde de sample, ou mieux encore chaque corde de rame ramenée verticalement sur le côté du métier au moyen d'un double cassin, était fixée, par son extrémité inférieure, à un long crochet vertical en fil de fer passé dans la boucle d'une aiguille horizontale; les crochets étaient placés sur plusieurs rangs et les aiguilles disposées en autant de couches superposées les unes aux autres; le tireur, étant assis, présentait successivement chaque bande de carton aux extrémités des aiguilles, pour repousser celles qui ne correspondaient pas aux trous; puis il enfonçait une pédale qui faisait descendre, au moyen d'une griffe, les crochets déplacés par ces aiguilles; on était assez près de la mécanique en usage actuellement, en la supposant renversée.

Un transport de lisage avec perçage accéléré des cartons était la seule chose qui restât à trouver, afin de diminuer la dépense et le temps nécessaire au montage des dessins. Ce ne fut qu'après vingt années de recherches (1748) que Falcon arriva à perfectionner son métier et à compléter son œuvre, en inventant la machine à lire et à percer les cartons au moyen d'une transmission d'emporte-pièces et de plusieurs abatages successifs, procédé qui resta un secret de famille jusque dans ces derniers temps. Malgré tous les avantages des mécaniques à la Falcon, qui portaient 200, 400 et même 600 crochets, malgré le privilége que leur accorda, en 1744, le règlement sur les manufactures, il n'y en eut jamais plus de cent; quelques-uns de ces métiers travaillaient encore à Lyon en 1817.

A peu près à l'époque de ces perfectionnements, c'est-à-dire il y a plus d'un siècle, Vaucanson, qui avait inventé le premier métier mécanique pour les étoffes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

unies (1745), essaya également de supprimer le tireur de lacs. A cet effet, il se rapprocha du métier primitif des Chinois, en supprimant cordes de rame, sample et cassin; puis, plaçant sur le métier, sens dessus dessous, la mécanique de Falcon, il remplaça le tireur par un mécanisme de son invention; mais il eut le tort d'abandonner la série ou chaine de bandes de carton de cet inventeur, ou plutôt d'en revêtir un cylindre en bois également percé de trous. Ce cylindre effectuait à chaque coup ou descente de la marche un petit mouvement de rotation, et avait en même temps, au moyen d'un chariot, un mouvement horizontal de va-et-vient, pour présenter successivement de nouvelles rangées de trous aux aiguilles des crochets et repousser ceux de ces derniers qui ne devaient pas être enlevés par la griffe.

Cinquante années s'écoulèrent sans que ce métier, exposé d'abord dans la collection du grand mécanicien, puis au Conservatoire des arts et métiers, fût employé ou imité. Ce ne fut qu'après avoir pris un brevet de dix ans, *le 23 décembre 1801, pour une machine destinée à suppléer le tireur de lacs dans la fabrication des étoffes brochées et façonnées*, mécanique analogue à celle de Verzier, que Jacquard, venu à Paris, en 1803, pour présenter son métier à fabriquer le filet de pêche, eut l'idée très-simple de rétablir, sur le mécanisme de Vaucanson, la séparation des bandes de carton de Falcon qui fonctionnaient parfaitement à Lyon depuis soixante-quinze ans, et dont l'application sur un cylindre limite toujours beaucoup trop le nombre des lacs ou la hauteur du dessin. Mais cette simple réunion ou plutôt juxtaposition de deux inventions, dont l'une n'était jamais entrée dans la pratique, ne put marcher couramment dans les ateliers que lorsque le mécanicien Breton l'eut sensiblement améliorée, 1° en s'associant, vers 1805, avec Jacquard pour inventer les élastiques des aiguilles, en remplacement des talons des crochets, retirer les repères de la planche aux aiguilles et les placer sur chacune des quatre faces du cylindre, afin de mieux diriger le développement des cartons; 2° en imaginant bientôt, lui seul, de renfermer les élastiques dans une boîte et, vers 1807, de substituer un battant ou balancier au chariot de Vaucanson; 3° en adaptant, au commencement de 1815, une presse à la griffe pour écarter le battant à la levée et le rapprocher à la descente, de manière à serrer le cylindre contre la machine afin de repousser les aiguilles; 4° enfin en construisant, dès 1812, une machine à transporter le lisage des dessins sur les cartons; puis en inventant, vers 1816, sa machine à lire et à percer les cartons dans un système analogue à celui de Falcon, mais perfectionné. Alors seulement la mécanique dite *à la Jacquard* put devenir d'un usage avantageux dans la pratique, et l'adoption de ce métier, qui d'abord avait été très-lente, devint bientôt générale: là commence une ère nouvelle pour la fabrication de toutes les espèces de tissus façonnés.

Ce grand progrès ne fut obtenu, on le voit, qu'après beaucoup d'hésitation et de longs tâtonnements, quoique tous les éléments du système fussent connus depuis longtemps; ce fut faute de coordonner ensemble ces éléments, et de les simplifier en les adaptant les uns aux autres, qu'on resta tant d'années pour atteindre le but; mais simplifier c'est le lot du génie, tandis que le vulgaire croit inventer lorsqu'il multiplie outre mesure des moyens très-ordinaires. Combien de fois n'a-t-on pas pris de fausses directions, et même rétrogradé, pendant ces quatre-vingts années de tentatives diverses, avant d'arriver à la véritable solution! Falcon trouva d'abord de nombreux contradicteurs; un seul fabricant le soutint vigoureusement; plus tard il fut approuvé, puis imité par Vaucanson dans le métier qui supprimait le tireur de lacs; mais ce grand mécanicien faillit lui-même faire reculer la question, faute de bien connaître les besoins de la fabrication des étoffes façonnées, en fixant les bandes de carton de Falcon sur un cylindre qui n'aurait pu convenir tout au plus que pour l'exécution de petits dessins.

Trente années plus tard, un homme qui eut dans son temps une certaine renommée pour les améliorations qu'il apporta à la grande-tire, de Lasalle, se trompa également, mais en sens contraire, dans la croyance que le progrès consistait à faciliter les moyens d'augmenter indéfiniment le nombre des cordes de rame et celui des coups de hauteur des dessins. On monta, à cette époque, des grandes tires à trois mille deux cents cordes de rame et à quatre-vingts samples; mais, à peine montés, ces immenses appareils furent abandonnés; quelques-uns même n'ont jamais rien exécuté, et ces essais infructueux furent bientôt complétement oubliés. Le progrès n'était pas là; ce ne fut qu'une leçon achetée chèrement par la fabrique de Lyon.

Ces alternatives presque périodiques, ces aberrations qu'on serait tenté de juger sévèrement aujourd'hui, qui tantôt font négliger les procédés les plus avantageux, et tantôt jettent dans l'emploi exagéré des moyens ordinaires, sont peut-être plus près de se renouveler qu'on ne le pense. Voyons ce qui s'est passé de nos jours.

Les observateurs qui ont suivi pendant les cinquante années écoulées depuis Jacquard et les premiers travaux de Breton les états successifs par lesquels le tissage des étoffes de soie façonnées a passé, ont pu remarquer combien les époques de progrès ont été courtes et rares; le temps pendant lequel la fabrication a été stationnaire ou même rétrograde, relativement aux perfectionnements rapides des autres tissus a occupé la presque totalité de ce demi-siècle. Cependant le commencement de cette longue période avait été fécond en améliorations de toute espèce, et la fabrique de Lyon avait fait d'immenses progrès dus aux travaux des Dutilleu, des Camille Beauvais, des Charles Depouilly et Schirmer; mais, comme les faveurs de la fortune n'avaient pas été en rapport avec la grandeur de ces efforts, une excessive prudence a empêché la plupart de leurs successeurs de pousser plus avant, et les a fait errer timidement sur le terrain conquis par ces hardis pionniers. Pourtant les inventeurs et les inventions n'ont pas fait défaut depuis lors; mais chaque fabricant a plus visé au certain qu'au progrès, et a surtout redouté les chances des essais que demande toujours une invention, une innovation quelque légère qu'elle soit.

Cette indifférence dans le choix des meilleurs procédés à employer pour la fabrication des étoffes de soie façonnées se prolonge encore, et bien des progrès réels ne sont pas accueillis comme ils devraient l'être. Cette mauvaise direction, dans laquelle on se laisse entraîner par la routine, n'a pas d'issue; on sera bientôt acculé dans cette voie et forcé de rétrograder; l'histoire de la fabrique de Lyon a montré, on l'a vu, de tels exemples dans le siècle dernier.

On a souvent fait fausse route en prenant des tours de force pour des progrès; ils éblouissent la foule, il est vrai; mais bientôt ces fantômes brillants disparaissent, entraînant avec eux les industriels qui se sont lancés à leur poursuite. Le prix de revient étant alors hors de proportion avec l'objet fabriqué et avec ce qu'il est raisonnablement possible d'admettre dans le commerce, le produit ne peut entrer dans la consommation. Le progrès n'est pas là; cette voie ne saurait être autre que la recherche des procédés les plus simples, ou les plus faciles à employer pour arriver à chaque espèce de produits, même aux plus beaux, afin d'en étendre l'utilité, d'en modérer les prix et, par suite, d'en augmenter la consommation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

Métier à la Jacquard. Le métier à la Jacquard a pour but de produire les étoffes façonnées les plus compliquées, par le travail d'un seul ouvrier, et sans lui faire éprouver plus de fatigue que s'il ne s'agissait que d'un travail ordinaire.

La figure 2500 est une vue théorique de la Jacquard,

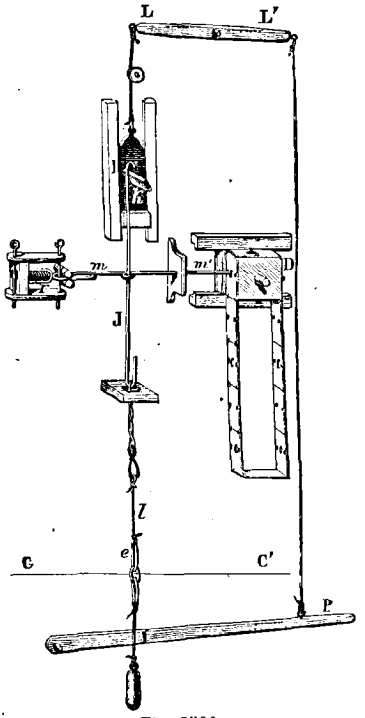


Fig. 2500.

où les éléments sont disposés dans le seul but d'en bien montrer le fonctionnement. Chaque fil horizontal *c c'* de la chaîne passe dans un maillon porté par un fil vertical *ll'*, dit *lisselte*, suspendu à une tige verticale J, terminé à sa partie supérieure par un crochet I, dit *bec de corbin*. Pour lever le fil de chaîne, il suffira que le crochet soit pris par la griffe *k* au moment où, appuyant sur la pédale unique P, l'ouvrier soulèvera cette griffe, par l'intermédiaire du levier L L'. Si à ce moment le crochet au lieu d'être vertical était dévié en arrière, il est clair qu'un mouvement d'élévation de la griffe ne soulèverait pas le fil de la chaîne.

La question se ramène ainsi à dévier le crochet de tout fil de chaîne qui ne doit pas être dévié pour le passage d'une duite déterminée. A cet effet, cette tige traverse un anneau pratiqué dans une aiguille horizontale *m m*; à l'extrémité de gauche de cette aiguille est un ressort *r* qui, poussant l'aiguille, maintient le crochet dans la verticale. Si on repousse l'aiguille par son extrémité, en pressant sur le ressort, celui-ci cédera et le crochet déviera ainsi qu'il est demandé. Or, devant cette extrémité se trouve une pièce mobile B, dite *cylindre*, percée de trous laissant passer l'aiguille, et, par suite, ne la déviant pas quand le fil correspondant doit être levé. Si on bouchait ce trou, le fil resterait en repos. Cet effet de repos ou de mouvement est produit, ainsi que cela doit avoir lieu suivant le dessin à reproduire, à l'aide d'un carton perforé en certains endroits en raison du dessin, par l'opération du *lisage*, qui vient, pour chaque duite, s'interposer entre le cylindre et les aiguilles.

Le principe établi, nous n'aurons que peu à dire pour faire comprendre le fonctionnement de la Jacquard telle qu'elle est établie industriellement.

La figure 2501 représente une vue de face du métier.

La figure 2502 est une vue de côté du métier en repos, et la figure 2503 une vue de côté pendant le travail.

Les fils de la chaîne sont passés dans ses maillons solides en verre ou de toute autre matière que portent les crochets *l l*. Chaque aiguille verticale J passe dans une boucle ou anneau formé dans une aiguille horizontale correspondante K.

Il n'est pas un dessin, si compliqué qu'il soit, qui ne présente des parties semblables, et par conséquent des points différents au tissu, où plusieurs fils doivent être soulevés ou rester immobiles en même temps sur la même ligne ou duite. On a soin d'assembler toutes les lisses portant des fils qui ont les mêmes fonctions, pour les attacher à une même petite corde qu'on nomme *arcade*, et on fait passer chacune dans un trou correspondant de la planche d'*arcades*, pour l'attacher ensuite à une aiguille verticale, après avoir traversé une nouvelle traverse percée de trous, comme la première. Cette seconde se nomme planche à *collet*. (Nous donnerons les règles à suivre pour effectuer ces passages, en parlant des empoutages.)

Toutes les aiguilles verticales ou crochets, qui sont en nombre égal à celui des arcades, reposent à leurs extrémités supérieures, comme nous l'avons vu, sur autant de lames fixes qu'il y a d'aiguilles. Il y a autant de ces crochets verticaux, et par conséquent d'aiguilles horizontales correspondantes, qu'il y a de trous dans la planche d'arcades, et ces rangées sont disposées dans le même ordre, et en rapport avec celles-ci et celles de la planche à collet. Les aiguilles horizontales correspondantes peuvent entrer, par l'une de leurs extrémités, dans les creux ménagés dans une espèce d'étui fixe, formé par des diaphragmes assemblés par un boulon qui traverse les deux pièces *q, q*, qu'on peut démonter à volonté. Il y a autant de ces creux qu'il y a de rangées d'aiguilles horizontales, et dans le fond de chacun d'eux on a disposé un ressort *r*. Ces vides sont destinés à recevoir les extrémités des aiguilles horizontales repoussées, qui sont toutes passées dans un crochet vertical, et les ressorts ont pour but de réagir contre elles pour les faire revenir à leur position primitive au moment voulu.

En regard de l'étui se trouve un prisme carré en bois, qui est percé d'autant de trous qu'il y a d'aiguilles; chacun correspond à une aiguille horizontale du métier; contre les faces se trouvent appliqués des cartons *a, a*, fig. 2504, en plus ou moins grand nombre suivant la

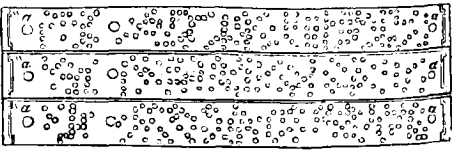


Fig. 2504.

complication du dessin à faire; c'est en effet sur eux qu'on a percé, par le lisage décrit précédemment, les trous qui devaient correspondre aux maillons à soulever. L'ensemble des trous de chaque carton, dont la longueur est égale à l'un des côtés du prisme, représente le nombre de crochets verticaux à soulever pour former la partie d'un dessin comprise dans une duite. On voit, en un mot,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

que les cartons sont percés de façon que les trous exigés par le dessin correspondent à ceux du prisme; tous les autres de celui-ci sont recouverts par les parties pleines du carton.

Les aiguilles horizontales qui se présenteront aux trous pénétreront dans le prisme, et les crochets correspondants resteront sur leurs lames respectives pour être levés. Celles, au contraire, qui rencontrent les parties pleines du carton, seront repoussées contre les ressorts et les crochets verticaux qu'elles portent seront enlevés des lames et laisseront les fils qui y sont attachés en repos. Cette position est indiquée dans la fig. 2503. On voit que les crochets **1**, **2**, **4**, **7**, sont restés sur leurs lames, tandis que 3, 5, 6, 8, ont dévié, par la résistance que les parties pleines ont présentée aux aiguilles.

Il nous reste à indiquer maintenant comment s'opèrent les mouvements dans les différents temps.

Toutes les lames horizontales sont assemblées à une pièce mobile *g*, qu'on nomme la *griffe*, et qui peut monter et descendre des deux côtés dans des coulisses à l'intérieur de petits montants. La partie mobile E porte une pièce en fer H terminée par un galet *j*. Lorsque la griffe monte, et cette pièce avec elle, la roulette *j* est obligée de s'appuyer contre les courbes du ressort C, dont une des branches est fixée contre le levier qui porte le prisme et les cartons, et qui peut prendre un mouvement autour du point B. L'ensemble de ce système, levier et ressort, est nommé *presse*. Lorsque le galet *j* monte, il exerce une pression contre la courbe C, et force le prisme de s'écarter des aiguilles, et à prendre alors la position indiquée fig. 2503. Lorsqu'au contraire la griffe redescend, le levier et le prisme reviennent de nouveau à leur position primitive, indiquée fig. 2502.

La commande générale du métier se comprendra en jetant un coup d'œil sur les figures 2501 et 2502. L'ouvrier, en posant le pied sur une marche, fait enrouler une corde autour d'une poulie, et fait tourner un petit arbre sur ses tourillons; celui-ci porte deux petits manchons dans des boîtes, autour desquelles s'enveloppent les chaînes ou courroies attachées à la griffe *g*, qui reçoit par conséquent son mouvement ascensionnel, et enlève les crochets qui n'ont pas été repoussés par le prisme et son carton. Pendant que la griffe monte, l'ouvrier chasse la navette comme à l'ordinaire, et bat la trame par le battant: on laisse redescendre le système, et lorsqu'il est revenu à sa position primitive, les ressorts, après la disparition de la résistance du carton et du prisme, ont réagi contre les aiguilles qui les avaient

Fig. 2501.

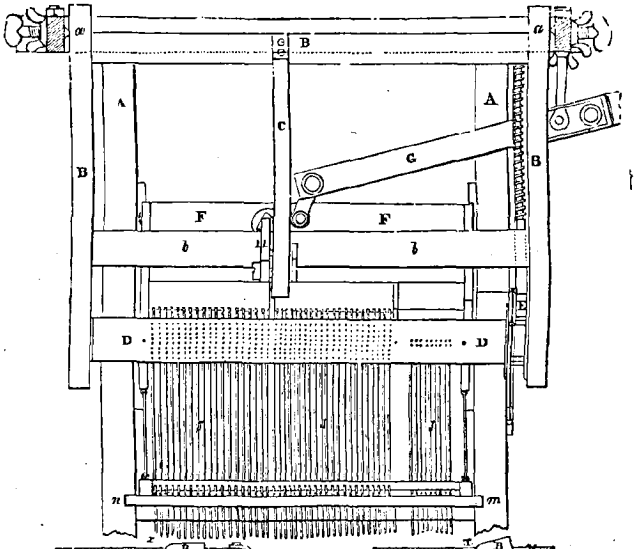


Fig. 2502.

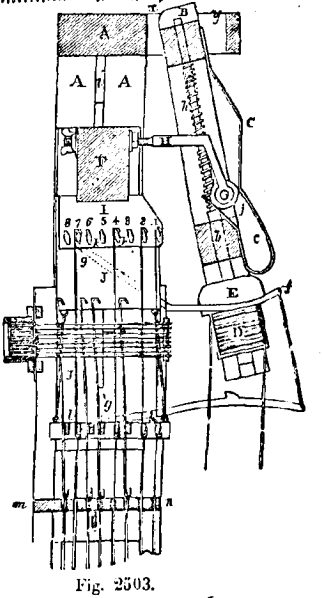


Fig. 2503.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comprimés, et celles-ci sont revenues à leur première position, les crochets ont repris d'eux-mêmes leurs places sur les lames, et tout est prêt de nouveau pour recommencer le même mouvement.

Mais, à chaque mouvement, c'est un nouveau carton qui se présente pour repousser les aiguilles qui ne le sont, pour ainsi dire, jamais dans le même ordre. Afin que cette succession de cartons se fasse bien régulièrement, ils sont enlacés les uns aux autres de manière à former une chaîne sans fin, comme on le voit dans la *fig.* 2504. Cette espèce de chaîne a, à ses extrémités, des trous dans lesquels s'engagent de petites cames que porte le prisme et qui la font avancer. Le quart de révolution que le prisme lui-même doit faire à cet effet est commandé par les mâchoires qui le saisissent par ses lanternes, disposées à son extrémité; cette impulsion est donnée par une corde passant sur une petite poulie qui se trouve sur l'arbre de la presse.

Nous ne nous arrêtons pas aux autres dispositions de ce métier, qui n'offrent rien de particulier. Le bâti T T est composé de montants et de traverses solidement assemblés et maintenus par des ferrures boulonnées.

Depuis l'emploi du métier à la Jacquard, on a tenté d'y apporter des modifications de toute espèce, mais sans pouvoir rien changer au principe fondamental; on en a étendu l'application à de nombreux articles pour lesquels on l'avait d'abord jugé insuffisant; pour toutes les spécialités, on est parvenu à en tirer un heureux parti. Le tissage mécanique des étoffes façonnées, des plus riches tapis basses-lisses, des tulles même, a profité plus ou moins de cette magnifique invention qui est loin encore d'avoir rendu tous les services qu'on est en droit d'en attendre.

Les améliorations qu'on a constamment tentées ont eu pour but les moyens de manœuvrer les maillons et leurs plombs, de faire mouvoir le métier mécaniquement, d'assurer davantage le jeu parfait des aiguilles. On est arrivé aussi à diminuer le nombre des aiguilles nécessaires pour produire un effet donné; mais ces derniers résultats tiennent plutôt à des combinaisons de commandes ou d'empoutages, qu'à la machine elle-même. La dépense assez considérable de cartons qu'on est obligé de faire, quand on a des dessins compliqués, a fait chercher souvent un autre moyen. On avait proposé de les remplacer par des feuilles de fort papier. Cette innovation, qui avait d'abord eu quelques succès, a été cependant généralement abandonnée; mais, grâce à de nouveaux perfectionnements, elle est arrivée à devenir pratique.

Le métier Jacquard, dans son état primitif, fonctionnait péniblement; mais sa vue suffisait pour faire comprendre tous les avantages que l'industrie textile devait retirer de l'heureuse combinaison des *cartons* et du *cylindre percé*, de l'*aiguille* commandée par le carton, et du *crochet* aboutissant aux fils de la chaîne, dans un métier conduit par un seul ouvrier.

Les additions de détail qui en assurèrent le succès vinrent bientôt compléter l'invention première; à savoir : l'*étui* servant à pousser continuellement l'aiguille contre les cartons (Breton, 1805); les *valets* pour tenir le cylindre juste en face des aiguilles; la *grille de bois*, si simple et si utile pour empêcher les crochets de tourner, et qui permit de délivrer la machine des embarrassantes plaques de fer-blanc qui séparaient les crochets; la *pièce cintrée* et la *pression*, objets indispensables pour le jeu régulier du battant; des *vis de rappel* pour pouvoir régler le battant ainsi que le cylindre; enfin la disposition de la griffe et des jumelles de manière à pouvoir inspecter toutes les parties de la machine.

Après ces perfectionnements, exécutés la plupart par Breton de 1807 à 1815, l'amélioration la plus importante fut celle apportée par M. Bosche pour l'exécution des châles, la *mécanique-brisée*, qui, en divisant les crochets en deux séries, a diminué le nombre des mouvements, et la *mécanique-armure* qui, par l'action de chaque crochet sur deux fils, assure la solide croisure du fond.

Les recherches se portent aujourd'hui dans une voie que nous ferons apprécier en disant quelques mots du métier de M. F. Durand, bien qu'il n'ait pas été adopté dans la pratique, pour produire, dans des conditions tout à fait semblables à celle de l'espoulinage, les tissus façonnés les plus compliqués. Les tentatives faites jusqu'ici reposent, en général, sur des appareils connus sous le nom de BATTANTS-BROCHEURS; mais, comme ils ne peuvent exécuter que des dessins disposés d'une manière spéciale, leur usage présente de la lenteur et occasionne en partie les frais qu'entraîne le travail des Orientaux.

Loin de modifier le principe du métier Jacquard, l'inventeur a eu l'heureuse inspiration d'en étendre les services en le chargeant de nouvelles fonctions. A la série des crochets ordinaires, destinés au mouvement des fils de la chaîne, pour livrer passage à la trame dans une direction uniforme et continue d'une lisière à l'autre, M. Durand ajoute une autre série de crochets, destinés à faire pour la trame ce que ceux du système Jacquard n'ont exécuté jusqu'ici qu'en vue de la chaîne.

Ces crochets pour le service de la trame portent, à l'extrémité inférieure, une petite bobine. Lorsqu'une couleur est demandée en un point quelconque, le crochet avec la bobine de la couleur demandée s'abaisse spontanément à l'endroit convenable. Supposons, par exemple, que six fils, sur une chaîne de mille, doivent être entrelacés par un fil de couleur quelconque, ces fils seront soulevés comme à l'ordinaire par le mécanisme Jacquard, et en regard du premier de ces six fils, à une hauteur correspondante au plan passant par le milieu de l'angle formé par ces fils et ceux de la chaîne restés immobiles, le même mécanisme et le même carton qui a fait soulever ces six fils feront abaisser: 1° un crochet-bobine avec la couleur voulue; 2° un second crochet-bobine vide après le sixième fil. Les choses étant en cet état, une navette est chassée comme à l'ordinaire: seulement cette navette à son départ n'est pas chargée de trame, attendu que dans sa course elle enlève la bobine du crochet qui l'attend et développe ce fil jusqu'à ce qu'elle rencontre le second crochet-bobine vide qui lui reprend la bobine, puis les deux crochets remontent spontanément à leur position initiale.

Métier à la barre. Ici se termine ce que nous avons cru nécessaire de dire des métiers à tisser à basses-lisses. Il n'est pas une machine de cette espèce qu'on ne parvienne à comprendre facilement, si on s'est pénétré des principes que nous venons d'exposer, et si on a bien suivi la description des mécanismes. Les métiers qui paraîtraient s'éloigner le plus, au premier coup d'œil, de ceux que nous venons de décrire, pourront, après un examen comparatif de quelques instants, leur être assimilés. Celui destiné à tisser plusieurs rubans à la fois, et qu'on connaît sous le nom de *métier à la barre*, va nous en offrir une preuve.

A la première vue, il ne présente de ressemblance avec aucun autre; il n'a presque pas de hauteur, sa largeur est considérable; toutes ses commandes sont en dehors du bâti aux deux extrémités. Mais, si l'on veut faire abstraction de son ensemble, suivre avec quelque attention le travail exécuté pour un seul ruban, si celui-ci est simple, son tissage ne diffère en rien de celui de la toile; s'il est façonné, les moyens sont ceux que nous avons décrits pour les dessins exécutés au tissage; on se convaincra enfin que la particularité apparente que présente ce métier ne tient qu'à la répétition de plusieurs petites chaînes, et par conséquent d'autant de rubans sur un même bâti. Un seul en exécute souvent jusqu'à dix à la fois avec une seule transmission de mouvement. M. Vayson a fait bien

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des essais pour appliquer au tissage ordinaire le système à la barre, au moyen duquel on pourrait produire des étoffes d'une très-grande largeur, avec régularité, et sans qu'il y ait besoin d'augmenter la force.

Montage du métier à la Jacquart. L'étude du montage des métiers à tisser les étoffes unies ne pouvant plus présenter de difficultés, après ce qui a été dit du remettage, des armures, du pliage et du montage des chaînes, nous allons passer de suite aux considérations concernant les tissus façonnés. Monter un métier à la Jacquart, c'est établir la communication de tous les fils de la chaîne avec les aiguilles verticales ou crochets de la mécanique.

L'opération du montage comprend celles de l'*empoutage*, du *colletage*, du *pendage*, de l'*enverjure* et du *remettage*.

Pour mieux faire saisir ce que nous allons dire, rappelons succinctement les différentes parties d'un métier à la Jacquart : au-dessus de la chaîne se trouve la planche à *arcades*, qui est horizontale, de la largeur du métier, percée d'autant de trous au moins que les fils exigeront de maillons. Ces trous sont disposés en quinconce. Au-dessus de cette première planche est placée celle à collet tenant à la mécanique, et ayant également autant d'ouvertures qu'il y a de crochets; elle se trouve au-dessus de la griffe. Ces deux planches, dans les trous desquelles il faut faire passer les maillons avant de les fixer aux crochets, sont nécessaires pour assigner les places relatives de tous les fils de la chaîne et assurer la régularité de leur mouvement.

Empoutage. L'opération qui a pour but de faire passer les arcades à travers ces deux planches, dans l'ordre le plus convenable pour l'effet à produire, tel qu'il a été demandé par la disposition générale, est ce que l'on nomme *empoutage*.

Quel que soit le genre de tissu façonné produit, le nombre de fils de la chaîne est toujours bien supérieur à celui des aiguilles d'une mécanique; il faut donc que plusieurs soient mus par le même crochet. Lorsqu'il s'agit d'exécuter des dessins courants, c'est-à-dire de répéter sur toute la surface de la pièce les mêmes effets, la distribution des arcades pour chaque corde et chaque crochet ne peut présenter aucune difficulté; on divise le nombre de maillons par celui des crochets, le quotient donne la quantité d'arcades à fixer à chacun d'eux. Chaque réunion d'arcades qu'on désigne sous le nom de *raccords*, sert à former une partie de l'ensemble du dessin; le nombre de trous nécessaire à un raccord se nomme *chemin*. Dans tout dessin, on peut distinguer le croisement du fond de celui de la fleur ou du façonné. La liaison de celui-là provient de l'ordre général du croisement de l'armure adoptée; cet entrelacement est, par conséquent, régulier pour chaque duite sur la largeur du tissu. Le façonné est également produit par des circonvolutions de la trame avec la chaîne; mais celles-ci, au lieu de se répéter d'une manière régulière pour chaque course de trame, sont déterminées par le mouvement des aiguilles, tel qu'il est commandé par la mise en carte et le lisage du dessin. On exécute les deux espèces de croisements alternativement, et l'on obtient ainsi une liaison plus intime entre le corps et les parties du dessin. Les arcades doivent donc produire une *armure* fondamentale et suivie sur toute la surface de l'étoffe.

Il faut en conséquence que *le nombre des arcades d'un chemin soit égal ou multiple de celui des lisses que l'armure exige*. C'est là une condition qu'il est toujours facile d'exécuter.

Un exemple va rendre ces considérations plus claires : soit A, B, C, D, un plan horizontal de la planche percée d'un nombre de trous suffisants pour les arcades. Le côté A B est sa largeur, et celui A C sa hauteur. Les trous sont comptés à partir du point A, jusqu'en D, où se

trouve par conséquent le dernier. Supposons maintenant qu'on ait un dessin courant à empouter et que les dispositions générales aient les éléments suivants:

Une mécanique à la Jacquart, de 400 crochets, une chaîne de 2400 fils, sur une largeur de 0m,80, avec un peigne de 48 dents par 0m,27 de largeur.

On divise le nombre des fils de la chaîne par celui des crochets ou 2,400 par 400, ce qui donne 6 pour le nombre de chemins; on prend alors sur la planche d'arcade A, B, C, D, une largeur de 0m,80, espace occupé par la chaîne, et l'on marque le trou par lequel l'empoutage doit être commencé et celui par où il doit finir. On partage l'intervalle en autant de parties égales que l'on a de chemins à empouter; chacun d'eux comprend ordinairement plus de trous qu'il n'en faut. On en laisse alors d'inoccupés sur les rangs de la hauteur, tandis que ceux de la largeur sont passés régulièrement. Si la mécanique a, comme ici, 400 crochets, il n'y aura par conséquent que 400 cordes; et s'il y a par exemple 20 trous sur une rangée de la largeur d'un chemin, il faudra que ceux de la hauteur aient également chacun 20 trous puisque $20 \times 20 = 400$. On en laissera un ou deux vides entre chaque corde suivant la quantité de la planche. Si on avait d'autres nombres pour les crochets ou pour les trous, on procéderait d'une manière analogue. Le problème à résoudre se borne toujours à trouver l'un des deux facteurs, dont l'autre et le produit sont connus. Le facteur à chercher est le nombre de trous des rangées en hauteur; celui connu est la quantité en largeur, et le produit est toujours le nombre des crochets de la mécanique. Il faut toujours avoir soin de combiner les éléments de telle sorte que le nombre des trous en hauteur soit pair, par les raisons que nous avons déjà indiquées précédemment. Cette condition peut facilement être obtenue, en faisant varier l'un des facteurs : on place une corde au premier trou de tous les chemins; toutes ces cordes sont attachées au premier collet de la machine : on en fixe au n° 2 de tous les chemins du deuxième collet, et ainsi de suite. Lorsque douze cordes d'une hauteur sont empoutées, on place la treizième à droite, sur le rang suivant; on continue dans cet ordre jusqu'à ce que l'empoutage soit terminé.

La méthode dont nous venons de parler est désignée en termes de fabrique sous le nom d'*empoutage suivi ordinaire*. Pour l'effectuer très facilement, on suspend toutes les arcades à une tringle, au-dessus de la planche à empouter. On fait ensuite glisser chacune successivement sur la tringle, jusqu'au-dessus du trou qu'elle doit occuper pour la faire passer dedans. Quand tous les trous destinés à la même corde sont garnis, on procède de même pour l'empoutage de toutes les autres. Lorsqu'il est terminé on boucle les cordes par deux cents à peu près, au-dessus de la planche; on suspend celle-ci au métier pour passer au colletage, qui a pour objet d'introduire chaque corde dans le collet correspondant qui lui est réservé, en commençant par la gauche. On laisse ordinairement en avant de la machine un rang de trous vides qu'on destine aux arcades des lisières et à celles qui doivent commander les changements de navettes et faire mouvoir la sonnette pour avertir de ces changements. Ce n'est qu'après cette dernière opération qu'on fixe les plombs à chaque arcade, en les y attachant au moyen de boucles; c'est ce que l'on désigne sous le nom de *pendage*. Il faut avoir soin d'attacher tous les petits poids à la même hauteur afin que la traction qu'ils exercent soit la même, autant que possible, sur tous les fils: nous disons autant que possible, car il est difficile qu'elle soit égale à cause des inclinaisons différentes des maillons. Après le pendage et l'appareillage, vient l'enverjure ou croisement, dont le but est de bien assurer aux arcades leurs places respectives, pour faciliter le remettage; on croise la première corde sur deux doigts de la main gauche, on opère ensuite avec la deuxième sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les mêmes doigts en sens opposé. Quand on a fait un rang, la première corde du deuxième rang doit tomber sur le même doigt et dans le même sens que celle qui a été enverjée au moyen d'une corde qu'on passe à la place des doigts, et lorsque les maillons sont tous enverjés ; on remplace les cordes par des tringles.

Remettage. Une fois les arcades enverjées, le remettage se fait facilement. On passe les fils dans les maillons qui se présentent successivement dans l'ordre de l'enverjure ; on les insère ensuite entre les dents du peigne, et on ajuste le métier de manière à pouvoir commencer le tissage.

Pour monter un métier, quelle que soit d'ailleurs l'étoffe façonnée à produire, il faut toujours exécuter les différentes opérations que nous venons d'indiquer. La seule modification qu'on apporte au montage consiste dans l'ordre adopté pour le passage des arcades dans la planche, c'est-à-dire dans l'empoutage. Les empoutages peuvent, en effet, varier avec les dispositions des dessins à monter, avec l'espèce d'étoffe et sa réduction.

Quelques mots vont suffire pour faire comprendre la nécessité de ces changements.

En effet, au lieu d'un dessin courant comme celui que nous avons supposé précédemment, on pourrait en avoir un qui présentât une rosace, ou une palme au milieu, et des ornements aux coins, disposés symétriquement en regard les uns des autres, comme cela arrive fréquemment pour certains châles, pour des tapis d'ameublement ; on ne pourrait plus alors procéder par l'empoutage suivi, il faudrait décomposer pour ainsi dire le dessin, et au lieu de commencer l'opération par le n° 1, à gauche de la planche, le faire par le milieu. On empouterait cette partie de la rosace ou de la palme comme s'il s'agissait d'un dessin courant. L'empoutage doit être le même pour les quatre coins en regard, avec la seule différence que la disposition des arcades doit être établie en sens opposé. Il suffit pour cela, lorsqu'un quart du châle est empouté, de faire revenir sur eux-mêmes quatre fois de suite, les cartons percés par l'un des quarts, sans cela les ornements qui doivent se présenter symétriquement, comme deux portraits qui font *pendant*, seraient au contraire dirigés dans le même sens. La figure que prend le genre dont nous parlons, lui a fait donner le nom d'*empoutage à pointe et retour*. On comprend donc qu'il pourrait se présenter une infinité de cas différents.

Tous les empoutages peuvent être ramenés à quelques principaux types avec lesquels il suffit d'être familiarisé pour pouvoir résoudre tous les cas possibles. Nous avons déjà parlé de l'empoutage suivi et ordinaire, de celui à pointe et retour; on connaît encore l'*empoutage combiné*, formé, comme son nom l'indique, par la réunion des précédents. L'*empoutage sur deux corps*, ou deux différents réunis pour exécuter le même tissu, est à *deux corps dont l'un est interrompu*, et ne reçoit ses arcades que de distance en distance, tandis que l'autre est empouté régulièrement. Le système à plusieurs corps est indispensable pour certains tissus façonnés, comme les gazes, le velours, par exemple, pour lesquels il faut toujours empouter séparément les fils de la chaîne du fond, et ceux de la chaîne pour poil ou pour produire les jours, comme nous l'avons déjà fait observer en parlant des armures. On commence alors l'opération par la chaîne du fond. Ces empoutages peuvent d'ailleurs varier avec chaque corps, quel qu'en soit le nombre.

L'*empoutage à quatre corps* n'est pas un cas spécial de celui que nous venons de mentionner, car c'en est simplement un suivi ordinaire qu'on a divisé en quatre parties égales et distancées ; on l'emploie pour les chaînes à très forte réduction, afin de ne pas rapprocher autant les fils et de faciliter leur mouvement.

Il serait impossible d'entrer dans plus de détails au sujet des différents empoutages dans cet article, où nous nous sommes plutôt proposé de bien faire saisir les principes des opérations que d'initier le lecteur à tous les soins minutieux qu'exige l'exécution, et dont l'expérience seule peut démontrer la nécessité. Nous devons faire observer seulement qu'il y a deux principales distinctions à faire dans les modes d'empoutages suivant que le dessin a été mis en carte, et lu sur du papier quadrillé ordinaire, dont chaque carreau représente un fil, ou suivant qu'on s'est servi du papier briqueté. Dans le premier cas on emploie une mécanique à la Jacquart, telle que nous l'avons décrite ; dans le second, il faut avoir recours soit à deux mécaniques distinctes, mues alternativement par la même communication de mouvement, soit à une seule, dont chaque aiguille horizontale est munie de deux anneaux au lieu d'un. Dans les deux cas les crochets qui appartiennent aux deux mécaniques ou à la même sont considérés comme formant deux systèmes, un système de crochets pairs et un d'impairs.

Lorsqu'il y a deux mécaniques, celle placée sur le derrière est considérée comme l'impaire, et celle du devant comme la paire. Quand on ne se sert que d'une mécanique à *garniture double* d'aiguilles, elle prend le nom de *mécanique brisée*, et la garniture du côté de *l'étui* est désignée comme impaire, et celle du côté du prisme, comme paire. Pour la *mécanique brisée*, la griffe se compose de deux parties qui se meuvent alternativement de manière à n'enlever à la fois qu'une des garnitures.

Quoique ces deux modes d'empoutage des châles soient indistinctement employés dans les différentes villes de fabriques, on désigne communément sous le nom de *montage à la lyonnaise*, celui qui fait usage de deux mécaniques. Celui par la mécanique brisée est désigné sous le nom de *montage à la parisienne*.

Le but de ces deux systèmes de montage consiste également à produire des découpures fil à fil avec le moins de crochets possible. Ce résultat est en effet obtenu en fixant un seul maillon à deux crochets différents qui peuvent se mouvoir indépendamment l'un de l'autre, car chaque maillon est susceptible d'être soulevé à volonté par les aiguilles paires ou impaires du système. Le même maillon peut donc travailler deux fois de suite, avec les fils qu'il porte pour produire des effets différents. Or, si leur nombre est de deux et qu'on les ait en même temps fait passer dans des lisses de rabat, on pourra de cette façon produire des découpures fil à fil, et par conséquent les contours les plus déliés possible. Pour arriver au même résultat avec une mécanique ordinaire il faudrait employer un nombre double de crochets.

Les métiers pour châles exigent une disposition qui permette à l'ouvrier de faire arriver deux fois de suite les cartons nécessaires à tisser une passée. En effet, dans les cartons percés d'après la lecture faite sur le papier briqueté, chaque division, excepté la première d'un rang, représente deux cordes; chaque trou doit donc faire mouvoir deux crochets, l'un de la mécanique paire et l'autre de celle impaire, et il faut que chaque carton serve deux fois, qu'il s'applique une fois contre les aiguilles paires et une fois contre les impaires. Cela aurait toujours lieu ainsi si une passée ne se composait que de deux duites ou deux passages ; mais comme elle est le plus communément formée de plusieurs *lace* ou *couleurs*, on chasse successivement la duite de chaque nuance, et ce n'est qu'après le tissage de la passée entière, avec l'un des systèmes d'aiguilles, que l'on fait revenir les mêmes cartons pour les appliquer sur l'autre. Le moyen mécanique employé pour faire revenir les cartons d'une passée sur eux-mêmes et les faire appliquer successi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vement sur les deux systèmes d'aiguilles est très simple, il est connu dans les fabriques de châles sous le nom de mécanisme du *déroulage*. Il consiste dans une poulie à gorge fixée sur le bouton du prisme sur lequel les cartons sont placés. Cette poulie peut être folle et fixe à volonté, suivant que l'ouvrier agit dans un sens ou l'autre sur une corde attachée à la poulie. Si nous la supposons folle lors d'une passée, l'ouvrier la rendra fixe en l'engrenant pour l'autre de manière à faire revenir es cartons qui ont déjà travaillé sur eux-mêmes. Si la assée se composait, par exemple, de six cartons, soit es n°s 1 à 6, lorsque le sixième aura travaillé, on les fera revenir tous sur eux-mêmes de façon à les faire de nouveau appliquer sur le cylindre en recommençant par le n° 1 et contre les aiguilles; mais cette fois l'action se communiquera au système d'aiguilles qui n'a pas fonctionné encore sous l'impulsion de ces six cartons. L'application alternative du prisme contre les deux séries d'aiguilles ne peut présenter aucune difficulté.

Tous les mouvements, pour ainsi dire accessoires d'un métier à faire les châles, tels que celui du déroulage, celui des lisses de levée ou de rabat et de liage, sont ordinairement commandés par la manœuvre d'une seule marche, appliquée à une petite mécanique supplémentaire qu'on connaît sous le nom de *mécanique à armures*. Le nombre des crochets de cette machine est restreint, ses fonctions se bornant à commander les mouvements supplementaires dont nous venons de parler.

La vue de l'ensemble des dispositions suffira pour faire comprendre les fonctions de chaque partie d'après ce que nous venons de dire.

Parmi les différentes industries nationales, c'est aux plus récentes que le métier à la Jacquart paraît avoir rendu le plus de services. Nous voulons parler surtout de la fabrication du linge damassé, des châles et des tapis nommés moquettes anglaises. La première, arrivée au degré de perfection qu'on lui a donné dans ces derniers temps, peut réellement être assimilée à une industrie nouvelle. C'est par la connaissance profonde du tissage des étoffes façonnées que M. Feray d'Essonne est parvenu à exécuter des services de table, qui ne laissent rien à désirer sous le rapport de l'élégance et de la parfaite exécution des dessins.

Notre belle industrie des châles si récente, est cependant celle qui a tiré le plus grand parti de l'invention de Jacquart. Nous n'avons pu donner que les principes fondamentaux et la description des dispositions les plus usitées, car chaque jour est témoin de nouvelles modifications heureuses.

Les hommes habiles qui sont à la tête de cette industrie rivalisent d'efforts pour arriver à la perfection des produits en simplifiant les moyens. Nous avons vu fonctionner chez MM. Godemard et Meynier, à Lyon, un métier pour châles faisant des découpures fil à fil sans l'entremise *d'aucune* lisse, et n'exigeant qu'un nombre de crochets moitié moindre. Ce résultat est obtenu par les inventeurs au moyen de quelques légères modifications dans la disposition du mécanisme combiné avec un empoutage nouveau et très rationnel. Une autre tentative, que nous ne devons pas passer sous silence, est celle qu'on a faite à plusieurs reprises pour tisser deux châles à la fois afin de diminuer la perte de matière.

Ce qui a été dit précédemment peut faire comprendre la cause de cette perte. Une passée, avons-nous dit, se compose d'autant de duites superposées les unes aux autres qu'il y a de couleurs différentes. Or, chaque duite chassée par la navette volante passe sur toute la largeur de la chaîne; elle ne doit cependant apparaître qu'en certains points, et se trouve par conséquent cachée en tous les autres; elle passe alors à l'envers et forme ce qu'on nomme une *bride* ou *floche*. Il en résulte par conséquent de nombreuses brides lorsque le tissu est terminé. Elles sont non seulement inutiles, mais elles rendraient le châle d'un poids incommode, si on ne les enlevait par un découpage à l'envers qui supprime tous les fils inutiles et diminue souvent le poids des châles de plus des 2/3; c'est donc une quantité considérable de laine qui se trouve perdue. Pour obvier à cet inconvénient, plusieurs fabricants ont cherché à tisser deux châles à la fois, de manière à faire servir les brides de l'un pour former la fleur de l'autre, en séparant ensuite les deux tissus par leur milieu, au moyen d'une machine spéciale à découper. A la dernière exposition, on a vu des châles tissés de cette façon, et provenant de deux maisons différentes. La chaîne dans ce cas est composée d'un nombre de portées et par conséquent de fils égal à celui que nécessiteraient les deux chaînes. Celles-ci sont emportées sur deux mécaniques et passées dans 8 lisses au lieu de 4, une petite à armure fait mouvoir les 8 lisses dans l'ordre voulu pour effectuer alternativement le croisement Batavia de chaque tissu. Les mouvements des fils ont lieu de manière que ceux appartenant à une chaîne lèvent pendant que ceux de l'autre baissent.

Ces deux châles ne nécessitent qu'une seule mise en carte, et un seul lisage dont on tire deux exemplaires, ne différant entre eux que par l'ordre des couleurs, puisque celles qui doivent former l'endroit de l'un des tissus forment l'envers de l'autre. Il y a donc aussi économie de mise en carte et de lisage. Leur séparation est fort délicate, car le moindre accident dans le découpage peut causer un grand préjudice à l'étoffe. Aussi a-t-on apporté les plus grands soins à la construction des machines à découper; celle qui nous a paru la plus satisfaisante est la machine de MM. Bons frères dont le principe peut être expliqué en quelques mots.

Le double tissu à *fendre* dans son épaisseur est enroulé sur un cylindre d'où il se développe sur une table servant de point d'appui. Cette division est opérée par une espèce de lame de scie fixe ayant la largeur du tissu. A celle-ci est adapté un certain nombre de couteaux pointus qui ont un mouvement de va-et-vient dans le sens de la largeur du châle; les dents de la scie entament les brides, et le mouvement des couteaux finit le découpage; à mesure que la séparation a lieu, chaque tissu va s'enrouler sur un cylindre séparé; pour que l'opération réussisse bien, il est nécessaire que l'étoffe soit parfaitement tendue.

Le tissage de deux châles à la fois paraît être plutôt destiné aux châles ordinaires et à bon marché qu'aux riches. Ceux-ci, en effet, pour rivaliser avec ceux des Indes, exigent une grande perfection de travail à laquelle il est difficile de pouvoir arriver dans le tissage des étoffes doubles où l'une des surfaces ne peut être examinée qu'après son entière exécution.

L'aspect que présente l'envers des châles français est un des caractères les plus tranchés qui peuvent les faire distinguer de ceux si vantés des Indes. Le travail de ces derniers ne forme pas de bride et ne nécessite par conséquent pas de découpage. Le châle de l'Inde est tissé comme une espèce de tapisserie. Le fuseau remplace la navette volante. On se sert d'autant de fuseaux ou espoulins que de couleurs différentes. Chaque fil suit tous les contours du dessin qu'il doit former et ne sert qu'à ce contour; l'entrelacement des différents fils entre eux a lieu d'une manière analogue à celui exécuté par la formation des points dans le travail de la tapisserie à hautes lisses; seulement ces tissus sont formés par bandes qui sont cousues ensemble après leur confection. Les châles indiens présentent donc moins de déchets et beaucoup plus de solidité que les nôtres, puisque le croisement des fils est arrêté par des nœuds serrés à l'envers qui restent dans l'état où l'ouvrier les a formés lors du tissage. Aussi ces étof-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fes ne se défilent-elles jamais; et cependant ce n'est pas là le principal mérite des cachemires de l'Inde. L'harmonie, l'éclat et la variété de leurs couleurs les font surtout rechercher et leur donnent un grand prix et une véritable supériorité sur nos beaux châles, qui à leur tour se distinguent par le bon goût des dessins, par la régularité parfaite du tissage, tant du fond que des bordures. Ces qualités ne se retrouvent pas ordinairement dans ceux de l'Inde, où la nuance du fond est souvent désagréable et l'exécution des dessins plus ou moins imparfaite, suivant que les bandes ont été travaillées par des ouvriers plus ou moins habiles. Les coutures qu'exigent d'ailleurs ces châles pour réunir les différentes bandes qui les composent offrent un aspect peu élégant et peu digne de la clientèle qui les recherche. Mais comme les défauts que nous signalons dans les châles des Indes leur donnent un cachet particulier, ils deviennent souvent une qualité aux yeux de leurs propriétaires, comme certaines fautes typographiques dans des éditions rares sont aux yeux des bibliomanes passionnés une preuve de plus de la valeur du livre.

Le travail que font les Indiens est simple, facile et bien connu aujourd'hui, mais il est long et coûteux et ne peut par conséquent se faire avec avantage que dans les pays où la main-d'œuvre est à bas prix. Cette condition qui existe dans l'Inde, jointe à l'expérience séculaire de ses fabricants, à l'habileté si remarquable de ses teinturiers, donneront pendant longtemps encore la vogue aux produits riches de ces contrées, malgré les défauts qu'ils peuvent présenter et les tentatives d'imitation, assez heureuses cependant, qui ont été faites récemment.

Moquettes anglaises. Les tissus désignés sous le nom de *moquettes anglaises* sont des tapis veloutés, façonnés, qui sont produits par des procédés analogues à ceux employés pour les châles, si ce n'est qu'au lieu de faire usage d'une chaîne de la même couleur et dont tous les fils ont la même longueur, celle des moquettes est composée de fils de nuances différentes afin de multiplier davantage les moyens de varier les effets.

Comme la longueur des fils de diverses couleurs varie avec celles nécessaires aux effets à produire, au lieu de disposer les fils sur un ensouple unique, on les ourdit sur des séries de bobines ou roquetins supportés par rangées sur un banc incliné absolument comme on le fait pour l'ourdissage. Le bâti supportant toutes les petites poulies se nomme *cantre*.

Par cette disposition, il devient facile au besoin de changer les petites bobines d'une couleur par une autre, lorsque la chaîne doit présenter une nuance nouvelle, sans rien déranger à l'ensemble des dispositions et du travail.

Le tissage de la moquette anglaise réunit donc à lui seul presque tous les moyens usités pour la production des diverses étoffes. En effet, il nécessite : 1° l'emploi du mécanisme le plus complet de la Jacquart pour produire les ornements par la trame ; 2° les lisses de rabat et de liage ; 3° la chaîne pour faire le fond; 4° les différentes chaînes nécessaires soit aux boucles, soit au poil, suivant le cas; 5° enfin les fers pour opérer la frisure ou le coupage du poil.

Le travail de la moquette par le métier à la Jacquart a été exécuté d'abord par un Anglais; c'est M. Sallandrouze qui l'a pratiqué le premier en France dans ses beaux établissements d'Aubusson où nous l'avons vu exécuter.

Tissus brochés. Pour éviter les pertes de la matière lorsqu'elle est précieuse et pour conserver la légèreté qu'exigent certaines étoffes élégantes, les fleurs et les ornements qu'elles doivent recevoir sont souvent brodés à la main. Les brillants tissus de soie pour ornements d'église et pour toilette de cours ou costumes de théâtre sont souvent produits de cette façon. Pour diminuer la dépense considérable de main-d'œuvre qu'exige ce mode de procéder, on a cherché à brocher les châles mécaniquement; plusieurs systèmes de battants-brocheurs ont été imaginés dans ce but. Mais de tous ceux-ci nous n'en connaissons qu'un, celui de MM. Godemard et Meynier, qui soit réellement employé. Nous l'avons vu fonctionner à Lyon chez les inventeurs; nous en avons également vu faire une application des plus ingénieuses à Amiens où l'on en fait usage pour faire des mousselines festonnées. (Voyez BATTANT-BROCHEUR.)

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES PRINCIPAUX TISSUS.

Étoffes pour meubles et ornements d'église. Les effets imitant la taille-douce, employés en général pour reproduire les gravures et les ornements si compliqués que représentent les étoffes pour meubles et pour ornements d'église, tels que les *brocards*, les *lampas*, les *damas*, les *taffetas lamés brochés*, sont fabriqués principalement à Paris, à Lyon et à Tours. Ces tissus sont généralement exécutés sur une largeur de 11/24, ancienne mesure, ou 0m,55, contenant vingt portées. Le nombre de fils en dents et en maillons varie de trois à dix, suivant le genre à produire. Les découpages ont toujours lieu fil à fil, ce qui nécessite l'adjonction des lisses, qui sont disposées sur plusieurs corps à cause de la complication des dessins à exécuter. Le nombre de lacs ou couleurs par duite, varie suivant le genre et la richesse de ces tissus; il est compris le plus fréquemment entre deux et six ; il y a rarement moins de deux passées ou lacs et plus de six.

Étoffes mélangées pour ameublements. L'industrie de Rouen fabrique une étoffe pour ameublement moins riche, toujours tramée en laine, mais dont la chaîne est tantôt en fils de coton, tantôt en fils de soie ou de fantaisie, et dont les dispositions les plus ordinaires pour les articles courants sont les suivantes : les largeurs de ces tissus varient suivant leur destination ; on leur donne cependant assez généralement 0m,80 environ, lorsqu'ils sont destinés à des tentures ordinaires, à des fauteuils ou des chaises; elle est augmentée jusqu'à 1m,60 lorsqu'on les réserve pour rideaux, pour de larges portières, etc.

Il y a nécessairement aussi des variations dans la quantité des fils employés, mais les nombres les plus usités sont 82 fils par 0m,027 pour chaîne de coton, 90 lorsqu'on fait usage de fantaisie, et 100 fils si c'est de la soie; le nombre de fils en dents varie de 2 à 3.

On fait quelquefois aussi des étoffes pour meubles à double chaîne, pour produire deux effets différents sur les deux côtés ; ce genre ne présente d'autres particularités dans le montage que la nécessité d'un corps de plus pour la seconde chaîne, comme nous l'avons expliqué en parlant des tissus à double chaîne.

Étoffes pour gilets. Pour la plupart des étoffes d'un même genre, les largeurs restent invariables, mais le nombre de fils compris dans la largeur change avec les qualités que l'on veut donner à l'étoffe. Le *piqué blanc*, qu'on fabrique à Saint-Quentin et à Mamers, peut offrir un exemple de ces variations. Cet article est généralement produit avec un peigne d'une largeur constante de 0m,66. Le nombre de fils varie de 1.000 à 2.000; le dernier nombre n'est guère employé que par quelques maisons qui imitent le piqué anglais si recherché. Les fils sont généralement passés par trois entre chaque dent.

Les étoffes pour gilets, nommées *cachemires de Paris*, ont à peu près la même largeur que les piqués. Le nombre de fils employés est moyennement de 2.400 passés par deux fils en dent. Les empoutages pour ce genre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

changent nécessairement, comme à l'ordinaire, avec la complication des dessins. Mais la quantité de cordes reste circonscrite entre 400 et 600; elle atteint même rarement ce dernier nombre.

Tissus de velours. Un des genres les plus variés dans le commerce est sans contredit le velours. Ainsi on connaît les velours de coton, les velours de laine et les velours de soie. Dans ces derniers, on distingue le *velours uni frisé*, le *velours uni coupé*, les *velours frisés façonnés*, les *velours coupés façonnés*, les *velours ciselés*, qui offrent des effets de velours uni et frisé combinés; les *velours ciselés liserés*, produits comme le précédent avec des additions de petites côtes; le *velours sans pareil*, dont le fond est formé par un tissage de velours uni, et les dessins par un velours frisé ou réciproquement; le *velours miniature*, qu'on ne peut exécuter qu'à un grand nombre de chaînes et avec l'aide de la cantre; c'est celui qui présente les effets de chaînes les plus variés, etc.

La double chaîne que tous les velours nécessitent donne un élément principal de plus, qui contribue à diversifier les effets qu'on peut obtenir; tous ces velours sont produits sur la même largeur de 0m,55 (11/24). Les nombres de portées et de fils en dents sont seulement variables. Il est évident aussi que le montage diffère également suivant le dessin plus ou moins compliqué du tissu; on fait rarement usage de moins de vingt portées et de plus de vingt-cinq. On passe de six à dix fils en dents, et quelquefois même douze. Ce dernier nombre est réservé au velours de plusieurs couleurs, que l'on nomme *velours miniature*. Ces fils sont passés de manière à être convenablement partagés entre les deux chaînes. Ceux destinés au poil dépassent rarement deux: le surplus sert à former le corps du tissu; cependant pour le velours frisé uni seulement, on passe quatre dents pour le corps de la pièce et quatre pour le poil.

Dispositions des étoffes simples et unies. La disposition des étoffes ordinaires unies, en laine, en coton ou en lin, est extrêmement simple; les remettages et montages n'exigent que la connaissance des quatre, ou plutôt des trois armures fondamentales seulement. L'armure taffetas, l'armure croisée ou batavia et la sergée, comprenant les différentes combinaisons usitées dans le tissage de la draperie. La première est réservée aux draps unis et lisses; la seconde aux casimirs et aux différents tissus croisés, et l'armure sergée aux draps *castors*, doubles broches, etc. La largeur sur laquelle on tisse généralement la draperie est de 2m,70 (100 pouces). Le nombre de fils change avec la force que le drap doit avoir; cette variation est comprise dans les limites de 2.500 à 3.800 fils. Le nombre de fils à mettre en dents est de deux pour la draperie ordinaire, et de trois pour les cuirs-laines et les doubles broches.

Les articles de modes dits nouveautés sont généralement produits sur une largeur de 1m,48 à 1m,80. La quantité de fils pour les nouveautés les plus fortes pour étoffes d'hiver, varie de 3.500 à 4.500; et pour celles d'été, dont la largeur est quelquefois un peu moindre, la quantité en dents varie de 3 à 5. Quant à la quantité de trame employée dans les tissus, elle est proportionnelle à celle de la chaîne; elle augmente et diminue par conséquent, en général, dans le même rapport.

Pour les tissus plus simples encore, tels que les cotonnades et les toiles, les différences se bornent exclusivement à la plus ou moins grande quantité de fils contenue dans l'unité de surface.

Le tableau ci-contre donne ces principales variations pour les étoffes dont l'usage est le plus répandu.

On remarque par cette table que la quantité de chaîne et de trame comprise dans l'unité de surface est à peu près la même. Cette égalité n'existe en général que pour les articles ordinaires indiqués dans ce tableau. Lorsque la finesse des tissus augmente, le rapport entre celle de la chaîne et de la trame n'est plus le même; on emploie alors des fils pour trame dont la finesse est en général de dix numéros plus élevée que celui des fils de la chaîne; ainsi, si la chaîne est du 25 ou 30, par exemple, on se sert du n° 35 ou 40 pour la trame, et lorsque la finesse du tissu est plus grande encore, et qu'on fait usage des fils des n°s 60 à 90, la différence entre la finesse des fils de la chaîne et de la trame s'élève jusqu'à vingt numéros. C'est donc des numéros 80 et 120 qu'on tisse en trame dans ces derniers cas, et le nombre de fils en trame par *quart de pouce*, augmente également plus ou moins dans le rapport de 1 à 10. Comme les fils de la trame sont toujours moins tordus que ceux de la chaîne et que le tissu en contiendra davantage, il en recevra une apparence unie, brillante et souple, qui convient parfaitement à beaucoup de variétés, et surtout aux étoffes qui doivent recevoir la teinture ou l'impression.

TISSAGE A HAUTES LISSES.

Le tissage à hautes lisses tire son nom de la disposition des fils de la chaîne, et de celle des lisses fixées à la partie supérieure de la chaîne, au-dessus de la tête de l'ouvrier. Il est généralement appliqué aux étoffes pour tapisseries et tentures, et particulièrement pour les tapisseries les plus estimées et certaines variétés de moquettes, tandis que les métiers à basses lisses sont réservés à la production des tapis d'un travail moins fini et, comme nous l'avons vu, des moquettes les plus ouvragées, dites moquettes anglaises. L'origine du travail des tapisseries en France remonte, comme celle de beaucoup d'autres industries, à l'époque des croisades (1). Il a été encouragé par Henri IV et Sully, et, plus tard, par Louis XIV et Colbert. C'est ce dernier ministre, comme on sait, qui acheta aux frères Gobelins leur établissement de teinture pour le transformer en une manufacture royale, qui porte encore le nom des vendeurs.

La teinture des frères Gobelins avait acquis une telle supériorité, que leurs contemporains attribuèrent le talent de ces célèbres artistes à un pacte que l'un d'eux aurait fait avec le diable. Cette anecdote est très sérieusement racontée dans un ouvrage publié en 1716, qui a pour titre le *Teinturier parfait*.

L'activité de la Manufacture royale des Gobelins a subi bien des variations depuis l'impulsion que Colbert avait cherché à lui imprimer. Les ateliers furent complétement fermés dans les premières années de la révolution. La Manufacture fut réorganisée en l'an II de la république, et n'a cessé depuis lors de travailler pour l'ameublement des différents châteaux de l'État, concurremment avec l'établissement de Beauvais, destiné au même travail, excepté à la teinture, qui est faite exclusivement aux Gobelins sous l'habile direction de M. Chevreul.

Les tapisseries si renommées d'Aubusson et les beaux tapis de Turcoing, sont des produits de l'industrie privée.

On distingue dans le tissage à hautes lisses le travail des tapis ras ou de la tapisserie exécutée par le point, anciennement connu sous le nom de point sarrasinois ou façon de Turquie, et le travail des tentures à surface veloutée, dont les produits conservent plus généralement le nom de tapis.

La méthode sarrasinoise paraît être la plus ancienne. Château-Favier, inspecteur des manufactures de la province de la Marche, en 1785, fait remonter les premiers établissements qui employèrent ce procédé à l'an 730; il les attribue à des Sarrasins qui vinrent s'installer à Aubusson et à Felletin. Cette fabrication se continua

(1) Une des plus anciennes tapisseries que l'on connaisse est attribuée à la reine Mathilde; elle représente la conquête de l'Angleterre par les Normands.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Table de proportions (1), *observées entre les numéros et le nombre des fils de chaîne et de trame, dans la composition des tissus de coton suivants.*

Nos d'ordre.	LARGEUR du peigne.	LARGEUR de la toile.	Portées.	NUMÉROS de chaîne.	NUMÉROS de trame.	NOMBRE DE FILS en 1/4 de pouce. Chaîne.	NOMBRE DE FILS en 1/4 de pouce. Trame.	TISSÉ à trame mouillée ou sèche	NOM des étoffes.	DESTINATION ET EMPLOI.
	millim.	centim.								
1	960	3/4,90	36	6	6	11	10	mouillée.	Cretonne double.	Blanc et mi-blanc pour domestiques.
2	965	» »	38	10	10	11 1/2	11	»	Cretonne.	Id.
3	936	» »	40	28	32	12	12	sèche.	Mousseline grasse.	Blanc pour rideaux et doublures.
4	965	» »	43	12	12	13	13	mouillée.	Cretonne.	Blanc et mi-blanc.
5	965	» »	45	14	14	13 1/2	»	»	»	Id.
6	965	» »	50	15	15	15	15	»	»	Id. pour linge de ménage.
7	965	» »	55	15	13	16 1/2	»	»	»	Écru et mi-blanc pour la troupe.
8	970	» »	56	22	26	17	18	»	Calicot.	Blanc et teinture.
9	965	» »	57	16	16	17 1/2	17	»	Cotonnade	Id. pour draps de lit.
10	965	» »	62	18	16	18 1/2	»	»	»	Id. Id.
11	940	» »	60	26	36	18	»	sèche.	Calicot.	Impression et teinture.
12	940	» »	63	28	»	19	»	»	»	Impression.
13	970	» »	65	»	32	19 1/2	20	mouillée.	»	Id.
14	970	» »	»	»	38	»	22	»	»	Id.
15	965	» »	66	20	20	20	20	»	Cotonnade	Blanc pour chemises.
16	970	» »	70	26	36	21	22	»	Calicot.	Blanc et impression.
17	970	» »	72	28	38	21 3/4	23	»	»	Impression.
18	970	» »	»	»	»	»	26	»	»	Blanc et teinture en rouge.
19	970	» »	75	30	40	22 3/4	24	»	»	Impression.
20	973	» »	»	»	38	»	26	»	»	Rouge.
21	973	» »	78	34	42	23 1/2	»	»	»	Impression.
22	975	» »	80	»	46	24	»	»	Percale.	Id.
23	954	» »	»	60	80	»	24	sèche.	Mousseline	Blanc, apprêt batiste.
24	954	» »	»	80	100	»	»	»	»	Id. et impression.
25	975	» »	»	34	42	»	28	mouillée.	Percale.	Blanc.
26	975	» »	82	»	44	25	23	»	»	Impression.
27	978	» »	85	38	44	25 3/4	26	»	»	Id.
28	978	» »	86	36	52	26	28 à 30	»	»	Id. et blanc.
29	980	» »	90	44	60	27	29 à 31	»	»	Id. Id.
30	983	» »	95	70	100	29	32	»	Jaconat.	Id. Id.
31	983	» »	»	80	110	»	36 à 38	»	»	Id. Id.
32	985	» »	»	85	116	»	34 à 36	»	»	Id. Id.
33	985	» »	100	90	120	30 1/2	38 à 40	»	»	Id. Id.

dans le pays après l'expulsion des Sarrasins, des Gaules, grâce aux encouragements des comtes de la Marche, qui firent venir alors d'habiles ouvriers flamands.

Nos fabriques de tapis paraissaient être arrivées à un grand développement dans le dix-septième et le dix-huitième siècle. L'inspecteur que nous venons de mentionner fait ainsi l'énumération de l'emploi des tapis d'Aubusson et de Felletin :

« Les ouvrages en tapisseries qu'on fabrique consistent en tentures de toutes espèces, fauteuils, cabriolets, chaises, canapés, ottomanes, bergères, lits, cartonnières, écrans, portières, caparaçons et housses pour les chevaux, couvertures de mulets, bandouillères de gardes, galons de livrées, tapis ras, tapis veloutés. »

Cette consommation variée devait donner au chiffre des affaires une importance assez grande, et peut-être n'était-il pas de beaucoup au-dessous de 8 millions de francs, somme à laquelle on évalue la production actuelle pour toute la France. Le peu d'importance de cette industrie si belle, dont les produits sont recherchés par les cours étrangères, tient sans doute à ce que la masse des consommateurs considère encore comme objets de luxe les tapis, dont l'emploi est néanmoins si utile et si hygiénique, et à ce qu'elle ne peut atteindre des conditions économiques susceptibles d'augmenter ses débouchés.

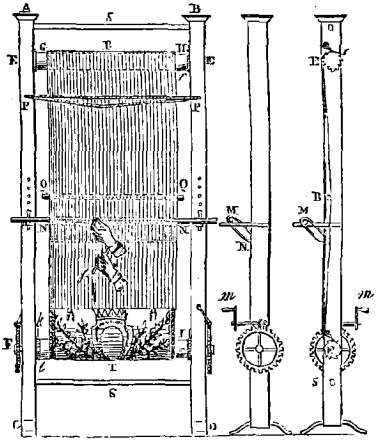
Les conditions dans lesquelles se trouve cette industrie sont particulières, quand il s'agit de produire ces admirables tentures qui réunissent les précieuses qualités de la peinture et de la broderie. La valeur de la matière première devient insensible par rapport à celle de la main-d'œuvre, et un très petit nombre de consommateurs seulement peuvent prétendre à ces travaux tout à fait artistiques. Dans la confection des tapis ordinaires, au contraire, le prix de la matière première l'emporte de beaucoup sur celui de la main-d'œuvre. C'est donc de l'abaissement du prix des laines, de la diminution des déchets dans la fabrication qu'on peut attendre le développement futur de cette branche spéciale. Nous allons voir par la description des moyens de fabrication qui sont encore ce qu'ils étaient du temps des Sarrasins, qu'ils laissent peu de choses à désirer sous le rapport de la simplicité.

(1) Ce tableau est extrait d'une publication intéressante sur le parage et tissage mécanique du coton faite par *Bédel*, ex-directeur du tissage, et M. *E. Bourcart*, directeur en chef de la filature et du tissage mécanique d'Augsbourg, ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TISSAGE.

Description du métier à hautes-lisses. La fig. 2506 représente la vue de face du métier à hautes-lisses tel qu'il est encore généralement employé. On a figuré la chaîne tendue et un ouvrage ras en exécution. Les fig. 2507 et 2508 montrent les vues de côté des montants du métier.



2506. 2507. 2508.

A, B, C, D, sont deux montants verticaux d'une hauteur plus ou moins grande suivant celle des tissus qu'on doit produire; ils sont assemblés à leur partie inférieure dans des patins solidement établis, et à leur supérieure, ils sont fixés au plafond ou de toute autre manière, réunis par deux entre-toises S; ils reçoivent par leurs tourillons E deux cylindres ensouples G, H, placés à la partie supérieure, et disposés à celle inférieure A. Ces deux ensouples ont les mêmes fonctions que ceux du métier à basses-lisses, celui supérieur est destiné généralement à recevoir la chaîne avant le tissage et l'autre à enrouler le tissu après sa confection. Quelquefois, ces cylindres portent à leurs extrémités des trous pour recevoir des bâtons au moyen desquels on les fait tourner comme des treuils pour serrer les chaînes; mais le plus souvent on monte une roue G, engrenant avec une vis sans fin *v* qui reçoit son mouvement par une manivelle *m*. Comme on le voit, cette commande est destinée à opérer la tension des fils de la chaîne et à enrouler la tapisserie à mesure que le travail s'effectue. La roue à rochet *r* avec son déclic *a* pour but d'empêcher celle d'engrenage de revenir, et par conséquent, de maintenir la tension. Le bâton rond Q, est nommé bâton d'entre-deux, il remplace ceux d'enverjure des chaînes à basses lisses et sert donc à séparer les fils de la chaîne en deux parties sur deux plans; la petite corde P P a le même but. On nomme *perche à lisses* le bâton L M; c'est à celui-ci que sont fixées toutes les lisses N, N, qui communiquent aux fils du derrière (Nous verrons en décrivant la manière de faire le point, que les fils du devant n'ont pas besoin de lisses).

Montage de la chaîne. La chaîne étant ourdie, d'après les règles que nous avons données en traitant de l'ourdissage, on place régulièrement les *piennes*, ou portées, dans les dents du vautoir dont on a ôté le chapeau *a*. Ces fils placés, on assemble les deux pièces du vautoir et on le fixe dans la rainure qui lui est réservée dans l'ensouple supérieur; puis on procède à la tension de la chaîne sur la partie inférieure de l'ensouple au moyen de la manivelle; il est important que tous les fils de la chaîne soient soumis à une tension égale.

Toutes les chaînes pour tapis ou tapisseries sont formées en fils de laine blanche, généralement retordus et d'excellente qualité; aux Gobelins, on emploie des laines dites d'Allemagne; seulement lorsqu'on monte une chaîne pour tapis velouté, on a soin de disposer en fil de couleur, ordinairement en fil rouge, de dix en dix fils. L'intervalle entre chaque fil de couleur se nomme une dizaine.

Ces divisions permettent de déterminer avec plus de facilité et d'exactitude les différents points du dessin, d'après le dessin original ou la mise en carte qui est exposée à la partie supérieure du métier, mais au lieu d'être divisée par des carrés, elle est pointée, de manière que la distance entre deux points corresponde à celle comprise entre deux fils de couleur de la chaîne.

Les fils d'une chaîne pour de la tapisserie sont tout blancs, il ne suffirait pas de la partager par dizaines, parce qu'il est indispensable pour arriver à la perfection qu'on exige dans ce travail d'esquisser le dessin sur les fils tendus de la chaîne de manière à pouvoir suivre tous les contours avec plus d'exactitude. Pour cela le dessinateur se sert d'un calque qu'il prend sur le tableau à reproduire et qui lui-même reste exposé près de l'ouvrier de manière à ce qu'il puisse assortir les nuances et les appliquer avec plus de précision. Les nombreux tons qu'exige l'exécution d'une tapisserie sont tous formés avec huit ou neuf couleurs fondamentales; c'est avec elles qu'on compose la gamme la plus complète possible en nuances; chaque nuance de fil est enroulée sur une broche ou fuseau. Lorsqu'un ouvrier commence son travail, il choisit ses nuances dans un magasin spécial pour les fils de laines teintes; au tissu sont attachées autant de broches qu'il faut de tons différents.

Le travail du tissage à hautes lisses est produit par la formation des mêmes nœuds ou boucles formés successivement autour des fils blancs de la chaîne par ceux de couleurs dont les broches sont chargées.

Exécution du travail. Pour faire le tissage, l'artiste tapissier prend, de la main droite, la broche garnie du fil dont il a besoin, et passe la main gauche dans l'écartement que le bâton de croisure établit entre les fils de la chaîne. Il tire en avant un ou plusieurs fils, suivant l'espace qu'il veut recouvrir, et y passe de gauche à droite le fil de recouvrement au moyen de la broche; il tend ce fil autour de celui ou de ceux de la chaîne qu'il enveloppe, et il le tasse avec la pointe de sa broche. Cette première partie de l'opération est appelée une *passée*. Celle-ci faite, l'ouvrier laisse reprendre aux fils du devant leur position verticale, et il ramène ceux du second plan sur le devant, au moyen des lisses, puis il exécute également une passée sur eux en dirigeant la broche en sens contraire de celui de la passée précédente; il tend et tasse de nouveau cette partie, cette allée et cette venue où les deux passées constituent une *duite*. La fig. 2506 indique la position du fuseau et des mains pour exécuter le point Deux duites forment ce que l'on désigne dans la spécialité par une hachure; généralement, on forme des hachures avec deux duites, embrassant un nombre différent de fils, ce qui facilite le mariage insensible des nuances et le passage d'un ton à un autre.

Tous les autres détails qu'il est nécessaire de connaître pour produire un travail parfait sont entièrement du ressort des beaux-arts et complètement étrangers à la spécialité de notre ouvrage.

Travail des tapis veloutés. Le travail fondamental du tissage des tapis consiste dans la formation du *point*. Pour faire le point, l'ouvrier prend la broche de la main droite et passe le fil de laine de la broche derrière celui qu'il veut recouvrir, comme on le voit en *c* (fig. 2509).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce passage, derrière un des fils du devant, est appelé une passée; lorsque celle-ci est faite sur ce fil, on amène en avant celui qui est derrière au moyen de la lisse, et

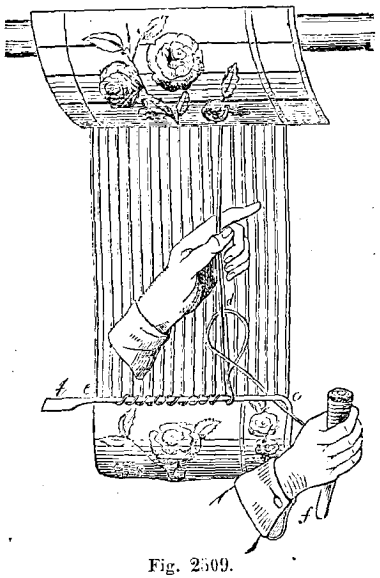


Fig. 2509.

on fait un nœud coulant qu'on serre dessus. Le point est alors formé, mais au lieu de serrer le point directement sur les fils de la chaîne, on a soin de passer un petit outil *e*, nommé *tranche-fil*, sur lequel on serre le nœud. Lorsqu'il y a un nombre de points formés suffisant pour recouvrir la longueur du tranche-fil, on le retire dans la direction du tranchant. La partie tranchante coupe alors les boucles qui l'enveloppent, et la surface veloutée se trouve formée. On voit que l'outil tranchant tient lieu des fers et des rabots employés dans le tissage du velours en général. Lorsqu'une rangée complète de points est faite sur toute la largeur du tapis, il faut établir la liaison entre les fils du derrière et ceux du devant. A cet effet, on passe un gros fil de chanvre ou de lin, d'un bout à l'autre du tapis, dans l'ouverture croisée établie par le bâton d'entre deux; après chaque rangée, on passe un fil semblable entre les croisures qui se forment alternativement entre les fils du devant et ceux du derrière; c'est ce qu'on nomme passer en *duite* ou en *trame*. Après chaque formation de trame, on serre les points et les fils de duite, au moyen d'un petit peigne dont les dents entrent dans les fils qui ne sont pas encore recouverts et tassent la partie tissée.

Le tranche-fil ne coupant jamais les boucles d'une manière assez uniforme, on a soin d'égaliser la partie irrégulière avec des ciseaux à branches courbes.

Les dimensions des tapis et des tapisseries sont très-variables; celles-ci sont généralement plus grandes que les tapis. On fait aux Gobelins des tapisseries dont la surface dépasse souvent 5 mètres sur 15. Les laines pour chaînes, employées dans cette fabrication, sont généralement doublées et retordues, et leurs numéros varient de 10 à 25.

Le nombre des fils varie suivant la complication des sujets que l'on veut représenter, de huit cents à douze cents par mètre de largeur; ceux-ci sont grillés pour enlever complétement le duvet. Le travail des métiers à hautes lisses est, sans contredit, le plus parfait de tous, mais c'est aussi de beaucoup le plus long. On compte aux Gobelins qu'un mètre carré nécessite moyennement une année de travail d'un ouvrier, et revient à environ 3,000 francs.

Nous disons à ART INDUSTRIEL que l'imitation de tableaux ainsi obtenus dépasse peut-être le but, les produits les plus remarquables, techniquement parlant, sont admirables.

Le tissage à basses lisses qui s'exécute plus rapidement est d'un ordre moins relevé, parce que le dessin ne peut se produire qu'à l'envers, et que l'ouvrier ne peut examiner et suivre son travail que difficilement.

Ces inconvénients furent signalés à Vaucanson, par les directeurs des Gobelins. Ce dernier chercha à y remédier par l'établissement d'un métier mixte, qui peut prendre à volonté la position verticale, horizontale, plus ou moins inclinée. On commençait par tendre la chaîne et y tracer le sujet à exécuter, comme sur les métiers à hautes lisses; pour travailler, on faisait basculer le métier dans les montants, de manière à lui donner la forme des métiers à basses lisses. Puis enfin, lorsqu'on voulait examiner le travail, on redressait de nouveau le métier verticalement. Cette machine participait, comme on le voit, des deux systèmes; on avait cherché à combiner les avantages des deux méthodes. Ce genre de métier existe encore aux Gobelins, mais il est peu employé. On en trouve le plan et la description détaillée dans un Mémoire que Vaucanson adressa à l'Académie des sciences, en 1758. On a appliqué ce mécanisme à de petits métiers à broder la tapisserie.

TITANE. Métal d'un jaune de cuivre qui, ainsi que ses composés, est rare et n'a jusqu'ici reçu aucun emploi dans les arts.

TOILES PEINTES. Voyez IMPRESSION SUR ÉTOFFES.

TOLE. Voyez FER.

TONDEUSE. Voyez LAINES.

TORRÉFACTEUR. Voyez RÉGULATEUR.

TOUR. Le tour occupe incontestablement le premier rang parmi les machines-outils, son usage est général dans une foule de professions, et il n'existe pas d'atelier de construction qui n'ait un ou plusieurs tours avant de posséder aucune autre machine-outil. Le travail de ces dernières peut, en effet, être exécuté avec précision, quoique beaucoup moins rapidement, à la main, tandis qu'il serait très-difficile, pour ne pas dire impossible, de remplacer en aucune manière la précision mathématique et la rapidité d'exécution des pièces circulaires obtenues par l'usage du tour. Employé par beaucoup de personnes, cet outil s'est perfectionné rapidement, il a subi un grand nombre de modifications importantes; on l'emploie à former non-seulement des surfaces cylindriques, mais encore des cônes, des surfaces planes, sphériques, des polyèdres de toutes les formes, des hélices, etc. Il sert journellement à percer et à aléser des trous tant cylindriques que coniques. Aussi le voit-on, suivant ces divers usages, se modifier et se subdiviser en outils spéciaux, qui, tout en découlant du même principe, sont chacun plus ou moins particulièrement destinés à reproduire telle ou telle forme. Sa manière d'opérer est, du reste, tout à fait opposée à celle des autres machines-outils et outils. L'ajusteur qui attaque le métal à la lime, ou l'emporte au burin, transporte le point d'application de l'effort qu'il déploie, et produit ainsi un travail proportionnel à l'effet qu'il développe et par suite à la fatigue qu'il éprouve; dans le tour, au contraire, la matière à emporter appartenant au corps mis en rotation par une force mécanique, se présente au tranchant de l'outil, et le tourneur ne développe qu'une force minime, souvent même il place son outil sur un chariot qu'il fait mouvoir et regarde la matière s'en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lever par l'action d'un moteur extérieur auquel il peut souvent emprunter une force illimitée.

Presque tous les tours sont horizontaux, quelques-uns sont verticaux, ceux employés par le potier, par exemple.

On distingue dans les tours deux grandes subdivisions: les tours à pointes et les tours en l'air. Dans les premiers la pièce à tourner se trouve placée entre deux pointes fixes et on la met en mouvement en fixant sur elle une poulie qui reçoit, au moyen d'une corde, un mouvement circulaire continu ou circulaire alternatif. D'autres fois, et c'est le cas le plus général, une des pointes forme l'extrémité d'un arbre auquel on donne un mouvement de rotation, mouvement qui se communique à la pièce à tourner par le moyen d'un taquet fixé à cet arbre. La seconde pointe peut se rapprocher ou s'éloigner de la première suivant la longueur de la pièce à travailler.

Cette seconde espèce de tour à pointes peut se transformer en tour en l'air en supprimant la seconde pointe et en plaçant la pièce à l'extrémité de l'arbre mobile, on peut alors l'attaquer de tous les côtés, excepté par le point d'attache.

Tour a pointes. Le tour à pointes est simple à établir: deux jumelles en bois parallèles sont supportées à leurs extrémités par deux pieds formant le banc du tour. Les pièces de bois qui supportent les pointes sont appelées *poupées*, ce sont des billes de bois carrées, terminées par un tenon à double arrasement qui pénètre entre les deux jumelles, les dépasse en dessous et porte à sa partie inférieure une mortaise transversale dans laquelle on passe une clef en bois qu'on chasse à coups de masse pour faire appuyer fortement la poupée sur les jumelles. Les pointes sont fixées à 3 décimètres au-dessus du banc, pour un tour de moyenne grandeur, et à un décimètre environ du sommet de la poupée. D'ordinaire, la pointe de gauche est immobile ainsi que la poupée, et la pointe de droite de la poupée mobile est une vis pointue vissée dans cette poupée qu'elle peut dépasser de un décimètre du côté de la première pointe.

Il faut maintenant donner au tourneur un appui solide sur lequel il puisse poser son outil afin d'attaquer la pièce fixée entre les pointes. Cet appui s'appelle support à chaise, et se compose de trois parties: la *semelle*, la *chaise* et la *cale*.

La semelle est une planche de 3 à 4 centimètres d'épaisseur sur 14 de largeur, et de longueur variable suivant la force du tour. Elle porte dans une partie de sa longueur une ouverture longitudinale large de 3 centimètres, destinée à recevoir le collet d'un boulon dont la tête carrée sera noyée dans deux feuillures pratiquées le long des côtés de l'ouverture et en dessous; le boulon passe entre les jumelles, traverse une forte barre en bois, au-dessous de laquelle est un écrou à oreille avec lequel on opère la pression et la fixation de la semelle sur l'établi. On comprend facilement qu'en desserrant le boulon on peut faire glisser la semelle dans un sens perpendiculaire à la ligne des pointes et même l'incliner par rapport à cette ligne; on peut aussi la faire marcher le long des jumelles et la placer par conséquent dans la position convenable par rapport à la pièce à tourner.

La chaise est un morceau de bois en forme d'équerre, appuyant par des branches horizontales sur la semelle à laquelle elle est fixée par un boulon. Ce boulon, taraudé à sa partie inférieure, s'engage dans un écrou noyé au-dessous de la semelle; il se termine à sa partie supérieure par une forte tête percée de deux trous en croix dans lesquels on introduit la queue d'une clef pour serrer la chaise sur la semelle quand on a fait tourner de la quantité convenable cette chaise autour du boulon.

La cale est une planche épaisse de métal ou de bois dur qu'on attache devant la branche verticale ou le dossier de la chaise au moyen d'un écrou en T. Cette cale n'a par le bas que la largeur du dos de la chaise, dans le haut elle s'élargit et est terminée par deux pointes; c'est sur la partie supérieure de cette cale que l'on appuie l'outil. Pour que la cale puisse être haussée ou baissée à volonté, le trou qu'on y pratique pour laisser passer le T n'est pas rond, mais allongé dans le sens vertical.

On emploie encore d'autres supports pour le tour en l'air; tel est le support à barre composé d'une planche en bois parallèle à l'axe du tour et portée sur deux espèces d'équerres qui peuvent glisser à frottement dur et perpendiculairement à cet axe dans deux mortaises pratiquées dans les poupées au-dessous des pointes. Ce support est loin d'être aussi commode que le support à chaise qui vient d'être décrit et qui a l'avantage d'être aussi applicable au tour en l'air.

On communique à la pièce à tourner un mouvement, soit circulaire alternatif, soit circulaire continu; dans le premier cas c'est au moyen d'une corde qui fait plusieurs fois le tour de la pièce et que deux hommes tournent alternativement; d'autres fois, et c'est même le cas le plus fréquent, la corde s'attache à l'extrémité d'une perche élastique fixée par l'autre bout au plafond de l'atelier, descend verticalement en faisant plusieurs fois le tour de la pièce à tourner, continue ensuite à descendre et s'attache à un levier nommé *pédale*. Ce levier peut osciller autour d'un point fixe. Le tourneur place le pied sur la pédale, et pendant qu'elle descend il attaque sa pièce avec l'outil; quand il relève le pied l'élasticité de la perche fait remonter la pédale et tourner la pièce en sens contraire.

Ce système est simple, mais entraîne une perte de temps considérable, puisque le travail est discontinu, en occasionnant en outre de fortes vibrations dues à l'action intermittente de l'outil. Il est de beaucoup préférable d'enrouler la corde sur une poulie fixée à la pièce à tourner, et sur une seconde poulie plus grande mise en mouvement, soit par le pied du tourneur, au moyen d'une pédale, soit par un manœuvre quand l'effort à produire est un peu considérable (*fig. 1*).

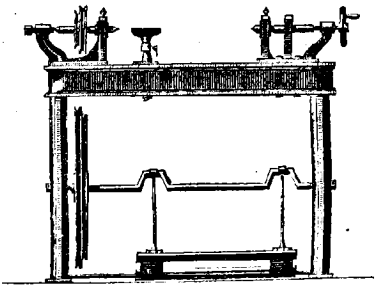


Fig. 1.

Rien de plus facile que de monter une pièce sur le tour à pointes; s'agit-il par exemple d'un pied de lit, on bornoie la bûche d'où on doit le tirer; si elle est droite il y a peu de déchet, si elle est courbe il faudra enlever beaucoup de bois. On trace aux deux extrémités deux cercles égaux en diamètre à la pièce que l'on veut obtenir, on place les centres de ces cercles de manière à ce que la ligne qui les joint ne s'approche jamais de la surface de la pièce en aucun point de plus près que le rayon définitif. Il faut beaucoup d'habitude pour arriver à remplir promptement cette condition. On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

enfonce alors les centres avec une pointe de fer conique et on fait entrer les deux trous ainsi obtenus dans les pointes du tour qu'on humecte d'huile pour adoucir les frottements, on serre assez les pointes pour que le bois ne ballotte pas quand on l'ébranle, et pas assez pour l'empêcher de tourner librement.

On attaque d'abord le bois, quelle que soit sa nature, avec une *gouge*, outil demi-cylindrique affûté à son extrémité, qui dévore le bois avec beaucoup de rapidité, et que l'on tient incliné avec les deux mains, et en attaquant le bois au-dessus de son axe; cet outil ne doit pas être présenté constamment en ligne directe devant l'ouvrier, mais incliné successivement de droite à gauche, après avoir produit un sillon de la profondeur de sa lame et même un peu moins.

Pour enlever les irrégularités produites par la gouge on emploie un *ciseau* ou *formoir*, outil dont le tranchant est formé par la rencontre de deux biseaux. Cet outil se tient de même que la gouge, mais est plus difficile à mener, il termine complétement le cylindre; on s'en sert aussi pour mettre les bases du cylindre d'équerre avec son axe. Nous compléterons plus loin ces notions sur les outils.

Tour en l'air. Le tour en l'air diffère du tour à pointes en ce que la pièce n'est plus reçue entre deux pointes, mais est fixée par l'intermédiaire d'un *mandrin* à l'extrémité d'un arbre en fer, supporté d'ordinaire par un collet et une pointe. La pointe peut être portée par une poupée différente de la poupée qui porte le collet; celle-ci est percée à la hauteur de la pointe d'un trou conique garni intérieurement d'une bague en cuivre ou en étain (fig. 2).

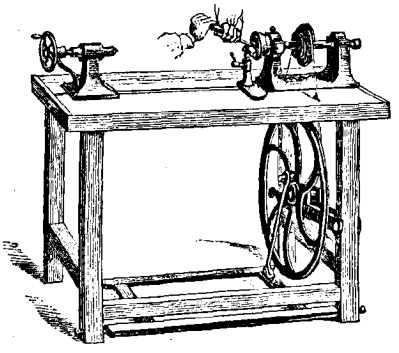


Fig. 2.

L'arbre est un morceau de fer tourné, conique dans la partie de sa longueur qui doit être placée dans le collet; à droite de cette partie conique, on tourne une partie cylindrique qu'on filète avec une filière et qu'on égalise au peigne; on y place un écrou qu'on tourne sur l'arbre même en ayant soin de le dresser parfaitement par devant; on fait dépasser la partie filetée de 3 centimètres en avant de l'écrou qui sert alors d'embase. On tourne l'arbre à gauche de la partie conique, on le coupe à la longueur voulue, et on y fait le trou où doit s'engager la pointe. Pour mettre en place, on dévisse l'écrou qui prendra désormais le nom d'embase puisqu'il en remplit la fonction, on fait entrer la partie conique de l'arbre dans le collet conique de la poupée; on fait entrer la pointe de gauche dans le pointage de l'arbre, on remet l'écrou à embase sur la vis qui saille en avant de la poupée, on met de l'huile aux endroits qui frottent et le tour est prêt à fonctionner, après qu'on a fixé et calé sur son arbre la bobine à laquelle une corde doit communiquer le mouvement de rotation.

On a soin de serrer au moyen de la vis de la seconde poupée la partie conique de l'arbre contre le collet, afin d'empêcher tout mouvement, soit dans le sens latéral, soit dans le sens longitudinal; on doit desserrer un peu la pointe pour avoir un frottement plus doux toutes les fois qu'on communique à l'arbre un mouvement très-rapide.

On a divers moyens de fixer sur l'arbre les objets à tourner: s'agit-il, par exemple, d'une pièce de bois qu'on doit tourner extérieurement et creuser intérieurement en forme de vase; on pratique vers le fond, avec une mèche, un trou de la grosseur de la vis du nez de l'arbre; on présente ce trou à la vis, et en faisant tourner, soit la pièce, soit l'arbre, on taraude le trou et on réunit l'arbre au morceau de bois. Le support à chaise décrit à l'occasion du tour à pointes est très-commode dans cette occasion, pouvant prendre une infinité de positions, tant par le mouvement de la semelle sur les jumelles, que par le mouvement de rotation de la chaise sur le boulon qui la réunit à cette semelle, et par les différentes hauteurs auxquelles on peut placer la cale.

Mais c'est, en général, à l'aide de mandrins spéciaux montés sur le nez du tour, pour des pièces qui doivent être reproduites fréquemment, à vis pour serrer des pièces de tout genre, que l'on travaille les pièces sur le tour en l'air. Comme exemple de ce dernier genre nous décrirons le *mandrin universel* de M. Rouffet. La fig. 3

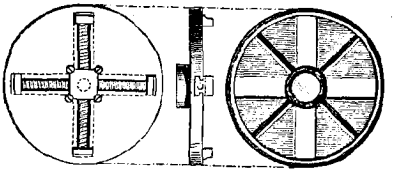


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

le représente vu par devant; la figure 4, vu sur champ; la figure 5, vu par derrière. Tout le plateau se fait d'une seule pièce de fonte, cuivre ou fer; on l'évide en dedans par derrière, afin de le rendre moins pesant; les traverses en croix, ainsi que les nervures, sont en saillie sur le fond, qui peut avoir 5 ou 7 millimètres d'épaisseur; le manchon est fileté intérieurement, et reçoit le nez de l'arbre dans l'écrou qu'il forme.

On ajuste dans les coulisses des mâchoires en acier, taillées en lime par devant, un peu arrondies par derrière, et percées d'un trou taraudé dans lequel passe la vis de rappel dont il va être parlé. La figure montre le profil de ces mâchoires.

Les quatre vis de rappel qui font mouvoir les mâchoires ont une tête carrée entrant dans une clef qui sert à les tourner. Par le bout opposé sont trois filets non inclinés, mais simplement circulaires, qui servent à tenir la vis en place et à faire le rappel. Ces trois filets droits entrent dans trois rainures circulaires pratiquées d'une part dans le plateau circulaire, et de l'autre dans la pièce carrée rapportée.

Cette pièce carrée, ajustée dans le milieu du plateau, tient avec quatre vis taraudées dans la jonction, moitié sur le plateau, moitié sur la pièce; mais avant de fixer ces vis, il convient de faire les trois rainures circulaires dans lesquelles entrent les trois filets droits, qui forment le rappel.

Lorsqu'on veut saisir une pièce extérieurement, on met la clef sur les carrés des vis, et en les faisant tourner on fait glisser dans les coulisses, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mâchoires, qui pressent sur la pièce. Lorsqu'on veut la prendre intérieurement, on tourne les vis en sens contraire, et alors le revers des mâchoires atteignant par sa partie courbe, lors de l'écartement, l'intérieur de la pièce à tourner, la maintient également très-solidement.

TOURS DES GRANDS ATELIERS. C'est surtout dans les grands ateliers de construction, que le tour a subi les modifications les plus importantes et reçu les plus grands perfectionnements. Établi sur des dimensions variables, destiné à travailler des pièces de dimensions et de formes très-différentes, il a dû, pour satisfaire à ces exigences, se modifier et se subdiviser de beaucoup de manières.

Le tour à pointes fixes des anciens tourneurs en bois a disparu complétement, pour ainsi dire; plus de corde enroulée, plus de bobine fixée sur la pièce à travailler. Le mouvement circulaire continu est communiqué par le moteur général au moyen de poulies, de courroies et d'engrenages, qui permettent de varier beaucoup la vitesse de rotation suivant la nature et le diamètre des pièces à tourner. La pointe de gauche est toujours mobile et fixée, comme pour le tour en l'air, à l'extrémité de l'arbre, ordinairement supporté par deux collets et poussé par une pointe qui l'empêche de reculer dans le sens de la longueur; les poupées en bois sont remplacées par des poupées en fonte; la pointe fixée à la poupée de droite ne forme plus l'extrémité d'une vis, mais celle d'un arbre poussé dans le sens de sa longueur par une vis; disposition bien préférable, car dans le premier cas on remarque que, quand on tourne la vis à pointe, la pointe ne reste pas immobile, mais décrit un petit cercle.

L'extrémité de l'arbre moteur est taraudée extérieurement comme dans le tour en l'air, on y fixe d'ordinaire un plateau circulaire percé de trous ou des mandrins de formes variables, quand on se sert du tour comme tour en l'air et qu'on travaille des pièces qu'on ne pourrait pas fixer commodément sur le plateau. Quand on l'emploie comme tour à pointes, on fixe à l'extrémité de cet arbre, qui est à cet effet taraudée intérieurement, une pointe à vis. Pour entraîner la pièce dans le mouvement de rotation de l'arbre, on adapte à l'embase un boulon ou *toc* qui s'appuie contre un collier qu'on fixe au moyen d'une ou deux vis à l'extrémité de la pièce à tourner.

On distingue dans les ateliers de construction :

1° *Le tour à pointes simple* dont l'arbre moteur ne porte ordinairement qu'une ou deux poulies; son mouvement de rotation est assez rapide, aussi ne l'emploie-t-on que pour tourner le bois ou des petites pièces de cuivre ou de fer dont le diamètre ne dépasse pas 6 ou 8 centimètres; il est ordinairement établi sur deux jumelles en bois et porte un support à chaise analogue à celui que nous avons décrit.

2° *Le tour à pointes et à engrenages* établi ordinairement sur des dimensions plus considérables que le tour à pointes simple et sur lequel on peut obtenir des vitesses différentes suivant le diamètre ou la nature des pièces à tourner; il est établi aussi sur deux jumelles. Comme le tour à pointes simple son support se compose d'une semelle ordinairement en fonte, sur laquelle on peut placer une chaise et une cale pour tourner à la main; le plus souvent cependant on remplace la chaise et la cale par un porte-outils à coulisses réuni à la semelle par un bouton et sur lequel on fixe l'outil. On peut, au moyen de deux vis de rappel qui conduisent les coulisses, faire marcher l'outil perpendiculairement ou parallèlement à l'axe de la pièce à tourner; quand on fait tourner le porte-outil sur le boulon qui le réunit à la semelle on peut avoir des directions inclinées.

Ce tour s'emploie non-seulement comme tour en l'air, on s'en sert aussi pour aléser des trous; quand les trous ont peu de profondeur on fixe sur le porte-outils un outil qui le dépasse d'une quantité égale ou un peu plus considérable que la longueur du trou; on fixe la pièce contre le plateau et on fait avancer l'outil dans le sens de l'axe.

Ce système est inapplicable pour les trous profonds, l'outil n'étant pas assez fort pour résister à un porte-à-faux de plus de 8 à 10 centimètres. On emploie alors quelquefois la disposition suivante :

On fixe l'outil sur un arbre parfaitement cylindrique et ajusté sans jeu dans un trou alésé dans l'arbre du tour; cet arbre doit être assez long pour entrer d'au moins 20 à 25 centimètres dans le trou, il peut du reste être maintenu en avant de la pièce à aléser par une lunette. Cet arbre ne peut tourner sur lui-même, mais doit avancer d'un mouvement très-régulier, poussé par la pointe de la poupée mobile dont on fait avancer la vis, soit à la main, soit par un renvoi convenablement disposé. Ce moyen est souvent employé pour aléser des moyeux de roues d'engrenage dont on a auparavant tourné la partie extérieure; il est utile surtout dans des ateliers peu considérables, qui ne possèdent pas d'alésoirs particuliers.

3° *Le tour à plateau* est destiné à tourner des pièces d'un grand diamètre tant en bois qu'en fonte; il est nécessaire alors de pouvoir obtenir des différences de vitesses beaucoup plus considérables que dans le tour à engrenages; ce tour ne s'emploie guère que comme tour en l'air, la poupée fixe est alors éloignée du chariot; la pièce à tourner peut alors avoir des dimensions, pour ainsi dire quelconques, tandis que dans les tours décrits jusqu'ici son diamètre était limité au double de la distance comprise entre la pièce et le banc. Ce tour est souvent employé pour l'alésage.

4° *Le tour parallèle et à chariot* qui diffère surtout des précédents par la disposition particulière du banc. Les deux jumelles en bois sont supprimées et remplacées par un banc en fonte composé de deux flasques verticales dressées sur leurs parties supérieures et latérales et servant de guides à un chariot qui peut marcher sur toute la longueur du tour. L'outil est placé sur ce chariot à la hauteur des pointes et doit se transporter bien parallèlement à la ligne qui joint leurs extrémités. Nous renvoyons pour cet organe capital à l'article MACHINES-OUTILS, où il a été analysé en détail. Quelquefois les parties dressées des flasques parallèles sont remplacées par deux colonnes en fer tournées exactement cylindriques. Cette disposition rend la construction de la machine plus simple, car ces colonnes se font au tour, tandis que les flasques ne peuvent être faites qu'aux machines à raboter, ou au burin et à la lime par la main de l'ajusteur.

La poupée mobile est placée sur les flasques le long desquelles elle peut se transporter suivant la longueur de la pièce à travailler. Une fois mise en place, on la fixe sur le banc au moyen d'une traverse et d'un boulon, d'une manière analogue à celle décrite dans le tour à pointes simples.

Le mouvement longitudinal est ordinairement transmis au chariot au moyen d'un pignon et d'une crémaillère; d'autres fois, par une vis qui règne sur toute la longueur du tour. Le tour à chariot est alors dit *machine à fileter* (voy. VIS), et on l'emploie principalement pour faire avec beaucoup d'exactitude, des vis et des écrous de différents pas et de différents diamètres.

Quelques ateliers possèdent encore des tours spéciaux qu'il est impossible de décrire ici, et qui varient à l'infini suivant les diverses pièces à travailler. Il est des tours, par exemple, qui sont uniquement destinés à tourner des robinets et à aléser leurs boîtes; d'autres qu'on emploie pour tourner et aléser des surfaces sphériques, etc., etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

OUTILS. Il reste, pour finir cet exposé, quelques mots à dire sur les outils employés par le tourneur.

Deux causes limitent la quantité de matière qu'on peut enlever avec un outil : les dimensions du tour et l'échauffement de l'outil; il est donc important de diminuer ces causes le plus possible; à cet égard la forme des outils est très-importante, pour le fer surtout. (Voy. OUTILS COUPANTS.)

Pour la fonte et le cuivre, le copeau une fois enlevé se brise en petits éclats, aussi les outils s'échauffent-ils peu et ces métaux se tournent à sec. Le fer, au contraire, est plus tenace, les parties enlevées restent réunies, forment des copeaux qui, en passant sur l'outil, l'échauffent, aussi est-on obligé de rafraîchir avec de l'eau de savon ou de l'huile. En général les outils doivent être disposés à enrouler le copeau le moins possible après l'avoir détaché de la pièce. Il est clair que cet enroulement n'a lieu qu'aux dépens d'un frottement considérable sur le burin; cette observation a lieu aussi bien pour les machines à raboter, à mortaiser, etc., que pour les tours.

Les outils de tour se font ordinairement en acier fondu, ceux dont la pointe n'est pas trop fragile se trempent dans toute leur force et sans recuit. On doit faire revenir les outils dont la pointe est fragile, comme le *grain d'orge*.

Les outils pour le fer sont des *crochets* qu'on présente à la matière, le manche élevé et appuyé sur le support sur lequel de petites dents ou encoches les fixent pour qu'ils ne puissent pas reculer; les outils fixés sur des chariots sont appelés *burins*, ils attaquent d'ordinaire la matière par un angle. D'autres fois, pour le cuivre, par exemple, ils sont arrondis et peuvent couper des deux côtés.

Quand on attaque une pièce de fonte dont la croûte est toujours très-dure, on emploie un outil recourbé qui n'attaque pas directement cette croûte, mais la fait sauter en petits éclats en la prenant en dessous.

On termine ordinairement les surfaces à la *plane*, outil très-large qui se manie à la main et qui enlève toutes les irrégularités laissées par le burin et le crochet; quelquefois on polit avec des limes garnies d'huile, pendant que la pièce tourne, et on rode avec de l'émeri et de l'eau.

On appelle lunette une potence qui soutient les pièces montées sur le tour à pointes; quand elles sont de faibles dimensions, la lunette se fixe d'ordinaire sur un support à chariot et se transporte avec lui. On a des lunettes de différents diamètres pour les différentes pièces; quelquefois les lunettes sont composées de 3 ou 4 pièces d'acier, qu'on éloigne ou qu'on rapproche à égale distance de la ligne des pointes au moyen de vis, et qui s'appuient sur l'arbre à tourner; par cette disposition la même lunette est applicable à différents diamètres.

VITESSE DES OUTILS. La vitesse qui correspond au minimum de force motrice pour le tour, condition intéressante à examiner, mais qui n'est que d'importance secondaire au point de vue du prix de revient de l'ouvrage exécuté, est :

Pour le fer.	$0^m,055$	par seconde.
Pour la fonte. . . .	$0^m,040$	»
Pour le bronze. . . .	$0^m,065$	»

Le serrage (l'épaisseur du copeau) qui répond au même minimum est $0^m,0003$ pour le fer, la fonte et le bronze. La largeur du copeau peut varier de $0^m,010$ à $0^m,040$ sans changer les conditions d'utilisation du travail moteur. Dans l'allure rapide on peut prendre $0^m,100$ pour vitesse et $0^m,001$ pour serrage.

Les auteurs anglais indiquent comme vitesse maximum $0^m,090$ et comme épaisseur de passe $0^m,00025$ à $0^m,00063$.

M. Poulot a conclu d'une série d'expériences faites sur différents métaux que la vitesse la plus convenable à donner aux tours, au double point de vue de la bonne utilisation de la force motrice et de la rapidité d'exécution, est :

100 millimètres	par seconde pour	le fer,
95	—	l'acier,
80	—	la fonte,
110	—	le bronze.

Quant à l'épaisseur de la passe, il a reconnu qu'elle ne devait pas dépasser trois quarts de millimètres, et qu'il était souvent avantageux de ne lui donner qu'un demi-millimètre. Dans ces conditions de vitesse et de serrage, on produit beaucoup de travail sans échauffer l'outil et sans faire vibrer la pièce.

L'arbre du moteur et toutes les transmissions principales d'un atelier étant animés d'une vitesse constante, c'est à l'aide de poulies intermédiaires et des organes mêmes du tour qu'on obtient les diverses vitesses nécessitées par le diamètre et la nature des pièces. Dans un grand atelier, où l'on emploie généralement les mêmes tours pour fabriquer des pièces dont la grosseur varie peu, rien n'est plus facile que d'obtenir les vitesses de régime normal. Dans un atelier plus modeste, où le nombre des machines-outils est très-limité, on est forcé de travailler sur le même tour des pièces exigeant des vitesses très-différentes : il faut alors se contenter d'approcher le plus près possible de la vitesse voulue.

Lorsque le travail à exécuter est de courte durée, il est inutile de rechercher exactement le nombre de tours à faire faire à la pièce; mais si, au contraire, le travail est important, comme dans le chariotage des arbres de transmission, il importe de s'assurer si la vitesse à la circonférence est bien celle qui convient pour le maximum du rendement.

TOUR A PORTRAIT. Le tour à portrait, inventé par Hulot, se compose en principe de deux poupées de tour parallèles, pouvant s'éloigner ou se rapprocher à volonté l'une de l'autre. L'arbre de chacune de ces poupées porte une roue, dont la circonférence est taillée en dentures inclinées dans lesquelles engrènent les filets d'une vis ou plutôt de deux manchons filetés portés par un axe commun, perpendiculaire aux deux arbres des poupées, de sorte que, lorsque cet axe tourne, son mouvement de rotation détermine le mouvement de rotation simultané des deux arbres avec la même vitesse, les deux roues portant le même nombre de dents. Ajoutons que ces divers mouvements sont presque toujours d'une extrême lenteur, qu'ils prennent leur origine sur une roue mue par une pédale, et qui commande une poulie placée sur l'axe longitudinal portant les manchons. Enfin le modèle est placé sur le nez de l'un des arbres, et la matière à travailler sur le nez de l'autre, de sorte que tous deux font exactement un tour entier dans le même temps (fig. 6).

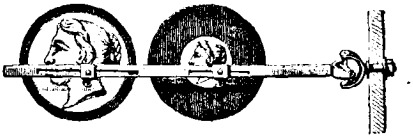


Fig. 6.

A l'extrémité opposée du bâti est articulée, par un genou de Cardan, une barre de fer rectangulaire qui règne sur toute la longueur de l'appareil, au-devant du nez de chaque poupée, et se termine d'une part par deux cylindres parallèles entre lesquels se loge une cheville portée par un écrou monté sur une vis mue par l'axe moteur, de sorte que cette *barre* suit, pour l'extrémité qui porte ses galets, le mouvement vertical de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'écrou. Son autre extrémité tourne autour d'un point fixe, ce qui, pour chaque point de sa longueur, lui fait parcourir des arcs de cercle dont l'étenduc est proportionnelle à leur distance au point autour duquel la barre tourne. C'est au moyen d'un genou de Cardan qu'est obtenu ce point fixe qui, indépendamment du mouvement vertical, permet un mouvement horizontal qui, comme on le sait, a la propriété de permettre ces mouvements à angle droit.

Sur la barre sont placées deux pièces, dont l'une porte la touche, l'autre le burin, et qui peuvent se fixer sur tous les points de sa longueur. Enfin un ressort pousse constamment la barre vers les poupées avec une force suffisante.

Examinons maintenant les fonctions de l'appareil.

Un modèle est placé sur le nez de l'arbre le plus voisin de la colonne; la matière à travailler sur celui qui en est le plus éloigné. La barre est amenée dans une position telle, que la touche et la pointe du burin coïncident exactement, la première avec le centre de l'arbre qui porte le modèle, et la seconde avec le centre de l'autre arbre.

Si l'on fait mouvoir la pédale, toutes les pièces décrites se mettent en mouvement. L'axe longitudinal fait tourner les deux arbres au moyen de ses deux manchons; la vis verticale fait descendre son écrou, et, avec lui, la barre qui porte la touche et le burin; d'où il résulte que la touche et le burin décrivent, chacun sur le modèle et la matière à travailler, une volute plus ou moins serrée, selon les rapports qu'on a établis entre la vitesse des arbres et celle de l'écrou. Mais cette volute est toujours plus serrée pour le burin que pour la touche, parce qu'il est plus près du centre du mouvement de la barre, et que l'axe qu'il parcourt est plus court que celui de la touche. Il en résulte que la surface du cercle formé par la révolution de la volute du burin est plus petite que celle du cercle parcouru par la touche, dans le rapport des distances réciproques de la touche et du burin, au centre du mouvement de la barre.

D'un autre côté, les saillies et les dépressions du modèle contre lequel la touche reste constamment appliquée sous la pression du ressort, déterminent dans la barre des mouvements horizontaux simultanés avec son mouvement vertical, de sorte que quand la touche est repoussée par une saillie du modèle, le burin recule et pénètre moins dans la matière à travailler que lorsque la touche pénètre dans les dépressions du modèle.

Mais comme le centre des mouvements horizontaux de la barre est à la même distance de la touche et du burin que son centre de mouvement vertical, il en résulte la même proportionnalité dans la grandeur des saillies et des dépressions de la copie, par rapport à celles du modèle, que celle que nous avons trouvée dans la surface des cercles parcourus par la touche et le burin; qu'en un mot, la réduction de la copie est exactement proportionnelle dans tous les points; de sorte qu'il suffit, pour obtenir une réduction dans des proportions quelconques, de placer la poupée de la copie à une distance telle des centres de mouvement de la barre, que cette distance soit à celle de la poupée du modèle aux mêmes centres, dans le rapport de la réduction qu'on veut obtenir.

Telle est la remarquable invention d'Hulot, qui rend d'immenses services à beaucoup d'artistes et surtout aux graveurs en médailles.

On sait, en effet, qu'il est beaucoup plus facile de modeler et surtout de ciseler une grande pièce qu'une petite. L'artiste qui veut se servir du tour à portrait a, en exécutant une cire de grandeur décuple de la médaille qu'il veut produire, toute la liberté possible pour en proportionner convenablement toutes les parties. Il peut, sur le bronze obtenu avec cette cire, exécuter de nombreux détails que le tour à portrait réduira avec la plus scrupuleuse vérité, ne laissant d'autre travail à exécuter que celui de faire disparaître, sur le coin d'acier ainsi travaillé, la volute microscopique taillée par le burin.

Mais le tour à portrait ne peut se prêter qu'à la reproduction de médailles et de bas reliefs de petites dimensions; il exige de plus que le modèle soit en matière assez dure pour ne pas se détériorer sous l'action de la touche. En effet, les dimensions de la barre et son poids croissent rapidement avec la dimension du tour; et quelque faible que soit sa vitesse, lorsque la touche passe d'une saillie à une dépression, cette vitesse étant toujours multipliée par la masse de la barre, on comprendra facilement combien l'action de la touche peut dégrader l'original et qu'en outre la pointe du burin devra fréquemment s'égrener.

M. Colas est pourtant parvenu à reproduire des statues entières en se servant de modèles en plâtre. Pour cela il décomposait ses statues en portions destinées à être moulées séparément, et formant autant de bas-reliefs dont les moules assemblés reformaient le moule de la statue réduite. Pour alléger la barre, il la construisit en bois et ne lui donna, automatiquement, qu'un mouvement vertical. La pratique l'a conduit au système bien plus simple, décrit à l'article PANTOGRAPHE. (Voy. TOURS COMPOSÉS. *Complément.*)

TOURAILLE. Voy. BIÈRE.

TOURBE (*angl.* turf, *all.* torf). La tourbe (voy. COMBUSTIBLES) est le plus récent des dépôts combustibles que l'on rencontre dans le sein de la terre; ces dépôts se forment encore de nos jours dans certaines vallées marécageuses (aux environs d'Amiens, par exemple), aux dépens de plantes aquatiques qui y végètent.

Les bancs de tourbe sont situés, en général, à une faible profondeur au-dessous de la surface du sol, et immédiatement sous la terre végétale. Dans le même banc, la tourbe est d'autant plus dure, plus compacte et plus noire, qu'elle a été extraite d'une plus grande profondeur. Ordinairement on distingue trois principales sortes de tourbe : la tourbe mousseuse, qui est très-légère et spongieuse, entremêlée de tiges de roseaux, de joncs et de filaments végétaux; la tourbe moyenne, plus compacte que la précédente, d'un brun clair, renfermant encore une quantité plus ou moins considérable de fibres de végétaux; la tourbe noire, plus compacte encore, et dans laquelle tous les vestiges de végétaux ont disparu.

L'examen des tourbières permet de reconnaître comment la tourbe s'y forme. La condition essentielle est que l'eau y ait un niveau variable. Lorsqu'il est bas, l'oxygène arrive jusqu'au fond, la végétation des plantes aquatiques y devient bientôt luxuriante. Lorsque le niveau vient à s'élever et que les nombreux animaux qui vivent au fond, et dont les coquilles forment une part importante des cendres que laisse la tourbe, se multiplient, ceux-ci aussi bien que les parties élevées des plantes absorbant l'oxygène, les racines et par suite bientôt toute la plante se décomposent, se transforment en tourbe plus ou moins noire, en raison de l'état plus ou moins avancé de décomposition, des conditions plus ou moins favorables à la fermentation.

Les terrains tourbeux se reconnaissent à la nature tremblante et élastique du sol. On les explore, ainsi que nous l'avons dit à l'article SONDAGE, au moyen d'une petite sonde terminée par une tarière en fer d'un faible diamètre, et dont la longue tige est divisée en parties équidistantes et égales à la hauteur que l'on donne, dans le pays, aux *pointes* de tourbe. En enfonçant progressivement la tarière, à chaque fois, d'une quantité égale à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une division de la tige, on détermine ainsi successivement, d'abord l'épaisseur des terres de recouvrement, puis celle du banc de tourbes en pointes, et la qualité de la tourbe à chaque profondeur.

Toutes les tourbes sont assez tendres pour pouvoir se couper à l'aide d'un instrument tranchant, une bêche, par exemple. On peut la couper à pic, sur une assez grande hauteur, sans crainte d'éboulements, pourvu que l'on évite de charger le sol sur le bord des entailles, en y déposant les terres de recouvrement que l'on a enlevées pour découvrir le banc tourbeux.

L'exploitation de la tourbe s'opère de deux manières essentiellement différentes, selon qu'il est possible ou non d'assécher le banc tourbeux.

Nous supposerons d'abord que l'on puisse assécher le sous-sol sur lequel repose le banc de tourbe, au moyen d'une rigole d'écoulement convenablement disposée. On exploitera le banc au moyen de tranchées ou fossés longitudinaux, de 3 à 4 mètres de large, ouverts à partir du bas de la vallée, en enlevant la tourbe en remontant; les premières entailles faites au bas de la vallée serviront au besoin de puisards pour recevoir les eaux des entailles supérieures. Ces entailles successives sont parallèles entre elles et placées immédiatement à côté les unes des autres, ou au moins le plus près possible.

Après avoir enlevé les terres de recouvrement, on exploite la tourbe à l'aide d'un *louchet*, sorte de bêche dont le fer a $0^m,32$ de long sur $0^m,08$ de large, et est armé à sa partie inférieure d'un aileron formant avec lui un angle légèrement obtus et ayant également la même largeur, $0^m,08$. Le louchet coupe donc sur deux faces, de sorte que les pointes de tourbe se trouvant détachées sur leurs quatre faces verticales et leurs faces supérieures, se laissent facilement détacher de leur base. Quand on est pressé, on exploite le banc de tourbe, dans la même entaille, par banquette ou gradins, sur chacun desquels on place un ou deux *tireurs*. Le tireur peut jeter les pointes de tourbe à l'ouvrier chargé de les recevoir sur les bords de l'entaille, d'une profondeur d'au plus $3^m,50$; au delà, on place un ouvrier intermédiaire qui reçoit les pointes des tireurs et les jette à la surface.

Les eaux doivent toujours être épuisées au niveau de la banquette la plus basse où se placent les ouvriers; quand la quantité en est notable, on emploie autant d'ouvriers que l'on peut, afin d'accélérer l'exploitation. Lorsque l'affluence des eaux est trop grande dans la profondeur, on achève quelquefois l'exploitation sous l'eau au moyen du *grand louchet*, qui diffère du louchet ordinaire en ce qu'il est muni de deux ailerons placés à angle droit avec le fer; au-dessus du fer et des ailerons se trouve un grillage en fer mince, formé par deux bandes verticales fixées aux ailerons, près de leurs extrémités, et par des doubles équerres horizontales qui se lient aux premières et au manche de l'instrument; le manche est très-long et atteint souvent 7 et 8 mètres. On enlève à la fois avec le grand louchet un prisme de tourbe ayant trois à quatre hauteurs de pointe. L'extraction au grand louchet est à très-peu près la moitié de ce qu'elle serait au louchet ordinaire si les eaux étaient épuisées.

On fait sécher les tourbes à l'air libre sur une aire sèche, plane, peu éloignée de l'entaille; on estime que la surface de cette aire doit égaler celle de l'entaille, multipliée par le nombre de pointes extraites sur une même verticale. Le retrait éprouvé par la dessiccation est moyennement tel, que le volume se réduit aux 3/5 de ce qu'il était étant humide.

Le poids du mètre cube de tourbe sèche varie de 250 kil., pour la tourbe mousseuse, à 450 kil., pour les tourbes les plus noires et les plus compactes.

Lorsque l'affluence des eaux est plus considérable, l'extraction se fait sous l'eau au moyen d'une *drague*; cette drague est tout à fait semblable à celle employée pour le curage des rivières, lorsque la tourbe est tout à fait molle; lorsqu'elle offre plus de consistance, on se sert d'une *drague à filet*, qui consiste en un anneau circulaire ou elliptique en tôle, à bord tranchant, fixé à l'extrémité d'un manche en bois plus ou moins long, et au contour duquel est suspendu un filet à mailles plus ou moins serrées, suivant la nature de la tourbe.

Lorsque les fosses ont une faible largeur, le tireur à la drague se tient sur un madrier placé en travers de la fosse; dans le cas contraire, il est placé dans un batelet qu'il remplit de la tourbe extraite.

Tantôt on se contente de mouler la tourbe extraite à la drague dans des moules analogues à ceux qui servent à la confection des briques, tantôt on ajoute à la tourbe une quantité d'eau suffisante pour qu'elle puisse se réduire en pâte tout à fait molle, puis on la démêle avec les mains, un râteau ou tout autre instrument approprié, pour en extraire les débris végétaux non décomposés. On jette ensuite cette sorte de bouillie dans un encaissement rectangulaire formé, sur le pré d'étente, dans une partie bien horizontale, avec des planches maintenue par des piquets. On tasse et égalise la tourbe au moyen de larges pelles; au bout de quelques jours, quand la tourbe a éprouvé un commencement de dessiccation, on la comprime en marchant dessus, après s'être adapté aux pieds des planches, de $0^m,13$ à $0^m,20$ de large sur $0^m,35$ à $0^m,40$ de long : on continue de temps en temps ce piétinement, jusqu'à ce que l'épaisseur de la couche de tourbe soit réduite aux 2/3 environ de sa valeur primitive. On trace alors à sa surface deux systèmes de lignes rectangulaires équidistantes, et dont l'espacement varie avec les dimensions que l'on veut donner aux pointes de tourbe; puis, en suivant les lignes ci-dessus, on divise la tourbe à la bêche; par la dessiccation subséquente, les pointes de tourbe éprouvent un retrait qui achève de les séparer, et acquièrent une consistance suffisante pour que l'on puisse les empiler, et achever en cet état leur dessiccation. Les tourbes préparées par ce dernier procédé sont plus pures, plus compactes et plus homogènes, mais aussi elles exigent un peu plus de main-d'œuvre.

L'exploitation des tourbières mal dirigée, non seulement donne lieu à une grande perte en combustible, mais encore elle les change en marais infects très-insalubres. Aussi doit-on les aménager avec le plus grand soin et remblayer, lorsque cela est possible, les entailles tourbeuses, après leur épuisement complet, par des moyens analogues à ceux que l'on emploie pour épurer les eaux des bocards et patouillets de mines, en disposant les entailles de manière à servir de bassins de dépôts.

Du reste, l'importance de cette matière comme question de salubrité publique a fait attribuer aux ingénieurs des mines, par la loi des 21 avril et 18 novembre 1810, la mission de surveiller et de diriger tous les travaux concernant l'extraction des tourbes et atterrissement des entailles tourbées.

Dans les pays où elle est abondante, la tourbe sert au chauffage domestique et à celui des chaudières à vapeur et autres; son pouvoir calorifique est égal ou même un peu supérieur à celui du bois; elle a l'inconvénient de donner une fumée épaisse d'une odeur excessivement désagréable. Les tourbes des vallées laissent ordinairement une très-forte proportion (6 à 20 p. 100) de cendres, que l'on emploie avec succès pour l'amendement des terres. Les tourbes des pays de montagnes sont beaucoup plus pures, et sont par suite quelquefois utilisées, soit crues, soit carbonisées, dans les opérations métallurgiques qui exigent une température élevée.

P. D.

TOURILLON. Voyez MACHINE A VAPEUR et MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TOURNE-A-GAUCHE. Barre servant à faire tourner une tige sur elle-même à l'aide des deux mains, chacune située en général à chaque bout, la résistance au milieu; c'est ainsi qu'il est employé pour le taraudage.

Quand le tourne-à-gauche est très-grand, il peut être mû par deux hommes. Le trou carré ou carré long, suivant la forme de l'extrémité de la tige à faire virer, et qui se trouve habituellement au milieu, se nomme l'œil. Voyez TARAUD et SONDAGE.

TOURNESOL (*angl.* turnsole, *all.* tournesol). On trouve dans le commerce cette matière tinctoriale sous deux formes différentes qui portent le nom de tournesol en pains et tournesol en drapeaux.

Le *tournesol en pains* se prépare avec les lichens qui fournissent l'ORSEILLE : après les avoir séchés et pulvérisés, on les met dans des baquets avec 50 p. 100 de leur poids de potasse du commerce ou de cendres gravelées, et assez d'urine pour en former une pâte molle; bientôt la masse entre en fermentation; on y ajoute de l'urine au fur et à mesure que ce liquide est absorbé ou s'évapore, jusqu'à ce que la pâte, qui prend d'abord une couleur pourpre, soit devenue d'un bleu foncé; on ajoute alors de la craie en poudre, jusqu'à consistance plastique, et on moule le mélange en petits pains parallélipipédiques que l'on fait sécher à l'ombre. Le tournesol en pains ainsi obtenu est une sorte de laque à base de carbonate de chaux qui fixe la couleur virée au bleu par la réaction alcaline de la potasse et de l'ammoniaque. Il donne dans l'eau une dissolution bleue et qui passe au rouge par l'action des acides. Le papier trempé dans ces dissolutions bleues et rouges, et séché, est fréquemment employé comme réactif dans les laboratoires pour reconnaître la présence à l'état de liberté, le premier, des acides qui le rougissent, le second, des alcalis qui le ramènent au bleu.

Le *tournesol en drapeaux* est formé de chiffons teints en bleu violet par le suc de la *maurelle* (croton tinctorium) plante qui croît dans le midi de l'Europe. On écrase sous le pilon les sommités de cette plante; on en extrait le suc sous une presse, et on y trempe des chiffons qu'on expose ensuite dans des caves où l'on a délayé de la chaux dans de l'urine putréfiée. La couleur fixée sur ces chiffons est ensuite enlevée et sert principalement à teindre en bleu les papiers qui servent d'enveloppe aux pains de sucre et à colorer l'extérieur des fromages de Hollande.

TOURTEAUX. Masse solide qui reste après l'expression des huiles de graines. Voyez HUILE.

TOUTENAG. Voyez NICKEL.

TRAVAIL MÉCANIQUE (PRIX DU). Le progrès dans la construction des machines et appareils qu'on emploie dans l'industrie conduit à produire, en partant d'un mouvement simple, les mouvements les plus complexes, et par suite, le plus souvent à permettre le remplacement du travail de l'homme par celui des forces naturelles. Mais cette solution complète n'est pas toujours obtenue et bien souvent l'intervention de l'ouvrier reste assez grande pour qu'on trouve avantage à lui demander de faire mouvoir la machine qu'il doit surveiller de très-près. De même dans l'agriculture, l'élève du bétail forme une partie si essentielle de l'exploitation agricole, qu'il y a souvent avantage à utiliser son travail, même en présence de moteurs plus économiques.

Pour évaluer les avantages qu'il est possible d'obtenir dans les divers cas qui peuvent se présenter, il faut connaître le prix du travail mécanique que l'on peut obtenir des divers moteurs, ou au moins les éléments qui permettent de le calculer dans chaque cas déterminé.

Nous réunirons ici les principales données scientifiques que l'on possède sur la question.

TRAVAIL DES MOTEURS ANIMÉS. *Caractères fondamentaux.* — Les forces corporelles que la volonté de l'homme et des animaux peut faire agir, et les quantités de travail qui peuvent résulter de leur emploi, diminuent à mesure que leur action se prolonge, et ces forces doivent être renouvelées par l'alimentation : en outre, l'action des moteurs animés étant accompagnée d'une tension ou d'une compression plus ou moins grande des muscles, produit cet état intérieur pénible que l'on nomme *fatigue* et qui exige périodiquement un repos. La fatigue ne peut dépasser, sans de graves inconvénients, certaines limites, parce que les fibres organiques qui transmettent la volonté, le mouvement et la force, ne reprennent plus, ou ne reprennent qu'après un repos longuement prolongé, le degré d'élasticité nécessaire pour le jeu régulier de toutes les fonctions vitales qui constitue la santé.

Évaluation de la fatigue. Les animaux ne pouvant nous exprimer leur fatigue, il est très-important que nous puissions l'apprécier par des caractères extérieurs : M. Boileau a fait, en 1838, dans ce but, des expériences sur le travail des chevaux de trait, et il a découvert les procédés suivants de mesure précise :

1° En employant le moteur à vaincre une résistance constante, dans des circonstances qui soient constamment les mêmes, si, au bout d'un certain temps l'effort qu'il développe varie de plus en plus, augmentant et diminuant alternativement, on doit attribuer ces variations à un état intérieur qui ne peut d'ailleurs être que la fatigue. Or, la force que les moteurs animés peuvent appliquer d'une manière continue diminuant notablement à partir de l'instant où la fatigue commence, et de plus en plus à mesure que cette fatigue augmente, ils font fréquemment une sorte de repos très-court pendant lequel la tension de leurs muscles diminue, et après lequel ils donnent une impulsion brusque en s'aidant de la masse d'une partie de leur corps qu'ils projettent en avant. Supposons que l'on ait interposé entre le moteur et le mobile à mouvoir, mobile dont l'inertie est ainsi mise en jeu au détriment de ce moteur, un dynamo-

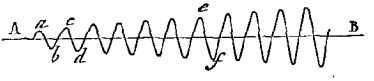


Fig. 1.

mètre traceur, la courbe *abcdef* (figure 1), décrite par le style de cet instrument, s'écartera de plus en plus de la droite moyenne AB qui serait tracée si l'effort était constant, et la grandeur de ces écarts pourrait être regardée comme une mesure du degré de fatigue.

2° Lorsque le travail a lieu à de faibles vitesses, par exemple au pas des chevaux, on peut, d'après les observations du même auteur, prendre pour mesure du degré de fatigue, la fréquence des oscillations ou battements des flancs du moteur, c'est-à-dire la différence entre les nombres de battements exécutés dans un même temps, avant le travail et à l'époque de ce travail que l'on considère. Dans une expérience où la fatigue d'un bon cheval de trait approchait de la limite qui le forçait à s'arrêter, M. Boileau a observé 101 battements par minute, tandis qu'avant le travail, ce nombre n'était que de 36.

Quantité de travail journalière absolue dont un moteur animé est capable. Chaque kilogramme d'aliments bien digérés par un moteur animé, le rend capable d'une quantité de travail dont la valeur augmente avec la quantité de chaleur développée dans les transformations chimiques que ce poids d'aliment subit dans le jeu des fonctions vitales, c'est-à-dire avec la *puissance calorifique* de la substance qui le compose : nous désignerons par Q la qualité de travail correspondante à la quantité d'aliments d'une nature déterminée que le moteur peut digérer dans un jour.

Une portion q de cette quantité de travail est néces-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

saire pour l'entretien des mouvements intérieurs des organes vitaux, et la différence $Q - q$ qui reste disponible pour un travail extérieur est la quantité de travail journalière absolue dont le moteur est capable.

Limite supérieure de l'effet utile journalier. La quantité $Q - q$ se partage en deux parties distinctes.

Soient : t la durée en heures d'une période de travail accomplie sans interruption ;

F l'intensité en kilogrammes de la résistance extérieure que le moteur doit vaincre au point où son action motrice est appliquée ;

V la vitesse moyenne en mètres parcourus par seconde, de ce point d'application.

Nous remarquerons d'abord que les réactions de l'inertie étant une cause inutile d'augmentation de fatigue, on doit faire travailler les moteurs animés avec un mouvement uniforme ou peu variable, condition que nous supposons remplie. Cela posé, la quantité de travail utile produite dans la période considérée est $3600\,t \times FV$, et si, dans un jour, cette période est reproduite N fois, la quantité de travail utile d'une journée sera $3600\,tNFV$, c'est ce que nous appellerons *effet utile journalier*. En même temps que ce travail extérieur s'exécute, les pressions et les tensions des organes du moteur animé produisent des frottements intérieurs, et mettent en jeu des résistances d'élasticité que son énergie doit vaincre et qui exigent une dépense de travail que nous désignerons par X pour chaque seconde du temps, de sorte que le travail total dépensé par le moteur, travail auquel est due sa fatigue, est dans une journée $3600\,tN(FV + X)$.

La plus grande quantité de travail que l'on puisse attendre d'un moteur animé étant celle que son alimentation rend disponible, on a, pour déterminer cette quantité, la relation

$$Q - q = 3600\,tN(FV + X)$$

qui donne

$$FV = \frac{Q - q}{3600\,tN} - X.$$

Cette valeur de FV est la limite supérieure de l'effet utile qu'un moteur animé peut produire dans chaque unité de temps, car, épuisant la provision de puissance dynamique qui correspond à son alimentation, elle ne pourrait être augmentée sans troubler les fonctions vitales. Pour la calculer, il faudrait connaître les lois que suivent les quantités q et X ; mais la science est encore insuffisante, et nous avons voulu seulement appeler l'attention sur une question très-importante, et sur les éléments dont elle dépend (Voir plus loin).

Effet utile pratique journalier. Dans l'emploi des moteurs animés, on détermine par expérience l'effet utile journalier $3600\,tNFV$ qui peut leur être demandé sans leur imposer une fatigue nuisible. Il existe évidemment un rapport nécessaire entre l'effort F et la vitesse V, pour obtenir le maximum de travail utile à fatigue égale. C'est ainsi qu'un homme ou un cheval courant avec toute la vitesse qu'ils peuvent prendre, ne sont susceptibles d'aucun effort extérieur tant soit peu soutenu, tandis que, lorsqu'ils agissent sur un obstacle qui cède lentement, ils peuvent exercer des efforts considérables. C'est ce qui se voit bien par les résultats d'observations contenus dans le tableau placé plus loin, et qui se rapportent à des moteurs de force moyenne. Nous y ajouterons les considérations suivantes.

Conditions du travail journalier. 1° Nous avons déjà vu que le mouvement produit doit être aussi uniforme que possible. Dans cette condition d'uniformité, l'effort appliqué par le moteur à la machine, ou, en général, au mobile sur lequel il travaille, est égal à la résistance F ; or la force dont le moteur peut disposer diminue progressivement, il faut donc, pour que l'effort qu'il applique puisse être constant, que l'intensité constante de la résistance soit au plus égale à la valeur que conserve sa force disponible à la fin de chaque période de travail. On voit en même temps que la résistance à vaincre doit être d'autant plus faible que les périodes de travail sont plus prolongées.

2° Cette condition paraît de nature à trancher une question très-controversée, savoir celle de la fréquence des repos ; elle conduit, en effet, à cette conséquence que, pour un même nombre d'heures de travail journalier, les repos doivent être d'autant plus fréquents que la résistance à vaincre est plus considérable, c'est-à-dire approche davantage du plus grand effort que le moteur puisse exercer. Lorsque cette résistance est, au contraire, très-faible, comme il arrive dans certaines fabrications, la santé des moteurs animés n'exige, dans chaque journée de travail, que les interruptions nécessaires pour leur alimentation.

3° La quantité de travail totale que le moteur peut effectuer dans chaque unité de temps étant $FV + X$, l'effet utile disponible FV diminue quand X augmente, ce qui introduit de grandes différences dans les valeurs de cet effet utile, selon le mode de travail : ainsi, lorsqu'un manœuvre agit sur une manivelle, les mouvements de la partie supérieure de son corps exigent proportionnellement une plus grande dépense de travail intérieur que lorsqu'il agit sur une roue à chevilles au niveau de l'axe, de sorte qu'à égalité de fatigue le travail utile qu'il peut produire est moindre dans un même temps.

4° La vitesse V étant celle de la partie de son corps que le moteur applique à la machine ou au mobile, a des limites naturelles, et elle doit même rester notablement inférieure à ces limites. Dans le cas particulier des mouvements alternatifs et intermittents, comme ceux des marteaux à main, elle doit être d'autant plus faible que la masse à mouvoir est plus considérable, en raison des réactions de l'inertie.

Observation relative au transport horizontal des fardeaux. Lorsqu'un moteur animé est employé à transporter sur une route horizontale des fardeaux qu'il porte, la quantité $FV + X$ se réduit à X ; mais il faut remarquer que, dans ce travail intérieur, les résistances à vaincre sont proportionnelles aux pressions, c'est-à-dire au poids P du fardeau, et que la fatigue augmente avec ce poids et avec la longueur L du chemin parcouru : en conséquence, dans la rétribution d'un semblable travail, on doit se baser sur la valeur du produit PL.

Observation relative aux aptitudes des moteurs animés. En ne considérant ici que les animaux, nous ferons remarquer qu'une étude de leurs aptitudes est nécessaire pour les employer avantageusement. Dans des expériences dynamométriques sur le tirage des charrues, M. Boileau a constaté que les bœufs, lorsque la résistance augmente, proportionnent à peu près exactement l'accroissement de leur effort de manière à entretenir l'uniformité du mouvement, ce qui montre que ces animaux sont éminemments propres à un travail dans lequel la résistance est sujette à de fréquentes et surtout à de fortes variations. La plupart des chevaux, au contraire, lorsqu'ils sentent un certain accroissement de résistance, donnent ce qu'on nomme un coup de collier, c'est-à-dire une impulsion subite dont l'effort est quelquefois double de celui qui serait nécessaire, et qui met en jeu la réaction de l'inertie du mobile en même temps que celle d'une partie de leur corps, de sorte qu'ils se fatiguent beaucoup plus rapidement et font un ouvrage moins régulier : il n'est donc pas avantageux d'employer ces moteurs dans les travaux à résistance très-variable, ou, au moins, il faut choisir des individus dont la constitution et le caractère se rapprochent de ceux des animaux précédents.

Le tableau ci-après résume les excellentes expériences de Coulomb, sur l'emploi des moteurs animés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quantités de travail que les moteurs animés peuvent fournir.

INDICATION DU GENRE DE TRAVAIL.	EFFORT moyen exercé ou POIDS ÉLEVÉ.	VITESSE moyenne par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	EFFET utile journalier.
1° *Élévation verticale des poids.*	kilog.	mètres.	km.	heures.	km.
Un homme montant une rampe douce ou un escalier sans fardeau, son travail consistant dans l'élévation du poids de son corps	65,00	0,15	9,75	8	280800
Un manœuvre élevant des poids avec une corde et une poulie, ce qui l'oblige à faire descendre la corde à vide.	18,00	0,20	3,60	6	77760
Un manœuvre élevant des poids ou les soulevant avec la main.	20,00	0,17	3,40	6	73440
Un manœuvre élevant des poids ou les portant sur son dos au haut d'une rampe douce ou d'un escalier, et revenant à vide	65,00	0,04	2,60	6	56160
Un manœuvre élevant des matériaux avec une brouette en montant une rampe au 1/12e, et revenant à vide	60,00	0,02	1,20	10	43200
Un manœuvre élevant des terres à la pelle à la hauteur moyenne de 1m,60	2,70	0,40	1,08	10	38880
2° *Action sur les machines.*					
Un manœuvre agissant sur une roue à chevilles ou à tambour :					
1° Au niveau de l'axe de la roue	60,00	0,15	9,00	8	259200
2° Vers le bas de la roue ou à 24°	12,00	0,70	8,40	8	251120
Un manœuvre marchant et poussant ou tirant horizontalement.	12,00	0,60	7,20	8	207360
Un manœuvre agissant sur une manivelle	8,00	0,75	6,00	8	172800
Un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical	5,00	1,10	5,50	8	158400
Un cheval attelé à une voiture ordinaire et allant au pas	70,00	0,90	63,00	10	2168000
Un cheval attelé à un manége et allant au pas	45,00	0,90	40,5	8	1166409
Un cheval attelé à un manége et allant au trot	30,00	2,00	60,00	4,5	972400
Un bœuf attelé à un manége et allant au pas	65,00	0,60	39,00	8	1123200
Un mulet attelé de même et allant au pas	30,00	0,90	27,0	8	777600
Un âne attelé de même et allant au pas	14,00	0,80	11,6	8	334080

DÉPENSE DES MOTEURS ANIMÉS. La quantité de travail journalier des moteurs animés étant déterminée, il reste à évaluer la dépense nécessaire pour leur suffisante alimentation, ce qui donnera le prix minimum du travail mécanique qu'ils peuvent produire. Cette question a été fort bien traitée par M. Hervé-Mangon dans son grand traité du *Génie rural;* nous lui emprunterons la plus grande partie de ce qui suit, renvoyant à ce bel ouvrage les lecteurs qui voudront l'approfondir.

Nous supposons que le lecteur a sous les yeux l'article NUTRITION du présent ouvrage, et notamment la partie se rapportant à la production de la force motrice, où sont si bien exposés tous les résultats fournis par la physiologie à l'étude que nous poursuivons ici.

Travail de l'homme. On trouve des différences considérables dans le régime alimentaire selon les pays, les saisons, les individus et la nature du travail produit. Il faut donc prendre une moyenne sur un grand nombre d'exemples. M. Mangon, utilisant les curieuses monographies de M. Le Play, a ainsi trouvé qu'il entrait dans la ration quotidienne, par kilogramme vivant, de 5 à 8 grammes de carbone et de 0g,20 à 0g,5 d'azote.

Les auteurs anglais admettent assez généralement que la ration moyenne de l'homme peut être évaluée, en termes généraux, de la manière suivante :

	Carbone.	Azote.
Repos	258g,60	11g,92
Travail modéré	337 ,92	19 ,56
Travail actif	442 ,12	25 ,53

C'est la combustion du carbone qui produit surtout la chaleur dont partie est convertie en travail mécanique utilisé.

Comme approximation, on peut admettre que, dans nos climats, en prenant la moyenne de l'année, un homme d'un poids moyen doit produire par jour les quantités de chaleur suivantes, fournissant en travail mécanique extérieur l'effet utile indiqué sur la même ligne :

	Nombre de calories à produire.	Effet utile en travail mécanique extérieur.
Repos absolu	2,600	0,00
Travail faible	4,200	0,03
Travail ordinaire	4,800	0,04
Travail très-considérable	6,000	0,09

De là peut se déduire la composition des rations, en raison des aliments produits dans la contrée, et par suite les frais de nourriture. Mais si ces frais constituent la principale dépense de l'ouvrier, elles ne sont pas les seules ; le vêtement, l'habitation, les charges de famille, etc., doivent aussi être défrayés par le prix du travail, ce qui conduit à doubler à peu près le total qui serait ainsi obtenu. Il est plus simple, dans chaque cas, de prendre pour point de départ le prix du travail du manœuvre dans une contrée et de l'appliquer à la quantité de travail indiquée au tableau précédent, selon le mécanisme employé.

Supposons le prix de la journée à 3f,50, le prix du kilogrammètre de travail mécanique employé à élever des poids à l'aide d'un monte-charge coûtera $\frac{3,50}{282100}$ ou 0f,013 environ par grande unité dynamique de 1,000 kilogrammètres.

Prix de revient du travail du cheval. Le prix de revient de la journée de travail du cheval s'obtient en ajoutant à sa dépense annuelle de nourriture, l'intérêt et l'amortissement de sa valeur primitive, les frais de ferrure, de maladie, de harnais, sa part proportionnelle dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

frais d'entretien, d'intérêt et d'amortissement des écuries, et divisant par le nombre de journées de travail effectif. A cette dépense s'ajoute naturellement celle du charretier.

En divisant le prix de la journée par le nombre de kilogrammètres produits, on obtient le prix de l'unité du travail mécanique.

Les variations de ces éléments sont trop grandes d'un pays à l'autre, et même d'une exploitation à l'autre, pour qu'un calcul puisse être autre chose qu'une approximation que chacun pourra rectifier pour l'appliquer à un cas déterminé.

Intérêt de la valeur du cheval à 6 p. 100; amortissement, pertes par accident ou maladie, à 10 p. 100, soit 16 p. 100, sur 700 fr.	112f,00
5 kil. de foin par jour, à 6 fr. les 100 kil., par an.	109,50
5 kil. de paille par jour, à 4 fr. les 100 kil., par an.	75,00
4 kil. d'avoine par jour, à 22 fr. les 100 kil., par an.	321,20
Ferrure et menus frais de pansement.	15,00
Amortissement et entretien des harnais.	15,00
Interêt, amortissement et entretien de l'écurie et du grenier à fourrage, à 7 p. 100, sur 500 fr. par tête de cheval.	35.00
Prestations.	3,55
Impôts sur les bâtiments de l'écurie et du grenier.	1,10
Total.	683f,35

Il faut retrancher de ce total la valeur du fumier, mais il faut y ajouter les frais de conduite et des soins des animaux. Le nombre des jours de travail, déduction faite des dimanches et fêtes, des jours tout à fait mauvais, etc., ne dépasse pas généralement 280. Par suite, le prix de revient de la journée, d'après le calcul ci-dessus, sera de 2 fr. 45, non compris les frais afférents au conducteur.

Si le cheval considéré produit en moyenne 1,500,000 kilogrammètres, le prix des 1,000 kilogrammètres sera de 0f,00163.

Prix de revient du travail du bœuf. Le prix de revient de la journée du travail du bœuf est plus difficile à déterminer exactement, d'une manière générale, que celui de la journée du cheval, parce que le calcul se complique des résultats de la spéculation ultérieure de l'engraissement de l'animal, dont les résultats sont très-variables, selon les conditions économiques de chaque exploitation. Dans les pays favorables à l'entretien du bétail et dans toutes les exploitations où l'on dispose à bas prix des aliments communs dont le bœuf se contente, le travail mécanique de cet animal est beaucoup plus économique que celui du cheval. L'accroissement continuel du prix de la viande rend, chaque jour, plus nombreuses les conditions qui donnent à l'emploi du travail de la race bovine l'avantage sur celui de la race chevaline.

Le calcul des dépenses d'entretien des bœufs de travail peut s'établir par un détail analogue à celui qui a été donné pour les chevaux; mais avec cette différence importante que l'intérêt seul du capital engagé doit figurer au compte, puisque la vente de l'animal restitue ordinairement le capital primitif.

En moyenne, dans la pratique, et à cause de la lenteur de son allure, le travail du bœuf doit être évalué aux 7/10 de celui du cheval, et qu'il on peut admettre coûte 1/4 ou 1/3 de moins, dans les travaux pour lesquels cette lenteur n'augmente pas trop les frais généraux de son emploi, le salaire du conducteur notamment, pour le labourage par exemple.

PUISSANCES NATURELLES. Faisons maintenant sur le travail mécanique fourni par les puissances naturelles, le calcul que nous venons de faire pour les moteurs animés. Les seules qui soient vraiment à considérer, celles qui donnent la vie à toutes nos manufactures, sont la chaleur, ou, ce qui est la même chose, la vapeur produite par la combustion de la houille ou du bois, et la pesanteur de l'eau par l'utilisation des différences de niveau de l'eau des cours d'eau.

Prix du travail de la vapeur. Les dépenses sont de deux sortes : celles fixes, qui correspondent à l'achat de la machine, à l'amortissement du capital dépensé, et celles variables du chauffage en raison du fonctionnement de la machine.

Selon les constructeurs et les systèmes, le prix de vente varie de 1,000 à 1,300 fr. par force de cheval, pour les petites machines, de 900 à 1,200 fr. pour les machines de 5 à 6 chevaux, de 800 à 1,000 fr. pour les machines de 7 à 10 chevaux, de 600 à 400 fr. par cheval pour les forces au-dessus.

Un seul chauffeur suffisant, en général, pour la conduite d'une machine, la dépense relative au mécanicien est d'autant plus faible que la machine est plus forte. Quant à l'intérêt et à l'amortissement, ils se répartissent également entre les journées de travail effectif; la part afférente, par jour, à cette classe de dépenses est d'autant moindre que le nombre de jours d'emploi de l'appareil par an est plus considérable. Cette considération est capitale pour l'emploi des locomobiles par les agriculteurs, qui n'ont souvent occasion d'en faire usage qu'un petit nombre de jours par an.

Voici le calcul fait par M. Mangon pour une bonne machine de 8 chevaux, brûlant 3 kilogrammes par heure et par cheval. Dans un pays où le combustible coûterait 40 fr. la tonne, les frais journaliers seraient à peu près les suivants par journée de 10 heures de travail effectif et par cheval :

Chauffage $3^k \times 10 = 30^k$, à 40 fr. la tonne.	1f,20
Mécanicien : 1/8 de journée à 4 fr.	0,50
Graisse, huile, chiffons, allumage.	0,25
Total.	1f,95

A cette dépense, il faut ajouter l'intérêt et l'amortissement du capital d'acquisition. Supposons que la machine, prête à fonctionner, ait coûté 1,050 fr. par force de cheval : l'intérêt annuel sera, à 5 p. 100, de 52 fr. 50 L'amortissement étant calculé à 10 p. 100, et le gros entretien, les réparations également à 10 p. 100, ce qui est compter un peu trop largement pour de bonnes machines, on aura de ces deux chefs 20 p. 100, soit 210 fr., et avec l'intérêt 262 fr. 50 Ce chiffre doit être divisé par le nombre des journées de travail effectif, d'où résultent des prix de revient très-différents suivant qu'on emploie la machine d'une manière continue ou avec des intermittences. Ainsi, dans l'hypothèse précédente, suivant qu'on emploie la machine 50 jours ou 300 jours par an, le prix du travail du cheval-vapeur varierait, pour une journée, de 7 francs 20 c. à 2 francs 70 c.

On admet que, dans les fermes, une journée de cheval-vapeur revient de 3 à 5 fr., c'est-à-dire que le prix de 1,000 kilogrammètres fournis par une machine à vapeur varie de 0f,0010 à 0,0038.

Pour les puissantes machines à vapeur à longue détente que l'on construit maintenant, qui brûlent moins d'un kilogramme par force de cheval et par heure, qui coûtent moins cher de construction que des machines peu puissantes, qui fonctionnent 15 ou 18 heures par jour pour conduire des machines opératrices, on peut admettre que le prix de revient ne dépasse pas moitié de ce prix, soit 0f,0005 par 1,000 kilogrammètres.

Travail produit par les moteurs hydrauliques. La puissance des cours d'eau, recueillie à l'aide des roues hydrauliques et autres appareils de cette espèce, est le moteur le plus économique qui existe, puisqu'il est gra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tuitement alimenté par l'action solaire. (Voyez HYDRAULIQUE.)

Quand une roue hydraulique a été bien établie, son entretien est presque nul, et sa durée très-grande. Les roues en bois durent de 15 à 20 ans, la durée des roues métalliques est beaucoup plus longue. En évaluant à 12 p. 100 de la valeur du bâtiment et du moteur, le montant de l'intérêt, de l'entretien et de l'amortissement, on fait suffisamment la part des frais à mettre à la charge du travail mécanique produit.

Le prix d'établissement d'un moteur hydraulique, par force de cheval, varie tellement suivant les conditions de son établissement et suivant les travaux de terrassement et de maçonnerie nécessaires pour conduire les eaux, qu'il est impossible de poser à cet égard aucune règle fixe. Pour fixer les idées, et comme un maximum pour les cas les plus habituels, on peut admettre qu'un moteur hydraulique de 5 à 10 chevaux, parfaitement établi, coûte en moyenne, tout compris, 1,000 fr. par force de cheval.

L'intérêt et l'amortissement à 12 p. 100 de cette somme étant de 120 fr. par an, on voit que, si le moteur travaille 250 jours par an, la journée du cheval hydraulique reviendrait à 0f,48. En supposant que la journée soit de 12 heures, on voit que les 1,000 kilogrammètres reviendront à 0,000148.

Ce prix minimum est celui qu'obtiendra un propriétaire qui utilisera un cours d'eau sans emploi, l'habitant de montagnes parcourues par de nombreux cours d'eau non appropriés. Mais il n'en est pas ainsi dans nos campagnes, et bien que ce soit toujours le soleil qui crée la puissance mécanique, le propriétaire du sol sait fort bien faire payer, non ce qu'elle coûte à produire, mais l'économie que l'on trouve à ne pas faire les frais nécessaires pour l'obtenir par d'autres moyens coûteux, à l'aide d'une machine à vapeur, par exemple.

Ainsi, en Normandie, un cours d'eau sans bâtiments se louera très-bien 1,500 fr. par an, par force de cheval, c'est-à-dire, en refaisant le calcul ci-dessus, que la journée de travail reviendra à 6 fr. 50 par force de cheval et par jour, et les 1,000 kilogrammètres à 0,002, c'est-à-dire aussi cher qu'en employant une machine à vapeur.

Sans entrer dans plus de détails, nous poserons comme évident, au point de vue général de la société, qu'il faut utiliser toutes les forces hydrauliques avant de recourir à des moteurs qu'il faut alimenter à grands frais; qu'il n'y a pas de travaux plus utiles que ceux de barrage, de canalisation, qui permettent de créer des centres producteurs. L'industrie suisse, dont les filatures luttent avec celles de l'Angleterre, dans un pays dépourvu de houille, mais qui possède les magnifiques chutes d'eau qui découlent des Alpes, fournit un exemple bien probant des grands résultats que l'on peut obtenir dans cette voie.

Mais, au point de vue individuel, la question est tout autre, et pour le plus grand nombre des industries qui n'ont pas besoin de grandes quantités d'eau pour leurs opérations, comme les papeteries, dans les contrées où la houille n'est pas trop chère, la machine à vapeur offre plus d'avantages que les roues hydrauliques, pour peu que les prix de location des chutes d'eau soient à un prix un peu élevé. La nécessité de placer les ateliers dans le lieu le plus convenable, l'impossibilité d'augmenter la puissance du moteur, les sécheresses, les gelées, etc., expliquent comment, dans les pays de plaine, au moins, les créateurs d'établissements nouveaux ne cherchent même pas le plus souvent s'ils pourraient les faire mouvoir par des forces hydrauliques, celles-ci étant d'ailleurs complétement utilisées.

TRAVAIL UTILE *consommé dans diverses opérations industrielles*. Nous réunirons ici quelques chiffres intéressants sur cette question, et notamment indiquerons, en kilogrammètres, l'utilisation des moteurs animés employés à l'élévation de l'eau, avec les applications les plus fréquentes, etc.

La quantité de travail consommé dans une grande manufacture offre un grand intérêt, c'est une question capitale a étudier avant l'établissement de tout genre d'usines.

FILATURE DE COTON. Nous donnerons pour exemple le résumé d'expériences faites à ce sujet, avec un soin remarquable, sur la grande filature dont M. Hirn, l'auteur de tant de travaux estimés de mécanique physique, est un des associés, située au Logelbach, près Colmar, filature fonctionnant d'après les méthodes les plus perfectionnées.

Cette filature comprend 54,140 broches de self-acting et 4,704 broches de continus, avec les cardes, bancs à broches, etc., correspondants. Elle produit par jour 4,500 à 5,000 kilogrammes de coton filé en gros numéros et en numéros ordinaires.

Voici les nombres obtenus aux grandes vitesses usitées aujourd'hui pour obtenir le maximum de production avec un matériel donné, on a trouvé:

Ouvreuse à 4 volants.	7,09 chevaux
Batteur-étaleur.	5,65
Cardes.	0,40
Banc à broches, de 102 broches.	0,86
— en fin, de 140 broches.	0,75
Métier continu de 216 broches.	2,36
— de 280 broches.	3,06
(Les broches font 4650 tours à la minute.)	
Métier self-acting de 600 broches.	3,33
Métier self-acting de 572 broches.	3,17

L'ensemble de l'assortiment a conduit aux chiffres ci-après:

Ouvreuses et batteurs. . . .	76,00 chevaux
Carderie et bancs à broches.	140,00
Métiers continus.	52,00
Self-actings.	222,00
Transmissions.	40,00
Total.	530,00 chevaux

pour entraîner 55,844 broches, ou 105 broches, par force de cheval. (On a retranché près de deux chevaux à la force absorbée par la carderie à cause de l'arrêt des cardes pour le débourrage et des bans à broches pour la levée. On a de même déduit 4 métiers self-acting arrêtés à tour de rôle pour faire la levée, c'est-à-dire enlever de dessus la broche la bobine de fil terminée.) D'après des expériences faites sur les machines motrices elles rendent 71 pour 100 et produisent bien la force de 530 chevaux quand elles entraînent tout l'établissement : cette vérification à prouvé l'exactitude des essais.

Autrefois on admettait des nombres bien inférieurs, mais maintenant on tend sans cesse à augmenter la production, la vitesse et le poids des machines, et par suite la force motrice doit être plus grande. En 1854, une filature de 25,000 broches, numéros ordinaires, employait en moyenne 220 chevaux ou un cheval pour 115 broches, comme nous le disons plus loin d'après d'anciennes expériences, et une filature de demi-fins et fins de 26,000 broches employait 134 chevaux, soit un cheval par 190 broches.

On a constaté qu'en diminuant la production des métiers de 7 pour 100, on diminue immédiatement la force absorbée de 14 pour 100, dans les très-fortes productions.

Autrefois, par broche et par an, on brûlait 19k,60 de houille; maintenant on est arrivé au chiffre de 54 kilogrammes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Moteurs animés appliqués à l'épuisement des eaux.

Baquetage à bras. — Un homme en 8 heures.	46.000
Seaux à bascule. — Un homme en 8 heures.	60.000
Puits ordinaire avec corde et poulie. — Un homme en 8 heures.	75.000
Puits très-profond avec treuil à volant et à manivelle. — Un homme en 8 heures.	170.000
Manége des maraîchers. — Un homme en 8 heures de travail.	200.000
Chapelet incliné. — Un homme en 8 heures de travail.	68.000
Chapelet vertical. — Un homme en 8 heures de travail.	115.000
Vis d'Archimède. — Un homme en 8 heures de travail.	100.000

II. FORCE DU MOTEUR DANS DIVERSES INDUSTRIES.

	Force du moteur en chev. de 75 k. m.
Mouture des farines. Par 100[k] de blé moulu à l'heure, correspondant à une paire de meules, avec les accessoires, bluteries, etc.	4 à 5
Scieries mécaniques.	
Scies rectilignes. Par mètre carré de bois de chêne et à l'heure.	0,50
Scies rectilignes. Par mètre carré de bois tendre, à l'heure.	0,33
Scies circulaires. Par mètre carré de bois de chêne, à l'heure.	0,25
Scies circulaires. Par mètre carré de bois tendre, à l'heure.	0,20
Scies à placage. Par mètre carré de surface sciée à l'heure.	0,15
Machine à laîner les draps. Par machine.	2,50
Filature de laine. Par 100 broches avec les cardes.	2,00
Filature de coton. Par 100 broches de coton, n° 30 à 40, avec les accessoires.	0,90
Tissage mécanique du coton. Par métier, avec ses accessoires.	0,10 à 0,12
Papeterie à pilons. Par 100[k] de pâte produite à l'heure.	20
Papeterie à cylindres. Par 100[k] de pâte produite et raffinée à l'heure.	25
Meules verticales à broyer le ciment. Par 100[k] de ciment broyé à l'heure.	0,80
Par *alésoir* ou *forerie*	2 à 3
Une *roue à laver* (Dashweel)	1,60
Huilerie. Par 100[k] de grain broyé à l'heure.	1,80
Machine soufflante d'un haut fourneau au charbon de bois.	8 à 15
— — d'un haut fourneau au coke	30 à 40
— — d'un feu d'affinerie	2,50 à 3,00
— — d'un feu de maréchal	1 à 1,25
Marteau frontal.	30 à 35
Martinet de feu d'affinerie.	10 à 12
Marteau de forge.	6 à 7
Un *train de laminoirs* comprenant une paire de cylindres ébaucheurs et une paire de cylindres finisseurs	35 à 40

TRÉFILERIE. Voyez FER.

TREMPE. La trempe est l'opération qui consiste à donner de la dureté à l'acier, en le chauffant au rouge et le refroidissant rapidement par son immersion dans un liquide froid, généralement dans l'eau, quelquefois dans l'huile pour donner une trempe plus douce, rarement dans le mercure, qui donne la trempe la plus dure.

La découverte de la propriété que possède l'acier d'acquérir ainsi une extrême dureté, est peut-être la plus importante de celles qu'utilise l'industrie, puisque c'est sur elle que repose la fabrication de presque tous les outils destinés à donner à tous les corps une forme voulue. Au moyen de la trempe, l'acier devient dur, brillant, susceptible de prendre le plus beau poli ; par le recuit, c'est-à-dire en réchauffant l'acier à une température inférieure à celle de la trempe et le laissant refroidir lentement, on en diminue la dureté et surtout la fragilité.

Il est assez difficile de bien préciser en quoi consiste la merveilleuse propriété de l'acier de se durcir par la trempe. On se contentait généralement autrefois de l'application suivante :

L'acier porté au rouge étant plongé brusquement dans l'eau froide, sa surface qui éprouve un refroidissement subit, se resserrant avant que les parties intérieures aient pu se refroidir, se moule sur elles. Celles-ci se refroidissant plus tard ne peuvent plus se contracter librement, à cause de leur adhérence à la croûte déjà résistante. Elles conservent donc un état tout particulier quand le refroidissement de la barre est complet. C'est à ce mode particulier d'agrégation, consistant en une enveloppe tiraillée en tous sens par des fibres de molécules, soumises elles-mêmes à une tension très-grande, que l'on attribuait les effets de la trempe, mode d'agrégation bien sensible dans les larmes bataviques, quand un phénomène curieux, dû aux observations de d'Arcet, la trempe du bronze, vint prouver que, dans ce cas, la trempe rendait le métal moins dur. Ce fait qui paraît inconciliable avec la théorie ci-dessus, considérée comme autre chose que l'analyse des phénomènes et quand on ne tient pas compte pour chaque cas de la nature du corps même, paraît se prêter mieux à rendre compte de la trempe amollissante du bronze que de celle durcissante de l'acier, car puisque la trempe fait subsister le corps dans un état de dilatation, de densité moindre, la dureté devrait en être diminuée.

On doit reconnaître que c'est là la loi du phénomène pour les corps homogènes, les corps simples notamment. Il y a une circonstance de la trempe qui était négligée dans l'ancien mode d'application, considéré à tort comme suffisant pour rendre compte des faits, à savoir : le changement de nature du corps au moment de la solidification. Ainsi, considérons la fonte, qui doit se comporter comme l'acier, mais avec des effets plus sensibles : il est bien certain que quand on la coule en sable pour un moulage, au lieu d'éprouver un retrait en revenant à la température ordinaire, comme cela arrive pour le bronze, en se solidifiant elle augmente de volume d'une quantité très-notable et surtout son grain est tout à fait changé. Quand on la trempe, le gonflement ne pouvant se produire par suite de la solidification de la surface extérieure, elle est beaucoup plus dense que celle refroidie lentement et par suite plus dure. C'est ce que prouvent toutes les tables de densités, où les fontes blanches, produites par un refroidissement rapide, sont toujours portées comme plus denses que les fontes grises. On sait que ces dernières sont seules employées pour couler les pièces qui doivent être limées et sont seules assez douces pour cet usage.

Les expériences de Karsten confirment cette manière de voir et la complètent. Le gonflement produit pendant la solidification lente de la fonte se trouve dû à un mouvement interne de cristallisation, et des analyses faites par le savant que nous venons de citer, qui permettent de juger de l'état de combinaison du carbone, lui ont fait établir : que la fonte trempée conserve la nature qu'elle possédait à l'état liquide, tandis que dans la fonte refroidie lentement il s'établit un nouveau mode de combinaison des éléments. Suivant ce savant, la fonte blanche et l'acier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trempé contiennent du carbone et du fer combinés d'une manière uniforme; la fonte blanche, adoucie par le grillage, et l'acier non trempé, renferment un carbure de fer riche en carbone, disséminé dans une grande quantité de fer aciéreux moins riche en carbone.

M. Caron a constaté que l'espèce de graphite que l'acier cémenté abandonne lors de sa dissolution dans les acides, comme l'avait constaté Karsten, se réduit à une petite quantité de silice lorsqu'on opère sur le même acier trempé, et diminue déjà sensiblement lorsque cet acier a été martelé. Voici les résultats auxquels il a été conduit :

Acier de cémentation, résidu pour 100 gr. de métal dissous.	1s,624	A
Acier de cémentation, martelé pour 100 gr. de métal dissous.	1 ,243	B
Acier de cémentation, trempé pour 100 gr. de métal dissous.	0,240	C

Ces résidus analysés contiennent :

	A	B	C
Charbon	0s,825	0,560	traces
Fer.	0 ,557	0,445	traces
Silice.	0 ,242	0,238	0,240

Ainsi, l'effet produit d'une manière complète par la trempe se trouve réalisé partiellement par le martelage, auquel il est naturel d'assimiler l'action de resserrement produit par la brusque contraction de la surface extérieure. Les propriétés caractéristiques de l'acier apparaissent quand l'effet de l'action mécanique exercée au moment où la séparation du carbure fondu pourrait se produire, la cristallisation qui donne naissance à la matière graphiteuse ne peut exister.

En mesurant les dimensions d'une barre d'acier avant la trempe, au rouge et après la trempe, M. Caron a trouvé pour le volume initial 20,00, au rouge 21,557 et après la trempe 20,351. L'effet de la trempe a donc été de rapprocher brusquement les molécules les unes des autres, comme eût pu le faire le choc d'un marteau agissant en tous sens; ce refroidissement rapide, en rapprochant les molécules, assure l'homogénéité.

D'après de nombreuses expériences faites en variant les liquides servant à tremper l'acier, le même expérimentateur dit que la dureté, l'aigreur, ainsi que les autres effets produits par la trempe, semblent toujours être inversement proportionnels au carré de la durée du refroidissement du métal, durée qui dépend de la température, de la densité, de la chaleur spécifique, de la conductibilité et peut-être de la mobilité du liquide employé pour la trempe.

A cet élément d'explication des phénomènes de la trempe qui trouve des applications intéressantes lorsqu'il s'agit de corps composés, la théorie mécanique de la chaleur en est venue apporter un qui s'applique à la généralité des corps, qui est une autre manière plus synthétique de présenter les faits d'ordre moléculaire et donne le moyen de mesurer sous forme de quantité de chaleur la quantité de travail des molécules des corps. La quantité de chaleur contenue dans un corps n'étant autre chose que la somme des forces vives moléculaires, quantité qui va croissant avec la température, lorsqu'on laisse refroidir un corps lentement de t degrés, indépendamment de toute action intermoléculaire spéciale, la quantité de chaleur qui disparaît est $Q = ct$, c étant la chaleur spécifique, c'est-à-dire est proportionnelle à l'écart t entre la température finale et la température initiale.

Si, au lieu de se refroidir lentement, le corps chaud est immergé brusquement dans un liquide froid, il tend bien toujours à perdre la quantité de chaleur Q, mais il ne peut pas toujours la dégager. En effet, le refroidissement immédiat de la surface extérieure permettant aux molécules placées près de celle-ci d'exercer de puissantes forces d'attraction, il se forme une enveloppe qui resserre brusquement la masse intérieure chauffée, par une action analogue à une action de martelage, qui donne des résultats différents suivant que les corps sont mous ou durs, ou ce qui est à peu près la même chose, qu'ils sont fusibles à des températures basses ou élevées, la quantité de chaleur qui détruit la cohésion d'un corps croissant nécessairement avec cette cohésion; suivant encore qu'ils sont bons ou mauvais conducteurs de la chaleur. Cette enveloppe resserrant des molécules disposées d'après l'état vibratoire qu'elles possèdent à haute température, tend à les empêcher de prendre un autre volume qui correspondrait à un autre état d'équilibre, et par conséquent agit pour déterminer l'état moléculaire en raison de sa propre résistance, comme dans le cas de corps mauvais conducteurs elle rend très-longue la dispersion de la chaleur qui répond à un changement d'état. Les effets d'attraction des molécules, pour dégager la chaleur latente, varient donc par la trempe, et on peut dire que la quantité de chaleur que possède le corps trempé n'est pas la même que celle que possède le même corps non trempé, que la constitution moléculaire est autre.

Passons en revue les résultats de l'expérience; nous verrons qu'ils s'analysent fort bien en partant des observations ci-dessus.

Nous distinguerons deux cas : celui où on fait tomber dans le liquide froid le corps fondu, c'est-à-dire dont les molécules sont devenues susceptibles de prendre des mouvements orbitaires, et le cas où le corps solide a été seulement ramolli par la chaleur, où les molécules ont pris des mouvements pendulaires de grande étendue, entre lesquelles l'intensité des forces moléculaires est bien moindre qu'à une température moins élevée. Le ramollissement, voisin de l'état liquide, permettant par suite un effet de déplacement, de glissement moléculaire par l'effet de compression, de martelage de la trempe, est nécessaire pour que les effets de celle-ci se produisent. Quand ce point n'est pas atteint, il n'y a que refroidissement plus ou moins lent d'un corps dont la constitution moléculaire ne saurait être modifiée; la trempe ne produit alors aucun effet.

I. *Corps fondus.* — Les corps dont nous allons parler sont mauvais conducteurs du calorique; ce sont les seuls que nous connaissions pour lesquels la trempe produise des effets sensibles.

1° *Corps mous. Trempe de soufre.* — Lorsqu'on verse dans de l'eau froide du soufre ordinaire fondu (à 114°) et chauffé jusqu'à la température de 230°, il reste mou, plastique, c'est-à-dire dans un état intermédiaire entre l'état solide et l'état liquide. Peu à peu sa surface se ride, il durcit et après quelques jours est redevenu cassant, est passé à l'état de soufre ordinaire. Si on chauffe du soufre mou jusqu'à 90 ou 95° seulement, il se dégage de la chaleur; à l'intérieur de la masse la température s'élève à 114°, et le soufre fond.

Il est impossible de méconnaître dans ces faits et un emmagasinement de chaleur qui ne se dissipe que lentement, ce que fait comprendre la très-faible conductibilité du soufre pour la chaleur, et la production de chaleur à mesure que les molécules se soudant et par suite produisant de ce fait un accroissement de forces vives, passent en outre de l'état de liberté qui caractérise les liquides à l'état solide; lorsque les vibrations orbitaires deviennent pendulaires, ont de moindres amplitudes pour un même nombre de vibra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TREMPE.

tions à une même température, et par suite ne conservent qu'une moindre quantité de forces vives. Or, tout ceci se produit manifestement par l'influence de l'espèce d'enveloppe continue, de peau élastique et résistante que fait naître la trempe qui comprime les molécules à l'état liquide, les empêche de prendre rapidement les dispositions de polarité qui répondent à une cristallisation confuse, que l'expérience a montré répondre à une diminution de densité relativement à l'état mou (Berzélius).

Ces explications des phénomènes vont devenir très-claires en étudiant un cas pour lequel les conditions physiques générales sont peu différentes, sauf qu'il s'agit d'un corps ayant beaucoup plus de dureté, fusible à une température plus élevée que le soufre, du verre.

2° *Corps durs. Trempe du verre.* — Une goutte de verre fondu étant projetée dans l'eau, forme ce qu'on appelle une *larme batavique*, une larme à surface vitreuse, brillante, en apparence très-résistante; mais si on vient à casser la queue très-fine de cette larme, tout éclate et tombe en poussière.

La solidification de la couche extérieure n'obéissant plus à l'intérieur comme dans le cas du soufre mou qui durcit, se produit ici comme dans le cas précédent, mais à cause de sa plus grande résistance les molécules qui auraient besoin d'obéir à des actions de polarité pour passer de l'état liquide à l'état solide, ne pouvant distendre l'enveloppe, ne parviennent pas à se souder les unes aux autres. Elles se trouvent par suite dans un état de tension qui se manifeste dès que la résistance de l'enveloppe ne lui fait plus équilibre de toutes parts, qu'il y a rupture en un point. Il faut remarquer que cette constitution curieuse du verre ne répond pas à une dureté de la surface plus grande que celle du verre ordinaire. Les molécules conservent une force vive, une tension toute particulière; c'est là tout le phénomène.

II. *Corps ramollis par la chaleur.* — Nous nous occuperons maintenant de la trempe dans la condition où elle est exclusivement employée dans les arts, c'est-à-dire quand elle est donnée à des corps sans détruire leur forme, qu'elle est appliquée à des corps non pas fondus par la chaleur, mais seulement assez ramollis pour que l'action de solidification de la surface extérieure brusquement refroidie, puisse se faire sentir sur les molécules de la masse. De plus, les corps que nous allons considérer étant métalliques et par suite bons conducteurs du calorique, ne donnent pas lieu, en général, à des actions lentes, comme dans le cas du soufre, d'un corps mauvais conducteur, bien que nombre de phénomènes bizarres, consécutifs de la trempe de l'acier, ne puissent s'expliquer que par de semblables actions.

On doit distinguer deux cas distincts, selon que la surface trempée, épaisse en raison de la conductibilité des corps malléables dont il s'agit ici étant toujours grande, est, dès le premier moment de l'immersion, très-résistante ou médiocrement résistante. Ce dernier cas est celui du bronze, le premier celui de l'acier; de plus ce corps est d'une nature toute particulière.

Trempe du bronze. — Tout corps bien homogène, dont les molécules sont fortement soudées ensemble, comme le cuivre rouge, le fer, est, en général, quelque peu adouci, rendus plus malléable par un chauffage suivi d'une immersion dans l'eau froide. Cet effet, résultat nécessaire de l'état de dilatation engendré par la chaleur, que la trempe rend en quelque sorte en partie permanent, est à peine sensible pour les corps homogènes. Il est beaucoup plus appréciable pour le bronze, alliage plus fusible que les corps précédents et par suite qu'il est facile de chauffer jusqu'au point de ramollissement. En outre, les effets de liquation qui tendent à se produire entre les métaux élémentaires, sont évités par le martelage moléculaire de la trempe; elle donne de la douceur et fait éviter l'influence de grains durs et cristallins. Aussi, bien que les effets soient bien moindres que pour l'acier, la trempe est le moyen de travailler le bronze au marteau, comme d'Arcet l'a reconnu pour la fabrication des tam-tam chinois.

Trempe de l'acier. — Pour l'acier très-résistant, fusible à une température fort élevée, et surtout non homogène par l'effet de son élément non métallique, les résultats se rapprochent davantage de ceux constatés pour le verre dur et cassant que de ceux constatés pour le soufre. L'action de compression de la surface extérieure, de martelage, doit faire prendre aux molécules intérieures un état de tension analogue à celui constaté dans les larmes bataviques, la résistance de la surface extérieure étant très-grande, ce qui est bien conforme aux résultats d'expérience. De plus, le refroidissement brusque a sur le carbure de fer fondu réparti dans la masse, un effet rendu évident par les observations de Karsten. Il ne peut plus former de petits cristaux et faire gonfler la masse dont il fait partie; sous l'action de martelage de la surface brusquement refroidie, il se produit un mélange plus régulier des molécules non conductrices et par comparaison au corps refroidi lentement, un état particulier de tension, de division moléculaire.

L'analyse des phénomènes de la trempe que nous venons de donner se trouve tout à fait confirmée par les expériences de M. J. Regnaud, qui a montré que l'acier trempé devait être considéré comme renfermant moins de chaleur que l'acier recuit, ou, pour mieux dire, que lors du recuit l'attraction inter-moléculaire produit dans l'acier des effets d'attraction ou de dégagement de chaleur équivalente que la trempe avait empêchés de se produire.

Cherchant à analyser les effets de l'amalgamation des surfaces métalliques des éléments des piles qui gagnent par cette opération un excès de force électromotrice, ce physicien a dû se demander comment il pouvait se faire que le zinc uni à un métal moins oxydable que lui, formât un composé qui paraît agir comme s'il possédait une affinité plus grande que la plus grande des affinités des éléments constituants.

L'explication de ce fait se trouve dans le changement d'état du zinc qui passe à l'état liquide par l'amalgamation. La chaleur absorbée par la liquéfaction du zinc augmente la force électro-motrice; toutefois il faut remarquer que la chaleur dégagée par la combinaison agit en sens contraire, mais à cause de la grande chaleur latente du zinc le premier effet est prédominant.

Le contraire a lieu pour le cadmium, corps bien voisin du zinc sous tous les rapports, sauf que sa chaleur latente est beaucoup moindre; aussi l'amalgamation d'un élément de cadmium conduit à une perte de force électro-motrice.

La vérité de cette explication a été démontrée par M. J. Regnauld par des expériences directes. En mélangeant parties égales de limaille de zinc, et de cadmium et de mercure, on voit avec le zinc le thermomètre baisser de 2° 1/2 et monter avec le cadmium de 3°.

L'application de ces faits à la théorie de l'acier est fondée sur une déduction bien certaine, en partant de ce fait d'abord parfaitement établi par de nombreuses expériences, que l'acier trempé est toujours électro-négatif par rapport à celui qui n'est pas trempé, absolument comme le zinc pur et le zinc amalgamé, ainsi que M. Duvy l'avait reconnu dès 1826; le premier est toujours positif par rapport au second, ce qui revient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à dire que le zinc amalgamé s'attaque plus que le zinc ordinaire.

Appliquant donc à deux états d'un même corps les idées qui ont servi de guide dans l'étude des effets produits par deux métaux différents, et remontant des propriétés chimiques aux propriétés thermiques et mécaniques, n'est-on pas autorisé à penser que la chaleur de constitution de l'acier trempé est moindre que celle de l'acier recuit? Dans l'acier trempé, formé en masse des mêmes éléments que l'acier recuit, mais dont les molécules, par suite du refroidissement, ont conservé un groupement anormal et persistant, cette diminution de la quantité de chaleur ou, pour parler plus exactement, la chaleur qui se dégagerait si la trempe n'empêchait pas les forces moléculaires de produire leur entier effet, rend bien compte de la constitution mécanique si différente avant ou après la trempe.

Ce curieux résultat, si nettement établi, est bien en rapport avec l'assimilation de la trempe au martelage à laquelle parvient M. Caron, car un semblable effet dégage de la chaleur qui ne disparaît pas toute entière par le refroidissement; cette action détruit une cristallisation qui répond à une action moléculaire.

Du recuit. — Nous avons déjà parlé du recuit, c'est-à-dire du chauffage de l'acier à une température inférieure à celle de la trempe suivi de son refroidissement lent, opération qui, dans la pratique des arts, succède toujours à la trempe. Elle a pour but principal de développer l'élasticité de l'acier et de l'empêcher de s'égrener, de resouder en quelque sorte ses molécules, sans faire disparaître les caractères principaux, la dureté notamment de l'acier trempé, résultant d'un changement brusque de température à partir d'un degré de chaleur bien supérieur à celui du recuit.

Méthodes suivies pour la trempe de l'acier. — Revenons à la trempe de l'acier dans la pratique des arts, la seule qui ait des applications industrielles de grande importance.

La trempe est une des opérations les plus difficiles qui se rencontrent dans la pratique des arts, une de celles dans lesquelles on trouve le moins d'ouvriers y excellant par un talent particulier. Le point le plus convenable dans le chauffage de l'acier, la manière de présenter la pièce et de la plonger suivant sa forme, pour éviter qu'elle ne se voile ou ne se gerce, sont autant de difficultés qui exigent chez le trempeur une grande expérience.

Il y a grand avantage à ne pas trop chauffer l'acier, c'est-à-dire à atteindre seulement le point pour lequel se produit une trempe très-dure, ce qui correspond pour l'acier ordinaire au rouge cerise. L'acier se tourmente moins et la trempe est meilleure que si on avait chauffé davantage. Le degré de la meilleure trempe correspond précisément à un point un peu supérieur à celui auquel la trempe n'a point lieu, ce qui répond, sans aucun doute à un commencement de ramollissement. A ce dernier point, la trempe ne sert, au contraire, qu'à recuire l'acier et à le rendre extrêmement doux.

Pour obtenir un point fixe on avait proposé de chauffer l'acier au moyen de bains métalliques composés de proportions variables de plomb et d'étain, de manière à obtenir par le fait de leur fusion une température parfaitement fixe tant pour la trempe que pour le revient. Mais la complication de cette disposition, et surtout la variation perpétuelle de la qualité des aciers, leur altération lors du travail préparatoire des objets, ont empêché cette méthode d'être généralement adoptée. Nous citerons cependant le célèbre graveur en médailles, M. Galle, qui trouvait grand avantage à chauffer ses coins dans un bain de plomb, dont la couleur était rendue bien sensible en opérant dans l'obscurité. Le chauffage, certainement plus régulier qu'à un feu de forge, ne pouvait que donner des résultats plus avantageux.

Passons en revue maintenant, d'après un auteur anglais, M. Holtzapffel, les circonstances de la trempe des principaux outils.

Les forets les plus délicats des horlogers sont chauffés dans la portion bleue de la flamme d'une chandelle; ceux plus forts dans la flamme d'un chalumeau projetée très obliquement sur eux et un peu au-dessous de leur pointe quand ils sont extrêmement minces; on peut les agiter dans l'air pour les faire refroidir, mais plus généralement on les pique dans le suif de la chandelle même, ou bien on les plonge dans l'huile de la lampe. On les recuit soit par leur propre chaleur, soit en les plongeant dans la flamme au-dessous de la pointe de la mèche.

Pour les outils qui tiennent le milieu entre ceux qu'on soumet à l'action du chalumeau et ceux qu'on expose à un feu nu, il y en a beaucoup qui exigent le tube de fer ou le bain de plomb et de charbon, mais le plus grand nombre d'outils sont trempés à la forge du serrurier ordinaire sans avoir besoin de ces moyens de protection.

Les outils de dimension modérée, tels que la plupart de ceux dont on fait usage dans l'art du tour, ainsi que les ciseaux et les gouges dont les charpentiers font usage, etc., sont généralement chauffés à feu nu; mais il faut avoir l'attention de les promener en longueur continuellement dans le feu, afin d'égaliser la température qu'on leur applique, puis de les plonger verticalement dans l'eau et de les y agiter horizontalement pour les exposer aux portions les plus froides du liquide. Si on le juge nécessaire, on ne les plonge que jusqu'à une certaine profondeur, le reste de l'outil reste doux.

Les rasoirs, les canifs sont chauffés dans un feu de coke ou de charbon et plongés obliquement dans l'eau. Pour recuire les rasoirs, on les pose par le dos sur un feu clair au nombre d'une demi-douzaine environ, et on les enlève un à un, lorsque le tranchant, encore mousse, a pris une couleur jaune paille clair; si le dos a été chauffé au-delà du jaune paille, les lames sont refroidies dans l'eau. Les lames de canif sont recuites par une ou deux douzaines à la fois sur une plaque de fer ou de cuivre d'environ 0m,30 de longueur, 0m,10 de largeur, et épaisse de 0m,006. Les lames sont toutes rangées sur le dos les unes à côté des autres et s'appuient ainsi obliquement l'une sur l'autre. A mesure qu'elles atteignent le recuit, on les saisit et on les enlève avec une petite pince, et on les jette dans l'eau si cela est nécessaire, et d'autres sont ramenées des points les plus froids de la plaque pour prendre leur place.

Les haches, les cognées, les ciseaux à froid, et une foule d'autres outils semblables dont la masse totale en métal est considérable comparativement à celle qui doit être trempée, ne sont plongés qu'en partie et recuits tout simplement par la chaleur qui reste encore à la masse de l'outil; seulement quand on a atteint la couleur qui indique que le recuit est opéré, on les immerge entièrement.

Si on voulait tremper des enclumes, de grosses étampes ou autres pièces d'un volume considérable par immersion directe, la formation rapide de la vapeur sur les côtés du métal s'opposerait au libre accès de l'eau pour enlever la chaleur avec une célérité suffisante. Dans ce cas, on fait tomber d'un réservoir supérieur ou l'on projette avec une pompe une colonne volumineuse d'eau sur la surface de l'objet qu'il s'agit de tremper.

On fait souvent usage d'huile et de différents mélanges d'huiles, de suif, de cire, de résine, etc., pour tremper un grand nombre d'objets minces et élastiques, tels que des aiguilles, des hameçons, des plumes en acier, des ressorts, etc., qui exigent une trempe plus douce et plus souple que n'en donne l'eau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Par exemple, les plumes en acier sont chauffées en grand nombre dans une capsule qu'on place dans un fourneau; quand elles ont atteint la température requise, on les trempe dans un mélange huileux; généralement, on les recuit également dans l'huile ou dans une composition dont le point d'ébullition est le même que la température convenable à ce recuit. Ce mode est extrêmement expéditif, et le recuit ne peut tomber au-dessous du degré voulu. On se sert aussi de la chaleur sèche d'un four, et ces deux moyens peuvent être employés pour avoir un recuit plus fort que celui donné par l'huile bouillante; mais, dans ce cas, il faut apporter plus de soin et d'attention pour ces basses températures.

Les scies et les ressorts sont généralement trempés de la même manière et paraissent perdre de leur élasticité après la trempe et le recuit, par la réduction et le frottement qu'ils éprouvent dans l'écurage, le polissage, etc. Vers la fin des travaux de fabrication, on leur rend de l'élasticité, principalement par le martelage, et on les chauffant sur un feu clair jusqu'au jaune paille; la couleur s'enlève au moyen de l'acide hydrochlorique très étendu, après quoi les scies sont bien lavées à l'eau pure et séchées.

Les ressorts de montre se fabriquent au marteau avec du fil d'acier de diamètre convenable jusqu'à ce qu'ils aient atteint dans une jauge la largeur convenable; l'instrument indique aussi s'ils ont acquis ainsi une égalité parfaite d'épaisseur dans toute leur longueur. On perce des trous à leurs extrémités et on les dresse sur les bords avec une lime douce, on les lie ensuite avec un fil métallique qu'on tourne mollement autour et on les chauffe sur un feu de braise, sur une plaque de métal, on les trempe dans l'huile et on les soumet au flambage.

Le ressort est alors étendu sur un cadre oblong en métal semblable à celui qu'on emploie pour les scies, puis écuré et poli avec de l'émeri et de l'huile entre des blocs de plomb. Dans ce moment son élasticité paraît complétement perdue et on peut le courber suivant toutes les directions; toutefois on lui rend complétement cette élasticité par un forgeage ultérieur sur une enclume très polie.

La couleur se donne sur une plaque de fer, sous laquelle on fait brûler une petite lampe à esprit de vin. Le ressort est continuellement promené sur une longueur de 7 à 8 centimètres à la fois jusqu'à ce qu'il prenne une teinte orange ou bleu foncé dans toute son étendue suivant le goût des consommateurs. Beaucoup d'entre ceux-ci considèrent en effet la couleur comme un objet d'ornement et non pas comme étant essentielle.

Le dernier travail que subit le ressort est de le rouler en spirale, afin qu'il puisse entrer dans le barillet qui doit le contenir; c'est ce qu'on fait au moyen d'un outil qui consiste principalement en un arbre de petit diamètre et une petite manivelle, mais sans employer le secours de la chaleur.

Les ressorts de balancier des chronomètres pour la marine, qui ont une forme héliçoïde, sont roulés sur le filet carré d'une vis ayant son diamètre proportionné à leur épaisseur. Les deux extrémités du ressort sont retenues par des vis latérales, et le tout est soigneusement enveloppé dans une feuille de platine qu'on serre fortement sur le ressort avec un fil métallique. La masse est ensuite chauffée dans un morceau de canon de fusil fermé par un bout et plongée dans l'huile qui trempe le ressort presque sans le décolorer, à cause de l'exclusion de l'air par l'enveloppe en platine qu'on retire alors. Le ressort est ensuite ramené au bleu avant de l'enlever de dessus la vis où il est enroulé.

Le ressort de balancier des montres ordinaires est souvent laissé à l'état doux; ceux des montres de prix sont trempés en les roulant sur un cylindre, puis tournés en spirale en les faisant passer entre une lame mousse et le pouce, comme quand on veut faire friser une petite bande de papier.

Pour tremper les ressorts de voiture, on les fait chauffer en les promenant suivant leur longueur dans un feu de forge ordinaire monté en voûte et on les plonge dans un bain d'eau froide. Pour les recuire on les chauffe au rouge très sombre et visible seulement pendant la nuit; le jour on reconnaît cette température au moyen d'un copeau de bois qu'on appuie sur le ressort et qui doit alors scintiller, puis on laisse refroidir dans l'air. Le métal a $13^{mm},143$ d'épaisseur, et on considère 15 à 16 millimètres comme la limite à laquelle l'acier peut encore se tremper convenablement pour faire un ressort.

Un résultat curieux paraît avoir été obtenu dans ces derniers temps par M. Griset, fabricant de plaqué à Paris, pour la trempe des grosses pièces, qui rend très rare la rupture des pièces provenant du mouvement moléculaire de l'acier trempé.

Ce procédé consiste à tasser, ou plutôt à écrouir, à l'aide d'une forte compression dans tous les sens, les pièces qui doivent être soumises à la trempe.

Ce tassement ou écrouissage peut être obtenu, suivant la nature des pièces, par un choc souvent répété, au moyen d'un marteau ou d'un martinet, ou bien par une pression opérée, soit à l'aide d'une presse quelconque, soit par l'action du laminage.

Ce procédé de préparation de l'acier avant de le soumettre à la trempe est applicable à plusieurs industries; un de ses plus utiles emplois consiste dans la fabrication des cylindres d'acier pour le laminage des métaux. Dans ce cas, c'est par le laminage qu'on écrouit les cylindres pour les tremper d'une manière plus sûre. On en place deux à cet effet dans une cage de laminoir, et une machine à vapeur ou autre moteur leur imprime un mouvement rapide de rotation; on fait passer entre eux des bandes d'acier ou autres corps durs, de manière à faire des raies très rapprochées sur leur circonférence. Lorsqu'ils ont été soumis pendant quelque temps à ce travail, on les trempe après avoir régularisé leur surface.

Nous terminerons en faisant remarquer que le revient, le réchauffage de l'acier trempé, le fait passer successivement par les couleurs jaune-paille, jaune d'or, rouge, gorge de pigeon, violet foncé, violet bleu, bleu foncé, bleu clair, gris. Suivant la qualité de l'acier, suivant l'élasticité nécessaire, on arrête, en plongeant dans l'eau, à la couleur reconnue par expérience la meilleure. C'est le bleu qui correspond au maximum d'élasticité.

Trempe au paquet. On voit souvent les trempeurs entourer leurs pièces, avant de les mettre au feu, d'enduits de diverses sortes. Lorsque ces enduits sont terreux ils n'ont pour but que de préserver la surface de l'oxydation; mais souvent ces enduits sont composés de suie, d'huile, de corne, etc., toutes matières destinées à fournir du carbone et à produire à la surface une véritable cémentation, qui acière la surface de la pièce qui n'est souvent que du fer, ce qui permet, comme dans l'armurerie, de lui donner un superbe poli. Les recettes transmises dans les ateliers peuvent être généralement remplacées par un procédé plus récent, dont les résultats sont certains et qui paraît satisfaire à toutes les conditions. Nous voulons parler de l'emploi du prussiate de potasse. La pièce saupoudrée de ce sel réduit en poudre étant mise au feu, celui-ci fond, se charbonne, et sous l'influence de la potasse, la cémentation s'accomplit avec une rapidité merveilleuse, et le morceau de fer ainsi couvert et trempé se trouve enveloppé d'une surface d'acier d'une dureté extrême, susceptible du plus beau poli.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nouveau procédé de trempe. Un nouveau procédé de trempe ou plutôt de chauffage de l'acier doit en se généralisant, améliorer notablement cette difficile opération. Il a déjà été essayé avec succès dans certains cas, et se rapporte à un procédé trop peu expérimenté jusqu'à ce jour, mais qui doit donner dans nombre de cas de magnifiques résultats, nous voulons parler du chauffage au gaz dont Ebelmen a fait apprécier les avantages généraux dans le bel article COMBUSTION dont il a enrichi ce Dictionnaire.

Le chauffage de l'acier est la partie délicate de l'opération de la trempe, comme nous l'avons dit ci-dessus, et la seule que l'ouvrier qui emploie l'acier puisse surveiller de manière à diminuer les accidents et les brisures; il ne peut changer la nature de l'acier, les manques d'homogénéité à l'intérieur; c'est au fabricant d'acier à livrer des produits parfaits pour les travaux délicats, la gravure, etc.

Pour améliorer le chauffage de l'acier, pour opérer dans la perfection, il faut le chauffer à une température invariable, la plus convenable d'après sa nature. Ce problème, insoluble avec un fourneau alimenté avec du charbon, est au contraire facilement soluble avec le gaz. Si en effet on suppose l'acier, enveloppé de poussier de charbon, et placé dans un moufle entouré de flamme de gaz incandescent, la température de ce moufle sera en raison de l'affluence du gaz réglée par un robinet. Il s'établira un état d'équilibre en raison du nombre de calories produit en chaque instant, et de celui consommé par le rayonnement et entraîné par les produits de la combustion.

On obtiendra ainsi des températures élevées très-constantes, solution d'un problème dont on peut apprécier l'importance par tous les emplois de la vapeur d'eau pour obtenir des températures de 100°, ou les bains métalliques pour celles de 250 à 300°. Par ce système l'acier, toujours chauffé à la température la plus convenable, sera parfaitement trempé, sans qu'on ait couru la chance de le voir se briser par suite d'un chauffage exagéré, cause fréquente de destruction de pièces coûteuses.

La facilité de combiner un semblable appareil, à l'aide d'un bec de gaz d'éclairage et d'un simple robinet, nous paraît devoir le rendre généralement applicable. CH. LABOULAYE.

TRÉPAN. Outil agissant par percussion dans les travaux de sondage. Voy. SONDAGE.

TREUIL. Le treuil est une des machines simples les plus usitées pour l'élévation des fardeaux, etc. Il consiste essentiellement en un cylindre autour duquel s'enroule une corde et dont l'axe reçoit un mouvement de rotation, le plus souvent à l'aide d'une manivelle mue à bras. Voyez CABESTAN et MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

TREUIL HYDRAULIQUE (*angl.* hydraulic crane). On se propose de décrire sous ce nom une machine appelée plus généralement *grue hydraulique*, dénomination qui offre l'inconvénient de se confondre avec celle des appareils qui servent, dans les gares de chemins de fer, à l'approvisionnement d'eau des tenders de locomotives.

On a établi pour bien des applications des grues hydrauliques et autres appareils analogues dans une foule de localités en Angleterre. M. Armstrong en a monté simultanément dans les docks de Liverpool, de Garston, de Birkenhead, de Blackwall et de Great-Grimsby; dans les stations des chemins de fer North-Western, Great-Western et Great-Northern, au Palais de cristal de Sydenham, à Plymouth, etc.

En France, on emploie surtout des monte-bagages et des monte-sacs hydrauliques. Il existe de ces appareils au chemin de fer de l'Ouest, rive droite et rive gauche, à la Villette, aux docks de Marseille, etc.

L'usage de ces machines ne peut manquer de se généraliser rapidement aussitôt qu'elles seront plus connues. Elles fournissent, en effet, le moyen le plus simple et le plus élégant d'utiliser les chutes des distributions d'eau, et, plus généralement, d'employer d'une manière *continue* un moteur peu puissant pour produire *par moments* des efforts très-considérables.

Il y a déjà longtemps que l'on a cherché à remplacer dans les grues la force des hommes par celle des moteurs inanimés. La grue qui sert au déchargement des pierres employées aux travaux de Douvres est mise en mouvement par une petite machine oscillante agissant directement sur le treuil où s'enroule la chaîne qui supporte les fardeaux. La chaudière se trouve dans un bâtiment voisin et la vapeur est amenée au cylindre par le pivot de la grue, de sorte que la volée peut tourner dans toutes les directions sans interrompre l'arrivée de la vapeur. Cette grue élève à 4 mètres une pierre de 2 mètres cubes en 45 secondes environ. Dans les travaux du nouveau palais du parlement à Londres, et pour la construction de plusieurs ponts, on a également employé des grues fixes ou à chariot mues par la vapeur. Nous avons décrit à l'article GRUE les dispositions qui ont été adoptées dans la pratique pour réunir la grue et la machine à vapeur. Pour adopter ce système il faut que le moteur ait une force suffisante pour vaincre immédiatement les plus grandes résistances; d'un autre côté, pour que son travail soit économique, il est nécessaire que les poids à manier varient dans des limites peu étendues, et que le travail ne s'interrompe pour ainsi dire pas, circonstances qui ne se présentent qu'accidentellement dans les machines à élever les fardeaux. Enfin il est souvent impossible d'établir une machine à vapeur dans l'emplacement que l'on peut consacrer à une grue.

Pour éviter les inconvénients que l'on vient de signaler, on a construit des grues mises en mouvement au moyen de *l'air raréfié*. Une petite machine à vapeur, ou tout autre moteur, travaille constamment à faire le vide dans un réservoir d'une certaine capacité. Ce réservoir communique, par des tuyaux souterrains, avec un cylindre analogue à celui d'une machine à vapeur qui met en mouvement le treuil à engrenage de la grue. On a employé une machine de cette espèce à la gare de Vésinet, à Saint-Germain. Cette machine sert aux manœuvres de force de l'intérieur de la grue. Mais la difficulté de faire des joints qui ne laissent pas rentrer l'air, et les soins que nécessitent ces appareils compliqués, ne permettent d'employer cette méthode avec avantage que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles.

L'emploi de l'eau, comme moyen de transmettre et d'emmagasiner la force, évite toutes ces difficultés et donne, en pratique, les résultats les plus avantageux. Les appareils n'exigent que peu de place, le moteur principal peut se placer à une grande distance, la force peut être transmise économiquement aux plus petites grues, et, enfin, on peut les faire marcher avec des vitesses qu'il serait impossible d'atteindre autrement.

La partie essentielle des appareils hydrauliques dont il s'agit, soit qu'ils servent à élever des fardeaux, ou à manœuvrer des portes d'écluses, comme aux bassins de Great-Grimsby, ou des ponts tournants, comme à Birkenhead, est toujours un corps de pompe dans lequel on introduit de l'eau, à une plus ou moins forte pression, pour mettre en mouvement ce piston dont la tige commande les parties mobiles du mécanisme. Cette eau motrice est amenée, par des tuyaux de conduite, d'un réservoir supérieur ou d'un *accumulateur* de Sir Armstrong. (Voy. PRESSE HYDRAULIQUE.)

Les eaux de villes servent très-souvent à la mise en mouvement des grues hydrauliques. Dans ce cas, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'a pas à se préoccuper de construire des réservoirs; mais, dans certaines circonstances, il y a économie ou nécessité d'établir un réservoir pour le service spécial des grues hydrauliques. A Great-Grimsby, par exemple, on a construit dans la partie la plus reculée de l'enceinte des docks une tour qui supporte un vaste réservoir en métal. La machine à vapeur travaille constamment à remplir le réservoir, auquel on peut emprunter, à un instant donné, la force accumulée pendant une plus ou moins longue période de travail régulier.

Treuil hydraulique pour magasins.

Vue de côté de l'ensemble de la machine. Échelle de 1/144.

Vue de face des corps de pompe, à une échelle double de celle de la figure 1.

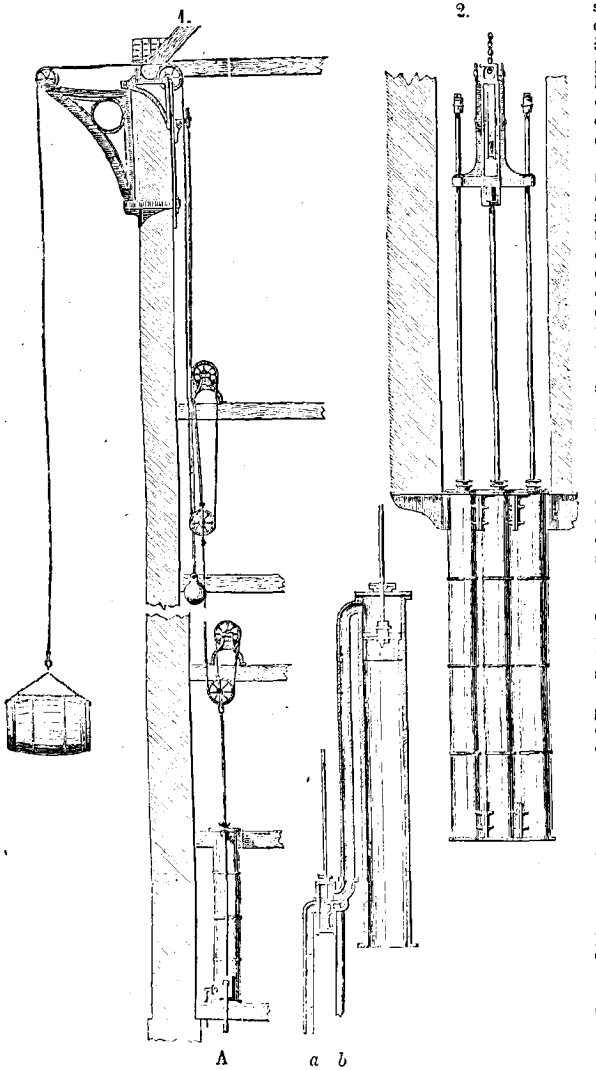


Fig. 3.

Coupe d'un corps de pompe et du tiroir de distribution.

Lorsque la disposition des lieux, ou toute autre circonstance, ne permet pas d'établir un réservoir à une hauteur suffisante pour obtenir la pression nécessaire, on a recours à l'*accumulateur*. Cet appareil se compose d'un cylindre en tôle ou en fonte dans lequel pénètre, à travers un stuffing-box, disposé comme celui des presses hydrauliques, un second cylindre mobile verticalement et chargé de poids en fonte ou d'une masse de maçonnerie. La machine à vapeur injecte continuellement de l'eau dans le cylindre intérieur. Cette eau soulève le cylindre mobile et se trouve soumise à la pression qui résulte de la surface et de la charge de ce cylindre. Il suffit donc de faire arriver cette eau comprimée dans le corps de pompe de la grue, ou de tout autre machine, pour exercer, à un instant donné, l'effort dont on a besoin.

Quelle que soit l'origine de l'eau employée, la manière dont elle agit dans la machine est toujours à peu près la même. Il suffira de citer trois ou quatre exemples pour faire comprendre en détail le jeu de ces appareils et les modifications dont ils sont susceptibles en raison de leurs différentes destinations.

Nous indiquerons d'abord une disposition de grue de magasin que l'on retrouve dans plusieurs villes d'Angleterre, à Newcastle-sur-Tyne, à Liverpool, etc.

La fig. 1 montre la disposition générale de la machine. La corde qui soutient le fardeau à élever P, passe d'abord sur la poulie de la potence extérieure au mur, puis sur une autre poulie fixe, placée à l'intérieur de la maison, près de la charpente, pour descendre ensuite parallèlement au mur. Elle s'enroule sur une poulie que l'on voit au troisième étage, remonte sur la poulie fixe du quatrième étage, pour revenir s'attacher à la chape de la poulie du troisième. L'extrémité inférieure de la chape de cette dernière poulie est liée à une chaîne qui s'enroule sur la poulie de la tête du piston, remonte sur la poulie du second, pour redescendre s'attacher à la chape de la poulie de la tige du piston moteur qui sort du corps de pompe A, placé à l'étage inférieur. La disposition des poulies mouflées que l'on vient d'indiquer varie suivant les localités; elle dépend du rapport que l'on veut éta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

blir entre la course des pistons et la hauteur à laquelle il faut élever les fardeaux. On voit d'ailleurs que le piston en descendant fait monter le fardeau à élever. Dans la machine que représente le dessin, la course des pistons est de $3^m,64$; la pression de l'eau est à peu près de $73^m,10$.

On emploie pour moteurs, comme l'indique la fig. 2, trois corps de pompes accolés. Lorsque les poids à soulever sont peu considérables, on ne fait travailler que celui du milieu, les tiges des deux autres glissant librement, sans agir, à travers les trous de la monture de la poulie motrice. Pour des fardeaux plus considérables, on fait fonctionner les deux corps de pompes extrêmes. Les boulons des têtes de leurs pistons pressent, en descendant, sur la monture de la poulie maîtresse et l'entraînent dans leur mouvement. Enfin, pour les poids les plus considérables on fait agir à la fois les trois corps de pompe.

Rien de plus simple, d'ailleurs, que la marche des pistons. Considérons la coupe de l'un des corps de pompe, fig. 3, et de son appareil de distribution, qui n'est autre chose qu'un tiroir comme celui des machines à vapeur. Supposons le piston au haut de sa course, et, par conséquent, le poids à élever P (fig. 1) à son point de départ. Le tiroir étant amené, au moyen d'un levier agissant sur sa tige, dans la position indiquée fig. 3, on voit que l'eau arrivant par la conduite *a* s'introduira dans la partie supérieure du corps de pompe et forcera le piston à descendre, et par conséquent le fardeau à monter. Pour arrêter le mouvement, il suffit d'élever le tiroir; le tuyau d'amenée *a* se trouve fermé et le corps de pompe communique avec le tuyau d'évacuation *b*. L'eau pourra donc s'échapper si le piston se trouve légèrement tiré de bas en haut. Cette action est produite par un contre-poids indiqué dans la fig. 1 à la hauteur du plancher du troisième étage. Ce contre-poids est soutenu par une corde qui passe sur une poulie, que l'on apperçoit au haut du dessin, pour venir s'attacher au système des pistons. Ce contre-poids tend sans cesse à relever les pistons, et les relève en effet, aussitôt que le tiroir fait communiquer le corps de pompe avec l'extérieur.

Le piston revenu au haut de sa course, il suffit de ramener le tiroir à sa première position pour reproduire le mouvement que l'on vient de décrire.

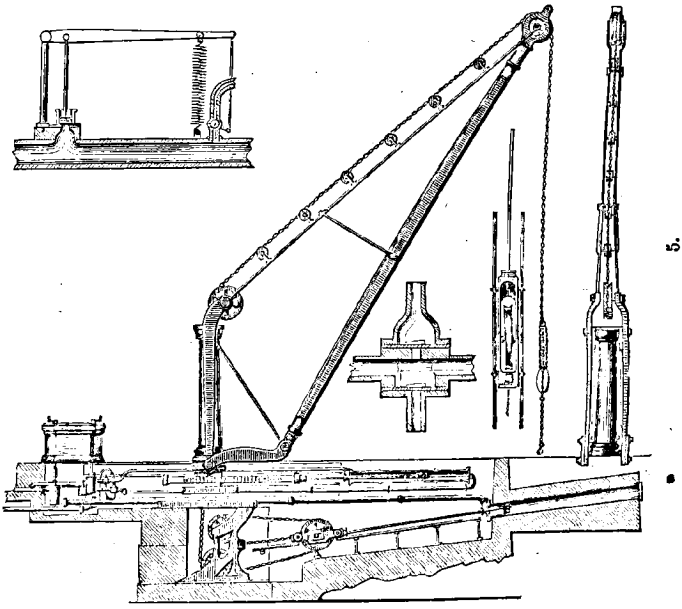
Pour employer la machine précédente à *descendre* des marchandises, on amène le piston au bas de sa course, puis on relève le tiroir avec précaution, pour que l'eau ne puisse sortir que par une très petite partie de la lumière d'échappement. On peut ainsi régulariser et ralentir la descente suivant les besoins, l'eau remplaçant alors le frein le plus sensible et le plus énergique.

Comme second exemple, un peu plus compliqué que le premier, nous décrirons l'une des grues hydrauliques des quais de déchargement d'Albert Dock, à Liverpool.

Cette grue présente, comme tout appareil complet de cette espèce, deux mouvements distincts qu'il faut étudier séparément. Le mouvement de la chaîne qui soulève les fardeaux, et celui de la machine autour de son pivot.

Le mouvement de la chaîne s'obtient, comme dans l'appareil précédent, au moyen d'un piston qui se meut dans le corps de pompe à simple effet *a* (fig. 4). La tête

Soupape de sûreté de la conduite principale.



5. Élévation postérieure de la grue hydraulique.

4.

Élévation d'une grue hydraulique et de son mécanisme.

de la tige de ce piston est fixée à l'une des extrémités de la chape d'une poulie maîtresse, l'autre extrémité de cette chape est liée à la chaîne motrice qui va s'enrouler sur une poulie placée en avant, revient sur la poulie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

maîtresse et gagne, par un renvoi sur une troisième poulie, le pivot creux et ensuite la volée de la grue.

La chape de la poulie maîtresse, vue en plan à une plus grande échelle (fig. 4), porte quatre petits galets et forme un véritable chariot roulant sur deux rails inclinés, parallèles au piston moteur (fig. 4) et qui servent de guide à son mouvement.

La position inclinée des guides de la maîtresse poulie et le contre-poids placé à l'extrémité de la chaîne, près du crochet auquel s'attachent les fardeaux, sont combinés de manière que le piston revient de lui-même au bas de sa course quand la distribution permet à l'eau de sortir du corps de pompe.

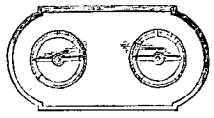
La distribution de l'eau se fait à l'aide d'un appareil à tiroir que l'on voit sur la gauche de la figure, et qui sera décrit avec détail un peu plus loin.

Le mouvement de rotation de la grue nécessitant la même force dans les deux sens s'obtient à l'aide d'un corps de pompe à double effet, c'est-à-dire entièrement fermé, et pouvant recevoir l'eau tantôt au-dessus et tantôt au-dessous du piston. On aperçoit ce second corps de pompe placé horizontalement immédiatement au-dessous du sol, sur la droite de la fig. 4. La tête de la tige du piston de cette seconde pompe porte une crémaillère qui commande une roue dentée montée sur la base du pivot de la machine. Suivant que le piston avance dans un sens ou dans l'autre, la grue reçoit donc un mouvement de droite à gauche ou de gauche à droite. L'appareil de distribution est placé à côté de celui de la pompe motrice des fardeaux, sur la gauche de la figure.

Le système de distribution est présenté à une plus grande échelle (fig. 6). Elle se fait au moyen de tiroirs

Plan de la table de manœuvre.

Fig. 7.



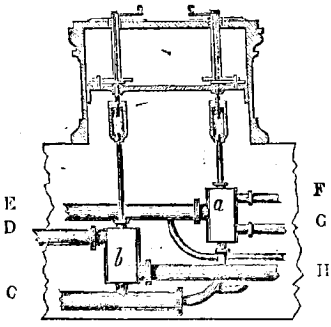


Fig. 6.

Coupe de la table de manœuvre et détails des appareils de distribution.

analogues à ceux des machines à vapeur. Le tiroir *b* donne et retire l'eau au piston moteur à simple effet des fardeaux; le tiroir *a* fait la distribution au piston à double effet du mouvement de rotation de la grue. La conduite principale qui amène l'eau à tout l'appareil est désignée par la lettre C. Le tuyau H conduit l'eau au piston moteur des fardeaux (a de la fig. 4).

L'eau qui a servi dans ce corps de pompe revient par la même voie et s'écoule dans une petite citerne extérieure par le tuyau D.

La conduite C porte également l'eau au tiroir *a* qui la distribue au corps de pompe de rotation, par les tuyaux F et G; le premier communique avec le dessus du piston et le second avec le dessous. L'eau, après son action, revient par les mêmes voies et sort par la décharge E, qui se réunit un peu plus loin avec D.

Les tiroirs sont mis en mouvement à l'aide de manivelles à aiguilles indicatrices, mobiles sur des cadrans vus en plan (fig. 7). Le cadran qui sert à la manœuvre des poids porte les mots : *monter, arrêter, descendre;* et celui qui sert à donner le mouvement de rotation, les mots : *droite, arrêt, gauche*, de sorte que la personne la moins expérimentée peut se servir de la grue. Je l'ai manœuvrée moi-même, la première fois que je l'ai vue.

Les manivelles dont on vient de parler agissent sur les tiges taraudées des tiroirs par l'intermédiaire de deux roues dentées et de deux pignons, de sorte qu'un mouvement angulaire de 160° environ imprimé à la manivelle, répond à un nombre de tours de l'écrou des tiges suffisant pour faire parcourir aux tiroirs la totalité de leur course.

Les petits tuyaux que l'on voit se détacher du coude de la conduite C et de la décharge E ont à remplir un rôle très-important. Ils sont destinés à prévenir les coups du bélier dans le mouvement de rotation de la grue. On comprend, en effet, que si l'on venait à fermer brusquement les communications pendant le mouvement rotatif de la grue, il se produirait dans l'appareil un choc violent. On évite cet inconvénient, qui pourrait entraîner la rupture de diverses pièces, en plaçant sur chacun des tuyaux F et G une soupape particulière (dans le haut de la fig. 4), que l'on pourrait appeler un *parachoc*. Cette soupape est garnie de deux clapets assez fortement chargés. Suivant que le coup de bélier produit une aspiration ou une compression, l'un des clapets se lève et laisse échapper ou entrer un certain volume d'eau; le mouvement de la grue se trouve ainsi ralenti, mais non interrompu d'une manière brusque.

Enfin, une soupape de sûreté (fig. 8) est placée sur la conduite principale; quand la pression devient trop forte, par suite de la brusque interruption de l'écoulement, le piston de cette soupape se soulève en allongeant le ressort fixé à l'extrémité du levier qui le presse, et fait ouvrir un robinet qui donne issue à une plus ou moins forte quantité d'eau.

Il suffit, d'après ce qui précède, de jeter les yeux sur les figures 9 et 10 pour se rendre compte de la disposition du monte-bagages du chemin de fer de l'Ouest (rive gauche). Le mouvement est communiqué à la grande poulie à gorge hélicoïdale sur laquelle s'enroule la chaîne des plateaux par une seconde poulie d'un moindre diamètre, montée sur le même arbre. Cette poulie est commandée par une chaîne à maillons fixée par ses extrémités aux têtes des tiges des pistons; ces pistons supportent un contre-poids en rondelles de fonte assez lourd pour entraîner le plateau chargé. En faisant arriver l'eau sous l'un des pistons, le contre-poids de l'autre détermine le mouvement. Un robinet à quatre fins, que l'on distingue sur la vue de face de la machine, effectue la distribution de l'eau aux deux cylindres.

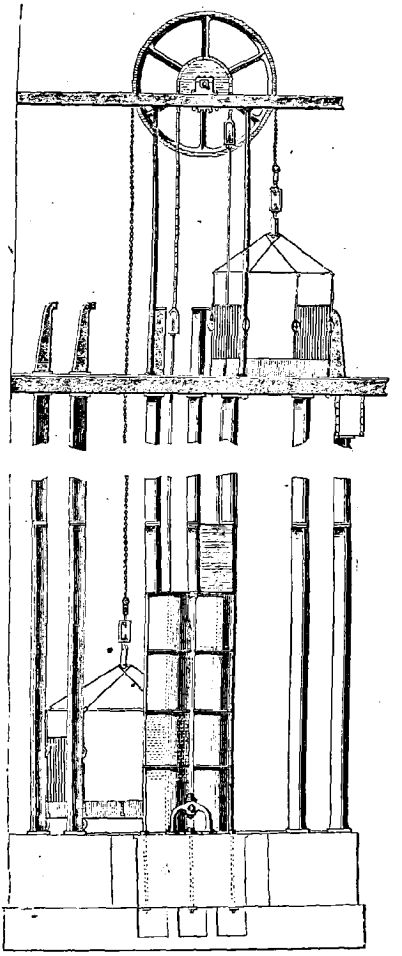
Il existe également un monte-bagages hydraulique à la gare des chemins de fer de Saint-Germain, Versailles, etc.; il est disposé de manière à élever à $5^m,20$, environ 500 kil. de colis, avec une vitesse de $0^m,20$ par seconde. Le piston moteur se meut dans un corps de pompe horizontal en tôle de $0^m,50$ de diamètre, sa course est de deux mètres environ. La charge de l'eau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TREUIL HYDRAULIQUE.

motrice est de 14 mètres; le piston moteur est traversé par une tige qui sort par les deux extrémités du corps de pompe à travers des boîtes à étoupes, de sorte que dans son double mouvement de va-et-vient il peut exercer, dans les deux sens, un effort de traction sur la chaîne motrice. Ce monte-bagage présente, du reste, toutes les dispositions nécessaires pour régulariser le mouvement et prévenir les chocs. Il paraît fonctionner d'une manière très satisfaisante.

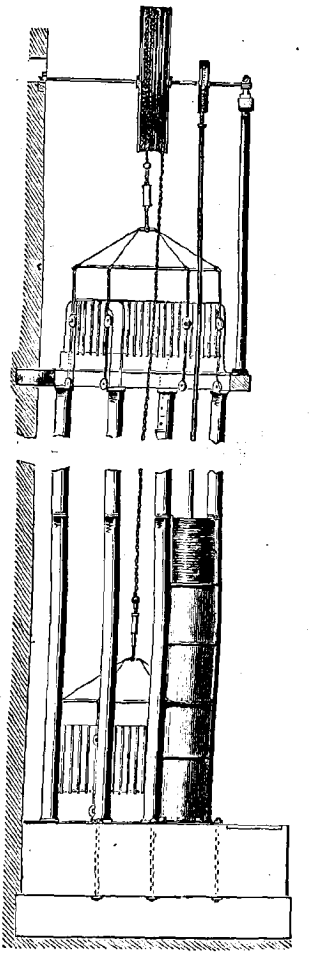
Nous ne pouvons pas terminer ce qui se rapporte aux treuils hydrauliques, sans citer les nombreux et importants appareils de cette espèce des nouveaux docks de Great-Grimsby; on y rencontre des grues pour le chargement et le déchargement des navires et des wagons, des treuils pour le service des magasins, un appareil pour monter et descendre les ouvriers, et enfin des corps de pompes motrices pour la fermeture et l'ouverture des portes d'écluses.



9.

Monte-bagages hydraulique du chemin de fer de l'Ouest (R. G.)

Elévation de face. — Echelle de 0,01.



10.

Monte-bagages hydraulique du chemin de fer de l'Ouest (R. G.).

Elévation de côté. — Echelle de 0,01.

On peut décharger 500 tonnes par jour avec une grue semblable à celle qui a été décrite ci-dessus. La dépense est réduite à moitié ou à un tiers de celle que nécessite le travail à bras.

L'emploi de l'eau comme moyen de transmettre les efforts nécessaires au soulèvement des fardeaux n'est point restreint aux quelques cas spéciaux dont on vient de parler. Il est applicable dans un très grand nombre de circonstances différentes et se prête à beaucoup d'applications diverses où d'autres procédés seraient moins avantageux. Il ne sera pas inutile d'en citer encore quelques exemples.

L'une des premières machines à colonne d'eau, employée au soulèvement de poids considérables, fut éta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TREUIL HYDRAULIQUE.

blie par Mathieu Murray de Leeds, dans sa fabrique des chaudières à vapeur. Un corps de pompe communiquant avec un réservoir d'eau élevé sur une charpente légère se trouvait placé au sommet d'une espèce de bigue. Ce corps de pompe renfermait un piston dont la tige s'attachait à une forte chaîne; on fixait cette chaîne aux chaudières, et en faisant arriver l'eau dans le corps de pompe, elles se trouvaient soulevées à une hauteur suffisante pour que l'on pût faire arriver dessous les chariots qui devaient les transporter.

L'un des exemples les plus remarquables de l'emploi de machines hydrauliques, pour soulever des poids considérables, est l'application qui a été faite de la *presse hydraulique* pour le levage du pont tube *Britannia*. Au sommet de chacune des tours qui supportent maintenant le pont, on avait placé une presse hydraulique mise en jeu par une machine à vapeur. Le grand piston de la presse hydraulique avait $0^m,51$ de diamètre et son cylindre en fonte $0^m,27$ d'épaisseur. Les pistons des pompes d'injection avaient $0^m,027$ de diamètre et $0^m,406$ de course.

Le cylindre de la machine à vapeur, de la force de 40 chevaux, qui les mettait en mouvement, était horizontal; son piston avait $0^m,431$ de diamètre et $0^m,406$ de course. Il était traversé par une tige sortant à travers des boîtes à étoupes placées sur chaque fond du cylindre. Les pistons d'injection étaient directement fixés sur le prolongement de cette tige du piston moteur. Cette machine élevait le tube avec une vitesse qui pouvait aller jusqu'à $3^m,96$ par heure.

Les machines fonctionnant à toute vapeur pouvaient exercer un effort de 900 tonnes. Le poids total du tube n'étant que de 1300 réparti sur les deux presses, on voit qu'il restait un excédant considérable de force.

Les presses hydrauliques, ainsi employées, sont de véritables grues hydrauliques, dans le sens que nous avons donné à ce mot. L'emploi des métaux et des grands ouvrages de fonte et de chaudronnerie, en se multipliant dans les travaux publics, rendra de plus en plus nombreux les emprunts de cette espèce à la mécanique industrielle.

On a proposé d'employer des corps de pompes pour soulever les moutons des machines à battre les pieux. Ces machines seraient disposées à peu près comme les moutons à vapeur américains, mais sur une moindre échelle. L'eau serait poussée dans le cylindre moteur par une espèce de pompe à incendie, mise en mouvement à bras ou par une petite machine à vapeur. Nous pensons qu'un appareil de cette espèce pourrait rendre de véritables services dans les opérations de battage de pieux.

Enfin, dans certains ateliers, on emploie la pression de l'eau pour faire avancer les chariots des tours, les alésoirs, etc.

Nous ne multiplierons pas davantage les exemples d'applications du principe de la grue hydraulique. Ce qui précède suffit pour faire comprendre tout le parti que l'on peut tirer d'un moyen de transmission de mouvement aussi précis et aussi maniable que les fluides incompressibles.

On avait l'intention d'ajouter ici quelques renseignements relatifs aux grues transversales, employées dans les constructions, mais l'étendue déjà considérable de cet article oblige à renoncer à ce projet. On se bornera donc à donner le dessin (fig. 11) d'une grue à *volée variable* d'une construction extrêmement simple, d'une installation très-économique et qui pourrait rendre de nombreux services dans les chantiers de construction. Les pièces principales sont en bois, la monture seule est en fonte et peut servir pendant ex-

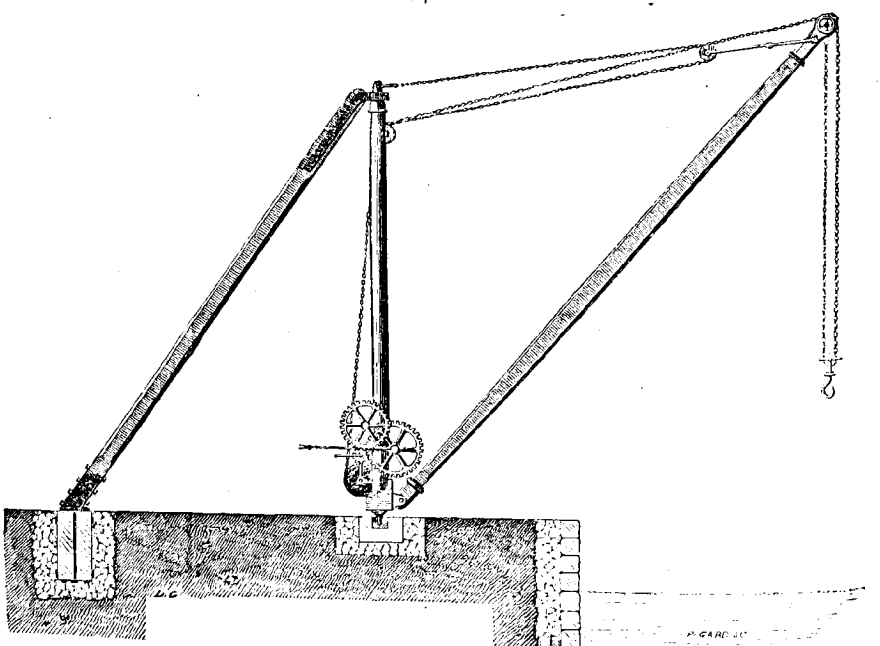


Fig. 11.

Grue à volée variable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trêmement longtemps. On voit sur la figure que la volée peut tourner autour de son extrémité inférieure. L'extrémité supérieure décrit alors un arc de cercle qui permet de prendre et de déposer les fardeaux à distances variables du pivot.

La grue que nous représentons est mise en mouvement à bras d'homme, mais rien ne serait plus simple que de lui appliquer un moteur hydraulique. H. M.

TRIPOLI. Tuf siliceux composé de silice presque chimiquement pure, employé pour polir.

TROMPE. Voyez MACHINES SOUFFLANTES.

TUBES BERENDORFF. L'emploi des tubes, pour augmenter l'étendue des surfaces de chauffe des générateurs à vapeur, offre le grave inconvénient d'en rendre le nettoyage presque impossible. On ne peut plus retirer les tubes, dont le diamètre a augmenté par suite des incrustations qui s'y sont attachées, à travers les trous des plaques de tête et par suite on ne peut détacher celles-ci. C'est à cet inconvénient grave que remédie le système imaginé par M. Berendorff et adopté par nos principaux constructeurs.

Les extrémités de chaque tube sont renflées et façonnées en tronc-cônes, dont l'un est un peu plus aigu que l'autre, comme on le voit sur la figure; les trous en regard dans les deux plaques sont inégalement alésés. L'un légèrement conique est un peu moins grand que son correspondant. L'emmanchement de chaque tube se fait au moyen d'une tringle de fer, taraudée aux deux extrémités; chacune porte une rondelle, M, M', de forme différente et deux écrous *m*, *m'* destinés à faire marcher l'une vers l'autre les rondelles M, M'. L'une de celles-ci, M s'appuie sur le bord du plus gros bout du tube, l'autre M' porte sur la plaque tubulaire dans laquelle est pratiqué le petit alésage (fig. 1).

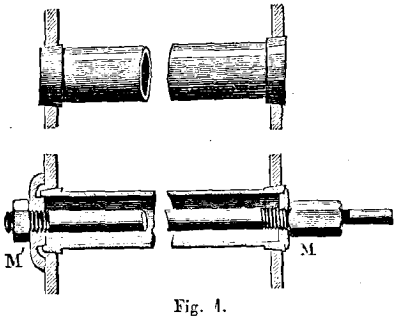


Fig. 1.

Lorsque le tube est présenté dans les ouvertures des plaques, on introduit la tringle, on place les rondelles et enfin les écrous *m* et *m'*, à l'aide de ce dernier, on fait avancer le tube, dont les renflements soigneusement tournés viennent s'ajuster, se serrer dans les trous alésés. On recommande, en même temps que le serrage a lieu, de frapper quelques coups sur l'écrou *m*, pour faciliter l'opération. Pour retirer les tubes, l'inverse doit être fait, c'est-à-dire que la rondelle M' et l'écrou *m'* doivent changer de position avec M et *m*.

On évite ainsi l'étranglement des orifices des tubes par les viroles intérieures habituellement employées, on peut retirer des tubes incrustés d'épaisseurs de tartre déterminés par celles des renflements des extrémités des tubes. Ceux-ci n'étant pas produits lors de l'étirage du cuivre, ne sont pas d'une exécution facile; c'est la seule partie défectueuse du système.

TUBES EN ACIER. Un anglais, M. Thompson, en imitant et complétant le procédé Russel pour la fabrication des tubes en fer, a inventé un procédé, perfectionné encore par MM. Deakin et Johnson, avec lequel on obtient rapidement et économiquement des tubes en acier de tous diamètres, depuis les gros tubes destinés à former l'âme des canons Armstrong jusqu'aux canons de fusil du plus petit calibre. Dans ce procédé, on commence par faire un cylindre plein d'acier dans lequel on perce un trou central, sans perte de matière, au moyen d'un marteau poinçonneur. Après avoir d'abord un peu allongé ce cylindre en le forgeant sur un mandrin, on l'étire à chaud en l'enfilant sur une tige munie d'un mandrin en olive, mandrin qui détermine le diamètre intérieur du tube et qui est placé au centre d'une cannelure ronde : celle-ci est pratiquée dans deux cylindres parallèles, et suivant que sa profondeur est constante ou variable sur le développement des cylindres, on obtient un tube à parois parallèles ou à profil extérieur conique. Au sortir de ce laminoir, on dresse le tube en le faisant rouler entre deux marbres, dont l'un est suspendu (disposition analogue à celle employée dans la fabrication des AIGUILLES pour dresser les fils). Par ce procédé, l'usine de sir John Brown, à Sheffield, fabriquait dès 1867 des tubes de tous diamètres, et déclarait pouvoir livrer quinze mille canons de fusil par semaine. Elle exposait de magnifiques tubes de gros diamètres fabriqués en acier doux et un essieu de locomotive creux.

TUILES. Les tuiles servent à former la couverture des bâtiments. Ce sont des plaques en terre cuite, d'une épaisseur généralement comprise entre 10 et 15 millimètres, et affectant des formes très diverses décrites à l'article COUVERTURES du *Complément*.

On a proposé jusqu'ici beaucoup de corps différents pour couvrir les édifices; mais tous sont ou trop coûteux, ou trop peu durables, et on est toujours revenu aux tuiles, à cause de leur durée en quelque sorte indéfinie et du prix modique de leur entretien.

Pour être parfaite, une tuile doit remplir les conditions suivantes :

Legèreté, afin de ne pas trop charger les constructions et de ne pas nécessiter l'emploi de charpentes trop fortes.

Dureté et *résistance*, afin que les ouvriers puissent marcher dessus sans courir le risque de les casser.

Lisses et *d'une forme telle* que l'eau ne puisse y séjourner et s'écoule suivant une direction se rapprochant autant que possible de la ligne de plus grande pente du toit. Lorsque cette dernière condition est remplie, la pente du toit peut être diminuée : la surface à couvrir devient alors moins grande et le cube des bois de charpente est aussi moins considérable.

Imperméabilité, afin que l'eau en la pénétrant ne surcharge pas la toiture, et en la traversant ne pourrisse pas la charpente.

Non gelives, afin de résister pendant longtemps à l'action des agents atmosphériques.

Les argiles qui conviennent le mieux à la confection des tuiles sont les argiles grasses. Il est vrai que ces argiles ont plus de tendance à se gauchir en séchant et pendant la cuisson, et qu'elles réclament plus de soins dans le travail pour combattre cette tendance; mais elles donnent des produits d'une qualité meilleure. Dans quelques localités on emploie des marnes argileuses ou limoneuses; ces terres ont moins besoin de mélange et peuvent le plus souvent être travaillées sèches; mais elles fournissent des tuiles peu solides et résistant mal aux intempéries.

De même que les briques, les tuiles peuvent être fabriquées, soit à la main, soit à la machine. Dans un cas comme dans l'autre, les pâtes se préparent ainsi que nous l'avons dit pour les briques.

MOULAGE A LA MAIN. Lorsque la terre est bien préparée, un ouvrier la coupe en tranches ayant la forme et le volume nécessaires pour remplir le moule, qui est un châssis en bois ou en fonte. Ces croûtes sont dispo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sées à côté du mouleur, sur la table dont il se sert pour son travail. Le mouleur prend une de ces croûtes, la jette avec force dans le moule et l'y comprime afin de lui en bien faire prendre la forme, après quoi il enlève l'excédant de terre en passant deux fois sa *plane* qu'il a soin d'appuyer sur les bords du moule. Cela fait, il soulève le moule, et la galette de terre reste sur la table qu'il a dû sabler pour empêcher l'adhérence. Le *porteur* enlève cette galette et la porte au *ployeur* qui lui donne la légère courbure qu'elle doit avoir.

Pour cette opération, le ployeur introduit la galette dans un moule, généralement en métal, qui est garni d'un fond ayant la courbure voulue, il la presse avec les mains, refoule la terre dans un trou de fond afin de former le crochet, et rebouche avec de la terre nouvelle le vide laissé par ce refoulement; il démoule ensuite, et passe la tuile à un porteur qui l'emporte au séchoir.

Au bout de sept ou huit jours environ, on procède au rebattage. Pour cela, on dépose la tuile dans un moule ou calibre en cuivre présentant en relief la courbure qu'elle doit avoir; on la frappe avec précaution au moyen d'une batte en bois; on coupe les bavures et on dresse soigneusement les arêtes. Cette opération terminée, les tuiles sont remises au séchoir, où elles restent jusqu'à dessiccation complète, c'est-à-dire pendant un temps qui varie, suivant les saisons et l'état de l'atmosphère, de huit à quinze jours.

Le moulage à la main est d'une production lente et ne donne pas assez de perfection. Il est suffisant pour des briques plates ou ondulées, comme la tuile flamande (fig. 1) ou celle de Legros (fig. 2), mais il devient im-

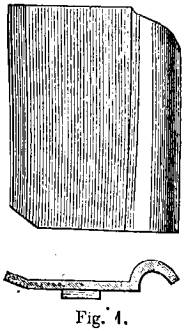


Fig. 1.

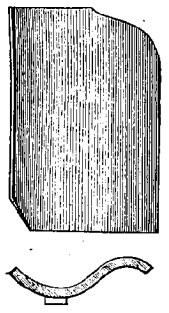


Fig. 2.

possible lorsqu'il s'agit de fabriquer des tuiles à emboîtement, tuiles qui réclament des arêtes bien vives et saillantes et *surtout* une régularité parfaite, comme les

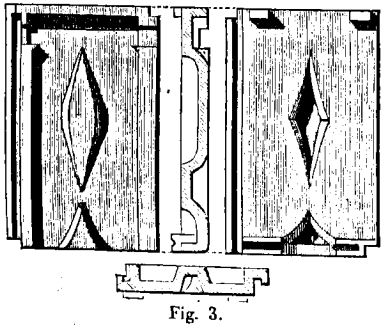


Fig. 3.

tuiles de Gilardoni (fig. 3). On est obligé alors d'avoir recours à des machines.

Les machines à tuiles peuvent être rangées en deux groupes :

Le premier groupe comprend les machines travaillant en terre molle.

Le second groupe comprend celles qui, au contraire, travaillent en terre dure.

MOULAGE EN TERRE MOLLE. Les machines de cette classe sont très-nombreuses et diffèrent peu les unes des autres : elles reposent toutes sur le même principe.

La terre, parfaitement travaillée et homogène, doit avoir la consistance de la terre à briques un peu ferme. La pâte est jetée dans un moule ou matrice en plâtre engagée dans une boîte en fonte; une autre matrice également engagée dans une boîte en fonte vient s'appliquer sur la première, et une forte pression, exercée par une presse, comprime la terre. La brique, une fois moulée, est renversée sur une planchette, puis transportée au séchoir, soit telle qu'elle est, soit après avoir été ébarbée.

Les moules sont en plâtre comme nous venons de le dire, ou en métal que l'on prend soin de graisser à chaque tuile. Ceux en plâtre sont préférables, car il n'y a que sur eux que la terre n'adhère pas, et ils permettent en outre un démoulage rapide. Dans ceux en fonte, au contraire, le démoulage est difficile, et le graissage que l'on est obligé d'opérer à chaque tuile ralentit considérablement la fabrication.

Un autre inconvénient de ce procédé de fabrication est le nombre considérable de planchettes que l'on est obligé d'avoir, sans compter les vastes séchoirs dont il faut disposer et la surveillance incessante que l'on est contraint d'exercer dans la dessiccation, pour éviter les fentes qui ne manquent jamais de se produire. En outre, il est nécessaire d'opérer un rebattage, opération qui, nous le savons, a le grave inconvénient d'allonger les parties molles et de casser souvent celles durcies par un séchage irrégulier.

Néanmoins, ce procédé de moulage est celui qui convient le mieux aux grands établissements qui disposent d'un vaste emplacement.

La presse la plus employée pour le travail en terre molle est analogue à la presse monétaire. Elle se compose de deux jumelles en fonte reposant sur un pied commun et sur lesquelles peut glisser un chariot portant un moule en plâtre. L'ouvrier place sur ce moule une plaquette de terre assez grande pour couvrir tout le moule ou à peu près, et assez épaisse pour donner une tuile ayant le moins de bavures possible; il pousse ensuite le chariot sous la seconde matrice qui est fixée à l'extrémité inférieure d'une vis à plusieurs filets engagée dans un écrou pratiqué à la partie supérieure d'une arcade en fonte. A la tête de la vis est un balancier terminé à chacune de ses extrémités par un gros poids, comme les balanciers des presses monétaires. L'ouvrier lance ce balancier de manière à exercer une forte pression, le fait remonter, et exerce une nouvelle pression : il faut deux ou trois coups de balancier pour que la terre occupe bien toutes les cavités du moule. Lorsque la tuile est moulée, on ramène le chariot à sa position initiale où l'ouvrier le fait basculer, pour déposer la tuile sur une planchette que l'on enlève et porte au séchoir.

Avec cette presse, on peut mouler 1500 à 1800 tuiles par jour, à trois coups de balancier pour chacune.

Voici le détail du prix de revient de 1600 tuiles à emboîtement ordinaire faites en une journée de onze heures avec cette presse.

MM. Schmerber frères construisent une machine en terre molle, qui est reconnue comme excellente, et permet l'exécution des tuiles de formes diverses étudiées à l'article COUVERTURES (*Complément*). Voici la description de cette machine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TUILES.

Un arbre A (fig. 4), commandé par une poulie et portant deux volants B, communique le mouvement à

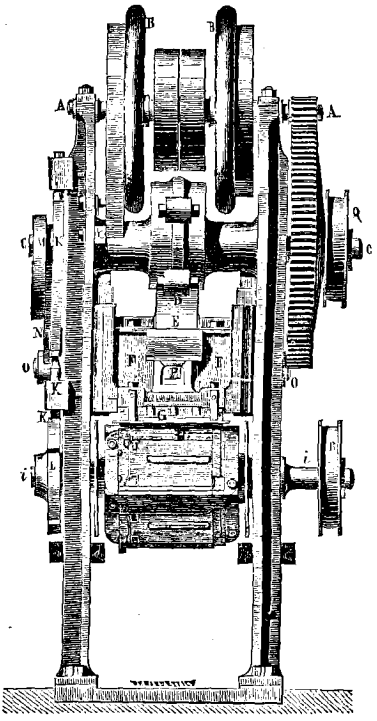


Fig. 4.

l'arbre C, à l'aide d'un pignon et d'une roue. Au milieu de cet arbre C est un excentrique D garni d'acier, et agissant sur un galet en acier fondu E engagé dans le porte-moule F. Un moule G est fixé à la partie inférieure de ce porte-moule. Au-dessous est un arbre *i* sur lequel est fixé un second porte-moule à cinq faces, susceptible conséquemment de recevoir cinq moules. A l'extrémité gauche de l'arbre *i* est un plateau L pourvu de cinq entailles dans lesquelles s'engage un verrou K destiné à maintenir immobile le porte-moule inférieur, pendant que celui supérieur descend sur le moule qui se trouve alors placé sous lui. Une petite came, vue figure 5, déclanche le verrou K lorsque le moulage est opéré, et l'arbre *i* se met à tourner grâce à une courroie passant sur les deux poulies à gorges Q et R, et qui à ce moment se trouve tendue à cause d'un renflement existant sur la poulie Q. Ce mouvement de l'arbre *i* a lieu jusqu'à ce que le verrou K, abandonné à lui-même, s'engage dans l'entaille suivante du plateau L.

Mais, tandis que l'arbre *i* tourne ainsi de la valeur d'un moule, le moule supérieur G remonte par l'intermédiaire du mécanisme suivant : A l'arrière de la machine se trouve un arbre O sur lequel sont calés deux leviers P et N. Le levier P, qui est au milieu, a son extrémité engagée dans une ouverture pratiquée dans le porte-moule F; le levier N, qui est à l'extrémité de l'arbre, se termine par un galet sur lequel agit un excentrique M. Lors donc que cet excentrique force le levier N à s'incliner d'avant en arrière, le levier P s'élève en entraînant avec lui le porte-moule F.

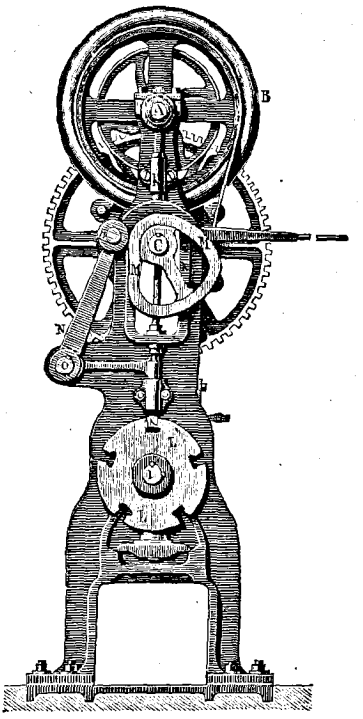


Fig. 5.

C'est pendant le temps qu'une tuile est comprimée, qu'un ouvrier met une planchette sur la tuile précédemment moulée et l'enlève, et qu'un deuxième ouvrier, placé de l'autre côté de la machine, dépose, pour une nouvelle tuile, une galette sur le moule suivant.

Les moules sont en plâtre et doivent être changés deux fois par jour.

Cette machine peut produire 4500 à 5000 tuiles par journée de onze heures.

MOULAGE EN TERRE DURE. Les meilleures machines à mouler en terre dure sont celles de MM. Boulet frères. Nous allons les décrire.

La terre, après avoir été malaxée aux cylindres broyeurs, est soumise à deux opérations successives. Dans la première, la terre est étirée sous forme de galettes; dans la seconde, ces galettes sont transformées en tuiles.

La machine à étirer de MM. Boulet frères est une machine analogue à celles à briques creuses. La terre sort par la filière sous forme de galettes excessivement dures, susceptibles d'être maniées sans crainte, et que l'on coupe à la longueur voulue pour faire les tuiles. Cette machine pèse 1200 kilog. et coûte 2000 fr. Elle peut produire par jour 6000 galettes dont chacune fournit une tuile. Il faut quatre jeunes gens de seize à dix-huit ans pour la servir.

Les galettes sont ensuite transportées à la presse, où elles sont disposées dans un moule et recouvertes du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

contre moule. Des rails permettent de pousser le moule sous un plateau qu'un excentrique fait descendre et qu'un contre-poids relève, une fois l'opération terminée. Après la pression, on ramène le moule et on retire la tuile qui peut être maniée à la main sans crainte aucune de déformation. On l'ébarbe immédiatement, et on l'emporte au séchoir où elle sèche complétement en deux ou trois jours.

TULLE. Voy. *Complément.*

TUNGSTÈNE. Métal assez rare employé pour la fabrication d'un acier d'une grande dureté.

TUNNEL. *Circonstances qui nécessitent le percement d'un tunnel.* Les tunnels sont des ouvrages d'art qui ont pour but de faire franchir à un canal, à un chemin de fer ou à une route quelconque, un obstacle tel qu'une montagne, qui nécessiterait des travaux extérieurs plus dispendieux que des travaux souterrains. Ainsi, si l'on établissait un canal dans un pays très-accidenté, il serait indispensable pour gravir les collines de construire une série d'écluses et de creuser des tranchées profondes, que l'on peut éviter au moyen d'un tunnel (en supposant l'alimentation d'eau à un niveau assez élevé pour que le premier système ne fût pas impossible); s'il s'agissait d'un chemin de fer il faudrait avoir recours à un plan incliné, qui, indépendamment des dangers qu'il présente, ralentit singulièrement la marche des convois, et augmente beaucoup les frais d'exploitation. En général, lorsque, dans les grands travaux de terrassement, la tranchée atteint la profondeur de 16 à 18 mètres, on préfère établir un tunnel, parce qu'alors les frais de maçonnerie ne sont plus qu'une dépense minime comparativement à celle d'une excavation à ciel ouvert, à laquelle on est contraint de donner une largeur considérable afin que les talus se maintiennent. On cite cependant plusieurs exceptions à cette règle: en Amérique, au canal qui sert à faire écouler les crues du lac de Mexico, les tranchées atteignent quelquefois 60 mètres de hauteur. Le canal de Nantes, à Brest, à Glomel, a $22^m,50$ de profondeur en tranchée; dans certains passages, au canal de Charleroi, les déblais ont 19 mètres; au canal d'Antoing ils vont jusqu'à 24 mètres. Ces exemples ne sont imitables que dans le cas où l'on trouve un terrain ayant de la consistance, dont les talus peuvent avoir une faible inclinaison. C'est le plus souvent la sagacité de l'ingénieur qui doit décider la question. Du reste, voici une formule due à M. Vallée, qui indique la profondeur à laquelle il y a égalité d'avantages à creuser une tranchée ou à percer un tunnel:

$$Pm = plmx + px^2.$$

x est la profondeur, p le prix du mètre cube de déblai, l la largeur du chemin de fer ou du canal, $\frac{x}{m}$ la largeur d'un des talus de la tranchée, P le prix du mètre courant de souterrain; ce prix varie évidemment suivant les terrains que l'on rencontre; en général il est de 1 500 à 2 500 fr. par mètre.

Formes et dimensions. Les tunnels ont des formes et des dimensions différentes suivant leur destination. Lorsqu'ils doivent servir à la circulation des bateaux, on ne donne quelquefois que la largeur nécessaire à un passage; on établit alors, le long du pied-droit de la voûte, une barre de fer horizontale à l'aide de laquelle les mariniers halent leur bateau; mais les passages rétrécis présentent souvent des entraves à la navigation, aussi le plus ordinairement on donne une largeur capable de contenir un fort bateau et un chemin de halage. Quant aux tunnels de chemins de fer, il en existe (ou plutôt il en a existé) quelques-uns, entre autres ceux de Saint-Etienne à Lyon, qui ne peuvent donner accès qu'à un seul convoi à la fois; ces dimensions restreintes sont trop dangereuses, et du reste gênent trop le service pour qu'elles soient admises malgré l'économie qu'elles présentent; aussi adopte-t-on la largeur nécessaire à la circulation de deux convois, ce qui exige $7^m,40$; encore serait-il bon de l'augmenter de $0^m,30$ pour éviter toutes chances d'accidents. La hauteur sous clef est de $5^m,50$. La forme varie nécessairement suivant la nature des terres à traverser; si elles sont susceptibles de s'affaisser et d'exercer une pression verticale, la voûte supporte seule la poussée; il suffit de donner aux pieds-droits un léger fruit et à la voûte une épaisseur convenable qui varie de $0^m,68$ à $1^m,20$. Si, au contraire, le terrain est glaiseux ou susceptible dans les saisons humides de se détremper, se gonfler et d'exercer une pression latérale, il est indispensable d'adopter pour les pieds-droits une forme courbe qui se raccorde avec la voûte et ait la même épaisseur. Il est même parfois indispensable de les réunir par une voûte renversée ou *radier*, qui vient buter à la base de chacun d'eux, et empêche qu'une trop grande pression ne les fasse glisser sur le sol, en les appliquant l'un contre l'autre, comme cela est arrivé sur le chemin de Londres à Birmingham. En France, le plein cintre a la préférence parce qu'il offre plus de solidité; en Angleterre, c'est la forme elliptique.

Travaux préparatoires. Les tunnels, pour leur exécution, exigent des travaux préparatoires: ces travaux consistent en sondages, alignements, fonçements de puits et montages de machines, propres à l'extraction des déblais et à la descente des matériaux. Les sondages ont pour but de reconnaître le sol que l'on doit traverser, de voir s'il est solide ou ébouleux, à quelle profondeur se trouve la nappe d'eau souterraine; ce sont eux qui servent à régler l'épaisseur à donner à la voûte, la forme des pieds-droits, le mode de construction; en un mot à rédiger le projet. Ce projet une fois arrêté, on procède au tracé de la direction; elle a presque toujours lieu en ligne droite, non-seulement à cause de la difficulté de construction d'une courbe tracée d'avance dans des terrains ébouleux, mais aussi à cause des dangers qu'elle présenterait dans l'exploitation d'un chemin de fer où il est nécessaire de voir loin devant soi. Voici de quelle manière on procède au tracé des alignements: sur le point le plus haut à traverser, on établit un observatoire assez élevé pour apercevoir, de part et d'autre de la montagne, deux mires solidement fixées dans l'axe, à chaque extrémité de tunnel. Il faut également que l'observateur puisse planer, tant sur les obstacles naturels qui pourraient obstruer sa vue, que sur les appareils et machines qui seront établis ultérieurement à l'embouchure des puits. Cet observatoire, construit en planches, est muni d'un télégraphe afin de faire des signaux aux personnes chargées de poser les jalons. Au milieu se trouve un dé en maçonnerie, fortement assis sur le sol, de manière à ne pas éprouver de vibrations; sur ce dé on fixe exactement dans l'axe du tunnel un télescope muni de deux fils perpendiculaires l'un à l'autre; au moyen de cet instrument on place des jalons de distance en distance en les alignant de telle façon, qu'en les regardant tous de file, ils coïncident avec les mires précédemment fixées aux extrémités du tunnel; ces jalons indiquent l'axe de l'excavation et servent à établir l'emplacement des puits. Ce n'est que lorsque ceux-ci sont creusés, et par des procédés que nous indiquerons un peu plus tard, que la galerie d'écoulement est percée, que l'on reporte à l'intérieur l'alignement extérieur. Pour cela, on mène de l'observatoire un rayon visuel passant par la ligne des jalons; à l'embouchure de chaque puits on fixe une planche noire sur laquelle on trace, suivant l'indication du télégraphe, un trait blanc avec un fil à plomb; on a ainsi un point de l'axe du tunnel: de ce point on descend un poids suspendu par une ficelle que l'on fait arriver jusqu'au sommet de la galerie d'écoulement en ayant soin toute-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fois de le mettre à l'abri des oscillations causées par le vent. Cette opération est répétée pour chaque puits, de sorte que, en suspendant à chaque fil à plomb une chandelle, on a une ligne lumineuse qui indique l'axe du tunnel; cet axe est soigneusement tracé au moyen de repères placés sur la paroi supérieure de la galerie, et sert aux diverses opérations nécessaires pour fixer la direction et la largeur. Tels sont les moyens le plus généralement employés pour ces sortes de tracés. Souvent, lorsque la vue n'est pas gênée par les accidents du sol, on se dispense d'établir un observatoire et l'on se contente de simples mires alignées.

Foncement des puits. Dans tous les cas, afin de reporter à l'intérieur le tracé exécuté à la surface, et d'ailleurs, pour enlever les déblais et activer le travail, il faut creuser des puits. Si cependant le souterrain doit avoir peu de longueur, 200 à 300 mètres par exemple, ils ne sont plus nécessaires; on attaque le massif par les deux extrémités et les deux ateliers s'avancent l'un vers l'autre. Quand, au contraire, le tunnel présente une certaine longueur, on espace les puits de 200^{m} en 200^{m}, à moins que quelque obstacle ne s'y oppose. On peut également les placer dans l'axe du tunnel ou sur les côtés à quelque distance des pieds-droits. La position dans l'axe, à l'aplomb de la clef, offre l'inconvénient de charger la voûte de tout le poids du revêtement du puits et de nécessiter beaucoup de précautions pour soutenir le boisage qui maintient les terres du puits lorsque l'on commence la grande excavation; mais elle a l'avantage de servir à la ventilation, non-seulement pendant l'exécution des travaux, mais encore après leur achèvement. En effet, dans le cas d'un canal, il se dégage continuellement de la vapeur d'eau qui se cantonne au sommet de la voûte, et ne peut se dissiper si elle n'a pas d'issue. Dans le cas d'un chemin de fer, si par malheur un convoi, se trouvant arrêté par accident dans un tunnel, un dégagement abondant de vapeur venait à avoir lieu sans pouvoir s'échapper, il est à craindre que les voyageurs ne fussent asphyxiés. Or, les puits placés au sommet de la voûte pourraient produire un appel, et parer, il faut l'espérer, à un semblable malheur. Quant à leur position sur le côté, il est vrai qu'elle évite de surcharger la voûte, mais il est évident que l'effet de ces puits, comme ventilation, doit être presque nul puisqu'ils débouchent à la hauteur des pieds-droits; et que si l'on en conserve quelques-uns après l'exécution des travaux, c'est plutôt pour faciliter les réparations ultérieures, que pour produire appel.

Quoi qu'il en soit, le foncement des puits s'effectue par les procédés suivants. Lorsque le travail a lieu dans des roches dures, on les attaque à la poudre, en faisant des havages ou cavités taillées au pic, sous le bloc que l'on veut détacher, et donnant ensuite des coups de mine qui produisent son abatage définitif. Si le sol, quoique dur, donne passage à quelque source, on ménage au fond du puits un puisard, dans lequel ces eaux se rendent et sont extraites, ainsi que les décombres, par des procédés dont il sera question plus loin. Si le terrain que l'on traverse renferme des bancs aquifères ou niveaux, on ne peut plus se contenter de faire des épuisements, parce que les sources étant très-abondantes, ils seraient coûteux, et gêneraient les travailleurs; on a recours à un cuvelage. Le cuvelage consiste en un cadre porteur, composé de fortes poutres, placé dans un terrain solide non perméable, et serré contre les parois, au moyen de coins, afin que l'eau ne puisse passer entre deux; dessus on élève une série de cadres ou une maçonnerie de briques bien rejointoyées. Le cuvelage monte jusqu'au-dessus de la couche aquifère; quand il est terminé on continue de creuser au-dessous sans être gêné par les sources. Dans le cas où le terrain à traverser est ébouleux les procédés de foncement sont différents. On fixe sur le sol un cadre dont les poutres sont engagées dans la paroi du puits; on enfonce des palplanches entre cette paroi et le cadre en leur donnant de l'inclinaison, puis on enlève la terre de l'intérieur du puits. La paroi étant ébouleuse exerce une pression sur les palplanches et les force à se rapprocher de la perpendiculaire; alors on pose un second cadre qui maintient l'extrémité des premières palplanches, et on en plante de nouvelles, en prenant les mêmes précautions jusqu'à ce que l'on arrive à la profondeur assignée. Lorsque le terrain à franchir est très-coulant, on établit à l'orifice du puits un cadre-porteur en bois ou en fonte, et l'on construit dessus, jusqu'à une faible hauteur, une tour en briques; on excave au-dessous, et la tour descend d'elle-même par son propre poids. A mesure qu'elle s'enfonce, on élève la maçonnerie. Quand les couches, plus profondes, ne sont pas assez solides pour soutenir le poids du cadre et de la maçonnerie, on y remédie au moyen de tirants en fer qui sont attachés, d'une part, au cadre inférieur, et de l'autre, au cadre supérieur qui supporte alors tout le poids du revêtement du puits et doit, par conséquent, être convenablement fixé dans le sol. Les moyens de foncement des puits que nous venons d'indiquer sommairement, sont également employés dans l'établissement des puits de MINES; aussi nous renvoyons à cet article (voy. MINES) pour plus de détail. Nous ferons seulement observer que les revêtements ne sont appliqués qu'aux puits qui doivent être conservés après l'achèvement du travail; car ceux qui servent seulement à faciliter le percement et le muraillement du tunnel sont simplement garnis de madriers et de planches pour préserver les ouvriers pendant le court espace de temps qu'ils s'en servent.

Machines d'extraction. Les machines servant à l'extraction des déblais, et aux épuisements, sont d'abord très-simples, en raison de la faible quantité de terre et d'eau qu'elles ont à monter à la surface. Celles qui servent à enlever les déblais sont le plus souvent des cabestans. Ils sont formés d'une pièce horizontale sur laquelle s'enroule la corde à laquelle sont attachées les caisses dans lesquelles on monte les déblais; des chevalets qui supportent le treuil; quatre hommes suffisent pour le manœuvrer au moyen de bras placés à ses extrémités. La caisse qui contient les déblais pèse environ 220 kilogr. toute chargée; on lui donne une forme telle qu'elle puisse être placée sur un chemin de fer et déchargée facilement. Il est de la plus grande importance qu'elle ne puisse pas se détacher, car en tombant elle blesserait les ouvriers; pour éviter ces accidents on se sert de crochets munis de ressorts qui rendent tout glissement de l'anneau impossible. Les eaux sont enlevées au moyen de tonnes suspendues un peu au-dessous de leur centre de gravité, de façon qu'elles peuvent basculer facilement lorsqu'elles sont arrivées à jour, et pour empêcher qu'elles ne déversent pendant leur ascension, elles sont maintenues par un crochet que l'on enlève quand on veut les vider. Elles viennent se remplir dans le puisard que l'on a ménagé au fond de l'excavation. Dans le cas où l'eau arrive abondamment dans le puits, ce moyen d'épuisement est insuffisant; il faut avoir recours aux pompes qui sont employées dans les mines et dont il a été question à l'article MINES.

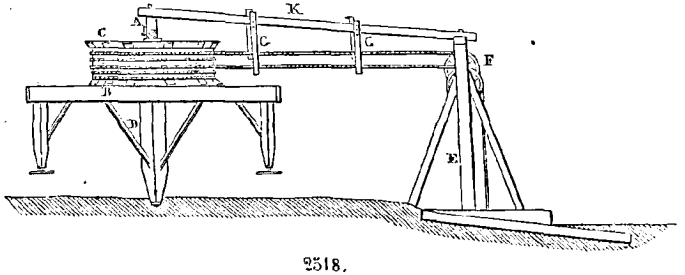
Percement des galeries. Lorsque les puits ont été foncés on s'occupe du percement de la galerie souterraine, qui doit les mettre en rapport et servir au tracé de l'axe ou à l'écoulement des eaux, lorsque l'on se trouve dans des bancs aquifères. Cette galerie s'exécute exactement comme les galeries de mines. On lui donne environ 1^{m},30 à 1^{m},40 de hauteur, 0^{m},78 à 1^{m} de largeur en plafond, et 1^{m},20 à 1^{m},30 à la base. A mesure que les ouvriers s'avancent, ils boisent le terrain, s'ils le jugent nécessaire, au moyen de cadres, si le sol ne pousse pas trop, et au moyen de simples cadres placés de mètre en mètre, avec des madriers, si les couches que l'on tra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

verse sont éboulеuses. Sur le sol de la galerie on établit un chemin de fer, qui porte les petits wagons à l'aide desquels on extrait les déblais. Ces chemins de fer sont formés de fer plat mis de champ, maintenu au moyen de coins en bois dans les traverses. Cette disposition permet d'établir facilement la voie, de la réparer promptement en cas de dégradation, et d'utiliser le fer quand le travail est achevé. Dans les circonstances où la galerie longitudinale sert d'égout, c'est-à-dire a pour but l'écoulement des eaux et des déblais, on ménage dans le sol une rigole de $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur, que l'on recouvre d'un plancher sur lequel on établit la voie ferrée.

Aménagement des travaux. Les terres provenant de cette galerie peuvent encore être extraites, à la rigueur, au moyen de machines, et par les procédés que nous avons indiqués plus haut ; mais lorsque l'on en vient à l'abattage en grand, c'est-à-dire lorsque l'on attaque le massif dans toute la largeur du tunnel, elles ne peuvent plus suffire. C'est à cette époque que l'on établit les cabestans à chevaux, manéges à mortier, et tous les appareils nécessaires au boisage et au muraillement du tunnel. Pour donner une idée de l'ensemble et de l'aménagement de ces travaux préparatoires, qui précèdent le percement réel du tunnel et qui sont une des conditions importantes pour la bonne exécution du travail, nous allons exposer les dispositions adoptées au souterrain de Billy-la-Montagne, sur le canal de l'Aisne à la Marne. La longueur de ce souterrain est d'environ 2,400 mètres ; il est creusé dans un terrain crayeux et aquifère : 12 puits, distants chacun de 200 mètres, servent à l'extraction des déblais et à la descente des matériaux propres à la construction des voûtes et pieds-droits. Vers le point culminant de la montagne et dans un puits spécial, sont placées deux pompes mues par un manége à 4 chevaux ; elles donnent environ 12 à 13^m cubes à l'heure, et sont établies comme les pompes de mines. Dans le puits qu'elles occupent se trouvent des échelles, afin qu'elles puissent être visitées de temps à autre. L'eau élevée ainsi est reçue dans un réservoir, et de là distribuée par une série de conduits qui l'amènent aux manéges à mortier établis sur les deux versants de la montagne. Cette pompe n'est pas suffisante pour enlever toute l'eau qui arrive dans les chantiers, mais le surplus se rend dans la rigole de l'égout, qui a $0^m,50$, et s'échappe par l'une et l'autre tête du souterrain. Elle fournit du reste assez pour qu'à tout instant, et dans tous les chantiers, on en ait constamment une quantité suffisante. Chaque puits est muni d'un cabestan à chevaux, disposé à peu près de la façon indiquée figure 2518 : A, est une pièce en bois servant à maintenir l'axe autour duquel s'enroule la corde, et auquel sont attachés les chevaux au moyen des flèches B ; C est le tambour ; il a $2^m,80$ de diamètre et une hauteur de $0^m,80$ environ. Aux extrémités se trouvent des rebords qui empêchent la corde de glisser de haut en bas ; au milieu, une bande parallèle aux bases sépare la corde montante et la corde descendante. D, est l'axe autour duquel se trouve un frein composé de deux segments, qui se manœuvrent au moyen d'un levier. Ce frein est utile à la descente des matériaux, dans le cas où la charge montante est moins lourde que la charge descendante. G, G, sont des poulies de renvoi. F, sont les poulies qui supportent directement la charge ; elles sont en fonte. Les puits sont divisés en deux compartiments, afin que les bennes ou tonneaux servant à l'enlèvement des déblais ne se rencontrent pas. Elles ont la forme de caisses évasées, munies aux quatre coins de crochets qui reçoivent les chaînes en fer par lesquelles on les attache au câble. Dans le souterrain, on les conduit jusqu'au puits en les plaçant sur une sorte de camion qui roule sur un chemin de fer. Arrivée au-dessus du puits la benne est enlevée au moyen de la corde, et lorsqu'elle arrive à la surface on amène sur l'orifice du puits une plate-forme roulante qui le recouvre. Cette plate-forme porte une voie ferrée sur laquelle se trouve un chariot. On fait descendre la benne, mais cette fois-ci on la suspend, au moyen d'axes en fer placés un peu au dessous du centre de gravité, à deux montants faisant partie du chariot. Afin qu'elle ne verse pas, on la maintient avec un crochet en fer. Cette opération faite, on ramène la plate-forme roulante dans sa première position, on conduit le chariot sur le chemin de fer jusqu'au lieu de départ, et on vide la benne en la faisant pivoter autour de son axe. Ce mode de transport des déblais est économique et expéditif ; c'est pour ces raisons que nous nous sommes un peu étendus dans leur description. Pour compléter le service des puits, il existe un chemin de fer qui règne à l'intérieur dans toute la longueur des travaux, et qui sert à amener à chacun d'eux les matériaux nécessaires. De deux en deux, il y a également un manége à mortier, qui communique par ce même chemin de fer avec les ateliers spéciaux où se fabrique la chaux hydraulique employée dans ces travaux.

Percement du souterrain dans une roche solide. Après avoir exposé la série des dispositions préliminaires nécessaires à l'établissement des tunnels, il nous reste à décrire les procédés de percement et de muraillement usités jusqu'à ce jour, et à donner à ce sujet quelques détails, car c'est dans ces diverses opérations que surgissent les difficultés. Si le terrain est solide, on attaque le tunnel par les deux extrémités, en établissant deux chantiers qui vont à l'encontre l'un de l'autre ; ou bien, si le tunnel est pressé, comme dans les circonstances d'un tunnel de chemin de fer, on creuse des puits à différentes distances et l'on multiplie les chantiers. L'abattage de la roche se fait de la manière suivante : on divise le massif en gradins afin que les ouvriers puissent



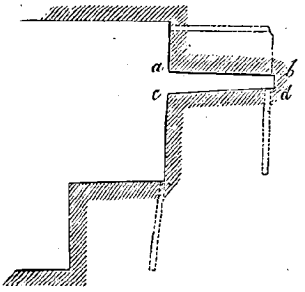
2518.

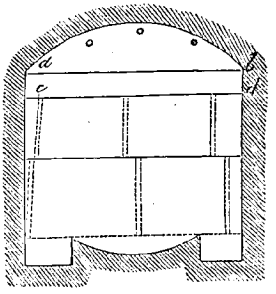
travailler à différentes hauteurs et en grand nombre. Ordinairement pour une galerie dont la hauteur est de 5 mètres, on établit huit niveaux différents. On entame le gradin supérieur au moyen d'un havage, *a b c d*, ou cavité faite au pic ou à la pointerolle (fig. 2519 et 2520), puis avec un fleuret on perce trois ou quatre coups de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mine, suivant la hauteur de la roche ; il en est de même pour les autres gradins, mais on peut se dispenser de faire un havage, parce que le massif se trouve débité sur plusieurs faces. Lorsque les trous de mine ont atteint 1 mètre de profondeur au plus, on les charge avec une cartouche, puis on y met le feu avec des mèches soufrées, afin que les ouvriers aient le temps de se retirer et d'éviter les éclats provenant de l'explosion. Tous les coups de mine doivent être tirés à la même époque, lorsqu'un atelier vient en relever un autre ; de cette façon on évite beaucoup d'accidents.

2519.

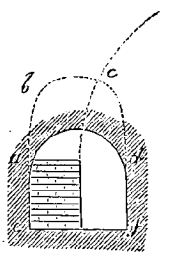




2520.

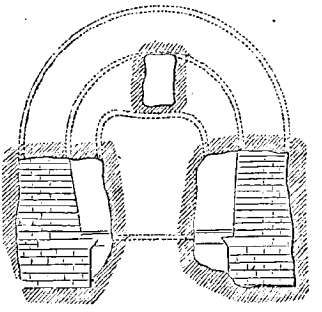
Le revêtement ne se fait que lorsque la roche est fissurée et n'offre pas assez de sécurité dans certains passages, ou bien dans le cas où elle vient à se déliter au contact de l'air, comme cela est arrivé aux souterrains du canal de Saint-Quentin, de Rolleboise et de Terre-Noire. Alors il n'offre aucune difficulté, puisque les terres se soutiennent d'elles-mêmes ; mais ces circonstances sont assez rares. Le plus souvent l'on rencontre des terrains qui sont éboulueux. Voici les moyens qui ont été mis en usage, en parlant d'abord des plus anciens et des moins parfaits.

Percement dans un terrain sans consistance. Au canal de Saint-Quentin on commença par construire les pieds-droits, puis une suite de voûtes que l'on raccorda les unes avec les autres Ainsi on fonça des puits de chaque côté du souterrain, en les conduisant jusqu'au niveau où devaient se trouver les pieds-droits; de l'un à l'autre et de chaque côté de l'axe l'on creusait une galerie boisée ou non, suivant la nécessité, on lui donnait la hauteur du pied-droit, que l'on établissait de suite. Lorsque cette construction était achevée de chaque côté, on perçait une galerie transversale faisant communiquer entre elles les deux premières ; le ciel de cette nouvelle galerie était soutenu par des boisages d'abord, et remplacé ensuite par une voûte en moellons qui reposait sur la maçonnerie déjà faite. Lorsque cette manière de procéder ne réussissait pas, on creusait (fig. 2521) une galerie *abcd*, au-dessus de la première, dans laquelle se trouvaient construits les pieds-droits, et dont on comblait les vides au moyen des déblais de celle qui lui était supérieure. Cette nouvelle galerie servait à l'établissement d'une première portion de voûte. Quand celle-ci était achevée, on en construisait une seconde de la même manière, et des deux côtés, jusqu'à ce qu'on arrivât à la clef. Cette méthode a parfaitement réussi, mais elle est très coûteuse ; aussi au canal de Bourgogne s'y est-on pris un peu différemment. Après avoir creusé les puits, on perçait successivement trois galeries. Deux de chaque côté, ayant 3 mètres de large sur 2m,50 de hauteur, devaient servir à la construction des pieds-droits jusqu'aux naissances ; la troisième, ayant 2 mètres de hauteur sur 1m,50 de large, fut établie au sommet de la voûte, un peu au-dessous du revêtement en maçonnerie, comme on peut le voir dans la fig. 2522.



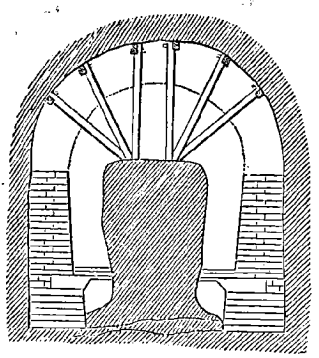
2521.

2522.

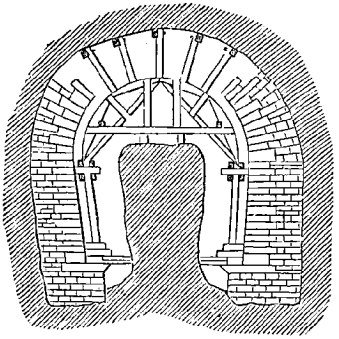


C'est par cette galerie qu'on se débarrassa des déblais provenant de l'abattage des couronnements et des galeries supérieures, opération qui vint immédiatement après l'élévation des pieds-droits jusqu'aux naissances. Afin que les terres ne s'éboulassent pas, il a suffi de les maintenir au moyen de longrines soutenues elles-mêmes par des pièces de bois placées en éventail, et venant buter contre le massif du milieu (fig. 2523). L'excavation avait alors plus de 5 mètres de diamètre. Ces supports n'étaient que provisoires, et on y substituait bientôt des étais distants de 5 mètres entre eux, sur lesquels on posait des couchis. On y fixait aussi de nouveaux étais disposés de la même façon que les premiers, mais plus courts, comme il est indiqué dans la figure 2524. A mesure que l'on avançait dans la construction de la voûte, on retirait un étai que l'on remplaçait par de la maçonnerie, dont l'épaisseur variait

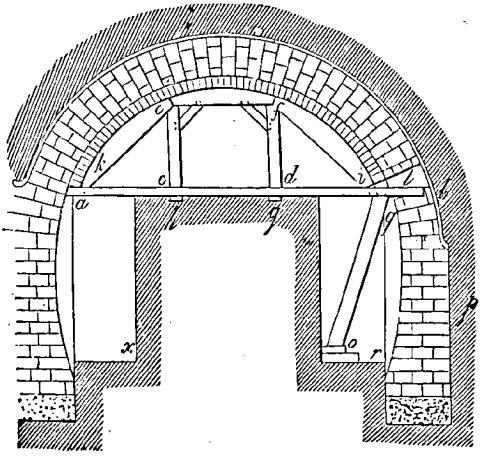
EFERUS - Recherche & Classification numérique



2523.



2524.



2525.

suivant la résistance du terrain. Le tout était recouvert d'une chape en mortier, afin que l'eau ne pénétrât pas. Comme pour construire la voûte on était obligé d'enlever beaucoup plus de terre qu'il n'était nécessaire à son épaisseur, on comblait les espaces vides avec des matériaux de remplissage. Lorsqu'elle était achevée, il ne restait plus qu'à abattre le massif intérieur, qui était d'ailleurs déjà recoupé par des galeries transversales faisant communiquer une galerie avec une autre.

Les méthodes que nous venons de décrire étaient usitées autrefois, mais depuis l'établissement des chemins de fer on en a imaginé une toute opposée, plus expéditive et plus économique, qui est généralement adoptée maintenant, et qui a été employée au souterrain des Batignolles. Elle consiste à établir la voûte d'abord, puis à construire les pieds-droits postérieurement par des procédés qui varient peu d'un tunnel à l'autre.

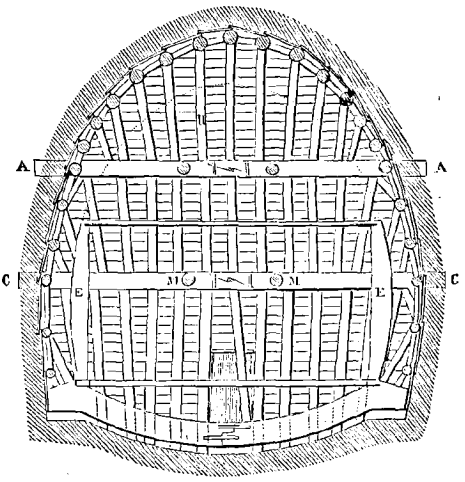
On commence par foncer des puits de 100 en 100 mètres, on les fait communiquer par une galerie qui vient les couper normalement, un peu au dessous du point où se trouvera la clef plus tard. C'est au moyen de cette galerie dont on maintient le toit et les côtés par des cadres et des madriers que l'on fait arriver les déblais jusqu'aux puits par lesquels ils sont enlevés à l'extérieur; on se sert pour cela de chariots roulant sur un chemin de fer. Quand le souterrain est ainsi ouvert dans toute sa longueur, entre deux châssis, à peu près au milieu de l'intervalle séparant deux puits, on enlève la terre des côtés en donnant à l'excavation la forme et les dimensions que devra avoir la voûte avec son revêtement. On maintient le ciel avec des étrésillons placés en éventail et reposant sur une semelle. Quand il est suffisamment soutenu, on enlève les châssis et tous les étais que l'on remplace à mesure par des cintres (fig. 2525); ces cintres sont composés d'un cadre reposant sur deux madriers *h*, *g*; de deux moises doubles prenant les pieds du cadre auquel elles sont boulonnées. La pièce transversale supérieure, consolidée par deux goussets, a la même forme que l'intrados de la voûte, et reçoit des couchis de 0m,20 d'épaisseur. Pour former le reste on fait usage de vaux *i* et *k* ayant 0m,54 d'épaisseur en leur milieu : ils s'assemblent d'une part sur le cadre, de l'autre avec les semelles *a b*. Aux extrémités des semelles on place un coin sur lequel s'appuie la retombée de la voûte; la surface de ce coin est inclinée suivant un des rayons. Les cintres une fois en place on passe de suite à la construction du revêtement que l'on entame de droite et de gauche en marchant vers la clef. Lorsque l'on arrive à ce point on ne place pas les couchis parce que les maçons seraient trop gênés; on se sert de morceaux de bois taillés en queue d'hironde s'appuyant sur les deux couchis voisins. L'ouvrier les pose à mesure qu'il se retire en arrière. Le ciel de l'excavation est étayé au moyen de poutres placées debout, que l'on cale sur les couchis des cintres, et que l'on enlève à mesure que la maçonnerie avance. Celle-ci une fois achevée, le travail n'offre plus de danger puisque le ciel est maintenu; on s'occupe alors de l'élévation des pieds-droits. Voici comment cette opération s'effectue : on enlève le massif *d o r q* en laissant cependant un appui pour l'extrémité des semelles *a b* puis on soutient cette semelle à l'aide d'une pièce *o q* que l'on serre avec des coins placés en *o* et dirigés dans un sens opposé l'un à l'autre. Lorsque la voûte est soutenue, au droit des fermes, par le massif de terre *h g o x*, les étais *o q*, et dans l'intervalle de ces fermes par les couchis, on enlève le massif *r g b p* et l'on construit le piedroit avec rapidité jusqu'aux couchis que l'on détruit par parties et que l'on remplace par une assise en moellons; les coins sont ensuite enlevés et les cavités qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

renferment l'about des semelles sont bouchées. Ce travail termine le muraillement et il ne reste plus qu'à enlever le massif du milieu, ce qui se fait avec la plus grande facilité au moyen de voies de fer.

Au souterrain de Billy-la-Montagne et dans ceux que l'on perce actuellement sur le chemin de Paris à Strasbourg, on commence également par construire la voûte et l'on fait ensuite les pieds-droits, mais les procédés sont un peu plus simples. Au souterrain de Billy on soutient le ciel par un boisage provisoire; les cintres qui le remplacent sont formés de quatre parties, ayant la forme de voussoirs; elles s'assemblent les unes avec les autres au moyen de coins que l'on enfonce dans des entailles ménagées dans les pièces en contact; leur montage et démontage est ainsi très facile et l'on a néanmoins toute la solidité désirable. Quant aux pieds-droits ils se construisent en enlevant portion par portion le massif qui soutient la retombée de la voûte et remplaçant chaque partie excavée par de la maçonnerie.

Percement dans un terrain éboulueux et aquifère. Jusqu'ici nous avons bien supposé que le terrain était éboulueux, mais nous n'avons pas considéré le cas où l'on était en outre gêné par les eaux; c'est alors que le percement est difficile et demande la plus grande habileté. Un tunnel dans ces circonstances est au niveau de la nappe d'eau ou au-dessous. Si les eaux se trouvent à la hauteur de l'excavation, on ouvre une galerie dans l'axe du souterrain, en la boisant à mesure que l'on avance et la poussant jusqu'aux deux têtes afin d'avoir un écoulement. On la creuse également jusqu'à ce que l'on ait abaissé la nappe au-dessous du fond du souterrain. Si les eaux sont plus élevées que l'extrados de la voûte on ne place plus la galerie ou égout dans l'axe, car elle trancherait le ciel de l'excavation et rendrait le travail très dangereux; il est nécessaire dans ce cas de l'établir sur le côté, parallèlement à la direction là où l'eau est la plus abondante. Dans ce cas comme dans le précédent, on se débarrasse des sources en approfondissant la rigole jusqu'au-dessous de l'emplacement futur des pieds-droits et en perçant des boyaux de communication qui servent à l'enlèvement des déblais et à l'approche des matériaux. Les puits sont foncés à l'aplomb de la galerie dont on recouvre le fond avec un plancher en ménageant toutefois une rigole. Tels sont les procédés généraux en usage lorsque l'on est gêné par la poussée des terres et l'envahissement des eaux; pour mieux faire comprendre leur application nous allons prendre deux exemples : ceux de Bleckingley et de Saltwood au chemin de fer de Londres à Douvres. Ces tunnels étant creusés dans une argile qui se gonflait et occasionnait parfois une poussée considérable, il fut jugé nécessaire de construire un radier ou voûte renversée qui réunît les pieds-droits à leur base et empêchât leur glissement l'un contre l'autre. Mais à cause de cette circonstance, ce percement ne s'effectua pas par les procédés analogues à ceux que nous avons décrits jusqu'à présent. En outre on fit en briques le revêtement dont l'épaisseur varie de 0m,57 à 0m,915. Voici comment on s'y prit. Les puits ayant été foncés et boisés sur toute la ligne, on creusa l'égout à travers la colline au bas du tunnel, de façon que les eaux s'écoulassent par la pente naturelle du pays. Le terrain était soutenu au moyen de cadres distants de 1m, formés de pièces de bois rondes de 0m,115 environ, s'assemblant à tenons et mortaises en haut dans un chapeau, en bas dans une semelle ou patin. Le plafond et les parois latérales étaient garnis de planches épaisses bien ajustées, et farcies de paille afin d'éviter que le sable ne coulât et n'occasionnât des tassements. Quand le terrain fut convenablement asséché au moyen de ce conduit on pratiqua au fond de chaque puits une petite galerie de 3m,66 de longueur de chaque côté, au sommet du tunnel projeté, dans la direction de l'axe : la hauteur était suffisante pour qu'un homme pût s'y tenir debout, la largeur était de 0m,915. Si cette galerie n'était pas assez solide on faisait un boisage provisoire, en le disposant toutefois de manière qu'il pût servir à la grande galerie. Ceci fait, on encastrait dans des entailles une pièce de bois s'appuyant d'une part au fond de la galerie, sur un pied vertical et solide, de l'autre sur le boisage du puits. On élargissait la galerie à droite et à gauche de cette pièce centrale de couronnement et on posait à mesure des pièces parallèles à cette dernière; l'intervalle entre deux pièces parallèles était rempli par des planches transversales épaisses, très serrées les unes contre les autres et garnies de paille. Lorsque le ciel de l'excavation était convenablement soutenu, on enlevait la terre peu à peu, mais il fallait



2526.

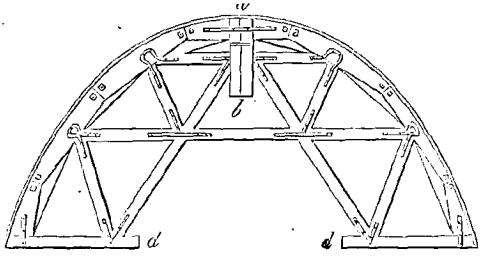
supporter les abouts des pièces de couronnement; pour cela on plaçait sur le sol une forte semelle AA (fig. 2526) formée de pièces de bois assemblées par un trait de Jupiter et consolidées avec des équerres en fer. Cette semelle recevait des poutres placées debout qui supportaient les pièces de couronnement et remplaçaient la terre qui s'éboulait, si le terrain était très mauvais on garnissait le front de l'excavation de planches que l'on maintenait au moyen de pièces inclinées qui venaient buter contre elles. Chaque étai était bien dressé afin qu'il fût plus solide et cloué à sa base sur les semelles, assez fortes pour supporter tout le poids de la partie supérieure. Des bois transversaux M, M, maintenaient les semelles entre elles. Quand la galerie supérieure était achevée de la façon que nous venons d'indiquer il fallait faire au-dessous une excavation semblable à la précédente et établir une base C, C. On ouvrait alors un passage étroit au milieu, on posait de suite des étais provisoires reposant sur des planches; et on les remplaçait ensuite par les étais définitifs s'appuyant sur la base C, C. Enfin on faisait une troisième trouée par les mêmes procédés, seulement le blindage s'appuyait sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TUNNEL.

le sol ayant exactement la forme du radier, ce que l'on obtenait au moyen d'un gabari. Pour donner au tunnel exactement les formes et les dimensions arrêtées, on employait un fil à plomb suspendu au sommet de la galerie et portant des nœuds de 0m,30 en 0m,30 ; à chaque nœud correspondait un fil horizontal dont la longueur fixée d'avance sur l'épure, indiquait la quantité de terre à enlever. On tenait compte cependant de l'épaisseur des planches interposées entre la paroi et le boisage.

Pour exécuter le muraillement ou revêtement on construisit d'abord la voûte renversée en faisant usage du gabari représenté fig. 2526. Il devait servir de guide aux maçons, était en bois, et avait exactement la courbure du radier dont l'épaisseur était de 0m,30. A Saltwood, les briques étaient taillées, à Bleckingley elles furent faites exprès. Pour construire les pieds-droits avec la forme indiquée sur l'épure, on employa encore un gabari, composé de deux pièces E, E, ayant l'inclinaison voulue; ces pièces de 0m,75 de large s'assemblaient sur le gabari du radier et étaient maintenues dans leur écartement au moyen des traverses G, G, auxquelles elles étaient fixées à l'aide d'une fourchette et d'un boulon. A mesure que le muraillement avançait on enlevait le boisage qui n'était plus utile; les vides entre la paroi et le mur étaient exactement remplis, afin d'éviter la force vive que peuvent acquérir les terres en s'éboulant sur le revêtement, et qui occasionnent quelquefois de graves accidents. Les pieds-droits étant élevés à la hauteur convenable on plaçait le cintre qui devait supporter la voûte en construction. Il se composait de deux segments a, b (fig. 2527), réunis à leur sommet au moyen de coins; les vaux étaient faits avec de forts madriers réunis deux à deux par des boulons : les semelles d, d', reposaient sur une base dont les abouts étaient encastrés dans les pieds-droits et soutenue de distance en distance par des étais verticaux. Entre la base et les semelles d, d', on intercalait des coins, afin de pouvoir faire monter cette charpente au niveau convenable. Le cintre une fois posé, la maçonnerie se continuait facilement, attendu que chaque brique était taillée d'avance; il n'y avait plus qu'à veiller à ce que le projet fût exactement exécuté. A mesure que le revêtement avançait, on reculait les pièces d'étais horizontales de couronnement que l'on faisait servir à la division suivante, en les appuyant, partie sur la maçonnerie déjà exécutée, partie sur les étais qui servaient à maintenir le ciel du chantier voisin. Chaque portion muraillée avait 3 à 4 mètres de longueur; c'était ce qu'on appelait une division. La division que l'on attaquait à côté avait les mêmes dimensions; deux chantiers marchaient en sens contraire de part et d'autre du puits.



2527.

Au souterrain de Saltwood, au lieu de faire usage des cintres précédents on s'est servi d'un système de cintres roulants que l'on pouvait, à l'aide d'un chemin de fer, transporter d'un chantier à un autre. Cet appareil mobile est plus économique que les charpentes ordinairement en usage, et exige peut-être moins de main-d'œuvre; il laisse plus d'espace libre aux ouvriers et permet d'attaquer la roche à la poudre; mais si le terrain pousse, ou présente peu de consistance, il n'est pas assez solide. En général, on préfère employer des cintres plus forts qui présentent plus de garanties pour la sûreté des ouvriers et la bonne exécution du travail; mais il est indispensable qu'ils joignent à la force une grande facilité dans le montage et le démontage. Ce sont ces qualités que M. Telfort a su réunir dans ceux qu'il a imaginés pour le tunnel d'Harecastle, sur le canal de Trent et Mersey. Cet habile ingénieur avait fait creuser, sur la longueur du tunnel, quinze puits de 40 à 50 mètres de profondeur. Pour atteindre le fond de l'excavation projetée, au bas de chaque puits on avait établi un atelier : deux autres occupaient les extrémités, on attaquait d'abord l'emplacement des pieds-droits, puis on excavait toute la section en montant immédiatement les cintres. Ils étaient en fonte, formés de seize pièces, ayant la forme de voussoirs et s'assemblant l'une avec l'autre, au moyen de boulons, ce qui permettait de les faire descendre facilement par les puits et de les monter avec promptitude. Au point où la voûte commençait, le cintre formait une échancrure et avait un rayon moins grand, afin de recevoir les madriers ou vaux, qui supportent la maçonnerie. Les parois de l'excavation étaient soutenues par des étais butés d'abord contre les cintres, puis contre les madriers qui étaient placés aussitôt que deux cintres étaient ajustés.

Jusqu'ici nous avons supposé que les terrains à traverser se soutenaient encore un peu d'eux-mêmes et que l'on pouvait se débarrasser de l'eau qui affluait dans les chantiers. Cependant, il est certaines circonstances où les couches, que l'on est contraint de franchir, sont meubles, et, pour ainsi dire, fluides; et où enfin l'on est obligé de travailler sous une nappe d'eau. C'est ce qui est arrivé au percement du tunnel de la Tamise : sans décrire les travaux de ce magnifique ouvrage nous allons parler des procédés qui ont été mis en usage dans ces circonstances, parce qu'ils peuvent recevoir d'utiles applications dans des constructions moins importantes et sur une plus petite échelle. Ce travail fut commencé en 1824. Les sondages que l'on fit alors apprirent qu'il existait au-dessous de la Tamise une couche d'argile, qui permettait de tenter le passage au-dessous du fleuve, mais que plus bas il existait un banc de sables aquifères qui n'avait pas moins de 15 mètres. Il fallait donc se tenir entre ces deux couches et éviter, d'une part, l'invasion de l'eau, produite par la rupture de la couche protectrice, de l'autre, le banc de sable dans lequel il aurait été impossible de s'établir à cause de son peu de consistance et de sa perméabilité. A 35 mètres du fleuve, on creusa un puits de 16 mètres qui devait conduire à l'entrée du tunnel. Pour le murailler, on établit sur un cercle en fonte une tour en briques de 0m,90 d'épaisseur, on enleva le terrain placé dessous, avec de grandes précautions, et on la fit descendre petit à petit, jusqu'à 10 mètres; à cette profondeur, on rencontra une couche solide et l'on put murailler directement; à 20 mètres, on retrouva encore les sables, et l'on fut contraint de construire une nouvelle tour que l'on descendit jusqu'à 8 mètres, et qui devait servir de puisard. Pour percer la galerie, les procédés ordinaires n'étaient pas applicables, en raison de la grandeur de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'excavation, qui devait avoir 10 mètres de largeur sur 6m,30 de hauteur, et de la mauvaise qualité du sol. M. Brunel imagina alors un appareil appelé bouclier. Il consiste en douze châssis en fonte placés l'un à côté de l'autre; chaque châssis, divisé en trois compartiments, formant trois étages, contenant chacun un ouvrier; il est buté contre la maçonnerie, déjà faite, au moyen de vis de pression, qui servent à le faire avancer quand il le faut. Le terrain est maintenu en haut, et latéralement, par des planchettes s'appuyant sur les châssis. Quand un ouvrier veut excaver, il desserre la vis qui retenait chaque planchette contre le terrain et enlève 0m,20 de terre environ. Cela fait, il replace la planche contre la paroi de l'excavation et la maintient de nouveau au moyen de la vis. Lorsque tous les ouvriers ont excavé 0m,20 dans toute la hauteur, on fait avancer les cadres, au moyen des grandes vis de pression appuyées contre la voûte faite, et l'on effectue le muraillement partiel. Un chariot sert à amener les matériaux et à enlever les déblais. Malgré de nombreuses difficultés on avança d'abord de 160 mètres en dix-huit mois; mais lorsque l'on arriva vers le milieu du fleuve, la couche d'argile devint si mince qu'elle ne put empêcher les infiltrations; il se forma même un entonnoir, dans lequel s'élança l'eau du fleuve qui envahit les travaux. Pour combler le trou il fallut jeter dans le lit du fleuve 3000 mètres cubes d'argile, qui formèrent une couche résistante et permirent, à l'aide d'épuisements, de rentrer dans la partie déjà faite. Enfin, après de nouvelles irruptions de la Tamise, moins graves il est vrai, cet important travail fut achevé, et le 25 mars 1843, il fut livré à la circulation.

Tels sont les divers moyens d'excavation et de muraillement usités dans les terrains solides et ébouleux. Il nous reste maintenant, pour terminer ce qui regarde l'établissement des tunnels, à parler de la manière dont on relie les puits avec la voûte, de la construction des entrées, et enfin de l'établissement des égouts.

Lorsque les puits ont été percés dans l'axe du souterrain, si le sol est assez résistant on se contente d'un simple boisage fait avec des cadres et des planches; ce n'est que lorsque la voûte est terminée que l'on commence le muraillement de ces puits. Généralement, la jonction se fait avec de la pierre de taille et n'offre pas de difficultés; cependant lorsque celle-ci est rare, on fait usage d'anneaux en fonte sur lesquels on élève la maçonnerie. Au chemin de Londres à Birmingham, M. Stephenson s'est servi d'un anneau composé de quatre segments, assemblés entre eux, au moyen de boulons et d'écrous. Leur diamètre intérieur était de 2m,75, comme celui du puits; la partie plane supérieure présentait une surface de 0m,38, sur laquelle on plaçait les briques. Lorsque le revêtement est terminé à l'intérieur on l'élève à l'extérieur de 2 ou 3 mètres au-dessus du sol, afin qu'il ne tombe pas, ou qu'on ne jette pas, par leur orifice, quelques corps capables d'occasionner des accidents, et on le garnit d'un grillage en fer. Quand les puits ont été muraillés, à l'époque de leur fonçage, on a soutenu le revêtement par un cadre solidement engagé dans le terrain; il n'y a plus alors qu'un simple raccordement à faire pour atteindre ce cadre. Enfin, les puits qui ne doivent pas servir à la ventilation sont comblés; pour maintenir la masse des terres qu'on y jette, et qui est sans consistance, on établit une voûte en décharge qui supporte leur poids.

L'entrée des tunnels n'offre rien de particulier. Le plus souvent les têtes sont faites en pierre de taille; quand celle-ci fait défaut et que l'on a employé la brique, on peut, comme au chemin de Rouen, ou sur quelques chemins de fer belges, orner le mur de créneaux et de tourelles, ce qui donne à l'ouvrage un aspect moyen âge. En général, on cherche à réunir l'élégance et la solidité. Chaque entrée est munie de murs en aile : afin de retenir les terres des talus qui portent eux-mêmes des banquettes, en raison de leur hauteur, on donne ainsi plus de consistance aux terres.

Dans le cas où le souterrain est construit dans des couches aquifères, on revêt la voûte d'une chape, soit en mortier, soit en bitume, et quelquefois avec des plaques de zinc cannelé. D'espace en espace on ménage des caniveaux dans les pieds-droits, afin d'amener les eaux de la chape dans un égout, construit dans l'axe; en outre, on jette sur le radier des débris de tuile ou des cailloux, et par dessus une couche de sable qui supporte les traverses. Les eaux qui suintent par la voûte et les pieds-droits s'infiltrent à travers les interstices du sol poreux et se rendent dans l'égout, au moyen d'ouvertures ménagées à cet effet; elles sont ensuite conduites dans la vallée par des rigoles qui les déversent dans quelque ruisseau.

A. LE ROY.

TURBINE. Voyez HYDRAULIQUE.

TUYAU (*angl.* pipe, *all.* rohr). Les tuyaux que l'on emploie dans les arts sont de nature très variée; les plus employés sont les suivants :

Tuyaux en bois. Ces tuyaux, employés surtout pour le tubage des trous de sonde peu profonds, sont formés de troncs d'arbres percés avec des tarières, et ordinairement assemblés par emboîture cylindrique à mi-bois, en les reliant souvent en outre par des bandes de tôle ou même un manchon de métal noyé dans l'épaisseur du bois.

Tuyaux en grès et en terre cuite. On donne ordinairement à ces tuyaux une forme un peu conique afin qu'ils puissent s'emboîter les uns dans les autres. Depuis peu de temps on en fait de grandes dimensions par un procédé très simple absolument analogue à celui employé pour fabriquer le macaroni (voyez POTERIE). Dans ce dernier cas on les assemble au moyen d'un manchon qui recouvre le joint. Ces tuyaux sont surtout employés pour les conduites d'eau.

Tuyaux en verre. Dans ces derniers temps on a proposé et même employé dans quelques localités des tuyaux de verre pour former des conduites de gaz. L'usage de ces tuyaux ne paraît pas devoir se répandre surtout depuis l'emploi des tuyaux en tôle avec enduit de bitume.

Tuyaux en plomb. Les tuyaux de plomb qui se fabriquaient autrefois à l'aide du banc à tirer ou du laminoir, se font aujourd'hui avec une grande économie à la presse hydraulique.

Le plomb, refoulé à travers une lunette analogue à celles qui servent aux machines à l'aide desquelles on fabrique les tuyaux de drainage, est traité comme on traite l'argile dans ce cas (Voy. *Compl.*, TUYAU.)

Tuyaux en zinc. Les tuyaux en zinc, peu employés jusqu'à ce jour, sauf pour la conduite des eaux sulfureuses, sont fabriqués sous forme de tuyaux agrafés en les faisant passer au banc à tirer à travers une filière portant des rainures en plan incliné qui recourbent peu à peu les bords et forment l'agrafe sans déchirure, vu la lenteur des actions successives.

Tuyaux en cuivre. Les tuyaux en cuivre rouge, étamés ou non à l'intérieur, ont presque partout remplacé pour conduites de pompes, etc., les tuyaux en plomb, comme étant plus légers, par suite moins coûteux, plus durables, et, selon la croyance publique, moins dangereux lorsque les eaux qu'ils conduisent doivent servir de boisson. On les fait du reste avec une bande de cuivre laminé enroulée sur un mandrin et dont les bords sont soudés à recouvrement; on les allonge par étirage. Ces tuyaux, lorsqu'ils sont d'un faible diamètre, sont aussi employés dans la confection des chaudières à vapeur tubulaires, telles que les chaudières locomotives; dans ce cas, on les fait souvent en cuivre jaune ou laiton; lorsque ces tuyaux doivent être d'un diamètre assez fort, comme 0m,10 à 0m,15, et servir de tubes calorifères dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des chaudières à vapeur à haute pression; ils doivent être proscrits et remplacés par des tubes en fer soudés à recouvrement, des expériences faites avec grand soin, ayant démontré que ces tuyaux de cuivre s'écrasaient très-fréquemment sous la pression du dehors en dedans à laquelle ils se trouvaient soumis, ce qui pouvait donner lieu à de graves accidents (voir *Ann. des Mines*, 4e livr. de 1846).

Tuyaux en fonte. Les tuyaux en fonte sont depuis longues années presque exclusivement employés pour les grandes conduites de distribution d'eau et de gaz dans les villes. Autrefois, et encore maintenant dans beaucoup d'usines, on coulait ces tuyaux dans une position horizontale ou plus ou moins inclinée; il en résultait toujours un soulèvement du noyau et par suite une inégalité d'épaisseur dans les parois qui était cause que l'essai à la presse hydraulique faisait toujours rejeter une proportion assez considérable de ces tuyaux et causait ainsi une perte notable au fabricant. Depuis plusieurs années, dans les adjudications pour la fourniture des tuyaux destinés au service des eaux de la ville de Paris, l'administration, dans le but d'améliorer la fabrication, a exigé que les tuyaux de conduite seraient dorénavant coulés verticalement et en syphon, ce qui nécessite, il est vrai, un matériel un peu différent, mais a l'avantage de parer aux inconvénients ci-dessus signalés. Même quand les tuyaux de fonte sont sans défaut, il arrive quelquefois que la fonte est assez poreuse pour laisser suinter l'eau sous une charge un peu forte, ou que les eaux forment peu à peu dans l'intérieur des tuyaux des dépôts qui finissent par les obstruer ou au moins par en diminuer considérablement le débit. On peut remédier à ces deux accidents d'une manière aussi simple que facile, en imprégnant les tuyaux à la presse hydraulique ou avec une forte presse, avant leur mise en place, d'une huile siccative, telle que l'huile de lin, par exemple, comme l'a fait le premier, avec le plus grand succès, M. l'ingénieur en chef des mines Juncker, aux tuyaux de conduite des belles machines à colonne d'eau qu'il a établies à Huelgoat.

Autrefois les tuyaux en fonte s'assemblaient au moyen de brides que l'on serrait avec des vis et des écrous en fer avec interposition d'une rondelle de plomb ou d'un toron de filasse imprégné de mastic de minium. On remplace maintenant souvent, dans les tuyaux de conduite, les brides par un emboîtement légèrement conique; on enfonce le tuyau mâle jusque près du fond de l'emboîtement, et l'on remplit le joint d'abord avec de la corde goudronnée et mattée, puis avec du plomb qu'on matte aussi au dehors, ce qui rend le joint imperméable. Cet assemblage se prête aux effets de la dilatation qui, sans cela, dans une conduite un peu longue, pourrait disjoindre les tuyaux, et oblige dans les assemblages à brides à interposer de distance en distance un joint compensateur fait à l'aide d'un manchon de recouvrement.

Tuyaux en fer. Depuis assez longtemps on fabrique en Angleterre des tubes soudés à recouvrement pour tubes caloriféres de chaudières à vapeur, etc. Cette fabrication qui commence à se répandre dans notre pays, se fait en opérant le soudage au moyen d'une filière ou paire de cylindres dont le supérieur est à gorge et opère le soudage des bords, tandis que l'inférieur supporte le chariot sur lequel est fixé le tube préalablement chauffé et dans lequel on introduit au besoin un mandrin pour empêcher la déformation du tube.

Ce mandrin a été remplacé avec avantage par une espèce d'œuf qui ne peut passer à travers la filière et est porté par une tige mince. Les bords du tube étant pressés entre cet œuf et la filière, la soudure s'opère au blanc soudant, et la double épaisseur s'efface par des passes ultérieures. Ce procédé, inventé par MM. Russel, a été importé en France par M. Gandillot.

Tuyaux en tôle. Les tuyaux en tôle servent à l'écoulement de la fumée dans les poêles, au tubage provisoire des trous de sonde, etc. On les assemble à recouvrement, c'est à-dire que les bords de la tôle cintrée sont réunis par des rivets; ces tuyaux étaient réunis bout à bout, à recouvrement, avec ou sans rivets. M. Ledru a cherché à remplacer les rivets par une espèce de pli obtenu par l'étirage à froid et une forte pression.

TUYAUX EN TOLE ET BITUME. Les conduites en grès ou en terre cuite se brisent au moindre choc, s'assemblent mal, ne peuvent s'embrancher solidement, et ne résistent que peu ou point à la pression des fluides.

Les conduites en fonte sont poreuses, oxydables, laissent échapper une partie des gaz, surtout s'ils sont soumis à une pression de deux ou trois atmosphères, s'embranchent difficilement, et, ne pouvant se souder, ne présentent jamais qu'un assemblage imparfait. Les conduites en plomb coûtent fort cher, s'écrasent très souvent si leurs parois ne sont pas d'une épaisseur convenable, ce qui devient alors très dispendieux.

Il était donc tout naturel que l'industrie s'occupât de créer un genre de conduite qui ne présentât aucun des inconvénients ci-dessus, et cependant pût être livré au consommateur à un prix modéré; avantage d'autant plus précieux, que l'emploi de pareils produits a presque toujours lieu sur une grande échelle.

Ce problème semble avoir été résolu victorieusement par M. Chameroy, breveté pour des *tuyaux en tôle et bitume*.

Nous allons rapidement décrire leur fabrication, qui n'offre rien de bien extraordinaire en elle-même, mais dont la perfection repose sur le soin extrême apporté à chacune de ses parties, et sur l'heureuse application d'outils et de procédés spécialement inventés pour leur usage.

Le diamètre des tuyaux de tôle et bitume varie de puis 27 millimètres jusqu'à 40 centimètres; dans ces limites, on emploie de la tôle de 1 à 2 millimètres d'épaisseur. Même dans le cas des plus fortes conduites, cette dernière épaisseur a été reconnue suffisante.

La tôle bien décapée dans un bain acidulé est étamée au plomb sur ses bords, puis courbée dans un laminoir à trois cylindres, dont elle sort avec la forme et la dimension du tuyau qu'on veut fabriquer.

On écarte les lèvres du tuyau, et un emporte-pièce fort ingénieux perce à la fois sur leurs deux bords les trous destinés aux rivets. Les trous ainsi obtenus se superposent parfaitement lorsque le tuyau vient à se refermer. Les rivets, en fer étamé, sont placés au marteau.

A l'une des extrémités du tuyau on pratique, au moyen de deux cylindres en fonte, portant des cannelures inverses l'une de l'autre à leur extrémité, roulant l'un sur l'autre, une gorge évasée dont nous verrons l'emploi tout à l'heure.

Enfin, l'on soude avec soin le joint du tuyau.

Nous arrivons maintenant à la série d'opérations qui constitue réellement l'invention de M. Chameroy.

Nous avons vu qu'une des extrémités du tuyau présentait une gorge évasée : dans cette gorge on coule, au moyen d'un moule intérieur en fonte soutenu par un bouchon de sable, un écrou en métal dur, inoxydable, assez semblable pour sa composition à celui des caractères d'imprimerie, mais cependant rendu plus résistant par l'addition d'un peu de cuivre rosette. A l'autre extrémité on coule de même, mais extérieurement, un pas de vis, de telle sorte que les tuyaux s'assemblent en se vissant l'un au bout de l'autre, mode d'assemblage supérieur à tous ceux employés jusqu'à ce jour. Le joint est rendu encore plus intime et s'exécute rapi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dement lors la pose, au moyen d'un enduit composé d'huile et de minium.

Des doutes pourraient être conçus sur l'adhérence de ce métal coulé ainsi à la surface de la tôle étamée; voici un fait de nature à convaincre les plus incrédules :

Pour fondre les écrous des tuyaux de gros diamètre, M. Chameroy emploie aujourd'hui un moule en fonte, une vis modèle brisée en trois parties qui s'enlèvent isolément avec la plus grande facilité après le refroidissement; mais avant cette invention, il se servait d'un moule d'une seule pièce qu'il s'agissait ensuite de dévisser de dedans l'écrou qu'on venait de fondre. Il ne fallait pas moins de l'effort de six hommes manœuvrant aux extrémités d'un levier de 3 mètres. Jamais sous un pareil effort la pièce fondue ne s'est séparée du tuyau, et cependant il n'était pas rare que le levier, qui était en fer, vînt à se rompre.

La fabrication des pas de vis devenant de plus en plus difficile, à mesure que le diamètre des tuyaux va en croissant et devenant impossible pour des diamètres de 0m,80 à 1 mètre qu'on a fabriqués avec succès dans ce système, on s'est contenté d'utiliser les surfaces lisses du métal doux, portant des entailles qui reçoivent des ficelles goudronnées, qui, comprimées lors de l'emboîtement des tuyaux, donnent une fermeture excellente.

Le tuyau terminé est rempli d'eau et, au moyen d'une presse hydraulique, soumis à une pression de 15 atmosphères. On conçoit que sous une telle pression le plus léger défaut de soudure ou de ténacité dans la tôle devient apparent.

Si le tuyau résiste, il est goudronné, puis on enroule autour une corde d'étoupe pour faciliter l'adhérence de la couche bitumineuse dont on va l'entourer. Ce bitume, préparé avec soin dans des proportions rigoureusement arrêtées, se compose de bitume, de terre calcaire, de sable et d'un peu de résine.

Un mandrin traverse le tuyau et sert à le faire manœuvrer sur une table, où l'on étend le bitume composé, sortant de la chaudière. En faisant rouler le tuyau, le bitume s'attache autour de lui, et telle est l'adresse des ouvriers employés à ce travail, que non-seulement tous les tuyaux ont identiquement le même diamètre, mais que leurs poids ne varient pas entre eux d'un 1/2 kilogr.

Le tuyau n'est pas encore achevé, il reçoit intérieurement une couche de bitume plus fin, renfermant moins de matières étrangères que celui qui le recouvre extérieurement. Cette couche intérieure a tout le poli et le brillant du plus beau vernis. Tels sont les tuyaux de tôle et de bitume. Leurs avantages principaux peuvent se résumer ainsi :

Résistance à une pression extérieure à toute épreuve;

Résistance à une pression intérieure éprouvée par quinze atmosphères, et qu'on peut porter au double après l'application de la couche de bitume;

Système d'assemblage supérieur à tout ce qui a été tenté jusqu'à présent;

Facilité d'embranchement en coupant, soudant et recouvrant de bitume;

Durée indéfinie; ils sont inoxydables;

L'intérieur est lisse, sans aspérité aucune;

Enfin, leur prix est de 40 p. 100 au-dessous de celui des tuyaux de même diamètre en fonte.

Une épreuve de douze années a vérifié tous ces résultats.

70,000 mètres ont été posés à Paris seulement, rien que dans les premières années, tant pour des conduites de gaz que pour des conduites d'eau, et pas un seul accident n'est survenu. Une pareille canalisation en fonte présente une moyenne de sept ruptures par an, et l'on sait quels horribles malheurs peuvent en résulter quand il s'agit de gaz. Plus de vingt compagnies d'éclairage, en province, ont suivi l'exemple de Paris.

Nous devons toutefois répéter que d'aussi brillants succès sont dus bien moins à l'idée elle-même de l'invention, qu'à la perfection et au soin avec lesquels elle est exécutée jusque dans ses détails les plus insignifiants en apparence.

TUYÈRE. Voyez MÉTALLURGIE.

TYMPAN. Voyez HYDRAULIQUE et MACHINE SOUFFLANTE.

TYPOGRAPHIE. Voyez IMPRIMERIE et FONDERIE EN CARACTÈRES.

U

URANE. Corps considéré jusque dans ces dernières années comme simple, mais que M. Péligot a reconnu être un oxyde d'un nouveau métal, l'*uranium*. Le seul des composés de ce métal employé dans les arts est celui connu sous le nom d'*oxyde d'urane;* nous avons décrit sa préparation à l'article POTERIE, en parlant des couleurs *vitrifiables;* il sert dans les couvertes et peintures sur porcelaine, ainsi que dans la fabrication des verres de couleurs (voyez VERRE).

URINE. Voyez AMMONIAQUE et DÉSINFECTION.

V

VANNAGE. Voyez HYDRAULIQUE.

VANADIUM. Métal découvert en 1830 par M. Selfstroem; il est très-rare et n'a reçu par suite aucun emploi dans les arts.

VANNE. Voyez HYDRAULIQUE.

VANILLE. La vanille est le fruit d'une plante grimpante de la famille des orchidées qui croît surtout sous les tropiques dans l'Amérique centrale. Ce fruit consiste en cosses oblongues réunies en grappes volumineuses, et qui nous arrivent sèches. On emploie la vanille pour parfumer des chocolats, des glaces, des crèmes, des liqueurs, et même des pommades et des huiles. Elle est assez difficile à broyer; on y parvient en la mélangeant avec du sucre; l'huile essentielle à laquelle elle doit son arome est soluble dans l'alcool.

VAGUES. La surface de la mer est généralement ondulée, et ces ondulations qui, par les gros temps, prennent des dimensions considérables, reçoivent le nom de vagues.

A première vue les vagues paraissent le résultat d'un déplacement du fluide, mais, en laissant de côté les phénomènes des marées, on reconnaît bientôt

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'elles ne constituent qu'une ondulation ou mouvement de va-et-vient assimilable comme il a été dit à la RÉSISTANCE DES FLUIDES, au mouvement des épis d'un champ de blé qui reçoit l'action du vent.

Le mouvement des vagues est de la nature des mouvements pendulaires, tout à fait assimilable à celui d'un pendule dont le centre d'oscillation serait situé à la partie inférieure. En pleine mer un corps léger que l'on fait flotter à la surface de l'eau, ne se déplace pas sensiblement dans le sens horizontal, bien que s'élevant et s'abaissant successivement.

Si un déplacement se produit, le mouvement devient alors analogue à un mouvement cycloïdal : c'est ce qui se voit lorsque le niveau de l'eau près du rivage change par l'effet des marées. L'élévation ou l'abaissement de la masse totale fait glisser en quelque sorte les vagues sur un plan incliné et les force de s'avancer, comme le montre bien le phénomène du *flot* qui se produit à l'embouchure des fleuves, et qui est manifesté par une vague qui court en remontant ceux-ci. C'est un effet de déversement qui accompagne le mouvement d'ondulation, qui en fait une propagation d'ondulations.

L'observation des vagues de la mer permet d'assister à la propagation d'un mouvement oscillatoire, tel que celui qui se produit dans un corps vibrant dans un milieu. Ainsi, si l'on examine les chocs des vagues, s'élevant lors de la marée, le long d'une falaise, on reconnaît bien vite qu'il s'y produit un effet variable, sensiblement le même après chaque période d'un certain nombre de vagues. C'est un phénomène qui apparaît dans tout mouvement vibratoire, et surtout dans le cas où il est employé à cause de la régularité même de ces périodes, dans les instruments de musique.

VAPEUR (*angl.* vapour, *all.* dampf). C'est à l'emploi de la vapeur que nous sommes presque exclusivement redevables de l'immense développement qu'ont pris depuis un demi-siècle le commerce et l'industrie. Tantôt profitant de la propriété que possède la vapeur d'eau de se condenser en dégageant de la chaleur à une température qui ne peut dépasser celle de son point d'ébullition, on l'emploie comme agent calorifique bien plus régulier que le feu nu, précieux encore comme moyen rapide de transport de la chaleur; tantôt elle agit à la fois comme agent mécanique et chimique, dans la préparation de la gélatine, la fixation de certaines couleurs sur les tissus, etc.; enfin surtout on l'emploie comme moyen de transformer en force motrice la chaleur produite par la combustion.

Nous ne nous occuperons ici que de la vapeur d'eau, bien que les lois que nous allons énoncer soient générales et s'étendent à toutes les vapeurs.

L'eau n'entre en ébullition que lorsque la tension de sa vapeur est égale à la pression à laquelle elle est soumise, c'est-à-dire à l'air libre, à la pression atmosphérique mesurée par la hauteur barométrique du lieu; elle bout donc, toutes choses égales d'ailleurs, à une température d'autant plus basse que l'eau s'élève davantage au-dessus du niveau de la mer. Wollaston a fondé sur ce principe un moyen de mesurer la hauteur des montagnes qui peut, dans quelques cas, être plus commode que l'emploi du baromètre.

Lorsque l'air et la vapeur sont mêlés ensemble, la tension résultante est la somme des tensions que présenterait isolément chacun d'eux dans les mêmes circonstances. La force élastique ou tension de la vapeur, au-dessus de son point de saturation, varie proportionnellement à la température et en raison inverse de l'espace qu'elle occupe.

A chaque température correspond un maximum de saturation de vapeur; si la température s'élève, il se vaporise une nouvelle quantité d'eau; si elle s'abaisse, il se condense une certaine proportion de vapeur.

Sous le même volume et la même température, la densité de la vapeur d'eau est les 5/8 de celle de l'air; un mètre cube de vapeur d'eau, à 0° et sous la pression de $0^m,760$ de mercure, pèse donc $0^k,810$.

Sous une pression quelconque, et à toute température, l'eau en passant de l'état liquide à l'état de vapeur absorbe 550 unités de chaleur consommées par sa vaporisation; et, réciproquement, l'eau en se condensant et passant de l'état de vapeur à l'état liquide dégage 550 unités de chaleur produites par les phénomènes moléculaires de la liquéfaction. Cette loi, connue sous le nom de loi de Watt, n'est qu'une approximation souvent suffisante pour les applications pratiques. Nous donnons à CHALEURS LATENTES (*Complément*) la loi rigoureuse déduite d'expériences d'une grande précision.

Pressions de la vapeur saturée. Il est indispensable pour les calculs sur la vapeur et les machines à vapeur, de connaître la valeur de la tension de la vapeur d'eau aux principales températures en usage dans la pratique; nous avons extrait les renseignements qui suivent du beau travail de M. Regnault, et nous les avons disposés sous forme de tableau.

Table des forces élastiques de la vapeur d'eau de 0° à 150°.

TEMPÉRATURES en degrés centigrades.	FORCES ÉLASTIQUES DE LA VAPEUR D'EAU	
	en millimètres de mercure.	en kilogrammes, par centimètre carré.
0	4,60	0,006
5	6,53	0,009
10	9,16	0,012
15	12,70	0,017
20	17,39	0,024
25	23,55	0,032
30	31,55	0,043
35	41,83	0,057
40	54,91	0,075
45	71,39	0,097
50	91,98	0,125
55	117,48	0,160
60	148,79	0,202
65	186,95	0,254
70	233,09	0,317
75	288,52	0,392
80	354.64	0,482
85	433,04	0,589
90	525,45	0,714
95	633,78	0,861
100	760,00	1,033
104	872,75	1,186
108	999,32	1,358
112	1141,03	1,551
116	1299,53	1,766
120	1476,00	2,006
123	1621,19	2.204
126	1778.04	2,417
129	1947,35	2,647
132	2129,80	2,895
135	2326,50	3,162
137	2464,80	3,351
139	2610,90	3,549
141	2763,60	3,756
143	2923,50	3,974
145	3090,90	4,201
146	3177,50	4,319
147	3266,10	4,439
148	3356,80	4,563
149	3449,40	4,688
150	3543,70	4,882

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En prenant les résultats d'expériences ci-dessus, M. Combes a calculé une formule qui donne avec une exactitude plus que suffisante la tension de la vapeur, entre les températures de 30 et 160°, et les tensions correspondantes, qui sont de 1/20 et 6 atmosphères, limites de celles qui se rencontrent dans la pratique. Cette formule est :

$$1000\,p = (1{,}300172 + 0{,}0187457\,t)^{6.0077},$$

dans laquelle t est la température en degrés centigrades, et p la force élastique de la vapeur exprimée en kilogrammes sur un centimètre carré de surface.

M. Roche a donné une formule exponentielle qui représente bien les faits, savoir :

$$\frac{p}{760} = 10^{\frac{mx}{11+0{,}03\times x}}\quad x = t - 100,\ m = 0{,}1644.$$

Volume de la vapeur saturée. Dans le calcul de la machine à vapeur, on a besoin de connaître non-seulement la pression, mais aussi le poids de vapeur qui remplit le corps de pompe pour chaque ouverture du tiroir, et par suite le volume du kilogramme de vapeur saturée pour une pression ou une température donnée.

TEMPÉRATURE.	TENSION DE LA VAPEUR			VOLUME du kilog. de vapeur saturée en litres.
	en mill. de mercure.	en atmosphères.	en kil. au mèt. carré.	Expériences de Fairbairn
58°21	137	0,18	1860	8270
68,52	219	0,29	2995	5330
70,76	240	0,31	3202	4910
77,18	315,6	0,41	4233	3720
79,40	346	0,45	4648	3430
83,50	408,2	0,53	5474	3050
86,83	483	0,63	6507	2620
92,66	580	0,76	7850	2150
100,00	760	1	10330	1689
117,17	1361,5	1,78	18387	941
118,46	1419,70	1,86	19213	891
124,17	1690,76	2,22	22932	758
128,41	1935,25	2,54	26238	648
130,67	2070,48	2,725	28148	634
134,87	2344,91	3,08	31816	583
137,46	2527,35	3,32	34295	514
139,21	2647,40	3,48	35948	496
141,81	2828,10	3,72	38427	457
142,36	2905,46	3,82	39460	448
144,74	3093	4,07	42043	432 de M. Hirn.
146,20	3230	4,25	43902	422
152,11	3800	5	51650	355

Jusqu'ici on l'a calculé en appliquant à la vapeur saturée la loi de Mariotte pour les gaz permanents, combinée avec celle de Gay-Lussac pour tenir compte de leur échauffement, sans savoir jusqu'à quel point ces lois étaient applicables, ou plutôt en admettant, sans aucune preuve, que leur emploi ne causait pas d'erreur sensible. De récentes expériences permettent d'apprécier la valeur de l'erreur que l'on commettait en raisonnant de la sorte, de déterminer avec une plus grande approximation le volume de la vapeur saturée qui est moindre que l'on ne supposait.

La première série d'expériences due à MM. Fairbairn et Tate, donne les valeurs du volume de la vapeur saturée à partir de faibles pressions. La seconde est due à M. Hirn, et se rapporte à des températures élevées. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-contre, où j'ai réuni les deux séries; ils peuvent servir à déterminer la valeur du produit PV de la pression par le volume.

Malgré les irrégularités provenant des erreurs inséparables d'expériences difficiles, quand on fait le produit du volume par la pression, on reconnaît qu'il est presque constant, que la croissance progressive de la valeur PV avec la température et la pression est peu rapide ; par suite que la formule de V doit être inverse de celle de p. C'est un logarithme du volume qui diminue à peu près proportionnellement à la température, et aussi inversement, au moins sensiblement, la pression. Ce n'est en effet que sous forme logarithmique que l'on a pu parvenir, en cherchant des formules d'interpolation, à représenter les résultats des expériences.

Il suit de là que l'on peut, avec une formule de forme exponentielle, représenter assez bien les résultats ci-contre pour les volumes de la vapeur saturée.

Nous avons adopté la formule :

$$V = a^{\frac{1}{1+nx}},\quad x = \frac{t-100}{100}.$$

La température entre en dénominateur à l'exposant, puisque le volume diminue à mesure qu'elle augmente.

Pour $t = 0$ (correspondant au point de départ pris à 100°) $V = 1689 = a$.

Pour $t = 0{,}24$ de l'échelle de 100°, prise pour unité, une des limites étant 0°, et l'autre point extrême 100°, l'expérience donne $V = 758$, d'où $n = 0{,}50$.

Cette valeur déduite d'un résultat de M. Fairbairn dans une série bien régulière, est aussi celle à laquelle on arrive en partant du volume 355 pour la pression de 5 atmosphères que M. Hirn considère comme très-certain.

La formule devient donc :

$$V = 1689^{\frac{1}{1+0{,}50x}}$$

TEMPÉRATURE	PRESSION en atmosphères.	PRESSION en mill. de mercure.	VOLUME calculé.
159,2	6	4560	309,4
165,4	7	5320	272,8
170,8	8	6080	241,9
175,6	9	6840	222,5
180,2	10	7600	202
230	27,5	20926	69,8

On peut prolonger, à l'aide de la formule, la table précédente au delà des limites où la connaissance du volume exact de la vapeur saturée est nécessaire pour la pratique jusqu'à 40 atmosphères.

J'ai donné le volume à 230°, limite posée par M. Régnault à l'application de la formule des pressions.

On peut, par curiosité, chercher le volume indiqué par la formule pour le cas, avec l'expérience de M. Cagniard-Latour, de la réduction de l'eau en vapeur, sans changement de volume, à la température de fusion du zinc, vers 400° ou 450°. On trouve $V = 45$.

Nous n'avons parlé dans ce qui précède que de la vapeur formée en contact avec l'eau, de la vapeur saturée. Pour la vapeur surchauffée, voir l'article SURCHAUFFER (*Complément.*)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION (allemand, *das luftigen*; anglais, *the ventilating*). Comme nous l'avons fait pour le chauffage, nous limiterons la trop grande étendue des questions de ventilation, en parlant ici des principes sur lesquels repose la ventilation et seulement leur application à *la ventilation des édifices et établissements publics, des maisons particulières* et *des ateliers*, et en réservant à des articles spéciaux l'*aérage des mines*, ainsi que la législation des ateliers insalubres.

HISTORIQUE.

En Angleterre, la ventilation a été l'objet de longs et anciens travaux; en 1715, le docteur Desaguliers, qui venait de traduire *la Mécanique du feu*, ventile les salles du parlement au moyen d'un foyer d'appel qu'il remplace bientôt par un ventilateur aspirant, déjà proposé en France. Il essaya même de rafraîchir en été la salle des séances.

Ce système a fonctionné jusqu'au delà de l'année 1800. Le docteur Hale y essaya des soufflets en bois; Samuel Sutton, son appel par le cendrier du foyer, dont il décrivit l'application à l'aérage des navires, des mines, etc., dans son discours sur l'extraction du mauvais air, en 1749.

Le grand chimiste Humphy Davy s'occupa aussi de perfectionner cet appareil.

En 1784, l'hôpital de Derby est ventilé par Whitehurst.

Le marquis de Chabannes, sir Georges Paul, William Strutt, Eveling, Anderson, Sylvester, et en 1810, Boulton et Watt appliquent plus ou moins heureusement des procédés de ventilation, soit naturelle, soit forcée, à divers établissements.

Deacon, en 1813, essaye l'appel par des appareils à eau chaude.

L'histoire si intéressante du chauffage et de la ventilation, par Walter Bernamn, donne tous ces faits.

Depuis cette époque, le docteur Reid a organisé le chauffage et la ventilation de la salle provisoire des Communes, après l'incendie du palais du parlement. La ventilation était opérée par des ouvertures placées dans le fond de la salle et par un conduit descendant, qui se rendait au bas d'une puissante cheminée, munie, à sa partie inférieure, d'un foyer d'appel comme celui des mines.

Le docteur Reid, chargé aussi du chauffage et de la ventilation des nouvelles salles des séances du parlement, paraît avoir rencontré de grandes difficultés dans le service des appareils placés sous sa direction.

C'est aussi en Angleterre que l'on s'est occupé de ventiler régulièrement quelques maisons particulières, sans que ces essais aient eu de grandes conséquences.

En France, malgré quelques tentatives sans résultats du cardinal de Polignac, auteur de la *Mécanique du feu*, en 1712, et malgré le projet d'assainissement de l'Hôtel-Dieu, par Duhamel du Monceau, en 1759, la ventilation est née seulement dans notre siècle.

Mais, sous la main de nos savants, elle est devenue promptement une science.

D'Arcet, et M. Péclet, notre maître, lui ont tracé des règles certaines et l'ont fait pénétrer les premiers dans les constructions publiques, dans les ateliers et dans l'enseignement.

M. Combes lui a donné une puissante impulsion par ses ouvrages sur l'aérage des mines, par l'invention du ventilateur à ailes courbes, et surtout par la belle découverte de l'anémomètre, sans lequel la ventilation, privée de toute expérience comparative et précise, n'aurait pas pris le caractère d'une science d'observation.

Les savants les plus illustres ont concouru à développer cette science si importante pour la salubrité des villes, la santé publique et l'amélioration de la vie.

MM. Chevreuil, Dumas, Boussingault, le général Morin, Andral, le professeur Gavarret, M. M. Félix Leblanc, Orfila et Lassaigue, enfin, de nombreux médecins lui ont apporté le fruit de leurs plus belles recherches.

En Angleterre, la ventilation a donné lieu depuis vingt ans à des recherches importantes de la part de M. Danielle, de M. Moyle et d'autres savants.

En Belgique, la ventilation des mines a été l'objet des plus nombreuses expériences pratiques et des recherches les plus remarquables.

Aucun travail n'est plus complet que celui de M. Glepin, ingénieur des mines du Grand-Hornu, près Mons, sur la comparaison des divers procédés de ventilation.

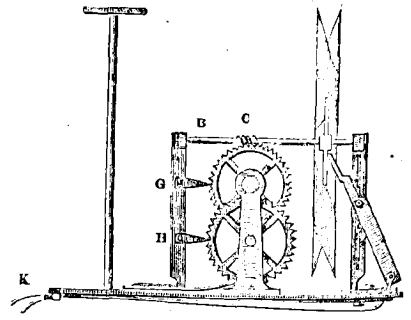
Depuis ce mémoire, M. Ponson a publié un nouveau traité sur l'aérage des mines, et M. Fabry a découvert un nouvel instrument d'appel qui donne plus du double d'effet utile de ce que donnaient les appareils jusque-là employés.

OBJET DE LA VENTILATION.

La ventilation a pour objet de renouveler dans un édifice, dans une salle, l'air, soit vicié par des êtres vivants ou par d'autres causes, soit trop refroidi ou trop échauffé, ou chargé de vapeur d'eau, et d'y faire entrer de nouvelles quantités d'air pur et sec, chaud en hiver, frais en été, de manière à assurer, à volonté, à ces localités, les conditions de la plus complète salubrité; elle a encore pour objet d'opérer dans des séchoirs la dessiccation des produits industriels, etc.

ANÉMOMÈTRE.

Avant de parler des appareils de ventilation et de leurs diverses applications, il faut entrer dans quelques détails sur l'instrument qui sert à en mesurer et à en comparer les résultats. (Fig. 1.)



1.

L'anémomètre de M. Combes, le seul qui soit employé partout pour mesurer la vitesse des courants d'air, parce que seul il est exact et facile à manœuvrer, consiste en un moulinet métallique A avec quatre ailettes en mica, inclinées sur le sens du mouvement, comme les ailes d'un moulin à vent.

Ce moulinet tourne avec un arbre en acier B porté par les deux bouts sur deux supports verticaux en cuivre, comme sur des poupées de tour, et muni d'une vis sans fin C, qui fait tourner une première roue dentée E. Celle-ci s'engrène, par un petit pignon ajusté sur son axe, avec une seconde roue F. Chacune de ces roues a cent dents, et leurs pignons sont calculés de manière que la première roue avance d'une dent quand le moulinet fait un tour, ce qui donne cent tours de moulinet pour un tour de roue: la seconde roue avance d'une dent quand la première a fait *un tour entier*, ou quand le moulinet a fait cent tours.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces deux roues portent sur leur limbe extérieur des chiffres, indiquant de dix en dix le nombre des dents de roue. De plus, le support intérieur de l'axe du moulinet porte une petite aiguille horizontale G qui sert de zéro à tout le système, et de point de départ à la première roue et devant laquelle, au commencement de chaque expérience, on ramène le zéro de la première roue.

Ce même support présente plus bas une autre aiguille H qui correspond au zéro de la seconde roue. Ces deux aiguilles servent à lire les résultats des observations, c'est-à-dire *le nombre de tours* dont le moulinet a marché pendant une expérience.

Pour opérer avec certitude et facilité, il faut pouvoir mettre l'appareil en marche ou l'arrêter à volonté, à instants fixes, même dans une capacité close.

L'appareil de débrayage et d'embrayage adopté, consiste en une fourchette qui s'engage dans les bras du moulinet, et s'en dégage à la volonté de l'observateur. Cette fourchette, attachée au solide support extérieur du moulinet, joue sur son centre et est mise en mouvement dans un sens ou dans l'autre pour embrayer, ou pour débrayer, par un balancier placé sous le support, et qui reçoit à chacune de ses extrémités des fils K renvoyés à l'extérieur par deux petites poulies, pour être tirés par les mains de l'observateur.

Un cercle de cuivre entoure le moulinet et le protége contre les accidents extérieurs.

Pour faire une observation anémométrique, on amène à 0 les deux roues en soufflant sur le moulinet dans un sens ou dans l'autre. Souvent, pour rendre les opérations plus promptes, l'anémomètre porte un moyen de débrayer l'axe du moulinet, ce qui permet d'amener instantanément les roues à 0.

Pour que les observations soient exactes, il faut que l'anémomètre soit engagé à quelque profondeur dans l'orifice où l'on veut mesurer la vitesse d'un courant d'air et que cet orifice soit parfaitement régulier sur une assez grande longueur; sans cette précaution, le courant d'air éprouverait des contractions et des irrégularités qui s'opposeraient à toute certitude dans les résultats. Souvent même, quand on a un grand nombre d'observations semblables à faire, comme dans une prison ou un hôpital, et qu'il est difficile d'engager l'instrument dans les canaux en maçonnerie où l'on veut mesurer la vitesse des courants, on fait préparer un tuyau en tôle de section précise, qui s'ajuste par un de ses bouts sur les bords du canal où l'observation doit avoir lieu, en ayant soin de garnir le joint pour que l'air appelé du dehors ne pénètre pas à l'intérieur sans passer sur l'anémomètre; celui-ci se place exactement au centre du tuyau au moyen d'une platine qu'on engage dans une ouverture ménagée à la paroi du tuyau, où elle est tenue par une vis.

Les deux fils doivent toujours sortir du tuyau et être libres dans leurs mouvements. Un des observateurs prend un de ces fils dans chacune de ses mains, la fourchette étant engagée et le moulinet arrêté : un second observateur tient à la main une montre; si c'est une montre qui ne marque que les minutes, il observe le moment précis où l'aiguille des minutes passe exactement sur une des divisions et il donne vivement le signal de débrayer le moulinet en tirant un des fils. Il prolonge l'observation trois ou quatre minutes pour compenser les incertitudes des fractions de temps du commencement et de la fin. Puis, à l'instant précis où l'aiguille marque le nombre de minutes voulu, il donne le signal d'arrêter l'anémomètre en tirant l'autre fil. On sort l'anémomètre du tuyau et on lit facilement le nombre de tours qu'a faits le moulinet, en comptant, à partir du 0, de combien les roues ont marché. Si la seconde roue a avancé de 3 tours et la première de 12 divisions, cela donne 312 tours d'anémomètre.

Une expérience doit toujours être recommencée, et on prend la moyenne des deux observations.

Si l'on a une montre à secondes variables, c'est-à-dire dont l'aiguille des secondes s'arrête à volonté par un ressort, l'observateur met cette aiguille sur 12 et, au moment où il lâche la détente, il commande de débrayer l'anémomètre, et à la fin de la minute ou des deux minutes, il commande l'arrêt.

Pour déduire la vitesse réelle des courants d'air du nombre de tours observés, on se sert d'une formule spéciale à l'instrument même qu'on emploie et qui se trouve écrite sur le couvercle de sa boîte; dans cette formule très-simple, n représente toujours le nombre de tours observés, et v la vitesse réelle du courant.

Il y a pour chaque anémomètre un coefficient particulier qui se détermine par expérience, en lui faisant parcourir un courant d'air d'une vitesse donnée et observant le nombre de tours qu'il fait. Pour cela, on place l'anémomètre au bout d'un grand levier en bois, de longueur déterminée, tournant sur un pivot placé à son centre, avec une vitesse que l'on fait varier pour avoir plusieurs observations, desquelles on déduit le rapport exact du nombre de tours du moulinet à la vitesse du courant.

Quand on a calculé la vitesse v du courant, en multipliant la section du canal par la vitesse on obtient le volume d'air débité.

M. le général Morin a fait de nombreuses observations avec un anémomètre qu'il a fait construire sur le principe de celui de M. Combes, mais en y ajoutant deux cadrans émaillés, des aiguilles doubles à godets, une troisième roue à minutes et un appareil de pointage, de manière à pouvoir observer jusqu'à 500,000 tours et prendre le nombre des tours du moulinet, à des intervalles de temps déterminés. Cette disposition donne des observations prolongées, et surtout fractionnées par intervalles égaux, condition souvent importante à remplir et rend nulle la légère erreur résultant, avec l'autre anémomètre, du temps nécessaire au moulinet pour prendre une vitesse régulière.

M. Neumann, pour rendre la lecture de l'anémomètre plus facile, place aujourd'hui, derrière les roues un cadran divisé, sur lequel des aiguilles fixées aux roues marquent le nombre de tours parcourus.

Il y a aussi ajouté une troisième roue qui donne les 1000 tours et permet de prolonger les observations.

Les anémomètres sont construits et réglés pour donner des résultats exacts à des vitesses différentes de courants.

Ceux qui doivent marcher à de très-grandes vitesses ont besoin d'être très-solidement établis, sont plus lourds et par conséquent moins sensibles dans les petites vitesses. Quand on veut avoir des instruments sensibles aux plus petites vitesses, il faut les faire légers et très-délicatement construits. C'est ainsi que, pour observer la ventilation des cellules de la maison Mazas, la commission présidée par M. Péclet a fait exécuter à M. Neumann un anémomètre qui donnait des résultats exacts dans un courant d'air qui n'avait que 0,16 de vitesse par seconde.

Nous sommes entrés dans ces détails sur la construction et la manière de se servir de l'anémomètre, pour en propager l'usage, à cause de l'importance qu'ont les expériences faites sur la ventilation, et à cause de la certitude et de la haute utilité des résultats donnés par un bon anémomètre.

DES CONDITIONS HYGROMÉTRIQUES DE L'AIR DESTINÉ A LA VENTILATION.

Nous avons dit, dans l'article *Chauffage*, que, quand on échauffait un volume donné d'air, soit sur des poêles, soit dans des calorifères, cet air acquérait une grande puissance d'absorption pour l'eau, et que,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

si on ne lui donnait pas l'eau dont il avait besoin en mettant un vase plein d'eau, soit sur le poêle, soit dans la chambre à air chaud du calorifère, l'air échauffé se saturait d'eau aux dépens des organes des personnes présentes, et occasionnait des maux de tête dangereux. Il en est de même dans les serres chauffées par des calorifères, comme on le fait quelquefois. Si on ne donne pas largement à cet air toute la quantité d'eau dont il a besoin pour se saturer, il s'empare avec avidité de l'eau contenue dans les organes des plantes et les tue promptement.

Il est important, dans les salles de spectacle ventilées, et encore plus dans les hôpitaux, quand on veut régler leur ventilation avec leur chauffage, de savoir exactement quelle est la proportion d'eau que l'air doit contenir pour être dans les conditions les plus parfaites de salubrité. On ne trouve nulle part des chiffres certains sur ce point important. Darcet dit, dans son travail sur la ventilation des salles de spectacle, que, pour être tout à fait salubre, l'air doit être à moitié saturé d'eau à la température de 15 ou 16° centigrades, qu'il adopte pour les théâtres, ce qui correspond environ à 7 grammes d'eau par mètre cube d'air. Divers médecins pensent que l'air doit marquer 72° à l'hygromètre dans une maison habitée, soit 6gr,43 d'eau par mètre cube d'air, ce qui est complétement d'accord avec Darcet.

L'emploi de l'hygromètre doit, avec celui de l'anémomètre, se propager partout et servir de règle aux médecins, aux ingénieurs et aux architectes des administrations, afin de déterminer les conditions les plus favorables de salubrité pour chaque nature d'établissement.

L'hygromètre à cheveu, trouvé par de Saussure, donne des résultats très-précis sur le degré de saturation de l'air dans lequel il est plongé. Cet instrument repose sur la propriété du cheveu, légèrement tendu, de se raccourcir quand il se dessèche et de s'allonger quand il absorbe de l'eau, et en même temps de revenir toujours aux mêmes longueurs quand il est plongé dans de l'air parfaitement sec, ou complétement saturé d'eau. Ce sont là, en effet, les termes constants que l'on a choisis pour les points extrêmes de la marche de l'hygromètre, et l'intervalle est divisé en cent degrés.

Pour donner les degrés, le cheveu, préparé avec des soins spéciaux et fixé d'un bout à l'appareil, entoure de l'autre une petite poulie et porte un contre-poids à son extrémité. Afin que la tension soit toujours la même, la poulie est munie d'une aiguille qui tourne avec cette poulie devant un cadran divisé en cent parties égales, le 0 étant à l'extrême sécheresse, les 100° à l'extrême humidité.

Pour obtenir avec cet instrument autre chose que des résultats comparables, M. Gay-Lussac a déterminé, par des séries d'expériences, et pour de l'air à 10° sous la pression atmosphérique de 0,76, les tensions de vapeur correspondantes à chaque degré de l'hygromètre. Dans les travaux et les essais relatifs à la ventilation et au chauffage, quand on veut leur donner l'exactitude nécessaire, sans avoir à perdre du temps en calculs chaque fois renouvelés, il faut avoir, pour tous les degrés de l'hygromètre, le poids de l'eau que contient 1 mètre cube d'air à 15°, degré adopté presque partout comme la température de règle des édifices chauffés et ventilés. En l'absence d'une table de ce genre, et en partant de la table construite par M. Gay-Lussac (Pouillet, *Physique*, t. II, p. 639), nous avons calculé le tableau qui suit, pour servir aux ingénieurs, aux médecins et aux architectes qui auront l'occasion, de déterminer, par des expériences multipliées, le degré hygrométrique le plus convenable dans chaque espèce d'édifices, ce qui permettra ensuite d'appliquer facilement ces résultats aux établissements que l'on doit chauffer et ventiler.

VENTILATION.

Tableau donnant en grammes le poids de l'eau contenue dans 1 mètre cube d'air à 15°, pour chacun des degrés de l'hygromètre à cheveu.

DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	POIDS DE L'EAU en grammes contenue dans 1 mètre cube d'air à 15 degrés.	DEGRÉS de l'hygromètre à cheveu.	POIDS DE L'EAU en grammes contenue dans 1 mètre cube d'air à 15 degrés.
1°	0gr,06	51°	3gr,69
2°	0 ,12	52°	3 ,79
3°	0 ,17	53°	3 ,89
4°	0 ,23	54°	4 ,00
5°	0 ,28	55°	4 ,10
6°	0 ,35	56°	4 ,20
7°	0 ,41	57°	4 ,33
8°	0 ,47	58°	4 ,45
9°	0 ,52	59°	4 ,56
10°	0 ,59	60°	4 ,68
11°	0 ,65	61°	4 ,81
12°	0 ,71	62°	4 ,95
13°	0 ,77	63°	5 ,08
14°	0 ,82	64°	5 ,21
15°	0 ,90	65°	5 ,34
16°	1 ,96	66°	5 ,47
17°	1 ,03	67°	5 ,64
18°	1 ,09	68°	5 ,79
19°	1 ,15	69°	5 ,94
20°	1 ,21	70°	6 ,09
21°	1 ,29	71°	6 ,25
22°	1 ,35	72°	6 ,43
23°	1 ,42	73°	6 ,60
24°	1 ,49	74°	6 ,77
25°	1 ,55	75°	6 ,93
26°	1 ,62	76°	7 ,13
27°	1 ,70	77°	7 ,32
28°	1 ,77	78°	7 ,51
29°	1 ,84	79°	7 ,71
30°	1 ,91	80°	7 ,90
31°	1 ,98	81°	8 ,11
32°	2 ,06	82°	8 ,33
33°	2 ,13	83°	8 ,55
34°	2 ,21	84°	8 ,76
35°	2 ,28	85°	8 ,98
36°	2 ,36	86°	9 ,22
37°	2 ,44	87°	9 ,47
38°	2 ,52	88°	9 ,71
39°	2 ,60	89°	10 ,00
40°	2 ,71	90°	10 ,20
41°	2 ,77	91°	10 ,46
42°	2 ,85	92°	10 ,72
43°	2 ,94	93°	10 ,98
44°	3 ,03	94°	11 ,23
45°	3 ,11	95°	11 ,49
46°	3 ,21	96°	11 ,77
47°	3 ,30	97°	12 ,05
48°	3 ,40	98°	12 ,34
49°	3 ,51	99°	12 ,62
50°	3 ,58	100°	12 ,90

DES INSTRUMENTS DE VENTILATION.

Les instruments de ventilation, ceux qui servent à enlever l'air des salles à ventiler ou à l'y envoyer, sont de plusieurs espèces.

Chacun d'eux a des qualités spéciales qui le rendent plus convenable dans un cas que dans l'autre. Mais en fait de ventilation, plus encore qu'en fait de chauffage,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les problèmes à résoudre sont souvent très-délicats, tout à fait neufs ou présentent au moins des conditions nouvelles ou des difficultés pratiques graves.

Pour pouvoir faire un choix en pleine connaissance de cause, il est nécessaire de savoir la valeur comparative des principaux systèmes.

Nous avons dressé un tableau qui comprend de nombreuses observations, faites avec beaucoup de méthode et d'exactitude par M. Glépin, ingénieur des houillères du Grand-Hornu, près Mons, sur tous les appareils employés à la ventilation des mines.

Nulle part on ne trouve une série aussi complète et aussi consciencieuse de faits précis sur cette question.

Nous y avons ajouté toutes les expériences et les chiffres que nous avons trouvés, et les résultats de nos travaux personnels à Mazas et dans diverses petites prisons; nous avons complété l'étude de ces systèmes par des faits de ventilation par injection qui ne s'emploient pas dans les mines, mais employés avec succès ailleurs, et dont le mémoire de M. Glépin ne parle pas.

Ce tableau présente sous une forme simple tous les points de comparaison et les résultats pratiques qui ressortent de chaque expérience. Un coup d'œil suffira pour les saisir.

La colonne D donne la puissance mécanique en chevaux vapeur, dépensée par l'appareil.

Dans les observations faites sur les foyers d'appel, nous avons réduit leur dépense de houille en chevaux-vapeur, en comptant, avec M. Glépin, pour les machines sans détente et sans condensation des mines, une consommation de 5 kilogrammes de houille par cheval et par heure, au-dessus de 2 chevaux de puissance et de 6 kilogrammes au-dessous.

La colonne E donne le volume d'air débité par l'appareil en 1 seconde; celle F le même volume d'air débité en 24 heures.

Dans la colonne G se trouve la dépense de l'appareil en houille par 24 heures.

Pour les appareils mécaniques, nous avons dressé cette colonne en comptant par cheval sur les dépenses de houille indiquées plus haut.

A la colonne H se trouve le volume d'air, en mètres cubes, enlevé par un kilogramme de houille.

C'est une unité que nous proposons et qui a de grands avantages pour présenter nettement les résultats comparatifs de tous les systèmes.

La colonne I donne le volume d'air enlevé en 1 heure, par chaque appareil, avec une puissance de 1 cheval-vapeur.

La colonne J est le rapport d'*effet utile* mécanique de l'appareil, c'est-à-dire la *quantité de puissance* nette que l'appareil utilise dans son travail de ventilation.

La colonne K donne la dépense de l'appareil par jour, en y comprenant les intérêts des frais d'établissement à 6 p. 100, et les mains-d'œuvre journalières.

Enfin la colonne L présente la valeur commerciale de chaque instrument et le coût de la ventilation pour chacun d'eux, c'est-à-dire le coût d'enlèvement de 1000 mètres cubes d'air dans chaque système.

Les colonnes K L sont les dépenses à Mons.

Les colonnes N M donnent la dépense par jour et le prix d'enlèvement de 1000 mètres cubes d'air à Paris, en comptant les 1000 kilogrammes de houille du foyer d'appel à 35 fr., et celle des machines à vapeur à 30 fr., et ajoutant un tiers aux prix de construction des machines à Mons pour avoir les prix de Paris.

Ainsi, en résumé, on trouve ici le volume d'air enlevé par un kilogramme de houille, les frais d'enlèvement de 1000 mètres cubes d'air, et le volume d'air qu'un cheval-vapeur emporte en vingt-quatre heures, dans chaque système d'appareil servant à sa ventilation.

Ce tableau rendra plus facile l'étude de ces systèmes,

appliqués d'abord aux mines, mais qui sont presque tous les mêmes que l'on emploie à la ventilation générale dont nous nous occupons.

Nous rangerons dans deux classes les appareils d'appel destinés à ventiler.

PREMIÈRE CLASSE. APPEL PAR L'ACTION DE LA CHALEUR AGISSANT DANS UNE CHEMINÉE.

Cette classe se divisera en quatre systèmes:

1° Appel par un combustible brûlé directement *dans le bas de la cheminée;*

2° Appel par un combustible brûlé directement *à la partie supérieure, ou près de la partie supérieure* de la cheminée;

3° Appel par des appareils intermédiaires de transmission de chaleur, recevant leur chauffage d'un foyer placé à distance;

4° Appel par la vapeur envoyée directement dans la cheminée.

DEUXIÈME CLASSE. APPEL PAR UN APPAREIL MÉCANIQUE ASPIRANT, MIS EN MOUVEMENT PAR UN MOTEUR.

Il y a ici cinq systèmes distincts:

1° Les machines aspirantes à piston;

2° Les machines aspirantes à cloches plongeantes;

3° Les vis pneumatiques;

4° Les ventilateurs à ailes planes et les ventilateurs à ailes courbes;

5° La roue pneumatique de Fabry.

TROISIÈME CLASSE. VENTILATION MÉCANIQUE PAR REFOULEMENT, EN EMPLOYANT LES VENTILATEURS.

PREMIÈRE CLASSE. APPEL PAR L'ACTION DE LA CHALEUR AGISSANT DANS UNE CHEMINÉE.

Ce système d'appel est le plus anciennement et le plus généralement employé, c'est celui de la majeure partie des mines, la plus grande et la plus parfaite application de ventilation qui soit connue.

L'appel a lieu en échauffant, par un moyen quelconque, la colonne d'air contenue dans une cheminée, ou canal vertical plus ou moins élevé. Cette colonne chauffée se dilate, devient moins dense que l'air extérieur, et quand on établit, par des ouvertures de section convenable, une communication entre un point de cette colonne ainsi dilatée et les capacités dans lesquelles on veut renouveler l'air, et où celui-ci peut entrer librement, l'air de ces capacités est aspiré par la cheminée dans laquelle il se précipite comme dans un vide partiel, et il est remplacé à mesure, dans la capacité ventilée, par de l'air pris au dehors.

Cet écoulement s'entretient constamment, sous deux conditions 1° que l'appareil chauffeur verse, sans interruption, dans l'air qui passe, une quantité de chaleur suffisante pour maintenir la colonne de la cheminée à la température où elle était au moment où la communication a été établie, 2° qu'il entre à l'autre extrémité des capacités ventilées autant d'air que la cheminée en enlève.

Ce système d'appel est certainement le plus simple et le plus régulier de tous; il fonctionne presque sans entretien, et il a, en dehors des mines, de nombreuses applications dans les édifices et dans l'industrie.

Il exige seulement, pour bien fonctionner, une condition qui en rend quelquefois l'emploi difficile. Il faut que les sections des conduits d'appel et de la cheminée soient en rapport avec le volume d'air à enlever, de manière à ne pas être forcé d'imprimer à cet air une vitesse considérable, qu'on n'obtient qu'en échauffant très-fortement la colonne d'appel, ce qui augmente

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	APPAREILS de VENTILATION.	LIEUX où SONT PLACÉS LES APPAREILS.	FORCE MOTRICE EMPLOYÉE en chevaux-vapeur.	VOLUME D'AIR débité en 1 seconde.	VOLUME D'AIR débité en 24 heures.	HOUILLE brûlée en 24 heures.	VOLUME D'AIR [illegible]	VOLUME D'AIR [illegible]
A	B	C	D	E	F	G		
				m.c	m c	kil.		
1	Foyers au fonds des puits.	Fosse n° 3 au Grand-Buisson.....	5,85	6,484	560,218	700		40
2		Fosse n° 2 — —	4,67	5,320	459,648	560		44
3		Fosse n° 5 au Grand-Hornu.... ...	3,23	3,990	344,736	388		44
4	Foyers en haut des puits.	Fosse n° 5 au Grand-Hornu.....	4,10	2,375	205,200	484		21
5		Fosse n° 14 — —	5,40	4,880	462,432	713		44
6		Fosse n° 1 Sauwartan..... ...	8,10	1,974	170,554	1084		7
7	Foyer au bas de la cheminée d'appel (Maison Mazas).....		1	6,945	600,048	480		62
8	Machines aspirantes à piston.	Grande veine de Saint-Ghislain. ...	4,448	2,615	225,936	533		21
9		Fosse n° 1 Grand-Buisson.....	24,30	5,975	516,240	2916		8
10		Fosse Saint-Lours du Poirier.....	22,50	4,545	392,688	2700		7
11		— — de l'Espérance...						
12	Machine à cloche plongeante.	De Marihaies.....	6,1	5,428	468,919	744		31
13	Vis pneumatique de Motte.	Fosse n° 1 de Sauwartan.....	1	3,492	301,709	480		31
14		Fosse n° 7 de Monceau-Fontaine....	1	2,152	185,932	168		77
15		Fosse du Carabinier au Châtelet.....	1	1,020	88,128	168		36
16		Fosse du Chêne de Trieukaisin.....	8,40	7,090	612,576	1001		30
17	Ventilateur ailes planes de Letoret.	Fosse Sainte-Caroline, à Sainte-Victoire.....	1,20	3,183	275,011	504		27
18		Fosse n° 3 de l'Agrappe et Grisœil..	5,24	3,948	341,107	629		27
19		Fosse n° 1 du Grand-Picquery.....	3,56	2,727	235,612	427		27
20		Fosse n° 3 de Marcinelles.....	3,70	2,910	251,424	444		38
21	Ventilateur plane de Sabloukoff.	A Saint-Pétersbourg.....	2 hom	0,340	29,376	48		37
22	Ventilateur Combes à ailes courbes.	Fosse n° 6 du Grand-Hornu à 6 ailes.	6,59	3,222	278,381	791		47
23		— — — — à 3 ailes.	4,96	2,773	238,587	595		20
24		Fosse n° 5 Nouveau ventilateur.....	3,96	4,062	350,957	468		37
25	Ventilateur Pasquet.	Fosse Saint-André du Poirier.....	3,18	5,981	517,018	382		67
26		Fosse Saint-Louis du Poirier.....	2	1,394	120,442	288		25
27	Ventilateur Daugneau en fer de lance.	Fosse n° 3 Mambourg et Bellevue...	2,50	0,879	75,946	360		12
28	Roue pneumatique de Fabry.	Puits aux Échelles.....	9,92	8,108	700,531	1190		29
29		Fosse n° 3 du Gouffre.....	11,53	7,056	609,538	1384		22
30	Appareil à vapeur.	Fosse n° 11 Grand-Hornu (appareil Méhu).....	8,07	1,409	121,747	968		6
31		Fosse n° 11 Grand-Hornu (appareil Pelletan).....	36	3,285	283,824	4320		3
32	Cheminée d'airage avec produit de la combustion.	Fosse Sainte-Caroline à Sainte-Victoire.....	35	2,60	224,640	4200		2
33		Fosse n° 7 à Monceau-Fontaine.....	10	1,067	92,189	1200		3
34	Même cheminée avec la vapeur perdue de la machine.							

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par heure pour un cheval-vapeur.	RAPPORT de puissance motrice utilisée.	DÉPENSE TOTALE EN ARGENT, à Mons, par jour.	COÛT D'ENLÈVEMENT à Mons des 1000 mètres cubes d'air.	DÉPENSE PAR JOUR à Paris.	COÛT D'ENLÈVEMENT des 1000 mètres cubes à Paris.	NOMS DES OBSERVATEURS.	OBSERVATIONS.
	J	K	L	M	N		
		fr.	fr.				
0	0,50	44,75	0,026	29,86	0,053	Clépin.	La force en chevaux-vapeur est comptée sur la
5	0,71	43,00	0,028	26,35	0,056	id.	houille brûlée à 5 kilogr. par cheval à l'heure.
0	0,27	40,08	0,028	49,84	0,057	id.	Le puits était mouillé sur ses parois.
0	0,176	41,08	0,054	23,29	0,113	id.	K, la dépense totale par jour se compose des in-
5	0,62	40,66	0,065	31,69	0,133	id.	térêts d'établissement 6 p. 100 et des frais jour-
5		21,37	0,125	44,48	0,266	id.	naliers de l'appareil.
0	0,93	43,20	0,022	24,80	0,04	Commission de réception.	Ces prix de frais journaliers sont comptés comme à Mons, d'accord avec le tableau entier, à 1,20 l'hectolitre de houille.
5	0,26	20,98	0,093	34,50	0,138	Clépin.	La dépense de houille est comptée d'après la
5	0,38	45,80	0,089	112,70	0,218	id.	force de chevaux-vapeur du moteur, à raison
7	0,30	42	0,107	105	0,267	id.	de 5 kil. par cheval au-dessus de deux chevaux
	0,32					Combes.	et 6 kil. au-dessous.
7	0,396	18	0,038	36,54	0,077	Clépin.	L'hectolitre de houille à 80 kil.
3	0,24	11,06	0,037	22,50	0,074	id.	
9	0,20	8,32	0,045	12,58	0,056	id.	Il y a sans doute une erreur dans cette obser-
2	0,24	9,80	0,111	13,65	0,155	id.	vation.
3	0,24	14,25	0,023	38,82	0,063	id.	On a pris les moyennes partout où il y avait plusieurs expériences.
3	0,17	17	0,061	25,85	0,094	id.	
8	0,20	19	0,056	20,17	0,086	id.	A Paris les chauffeurs à 3 fr.
8		15,23	0,064	23,50	0,100	id.	La houille pour foyer d'appel à 35 fr. les 1000 kil.
0	0,10	16	0,064	24	0,095	id.	La houille pour machine à vapeur à 30 fr.
9	0,24					id.	Et les machines et constructions sont comptées à 25 p. 100 de plus qu'à Mons.
4	0,22	21	0,076	34,00	0,125	id.	
5	0,16	18	0,075	28,00	0,110	id.	Il paraît qu'une partie du volume de l'air débité
9	0,28	16	0,045	24,10	0,069	id.	était aspiré autour de l'appareil.
7	0,24	15	0,028	22,06	0,042	id.	
8	0,10	13	0,108	10,22	0,159	id.	
2	0,05	14	0,184	22,13	0,291	id.	
2	0,544	17,80	0,025	19	0,07	id.	Observation faite dans l'état normal de la ventilation.
3	0,674	17,80	0,029	19	0,08	id.	Observation faite en gênant l'arrivée de l'air.
7	0,068	15	0,123	39	0,219	id.	
9	0,065	37,40	0,132	136	0,476	id.	
7	0,05					id.	
1	0,05					id.	
	0,08					id.	

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la dépense de combustible hors de proportion avec le volume d'air enlevé en plus.

Quand le volume est considérable, on est ainsi forcé d'avoir une cheminée et des conduits de grande section, difficiles à accorder avec les exigences de la construction, et de la décoration des édifices.

La régularité et la facilité de conduite de ces foyers d'appel est très-grande ; il suffit, à des temps réguliers, de charger de la houille sur une grille. De plus, avec une cheminée de grande section, ni les variations du feu, ni celles des vents, ni celles de la pression atmosphérique ne réagissent sur la ventilation. Tandis qu'avec une machine, il faut au moins deux arrêts par 24 heures, pour graisser et nettoyer le moteur, sans parler des dérangements imprévus et des réparations normales.

Voici la règle pratique pour déterminer les dimensions d'une cheminée d'appel. La section de cette cheminée doit être calculée de manière que l'air qui la traverse ait seulement une vitesse de 1 mètre par seconde ; avec des foyers bien disposés on obtient 1m,50 mais pour que des appareils de ventilation, comme des appareils de chauffage, fonctionnent bien, il faut qu'ils aient toujours une puissance supérieure au travail à faire. On a ainsi la marge nécessaire pour couvrir toutes les résistances et les pertes imprévues, et l'appareil de ventilation donne plus qu'on n'a promis, ce qui est toujours très-avantageux, parce qu'on peut réduire sans peine une ventilation qui nuirait par son excès, tandis qu'il est impossible d'augmenter une ventilation insuffisante par le défaut des appareils. Quand le volume d'air est considérable et la cheminée très-élevée, et que l'on est gêné par les frais d'établissement et par la place, on peut calculer sur 1m,25 par seconde, mais jamais au delà.

Nous donnerons plus loin la manière de déterminer les volumes d'air nécessaire, soit pour entretenir salubre des salles, soit pour dessécher des substances.

Ici c'est l'instrument de la ventilation qu'il faut déterminer.

Admettons donc que l'on demande une cheminée d'appel qui puisse débiter par heure 24 000 mètres cubes d'air, soit par seconde 6mc,67.

On donne à la cheminée 7 mètres de section, soit 3 mètres de diamètre, ou, si elle a au moins 30 mètres de hauteur, on lui donne au minimun 5m,33 de section, ou 2m,60 de diamètre.

Si l'on veut déterminer la quantité de combustible à brûler, pour enlever ces 24 000 mètres cubes par heure, il faut compter sur une quantité de combustible capable d'élever la température de tout l'air sortant de 25 degrés au moins, si le foyer est placé directement dans la cheminée, comme dans les mines et à la maison Mazas. Alors la totalité de la chaleur dégagée par le combustible est employée à chauffer l'air, et à entretenir à la même température l'appareil chauffeur, et les briques de la cheminée : les pertes dues à la surface de cette cheminée sont comprises dans la dépense de houille, en comptant 25° de différence de l'intérieur à l'extérieur. 1 kilogramme d'air pèse à peu près 1k,30, et exige quatre fois moins de chaleur que l'eau, pour être élevé de 1 degré ; 1 kilogramme de houille dégage en brûlant 7000 calories.

La quantité de houille à brûler par heure dans la cheminée, pour débiter 24 000 mètres cubes, sera donc donnée par la formule suivante :

$$\frac{24{,}000 \times 1^{k},30 \times 25^{0}}{4 \times 7000^{c}} = 26^{k},40.$$

Si l'on voulait déterminer la vitesse qu'on obtiendra dans une cheminée construite ou à construire, et dont on a ainsi déterminé, le diamètre on se servirait de la formule de M. Peclet, qui est :

$$V = 8{,}85\sqrt{\frac{H a t D}{L + 4D}}$$

dans laquelle :

H est la hauteur de la cheminée ;

D son diamètre ;

L la longueur du canal ou des canaux de section, égale à la cheminée, à la suite desquels elle est placée.

t la différence de température de l'air de l'intérieur à l'extérieur ;

a le coefficient de dilatation des gaz pour un degré centigrade 0,00367.

Ainsi, avec la cheminée ci-dessus, de 2m,60 de diamètre, de 30 mètres de hauteur et de 5m,30 de section, et avec une différence de température de 25 degrés, et la longueur du canal 100 mètres, la vitesse d'après cette formule est de 2m,257.

Ces cheminées d'appel, traversées par de l'air à 25° ou 30°, s'échauffent peu ; on peut donc, quand elles sont à l'intérieur des bâtiments, les établir avec des languettes de briques de 0,055 ; enduites en dedans et en dehors, elles tiennent ainsi moins de place et peuvent être dissimulées ; on les fait souvent en plâtre, mais la place du foyer doit être en briques.

Mais une condition importante est le choix de la place que doit occuper le foyer d'appel, et sa disposition.

Ce foyer peut être placé au point le plus bas de la cheminée, que l'on fait alors descendre jusque dans le fond des caves : si c'est dans un bâtiment, il peut être placé au contraire, sous les combles, près du sommet de la cheminée. Le premier système a de grands avantages sur le second. Les principes théoriques le disent et les résultats pratiques sont d'accord avec cette théorie. 1° Ce procédé permet d'utiliser à l'appel la puissance de la hauteur entière de la cheminée ; puissance dont il est facile de calculer l'importance, à l'aide de la formule ci-dessus.

En prenant, dans un cas, une cheminée de 6 mètres de hauteur, et dans l'autre, de 30 mètres, et toutes conditions égales d'ailleurs, on trouve que, dans le cas du foyer placé au point le plus bas d'un édifice, la vitesse avec la section de 5m,30 ci-dessus donnée de 2m,257, et dans le cas du foyer placé à 6 mètres du sommet, la vitesse et par conséquent le débit d'air avec la même quantité de combustible n'est plus que de 1m,42.

Nous insisterons fortement sur le principe que nous avons adopté et que nous appliquons partout avec un succès entier, parce qu'on nous a quelquefois reproché, comme une absurdité, de faire descendre la colonne d'air chaud, pour la faire remonter ensuite.

Le plus simple raisonnement suffit cependant pour montrer, qu'il y a bénéfice à faire remonter ainsi une colonne d'air chauffé à 40°, après l'avoir fait descendre quand elle a 15° seulement.

Ajoutons à cela que la colonne moyenne à 15° descend de deux étages ou de 10 mètres et remonte à 30 mètres à 40 degrés. Le bénéfice obtenu ressortira clairement des rapports de vitesse de ces deux cheminées. En faisant L = 10 mètres dans les deux cas et D = 2,60, et T, la différence de la température extérieure, supposée à 0 degrés, pour la petite cheminée et pour la grande 26°.

On a alors : cheminée de 10 mètres de hauteur avec de l'air à 15°, vitesse 1m,49 ;

Cheminée de 30 mètres avec de l'air à 40°, vitesse 6m,64.

Mais comme la vitesse de la grande cheminée est forcée de détruire d'abord la vitesse de la petite cheminée descendante, il faut déduire de la vitesse brute 6,64 la vitesse en arrière de 1,49, et il reste pour la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

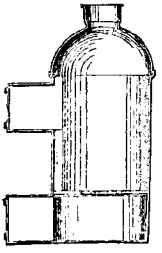
vitesse nette de la grande cheminée, après qu'elle a forcé l'air à redescendre dans la petite; en un mot, le bénéfice qu'il y a là fait redescendre la ventilation pour remonter ensuite, une vitesse de 5m,15, dans les conditions qui précèdent.

Ainsi, en principe, la ventilation doit coûter plus avec le foyer d'appel *placé en haut* qu'avec le foyer placé au bas; en pratique, la différence est énorme. Si l'on examine, dans notre tableau, ce que coûte, à Mons, l'enlèvement de 1000 mètres cubes d'air par les deux systèmes, on trouve que la moyenne de trois foyers placés au fond de la fosse est de 5 centimes et demi, et la moyenne de trois foyers placés à la surface, c'est-à-dire près du sommet de la cheminée, est de 17 centimes, c'est-à-dire trois fois plus cher.

Il y a encore d'autres avantages à placer le foyer au point le plus bas de la cheminée, en amenant, bien entendu, le conduit d'air sur le foyer même; c'est que l'on obtient un tirage d'une régularité extrême. En effet, le tirage ne peut pas se ressentir des petites variations de conduite du foyer, parce que la maçonnerie de la cheminée, toujours échauffée, suffit pour les compenser; il ne peut pas non plus se ressentir de l'action du soleil ni des vents les plus violents, ni des variations de la pression atmosphérique, qui ne peuvent pas refouler une colonne de 30 mètres d'air chaud, animée d'une vitesse de plus de 1 mètre. Tandis qu'au contraire, les foyers placés près du sommet de la cheminée ne peuvent pas avoir des colonnes de plus de 6 mètres de hauteur. Ils reçoivent donc l'action immédiate du soleil, des variations barométriques et des vents, et très-souvent l'air vicié peut être refoulé jusque dans les salles dont il augmente encore l'infection.

Ainsi, à moins que les conditions locales ou les dispositions existantes ne s'y opposent absolument, il n'y a pas à hésiter, surtout quand il s'agit d'un volume d'air important à enlever, il faut placer le foyer d'appel au bas de la cheminée et y jeter, au moyen de conduits souterrains, tout l'air qu'il doit emporter. C'est directement sur le foyer, ou par dessous, que l'air doit déboucher pour pouvoir s'échauffer le plus complétement possible. Si on l'amenait à un point plus élevé que le foyer, la colonne d'air chauffée par le foyer resterait stagnante et ne se mêlerait que difficilement au courant d'air vicié, qui, n'étant que partiellement et mal échauffé, ne prendrait qu'une très-faible vitesse et ne remplirait pas le but proposé. Il se ferait, de plus, de doubles courants dans la partie supérieure de la colonne, et la ventilation serait nulle.

La partie supérieure d'une cheminée d'appel doit être couronnée d'un large chapeau, en tôle ou en pierre de taille, se raccordant avec l'architecture du monument, avec un passage libre, au moins égal à la section de la cheminée. Avec un courant d'air à vitesse modérée et à faible température, et une cheminée de grande section, les pluies refroidiraient profondément les cheminées.



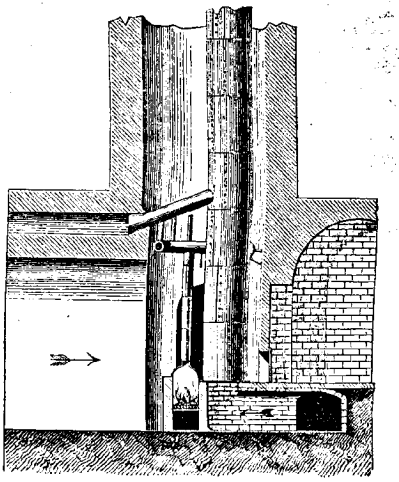
2.

Bien entendu que, quand la cheminée emporte de l'air infect, il faut jeter cet air assez haut dans l'atmosphère pour ne pas nuire aux voisins et qu'il ne puisse jamais rentrer dans l'édifice ventilé.

Quant aux foyers d'appel, on les construit de beaucoup de manières. Si la cheminée n'est pas très-large et qu'on veuille avoir une grande régularité dans l'appel, on y établira l'appareil d'appel (fig. 2), espèce de poêle américain à

combustion lente, où l'on brûle, dans une chemise intérieure en terre réfractaire A, du coke, de l'anthracite ou des mottes de houille mélangées à de la terre : le combustible se charge par la bouche B, en grande épaisseur et se règle parfaitement au moyen d'une tirette établie sur la porte du cendrier C, et de manière à faire des charges de six et huit heures au moins.

Dans les cheminées des mines, le foyer d'appel est une vaste grille en fer recouverte de combustible.



3.

A Mazas, où la cheminée a 2,30 de diamètre (fig. 3), la houille brûle sous un demi-cylindre en fonte A, porté sur de la maçonnerie. Deux tuyaux de fonte B portent la flamme et la fumée du foyer dans des couronnes annulaires, ou tuyaux métalliques C, qui sont armés de petits tuyaux de 0,10 de diamètre, par lesquels la fumée est jetée dans toute la section de la cheminée, pour l'échauffer très-également, lui donner toute sa puissance d'appel et la garantir des contre-courants qui, faute de ces précautions, ont souvent lieu dans les cheminées à grande section. Le courant d'air vicié est jeté sur le foyer d'appel par le canal D.

Dans les cheminées à petite section, comme dans les étuves et séchoirs, on emploie souvent, pour produire l'appel, le tuyau d'un poêle ou d'un fourneau, utilisé à un autre objet.

Nous nous servons aussi avec économie, avantage, et avec toute la puissance nécessaire de la fumée du fourneau de chauffage des petites prisons, pour déterminer, dans la cheminée d'appel, une ventilation très-puissante. Nous reviendrons sur cette question en parlant des prisons.

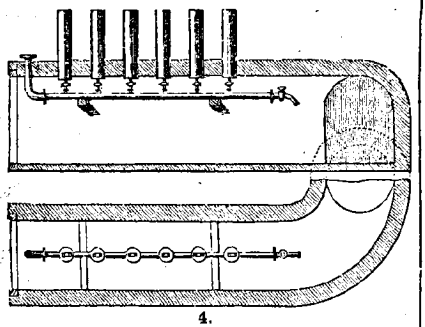
S'il était impossible de placer le foyer au point le plus bas de la cheminée d'appel, il faudrait l'en rapprocher le plus possible et amener le courant d'air directement dessus ou même dessous le foyer, placé alors sur une grille.

On obtient aussi une économie considérable de combustible quand on en brûle directement dans la cheminée, comme dans toutes les mines, au lieu d'employer un appareil d'appel intermédiaire en métal, et recevant par transmission la chaleur produite, loin de là, par une chaudière à eau ou à vapeur.

Dans le premier cas, la totalité de la chaleur développée par la houille qui brûle, est utilisée directement, sans intermédiaire et sans perte, à chauffer l'air

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ventilation, et les 7000 calories que dégage chaque kilogramme de houille en brûlant, suffisent pour



4.

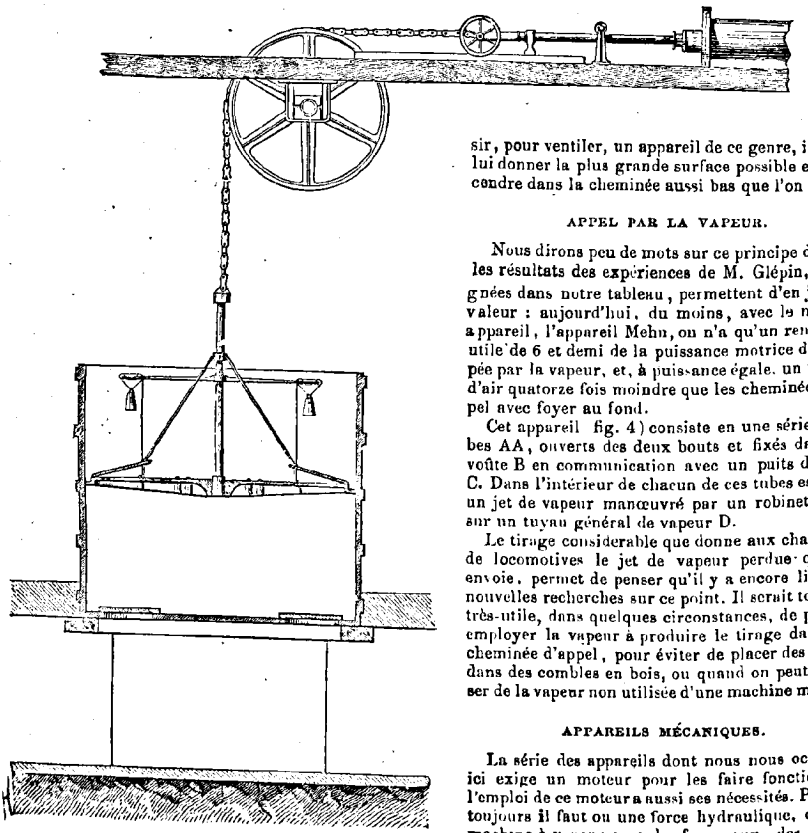
échauffer de 20 degrés 1076 mètres cubes d'air. Tandis qu'au contraire, si on emploie pour appareil d'appel la chaleur développée par le combustible. c'est-à-dire 40 pour 100 au moins de la chaleur totale, est emportée avec la fumée de l'appareil chauffant, et ne sert pas à la ventilation. Un kilogramme de houille ne peut donc plus échauffer de 20 degrés que 646 mètres cubes d'air environ.

Il faut, de plus, des surfaces métalliques considérables pour chauffer l'air de ventilation qui passe trop rapidement, et qu'on ne peut pas faire circuler dans les carneaux, autour de ces appareils, parce que sa force vive est très-faible.

Dans le système d'appel de M. Léon Duvoir, ces défauts se trouvent réunis; l'appareil ventilateur est en métal et reçoit de l'eau échauffée dans les caves: il est de plus, placé en haut des bâtiments, et, par conséquent, avec des cheminées très-courtes.

Ainsi, pendant l'hiver, le foyer est employé en même temps au chauffage, et la quantité de combustible que l'on brûle étant considérable, la ventilation doit être bonne; mais en été, où la quantité de combustible brûlé pour le service des fourneaux d'office est très-faible, la ventilation doit décroître considérablement.

Aussi, quand il y aura une utilité speciale à choisir, pour ventiler, un appareil de ce genre, il faudra lui donner la plus grande surface possible et le descendre dans la cheminée aussi bas que l'on pourra.



5.

dans la cheminée, un système métallique qui reçoive, ou de l'eau chaude ou de la vapeur envoyée d'un point éloigné, il est évident qu'une forte proportion de

APPEL PAR LA VAPEUR.

Nous dirons peu de mots sur ce principe d'appel; les résultats des expériences de M. Glépin, consignées dans notre tableau, permettent d'en juger la valeur : aujourd'hui, du moins, avec le meilleur appareil, l'appareil Mehu, on n'a qu'un rendement utile de 6 et demi de la puissance motrice développée par la vapeur, et, à puissance égale, un volume d'air quatorze fois moindre que les cheminées d'appel avec foyer au fond.

Cet appareil fig. 4) consiste en une série de tubes AA, ouverts des deux bouts et fixés dans une voûte B en communication avec un puits de mine C. Dans l'intérieur de chacun de ces tubes est placé un jet de vapeur manœuvré par un robinet ajusté sur un tuyau général de vapeur D.

Le tirage considerable que donne aux chaudières de locomotives le jet de vapeur perdue qu'on y envoie, permet de penser qu'il y a encore lieu à de nouvelles recherches sur ce point. Il serait toujours très-utile, dans quelques circonstances, de pouvoir employer la vapeur à produire le tirage dans une cheminée d'appel, pour éviter de placer des foyers dans des combles en bois, ou quand on peut disposer de la vapeur non utilisée d'une machine motrice.

APPAREILS MÉCANIQUES.

La série des appareils dont nous nous occupons ici exige un moteur pour les faire fonctionner: l'emploi de ce moteur a aussi ses nécessités. Presque toujours il faut ou une force hydraulique, ou une machine à vapeur avec des fourneaux, des chauffeurs et son combustible. Aussi ces instruments d'appel ne peuvent-ils être employés que pour de grandes ventilations, à moins que, comme dans les prisons, on n'ait gratuitement, par les détenus, la main d'œuvre motrice nécessaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tous les moteurs ont aussi des exigences forcées d'arrêt pour le nettoyage et le graissage de la machine à vapeur, et pendant ce temps, l'appel produit par l'instrument ventilateur est entièrement supprimé.

Il y a cependant des conditions spéciales qui imposent ce système, par exemple dans certaines mines, où l'air qui a circulé dans les galeries est tellement chargé de grisou, qu'on serait exposé à des explosions, en le faisant passer sur un foyer allumé au fond de la cheminée d'airage, ou bien lorsque les parois du puits d'airage sont trop chargées d'eau et donneraient un résultat désavantageux avec un foyer au bas du puits[1].

On les emploie encore quand on a besoin d'appeler des volumes considérables d'air, qui exigeraient dans la cheminée d'appel une surélévation de température, qui croit beaucoup plus rapidement que les volumes d'air enlevés.

Dans la comparaison des deux systèmes, la ventilation mécanique et celle par cheminée d'appel, on calcule ordinairement le travail mécanique dépensé dans les deux cas, ce qui donne un avantage immense à la ventilation mécanique. Mais, dans l'industrie, c'est le coût en argent du mètre cube d'air enlevé par les deux ventilations qu'il faut prendre, en tenant compte des dépenses d'établissement très-dispendieuses avec deux machines et de deux appareils d'appel; des journées de deux chauffeurs, des frais d'entretien et de réparation : toutes dépenses très-lourdes. Tandis qu'avec un foyer d'appel, ces frais sont très-peu de chose. Notre tableau montre que la ventilation la plus économique est celle par une cheminée avec foyer en bas.

Il en est autrement quand on a le moteur gratuitement comme nous le dirons pour l'hôpital Laribois-

Il y a aussi des conditions locales qui font prendre un système plutôt qu'un autre.

MACHINES ASPIRANTES A PISTONS.

Ces machines (fig. 5) consistent en deux grands cylindres en bois cerclés de fer A, et dans lesquels montent et descendent des pistons en bois B conduits soit par des tiges et un balancier, soit par des chaînes C.

Le mouvement alternatif est transmis aux tiges de piston par une machine à vapeur D, tantôt verticale, tantôt horizontale.

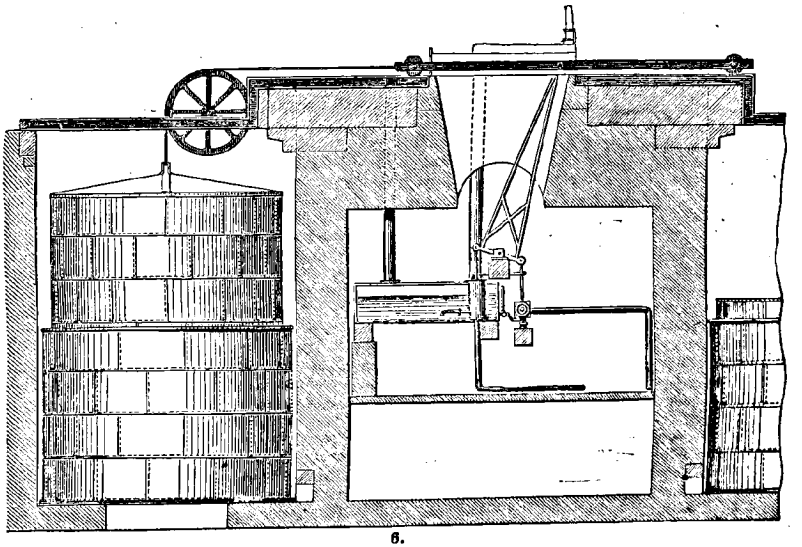
De larges soupapes E sont ajustées dans les fonds en bois de ces cylindres, pour laisser entrer l'air qui arrive par dessous, quand les pistons montent, et d'autres, F, dans les plateaux des pistons, pour le laisser sortir, quand les pistons descendent.

C'est le procédé mécanique le plus anciennement employé dans les mines. Le volume moyen d'air extrait par heure et par force de cheval est de 1242 mètres cubes, et par kilogramme de houille brûlée, 250 mètres cubes.

MACHINES ASPIRANTES A CLOCHE PLONGEANTE.

Cette machine (fig. 6), employée d'abord au Hartz, a reçu depuis peu de temps d'importantes modifications en Angleterre.

Deux caisses circulaires en tôle AA sont placées au sommet de la galerie d'airage; ces caisses sont fermées en dessus par un fond, et ont chacune à leur circonférence une gorge annulaire creuse B, ouverte par dessus et qu'on remplit d'eau. Dans cette gorge, qui forme une espèce de cuve de gazomètre, montent et descendent deux cloches de gazomètre en tôle CC, suspendues à leur centre par des chaînes qui se réunissent en une



6.

sière, et qu'il n'y a pas d'inconvénient à arrêter de temps en temps la ventilation pour graisser ou nettoyer la machine.

Mais, à Mazas, si depuis trois ans on avait arrêté la ventilation deux fois par vingt-quatre heures pour graisser la machine, les cellules auraient été infectées deux fois par jour par le tuyau de descente, et le système aurait été condamné sans retour.

seule, passent sur deux poulies, et vont se fixer aux extrémités de la tige du piston d'une machine à vapeur horizontale E. Le dessus de la caisse fixe et celui des cloches en tôle sont percés d'un grand nombre d'ouvertures garnies de clapets en bois, équilibrés par des contre-poids.

Le travail de ces cloches est le même que celui des machines à piston, les clapets du fond fixe se soulè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent pour laisser entrer l'air entre les deux fonds, quand la cloche monte; lorsque la cloche redescend, les clapets du fond supérieur laissent échapper l'air refoulé dans cette capacité.

Ainsi, les frottements des pistons de la machine aspirante à piston sont ici supprimés.

Les deux systèmes de machines aspirantes dont nous venons de parler, sont très-puissants; ils enlèvent des quantités considérables d'air. Mais il est facile de voir que les machines à piston, à cause des frottements du piston, qui sont, comme on le sait, très-grands, absorbent une puissance mécanique considérable. L'une de ces machines emploie 24 chevaux pour donner 16 mètres cubes par seconde; et l'autre 23 chevaux 1/2 pour en donner 4 1/2. En somme, le volume moyen d'air extrait par les machines à piston est seulement de 124 mètres cubes par cheval, quand avec les cloches plongeantes, il est de 314, et le prix d'extraction des 1000 mètres cubes est avec les premières de 9^{c},3, et avec les secondes de 3^{c},8, c'est-à-dire moins de moitié.

Les cloches plongeantes ont donc une supériorité marquée sur les machines à piston.

Quant aux frais d'établissement, ils sont à peu près les mêmes pour *les deux systèmes*.

VIS PNEUMATIQUES DE M. MOTTE.

Ces appareils sont très-simples de disposition, ne coûtent pas cher et n'exigent pas de constructions considérables (fig. 7).

Une vis qui débite 9 mètres cubes par seconde, ne coûte pas avec deux chaudières et les bâtiments, plus de 10,000 fr., quand la machine à cloche plongeante qui ne donne que 5$^{m.c.}$,42, en coûte 28,000, et quand la machine à piston du Grand-Buisson, qui en donne 5$^{m.c.}$,975, coûte plus de 63,000. fr.

Les produits en volume d'air de ces appareils sont aussi très-réguliers, comme le démontre notre tableau; on voit que trois de ces vis donnent par force de cheval 3143, 3147 et 3672 mètres cubes. En laissant de côté la vis de Monceaufontaine, dans l'observation de laquelle il y a certainement une erreur.

Ces vis sont composées d'un axe vertical en fer A, en communication par un bout avec les puits à aérer.

Sur cet axe sont fixées deux cloisons hélicoïdes CD placées avec l'axe dans l'intérieur d'un tambour fixe en fonte EF, au milieu duquel elles tournent. Ce cylindre est ouvert par le fond pour laisser l'air arriver à l'appareil hélicoïde, et celui-ci est libre à la partie supérieure, pour verser directement cet air au dehors.

Suivant le constructeur, quand la vis a deux cloisons, le pas des hélices doit être égal à la moitié du diamètre du cylindre.

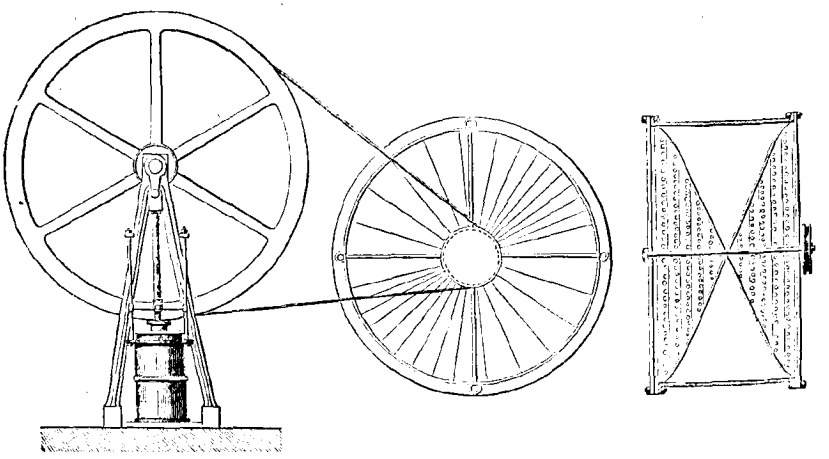
La vis de Sauwartan n° 14 a 1^{m},40 de diamètre et fait 460 révolutions; celle de Monceaufontaine a 0^{m},80 de diamètre et fait 750 tours par minute.

Celle du Chatelet a 1^{m},20 de diamètre et fait 290 tours; enfin celle de la fosse Buchère, qui débite 7 mètres cubes par seconde, a 3 mètres de diamètre avec 189 tours.

Cet appareil doit rendre de grands services; il est facile à placer dans des cheminées circulaires, ce qui est très-avantageux dans beaucoup de cas, et il peut évacuer directement l'air, sans changer la direction de la colonne aspirée comme l'appareil qui suit.

VIS A HÉLICE DE SABLOUKOFF.

Le lieutenant général russe A. de Sabloukoff, après avoir fait de nombreuses applications industrielles du ventilateur à air, a construit en 1835, dans le même but, des espèces de *vis d'Archimède* ou *appareils aspirateurs à hélice*, aussi simples que légers, avec un axe en fer, un tambour en bois et une hélice en tôle ou en toile collée sur des baguettes. Il a remarqué que la possibilité de donner de grands diamètres à cet appareil lui permettait d'extraire des volumes considérables d'air, et avec des vitesses beaucoup moindres que celles des



7

ventilateur *s*. L'hélice doit faire un tour complet, pour prévenir le tremblement qui, sans cette précaution, se manifeste dans l'appareil fonctionnant. La longueur de l'hélice doit être égale à son diamètre.

On supprime souvent l'enveloppe, en plaçant l'hélice sur l'ouverture même qui communique à la capacité à ventiler.

VENTILATEURS.

Il y a des ventilateurs de deux systèmes principaux, le ventilateur à palettes droites, et celui à ailes courbées de M. Combes. Le ventilateur est composé d'un axe tournant sur des supports, et recevant par une poulie le mouvement d'un moteur : sur cet axe sont ajustées un certain nombre de palettes à air.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le système tourne dans un tambour percé à son centre d'une ou de deux ouvertures, et ayant à la circonférence un tuyau de départ établi suivant la tangente au tambour, et à travers lequel s'échappe, à la circonférence, l'air qui a été aspiré par les ouvertures des centres, sous l'action du mouvement centrifuge de l'appareil qui tourne. En effet, pour bien fonctionner, cet appareil doit avoir une très-grande vitesse.

Pour aspirer l'air contenu dans une capacité, on met le centre du tambour en communication avec cette capacité par un tuyau d'un diamètre au moins égal à celui de l'ouverture du tambour. Le mouvement de rotation que reçoivent l'axe et les palettes du ventilateur, imprime à l'air contenu dans le tambour une vitesse et par suite une force centrifuge très-grande qui le forcent à s'échapper par l'ouverture tangentielle pratiquée à sa circonférence extérieure ; il se fait ainsi un vide dans le système, et pour remplir ce vide, l'air à enlever s'y précipite à travers les ouvertures pratiquées au centre.

Les ventilateurs ont depuis longtemps les emplois les plus importants, tantôt comme machines aspirantes, tantôt comme machines soufflantes. C'est avec ces ventilateurs de 0.25 de largeur et de 1,20 de diamètre, et faisant 1000 à 1200 tours, que l'on souffle les cubilots à fondre la fonte destinée aux pièces mécaniques ou à d'autres objets.

Les tarares à nettoyer les blés sont munis de ventilateurs ; on s'en sert dans les poudreries pour faire traverser aux couches de poudre l'air chaud qui doit les dessécher. Ils ont été beaucoup employés dans les magnaneries, soit comme aspiration, soit comme refoulement, pour renouveler l'air vicié.

Les ventilateurs ont un avantage : ils sont simples et économiques d'établissement, coûtent peu d'entretien ; mais leurs conditions normales de construction, leurs produits, la puissance qu'ils exigent et surtout le rapport du volume théorique au volume réel d'air débité, à diverses vitesses, ne sont pas encore bien constatés. M. Morin a commencé des séries d'expériences sur cette question importante. On doit désirer vivement qu'il les complète.

Quoique les ventilateurs aient déjà de nombreux emplois, il y a de grandes inégalités de puissance absorbée, de produit et de rendement utile dans les ventilateurs essayés par M. Glépin (Expériences nos 17 à 27). Le ventilateur Combes (n° 24) est celui qui a rendu le plus, 750 mètres cubes d'air par kilogramme de houille brûlée.

Il n'y a pas de formule pratique pour établir des ventilateurs, comme on en a pour les autres instruments.

Il faut donc prendre les dimensions, et les vitesses essayées et leurs produits, pour servir de règle.

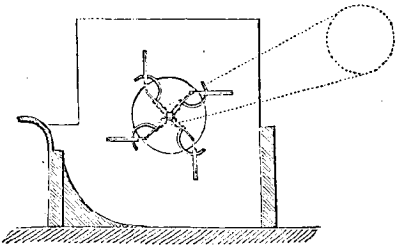
Nous donnons ici la description et les dimensions du ventilateur à ailes planes de M. Letoret (n° 19), placé sur la fosse n° 3 de l'Agrappe et Grisœil ; et de celui (n° 24) à ailes courbes, système Combes, placé sur la fosse n° 5 du Grand-Hornu, qui rendent le plus de produits et d'effet utile.

Le ventilateur Letoret (n° 19) (fig. 8) est composé de quatre ailes rectangulaires en tôle AA, boulonnées chacune contre deux montants en fer forgé, qui sont réunis par articulation aux extrémités de quatre paires de bras fixés à angle droit sur l'arbre tournant B, ce qui permet de leur donner une inclinaison convenable sur le bras du ventilateur, inclinaison déterminée une fois pour toutes par expérience. Des demi-cercles fixés aux bras et traversant les ailes servant à les régler.

Le ventilateur est placé à l'air libre, dans une enceinte rectangulaire en maçonnerie C, dont les faces longitudinales, traversées par les extrémités de l'arbre, sont percées chacune d'une ouverture circulaire D qui met le ventilateur en communication avec les travaux à ventiler.

Les deux autres faces de la maçonnerie ne sont pas plus élevées que l'axe du ventilateur.

A égale distance des deux faces longitudinales est fixé sur l'arbre un diaphragme en tôle qui sépare les



8.

deux courants arrivant de chaque côté du ventilateur, de manière qu'ils ne puissent pas se contrarier l'un l'autre.

Une petite poulie en bois transmet à l'arbre du ventilateur le mouvement d'une machine à vapeur horizontale placée près de là.

Dimensions du ventilateur Letoret.

Longueur des ailes.	0m,80
Largeur des ailes parallèlement à l'axe.	0 ,98
Longueur des bras depuis le centre de l'arbre jusqu'au centre de l'articulation des montants qui supportent les ailes.	0 ,75
Diamètre des ouvertures centrales d'arrivée d'air.	1 ,30
Espace libre entre les tranches latérales des ailes et les cloisons longitudinales en maçonnerie.	0 ,05
Angle formé par les ailes et les bras. .	110°
Vitesse du ventilateur.	144 rév.

Ce ventilateur prend 5 chevaux 24 pour débiter par heure 14,213 cubes d'air, et rend 20 p. 100 d'effet utile.

Ventilateur Combes à ailes courbes, du puits n° 5 du Grand-Hornu (n° 24) (fig. 9).

Rayon de la circonférence intérieure du ventilateur, à l'origine des ailes.	0m,68
Rayon de la circonférence extérieure à l'extrémité des ailes la plus éloignée de l'axe	0 ,85
Hauteur des ailes à l'entrée des canaux mobiles.	0 ,34
Nombre d'ailes.	3
Vitesse angulaire à imprimer.	69m,395
Hauteur des ailes à la sortie des canaux mobiles	0 ,335
Angle formé par l'origine des ailes et la tangente à la circonférence du rayon intérieur.	6°,39
Nombre de tours en une minute	542

Ce ventilateur, construit par M. Glépin lui-même, était calculé pour débiter 8 mètres cubes d'air par seconde, à 706 révolutions par minute, il n'a pu, faute d'une puissance suffisante, marcher qu'à 463 tours et débitait alors 4m,062 cubes d'air par seconde.

Une des conditions les plus importantes de construction de ces appareils, est que les canaux qui leur amènent l'air à évacuer ne soient ni trop étroits ni étranglés de place en place, ni coudés à angles droits. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ventilateurs ne peuvent pas produire un vide très-grand. Quand la colonne d'air aspirée rencontre trop de

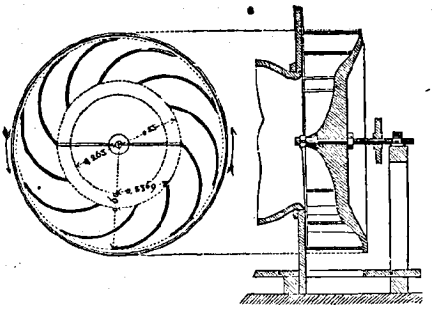


Fig. 9.

résistances, le ventilateur ne débite plus que très-peu de chose.

La vitesse de l'air, dans ces conditions d'appel, ne doit pas être au-dessus de 0,80 par seconde s'ils ont de

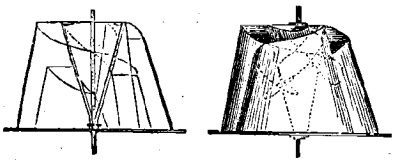


Fig. 10.

grandes dimensions, et 1,50 et au-dessous pour de petites sections.

Ce n'est que pour de très-faibles pressions que les ventilateurs peuvent être appliqués à mouvoir de très-grands volumes d'air.

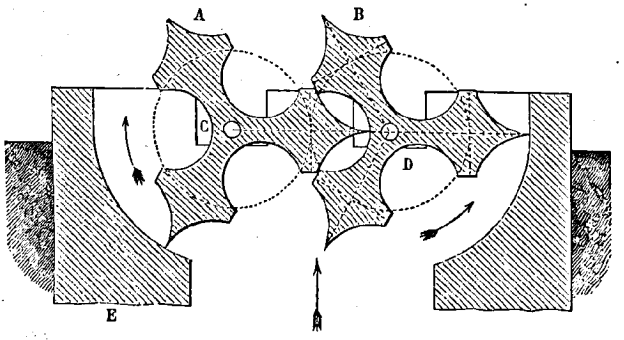


Fig. 11.

Pour la *ventilation soufflante* on donne des dimensions beaucoup plus petites aux tuyaux qui conduisent aux cubilots et aux forges l'air lancé par les ventilateurs; mais c'est pour que cet air arrive dans les foyers avec une très-grande vitesse, et cette vitesse ne s'obtient qu'en faisant naître une pression notable, ce qui en traîne une grande consommation de travail. (Voy. MACHINES SOUFFLANTES.) Suivant M. de Saint-Léger, les ventilateurs de fonderie exigent 4 chevaux-vapeur pour débiter 3000 mètres cubes d'air par heure avec 500 tours, 1m40 de diamètre et 0m,35 de largeur, quand les bons ventilateurs des mines donnent, avec de petites vitesses 3700 à 3800 mètres cubes par force de cheval à l'heure.

Quand on emploie, ce qui est rare, des ventilateurs agissant par insufflation, pour ventiler des édifices ou des ateliers, l'économie de puissance motrice et d'usure d'outils étant la première condition à remplir, il faut donner une grande section aux tuyaux en métal en maçonnerie, qui vont distribuer l'air dans toutes les salles à ventiler, etc.

La vitesse dans ces tuyaux ne doit pas dépasser 1m,25 ou 1m,50 par seconde pour les gros tuyaux, et 0m,50 pour les petits.

VENTILATEUR PASQUET
(Ingénieur civil à Charleroi).

Ces ventilateurs (fig. 10) inventés par M. Pasquet, sont formés de deux cônes en tôle, dont les bases sont opposées l'une à l'autre; ils sont montés tous deux sur un même axe; trois ou six ailes coniques enveloppent le cône central et autant de rampes héliçoïdales serpentent autour du dernier cône, et forment avec les ailes trois canaux mobiles qui vont déboucher à l'intérieur. La vitesse varie de 20 à 30 révolutions.

Ce système agissant directement sur l'air, en faisant naître des remous et des résistances, vu surtout sa vitesse de rotation assez grande, est bien inférieur au suivant.

ROUE PNEUMATIQUE OU VENTILATEUR DE M. FABRY.

M. Fabry, sous-ingénieur des mines en Belgique, a trouvé une disposition fort originale d'appareil d'appel mécanique; sa construction repose sur les principes appliqués dans les engrenages dont nous donnons un tracé (fig. 11). Il se compose de deux tambours en tôle, ou plutôt de deux roues à trois dents A et B montées sur deux arbres en fer C et D, engrenant l'une dans l'autre avec un léger frottement, et mues par deux engrenages de même diamètre.

Ces tambours se meuvent dans deux coursiers circulaires en fonte E et F, en communication avec la mine par leur partie inférieure et avec l'atmosphère par leur partie supérieure.

Les deux dents, qui engrènent sont toujours en contact par une arête, et les parties frottantes ont une courbure épicycloïdale; par conséquent, l'air de la mine rejeté dans l'atmosphère par les deux extrémités de l'appareil ne peut jamais rentrer par le milieu, excepté, bien entendu, celui qui occupe les espaces nuisibles et celui qui peut s'infiltrer entre les extrémités des ailes et le coursier.

Le tout est commandé ordinairement par une machine à vapeur horizontale à mouvement très-simple.

Avec une largeur de coursier de.	2 mètres.
Chacun des tambours ayant de diamètre.	1
Leur vitesse est par minute seulement de.	30 tours.

Le volume d'air évacué alors varie de 7 à 8 mètres cubes.

Ces appareils sont déjà employés dans un assez

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grand nombre de mines en Belgique et dans le département du Nord.

Les résultats pratiques qu'ils ont donnés sont supérieurs, comme rendement utile, à ceux de tous les appareils mécaniques employés jusqu'à ce jour à la ventilation des mines.

Dans deux expériences auxquelles il a soumis une roue pneumatique placée au puits des Échelles, attenant à la fosse d'extraction n° 3 du charbonnage du Gouffre, près Charleroi, M. Glépin a constaté les résultats suivants :

Première expérience.

	Tours.
Vitesse du tambour par minute.	31',40
Volume d'air débité.	8$^{m.c}$,108
Colonne d'air représentant la dépression manométrique à l'intérieur du puits.	40^{m},986
Travail net utilisé.	5^{ch},27
Travail moteur dépensé, ...	9 ,92
Rapport de l'effet utile.	0,541

Seconde expérience.

Dans la seconde expérience, M. Glépin a intercepté en partie le passage de l'air dans le puits d'appel.

La vitesse a été encore de.	31',40
Le volume débité est tombé à.	7$^{m.c}$,056
Colonne d'air représentant la dépression manométrique	62^{m},55
Travail utile du ventilateur.	7 chev.
Travail moteur dépensé.	11^{ch},53
Rapport d'effet utile	67,1
Le rendement moyen de l'effet utile est de.	0,60

M. Glépin fait remarquer avec beaucoup de raison que la roue pneumatique, bien que coûtant un peu plus cher d'établissement que quelques autres instruments d'extraction d'air, par son grand rendement utile qui est de 50 à 60 pour 100 du travail brut qu'on lui applique, revient en somme moins cher, à volume égal d'air enlevé, ce qui est en effet le véritable terme de comparaison. Cette machine a un autre avantage, c'est que, fonctionnant avec une vitesse régulière beaucoup moindre que les ventilateurs à force centrifuge, elle est beaucoup moins exposée aux accidents et aux arrêts.

C'est ce qui explique la rapide propagation des roues pneumatiques en Belgique et même en France.

Ces outils ont été l'objet d'un excellent rapport, fait par M. Callon, à la Société d'encouragement.

Les cheminées d'appel, comme les machines à piston et à cloche, et les vis pneumatiques ne peuvent s'appliquer qu'à un seul système de ventilation, celui *par aspiration*. Mais les ventilateurs sont employés comme instruments tantôt d'aspiration tantôt de refoulement.

Le choix entre ces deux systèmes de ventilation dépend entièrement des conditions locales.

La dépense de force motrice est la même dans les deux cas ; seulement, avec les ventilateurs refoulants, on peut donner plus de vitesse à l'air ventilé et par conséquent des dimensions moindres au tuyau de distribution, ce qui est quelquefois important.

La rigoureuse répartition de la ventilation, quand on a un très-grand nombre de salles différentes à ventiler, serait impossible avec l'insufflation, pour les 1200 cellules de Mazas par exemple, où cette perfection de répartition s'obtient facilement par l'aspiration centrale. Dans un grand édifice où le nombre des salles n'est pas si considérable, dans un hôpital, par exemple, la ventilation par insufflation a des avantages. Elle permet de prendre à un point élevé, et en dehors de toutes les émanations délétères de l'édifice, de l'air parfaitement pur, de l'envoyer en quantités rigoureusement réglées dans chaque salle, de continuer à ventiler, en été, avec de l'air rafraîchi dans les caves même

quand les fenêtres des salles sont ouvertes, ce que les autres systèmes ne permettent pas. Elle s'oppose en même temps à ce que l'air infecté d'un bâtiment voisin ne soit appelé par les fenêtres ouvertes. Il y a là un autre avantage que donne la ventilation gratuitement, c'est que la vapeur perdue du moteur qui conduit le ventilateur, est utilisée totalement, soit en hiver au chauffage des salles, soit en été au chauffage des bains. Nous donnerons plusieurs exemples pratiques de ventilation par insufflation.

De plus, les appareils et conduits pour ventiler par insufflation coûtent plus cher d'établissement que ceux par appel mécanique.

La ventilation mécanique coûte souvent plus cher que la ventilation par appel dans certains cas

Comme le choix entre ces divers systèmes d'appel dont nous avons tracé rapidement les conditions principales, entre la ventilation par aspiration et celle par insufflation, ne peut pas être absolu, c'est l'expérience de l'ingénieur et la connaissance des conditions locales du problème à résoudre qui peuvent seules le guider.

Quand le choix est bien fait, tout vient se coordonner facilement, et les résultats arrivent dans toute leur bonté et leur développement. En thèse générale, la ventilation par des cheminées d'appel a un grand caractère de sécurité et de régularité. Il faut donc que la ventilation mécanique ait, dans diverses circonstances, des avantages d'économie, de facilité d'installation ; que l'établissement d'une cheminée d'appel soit difficile, ou que la ventilation mécanique soit seule applicable, comme dans les ateliers de taille des cristaux, pour qu'on adopte les moyens mécaniques.

C'est l'étude des applications qui montrera comment on doit se guider dans cette décision importante, et la manière d'organiser ces services.

Ce sont ces graves questions que nous allons aborder.

APPLICATIONS.

Avant de développer les grandes applications pratiques des principes *et des conditions* de la ventilation aux divers genres d'établissements, nous devons résumer succinctement les bases scientifiques des calculs qui règlent la ventilation, et qui ont servi à déterminer certaines unités adoptées pour les différents services.

On remarquera que, comme dans l'article *chauffage*, nous nous sommes abstenus ici de tout élément théorique, adoptant la pratique pour notre seul guide, et prenant, autant que possible, nos exemples dans les faits dont elle a constaté les bons résultats.

Maintenir une salle, une école, un amphithéâtre salubres, c'est leur enlever d'abord, à mesure qu'ils se produisent, les éléments nuisibles à la santé ou au fonctionnement des organes des êtres vivants ; c'est leur rendre, à mesure des besoins, la portion de diverses substances, indispensables au jeu de ces organes, et qui sont emportées à chaque instant, soit par ces organes, soit par des phénomènes physiques ou chimiques qui se produisent dans la salle même.

Le grand agent de la ventilation est l'air qui enveloppe l'homme de toute part, et qui détruit instantanément la vie quand il est altéré dans de certaines limites qui sont très-rapprochées. En effet, l'air est composé, en outre d'une portion d'acide carbonique, variant de 0,0004 à 0,0006, de 79,20 parties d'azote, corps simple impropre à la respiration et à la combustion, et de 20,8 parties d'*oxygène*, qui, au contraire, donneraient à ces deux phénomènes une activité et une intensité sous l'action desquelles la vie, au lieu de se conserver, serait rapidement détruite.

Le mélange de ces deux éléments gazeux, dans les proportions atmosphériques, donne les conditions les plus favorables à la vie de l'homme et à la combustion

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des corps, appliqués par nous à nos besoins journaliers et industriels.

L'homme vicie de plusieurs manières l'air dans lequel il est plongé : d'abord en l'inspirant et l'expirant, parce que l'air qui pénètre dans les poumons, à chaque inspiration, brûle une partie du carbone du sang veineux pour en faire du sang artériel, propre à entretenir la vie.

Cette combustion transforme en acide carbonique une partie de l'oxygène de l'air, tandis qu'une petite portion d'azote est absorbée.

Le nombre des inspirations de l'homme est, en moyenne, de 25 par minute, absorbant 0l,666 d'air chacune, ou 24 mètres cubes par vingt-quatre heures.

D'après M. Dumas, un homme adulte transforme en acide carbonique et en eau, en une heure, tout l'oxygène de 90 litres d'air, quantité équivalente à 10 grammes de carbone par heure. MM. Andral et Gavarret le portent à 11 grammes.

Suivant ces savants, la quantité inspirée par un adulte est environ de 450 litres, et l'acide carbonique produit est de 20 litres.

L'air expiré contient, en acide carbonique, 0,048.

L'air qui enveloppe l'homme est encore vicié par deux transpirations : la transpiration pulmonaire et la transpiration cutanée, qui chargent l'air expiré de 38 grammes de liquides mis en vapeur, qui exigent 5840 litres d'air pour être tenus en suspension, en admettant que cet air soit à 15 degrés et à moitié saturé.

Ainsi, en comptant 500 litres d'air inspirés par heure, et 6 mètres pour emporter les produits des deux transpirations, on arrive au chiffre de 7 mètres cubes d'air à ventiler, par heure et par individu.

Ce volume de 6 ou 7 mètres cubes, est celui que l'on a souvent adopté pour base de ventilation des édifices publics; mais la commission d'examen des projets de chauffage de la maison Mazas, dans les importantes expériences auxquelles elle s'est livrée pour régler le volume à renouveler par cellule, a déjà porté ce volume à 10 mètres, comme base du système à organiser.

Et, depuis, l'expérience pratique de ce système a prouvé que, pour que les détenus se trouvent dans des conditions de santé et de salubrité égales à celles qu'ils auraient dans des appartements sains, il leur fallait 20 mètres cubes par heure; c'est le volume qu'ont donné, en définitive, les appareils, comme nous le dirons plus loin, et que la commission d'hygiène de la maison Mazas a adopté pour *volume normal*.

C'est qu'en effet, d'après les observations de MM. Péclet et Dumas, d'après les travaux de M. le professeur Gavarret, la vapeur résultant de la transpiration contient des substances animales encore inconnues, très-facilement putréfiables, et qui infectent rapidement les locaux renfermés dans lesquels les hommes respirent, quand il n'y a pas de renouvellement d'air. D'où, par les mêmes causes, l'eau atmosphérique condensée et abandonnée à elle-même, entre promptement en putréfaction. Il est évident qu'en outre du volume d'air renouvelé pour remplacer celui que la respiration a altéré, il faut un excès considérable de ventilation pour emporter tous ces miasmes putrides.

Dans un hôpital, où les conditions les plus parfaites de salubrité doivent être maintenues, et où, au contraire, des maladies de toute nature et fort diverses sont placées les unes auprès des autres, et où, malgré le classement que l'on fait aujourd'hui des malades dans de petites salles isolées, de certains malades ou des agonisants répandent, malgré les soins les plus actifs, des odeurs et des miasmes très-dangereux pour leurs voisins de lit, il faut dans un hôpital la ventilation la plus énergique, il faut que le volume d'air soit tel qu'un malade ne puisse jamais sentir ces odeurs délétères, et il faut compter sur 30 ou 40 mètres cubes d'air par heure et par lit, et pouvoir aller, avec de certaines maladies et de certaines opérations, à 60 mètres cubes. Nous reviendrons sur ce point en parlant de la ventilation des hôpitaux.

Dans les écoles, de 6 à 10 mètres cubes sont suffisants pour les enfants, qui ne brûlent, par heure, que 5 grammes de carbone, c'est-à-dire un peu plus du tiers de l'adulte. Des expériences faites par M. Péclet prouvent en effet qu'avec 6 mètres cubes par tête, une école contenant 180 enfants est parfaitement salubre.

C'est que, quand des individus de même âge sont réunis dans une salle, la proportion de renouvellement d'air nécessaire à chacun d'eux peut diminuer un peu.

Dans la salle des séances des députés, il y avait à peu près 7 mètres cubes par tête, en ne comptant que l'air chaud versé par les appareils chauffeurs, et non pas l'air introduit par les portes, les joints des fenêtres; ce qui devait, en réalité, donner 10 mètres.

L'air des appartements est aussi altéré par les lumières qu'on y allume. Nous donnons ici, d'après M. Péclet, le poids des différentes substances éclairantes que l'on brûle en une heure, et le volume d'air nécessaire, en supposant l'air brûlé seulement au tiers.

Quantités d'air nécessaires aux différents appareils d'éclairage.

NATURE DE L'ÉCLAIRAGE.	CONSOMMATION de COMBUSTIBLE par heure.	VOLUME D'AIR dont $\frac{1}{3}$ de l'oxygène est absorbé.
Chandelle de 6 à la livre.....	11gr.	0m,322
Bougie.....	11	0 ,322
Lampe gros bec..	42	1 ,206

Les quantités de lumière dégagées par les substances sont entre elles comme les nombres 11, 14 et 100. M. Boussingault estime à 2 964 641 litres l'acide carbonique produit en vingt-quatre heures par les 909 126 habitants de Paris, à raison de 370 litres par homme, et par les 31 000 chevaux de cette ville, à raison de 4000 litres par cheval.

Population. . . .	336 777 mètres cubes.
Chevaux.	132 370
Bois à brûler . .	855 385
Charbon de bois.	1 250 700
Houille.	314 215
Cire.	1 071
Suif.	25 722
Huile	28 401
Total. . .	2 944 641 mètres cubes.

VENTILATION DES LOGEMENTS.

Les appartements qui ont des cheminées allumées se trouvent ventilés naturellement, et en admettant que le tuyau de cheminée n'ait que 0m,32 de diamètre, comme la vitesse de l'air chaud peut s'élever jusqu'à 2 mètres, on peut débiter de 45 à 50 mètres cubes à l'heure, et suffire ainsi à huit ou dix personnes, mais non pas au delà.

Quand les pièces sont très-grandes et occupées par un petit nombre de personnes, même sans cheminée, elles sont salubres. Le renouvellement qui a lieu par les joints des fenêtres et des portes, est considérable.

Quant à l'air des salles chauffées, en Italie et en Espagne, par des braseros, la respiration en est d'autant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION.

plus dangereuse qu'il contient de l'oxyde de carbone, que M. Leblanc a constaté avoir une puissance d'asphyxie bien supérieure à celle de l'acide carbonique.

Il se produit aussi dans l'acte de la respiration, par la combustion du carbone du sang veineux, un dégagement de chaleur très-important.

En prenant, avec M. Dumas, 10 grammes par heure pour la quantité moyenne de carbone brûlé par chaque homme, la quantité de chaleur émise par ce phénomène égale

$$0^k,010 \times 7300 \text{ calories} = 73 \text{ calories},$$
unités de chaleur.

Une partie de cette chaleur est employée à transformer en vapeur les liquides dégagés par les deux transpirations que nous avons vu être de 38 grammes, et il ne reste plus de disponible que $73 - 38 \times 650$, soit 43 calories.

Il est important de connaître les limites au-dessous desquelles l'air devient irrespirable.

M. Leblanc a reconnu qu'un chien de forte taille était asphyxié dans une atmosphère contenant 0,04 d'acide carbonique et seulement 0,005 d'oxyde de carbone.

Il est reconnu que 1/1500e d'hydrogène sulfuré tue les oiseaux.

M. Leblanc, dans ses belles et utiles recherches sur la composition de l'air tiré des mines de Bretagne et de Belgique, a constaté que l'air le plus altéré par l'effet de la respiration des ouvriers, et par la combustion des lampes, contenait 3 ou 4 pour 100 d'acide carbonique, et 4 ou 5 pour 100 d'oxygène de moins que la proportion normale.

Dans de l'air ainsi vicié, les lampes s'éteignent, la respiration des hommes est un peu gênée; mais cependant le travail est possible, tant que la proportion d'acide carbonique ne dépasse pas cette limite.

Dans une entaille de houillère, où l'on n'avait pas pénétré depuis longtemps, M. Leblanc a trouvé l'oxygène descendu au-dessous de 10 pour 100. Une pareille atmosphère est immédiatement asphyxiante.

Ainsi, c'est le dosage de l'acide carbonique qui sert de mesure pratique à l'insalubrité de l'air, comme le démontre M. Leblanc.

A 1 pour 100 d'acide carbonique, s'il provient de la respiration, le séjour ne peut se prolonger sans exciter une sensation de malaise prononcé.

M. Moyle, dans l'examen de l'atmosphère des mines de Cornouailles, a trouvé, au minimum :

Oxygène	14,64
Azote.	85,36
Acide carbonique	0,13
Total. . . .	100

et, au maximum :

Oxygène.	18,95
Azote.	80,98
Acide carbonique.	0,065
Total.	100

D'après les recherches de MM. Andral et Gavarret, en supposant un homme adulte renfermé dans une enceinte de 10 mètres cubes, l'atmosphère contiendra,

après 2 heures, 42 dix-millièmes d'acide carbonique,
après 4 heures, 84 — —
après 6 heures, 126 — —
après 8 heures, 168 — —

Enfin, si l'analyse chimique indique une proportion de 4 pour 100 d'acide carbonique dans l'atmosphère, on doit en conclure que la totalité de l'air contenu dans l'enceinte a été respiré; s'il contient 1/2 pour 100, 1/8 seulement de l'air a servi à la respiration.

Quelle que soit, du reste, la proportion d'acide carbonique dans une salle, elle est toujours mêlée, à proportions égales, partout, et non pas en couches de différents dosages, suivant les niveaux.

Ventilation des prisons.

Aucun genre d'établissement ne présente des difficultés aussi grandes, pour la ventilation, que les prisons, et surtout les prisons cellulaires, ou les cellules de nuit, que l'on construit aujourd'hui partout, et qui ont évidemment besoin d'être toujours ventilées.

Il faut là une ventilation puissante, constante, régulièrement partagée sur tous les points, indépendante des détenus, et facile à conduire.

Elle doit être *puissante*, parce que beaucoup de détenus ont de vieilles habitudes de malpropreté, et répandent même quelquefois une odeur cutanée infecte; la présence d'un vase de nuit, même clos, dans les cellules, est une nouvelle cause d'infection. Enfin, la commission chargée par M. le préfet de police d'étudier toutes les questions relatives à l'hygiène de la maison Mazas, et aux conditions sanitaires de l'emprisonnement cellulaire en général, a constaté que, pour que la santé des détenus ne fût pas compromise par leur encellulement, et que, par conséquent, le système cellulaire fût possible, il leur fallait des visites, du travail et une énergique ventilation; celle-ci n'est jamais trop grande, en été surtout. A Mazas, au lieu des 10 mètres cubes par heure, qui avaient été demandés pour chaque cellule, l'auteur de cet article a donné à ses appareils des dimensions assez considérables pour que la ventilation soit, depuis trois ans d'occupation, de 20 à 22 mètres cubes par cellule; résultats constatés par les séries d'expériences anémométriques les plus complètes qui aient jamais été faites.

Ainsi, les cellules ayant 21 mètres cubes chacune, l'air qu'elles renferment est renouvelé une fois par heure. Or, avec ces résultats, la commission a déclaré que la prison était dans de très-bonnes conditions hygiéniques, mais qu'il ne fallait pas diminuer la ventilation; il faut donc, au minimum, 15 mètres cubes par cellule et par heure : c'est ce que nous garantissons dans nos traités, et nous donnons de 20 à 30 mètres. La fumée dont on emplit une cellule disparaît complétement, en un quart d'heure, l'acide carbonique qui reste dans l'air vicié ne dépasse pas, d'après les observations de M. Leblanc, 0,0015.

Dans les petites prisons, dont les appareils de chauffage et de ventilation ont été établis sur nos plans, la ventilation, en été, atteint souvent 30 et 40 mètres.

Voici les résultats constatés dans des rapports officiels :

Mazas,	1224	cellules de	20 à 22	mètres cubes
Beaupréau,	42	—	19 à 20	—
Arbois,	36	—	20	—
Provins,	36	—		
Fontainebleau,	36	—	35	—

En hiver, une ventilation de 30 à 40 mètres cubes serait trop forte; on la modère alors au moyen d'un registre placé sur le conduit général de ventilation.

Elle doit être *constante* et *régulière*. Tout procédé qui donnerait une ventilation variant d'heure en heure ou dans la journée seulement, serait un mauvais procédé. Il n'y a pas d'application possible, dans une prison, surtout si le service n'est pas toujours le même, et s'il exige une surveillance de toutes les secondes.

Dans une prison départementale, on n'a ni le temps ni les éléments pour vérifier l'intensité de la ventilation; on n'en sent même guère la nécessité, l'infection des cellules et la visite des magistrats peuvent seules servir de guide, car les détenus n'osent pas se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plaindre, et quand ils se plaignent, c'est d'une trop forte ventilation. Ils préfèrent presque tous une chaleur concentrée à un air pur et vif. Or, c'est l'infection des cellules qui doit être toujours évitée.

Nous dirons comment on obtient cette régularité.

La ventilation doit fonctionner avec une égalité entière sur tous les points à assainir ; sans cela quelques points seraient ventilés avec excès quand d'autres ne le seraient pas du tout. C'est un résultat difficile à obtenir, mais d'une haute importance ; avec la régularité de l'appel, c'est la perfection d'un système de ventilation cellulaire ou autre.

La ventilation de la cellule ne doit pas être tout à fait indépendante du détenu. Il faut qu'il puisse l'interrompre ; mais on doit le surveiller pour qu'il n'obstrue pas les bouches d'appel, ce qui a souvent lieu.

Des appareils destinés à fonctionner jour et nuit, pendant des années entières, et qui sont presque toujours soignés par des détenus ou par un concierge de prison, doivent évidemment être *faciles à conduire ;* la simplicité de construction et de service en fait la bonté.

Par quels moyens arrive-t-on à remplir à la fois toutes ces conditions ?

Quant à la puissance des appareils, nous avons dit, en parlant des qualités et des résultats de chacun des instruments qui servent à la ventilation, comment on devait calculer les dimensions nécessaires pour obtenir un effet demandé. Nous répéterons qu'il n'y a jamais de danger à les faire grands.

Maintenant, sauf la condition d'emploi de la vapeur perdue avec les appareils mécaniques dont nous parlerons à propos des hôpitaux, les seuls procédés qui répondent à toutes ces conditions, ce sont les foyers d'appel, à feu nu et direct, placés au bas de la cheminée de ventilation. Eux seuls donnent largement les produits qu'on leur demande, un service facile, économique et une complète sécurité dans les résultats.

A Mazas, le foyer d'appel, que nous avons tracé plus haut (fig. 3), fonctionne depuis plusieurs années sans aucune variation, et avec une telle puissance, que, dans des expériences bien constatées, après trois heures d'extinction totale du feu, la ventilation n'était réduite que de moitié.

Cela s'explique sans peine par l'action d'une haute cheminée en briques, toujours pénétrée d'une grande quantité de chaleur, avec laquelle les variations d'intensité du feu ne peuvent pas être sensibles, et qui s'oppose à tout retour en arrière, sous l'action des vents les plus violents, du soleil, ou des variations atmosphériques.

Aussi rien ne peut réagir sur les cellules à travers un appareil aussi puissant que cette cheminée. Le chauffeur n'a qu'à charger fortement sa grille de combustible le soir, et il laisse sans inconvénient le foyer seul pendant toute la nuit.

Vers minuit un des gardiens, dans sa ronde, fait une nouvelle charge qui va jusqu'au matin.

Dans les petites prisons où cette surveillance spéciale n'existe pas, si le service de la ventilation exigeait un travail continu, il serait bientôt négligé et abandonné, quoique aujourd'hui on commence à en sentir partout la haute utilité et que les administrations y tiennent la main.

Il faut donc des dispositions qui n'exigent que quelques soins simples. Nous avons combiné un foyer de dimensions modestes et réglé en raison de l'importance de la prison.

Ce poêle d'appel que nous avons donné (fig. 2) est en fonte et couronné d'un tuyau qui monte dans la cheminée générale et va pénétrer dans le tuyau de fumée de l'appareil chauffeur.

Garni intérieurement d'une chemise en terre réfractaire. Il reçoit par le haut une assez grande quantité de combustible pour pouvoir marcher 6 ou 8 heures sans nouvelle charge.

Comme nous l'avons dit plus haut, on y brûle, à combustion lente, du coke, de l'anthracite ou de la houille maigre, des mottes de tannée ou des fragments de combustibles mélangés de terre, en réglant à volonté le tirage au moyen d'une tirette placée sur la porte du cendrier. On le laisse aussi marcher seul pendant la nuit entière, et on obtient à très-peu de frais la ventilation la plus régulière.

En hiver, cette ventilation a lieu sous la seule action du tuyau de fumée de l'appareil chauffeur qui se rend dans la cheminée d'appel, à 6 ou 8 mètres de hauteur : l'appel est énorme, et quand le feu du chauffage est arrêté au milieu de la journée, la cheminée reste assez chaude pour que la ventilation continue jusqu'au lendemain dans de très-bonnes conditions.

Nous avons dit qu'à Mazas, on brûlait en été 480 kilogrammes par 24 heures, pour une ventilation de 24 à 25 000 mètres cubes, ce qui donne 1200 à 1250 mètres par kilogramme de houille brûlée.

A Provins, à Fontainebleau et ailleurs on brûle 24 kilogrammes par 24 heures, pour emporter 26 à 28 000 mètres cubes d'air ; c'est donc par kilogramme de houille environ 1050 mètres cubes d'air enlevé. Rien de plus simple et de plus puissant que ces procédés.

Quant au système général de distribution de ventilation dans un édifice, si considérable et si divisé qu'il soit, nous avons adopté pour principe de ramener tout l'air enlevé aux divers bâtiments, dans une cheminée unique et placée sur le point le plus central, ou au moins le plus facile pour le service et pour l'établissement des conduits d'appel.

L'installation d'une cheminée par bâtiment donne forcément des inégalités constantes de ventilation, des difficultés de surveillance et des frais multipliés de conduite qui sont toujours fâcheux, surtout si l'on voulait placer le foyer d'appel dans les combles.

Ainsi une seule cheminée à laquelle on donne sans peine de grandes dimensions, un foyer d'appel puissant et régulier, conduit par un seul ouvrier, et par conséquent un service facile à régler et à surveiller.

Cette condition d'unité d'appel s'applique aux hôpitaux comme aux prisons, aux asiles d'aliénés, aux amphithéâtres, aux dépotoirs et à tous les établissements à assainir.

Nous avons donné la manière de calculer les dimensions de cette cheminée.

Quand on adopte le foyer d'appel à feu nu, il faut le placer au bas de la cheminée, et sa bouche doit être facilement accessible à la houille, aux ouvriers, et surtout à la surveillance.

Les foyers d'appel placés dans les combles, outre le défaut que nous avons signalé en principe, ont encore celui de ne pouvoir pas être aisément et souvent visités par les chefs de l'établissement, et comme on ne peut guère mettre de foyers directs dans les combles, par suite du danger de feu, les foyers d'appel indirects renfermés dans la cheminée ne permettent pas de voir s'ils fonctionnent bien ou mal, ou pas du tout ; tandis qu'avec un foyer à feu nu, un coup d'œil suffit.

Le canal général qui amène dans la cheminée d'appel l'air vicié de tous les bâtiments doit déboucher directement sur le foyer, et tous les passages d'appel doivent être établis sous terre dans les dimensions prescrites plus haut, avec des coudes pris de loin et bien arrondis, pas d'angle vif, ni d'étranglement.

Quel que soit le nombre des bâtiments, il faut que chacun d'eux ait un conduit spécial, muni d'un registre qui sert à régler la ventilation de ce bâtiment par rapport à celle des autres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est autant que possible en contre-bas par une ventilation descendante et des canaux établis dans les murs en construisant, que nous appelons l'air vicié des salles ou des cellules. L'emploi de tuyaux en poterne de 13 à 14 centimètres de diamètre placés dans les murs est économique et bon, et surtout il est facile de les tenir propres, et jamais l'air n'y rencontre de résistance.

Un point important pour le bon tirage de la ventilation en contre-bas, c'est que les tuyaux d'appel des cellules ne soient pas placés dans les murs *extérieurs* des cellules et des bâtiments, qui sont exposés au soleil, mais dans le mur intérieur du côté du corridor.

Il est évident que l'action du soleil sur les tuyaux et sur le mur extérieur qui les renfermerait, les échaufferait si fortement qu'il en résulterait des courants en sens contraire, par lesquels l'air infecté des tonneaux de vidange serait ramené dans les cellules ; les corridors des prisons sont, au contraire, en été de plusieurs degrés au-dessous de la température extérieure, l'air qui tombe par le tuyau descendant d'appel, ne peut donc pas se réchauffer : il se refroidit, au contraire, et cette disposition accroît de beaucoup l'intensité de la ventilation. A Provins, la cheminée d'appel est isolée du côté du midi, et les conduits descendants étant dans les murs des corridors, j'ai vu la ventilation marcher toute seule à midi avec une grande puissance.

Ces tuyaux servent à mettre les salles à ventiler en communication avec une capacité souterraine ou des conduits de grande section, où viennent déboucher tous les tuyaux d'appel d'un bâtiment; ces capacités sont ensuite reliées à la cheminée générale d'appel par un canal spécial au bâtiment et par un conduit général pour tout l'établissement.

Ces principes sont communs à tous les genres d'établissement; ce sont les circonstances locales et les conditions particulières au but de l'édifice, qui en règlent l'application, le choix ou les modifications.

Il faut surtout que le système général de ventilation se moule sur la forme et les dispositions des bâtiments projetés, pour que son installation ne contrarie ni les services, ni les constructions; c'est ce qu'apprend l'expérience.

Nous donnons ici les ventilations d'une grande et d'une petite prison, celle de la maison Mazas, et celle de la prison de Fontainebleau.

On voit du premier coup d'œil (fig. 12) que les appareils d'appel de Mazas reposent sur le principe même de la prison cellulaire avec inspection centrale: ventilation indépendante pour chaque cellule, réunie à toutes les ventilations d'une même aile, et ramenée, par l'intermédiaire d'un conduit général placé sous la rotonde centrale, vers une cheminée d'appel unique et centrale.

Dans chaque cellule est installé un siége d'aisance avec un tuyau de descente particulier à la cellule, et qui débouche dans un grand caveau B établi sous le corridor, et où sont placés les tonneaux de vidange : c'est par ce tuyau que l'air vicié de la cellule est appelé en contre-bas.

Le couvercle du siége est muni de taquets en bois qui, quand on l'abat, le laissent toujours ouvert pour le passage de l'air.

Du côté de l'extérieur, le caveau B est hermétiquement clos par de doubles portes A garnies de peau de mouton et laissant entre elles un espace suffisant pour que le chariot qui sert à transporter les tonnes pleines ou vides, puisse y être reçu, afin que jamais on n'ouvre en même temps les deux portes, ce qui troublerait évidemment la ventilation de l'aile entière.

Du côté intérieur, ce caveau se termine à la partie supérieure par un conduit C de $1^{m.c}$,30 de section, qui porte l'air vicié du bâtiment dans le conduit général de ventilation D, pratiqué circulairement sous la rotonde.

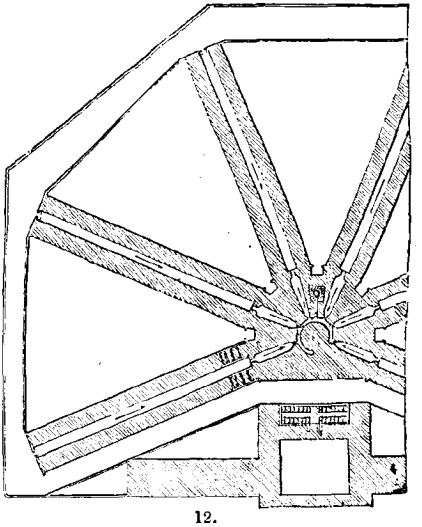
et où viennent déboucher symétriquement des deux côtés de la cheminée, les gaines des ailes.

De ce conduit général circulaire, l'air vicié se rend dans la grande cheminée d'appel E, par un canal souterrain de même section, et il débouche directement sur le foyer d'appel, comme on le voit dans la fig. 3. La cheminée porte cet air au dehors et à une grande hauteur dans l'atmosphère, pour qu'il ne retombe ni sur la prison ni sur les propriétés voisines.

La ventilation de chaque bâtiment est réglée par des registres placés sur le conduit C, à la sortie du grand caveau.

Des dispositions sont prises pour empêcher la communication des détenus entre eux, par la voix. Ces dispositions ont été trouvées par M. Brurard, architecte de la préfecture de police, et ont donné les résultats les plus complets dans toutes les prisons où nous les avons appliquées.

A cet effet, le tuyau de descente plonge dans un tonneau de vidange, qui appartient à une cellule seule. Pour éviter toute communication entre les cellules d'une même aile, ce tuyau devant aussi servir à la ventilation, on y ajuste latéralement un petit ajutage en zinc de 0^{m},10 de diamètre et de 0^{m},45 de longueur, ouvert à son extrémité, muni là d'une étoile en cuivre



12.

destinée à régler la ventilation entre les 200 cellules du bâtiment. Par-dessus l'ajutage est un chapeau en zinc qui laisse 0^{m},025 de passage, et qui force le courant à se briser avant de déboucher dans le caveau; toute conversation, par la voix, entre les détenus, est ainsi rendue impossible.

Dans les petites prisons, nous ajoutons le même système au bas du tuyau de ventilation; mais comme il y a très-peu de différence d'intensité entre la ventilation de 36 à 45 cellules, lorsqu'elles débouchent dans un grand caveau, on supprime l'étoile de règlement.

Quand le système général de ventilation de la maison Mazas a été ainsi établi, il restait à régler entre elles les 1225 cellules: c'était une question très-délicate que ce règlement entre 1225 capacités de 21 mètres cubes, réparties en 6 bâtiments avec trois étages chacun, et sur une longueur de 80 mètres.

Comme on le voit, les gaines d'appel des six ailes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont partagées symétriquement des deux côtés de la cheminée.

Pour régler cette ventilation, nous avons laissé ouvert le registre des deux ailes les plus éloignées, et mesuré à plusieurs reprises, à l'anémomètre le volume d'air qu'elles donnaient, en égalisant d'abord une légère différence entre elles; puis nous avons ramené les 4 ailes les plus rapprochées de la cheminée, à ce même volume normal, par la fermeture graduée de leurs registres.

Nous avions alors à peu près 4000 mètres cubes à l'heure par aile, qu'il restait à répartir entre 200 cellules.

Comme nous l'avons dit, le tuyau de ventilation de chaque cellule est muni d'une bouche étoilée de règlement.

Les observations faites sur la première et sur la dernière cellule de chacun des trois étages et de chaque côté du corridor, ont montré que toutes les cellules d'un même étage débitaient le même volume d'air, mais que d'un étage à l'autre, il y avait de grandes différences; le rez-de-chaussée donnait plus que le premier, et le premier plus que le second, par suite des frottements de l'air qui croissaient avec la longueur des tuyaux.

On a laissé alors toutes les étoiles du second étage ouvertes, et diminué, l'anémomètre en main, les passages des étoiles du premier étage et encore plus ceux du rez-de-chaussée, travail facile au moyen d'un calibre; la ventilation de toutes les cellules s'est trouvée ainsi égalisée par étage.

Ce qui donne cette grande égalité d'appel pour 70 cellules et 80 mètres de longueur, c'est la grande capacité du caveau souterrain et son débouché par une gaîne de petite section, d'où résulte une différence manométrique presque nulle d'un bout du caveau à l'autre.

La ventilation en contre-bas concourt aussi puissamment à cette égalisation par l'action physique, qui dans les circulations d'eau égalise entre eux les divers courants d'eau chaude descendants d'un appareil commun.

Le résultat de cet ensemble de dispositions (une large et haute cheminée chauffée de fond; de grands passages bien arrondis, et l'appel en contre-bas), est une ventilation de 1250 mètres cubes par chaque kilogramme de houille brûlée, quand on n'a que 900 mètres au plus avec les foyers des mines qui donnent le plus grand produit.

Il est vrai que l'air traverse, en moyenne, pour arriver à la cheminée, 70 mètres de canaux, tandis que dans les mines, il parcourt 14 à 1500 mètres de galeries et plus.

Dans les petites prisons, l'appel, entre 36, 40 ou 60 cellules, est presque rigoureusement égal, et s'il y avait quelque différence à corriger, on la ferait en gênant les tuyaux du rez-de-chaussée avec du plâtre.

Les dispositions de la prison de Fontainebleau se rapprochent de celles de Mazas. Des tuyaux en fonte, terminés dans la cellule par des grilles rondes scellées près du sol, afin de ventiler le vase portatif, qui se trouve ainsi dans un grand courant d'air, vont déboucher dans un caveau sous le corridor central. D'autres tuyaux, partant du haut des cellules de punition, établies dans le sonbassement, s'ouvrent aussi dans le même caveau; tout l'air vicié de la prison passe de là dans la cheminée générale et dessous le foyer d'appel, par un conduit muni d'un registre.

Le tuyau de fumée du fourneau de chauffage se rend dans la même cheminée.

Nous avons trouvé une autre disposition qui permet, tout en réalisant les meilleures conditions de ventilation, de laisser libre le caveau sous le corridor, pour y placer des calorifères, des magasins, ou pour tout autre usage.

A cet effet, nous établissons une large communication entre les vides voûtés que l'on réserve sous les cellules pour les assainir: et nous nous servons de ces capacités réunies, et d'ailleurs hermétiquement closes, comme d'un grand caveau, pour recevoir l'air vicié de toutes les cellules d'un rang, dont les tuyaux d'appel viennent déboucher sous les voûtes.

De la dernière des sous-cellules part une gaîne qui plonge sous le sol du caveau central et se réunit à une gaîne semblable, par laquelle arrive l'air vicié de l'autre rang des cellules. Le conduit commun qui reçoit ces deux volumes d'air plonge ensuite sous le sol des caves, de manière à recevoir l'air vicié des autres ailes, et à se rendre dans la cheminée générale par-dessous le foyer d'appel; cette disposition contribue aussi à rendre les cellules du rez-de-chaussée plus salubres, en faisant passer un courant d'air régulier sous leurs voûtes.

Telles sont les dispositions à prendre pour établir un bon système d'appel dans les cellules; mais il faut encore y introduire de l'air pur et frais, en quantité égale à celle qu'on veut enlever.

Nous avions d'abord établi, à Mazas et à Provins, pour chaque cellule, une prise indépendante qui allait chercher l'air le long des murs extérieurs. Nous avons bientôt reconnu qu'en été, ces prises amenaient de l'air souvent brûlant et surchauffaient les cellules. Quelquefois sur ces murs, une chaleur trop intense du soleil, faisait appel sur les cellules mêmes. Les prises extérieures ont été alors bouchées et on en a établi de nouvelles sur le corridor, sans rien changer aux autres dispositions. Cet air, toujours frais en été, passe sur les appareils à circulation d'eau qui l'échauffent en hiver, et il se rend dans la cellule par plusieurs orifices placés à différents niveaux.

Le résultat a été un abaissement remarquable dans la température des cellules en été, et pour toute l'année une régularité complète de ventilation tout à fait en dehors de l'action du soleil, des vents et des variations barométriques.

Nous avons, en même temps, amené dans le corridor, et par de larges ouvertures, l'air extérieur, qui, en hiver, s'échauffe avant d'y pénétrer, ce qui rend le chauffage plus facile. Les bouches d'air chaud doivent être placées en haut de la cellule à 35 ou 40 centimètres du plafond, et les bouches d'appel en bas, à l'opposé quand on le peut, sinon dans le même mur, et dirigées de manière que le courant d'air roule dans toute la cellule, avant de revenir à la bouche d'appel, l'expérience prouve qu'avec des bouches ainsi placées, la cellule est parfaitement ventilée dans toutes ses parties, et que la température y est parfaitement égale, sauf un abaissement de 1 degré près de la fenêtre.

Ces bouches de chaleur, ainsi placées, sont hors de la portée du détenu, qui ne peut pas s'en servir pour parler à ses codétenus. Ce que nous prévenons encore en les garantissant par une trémie en fonte. On donne ainsi à la colonne d'air chaud de chaque cellule une longueur de cheminée verticale de 2m,25 de plus, et par conséquent plus de vitesse, ce qui est important surtout pour les cellules du rez-de-chaussée, qui réclament plus de chaleur, et dont le courant a, au contraire, moins de vitesse.

M. l'inspecteur général Ferrus, dans son remarquable ouvrage *Des prisonniers, de l'emprisonnement et des prisons*, avait exprimé la crainte de voir les cellules de Mazas suréchauffées par l'introduction de l'air extérieur en été, ou infectées quelquefois par des courants en sens contraires, et les communications entre détenus par la voix impossibles à prévenir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On voit que ces difficultés ont été complétement levées.

On a longtemps pensé que, pour qu'un système de ventilation fonctionnât régulièrement, il fallait que toutes les fenêtres des capacités à ventiler fussent hermétiquement closes. A Mazas, le service a été primitivement organisé sur ce principe.

Mais bientôt, pendant les chaleurs de l'été, les plaintes de quelques détenus, qui disaient manquer d'air, appelèrent l'attention de la commission sanitaire. Il fut reconnu que dans les cellules d'où étaient sorties ces plaintes, il y avait 25 et 30 mètres cubes de ventilation par heure et que cependant des indispositions sérieuses avaient été réellement constatées.

Des observations thermométriques faites avec sagacité par le docteur Guérard, membre de la commission, lui montrèrent que c'était une question de chaleur, et non de volume d'air, que la cellule, avec sa fenêtre fermée, s'échauffait d'une manière incommode, quelque volume d'air qu'on y fît passer, d'où résultait les indispositions signalées.

On essaya d'entr'ouvrir la fenêtre des détenus qui souffraient, et à l'instant les plaintes et les indispositions cessèrent. Il fallut alors donner à tous les détenus la faculté d'ouvrir à volonté leur fenêtre, sans troubler la ventilation, et de plus sans que le détenu, en approchant de la fenêtre sa table mobile, pût voir les autres détenus, condition qui aurait détruit les éminents bienfaits du système cellulaire, appliqué à une maison de prévention.

La question des communications par la vue et par signe fut levée par le directeur, en fixant la table au mur, au moyen d'une courte chaîne. Quant à la question de la ventilation, MM. Gilbert et Lecointe, architectes de la prison, firent préparer 1225 tampons mobiles. On en donna un à chaque détenu, avec ordre de le placer sur la lunette de son siége d'aisance quand il ouvrirait sa fenêtre.

Ce système essayé sur une aile, puis appliqué à toute la prison, a donné les plus heureux résultats; les fenêtres sont aujourd'hui à la disposition entière des détenus, et la ventilation n'est en rien troublée par l'appel si puissant du soleil sur les murs exposés au midi, comme cela avait lieu quelquefois dans le principe, par l'ouverture totale des fenêtres dans les cellules les plus élevées, et les plus éloignées, d'où résultait un courant d'air infect en sens contraire de la ventilation naturelle.

Les tampons, en réduisant la section du siége, donnent au courant descendant, une vitesse considérable qui domine toujours l'appel le plus fort des murs échauffés.

En pratique, un assez grand nombre de détenus ouvrent leur fenêtre sans placer le tampon sur le siége, et la ventilation est si puissante, qu'elle n'est en rien troublée.

Nous sommes entrés dans de grands détails sur l'application de la ventilation aux prisons cellulaires; la question de salubrité est là si grave et en même temps si difficile qu'elle a besoin de l'étude la plus approfondie.

En lisant cet article, on comprendra facilement que des dispositions des cheminées, de tuyaux de conduite, aussi compliquées à installer dans les murs et dans le sol, ne puissent s'établir qu'en les prenant avec le bâtiment même, à partir des fondations, et en faisant marcher d'accord les dispositions de l'ingénieur avec les constructions de l'architecte; c'est ce qu'ont si bien senti MM. Lecointe et Gilbert, qui ont voulu, avant tout, la décision la plus précise sur les questions de chauffage et de ventilation, et qui ont ensuite donné à l'ingénieur les secours les plus puissants, les plus soutenus pour mener à bien les appareils.

C'est ce que font aujourd'hui les architectes de beaucoup de départements, qui construisent leurs prisons toutes préparées pour recevoir nos appareils.

L'application, après coup, des procédés de ventilation à un bâtiment tout construit, de manière à donner de bons résultats, est presque impossible; outre les frais et les dangers des percements toujours fâcheux, le système de ventilation lui-même est forcé de se plier à des conditions qui le faussent.

Que si l'on avait cependant à ventiler une prison qui ne le serait pas, il faudrait chercher le système qui se combinerait le mieux avec la construction existante; si les lieux le permettaient on pourrait, par exemple, établir sous le sol d'une cour ou d'un corridor courant à rez-de-chaussée devant les cellules, un canal de dimensions calculées en raison du nombre des salles, avec 1 mètre de vitesse par seconde et 15 ou 20 mètres cubes d'air par cellule, on amènerait dans le canal un tuyau partant de chaque cellule du rez-de-chaussée et terminé par une bouche en fonte, scellée dans le mur; ce sont les meilleures bouches, les détenus ne peuvent ni les casser ni les arracher. Pour les cellules des étages supérieurs, on pourrait faire passer des gaînes descendantes dans l'angle des cellules du rez-de-chaussée et les conduire dans le même canal général, sous la cour.

Le canal général de ventilation serait amené au pied d'une cheminée d'appel d'une bonne section, que l'on monterait jusqu'au haut du bâtiment, dans un endroit qui le permettrait; si la place ne le permettait pas on ferait un coffre en brique de champ, ou en pigeonnage, monté dans l'angle d'une pièce. Un petit poêle en fonte, placé au bas de la cheminée, compléterait ainsi un excellent système; ce système a été proposé et appliqué par l'architecte du département de l'Isère pour l'assainissement de la prison de Vienne, qui était dans l'état d'insalubrité le plus grave.

Quelquefois on ne pourra ventiler l'édifice que par en haut, et par les combles; alors on établirait les tuyaux des cellules jusque sous les combles, et là on aurait des gaînes horizontales pour les recevoir.

Il ne faut pas essayer de faire redescendre de l'air ainsi chauffé sous les toits; on s'exposerait à ce que le tirage en souffrît, il vaudrait mieux évacuer de suite cet air par une cheminée directe, montée sur le comble et de grande section; on pourrait aussi y faire passer un tuyau de poêle pour augmenter l'appel. Si, au contraire, on ne pouvait placer le foyer d'appel qu'à rez-de-chaussée, on ramènerait l'air par un conduit descendant, garanti soigneusement des chaleurs extérieures jusqu'au bas d'une cheminée d'appel de fond; mais il faudrait alors protéger avec soin les tuyaux et les gaînes des combles contre l'action du soleil: on aurait ainsi un système fonctionnant convenablement.

Dans tous les édifices à ventiler, la plus grande surveillance doit être exercée sur la pose des tuyaux, et sur la construction des canaux qui servent à l'appel; le mortier qui fait leurs joints à l'intérieur, doit être lissé avec soin pour que les courants d'air ne trouvent pas de résistance dans leur marche.

Quand une cellule cesse d'être ventilée autant qu'à l'ordinaire, il faut passer dans les conduits d'appel, ou une baguette, ou un poids avec une corde, car les nids de souris ou les toiles d'araignées les obstruent souvent.

Quand la ventilation passe par le tuyau de descente des matières, comme à Mazas, les obstructions sont très-rares: et on a pris, il est vrai, la précaution de faire ces tuyaux coniques de haut en bas, et on y verse de l'eau tous les jours.

Mais dans les caveaux où débouchent ces tuyaux et où sont placés les tonnes de vidange, il s'amasse une telle quantité de toiles d'araignées, surtout près du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

conduit intérieur d'aérage, que tous les six mois, il faut les flamber avec des torches ; un simple balayage ne détruirait pas ces araignées.

Quant au foyer d'appel, quand c'est un demi-cylindre en fonte, le seul entretien, s'il se détruit, est une réparation des briques réfractaires du foyer et le remplacement du cylindre lorsqu'il est tout à fait hors de service; mais il faut bien se garder de le remplacer pour une cassure inévitable, dans des pièces de fonte fortement chauffées.

Un cylindre, fendu fonctionne longtemps comme un cylindre neuf.

On peut compter sur un cylindre nouveau, tous les deux ans.

Au pénitencier de Tours, M. Sagey, ingénieur des mines, a installé un ventilateur aspirant, pour ventiler les cellules qui ne l'étaient pas précédemment.

Ce ventilateur est manœuvré dans la journée par des détenus, auxquels on donne cinq centimes par heure; pendant la nuit, le conduit d'appel est mis en communication avec une cheminée partant du fond et qu'échauffe un foyer spécial.

La ventilation des cellules par de doubles cuvettes, qui laissent passer les matières sans laisser rentrer l'air des fosses, est très-ingénieuse et l'aérage de la prison doit être dans de bonnes conditions.

Le but qu'on s'est proposé à Tours est d'obtenir une légère économie et d'avoir l'avantage de fournir aux détenus un exercice salutaire ; cependant nous ne pouvons nous empêcher de penser que si ce système était placé dans une prison dont les chefs ne prendraient aucun intérêt à cet appareil, même en le faisant fonctionner, il serait difficile de vérifier si le ventilateur marche toujours, et à la vitesse nécessaire, tandis que, avec un foyer d'appel, comme nous l'avons dit, un coup d'œil suffit pour voir s'il est on feu et en bon feu, et de plus, une négligence momentanée n'arrête pas la ventilation.

L'économie est d'ailleurs presque nulle ; car, pendant la moitié de l'année, avec nos dispositions, on n'allume pas le foyer d'appel, la chaleur perdue des appareils de chauffage suffisant largement : et, pendant les six autres mois, à Tours, le ventilateur ne marche que le jour, et le foyer d'appel est allumé la nuit. Une prison de 40 cellules, brûlant 20 kilogrammes par 24 heures, à 3 centimes le kilogramme, la dépense pour 12 heures de jour serait de 30 centimes, somme qu'on serait forcé de donner, au moins, aux détenus pour tourner la manivelle.

Pour une prison de 112 cellules, comme celle de Tours, à 20 mètres par cellule, et à 1000 mètres cubes par kilogramme de houille brûlée, la dépense de houille serait pour 5400 mètres cubes de 54 kilogrammes, et pour les 12 heures de jour de 27 kilogrammes ; à 3 centimes par kilogramme la dépense en argent serait de 81 centimes. Or, comme on donne 60 centimes aux détenus à raison de 5 centimes par heure, l'économie est nulle.

Nous sommes entré dans de grands détails sur la ventilation des prisons cellulaires, la question d'assainissement la plus difficile qui ait jamais été posée, parce que bien peu de prisons sont en réalité assez aérées et que les principes ici posés seront utiles dans toutes autres applications.

Mais les principes qui sont admis par les prisons cellulaires s'appliquent directement aux prisons en commun quand elles ont des dortoirs communs, et à plus forte raison quand il y a au lieu de dortoirs, des cellules de nuit et des ateliers communs pour le jour, disposition réellement bonne et pratique. Il est évident que, soit dans les ateliers, soit dans les dortoirs communs, soit dans les cellules de nuit, il faut appliquer une ventilation puissante et régulière, établie dans le service normal de la prison et indépendante de la volonté des gardiens.

Les ateliers non ventilés où des condamnés travailleraient toute la journée, les cellules où ils coucheraient, et les corridors sur lesquels les ateliers et ces cellules ouvrent, seraient rapidement infectés, de manière à n'y pouvoir même pas entrer.

Il faut donc que dans les prisons en commun comme dans celles où on établit aujourd'hui des cellules de nuit, l'on applique une ventilation constante, régulière et puissante, comme on l'a établie avec tant de succès dans presque toutes les prisons cellulaires récemment construites, et que ce service soit surveillé là comme il l'est dans les autres, où il a donné de si heureux résultats, comme à Fontainebleau, où la prison était complètement infectée avant d'être ventilée, tandis qu'aujourd'hui elle est dans les meilleures conditions de salubrité.

VENTILATION MÉCANIQUE DU DOCTEUR VAN HECKE, DE BRUXELLES.

Le docteur Van Hecke de Bruxelles a trouvé une disposition de ventilateur aspirant ou soufflant, qui, dit-on, débite un volume d'air supérieur au travail fait par les ventilateurs ordinaires, et qui a été essayé dans la prison cellulaire de femmes de Bruxelles.

Toutefois, l'absence de toute application en grand de ce ventilateur, dans les houillères de la Belgique, ou tant d'essais d'appareils mécaniques ont été faits et se font chaque jour, permet de penser que cet appareil particulier, ne donne pas des résultats supérieurs aux autres.

Il y a toutefois dans le système appliqué par le docteur Van Hecke une disposition qui n'est peut être pas tout à fait nouvelle, mais qui peut avoir des applications utiles, dans un certain nombre de localités, ou d'établissements de petites dimensions, et qui n'en ont pas moins besoin d'être assainies, comme les cafés, les cercles, etc., c'est l'emploi de contre-poids pour commander un appareil ventilateur de petites dimensions.

Nous croyons cette disposition supérieure aux ventilateurs tournés à bras d'hommes comme on le fait au pénitencier de Tours, par exemple, parce qu'il y a là bien plus de sécurité et de régularité dans le service.

Nous croyons donc que la ventilation avec des contre-poids, peut avoir des résultats utiles et des applications spéciales.

VENTILATION DES HÔPITAUX.

La ventilation des hôpitaux a été traitée par MM. Péclet, Tredgold et par le docteur Papillon et d'autres médecins dans les *Annales d'hygiène* En pratique, presque rien n'a encore été fait, à l'exception de l'hôpital d'Alais, cité par M. Péclet. Nous ne connaissons pas d'hôpital qui soit ventilé d'une manière complète et constante.

Un architecte qui a construit avec beaucoup de talent plusieurs hôpitaux dans les départements, où la place n'est pas économisée, ni les malades très-nombreux, M. Moll se contente de donner de grandes dimensions aux salles, et pratique dans le bas des murs latéraux des bouches d'entrée d'air, et à la partie supérieure des sorties fermées à volonté, qui servent à renouveler l'air vicié.

A Paris, malgré la surveillance la plus active de l'administration et les habitudes d'extrême propreté des sœurs, nos hôpitaux sont encore privés de tout système de ventilation réelle, efficace, et tous les matins on est forcé, en toute saison, d'ouvrir les fenêtres pour enlever autant que possible la mauvaise odeur des salles. Il y a dans les hôpitaux des exemples de maladies graves causées par l'infection contagieuse de malades voisins.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION.

Un bâtiment de l'hôpital Beaujon, l'hôpital Necker, et trois pavillons du grand hôpital Lariboisière, sont ventilés par les procédés de M. Léon Duvoir, dont nous avons déjà parlé à propos des foyers placés au bas des cheminées d'appel.

Ces procédés consistent en une cheminée de 5 ou 6 mètres de hauteur établie au sommet du bâtiment à ventiler. Dans cette cheminée viennent déboucher des conduits d'appel pratiqués dans les murs, et partant de chacune des salles superposées, où ils s'ouvrent à volonté en haut et en bas de la salle avec des registres qui permettent en hiver d'appeler l'air le plus froid au bas de la salle, et en été l'air le plus chaud par la bouche supérieure. Cette disposition de prise d'air vicié est depuis longtemps employée partout.

Dans la cheminée d'appel est placé le vase de distribution des appareils de chauffage à eau chaude du bâtiment, et les départs des tuyaux qui descendent aux diverses séries de poêles qui chauffent successivement les étages superposés.

L'appel est toujours produit par le chauffage de ce vase d'expansion et de ses tuyaux, auquel la chaleur est transmise en hiver par la chaudière qui chauffe le bâtiment tout entier, et, en été, par une chaudière plus petite qui dessert les fourneaux d'office des salles.

Il résulte évidemment de ces dispositions une grande inégalité d'appel.

Quand l'appareil de chauffage fonctionne en plein travail, la ventilation encore activée par le passage des tuyaux de fumée dans la cheminée d'appel, est puissante, et s'élève, dit-on, à 60 mètres cubes par lit.

Dès que le foyer de chauffage est arrêté, comme cela a souvent lieu le soir, la température des appareils de circulation se dégrade rapidement, et la ventilation diminue en même temps jusqu'au lendemain matin.

Pendant l'été, le combustible brûlé par les fourneaux d'office est évidemment bien inférieur en quantité à celui brûlé en hiver pour le chauffage, quand, au contraire, la ventilation exigerait, pendant les chaleurs, pour donner un résultat égal, une proportion plus considérable de combustible. Ce sont deux causes qui concourent à rendre la ventilation faible et des salles mal assainies pendant la nuit, où les fenêtres sont closes et en été.

Quel que soit le système que l'on adopte, la première question est le volume d'air à donner par heure et par lit.

Une commission désignée par M. le directeur général de l'assistance publique a fait sur ce point d'importantes séries d'expériences; elle a conclu à 60 mètres cubes par malade.

Nul doute qu'avec de certaines maladies ce volume ne soit nécessaire; mais dans les maladies ordinaires, il nous paraît un peu large, surtout s'il s'applique à un volume d'air réellement introduit dans la salle, et non pas un volume d'air appelé dans la salle par les joints des portes et fenêtres; dans ce cas-là, 40 mètres cubes nous paraissent être une bonne base à adopter; mais il faut que les appareils permettent d'augmenter au besoin, le volume dans telle ou telle salle ou avec telle ou telle maladie.

M. le docteur Papillon, chirurgien en chef de l'hôpital militaire de Belfort, dans un travail remarquable publié par la *Gazette d'hygiène* en 1849, sur la ventilation appliquée à l'hygiène militaire, compte seulement 3 mètres cubes, renouvelés régulièrement et indépendamment de la volonté des hommes, pour un soldat en santé, et 6 mètres cubes pour un soldat malade, sauf le cas de quelques maladies exceptionnelles, où il faut plus.

Ces chiffres sont certainement beaucoup trop bas, même appliqués aux hôpitaux militaires qui sont rarement encombrés, et dont la population est plus jeune que celle des hôpitaux civils, et nous croyons qu'on ne doit jamais demander dans des hôpitaux civils ou militaires moins de 20 mètres de minimum, et 30 mètres comme chiffre normal, avec la possibilité d'aller plus haut pour certaines maladies.

Les principes que M. le docteur Papillon propose pour ventiler les hôpitaux militaires sont très-simples: c'est la ventilation naturelle favorisée par de bonnes dispositions des salles, par des entrées et sorties très-bien combinées, bien proportionnées et bien placées, de manière à utiliser à la ventilation l'action des vents le plus fréquemment régnants: l'échauffement des murs extérieurs et en hiver l'échauffement de l'air des salles, par des poêles très-élevés et placés dans la salle même.

La principale disposition qu'il indique pour cela, consiste à pratiquer, dans chaque salle superposée soit d'une caserne, soit d'un hôpital militaire, une série d'ouvertures qui, du côté du nord, seront en bas des salles, et en haut du côté du midi. Pour que l'action du vent ne puisse pas empêcher l'entrée ou la sortie de l'air, le docteur Papillon applique sur les ouvertures extérieures, des tuyaux qui se recourbent et reviennent s'ouvrir à 0,10 environ du mur, ce qui évidemment permet à la ventilation de la salle de continuer par tous les vents. Des trappes mobiles agissant sous l'action du vent ou du courant d'air lui-même servent de régulateurs à la ventilation.

L'emploi de la ventilation naturelle dans des casernes nous paraît très-applicable, mais dans des hôpitaux militaires ou civils, cette ventilation n'a, à notre avis, ni la régularité, ni l'intensité, ni la certitude nécessaires, et il n'est pas un si petit hôpital où on ne puisse pas disposer de la chaleur perdue d'un tuyau de poêle, ou de fourneaux d'office, pour déterminer, dans une cheminée établie à travers les combles, l'appel nécessaire à une bonne et sûre *ventilation forcée*.

Quant aux résultats de la ventilation dans les hôpitaux, il paraît certain que l'installation de la ventilation dans les nouvelles salles de l'hôpital Beaujon a déjà supprimé ou beaucoup réduit les accidents qui accompagnent presque toujours certaines opérations, ou certaines maladies.

M. Péclet a posé les vrais principes de chauffage et de ventilation des hôpitaux. Chauffer les salles par des poêles placés au centre, poêles à feu nu, à eau ou à vapeur, suivant les localités, et non pas des bouches de chaleur qui exigeraient de l'air à une température très-élevée, pour faire face aux pertes de chaleur des murs, du vitrage, et de la ventilation, et qui de plus ne donneraient pas aux malades des récipients de chaleur prolongés, sur lesquels ils puissent chauffer leurs mains, leurs pieds, et leurs tisanes.

Les poêles doivent verser jour et nuit dans les salles des quantités d'air toujours pur et chaud en hiver, et autant que possible frais en été, et réglé en raison du nombre de lits.

Les conduits d'évacuation d'air doivent être pratiqués dans les murs avec des bouches à coulisse, l'une en bas pour l'hiver, l'autre en haut pour l'été, et installée soit derrière chaque lit, soit dans des tables de nuit fermées d'une porte percée de trous pour laisser passer tout l'air vicié à renouveler.

Une cheminée d'appel partant du sol avec un foyer direct, placé à la partie inférieure, près de l'appareil de chauffage, et qui donne presque sans main d'œuvre un appel plus égal et plus puissant que les cheminées placées dans les combles.

M. Péclet conseille aussi, comme un système facile et économique, des poêles à double enveloppe, versant l'air chaud dans les salles, et des cheminées d'appel latérales avec de petits poêles d'appel, ou enfin de grandes cheminées établies dans les salles, et sous lesquelles on placerait un poêle, où on ferait du feu pour obtenir un renouvellement d'air important.

Pour qu'une salle de malades soit dans les meilleures conditions d'aérage et de salubrité, il faut donc qu'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ait au minimum 30 mètres cubes par lit. Il est toujours utile de pouvoir porter, surtout en été, beaucoup plus haut la ventilation; mais si grand que soit le volume d'air à donner, il ne doit produire aucun courant sensible et dangereux pour les malades; l'air doit donc arriver par des ouvertures à grande section, et par conséquent avec de faibles vitesses qui ne dépassent pas 1 mètre par seconde.

Il faut que l'air pur, en se rendant aux bouches d'appel, balaye toute la salle, sans laisser l'air vicié stagner sur aucun point. Il faut que les bouches d'appel soient également réparties partout, et placées derrière les lits, pour les envelopper toujours dans un courant parfaitement pur et qu'elles aient de grandes dimensions.

On remarquera que ces courants ne se sentent pas, quand ils sont bien disposés. Dans les cellules de Mazas, l'air est renouvelé une fois par heure, et il est impossible d'y sentir le moindre courant d'air.

L'air doit donc arriver au centre de la salle par des grilles réservées dans des plaques de fonte posées sur les tuyaux de chauffage, ou par des poêles métalliques remplis d'eau et chauffés directement par l'eau ou par la vapeur. A toutes les arrivées et à toutes les sorties d'air, il faut des moyens de règlement ou d'arrêt, trappes, coulisses ou registres.

On comprendra sans peine, d'après ce qui précède, combien l'établissement d'une ventilation bonne et complète dans un hôpital déjà construit est difficile, quand il faut, pour cela, installer dans les murs ou dans les planchers des salles, des passages suffisants pour débiter 40 ou 60 mètres cubes d'air par lit, avec des vitesses qui ne dépassent pas 1m, sans gêner les services généraux, sans affamer les constructions, sans les surcharger de coffres ou de cheminées extérieures, toujours désagréables à l'œil.

La pureté de l'air à introduire dans les salles est une condition de la plus haute importance; il faut prendre l'air autant que possible *au nord*, plutôt qu'au midi, à un point élevé, quand on le peut, pour éviter les émanations de la terre humide, et le prendre surtout loin de l'air vicié des salles voisines.

Un nouveau principe de ventilation qui a été proposé et qui paraît admissible, quand on peut utiliser la vapeur perdue des machines à vapeur pour chauffer des bains, fourneaux d'office, buanderie, salle de service, et, par conséquent, avoir assez économiquement le moteur nécessaire, c'est la *ventilation mécanique par insufflation*. Ce procédé a déjà reçu d'importantes applications comme système de ventilation.

Il est appliqué sur la plus grande échelle à la ventilation de l'office des postes à Londres; aucun autre procédé ne pouvait être adopté là où rien n'était disposé en vue d'une puissante ventilation nécessaire à certains instants.

En 1845, M. Peugnot a appliqué ce procédé à son aiguiserie d'Hérimoncourt, en y ajoutant des armatures sur les meules et chassant la poussière hors des ateliers par la ventilation. De 1836 à 1845, sur 10 ouvriers, 4 avaient été blessés par des éclats de meules, et 7 étaient devenus phthisiques. Depuis l'application de la ventilation à ce travail, sur 26 ouvriers, pas un n'a été blessé et 1 seul est mort phthisique.

M. le général Morin a appliqué le même procédé à la manufacture d'armes de Châtellerault.

MM. Thomas et Laurens, ingénieurs civils, l'ont employé pour assainir les ateliers de taillerie de cristaux de Baccarat, ateliers qui ont 200 mètres de développement, et sont occupés par deux files de tours à tailler et par 44 ouvriers environ.

Ce taillage se fait à l'eau, les ouvriers ont donc les bras constamment mouillés, et sont plongés dans une atmosphère toujours humide et malsaine. Il a fallu envoyer dans chaque salle de l'air pur et sec en été et chaud en hiver. Cet air est pris sur les toits par deux ventilateurs mus par les deux turbines de l'établissement; en hiver, il se chauffe dans une salle que traverse un système de tuyaux de vapeur, et il est envoyé dans chaque atelier par un coffre en bois placé dans le grenier, et par des conduits descendants. L'air vicié est chassé au dehors par la pression de l'air neuf refoulé dans chaque salle, à raison de 12 mètres cubes par ouvrier.

Les ventilateurs ont de diamètre. . .	1	20
id. largeur. . . .	0	28
Vitesse.	300 tours.	

La pression n'est que de 3 à 4 mill. d'alcool.

En réalité ce système, où se cumulent les pertes de production de la vapeur et de mise en mouvement de l'air, n'est admissible que pour des cas tout spéciaux, tels que ceux qui précèdent. Il n'en est pas de même pour les lieux habités, les hôpitaux, où l'appel par cheminée est bien préférable; et sur ce point, l'expérience a confirmé ce que le raisonnement indiquait. (Voy. AIR COMPRIMÉ. *Complément.*)

Il est toujours intéressant de connaître les dispositions adoptées à l'hôpital Lariboisière, où ce procédé a été appliqué par MM. Thomas et Laurens à la ventilation de trois pavillons, qui sont chauffés par le procédé de l'eau et de la vapeur de l'auteur de cet article.

L'air pur est pris au sommet du clocher par un canal vertical qui existe dans l'un des piliers, puis aspiré par un ventilateur que conduit une machine à vapeur horizontale. Il est enfin refoulé dans les bâtiments et les salles par le même ventilateur qui agit alors comme machine soufflante, et au moyen d'une conduite de vent en tôle, montée dans le corridor souterrain des bâtiments et au moyen de canaux de maçonnerie réservés dans les murs; l'air est ainsi distribué à volonté dans toutes les salles. Des clefs ou des registres placés à chaque branchement servent à régler la quantité d'air injectée sur chaque point.

Avec ce procédé, l'air est toujours pur et frais; la quantité injectée est toujours rigoureusement définie et réglée, les salles sont assainies avec certitude. On n'est pas exposé à aspirer par les fenêtres, et sous l'action des vents, l'air vicié des bâtiments voisins.

La ventilation est continue, même les fenêtres ouvertes, et en été on peut arrêter à volonté la ventilation d'une salle ou d'un bâtiment, ou celle de l'établissement entier lorsque, toutes les fenêtres étant ouvertes, cette ventilation devient inutile.

L'air est distribué à chaque étage par des canaux en maçonnerie recouverts de plaques de fonte, et dans lesquels passent les tuyaux de vapeur qui vont chauffer des poêles à eau placés dans chaque salle, et il est versé dans les salles par des grilles réservées dans des plaques de fonte et par les canaux intérieurs des poêles, canaux munis d'appendices en fonte pour briser les courants d'air et chauffer en hiver cet air avant qu'il ne débouche dans les salles avec de petites vitesses, comme nous l'avons dit.

L'air vicié est évacué par des ouvertures d'appel placées en haut et en bas des murs de la salle et montant jusque sous le comble, d'où il est conduit par des gaines dans une grande cheminée qui le porte à l'extérieur; une partie de l'air sort aussi par les joints des fenêtres et des portes.

Le ventilateur qui fournit l'air aux trois pavillons de droite est conduit par une machine à vapeur horizontale de 8 ou 10 chevaux, qui prend la vapeur sur les chaudières destinées à chauffer ces trois pavillons, au moyen de poêles *à eau et à vapeur* placés dans chaque salle.

La vapeur perdue de la machine est employée en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hiver, avec celle des chaudières, au chauffage des salles, des fourneaux d'office, des bains et de la buanderie; en été, elle sert à chauffer les bains, les fourneaux d'office et la buanderie.

Les lieux d'aisance placés près de chaque salle sont énergiquement ventilés par un appel établi au moyen d'un canal souterrain qui se rend dans une cheminée d'appel, qui monte des caves jusque sur les combles, et dans laquelle débouche le tuyau de fumée d'un fourneau à feu nu, qui sert à tout le bâtiment.

C'est à la suite d'un concours public que le système de ventilation de MM. Thomas et Laurensa été adopté pour trois des pavillons de l'hôpital Lariboisière, en le réunissant au système de chauffage à vapeur et à eau, proposé par M. Grouvelle.

VENTILATION ET ASSAINISSEMENT DU DÉPOTOIR DE PARIS.

La voirie de Montfaucon, qui a reçu depuis plusieurs siècles toutes les matières extraites des fosses de Paris, était, pour les quartiers voisins, une source constante d'émanations fétides et d'insalubrité.

Depuis peu d'années, la substitution des citernes étanches aux fosses perméables, et l'augmentation de population de la capitale, avaient couvert de liquides infects, et de poudrette fabriquée, de nombreux hectares de terre.

Les gaz que dégageaient ces matières étaient portés au loin par les vents et rendaient très-désagréable, insalubre même, l'habitation de certains quartiers de Paris et de quelques communes voisines.

La suppression de cet établissement était, pour les particuliers, l'objet des demandes les plus instantes, et, pour l'administration, l'objet des études les plus suivies.

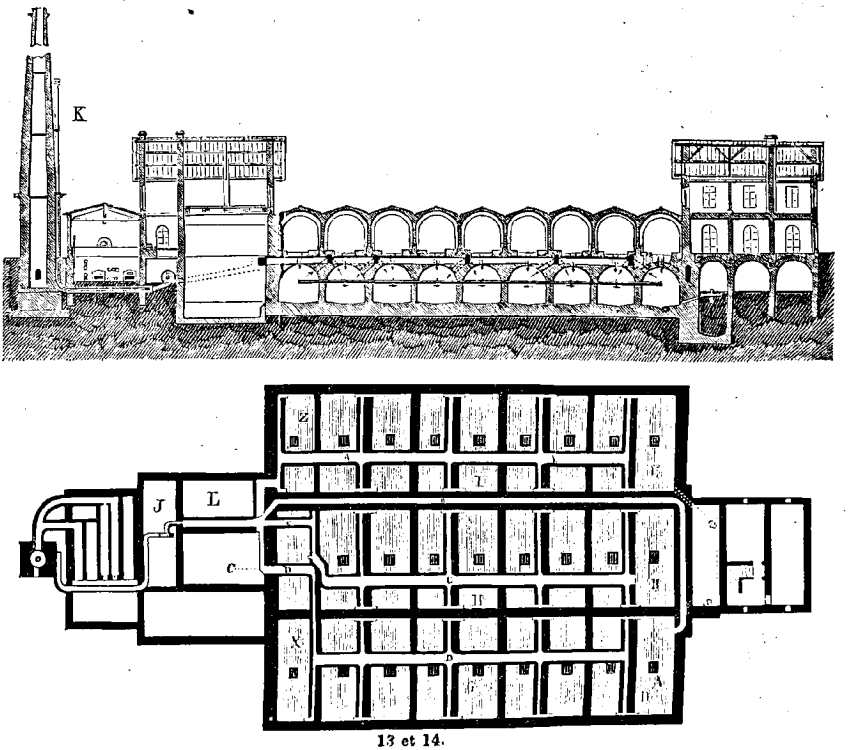
En 1823, Louis XVIII céda à la ville un terrain placé dans la forêt de Bondy, et sur le bord du canal, pour y transporter la voirie de Montfaucon.

Les matières devaient être conduites en bateau ou par un chemin de fer; mais leur volume, plus que quadruplé en vingt ans, avait dépassé, en 1848, 200 000 mètres cubes, ce qui rendait impossible des transports à une aussi grande distance.

M. Mary, ingénieur en chef du service municipal, proposa alors de créer un établissement d'où les liquides seraient envoyés à Bondy par des pompes foulantes, et les solides seuls sur des bateaux.

Au printemps de 1848, l'établissement fut mis en activité sous le nom de *dépotoir* (fig. 13 et 14).

Nous donnons ici le plan et une coupe sur la longueur de cet établissement, qui est encore très-peu connu.



13 et 14.

Il consiste en trois rangées de fosses de 80 mètres cubes de capacité chacune ABC, et communiquant entre elles, depuis la fosse supérieure jusqu'à la dernière A'B'C', par des portes alternées de position.

Les tonneaux de vidange de tout Paris viennent, pendant la nuit, se vider dans les trois fosses supérieures ABC par de larges bondes; des manches en toile préviennent tout épanchement de matière au dehors; un jet d'eau puissant lave ensuite le sol et les robinets des tonnes vidées; les matières coulent de la première à la dernière fosse, et le courant, brisé par la position

EFERUS - Recherche & Classification numérique

alternée des portes, ainsi que par la réduction de vitesse qui résulte de ces passages successifs, force la presque totalité des solides à se déposer.

Tous les matins, trois pompes à piston plongeur, de 0m,30 de diamètre et de 1 mètre de course, donnant 27 coups par minute, et conduites par une machine à vapeur de 25 chevaux, dont on n'utilise que 12 chevaux environ, soit 8 pour les pompes et 4 pour la ventilation, aspirent les liquides à volonté de chacune des trois dernières fosses, et les refoulent jusque dans de vastes bassins établis au milieu de la forêt de Bondy, à travers deux conduites souterraines en tôle bitumée, de 0m,27 de diamètre, de 10 kilomètres de longueur, et destinées à se suppléer réciproquement en cas d'engorgement. Le volume lancé par les trois pompes agissant ensemble dans la conduite, est de 100 mètres cubes par heure environ.

Tous les mois, à l'aide des pompes, on refoule de l'eau pure en abondance, dans les conduites, pour les laver, et aucune trace d'engorgement ni de dépôt ne s'y est encore produite. M. Mary, en laissant un tuyau plongé au fond des bassins de la voirie pendant plus d'un an, s'était assuré d'avance que la tôle des tuyaux ne serait pas attaquée par les matières à débiter.

Quand les liquides ont été ainsi aspirés par les pompes, et qu'au moyen d'un courant d'eau lancé à la partie supérieure des fosses, on a rendu plus liquide et enlevé une nouvelle portion de matières, il faut emporter les dépôts solides laissés dans le fond des fosses, sur 10 centimètres environ de hauteur; ce qui ne se fait qu'en les ramassant au rabot, les mettant en barils, les remontant en treuil pour les expédier sur bateaux à Bondy : là, ces matières subissent diverses opérations qui les transforment en poudrette pour les engrais, et en sels ammoniacaux.

Pour sortir ces dépôts solides, les ouvriers *ringueurs* sont forcés de descendre dans les fosses; quoique liés avec des bridages qui permettent de retirer un homme en cas d'asphyxie, malgré l'action de l'eau mêlée aux matières, et qui arrête leur fermentation, malgré les trappes qu'on laisse ouvertes devant et derrière les ouvriers, et les précautions prises pour ce travail pénible et dangereux, des ouvriers sont de temps en temps asphyxiés par un dégagement subit de gaz méphitiques.

Un système de ventilation avait été prévu dans le principe, mais il n'était pas encore complétement arrêté : c'était un ventilateur à ailes droites, mû par la machine à vapeur.

Ce ventilateur aspirait l'air directement et exclusivement sur les trois dernières cellules XYZ, dans lesquelles il établissait un courant d'air beaucoup trop fort, tandis que dans les cellules suivantes, et jusqu'à la plus éloignée, l'anémomètre le plus sensible ne rencontrait pas une trace de ventilation. Il était donc nécessaire de régler cette ventilation pour qu'elle agît également dans toutes les cellules, et en assurât le complet assainissement.

Nous fûmes alors consulté sur cette question par M. Mille, ingénieur chargé récemment du service du dépotoir et nous fîmes des expériences anémométriques destinées à constater l'état actuel des choses, et qui, avec un ventilateur de 0m,40 de diamètre, de 0m,40 de largeur d'aube, et 700 tours de vitesse par minute, donnèrent un volume de 800 mètres cubes par heure dans la cellule la plus rapprochée, et rien dans les autres.

Nous jugeâmes alors qu'il fallait appliquer là le principe qui nous avait donné une ventilation si énergique et si égale avec les 1200 cellules de Mazas : *un tuyau débouchant dans chaque cellule, et en communication, par l'autre extrémité, avec un appel puissant et central.* L'air devait donc être pris directement par la ventilation, aux deux extrémités de chaque cellule, sous la voûte même, et par des conduits de section calculés et gradués, à établir dans les reins des voûtes : ces canaux partiels devaient déboucher tous dans trois conduits longitudinaux, appliqués chacun à une rangée de cellules, et qui viendraient déboucher dans une cheminée d'appel que l'on aurait montée au centre de l'établissement avec un petit foyer constamment allumé. L'air aspiré dans chaque cellule de la bouche aux deux tuyaux d'appel à établir sous la voûte, aurait ainsi balayé toute la cellule. Il était alors facile de régler ensemble toutes les cellules en gênant, avec une poignée de plâtre, les cellules les plus rapprochées de la cheminée et qui auraient tiré trop fort. Avec des clefs on aurait réglé sans peine l'appel des tuyaux longitudinaux. D'ailleurs, une cheminée avec foyer était le moyen le plus puissant et le plus régulier à adopter. En hiver, le foyer aurait servi à chauffer l'employé qui passe la nuit entière dans un bureau au centre de l'établissement.

M. Mille adopta tout le système de distribution de tuyaux proposé par nous. Mais, comme il avait déjà sur place un ventilateur avec un moteur mécanique dont la puissance n'était pas entièrement utilisée et son chauffeur, il jugea, avec raison, devoir conserver comme moteur cet instrument en créant le système de répartition de ventilation qui n'existait pas.

En effet, un tuyau DD′ (fig. 15), construit sur place en ciment romain, au lieu de *tôle* que nous avions proposée, ce qui est très-facile et très-économique à exécuter, passe dans un des reins de voûte de chaque cellule, va déboucher aux deux extrémités sous la voûte même en E et en F, par des bouches de 0m,25 de côté et 0m,06 de section.

Trois conduits longitudinaux GHI, également en ciment romain et de 0m,65 sur 0m,60, soit 0m,39, vont recouper chacun neuf tuyaux de cellules et les réunissent ensemble; les pénétrations ont été faites coniques et bien évasées pour que l'air ne rencontre pas ces résistances multipliées qui, en s'additionnant, diminuent beaucoup le produit du ventilateur.

Enfin les trois conduits GHI se réunissent en un seul L, qui est en communication directe avec le ventilateur des registres servant à régler le service de ces canaux de distribution de ventilation.

Tous ces conduits ont de grandes sections, les angles bien arrondis; tout étranglement en est proscrit avec soin.

Le ventilateur J est disposé pour n'agir que sur une rangée de fosses à la fois. Quand il fonctionne sur un de ces canaux d'appel, l'air pris à l'extérieur pénètre par les neuf trappes des cellules, les balaye en gagnant les bouches placées à chaque extrémité, et se rend, en traversant les conduits de cellule D et le canal longitudinal G ou H, jusqu'au ventilateur qui le lance à l'extérieur par un tuyau vertical K placé auprès de la cheminée de la machine à vapeur.

Chaque bouche a un tiroir à coulisse et chaque grande ligne une vanne régulatrice. Il a donc été facile de régler ensemble et d'égaliser l'appel dans les cellules.

Avec ce système soigneusement exécuté, l'assainissement a été complet. Nous citerons ici les paroles du remarquable rapport adressé par M. Mille à M. le préfet de la Seine.

« Dans les citernes où l'on verse pourtant ce qu'il y a de plus infect à Paris, tout ce qui sort des hôpitaux, des casernes et des maisons pauvres, le service se fait avec une sécurité parfaite. Au moment où les ouvriers descendent, l'aération est sèche et fraîche, comme sur un boulevard; il n'y a plus de trace d'hydrogène sulfuré ou d'ammoniaque. Les objets d'or ou d'argent qu'on porte avec soi ne subissent pas la moindre alté-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ration; les yeux n'éprouvent pas le moindre picotement; enfin, la température, comme l'air lui-même, diffère à peine de la température extérieure.

« La ventilation est si complète que nous n'avons pas hésité à mettre le gaz dans les citernes. Au centre de chaque profil est un bec d'Argand. Un fumivore emporte vers la bouche d'aérage les produits de la combustion. La flamme brûle vive et blanche. Le gaz a remplacé les chandelles qui ajoutaient une infection de plus aux miasmes qui s'échappaient autrefois. Chaque cellule va posséder une bouche d'eau, un bec de gaz, et deux bouches d'air. Ce système, simple et naturel, où l'on n'emploie comme agents que l'eau, l'air et la lumière, a rendu le dépotoir l'une des usines les moins insalubres peut-être de la Villette. Toutes les plaintes élevées d'abord par les habitations voisines ont disparu. La santé des ouvriers est excellente; leur moral est relevé par la puissance même des moyens de propreté et de salubrité mis à leur disposition. »

Des expériences ont été faites pour déterminer la puissance totale du ventilateur et régler l'appel des cellules à peu près également entre elles. Le débit total du ventilateur, installé comme il est aujourd'hui avec une vitesse de 700 tours à la minute, à laquelle il n'a été rien changé, a été trouvé de 8109 mètres cubes par heure.

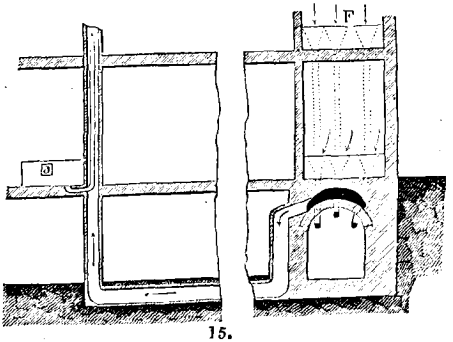
Ce volume d'air, réparti exactement entre les neuf cellules d'un rang, donnerait 900 mètres cubes par heure pour une cellule qui cube 80 mètres. La répartition obtenue après un premier essai de règlement par les coulisses des bouches d'appel, a donné 960 mètres cubes pour la cellule la plus éloignée du ventilateur, et toutes étaient parfaitement assainies.

M. Mille, en terminant, observe avec beaucoup de raison que la question de désinfection, est une question mécanique, bien plus qu'une question chimique, et doit être résolue par les procédés les plus simples, avec de l'eau et de l'air en abondance.

L'intérêt qui doit s'attacher à un dépotoir que nous n'avons vu décrit nulle part, l'importance du travail d'assainissement dont il a été l'objet, sa nouveauté et son originalité, et les résultats si complets qui ont été obtenus à peu de frais, motiveront les développements que nous avons donnés et qui peuvent servir d'exemple dans beaucoup de questions de ce genre.

VENTILATION DES LIEUX D'AISANCE.

L'assainissement des lieux d'aisance par la ventilation est très-important dans une maison particulière ou un hôtel; mais dans un établissement public, un collége, une pension, une caserne, un théâtre, un hôpital, elle est une des conditions fondamentales de salubrité. Dans un hôpital surtout, où les cabinets sont nécessairement très-rapprochés des salles de malades, et sans autre intermédiaire qu'un vestibule clos, où des déjections putrides de toute nature sont jetées dans les fosses, où des salles, élevées, bien aérées et souvent ventilées par aspiration, exercent un appel énergique sur les siéges d'aisance et sur les fosses, il faut combattre cet appel ascendant par un appel de ventilation descendant, sans variations et très-puissant, afin d'être certain que jamais les gaz méphitiques ne puissent rentrer dans les cabinets et dans les salles.



15.

L'appel doit agir sur la fosse même et non pas sous la cuvette, pour que les gaz, développés par la fermentation des matières dans la fosse, ne soient jamais exposés à se dégager brusquement par le siége.

Dans un bâtiment d'hôpital, on a toujours à sa disposition un moyen énergique, régulier et très-économique d'appel, dans le foyer d'un fourneau d'office à feu nu A (fig. 15), on fait passer la fumée de ce fourneau dans un tuyau de fonte qui monte de 4 à 5 mètres dans un coffre en brique de grande section C, que l'on met en communication par un canal souterrain D avec le dessus de la fosse E; cette cheminée d'appel C doit monter sans rétrécissement jusque sur le toit et être recouverte d'un chapeau en métal ou en pierre, qui est destiné à empêcher la pluie de refroidir l'intérieur du coffre, car celui-ci n'a pour résister au refroidissement ni une haute température ni une grande vitesse d'air. Il est impossible d'avoir un appel plus simple, plus constant et plus fort.

Dans les bâtiments de l'hôpital Lariboisière, chauffés par notre système, la ventilation des cabinets d'aisance FF' est ainsi disposée, et nous avons compté sur un volume d'air de 20 mètres cubes par heure, ou de $0^{m.c}$,055 par seconde pour une bouche. Comme ces bouches ont ordinairement 0^{m},10 de diamètre et 0^{m},0078 de section, la vitesse y sera de 7 mètres, garantie très-large contre tout retour en arrière.

Le volume total de l'air débité pour les neuf bouches, placées là sur une fosse, est donc de 180 mètres. Le canal souterrain et la cheminée montante d'appel sont calculés à $0^{m.c}$,125 de section, ce qui donne une vitesse de 0^{m},400 par seconde, que l'on peut prendre pour base.

A l'hôpital Saint-Louis, d'Arcet n'ayant à sa disposition aucun fourneau d'office près de salles infectées par des cabinets placés sur des escaliers qui, faisant appel sur les fosses, les a assainies et a ventilé puissamment les cabinets en établissant, dans le haut de la fosse même, un tuyau qui montait jusque sur le toit et au milieu duquel il plaça une lampe qui détermina un appel très-fort et en même temps éclaira l'escalier à travers une vitre placée devant la lumière.

On peut aussi faire monter dans le coffre d'une large cheminée de cuisine, qui est toujours chauffée, un tuyau métallique partant du dessus de la fosse. Il y a seulement danger d'un retour d'odeur dans la cuisine.

Dans les prisons où il y a une cheminée d'appel, le tuyau que l'on fait partir d'une fosse ventilée se rend dans la cheminée à une certaine hauteur.

Dans les théâtres, les cabinets d'aisance donnent forcément sur les corridors des loges et sont à chaque instant ouverts. Ces corridors sont en communication assez directe, par les portes des loges, avec la salle dans laquelle le lustre avec la cheminée qui le recouvre déterminent un appel des plus puissants, même dans les théâtres qui ne sont pas ventilés. Cet appel réagit avec force sur les siéges et les tuyaux de descente des cabinets, et aspire dans les corridors l'odeur des fosses, malgré les doubles portes de ces cabinets.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il faut donc, quand on le peut, établir devant ces cabinets des antichambres qui aient des fenêtres ou des ouvertures donnant à l'extérieur directement, ou si on ne le peut pas, et même dans tous les cas, installer un appel très-puissant sur la fosse, au moyen, en été, d'un fort bec de gaz ou de lampe, et, en hiver, des tuyaux de fumée de l'appareil de chauffage. Une prise d'air doit être amenée du dehors, soit dans le cabinet, soit dans son antichambre.

LIEUX D'AISANCE DES CASERNES.

La question est bien plus difficile pour les casernes.

Lors de la construction d'une caserne, les dispositions doivent être prises pour faire monter, dans l'angle de la cheminée où passe la fumée du fourneau de cuisine de la caserne, qui est allumé plus de douze heures par jour, un tuyau en fonte de $0^m,40$ ou $0^m,45$, en communication, par-dessous terre, avec le dessus de la fosse. On aura ainsi une ventilation parfaitement efficace contre tout retour des odeurs et des gaz de la fosse.

Il faut que le canal souterrain, qui fait communiquer la fosse avec le tuyau, ait au moins $0^{m.q},15$ de section.

Dans les casernes où ces dispositions n'ont pas été prévues, il est nécessaire de les appliquer de suite aux fosses qui servent pour les soldats comme à celles des officiers.

Mais les lieux d'aisance des casernes ont souvent, pour les habitants de cette caserne et pour les voisins, des désagréments bien plus grands.

Les matières solides et liquides couvrent toujours forcément les dalles sur lesquelles les hommes se posent, et dans lesquelles sont percés tous les trous qui servent de lunettes; les pierres et les murs adjacents s'en pénètrent et dégagent des odeurs méphitiques qui, malgré la construction dont on couvre ces lieux d'aisance, se répandent au loin, surtout par les vents du sud, et alors, outre l'impossibilité d'habiter les logements voisins, les couleurs et les papiers de tenture sont altérés.

Les urinoirs, composés ordinairement d'une cuvette en pierre, scellée dans un mur avec des enduits plus ou moins bien faits au-dessus, sont plus désagréables encore: les murs tout entiers sont bien vite pénétrés de liquides ammoniacaux, et leur odeur est aussi emportée au loin, et très-pénétrante.

En pareil cas, il faut:

1° Refaire les enduits avec les plus grands soins, en enlevant totalement les anciens et même une partie des matériaux des murs et y ajouter une feuille de zinc;

2° Entourer l'urinoir d'une petite construction couverte, dont les portes et fenêtres n'aient pas de trop grandes sections pour que les odeurs intérieures ne puissent pas se répandre au dehors et soient entraînées dans la fosse par l'appel qu'on y a établi, et, pour cela, mettre la cuvette en communication avec la fosse ventilée, comme nous l'avons dit plus haut, au moyen de deux ou trois ouvertures de $0^m,25$ de diamètre; avec ces précautions et les lavages convenables de la cuvette, des murs et du pavé au moyen d'eau acidulée, on assainira complétement les lieux d'aisance des casernes, et on préviendra les justes plaintes des voisins.

LIEUX D'AISANCE DES MAISONS D'HABITATION.

Ce sont là des questions qui se présentent tous les jours dans la pratique des constructions, et qui cependant n'ont guère été l'objet de règles bien précises. En construisant les maisons, les dispositions que l'on prend quelquefois pour assainir les lieux d'aisance ont souvent un résultat tout contraire. Souvent les lieux d'aisance sont placés dans des escaliers très-hauts; or, en été, les escaliers, surtout quand ils sont exposés au midi et largement éclairés, et qu'ils ouvrent sur des murs chauffés au soleil qui y détermine des courants ascendants très-énergiques, ou quand ces escaliers ont de grandes fenêtres en haut, sont de véritables cheminées d'appel qui aspirent l'air infecté des cabinets d'aisance et, par suite, celui de la fosse. C'est un résultat bien connu.

Comme nous l'avons dit, la fosse doit être mise en communication par la partie supérieure avec un tuyau montant, en fonte, de $0^m,27$ à $0^m,30$ de diamètre sortant au-dessus des combles; ce tuyau doit passer dans les murs, entre deux tuyaux de cheminée servant aux cuisines, surtout aux plus grandes cuisines de la maison.

A défaut de ces mesures prises au moment de la construction, il sera facile en été de déterminer un appel suffisant, au moyen de petites flammes de lampe ou d'un bec de gaz.

Les cuvettes partout, et surtout sur les escaliers, doivent être hydrauliques, ou à bords se fermant hermétiquement.

M. Barral a conseillé, avec succès, d'établir dans les murs au nord les prises d'air qui viennent déboucher dans les cabinets d'aisance des maisons d'habitation, et le tuyau d'appel dans les murs exposés en plein midi. Cette différence de position suffit souvent pour déterminer sur la fosse et dans le tuyau des lieux d'aisance un courant assainisseur très-suffisant.

Quand on a à assainir les lieux d'aisance d'une ancienne maison où les coffres des cheminées de cuisine sont presque toujours très-larges, on mettra un tuyau métallique de 14 ou 15 centimètres, partant de la fosse et montant assez haut dans la cheminée pour que les gaz et odeurs infects ne puissent jamais rentrer dans la cuisine et montant même en haut.

VENTILATION DES THÉATRES.

L'assainissement des salles de spectacle a été l'objet de travaux répétés de la part du savant d'Arcet: soit comme membre du conseil de salubrité de Paris et de diverses commissions, soit dans ses travaux personnels. Il a fait exécuter des dispositions complètes de ventilation dans plusieurs théâtres, et a publié sur cette question, dans les *Annales d'hygiène*, un important mémoire qui se trouve aussi dans le premier volume de la collection de ses œuvres. Nous en tirerons la substance de cet article.

Le chauffage d'un théâtre est lié intimement à sa ventilation: car pour pouvoir emporter au dehors des volumes considérables d'air vicié, il faut introduire dans la salle une quantité égale d'air pur, chaud en hiver, et frais en été.

Cet air, chauffé par des calorifères à air chaud, est versé à 25 ou 30 degrés centigrades dans les vestibules, dans les escaliers et dans les corridors des loges.

Des poêles chauffés par la vapeur, ou mieux par la vapeur et l'eau, suivant le système dont nous sommes inventeurs, doivent être établis dans les corridors, dans le foyer et sur la scène; enfin des boîtes à vapeur ou à vapeur et eau, sont logées dans le dallage des vestibules, afin de servir à sécher les pieds des personnes qui arrivent de l'extérieur.

La combinaison de ces divers systèmes est indispensable à la bonne organisation du chauffage d'un théâtre.

On pourrait aussi chauffer l'air destiné à la salle sur des calorifères à eau chaude et à vapeur; l'air amené dans la salle serait certainement plus salubre; mais la dépense d'établissement serait un peu plus considérable. On peut d'ailleurs ôter à l'air séché par un calorifère, comme nous l'avons dit, ses principaux défauts, en lui rendant la vapeur d'eau qui lui manque.

Quant à la *ventilation*, les salles de spectacle ont naturellement un foyer d'appel très-puissant dans leur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lustre; c'est un instrument qu'il faut utiliser, sans aller bien loin en chercher un autre. C'est ce que d'Arcet a fait avec grande raison.

Il a d'abord déterminé les conditions à remplir :

L'air doit y être maintenu à 16 degrés centigrades environ dans les corridors, les loges et toute la salle.

Il faut que l'air de la salle soit continuellement renouvelé pour qu'il ne se charge pas de miasmes ni de gaz délétères, et que son oxygène ne diminue pas dans une proportion dangereuse. Il faut que cet air arrive, sans donner lieu à des courants trop vifs dans la salle. Enfin, il faut que cet air soit saturé à moitié d'eau, à la température de 15 ou 16 degrés.

Pour réaliser ces conditions, d'Arcet a fait établir au-dessus du lustre une large cheminée d'appel A (fig. 16), couronnée d'un chapeau, et fermée à volonté par une trappe à deux ventaux. Il a fait établir au-dessus de la scène une autre cheminée semblable B. Nous dirons plus loin quel service font ces cheminées.

Quant à l'air pur et chaud, c'est dans la salle même qu'il doit être introduit, afin de chasser toujours l'air vicié qui s'y trouve.

Pour obtenir ce résultat sur des volumes considérables, sans gêner en rien les spectateurs, deux dispositions ont été proposées et employées par d'Arcet, toutes deux ayant pour but de fractionner indéfiniment les courants d'air introduits, et de les répartir dans toute la hauteur de la salle.

Dans l'une, l'air chaud et pur des corridors C est introduit dans la salle par de petits tuyaux passant à travers le plancher des loges, et débouchant au bas de leur devanture.

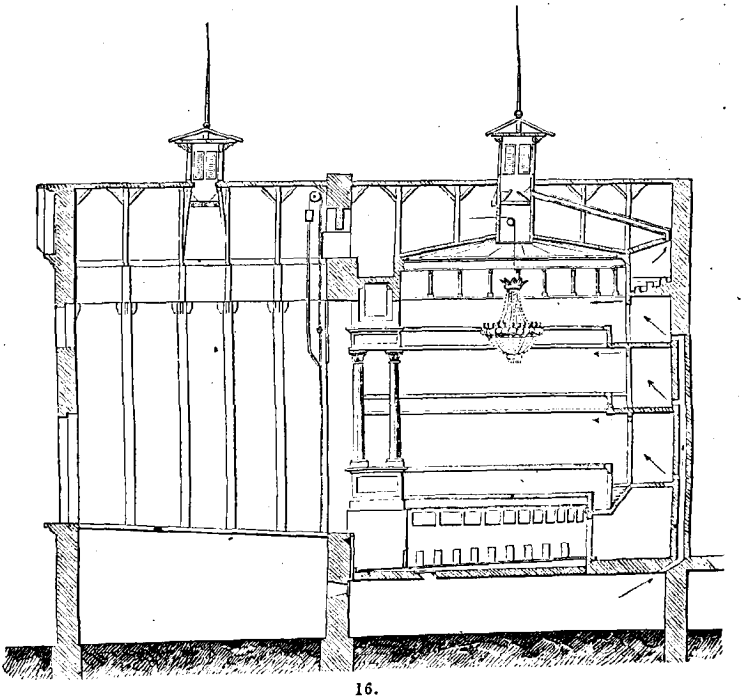
Dans le second système (fig. 17), qui est le plus simple, un faux plancher est établi sous le plancher de chaque loge, et on s'en sert pour prendre l'air des corridors et le faire déboucher dans la salle, un peu en arrière de la devanture. L'air, ainsi introduit dans la salle par des séries de tuyaux ou de faux planchers qui font le tour entier de chaque rang de loges, est dans les meilleures conditions pour assainir complétement la salle, sans jamais donner lieu à des courants nuisibles ou même désagréables.

La hauteur verticale des faux planchers est calculée de manière à suffire largement à l'appel de la grande cheminée. Pour une salle qui peut contenir 2000 spectateurs, à 10 mètres cubes l'un, le volume à ventiler est de 20 000 mètres par heure, ou par seconde, $5^{m.c.},55$. En comptant sur une vitesse minimum de 2 mètres par seconde, facile à obtenir ici, et qui en pratique est de beaucoup dépassée, avec l'air débité une cheminée de 3 mètres carrés, sera de 6 mètres par seconde ou 21 600 à l'heure.

Pour l'introduction de ce volume d'air, il ne faut pas compter sur une vitesse supérieure à $6^{m},50$ par seconde, ce qui donnera 12 mètres carrés pour la somme des sections d'arrivée de l'air dans la salle.

Des expériences ont été faites par MM. Dumas et Leblanc sur l'air appelé par la cheminée du lustre dans des théâtres ventilés, et on a trouvé des volumes énormes.

Avec ces conditions d'arrivée d'air dans la salle, comme celles que nous venons de poser, les portes des loges peuvent être alors ouvertes, sans que les spectateurs se trouvent dans un courant d'air dangereux ou désagréable. Pour obtenir aussi une légère ventilation au fond de chaque loge, on a établi, dans leurs cloisons, des tuyaux d'un petit diamètre, qui vont, de la loge à



16.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la cheminée d'appel, et de plus un vasistas avec un grillage maillé, qui permet encore d'introduire insensiblement de l'air dans la loge, quand la porte est fermee.

Enfin, l'amphithéâtre du centre, quand il en existe, est ventilé par une gaîne D communiquant directement, de son plafond, à la cheminée du lustre A.

En organisant ce système, d'Arcet a donné, comme toujours, des instructions complètes sur la conduite des appareils.

Il insiste d'abord, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sur la nécessité de ventiler d'une manière continue et très-puissante, les lieux d'aisance du théâtre.

Les caloriféres à air chaud doivent être chauffés deux heures au moins avant la représentation, et la température de la salle portée à 15 ou 16 degrés sans ventilation.

Une heure avant l'ouverture des portes, la vapeur arrive dans les récipients, et on conduit de front les trois modes de chauffage, de manière à maintenir la température à 15 ou 16 degrés environ, ce qui est facile, en forçant soit la ventilation, soit le chauffage.

L'air chauffé dans les caloriféres et dans tout le système des appareils, monte dans les corridors, pénètre dans la salle par les tuyaux d'amenée ou les faux planchers, et entraîné par l'appel du lustre, il échappe au dehors à travers la cheminée des combles, en ventilant la salle entière.

Pour maintenir la même salle fraîche en été, on tient toutes les fenêtres et les portes ouvertes pendant la nuit, et fermées soigneusement le jour; alors on ventile la salle à l'ouverture des bureaux, d'abord avec l'air des souterrains, ensuite avec l'air extérieur pris au nord, quand la température extérieure est descendue à 16 degrés à peu près.

La température des cheminées d'appel au-dessus du lustre est de 20 à 25 degrés centigrades. Pour forcer la ventilation, quand la température extérieure est à 20 degrés, il suffit de monter le lustre un peu plus haut, la température de la cheminée s'élève et la ventilation s'établit de suite dans de bonnes conditions. C'est pour cela qu'il est toujours important d'avoir des cheminées d'appel de grande section.

Ainsi, c'est en été que la ventilation est la plus difficile, mais avec de larges cheminées, et au besoin la manœuvre du lustre, on arrivera toujours à obtenir de très-bons résultats.

Les dispositions que l'on vient d'indiquer ont de nombreux avantages.

Les tuyaux de ventilation directs établis dans le fond des loges, permettent d'y faire arriver à volonté la voix de l'acteur, en fermant complétement la cheminée d'appel de la scène et diminuant le passage de celle du lustre.

Lorsque dans une représentation, il se produit un dégagement de poudre brûlée ou de fumée, on ferme, au contraire, tous les appels de la salle, et on ouvre celui de la scène, et l'on évacue rapidement et sans gêner les spectateurs toute la fumée qui, sans cela, les incommoderait si longtemps. La même cheminée d'appel permettra d'assainir aussi les loges des acteurs, en les faisant communiquer avec la scène par de petits tuyaux.

D'Arcet a insisté sur la nécessité de faire surveiller administrativement l'assainissement des théâtres, qui aujourd'hui est facile à organiser avec des appareils simples, mais dont, trop souvent, on ne se sert pas.

D'Arcet trace ensuite les mesures à prendre pour rendre moins graves les incendies des théâtres; il combat avec force l'établissement d'un rideau de tôle qui avait été proposé pour séparer, en cas d'incendie, la scène de la salle, et il dit que ce qu'il faut là, c'est une grille F à larges mailles, qui laissera passer le courant d'air très-puissant appelé alors à travers toute la salle par le foyer concentré sur la scène, qui permettra aux pompiers de lancer de l'eau dans le foyer de l'incendie; enfin qui empêchera la chute des pièces de bois embrasées, qui sont les premiers moyens de propagation du feu dans la salle.

Avec une grille en fer et une cheminée d'appel sur la théâtre, au premier moment du feu il faut donc fermer la cheminée de la salle, ouvrir celle de la scène, ouvrir toutes les portes du théâtre, et casser tous les carreaux des fenêtres, afin de donner un libre passage au courant d'air puissant dont nous parlons, qui emporte au dehors les charbons et les flammes, et permet aux pompiers de prendre les précautions nécessaires à la conservation de la salle.

Telles sont les mesures à prendre pour l'assainissement des théâtres, et il sera facile, avec ce que nous donnons ici, d'obtenir cet assainissement dans les conditions les plus complètes.

Système du général Morin. Dans les théâtres que l'administration de la ville de Paris a fait construire, on a établi un système de ventilation tout autre que celui qui vient d'être décrit.

On a eu pour but d'opérer une ventilation énergique qui ne fût pas produite par une colonne centrale comme celle produite par la chaleur dégagée par les becs de gaz du lustre, qui trop souvent s'élève au milieu de la salle sans agir sur les prises d'air des divers étages.

A cet effet, on a éclairé la salle à l'aide d'un grand nombre de becs de gaz placés en large couronne à la partie supérieure de la salle et séparés de celle-ci par un plafond en verre dépoli qui diffuse la lumière. La chaleur produite dans cet espace sert comme foyer d'aspiration d'une cheminée d'appel, dont les orifices sont placés près de l'orchestre et autour de la scène. L'air contraint à descendre, à partir des petits orifices pratiqués dans les loges, est entraîné bien plus sûrement qu'avec la ventilation par le lustre, et les spectateurs des galeries supérieures ne souffrent plus autant des ascensions de l'air chaud: malheureusement ils sont en échange exposés au rayonnement de la masse de gaz brûlée pour l'éclairage et la ventilation.

Ce système est dispendieux à cause des pertes de lumière occasionnées par l'emploi du verre dépoli, nécessairement employé, et doit être combiné par les grands froids avec un chauffage très-complet et difficile des corridors des étages élevés. On ne peut pas dire, non plus, que ce changement dans l'aspect décoratif des salles de spectacle soit un succès.

Palais de Sydenham. Nous donnerons d'après le général Morin la description de la ventilation du palais de Sydenham, où on a fait l'application très-heureuse de chambres de mélange d'air, excellent moyen d'utiliser les appareils de chauffage sans lancer des filets d'air trop chaud. Elles constituent un progrès très-important pour obtenir un chauffage et une ventilation qui ne laisse rien à désirer.

Le bâtiment de Sydenham (celui du palais de Cristal de l'Exposition de 1851 encore agrandi, le chef-d'œuvre de sir John Paxton comme bâtiment propre aux expositions) est établi sur un terrain en pente assez prononcée pour que d'un côté l'on arrive de plain-pied au rez-de-chaussée, tandis que de l'autre cet étage est à plus de 4 mètres au-dessus du sol. Cette circonstance a permis d'établir sur toute l'étendue du rez-de-chaussée un vaste espace vide, dont on a tiré parti pour la ventilation et pour le chauffage.

La température qu'il est nécessaire d'entretenir dans l'espace destiné aux plantes tropicales, que l'on nomme le *Tropical department*, étant bien supérieure à celle dont on peut se contenter pour le reste de l'édifice, l'on a été obligé d'établir une séparation à peu près

EFERUS - Recherche & Classification numérique

complète dans toute la hauteur du bâtiment. Elle est formée par un immense panneau vitré, qui, par l'effet de sa transparence, interrompt le moins possible la continuité de l'aspect général. Dans le même but, on a placé sous cette partie un nombre proportionnellement beaucoup plus considérable de chaudières et de tuyaux de chauffage.

Le plancher du rez-de-chaussée est formé de madriers de $0^m,22$ de largeur moyenne, séparés les uns des autres à peu près uniformément de $0^m,015$ à $0^m,018$, de sorte que l'espace vide qui permet, comme on va le voir, le passage de l'air, est d'environ 1 1/2 de la surface totale, ou de 1/15 en tenant compte des parties recouvertes par différents objets.

C'est sous ce plancher, du côté de la pente générale du terrain, que sont établies les chaudières, au nombre de vingt-cinq, destinées à procurer partout la température convenable, qui est d'environ 16 à 18 degrés pans l'ensemble, et de 30 à 35 degrés pour la partie réservée aux plantes tropicales.

Toutes ces chaudières sont semblables, et ont la forme d'un demi-cylindre annulaire de $1^m,30$ environ de diamètre intérieur, de $0^m,45$ d'épaisseur, et de $5^m,50$ de longueur. Au sommet de ce cylindre s'élèvent deux tuyaux de départ de l'eau chaude, de $0^m,20$ de diamètre, et vers le fond pénètrent deux tuyaux de retour du même diamètre, qui sont en communication avec les précédents, comme dans le chauffage par circulation d'eau par les tuyaux généraux d'aller et de retour. Dans ce système, analogue à celui des serres, il n'y a pas de récipient supérieur, et les chaudières étant d'ailleurs à basse pression, cela a permis d'employer des tuyaux de fonte d'assez grands diamètres, que l'on s'est contenté de réunir par un emboîtement, comme les conduites d'eau ordinaires. Tout le système des tuyaux d'aller et de retour étant sous le plancher du rez-de-chaussée et au-dessus d'un sol non utilisé, les fuites d'eau, assez faibles d'ailleurs, qui se produisent, n'ont pas d'inconvénient, mais il n'en serait pas de même dans d'autres conditions.

Chaque chaudière alimente à peu près en moyenne 3,200 mètres de tuyaux de circulation (aller et retour compris), et la totalité du développement de tous ces tuyaux est d'environ 75 à 80 kilomètres, c'est-à-dire à peu près la distance de Londres à Douvres.

L'air nouveau qui doit être admis dans l'intérieur, est introduit sous les planchers par de larges et nombreuses ouvertures ménagées dans les soubassements du bâtiment. Il s'y trouve en contact avec les tuyaux de circulation de l'eau, et est ainsi naturellement appelé dans l'intérieur. Si l'on se rappelle que l'espace libre laissé dans le plancher est d'environ 1/15 de sa surface, par conséquent de $0^{mq},066$ par mètre carré, l'on voit qu'en supposant seulement à l'air une vitesse d'admission de $0^m,20$ par seconde, à peine sensible aux organes les plus délicats, l'on peut, par ce dispositif, introduire, par heure et par mètre carré de plancher, $0^{mq},066 \times 0^m,20 \times 3,600 = 47^{mc},52$ d'air, et comme il n'y a jamais une personne par mètre carré de superficie du plancher, il s'ensuit que, par des dispositions très-simples, l'on obtient une ventilation très-abondante et en même temps très-peu sensible.

Il est cependant probable que, dans les emplacements destinés au public qui assiste à des concerts, à des lectures, la chaleur développée par les personnes venant en aide à l'élévation de la température inférieure, la vitesse de l'air doit être plus grande que nous ne l'avons supposé; mais elle ne doit sans doute jamais atteindre une intensité gênante.

Quant au département tropical, où l'on ne fait que circuler, et où la température est élevée, la vitesse d'arrivée de l'air est insensible pour les promeneurs.

Ce système d'admission de l'air conviendrait parfaitement aux édifices qui ont une destination analogue, tels que les musées, les lieux d'exposition, de promenade, etc., pour lesquels une ventilation et un chauffage modéré sont des conditions de bien-être pour les visiteurs en même temps que de salubrité.

L'évacuation de l'air est assurée à l'étage des galeries au moyen d'ouvertures garnies de persiennes mobiles à volonté, et dans les parties supérieures par des moyens analogues. Les joints nombreux et inévitables qu'offrent toujours les panneaux vitrés assurent d'ailleurs des surfaces bien suffisantes. En été, l'échauffement des vitrages par le soleil est encore un auxiliaire puissant pour cette ventilation qui se fait ainsi par voie d'appel naturel et sans moyens auxiliaires d'échauffement. (Voy. AIR COMPRIMÉ.)

VENTILATION DES AMPHITHÉATRES.

La ventilation des amphithéâtres (fig. 17) ne peut pas être séparée de leur chauffage, dont nous parlerons d'abord succinctement. Le meilleur système consiste à établir sous la salle et sous la chaire du professeur, ou sous le bureau du président, des calorifères à air chaud A, assez puissants pour satisfaire aux pertes des murs et vitrages, et à une ventilation calculée à raison de 10 mètres cubes par tête, avec le nombre maximum des auditeurs.

Cet air doit arriver dans la salle avec une quantité d'eau vaporisée qui réponde à moitié de ce que le volume d'air introduit seul contiendrait à 15° centigrades et à 100° de l'hygromètre. Il sera versé par une ou deux larges bouches B pratiquées dans le sol et au centre de l'amphithéâtre, par trois bouches C établies dans le soubassement de la chaire, et par deux bouches dans les socles des couloirs à droite et à gauche du professeur.

L'air vicié doit être ensuite enlevé par des bouches d'appel DD' établies dans la paroi verticale et antérieure des bancs, sur toute la circonférence de chaque rang. Avec des bouches égales et également espacées, le petit diamètre des rangs inférieurs compensera l'excès d'appel qui résulterait, au profit des bouches inférieures, de leur peu d'écartement de l'arrivée d'air chaud.

Toute la capacité E, sous l'amphithéâtre, sera hermétiquement close avec de doubles portes pour servir de *chambre d'appel*, et de cette chambre partira un conduit souterrain qui ira se rendre au bas d'une cheminée de section calculée G, dans laquelle sera établi un tuyau en tôle émaillée, ou en fonte, qui montera jusqu'au-dessus du chapeau, pour recevoir en hiver la fumée des appareils chauffeurs. Au bas de cette cheminée sera le foyer d'appel, dans le système de celui de Mazas (fig. 1), si l'amphithéâtre est grand, et comme celui de Fontainebleau (*fig.* 2), si l'amphithéâtre est petit. S'il y avait des tribunes couvertes dans le haut de l'amphithéâtre, comme cela a lieu dans les salles d'assemblées politiques, on établirait, dans le fond de ces tribunes, des bouches d'appel avec un ou plusieurs conduits descendants qui iraient déboucher dans la chambre d'appel sous l'amphithéâtre. Chaque conduit d'appel aura son registre. Avec ces dispositions, la ventilation de l'amphithéâtre sera puissante, facile, réglée à volonté selon les besoins, et parfaitement égalisée dans toute la salle, et la température ne pourra jamais s'élever plus qu'on ne le voudra, pendant les cours.

Disons maintenant comment se doivent proportionner les appareils.

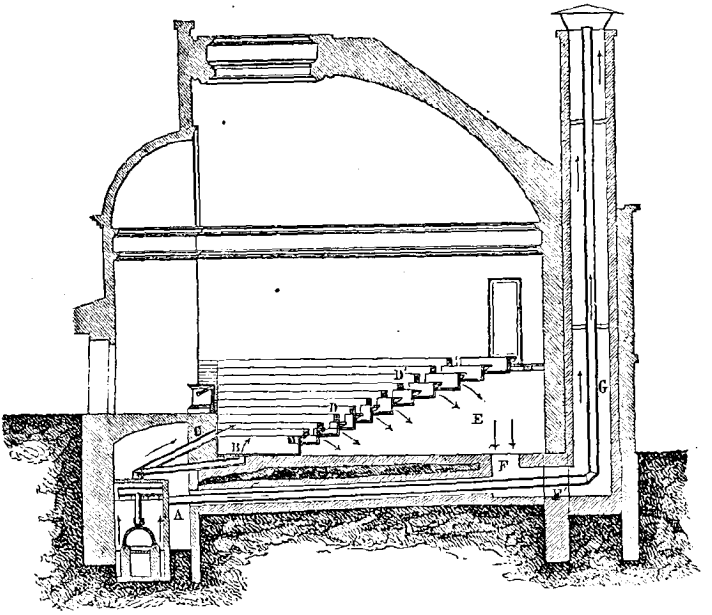
Prenons un amphithéâtre qui puisse contenir 1200 personnes. M. Péclet a prouvé que dans une salle de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION

ce genre, la quantité de chaleur dégagée en une heure, par les 1200 auditeurs, suffit et au delà pour compenser

Sur un hiver entier, la quantité moyenne de combustible brûlée par jour variera suivant le nombre des



47.

les pertes de chaleur des murs et du vitrage. C'est pour cela que dans une salle ainsi remplie, si on ne la ventile pas énergiquement, la température s'élève beaucoup et devient incommode.

Mais dans les salles de cours, le nombre des auditeurs varie souvent dans de très-grandes limites; il faut donc que les appareils de chauffage soient assez forts pour suffire aux pertes des murs et du vitrage, avec le nombre minimum reconnu d'élèves.

Avec l'amphithéâtre dont nous parlons, les pertes maximum de chaleur par les murs et les vitres sont à peu près de. . . . . 55 000 cal.

En supposant l'amphithéâtre plein,

La quantité de chaleur dégagée par les 1200 élèves est de. . . . . 57 000 cal.

Avec cette salle ainsi pleine, il ne reste donc plus qu'à fournir la chaleur nécessaire pour échauffer de 20° les 12 000 mètres cubes d'air à donner par heure à raison de 10 mètres par tête, soit :

$$\frac{12\,000 \times 1^{k},30 \times 20^{o}}{4} = 78\,000 \text{ calories.}$$

Mais en supposant que l'amphithéâtre ne reçoive parfois que 400 élèves, il faut que les appareils puissent alors donner :

1° La quantité de chaleur demandée par l'air de ventilation.	78 000 cal.
2° Deux tiers de la chaleur nécessaire pour les pertes extérieures, avec un tiers seulement des auditeurs.	37 000 cal.
Soit ensemble.	115 000 cal.

Pour cela il faut deux calorifères à air chaud de 26 ou 27 mètres carrés de chauffe chacun.

élèves de 225 à 300 kilogrammes de houille, la dépense maximum, répondant, bien entendu, au nombre minimum d'auditeurs.

Quant aux appareils de ventilation, la cheminée, pour débiter par heure 12 000 mètres cubes d'air, ou par seconde 3m,33,
aura, avec 1 mètre de vitesse en section . . . 3 ,50,
ou en diamètre . . . . . 2 ,20.

La somme des ouvertures d'arrivée d'air chaud devra être, à raison de 1m,50 de vitesse d'air, de. . . . . 2m,20.

La somme des ouvertures d'appel à raison de 0m,33 de vitesse seulement, sera de . . . . . 10 mètres.

Il est important d'avoir là de grandes sections et de très-faibles vitesses, afin que les courants d'air soient tout à fait insensibles pour les auditeurs.

En admettant 15 rangs de bancs ou banquettes, développant en moyenne 20 mètres chacun, soit . . . . . 300 mètres,
et 1 ouverture par mètre courant, il y aura dans l'amphithéâtre 300 ouvertures d'appel maillées fin, ou en cuivre ou en fonte à jour, et pour donner ensemble 10 mètres carrés, chacune d'elles aura une surface de. . . . . 0m.q.,033.
soit à peu près . . . . . 0m.22, sur 0m,15.

Le canal souterrain qui conduira de la chambre d'appel à la cheminée générale, aura la même section que la cheminée, qu'il soit unique ou qu'il soit partagé en plusieurs canaux, et sera muni de registres faciles à manœuvrer afin de pouvoir régler en un instant la ventilation et la température en raison du nombre des auditeurs.

La quantité de houille brûlée dans le foyer d'appel, pour donner 12 000 mètres cubes de ventilation par heure, sera de. . . . . 12 à 14 kilogrammes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VENTILATION DES ÉCOLES.

Péclet a indiqué des dispositions simples et efficaces pour ventiler les écoles (fig. 18) à raison de 6 mètres

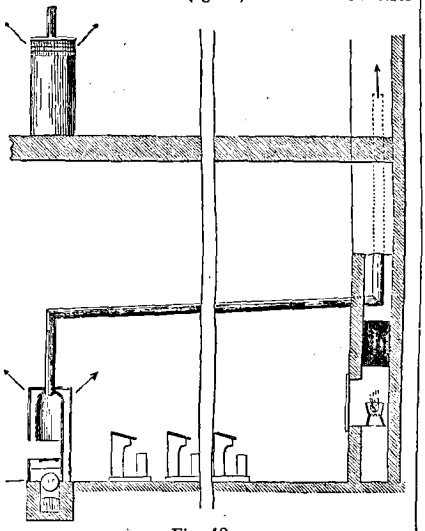


Fig. 18.

cubes par élève, et ces dispositions ont été adoptées, avec les meilleurs résultats, dans beaucoup d'écoles et de salles d'asile.

Un poêle en fonte enveloppé de briques ou avec une chemise en tôle, reçoit l'air pur extérieur, le chauffe et le verse dans la salle. Le tuyau de fumée de ce poêle, après avoir traversé la salle, va monter dans une cheminée d'appel, qui est ouverte en haut de la salle pour emporter au dehors l'air vicié, sous l'action de l'appel du tuyau de fumée. En été, on allume au bas de cette cheminée, ou une lampe ou un fort lampion, ou un petit poêle à combustion lente.

Nous terminerons en rappelant que toutes les questions d'hygiène sont remarquablement traitées dans l'utile dictionnaire d'hygiène du docteur Tardieu.

Enfin nous rappellerons que les emplois de l'air comprimé par la ventilation sont traités à l'article AIGUISAGE et surtout à l'article AIR COMPRIMÉ du *Complément*.

Ph. GROUVELLE.

VERNIER. Instrument qui permet d'apprécier facilement de minimes longueurs avec une grande exactitude. Voici son principe:

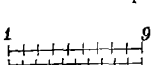


Fig. 1.

Soit, par exemple, une ligne divisée en dix parties égales, et une autre ligne égale et divisée en 9 parties, il est évident que la première division de la seconde dépassera celle de la première de $\frac{1}{10}$ de cette division, la seconde de $\frac{2}{10}$, et ainsi de suite.

L'usage du vernier est facile à concevoir. Lorsqu'une longueur doit être mesurée avec une règle divisée en parties égales et qu'on a trouvé que l'extrémité de cette longueur tombe entre deux divisions, si on applique l'extrémité du vernier sur ce point, on trouvera qu'au nombre des divisions devra s'ajouter un nombre fractionnaire, dont le numérateur sera donné par le rang de la division du vernier qui coïncide avec une division de la règle et le dénominateur par le nombre de divisions qui comprend la longueur du vernier.

Vernier pour les épaisseurs. M. Palmer a combiné un petit vernier très-commode pour apprécier les épaisseurs.

Cet instrument porte à l'une de ses extrémités un

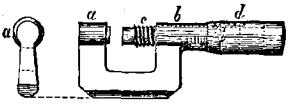


Fig. 2.

talon *a* sur lequel on appuie l'objet à calibrer; à l'extrémité opposée est un cylindre *b* divisé extérieurement dans le sens longitudinal en millimètres, et faisant fonction d'écrou pour une vis *c*, dont le pas est d'un millimètre. Sur le cylindre roule une virole *d*, amincie en biseau, fixée à la vis et portant sur sa circonférence vingt divisions égales correspondant, par conséquent, à des vingtièmes de millimètre. Ces divisions sont telles que, lorsque l'extrémité de la vis est serrée contre le talon, les zéros du cylindre fixe et de la virole coïncident. Toutes les fois que cette coïncidence des zéros se présente, l'épaisseur est déterminée par un nombre entier de millimètres indiqué sur l'échelle longitudinale du cylindre fixe; lorsque les zéros ne coïncident pas, l'épaisseur est égale au nombre de millimètres qu'on lit sur le cylindre, plus le nombre de vingtièmes indiqué sur la virole.

VERMILLON (*angl.* cinnabar, vermillion, *all.* zinnober). Ce corps est un sulfure de mercure composé de:

Mercure.	86,3	HgS.
Soufre.	13,7	
	100,0	

On le trouve dans la nature et c'est même le minerai de mercure le plus abondant; les échantillons massifs très-purs sont seuls employés dans la peinture; mais la plus grande partie du cinabre versé dans le commerce est un produit artificiel qui a la même composition et les mêmes caractères que le cinabre naturel. En masse le cinabre présente une couleur d'un violet foncé qui devient d'un rouge très-vif par la porphyrisation; en cet état de ténuité il porte le nom de *vermillon*.

Le cinabre est insoluble dans l'eau, infusible et volatil sans décomposition à une température voisine du rouge, pourvu toutefois qu'on le distille à l'abri du contact de l'air; car, dans ce cas, il se décomposerait en acide sulfureux et en mercure. Les vapeurs de cinabre forment en se condensant une masse cristalline dans laquelle on distingue de belles aiguilles hexaèdres.

La plus grande partie du cinabre que l'on trouve dans le commerce se prépare par voie sèche; toutefois celui préparé par voie humide possède un éclat beaucoup plus vif que le précédent, mais qui revient ordinairement à un prix plus élevé; sa préparation est très-délicate.

M. Tuckert a publié (*Annales de Chimie*, IV) un très-bon mémoire sur la fabrication du cinabre hollandais, le plus beau de ceux obtenus par voie sèche, dont nous extrayons ce qui suit:

La fabrique, dit-il, dans laquelle j'ai assisté plusieurs fois à la fabrication du sulfure de mercure sublimé, est celle de M. Brand, à Amsterdam, et l'une des plus considérables de la Hollande; on y fabrique annuellement dans trois fourneaux, et par le moyen de quatre ouvriers, 24,000 kilogrammes de cinabre, sans compter les autres préparations mercurielles. On y suit le procédé que je vais décrire:

On prépare d'abord l'*éthiops* ou sulfure noir, en mêlant ensemble 75 kilogrammes de soufre et 540 kilogrammes de mercure pur; puis exposant ce mélange à un feu modéré dans une chaudière de fer plate et polie de $0^m,32$ de profondeur sur $0^m,80$ de diamètre. Jamais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce mélange ne s'enflamme à moins que l'ouvrier n'ait point encore acquis l'habitude nécessaire.

On broie ce sulfure noir, ainsi préparé, afin d'en remplir facilement de petits flacons de terre, de la contenance de 3/4 de litre ou environ, et l'on remplit d'avance 30 ou 40 de ces flacons, pour s'en servir au besoin.

Après cette préparation, on a trois grands pots ou vases sublimatoires faits d'argile et de sable très-pur; ces vases sont enduits d'avance d'une couche de lut, afin qu'elle ait eu le temps de sécher lorsqu'on veut les employer. On pose ces pots sur autant de fourneaux cerclés en fer et adossés contre une voûte élevée et capable de résister au feu. Les fourneaux sont construits de manière à ce que la flamme circule librement autour des pots, qui peuvent être de diverses grandeurs, et qu'elle environne jusqu'aux 2,3 de leur hauteur.

Lorsque les pots sont posés sur leurs fourneaux, on allume le soir dans ceux-ci un feu modéré que l'on augmente graduellement jusqu'à faire rougir les pots. On se sert, à Amsterdam, de tourbe pour ce travail. Lorsque les pots sont rouges, on verse dans le premier un flacon de sulfure noir de mercure, ensuite on en fait autant dans le second, puis dans le troisième. On peut dans la suite en verser deux, trois, et même davantage à la fois; cela dépend de la plus ou moins forte inflammation du sulfure de mercure. Après son introduction dans les pots, la flamme s'en élève quelquefois à 1 et même 2 mètres de hauteur; lorsqu'elle est un peu diminuée, on recouvre les pots avec une plaque en fonte de $0^m,40$ de diamètre et de $0^m,04$ d'épaisseur, qui s'y applique parfaitement. On introduit ainsi, en 34 heures, dans les trois pots, toute la matière préparée, ce qui fait pour chaque pot 180 kilogrammes de mercure et 25 kilogrammes de soufre, en tout 205 kilogrammes. Toute la matière une fois introduite, on continue le feu dans un juste degré, et on le laisse éteindre lorsque le tout est sublimé, ce qui exige 36 heures de travail. On reconnaît que le feu est trop fort ou trop faible, par la flamme qui s'élève lorsqu'on ôte le couvercle de fonte; dans le premier cas elle s'élève à une grande hauteur au-dessus du pot, dans l'autre elle ne paraît pas ou ne fait que toucher faiblement l'ouverture des pots. Le degré de feu est convenable lorsque, en enlevant le couvercle, on voit paraître vivement la flamme sans qu'elle s'élève à plus de $0^m,10$ au-dessus de l'ouverture.

Dans les dernières 36 heures, on remue tous les quarts-d'heure ou demi-heures la masse avec une tringle en fer, pour en accélérer la sublimation.

Après que le tout est refroidi, on retire les pots avec les cercles en fer qui empêchent qu'ils ne crèvent, et on les casse. On trouve constamment dans chaque pot 200 kilogrammes de cinabre sublimé: ce qui fait seulement 2 1/2 p. 100 de perte sur la quantité totale de soufre et de mercure employés.

Le cinabre sublimé en masse est ensuite broyé à l'eau, soumis à la lévigation et séché; il est d'autant plus beau qu'il est réduit en parties plus tenues.

La préparation du cinabre par voie humide, due à *Kirchoff*, a été perfectionnée depuis au point de donner un produit dont la beauté ne le cède en rien à celle du cinabre de Chine.

Voici, d'après *Brunner*, quel est le meilleur mode d'opérer: on triture ensemble 300 parties de mercure et 114 parties de soufre, pendant plusieurs heures, jusqu'à ce que le tout se soit réduit en une poudre noire dans laquelle on n'aperçoive plus aucun globule de mercure. Cette opération s'accélère notablement lorsqu'on ajoute au mélange une petite quantité d'une dissolution de potasse du commerce. On peut s'épargner le travail de la trituration en introduisant le mercure et la fleur de soufre dans de fortes bouteilles que l'on bouche bien, et que l'on attache solidement sur un châssis auquel on imprime un mouvement de va-et-vient au moyen d'un moteur quelconque. On ajoute à la poudre noire ainsi obtenue une dissolution de 75 parties de potasse à la chaux dans 400 parties d'eau, et on continue la trituration encore pendant quelque temps; on porte ensuite le tout dans le travail en petit, dans une capsule, en porcelaine, dans le travail en grand dans une chaudière en fer poli; on chauffe à 45° C. au bain-marie, et on cherche autant que possible à maintenir cette température constante. On doit remplacer de temps en temps l'eau qui se vaporise. Après une couple d'heures, on remarque que la masse d'abord noire devient d'un rouge-brun; il faut alors prendre bien soin que la température ne dépasse pas le degré indiqué ci-dessus. Un défaut de chaleur n'a d'autre inconvénient que de prolonger la durée de l'opération. Peu à peu la couleur brune passe à un rouge dont la vivacité croît très-rapidement. On retire alors le feu de dessous la chaudière, pour ralentir la marche de l'opération, et pouvoir reconnaître exactement le moment où la teinte a acquis le plus haut degré de beauté et de vivacité; aussitôt que ce point est atteint, ce qui se reconnaît aisément lorsqu'on a acquis quelque habitude de cette manipulation, on refroidit la masse en y versant de l'eau froide, on la jette sur un filtre, on la lave avec soin et on la fait sécher.

VERNIS (*angl.* varnish, *all.* firnitz). Si l'on définissait vernis toute substance en état de procurer aux corps solides un certain éclat, par l'effet combiné de la réflexion et de la réfraction des rayons lumineux, l'eau pure ou chargée de matières gommeuses ou gélatineuses, tous les liquides, en général, jouissant de cette propriété, pourraient être considérés comme de véritables vernis; mais, le lustre que l'eau et la plupart des liquides produisent, disparaissant par l'évaporation ou la dessiccation du fluide lui-même, les couches gélatineuses ou gommeuses qui restent à la vérité luisantes après la disparition de l'eau, ne pouvant résister à l'humidité de l'air, ni aux lavages, ne méritent pas le nom de vernis. Nous le réserverons seulement aux matières résineuses ou gommo-résineuses, qui, en dissolution ou en suspension dans un liquide approprié, et en cet état, étendues à la surface des corps, continuent, même après l'évaporation ou la dessiccation du véhicule qui facilite leur application sur ces corps, d'y adhérer fortement et d'y former une couche luisante, unie, solide et transparente, inattaquable par l'air et par l'eau pendant un espace de temps plus ou moins long. D'après cette définition, on comprendra de suite que les vernis ne doivent pas être seulement brillants, qu'il faut en outre qu'ils ne changent pas sensiblement la teinte naturelle ou artificielle des corps sur lesquels ils sont appliqués.

Faire des vernis, c'est donc simplement diviser, étendre les molécules résineuses dans un liquide approprié, de telle manière qu'après l'évaporation complète de ce liquide, ces molécules puissent reprendre la couleur, l'éclat et la solidité dont elles jouissent dans leur état normal. C'est le cas des vernis préparés au moyen de l'éther et de l'alcool.

Ou bien: c'est diviser, étendre les molécules résineuses dans un liquide approprié, de telle manière qu'après la complète dessiccation du liquide interposé, ces molécules, en vertu de la force de cohésion et d'attraction qui leur est propre, puissent reprendre, non plus leur couleur, leur éclat et leur solidité premiers, mais cette couleur, cet éclat et cette solidité, modifiés par les particules desséchées du liquide qui continuent ainsi de les diviser, de les éloigner les unes des autres. C'est le cas des vernis préparés au moyen de l'essence de térébenthine [1] et de l'huile.

(1) L'essence de térébenthine résinifiée à l'air communique aux autres résines une certaine souplesse qu'elles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On pourrait donc à la rigueur ne former que deux genres de vernis. Dans le premier seraient compris les vernis à l'alcool et à l'éther, c'est-à-dire ceux qui, après leur dessiccation, ont entièrement perdu le liquide qui divisait leurs parties résineuses. Le second genre comprendrait les vernis à l'essence et à l'huile; c'est-à-dire ceux qui, après leur dessiccation complète, en ont conservé une certaine quantité.

Mais, comme les vernis à l'éther, à l'alcool, à l'essence et à l'huile, présentent d'ailleurs des caractères tout différents, plus faciles à saisir, soit sous le rapport de l'odeur, de la rapidité de la dessiccation, de la solidité ou résistance à l'air, etc., ce qui rend les uns plus propres que les autres à certains emplois spéciaux, nous en ferons quatre genres, non seulement pour nous conformer à l'usage, mais encore pour les classer d'une manière logique et naturelle.

Dans le premier genre, nous placerons les *vernis à l'éther*, comme ceux où le véhicule est le plus facile à s'évaporer à la température ordinaire, comme étant par conséquent les plus siccatifs.

Le deuxième genre comprendra les *vernis à l'alcool*, c'est-à-dire ceux où l'évaporation du liquide est la plus rapide après celle de l'éther.

Le troisième genre comprendra les *vernis à l'essence*, c'est-à-dire ceux qui sont moins siccatifs encore que ceux à l'alcool, parce que le liquide, bien que s'évaporant rapidement, délaisse cependant un résidu appréciable d'essence grasse (1), mollasse et visqueuse pendant longtemps, et retardant, par cela même, la complète dessiccation, ou, si l'on veut, la complète solidification de la couche résineuse produite.

Le quatrième genre comprendra les *vernis gras* ou à l'huile, moins siccatifs encore que ceux à l'essence, parce que le véhicule (huile et essence) qui sert à les préparer, est celui de tous qui se dessèche le plus lentement et qui fournit les résidus les plus abondants; 10 p. 100 environ de l'essence, et 12,50 p. 100 de l'huile employée.

Causes qui rendent les vernis plus ou moins siccatifs. Si, chez les vernis de troisième et quatrième genre, la nature molle et la plus ou moins grande abondance des résidus que délaisse le véhicule dans la composition de la couche résineuse à solidifier, influent sur la rapidité de cette solidification ou dessiccation; car, ces deux mots expriment exactement la même idée, dans tous les genres, il est évident que la nature plus ou moins sèche de la résine ou des résines dont les vernis sont composés, n'influera pas moins sur cette même dessiccation en la favorisant ou en la retardant.

Dans chaque genre, on trouvera donc des vernis plus siccatifs et d'autres moins siccatifs, selon que les diverses formules comporteront telles ou telles autres résines; selon que les matières molles ou gluantes, et par suite lentes à se dessécher, s'y trouveront plus ou moins dominantes sur celle de nature plus sèche.

Causes qui concourent à rendre les vernis durables. Une couche de vernis desséchée sera-t-elle d'autant plus résistante aux chocs, aux frottements, à l'action de l'air, du soleil, etc.; sera-t-elle d'autant plus durable, qu'elle sera composée de matières plus sèches, plus dures? Non, car une pellicule de vernis uniquement composée de substances résineuses, sèches et dures, ne saurait résister à l'action des corps en état de l'endommager autant que si elle était moins dure, moins rigide. Elle éclaterait ou s'écraserait sous le moindre choc, se fendillerait par la dessiccation, choses qu'elle ne ferait pas si elle avait plus de liant. La térébenthine que l'on adjoint aux résines dans les vernis à l'alcool, l'essence grasse qui reste dans les vernis à l'essence après leur dessiccation, la petite partie d'huile desséchée, qui, avec une certaine quantité d'essence grasse, se trouve mélangée aux résines des vernis gras arrivés à leur point de dessiccation, toutes ces substances n'ont d'autre office que de modifier, de ramollir les résines, les rendre ainsi moins faciles à sécher, à reprendre leur solidité première; mais, en même temps, de les mettre mieux en état de résister aux chocs, aux frottements, et aussi à l'action destructive de la lumière et de la chaleur solaire des gaz atmosphériques, etc., etc.

Cela bien entendu, l'on comprendra pourquoi les vernis les plus siccatifs sont les moins durables; pourquoi les vernis les plus lents à sécher sont les plus solides, dès qu'ils ont atteint le degré de dessiccation qui leur convient; et, comme en tout, il y a une limite à garder, l'on comprendra qu'il faut prendre un bon intermédiaire, afin d'obtenir, tout à la fois, un vernis suffisamment siccatif pour ne pas rester trop longtemps exposé à la poussière ou à être enlevé par les frottements, et suffisamment liant pour ne pas se casser, se fendiller, s'oxyder trop vite et tomber en poussière sous l'action de toutes les causes en état d'opérer ces effets.

A quoi tient la coloration des vernis. 1° On sait que les résines, telles qu'elles arrivent des lieux qui les fournissent au commerce, soit en caisses, soit en balles, sont toujours un mélange de trois nuances au moins que l'on sépare à la main, pour faire ce que l'on appelle le premier, le deuxième et le troisième choix, après lesquels il reste encore ce que l'on nomme *la pousse* dans les résines tendres, *les marrons* dans les résines dures. Il va sans dire que le vernisseur utilise le tout pour former trois ou quatre nuances de vernis, trois ou quatre *numéros*, comme on le dit en fabrique. Dans chaque genre, à égalité de composition, on obtiendra donc des vernis de même solidité, mais de nuances plus ou moins foncées, selon qu'on aura employé le premier, le deuxième, le troisième choix, la pousse ou les marrons des matières résineuses pour les composer. La coloration des vernis tient donc essentiellement à l'état de coloration des résines elles-mêmes.

2° Mais, en outre des soins apportés à bien assortir les nuances des matières résineuses, comme dans leur état naturel elles sont toujours plus ou moins propres, plus ou moins mélangées de particules d'écorces, de sable ou même de terre, un amateur, désireux de faire de beaux et bons vernis, aura toujours le soin de les monder, au couteau, de toutes les impuretés qu'il pourra enlever ainsi; non content de cela, il les mettra dans de l'eau de rivière, les y fera bouillir, et après les y avoir bien brassées, il les rincera à l'eau froide, et les fera sécher ensuite sur des toiles, au soleil. Cette opération a pour but de débarrasser les morceaux de toutes les substances graisseuses ou autres qui les salissent, et de les rendre plus facilement dissolubles dans les différents véhicules au moyens desquels on les transformera en vernis.

Mais, indépendamment de ce premier lavage, lorsqu'il s'agira de vernis qu'on veut obtenir de première blancheur et limpidité, dans les deuxième et troisième genres, il est convenable de les laver une seconde fois avec de l'alcool ou de l'essence de térébenthine avant de les mettre dans l'alcool ou l'essence qui les dissoudra définitivement; on achèvera ainsi de monder les résines de la croûte plus ou moins oxydée et opaque dont chaque morceau se trouve toujours enveloppé, et l'on obtiendra des vernis incomparablement plus brillants. L'alcool ou l'essence qui ont servi pour ce lavage sont mis à part; on les emploie dans les vernis de moindre qualité.

ne possèdent pas par elles-mêmes, et les rend ainsi un peu plus durables à l'air. C'est pour cette raison que les vernis à l'essence sont plus solides que ceux à l'alcool.

(1) L'essence grasse égale environ 10 p. 100 de l'essence employée. En d'autres termes, 10 kil. d'essence fournissent 1 kil. d'essence grasse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

monte en écume, et tend à sortir du matras, on la refroidit (on l'arrose en terme de fabrique), en y ajoutant un peu de l'esprit-de-vin qu'on a réservé tout exprès pour cela, et on continue à en agir de même chaque fois que le liquide tend à sortir, jusqu'à ce qu'enfin toute la résine soit fondue; alors on tire le matras du feu et l'on y verse immédiatement la térébenthine, que l'on a fait liquéfier à part dans un petit matras de grandeur suffisante; on remue vigoureusement le vernis pendant deux minutes pour bien mélanger la térébenthine : alors on reporte le matras sur le feu, toujours très modéré, et, lorsque le vernis bout, ce qui arrive ordinairement après un quart d'heure, et même moins, selon que la térébenthine était plus ou moins chaude; laissez-le bouillir, mais enlevez-le aussitôt qu'il est couvert de mousse blanche, sans quoi il sortirait, du matras presque plein, une écume qui se répandrait sur le fourneau, et le feu ne manquerait pas de se déclarer dans le matras.

Au sortir du feu, on passe le vernis à travers un tamis posé dans un entonnoir sur une tourie en grès qu'on a eu soin de chauffer un peu pour éviter que la chaleur du vernis ne la fasse éclater, auquel cas il faudrait le transvaser de suite dans un autre, sous peine de tout perdre.

Vernis surfin.

Prenez : Alcool à 36°. . . . . 24 litres.
Sandaraque. . . . . 5 kil.
Térébenthine suisse. . . 7 kil.

que vous traiterez à feu nu comme le précédent.

Vernis n° 1.

Prenez : Alcool à 36°. . . . . 20 lit.
Sandaraque. . . . . 4 kil.
Térébenthine suisse. . . 11 kil.

Traitez à feu nu comme les précédents.

Vernis n° 2.

Prenez : Alcool à 36°. . . . . 10 lit.
Sandaraque. . . . . 2 kil.
Térébenthine de Bordeaux. 5 kil.

Traitez à feu nu comme les précédents.

Vernis n° 3.

Prenez : Alcool à 36°. . . . . 8 lit.
Pousse de sandaraque. . 2 kil.
Térébenthine de Bordeaux. 3 kil.
— de Pise. . . 3 kil.

Traitez à feu nu comme les précédents.

Vernis n° 4 *ou à bois.*

Prenez : Arcanson en morceaux. . 11 kil.
Galipot. . . . . 4 kil.
Essence de térébenthine. . 4 kil. 50
Alcool à 36°. . . . . 18 lit.
Pousse de sandaraque. . 1 kil.

Fondez séparément à feu nu, d'une part, l'arcanson et le galipot dans l'essence de térébenthine, et, d'autre part, la pousse de sandaraque dans l'alcool avec les précautions recommandées ci-dessus; puis, réunissez ces deux vernis en versant celui à l'alcool dans celui à l'essence; faites bouillir le tout pour les bien incorporer l'un avec l'autre, et passez au tamis dans une tourie le vernis que vous aurez obtenu.

Vernis de copal par intermède de l'éther (1). Berzélius annonce que si l'on met de la poudre de copal en digestion dans l'éther sulfurique et qu'on chauffe la masse sirupeuse qu'il forme jusqu'à l'ébullition, qu'on la mêle avec de petites quantités d'alcool chaud (d'une densité de 0,82 ou au-dessous), qu'on agite le tout, la résine se dissout en une liqueur limpide que l'on peut ensuite étendre avec de l'alcool autant que l'on veut.

C'est, dit Berzélius, le vernis le plus incolore qu'on puisse préparer, car l'enduit résineux qui reste sur les objets recouverts de ce vernis ne les teinte point sensiblement.

Si, au lieu d'alcool chaud on ajoute à la teinture éthérée de l'alcool froid, ou en grande quantité à la fois, la masse se coagule et ne se dissout plus. (*Berzélius, traduction de M. Esslinger.* Firmin Didot frères, 1831, tome V, page 490.)

Vernis d'oxyde de copal, autrement dit copal soluble, par M. Cazanove (1). Mettez dans une bouteille de l'alcool à 36 ou 40°, remplissez-le à moitié, ajoutez-y de l'oxyde de copal que vous savez y être soluble, la valeur en poids du tiers de l'alcool; bouchez la bouteille avec un liége, laissez digérer à l'ombre pendant cinq ou six jours, en ayant soin chaque jour de l'agiter deux ou trois fois; vous obtiendrez ainsi un bon vernis chargé de résine relativement au degré de l'alcool employé, et que vous pouvez étendre d'alcool si sa consistance est trop épaisse.

Vernis de gomme laque pure. — Vernis incolore pour meubles en bois blancs ou peu colorés, dont on veut relever la teinte naturelle sans la changer.

Prenez : 1 kil. de laque blanchie et récemment préparée;
10 litres d'alcool à 40°;

fondez à feu nu votre laque dans 4 lit. d'alcool, arrosez avec 2 lit., passez votre vernis au tamis dans une tourie, où vous verserez en mélangeant les 4 lit. qui vous restent.

Vernis de gomme-laque pour acajou et autres bois qui ne redoutent pas d'être un peu teintés.

Prenez : 1 kil. de gomme-laque en feuilles, blonde ou brune;
10 lit. d'alcool à 33 ou 40°,

que vous fondez à feu nu, comme nous venons de le dire pour le n° précédent.

Vernis de gomme-laque coloré en rouge pour acajou et autres bois.

Prenez : 5 kil. de gomme-laque brune;
3 kil. de santal rouge effilé ou en poudre;
50 lit. d'alcool à 36 ou 40°.

Il y a deux manières de faire ce vernis :

Première manière. Mettez la gomme et le santal en poudre dans un matras avec 20 lit. d'alcool, que vous porterez sur le feu; vous arroserez avec 13 lit., puis, après la dissolution de la gomme, vous verserez le vernis sur un tamis serré qui retiendra le santal.

Mais ce moyen est embarrassant, surtout si l'on a employé le santal en poudre. Le vernis ne passe pas facilement à travers le tamis, qui doit être serré précisément pour ne pas livrer passage au bois, et pour en bien opérer la séparation d'avec le vernis auquel il se trouve mélangé.

Deuxième manière. Il est donc préférable de préparer à part et à l'avance une teinture de 3 kil. de santal dans 10 lit. d'alcool, de tirer cette teinture à clair, et de s'en servir pour colorer les vernis qu'on aura préparés avec 40 lit. seulement d'alcool.

Autre vernis de gomme-laque pour meubles. Dissolvez de la gomme-laque dans le double de son poids d'alcool.

Mêlez deux parties de ce vernis à une partie d'huile

(1) Nous n'avons pas expérimenté ce vernis. M. Guibourt révoque en doute que Berzélius l'ait jamais exécuté avec le copal dur.

(1) M. Casanove a pris pour ce vernis un brevet d'invention, à la date du 20 juin 1839; nous ignorons pendant combien de temps il l'a exploité. Nous revenons plus loin sur la solubilité du copal.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'olives, étendez ce mélange sur le bois, et frottez dans le sens des fibres; laissez sécher, puis recommencez jusqu'à trois et quatre fois, jusqu'au résultat désiré.

On lustre ce vernis avec du tripoli mélangé d'huile d'olives, et on achève avec un morceau de peau de daim.

Ce vernis brunit le bois, mais il ne se gerce jamais.

Remarques sur les vernis de gomme-laque pure. Ces vernis sont, sans contredit, les plus solides des vernis à l'alcool; mais ils ne sont brillants qu'autant qu'ils sont polis. De plus, ils sont sujets à se gercer, surtout si on les fait trop corsés. Il est vrai qu'on peut obvier à cet inconvénient en ajoutant un peu d'huile (1) sur le tampon dont on se sert pour les appliquer; mais l'huile brunit le bois. C'est pourquoi nous préférons les vernis moins riches en résine; ils ne présentent pas les mêmes inconvénients. Il faut sans doute plus d'une couche pour obtenir le lustre qu'on exige sur les meubles vernis, mais cette multiplicité de couches fait justement que la gomme est mieux répartie et sans aucune épaisseur, ce qui assure la durée du vernissage et l'empêche de se gercer.

Vernis composés de gomme-laque et d'autres résines. Les vernis de cette division sont brillants par eux-mêmes, qualité que ne possèdent pas les vernis de gomme-laque pure de la première division, qui exigent le polissage pour faire l'office de glace sur les surfaces qui en sont recouvertes. Ils ne sont pas aussi solides que ceux de la division précédente, précisément encore par suite de l'adjonction des résines plus tendres que comporte leur composition; mais comme sous le rapport de la solidité ils sont infiniment supérieurs à ceux que nous avons décrit jusqu'ici, nous estimons qu'ils doivent leur être préférés, toutes les fois surtout qu'il s'agira de meubles sujets à des frottements journaliers ou à recevoir fréquemment le choc de corps durs.

Vernis incolore de gomme-laque brillant, par Berzélius.

Prenez : 6 à 8 parties de laque blanchie nouvellement,
3 à 4 parties de sandaraque mondée et lavée,
1 p. de térébenthine de Venise,
4 p. de verre pilé,
60 p. d'alcool à 40°.

Ou bien : 8 p. de sandaraque mondée et lavée,
4 p. de mastic mondé et lavé,
80 p. d'alcool à 40°,

que vous traiterez au bain-marie.

Vernis presque incolore et à l'abri des gerçures.

Prenez :	Laque blanchie nouvellement.	10 parties.
	Sandaraque mondée et lavée.	4 —
	Élémi bien choisi.	3 —
	Verre pilé.	10 —
	Alcool à 40°.	50 —

au bain-marie.

Vernis plus coloré que les précédents, par Watin, et réformé par Tingry.

Prenez :	Sandaraque.	3 parties.
	Laque plate.	1 —
	Colophane ou arcanson.	2 —
	Verre pilé.	2 —
	Alcool 36°.	16 —

au bain-marie.

Lorsque l'on veut vernir les meubles en rouge, dit Watin, on y met plus de gomme-laque et moins de sandaraque; on y ajoute aussi du sang-dragon.

(1) Les ébénistes ont l'habitude de se servir d'huile de lin sur le tampon. Nous préférons l'huile d'œillette, qui jaunit moins; l'huile d'olives vaudrait mieux encore.

Watin prescrit 3 parties de térébenthine, parce que, dit-il, il faut obtenir un vernis plus corsé, afin que deux couches tiennent lieu de 4 ou 5 d'un autre vernis.

Ce vernis est assez solide pour être employé sur des objets d'un usage journalier.

Vernis pour violons et autres instruments, par Watin.

Prenez :	Sandaraque.	4 parties.
	Laque en grains.	2 —
	Mastic en larmes.	2 —
	Élémi.	1 —
	Verre pilé.	4 —
	Térébenthine de Venise.	2 —
	Alcool.	32 —

que vous traiterez au bain-marie.

Tingry prescrit seulement 1 partie de mastic, et remplace l'élémi par le benjoin. Nous préférons la recette de Watin; le vernis qui en résulte a plus de liant, et il est plus solide pour résister aux frottements auxquels sont exposés les instruments fréquemment maniés.

Si l'on voulait colorer ce vernis, on y arriverait avec un peu de sang-dragon, de safran, etc.

Vernis à l'or, ou vernis d'or des Anglais, publié par Molard aîné.

Prenez : 9 lit. d'alcool à 40 degrés,
680 grammes de gomme laque bouillie à l'eau et lavée, en poudre,
320 grammes de verre pilé.

Vous mettrez le tout dans une bouteille pleine aux trois quarts au plus, et bien bouchée, au soleil ou dans l'étuve, vous agiterez fréquemment jusqu'à l'entière dissolution de la gomme.

Colorez au degré convenable avec rocou ou gomme gutte.

On garde ce vernis dans des bouteilles de grès.

Pour appliquer ce vernis sur des pièces d'ornement en cuivre ou en laiton, on fait chauffer légèrement ces pièces, et on les trempe dans le vernis; on en applique ainsi deux ou trois couches s'il le faut.

Ce vernis est très solide; on le nettoie avec de l'eau et un linge sec.

Vernis à l'or, de Tingry, du même genre que le précédent, pour donner une teinte d'or aux ouvrages en laiton, et qui s'emploie absolument de la même manière.

Prenez :	Gomme laque en grains.	3 parties
	Ambre jaune ou copal, porphyrisé.	1 —
	Sang-dragon.	1/30 —
	Extrait de santal obtenu par l'eau.	1/40 —
	Safran oriental.	1/30 —
	Verre en poudre.	2 —
	Alcool à 40 degrés.	20 —

Par simple digestion ou au bain-marie.

Vernis propre à changer la couleur des corps sur lesquels on l'applique et qu'on emploie avec succès sur les instruments de physique, les garnitures estampées ou moulées dont on décore les meubles, etc., par Tingry.

Prenez :	Gomme-gutte.	2 parties.
	Sandaraque et élémi, de chaque.	6 —
	Sang-dragon.	3 —
	Gomme laque en grains.	0 —
	Terre mérite (*curcuma*).	2 —
	Safran oriental.	1/16 —
	Verre pilé.	0 —
	Alcool à 40 degrés.	60 —

On fait d'abord une teinture du safran et de la terre mérite en les exposant au soleil et à l'étuve pendant 24 heures. On passe la teinture dans un linge propre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on exprime fortement, on verse cette teinture sur les autres résines pulvérisées et mélangées au verre en poudre, et l'on procède au bain-marie à leur solution.

Le sang-dragon de première qualité pourrait y apporter une couleur trop forte.

C'est avec un vernis de ce genre que quelques artistes procurent aux petits clous qui servent à garnir les faux étuis de montre une couleur d'or orangé; mais ils tiennent leur procédé secret.

Il est facile de procurer au laiton cette couleur au moyen d'une sauce dont la composition ne tient pas à celle du vernis, et qu'on peut imiter au moyen de l'orpiment (sulfure rouge d'arsenic) mélangé à certains sels. Lorsque les clous colorés avec cette sauce sont secs, on les fait chauffer et on les trempe dans le vernis ci-dessus.

Vernis pour carreaux d'appartement, connu sous divers noms, tels que siccatif brillant, chromo-durophane, etc.

Prenez et fondez à part :

Gomme laque.	160	parties.
Cire jaune.	1	—
Alcool à 36 degrés. . . .	640	—

dont vous aurez réservé 1/3 pour arroser.

D'autre part, vous aurez fait fondre dans un matras :

Galipot.	112	parties.
Arcanson.	112	—
Avec essence de térébenthine.	144	—

Réunissez dans ce dernier la solution alcoolique ci-dessus avec les précautions indiquées pour le vernis à bois. Le mélange bien opéré, passez le vernis au tamis et colorez-le :

En rouge avec le rouge de Prusse,
En jaune avec l'ocre de rhue,
En couleur de noyer avec la terre d'ombre,
en quantité suffisante.

Ces couleurs doivent être finement broyées, et surtout bien sèches d'eau, sans quoi le vernis serait décomposé.

III. VERNIS A L'ESSENCE.

Les vernis à l'essence comportent presque les mêmes résines et les mêmes matières colorantes que les vernis à l'alcool. Il est bon de remarquer, toutefois, que les vernis à l'essence, à égalité de composition, fourniront toujours une couche plus molle et moins siccative qu'elle ne le serait si l'alcool ou l'éther servaient d'excipient aux matières résineuses qu'elle contient, par la raison déjà donnée que l'alcool et l'éther, s'évaporant en entier, laissent les résines dans leur état naturel; tandis que l'essence non complétement vaporisable laisse la pellicule de vernis composée non seulement des matières résineuses employées, mais en outre d'une certaine quantité d'essence grasse, laquelle les modifie, les rend plus ou moins molles, les empêche de reprendre leur consistance naturelle pendant un espace de temps plus ou moins long. Ceci nous explique pourquoi les vernis à l'essence sont moins siccatifs, plus mous que ceux à l'alcool, et aussi pourquoi ils sont moins faciles à se gercer, plus faciles à polir, et plus durables que ces derniers.

Les tableaux demandent plus particulièrement le vernis à l'essence, précisément parce que la toile sur laquelle ils sont peints, en raison de son peu d'épaisseur, étant extrêmement sensible aux variations de la température, un vernis trop rigide s'y casserait, s'y gercerait, ou s'y fendillerait trop facilement, masquerait bientôt la peinture qu'il doit faire valoir, et la laisserait trop vite exposée sans défense aux atteintes des gaz ou autres corps en état de l'attaquer.

Vernis pour les tableaux de prix, par Tingry.

Prenez : Mastic mondé et lavé. . . .	24	parties.
Térébenthine de Venise pure.	3	—

Camphre pulvérisé. . . .	1	partie.
Verre blanc pilé.	10	—
Essence de térébenth. distillée.	72	—

Mettez le mastic en poudre fine, mélangez cette poudre avec le camphre et le verre; jetez le tout dans un matras à col court et versez l'essence. Ayez un bâton de bois blanc bien sec proportionné à la hauteur du matras, afin que vous puissiez vous en servir pour agiter les matières. Exposez le matras dans une cuvette remplie d'eau tiède d'abord, qu'ensuite vous entretiendrez bouillante jusqu'à la complète dissolution des résines. Quand la solution des résines est achevée, on ajoute la térébenthine liquéfiée, on mélange, puis on laisse encore le matras dans l'eau bouillante pendant une demi-heure, on le retire, on continue d'agiter le vernis de temps en temps jusqu'à son entier refroidissement; le lendemain, on le soutire, on le filtre au coton, et on le renferme pour l'usage. C'est, on le voit, le même procédé que pour les préparations des vernis alcooliques au bain-marie.

Remarques. Si le vernis est destiné à des tableaux anciens ou qui ont déjà été vernis, et qu'il ne s'agit que de revernir, on peut supprimer la térébenthine, que nous ne recommandons ici que pour le cas de première application sur des tableaux qui n'ont pas encore atteint le degré de dessiccation convenable.

L'essence de térébenthine distillée prescrite pour ce vernis est celle qui a été distillée avec lenteur et sans intermède.

Autre vernis à tableaux moins coloré que le précédent, plus souple, et que nous lui croyons préférable. Prenez : dammar friable (copal tendre), le plus blanc, le plus diaphane, le mieux mondé et le mieux lavé possible, la quantité que vous voudrez, mais proportionnée à la capacité du vase où vous devez en opérer la dissolution, dans le double de son poids d'essence de térébenthine, pure, nouvellement distillée, sans aucune couleur, et bien limpide.

Si vous voulez obtenir un vernis très souple, vous ajouterez au mélange ci-dessus 30 à 40 grammes de camphre par kilogramme de résine employée.

Le voulez-vous plus simple encore? ajoutez 30 ou 40 grammes de camphre par kilogramme d'essence employée.

Le vernis peut se faire de deux manières : *à froid* ou *à chaud*.

A froid. Il suffit de mettre la résine, le camphre et l'essence dans une bouteille ou ballon, bien bouché au liége, mais qui ne soit plein qu'aux trois quarts, de l'agiter de temps en temps et de l'exposer à l'ombre, au soleil ou à l'étuve jusqu'à la complète disparition de la résine dans l'essence. Tirez à clair et filtrez le vernis au coton.

Ou bien. Mettez une certaine quantité de résine en poudre dans un mortier en verre, ajoutez-y peu à peu, en triturant, de l'essence, jusqu'à ce que la plus grande partie de la résine soit dissoute. Versez alors cette dose dans un matras de verre; faites-en une seconde, une troisième, jusqu'à ce que vous ayez employé toute votre résine et votre essence, ajoutez le camphre, bouchez le matras. Quelques jours de digestion, aidée d'une agitation deux ou trois fois répétée par vingt-quatre heures, vous fourniront un vernis parfait, absolument sans couleur, diaphane comme de l'eau alors qu'il sera bien reposé et clarifié, si vous avez employé une résine bien transparente et une essence parfaitement pure et exempte de toute coloration.

Si, cependant, le vernis ainsi obtenu était un peu louche, il suffirait d'exposer le matras débouché, qui le contient, pendant une heure dans un bain-marie d'eau bouillante; puis, de retirer le matras de l'eau et de le laisser débouché jusqu'à l'entier refroidissement du vernis, pour lui donner toute la limpidité désirable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

A chaud (au bain marie ou à feu nu, c'est la même manœuvre). On met la résine, le camphre et l'essence dans un matras de cuivre étamé sur un feu modéré. On ne cesse de remuer avec un bâton de bois blanc bien sec les matières solides, jusqu'à leur entière dissolution dans l'essence; alors que la résine est tout à fait fondue, on laisse faire quelques bouillons, puis on verse le vernis à travers un tamis dans une tourie en grès, qu'on a grand soin de ne pas remplir tout à fait et de laisser débouchée jusqu'à ce que le vernis soit bien refroidi. Ainsi le vernis se clarifiera parfaitement, et il n'aura guère plus de couleur que s'il avait été fait à froid, pourvu que vous n'ayez pas laissé votre vernis trop longtemps sur le feu, car c'est là l'essentiel; ni trop ni trop peu: trop longtemps sur le feu, le vernis se colore; trop peu, il se clarifie difficilement. Il y a là un point qu'il faut savoir saisir.

Si l'on bouchait la tourie immédiatement après y avoir versé le vernis chaud, on n'obtiendrait qu'un vernis louche qui, refroidi et mis dans une fiole en verre blanc, y paraîtrait comme laiteux. Ce vernis louche, étendu et séché en couche mince sur un tableau, n'en serait pas moins tout à fait transparent; mais bien des peintres refuseraient de s'en servir, et, au fond, ils n'auraient pas tort, car ce vernis doit cette louche à une petite quantité d'eau qui ne peut que nuire à la couche résineuse desséchée, en la rendant moins solidement et moins uniformément adhérente aux surfaces qu'elle recouvre.

Il nous reste une dernière remarque à faire sur les vernis à tableaux, laquelle s'applique d'ailleurs à tous les vernis d'essence; c'est qu'ils ont l'avantage de s'améliorer avec le temps, tandis que les vernis alcooliques perdent toute leur qualité lorsqu'ils gagnent de l'âge. Le vernis à l'essence doit être tenu à la cave dans des touries ou bouteilles en grès bien bouchées. Les résines et l'essence contractent une union de jour en jour plus intime, et le vernis devient d'un emploi plus économique, et le résultat qu'on en obtient plus avantageux. Un vernis de six mois fournira une couche plus épaisse, plus luisante, plus garantissante pour la peinture, qu'un vernis récemment préparé, surtout si on l'applique sur une peinture neuve et qui n'a point encore été vernie, parce que dans un vernis récent l'essence abandonne la résine pour se combiner à la peinture; cet effet n'a pas lieu dans un vernis ancien. C'est pourquoi ce dernier est plus solide, plus résistant; car, ne l'oublions pas, la solidité, dans les vernis à l'essence, résulte uniquement de la plus ou moins grande quantité d'essence non vaporisée, d'essence grasse, comme on l'appelle vulgairement, qu'ils contiennent après leur complète dessiccation.

Vernis à tableaux du commerce. On trouve dans le commerce, sous le nom de vernis à tableaux, une simple dissolution à chaud de térébenthine dans l'essence; on en fait trois numéros:

Le surfin se compose de:

Térébenthine de Venise.	3 kil.
qu'on fait fondre dans l'essence de térébenthine.	8 lit.

et qu'on tient sur le feu jusqu'à ce que le vernis refroidi y reste limpide.

On réussirait à faire un vernis beaucoup moins coloré si, aussitôt que la térébenthine est dissoute dans l'essence, on le versait bouillant dans une tourie bien emballée, et si on l'y laissait se refroidir sans la boucher, comme nous venons de le dire pour le vernis de copal tendre.

Le n° 1 se compose de:

Térébenthine de Venise. . .	3k,50
— de Suisse. . .	3k,50
Essence de térébenthine. .	20 lit.

Le n° 2 se compose de:

Térébenthine suisse.	7k,50
Essence de térébenthine. . .	20 lit.

Il est inutile d'ajouter que l'essence de térébenthine doit être choisie bien limpide et sans couleur.

Vernis copal d'intérieur.

Mettez dans un matras étamé: résine, dammar friable telle qu'elle est, après en avoir ôté les plus beaux morceaux pour en composer le vernis au copal décrit plus haut.	6'
Essence de térébenthine récente blanche et limpide.	10

faites fondre à feu nu, et agissez absolument comme pour le premier, si vous voulez obtenir un vernis peu coloré, ou laissez la dissolution sur le feu jusqu'à ce qu'un échantillon, brusquement refroidi dans une fiole en verre blanc, conserve toute la limpidité dont il jouit dans le matras d'où vous l'avez extrait bouillant. Cette seconde méthode vous fournira un vernis bien plus foncé en couleur que par la première, mais dont on pourra néanmoins se servir sur les blancs purs et les blancs veinés, qu'il ne teintera pas du tout.

Ce vernis d'intérieur demande à être un peu plus coloré que le vernis à tableaux, c'est pourquoi on y fait entrer plus de résine et moins d'essence.

Si l'on destinait ce vernis pour des tapisseries en papier peint, nous conseillerions d'y faire entrer un peu de camphre; le vernis sécherait un peu moins rapidement, mais y gagnerait une grande souplesse, et deviendrait ainsi moins sujet à se casser.

Vernis pour broyer les couleurs, par Tingry.

Prenez: Galipot choisi en larmes. . .	2 parties
Mastic en larmes.	1 —
Térébenthine de Venise. . .	3 —
Verre pilé.	2 —
Essence de térébenthine. . .	16 —

fondez à feu nu.

Lorsque le vernis est fait avec les précautions indiquées, ajoutez:

Huile de noix ou de lin préparée. . .	1 partie.

Ce vernis, dit Tingry, est à peu près semblable à celui de Hollande; les couleurs broyées avec se sèchent moins vite; on les détrempe ensuite avec le vernis suivant, si c'est pour une peinture ordinaire.

Autre vernis propre à détremper les couleurs connu dans le commerce sous le nom de vernis de Hollande.

Prenez: Galipot en larmes récent. .	1 kil.
Essence de térébenthine. .	1k,50 à 2k,25

Faites fondre le galipot seul dans une chaudière en cuivre ou en fer; lorsqu'il sera bien fondu et bien transparent sur une vitre que vous y tremperez, ajoutez-y peu à peu et en mélangeant la qualité d'essence que vous jugerez convenable (1k,50 à 2k,25). Assurez-vous alors si le vernis est bien limpide sur la vitre, alors passez-le au tamis, laissez le refroidir à l'air, puis renfermez-le dans un vase que vous boucherez exactement.

Vernis au vert, dit aussi gros guillot. Fondez 2 kil. d'arcanson purifié dans une chaudière. Lorsque la résine est fondue entièrement, on y ajoute peu à peu, en mélangeant 2 à 3 kil. d'essence de térébenthine. On fait refroidir un peu de ce vernis sur une vitre pour voir s'il se maintient alors bien limpide; puis on le passe au tamis dans un vase qu'on ne bouchera cependant qu'après que le vernis sera refroidi.

Quelques fabricants fondent ensemble 1 kil. d'arcanson, 2 kil. de galipot; lorsque le tout est liquide, ils ajoutent 3 kil. d'essence.

Le vernis résultant est plus liant que celui fait à l'ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERNIS.

canson pur; mais il est trop corsé, c'est presque ce qui se vend sous le nom de térébenthine de Pise.

Vernis couleur d'or, par Tingry.

Prenez :	Résine-laque en grains. . .	64 gram.
	Sandaraque.	64 —
	Sang-dragon.	8 —
	Terre-mérite.	4 —
	Gomme-gutte.	4 —
	Verre pilé.	96 —
	Térébenthine claire. . . .	32 —
	Essence de térébenthine. . .	512 —

On tire par infusion la teinture des matières colorantes ; on filtre, on ajoute ensuite les résines qu'on fait fondre, enfin la térébenthine. On passe au tamis et on renferme pour l'usage.

Ce vernis, dit Tingry, communique aux métaux, aux boiseries ou aux meubles, un vif éclat. Il est moins siccatif sans doute qu'à l'alcool, mais il est plus souple, il convient mieux pour les paillons ou clinquants avec lesquels on prépare les aventurines ; de plus, il convient aux cuirs dorés, aux cartons en papier mâché, etc.

La meilleure manière d'en varier la teinte, c'est de faire infuser à part chacune des substances colorantes ; 1 partie, par exemple, dans 8 parties d'essence ; après quinze jours d'exposition au soleil ou à l'étuve, de les tirer à clair et de les mélanger ensuite jusqu'à ce qu'on ait obtenu le ton désiré ; et, dans ce mélange, de faire fondre les résines, puis la térébenthine selon que l'art le prescrit.

Vernis désigné sous le nom de mordant, par Tingry.

Prenez :	Mastic.	4 gram.
	Sandaraque.	4 —
	Gomme-gutte.	2 —
	Térébenthine.	1 —
	Essence de térébenthine. .	24 —

Quelques artistes remplacent la térébenthine par l'essence de lavande (4 grammes), qui rend encore la composition moins siccative.

Ce mordant s'emploie pour appliquer l'or, et en même temps pour faire ressortir le dessin sous la feuille métallique. Il convient qu'il ne sèche pas avant que l'artiste n'ait achevé de jeter son dessin.

Vernis de copal pur à l'essence, dit vernis à retoucher.

Prenez : 4 kil. 1/2 de copal dur ou d'Afrique ;
7 à 10 kil. d'essence de térébenthine ;

faites fondre à feu vif et à nu la résine dans un matras de cuivre. Lorsqu'elle est bien fondue et bien filante, en mousse, au bout de la spatule qui vous a servi pour agiter votre résine et l'empêcher de s'attacher au fond du matras pendant sa fusion, versez-y peu à peu, en mélangeant, 2 kil. d'essence froide, ou chaude, ce qui vaudrait encore mieux. Lorsque la résine fondue et l'essence sont bien incorporées, et que le mélange est bien limpide sur la vitre, ajoutez-y encore, toujours peu à peu et en mélangeant, 2 autres kil. d'essence ; et si votre mélange continue d'être limpide sur le verre, ajoutez-y encore, toujours peu à peu et en agitant, 2 autres kil. d'essence, et continuez jusqu'à ce que vous ayez incorporé toute votre essence, à moins que vous ne vous aperceviez qu'il serait trop peu corsé en la versant tout entière dans le vernis ; retirez alors le matras du feu et passez la dose au tamis dans un refroidissoir.

Vernis de copal par intermède d'huile de lavande, par Tingry.

Prenez :	Copal en poudre.	0k,100
	Huile de lavande.	0k,200
	Huile de térébenthine. . . .	0k,600

Chauffez l'huile de lavande sur un bain de sable, ajoutez en plusieurs fois, la poudre de copal dans l'huile très chaude, et n'en ajoutez que lorsque la portion, mise précédemment, aura entièrement disparu dans le liquide que vous aurez soin de maintenir dans un état continuel de rotation ; alors que tout le copal y sera fondu, versez-y, en trois reprises, l'essence de térébenthine presque bouillante en ayant la précaution de bien mélanger, et vous obtiendrez un vernis couleur d'or très solide, mais ne séchant pas très vite.

L'huile de lavande qui rend le copal soluble dans l'essence, le rend également soluble dans l'alcool. Il suffit, pour s'en convaincre, dit Tingry, de faire chauffer fortement de l'huile de lavande dans une cuillère à soupe ; lorsqu'elle est presque bouillante, d'y ajouter du copal en poudre, de faciliter le mélange avec une paille, d'ajouter encore du copal lorsque le premier a disparu, et de continuer ainsi les additions successives, jusqu'à ce que l'huile refuse de s'en charger ; de jeter alors la solution dans une fiole qui contient de l'alcool bouillant, d'agiter le mélange en le tenant toujours au même degré de température, l'alcool ne tarde pas à s'emparer des deux substances, mais il faut un alcool pur.

Vernis de copal par intermède d'huile de lavande et de camphre, par Tingry.

Prenez :	Copal en poudre.	30 gram.
	Essence de lavande. . . .	180 —
	Camphre.	4 —
	Essence de térébenthine, quantité suffisante pour mettre le vernis à bonne consistance.	

Projetez le copal par petites portions dans l'huile de lavande et le camphre bouillants ; renouvelez vos projections au fur et à mesure que la précédente a disparu. On favorise cette solution au moyen d'un bâton qui sert à agiter. Lorsque tout le copal est incorporé, on ajoute l'essence bouillante en prenant soin de n'en mettre que très peu à la fois, surtout en commençant.

Ce vernis est peu coloré et le repos lui donne une transparence qui coïncide parfaitement avec la solidité qu'on reconnaît à tous les vernis de copal.

Ce vernis est destiné aux objets qui exigent la solidité, la souplesse et la transparence, telles que les toiles métalliques qu'on substitue aux vitres dans les vaisseaux.

Vernis de goudron donné comme vernis chinois, par X..., (Extrait du *Journal des Connaissances usuelles*, tome Ier, page 106). Prenez du goudron pur, faites-le cuire pendant deux ou trois jours dans un pot étroit par le haut, jusqu'à ce qu'il se convertisse en une masse noire qui ne s'attache plus aux mains.

Mettez alors cette masse dans un matras, sur un feu assez fort, en y versant peu à peu de l'essence de térébenthine ; s'il prend feu, on l'éteint avec un feutre. Continuez vos additions d'essence jusqu'à ce que cette composition prenne une consistance fluide et bien homogène.

Les objets à vernir doivent être faits en bois sec et séchés encore après le plus possible.

IV. VERNIS GRAS.

Observations générales. Si l'on venait à reconnaître, ce qui est peu probable, et ce qui n'est pas encore démontré, que l'oxyde de copal soluble dans l'alcool l'est également dans l'essence et les huiles fixes ; qu'il peut fournir avec ces véhicules des vernis d'une conservation aussi facile en nature, aussi éclatants, aussi durables, mais plus beaux et moins colorés que ceux que nous savons préparer maintenant avec cette résine, au moyen d'un procédé aussi ancien que l'art de faire les vernis, car il remonte au-delà du douzième siècle ; nous prévoyons que de grands changements auraient lieu dans la fabrication en général, surtout à l'endroit du vernis

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gras qu'on pourrait alors faire, comme les vernis à l'alcool ou à l'essence, au moyen de simples digestions, soit à froid, soit à chaud, de l'oxyde de copal dans un mélange convenable d'huile siccative et d'essence de térébenthine. Le vernis résultant aurait, sans aucun doute, des qualités toutes différentes de celles que possède le vernis tel qu'il se fait maintenant, où la résine, en raison du feu violent auquel elle est soumise, se trouve toujours plus ou moins altérée, et, dans tous les cas, autrement altérée qu'elle ne le serait par l'exposition à l'air libre, à laquelle on la soumettrait pour l'oxyder.

Les vernis gras tels que nous savons les préparer, en raison même de la nature peu vaporisable du véhicule huileux qui sert à leur confection, et qui entre pour une quantité fort appréciable dans la pellicule desséchée qu'ils fournissent, sont de tous les vernis les moins siccatifs, mais les plus solides; aussi les destine-t-on à tous les usages auxquels les vernis à l'alcool et à l'essence ne pourraient être employés à cause de la trop faible résistance qu'ils opposent à l'action de la lumière et de la chaleur solaires, et des intempéries de l'air extérieur. Les devantures de magasin, les portes, les fenêtres de nos habitations, les équipages de luxe, les voitures de fatigue réclament spécialement ce genre de vernis. Ce n'est pas cependant qu'on ne puisse les employer avec avantage dans les intérieurs, il s'en faut bien; ceux qui veulent faire des peintures solides, faciles à laver, peuvent s'en servir avec confiance sur tous les fonds autres que les blancs purs ou les blancs veinés, pour lesquels il faut nécessairement des vernis à l'alcool ou à l'essence, mais sur tous les fonds colorés et qui n'ont rien à craindre d'une teinte un peu plus foncée; nous le répétons, les vernis gras doivent être préférés parce qu'ils sont plus solides, et qu'après tout on peut les faire tout aussi siccatifs que ceux des deuxième et troisième genres.

Le vernis gras est encore exclusivement réservé pour les objets en tôle, en fer-blanc, en cuivre ou en laiton, tels que les soucoupes, les plateaux de cabaret, les lampes; enfin tous les ustensiles destinés à des usages habituels, à des frottements souvent répétés.

Substances qui entrent dans la composition des vernis gras. Le succin ou karabé, et les différentes espèces de copal dur, demi-dur et tendre, telles sont les seules substances résineuses, solides, qui, avec l'huile de lin et l'essence de térébenthine, entrent dans la composition des vernis gras.

La grande résistance que le copal dur et le copal demi-dur opposent au feu, pour entrer en fusion et devenir en cet état miscibles à l'huile et à l'essence, a dû faire recourir, pour les transformer en vernis, à un procédé bien différent de celui qu'on emploie pour préparer les vernis des deuxième et troisième genres, où les résines, plus tendres, sont solubles dans les véhicules, à une basse température; une simple digestion suffirait même pour en opérer la dissolution, comme nous l'avons indiqué précédemment. Ici, au contraire, on commence par fondre les résines à feu nu, et alors seulement qu'elles sont arrivées à leur point de fusion et de chaleur nécessaires, on y incorpore l'huile chauffée de 150 à 200 degrés, puis enfin l'essence; le tout avec les précautions que nous indiquerons par la suite.

Ce n'est pas cependant qu'on ne puisse fondre le copal dans l'huile bouillante, car il entre en fusion à la température de 316° centigrades. Pour achever le vernis et le mettre à bonne consistance, il ne s'agit plus que d'y ajouter une certaine quantité d'essence suffisante. Mais le vernis résultant de cette méthode, où l'huile est toujours plus ou moins brûlée, étant plus coloré et surtout moins siccatif que par la première méthode, elle est généralement abandonnée.

L'art du vernisseur ne consiste donc pas seulement à mélanger intimement des molécules résineuses quelconques dans un liquide approprié, et à obtenir ainsi un mélange permanent; il consiste, en outre, à obtenir le mélange le moins coloré et le plus siccatif, en conservant aux matières composantes leurs propriétés naturelles, ou du moins en leur faisant subir le moins d'altération qu'on le peut. Or, comme le feu, si léger qu'il soit, dénature toujours les résines (ce qui explique pourquoi les vernis faits par simple digestion sont toujours moins colorés, toutes choses égales d'ailleurs, que ceux qui ont passé sur le feu), et qu'il peut les dénaturer, si l'on n'y prend garde, jusqu'au point de les transformer en une espèce de matière goudronneuse, qui ne reprendrait plus sa solidité si on les y laissait trop longtemps exposées, surtout au feu violent qui convient aux résines dures, il importe de ne jamais perdre de vue les prescriptions suivantes, *si, avec une résine donnée, on veut obtenir le vernis le plus siccatif et le moins coloré possible.*

Il ne faut jamais présenter ensemble à la fusion un mélange de résines inégalement fusibles. Ainsi le succin étant plus résistant au feu que le copal dur, celui-ci étant plus rebelle au feu que le copal demi-dur, et le copal demi-dur plus difficile à entrer en fusion que la résine de dammar friable (copal tendre), chacune de ces résines doit être traitée à part (1).

Il faut bien choisir ses résines pour que chaque dose soit composée de morceaux tous également fusibles, sans quoi il arriverait que les morceaux les plus fusibles seraient brûlés, décomposés plus ou moins, avant que les autres ne fussent entrés en fusion, et le vernis résultant d'un pareil mélange serait beaucoup plus coloré et moins siccatif que si l'on avait eu la précaution de bien assortir les morceaux sous le rapport de la fusibilité.

Malgré toutes les précautions qu'on aurait prises lors de la séparation du copal fusible de celui qui l'est moins, il peut se faire pourtant que les deux espèces se trouvent encore mélangées dans une certaine proportion, et que, par suite, on rencontre des doses où la plus grande partie de la résine sera fondue et bien coulante au bout de la spatule, tandis que cette même spatule dénotera qu'une quantité plus ou moins considérable de résine existe encore solide au fond du matras où se fait l'opération; or, comme entre deux maux il faut choisir le moindre, au lieu de brûler la plus grande partie de votre résine pour laisser à la plus petite le temps de fondre; au lieu d'attendre que le tout soit fondu et liquéfié, incorporez votre huile avec la partie fondue aussitôt qu'elle vous aura paru en état de s'y mélanger; puis, ajoutez votre essence, agissez enfin comme si toute la dose de résine avait été bien fondue, passez au tamis, et tous les morceaux de copal non fondus que vous y trouverez, mettez-les à part, pour, à la fin de la journée, les refondre tous ensemble, et en faire un vernis plus coloré, sans doute, mais d'aussi bonne qualité que l'autre (2).

Lorsque le copal fondu est bien coulant, en mousse, au bout de la spatule, on y verse l'huile chaude, mais non bouillante, on mêle fortement pour bien incorporer l'huile à la résine, et avec la spatule, qu'on en retire vivement, on en porte un échantillon sur une vitre qu'on tient à la main; si le mélange d'huile et de ré-

(1) Mais rien n'empêche de mélanger, alors qu'ils sont faits, les vernis qui résultent de chacune d'elles, en telles proportions qu'on le juge convenable, soit pour améliorer la qualité des uns ou abaisser le prix des autres.

(2) L'huile et l'essence que retiennent ces morceaux, après leur séparation du vernis par le moyen du tamis, brûleront alors qu'on fondra ces morceaux, et seront charbonnées longtemps avant que la resine soit assez fluide pour pouvoir se mêler à l'huile; de là résultera un vernis plus coloré, mais aussi bon que l'autre, car ici ce n'est pas la résine qui est brûlée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sine est bien opéré, s'il est complet, l'échantillon, par le refroidissement, se figera en goutte bien limpide. Si, en cet état, elle devient dure et cassante sous l'ongle, c'est une preuve qu'on n'a pas mis plus d'huile que la résine n'en peut supporter, car il s'en faut bien que toutes les résines supportent la même quantité d'huile. Mais si l'échantillon, immédiatement après qu'il a été mis sur le verre, et auparavant qu'il se soit figé, s'attache au doigt qu'on y applique et se tire en fils allongés, qui ne cassent pas facilement; si, après cet essai, le restant de cet échantillon se fige, ne conserve aucune adhérence au doigt, et a repris une consistance telle que l'ongle y pénètre facilement, comme dans la cire, sans le casser, c'est une preuve que vous y avez mis la quantité d'huile justement convenable.

La quantité d'huile et d'essence exactement nécessaire pour une dose de 3 kil. de copal, par exemple, ne peut donc pas être assignée d'une manière précise, vu qu'elle dépend d'une foule de circonstances qu'on ne saurait prévoir, mais que l'expérience cependant peut diriger jusqu'à un certain point. D'une manière générale, on peut dire néanmoins que le copal dur et le copal demi-dur exigent ordinairement moitié de leur poids d'huile et un peu plus que leur poids d'essence pour former un bon vernis qui séchera en 24 heures. Mais, nous le répétons, ces données ne sont qu'approximatives, car on rencontre des résines qui en demandent plus, et d'autres moins. Chaque fois donc qu'on travaille une résine nouvelle, et qu'on a assez d'habitude de la pratique pour être certain de toujours conduire son travail à peu près de la même manière, on doit, aux premières opérations, essayer quelle est la proportion d'huile et d'essence qu'un poids donné de cette résine peut supporter, afin de la continuer (cette proportion), jusqu'à la fin de la résine, sans être obligé de tâtonner à chaque dose nouvelle.

Tous les fabricants de vernis savent bien que par un temps de brouillards épais, comme on en voit souvent aux environs de Paris, les vernis sont toujours moins limpides (moins *nifs* en termes d'atelier), que par un temps clair et sec. L'état hygrométrique de l'air peut donc influer sur le vernis. Le vernis, pendant sa confection, est donc susceptible d'absorber une certaine quantité d'eau, laquelle, extrêmement divisée dans le liquide, suffit pour lui donner un coup d'œil louche qui le rend moins propre à la vente, où l'on recherche les vernis bien transparents.

Le haut degré (316°) de chaleur auquel il faut soumettre le copal pour le rendre miscible avec l'huile, décompose cette résine en deux parties, l'une fixe, l'autre volatile, et en même temps met à nu une certaine quantité d'eau, lesquelles parties volatiles et aqueuses, mélangées avec la résine fondue, donnent à celle-ci ce caractère d'opacité et de viscosité qu'on y remarque toujours au commencement de chaque opération, et qui l'empêche de couler facilement au bout de la spatule comme elle le fait, alors que par l'effet de la température vive et sans cesse croissante qu'on lui applique, elle est devenue assez fluide pour permettre aux parties volatiles et aqueuses de se dégager sous forme de vapeurs âcres et piquantes. La partie fixe (le copal fondu) est alors suffisamment fluide et chaud pour se mêler à l'huile qu'on y verse chaude elle-même (la gomme est bien cuite, comme on le dit en terme de fabrique), et le vernis résultant sera de bonne qualité lorsque vous l'aurez mis à consistance au moyen de l'essence de térébenthine.

Mais si vous n'avez pas attendu que les parties volatiles et aqueuses soient évaporées pour y verser votre huile, qui elle-même contient aussi une certaine quantité d'eau; si en outre votre huile n'était pas suffisamment chaude au moment de son arrivée dans la résine trop froide elle aussi, il se produira dans la masse un mouvement de contraction plus ou moins rapide et complet, selon que l'huile ajoutée était plus froide et en plus grande abondance à la fois, et la résine plus ou moins coagulée, en raison du refroidissement brusque qu'elle a éprouvé, plus ou moins visqueuse en raison de la quantité d'huile avec laquelle elle s'est imparfaitement mélangée, plus ou moins opaque en raison de l'eau et des substances volatiles non vaporisées qu'elle renferme, formera sur la vitre, où vous en ferez tomber une goutte, un globule opaque, non lié, qui se figera comme le ferait un mélange d'huile et de cire. Vous avez fait *louche* en terme de fabrique.

Si vous vous apercevez à temps de l'accident, et vous comprendrez qu'*il est nécessaire de toujours vérifier si le mélange d'huile et de résine est bien ou mal opéré*, il est facile d'y porter remède, puisqu'il ne s'agit que de laisser votre matras sur le feu et de l'y maintenir jusqu'à ce que l'huile, venant à bouillir, permette aux parties aqueuses et autres de s'évaporer, et à la résine de se fondre et de se mélanger avec elle assez intimement pour que la goutte d'essai que vous mettrez sur le verre vous apparaisse parfaitement limpide et transparente; vous pouvez alors enlever le matras du feu et y ajouter la quantité d'essence suffisante pour mettre le vernis à bonne consistance; passez-le ensuite au tamis, le vernis refroidi ne sera plus louche, cependant il ne sera ni aussi blanc, ni aussi siccatif, et de plus vous n'aurez pas pu y mettre autant d'essence (ce qui vous prouvera clairement que la résine, ayant été plus longtemps sur le feu, y a éprouvé une altération plus profonde) que si cet accident n'eût pas eu lieu.

Si au contraire vous ne vous êtes pas aperçu de l'accident; au lieu de laisser votre matras sur le feu jusqu'à ce que la résine liquéfiée de nouveau ait pu se mélanger intimement à l'huile bouillante; si vous avez enlevé le matras du fourneau immédiatement après y avoir versé l'huile; et si de suite aussi vous y avez ajouté votre essence, vous avez alors un vernis louche, dont une goutte sur la vitre deviendra opaque en refroidissant, grasse, onctueuse, toute grumeleuse, et dont l'huile et l'essence ne tarderont pas à se séparer, car elles n'ont contracté aucune union avec la résine.

Le vernis chaud sera troublé et comme nuageux si l'accident est au maximum de gravité (si au contraire il a peu de gravité il ne paraîtra louche qu'après son refroidissement), et le lendemain, c'est-à-dire alors qu'il sera refroidi entièrement, vous trouverez au fond de votre refroidissoir votre résine précipitée sous forme d'une masse jaune, sale, agglomérée, opaque et peu gluante, mais quelquefois l'étant un peu plus en raison de la quantité d'huile, plus ou moins mal combinée, avec laquelle elle se trouve mélangée; et le liquide surnageant, composé du restant de l'huile et de l'essence et d'une certaine quantité de copal altéré, sera rougeâtre, mais ne formera plus un vernis, c'est-à-dire une substance qui, étendue et desséchée à la surface des corps, puisse leur procurer un éclat permanent.

Mais comme pendant la coulée de l'essence il faut agiter souvent le vernis pour aider sa dilution dans cette essence, et que d'ailleurs on a toujours le soin de vérifier sur une vitre si le vernis se maintient limpide et transparent, l'on s'aperçoit bien vite que l'on a fait louche, et au lieu de continuer son addition d'essence, on ferme le robinet, on reporte le matras sur le feu et on l'y tient jusqu'à ce que toute l'essence qu'on y a ajoutée, venant à s'évaporer (elle bout à 155 degrés), permette enfin à l'huile de bouillir à son tour, c'est-à-dire d'atteindre 316 degrés, de fondre alors le copal et de se mélanger avec lui, et de former sur la vitre une goutte bien transparente et limpide. Retirez maintenant le matras du feu, ajoutez-y l'essence nécessaire pour mettre le vernis à bonne consistance (et vous n'en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

devrez pas mettre beaucoup pour atteindre ce but), vous obtiendrez un vernis d'autant moins corsé et moins siccatif, et d'autant plus coloré qu'il vous aura fallu le maintenir plus longtemps au feu, d'abord pour évaporer l'essence imprudemment ajoutée, et ensuite pour porter l'huile au degré de chaleur propre à fondre la résine et se mêler avec elle, et permettre enfin à l'essence de dissoudre ce mélange.

Car, et qu'on nous permette d'insister sur ce point capital et non encore suffisamment expliqué, l'on fait des *vernis louches ou ternes* : 1° ou parce qu'on n'a pas porté la résine fondue au degré convenable de chaleur pour qu'elle puisse se mélanger intimement avec l'huile ; 2° ou parce que l'on a ajouté dans la résine fondue et chaude à point une huile trop froide et trop abondamment à la fois : laquelle huile, en abaissant trop brusquement la température de la résine fondue, l'a, par cela seul, rendue immiscible avec elle ; 3° ou parce que le mélange de la résine et de l'huile étant parfaitement accompli, on a, pour mettre le vernis à consistance, ajouté trop abondamment à la fois l'essence froide ; 4° enfin, ou parce qu'on a laissé trop refroidir le mélange de résine et d'huile avant d'y verser l'essence nécessaire pour le mettre à consistance de bon vernis. Tous ces accidents ne sont donc que des résultats d'une température trop faible dans le premier et quatrième cas, ou trop abaissée dans les deux autres.

L'huile ne se combine pas avec le copal fondu, elle s'y mélange seulement ; elle s'interpose entre ses molécules, rend ainsi leur solidification, c'est-à-dire leur rapprochement impossible ; ne sert, en un mot, qu'à les diviser et, en cet état, les rendre miscibles dans une certaine proportion d'essence de térébenthine, au moyen de certaines précautions qui sont de ne verser l'essence que peu à peu, et par filet d'abord qu'on augmente ensuite, et de toujours agiter, pendant la coulée de l'essence, dans le but de ne pas abaisser trop brusquement la température du mélange liquide d'huile et de copal, et de faciliter ainsi sa dissolution et sa bonne répartition dans l'essence.

Il est évident qu'on arriverait plus facilement à ce résultat, si, au lieu de se servir d'essence froide, comme cela se pratique généralement en fabrique, on éteignait avec de l'essence bouillante qui se trouverait ainsi débarrassée par avance d'une bonne partie de l'eau qu'elle contenait ; mais nous devons ajouter qu'on s'exposerait souvent à un danger véritable d'incendier la fabrique, car rien n'est dangereux comme de faire bouillir de l'essence, surtout si le vase où on la chauffe ne conserve pas toujours le même niveau, ce qui devient difficile sinon impossible dans une chaudière où l'on va puiser sans cesse. C'est sans doute pour cela qu'on a délaissé la méthode d'éteindre avec de l'essence bouillante, pour n'employer que de l'essence froide. Ajoutons ce pendant qu'au moyen des précautions indiquées ci-dessus, de ne verser que peu à peu cette essence, de bien mélanger le vernis, et surtout l'attention scrupuleuse de n'éteindre le mélange d'huile et de résine qu'autant qu'il soit parfait, c'est-à-dire limpide et transparent sur la vitre, on réussira pourtant à faire de bons et excellents vernis.

Si l'on fait un vernis louche, alors qu'on verse de l'huile trop froide dans la résine fondue, ou si l'on n'obtient qu'un vernis terne alors que dans un mélange, même bien fait, d'huile et de résine, on ajoute trop d'essence froide à la fois, on est également exposé à ne produire qu'un vernis terne, lorsqu'à la résine cuite à point, on incorpore son huile bouillante ou trop chaude ; mais l'accident est plus certain lorsqu'on n'a pas bien laissé cuire sa résine, en d'autres termes, lorsqu'on l'on n'a pas laissé aux substances volatiles ou aqueuses qui se sont produites dans son sein, le temps de s'évaporer entièrement. En voici la raison : à peine l'huile bouillante est-elle arrivée dans la résine bouillante elle-même, à peine avez-vous eu le temps d'agiter, pour les mélanger l'une avec l'autre, qu'il se déclare de suite une forte effervescence qui menace de faire répandre en mousse toute la matière en expérience, si bien qu'il ne vous reste que le temps d'enlever le matras du feu, et, pour calmer cette ébullition si violente quelquefois que le vernis en sort avec une abondance extrême, vous n'avez d'autre parti à prendre que d'y ajouter de l'essence ; cette grande ardeur se calme bientôt, mais le vernis résultant ne sera jamais aussi brillant, sera toujours plus *terne* que si le mélange d'huile avait eu le temps de se faire comme il faut. Les molécules résineuses, mal divisées par l'huile, ne se répartiront pas également dans l'essence, et le vernis résultant ne formera, après sa dessiccation, qu'un assemblage informe de parties plus luisantes et d'autres moins luisantes, et les surfaces recouvertes, au lieu d'être brillantes, paraîtront *ternes*.

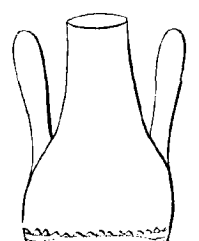
Avec une huile chauffée seulement à 120 ou 150 degrés, on n'a rien à craindre de pareil ; elle se mélange très bien avec la résine fondue ; l'on a le temps de bien agiter le mélange avec la spatule, de le laisser un moment sur le feu bouillir doucement ; le mélange se perfectionne d'autant, et lorsqu'on retire le matras du feu pour mettre le vernis à consistance, le mélange homogène d'huile et de résine se répartissant également et facilement dans l'essence, le vernis résultant sera parfaitement homogène, partout également riche en résine, et formera sur les corps une glace unie et partout également brillante, par la raison toute simple, que nous ne saurions trop répéter, *qu'un vernis n'est que de la résine rendue liquide et extensible à la surface des corps au moyen d'un véhicule approprié.*

Le copal dur, de Calcutta et de Bombay, le copal demi-dur (résine de courbaril ou de dammara aromatique), le copal tendre (résine de dammara friable) ne se travaillent pas tout à fait de la même manière : chacune de ces espèces demande quelques modifications dans les procédés qu'on leur applique pour les transformer en vernis ; nous les décrirons en temps et lieu.

Avant de donner les diverses formules des vernis gras, disons quelques mots des ustensiles employés pour leur fabrication.

Instruments et ustensiles d'une fabrique de vernis.

Matras. Les matras doivent être en cuivre rouge non étamé ; le cul doit être d'une seule pièce, et la soudure qui le réunit à la partie supérieure doit être posée à 4 centimètres au-dessus du panache (voyez figure 2529) ou des crochets, qui empêchent le matras (fig. 2531) d'entrer trop avant dans le fourneau. Cette simple disposition assure à la soudure une durée beaucoup plus longue, et à l'artiste la certitude que le matras ne fuira pas sans qu'il s'en aperçoive de suite ; il évitera ainsi bien des chances de feu et de pertes considérables. Les matras ne doivent pas être trop profonds, pour que le bras puisse facilement atteindre le fond lorsqu'il les faudra nettoyer. Si ce n'est le cul, c'est-à-dire la seule partie du matras qui souffrira de l'action du feu, la partie supérieure à la soudure peut être en cuivre de plus mince épaisseur, mais le cul doit être plus



2529.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

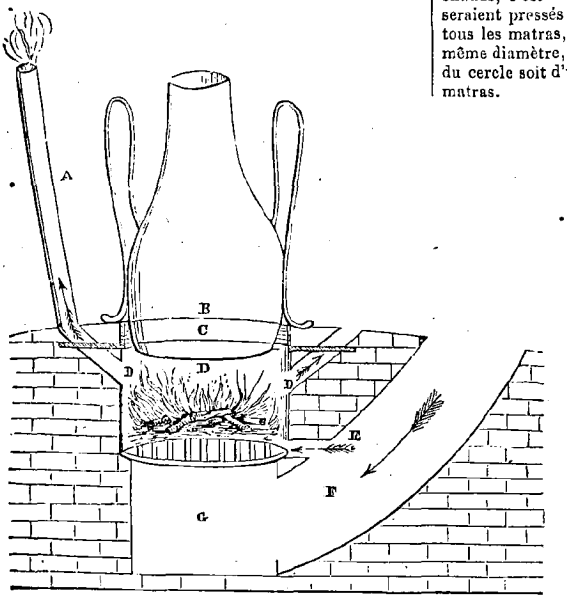
étoffé, sans quoi il ne durerait guère. Un bon matras, de la hauteur de 66 à 75 centimètres, et de la contenance de 25 à 30 litres, doit peser 10 à 12 kilos.

Il faut au moins deux matras par fourneau pour un travail régulier : un sur le feu, l'autre à éteindre ou à égoutter; de telle manière que le feu ne brûle jamais à rien, et qu'aussitôt qu'une dose est achevée, on puisse en remettre une autre à fondre.

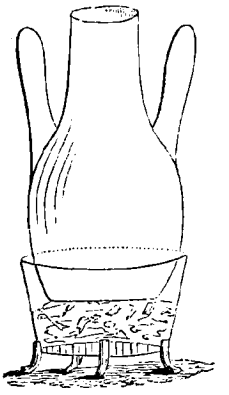
Fourneaux. Les plus fortes fabriques de vernis n'ont que trois fourneaux de fusion; dans les unes, les fourneaux sont portatifs, c'est un simple cercle en fer battu monté sur quatre pieds et armé d'une grille; le matras repose sur les charbons enflammés (fig. 2530). Ici les matras n'ont ni panache ni oreilles à crochets, et le diamètre du fourneau a 6 centimètres de plus que celui des matras, afin que le charbon ne manque jamais d'air et qu'il puisse toujours produire un feu vif et ardent, condition de rigueur pour les vernis de copal.

D'autres fabricants se servent de fourneaux en maçonnerie enterrés dans le sol (fig. 2531), composés de briques ordinaires et d'argile (terre à four ou à potier) pour ciment, et disposées tellement que l'air arrive facilement au cendrier, toujours dans le but d'obtenir une combustion vive et ardente du charbon de bois qu'on y emploie; aussi, ménage-t-on autour du bord supérieur du fourneau trois ou quatre cheminées, quelques-uns même arment ces cheminées d'un tuyau en tôle pour déterminer un courant d'air plus rapide à travers le charbon; ce tuyau en tôle est ôté si la combustion est trop violente; on bouche même quelquefois toutes les cheminées, toujours pour ralentir un feu trop ardent, ce qui arrive parfois lorsque le vent souffle dans la direction du soupirail qui porte l'air au cendrier. Comme il est préférable d'avoir un fourneau à calmer que d'en avoir un trop paresseux, nous allons décrire celui dont nous nous servons, et qui ne nous a jamais laissé dans l'embarras. Ce fourneau est d'ailleurs celui que l'on employait avant nous, nous n'avons fait qu'établir une communication entre le foyer et le soupirail qui porte l'air au cendrier; et, au moyen de cette communication, nous expulsons à volonté l'acide carbonique qui se forme toujours pendant la combustion du charbon de bois, et qui retarde cette combustion en raison même de son accumulation dans le foyer; car telle est la cause véritable du peu d'activité, de la paresse, comme on le dit en fabrique, de certains fourneaux enterrés. Les fourneaux portatifs ne sont point exposés à cet inconvénient, le plus grave, sans contredit, qu'on puisse rencontrer dans la fabrication des vernis gras de copal.

A l'inspection des fig. 2530 et 2531, on comprendra ce que c'est qu'un fourneau à fondre les résines, mais aussi qu'il est impossible d'en donner les dimensions exactes; en effet, le diamètre du cercle en fer, qui solidifie son bord supérieur, dépend du diamètre des matras; il est même essentiel qu'il soit un peu plus grand, car si les matras s'y emboîtaient trop exactement, il deviendrait impossible de les en retirer, alors que chauds, c'est-à-dire ayant augmenté de volume, ils y seraient pressés comme dans un étau. Il faut donc que tous les matras, à leur ligne d'engagement, soient du même diamètre, mais il faut, en outre, que le diamètre du cercle soit d'un centimètre plus grand que celui des matras.



2531.



2530.

Le diamètre du foyer sera le même que celui du cercle supérieur; quant à sa hauteur, comme il est nécessaire qu'on puisse y mettre assez de charbon pour durer jusqu'à la fin d'une opération, on lui donne ordinairement 16 centimètres, à partir du dessus de la grille jusqu'au cul du matras posé sur ses crochets; les quatre cheminées qu'on ménage à l'entour du fourneau ne prennent elles-mêmes naissance qu'à la hauteur de ce cul, pour sortir à 20 centimètres du cercle de fer.

Le cendrier, formé ordinairement par des briques debout, devant supporter la grille du fourneau, doit être par conséquent d'un diamètre de 2 à 3 centimètres plus petit que celui de la grille elle-même.

On donne aux quatre cheminées et à la conduite d'air au foyer 6 centimètres carrés, et à la conduite d'air au cendrier la hauteur d'une brique, et une largeur telle qu'avec une brique en travers on puisse la couvrir, c'est-à-dire 3 centimètres de moins que la longueur d'une brique.

Lorsque nous aurons dit que l'on dispose les crochets

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des oreilles des matras de manière qu'ils ne puissent s'enfoncer dans le fourneau de plus de 13 à 14 centimètres, ce qui donnera au foyer une hauteur totale, depuis le dessus de la grille jusqu'aux bords supérieurs du cercle en fer, 29 à 30 centimètres, nous aurons donné tous les renseignements qui sont nécessaires pour en pouvoir construire soi-même.

Il est bien entendu que le ciment dont on se sert dans ces sortes de maçonneries est tout simplement de l'argile (terre à four ou à potier) délayée dans l'eau, en bouillie épaisse.

Depuis quelque temps on a introduit, dit-on, dans quelques fabriques l'usage du coke pour fondre le copal; mais nous ignorons complétement la forme du fourneau qu'on y emploie; toujours est-il qu'il doit exister dans ces fourneaux un tirage bien plus fort que dans ceux dont nous venons de donner la description. Mais le fourneau, tel que nous venons de le décrire, brûlerait certainement à feu vif plus de 3 kilos de coke à l'heure : il ne faudrait, pour déterminer, à travers le foyer, un courant d'air beaucoup plus rapide et suffisant d'ailleurs pour la quantité de coke ci-dessus, qu'adosser le fourneau à une bonne cheminée assez élevée, avec laquelle on le mettrait en communication, par le moyen d'un conduit en fer ou en maçonnerie, de 13 à 16 centimètres carrés, sans coude ni étranglement, puis supprimer les quatre petites cheminées, et se servir de matras avec panache, car ici il faut boucher exactement l'orifice supérieur du fourneau.

Spatules. On achète du fort fil de fer qu'on coupe à longueur de manière à dépasser de 30 centimètres la hauteur du matras; on fait rougir et on aplatit l'une des extrémités, au moyen de quelques coups de marteau. Voilà la spatule des vernisseurs. Mais rien n'empêche cependant, si on la veut mieux faite, d'y dépenser plus d'argent en la faisant forger par un homme du métier.

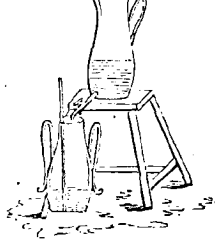
Tamis. Une toile en laiton ni trop ni trop peu serrée, montée sur un cercle en bois, forme un très bon tamis pour le vernis.

Nous en avons fait établir un de 35 centimètres de diamètre, avec un cercle en fer-blanc, cloué et non pas soudé, qui nous paraît d'un meilleur usage qu'avec un cercle en bois, attendu que pour le nettoyer nous n'avons qu'à y mettre le feu.

Un carré ou châssis en bois. Il sert à soutenir le tamis au-dessus du refroidissoir où l'on verse le vernis.

Refroidissoirs. Chaudières en fer ou en cuivre où l'on verse le vernis à travers le tamis et où on le laisse séjourner jusqu'à son parfait refroidissement.

Trépied. C'est une planchette carrée (figure 2532), de 30 centimètres de côté, montée sur trois ou quatre pieds assez élevés pour qu'on puisse loger facilement le matras à étuindre sous le robinet d'une velte ou mesure en fer-blanc, placée sur cette planchette et contenant la quantité d'essence nécessaire pour mettre le vernis à bonne consistance.



2532.

Autrefois l'ouvrier vernisseur était obligé de verser l'essence d'une main et de mêler de l'autre pour incorporer le vernis dans l'essence; au moyen du trépied, il n'a qu'à ouvrir le robinet de manière à en faire couler l'essence par filet. Il lui suffit de mêler de temps en temps avec la spatule; il évite ainsi de respirer une épaisse vapeur d'essence et d'eau que la haute température du vernis détermine toujours, surtout dans les premiers instants de la coulée de l'essence. L'ouvrage est plus facile et plus régulier.

Entonnoirs, touries, tonneaux pour empoter ou transporter les vernis.

Tel est à peu près l'inventaire d'une fabrique de vernis gras. Quant aux chaudières pour chauffer l'huile ou l'essence, nous n'en parlerons pas, attendu que nous en avons donné la description en parlant des différentes manières de préparer les huiles pour les rendre propres à en faire des vernis, et que ces mêmes chaudières sont précisément celles dont on se sert alors pour porter l'huile et l'essence à la température de 120 à 150 degrés.

Choix et préparation du copal dur. Si nous n'avons presque rien dit des résines employées dans les vernis des premier, deuxième et troisième genres, c'est qu'il suffit pour les rendre propres à y entrer, de les monder au couteau et ensuite de les laver, puis de les bien assortir de couleur. Il n'en est pas tout à fait de même pour les vernis du quatrième genre. Le copal dur exige sans doute, lui aussi, d'être bien mondé, bien assorti de couleur; mais il faut, en outre, que tous les morceaux, dont se compose chaque dose, soient également fusibles au feu, si l'on veut en obtenir des vernis meilleurs et plus beaux que ceux qu'on a faits jusqu'à ce jour.

Le copal dur se vend sous différents noms : le copal de Calcutta est le plus estimé; puis vient le copal de Bombay, et en troisième ligne une espèce en petits fragments qui ne se désigne pas autrement que sous le nom de copal dur à l'italienne, mondé ou non mondé.

Choix. On doit choisir le copal de Calcutta, le plus gros et le moins coloré, avec le moins de poussière, de marrons et de mélanges avec d'autres résines, telles que le Bombay, le demi-dur et même le tendre. Il faut le visiter bien attentivement, car il se trouve presque toujours mêlé avec une espèce rugueuse, qui lui ressemble beaucoup, mais pourtant qui en diffère en ce que ce copal étant plus tendre, les aspérités qui constituent la chair de poule au lieu d'être terminées, comme dans le copal de Calcutta, par une surface arrondie, le sont par une surface plate et comme usée par le frottement des morceaux les uns contre les autres, de telle manière, que ce faux copal de Calcutta, est plutôt à surface chagrinée qu'à surface de chair de poule. Si nous insistons autant sur cette sophistication, c'est que ce faux copal étant beaucoup plus fusible que le vrai Calcutta, pour peu que ce dernier en contienne, il ne fournira jamais qu'un vernis coloré et de mauvaise qualité. Mais heureusement, on a de bons moyens pour le découvrir et le séparer du copal véritablement dur, comme on va le voir.

Préparation. Nous avons dit que le copal de Calcutta se trouve mélangé de plusieurs espèces, les unes plus dures, les autres moins dures, ou pour parler plus exactement, les unes plus fusibles, les autres moins fusibles. Si après avoir cassé son copal et l'avoir bien assorti par nuance de coloration, mais non par degré de fusibilité, on veut le fondre à nu, l'espèce la moins dure, qui est aussi la plus fusible, sera fondue longtemps avant l'autre, et aura le temps de se charbonner avant que l'autre soit seulement entamée par le calorique. Si cependant on veut attendre que toute la résine en expérience soit entièrement fondue, les parties les premières fondues seront d'autant plus altérées, d'autant plus charbonnées qu'il aura fallu attendre plus longtemps la solution des autres, et le vernis résultant sera coloré, peu siccatif, peu brillant, précisément en raison du trop long temps que la résine a séjourné sur le feu. Si donc on veut avoir de beaux et bons vernis, ce n'est pas seulement par un n-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces, mais principalement par degrés de fusibilité qu'il faut assortir sa résine. Voici les trois moyens que nous employons pour arriver à ce résultat, et qui réussissent tous trois.

Premier moyen pour assortir le copal dur sous le rapport de l'égale fusibilité de tous les morceaux dont une dose de 3 kil. se compose. — Nous chauffons fortement, mais cependant pas à rougir, une barre de fer poli de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, et nous essayons sur cette barre chacun des morceaux entiers dont se compose une caisse de copal. Nous découvrons ainsi, presque toujours, trois espèces de copal que nous mettons à part. La première, la plus dure, la plus infusible, grille sur la barre de fer, presque comme le ferait la gomme arabique. La deuxième fond, mais moins facilement que la troisième. Chacune de ces trois espèces est ensuite assortie par nuance de coloration, nettoyée au couteau le plus exactement possible, cassée en fragments d'égal volume, et fournit un vernis souvent plus beau que la nuance de la résine ne le ferait présumer.

Deuxième moyen. — Faites tremper le copal entier ou cassé, bien assorti de nuance, dans une lessive alcaline composée de 500 grammes de potasse perlasse dans 25 kil. d'eau de rivière, pendant quarante-huit heures; lavez ensuite le copal que vous en aurez retiré à grande eau de rivière, dans un baquet où vous le remuerez fortement avec un balai un peu dur; recommencez plusieurs fois ce lavage pour enlever toute la potasse, séparez ensuite les morceaux les plus ramollis de ceux qui le sont moins, et ceux-ci à leur tour de ceux qui sont restés presque durs, faites-les sécher sur une toile, au soleil ou à l'étuve, et vous aurez tout à la fois nettoyé votre copal qui sera clair et brillant comme le cristal, et séparé le plus dur, le moins fusible, des deux autres sortes, car celui qui est resté le plus dur dans la lessive est aussi le plus infusible.

Troisième moyen plus expéditif que le deuxième. — Composez une lessive alcaline telle que nous venons de le dire, mettez-y même un peu plus de potasse, cela n'en vaudra que mieux; faites-la bouillir dans une chaudière bien propre, jetez-y votre copal cassé et bien assorti de nuance, remuez-le avec une spatule en fer jusqu'à ce que la résine ne produise plus sur les parois de votre chaudière le bruit que font les corps durs en frappant un métal; retirez alors votre copal de la lessive, versez-le ramolli tel qu'il est dans une manne, nageant dans un baquet plein d'eau de rivière froide, agitez fortement et de suite le copal dans cette manne avec un balai en bois assez dur; il se raffermira et en même temps se nettoyera. Changez votre eau plusieurs fois pour enlever jusqu'aux dernières traces de la potasse, en ayant soin toutefois, de ne pas faire couler avec votre eau les menus débris de copal détachés pendant les lavages. Lorsque enfin le copal est bien net, bien brillant, sortez-le de l'eau, étendez-le sur une toile au soleil, toujours en mettant à part les morceaux les plus durs de ceux qui ont conservé le plus de ramollissement; nous avons déjà dit que ces derniers étaient les plus fusibles.

Si vous avez traité votre copal entier par l'un des trois moyens que nous venons de décrire, il ne reste plus qu'à le casser à grosseur d'aveline le plus également possible; de bien assortir vos nuances pour former vos numéros de vernis; les plus belles pour les numéros les plus fins, les autres pour les moins fins. Si vous avez employé la barre de fer, il faut, tout en cassant, éplucher bien chaque morceau pour les dépouiller de toutes les impuretés qui saliraient vos vernis, et vous aurez pris toutes les précautions nécessaires pour obtenir non seulement de beaux vernis, mais incomparablement meilleurs que par tout autre procédé, attendu qu'ils ne resteront sur le feu que le temps justement convenable pour former un mélange homogène et stable de la résine avec l'essence au moyen de l'huile siccative que vous devez y ajouter.

Copal de Bombay. Le copal de Bombay se présente en morceaux plus volumineux et plus colorés que le copal de Calcutta. Celui-ci a l'écorce à chair de poule, le copal de Bombay paraît avoir été dépouillé de son écorce rugueuse, au moyen d'un couteau ou d'une râcle, car tous les morceaux sont lisses. Sa cassure est brillante et offre la transparence du cristal le plus pur, d'une nuance qui varie depuis le jaune-citron jusqu'à l'orangé foncé et quelquefois rougeâtre. Comme le Calcutta, il est très dur, inodore, insipide à froid; il porte à la surface l'empreinte de sable coloré de rouille; ses morceaux en larmes allongées ou mamelonnées sont d'une couleur généralement uniforme dans toutes leurs parties. Il n'est pas rare, au contraire, de trouver dans le Calcutta deux nuances bien distinctes dans le même morceau. Il devient aussi électrique par le frottement.

Choix. Il faut choisir le copal de Bombay le plus égal de nuance, et en morceaux plutôt gros que menus, avec le moins de marrons, de poussière, et le moins mélangé avec d'autres variétés.

Préparation. Ce qu'on fait pour le Calcutta afin de l'assortir sous le rapport des nuances et des degrés de fusibilité, pour le casser, le nettoyer, etc., réussira également avec le Bombay.

Les vernis qu'on obtient avec le copal Bombay ont identiquement la même qualité qu'avec le Calcutta. Ils sont peut-être un peu plus teintés que ces derniers.

Copal à l'italienne. Cette variété du copal dur paraîtrait être le dernier choix du copal de Calcutta, car elle se présente en petits fragments peu épais, qui sont plutôt chagrinés qu'à chair de poule et d'une couleur jaune-orangée; d'une dureté et d'une fusibilité inégales, et, précisément à cause de cela, fondant mal et rendant peu de vernis, ou rendant un vernis de mauvaise qualité. C'est, en un mot, un mélange de tous les résidus, soit de copal dur, soit de demi-dur, dont il est impossible de faire la description.

Il n'y a pas de choix ni de préparation à prescrire ici; la seule chose qu'il faille faire avant de l'acheter, c'est de l'essayer pour voir l'espèce de vernis et dans quelle quantité on en pourra faire. C'est alors une simple question de prix, mais non de qualité, et dont on n'a pas à s'occuper sérieusement ici.

Manière de préparer l'huile de lin pour les vernis du quatrième genre. Maintenant que nous savons choisir le copal et séparer les morceaux plus fusibles de ceux qui le sont moins, il nous reste, avant de donner la manière de le travailler, pour le transformer en vernis, au moyen de l'huile et de l'essence de térébenthine, à décrire les diverses préparations qu'on fait subir à l'huile de lin pour la rendre propre à faire le vernis. Ces opérations, qui ont pour but de rendre cette huile (la seule qui serve dans les vernis) plus siccative que dans son état naturel, sont connues en fabrique sous le nom de dégraissage des huiles.

L'huile de lin doit être pure, et maintenant on la trouve dans le commerce bien difficilement dans cet état. On la mélange, soit avec des huiles de poisson, de suif, soit avec des huiles de cameline, d'œillette, de chanvre, de sésame; lorsque l'une ou l'autre de ces dernières est à meilleur marché que l'huile de lin, car c'est la question du meilleur marché qui décide l'espèce d'huile qu'on y ajoutera. Si on ne la mélangeait cependant qu'avec des huiles siccatives, il n'y aurait pas grand mal; mais lorsqu'on y ajoute des huiles non siccatives de poisson, de suif, par exemple, qu'on a dû traiter par les acides pour les blanchir ou leur enlever leur puanteur, l'huile de lin est totalement abîmée, impropre aux vernis et même aux couleurs.

La chimie, la physique, offrent sans doute les moyens de reconnaître le degré de pureté de toutes les huiles,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mais ces moyens sont au-dessus de la portée de bien des gens; il en faut d'autres, plus simples, plus faciles et tout aussi sûrs. Ces moyens, les voici :

Premier moyen. Dans une chaudière de 25 à 30 litres, mettez 15 à 20 lit. de l'huile à essayer, ajoutez-y 500 grammes de litharge en poudre bien sèche, et 250 gram. de terre d'ombre, calcinée nouvellement, mélangez et portez le tout sur le feu, assez fort pour faire fremir, mais non pour faire bouillir votre huile; remuez doucement et souvent les ingrédients afin d'empêcher qu'ils ne s'attachent au fond; mais évitez de les remuer assez fort pour combiner l'oxyde de plomb avec l'huile. Après 5 ou 6 heures de feu vous verrez l'écume devenir roussâtre, et peu après se former en taie. C'est le moment de retirer la chaudière du feu, et de verser toute la partie liquide dans un vase bien propre. Si l'huile que vous obtiendrez ainsi ne louchit pas sur la vitre, si elle est bien siccative, et surtout, car c'est là son caractère le plus essentiel pour les vernis, si elle s'éclaircit facilement, c'est-à-dire en huit ou dix jours de repos à la cave, elle est bonne, vous pouvez l'acheter avec confiance; mais si elle ne présente pas toutes ces qualités, ne vous y fiez pas, elle tromperait votre attente.

Deuxième moyen. Un autre moyen plus facile, mais pas aussi concluant, consiste à mettre dans une casserole, de la contenance de 4 litres, 2 lit. 1/2 d'huile à essayer; de chauffer cette huile pour la faire bouillir (et elle bout à 316 degrés si elle est pure), et de la tenir sur le feu jusqu'à ce qu'il se forme à la surface des points d'écume blanche. Si l'huile est bonne pour vernis, la haute température à laquelle vous l'avez soumise ne fera que la blanchir et l'épaissir tout en la laissant limpide; si, au contraire, elle est impropre à ce service, elle tournera comme fait le lait sous l'influence d'un acide, se décomposera en deux parties, l'une parfaitement limpide, et l'autre qui se déposera sous forme de grumeaux verdâtres : la première sera l'huile, la seconde sera formée par le mucilage aqueux qu'elle contenait et dont elle n'a pas été dépouillée par le *clairçage*. N'achetez pas cette huile, elle est trop récente, n'a pas été suffisamment reposée pour se dépouiller des parties aquo-mucilagineuses que toutes les huiles de lin nouvellement preparées contiennent d'autant plus abondamment aujourd'hui, qu'on n'applique plus (en fabrique) à la graine pulvérisée, un degré de chaleur suffisant pour les détruire en majeure partie, comme on le faisait autrefois.

Si vous avez mesuré la température de l'huile tournée lorsque les points d'écume ont apparu, vous ne l'aurez guère trouvée au-delà de 275 à 285 degrés centigrades, selon la quantité de matières étrangères qu'elle contenait. Nous en avons travaillé plus d'une fois, qui nous offrirent un quart de déchet sur la masse totale; mais, il faut le dire, l'huile claire que nous en retirâmes était excellente pour les vernis. Ce moyen d'essai est donc aussi un moyen de purifier les huiles, de les débarrasser des matières aquo-mucilagineuses qu'elles contiennent.

Si, pourtant, et cela nous est arrivé souvent, il était impossible de trouver une huile convenable, on devrait choisir celle qui présente le moins d'inconvénients; l'essai ci-dessus vous la ferait connaître. Achetez-la, mettez-la dans un réservoir en plomb, laissez-la reposer un mois ou deux, et même plus, soutirez les trois quarts supérieurs par robinets étagés, servez-vous en pour en faire des vernis ou des huiles siccatives; l'huile du dernier quart restant au fond du réservoir, vendez-la pour broyer ou détremper les couleurs, car elle est tout à fait impropre au travail du vernisseur.

Mais l'huile, provenant des trois quarts supérieurs du réservoir, n'est cependant pas encore dans un état convenable pour être transformée en huile siccative, il faut, avant, la purifier du mucilage et de l'eau qu'elle peut contenir, et pour cela, il faut la porter dans une chaudière, la chauffer à petit feu, qu'on augmentera peu à peu, jusqu'à ce qu'elle soit tournée (si toutefois elle tourne, car il arrive souvent que les parties supérieures ne tournent plus). Mais il est un signe, précurseur infaillible, qui vous avertit, lorsque l'huile est pour tourner. A 175 degrés environ, vous voyez la surface se picoter de petits bouillons; continuez le feu, et bientôt après, dans les 200 à 220 degrés, vous voyez apparaître les grumeaux et voyager de bas en haut et de haut en bas dans le liquide; attendez qu'ils soient bien formés, alors éteignez votre feu, laissez refroidir l'huile dans la chaudière; le lendemain tirez à clair, mettez à part le dépôt grumeleux dans un tonneau défoncé où il achèvera de se déposer en se séparant d'une huile limpide que vous soutirerez par la suite. L'huile ainsi purifiée peut être employée aux divers usages des vernis, etc.

Huile pour vernis. Mettez dans une chaudière en fonte 200 kil. d'huile de lin, et avec un feu modéré portez-la de 175 à 200 degrés de température; jetez-y au commencement 2 à 3 kil. de pain coupé par tranches minces, et une vingtaine d'oignons dont vous aurez ôté la peau, et que vous laisserez jusqu'à ce que le pain soit bien frit, et les oignons bien rissolés (on ôte le pain avant les oignons); vous les enlèverez alors, au moyen d'une écumoire, et vous continuerez de laisser votre huile sur le feu, jusqu'à ce qu'elle soit bien blanchie. Le feu, ayant toujours été modéré, cette opération pourra durer 8 heures, et vous obtiendrez une huile excellente pour faire des vernis.

Usages de l'huile. Cette huile est excellente pour faire des vernis aussi solides, mais moins teintés que ceux à l'huile préparée à l'oxyde de plomb. Un des caractères qui distinguent les huiles blanchies à l'air des huiles blanchies au feu, c'est que si vous chauffez les premières, elles reprennent de suite leur coloration première; il n'en est pas de même pour les huiles blanchies par le feu, elles restent au feu telles qu'on les y a mises; aussi conviennent-elles parfaitement aux vernis, tandis que les autres ne valent rien pour cet usage.

Autre huile pour vernis. Mettez dans une chaudière en fonte 200 kil. d'huile de lin, suspendez-y dans une toile métallique tenue aux quatre coins par des fils de fer et placée à 10 centimètres du fond, 6 kil. de litharge en poudre, renfermée dans une toile de lin assez serrée pour empêcher la litharge de passer à travers; allumez votre feu et conduisez-le modéré jusqu'à ce que vous ayez atteint 200 degrés environ, vous aurez mis au commencement de l'opération 2 à 3 kil. de pain en tranche et une vingtaine de tête d'aulx et vous les aurez retirées aussitôt que le pain était bien frit et les aulx bien rissolés; éteignez alors votre feu, retirez la litharge, et votre huile est faite.

Plus le feu aura été ménagé, plus l'huile sera siccative et peu colorée; elle l'est cependant plus que la précédente, mais elle ne donne pas un vernis plus solide ni plus siccatif.

Nous mélangeons souvent la litharge avec un corps poreux, tel que le noir animal en grains, la pierre ponce ou du plâtre, aussi en poudre grossière. Nous favorisons ainsi l'action de l'huile sur l'oxyde de plomb et obtenons une huile plus siccative sans être plus colorée.

Autre huile pour vernis.

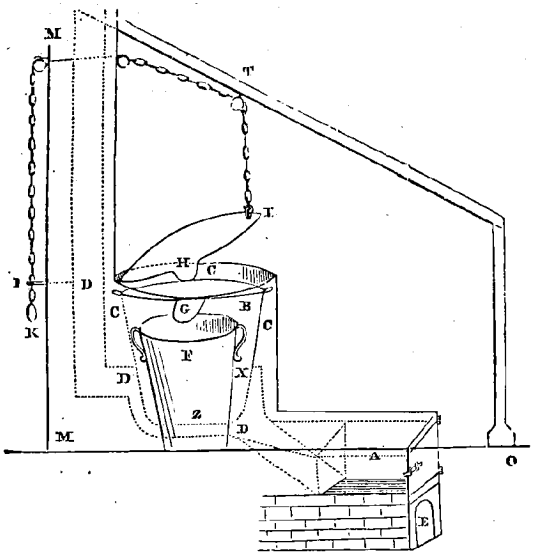
200 kil. d'huile de lin.
4 kil. étain filé.

Chauffez l'huile jusqu'à ce que l'étain soit fondu, jetez-y alors une centaine d'oignons pelés que vous laisserez jusqu'à ce qu'ils aient pris une belle couleur rousse éteignez le feu, ôtez les oignons, l'huile est préparée.

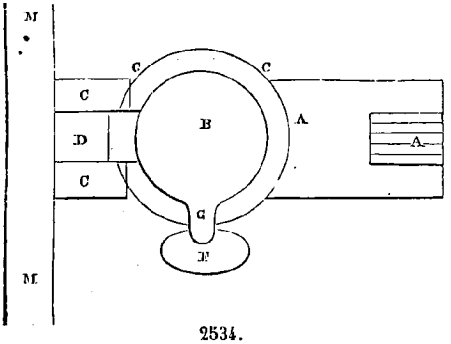
Quelques manipulateurs ajoutent encore du pain

EFERUS - Recherche & Classification numérique

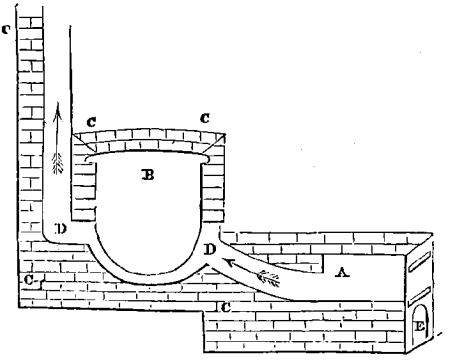
VERNIS.



2533.



2534.



2535.

qu'ils retirent quand il est bien frit et le remplacent par d'autre pain à plusieurs reprises.

Remarques. L'huile qu'on obtient ainsi est peu colorée, peut faire d'excellents vernis, mais pas meilleurs qu'avec la première recette, qui coûte moins cher.

Quelques manipulateurs corsent les huiles ci-dessus, en portant leur température à 316 degrés. Ils prétendent qu'ils y trouvent grand avantage, surtout pour le travail des résines que nous avons désignées sous le nom générique de copal demi-dur qui, ne rendant pas beaucoup, ne fourniraient, sans l'emploi d'une huile corsée, que moins de vernis encore. Nous croyons, nous, que ce n'est pas là où est le nœud de la question du corsage des vernis. La même résine, cuite à point, donnera un vernis plus corsé, qui boira plus d'essence que si on la laisse trop cuire ; et puis, d'un autre côté, la même résine fondue à point et incorporée avec une des huiles ci-dessus, préparées depuis une année, par exemple, fournira aussi un vernis plus corsé que ne saurait le faire la même huile sortant de l'œuvre. Il y aurait donc, sous ce rapport, déjà grand avantage à se servir d'huile ancienne; et ce n'est pas tout encore, le vernis qu'on obtiendrait serait beaucoup plus solide et plus siccatif.

Telles sont les formules des huiles qu'on prépare en fabrique pour les vernis, et que nous avons toutes essayées et que nous avons reconnues bonnes. L'huile corsée ou non, c'est-à dire préparée telle que nous en donnons la recette, suivant la première formule, mais que nous portons quelquefois jusqu'à 316 degrés, son point d'ébullition, est celle que nous employons de préférence. Nous avons la précaution d'en avoir toujours assez d'avance pour ne nous en servir que cinq ou six mois après sa préparation, elle est alors meilleure et donne un vernis plus corsé et plus siccatif, selon que nous venons de le dire.

Description des appareils où s'exécutent les diverses opérations dont nous venons de parler et au moyen desquels on parvient rapidement à oxyder les huiles. (Fig. 2533, 2534 et 2535). A, foyer en briques dont le dessus est solidifié par des barres de fer, en dessous de la ligne de sol ; B, chaudière d'ébullition en fer fondu ou en cuivre ; C, maçonnerie en briques qui entoure la chaudière; D, cheminée; E, cendrier; F, chaudière de décharge; G, déversoir de la chaudière d'ébullition ; H, couvercle de la chaudière d'ébullition armé d'une lame pour couvrir le déversoir ; I, corde ou chaîne qui s'accroche au couvercle, qui s'appuie sur un rouleau contre le toit, traverse la muraille qui supporte la cheminée, va s'accrocher à un clou K planté dans la muraille derrière la chaudière; H, muraille qui supporte la cheminée D, et T le toit.

Dans beaucoup de fabriques on monte les chaudières au-dessus du foyer ; elles ont d'ailleurs chacune leur déversoir. Nous nous sommes bien trouvés de l'appareil dont nous donnons les projections horizontales et verticales, parce que le fond de la chaudière n'est pas l'endroit le plus chaud, et qu'ainsi nos ingrédients ne s'y attachent pas aussi facilement ; nous avons le soin aussi de ne laisser découverte que la moitié inférieure de la chaudière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui se trouve ainsi chauffée seule dans une atmosphère de fumée brûlante, et comme la chaleur monte toujours, la chaudière est plus chauffée en X qu'en Z.

Nous allons, sans plus de préambule, passer à la description du travail qu'exigent les différentes espèces de copal pour les transformer en vernis.

Travail du vernis gras de copal dur.

Prenez : 3 kilogr. de copal dur cassé à grosseur d'aveline, et bien assorti sous les différents rapports que nous venons de signaler.
1k,50 d'huile de lin préparée par l'un des procédés indiqués ci-dessus.
4 à 5 kil. d'essence de térébenthine.

Manière d'opérer. Sur un fourneau bien allumé et contenant assez de charbon (de bois) pour pouvoir durer jusqu'à la fin de l'opération, car rien n'est dangereux comme de n'avoir pas assez de feu pour achever, sans éprouver le moindre retard, la fonte de la résine et son incorporation avec l'huile, comme nous le dirons plus loin, placez un matras bien nettoyé, dans lequel vous aurez mis les 3 kilogr. de copal et la spatule. Le copal ne tarde pas à fondre, c'est ce qu'une vapeur blanche vous indique, et cette vapeur augmente au fur et à mesure que l'opération de la fonte avance. La spatule vous sert à remuer le copal de temps en temps pour l'empêcher de se colorer en s'attachant au fond du matras; et la résistance de plus en plus faible qu'il oppose à son action vous avertit qu'il entre en fusion et que l'opération marche bien. Bientôt vous n'en sentez plus que quelques morceaux, et peu après vous ne sentez plus rien. Essayez alors si votre résine fondue est bien coulante, en gouttes bien détachées et tombant rapidement du bout de la spatule que vous avez retirée vivement du fond du matras, où elle reposait, jusqu'au niveau du bord supérieur. Lorsque votre résine est bien coulante, car vous devez lui donner le temps d'y arriver, mais non pas de dépasser cette limite, sous peine d'obtenir un vernis trop coloré, versez-y peu à peu, en mélangeant avec la spatule l'huile de lin, que vous avez fait chauffer à part à 150 degrés. L'huile ajoutée, agitez fortement la masse pour en opérer le mélange, puis essayez s'il est bien fait, et pour cela faites-en tomber une goutte, du bout de la spatule, sur une vitre que vous tenez à la main. Si la goutte n'est pas très limpide et très brillante, attendez un moment, elle le deviendra bientôt; le mélange, alors seulement, sera parfait. Il ne vous reste plus qu'à enlever vivement le matras du feu et à le porter sous le robinet de la velte d'essence placée sur le trépied. Laissez le vernis se refroidir (*suer*, en terme de fabrique) pendant quelques minutes, sans le remuer, mais en surveillant toutefois s'il ne monte pas en mousse et s'il ne tend pas à sortir du matras en écume, auquel cas il faudrait le remuer fortement avec la spatule, et si l'on ne pouvait pas réussir à le calmer ainsi, il faudrait en outre ouvrir le robinet de l'essence pour l'y faire couler par filet, en remuant avec la spatule, non pas au fond du matras, mais seulement à la partie supérieure pour couper l'écume à l'endroit où l'étranglement du goulot rend cette précaution plus nécessaire. L'introduction et l'accès de l'air que vous facilitez ainsi d'un côté, l'addition d'essence froide de l'autre, auront bientôt calmé l'effervescence. L'écume s'affaissera, disparaîtra bientôt tout à fait. L'essence froide tombant dans le vernis bouillant se réduira en vapeurs épaisses, emportant avec elles une bonne partie de l'eau que cette huile contient presque toujours. Laissez toujours couler votre essence par filet que vous augmenterez même peu à peu; il est inutile de remuer le vernis pour en opérer le mélange avec l'essence, tant qu'il se dégage des vapeurs : il existe dans le matras, par le fait même de cette évaporation, une agitation telle qu'elle suffit, et au-delà, pour l'incorporation de l'un avec l'autre; mais lorsque cette évaporation diminue, non seulement il faut ouvrir davantage le robinet, mais il faut agiter fortement le mélange. Enfin, lorsque la plus grande chaleur est passée, et qu'il n'y a plus à craindre que le vernis soit projeté au loin par une addition d'essence plus abondante à la fois que celle qu'on a faite jusque-là, fermez le robinet, prenez la velte d'essence d'une main, versez-en le contenu dans le vernis en ayant soin de bien agiter, avec la spatule que vous tenez de l'autre main, afin d'obtenir un mélange bien homogène, et l'opération est terminée tout aussitôt que vous avez achevé d'y verser la dose d'essence convenable. Essayez alors si le vernis résultant est bien transparent et s'il est corsé à point; pour cela faites-en tomber une goutte sur une vitre. S'il est limpide, il est bon, s'il ne l'est pas, reportez-le sur le feu, il le deviendra au premier bouillon. S'il est trop corsé, ajoutez-y encore un peu d'essence. S'il est trop peu corsé, il n'y a pas de remède. Seulement à la dose suivante vous aurez le soin de ne plus y mettre autant d'essence.

Il ne vous reste plus qu'à verser le vernis dans le refroidissoir, à travers le tamis, et à le laisser en repos jusqu'à son entier refroidissement. Quant au matras, immédiatement après en avoir vidé le vernis, et pendant que ce vernis filtre à travers les mailles du tamis, rincez-le avec un peu d'essence que vous jetterez ensuite sur le tamis pour la réunir au vernis. Puis, vous mettrez le matras à égoutter sur une tine pour récolter ainsi le peu de vernis qui y reste. Au bout de cinq minutes, vous pouvez relever le matras, y mettre une nouvelle dose de résine et la porter sur le feu pour recommencer une autre expérience.

Travail des vernis gras au copal demi-dur. — Première méthode.

Prenez : Copal demi-dur. 3k
Huile de lin préparée. . . . 1k,50 au plus
Essence de térébenthine. . 4 à 5k

Manière d'opérer. Absolument les mêmes manipulations et, en cas d'accident, la même manière d'y parer que pour le copal dur.

Vous remarquerez seulement que le copal demi-dur fond beaucoup plus facilement et qu'il fournit en fondant beaucoup plus de vapeurs que le copal dur; en d'autres termes, qu'il résiste moins au feu que ce dernier, qu'il y est plus facilement et plus profondément décomposé, et que les produits de sa décomposition, les gaz, l'huile volatile et l'eau sont plus abondants, et que par suite il supporte moins d'huile et d'essence que ne le fait le copal dur. Aussi les accidents énumérés au travail du copal dur sont-ils plus fréquents avec le copal demi-dur et sont-ils plus à craindre, comme nous allons le démontrer sommairement.

Nous avons dit que lorsque le copal dur avait langui sur le feu (*qu'on avait fait perruque*), qu'un bon feu rétablissait les choses, qu'on en était quitte, à moins que l'accident ne fût complet, pour avoir un vernis un peu plus coloré qu'il ne le devrait être; il n'en est pas de même avec le copal demi-dur, car, et précisément à cause de la facilité avec laquelle il se décompose, le long temps où l'on doit alors le laisser sur le feu pour l'amener au point de fusion propre à le rendre miscible à l'huile, le dénature presque totalement, et il ne fournit plus alors qu'un vernis noir, peu siccatif, et surtout en petite quantité; car, pour peu qu'on y mette d'huile et d'essence, il a perdu toute consistance de vernis.

Si, d'un autre côté, vous ne cuisez pas assez cette espèce de résine, en d'autres termes, si vous n'expulsez pas assez complètement, au moyen d'une évaporation suffisante, les parties décomposées par l'action du feu, vous comprendrez facilement que les accidents qui.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans le copal dur, résultent du trop peu de cuisson, se développeront ici d'autant plus intenses que les matières à expulser seront restées en plus grande quantité dans la résine fondue; que, par suite, le mélange d'huile et de résine sera moins intime, moins stable, qu'il ne tiendra pas dans l'essence qui, elle-même, renfermant presque toujours de l'eau, ne fera que favoriser cette séparation (*galette*, en terme de fabrique).

Mais si vous la cuisez trop, vous ne faites plus que très peu de vernis de mauvaise qualité : il est donc préférable de rester en deçà de cette limite, c'est-à-dire de la cuire plutôt un peu moins qu'un peu trop. Lors donc que la résine fondue est bien coulante, ajoutez-y l'huile, laissez alors le vernis faire un bouillon, puis portez-le sous le robinet de la velte d'essence, *éteignez-le* de suite le plus chaud possible, vous perdrez sans doute beaucoup d'essence en vapeurs, mais vous la dépouillerez ainsi d'une bonne partie de l'eau qu'elle peut contenir; enfin, et tout aussitôt que vous y aurez mis toute l'essence nécessaire, sans tarder un instant, reportez le vernis sur le feu, où vous le maintiendrez jusqu'à ce qu'il bouille et qu'il se soit couvert d'écume, vous achèverez ainsi de le dépouiller de l'eau ou des matières nuisibles qu'il pourrait contenir encore; passez-le au tamis dans le refroidissoir, où, pour les mêmes raisons que celles rapportées alors que nous parlions des vernis à l'essence, vous le laisserez en repos se refroidir à l'air libre, et, grâce à toutes ces précautions, l'expérience l'a démontré, le vernis au copal demi-dur est aussi stable que celui au copal dur, et, comme lui, il ne fera que se bonifier par le temps.

Travail des vernis gras au copal demi-dur pour les intérieurs. — Deuxième méthode.

Prenez :	Copal demi-dur.	4k
	Huile de lin préparée et chauffée à 180 degrés. . . .	0k,500 à 1k
	Essence de térébenthine. . .	10 à 13k,50

Nous venons à l'instant de signaler les graves inconvénients qu'il y aurait à laisser le copal demi-dur languir sur le feu, se prendre en masse (faire *perruque*, en un mot), vu qu'il deviendrait impossible alors, en suivant la méthode de traitement ci-dessus décrite, d'en faire un bon vernis, aussi bon, s'entend, qu'on puisse le faire avec cette résine, qui ne vaut pas à beaucoup près le copal dur, comme chacun le sait. Dans le nouveau mode de traitement que nous allons indiquer il s'agit au contraire de faire perruque, mais perruque le plus complétement possible; c'est en cela seul que gît le plus ou moins de succès de l'opération, car le vernis résultant *boira* d'autant plus d'essence, et sera d'autant moins coloré, que vous aurez mieux réussi à compléter l'accident.

Le vernis que vous obtiendrez par ce procédé est, sans contredit, le plus mauvais des vernis gras qu'il soit possible d'employer pour les extérieurs, aussi doit-il être entièrement proscrit pour cet usage, mais comme il est incomparablement plus solide que les meilleurs vernis des deuxième et troisième genres, qu'il sèche tout aussi vite que les plus siccatifs d'entre eux, et, qu'en outre, il ne coûte pas cher, nous le recommandons, pour les intérieurs (de préférence aux vernis à l'esprit de vin ou à l'essence), toutes les fois qu'il s'agira de couleurs autres que les blancs purs ou les blancs veinés, ou d'appartements qu'on veut habiter immédiatement après qu'ils auront été vernis.

Manière d'opérer. Ayez un fourneau bien allumé, avec un feu violent, et qui ne manquera pas jusqu'à la fin de l'opération, et un autre fourneau avec un feu médiocre, sur lequel vous placerez d'abord votre résine afin de la faire languir, de la transformer en perruque. Lorsque votre résine est bien prise en masse, qu'elle est également mollasse dans toutes ses parties, qu'elle se tire bien en fils déliés comme des cheveux, que les morceaux restés entiers sont bien ramollis; en un mot, lorsque la perruque est complète et qu'il vous est impossible d'en arracher la spatule, versez-y alors votre huile, et tout aussitôt que vous l'aurez mélangée le mieux possible, enlevez votre matras du feu médiocre, et transportez-le sur votre fourneau au feu vif et même violent, car il s'agit alors de faire fondre la résine dans l'huile bouillante le plus rapidement possible; il ne faut donc plus remuer les matières, cela retarderait le moment de leur fusion.

Bientôt vous pourrez enlever votre spatule, et, si vous l'avez retirée vivement jusqu'aux bords supérieurs du matras, vous en verrez découler des gouttes d'huile et de copal mélangées, peu à peu la masse résineuse diminuera de volume; enfin lorsque vous la sentirez presque entièrement fondue, qu'il n'y restera plus qu'un petit noyau, retirez le matras du feu, posez-le sur une planchette, laissez-le en repos un moment, et, lorsque le petit noyau non fondu que vous y avez laissé aura disparu, portez votre vernis sous le robinet à l'essence, agitez-le fortement pour l'empêcher de sortir en écume du matras, ce qui ne manquerait pas d'arriver (vu que sa température est bien au-delà de 316 degrés, température à laquelle il est impossible d'empêcher l'huile de se répandre en mousse); au moyen de l'essence que vous y ferez couler et de l'agitation que vous maintiendrez rapide, sans toutefois descendre l'extrémité inférieure de la spatule au-delà du goulot du matras, car c'est cette partie qu'il faut principalement aérer, l'effervescence se calmera; l'essence continuant à couler par filet, ne cessez pas de remuer le vernis, tâtez s'il ne tend pas à se remettre en masse, et s'il se maintient bien limpide; pour peu qu'il louchisse, fermez le robinet, reportez le matras sur le feu où vous le laisserez jusqu'à ce que le vernis, bien fluide, soit redevenu bien transparent sur le verre, remettez-le alors sous le robinet, que vous ouvrirez, et ne cessez jamais un instant de bien agiter le vernis. Lorsque vous y aurez ajouté la moitié de la dose d'essence, fermez de nouveau le robinet, et reportez encore le vernis sur le feu pour le réchauffer; pendant ce temps, versez le restant de votre essence dans un petit matras étamé que vous aurez tout exprès pour cela, et faites-la chauffer sur l'autre fourneau, et lorsque le vernis sera bouillant et parfaitement limpide sur la vitre, tirez-le du feu, et ajoutez-y peu à peu, et toujours en le mélangeant, le restant de la dose d'essence chauffée; cela fait, reportez une dernière fois le vernis sur le feu, laissez-lui jeter un bouillon, et, lorsqu'il sera couvert d'écume, enlevez-le du fourneau et passez-le au tamis dans le refroidissoir.

Remarque. La théorie de cette deuxième méthode repose sur ce que le copal étant soluble dans l'huile bouillante, le devient plus facilement et plus rapidement, si on l'a préalablement ramolli au feu avant d'y ajouter l'huile bouillante qui doit le dissoudre; or, transformer son copal en une masse flexible, qui se tire bien en filets, où tous les morceaux ont perdu leur dureté naturelle pour devenir mollasses, former enfin du tout une espèce de pâte épaisse, *faire perruque*, en un mot, ce n'est, après tout, que ramollir sa résine avant d'y mettre l'huile bouillante.

Travail des vernis gras de copal tendre (résine de dammar friable).

Prenez :	Copal tendre.	4k
	Huile de lin préparée. . . .	0,500 à 1k
	Essence de térébenthine. . .	5 à 6k

Manière d'opérer. Cette résine fond très facilement à feu nu; laissez-la bien cuire; le moment d'y ajouter l'huile, chauffée à 120 degrés environ, étant venu (chose que l'expérience seule peut vous apprendre), ver-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sez l'huile, mêlez, laissez jeter quelques bouillons, voyez si vous avez mis trop ou trop peu d'huile (nous avons dit comment on s'en assurait); si le mélange est bien fait, retirez alors le matras du feu, mettez-le à consistance au moyen de l'essence de térébenthine, que vous aurez portée jusqu'à son degré d'ébullition, sans quoi vous feriez louche, vous feriez une *galette*, en terme de métier; immédiatement après y avoir mis l'essence, vous devez reporter le vernis sur le feu et l'y faire bouillir pour rendre sa décomposition impossible.

Travail des vernis gras au karabé ou succin. — Première méthode. Méthode *Watin.*

Prenez : Karabé. . . 4ᵏ;
Huile siccative. 1, 2, 3, 4 et même 6ᵏ;
Essence de térébenthine quantité suffisante;

que vous traiterez absolument comme le copal dur. Il faut quelque habitude pour bien réussir ce vernis.

Nous prévenons seulement que si l'on y met plus de 2 kilos d'huile, on doit se servir d'une huile très siccative, sans quoi le vernis sèchera mal.

Deuxième méthode. Méthode *Allemande.*

Manière de préparer le succin. Mettez le succin, pilé et tamisé, dans une casserole en fonte, de manière à en couvrir le fond, qui doit être plat, et tenez cette casserole sur le feu jusqu'à ce que le succin soit fondu et bien liquide; versez-le alors sur une plaque de fonte, afin de le refroidir subitement, cassez-le en petits morceaux : si sa cassure est de moitié moins brillante qu'avant sa fusion il est bon à être employé; il est essentiel qu'il ne soit ni trop ni trop peu brûlé. Le karabé, dans l'opération que nous venons d'indiquer, doit perdre la moitié de son poids; on doit avoir soin d'écumer pendant la fusion ; ces écumes servent à faire des vernis de basse qualité.

Manière de préparer l'huile de lin.

Prenez : Litharge pulvérisée et tamisée. 0ᵏ,500
Sulfate de zinc en poudre. . . 0ᵏ,125
Huile de lin. . . . . 1 litre.

Mettez toutes ces substances dans un vase, qui ne soit rempli qu'à moitié, portez-les sur un feu où vous les ferez bouillir jusqu'à ce que toute l'humidité soit évaporée, ce que vous reconnaîtrez à une pellicule qui se forme sur le mélange (que vous remuerez de temps en temps, mais non constamment, de peur que la litharge ne se combine à l'huile et ne l'épaississe); tirez alors à clair en ayant soin de ne pas y mêler la partie épaisse.

Manière de faire le vernis.

Mettez dans une casserole en fonte :
1 partie de karabé rôti;
3 parties de l'huile de lin ci-dessus;

que vous porterez sur un feu lent jusqu'à l'entière dissolution du succin; après quoi vous y ajouterez, en mélangeant constamment, 1 parties d'essence de térébenthine ; le vernis étant bien limpide, vous le passerez au tamis, et après qu'il sera refroidi, vous le renfermerez pour l'usage.

Troisième méthode. Méthode *Bompoix.*

Préparation de l'huile de lin. Mettez dans un sachet de toile :

Litharge en poudre, minium et céruse en poudre de chaque. . . . . 1 kil.
que vous suspendrez dans huile de lin. . . 5 kil.

de manière à ce qu'il ne touche pas le fond du vase que vous porterez sur le feu, et que vous ferez bouillir jusqu'à ce que l'huile commence à brunir; retirez alors le sachet et continuez à faire bouillir l'huile, en ajoutant une à une, et les retirant lorsqu'elles sont rissolées, 35 à 40 gousses d'ail; cela fait, fondez dans un autre vase : 2 kil. de succin.

Lorsqu'il est fondu et bien coulant, ajoutez-y :
3 kil. de l'huile ci-dessus.

Faites bouillir le tout pendant deux minutes, retirez le mélange du feu, passez-le au tamis et conservez-le pour l'usage.

Pour se servir de ce vernis, on le délaie dans l'essence et la couleur et l'on sèche au four; il résiste à l'eau bouillante.

FORMULES DE QUELQUES VERNIS SPÉCIAUX.

Vernis gras couleur d'or pour les métaux blancs auxquels on veut donner le ton de l'or, formule de Tingry.

Prenez : Succin d'un seul feu, ou succin préparé par la méthode allemande 0ᵏ,40
Gomme laque. 0ᵏ,40
Huile de lin siccative. . . 0ᵏ,40
Essence de térébenthine. . . 0ᵏ,80

Liquéfiez séparément la gomme laque, ajoutez-y le succin en poudre, l'huile de lin et l'essence très chaudes; lorsque le mélange est bien opéré, retirez du feu, et après que la plus grande chaleur est passée, on y verse, en proportions relatives, des teintures à l'essence de rocou, terre mérite, gomme gutte et de sang-dragon.

Mordant à l'or.

Chaque doreur a sa recette particulière; pour nous, nous croyons que le meilleur des mordants, c'est une huile grasse siccative au maximum, dans laquelle on ajoutera soit un peu de vernis de copal dur, soit un peu de térébenthine fine, pour lui donner plus de corps et l'empêcher de couler.

Tingry recommande la formule suivante :

Prenez : Huile de lin siccative. . . . 10 parties.
Térébenthine de Venise. . . 5
Jaune de Naples. 3

On fait fondre la térébenthine dans l'huile, puis on y mélange le jaune de Naples en poudre extrà-fine; on peut substituer la litharge au jaune de Naples.

Vernis noir pour métaux, tels que plateaux de cabaret, peignes, etc., à sécher au four.

Prenez : Copal demi-dur. 0ᵏ,420
Bitume de Judée naturel. . . 0ᵏ,050
Huile de lin très siccative. . 0ᵏ,120
Essence de térébenthine. . . 0ᵏ,240

Fondez le copal seul, puis ajoutez le bitume en menus morceaux, puis l'huile, enfin l'essence.

Vernis japon pour équipages, etc.

Prenez : Copal dur. 3ᵏ
Bitume cuit pendant deux jours (1). . . . . 1ᵏ à 1ᵏ,25
Huile très siccative. . . . 2 à 3
Essence de térébenthine. . 6ᵏ,75

que vous traiterez comme il vient d'être dit.

On pourrait faire ce vernis avec du karabé ; il serait plus solide, mais moins brillant.

Vernis au caoutchouc.

Prenez : Huile de lin siccative;
Caoutchouc coupé menu.

Portez l'huile sur le feu dans une casserolle en fer battu, trois fois plus spacieuse qu'il n'est nécessaire

(1) On fond le bitume de Judée et on le fait bouillir à petit feu pendant deux jours en le remuant sans cesse pour faciliter l'évaporation de la partie volatile qu'il contient et concentrer ainsi sa couleur qui passe du marron clair au marron noir; voilà ce que nous appelons bitume cuit pendant deux jours.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour contenir la quantité d'huile ci-dessus; faites-la chauffer vivement jusqu'à ce qu'elle fume beaucoup et vous paraisse prête à s'enflammer; jetez-y alors un petit morceau de caoutchouc; si l'huile est assez chaude, il sera dissous de suite; vous pouvez alors y ajouter par portions le restant du caoutchouc; agitez le tout avec une tige en fer pour favoriser le mélange des parties dissoutes avec l'huile, et retirez la casserole du feu après l'incorporation complète des substances.

Ce vernis devient fort épais quand il est refroidi : pour s'en servir, on le chauffe et on l'étend sur la toile, avec un couteau, le plus également possible; il forme un bon enduit, parfaitement imperméable à l'eau, et dure très longtemps.

Le vernis de caoutchouc de Tingry ne sèche que très difficilement, celui-ci sèche au contraire très bien, surtout si on emploie une huile bien siccative.

TRIPIER-DEVEAUX.

M. Violette a reconnu que le copal devenait soluble quand il avait été chauffé à 300° sous pression de 10 à 12 atmosphères. Il se dissout alors facilement à 100° (et par suite sans perte) dans le mélange convenable d'huile et d'essence.

VERRE (*angl.* glas, *all.* glass). On donne le nom de *verre*, dans l'acception la plus générale de ce mot, à tout corps transparent, ou du moins translucide, qui est aigre, cassant et sonore aux températures ordinaires, devient mou et ductile, puis se fond à une température élevée, et dont enfin la cassure à froid présente un éclat particulier bien défini, connu sous le nom d'éclat vitreux, de cassure vitreuse. En industrie, on restreint cette dénomination de verre aux composés de silice, de potasse ou de soude, et de chaux ou d'oxyde de plomb, seuls ou mélangés, donnant par la fusion une masse amorphe et transparente qui ne se dissout ni dans l'eau, ni dans aucun acide, l'acide hydro-fluorique excepté, lorsque le verre est de bonne qualité.

D'après Pline, la découverte du verre serait due à des voyageurs phéniciens, qui s'étant par hasard servis de natron pour construire un foyer sur le sable du désert, trouvèrent dans le foyer une combinaison fondue de silicate de soude; mais il est impossible d'admettre ce fait, qui suppose une température beaucoup plus élevée qu'elle ne pouvait l'être en pareil cas. Il est plutôt probable qu'elle est une suite des recherches de traitement des métaux par fusion, les gangues en se liquéfiant donnant des laitiers qui sont souvent de véritables verres. Toujours est-il certain que cette découverte est très ancienne, car il en est parlé dans l'Ecriture sainte : 1° dans le livre de Job, ch. XXVIII, vers. 17, et 2° dans le livre des Proverbes, ch. XXIII, vers. 31.

Théophraste, l'an 370 avant Jésus-Christ, cite des verreries phéniciennes situées à l'embouchure du fleuve Bélus. Les Egyptiens connaissaient aussi dès l'antiquité la plus reculée l'art de fabriquer les verres blancs et colorés, de les tailler et de les dorer, ainsi que le prouvent les parures en verre que l'on a trouvées sur plusieurs momies venant des catacombes de Thèbes et de Memphis.

Les Romains connaissaient le verre plus de deux siècles av. J.-C.; cependant ce ne fut que sous Néron que fut établie à Rome la première verrerie, et encore ne produisit-elle d'abord que de méchants verres à boire. Sous Alexandre Sévère, l'an 210 après J.-C., le nombre des verriers s'était tellement augmenté à Rome, qu'on crut devoir les consigner dans un quartier de la ville séparé.

Au moyen âge, Venise se distingua par ses verreries, qui furent reléguées, en 1291, à deux lieues de la ville, dans la presqu'île de Murano. C'est, dit-on, dans cet endroit que l'on fabriqua les premières glaces soufflées.

C'est aussi dans le moyen âge que la fabrication du verre s'introduisit en Bohême et y acquit, grâce à l'extrême pureté des matières premières, que l'on rencontre en abondance dans ce pays, une supériorité et une réputation qui se sont soutenues jusqu'à nos jours.

Nous indiquerons plus tard la composition des diverses espèces de verres en parlant de chacune d'elles, et auparavant nous allons dire quelques mots des *propriétés générales* du verre.

La transparence et la blancheur sont les premières qualités du verre; pour les obtenir, il faut employer des matières premières extrêmement pures, et ajouter le moins de fondants possible.

Un excès de potasse donne au verre une teinte verdâtre, la soude et ses sels lui donnent une teinte jaunâtre, et l'excès de chaux le rend laiteux. Une très faible quantité de sulfate de potasse ou de soude lui donne une couleur vert-brun jaunâtre ou noirâtre. Le fer le colore fortement en vert bouteille, et le manganèse, employé en excès pour enlever la coloration due à l'oxyde de fer, lui donne une teinte bleue, qui devient d'un violet prononcé par l'action de la lumière solaire.

Si le minium employé dans la fabrication des cristaux renferme un peu d'oxyde de cuivre, ce qui arrive très souvent, le cristal prend une légère teinte vert d'émeraude.

Le charbon colore les verres en jaune topaze plus ou moins foncé, allant même jusqu'au pourpre; aussi, il est impossible d'obtenir un verre parfaitement blanc dans les fours qui fument, ainsi que dans ceux que l'on chauffe avec de la tourbe, du lignite ou de la houille; dans ce cas, pour obtenir des verres blancs, il faut employer des creusets couverts ou cornues, comme dans les cristalleries où l'on est amené à la même solution par la nécessité de soustraire le silicate de plomb au contact d'une flamme ou fumée réductrice. Il faut aussi avoir soin, en vertu de ce pouvoir colorant du charbon, lorsqu'on remplace dans la fabrication du verre les carbonates alcalins par le sulfate de soude, d'ajouter dans les creusets un peu moins de charbon (seulement 1/13 à 1/15 du poids du sulfate) qu'il n'en faudrait pour réduire complétement le sulfate, et encore n'obtient-on en général par ce procédé que des verres communs, parce que le léger excès de sulfate de soude que l'on y laisse, bien qu'on en retire la majeure partie par l'écumage, leur donne presque toujours une teinte brun-noirâtre plus ou moins prononcée.

Le verre est parfaitement élastique entre certaines limites, et en général très sonore.

Les verres non plombeux et surtout les verres de Bohême sont assez durs, lorsqu'ils sont bien fabriqués, pour faire feu sous le briquet et pour ne se laisser que très difficilement rayer par une pointe d'acier. Les verres plombeux, au contraire, ont peu de dureté, et d'autant moins qu'ils contiennent plus d'oxyde de plomb; aussi perdent-ils promptement leur éclat par l'usage.

Tous les verres sont plus ou moins fusibles; lorsqu'ils sont ramollis par l'action de la chaleur, ils se travaillent avec la plus grande facilité, et peuvent se tirer en fils aussi fins que ceux d'un cocon de ver à soie.

Les verres à base de soude sont plus fusibles et plus durs que ceux à base de potasse. Le verre, lorsqu'il est soumis à un refroidissement rapide, devient très fragile et présente divers phénomènes, qu'on a comparés à tort à la trempe de l'acier, et parmi lesquels nous citerons pour exemple les *larmes bataviques* et les *flacons de Bologne*. Les larmes bataviques sont des gouttes de verre fondu que l'on refroidit brusquement en les laissant tomber dans l'eau, et qui ont la forme d'un ovoïde allongé en une queue qui se termine en pointe très effilée; lorsqu'on vient à casser le bout de la queue, toute la masse se réduit en poussière avec une légère détona-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion. Les flacons de Bologne sont de petits flacons refroidis brusquement, et qui volent en éclats lorsqu'on agite dans l'intérieur un fragment de pierre susceptible de le rayer. Dans ces deux cas, les molécules intérieures sont dans un état d'équilibre forcé, maintenu seulement par la solidarité de celles qui sont à la surface, et qui se trouve détruit dès l'instant où l'on produit une solution de continuité quelconque dans l'enveloppe.

On diminue l'extrême fragilité du verre en soumettant les objets fabriqués à un *recuit*, c'est-à-dire à un refroidissement plus ou moins lent. Les verres supportent d'autant mieux les variations de température qu'ils ont été refroidis plus lentement; aussi peut on, lorsqu'ils ont été peu ou pas recuits, diminuer considérablement leur fragilité en les faisant recuire dans de l'eau, ou mieux dans de l'huile bouillante que l'on laisse ensuite refroidir lentement.

Tous les verres exposés pendant un temps plus ou moins long à une température assez élevée, quoique trop faible pour les fondre, perdent leur transparence, et deviennent extrêmement durs, moins fusibles et beaucoup moins fragiles qu'auparavant; ils perdent alors en général une partie de leur alcali, et se transforment presque en véritable grès-cérames fins; il se passe alors un phénomène tout à fait analogue à celui que nous voyons se produire journellement par suite d'un refroidissement lent dans les laitiers de nos hauts-fourneaux, et surtout dans les laves volcaniques. Les verres communs, et surtout les verres à bouteilles, se dévitrifient beaucoup plus facilement que les verres à base de potasse et de chaux, et les verres plombeux.

Quand le verre n'a point été recuit, on le coupe très facilement en lui faisant éprouver un changement de température un peu brusque; les verriers se servent à chaque instant de cette propriété pour détacher de la canne les vases qu'ils façonnent, pour ouvrir les manchons de verre à vitres, etc. Lorsque le verre a été recuit, on le coupe avec un diamant à arêtes curvilignes.

La densité des verres varie avec leur composition, comme l'indiquent les nombres suivants :

Ancien verre de Bohême (Dumas). .	2,396
Verre à vitre de Bohême.	2,642
Verres fins dits cristaux de Bohême.	2,892
Verre à bouteilles.	2,732
Crownglas (verre d'optique). . .	2,487
Glaces coulées de Saint-Gobain. . .	2,488
Glaces soufflées de Cherbourg. . .	2,506
Glaces soufflées de Neuhaus (1830)..	2,564
Flintglas (verre d'optique). . . .	2,3 à 2,6
Cristal ordinaire à base de plomb. .	2,9 à 3,3

Plus un verre est dur et infusible, moins il est altérable par l'action des agents atmosphériques et chimiques, l'acide hydrofluorique excepté. Les verres trop alcalins attirent peu à peu l'humidité de l'air, en perdant leur éclat et leur poli. Beaucoup de verres se laissent notablement attaquer par une ébullition prolongée avec de l'eau, et, *à fortiori*, par les dissolutions alcalines et acides; ainsi, il n'est pas rare de voir des verres à bouteille attaqués par le tartre qui se trouve dans le vin. En général, on peut dire que tous les verres qui se laissent sensiblement attaquer, ou perdent leur poli par une ébullition prolongée avec des dissolutions concentrées d'alun, de sel marin, d'acide sulfurique ou de potasse, sont de mauvaise qualité. C'est faute d'avoir essayé leurs bouteilles, par l'un des procédés ci-dessus, que nombre de personnes perdent journellement des quantités de vins considérables.

Choix et préparation des matières premières.

Matières siliceuses. Pour les verres fins dits cristaux de Bohême, on se sert de quarz pur que l'on chauffe dans des fours à réverbère, que l'on étonne ensuite en le jetant tout rouge dans de l'eau froide, et que l'on bocarde à sec. En Angleterre, on se sert, pour la fabrication du cristal, de silex de la craie étonnés et pulvérisés. En France, on emploie généralement des sables siliceux aussi exempts de fer que possible. Pour les verres communs, on se sert de sables moins purs, et pour les verres à bouteilles, on se sert de sable ordinaire et même de roches feldspathiques, ou de laves volcaniques.

Potasse. Presque tous les verres de Venise et de Bohême sont à base de potasse. La potasse du commerce vient en grande partie de Hongrie, de Russie ou d'Amérique. On la purifie en la traitant à froid par son poids d'eau, décantant, évaporant à siccité la liqueur décantée, et calcinant la potasse obtenue assez fortement pour la fritter. Enfin, pour la fabrication des verres fins, on purifie la potasse précédente en la traitant de nouveau comme il vient d'être dit, mais seulement avec la moitié de son poids d'eau; les sulfates et chlorures qui pouvaient encore s'y trouver, étant moins solubles que le carbonate, restent sans se dissoudre. Un essai alcalimétrique donne le titre de cette potasse, mais il n'indique nullement la nature et la proportion des matières étrangères nuisibles qu'il peut contenir; il faut, lorsqu'on tient à faire de beaux verres, et que l'on veut déterminer la valeur réelle d'une potasse, remplacer, dans l'un des pots où l'on fait du verre fin, la potasse ordinairement employée, par son poids de la potasse à essayer, et comparer les objets fabriqués avec le verre obtenu, avec des verres titrés, préparés une fois pour toutes, en faisant varier la qualité et la quantité de l'alcali.

Soude. En France et en Angleterre, bien que la soude et ses sels donnent au verre une teinte jaunâtre très sensible, on les emploie presque exclusivement à cause de leur bas prix relatif. Les verriers se servent surtout de la soude artificielle préparée par le procédé Leblanc.

Sulfate de soude. Depuis quelques années, on emploie beaucoup en France le sulfate de soude pour la fabrication du verre à vitre et du verre à bouteilles, en place du carbonate de soude qui est d'un prix notablement plus élevé. Il faut y ajouter 1/13 de son poids de charbons afin de faciliter sa réduction en présence de la chaux et de la silice.

Sel marin. On a aussi quelquefois essayé de remplacer le carbonate et le sulfate de soude par du sel marin; il n'est pas douteux que cette substitution, qui n'a pas encore été suffisamment étudiée, finira par être plus tard adoptée pour la fabrication des verres communs.

Chaux. En Bohême on se sert de chaux obtenue par la calcination d'un calcaire saccharoïde blanc extrêmement pur. Dans les autres pays, on se sert également de chaux très pures et aussi exemptes que possible de fer, excepté pour les verres à bouteilles. Quelquefois, mais rarement, et seulement pour les verres communs, on remplace la chaux par de la craie ou une autre variété de carbonate de chaux; on emploie aussi avec beaucoup d'avantages la chaux qui a servi à préparer des bains alcalins caustiques, parce que cette chaux retient toujours une certaine proportion d'alcali, ce qui réduit d'autant celle à ajouter au mélange.

Alumine. Dans les verres à bouteilles, où l'on cherche à diminuer le prix de revient en réduisant la proportion d'alcali employée, il est nécessaire d'augmenter la fusibilité du mélange, en y introduisant un plus grand nombre de bases, principalement de l'alumine, soit à l'état d'argile, soit à l'état de cendres végétales.

Baryte. On sait que la baryte est un excellent fondant, aussi obtient-on, avec un mélange de silice, de baryte et d'alcali, de très beaux verres qui se travaillent facilement, et qui ont un éclat bien supérieur aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

verres non plombeux à base de chaux; ils ne le cèdent que très-peu sous ce rapport aux cristaux plombifères dont ils n'offrent pas les inconvénients; aussi il n'est pas douteux que la fabrication des verres à base de baryte serait très-répandue si cette matière était plus commune. On peut la remplacer par le sulfate de baryte, qui se trouve en certaine abondance, sous la forme de filons, dans certaines localités, en y ajoutant une quantité de charbon un peu moindre que celle qui serait nécessaire pour transformer tout l'acide sulfurique du sulfate en acide sulfureux.

Oxyde de plomb. L'oxyde de plomb forme la base des cristaux ordinaires; on l'emploie toujours à un état d'oxydation supérieur, c'est-à-dire à l'état de minium. Il est essentiel qu'il ne renferme pas de cuivre, la moindre trace de ce métal colorant fortement le verre; il faut aussi qu'il ne soit pas argentifère, l'argent ayant un pouvoir colorant jaune fort intense.

Peroxyde de manganèse. Le peroxyde de manganèse sert à détruire la couleur vert-bouteille du verre coloré par un peu de protoxyde de fer, aussi est-il connu sous le nom de *savon des verriers*.

Arsenic. L'arsenic, à l'état d'acide arsénieux, est très-employé en Bohême:

1° Pour détruire la teinte verdâtre due à des traces de protoxyde de fer qu'il fait passer à l'état de peroxyde;

2° Pour détruire la teinte jaune que prend le verre si le four fume, ou si le bois en pétillant y lance quelques escarbilles de charbon;

3° Pour agiter enfin, en se volatilisant (cette volatilisation est complète, du moins l'analyse n'en indique plus de traces dans le verre), la matière fondue, et à favoriser le dégagement des bulles, c'est-à-dire à accélérer l'affinage du verre.

Nitrates de potasse et de soude. Les nitrates de potasse et de soude sont employés dans quelques usines concurremment avec l'acide arsénieux pour produire les mêmes effets. On s'en sert aussi dans la fabrication de certains verres colorés.

Calcin, débris de travail, etc. Les débris du travail même, les vieux verres cassés, le verre qui s'écoule sur la sole du four par suite d'accidents arrivés aux pots de verrerie, etc., sont concassés, lavés et classés d'après leur nature, leur couleur et leur pureté, et ordinairement employés dans la fabrication des verres communs. Les débris du travail des verres fins sont seuls employés à la fabrication des verres blancs de gobeleterie.

Combustibles. Dans les verreries d'Allemagne et des bords du Rhin, on chauffe les fours avec du bois. Quelquefois ce bois est seulement séché à l'air libre; mais, le plus souvent, on achève de le dessécher, et avant de l'employer, à l'aide de la chaleur perdue des fours de fusion ou des fours à recuire. La conduite du feu devient beaucoup plus facile.

En France, en Belgique et en Angleterre, les fours de verreries ont été presque tous chauffés à la houille jusque dans ces derniers temps. L'introduction des fours Siemens (voy. COMBUSTION) est venue modifier, de la manière la plus heureuse, les dépenses de chauffage et le mode d'opérer.

Fours et creusets employés dans les verreries.

Fours. Les fours employés dans les verreries sont de formes très-variées; nous les décrirons avec détail en leur lieu, et nous n'en dirons ici que quelques mots. Ces fours sont de diverses espèces, selon l'usage auquel ils sont destinés; nous distinguerons les suivants:

Les *fours de fusion*, qui sont de forme ronde, elliptique ou rectangulaire; dans tous les cas, il règne sur la totalité ou seulement une partie du pourtour une banquette sur laquelle on place les pots; dans la voûte, au-dessus des pots et vis-à-vis de chacun d'eux, sont ménagées des ouvertures ou embrasures de travail par lesquelles on *cueille* le verre pour le travailler, on réchauffe les objets ébauchés, etc. Lorsqu'on opère dans des creusets fermés, le col des creusets vient remplir cette embrasure;

Les *fours à fritter* les matières premières et *à recuire* les objets fabriqués, qui sont des fours à réverbère chauffés tantôt à flammes perdues, tantôt par un foyer particulier, et qui sont continus ou discontinus.

Enfin les *fours à étendre* les manchons de verre pour la fabrication du verre à vitres.

Creusets. Les creusets ou pots dans lesquels on opère la fusion et l'affinage du verre se font à la main, avec ou sans moule extérieur, avec un mélange d'argile réfractaire crue et de quartz ou d'argile cuite, ou enfin de débris d'anciens pots de verrerie concassés et triés, finement pulvérisés, et marchés, pour le rendre plus intime.

La confection des creusets est peut-être la chose la plus importante d'une verrerie, et souvent de leur durée dépend la réussite commerciale de l'usine; on ne saurait donc apporter trop de soins tant à leur fabrication qu'au choix et au mélange des argiles et ciments. Les creusets sont d'abord séchés à l'air libre, puis souvent à l'étuve, et enfin ils sont cuits tantôt dans un four à recuire particulier, tantôt à flammes perdues. Lorsqu'un creuset est fêlé ou percé, dans le courant de la campagne, on le retire quelquefois par une des embrasures qui a reçu, à cet effet, des dimensions suffisantes et plus considérables que celles des autres embrasures de travail, et on le remplace par un creuset neuf préalablement porté au rouge blanc, que l'on introduit par la même embrasure. Le plus souvent on opère le remplacement des creusets en détruisant le petit mur qui forme la paroi contiguë du four ou qui ferme une ouverture *ad hoc*.

Comme nous l'avons dit en commençant cet article, on se sert, suivant les cas, de creusets ouverts ou de creusets couverts; ces derniers sont de véritables cornues à col très-court.

Des diverses espèces de verres et de leur fabrication.

VERRE SOLUBLE DE FUCHS. Ce verre se prépare en fondant dans un creuset réfractaire un mélange de 10 parties de potasse du commerce purifiée et frittée, 15 parties de quartz finement pulvérisé, et 1 partie de charbon, et laissant le mélange sur le feu jusqu'à ce que le verre soit parfaitement fondu. On coule alors le verre obtenu, on le pulvérise et on le traite par 4 à 5 fois son poids d'eau bouillante. On obtient ainsi une solution qui, appliquée sur d'autres corps, sèche rapidement en contact de l'air, en laissant un enduit vitreux sensiblement inaltérable par l'humidité et l'acide carbonique. On s'est servi avec avantage du verre soluble pour préserver contre l'incendie des bois, des toiles, des décors de spectacles etc. C'est aussi un excellent ciment pour recoller les objets en verre ou en porcelaine qui ne sont pas destinés à renfermer de l'eau bouillante. M. Kuhlmann a fait depuis 1841 une heureuse application du verre soluble au durcissement des pierres tendres, à leur silicatisation (Voy. PIERRES).

VERRE A BOUTEILLES. Dans la fabrication du verre à bouteilles, on doit surtout se préoccuper d'abaisser le prix de revient; on y parvient en formant des silicates à un grand nombre de bases qui, étant plus fusibles, toutes choses égales d'ailleurs, que ceux à bases de chaux et d'alcali seulement, permettent de réduire notablement la proportion d'alcali à employer. Si la potasse était moins chère, on arriverait également à réduire la proportion d'alcali, en remplaçant dans cette fabrication la soude par un mélange de soude et de potasse. En général, et toujours dans le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRE.

but d'économie, on se sert d'un mélange de sulfate de soude et de charbon au lieu de carbonate de soude. Les matières premières de cette fabrication sont très-variées et déterminées exclusivement par les localités; ainsi ce sont des sables ferrugineux ou non, des argiles, des marnes, de la vase des rivières ou des bords de la mer, de la craie, de la chaux délitée, des cendres végétales brutes ou lessivées, des roches volcaniques telles que des basaltes, des ponces, des laves, du *fiel de verre* (mélange de sulfates et de chlorures alcalins provenant de l'écumage des pots de verrerie dans la fabrication des verres communs), des sulfates de baryte et de soude, du calcin, etc. Il est rare que l'on ait recours à l'analyse pour déterminer les proportions du mélange; on préfère ordinairement faire des essais directs dans de petits creusets que l'on introduit dans le four de fusion.

Malgré cette variété dans les matières premières, les verres à bouteilles sont des silicates multiples dans lesquels la quantité d'oxygène de la silice est toujours à très-peu près les 5/2 de la somme des quantités d'oxygène que renferment les bases.

Voici d'ailleurs, d'après M. Berthier, les analyses de trois verres à bouteilles de bonne qualité ;

	(1)	(2)	(3)
Silice	0,600	0,604	0,596
Chaux	0,223	0,207	0,180
Baryte	»	0,009	»
Soude et potasse	0,031	0,032	0,032
Magnésie	»	0,006	0,070
Alumine	0,080	0,104	0,068
Oxyde de fer	0,040	0,038	0,044
Oxyde de manganèse	0,012	»	0,004
Acide phosphorique	0,004	»	»
	0,990	1,000	0,994

(1) Verre de Souvigny, près Moulins (département de l'Allier).

(2) Verre de Saint-Étienne (département de la Loire).

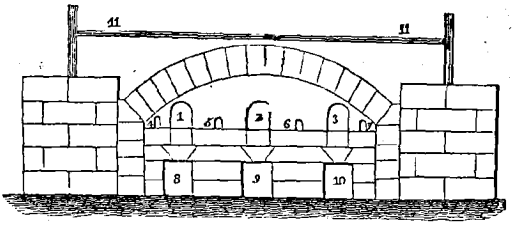
(3) Verre d'Épinal, près d'Autun (département de Saône-et-Loire).

Ces analyses, comparées avec celles des matières premières dont on peut disposer dans chaque localité et avec le prix de ces matières, permettent de déterminer de prime-abord la composition approximative du mélange à employer, sauf l'alcali, dont on doit augmenter la proportion, parce qu'il s'en volatilise de 20 à 25 p. 100 pendant la fusion et l'affinage du verre.

En général, nos verres à bouteilles sont colorés en vert bouteille très-foncé par du protoxyde de fer. Les verres à bouteilles que l'on fabrique sur les bords du Rhin sont, au contraire, fortement colorés en jaune; cette couleur s'obtient assez facilement par quelques tâtonnements au moyen d'un mélange de peroxyde de manganèse et de fer.

Le four de fusion généralement employé en France et en Belgique est représenté en plan et en élévation par les fig. 2536 et 2537. Ce four est rectangulaire et chauffé à la houille; il renferme quatre à dix pots (il y en a six, représentés sur les figures), placés sur deux banquettes disposées latéralement de chaque côté

Fig. 2536.



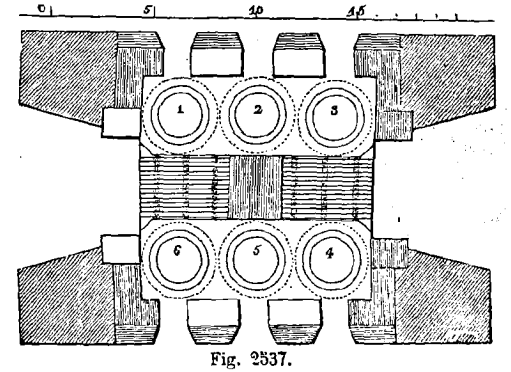


Fig. 2537.

de la grille. Chacune des banquettes et le vide qui existe entre elles ont 0m,90 de large, ce qui fait pour le four une largeur totale de 2m,90; la grille est à 1m,20 en contre-bas des banquettes, et a 0m,30 de large. Les pots ont extérieurement 0m,95 à l'ouverture, 0m,80 à la base et 0m,95 de hauteur; leur épaisseur est de 0m,05 à l'ouverture, et augmente jusqu'à 0m,10 à la base. La voûte a 0m,30 de flèche et est à la clef à 1m,80 au-dessus des banquettes. On retire les pots fêlés et on les remplace par des pots neufs en détruisant l'un des murs 8, 9 et 10, soit en débouchant une embrasure murée placée à l'une des extrémités du fourneau, au-dessus des portes de chargement de la grille. Au-dessus de chaque pot se trouve une embrasure de travail par laquelle on charge les pots, on cueille le verre, etc.

Pour augmenter la charge des creusets, il est d'usage de fritter préalablement les matières premières, isolément ou mélangées, dans des fours desservis par un foyer particulier ou chauffé par les flammes perdues du four de fusion, et de les introduire rouges dans les pots; à mesure que la matière se fond et s'affaisse dans ceux-ci, on en charge de nouvelle.

Dès que les pots sont chargés, on pousse vivement le feu en piquant souvent la grille et en n'y entretenant qu'une épaisseur de houille de 0m,15 environ. Peu à peu le mélange contenu dans les pots entre en fusion, et il commence bientôt à se dégager du milieu de la masse fluide de très-petites bulles gazeuses. On continue à pousser le feu, et, dans quelques usines, on agite de temps en temps la masse fondue avec un morceau de bois, dans le but de faciliter et d'activer le dégagement des bulles gazeuses, qui augmentent peu à peu de grosseur. On juge que l'affinage touche à sa fin lorsqu'il ne se forme plus dans le verre que de rares et grosses bulles; on cesse alors d'agiter le bain, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on le laisse reposer pendant quelque temps, en ralentissant le feu, de telle sorte que le verre puisse prendre assez de consistance pour se laisser aisément travailler; à cet effet, on charge beaucoup de menue houille et d'escarbilles sur la grille, et on cesse de la piquer pendant toute la durée du travail du verre. La fonte et l'affinage du verre à bouteilles durent ordinairement de 8 à 12 heures, suivant les mélanges employés, la construction et la capacité des fours, etc.

Le verre étant arrivé à consistance convenable, l'aide cueille avec la canne une quantité de verre suffisante et la passe au souffleur: la canne est une tige de fer creuse; nous recommanderons en France l'usage de celle dont on se sert en Bohême: elle est très-légère, a 1m,50 de long, pèse de 5 à 6 kilogrammes et est munie à son extrémité d'un manchon en bois de 0m,30 à 0m,35 de longueur, destiné à en faciliter la manœuvre. Le souffleur, après avoir reçu la canne, forme peu à peu la panse de la bouteille, en soufflant et tournant continuellement; il la termine ensuite dans un moule en continuant à tourner rapidement et à souffler. Il relève ensuite la canne, et, tenant la bouteille verticale et renversé, il enfonce le cul. On fixe alors une autre canne au côté opposé, dans l'enfoncement; on coupe le col, on en arrondit le bord, et on place le cordon simple ou double qui doit le renforcer. On ajoute ensuite, s'il y a lieu, un pontil en verre sur lequel on imprime un cachet. Après cela la canne est transmise à l'aide, qui la porte dans le four à recuire et détache la bouteille au moyen d'un léger choc. En France, on se sert, en général, d'un moule d'une seule pièce; en Allemagne on emploie des moules en bois de deux pièces, que l'on a soin de mouiller intérieurement avant de s'en servir. Le recuit s'opère de deux manières différentes: tantôt le four est préalablement chauffé au rouge sombre, et lorsqu'il est rempli de bouteilles, on ferme toutes les issues et on le laisse refroidir lentement; tantôt il consiste en une longue galerie, dans laquelle la chaleur, au rouge sombre à l'une des extrémités, va en décroissant jusqu'à l'autre bout où elle est presque nulle; on place les objets à recuire dans de petits chariots, que l'on attelle les uns à la suite des autres et que l'on fait avancer peu à peu d'un bout à l'autre de la galerie avec une vitesse qui dépend de la lenteur du refroidissement que l'on veut obtenir. On consomme en France moyennement un hectolitre de charbon de terre pour 35 bouteilles prêtes à être livrées au commerce.

VERRE DE GOBELETERIE COMMUNE. Ce verre destiné à la fabrication des ustensiles de chimie, comme cornues, fioles, matras, etc., des verres ordinaires, etc., a à peu près la même composition que le *verre à vitres*, dont nous parlerons plus loin, et se fabrique dans les mêmes fours.

VERRE A VITRES. Ce verre est en général à base de soude; les analyses suivantes donneront une idée de sa composition habituelle:

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Silice. . .	0,697	0,685	0,685	0,687	0,693	0,680	0,690
Soude. . .	0,152	0,129	0,137	0,177	0,113	0,101	0,111
Chaux. . .	0,133	0,162	0,078	0,096	0,172	0,143	0,125
Alumine .	0,018	0,024	0,100	0,040	0,022	0,076	0,074
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

(1), (2) et (3) Verre à vitres moyennement dur, de fabrication française (Dumas).

(4) Verre à vitres peu dur, de fabrication française (Dumas).

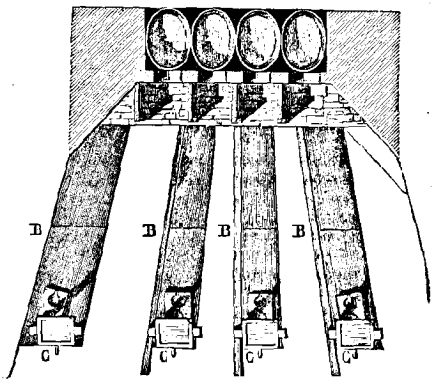
(5) et (6) Verre à vitres dur, de fabrication française (Dumas).

(7) Verre à vitres, de fabrication anglaise (Dumas).

Ce verre, selon qu'il est plus ou moins blanc, sert à fabriquer des vitres, globes et autres objets de gobeleterie plus ou moins fins. Les matières premières de sa fabrication sont: le sable siliceux, aussi exempt de fer que possible; la craie ou la chaux grasse éteinte; le carbonate de soude, ou plus généralement un mélange de sulfate de soude et de charbon, et le calcin ou *groisil*. On enlève ordinairement la teinte verdâtre qu'il peut devoir à des traces d'oxyde de fer renfermées dans les matières précitées, en y ajoutant un peu de peroxyde de manganèse, et quelquefois d'arsénic blanc et d'oxyde de cobalt. La fonte et l'affinage du verre durent de 9 à 12 heures dans des fours un peu différents de ceux décrits précédemment.

En Belgique et dans le nord de la France, on se sert avec avantage de creusets ovales A (fig. 2538), placés

Fig. 2538.



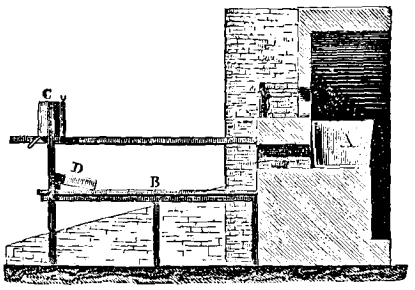


Fig. 2539.

sur les banquettes de manière que leur grand axe soit perpendiculaire à la grille du four; ils occupent ainsi une place moins considérable et permettent d'augmenter le nombre des ouvriers, pour un four d'une grandeur déterminée.

Chaque pot reçoit 600 kilog. de composition. Pour 100 kilog. de verre on consomme 600 kilog. de houille. Devant chaque creuset se trouve un planchet en bois B qui repose sur des pieux en bois ou sur des piliers en fonte ou en pierre; cette estrade se trouve à 2m,5 ou 3 mètres au-dessus du sol de la halle.

Le travail du verre à vitres s'exécute de deux manières différentes: l'une, la plus ancienne, abandonnée sur le continent, n'est plus suivie qu'en Angleterre; l'autre est actuellement seule employée en France et en Allemagne.

D'après l'ancien procédé, l'ouvrier cueille au bout de la canne une petite masse de verre, qu'il maintient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en place en tournant continuellement la canne jusqu'à ce que la masse commence à se figer; il cueille alors une nouvelle dose de verre, et ainsi de suite, tant que le bout de la canne n'est pas suffisamment chargé (I, fig. 2540). Dès qu'il a ainsi rassemblé la quantité de verre convenable, l'ouvrier la réchauffe en l'introduisant dans le four par l'embrasure placée au-dessus du pot de verrerie; puis il souffle cette masse et en forme peu à peu une sphère volumineuse (K, L); il réchauffe celle-ci en soutenant la canne sur un crochet en fer qui fait la saillie en dehors, en lui imprimant un mouvement continuel de rotation pour empêcher la pièce de verre de fléchir et de s'affaisser d'un côté ou de l'autre. Il aplatit ensuite le côté opposé au bout de la canne (M), soude une autre canne et coupe le col du sphéroïde vers le bout de la première canne (N). On dilate alors l'ouverture de ce col (O) au moyen d'une planche, qu'un aide introduit dans l'orifice et qu'il appuie contre les parois, tandis que l'ouvrier fait tourner la pièce et produit de la sorte un cône tronqué semblable à une cloche à melons. Il réchauffe ensuite fortement la pièce, puis, plaçant la canne horizontalement sur une barre de fer, il lui imprime un mouvement de rotation très-rapide : en vertu de la force centrifuge la cloche s'étend et s'aplatit de manière à donner une table



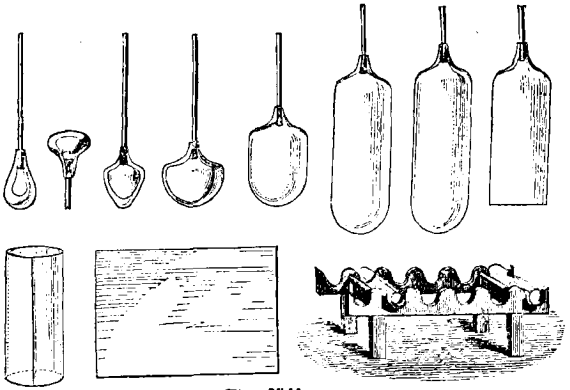
Fig. 2540.

ronde et d'une épaisseur assez égale jusqu'à une certaine distance du centre. Quand l'opération est terminée, l'ouvrier porte la feuille de verre, en continuant de tourner, sur une aire plate en cendres chaudes, l'y dépose horizontalement, et par un léger choc, la détache de la canne; un aide la reprend à l'aide d'une fourche, et la place dans le four à recuire dans une position verticale. Les vitres ainsi préparées offrent au centre un noyau épais d'un effet désagréable; si on fait disparaître ce noyau en le coupant, on n'obtient que des vitres de faibles dimensions, au moins jusque dans ces derniers temps où l'on est parvenu à fabriquer en Angleterre des plateaux de 1m,72 de diamètre. Ces vitres jouissent d'un éclat parfait qu'on ne retrouve pas au même degré dans les vitres dont la surface n'est jamais aussi plane, faites par le nouveau procédé, bien préférable d'ailleurs sous tout autre rapport.

Décrivons maintenant le nouveau procédé généralement employé. Après avoir cueilli au bout de sa canne la quantité de verre convenable en raison des dimensions de la feuille qu'il veut fabriquer, l'ouvrier souffle légèrement d'abord, en étirant un peu la masse vitreuse, de manière à lui donner la forme d'une poire; il balance sa canne, puis il la relève de manière à ramasser le verre; il souffle plus fortement, à plusieurs reprises, et lui imprime un mouvement de va-et-vient, comme celui d'un battant de cloche, de manière à allonger la pièce, qui prend une forme cylindrique; il la relève vivement au-dessus de sa tête, puis lui fait subir un mouvement complet et rapide de rotation, dans le but de l'allonger, tout en lui donnant une épaisseur égale dans toutes ses parties.

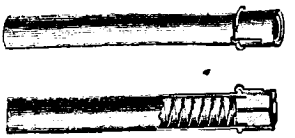
Quand le cylindre est fait, le souffleur reporte la pièce à l'ouvreau, de manière à en bien ramollir le bout; quand il est suffisamment chaud, il est percé avec une pointe de fer. Par le mouvement de balancement, l'ouverture s'agrandit; on pare la pièce avec une sorte de planche en bois; les bords s'écartent, et la calotte qui terminait le cylindre se trouve effacée. Autrefois on ouvrait le cylindre en appliquant au centre de la calotte du verre très-chaud, puis en fermant avec le doigt l'embouchure de la canne; la dilatation de l'air intérieur, augmentée en chauffant à l'ouvreau l'extrémité du cylindre, faisait éclater le verre dans la partie la plus chaude; avec des ciseaux en fer à long manche, on égalisait le verre de manière à obtenir le cylindre ouvert. Ce mode de procéder entraînait une plus grande perte de verre.

La figure ci-dessous représente les différentes phases de la fabrication des manchons.


Fig. 2541.

Pour les pièces de grande dimension, telles que les cylindres et les globes pour pendules ou autres objets, on emploie souvent un outil auxiliaire qui permet de comprimer vivement une masse d'air suffisante pour souffler la pièce. C'est un petit cylindre en laiton (*fig.* 2542), fermé par un bout, dans l'intérieur duquel se trouve un ressort à boudin en fer; à sa partie inférieure est une sorte de piston en bois avec ouverture garnie de cuir, retenu par une fermeture à baïonnette percée d'un trou. L'embouchure de la canne, celle-ci étant tenue verticale, étant mise en contact avec le piston, on comprime par un mouvement brusque qu'on donne au ressort l'air contenu dans le cylindre, et on injecte cet air dans la pièce qu'on veut fabriquer.

Cette pompe a été inventée en 1824 par un ouvrier souffleur de Baccarat, nommé Robinet, qui, devenant


Fig. 2542.

vieux et malade, remplaça par cet outil très-simple les poumons qui lui faisaient défaut. La Société d'encouragement accorda à cet inventeur une médaille d'or, et l'administration de Baccarat lui fit une pen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion. Cet outil est connu sous le nom de *pompe de Robinet*.

Revenons à la fabrication des cylindres par la méthode ordinaire du soufflage.

La confection d'un cylindre ouvert à son extrémité et adhérent à la canne se fait en 8 à 9 minutes.

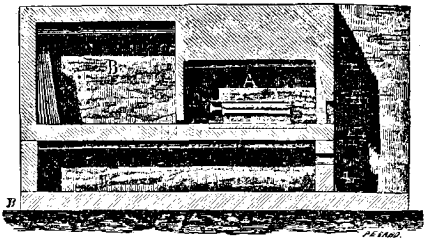
Le cylindre, devenu rigide, est posé sur un chevalet en bois (fig. 2541). On touche avec une tige de fer froide le nez de la canne; celle-ci se détache aussitôt de la pièce de verre dont la calotte est enlevée en enroulant un fil de verre très-chaud et en touchant la partie ainsi chauffée avec un fer froid. On a donc ainsi sur le chevalet un manchon ouvert des deux bouts. On le fend dans sa longueur en promenant dans son intérieur, sur la même arête, une tige de fer rougie; un des points chauffés étant mouillé avec le doigt, le verre éclate. On arrive au même résultat en se servant d'un diamant attaché à un long manche qu'on guide à l'intérieur du manchon en suivant une règle en bois. Ce mode d'opérer, usité en Belgique, donne une cassure plus droite, et, par suite, produit moins de déchet.

C'est par un artifice tout aussi simple qu'on obtient les cylindres aplatis, souvent de très-grande dimension, qui servent à couvrir les pendules. Quand la pièce est arrivée à un certain volume, on termine le soufflage après l'avoir emprisonnée dans une caisse rectangulaire, grossièrement faite avec des planches de bois. Le verre s'étend en s'aplatissant contre l'obstacle qu'il rencontre, et prend la forme d'un cylindre plus ou moins écrasé. (Voy. VERRES BOMBÉS, *Complément*.)

Étendage des cylindres ou canons. Il s'agit maintenant, pour avoir une feuille plane de verre à vitre, de ramollir les cylindres fendus de manière à ce que les bords, en s'affaissant, produisent par une sorte de laminage une feuille de verre.

Il existe plusieurs systèmes de *fours à étendre*. Le plus simple et le plus ancien consiste en une sorte de four à réverbère, chauffé par la flamme d'un foyer latéral et divisé en deux chambres contiguës, A et B (fig. 2543), qui sont séparées par un mur qui s'étend depuis la voûte jusqu'à la sole. Au bas de ce mur se trouve une ouverture de 1 mètre de largeur sur 10 centimètres de hauteur; elle est destinée au passage des vitres planées.

Ce four étant chauffé au rouge sombre, on y introduit les manchons par une galerie latérale *c* dans laquelle ils cheminent lentement, l'un poussant l'autre. Celui qui arrive vers le centre est déjà rouge. Amené à l'aide d'une longue tige de fer sur le *tagre*, qui est une feuille de verre épaisse ou une plaque de terre réfractaire, ses deux bords s'écartent et s'affaissent sous la légère pression exercée sur eux avec une perche de bois; un rabot en bois ou polissoir, qu'on promène à sa surface, achève de planer la feuille; celle-ci est aussitôt poussée dans le second compartiment B dont la température est moins élevée. Lorsqu'elle est suffisamment rigide, elle est placée de champ, au moyen d'une fourche en fer, contre la paroi du four. On a soin de disposer, de distance en distance, des barres de fer pour appuyer de nouvelles vitres, afin que celles-ci ne chargent pas trop celles qui les ont précédées. Quand le four est plein, on enlève le combustible, on en bouche toutes les ouvertures et on le laisse refroidir pendant plusieurs jours. C'est ainsi que ces verres sont *recuits*.



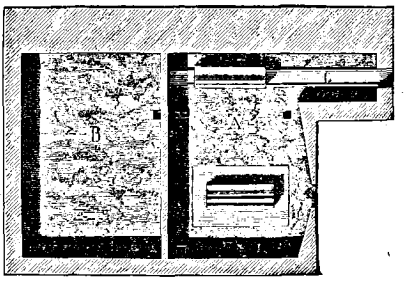


Fig. 2543.

Le verre étendu dans ce four, dit à *pierre fixe*, est ordinairement *griffé* et d'une mauvaise planimétrie. On a cherché à y remédier par plusieurs dispositions. Nous citerons les plus satisfaisantes.

Le four à pierre roulante de M. Segard, d'Anzin, se compose essentiellement de deux chariots, qui portent chacun une pierre à étendre. Le dessin ci-contre (fig. 2544) montre les deux pierres roulantes et le mécanisme pour les manœuvrer, sans le four qui ne change pas.

Le chariot A, portant sa pierre à étendre, se meut sur des roues fixes au moyen de rails qui y sont adaptés. Le chariot B, qui a aussi sa pierre, se trouve à 15 centimètres au-dessous du chariot A, sous lequel il doit passer; il se meut au moyen de ses roues.

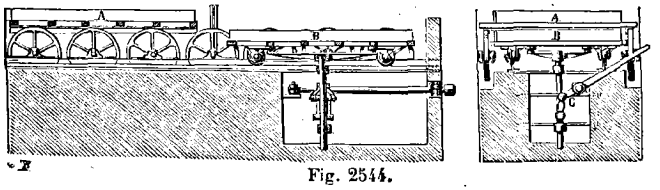


Fig. 2544.

Pour étendre les canons, on renvoie le chariot B dans le four à refroidir; on fait l'étendage sur le chariot A. Aussitôt qu'il est terminé, on pousse ce chariot avec un crochet dans le second compartiment. Le chariot B revient; avec un levier en fer C, on l'élève de 15 centimètres avec la plate-forme sur laquelle il est venu se placer.

On y place le canon à étendre : pendant qu'il s'ouvre, on enlève avec une fourche la feuille qu'on vient d'étendre pour la poser sur un chariot en tôle qui se trouve dans la galerie contiguë et sur lequel il reste à plat.

Le nouveau manchon étant étendu, on abaisse le chariot sur ses rails, on le renvoie dans le four à refroidir, et on amène par-dessus le chariot supérieur A, sur lequel on étend une autre feuille de verre.

Par ce système on étend 600 canons par 24 heures, avec une consommation de 10 hectolitres de houille; ce travail est fait par deux étendeurs, deux tireurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRE.

de chariot et deux enfants. La dépense est moitié de ce qu'elle est avec le four à une seule pierre roulante.

M. Binet, de Sèvres, dispose au-dessus de la pierre à étendre un plateau mobile en terre réfractaire, s'élevant et s'abaissant au moyen d'un bras de levier et d'une tige qui traverse la voûte. Le poids de cette plaque rend le verre bien plan. Ce mode d'opérer est surtout avantageux pour les verres doubles et pour les glaces soufflées : pour polir ces verres on n'enlève que le quart de leur épaisseur; on enlève le tiers ou la moitié quand le verre est étendu dans les autres fours.

Verre à vitre cannelé. Outre les verres à vitre unis, on en fabrique beaucoup, depuis quelques années, surtout en Allemagne, qui sont cannelés soit dans un seul sens, soit dans deux directions faisant entre elles un angle de 30 à 45°, et présentant, dans ce dernier cas, l'aspect d'une suite de petits losanges accolés. Ces verres ont le grand avantage de rendre à peu près inutile l'emploi des persiennes et des rideaux, en dispersant les rayons solaires au point qu'ils ne puissent plus incommoder, et en empêchant tout regard curieux ou indiscret de plonger dans l'intérieur des habitations. On produit ces cannelures à la fin du soufflage des manchons ; les formes produites alors par l'application du verre sur un moule ne s'effacent pas par les opérations ultérieures. Pour les verres cannelés suivant une seule direction, il suffit d'employer des moules cylindriques creux d'une pièce, en bois ou métalliques et cannelés à l'intérieur suivant les génératrices. La seule différence, dans le cas où l'on veut obtenir deux systèmes de cannelures, se croisant l'un l'autre, consiste dans l'emploi d'un moule plus compliqué et formé de deux parties que l'on sépare pour en tirer le manchon.

Tubes de verre creux à section intérieure circulaire. Pour obtenir ces tubes, l'ouvrier souffle d'abord un cylindre creux comme dans la fabrication du verre à vitres, seulement il lui donne une épaisseur de parois beaucoup plus considérable; puis, après l'avoir réchauffé, il en présente l'extrémité libre à son apprenti, qui y fixe une seconde canne à l'aide d'une goutte de verre fondu, puis tous deux l'étirent en s'éloignant rapidement l'un de l'autre. Cela fait, il ne reste plus qu'à diviser en tronçons le long tube obtenu, et ensuite à recuire ces tronçons, dont le diamètre et l'épaisseur dépendent de la quantité de verre employée, du rapport du vide ou plein dans le cylindre soufflé, et enfin du plus ou moins de tirage qu'on lui a fait subir.

Tubes de verre creux à section intérieure méplate. Depuis quelques années, dans la fabrication des thermomètres à mercure, on emploie beaucoup de tubes capillaires à section intérieure méplate, qui permettent d'obtenir des instruments très-sensibles, puisque la section du tube est très-faible par rapport à celle du réservoir, bien que ce dernier ne renferme que très-peu de mercure, et dans lesquels on distingue cependant d'une manière très-nette le niveau du mercure, en regardant la tige normalement au grand axe de la section intérieure.

Pour fabriquer ces tubes, l'ouvrier prend au bout de sa canne une certaine masse de verre sans la souffler, et en forme, en la roulant sur une table, une espèce de boudin qu'il présente à son apprenti; celui-ci la saisit par son extrémité avec une petite pince qu'il tient d'une main, tandis que de l'autre il y enfonce, dans le sens de la longueur, une sorte de couteau ou outil méplat, en ayant soin d'élargir l'ouverture dont il saisit ensuite l'autre lèvre avec une pince; puis il étire le tout en s'éloignant en ligne directe et sans tourner le verre, comme s'il s'agissait d'un tube ordinaire à section intérieure cylindrique. 1/4 à 1/8 du tube ainsi obtenu est suffisamment calibré pour pouvoir être livré au commerce; seulement il arrive assez fréquemment que le creux ne se trouve pas exactement au milieu du tube, ce qui a d'ailleurs peu d'inconvénients quand il ne s'en éloigne pas beaucoup.

On peut faire ces mêmes tubes avec moins de déchet, en soufflant d'abord un petit tube creux, court et à parois très-épaisses, l'aplatissant convenablement entre deux planches, le réchauffant ensuite et cueillant du verre autour de ce noyau, que l'on roule ensuite sur une table de manière à lui donner une forme cylindrique, le réchauffant de nouveau et l'étirant.

Tubes de verre pleins. Les tubes de verre pleins se font en roulant une masse de verre sur une table, et l'étirant comme pour les tubes creux.

Verre filé. On peut allonger et filer le verre quand il a été ramolli par l'action de la chaleur, en l'enroulant sur une roue qui tourne avec une grande vitesse : on a porté cette vitesse jusqu'à 25^{m} par seconde. Quand on étire un tube de verre creux, le trou se conserve, quelle que soit la finesse du fil. Le fil provenant d'un petit morceau de verre à vitres, coupé avec un diamant, présente un très-vif éclat; vu au microscope, il offre une forme aplatie et quatre angles droits très-distincts. Il est très-probable que c'est à cette forme particulière qu'il doit la supériorité de son éclat, car les fils provenant de l'étirage de baguettes de verre rondes ont toujours une apparence sombre. Le verre filé fin est presque aussi souple que la soie, ce qui montre que sa fragilité naturelle est due à l'imperfection du recuit lorsqu'il est en masse de dimensions notables; au toucher ils ressemblent aux cheveux, et, comme eux, ils peuvent être bouclés d'une manière permanente en les roulant sur un fer chaud. Dans la Sicile, on s'est fréquemment servi des fils de verre noir pour fabriquer des perruques; on s'en sert encore quelquefois pour faire des aigrettes très-brillantes, imiter le poil des animaux (voyez SOUFFLER LE VERRE), et même tisser des étoffes pour robes, etc.; quelques-uns des revirements si capricieux de la mode ressusciteront peut-être un jour ce genre d'industrie, qui n'est actuellement exploité que pour ornements d'église, par une maison de Paris. On prétend, mais selon nous à tort, que l'usage de ces tissus en verre offre quelques dangers en ce sens que des filaments détachés pourraient être entraînés par la respiration et portés dans les poumons.

Verres de montre. Les verres de montre ordinaires se fabriquent en soufflant des boules ou globes de verre, de diamètre et d'épaisseur variables, suivant la convexité et l'épaisseur des verres que l'on veut fabriquer; puis, promenant autour d'un verre modèle que l'on applique sur la boule refroidie, un tuyau de terre de pipe rougi au feu; il suffit ensuite du plus léger choc pour détacher le verre, que l'on achève après sur une meule.

Les *verres chevés* pour montres plates se préparent différemment; on commence par tailler les verres comme précédemment, puis on les pose sur des mandrins en fonte, courts cylindres qui ont leur base supérieure façonnée en forme de globe très aplati; on met le tout dans un four à réverbère, où le feu est conduit de telle sorte que le verre se ramollisse et s'applique exactement sur le mandrin en s'affaissant sur lui-même; on l'éloigne ensuite peu à peu du feu, et, lorsque le tout est lentement refroidi, on enlève le verre. Il faut ensuite polir avec le rouge d'Angleterre comme pour les verres d'optique, puis en amincir et réparer les bords sur la meule.

Pour les verres de montre ordinaires on se sert généralement de verres durs; ceux de Bohême, à base

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de potasse et de chaux, sont très-estimés; on en fabrique dans le pays d'immenses quantités, dont une grande partie s'importe en France par contrebande. Les verres chevés, au contraire, sont ordinairement fabriqués avec des verres peu dévitrifiables et très-fusibles, c'est-à-dire avec du cristal ou verre à base d'oxyde de plomb.

VERRE DE BOHÊME. Le verre de Bohême est un verre à base de potasse et de chaux, remarquable par sa beauté, sa dureté et ses autres qualités, qui lui ont fait donner le nom de *cristal de Bohême*, pour le distinguer du cristal ordinaire à base de plomb, qui a un poids spécifique beaucoup plus grand et une dureté infiniment moindre.

L'analyse de ce verre conduit à des résultats compris entre les suivants :

Silice	0,72	à 0,75
Potasse.	0,18	à 0,16
Chaux.	0,10	à 0,09
	1,00	1,00

et une petite quantité d'alumine provenant de l'action dissolvante du verre en fusion sur les fours qui le renferment.

La silice employée en Bohême pour la fabrication des verres fins est du quartz hyalin provenant en général, soit des cailloux roulés dans les torrents, soit de fragments plus ou moins anguleux épars dans la terre végétale résultant de la décomposition des terrains primitifs. Le quartz le plus pur est la variété enfumée. On l'étonne dans des fours chauffés soit par la flamme perdue des fours de fusion, soit par un foyer spécial. Lorsque le quartz a atteint la température rouge-cerise, on le retire du four et on le jette immédiatement dans une grande cuve peu profonde, au-dessus de laquelle se trouve un robinet qui permet de renouveler continuellement l'eau et de s'opposer à son échauffement; le quartz, ainsi étonné et refroidi, est trié à la main par des femmes : les fragments trop gros et trop résistants qui n'ont pas été suffisamment étonnés sont cassés en plusieurs morceaux et reportés dans le four, le reste est concassé en petits fragments et les parties parfaitement blanches sont seules employées à la fabrication des verres fins. Les fragments qui présentent la moindre trace d'oxydes métalliques sont séparés avec le plus grand soin, pulvérisés à part et mis de côté pour servir à la taille des verres. Le quartz étonné et trié est ensuite bocardé à sec; les flèches des pilons sont armées de têtes en quartz brut, et chacune d'elles tombe dans une auge hémisphérique pratiquée dans une grosse poutre en bois qui court tout le long du bocard.

La potasse qui vient de Bohême et de Hongrie est purifiée dans les usines mêmes, comme nous l'avons indiqué au commencement de cet article; celle de première qualité ne coûte en Bohême que 68 francs les 100 kilogrammes.

La chaux est extrêmement pure et provient de la calcination d'un calcaire saccharoïde blanc pur ou bleuâtre venant de Moravie ou de Bohême.

Bien que la fabrication du verre de Bohême ait lieu surtout en Bohême et aux environs de Venise, il existe actuellement en France, notamment à Walsh, Saint-Louis et Baccarat, plusieurs usines qui fabriquent des cristaux de Bohême.

Les verreries de Bohême étant exclusivement alimentées par le combustible végétal, on cherche autant que possible à les établir au milieu des forêts et sur les bords d'un cours d'eau flottable. Comme les périodes d'aménagement des forêts sont presque séculaires, il est souvent avantageux, après avoir abattu tous les bois qui environnent une usine, de la transférer dans un autre endroit où l'on retrouve un approvisionnement facile, jusqu'à ce que ce dernier soit à son tour épuisé, et ainsi de suite. Cette instabilité dans l'emplacement de la plupart des verreries a conduit par économie à construire entièrement en bois tous les bâtiments qui renferment les fourneaux, etc.; aussi rien de plus misérable, à première vue, que l'aspect de ces usines qui semblent perdues au milieu de forêts sans fin et qui s'annoncent au loin par des tourbillons de fumée qui s'élèvent au-dessus des arbres. Il n'y a guère que les usines certaines d'un approvisionnement pour ainsi dire indéfini en combustible qui soient en partie construites en pierre.

Les verreries de Bohême se composent ordinairement de deux fours de fusion dont l'un est en feu, tandis que l'autre est en réparation, de sorte qu'il y en a constamment un en activité. Lorsque l'usine fabrique des verres à vitres, elle possède un ou deux fours d'étendage placés sous un hangar particulier annexé à l'usine. Le magasin des matières premières est aussi annexé à l'usine; quant aux bocards à sec et aux fours de cuisson pour le quartz et la chaux, ils sont également annexés à l'usine lorsque la puissance du cours d'eau le permet, mais le plus souvent ils en sont séparés et placés à quelque distance, soit en amont, soit en aval; il en est de même des raffineries de verre, ateliers où l'on opère la taille et la décoration des verres.

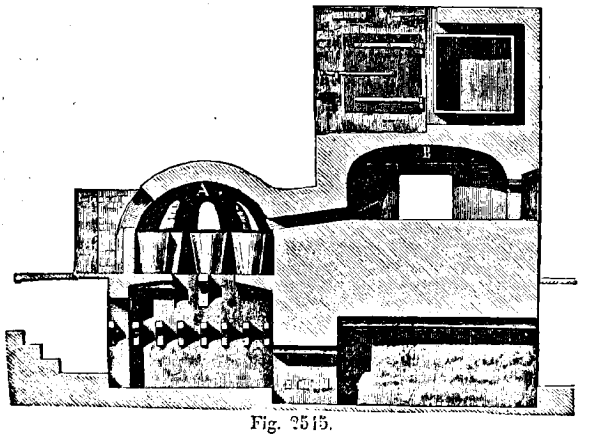


Fig. 2515.

Les fours de fusion sont de petite dimension; leur voûte est ordinairement construite d'une seule pièce (fig. 2515), en argile damée. Ils sont elliptiques, et leur flamme, après avoir circulé librement autour des pots qui sont au nombre de sept à huit, se dégage dans un second four rectangulaire destiné à la cuisson des pièces, à celle de la chaux, ou bien qui sert à chauffer le quartz, qu'on étonne pour le rendre friable. Dans beaucoup de verreries, la chaleur perdue se dégage en sortant de cette arche dans deux carcaisses fermées par des portes en tôle, qui reçoivent le bois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à dessécher lequel est placé sur un châssis tournant qui rend plus facile son introduction et sa sortie de l'étuve, quand il est sec. Souvent le bois est simplement empilé et desséché sur la plate-forme du four à recuire les pièces.

Les pots ou creusets reposent sur un siége elliptique en terre réfractaire; ils ont été introduits par le foyer qui est en contre-bas du sol, et auquel on arrive par une voûte souterraine. Souvent le four a deux foyers, dans lesquels on brûle des bûches de sapin de $1^m,30$ de longueur; il a ordinairement 2 mètres sur $1^m,50$ de diamètres intérieurs.

Les pots ont ordinairement $0^m,30$ de diamètre intérieur à l'ouverture et $0^m,35$ au fond, $0^m,45$ de profondeur, $0^m,03$ d'épaisseur à l'ouverture et $0^m,04$ au fond. On y charge moyennement 70 kil. de matières frittées; la perte en eau, acide carbonique et alcali est de 15 à 20 p. 100, et on obtient par pot de 45 à 50 kil. de verre façonné, non compris les déchets du travail même. La fonte dure de 12 à 18 heures et le travail du verre de 14 à 15 heures. Chaque four produit par semaine environ 2,000 kil. de verre façonné, tandis que les fours français en produisent dans le même temps 36,000 kil.

Le mélange que l'on charge dans les pots se compose moyennement de :

Quartz étonné et pulvérisé. . .	100
Potasse première qualité calcinée.	50 à 60
Chaux calcinée	15 à 20
Acide arsénieux.	1/4 à 1/2
Nitre	0 à 1

et quelquefois, mais rarement, 1/16 à 1/4 de peroxyde de manganèse.

Les ouvriers de Bohême économisent le verre avec une habileté surprenante; ils le cueillent avec des cannes plus légères que celles que nous avons décrites au commencement de cet article, et ils soufflent ordinairement la pièce creuse qu'ils veulent faire dans un moule en bois à deux compartiments, qui sont maintenus rapprochés par l'apprenti, lequel a soin de les mouiller très-fréquemment afin de prolonger leur durée en les empêchant de prendre feu.

Le recuit des verres fabriqués s'exécute en les portant encore chauds dans des pots cylindriques en argile de $0^m,015$ d'épaisseur, ayant $0^m,40$ de diamètre et $0^m,50$ de profondeur, placés dans le four à recuire annexé au four de fusion. Lorsqu'un de ces pots est entièrement rempli, on le retire du four et on le laisse refroidir spontanément dans un coin de l'usine, en augmentant autant que possible la durée du refroidissement par l'addition d'un couvercle en tôle. On conçoit aisément tout ce que ce procédé a d'imparfait en comparaison des fours à recuire continus si généralement employés en France.

On fabrique aussi en Bohême une quantité considérable de verres colorés dans toute leur masse ou doublés, filigranés, dorés, argentés, décorés avec des couleurs de moufle; nous y reviendrons plus loin.

VERRE PLOMBEUX. CRISTAL. La fabrication du verre à base d'oxyde de plomb, ou cristal ordinaire, est originaire d'Angleterre. Pour éviter la coloration du verre due à la fumée du charbon de terre, les verriers anglais commencèrent par remplacer les pots ouverts employés sur le continent, par des creusets couverts, espèces de grandes cornues soustrayant les matières au contact et à l'action des fumées du combustible. Mais cette substitution tendant à abaisser la température dans l'intérieur des creusets, on fut obligé de chercher des compositions plus fusibles et on y parvint en remplaçant la chaux par de l'oxyde de plomb.

Voici quelques analyses de cristal qui donneront une idée de sa composition :

	(1)	(2)	(3)
Silice.	0,560	0,514	0,560
Potasse.	0,066	0,094	0,089
Chaux	—	—	0,026
Alumine	0,010	0,012	—
Oxyde de plomb. . .	0,344	0,374	0,325
	0,980	0,994	1,000

(1) Cristal de première qualité, de Vonèche en Belgique (Berthier).
(2) Cristal de Newcastle en Angleterre (Berthier).
(3) Cristal de première qualité (Dumas).

Le mélange que l'on charge dans les pots se compose de :

Sable siliceux blanc . . .	100
Minium.	55 à 65
Potasse.	25 à 30
Nitre.	2 à 5
Peroxyde de manganèse environ.	0,001
Acide arsénieux	0,0005 à 0,001
Calcin, débris de travail. . .	50 à 100

La potasse doit être exempte de soude, car la soude ne donne pas du verre parfaitement incolore : les verres à vitre, les glaces, vus par la tranche, montrent une coloration verte très-marquée. Aussi a-t-on vainement cherché à remplacer dans le cristal la potasse, en totalité ou en partie, par la soude dont le prix est beaucoup moins élevé. Quelque bien purifié que soit le sel de soude, il ne donne que du cristal verdâtre et sans éclat.

Le minium est fabriqué avec du plomb de qualité supérieure, qu'on tire d'Espagne ou d'Angleterre. On oxyde ce métal dans un four de réverbère, et on met à part les premiers et les derniers produits de l'oxydation; les produits intermédiaires fournissent l'oxyde le plus pur, le moins colorant; c'est celui-là qu'on transforme en minium; à cet effet, on sépare par broyage, lavage et décantation l'oxyde de plomb (massicot), avec le plomb non oxydé qui l'accompagne. Le massicot est séché, puis placé dans des caisses de tôle qu'on chauffe dans un four à réverbère dont la température ne dépasse pas celle du rouge obscur. C'est ainsi qu'il est converti en minium.

D'autres matières interviennent quelquefois dans la fabrication du cristal. MM. Maës et Clemandot, qui ont à Clichy une cristallerie dont les produits ne sont pas moins recherchés que ceux de Baccarat et de Saint-Louis, ont montré, il y a quinze à vingt ans, que l'acide borique peut jouer un rôle fort utile dans la fabrication des verres de luxe.

La présence de ce fondant permet, en effet, de modifier profondément la nature du cristal; l'oxyde de zinc peut se substituer à l'oxyde de plomb; la soude, la chaux ou la baryte deviennent aptes à remplacer la potasse. Les *boro-silicates* de zinc et de potasse, de potasse et de baryte, de soude et de zinc, fabriqués par MM. Maës et Clemandot, soit sous forme de pièces de gobeleterie, soit pour verres d'optique, sont remarquables par leur éclat, par leur limpidité et par leur blancheur. Mais le prix beaucoup trop élevé de l'acide borique ne permet pas que cette substance puisse servir couramment à la fabrication des verres.

La baryte a été employée dans plusieurs verreries sous forme de carbonate artificiel; il est probable que cette substance finira par prendre rang parmi les matières employées dans l'industrie du verre. Elle peut remplacer avec avantage, comme fondant, la potasse ou la soude, et, fabriquée dans des conditions industrielles, elle est d'un prix moins élevé que ces alcalis.

La fig. 2516 représente un four de fusion du cristal à la houille, à pots couverts.

Le cristal se travaille, soit par soufflage seulement, soit par soufflage et moulage, soit enfin uniquement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par pression. Les moules varient naturellement suivant la forme des objets à fabriquer et sont toujours divisés en un nombre de parties, ordinairement reliées entre elles à charnières, tel que la dépouille en soit aussi prompte que facile. Autrefois les moules étaient presque exclusivement en laiton ; actuellement on commence à les remplacer dans nos cristalleries par des moules en fonte douce, dont la fabrication première est, il est vrai, plus coûteuse, mais qui, outre l'avantage d'une plus longue durée, sont susceptibles de recevoir un bien plus beau poli, de sorte que l'on remarque à peine sur les pièces fabriquées avec ces moules, ces stries si frappantes et si visibles que présentent les objets confectionnés à l'aide de moules en laiton.

Les cristaux se recuisent toujours dans des fours continus que les plateaux en tôle qui reçoivent les objets à recuire parcourent en 20 ou 30 heures dans toute leur longueur.

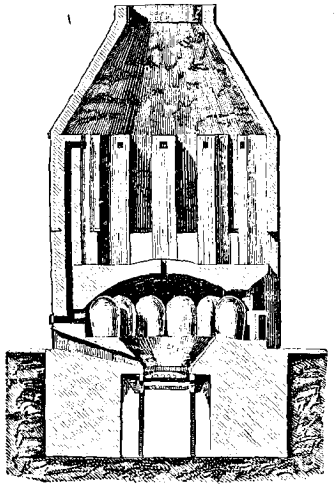


Fig. 2546.

VERRES D'OPTIQUE. Les verres d'optique sont de deux espèces, le verre plombeux très-réfringent ou *flintglas* et le verre non plombeux ou *crownglas*. La fabrication de ces verres bien exempts de stries et bien homogènes offre de grandes difficultés. C'est M. Guinand père qui parvint le premier à les lever en grande partie par le brassage de la matière en fusion au moyen d'un outil de la même matière que le creuset. Il fit un cylindre creux en terre réfractaire de la hauteur du creuset, fermé par son extrémité inférieure, ouvert par le haut et ayant un rebord plat de quelques centimètres. Il introduisait dans le verre fondu ce cylindre préalablement chauffé au rouge blanc ; puis, au moyen d'une longue barre de fer coudée à angle droit sur une longueur de quelques centimètres qu'il engageait dans le cylindre en terre, il brassait le verre en imprimant à la barre un mouvement horizontal de rotation.

MM. Guinand fils et Bontemps, de Choisy-le-Roi, ont perfectionné les procédés de M. Guinand père et ont remporté, en 1840, les deux prix de 6,000 fr. proposés par la Société d'encouragement pour la fabrication du crownglas et du flintglas.

Le flintglas et le crownglas se fabriquent dans un creuset couvert, analogue à ceux des cristalleries et pouvant recevoir une charge de 150 à 250 kil. placés dans un four rond.

Passons maintenant aux détails de fabrication :

Flintglas. La composition du mélange pour flintglas est la suivante :

	(Bontemps)	(Guinand)
Sable siliceux blanc.	261	225
Minium.	261	225
Potasse 4re qualité	60	52
Borax.	18	4
Nitre	»	3
Manganèse	»	1
Acide arsénieux.	»	1
Débris des opérations précédentes.	»	89

Voici comment s'opère la fonte du flintglas d'après M. Bontemps.

On chauffe d'abord le creuset (ce creuset ne sert que pour une seule opération) à part dans un four spécial consacré à cet usage, et, quand il est arrivé au rouge-blanc, on l'introduit dans le four de fusion également chauffé. On réchauffe ensuite le four ; au bout de deux ou trois heures il est assez chaud pour qu'on puisse commencer l'enfournement ; on débouche alors la gueule du creuset qui est garnie de deux couvercles, pour qu'il ne puisse pas s'y introduire de fumée, et on charge environ 10 kil. de composition ; une heure après on en enfourne de nouveau 20 kil. ; deux heures après 40 kil. ; à chaque fois on rebouche le creuset avec le plus grand soin, et on observe de n'enfourner que lorsque le charbon que l'on a chargé sur la grille ne donne plus de fumée. Au bout de 8 à 10 heures l'enfournement est terminé ; on laisse le creuset environ 4 heures sans l'ouvrir, puis on ôte les couvercles pour y introduire un cylindre en terre préalablement chauffé à part au rouge-blanc. A ce moment le flintglas est fondu, mais la masse est encore bouillonneuse ; néanmoins, dès ce moment on commence à faire usage du cylindre en terre, à l'aide de la disposition déjà décrite plus haut et représentée fig. 2547. On met une barre à crochet dans le

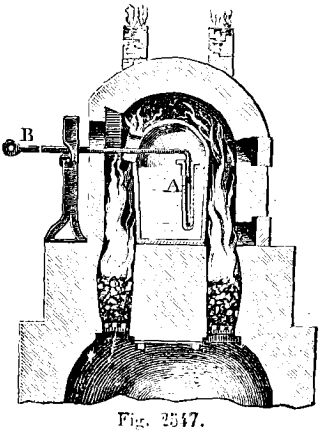


Fig. 2547.

cylindre, et on fait un premier brassage qui sert à *enverrer* le cylindre et à opérer déjà un mélange plus intime des matières ; au bout de 3 minutes environ la barre est au rouge-blanc ; on l'ôte et on pose le bord du cylindre sur le bord du creuset ; ce cylindre, étant spécifiquement moins pesant que le verre, flotte légèrement incliné, parce que son bord supérieur fait saillie au-dessus du bain. On remet les deux couvercles disposés de manière à ne pas repousser le bord du cylindre dans le verre, et on recommence à tiser le feu. 3 heures après on fait un nouveau brassage au crochet, et ainsi de suite, d'heure en heure, en ayant soin de ne faire chaque brassage

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'avec absence de fumée dans le four. Après 6 brassages, on fait un *tise-froid*, c'est-à-dire qu'on met environ 0m,25 à 0m,30 d'épaisseur de houille sur la grille, ce qui forme une masse promptement réduite en coke, qui permet de refroidir le four sans laisser la grille à nu. On ouvre les tisards et les ouvreaux, ce qui refroidit peu à peu le four et le creuset; cette opération tend à faire monter les bulles qui ne se sont pas encore dégagées. Au bout de deux heures, on remet le four en pleine fonte; cinq heures après le verre a repris la plus grande liquidité et les bulles ont disparu; on bouche alors exactement les grilles par-dessous, et on commence le grand brassage, c'est-à-dire qu'aussitôt qu'une barre à crochet est chaude, on lui en substitue une autre, et ainsi de suite, pendant environ deux heures. Au bout de ce temps la matière a pris une certaine consistance et le brassage ne se fait plus que difficilement; on ôte alors la dernière barre à crochet, on sort le cylindre en terre du creuset, que l'on bouche bien exactement, ainsi que les cheminées et les ouvreaux, sauf un petit trou de 2 centimètres pour donner issue aux gaz qui peuvent encore se trouver dans le combustible, et qu'on ferme aussitôt que tout dégagement gazeux a cessé. On laisse ainsi le four se refroidir spontanément, ce qui dure environ huit jours; on enlève alors la porte du four, on extrait le creuset avec son contenu qui y est attaché ordinairement en une seule masse, sauf quelques fragments qui se détachent autour du creuset; on traite ensuite cette masse et ces fragments comme nous l'indiquerons plus loin.

Crownglas. La composition employée pour la fabrication du crownglas est :

	(Bontemps) 1840	(Guinand) 1846	1840
Sable silicieux blanc. . . .	360	360	400
Carbonate de potasse. . . .	105	»	160
Carbonate de soude. . . .	60	150	»
Carbonate de chaux. . . .	45	84	»
Borax.	»	»	20
Minium.	»	»	20
Peroxyde de manganèse. . .	»	»	1
Arsenic.	3	6	»

La différence essentielle entre ces deux fabricants, comme on le voit, que le crownglas de l'un est un silicate à base de chaux et de potasse ou de soude, tandis que le crownglas de l'autre est un boro-silicate de potasse et de plomb. M. Bontemps a reconnu que l'on obtient des crownglas moins hygrométriques en remplaçant dans les compositions qu'il indique, en tout ou en partie, le carbonate de soude par du borate de soude.

Le creuset ayant été mis dans le four comme pour le flintglas, on complète l'enfournement de toute la matière en huit heures environ, puis quatre à cinq heures après on introduit le cylindre en terre réfractaire, et on fait toutes les deux heures un brassage d'une seule barre; on fait ensuite un tise-froid de deux heures, puis on réchauffe pendant sept heures, ce verre reprenant beaucoup plus difficilement sa chaleur que le flintglas, et on fait le grand brassage qui dure une heure et quart; on bouche le creuset, les cheminées et les ouvreaux, comme pour le flintglas, et on laisse refroidir. Assez ordinairement on obtient une masse et quelques fragments.

Quand la masse du creuset a été recuite d'une seule pièce, qu'il s'agisse de crownglas ou de flintglas, et qu'on n'a besoin que de petits disques, on la brise avec une masse en fer, puis on examine les fragments en y taillant, au besoin, des faces parallèles; après avoir mis de côté ceux qui présentent des défauts, tels que des stries ou des nébulosités, on commence par former avec les autres, par le ramollissage, dans une sorte de moufle, des plaques à peu près carrées qu'on divise ensuite, au diamant, en petits carrés, après les avoir recuites, on ramollit de nouveau ces petits carrés et on les moule dans un moule à pince, en cuivre ou en fer. S'il s'agit de faire de grands disques, on prend un fragment reconnu sans défauts, ayant le poids du disque que l'on veut produire, et on le ramollit au feu de moufle dans un cercle du diamètre voulu, en ayant soin de ne donner que le feu nécessaire pour que le verre remplisse le cercle, et en facilitant même ce ramollissage par la pression d'outils. Quand on veut faire de très grands disques avec une masse dont on a examiné l'intérieur, on divise cette masse à la scie pour avoir le moins possible de déchets.

VERRES COLORÉS. On distingue dans les verres colorés ceux qui le sont dans toute l'étendue de leur masse et ceux qui ne le sont qu'en partie.

Pour préparer les premiers, on introduit toujours la matière colorante dans le pot de verrerie.

Il n'en est pas toujours de même dans le second cas, surtout pour les couleurs les plus chères et les plus difficiles à préparer, et dans trois élaborations particulières aux verres colorés, lesquelles consistent :

1° A fabriquer des vases colorés ou incolores, avec un pied ou support de couleur différente;

2° A former les vases d'une couche intérieure de verre très mince et fortement coloré, et d'une couche extérieure de verre blanc que l'on enlève ensuite par places par la taille, sans que pour cela l'objet cesse d'avoir une teinte uniforme;

3° A former les vases d'une manière inverse, c'est-à-dire d'une couche intérieure incolore et d'une couche extérieure plus ou moins épaisse et colorée, que l'on enlève ensuite par places, en tout ou en partie, de manière à obtenir un verre qui présente toutes les nuances de la couleur employée.

Ces deux dernières espèces de verre portent le nom de *verres doublés*.

Pour arriver à ces résultats, il suffit, dans le premier cas, de souder le cul du vase de verre à un boudin de verre coloré fixé à l'extrémité d'une seconde canne; puis, de séparer la pièce de la première canne et de la terminer comme à l'ordinaire. Dans le second cas, on plonge successivement la canne dans un pot de verre coloré et dans un pot de verre blanc, et on fait l'inverse dans le troisième cas.

Comme nous venons de le faire remarquer, il existe certains verres colorés qui ne se préparent pas habituellement dans les pots, mais bien en pains ou rouleaux de couleur très foncée, ayant environ 0m,03 de diamètre sur 0m,30 de long. Ils sont un peu plus fusibles que le verre blanc, et préparés de manière à fondre à la température nécessaire à la fusion complète d'un mélange de 64 parties de verre incolore et de 1 partie de peroxyde de manganèse. Lorsqu'on veut se servir de ces pains de verre coloré, on en casse un morceau proportionné à la masse que l'on veut fabriquer, puis, le fixant à l'extrémité d'une canne, on le ramollit, en l'introduisant dans l'embrasure du four de fusion, et on le travaille comme il a été dit ci-dessus.

Cela posé, nous pouvons passer à la description des procédés que l'on suit pour préparer les différents verres colorés.

Rouge. La coloration du verre en rouge s'opère de deux manières, soit par l'or, ce qui donne le rouge *rubis*, soit par le protoxyde de cuivre, ce qui donne le *rouge ancien*.

Rubis. La couleur rubis était déjà connue à la fin du XVIe siècle, du temps de Néri et de Kunckel. Elle ne s'emploie qu'en pains et pour la fabrication des verres doublés.

Suivant un fabricant du Riesengebirge, le verre dont on se sert pour faire les pains de couleur rubis et qui porte le nom de *schmelze*, se prépare avec :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quarz étonné et pulvérisé. . . .	500
Minium.	800
Nitre.	100
Potasse calcinée.	100

On fait ensuite dissoudre à chaud 1 gramme d'or fin dans 18 grammes d'eau régale; lorsque tout est dissous, on introduit la dissolution dans un vase dont la capacité est d'un litre, et on achève de le remplir d'eau régale: on verse le tout dans un second vase gradué et on l'étend de cinq fois son volume d'eau. Cela fait, on mélange intimement :

Schmelze	512	grammes.
Borax prismatique. . .	48	—
Oxyde d'étain. . . .	3	—
Oxyde d'antimoine. . .	3	—

et 1/8 de la dissolution d'or préparée comme l'est dit ci-dessus; puis on chauffe le tout pendant 12 ou 14 heures dans un creuset ouvert placé dans un four de verrerie, et on laisse ensuite refroidir le creuset dans un four à recuire; lorsqu'il est refroidi, on le casse et on en retire la couleur. Si l'on met plus d'acide qu'il n'est indiqué ci-dessus, on attaque un peu les creusets, mais la couleur est plus solide. Dans certains cas, au lieu de 3 grammes d'étain, on en met 2 ou 4 grammes; le premier de ces mélanges s'emploie surtout pour les grandes pièces qui doivent être longtemps travaillées au feu; le second, pour les objets minces et de faibles dimensions. L'antimoine ne paraît ici que donner plus d'éclat au verre, sans le colorer aucunement. Cependant, comme on manque quelquefois le verre rubis, soit pour l'avoir chauffé trop fort ou trop longtemps, soit pour l'avoir laissé refroidir trop brusquement, la plupart des fabricants préfèrent acheter à l'essai cette couleur toute faite à d'autres fabricants spéciaux qui ne s'occupent que de ce genre d'industrie.

D'après le directeur d'une des verreries de la Bohême, on obtient ainsi qu'il suit le plus beau verre rubis : on dissout à chaud 1 gramme d'or fin dans une eau régale composée de :

Acide hydrochlorique. . .	12	grammes.
Acide nitrique.	12	—
Sel ammoniac.	1	—

On dissout d'un autre côté, et également à chaud, 1 gramme d'étain dans une eau régale composée de :

Acide hydrochlorique. . .	6	grammes.
Acide nitrique.	20	—

Il va sans dire que l'or et l'étain doivent être préalablement réduits en feuilles très minces par le battage et coupés à l'aide de ciseaux en très petits fragments. On verse ensuite les deux dissolutions obtenues dans un grand flacon contenant déjà 500 grammes d'eau de source limpide, et on mêle intimement le tout en agitant bien le flacon après l'avoir bouché. Le précipité de pourpre de Cassius, qui se forme dans la liqueur, est recueilli sur un filtre, lavé et séché avec soin.

On prépare ensuite un verre particulier en mélangeant ensemble :

Quarz étonné très pur. . . .	40
Nitrate de potasse.	16
Borax.	8
Acide arsénieux.	1
Crème de tartre.	1

et une quantité plus ou moins grande de pourpre de Cassius, selon que l'on veut obtenir une couleur plus ou moins foncée. Ce mélange est introduit soit dans un pot chauffé dans un four particulier, soit dans un pot de verrerie ordinaire, en ayant soin d'agiter incessamment les matières jusqu'à ce qu'elles aient atteint le rouge sombre. On recouvre alors le pot et on continue à le chauffer pendant quelque temps. Lorsque la masse est parfaitement fondue et qu'elle ne présente plus de bulles, on retire le pot et on le fait recuire; puis, lorsqu'il est entièrement refroidi, on le casse, on sépare avec soin le verre obtenu des esquilles étrangères qu'il pourrait contenir, on le bocarde et on le tamise.

Si maintenant l'on fond ensemble, dans un petit creuset placé dans le four de verrerie, le mélange suivant :

Quarz étonné et pulvérisé. . . .	128
Nitrate de potasse.	64
Borax.	3
Acide arsénieux.	3

et qu'ensuite on verse dans l'eau froide le verre obtenu, puis qu'on le passe au tamis, qu'on le mélange après avec le verre coloré préparé comme il a été dit ci-dessus, et qu'on le fonde enfin dans un pot de verrerie, on obtiendra un verre qui, travaillé en pièces d'une faible épaisseur, prend une belle couleur rubis lorsqu'on l'enfume.

En général le *rubis de Bohême* se prépare actuellement en fondant ensemble :

Quarz étonné et pulvérisé. . . .	100
Minium.	150
Potasse fine frittée.	30
Borax fondu.	20
Sulfure d'antimoine.	5
Peroxyde de manganèse. . . .	5
Or détonnant broyé avec de l'essence de térébenthine.	5

Si on met un peu plus d'or détonnant, on obtient une magnifique couleur rubis.

L'or détonnant ou fulminant se prépare en précipitant la dissolution d'or dans l'eau régale par un excès d'ammoniaque caustique et agitant quelque temps la liqueur. Le précipité est ensuite recueilli sur un filtre et lavé rapidement avec de l'eau bouillie et légèrement ammoniacale, puis desséché à une très basse température. On obtient ainsi une poudre d'un jaune brun foncé, très détonnante, et dont le maniement exige beaucoup de précautions.

Beaucoup de personnes croient que la coloration des verres par l'or est due à un sous-oxyde d'or; nous pensons au contraire avec M. Schubarth, que tous les oxydes et sels d'or sont réduits à la température à laquelle le verre se trouve soumis et que cette coloration est due à de l'or extrêmement divisé.

Rouge ancien. Le verre coloré par le protoxyde de cuivre a une teinte extrêmement foncée, et par conséquent on le travaille presque toujours en couches très minces, à l'état de verre doublé.

Les anciens connaissaient le moyen de colorer le verre en rouge au moyen du protoxyde de cuivre; Néri et Kunckel en font mention dans leurs ouvrages. Cependant la tradition s'en était tellement perdue à la fin du siècle dernier, que l'on croyait généralement que tous les verres rouges étaient colorés par des préparations d'or. Ce fut seulement en 1828 que M. Engelhardt, de Zinsweiler, parvint à colorer des verres en rouge au moyen d'un mélange à parties égales de protoxydes de cuivre et d'étain, procédé qui fut employé avec succès dans une verrerie de Silésie. Actuellement on se sert d'un mélange de battitures de cuivre et d'oxyde d'étain obtenu par l'oxydation de ce dernier métal au contact de l'air, auquel on ajoute quelquefois un peu de limailles ou de battitures de fer quand on veut obtenir une teinte rouge de feu ou rouge-écarlate. Lorsque la couleur vient à passer par accident, ou la fait revenir en ramenant le cuivre à l'état de protoxyde par l'addition, dans le pot de verrerie, d'un peu d'étain métallique ou de battitures de fer. Il va sans dire que le verre à colorer par le protoxyde de cuivre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne doit renfermer ni nitrate de potasse, ni aucune autre substance oxydante.

Lorsque l'on ajoute au mélange de la limaille ou des battitures de fer, on diminue la proportion de l'oxyde d'étain, qui quelquefois même disparaît entièrement, comme dans un très beau verre rouge antique trouvé à Caprée, dans la ville de l'empereur Tibère, et qui a donné naissance à l'analyse :

Silice.	0,710
Oxyde de plomb.	0,140
Protoxyde de cuivre.	0,075
Protoxyde de fer.	0,010
Alumine.	0,025
Chaux.	0,015
	0,975

Quelquefois on se contente de colorer le verre par l'oxyde de cuivre, puis on enfume les objets fabriqués qui ne tardent pas à prendre une couleur d'un rouge foncé.

Bleu. La couleur bleu céleste s'obtient par l'oxyde de cuivre seul ; le bleu de cobalt par l'oxyde de cobalt ou le smalt.

Violet-améthyste. Cette couleur s'obtient avec du peroxyde de manganèse mélangé d'un peu de nitre.

Jaune. On distingue six jaunes différents qui se préparent ainsi qu'il suit :

1° *Jaune-topaze* plus ou moins foncé ; se prépare avec du poussier de charbon.

2° *Jaune d'or.* Si à une composition pour faire du violet assez foncé (coloration par le peroxyde de manganèse) on ajoute quelques kilogrammes d'oxyde de fer, on obtient un violet brun ; si peu à peu on augmente la dose d'oxyde de fer, le verre passe à une couleur plus brune, puis pelure d'oignon, et enfin devient d'un assez beau jaune ; c'est ainsi que l'on colore, par exemple, le verre destiné à être étiré en fils fins pour imiter l'or dans les tissus de verre.

3° *Jaune d'antimoine.* Se prépare avec un mélange de verre d'antimoine et de minium.

4° *Jaune-orangé.* Se prépare avec un mélange de verre d'antimoine, de minium et d'un peu d'oxyde de fer.

5° *Jaune particulier* très cher, qui se prépare avec le chlorure ou l'oxyde d'argent. Il est évident pour nous qu'ici la coloration est due à de l'argent métallique très divisé ; comme son pouvoir colorant est très grand, on l'applique en couches excessivement minces ; à cet effet on divise l'oxyde ou le chlorure d'argent avec un *médium*, de l'argile broyée, par exemple, ou de l'oxyde de fer préparés par lévigation ; on amène ce mélange à l'état de bouillie claire que l'on répand d'une manière égale au pinceau ou par immersion sur la surface du verre à colorer, puis, après avoir fait sécher, on expose la pièce à la chaleur d'une moufle qui fume, et, à la sortie de la moufle, on brosse la pièce qui se trouve colorée en un beau jaune transparent ; la poudre que l'on brosse est soigneusement recueillie, car elle a encore une grande puissance colorante. On fabrique ainsi de très beaux services de table avec gravures en blanc qui se détachent sur un fond jaune.

6° *Jaune-verdâtre*, qui produit beaucoup d'effet en plein jour, mais qui paraît d'un blanc jaunâtre sale à une lumière artificielle. Ce jaune se prépare avec l'oxyde jaune d'urane du commerce ; mais comme ce dernier contient toujours des traces d'oxyde de fer, le verre jaune obtenu présente constamment dans la tranche une légère teinte verdâtre.

Vert. On distingue quatre sortes de vert :

1° *Vert d'herbe*, qui s'obtient par le protoxyde de chrôme ou un mélange de verre d'antimoine et d'oxyde de cobalt.

2° *Vert-bouteille*, qui se prépare avec l'oxyde de fer.

3° *Ancien vert-émeraude.* Se prépare avec l'oxyde de cuivre mélangé d'un peu de battitures de fer.

4° *Nouveau vert-émeraude.* Cette couleur, beaucoup plus belle que la précédente, mais aussi notablement plus chère, se prépare avec un mélange d'oxydes de nickel et d'urane.

Noir. Le noir se prépare avec un mélange à parties égales de peroxyde de manganèse, d'oxyde de cuivre et d'oxyde de cobalt, ou bien avec un mélange de battitures de fer, de peroxyde de manganèse et d'oxyde de cuivre ou de cobalt.

On sait que le platine et l'iridium en poudre mélangés avec de l'émail en poudre donnent une belle couleur noire non métallique. Nous pensons qu'employés d'une manière analogue au chlorure d'or dans la préparation des verres colorés en rouge par l'or, ils donneraient de très beaux verres noirs.

Hyacinthe. La couleur hyacinthe s'obtient avec beaucoup d'oxyde rouge de fer ou d'oxyde de nickel.

VERRES OPALINS. Le verre blanc laiteux jouant, l'albâtre ou l'opale, se prépare en général comme le verre blanc fin, auquel on ajoute seulement une quantité plus ou moins grande d'os calcinés à blanc et pulvérisés (phosphate de chaux des os), selon que l'on veut obtenir un verre plus ou moins opalin.

L'oxyde d'étain n'est employé que dans la fabrication des émaux, parce qu'il est beaucoup plus cher que la poudre d'os calcinés et qu'il en faut une bien plus grande quantité pour produire le même effet.

On fabrique en Bohême une grande quantité de verres opalins colorés en vert. Autrefois on les préparait en ajoutant au verre blanc un mélange de poudre d'os calcinés, d'oxyde jaune d'urane et de battitures de fer, mais cette couleur s'altérait à la longue par l'action de la lumière solaire ; on l'obtient actuellement bien plus belle et bien plus solide avec un mélange de poudre d'os calcinés, d'oxyde de jaune d'urane et d'oxyde de nickel.

Depuis très peu de temps on fabrique, en Bohême et en Silésie, le verre opalin ou *verre d'albâtre* par un nouveau procédé aussi simple qu'ingénieux. La composition de ce verre ne diffère point de celle du verre blanc ordinaire. Aussitôt que le verre est fondu, on le puise et on l'étonne ; on introduit ensuite dans le pot une nouvelle charge à laquelle on ajoute, lorsque la fusion est complète, le verre précédemment étonné et froid, ce qui refroidit la masse, et, aussitôt qu'elle est fondue, on la travaille à la température la plus basse possible : le verre reste d'un blanc laiteux, tandis que, si l'on eût donné un coup de feu et notablement plus élevé la température, le verre fût redevenu incolore et transparent.

Si dans l'opération ci-dessus le verre étonné a été primitivement coloré par de l'oxyde ou du sulfate de cuivre, le verre laiteux obtenu sera coloré en bleu-turquoise.

HYALITHE. On donne le nom d'*hyalithe* à un verre complétement opaque, habituellement noir, qui se distingue par une dureté et un éclat vraiment remarquables, et se marie très bien avec l'or. On peut sans nul inconvénient l'employer à la fabrication de vases destinés à renfermer des liqueurs bouillantes, tels que théières, tasses à café, etc., sans craindre qu'il lui arrive de se rompre. On l'a fabriqué pour la première fois en 1820, dans les belles usines que M. le comte de Buquoi possède en Bohême.

Pour préparer l'hyalithe noir on ajoute aux éléments du verre blanc ordinaire un mélange de poudre d'os calcinés, de scories de forge pauvres pulvérisées, et de poussier de charbon en certain excès. Souvent il arrive que la fusion du verre n'est pas complète et qu'il est encore bulleux, parce que le mélange ou le dosage des matières n'est pas bien fait ; il faut alors étonner le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

verre obtenu, le bocarder de nouveau et le refondre après y avoir ajouté ce qui pouvait y manquer. On peut remplacer les scories de forge par du basalte ou de la lave.

Si on n'ajoute pas assez de charbon, le verre prend une couleur verte plus ou moins foncée, et par la taille présente des bigarrures très régulières.

Il en est de même de l'hyalithe jaune brun plus ou moins foncé, que l'on obtient en remplaçant les scories de forge par les scories du travail d'une galène argentifère au fourneau à manche.

On obtient aussi de l'hyalithe rouge avec un mélange de poudre d'os calcinés, d'oxyde de cuivre et de charbon. — Toutes ces variétés sont susceptibles de se marbrer par la taille.

La coloration en noir de l'hyalithe peut probablement s'expliquer comme il suit : en présence d'un excès de silice l'oxyde de fer n'est pas réduit, il est seulement ramené par le charbon à l'état de protoxyde et tend à colorer le verre en vert-foncé. L'excès de charbon, probablement en transformant en sulfures la faible quantité de sulfates alcalins que renfermait la potasse employée, tend de son côté à colorer le verre en jaune topaze plus ou moins foncé, passant même dans certains cas au rouge-pourpre. Or l'on sait qu'on peut obtenir du noir par le mélange du vert et du rouge; la seule difficulté consiste donc à employer des proportions convenables d'oxyde de fer et de charbon.

Si la quantité de charbon est insuffisante, il est évident, d'après ce qu'il vient d'être dit, que l'hyalithe prendra une teinte verdâtre; l'expérience prouve qu'il est alors composé de couches concentriques ayant des nuances différentes, que l'on met en évidence par la taille; doit-on attribuer la formation de ces zones, analogue à celle que présentent beaucoup de laitiers de hauts-fourneaux, à une sorte de dévitrification, à une oxydation ou à une réduction, qui se propage de l'extérieur à l'intérieur pendant le travail et le recuit? — c'est ce qu'on ne saurait décider sans quelques essais qui n'ont pas été faits.

Tout ce que nous venons de dire relativement à l'hyalithe noire et l'hyalithe vert zonè, s'applique également aux autres hyalithes.

En résumé, on peut dire que l'hyalithe est propre à remplacer la porcelaine dans un grand nombre de cas, jouit de beaucoup d'éclat et est susceptible de recevoir un poli parfait. Il serait à désirer que la fabrication de ce produit s'introduisît en France. (AVENTURINE, voyez *Complément.*)

VERRES FILIGRANÉS. La fabrication des verres filigranés est connue depuis des siècles des Vénitiens et des Bohêmes; néanmoins leurs procédés étaient demeurés secrets, et c'est à M. Bontemps, le directeur de la cristallerie de Choisy-le-Roi, que nous avons déjà cité dans cet article en parlant de la fabrication des verres d'optique, que l'on doit les essais qui firent renaître en France cette industrie. Actuellement la fabrique de M. Nocus, à Saint-Mandé, près Paris, et la cristallerie de Saint-Louis livrent au commerce une grande quantité de verres filigranés. Nous allons décrire la fabrication de ces verres, d'après M. Bontemps.

On donne le nom de *verres filigranés* à des verres dans lesquels s'enlacent mille filets de verre blanc opaque ou coloré, en affectant une foule de formes diverses, qui, bien que séparément irrégulières, présentent en général dans leur ensemble une sorte de symétrie.

Les verres filigranés sont composés d'un certain nombre d'éléments fabriqués à part; ainsi un vase quelconque est formé de vingt, de trente, ..., baguettes juxtaposées, réunies par la chaleur du four de travail et soufflées ensuite comme une masse unique de verre. Supposons d'abord ces baguettes à filets fabriquées : nous expliquerons plus loin leur fabrication. On les place contre la paroi intérieure d'un moule cylindrique en métal, ou en terre à creusets, et on les fixe au fond du moule au moyen d'une petite couche en terre molle, dans laquelle on fixe leurs extrémités; on fait chauffer ce moule auprès du four de verrerie, non pas jusqu'à ramollir les baguettes, mais seulement assez pour les rendre susceptibles d'être touchées par du verre chaud sans se briser; puis, avec une canne, on prend dans un creuset du verre ou du cristal transparent en petite quantité, et on souffle une petite *paraison* (c'est-à-dire une préparation de pièce) cylindrique d'un diamètre un peu moindre que le vide que laissent entre elles les petites baguettes dans le moule; on chauffe fortement la paraison, on l'introduit dans l'intérieur du moule, et on souffle de manière à la presser contre les baguettes; celles-ci ne tardent pas à adhérer à la paraison, de telle sorte que, en élevant la canne et retenant le moule, cette paraison entraîne avec elle les petites baguettes; on réchauffe le tout de manière à rendre l'adhérence complète et à ramollir les baguettes, puis on marbre, c'est-à-dire qu'on roule le tout sur une plaque de fonte polie; on réchauffe encore, on souffle un peu, et on *tranche* avec les *fers* (sorte de pince) un peu au-dessus du fond, de manière à réunir les baguettes en un point central; on obtient ainsi une masse que l'on travaille comme une paraison ordinaire. Par les opérations de marbrer et de souffler, les baguettes se trouvent aplaties extérieurement et intérieurement, ce qui produit sur les dessins des filigranes les effets que nous remarquerons en parlant plus loin en détail des baguettes. Si l'on n'a donné aucun mouvement de torsion à la paraison, les dessins restent longitudinaux comme les baguettes et dans des plans passant par l'axe de la pièce; mais, si, après avoir fait adhérer les baguettes, on imprime un mouvement de rotation sur elle-même à la canne en retenant l'extrémité inférieure des baguettes avec les *fers*, on produit une torsion qui donne aux baguettes une direction en spirale qu'elles conservent quand on termine la pièce par les moyens ordinaires. Il est plus difficile de maintenir les baguettes dans leur position primitive, dans un plan passant par l'axe de la pièce; il faut que l'ouvrier ait la main très légère pour qu'en modulant sa pièce il n'imprime pas près du *pontil*, et surtout à l'évasement de la pièce, un léger mouvement de torsion.

Après avoir indiqué de quelle manière on fabrique les pièces filigranées quand on a les baguettes qui en forment les éléments, nous allons passer à la fabrication de ces baguettes. La base de toutes est un filet simple enveloppé de verre transparent. Pour faire les filets simples, on prépare d'abord du verre blanc rendu opaque au moyen de l'oxyde d'étain. On prend au bout de la canne, dans le creuset, environ 200 grammes de verre opaque, on marbre ce verre de manière à en former un cylindre de 0m,06 à 0m,08 de longueur, on le laisse un peu refroidir, puis on le plonge dans du verre blanc transparent en fusion, de manière à lui former une enveloppe d'environ 0m,005 d'épaisseur; on marbre de nouveau, puis, chauffant fortement et appliquant ensuite à l'extrémité opposée à la canne un *pontil* garni de verre chaud, on étire ce cylindre comme un tube, jusqu'à ce que son diamètre soit réduit environ à 0m,004 ou 0m,006; enfin, on partage cette *tirée* en fragments ayant ordinairement de 0m,08 à 0m,05 de longueur. Outre ces baguettes à filets simples, il faut aussi préparer des baguettes semblables en verre transparent.

Pour obtenir des baguettes à filets en spirales rapprochées, qui, par leur aplatissement, produisent des réseaux à mailles égales, on garnit l'intérieur d'un moule en métal ou en terre, semblable à celui dont nous avons parlé plus haut, de baguettes à filets simples alternant avec des baguettes en verre transparent, puis on prend

EFERUS - Recherche & Classification numérique

au bout d'une canne, du verre transparent dont on forme un cylindre massif qui puisse entrer dans le moule garni de baguettes, et chauffé préalablement un peu au-dessous du rouge ; on chauffe fortement ce cylindre et on l'introduit dans le moule où on le refoule de manière à presser les baguettes qui adhèrent ainsi contre le verre transparent ; puis, retirant le moule, on enlève la canne et on entraîne ainsi les baguettes avec le cylindre ; on chauffe encore et on marbre pour rendre l'adhérence plus complète ; enfin, chauffant l'extrémité du cylindre, on tranche d'abord cette extrémité avec les fers, on la chauffe de nouveau, on la saisit avec une pincette ou avec les fers, et on la tire de longueur avec la main droite pendant que de la main gauche on fait tourner rapidement la canne sur les *bardelles* du banc de verrier. Pendant que l'extrémité de la colonne s'allonge, les filets s'enroulent en spirale autour d'elle. Quand on a amené, à l'extrémité, une baguette de la dimension voulue, environ 0m,006 de diamètre, et que les filets sont suffisamment enroulés, on tranche avec la pincette, on chauffe de nouveau l'extrémité de la baguette, et, la saisissant et l'étirant pendant qu'on roule rapidement la canne, on confectionne une nouvelle baguette, et ainsi de suite jusqu'à ce que toute la colonne soit étirée.

Pour fabriquer des baguettes qui par leur aplatissement produisent des filets en quadrilles, on place dans le moule, aux deux extrémités d'un seul diamètre, trois ou quatre baguettes à filets simples alternées avec des baguettes en verre transparent ; on garnit ensuite le reste de la capacité intérieure du moule de baguettes transparentes, afin de maintenir les baguettes à filets dans leur position, et on opère comme précédemment.

Pour obtenir des baguettes produisant, par leur aplatissement, des grains de chapelet, on fait une *paraison* soufflée dont on ouvre l'extrémité opposée à la canne, de manière à produire un petit cylindre ouvert ; on l'aplatit afin de ne donner passage qu'à des baguettes, et on introduit dans le fourreau ainsi formé quatre, cinq ou six baguettes à filets simples, alternées avec des baguettes de verre transparent ; on réchauffe, on ferme l'extrémité opposée à la canne, puis on presse sur la paraison plate tandis qu'un aide aspire l'air de la canne de manière à le faire sortir de la paraison et à produire un massif plat dans lequel sont logés les filets. On rapporte successivement une petite masse de verre chaud transparent sur chacune des parties plates de la paraison, et on marbre pour cylindrer la masse : on obtient ainsi une petite colonne dans l'intérieur de laquelle sont rangés, sur un même diamètre, les filets opaques ; on procède ensuite comme pour les baguettes précédentes en chauffant et étirant l'extrémité pendant qu'on roule rapidement la canne sur les *bardelles*. Par ce mouvement de torsion, la ligne des filets se présente alternativement de face et de profil, et produit des grains de chapelet.

Il arrive souvent que l'on combine ces grains avec les quadrilles des baguettes précédentes, en introduisant, dans le moule préparé pour les baguettes à quadrilles, le cylindre préparé pour les grains de chapelet. Du reste, les combinaisons que nous venons d'indiquer mettent sur la voie d'une foule d'autres que le verrier peut opérer.

Quelquefois on ménage, au centre d'une des baguettes, un filet en zig-zag, ordinairement coloré : pour cela on prépare un premier cylindre massif en verre transparent d'un diamètre moitié de celui que l'on veut étirer, et on fait adhérer le long d'une des arêtes de ce cylindre, une petite baguette colorée ; on recouvre le tout d'une nouvelle couche de verre transparent d'épaisseur suffisante pour produire le cylindre destiné à entrer dans le moule des baguettes à filets. La petite colonne colorée, n'étant pas au centre du cylindre, tournera en spirale autour de ce centre par le mouvement d'étirage et de torsion, et produira un zig-zag par l'aplatissement.

Parmi les pièces de Venise, et ce sont peut-être les plus remarquables, il en est qui présentent un réseau de filets simples à mailles égales dont chacune renferme une bulle d'air : ce genre est le plus difficile à produire ; on y parvient, toutefois, en soufflant une première paraison à filets simples tordus, puis une deuxième paraison à filets simples tordus en sens inverse ; on ouvre l'une de ces paraisons et on y introduit l'autre de manière à les faire adhérer ; les filets se croisent alors et produisent des mailles qui sont égales si les paraisons ont été bien préparées. Si le verre opaque est dur, les cannelures produites par les baguettes se maintiennent à un certain degré quand on souffle la paraison ; ces cannelures tordues en sens inverse venant à se croiser quand on engage l'une des paraisons dans l'autre, une bulle d'air restera renfermée dans chaque maille quand les deux paraisons seront réunies ; on termine ensuite la pièce comme à l'ordinaire.

Verres mosaïques. Indépendamment des verres filigranés, les anciens, les Vénitiens et les Allemands ont fabriqués, par des procédés analogues, des verres mosaïques plus connus sous le nom de *millefiori*. Voici, également d'après M. Bontemps, la manière d'opérer :

Les éléments, au lieu d'être des baguettes, sont des tronçons de baguettes dont la section présente des étoiles ou autres formes symétriques composées de plusieurs couleurs ; par exemple, on forme, au bout d'une canne, un petit cylindre en verre rouge massif autour duquel on applique cinq ou six cueillages de verre bleu-turquoise qu'on façonne avec une pincette pour former des ailes prismatiques triangulaires dont la base est sur le cylindre rouge, puis on remplit les intervalles entre ces ailes avec du verre d'une autre couleur, soit blanc-opaque ou jaune ; on marbre et on enveloppe le tout d'une couche de verre de couleur transparente, soit violet-clair ; on peut ensuite introduire cette colonne dans un moule garni intérieurement de baguettes d'une autre couleur, soit blanc-opaque, qui, par leur section, feront un tour de perles blanches. Enfin, quand on a composé la colonne comme on le désire, on la chauffe fortement et on l'étire à la grosseur de 0m,010 à 0m,012 ; on peut faire varier à l'infini les formes et les couleurs des sections. On tranche ensuite les colonnettes en tronçons d'environ 0m,010 de longueur, et c'est avec ces tronçons qu'on compose les pièces mosaïques ou *millefiori ;* pour cela on garnit de tronçons l'intérieur d'un moule, et l'on fait chauffer au rouge-brun, puis on souffle une paraison à laquelle on donne à peu près la forme du moule ; on la réchauffe et on l'engage dans le moule, de manière à faire adhérer les tronçons contre la paraison ; on réchauffe de nouveau, on souffle, on marbre, et on opère enfin par les moyens ordinaires. Une méthode préférable consiste à faire une paraison dont on fait revenir intérieurement le fond vers la canne, de telle sorte que cette paraison, étant détachée de la canne, présente une ouverture circulaire composée de deux parois concentriques ; on laisse refroidir, puis, on introduit entre ces parois des tronçons de baguettes afin de remplir autant que possible tout le vide ; on réchauffe peu à peu cette paraison, on prépare une canne dont l'extrémité est garnie d'un disque de verre chaud qui n'intercepte pas le trou de la canne, on adapte ce disque contre le bord supérieur de la paraison et on aspire par la canne l'air renfermé entre les tronçons et les parois de la paraison ; enfin, prenant une autre canne préparée de la même manière, on l'applique contre le côté opposé de la paraison que l'on détache de la première canne : l'intérieur du fond rentré formera alors l'intérieur de la paraison que l'on souffle avec la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

deuxième canne, et que l'on travaille par les procédés ordinaires.

TAILLE DES VERRES. Les cristaux ordinaires sont en général moulés, les verres fins dits cristaux de Bohême, au contraire, sont toujours taillés. On se sert à cet effet de meules verticales en fer, en pierre ou en bois, mues avec le pied des ouvriers, ou plus souvent par une roue hydraulique et l'intermédiaire de courroies sans fin ; ces meules J *b* sont montées sur une espèce de tour A B C, comme l'indiquent les fig. 2548 et 2549 :

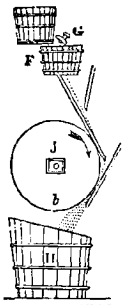


Fig. 2548.

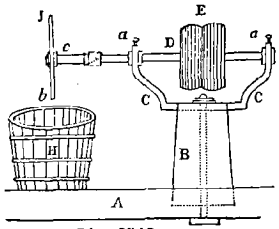


Fig. 2549.

a, *a*, sont les coussinets qui supportent l'arbre du tour, D et E sont les poulies sur lesquelles on place la courroie sans fin motrice.

Les meules en fer servent à dégrossir les pièces; l'eau y arrive continuellement à l'aide d'un sabot placé au-dessus et percé au bout d'un trou bouché par quelques brins de paille, de sorte que l'écoulement se fasse en filet très-mince ; au-dessous de la meule, il y a un baquet H contenant du sable que l'ouvrier prend avec la main pour le jeter sur la meule, etc. D'autres fois l'eau arrivant d'un réservoir dont le débit est réglé par le robinet G, tombe d'abord dans un vase F rempli de sable dont elle entraîne une partie avec elle sur la meule. Les pièces sont ensuite passées sur des meules en grès, puis sur des meules en bois, d'abord avec les boues des sables précédemment employés, puis avec de l'émeri de plus en plus fin, et enfin on les termine avec de la potée d'étain que l'on met souvent sur une meule à sec recouverte d'une étoffe de laine. On se sert pour tailler et polir les verres, tantôt des faces planes et latérales des meules, tantôt de leur partie cylindrique ou de leurs arêtes, suivant les pièces qu'il s'agit de tailler.

Il est difficile de concevoir, sans les avoir vues, la finesse des décorations qu'il est possible d'obtenir avec un outil aussi grossier que la roue à tailler. C'est par des procédés plus voisins de ceux des procédés de gravure sur métaux qu'on devait arriver et qu'on arrive, en effet, à des décorations délicates, la roue étant réservé au travail des facettes à obtenir en enlevant des quantités de matière considérables.

Depuis quelques années on dépolit à l'intérieur beaucoup de globes pour les lampes; cette opération est très-simple : elle consiste à mettre dans les globes une certaine quantité de sable d'un grain égal, à boucher ensuite les globes, et à les emballer dans un tambour auquel on communique un mouvement de rotation ; la surface intérieure des globes se trouve très-également dépolie dans une espace de temps très-court.

Gravure du verre par l'acide fluorhydrique. — On sait depuis longtemps que l'acide fluorhydrique attaque le verre, et qu'on peut le graver au moyen de cet agent chimique. On l'emploie depuis assez longtemps, soit gazeux, soit liquide pour les gravures délicates, armoiries, chiffres, etc.

En Angleterre, on fait ainsi depuis quelques années, sous le nom d'*embossage*, de fort belles décorations pour les riches habitations, les magasins, etc. qui ont l'inconvénient d'être assez chères. En effet, pour l'obtenir, on applique au pinceau, à la main, sur des glaces ou des feuilles de verre, des matières grasses ou résineuses (le vernis formé de 4 parties de cire et 1 partie d'essence de térébenthine convient pour enlever au burin les parties à attaquer); on préserve ainsi les parties du verre qu'on ne veut pas laisser attaquer par l'acide fluorhydrique.

On conçoit que ce procédé soit coûteux ; mais en substituant au travail direct de l'artiste les moyens mécaniques de décalquage et de transport, on a beaucoup diminué le prix de revient. Un brevet en pleine exploitation à Saint-Louis, est fondé sur la méthode suivante, qu'une expérience de plusieurs années a rendue parfaitement pratique.

On emploie comme matière grasse ou résineuse inattaquable par l'acide fluorhydrique, le bitume de Judée qui semble préférable à toute autre substance, surtout si l'on y ajoute le sixième de son poids de mastic en larmes; le tout est réduit en poudre impalpable.

Les dessins se font sur cuivre, plomb, étain, zinc, etc., ou sur papier, parchemin, étoffes apprêtées ou non.

Le dessin fait, on le perce à jour; si c'est sur métal, à l'aide des acides qui peuvent le dissoudre; si c'est sur du papier ou des étoffes, à l'aide d'instruments tranchants, d'emporte-pièces, ou de matrices faisant le dessin d'un seul coup.

Le dessin est disposé de façon à couvrir, comme réserve, les parties qui doivent être attaquées par l'acide. En supposant qu'on veuille faire des rinceaux pleins en blanc se détachant sur un fond bleu, on se sert du verre blanc doublé bleu ; les parties formant le fond devront être recouvertes de bitume, le dessin doit les présenter sous forme de jours.

Le verre ou la glace étant placé sur une surface bien horizontale, on lui donne une légère couche d'un vernis ou corps gras quelconque; on préfère l'essence de térébenthine ; puis on applique le dessin sur cette couche encore fraîche, et l'on agite au-dessus un tamis très-fin renfermant la poudre d'asphalte. Quand la couche de bitume est suffisamment épaisse et adhérente, on relève l'espèce de vignette à jour qui forme le dessin. On a ainsi à nu les parties qui doivent être rongées, et en soumettant la glace ou la feuille de verre à l'action d'une douce chaleur, l'essence de térébenthine se combine avec l'asphalte et la gomme-mastic. Le tout, en fondant légèrement, se fixe au verre.

Les parties à jour du dessin étant ainsi reproduites sur le verre, on entoure ce dernier d'un bourrelet de cire molle, préparée à cet effet, et on verse sur le verre l'acide fluorhydrique étendu d'un tiers d'eau. Ce liquide, retenu par le bourrelet, reste environ 40 minutes étendu sur le verre, et le travail est terminé.

L'avantage incontestable de ce procédé consiste à remplacer le posage à la main à l'aide du pinceau du bitume liquide, par un moyen mécanique qui met en mouvement le bitume sec réduit en poudre, et obtenir ainsi, à bas prix, des décorations très-variées.

M. Kessler a amélioré le mode d'opérer de manière à obtenir des surfaces plus convenablement décorées, comme nous allons le dire, et permettre l'exécution de dessins très-délicats par l'application des procédés de décalquage et de gravure employés pour la décoration de la faïence, et en faisant mordre à l'acide fluo

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRE.

rhydrique gazeux, dont le maniement offre malheureusement trop de dangers pour être vraiment pratique. Son procédé a été heureusement complété par MM. Tessié du Motay et Maréchal, sans revenir toutefois à la dissolution d'acide fluorhydrique, car, tandis que la dissolution aqueuse d'acide fluorhydrique produit sur le cristal et sur le verre des morsures brillantes, l'acide fluorhydrique gazeux produit un dépoli mat et adhérent plus convenable, en général, pour la décoration. En effet, l'acide fluorhydrique dilué forme soit avec le silicium et le métal du cristal, soit avec le silicium et le métal alcalino-terreux du verre, des fluosilicates de plomb et de calcium solubles dans la liqueur où ils prennent naissance, tandis que l'acide fluorhydrique gazeux forme du fluorure de silicium volatil et des fluorures de plomb et de calcium insolubles dans le milieu où ils s'engendrent.

La gravure mate produite par la réaction de l'acide fluorhydrique gazeux sur le cristal et sur le verre est, toutefois, un dépoli strié et d'épaisseur inégale; car l'eau engendrée par cette réaction, s'acidifiant peu à peu au contact de l'acide fluorhydrique gazeux, s'accumule en gouttelettes inégales et redissout partiellement et inégalement, les fluorures de plomb et de calcium formés.

La production des gravures mates par les vapeurs de l'acide fluorhydrique étant donc difficile à obtenir industriellement, les inventeurs dont nous parlons sont arrivés à produire pratiquement cette sorte de gravures, dans un bain où se dégage de l'acide fluorhydrique à l'état naissant au contact de l'acide silicique du cristal et du verre.

Pour générer l'acide fluorhydrique à l'état naissant, on a recours à la réaction qu'exercent les dissolutions aqueuses des acides hydrochlorique et acétique sur les fluorures et les fluorhydrates de fluorure des métaux alcalins.

Si à 1,000 grammes d'eau, par exemple, on ajoute 250 grammes de fluorhydrate de fluorure de potassium bien cristallisé et 250 grammes d'acide hydrochlorique du commerce, on obtient un bain où le cristal et le verre se dépolissent rapidement, mais le dépoli ainsi formé n'est ni assez épais ni assez régulier.

Pour rendre les fluorures de plomb ou de calcium peu ou point solubles dans le bain ci-dessus, et partant pour obtenir des dépolis épais et uniformes, il faut ajouter à ce bain du sulfate de potasse jusqu'à quasi-saturation de la liqueur, c'est-à-dire 140 grammes environ. Le sulfate d'ammoniaque ainsi que l'oxalate de potasse et quelques chlorures avides d'eau, tels que le chlorure de zinc, par exemple, peuvent remplacer le sulfate de potasse pour rendre insolubles dans le bain graveur les fluorures de plomb et de calcium.

DÉCORATION DES VERRES. La décoration des verres, outre les effets qui résultent du moulage et de la taille des verres simples et doublés, comprend la dorure, l'argenture, la platinure, l'incrustation et la peinture sur verre.

Dorure. Pour dorer les verres, on prend de l'or à peu près fin que l'on dissout dans l'eau régale, puis que l'on précipite de sa dissolution par de la potasse, ou mieux par du sulfate de protoxyde de fer, auquel cas la pureté de l'or primitivement employé est tout à fait indifférente. Le précipité qui se forme est recueilli sur un filtre, bien lavé à l'eau bouillante, complétement desséché, puis mêlé avec un peu de borax calciné et finement pulvérisé, et le tout est réduit en bouillie épaisse avec un peu d'essence de térébenthine. C'est cette bouillie que l'on applique à l'aide d'un pinceau sur le verre; on chauffe ensuite celui-ci au feu de moufle à une température assez élevée pour volatiliser complétement l'essence de térébenthine et vitrifier le borax. L'or se trouve ainsi solidement fixé sur le verre et il ne reste plus qu'à lui donner le bruni, ce qui se fait d'abord avec un polissoir de sanguine, puis avec un brunissoir en agate. On opère en un mot exactement comme pour dorer la porcelaine.

On dore surtout les verres rouges et noirs, l'hyalithe et quelquefois les verres bleus et verts.

Argenture. L'argenture se pratique absolument de la même manière que la dorure. On prépare la poudre d'argent, dont on a besoin, en précipitant le nitrate d'argent par un barreau de cuivre.

L'argent se marie surtout très-bien avec les verres opalins blancs, verts et bleus.

Platinure. La platinure est beaucoup moins usitée que l'argenture et la dorure, et s'exécute de même, en ayant soin de remplacer les poudres d'argent ou d'or par du noir de platine ou du chlorure double de platine et d'ammoniaque bien lavé. La couleur du platine s'approche plus de celle du blanc d'acier que de celle du blanc d'argent.

Incrustations. L'art d'incruster le verre paraît avoir été inventé en Bohême au XIII^e^ siècle; il s'était ensuite entièrement perdu et n'a été retrouvé que depuis peu. Il consiste à incruster dans le verre, lors du travail, de petites figures en argile blanche, que l'on recouvre ensuite d'une couche de verre transparent, et qui présentent, à s'y méprendre, le reflet et l'apparence de l'argent mat.

Peinture sur verre. Dans la peinture sur verre on emploie des fragments de verres colorés que l'on réunit avec des plombs, après les avoir découpés convenablement, pour faire les teintes plates, les ciels, les draperies, les ornements, etc. Les ombres, les têtes, les mains, etc., se font avec des *couleurs vitrifiables* que l'on cuit ensuite à la moufle; nous n'avons pas à revenir sur la préparation et l'application de ces couleurs, en ayant déjà parlé plus haut à VERRES COLORÉS, et M. Salvetat ayant traité en détail de cette question dans l'article ÉMAILLAGE du *Complément*. Ce qui caractérise surtout la peinture sur verre, c'est que le peintre fait souvent un emploi simultané des deux surfaces du verre. La surface placée du côté du spectateur reçoit toutes les ombres qui sont ainsi plus vives et mieux arrêtées. On y place aussi, en général, toutes les couleurs nuancées et on rejette tout l'enluminage du côté opposé; on peut alors se servir ainsi de couleurs qui s'entremuiraient au contact et dont la superposition produit des teintes particulières.

VERRE A GLACES. La fabrication des glaces a longtemps été le monopole des Vénitiens qui le préparaient par un procédé de soufflage analogue à celui qu'on emploie pour la fabrication du verre à vitres en tables. Ce procédé fut importé en France en 1665 et on créa à Tour-la-Ville, près de Cherbourg, une manufacture de glace soufflées, qui n'a cessé d'exister qu'en 1808. Ce fut vingt-trois ans plus tard, en 1688, qu'Abraham Thévart imagina de couler les glaces; son établissement, construit d'abord dans la rue de Reuilly, au faubourg Saint-Antoine, fut transféré peu de temps après à Saint-Gobain, près la Fère, où il existe encore.

En France, on ne fait actuellement que des glaces coulées; en Allemagne, au contraire, nous ne connaissons qu'une seule fabrique de glaces coulées, dans le Bœhmerwaldgebirge; en revanche, à Venise et en Bohême, on y fabrique une grande quantité de glaces soufflées.

Glaces soufflées. Les glaces soufflées se fabriquent, comme nous venons de le dire, presque en totalité en Bohême et à Venise. Les glaces de Bohême sont toutes à base de potasse et présentent d'ordinaire une légère teinte verdâtre dans la tranche; la proportion d'alcali est plus forte que dans le verre à vitres blanc, ce qui les rend plus fusibles. On les fabrique dans des fours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

généralement rectangulaires, contenant sur chaque banquette trois pots circulaires, dont la durée est de 3 à 4 mois et la charge de 180 kilogrammes. Il y a, par four de fusion, six fours d'étendage annexés à autant de fours à recuire et disposés tout à fait comme ceux dont nous avons parlé à l'article de la fabrication des verres à vitres, avec cette seule différence : 1° qu'ils ont des dimensions plus considérables; 2° que le combustible est chargé sur une grille latérale, séparée par un petit autel du four d'étendage, duquel la flamme passe ensuite dans le four à recuire. Il y a en tout deux tiseurs et cinq fondeurs employés au four de fusion et trois étendeurs aux fours d'étendage.

La manipulation est la même que pour le verre à vitres et consiste à souffler de grands cylindres que l'on ouvre ensuite suivant une génératrice; seulement elle offre plus de difficultés par suite du volume des pièces à manœuvrer. Après vingt-quatre heures de fusion, les cinq fondeurs se réunissent pour travailler le verre de l'un des pots, puis il se reposent pendant deux heures, passent à un second pot et ainsi de suite. Le travail de chaque pot dure environ deux heures, de sorte qu'une fonte complète dure quarante huit heures: on dépense, pendant ce temps, tant dans le four de fusion que les fours d'étendage, 54 stères de bois, soit 5 stères par 100 kilogrammes de matières frittées chargées dans les pots.

La plus grande glace soufflée, qui fut à l'exposition de Vienne, en 1845, avait $2^m,16$ sur $1^m,10$; c'est là une limite maximum, un véritable tour de force, que les glaces soufflées n'atteignent pas ordinairemet.

GLACES COULÉES. Dans l'usine que nous avons vue en Allemagne, les glaces coulées sont à base de potasse; en France et en Belgique elles sont à base de soude. L'épaisseur considérable qu'on est obligé de leur donner quand elles ont de grandes dimensions, tant à cause de l'usure qu'elles doivent subir par le polissage que pour leur procurer une résistance suffisante, les rend sujettes à renfermer, dans la masse du verre qui les compose, des bulles ou des stries qui réfléchissent les objets en différents sens de manière à défigurer les images; on cherche autant que possible à prévenir ces défauts en employant des matières très-pures, en augmentant la fusibilité du verre par une plus forte proportion d'alcali, et en lui faisant subir un affinage prolongé. Voici, d'après M. Dumas, la composition de deux verres à glaces différents :

	(1)	(2)
Silice	0,759	0,7385
Potasse	—	0,0550
Soude	0,175	0,1205
Chaux	0,038	0,0560
Alumine	0,028	0,0350
	1,000	1,0050

Pendant longtemps on a exclusivement chauffé au bois les fours de fusion, mais on a reconnu qu'on pouvait tout aussi bien employer la houille; il n'est même pas nécessaire, dans ce dernier cas, de couvrir les pots; il suffit de laisser la matière séjourner deux ou trois heures de plus dans les pots et dans les cuvettes.

Les fours sont carrés ou rectangulaires; on leur annexe ordinairement des fours, chauffés à flammes perdues, dans lesquels on cuit les pots et les cuvettes, et fritte les matières premières. On place dans les fours de fusion deux sortes de creusets, les *pots* et les *cuvettes;* les premiers servent à opérer la fusion; les autres à recevoir le verre fondu, qui achève de s'y affiner. Trois pots contiennent la matière pour six petites cuvettes, ou pour trois grandes servant pour les glaces de grandes dimensions. Depuis peu on construit des fours à six pots et à douze cuvettes et des cuvettes de trois grandeurs; ces dernières ont la forme d'une pyramide tronquée et renversée, à base carrée pour les petites, et à base rectangle pour les moyennes et les grandes. Vers le milieu de leur hauteur, on ménage un renfoncement qui règne tout autour, et qu'on nomme ceinture de la cuvette; c'est par là qu'on les saisit avec les tenailles, après avoir enlevé la tuile qui forme la paroi correspondante du four.

Voici la composition moyenne du mélange chargé à Saint-Gobain, dans les pots :

Sable très-blanc	300
Carbonate de soude sec	100
Chaux éteinte à l'air	43
Calcin	300

Le calcin n'est introduit dans le mélange qu'après le frittage, et après avoir été lui-même étonné à part et pulvérisé.

Je reproduirai ici, d'après M. Valerio, ancien directeur de la glacerie d'Aix-la-Chapelle, la description de la fabrication des glaces coulées telles qu'elle s'effectue dans les grands ateliers.

Le four de fusion à douze cuvettes, représenté dans le dessin, est elliptique.

La grille, dont la largeur est de $0^m,60$, occupe toute la longueur du four, soit $5^m,30$. Autour de la grille, règne symétriquement une banquette ou siége sur laquelle sont placés les pots ou cuvettes renfermant les matières à fondre.

Douze ouvreaux, dont le seuil est au niveau de la banquette, servent à introduire et à sortir les pots. Ils sont fermés avec une grande brique qu'on nomme *tuile d'ouvreau*. Au-dessus de ces portes sont des ouvertures plus petites, qu'on ferme avec des plaques en terre réfractaire percées de plusieurs trous, qu'on nomme *pigeonniers*. En enlevant ces plaques, les ouvriers introduisent par ces ouvertures la composition dans les pots au moyen de pelles ayant la forme de boîtes carrées fixées à l'extrémité d'un long manche. Les trous du pigeonnier permettent de juger de la température du four; ils sont bouchés avec de la terre pendant une partie du temps nécessaire à la fonte.

La grille est découverte sur les deux tiers environ de sa longueur. A ses extrémités, elle passe sous une tonnelle ou voûte pratiquée dans le massif du siége. Au-dessous se trouve une voûte circulaire ou rond-point, à laquelle viennent aboutir quatre galeries qui se coupent à angle droit, pour amener l'air nécessaire à la combustion.

Des escaliers conduisent de la halle au rond-point, où l'ouvrier tiseur doit souvent descendre pour piquer son feu par-dessous. Le sol autour du four est formé de dalles en fonte, afin d'avoir une aire unie et résistante pour la manœuvre des cuvettes.

Toutes les briques ou pièces de l'intérieur du four sont en matériaux aussi réfractaires que possible. On construit ordinairement en briques crues, c'est-à-dire qui ne reçoivent la cuisson que par la mise en feu du four.

Le siége est d'un seul morceau; il est fait avec un mélange, dans les proportions convenables, de terre crue pulvérisée et de terre calcinée en gros grains. Ce mélange, légèrement humecté d'eau, est énergiquement pilonné avec des dames en bois; le battage sert à relier entre elles toutes les parties qu'on ajoute par couches superposées et leur donner de l'homogénéité. A mesure que le siége se monte, on fait suivre une corde de chanvre arrêtée à un de ses bouts et servant de guide au travail; on la laisse emprisonné dans la masse. Quand le four est achevé, on y fait un feu très-doux dans les premiers jours, sans quoi le siége, fait d'ailleurs avec de bons matériaux, serait promptement détruit. Lorsque la chaleur pénètre dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

masse, les cordes brûlent en laissant des vides qui facilitent le dégagement de l'humidité.

Quand le four est en activité, la flamme monte à la voûte du four, circule autour des cuvettes et s'échappe dans les petites cheminées, pratiquées dans l'intérieur des pieds droits du four, pour se rendre dans une grande cheminée centrale en tôle A, munie d'une hotte qui recouvre tout le four et entraîne au dehors les produits de la combustion.

Enfin, dans quelques fours, une sorte de chemise composée de douze rideaux en tôle, tournant sur charnières, ferme l'espace compris entre le dessous de la hotte et la partie supérieure des ouvreaux, de sorte que les pigeonniers sont masqués par ces rideaux, et que l'air froid n'afflue pas sous la hotte. A Floreffe, ces rideaux descendent jusqu'au sol de la halle; le tirage est tellement actif qu'on peut s'enfermer sous cette chemise sans ressentir une trop forte chaleur.

Le four est placé dans l'axe d'une halle de 26 mètres de largeur qui contient quatre fours espacés de 16 mètres, de centre à centre; de chaque côté des fours, et parallèlement au grand axe de la halle, sont placés symétriquement les fours à recuire les glaces ou *carcaisses*, B.

De distance en distance, à la place d'une carcaisse se trouvent des fours à cuire les cuvettes et les briques.

La table à couler C, se meut sur des galets et des rails en fer; à l'un de ses bouts se trouve la grue mobile D, destinée à manœuvrer les cuvettes.

Chaque carcaisse a trois foyers pour le chauffage, une large ouverture à l'avant pour entrer et sortir les glaces, des ouvertures pour donner graduellement accès à l'air froid quand on veut refroidir le four, un carneau pour conduire les fumées à une cheminée desservant plusieurs carcaisses.

La construction de la sole de ces fours exige des soins particuliers: les briques, bien dressées sur toutes leurs faces, sont placées de champ, reposant sur une couche de sable tamisé, d'un grain uniforme et bien sec; elles sont juxtaposées, sans ciment, toutes les parties de la sole devant se dilater librement: le dresseur de carcaisses vérifie souvent, au moyen d'une longue règle et d'un niveau, la sole de ces fours qui doit être parfaitement plane.

Autrefois le verre était fondu dans des pots, puis transvasé et affiné dans d'autres qu'on enlevait avec la grue pour le déverser sur la table de coulage comme il a été dit plus haut. Ce transvasement, qu'on appelait *trejétage*, est aujourd'hui abandonné. La fonte, l'affinage, le coulage se font avec le même pot ou cuvette.

Les cuvettes sont, suivant les usines, tantôt à section rectangulaire avec les angles arrondis, tantôt rondes ou ovales. Les dernières paraissent devoir être préférées, parce qu'elles occupent moins de place dans le four. Elles ont de 75 centimètres à 1 mètre de hauteur; leur épaisseur est de 6 à 7 centimètres pour les côtés et de 10 centimètres pour le fond. Elles contiennent de 300 à 500 kil. de verre fondu.

Elles portent à la ceinture, sur le pourtour extérieur, vers le milieu de la hauteur, une rainure creuse qui permet de les saisir fortement avec les tenailles (fig. 2550, F). Leur confection est la même que celle des pots ordinaires de verrerie; la façon doit en être aussi soignée que possible, car elles sont exposées à plus de fatigue. Lorsque leur fabrication est terminée, on les laisse sécher à l'étuve, pendant quatre à six mois; on les cuit dans un four spécial, qui en renferme toujours cinq à six, et on les introduit déjà rouges dans le four de fusion.

Une cuvette de bonne qualité fournit, en moyenne, 30 coulées.

Supposons que la coulée vienne d'être faite; le four de fusion est garni de ses douze cuvettes vides, qu'on vient de replacer successivement sur leur siége. Le tiseur réchauffe son four. Quelques heures après, on enfourne une partie de la composition de manière à remplir les cuvettes. La matière, en fondant, prend un retrait considérable, et bientôt elle n'offre plus que le tiers ou le quart de son volume primitif. Trois heures après, on fait un deuxième enfournement, puis un troisième, après un même laps de temps. Si la fonte ne se fait pas également bien dans toutes les cuvettes, le tiseur s'en aperçoit et fait mettre quelques pelletées de calcin dans le pot qui se trouve en retard.

Sept à huit heures après, le verre est fondu; mais il est rempli de bulles, qu'un feu violent et soutenu doit faire disparaître; c'est ce qu'on appelle l'*affinage* qui dure cinq à six heures.

Au bout de ce temps, le verre a pris une transparence complète : seulement il est trop chaud, trop liquide pour être coulé. Il faut le laisser reposer pendant quelques heures dans les cuvettes, en modérant la température, dans le but de lui donner un état convenablement pâteux; cette phase de la fonte est ce qu'on nomme *faire la braise*.

En somme, la *fusion des matières*, l'*affinage*, la *braise* durent vingt-quatre heures. On coule, par exemple, tous les matins, de six heures à sept heures. Dans quelques établissements, la coulée se fait au bout de dix-huit à vingt heures.

La consommation d'un four est de 5,000 à 7,000 kil. de houille par coulée; un four à douze cuvettes peut fournir 80 à 100 mètres superficiels de glaces de 10 millimètres d'épaisseur, pesant 25 kil. le mètre carré, soit 2,000 à 2,500 kil.

La *coulée* des glaces est l'une des opérations industrielles les plus hardies, les plus curieuses qu'on puisse voir. Elle exige beaucoup d'ensemble et de promptitude. En moins d'une heure, il faut couler douze glaces ayant chacune, en moyenne, de 6 à 8 mètres superficiels, les enfourner dans les carcaisses et rentrer les cuvettes dans le four. M. Valerio compare cette opération à la manœuvre d'une pièce d'artillerie, près de laquelle chaque homme est à son poste, attentif au commandement du chef. La description de ce genre de travail, tout différent des opérations auxquelles le verre avait jamais été soumis, fera comprendre le mérite de l'invention et de l'organisation de cette belle fabrication.

Des ouvriers enlèvent vivement, avec une longue fourche montée sur roues, la tuile d'ouvreau qui masque le creuset, en introduisant les extrémités de la fourche dans les deux trous pratiqués dans cette tuile qu'ils déposent contre la paroi extérieure du four.

La cuvette est aussitôt saisie à la ceinture avec une grande tenaille montée sur roues; on pèse sur elle et on l'enlève pour la poser sur un petit chariot en fer, qu'on traîne au pas de course au pied de la grue ou potence. On *écrème* le verre. Cette opération consiste à enlever, au moyen d'instruments plats ou recourbés qu'on nomme sabres, grapins, etc., les saletés qui se trouvent à la surface du verre.

Une tenaille, terminée par deux longues branches, saisit la cuvette à sa ceinture; cette tenaille est suspendue par des chaînes en fer, qui passent sur une poulie située au haut de la potence, et qui s'enroulent sur un tambour placé à sa partie inférieure.

On nettoie alors la cuvette à l'extérieur afin qu'aucune ordure ne puisse tomber sur la table.

Au-dessous de la cuvette, ainsi suspendue (fig. 2550, E), se trouve la table en fonte sur laquelle le verre va s'étaler. Elle est chaude et vient d'être nettoyée; elle est munie des tringles mobiles qui doivent donner à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la glace son épaisseur et sa largeur : sur ces tringles repose le rouleau en fonte servant à laminer le verre.

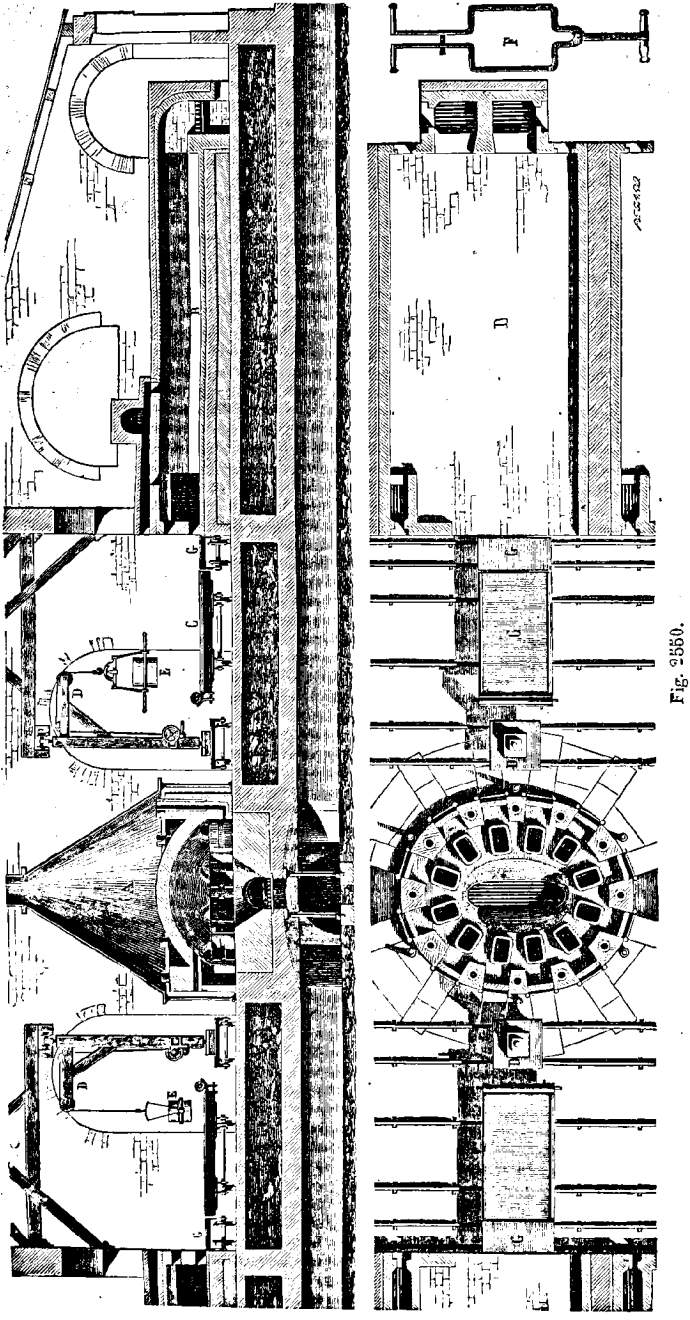


Fig. 2550.

Enfin, la carcaisse située à l'un des bouts de la table, et au même niveau, est à la température voulue pour recevoir les glaces qu'on va couler : on a passé sur sa sole un grand rable en bois pour la nettoyer et pour égaliser le peu de sable qu'on y a répandu pour faciliter le glissement des glaces.

Tous ces préparatifs étant faits, la cuvette, suspendue à un mètre environ au-dessus de la table, reçoit un mouvement de bascule qui fait verser le verre le long du rouleau. La masse vitreuse s'écoule comme un flot de lave incandescente. On relève aussitôt la cuvette et on l'écarte en y laissant une certaine quantité de verre qui, ordinairement, est impur. Le rouleau est immédiatement mis en jeu; guidé sur les tringles, il parcourt la table d'une extrémité à l'autre en étendant uniformément le verre. Il vient tomber en contre-bas sur un chariot mobile disposé pour le recevoir à la fin de sa course.

Deux mains en cuivre, placées sur les tringles et qui suivent le mouvement du rouleau, maintiennent le verre et l'empêchent de passer sur les côtés. Une glace qui présente des bavures est une glace perdue, qui casse infailliblement pendant qu'on la recuit dans la carcaisse.

La figure 2550 *bis* représente le détail de la table; on y remarquera les règles de bronze *t*, *t* qui déterminent l'épaisseur de la glace et sur lesquelles appuie le rouleau, et comment la tenaille F permet, au moyen des poignées dont elle est munie, d'incliner la cuvette T de manière à verser le verre sur la table en raison du mouvement du rouleau.

La glace étant coulée, au moyen d'une large pelle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en énuerre, on la pousse encore rouge et à peine rigide dans la carcaisse.

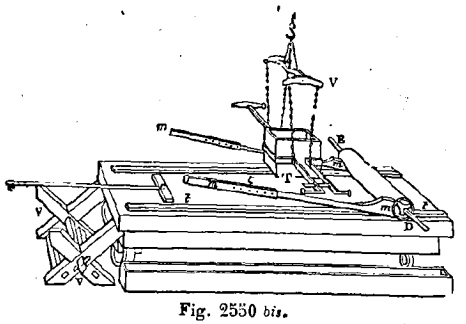


Fig. 2550 *bis*.

Pendant que ces opérations s'exécutent, des ouvriers ont ramené dans le four la cuvette vidée. On a préalablement projeté sur l'emplacement qu'elle y occupe du charbon menu, afin d'empêcher, dans les fontes suivantes, l'adhérence de la cuvette avec le siége, par suite du verre répandu qui peut s'y trouver.

On a aussi jeté dans des baquets remplis d'eau froide tout le verre provenant de l'écrémage, des fonds des pots, etc.; on lave ce verre et on en fait un triage pour l'employer comme calcin dans les opérations suivantes.

Dans l'opération du coulage que nous venons de décrire, on a vu que le verre est versé sur le bout de la table le plus éloigné de la carcaisse.

Ce mode de coulage, qu'on pratique dans la plupart des usines françaises, est plus rationnel que le *coulage en tête* qu'on pratique dans d'autres glaceries, dans lesquelles la cuvette est au-dessus du bout de la table le plus rapproché de la carcaisse, le rouleau cheminant vers le grand axe de la halle en étalant le verre. De cette façon, la partie de la glace par laquelle on la pousse dans la carcaisse, ayant été laminée la dernière, n'est pas suffisamment solide pour qu'il ne soit pas nécessaire d'y faire un épais bourrelet, une *tête*, sur laquelle on appuie pour enfourner la glace. Ce bourrelet entraîne une perte notable de temps et de matière et détermine souvent la rupture des glaces, à cause de la difficulté qu'on éprouve à bien recuire du verre aussi épais. Par le coulage à l'opposé de la carcaisse, on risque moins de déformer la glace et de la plisser en l'enfournant.

Enfin, pour compléter la description du coulage des glaces, j'ajouterai que, dans les usines françaises, trois chemins de fer parallèles servent à manœuvrer la table à couler, qui est en fonte d'une seule pièce, pesant 20 à 25,000 kil., le chariot portant le rouleau du poids de 200 à 300 kil., et la potence. Aux deux extrémités de l'axe du rouleau sont attachées des chaînes qui viennent s'enrouler sur un tambour placé à la partie inférieure de son chariot. Le rouleau, arrivé à l'extrémité de sa course, remonte des tringles sur le chariot, qu'on pousse en avant. Il est remplacé par la plate-forme en tôle (fig. 2550, G), montée sur roues, qui se trouve au même niveau que la table à couler et qui vient remplir le vide existant entre la table et la carcaisse.

La potence, montée aussi sur un chariot à quatre roues, peut se mouvoir rapidement sur son chemin de fer. Pour la maintenir dans la position verticale, elle glisse à sa partie supérieure entre deux entre-toises ménagées dans la charpente de la halle.

La glace, une fois coulée et enfournée, est rangée dans la carcaisse, qui en reçoit six habituellement. Lorsque la carcaisse est pleine, on en ferme immédiatement l'ouverture avec des plaques de tôle ou de larges briques cimentées avec de l'argile. Après un séjour de vingt-quatre à trente heures, on laisse rentrer un peu d'air, puis on hâte graduellement le refroidissement jusqu'au troisième ou au quatrième jour.

Avant le défournement et souvent quand la carcaisse est encore très-chaude, un ouvrier y pénètre pour visiter les glaces. Quand il aperçoit une fissure, il l'arrête avec un fer rouge qu'il applique au point où cette fissure se termine.

Le défournement se fait sur une grande table en bois qu'on met au niveau de l'ouverture de la carcaisse. L'ouvrier équarrisseur coupe avec une règle et le diamant les bords de la glace; on la porte ensuite, suspendue verticalement sur des courroies, dans l'atelier d'équarri brut.

La glace est visitée et débitée d'après ses défauts, de manière à utiliser la plus grande surface possible, et suivant les commandes qu'on a à exécuter. Sa dimension ordinaire est de 8 à 10 mètres superficiels. Elle passe immédiatement à l'*atelier du douci*.

Glaces cannelées. Cette espèce de glace brute introduite dans la consommation de l'Angleterre depuis dix à douze ans, y est connue sous le nom de *rolled-plate*, et a pris une grande importance sur les marchés. Pour cette espèce de glaces, au lieu de retirer le creuset du four pour le verser sur la table de coulage, on puise dans les creusets au moyen d'une grande cuiller ou poche semblable à celles au moyen desquelles s'opérait autrefois le trejetage, mais d'une plus grande dimension; trois ouvriers tiennent cette poche, l'un par l'extrémité du manche, les deux autres, au moyen d'une barre en travers près de la poche; ils la remplissent dans le creuset, et vont verser le verre liquide sur une petite table en fonte, où un cylindre de même métal, roulant sur deux petites règles parallèles, réduit le verre en une feuille de l'épaisseur des deux règles. Généralement ce cylindre est taillé de manière à imprimer sur le verre une cannelure qui dissimule les défauts de la matière; on donne ordinairement à ce verre une épaisseur de 4 à 6 millimètres, quelquefois davantage.

Cette fabrication a été introduite dans une de nos principales glaceries; mais on peut dire qu'elle est pour ainsi dire ignorée en France. Il est bon que l'on sache qu'en Angleterre il ne se fabrique annuellement pas moins de 5,000 tonnes de ce verre, ce qui, en supposant une épaisseur moyenne de 5 millimètres, fait environ 400,000 mètres carrés de ces glaces cannelées. On les emploie concurremment avec les glaces brutes épaisses, pour le vitrage des magasins et des ateliers; mais ce sont surtout les serres qui donnent à ce produit un débouché immense. Le prix de ces glaces est inférieur à celui du verre à vitre double, leur main-d'œuvre ne formant guère que le huitième du prix total de revient, tandis qu'elle s'élève presque au tiers pour les verres soufflés. Elles sont préférées pour les serres comme n'étant pas sujettes, ainsi que les verres soufflés, à brûler les plantes.

Polissage des glaces. Le polissage des glaces comprend deux opérations, le dégrossissage et le douci.

Le *dégrossissage* s'exécute en frottant deux glaces l'une contre l'autre, avec l'intermédiaire de sable de rivière ou de toute autre matière siliceuse pulvérisée; à cet effet, les glaces sont fixées avec du plâtre sur des plateaux en pierre, ordinairement en calcaire com-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pacte. Une roue hydraulique imprime, par un mécanisme dont il est facile de se rendre compte et qui varie dans chaque usine, un mouvement de va-et-vient aux plateaux supérieurs, qui sont susceptibles de tourner sur eux-mêmes et glissent sur les plateaux inférieurs, qui sont fixes; ces derniers sont toujours plus grands que les plateaux mobiles. Le seul travail de l'ouvrier consiste à imprimer de temps en temps un mouvement de rotation aux plateaux supérieurs (il est très facile de le faire faire par la roue motrice même, et c'est ce qu'on fait dans plusieurs usines), et à jeter, sur les plateaux inférieurs, avec une truelle en bois, un mélange d'eau et de sable. Il va sans dire que l'on doit employer des sables de plus en plus fins, à mesure que l'opération avance. Un seul ouvrier peut desservir le dégrossissage de deux grandes glaces ou de quatre petites. Le premier côté étant fait, on retourne les glaces pour travailler l'autre face de la même manière; il faut seulement avoir soin ici que cette seconde face soit rigoureusement parallèle à la première, c'est-à-dire que la glace ait partout la même épaisseur.

Le *douci* des glaces dégrossies s'exécute, soit à la main, soit le plus souvent par des moyens mécaniques, en les faisant frotter par une rangée de petits plateaux de calcaire, en nombre variable suivant la grandeur des glaces à polir, et garnis, sur la partie frottante, d'un feutre enduit de colcothar ou rouge d'Angleterre de plus en plus fin. Nous n'entrerons pas ici dans d'autres détails, ayant consacré à la partie mécanique de la fabrication des glaces l'article POLISSAGE du *Complément*, et ayant donné l'analyse des conditions à remplir et l'historique de l'invention des machines employées dans cette partie de la fabrication des glaces.

Étamage des glaces. Les glaces sont quelquefois employées sans étamage, comme carreaux de vitres, etc., mais le plus souvent elles sont destinées à servir de miroir; dans ce cas on les étame en appliquant par derrière, soit un amalgame d'étain (voyez ÉTAMAGE), procédé décrit dans ce *Dictionnaire* à l'article précité, soit un pellicule d'argent par un nouveau procédé dû à M. Drayton et importé en France par M. Tourasse, qui a pris à ce sujet un brevet d'invention. Ce procédé, fondé sur la réduction des sels d'argent par des substances végétales, surtout les huiles essentielles et même le sucre de cannes, de raisin, l'amidon, en faisant intervenir la chaleur, consistait d'abord à préparer une dissolution aqueuse de nitrate d'argent, à y mêler de l'alcool, du carbonate d'ammoniaque, de l'ammoniaque et de l'huile essentielle de cassia, et à verser la liqueur ainsi préparée sur la glace à étamer, en y ajoutant finalement de l'huile de girofle. Au bout de deux heures, l'opération est terminée, et la glace recouverte d'une couche d'argent parfaitement homogène, faisant miroir; pour la préserver de toute influence atmosphérique et de l'humidité des murs, on recouvre le dépôt d'une couche de vernis.

Après avoir échoué devant les difficultés de l'exploitation pratique, l'argenture des glaces a enfin été réussie par une modification apportée au procédé primitif.

M. Drayton avait cherché à modifier ses procédés, qui ne donnaient pas de bons résultats; il renonçait en 1848 à l'emploi des huiles essentielles, dont l'usage était la cause de l'insuccès qui persista pendant une pratique de plusieurs années; il leur substitua des matières sucrées.

D'après Drayton, on prend :

Ammoniaque.	30
Nitrate d'argent.	60
Eau.	90
Esprit-de-vin (alcool).	90

On mélange soigneusement le tout, et on laisse déposer trois ou quatre heures, puis on filtre; à 30 grammes de liquide filtré, on ajoute 8 grammes de matière saccharine dissoute dans parties égales d'eau et d'esprit-de-vin. On laisse ensuite déposer une couple d'heures. Il faut faire intervenir la chaleur et chauffer vers 100° le verre sur lequel l'argent doit être déposé.

Malgré ces tentatives, l'argenture des glaces n'avait pas fait, au point de vue commercial, de progrès réels, n'arrivait pas à se substituer à l'ancien procédé, et cependant il s'agissait d'un progrès bien désirable, celui de la transformation d'une industrie employant du mercure, dont le maniement engendre tant de maladies.

On avait bien cherché, par des dépôts galvaniques, à donner plus d'homogénéité, plus de résistance à la couche métallique, mais il s'était formé, devant une série d'insuccès assez retentissants, une opposition en quelque sorte justifiée par les altérations dont les produits argentés n'offraient que des exemples trop fréquents. Il semblait qu'il fallait regarder l'argenture des miroirs comme tout à fait impossible, lorsqu'une leçon de l'illustre physicien anglais Faraday vint de nouveau fixer fortement l'attention publique sur ce même sujet. Il s'agissait d'un procédé que M. Petitjean venait de faire breveter simultanément en Angleterre et en France. Ce procédé donne, en effet, une solution pratique de la question de l'argenture des glaces.

Quelle est la base du procédé de M. Petitjean, qu'exploitent à Paris, actuellement avec succès, MM. Brossette et C^ie^? M. Petitjean met à profit la réaction des acides végétaux sur les sels d'argent en présence de l'ammoniaque.

On emploie deux liqueurs. Pour former d'abord la première, on prend 100 grammes de nitrate d'argent et 62 grammes d'ammoniaque liquide. On verse l'ammoniaque sur le nitrate d'argent dont la fusion s'opère alors en dégageant beaucoup de chaleur; on remue, jusqu'à ce que la dissolution soit complète, puis on laisse reposer quelques heures; au bout de ce temps, il y a formation de cristaux de nitrate d'argent ammoniacal. On ajoute alors 500 grammes d'eau distillée, et l'on agite tant pour opérer le mélange des deux liquides que pour faciliter la dissolution des cristaux : elle s'opère en refroidissant beaucoup la liqueur. On filtre alors pour séparer un peu de poudre noire qui s'est formée lors de la dissolution du nitrate d'argent dans l'ammoniaque. Cette poudre noire est de l'argent métallique. On ajoute au liquide filtré 11 grammes d'acide tartrique dissous préalablement dans quatre fois leur poids d'eau distillée, puis on verse 2 litres 1/2 d'eau; on remue le tout, puis on tire à clair. On obtient ainsi 3 litres environ de liquide. Dans cet état il est propre à l'emploi.

La deuxième liqueur se prépare en répétant exactement toutes les manipulations indiquées pour le premier liquide; seulement, on double la dose de l'acide tartrique. On ne doit préparer les dissolutions que pour les besoins de la journée.

L'appareil employé pour opérer l'argenture du verre consiste en une table de fonte, creuse, de manière à pouvoir être chauffée avec ou sans circulation par de la vapeur ou de l'eau chaude. La partie supérieure de la table est plane et posée parfaitement horizontale à l'aide d'un niveau; elle est recouverte par une toile rendue imperméable par un vernis quelconque. La chaleur est maintenue à 45 ou 50 degrés. On verse sur les glaces posées sur la même table les unes à côté des autres près de 3 millimètres d'épaisseur de la dis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

solution qui reste sur le verre retenue par capillarité; au bout de 7 à 8 minutes, l'argent commence à se déposer sur le verre, et après 15 à 20 minutes, une couche uniforme et opaque ayant une teinte grisâtre à la partie supérieure se trouve déposée. Au bout de quelques instants la glace est poussée au bord de la table, soulevée en pente pour écouler le liquide excédant, dans une rainure en pente sous forme de gouttière. Cette dernière sert à recueillir la liqueur qui n'est pas complétement dépouillée d'argent. On lave à l'eau.

La première opération est souvent suffisante ; cependant presque toujours on la répète identiquement avec la seconde liqueur. Puis lorsque celle-ci a été retirée, le verre est lavé de nouveau, puis séché ; on termine en protégeant la surface argentée par une peinture à l'huile et un vernis d'une couleur foncée.

TREMPE DU VERRE. M. Mascart, professeur de physique au Collége de France, a indiqué le moyen de reconnaître par l'analyse des rayons lumineux qui traversent un verre, l'état moléculaire, la trempe du verre et même l'évaluation des forces en action par des mesures semblables à celles que Wertheim a enseigné à utiliser dans son ingénieux DYNAMOMÈTRE optique.

Cette curieuse application des méthodes les plus délicates de l'optique doit se trouver consignée ici, dût son application être peu fréquente ; elle est encore un curieux exemple de traduction de connaissances scientifiques en procédés industriels, la véritable voie du progrès.

L'étude de la trempe et de l'homogénéité des verres présente un intérêt scientifique quand il s'agit de choisir une matière pour la construction d'un objectif, et surtout pour la construction des appareils interférentiels. D'un autre côté, il peut être utile dans l'industrie d'avoir un procédé rapide pour constater le degré de trempe des verres, afin d'éviter les cas de rupture spontanée qui se présentent quelquefois, même dans les grandes glaces.

On peut sans doute tailler des faces à peu près parallèles dans différentes directions et examiner le verre avec un analyseur et un polariseur ; mais cette méthode est longue et ne peut être appliquée que dans des cas très-particuliers. Lorsque mon attention a été appelée sur ce sujet, je me suis rappelé une belle expérience que j'avais vue dans le laboratoire de M. Coulier. Une baguette de verre tordue en tire-bouchon était plongée dans de l'acide phénique rendu liquide par une petite quantité d'eau. La baguette était presque invisible dans le liquide par transparence directe ; on l'apercevait bien par un éclairage latéral, surtout à cause des fils et des défauts d'homogénéité du verre. Si un bloc de verre de forme quelconque et bien homogène était ainsi immergé dans un liquide ayant exactement la même réfrangibilité et la même dispersion, le verre disparaîtrait absolument. Ce phénomène a déjà été observé pour certains sels qui ont les mêmes propriétés optiques que les eaux mères dans lesquelles ils cristallisent. L'identité des propriétés optiques est à peu près réalisée pour le verre ordinaire et l'acide phénique; on voit seulement, sur les contours de l'objet immergé, une faible irisation qui tient aux spectres secondaires dus à la différence des dispersions.

Si l'on veut maintenant étudier le verre d'une coulée de glaces, on en découpe un morceau que l'on plonge dans une cuve de verre, à faces parallèles, collées à la gomme et renfermant de l'acide phénique hydraté. En examinant la glace par la tranche on distingue immédiatement tous les fils qu'elle renferme. Pour observer la trempe, il suffit de polariser la lumière incidente à 45 degrés de la lame et d'armer l'œil d'un analyseur.

Si, l'analyseur étant orienté de manière à éteindre la lumière incidente, on interpose la cuve, on voit deux bandes noires parallèles à la surface de la lame et à peu près à égale distance du centre et des bords. Il y a donc dans toute glace coulée et recuite par les procédés industriels deux couches dont la double réfraction et, par conséquent, la trempe sont nulles. Tout étant symétrique par rapport à la normale, la double réfraction des autres régions est évidemment comparable à celle d'un cristal à un axe dont l'axe de cristallisation coïnciderait avec la normale à la lame. Si l'on place entre la cuve et l'analyseur une lame de spath d'Islande perpendiculaire à l'axe, et qu'on incline cette lame autour d'une normale à la glace, on voit les deux bandes noires se rapprocher du milieu. Il résulte de là que la double réfraction du verre étudié est négative dans la zone comprise entre les couches neutres et positive dans les deux zones extérieures.

On peut évaluer le degré de trempe en déterminant l'épaisseur de quartz nécessaire pour annuler la double réfraction. Plaçons, par exemple, entre l'analyseur et la cuve un compensateur à teintes plates, et supposons que ce compensateur soit au zéro, c'est-à-dire ne produise pas de différence de marche, lorsque la plaque mobile est au milieu de sa course. Dans ces conditions, les bandes noires ne sont pas déplacées; mais, si l'on fait glisser dans un sens ou dans l'autre la plaque mobile du compensateur, on voit les bandes noires marcher vers le milieu ou vers les bords de la glace. Si le compensateur est gradué, on obtient ainsi la différence de marche due à la trempe. L'expérience indique que les différences de marche produites par le milieu ou par les bords sont à peu près égales et de signes contraires, de sorte que la somme algébrique des doubles réfractions d'une pareille glace est sensiblement nulle. Une bonne glace de commerce, de 10 à 13 millimètres d'épaisseur, donne ainsi, pour une longueur de 20 centimètres, une différence de marche qui varie entre 1/3 à 1/2 longueur d'onde. Si la trempe dépasse cette valeur, et surtout si elle est irrégulière, le verre est médiocre et risque de se briser dans le travail du polissage. Le verre est tout à fait mauvais quand la différence de marche atteint une longueur d'onde.

Pour donner une idée de l'état moléculaire des verres trempés, il est bon de comparer la double réfraction ainsi produite avec celle que l'on obtient par les actions mécaniques.

Brewster a reconnu depuis longtemps que le verre comprimé acquiert une double réfraction négative. Le milieu d'une glace est donc dans un état analogue à celui que produirait une compression normale ou une dilatation parallèle aux faces; les couches superficielles sont au contraire comparables à une lame de verre soumise à une traction normale à sa surface. D'autre part, Wertheim a montré que la différence de marche produite par la pression ou la traction est proportionnelle à l'effort exercé dans les limites où le verre peut résister sans écrasement. Il résulte de là que, pour une lame taillée en parallélipipède rectangle et comprimée sur deux faces opposées, la différence de marche due à une pression déterminée est indépendante de la longueur de cette lame, c'est-à-dire du chemin parcouru par le rayon lumineux, et en raison inverse de sa largeur: c'est ce que Wertheim a vérifié par de nombreuses expériences. Il a trouvé ainsi qu'avec le verre à glaces il faut une pression de 165 kilogrammes pour produire une différence de marche d'une longueur d'onde, pour une largeur de 1 centimètre; si l'on suppose que cette lame ait 20 centimètres de longueur, comme celles dont j'ai parlé plus haut, cela correspondrait à une pression de 8 kil. 25 par centimètre carré, c'est-à-dire d'environ 8 atmosphères. Comme les glaces du commerce donnent une différence de marche environ moitié moindre, il en résulte que la couche centrale et les couches superficielles d'une pareille glace sont dans un état analogue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à celui que produiraient une compression centrale et une dilatation superficielle de 4 atmosphères.

Les larmes bataviques, qui sont un cas tout à fait excessif de trempe de verre, donnent des résultats bien plus remarquables. Une larme de 5 millimètres de diamètre environ, observée dans l'acide phénique, montre cinq ou six franges d'un grand éclat; c'est une expérience très-facile à répéter, et la projection de ces courbes colorées avec la lumière de la lampe de Drummond est l'un des plus beaux phénomènes de la polarisation chromatique. La structure d'une larme batavique est complexe; mais, si l'on suppose la goutte parfaitement cylindrique, il est clair que la distribution des pressions dans l'étendue d'une section normale sera déterminée par une série de cercles concentriques. La différence de marche éprouvée par les deux composantes d'un rayon polarisé que parcourt une corde de cette section sera la somme algébrique des effets produits par les différentes couches séparément, et, en examinant le phénomène depuis le bord jusqu'au centre, on peut calculer le détail des actions en chaque point; mais sans faire aucun calcul, on peut dire qu'une larme batavique est dans un état comparable à celui d'une plaque de verre de même longueur qui donnerait la même différence de marche. Or la pression nécessaire pour produire une différence de marche de cinq longueurs d'onde serait de 825 kilogrammes, et si l'on suppose seulement une longueur de 5 millimètres, la pression par centimètre carré sera de 1650 kilogrammes. L'état moléculaire d'une larme batavique est donc analogue à celui que produirait sur une lame de verre une pression d'environ 1600 atmosphères.

Si l'on voulait étudier des verres plus réfringents, tels que le cristal du commerce ou les flints d'optique, l'acide phénique ne convient plus; on aura alors recours à un mélange de sulfure de carbone avec de l'alcool ou de la benzine. Le liquide ainsi obtenu n'a pas en général la même dispersion que le verre; on aperçoit alors des colorations très-vives dues à des spectres secondaires, mais ces colorations ne gênent guère pour l'observation que l'on a en vue.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES. Cette fabrication, qui date, en France, seulement du commencement du siècle, doit ses premiers et plus importants progrès en France, aux travaux de M. Douault-Wieland. Nos fabricants ont actuellement acquis en ce genre une réputation bien méritée. Les pierres qu'ils fabriquent ne se distinguent guère des pierres gemmes naturelles que par une moindre dureté; nous citerons parmi les plus habiles M. Bourguignon, dont les produits ont acquis une juste célébrité.

La fabrication des pierres précieuses artificielles a assez d'analogie, au point de vue chimique, avec celle de la composition des émaux, en supprimant bien entendu les oxydes d'étain qui leur donnent de l'opacité, car la transparence est ordinairement une condition essentielle de l'imitation des pierres précieuses. L'éclat est obtenu par l'emploi d'un verre très-riche en plomb, ce qui fait que la dureté laisse à désirer.

Dans la fabrication des pierres artificielles il est beaucoup de précautions à prendre, que la pratique peut seule indiquer et qui font la supériorité de l'opérateur soigneux qui observe avec sagacité. Pour obtenir des masses bien fondues, bien homogènes, sans stries ni bulles, il faut employer des matières premières bien pures et mélangées dans un état de ténuité extrême; choisir les meilleurs creusets, fondre à un feu gradué, laisser les matières au feu pendant 24 à 30 heures, et ne faire refroidir les creusets que très-lentement, afin que le verre obtenu éprouve un véritable recuit.

Strass incolore. La base de toutes les pierres artificielles est un boro-silicate à base de potasse et d'oxyde de plomb, qui porte le nom de *strass*. On s'en sert dans la bijouterie, pour faire les imitations de diamants. Voici différentes recettes qui donnent de bons résultats:

	(1)	(2)	(3)	(4)
Cristal de roche ou sable blanc. . .	300	300	300	300
Minium.	470	»	462	»
Céruse.	»	514	»	512
Potasse à l'alcool.	163	96	168	96
Borax.	22	27	18	27
Acide arsénieux.	1	1	0,5	1

Topaze. Voici la recette de M. Douault:

Strass très-blanc.	1000
Verre d'antimoine.	40
Pourpre de Cassius.	1

On peut, avec le fer seul, obtenir une topaze assez belle avec le mélange suivant:

Strass incolore.	1000
Oxyde de fer.	10

Rubis. Souvent le mélange pour topaze donne une masse opaque, translucide sur ses bords et offrant dans ses lames minces une couleur rouge par transparence. Une partie de cette *matière topaze-opaque* et huit parties de strass, fondues dans un creuset de Hesse, qu'on laisse 30 heures au feu d'un four à potier, donnent pour résultat un beau cristal jaunâtre semblable au strass. Refondu au chalumeau, celui-ci produit le plus beau rubis d'Orient.

On fait un rubis moins beau avec:

Strass incolore.	1000
Oxyde de manganèse.	25

Émeraude. La composition qui imite le mieux l'émeraude naturelle est la suivante:

Strass incolore.	1000
Oxyde de cuivre pur.	8
Oxyde de chrôme.	0,2

En augmentant la proportion d'oxyde de chrôme ou d'oxyde de cuivre, et en y mêlant de l'oxyde de fer, on peut faire varier la nuance et imiter, soit le péridot, soit l'émeraude foncée.

Saphir. Cette pierre se prépare avec:

Strass incolore.	1000
Oxyde de cobalt très-pur. .	15

Améthyste. Voici la formule qui réussit le mieux:

Strass incolore.	1000
Oxyde de manganèse. . . .	8
Oxyde de cobalt.	5
Pourpre de Cassius.	0,2

Aigue-marine. On l'obtient avec un mélange de:

Strass incolore.	1000
Verre d'antimoine.	7
Oxyde de cobalt.	0,4

Grenat-syrien ou *escarboucle.* Cette pierre, employée surtout pour les petits bijoux, s'obtient avec un mélange de:

Strass incolore.	1000
Verre d'antimoine.	500
Pourpre de Cassius.	4
Oxyde de manganèse. . . .	4

Lorsque le montage des pierres artificielles le permet, on remédie souvent à leur peu de dureté en les recouvrant avec une pierre incolore naturelle, de peu de valeur, et plus dure qu'elles: on colle alors les deux pierres avec un peu de térébenthine. P. DEBETTI.

VER A SOIE. Voyez SOIE.

VERT-DE-GRIS, VERDET. Voyez ACÉTATE *de cuivre.*

VERT DE SCHÉELE. Cette couleur est un arsénite de cuivre que l'on obtient en dissolvant dans une quantité d'eau suffisante 1 partie d'acide arsénieux et 10 de sulfate de cuivre cristallisé, puis précipitant par un carbonate alcalin. En augmentant la proportion d'acide arsénieux, la nuance se charge de jaune. En effectuant la précipitation par un alcali caustique, la couleur devient très-intense et très-dure après la dessiccation.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERT DE SCHWEINFURT. Ce vert, plus beau que le précédent, se prépare en décomposant à chaud une solution aqueuse de 6 parties de sulfate de cuivre par une autre solution contenant 6 parties d'acide arsénieux et 1 partie de potasse du commerce; aussitôt la précipitation achevée, on ajoute de l'acide acétique en léger excès, environ 3 parties. Peu à peu le précipité diminue de volume et, dans l'espace de quelques heures, il se change en une poudre légèrement cristalline et d'un beau vert que l'on lave avec soin par décantation. On peut dans cette préparation remplacer le sulfate de cuivre par de l'acétate. On jaunit la nuance, au besoin, en augmentant la proportion d'acide arsénieux; on la rend d'un ton plus intense, en la faisant chauffer pendant quelque temps dans une légère solution alcaline.

Ce vert est, comme on le voit, un mélange ou une combinaison d'arsénite et d'acétate de cuivre. Il est aussi connu dans la commerce sous les noms de *vert de Vienne* et de *vert de Brunswick*.

VERT DE VESSIE. Cette couleur, employée dans les peintures à l'eau, se prépare en faisant évaporer jusqu'à consistance d'extrait un mélange de 1 kilog. de suc de baies de nerprun mûres, 250 grammes d'eau saturée de chaux et 32 grammes de gomme arabique, puis le renfermant dans des vessies que l'on suspend à l'air afin de pousser plus loin la dessiccation.

VIDANGE. Voyez *Complément*.

VIGNE. La vigne, dont le *raisin* est le fruit, est une plante dicotylédone, polypétale, de la famille des vinifères (Juss.), et de la pentandrie monogynie (Linn.). C'est un arbrisseau sarmenteux à feuilles alternes et à fleurs disposées en grappes opposées aux feuilles. On en connaît une vingtaine d'espèces, dont la moitié appartiennent à l'ancien continent, et le reste au nouveau. Aucun arbre fruitier n'a donné autant de variétés que la vigne. Chaque vignoble a ses variétés de raisins, qui quelquefois ne sont pas connues dans les vignobles voisins. Bosc avait été chargé par le gouvernement d'établir une nomenclature des vignes cultivées en France; il en avait réuni mille quarante espèces au Luxembourg. Nous allons en traiter plus loin.

Tous les climats ne sont pas propres à la culture de la vigne; dans le Nord, le raisin ne peut parvenir à une maturité complète, il ne contient presque aucun élément de fermentation spiritueuse; le suc exprimé venant à fermenter produit une liqueur aigre.

C'est entre le 40e et le 50e degré de latitude que la culture de la vigne est réellement avantageuse; c'est aussi entre ces limites que se trouvent les pays dont les vignobles sont les plus renommés, tels que l'Espagne, le Portugal, la France, l'Italie, une partie de la Grèce, etc.

La vigne croît partout, et elle est d'autant plus vigoureuse, que la terre où on la cultive est plus humide et plus grasse. Mais l'expérience montre que la qualité du vin n'est pas en rapport avec la force de la vigne qui le produit. La vigne est une des plantes dont la transpiration et la succion sont des plus abondantes. Ces propriétés indiquent le sol et l'exposition qui lui conviennent le mieux. On voit donc qu'une terre sèche, aride, composée de sable, de gravier, de cailloux, de rochers décomposés, etc., sera excellente. En effet, l'eau dont ces terres s'imprègnent circule et pénètre librement dans toute la couche; la racine se glisse aisément dans une terre aussi légère; enfin la couche de cailloux qui la recouvre la défend de l'ardeur du soleil.

La terre *sablonneuse* produit un *vin fin*; la *graveleuse* et la *caillouteuse* un *vin délicat*; la *roche brisée* un *vin fumant, généreux* et de *qualité supérieure*; les *détritus volcaniques* donnent, tantôt des vins excellents, comme ceux du Rhin, de l'Etna, etc., tantôt au contraire ils en donnent de fort médiocres, comme ceux de l'Auvergne. La terre *franche, forte, froide, compacte, humide*, qui s'affaisse à la moindre pluie et que le soleil durcit, nuit essentiellement à la qualité du vin.

VARIÉTÉS DE VIGNES. M. d'Armailhacq a tenté de formuler une classification des nombreuses espèces de vignes. Il pense que c'est de la connaissance des variétés de la vigne que dépendent tous les progrès de sa culture; mais les études faites pour la plupart des autres plantes n'ont pas été faites pour la plus précieuse de toutes, en sorte que la vigne fait encore exception au progrès général. Tout est confusion dans la culture de la vigne... « Les études et les essais n'ont pas été dirigés vers la viticulture, mais vers l'art de faire le vin, vers la fermentation et la vinification; on a surtout perfectionné l'*art de mélanger les vins*, même celui d'en *fabriquer avec toutes sortes de substances*, mais on n'a pas cherché les moyens d'avoir de meilleurs raisins, ce qui eût été bien préférable. »

Pour faire une application judicieuse des méthodes de viticulture, il faut savoir quelles sont les espèces auxquelles on veut appliquer, chaque variété devant être dirigée d'une façon différente; la connaissance des cépages est la clef de la viticulture, et les perfectionnements vantés, quoique réels pour certaines variétés, ne conviennent pas à d'autres. Tout le monde sait que la culture de la vigne blanche diffère de celle de la vigne à fruits noirs; que les vignes très-fertiles donnent des vins médiocres; que tels cépages exigent une taille courte, tels autres un bois plus long; que certaines espèces ont des sarments très-petits, d'autres de plus longs; que, dans certaines espèces, le bois se redresse, pendant qu'il rampe dans certaines variétés; que la vigne résiste plus ou moins à la gelée, selon le cépage, et que les diverses variétés sont plus ou moins difficiles sur le choix du sol.

Le premier point consiste à connaître les noms des cépages ou à posséder une bonne synonymie de la vigne; or il règne sur ce point une confusion incroyable, à laquelle il importe de trouver le remède par une bonne classification...

En partant de la couleur du fruit, on trouve des raisins noirs, blancs ou de couleurs diverses; cette distinction naturelle et constante est la plus facile à saisir... On pourra donc avoir *trois* grandes divisions, trois *groupes* principaux: *1° vignes à raisins noirs; 2° vignes à raisins blancs; 3° vignes à raisins de couleurs variées.* Dans cette dernière division, on placera toutes les tribus à raisins de couleurs différentes du noir ou du blanc, et, de plus, toutes celles dont le fruit présente des couleurs diverses: noir, blanc, rose, gris, etc., selon la variété ou le cépage.

A la suite de cette première division générale, l'auteur croit, avec Bosc, que les feuilles, considérées quant à leur forme, offrent le moyen le plus naturel et le plus apparent pour former des *classes* dans ces trois groupes. Chaque cépage de vigne offre ceci de remarquable, que la *majorité* du feuillage offre à très-peu près la même découpure; le caractère tiré de la forme moyenne des feuilles sera donc fixe et, pour obvier à l'objection tirée des tribus dont le feuillage varie sur chaque cep, on fera de ces tribus une classe particulière, en sorte que toutes les espèces possibles rentreront dans la synthèse des classes, sans que l'on soit obligé à des observations trop minutieuses.

Or les feuilles de la vigne présentent trois formes principales:

1° Elles sont entières, sans division ni échancrure; 2° elles sont divisées à trois lobes; 3° elles sont divisées à cinq lobes. Mais les feuilles entières peuvent être simplement ondulées, non dentelées ou à dents très-fines, ou elles sont plus ou moins dentelées; ces deux caractères serviront à établir *deux classes* parmi les feuilles entières. La *première classe* comprendra les vignes à feuilles entières, rondes, ovales ou cordiformes, ondulées

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur les bords ou à petite dentelure, comme la *fig. 1* en offre un exemple dans la feuille du *Pinot de Pernand*. La

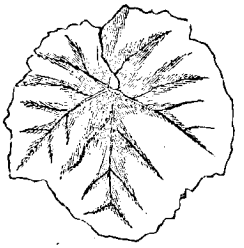


Fig. 1.

deuxième classe comprendra les vignes à feuilles entières, rondes, ovales ou cordiformes, à dentelure plus ou moins

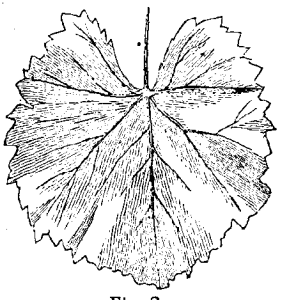


Fig. 2.

grande, comme la *Muscadelle* (fig. 2) et le *Sauvignon blanc* (fig. 3) nous en offrent deux types remarquables.

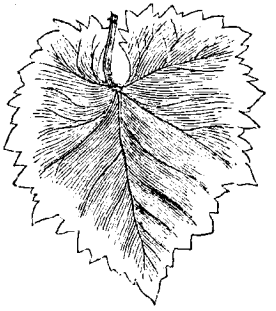


Fig. 3.

D'un autre côté, les feuilles trilobées peuvent présenter trois lobes renflés, écartés et bien distincts, mais non point séparés par une fente ou échancrure, ou bien elles offrent une échancrure plus ou moins profonde qui détermine le rapprochement des lobes.

De là, deux classes encore dans les vignes à feuilles trilobées.

Les vignes dont les feuilles offrent trois lobes écartés formés par un renflement arrondi ou pointu forment la *troisième classe*, dont l'*Isabelle d'Amérique* (fig. 4) présente un type remarquable (feuille de groseillier).

La *quatrième classe* comprend les vignes à feuilles trilobées, dont les trois lobes sont formés par une fente

ou échancrure et, de plus, écartés, comme dans le *Merleau*, ou rapprochés, comme dans la *Mérille*.

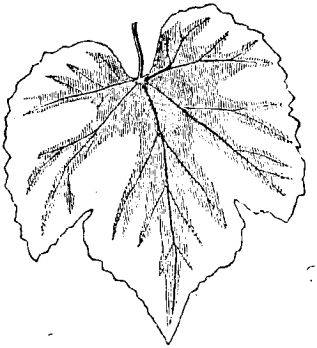


Fig. 4.

Les vignes dont les feuilles sont à cinq lobes offrent des feuilles à dentelure obtuse ou fine, à dents de scie, ou des découpures à longues dents, avec subdivision des lobes, qui sont laciniés ou persillés... La *cinquième classe* comprendra celles de ces vignes dont les dents ne sont pas très-grandes, soit que les lobes soient séparés par de larges ouvertures, ce qui est le type de l'*Enragcat* ou bien que les cinq lobes se rejoignent, comme dans le *Chasselas*, ou encore que les cinq lobes se recouvrent en partie et présentent au fond, dans la face du limbe, un trou rond ou triangulaire, ce qu'on observe dans le *Carmenet-Sauvignon*.

La *sixième classe* sera formée des vignes dont les feuilles sont très-découpées et présentent cinq lobes, subdivisés ou laciniés, analogues au type du *Piquepoule rose* (fig. 5), ou à celui du *Cioutat* ou *Persillade*.

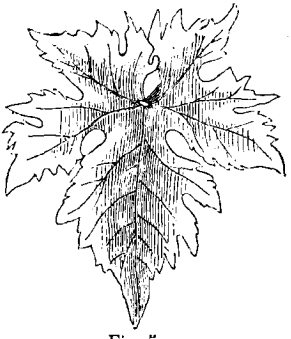


Fig. 5.

La *septième classe* renfermerait toutes les tribus dont le feuillage varie de forme sur le même cep et, en outre, toutes celles dont les feuilles ne se rangeraient pas dans l'une des six premières classes, en sorte qu'il n'y a pas un cépage qui puisse échapper à cette classification.

Il y aurait ainsi *sept classes* pour chacun des *trois groupes* établis d'après la couleur du fruit, soit, en tout, vingt et une classes. Mais comme cette division n'approcherait pas assez du but, M. d'Armailhacq subdivise chacune de ces classes en *deux ordres*, selon que les feuilles offrent ou non du coton ou des poils sur les feuilles ou en dessous, en sorte que, selon cette subdivision, indiquée par l'ampélographe italien don Clemente de Roxa, le premier de chaque classe comprendra toutes les tribus à feuilles parfaitement *glabres*, et le second,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VIGNE.

toutes celles qui offrent du coton, du duvet ou des poils.

Les caractères secondaires servent à établir des subdivisions dans les classes ainsi établies.

MALADIES DE LA VIGNE. M. *Heuzé*, membre du comité d'agriculture, a lu à la Société d'Encouragement un Mémoire sur l'histoire des maladies de la vigne depuis les temps les plus reculés.

Dans l'antiquité, M. *Heuzé* cite *Théophraste*, qui connaissait une maladie analogue à la rouille et une brûlure spéciale des fruits attribuée à l'ardeur du soleil; *Plaute*, qui dans une de ses comédies fait allusion aux mœurs de l'attelabe; *Columelle* et *Palladius*, qui se bornent à des observations générales sur l'influence du sol et des intempéries de l'atmosphère; *Pline*, qui signale d'une manière assez précise diverses maladies et les insectes qui attaquent la vigne, et qui indique déjà l'emploi du soufre pour détruire ceux-ci. — Dans les temps modernes, *Pierre de Crescens*, en 1471, publia un *Opus ruralium commodorum* plein de renseignements utiles; *Charles Étienne*, auteur de la première Maison rustique, a décrit mieux que ses devanciers les affections connues de la vigne; *Olivier de Serres*, dans le seizième siècle, a conseillé l'emploi du soufre pour la destruction des insectes et a, le premier en France, fait connaître l'utilité de la fumée des feux allumés dans les vignes, pour empêcher les effets des gelées tardives; *Sachs* est auteur d'une Ampélographie imprimée en 1661, où il a caractérisé mieux que ses devanciers les affections auxquelles la vigne est sujette. *Jean Boulay*, chanoine d'Orléans, publia aussi, en 1723, un ouvrage sur la manière de bien cultiver la vigne, où il parle de divers insectes qui attaquent la vigne, l'orbec ou gribouri, l'urébère ou attelabe vert ou lisette, etc.

On doit citer parmi les fléaux de la vigne l'urébère qui, à diverses reprises, fit de grands ravages en Bourgogne; le *coupe-bourgeon*, signalé par *Bidet* en 1752, le *ver de vigne* ou teigne de la grappe, l'érinée ou *érinnose*, cryptogame étudié depuis par M. *Dunal*; le *gribouri* ou écrivain, la *pyrale*, qui est détruite par l'échaudage des ceps imaginé par *Raclet*. L'*oïdium* a ravagé les vignobles du midi de la France, au moment où la pyrale attaquait ceux de Bourgogne, jusqu'au moment où l'emploi de la fleur de soufre généralisé a affranchi nos vignes des effets de cette affection. C'est lorsque nos vignobles prenaient un nouvel essor par l'accroissement de l'exportation des vins que le traité de commerce avait causé, qu'un nouveau fléau plus terrible que tous les précédents est venu étendre ses ravages sur les vignes de la vallée du Rhône, et successivement sur celles du Gard, de l'Hérault, de l'Aude et sur d'autres régions: tels furent, en effet, les débuts de l'invasion du *phylloxera* que rien encore n'a arrêté dans sa marche.

LE PHYLLOXERA. M. *Dumas* a pris ensuite la parole et a résumé la question ainsi qu'il suit en traçant de main de maître la méthode que l'on doit suivre pour attaquer les problèmes les plus difficiles.

Je désire attirer toute l'attention du Conseil, a-t-il dit, sur l'importante question dont M. *Heuzé* vient de l'entretenir. Le fléau qui attaque nos vignes doit être regardé comme un très-grand malheur national. Il ne s'agit pas, en effet, d'une maladie passagère qui puisse s'éteindre par des circonstances naturelles et dans les conditions ordinaires de la culture, mais d'une véritable plaie qui sévit sur nos vignobles et qui menace de ruine cette partie si florissante de notre agriculture. 200,000 hectares de vignobles sont ravagés et 1 million d'hectares sont atteints ou menacés. Le phylloxera remonte déjà jusqu'à Lyon; il s'est déjà développé dans le Bordelais, où cependant un terrain profond permet mieux à la vigne de se défendre; il a été signalé dans la Saintonge et près de Cognac, et on peut prévoir que, si ses ravages ne sont pas arrêtés, la France risque de perdre peut-être 1 milliard sur les produits les plus réguliers de son agriculture. Les trois départements du midi les plus frappés, le Gard, l'Hérault et l'Aude, récoltaient, en effet, à eux seuls, des vins pour une valeur de 900 millions. On conçoit donc que la perspective d'un pareil désastre oblige à en étudier la cause avec la plus grande sollicitude.

Lorsque le phylloxera a envahi un vignoble, la récolte de la première année n'a rien d'anormal, on observe seulement que les feuilles tombent plus tôt qu'à l'ordinaire après la vendange. L'année suivante, la vigne bourgeonne plus difficilement, la végétation est gênée, on n'a qu'une demi-récolte, les feuilles tombent plus tôt encore que l'année précédente et quelquefois même avant la vendange. La troisième année, la vigne est morte, toutes ses radicelles sont pourries; elle ne pousse plus que quelques courts sarments au moyen des sucs de son bois.

La seule tentative qui ait réussi à empêcher ce malheur est celle de M. *Faucon*. Son domaine rapportait 925 hectolitres de vin en 1867. Il a été attaqué par le phylloxera; la récolte a été réduite à 400 hectolitres et dans la deuxième année, elle n'a donné que 35 hectolitres. Alors M. *Faucon* a inondé son vignoble à l'automne, quand la végétation de la vigne était suspendue et ne pouvait pas en être troublée. Au printemps, après quatre mois d'immersion, il a reconnu que les phylloxera avaient disparu. Les ceps n'avaient pas souffert, la vigne renaissait et la récolte revenait à 120 hectolitres. Elle était de 450 hectolitres l'année suivante, et était rétablie à son taux normal de 849 hectolitres dans la troisième année et les suivantes. Tel est le fait dans toute sa simplicité.

Ce procédé est-il applicable partout et dans tous les cas? On aurait grand tort de l'affirmer. Toutes les vignes ne sont pas en position d'être aisément inondées, tous les cépages ne se prêteraient peut-être pas à subir un bain complet de quatre mois tous les ans. On ignore si la qualité du vin ne serait pas modifiée. Mais, avant de parler de la qualité, il fallait s'occuper de l'existence même de la récolte qui était compromise et qui, rétablie, s'est faite dans des conditions telles que le vin récolté s'est bien vendu. Il est donc certain que M. *Faucon*, dans la situation où il se trouvait, a obtenu le succès qu'il cherchait. Il a tué, par submersion, tous les phylloxeras qui existaient dans son domaine. Il ne pouvait pas cependant s'en tenir à une seule opération. Il a dû recommencer chaque année, parce qu'il est entouré de voisins infectés qui lui envoient sans cesse de nouveaux insectes, et il devra renouveler cette opération tant qu'il y aura des phylloxeras dans la contrée.

Avant d'aller plus loin, je demanderai à M. *Heuzé* la permission de faire encore une observation au sujet de ce qu'il vient de dire relativement à *la pyrale*. Il n'est pas tout à fait exact d'attribuer à M. *Raclet*, dont je n'entends pas contester le mérite et à qui la reconnaissance du pays est due, l'invention absolue des procédés employés pour la destruction de la pyrale. Il est très-rare, en effet, que les agriculteurs trouvent immédiatement le remède à une maladie qui apparaît tout à coup. Ce n'est pas l'*empirisme*, mais bien la *science* qui montre le chemin par lequel on peut parvenir à combattre le mal, et la *pratique* ne vient, en général, que pour exécuter et réaliser les procédés dont la science a fourni les principes. Examinons quel a été, en effet, le rôle de la science dans cette circonstance.

En 1838 et en 1839, la pyrale fut signalée en Bourgogne et fit de grands ravages. Les tentatives diverses qui furent faites pour en combattre l'action étaient toutes infructueuses. C'est alors que la science fit connaître: 1° que dans une certaine partie de son existence la pyrale est un papillon nocturne; 2° qu'elle pond ses œufs au dos de la feuille de la vigne à laquelle ils adhèrent en formant des plaques nacrées faciles à reconnaître; 3° que de ces œufs sortent, en juillet, des che-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nilles qui font un fil d'une certaine longueur et qui restent suspendues, en l'air, à son extrémité, jusqu'à ce qu'un mouvement de l'air les mette en contact avec le cep; elles se détachent alors, descendent dans le sol et s'enfouissent sur le cep, à quelques centimètres de profondeur. Elles passent l'hiver ainsi, et au printemps elles remontent sur le pied de vigne, dévorent tout ce qu'elles rencontrent, les bourgeons, les feuilles nouvelles, et elles causent presque la destruction de la plante; puis elles se transforment en chrysalides et se cachent, à cet effet, dans les plis des feuilles de la vigne tordues en cornets. Elles en sortent à l'état de papillon.

Il fallait découvrir ces faits qui constituent les mœurs de l'ennemi qu'on avait à combattre. C'est la science qui s'en est chargée, en la personne de M. *Audouin*, membre de l'Académie; la pratique a ensuite exécuté les procédés qui en dérivent. L'insecte était un papillon nocturne, on a allumé des feux, la nuit, dans les vignes, et un grand nombre de papillons sont venus s'y consumer. L'insecte quitte le cep pour aller se cacher en terre, on a goudronné le pied des ceps et la terre environnante. Les œufs sont en plaques visibles sur les feuilles, on a enlevé ces feuilles à la main. Sachant l'action délétère de l'acide sulfureux sur ces insectes, on a brûlé du soufre à l'extrémité des échalas où ils s'étaient cachés. Tous ces moyens, indiqués par M. *Audouin*, étaient efficaces, mais ils n'étaient pas suffisamment actifs ou étaient trop dispendieux. C'est alors que M. *Raclet*, s'appuyant sur une des parties les plus curieuses des mœurs de l'insecte, son hibernation en terre, a trouvé qu'on opérait la destruction complète de l'insecte en arrosant le pied de la vigne avec un litre environ d'eau bouillante. Mais pour en venir là, il fallait savoir que c'était dans ce lieu d'élection qu'on trouverait l'ennemi qu'on voulait détruire et qu'il y serait engourdi et hors d'état de fuir pour se soustraire à la destruction; c'est ce qu'avait trouvé M. *Audouin*.

Les choses se passeront de la même manière en ce qui concerne le phylloxera. Hormis le succès que M. Faucon a obtenu par la submersion de ses vignes, aucune des si nombreuses tentatives faites pour combattre le fléau n'a eu d'effet utile; non pas qu'on manque d'insecticides efficaces, ils sont, au contraire, très-nombreux; mais, quand ils ne détruisent pas la vigne elle-même, ils sont sans action utile sur l'insecte qu'on ne peut pas atteindre ou dont les habitudes sont inconnues aux inventeurs de remèdes. Lorsque l'Académie des sciences s'est occupée de ce sujet, elle a demandé, avant tout, qu'on fît connaître l'insecte et ses mœurs, dans toutes les phases de son existence. Tant que cette étude ne sera pas complète, on ne pourra faire que des efforts impuissants en portant ses coups dans les ténèbres contre un ennemi inconnu; mais, lorsqu'on l'aura complétée, on en déduira, j'en ai l'assurance, des moyens raisonnés et certains pour combattre ce fléau. Dès à présent, on peut résumer les connaissances acquises, faire connaître l'état d'avancement de ces études et signaler les espérances qu'elles donnent pour l'avenir.

A l'apparition du mal, deux opinions se sont produites et ont partagé les observateurs. Les uns ont considéré le dépérissement de la vigne comme une maladie propre à la plante elle-même; ils ont regardé l'insecte comme un parasite vivant des sucs viciés par cet état spécial dont la cessation produirait sa propre disparition. Les autres ont attribué la souffrance du végétal à l'existence de l'insecte par lequel elle était envahie, qui altérait ses racines, et qui, par sa prodigieuse multiplication, compromettait son existence. On en est venu, je crois, à être à peu près d'accord aujourd'hui. En effet, quelle que soit l'opinion adoptée, les conséquences pratiques qu'on en a déduites ont été les mêmes. On s'accorde, d'une part, à bien nourrir la plante avec le meilleur engrais possible afin de lui donner de la résistance contre le mal qui l'épuise, et, d'autre part, à détruire l'insecte, cause ou effet, dont la présence, dans tous les cas, exerce un effet nuisible sur la végétation.

A l'égard des conditions d'existence et des habitudes de l'insecte, on s'est demandé, avant tout, comment il se reproduisait et s'il s'écoulait entre deux générations successives un temps court ou un temps très-long. Quelques analogies avaient porté à penser qu'il mettait un an à se reproduire. Mais l'observation a montré que cet intervalle était beaucoup plus court et ne dépassait pas vingt jours. Vingt jours après sa naissance, sans fécondation nouvelle, une femelle pond trois œufs par jour, pendant vingt ou trente jours au moins et probablement beaucoup plus. Cette multiplication se répète pour chacun de ses descendants avec une progression d'une effrayante rapidité, depuis le 15 avril jusqu'au 15 octobre! Voilà comment un seul insecte, une unité, survenant au printemps, produit, à l'automne, 12 à 15 milliards d'individus qui s'entassent pressés l'un contre l'autre sur les racines, en les recouvrant d'une manière aussi continue que l'épiderme de la peau recouvre notre doigt. On a de la peine à se représenter une aussi effrayante fécondité. C'est la propriété contraire qui fait que le gribouri, par exemple, est moins dangereux. Il ne se reproduit que dans des conditions peu actives, tandis que la femelle du phylloxera peut, après sa naissance, pondre des centaines d'œufs sans avoir besoin d'être fécondée.

On a cherché ensuite à savoir si cette fécondation innée des femelles n'était pas remplacée, à une certaine période, par un accouplement régulier. Cette recherche a été difficile, et elle n'a rien produit tant qu'on s'est borné à observer le phylloxera de la vigne. Heureusement, il existe sur le chêne un insecte analogue plus facile à étudier, et il a servi à faire connaître la voie qu'on devait suivre. On a reconnu, en effet, que vers la fin de l'automne les phylloxeras pondent des œufs particuliers, n'ayant ni la taille ni la couleur de ceux des générations précédentes. Il en sort des insectes mâles et femelles qui sont différents de ceux qui les ont produits. Ils sont dépourvus d'appareils de succion et de digestion, incapables, dès lors, de se nourrir, et ces appareils sont remplacés par des organes mâles et femelles. Aussitôt nés, ils s'accouplent et produisent un œuf d'où naît une femelle qui pourra reproduire l'espèce pendant une longue suite de générations sans fécondation nouvelle.

Ces résultats sont dus à M. *Balbiani*, qui les a observés sur l'insecte du chêne, et à M. *Max. Cornu* qui les a constatés sur celui de la vigne, et ils jettent un jour inattendu sur les principales circonstances de l'existence de ces êtres singuliers.

Il est encore une troisième forme sous laquelle le phylloxera de la vigne peut apparaître, et elle doit aussi être étudiée avec attention; c'est la forme ailée. L'insecte qu'on observe ordinairement sur les racines de la vigne est aptère; il peut se transporter à de petites distances et marche même assez vite, mais il ne peut pas traverser de grands espaces, et son existence serait bientôt éteinte par la ruine des ceps qu'il aurait fait périr, si la nature n'y avait pas pourvu. En juillet, et plus tard on observe qu'il peut être transformé en un insecte ailé ressemblant un peu, en petit, à une mouche ordinaire. Pour cela, il faut qu'il ait été alimenté par une nourriture particulière, qui est le suc plus substantiel et plus riche des extrémités les plus vivantes et les plus jeunes des radicelles de la vigne et non le suc des grosses racines. Par l'influence de cette nourriture, les phylloxeras prennent des ailes, ils remontent à la surface du sol et ils sont enlevés et transportés par le vent à d'assez grandes distances. Ils sont d'ailleurs, en tout, pareils aux autres individus femelles dont ils ne diffèrent que par leurs ailes et vivent et se nourrissent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme eux ; ils ont un ovaire, mais ne donnent naissance qu'à trois œufs d'où sortent les individus sexués, capables de s'accoupler.

Cette étude des mœurs du phylloxera se continue et fait chaque jour des progrès nouveaux ; mais, dès à présent, et dans son état actuel, elle laisse concevoir l'espoir qu'on en retirera des applications utiles à une époque peu éloignée ; on peut même déjà reconnaître les époques où la destruction de cet insecte peut être tentée avec le plus de chances de succès. M. *Faucon*, guidé par la pensée que la maladie de la vigne était due à la présence du parasite qui l'épuisait, a inondé ses vignes pendant l'hiver. A cette époque, l'insecte engourdi et inerte était dans l'impossibilité de se soustraire à la destruction et le succès de l'opération était assuré. Au printemps, en effet, les phylloxeras se réveillent, pondent et les jeunes apparaissent doués d'une grande activité ; mais alors, comme on est à l'origine de la période annuelle, la mort de chaque individu supprime les milliards qu'il aurait produits pendant l'année. En automne, d'autre part, la destruction des mâles et des femelles empêcherait la naissance des innombrables générations fécondées pour un long avenir qui sortiraient de leurs œufs.

En résumé, quant aux mœurs du phylloxera, les observations dues à la science n'ont pas été décisives, mais sont loin d'être restées stériles.

Si les grosses racines sur lesquelles le phylloxera se fixe en hiver dépérissent, c'est que l'insecte hibernant n'est pas engourdi et continue à se nourrir de leur suc, son suçoir implanté dans leur tissu.

Si la vigne meurt, c'est que toutes ses radicelles ont été attaquées par l'insecte, et que ses piqûres déterminent la formation de nodosités qui pourrissent en hiver, ce qui prive la vigne de tous ses organes nourriciers.

Dès le milieu d'avril, le phylloxera commence à pondre, et tous ses œufs, les œufs d'été, ordinairement en nombre effrayant, produisent des femelles voraces et fécondes, se multipliant à l'infini, sous la forme aptère et destinées à vivre et à mourir dans un étroit rayon.

Pour se transporter au loin et créer de nouvelles familles, l'insecte prend une nourriture choisie, devient ailé et va pondre à distance des œufs capables de donner des individus sexués destinés à l'accouplement et privés de suçoirs et d'organes digestifs.

De ceux-ci sortent des femelles dont les œufs, les œufs d'hiver, passent l'hiver sans éclore et qui, au printemps, deviennent le point de départ d'une nombreuse famille dont toutes les femelles se trouvent fécondes pendant de longues générations.

A quelques nuances près, cette histoire du phylloxera des racines ne diffère pas de celle du phylloxera des feuilles qui se développe sur les feuilles des vignes américaines. Je considère le phylloxera comme originaire d'Amérique, comme transporté en France. Mais je m'arrête, ayant voulu seulement rétablir le rôle et les devoirs de la science dans leur véritable jour.

VIN (*angl.* wine, *all.* wein). Le vin est la liqueur obtenue par la fermentation du jus de raisin. Il existe un nombre infini de variétés de vins qui diffèrent toutes entre elles, par la couleur, la saveur, la consistance.

Les vins sont généralement *rouges* ou *blancs*, suivant qu'ils proviennent de raisins noirs ou blancs, suivant aussi qu'ils ont fermenté plus ou moins longtemps sur la pellicule.

Les vins sont *liquoreux* ou *secs*. Les vins liquoreux sont ceux dans lesquels le sucre n'a pas été complétement décomposé ; ils sont plus ou moins spiritueux. Le sucre qu'ils renferment leur donne une consistance que n'ont pas les autres vins. Les vins secs sont ceux dans lesquels tout le sucre a disparu. Parmi les vins secs, se classent plusieurs variétés de liquides, depuis les vins fins jusqu'aux vins les plus communs.

Les *vins mousseux* sont des vins dont la fermentation n'a pas été complète et qui retiennent de l'acide carbonique en dissolution. Cet acide, en se dégageant, donne naissance à une mousse blanche qui s'élève sur le vin.

FABRICATION DU VIN. Le vin rouge étant le plus généralement connu en France, nous commencerons par décrire sa fabrication ; nous indiquerons ensuite les modifications qu'il faut apporter dans celle du vin blanc, des vins de liqueur, du vin mousseux ou de Champagne, etc., etc.

Vin rouge. La fabrication du vin rouge comprend les quatre opérations suivantes :

1° La *vendange* ou récolte de la matière première ;
2° Le *foulage* ou expression du jus, opération qui quelquefois est précédée de l'*égrappage* ;
3° La *fermentation* du moût ;
4° Le *décuvage*, le *pressurage*, la *mise en tonneau*, etc.

La vendange a une grande influence sur la nature et la qualité du vin, et cependant, c'est en général l'opération la plus négligée. Tout le monde sait que ce sont les raisins mûrs qui font les bons vins, mais en même temps on sait aussi que la maturité parfaite n'arrive pas à la même époque pour toutes les espèces de raisin. Si donc on veut avoir du vin de bonne qualité, il est de toute nécessité de cueillir le raisin à diverses reprises, de le trier, de séparer avec beaucoup de soin les grains verts, mal mûrs ou pourris. Lorsque le raisin noir est mûr, la queue de la grappe, de verte qu'elle était, devient brune, elle devient pendante, le grain de raisin a perdu sa dureté, la grappe et les grains se détachent facilement, le jus du raisin est doux, épais et gluant. La maturité du raisin blanc se reconnaît à l'*aoûtement* du bois, à la transparence du grain, à sa saveur sucrée et à l'apparition de taches brunes à sa surface.

Dans les départements du Midi la vendange se fait du 8 au 20 septembre ; dans ceux du Centre et du Nord elle se fait du 20 au 30 septembre dans les années précoces, et au commencement d'octobre dans les années tardives. Il est des automnes pluvieux pendant lesquels le raisin pourrit plutôt que de mûrir, et la grappe reste toujours verte. Pour vendanger on choisit alors le point le plus complet de maturité relativement à la saison.

Pour faire certains vins on laisse faner le raisin sur le cep. C'est ainsi que se fait le fameux vin muscat de Rivesaltes, celui de Tokay, etc., etc. On suit la même méthode dans l'île de Candie, dans l'Espagne, etc., pour faire ces vins liquoreux si renommés. A Arbois et à Château-Châlons, qui produisent les vins s'approchant le plus des meilleurs vins liquoreux, on ne vendange qu'à Noël.

On ne doit commencer la vendange que lorsque le sol et les raisins sont secs et que, d'un autre côté, le temps paraît assez assuré pour que les travaux ne soient pas interrompus. On choisira, autant que faire se pourra, un jour chaud, car le froid retarde les premiers mouvements de la fermentation, ce qui nuit toujours à la qualité du vin. Dans la Champagne, pour la fabrication du vin blanc, on suit une méthode inverse. On vendange avant le soleil levé, ou du moins avant qu'il ait dissipé la rosée.

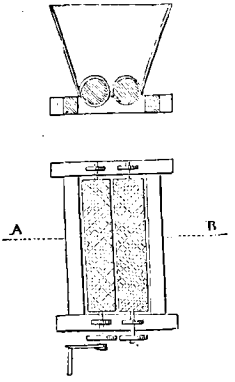
La serpette et le couteau doivent être interdits pour la coupe du raisin : ils sont lourds, fatiguent la main, et donnent au sarment et à la grappe des secousses qui font tomber les grains ; on ne doit permettre aux vendangeurs que l'usage des ciseaux et du sécateur. L'ouvrier soutient le raisin de la main gauche, il le coupe de la main droite et le dépose dans un panier en osier ou dans une seille. Un ouvrier, portant une hotte sur son dos, suit les vendangeurs, et à mesure que leurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

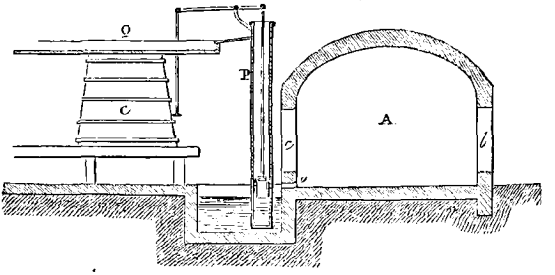
paniers sont remplis de raisins, ils sont vidés dans cette hotte pour être portés là où ils doivent être traités.

La récolte étant faite, il est nécessaire de mettre les raisins dans des conditions telles qu'une fermentation uniforme puisse s'établir dans toutes ses parties. Le jus de raisin, tant qu'il reste protégé par son enveloppe contre le contact de l'air, n'éprouve que des modifications à peine appréciables. La grappe et les grains ne font que se dessécher peu à peu. Mais il suffit d'ouvrir l'enveloppe pour changer les propriétés de ce suc qui, dès qu'il se trouve en contact avec l'air, subit la fermentation spiritueuse par suite de l'action chimique que l'oxygène de l'air exerce sur l'un de ses éléments constituants. Le raisin récolté doit donc être soumis à une pression convenable pour en extraire le jus et le placer ainsi dans des conditions convenables pour subir la fermentation.

2551.



2552.



2553.

Le foulage atteint ce but : avant de fouler le raisin, on procède quelquefois à une première opération, l'*égrappage*, opération qui a pour but de séparer les grains de la rafle.

On a discuté pendant longtemps pour savoir s'il est avantageux d'égrapper ou de ne pas égrapper les raisins. La grappe étant âpre et amère, les vins qui proviennent de raisins non égrappés participent plus ou moins de cette qualité; mais il est des vins faibles dont la fadeur naturelle est relevée par la saveur âpre de la grappe. Il existe des vignobles où, après avoir égrappé le raisin, on a abandonné cette méthode, car le vin que l'on obtenait se conservait moins bien que celui obtenu sans égrapper. Nous pensons que si les raisins sont parfaitement mûrs, il est convenable d'égrapper, car la rafle ne peut donner qu'un mauvais goût au vin. Dans les années pluvieuses, au contraire, où le raisin ne parvient pas à une maturité complète, nous croyons qu'il ne faut pas égrapper, car la rafle accélèrera la fermentation et améliorera le vin en relevant sa faiblesse.

Dans quelques vignobles le foulage se commence à la vigne. Il se fait ordinairement par des hommes qui trépignent le raisin avec leurs pieds, dans des cuves disposées à cet effet : ils répètent cette opération plusieurs fois, d'abord au fur et à mesure que la cuve s'emplit et ensuite quand le moût a subi un premier mouvement de fermentation.

Il serait avantageux d'écraser plus uniformément le raisin par un procédé mécanique; mais ce qu'il faut surtout éviter dans le foulage à la mécanique, c'est le broyage des rafles et des pépins qui, tout en étant avantageux pour des moûts trop fades, est le plus souvent nuisible en ce qu'il donne au liquide une saveur trop acerbe. Il faut donc employer des appareils tellement disposés que les grains de raisin seuls soient écrasés. La machine représentée fig. 2551 et 2552 atteint parfaitement ce but. Cet appareil se compose de deux cylindres recouverts d'un treillis en fil de fer à larges mailles ; les aspérités ainsi produites suffisent pour engager les grappes et rompre les grains de raisin, sans que le rapprochement soit tel que les rafles et les pépins soient écrasés.

Dans les grandes exploitations on emploie une méthode beaucoup plus expéditive encore. La fig. 2553 indique la disposition du cellier où sont écrasés les raisins, de la pompe qui sert à élever le moût et des cuves de fermentation. A est la cave voûtée sur le sol de laquelle on piétine les raisins qui y sont jetés par la porte *b*; *c*, porte qui sert à enlever les rafles de dessus le sol de la cave; *o*, orifice par lequel s'écoule le moût provenant de l'écrasage des raisins. Une pompe P élève le moût dans la rigole Q d'où il se distribue dans les cuves de fermentation C.

La cuve doit être remplie avec la vendange du jour. Si on la remplit en quatre ou cinq jours, comme cela arrive malheureusement dans certains vignobles, on s'expose à avoir une suite de fermentations successives qui, par cela seul, sont toutes imparfaites : une portion de la masse a déjà fermenté que la fermentation commence à peine dans une autre partie. Le vin que l'on obtiendra sera donc un mélange de plusieurs vins plus ou moins fermentés. Un bon vigneron doit donc proportionner le nombre de ses vendangeurs à la capacité de sa cuve, et lorsqu'une pluie vient interrompre la vendange, il doit laisser fermenter séparément ce qui se trouve déjà ramassé et déposé dans la cuve.

Le raisin étant foulé par un des procédés que nous avons indiqués, on procède au partage du moût dans les cuves où doit s'opérer la fermentation.

La fermentation est l'opération la plus importante de la vinification, puisque c'est par elle que le moût se change en vin. Avant de décrire les méthodes que l'on emploie dans la pratique pour faire fermenter le moût, nous étudierons sa composition, ses principales propriétés, pour passer ensuite les produits fournis par la fermentation.

Le moût renferme *beaucoup d'eau*, du *sucre de raisin* ou *glucose*, du *mucilage*, du *tannin*, une *matière azotée soluble* qui constitue le ferment, de l'*acide malique libre*, du *bitartrate de potasse*, des *tartrates de chaux et de potasse*, du *sel marin*, du *sulfate de potasse*, une *matière*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

colorante bleue qui rougit par les acides, enfin des *matières grasses* qui proviennent soit du jus de la pellicule, soit des pépins.

De tous ces principes, le plus important est le sucre, puisque c'est lui qui *convertit en alcool* constitue la *force du vin ;* les autres substances ne paraissent être qu'accessoires et ne font que modifier sa saveur : c'est du nombre de ces matières, des diverses proportions dans lesquelles elles se trouvent mélangées et peut-être aussi de leur état particulier que proviennent les nombreuses variétés des vins (Masson-Four).

De nombreuses expériences ont montré que pour être ajouté au vin, le *sucre d'amidon* ou *glucose*, très voisin par ses propriétés du sucre de raisin, est celui qui donne les meilleurs résultats. Les sucres de cannes et de betteraves sont moins bons.

Cette méthode de corriger la mauvaise qualité du moût est employée aujourd'hui dans un grand nombre de vignobles. Nous devons dire cependant que le sucre ne doit être employé qu'avec *beaucoup de discernement*, car si on en met trop, il empâte le vin, donne beaucoup de lie, le dispose à la graisse et surtout à l'acide. Disons enfin que le sucre ajouté au moût donnera bien *un vin aussi riche en alcool, que celui des bonnes années, mais qui lui sera toujours inférieur sous le rapport de la qualité.*

Autrefois on pensait que dans le cas où le vin manque d'alcool, on pouvait en ajouter pour l'amener au titre ordinaire. Certains œnologues prétendent encore aujourd'hui, qu'au lieu d'ajouter du sucre au moût, il est plus convenable d'ajouter de l'alcool dans la cuve avant que la fermentation soit achevée. En agissant ainsi on donnera bien au vin la force qu'il doit avoir, mais jamais le vin que l'on obtiendra ainsi ne sera aussi bon que celui obtenu en ajoutant au moût la quantité de sucre nécessaire pour obtenir l'alcool qui manque ; car il est tout différent d'introduire l'alcool dans le vin ou le sucre dans le moût. Cela tient sans doute à ce que pendant la fermentation il se passe des réactions chimiques que nous ne connaissons pas, et auxquelles participent plus ou moins les diverses matières renfermées dans le moût (Dumas, VI^e^ vol.).

Nous n'avons rien à dire sur la théorie de la FERMENTATION (voyez ce mot) ; elle exige le concours de l'air pour commencer, mais une fois qu'elle est produite ce concours devient inutile et même nuisible. Plus loin nous reviendrons sur les méthodes que l'on emploie dans la pratique pour faire fermenter le moût.

Quand la fermentation est terminée le moût a changé de nature ; le sucre s'est transformé en alcool qui reste, dans le liquide et en acide carbonique qui a disparu.

Pendant longtemps on a discuté pour savoir si l'alcool existe tout formé dans le vin, ou bien s'il se forme par l'effet de la chaleur employée pour le distiller. M. Gay-Lussac a prouvé que la deuxième opinion, soutenue par Fabroni, était inadmissible.

M. Gay-Lussac a en effet démontré : 1° que l'alcool peut être extrait du vin dans le vide à la température de 15° centigrades ; 2° qu'on peut en retirer l'alcool par le procédé suivant : on agite le vin avec un excès de litharge porphyrisée, on décante pour séparer l'excès de cet oxyde et le tartrate de plomb ; la liqueur décantée est introduite dans un tube qui contient de la potasse du commerce bien sèche ; celle-ci se dissout, s'empare de l'eau et met l'alcool en liberté. Ce procédé ne donne pas des résultats bien exacts. L'alcool qui se sépare retient plus ou moins d'eau, et la potasse elle-même retient plus ou moins d'alcool.

Pour connaître exactement la quantité d'alcool contenue dans le vin, il faut avoir recours à la distillation. Pour cela, on distille aux 2/3, et on ajoute au produit distillé assez d'eau pour reproduire le volume primitif du vin. On détermine la densité du liquide, et au moyen des tables, qui donnent la richesse en alcool à diverses densités, on a la teneur du vin en alcool (voyez le mot ALCOOMÈTRE).

C'est par ce procédé que M. Brandes a déterminé la teneur en alcool des vins contenus dans la table suivante (les chiffres contenus dans cette table indiquent la quantité d'alcool à 0,825 de densité que 100 parties de vin contiennent. Pour ramener ces nombres à exprimer de l'alcool absolu, dont la densité à 15°,50 C. est 0,793, il faut les multiplier par 0,92) :

	Alcool p. 100 en volume.		Alcool p. 100 en volume.
Vin de raisins secs.	26,40	Bordeaux.	12,01
Idem.	25,77	Lunel.	15,52
Idem.	23,30	Bourgogne.	16,60
Vin d'Oporto.	25,83	Idem.	15,22
Madère.	24,42	Idem.	11,95
Idem (Sercialle).	21,40	Vin vieux du Rhin.	14,37
Idem.	19,24	Idem.	13
Madère rouge.	22,30	Idem (en tonn.).	8,88
Idem.	18,40	Alicante.	13,80
Xérès.	19,84	Champagne (non mousseux).	13,88
Lacryma-Christi.	19,70	Idem (mousseux).	12,80
Constance blanc.	19,75	Idem rouge.	12,56
Idem. rouge.	18,92	Idem.	11,30
Malaga.	18,34	Frontignan.	12,79
Ermitage blanc.	17,43	Côte-rôtie.	12,32
Idem. rouge.	12,32	Tokay.	9,88
Roussillon.	19,00	Eau-de vie.	53,39
Idem.	17,26	Rhum.	53,69
Bordeaux.	17,11	Whiskey d'Islande.	53,90
Idem.	14,08		

Le vin a une composition analogue à celle du moût qui l'a produit. Il renferme de l'*eau*, de l'*alcool*, un *peu de sucre non décomposé*, du *mucilage*, du *tannin*, de l'*acide acétique*, de l'*acide malique*, du *bitartrate de potasse*, du *tartrate et du malate de chaux*, du *sulfate de potasse*, du *sel marin*, une *matière colorante jaune*, et, de plus, dans les vins rouges, une *matière colorante rouge* qui, suivant Robiquet, peut être obtenue en cristaux. Enfin dans tous les vins il existe sans doute une *huile éthérée* plus ou moins abondante, plus ou moins suave qui constitue le *bouquet des vins*. Les expériences de MM. Chevreul, Balard et Laurent, ont démontré que le bouquet des vins possède les principales propriétés des huiles essentielles. Le bouquet et la saveur des vins, dit Liebig (*Lettres sur la Chimie*, 13^e^ lettre), sont toujours le résultat de combinaisons particulières qui se forment pendant la fermentation. Ainsi les vieux vins du Rhin contiennent de l'*éther acétique* et même de l'*éther butyrique*. Tous les vins contiennent de l'*éther œnantique ;* c'est à lui qu'ils doivent leur odeur vineuse. Les combinaisons dont il vient d'être parlé se forment en partie dans l'acte même de la fermentation et en partie pendant le repos du vin, par l'effet de la réaction des acides sur l'alcool. Il paraît que l'acide œnantique se produit pendant la fermentation du jus de raisin, car, jusqu'à présent du moins, il n'a pas été rencontré dans la grappe. La saveur *pierre de fusil* qu'ont certains vins de la Gironde est due, suivant M. Lauré, de Bordeaux, à un sel de fer qu'ils contiennent.

La couleur des vins rouges provient des pellicules des raisins noirs avec lesquels on fait fermenter le moût, et dont le principe colorant, qui rougit par l'acide libre du vin, se dissout à mesure que la liqueur devient alcoolique. Le vin enlève en outre aux pellicules une quantité assez forte de tannin qui lui donne sa saveur astringente.

L'intensité de la couleur des vins varie beaucoup, les uns sont rosés ; d'autres sont d'un rouge vif ; quelques-uns, nommés *teinturiers*, sont rouge-violet et sont employés pour donner de la couleur à ceux qui en man-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quent. Il s'en consomme une quantité énorme à Paris pour colorer des mélanges s'approchant plus ou moins du vin naturel.

Nous avons vu précédemment que le raisin foulé était mis dans des cuves où doit s'opérer la fermentation. La vendange y est à peine déposée que la fermentation commence. Elle s'annonce d'abord par de petites bulles qui paraissent à la surface du moût ; peu à peu on en voit qui partant du centre de la masse, viennent crever à la surface. On voit alors très sensiblement s'élever au-dessus du liquide de petites gouttes qui retombent de suite. Dans cet état, le liquide se trouble et s'échauffe; tout est mêlé. Les rafles, les pépins, sont poussés, élevés, jusqu'à ce qu'enfin ils se fixent à la surface pour former le *chapeau de la vendange*, ou se déposent au fond de la cuve pour former le *marc*.

Le dégagement de ces bulles aériformes augmente considérablement le volume de la masse. La liqueur s'élève dans la cuve au-dessus de son ancien niveau.

La fermentation est alors ce qu'on appelle *tumultueuse*. Elle dure plus ou moins longtemps, selon la nature du moût et la température. Pendant ce temps le liquide se colore en rouge, il perd en douceur, et il acquiert une *saveur vineuse*. A partir de cet instant la température diminue, la liqueur s'éclaircit, le chapeau s'affaisse; c'est le moment de tirer le vin.

Telle est la marche que suit la fermentation toutes les fois que la saison est favorable et que le raisin est parfaitement mûr; mais il s'en faut de beaucoup que cette marche soit toujours aussi régulière. La fermentation, quoique s'opérant d'une manière spontanée, est une opération qui doit être entièrement dirigée par l'art. Si donc on ne se trouve pas dans des conditions favorables, il faut s'arranger de manière à éloigner tout ce qui peut nuire pour obtenir une bonne fermentation.

Les vices de la fermentation se déduisent de la nature du raisin, qui en est le sujet, et de la température, qui peut être considérée comme un puissant auxiliaire.

Si l'année a été mauvaise, le raisin n'est pas mûr, il ne renferme pas assez de sucre pour fermenter. Nous avons déjà vu qu'on pouvait ajouter au moût la quantité de sucre qui lui manque. Lorsque le moût est trop aqueux, on peut l'améliorer en le concentrant dans des chaudières à bascules semblables à celles qu'emploient les raffineurs de sucre. De cette manière on chasse l'excès d'eau qui se trouve dans le moût; le sucre se trouvant alors moins délayé, la fermentation marche plus régulièrement. Dans quelques vignobles on ajoute du plâtre aux moûts trop aqueux, pour enlever l'excès d'eau qu'ils renferment.

Si le moût est trop épais et trop sucré, la fermentation sera lente et imparfaite ; les vins seront doux et liquoreux, et ce n'est qu'après un long séjour dans les bouteilles qu'ils s'éclairciront et deviendront de bonne qualité. Il serait aisé de provoquer la fermentation en délayant le moût dans l'eau.

Sous le rapport de la température, il convient que les cuves dans lesquelles le moût fermente soient enfermées dans un *cellier clos*, afin de pouvoir régulariser la fermentation, quelles que soient les variations de température à l'extérieur. On a remarqué, en effet, que, dans les halles ouvertes, la durée de la fermentation varie avec la température extérieure ; par un temps chaud elle dure vingt-quatre heures, tandis que par un temps froid elle dure de huit à dix jours. Dans ce dernier cas, le vin s'altère et devient trop acide, circonstance nuisible, surtout pour les vins faibles.

Si le raisin fermente difficilement, on recouvre la vendange de couvertures, si les cuves sont placées dans un lieu ouvert ; dans le cas contraire, on échauffe l'atmosphère où elles se trouvent.

La fermentation est d'autant plus rapide, plus prompte, plus tumultueuse, plus complète, que la masse est plus considérable. On a vu du moût déposé dans un tonneau, ne terminer sa fermentation que le onzième jour, tandis qu'une cuve qui en était remplie et en contenait douze fois le même volume, avait fini le quatrième jour. Il est impossible de déterminer quel est le volume le plus favorable à la fermentation ; il paraît même qu'il doit varier selon la nature du vin et le but qu'on se propose. Si l'on veut conserver l'arome la fermentation doit s'opérer en plus petite masse que s'il s'agit de développer tout l'alcool pour faire des vins propres à la distillation.

Disons enfin que, dans tous les cas, on ne doit jamais perdre de vue que la fermentation doit être gouvernée d'après la nature du raisin, et conformément à la qualité de vin qu'on veut obtenir. Chaque vignoble a des procédés qui lui sont prescrits par la nature des raisins qu'il produit, et par la qualité du vin qu'on veut obtenir.

On emploie deux méthodes pour opérer la fermentation : d'après l'une, on laisse le moût exposé à l'air pendant toute la durée de la fermentation ; d'après l'autre, on interdit plus ou moins complétement l'accès de l'air.

La première de ces méthodes ou la fermentation dans les *cuves ouvertes* est la plus anciennement suivie, et celle qui se pratique encore le plus généralement. Cette méthode, essentiellement vicieuse dans *bien des circonstances*, commence à être abandonnée pour être remplacée par la seconde, depuis que l'on est parvenu à jeter quelque lumière sur le phénomène de la marche de la fermentation.

Les vignerons qui font fermenter le moût dans les cuves ouvertes, remplissent la cuve en laissant vide la 1/10e ou la 1/12e partie de sa capacité. Quand, au contraire, on suit la deuxième méthode, on emplit la cuve aux 8/10es, puis on la ferme exactement.

Les cuves sont ordinairement en bois, de forme conique ou carrée ; on en construit aussi en maçonnerie. Lorsqu'elles doivent servir à la fermentation à l'air libre, elles sont ouvertes à leur partie supérieure ; celles qui doivent servir à la fermentation à l'abri de l'air sont fermées à leur partie supérieure par un couvercle, dans lequel on a ménagé une ouverture de 0m,50 de diamètre, qui sert à l'introduction de la vendange et à la vidange du marc. Cette ouverture est fermée au moyen d'un couvercle maintenu solidement sur les rebords de l'orifice au moyen d'un levier et d'un poids. Un tuyau est adapté au couvercle et sert au dégagement de l'acide carbonique, qui avant de s'échapper dans l'air est obligé de barboter dans une cuvette pleine d'eau, disposition qui empêche le contact de l'air libre avec la vendange.

On a beaucoup vanté, pour la fermentation, l'emploi d'un appareil inventé par mademoiselle Gervais. Cet appareil se composait d'une cuve fermée par un couvercle, au milieu duquel on a ménagé une ouverture qui reçoit un grand chapiteau en fer blanc enveloppé d'un refrigérant. Du sommet du chapiteau partent deux tubes qui vont plonger dans un vase rempli d'eau ; un des tubes porte une soupape de sûreté. Mademoiselle Gervais prétendait qu'avec son appareil elle condensait beaucoup d'alcool qui se vaporisait pendant la fermentation et qui était entraîné par la fermentation, qu'elle obtenait plus de vin, du vin plus parfumé, plus coloré, etc., etc. Elle allait même jusqu'à dire qu'avec cet appareil on obtenait de 12 à 15 p. 100 de plus qu'avec les appareils ordinaires. Mais M. Gay-Lussac a démontré que les promesses de mademoiselle Gervais étaient singulièrement exagérées, en prouvant que la perte en alcool entraîné par l'acide carbonique ne s'élevait pas à 1/2 p. 100 de l'alcool produit et en montrant que son appareil perfectionné pouvait être remplacé par une cuve fermée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On emploie quelquefois des cuves en maçonnerie qui ont la propriété de résister aux variations brusques de température, condition, selon nous, très favorable loin d'être nuisible ; sous ce rapport, elles ont un avantage marqué sur les cuves en bois, qui, comme on le sait, ne sont pas à l'abri des variations de la température extérieure. Il est vrai qu'elles communiquent un mauvais goût au vin, qui est surtout sensible la première année ; mais si la cuve a été construite avec de bons matériaux cet inconvénient se réduit à bien peu de chose pour la seconde année. Nous croyons que ces cuves sont très bonnes pour faire fermenter des vins communs, surtout ceux destinés à la distillation.

Revenons maintenant sur les avantages respectifs des deux méthodes que nous venons de passer en revue. Lorsque la fermentation n'est pas de longue durée, lorsqu'elle est prompte, tumultueuse, que la température de l'atmosphère est convenable, il y a *autant d'avantage à opérer en vase ouvert qu'en vase clos*. C'est ainsi qu'on opère pour les vins fins de Bordeaux et de Bourgogne dans les bonnes années. Si la marche de la fermentation ne se ralentit pas, il est inutile de fouler ou de plonger le chapeau dans le vin. Dans tous les cas, au lieu de faire entrer des hommes dans les cuves, il conviendrait de plonger le chapeau avec un plateau de bois percé de trous.

Nous avons déjà vu que du moment où les circonstances venaient à varier, la fermentation ne marchait plus régulièrement. Dans les cuves ouvertes, si l'atmosphère est sèche, le chapeau se dessèche, l'air le pénètre, il se forme de l'acide acétique, et quand on le plonge dans la cuve il communique au vin une disposition à passer à l'acide.

Si l'air est humide le chapeau s'imprègne d'eau, il se développe une fermentation putride et un commencement de moisissure. Ce chapeau immergé dans le vin (par suite du foulage de la vendange) n'y produira que de mauvais effets. Enfin si la température extérieure varie, la durée de la fermentation variera aussi, comme nous l'avons déjà dit.

Les cuves couvertes remédient à presque tous les inconvénients que nous venons de signaler, la température intérieure est conservée et, comme le dit M. Masson-Four, le moût avant de passer à la fermentation alcoolique, *se mûrit*. L'air n'ayant pas accès, son influence défavorable est nulle. Le chapeau n'éprouve aucune réaction acide ou putride. On a remarqué que dans les cuves couvertes le vin ne prend pas autant de corps, ni autant de couleur que dans les cuves ouvertes ; ce qui est un obstacle à la vente des vins qui n'offrent pas ces caractères au degré voulu, quoiqu'ils soient plus spiritueux et d'un goût plus agréable. Cela vient de ce que dans les cuves ouvertes on foule la vendange pendant la fermentation, et que par conséquent le vin doit se colorer plus fortement. Avec les cuves fermées, au contraire, il est impossible de fouler le raisin.

Chaptal avait proposé de tenir le chapeau toujours immergé au moyen d'un treillage fixé aux parois de la cuve. Cette disposition, tout en tenant le chapeau immergé dans le liquide, permet de fermer la cuve. M. Beauregard d'Angers emploie depuis plusieurs années une cuve qui a beaucoup d'analogie avec celle de Chaptal et qui donne de bons résultats. C'est une cuve en bois dans l'intérieur de laquelle se trouve un double fond percé de trous. Ce double fond est surmonté de chevilles qui contreboutent au couvercle, qui lui-même est fixé contre la cuve par une barre de bois attachée au bâti en charpente, sur lequel repose la cuve. Le couvercle est percé de deux trous, l'un sert au dégagement de l'acide carbonique, l'autre sert à introduire un tube percé de trous, destiné à recevoir un thermomètre. Il existe encore d'autres appareils plus ou moins perfectionnés, inventés par MM. Barsi et Rubano ; mais les bornes resserrées de cet article nous empêchent de les décrire. (Voyez *Cours d'agriculture du XIX^e^ siècle*, article VIN, tome XVII *bis*.)

Aussitôt que la fermentation est terminée il faut soutirer au clair le liquide et le distribuer dans des vases qui doivent le conserver. L'on n'est pas d'accord sur le moment que l'on doit choisir pour le décuvage. On ne peut donner à cet égard aucun précepte absolu et applicable dans tous les pays. Le moment de décuver doit varier selon le climat, la saison, la qualité des raisins, la nature du vin qu'on se propose d'obtenir et d'autres circonstances qu'il ne faut jamais perdre de vue. Si le vin est destiné à la distillation on ne doit le tirer de la cuve que quand tout le sucre est converti en alcool ; mais si l'on veut du vin fin et peu chargé en couleur, on se guide sur ces caractères, et dans ce cas il y aurait plus de danger de décuver trop tard que de soutirer trop tôt.

Les signes que l'on indique pour reconnaître le moment le plus opportun pour soutirer la cuve, sont : 1° la cessation de l'activité de la fermentation et la diminution de densité du moût ; 2° la saveur qui, de douce et sucrée, devient piquante et vineuse ; 3° l'odeur qui est ce qu'on appelle *fragrante* ; 4° la couleur.

Tous ces signes sont équivoques, ils peuvent varier avec la nature du moût qui a fermenté. Nous avons dit précédemment que la fermentation avait pour but de transformer le sucre du moût en alcool, elle sera donc achevée quand la liqueur ne renfermera plus de sucre, et par conséquent quand il ne se produira plus d'alcool. Le signe le moins variable pour reconnaître si la fermentation est terminée est donc celui qu'on déduit de la distillation ; seul moyen de s'assurer du moment précis où il ne se forme plus d'alcool.

Nous indiquerons plus loin un petit appareil que les vignerons pourront employer pour s'assurer s'il ne se forme plus d'alcool ; quant à présent nous donnerons une méthode plus expéditive, plus commode, suffisamment exacte et à la portée de tout le monde. On a un tube divisé en 150 parties égales, on y verse du vin de manière à remplir 100 divisions ; on ajoute du sous-acétate de plomb jusqu'à cessation de précipité ; on laisse reposer ; on jette ensuite par petites portions du carbonate de potasse sec et chaud jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus dans le liquide. Ce sel s'empare de la plus grande partie de l'eau et forme une solution plus dense qu'elle ; l'alcool existant dans le vin se trouve séparé par ce procédé et nage au-dessus de la dissolution de carbonate de potasse. Le nombre de degrés mesurés par la couche alcoolique donne la proportion en volume d'alcool à 0,825 de pes. spécifique. Si deux essais indiquent la même quantité d'alcool, il est temps de soutirer, car il ne s'en produit plus.

Le soutirage du vin est une opération importante, et cependant elle se fait généralement avec très peu de soin. Le procédé ordinairement suivi consiste à tirer le vin dans des seilles et à le porter ensuite dans des tonneaux. On voit donc que le vin, *encore chaud*, est mis en contact avec l'air, le marc, ce qui occasionne une perte considérable d'alcool. De plus, le vin ainsi secoué, aéré, est plus disposé à s'aigrir.

Les tonneaux que l'on emploie doivent être préparés convenablement. S'ils sont neufs, on y fait passer, à plusieurs reprises, de l'eau chaude et de l'eau salée, afin d'enlever l'*amertume* que le bois conserve et qu'il pourrait transmettre au vin. S'ils sont vieux, on enlève la couche de tartre qui s'est déposée au fond et on les lave à plusieurs eaux. Enfin, s'ils ont contracté quelques mauvaises qualités, telles que moisissures, etc., il faut les détruire. Plus loin nous dirons quelques mots sur les différentes conditions auxquelles doivent satisfaire de bons tonneaux.

Lorsqu'on entonne le vin encore chaud, on ne remplit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pas les tonneaux de premier vin; on conserve du vide pour la distribution du vin provenant du pressurage du marc.

On n'enlève de la cuve, par le soutirage, que le vin tout à fait liquide et libre; il reste à s'emparer de celui que les grappes et les pellicules retiennent en quantité assez considérable. Quelques œnologues pensaient que ce vin devait contenir plus d'alcool que celui qui est resté fluide. Cette présomption n'a pas été vérifiée par des essais comparatifs au moyen de la distillation. Comme le chapeau, par son exposition à l'air, a contracté un peu d'acidité, on a soin de le mettre à part pour le traiter séparément.

Les pressoirs sont les machines à l'aide desquelles on presse le marc pour en extraire le vin qu'il contient. Ces machines varient de bien des façons et opèrent plus ou moins bien le pressurage.

Un bon pressoir doit être solide, facile à construire, peu dispendieux, et doit donner la plus grande quantité possible du vin contenu dans le marc.

Les parties essentielles du pressoir le plus généralement répandu, sont : deux fortes jumelles convenablement consolidées, soutenant tout le système du pressoir, qui se compose : 1° d'une espèce de table ou *maie* en madriers assemblés à rainure et à languette, creusée en bassin et destinée à supporter le tas de marc et en même temps à recevoir le jus qui s'en écoule et qui se rend dans un vase, ordinairement enfoncé en terre, au moyen d'une rigole nommée *béron;* 2° de une ou deux rangées de madriers placés alternativement; 3° d'un mouton qui opère la pression au moyen d'une forte vis, laquelle est mise en mouvement par un système d'engrenages ou par une corde qui s'enroule sur un cabestan. Ce pressoir, tout grossier qu'il paraît, donne cependant d'assez bons résultats. Pour plus de détails, voyez le mot PRESSE.

Lorsque le décuvage est terminé, tout le marc est porté au pressoir dans des paniers en osier ou dans des baquets en sapin; on façonne alors le marc de manière à *former le sac,* on l'équarrit aussi bien que possible, on place les madriers, et on presse fortement. Le vin de cette première pressée est considéré comme bon et mêlé avec celui de la cuve. On desserre la vis, on enlève les madriers, on coupe le marc autour de la plate-forme sur laquelle on place les parties taillées, on replace les madriers et on serre de nouveau; c'est que l'on appelle la première coupée. On en pratique ainsi une deuxième, une troisième et même une quatrième. Pour renouveler le coupage on attend que le vin ne coule plus.

Le vin provenant du pressurage et surtout celui de la dernière coupe est plus ou moins acerbe et désagréable au goût. Si la fermentation a été longue, mal conduite, le vin est aigre, il a une saveur acéteuse, il est alors prudent de ne pas le mêler à celui de la cuve. S'il n'est qu'acerbe, il ne contient que du tannin de la grappe; il est alors quelquefois utile de l'ajouter au vin de la cuvée.

Si la fermentation a eu lieu dans des cuves fermées il n'y a pas d'inconvénients à faire ce mélange, et à distribuer aussi également que possible le vin de pressurage dans les tonneaux que l'on achève de remplir.

Dans le vin soutiré de la cuve il reste toujours un peu de liqueur qui n'a pas fermenté et qui lui fait subir une seconde fermentation lorsqu'il est dans les tonneaux. Pendant les quinze premiers jours il écume et bouillonne fortement; il s'en dégage beaucoup d'acide carbonique.

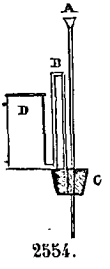
Dans plusieurs localités on remplit chaque jour le tonneau contenant le vin, afin que par l'effet de la fermentation l'écume et les impuretés qui se trouvent à la surface du liquide soient expulsées et rejetées au dehors par l'ouverture de la bonde; c'est ce qu'on appelle *ouillés.*

Dans d'autres endroits on ne remplit pas tout à fait le tonneau, on laisse un espace vide de 0m,25 à 0m,30, capable de contenir l'écume, qui se dépose à la longue et tombe au fond du tonneau lorsque la fermentation se ralentit. Dans ce cas on ferme la bonde, soit avec un linge chargé de sable, soit avec une tuile, soit enfin avec une des bondes hydrauliques dont nous parlerons tout à l'heure.

Les œnologues sont partagés sur la préférence que l'on doit accorder à l'un ou à l'autre des deux procédés d'ouillage que nous venons de décrire. Dans le premier cas on débarrasse le vin d'une partie des impuretés et du ferment qui, en restant dans la liqueur, la rendent trouble pendant longtemps et peuvent à la longue y occasionner des accidents. Mais pour obtenir ce résultat on est forcé de remplir les tonneaux tous les jours, ce qui constitue un travail considérable, surtout si on a beaucoup de tonneaux. On est, en outre, forcé de laisser le tonneau ouvert, et par conséquent, de laisser le vin exposé à l'action de l'air; il se trouve donc placé, comme nous l'avons déjà dit, dans des conditions tout à fait défavorables à sa conservation. Dans le deuxième cas on évite tout travail, et à la longue, le vin que l'on fait ainsi se clarifie bien; mais les matières étrangères qu'il renferme n'en ont pas été expulsées, elles se sont déposées au fond du tonneau, elles peuvent donc y occasionner des accidents.

Un avantage immense qu'a le second procédé, c'est qu'on peut tenir le tonneau fermé, par conséquent, l'influence pernicieuse de l'air n'est plus à redouter; de plus, l'alcool et l'acide carbonique qui se seraient échappés, sont retenus.

On comprend dès lors l'avantage qu'il y aurait à employer un moyen qui permettrait de combiner ensemble les deux procédés, c'est-à-dire de permettre aux matières étrangères contenues dans le vin de sortir, tout en le tenant à l'abri de l'air. M. J. Ch. Herpin a inventé un appareil excessivement simple qui permet d'atteindre ce double but.



2554.

Cet appareil (fig. 2554) se compose de trois parties : 1° d'un long tube en entonnoir A par lequel on verse le vin pour remplir le tonneau; 2° d'un tube recourbé B destiné à donner issue au gaz et à l'écume. L'entonnoir et ce tube traversent un bouchon conique C en fer blanc que l'on introduit dans l'ouverture de la bonde; 3° d'un flacon ou réservoir D dans lequel s'amassent l'écume et le vin.

Pour employer cet appareil on l'enfonce dans le trou de la bonde du tonneau où on le fixe bien solidement; on verse, par l'entonnoir, du vin dans le tonneau, jusqu'à ce que le tonneau soit plein; on ferme l'entonnoir et on met du vin dans le réservoir D jusqu'au tiers de la hauteur. Le vin, en travaillant, fera monter l'acide carbonique et l'écume par le tube recourbé aboutissant à la partie inférieure du flacon D; comme ce flacon renferme une certaine quantité de vin, qui est à la même hauteur dans le tube recourbé, le gaz, pour s'échapper, sera forcé de traverser une colonne de vin qui exercera sur lui une certaine pression et agira ainsi comme une soupape hydraulique. L'écume, chassée, passera à travers les tubes et viendra à la surface du vin qui se trouve dans le réservoir D.

Dans les premiers jours il faudra remplir, au moins deux fois par jour, et mettre une écuelle au-dessous du réservoir D, pour recevoir le vin qui s'en écoule.

Au bout de huit jours, la fermentation se ralentit, elle devient *insensible*, bien qu'elle ne soit pas entièrement terminée. Cette seconde fermentation augmente évidemment la proportion d'alcool. En outre, elle a

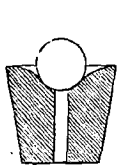
EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour effet de séparer du vin le tartre qui, en se déposant, adhère aux tonneaux dans lesquels il est renfermé ; comme la saveur du tartre est âpre et désagréable il en résulte que le vin qui aura subi la fermentation insensible sera meilleur et d'un goût plus agréable. C'est ce qui explique pourquoi un vin vieux est meilleur qu'un vin nouveau

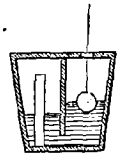
Liebig (*Lettres sur la Chimie*) explique la séparation de la lie de la manière suivante : « La séparation de la lie de vin, durant la fermentation insensible, a lieu à la suite d'une absorption d'oxygène, c'est-à-dire en vertu d'un phénomène d'oxydation qui se passe au sein du liquide. Par le fait de l'absorption de l'oxygène, le principe azoté du jus de raisin, primitivement soluble, perd sa solubilité dans le vin et se précipite. Il résulte des meilleures analyses faites à ce sujet, que la lie de vin est plus riche en oxygène que les substances azotées qui lui donnent naissance. Ce phénomène d'oxydation, qui se passe au sein du liquide et qui détermine le dépôt de la lie, cesse du moment où tout le sucre a disparu, mais il se renouvelle si on ajoute du sucre. Il se reproduit encore lorsqu'on laisse la surface du liquide en contact avec l'air, la séparation des matières azotées s'opère alors aux dépens de l'oxygène de l'air. »

On doit avoir soin de ne pas fermer hermétiquement les tonneaux, tant que la fermentation insensible n'est pas terminée. Autrefois on laissait les tonneaux ouverts. Ce procédé est vicieux, car le vin ainsi exposé à l'air s'acidifie promptement. Il vaut mieux employer les *bondes hydrauliques* qui permettent le dégagement de l'acide carbonique sans mettre le liquide en contact avec l'air. »

La fig. 2555 indique la bonde hydraulique la plus simple qu'on puisse employer : c'est une bonde ordinaire percée d'un trou ; sur ce trou on place une petite sphère qui est soulevée par l'acide carbonique qui se dégage.



2555.



2556.

La fig. 2556 est la bonde hydraulique inventée par M. Payen. Elle est en fer-blanc et a la forme d'un vase conique creux fermé aux deux bases. Cette bonde est construite sur le principe des tubes de sûreté à boule.

Le marc, au sortir du pressoir, devient excessivement dur. Il a divers usages dans le commerce.

Dans quelques vignobles on le distille pour obtenir l'*eau-de-vie de marc* : cette distillation est assez avantageuse si les vins contiennent beaucoup d'alcool, et si les pressoirs pressent peu. Dans le Jura, on distille tout le marc sorti des pressoirs. Le résidu que l'on obtient est ensuite employé comme combustible ; on en forme des *mottes rondes* semblables à celles des tanneurs, ou bien on le répand dans les vignes comme amendement.

Aux environs de Montpellier, on l'emploie pour la fabrication du vinaigre et du vert-de-gris. Dans d'autres localités on l'emploie pour la nourriture du bétail.

Enfin, on peut brûler le marc pour retirer l'alcali qu'il renferme. Le marc est composé des rafles, des pellicules, et des pépins du raisin. On a reconnu que ces parties incinérées séparément donnaient des quantités différentes de potasse. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus par M. Domenio Blangini ; les produits indiqués en cendres et en potasse proviennent de 100 kilogr. de matière première.

	Cendres.	Potasse.
Marc de raisin (commune d'Asti).	7k,294	1k,488
— —	3k,571	1k,339
Pellicules desséchées du raisin.	»	5k,088
Rafles du raisin.	»	3k,984
Pépins de raisins.	»	0k,095

Dans quelques vignobles, au lieu de presser le marc, on met de l'eau dessus ; il s'établit alors une nouvelle fermentation. Au bout de quelques jours, on tire une liqueur colorée d'une saveur vineuse, un peu aigrelette, connue sous le nom de piquette.

Les pépins de raisin donnent une huile limpide, jaune verdâtre, très grise, qui donne, en brûlant, une lumière très belle, exempte de fumée et n'ayant point d'odeur désagréable. Comme aliment, elle est préférable à l'huile de chénevis. Suivant Julia de Fontenelle, 100 kil. de pépins donnent 15 kil. d'huile, et suivant M. Garenn de la Nièvre, 10 kil. seulement. Les tourteaux peuvent servir au chauffage.

VIN BLANC. La fabrication du vin blanc diffère, sous plusieurs rapports, de celle du vin rouge. Dans les vins rouges on recherche de la force et de la couleur, tandis que dans les autres on désire une blancheur ou limpidité absolue, et la douceur, qui fait le mérite des vins de certains vignobles.

Pour fabriquer le vin blanc, on récolte le raisin, comme nous l'avons dit précédemment, on l'apporte ensuite sur la maie du pressoir : deux hommes, dont les pieds sont chaussés de gros sabots, écrasent le raisin dont le jus coule dans une cuve placée sous le goulot, auquel est suspendu un panier à vendange destiné à recevoir les pellicules, les rafles et les pépins que le jus entraîne. Le foulage avec la machine indiquée (fig. 2551 et 2552) serait plus expéditif et bien préférable. A mesure que la cuve se remplit, on enlève le moût, qu'on verse dans des tonneaux en ayant soin de laisser de la place pour recevoir le vin de pressurage. Le marc est ensuite pressé, comme pour le vin rouge ; on fait trois pressées au lieu de quatre. Quelques vignerons mettent fermenter séparément le vin de pressurage, mais le plus grand nombre le distribuent dans les tonneaux avec le moût vierge. La fermentation a lieu dans les tonneaux, comme celle de la bière, et on laisse le vin sur la lie jusqu'au premier soutirage qui a lieu au commencement du printemps ou dans les premiers jours de mars. Telle est la méthode suivie pour faire les vins secs de Bourgogne.

Dans quelques localités on suit une méthode un peu différente. En sortant du pressoir le moût est reçu dans des cuves séparées où on le laisse reposer. Il se forme alors à sa surface une écume blanche qu'on enlève et qu'on fait égoutter pour retenir le moût qu'elle entraîne. Dès que la fermentation commence on enlève les dernières traces d'écume et on le soutire dans des barriques où il doit fermenter. On a soin de ne pas mettre dans les barriques la portion trouble du moût qui s'est déposée au fond des cuves.

VINS DE LIQUEUR. Ces vins sont ceux qui conservent beaucoup de matière sucrée, même après la fermentation alcoolique. Ils se préparent de différentes manières.

Le plus souvent on emploie le moût extrait des raisins parfaitement mûrs ; quelquefois on ajoute au moût naturel une certaine quantité de sirop préparé avec du moût que l'on a évaporé ; d'autres fois, pour augmenter la force du vin, on ajoute de l'alcool après la première fermentation. Enfin dans quelques vignobles on rend les vins plus liquoreux en laissant dessécher le raisin sur le cep. C'est ainsi que se prépare le vin de Tokai.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On laisse le raisin exposé sur le cep à l'alternative du soleil et de la fraîcheur des nuits qui amollit le raisin, tandis que la chaleur du jour les dessèche. Lorsque le raisin est d'une belle couleur brune, on le récolte, on sépare avec un soin minutieux les grains verts ou pourris, puis on en extrait le moût qui donne la première qualité de vin ou l'*essence*. Le marc qui a donné ce premier liquide humecté de moût ordinaire, puis exprimé, donne une seconde qualité de vin.

VINS MOUSSEUX. Autrefois on croyait que la propriété de mousser était une qualité particulière aux vins de Champagne; les uns croyaient qu'il devait cette qualité aux drogues qu'on y introduisait, d'autres attribuaient cette mousse à la verdeur des vins. En 1723, un membre de l'Académie des sciences de Paris écrivait les lignes suivantes : L'art d'avoir du vin mousseux consiste à le mettre en bouteilles vers la fin de mars, lorsque la sève commence à monter dans la vigne : on réussit aussi quelquefois à lui faire prendre cette propriété en le tirant durant la sève d'août. *Ceci prouve que la mousse n'est qu'un effet du travail de l'air et de la sève qui agissent alors fortement dans le bois de la vigne et dans la liqueur qui en est provenue.* Tout le monde sait aujourd'hui que la mousse est produite par un dégagement considérable et subit d'acide carbonique, qui se trouve dissous et comprimé dans le vin, et que pour obtenir un vin mousseux, il suffit de renfermer le liquide dans des bouteilles avant que la fermentation soit terminée. On a en effet essayé, avec succès, dans plusieurs de nos départements, d'y préparer des vins mousseux selon la méthode employée en Champagne. Ces vins rivalisent avec ceux de la Champagne, mais on les trouve moins doux et plus capiteux. Les vignobles de Champagne paraissent seuls en possession de certaines qualités de raisin qui par leur mélange donnent les excellents vins d'Ai, d'Epernay, etc., etc.

Les vins mousseux sont généralement blancs. Le vin rouge ne peut être naturellement mousseux, car pour le colorer on est forcé de le laisser sur le marc et l'acide carbonique se dégage. Le vin de Champagne étant le plus renommé des vins mousseux, nous étudierons sa fabrication avec quelques détails.

Pour la fabrication du vin de Champagne, on emploie l'espèce de raisin noir qui produit le vin le plus généreux et le plus délicat; on vendange de très grand matin par la rosée, en choisissant les raisins les plus mûrs et les plus sains, et en rejetant avec soin les raisins gâtés, verts ou pourris. La vendange est apportée avec beaucoup de soins sous le pressoir qui doit avoir été préalablement lavé et nettoyé. Quand elle a été rassemblée sous le pressoir on serre et on laisse couler le jus pendant 15 ou 20 minutes. On prévient ainsi la dissolution de la matière colorante.

Le marc qui sort du pressoir est pressé une deuxième fois; le vin que l'on obtient est coloré d'une légère teinte rouge; c'est le *vin rosé*. Comme ce vin est très recherché on en fabrique d'artificiel en colorant des vins blancs avec des matières colorantes végétales.

Le moût obtenu par la première pression est généralement incolore; on le reçoit dans des cuves où il reste de 24 à 30 heures pour déposer les matières étrangères et le ferment dont il est chargé. Quand il a déposé on le reçoit dans des tonneaux qui doivent être bien propres et n'avoir jamais servi qu'à la fabrication du vin blanc. Ces tonneaux sont entièrement remplis, afin que le vin en fermentant rejette au dehors une partie des matières étrangères qu'il contenait encore. Pendant toute la durée de la fermentation tumultueuse il faut ouiller le tonneau, c'est-à-dire le remplir trois ou quatre fois. Lorsqu'on met en tonneau, il convient d'ajouter *1 litre d'eau-de-vie de Cognac* pour 100 litres de moût. Cette eau de-vie augmente la spirituosité du vin, donne du bouquet et modère la fermentation. Dès que la fermentation tumultueuse a cessé, on remplit le tonneau, et on bondonne comme d'habitude.

Dans le courant de décembre, par un temps sec, on soutire le vin et on le met dans des futailles où on le colle à la colle de poisson (15 gram. pour 200 litres). On le laisse reposer un mois, après quoi on le soutire de nouveau en prenant les mêmes précautions.

A la fin de février on fait un second collage et on laisse reposer jusqu'à la fin d'avril, époque à laquelle on le soutire dans des bouteilles, en ayant soin d'ajouter dans chacune d'elles une quantité de liqueur équivalente aux 3/100e du volume du vin. La liqueur est un sirop que l'on prépare en faisant dissoudre du sucre candi dans son poids de vin blanc limpide.

La mise en bouteilles et la conservation des vins mousseux exigent une foule de soins et de précautions.

Le choix des bouteilles est une chose très importante : elles doivent être très fortes, d'une transparence parfaite, d'une épaisseur égale; elles doivent avoir le goulot très étroit et de forme conique, afin que le bouchon puisse en être facilement et vivement expulsé par la force expansive du gaz acide carbonique à l'instant où l'on brise les liens qui le retiennent.

Les bouchons doivent être fins et de première qualité, il faut rejeter les bouchons poreux et défectueux, ainsi que ceux qui ont déjà servi.

On remplit ordinairement les bouteilles jusqu'à *deux travers de doigt* au-dessous du bouchon : on enfonce avec force le bouchon dans le goulot de la bouteille, au moyen d'un petit maillet de bois, et on l'assujettit solidement au moyen d'un fil de fer recuit.

Cette opération terminée, on met les bouteilles en tas dans une cave bien fraîche, en ayant soin de placer des lattes entre les rangs de bouteilles pour les séparer et les soutenir. Ces tas doivent être isolés, solides, peu élevés et montés d'aplomb.

La fermentation n'est pas achevée à l'époque de la mise en bouteille, elle continue dans l'intérieur du vase. Il se dégage de la liqueur une quantité considérable de gaz qui, ne pouvant s'échapper, reste dans la bouteille et est forcée de se dissoudre plus ou moins complétement dans le vin. Six semaines ou deux mois après la mise en bouteilles, la mousse commence à s'y manifester avec violence, tellement, qu'un nombre considérable de bouteilles sont brisées avec explosion par l'effet du dégagement de l'acide carbonique. Autrefois la casse des bouteilles allait de 6, 8, 10 à 30 et même 40 p. 100. Aujourd'hui elle est réduite à 10 ou 15 p. 100 au plus.

Les tas de bouteilles sont placés à proximité d'une petite citerne où se rend le vin qui s'écoule des bouteilles cassées. On le recueille tous les jours et après l'avoir bien collé on le remet en bouteilles. Dans les petites exploitations, on entasse les bouteilles dans une cuve défoncée, on peut ainsi facilement recueillir le vin qui s'écoule des bouteilles cassées.

Le vin séjourne dans les bouteilles pendant huit ou dix mois, il s'y forme alors un dépôt qui trouble le liquide et qu'il faut enlever : c'est ce que l'on appelle *dégorger le vin*. Pour cela on prend chaque bouteille, et la tenant par la main droite, le bouchon en bas, on lui imprime un mouvement de *tournoiement* qui détache le dépôt qui s'était fixé aux flancs de la bouteille, pour le faire tomber sur le bouchon. Ce mouvement de rotation doit être exécuté avec beaucoup d'intelligence et d'adresse, en ayant la plus grande attention possible de ne pas troubler le vin. Quand tout le dépôt est sur le bouchon, on coupe le fil de fer qui le retient; le dépôt et une petite quantité de vin sont projetés hors de la bouteille et vont tomber dans un cuvier disposé à cet effet. On remplit ensuite la bouteille avec du vin clair; on la bouche avec un nouveau bouchon, que l'on maintient avec une nouvelle ligature en fil de fer. Il y a des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vins qui exigent un deuxième et même un troisième dégorgement.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que le vin de Champagne, quand il a été mis en bouteilles, contenait encore du ferment, on a ajouté du sucre qui en fermentant a donné de l'acide carbonique dont la production a fait déposer du ferment et rend l'opération du dégorgeage nécessaire.

Si la température est trop basse, la fermentation ne s'établit pas; on sort les bouteilles et on les expose à l'air en les rangeant sur des pupitres; elles s'échauffent peu à peu, et si la fermentation marche trop vivement, la température ayant été trop élevée, on en est averti par les explosions répétées des bouteilles.

Dans toutes les localités où le vin est de bonne qualité, on fait des vins mousseux en opérant comme nous venons de le dire. On en prépare dans l'arrondissement d'Argentière, à Limoux, à Saint-Ambroise, dans la Côte-d'Or, à Arbois, dans l'arrondissement de Belfort, etc., etc. Ces vins sont consommés dans le pays et sont moins répandus que ceux de la Champagne. Ceux de la Côte-d'Or et celui d'Arbois commencent cependant à faire concurrence aux vins de Champagne, et à Paris on boit beaucoup de vin de Champagne fait à Arbois. Nous ajouterons que dans ce même Paris il existe des *industriels* qui préparent des vins de Champagne dans lesquels il n'entre pas la moindre parcelle de jus de raisin.

On a aussi essayé de faire des vins mousseux en comprimant de l'acide carbonique dans du vin blanc. Il y a quelques années qu'il s'était établi aux environs de Paris une fabrique de vin mousseux à l'instar de celles des eaux gazeuses. Mais cet établissement n'a pas continué, car l'acide carbonique préparé chimiquement donne une saveur désagréable au vin; en outre on a remarqué qu'en opérant ainsi le vin devient laiteux et ne s'éclaircit jamais d'une manière convenable. M. François, pharmacien distingué de Nantes, a prouvé que ce phénomène était dû à la glaïadine dissoute dans le vin. En ajoutant du tannin au vin, on précipite toute la matière azotée qu'il contient.

CONSERVATION DES VINS. Les vins forts, acerbes, qui contiennent beaucoup de tannin, se conservent facilement; ils résistent bien aux longs transports et en sont même améliorés : les secousses et les changements de température mettent le ferment en mouvement et font que la fermentation s'achève.

Les vins faibles doivent être consommés dans les douze ou quinze mois qui suivent leur fabrication, l'excès d'acide qu'ils renferment les conserve. Les vins intermédiaires sont plus difficiles à garder : ce sont les vins fins.

Les vins blancs sont gardés en tonneaux bien pleins et bien fermés, pour éviter le contact de l'air; autrement ils se colorerait en jaune. Les vins blancs doivent avoir une saveur sucrée; il faut donc que la fermentation ne soit pas tout à fait achevée. On atteint ce but en les gardant dans une cave fraîche, ou bien en les mettant dans des tonneaux soufrés.

Tout ce qui tient à l'art de conserver les vins se réduit au *soufrage* et à la *clarification*.

Soufrage des vins. Le soufrage du vin a pour but de l'imprégner d'une vapeur sulfureuse obtenue par la combustion d'une *mèche soufrée*. Ces mèches soufrées se fabriquent en fondant du soufre et en y plongeant des bandes de toile ou de coton. Dans quelques pays on ajoute des aromates au soufre fondu.

Pour soufrer un tonneau on suspend une mèche soufrée au bout d'un fil de fer, on l'enflamme et on la plonge dans le tonneau, on bouche et on laisse brûler. L'air se dilate d'abord et s'échappe avec sifflement. Lorsque la combustion est terminée, le tonneau est plein de gaz sulfureux; néanmoins les parois du vase sont à peine acides.

Liebig explique de la manière suivante le but du soufrage des vins. L'air du tonneau que l'on vient de soufrer perd son oxygène qui est remplacé par un égal volume d'acide sulfureux, et celui-ci est rapidement absorbé par la surface humide du tonneau. Or, l'acide sulfureux possède pour l'oxygène de l'air encore plus d'affinité que les agents acidifiants contenus dans le vin. En conséquence l'acide sulfureux qui a été absorbé par la paroi interne du tonneau se distribue peu à peu dans le vin, et enlève aux agents fermentatifs ainsi qu'au vin lui-même tout l'oxygène qu'ils avaient pris à l'air. On trouve dans le vin l'acide sulfureux changé en acide sulfurique (*Lettres sur la Chimie*, page 197).

MALADIES DES VINS. Les vins, souvent en fermentation, renfermant des substances facilement décomposables, sont sujets à éprouver des altérations de divers genres. Les recherches les plus récentes sur ce sujet sont dues à M. Pasteur, qui, dit M. Dumas, est parvenu à rendre incontestables les einq propositions suivantes :

1° Les altérations dangereuses des vins tiennent à des causes qui se confondent avec celles auxquelles on attribue les fermentations;

2° Il suffit de chauffer les vins ordinaires à 50 degrés pour faire périr les végétaux microscopiques ou ferments qui les produisent; les fermentations et toutes les altérations dangereuses des vins, dues à des causes, sont arrêtées ou prévenues;

3° L'application de la chaleur, dans ces limites, ne modifie ni la couleur, ni le goût des vins; elle en assure la limpidité;

4° Les vins qui ont été soumis à l'action de cette température paraissent capables de se conserver indéfiniment, sans altération, en vases clos;

5° Exposés à l'air, ces vins peuvent, il est vrai, y reprendre la propriété de s'altérer après quelque temps; mais c'est parce que l'air leur apporte de nouveaux germes vivants de ces ferments qu'ils avaient perdus par l'action de la chaleur.

M. Pasteur est arrivé à formuler ces propositions après avoir cherché à déterminer les causes des diverses maladies des vins.

1° *Vins acides, piqués* ou *aigres*. Cette maladie est due à la présence du *mycoderma aceti*, qu'il ne faut pas confondre avec le *mycoderma vini*, lequel n'altère pas les vins, tandis que son congénère y développe du vinaigre avec le concours de l'air, et les tourne plus ou moins vite à l'acescence, qu'on a trop souvent combattue par la litharge, qui corrige bien le goût, mais transforme le vin en un véritable poison. La surface des vins piqués se couvre de matières blanches dites fleurs de vin, que Chaptal avait déjà reconnues être une végétation.

2° *Vins tournés, montés, poussés*. Ils doivent leur altération à des filaments d'une extrême ténuité, qui se rapprochent ou même parfois se confondent avec les filaments du ferment lactique.

3° *Vins gras, huileux, filants*. Ils doivent encore leur altération à des filaments, mais ceux-ci sont formés de chapelets de grains et non de chapelets d'articles. C'est par l'infusion de tan, qui précipite une matière azotée, qu'on était le mieux arrivé jusqu'ici à arrêter la graisse des vins.

4° *Vins amers, vins qui ont pris le goût de vieux*. Les vins passés à l'amer ne contiennent plus de matière sucrée; on y a trouvé aussi un ferment. Il ressemble même, sous beaucoup de rapports, à celui qu'on observe dans les vins tournés, mais ses filaments sont plus fins et ses articulations moins sensibles. On sait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les vins sujets à tourner ne sont pas les mêmes que ceux qui passent à l'amer.

Tous ces végétaux parasitaires et leurs analogues, qui n'avaient pas encore été reconnus ou distingués scientifiquement, périssent à la température de 65 ou même de 50 degrés. En élevant le vin qu'on veut conserver à une température comprise entre 50 et 65 degrés, on a donc la certitude que toute altération ultérieure de la liqueur, due à l'action et à la présence des végétaux vivants, devient impossible, tant qu'on n'y a pas semé de nouveaux germes, soit par l'intervention des poussières de l'air, soit par le mélange du vin ainsi préparé, avec des liquides qui n'auraient pas été convenablement chauffés eux-mêmes.

Une commission nommée par la chambre syndicale du commerce des vins de Paris a examiné avec la plus scrupuleuse attention les résultats obtenus par ce savant, et les a sanctionnés de son entière et concluante approbation.

M. Marès, correspondant de l'Académie des sciences, a appliqué, de son côté, le procédé de M. Pasteur pour ces vins de l'Hérault altérables, qu'on ne peut garder qu'au moyen d'additions successives d'alcool; il a été constaté qu'ils se conservent très-bien dès qu'ils ont été chauffés à 60 degrés. Le vinage pourrait ainsi devenir une opération inutile.

Tous les vins peuvent, à son aide, être convertis en vins de garde; ils deviennent propres à voyager sans altérations, et par suite peuvent s'exporter, condition d'une importance capitale pour une grande partie des vins qui se récoltent en France.

Nous rappellerons que par un procédé en quelque sorte inverse M. Vergnette-Lamotte, en soumettant le vin de 0° à — 3° avait vu le vin s'éclaircir et se précipiter une lie abondante renfermant des principes azotés sûrement très-nuisibles à la conservation du vin.

Revenant aux maladies des vins, pour donner les usages de la pratique, nous ferons remarquer que les vins rouges sont seuls sujets à passer à l'amer. Quelquefois les vins amers, ceux en bouteilles surtout, se guérissent seuls. On arrête cette maladie, dans la pratique la plus habituelle, en mélangeant ces vins avec un volume égal de vin du même cru, mais contenant plus de sucre.

On reconnaît qu'un vin tourne à l'*aigre* quand on lui trouve du feu. Cette maladie n'attaque que les petits vins qui contiennent peu d'alcool. C'est par le haut du tonneau que le vin commence à s'aigrir. On emploie divers moyens pour corriger cette maladie, mais si le vin n'est pas d'un prix élevé le mieux est de le vendre au vinaigrier. Le tartrate neutre de potasse ajouté au vin aigre produit de bons effets. On peut aussi corriger cette mauvaise qualité avec du lait employé à haute dose.

Cette maladie des vins a donné l'idée de l'emploi très-dangereux de la litharge pour les adoucir; en ajoutant de la litharge au vin, il se forme de l'acétate de plomb dont les propriétés sont on ne peut plus nuisibles. C'est en 1698, qu'un moine, nommé Martin le Bavarois, reconnut cette propriété à la litharge. Dans ces derniers temps l'emploi de la litharge était encore assez répandu et aujourd'hui, malgré les règlements de la police et la surveillance éclairée du conseil de salubrité, on assure qu'il existe à Paris des marchands de vins en gros qui vendent des vins qui contiennent de la litharge. Les personnes qui boivent de ces vins falsifiés éprouvent les accidents les plus terribles de la colique de plomb.

Le *goût de fût* provient d'une huile essentielle qui se produit par suite du développement d'une moisissure sur les parois des tonneaux. Le goût de fût est très-difficile à détruire; on le diminue cependant en fouettant dans le vin de l'huile d'olive qui entraîne l'huile essentielle. Cette maladie peut aussi provenir de ce que le vin a été enfermé dans un tonneau dont le bois était vicié, vermoulu, pourri, etc., etc. En tout cas, dès que ce goût se manifeste, il faut changer le vin de tonneau.

Clarification des vins. La clarification du vin s'opère d'elle-même par le temps et le repos. Il se forme peu à peu un dépôt dans le fond et sur les parois des tonneaux, qui enlève une partie des matières en suspension. Ce dépôt constitue la *lie*, mélange de tartre, de matière colorante, etc., etc. Mais ces matières, quoique déposées dans le tonneau et précipitées du vin, sont susceptibles de s'y mêler encore par l'agitation, le changement de température; et alors, outre qu'elles nuisent à la qualité du vin qu'elles rendent trouble, elles peuvent lui imprimer un mouvement de fermentation qui le dispose à tourner au vinaigre.

C'est pour obvier à ces inconvénients qu'on transvase le vin, à diverses époques, en séparant avec soin toute la lie qui s'est déposée: c'est ce que l'on appelle soutirer ou transvaser le vin.

Le soutirage et le repos ne suffisent pas pour enlever toutes les matières en suspension dans le vin: il en reste toujours dont on ne peut s'emparer que par l'opération suivante qu'on appelle le *collage des vins*. On emploie ordinairement, pour coller les vins, la colle de poisson, les blancs d'œufs liquides ou desséchés, la gélatine ou colle forte.

Lorsqu'on emploie la colle de poisson (la dose varie de 8 à 16 grammes par hectolitre), on la déroule avec soin, on la coupe par petits morceaux, on la fait tremper dans un peu de vin; elle se ramollit et forme un liquide épais et gluant que l'on verse dans le tonneau. On agite fortement le vin au moyen d'un bâton fendu en quatre que l'on introduit par la bonde et que l'on fait mouvoir rapidement. On laisse reposer 10 ou 15 jours. La colle se précipite lentement à travers le liquide et entraîne avec elle les impuretés qui troublent la liqueur, en formant comme un réseau qui les enveloppe. Quand on emploie les blancs d'œufs, on les fouette avec un petit balai, et lorsqu'ils sont en mousse, on les verse dans le tonneau.

A. CURTEL.

VIOLON. La belle qualité des sons du violon, l'étendue de son diapason, la grande variété des traits qu'il peut rendre, l'expression que l'artiste peut donner à son exécution, l'ont fait appeler *le roi des instruments*. Le *violoncelle* n'est qu'un violon d'un patron beaucoup plus grand, qui est destiné à rendre des sons plus graves; c'est l'accompagnateur obligé de toute musique d'orchestre: le violoncelle est aussi appelé *basse*, du nom de la partie musicale qu'il exécute le plus ordinairement. La *quinte*, qu'on nomme aussi *alto*, *alto-viola*, a son patron intermédiaire entre ceux du violon et de la basse, et rend des sons tantôt graves, tantôt aigus, dans les limites de son diapason.

Ces instruments sont montés de quatre cordes, qu'on tend de manière à leur faire rendre *à vide* des sons à la quinte, *sol, ré, la, mi*, pour le violon, *ut, sol, ré, la* pour les deux autres. Le *sol* du violon est une *corde filée*, c'est-à-dire recouverte d'un fil de laiton très-fin qui en accroît la masse, et le rend propre aux sons graves; *l'ut* et *le sol* de la quinte et du violoncelle sont des cordes filées. La plus fine des cordes de ces trois instruments est appelée *chanterelle*. Les *la* à vide de l'alto et du violon sont à l'unisson; celui de la basse est à l'octave au-dessous, sa longueur est double des *la* du violon, sous une tension peu différente et une masse un peu plus considérable. Ainsi, les quatre cordes à vide de l'alto sont à l'octave aigue de celle de la basse, et à la quinte de celles du violon.

La *contrebasse* n'est montée que de trois cordes à l'octave au-dessous de *sol, ré, la* du violoncelle; son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

patron est beaucoup plus grand et ses cordes très-massives.

Comme ces instruments sont construits d'après les mêmes principes, et ne diffèrent que par leurs grandeurs, nous ne parlerons ici que du violon, la fabrication des autres étant absolument la même.

La force de traction des cordes de violon dépend de leurs grosseurs et des tons qu'elles rendent (Voy. CORDES). On estimait autrefois que, pour tendre une chanterelle à son ton, il fallait la tirer par une force équivalente à un poids de 19 livres, la deuxième par un poids de 17, la troisième par un poids de 15, la quatrième par un de 13; en tout 64 livres. Mais le diapason s'étant un peu élevé, et la grosseur des cordes s'étant accrue, on trouve que ce poids n'est pas maintenant moindre de 40 kilogrammes; plus anciennement il n'était que de 23 1/2. Au reste, ce n'est pas ce poids que la table supporte, car le chevalet n'interrompant qu'à peine la direction rectiligne des cordes, la composante perpendiculaire à la table n'est pas très-considérable.

Le violon est composé d'un corps ou *caisse*, et d'un *manche*. La caisse est formée de deux *tables* ovales, parallèles, égales, un peu bombées, et à bords chantournés en croissant vers le milieu, pour livrer passage à l'archet quand il attaque l'une des deux cordes latérales. Ces tables sont maintenues à distance l'une de l'autre par des bandes ou *éclisses* en hêtre; elles enceignent toute la caisse et en contournent toutes les sinuosités.

La table d'harmonie est celle de dessus; on la fait en sapin très-sec, d'un grain extrêmement fin et sans résine; cette table est amincie en certains endroits, et renfoncée d'un épaulement intérieur, pour servir d'appui au talon du manche. On pratique à cette table deux *ouïes*, ouvertures en S, pour faciliter les mouvements de l'air.

Au dedans du violon est *la barre*, petite lame de bois collée dans la longueur de la table d'harmonie, pour intercepter les vibrations longitudinales, et renforcer l'instrument; et en outre *l'âme*, qui est un petit bâton debout, destiné à résister à la pression des cordes, et qu'on établit, sans colle, presque sous le chevalet et la chanterelle.

La table de dessous est ordinairement en hêtre; on la fait de deux pièces collées selon la longueur et dans le sens des fibres du bois.

Dans les violons faits avec soin, les élévations et courbures des tables s'obtiennent en travaillant le bois avec différentes sortes de rabots et de racloirs: mais dans ceux qu'on livre à bas prix, on se contente de soumettre les tables à la pression sur des moules chauffés. Les éclisses sont courbées à chaud en s'aidant de l'humidité.

Le manche est en bois; on en colle le talon au bout de la caisse sur le renforcement ou épaulement de la table: il est terminé en volute, et creusé d'un large sillon ou mortaise; c'est le *sommier*. Quatre chevilles, deux à droite, deux à gauche, traversent ce sillon: leurs têtes sont rondes et plates, pour être facilement saisies par les doigts, et tournées, en surmontant le frottement qui les retient; elles sont destinées à tendre les cordes qui passent dans la mortaise du manche.

Une pièce plate et oblongue, appelée *queue*, est attachée par un bout de grosse corde à boyau, à un bouton dont la queue est entrée dans l'éclisse et son renforcement, à un bout de la caisse. Cette queue fournit les points d'attache d'un bout des quatre cordes, qui par l'autre bout vont s'enrouler sur les chevilles, et recevoir le degré de tension voulu. Une lame de bois, appelée *chevalet*, est placée debout sur la table d'harmonie, pour en éloigner les cordes. Tout en haut du manche, et au bord de la mortaise, est un petit filet d'ivoire proéminent, nommé *sillet*, qui supporte aussi la pression des cordes, et est retenu en outre par de la colle, en sorte que les quatre cordes sont également longues entre le chevalet et le sillet.

Une longue lame de bois d'ébène, appelée *touche*, est collée sur le manche, et le dépasse en s'avançant jusqu'à une petite distance du chevalet, et se tenant sous les cordes, qui sont disposées parallèlement entre elles et à la touche. Le violon se joue en tenant le manche dans la paume de la main gauche, passant sous le menton la partie de la caisse où se trouve la queue et son bouton: on attaque les cordes avec un archet qu'on tient entre les doigts de la main droite; tandis que les extrémités de ceux de la main gauche, venant presser les cordes sur la touche en différents points, les accourcissent au degré qui convient pour rendre les sons déterminés, dans l'échelle diatonique, par la musique qu'on veut exécuter. L'archet, formé de crins enduits de colophane, met les cordes en vibration.

Le bois du violon est enduit à l'extérieur d'un vernis à l'esprit de vin, dont on y applique différentes couches avant d'en réunir les pièces. Les tables, les éclisses et le manche sont maintenus ensemble par des tasseaux et de bonne colle forte. On serre les parties avec des *happes* ou petites presses mobiles, à vis en bois, jusqu'à ce que la colle soit bien sèche.

Nous ne dirons rien des divers marquetages dont on enrichit la queue, les chevilles et l'archet, soit en or, soit en argent, ou en nacre de perles; ni des filets qu'on incruste en contournant les bords des tables, et y creusant des sillons avec le trusquin. On conserve l'instrument à l'abri des injures de l'air, dans une boîte garnie de flanelle, où l'on ménage une place pour les archets, et des cases pour recevoir la colophane, les sourdines, les cordes de rechange, etc.

Il résulte des expériences de Chladni que les tables entrent en vibration, quand on fait vibrer les cordes, ou l'air, ou même quand on attaque ces tables avec un archet: des poussières, répandues à leur surface, se meuvent, et, en se déplaçant, se rangent en courbes sur les parties restées immobiles: ces figures curvilignes servent à reconnaître la nature des vibrations. Savart a tiré parti de ces observations, et a examiné dans quelles conditions les sons des violons sont les plus purs et les plus agréables. Il a remarqué que:

1° Les inégalités d'épaisseur des plaques de bois nuisent à la régularité des figures que produit le sable répandu sur les surfaces vibrantes, tandis qu'une grande égalité d'épaisseur conduit à une conséquence inverse;

2° Deux plaques égales de formes et d'épaisseurs produisent les mêmes courbes;

3° La transmission des vibrations par l'âme est très-puissante; ce qui conduit à déterminer les meilleures positions de l'âme et de la barre;

4° Toutes les parties d'un violon qu'on joue entrent en vibration chacune à sa manière.

VIS (*angl.* screw, *all.* schraube). Nous entrerons dans quelques détails sur la vis considérée comme organe mécanique en entrant dans quelques considérations utiles pour les applications.

L'hélice du filet d'une vis fait toujours un angle constant avec les génératrices du cylindre qui en forme le noyau; la distance constante entre deux spires de l'hélice, mesurée sur une génératrice du cylindre, est le *pas* de la vis. Ordinairement la tête de la vis est armée d'une roue, ou au moins d'une barre perpendiculaire à son axe. Si l'on désigne par R le rayon de cette roue, ou la longueur de cette barre comptée à partir du centre, le chemin parcouru en un tour complet par l'extrémité d'un rayon sera $2\pi R$; h étant le pas de la vis, cette quantité sera aussi celle dont la vis ou son écrou auront marché dans le même temps perpendiculairement à l'axe. Les chemins parcourus pendant une fraction de tour quelconque seront évidemment dans le même rapport que ceux qui sont parcourus pendant la durée d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tour complet de la vis; en nommant V la vitesse à la circonférence de la roue ou à l'extrémité de la barre, et v la vitesse de la vis ou de son écrou dans le sens de l'axe, on aura donc:

$$V : v = 2\pi R : h, \text{ ou } v = V\frac{h}{2\pi R},$$

c'est-à-dire *la vitesse de l'extrémité de la barre, dans un plan perpendiculaire à l'axe, est à la vitesse de la vis ou de son écrou parallèlement à cet axe, comme la circonférence décrite par l'extrémité de cette barre est au pas de la vis.* α étant l'inclinaison de l'hélice sur une perpendiculaire aux génératrices, r étant le rayon du cylindre passant par un point de cette hélice, on a pour un point quelconque $\frac{h}{2\pi r} = \text{tang. } \alpha$, pour rapport de vitesse entre les mouvements rectiligne et circulaire, c'est-à-dire la même relation que sur le plan incliné, l'hélice n'étant que la disposition autour d'un cylindre circulaire de ses éléments successifs, ce qui permet d'en utiliser les propriétés à l'aide d'un mouvement circulaire.

On voit, d'après le rapport ci-dessus, que l'on peut facilement construire la vis de manière à rendre la vitesse du mouvement rectiligne très-petite relativement à la vitesse du mouvement circulaire, ce qui la rend convenable pour développer de très-grands efforts, et la fait surtout employer dans les appareils qui doivent produire de grandes pressions, mais en occasionnant des pertes de travail considérables par les frottements.

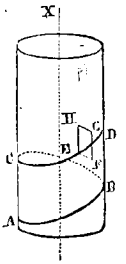


Fig. 1.

Pour considérer la vis dans la réalité de son exécution il faut ne pas se borner à considérer une seule ligne de l'hélice, la courbe engendrée par une ligne droite tracée dans le plan tangent au cylindre, lorsqu'on enroule ce plan autour du cylindre, mais les surfaces héliçoïdales qui constituent la vis.

Ainsi supposons (fig. 1) que, sur un cylindre de révolution, on ait tracé une hélice ABCD; supposons ensuite qu'un polygone EFGH, dont le plan passe constamment par l'axe XY, se meuve en s'appuyant sur le cylindre par son côté EH, et de telle sorte que son sommet E parcoure l'hélice: le corps solide formé par l'ensemble du cylindre et du *filet* saillant ainsi engendré sera une *vis*.

Fig. 2.

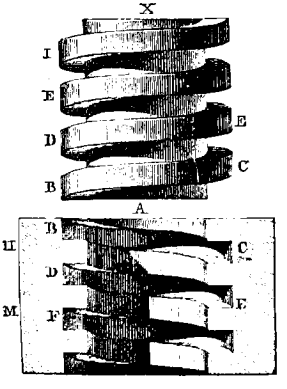


Fig. 3.

Ordinairement, le polygone générateur est un carré ou un triangle isocèle, d'où résultent la *vis à filet carré* et la *vis à filet triangulaire*.

Les figures 2 et 3 représentent les filets d'une vis du premier genre et la coupe de l'écrou correspondant, engendré de même si on fait tourner le plan générateur à l'intérieur d'un cylindre.

Frottement de la vis à filet carré. Il importe de prendre une idée exacte de la valeur des pertes de travail qui se produisent dans cet organe, pour ne pas appliquer la vis dans des cas où son emploi ne serait pas convenable, et proportionner l'inclinaison du filet de la vis aux circonstances de son emploi.

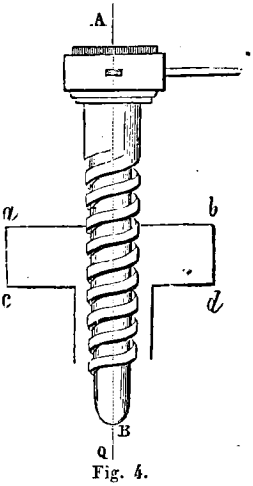


Fig. 4.

Soit AB (fig. 4) l'axe supposé vertical d'une vis à filet carré, destinée à soulever un poids Q par l'intermédiaire d'une force horizontale appliquée à l'extrémité du levier E, l'écrou *abcd* étant fixe. On peut toujours supposer que la charge Q soit distribuée uniformément sur un certain filet héliçoïde de la vis et de l'écrou, que nous nommons *filet moyen*, et s'y trouve posée comme sur un plan incliné formant avec l'horizon un angle égal à celui des plans tangents à ce filet. Pour le frottement, les choses se passent comme s'il en était ainsi; la pression s'exerçant en plusieurs points, suivant une même génératrice de la surface, causera le même frottement que la somme des pressions sur le filet moyen, le frottement étant proportionnel à la pression. Nommant donc:

r, le rayon du cylindre qui contient l'hélice ou filet moyen dont il s'agit;

p, la force horizontale tangente à ce cylindre, qui serait capable de soulever le poids Q et les frottements qui en résultent sur la surface du filet moyen;

h, la hauteur du pas de la vis ou de l'écrou;

$\pi = 3{,}1415$, le rapport de la circonférence au diamètre;

α, l'angle de l'inclinaison constante du filet moyen à l'horizon;

f, le coefficient de frottement pour les substances en contact;

On aura, d'après l'expression du frottement sur le plan incliné, pour l'égalité de force et résistance pour un mouvement uniforme, à l'état d'équilibre dynamique,

$$p = Q\frac{\text{tang. } \alpha + f}{1 - f \text{ tang. } \alpha} = Q\frac{h + 2\pi f r}{2\pi r - f h}, \text{ en remplaçant}$$

tang. α par sa valeur $\frac{h}{2\pi r}$.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La valeur de p croît progressivement avec tang. α jusqu'à devenir infinie quand tang. $\alpha = \frac{1}{f}$ limite de la plus grande inclinaison passé laquelle la puissance horizontale, quelque grande quelle soit, ne peut plus faire mouvoir le poids à l'aide de la vis en la faisant glisser le long des filets de l'écrou.

Il semblerait, d'après cela, qu'il devrait y avoir en général de l'avantage à diminuer l'angle d'inclinaison α des hélices; mais on arrivera à une conséquence tout opposée, si l'on remarque que le rapport de la quantité de travail utilisé, qui est $Q\,r\,\omega$ tang. α, à celle dépensée, $Q\,r\,\omega\,\frac{\text{tang. } \alpha + f}{1 - f \text{ tang. } \alpha}$, peut être mis sous la forme:

$$\frac{\text{tang. } \alpha\,(1 - f \text{ tang. } \alpha)}{\text{tang. } \alpha + f} = \frac{\text{sin. } 2\alpha - f\,(1 - \text{cos. } 2\alpha)}{\text{sin. } 2\alpha + f\,(1 + \text{cos. } 2\alpha)} = 1 - \frac{2f}{\text{sin. } 2\alpha + f\,(1 + \text{cos. } 2\alpha)},$$

rapport dont le minimum répond à tang. $2\alpha = \frac{1}{f}$, et montre qu'il n'y a pas avantage, au point de vue du travail dépensé par le frottement, à ne pas le faire le plus petit possible.

Tout ce que nous disons ici, en supposant que la vis soit employée à élever un poids, s'applique évidemment à la vis ayant à surmonter une résistance quelconque, dont la direction s'exerce dans le sens de son axe.

Pour apprécier le frottement, supposons, par exemple, $f = 0{,}12$, ce qui convient au cas où l'écrou serait en cuivre et la vis en fer, les surfaces étant onctueuses; et tang. $\alpha = \frac{1}{25}$, comme dans les pressoirs à vis, où il faut engendrer de grandes pressions, le rapport ci-dessus deviendra 0,249. Dans ce cas, le travail dépensé par la puissance pour exercer la puissance Q serait donc quadruple de celui qui répond à l'effet utile.

Si tang. α était égale à $\frac{1}{4}$, le même rapport deviendrait 0,655.

Ces résultats mettent en évidence l'énorme influence exercée par le frottement des vis et des écrous.

On conclut aussi de ce qui a été dit pour le cas du plan incliné que, si tang. α est moindre que f (voyez RÉSISTANCES PASSIVES), la vis non-seulement ne tendra pas à descendre d'elle-même ou à se desserrer par un effort qu'elle supporte suivant son axe, mais encore exigera pour être entraînée par la puissance, pour qu'un mouvement puisse se produire, un effort p agissant en sens contraire, ce qui doit faire changer son signe dans l'expression de cet effort mesuré par:

$$p = Q\,\frac{f - \text{tang. } \alpha}{1 + f \text{ tang. } \alpha} = fQ\,\frac{(1 + \text{tang}^2\,\alpha)}{1 + f \text{ tang. } \alpha} - Q \text{ tang } \alpha.$$

Ce cas est précisément celui des boulons d'assemblage qui doivent maintenir l'état de compression de certains corps, après que la puissance a exercé son action sur la vis ou l'écrou, et dont les parties filetées sont formées de filets très-peu inclinés sur l'axe.

On sait qu'il en est tout autrement des vis de balancier à découper ou à battre la monnaie, qui portent des filets doubles ou triples, afin de leur procurer une résistance suffisante, tout en donnant à leurs hélices moyennes une grande inclinaison sur l'axe, afin de donner de grandes vitesses à la descente du balancier.

Quelquefois d'ailleurs il arrive, même pour des vis où la relation tang. $\alpha < f$ est satisfaite, que les secousses ou vibrations éprouvées par les boulons d'assemblage, diminuant par moment les pressions, font desserrer les écrous, ce qui exige qu'on s'oppose à cet effet soit en plaçant deux écrous l'un sur l'autre, ou mettant obstacle au mouvement de l'écrou simple par quelque moyen facile à imaginer.

Frottement de la vis triangulaire. Le frottement a la même expression dans la vis triangulaire que dans la vis à filet carré quand on remplace f par $\frac{f}{m}$, m étant le sinus de l'angle du filet. Le travail du frottement dépend surtout du rayon moyen r; il faut donc ne donner qu'une petite valeur à ce rayon, sans cependant nuire à la solidité de la vis. m étant une fraction, on voit aussi que le travail du frottement de la vis à filet triangulaire est plus grand que celui de la vis à filet carré. Enfin, si l'angle dont m est le sinus (fig. 5) augmente ou diminue, le travail du frottement de la vis à filet triangulaire diminue ou augmente; par conséquent, à pas égal, plus il y aura de saillie, moins le travail du frottement sera grand et on l'augmentera en augmentant le pas, la saillie restant la même.

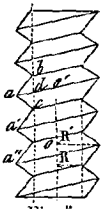


Fig. 5.

On donne ordinairement à la saillie des filets une longueur égale à leur épaisseur, et l'on fait le vide égal au plein.

Dans l'application des formules à une presse à vis à filet triangulaire menée par une roue dentée, actionnée par une vis sans fin, rapportée dans l'ouvrage de MM. Taffe-Boileau (*Application de la mécanique aux machines*), le travail utile n'est que le tiers du travail de la puissance.

TOUR A FILETER LES VIS. On a donné à l'article MACHINES-OUTILS la description d'un tour à fileter les vis très-simple, mais qui exige une paire d'engrenages pour chaque pas de vis différent. On a remédié à cet inconvénient en introduisant dans le système une seconde paire de roues intermédiaires, comme le montre la figure 6.

Aa est le cylindre fixé entre les pointes du tour, prenant un mouvement de rotation, sur lequel doit être taillé le filet d'une vis.

Cc est une longue vis tournant dans des coussinets fixés sur le bâti du tour et mettant en mouvement par le moyen de l'écrou n le support à chariot sur lequel est fixé l'outil f qui sert à creuser la vis.

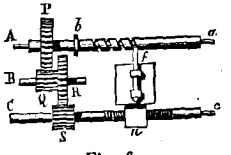


Fig. 6.

Chaque révolution de la vis Cc fait avancer le support d'une longueur égale au pas de celle-ci, et par suite si Aa tourne avec la même rapidité que la vis, le ciseau trace sur sa surface ba une vis qui a exactement le même pas que Cc. Mais si Aa tourne avec une vitesse moindre que celle de la vis, on tracera un pas différent.

Si Aa et Cc sont réunis par une série de roues de rechange, comme figure 6, on peut, en prenant des roues de nombre de dents convenable, obtenir tout pas voulu pour la vis ba.

B étant un axe auxiliaire monté dans une pièce glissante, faisons-lui porter les deux roues de rechange Q, R. Les pas de vis étant communément définis par le nombre de pas au centimètre, soit n le nombre de filets au centimètre de la roue Cc. Puisque, pendant que Cc tourne d'un tour, il fait avancer l'outil d'un $\frac{1}{n}$ de centimètre, comme Aa tourne d'un tour de Cc multiplié par $\frac{PR}{QS}$, le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement de l'outil dans le sens de l'axe sera $\frac{PR}{QSn}$ centimètres pour un tour de C. Le pas de vis de la $A a$ sera donc $\frac{QSn}{PR}$ filets au centimètre.

On a trouvé avantage à faire supporter l'axe intermédiaire porte-roues par une pièce oscillante mobile appelée *lyre*.

Cet organe est placé à l'extrémité du banc; il est traversé librement par la vis, et peut s'incliner sur la verticale en raison des diamètres des roues intermédiaires. Il est maintenu dans une direction fixe par deux boulons pris dans le bâti et coulissant dans les deux rainures R, R (fig. 7 et 8). Les deux entailles E, E servent à attacher

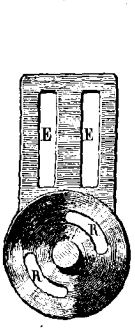


Fig. 7.

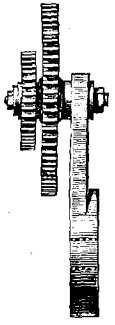


Fig. 8.

les engrenages qui transmettent le mouvement du tour à la vis commandant le chariot. Ces engrenages, étant montés sur le même axe, sont maintenus par une seule entaille, mais lorsqu'on veut obtenir un pas à gauche, avec un tour, sans changement de marche, on met dans la seconde entaille une roue-engrenage qui reçoit le mouvement d'une des roues intermédiaires pour le communiquer à la vis en sens inverse; de là la nécessité de mettre deux entailles parallèles à la lyre.

Bien que le calcul des couples d'engrenages convenables pour obtenir un pas donné soit extrêmement simple, il offre en pratique des difficultés, à cause du nombre limité de roues dont on dispose et surtout de l'extrême variété des pas de vis. On peut, en général, obtenir une combinaison exacte lorsque le pas de la vis du tour et celui de la vis à exécuter sont l'un et l'autre du même système de mesure française ou étrangère. Il n'en est pas de même quand il faut, par exemple, exécuter un pas anglais sur un tour à vis française ou réciproquement, les mesures des deux pays n'ayant pas de commun diviseur; on peut arriver à une grande approximation toujours suffisante dans un travail courant, mais jamais rigoureuse.

Pour faciliter les combinaisons d'engrenages de manière à assurer l'exécution du plus grand nombre de pas possibles, quelques constructeurs établissent une série de roues ayant 12, 13, 14, 15 dents, et cela en continuant d'unité en unité jusqu'à 30; puis à partir de 30, de 5 en 5 dents jusqu'à 100 et de 10 en 10 dents de 100 à 140; ce qui fait un total de 36 roues. Cependant il est rare qu'avec vingt roues on ne puisse satisfaire à toutes les exigences d'une fabrication ordinaire.

Le rapport entre le nombre de tours du cylindre à fileter et celui de la vis du tour est inversement proportionnel aux pas des deux objets, c'est-à-dire que pour faire un pas de 2 millimètres, par exemple, avec une vis dont le pas est de 10 millimètres, il faut faire tourner la vis cinq fois plus lentement que le tour. S'il n'y a pas d'intermédiaire, il suffira de mettre à l'extrémité de la vis une roue ayant cinq fois plus de dents que celle de l'arbre du tour. Cela revient à dire que, pour connaître le nombre des dents des roues qui doivent commander directement une vis, il suffit de multiplier les deux pas (qui expriment le rapport voulu) par un même nombre : dans l'exemple précédent, on peut indifféremment mettre $2 \times 10 = 20$ dents à la roue du tour et $10 \times 10 = 100$ à celle de la vis, ou bien $2 \times 12 = 24$ et $10 \times 12 = 120$, ou bien encore $2 \times 6 = 12$ et $10 \times 12 = 120$, et ainsi de suite. Il faut observer que, dans le cas d'un simple couple d'engrenages, il n'y a en réalité qu'une seule solution, la somme des rayons des roues étant égale à la distance invariable des axes.

Avec deux couples d'engrenages, c'est-à-dire dans le cas habituel, on arrive très-simplement à combiner le harnais du tour en supposant un pas de vis intermédiaire, et en calculant comme pour le cas d'un simple couple, méthode excellente due à M. Dubar.

Exemple: soit à exécuter un pas de vis de $2^{mm},5$ avec une vis de $0^{m},010$.

Prenons un pas *quelconque*, 4 par exemple, entre 2, 5 et 8 pour pas de l'arbre intermédiaire, et disposons nos chiffres de la manière suivante:

Roue calée sur l'arbre du tour.	2,50
Roue de l'arbre intermédiaire engrenant avec la première.	4
Roue de l'arbre intermédiaire engrenant avec la roue de la vis.	4
Roue de la vis.	10

Pour avoir le nombre des dents des quatre roues, il suffit de multiplier les deux premiers chiffres par un même nombre et les deux autres par un autre nombre également quelconque.

Ainsi en multipliant par 20 les deux premiers et par 10 les deux autres, on obtient la solution suivante:

2,50 × 20 = 50 dents (roue du tour)
4 × 20 = 80 dents (première intermédiaire)
4 × 10 = 40 dents (seconde intermédiaire)
10 × 10 = 100 dents (roue de la vis).

On aurait pu tout aussi bien multiplier les deux premiers nombres par 10 et les deux autres par 12:

2,50 × 10 = 25
4 × 10 = 40
4 × 12 = 48
10 × 12 = 120

} Seconde solution.

Enfin, au lieu de prendre 4 comme intermédiaire, on aurait pu prendre 6 ou tout autre chiffre, et l'on aurait eu:

2,50 × 10 = 25
6 × 10 = 60
6 × 12 = 72
10 × 12 = 120

} Troisième solution.

Ou bien encore:

2,50 × 10 = 25
8 × 10 = 80
8 × 5 = 40
10 × 5 = 50

} Quatrième solution.

Ce calcul permet de trouver immédiatement les roues sans le secours de tableaux ni de règles d'aucune sorte.

Dans le cas où certaines roues obtenues par un premier essai ne conviendraient pas, on n'aurait qu'à changer le chiffre intermédiaire pour trouver quatre roues de la série dont on dispose.

Quand, au lieu de deux couples de roues d'engrenage, le harnais du tour à fileter en renferme trois, la méthode ci-dessus s'y applique avec la même facilité à la détermination du nombre de dents. Il suffit de se donner deux pas intermédiaires au lieu d'un.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans les ateliers de construction, on n'emploie généralement que quatre roues d'engrenage, avec une série de roues suffisante et un tableau pour leur emploi.

Avec m roues, le nombre de permutations et par conséquent de pas qu'il est possible de construire, donné par la formule des combinaisons, est (sauf les répétitions), $\frac{m\,(m-1)\,(m-2)\,(m-3)}{(1\times 2)^2}$; ce qui donne plus de 30,000 pas différents pour 20 roues.

Nous empruntons encore à l'intéressant travail de M. Poulot sur le tour, qui nous a guidé dans ce qui précède, un de ces tableaux qui permet, par une simple lecture, de connaître les roues convenables pour un filtrage très-varié (P roue du tour, Q premier intermédiaire, R second, engrenant avec la roue de la vis du tour S), en n'employant au maximum qu'une série de vingt engrenages, dont le nombre des dents suit:

20	45	70	95
25	50	75	100
30	55	80	110
35	60	85	120
40	65	90	

TABLEAU DES PAS OBTENUS PAR QUATRE ROUES D'ENGRENAGES.

Vis de 0m,010.

PAS.	ROUES.				PAS.	ROUES.				PAS.	ROUES.			
	P	Q	R	S		P	Q	R	S		P	Q	R	S
millim.					millim.					millim.				
1,00	20	100	25	50	3,60	45	100	60	75	9,00	90	60	30	50
1,10	35	85	20	75	3,70	35	100	95	90	9,50	95	60	30	50
1,20	120	100	50	40	3,75	20	50	75	80	10,00	100	60	30	50
1,25	50	80	20	100	3,80	30	100	95	75	11,00	110	60	30	50
1,30	20	70	50	110	3,90	45	100	65	75	12,00	120	60	30	50
1,40	30	100	35	75	4,00	45	100	50	40	13,00	65	40	80	100
1,50	30	40	20	100	4,10	65	95	30	50	14,00	70	40	80	100
1,60	40	50	20	100	4,20	45	100	70	75	15,00	75	40	80	100
1,70	20	85	65	90	4,25	45	100	85	90	16,00	40	20	80	100
1,75	35	40	20	100	4,30	45	85	65	80	17,00	85	40	80	100
1,80	45	50	20	100	4,40	30	50	55	75	18,00	90	40	80	100
1,90	20	100	90	95	4, 0	20	50	40	50	19,00	95	40	80	100
2,00	20	50	30	60	4,60	45	85	65	75	20,00	50	20	80	100
2,10	45	75	35	100	4,70	20	40	80	85	30,00	60	30	120	80
2,20	55	50	20	100	4,75	30	100	95	60	40,00	80	30	60	40
2,25	45	40	20	100	4,80	30	100	40	25	50,00	100	30	60	40
2,30	70	80	25	95	4,90	45	85	60	65	60,00	120	30	60	20
2,40	60	50	20	100	5,00	35	40	80	110	70,00	35	30	120	20
2,50	50	40	20	100	5,25	45	100	35	30	80,00	40	30	120	20
2,60	30	100	65	75	5,50	35	100	110	70	90,00	45	30	120	20
2,70	45	50	30	100	5,75	55	90	80	85	100,00	50	30	120	20
2,75	20	50	55	80	6,00	30	20	40	100	110,00	55	30	120	20
2,80	30	100	70	75	6,25	25	50	75	60	120,00	60	30	120	20
2,90	30	80	85	110	6,50	20	45	95	65	130,00	65	30	120	20
3,00	45	90	30	50	6,75	45	100	90	60	140,00	70	30	120	20
3,10	55	100	45	80	7,00	70	60	30	50	150,00	75	30	120	20
3,20	20	50	60	75	7,25	55	90	95	80	160,00	80	30	120	20
3,25	20	50	65	80	7,50	75	60	30	50	170,00	85	30	120	20
3,30	20	50	70	85	7,75	45	85	95	65	180,00	90	30	120	20
3,40	30	100	85	75	8,00	80	60	30	50	190,00	95	30	120	20
3,50	20	50	35	40	8,50	85	60	30	50	200,00	100	30	120	20

VOILURE. La voilure qui reçoit l'impulsion du vent pour donner le mouvement aux navires est répartie entre plusieurs mâts, ordinairement au nombre de quatre, savoir, en commençant par l'arrière : le *mât d'artimon*, le *grand mât*, le *mât de misaine*, dirigés verticalement ou à peu près, et, tout à fait à l'avant, le *mât de beaupré*, fortement incliné sur l'horizon.

Les grandes dimensions assignées aux mâts verticaux ne permettent pas de les exécuter en une seule longueur, et l'on est dans l'obligation de les fractionner en trois ou quatre pièces, réunies par des croisements d'une certaine étendue, et des assemblages particuliers qui fournissent une liaison suffisante. Ces différentes pièces reçoivent les noms de *tas mât*, *mât de hune*, *mât de perroquet*, et *mât de cacatois* pour le plus élevé; les trois mâts principaux sont divisés de la même manière, et chacune de leurs divisions, en outre de son nom générique, prend un nom particulier se rapportant au mât dont elle fait partie : ainsi l'on dit grand mât de hune, grand mât de perroquet, pour les divisions du grand mât; petit mât de hune, petit mât de perroquet, pour celles du mât de misaine; mât de hune d'artimon ou perroquet de fougue, pour les divisions de l'artimon, etc. Le mât de beaupré est également décomposé, dans le sens de la longueur, en plusieurs pièces croisées à peu près comme celles des autres mâts; ce sont : le *mât de beaupré*, le *bout dehors de grand foc*, et le *bout dehors de clin foc*, ou bâton de foc.

La voilure comprend deux espèces de voiles : les voiles *carrées*, supportées par des *vergues* perpendiculaires à l'axe de mâts verticaux et susceptibles de prendre différentes obliquités autour de cet axe, et les voiles *auriques*, dont l'axe, situé dans le plan longitudinal, est plus ou moins incliné par rapport à l'horizon,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et qui, à l'état de repos, sont entièrement comprises dans ce plan.

Chaque mât vertical porte autant de voiles carrées qu'il présente de divisions; ce sont pour le grand mât : la *grand'voile*, le *grand hunier*, le *grand perroquet* et le *grand cacatois;* pour le mât de misaine : la *misaine*, le *petit hunier*, le *petit perroquet* et le *petit cacatois;* pour le mât d'artimon il n'y a pas de basse voile, on a seulement : le *hunier d'artimon* ou *perroquet de fougue*, le *perroquet d'artimon*, et le cacatois d'artimon ou *perruche*.

Les vergues reçoivent le nom des voiles qu'elles supportent, à l'exception de la basse vergue du mât d'artimon, qui n'a pas de voilure et ne sert qu'à étendre le perroquet de fougue; elle est nommée la *vergue barrée* ou *vergue sèche*.

Les voiles auriques sont moins nombreuses que les voiles carrées; elles comprennent en premier lieu la *brigantine*, soutenue par le mât d'artimon; cette voile présente la forme d'un quadrilatère dont l'un des côtés est lacé au mât, dont le côté supérieur est soutenu par la *corne*, fortement inclinée sur l'horizon et articulée dans le plan diamétral avec le mât, et dont le côté inférieur, à peu près horizontal, est étendu sur un arc-boutant nommé le *gui*, articulé sur le mât de la même manière que la corne. Les voiles auriques de cette espèce, c'est-à-dire lacées au mât et soutenues par une corne, reçoivent le nom générique de voiles goëlettes. Le grand mât porte une voile goëlette nommée *artimon de cape;* le mât de misaine reçoit aussi quelquefois une voile semblable, nommée *misaine goëlette*. Les voiles auriques comprennent encore, à l'avant, les *focs*, qui affectent la forme de triangles à peu près rectangles; l'hypoténuse de ces triangles est soutenue par un cordage qui tient lieu de vergue, nommée la *draille*, et qui s'étend de l'une des divisions du mât de misaine à la division correspondante du mât de beaupré; il n'est besoin d'aucune installation particulière pour tenir les focs étendus, un simple cordage fixé à leur sommet, qui reste flottant, suffit pour remplir cet objet. Les focs sont ordinairement au nombre de trois : le *grand foc*, dont la draille s'étend du ton du petit mât de hune à l'extrémité du bout dehors; le *petit foc*, supporté par une draille établie entre le ton du petit mât de hune et l'extrémité du beaupré; et enfin le *clin foc*, dont la draille part du mât de perroquet et aboutit à l'extrémité du bâton de foc.

Les voiles goëlettes et les focs sont les voiles auriques les plus usitées, cependant on ajoute quelquefois entre les mâts verticaux des voiles trapézoïdales, suspendues et lacées à des cordages inclinés dans la direction des étais; par exemple : du ton du perroquet de fougue au ton du grand mât, ou du ton du grand mât de hune à celui du mât de misaine. Ces voiles sont désignées, en général, sous le nom de *voiles d'étais;* elles étaient fort employées autrefois, elles sont tout à fait tombées en désuétude pour les bâtiments de la marine militaire, mais il en est toujours fait usage dans la marine marchande, et surtout dans les grands clippers américains.

La totalité de la voilure n'est déployée que dans des circonstances exceptionnelles, comme, par exemple, dans l'allure vent largue par très-beau temps; le plus ordinairement les voiles employées sont : les basses voiles, les huniers et perroquets, la brigantine et le grand foc, auxquelles on donne le nom de *voiles majeures;* nous les avons représentées (fig. 1) pour une

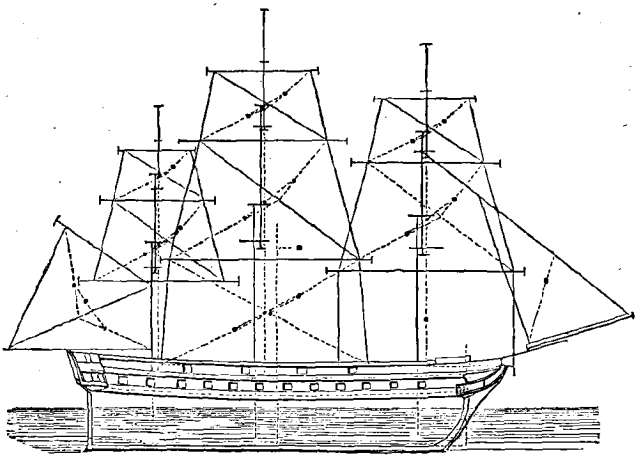


Fig 1

frégate que l'on peut prendre pour type des bâtiments à voiles carrées.

Lorsque l'on calcule la surface de voilure d'un bâtiment, c'est toujours la surface des voiles majeures, mesurée sur le plan que l'on trace de la manière suivante : les mâts sont représentés par leurs axes, les vergues sont rabattues autour de l'axe du mât de perroquet, et l'on prend pour contour des voiles celui des trapèzes obtenus en joignant deux à deux les extrémités des vergues. En réalité, le contour et les surfaces des voiles diffèrent plus ou moins de ceux de ces trapèzes; mais comme ce qu'il importe le plus, c'est d'établir certaines comparaisons entre les voilures de différents navires, il suffit que ces voilures soient évaluées toutes de la même manière.

Calcul de la surface et du centre de gravité de la voilure. Les voiles hautes sont toujours des trapèzes, ainsi que nous venons de le dire; les basses voiles ont quelquefois les côtés verticaux, et alors leur forme est celle d'un rectangle; les focs sont des triangles; quant à la brigantine, c'est un quadrilatère quelconque. Quelle que soit d'ailleurs la forme des voiles, on calcule leurs surfaces et l'on détermine leurs centres de gravité par les procédés les plus simples de la géométrie, et il est inutile d'insister ici sur ce sujet. Nous avons indiqué sur la figure les centres de gravité de chaque voile avec les constructions graphiques nécessaires pour les obtenir; une simple inspection suffira pour les faire comprendre.

Désignons par : $s, s', s'', \ldots$ les surfaces des différentes voiles;

$x, x', x'', \ldots$ les distances de leurs centres de gravité à la verticale passant par le milieu;

$y, y', y'', \ldots$ les hauteurs de ces mêmes points au dessus du centre de gravité de la coque;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

oient encore X et Y les coordonnées du centre de gravité de la surface de voilure totale S; on aura :

$$SX = sx + s'x' + s''x'' \ldots ; \quad X = \frac{sx + s'x' + s''x'' \ldots}{S}$$

$$SY = \frac{sy + s'y' + s''y'' \ldots}{S} ; \quad Y = \frac{sy + s'y' + s''y'' \ldots}{S}$$

Les quantités X et Y ainsi calculées serviront à déterminer la position exacte du centre de gravité de la voilure définie comme il vient d'être dit; on lui donne le nom de *centre de voilure*, ou encore de *point vélique*.

Position du centre de voilure, ou point vélique. La position du centre de voilure joue un rôle important dans l'économie du navire. Considérons, dit M. Freminville (*Guide du Marin*), que nous continuerons à citer ici, un bâtiment dont la voilure soit primitivement un plan vertical, représenté par sa trace *bc* (fig. 2),

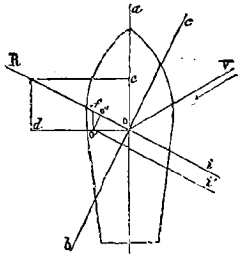


Fig. 2.

et soit O V la direction du vent; l'effort produit sur les voiles se traduit par une pression normale *oi*, appliquée à son centre de gravité *o;* cette pression se décompose en deux forces, l'une *oc* dans le sens de la quille, et l'autre *od*, perpendiculaire; la première produit la marche directe du bâtiment, et la deuxième, une marche transversale nommée la *dérive;* la marche réelle du navire n'a pas lieu suivant la quille, mais suivant une direction oblique par rapport à celle-ci, et qui est la résultante de la marche directe et de la dérive. Chacune de ces marches longitudinale et transversale produit une résistance spéciale, dont la résultante o R constitue la résistance finale qui doit équilibrer la force impulsive *oi*, ce qui entraîne implicitement la condition que les deux forces o R et *oi* soient égales et directement opposées, ou que sur notre figure les deux droites o R et *oi* soient dans le prolongement l'une de l'autre. Dans cet état, la direction du navire est stable; il n'est sollicité par aucun couple tendant à l'éloigner ou à le rapprocher de la direction *o* V du vent, ce que l'on exprime en disant qu'il n'est ni *mou* ni *ardent*.

Cet état d'équilibre étant établi, si le vent vient à fraîchir, la pression supportée par les voiles augmente, le navire incline en tournant autour d'un axe passant par son centre de gravité, et dans ce mouvement le centre de voilure vient se projeter quelque part en *o'*, sur une perpendiculaire à *oa;* la nouvelle direction de la force poussante devient donc *o' i';* quant à la résistance, elle conserve même point d'application et même direction : elle reste donc o R ; les deux forces qui sollicitent la navire ne sont plus directement opposées et donnent naissance à un couple égal à R × *o' o''*, qui tend toujours à rapprocher le bâtiment de la direction du vent, ou suivant l'expression consacrée : à le rendre *ardent;* cet effet se produit toutes les fois que le navire incline, quelle que soit d'ailleurs la cause qui produit son inclinaison. Pour établir l'équilibre, il faut modifier la position du centre de voilure de telle sorte que sa projection tombe de nouveau sur la droite o R; on peut obtenir ce résultat par deux moyens : soit en réduisant la voilure haute, ce qui fait cheminer le centre de voilure sur *oo*, soit en diminuant les voiles de la partie arrière et en augmentant celles de l'avant, ce qui, à surface égale, déplace la projection du centre de gravité suivant la droite *o' f* parallèle à l'axe.

VOITURES (*angl.* wheel-carriage, *all.* fuhrwerke). Dans toute l'étendue du mot, on appelle voiture une machine mobile susceptible d'être appliquée au transport des personnes ou des marchandises sur une voie de terre. Cette voie, modification permanente du relief du globe, constitue une machine fixe, servant à diminuer les résistances qui s'opposent au mouvement de la voiture. Nous n'avons pas à nous occuper ici des voies de communication, que nous avons traitées aux articles ROUTES et CHEMINS DE FER.

Toute voiture se compose essentiellement d'un coffre servant à renfermer les objets à transporter et monté sur un nombre variable de roues circulaires à peu près verticales. Nous allons passer en revue les diverses parties qui entrent dans la composition d'une voiture, mais auparavant donnons le résumé des expériences de M. Morin sur le roulement des voitures et leur action sur la voie: elles font bien comprendre les diverses conditions auxquelles le constructeur doit satisfaire.

La résistance opposée par les routes pavées ou en empierrement solide au mouvement des voitures, et rapportée à l'axe de l'essieu dans une direction parallèle au terrain, est :

1° Sensiblement proportionnelle à la pression et inversement proportionnelle au rayon des roues; 2° indépendante du nombre des roues et à très-peu près indépendante de la largeur des bandes de roues.

Sur les terrains compressibles : les terres, les sables, le gravier, les rechargements en matériaux solides et les routes neuves en empierrement, la résistance décroît quand la largeur de la bande de roue augmente.

Sur les terrains mous et compressibles tels que les terres, le sable, les accotements en terre, en bon état ou avec ornières, la résistance est indépendante de la vitesse pour les voitures suspendues ou non suspendues.

A la vitesse de 1m en 1", sur le pavé en bon état et sur les routes en empierrement, la résistance est sensiblement la même pour les voitures suspendues et non suspendues. Sur les routes en empierrement et sur le pavé, la résistance croît avec la vitesse de manière que ses accroissements sont à peu près proportionnels à ceux de la vitesse à partir de celle de 1m en 1".

L'augmentation du tirage en fonction de la vitesse est d'autant moindre que la voiture est moins rigide, mieux suspendue, et la route plus unie. Elle est assez faible pour les vitesses du pas et du grand trot, pour les diligences bien suspendues, sur les routes en empierrement en très-bon état qui n'offrent pas de cailloux à fleur de sol.

Sur un bon pavé, bien serré et bien uni, la résistance, au pas, n'est que les trois quarts de celle qu'offrent les meilleures routes en empierrement; et pour les voitures bien suspendues, la résistance au trot est la même sur le pavé que sur les routes en empierrement en bon état. Mais sur un pavé médiocrement entretenu, mal posé et à joints trop larges, la résistance au trot, même pour les voitures les mieux suspendues, est plus grande que sur les bonnes routes en empierrement.

L'inclinaison du tirage correspondante au maximum d'effort utile doit, en général, croître avec la résistance du sol, et être d'autant plus grande que le rayon des roues de l'avant-train est plus petit; ce qui, sur les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

routes ordinaires, conduit à se rapprocher de la direction horizontale autant que la construction de la voiture le permet.

Ces résultats d'expériences vont nous guider dans l'étude que nous allons faire des éléments qui entrent dans la construction des voitures employées sur routes ordinaires, n'ayant pas à revenir ici sur celles qui constituent le matériel roulant des chemins de fer, et dont il a été traité en détail à l'article CHEMINS DE FER. Nous ne parlerons pas des effets d'inertie de la masse à mouvoir, simples à analyser, mais qui jouent un grand rôle dans la pratique.

Des roues. C'est sur l'invention de cet admirable organe, dont la découverte se perd dans la nuit des temps, que repose toute la locomotion sur terre. En remplaçant le frottement de glissement sur le sol d'un corps en mouvement, par un frottement de roulement presque insensible sur une route en bon état et le frottement de l'essieu qui consomme un travail bien moindre, la roue se trouve un admirable organe mécanique auquel on ne fait pas attention précisément parce que son immense utilité en rend l'emploi extrêmement fréquent.

Soit R le rayon de la roue, r celui de l'essieu, F la force de traction rapportée à l'axe et parallelement au sol, ω l'angle de rotation, f le frottement sur l'essieu, le travail produit par la force sera $F \times R \times \omega$, travail qui sera égal, en négligeant le frottement de roulement, au travail du frottement sur l'essieu, dont la valeur sera $f r \omega$; on aura donc $F R \omega = f r \omega$, ou $F = \frac{fr}{R}$.

On en conclut que le rayon R doit être le plus grand possible; on est limité par la condition du bon attelage des chevaux et la stabilité à donner à la voiture. Quant aux termes f et r, ils doivent être aussi faibles que possible; nous verrons ci-après comment on satisfait à ces conditions par l'emploi d'un métal dur et résistant, en traitant des essieux.

Les roues se composent d'un moyeu, des rais et de la jante. Le moyeu est une forte pièce de bois d'orme, dont l'axe est évidé pour recevoir la boîte laquelle reçoit l'essieu. Sur sa circonférence dressée au tour sont pratiquées les entailles destinées à recevoir les pattes des rais. Ceux-ci destinées à unir la jante au moyeu sont de forme prismatique. Ils pénètrent la jante par leur extrémité en forme de cheville. La jante est composée de morceaux de bois dressés, de forme circulaire, et d'une longueur égale à une fraction déterminée de la circonférence $\frac{1}{7}, \frac{1}{9}$, telle que deux joints ne se correspondent jamais. Les parties de la jante assemblées d'une part aux rais à l'aide des trous qui y sont percés, sont réunies entre elles par des chevilles entrant dans des trous percés dans chaque face du joint.

Enfin la roue est munie d'un cercle en fer, qui, appliqué après avoir été chauffé, et par conséquent quand son diamètre est plus grand que celui de la roue, resserre tous les joints en se refroidissant, consolide la roue et lui donne la résistance convenable. Il serait inutile d'insister bien longuement sur le travail du charron. Le tracé se réduit évidemment à savoir diviser une circonférence en parties égales et le travail de l'ouvrier est assez simple pour être compris à première vue dans tous ses détails.

Les roues étant la partie de la voiture sur laquelle se porte presque toute la fatigue, leur usure est considérable; le cercle en fer doit donc être d'épaisseur convenable pour durer suffisamment en conservant une résistance assez grande, en raison du poids de la voiture.

La fabrication des roues étant une industrie considérable, on devait chercher à les établir à l'aide de moyens mécaniques. Depuis le perfectionnement des scieries, des outils servant à travailler le bois mécaniquement, la solution de ce problème était évidemment possible, aussi facile même que celle de plusieurs autres du même ordre, résolus depuis assez longtemps, tels que celui de la fabrication des poulies par M. Brunel. Ce n'est pourtant que vers 1827 que M. Philippe a monté le premier établissement de fabrication des roues à la mécanique, en utilisant plusieurs inventions curieuses de détail, déjà essayées. On peut voir aujourd'hui cette fabrication dans les grands ateliers de construction des Omnibus de Paris, qui ont créé un type de voiture représenté fig. 2557, extrêmement remarquable au double point de vue de la commodité et de la sécurité.

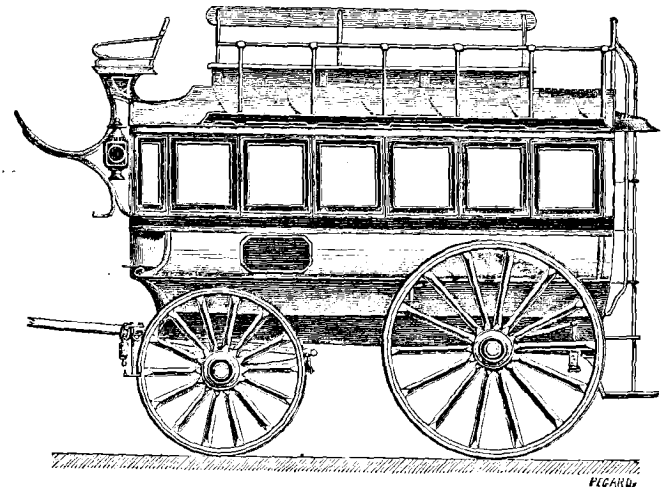


Fig. 2557.

Le moyeu tourné et percé sur un tour est placé sur une plate-forme à diviser pour être percé à l'aide de mèches mises en mouvement par des courroies, suivant les positions exactes des rais. Ceux-ci, débités sous leur forme exacte à l'aide de scies, sont présentés à un système de scies circulaires parallèles, qui forment les faces de la patte pendant que d'autres scies circulaires en s'avançant en coupent les épaulements. L'autre extrémité du rai est formée à l'aide d'une espèce de lunette cou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VOITURES.

jante. La jante est débitée circulairement à l'aide d'une scie et d'un plateau tournant sur lequel est adaptée la pièce de bois. Nous avons donné idée de cette disposition à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE.

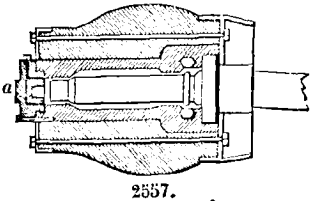
Enfin un dernier perfectionnement réel apporté dans cette fabrication consiste à faire l'embattage (le placement du cercle) sur une plate-forme en fonte placée au-dessus d'un réservoir. Le cercle chauffé bien également dans un four est placé sur la roue et battu fortement pour entrer à force. La roue se charbonne à son contour, et si cet effet pouvait se produire quelque temps, comme il arrive quelquefois dans le travail à la main, le cercle se trouverait bientôt trop grand. Mais dans le système dont nous parlons, aussitôt le cercle placé, on fait tourner un peu la plate-forme assemblée par son centre à un support par un assemblage à baïonnette et on la plonge dans l'eau du réservoir inférieur.

Ecuanteur. Les axes des rais ne sont pas dans le plan passant par le milieu de la jante, ils ont une inclinaison qu'on appelle l'*écuanteur*. Cette inclinaison est fort importante à considérer, car c'est d'elle que dépend l'élasticité des roues, qui est évidemment d'autant plus grande que les rais transmettent plus transversalement les chocs. Comme la résistance des pattes des rais est limitée, cette inclinaison ne saurait être bien considérable ; mais son effet n'en est pas moins très sensible, et on doit y avoir égard, surtout dans les voitures non suspendues.

Des essieux et boîtes de roues. De la valeur que nous avons trouvée pour la force de traction, il résulte que celle-ci sera d'autant moindre que le rayon de l'essieu sera moindre, que la valeur du coefficient de frottement sera moindre. On satisfait à la première condition en faisant l'essieu du métal le plus résistant, d'une étoffe de fer et d'acier, qui permet de lui donner la dimension minimum ; à la seconde, en faisant tourner l'essieu dans une boîte de roue en bronze, assemblée avec le moyeu, et qu'on garnit de graisse.

Nous avons donné à l'article SERRURERIE les dimensions adoptées pour les essieux en proportion des charges ; nous n'avons pas à y revenir ici.

Une condition essentielle à remplir, consiste à empêcher la roue de quitter l'essieu dans aucun cas. Dans les charrettes, on se contente souvent de chasser une cheville en bois dans le bout de l'essieu, percé à cet effet, au-delà d'une rondelle mobile en fer qui s'applique sur le bout du moyeu. Pour les voitures communes, on forme un filet de vis au bout du moyeu, et on serre un écrou qui vient s'appliquer sur la rondelle. Une cheville empêche l'écrou de sortir, et le pas de celui d'une roue est en sens inverse de celui de l'autre roue, c'est-à-dire tel que le mouvement de la voiture tend toujours à serrer les 2 écrous. Toutefois, ce système ne met pas à l'abri de tous les accidents qui peuvent résulter de la perte d'un écrou dévissé par les chocs de la voiture. Toutes les voitures de luxe sont munies aujourd'hui du système anglais, d'essieux *patentés* qui parent tout à fait à ces accidents, et conservent bien mieux la graisse autour de l'essieu. La figure 2557 montre un sys-



2557.

tème de ce genre. On voit que l'essieu porte un collet, qui est recouvert par un chapeau assemblé au moyeu par quatre boulons et quatre écrous, qu'aucune cause ne peut faire tomber, puisqu'ils sont placés à l'intérieur et excentriques avec l'essieu. Dans le système représenté dans la figure, une boîte *a*, se montant à vis, vient presser par un coussinet en cuir pour éviter tout balottement de la roue. On voit que l'essieu ne porte pas dans toute la longueur du moyeu, ce qui est inutile, mais seulement à ses extrémités. Il en résulte que si on introduit de l'huile dans le milieu par une ouverture qu'on ferme avec une vis, celle-ci, contenue dans un espace fermé, lubréfiera constamment les parties en contact, et rendra ainsi le frottement un minimum.

Ressorts. Nous avons vu au commencement de cet article toute l'importance des ressorts au point de vue de l'économie de la force motrice. Si l'on joint à cela le grand avantage qui résulte pour les voyageurs, de ne pas être atteints par les cahots de la voiture, on aura l'explication de la nécessité de suspendre toutes les voitures servant au transport des voyageurs, qui marchent toujours avec une certaine vitesse (voyez l'article RESSORTS).

Train. Les voitures à deux roues se composent essentiellement de deux brancards attachés à l'essieu et auxquels le cheval est attaché. La voiture tourne par la rotation sur place d'une des roues, pendant que l'autre décrit un arc de cercle.

Dans les voitures à quatre roues, une tige, dite cheville ouvrière, placée généralement au-dessus du milieu de l'essieu des roues de devant, reçoit l'œil de la flèche assemblée à l'essieu des roues de derrière. Cette flèche pose sur une partie plate, dite semelle. La voiture tourne donc par la double rotation, d'abord, des roues de devant, entraînées par l'attelage, puis des roues de derrière entraînées par la cheville ouvrière.

Il en résulte que pour tourner à angle droit ou sous un angle plus grand, il faut que les roues de devant puissent passer sous la flèche. On y parvient en donnant aux roues de devant un faible diamètre, condition très défavorable pour le tirage. On diminue cet inconvénient dans quelques voitures, pour lesquelles la forme de la caisse le permet, en faisant la flèche en fer et la cintrant en col de cygne pour laisser passage aux roues de devant.

On peut obtenir un tournant suffisant, pour quelques cas spéciaux, avec des roues de devant d'un plus grand diamètre, par deux systèmes. Le premier consiste à reporter en arrière de l'essieu de devant la cheville ouvrière. Il est clair que dans ce cas le milieu de cet essieu s'écarte de l'axe de la voiture, dans un plan horizontal, et que les roues rencontreront la caisse de la voiture qui limite l'angle de rotation, d'autant plus tard, que le point de rotation sera plus en arrière de l'essieu. Bien entendu que cet effet n'a lieu qu'autant que la partie antérieure de la caisse de la voiture est assez étroite pour ne pas gêner ce déplacement latéral.

Le second moyen consiste à assembler par des chaînes croisées les deux essieux. Celui de devant ne pourra tourner sans entraîner celui de derrière de manière à faire converger les axes des deux essieux vers un point de rencontre de plus en plus rapproché. C'est le système que nous avons décrit à l'article CHEMIN DE FER et qui a été employé avec succès par M. Arnoux, au chemin de Sceaux. C'est pour des voitures à six roues que ce système a été proposé pour la première fois, par sir Sidney Smith. Il se proposait de faire tourner, très court, des voitures très longues, et avec un minimum de tirage, puisque les roues passant toutes par la même trace et quatre roues suffisant pour porter la voiture, les cahots résultant de l'enfoncement d'une roue dans une cavité du sol se trouvaient évités. Ce système avait un grand défaut, c'était celui qui résultait de l'emploi de petites roues pour toutes les voitures qui ne pouvaient tourner suffisamment, si celles de devant et celles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les de derrière ne passaient sous la caisse; défaut majeur qui a empêché de donner suite à cet ingénieux système.

Attelage. Dans les voitures à deux roues le cheval placé entre les deux brancards porte une partie du poids de la voiture et la fait tourner en poussant les brancards. Tous les cahots de la voiture se transmettant au cheval, il fatigue beaucoup quand le poids à traîner est considérable. La charge d'une partie du poids de la voiture qu'il supporte, et qu'on a soin de rendre habituellement minime, par une bonne disposition du chargement, permet au cheval de traîner, sur un sol glissant, un poids supérieur à celui qu'il eût traîné étant libre. Dans ce dernier cas, en effet, le cheval ne trouvant d'autre adhérence sur le sol que le frottement qui varie avec son poids (sauf le cas où il rencontre des aspérités sur lesquelles il peut s'appuyer), et ce frottement augmentant avec la charge, l'effort qu'il pourra développer croîtra avec celle-ci.

Dans les voitures à plus de deux roues, le cheval est attelé à des palonniers, et la voiture, guidée par une flèche, dite timon, qui s'assemble à l'essieu des roues de devant. Etant entièrement libre l'attelage peut développer tous ses efforts en pleine liberté; les chevaux, placés près du timon, et qui en supportent l'extrémité par leurs colliers, souffrent seuls des cahots de la voiture, mais ne portent aucune partie de son poids.

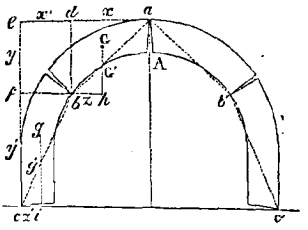
VOLANT. Voyez MACHINE A VAPEUR.

VOUTES. Il existe peu d'édifices importants où l'on n'ait eu recours aux voûtes, pour y réunir à la fois la solidité, la durée et l'aspect monumental. On en fait un usage journalier dans les constructions, même les moins importantes; dans la plus chétive maison, il y a une cave recouverte d'une voûte.

Les voûtes ne sont pas seulement importantes par leur usage fréquent, mais aussi par les difficultés que les ingénieurs et architectes éprouvent pour en fixer les dimensions, de manière à concilier l'économie, la solidité et l'élégance. Le problème de la détermination des conditions de stabilité d'une voûte, est un des plus complexes de l'art de construire; aussi a-t-il déjà fixé l'attention d'un grand nombre de savants, et il est encore aujourd'hui l'objet d'une étude très sérieuse de la part de M. Yvon Villarceau, qui, en envisageant la question sous un point de vue différent de ses devanciers, est arrivé à fixer d'une manière certaine, suivant les lois de la plus grande stabilité, les formes à donner à une voûte pour supporter des charges dont les intensités et le mode de répartition sont fixés à l'avance. Comme cette nouvelle théorie n'a pas encore été expérimentée, et que des idées nouvelles, quelque excellentes qu'elles soient, sont toujours longtemps avant d'être adoptées d'une manière générale dans la pratique, nous allons passer en revue les règles qui ont servi jusqu'à présent à fixer les dimensions des voûtes. Nous renvoyons à l'article PONTS pour les détails pratiques d'exécution de voûtes.

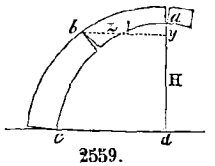
Que les voûtes soient de ponts ou d'édifices quelconques, il y a des conditions auxquelles elles doivent toujours satisfaire. Ainsi, par exemple, les surfaces de joint des voussoirs doivent toujours être normales à l'intrados, que cet intrados soit cylindrique, comme cela a lieu ordinairement, ou sphérique, comme dans les dômes, ou conoïde, comme dans les voûtes d'arêtes ou tours rondes (on verra plus loin que, d'après la disposition indiquée par la théorie de M. Yvon Villarceau, les plans de joints ne doivent pas être normaux à l'extrados, comme on a l'habitude de le faire, mais bien à l'intrados, à la courbe des centres de gravité des voussoirs supposés infiniment petits et à l'intrados fictif; ces trois courbes sont parallèles).

Dimensions des voûtes. Joints de rupture Lorsque les dimensions d'une voûte et de ses culées sont réduites au point de ne pouvoir se soutenir, on remarque, au moment où l'équilibre va se rompre, qu'en général la voûte s'ouvre, comme l'indique la fig. 2558, à l'intrados, à la clef; à l'extrados, en des points placés dans les *reins* de la voûte, et que les pieds-droits tournent autour de l'arête extérieure de leur base.



2558.

Quelquefois, lors de la rupture, on remarque que la voûte se fend à la clef et dans les reins, mais sans s'ouvrir, et que les pieds-droits glissent sur leurs bases.



2559.

Il est encore un troisième cas de rupture possible; c'est celui où, comme dans la fig. 2559, le voussoir inférieur, c'est-à-dire l'ensemble du pied-droit et de la partie de voûte inférieure au rein, exerce, pour tomber en avant, un effort plus grand que celui exercé par le voussoir supérieur pour le faire tourner en sens contraire. Alors la voûte s'ouvre comme dans le premier cas, mais à l'extrados, à la clef; à l'intrados, aux reins, et les pieds-droits tournent autour de l'arête intérieure de leurs bases.

Une voûte peut être considérée, d'après ces modes de rupture, comme composée de quatre voussoirs séparés par les joints où la rupture est possible, et qui doivent mutuellement se maintenir en équilibre.

1° Examinons d'abord le *premier cas de rupture*, celui où il y a affaissement de la voûte et renversement des pieds-droits (fig. 2558).

Au moment où l'équilibre se rompt, on peut supposer théoriquement que les voussoirs ne reposent plus l'un sur l'autre et sur le sol que par les arêtes a, b, b', c et c'. Alors les voussoirs $a\,b$, $b\,c$, $a\,b'$ et $b'\,c'$ sont entre eux dans le même état d'équilibre que ses droites rigides $a\,b$, $b\,c$, $a\,b'$ et $b'\,c'$, dont les poids seraient ceux des voussoirs, et dont les centres de gravité seraient placés aux points G', g', etc., situés sur les verticales passant par les centres de gravité G, g, etc., des voussoirs.

Partant de ces hypothèses, et en ne considérant pour simplifier les formules, qu'une tranche de voûte de 1 mètre de longueur (s'il y a équilibre sur 1 mètre, il est évident qu'il subsistera dans toute l'étendue de la voûte), si on représente $a\,d$ par x, $e\,d$ par x', $e\,f$ par y, $b\,h$ par z et $c\,i$ par z' i; que de plus P soit le poids du voussoir agissant $a\,b$, et Q celui du voussoir résistant $b\,c$:

1° La réaction horizontale à la clef sera représentée par

$$P\,\frac{z}{y};$$

2° La condition d'équilibre sera

$$Qz' + Px' - P\,\frac{zy'}{y} = 0;$$

3° D'où il résulte que, pour le cas de rupture considéré, il n'y aura stabilité qu'autant que l'on aura:

$$Qz' + Px' - P\,\frac{z\,y'}{y} > 0 \qquad (a),$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ou en ajoutant $Pz - Pz$ au premier membre de cette inégalité,

$$Qz' + P(x' + z) - \left(Pz + P\frac{zy'}{y}\right) > 0.$$

Qz' est le moment du voussoir bc, pris par rapport à l'arête c; $P(x' + z)$ est le moment du voussoir ab, pris par rapport à la même arête; par conséquent la somme de ces deux expressions est égale au moment total MA de la demi-voûte, pris par rapport à l'arête c.

$M = Q + P$, poids de la demi-voûte;

A, distance horizontale du centre de gravité de la demi-voûte à l'arête c.

Le second terme de l'inégalité précédente devient, en réduisant au même dénominateur

$$Pz\,\frac{y + y'}{y} = PH\frac{z}{y}$$

$H = y + y'$, hauteur totale de la voûte.

L'inégalité précédente devient donc en définitive

$$MA - PH\frac{z}{y} \text{ ou } H\left(\frac{MA}{H} - P\frac{z}{y}\right) > 0.$$

Il y aura rupture quand le terme négatif sera plus grand que le terme positif, équilibre quand il lui sera égal, et stabilité quand il sera plus petit.

Le terme $\frac{MA}{H}$ étant constant, et celui $P\frac{z}{y}$ étant seul variable, il est évident que si une voûte doit se rompre, ce sera au point pour lequel $P\frac{z}{y}$ est maximum : ainsi la première chose à faire pour s'assurer qu'une voûte résistera, c'est de déterminer la position du joint qui donne $P\frac{z}{y}$ maximum.

Il convient de remarquer que dans cette recherche on n'a à considérer que le voussoir supérieur, et que les joints pour lesquels on doit calculer les valeurs correspondantes de P, y et z, doivent être choisis voisins de celui que l'on croit de rupture. Il est convenable aussi d'observer que, pour abréger les calculs, les valeurs de P sont proportionnelles aux surfaces correspondantes de la section de la voûte, et les valeurs de y et z, données par ces surfaces, étant les mêmes que pour les portions correspondantes de la voûte, il conviendra d'opérer sur ces surfaces pour déterminer les valeurs successives de y et de z. La position du joint de rupture sera déterminée par la valeur maximum du produit de $\frac{z}{y}$ par la surface correspondante du voussoir.

Si on arrivait à une valeur de $P\frac{z}{y}$ trop grande, on augmenterait la largeur des pieds-droits de manière à faire croître convenablement MA.

Ce qui vient d'être dit s'applique aux voûtes surbaissées comme aux voûtes en plein cintre.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que la voûte n'avait à supporter que son propre poids ; mais ordinairement elle est surmontée d'un massif de maçonnerie formant une surface horizontale au-dessus de la voûte et des pieds-droits; de plus, encore, ce massif supporte ordinairement une surcharge accidentelle ou permanente. Dans ces divers cas, les poids P, Q, M comprennent non seulement ceux des parties correspondantes de la voûte proprement dite, mais aussi ceux des massifs de maçonnerie et les portions de surcharges qui reposent sur ces parties de la voûte. On a également égard à ces poids additionnels en déterminant les positions des centres de gravité.

Il convient de faire à une grande échelle l'épure qui sert à déterminer le joint de rupture; cela aide à fixer la position des centres de gravité, ainsi qu'à calculer les surfaces et, par suite, les poids des diverses parties de voûte que l'on a à considérer.

2° *Le deuxième cas de rupture d'une voûte* a lieu lorsque, par l'effet de la force horizontale maximum $P\frac{z}{y}$ du voussoir agissant, la culée ou pied-droit glisse sur sa base. Il est évident que ce glissement ne pourra se produire quand on aura

$$MK > P\frac{z}{y}.$$

K, coefficient du frottement de la culée sur sa base ; on peut le faire égal à 0,76.

Les autres lettres ont la même signification qu'au cas précédent.

3° *Le troisième cas de rupture d'une voûte* se présente quand, par la forme de la voûte ou par le mode de répartition de la charge, les pieds-droits tendent à tomber en avant ; alors la voûte s'ouvre à l'intérieur, aux reins, et à l'extérieur, à la clef, comme l'indique la figure 2559. Ce cas peut être considéré comme exceptionnel, et on peut généralement se dispenser de faire les calculs suivants :

On établit les conditions d'équilibre comme dans le premier cas, en prenant pour axes de rotation des voussoirs les arêtes a, b, c; et pour qu'il y ait stabilité, on trouve que l'on doit avoir

$$H\left(P\frac{z}{y} - \frac{MA}{H}\right) > 0, \text{ c'est-à-dire } P\frac{z}{y} > \frac{MA}{H}.$$

$H = ad$, hauteur de la voûte, mesurée à l'intrados;

M, poids de la demi-voûte ;

A, distance horizontale des centres de gravité de la demi-voûte à l'arête de rotation c;

P, poids du voussoir agissant ab;

z, distance horizontale du centre de gravité du voussoir agissant à l'arête de rotation b;

y, distance verticale des arêtes de rotation a et b.

Si on n'arrivait pas à $P\frac{z}{y} > \frac{MA}{H}$, on ajouterait un massif de maçonnerie au pied-droit, en dehors de l'arête c. Dans ce troisième cas de rupture, ainsi que dans le deuxième, on a, comme dans le premier, égard à la maçonnerie et à la surcharge qui peuvent reposer sur la voûte.

Épaisseur des voûtes à la clef. La méthode qui vient d'être exposée pour déterminer s'il y a stabilité dans une voûte projetée, ne conduit que par tâtonnement aux dimensions qu'il convient définitivement d'adopter, en faisant diverses hypothèses sur l'épaisseur de la voûte. Afin de ne pas agir au hasard, on a recours, pour fixer le départ de ces suppositions, à la formule empirique suivante, que Perronnet a déduite de ses observations,

$$e = 0,0347d + 0^m,325.$$

e, épaisseur de la voûte à la clef en mètres ;

d, distance des pieds-droits, si la voûte est en plein-cintre ; dans les voûtes surbaissées, d exprime le double du rayon qui a servi à décrire la directrice de l'intrados dans les voûtes en arc de cercle, et l'arc supérieur de cette directrice dans les voûtes en anse de panier.

Comme, pour des valeurs de d supérieures à 30m, la formule donne des épaisseurs trop fortes, il conviendra dans ces cas de se guider, pour sa première hypothèse, sur les constructions existantes.

Partant de l'épaisseur à la clef ainsi trouvée, on détermine, comme il a été indiqué plus haut, le joint de rupture, et, par suite, la poussée horizontale $P\frac{z}{y}$ de chaque voussoir agissant sur le voussoir résistant. Si cette poussée s'exerçait uniformément sur toute la hauteur e du joint à la clef, il serait facile de calculer quelle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

devrait être la valeur de e pour y résister ; mais remarquons que le voussoir agissant ab, fig. 2558, par sa tendance à tourner autour de l'arête a, rend nulle la pression au point intérieur A, tandis qu'elle est maximum au point extérieur a. Il est évident que la voûte ne résistera qu'autant que la pression maximum au point a ne dépassera pas la limite k que comporte la pierre de la voûte. La pression étant nulle en A, et k en a, on peut supposer que chaque élément de e résiste en raison inverse de sa distance au point a, d'où il résulte que la résistance moyenne est $\frac{k}{2}$, et la résistance totale $\frac{ke}{2}$.

Cette résistance totale peut être représentée par la surface d'un triangle, dont la base est k et la hauteur e ; son point d'application est situé au centre de gravité du triangle, c'est-à-dire à une distance $\frac{e}{3}$ de la base, qui se confond avec l'arête a ; et comme le moment de cette résistance, pris par rapport à l'arête de rotation b, doit être égal au moment du poids du voussoir agissant ab, pris par rapport à ce même axe b, on doit donc avoir

$$\frac{ke}{2}\left(y-\frac{e}{3}\right)=\mathrm{P}z.$$

Dans cette égalité, les longueurs étant représentées en mètres, et P en kilogrammes, k exprime le nombre de kilogrammes que peut supporter avec sécurité chaque mètre carré de la pierre qui compose la voûte. (En pratique on peut faire travailler la pierre depuis 1/15 jusqu'au 1/10 de la charge de rupture.)

L'équation précédente ainsi établie donnera la valeur de e, et si cette valeur était différente de celle que l'on a supposée pour déterminer le joint de rupture, on répéterait cette détermination en adoptant cette nouvelle valeur de e ; et la nouvelle valeur de P z fournirait pour e une valeur plus approchée.

Épaisseur des pieds-droits. Lorsque les pieds-droits font culée, c'est-à-dire lorsqu'ils doivent résister à la poussée horizontale de la voûte, il peut arriver qu'ils se renversent en tournant autour de l'arête extérieure. Cette circonstance ne peut se réaliser qu'autant que l'inégalité (*a*), donnée ci-dessus, ne serait pas satisfaite, ce qui indiquerait qu'il faut augmenter l'épaisseur du pied-droit et par suite z'.

On opérerait d'une manière analogue pour le cas où le pied-droit pourrait tourner autour de l'arête intérieure de sa base.

Il pourrait arriver aussi que, par suite d'une trop faible épaisseur, le pied-droit glissât sur sa base. Ce glissement n'est possible qu'autant que l'inégalité du 2° précédent, n'est pas satisfaite.

Il pourrait arriver également que la voûte glissât sur ses naissances. On vérifiera encore si cet effet est possible à l'aide de l'inégalité du 2°, ci-dessus, dans laquelle M ne comprendra plus le poids du pied-droit, mais seulement celui de la moitié de voûte qui le surmonte. Ce cas est évidemment celui qui exige la plus grande épaisseur de pied-droit ; cependant, comme l'épaisseur statique calculée pour le renversement est ordinairement plus que suffisante pour résister au glissement, on ne peut s'en tenir à cette dernière.

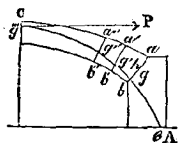
Ordinairement on augmente l'épaisseur statique trouvée d'une quantité telle, qu'en y supposant appliquée une pression égale aux 2/3 de la charge totale de la fondation, on n'ait à craindre ni le tassement du sol ni l'écrasement de la pierre. Dans le *Mémorial du Génie militaire*, au lieu d'opérer ainsi pour obtenir de la stabilité, on multiplie l'épaisseur statique trouvée par un coefficient égal à 1,38 ou 1,40 ; on l'a même porté à 1,90, mais cette valeur paraît exagérée.

Dans les anciens ponts, on faisait les arches très petites et en plein cintre ou en anse de panier, et les piles faisaient culée ; mais dans les arches actuelles, que l'on fait grandes et en arc de cercle, afin de faciliter la navigation, le joint de rupture étant aux naissances pour un arc dont la flèche est le 1/6 ou le 1/8 de l'ouverture, il en résulte que la poussée est trop considérable pour pouvoir établir des piles faisant culée. On se contente de leur donner des dimensions suffisantes pour que les pierres résistent avec sécurité à la charge qu'elles ont à supporter, en ayant égard aux effets des glaces et à toutes les autres causes de dégradation.

Méthode graphique, donnée par M. Méry, ingénieur des ponts et chaussées, *pour calculer la stabilité des voûtes.*

Par ce procédé, très pratique, on peut obtenir les divers éléments principaux nécessaires pour déterminer les épaisseurs des voûtes cylindriques de toutes les formes et celles de leurs pieds-droits.

Lorsqu'une voûte est en équilibre, de quelque manière que la pression se répartisse entre les divers points de chaque joint, elle donne lieu à une résultante unique appliquée en un point du joint : ainsi, par exemple, pour le joint ab (fig. 2560), cette résultante, que nous désignerons par p, sera appliquée au point g, et le voussoir Cb agissant sur le joint ab devra être tenu en équilibre par la réaction p de ce joint et par la poussée horizontale P qui agit au sommet de la voûte. Sur chacun des autres joints $a'b'$, $a''b''$, etc., il existe des points g', g'', etc., analogues à g. Tous ces points déterminent une courbe, que M. Méry appelle *courbe des pressions*, qui est très propre à éclairer sur l'équilibre de la voûte.



2560

Si cette courbe passe au sommet C de la voûte, au point b de l'intrados et au point extérieur A, cela indique que la voûte tend à s'ouvrir à l'intrados au joint C, à l'extrados au joint ab, et que le pied-droit tend à tourner autour de l'arête extérieure A.

La courbe des pressions n'atteignant pas les points C, b et A, mais s'en approchant, comme l'indique la fig. 2560, elle montre encore que c'est en ces points que la voûte est le plus faible.

La résultante de toutes les pressions qui s'exercent sur le joint ab passant par le point g, où la courbe des pressions rencontre ce joint, la moitié des composantes de p agissent sur la portion bg, qui doit y résister sans s'écraser ; il en est de même de chacune des portions eA, $b'g'$, $b''g''$ Cg'''.

Nous disons que bg doit être capable de supporter la moitié de la pression qui s'exerce sur le joint ba ; mais remarquons que la pression allant en augmentant depuis le point g jusqu'en b, l'arête b s'écraserait si on s'en tenait pour évaluer bg à la limite exigée par une demi-pression répartie uniformément. On n'a rien de bien positif sur la manière dont la pression se répartit sur un joint ; mais on admet généralement qu'étant à son maximum en b, elle décroît proportionnellement à la distance de ce point ; de sorte que la pression étant moyenne en g, elle est nulle au point h qui donne $hg=2gb$ (la pression totale sur le joint étant représentée par la surface d'un triangle dont hb est la hauteur, g le centre de gravité, et dont la base, que nous représenterons par k, est proportionnelle à la pression maximum en b, en tout autre point du joint, la pression est représentée par la parallèle menée en ce point à la base du triangle).

Cela posé, comme il est évident qu'au point b la pression k ne doit pas dépasser la limite que comporte la pierre, il en résulte que la partie bg doit être capable de supporter une charge représentée par $k \times bg$; et comme la pression totale sur le joint ab est $k \times \frac{3}{2} bg$, on voit donc que bg doit être capable de supporter avec

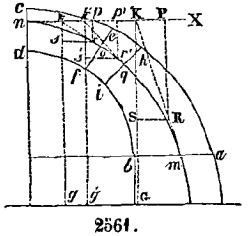
EFERUS - Recherche & Classification numérique

sécurité les 2/3 de la charge totale du joint, quoiqu'en réalité il n'en supporte que la moitié.

La pression s'exerçant suivant la tangente à la courbe des pressions, cette courbe, par son inclinaison sur les divers joints, sert encore à faire connaître les points où le glissement est à craindre. α étant l'angle que fait la direction de la pression avec le joint du voussoir, l'effort qui agit suivant la direction du joint pour produire le glissement est p cos. α; l'effort normal au joint est p sin. α. 0,76 étant le coefficient de frottement ordinairement adopté, on doit avoir, pour qu'il y ait stabilité, p cos. $\alpha < p$ sin. $\alpha \times 0{,}76$ ou cos. $\alpha <$ sin. $\alpha \times 0{,}76$.

Tracé de la courbe des pressions. Une voûte exigeant, pour sa stabilité, que son épaisseur et celle de ses pieds-droits soient plus considérables que ne l'exige l'équilibre statique, on conçoit que la courbe des pressions peut y prendre une infinité de positions différentes sans qu'il soit possible de préciser celle qui se réalisera. Le tassement, que l'on ne peut évaluer à l'avance, et les surcharges accidentelles auxquelles la voûte peut être soumise ajoutent encore à l'incertitude.

Prenons (fig. 2561), sur le plan des naissances, le point m, paraissant, par ses distances aux points b et a, devoir appartenir à la courbe des pressions (chacune des parties bm et am doit pouvoir supporter sans s'écraser les 2/3 de la charge du joint ab); prenons également sur le joint vertical cd, le point n, paraissant, par sa distance au point c, appartenir à la courbe des pressions, et proposons-nous de tracer cette courbe passant par m et n, c'est-à-dire de trouver les points en lesquels elle rencontre les joints ef, hi, etc.



2561.

On calcule le poids du voussoir $cdba$, et on détermine la position de son centre de gravité, soit KG la verticale passant par ce centre de gravité; prolongeons cette verticale jusqu'à l'horizontale nX, joignons Km, prenons KS proportionnelle au poids trouvé, et, terminant le parallélogramme KSRP, KP est proportionnelle à la poussée horizontale, et la diagonale KR à la pression totale p sur le joint ab. Cela fait, soit kg la verticale passant par le centre de gravité du voussoir $cdfe$; prenons ks proportionnelle au poids de ce voussoir et kp égale à la poussée horizontale KP; construisons le parallélogramme $ksrp$; la diagonale kr représente l'intensité et la direction de la pression sur le joint ef, et le point o, où elle rencontre ce joint, est un des points de la courbe des pressions. Opérant sur le voussoir $cdih$, comme sur $cdfe$, on détermine le point q, où la courbe rencontre le joint hi, et par la même marche on détermine tous les autres points de cette courbe.

Si les points m et n ont été mal choisis, on ne tarde pas à s'en apercevoir; la courbe que l'on obtient sort des limites convenables, ou conduit à une épaisseur démesurée de pieds-droits. On fait alors une nouvelle hypothèse sur la position de ces points, et on construit une nouvelle courbe, en se servant évidemment des poids et des positions des centres de gravité qui ont servi pour la première courbe.

Supposant que la voûte soit construite en matériaux assez résistants pour que la pression puisse s'exercer sur les arêtes des voussoirs sans les écraser, il est évident qu'il y aura équilibre tant que la courbe des pressions ne dépassera en aucun point la limite des voussoirs; mais qu'aussitôt cette limite dépassée, l'équilibre sera rompu si la voûte n'est pas consolidée par des armatures ou par des mortiers d'une résistance supérieure à l'effort qui tend à rompre l'équilibre. Avec les matériaux ordinairement employés, les distances de la courbe aux extrémités de chaque joint doivent être telles, que chacune d'elles soit capable de supporter une charge uniformément répartie égale aux 2/3 de la charge totale qui repose sur le joint.

Lorsque deux voûtes opposées s'appuient sur un même pied-droit, on peut s'en tenir à une épaisseur moindre; parce que, outre que les poussées contraires rendent tout mouvement du pied-droit impossible, la maçonnerie qui relie les deux voûtes au-dessus du plan des naissances rend impossible le glissement et le mouvement de la partie de voûte comprise entre les naissances et les reins. Il est évident que le massif de maçonnerie qui doit relier les deux voûtes doit être construit au moins jusqu'aux joints de rupture des voûtes, avant le décintrement et le chargement.

TABLEAUX DE M. PETIT POUR DÉTERMINER LES DIMENSIONS DES VOUTES.

M. Petit, capitaine du génie, a donné les tableaux suivants des valeurs des angles de rupture, c'est-à-dire des angles que forment avec la verticale les rayons menés du centre de la voûte aux joints de rupture.

1° *Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs limites des pieds-droits des voûtes en plein cintre à extrados parallèles, sans aucune maçonnerie ni surcharge sur la voûte.*

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture.		Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	Cas du glissement	Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
2.732	1.154	0°	00'	0.00000	0.98923	
2.70	1.176	13	42	0.00211	0.96262	
2.65	1.212	22	00	0.00349	0.92168	
2.60	1.250	27	30	0.00809	0.88151	
2.50	1.333	35	52	0.02283	0.80346	
2.40	1.428	42	6	0.04409	0.72847	
2.30	1.538	46	47	0.06835	0.65654	
2.20	1.666	51	4	0.08648	0.58767	
2.10	1.840	54	27	0.10926	0.52186	
2.00	2.000	57	17	0.13047	0.45912	1.3223
1.90	2.282	59	37	0.14813	0.39943	1.2320
1.80	2.500	61	24	0.16373	0.34281	1.1414
1.70	2.857	62	53	0.17180	0.28924	1.0484
1.60	3.333	63	49	0.17517	0.23874	0.9525
1.59	3.389	63	52	0.17533	0.23386	0.9427
1.58	3.448	63	55	0.17535	0.22901	0.9329
1.57	3.508	63	58	0.17524	0.22434	0.9233
1.56	3.571	64	1	0.17499	0.21940	0.9131
1.55	3.636	64	3	0.17478	0.21464	0.9031
1.54	3.703	64	5	0.17445	0.20991	0.8931
1.53	3.773	64	7	0.17397	0.20521	0.8831
1.52	3.846	64	8	0.17352	0.20054	0.8730
1.51	3.920	64	8	0.17310	0.19590	0.8628
1.50	4.000	64	9	0.17254	0.19130	0.8527
1.49	4.081	64	8	0.17180	0.18673	0.8424
1.48	4.166	64	8	0.17095	0.18218	0.8320
1.47	4.255	64	7	0.17008	0.17765	0.8216
1.46	4.347	64	6	0.16915	0.17318	0.8112
1.45	4.444	64	5	0.16798	0.16872	0.8007
1.44	4.545	64	3	0.16683	0.16430	0.7962
1.43	4.651	64	0	0.16568	0.15991	0.7934
1.42	4.761	63	56	0.16448	0.15555	0.7906
1.41	4.878	63	52	0.16317	0.15122	0.7874

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas du glissement	Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
1.40	5.000	63°48'	0.46167	0.44691	0.7838
1.39	5.128	63 43	0.46044	0.44264	0.7801
1.38	5.263	63 38	0.45845	0.43841	0.7760
1.37	5.406	63 32	0.45672	0.43420	0.7717
1.36	5.555	63 26	0.45482	0.43002	0.7670
1.35	5.714	63 19	0.45287	0.42587	0.7622
1.34	5.882	63 10	0.45096	0.42176	0.7574
1.33	6.060	63 00	0.44896	0.41767	0.7524
1.32	6.264	62 50	0.44678	0.41362	0.7468
1.31	6.451	62 33	0.44510	0.40959	0.7425
1.30	6.666	62 44	0.44330	0.40559	0.7379
1.29	6.896	62 9	0.44043	0.40163	0.7297
1.28	7.142	62 3	0.43691	0.09770	0.7213
1.27	7.407	61 47	0.43430	0.09379	0.7144
1.26	7.692	61 30	0.43157	0.08992	0.7074
1.25	8.000	61 15	0.42847	0 08608	0.6987
1.24	8.333	61 1	0.42516	0.08227	0.6896
1.23	8.695	60 40	0.42201	0.07849	0.6809
1.22	9.090	60 19	0.41887	0.07474	0.6721
1.21	9.523	60 00	0.41516	0.07102	0.6615
1.20	10.000	59 41	0.41140	0.06733	0.6504
1.19	10.526	59 10	0.40794	0.06368	0.6404
1.18	11.111	58 40	0.40417	0.06005	0.6292
1.17	11.764	58 9	0.40021	0.05646	0.6171
1.16	12.500	57 40	0.09593	0.05289	0.6038
1.15	13.333	57 1	0.09176	0.04935	0.5905
1.14	14.285	56 23	0.08729	0.04585	0.5759
1.13	15.384	55 45	0.08254	0.04237	0.5601
1.12	16.666	54 48	0.07789	0.03984	0.5444
1.11	18.181	54 10	0.07273	0.03552	0.5259
1.10	20.000	53 15	0.06754	0.03213	0.5066
1.09	22.222	52 14	0.06177	0.02879	
1.08	25.000	51 7	0.05649	0.02546	
1.07	28.571	49 48	0.05065	0.02217	
1.06	33.333	48 18	0.04455	0.01891	
1.05	40.000	46 32	0.03813	0.01568	
1.04	50.000	44 4	0.03139	0.01249	
1.03	66.666	41 4	0.02459	0.00932	
1.02	100.000	38 12	0.01691	0.00618	
1.01	200.000	32 36	0.00889	0.00308	
1.00	Infini.	0 00	0.00009	0.00000	

Observations sur la table précédente, et usage de cette table.

R, rayon de l'extrados;

r, rayon de l'intrados;

C, rapport de la poussée horizontale maximum agissant à la clef au carré du rayon r.

Pour obtenir la valeur de la poussée horizontale en kilogrammes, par mètre courant de longueur de voûte, il suffit de multiplier le produit Cr^2 par le poids d'un mètre cube de maçonnerie, qui est ordinairement de 2250 kilogrammes pour le moellon.

L'auteur de cette table remarque que la rupture des voûtes en plein cintre à extrados parallèle n'a lieu que par rotation à l'intérieur, autour d'un joint des reins ou par glissement à l'intérieur sur un des joints.

Les valeurs du rapport C sont calculées, dans les cas du glissement, en supposant le coefficient du frottement égal à 0,577; c'est la valeur donnée par Rondelet pour des parallélipipèdes en pierre de liais, équarris et dressés au grès, glissant sur un plan de même pierre et dressé de même. De ses expériences, Boistard conclut qu'il faut faire ce coefficient égal à 0,76 pour la maçonnerie.

L'examen des valeurs de C fait voir que, dès que le rapport $\frac{R}{r} = 1{,}44$, la poussée horizontale devient plus faible pour le cas du glissement que pour celui de la rotation; par conséquent, pour les voûtes donnant $\frac{R}{r}$ supérieur à 1,44, on adoptera les valeurs de C dues au glissement; pour les valeurs de $\frac{R}{r}$ de 1,44 et au-dessous, on adoptera les valeurs de C dues à la rotation. Un interligne horizontal, placé dans les colonnes de la table, indique la limite où l'une des valeurs de C commence à surpasser l'autre.

L'épaisseur-limite du pied-droit, dont il est question dans la 6e colonne de la table, est l'épaisseur qu'il faudrait adopter si la hauteur du pied-droit était infinie. Dans les cas ordinaires de la pratique, quand on n'a pas besoin d'une très grande stabilité, on peut réduire cette épaisseur-limite de 1/10 environ.

Soit à déterminer, par exemple, l'épaisseur-limite à donner aux pieds-droits d'une voûte à extrados parallèle, de 5 mètres de diamètre, en faisant usage de la table précédente.

On commence par déterminer l'épaisseur de la voûte d'après la formule de Perronnet (voir plus haut), ce qui donne :

$$e = 0{,}0347d + 0{,}325 = 0{,}0347 \times 5 + 0{,}325 = 0^m{,}498.$$

On a donc : $r = 2^m{,}50$, $R = 2^m{,}998$, et par suite,

$$\frac{R}{r} = 1{,}20.$$

Ce rapport étant moindre que 1,44, la poussée par rotation est supérieure à celle par glissement, et on doit prendre

$$C = 0{,}41140.$$

La poussée par mètre courant est alors

$$0{,}41140 \times r^2 \times 2250 = 0{,}41140 \times 2{,}50 \times 2{,}50 \times 2250 = 1566 \text{ kilogr.}$$

L'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Lahire,

$$\sqrt{2C} \times r = 0{,}6504 \times 2{,}50 = 1^m{,}626.$$

Si les pieds-droits, au lieu d'être supposés avoir une hauteur infinie, n'avaient que 3 mètres de hauteur, on pourrait, d'après une application d'une formule de M. Petit, réduire l'épaisseur $1^m{,}626$ à $1^m{,}457$.

2° *Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs-limites des pieds-droits des voûtes en plein cintre extradossées en chape à 45°. Ce sont les voûtes en plein cintre extradossées parallèlement, mais couvertes d'une chape de maçonnerie dont le plan supérieur est incliné à 45° à l'horizon, et tangent à l'extrados de la voûte.*

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas de la rotation.	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. Cas du glissement	Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Vauban.*
2.00	2.000	60°	0.26424	0.74361	1.7246
1.90	2.222	60	0.28416	0.65648	1.6204
1.80	2.500	60	0.29907	0.57383	1.5147
1.70	2.857	60	0.30867	0.49564	1.4081
1.60	3.333	60	0.31245	0.42191	1.2990
1.59	3.389	60	0.31249	0.41478	1.2880
1.58	3.448	60	0.31257	0.40841	1 2781
1.57	3.508	61	0.31264	0.40067	1.2660
1.56	3.571	61	0.31246	0.39367	1.2548
1.55	3.636	61	0.31222	0.38673	1.2437

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. — Cas de la rotation.	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. — Cas du glissement	Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Vauban.*
1.54	3.703	61°	0.31191	0.37983	1.2318
1.53	3.773	61	0.31153	0.37297	1.2214
1.52	3.846	61	0.31108	0.36615	1.2102
1.51	3.920	61	0.31056	0.35938	1.1989
1.50	4.000	61	0.30996	0.35266	1.1877
1.49	4.081	61	0.30928	0.34598	1.1764
1.48	4.166	61	0.30855	0.33934	1.1650
1.47	4.255	61	0.30772	0.33275	1.1537
1.46	4.347	60	0.30685	0.32621	1.1422
1.45	4.444	60	0.30587	0.31971	1.1308
1.44	4.545	60	0.30485	0.31325	1.1193
1.43	4.651	60	0.30408	0.30684	1.1078
1.42	4.761	60	0.30296	0.30047	1.1008
1.41	4.878	60	0.30173		1.0986
1.40	5.000	59	0.30001	0.28787	1.0954
1.39	5.128	59	0.29712		1.0914
1.38	5.263	59	0.29706		1.0893
1.37	5.406	59	0.29550		1.0872
1.36	5.555	59	0.29386		1.0841
1.35	5.714	58	0.29285		1.0823
1.34	5.882	58	0.29037		1.0777
1.33	6.060	58	0.28850		1.0742
1.32	6.264	58	0.28654		1.0705
1.31	6.451	57	0.28456		1.0668
1.30	6.666	57	0.28231	0.22756	1.0626
1.29	6.896	57	0.28027		1.0588
1.28	7.142	56	0.27810		1.0547
1.27	7.407	56	0.27578		1.0503
1.26	7 692	55	0.27343		1.0458
1.25	8.000	54	0.27102		1.0412
1.24	8.333	53	0.26850		1.0363
1.23	8.695	53	0 26608		1.0316
1.22	9.090	52	0.26377		1.0272
1.21	9.523	51	0.26074		1.0217
1.20	10.000	50	0.25806	0.17471	1.0160
1.19	10 526	50	0.25546		1.0109
1.18	11.111	49	0.25277		1.0045
1.17	11.764	49	0.25010		1.0002
1.16	12.500	48	0.24742		0.9948
1.15	13.333	47	0.24477		0.9894
1.14	14.285	46	0.24218		0.9842
1.13	15.384	44	0.23967		0.9791
1.12	16.666	43	0.23732		0.9743
1.11	18.181	43	0.23502		0.9695
1.10	20.000	42	0.23292	0.12032	0.9652
1.05	40.000	36	0.22902		0,9571

Les observations de la table 1° s'appliquent également à celle-ci ; et pour déterminer l'épaisseur-limite des pieds-droits on suit également la même marche : ainsi, on commence par déterminer l'épaisseur de la voûte extradossée parallèlement, à l'aide de la formule de Perronnet ; on a alors $\frac{R}{r}$; le tableau donne la valeur de C qui correspond à ce rapport ; et de cette valeur de C on conclut la poussée horizontale, ainsi que l'épaisseur-limite des pieds-droits. En opérant de cette manière, on trouverait, pour une voûte de 8 mètres de diamètre à l'intrados,

$$e = 0^m,6026, \frac{R}{r} = 1,15 ; C = 0,24477.$$

La poussée horizontale par mètre courant est,

$$0,24477 \times r^2 \times 2250 = 8811 \text{ kilogr.},$$

et l'épaisseur-limite des pieds-droits est, en adoptant la stabilité de Vauban,

$$\sqrt{2C} \times r = 0,9894 \times r = 3^m,9576.$$

Les pieds-droits ayant 5 mètres de hauteur, on pourrait prendre pour leur épaisseur $3^m,676$.

3° *Table des angles de rupture, des poussées et des épaisseurs-limites des pieds-droits des voûtes en plein cintre extradossées horizontalement Ce sont des voûtes en plein cintre extradossées parallèlement, et couvertes d'un massif de maçonnerie dont le plan supérieur est horizontal et tangent à l'extrados de la voûte.*

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. — Cas de la rotation.	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados. — Cas du glissement	Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
2.00	2.000	36°	0.05486	0.50358	1.3834
1.90	2.222	39	0.07101	0.43966	1.2925
1.80	2.500	44	0.08850	0.37901	1.2001
1.70	2.857	48	0.10631	0.32164	1.1055
1.60	3.333	52	0.12300	0.26755	0.0082
1.59	3.389	52	0.12453	0.26232	0.9984
1.58	3.448	53	0.12602	0.25712	0.9885
1.57	3.508	53	0.12747	0.25196	0.9784
1.56	3.571	54	0.12837	0.24683	0.9684
1.55	3.636	54	0.13027	0.24173	0.9584
1.54	3.703	55	0.13153	0.23667	0.9483
1.53	3.773	55	0.13289	0.23163	0.9381
1.52	3.846	55	0.13414	0.22664	0.9280
1.51	3.920	55	0.13531	0.22167	0.9177
1.50	4.000	56	0.13648	0.21673	0.9075
1.49	4.081	56	0.13756	0.21183	0.8972
1.48	4.166	56	0.13856	0.20696	0.8868
1.47	4.255	57	0.13952	0.20213	0.8764
1.46	4.347	57	0.14044	0.19733	0.8659
1.45	4.444	57	0.14122	0.19256	0.8554
1.44	4.545	58	0.14195	0.18782	0.8448
1.43	4.651	58	0.14268	0.18312	0.8341
1.42	4.761	58	0.14341	0.17845	0.8234
1.41	4 878	59	0.14376	0.17381	0.8126
1.40	5.000	59	0.14421	0.16920	0.8018
1.39	5.128	59	0.14456	0.16463	0.7909
1.38	5.263	59	0.14481	0.16009	0.7799
1.37	5.406	60	0.14498	0.15558	0.7689
1.36	5 555	60	0.14506	0.15111	0.7577
1.35	5.714	60	0.14504	0.14666	0.7465
1.34	5.882	60	0.14491	0.14225	0.7420
1.33	6.060	61	0.14467		0.7414
1.32	6.264	61	0.14460		0.7412
1.31	6.451	61	0.14390		0.7394
1.30	6.666	61	0.14332	0.12495	0.7379
1.29	6.896	61	0.14264		0.7362
1.28	7.142	62	0.14186		0.7342
1.27	7 407	62	0.14101		0.7320
1.26	7.692	62	0.13988		0.7290
1.25	8 000	62	0.13872	0.10405	0.7260
1.24	8.333	62	0.13737		0.7225
1.23	8.695	63	0.13593		0.7187
1.22	9.090	63	0.13437		0.7145
1.21	9.523	63	0.13263		0.7099
1.20	10.000	63	0.13073	0.08397	0.7048
1.19	10.526	63	0.12870		0.6993
1.18	11.111	63	0.12650		0.6933
1.17	11.764	64	0.12415		0.6868

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	Rapport du diamètre à l'épaisseur	Valeur de l'angle de rupture	Rapport C de la poussée au carré du rayon r de l'intrados.		Rapport $\sqrt{2C}$ de l'épaisseur-limite du pied-droit au rayon de l'intrados, *stabilité de Lahire.*
			Cas de la rotation.	Cas du glissement	
1.16	12.500	64°	0.12182		0.6803
1.15	13.333	64	0.11895	0.06471	0.6723
1.14	14.285	64	0.11608		0.6641
1.13	15.384	64	0.11303		0.6553
1.12	16.666	64	0.10979		0.6459
1.11	18.181	65	0.10641		0.6358
1.10	20.000	65	0.10279	0.04627	0.6249
1.09	22.222	66	0.098992		0.6133
1.08	25.000	66	0.094967		0.6007
1.07	28.571	67	0.091489		0.5886
1.06	33.333	68	0.086376		0.5729
1.05	40.000	69	0.081755	0.02865	0.5573
1.04	50.000	70	0.076857		
1.03	66.666	71	0.071853		
1.02	100.000	73	0 066469		
1.01	200.000	74	0.061324		
1.00	Infini.	75	0 055472	0.01185	

Les observations des tables 1° et 2° s'appliquent également à cette dernière, et pour une voûte de 10 mètres de diamètre à l'intrados, la règle de Perronnet donne

$$e = 0^m,672,$$

d'où on conclut : $\frac{R}{r} = 1,13$; $C = 0,11303$; la poussée horizontale par mètre courant est

$$0,11303 \times r^2 \times 2250 = 6359 \text{ kilogr. ;}$$

et l'épaisseur-limite des pieds-droits doit être, en adoptant la stabilité de Lahire,

$$\sqrt{2C} \times r = 0,6553 \times 5 = 3^m,2765.$$

Les pieds-droits ayant une hauteur de 5 mètres, on peut prendre pour leur épaisseur $2^m,8075$.

M. Petit a encore considéré les *voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement*. Il convient de distinguer le cas où la moitié α de l'angle au centre, correspondant à l'arc de la voûte, est plus grand que l'angle de rupture donné par la table 1°, col. 3830, pour une voûte en plein cintre extradossée parallèlement et pour une même valeur de $\frac{R}{r}$, et le cas où α est plus petit que cet angle de rupture.

R, rayon de l'extrados ;

r, rayon de l'intrados. Ayant r, on détermine l'épaisseur de la voûte à la clef, et par suite R à l'aide de la règle de Perronnet (colonne 3826).

1° Si α est plus grand que l'angle de rupture, la poussée horizontale est la même que si la voûte était en plein cintre avec R et r pour rayons, et se calculerait comme au 1° (colonne 3830). Quant à l'épaisseur-limite e des pieds-droits, on la calcule à l'aide de la formule

$$E = r\sqrt{3,8C}.$$

C a la valeur consignée table 1°.

Dans les cas ordinaires de la pratique, on peut diminuer de 1/10 cette épaisseur-limite.

2° Si le demi-angle α est plus petit que l'angle de rupture donné table 1°, ce qui a lieu ordinairement en pratique, on calcule le rapport C de la poussée au carré du rayon de l'intrados, à l'aide de la table suivante, relative à sept valeurs différentes de α ; ayant C, on détermine l'épaisseur-limite des pieds-droits à l'aide de la formule

$$E = r\sqrt{3,8C}.$$

Table des poussées des voûtes en arc de cercle extradossées parallèlement (l est l'ouverture de la voûte et f la flèche).

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT C DE LA POUSSÉE AU CARRÉ DU RAYON r, POUR						
	$l=4f$ $r=2.500f$ $\alpha=53°7'30''$	$l=5f$ $r=3.625f$ $\alpha=43°36'10''$	$l=6f$ $r=5f$ $\alpha=36°52'10''$	$l=7f$ $r=6.625f$ $\alpha=31°53'26''$	$l=8f$ $r=8.500f$ $\alpha=28°4'20''$	$l=10f$ $r=13f$ $\alpha=22°37'10''$	$l=16f$ $r=32.5f$ $\alpha=14°15'0''$
1.40	0.15445	0.14691	0.14691	0.14691	0.14691	0.14478	
1.35	0.14717	0.13030	0.12587	0.12587	0.12587	0.12405	
1.34	0.14543	0.12987	0.12171	0.12171	0.12171	0.11999	
1.33	0.14364	0.12781	0.11767	0.11767	0.11767	0.11596	
1.32	0.14173	0.12634	0.11362	0.11362	0.11362	0.11196	
1.31	0.13975	0.12486	0.10959	0.10959	0.10959	0.10800	
1.30	0.13764	0.12331	0.10682	0.10559	0.10559	0.10406	
1.29	0.13543	0.12164	0.10563	0.10163	0.10163	0.10016	
1.28	0.13311	0.11988	0.10437	0.09770	0.09770	0.09628	
1.27	0.13068	0.11803	0.10304	0.09379	0.09379	0.09244	
1.26	0.12815	0.11609	0.10160	0.08992	0.08992	0.08862	
1.25	0.12547	0.11402	0.10009	0.08668	0.08608	0.08483	0.07189
1.24	0.12270	0.11251	0.09850	0.08549	0.08227	0.08108	0.06862
1.23	0.12031	0.10958	0.09679	0.08423	0.07849	0.07735	0.06547
1.22	0.11675	0.10725	0.09499	0.08291	0.07474	0.07366	0.06234
1.21	0.11354	0.10460	0.09305	0.08148	0.07102	0.06999	0.05924
1.20	0.11023	0.10196	0.09102	0.07999	0.06984	0.06636	0.05616
1.19	0.10676	0.09915	0.08885	0.07834	0.06859	0.06275	0.05311
1.18	0.10313	0.09617	0.08653	0.07651	0.06727	0.05918	0.05008
1.17	0.09934	0.09303	0.08408	0.07468	0.06583	0.05212	0.04709
1.16	0.09537	0.08975	0.08144	0.07264	0.06420	0.05004	0.04411
1.15	0.09123	0.08634	0.07856	0.07050	0.06259	0.04904	0.04116
1.14	0.08690	0.08257	0.07568	0.06842	0.06077	0.04803	0.03824
1.13	0.08238	0.07869	0.07251	0.06558	0.05890	0.04674	0.03534

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Valeur du rapport $\frac{R}{r}$	RAPPORT C DE LA POUSSÉE AU CARRÉ DU RAYON r, POUR						
	$l=4f$ $r=2{,}500f$ $\alpha=53°7'30''$	$l=5f$ $r=3.625f$ $\alpha=43°36'10''$	$l=6f$ $r=5f$ $\alpha=36°52'10''$	$l=7f$ $r=6.625f$ $\alpha=31°53'26''$	$l=8f$ $r=8.500f$ $\alpha=28°4'20''$	$l=10f$ $r=13f$ $\alpha=22°37'10''$	$l=16f$ $r=32.5f$ $\alpha=14°15'0''$
1.12	0.07764	0.07459	0.06944	0.06297	0.05659	0 04454	0.03247
1.11	0.07269	0.07042	0.06548	0.06026	0.05421	0.04384	0.02962
1.10	0.06737	0.06563	0.06158	0.05666	0.05160	0,04214	0.02681
1.09	0.06214	0.06077	0.05739	0.05345	0.04871	0.04023	0.02401
1.08	0.05636	0.05652	0.05288	0.04934	0.04552	0.03806	0.02192
1.07	0.05052	0.05011	0.04804	0.04426	0.04200	0.03560	0.02111
1.06	0.04431	0.04428	0.04280	0.04058	0.03861	0.03276	0.02002
1.05	0.03776	0.03804	0.03709	0.03550	0.03357	0.02944	0.01882
1.04	0.03096	0.03144	0.03095	0.02992	0.02862	0.02561	0.01720
1.03	0.02378	0.02437	0.02424	0.02369	0.02293	0.02131	0.01524
1.02	0.01625	0.01681	0.01690	0.01673	0.01640	0.01546	0.01199
1.01	0.00834	0.00871	0.00886	0.00889	0.00885	0.00862	0.00747

Pour une voûte extradossée parallèlement, dont $\alpha = 28°4'20''$, $l = 8f = 8$ mètres, et $r = 8{,}5f = 8^m{,}5$, la formule de Perronnet donne pour épaisseur de la voûte à la clef :

$$e = 0^m{,}915, \text{ d'où } R = 9^m{,}415, \text{ et } \frac{R}{r} = 1{,}107.$$

Le rapport 1.107 tombant entre les valeurs 1.10 et 1.11 du tableau, la différence de la valeur de C correspondant à 1.107 et de la valeur correspondant à 1.11 se détermine à l'aide de la proportion :

$1{,}11 - 1{,}10 : 0{,}05421 - 0{,}05160 :: 1{,}11 - 1{,}107 : x$, d'où $x = 0.000\,783$, et par suite $C = 0.054\,21 - 0.000\,783 = 0.053\,43$.

L'épaisseur-limite des pieds-droits est alors

$$E = 8{,}5\sqrt{3{,}8 \times 0{,}05343} = 3^m{,}825$$

Pour une hauteur de pieds-droits de $4^m{,}25$, on pourrait faire $E = 3^m{,}244$.

Glissement des voûtes en arc de cercle sur les joints de leurs naissances. Le frottement par mètre courant de la voûte sur le joint de chaque naissance a pour expression, en adoptant ici 0.76 pour coefficient de frottement,

$$0{,}38\alpha\left(\frac{R^2}{r^2} - 1\right) r^2 \times 2250 \text{ kilogr.}$$

α est le demi-arc, exprimé en mètres, correspondant à l'angle au centre qui correspond à l'arc de la voûte, l'arc α étant décrit avec un mètre pour rayon : ainsi pour un angle au centre de 25°, on a $\alpha = \frac{25 \times 2 \times 3.14}{360} = 0^m{,}436$.

La poussée horizontale par mètre courant est, en adoptant pour C la valeur consignée au tableau précédent :

$$Cr^2 \times 2250 \text{ kilogr.}$$

Pour le système $l = 4f$, la poussée surpasse le frottement quand $\frac{R}{r}$ est égal ou inférieur à 1.06. Pour les systèmes $l = 5f$, $l = 6f$, $l = 7f$, $l = 8f$ et $l = 10f$, le glissement commence à $\frac{R}{r} = 1{,}15$. Pour le système $l = 16f$ et pour tous les systèmes plus surbaissés, le glissement a lieu, quelle que soit l'épaisseur de la voûte.

Lorsque la poussée dépasse le frottement, il faut employer des tirants, arcs-boutants, etc., capables de résister à l'excès de la poussée sur le frottement.

Pour les voûtes en anse de panier, on calculera l'épaisseur à donner aux pieds-droits, comme pour une voûte en arc de cercle de même ouverture et de même flèche.

THÉORIE DE M. YVON VILLARCEAU.

Après avoir passé en revue les divers moyens principaux mis en usage jusqu'à ce jour pour déterminer les dimensions des voûtes, il nous reste à donner une idée de la nouvelle théorie de M. Yvon Villarceau, et à exposer les méthodes pratiques, tant graphiques que par le calcul, que ce savant a conclues de sa théorie pour déterminer les formes et les dimensions à donner à des voûtes devant satisfaire à des conditions voulues.

Ce qui suit est extrait d'un travail publié par M. Yvon Villarceau dans la *Revue de l'architecture et des travaux publics*, publiée sous la direction de M. César Daly, et de mémoires ayant reçu l'approbation la plus flatteuse de la part de l'Académie des Sciences.

Comme le fait voir ce qui a déjà été exposé dans cet article, avant M. Yvon Villarceau, les ingénieurs et les architectes qui s'étaient occupés de la théorie si délicate des voûtes, supposant connues les formes de l'intrados et de l'extrados, avaient cherché les conditions d'équilibre que ces formes exigeaient, afin d'en conclure le mode de répartition des charges le plus favorable à la stabilité. La pratique exigeant une répartition de charges assez rigoureusement déterminée, on conçoit les difficultés que l'on doit éprouver pour satisfaire le plus convenablement possible aux conditions de stabilité d'une voûte ; aussi ces conditions étaient-elles rarement satisfaites d'une manière rigoureuse, même en ayant égard aux latitudes que permet la pratique.

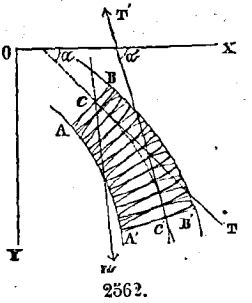
M. Yvon Villarceau, pour arriver à satisfaire d'une manière certaine, et la plus convenable, aux conditions d'équilibre, envisage la question sous un point de vue tout différent : ainsi, prenant précisément pour inconnues les données de la théorie habituelle, il se propose de rechercher les formes d'intrados et d'extrados qui assureront la plus grande stabilité d'une voûte destinée à supporter des charges dont les intensités et le mode de répartition sont fixés d'avance par les exigences de la pratique; et cela, tout en fixant, *a priori*, la flèche et l'ouverture de l'arche. C'est ainsi que le problème se présente ordinairement dans la pratique.

Pour établir ses conditions d'équilibre, M. Yvon Villarceau fait deux hypothèses :

D'abord, il imagine que, sans altérer en rien le poids des voussoirs et la position de leurs centres de gravité (cette position suppose les voussoirs infiniment minces et les plans de joints normaux à la courbe cc' passant par les centres de gravité de ces voussoirs), on leur donne la forme indiquée par la fig. 2562, c'est-à-dire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on les taille de telle manière qu'ils ne soient en contact que suivant les arêtes ou génératrices qui ont leurs pieds sur la courbe cc' des centres de gravité des voussoirs.



2562.

Ensuite il fait abstraction des frottements et de la résistance qu'oppose l'adhésion des mortiers au glissement des voussoirs les uns sur les autres, qui du reste ne se développent pas en se conformant aux dispositions indiquées par la théorie.

Il est évident que si l'équilibre peut exister dans un système établi suivant ces hypothèses, il existera *à fortiori* lorsque l'on remplacera le contact de deux arêtes par celui de deux plans de joint, et que l'adhésion des mortiers ainsi que le frottement pourront prendre naissance, le rôle de ces dernières forces étant de s'opposer au glissement, quand il tend à se produire.

Seulement, il faut remarquer que la pression T, qui se répartirait également sur tous les points du plan de joint, dans le cas où elle passerait par le centre de gravité de ce joint, ne se partagera pas également entre tous ses points, à cause que les centres de gravité des faces des voussoirs ne se trouvent pas sur la courbe cc', mais se projettent sur les points milieux de l'épaisseur de la voûte. Les centres de gravité des volumes des voussoirs se projetant plus près de l'extrados que ceux des faces de joint, on voit que lorsqu'on remplacera les arêtes de contact par les faces de joint, la pression par unité de surface sera plus grande vers l'extrados que vers l'intrados. Mais les distances des points de la courbe cc' aux points milieux des épaisseurs qui leur correspondent étant très petites, on peut généralement ne pas tenir compte de cette inégale répartition des pressions; la pression maximum ne différera que très peu de la pression moyenne. D'ailleurs il suffira, pour faire disparaître cette inégalité, de *refouiller* le joint à l'intrados, à une profondeur très petite, et telle que la courbe des centres de gravité cc' passe par le milieu du joint réel; en pratique, cette précaution est négligeable.

Il y a un grand avantage à ce que la résultante des pressions passe très près du milieu de l'épaisseur, et soit en même temps normale au plan de joint; car si la voûte est soumise accidentellement à des charges auxquelles on n'aura point eu égard en fixant les conditions de son établissement, l'action de celles-ci sera, tant que l'équilibre pourra subsister, de déplacer le point d'application de la résultante des pressions, en faisant varier son intensité et sa direction. Or, pour que cette résultante puisse se déplacer dans un sens ou dans l'autre, sans trop se rapprocher de l'extrados ou de l'intrados, ni trop s'écarter de la direction de la normale, il est évident qu'elle doit passer par le milieu de l'épaisseur et être normale au joint lorsque les surcharges dont il s'agit n'ont pas lieu, c'est-à-dire, lorsque la voûte est seulement soumise à l'action des forces qu'on a fait entrer dans le calcul de son établissement.

Cela posé, considérons l'équilibre d'une portion quelconque cc' de voussoirs du système de la fig. 2562, soient x, y, et x', y', les coordonnées de c et c'.

Les forces extérieures à ce système sont :

T, pression agissant en c.

T', pression agissant en c'.

dP, les poids des voussoirs.

$F\,ds$, les autres forces extérieures qui agissent sur les divers points du système et passant par les centres de gravité des voussoirs.

Ces diverses forces étant dans un même plan, trois des six conditions d'équilibre d'un système solide sont satisfaites, et il ne reste qu'à appliquer les trois autres.

Deux de ces équations expriment que la somme des projections des forces extérieures sur chacun des axes X, Y est nulle.

La troisième exprime que la somme des moments de ces forces ou de leurs composantes, par rapport à un troisième axe perpendiculaire aux deux premiers, est également nulle.

L'indice x ou y employé dans les formules suivantes indique, par exemple, que F_x est la projection de la force F sur l'axe des x, et F_y celle de F sur l'axe des y.

En égalant à zéro la somme des projections des forces extérieures sur l'axe des x, et observant que celle de la somme des poids dP est nulle, il vient

$$T\cos.\alpha - T'\cos.\alpha' + \int_x^{x'} F_x\,ds = 0. \qquad (1)$$

En projetant ces forces sur l'axe des y, et égalant la somme des projections à zéro, on obtient

$$T\sin.\alpha - T'\sin.\alpha' + \int_x^{x'} F_y\,ds + \int_x^{x'} dP = 0. \quad (2)$$

En faisant la somme des moments par rapport à un axe perpendiculaire au plan des x y, et passant par l'origine O, puis l'égalant à zéro, on obtient cette dernière condition

$$x\,T\sin.\alpha - x'\,T'\sin.\alpha' - (y\,T\cos.\alpha - y'\,T'\cos.\alpha') + \int_x^{x'} x F_y\,ds - \int_x^{x'} y F_x\,ds - \int_x^{x'} x\,dP = 0. \quad (3)$$

Or, remarquons que ces équations devant avoir lieu pour un intervalle quelconque cc', compté sur la courbe des centres de gravité, auront encore lieu lorsque cet intervalle sera infiniment petit et égal à ds. Dans ce cas x' deviendra $x + dx$, et les quantités α' et T', qui sont des fonctions de x', deviendront $\alpha + d\alpha$, et $T + dT$, de telle sorte que l'on aura

$$T'\cos.\alpha' - T\cos.\alpha = (T+dT)\cos.(\alpha+d\alpha) - T\cos.\alpha = d(T\cos.\alpha),$$

et de même

$$T'\sin.\alpha' - T\sin.\alpha = d(T\sin.\alpha),$$

tandis que les intégrales contenues dans ces mêmes équations se réduiront à un de leurs éléments. En supposant donc l'intervalle cc' infiniment petit, et ayant égard aux remarques précédentes, les équations d'équilibre (1) et (2) deviennent :

$$d(T\cos.\alpha) = F_x\,ds \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$
$$d(T\sin.\alpha) = F_y\,ds. + dP \quad . \quad (5)$$

Quant à l'équation (3), elle prend une forme telle qu'il est facile de voir qu'elle est une conséquence des équations (4) et (5).

Ces deux dernières équations étant applicables à un élément quelconque de la voûte, expriment donc les conditions nécessaires et suffisantes pour assurer l'équilibre du système.

Appelant :

ϵ, l'épaisseur AB de la voûte au point dont les coordonnés sont x et y (fig. 2562);

t, la pression moyenne sur la face AB, lorsque les surfaces de contact sont rétablies; d'après la remarque col. 3839, la pression maximum par unité superficielle différera peu de t dans le joint AB, et nous aurons $T = \lambda\epsilon t$;

λ, dimension du joint, parallèlement à l'axe de la voûte;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ω, le poids de l'unité de volume des matériaux dont est construite la voûte;

j, la largeur du voussoir, mesurée suivant la courbe passant par les milieux des épaisseurs des voussoirs, et différant très peu de la largeur mesurée suivant la courbe cc' des centres de gravité;

ρ, le rayon de courbure de cc';

δ, la distance de la courbe cc' au milieu de l'épaisseur de la voûte;

2δ. la profondeur du refouillement des joints;

s, la longueur de la courbe cc', et ds celle de son élément;

$$\mu = \frac{t}{\omega}.$$

On a :

$$T = \lambda \varepsilon t$$

$$T\cos.\,\alpha = \lambda \varepsilon t \frac{dx}{ds}$$

$$T\sin.\,\alpha = \lambda \varepsilon t \frac{dy}{ds}$$

$$dP = \omega \lambda \varepsilon j = \omega \lambda \varepsilon ds \left(1 - \frac{\delta}{\rho}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

d'où il résulte, pour équations d'équilibre, en substituant ces valeurs dans les équations (4) et (5), et divisant tout par λ :

$$\left.\begin{aligned} d\left(\varepsilon t \frac{dx}{ds}\right) &= \frac{F_x\, ds}{\lambda} \\ d\left(\varepsilon t \frac{dy}{ds}\right) &= \frac{F_y\, ds}{\lambda} + \omega \varepsilon \left(1 - \frac{\delta}{\rho}\right) ds \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

On a aussi :

$$1 - \frac{\delta}{\rho} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2}{\rho^2}} \quad . \quad . \quad (8)$$

d'où :

$$\frac{\varepsilon}{\rho} = \sqrt{12\frac{\delta}{\rho}\left(1 - \frac{\delta}{\rho}\right)} \quad . \quad . \quad (8\ bis)$$

et :

$$\frac{\delta}{\rho} = \frac{\frac{1}{12}\frac{\varepsilon^2}{\rho^2}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2}{\rho^2}}} \quad . \quad . \quad (9)$$

formule de laquelle on tire, pour valeur approchée aux quantités près du 4e ordre,

$$\frac{\delta}{\rho} = \frac{1}{12}\frac{\varepsilon^2}{\rho^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9\ bis)$$

ce qui confirme ce qui a été avancé sur la petitesse de la distance de cc' au milieu de l'épaisseur de la voûte.

Les équations (7) servent de base à la discussion des diverses questions que peut présenter la théorie des voûtes.

Questions à résoudre.

Les équations (7) contiennent, outre la variable x, que l'on peut prendre pour variable indépendante, les variables y, ε, t, F_x, F_y, qui sont des fonctions connues ou inconnues de x. Or, ces cinq quantités ne sont liées entre elles que par deux équations : on peut donc en donner arbitrairement trois d'entre elles, et les équations serviront à faire connaître les deux autres. Toutefois, on observe que les deux variables F_x et F_y, n'équivalent qu'à une seule, la force F, qu'on ne peut assigner sans fixer à la fois son intensité et sa direction, c'est-à-dire sans fixer à la fois ses deux composantes F_x F_y.

On réduit donc à 4 le nombre des fonctions de x que contiennent les équations (7). Ces quantités y, ε, t, F, peuvent former entre elles $\frac{4(4-1)}{1.2} = 6$ combinaisons deux à deux, d'où il résulte que l'on pourra se donner deux de ces quantités de six manières différentes, et que les équations (7) fourniront les deux autres.

On voit qu'on pourra résoudre, à l'aide des équations (7), six séries de questions qu'on peut écrire analytiquement, étant donnés :

t et F, ε et F, y et F, y et ε, y et t, ε et t.

Trouver respectivement :

y et ε, y et t, ε et t, t et F, ε et F, y et F.

Il est à remarquer que les trois premières questions sont déterminées, parce qu'on suppose F donnée d'intensité et de direction en fonction de x, et qu'il reste à déterminer, dans chaque cas, deux inconnues au moyen de deux équations.

Les trois derniers problèmes sont indéterminés, sous la forme donnée ici à leur énoncé, parce que la force F représente deux inconnues : F_x, F_y, et qu'il y aurait à déterminer les valeurs de trois inconnues au moyen de deux équations; on devra donc, en outre, se donner la direction de F, ou l'une de ses composantes, dans chacun de ces trois derniers cas.

M. Yvon Villarceau fait remarquer que les données que l'on voudra choisir dans le tableau précédent pouvant être établies d'une manière quelconque en fonction de x, on conçoit que chacun des six cas présentés peut lui-même donner lieu à une infinité de questions.

Nous ne pouvons ici entrer dans les développements analytiques qu'entraîne cette théorie.

Disons seulement qu'après avoir établi les équations différentielles ci-dessus, l'auteur les intègre pour le cas où l'on supposerait les forces extérieures nulles, et la pression ou tension moyenne constante et égale à celle de la limite de charge que les matériaux de la voûte peuvent supporter d'une manière permanente; cela lui fait connaître la loi des épaisseurs croissantes de la voûte à partir du sommet où elle reste entièrement arbitraire et doit être, en conséquence, déterminée par l'usage seul des constructeurs, jusqu'à la naissance de cette voûte, supposée reposer sur un coussinet inébranlable et dont l'inclinaison est fixée par les données mêmes du calcul, aussi bien que la ligne des centres de gravité, exprimée par une équation transcendante d'une forme très simple et qui permet de tracer rapidement les courbes d'intrados et d'extrados de la voûte.

Les résultats de cette analyse sont ensuite appliqués par l'auteur, au cas d'une voûte non chargée, puis aux voûtes ou arches de pont dont le bandeau est surmonté, à l'ordinaire, d'un tympan ou surcharge en maçonnerie, en terre, etc., limitée à un plan supérieur horizontal. M. Yvon remarque que la pression exercée par une telle surcharge sur l'extrados de la voûte peut varier avec la nature de la construction adoptée, et offre une véritable indétermination, puisque sa valeur dans certains cas, peut acquérir une intensité comparable à celle d'un liquide d'une densité égale à la densité moyenne de la surcharge, tandis qu'elle serait à peu près nulle dans le cas d'un système en pierres de taille formant au-dessus de cette voûte un véritable arc-boutement par les dimensions ou le mode de superposition de ces pierres. Ainsi Rondelet énonce comme un résultat de l'expérience, que cinq ou six assises en pierres de taille, superposées à une voûte en plein cintre, suffisent non-seulement pour la décharger du poids des constructions supérieures, mais aussi pour annuler complétement sa poussée horizontale.

Dans un récent travail, M. Yvon Villarceau a réduit en tables les résultats qui ne se déduisent qu'avec difficulté de ses formules fondamentales. A l'aide de ces tables et de quelques formules empiriques, les praticiens peuvent appliquer ces recherches aux constructions. Il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a lui-même fait l'application de sa théorie à un certain nombre d'arches en anse de panier des ponts les plus célèbres qui existent, a reconnu que toutes pèchent plus ou moins gravement contre l'emploi économique des matériaux et contre le rapport qui doit exister entre la flèche et l'ouverture. Ce rapport, comme nous l'avons déjà dit ci-dessus, doit, pour les voûtes en anse de panier, rester compris entre 1/3 et 1/4, et ne jamais atteindre ni l'une ni l'autre de ces limites, comme on l'a presque toujours fait jusqu'à présent; il doit se rapprocher du 1/3 dans les arches d'une faible ouverture et du 1/4 dans celles à grande portée. Au 1/4, les pierres ne sont plus assez résistantes; au 1/3, les épaisseurs fournies par la théorie devraient, pour satisfaire à toutes les conditions qu'on s'est imposées, recevoir des valeurs considérables, et les pressions dans les joints seraient faibles, ce qui impliquerait un vice d'économie dans l'emploi des matériaux. La forme de plein cintre répond à des charges infiniment grandes, et ne convient par conséquent pas aux arches de ponts. Celle des tunnels s'en rapproche au contraire en raison des charges considérables que leurs voûtes ont à supporter.

M. Yvon Villarceau a reconnu que dans la plupart de nos grands ponts on aurait pu réduire d'un tiers environ l'épaisseur des voûtes qui ont été surbaissées au 1/3, sans faire subir aux voussoirs des pressions excédant le dixième, ou même le quinzième des charges de rupture, et cela, en diminuant convenablement la flèche, ce qui eût permis d'exhausser les naissances sans changer le niveau du pavé de la chaussée. Cet exhaussement, joint à la réduction de l'épaisseur à la clef, eût offert au passage des eaux un débouché plus considérable, en même temps qu'il eût facilité la navigation.

M. Yvon Villarceau a calculé tous les éléments de trois arches différentes : l'une, dite en arc de cercle, établie sur les données du pont d'Iéna, c'est-à-dire ayant 25 mètres d'ouverture et 3 mètres de flèche; une seconde, aussi dite en arc de cercle, de 45 mètres d'ouverture et 5 mètres de flèche; la troisième, en anse de panier, de 60 mètres d'ouverture et 16m,25 de flèche. L'épaisseur de 1m,86 et la pression horizontale à la clef seraient les mêmes dans la voûte en anse de panier de 60 mètres d'ouverture que dans celle dite en arc de cercle de 45 mètres. La pression dans le joint des naissances serait représentée par une colonne de pierre de 112 mètres de hauteur, ce qui est bien inférieur au dixième de la charge de rupture de matériaux d'excellente qualité, qu'on emploie dans ces sortes de constructions. Une telle arche serait la plus hardie qui eût jamais été construite de main d'homme.

Au pont d'Iéna, la distance maximum de l'intrados théorique à l'arc de cercle qui existe, et qui a même ouverture et même flèche, est de 14 centimètres; ce maximum a lieu à une distance horizontale de l'axe de la voûte égale aux 7/10 de la demi-ouverture. Dans l'arche de 45 mètres, l'écart maximum de l'arc de cercle au-dessous de l'intrados théorique est de 30 centimètres, et comme dans le cas précédent et dans le suivant il se trouve encore aux 7/10 de la demi-ouverture à partir de l'axe de la voûte. Dans la voûte en anse de panier de 60 mètres d'ouverture, le plus grand écart, entre l'intrados théorique et l'ellipse qui a pour grand axe l'ouverture de l'arche et pour demi-petit axe la flèche, est de 40 centimètres.

Il est à souhaiter, dit M. Lamé dans son rapport à l'Académie, que le système de voûte imaginé par M. Yvon Villarceau soit adopté et exécuté dans quelque construction importante. Il est facile de détruire ici les objections qui accueillent d'ordinaire toute idée neuve dans l'art des constructions. Sans doute la forme de voûte proposée est moins simple que la ligne circulaire exclusivement adoptée jusqu'ici; mais on peut s'assurer, en regardant les tracés des nouvelles arches, que leur forme n'a rien de disgracieux, et qu'ils semblent même être à la fois plus hardis et plus sûrs que tout autre tracé.

Il est clair que lors du décintrement et du chargement des arches, la compressibilité des voussoirs et des mortiers produira une déformation, et amènera une nouvelle distribution des pressions sur les surfaces de joint; mais d'abord les altérations de forme peuvent être prévues et rectifiées comme à l'ordinaire, et quant au point d'application de la résultante des pressions, sur chaque joint rectangulaire, il ne pourra s'écarter que de très-peu du milieu de ce joint; tandis que dans les voûtes circulaires, ce point d'application, déjà très-près de l'intrados ou de l'extrados, pour certains points, s'en rapproche encore plus après le décintrement, en sorte que les voussoirs voisins se trouvent soumis à une compression énorme sur une petite étendue de leurs surfaces contiguës. Or, cette différence d'effets, toute à l'avantage du système proposé, constitue en quelque sorte son caractère et son but. J. CLAUDEL.

WAGON. Voy. CHEMIN DE FER et TERRASSEMENT.

Z

ZINC (*angl.* zinc, *all.* zink). Bien que le zinc soit un métal qui entre dans des alliages que l'on savait préparer depuis une haute antiquité au moyen de ses minerais, il n'est connu à l'état de métal que depuis le siècle dernier, et ce n'est même que depuis peu d'années que son emploi s'est considérablement répandu dans les arts, soit pour la fabrication du fer galvanisé, soit à l'état de feuilles pour les toitures et autres usages, soit dans les objets d'ornements dorés ou non, fabriqués au banc à tirer ou par le moulage. Depuis longtemps on s'en sert pour la fabrication du laiton et autres alliages analogues. Son oxyde commence à être employé au lieu et place de la céruse pour la peinture et la remplacera probablement pour cet usage dans un temps donné; enfin son sulfate est employé en médecine, dans la fabrication de quelques vernis, etc.

Le zinc est un métal d'un blanc bleuâtre, ayant presque la teinte de plomb. Sa texture est cristalline à

A la température ordinaire le zinc s'altère peu dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'air sec, mais dans l'air humide il ne tarde pas à se couvrir d'une couche de sous-oxyde grisâtre qui forme vernis à la surface, de sorte que l'altération marche ensuite avec une lenteur extrême, comme le prouve la durée des feuilles de zinc employées pour toitures. Fondu, il s'oxyde très rapidement à l'air; quand il est très chaud, il s'enflamme comme un bain de graisse; ses vapeurs brûlent dans l'air avec une flamme blanche des plus éclatantes; l'oxyde qui résulte de cette combustion se dépose sur les corps environnants sous la forme de houppes cotonneuses légères du plus beau blanc, ce qui les a fait désigner sous les noms de *laine philosophique*, *fleurs de zinc*, *pompholix*. L'oxyde de zinc en suspension dans l'air sèche la gorge et laisse dans la bouche une saveur sucrée, mais il n'est ni dangereux ni incommode.

Le zinc décompose facilement l'eau à l'aide de la chaleur; au rouge sombre cette action est si vive qu'en jetant de l'eau sur du zinc fondu, il y a explosion. Il est attaquable par les acides les plus faibles, même par les acides organiques et l'acide carbonique. Les alcalis caustiques l'oxydent et le dissolvent également en présence de l'eau. Il résulte de cette grande affinité pour l'oxygène que le zinc métallique réduit un grand nombre d'oxydes métalliques, et même de composés du même ordre, tels que les sulfures, chlorures, etc., par voie sèche et par voie humide.

Oxyde de zinc. L'oxyde de zinc pur est parfaitement blanc; il est inodore, insipide et insoluble dans l'eau; il est également infusible et fixe. Lorsqu'on le chauffe au chalumeau, après l'avoir humecté de nitrate de cobalt, il se colore en vert (*vert de Rinman*) à l'état d'hydrate, il se dissout aisément dans les solutions alcalines caustiques, dans l'ammoniaque et dans le carbonate d'ammoniaque.

L'oxyde de zinc est composé de :

Zinc.	0,80	ZnO.
Oxygène. . . .	0,20	
	1,00	

Son hydrate renferme 0,1829 ou un équivalent d'eau.

Sels de zinc.

Les sels de zinc sont incolores, presque tous solubles dans l'eau, l'ammoniaque, le carbonate d'ammoniaque et les alcalis caustiques. Ils ne sont pas vénéneux. Ils sont précipités en blanc par les alcalis et leurs carbonates; le précipité est soluble dans les alcalis caustiques, l'ammoniaque et le carbonate d'ammoniaque, et insoluble dans les carbonates alcalins. Ils sont également précipités en blanc par les phosphates, les arséniates, les oxalates et les sulfures alcalins. Le prussiate jaune y forme un précipité blanc insoluble dans les acides, le prussiate rouge un précipité jaune-orangé; les succinates, benzoates et chromates alcalins ne les troublent pas.

Sulfure de zinc. Le sulfure artificiel pur est blanc. Il est à peu près infusible et susceptible de former avec l'oxyde des oxysulfures plus fusibles que le grillage décomposé complétement. La chaleur seule ne l'altère pas; il se grille très aisément. Le charbon le réduit au blanc; il se dégage du sulfure de carbone et le zinc réduit se volatilise. Il est très facilement attaqué par l'acide nitrique, et beaucoup plus difficilement par les acides hydrochlorique et sulfurique. On le prépare en chauffant au blanc du sulfate de zinc anhydre dans un creuset brasqué; on le purifie ensuite en le traitant par de l'acide hydrochlorique, qui dissout tout l'oxyde qu'il pourrait renfermer et seulement très peu de sulfure. Il renferme :

Zinc. . .	0,667	. .	100	ZnS.
Soufre. . .	0,333	. .	50	
	1,000			

Sulfate de zinc. Le sulfate de zinc, aussi connu sous le nom de *vitriol blanc*, cristallise ordinairement en prismes à quatre pans terminés par des pyramides quadrangulaires; il est soluble dans 4 parties d'eau froide, et fond dans son eau de cristallisation qu'il perd au rouge naissant avec une partie de son acide; il se décompose au blanc avec dégagement d'acide sulfureux. Le charbon le réduit facilement. Il renferme, à l'état anhydre :

Acide sulfurique. . .	0,50	ZnO,SO³.
Oxyde de zinc. . .	0,50	

Il contient ordinairement 0,365 ou 5 atomes d'eau de cristallisation, mais il peut aussi cristalliser avec 1, 2 et 7 atomes d'eau.

Le sulfate de zinc est employé dans la fabrication de quelques VERNIS pour rendre l'huile de lin siccative, dans l'IMPRESSION SUR ÉTOFFES, et dans la médecine soit comme vomitif (actuellement remplacé par l'émétique), soit contre les ulcérations des gencives, dans le scorbut, etc.

On le prépare en grand, surtout près de Goslar, dans le Hartz, par un grillage à une basse température du sulfure de zinc ou *blende*, lessivant la blende grillée, et faisant évaporer et cristalliser les eaux de lavage. On le trouve dans le commerce en masses cristallines d'un blanc brunâtre contenant encore une notable quantité de sulfate de fer. Pour le purifier, on le dissout dans une faible proportion d'eau chaude, on fait bouillir avec un peu de nitre pour peroxyder le fer, puis on fait bouillir avec de l'oxyde de zinc qui précipite le peroxyde de fer et entre en dissolution à sa place; on filtre chaud et on laisse cristalliser par refroidissement. On peut aussi le préparer directement par la dissolution du métal dans l'acide sulfurique, mais il revient alors à un prix plus élevé.

Chlorure, bromure, iodure de zinc. Ces composés sont tous incolores, déliquescents, très fusibles, volatils et susceptibles d'être distillés au rouge.

Carbonate de zinc. Se trouve dans la nature. Artificiellement on ne parvient qu'à obtenir un hydro-carbonate ou sans carbonate hydraté blanc très léger.

Alliages.

Les principaux alliages de zinc employés dans les arts, sont :

Les alliages de cuivre et zinc, voyez LAITON;

Les alliages de cuivre, plomb et zinc;

Les alliages de zinc et étain, durcis par un peu d'antimoine et qui remplacent avantageusement le bronze pour coussinets, etc., comme étant moins chers, plus durables et grippant moins par le frottement.

Les alliages de cuivre, zinc et nickel, connus sous les noms de *maillechort*, *packfong*, *argentan*, que nous avons décrits à l'article nickel.

Minerais de zinc.

Bien que les minéraux qui renferment du zinc soient assez nombreux, il n'en est que trois qui soient assez abondants dans la nature, et encore l'un d'eux, le silicate, ne peut-il servir à la fabrication du zinc :

Calamine, carbonate de zinc anhydre. La calamine est le plus abondant des minerais de zinc, et, jusqu'à ces dernières années, presque exclusivement le seul employé à la fabrication du zinc métallique ou de laiton. Les cristaux blancs ou jaunâtres, demi transparents ou opaques, dérivent d'un rhomboèdre sous l'angle de 107°-40'; ils ont un éclat vitreux et perlé. La calamine est très souvent en masses compactes, souvent mélangées d'une grande quantité d'oxyde de fer hydraté ou de carbonate de chaux magnésifère, ce qui fait qu'elle est souvent colorée en jaune, brun et même en rouge, et qu'au premier abord on la prendrait pour du minerai de fer. Sa densité = 4,442; elle se dissout avec effervescence

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans les acides; elle se dissout également dans l'ammoniaque et le carbonate d'ammoniaque.

Ce minerai se trouve toujours en amas à la séparation des terrains de transition et des terrains secondaires, ordinairement dans des calcaires très magnésiens. Les principaux gîtes sont : ceux situés entre Liége et Aix-La-Chapelle, qui alimentent les usines de la Vieille et de la Nouvelle-Montagne, de Stolberg, de Corfali, etc.; et ceux situés entre Beuthen et Tarnowitz, qui alimentent les nombreuses usines de la Haute-Silésie.

Silicate de zinc. Le silicate de zinc accompagne fréquemment en proportion assez notable le carbonate, soit à l'état de silicate anhydre, soit surtout à celui de silicate hydraté; il cristallise en prismes et se distingue, en outre de la calamine, en ce qu'il laisse un résidu de silice dans les acides forts et qu'il est irréductible par le charbon, ce qui fait qu'il ne peut être employé à la fabrication du zinc.

Blende, sulfure de zinc. La blende est un minéral d'un aspect très varié; la plus pure est d'un jaune de soufre et transparente; mais, le plus souvent elle est d'un brun-rouge ou verdâtre, et même noire, tantôt translucide et tantôt opaque, jouissant fréquemment d'un éclat très vif; sa cassure est lamelleuse, fibreuse ou grenue; elle est dure et fragile; sa densité varie de 3,8 à 4,0; elle est souvent cristallisée, en tétraèdres, octaèdres ou dodécaèdres rhomboïdaux. Elle renferme presque toujours une certaine quantité de sulfure de fer à l'état de combinaison. Elle est infusible et peut être transformée complétement en oxyde par le grillage.

La blende est une substance de filon qui accompagne ordinairement le sulfure de plomb, mais qui se trouve aussi en filons isolés. On l'exploite dans quelques localités pour la fabrication du zinc et notamment : sur les bords du Rhin, à Linz et Antonius; en Belgique, à Corfali; dans les Grisons; et à Vienne, dans le département de l'Isère.

Cadmies. Dans certains hauts-fourneaux qui traitent des minerais de fer zincifères il se forme près du gueulard des dépôts verdâtres connus sous le nom de *tuties* ou *cadmies*, qui sont presque exclusivement composés d'oxyde de zinc coloré par un peu d'oxyde de fer. On s'en sert quelquefois pour la fabrication du zinc et pour celle du laiton.

Essais des minerais de zinc.

En général, lorsqu'on fait l'essai d'un minerai de zinc on ne désire pas connaître la quantité totale du zinc qu'il renferme, mais bien celle que l'on peut en retirer par les procédés ordinaires de fabrication, c'est-à-dire celle-là seulement qui ne se trouve pas à l'état de silicate, laquelle reste toujours dans les résidus, le silicate étant irréductible par le charbon.

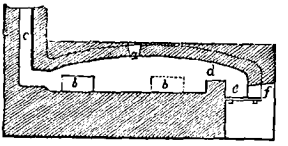
On grille le minerai et on fait l'essai sur le minerai grillé en le mélangeant avec 25 à 30 p. 100 de charbon et introduisant le mélange dans un creuset de terre que l'on chauffe rapidement au blanc; lorsqu'il ne se dégage plus de vapeurs de zinc, on laisse refroidir le creuset, on recueille le résidu, on le grille pour brûler l'excès de charbon et peroxyder le fer et on le pèse : la différence de poids représente la proportion d'oxyde de zinc. En opérant dans une cornue en terre, et sur une quantité un peu considérable de matière, on peut, avec quelques précautions, condenser le zinc métallique qui distille.

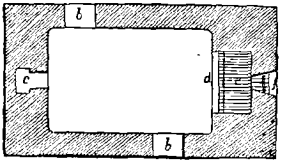
Traitement métallurgique.

I. *Fabrication du zinc métallique avec la calamine.*

MÉTHODE ANGLAISE. On calcine la calamine, pour chasser l'eau et l'acide carbonique, dans des fours à réverbère (fig. 2575 et 2576) dont la sole a 3m,10 de long sur 2m,50 de large, et dans lesquels on la charge sur une épaisseur de 0m,15. On l'introduit ensuite après l'avoir mélangée avec son volume de houille sèche ou d'escarbilles de coke dans des pots placés au nombre de 6 ou 8 dans un four rectangulaire ou mieux circulaire, comme l'in-

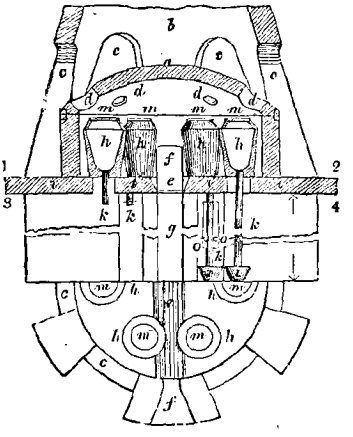
2575.





2576.

2577.



2578.

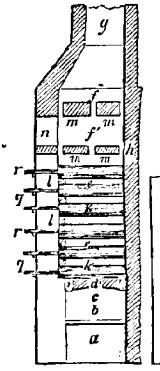
diquent les fig. 2577 et 2578 : *h*, *h*, sont les pots qui ont 1m de profondeur et 0m,90 d'ouverture à la partie supérieure; la voûte *a* du four est percée d'ouverture *d*, par lesquelles on enfourne les pots et qui donnent issue à la flamme et à la fumée, lesquelles s'échappent par la cheminée conique *b*, percée d'ouvertures *c*, *c*, en regard de chaque pot; *e*, est la grille sur laquelle on charge le combustible par la porte *f*; *g*, est le cendrier; on remplace les pots détériorés comme dans les fours de verrerie (voyez VERRE); le fond de chaque pot est percé et traversé par un tube en fer *k*, qui traverse une ouverture ménagée sous le pot dans la sole *i i* du fourneau, et vient plonger à sa partie inférieure dans une cuvette pleine d'eau *l*. La charge terminée on ferme le pot avec le couvercle *m*. Le zinc réduit distille et vient se condenser ou plutôt se sépare par liquation dans les cuvettes *l* et même dans les tubes *k* qui sont sujets à s'engorger, et qu'il faut alors déboucher avec une tringle en fer chauffée au rouge; le fourneau occupe trois ouvriers en tout et produit 150k de zinc par 24 heures, avec une consommation de 12 parties de houille par une de zinc brut obtenue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

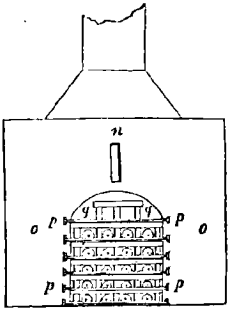
MÉTHODE BELGE. La calamine est le plus ordinairement calcinée dans des fours continus conduits comme les fours à chaux et qui ont 2m,50 de hauteur, 1m,50 de diamètre au gueulard et 0m,60 à la base. Chaque four est desservi par six ouvriers, dont trois seulement sont occupés à la fois ; on y calcine moyennement 135 quint. métr. de calamine brute par 24 heures ; on consomme moyennement 1.333k de minerai brut et 92k de houille par 1.000k de calamine calcinée produite. On opère aussi quelquefois la calcination dans des fours à réverbère : la consommation en combustible est alors environ triple et de 25 à 30 p. 100. La calamine calcinée est soumise à un broyage sous des meules verticales, disposées comme celles des huileries ou comme celles employées à la manufacture royale de porcelaine de Sèvres (voyez HUILE et POTERIE).

Les fours de réduction sont accolés par deux ou par quatre. La forme générale de chaque four (fig. 2579 et 2580) est celle d'un berceau cylindrique de 1m,87 d'ouverture porté sur deux pieds-droits tels que la distance de la sole à la clef de la voûte soit de 2m,60. La partie postérieure est fermée par un mur plein présentant huit banquettes saillantes, sur lesquelles vient reposer le fond des creusets *a* ; à la partie antérieure sont disposées huit assises de briques dites chapeaux de prêtre, d'une forme particulière, et huit taques ou plaques de fonte, destinées à soutenir la partie antérieure des creusets ; des carneaux *e*, *e*, placés au sommet de la voûte servent à régler le tirage ; enfin, au-dessous de la sole, sur laquelle reposent la rangée de creusets inférieurs, se trouve le foyer *b*, qui en est séparé par une voûte percée de quatre ouvreaux.

Les creusets sont cylindriques, fermés à leur partie postérieure et ont, après la cuisson, 1m,10 de long sur 0m,15 de diamètre intérieur et 0m,03 d'épaisseur ; ces creusets sont faits en terre réfractaire d'Andennes ; on donne 0m,04 d'épaisseur à ceux des 3 rangées inférieures ; on a toujours été en augmentant le nombre de ceux que l'on place dans un même four ; autrefois on n'en



2579.



2580.

plaçait que 20 comme l'indiquent les fig. 2579 et 2580 ; actuellement chaque four en renferme huit rangées, les sept premières de 6 et la supérieure de 4, en tout 46 creusets par four. Les taques sont disposées de telle sorte que chaque creuset présente une inclinaison totale de 0m,20 de l'arrière à l'avant.

Le séchage d'un four de réduction dure de 4 à 5 jours. Lorsque le four est arrivé au rouge-blanc, on démolit successivement les petits murs que l'on avait construits provisoirement et on introduit au fur et à mesure, dans le four, les creusets préalablement portés au rouge dans un four particulier ; on introduit en même temps, dans la gueule des creusets, des tubes coniques en fonte qui doivent servir de condenseurs ; ces tubes ont 1m,40 de long sur un diamètre extérieur de 0m,10 à la base et de 0m,06 au sommet, et une épaisseur qui varie de 0m,01 à 0m,02 ; ces tubes entrent par leur gros bout dans l'intérieur des creusets où ils pénètrent de 0m,06 à 0m,08, tandis que le petit bout repose sur les taques de fonte.

Au bout de vingt-quatre heures, on enlève les tubes en fonte pour introduire dans les creusets une première charge, composée de poussières et de crasses de zinc mélangées de leur poids de menu charbon ; on remet ensuite les tubes en fonte et on les lute avec de la terre réfractaire. Ce n'est que quatre ou cinq jours après, que le four est arrivé à son état normal ; les charges se composent alors de 2 parties de calamine calcinée en poids et de 1 p. de charbon maigre et menu ; la charge de toutes les cornues dure 3 heures ; dès que la flamme qui se dégage des tubes, d'abord rouge et bleue, prend une couleur verdâtre, on prolonge les tubes en fonte en y adaptant des allonges en tôle de 0m,002 d'épaisseur qui ont la forme de troncs de cône de 0m,62 de longueur, et dont les bases ont respectivement 0m,075 et 0m,020 de diamètre. 5 heures après le moment où a commencé le nettoyage et le chargement des creusets, on fait une première coulée ; à cet effet, un ouvrier, les mains garnies de vieux chiffons de toile, saisit par le petit bout une allonge de chaque main, les secoue fortement dans un étouffoir en tôle, et les dispose en tas à quelques pas du four ; la poussière qui en tombe est un mélange d'oxyde de zinc et de zinc assez chaud pour s'enflammer en partie au contact de l'air. Ensuite, avec un grattoir, les ouvriers raclent les tubes en fonte et font tomber le zinc qui s'y est condensé dans des poêlons en tôle, puis le coulent dans des lingotières ; ils replacent de suite après les allonges. On fait trois nouvelles coulées, 7, 10 et 12 heures après le commencement de l'opération. Aussitôt après la dernière on procède au nettoyage des creusets, c'est-à-dire à l'enlèvement des résidus de l'opération précédente et on procède à une nouvelle charge. Pendant le nettoyage, on répare les creusets un peu endommagés avec des pelotes d'argile que l'on introduit et bat avec un ringard ; lorsqu'ils le sont trop fortement, on les retire et on les remplace par des creusets neufs préalablement portés au rouge-blanc.

Nous n'avons rien dit de la conduite du feu ; elle doit être telle que l'intérieur du four soit constamment au rouge-blanc ou rose, et que les creusets soient chauffés aussi uniformément que possible.

En douze heures ou un poste, on charge, dans les quarante-six cornues, 500k de calamine grillée et 250k de charbon maigre menu, et on en retire ordinairement 300k de zinc et 20 à 25k de poussières zinciferes. On brûle sur la grille environ 6 parties de houille à longue flamme d'excellente qualité pour 1 partie de zinc obtenu.

La campagne d'un four dure environ deux mois ; on la termine par deux autres charges de poussières de zinc, mélangées de 1/4 ou au plus 1/3 de leur volume de charbon fin, après avoir laissé la température s'abaisser dans les creusets jusqu'au rouge sombre, pour éviter les explosions qui pourraient résulter d'une réduction trop rapide ; on ne fait qu'une charge de poussières par vingt-quatre heures et on coule fréquemment.

La durée des creusets est très variable suivant leur position dans le four ; ceux des quatre rangées supérieures durent fort longtemps, quelquefois même deux campagnes ; ceux des rangées inférieures sont détruits beaucoup plus rapidement.

Le tableau suivant, extrait du mémoire de MM. Piot et Muraille, sur la fabrication du zinc en Belgique (*Annales des mines*, 6e série, tome V, 1844), indique

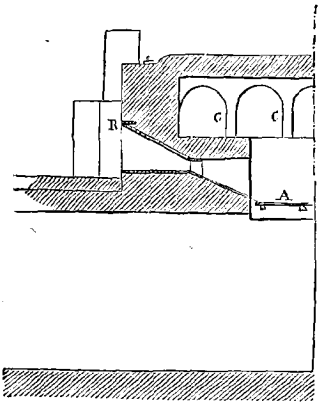
EFERUS - Recherche & Classification numérique

quels ont été, en 1840, les frais spéciaux pour 1.000ᵏ de zinc obtenu dans les usines de la Vieille-Montagne :

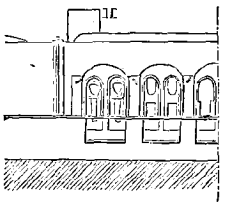
	fr. c.
Calamine calcinée, 3.265ᵏ à 10 fr. 76 c. la tonne (pour mémoire).	
Houille, 6.030ᵏ à 22 fr. 70 c. la tonne. . .	136,88
Creusets, 14 3/4 à 2 fr. pièce.	29,50
Briques réfractaires, 6ᵏ,02 à 500 fr. la tonne.	3,01
Terre réfractaire, 6ᵏ,56 à 250 fr. la tonne. .	1,64
Fonte moulée, 640ᵏ à 23 fr. la tonne. . .	14,72
Fer et acier.	2,35
Main-d'œuvre.	44,04
Frais divers.	3,38
Total des frais spéciaux de traitement pour 1.000ᵏ de zinc brut obtenu.	235,52

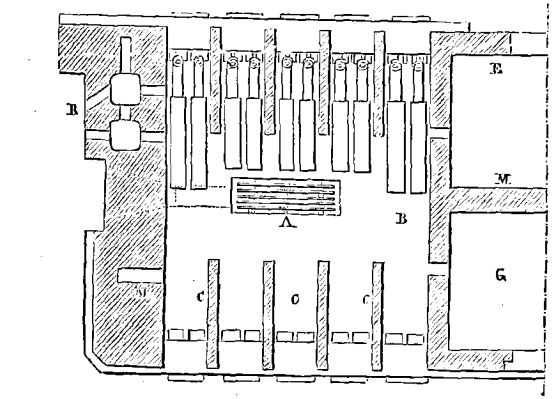
Les frais généraux pour la même quantité de zinc, et pour une production annuelle de 4.000 tonnes de zinc en lingots, se sont élevés à environ 30 fr.

2582.



2583.





2581.

Le zinc brut en lingots est partie livré en cet état au commerce, partie refondu. La refonte s'exécute dans un fourneau à réverbère dont la sole est elliptique et inclinée vers l'arrière; au point le plus bas se trouve un creuset hémisphérique où vient se rassembler le zinc fondu; la sole est en terre réfractaire, le reste du fourneau en briques réfractaires. La sole a 2ᵐ,30 de long sur 1ᵐ,53 de large; la grille est carrée et a 0ᵐ,56 de côté; l'autel a 0ᵐ,35 de large et est à 0ᵐ,27 au-dessus de la sole, la voûte est à 0ᵐ,40 au-dessus de l'autel; la cheminée est placée sur le côté, et les gaz chauds y sont conduits par un rampant de 0ᵐ,30 sur 0ᵐ,15, qui prend naissance au-dessus de la porte par laquelle on puise le zinc, la seule, du reste, qui communique avec l'intérieur du fourneau, et qui se trouve placée à l'extrémité du grand axe de la sole. On fait cinq charges en vingt-quatre heures, et chaque charge se compose de 2.000ᵏ de zinc brut en lingots. On emploie 3ᵏ 1/2 de houille pour 100ᵏ de zinc à refondre, et le déchet est de 4 p. 100 environ, partie par volatilisation, partie en zinc resté dans les crasses. On retire une partie du zinc contenue dans ces dernières en les repassant dans les fours de réduction.

Le zinc refondu est ordinairement destiné à être converti en feuilles par le laminage. Tantôt on le réchauffe dans des fours dormants analogues à ceux qu'on emploie pour la tôle de fer. Le laminage se fait à une très basse température, de 120 à 150°. L'épaisseur des feuilles varie de 1/10 de millimètre à 3 millimètres. On consomme de 5 à 6ᵏ de houille par 100ᵏ de zinc soumis au réchauffage. En tout, la dépense du laminage est de 6 francs environ par 100ᵏ de zinc en lingots, et de 10 francs environ par 100ᵏ de zinc laminé, à cause du déchet dû à l'ébarbage des feuilles.

MÉTHODE SILÉSIENNE. Le grillage ou calcination de la calamine s'exécute, dans la méthode qui nous occupe, dans des fours à réverbère, ordinairement chauffés avec les flammes perdues des fours de réduction. La réduction s'opère dans des moufles beaucoup plus grandes que les creusets belges, et placées dans des fourneaux à réverbère tout à fait différents. Ces fourneaux renferment en général vingt moufles (voyez figures 2581 à 2583) et sont accolés deux par deux; les flammes perdues sont utilisées pour la refonte du zinc, le grillage du minerai et la cuisson des moufles. Au-dessous de ces fourneaux et dans le sens de leur longueur, règne une galerie voûtée, de 2ᵐ,50 de haut sur 1ᵐ de large, qui amène l'air sous la grille, et sont recoupées par des galeries de service transversales, placées entre des massifs de doubles fours. La grille A est placée au milieu de la sole; la sole B est construite tantôt en briques réfractaires posées à plat, tantôt en terre réfractaire damée. La sole terminée, on élève les murs extérieurs M, en y ménageant les canaux horizontaux et les cheminées verticales, qui servent à attirer la flamme vers les angles du fourneau. On élève ensuite les murs C, formant les embrasures dans lesquelles on place les moufles, en les garantissant sur le devant par une plaque de fonte encastrée dans la sole. Enfin, on construit la voûte, qui est for-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mée d'une partie cylindrique parallèle à la longueur du fourneau et dans son axe, et de dix parties également cylindriques formant les embrasures : la voûte se construit tantôt avec des briques réfractaires moulées en forme de voussoirs, tantôt avec un mélange damé de 1/3 en volume de terre réfractaire, et de 2/3 de sable quarzeux. La partie de la voûte placée au-dessus de la grille dure de deux à trois ans; celles des embrasures et les murs C durent davantage. Les parois de la chauffe ne durent que deux ans : à mesure qu'elles se rongent, on éloigne les moufles de la grille. On voit sur les fig. 2581 à 2583, la disposition du four de calcination G, du four à cuire les moufles E, des cheminées d'appel H, servant à régulariser la température dans l'intérieur du four, et en R, comment sont chauffés les pots en terre dans lesquels on opère la refonte du zinc.

La grille du four de réduction a $0^m,40$ sur $0^m,87$; la largeur intérieure de la sole est de $3^m,40$; les moufles extrêmes ont $1^m,45$ de longueur; les autres seulement $1^m,27$; toutes ont extérieurement $0^m,55$ de hauteur et $0^m,22$ de large : leur épaisseur est de $0^m,03$ à la partie supérieure et de $0^m,04$ latéralement et au fond plat.

On charge à la fois $1,548^k$ de calamine crue dans le four à calcination G; l'opération dure vingt-quatre heures, et on en retire moyennement 2/3 ou 1.032^k de calamine calcinée, qui suffisent pour l'alimentation d'un four à vingt moufles pendant quarante-huit heures. Quand un des deux fours est en réparation, on ne charge que 774^k à la fois, et la calcination dure toujours vingt-quatre heures.

Les moufles se faisaient autrefois exclusivement à la main sans aucune espèce de moule; l'ouvrier formait d'abord la base sur une planche, puis il élevait la partie cylindrique à la main avec des colombines de pâte; on ne faisait que $0^m,30$ à la fois de hauteur, et on laissait prendre un peu de consistance à la masse par la dessiccation, en recouvrant le bord supérieur d'un linge humecté, pour qu'en reprenant le travail la nouvelle portion adhérât à la première. Plus récemment, on les a fabriquées dans quelques usines au moyen de moules intérieurs couchés, et placés dans une position analogue à celle que les moufles doivent occuper dans le four; ce dernier procédé produit une économie notable dans la main-d'œuvre. Après une dessiccation lente à l'air ou dans une étuve, on les échauffe graduellement jusqu'au rouge; on les retire alors lorsqu'il en est besoin, et on les porte toutes rouges dans les embrasures. Les allonges se font aussi à la main, en argile commune: on les sèche fortement sur la voûte du fourneau et on les met froides en place.

Le séchage d'un fourneau neuf dure plusieurs semaines avant de placer les moufles; lorsque le fourneau a seulement été réparé, ou les place immédiatement, en ayant soin de les poser sur un lit de sable, afin qu'elles n'adhèrent pas à la sole, et au bout de quinze jours le four est en pleine activité.

Le fourneau étant suffisamment chauffé, on dégage complétement le devant des embrasures, on bouche avec des morceaux de briques et de l'argile l'intervalle entre les moufles et les embrasures, et on ferme le devant de chaque moufle par une plaque d'argile présentant deux ouvertures : l'une, inférieure, par laquelle on enlève les résidus, et que l'on bouche avec une petite plaque d'argile; l'autre, supérieure, qui reçoit l'allonge horizontale ou *bolte*, à laquelle on adapte ensuite l'allonge inférieure ou *pot*. On procède ensuite au chargement de la calamine calcinée, mélangée de son volume d'escarbilles de coke. On a reconnu que les matières devaient être seulement concassées en petits morceaux. Lorsqu'elles sont complétement pulvérisées, comme dans la méthode belge, elles se tassent en masse, la réduction s'opère plus difficilement, et le zinc réduit a plus de peine à se séparer par distillation. Le mélange est chargé au moyen d'une cuillère demi-cylindrique, qu'on introduit pleine à travers la partie horizontale de l'allonge et que l'on renverse dans la moufle. Cinq minutes après qu'une moufle est chargée, elle donne déjà des vapeurs de zinc notables, aussi faut-il fermer aussitôt après l'ouverture de l'allonge horizontale avec une plaque de terre cuite que l'on lute avec de l'argile. Ensuite, on ferme le devant des embrasures avec une porte mobile formée d'un châssis en fonte et d'un treillis de fil de fer, que l'on garnit de petits morceaux de briques et d'argile; au milieu de cette porte s'en trouve une autre plus petite qui sert à introduire un ringard pour déboucher l'allonge horizontal quand elle s'obstrue (ce qui arrive rarement), et surtout à refroidir les allonges quand elles sont trop chaudes. Une heure après le chargement, le zinc commence à tomber en gouttelettes, et il se dégage d'abondantes vapeurs que les ouvriers enflamment au moyen d'une barre de fer chauffée au rouge; il en résulte une certaine perte en zinc, mais il paraît que sans cela la seconde allonge reste trop froide et s'obstrue très souvent. Malgré cette précaution, il est nécessaire de la déboucher de temps en temps au moyen d'une tige de fer recourbée à angle droit. La quantité de zinc qui distille augmente pendant six à huit heures; elle reste à peu près constante pendant les quarante-huit heures suivantes, et diminue ensuite de manière à devenir nulle au bout de vingt-trois à vingt-quatre heures. Dès que le dégagement des vapeurs de zinc a cessé, on enlève les portes, on ouvre l'allonge horizontale, et on fait tomber le zinc condensé dans l'allonge verticale au moyen d'un ringard recourbé à angle droit; on enlève le zinc qui est rassemblé au-dessous de cette allongue, et on procède à un nouveau chargement.

On ne vide les moufles que tous les trois jours, en enlevant la plaque qui ferme l'ouverture inférieure.

On reconnaît qu'une moufle est percée à ce qu'il se rassemble avec le zinc une quantité considérable d'oxyde, et surtout à ce qu'il s'échappe par la cheminée placée au-dessus de la moufle une flamme blanche caractéristique. On vide alors complétement la moufle, et si le trou n'est pas trop grand on le bouche avec un tampon d'argile réfractaire que l'on introduit à l'extrémité d'un ringard terminé par une spatule. Dans le cas contraire, on enlève la moufle et on la remplace par une neuve, préalablement portée au rouge blanc dans le four E. Une moufle dure de quinze à vingt semaines.

La refonte du zinc se fait dans les pots en terre placés en B; on refond à la fois le zinc produit par un fourneau de vingt moufles en vingt-quatre heures, soit environ 180^k de zinc; on tient les portes fermées avec un couvercle en tôle, on laisse reposer le bain pendant une ou deux heures, on enlève avec une écumoire l'oxyde pulvérulent qui le recouvre, et on coule dans des lingotières légèrement chauffées.

Un fourneau de vingt moufles occupe trois ouvriers, un fondeur et deux aides; le fondeur ne travaille que le jour. Le matin, il charge les dix moufles placées sur l'un des côtés du fourneau, le soir, il charge les dix autres; il s'occupe dans l'intervalle de la refonte du zinc.

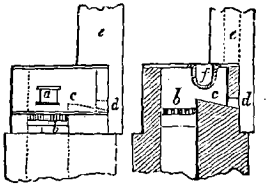
Nous renverrons pour des détails plus circonstanciés à l'excellent mémoire que notre ami, M. Rivot, a fait paraître dans les *Annales des mines*, 4e livr. de 1846 (4e série, tome X), sur l'usine à zinc de Stolberg, près Aix-la-Chapelle, qui a été montée il y a quelques années, d'après la méthode silésienne, par la compagnie de Sassenay et Ce.

Voici, d'après M. Rivot, quels ont été, pendant le premier trimestre de 1845, les frais spéciaux de traitement, à l'usine à zinc de Stolberg, pour 1.000 kil. de zinc brut en lingots :

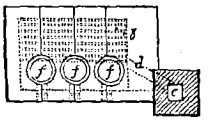
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Calamine lavée 5.353k à 14f,35 la tonne (pour mémoire).	
Houille sèche pour la réduction 1.945k à 3f,50 la tonne.	6f,80
Houille pour les grilles, etc., 9.767k à 11f la tonne.	107f,44
Une moufle.	5f,04
Neuf bottes et vingt pots.	2f,50
Briques et terre réfractaires.	8f,20
Main-d'œuvre pour le cassage et le grillage 1f,47 (pour mémoire).	
Main-d'œuvre pour la réduction et les transports dans l'usine.	33f,60
Primes et faits divers.	25f,98
Total des frais spéciaux de traitement pour 1.000k de zinc brut en lingots.	186f,56

La refonte du zinc destiné au laminage s'opère encore généralement en Silésie dans des pots en fonte *f, f*, chauffés comme l'indiquent les fig. 2584 à 2586. Les



2584. 2585.



2586.

fours à réverbère employés en Belgique, et que nous avons précédemment décrits, sont bien préférables. Le laminage n'offre de particulier que la disposition des fours à réchauffer qui, n'ayant besoin que d'une très faible température, sont presque toujours chauffés par les flammes perdues des fours servant à la refonte du zinc.

II. *Fabrication du zinc métallique avec la blende.*

La fabrication du zinc métallique avec la blende ou sulfure de zinc n'offre pas de difficultés.

On fait d'abord subir à la blende en morceaux un premier grillage qui a pour but de chasser la plus grande partie du soufre et de la désagréger. On peut, comme en Angleterre, opérer ce grillage dans des fours à réverbère, mais il est préférable d'employer des fours analogues aux fours à chaux continus, ou bien des fourneaux à cuve à courant d'air forcé. Le soufre que renferme le minerai fait qu'il n'est nécessaire de n'ajouter du combustible qu'au commencement de la mise en feu : sur les bords du Rhin, à Linz, où le grillage se fait dans des fourneaux à courant d'air forcé, on charge avec la blende un peu de nitre et on emploie le mélange gazeux qui se dégage, au gueulard, à la fabrication de l'acide sulfurique, ou plutôt de sulfates de fer et de cuivre, en le faisant arriver, mélangé de vapeur d'eau produite par un générateur particulier, sous des grilles en pierre recouvertes de minerai de cuivre non sulfuré ou de peroxyde de fer hydraté. On recueille en outre une certaine quantité de soufre qui se liquéfie et se rassemble au-dessous de la tuyère.

Le minerai une fois grillé est ensuite finement pulvérisé et on termine le grillage dans un four à réverbère, ordinairement chauffé par les flammes perdues du four de réduction.

La réduction du minerai complétement grillé n'offre aucune difficulté, à cela près que les matières étant réduites en poussière très fine, leur réduction s'opère plus lentement et le zinc se dégage moins facilement; il en est de même du reste ainsi très souvent, nous ne savons trop pourquoi, dans la méthode belge, où il serait certainement beaucoup plus avantageux de ne pas pulvériser la calamine calcinée, mais seulement de la concasser; ici, au contraire, il est impossible de ne pas pulvériser finement la blende, afin d'obtenir un grillage complet. Les fours de réduction sont d'ailleurs les mêmes que pour la calamine.

III. *Fabrication du blanc de zinc.*

Cette fabrication, très intéressante, a été décrite à l'article BLANC DE ZINC avec tous les détails que mérite une industrie qui a déjà pris de grands développements et qui fournit un produit doué d'utiles propriétés.

Statistique.

Il est extrêmement difficile d'évaluer la production du zinc, parce qu'il s'élève à chaque instant de nouvelles usines par suite de la consommation toujours croissante de ce métal. La production annuelle est d'environ 417.000 quint. métriques répartis comme suit :

Haute-Silésie.	200.000 quint. métr.
Pologne contiguë.	57.000 —
Belgique et Prusse rhénane.	150.000 —
Angleterre.	6.000 —
Espagne (Castille).	3.000 —
Carinthie, Hartz, etc.	1.000 —
	417.000 quint. métr.

Le prix de vente n'en est pas moins variable; ainsi il était :

En 1820.	142f le quint. métr.
1829.	22f,50 —
1836.	40f à 60f —
1841.	60f à 90f —
1842.	95f à 100f —
1846.	55f —

P. DEBETTE.

ZIRCON. Voyez GEMMES et LAPIDAIRE.

FIN

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE

Pour terminer notre œuvre tout entière consacrée à l'étude des procédés qu'emploie le génie de l'homme pour créer et multiplier à l'infini la richesse, il importe de considérer le vaste ensemble du travail industriel à un point de vue autre que celui auquel nous nous sommes placés jusqu'ici.

Ce n'est pas pour satisfaire une vaine curiosité que l'homme se livre au travail, c'est pour accomplir la loi impérieuse de sa nature, c'est pour échapper au besoin qui l'étreint de toutes parts. Il nous reste donc à étudier au point de vue des intérêts humains l'industrie, que nous n'avons envisagée en général jusqu'ici qu'au point de vue physique; à considérer non plus seulement les méthodes qui rendent le travail utile, les procédés qu'emploie le producteur, mais encore quelles sont les conditions qui lui permettent de produire, avec la plus grande économie de travail possible, et après qu'il a produit, de jouir du fruit de son travail; en un mot, la science du travail et de sa rémunération. Nous avons à résumer à un point de vue plus général les considérations économiques dont nous avons dû dire quelques mots en traitant des procédés techniques de chaque industrie, considérations sur lesquelles doit reposer l'édifice industriel d'un pays, et qui permettent de déterminer la voie dans laquelle on doit pousser le travail et l'activité d'une nation laborieuse.

De l'Économie politique. — De la méthode à suivre pour son étude.

L'Économie industrielle ou l'Économie politique qui n'a pour objet, comme la première, que la richesse en tant que créée par le travail de l'homme, l'économie de l'industrie, mais à laquelle, toutefois, viennent se joindre quelques questions d'un ordre plus purement politique, est une science qui se rapporte à l'homme et à la société, et par suite, une science de même ordre que les sciences du droit, la science politique. Quelle est la méthode qui doit être appliquée à son étude? Car c'est bien évidemment à des vices dans la méthode qu'il faut attribuer, après toutefois les écarts dus aux passions, les fréquents malentendus qui encombrent cette science; et qu'on peut expliquer comment les résultats les plus certains pour les uns sont audacieusement niés par les autres.

Il importe donc en premier lieu de s'arrêter à cette question de la méthode, qui seule peut permettre, autant qu'on peut le faire pour une science morale, de mettre en complète évidence et rendre parfaitement incontestables quelques vérités fondamentales.

Disons d'abord comment procèdent les écoles qui existent aujourd'hui. On peut à première inspection reconnaître deux écoles bien distinctes : l'école métaphysique, celle qui veut plier impérieusement les faits à l'idée, et l'école expérimentale, celle qui tient compte des faits, qui procède par l'observation pour découvrir des lois, des rapports.

En examinant ces deux écoles au point de vue de la méthode seulement, et non à celui des solutions qu'elles proposent pour les principaux problèmes, nous pouvons retirer des discussions animées auxquelles nous avons assisté, le lendemain d'une révolution dont le caractère le plus saillant a été d'agiter des questions d'un ordre tout industriel, quelques conclusions très-certaines.

1° L'école métaphysique part de quelques affirmations capitales, qu'elle cherche à peine à établir, dont elle ne discute pas les limites dans l'application, qui sont pour elle des vérités absolues, incontestables, un évangile politique. Ces principes sont entre autres l'égalité absolue des individus qui composent la race humaine, le droit de chacun à une égale satisfaction de ses besoins, la solidarité qui pèse sur tous les hommes, etc.

Ces vérités sont en nombre plus ou moins grand suivant les écoles; elles varient de l'une à l'autre, mais toutes (et c'est pour cela que nous les confondons dans la dénomination d'écoles métaphysiques), partant d'entités intellectuelles plus ou moins certaines, construisent d'après elles un projet d'édifice dans lequel il s'agit de forcer d'entrer la société bon gré mal gré.

Cette méthode est-elle acceptable scientifiquement? N'est-ce pas celle contre laquelle l'humanité se débat depuis le commencement du monde, et n'est-ce pas depuis qu'elle a été abandonnée pour les sciences physiques, que la civilisation a fait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ses plus grands, ses plus admirables progrès?

Quelle différence faire entre l'inquisition condamnant Galilée pour avoir affirmé que la terre tournait, et les novateurs modernes condamnant notre société, en vertu de leur seule conception de l'égalité, parce qu'elle ne veut pas renoncer à la propriété et au prêt à intérêt? Elle est complétement nulle, si ce n'est que les inquisiteurs, croyant voir dans la Bible la condamnation de Galilée, devaient moins craindre que nos novateurs de se tromper en se livrant à une conception de leur esprit.

Peut-on faire sortir ainsi des lois sociales du cerveau de soi-disant révélateurs, et construire une société de toutes pièces d'après quelques idées préconçues, car ces écoles ne donnent en général leurs systèmes industriels que comme une conséquence de leurs systèmes politiques? Ce qui montre bien le peu de solidité de ces systèmes, c'est que les vrais philosophes révolutionnaires ou métaphysiciens (ce qui, au fond, est la même chose) ne rédigent pas un projet de constitution pour notre pays sans croire qu'elle ne soit également applicable à tous les peuples: aux Chinois, aux Indous, comme aux Français; partout où l'on rencontre l'homme, où il y aura des pierres pour construire un phalanstère. Cette rigoureuse conséquence de leur doctrine est jugée depuis longtemps par le bon sens public, et le peu de solidité des constitutions successivement imposées à la France, par des penseurs plus ou moins profonds, a bien prouvé que ce n'était que de l'étude patiente des conditions d'existence, de vie des nations, que pouvait se déduire la loi de leurs progrès, et non de l'application violente d'entités métaphysiques puisées dans le cerveau d'un philosophe.

Il en est absolument de même en Économie politique, c'est-à-dire pour la science qui a pour objet le développement et la distribution de la richesse dans la société, la vie industrielle d'une nation; l'application de systèmes absolus puisés dans une philosophie dogmatique, en dehors de la réalité des faits, peut facilement anéantir la prospérité et la richesse d'un pays, comme l'expérience l'a trop prouvé, mais ne saurait les établir et les consolider.

2° L'école expérimentale, agissant à l'opposé de l'école métaphysique, a cherché à appliquer, à l'étude des phénomènes qui se rapportent à la richesse sociale, la méthode d'expérimentation que depuis Bacon les savants ont appliquée avec tant de succès à la recherche des lois physiques.

Voici en quels termes J.-B. Say formule la méthode employée par l'Économie politique moderne:

« L'Économie politique, dit-il, afin de ne pas s'égarer en de vaines et funestes recherches, ne s'occupe que de remonter des faits les plus constamment observés à la connaissance des lois générales qui régissent ces faits. »

Comme moyen d'investigation, comme procédé pour reconnaître et analyser tous les phénomènes auxquels donnent lieu la production, la distribution ou la consommation de la richesse, cette méthode est excellente. Ses avantages sont bien clairement démontrés par le grand nombre de théories remarquables qu'elle a produites; mais peut-on avec cette méthode seule édifier solidement la science complète? Cela peut paraître douteux si l'on étudie le développement de la science économique depuis le commencement du siècle. D'un côté, l'école de Ricardo, et aujourd'hui les représentants les plus illustres de l'école économique en Angleterre, tendent à rapprocher de plus en plus l'Économie politique d'une science mathématique; ils cherchent à constituer une espèce d'algèbre de la richesse, toute fondée sur la notion de la valeur et où l'effort humain disparaît, une science plus voisine d'une application des sciences de calcul que d'une science sociale. Dans une voie opposée, une école toute politique dont M. de Sismondi a été le représentant le plus éminent, et qui depuis a trouvé un vigoureux champion en Allemagne en la personne de F. List, le promoteur du Zollverein; les écrivains socialistes et depuis longtemps tous les politiques qui ont fondé le système prohibitif ont réclamé la prééminence des sciences politiques sur les sciences économiques, et ont cherché à prouver que le pouvoir politique devait dominer et modifier au besoin l'organisation économique de la société qui produit.

De semblables divergences entre des intelligences de premier ordre montrent bien que la méthode expérimentale, appliquée à l'Économie politique, est insuffisante, qu'elle ne fournit pas de démonstrations bien concluantes. Verra-t-on jamais, dans les sciences physiques auxquelles elle s'applique si parfaitement, de pareilles divergences entre les savants? Sans doute on nous dira que Sismondi, en quittant la méthode expérimentale, s'est séparé des Économistes, mais n'y était-il pas poussé par des motifs bien puissants? N'est-il pas évident que les limites posées par Say sont presque toujours dépassées par les écrivains de nos jours, que la science s'y trouve à l'étroit?

N'est-il pas démontré aujourd'hui que c'est surtout au point de vue du commerçant, du financier, que l'école anglaise (née avant le grand développement industriel de ce pays) a traité jusqu'à ce jour l'Économie politique? Ce sera, nous espérons, avec quelque honneur que la France aura posé les jalons d'études faites au point de vue du producteur, car c'est cet intérêt qui est au fond de toutes les questions agitées en France depuis quelques années.

3° Si la méthode expérimentale, si la seule observation est insuffisante, si la méthode métaphysique est surtout propre à conduire à de funestes aberrations, quelle est donc la méthode convenable pour constituer l'Économie industrielle?

On répondra facilement à cette question en re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

manquant les différences qui séparent la physique ou les sciences cosmologiques et les sciences morales qui comprennent l'Économie politique, aussi bien que les sciences juridiques et historiques. Ces différences peuvent se résumer en un mot, la vie, phénomène capital de ces dernières qui ne se rencontre pas dans les premières.

Ainsi, si l'on considère l'expérimentation appliquée aux sciences physiques, on voit que les lois des phénomènes, toujours constantes, viennent se manifester par la répétition sous des aspects variés, de manière que l'esprit peut venir les saisir et les vérifier. Dans les sciences de la vie, au contraire, les objets aussi bien que les lois qui les régissent se transforment sans cesse par l'effet d'un développement continu, et l'expérimentation ne peut plus montrer que des manifestations diverses de lois complexes et dont, par suite, on parvient difficilement à dégager celles-ci. Tout ce que peut fournir en chaque instant l'observation, c'est l'indication d'un terme d'une série dont la science se propose la connaissance complète.

On voit donc que la méthode expérimentale est parfaitement applicable à l'Économie politique, mais qu'elle est insuffisante si on la borne à l'observation d'une époque ou d'un pays; qu'il peut y avoir lieu de compléter les résultats qu'elle fournit à l'aide de l'histoire et de la comparaison avec l'état économique des autres peuples qui doit fournir des matériaux excellents pour la construction de la science. Sismondi, historien par-dessus tout, approchait de la vérité dans la méthode; mais en voulant violenter le fait économique, au lieu de l'influencer seulement par l'élément politique, il sacrifiait la liberté et exagérait l'action du prince jusqu'à la rendre odieuse. Il ne peut être douteux cependant que le développement de la vie, que le progrès qu'il est possible d'espérer en un instant donné ne peut être indiqué si l'on n'a le sentiment vrai de la voie dans laquelle la société doit s'avancer. C'est par là que la science politique réagit sur la science économique, c'est elle qui détermine la voie dans laquelle une nation doit s'avancer, les transformations vers lesquelles elle tend.

Un esprit bien fin, M. Rossi, qui a apporté de grandes lumières aux questions qu'il a étudiées, avait senti l'insuffisance de la science économique toutes les fois qu'une solution lui était demandée, et avait été frappé du malentendu perpétuel que l'on voit subsister depuis si longtemps dans notre pays entre les économistes et les politiques, qui présentent le plus souvent des solutions opposées et ne peuvent jamais se convaincre mutuellement.

Il proposait de diviser l'Économie politique en deux parties : la science pure de la richesse, de la valeur, c'est la science de Ricardo, dont il s'est appliqué à développer les principales théories; puis la science appliquée, qui est la science des politiques, celle des hommes qui, chargés de la direction des affaires, ont à appliquer les théories de la science pure.

Ce point de vue nous paraît tout à fait lumineux et peut conduire à des résultats parfaitement acceptables, à condition que l'on considère cette seconde partie de la science comme une véritable science politique (qui mériterait vraiment le nom d'Économie politique, tandis que la première serait une science presque algébrique fondée sur la notion de la valeur), une science exigeant les mêmes travaux, employant la même méthode que les sciences du droit, et nullement un art consistant dans la simple application des théorèmes de la science telle qu'elle est conçue généralement aux faits.

Nous ne savons s'il y aurait avantage réel à séparer la science en deux parties distinctes; mais ce qui nous paraît indispensable, c'est de les étudier toutes deux dans leur ordre naturel, c'est-à-dire en commençant par ce qui est définition, principes généraux, pour continuer, par ce qui varie avec les éléments politiques et sociaux; cela est surtout nécessaire dans un ouvrage de la nature de celui-ci, afin d'appliquer ces notions aux désirs et aux besoins de l'industrie française, pour en assurer le développement et la prospérité.

De la richesse. — Division de la science. — 1° Production de la richesse. — 2° Distribution de la richesse. — 3° Consommation.

On définit *richesse* tout ce qui peut nous servir à un titre quelconque, tout ce qui peut nous être *utile*. L'Économie politique est essentiellement la science de la richesse, la science de l'utile, dans ses rapports avec l'homme et la société; on la définit en lui assignant pour but de déterminer *comment la richesse doit être produite, répartie et consommée*.

Ces trois points de vue de production, distribution et consommation, forment la base des trois grandes divisions de la science; le premier terme correspondant à l'effort que l'homme fait pour satisfaire à ses besoins de chaque jour, le second au droit qui résulte de l'effort sur le résultat obtenu, le troisième à la satisfaction de ces besoins.

Il importe, toutefois, de remarquer que bien des utilités, les plus précieuses, les plus indispensables à l'existence, sont fournies *gratuitement* par la nature à tous les hommes, sont communes à tous les hommes, qui peuvent en jouir à leur aise sans priver personne.

Tel est l'air que nous respirons, la chaleur, la lumière du soleil, la force des vents, des courants, toutes les forces du monde physique, etc.

Ces utilités constituent les *richesses naturelles*, domaine immense dont l'exploitation de plus en plus féconde se révèle par les progrès les plus importants de la civilisation et de l'humanité tout entière. Nous verrons bientôt comment l'agrandissement du domaine de ces richesses communes à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tous est le but du travail le plus élevé et le plus fertile en grands résultats. Les autres richesses dont ne jouissent pas tous les hommes, pour la création desquelles des efforts sont nécessaires, sont dites *richesses sociales*.

On voit, d'après ces prémisses, quelles sont les limites de la science; elle ne doit être confondue ni avec la politique, ni avec la technologie, avec lesquelles elle a des relations intimes; elle ne doit même pas être confondue avec les moyens d'assurer le bonheur des individus et des sociétés, bonheur qui tient au moins autant à des causes morales qu'à des causes physiques, mais être considérée comme la science du bien-être matériel, de la richesse.

PRODUCTION DE LA RICHESSE.

Produire ou créer de la richesse, c'est donner de l'utilité aux choses qui n'en ont pas ou augmenter celle qu'elles ont déjà. Nous ne pouvons créer pas plus qu'anéantir la moindre molécule de matière, mais nous pouvons lui faire subir toutes les combinaisons, tous les changements de forme, par les procédés dont la théorie constitue les sciences chimiques et mécaniques. C'est ce qu'a clairement démontré l'étude détaillée, à laquelle nous nous sommes précédemment livrés, des procédés de l'industrie.

La production de la richesse est, quant au mode d'action des agents employés, de l'ordre des sciences physiques; l'économie de la production, qui est l'étude des procédés employés, à un point de vue spécial, ce qu'on peut appeler leur théorie économique, est de l'ordre des sciences philosophiques, c'est-à-dire qu'il y est tenu compte de ce que c'est l'homme intelligent qui est l'agent principal de la production.

De l'étude des procédés industriels, comme on pouvait le prévoir facilement *à priori*, il résulte clairement que l'utilité est produite dans les objets : 1° par les forces naturelles; 2° par la force intelligente de l'homme, par le travail; enfin, le plus souvent, par la réunion des deux éléments.

Si ce n'est dans le cas où la satisfaction du besoin de l'homme est fourni complétement par la richesse naturelle mise directement à la disposition de l'humanité, ce n'est encore qu'avec des efforts, avec du travail, que l'on parvient à utiliser, en les dirigeant, ces forces naturelles. C'est donc ce grand fait du travail, base de toute production et, par suite, de toute l'économie industrielle, qui doit être, avant tout, étudié avec le plus grand soin.

I DU TRAVAIL. — ÉCONOMIE. — DIVISION. — LIBERTÉ DU TRAVAIL.

Le travail est la manifestation de l'effort que fait l'homme pour obtenir une satisfaction d'un ordre quelconque, et, au point de vue industriel qui est le nôtre, pour transformer la matière et la rendre propre à la satisfaction d'un besoin. C'est évidemment sous deux points de vue principaux, suivant qu'un des éléments constitutifs de l'humanité prédomine, que le travail de l'homme peut être considéré, à savoir : comme résultat d'un effort corporel ou d'un effort intellectuel, comme produit par le corps ou par l'intelligence. Nous avons trop vu sur combien d'applications des sciences reposait tout l'édifice industriel pour qu'il soit nécessaire d'insister beaucoup sur une division trop peu usitée, mais qui peut seule permettre d'apprécier tous les phénomènes auxquels le travail de l'homme donne naissance.

Nous distinguerons donc :

1° Le travail mécanique accompli par les efforts physiques du corps humain, le travailleur n'appliquant à son travail qu'une partie minime de son intelligence;

2° Le travail simultané de l'intelligence et des membres;

3° Le travail intellectuel.

1° *Travail mécanique accompli par les efforts physiques du corps humain.* Le type du travail dont nous voulons parler ici est le travail du journalier employé à remuer de la terre. C'est un travail presque entièrement physique et, par suite, qui ressort presque directement de la science mécanique. Pour l'homme livré à un semblable travail, comme pour le cheval occupé à traîner une voiture, la science et l'expérience détermineront le travail utile maximum, c'est-à-dire les conditions de vitesse, d'efforts, etc., tels qu'à fatigue égale le poids de terre transportée à l'unité de distance soit le plus grand possible.

Il faut même avouer que l'homme, au point de vue restreint du travail mécanique, en laissant de côté la liberté de détermination qui fait entreprendre ce travail à l'ouvrier libre, est bien inférieur aux animaux domestiques qui l'aident et le remplacent souvent dans son travail, et surtout aux grandes forces que fournit la nature et dont nous allons parler bientôt.

2° *Travail simultané de l'intelligence et des membres.* Le travail dont nous voulons parler est celui de l'habile ouvrier qui est parvenu, par un long apprentissage, à acquérir l'habileté, le *tour de main* qui lui permettent d'exécuter de merveilleux ouvrages. Que l'on regarde travailler un horloger, une brodeuse, etc., et l'on sera étonné de l'habileté, de la délicatesse, de l'attention intelligente, des connaissances nécessaires pour effectuer leur travail. Ce n'est toujours que du mouvement imprimé à certains corps, à des molécules de matière (l'homme, ne se manifestant physiquement que comme une force, ne peut produire que ce que produit une force, du mouvement); mais, pour remplir toutes les conditions d'un bon travail, il faut que les doigts, les bras de l'ouvrier soient la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machine la plus parfaite, la plus délicate. Nous avons vu en effet bien souvent dans cet ouvrage que les machines opératrices peuvent difficilement lutter avec les parties les plus simples d'un semblable travail, imiter quelques-unes de ces variations infinies de chemin parcouru, de pression, etc., qu'un habile ouvrier sait varier à l'infini, suivant le jugement qu'il porte de l'état de son œuvre, de la résistance qu'il veut surmonter.

L'importance de l'esprit, la grande part qu'on doit lui reconnaître dans les transformations de la matière par le travail, a été admirablement peinte par Channing. Nous renverrons à ses œuvres (*Œuvres morales de Channing. — Traité de l'Élévation des classes laborieuses*), les personnes qui n'auraient pas le sentiment profond de la dignité de l'œuvre de l'ouvrier qui, soutenu par le sentiment du devoir, par l'amour du bien et du beau, applique toutes les facultés de son esprit à produire des œuvres qui ne laissent rien à désirer sous le rapport de la perfection. Mais, sans entrer dans la question de dignité du travailleur qui remplit ainsi son devoir, ce qui égale moralement sa position à toute autre, nous croirions faire injure au lecteur en insistant pour lui faire sentir qu'une intelligence forte et saine est la condition d'un travail productif des bras, qui ne fonctionnent pas seuls, mais qui, alertes en raison de l'activité de l'esprit, produisent d'autant plus et d'autant mieux que l'esprit sommeille moins. C'est par ce motif que dans les travaux de l'industrie, comme dans les sciences et les arts, certaines personnes ne possèdent jamais l'énergie et l'intelligence nécessaires pour réussir. C'est pour cela encore que l'esclave peut bien être astreint à des fatigues physiques, mais ne peut jamais être employé à des fabrications difficiles comme le travailleur libre, car si le maître peut contraindre son corps au travail, il est sans action sur son intelligence. Là, peut-être, est la cause la plus intime de l'immense infériorité du travail esclave, comparé au travail libre, que démontrent tous les faits; là une des causes économiques qui devraient le faire proscrire, s'il n'était déjà condamné par le droit et la morale.

3° *Travail intellectuel.* Nous avons vu que les richesses, les choses utiles à la satisfaction de nos besoins étaient, les unes fournies abondamment à tous les hommes, comme l'air respirable, la chaleur, la lumière du soleil, etc., que nous avons appelés *richesses naturelles;* les autres produites par l'activité humaine, et dont tous les hommes sont loin d'être abondamment pourvus même dans les sociétés les plus prospères, qui ne sont qu'en quantité minime dans les pays misérables, et que l'on appelle *richesses sociales.* Si l'on réfléchit à la manière dont se produisent ces richesses par le travail de l'homme, on voit de suite que cette production n'a lieu que parce que l'homme, en vertu des lois générales de la nature, peut faire naître certains effets; parce que, comme nous l'avons dit dans l'introduction de ce livre, l'intervention de l'effort de l'homme détourne à son avantage l'application de lois physiques. C'est en vertu des mêmes lois que l'on peut aller plus loin, et que les forces des animaux, celle produite par la chaleur, etc., peuvent suppléer aux forces de l'homme et, par suite, remplacer son travail, et mettre le corps à transformer dans les conditions où, en vertu des lois physiques, il acquiert les propriétés désirées.

Mais de là un immense résultat, celui de la substitution du travail des forces naturelles au travail humain, ou, plutôt adjonction de celles-ci, dont l'application a acquis, depuis un siècle surtout, une importance immense.

En résumé :

L'utilité est communiquée aux objets tantôt par la nature seule, tantôt par la nature aidée par le travail.

La nature met à notre disposition des matériaux et des forces infinies. Or, par le progrès incessant, ce ne sont plus seulement les matières brutes que nous fournit la nature, mais la matière élaborée et disposée pour nos besoins, par l'action des forces naturelles convenablement dirigées.

Pour accomplir ce grand progrès que faut-il?

Connaître, découvrir les lois naturelles;

En combiner l'application.

Ces deux conditions se peuvent exprimer par un même mot : découverte, invention.

La découverte des lois naturelles est le but des efforts du savant, c'est le travail le plus important, le plus productif, mais indirectement; en fournissant les moyens d'action, la base des nouveaux progrès.

Le second degré du travail intellectuel est celui de l'ingénieur, de l'inventeur industriel qui applique, dans un but spécial, les connaissances acquises, à la pratique industrielle, et engendre chaque jour de nouveaux progrès, de nouveaux accroissements de richesses.

Insistons un peu sur ces importantes vérités.

Comme le dit très-bien M. Bastiat : « La tendance invincible de l'intelligence humaine, en cela secondée par l'intérêt et la série des découvertes, est de substituer le concours naturel et gratuit au concours humain et onéreux, de telle sorte qu'une utilité donnée, quoique restant toujours la même quant à son résultat, quant à la satisfaction qu'elle procure, répond cependant à un travail de plus en plus réduit... »

Qu'en résulte-t-il? C'est qu'en tout produit la partie « *gratuite* tend à remplacer la partie *onéreuse,* » c'est-à-dire celle qui, répondant à des efforts humains, aura droit à une rémunération, comme nous le verrons en traitant de la distribution.

Pour bien faire sentir ce que nous expliquons ici, il nous suffirait de prendre au hasard une in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dustrie quelconque et d'étudier les progrès qui sont résultés de l'emploi de machines, forme la plus saisissante de l'invention industrielle.

Considérons, pour unique exemple (car on pourrait les multiplier à l'infini), l'exploitation de la houille. Dans certains pays on trouvera encore quelques exploitations qui se font à peu près comme celle des carrières. Au haut d'un puits un treuil, déjà une machine, que fait mouvoir un homme, amène à la surface un panier de charbon d un poids peu considérable. Bientôt la profondeur augmente et le travail de l'homme devient presque improductif.

Mais qu'une machine à vapeur vienne remplacer l'homme, comme cela a eu lieu en Angleterre, lorsque cette admirable machine a été inventée; à l'instant sous l'effort des machines puissantes (souvent de cent à deux cents chevaux, c'est-à-dire équivalant au travail de cinq cents à mille travailleurs en un seul point) d'immenses masses de charbon sont enlevées avec une facilité extrême, l'eau qui tendait à envahir la mine est pompée et amenée à la surface; et le travail d'élévation de la houille, qui correspondait à une dépense considérable, ne coûte plus qu'une faible partie du combustible extrait : c'est, en quelque sorte, le charbon qui, gratuitement, se trouve amené des profondeurs du sol à la surface.

Si l'on suivait cette houille, et qu'on vît son transport fait d'abord à dos de cheval, en charrette, enfin sur un canal, où, profitant de la faible résistance que l'eau oppose au mouvement, un seul homme traîne un bateau d'un poids énorme, on sentirait clairement combien ces inventions successives, ces emplois heureux des forces et des lois naturelles, viennent, avec l'intervention d'un faible travail humain, mettre d'immenses richesses à la portée du consommateur.

Mais, à notre époque, il est inutile d'insister longuement à cet égard; nous vivons tous au milieu de phénomènes de ce genre; et l'étude que nous avons faite des procédés industriels se réduit presque toujours au moyen d'utiliser le mieux possible, pour la création d'un produit, les forces naturelles qui peuvent concourir à sa production.

C'est donc le travail intellectuel qui en rendant possible les plus grands progrès est le plus grand créateur de richesse, le plus puissant levier de la civilisation.

Économie du travail. Nous n'avons pas ici à étudier par quels procédés le travail humain intervient pour la création de la richesse; comment, dans chaque industrie, l'invention vient amoindrir la part du travail musculaire nécessaire pour la création d'un produit. Cette question est toute technologique et a été examinée en traitant de chaque industrie. Ce n'est que de l'économie du travail nécessaire dans un état donné des procédés industriels que nous avons à nous occuper ici, et nous devons évidemment le faire à deux points de vue, au point de vue de rendre l'effort de l'ouvrier le plus producteur d'utilité qu'il est possible, et au point de vue des conditions qui permettent à l'individu d'exercer ses efforts pour son plus grand avantage personnel; ce que nous passerons en revue sous les titres de division et de liberté du travail.

Division du travail.

Le principe de la division du travail a été reconnu et analysé avec grande supériorité par Adam Smith. Il faut que ce principe soit d'une grande importance pour accroître la production, pour que son application soit aussi fréquente que le fait reconnaître la simple inspection des faits de l'industrie. Aussi suffit-il d'en énoncer les résultats pour qu'on en reconnaisse la vérité à première vue, tant nous sommes accoutumés à la vérifier par la pratique.

L'accroissement dans la quantité d'ouvrage qui peut être exécuté pour le travail d'un même nombre d'hommes, par suite de la division du travail, est dû, dit Adam Smith, à trois circonstances : 1° au degré d'habileté qu'acquiert chaque travailleur; 2° à l'économie du temps qui se perd naturellement à passer d'un genre d'occupation à un autre; 3° à ce que chaque homme a plus de chance de découvrir des méthodes aisées et expéditives pour atteindre un objet, lorsque cet objet est le centre de son attention, que lorsqu'elle se dissipe sur une infinie variété de choses.

L'habileté que chacun acquiert à exécuter toujours une même opération, le développement spécial que prennent les muscles et le corps tout entier, toujours adonnés à un même travail, sont des faits bien reconnus. Il n'est personne qui, ayant visité un atelier, n'ait été émerveillé de la promptitude avec laquelle les ouvriers répètent certaines opérations. Le travail du pianiste, celui du compositeur d'imprimerie, sont célèbres sous ce rapport à juste titre. Adam Smith a reconnu que, dans le métier du cloutier, la spécialisation du travail triplait la quantité fabriquée; qu'un forgeron qui sait faire des clous, mais qui n'est pas cloutier de son état, ne peut faire que huit cents ou au plus mille clous par jour, tandis qu'un ouvrier qui n'a jamais exercé d'autre métier en peut faire plus de deux mille trois cents dans sa journée.

L'économie du temps qui se perd naturellement à passer d'un genre d'occupation à un autre s'explique par la nécessité où se trouve le travailleur de refaire en quelque sorte un apprentissage momentané pour passer à une nouvelle opération, retrouver la meilleure manière d'opérer. Les muscles des membres employés pendant la première opération ont acquis une certaine flexibilité pendant leur action, tandis que ceux qui doivent agir pour la seconde se sont comme engourdis dans le repos, ce qui produit de la lenteur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et de l'inégalité dans les mouvements au commencement du nouveau travail.

Ajoutez à ce qui précède la perte de temps occasionnée par le changement des outils en passant d'un travail à un autre, variable suivant les états, mais toujours sensible, et l'on comprendra facilement ce second avantage de la division du travail.

Remarquons aussi, au point de vue de l'intérêt de l'ouvrier, l'économie qu'il a fait du temps qu'il eût passé en apprentissage, sans mériter de rétribution, s'il avait dû apprendre à effectuer plusieurs opérations différentes. Cela est d'autant plus sensible dans la pratique, qu'en même temps qu'il faut un moindre intervalle pour que le travail de l'apprenti devienne profitable, il consomme moins de matière première inutilement, uniquement pour acquérir de l'habileté.

Enfin de la division du travail naît l'invention d'outils et de machines propres à exécuter chaque opération élémentaire. Nous n'insisterons pas à cet égard, car nous ne croyons pas ce principe d'une importance égale à celle des deux autres. Il n'est pas bien certain que ce soit en se servant toujours du même outil, en employant le même procédé de fabrication, que l'esprit s'éveille le plus à des perfectionnements; la connaissance des progrès des sciences y conduit bien plus sûrement.

Toutefois il est certain que les perfectionnements de détail partent d'habiles praticiens qui n'embrassent qu'un petit nombre d'opérations. Or, ces perfectionnements, il faut bien le remarquer, sont la source des plus grands progrès. En effet, c'est le perfectionnement, la simplification de l'outil, qui est ordinairement le premier pas vers l'invention d'une machine, le mouvement à imprimer à cet outil étant toujours facilement obtenu dans l'état actuel de la science des machines.

M. Babbage nous paraît avoir complété fort heureusement l'analyse de Smith, en faisant rentrer dans la division du travail la fonction du travailleur dans l'atelier, l'emploi de chacun dans la société. Voici comment il énonce ce principe, qui est le résumé de la pratique de chaque jour.

« En divisant l'ouvrage en plusieurs opérations distinctes, dont chacune demande différents degrés d'adresse et de force, le fabricant peut se procurer exactement la quantité précise d'adresse et de force nécessaires pour chaque opération; tandis que si l'ouvrage entier devait être exécuté par un seul ouvrier, cet ouvrier devrait avoir à la fois assez d'adresse pour exécuter les opérations les plus délicates, et assez de force pour exécuter les opérations les plus pénibles. »

On conçoit, comme nous le verrons bientôt, que la rétribution étant en raison de l'habileté et de la force des travailleurs, le bon marché de la production résultera de la meilleure division possible du travail dans l'atelier.

Il en résulte donc cette conséquence importante :

Quand d'après la nature spéciale des produits de chaque espèce de manufactures, l'expérience a fait reconnaître à la fois et le nombre le plus avantageux d'opérations partielles entre lesquelles doit se diviser la fabrication, et le nombre des ouvriers qui doivent y être employés, tous les établissements qui n'adopteront pas pour l'ensemble de leurs ouvriers un multiple exact de ce nombre fabriqueront chèrement. La division du travail donne ainsi un minimum de l'importance des établissements, minimum qui s'élève sous l'influence des machines, qui sont des ouvriers d'un ordre supérieur assujettis à ce même principe essentiel de la division du travail, et qui par la rapidité de leur production donnent ce résultat, que certains travaux ne peuvent plus se faire avec avantage que dans des établissements considérables. Là se rencontre le concours simultané de travailleurs plus ou moins habiles, de machines plus ou moins compliquées effectuant les parties les plus coûteuses de la fabrication. Ce n'est que dans ceux-ci, ou dans une agglomération suffisante de petites fabriques, que l'on peut établir une division de travail convenable entre les éléments divers qui concourent à la production.

Nous arrivons ici à ne plus nous borner à considérer la division du travail dans chaque atelier, et à entrevoir son importance quand on l'applique aux divers ateliers, circonstance dans laquelle elle donne des résultats extrêmement importants, surtout dans les grandes villes industrielles. Nous y reviendrons en parlant des industries de Paris et de Lyon.

Liberté du travail.

Puisque le travail est producteur de richesse, et que l'intensité de celui-ci dépend de l'effort humain, c'est-à-dire de la détermination, de la volonté, il en résulte clairement que toute restriction, toute gêne apportée au libre développement de la volonté, des efforts, du travail de l'homme, se traduit en empêchement à la production de la richesse.

Sans entrer ici dans tous les mobiles qui soutiennent l'énergie de l'homme, nous dirons qu'au point de vue du travail, tous sont utiles en ce sens qu'ils excitent à la production, et au point de vue économique, tous ceux qui sont dans le droit de chacun doivent être respectés, quant à leurs manifestations; le travail doit être libre.

L'école réglementaire et la plupart des gouvernements ont limité la liberté du travail et cherché, soit comme cela avait lieu autrefois, à organiser des communautés industrielles oppressives et jalouses, soit à ne permettre le travail et l'échange du travail qu'à certaines conditions. Les économistes ont combattu avec ardeur ces tendances rétrogrades, et proclamé bien souvent que le gouvernement sortait tout à fait de ses attributions quand il voulait empiéter sur le terrain industriel.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sans vouloir ici traiter une question sur laquelle nous reviendrons plus loin, celle des droits de l'État et de la liberté, nous dirons qu'il nous paraît évident en principe que l'État ne peut priver un individu de la liberté de ses efforts et de son travail, l'empêcher d'exister, pour procurer à qui que ce soit une existence plus ou moins douce.

La conséquence directe du moindre empêchement de ce genre est la stricte obligation pour la société de nourrir tout individu qui ne peut, par suite de cet empêchement, gagner sa vie, c'est-à-dire le communisme le plus absurde. On se garde bien de la reconnaître dans la pratique, mais on n'évite pas une injustice. Le seul moyen de ne pas la commettre, c'est de ne pas sacrifier la liberté du citoyen, de reconnaître la liberté du travail comme le droit le plus imprescriptible de l'individu, le plus sacré et le plus inattaquable au point de vue moral comme au point de vue économique, l'instrument le plus essentiel de la production des richesses dans nos sociétés civilisées.

II. DU CAPITAL QUI CONCOURT AVEC LE TRAVAIL A LA PRODUCTION. — DES MACHINES.

L'utilité et par suite la richesse étant produites, partie par le travail de l'homme, partie par l'action des forces naturelles, il est évident que le progrès consiste à remplacer, autant que possible, le travail par l'action des forces naturelles, à faire en quelque sorte produire directement par la nature, sous la forme la plus convenable pour la satisfaction de nos besoins, les objets qui auparavant ne pouvaient être que le résultat d'un pénible travail. Il en résulte abondance, et, comme nous le verrons bientôt, bon marché de ce produit, avance de l'humanité dans la voie du bien-être universel.

La première condition pour obtenir cet important résultat réside dans la connaissance des lois de la nature, connaissance qui fait la base fondamentale de toute modification des corps. L'ensemble des connaissances, des découvertes, des résultats de l'expérience de chaque individu compose son capital intellectuel. Les lois de la nature, pour modifier les corps, sont utilisées à l'aide de substances, d'appareils, de machines, d'outils, etc., qui constituent le capital matériel.

Si l'on examine avec attention le moindre outil, on verra comment sont utilisées les propriétés de la matière. Un marteau, par exemple, ne remplit le but qu'on a cherché à atteindre par sa construction qu'en vertu de son poids, de la malléabilité de l'acier rougi, de la dureté de l'acier trempé, etc. Ces propriétés diverses le rendent propre à exercer une action de percussion qui produit en un instant des effets qui, si l'on en était privé, ne seraient obtenus dans quelques cas qu'avec une fatigue très-grande et le plus souvent ne pourraient nullement être obtenus.

On conçoit facilement à quelle accumulation de capital, c'est-à-dire de moyens de production perfectionnés et incorporés ainsi dans des outils, des machines de tout genre, parviennent les nations industrielles. Si, pour forger le moindre morceau de fer, il faut des forges munies de soufflets, des marteaux d'acier, des enclumes de poids considérable à surface aciérée et mille autres outils, que ne faudra-t-il pas pour filer, tisser, imprimer les étoffes si variées que produit l'industrie, pour fabriquer les machines les plus délicates, une montre, par exemple.

C'est ce capital qui comprend, bien entendu, la terre, ou plutôt le travail incorporé dans le sol pour en former l'appareil indispensable à la production du blé, les maisons qui procurent le logement aussi bien que les outils qui servent à produire les objets nécessaires aux vêtements, etc., qui forme l'héritage sans cesse croissant que les générations se transmettent les unes aux autres et qui permet de produire des quantités d'utilités sans cesse croissantes à l'infini, pour une même quantité de travail. Cette loi vraiment fondamentale est trop peu connue, puisque bien des ignorants s'imaginent que la richesse est une quantité déterminée, de telle sorte que l'enrichissement des uns fait la pauvreté des autres. Il importe beaucoup de la rappeler à l'attention de tous les gens jaloux de la richesse acquise et qui feraient bien mieux d'employer leurs efforts à en créer une nouvelle qui ne priverait personne, qu'à s'épuiser en regrets superflus de ne pas avoir leur part de celle déjà créée.

De la participation du capital à la production, il résulte cette conséquence très-importante que la production de la richesse croît avec le capital.

Nous plaçant d'abord au point de vue de la société tout entière, nous comprendrons facilement comment, à mesure que les moyens de production deviennent plus énergiques, plus parfaits, la production de la richesse va sans cesse croissant en intensité et en rapidité. Chaque exemple concret, l'étude de chaque industrie le démontre facilement. Si, dans un exemple déjà cité, sur un puits de houille, un homme enlevant un seau avec une corde et une poulie est remplacé par une machine à vapeur de cent chevaux que le même homme suffit à diriger, il est évident que la richesse produite a crû immensément pour un même travail humain actuel, grâce au concours des machines qui doivent être considérées comme du travail humain accumulé.

On comprend facilement d'après cela comment les économistes anglais considèrent avant tout le capital d'une nation et admettent volontiers que la production est proportionnelle au capital, et cela parce qu'ils considèrent comme constantes les forces dont nous parlerons ci-après. Cela est sensiblement vrai pour une même race, pour des nations ayant un même degré d'énergie et de vigueur morale; mais non pour des nations qui diffèrent par leur énergie et leur organisation industrielle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Ce qui est incontestable, c'est que, quand il y a peu de capital, la production est languissante, il y a peu de produits, la classe la plus nombreuse est vouée à la misère. Tout ce que peut obtenir le travailleur en s'exténuant, c'est une grossière nourriture qui l'empêche tout juste de mourir de faim. Si alors l'inégalité sociale permet du luxe à quelques-uns, c'est à une minorité tellement faible, que, même en la dépouillant pour reporter sur le plus grand nombre l'équivalent des plaisirs qu'elle se donne, l'existence de la masse n'en serait pas sensiblement changée.

L'accroissement du capital, au contraire, féconde le travail de mille manières. Les forces de la nature viennent se joindre à celles des bras de l'homme à l'aide de puissants appareils, et délivrent l'espèce humaine des travaux les plus pénibles et les plus humiliants, font disparaître presque tous les travaux qui n'exigent que l'emploi des forces musculaires. Le joug de la misère devient moins lourd et fait courber une moindre proportion de têtes; la condition humaine gagne sous tous les rapports, au moral comme au physique. Les témoignages de l'histoire sont incontestables à cet égard; mais combien il reste encore à faire? Certes, la position est bien meilleure aujourd'hui en France qu'autrefois, et pourtant on n'évalue qu'à 10 milliards les revenus de la France pour 35 millions d'habitants et 300 jours de travail, c'est moins de 1 franc par jour!

Si les capitaux, les produits accumulés par le travail des générations qui nous ont précédés ne peuvent jamais qu'être utiles pour la production de la richesse générale, en est-il de même pour la richesse individuelle, notamment de l'emploi des machines si souvent attaquées au point de vue des souffrances qu'elles imposent à l'ouvrier?

En effet, la mission du capital étant de faire exécuter par les forces naturelles ce qui s'exécutait antérieurement par le travail humain, il semble que, quelque bien qu'il confère à l'humanité, il doit nuire à la classe ouvrière, en diminuant la quantité de travail humain à effectuer. Mais comme le fait remarquer M. Bastiat, on se fait, en raisonnant ainsi, une illusion qui consiste en ce qu'on perd de vue ceci :

Le capital, à mesure que son action s'étend, ne met en disponibilité une certaine quantité d'efforts humains qu'en mettant aussi en disponibilité une quantité de rémunération correspondante, de telle sorte que ces deux éléments se retrouvant, se satisfont l'un par l'autre.

Là est en effet toute la réponse; sans doute il est vrai, comme on le fait observer habituellement, que le nombre des personnes qui vivent de l'imprimerie est infiniment supérieur au nombre des copistes avant l'invention de Guttenberg, le nombre des filateurs est plus de mille fois supérieur à ce qu'il était avant l'invention d'Arkwright, et ces inventions ont été de tout point pour l'humanité de sublimes progrès, mais de plus elles n'ont nullement diminué le travail humain, même au moment où elles ont paru.

L'individu qui faisait profession de copiste a bien pu éprouver de fâcheuses souffrances, s'il a été contraint à chercher un état différent de celui qui jusqu'alors l'avait fait vivre, mais en masse le nombre des ouvriers occupés n'a pas diminué.

Soit 1,000 la somme que la société consacrait à l'achat de manuscrits, la somme qui défrayait, par exemple, le travail de 100 copistes. Si pour 100 la même satisfaction peut être fournie à la société par 10 imprimeurs, grâce à l'invention de l'imprimerie, il lui restera 900 disponibles. Or, comme les désirs sont toujours supérieurs aux satisfactions, ces 900 sont sûrement toujours dépensés et viendront solliciter le travail de 90 ouvriers qui, sans cela, ne seraient pas occupés.

Donc, au point de vue de la société, les inventions qui viennent en quelque sorte rendre des industries tributaires du capital, qui, à l'aide de machines compliquées, font produire des objets manufacturés en grande partie par l'action des forces naturelles, ne privent même pas momentanément de travail un certain nombre d'ouvriers; s'il paraît en être ainsi, et si sous ce rapport il y a quelque chose de fâcheux dans un passage que la prévoyance et la bienfaisance doivent s'efforcer d'adoucir, c'est qu'on se place à un point de vue étroit; pour la société prise en masse il n'y a aucun dommage produit qui puisse amoindrir les immenses résultats de l'accroissement du capital.

Nous anticipons ici, malgré nous, sur les questions de distribution de la richesse, mais nous avons cru devoir élucider cette question importante aussitôt qu'elle se présentait.

Nous nous sommes surtout arrêté dans ce qui précède sur les capitaux-outils et devons comprendre avec les économistes, dans le capital, les matières premières accumulées qui sont bien nécessaires à la production des objets, mais n'en sont pas le moyen. Ces éléments de la production, que nous indiquons ici pour compléter l'énumération, permettent, comme nous le dirons bientôt, d'obtenir des profits en rendant la création possible et agissent ainsi indirectement; ils sont semblables, sous ce rapport seulement, qu'ils sont l'objet de la propriété comme les produits, mais nous croyons qu'ils doivent être distingués du capital-outil, agent direct de la production.

Des Machines. — Ce serait ici le lieu de traiter avec quelques détails des fonctions que les machines, partie si importante du capital industriel, sont destinées à remplir, si ce n'était faire double emploi avec les matières traitées dans cet ouvrage et entrer dans la technologie à laquelle il est consacré. Nous nous contenterons de dire en quelques mots que les machines servent :

1° A transformer en mouvements facilement utilisables, la puissance mécanique des agents naturels:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° A accumuler, régulariser, diviser, prolonger l'action de ces forces; par exemple à accroître ou diminuer la vitesse des outils, à faire parcourir à des points des chemins déterminés avec des vitesses voulues.

On voit clairement, d'après cela, comment les machines permettent de remplacer par les forces naturelles les forces musculaires qui sont développées dans le travail de l'homme, et quant à l'effort et quant aux divers mouvements nécessaires pour effectuer une opération déterminée. Les outils et machines outils opèrent, en raison des propriétés constitutives des corps, la malléabilité, l'élasticité, qui permettent d'arriver à la transformation de leurs formes.

On pourrait de même chercher à résumer en quelques mots le mode d'action des appareils qui servent à utiliser les propriétés chimiques et physiques des corps, c'est-à-dire les mouvements de leurs premiers éléments, et qui, comme les machines dans la production industrielle, permettent d'utiliser l'action des lois naturelles.

On doit distinguer en physique trois classes de phénomènes, savoir : ceux qui se rapportent à la chaleur, à la lumière, à l'électricité.

Chaleur. — Appareils de production de la chaleur, de distribution, — de fusion, — de vaporisation.

Lumière. — Appareils de production, de diffusion de la lumière, — de concentration par déviation des rayons lumineux.

Électricité. — Appareils pour produire, propager l'électricité.

Affinités chimiques des corps. — L'utilisation des affinités chimiques s'obtient par juxtaposition des corps, le plus souvent sous l'influence des actions produites dans un des appareils précédents, dans des conditions déterminées par la science pour réagir les uns sur les autres, se transformer par action réciproque.

Forces vitales. — Le travail qui permet d'utiliser les forces vitales de la manière la plus profitable consiste à disposer des corps dans des conditions telles que la vie végétale et la vie animale puissent se produire avec succès, ce qui s'obtient à l'aide de travaux mécaniques et des forces chimiques.

III. DES ÉLÉMENTS MORAUX DE LA PRODUCTION.

Le travail et le capital sont : l'un le moyen, l'autre l'instrument de la création de la richesse; pour une nation déterminée, l'analyse de la production paraît complète lorsqu'on a analysé ces deux éléments, et que la statistique a établi l'importance des richesses naturelles de tout genre que possède un pays, de celles qui diffèrent d'une contrée à l'autre. Telles sont la fertilité du sol, les richesses minérales, etc., en un mot ce sur quoi s'exerce l'activité humaine(1). Mais il est une observation à faire,

1. Peut-être sera-t-on étonné de voir la Statistique considérée comme base des études économiques; pourtant à quoi servirait-elle si ce n'est à indiquer les points vers lesquels doit être portée l'activité d'une nation pour l'élever au plus haut degré possible de prospérité?

c'est que le travail de chaque homme n'est pas une quantité invariable, c'est que l'homme est bien loin d'être doué partout du même degré d'énergie, de savoir industriel; aussi est-il en général sous-entendu, entre l'auteur et le lecteur, à l'insu de tous deux le plus souvent, que le travail et le capital seront mis en œuvre conformément aux mœurs de la nation à laquelle ils appartiennent. Ainsi, quand il s'agit d'Économistes anglais, on suppose qu'il s'agit d'une nation où la liberté individuelle, la sécurité de la propriété, la connaissance théorique et pratique de l'industrie, l'énergie pour acquérir et produire, l'estime et la considération qui accompagnent le succès, etc., sont les mêmes qu'en Angleterre.

Ce sont, en réalité, ces premiers éléments qui tiennent intimement à l'état avancé de civilisation d'un peuple; ces causes du travail, de l'énergie de l'homme, ces développements de science et d'intelligence appliquées à la production qui doivent être considérés comme les éléments moraux de la production; ils constituent le grand ressort qui fait mouvoir notre société civilisée, ce sont les forces productives premières de toute prospérité, et on serait exposé aux plus grands mécomptes si on n'y pensait pas toujours en traitant de questions où l'activité humaine est surtout à considérer. On n'est pas plus utile à la société, économiquement parlant, en produisant des richesses que des forces productives, comme le fait par exemple l'instituteur qui élève la nouvelle génération. La prospérité d'un peuple dépend surtout du degré de développement des forces productives à l'aide desquelles il saura bientôt créer par son travail une grande abondance de richesses. C'est ce qu'ont bien démontré les rapides progrès dans l'industrie de la France et de l'Allemagne, dès que s'y sont adonnés ces deux pays où l'étude des sciences et la culture des arts avaient toujours été prospères.

Ainsi donc il est quelque chose de plus important que la richesse même, que les moyens matériels de créer cette richesse; c'est la puissance intellectuelle, l'énergie nécessaire pour les mettre en jeu et produire ainsi la richesse. Nous devons tenir grand compte de ces éléments dans ce travail fait au point de vue de la production, car l'analyse serait incomplète si elle ne remontait aux causes de la détermination de l'homme à se livrer à un travail énergique. On borne en général cette analyse au besoin, à la faim du travailleur; si c'est là en effet la cause principale des efforts du manœuvre, ce n'est pas la cause des travaux moralement bien plus énergiques du chef d'industrie. C'est du degré de civilisation, de l'organisation tout entière de la nation qu'ils dépendent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La subordination du capital aux facultés de travail d'une nation mérite d'être bien comprise. Supposons que dans un pays possédant un énorme capital en terres, maisons, chemins de fer, routes, canaux, etc., on cesse une année de labourer, d'ensemencer les terres, que le travail soit arrêté dans les usines; immédiatement les intérêts de tous les capitaux payés par le travail producteur et par le travail seul cessent d'être engendrés; ils ne viennent plus rétribuer les capitaux immobilisés, et si la position se prolonge, ceux-ci disparaissent.

Ce qui importe donc par dessus tout, c'est le travail producteur incessant, qui fait croître rapidement le capital, et qui ne peut s'arrêter sans faire disparaître les capitaux accumulés. C'est suivant cette loi que les nations s'enrichissent ou s'appauvrissent, c'est ce que la moindre observation fait reconnaître pour les nations en croissance, ou en décroissance par suite de guerres, de révolutions, etc.

IV. DE L'ÉCHANGE. — DE LA VALEUR. — DE SON ÉVALUATION EN TRAVAIL.

La division ou l'organisation du travail repose en réalité et n'est possible que par suite d'un phénomène qui s'applique au travail, comme à toutes les richesses dans lesquelles il s'incorpore. Chacun ne peut borner son travail à produire une seule utilité qu'autant qu'il peut échanger contre elle toutes les utilités propres à la satisfaction de ses besoins et de ses désirs. C'est par le phénomène de l'échange que la société se révèle; il n'y aurait pas société dans une agglomération d'individus n'ayant rien de commun les uns avec les autres; ce serait un troupeau tel que celui des animaux privés des facultés de l'homme, facultés qui font de ce dernier, suivant Aristote, un animal sociable; au point de vue économique, un être qui échange.

L'échange, comme tous les phénomènes qui ont leur règle dans la liberté individuelle, relève d'une loi qui n'est que l'expression même de cette liberté, celle de l'offre et de la demande.

L'échange libre ne peut avoir lieu que par l'offre d'une marchandise et la demande de cette même marchandise : c'est là le fait même de la transaction qui constitue l'échange librement consenti, le fait commercial indépendant de l'objet échangé. S'il y a des milliers d'offres pour une seule demande, l'échange sera défavorable à ceux qui offrent; l'inverse aura lieu dans le cas contraire. De ce fait se déduit le *prix-courant* des marchandises, c'est-à-dire la quantité d'une certaine marchandise type, d'un certain poids d'or ou d'argent, contre laquelle elles se troquent tel jour sur tel marché.

Ce prix courant, variable avec la rareté, le désir de l'acquéreur, etc., ne doit pas être confondu avec *la valeur*. Bastiat, qui a creusé très-

profondément la notion de la valeur, la définit *le rapport de deux services échangés*, parce qu'en effet c'est dans l'échange qu'apparaît la notion de mesure de la valeur, elle cesse d'être en quelque sorte cachée derrière l'utilité. Cette définition permet de faire rentrer dans l'Économie politique toutes les valeurs immatérielles, les services de l'avocat, du médecin, de l'homme d'État, qui ne sauraient sans inconvénient en être distraits; mais sans entrer dans la discussion de savoir s'il ne vaut pas mieux les considérer seulement comme destinés à développer, à conserver les forces productives, quand on se borne aux produits du travail dans l'industrie, à l'économie industrielle proprement dite, nous pensons qu'il faut s'en tenir à la théorie de Ricardo, qui consiste à considérer *la valeur comme réglée par les frais de production*; à distinguer ainsi complétement la valeur réelle du prix momentané d'un objet, à le considérer virtuellement, indépendamment de tout échange qui fixe le prix.

En restant donc dans les conditions d'une société livrée au travail de la production, où les échanges s'opèrent avec toute sécurité, toute liberté, le prix-courant se rapprochera beaucoup de la valeur et pourra souvent servir à la déterminer. En effet, si j'ai besoin d'un produit quelconque, j'ai deux moyens pour me le procurer : soit de le créer directement, moi-même, soit de créer par mon travail habituel un produit que j'échange avec celui que je désire, et que mon voisin crée par son travail de chaque jour. Mais s'il veut échanger le produit qu'il possède et qui lui a coûté une journée de travail, contre le mien qui m'a coûté quinze jours de travail, je préférerai le créer moi-même ou plutôt je trouverai un autre travailleur plus raisonnable, qui se contentera du remboursement de ses frais et de la rémunération de ses efforts, avec lequel je pourrai faire un échange en proportion des quantités de travail. Pour les produits manufacturés surtout, comme l'augmentation de prix résultant de la rareté fait croître rapidement la production, de même que l'avilissement résultant de l'encombrement le fait diminuer, par l'impossibilité de retirer les frais de production, la moyenne de cette oscillation le rapproche beaucoup de la valeur telle que la définit Ricardo.

Il importe de remarquer que la formule de Ricardo est en réalité très-voisine de celle de Bastiat. Dire que la valeur d'un objet est réglée par les frais de production, c'est dire que le travail et les sacrifices de nature quelconque qu'il faudra faire pour le créer produiront un objet donnant droit, par l'échange, à une certaine quantité de services. C'est-à-dire que l'échange consommé, la valeur reconnue sera en réalité le rapport de deux services échangés, comme le veut Bastiat; mais avant l'échange, pourvu toutefois que celui-ci soit possible, soit certain, comme dans nos sociétés pour tous les objets dont le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travail industriel se propose la production, ceux-ci ont une valeur plus ou moins réalisable sous forme de prix courant, valeur qui doit s'apprécier comme l'indique Ricardo.

Nous trouvons à l'adoption de cette formule le grand avantage de séparer la valeur du prix courant fixé par l'échange; cette distinction est très importante en Économie industrielle, en ce qu'elle permet de sainement apprécier le travail qui produit l'accroissement de richesses pour la société par la multiplication des valeurs, et de le distinguer nettement du jeu, qui produit l'enrichissement individuel par l'accaparement, l'agiotage, etc., au détriment du plus grand nombre, sans bénéfice pour la société : notion fondamentale trop souvent négligée de nos jours.

De la définition de la valeur se déduit la notion de la partie en quelque sorte mathématique de l'Économie industrielle. En chaque instant, dans un état donné de l'industrie d'un pays ou d'une époque, une quantité de frais déterminée étant nécessaire pour créer un produit, on peut établir le tableau de toutes les valeurs qui se rencontrent, la proportionnalité des valeurs. Sans doute, comme tous les Économistes l'ont constaté, les prix de tous les objets varient continuellement avec les progrès de l'industrie et de la richesse générale; ce qui est d'autant plus évident que ces prix ne peuvent être représentés que par un nombre d'unités d'une même valeur, elle-même variable avec les frais de sa production. Mais cet effet ne doit pas être confondu avec la variation de la valeur, qui dépend surtout de la quantité de travail humain incorporée dans chaque production. Le changement de l'unité de rémunération de ce travail causant une modification correspondante pour tous les produits, les proportions ne changent pas avec les variations de grandeur de l'unité, et par suite la science qui s'occupe des valeurs, des rapports, peut arriver à des résultats, à des lois certaines, quelque difficulté que l'on ait d'ailleurs à dresser à une époque déterminée, et à plus forte raison à des époques différentes, le tableau des valeurs.

Nous reviendrons dans un instant sur cette question de la proportionnalité des valeurs, après avoir parlé de la monnaie; nous compléterons seulement l'exposition de ces notions en montrant comment la vérité avait été clairement entrevue par le fondateur de l'Économie politique moderne. « Le prix réel de chaque chose, dit Adam Smith, ce que chaque chose coûte réellement à celui qui veut se la procurer, c'est le travail et la peine qu'il faut s'imposer pour l'obtenir... Ce qu'on achète avec de l'argent ou des marchandises est acheté par du travail, aussi bien que ce que nous acquérons à la sueur de notre front. Cet argent, ces marchandises contiennent la *rémunération* d'une certaine quantité de travail, que nous échangeons contre ce qui est supposé alors contenir la *rémunération* d'une quantité égale de travail (1)... Ce n'est point avec de l'or ou de l'argent, c'est avec du travail que toutes les richesses du monde ont été achetées originairement; et leur valeur pour ceux qui les possèdent, et cherchent à les échanger contre de nouvelles productions, est précisément égale à la quantité de travail qu'elles le mettent en état d'acheter. »

La confusion du prix courant et du prix réel de la valeur peut sortir facilement de la similitude des noms, comme cela a eu lieu en effet, mais la distinction était bien nettement dans l'esprit d'Adam Smith. Ceci au reste n'infirme en rien la justice qu'on doit rendre à M. Bastiat, pour avoir mis en parfaite lumière la notion de la valeur dans son beau livre des *Harmonies économiques*, résultat de la discussion qu'il dut soutenir pour raffermir les principes fondamentaux de toute société, ébranlés par la révolution. Citons une des plus importantes observations auxquelles il est arrivé dans ses belles recherches sur la distinction à faire entre la valeur et l'utilité.

« Dans les transactions ordinaires de la vie, on ne tient pas compte de l'utilité, à mesure qu'elle devient *gratuite* par l'abaissement de la valeur. Pourquoi? parce que ce qui est gratuit est *commun*, et ce qui est commun n'altère en rien la part proportionnelle de chacun à la richesse effective. On n'échange pas ce qui est commun; et comme dans la pratique des affaires, on n'a besoin de connaître que cette proportion, qui est constatée par la valeur, on ne s'occupe que d'elle. » Observation qui explique parfaitement comment le progrès général se manifeste chaque jour par l'abaissement de la valeur.

En résume, la valeur a sa source dans l'effort, le travail; le prix d'un objet varie en raison directe de l'offre et en raison inverse de la demande, et oscille autour de la valeur fixée par les frais de production; celle-ci ne réside nullement dans l'utilité, dans la matière elle-même, ce n'est que par métonymie qu'on l'applique à celle-ci. Si la valeur ne peut se transformer en prix courant rémunérateur, le vendeur aime mieux garder (si l'objet peut se conserver), et la production s'arrête; inversement si le prix courant est très supérieur à la valeur, l'acheteur préfère attendre que de nouveaux produits paraissent sur le marché, et la production se multiplie. Quant à la richesse générale, elle augmente avec la multiplication des valeurs, et n'est pas affectée par la variation des prix courants.

De la Monnaie.

La notion de prix et de valeur que nous venons de rencontrer demande, pour être complète, que nous entrions dans l'étude de la monnaie.

On peut sans doute supposer, comme nous l'a-

(1) La notion de propriété intervient nécessairement dans celle de l'échange, puisqu'on ne peut échanger que ce que l'on possède

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vons fait jusqu'ici, que les produits du travail d'un producteur trouvent toujours à s'échanger contre ceux d'un autre, les deux producteurs désirant mutuellement acquérir le produit l'un de l'autre. En pratique il n'en est pas ainsi : un libraire, par exemple, ne peut guère payer son boulanger, son boucher avec des livres; cet échange direct serait bientôt arrêté et la circulation ne pourrait se prolonger longtemps, s'il n'existait une marchandise exceptionnelle, toujours reçue avec empressement en échange de toutes les autres, la *monnaie*.

C'est parce que les métaux précieux sont inaltérables; que leur pureté, leur poids est garanti par le monnayage, que par suite de leur rareté ils représentent sous un faible poids une quantité de travail importante, que la monnaie joue avec tant d'avantages le rôle de marchandise par excellence, qui la fait toujours rechercher avec empressement.

Grâce à cet intermédiaire, tout échange de produits se résout en une double opération. Nous vendons un produit, c'est-à-dire l'échangeons contre du numéraire; avec celui-ci nous achetons un autre produit, c'est-à-dire échangeons de la monnaie contre celui-ci. Ce qui nous importe donc finalement, c'est la quantité de produits quelconques que nous trouverons à échanger contre un produit, et non pas seulement la quantité d'or et d'argent contre laquelle on pourrait l'échanger. C'est parce que la monnaie est avant tout une marchandise, que l'on ne peut soutenir comme raisonnable le système de la *balance du commerce*, avec lequel les politiques ont cru bien souvent enrichir les nations, et qui consistait à employer toutes les ressources de l'État pour accumuler les métaux précieux dans un pays, en favoriser l'importation et en défendre l'exportation.

La monnaie sert non-seulement à faciliter les échanges, elle fournit aussi le moyen d'apprécier à un instant donné toutes les valeurs en une autre valeur, de manière à pouvoir comparer celles-ci entre elles. Ainsi les rapports des valeurs d'une maison et d'un cheval seront bien déterminés si l'on sait que la maison se vendrait 50,000 fr., le cheval 2,000 fr. Le rapport de ces deux valeurs sera de 25 à 1, quelle que soit la monnaie qui aura servi pour apprécier les deux objets. Bien entendu que nous supposons les prix fixés en dehors des causes de variation dont nous avons parlé à propos des prix courants, que nous parlons de prix d'évaluation.

Mesure des valeurs. Nous venons de voir que les valeurs pouvaient, au moins approximativement, se mesurer à l'aide de la monnaie, que celle-ci nous fournissait l'unité à l'aide de laquelle celles-ci s'appréciaient : il y a donc science, puisqu'il y a mesure et relation. Quelques personnes ont voulu aller plus loin, et comparer les valeurs dans des lieux différents et à des époques différentes.

Évidemment la monnaie ne peut plus servir dans ce cas, car, valeur elle-même, la monnaie est assujettie à la loi des frais de production. C'est ainsi que la découverte de l'Amérique a diminué de plus de moitié la valeur de l'or, et qu'on n'a pas maintenant pour un même poids d'or la moitié du blé qu'on avait avant la découverte de l'Amérique. C'est ainsi que, de nos jours, lorsqu'en Californie et en Australie on trouve beaucoup d'or, que l'intelligente et énergique race anglo-saxonne se substitue aux indolents Mexicains, peuple des déserts inhabités jusqu'ici, que par l'application des forces mécaniques et chimiques on réduit chaque jour les frais de production, nous assistons à un semblable spectacle et sentons chaque jour diminuer quelque peu la valeur de l'or.

En s'attachant à évaluer la valeur du travail producteur lui-même, ou son incarnation dans un travail qui a peu varié, tel que le travail du terrassier ou celui de la production du blé, on a cru pouvoir dresser l'échelle des valeurs aux diverses époques, évaluées en valeurs de nos jours.

Ces recherches faciles pour chaque pays et même pour des pays différents, en un même moment, lorsque la monnaie se déplace facilement d'un pays dans l'autre, ne peuvent fournir qu'une approximation peu exacte pour des époques diverses.

En effet, le sacrifice qui se fait à chaque instant pour rémunérer l'unité de travail est loin d'être le même dans les diverses sociétés qui se sont succédé; ainsi de nos jours un Indou, un Chinois ou un Anglais effectueront des quantités de travail très différentes en échange d'une même quantité de blé ou de riz; ainsi encore dans les États-Unis du Sud, la journée de travail des nègres correspond à une chétive subsistance; tandis que dans les États-Unis du Nord, le travailleur libre n'échange son travail que contre une quantité considérable de produits. Ce que l'on voit ici a existé dans les diverses sociétés pour des degrés différents de civilisation, et montre qu'il existe pour chaque société une différence très grande dans la rémunération d'un même travail, différence qui a sa cause dans la disproportion qui y règne entre les produits accumulés et les besoins (voyez SALAIRES), de telle sorte que la valeur du travail, du blé, n'est pas constante. Mais pour chaque époque, pour des états de sociétés donnés, la variation lente de l'unité n'altère pas les rapports, les valeurs que considère l'Économie industrielle; les rapports restant les mêmes dans tout l'édifice, les valeurs, les richesses sont toujours représentées par les mêmes chiffres, et tous les théorèmes de la science restent également vrais.

Variation des prix.

Nous extrairons d'un curieux tableau donné par M. Babbage, dans son *Économie des manufactures*, quelques chiffres relatifs à la variation de prix d'objets fabriqués à diverses époques assez rapprochées, qui appartiennent au grand mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

industriel de notre siècle. Ils montrent combien la valeur des produits manufacturés va sans cesse en diminuant avec la perfection des machines, la bonne économie de la fabrication; combien les articles usuels ont tendu rapidement vers la gratuité, à mesure que la richesse s'est accrue en Angleterre :

OBJETS.	1818.	1824.	1828.	1830.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Enclumes, pour 50 kilog.	29,00	23,00	18,56	15,08
Verrous (15 centimètres de longueur), la douzaine..	6,86	5,80	3,75	2,90
Boutons d'habit, au paquet.	5,22	5,25	3,48	2,51
Chandeliers en cuivre, la paire.....	3,38	2,32	1,85	1,36
Platines de fusils ordinaires, chaque.....	6,96	6,00	1,35	1,74
Pelles et pincettes, la paire.	1,16	1,16	0,87	0,87

Pour tous les produits manufacturés de semblables tableaux sont possibles; on y verrait, par exemple, la toile de coton passant de plusieurs francs à 1/2 franc le mètre, et toujours le travail accumulé dans ce genre de produits tendant vers zéro. D'où ce fait curieux : pendant que le prix de tous les services augmente avec l'enrichissement d'une société, seuls les produits manufacturés baissent de prix.

V. EFFETS D'UNE GRANDE PUISSANCE PRODUCTIVE.

Le progrès d'ordre économique qui transforme l'humanité de nos jours ne saurait être contesté. Grâce au développement des sciences positives, l'industrie disposant de moyens d'action de plus en plus puissants, de capitaux qui vont en s'accumulant, multiplie dans une grande proportion la quantité d'utilité produite par le travail industriel; chaque producteur arrive à produire, aidé par des machines, de 30 à 200 fois le travail qu'on peut obtenir à la main (travail des filatures, mouture des grains par exemple). D'où comme conséquence forcée : accroissement du nombre d'individus qui peuvent échapper aux fatigues d'un pénible labeur et sont sollicités à développer leur intelligence, n'étant plus écrasés par le travail matériel.

A une très-petite puissance productive, comme celle que les monuments de l'histoire permettent de constater pour les premiers âges de la civilisation, correspond la dépendance à peu près absolue du grand nombre. Le commun des hommes est tenu à la tâche, à la chaine; ses forces sont excédées, et une sorte de fatalité commande qu'il en soit ainsi, afin qu'il puisse y avoir une production suffisante pour les premiers besoins de la société et un peu d'éclat autour de l'existence des chefs. Dans la Grèce antique, le nombre des esclaves était grand en comparaison des hommes libres, et il en fut de même à Rome. En un mot, l'esclavage est l'affligeant corrélatif d'une puissance productive très-restreinte chez l'individu et dans la société. Il perd toute raison d'être et tout prétexte, lorsque la puissance productive est devenue grande ou seulement médiocre.

Pendant le moyen âge, par suite des guerres incessantes, de la stagnation des sciences, de la tendance mystique du christianisme, il n'y eut guère de changement que pour les hommes laborieux des communes, livrés aux travaux de l'industrie qui commençait à s'organiser.

Mais depuis que dans les temps modernes la puissance productive de l'homme a beaucoup grandi, et que cet agrandissement s'est manifesté dans le plus grand nombre des branches de l'industrie, la production étant grande relativement au nombre des membres de la société, il devient de plus en plus possible d'assigner à chacun une part suffisante pour le soustraire au dénûment. Chacun produisant davantage a été fondé à réclamer un lot plus fort sur l'ensemble des produits qui résultent du travail de ses semblables (Voir ci-après DISTRIBUTION).

Lorsqu'un pays produit dix fois plus qu'autrefois d'articles usuels, tels que tous ceux qui sont propres au vêtement, à l'habitation ou à l'ameublement, le débouché naturel à cet accroissement de production, c'est que chaque famille ait pour sa part, chaque année, une plus grande quantité de ces articles.

La diminution de plus en plus grande de la fatigue corporelle et par suite la vie intellectuelle rendue possible, tandis qu'elle est incompatible avec un travail écrasant, tels sont les résultats généraux du progrès dont nous parlons qui a amélioré sensiblement les conditions d'existence normale, pour tous, dans les sociétés modernes.

Pour faire apprécier le développement de la puissance productive chez les nations modernes, je donnerai ici l'évaluation, faite par Fairbairn, du nombre et de l'effet des machines à vapeur qui fonctionnent aujourd'hui dans la Grande-Bretagne. Il s'est appliqué à rechercher quel nombre de travailleurs représentait la force mécanique totale développée par ces machines.

D'après Fairbairn, les mines et les usines où l'on travaille les métaux emploient un nombre de machines à vapeur qui représentent un total de 450,000 chevaux-vapeur; les manufactures de différente nature, 1,350,000 chevaux; la navigation, 850,000, et la locomotion 1,000,000, ce qui représente un total général de 3,650,000 chevaux-vapeur. Mais considérant que ces machines travaillent en général au triple de leur force nominale, Fairbairn porte à 11,000,000 le chiffre précédent.

Si les 11,000,000 de chevaux-vapeur travaillent ensemble pendant toute l'année, et dix heures

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par jour, ils produisent un effet dynamique prodigieux, que l'auteur calcule comme il suit :

Un cheval-vapeur, représentant 75 kilog. élevés à un mètre de hauteur en une seconde, 11,000,000 de chevaux soulèveraient 825,000,000 de kilogrammes pendant le même temps, ou bien 825,000 tonnes métriques.

Pour produire le même travail qu'un cheval-vapeur, il faut au moins *sept hommes* robustes; par conséquent, les 11,000,000 de chevaux de fer créés par le génie de Watt équivalent à 77,000,000 d'esclaves, c'est-à-dire à la portion valide d'une population servile de 250,000,000 d'âmes, plus que n'en possèdent les Indes, presque autant que la Chine, cinquante fois plus que les planteurs du sud des États-Unis n'employaient de nègres. Quel magnifique résultat dû à l'intelligence humaine!

DISTRIBUTION DE LA RICHESSE.

La seconde partie de l'Économie politique traite de la distribution de la richesse. Cette partie de la science touche de bien près à la science du droit, c'est en quelque sorte le résumé de ce qu'il y a d'économique dans cette science.

En effet, quelle est la question? Une richesse étant créée, à qui appartient-elle? Ce sont les réponses à cette question qu'il s'agit de formuler, et c'est bien là du droit.

De la Propriété des fruits du travail.

Nous pouvons poser, comme base de toute déduction, cette vérité première, que nous avons admise quand nous avons traité de l'échange; car, pour échanger, il faut posséder ce qu'on échange :

« Chacun est propriétaire du fruit de son travail, de l'œuvre qu'il a créée. »

Il serait oiseux de montrer que cet axiome est la base de tout progrès, que les pays dans lesquels chacun n'est pas assuré de posséder le fruit de ses efforts, comme les pays orientaux, sont inévitablement plongés dans une misère irrémédiable.

Pourtant cette vérité a été contestée même en France, dans ces derniers temps, et, par une aberration étrange, on a confondu des principes complétement différents.

On n'a rien pu trouver à objecter directement à ce raisonnement capital. Si je m'exténue à créer un produit, à force de travail, pendant que mon voisin se repose, lui dois-je quelque chose du produit que j'ai créé, et a-t-il droit à en venir revendiquer sa part?

Dans l'impossibilité de nier l'évidence de ce raisonnement, on l'a traité d'égoïste, et l'on a dit que le dévouement, la fraternité, faisaient une loi à chacun d'apporter à la masse commune les produits de son travail pour les voir répartir, soit également, soit en raison des besoins de chacun; enfin que je devais partager avec mon frère, fût-il un paresseux, ce que j'ai créé par mon travail.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

En nous gardant bien d'entrer dans l'examen sérieux du système communiste, n'est-il pas évident qu'il est fondé sur le dévouement? Or, le dévouement, le sacrifice ou le droit sont des choses tout à fait distinctes.

J'ai droit au fruit de mon travail, il m'appartient incontestablement, et ce n'est qu'à cause de la certitude que l'État remplira le premier but de son existence en faisant respecter cette propriété entre mes mains, que je me suis donné le mal nécessaire pour la créer. Si maintenant un prêtre, un philosophe m'inspire un dévouement assez ardent pour que je sacrifie cette propriété à une œuvre quelconque, personne n'a rien à y voir. Mais le mérite moral n'existe qu'autant que mon sacrifice est volontaire. Si vous voulez m'imposer un dévouement que je ne sens pas, vous violez mon droit, vous me réduisez en esclavage en me contraignant à travailler pour les autres, vous me dépouillez de ce qui m'appartient légitimement.

On doit donc se garder de confondre le droit et le sacrifice, confusion qui a obscurci des notions tellement claires, que leur négation par quelques esprits est à peine croyable au dix-neuvième siècle.

Bastiat, en creusant la question de propriété, est arrivé à des conséquences d'une grande importance et les a formulées avec une grande netteté.

La propriété, dit-il, est le droit de s'appliquer à soi-même ses propres efforts, et de ne les céder que moyennant la cession en retour d'efforts équivalents.

Tirant les conséquences de cette définition indiscutable, il ajoute : Tout homme jouit *gratuitement* de toutes les utilités fournies ou élaborées par la nature, à la condition de prendre la peine de les recueillir, ou de restituer un service équivalent à ceux qui lui rendent le service de prendre cette peine pour lui.

Il y a là deux faits combinés, fondus ensemble, quoique distincts dans leur essence. Il y a là les dons naturels, les matériaux gratuits, les forces gratuites, c'est le domaine de la *communauté*. Il y a de plus les efforts humains, essentiellement personnels, consacrés à recueillir péniblement ces matériaux, à diriger ces forces, à l'aide d'efforts qui s'échangent, *s'évaluent* et se compensent : c'est le domaine de la *propriété*.

En d'autres termes, à l'égard les uns des autres, nous ne sommes pas propriétaires de l'utilité des choses, mais de leur valeur.

Propriété, communauté, sont deux idées corrélatives à celles d'*onérosité* et de *gratuité*, d'où elles procèdent.

Ce qui est *gratuit* est *commun*, car chacun en jouit et est admis à en jouir sans conditions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce qui est *onéreux* est *approprié*, parce qu'une peine à prendre est la condition de la satisfaction, comme la satisfaction est la raison de la peine prise.

Ce recours à une peine implique l'idée d'un obstacle. On peut donc dire que l'objet cherché se rapproche d'autant plus de la gratuité et de la communauté que l'obstacle est moindre, puisque l'absence complète de l'obstacle entraîne la gratuité et la communauté parfaites.

Sécurité de la propriété.

C'est pour arriver à la consommation par la distribution, à jouir du fruit de son travail, que l'on fait des efforts; la première condition, sans laquelle tout travail est impossible, est donc la sécurité dans la propriété, dans la jouissance du fruit du travail. C'est sans contredit le principal but de la société que de faire respecter le fruit du travail de chacun, la principale raison d'être de tout gouvernement.

Que l'on étudie les époques de décadence et de misère des nations, et l'on verra que toujours elles ont coïncidé avec le manque de sécurité dans la propriété.

Si d'autres nations, au contraire, ont passé par les plus rudes épreuves, les ont admirablement supportées, ont vu se cicatriser avec une extrême rapidité les plaies qui les faisaient souffrir, il suffit d'étudier la situation économique de ces nations pour reconnaître bientôt que le respect, la sécurité de la propriété a été le cachet de ces époques de réparation.

Mac Culloch, économiste anglais, après avoir cherché à approfondir toutes les causes qui ont amené la nation anglaise à une si grande richesse, arrive, par élimination de causes successives qui ne lui paraissent pas absolument indispensables, à les réduire à une seule, la sécurité parfaite dont a toujours joui la propriété individuelle en Angleterre. Dans aucun pays, en effet, non-seulement les institutions, mais surtout les mœurs n'ont entouré la propriété de plus de respect; nulle part on n'a moins craint d'être dépouillé du fruit de son travail, nulle part aussi n'a-t-on autant travaillé, autant créé de richesse.

Nos temps de révolution ne nous ont que trop montré comment la moindre attaque, même indirecte, à la propriété fait fondre, en quelque sorte, toutes les fortunes, en engendrant des paniques qui font pour la destruction des richesses plus de prodiges encore que le crédit, dans les temps prospères, pour leur création.

I. RÉMUNÉRATION DU TRAVAIL. — DES SALAIRES.

Nous avons établi, comme la base fondamentale de la distribution, cet axiome d'une évidence incontestable: *chacun est propriétaire du fruit de son travail.* Rien ne serait plus simple que cette partie de la science, si chacun était en même temps producteur et consommateur de ses produits, si chacun produisait toutes les utilités nécessaires à la satisfaction de ses besoins, comme le fait l'homme isolé. Mais dans la société s'introduit l'important élément de la division du travail et de l'échange, et par suite le producteur ne s'occupe plus des utilités qui correspondent à ses besoins les plus immédiats, mais seulement des valeurs; il produit en général une seule espèce de valeur et consomme une multitude d'utilités diverses, ou accumule par l'épargne les richesses qu'il a créées. De là résulte un immense accroissement de richesses, mais aussi de cet enchevêtrement du travail et de l'échange naît la complication extrême du problème de la distribution. Ce sont les questions qu'il comprend qui sont les plus irritantes parmi celles qui sont agitées dans les sociétés modernes, ce sont les formules des diverses solutions qu'on peut lui donner, que les partis politiques inscrivent sur leurs drapeaux dans les jours de révolution.

Le principe que nous avons posé n'en est pas moins vrai, parce que le travail de plusieurs concourt à la création d'un produit, que s'il était le résultat des efforts d'un seul producteur. Seulement chacun de ceux qui y ont concouru ne saurait justement prétendre être seul possesseur de la valeur produite, il doit compter avec ses collaborateurs. En un mot, chacun devant être possesseur du fruit de son travail, la valeur d'un objet est la somme des valeurs produites par le travail successif de chacun, et chacun est possesseur légitime de la valeur que son travail a ajouté à l'objet fabriqué.

Appliquons ce principe à la réalité des transactions, pour en déduire les règles qui doivent y présider pour qu'elles soient équitables.

La loi de rémunération du travail par la propriété de la valeur créée, ou, ce qui est la même chose, d'une valeur équivalente, se traduit en des usages qui en paraissent très-éloignés et dont la filiation ne peut se comprendre qu'en disant d'abord quelques mots de la théorie qui préside à toutes les transactions libres, celle des profits et des pertes.

Nous avons soigneusement distingué le prix des objets de leur valeur; la création et par suite la propriété d'une valeur sera une cause de profit ou de perte, suivant que le prix courant sera supérieur ou inférieur à la valeur.

Je produis par deux journées de travail un objet et j'en trouve un prix, je trouve à l'échanger contre un objet que l'on ne peut produire en moins de trois journées de travail; je bénéficie par cet échange d'une journée de travail; il y a profit pour moi, perte pour celui qui échange avec moi, car par la répétition d'opérations semblables, il en arriverait à perdre tout le fruit de son travail. La justice est dans l'échange de valeurs égales, ce que n'entraîne pas toujours, sur tous les marchés, l'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

change à prix égaux, en raisonnant sur la valeur-type, sur la monnaie.

Par quel procédé cette égalité tend-elle à s'établir entre les valeurs des marchandises échangées? Par la liberté des transactions, qui permet à chacun d'offrir la valeur qu'il produit et de demander celles dont il a besoin, par la concurrence.

Sans la concurrence, non-seulement l'échange ne tendrait pas à s'effectuer à valeur égale, mais encore il aurait lieu entre des utilités très-différentes.

Il est aisé de comprendre, dit Bastiat, que, sans la loi de la concurrence, l'inégalité des dons de Dieu amènerait une inégalité correspondante dans la condition des hommes. Quiconque se trouverait à la portée d'un avantage naturel en profiterait pour lui, mais n'en ferait pas profiter ses semblables. Il ne permettrait aux autres hommes d'y participer, par son intermédiaire, que moyennant une rétribution excessive, dont sa volonté fixerait arbitrairement la limite. Les limites extrêmes possibles sont manifestement la *peine prise* par celui qui rend le service, et la *peine épargnée* à celui qui le reçoit. Sans la concurrence, rien n'empêcherait d'atteindre toujours la limite supérieure.

La concurrence faite de bonne foi (car nous devons laisser de côté tout ce qui est supercherie et tromperie, ce qui est, en un mot, du ressort de la police) est donc la condition de la justice dans l'échange. C'est par la concurrence, c'est par la loi de l'offre et de la demande universelle, qui en est l'expression, que dans une société libre tous les efforts et toutes les intelligences sont amenés à déterminer le prix des objets. Ce ne peut donc être que par des oscillations perpétuelles autour de la valeur, c'est-à-dire par des alternatives de profits et de pertes, d'avantages et de sacrifices, que le prix de chaque objet est fixé en chaque instant.

Il était nécessaire d'établir cette proposition pour pouvoir comprendre sur quelles bases s'établissent les rémunérations fixes que nous allons rencontrer, en passant en revue la distribution des produits du travail.

Rémunération de l'ouvrier. — Des salaires. Le premier producteur de valeur est l'ouvrier, et sa rémunération doit être d'une valeur égale à celle qui est produite par son travail.

Dans la pratique, une condition essentielle vient transformer cette donnée première. C'est la nécessité pour l'ouvrier de toucher chaque jour le prix de son travail, l'impossibilité, pour lui, dans la pratique, de s'affranchir de l'élément temps et de l'élément capital nécessaires pour la création d'un produit.

L'ouvrier ne peut, dans la plupart des cas et surtout dans les fabrications complexes, se passer des moyens de fabrication, des machines qu'il ne possède pas. Il ne peut attendre que le produit à la création duquel il contribue soit achevé avant de rien recevoir; effectuer les transactions commerciales nécessaires pour en réaliser la valeur, se soumettre aux chances de pertes, etc. Aussi, sauf dans quelques métiers simples, et toujours dans le cas des manufactures proprement dites, l'ouvrier qui ne possède aucune avance, qui ne produit que partie de la façon, fait-il avec l'entrepreneur ce marché : Je crée dans une journée de travail un produit ou partie de produit dont, en moyenne, vous vendez 4 francs la façon; prenez à vos risques et périls les chances de plus ou moins value, suivant l'état du marché lorsque le produit pourra être vendu, et donnez-moi, par exemple, 3 fr. 50 c. par jour.

On a élevé dans ces dernières années beaucoup d'objections sur l'équité de ce marché, et ne tenant nul compte du rôle si important de l'entrepreneur dans la production, que nous allons examiner tout à l'heure, on a plaint l'ouvrier de ne pouvoir s'affranchir de cette tutelle.

A cela une réponse péremptoire est à faire : c'est que ce marché ne se conclut qu'à cause des avantages que les deux parties trouvent à le faire, lorsqu'il est nécessaire.

S'il n'y a pas de chances aléatoires, de délai pour la vente, si un capital, si une direction ne sont pas indispensables, il n'existera pas de salaire proprement dit. Ainsi le savetier travaillant seul, ses bras suffisant à tout, un marteau et une alène constituant presque tout son matériel de fabrication, reçoit directement de l'acheteur le prix de son travail; mais l'ouvrier mécanicien ne construira pas seul une machine à vapeur, il faut pour cela des avances considérables, des machines en grand nombre qu'il n'a pas, des connaissances qu'il ne possède pas davantage. En un mot, la complexité du travail fait naître sa division nécessaire, et surtout rend indispensable son organisation, sa direction. L'avancement de l'industrie fait ainsi apparaître un rouage qui lui est aussi indispensable que l'est la tête au corps humain pour diriger les bras.

Les chefs de parti qui font métier de la défense de l'ouvrier montrent des exemples où la pression exercée par le maître force l'ouvrier à consentir à un salaire trop faible. A cela il est facile de répondre que cela n'est pas plus juste que lorsque les ouvriers, en vertu de leur position spéciale, lorsque leur concours est indispensable, contraignent l'entrepreneur, sous peine de ruine, à consentir des salaires exagérés et abusifs. La violation de la justice ne prouve jamais rien contre celle-ci; c'est aux mœurs, c'est à la justice à faire respecter le droit et la liberté de chacun.

Il y a toutefois deux objections auxquelles il importe de nous arrêter, car elles ont acquis de nos jours une très-grande importance.

La première peut s'énoncer ainsi : le maître

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pouvant attendre, l'ouvrier ne le pouvant pas, le maître fixe en définitive le salaire de l'ouvrier.

La seconde est celle-ci : si la fabrication diminue, le travail et par suite le salaire diminuent, et il en résulte des privations et des souffrances.

Répondant d'abord à la seconde objection, nous dirons que la distribution ne saurait être responsable de ce que l'homme vient au monde sans richesses, et que par suite l'homme qui ne travaille pas n'ait pas de quoi vivre. Nous pouvons rentrer dans le domaine de la charité, mais au point de vue de la justice, on ne doit rien à celui qui ne travaille pas.

C'est cependant un grand malheur social, qu'il puisse y avoir des hommes voulant travailler et ne trouvant pas de travail. C'est certainement là une des circonstances qui doivent le plus préoccuper la société ; mais, en réalité, quels que soient les palliatifs que l'on emploie, celle-ci est soumise à la même loi qu'une armée en campagne. Elle doit toujours marcher en avant, toujours accroître et multiplier ses richesses, ses occasions de travail ; alors le salaire va croissant sans cesse. La retraite est toujours désastreuse.

Ce que nous disons ici répond à la première objection ; ce n'est pas dans un temps de prospérité, lorsque les ouvriers sont rares, qu'un maître pourra arriver à rémunérer ses ouvriers à un prix inférieur à la valeur réelle de leur travail. Il se trouverait bientôt d'autres maîtres pour utiliser leurs services à un meilleur prix, et enlever avec les ouvriers les commandes que le premier aurait à exécuter. Ce qui est vrai aujourd'hui, c'est que le salaire croît plus vite que sa valeur réelle. Du reste, dans le marché librement conclu entre le patron et l'ouvrier, la balance doit toujours pencher du côté de ce dernier, lorsqu'il s'efforce de faire vivre honorablement sa famille.

On peut donc établir que le juste, le souhaitable, relativement au bien-être de l'ouvrier, relève des conditions suivantes : Liberté du travail, qui lui permet de choisir le travail le plus avantageux. — Abondance du travail pour que son concours soit recherché.

Avant d'aller plus loin, disons un mot de la rémunération de l'entrepreneur.

Directeur-Entrepreneur. Dans l'entrepreneur nous distinguerons deux personnes distinctes, deux fonctions qui sont en réalité différentes et qui, exercées en général par la même personne, se divisent pourtant quelquefois. Ces personnes sont le directeur des travaux et l'entrepreneur assureur des salaires, fournissant tout ce qui est nécessaire au travail. Nous parlerons d'abord surtout du directeur des travaux, qu'il soit ou qu'il ne soit pas l'entrepreneur lui-même.

La part du directeur des travaux (et dans la part afférente à la direction, nous comprenons celle qui revient aux contre-maîtres, aux ouvriers d'élite, qui possèdent dans leur habileté spéciale un véritable capital intellectuel, ceux qui donnent l'impulsion à l'atelier) doit être plus importante que celle du simple journalier. Le directeur des travaux est la tête, les ouvriers sont les bras du corps producteur qui constitue l'atelier, la fabrique. Certes, l'ouvrier qui s'est fatigué à la création d'un produit mérite la propriété de la part la plus importante de la valeur produite par son travail, mais celui qui combine les moyens d'exécution, assigne à chacun sa tâche, mérite aussi sa part. Le nier serait vouloir soutenir que le travail matériel est tout et le travail intellectuel rien ; ce serait prétendre qu'un général mérite moins de son pays qu'un de ses soldats pour avoir gagné une bataille, parce qu'il n'a pas lutté de sa personne.

C'est par la tête que l'industrie progresse, c'est par les découvertes de ses savants, le goût de ses artistes qu'une nation peut conquérir et conserver une supériorité incontestée dans l'industrie.

Ces éléments sont du ressort de la direction qui combine, et il y a fort à rabattre des déclamations socialistes qui ont fait admettre par beaucoup d'ignorants qu'il n'y avait pas à s'occuper de celle-ci. Il suffit d'avoir vu créer une usine par l'inventeur d'une machine, d'un procédé, d'une nouvelle division du travail, pour comprendre le rôle prépondérant du grand organisateur, pour sentir combien son œuvre est d'un ordre supérieur, relativement à celle des bras qui exécutent sous sa direction.

Mais ce ne saurait être sous forme de rémunération fixe, analogue aux salaires, que l'entrepreneur peut tirer parti de ses entreprises dans nos sociétés libres. Il n'est, lui, dirigé et assuré par personne, et le but aléatoire qu'il poursuit par ses efforts est le profit, dont nous étudierons bientôt les éléments, mais dont l'essence fait partie de la notion d'échange librement consenti. Pour l'acquérir, il lui faut combiner ses opérations et ses moyens de production, passer des marchés, faire fabriquer, vendre ses produits, etc., en un mot, accomplir l'œuvre entière de la production industrielle et des transactions commerciales qui y correspondent. Après avoir payé pour acheter les matières premières, les moyens de fabrication, avoir payé chaque semaine ses ouvriers qui n'ont pas à courir de chances aléatoires, il lui reste pour rémunération de sa direction, de ses combinaisons, de l'intérêt des capitaux engagés, etc., un profit ou une perte, le succès ou la ruine et la faillite, en raison de l'état du marché et de son habileté industrielle et commerciale.

En un mot, dans une société libre, où chacun n'a pas son travail de chaque jour assigné par l'autorité, comme chez les Jésuites du Paraguay ou dans les sociétés existant dans les têtes de quelques utopistes, il faut que les chances aléatoires reposent sur quelqu'un qui soit en état de les courir et juge bon de le faire. C'est le fabricant qui, agissant dans sa pleine liberté, gagne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

ou perd, soumis aux lois de la libre concurrence dans son entreprise de création de richesse, faite à ses risques et périls, traitant ferme avec le capitaliste comme avec l'ouvrier, prenant à son compte toutes les chances de perte ou de gain; tandis que l'ouvrier gagne un salaire fixe, là où il travaille, non pour courir des chances aléatoires, mais pour être payé chaque jour.

Des salaires. Il nous paraît démontré que la fixation du salaire en raison de la prospérité d'une industrie et de l'habileté du travailleur est parfaitement équitable, comme l'attribution des profits à ceux qui assurent les salaires, combinent les opérations et courent toutes les chances de pertes. Ce n'est que la forme naturelle de contrats libres, avantageux aux parties, et qu'il n'y a qu'à pratiquer avec équité, grâce à l'intelligence et au bon esprit des intéressés. On peut résumer ainsi cette division résultant de la force des choses entre les collaborateurs d'un travail industriel : entreprise, direction, combinaisons produisant des profits ou des pertes variables, d'un côté; exécution matérielle, faisant gagner des salaires fixes de l'autre.

La rémunération de l'ouvrier sous forme de salaires, mode qui répond à la liberté du travailleur échappant au servage, loin d'être une forme gothique, est, au contraire, un progrès, comme le fermage l'a été relativement au métayage qui disparaît chaque jour des pays de riche culture. D'autres combinaisons fort inférieures, dans les cas les plus fréquents, peuvent se rencontrer dans quelques pays dont l'industrie est peu avancée; on trouverait encore des ouvriers fort mal payés avec des produits de leur travail, qu'ils ne peuvent placer avantageusement. Dans de rares circonstances, ce système est applicable: ainsi nos pêcheurs des côtes, dont le poisson est immédiatement vendu à la criée, naviguent tous *à la part*.

L'accroissement des salaires, indépendamment des conventions directes, a pris de nos jours quelques nouvelles formes qu'il faut mentionner : tantôt ce sont des primes en raison de l'habileté, par exemple de l'économie de charbon pour le conducteur de locomotives; tantôt c'est par une participation aux bénéfices assurés par des collaborateurs capables, sans association. Enfin, par esprit de fraternité, deux ou trois fabricants donnent une bonne partie de leurs profits à leurs ouvriers; c'est un cadeau qu'il leur plaît de faire, ce n'est pas une dette qu'ils acquittent.

Le contrat librement débattu entre le patron et l'ouvrier, en raison du besoin que chacun a de l'autre, ne laisse nullement ce dernier dans une position nécessairement précaire, surtout s'il devient habile. Des journées de 8, 10 ou 12 francs ne sont pas rares aujourd'hui et ne constituent pas une position bien fâcheuse au bon ouvrier, à propos duquel il n'y a guère lieu de parler d'esclavage, d'affranchissement et d'autres plaisanteries qui émaillent agréablement la prose de certains journaux. Ce qui est vrai c'est que, heureusement, de nos jours l'ouvrier intelligent peut vivre honorablement et s'assurer une vieillesse à l'abri du besoin, notamment avec l'aide des institutions qui existent dans beaucoup de nos grandes usines et qui devraient exister plus généralement, comme nous le dirons plus loin.

Les salaires élevés conduisent souvent l'ouvrier habile à devenir patron, ou au moins entrepreneur pour l'opération dans laquelle il excelle. C'est comme marchandeur, ouvrier en chambre, etc., qu'il effectue l'évolution naturelle de commencer à travailler pour son compte, quand il peut le tenter avec quelques chances de succès. Ce sont d'anciens ouvriers, ayant ainsi commencé, qui possèdent et font prospérer la plupart des grands établissements industriels.

L'erreur fondamentale de Proudhon et, après lui, de l'école socialiste, heureuse de trouver un argument formulé par un puissant esprit, a été de dire que les bénéfices de l'entrepreneur étaient prélevés sur les salaires de l'ouvrier. Cela est absolument faux. Le produit fabriqué en payant à l'ouvrier toute la valeur de son travail, et même plus que cette valeur, pourra être vendu une fois, deux fois plus cher qu'il ne coûte, sans qu'il puisse se plaindre qu'on lui ait rien pris, pas plus qu'il n'aura rien à restituer du salaire touché, si l'entrepreneur est obligé de vendre à perte. Le prix de vente est tout autre chose que la valeur, que le prix de revient. Un mètre d'indienne imprimée coûtant 0,75 à fabriquer se vendra 1,50 si le dessin plaît, 0,40 s'il ne réussit pas. Il y a perte ou gain suivant le goût du fabricant, mais toujours rémunération de l'ouvrier qui a appliqué la couleur sans avoir à s'occuper du dessin qu'elle formait. Il en est ainsi dans toutes les industries.

Si par exemple cet ouvrage trouvait des acquéreurs en grand nombre, est-ce que le compositeur d'imprimerie devrait être payé plus cher que s'il n'en rencontre pas? Est-ce que cela modifierait le nombre de lettres qu'il a eu à *lever*, le travail qu'il a eu à faire? N'est-ce pas l'auteur-entrepreneur qui a seul droit au profit, comme il payera seul la perte? Cela n'est pas sérieusement contestable.

Inventeurs. L'entrepreneur est toujours quelque peu inventeur, c'est-à-dire emploie presque toujours dans son atelier un ensemble de moyens, tant au point de vue de la combinaison du travail que des procédés, différent de celui de ses voisins. Cela montre assez que l'invention est une des bases principales des profits pour l'entrepreneur; à plus forte raison doit-il en être de même pour l'inventeur qui crée des procédés entièrement nouveaux de fabrication, des produits souvent inconnus avant lui. C'est par des brevets d'invention, sur la nature desquels nous aurons à revenir, que dans nos sociétés l'inventeur est récompensé de ses tra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

vaux, à l'aide d'un titre qui doit lui assurer pour un temps limité l'exploitation privilégiée de son invention.

Savants. Le travail du savant appliqué à la découverte de lois naturelles est peu apparent dans la création de chaque produit, et son œuvre, sans laquelle cependant la production serait impossible, est difficilement rémunérable par une part dans la propriété du produit. Aussi est-ce en général par rémunération directe que la société reconnaît les travaux des savants, par des places, des pensions, des chaires; mais, disons-le, en général, dans notre pays au moins, avec une parcimonie peu digne de l'importance de leurs fonctions. Et pourtant une seule découverte d'un savant est d'une extrême importance en général, puisqu'en faisant faire un progrès à la science, elle ouvre un nouveau filon, et procure souvent à un pays en une seule année des bénéfices supérieurs à la somme des traitements que touchera le savant durant sa vie tout entière. Citons comme exemples contemporains la découverte des ciments romains par M. Vicat, celle des bougies stéariques par M. Chevreul.

Espérons que, dans un avenir prochain, on comprendra mieux que le plus grand intérêt de la société est d'acquitter noblement la dette qu'elle contracte envers les intelligences d'élite qui font progresser les sciences et accroissent chaque jour le domaine de l'humanité.

II. RÉMUNÉRATION DU CAPITAL.

Dans le chapitre précédent, nous avons supposé le travail possible, c'est-à-dire que les efforts pouvaient se diriger vers la production. Or pour y parvenir il faut nécessairement avoir à sa disposition : 1° les outils, machines, nécessaires à la production; 2° les matières brutes sur lesquelles s'exerce le travail, pour les transformer; 3° les substances (ou des valeurs équivalentes lorsque l'échange est possible) nécessaires pour la nourriture du travailleur pendant qu'il crée un produit. Tels sont les éléments principaux qui composent le capital, qu'on définit le plus souvent la richesse épargnée en vue de la production.

Nous avons déjà insisté sur la partie du capital qui consiste dans les machines et outils, si indispensables pour la production. Quant aux deux autres parties, leur nécessité pour rendre la production possible est trop évidente pour qu'il y ait lieu à insister.

Puisque le capital en matières premières, approvisionnements de toute sorte et surtout en machines, est la condition essentielle de la production, il paraît bien naturel à première vue, puisque le capital n'est pas indéfini, commun à tous, que celui qui l'a créé par l'épargne et le travail, que le possesseur du capital ait dans la distribution une partie de la richesse produite; qu'il y ait un profit du capital, un intérêt : autrement, pour quel motif eût-on accumulé les moyens de production, et surtout les eût-on prêtés à quelqu'un? Cette question est pourtant celle que nous avons vu agiter avec le plus d'ardeur lors de la révolution; c'était à la destruction de l'intérêt du capital que s'était arrêtée en dernier lieu l'école révolutionnaire, et l'on a contesté avec passion que le propriétaire du capital eût autre chose à réclamer que la restitution de son capital. Les novateurs confondant à plaisir le capital avec le propriétaire du capital, voyant très-bien que le capital avait surtout pour but de favoriser l'action des forces naturelles essentiellement gratuites, voulaient que le prêt du capital fût gratuit comme les forces naturelles, ne tenant nul compte des droits du propriétaire du capital, de celui qui par ses efforts et son travail était arrivé à se créer cette propriété.

Ce qu'ils ne voulaient pas voir, c'est que le capital est une accumulation de travail qui, sous forme de machines, d'instruments de travail, de matières premières, etc., forme la richesse de la société, est l'objet direct de la propriété. Or celui qui le possède à bon droit peut sans doute le consommer en dépensant chaque jour une des journées de travail accumulées. Mais si, au lieu d'agir ainsi, il vous transfère l'instrument de travail qu'il a su créer, ne lui devez-vous plus rien que son remboursement, sa restitution?

Creusons un peu cette idée, donnons-lui une forme sensible, par des exemples de la pratique de chaque jour, pour faire justice d'une erreur capitale qui ne tend à rien moins qu'à la destruction de la société civilisée.

A force d'intelligence et de travail, j'invente une machine avec laquelle je puis, avec grand profit, créer pour 2 fr. un produit qui coûtait 3 fr., qui ne pouvait être créé qu'avec moitié plus de travail. On ne peut me disputer le bénéfice fruit de mon travail, et indépendamment de toute concession, en cachant ma machine, je saurais bien le réaliser, à moins que vous ne me traquiez comme un malfaiteur pour me voler ma machine et m'empêcher d'être utile. Si un jour je veux me reposer, et que je confie à un autre fabricant cette machine, source de bénéfices certains, croyez-vous qu'il se refuse à me faire jouir de partie de ses bénéfices? C'est là pourtant la rente, le droit d'aubaine du capital contre lequel s'élevait avec tant de fureur l'école socialiste; ce n'est nullement par sa nature intime l'*exploitation du travailleur*, comme on l'a répété à satiété, c'est le partage avec le propriétaire de l'instrument de travail, de l'excédant de production que le travailleur peut créer avec l'instrument de travail, comparé avec ce qu'il produirait s'il en était privé.

Un cultivateur doit labourer son champ, huit jours de travail à la bêche lui sont nécessaires pour effectuer cette opération; mais il trouve à louer une charrue avec laquelle il labourera son champ en une journée, et le prix de la location ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'élève qu'à deux ou trois journées de travail. Il s'empresse de conclure ce marché, qui lui laissera pour bénéfice la valeur de quatre à cinq journées. Voilà la rente du capital représentée par la charrue, et certes il n'y a guères là de spoliation.

Si le capital n'avait aucune part dans la répartition, la portion de chacun pourrait sans doute être plus grande, mais à la condition que le capital eût été accumulé sans avoir de propriétaire, ce qui est absurde. Quant à l'absence du capital, c'est la misère pour tous, la sauvagerie.

Cette question de l'intérêt, du profit du capital, va d'ailleurs être complétement élucidée par l'étude de la question générale des profits, dont elle n'est qu'un cas particulier. L'intérêt d'un capital n'est en effet qu'une valeur moyenne des profits qu'assure dans un pays et dans des circonstances données la propriété de ce capital à celui qui a su le créer par son travail et par ses efforts. C'est en donnant partie de ces profits, presque assurés, au propriétaire du capital, qu'on le décide à le confier à un tiers. C'est ce que nous allons voir en envisageant cette question d'une manière générale pour toute espèce de propriété.

III. DE LA RENTE. — DE LA LOI DES PROFITS. — ÉLÉMENTS QUI LIMITENT LA CONCURRENCE.

Pour arriver à une notion exacte de la loi des profits dans la production industrielle, c'est-à-dire indépendamment de la transaction de l'échange même, qui peut évidemment faire passer l'argent de la poche de l'un dans la poche de l'autre, indépendamment de tout service rendu, par la seule habileté du vendeur ou la maladresse de l'acheteur, il nous faut établir le profit le plus assuré dans nos sociétés, la rente de la terre, qui a donné lieu au beau travail de Ricardo. La terre a été souvent bien à tort placée dans une sphère à part, tandis qu'elle doit être considérée économiquement au même point de vue que les forces naturelles qui fécondent l'industrie, et qui deviennent utilisables par l'accumulation de travaux antérieurs. De l'étude de la rente de la terre nous déduirons facilement, par une assimilation incontestable, la loi des profits, l'intérêt des capitaux, qui se retrouvent dans toute exploitation agricole ou industrielle.

Rente de la terre.

Considérons d'abord une société naissante, une tribu sans demeure fixe, cultivant successivement les terrains placés autour de ses tentes, comme les tribus arabes. Quelle valeur peut avoir la terre qui les entoure? aucune, pas plus que la lumière et le soleil. Chacun en profite, nul ne songe à en payer ou en demander le prix. Si le cultivateur trouvait le moindre obstacle dans la culture d'un morceau de terre, il cultiverait le morceau à côté.

Les sociétés s'établissent et se développent, les populations augmentent, et avec elles le besoin des subsistances. Bientôt le cultivateur trouve quelqu'intérêt à ne pas abandonner les terres qu'il défriche et améliore alors avec plus d'empressement, elles deviennent sa propriété.

Que se passe-t-il alors? Pendant un certain temps, jusqu'à ce que la population soit agglomérée sur quelques points, les phénomènes diffèrent peu de ceux dont nous venons de parler, antérieurement à l'appropriation du sol. Mais enfin un jour arrive où toutes les terres de première qualité et à la portée des marchés les plus avantageux ont été mises en culture, sans que leurs produits suffisent aux besoins : que peut-on faire? On ne peut choisir qu'entre trois moyens :

1° Cultiver les terres voisines, mais moins fertiles que celles qui ont été déjà cultivées;

2° Chercher des terres également fertiles, mais plus éloignées;

3° Chercher à faire produire davantage aux terres déjà cultivées par plus de travail et d'engrais, de capital, par une exploitation plus puissante mais plus coûteuse.

Dans ces trois hypothèses, la culture devient plus coûteuse, ou le produit est grevé des frais de transport pour parvenir au marché. Voilà qui est évident.

Il y aura donc sur le marché des produits agricoles qui n'auront pas tous été obtenus avec les mêmes frais de production. Or ces frais, avons-nous dit, sont la base de la valeur.

Y aura-t-il cependant sur le marché plusieurs prix ou un seul? Il n'y en a qu'un seul, et ce prix sera celui correspondant à la production la plus chère.

Il n'y aura qu'un seul prix. Et en effet allez à la halle au blé, par exemple; il est clair que tout le blé de même qualité apporté au marché chaque jour se vend au même prix; qu'il ait été produit dans une terre ou dans une autre, chèrement ou à bon marché, l'acheteur ne s'en inquiète nullement.

De plus, le prix qui dominera sera celui du blé produit le plus chèrement. La raison en est évidente. Si le cultivateur qui a produit le plus chèrement n'obtenait pas le remboursement de ses avances et une rémunération équitable, il cesserait de produire.

Celui qui a obtenu du blé dans la terre la plus fertile profite donc des circonstances du marché, et obtient un prix supérieur à ses frais de production.

En résumant ce qui précède :

1° Il y a nécessairement sur le marché une portion de blé (que nous prenons ici pour type du produit agricole, mais ce que nous disons ici s'applique à tous les autres) qui se produit plus chèrement que les autres qui se vendent au même prix que lui.

2° Il y a tendance à un prix unique, et ce prix

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est déterminé par le coût de la production la plus chère qui se maintiendra en un moment donné.

Donc plus ce coût sera élevé, plus sera grande pour une certaine portion du blé porté au marché la différence entre ce qu'il aura coûté et le prix qu'on obtiendra, entre la valeur réelle et le prix courant. Supposons sur le marché du blé ayant coûté 10 fr., du blé qui aura coûté 12, un autre 15, un autre 20. Supposons que ce soit à ce dernier prix que le blé tendra à se vendre année commune.

Cela étant, le possesseur du blé produit le moins chèrement obtiendra ses frais de production et 10 fr. en sus; le suivant 8 fr. en sus du coût, le troisième n'aura que 5fr.; le dernier enfin ne retirera que ses frais de production.

Cette différence entre les frais de production et le prix du marché, entre les frais exigés pour le produit le moins coûteux et le prix du marché résultant des frais de production nécessaires à ceux qui ont produit le plus chèrement pour satisfaire à la consommation, c'est la *rente de la terre*, le produit net qui a pour cause l'heureux choix de la terre fait par le cultivateur pour l'application de ses travaux, eu égard au système de culture et aux moyens de transport en un moment donné, et aussi l'effet de l'enrichissement général d'une société qui fait croître chaque jour la demande. Il est bien clair que l'excédant des recettes sur toutes les dépenses appartient en partie, peut revenir équitablement au propriétaire de la terre.

Du moment qu'il y aura marché libre, le détenteur de la terre la plus fertile, la mieux placée par rapport au lieu de consommation, profitera de la rente qui appartiendra à celle-ci. Il y a là un profit engendré dans lequel le fermier n'est pour rien et qui revient naturellement à celui qui a fourni l'instrument de production.

Ainsi donc la loi économique qui règle le prix, le proportionne en principe à la valeur, c'est-à-dire aux frais de production, est vraie, mais elle ne peut se réaliser complétement que sous l'empire de la libre concurrence de tous.

Or la libre concurrence est limitée par toute espèce de monopole, tel que le monopole de voisinage des marchés les plus avantageux, élément principal de la rente de la terre, et par suite par l'influence de ceux crées et recherchés par le producteur intelligent, qui se fait sentir sur toute espèce de production. Il n'est presque pas de produit, comme nous le verrons bientôt, dont on puisse considérer le prix comme un résultat pur et simple du travail qu'il a coûté à créer.

En résumé, si les terres les plus fertiles, situées dans le voisinage des centres de population, donnent pour un même travail des produits supérieurs à ceux des terres voisines, ou plus avantageux que ceux des terres plus éloignées qui ne peuvent arriver sur le marché que grevés de frais de transport, il en résulte que les propriétaires de ces terres jouissent d'un véritable monopole,

ECONOMIE INDUSTRIELLE.

d'une rente que pourra leur payer un fermier qui aura la certitude de bénéfices importants sur son travail, par cela seulement qu'il l'appliquera à la terre que le propriétaire lui fournit. C'est de la certitude d'un profit que découle la rente.

Si l'on étudie la cause de la fertilité de certaines terres qui peuvent ainsi fournir de semblables résultats, on verra qu'il est dû presque toujours au travail. La différence entre quelques terres qui produisent à peine de quoi payer l'impôt que l'État exige pour garantir et défendre la propriété, et d'autres qui produisent rente, dépend souvent d'une irrigation ou d'un desséchement, de plantations convenables, en un mot d'utiles travaux accumulés. D'autres fois c'est un nouveau procédé de culture, un assolement convenable, la culture d'une plante nouvelle, qui permet de récolter des profits là où la veille il n'y avait que perte. Quelquefois, sans doute, le développement des manufactures, l'accroissement d'une grande ville, et surtout l'ouverture de nouvelles voies de communication, améliorent la fortune des possesseurs des terres voisines, assurés du débouché de leurs produits; mais alors ils ne profitent, que comme tous les producteurs de la contrée, de l'enrichissement général de la nation produit par des dépenses productives dont ils ont souvent payé la part la plus forte sous forme d'impôts ou autres charges de la propriété.

En un mot, la culture du sol peut souvent assurer des profits; par suite, il se trouve dans les pays où toutes les terres sont occupées, des fermiers qui se chargent d'appliquer leur travail à la terre en garantissant partie des profits au propriétaire. C'est là la rente, qui n'a un cachet spécial que parce qu'on trouve, plus souvent ici que dans l'industrie, des fermiers intermédiaires; mais comme nous allons le voir, cette loi n'est pas particulière à l'agriculture.

Des rentes et des profits dans l'industrie.

Nous venons de voir comment, dans la culture de la terre, le produit net, l'excédant des valeurs produites par la culture sur les frais de production se répartissait en deux parts: l'une, la rente de la terre, qui revient au propriétaire du sol, à celui dont la société reconnaît la propriété; l'autre, la part du fermier-entrepreneur, assureur du salaire des ouvriers qui ont pris part aux travaux et de la rente du propriétaire, qui se traduit en gain ou en perte, suivant son habileté, les chances de la culture et aussi les conditions générales du marché.

Ce qui est vrai du fermier et de la terre est vrai de la même manière de toute exploitation industrielle, et ce serait bien à tort que dans ce cas, comme on le fait souvent, nous traiterions de l'agriculture autrement que d'une industrie analogue à toutes les autres. Cette décomposition des profits permet de bien comprendre les questions les plus ardues de l'économie industrielle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si chacun, sans connaissances spéciales, sans outils, sans avance des matières premières, en un mot, sans capital ni matériel, ni intellectuel, pouvait fabriquer toute espèce de produits, nous nous trouverions dans les conditions que nous avons supposées en commençant. Tout produit ne vaudrait absolument que la quantité de travail nécessaire pour le créer. Celui qui aurait accumulé certains produits pourrait bien les consommer en plus ou moins de temps, s'affranchir de la loi du travail jusqu'à l'épuisement complet de ses avances; mais chacun ne pouvant jouir des produits qu'il aurait créé qu'en produisant d'autres utilités exigeant une quantité de travail équivalente, ne ferait l'échange que sur cette base strictement, comme nous l'avons supposé en commençant. Comme son travail accumulé ne serait la source d'aucun accroissement dans la production, il ne pourrait justement réclamer plus que la consommation de cette accumulation; mais il n'en est plus de même quand celle-ci produit un accroissement réel de richesses et qu'en en faisant jouir la société le possesseur s'en réserve une partie, causant par ces deux effets l'élévation croissante de l'humanité. Ainsi donc, en sortant de l'abstraction d'une société tout à fait primitive, si nous considérons les faits tels qu'ils se comportent dans une société avancée, nous verrons :

Que les produits industriels ne se créent qu'avec des outils, des machines, un outillage considérable, spécial pour chaque produit. Le créateur de cet outillage, celui qui l'a produit par l'accumulation de son travail et qui en est légitime possesseur, exerce comme le possesseur des matières premières, comme le possesseur de la capacité intellectuelle spécialement propre à la création du produit considéré, en un mot, comme tous les possesseurs des capitaux, matériels et intellectuels, indispensables à la production, un véritable monopole, puisque, par la limitation du capital intellectuel et matériel existant dans la société et par son inégale répartition, chacun ne peut disposer de toute la quantité qu'il désire.

On peut donc appliquer à toute manufacture la théorie que nous avons expliquée sur la rente de la terre. Là est la véritable explication des profits industriels.

Dans toute industrie donnée, il existe à chaque instant une dernière classe d'entrepreneurs qui, comme les fermiers que nous avons cités, ne sont possesseurs de rien, mais locataires :

1° D'un capital en outils, machines, matières premières, etc., appartenant à des capitalistes;

2° De connaissances spéciales appartenant à des artistes, des ingénieurs;

3° Assureurs du produit du travail des ouvriers;

4° Fermiers enfin de monopoles spéciaux, tels que brevets d'invention, systèmes de production, etc.

Un entrepreneur, dans ces conditions, ressemblera au fermier de la dernière espèce de terres, ne touchant, en général, que le remboursement de ses avances; tout au plus, bien souvent, sa rétribution comme directeur de fabrication. La rente profitera aux propriétaires des capitaux matériels et intellectuels, des monopoles de tout genre dont l'exploitation lui sera confiée. Suivant la prospérité ou les revers de l'industrie, il pourra prospérer ou se ruiner; en moyenne, les résultats qu'il obtiendra seront minimes.

Il est bien clair que, dans la concurrence que fera cet entrepreneur à des manufacturiers exploitant leurs propres capitaux, il devra souvent succomber, ne pouvant satisfaire à l'obligation de payer le loyer des capitaux que son adversaire pourra sacrifier. Toutefois il est certain qu'il ne pourra en être longtemps ainsi, et que les capitaux s'éloigneront d'une industrie qui ne fournira pas les profits qu'on obtient, à la même époque, dans la plupart des industries du même pays.

La division du profit en deux parts est souvent difficile à faire, dans la pratique, mais celui-ci comprend toujours : le profit proprement dit de l'entrepreneur et la rente du capital, ce que l'on paye à celui qui vous fournit le moyen de produire, indépendamment de la restitution de ce qu'il a prêté, aussi bien que la rente du procédé de fabrication, du monopole d'ordre quelconque mis à la disposition de l'entrepreneur, et qui lui permettant de fabriquer, ce que ne peut faire le premier venu, fait comprendre la source des bénéfices les plus assurés de beaucoup d'exploitations; ils reposent sur l'usage de procédés presque inattaquables par la concurrence universelle et sont d'une toute autre solidité que les profits d'industries abordables pour tous.

Nous n'entrons pas ici dans le détail des moyens de succès du manufacturier, à son point de vue personnel. Nous avons cherché à les résumer, d'après Babbage, à l'article ÉCONOMIE DES MANUFACTURES, et nous aurions à les répéter.

Nous y joindrons seulement une condition essentielle, dont notre expérience des affaires nous a tellement démontré la valeur que nous ne saurions trop attirer sur elle l'attention des personnes qui se destinent à l'industrie. Elle consiste à ne jamais acheter une fabrique sans avoir au préalable travaillé, à un titre quelconque, dans une fabrique semblable. Faute d'avoir rempli cette condition, chaque jour des hommes très-intelligents préparent leur ruine par des achats faits à des prix exagérés, qu'ils ne peuvent discuter; et même, dans le cas de prix d'achat modéré, le dégoût, l'absence de capacité spéciale pour un état inconnu, s'opposent fréquemment à tout succès.

Le moindre apprentissage, fait sous un titre quelconque, leur eût permis d'apprécier sainement la valeur des établissements, d'en créer quelquefois de nouveaux avec grand avantage, leur aurait évité le découragement que ne peuvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus faire naître des difficultés prévues. Ce que nous venons de dire fait comprendre les succès, presque toujours éminents, de fils qui succèdent à leur père.

Des éléments qui limitent la concurrence.

Nous avons vu sur quelles bases s'établissent les sources certaines de profits et devons insister sur ces considérations d'une extrême importance. Ce qui précède montre clairement comment chacun employant son activité et ses efforts à augmenter ses profits, on a pu dire que la *concurrence détruit la concurrence*, autrement dit que l'essor de la liberté individuelle tend à organiser le domaine privé de l'individu, à fonder sa prospérité sur des bases solides, et par suite comment, dans ce cas comme dans tout autre, l'exercice du droit vient limiter en fait la liberté de tous.

C'est ainsi que se trouvent établis les deux pôles du travail industriel : 1° Exploitation libre pour tous, abordable pour tous, de toute industrie, ce qui se définit par le mot de concurrence; c'est le droit de chacun à la lutte, la limitation des profits abusifs : si elle pouvait être entière, absolue, sans limites, ce serait l'anéantissement de tout progrès, la décroissance continue de toute rémunération pour l'égaler à celle du travailleur le moins habile ; 2° Exploitation privilégiée entre les mains de celui qui a créé le moyen de produire, à moins de frais, mieux que tout autre. C'est, à l'avantage de tous, la diminution continue de la valeur, en même temps que, pour le producteur, la propriété de son œuvre, et, par suite, la récompense en raison de son mérite, s'il a toute certitude, toute sécurité de profiter des progrès dus à son travail; par suite, c'est la cause capitale de l'accroissement de richesses pour la société.

Parmi les droits les plus incontestables, le plus général est celui qui consiste dans la propriété des instruments de travail, et il nous semble que ces considérations complètent ce que nous avons dit, dans le chapitre précédent, sur l'intérêt des capitaux. Il correspond à la partie presque assurée de profits qu'ils procurent à celui qui en a la disposition, à la suppression de l'aléatoire pour le travail accumulé. Nous verrons plus loin, en traitant la question de circulation des capitaux, quel est l'ensemble des moyens qui ont été adoptés pour mettre les capitaux à la portée des producteurs, institutions qui constituent le plus puissant levier de la prospérité industrielle.

Nous emploierons quelquefois, et peut-être à tort, le mot de monopole pour définir l'exploitation d'une industrie par des moyens qui ne sont pas praticables pour tous, vu que ce mot est souvent pris en mauvaise part, comme synonyme d'un privilége injuste. Il s'en faut de beaucoup qu'il en soit toujours ainsi, et nous rendons sensible la justice du monopole, tel que nous l'entendons, par un exemple qui montrera en même temps combien l'organisation qui repose sur un droit légalement établi peut être plus juste, plus avantageuse, même économiquement, que celle qui part indûment d'une concurrence absolue.

De savants auteurs composent des ouvrages. La société déclare sacrée la propriété de leurs travaux, du fruit de leurs veilles, du résultat de leur imagination, et fait en sorte que, sans leur permission, personne ne puisse exploiter leurs œuvres. Rien, certes, de plus légitime que la reconnaissance d'un pareil droit; mais voyons ce qui en résulte dans l'industrie.

Des libraires, sachant que le privilége de ces auteurs est respecté, viendront à l'envi traiter avec eux et leur en offrir un prix, que la concurrence qu'ils se font entre eux amènera bien près du produit possible de la vente du livre. A l'abri de ce privilége, dans un grand pays tel que la France, de nombreuses maisons de librairie feront honorablement leurs affaires; leur nombre sera d'autant plus grand qu'une seule librairie, plus importante que toutes les autres, sera dans l'impossibilité absolue d'écraser le débutant le moins robuste; car si celui-ci possède un seul ouvrage ayant du succès, il n'y aura, pour le public, d'autre moyen de se le procurer que d'aller à lui et de subir ses conditions.

Qu'arrivera-t-il, au contraire, si la société ne reconnait pas le droit incontestable de l'auteur? Au lieu de faire des suppositions, prenons l'exemple de ce qui se passait en Belgique, lorsque la contrefaçon, licite pour tous, venait priver la librairie française de ses débouchés à l'étranger, où rien ne gênait la liberté absolue de la concurrence. Voici comment un témoin oculaire, M. Jobard, de Bruxelles, rapporte les faits.

Dans les premiers temps de la fondation du royaume des Pays-Bas, l'ardeur de la réimpression (nom honnête de la contrefaçon) était si vive que tout le monde voulait s'en mêler : des domestiques, des manœuvres, des maçons, des paysans même qui savaient à peine épeler, quittaient le rabot, la truelle ou les champs, pour venir manier en ville le composteur ou la presse : c'était magnifique à voir; on réimprimait tout, jusqu'au grand ouvrage d'Égypte, et le tout pour rien.

Les papeteries, les fonderies, les ateliers de brochage doublaient, triplaient leur personnel. Un volume de médecine, de droit ou de littérature, arrivait-il de Paris, un éditeur s'en emparait à l'instant; son calcul était bientôt fait : *mille* pour la Belgique, *mille* pour l'étranger; puis il mettait sous presse. Son opération était plausible s'il eût été seul; mais vingt-cinq concurrents faisaient le même jour, à la même heure, le même calcul, et cinquante mille exemplaires étaient lancés, en même temps, à la tête d'un public qui n'en pouvait consommer que deux mille; de là impossibi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nté de retrouver l'argent déboursé, faillites sur faillites, renvois d'ouvriers, ruines, fuites et banqueroutes. Les contrefacteurs ont ainsi fini par s'entre-dévorer jusqu'à l'avant-dernier. La maison Meline Cans avait fini par rester la seule maison vraiment importante de la Belgique, et nul n'osait lutter ouvertement contre elle.

Voilà donc le résultat direct de la liberté absolue : le monopole d'une seule maison, la ruine de tous les producteurs de second ordre! Et cela en ne reconnaissant pas la plus sacrée des propriétés, en détournant au profit d'un seul capitaliste les bénéfices légitimes du travail et du génie dépouillé!

Que doit-on préférer, du monopole juste ou de la concurrence illimitée? L'exemple que nous venons de citer prouve bien que le monopole qui fait revenir les profits de l'œuvre à celui qui l'a créée, qui en est le père légitime, est la forme la plus avantageuse, la seule qui évite un monopole plus dur et moins justifiable; or, on doit réprouver tout monopole qui n'est pas fondé sur un service rendu et qui tend à dépouiller injustement la société tout entière au profit de quelques-uns.

Ainsi donc, la concurrence, la libre accession de tous à toute espèce de propriété, est la base, le point de départ de l'économie industrielle chez toute nation civilisée, l'exercice du droit défini liberté du travail; le juste monopole, la sécurité de la propriété bien acquise, du domaine créé, fécondé par des efforts, est la consécration de la civilisation, la base de l'aristocratie juste et souhaitable, de celle qui fait arriver en tête de la société les plus méritants. Ces deux faces de la question ont été très-bien aperçues par Bastiat.

L'intérêt personnel, dit-il, est cette indomptable force individuelle qui nous fait chercher le progrès, qui nous le fait découvrir, qui nous y pousse l'aiguillon dans le flanc, mais qui nous porte aussi à le monopoliser. La concurrence est cette force humanitaire, non moins indomptable, qui arrache le progrès, à mesure qu'il se réalise, des mains de l'individualité pour en faire l'héritage commun de la grande famille humaine. Ces deux forces, qu'on peut critiquer quand on les considère isolément, constituent dans leur ensemble, par le jeu de leurs combinaisons, l'harmonie sociale.

Avec une concurrence absolue, excessive, sans limites, le producteur est sans cesse sacrifié; c'est là l'objection que font à la liberté les partisans de systèmes factices de sociétés; avec des monopoles exagérés, le consommateur est exploité, rançonné; l'homme supérieur qui n'a que son intelligence éprouve les plus grandes difficultés à sortir de la position infime où sa naissance a pu le placer. Les castes prennent naissance de fait.

La vérité, la justice est dans la liberté, l'égalité pour tous; dans la concurrence, enfin, limitée par les monopoles justement acquis, exercés en vertu du droit incontestable de chacun de s'appliquer le fruit de son travail et d'en disposer à son gré. Sans que nous ayons à traiter ici de l'héritage qui est du domaine du jurisconsulte, en admettant seulement comme de toute évidence que le père qui dispose de son bien en faveur du fils qui peut le mieux faire prospérer l'établissement qu'il a créé, en fait un emploi que la société ne peut contester. La loi ne peut nier le droit de disposer de la propriété acquise, qu'elle doit au contraire protéger.

Les monopoles qui n'existent que par suite d'un progrès accompli, influent sur les prix en ce qu'ils comprennent le profit du monopole comme l'intérêt du capital au taux moyen du pays que l'on considère, aussi bien que la rémunération du travail, sans quoi le capital abandonnerait la production monopolisée. Il faut remarquer que le taux moyen de l'intérêt varie pour chaque instant et chaque pays, et que cette partie de la constitution de la valeur a une importance moindre que celle du travail, parce que, si on ne retrouve pas l'intérêt par la vente, beaucoup de fabricants possesseurs de leurs capitaux n'arrêtant pas aussitôt, manquent seulement à gagner.

C'est donc surtout au point de vue du prix courant qu'il importe d'étudier l'influence des monopoles; c'est de ces prix que résultent les profits que procurent les monopoles à ceux qui en sont détenteurs.

Revenons aux principes pour bien comprendre cette question. Les prix se fixent, comme nous l'avons vu, par l'échange, c'est-à-dire par la transaction libre que fait le détenteur d'un produit dont il veut se défaire avec une personne qui veut l'acquérir, en un mot, par l'*offre* et la *demande*. S'il y a beaucoup de vendeurs et peu d'acquéreurs, le prix baisse; il s'élève, au contraire, si l'inverse a lieu.

C'est là ce qui s'appelle la loi de l'offre et de la demande, sur laquelle les économistes insistent beaucoup, et qui leur sert à expliquer la plupart des phénomènes que présentent les transactions commerciales. Mais on leur a reproché, avec quelque raison, d'en rester là, et de répondre à tout par leur formule, qui n'est pas beaucoup plus profonde que la *virtus dormitiva* de Molière. Il ne suffit pas, en effet, de dire que l'offre et la demande varient, et, par suite, les prix se modifient; il faut encore savoir pourquoi il en est ainsi.

Sans doute des variations limitées sont le résultat nécessaire de la liberté des transactions et il peut arriver que l'offre varie par le seul bon plaisir des détenteurs, par le jeu et l'accaparement, comme aussi quand la fabrication d'un objet a été exagérée par tous les fabricants en même temps, et alors l'énoncé de la loi de l'offre et de la demande, l'exagération de l'offre explique assez bien le phénomène.

Mais souvent la cause domine tout à fait les vendeurs ou les acheteurs, leur est tout à fait extérieure, comme, par exemple, une récolte sura-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

bondante ou une disette pour les produits agricoles.

Comme nous l'avons vu, ces variations accidentelles n'influent pas sur la moyenne des prix, et quand on considère un intervalle de temps convenable, la réduction de la fabrication dans la production industrielle, l'accroissement ou la diminution de la culture des céréales dans l'agriculture, tendent à rétablir la proportionnalité de la valeur et du travail.

On peut établir cette loi générale, que l'offre tend à provoquer la demande, avec une intensité proportionnelle à la richesse d'une société. Or, rien ne force les vendeurs d'atteindre, dans la fixation du prix de leurs marchandises, la limite extrême du bon marché que les progrès rendent possible. Il se crée ainsi des positions spéciales qui constituent pour ceux qui les possèdent, relativement à ceux qui ne les possèdent pas, des priviléges, des occasions de profits, dans les limites où l'on a intérêt à traiter avec les détenteurs de ces positions: c'est-à-dire, comme nous l'avons vu pour la rente de la terre que celles-ci seront des causes de bénéfices nets, bénéfices dont la société prendra sa part loin d'en être grevée, car elle ne consommera les produits fabriqués dans des conditions particulières qu'autant que la consommation en sera plus avantageuse que celle des produits créés antérieurement, qu'ils seront moins chers ou meilleurs. En un mot, le profit récolté sera un effet et non une cause de l'élévation du prix courant.

Les droits, les positions privilégiées peuvent se ranger en trois classes :

1° Les droits personnels, résultant de la supériorité personnelle de l'individu, de son habileté industrielle spéciale, de l'emploi légitime de sa liberté, de sa capacité. Ces droits sont le résultat de la valeur individuelle et de la liberté de chacun. Confondus avec notre personnalité, ils ne sauraient être contestés sérieusement, ni surtout nous être enlevés; ils sont parfaitement justes, légitimes et ne valent qu'en raison directe des services rendus à la société.

2° Les droits de propriété résultant de la richesse acquise, de la propriété des moyens de production.

3° Les monopoles légaux, résultant de priviléges spéciaux conférés par le pouvoir social à des individus ou exercés par le gouvernement représentant de ce pouvoir.

Nous étudierons successivement plus loin ces éléments, lorsque, sortant de l'étude abstraite, nous nous occuperons de l'étude concrète des questions qui se rapportent à notre pays, car nous croyons de peu d'utilité et d'intérêt leur étude en dehors des faits, des besoins d'une société déterminée. Nous pourrons ainsi entrer dans le vif de la situation industrielle de la France, et indiquer les réformes souhaitables. Nous verrons comment ils influent indirectement sur la production, en dominant la distribution de la richesse, car on produit en raison de l'espoir du gain. Cette étude comprend presque toute la science financière du politique, plus encore que l'étude philosophique des principes généraux, comme dans la jurisprudence l'étude des luttes entre les droits propres à chacun est prédominante; dans les deux cas, les principes qui fixent les droits de tous sont simples, auprès des restrictions multipliées qu'y apporte l'exercice du droit de chacun.

Les écoles socialistes de nos jours, qui ont toutes pour mot d'ordre la destruction de ces propriétés, de ces droits justement acquis, ne se rendent pas bien compte que leurs systèmes de nivellement conduisent nécessairement à la misère universelle, à la destruction des puissants moyens de création de richesse, qui sont l'honneur de la civilisation moderne. La conséquence forcée de leurs principes est un communisme abrutissant; quand elles refusent d'aboutir à cette conséquence, elles ne peuvent sortir d'une logomachie qui n'a aucun sens.

CONSOMMATION DE LA RICHESSE.

Les produits sont consommés de deux manières :

1° Pour servir de base, de matière première à la production, et, dans ce cas, la consommation n'est qu'un élément de la production;

2° Pour défrayer les besoins personnels du travailleur. Dans ce cas, la consommation est dite *improductive*, par opposition à la première, dite *productive*. Mais si l'on remarque que l'entretien du travailleur n'est pas moins nécessaire à la production que la fourniture des matières premières sur lesquelles il travaille, il pourra sembler naturel, comme l'a fait Rossi, de faire rentrer encore cette partie de la consommation dans la production.

Il est cependant quelques questions qui doivent être traitées à part, particulièrement celles qui se rapportent aux dépenses personnelles, à l'épargne et au luxe, celle des dépenses publiques ou des impôts, enfin la question de la population et ses rapports avec la richesse consommable.

Pour traiter du premier point, remarquons que les consommations improductives qui satisfont aux besoins du producteur ne sont pas, par rapport à celui-ci, des quantités déterminées, qu'elles varient avec sa volonté, ses passions. Le résultat de ses efforts, suivant qu'ils sont bien ou mal dirigés, se manifeste par l'épargne ou le luxe, et, pour les réunions d'individus, pour les nations comme pour les individus isolés, par l'enrichissement ou la ruine.

De l'épargne. L'épargne, l'accumulation de partie des bénéfices, des salaires, est, au point de vue des individus, le grand moyen de s'éle-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ver, d'acquérir l'indépendance, et ne saurait être trop recommandée. L'économie et la tempérance, ce qui est presque la même chose pour les travailleurs livrés à un labeur fatigant, c'est la condition de la dignité, l'élément capital de l'élévation morale ; c'est la certitude, quand elle est pratiquée avec suite et intelligence, d'un avenir prospère pour soi et les siens, d'une vieillesse indépendante et honorée.

Nous ne développerons pas avec plus de détails ces principes bien évidents, mais trop peu pratiqués : l'entraînement à la dépense, à l'ostentation, aux excès de tout genre, sont les fléaux de nos populations méridionales ; nous appellerons seulement l'attention sur les résultats de l'épargne au point de vue des nations. A quel degré de richesse n'arrive pas rapidement une nation dans laquelle chaque citoyen travaillant avec énergie, épargnant son superflu, crée par cette accumulation des capitaux qu'il ne dissipe pas aussitôt qu'ils sont formés!

La rapidité de ces accumulations, si nombreuses à notre époque chez les nations livrées au travail producteur, est vraiment merveilleuse, et les faits de chaque jour sont là pour montrer que les capitaux ne manquent plus pour accomplir les entreprises les plus gigantesques.

Du luxe. L'excès de dépense personnelle est justiciable de la morale bien plus que de l'économie politique : nous ne nous arrêterons donc pas à en apprécier les effets, et restituerons à la philosophie et à l'histoire la tâche de décrire à quel degré de dégradation descendent les individus et les nations qui n'imposent aucun frein à leurs désirs.

Au point de vue économique, le luxe, en arrêtant la formation des capitaux par l'épargne, est un vice pour les nations, mais surtout quand il atteint des proportions monstrueuses, comme celui d'Æsopus dont parle Pline, qui se faisait servir un plat d'oiseaux instruits à parler et à chanter, dont le plus grand mérite était de coûter 100,000 sesterces (plus de 20,000 francs). Il ne doit pas être confondu avec le désir bien naturel de chacun d'améliorer sa condition, un des principaux agents du progrès.

En effet, il est absurde de considérer la puissance de consommer, de même que l'énergie du producteur, comme des quantités invariables; ce sont au contraire des quantités qui peuvent croître beaucoup, et il est heureux que la masse d'une nation, inaccoutumée de jouissances et de bien-être, fasse des efforts pour produire plus et consommer en raison de ce que les bénéfices de chacun lui permettront, en faisant la part équitable du présent et de l'avenir. Pendant ce temps, les personnes les plus riches raffinent sur leurs consommations, font créer, par leur demande, de véritables objets d'art, des chefs-d'œuvre, qui, servant de modèles, élèvent le niveau de la production industrielle, et sont pour l'industrie de

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

nouvelles sources de prospérité et de supériorité. Sous ce rapport, le luxe est une base fondamentale de l'industrie française, qui brille surtout par le goût.

De l'impôt. L'excès des dépenses publiques, en arrêtant l'essor de la fortune privée, est une cause de déchéance pour les nations, comme la dissipation pour les individus. Mais, en supposant l'impôt limité aux strictes dépenses nécessaires pour la sécurité de la nation, pour faire respecter les droits de tous, question purement politique, comment doit-il être réparti?

Nous n'entrerons pas ici dans cette question, qui touche de près à la statistique et à la politique ; nous n'expliquerons pas en détail la nature de l'impôt foncier qui attribue, en quelque sorte, à l'État, partie de la valeur du sol ; celle de l'impôt mobilier payé en raison du revenu présumé de chacun ; enfin celle de l'impôt indirect qui est prélevé sur la consommation, au moment où le produit est acheté par le consommateur ; ces questions, si importantes au point de vue de l'administration d'un pays, s'éloignent trop du point de vue industriel auquel nous nous plaçons.

Une seule observation à cet égard.

Il n'a pas échappé à Adam Smith, dans sa belle *Étude sur la liberté du commerce*, que l'abolition des douanes pourrait profiter à des nations qui payent des impôts beaucoup moins forts que la nation qui importe. C'est notamment la position qui est faite aux nations dont le budget doit supporter de lourdes charges, par suite de guerres ruineuses par exemple.

Adam Smith reconnaît que, dans ce cas, il est juste d'égaliser, par une taxe, la différence des impôts que supportent les étrangers et les nationaux, quand ces impôts portent directement sur les salaires et les frais de production, à moins que le coût du transport et les autres frais qui grèvent le produit étranger ne rétablissent la balance et n'assurent la victoire aux nationaux, s'ils déploient la même activité et la même intelligence que les producteurs étrangers.

De la population. Autrefois, les pouvoirs politiques de tous les pays croyaient devoir favoriser le développement de la population, dont les progrès sont, pour un pays, considérés comme cause de grandeur politique, et, à notre point de vue, de développement de forces productives. C'est une forme de l'accroissement de la puissance d'une nation, qui doit être distinguée de l'augmentation du bien-être des citoyens qui la constituent, et cela surtout depuis les recherches des économistes.

Malthus a consacré de fort beaux travaux à établir le principe de la population, à montrer qu'il était du ressort de l'économie politique ; il peut s'énoncer ainsi : La population croît en raison de l'accroissement des subsistances, et n'est limitée que par celles-ci; en un mot, elle ne dépend que de la possibilité de consommer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est ainsi qu'après des guerres on voit, avec une facilité merveilleuse, les vides se combler en une génération, parce que les moyens de subsistance appellent en quelque sorte la population.

La loi de Malthus repose surtout sur ce principe évident, que la population croîtrait avec une rapidité excessive si elle n'était soumise qu'aux conditions de création. Chaque couple humain pouvant facilement avoir en moyenne quatre enfants, qui eux-mêmes pourraient multiplier à 20 ans dans la même proportion, l'espèce humaine devrait doubler au moins tous les vingt ans, si des obstacles particuliers ne s'y opposaient, c'est-à-dire croître suivant une progression géométrique dont la raison est 2, suivant les nombres 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256.

Cette loi n'est pas particulière à l'homme, elle est générale pour tout être vivant : un hareng a 100,000 œufs, et la mer serait comble de harengs si rien ne s'opposait à leur développement. Mais par l'effet de la loi reconnue par Malthus, par l'absence des moyens de subsistance, par suite des causes diverses de mortalité et de destruction, la quantité existante varie peu.

Telle est la position pour l'homme; il couvrirait depuis longtemps la terre d'essaims innombrables, si le manque de subsistances, si mille causes de mortalité ne limitaient son essor. Le manque de subsistances résulte surtout de ce que l'étendue de terre cultivable dans chaque pays est limitée, et que la fertilité n'en peut être augmentée (dans des proportions décroissantes), qu'à l'aide de capitaux et de travaux considérables. Malthus déduisit de l'expérience que ces accroissements ne se produisaient chez aucune nation plus vite qu'en progression arithmétique, et par suite ne pouvaient atteindre l'accroissement naturel de la population. D'où cette conclusion forcée, que c'est la misère qui limite la population, en remarquant toutefois que l'homme étant libre, il peut de lui-même, dans sa prévoyance, limiter sa reproduction : c'est dans cette prévoyance, cette retenue que doit résider le véritable obstacle à la reproduction exagérée; c'est là aussi la conclusion de Malthus.

Nous renvoyons aux traités d'économie politique, et notamment à celui de Rossi, les personnes qui voudront prendre connaissance de ces recherches; nous ne voulons pas nous étendre davantage sur ce sujet, un peu trop éloigné de l'économie industrielle; nous ferons seulement quelques remarques sur le manque de subsistances, en d'autres termes sur la misère fatale, partie mal comprise de la loi de Malthus.

Notre observation capitale consiste en ce que, dans beaucoup de circonstances, comme on l'a vu aux États-Unis d'Amérique (où l'étendue des terres cultivables est, il est vrai, indéfinie), la production de la richesse et des subsistances peut croître aussi vite, plus vite même que la population; que la seconde partie de la loi de Malthus, déduite de l'expérience du passé, n'est pas nécessairement vraie dans l'avenir.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

A l'origine des sociétés, lorsque chacun produit pour soi seul, avec ses seuls bras, le travail est à son minimum de fécondité. Il faut une surface de terre très-grande, l'absence de tout obstacle pour que la richesse croisse comme le nombre des individus. En fait alors, dans la plupart des cas, la terre ne peut entretenir qu'un petit nombre d'habitants; la population tend incessamment à devancer la production, mais alors bientôt la mortalité croissante intervient pour arrêter ses progrès.

Avec la division du travail, les machines, le capital accumulé, le commerce, le crédit, mais surtout et avant tout avec les ressources morales et intellectuelles dont une population saine peut disposer, le travailleur doit créer par son énergie des richesses croissantes et trouver des ressources indéfinies. Elles doivent grandir pour ceux qui les poursuivent avec énergie et le bien-être peut prendre le devant sur la population. « Je pense, dit avec une grande autorité Channing (*œuvres morales*), qu'avec l'accroissement de la puissance intellectuelle et morale d'un peuple, sa puissance productive grandira, que l'industrie deviendra plus efficace, qu'une plus sage économie accroîtra la richesse, qu'on découvrira dans l'art et la nature des ressources qu'on n'a pas encore imaginées. Je crois que les moyens d'existence sont d'autant plus aisés qu'un peuple devient plus éclairé, plus résolu, plus juste, et qu'il se respecte davantage. On peut mesurer les forces de la nature et celles du corps, mais non pas prédire les résultats d'un accroissement dans l'énergie de l'esprit. Un peuple qui en serait là briserait des obstacles réputés invincibles et en ferait des instruments. C'est l'intérieur qui donne la forme aux choses extérieures. La puissance d'une nation est dans son esprit, et cet esprit, si on le fortifie, si on l'agrandit, mettra la nature en harmonie avec lui-même, et créera le monde qui lui convient. »

Un pays, en effet, n'est pas bien fourni de provisions parce qu'il a peu d'habitants, ni mal fourni parce qu'il en a beaucoup. La production des subsistances est en raison de la puissance de l'agriculture. En France, la population est double au moins de ce qu'elle était sous les Valois, et elle est beaucoup mieux fournie qu'elle n'était alors. Pourquoi? c'est que les progrès de la production ont excédé ceux de la population. Et il faut bien remarquer que, dans chaque point déterminé, ce n'est pas seulement de subsistances qu'il s'agit, mais de la production de richesses, de valeurs; par le commerce et l'échange, il se trouve toujours quelque part un producteur de subsistances qui, sollicité par le désir de consommer, les échangera contre cette valeur.

A ce qui précède on fait l'objection qu'un jour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le globe pourrait être occupé de manière à ne plus permettre à un homme de plus de subsister. Sans savoir si les progrès de l'agriculture ne pourront, dans l'avenir, amener la production, grâce à la quantité des engrais qui existeront alors, à suivre l'accroissement de la population, ce que Pierre Leroux appelait le *circulus*, nous dirons seulement que ce résultat si éloigné une fois obtenu, lorsque la population du globe sera cent fois plus considérable que de nos jours, la retenue pourra devenir une loi obligatoire pour toute l'humanité, tandis qu'elle ne s'applique aujourd'hui qu'à des positions spéciales; mais évidemment il s'agit là d'une utopie.

Nous dirons aussi un mot de l'émigration comme moyen d'obtenir le nivellement de la population et des moyens de subsistance, moyen qui permettra à l'Angleterre de faire dominer un jour le monde par la race sortie de son île, qui peuplera bientôt, avec une foule d'îles, plus de la moitié de l'Amérique, l'Australie, la Zélande et partie de l'Inde. Ce moyen, qui paraissait autrefois un palliatif sans importance, est devenu, grâce à la facilité des communications, un puissant remède à la misère, tout en assurant dans l'avenir de nouveaux débouchés au commerce de la nation mère. Nous voyons de nos jours : les Irlandais se précipiter en Amérique, des flots de population allemande suivre la même voie, l'Angleterre envoyer de hardis colons chercher l'or en Australie, et cela dans des proportions assez grandes pour que le taux des salaires augmente sans cesse dans ses manufactures! La facilité merveilleuse des communications fait entrevoir un avenir prochain, où la souffrance ne pourra atteindre une population située sur un point du globe, sans que le remède soit à sa portée, si elle a l'énergie et l'intelligence d'en profiter.

Enfin, notre dernière observation est celle-ci : la misère et le paupérisme sont d'autant plus grands que le capital est moindre dans une société, et surtout que la propriété y est plus difficile à acquérir et à conserver.

Que le paupérisme soit d'autant plus grand que le capital est moindre, cela est bien évident; cela revient à dire qu'on ne peut travailler, et surtout produire beaucoup, sans outils. La production de richesses croît avec une extrême rapidité avec l'accroissement du capital, des machines notamment, celle des subsistances avec les engrais, le bétail, les irrigations, c'est-à-dire à mesure que l'on fait intervenir davantage les forces naturelles dans la création des utilités; tout cet ouvrage est la démonstration de cette vérité presque évidente d'elle-même, et prouve surabondamment que les richesses d'une nation sont précieuses surtout en raison des nouvelles richesses qu'elles permettent d'engendrer.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Si l'existence du capital, c'est-à-dire de la richesse elle-même, est la condition principale du bien-être d'une nation, il en est une seconde qui est presque d'égale importance, c'est sa division, qui répond à la multiplicité, au grand nombre de familles placées à l'abri de la misère.

La culture morcelée engendre la misère la plus affreuse en Irlande, la division du travail dans les grandes manufactures crée trop souvent des classes qui fournissent un triste contingent au paupérisme; au contraire, la propriété divisée procure l'aisance à des populations nombreuses dans les plus belles provinces de France. C'est la propriété qui donne à l'homme, avec quelque bien-être, le désir d'assurer celui de sa famille, d'en restreindre l'accroissement, tandis que la misère le rend insensible au sort d'enfants aussi misérables que leurs parents. Ce n'est pas directement, parce que les fruits du travail appartiennent au propriétaire, qu'il en est ainsi : c'est parce qu'il en résulte une certaine indépendance qui permet une culture morale, engendre un certain ressort de l'âme. C'est dans cet élément qu'est le correctif le plus puissant de la loi de Malthus, vraie quand on parle d'unités physiques qui s'abandonnent à leur sort, fausse quand on considère avant tout le ressort moral de l'homme, qui peut accroître à la fois la production et sa résistance aux souffrances, par son énergie.

C'est surtout la propriété qui fait que l'accroissement de la population peut être toujours accompagné d'un développement plus rapide de puissance, en permettant d'utiliser dans l'intérêt général, au profit de tous, les puissances naturelles de tout genre. Le but de tous les efforts du pouvoir social, secondé par le dévouement du bon citoyen, doit être de faire respecter la propriété justement acquise, d'assurer sa complète sécurité, de protéger l'exercice intégral des droits acquis par toutes les énergies, pour que tous les efforts aboutissent à l'abondance, sans cesse croissante, de travail. Ce sont les lois protectrices des justes droits qui sont la condition nécessaire de la création de la richesse et sont l'honneur d'un pays, et il faut les compléter, ce qui sort du droit strict, et est du domaine de la bonne fraternité, par des institutions qui tendent à l'élévation, facilitent l'accession du plus grand nombre à l'indépendance et au bien-être, fruit de la propriété. La question de population se résout donc, par suite, en même temps que la question économique et même la question politique. C'est assez en dire toute la difficulté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE

Les questions économiques, au point où nous en sommes arrivés, perdent de leur intérêt et ne sont plus qu'une abstraction scientifique, si on ne les applique à un grand pays ayant des mœurs, des tendances déterminées. Il en est ainsi, et des forces productives dont l'évaluation est l'objet d'une science spéciale, la statistique, et des droits reconnus par les lois qui limitent la concurrence, et qui existent plus ou moins particuliers dans chaque pays en raison des idées, des passions, des préjugés,

Nous allons donc continuer notre travail en nous plaçant au point de vue français, et pour cela :

Passer rapidement en revue les ressources et l'organisation de l'industrie française ; reconnaître les voies où le génie de la nation l'appelle aux plus grands succès;

Jeter un coup d'œil sur l'industrie des autres pays avancés, et notamment de l'Angleterre;

Tirer de ces études quelques conclusions qui indiquent la voie dans laquelle les mœurs de notre pays doivent l'entraîner pour réaliser de grands progrès.

Nous pourrons alors étudier plus utilement les priviléges, les droits qui sont des limitations de la concurrence; celle-ci s'énonce par un mot, mais les droits acquis se déterminent dans chaque cas particulier, et sont soumis à des influences diverses. L'étude de ces restrictions formulées par la législation, qui ne doit faire respecter que les droits légitimes, offre un grand intérêt, puisque nous avons vu qu'elles concordaient avec les occasions de profits, c'est-à-dire se rapportaient à la question vitale de la production de toute richesse, car c'est l'espoir du profit qui est la cause de toute entreprise.

APERÇU SUR L'AGRICULTURE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISE.

Comme c'est pour la France et l'industrie française que nous écrivons, cherchons d'abord à constater l'état de l'industrie agricole et manufacturière en France, et en même temps à mettre en lumière les traits principaux de son organisation industrielle.

DE L'AGRICULTURE.

Le cachet le plus saillant de l'agriculture française, qui crée des richesses très-considérables, puisqu'elle suffit à l'alimentation généralement suffisante de 40,000,000 d'individus, ce qui par 360 jours et seulement 50 cent. par jour, répond à 7 milliards de produits (Voyez *Statistique de l'agriculture*), se trouve dans la petite propriété, dans la propriété morcelée plus qu'en aucun autre grand pays. Une action incessante, depuis la révolution de 1789, surtout due à la loi de succession qui vient forcer au morcellement, partage la grande propriété en petites ou tout au moins en moyennes propriétés. On en a l'indication dans ce fait que les cotes foncières s'élèvent d'après le cadastre au nombre de onze millions!

Sans doute, bien des cotes se rapportent à des biens divers possédés par un même individu, mais toute défalcation faite, pour une nation où le nombre des chefs de famille ne dépasse pas huit ou neuf millions, le nombre des propriétaires n'en est pas moins immense. Certes, on ne peut dire que le sort de tous ces petits possesseurs du sol soit digne d'envie, surtout si on le compare à celui des gros propriétaires, qu'il n'existe pas des subdivisions tellement petites qu'on cesse de les cultiver; mais en somme il correspond à une production considérable et crée des populations énergiques.

Le cachet économique de ce système, c'est qu'on produit beaucoup, qu'on vend et qu'on n'achète guère. Le produit net, l'excédant de la production sur la consommation y est peu considérable, la satisfaction de cette dernière est le but à atteindre. La terre profondément labourée à la bêche, soignée par une famille qui ne compte pas sa peine, est cultivée plutôt en jardinage qu'en grande culture dans les bonnes terres; sans produire de rente, dans des conditions inabordables pour le fermage, dans les mauvaises. L'impossibilité d'acquérir des instruments coûteux pour cultiver des surfaces de petite étendue, le besoin absolu d'une récolte presque toujours la même, rendent certains progrès difficiles, ce qui indique les dangers de l'abus; aussi les théoriciens vantent-ils la grande culture, mais les politiques admirent la petite, qui crée des citoyens robustes, libres et indépendants.

Remarquons que bien des cultures profitables, pouvant difficilement s'exercer sur une grande échelle, viennent prendre une grande importance dans la production agricole de la propriété divisée. Ceci est une cause de division aussi souvent qu'un effet, et l'influence de ces cultures est extrêmement considérable en France. Indépen-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

damment de la culture maraîchère, qui emploie beaucoup de bras dans les abords des grandes villes, et qui s'exploite mal en grand ; des produits considérables de basses-cours soignées par la ménagère; on doit citer la culture de la vigne qui produit annuellement plus d'un milliard de valeurs, et la production de la soie, qui, sans la maladie des vers à soie, atteindrait aujourd'hui 200 millions; travaux qui occupent tant de bras, pour lesquels la production sur une grande échelle est difficile.

Ce qui précède suffit amplement pour faire comprendre l'importance immense de la petite propriété dans l'agriculture française. Toutefois, les principaux produits agricoles, les céréales, ne peuvent se produire économiquement que dans des cultures plus étendues. Aussi la petite et la moyenne culture se développent dans toutes les parties de la France les plus prospères, la grande propriété, et aussi la grande exploitation, ne se maintiennent que dans les parties peu fertiles. Les fermes sont, en général, d'assez faible étendue dans les contrées les mieux cultivées, la Flandre et la Normandie, par exemple.

La petite propriété, la petite ou au plus la moyenne culture, telle est incontestablement la tendance de l'industrie agricole en France, ou plutôt telle est la révolution déjà opérée. On peut bien blâmer les abus qui peuvent accompagner une pareille organisation et prouver que la grande propriété a son utilité dans certains cas, que la limite extrême de la division a été atteinte, mais, somme toute, il s'agit, pour la France, de la prospérité d'une agriculture ainsi organisée.

Inutile d'insister à cet égard, nous dirons encore seulement ici un mot de la liaison intime qui réunit l'agriculture à l'industrie manufacturière.

Le progrès industriel faisant croître les populations et par suite les demandes de produits agricoles, contribue puissamment à rendre l'agriculture profitable en tant qu'industrie donnant des produits nets importants, et forme des entrepreneurs capables pour l'industrie agricole, la plus difficile de toutes. L'exemple de l'Italie, de la Belgique au moyen âge, de l'Angleterre depuis le commencement du siècle, de la Flandre, de la Normandie de nos jours, prouvent bien manifestement comment les progrès de toutes les industries contribuent à la prospérité de l'industrie agricole.

DES ARTS ET MANUFACTURES.

Nous ne voulons pas revenir ici sur l'importance relative des diverses industries de la France que l'on peut apprécier par les chiffres donnés à l'article *Statistique*, mais seulement esquisser les principaux traits de la constitution économique de nos principales industries.

Passons d'abord en revue les industries dans lesquelles la France excelle, dans lesquelles elle surpasse toutes les nations rivales, ce qui est facile à reconnaître par les exportations auxquelles ces industries donnent lieu. Elles sont évidemment celles qui conviennent le mieux au génie national, qui y excelle, et leur organisation doit être la plus naturelle à l'esprit de la nation, car elles sont nées sous cette forme dans notre pays. Nous diviserons ces industries en quatre classes renfermant la presque totalité de nos exportations :

1° Tissus;

2° Machines;

3° Produits chimiques;

4° Articles de goût comprenant les applications industrielles des beaux-arts.

1° Tissus. — *Tissus de soie.* La fabrication des étoffes de soie est sans contredit celle qui fait le plus d'honneur à notre pays. Cette magnifique industrie, qui acquiert à des prix élevés toute la soie dont la production est la fortune du midi de la France, et qui lui tient ouvert un débouché plus grand, vu la quantité de soie qu'elle acquiert à l'étranger, produit une valeur moyenne de 600,000,000 de francs avec 200,000,000 de francs de soie. Sur cette quantité, 80 à 100,000,000 de francs sont consommés en France et le reste est exporté.

Tout le monde connaît l'organisation de l'industrie de la soie. On sait que les métiers, au nombre de près de 100,000 dans l'arrondissement de Lyon, de 30,000 dans celui de Saint-Étienne (ceux-ci spécialement consacrés aux rubans), en nombre considérable, quoique moindre, à Nimes, à Avignon, etc., appartiennent à des chefs d'ateliers qui en possèdent en général deux ou trois, et que les grands établissements n'ont jamais pu soutenir la concurrence des petits ateliers. Chaque article, ou plutôt chaque division d'article, exigeant une pratique spéciale, forme l'objet de la fabrication d'un grand nombre de fabricants qui rivalisent avec une ardeur et une habileté extrêmes pour obtenir les meilleurs résultats. Il serait impossible d'analyser les mille progrès de détail qui s'accomplissent chaque jour au milieu de cette population intelligente et laborieuse, de décrire avec quelle rapidité se produit le progrès continu qui assure la supériorité de notre industrie. Sans parler de l'admirable invention de Jacquart, qui a tant accru la fabrication des étoffes façonnées, que de découvertes importantes depuis quelques années ! Le battant brocheur, le métier pour faire les peluches en double, etc., et tant d'autres, sont venus montrer combien était fertile cette émulation entre un nombre aussi grand de producteurs, travaillant tous avec le stimulant de l'intérêt personnel.

Tissus de laine. Autrefois la draperie française avait une très-grande réputation, et si celle-ci

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

est toujours méritée, la concurrence étrangère n'en est pas moins venue réduire nos exportations en draps; mais le goût apporté à la fabrication de l'article dit *nouveautés* les a fait singulièrement augmenter dans ces dernières années.

L'industrie des laines nous offre deux organisations différentes. Deux villes voisines de la Normandie, Elbeuf et Louviers, sont à la tête de la fabrication des draps; presque égales en 1817, les productions de ces deux villes ont marché d'une manière toute différente, et celle d'Elbeuf est aujourd'hui quadruple de celle de Louviers. D'où peut venir une semblable variation? De l'organisation démocratique de la fabrique à Elbeuf, et pas d'autre cause.

Tandis qu'à Louviers des établissements complets réunissent la filature, la teinture, le tissage, les apprêts, etc., à Elbeuf il ne se rencontre que peu de fabriques de ce genre (au moins il en existait peu à l'origine de la prospérité industrielle de cette ville), tandis qu'il existe un nombre considérable d'établissements faisant une seule de ces opérations, et même souvent une partie seulement de ces opérations.

De là, émulation inouïe pour faire plus rapidement, plus simplement, à meilleur marché chaque opération; facilité extrême pour tout travailleur laborieux de devenir fabricant avec des ressources limitées; division du travail dans toute la ville devenant un seul atelier doué d'une grande puissance industrielle, une ruche, disait l'Empereur; de là enfin supériorité et progrès de la fabrique d'Elbeuf, dont la création incessante d'articles nouveaux entretient la prospérité, et où l'agrandissement des fabriques est résulté des succès du centre industriel, de l'accroissement de la production.

Si de l'industrie des draps et du travail de la laine cardée nous passons au travail de la laine longue, de la laine peignée, nous arrivons à une industrie qui a pris en France de magnifiques développements et qui fait le plus grand honneur à l'intelligence de nos fabricants. Faire en laine toutes sortes d'étoffes légères était un des plus beaux problèmes à résoudre, et on peut dire que la France l'a admirablement résolu. Mais si la filature permettant la fabrication des mérinos et étoffes semblables avait un débouché propre, quelle assistance a trouvée cette industrie dans l'emploi intelligent de ses produits mélangés avec le coton, la soie, pour fabriquer les châles, et mille étoffes variées, notamment la mousseline-laine imprimée! La laine longue est devenue une des bases de notre industrie, une de celles à la prospérité de laquelle nous devons veiller le plus attentivement, et certes ce n'est pas son moindre élément de succès que le travail intelligent des nombreux fabricants de Lyon, de Reims, de Roubaix, etc., qui l'emploient pour la fabrication de tant d'étoffes diverses. L'industrie du tissage, si éminemment démocratique, puisque chaque métier constitue une petite fabrique, a trouvé dans l'utilisation des éléments élaborés dans de grandes filatures une source abondante de prospérité. La fabrication des étoffes mélangées est, pour Roubaix et Turcoing, la base d'une très-grande industrie; et ces centres luttent avec succès contre Bradford, qui crée en Angleterre tant d'articles de laine et coton.

Batistes. Malgré la découverte de la filature du lin à la mécanique, qui tend à déplacer la production des fils de chanvre et de lin, il est un article pour la production duquel la Flandre a su conserver son rang. C'est le tissage des toiles fines et surtout celui des batistes fabriquées avec des fils d'une finesse et d'une régularité admirables, que n'est parvenu que difficilement à produire le travail mécanique, et que filaient si bien nos paysannes du Nord.

2° MACHINES. — Les constructions mécaniques, sans la perfection desquelles une industrie n'existe vraiment pas, sont très-développées en France et en rapport avec le génie de nos savants et de nos inventeurs. Nos grands ateliers de construction luttent avec ceux qui font tant d'honneur à l'Angleterre; ils sont toutefois bien moins nombreux, et ce n'est pas depuis longtemps qu'ils peuvent rivaliser avec leurs modèles.

C'est dans la petite mécanique, celle qui s'exerce en général dans de petits ateliers, dans lesquels l'intervention directe du patron est plus grande, que nous remportons les plus grands succès. La construction des instruments de précision par Gambey, Brunner, Lerebours, celle des appareils de télégraphie par Bréguet, Froment, Hardy, sont des exemples bien connus de la vérité que nous énonçons. Pour une foule d'industries, le constructeur français livré exclusivement à la fabrication de machines spéciales jouit, grâce à d'heureuses inventions, à d'incessants progrès, d'une supériorité reconnue. Telles sont les presses mécaniques typographiques et lithographiques, les machines à pointes, à agrafes, les machines à graver, à filets, à bourse, etc., etc.

3° INDUSTRIES CHIMIQUES. L'importance, le brillant avenir réservé en France aux industries qui reposent sur les sciences chimiques n'est pas, en général, apprécié à sa juste valeur. La diffusion des connaissances qui existe dans notre pays (où la chimie a véritablement pris naissance), le rôle assez restreint du capital dans la fabrication de produits qui n'exigent en général, pour être créés, que des établissements formés de quelques fourneaux et quelques hangars, ce qui permet presque toujours à celui qui fait la découverte d'en récolter les profits; l'appui mutuel que se prêtent les usines de ce genre en se multipliant, une fabrique nouvelle utilisant souvent les résidus de l'usine voisine, sont autant de causes qui doivent faire considérer les indus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

tries chimiques comme d'une extrême valeur pour notre pays.

Bien des personnes, à force d'entendre parler de forces motrices, de machines à vapeur, s'imaginent à tort que sur celles-ci repose toute fabrication. En effet, l'industrie ne se propose pas seulement de modifier la forme des corps, comme le fait l'industrie mécanique, elle se propose encore souvent de changer leur composition : c'est le but de l'industrie chimique. Et si une découverte moderne pouvait être mise en parallèle avec la machine à vapeur pour son importance, nous ne croyons pas qu'on pût trouver mieux que celle de la fabrication de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb, qui, en permettant de produire cet acide à bas prix, a mis à la disposition de l'industrie une source précieuse de puissance chimique.

Passons en revue quelques-unes de nos principales industries chimiques.

L'*acide sulfurique* et la *soude* sont les deux principaux produits créés à l'aide du progrès des sciences chimiques. Fournissant un acide et un alcali puissant, ils servent d'éléments pour la création d'une foule d'autres substances. La fabrication de la soude, notamment avec le sel marin, dont l'absence par suite de la cessation du commerce extérieur fut un instant bien durement sentie pendant les guerres de la révolution, est un des plus beaux progrès de l'industrie moderne, et la découverte du procédé toujours suivi a justement immortalisé le nom de Leblanc.

La fabrication des *savons* a pris une grande importance, en France, secondée par le bon marché de la soude; on sait à quel degré de prospérité a atteint la fabrique marseillaise. Elle trouve aujourd'hui une concurrence dans la savonnerie parisienne, créée surtout pour utiliser les résidus de la fabrication des *bougies stéariques*, dont la découverte est due à M. Chevreul, qui a doté notre pays d'une industrie extrêmement profitable.

La *parfumerie* est une industrie donnant lieu à des exportations importantes, tant à cause de la variété de ses produits que du goût avec lequel on sait les disposer pour la vente.

Les *amidonneries*, les *féculeries*, la *fabrication de la colle forte*, du *noir d'os*, du *phosphore*, la fabrication des *produits chimiques* proprement dits, etc., occupent grand nombre de fabriques, la plupart de médiocre importance, et fournissent d'importants produits.

La *sucrerie* de betteraves, qui devient supérieure à l'industrie coloniale, multiplie le nombre de ses établissements. La *distillerie* de betteraves qui peut être installée, grâce au procédé Champonnois, dans toutes les fermes, réalise mieux encore que la sucrerie jusqu'à ce jour, l'alliance de l'industrie et de l'agriculture, qui engendre la prospérité de cette dernière par suite de l'accroissement du bétail.

La *papeterie* est une industrie dont la prospérité est assurée par l'abondance de la matière première, grâce à la grande consommation du linge de chanvre et de lin en France. C'est surtout sous le rapport des procédés chimiques que la papeterie française est remarquable; le blanchiment au chlore, le collage à la résine, etc., sont des inventions françaises.

Les *glaces coulées* sont fabriquées en France, avec une véritable supériorité, dans les beaux établissements de Saint-Gobain et de Cirey.

4° OBJETS DE GOUT. — ARTS D'IMITATION. Nous arrivons au point de supériorité le plus remarquable de l'industrie française, aux objets dont le bon goût, l'élégance fait la valeur.

L'*impression sur étoffes*, qui se rapporte également à la série précédente et à celle-ci, constitue une des plus belles et plus vitales industries de la France : bon goût des dessins les plus variés, richesse d'invention de procédés pour l'extraction, la préparation des substances tinctoriales, des mordants, de nouvelles couleurs, de procédés de gravures, de multiplication de ces gravures, telles sont les bases solides de sa prospérité. Exploitée dans un nombre très-considérable d'ateliers à Rouen, à Paris, à Mulhouse, ateliers dont le développement est dû bien plus souvent à des succès de fabrication qu'à des placements de gros capitaux antérieurement accumulés, cette industrie est une de celles qui nous font le plus d'honneur. La fortune y est souvent la récompense du dessinateur, de l'ouvrier intelligent qui sait trouver une couleur, combiner un dessin, inventer une machine; aussi y règne-t-il une émulation admirable.

Les *dentelles*, les *broderies*, travail des habiles ouvrières de nos campagnes, sont l'objet d'une grande fabrication restée dans l'intérieur des ménages, exercée au foyer domestique.

Papiers peints. Cette industrie est toute française; inventée par un fabricant français, elle est exploitée avec une supériorité incontestée par ses successeurs. L'organisation de cette fabrique est très-remarquable. Concentrée au faubourg Saint-Antoine à Paris, divisée en une quantité considérable de petites fabriques, au-dessus desquelles ne s'élève qu'un petit nombre d'établissements un peu importants, qui ne peuvent soutenir la lutte qu'avec les plus grands efforts, cette fabrication crée chaque jour, avec une fécondité extraordinaire, des produits d'un goût parfait. La variété de la production est telle que la planche à la main y lutte avec la fabrication à l'aide de machines employant des gravures plus coûteuses que celle de la planche plate et dont les frais ne sauraient se retrouver, la plupart du temps, pour les produits riches, car un nouveau genre de dessin a bientôt fait abandonner celui de la veille.

La *lithographie*, la *gravure*, ont en France un développement important. Le produit est ici trop

EFERUS - Recherche & Classification numérique

près de l'art pour que la concentration du travail puisse avoir lieu dans de grands ateliers. La plupart des imprimeurs lithographes sont des écrivains ayant pu, grâce à leur talent, faire quelques épargnes qui leur permettent de s'établir.

Les heureuses dispositions pour les arts du dessin, de la forme en général, qui existent en France chez tant de personnes, dispositions bien importantes à cultiver car elles sont la base la plus solide de notre richesse industrielle, nous assurent dans ces industries une place de premier ordre.

L'*imprimerie* est pour tous les pays une industrie qui a peu à craindre la concurrence des pays qui parlent une autre langue.

L'*orfévrerie*, le *plaqué*, les *bronzes*, etc., constituent des industries dans lesquelles l'esprit d'invention, le bon goût de notre nation a trouvé à s'appliquer avec un grand succès à une multitude de produits créés dans une foule d'ateliers. Les bronzes se fabriquent, on peut dire, à Paris, pour le monde entier; l'Angleterre ne connaît pas cette industrie semi-artistique.

La *bijouterie*, et surtout la fausse bijouterie, qui a pris des développements considérables dans ces dernières années, donne lieu à une division du travail indéfinie. Non-seulement les nombreux genres de bijoux différents, mais les moindres détails de fabrication font naître autant de chefs d'industrie. Si on parcourt les rues qui avoisinent la rue Saint-Martin à Paris, siége principal de cette fabrication, sur chaque porte on voit l'adresse d'un estampeur, d'un graveur, d'un émailleur; l'un fabrique les anneaux, l'autre les boucles, l'autre les chaînes, etc., et au milieu de cette variété de fabrication, tout ouvrier intelligent qui a de l'habileté, qui par quelque heureuse invention ou quelque tour de main nouveau, peut fabriquer un seul article avec quelque supériorité, s'établit et bientôt peut, à l'aide de travail, parvenir à l'aisance.

Il est impossible de se figurer quelle énorme dépense d'intelligence se fait dans une industrie organisée de la sorte; aussi notre bijouterie est-elle un objet d'exportation assez important, malgré les droits de douane, qui lui rendent difficiles les abords de pays où elle trouverait ses débouchés les plus avantageux: car nulle part elle ne rencontre de rivaux apportant des objets aussi brillants, d'aussi bon goût que ceux établis par nos ouvriers.

Articles de Paris. — Nous comprenons sous ce mot la série d'articles qui porte peut-être le cachet le plus caractéristique de la tendance naturelle de notre industrie. On sait combien l'exportation qui s'en fait est importante et de combien d'objets différents elle se compose; articles de peu de valeur intrinsèque, mais dont le bon goût fait le prix. On distingue principalement : les modes, la ganterie, les chaussures de dames, la tabletterie, l'ébénisterie, l'horlogerie, les parapluies, le cartonnage, etc. En général, ces articles ne sortent pas de très-grands ateliers. Nombre d'ouvriers en chambre, beaucoup de petits fabricants, pour un petit nombre de grandes maisons, se livrent à la création de ces articles, pour lesquels notre supériorité est incontestable, et devant lesquels les puissants moyens de production de la manufacture anglaise baissent pavillon.

Industries donnant lieu à des importations.

Passons maintenant aux industries que les états de douanes nous signalent comme étant en quelque point inférieures à celles d'autres pays, puisqu'elles donnent lieu à des importations, ce qui indique une certaine supériorité chez nos rivaux, quelque obstacle à leur développement chez nous.

Mines et métallurgie. — En tête des industries qui donnent lieu à des importations considérables, ou qui ne se sont développées qu'à l'abri de droits de douane, on doit placer l'extraction des substances minérales et la préparation des métaux. Certes il est impossible que nous arrivions à certains développements que peuvent seuls obtenir les pays favorisés de mines plus riches et plus abondantes que les nôtres, mais obtenons-nous tous les résultats que peuvent permettre d'espérer les richesses naturelles que renferme notre sol? Là est toute la question. Or, à l'exception de l'industrie houillère et de forges à fer considérables, nous ne pouvons compter que deux ou trois usines un peu importantes pour l'extraction du plomb. Ce n'est pas là la limite de ce que nous pouvons faire en métallurgie.

On a souvent répété que les Français n'étaient pas propres à ce genre de travail et qu'ils n'y trouvaient pas l'emploi de leurs qualités. Cela est évidemment une erreur. Est-ce que nos ingénieurs des mines ne sont pas aussi instruits et aussi actifs que les meilleurs métallurgistes de l'Europe? Est-ce que nos ouvriers perdent leur intelligence en descendant dans les mines?

Il faut pourtant qu'il y ait une cause à cette infériorité reconnue : est-elle seulement dans le peu de richesse de nos mines? ne résiderait-elle pas aussi dans l'organisation de notre industrie métallurgique? dans l'esprit de la législation qui régit les concessions des mines?

Dans cette circonstance, comme dans tant d'autres, on s'est demandé comment était organisée l'industrie anglaise, et l'on s'est trop empressé de l'imiter. Frappés de l'importance des établissements métallurgiques de l'Angleterre, les rédacteurs des lois qui régissent les mines ont proscrit les petites concessions, le travail sur petite échelle; de telle sorte qu'il arrive chaque jour que l'inventeur d'une mine voit, lors de la concession, celle-ci accordée à une compagnie voisine par le conseil d'État, préoccupé de donner à la loi sa véritable interpréta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion, en créant à tout prix de grandes concessions pour de puissantes compagnies, qui n'exploitent souvent que sur la centième partie de l'étendue concédée.

Le résultat d'un pareil système n'a pas été, ce nous semble, fort heureux, et pouvait-il en être autrement au milieu d'une société organisée comme la société française? N'y avait-il pas à emprunter à d'autres nations que la nation anglaise d'utiles enseignements. Nous verrons plus loin un modèle qui eût pu, nous croyons, être imité avec quelque profit dans certains cas. (Voyez *Industrie allemande.*)

Industrie du coton. — L'industrie du coton, dès longtemps prospère en France, et répandue en un nombre assez grand d'établissements qui pouvaient à l'origine rivaliser avec ceux de l'Angleterre, s'est trouvée singulièrement inférieure le jour où celle-ci eut établi ses grandes factories, merveille de l'industrie moderne. Des immenses établissements ont été créés plus tard en France à l'imitation de ceux de l'Angleterre, nous rapprochant du pays que nous avons pris pour modèle, mais l'initiative n'appartient pas ici à la France.

Plusieurs de nos grands fabricants répétaient depuis quelques années que la filature française pouvait parfaitement lutter avec celle de l'Angleterre, et les résultats du traité de commerce ont prouvé que nous pouvons lutter avec ce grand pays industriel pour la fabrication des tissus de coton; cependant, malgré le développement de nos grandes fabriques et la diminution des causes d'infériorité, lorsque les armes des deux pays rivaux sont presque les mêmes, qu'ils travaillent aujourd'hui avec les mêmes métiers, et que les progrès émigrent rapidement d'un pays dans l'autre, la lutte est pénible pour nos producteurs malgré un droit protecteur de 15 pour 100.

Industrie de lin et de chanvre. — Cette industrie, longtemps prospère en France, surtout dans la Flandre et la Bretagne, tant que la filature s'est faite exclusivement à la main, tend à se déplacer depuis que les Anglais ont encore organisé la filature mécanique en immenses manufactures. Pendant plusieurs années, des droits de douane considérables ont assuré de grands bénéfices aux personnes qui ont voulu fonder en France de semblables établissements; on a diminué ainsi l'importation, et peut-être fabrique-t-on maintenant aussi bien que les Anglais et à aussi bas prix dans certaines positions d'établissements, dont la valeur a été amortie.

Les sacrifices que s'est imposés le pays pour cette industrie ont contribué à assurer le succès des fondateurs de grandes manufactures, mais n'ont pas empêché que les bénéfices d'un travail qui était autrefois l'apanage de nos ouvriers de la campagne leur échappât. Était-ce dans cette direction que l'État avait des sacrifices à faire pour parer à tous les malheurs attachés à ce progrès? Nous ne le pensons pas, et nous dirons plus loin comment il nous semble qu'on eût pu pousser cette industrie dans une meilleure direction.

Instruments aratoires, taillanderie, horlogerie, etc. Parmi les autres articles d'importation d'objets manufacturés, ceux énoncés ci-dessus tiennent une place notable et entrent pour un chiffre important dans nos importations, malgré des droits de douane élevés. La taillanderie, les faulx, etc., viennent surtout de Styrie, où leur fabrication, due à des populations très-industrieuses, est puissamment secondée par la qualité des minerais qui donnent à très-bas prix d'excellent acier naturel très-propre à ces usages.

L'horlogerie commune est surtout produite par la Suisse, sous l'influence d'une organisation industrielle sur laquelle nous reviendrons.

Autres articles. Plusieurs autres articles entrent en France depuis la suppression des prohibitions. Tels sont, parmi les plus importants, les cristaux de Bohême, les poteries qui luttent difficilement avec notre fabrication de porcelaine dure, la première des poteries, et enfin quelques machines anglaises, grâce au bas prix de la fonte de fer en ce pays, à l'expérience et à l'habileté de quelques constructeurs.

INDUSTRIES LOCALES. — Nous appelons ainsi les industries qui s'exercent nécessairement sur les lieux de consommation.

C'est par spéculation plutôt que sur commandes le plus souvent que le travail est entrepris dans les manufactures : la production s'y fait en grand. Rien de semblable ne se rencontre dans le simple atelier de l'*artisan* professionniste : c'est lui-même qui fait le travail avec un petit nombre de compagnons, et il est le premier ouvrier de son atelier. Ici ce qu'on produit, ce ne sont plus des matériaux, c'est leur transformation en objets usuels servant à la nourriture, à l'habillement, à l'habitation, à la locomotion, etc., en un mot aux besoins de tous les instants. Avec de faibles moyens, l'artisan suffit aux exigences de sa position : les grands capitaux lui sont inutiles. Il n'en est pas de même des facultés intellectuelles; plus il en possède, plus il a pu les développer, et plus aussi son travail sera fructueux, plus il offrira d'avantages.

Dans les arts et métiers chacun sait que l'apprenti devient compagnon après un certain temps, et ce sont les compagnons les plus intelligents qui deviennent les maîtres, qui partant d'un capital minime parviennent souvent à la fortune.

RÉSUMÉ. — De l'examen qui précède il résulte bien clairement : que l'industrie s'exerce en France sous deux formes, possède deux organisations différentes.

Les industries en général récentes, sous leurs formes actuelles, sont celles que nous voyons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exploitées en France par grands ateliers : les forges à l'anglaise, les filatures de lin, de coton, etc., créées à l'abri de la protection des douanes, qui les ont fait importer sous la forme anglaise, avec la constitution économique qu'elles ont revêtue dans une société différente à tous égards de la nôtre. Nous ne prétendons nullement nier la haute valeur de cette organisation, et nous verrons qu'il y a des cas où elle devient nécessaire et où il importe beaucoup que de grandes usines prospèrent, à savoir lorsque la fabrication devient presque entièrement automatique, but auquel tend le progrès de chaque jour.

Les industries anciennes, que nous pouvons appeler naturelles, ont une organisation qui résulte du libre développement du génie, des mœurs de la nation française, de nos qualités comme de nos défauts. Or, dans la plupart de celles-ci il s'est établi un morcellement de la propriété industrielle, qui permet à l'individu intelligent de s'élever à leur tête, à l'aide de ses facultés intellectuelles, de petits capitaux formés par l'épargne. La division du travail qui y est poussée à l'infini fait naître un entrepreneur pour chaque fraction de travail.

Ces industries réunies aux industries locales sont les plus importantes de la France. Cette conclusion sera celle de toutes les personnes qui connaissent l'industrie française, elle n'a pu échapper à la *Société d'encouragement*, qui dit dans son rapport sur la situation de l'industrie française (1848) : « Pour se former une idée juste de la situation des ouvriers adonnés à nos diverses industries, il faut, en premier lieu, compter tous ceux qui travaillent dans l'atelier de famille et qui composent beaucoup plus de la moitié des ouvriers. Dans l'autre partie, c'est encore beaucoup plus de la moitié qui ne compte pas au delà d'un compagnon par atelier. (Ainsi, à Paris, l'enquête de 1850 a donné les chiffres suivants : Sur 101,170 ateliers, 69,192 ne comptent que le patron seul ou assisté d'un ouvrier, 31,480 de 2 à 10 ouvriers, 7,402 plus de 10 ouvriers.)

« En un mot, de même que la France est le pays de la propriété divisée, celui de la petite propriété, la France est le pays de l'industrie divisée, des petits ateliers. »

AGRICULTURE ET INDUSTRIE EN ANGLETERRE ET EN ALLEMAGNE.

Angleterre. Si l'on jette un coup d'œil sur l'agriculture et l'industrie anglaises, il est facile de reconnaître dans leur organisation des tendances opposées à celles que nous avons reconnues pour la France, l'influence de mœurs et d'idées différentes de celles qui prévalent dans notre pays.

Le sol, appartenant à un nombre limité de propriétaires et notamment à la noblesse anglaise, est divisé en fermes données à long bail à des fermiers qui sont de véritables capitalistes, et qui exploitent avec toutes les ressources que fournit la science. Bien peu de lambeaux de terre échappent aux propriétaires qui transmettent leurs biens à leurs fils aînés; ils sont rachetés par eux à tout prix : car dans ce pays encore, comme dans toute l'Europe au moyen âge, la propriété du sol et la noblesse paraissent se confondre.

L'organisation des ateliers industriels est absolument celle des ateliers agricoles, c'est-à-dire que tout tend à la concentration des fabrications dans d'immenses manufactures. La puissance de l'industrie anglaise repose surtout sur les grands établissements où le génie des industriels est parvenu souvent à établir une fabrication presque automatique, où l'esprit des grandes affaires, soutenu par des capitaux abondants et peu coûteux, engendre les combinaisons les plus certaines pour obtenir de grands bénéfices. Le crédit, l'argent à vil prix vient au devant des grandes affaires, plutôt que vers les entreprises de moindre importance, caractère propre au contraire à l'industrie américaine. Que l'on passe en revue les industries qui ont fait la célébrité et la fortune de l'Angleterre, et l'on sera frappé de la justesse de ces observations.

Nous citerons les filatures de coton, avec les revenus desquelles Arkwright, le grand inventeur, et surtout le grand organisateur, disait avec raison qu'on pourrait payer la dette de l'Angleterre avec les produits des grandes filatures; les immenses filatures de lin; les grandes forges à fer, grands établissements ayant parfois jusqu'à douze ou quinze hauts fourneaux immenses; les puissants chantiers de construction de bateaux à vapeur, etc., etc. Dans toutes les directions de l'industrie, pour le moindre détail qu'il est possible d'exécuter presque exclusivement par machines, des fabriques gigantesques sont créées.

Dans de semblables établissements, la fermeté de la direction traditionnelle dans une famille, combinée avec un patronage bienveillant, la diminution des frais généraux, une excellente organisation du travail, une large rétribution assurée à un ingénieur capable de bien diriger la fabrication, deviennent de puissants moyens de succès.

Nous n'avons donc nul motif de considérer comme n'étant pas d'une grande valeur une forme d'organisation qui a conduit à d'aussi brillants résultats et dont l'acclimatation a été difficile en France; mais en en exagérant la valeur, on est arrivé à cette conséquence erronée qu'il n'y avait rien de mieux à faire qu'à copier, dans tous les cas, cette organisation. C'est en effet le but qu'on s'est proposé dans le monde entier depuis cinquante ans, en prodiguant les encouragements et les protections douanières, sans s'inquiéter de savoir si elle convenait aux mœurs, à la loi civile, aux tendances des pays auxquels on im-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

posait ce mode étranger d'organisation industrielle; si les fabricants de ces pays avaient les qualités, le calme des fabricants anglais; si les ouvriers de toutes les nations pouvaient sans inconvénients être réunis dans de grands ateliers comme les ouvriers anglais, dont les coalitions destructives sont déjà assez fréquentes; nos méridionaux notamment n'ont jamais pu se plier à la discipline des grands ateliers. C'est ainsi que les proportions naturelles de chaque atelier se modifient avec les pays comme avec les individus qui les dirigent.

Il est assez curieux de noter que l'industrie anglaise, d'un pays à mœurs aristocratiques, développant le système des grandes manufactures, tende par cela même à produire des objets de grande consommation, de besoins populaires, pouvant être vendus en très-grande quantité; tandis qu'en France, dans un pays à mœurs démocratiques, le travail effectué dans de petits ateliers, avec une intervention plus directe de l'ouvrier, de l'imagination, du goût de l'artiste, s'applique naturellement à des objets destinés à satisfaire aux désirs des classes élevées.

Allemagne. L'industrie et l'agriculture allemande n'ont pas un cachet plus déterminé que les mœurs ne sont uniformes dans la vaste étendue de pays qui constitue l'Allemagne. Dans une grande partie cependant, où la noblesse est restée puissante, l'agriculture est organisée d'une manière analogue à celle de l'Angleterre, et les industries nouvelles, exploitées dans des établissements imités de ceux de l'Angleterre, se rapprochent aussi du mode d'organisation dont ce pays offre le modèle. Le contraire existe dans les provinces rhénanes, pays industrieux où s'est conservée la législation française. Les vieilles industries, dans ce pays de traditions, ont souvent des modes d'exploitation particuliers qui peuvent offrir des modèles extrêmement curieux de division de la propriété. Nous en citerons deux qui nous semblent très-curieux.

Le premier est l'exploitation des mines du Hartz, ce pays célèbre par les richesses qu'il produit, comme par les traditions locales chantées par les poëtes chéris de l'Allemagne.

Nous en donnerons une idée en quelques mots:

Dans le Hartz tout mineur n'est pas, comme dans le système anglais, seulement un salarié. Un très-grand nombre de ces mineurs sont de petits industriels. Tout individu peut attaquer un filon, poursuivre avec persévérance des chances de fortune, en respectant bien entendu les droits du voisin. Il résulte de là que tout mineur intelligent, appliquant dans son intérêt personnel son travail et celui de ses compagnons, dépense une énergie extrême, soutenu qu'il est par l'espoir du succès.

Lorsqu'il a obtenu une certaine quantité de minerai, il le transporte à Clausthal où est située la fonderie royale. Là, d'après un échantillon qu'évalue un essayeur, le prix est fixé et il peut en toucher immédiatement la valeur, sans qu'il ait à s'inquiéter des opérations postérieures. Sur cette valeur une retenue sert 1° à faire les travaux d'intérêt général, de desséchement, d'écoulement des eaux, et 2° à faire une pension aux vieux mineurs, aux veuves, à venir au secours des exploitants dont les filons sont trop pauvres.

Ce système qui n'est autre que l'exploitation démocratique des mines, sous un patronage paternel, a donné les plus admirables résultats.

Quelques heureux exemples de fortune soutiennent le courage d'une population énergique que rien ne rebute; l'espoir d'un meilleur avenir fait supporter les privations du présent; les travaux d'ensemble exécutés par le gouvernement sont faits avec un grandiose et une prévision de l'avenir qu'une compagnie ne saurait imiter; telles sont les galeries d'écoulement pour assécher toutes les mines d'une contrée dont les travaux durent quelquefois cinquante et même cent ans. Enfin la concentration des travaux métallurgiques dans les mêmes mains procure des économies très-importantes.

C'est ainsi que l'on est arrivé au Hartz à créer une belle et vigoureuse population de mineurs, ayant l'énergie et l'indépendance que donne à nos paysans la division de la propriété. C'est ainsi qu'on a pu continuer des exploitations qui eussent été abandonnées dans d'autres pays.

Le second exemple appartient à l'Autriche, que l'on considère comme si arriérée; c'est en Bohême qu'existe cet exemple, qui nous paraît bien curieux.

Nous extrayons ce qui suit des *Lettres industrielles* de M. Sallandrouze-Lamornaix, sur une exposition de Vienne.

« Les verreries de Bohême prennent chaque jour plus d'importance et augmentent chaque année leur exploitation. Elles trouvent dans la constitution politique du pays une source de prospérité. La plupart des propriétaires féodaux de Bohême possèdent d'immenses territoires couverts de forêts de sapins, et pour tirer parti de ces forêts, ils n'ont d'autres ressources que d'y établir des verreries qu'ils donnent à ferme, en fixant le prix du combustible pendant toute la durée du bail. Lorsque la verrerie a consommé tout le bois qui se trouve autour d'elle, on la transporte ailleurs, dans une partie de la forêt non encore exploitée.

« Ces petites fabriques isolées ne font guère qu'ébaucher le travail ; on transporte leurs produits dans des raffineries de verre, où ils reçoivent la dernière main, et où on leur donne ces formes variées qui distinguent le verre du Bohême. Plus de vingt mille ouvriers, dans le cercle d'Hayda, sont occupés à tailler, graver, dorer ces divers objets, qui s'exportent avec tant d'avantage, et qui donnent un si riche aspect aux magasins de Prague, de Carlsbad, de Marienbad et de Vienne.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Les perles de verre, les perles artificielles, la lustrerie, forment une des plus curieuses branches de la fabrication du verre en Bohême. Cette industrie occupe sept mille ouvriers, répandus dans les montagnes et dans les vallées qui avoisinent Wisental. Le travail s'y fait en famille; les enfants y concourent dès l'âge de cinq à six ans. Les verreries de Gablonz et de Liebenon leur fournissent la matière première au plus bas prix; et de plus, c'est à peine si la main-d'œuvre (ce travail alterne en général avec les travaux agricoles) s'élève à une moyenne de 40 cent. par jour pour les hommes, et de 10 cent. pour les enfants.

« Dans ces conditions excessives de bon marché, la fabrication des perles et de la lustrerie ne craint aucune concurrence étrangère; aussi pénètre-t-elle sur tous les marchés sans rivalité possible. Elle envoie ses produits en France, en Angleterre, en Hollande; elle a ses débouchés en Orient, en Égypte, dans l'intérieur de l'Asie et même en Chine. »

Suisse. Une industrie qui peut se rattacher soit à l'industrie française, soit à l'industrie allemande, car elle appartient à une nation formée de ces deux races, la Suisse, fournit un modèle d'organisation industrielle extrêmement intéressant. Nous voulons parler de l'alliance de l'industrie agricole et de l'industrie manufacturière, de la culture de la petite propriété agricole réunie à l'exercice d'un métier. Rien de plus admirable que les cantons de Neufchâtel et de Genève, où l'art de l'horlogerie est devenu une source de fortune pour les habitants. On n'y voit pas une cabane, pas un haillon; de charmantes maisons, des populations bien vêtues, l'aisance partout, voilà ce qu'a produit une industrie très-divisée chez des populations laborieuses et intelligentes.

Le travail de la soie, la broderie, ont produit le même effet dans les cantons de Zurich, de Saint-Gall, et certes s'il est un modèle qu'il y ait à imiter, un progrès à réaliser, c'est celui de faire aussi bien que dans ces pays. La possibilité d'utiliser avantageusement, par l'exercice d'une industrie, tous les moments que laisse la culture est un de ces progrès qui ne laissent aucun regret, et Dieu merci, l'horlogerie dans le Jura, la pendulerie aux environs de Dieppe, la broderie en Lorraine, la serrurerie en Picardie, le travail des bois d'éventail dans l'Oise, fournissent d'intéressants exemples en France d'organisations semblables qui produisent le bien-être dans les familles sans aucun des inconvénients reprochés souvent aux grands ateliers.

La sucrerie de betteraves notamment en créant beaucoup de travail pendant les mois d'hiver remplit un rôle analogue, et chacun sait combien elle est profitable aux populations agricoles de nos départements du Nord.

DE L'ORGANISATION DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE.

Il ne faudrait pas exagérer la portée des observations précédentes; elles ne font pas que la vérité change avec les nations, qu'on ait nulle part le droit de violer la justice sous prétexte de faire le bonheur universel, soit avec la république de Lycurgue, soit avec le phalanstère de Fourier ou le communisme de L. Blanc.

Il n'y a d'organisation industrielle vraie, normale à notre époque, dans une société chrétienne, que celle qui repose sur la liberté du travail et la propriété des fruits de ce travail; en dehors de cela il n'y a que produits malsains de cerveaux déréglés. D'une division nécessaire du travail entre le patron et l'ouvrier, des salaires et des profits résulte la position de chacun dans la société. Cela est tellement évident, qu'il semble que c'est perdre son temps que de s'arrêter sur ce point, et cependant il faut bien tenir compte de ces aspirations d'égalité à outrance qui règnent dans les bas-fonds de notre société, qui tendent au remplacement du fabricant par son homme de peine, du cultivateur par le balayeur de son étable. Ce sont de véritables insanités dont il faut cependant s'occuper, car ce sont elles qui empêchent surtout la France de prendre place en tête des nations civilisées.

Malgré tous les dires de l'envie, le succès dans l'industrie appartient généralement à des hommes assez intelligents pour bien diriger une fabrication, combiner des opérations, employer un véritable génie quelquefois pour s'assurer des profits, malgré tous les obstacles. Chacun a vu un ouvrier capable fonder une entreprise, conclure des marchés librement débattus, et parce qu'il faisait mieux et plus habilement que d'autres, arriver à la fortune. Qu'est celle-ci, sinon le libre payement, par tous, de services reçus?

Mais, ajoutent les esprits chagrins, il n'en est pas toujours ainsi; quelquefois le savoir-faire, la mauvaise foi même, viendront procurer à un individu des bénéfices immérités. Cela peut arriver et est très-fâcheux, mais c'est une malheureuse conséquence de la pratique de la liberté. C'est à la loi, mais surtout à l'intelligence de chacun de nous, aux mœurs publiques, de rendre très-rares ces exemples de succès immérité. Mais pourrait-on se dispenser de payer les savants médecins qui savent guérir les malades, attirés vers eux par leur juste réputation et leur grand savoir, parce qu'un charlatan sans mérite obtiendra aussi des profits en faisant croire aux imbéciles qu'il fait des cures miraculeuses? Ce sont là des inconvénients secondaires de la liberté, qui ne doivent pas la faire repousser par des hommes dignes de la supporter.

Le groupement des chefs d'industrie dans des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

corporations libres est, comme nous le verrons, une des formes sous lesquelles l'estime publique peut le mieux corriger les erreurs du succès. Aussi bien, si on récuse l'acquisition de la fortune par le succès des transactions librement consenties, il n'y a qu'une autre forme possible, c'est de la fonder sur le choix par des chefs désignés d'une manière quelconque, sur des examens perpétuels comme en Chine, sur des élections, enfin d'inventer des systèmes à propos desquels les rêveurs peuvent se donner libre carrière, mais qui ont le défaut commun d'être inapplicables, parce que jamais l'individu n'acceptera pareille confiscation de sa liberté, et qu'il trouvera toujours moyen de se soustraire aux souffrances intolérables qu'on voudrait lui infliger, sous prétexte de faire son bonheur.

Il nous a été donné d'assister à la plus belle étude d'un système de ce genre qui ait jamais été faite, étude qui a conduit à la plus complète démonstration par l'*absurde*, suivant la méthode des géomètres, les esprits logiques et distingués qui s'étaient laissé séduire par l'apparente et séduisante solidité des principes. Nous voulons parler du Saint-Simonisme.

Saint-Simon avait formulé le principe de la réforme sociale en ces mots : *A chacun suivant sa capacité, à chaque capacité suivant ses œuvres.*

Cet énoncé des droits de l'intelligence et du travail, dernière formule de la philosophie moderne, séduisit nombre d'esprits fort distingués et notamment des jeunes gens ardents, ayant contracté à l'École polytechnique l'habitude de la méthode des sciences mathématiques, et l'appliquant tout naturellement aux sciences politiques, sans se douter qu'ils faisaient ainsi fausse route.

La vérité proclamée par Saint-Simon, défendue comme de toute évidence par Enfantin, Bazard, Chevalier, Barrault, Pierre Leroux, Carnot, Duveyrier et tant d'autres hommes distingués, était tout simplement une grossière erreur, comme ils se chargèrent de le démontrer.

En effet, pour faire reposer l'édifice social sur la seule capacité reconnue par des pères, dont le despotisme inspiré des coutumes des Jésuites au Paraguay n'eût jamais été supporté, il fallait, comme conséquence forcée, enlever les enfants à la famille. Conçoit-on qu'on assigne à vingt ans, au fils du millionnaire peu capable, la fonction et l'existence du décrotteur ou du balayeur des rues? Évidemment cela ne peut se faire qu'en enlevant l'enfant à la mère et au père dès son bas âge, c'est-à-dire en supprimant la famille. Que devient alors la société, le mariage? Enfantin chercha en vain la femme libre, la mère, pour formuler quelque chose d'acceptable; le système, fondé en apparence sur un principe raisonnable, s'écroula sous les huées provoquées par ses conséquences logiques, nécessaires, destructives de la famille, du mariage, de tout ce qu'il y a de sacré et d'inattaquable. On ne saurait trop rappeler ce grand exemple aux trop ardents amis du progrès, aux chercheurs de l'absolu, qui n'ont pas une doctrine philosophique qui vaille celle de Saint-Simon, soutenue par le talent d'apôtres aussi éminents, dont les travaux sur les chemins de fer, le percement de l'Isthme de Suez et tant d'autres ont été justement admirés.

La constitution naturelle de la famille, la liberté des transactions, de s'appliquer le fruit de ses efforts, ce sont là des éléments fondamentaux de toute société, contre lesquels rien ne saurait prévaloir. On pourra faire naître bien des souffrances en gênant leur action naturelle, mais la force des choses, la nécessité d'exister, contraindra toute société vivante à briser les entraves qu'on voudrait y apporter.

A chaque époque l'aspiration naturelle vers le bonheur universel, combinée avec les sentiments d'envie et de jalousie, passion dominante des classes pauvres qui vivent au milieu du luxe des grandes villes, fait naître une formule qui passionne les masses. C'est avec son aide que les hommes politiques, qui veulent arriver à tout prix, entraînent les populations; c'est à l'élucider que s'appliquent les esprits chagrins, souvent fort distingués, qui se trouvent méconnus par leurs contemporains.

Après le Saint-Simonisme nous avons eu le Fouriérisme, rêve peu sérieux, faisant le bonheur de l'humanité en lui faisant habiter des grandes casernes, séjour de fêtes perpétuelles, pendant lesquelles les travaux rebutants devaient se faire sans qu'on s'en aperçût; le grossier communisme de Cabet, la Banque d'échange de Proudhon, arrivant avec toute la force de son esprit appliqué à un problème insoluble, à réinventer la planche aux assignats, pour rendre chacun capitaliste. Autant de formules de bonheur universel, de variations du même thème.

C'est surtout la tendance communiste qui apparaît maintenant aux jours de révolution, lorsque tout pouvoir régulier est renversé. Proudhon a dit avec crudité, mais avec grande raison, que les communistes étaient aussi bêtes que méchants, et s'ils apparaissent dans les grandes villes, aux jours de pillage et d'insurrection, là où des richesses considérables ont été accumulées par le travail des générations successives, ils ne pourraient exister livrés à eux-mêmes, aucun d'eux ne voulant travailler avec quelqu'énergie dans la crainte d'enrichir son voisin du fruit de son travail.

Aujourd'hui que tous ces systèmes sont démodés, ne peuvent plus être soutenus par écrit, ne supportant pas la discussion, et que cependant on ne peut guère trouver rien de nouveau au fond, on a changé le mot: il s'agit de faire le bonheur universel *par la solidarité, la coopéra-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

tion, sous la forme de sociétés qui tendent à rapprocher nos ateliers des couvents du moyen âge, en effaçant la propriété individuelle et surtout en faisant disparaître le patron, en les constituant sous la forme républicaine, égalitaire.

Étudions-la avec quelques détails, et rappelons les motifs qui font qu'une société de production par coopération ne peut généralement pas réussir.

En fait, d'abord, les échecs sont multipliés à l'infini dans les tentatives faites à Paris, par exemple, sous l'influence des passions politiques. Ainsi, nous avons vu la société des ouvriers boulonniers dévorer tout le capital de la caisse Beluze de Crédit au travail, qui prétendait résoudre le problème social par l'alliance du crédit et de la coopération; celle des ouvriers mégissiers avoir facilement raison des économies des caisses fraternelles de plusieurs autres professions qui lui furent confiées. Pour presque toutes, les choses se passent de la même manière, et il est démontré, par des expériences multiples, qu'une société coopérative *vraie* ne peut marcher.

Le cachet de cette société est qu'elle a lieu entre des égaux, dont aucun ne doit s'élever au-dessus d'un autre, d'où tout privilége est absolument banni. Cela est fraternel, égalitaire, a toutes les qualités démocratiques que l'on voudra, mais ne vaut pas mieux pour l'industrie que pour la guerre. Conçoit-on une armée coopérative composée de soldats seulement, ayant des chefs provisoires, révocables à volonté? Un atelier industriel privé de direction est à peu près dans les mêmes conditions, c'est toujours un corps sans tête.

La vie des sociétés coopératives est celle de nombre de républiques : luttes intestines, guerres civiles incessantes, paralysant les efforts les plus méritants, amenant nécessairement la dissolution et la ruine.

Un gérant suffisamment capable est évidemment la condition indispensable du succès: le trouver et le nommer est le premier écueil; le second est qu'il ne soit pas fatigué par les querelles suscitées par quelques-uns des associés, qui refusent sans cesse d'obéir à celui qui fait le maître; le troisième enfin, qu'il cesse de se contenter de la rémunération commune à ceux qui n'assurent en rien le succès comme à celui qui en est l'auteur.

Pratiquement, le gérant d'une société coopérative, s'il est suffisamment capable, absorbe la société ou l'abandonne pour être remplacé par un maladroit qui la conduit ou la laisse arriver à la ruine.

Si l'on ajoute à cela l'absence de crédit qui pèse sur une société instable, dans le chef de laquelle on ne peut avoir confiance, puisqu'il n'est ni libre de ses actions, ni assuré de son lendemain, l'impossibilité avec une instabilité pareille de conquérir une clientèle dévouée, voilà bien des causes qui rendent presque impossible le succès d'une société coopérative.

Mais, dira-t-on, s'il y a quelques exceptions, on peut espérer en rencontrer une, et arriver ainsi au succès! Au point de vue individuel nous admettons le raisonnement; mais au point de vue social il est sans valeur, vu qu'une société coopérative qui réussit exceptionnellement disparaît bientôt, change de nature.

Lorsqu'une société coopérative a réalisé des bénéfices, elles se termine d'une des deux manières suivantes. Si elle compte beaucoup de membres, cas exceptionnel qui ne peut se rencontrer que pour des industries où le travail de direction est peu de chose, pour l'industrie du bâtiment par exemple, où l'architecte fixe toutes les conditions du travail, règle les factures, etc., la solution est la division du capital acquis, chaque associé tenant, avec raison, à faire rentrer dans son ménage sa part de bénéfices. C'est ce que nous avons vu se produire pour l'association des ouvriers maçons, qui, après avoir réalisé des profits importants dans la construction de la gare du chemin de fer d'Orléans, s'est dissoute à la satisfaction générale des nombreux associés. La petite propriété personnelle, celle de la maison qu'on habite, du champ qu'on cultive, a toujours un charme particulier, une sécurité que n'offre pas un droit indivis sur un capital auquel on ne peut toucher, qu'on ne peut administrer à volonté.

Les *pionniers de Rochdale*, sur lesquels on a beaucoup écrit, sont aujourd'hui de simples associés dont le nombre n'augmente plus, et qui emploient des ouvriers aux mêmes conditions que tous les filateurs de la contrée.

Lorsque la société coopérative est peu nombreuse, elle finit en général autrement. Lors du décès ou de la retraite d'un des associés, les autres, ne voulant pas donner une part des bénéfices acquis à un nouvel arrivant, serrent leurs rangs, et bientôt la société se trouve une simple association entre deux ou trois personnes. Très-souvent l'établissement reste à un seul d'entre eux.

Les exemples de ce que je dis là surabondent, il n'est personne qui n'ait entendu parler de quelque cas de ce genre. J'ai beaucoup connu un sculpteur, qui est devenu ainsi patron, pour avoir été forcé d'entrer dans une association ouvrière en 1848, afin d'obtenir des travaux dans les édifices publics que le gouvernement ne voulait donner qu'à de semblables associations.

En résumé, l'association est une chose excellente, mais qui n'a pas été inventée par les novateurs de nos jours. Que plusieurs habiles ouvriers s'associent pour tenter la fortune, qu'ils essayent, en réunissant leurs économies, leurs capacités, de fonder un établissement, c'est ce qui se fait tous les jours et conduit souvent à un succès mérité. L'idée de la coopération n'a rien ajouté d'utile à ce ressort vital de l'industrie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

1. — DE L'ORDRE DANS L'INDUSTRIE.

La liberté d'action, le droit pour chacun de disposer à son gré du fruit de son travail, étant un des droits fondamentaux dans toute société civilisée, la condition même de son existence, qu'elle doit toujours protéger, tout individu ayant une volonté énergique, doué de quelque parcelle de génie industriel, pensera à fonder un établissement, à construire l'édifice qui assurera son indépendance et le bien-être de sa famille.

C'est le caractère propre de l'industrie française, ainsi que nous l'avons vu, que la multiplicité des petits ateliers, que la division de l'industrie dans nos villes de fabrique. C'est une conséquence de l'esprit ingénieux, du caractère entreprenant de notre race, un des éléments essentiels dont il faut tenir grand compte quand on parle de notre pays.

Un habile ouvrier, dès qu'il aperçoit le moyen de perfectionner un détail de fabrication, cherche à l'entreprendre à son compte, en se plaçant dans les meilleures conditions économiques. L'intelligence, le travail personnel sont admirablement utilisés dans de semblables conditions, dont l'industrie lyonnaise nous offre un exemple remarquable.

Lorsque le fondateur d'un établissement a un véritable génie industriel, lorsqu'il appartient à une de ces familles laborieuses qui accumulent les résultats des travaux de générations successives, qu'il s'agit d'une fabrication que le progrès tend à rendre automatique, il arrive à la création d'une de ces grandes usines qui sont la gloire de l'industrie d'un pays. Sans doute, il faut le plus souvent, pour créer de grandes manufactures, une succession d'inventions de machines et d'appareils; mais outre qu'ells sont souvent dues au fondateur, comme Japy en a offert l'exemple, il faut surtout à celui-ci de grandes qualités d'organisateur et de commerçant.

Ces grands établissements constituent la base solide de l'industrie d'un pays, sont une condition essentielle de sa prospérité, en lui fournissant à bas prix des produits qui sont de véritables matières premières pour les fabrications qui en effectuent une élaboration qui les rapproche plus de la consommation. Tels sont, par exemple, les fers bruts pour la serrurerie et la mécanique, les filés pour les tisserands, les calicots pour les imprimeurs sur étoffes, etc.

Entre la grande et la petite industrie se classent de nombreux établissements d'importance moyenne, qui s'élèvent à la première en raison de la capacité de leurs chefs et retournent à la seconde lorsqu'ils se laissent dépasser par leurs rivaux. La prospérité générale, la richesse de la société, les débouchés, etc., jouent un grand rôle dans tout ceci et c'est de tous les éléments extérieurs, comme des efforts des producteurs libres, que résulte l'organisation naturelle de l'industrie d'un pays, celle qui utilise le maximum d'énergie des producteurs et engendre le maximum de richesses. Elle varie évidemment avec les races, pour les diverses sociétés : c'est ainsi qu'en France et en Amérique, l'ardeur de parvenir fait multiplier les ateliers plus qu'ailleurs, et que les petits ateliers sont extrêmement nombreux dans notre pays; mais il n'en résulte pas que l'on doive, pas plus au point de vue de l'utilité que de la justice, favoriser par un socialisme de mauvais aloi, un genre d'établissement au détriment d'un autre, car leur prospérité à tous est une condition essentielle de la prospérité générale.

La question vitale pour les divers ordres d'ateliers est l'existence de l'ordre, sans lequel tout travail intelligent, assidu, est impossible; c'est une question capitale pour la France, puisque ce sont les populations ouvrières qui font les révolutions, qui bouleversent sans cesse notre pays, que c'est chez elles qu'est né le socialisme qui nous a valu les journées de juin en 1848 et la Commune de Paris en 1871, taches ineffaçables de l'histoire contemporaine.

De nos jours, en effet, l'industrie a pris un immense développement, principalement celle concentrée dans de puissantes manufactures, dont on n'avait nulle idée avant la fin du siècle dernier. (Watt prenait son brevet, tentait de construire sa machine à vapeur en 1769; la mull-jenny a été inventée en 1775.) Aussi le travail industriel a augmenté en France dans des proportions gigantesques : la production s'est élevée, prix des matières premières compris, de 2 milliards en 1815 à 10 milliards en 1866! Or, ce ne sont pas les machines seules qui ont créé ces richesses; comme l'a surabondamment prouvé Bastiat, c'est principalement de salaires qu'elles sont formées. Ceux-ci se partagent entre près de deux millions d'ouvriers, en général bien payés, toujours bien mieux que les journaliers agricoles, c'est-à-dire entre les chefs de familles comptant six ou huit millions de personnes.

On doit penser que la production industrielle étant devenue immense, l'administration de l'industrie, les relations du gouvernement du pays avec la nombreuse et active population qui remplit les ateliers, sont nettement déterminées; que des lois et des institutions sérieusement étudiées, patiemment élaborées, doivent faire régner la paix et la justice dans ce grand organisme.

Si l'on cherche, pour répondre à cette question, que trouve-t-on? *rien, rien, absolument rien.*

Sous l'ancienne monarchie existaient depuis les règlements d'Étienne Boileau, promulgués sous le règne de saint Louis, des communautés d'arts et métiers, des corps de marchands appliquant de nombreux règlements qui formaient la loi de l'industrie. Toute cette organisation a été balayée par Turgot et la Révolution.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

L'empereur Napoléon, habitué à marcher droit sur ce qui lui paraissait abusif ou dangereux, avait fait des lois sur les livrets d'ouvriers et pour la répression des coalitions. Elles ont été supprimées par son neveu en 1864.

Je ne juge pas ici ces réformes; mais ce qui est incontestable, c'est qu'on a fait table rase, que les mœurs et les coutumes ne sont soutenues par aucune prescription légale, que l'on a détruit les faibles digues qui protégeaient le droit contre les envahissements de la force.

Depuis lors nous avons assisté aux débordements les plus insensés; les débats relatifs aux salaires, qui exigent au plus haut degré, pour éviter l'écueil des utopies folles, l'action énergique des bonnes influences, n'ont plus été que des luttes passionnées. Il est grand temps d'aviser aux moyens propres à assurer un ordre durable, tant pour la prospérité de l'industrie que pour le salut même de la nation.

Fixation des salaires. — Des grèves et coalitions. — Toute l'économie de la production repose sur ce sous-entendu que l'ouvrier y travaille en échange de la rémunération de salaire que lui paye le fabricant. Parties essentielles de l'organisme producteur, leur accord est de toute nécessité, et on ne saurait dans aucun cas mieux appliquer l'apologue des membres et de l'estomac. Soumis aux lois de l'offre et de la demande, le salaire doit s'élever avec l'accroissement rapide de l'industrie, devançant celui de la population; avec les progrès de la moralité et de l'intelligence de l'ouvrier, rendant son travail meilleur et plus considérable; avec la multiplication des machines et outils, qui font qu'il produit une quantité sans cesse croissante d'utilités pour une même somme d'efforts.

Malgré ces conditions d'accroissement continu de salaires dans une société livrée au travail producteur, nos sociétés sont sans cesse troublées par des coalitions, des grèves, qui sont de véritables insurrections industrielles, ayant en France des relations intimes avec nos révolutions, y puisant une force redoutable et tendant à la désorganisation de l'industrie et de la société même, par l'animosité, les passions de nivellement, de destruction, que manifeste leur explosion.

Bastiat a montré que les intérêts se tiennent; il a dit avec raison que la loi du monde c'est l'harmonie. Une nouvelle école nous dit que c'est la guerre; c'est là une erreur fatale. La guerre entre patron et ouvrier, aussi bien que la guerre entre deux peuples, est toujours désastreuse, même pour le vainqueur. La bonne entente, l'harmonie, assurent le bien-être de l'ouvrier comme du patron. Voilà ce qu'on ne saurait trop répéter.

Nous devons donc traiter ici de cette question, sans rester comme trop d'écrivains sur le terrain vague des soi-disant principes, qui ne sont trop souvent que l'expression des passions des partis, et ne peuvent les conduire qu'à s'injurier mutuellement, pour nous occuper des faits particuliers à notre pays, des coutumes, des traditions, des restes de hiérarchie morale bien plus que légale, qui sont les bases les plus solides du bon accord qui doit persister malgré des discussions entre collaborateurs dont l'intérêt, au fond, est le même.

En France, pour la plus grande partie de la population, pour la classe agricole, la question des grèves n'a pas lieu d'être posée; la division de la propriété agricole faisant que la majeure partie des champs sont cultivés par leurs propriétaires. La main-d'œuvre agricole manque en général, au grand chagrin des cultivateurs entrepreneurs de grandes exploitations, qui ont grand soin de s'attacher par une rémunération convenable les bons ouvriers qu'ils rencontrent trop rarement. Nous n'avons donc rien à dire de l'industrie agricole, la division de la propriété a supprimé la question de la coalition et des grèves.

Il en est de même, à peu près, pour les artisans que nous voyons exercer leur industrie dans de nombreuses boutiques de nos villes, des menuisiers, serruriers, etc. Le patron, ancien ouvrier lui-même, travaillant avec un ou deux ouvriers, souvent ses anciens camarades ayant moins d'énergie et d'ardeur que lui, a toujours l'énergie suffisante pour les bien commander, et le jour d'une grève, souffrant dans ses intérêts, mais non entièrement paralysé, il se remet vigoureusement à l'ouvrage, aidé de ses apprentis, exécute les commandes urgentes et attend tranquillement que ses ouvriers viennent lui redemander de l'ouvrage. Le salaire se fixe par suite pacifiquement entre gens vivant en bonnes relations, sans qu'aucune des parties soit écrasée par la violence et l'injustice.

Nous en arrivons aux ouvriers des ateliers plus nombreux des grandes villes industrielles dont les coalitions et les grèves ont eu tant de retentissement, qu'on a confondu leurs intérêts avec ceux de l'industrie tout entière, que leur exemple a entraîné bien des ouvriers dans tout le pays, d'autant plus que les théoriciens et surtout les partis politiques, voulant s'assurer leur concours, ont fait, des questions ouvrières, des questions politiques, sociales; c'est ainsi qu'on a vu l'*Internationale*, fondée pour soutenir les grèves dans tous les pays, devenir un instrument de révolution universelle.

Dans la pratique, l'accroissement des salaires se produit surtout lors des réclamations des ouvriers qui demandent une augmentation. Chaque patron sait bien satisfaire les ouvriers hors ligne, chargés de travaux difficiles, en les payant plus que les ouvriers ordinaires; mais il ne peut guère qu'aux rares époques d'une très-grande prospérité de son industrie, augmenter les jour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nées de tous : d'autant plus que celles-ci, fixées pour le corps d'état tout entier, déterminent le prix de revient des produits qui est le point de départ de la concurrence que lui font ses confrères. Il faudrait que les patrons fussent réunis, discutassent ces questions entre eux, pour qu'ils pussent, d'un commun accord, aller au-devant des réclamations fondées des ouvriers. Nous dirons plus loin comment il pourrait en être ainsi, par le développement d'institutions qui ne font que naître actuellement; c'est en général par une grève, une cessation de travaux, une déclaration de guerre, en cas de refus des patrons, que les ouvriers imposent leur volonté.

De semblables événements étaient autrefois bien rares et on se les rappelait longtemps; il s'agissait d'une mesure désespérée, rompant si violemment les bonnes relations presque familiales existant entre les patrons et les ouvriers, imposant de si grands sacrifices aux deux parties liées indissolublement l'une à l'autre, forcées de vivre ensemble, que la grève se réduisait presque toujours à une menace, n'aboutissait pas. Ou les motifs qui pourraient la provoquer n'étaient pas sérieux, et alors par l'influence des patrons sur leurs vieux ouvriers, par quelques explications données aux plus intelligents sur la position de leur industrie, le mouvement s'arrêtait, et les fauteurs de la révolte, les mauvais ouvriers ne se sentant pas soutenus, renonçaient à leurs desseins; ou les patrons trouvaient chez leurs bons ouvriers une détermination ferme de tout souffrir plutôt que de continuer à travailler dans des conditions qui leur paraissaient insupportables, et comme cela ne pouvait être qu'autant qu'il y avait quelque chose de bien fondé que les maîtres ne pouvaient méconnaître, ils faisaient des concessions raisonnables qui rétablissaient l'harmonie dans les ateliers.

Aujourd'hui, partout où existent des associations permanentes, où se sont introduites les habitudes de désordre à la suite des révolutions, à Paris notamment, les bons ouvriers n'essayent plus même de faire d'observations, quand ils voient élever par les meneurs les prétentions les plus injustes, les plus déraisonnables; ceux-ci sont incontestablement les plus forts. Aussi, dans les mœurs industrielles actuelles, les patrons n'essayent plus même de résister; ils cèdent sans combattre toutes les fois que le travail ne leur paraît pas devenir immédiatement et absolument impossible, par suite des concessions qui leur sont imposées.

Un état semblable est évidemment anormal, et pour prouver qu'il est inadmissible, il suffit de dire qu'il est le fruit d'une organisation de la guerre, de l'*ultima ratio*, d'une conspiration permanente. Que, dans certains cas désespérés, la lutte ne puisse être évitée, c'est un malheur qu'il faut chercher à rendre le plus rare possible par l'amélioration des institutions et des mœurs,

mais qui n'entraîne nullement, comme conséquence, qu'une des parties ait le droit, dans une société civilisée, d'accumuler des moyens de guerre, assurant l'écrasement de son adversaire toutes les fois qu'elle le jugera bon.

La vérité apparaîtra clairement en poursuivant cette étude; mais auparavant nous ferons remarquer que l'on doit distinguer le droit d'association, exercé pour atteindre tout but licite, du droit de coalition en vue de dominer les chefs d'industrie. Les ouvriers ont incontestablement le droit de se réunir pour fonder toutes les entreprises qui peuvent leur être utiles, *sans nuire à autrui*, condition que la mission stricte du pouvoir social est de faire partout respecter.

Une commission de l'Assemblée nationale, dans un rapport qui, croyons-nous, est resté lettre morte, avait parfaitement posé la question. Elle proposait de déclarer illicite toute association ayant pour but de provoquer, organiser ou subventionner des grèves.

Ce que nous prohibons, lit-on dans ce rapport, ce sont des associations qui font le métier d'exciter les classes ouvrières aux grèves, et qui leur fournissent des moyens pécuniaires ou autres de les prolonger. De pareilles associations sont des *entreprises de guerre civile.*

Voilà la vérité vraie comprise par des hommes politiques.

Autant il doit être permis de s'associer pour entreprendre tout ce qui est de droit commun, autant il doit être sévèrement interdit d'organiser des machines de guerre propres à écraser des adversaires, qui sont aussi des citoyens.

On ne saurait admettre, dans une société régulière, une organisation offensive permettant à l'un des contractants du marché du travail de toujours écraser l'autre. Ce ne sont pas là les relations qui doivent exister entre le chef et les ouvriers d'un atelier.

J'emprunterai sur cette question quelques lignes à l'avis de la Chambre de Commerce de Paris (M. E. Baillière, rapporteur), demandant l'abrogation de la loi du 24 mai 1864 sur les coalitions. Elles sont curieuses comme renseignement historique, surtout pour fournir l'indication des aspirations des ouvriers, de leurs conceptions relativement à l'organisation des ateliers.

Dans l'énumération des grèves, principales, nous trouvons celle des fondeurs en fer (1870), formulant entre autres prétentions les suivantes : « Suppression complète du travail aux pièces et « du marchandage; abolition des heures supplé- « mentaires, ou consentement à ce que ces heu- « res soient payées double; nomination des chefs « présentée par les patrons, discutée et votée par « les ouvriers. » Le travail fut arrêté pendant trois mois.

La coalition des ouvriers en bronze, en 1867, était soutenue par une association occulte qui se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donnait le nom de Société du crédit mutuel et de solidarité des ouvriers du bronze, possédant une caisse de résistance dont tous les ouvriers étaient obligés de faire partie, sous peine d'être conspués et chassés des ateliers. La prétention des ouvriers se manifesta sous la forme ci-après: « 1° le droit de choisir le contre-maître en de- « hors du patron; 2° le droit exclusif pour les « ouvriers de réviser les anciens tarifs de main- « d'œuvre et d'établir le prix des nouveaux mo- « dèles, toujours en dehors du concours du pa- « tron; 3° le droit d'expulser de l'atelier tout « ouvrier qui aurait travaillé pendant la grève; « 4° le droit d'interdire aux patrons la faculté de « diminuer la journée d'un ouvrier.

« La *Société typographique*, qui fonctionne de- « puis 1865, sous prétexte de secours mutuels, « impose, en 1868, un nouveau tarif de compo- « sition typographique que les patrons sont « contraints d'accepter après avoir essayé de « résister. En 1870, la Chambre syndicale des « compositeurs-typographes décide qu'elle visi- « tera l'atelier d'apprentis formé par un maître « imprimeur, afin d'en limiter le nombre. Le « patron dut subir les exigences du comité, et « l'influence, comme les prétentions du comité, « ont été croissantes. »

Nous terminerons cette curieuse citation par l'exposé des conséquences au point de vue industriel, que constate la Chambre de Commerce de Paris, de la loi du 24 mai 1864 sur les coalitions; elle fera connaître l'opinion raisonnée du commerce de Paris sur l'état actuel des ateliers parisiens.

« Les coalitions ont eu pour conséquence une grande hostilité entre patrons et ouvriers, une production moindre. L'ouvrier gagnant davantage a pris l'habitude de travailler moins, de sorte que sa qualité industrielle a été amoindrie comme production, sans que son aisance ait sensiblement augmenté.

« Depuis que l'ouvrier a senti la force dont il pourrait faire usage à l'aide de la coalition soutenue par la solidarité d'un grand nombre d'industries, dont les ramifications aboutissent à un centre qui échappe à toute responsabilité, il ne songe guère à améliorer son sort en augmentant ou en perfectionnant ses qualités professionnelles.

« Les jeunes gens qu'emploient les marchandeurs menuisiers gagnent maintenant en moyenne 5 francs par jour au lieu de 2 francs à 2 fr. 50 c. qu'il gagnaient en 1848; ils travaillent beaucoup moins, ne veulent plus s'instruire, même pour leur travail, prétendent que c'est inutile, puisque, s'ils travaillaient mieux, ils ne seraient pas payés plus cher. Ils passent au café le temps qu'ils employaient avant à s'instruire où à dessiner. Il devient difficile d'obtenir de la part des ouvriers les veillées ou heures supplémentaires. On aime mieux faire une dépense en parties de plaisir que recevoir un supplément de salaire pour la veillée. Les bons ouvriers deviennent de plus en plus rares.

« Les ouvriers de Paris attendent tout de l'association; ils rêvent moins de travail et une rétribution plus élevée; ils regardent le patron comme l'adversaire naturel de l'ouvrier. Le contre-maître leur est suspect; les ouvriers font la police dans l'atelier; si l'un d'eux se fait remarquer par une habileté ou une activité trop grande à leurs yeux, il est signalé au comité comme gâte-métier, et une pression occulte s'exerce autour de lui, jusqu'à ce qu'il sorte ou se soumette aux règles qui lui sont imposées. Les ouvriers prétendent régner dans l'atelier, faire la loi au patron; en un mot le sens moral des ouvriers a été troublé par une fausse interprétation de la loi sur les coalitions qui a servi de base aux agissements de la Société internationale des travailleurs. Les perturbations dont s'est ressentie l'industrie à la suite des grèves ont décidé beaucoup des meilleurs ouvriers et contre-maîtres mécaniciens, chaudronniers, fondeurs, tapissiers, chapeliers, ébénistes, typographes, à accepter les offres de l'étranger, à quitter Paris et la France et à aller alimenter la concurrence de l'étranger contre nos industries. »

Les passages rapportés plus haut, empruntés à des documents positifs, indiquent clairement quelles sont les mauvaises tendances des novateurs à Paris, dans la capitale de la démagogie. Il s'agit pour eux non-seulement d'augmentations de salaires, justifiables avec l'accroissement général des prix des denrées, dans les limites où l'ouvrier continue à travailler autant qu'avant ces augmentations, auxquelles les chefs plus capables ne sont nullement hostiles, quand l'habilité et l'activité du travailleur croissent en même temps, mais encore et surtout d'annuler de plus en plus le patron, de *républicaniser* l'atelier.

C'est principalement sur les efforts faits pour conquérir l'égalité des salaires que nous attirerons l'attention. Non-seulement ils prouvent que les demandes absurdes, rendant la conciliation impossible malgré toutes les concessions des patrons, partent des mauvais ouvriers, excellents comparses pour les révolutions, comme tous les cerveaux incomplets; mais ils montrent encore que c'est chez les bons ouvriers, attaqués dans leur amour-propre et dans leurs intérêts, que se trouve manifestement la vraie force capable de rétablir l'ordre moral dans les ateliers.

De l'interdiction des caisses de résistance. On ne peut, sans danger pour la société tout entière, sans une violation perpétuelle du droit et de la justice, tolérer l'existence d'associations, qui mettent à la disposition de quelques meneurs, les intérêts de toute une profession; il est facile de faire disparaître ces machines de guerre dont l'organisation est un délit qui doit être réprimé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par la loi. Toute leur force tient à la réunion du capital destiné à défrayer les grèves, aux cotisations prélevées dans le but de nuire à autrui, ce qui ne pourra plus avoir lieu dans les ateliers quand la loi l'aura défendu. Le collecteur, toujours connu du patron, est presque toujours un brave garçon (on ne confierait pas la recette au premier venu) qui s'est laissé imposer cette corvée par faiblesse, mais qui la déclinera bien vite quand il pourra en résulter pour lui de graves inconvénients. Joignez à cela la saisie de quelques caisses entre les mains des chefs connus qui voudraient perpétuer leur pouvoir et leur oisiveté bien payée au moyen de menées secrètes, et bientôt les cotisations s'arrêteront à la satisfaction autant de ceux qui ne contribuent que parce qu'ils n'osent faire autrement, que de ceux qui trouvent dur de faire des rentes par leur travail à leur ancien camarade devenu un chef souvent peu sympathique.

Ce but étant atteint, une grève ne pouvant plus être soutenue qu'au moyen des sacrifices que chacun s'imposera, à l'aide des économies que chacun aura pu faire, redeviendra ce qu'elle doit être, une mesure désespérée que chacun doit redouter, et qui, par suite, est presque toujours évitée par des mesures de conciliation, au grand avantage des ouvriers comme des patrons. Le président du groupe corporatif, de la chambre syndicale ouvrière, etc., n'étant plus payé pour s'occuper exclusivement de préparatifs d'attaque, n'ayant plus le loisir de réunir tous les éléments de désordre, n'étant plus l'arbitre du salaire, sera bientôt abandonné et n'aura plus personne à présider.

La moindre pratique des ateliers et des coalitions fera reconnaître que nous indiquons bien le nœud de la question, et que la suppression des caisses de résistance est le grand remède à apporter au malaise de l'industrie. En se contentant de punir les violences commises sur les ouvriers n'observant pas la grève décrétée par leurs camarades, la loi Ollivier est tout à fait insuffisante. Sans doute elle vise des actes très-répréhensibles; mais ces actes ne se produisent guère quand on a laissé les ouvriers s'enrégimenter, adhérer maintes fois, par le payement de leurs cotisations, à la Société formée par tout le corps d'état. Les plus raisonnables n'osent plus user de leur libre arbitre, lorsque c'est l'association dont ils font partie qui livre bataille, et quelque exagérées que soient les demandes, ils s'abstiennent d'intervenir et attendent la fin de la lutte, c'est-à-dire la soumission du patron, quand ce n'est pas la mort d'une industrie, comme il est arrivé pour les constructeurs de navires de la Tamise.

Inutile d'observer que le législateur ne devra pas se laisser jouer et permettre à l'organisation actuelle de se perpétuer à l'aide d'un simple changement d'étiquette. C'est sous la forme apparente de Société de secours mutuels que les groupes corporatifs ont le plus souvent commencé, dans l'imprimerie par exemple, et c'est celle qu'ils s'efforceraient probablement de reprendre. Mais il suffit, pour éviter cet escamotage, de continuer à exiger l'autorisation préalable pour les Sociétés de secours et d'imposer, par celle-ci, le dépôt des fonds à la caisse des retraites ou aux caisses d'épargne, chargées de payer les pensions aux ayants droit.

Malgré l'apparence formidable de ces associations, elles sont moins solides qu'on ne pourrait croire : tout cela est factice; les ouvriers n'ont plus la foi, et c'est par suite des succès obtenus aux jours de désordre et de révolutions qu'elles se perpétuent. Une répression intelligente en fera aisément justice.

Prévenir les coalitions, limiter leurs effets funestes, faire régner la justice dans l'industrie, n'est pas affaire de mécanisme mais de raison. C'est pour cela que nous ne nous arrêtons ni sur le système d'arbitrage qui paraît avoir réussi plusieurs fois en Angleterre, ni sur l'obligation de prévenir huit, quinze jours à l'avance avant de cesser les travaux, ce qui a été proposé pour donner le temps aux esprits de se calmer et aux idées de conciliation de se faire jour. Ces moyens sont excellents s'ils entrent dans les coutumes, si les contrats sont respectés en vertu des mœurs, mais ne sauraient être imposés par la loi. Si les nombreux ouvriers d'une profession viennent à s'y soustraire, comment les y contraindre?

L'ordre vrai ne peut résulter que du bon sens et de l'intelligence de ceux qui doivent l'observer : tout ce que peut faire la loi, c'est de réprimer les empiétements sur le terrain d'autrui, c'est de favoriser l'action des bonnes influences qui peuvent ramener à la vérité ceux qui ont de la peine à la voir clairement.

2. — DES GRANDES MANUFACTURES.

Il n'a été rien fondé d'utile par la réunion, l'association des ouvriers les plus intelligents et les plus remuants de notre pays, pas une idée juste et vraie n'était sortie de l'agitation démocratique, quand la démagogie était maîtresse de Paris; voyons ce qu'ont fait les aristocrates de l'industrie, les chefs des grandes manufactures, cette création merveilleuse du dix-neuvième siècle.

Nous dirons un mot de ces grands organismes pour faire comprendre que les grandes manufactures ne sont pas des accidents, que leur rôle va grandissant avec les inventions et les découvertes qui s'accumulent chaque jour.

Lorsque, par l'invention d'une machine nouvelle, d'un appareil convenable, un produit créé jusqu'alors par une industrie toute primitive, à l'aide d'outils simples, peut être obtenu avec un travail humain bien moindre, la fabrication plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

facile et plus rapide, exigeant bien moins d'habileté professionnelle, vient s'en concentrer naturellement dans une manufacture plus considérable que les anciens ateliers et qui augmente d'autant plus que bientôt par la division du travail, la multiplication des machines, l'économie procurée par de puissants moteurs, la diminution des frais généraux, etc., le prix de l'objet manufacturé diminue de telle sorte que la production domestique devient impossible. Il nous suffira de citer les filatures pour faire comprendre le genre de phénomènes dont nous parlons.

La puissance croissante des manufactures, qui à leur dernier degré de perfection produisent en quantités immenses des objets fabriqués en quelque sorte par le seul jeu des forces naturelles, est un des plus grands faits de la civilisation moderne.

Ayant une valeur qui se compte souvent par millions, occupant de nombreux ouvriers, les grandes manufactures, que nous avons surtout en vue ici, sont intéressantes à étudier au point de vue des relations du patron et des ouvriers; les conditions du travail exigeant évidemment une direction ferme, faisant régner un ordre parfait.

Les résultats d'un pouvoir plus grand chez les chefs des grandes usines entraînent une plus grande responsabilité; on sait que celle-ci a été, en général, pleinement justifiée. On a mis avec raison en lumière, à l'exposition de 1867, les créations de beaucoup de chefs de la grande industrie pour aider les ouvriers dans les circonstances difficiles, pour remédier à l'isolement, alors si pénible, pour les encourager à l'ordre et à l'économie, pour augmenter leur bien-être. Passons en revue ces diverses fondations pour montrer la voie du bon accord, entre patrons et ouvriers, aussi profitable aux uns qu'aux autres. Qu'on ne s'y trompe pas, il ne s'agit pas ici principalement de bienfaisance, mais d'influence, de pression intelligente, pour les inciter à l'ordre et à l'économie, pour les rendre plus habiles et plus laborieux dans l'intérêt de l'usine comme dans celui du travailleur, enfin, utiliser leur agglomération pour leur faciliter l'accomplissement de leurs devoirs de chefs de famille.

Éducation des enfants et apprentissage. — La plupart des grandes manufactures ont organisé des salles d'asile et des écoles. Nous placerons au premier rang les écoles du Creuzot. La direction de cette belle usine, une des gloires de notre industrie, avait exposé, en 1867, à côté de gigantesques constructions mécaniques, les devoirs des élèves de l'école primaire, les dessins de géométrie et de machines des jeunes gens de l'école d'apprentissage. Ils faisaient bien comprendre comment on formait une population d'habiles ajusteurs, de bons mécaniciens, dans cette usine modèle, au profit commun des ouvriers et de l'établissement.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Il en est de même dans d'autres ateliers de construction. Nous lisons dans le rapport, au sujet de l'usine de Graffenstaden : « La plupart des ouvriers de l'usine lui sont fournis par les localités agricoles qui l'entourent. Pour y trouver les éléments d'un personnel capable, une école professionnelle fut fondée; habilement organisée et dirigée, cette école rendit les plus grands services. »

A la grande cristallerie de Baccarat, les apprentis fort nombreux, qui aident les verriers dans leur travail, doivent suivre des classes du soir aussi longtemps qu'ils n'ont pas été reconnus, dans un examen régulier, suffisamment pourvus des connaissances élémentaires. Des cours de dessin et un ouvroir sont annexés à ces classes. Ce sont là quelques-unes des formes sous lesquelles le regretté M. Godard-Desmarest contribuait puissamment au bonheur et à la moralité d'une excellente population ouvrière, qui le payait en respect et en affection.

Caisses de secours, caisses de retraites. — Des institutions de cette nature se rencontrent dans la plupart des grands établissements et, grâce au concours bienveillant et intelligent de la direction, ont reçu d'admirables développements. Prenons pour exemple les usines de zinc de la Vieille-Montagne.

« Les ouvriers, représentés par des délégués élus tous les ans dans chaque atelier, se sont successivement imposé une retenue de 1, puis de 2, puis de 3 pour 100 sur le montant de leurs salaires. La compagnie stimule ces efforts en apportant à la caisse un contingent égal à la moitié du chiffre des cotisations et s'associe à l'administration en y réservant une place à ses chefs d'ateliers. Dans chaque commission, c'est au directeur de l'établissement que revient la présidence... La caisse, grâce à ce concours de ressources, a pu, depuis vingt ans, étendre graduellement ses opérations, donner gratuitement les soins médicaux et pharmaceutiques aux ouvriers, allouer des indemnités aux malades, des pensions viagères aux ouvriers infirmes, accorder des secours plus ou moins prolongés aux veuves, aux enfants, aux parents des ouvriers décédés au service de la société, enfin attribuer des subventions temporaires aux familles sur lesquelles pèsent des charges exceptionnelles.

« Ces allocations diverses sont appuyées sur un fonds de réserve qui s'accroît dans une progression rapide et a déjà atteint la somme de 600,000 francs. »

Nous retrouverions de semblables institutions et de semblables résultats dans toutes nos grandes usines, Saint-Gobain, Baccarat, Le Creuzot, etc. Cela est bien connu et nous n'avons pas à insister.

Magasins à prix réduit. — L'agglomération de nombreux ouvriers sur un même point, peut permettre de les faire jouir de réductions impor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

tantes sur le prix des objets de consommation journalière, que le commerce de détail fait souvent payer 25 ou 30 pour 100 plus cher que le commerce en gros. Nous prendrons pour exemple ce qui a été réalisé par MM. Japy, les grands fabricants d'horlogerie et de quincaillerie de Beaucourt, dont les admirables établissements comptent 5,500 ouvriers.

Nous lisons dans le rapport du jury :

« La réduction pour l'ouvrier du prix des objets de consommation a été une préoccupation ancienne de MM. Japy. Ils l'ont résolu avec un remarquable succès.

« Dès l'année 1845, une boulangerie et une meunerie économique étaient organisées, et fournissaient du pain avec une réduction de prix importante. En 1854, on y annexa un vaste magasin d'épiceries et de comestibles, qui fournit, avec une économie de 35 à 50 pour 100, l'épicerie, les denrées de toute sorte, et même les vêtements, la houille et le bois de chauffage.

« Les ventes se font à crédit sur le carnet de l'ouvrier, et le payement s'effectue par voie de retenue sur son salaire, à la fin de chaque mois. »

Le chemin de fer d'Orléans, et bien d'autres entreprises qui emploient sur un même point un nombreux personnel, lui ont procuré ainsi des économies importantes. Aux forges de Commentry, une Société anonyme, à petites actions, a réalisé un capital de 60,000 francs, et procure des avantages positifs aux nombreux ouvriers de cette usine. On doit applaudir, dans de semblables circonstances, à un genre d'association qui n'a qu'un mot commun avec les sociétés coopératives de production dont il a été parlé ci-dessus.

Maisons ouvrières. — L'incitation la plus puissante à l'économie a été, sans contredit, l'aide prêtée à l'ouvrier qui a toujours un loyer à payer, pour acquérir, au moyen d'une augmentation modérée de celui-ci, une maison où la ménagère peut faire régner l'ordre et la propreté, un petit jardin où l'ouvrier peut cultiver quelques fleurs, quelques légumes pendant ses loisirs, et où s'ébattent les enfants. Le cabaret perd ce que gagne la famille, la santé et la moralité grandissent d'autant.

La ville si industrieuse de Mulhouse a donné l'exemple de cet important progrès, et ses nombreuses constructions ont servi de modèle. Dans le grand nombre de centres industriels où l'on a construit des maisons ouvrières, on a varié, avec les circonstances et les matériaux du pays, le mode de construction à bon marché, et aussi le mode d'amortissement offert aux acquéreurs.

C'est le plus souvent par un loyer mensuel, à chaque paye, qu'ils s'acquittent du prix d'achat qui est toujours voisin de 2,000 francs. Quelquefois on demande une partie du prix à l'origine, ce qui diminue beaucoup les annuités. Ainsi, à Beaucourt, une maison coûtant 2,000 francs devient la propriété de l'ouvrier, qui donnant en entrant 500 francs, paye pendant onze ans une somme de 16 fr. 55 par mois. Sans versement au début, le payement mensuel doit être de 21 fr. 55.

Nous n'avons dit que quelques mots des diverses formes qui ont été adoptées par les chefs de la grande industrie pour contribuer au bien-être de leurs collaborateurs. Nous aurions pu multiplier à l'infini les citations ; mais cela est inutile pour prouver ce qui est incontestable et trop facile à vérifier par toutes les personnes dont la conviction ne serait pas entière, pour qu'il soit oiseux d'insister, à savoir : que la grande industrie a bien rempli son devoir, en créant des institutions propres à aider l'ouvrier à accroître sa valeur morale et intellectuelle, à adoucir les souffrances causées par la maladie et la vieillesse, par l'infirmité de la nature humaine.

Nous le répétons, car cette observation nous paraît d'une importance capitale, pendant que les chefs de la grande industrie remplissaient ainsi leur devoir, les ouvriers des villes, toujours en agitation, ne créaient rien d'utile, et beaucoup d'entre eux se démoralisaient sous la double action d'une vie irrégulière et des excitations politiques.

Malgré le développement et l'importance croissante de l'industrie manufacturière, la partie de l'industrie interdite par sa nature aux machines, celle pour laquelle l'intervention de l'habilité personnelle, du goût, est nécessaire, qui ne saurait, par suite, être concentrée dans de grands établissements, sera toujours la plus considérable et occupera le plus grand nombre d'ouvriers et de patrons. Si l'on ajoute à cela que beaucoup de manufactures restent de proportions modestes, on en conclura forcément que ce que nous venons de dire sur ce qu'ont fait beaucoup de chefs des établissements hors ligne de la très-grande industrie n'est qu'un élément important de la solution du problème de l'établissement d'institutions propres à faire régner l'accord dans le plus grand nombre des ateliers.

Revenons donc aux institutions applicables à l'industrie dans le cas le plus général; elles nous conduiront à la solution du problème d'améliorer le sort des ouvriers, en reconnaissant tous leurs droits, en faisant rentrer les populations industrielles dans les cadres, hiérarchiquement ordonnés, d'une société bien organisée.

3. — DES ANCIENNES CORPORATIONS.

Nous commençons à comprendre qu'on ne crée pas à volonté une société, que celle-ci a ses conditions d'existence dont on peut s'écarter. Aussi nous nous reportons volontiers aujourd'hui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à notre ancienne société, exempte des dissensions intestines si fréquentes à notre époque, pour y trouver les institutions qui assuraient la paix publique. Pour ce qui est de l'organisation industrielle, la législation avait surtout en vue la réglementation des jurandes et maîtrises, et il ne semble pas que les difficultés entre patrons et ouvriers aient préoccupé le législateur, les chefs des corporations reconnues par la loi, appuyés sur les mœurs et les coutumes, étant habituellement assez forts pour les dominer.

On sait que c'est vers 1260 que parut le LIVRE DES MÉTIERS d'Étienne Boileau, prévôt de Paris, renfermant les statuts de cent métiers différents, régularisant un groupement né avec les communes et vers la fin du servage. Cette réglementation fut considérée comme une des grandes œuvres du règne de saint Louis. Ces statuts furent successivement modifiés dans leurs détails : ainsi l'ordonnance de Blois, rendue vers le milieu du XVIe siècle, prescrivit la nomination des maîtres jurés par l'élection. Colbert refondit tous les règlements relatifs aux fabrications, et ne put empêcher que la vente de charges lucratives créées aux dépens des corps d'arts et métiers ne prît un développement abusif.

En 1776, il n'y a pas encore un siècle, et après cinq siècles de durée des anciennes coutumes, Turgot fit rendre un édit qui supprimait toute organisation. Nous donnerons ici la majeure du préambule de cet édit, exalté comme un chef-d'œuvre; on y reconnaîtra le langage du philosophe du XVIIIe siècle réclamant les droits de la liberté individuelle, plus que celui de l'administrateur et du politique. Il détruisait tout ce qui existait, sans rien mettre à la place, ne trouvant absolument rien à conserver dans ce qui avait constitué la loi industrielle de nos pères.

« Louis, par la grâce de Dieu, etc. Nous devons à tous nos sujets de leur assurer la jouissance pleine et entière de leurs droits; nous devons surtout cette protection à cette classe d'hommes qui, n'ayant de propriété que leur travail et leur industrie, ont d'autant plus le besoin et le droit d'employer dans toute leur étendue les seules ressources qu'ils aient pour subsister.

« Nous avons vu avec quelle peine les atteintes multipliées qu'ont données à ce droit naturel et commun des institutions, anciennes à la vérité, mais, que ni le temps, ni l'opinion, ni les actes mêmes émanés de l'autorité qui semble les avoir consacrées, n'ont pu légitimer.

« Dans presque toutes les villes de notre royaume, l'exercice de différents arts et métiers est concentré dans les mains d'un petit nombre de maîtres, réunis en communauté, qui peuvent seuls, à l'exclusion de tous les autres citoyens, fabriquer ou vendre les objets de commerce particulier dont ils ont le privilége exclusif; en sorte que ceux de nos sujets qui, par goût ou par nécessité, se destinent à l'exercice des arts et métiers, ne peuvent y parvenir qu'en acquérant la maîtrise, à laquelle ils ne sont reçus qu'après les épreuves aussi longues et aussi nuisibles que superflues, et après avoir satisfait à des droits ou à des exactions multipliées, par lesquels une partie des fonds dont ils auraient eu besoin pour monter leur commerce ou leur atelier, ou même pour subsister, se trouve consommée en pure perte.

« Ceux dont la fortune ne peut suffire à ces pertes sont réduits à n'avoir qu'une subsistance précaire sous l'empire des maîtres, à languir dans l'indigence, ou à porter hors de leur patrie une industrie qu'ils auraient pu rendre utile à l'État.

« Toutes les classes de citoyens sont privées du droit de choisir les ouvriers qu'ils voudraient employer, et des avantages que leur donnerait la concurrence par le bas prix et la perfection du travail. On ne peut souvent exécuter l'ouvrage le plus simple, sans recourir à plusieurs ouvriers de communautés différentes, sans essuyer les lenteurs, les infidélités, les exactions que nécessitent ou favorisent les prétentions de ces différentes communautés, et les caprices de leur régime arbitraire et intéressé.

« Ainsi les effets de ces établissements sont, à l'égard de l'État, une diminution inappréciable de commerce et de travaux industrieux; à l'égard d'une nombreuse partie de nos sujets, une perte de salaires et de moyens de subsistance; à l'égard des habitants des villes en général, l'asservissement à des priviléges exclusifs, dont l'effet est absolument analogue à celui d'un monopole effectif : monopole dont ceux qui l'exercent contre le public, en travaillant et en vendant, sont eux-mêmes les victimes dans tous les moments où ils ont, à leur tour, besoin de marchandises, ou du travail d'une autre communauté.

« Ces abus se sont introduits par degrés; ils sont originairement l'ouvrage de l'intérêt des particuliers qui les ont établis contre le public; c'est après un long intervalle de temps que l'autorité, tantôt surprise, tantôt séduite par une apparence d'utilité, leur a donné une sorte de sanction.

« La source du mal est dans la faculté même accordée aux artisans d'un même métier, de s'assembler et de se réunir en un corps.

« Il paraît que, lorsque les villes commencèrent à s'affranchir de la servitude féodale et à se former en communes, la facilité de classer les citoyens par le moyen de leur profession introduisit cet usage inconnu jusqu'alors. Les différentes professions devinrent ainsi comme autant de communautés particulières, dont la communauté générale était composée. Les confréries religieuses, en resserrant encore les liens qui unissaient entre elles les personnes d'une même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

profession, leur donnèrent des occasions plus fréquentes de s'assembler et de s'occuper dans ces assemblées de l'intérêt commun des membres de la société particulière, qu'elles poursuivirent avec une activité continue, au préjudice des intérêts de la société générale.

« Les communautés, une fois formées, rédigèrent des statuts, et, sous différents prétextes de bien public, les firent autoriser par la police. La base de ces statuts est d'abord d'exclure du droit d'exercer le métier quiconque n'est pas membre de la communauté; leur esprit général est de restreindre, le plus qu'il est possible, le nombre des maîtres, de rendre l'acquisition de la maîtrise d'une difficulté presque insurmontable pour tout autre que pour les enfants des maîtres actuels. C'est à ce but que sont dirigés la multiplicité des frais et des formalités de réception, les difficultés du chef-d'œuvre toujours jugé arbitrairement, surtout la cherté et la longueur inutile des apprentissages, et la servitude prolongée du compagnonnage; institutions qui ont encore l'objet de faire jouir les maîtres gratuitement, pendant plusieurs années, du travail des aspirants.

. . . . . .

« Henri III donna, par son édit de décembre 1581, à cette institution, l'étendue et la forme d'une loi générale. Il établit les arts et métiers en corps et communautés dans toutes les villes et lieux du royaume.

« L'édit d'avril 1597 en aggrava encore les dispositions, en assujettissant tous les marchands à la même loi que les artisans. L'édit de mars 1673, purement bursal, en ordonnant l'exécution des deux précédents, a ajouté au nombre des communautés déjà existantes d'autres communautés jusqu'alors inconnues.

La finance a cherché de plus en plus à étendre les ressources qu'elle trouvait dans l'existence de ces corps. Indépendamment des taxes des établissements des communautés et des maîtrises nouvelles, on a créé dans les communautés des offices sous différentes dénominations; et on les a obligées de racheter ces offices au moyen d'emprunts qu'elles ont été autorisées à contracter, et dont elles ont payé les intérêts avec le produit des gages ou des droits qui leur ont été aliénés.

« C'est sans doute l'appât de ces moyens de finance qui a prolongé l'illusion sur le préjudice immense que l'existence des communautés cause à l'industrie, et sur l'atteinte qu'elle porte au droit naturel. Cette illusion a été portée chez quelques personnes jusqu'au point d'avancer que le *droit de travailler* était un *droit royal* que le prince pouvait vendre, et que les sujets devaient acheter.

« Nous nous hâtons de rejeter une pareille maxime.

« Dieu, en donnant à l'homme des besoins, en lui rendant nécessaire la ressource du travail, a fait, du droit de travailler, la propriété de tout homme; et cette propriété est la première, la plus sacrée et la plus imprescriptible de toutes.

« Nous regardons comme un des premiers devoirs de notre justice, et comme un des actes les plus dignes de notre bienfaisance, d'affranchir nos sujets de toutes les atteintes portées à ce droit inaliénable de l'humanité: nous voulons, en conséquence, abroger ces institutions arbitraires, qui ne permettent pas à l'indigent de vivre de son travail, qui repoussent un sexe à qui la faiblesse a donné plus de besoins et moins de ressources, et semblent, en le condamnant à une misère inévitable, seconder la séduction et la débauche; qui éloignent l'émulation et l'industrie, et rendent inutiles les talents de ceux que les circonstances excluent de l'entrée d'une communauté; qui privent l'état et les arts de toutes les lumières que les étrangers y apporteraient; qui retardent le progrès des arts par les difficultés multipliées que rencontrent les inventeurs, auxquels les différentes communautés disputent le droit d'exécuter les découvertes qu'elles n'ont point faites.

« Nous ne serons point arrêtés dans cet acte de justice par la crainte qu'une foule d'artisans n'usent de la liberté rendue à tous pour exercer des métiers qu'ils ignorent, et que le public ne soit inondé d'ouvrages mal fabriqués: la liberté n'a point produit ces fâcheux effets dans les lieux où elle est établie depuis longtemps. Les ouvriers des faubourgs et des autres lieux privilégiés ne travaillent pas moins bien que ceux de l'intérieur de Paris. »

Cet édit excita des clameurs universelles qui contribuèrent à renverser le ministère dont Turgot faisait partie, et, aussitôt sa chute, les corporations furent rétablies par un édit par lequel on cherchait, en maintenant partiellement le principe de la liberté du travail, à conserver l'organisation passée dans les mœurs.

« Louis, par la grâce de Dieu, etc. Notre amour pour nos sujets nous avait engagés à supprimer par notre édit du mois de février dernier, les jurandes et communautés de commerce, arts et métiers. Toujours animés du même sentiment et du désir de procurer le bien de nos peuples, nous avons donné une attention particulière aux différents mémoires qui nous ont été présentés à ce sujet, et notamment aux représentations de notre cour de parlement; et ayant reconnu que l'exécution de quelques-unes des dispositions que cette loi contient pouvait entraîner des inconvénients, nous avons cru devoir nous occuper du soin d'y remédier, ainsi que nous l'avions annoncé; mais persévérant dans la résolution où nous avons toujours été de détruire les abus qui existaient avant notre édit dans les corps et communautés d'arts et métiers, et qui pouvaient nuire aux progrès des arts, nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

avons jugé nécessaire, en créant, de nouveau, six corps de marchands et quelques communautés d'arts et métiers, de conserver libres certains genres de métiers ou de commerces qui ne doivent être assujettis à aucuns règlements particuliers ; de réunir les professions qui ont de l'analogie entre elles, et d'établir à l'avenir des règles dans le régime desdits corps et communautés, à la faveur desquelles *la discipline intérieure et l'autorité domestique des maîtres sur les ouvriers seront maintenues, sans que le commerce, les talents et l'industrie soient privés des avantages attachés à cette liberté qui doit exciter l'émulation sans introduire la fraude et la licence.* La concurrence établie pour des objets de commerce, fabrication et façon d'ouvrages, produira une partie de ces heureux effets ; et le rétablissement des corps et communautés fera cesser les inconvénients résultant de la confusion des états. Les professions qu'il sera libre à toutes personnes d'exercer indistinctement continueront d'être une ressource ouverte à la partie la plus indigente de nos sujets ; les droits et frais pour parvenir à la réception dans lesdits corps et communautés, réduits à un taux très-modéré et proportionné au genre et à l'utilité du commerce et de l'industrie, ne seront plus un obstacle pour y être admis ; les filles et femmes n'en seront pas exclues ; les professions qui ne sont pas incompatibles pourront être cumulées...

« En rectifiant ainsi ce que l'expérience a fait connaître de vicieux dans le régime des communautés, en fixant par de nouveaux statuts et règlements un plan d'administration sage et favorable, lequel dégagera des gênes que les anciens statuts avaient apportées à l'exercice du commerce et des professions ; et détruisant des usages qui avaient donné naissance à une infinité d'abus, d'excès et de manœuvres dans les jurandes, et contre lesquels nous avons dû faire un usage légitime de notre autorité, nous conserverons de ces anciens établissements les avantages capables d'opérer le bon ordre et la tranquillité publique. A ces causes, etc... »

Il a été d'usage, de répéter, tant que nous avons vécu dans le respect de la tradition révolutionnaire, et que les derniers événements ne nous avaient pas montré que nous suivions une voie funeste, que l'édit que nous venons de rapporter était un abandon insensé des idées de progrès. Certes, il serait absurde de soutenir que M. de Calonne fût un philosophe d'autant de valeur que Turgot ; mais c'était un esprit délié, saisissant vite les fautes de ses adversaires.

Nous comprenons bien, sachant comment se forme l'opinion publique, que l'édit de Turgot, inattaquable quand il proclamait le principe de la liberté du travail, devait blesser bien des individus, en déclarant en quelque sorte illicites des influences justement acquises, lorsqu'il dissolvait toute corporation, tout groupement de personnes vouées à une même industrie, faisait disparaître les fondations établies, transformait les vieilles relations entre les patrons et les ouvriers, installait le désordre en rompant avec toutes les anciennes coutumes. C'était là une perturbation considérable, car, comme l'a démontré Stuart Mill, la coutume est la puissance modificatrice de l'économie politique qui sert à adoucir les frottements, à diminuer les souffrances qui résultent de leur application.

Nous avons déjà montré combien Turgot et les Assemblées de la Révolution ont échoué dans leur proscription de toute association d'ouvriers, comment l'enrégimentation de plus de 100,000 ouvriers parisiens, obéissant aveuglément à des chefs occultes, répond à leur prétention de faire que, par suite de l'absence de toute institution légale, la discussion du taux du salaire ait lieu entre chaque patron et chaque ouvrier isolément!

Nous consacrons le chapitre suivant à montrer comment les corporations tendent à renaître de nos jours, au grand avantage de tous, sans pouvoir nuire à personne. Nous dirons seulement quelques mots des points sur lesquels l'organisation de nos pères avait une supériorité évidente sur celle de nos jours. Tel était l'apprentissage.

L'apprentissage était long, sévère, mais avait un cachet paternel qui compensait tous les défauts ; l'apprenti faisait partie de la famille du patron, qui s'occupait de son éducation morale, en faisait un honnête homme en même temps qu'un habile ouvrier. Aujourd'hui l'absence de règlements, l'esprit d'indépendance ont à peu près détruit l'apprentissage ; il n'a plus de valeur que dans un très-petit nombre de professions et d'ateliers.

« L'apprentissage (dit M. J. Gaudry, ingénieur civil) est dans un état déplorable et menaçant pour l'avenir de notre industrie, tandis qu'il est toujours complet en Angleterre et en Allemagne.

« Qu'en résulte-t-il, sinon ce fait bien connu, qu'un bon ouvrier est de plus en plus rare, et qu'on entend partout répéter ce mot : on ne sait plus travailler! C'est là peut-être le point le plus vif de la question ouvrière...

« Après l'indigne abus qui a été fait de l'hospitalité française, on s'était bien promis de ne plus employer les Allemands. Et cependant, dans un seul arrondissement de Paris, il en est revenu 2,000. Un agent du dernier recensement s'en indignait ; partout on lui répondait : que voulez-vous que je fasse? Je ne trouve pas d'ouvriers français, et si je refusais ces maudits étrangers, je ne pourrais plus remplir mes engagements.

« C'est que dans la classe ouvrière il y a beaucoup de *fruits secs*, ou de non-valeurs qui ne peuvent être pour un patron des collaborateurs utiles. Tous les jours il se présente des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ouvriers avec plus ou moins de bonne volonté de travailler, auxquels il faut rappeler qu'on ne s'improvise pas plus terrassier ou serrurier, qu'on ne devient avocat ou médecin sans un noviciat méthodique. C'est par celui-ci, que suit l'exercice spécialisé de toute la vie, que l'ouvrier anglais acquiert cette sûreté de main qui étonne. »

« *Voici ce qui se passe depuis vingt-cinq ans à Paris*[1] : Il ne se fait presque plus d'élèves dans les professions industrielles sérieuses, nous tirons nos ouvriers de la province et de l'étranger; les parents exigent tous, de suite, un gain quelconque pour leurs enfants. Ne pouvant payer un contre-maître à neuf francs par jour, donner du bois, du fer ou de l'étoffe à gâter à des élèves, et pendant ce temps les payer en plus, nous refusons. Alors les parents mettent leurs enfants dans les professions où les patrons, tirant un produit immédiat des apprentis, peuvent les rémunérer faiblement. Ces professions sont généralement celles des lanceurs de navette, dans les ateliers de tissage de Belleville et Ménilmontant; gâcheurs de couleurs et tireurs de papiers, dans les fabriques de papiers peints, plieurs, porteurs et brocheurs, dans les imprimeries et ateliers de reliure; polisseurs, finisseurs, vernisseurs, etc., etc. Enfin ce sont là des accessoires de professions, que des machines simples à inventer et à construire devraient remplacer pour la plupart, mais non des professions sérieuses.

« Les enfants, moins surveillés, deviennent marchands de contremarques, ouvreurs de voitures, etc., etc. Bref, tous les métiers interlopes, qui fourmillent dans Paris, sont exercés plus ou moins bien par ces enfants.

« Comme conséquences : 1° Il ne se fait pour ainsi dire pas d'élèves dans les professions du bâtiment, de l'ameublement et du vêtement;

« 2° Ces professions, qui périclitent, manquant de bras, augmentent la valeur de leurs produits d'une façon insensée depuis trente ans;

« 3° Tous ces enfants arrivent à vingt ans n'ayant aucun métier sérieux entre les mains. Ne pouvant se donner les jouissances de la vie, que chez les autres ils ont constamment devant les yeux, ils deviennent pour la plupart jaloux de ceux qu'ils nomment leurs exploiteurs. Arrivés là, ils sont devenus les véritables ennemis de la société. Aussi la société parisienne, en ne s'occupant pas d'obliger et d'aider les apprentissages, crée et met au monde tous les vingt ans une armée du mal, composée de *cent mille individus* au minimum, toujours prête à se mettre au service de toutes les exagérations politiques et sociales qu'engendrent périodiquement les malentendus existant entre les classes de la société. »

1. *Lettre au Jury international de Vienne*, par M. Mazaroz, grand fabricant de meubles sculptés, pour réclamer l'établissement de la famille professionnelle.

Aux vices de l'apprentissage, il faut ajouter un état d'agitation d'esprit chez l'ouvrier qui s'accorde mal avec une grande perfection de travail. Jadis il ne changeait jamais de maison, gagnait moins d'argent, menait une existence plus rude qu'aujourd'hui; mais, en compensation, il ne souffrait pas tant de son sort, n'était pas dévoré par l'envie et la jalousie qui empoisonnent de nos jours son existence de la manière la plus fâcheuse et rongent toute la société moderne. Nos fêtes populaires n'ont plus la gaieté, l'entrain des fêtes de nos pères; on ne sait plus s'amuser quand on est devenu hargneux.

Nul doute que le désir de s'établir, de s'enrichir qui possède si justement nos bons ouvriers, ne soit un des ressorts les plus énergiques de notre société moderne, et personne qui ne se réjouisse de voir presque constamment d'anciens ouvriers devenus possesseurs de la majeure partie de nos établissements industriels; mais si la tête de la classe ouvrière est remarquable en France, les progrès de la masse sont plus que contestables.

Nous citerons encore à ce sujet l'opinion de M. Mazaroz; il considère comme bien établi par les faits la grande utilité des anciennes corporations, au point de vue de l'habileté professionnelle.

« Les corporations, dit-il, étaient des écoles, des centres d'instruction et de spécialités où l'on apprenait la partie d'art et de science relative à chaque industrie.

« Par leur destruction, le travail fut désorganisé pour l'avenir, et le règne de la camelote, de la spéculation et de l'ignorance dans la production fut créé du même coup, car tous les liens et toutes les garanties réciproques du travail n'existaient plus.

« La vérité est que ces anciennes corporations, dont Étienne Boileau, prévôt de Paris sous Louis IX, nous a conservé les statuts dans son *Livre des Métiers*, ont su durant quatre siècles, élever et maintenir la production française à une hauteur et à une beauté que nous ne sommes pas encore parvenus à égaler. C'est appuyées sur leur forte et intelligente organisation qu'elles ont pu entreprendre et mener à si bonne fin cette multitude de travaux de tous genres, depuis la cathédrale jusqu'au bahut, depuis le bronze colossal jusqu'à la figurine d'ivoire, depuis l'armure repoussée au marteau et gravée de nielles merveilleux, jusqu'à la clef de fer ciselée comme un bijou, depuis la fine miniature des manuscrits jusqu'au plat de reliure le plus délicat, depuis le cristal de roche taillé en buire svelte jusqu'à l'émail et à la faïence aux reflets phosphorescents, toutes créations où l'art est toujours et partout si intimement lié à l'industrie, et qui sont aujourd'hui l'honneur de nos villes et de nos musées.

« Tous ces grands ou charmants modèles, il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faut bien le reconnaître, laissent fort au-dessous d'eux nos copies aussi pâles qu'obstinées.

« C'est que pour atteindre à la perfection en toute œuvre il faut une forte éducation, une longue pratique, les bons conseils et la savante direction des maîtres; il faut longtemps les voir travailler afin de surprendre leur secret; il faut patiemment s'approprier le goût sûr et la science qui les mènent à assortir les détails aux ensembles, le génie du bon sens qui leur permet — ce qui est leur suprême triomphe — d'unir le beau à l'utile : mais il ne suffit pas d'être libre pour cela.

« Ce serait donc une chose excellente, et dont notre industrie et notre art contemporains bénéficieraient largement, que la fondation à nouveau de ces antiques corporations des métiers.

« *Que toutes les familles professionnelles soient ouvertes, qu'aucune ne soit fermée.* Qu'on soit libre d'y entrer, qu'on soit libre d'en sortir, et soudain toutes les objections tombent, tous les inconvénients disparaissent. Les plus sérieux avantages subsistent seuls, et la liberté, loin d'affaiblir la patriotique organisation de la famille professionnelle, lui prêtera une force nouvelle en rendant volontaire toute adhésion qui viendra à elle. »

Nous rapporterons encore ici, sur les défauts de notre industrie actuelle au point de vue technique, l'opinion d'un maître que l'on ne pourra pas accuser d'opinions rétrogrades, du savant architecte Viollet-Leduc.

« Les corps de métiers avaient l'inconvénient de maintenir la main-d'œuvre à un prix élevé, de composer une sorte de coalition permanente, exclusive, jalouse, et toujours en situation de faire la loi à l'acheteur; mais ces corps conservaient les traditions, repoussaient les incapacités ou les bras inhabiles. La main-d'œuvre, n'ayant pas de concurrence ruineuse à craindre, tenait à la bonne renommée qui faisait sa richesse et lui assurait le travail de chaque jour.

« Il faut bien reconnaître qu'en France nous ne savons pas profiter de la liberté avec la tempérance et la tenue qui peuvent seules en garantir la durée, et qu'une barrière n'est pas plutôt renversée, que tout le monde veut passer en même temps, sous peine de tomber les uns sur les autres.

« Les industries affranchies de toute entrave par les principes de 1789 se sont bientôt livrées à une concurrence effrénée à ce point, que plusieurs ont cessé d'inspirer toute confiance et ont vu cesser les demandes peu à peu, surtout à l'étranger, à cause de l'infériorité de la fabrication. Nos chefs d'industrie sont très-capables, nos ouvriers sont pleins d'intelligence; mais, dans le cours ordinaire des choses, maîtres et ouvriers se contentent d'*à-peu-près*. S'il s'agit d'une exposition industrielle, de paraître devant les autres nations, la plupart de nos fabricants pourront se trouver au premier rang, envoyer des produits incomparables sous le rapport du goût et de l'exécution; mais s'il s'agit de multiplier ces produits à l'infini, d'en exporter des milliers, ils seront la plupart défectueux, négligés, incomplets.

« Ce malheureux défaut, qui tient à notre caractère, nous a fermé des débouchés sur toute la surface du globe; tandis que nos voisins les Anglais, inférieurs à nous sur bien des points, s'emparent des marchés par l'égalité de leurs produits. L'organisation des jurandes et maîtrises apportait un frein à cette habitude de fabriquer d'autant moins bien qu'on fabrique davantage. Nous avons tous éprouvé que l'on ne peut prendre aujourd'hui dans le commerce les objets qui demandent une exécution régulière et soignée, et que si nous voulons, par exemple, de bonnes serrures, il faut les faire faire exprès; que si nous avons un appartement à meubler, nous devons commander chaque meuble et veiller à ce que son exécution soit irréprochable... »

Au point de vue du rôle des corporations pour le soulagement des souffrances des ouvriers, on peut voir dans A. Monteil comment, après avoir étudié dans les patientes recherches sur l'ancienne France les confréries annexes des corporations, forme du groupement des corps de métiers pour les démonstrations religieuses, liées intimement aux institutions de bienfaisance, il indique combien c'était une lourde charge que la responsabilité qui incombait aux patrons, dans ce passage de son écrit sur le MALHEUR DES GENS DE MÉTIERS (XVe siècle).

« Malheur des maîtres! Qu'arrive-t-il, messires, lorsqu'il y a trop d'ouvriers et pas assez de travail? Vous le savez, une partie tombe dans la misère; nos statuts nous imposent alors le devoir de secourir nos confrères; la misère amène la maladie, la mort : nous devons les faire enterrer. Ils laissent des veuves, des orphelins, des orphelines ; c'est à nous à les nourrir; les orphelins grandissent : c'est à nous à les élever, à les enseigner; les orphelines grandissent, c'est à nous à les doter, à les marier. »

C'était l'église, autour de laquelle s'organisaient les confréries, dans une société profondément religieuse, qui bénissait les bannières et intervenait dans toutes les fêtes du corps de métier, qui prélevait une espèce de taxe des pauvres qui sortait de la caisse de chaque confrérie. Cette caisse, souvent désignée sous le nom de *charité du métier*, était alimentée par les retenues faites sur le salaire, les deniers à Dieu payés pour les transactions et par les amendes. La taxe était permanente, et lorsqu'elle ne pouvait suffire aux nécessités, les corporations étaient autorisées à imposer sur chacun des confrères, mais toujours du consentement de la majorité, une prestation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

extraordinaire, recouvrable, comme pour les impôts royaux, par voie de contrainte.

Ces taxes entraient aussi, pour une grande part, dans l'AUMONE GÉNÉRALE, dans la fondation des nombreux hôpitaux et hospices destinés aux classes laborieuses des villes industrielles.

On voit que les institutions qui accompagnèrent la substitution du salaire et de la liberté au servage, tendaient à corriger les effets de l'isolement du travailleur émancipé, dans les cas les plus pénibles, et il n'y a pas eu seulement des avantages à supprimer toutes ses relations avec le patron, en détruisant brutalement ce que les membres de nos assemblées, ignorants de la vie industrielle, ne comprenaient pas.

En résumé, le patronage ancien, s'il avait des inconvénients, n'était donc pas sans offrir des avantages sérieux ; l'esprit de famille professionnelle conduisait à remédier à bien de maux, et c'est en détruisant tout l'organisme qui s'occupait des souffrances qu'apporte à l'ouvrier l'instabilité du travail, la maladie, la vieillesse, en rompant tous les liens de la famille professionnelle que la Révolution nous a, en partie, conduits à cet état d'ébullition permanent des classes ouvrières, qui ne saurait persister sans danger incessant d'explosions destructives pour la société.

Indépendamment de tout pouvoir, les corporations étaient très-utiles aux patrons ; la dignité personnelle s'exaltait chez ceux qui étaient nommés syndics, échevins, etc., par les suffrages de leurs confrères, les plus flatteurs de tous, les seuls qui corrigent par l'estime et la considération les chances des affaires, et font passer la loyauté avant la finesse qui procure quelquefois les plus gros bénéfices. Or, il n'importe pas peu que le patron sache commander, inspire le respect ; c'est la première condition du rétablissement des bonnes influences, qui sont la condition la plus essentielle de l'ordre moral dans les ateliers.

4. — DES CHAMBRES SYNDICALES.

La nécessité de s'entendre sur des questions d'intérêt professionnel, de faire face à des dangers pressants, contraint fréquemment les personnes exerçant une même profession à se réunir, à nommer des délégués, des commissaires chargés de suivre certaines négociations. La répétition de semblables nécessités a fini par rendre stable dans certaines industries ces organisations temporaires, et depuis bien longtemps déjà les Chambres du bâtiment dites de la Sainte-Chapelle, dont le domicile est près du Palais de Justice, dans le bel immeuble qu'elles se sont construites, fonctionnent à Paris. Elles comprennent les diverses Chambres spéciales à chacun des corps d'état qui concourent à l'érection d'un bâtiment (carriers, entrepreneurs de maçonnerie, de plomberie, de pavage, de serrurerie, etc.) et ont rendu de grands services.

Plus recemment de nombreux corps d'état ont fondé, sur des bases analogues, des Chambres syndicales qui sont devenues aussitôt des rouages essentiels du mécanisme professionnel.

Je citerai, parmi les plus importantes, la *Chambre syndicale des tissus* qui compte un grand nombre d'adhérents, notamment parmi les nombreux fabricants qui ont leurs dépôts à Paris ; la *Chambre syndicale des bronzes*, formée de la totalité des fabricants, contraints à en faire partie, s'ils n'en eussent eu envie, par la nécessité de faire face à la coalition incessante des ouvriers de la profession ; la *Chambre syndicale de la bijouterie* ; le *Cercle de la librairie et de l'imprimerie* qui constitue une véritable Chambre syndicale, avec un centre de réunion destiné à faire régner la confraternité entre les membres d'industries voisines ; la *Chambre des imprimeurs* ; la *Chambre syndicale de la céramique*, etc., etc.

Ces chambres vont se multipliant chaque jour, et en ne comptant avec les anciennes que les plus importantes de celles fondées par l'Union du commerce, par des procédés trop imités depuis par les ouvriers pour la fondation de leurs Chambres syndicales ouvrières, à Paris on en compte au moins quarante à cinquante fort sérieuses. Il n'est plus de corps d'état qui ne puisse aujourd'hui profiter de cette forme de groupement, pour employer la force de l'association et reunir les efforts de tous, lorsqu'il s'élève une question d'intérêt général.

En dehors de Paris et surtout dans les contrées livrées à une même industrie, les chambres de commerce créées par l'administration, vu la nécessité d'avoir quelques renseignements sur l'industrie sont absolument des institutions semblables. Les Chambres de commerce de Saint-Malo, de Rochefort, de Granville, de Dunkerque, etc., sont des chambres syndicales d'armateurs ; celles de Lyon, de Roubaix, de Reims, etc., des chambres syndicales de fabricants de soieries, de filateurs. On peut donc dire que cette organisation comprend aujourd'hui toute l'industrie.

Que sont ces Chambres syndicales nées dans les diverses industries de l'absolue nécessité pour chacun de ne pas rester isolé dans les questions d'intérêt général ?

Ce sont de véritables *corporations*, des corporations sans aucun pouvoir légal, ne pouvant gêner la liberté de personne, par suite auxquelles ne s'appliquent pas les reproches faits par Turgot aux anciennes corporations, mais qui peuvent reprendre les traditions de celles-ci pour faire renaître leurs créations utiles analogues à celles que nous avons vues apparaître dans la grande industrie, rétablir les bonnes influences, devenir en un mot un rouage capital pour faire régner l'ordre vrai dans les ateliers. On était ar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rivé jadis à une semblable organisation qui a duré 4 ou 5 siècles; le désordre dans les ateliers, la force des choses, nous y ramènent d'une manière irrésistible.

Nous croyons que les personnes qui ont vu de près des Chambres syndicales ou quelques associations analogues, ont reconnu qu'elles constituaient le seul organisme susceptible de venir à bout de l'hostilité funeste de tant d'ouvriers contre leurs patrons et la société même.

Praticiens choisis par leurs confrères, les membres du conseil des Chambres syndicales sont des gens de valeur, connaissant bien les questions professionnelles, ayant une influence personnelle sur nombre d'ouvriers du corps d'état, qu'ils font ou ont fait travailler. Personne ne connaît mieux qu'eux les besoins et les désirs de leurs collaborateurs, leurs qualités et leurs défauts, les usages qui tendent à s'introduire dans les ateliers; personne n'est mieux placé pour faire régner la paix dans leurs relations mutuelles, empêcher les grèves par des concessions raisonnables, quand il y a lieu, concessions étudiées, prévues, pouvant être faites en temps utile par les principaux fabricants habitués à se concerter, pour peu que la législation ne soit pas complice de machinations souterraines, qui entretiennent l'agitation par l'attente de batailles inévitables par suite des préparatifs mêmes.

Une condition essentielle pour que les Chambres syndicales puissent rendre les services qu'on doit en attendre, est de les reconnaître comme établissements d'utilité publique. Les revenus qu'elles pourraient réunir et capitaliser par les sacrifices des patrons, par des recettes spéciales, par les legs que peuvent leur laisser en mourant des industriels enrichis, par bienveillance pour leurs anciens collaborateurs et pour contribuer au succès d'une industrie à laquelle ils ont consacré toute leur vie, comme l'ont fait Crozatier, Breuzin et autres, ne peuvent fournir des ressources croissantes qu'autant que cette nouvelle main-morte pourra être constituée solidement, afin de permettre d'utiles fondations et d'aider à alléger bien des souffrances par des secours bien répartis. Il n'est pas besoin d'être très-familiarisé avec la vie des ateliers pour sentir que c'est dans cette direction que se trouve la solution de la question ouvrière, autant qu'elle peut être résolue, c'est-à-dire non pas le moyen de faire des rentes à tout le monde, mais de multiplier les institutions qui perfectionnent, soutiennent, secourent intelligemment le travailleur, le font échapper à l'isolement qui le rend hostile à une société qu'il trouve dure à son égard.

Les Chambres syndicales sont encore bien nouvelles pour que les institutions qu'elles ont pu fonder soient en bien grand nombre; mais celles-ci sont suffisantes pour démontrer qu'une semblable association des patrons dont les ateliers ont une importance moyenne et même médiocre, pourra réaliser toutes celles dont la grande industrie a doté ses ouvriers, consolider des coutumes protectrices propres à chaque industrie, qui naissent spontanément de la nature du travail et des habitudes des ouvriers qui l'exercent, s'occuper de l'apprentissage, des caisses de secours aux malades et aux infirmes, etc., etc., et réagir ainsi puissamment contre les mauvais sentiments d'envie qui sont la plaie de notre époque.

Nous citerons, en premier lieu, l'école de dessin et de moulage fondée par la Chambre syndicale de la bijouterie, qui, soutenue par une allocation de la Chambre, recevant pour ses lauréats de très-beaux prix, surveillée par les plus habiles fabricants, deviendra une pépinière d'excellents ouvriers pour une industrie où les premiers sont de véritables artistes. La Chambre des Bronzes a créé une institution analogue.

Un genre de services très-apprécié que rendent toutes les Chambres syndicales de Paris est d'aider puissamment la justice consulaire en faisant des rapports sur les contestations de leur spécialité, entendant les parties et les conciliant très-souvent, par suite de la difficulté pour les plaideurs de repousser l'arbitrage de leurs pairs, trop expérimentés pour que le bon droit ne soit bientôt reconnu.

Toutes les Chambres syndicales, croyons-nous, dépensent certaines sommes en fonds de secours; mais nous ne savons pas si, dans quelques-unes, il en est résulté une fondation de caisse de secours; à cet effet, une cotisation des participants est tout à fait nécessaire pour leur donner l'excellent caractère de caisse d'assurance contre les accidents. Les nombreuses fondations municipales de cette nature faites sous l'Empire, avec la participation de membres honoraires, rend ces créations peu urgentes.

Au Cercle de la librairie, c'est par une cotisation annuelle de chaque membre, peu considérable pour chacun, sans capital spécialement accumulé, que nous faisons face à tous les besoins des veuves, des blessés de la librairie, aidés déjà par le legs d'une petite rente, souvenir d'un ancien confrère.

Un mot sur cette Chambre syndicale, pour montrer, par un exemple qui m'est bien connu, comment toutes les créations désirables doivent procéder pour ainsi dire nécessairement de nos utiles corporations modernes.

Créé en 1847 surtout pour fonder un centre de réunion, entretenir la bonne confraternité entre personnes exerçant la même industrie, le Cercle, devenu Chambre syndicale, spontanément en quelque sorte, a vu son rôle grandir par suite des nécessités de chaque jour. Déjà, par suite d'une heureuse administration, il dispose d'un capital d'environ 200,000 francs, appartenant à la corporation seule, c'est-à-dire ne pouvant être em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

ployé qu'à des œuvres d'intérêt général. Aussi son Conseil peut-il rendre d'utiles services à la profession par des publications professionnelles, par l'organisation d'expositions collectives comme celle de Vienne, où il a fait paraître, avec un grand éclat, nos industries, etc.; mais la majeure partie des ressources n'est pas encore employée, et c'est le désir de bien faire qui a retardé des fondations qui se succéderont en quelque sorte par la force des choses.

Parmi les plus probables et les plus prochaines je citerai des cours d'apprentissage pour la typographie, à l'imitation de ceux que les libraires allemands ont créés récemment à Leipzig.

Une forme convenable pour inciter les ouvriers à l'économie, sans offenser leur grande susceptibilité, que j'eusse voulu faire adopter pendant ma présidence, si les événements n'avaient forcé d'ajourner tout progrès, est la suivante que je recommande aux Chambres syndicales. Elle consiste à employer une partie des revenus de la corporation dont on peut disposer, pour porter à 10 pour 100 au lieu de 3 pour 100 les intérêts des sommes économisées sur les salaires, déposées à la Caisse d'épargne, chez nous, par des employés de librairie, des compositeurs, imprimeurs, etc., jusqu'à concurrence de 1,000 francs par exemple. L'énormité de l'intérêt sera un puissant attrait pour décider aux premières économies, et l'ouvrier qui aura mis 1,000 francs de côté sera un ouvrier rangé pour le reste de sa vie.

Il est une circonstance de l'existence des ouvriers où ils sont vraiment à plaindre, à savoir quand, les travaux diminuant, il leur faut courir les ateliers sans trouver de travail nulle part. On comprend que les esprits chagrins rêvent alors de société nouvelle et deviennent bientôt ingouvernables; ce qui semblerait montrer que cette cause a de l'importance à ce point de vue, c'est que les ateliers où le travail ne chôme jamais, où les places sont à vie pour l'ouvrier rangé, comme ceux des chemins de fer, sont d'une conduite très-facile.

Dieu me garde de conclure de là au *droit au travail*, une des absurdités de 1848, démodée aujourd'hui. La société n'est pas responsable de ce que l'homme vient au monde sans richesse. Les remèdes aux souffrances, par cela seul qu'elles existent, sont du domaine de la charité, mais non de celui de la justice. L'affectation de quelques ressources pour doter une caisse de chômage, pour quelques secours temporaires, serait souhaitable, croyons-nous, et une excellente fondation à proposer aux Chambres syndicales de quelques industries.

Des ouvriers de première classe. — Un atelier est un organisme disposé pour produire le mieux et le plus rapidement possible. Fondé sur une division spéciale du travail fixant le meilleur mode d'utilisation d'appareils et de machines, d'ouvriers expérimentés et d'ouvriers moins habiles, chaque atelier présente un nombre différent de bons et de mauvais ouvriers. La proportion moyenne des uns et des autres, qui varie d'ailleurs avec l'habileté du patron qui sait les former et les conserver, qui est difficile à déterminer pour les différentes professions, et sans laquelle cependant il est impossible de pousser un peu loin une étude *vraie* des questions ouvrières, est, d'après mon appréciation, la suivante :

Un QUART des ouvriers peut être considéré comme formant ce que j'appellerai les ouvriers de *première classe*, par assimilation aux soldats de première classe qu'on nomme dans les régiments, dans cette même proportion à peu près, et qui sont les soldats sur lesquels on peut compter. C'est dans ce quart que viennent se ranger toutes les *capacités ouvrières* de l'atelier, les hommes arrivés à faire une chose par eux-mêmes, sans être guidés par plus habile qu'eux; et quiconque a jamais tenté de produire quelque chose de ses mains, sait combien il est difficile d'exécuter un ouvrage purement, complétement. Pour y parvenir, il faut un degré d'intelligence et d'adresse très-voisin des facultés de celui que nous nommons un artiste ou un savant, facultés qui se rencontrent souvent à un plus haut degré chez des hommes exerçant des métiers vulgaires que chez certains artistes de profession.

Les autres ouvriers se divisent naturellement en deux parts : la dernière renferme les ivrognes, les paresseux, mais surtout, et en très-grand nombre, les malheureux dont l'énergie ou le cerveau sont insuffisants pour qu'ils puissent jamais devenir de véritables ouvriers, exécuter correctement une opération qu'ils voient faire tous les jours. La pratique des ateliers apprend combien cette classe des mauvais ouvriers est nombreuse : chacun n'a-t-il pas vu de vieux goujats servant les maçons sans jamais devenir des compagnons, et au collége des camarades incapables d'affronter les faciles épreuves du baccalauréat ou de l'examen de Saint-Cyr?

Les politiques peuvent bien faire des électeurs de ces nombreuses incapacités, mais quant à en faire des compagnons maçons ou charpentiers, il faut y renoncer.

Les ouvriers de cette catégorie sont ceux qu'un fabricant n'emploie que contraint et forcé, dont il se débarrasse quand les affaires baissent, dont le travail est onéreux surtout avec des prix uniformes pour la journée de travail.

Reste enfin la troisième partie, composée des ouvriers moyens, pas assez intelligents, pas assez énergiques pour pouvoir être comptés parmi ceux qui font la supériorité d'un atelier et celle de l'industrie d'un pays. Ceux qui ont de la conduite, les plus jeunes surtout, pourront y parvenir en gagnant de l'expérience, et déjà ils exécutent passablement les travaux faciles qu'en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur confie. Ils constituent, au point de vue moral, la classe flottante ; ils sont capables du bien comme du mal, selon que, sous l'influence de la camaraderie, ils obéissent à une impulsion bonne ou mauvaise ; la volonté, la spontanéité étant ce qui leur fait généralement défaut en tout.

La différence qui existe entre les bons ouvriers et les autres est radicale, profonde, accusée avec une parfaite netteté pour quiconque a vécu dans un atelier, et il ne sera pas contesté que les premiers doivent occuper une place importante dans la société moderne. M. Roebuck, le vieux radical anglais, dans une conférence faite par lui à Manchester, a expliqué avec un grand sens aux bons ouvriers de cette métropole de l'industrie cotonnière, qu'il ne leur manquait que de soigner leur tenue pour être de véritables gentlemen, leurs salaires comme l'intelligence qu'ils déploient dans leur travail les mettant dans une position supérieure à celle du petit employé ou du petit rentier. Nous avons moins à réagir chez nous contre le besoin d'une nourriture copieuse et choisie qui, en même temps que l'absence du décorum, peut souvent être reproché à l'ouvrier anglais, bien que les dépenses faites au cabaret et au café par les nôtres s'en rapprochent assez.

Une des fonctions principales que nous voudrions attribuer aux chambres syndicales, chambres de commerce et autres institutions groupant les chefs d'industrie, serait de les charger de la désignation des bons ouvriers, de conférer les brevets d'ouvrier de première classe.

Cet honneur rendu aux *capacités ouvrières* grandira et fortifiera l'influence salutaire des bons ouvriers dans les ateliers. Il est juste de rendre hommage à ces excellents collaborateurs, qui font le succès de nos grandes manufactures, dont le développement rend illusoire pour eux l'espoir de s'établir dans leur industrie, comme cela a lieu chez les artisans des villes, où les bons ouvriers de la veille fournissent tous les patrons du lendemain, et qui doivent trouver des satisfactions suffisantes à en être des rouages utiles et honorés.

La pratique indique que cette voie est excellente. Dans la Compagnie des Omnibus de Paris, les plus anciens et meilleurs cochers, dont le service est si dur et si difficile, ont un supplément d'appointements comme cochers de première classe. Le prix de la journée est de 4 fr. à l'entrée, 5 fr. après trois ans de service. Nul doute que ce ne soit cette utile création, due à l'initiative d'un éminent administrateur, qui n'ait préservé cette Compagnie de plusieurs grèves ruineuses et donné un excellent esprit à son nombreux personnel. Tous les employés de cette grande Compagnie le savent bien.

La détermination précise du mécanisme convenable pour assurer une juste désignation des ouvriers de première classe offre certainement des difficultés, quand il s'agit de la fixer pour un grand pays dont les diverses provinces ont des industries et des mœurs différentes ; mais elles ne semblent pas telles qu'avec un peu de bonne volonté elles ne puissent être aisément surmontées. Le problème se réduit, en réalité, comme toutes les fois qu'il s'agit d'appliquer une loi à une classe déterminée de citoyens, comme pour le recrutement, les impôts, etc., etc., à constituer les commissions qui ont mission pour y procéder.

Dans le cas actuel, nous les trouvons toutes formées, dans la plupart des centres industriels, par les chambres de commerce, les chambres syndicales composées de l'élite des fabricants, désignés par l'élection de leurs confrères. Qu'on ajoute à cela, au besoin, le concours des ingénieurs, des architectes, des comices agricoles, des conseillers municipaux, et l'on reconnaîtra que le personnel ne fait pas défaut pour organiser ces commissions dans d'excellentes conditions, c'est-à-dire possédant tous les éléments nécessaires pour bien remplir la mission qui leur sera confiée.

Elles y parviendront d'autant plus aisément, que le travail qu'elles auront à faire ne sera pas trop considérable, se réduira à peu de chose pour les ateliers les plus nombreux. En effet, les fabricants auront à remettre la liste des ouvriers qu'ils emploient depuis plus d'une année, qu'ils connaissent bien, comme celle des marchandeurs, ouvriers en chambre, etc., qui travaillent pour eux, en plaçant en tête ceux dont ils apprécient le plus le concours.

Nul doute que cette liste ne soit parfaitement dressée, non-seulement par un sentiment de dignité et de justice chez les patrons, mais encore parce que le classement est déjà fait par l'opinion des camarades dans l'atelier, et qu'il ne peut entrer dans l'idée d'aucun chef d'industrie de mécontenter ses meilleurs collaborateurs pour favoriser ceux qu'il estime moins. A peine, dans un petit nombre de cas, les fabricants faisant partie de la commission pourront-ils discuter les noms de quelques ouvriers qu'ils connaissent ; mais presque toujours le travail de celle-ci se bornera à effacer les derniers noms portés sur des listes qui en compteront un trop grand nombre dans la première classe, fournies par des fabricants trop indulgents ou comprenant mal la loi.

Pour que le classement, qui offre une certaine difficulté à faire une première fois, ne présente pas d'inégalités choquantes en raison de l'esprit qui animera les diverses commissions, la loi devra fixer la proportion qui ne devra jamais être dépassée. J'ai proposé le chiffre de un quart ; s'il est peut-être un peu faible pour quelques états à long apprentissage bien organisé, dont les incapables sont écartés, comme les ouvriers en instruments de précision, les charpentiers, etc.,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il est trop fort pour beaucoup de professions qui s'exercent presque sans apprentissage, qui utilisent tous les bras de bonne volonté, ce qui est un cas fréquent, notamment pour les manufactures qui emploient beaucoup de machines. Appliqué à l'ensemble de l'industrie, il n'est sûrement pas trop petit.

Si on était effrayé des difficultés d'une première application du système, on la simplifierait beaucoup, en admettant une proportion fixe pour la première liste, en demandant simplement aux fabricants de désigner, par exemple, le quart de leurs ouvriers, formant la tête de leurs ateliers.

On donnerait ainsi des brevets d'ouvrier de première classe à une petite proportion qui n'en serait pas absolument digne, mais qui en approcherait assez pour qu'on eût peu à regretter cette faveur.

Si ces listes offrent quelque embarras à dresser une première fois (et ils disparaissent presque entièrement avec la simplification qui vient d'être indiquée), la révision annuelle, qui se rapportera le plus souvent à un certain nombre de jeunes gens ayant fait leurs preuves de capacité et désireux de conquérir le titre d'ouvrier de première classe, ayant devant eux un but digne de flatter leur amour-propre, fin de l'apprentissage heureusement rétabli et amélioré, sera extrêmement facile, grâce à la notoriété de l'atelier et à la reconnaissance du patron pour des services rendus.

Les imperfections d'un premier classement disparaîtront bientôt par l'examen d'un nombre de demandes bien moindre (1/50 peut-être du nombre total), et l'institution entrée dans les mœurs fonctionnera aisément au profit de l'amélioration des rapports qui doivent exister entre les patrons et les ouvriers, et surtout de la dignité personnelle des plus capables de ceux-ci, sentiment qu'on ne saurait trop développer chez les individus de notre race, l'ardeur méridionale, l'entraînement leur faisant faire trop souvent des actes regrettables, qu'un peu de la tenue, du calme des Anglais leur eût fait éviter.

Ce n'est pas toutefois pour le plaisir platonique d'une classification que nous voudrions voir ces nominations de bons ouvriers. Au point de vue purement industriel, nous le croyons excellent; elles constituent une espèce de légion d'honneur, elles tendent à renforcer la hiérarchie morale dans les ateliers où elle fait tant défaut, à rendre aux patrons une juste influence. Elles donneraient satisfaction à un sentiment de justice, et paraîtraient devoir conférer la jouissance de certains droits, celui d'élire, par exemple, les membres ouvriers des conseils des prud'hommes, élection devenue impossible aux termes de la loi depuis que les livrets d'ouvrier ont disparu, et qu'on ne peut livrer au suffrage universel sans voir une institution toute industrielle prendre un caractère politique déplorable, détruisant tout principe de justice chez ces tribunaux.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Il y a d'autres conséquences à déduire, dans la voie de l'industrie pure, de cette organisation; il serait intéressant de chercher à prévoir ce qui en résulterait dans la pratique, et c'est sans doute à le faire que nous devrions avoir la sagesse de nous limiter. Mais tant de causes agissent sur le mouvement des idées en France, les passions remuent si facilement notre malheureux pays, que les prévisions sont bien peu sûres et bonnes surtout pour les feuilles éphémères du journalisme.

Ce qui est bien certain, c'est que la réorganisation de la hiérarchie dans l'industrie, comme dans toute la société, est le salut de la France.

Une réunion d'hommes ne peut espérer atteindre un but que par l'organisation d'une hiérarchie complète; non-seulement une foule confuse n'y parviendrait pas, mais même l'élection d'un chef isolé n'y suffirait pas.

Voyez un régiment organisé pour tirer le meilleur parti possible, au point de vue militaire, des soldats qui en font partie. Est-il composé seulement de soldats se dirigeant à leur volonté? Il ne subsisterait pas un instant. Serait-il constitué avec un colonel, ayant les pouvoirs les plus étendus, et de simples soldats? Ce serait, au plus, un troupeau de moutons conduit par un berger.

Il faut, pour qu'il existe réellement et puisse remplir sa mission, avec le colonel, des chefs de bataillon, des capitaines, des lieutenants, des sous-officiers, des soldats de première classe. C'est grâce à cette hiérarchie bien entendue que les ordres se transmettent et s'exécutent rapidement, que les soldats médiocres, les conscrits bien encadrés, rendent des services que, livrés à eux-mêmes, ils seraient incapables de rendre.

Tout ceci est absolument vrai pour un atelier; le patron, l'ingénieur, le contre-maître, les chefs d'atelier, les premiers ouvriers, constituent la hiérarchie au moyen de laquelle tout fonctionne pour atteindre un but déterminé, en utilisant une foule d'ouvriers médiocres, chargés de fonctions simples, suffisamment surveillés, bien encadrés.

Ce que nous voyons dans l'armée, dans les ateliers, est vrai dans la société tout entière, dans toute la collection d'individus réunis dans un but déterminé.

Apprendre à obéir intelligemment est le grand progrès moral que nous avons à faire au point de vue de l'ordre dans la société, ce qui n'empêche nullement de convoiter l'honneur de commander à son tour, quand on l'aura mérité, ce qu'il faut aussi savoir faire.

La suppression de toute hiérarchie est en fait impossible; toute la question se réduit à savoir s'il vaut mieux, pour les ouvriers, obéir à leurs patrons ou aux chefs qu'ils s'imposent eux-mêmes; pour un peuple, rester dans les condi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tions qui seules ont fait vivre les nations dans le calme et la prospérité, accepter l'influence des hommes les plus honorables du pays, de ceux qui ont donné le plus de gages de capacité et de moralité, des chefs des meilleures familles, ou subir le despotisme des rhéteurs et des fous qui se portent en tête les jours de révolution, soutenus par les masses ignorantes, pour détruire tous les éléments de richesse, de sécurité d'une vieille société et se mettre en route vers la sauvagerie.

Si on nie l'organisation naturelle, traditionnelle d'une nation, où chacun ne doit occuper que la place qui lui revient à juste titre, il faut courir après l'absolu, c'est-à-dire toujours se battre, toujours détruire, vu qu'on ne l'atteint jamais, et que le plus farouche jacobin trouve bientôt un jacobin plus avancé que lui.

C'est ce qu'on appelle conquérir la liberté, ce qui dans la pratique consiste à guillotiner les aristocrates, à fusiller les otages, à s'enivrer de désordre, d'eau-de-vie et de sang.

Tandis que les sentiments de jalousie dominent chez nous et tendent à rabaisser qui s'élève, tout le monde applaudit en Angleterre lorsqu'on voit la reine ennoblir des industriels hors ligne, reconnaître leur position dominante dans la société, leur faire le même honneur qu'aux meilleurs généraux, aux plus grands administrateurs, comme nous l'avons vu récemment pour le constructeur Fairbairn, pour J. Brown le grand fabricant d'acier de Sheffield. Or la reconstitution de la hiérarchie naturelle n'est possible pour la France que par un changement complet dans nos idées, qui entraînera l'abolition de lois et d'institutions révolutionnaires imaginées pour faire prédominer à tout prix l'individualisme de J.-J. Rousseau, produire un nivellement progressif sans satisfaire les aspirations d'égalité absolue des masses, et enfin ébranler la constitution de la famille, qui était la base de la vieille société française, comme sa solide constitution avait fait les mœurs et la grandeur de l'ancienne Rome.

DE LA LOI DE SUCCESSION EN FRANCE. — Nous nous bornerons ici à la plus importante de ces lois à notre point de vue, à la loi de succession qui est le plus grand obstacle au développement et à la consolidation de nos ateliers industriels, et que l'on doit considérer comme l'entrave la plus fâcheuse mise à la formation des capitaux pouvant permettre la fondation d'établissements industriels et agricoles, comme la plus funeste à la consolidation de la famille et du bien-être. En forçant à la destruction de l'édifice élevé par chaque génération, au lieu de le respecter d'abord, sauf à en élever de nouveaux, elle est une cause d'instabilité perpétuelle. Il faudra que l'on arrive à comprendre combien doit être sacré l'édifice protecteur de la vie et de l'indépendance d'une famille, dont

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

la conservation et la multiplication sont les grands intérêts d'une société bien assise, basée sur la famille et la liberté des transactions.

Cette loi, comme chacun sait, impose le partage égal entre les enfants, formule leur droit à l'héritage du père auquel on enlève la *liberté de tester*.

Oter au créateur d'une richesse le droit d'en disposer après sa mort, c'est porter une atteinte à la propriété qui, faisant de la transmission de la propriété une institution facile à transformer par un décret, engendre les folies des écoles socialistes qui prospèrent en France et qui n'ont jamais pu pénétrer en Angleterre ni en Amérique, pays où la liberté de tester a toujours fait de la succession des biens un droit privé, dans l'exercice duquel la personne fictive et envahissante de l'État n'a jamais eu à intervenir. Mais c'est surtout au point de vue du droit que cette question mérite d'être traitée.

Voulant demeurer au point de vue industriel, il importe d'insister sur l'influence de la loi de succession qui tend à la ruine des plus beaux établissements, dans les circonstances où leur succès est désirable dans l'intérêt général, à un nivellement destructeur de la hiérarchie sage, souhaitable chez une nation formée de citoyens libres et indépendants.

« L'organisation de la propriété et des familles de propriétaires varie, dit M. Leplay dans son grand ouvrage *la Réforme sociale*, selon les lois de succession, avec beaucoup de nuances, entre deux types extrêmes qui impriment au corps social deux caractères essentiellement différents, soit en conservant, soit en détruisant la tradition.

« Dans le premier cas, tous les éléments du travail offrent une parfaite continuité. Chaque chef de famille se préoccupe de maintenir et d'accroître, par son activité et par sa prévoyance, le domaine rural, ou l'atelier d'industrie et de commerce qu'il a créé ou qu'il a reçu de son père. Désireux de le transmettre avec son nom et dans les meilleures conditions de succès à la génération suivante, il s'entoure, si Dieu bénit sa couche, d'une nombreuse postérité. Quand les atteintes de l'âge commencent à se faire sentir, il choisit, d'après les caractères et les aptitudes, celui de ses enfants qui lui paraît le plus digne ou le plus capable d'être associé à ses travaux. A l'aide des épargnes qu'il a faites et de celles qu'il réalise avec le concours de l'associé, il règle le sort de ses autres enfants de manière à assurer, autant qu'il est possible, à chacun une condition conforme à ses goûts et en rapport avec la situation de la famille. Parmi les garçons, les uns ayant terminé l'apprentissage de la profession, pourvus par leur père de la dot nécessaire à l'acquisition des instruments de travail, s'établissent dans les localités contiguës ou dans quelque autre région du territoire de la métro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

pole; d'autres recrutent l'armée ou la marine; d'autres enfin essaiment dans les colonies et y créent des familles fondées, comme celles d'où ils sortent, sur le travail et la vertu. (Chez les nations laborieuses, comme en Amérique, on se marie jeune et on s'établit jeune pour créer sa fortune; aussi l'aide au début, tant en argent qu'en conseils et en crédit, d'un père dans la force de l'âge, importe souvent plus que l'héritage qui sera recueilli bien plus tard.) Les filles demeurent dans la maison paternelle jusqu'à l'époque de leur mariage; celles qui ne se marient pas, de même que les garçons célibataires, restent groupées autour du chef de famille. Quand celui-ci est atteint par la mort, l'enfant qu'il s'est associé lui succède naturellement en continuant à exercer ses attributions ; en sorte que l'événement douloureux qui frappe la famille dans ses sentiments les plus chers ne compromet ni ses intérêts ni ceux de la propriété.

« Dans le second cas, les éléments du travail sont essentiellement discontinus. Le père n'a plus le pouvoir de conserver l'établissement qu'il a fondé, parce que tous ses enfants tirent de la loi le droit de s'en partager également les lambeaux. Cette intervention de la loi dans la vie privée y jette une instabilité qui offre, selon la condition des familles, des nuances diverses. Dans les conditions ordinaires, la prévoyance du père s'emploie à créer, pour la fin de sa vie, des moyens d'existence indépendants de l'établissement qu'il a fondé. Quand la vieillesse approche, il doit vendre son bien, son atelier ou sa clientèle, et il va, en général, jouir de sa fortune et de son repos forcé, au milieu des distractions des villes. Sachant que la source de prospérité de la famille sera promptement tarie par cette retraite prématurée, le père ne peut dans ce régime assurer le bien-être de ses enfants qu'en en limitant le nombre par une stérilité systématique. Ceux-ci suivent tous des carrières différentes de celle de leur père, dont le nom et la profession ne se transmettent plus simultanément. Aucun d'eux ne trouve dans le cours de sa carrière l'appui de la maison d'où il est sorti. Les époux, quand est venue la vieillesse, ont perdu leurs parents et ont vu leurs enfants s'établir tous au dehors du foyer domestique : ils sont donc condamnés à mourir dans l'isolement. La retraite du père avait déjà rompu brusquement les traditions du travail et de la prospérité ; la mort détruit complétement celles de la famille. »

On peut prétendre que l'auteur que nous citons préfère le premier système et le qualifier d'aristocrate, ce que ne manqueront pas de faire les écrivains jaloux d'acquérir une mauvaise popularité, mais ce qu'il faut bien remarquer, c'est que la constitution sur des bases solides de la famille, l'agrandissement des forces morales les plus incontestées, pour donner à la société une stabilité fondée sur autre chose que les baïonnettes des soldats et l'activité de la police, peuvent seules faire reposer sur des bases solides la liberté que notre pays ne connaît pas comme il connaît l'égalité. La liberté de tester importe plus peut-être aux petits propriétaires qu'aux grands. Sans doute il est du plus haut intérêt qu'un père transmette à son fils sa grande exploitation, mais même après le morcellement, la position de ce fils sera encore belle le plus souvent. Mais le paysan qui n'a que sa cabane et le champ qui le fait vivre, que laissera-t-il à de nombreux enfants qui viendront partager son modeste héritage? La pratique répond : à peine de quoi payer les frais de toute sorte, inventaire, expertise, frais de vente, enregistrement, etc., etc., conséquence nécessaire de l'intervention du magistrat pour régler les droits nombreux qui s'élèvent sur le pauvre héritage. Toute la famille retombe dans la misère dont le père s'était affranchi, dont avec la liberté de tester il eût affranchi un fils qui, avec un meilleur début dans la vie, eût pu s'élever plus haut, rendre à ses sœurs des services plus importants que leur part d'héritage, nulle ou peu s'en faut.

La petite propriété qui affranchit une famille est le remède direct au paupérisme, au prolétariat, et on devrait regarder comme une organisation défectueuse celle qui ne voit pas s'améliorer, grandir cette petite propriété. Or, malgré son extension, on doit en France la regarder comme stationnaire aujourd'hui; à mesure qu'elle avance par les économies et le travail, elle recule par l'effet de la loi de succession. Rien n'est plus funeste que la destruction du petit édifice qui mettait à l'abri de la misère une famille.

Il est temps que la nation française s'arrête dans la voie de la jalousie qui depuis la révolusion a fait accepter toutes les lois pouvant gêner la forte constitution de la famille. C'est le rétablissement de la liberté de tester, la reconnaissance du droit pour chacun de disposer librement du fruit de son travail, qui, en écartant le socialisme de la loi civile, fera évanouir une hostilité toujours latente entre les diverses classes de notre société.

Au point de vue industriel il est manifeste, et prouvé, par l'exemple de l'Angleterre et de l'Amérique, que du jour où le créateur d'un grand établissement industriel pourra en assurer le succès futur en plaçant son successeur dans des conditions convenables, la grande industrie pourra prospérer dans notre pays comme la petite, qui sera toujours prédominante, mais qui a souvent besoin de trouver un point d'appui dans la grande.

On ne comprendra jamais assez en France, dit fort bien M. Jacqmin, combien est profonde la différence qui existe entre deux établissements,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

dont l'un a amorti tout son capital de premier établissement et qui, chaque année, ne perfectionne et ne complète son outillage qu'avec une partie des bénéfices réalisés, et dont l'autre n'a rien amorti et souvent même a emprunté pour développer un atelier.

En Angleterre, l'industrie travaille avec un capital et un outillage amortis; en France, au contraire, l'industrie trop souvent supporte le fardeau de ce capital, et elle le supportera toujours de la même manière, par suite du partage incessant des héritages et de la liquidation permanente des industries. Comment amortir des établissements qui seront licités tous les quinze ou vingt ans?

On voit combien sont graves les réactions de la loi civile sur l'organisation industrielle, dont à première vue elle ne paraît pas s'occuper. Il en est de même des mœurs qu'elle fait naître, qui viennent modifier profondément la demande et par suite la production de divers articles. Nous le ferons bien sentir par la citation suivante d'un maître.

« Tout s'enchaîne et se tient dans la vie des hommes, dit avec une verve excellente M. Viollet Leduc, s'occupant du mobilier de nos pères; il serait illogique de demander aux familles du dix-neuvième siècle une perpétuité dans leurs meubles qui n'existe plus dans les mœurs. Les familles se dispersent aujourd'hui à chaque génération, après chaque décès, et nous ne pouvons raisonnablement demander à un chef de famille de meubler *sa maison* pour un temps illimité, puisque, lui mort, sa maison sera démembrée. Mais telle est la force des traditions, malgré les lois, malgré les mœurs, que nous voyons cependant chaque jour des hommes graves oublier qu'ils sont, au dix-neuvième siècle, à l'auberge leur vie durant, et qu'après eux un voyageur inconnu habitera leur chambre. »

La démonstration de l'action de nivellement, d'émiettement de toute une nation que produit le Code civil, a été faite d'une manière irréfutable par Napoléon, dans une lettre adressée, le 5 juin 1806, à son frère Joseph qu'il avait fait roi de Naples, pour lui montrer les moyens d'être maître absolu.

L'entretenant de duchés à créer dans le royaume de Naples et en Sicile, en faveur des grands dignitaires de l'Empire, il lui écrit :

« Ce ne sont que des titres; le principal est « le bien qu'on y attache; il faudrait y attacher « 200,000 livres de rente. J'ai exigé aussi que « les titulaires aient une maison à Paris, parce « que c'est là qu'est le centre de tout le système; « et je veux avoir à Paris cent fortunes, toutes « s'étant élevées avec le trône et restant seules « considérables, puisque ce sont des fidéicom- « mis et que ce qui ne sera pas elles va se dis- « séminer par l'effet du Code civil.

« Établissez le Code civil à Naples; *tout ce « qui ne vous est pas attaché va se détruire en peu « d'années*, et ce que vous voudrez conserver se « consolidera. Voilà le grand avantage du Code « civil... Pour les actes de l'état civil, vous pou- « vez les laisser aux curés. Au moyen de ces « modifications, il faut établir le Code civil chez « vous; il consolide votre puissance, *puisque « par lui tout ce qui n'est pas fidéicommis tombe, « et qu'il ne reste plus de grandes maisons que « celles que vous érigez en fiefs. C'est ce qui m'a « fait prêcher le Code civil et m'a porté à l'éta- « blir.* »

Nous nous garderons de rien ajouter à ces paroles qui méritent d'être méditées par toutes les personnes qui savent que l'injustice ne saurait produire un bien durable.

5. — DE L'ABONDANCE DU TRAVAIL.

On a, avec quelque raison, reproché aux économistes de ne pas s'être assez préoccupés des causes d'arrêt, d'insuffisance de travail, qui engendrent pour les masses des souffrances poignantes. Cette étude est la contre-partie de l'analyse des causes d'abondance de travail, dont l'action paralysée ou l'absence produit l'effet inverse, la misère générale.

Chacun sait que, quand le travail abonde, le bien-être, le contentement est général chez tous ceux qui veulent travailler; les entrepreneurs s'enrichissent, les ouvriers gagnent de forts salaires; les contestations, s'il en naît entre eux et les patrons, sont sans gravité, lorsque les mœurs sont bonnes, les coutumes traditionnelles respectées.

La construction des chemins de fer, sous des gouvernements stables, nous a montré, il y a peu d'années, un exemple de grande abondance de travail qui a transformé nos sociétés, en faisant croître leurs richesses dans des proportions auparavant inconnues.

Nous avons dit sous des gouvernements *stables*, parce qu'en effet c'est en raison de la stabilité surtout, c'est en faisant régner l'ordre et la sécurité, que la politique réagit sur l'industrie, ou plutôt lui permet d'exister. Comment comprendre la fondation de grands établissements, la poursuite de longs travaux, les études patientes, lorsque le désordre est partout, que la guerre et l'incendie dévorent les richesses acquises, que les têtes exaltées entraînent les foules abusées à la poursuite de toutes les utopies?

Nous sortirions de notre sujet en en disant plus, et ce n'est pas aux hommes de notre génération qu'il est nécessaire de démontrer que les révolutions et le désordre général détruisent absolument l'industrie. Après la première révolution, on alla chercher en Angleterre les formes des pièces d'orfévrerie vendues auparavant par nos orfévres; non-seulement on ne retrouvait plus de modèles en France, mais on ne les con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

naissait plus, et il fallut réapprendre à les fabriquer en imitant les ouvriers anglais !

Inutile d'insister : il n'y a ni finances, ni industrie prospère sans bonne politique; il n'existe pas d'atelier laborieux sans ordre public ; si cet état dure, il s'agit alors d'une nation qui périt industriellement comme politiquement, et le remède n'est pas d'ordre industriel.

C'est d'une nation normale, vivant d'une vie régulière, gouvernée enfin que nous parlons, pour laquelle la folie politique n'est pas un obstacle absolu au progrès industriel.

Je citerai ici, d'après J.-B. Say, un curieux exemple de la trop minime importance attachée par les économistes à ces graves questions.

Say cite, dans son Cours d'Économie politique, un bien remarquable passage d'un ouvrage anglais (*Thompson's inquiry in to the distribution of wealth*) que je reproduirai, car il me paraît d'une admirable vérité :

« Comment se fait-il qu'une nation (l'Angle-
« terre) qui, plus qu'aucune autre, est pourvue
« de matières premières, de machines et d'ou-
« tils, d'habitations et de denrées; qu'une na-
« tion qui abonde en producteurs actifs et intel-
« ligents, et qui semble pourvue de tous les
« moyens de bonheur, se trouve (du moins pour
« ce qui regarde le plus grand nombre de ses
« enfants) exposée à plus de privations que d'au-
« tres nations beaucoup moins opulentes en ap-
« parence? Comment se fait-il que les fruits de
« son travail, d'un travail opiniâtre et fructueux,
« lui soient mystérieusement et constamment
« ravis, sans convulsions dans la nature, sans
« qu'on ait aucun reproche à lui faire? L'amour
« du travail, l'esprit d'entreprise, les connais-
« sances nécessaires se trouvent chez elle, tout,
« hors l'abondance. D'où vient ce contre-sens
« dans les affaires humaines? Que des tribus
« sauvages sans industrie, vouées à la paresse,
« manquent de tout, il n'y a rien là qui doive
« surprendre; mais qu'une société hautement
« productive soit privée de tout, c'est certaine-
« ment un fort étrange spectacle. »

Say répond timidement à cette question par l'impôt qui grève les salaires et les profits avec lesquels le travailleur peut acheter les produits.

L'explication n'est pas sérieuse : même avec de lourds impôts, le travailleur achète quand il a de l'ouvrage; mais sans impôts, quand l'ouvrage manque, avec quoi peut-il acheter? Say aurait bien senti le peu de valeur de son explication, s'il avait vu l'impôt reporté en Angleterre sur les capitaux et leurs revenus par l'*income-tax*, et la pratique du libre échange assurant la vie à bon marché, diminuer tout au plus quelque peu le paupérisme en Angleterre, agissant bien moins efficacement qu'une demande de travail considérable comme celle à laquelle la construction des chemins de fer a donné lieu.

Un spectacle bien saillant, au reste, montre la même race anglo-saxonne aux États-Unis, en Australie, ignorant le paupérisme, augmentant chaque jour, avec une étonnante rapidité, ses richesses, malgré même les plus forts impôts, tels que ceux qui se payent aujourd'hui aux États-Unis, impôts de guerre conservés pour rembourser un milliard par an de leur dette!

Quel est donc l'élément capital qui différencie ces deux sociétés? Un seul, incontestable. Tandis qu'en temps de crise l'ouvrier anglais, qui n'est plus occupé dans une manufacture, n'a devant lui que la charité du workhouse, s'il n'a pas d'économies, l'ouvrier américain a à sa disposition les vastes prairies de l'Ouest, tout un continent d'une admirable fertilité, traversé par de grands fleuves assurant le transport facile et par suite la vente avantageuse des produits. Il peut, avec quelque énergie, toujours conquérir la propriété en créant les cultures qui assureront l'existence et le bien-être de sa famille.

En un mot, pour l'un, si le travail des fabriques s'arrête, il n'a pour subsister misérablement, malgré son énergie laborieuse, que la charité publique; pour l'autre, il n'y a ni misère, ni excès de population, ni jalousie de classes inégalement riches, et cela parce qu'il a toujours à sa disposition ABONDANCE DE TRAVAIL, une mine inépuisable de travail rémunérateur.

Grâce à cet élément, des sociétés nouvelles croissent en population, en richesses, avec une rapidité inconnue à nos vieilles sociétés, qui ne pourront éviter d'être rapidement dépassées qu'autant que le développement rapide et incessant du travail leur permettra de ne pas avoir besoin d'un élément fourni aux premières par la prodigalité de la nature.

Les économistes anglais, à la suite de Ricardo, établissent que le travail d'une nation est en raison de son capital (ce qui revient à en considérer l'emploi fructueux comme nécessaire), ce qui est loin d'être vrai; aussi ne peuvent-ils expliquer ni les temps de crise, ni les époques de prospérité, pendant lesquels une nation, munie d'un même capital, passe de la misère à la richesse, à l'abondance universelle. C'était bien en Angleterre que l'on devait s'étonner que la population des convicts de l'Australie s'enrichisse bien plus sûrement que celle des honnêtes et habiles ouvriers de ses manufactures !

Le malheur de nos vieilles sociétés est, faute d'emplois meilleurs, de gaspiller, de dissiper les excédants de capitaux dans les emprunts étrangers de pays insolvables (car dans les pays riches les économies des citoyens ont cet emploi immédiat), dans ces entreprises folles inventées par les lanceurs d'affaires dont le luxe scandalise et démoralise les nations. De là l'état stationnaire de sociétés qui ne s'enrichissent que quand le travail abonde dans leur sein, quand tout le monde produit des richesses par un travail éner-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gique, sollicité instamment quand celui-ci est possible.

Quel est le moyen de rester dans cet état, de le rendre normal? Évidemment il n'y en a pas d'autres que ceux qui font naître le travail; c'est leur développement, leur permanence qui peut le rendre constamment abondant.

L'abondance de travail n'est pas un fait fatal, mais le résultat le plus direct des efforts de l'intelligence humaine, et les recherches de tous les membres d'une société bien organisée tendent directement à la faire naître. Savants, inventeurs, entrepreneurs, ingénieurs, tout le monde doit y concourir, dans une société normale, que les hommes politiques protégent contre le désordre qui fait détruire les efforts de toute la tête de la société par les incapables et les misérables qui en souffrent le plus.

C'est au point de vue de l'accroissement incessant du travail que nous nous placerons ci-après dans la revue des institutions, des faits économiques en France; il est la condition du progrès.

Il est nécessaire de rappeler que de nos jours, lorsque les mouvements révolutionnaires, dans lesquels les ouvriers jouent le rôle principal, causent l'arrêt de l'activité sociale, ce sont eux qui, trop souvent, font naître les souffrances qu'ils ont à supporter. Le baron Louis disait, avec un sens profond, aux hommes politiques de son temps : « Faites-moi de la bonne politique, je vous ferai de bonnes finances; » on peut dire aussi sûrement aux ouvriers français : « Cessez de faire des révolutions, du désordre, et on vous garantira la prospérité industrielle, du travail bien payé pour tous. »

L'industrie française est aujourd'hui lancée dans une voie de prospérité telle, qu'elle seule peut s'anéantir elle-même. Si l'agitation des ateliers cessait d'effrayer les capitaux et de les détourner de nos usines; si les populations intelligentes, abandonnant d'absurdes rêveries, rentraient dans la voie du travail soutenu, et, par patriotisme, laissaient passer les folies des ouvriers étrangers sans les imiter, ni surtout les dépasser, notre développement industriel atteindrait de merveilleuses proportions.

La plus grande quantité possible de travail abondant et bien rémunéré, condition capitale de prospérité pour toutes les classes de la société, est obtenue à l'aide du concours de tous les efforts, de toutes les intelligences; c'est l'œuvre de tous les bons esprits d'un pays d'augmenter sans cesse la splendeur de son industrie, et c'est la gloire de certaines époques de voir se multiplier la richesse générale par le seul effet d'une grande découverte, d'une œuvre de génie. C'est ce beau spectacle qu'a donné l'invention de la machine à vapeur, qui a si justement immortalisé le nom de Watt; c'est ce que notre génération a ressenti incontestablement par suite de la construction des chemins de fer.

ECONOMIE INDUSTRIELLE.

Nous n'aurions rien à ajouter ici à la démonstration de l'importance capitale d'un travail sans cesse croissant, et de la nécessité de faire concourir les efforts de tous pour y atteindre, si nous n'avions à ajouter quelque chose sur les grands avantages que procure la réunion à l'action individuelle de celle de l'association générale de la nation, dont le concours est souvent, trop souvent même, réclamé dans notre pays, dans des conditions où l'intervention des ressources de l'association générale serait niée par les Anglo-Saxons. C'est la question que nous voulons examiner ici; c'est, si l'on veut, pour parler le langage du jour, déterminer jusqu'où peut s'étendre, en France, le *socialisme* de bon aloi.

Notre nation possède une ardeur qui lui fait désirer atteindre de suite tout but nettement défini. Plus peut-être que toute autre nation (surtout moins méridionale), elle a un besoin très-grand de vie nationale, d'effort fait par la nation entière, associée pour atteindre un but qui l'enthousiasme; besoin qui se réveille le plus vivement au moment où il paraît endormi. Certes, ce sentiment a été souvent funeste à la liberté, qui ne naît que du respect des droits qui paraissent gêner les aspirations du moment, et de ce besoin de vie nationale résulte l'immixtion trop fréquente du gouvernement, qui en est l'expression, dans les questions industrielles; car il ne faut pas oublier que cette intervention ne peut s'effectuer qu'à l'aide des ressources fournies par l'impôt, avec toutes les lenteurs de la machine administrative. Mais si l'action de la grande association que forme la nation tout entière n'est pas toujours bien utilisée, si elle n'est que secondaire relativement à la masse de travail qu'engendre l'initiative individuelle, on ne saurait nier qu'elle peut quelquefois être profitable pour accomplir rapidement de grands progrès, exigeant des sacrifices trop lourds pour les forces de l'individu, ne lui offrant pas une assez grande chance de bénéfices, et cela dans notre pays plus que dans tout autre; elle répond aux instincts de la nation, à sa fougue logique pour atteindre immédiatement ce qui lui paraît être un progrès.

Le principe rigoureux du droit de l'intervention de l'État a été établi par Bastiat, avec une lucidité parfaite.

« Quelles sont les choses que les hommes ont le droit de s'imposer les uns aux autres par *la force?* Je n'en sais qu'une dans ce cas, c'est *la justice*. Je n'ai pas le droit de *forcer* qui que ce soit à être religieux, charitable, instruit, laborieux, mais j'ai le droit de le *forcer* à être *juste*, c'est le cas de légitime défense.

« Or, il ne peut exister, dans la collection des individus, aucun droit qui ne préexiste dans les individus eux-mêmes. Si donc l'emploi de la force individuelle n'est justifié que par la légi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

time défense, il suffit de reconnaître que l'action gouvernementale se manifeste toujours par la force pour en conclure qu'elle est essentiellement bornée à faire régner l'ordre, la sécurité, la justice. »

Adam Smith avait ajouté ceci à la mission du gouvernement : « L'État doit ériger, entretenir certains établissements utiles au public, qu'il n'est jamais dans l'intérêt d'un individu ou d'un petit nombre d'individus, de créer ou d'entretenir pour leur compte, par la raison que les dépenses occasionnées par ces établissements surpasseraient les avantages que pourraient en retirer les particuliers qui les soutiendraient à leurs frais. »

En admettant que le droit strict soit dans le principe établi par Bastiat, nous croyons utile à la société d'admettre une extension qui va nous ramener bien près du point de vue d'Adam Smith.

Le gouvernement est-il seulement un gendarme, pour appliquer la force et faire respecter le droit absolu? N'a-t-il du rôle de père de famille, souvent attribué au prince, que le droit de répression?

La charité n'est-elle pas un devoir qui impose de lourdes charges à la société, et est-ce bien raisonner que de limiter la prévoyance sociale à nourrir l'indigent au lieu de tendre à l'empêcher de tomber dans la misère? à éviter le paupérisme? Mais il y a plus, la justice elle-même règne-t-elle dans une société, si, malgré tous les efforts du génie, un homme ne peut s'élever au degré où son mérite doit le placer? Sans doute, nous répondront les économistes, cela ne serait pas si tous les obstacles, tous les monopoles, tous les priviléges disparaissaient; cela n'est pas certain, et nous verrons que c'est surtout la consécration des justes monopoles que peut se créer la capacité, qui peut fournir le remède.

Certes, le correctif le plus énergique, le seul vraiment efficace, réside dans l'activité, l'énergie, l'ambition légitime de populations soutenues par une confiance fondée dans les bons résultats de leur travail. Nous voyons ce spectacle en Amérique et ce doit être notre modèle. Mais encore, subsidiairement, est-il conforme aux tendances de notre temps de faire peser l'influence de l'association de tous, en certains cas, du côté des personnes déshéritées de tous avantages antérieurs, non pour nuire à ceux qui possèdent déjà, mais pour faciliter le succès à ceux qui s'efforcent de parvenir; d'aider, en un mot, non au partage de la richesse existante, que considèrent seule presque tous les réformateurs, mais à la création de la richesse nouvelle au profit de la partie la plus intelligente, la plus énergique, la plus active de la nation. C'est ainsi qu'on peut espérer faire jouir une société de tous les bénéfices de la liberté, en conservant cependant une organisation appropriée à une race qui demande des institutions spéciales. N'y eût-il pas justice absolue que les classes élevées ne réclameraient pas, si, lorsqu'elles profitent pleinement de l'organisation sociale pour la jouissance de leurs richesses, des sacrifices leur étaient demandés pour aider les classes inférieures à s'élever, avec la nation tout entière, au bien-être et à la prospérité.

Nous avons vu, dans ces dernières années, l'Angleterre, ce pays d'aristocratie nobiliaire et commerciale, en même temps que de liberté, s'avancer dans cette voie : elle a su proclamer une formule généreuse adoptée par tous les partis, grâce à l'initiative de son grand ministre, sir Robert Peel; cette formule, c'est *la vie à bon marché*. Cela veut dire que les classes élevées, prenant pour elles la majeure partie des charges sociales, veulent que les classes inférieures n'aient que les avantages d'une société bien organisée, et notamment que les substances nécessaires à la vie soient à aussi bas prix que possible. C'est cette direction des idées qui, réconciliant en quelque sorte toutes les classes de la société, a préservé cet heureux pays de toutes les révolutions qui ont bouleversé l'Europe; c'est une semblable satisfaction que tous les gouvernements intelligents doivent procurer à leurs peuples.

Faveur aux classes inférieures pour ce qui est nécessaire au développement de l'intelligence, à la satisfaction des besoins légitimes, à la facilité de la vie; encouragement aux progrès difficilement réalisables par la seule initiative individuelle, telles sont les tendances qui seront admises par tous les bons esprits.

A ce point de vue, comme à beaucoup d'autres, un grand développement de l'instruction primaire pour tous les enfants, poussée assez loin pour les plus capables, est de première importance, comme nous l'établirons plus loin. C'est surtout l'œuvre des municipalités.

Ce qui est surtout la mission de la haute administration, c'est d'aider par tous les moyens à la splendeur de l'enseignement supérieur, au progrès des sciences sur lesquels reposent les progrès de l'industrie et les inventions qui constituent un élément capital de l'abondance de travail.

C'est là le domaine des sciences appliquées. L'étude scientifique des questions industrielles est rarement faite par l'industrie privée, surtout quand elle est divisée en petits établissements dirigés par des praticiens, quand elle n'est pas concentrée dans de grandes usines pouvant s'attacher des ingénieurs; cette étude qui est le point de départ de tous les grands progrès peut souvent être faite avantageusement par des savants et des ingénieurs payés par la communauté. On connaît les services considérables rendus par les ingénieurs des ponts et chaussées et les ingénieurs des mines; pourquoi des ingé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nieurs agricoles, des ingénieurs des arts et manufactures ne seraient-ils pas aussi utiles? L'intérêt personnel fait bien suivre de nouvelles routes, quand elles sont conques, mais c'est le progrès scientifique qui les révèle. C'est une vérité démontrée par bien des pages de cet ouvrage.

Encourager le progrès de la science industrielle, exciter les inventeurs, fournir aux savants toutes les ressources désirables, c'est une mission du pouvoir social qui ne sera pas contestée. C'est la culture de la science qui conduit à ensemencer et fait espérer les plus belles récoltes; c'est la culture des sciences appliquées, l'établissement de la théorie des fabrications complexes, qui fait naître des collaborateurs capables d'assurer la moisson.

Dans toutes les directions la vérité est pour nous dans une limite restreinte, secondaire, d'encouragement, respectant la liberté, c'est-à-dire l'exercice entier du droit, n'agissant jamais par la substitution de l'administration aux individus, mais par l'aide prêtée aux progrès profitables à tous, indiqués par les plus belles intelligences, par l'initiative des hommes les plus éminents. Les gouvernants n'ont pas des aspirations meilleures que celles des gouvernés; mais ils disposent des ressources de l'association nationale, ce qui fait que ce n'est que par leur concours que peuvent se réaliser certains progrès non profitables industriellement ou à terme trop éloigné, et qui par suite échappent à l'initiative individuelle.

C'est au reste ce qu'ont toujours fait, dans certaines limites, les gouvernements des pays où l'on est le plus soucieux des prérogatives de la liberté d'action la plus entière.

Prenons nos exemples dans le pays où le gouvernement est, par système et par conviction, le plus étranger aux affaires industrielles, où il lui serait le moins permis, par les mœurs et l'esprit public, d'entraver les spéculations individuelles, et laissons de côté les grandes entreprises de Colbert, la France traversée de routes sans péage, la construction du canal du Languedoc, et autres créations qui ont fait un temps de la France la première des nations. En Angleterre, sans parler de l'œuvre si importante qu'on a su réaliser, de fonder sur de larges bases l'enseignement en général, et notamment celui de l'art industriel, le gouvernement, suivant la voie d'encouragement aux industries souffrantes ou nouvelles, a avancé plus de deux cents millions à l'agriculture, au moment où il en diminuait les profits par l'abolition des droits d'entrée sur les grains étrangers, a prêté plus que cette somme pour aider les propriétaires à drainer, dessécher leurs terres. Dans une autre voie, lorsqu'il s'est agi de relier tous les pays transatlantiques avec l'Angleterre par de grandes lignes de bateaux à vapeur, le gouvernement s'est empressé d'encourager par de puissantes subventions ces grandes entreprises, aujourd'hui la gloire de l'Angleterre et un de ses plus puissants instruments de supériorité. C'est ainsi notamment que la compagnie Cunard, qui exploite la ligne de l'Amérique du Nord, reçut de sir Robert Peel une subvention de plusieurs millions. Les Américains ont depuis essayé de lutter, et c'est avec des subventions du congrès qu'ils l'ont tenté. Ainsi, une entreprise qui réalisait un progrès immense, mais qui ne pouvait être profitable commercialement, a reçu de ces gouvernements les encouragements qui l'ont rendue possible. Nous pourrions encore citer le plus grand établissement de crédit du monde, la banque d'Angleterre, si intimement mêlée au gouvernement anglais qu'elle en forme un rouage.

En France, le mode d'intervention par encouragement a été fréquent et a fourni de beaux résultats qui n'ont jamais été accompagnés d'inconvénients souvent reprochés à d'autres modes d'intervention, par lesquels trop souvent on a entravé l'essor de l'énergie individuelle. En effet, si l'on a pu bien souvent exalter à juste titre quelques œuvres dues au pouvoir royal en France, on ne peut nier qu'il ne soit arrivé trop souvent à ce gouvernement d'avoir apporté de réels obstacles au développement de la prospérité générale. Mais ici nous ne parlons que de mesures bienveillantes ; et nous ne pouvons songer qu'à une action (dont il ne faut pas au reste trop s'exagérer l'importance, car celle-ci est peu de chose relativement à la masse totale du travail d'une nation industrieuse) qui ne porte pas atteinte à la liberté des citoyens, en un mot à celle dont la formule sera avant tout : ENCOURAGEMENT. La société grandirait ainsi plus rapidement, au plus grand profit de tous, que si tout encouragement était interdit.

Nous ne donnerons ici qu'un seul exemple de ce mode d'action.

L'Algérie nous montre un cas où les efforts individuels du laboureur sans capital ne peuvent mener qu'à la misère. Avec l'assistance de quelques travaux préparatoires assurant la première récolte, on pourrait sans doute y renouveler les merveilles du temps où elle était le grenier de l'Italie et offrir à notre pays quelques-uns des avantages que les États-Unis trouvent dans leurs prairies de l'Orient et qui constituent peut-être le principal élément de leur prospérité et de leur tranquillité.

Croit-on que si, au lieu de faire la guerre de 1870, le malheureux Napoléon III eut fait dépenser les 10 milliards qu'elle a coûtés à convertir la vallée de la Loire et celle du Rhône en vallées du Nil, en créant par des travaux exagérés, si l'on veut, d'immenses canaux d'irrigation, la France n'eût pas atteint un admirable développement de richesse?

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

LIMITATIONS DE LA CONCURRENCE DANS L'INDUSTRIE FRANÇAISE.

Nous avons vu que les droits qui limitent la concurrence et qui embrassent toutes les restrictions apportées à la liberté illimitée, au libre parcours de l'industrie, qui sans aucune restriction serait le vol et le pillage, qui, justes ou injustes, constituent par suite l'économie réelle de l'industrie, pouvaient se diviser en trois classes:

1° *Les droits personnels*, résultat du libre travail de chacun, en raison de la diversité et de l'inégalité des facultés individuelles, du plus ou moins d'énergie dans le travail. C'est la manifestation de l'essor de l'intelligence et de l'énergie de chacun, qui se traduit industriellement par l'exercice d'une industrie, par l'invention.

2° *Les droits de propriété*, résultant de l'appropriation du sol et des capitaux, des machines, des ateliers, par ceux qui les ont construits, et qui, à un certain degré de développement, produisent l'organisation des grands établissements, des puissantes manufactures.

3° *Les privilèges légaux*, qui ne subsistent qu'à l'aide des obstacles mis à la concurrence de tous par la législation.

Ce sont ces questions qu'il nous reste à traiter, non pas d'une manière générale et naturellement un peu vague, quand on demeure dans les spéculations d'ordre algébrique qui constituent les généralités de l'économie politique, mais au point de vue de l'industrie française; en appliquant des principes vrais, indiscutables à notre nation, telle qu'elle se comporte, avec ses qualités et ses défauts; car, ainsi que nous l'avons déjà répété, l'économie industrielle, comme la politique, devra toujours être traitée en vue de son application à une nation déterminée; l'étude purement abstraite mène toujours à l'utopie.

I. — DROITS PERSONNELS.

1° LIBRE EXERCICE DE L'INDUSTRIE.

Nous n'avons pas ici à traiter de la liberté du travail; c'est l'emploi le plus sacré de la liberté des citoyens que de se livrer au travail qui leur convient le mieux, d'être des membres actifs, laborieux et utiles à la société, en manifestant leur personnalité par l'organisation spéciale de leur atelier. Ils emploient leur intelligence, usent leur vie à produire de la manière qui leur paraît la plus convenable, à construire un édifice qui est leur œuvre propre; tous ont le droit le plus incontestable à recueillir les fruits de leurs efforts, de leur travail. Ce résultat de leurs travaux est ce qu'il y a au monde de plus sacré, et dans une société libre, organisée en vue de protéger le libre travail de chaque citoyen, la seule limite que doivent rencontrer leurs efforts, c'est la concurrence de rivaux qui tendent à les dépasser en habileté. Il n'y a rien, dans tout cela, qui ressemble à quelque chose de contestable.

Nous ne traiterons pas ici des inconvénients de la liberté, du mal que peut causer à d'habiles producteurs un fou qui se jette mal à propos dans une industrie pour y dépenser beaucoup d'argent. Le remède est dans les mœurs et les progrès de l'intelligence commerciale qui éclaire sur des entreprises folles. C'est une des charges de la liberté, mais elle n'est pas assez lourde pour devoir faire désirer la privation de la liberté et de la nomination d'un fonctionnaire chargé de penser, de juger, de vivre pour nous.

Nos pères avaient cru à tort que la liberté du travail était incompatible avec des institutions protectrices pour les ouvriers, rendant justice à leur habileté, à leur moralité. Nous avons montré qu'elles pouvaient exister parfaitement sans violer les droits les plus légitimes.

C'est surtout par des considérations de soi-disant utilité générale, qu'on voit aujourd'hui, dans notre pays, limiter le nombre des individus pouvant exercer certaines industries.

LOIS RESTRICTIVES DU NOMBRE DES ENTREPRENEURS.

Nous ne chercherons pas à prouver quelle fausse route on suit en cherchant à limiter le nombre des individus qui exercent certaines professions, limitation que nous avons vu exister à Paris, il y a quelques années, pour les bouchers, les boulangers, etc. Le gouvernement a reconnu lui-même les mauvais résultats de monopoles qu'il a dû supprimer. Il est bien évident qu'à moins qu'une industrie ne soit nuisible à toute la société, son exercice ne saurait être interdit, sans violer les droits de ceux qui auraient pu trouver dans la route que vous barrez, le succès qui eût été la récompense de services rendus. Ces principes sont trop évidents pour qu'il y ait lieu d'insister; il vaut mieux montrer les inconvénients inhérents à une réglementation semblable, à propos d'une industrie pour laquelle la limitation a subsisté jusque dans ces derniers temps, et que l'on pensera sûrement à rétablir, grâce à quelques sophismes auxquels personne ne croit plus, mais qui donnent à ceux qui les profèrent une apparence de profondeur. Je reproduirai ici les conclusions de mon rapport comme juré de la classe 28 à l'Exposition de 1862, pour montrer, dans un cas particulier, tous les avantages que peut procurer la suppression d'une réglementation abusive.

Des moyens d'assurer en France un grand développement aux arts graphiques. — La prospérité des arts graphiques comme celle de toutes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les industries, réclame des débouchés croissants, l'augmentation incessante de la consommation. Quels sont donc les moyens à employer pour stimuler la demande des produits de l'intelligence que la typographie et les arts qui en relèvent mettent à la disposition du public?

Nous remarquons, tout d'abord, qu'en France, le nombre des consommateurs n'est pas en rapport avec le chiffre de la population, en dépit des incontestables progrès et de l'extension prise par l'enseignement public. Est-ce insuffisance générale des lumières, apathie intellectuelle momentanée chez la nation qui se flatte d'être à la tête de la civilisation? Les relevés les plus dignes de foi constatent que le tiers des soldats appelés à la conscription ne savent pas lire; nous pouvons conclure de ce renseignement qu'une partie de la population française reste en dehors du mouvement de la civilisation, et que, par suite, la classe vouée à la production intellectuelle ne trouve pas dans le pays des conditions d'échange en harmonie avec son activité. Il y a donc un immense débouché à créer en France par les progrès de l'instruction, en admettant, ce qui est douteux, vu le peu d'usage qu'ils en font aujourd'hui le plus souvent, que les enfants qui ont reçu les bienfaits de l'instruction primaire ou supérieure, emploient et entretiennent les connaissances qu'ils ont acquises, mal auquel la réforme que nous allons indiquer apporterait un remède certain.

On ne peut se dissimuler qu'il reste beaucoup à faire en France pour vulgariser les notions indispensables au développement de l'esprit, qu'il ne suffit pas de savoir lire pour comprendre même les livres élémentaires, que l'enseignement primaire est trop incomplet pour dégrossir la pensée et la préparer à une culture suivie. Il y a sans doute à remédier à divers défauts et à combler bien des lacunes dans l'enseignement; mais rien ne peut contribuer plus utilement pour atteindre le but, que tout ce qui tend à favoriser et exciter le goût de la lecture, le plus puissant moyen d'apprendre plus et de conserver les connaissances acquises chez ceux qui possèdent déjà les premières connaissances élémentaires; or il est facile de reconnaître qu'il y a en France une foule d'entraves au développement de ce goût.

De quelle nature sont ces entraves? Nous ne voulons nous en occuper qu'au point de vue des intérêts de l'industrie dont nous venons de constater les efforts et les progrès. L'échange des produits intellectuels est-il libre? nous demanderons-nous tout d'abord; car là où le commerce est gêné, l'industrie qui l'alimente doit souffrir. Les faits vont répondre pour nous. Grâce aux brevets de libraire, dont les acquéreurs à prix d'argent sont soumis à une réglementation onéreuse, il n'y a en France que quatre mille deux cent vingt-cinq libraires seulement, c'est-à-dire, déduction faite de quelques grandes villes, trois mille libraires pour trente six mille communes. Moins d'un libraire pour dix communes! Il en résulte que les trois quarts de la population française n'ont pas même les moyens de connaître les publications les plus utiles, et que, par suite, le désir de la consommation des livres ne peut naître, faute d'occasion, pour la majorité des Français. Comment, dans de semblables conditions, les efforts des éditeurs les plus capables pour rendre les livres attrayants par l'illustration et toutes les ressources de l'art, pourraient-ils être couronnés de succès; comment réussiraient-ils à exciter la curiosité qui engendre le désir de lire, et bientôt en fait contracter l'habitude pour la vie entière?

Si nous recherchons dans quel esprit a été imaginé le système des brevets de libraires, qui limite le nombre des vendeurs de livres, nous trouvons, en consultant les discussions du conseil d'État du premier empire rapportées par M. Locré, que l'on eut en vue à cette époque d'organiser un système préventif propre à mettre la fabrication des livres sous la surveillance de l'administration. Pour atteindre ce but, il eût suffi d'astreindre les imprimeurs et tout au plus les éditeurs d'ouvrages au brevet. Pourquoi a-t-il été étendu aux libraires qui ne sont que des détaillants, et qui ne participent pas plus à la fabrication des livres que l'épicier à celle du sucre qu'il débite? Ne semble-t-il pas que cette extension soit peu motivée? Toujours est-il que ce brevet est un obstacle très-sérieux au développement de l'une de nos plus admirables industries et qu'il empêche les publications les plus utiles, les plus propres à développer l'intelligence de parvenir aux classes populaires.

Cependant, les livres dont il s'agit sortent des presses d'imprimeurs soumis à de nombreuses mesures préventives. Les imprimeurs ne peuvent exercer leur industrie qu'après avoir reçu leur nomination du chef de l'État, et acheté un brevet, souvent d'une grande valeur (ces brevets se payent de 15 à 20,000 francs à Paris). Ils doivent faire une déclaration préalable lors de l'impression d'un livre quelconque; ils sont soumis à la surveillance de commissaires spéciaux qui ont le droit de visiter leurs ateliers à toute heure; enfin, après l'achèvement d'un ouvrage, ils doivent en effectuer le dépôt. Avec de semblables précautions, il semblerait que la libre circulation des livres dût être facilitée, et que l'administration la plus méticuleuse ne saurait réclamer de plus complètes garanties.

Nous n'avons pas l'intention de justifier ici le système des brevets d'imprimeur, que nous ne croyons nullement indispensable pour assurer la surveillance administrative. Ne pourrait-il, en effet, et avec avantage, faire place à un régime qui ne créerait pas un obstacle presque insurmontable pour l'ouvrier intelligent, désireux de s'établir, et ne gênerait pas le jeu de la libre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

concurrence, qu'il est impossible de contrarier sans susciter nécessairement des difficultés pour la fixation des salaires?

Mais, en tout état de choses, quel inconvénient y aurait-il à ce que les marchands établis dans une commune, l'épicier, le mercier, le marchand de tabac (qui tient sa commission du gouvernement), vendissent quelques livres, quelques journaux illustrés, tels que *le Magasin pittoresque, le Tour du monde, la Science pour tous*, etc. Au lieu de quatre mille deux cent vingt-cinq vendeurs de livres, on en compterait bientôt vingt ou trente mille; car dans les bourgs, les villages, la librairie ne peut être, le plus souvent, que l'accessoire d'un autre commerce. Qu'on juge par là de l'extension possible du commerce et de la fabrication des livres, et, par suite, de la prospérité à laquelle pourrait atteindre une industrie qui met tant d'intelligences et de bras en œuvre?

Aujourd'hui les almanachs seuls, par respect pour les habitudes populaires, jouissent, à peu près, de la liberté que nous réclamons, ce qui a permis à leur vente d'atteindre des chiffres très-élevés. Pourquoi le *Magasin pittoresque*, cette intéressante et instructive publication, ne se vendrait-elle pas au même nombre d'exemplaires que Mathieu Laensberg, ce ramassis de stupides histoires, si les entraves qui gênent la vente du premier étaient levées, si elle était aussi libre que celle du second?

On se plaint des routines agricoles, des mauvaises habitudes domestiques, des préjugés déplorables qui règnent dans nos campagnes; mais quel plus rapide moyen de les combattre, de les extirper, que de généraliser l'usage, le goût de la lecture des bons livres?

Lorsqu'on nous demande d'indiquer les conditions de succès des industries que nous sommes chargés d'étudier, nous pouvons répondre en toute assurance qu'il n'est rien, à ce point de vue, de comparable à la liberté du commerce des livres.

Aux États-Unis, en Angleterre, les relations de voyage, les ouvrages d'éducation et de littérature, les traités et manuels d'agriculture et d'industrie se vendent bien souvent à des centaines de mille d'exemplaires. Il en sera de même en France quand la vente et la circulation des livres y jouiront d'une égale liberté.

D'éloquentes réclamations dans ce sens ont été produites depuis plusieurs années; un industriel éminent, un grand éditeur, M. Hachette, dans sa remarquable brochure, *l'Instruction publique et le Suffrage universel*, a plaidé avec une compétence complète la cause que nous soutenons ici, et a prouvé que la liberté de la librairie était une conséquence nécessaire au suffrage universel. Il nous semble impossible que l'administration française ne satisfasse pas prochainement à un vœu aussi légitime. Par la suppression d'une entrave inutile, on associera la nation entière au mouvement intellectuel, et on assurera le développement d'intéressantes industries; n'est-ce pas là aider deux fois au véritable progrès, sous sa double face spirituelle et matérielle, dans ses deux grandes manifestations : la pensée et l'industrie?

CONCURRENCE DE L'ÉTAT.

Une concurrence que ne doit jamais rencontrer le citoyen se livrant à la pratique d'une industrie, c'est celle de l'État, qui n'est pas un être réel, avant une existence propre, mais seulement la réunion des forces du pays dans un tout autre but que de monter des fabriques. Nous prendrons la liberté d'emprunter ce qui suit à une lettre que nous avons publiée en 1849, à propos d'une injuste création de cette nature, du développement de l'Imprimerie nationale.

« L'intervention de l'État dans une industrie est-elle juste? N'y a-t-il pas, à première vue, quelque chose de souverainement choquant à voir l'État se constituer, autant qu'il lui est possible, une existence propre, toute en dehors de la nation, exciter la jalousie des citoyens dont l'affection est sa force, et cela en causant leur ruine là où, avec une administration plus paternelle, ils eussent rencontré le succès.

« L'État a besoin de drap, de toile, de pain pour les troupes; fabrique-t-il du drap, de la toile, cultive-t-il des terres? Il a besoin de papier pour ses administrations, fabrique-t-il du papier? En un mot, cherche-t-il à constituer une nation officielle, entretenue, payée par une autre nation taillable et corvéable à merci? Non, les difficultés de l'exécution l'ont arrêté probablement; en tout cas, on n'a pas créé un grand nombre de ces établissements publics fabriquant les mêmes produits que ceux de l'industrie privée; l'État s'est, en général, borné au rôle de consommateur en raison de ses besoins.

« Pourquoi donc en est-il différemment de l'imprimerie? pourquoi l'État imprime-t-il lui-même pour ses administrations au lieu de demander à l'industrie privée l'exécution de ses impressions, comme il l'a fait si longtemps?

« Étudiez toutes les réponses qui seront faites à cette question, et vous ne rencontrerez personne qui dise : cela est juste; on vous répondra : cela est utile, cela est économique. Nous verrons bientôt à quoi se réduisent ces prétendus avantages; mais fussent-ils réels, il importe peu, s'ils sont contraires à la justice. Quoi! il serait licite de faire payer à des citoyens des contributions, et à l'aide de l'argent récolté de fonder des établissements venant battre en brèche les établissements qui font vivre ces contribuables? N'est-ce pas faire précisément ce qui a été si justement reproché aux prédications du Luxembourg, et aux ateliers nationaux de M. L. Blanc? Et n'est-ce pas causer aux industriels ainsi attaqués un dom-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mage considérable (bien plus grand dans l'imprimerie que dans toute autre profession), que de les priver du plus important, du plus solvable de tous les consommateurs, du gouvernement, qui n'est pas, que nous sachions, créé et payé pour tisser du drap, de la toile, imprimer ou fondre des caractères, mais pour faire respecter le droit de chacun, faire triompher la justice?

« Une anecdote relative à notre sujet indiquera les vrais principes.

« Dans les dernières années de la restauration, le roi Guillaume des Pays-Bas (dont la fermeté, l'entêtement si l'on veut, sont célèbres), prodiguait les encouragements et les franchises à l'imprimerie, qui, grâce à la contrefaçon surtout, se développait à Bruxelles avec une merveilleuse rapidité.

« Jaloux d'assurer le développement d'une industrie qui occupait une place importante au milieu de toutes celles qu'il cherchait à faire naître, il eut l'idée de créer une imprimerie royale qui pût en rehausser la célébrité. A cet effet, il acheta pour la somme de 400,000 francs, le plus bel établissement d'imprimerie de France, celui de Pierre Didot, accru par son fils J. Didot.

« Ce matériel rencontra la révolution à Bruxelles, fut mis sous le séquestre, et enfin, à la conclusion de la paix, rendu au roi Guillaume.

« Il entreprit alors de réaliser son projet, fit à cet effet construire à La Haye de superbes ateliers, et appela des Français fort capables pour diriger les diverses branches de la fabrication.

« Quand tout fut prêt, le directeur vint solliciter l'autorisation du roi afin de se faire adresser par les divers ministères des impressions qui donnassent la vie à ces beaux ateliers, et des ordres furent donnés en conséquence.

« Aussitôt les imprimeurs d'Amsterdam se présentèrent devant le roi pour lui soumettre leurs réclamations. En vain il les assura qu'il ne voulait pas gêner leur industrie, qu'il désirait fonder pour la gloire de la Hollande un établissement qui rappelât l'époque des Elzéviers, il ne put les convaincre. « Cet établissement, lui dirent-ils, fera concurrence aux nôtres, et une concurrence ruineuse. Pourquoi tel est-il un citoyen éminent? c'est que son établissement, qui a dans sa clientèle le ministère des colonies, est prospère, et qu'il peut consacrer au pays une influence à l'abri des sinistres; pourquoi tel établissement a-t-il pu se développer? c'est qu'il réussissait grâce aux impressions de plusieurs administrations publiques. Avec quoi payerons-nous nos impôts si l'État nous ruine? Laissez-nous donc nous efforcer de remplir honorablement nos devoirs de citoyens et de pères de famille, et contentez-vous, sire, d'être le roi de sujets heureux et riches. »

« Le roi Guillaume, contrarié, mais vivement frappé de leurs observations, trop bon commerçant pour ne pas en apprécier la justesse, prit bientôt son parti, et leur souhaitant de continuer à demeurer de bons et d'utiles citoyens dont la prospérité lui était chère, déclara se contenter du métier de roi et renoncer au métier d'imprimeur.

« Le lendemain, le matériel était rentré dans les caves, d'où il n'est sorti plus tard que pour être vendu aux enchères, et l'imprimerie royale avait cessé d'exister. Heureux pays, que celui dont les chefs ne font pas consister la gloire dans la splendeur de l'administration et de la nation officielle, mais dans la prospérité de tous les citoyens!

« C'est depuis que ce récit nous a été fait que la lumière s'est faite dans notre esprit, que nous avons compris combien était fâcheuse et injuste cette intervention abusive de l'État dans une industrie.

« Que dans un pays débutant à peine dans la carrière industrielle, un despote crée, avec avantage pour la nation, des manufactures privilégiées, cela est possible ; mais, dans tout pays où l'industrie est avancée et prospère, une semblable institution n'est pas défendable. C'est par des encouragements bien entendus que le gouvernement peut agir sur les progrès de l'industrie, jamais par l'accaparement, jamais en faisant concurrence à l'industrie privée, jamais en se séparant volontairement de la nation.

« *L'industrie privée peut-elle produire à aussi bon marché que l'Imprimerie nationale?* Un mot maintenant sur les objections des partisans de l'Imprimerie nationale, qui ne sont pas des Aristides, et font bon marché de la justice. Ce n'est pas à nous à démontrer combien sont illusoires les prétendus avantages qu'offre l'imprimerie de l'État ; les imprimeurs de Paris ont bien su les réduire à leur juste valeur. Répondons seulement à l'objection la plus grave et la plus répétée, celle du bon marché, et voyons de quel poids elle est, si elle supporte l'examen et si elle peut être mise en balance avec le droit et la justice.

« Le prétendu bon marché de l'Imprimerie nationale résulte d'un arrangement bien simple, avec lequel on met en déroute les investigations qui pourraient contrarier les projets d'envahissement des administrateurs de cet établissement. Cet artifice consiste à compter certains articles très-bon marché et à en faire payer d'autres beaucoup trop cher, de telle sorte que telle collection de savants ouvrages coûte un prix fabuleux, et que telle administration, dont les impressions ont été enlevées récemment à l'industrie privée, paye fort bon marché.

« Qui n'a pas rencontré quelque jeune savant gratifié de moitié des frais d'impression d'un ouvrage, et se plaignant que la seconde moitié des frais lui coûtât bien plus cher que ne lui eût coûté l'impression de l'ouvrage entier par l'industrie privée!

« Mais sans discuter des appréciations qui peuvent être taxées d'exagération, la possibilité pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

l'imprimerie de produire à aussi bon marché que l'Imprimerie nationale résulte clairement du principe évident, qu'il y a pour tout imprimeur qui a des frais généraux fixes et des travaux extrêmement variables par leur nature même, qui, en général, se refusent à toute fabrication faite à l'avance, bénéfice considérable à entreprendre, à prix coûtant, les travaux réguliers, prévus à l'avance, d'une grande administration.

« Mais, dira peut-être une personne étrangère à la typographie, le prix coûtant n'est-il pas moindre à l'Imprimerie nationale ? Comment cela pourrait-il être? La principale partie de la dépense, le salaire des ouvriers, y est le même, et s'il y a économie possible par leur bonne direction, certes l'homme mû par son intérêt privé y réussira mieux que pas un administrateur, quelque habile qu'il soit.

« Les moyens de production de l'Imprimerie nationale étant en tout les mêmes que ceux de l'industrie privée, d'où viendrait l'économie? Ce n'est pas de la composition, les ouvriers compositeurs n'y sont pas différents de tous les autres; ce n'est pas du tirage, puisqu'on n'employait tout récemment que les presses à bras et pas de machines, c'est-à-dire que le prix de revient des tirages était et est encore, pour la plus grande partie des impressions, trois fois plus élevé que dans le premier atelier venu possédant deux ou trois presses mécaniques.

« Le seul refuge des défenseurs est que l'on conserve beaucoup de formes. Mais c'est là encore une mauvaise plaisanterie, faite toujours dans la supposition erronée, Dieu merci! qu'en dehors de l'administration il n'existe que des misérables incapables de faire la moindre dépense immédiate en vue d'un bénéfice futur. Est-ce que l'industrie privée ne conserve pas des modèles pour les administrations privées, celles des chemins de fer, par exemple? Qu'on aille donc visiter les imprimeries qui font ce genre de travaux, et on trouvera des quantités énormes de modèles conservés; les imprimeurs savent parfaitement qu'il y a avantage à garder la composition d'un modèle destiné à repasser sous presse, pour des administrations qui se gardent bien de payer une nouvelle composition pour chaque tirage. Ce système est pratiqué depuis longtemps par tous les imprimeurs, et ils n'ont rien à apprendre à cet égard.

« Enfin, l'Imprimerie nationale n'a pas de loyer, n'a pas d'intérêt de capitaux à compter. C'est là une des causes apparentes d'un bon marché qui n'a rien de sérieux. Parce qu'on a logé gratuitement dans un hôtel valant un ou deux millions, un matériel coûtant pareille somme, à qui voudra-t-on persuader que l'État retire un bénéfice en ne comptant pas les intérêts de ces capitaux, lorsque d'un autre côté il les réalise par des emprunts dont il paye fort exactement les intérêts à l'aide des impôts?

« C'est donc, en réalité, l'appoint de l'impôt qui peut causer une diminution dans les frais; mais, en vérité, ce n'est pas sérieusement qu'on cite un tel avantage.

« Qu'on laisse donc de côté une objection sans valeur; grâce à l'aiguillon de l'intérêt personnel, l'industrie privée fera à meilleur marché que l'industrie gouvernementale, dans ce cas comme dans tous les autres. Voilà ce qui est certain.

« *De l'utilité de l'Imprimerie nationale.* L'utilité de l'Imprimerie nationale est admise par quelques personnes, dans trois cas: pour les impressions secrètes, pour les produits de très-grand luxe, enfin pour les impressions en caractères orientaux. Disons franchement toute notre pensée à cet égard; elle s'éloigne de celle de beaucoup de gens timides, car nous croyons, même dans tous ces cas, l'Imprimerie nationale complétement inutile.

« Pour les impressions secrètes, en supposant que l'on éprouve la nécessité d'impressions mystérieuses, c'est une singulière méthode que de les confier à un atelier composé de trois cents ouvriers. Je comprendrais que, comme à la Banque de France, on établît, au ministère de l'intérieur, des presses et un atelier de trois ou quatre compositeurs, hommes de choix, parfaitement sûrs, tenant à une position avantageuse; mais, en dehors d'une semblable combinaison, le secret est illusoire, n'existe pas, n'est pas possible.

« Les impressions de luxe sont rares à l'Imprimerie nationale, et la presque totalité de ce qu'il s'y fait est notablement inférieur aux meilleurs produits du commerce. Cela est incontestable. En quels points pourrait-elle prétendre à la supériorité? Est-ce pour les impressions en couleur? Que l'on compare ce qu'a fait Silbermann de Strasbourg, n'employant que ses ressources privées, avec ce qu'a fait l'Imprimerie nationale, et l'on verra où est la supériorité. Est-ce pour les ouvrages de mathématiques surchargés de formules? Que l'on compare le Monge que M. Bachelier a publié à ses frais avec les œuvres de Laplace, imprimées aux frais de l'État, et qui n'ont eu pour effet que de faire augmenter le prix de la première édition, exempte des fautes que renferme l'édition officielle.

« Enfin, le terrain le plus solide aujourd'hui pour la défense, ce sont les caractères orientaux. Qui en gravera, dit-on, si l'État ne s'en charge? D'abord, l'industrie privée n'est pas aussi misérable qu'on veut bien le dire, et, en plusieurs points, elle est fort supérieure à l'État. Nous citerons les grecs Didot, les seuls adoptés par la Grèce moderne et employés pour tous les beaux ouvrages grecs de l'Europe; les caractères arabes que l'on trouve chez les fondeurs qui les ont fournis aux imprimeries de l'Algérie; les caractères chinois, qu'un graveur a osé entreprendre de graver sur acier sans le moindre concours officiel, travail immense devant lequel on avait toujours reculé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Mais il y a mieux, c'est que l'industrie privée, loin de trouver un bienveillant concours dans le gouvernement, est arrêtée par l'Imprimerie nationale. Comment espérer un débouché raisonnable pour un caractère qui ne peut servir que pour quelques savants, lorsque l'État se charge de le graver aux frais des contribuables, plus ou moins disposés à faire cette dépense?

« A Leipzig, en Angleterre (pays où l'idée d'une imprimerie royale n'a jamais pu venir à l'esprit de personne), la fonderie privée a créé des caractères sanskrits, des hiéroglyphes, etc. ; ici l'Imprimerie nationale a empêché d'en créer.

« On confond, en général, deux choses bien distinctes : les encouragements donnés aux savants, aux publications qui honorent notre pays, et l'exécution de ces publications par l'État même. Lorsqu'on ouvre un crédit de 100,000 fr. pour une collection orientale, soyez certain qu'il se trouvera, sans atelier public, un établissement pour l'imprimer, et, avec l'aide des savants, un caractère arabe ou sanskrit convenable. C'est avec cet argent que l'Imprimerie nationale exécute ses gravures, avec les mêmes graveurs, les mêmes artistes qu'emploierait l'industrie privée ; c'est avec cet argent que celle-ci les exécuterait. Que l'on fasse déposer les poinçons à la Monnaie, au Cabinet des médailles, si l'on veut, comme curiosité, rien de mieux; l'État aura toujours l'honneur, et tous les droits seront respectés.

« Je dis même que l'encouragement donné à l'industrie sera beaucoup plus efficace dans ce système que dans le système actuel. J'appelle vivement l'attention sur ce point, car l'observation s'applique à toutes les circonstances où l'industrie privée est substituée à l'industrie officielle. En effet, la maison qui aura exécuté des caractères étrangers s'efforcera d'en tirer parti après que l'État aura terminé ses publications, fera naître quelques entreprises pour les utiliser, tandis que dans le système actuel ils restent inabordables aux spéculations de l'industrie privée.

« Mais en voilà assez à cet égard. Qu'on laisse subsister si l'on veut une imprimerie nationale pour produire quelques curiosités, quelques ouvrages en langues orientales, il n'en résultera que l'inconvénient de faire chèrement ce qu'on eût pu faire à meilleur marché et plus utilement pour les progrès de la science et des arts.

« *L'Imprimerie nationale et l'atelier national de M. L. Blanc.* Nous avons dit déjà combien, par la fondation de l'Imprimerie nationale, tous les principes étaient violés, combien cette intervention de l'État dans une industrie était funeste. Mais ce n'est pas seulement dans les faits que la violation des principes se fait sentir, c'est encore dans les idées.

« Nous avons souvent entendu dire que grand nombre de compositeurs d'imprimerie appartenaient à des opinions trop avancées. On s'en étonne, vu leur intelligence ; mais le contraire serait bien plus extraordinaire.

« En effet, il faut de deux choses l'une, ou que le citoyen espère arriver au bien-être, à la fortune, par son intelligence et son travail, ou qu'il prenne confiance dans nous ne savons quelle forme sociale qui assure à tout le monde le même sort, préférant dans ces systèmes, qui ne sont au fond que des protestations, la misère universelle au spectacle de la fortune à laquelle il ne peut atteindre. Or, tandis que le prix des brevets, la difficulté de réussir dans l'imprimerie, l'éloignent de penser à s'établir maître à son tour, l'exemple d'un grand atelier national donne pour lui une réalité aux rêves des utopistes. L'Imprimerie nationale est en effet, sauf la direction, un véritable atelier national, comme l'a rêvé M. L. Blanc..... »

Ce que nous disions de l'Imprimerie nationale s'appliquerait de même à tous les cas où l'administration publique voudrait faire par elle-même ce que l'industrie privée ferait beaucoup mieux et beaucoup plus économiquement qu'elle. Inutile d'insister à cet égard. Une exception ne pourrait être faite que dans quelques cas bien rares, où une fabrication ayant un caractère artistique, et seulement possible en manufacture, ne pourrait trouver un débouché convenable. Dans ce cas encore il est douteux que la forme d'encouragement simple ne fût pas préférable et bien plus utile en s'étendant à de nombreux établissements qui rivaliseraient de progrès pour créer des produits supérieurs.

2° DES BREVETS D'INVENTION.

Nous voulons essayer ici de faire un traité un peu complet sur la question des brevets d'invention, si capitale pour le plus grand nombre de nos lecteurs, et non-seulement un résumé sommaire comme dans l'ensemble de ce travail. Il suffirait sans doute, pour montrer aux esprits impartiaux qu'ils forment un rouage important de l'organisation industrielle ; mais il y a plus à faire aujourd'hui, il y a à bien établir les principes quelque peu obscurcis par d'ardents écrivains qui se sont proposé d'arriver à la suppression totale des brevets. Ce serait, à notre avis, ce qu'on pourrait faire de plus désastreux pour notre industrie, pendant qu'une bonne loi, ou plutôt simplement, comme j'espère le prouver, une bonne organisation du tribunal chargé de juger les contrefaçons, contribuerait sûrement beaucoup au progrès de notre industrie, en assurant aux inventeurs la juste récompense de leurs travaux. A la fin d'un ouvrage consacré à exposer les résultats des labeurs de tous les hommes ingénieux qui successivement ont créé et amélioré les procédés des diverses industries par les efforts de toute leur vie, ce n'est pas trop de consacrer quelques pages à défendre leurs droits si fondés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

De l'invention. Il n'est pas besoin de définir l'invention, le nom seul suffit. Inventer un procédé, un mécanisme, une combinaison quelconque, c'est faire ce qui n'avait jamais été fait; c'est créer une nouvelle source de richesses; c'est, dans nombre de cas, devenir le bienfaiteur de l'humanité.

L'invention est l'expression la plus élevée de l'application du travail intellectuel à la production de la richesse; elle crée l'industrie, les arts, la civilisation tout entière. Elle est au produit industriel ce que l'esprit est au corps.

Si l'on veut juger de l'utilité des inventions, que l'on étudie l'histoire d'une industrie quelconque, et l'on admirera les transformations dont elles ont été la cause, les développements, les créations qu'elles ont fait surgir.

Chacun connaît des multitudes d'exemples. Citons le plus saillant, l'invention qui transforme le monde entier de nos jours, celle de la locomotive créée par le génie de Stéphenson, et donnant naissance aux chemins de fer à grande vitesse, devenus eux-mêmes possibles grâce au bas prix auquel le fer a été produit le jour où l'on a inventé les moyens de l'extraire de ses minerais en employant du combustible minéral. La succession des inventions qui ont rendu possible un des plus grands pas qu'ait jamais fait la civilisation est facile à établir, car elles sont toutes récentes.

Veut-on d'autres exemples? Que l'on jette les yeux sur l'histoire de la grande industrie de la filature mécanique, qui a fait si considérablement diminuer les prix des tissus à mesure que se sont succédé les inventions de la mull-jenny, des cardes circulaires, du métier à tisser mécanique, etc. C'est en effet le caractère le plus marquant de ces progrès industriels engendrés par l'invention, celui auquel on peut, en général, ramener tous les autres, que de diminuer le prix des objets.

Cette économie, ou si l'on aime mieux, cet accroissement universel de richesse, est un bienfait pour toute la société, dont tous profitent sans que personne perde, au contraire de ce que produit la simple spéculation proprement dite. Insistons sur cette observation fondamentale.

Supposons qu'à un certain moment la fabrication d'un kilogramme de fer revienne à un prix déterminé, par exemple à 50 centimes, en employant les procédés que l'on connaît à un moment donné, en se servant des matières avec lesquelles on sache le fabriquer. Qu'un inventeur, par la création d'un nouveau procédé, tels que ceux que nous avons vu trouver de nos jours, l'emploi des gaz perdus, du laminoir au lieu du marteau, etc., parvienne à réduire considérablement les frais de fabrication, les dépenses de matières premières et de temps des ouvriers, de telle sorte que l'on puisse produire le kilogramme de fer à 40 centimes par exemple, n'y a-t-il pas là avantage immense pour la société, chacun pouvant désormais pour une moindre dépense acquérir une même quantité de fer? N'est-ce pas comme si on avait gratifié la société des sommes qui correspondent à cette économie? Cela est tellement évident qu'il est inutile d'insister.

Supposons maintenant qu'un commerçant, profitant de la gêne d'un producteur, d'un état de crise de l'industrie, puisse baisser les prix d'une marchandise acquise à bon marché, de telle sorte que, dans l'exemple ci-dessus, il puisse aisément vendre 40 centimes le kilogramme de fer, le spéculateur aura certainement usé de son droit, et nous ne blâmons pas une opération qui a peut-être évité au producteur une plus grande perte. Mais ce que je veux établir, et ce qui ne me paraît pas discutable, c'est que si le consommateur a trouvé le même avantage que dans le premier cas, il n'y a pas eu production de richesse pour la société qui comprend l'ensemble de tous les citoyens, les bénéfices du spéculateur et des consommateurs n'étant faits que des pertes du producteur; la ruine de celui-ci venant bientôt compenser l'enrichissement des autres, il y a eu déplacement et non création de richesse.

On doit se représenter la richesse d'une nation comme semblable à l'eau d'un grand lac. Par le travail de la production, la quantité d'eau augmente, le niveau s'élève sur toute la surface. Si par une spéculation à la hausse, par l'évaluation faite à la Bourse à un prix très-élevé, d'un monopole, il se crée de nombreuses fortunes; comme la richesse générale, la quantité de produits, d'utilités, ne change pas en réalité, bien que la richesse de quelques-uns augmente, on se représentera le phénomène en poursuivant notre comparaison, en imaginant que le niveau de l'eau du lac s'élève en quelques points. Mais alors il faudra bien que le niveau s'abaisse partout ailleurs, la quantité totale d'eau restant la même. L'enrichissement des uns causera l'appauvrissement des autres.

Ce n'est que l'accroissement de la production qui peut créer un réel enrichissement de tous. Or, plus on creuse la question, plus on trouve dans la succession des inventions qui accroissent de plus en plus la part des puissances naturelles dans la satisfaction de nos besoins, dans le travail intellectuel appliqué à la production, la première source de l'enrichissement général, de l'accumulation des produits utiles.

Du droit de l'inventeur. — Des avantages que chacun retire de la multiplication des inventions, il a été conclu, en général, par les personnes les moins favorables aux droits des inventeurs, qu'il fallait activer, développer l'esprit d'invention, que par suite on devait adopter des mesures propres à la favoriser.

Néanmoins, dans ces derniers temps, il s'est trouvé un écrivain en France, qui, dans un curieux article du *Journal des Économistes*, ayant cru devoir conclure à la suppression des brevets

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'il considère comme une gêne inutile pour l'industrie, a pu sérieusement rapporter comme de quelque valeur, comme indiquant la bonne direction à suivre, la réponse excentrique faite par un fabricant anglais, lors de l'enquête qui précéda la dernière loi. Elle est assez curieuse pour être reproduite :

« Je crois qu'un maître *libéral* s'empressera de récompenser un ouvrier ingénieux, capable de lui suggérer de *bonnes idées* pour perfectionner ou abaisser de prix quelque opération de sa fabrication; un tel ouvrier se verrait prisé plus haut sur une place, et obtiendrait un salaire plus élevé qu'un *imbécile*... »

Nous croyons bien inutile de discuter sérieusement la proposition de faire, au dix-neuvième siècle, une semblable part au travail intellectuel, lorsqu'il s'agit des nations chrétiennes, et non d'un pays où les individus sont parqués dans des castes, comme dans l'Inde, et nous pensons que le sentiment général porte bien plutôt à faire meilleure part dans les richesses qu'ils font naître, aux inventeurs qui ont créé la civilisation, et qui n'ont trop souvent récolté jusqu'à présent que la misère et le dédain des grands hommes du jour. Nous croyons assez généralement compris le sentiment exprimé par l'illustre Poncelet, en terminant sa revue des principales inventions mécaniques. « En se rappelant jusqu'à quel point nos hommes d'État et nos écrivains ont quelque fois poussé l'ingratitude, le dédain et l'oubli envers ces véritables bienfaiteurs des modernes civilisations, on ne peut se défendre d'un sentiment profond d'amertume. »

Dans un discours bien remarquable à la Société d'encouragement, le savant chimiste M. Dumas a tracé de main de maître la vie de l'inventeur et puissamment démontré la source de son droit. On sera heureux de le rencontrer ici, bien qu'il nous fasse empiéter un peu sur l'ordre logique de déduction que nous voulons suivre.

(6 avril 1864.) « Au premier rang des intérêts industriels à exciter, à soutenir ou a défendre, votre Conseil a constamment placé l'invention. Il existe aujourd'hui, il est vrai, une école historique et philosophique, où, considérant l'humanité comme une armée en marche vers le progrès, mais une armée sans général, on regarde, au contraire, chaque inventeur comme l'expression un peu banale d'idées appartenant à tous; idées dont il se serait fait seulement l'interprète un peu plus tôt que le reste des humains, et qui, sans lui, n'en eussent pas moins germé, fleuri et fructifié... Cet inventeur, que vous connaissez si bien, dévoré par la pensée qui l'obsède, à laquelle il voue toutes ses forces, sa fortune, sa santé, sa vie et les intérêts plus chers encore de tous les siens, ne serait, à en croire ces nouvelles doctrines de l'histoire, qu'un organisme obéissant à l'évolution générale de l'espèce, et produisant une invention en vertu des mêmes fatalités auxquelles obéit l'abeille qui sécrète sa cire ou son miel; ce qu'il a fait, tout autre aurait pu l'accomplir... Pour cette école, Homère, Phidias, Raphaël, Newton, Lavoisier, qui ont porté si haut le niveau de la puissance créatrice de l'homme, ne seraient que des chiffres. Leur génie serait celui de l'époque où ils ont vécu; au besoin ils eussent été remplacés par d'autres chiffres chargés de produire leurs poëmes divins, leurs pages immortelles ou leurs calculs sublimes!... Croyez-le bien, c'est en vain que nous réunirions tous les peintres du monde, ils ne produiraient pas un Raphaël; ou tous les sculpteurs, ils ne feraient pas sortir du marbre la Vénus de Milo; et de même, n'en doutez pas, il y a telle invention, dans les sciences industrielles, dont on a droit de dire que celui qui l'a faite était seul capable de la produire.

« Dire que la soude des chimistes..., la filature mécanique du lin..., le sucre de betterave..., le vinaigre de bois..., etc., n'en auraient pas moins été inventés sans le triple concours d'efforts du génie économique de Napoléon, du génie scientifique des Lavoisier et des Thenard, du génie industriel des Leblanc, des Philippe de Girard, des Mollerat, etc... Ah! messieurs, ce sont là des pensées mauvaises, des excuses prêtes pour l'ingratitude, des doctrines qui font tomber avec dédain les têtes des Lavoisier, qui assistent avec indifférence aux suicides désespérés des Leblanc!... Il y a des inventions, il y a des inventeurs, n'en doutez donc pas; mais, de même qu'il y a des paresseux qui nient la propriété, trouvant qu'il est plus court de la prendre que de la gagner par le travail et l'épargne, il y a aussi des faiseurs, pressés de gagner gros, qui nient l'invention, trouvant plutôt fait de se servir des idées d'autrui que d'avoir des idées, à force d'étude et d'attention persévérante. Savent-ils ce que c'est que l'invention? non, et leur seule excuse pour le dédain qu'ils affectent à son sujet, c'est qu'ils ignorent les douleurs et les joies de ces sortes d'enfantements...

« Écoutez ceci. Il y a quarante ans, je fus consulté par un ami de la famille de Daguerre. Les allures étranges de cet homme célèbre avaient porté le trouble parmi ses alentours. Sa raison n'est-elle pas menacée? Que penser, me demandait-on, d'un artiste habile, abandonnant ses pinceaux, et poursuivant cette idée insensée de saisir les fuyantes images de la chambre obscure, et de fixer sur le papier, sous une forme matérielle et durable, ce spectre insaisissable, ce rien? Je me suis souvent reporté aux heures de méditation que je consacrai alors à préparer une réponse qui rendit peut-être à Daguerre un repos troublé par des empressements inquiets. S'il eût été détourné de sa voie, cependant, la photographie n'existerait pas; qui oserait en douter? Savez-vous combien de temps s'écoula pour lui en études, en essais ruineux, en tentatives trompées? Quinze ans! Oui, quinze ans séparent ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

moment où Daguerre était regardé comme menacé dans sa raison et celui où l'Europe apprenait son triomphe. Lorsqu'il vint, au bout de ces quinze années d'épreuves, me montrer ses planches admirables, il n'en sut rien, mais ma première pensée, je l'avoue, fut un sentiment de reconnaissance envers Dieu, qui avait permis que je fusse appelé à défendre un si heureux génie, et qui m'avait inspiré, malgré ma jeunesse, la confiance de le protéger contre le zèle de ses amis. Avec quel intérêt je l'écoutais, me racontant ses espérances, ses doutes, ses soupçons; car, pendant ces quinze années, Daguerre, dont le sentiment artistique délicat avait tant de peine à se tenir pour satisfait, et qu'une éducation scientifique insuffisante livrait à tous les hasards des tâtonnements incertains, voyait tour à tour se rapprocher ou s'éloigner le but de ses espérances, se réaliser ou s'anéantir l'objet de sa poursuite infatigable. Mal à son aise avec ses alentours dont il négligeait les intérêts, troublé par les gloires de sa vie d'artiste qu'il lui eût été si facile de rajeunir, l'inventeur du diorama se demandait lui-même, tantôt s'il n'était pas attiré par le mirage d'une vaine chimère, tantôt si, au jour du succès, il ne se trouverait pas en face d'un spoliateur. Où se procurer, en effet, les lames de plaqué et les réactifs chimiques, sans mettre un plagiaire sur la voie des essais qu'il tentait? Ne fallait-il pas épuiser tour à tour les divers quartiers de Paris, ne revenant jamais, pour le même objet, chez le même fournisseur? Ne fallait-il pas mêler à l'achat des matières utiles celui d'ingrédients sans emploi destinés à détourner une curiosité intéressée ou indiscrète? Que de soins! S'agissait-il ensuite de fixer une image, celle d'un monument immobile et vivement éclairé lui étant indispensable, il était contraint d'opérer dans la rue ou en plein champ. Tout lui faisait ombrage alors : le passant, parce qu'il avait l'air trop indifférent; celui qui s'arrêtait, parce qu'il avait l'air trop curieux ; celui qui se tenait éloigné, sa réserve n'étant pas naturelle. Les personnes familières avec les écrits des alchimistes peuvent seules se représenter ce tableau naïf de la vie troublée de Daguerre, ainsi vouée, pour une moitié, à la crainte d'échouer, et, pour l'autre à la terreur de se voir dérober son trésor...

« Perdre les quinze plus belles années de sa vie, dédaigner les intérêts matériels, ignorer les inquiétudes de ses proches, vivre dans le doute, pendant le jour à multiplier des essais décourageants, pendant la nuit à se reprocher d'être un déserteur de l'art; demander pourtant à la science une gloire qu'elle fait longtemps, bien longtemps solliciter et attendre : voilà, messieurs, ce que coûte l'invention, et à quel prix on laisse un nom dans l'histoire des découvertes!

« Voulez-vous savoir quels profits, de leur côté, les nations en retirent? Demandez au commerce de Paris pour combien de millions, chaque année, il fabrique d'instruments destinés à la photographie, pour combien de millions il vend ou exporte d'images produites par les moyens photographiques? Rappelez-vous les jouissances nouvelles et inattendues que chacun de nous a éprouvées à réunir autour de lui ces chères images qui semblent une émanation même de la personne aimée, regrettée ou admirée.

« Ah! ne marchandons pas les inventions; soyons bienveillants et secourables aux inventeurs; gardons-nous de tuer la poule aux œufs d'or! Tous n'arrivent pas au but comme Daguerre; beaucoup meurent avant l'heure du triomphe, d'autres s'égarent en route. L'invention est une lutte; et, de même qu'au lendemain d'une bataille, si les vainqueurs sont récompensés, les morts sont honorés et les blessés recueillis avec sollicitude, glorifions les inventeurs qui réussissent, couvrons d'un indulgent respect les fautes de ceux qui échouent, et adoucissons les derniers ans de ces blessés, de ces invalides de la science industrielle, qui n'auront connu que les douleurs du combat et qui auront toujours ignoré les joies de la victoire. »

L'utilité de l'invention étant incontestable, il est admis universellement qu'il faut l'encourager; mais qu'y a-t-il à faire pour atteindre ce but?

Il est impossible de répondre d'une manière satisfaisante à cette question, quand on demande, comme on le voit si souvent dans notre pays toutes les fois qu'il y a une réforme à faire, à charger du fardeau l'administration; quand on prétend confier aux représentants de la société le soin de décerner des couronnes aux plus méritants, et que l'on raisonne dans l'hypothèse que l'entité, idole de notre pays, l'administration sait tout, peut tout, connaît tout, doit être chargée de tout faire. On n'arrive ainsi à rien de définitif. Il n'y a pas d'autre récompense admissible aujourd'hui, que la propriété acquise par le travail, par la seule supériorité du producteur, sans protection ni bienveillance de personne, propriété qui lui assure l'indépendance et la liberté. C'est en effet à faciliter la création de la propriété dans les mains de l'inventeur que reviennent les mesures adoptées par les législateurs des divers pays, rendant ainsi hommage implicitement, même quand ils partaient du seul intérêt social, au droit personnel de l'inventeur.

Sans chercher, pour le moment, l'étendue de ce droit, je prendrai pour en constater l'existence, un cas dans lequel il n'est pas contesté.

Lorsqu'un mode de fabrication peut être tenu secret comme on l'a vu souvent, par exemple pour certaines couleurs jouissant de qualités toutes spéciales (le bleu Guimet, les laques Gobert, le vert Pannetier, etc.), il n'est jamais venu à l'esprit de personne de blâmer l'inventeur de tirer parti de ses recherches et de bénéficier indéfiniment de la supériorité qu'il avait su conquérir. Personne n'est forcé de lui acheter; mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

si on veut le produit qu'il a su créer, qui n'existerait pas sans lui, qu'il n'interdit pas d'imiter, il faut lui payer le prix qu'il exige pour sa conception, sa découverte *qu'il peut tenir secrète*. Ce n'est pas cette dernière condition qui fait son droit, mais elle lui permet d'en tirer un profit, et on n'a jamais prétendu que la société avait le droit de violer le domicile de l'inventeur pour lui voler sa découverte. Tout le monde admet que l'exploitation secrète appartient bien à l'inventeur, on ne la lui dispute pas.

On pourrait citer nombre d'inventeurs qui ont préféré l'exploitation secrète de leur découverte aux garanties insuffisantes que leur offrait la loi des brevets; c'est, il me semble, la critique la plus amère de notre loi, de voir des gens intelligents raisonner en France comme s'ils étaient en Turquie. M. Canson, le grand fabricant qui assura le succès de la machine à fabriquer le papier en y adaptant des pompes pour affermir la pâte en faisant le vide, exploita ainsi en secret à Annonay sa belle découverte pendant plusieurs années, et se félicita toujours de ne pas avoir eu confiance dans un brevet.

Ces exemples me paraissent faire bien apprécier le droit de l'inventeur, qui ne change pas à cause de la difficulté d'appliquer en secret son procédé, qu'il n'est jamais forcé de livrer, qui est bien à lui seul tant que sa conception n'a pas été divulguée, qu'on ne peut lui enlever tant qu'elle est dans son cerveau. C'est bien, jusque-là tout au moins, une chose à lui appartenant, dont il est maître d'user ou de ne pas user à sa volonté.

De là découle son droit d'en tirer un profit, car supposons qu'à ce moment il dise à la société : Mille hommes produisent chaque jour telle quantité d'une certaine marchandise. J'ai inventé une machine à l'aide de laquelle ils produiront une quantité double sans plus de fatigue; mais je ne la construirai qu'autant que vous protégerez le mode de travail nouveau que j'ai combiné, qu'autant qu'on m'assurera une part du bénéfice qu'en retirera la société. Que pourrait faire de mieux celle-ci, fût-elle une société purement communiste, que d'accepter cet accroissement de richesse, qui autrement lui échapperait sûrement, la pensée de l'inventeur étant insaisissable? Sans doute, dans notre pratique actuelle, la communication des inventions étant exigée pour l'obtention d'une garantie de valeur douteuse, bientôt le privilége devient caduc, et la société s'en empare. Mais alors elle est parfaitement injuste : elle a attiré l'inventeur dans un piége pour le dépouiller; et, de plus, parfaitement absurde : elle a éventré la poule aux œufs d'or. Vouloir que l'homme de génie passe sa vie à travailler péniblement, jour et nuit, au bonheur de l'humanité, et ne lui assurer en échange que misère et déception, ne pas garantir et reconnaître ses droits à la propriété de sa création intellectuelle, c'est en même temps injustice et maladresse.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Au contraire, la garantie du droit facilement obtenue, c'est la certitude que toutes les énergies, toutes les intelligences tendront au progrès. « Faites, dit avec grande raison M. Jobard, que l'ouvrier ingénieux qui trouvera un mode abréviatif, un procédé préférable, une combinaison avantageuse, puisse les faire enregistrer chez la première autorité voisine pour en avoir la propriété et en retirer des fruits relatifs à leur importance. Alors l'invention deviendra la plus honorable, la première des professions; l'étude, la méditation, l'expérience acquise serviront à l'avancement des travailleurs au lieu de servir à leur ruine, comme aujourd'hui; chaque individu aura sa valeur réelle quand la loi protégera le fonds intellectuel aussi bien que le fonds matériel; la science, le talent seront des moyens de fortune assurés... »

Nous savons qu'on va s'écrier : Mais ce sont des monopoles que vous voulez établir! Sans aucun doute, et des monopoles sacrés assurant la fortune à la capacité et au mérite, en faisant la récompense du plus digne, de celui qui a rendu à la société les plus grands services. C'est sur un monopole qu'est fondée l'institution qui fait qu'il existe des familles, qu'une nation est formée de citoyens libres et indépendants, et non d'un troupeau de sauvages; nous voulons parler de la propriété foncière, qui est évidemment un *monopole*, et qui a conduit l'Europe au point élevé de civilisation où nous la voyons. Toute la question est de savoir s'ils sont justes. La pratique prouve qu'ils sont plutôt insuffisants qu'exagérés.

Des monopoles. — C'est en effet sous forme de monopole, de privilége exclusif d'exploitation pendant quelques années, que l'on a consacré le droit de l'inventeur dans toutes les législations modernes.

Au point de vue de l'utilité générale, le brevet d'invention, en conférant un monopole, produit l'effet essentiel de fournir le moyen le plus puissant de progrès à l'industrie, résultat qui n'est pas toujours assez apprécié. Ce n'est que la certitude du monopole qu'il confère qui peut engager les spéculateurs, les capitalistes à aider de leur concours les auteurs des inventions. S'il n'était pas possible de retirer un bénéfice tout particulier d'une exploitation exclusive, quel est celui qui se hasarderait à tenter les essais longs et coûteux qu'exige toujours une combinaison nouvelle pour atteindre le succès? Aussi peut-on dire avec raison que la publication d'une invention ingénieuse, sans prise de brevet, est chose fâcheuse; car personne ne se décidera à faire les frais de son application pour, en cas de succès, voir ses bénéfices enlevés par la concurrence. Cette puissance du brevet pour exciter aux découvertes et à leur application est bien évidente, et démontrée d'ailleurs par des exemples célèbres de grandes fortunes gagnées à l'abri de brevets.

Toutefois les graves inconvénients d'un privi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

lége exclusif semblent devoir immédiatement prendre naissance; mais, comme nous l'avons dit, tandis que le monopole par spéculation abuse d'une position conquise par habileté et audace, pour obtenir des bénéfices exagérés au détriment de ceux qui contractent avec lui, le breveté, lui, augmente toujours l'avoir social. Le premier veut toujours donner moins et obtenir davantage, pendant que le breveté offre toujours plus en jouissance, pour une somme relativement moindre. Cependant c'est une idée difficilement admise par bien des économistes, qu'une organisation semblable puisse être plus avantageuse, en laissant de côté la question de justice, que la liberté absolue; ce sont les inconvénients du monopole, de l'entrave que le brevet apporte à l'exercice d'une industrie par tous, qui les rendent souvent hostiles à la reconnaissance du droit de l'inventeur. Néanmoins, et sans soutenir le monopole en lui-même, comme sans tenir compte de son utilité pour faire naître de nouveaux progrès, cause d'avantages bien supérieurs au mal qu'il peut faire, on peut citer bien des circonstances dans l'industrie où il n'est certainement pas nuisible.

J'emprunterai à un journal anglais (*Newton Journal of Arts, March* 1860) le passage suivant, traduit par M. Perpigna dans une remarquable brochure sur les brevets d'invention, dernier écrit d'un homme qui s'est honorablement occupé toute sa vie de questions relatives aux brevets d'invention :

« Avant la loi de 1852, il fallait deux brevets différents pour les trois royaumes d'Angleterre, d'Écosse et d'Irlande. Comme chacun de ces brevets coûtait un prix énorme, les inventeurs (car la majeure partie était dans ce cas) n'avaient d'autre alternative que de faire breveter leurs inventions uniquement en Angleterre; de sorte que sur le nombre des inventions brevetées en Angleterre *seulement*, et que tout le monde pouvait dès lors importer dans les deux autres royaumes, il y en avait en moyenne de disponibles chaque année pour l'Irlande environ 392, et pour l'Écosse 294. Cependant, je ne puis me rappeler *un seul cas* d'une industrie qui aurait été, dans ces deux royaumes, créée pour faire concurrence au breveté anglais; il est certain même qu'aucun capitaliste n'a songé à introduire à son profit, dans ces pays, une seule branche importante de l'industrie anglaise, et cela par cette simple raison que, faute d'un équivalent probable pour compenser les frais d'expérimentation, le capitaliste recule devant une démonstration de succès qui profiterait autant à ses rivaux qu'à lui-même. »

Ce fait répond victorieusement à la prétendue infériorité dans laquelle se trouverait placée notre industrie, ayant les entraves des brevets, pour lutter contre celle des pays qui ne les connaissent pas. Disons en passant que ces pays se réduisent à la Turquie et à la Suisse; tous les autres États de l'Europe, aussi bien que les États-Unis, ont emprunté à l'Angleterre ce puissant moyen de progrès.

J'ai déjà cité un exemple qui se rapporte à une propriété reconnue partout, celle de l'auteur sur son livre.

L'expérience de la Belgique a prouvé que la ruine de tous les producteurs, le monopole d'une seule maison riche, était le résultat direct de la liberté absolue. Et cela en privant d'un légitime bénéfice et l'auteur qui a créé l'œuvre par un travail pénible, par des efforts d'intelligence à l'aide desquels il espérait vivre; et l'éditeur, qui a souvent fait naître l'œuvre en escomptant en partie à l'auteur les bénéfices que cette œuvre eût dû produire.

Cet exemple nous paraît tout à fait probant pour réfuter en principe les prétendus inconvénients qui, selon quelques personnes, doivent nécessairement accompagner la reconnaissance du droit de propriété de l'inventeur. Si on ne peut en conclure que la multiplication des monopoles soit un bien d'une manière absolue, il prouve complétement que les monopoles fondés sur la reconnaissance de droits sacrés peuvent constituer une organisation bien supérieure à celle fondée sur une apparente liberté, et ne sont même pas toujours des entraves gênantes pendant qu'ils font régner la justice.

La question me paraît avoir été parfaitement traitée par M. J. Bozerian dans un fort bon article inséré dans le journal *la Propriété industrielle*, à propos de l'excellent travail de M. Perpigna.

« Suivant lui, dit-il, les brevets ne sont jamais une cause d'élévation du prix de la marchandise; les faits protestent souvent contre cette assertion.

« Il faut distinguer, ce nous semble, entre le cas où l'invention porte sur le produit même, qui est pour la première fois livré à la consommation, et celui où l'invention porte sur les instruments ou procédés de fabrication.

« Dans ce dernier cas, M. Perpigna a pleinement raison. Entre deux produits de même nature et de même qualité, il est certain que le consommateur préférera toujours le moins cher, sans se préoccuper s'il a été fabriqué par une machine brevetée ou par une machine non brevetée; et l'invention n'aura même chance de réussir que si elle permet d'abaisser le prix du produit. A cet égard, M. Perpigna cite des exemples décisifs, celui des mull-jenny, ou bancs à filer en Angleterre, qui, tout en élevant le profit de l'ouvrier de 20 p. 100, ont cependant permis de réduire le salaire du filé de 13 d. par livre; celui des machines à coudre en Amérique, qui ont fait baisser de moitié le prix des articles destinés aux classes ouvrières, tandis que les ouvriers employés à ce travail gagnent deux ou trois fois plus qu'auparavant; celui enfin des métiers à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

tisser mus par la vapeur, qui permettent à l'ouvrier de fabriquer 18 ou 20 pièces de toile par semaine, tandis qu'il n'en fabriquait que 12 ou 15 en 1826, 7 en 1823, et 2 seulement dans les années précédentes.

« A ce point de vue, la réponse fournie par les faits est décisive : mais, lorsque l'invention porte sur le produit même, il ne nous paraît pas douteux que, si elle tombait immédiatement dans le domaine public, le produit pourrait être livré à un prix moins élevé ; si elle était née et avait été divulguée sans qu'il existât de brevets (exception rare), la liberté de la concurrence amènerait infailliblement ce résultat, qui se produirait d autant plus vite que les fabricants autres que l'inventeur n'auraient pas besoin d'élever leur prix de vente pour se couvrir des sacrifices pécuniaires qui ont dû précéder l'invention. »

A cette exception il faut apporter encore cette restriction, qu'il s'agit de produits qui se fabriquent aussi économiquement sur une petite échelle que sur une grande, cas qui devient plus rare chaque jour avec le progrès des inventions de machines procurant des avantages qui croissent avec l'importance de la fabrication. Ainsi, dans le cas cité plus haut, 100,000 exemplaires d'un livre appartenant à un seul éditeur, tirés sur une même composition, pourront revenir à un prix infiniment moindre que le même nombre tiré sur 100 compositions par 100 éditeurs, auxquels il sera impossible sans ruine certaine de livrer l'ouvrage au même prix que l'éditeur unique, même avec le prélèvement du juste droit de l'auteur, qui devient en général minime lorsqu'il s'agit d'atteindre de grands nombres.

Les exagérations du monopole comme celles de la concurrence peuvent être également fâcheuses ; mais l'un ne peut pas plus disparaître que l'autre, car il représente l'exercice du droit, comme la concurrence, la liberté. Ce sont deux termes extrêmes qui se concilient par le respect du droit de chacun, seule limite de la liberté de tous. Le monopole dû à l'invention est aussi respectable que celui obtenu par l'échelle de la production, par la puissance des écus, résultat direct, inévitable de la propriété mobilière.

L'utilité du monopole temporaire dans le cas des brevets semble à l'abri de toute contestation. Dans une croisade malheureuse, à notre avis, entreprise contre les brevets d'invention, sur laquelle nous reviendrons plus loin, M. Michel Chevalier les a attaqués comme nuisibles à la société, en disant : « Le brevet d'invention n'est pas d'utilité sociale. Il met obstacle aux nouvelles découvertes, et par conséquent il nuit au progrès industriel au lieu de le favoriser. » La réponse ressort de l'utilité du monopole, et M. E. Barrault a pu réfuter cette proposition de la manière la plus satisfaisante.

Puisque tout le monde sait, dit et répète que les inventeurs se ruinent à poursuivre la réalisation de leurs idées, quel sera donc, observe-t-il avec raison, l'homme intelligent, le manufacturier capable, ou seulement raisonnable qui osera risquer son temps et son argent pour expérimenter et mettre en œuvre une chose nouvelle, si l'inventeur n'a pas la possibilité de le faire lui-même?

A moins de garder secrète l'invention, il n'existerait aucun espoir de rémunération, car les concurrents profiteraient de suite, sans peines et sans fatigues, des inventions qui auraient épuisé les ressources de l'initiateur, et cela aussitôt que celui-ci aurait obtenu ce résultat de faire apprécier la machine ou le procédé dont il aurait fait l'expérimentation ou l'apprentissage...

Pourquoi bâtirai-je une maison, si d'autres que moi doivent y loger sans rémunération et sans mon autorisation? Pourquoi épuiserai-je mes ressources à faire une machine que le premier venu pourra ensuite copier sans rien avoir à payer pour mes frais d'expérience et d'étude?

Tout ceci nous paraît irréfutable, et les nombreux exemples dont l'auteur que nous citons les fait suivre montrent clairement que les brevets d'invention font naître et appliquer les inventions dans les pays où l'industrie est le plus prospère, en Angleterre notamment, et sont le plus puissant instrument de cette prospérité.

Principe du droit de l'inventeur. — Il peut sembler que le principe d'utilité des brevets, admis à peu près par tout le monde, est tout à fait suffisant, et que la discussion sur la nature du droit consacré par le brevet d'invention est affaire de pure théorie. Il paraît importer assez peu que, comme on l'admet en Angleterre, comme le formulait la loi de 1791, le brevet d'invention soit la consécration de la propriété appartenant à l'inventeur du seul fait de son travail intellectuel, comme je l'ai indiqué déjà, travail dont il apporte le produit à la société, ou que, comme dans le nouveau projet de loi soumis un instant au Corps législatif, on ne veuille voir dans le brevet qu'un *dédommagement des labeurs de l'inventeur, une rémunération des services rendus par lui à la société*, c'est-à-dire, en réalité, une concession de la société. Cependant, dût-on, dans les deux manières de raisonner, constituer le même titre, l'économie de la loi destinée à le faire respecter, et surtout la jurisprudence destinée à compléter celle-ci, ne pourront pas être les mêmes dans les deux cas, et par suite les valeurs des titres seront en réalité profondément différentes ; les conséquences qui en découleront seront tout autres. Il faut bien se rendre compte, et c'est l'explication de bien des dissidences, qu'il y a en présence deux systèmes profondément différents :

« Ou nous reconnaissons, comme le dit très-bien M. Dumery dans ses observations sur la nouvelle loi, que l'inventeur est un homme utile qui enrichit réellement la société, et que, s'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'était pas venu, l'invention n'aurait pas eu lieu;

« Ou bien nous admettons que l'invention est ambiante (en niant toujours l'action de l'individu, en admettant que le monde marche seul), qu'elle est le résultat des besoins du moment, et que le breveté n'est qu'un occupant quelconque, n'ayant d'autre mérite que de se présenter le premier pour exploiter une mine toute faite.

« Il n'y a pas de transaction possible entre ces deux situations :

« Dans la première, l'invention est bien réellement une *propriété;*

« Dans la seconde, c'est une *concession* de la société.

« Si c'est une propriété, il ne peut être fait aucune condition à l'inventeur en dehors des lois et règlements sur la propriété;

« Si c'est une concession, le brevet devient un cahier de charges contenant les clauses, conditions et réserves de la société. »

D'où cette circonstance bien singulière, mais bien démontrée par les faits, que des lois en apparence semblables donnent des résultats complétement différents, suivant l'esprit dans lequel elles sont interprétées. C'est le cas de la loi des patentes en Angleterre, facilement appliquée et donnant d'excellents résultats, ayant pour but et parvenant très-bien à faire respecter le droit de propriété reconnu à l'inventeur; et la loi des brevets d'invention en France, toujours refaite inutilement, toujours défectueuse dans la pratique, malgré toutes les modifications, parce qu'elle part du malheureux et faux principe de la *concession* de la société, parce que par suite elle tend à donner et à reprendre en même temps, à faire violer le droit du breveté pour lever l'*entrave* apparente que le brevet fait peser sur l'industrie, entrave qui est le moyen du progrès, de la justice et de la véritable liberté.

Il importe donc d'approfondir la question de propriété, de rappeler les principes fondamentaux, pour ne laisser aucun doute sur ceux qui doivent guider dans le cas des brevets d'invention, car c'est toujours du droit qu'il faut partir.

De la propriété industrielle. Pour approfondir la question de la propriété industrielle, je rappellerai d'abord les principes de toute propriété, et à cet effet, je rapporterai quelques lignes de l'ouvrage d'un écrivain dont il m'est interdit de faire l'éloge, de mon frère, M. Ed. Laboulaye (*Etudes sur la propriété littéraire*).

« Quelle est la racine du droit de propriété foncière? C'est le travail : j'entends par ce mot la transformation que notre volonté, notre intelligence et nos forces font subir à la terre. Un homme arrive en Algérie : il y trouve des terrains dévorés par le palmier nain, des marais empestés par les eaux, un sable desséché et stérile. Ce terrain, la société le vend au prix qu'il vaut, c'est-à-dire presque rien; le colon défriche, dessèche, fait des irrigations : voilà une valeur créée, voilà une propriété constituée.

« A qui peut appartenir cette propriété, sinon à celui qui l'a créée? Les voisins, qui n'ont rien fait, peuvent-ils prétendre une part dans le travail d'autrui? Non, sans doute. La société y a-t-elle plus de droit? Elle n'est qu'une collection d'individus qui tous sont restés étrangers à la mise en valeur. Comme représentant de la communauté, comme première propriétaire du sol, elle a reçu le prix de ce qu'elle a vendu. Où serait son titre pour agir? Bien plus, elle bénéficie de ce travail auquel elle n'a pas contribué, l'impôt seul va lui donner un revenu supérieur à ce qu'elle tirait de ce désert. Le propriétaire enrichit la société et ne lui prend rien.

« Le sol appartient donc à celui qui l'a fécondé, et il lui appartient à toujours. Pourquoi? C'est qu'il n'y a aucune raison qui autorise à le dépouiller d'une valeur qu'il a créée, d'une chose qu'il a faite. Le colon a travaillé pour ses enfants et pour sa femme; il a été sobre, patient, économe; il s'est refusé des jouissances viagères, personnelles, pour creuser des fossés, planter des arbres, élever des troupeaux, en un mot, il s'est sacrifié pour créer une richesse qui durera plus longtemps que lui, et qui profite indirectement à la société. De quel droit lui ôterait-on, à lui ou aux siens, ce qui est son œuvre propre? Ces fruits qui n'existeraient pas sans lui, ces troupeaux que lui seul a élevés, à qui peuvent-ils appartenir, sinon à celui qui les a créés et nourris? Après lui, qui aura droit à ces valeurs, sinon ceux pour qui seuls le colon a travaillé et qui continuent son œuvre?

« Voilà donc comment naît la propriété, et comment à sa suite arrive l'hérédité. Et ce n'est pas seulement par un sentiment de justice abstraite que la société protége l'une et l'autre, cette justice est pour elle une condition d'existence. La société vit du travail de ses membres; il n'y a pas de travail sérieux quand la propriété est incertaine et la succession mal assurée.

« On comprend maintenant quel est le droit de propriété dans sa forme première, avant que l'hérédité n'en obscurcisse la notion. C'est le droit du créateur sur la valeur ou la chose qu'il a créée; ce droit est de sa nature absolu. Nous pouvons disposer de notre chose comme il nous plaît, la donner, la vendre, la changer de nature, la consommer. Pourquoi? C'est que notre œuvre ne doit rien à personne; nous pourrions ne rien faire et laisser nos facultés oisives; si nous avons travaillé, c'est pour nous, et pour nous seuls. Afin de prétendre aux fruits de notre industrie, il faudrait qu'on eût un droit sur notre personne, ou qu'il y eût engagement de notre part; quand ces deux conditions n'existent pas, l'œuvre ne saurait appartenir à un autre qu'à l'inventeur.

« L'essence du droit de propriété, c'est donc une création de valeur; maintenant, en quoi con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

siste cette valeur dans la propriété foncière? Cette valeur, c'est un corps certain, une part du sol, une chose facilement reconnaissable, et que, par conséquent, tous les hommes doivent respecter. Un droit, une obligation sont invisibles; je ne puis pas savoir ce que mon voisin s'est engagé à faire ou à souffrir, mais je ne puis pas ignorer que ce champ n'est pas à moi, qu'il est à quelqu'un, et que, par conséquent, je n'ai pas le droit d'en user, ni le droit d'en prendre les fruits.

« La nature de la propriété foncière détermine la garantie que lui donne l'État. Que personne ne trouble le propriétaire dans la jouissance du sol, que personne autre que lui ne dispose des fruits, et le domaine est garanti. Cette protection est toujours facile, car l'objet n'est jamais douteux; il faut, en général, un acte extérieur, une violence pour dépouiller le propriétaire, ce sont des attentats visibles que la loi réprime chez les peuples civilisés.

« En ce qui touche les fruits du sol, il faut considérer que la garantie de la loi cesse dès qu'on les a aliénés; ce sont les produits de la propriété, mais ce n'est pas la propriété même; elle reste entière après la récolte vendue, et, d'un autre côté, le propriétaire vend les fruits pour que l'acquéreur, quel qu'il soit, en dispose à son gré. On verra bientôt quelle est l'importance de cette remarque.

« Voici donc la propriété sous sa forme la plus sensible, une valeur créée, un corps certain, un fonds qui ne se détruit point quand on en détache les fruits. Trouvons-nous les mêmes caractères dans la propriété mobilière? Oui. Prenons, par exemple, une filature. C'est le travail qui a créé des métiers, des broches, des peignes; ces machines sont un corps certain, toujours reconnaissable, et le produit de ces machines, le lin et le coton, s'achète comme les fruits du sol. Le fond du droit est le même, la protection de la loi peut s'exercer de la même façon.

« Au lieu d'une filature, supposons une fabrique de bronzes : ce sont des ustensiles ou des pendules que j'ai vendus. Ici se présente une difficulté qui fait sentir le besoin d'une protection particulière.

« Lorsque je vends les fruits que j'ai cueillis, le coton que j'ai filé, ces fruits et ce coton sont destinés à la consommation, et ne peuvent servir qu'à la consommation. On fera du vin avec mon raisin, des toiles avec mon coton; mais on ne refera pas du raisin ou du coton à meilleur prix que le mien, en s'appropriant sans peine et sans frais ce qui m'a coûté un long travail et des capitaux considérables.

« Il en est tout autrement d'un bronze. Pour fondre cette pendule, comme pour filer le coton, il a fallu de grands efforts et beaucoup d'argent; il a fallu des dessins, des modèles, des moules, tout un appareil industriel. Mais à la différence d'autres produits, rien n'est plus aisé que de s'approprier le fruit de mon travail, sans se donner les mêmes peines et sans courir les mêmes risques. Il suffit d'un surmoulage pour me faire une concurrence déloyale, car j'ai vendu cette pendule pour qu'on en jouisse, et non pour qu'on la reproduise; c'est un meuble que j'ai cédé, et non pas un modèle; rien ne peut donc autoriser un tiers à s'emparer d'une œuvre qui n'est pas la sienne.

« Supposons que le législateur prenne la défense de mon droit et qu'il interdise le surmoulage, sera-ce un principe nouveau qu'il introduira dans le Code, ou tout simplement une nouvelle forme de garantie pour la propriété? Je ne vois aucune différence essentielle entre l'œuvre du fermier, du filateur et du bronzier. Tous trois appliquent leur intelligence et leurs forces pour obtenir des produits matériels et échangeables; tous trois demandent la protection de la loi pour les fruits certains et visibles de leur travail; il y a seulement cette différence que pour dépouiller les deux premiers, d'ordinaire il faut entrer chez eux par force ou par ruse, tandis qu'on peut dépouiller le dernier sans aller chez lui, en paralysant et en ruinant entre ses mains le moule, la machine qui constitue pour lui une propriété. Il y a une espèce particulière de vol qu'on nomme la *contrefaçon;* c'est ce délit que la loi poursuit et punit d'une manière différente, la forme de la garantie change avec celle de l'attaque, le fond du droit ne varie pas; c'est toujours la propriété.

« Dira-t-on que ce que la loi prend ici sous sa garde, c'est l'industrie, l'invention, l'idée; mais il en est ainsi pour toute propriété. C'est toujours le travail et l'effort que la loi protége; ce n'est pas la chose, c'est *l'homme qu'elle défend.* Seulement le législateur ne s'inquiète pas des abstractions, il ne connaît l'idée que par le produit qu'elle a enfanté, et c'est ce produit qu'il entoure de sa protection. Y a-t-il ici un produit, un corps certain qui constitue une propriété? Sans doute, c'est le moule reproducteur. Mais, dira-t-on, on n'y touche pas. Touche-t-on davantage à mon champ, lorsqu'un voisin construit une fabrique de produits chimiques qui stérilise ma terre par des vapeurs malfaisantes? Touche-t-on à ma maison lorsqu'on établit à côté de moi un atelier de chaudronnerie dont le bruit rend ma demeure inhabitable? Et cependant la loi voit là une atteinte à ma propriété, parce qu'on détruit indirectement la valeur que j'ai créée. Quelle différence y a-t-il, sinon que la position du bronzier est plus respectable? car enfin le voisin de mon champ use de sa propre chose, de ce que seul il a créé, et cet usage serait légitime si je n'étais pas là, tandis que le contrefacteur sait le tort qu'il me fait. Peut-il ignorer qu'il n'est pas le créateur de l'œuvre qu'il tourne contre moi? »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette analyse, si complète et si précise du droit de propriété, s'applique de tous points à l'invention industrielle, et montre comment elle constitue un droit de propriété indiscutable à son auteur. N'est-ce pas par une accumulation de travaux et d'efforts qu'il arrive à construire la machine qui lui permet de créer des produits nouveaux, obtenus à meilleur marché qu'on ne pouvait le faire avant lui? Sera-t-il permis de copier cette machine, malgré lui, sans qu'il veuille la vendre, quand il ne donne à personne le droit de l'imiter? Son droit, incontesté tant qu'il peut garder son invention secrète, s'évanouit-il par la vue de son œuvre?

Sans doute le délit de contrefaçon se rapporte, pour bien des inventions, à un fait moins saisissable que celui indiqué dans le cas précédent. Il ne s'agit plus alors d'un surmoulage aisément reconnaissable, mais d'une imitation quelquefois assez difficile à établir, qui n'existe en fait que dans la nature intime des objets. Mais que conclure de ces différences nécessairement variables avec la nature du produit? Rien que la nécessité de modifier la garantie que le législateur doit savoir trouver suivant les cas, pour remplir sa fonction essentielle d'assurer à tous les producteurs le fruit de leurs efforts, propriété également sacrée dans tous les cas, que la mission de la société est de protéger et de défendre.

Peut-on s'arrêter sérieusement à l'objection si souvent répétée que l'invention est dans l'air, que l'inventeur y est pour peu de chose, qu'un autre eût fait son œuvre s'il ne l'avait pas exécutée, car, comme le dit spirituellement M. Jobard (et la plaisanterie est vraiment ici une arme de bon aloi) : « On prouvera au besoin qu'un père ne peut pas réclamer son enfant! car les bras, les jambes, la tête et le cœur humain sont connus depuis Adam, et il ne lui a pas fallu grand'peine pour les mettre ensemble; s'il ne l'avait pas fait un autre l'aurait fait aussi bien que lui, et peut-être mieux; qu'a-t-il donc à réclamer, ce père égoïste? »

C'est cependant ce qu'a fait M. Michel Chevalier.

Il se pose cette question : « Le brevet d'invention a-t-il pour base un droit positif? Une invention industrielle peut-elle offrir d'une manière certaine les caractères de la propriété? Est-ce une chose qu'un homme puisse être fondé à revendiquer à l'exclusion de tous autres, c'est à-dire s'approprier, même pour une durée limitée à quinze années?

« Il me semble pourtant que non. Si j'invente un mécanisme aujourd'hui, un autre pourra l'inventer demain; bien plus, rien ne prouve qu'un autre ne l'a pas inventé hier. Pour que le principe du brevet d'invention fût admissible, il faudrait tout au moins qu'il fût possible dans chaque cas de faire une enquête de laquelle ressortirait la démonstration que personne, non-seulement dans le pays, mais au dehors, jusques et y compris les antipodes, n'a jamais eu la même idée... »

L'erreur évidente de ce raisonnement, comme l'a parfaitement fait observer M. Renouard à l'Académie des sciences morales et politiques, c'est qu'il se rapporte à un cas où le brevet n'existerait pas, ne serait pas valable. Toutes les lois exigent que l'invention soit *nouvelle*, les objections qui portent sur les cas où il n'en serait pas ainsi sont donc absolument sans valeur, ne se rapportent pas aux brevets d'invention que nous connaissons.

M. Michel Chevalier continue ainsi après avoir indiqué la difficulté de faire les vérifications indiquées ci-dessus.

« Admettons cependant que la constatation ait pu se faire. Personne auparavant n'aura eu telle ou telle pensée; bien : mais qu'est-ce que cela prouve, sinon une priorité? Il ne s'ensuivra pas que la même invention, si réellement c'en est une, n'aurait pu, à très-bref délai, être imaginée par un autre, et qu'on ne cause pas à la société un notable préjudice quand on en confère à une personne le monopole, même pour le délai de quinze ans. »

On voit que l'argument principal qui revient ici est celui auquel M. Jobard répondait si spirituellement. Nous ne comprenons vraiment pas que l'on pose comme évident que toute découverte due au génie de l'homme est sans mérite, parce que si Archimède, Newton, etc., par exemple, n'eussent pas fait les découvertes qui ont immortalisé leur nom, d'autres les eussent faites. Il n'est pas contestable que toute découverte de géométrie, toute loi physique ou astronomique, est une vérité absolue qui n'est pas susceptible d'objection, et qui prend naissance pour être reçue par tout le monde le jour où elle est découverte; elle est reconnue vraie comme 2 et 2 font 4. Elle n'existait pas avant celui qui l'a trouvée; elle est un accroissement positif du savoir humain dès qu'elle a été promulguée. Le secours que l'inventeur a trouvé dans des travaux étrangers ne détruit en rien le mérite de ce qu'il a su y ajouter.

Toute découverte industrielle est de cet ordre; mais de plus ce n'est pas une pensée, une idée seulement, difficile à préciser et dont l'appropriation n'a jamais été demandée, c'est une réalité qui apparaît par la création de son auteur, et vouloir contester l'invention de la machine à vapeur moderne à Watt, lorsqu'il imagina le condenseur séparé, n'est vraiment pas sérieux. Pas un contemporain n'avait songé à rien de pareil, et c'est près d'un siècle après qu'on a songé à avoir des machines à vapeur sans condenseur. Sans doute toutes les inventions brevetées n'ont pas l'importance de celle-ci, mais toutes celles qui ne sont pas des illusions de l'auteur, même celles qui paraissent les plus simples, ressemblent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ECONOMIE INDUSTRIELLE.

plus ou moins à l'œuf de Cristophe Colomb; il semble sans doute, pour bien des esprits, qu'il était bien aisé de les faire quand on les voit sous la forme d'une réalité facile à comprendre; rien de plus facile que ce qui s'est fait hier, comme disait Biot, mais on ne le faisait pas, et il a fallu l'initiative ardente, la conception d'un esprit possédant une originalité propre pour y parvenir. C'est toujours une partie de l'individu, son activité, son intelligence, son originalité toute différente de celle de son voisin, qui se sont fixées dans cette invention.

On a vraiment mauvaise grâce à se plaindre de la constitution d'une propriété à laquelle la société ne donnera de valeur que si elle lui procure des avantages certains. Car, comme le disait si justement Carlyle dans sa pétition au parlement anglais, à propos de la loi sur la propriété littéraire : « L'auteur joue contre le monde un jeu plus que loyal, son enjeu étant sa vie même (car la peine est de mourir de faim), et l'enjeu du monde n'étant rien jusqu'à ce qu'il ait vu les dés; si bien que, dans aucun cas, le monde ne peut perdre. Que dans la chance heureuse et longtemps douteuse du jeu tournant en sa faveur, notre pétitionnaire ose supposer que les petits gains d'icelui doivent appartenir à lui et aux siens... »

L'attribution de la propriété d'une invention industrielle à son auteur n'est pas plus contestable que celle de la propriété foncière au colon cultivateur, de la propriété littéraire à l'écrivain, de la propriété artistique au sculpteur et au fabricant de bronzes. Ne doit-on pas conclure à leur assimilation complète au point de vue du droit, de la garantie suffisante qu'elle doit recevoir du pouvoir social?

Ces principes ne sont pas, au reste, aussi nouveaux que l'on veut bien le dire. Rappelons ici le préambule de la première loi sur les brevets (7 janvier 1791), qui établit les vrais principes d'une manière bien plus libérale qu'on ne l'a fait depuis : « Considérant, y est-il dit, que toute idée nouvelle dont la manifestation ou le développement peut devenir utile à la société, appartient primitivement à celui qui l'a conçue, et que ce serait attaquer les droits de l'homme dans leur essence que de ne pas regarder une découverte industrielle comme la propriété de son auteur; considérant en même temps combien le défaut d'une déclaration authentique et positive de cette vérité peut avoir contribué à décourager l'industrie française, en occasionnant l'émigration de plusieurs artistes distingués et en faisant passer à l'étranger un grand nombre d'inventions nouvelles dont cet empire aurait dû tirer les premiers avantages; considérant, enfin, que tous les principes de justice, d'ordre public et d'intérêt naturel commandent impérieusement de fixer désormais l'opinion des citoyens français sur ce genre de propriété par une loi qui la consacre et la protége, etc. » On voit que nous avons fait bien des progrès depuis cette époque pour écraser l'individu sous la toute-puissance de la société, qui veut bien *dédommager l'inventeur de ses labeurs!*

« L'inventeur, lit-on encore dans le rapport de Boufflers, demande que la loi le protége contre la fraude, contre le vol, et non contre les droits de personne. Il demande à mettre sa récolte, bonne ou mauvaise, sous la foi publique. Sera-t-il donc défendu de toucher aux autres récoltes et permis d'enlever la sienne? » Voilà la vraie réponse aux reproches d'égoïsme faits quelquefois à l'inventeur, que M. Ét. Blanc relève si bien dans les lignes suivantes :

« Faut-il nier que l'inventeur soit égoïste? non; ce reproche a aussi son côté vrai : en effet, nous ne connaissons rien qui égale cet amour du droit exclusif qu'on retrouve chez tout véritable inventeur. Seul il a creusé son sillon, seul il a semé, seul aussi l'inventeur veut recueillir. Celui-là ne serait pas inventeur qui ferait bon marché de ses droits de paternité, comme celle-là ne parut pas à Salomon la véritable mère qui consentit au partage.

« Nous avons dit que rien n'égalait l'égoïsme de l'inventeur; nous exagérions, puisqu'on peut manifestement adresser le même reproche à tout propriétaire. Pour peu qu'on ait été locataire, et qui ne l'est pas? on sait de reste que les propriétaires ont contracté l'habitude de ne permettre à personne de percevoir les loyers à leur détriment. Tout cultivateur a la vulgaire prétention de faire, pour lui seul, la récolte de ses fruits. Il est donc bien évident que propriétaires et cultivateurs sont aussi coupables d'égoïsme que l'inventeur. »

Nous considérerons comme à l'abri de toute contestation que l'inventeur a droit au fruit de son travail, c'est-à-dire qu'il doit être protégé contre les contrefacteurs qui voudraient le dépouiller en copiant ses procédés. Le titre que la société doit faire respecter contre toute spoliation est ce que nous appelons brevet d'invention. Quels droits spéciaux doit conférer ce titre justement délivré, car la reconnaissance des divers genres de propriété, fruit du travail de l'homme, n'entraîne pas nécessairement les mêmes modes de garantie de la part du pouvoir social dans tous les cas. C'est ce que nous allons examiner pour l'invention industrielle, et nous reviendrons sur la seconde partie de l'argumentation de M. Michel Chevalier qui est fondée quand on conclut à la limitation du droit la jouissance, tandis qu'elle nous paraît impossible à défendre quand on conclut à la négation du droit de propriété de l'inventeur.

Des récompenses ou indemnités aux inventeurs. Nous ne discuterons pas les systèmes destinés à indemniser l'inventeur, de ce dont on propose, en somme, de le dépouiller. En principe ce qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

précède réfute d'une manière absolue tout système semblable dans lequel on viendrait à remplacer le brevet par quelque mode de rémunération particulier, comme à prescrire à l'inventeur breveté le mode d'exploitation qu'il doit suivre. Si la patente n'est que le titre de la propriété de l'inventeur, on ne saurait lui prescrire la manière dont il doit jouir de celle-ci. Elle ne peut être autre que celle qui est écrite dans le Code pour toute propriété. On est tenté de le répéter constamment, il ne s'agit pas ici de récompense, comme tant de personnes sont encore disposées à le croire; il s'agit de droit et de justice.

Nous rapporterons seulement un bon article sur les brevets et le système de récompenses que M. Mareschal, mécanicien, a fait paraître dans la *Propriété industrielle*, et qui est bien inspiré par l'esprit qui anime les hommes laborieux et intelligents qui cherchent le succès dans l'exploitation exclusive d'un brevet. C'est, nous le disons à sa louange, dans l'invention d'une machine à hacher les viandes qu'il a trouvé des bénéfices, comme MM. Cail et Cie ont su en trouver dans l'exploitation des brevets Degrand, Crampton, Thonnelier, etc., comme l'ont fait tous ceux qui ont réussi à acquérir des positions industrielles, à l'abri de la concurrence d'un établissement qui s'organiserait pour travailler à plus bas prix qu'eux en sacrifiant tout bénéfice.

« On s'écrie que le brevet d'invention est une entrave; sans doute, et c'est ce qui le rend précieux à nos yeux. Il est une entrave à certaines tendances mauvaises du gros capital, et nullement à l'esprit de progrès. Ce qu'il entrave, c'est cette disposition naturelle des maisons puissantes à absorber celles qui sont moins riches qu'elles, pour rester seules maîtresses du marché. L'institution des brevets d'invention, si imparfaite qu'elle soit encore, a du moins permis à plus d'un fabricant industrieux de grandir peu à peu, et de résister aux tentatives injustes des concurrents auxquels ils portaient ombrage; sans les brevets, tous ces petits fabricants dont les intérêts sont certainement respectables, et qu'un gouvernement éclairé voudra toujours protéger, ne pourraient résister à la concurrence. L'industrie, la fabrication se concentreraient peu à peu dans les mains de quelques maisons puissantes en petit nombre, de quelques sociétés financières qui, à cause de leur fortune exceptionnelle et des moyens d'influence dont elles disposeraient, sauraient bien se créer des monopoles, des priviléges, des immunités quasi perpétuelles (les sociétés, les grandes maisons ne meurent pas) bien autrement gênantes et coûteuses pour le public que les priviléges temporaires des brevets d'invention disséminés entre les mains d'un grand nombre de fabricants de fortunes diverses, concurrents entre eux, et se combattant généralement à armes à peu près égales.

« Telles seraient les conséquences logiques, fatales du système que vous préconisez. Mon voisin fabrique des toiles peintes dont les nuances sont plus solides que ce qui a été fait jusqu'à présent, grâce à un procédé pour lequel il s'est fait breveter; un autre construit des wagons par des machines de son invention qui réalisent une notable économie; celui-ci fait des roues de voiture plus légères et plus solides; celui-là réussit à étirer l'aluminium en fils fins; moi-même j'ai lutté pendant dix ans pour faire adopter un appareil dont tout le monde niait d'abord l'efficacité, et dont maintenant les gens du métier ne sauraient se passer. Si ces procédés et bien d'autres, dont l'exploitation nous a permis de fonder avec quelques économies et beaucoup de persévérance des établissements modestes, il est vrai, mais qui marchent et s'élèvent peu à peu; si tous nos procédés, dis-je, étaient tombés dès leur naissance dans le domaine public, ils seraient allés (s'ils n'étaient restés en route) augmenter l'importance d'établissements déjà trop considérables dont nous n'aurions pu ni voulu affronter la concurrence, et au lieu d'être aujourd'hui les chefs de ces établissements de troisième et de quatrième ordre, qui ont bien leur utilité à divers titres, nous serions de petits rentiers à 1,000, 2,000, 3,000 fr., grâce à une indemnité. Pensez-vous qu'il y aurait avantage à cela, au point de vue de l'intérêt général? Pensez-vous que les fabricants brevetés d'aujourd'hui, qui occupent chacun 15, 30 ou 50 ouvriers, ne remplissent pas un rôle plus utile dans le mouvement industriel que tous ces petits rentiers-inventeurs que vous voulez faire? (Ajoutons que ces constructeurs forment autant d'ingénieurs ardents et expérimentés pour résoudre les problèmes que les divers industriels vont leur soumettre chaque jour.) Et remarquez ceci : vous demandez qu'on vous livre nos enfants encore à la lisière, mais qu'en ferez-vous? Vous ne vous en occuperez pas, vous les oublierez pour la plupart, ou vous les étoufferez parce que vous ne serez pas directement intéressés à les voir grandir, ou parce qu'ils vous importuneront. Voici le modèle d'un appareil nouveau qui présente certains avantages sur ceux existants; qui le construira? Aucun fabricant ne sera disposé à changer ses modèles, à travailler sur nouveaux frais, si ses confrères ont le droit de le copier dès qu'il aura réussi à faire adopter cet appareil. Vous prétendez, messieurs, que votre système hâterait le progrès; c'est le contraire qui aurait lieu si jamais il pouvait être adopté. Il engourdirait la pensée et ferait disparaître tout esprit d'initiative.

« Vous voulez bouleverser toute l'économie de la loi des brevets d'invention, parce qu'elle donne lieu à de nombreux procès. Il serait plus avisé, semble-t-il, d'apporter à cette loi certaines modifications indiquées depuis longtemps par des hommes très-compétents, au moyen desquelles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces procès dont vous vous effrayez si fort pour nous deviendraient beaucoup moins nombreux. »

De la durée des brevets. La durée du brevet est un élément essentiel de sa valeur, et est pour le breveté un élément capital de succès. Si la durée est insuffisante, le brevet est nuisible; il entraîne à leur ruine ceux qu'il devrait enrichir, il fait méconnaître des hommes utiles; il fait condamner des œuvres qui eussent dû augmenter la fortune publique.

Voyons ce que dit la pratique actuelle, et les résultats de la durée de quinze ans adoptés jusqu'ici. « Pour apprécier sainement la question de la durée à assigner aux brevets, dit très-bien notre collègue M. Dumery, à la brochure duquel nous empruntons cet intéressant passage, il faut bien se pénétrer de la condition des inventeurs, si différente de celle des industriels qui prennent la suite d'une exploitation déjà créée et en plein rapport. Pour l'inventeur, l'inconnu partout et toujours; et, chose digne de remarque, dans des œuvres capitales, l'inventeur n'appartient presque jamais à la branche d'industrie qu'il transforme.

« Au contraire, les améliorations de détail sont, on peut le dire, toutes entreprises par les gens du métier.

Que résulte-t-il de cette différence de conditions et de but?

« Que les perfectionneurs ont, en général, sous la main tous les éléments d'application de leur œuvre; qu'ils n'améliorent qu'avec opportunité, et qu'ils se placent presque toujours à la suite d'un succès.

« Pour les créations nouvelles, tout est à faire; aucun précédent n'existe, et de plus, pour réussir, l'inventeur doit toujours avoir recours à des moyens tellement disproportionnés, qu'à l'origine ces moyens équivalent à des impossibilités.

« Pour remplacer un fuseau d'une valeur de quelques centimes, il lui a fallu trouver des centaines de mille francs.

« Pour remplacer une chandelle de deux sous, l'inventeur a demandé des fourneaux, des cornues, des gazomètres, et il lui a fallu bouleverser les villes en tous sens pour placer ses tuyaux.

« Pour remplacer un morceau de toile et une perche de sapin, l'inventeur du steamer a demandé à changer les dimensions des bateaux, et il a dépensé mille fois la valeur de ce qu'il remplaçait.

« Pour supprimer une patache de quelques cents francs, l'inventeur de la locomotive a demandé des millions par centaines, pour une seule contrée, et, pour un pays, on a dû compter par milliards.

« Quelles sont les conséquences de cette différence entre la grande invention, l'invention à révolution et l'invention d'amélioration? Quelles sont les conséquences de la fâcheuse confusion que nous en faisons? C'est que nous condamnons fatalement toutes les grandes œuvres à échouer par insuffisance de *durée*, tandis que le succès est assuré aux améliorations de détail ou aux objets que l'on serait tenté de considérer comme inutiles.

« Dans les grandes applications industrielles, que fait-on en quinze ans?

« On lutte, voilà tout! Qu'avons-nous jamais fait comme réalisation des grandes industries dans les quinze premières années?

« Quinze ans après la découverte du gaz, combien y avait-il de becs allumés?

« Quinze ans après l'invention de Fulton, combien possédions-nous de bateaux à vapeur?

« Quinze ans après l'invention de Sauvage, combien y avait-il de bateaux à hélice?

« Quinze ans après l'invention de Philippe de Girard, combien y avait-il d'usines à lin?

« Qu'avait fait le grand Watt lui-même quinze ans après la prise de son brevet?

« Rien que fournir des preuves!... Il a fallu en deux reprises porter son brevet à vingt-huit ans!

« Mettons en regard des résultats obtenus par des inventions que l'on peut appeler de second ordre.

« Le brevet d'une sonnerie électrique a été vendu 50,000 francs.

« Le brevet d'un bouton de gants a été vendu 60,000 francs.

« Le brevet d'une épingle à crochet 70,000 fr.

« Le brevet d'un fermoir de porte-monnaie a produit des millions à son auteur.

« Un autre, avec une pâte imitative d'écaille, s'est fait 50,000 fr. de rente.

« Un autre, avec une carcasse de robe, a gagné 500,000 fr. en deux années.

« Et pendant que ces œuvres éphémères produisaient tout ce qu'elles pouvaient produire, nous voyons des œuvres sérieuses, utiles, durables, péricliter, languir et tomber!

« Mais, nous l'avons dit, l'un peut agir seul, sans aucun concours : il ne relève que de lui; l'autre a toujours besoin du concours de la société.

« L'un échappe à toutes les clauses restrictives ou correctionnelles qui ne l'atteignent jamais; l'autre est toujours certain d'être frappé par elles.

« L'un a sa moisson faite avant l'échéance des clauses restrictives; l'autre n'a même pas commencé à semer quand approche le fatal délai.

« L'objet du premier est abandonné par la mode dès les premières années de son brevet; le but du second n'est même pas encore connu quand sonne la déchéance.

« Tout allongement de *durée* n'est donc, en aucune façon, préjudiciable aux auteurs ni à la société, pour les inventions de deuxième et de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

troisième ordre; au contraire, l'insuffisance de durée est fatale à toutes les entreprises de longue haleine.

« En adoptant une durée plus longue, les brevets futiles deviendront certainement trop longs; mais qu'importe! Le public les abandonne avant terme; les brevetés cessent de payer pour des titres dont ils ont joui pendant tout le temps qu'ils pouvaient exister.

« En adoptant des brevets trop courts, les inventions futiles ne cessent pas d'être satisfaites; ce sont les grandes choses de l'industrie, qui, seules, sont atteintes et frappées de mort. Mieux vaut donc s'exposer à pécher par la voie qui donne trop à l'industrie secondaire, mais qui a le mérite, au moins, de ne pas entraver les grandes œuvres.

« Cette voie, c'est la durée prolongée, c'est elle que la nouvelle loi doit inaugurer. »

Les Américains viennent de porter à dix-sept ans la durée de leurs patentes, en abaissant la taxe à 500 fr., ayant reconnu pratiquement l'insuffisance de la durée de quatorze ans dans le cas où le travail de l'inventeur méritait le plus d'intérêt. On ne saurait plus donner au chiffre de quinze ans qui n'est fondé sur rien, même l'autorité d'un consentement général.

Quelle est l'origine de cette durée de quinze ans dont la pratique démontre l'insuffisance pour le cas des grandes inventions? C'est le résultat de vieilles coutumes anglaises fixant deux périodes de sept années pour la durée de certains priviléges auxquels on a assimilé les brevets.

Dans un pays où toutes les idées sont tournées vers l'industrie, où les mœurs entourent d'une protection efficace les efforts consacrés par une patente, où toute nouvelle invention est de suite mise en lumière par d'excellentes publications spéciales, colportée par des agents de brevets capables d'en apprécier la valeur, et trouve de suite nombre de fabricants, de spéculateurs disposant de ressources considérables, prêts à en faire immédiatement l'exploitation sur une grande échelle, la durée de quatorze ans a paru n'être pas trop insuffisante pour que l'inventeur fût convenablement rémunéré par une exploitation exclusive de son invention pendant ce temps. Ajoutons encore que l'inventeur a le droit de réclamer, et que le parlement doit accorder et accorde constamment des prolongations de durée, si une période de quatorze ans a été insuffisante pour récompenser les efforts de l'inventeur. Le sentiment bien nettement admis que celui-ci a droit à une rémunération convenable de ses travaux, fait tomber toute opposition. Chacun sait que la patente de Watt fut portée en deux fois de quatorze ans à vingt-huit, malgré ce que purent dire les partisans de l'intérêt de la société à faire tomber l'invention de la machine à vapeur dans le domaine public.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Répétons encore qu'on luttera toujours difficilement contre l'industrie de l'Angleterre, si on ne fait passer dans nos mœurs ce respect des droits de l'inventeur, si profondément entré dans celles de ce pays, qui facilite l'adoption des mesures les plus convenables dans chaque cas particulier; si la vue fréquente de magnifiques succès, de grandes fortunes utilement acquises, ne vient pas exciter sans cesse l'énergie investigatrice de la nation livrée au travail producteur. Il faut, pour cela, que le droit de l'inventeur soit admis et respecté, et c'est dans le principe fondamental de ce droit que doit se trouver le moyen de déterminer d'une manière vraiment équitable la durée des brevets.

Il n'est pas possible par la détermination arbitraire d'une durée fixée à dix, quinze ou vingt ans, de donner une satisfaction complète au droit de l'inventeur. Une durée ainsi établie au hasard, d'après quelques cas particuliers, et appliquée à tous, pourra suffire pour récompenser largement l'auteur d'un perfectionnement applicable dans une foule de cas, d'un produit simple objet d'une grande consommation. Elle sera au contraire insuffisante pour des machines compliquées, pour des fabrications complexes, pour des œuvres de révolution, suivant l'heureuse expression de M. Dumery, qui exigent toujours beaucoup de temps et d'efforts pour être amenées à bien. Comment trouver une solution qui convienne simultanément à des œuvres qui n'ont absolument rien de commun, ni comme mérite, ni comme importance?

Si, au lieu de partir de l'œuvre, nous partons de l'inventeur, nous ne voyons pas de raison valable pour lui contester la jouissance pendant toute sa vie, des produits de son œuvre. Si celle-ci est un livre, un opéra, etc., le principe est admis par les législations de tous les pays; de quel droit le dépouiller au bout de quelques années, si son œuvre est une machine, un procédé applicable à l'industrie, c'est-à-dire une autre création du travail intellectuel?

Il serait temps cependant, qu'au lieu de considérer toujours l'inventeur comme un élément, en quelque sorte abstrait, du progrès industriel, on se préoccupât un peu de ses besoins. Il m'a toujours paru odieux, contraire à toute justice, qu'un inventeur pût végéter dans la misère, pendant que son invention fonctionne dans nombre d'ateliers. C'est à peu près ce que nous avons vu pour Philippe de Girard, l'illustre inventeur de la filature du lin à la mécanique. Il suffit, pour que cela ait lieu, que les années d'exploitation de son brevet se soient écoulées avant que des bénéfices suffisants soient venus compenser les dépenses antérieures, lui permettre d'accumuler un capital pour l'avenir, et que l'inventeur ait vécu plus de quinze ans après sa découverte! Admettrait-on que l'auteur d'un livre mourût de faim pendant que son ouvrage enrichirait des libraires, parce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que la première édition serait parue depuis quinze ans? Au point de vue des deux auteurs, la position est cependant identique dans les deux cas.

Lorsqu'une invention est le résultat du travail de chaque jour de la vie d'un inventeur (et nous ne parlerons ici que des grandes découvertes; nous avons déjà dit que pour les perfectionnements il n'y avait aucun inconvénient à ce que le brevet durât plus que l'invention), qui presque toujours finit par concentrer tous ses efforts dans un seul ordre de recherches; qu'elle est devenue sa gloire, son moyen de fortune ou d'existence, qu'il cherche sans cesse à la développer, à la compléter, car elle est souvent à peine ébauchée lorsqu'il prend son brevet, tout tremblant de se voir devancé ou trahi, et lorsqu'il faut encore souvent le travail de plusieurs années pour l'amener à bien, il est souverainement injuste et souvent très-préjudiciable à la société de la lui arracher violemment après quinze années, pour la lancer dans le domaine public. Cela peut satisfaire le sentiment athénien, trop commun parmi nous, qui nous rend jaloux de quiconque s'élève trop, quel que soit le talent ou le mérite qui en est la cause; mais ce serait précisément la justice d'une réaction contre cette malheureuse tendance qui me semble démontrer la valeur de la réforme que je propose. Elle ferait en droit, de l'invention brevetée, une propriété attachée à la personne de l'inventeur, comme elle en est inséparable en fait (bien entendu qu'il devrait continuer le payement de l'annuité de 100 fr. tant qu'il conserverait cette propriété), elle placerait à leur vrai niveau les hommes éminents auxquels sont dus de grands progrès, et ferait de leur succès même une cause puissante d'émulation et de travail.

Je crois donc qu'il serait juste de laisser l'inventeur propriétaire de son œuvre pendant sa vie, limite toujours respectée par les motifs énoncés plus haut pour la propriété littéraire, sans que la durée du privilége pût être de moins de quinze ou vingt ans, afin que la valeur n'en fût pas annulée et la famille ruinée, si l'inventeur mourait peu de temps après l'obtention de son brevet. Par des motifs analogues, la famille devrait conserver la jouissance du privilége quelques années après la mort de l'inventeur.

Limite de durée. — Après avoir tenté de montrer la nécessité d'augmenter la durée des brevets, il me faut dire pourquoi je n'admets pas la perpétuité de la propriété industrielle, réclamée avec tant d'esprit par M. Jobard, pourquoi je m'arrête devant la transmission par hérédité, du droit à la protection légale. Elle me paraît très-admissible pour la propriété littéraire fondée sur un travail de l'auteur absolument de même nature que celui de l'inventeur, mais avec cette différence capitale que la propriété industrielle que confère le brevet a un caractère *privatif* que n'a pas la propriété littéraire. L'auteur d'un livre et ses héritiers ne réclament la propriété absolue d'aucune idée, d'aucune expression; en interdisant seulement la reproduction textuelle de son manuscrit, il ne gêne le travail d'aucun nouvel auteur, il lui est au contraire très-utile. Il apporte son contingent au domaine de la pensée, sans lui rien enlever absolument.

L'inventeur industriel ne peut, au contraire, exploiter son invention privilégiée sans enlever quelque chose au domaine public, sans s'approprier quelque chose qui n'est pas son œuvre.

En effet, si l'on analyse la manière dont le travail intellectuel accomplit un progrès industriel, on reconnaîtra bientôt, comme je l'ai dit au début de cette étude, que toute invention industrielle importante repose sur un progrès scientifique. Les deux œuvres pourraient à la rigueur être accomplies en même temps, mais dans la pratique elles sont presque toujours séparées. Ce sont les belles recherches de physique de Black sur la chaleur latente qui ont conduit Watt à sa belle invention du condenseur séparé, qui a surtout constitué la machine à vapeur dans son état actuel de perfection; ce sont les travaux de Jacobi, de Faraday, qui ont guidé Elkington pour lui faire trouver la dorure par procédé galvanique; ce sont les recherches sur l'électro-magnétisme d'Œrsted, d'Arago, et d'Ampère, qui ont fourni les éléments de la télégraphie électrique. On pourrait multiplier les exemples à l'infini, et toujours on retrouverait cette alliance féconde du mouvement progressif simultané de la science et de l'art, de la théorie et de l'application.

S'il en est ainsi, et sans traiter ici de la grave question de la rémunération des travaux du savant [1], jusqu'où doit s'étendre le droit de l'inventeur industriel qui ne peut se contenter d'interdire le surmoulage de la machine qu'il a imaginée, qui est obligé de poursuivre le principe de son fonctionnement, malgré toutes les variations de forme et d'apparence qu'elle peut recevoir? Il ne saurait aller évidemment jusqu'à l'appropriation du progrès scientifique, dont son invention est une application, qui a rendu sa découvert possible.

(1) La question de la rémunération des travaux des savants est trop grave pour pouvoir être traitée ici accidentellement. Je dirai seulement que le sentiment public commence à s'éveiller et que l'on trouve notre société bien parcimonieuse à l'égard des savants de premier ordre lorsqu'elle n'a à leur offrir, à la fin de leur existence, que des traitements de professeurs de 6 à 7,000 francs, à la condition d'user leur vie dans un enseignement souvent pénible. Dans l'état actuel du développement de la richesse générale, ce ne serait pas trop d'une somme triple ou quadruple pour procurer à ces savants et à leurs familles l'existence matérielle à laquelle ils ont droit.

Nous avons l'espoir que justice leur sera rendue lorsque l'application de leurs découvertes sera reconnue plus clairement comme la cause principale de la création de la richesse. Je me permettrai d'indiquer plus loin comment on pourrait faire remonter vers leur source première quelque partie des bénéfices produits par les applications de leurs découvertes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Je prendrai un exemple connu pour rendre ceci bien sensible.

M. Elkington réussit complétement la dorure à la pile, et cela en faisant emploi du cyanure d'or et de potassium, c'est-à-dire en accomplissant un progrès qui lui appartient et mérite à tous égards la protection de la loi. Avant lui, Faraday avait trouvé les lois de la décomposition des dissolutions métalliques à l'aide de la pile; plusieurs personnes, le savant M. De la Rive (de Genève) notamment, avait doré quelques pièces. Par un progrès incontestable, un moyen d'opérer supérieur, M. Elkington s'est trouvé seul possesseur du procédé le plus convenable à la pratique de l'industrie, et par ce fait même a pu seul exploiter, à son profit exclusif, toutes les ressources que présente l'électro-chimie pour cette importante application; autrement dit le brevet lui a assuré la jouissance exclusive de bien plus qu'il n'a inventé. Elle ne saurait être indéfiniment sa propriété et celle de ses héritiers.

C'est cette nécessité de l'appropriation d'une partie du domaine de la science par le fait d'inventions qui emploient nécessairement des éléments antérieurement connus, qui me paraît devoir être, en bonne justice, la raison déterminante d'une limite de la durée de la propriété de l'invention. Dieu me garde de voir dans ces motifs une cause qui autorise à nier le droit de propriété de l'inventeur, mais ils me semblent suffisants pour ne pas permettre qu'il lui survive, pour qu'ils se transmette indéfiniment de génération en génération, pour que les descendants de Watt, de Stephenson, de Jacquart, soient à perpétuité les propriétaires de la machine à vapeur, de la locomotive, de la Jacquart!

Je citerai un autre exemple dans les industries chimiques. Par suite de recherches dues à plusieurs éminents chimistes, par les progrès continus de la chimie organique, on est arrivé à la découverte d'un composé nouveau, de l'aniline. M. Verguin, de Lyon, en traitant ce corps par le bichlorure d'étain, a obtenu une magnifique couleur rouge, la *fuchsine*, d'une grande importance pour la teinture. Que sa découverte soit protégée, que le mode de production qu'il a trouvé n'appartienne pas à tous, cela est de toute justice; mais a-t-il droit de laisser à ses enfants une propriété qui en réalité comprend l'utilisation de tous les travaux qui ont conduit à la découverte de l'aniline sur laquelle elle repose, et à laquelle il n'a aucunement participé? Évidemment cela n'est pas admissible.

M. Chevalier arrive aux mêmes résultats, mais en tire d'autres conséquences :

« Un autre fait bon à citer ici, dit-il, c'est que constamment une invention, pour parvenir à l'état pratique, a fait plusieurs étapes, souvent dans des contrées très-différentes, et à plus forte raison par les soins et l'initiative de plusieurs personnes. Pourquoi et de quel droit le dernier venu dans la série de ces esprits inventifs s'attribuerait-il le profit du labeur de tous les autres, et recevrait-il un brevet qui lui en donnerait le monopole?

« Cette dernière observation se présente sous une autre forme où elle est plus saisissante encore, dix-neuf fois sur vingt ou quatre-vingt-dix fois sur cent, ce sont les travaux des savants qui fournissent le fond des inventions industrielles, et la substance des brevets[1]. Les savants s'abstiennent de prendre des brevets pour leurs découvertes scientifiques. Le texte de la loi française est même tel qu'ils ne seraient pas fondés à en avoir qui fussent valables. Or, si ceux auxquels revient la principale part dans les inventions restent en dehors du bénéfice des brevets, comment d'autres seraient-ils fondés à la revendiquer comme leur propriété exclusive?

« Telles sont les réflexions qui sont venues à un certain nombre d'hommes éclairés, depuis quelques années, et qui ont l'assentiment d'un bon nombre d'hommes les plus notables parmi les chefs d'industrie. Elles ont de l'écho dans tous les pays civilisés, et en Angleterre pour le moins autant qu'en France. Elles ne tendent rien à moins qu'à renverser le système même des brevets d'invention, sauf à rémunérer par une dotation spéciale tout homme ingénieux qui serait reconnu, après un certain temps d'expérience, avoir rendu à la société un service signalé par quelques découvertes. »

On sait que frappé d'un argument qui lui paraît, avec raison, établir sur des bases solides le droit de la société, M. Michel Chevalier en conclut la suppression du droit de l'inventeur. Ce n'est pas ainsi qu'il est permis d'agir en face de deux droits également respectables, c'est leur conciliation que l'on doit rechercher et non la destruction de l'un deux. Nous avons dit qu'il nous paraissait injuste de sacrifier le domaine public à l'inventeur en lui reconnaissant la propriété perpétuelle de son invention; l'autre exagération consistant à sacrifier le droit de l'inventeur au domaine public constitue une spoliation flagrante. La vérité nous paraît résider incontestablement dans la limitation de la durée du droit de l'inventeur qui, abandonnant l'exploitation secrète pendant laquelle son droit se perpétue sans conteste, vient réclamer la garantie sociale en faisant *connaître en détail* son invention *nouvelle*.

Je ne considère pas comme bien sérieuse l'objection qu'il n'y a pas de droit de propriété si celle-ci n'est éternelle, sa durée illimitée. Je ne sache pas que les possesseurs des actions de nos chemins de fer fassent fi de leurs titres qui

(1) Ceci est vrai pour les industreis chimiques, mais généralement faux pour les industries mécaniques, où l'on ne découvre pas un corps nécessaire en quelque sorte, mais où l'inventeur crée une combinaison qui n'existe que par suite de ses efforts, qui n'est pas plus nécessaire qu'une tragédie de Racine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se rapportent pourtant à des valeurs qui doivent faire retour à l'État dans moins d'un siècle. La propriété temporaire a un prix, un cours, et par suite est échangeable à volonté contre des propriétés d'une durée indéfinie si on le désire.

De même que le grade dans l'état militaire ou dans l'ordre civil n'est pas héréditaire, de même les services rendus par l'inventeur doivent, comme ceux du général, du magistrat, être rémunérés directement; et ce sont les épargnes faites sur ces rémunérations, dans l'exercice de la fonction de producteur exclusif d'une utilité dont il se trouve chargé par suite de sa découverte, qui doivent être le lot des enfants en vue desquels elles ont été faites.

Garantie de la propriété industrielle. — Les brevets d'invention délivrés sous l'empire de toutes les lois qui ont existé en France n'étant soumis à aucun examen préalable qui puisse établir leur valeur, il en résulte qu'ils ne sont en réalité que des certificats de priorité, des *actes de naissance* d'inventions présumées, et que la valeur du titre ne commence en réalité qu'après qu'une action judiciaire, une poursuite en contrefaçon, a fait respecter par un arrêt le droit exclusif d'exploitation d'une réalité.

Je ne discuterai pas le système de l'examen préalable, bien qu'il ait été soutenu par quelques publicistes qui n'ont trouvé que ce moyen de donner aux brevets d'invention une valeur réelle; mais il n'a jamais paru acceptable aux administrateurs qui ont vécu en face des difficultés de la pratique. Comment juger la valeur des 5,000 brevets délivrés annuellement, nombre énorme qui va toujours en croissant; où trouver des juges capables d'apprécier, par la lecture d'une courte description, la nouveauté d'un perfectionnement spécial apporté à un détail d'une industrie? Des juges universels, sans cesse au courant de tous les détails de toutes les industries, pouvant juger sans explication aucune, n'existent pas, et dans la pratique on ne pourrait, vu le danger de se tromper pour toute invention paraissant quelque peu sérieuse, que repousser les brevets demandés pour des inventions manifestement absurdes. Ce résultat ne vaut pas la peine de tromper une partie du public en lui faisant croire que toute invention brevetée a été examinée avec soin et doit avoir de la valeur, et faire crier au déni de justice, à la spoliation, les malheureux auxquels on aura refusé des brevets, qui fussent morts si sûrement aussitôt délivrés. L'intervention officieuse d'un comité consultatif qui, comme cela existait autrefois, donnerait aux personnes qui demandent des brevets des conseils nullements impératifs, peut être utile à divers points de vue; mais on ne saurait aller au delà.

Le brevet délivré sans examen préalable n'est, avons-nous dit, qu'un acte de naissance d'une invention, un droit conditionnel de l'exploiter exclusivement à tout autre, si elle est réelle, *si elle existe*, ce que le brevet ne garantit nullement. Lors donc que le breveté veut empêcher un contrefacteur d'empiéter sur ce qu'il croit être son droit, il intente un procès à cet effet; que doit faire le tribunal auquel est déféré le débat? *faire respecter la propriété justement acquise.* C'est la certitude que cette mission sera parfaitement remplie par les juges auxquels elle est confiée, qui fait la sécurité du breveté, la valeur de sa propriété.

Des tribunaux les plus convenables pour juger les procès en contrefaçon. — Quels sont les juges qui pourront le mieux remplir cette mission? N'ont-ils pas besoin de posséder des connaissances spéciales? Avant d'étudier cette question, je répondrai à un argument du rapporteur du nouveau projet de loi sur les brevets d'invention au Conseil d'État, qui a trouvé dans la condition d'avoir à faire respecter une propriété, la preuve que les tribunaux civils pouvaient seuls connaître des procès relatifs aux brevets d'invention.

Mais, à la seule exception à peu près des tribunaux criminels lorsqu'ils jugent des attentats contre les personnes, tous les tribunaux d'un ordre quelconque ne sont guère occupés qu'à juger des questions de propriété. Lorsqu'on poursuit le payement d'un effet, d'une facture devant le tribunal de commerce, il s'agit de propriété aussi bien que dans un procès au sujet d'une succession, d'une mitoyenneté, engagé devant le tribunal civil; seulement, tandis que, dans ce second cas, la propriété doit être attribuée en vertu des principes du droit civil, objet de toutes les études du magistrat chargé de veiller à l'application des lois qui font la société même, dans le premier, la nécessité de connaître les usages variables du commerce et de la fabrique, la qualité et la valeur des divers genres de marchandises, pour décider des questions le plus souvent très-simples en droit, en ont fait renvoyer avec grand avantage le jugement aux tribunaux de commerce, à des juges consulaires choisis parmi les commerçants les plus honorables.

Revenons aux procès en contrefaçon. S'il ne s'agissait dans ces procès que de faire respecter un droit de propriété constaté par des titres positifs, certes nos tribunaux civils seraient parfaitement convenables pour les juger, pour empêcher le propriétaire de l'exploitation privilégiée d'être dépouillé des bénéfices qui lui appartiennent légitimement, d'autant plus que les questions de droit engagées sont en général assez simples, et seraient un jeu pour des magistrats expérimentés. Mais il s'en faut de beaucoup que les titres que l'on présente soient incontestables; tout au contraire, comme nous venons de le dire, ces titres ne sont que dubitatifs. On doit faire respecter la propriété du breveté, seulement *si elle est justement acquise, si elle repose sur un droit réel;* on doit condamner la partie accusée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de contrefaçon, si cette *contrefaçon existe*, si le procédé industriel pratiqué par le contrefacteur présumé est le même que celui breveté.

En d'autres termes, le jugement en droit doit nécessairement être précédé d'un jugement en technologie; il faut décider si le procédé breveté est nouveau, si le titre est valable, car il ne peut y avoir usurpation d'un droit qui n'existerait pas. Là est la grande, l'immense difficulté des procès relatifs aux brevets. Les jugements en contrefaçon constituent un véritable mode de confirmation du titre, ou plutôt créent la valeur du titre même, et celle-ci ne peut être déterminée que par un jugement en technologie, qui exige évidemment des connaissances fort étendues à cause de la variété indéfinie des opérations et des procédés de l'industrie.

De quelles connaissances s'agit-il ici? De toutes celles qui constituent les sciences industrielles, c'est-à-dire de toutes les sciences de la nature prises au point de vue des applications, de toutes les méthodes qu'enseigne la pratique des ateliers. Que l'on jette un coup d'œil sur quelques ouvrages traitant de ces matières, et l'on aura bientôt reconnu, si par hasard on ne le savait pas d'avance, qu'il s'agit d'études qui demandent des vies de savants et de travailleurs. Qu'on examine, par exemple, les ouvrages sur la mécanique de M. Poncelet, ses admirables cours de Metz sur la théorie des moteurs, son rapport sur l'histoire des inventions des mécanismes, qu'il a fait paraître dans le rapport de la commission française à l'exposition de Londres, et nous défions que l'on puisse nous citer une plus forte intelligence mieux employée que celle de cet illustre savant, dans tous ces travaux, cependant presque exclusivement consacrés à des questions de mécanique industrielle, c'est-à-dire à une partie seulement des connaissances dont nous avons parlé. Lorsque la chimie, la physique industrielle, comprenant entre autres questions capitales, celle de la production et de l'emploi de la chaleur dans les arts, la cinématique comprenant les questions si délicates et si complexes des entrelacements produits par le tissage, etc., offrent de semblables séries de travaux, sera-t-il réellement permis de croire, qu'avec un peu de bon sens et de facilité, il soit possible de se dispenser de l'étude de sciences qui renferment la clef des solutions de tous les problèmes industriels? Cependant c'est ce que suppose le renvoi de ces procès devant les tribunaux civils; c'est admettre que des magistrats dont l'éducation est toute juridique, c'est-à-dire d'ordre essentiellement philosophique, pourront, sans la connaissance des sciences positives qui demandent de longues études, je dirai même des esprits d'une autre nature, sciences qu'en tout cas ils n'ont pas eu le loisir d'étudier, porter aisément des jugements d'ordre technologique? Évidemment cela est impossible, et reconnu par les magistrats eux-

mêmes. Comment un honorable magistrat qui arrivant juge à Paris, après une carrière de dix ou quinze années dans des tribunaux où jamais il n'aura entendu parler de brevets, de questions d'industrie dont son éducation spéciale, ses travaux juridiques l'auront tenu complétement éloigné, pourra-t-il, par l'audition de quelques plaidoiries sur des questions complexes, deviner aussitôt les sciences industrielles, s'assimiler des connaissances que n'épuisent pas de fortes intelligences qui y consacrent toute leur vie? En réalité, avec la meilleure volonté, de semblables études faites trop tard, qui ne sont pas basées sur une éducation première spéciale, ne conduiront jamais à voir clairement la vérité dans l'ordre des questions industrielles, des esprits façonnés à d'autres études. C'est vouloir apprendre à jouer du piano à quarante ans; on sait quel artiste on peut devenir.

Dans la pratique actuelle, le tribunal cherche à s'éclairer par un rapport d'experts sur le point technique. Les résultats ainsi obtenus ne sont pas satisfaisants, de l'aveu général. La difficulté de choisir des experts spéciaux pour chaque cas donné, ce qui suppose une connaissance des travaux, des recherches faites dans les diverses directions de la science industrielle; le refus des hommes éminents d'accepter des fonctions qui les exposent à être attaqués dans de longues plaidoiries; ces motifs et bien d'autres font que dans la pratique le tribunal ne se considère pas comme plus engagé moralement, qu'il ne l'est en droit, par des rapports d'experts. Il n'a en ces travaux, le plus souvent, qu'une confiance très-limitée, et après les avoir entendu discuter par des avocats qui apportent d'autres éléments, d'autres affirmations, souvent il leur donne tort.

En résumé, le tribunal est forcé d'apprécier un rapport dans lequel il a plus ou moins de confiance, de prononcer entre des allégations contradictoires de savants dont on a été rechercher les avis; en réalité, de juger des questions qu'il ne peut connaître à fond. C'est là une position fausse, et qui de l'aveu général, avec l'accroissement incessant du nombre de procès relatifs à des découvertes industrielles, ne peut durer plus longtemps.

On a proposé de remplacer les experts par un jury spécial pour les brevets d'invention. Ce système, outre les difficultés qui se présenteraient souvent pour séparer nettement la question technologique et la question juridique intimement liées ensemble, ne donnerait pas encore aux brevetés toute la sécurité désirable. L'inexpérience d'un jury composé de membres tirés au sort, n'ayant pu se mettre au courant des brevets antéexistants, ignorant la tradition, les faits antérieurs, conduirait fréquemment à des résultats regrettables; la décision d'un jury viendrait souvent contredire la décision d'un jury précédent. Ce serait une institution moins bonne, je crois.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que celle dont je vais parler, mais infiniment préférable à ce qui existe, et je dois rapporter ici les excellentes paroles prononcées par M. Odilon Barrot, lors de la discussion de la loi de 1844, et qui eussent sans doute décidé un grand progrès, si la discussion de la loi n'eût déjà fatigué la Chambre lorsqu'elles furent prononcées. « Si le « jury n'était pas créé, a-t-il dit, il faudrait l'or- « ganiser spécialement pour ces sortes d'affaires; « car il y a un grand nombre de difficultés dans « la définition de ce qui constitue l'invention ou « le perfectionnement, une appréciation telle- « ment arbitraire et étendue, qu'en vérité on ne « sait comment ramener toutes ces questions à « des formes de juridiction ordinaires. Un tribu- « nal est saisi d'une action en contrefaçon, il « renvoie à des experts spéciaux, constituant un « jury non responsable; la responsabilité flotte « incertaine entre les experts ainsi constitués et « le tribunal qui prononce en définitive. Il vau- « drait mieux que la responsabilité morale fût « concentrée dans un jury spécial, tout à la fois « scientifique et industriel, composé de telle ma- « nière qu'il offrirait tout à la fois des garanties « à la société et à l'inventeur. Déjà l'institution « du jury a été appliquée aux affaires d'expro- « priation pour cause d'utilité publique, qui sem- « blaient comporter beaucoup moins cette inno- « vation que les questions relatives à la propriété « industrielle. »

La constitution d'un jury industriel avait été admise, et par la commission qui fut chargée d'étudier une nouvelle loi de brevets en 1828, et par celle qui compléta les travaux de la première en 1833. On voit comment l'étude sérieuse de la question ramène toujours à cet ordre d'idées.

Le remède complet à tous les inconvénients se trouverait dans la constitution d'un tribunal industriel spécial, composé de savants, d'ingénieurs, de fabricants expérimentés, réunissant sûrement toutes les lumières du jury spécial dont il vient d'être parlé, mais de plus se consacrant à cette œuvre avec une suite qu'on ne saurait demander au jury. Divisé en trois sections : arts chimiques, arts mécaniques, arts textiles, composé de membres ayant des connaissances technologiques étendues, complétées par la tradition, les travaux de chaque jour provoqués par les procès qu'ils auraient à juger, ce tribunal serait parfaitement apte à apprécier la nouveauté des inventions, les cas de contrefaçon; et quant à l'application de la loi, la pratique lui aurait bientôt enseigné les connaissances juridiques nécessaires.

« L'établissement d'un tribunal spécial, et qui « aurait connu et des procès en nullité et en dé- « chéance, et des procès en contrefaçon, offrirait, « dit M. Renouard, d'*incontestables* avantages. « Les difficultés d'organisation, la crainte de su- « perposer à toute l'industrie un tribunal trop « puissant (objection dont la valeur douteuse est sûrement nulle dans le cas où ce tribunal a le caractère consulaire, comme je le propose plus « loin) ont empêché cette innovation si considé- « rable de se formuler et de se produire. »

Passons en revue quelques-uns des avantages incontestables que présenteraient ces tribunaux.

1° Étant composés de personnes parfaitement compétentes, leurs arrêts offriraient toutes les chances possibles d'excellente justice. Les savants qui en feraient partie seraient aidés par les jeunes savants les plus habiles dont ils suivent les travaux, et qu'ils sauraient désigner comme experts, pour résoudre les problèmes scientifiques qui pourraient être soulevés. Les vieux fabricants qui, pendant toute une carrière, ont vu se succéder bien des inventions, reconnaîtraient de suite le nouveau progrès réalisé, ne le confondraient jamais avec la résurrection d'un vieux procédé.

2° La tradition qui s'établirait dans un corps organisé, animé de l'esprit du travail créateur qui se rencontre chez les savants et les fabricants de premier ordre, et qui est distinct de celui du commerçant et du jurisconsulte, ferait, de la succession des arrêts, de la jurisprudence de semblables tribunaux, la loi scientifique de l'industrie proclamée par des corps qui en formeraient dignement le couronnement, étant composés des plus dignes représentants de la science et de la pratique industrielle. Leurs travaux éclaireraient l'industrie tout entière en indiquant nettement les derniers progrès accomplis. Enfin, des arrêts clairement motivés, reposant sur les principes incontestables de la science la plus positive, et par suite fermement maintenus, assureraient complétement la sécurité, qui est la condition à laquelle il faut satisfaire a tout prix; car mieux vaudrait mille fois supprimer les brevets que de ne pas les protéger efficacement, et par suite conduire sûrement l'inventeur à sa ruine.

Remarquons bien que ces avantages ne sont possibles que pour des tribunaux réels, complets, disposant de tous les moyens d'action qui sont tout à fait nécessaires pour arriver à la découverte de la vérité, accueillant les discussions, les enquêtes, les plaidoiries, auxquels aucune ressource d'aucun genre ne fera défaut.

Que l'on visite les riches collections du Conservatoire des arts et métiers; en y voyant accumulées les archives de l'industrie, en se rendant compte des travaux divers des savants professeurs qui tendent à y constituer une *Sorbonne industrielle*, on arrivera bientôt à la conviction que c'est là que devrait être placé le tribunal industriel. Les laboratoires, les salles d'expériences de mécanique, les modèles, les dessins, les archives, la bibliothèque, etc., sont des instruments aussi excellemment accumulés pour éclairer un pareil tribunal que pour répandre l'enseignement. Tout y est disposé pour apprécier la valeur d'une invention, pour constituer un véritable bureau de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

poids public propre à donner la valeur de toute découverte; la question de sa nouveauté ne sera-t-elle pas aussi mieux appréciée là que nulle part ailleurs?

Nous croyons que la nécessité de tribunaux industriels spéciaux ne pourra échapper à aucun bon esprit. Nous ajouterons, de plus, qu'ils doivent être analogues aux tribunaux de commerce, c'est-à-dire être formés de membres élus par les industriels, si on veut les améliorer encore, leur donner une qualité essentielle qui me paraît de la plus haute importance, celle d'être essentiellement convenables pour faire naître les transactions. C'est ce que je vais m'efforcer de faire apprécier.

De la conciliation dans les procès relatifs aux brevets d'invention. — La première loi de 1792 sur les brevets d'invention faisait précéder toute procédure devant les tribunaux d'une action en conciliation par-devant le juge de paix. Dans la loi de 1844, on a renoncé à un mode de procéder qui n'était plus possible avec le grand nombre de procès en contrefaçon, la multiplicité et l'importance des questions industrielles, et qui devait former un trop lourd fardeau pour la juridiction paternelle des juges de paix.

Il est facile d'établir que le principe posé par les premiers législateurs était excellent, bien qu'ils n'aient pas trouvé le mécanisme convenable pour l'appliquer, et que c'est à tort que la loi de 1844 comme la nouvelle l'ont abandonné, pour placer les procès en contrefaçon dans la sphère des procès civils ou correctionnels, pour mener les plaideurs dans des régions où les transactions sont peu connues.

Lorsqu'un procès est engagé entre deux inventeurs de bonne foi, ce qui est le cas général, le seul d'ailleurs qui puisse être l'objet d'une étude spéciale (le vol frauduleux, l'abus de confiance étant du ressort simple et direct de la police correctionnelle, devant laquelle il doit toujours être renvoyé par tout tribunal industriel, comme le fait le tribunal de commerce lorsque la banqueroute frauduleuse lui apparaît), les deux inventions ne peuvent être absolument identiques. Deux esprits différents produisent nécessairement des œuvres distinctes en quelque partie, souvent plus qu'il ne paraîtrait possible pour atteindre un résultat semblable, vu la complication des moyens qui permettent d'y arriver pour la solution de problèmes très-complexes, comme c'est le cas de grand nombre d'inventions industrielles, par exemple celles relatives aux tissus. De telle sorte qu'il arrive en général dans les cas les plus difficiles, dans ceux où la conscience du juge a le plus de peine à reconnaître si les procédés de deux inventeurs sont les mêmes, lorsqu'il est presque impossible de bien juger en détruisant complétement les droits soit du premier, soit du second inventeur, que chacun d'eux reconnaît très-bien les avantages qu'il y aurait à réunir les deux brevets pour atteindre plus sûrement le but vers lequel tendent leurs efforts, pour obtenir des résultats presque toujours nuls tant que le succès n'est pas complet, tandis qu'ils sont bien suffisants dans ce cas pour récompenser les deux inventeurs.

Si je me suis fait comprendre, on reconnaîtra ce que savent bien tous les bons esprits qui ont étudié des questions de brevets en qualité d'arbitres, d'experts, etc., qu'une transaction convenable est la vraie solution dans plus de moitié peut-être des procès relatifs aux brevets entre inventeurs de bonne foi.

Je prendrai pour exemple un procès qui a fait assez de bruit, et qui, jugé dans deux sens opposés par les tribunaux, ce qui montre bien que la vérité était difficile à trouver, ne pouvait, à mon avis, se terminer d'une manière tout à fait juste et équitable que par une transaction amiable, celui des baromètres anéroïdes de M. Vidi.

Ce constructeur, reprenant la recherche de l'établissement d'un baromètre sans mercure, inutilement tenté par Conté, y parvint après beaucoup d'efforts. L'instrument de son invention consiste en une boîte métallique parfaitement close, dont la face supérieure, mince et plissée, se rapproche ou s'éloigne du fond, en raison des variations de la pression atmosphérique. Ces variations sont enregistrées à l'aide d'une aiguille, tournant sur un cadran, que font mouvoir les petites variations de la surface plissée.

Pendant ce temps, M. Bourdon, habile constructeur de machines à vapeur, était arrivé de son côté à construire son ingénieux système de manomètres métalliques pour enregistrer les pressions de la vapeur dans les chaudières. Ce manomètre consiste essentiellement en un tube aplati et formant presque un cercle, qui reçoit de la vapeur dans son intérieur. Les deux faces opposées de ce tube n'étant pas d'égale étendue, tout accroissement de pression le fera changer de courbure relativement à la position d'équilibre antérieurement prise, sous l'influence de la pression intérieure et de l'élasticité du métal. L'extrémité du tube, directement ou par son action sur un système faisant tourner une aiguille, marque sur un cadran la pression qu'il s'agit de mesurer.

Ce systéme a eu un grand succès, et il était naturel de l'appliquer à la construction de baromètres métalliques en employant une disposition semblable; c'est à quoi M. Bourdon réussit bientôt parfaitement.

Poursuivi en contrefaçon par M. Vidi, il fut jugé qu'il n'était pas contrefacteur, et son adversaire débouté de sa demande. La différence des dispositions adoptées pour exécuter un appareil plusieurs fois cherché, fut jugée suffisante pour constituer deux inventions distinctes.

Quelques années plus tard, M. Vidi, ayant poursuivi de nouveau M. Bourdon, et son habile

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avocat, M. Sénard, ayant fait valoir et les efforts de son client pour constituer un appareil nouveau et la triste récompense que recevaient ces efforts, puisque toute la vente était passée chez M. Bourdon, dont l'appareil était plus sensible, plus facile à établir, mais qui n'eût sans doute pas construit son appareil s'il n'avait pas connu le baromètre anéroïde inventé plusieurs années auparavant, gagna cette fois son procès. Le tribunal, obligé de tenir compte des dommages éprouvés par M. Vidi par suite du grand nombre d'appareils construits par M. Bourdon depuis le premier jugement, en raison de leur bonté même, condamna ce constructeur à 25,000 fr. de dommages et intérêts envers M. Vidi.

Sans parler ici du singulier résultat, fréquent avec la loi actuelle des brevets, d'un inventeur qui perd et gagne alternativement le même procès, un des résultats les plus étranges et qui exige le plus impérieusement, de l'avis général, un remède efficace (remède difficile avec un grand nombre de tribunaux appelés à juger des inventions appliquées dans un grand nombre de villes); pour nous en tenir au point que nous examinons, ne paraît-il pas que les deux jugements contradictoires sont également regrettables; qu'un arrêt parfaitement satisfaisant était dans ce cas tout simplement impossible? La disposition de M. Bourdon étant, tout au moins, un perfectionnement essentiel de celle adoptée par M. Vidi, on ne pouvait voir indifféremment, soit ce dernier privé de tout résultat de ses efforts par suite de la libre exploitation du premier, soit M. Bourdon puni pour avoir réalisé un véritable progrès.

N'est-il pas évident qu'une transaction qui eût fait une part à chaque inventeur dans l'exploitation de l'instrument le plus parfait, était la véritable solution, comme dans tous les cas où la seconde invention est un perfectionnement si notable de la première, qu'elle se rapproche beaucoup d'une nouvelle découverte, et n'eût-on pas dû y amener les parties si elles s'étaient rencontrées dès l'origine dans les conditions propres à la faire naître, et qu'il nous reste à examiner?

Des tribunaux consulaires. — Bien des lecteurs seront tentés de nous dire qu'on n'en arrive à un procès qu'après des tentatives de conciliation, que par suite nos observations à ce sujet sont sans valeur. A cela, comme pour établir les conditions les plus convenables de l'organisation propre à la faire naître, nous répondrons non par des raisonnements, mais par des faits.

Lorsqu'un procès est engagé devant le tribunal de commerce, c'est que les voies de conciliation sont également épuisées pour des difficultés résultant de transactions commerciales, et pourtant, en prenant les chiffres indiqués par les présidents du tribunal de commerce de Paris dans leurs rapports annuels, on voit qu'un très-grand nombre d'affaires se sont terminées dans le cabinet du juge. On peut dire, en laissant de côté les nombreuses affaires qui doivent nécessairement donner lieu à une condamnation, comme les poursuites sur billets protestés, que la très-majeure partie des affaires qui pouvaient être conciliées l'ont été.

Entrons dans quelques détails sur la manière dont les choses se passent, pour les personnes étrangères aux affaires commerciales. Supposons, par exemple, qu'une difficulté s'élève entre un éditeur et un imprimeur au sujet d'une facture d'impression que le premier trouve trop élevée. Les parties sont renvoyées devant un juge connaissant parfaitement la matière, le plus souvent imprimeur ou éditeur lui-même, qui les reçoit dans son cabinet. Là, après les explications des parties, le débat se trouve bientôt circonscrit sur un certain nombre de points sur lesquels on n'est pas d'accord, ce que rend facile la communauté de connaissances spéciales des parties et du juge. C'est alors qu'il devient aisé à celui-ci d'apprécier de quel côté est l'exagération la plus manifeste, et la montrant clairement, expliquant qu'il payerait sans difficulté le prix qu'il indique, faisant valoir à l'autre partie l'avantage d'éviter les ennuis d'un procès que les commerçants redoutent avec tant de raison, il fixe les bases d'une transaction qui est presque toujours adoptée.

Comment pourrait-il en être autrement? Elle répond à l'appréciation d'une personne parfaitement compétente, désintéressée, honorable; mais de plus, ce qu'il faut bien remarquer, elle sera très probablement conforme au rapport que fera le juge à ses collègues et par suite au jugement qui devra intervenir. C'est un motif déterminant pour quelques mauvais esprits, mais le premier suffit presque toujours.

Cet excellent résultat provient de la parfaite compétence d'un tiers ayant le caractère de juge, de ce qu'il s'agit des questions qui l'occupent lui-même chaque jour. Comment pourrait-il indiquer à première vue les bases d'une transaction, s'il avait besoin d'études spéciales dans chaque cas pour arriver à la vérité? La lumière qui ne peut se faire tout au plus qu'à la fin d'un procès, après étude, discussions, plaidoieries, pour le juge consciencieux mais étranger à l'ordre de questions agitées, se montre dès le début à celui qui est familier avec elles, avant que les frais, les blessures d'amour-propre aient rendu toute transaction impossible.

Cet exemple si saillant, que nous fournissent les tribunaux consulaires appelés à décider dans les questions commerciales, montre clairement comment les transactions dont nous avons montré la nécessité deviendraient possibles dans les procès relatifs aux brevets d'invention : ce serait et ce ne pourrait être que si les juges étaient parfaitement au courant des questions industrielles, animés du même esprit, vivant de la même vie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

que les parties, en un mot si les procès de brevets étaient jugés par des tribunaux consulaires industriels, formés des fabricants, des ingénieurs les plus capables, désignés par leurs pairs qui ont su les apprécier; c'est-à-dire élus par le choix des notables industriels, des savants et des ingénieurs, inscrits sur une liste analogue à celle des notables commerçants qui élisent les tribunaux de commerce.

Croit-on que si un des hommes qui, comme MM. Hébert, Deneirousse, etc. ont attaché leur nom à la plupart des essais tentés pour rapprocher le tissage mécanique du cachemire français de celui de l'Inde tissé à la main, faisait partie du tribunal chargé de juger un procès relatif à des inventions tendant à ce même but, objet de recherches d'une multitude d'inventeurs, il ne pourrait pas, avec une grande autorité, déterminer une transaction souhaitable dans un cas donné? Ne saurait-il pas faire la part de chaque inventeur, leur montrer les bons résultats que leur accord pourrait produire, la distance à laquelle ils sont encore de la solution complète du problème, et par suite, modérant leur confiance dans l'importance des bénéfices à partager, les amener à un accord profitable?

Cela nous semble incontestable, et nous croyons être fondé à considérer comme démontrées les deux propositions suivantes :

1° Une transaction est très-souvent la véritable solution des procès en contrefaçon; il en est ainsi presque toutes les fois que les deux inventeurs, entre lesquels a lieu le débat, sont tous deux inventeurs sérieux et de bonne foi;

2° Les juges d'un tribunal consulaire industriel, constitué spécialement pour connaître des procès en matière de brevet d'invention, peuvent mieux que tous autres opérer de semblables conciliations, toutes les fois qu'elles sont possibles.

Parlerai-je de la rapidité de l'expédition des affaires par la justice consulaire, si précieuse pour les industriels; des avantages de la constitution d'agréés spéciaux dont plusieurs avocats qui s'occupent surtout de brevets, plusieurs agents pour la prise des brevets, seraient les premiers titulaires naturels et qui seraient si utiles pour l'expédition rapide des affaires, en renfermant les débats dans leurs véritables limites? Dirai-je que le greffe du tribunal industriel serait le véritable lieu où devrait se faire le dépôt des nouveaux brevets, titre légal et non administratif? Toutes ces conséquences sont trop faciles à apprécier pour qu'il y ait lieu à insister en ce moment; mais pour qui est au fait des questions de brevets, l'utilité évidente de semblables créations fournit autant de vérifications de la vérité du système que je soutiens ici.

Deux objections ont été faites :

1° L'élection ira-t-elle chercher les plus capables, les personnes les plus propres à compléter le tribunal? Je réponds oui, sans hésiter, d'après l'exemple du tribunal de commerce de Paris, qui fonctionne admirablement sous ce rapport. Il recherche lui-même les adjonctions qu'il désire et propose aux électeurs une liste qui est toujours adoptée par eux avec empressement, car elle est constamment la meilleure possible;

2° Pourra-t-on exiger de juges non payés un travail aussi assidu que celui qu'exigeront ces assises industrielles? Je le crois; mais qui empêcherait de prélever sur les produits de la taxe des brevets la valeur de jetons de présence d'un prix assez élevé? Je n'y verrais qu'avantage et justice.

En Angleterre, où les tribunaux consulaires sont inconnus, et où le jugement par jurés est tout à fait dans les mœurs du pays, les mêmes inconvénients se sont révélés qu'en France, et on a cherché comment on pourrait remédier à l'insuffisance de la juridiction. Un jurisconsulte distingué, sir H. Cairns, a saisi la Chambre des communes de cette question et a, avec un grand succès, indiqué le remède que la pratique adoptera très-probablement sous peu. Nous avons là un exemple précieux à suivre, aussi je donnerai ici un extrait de son discours.

« La question des jurés est extrêmement grave. Une personne me racontait l'autre jour que dans un procès relatif à une patente pour un télégraphe électrique, après deux ou trois jours de discussion fatigante, après l'audition de plusieurs experts pour chacune des parties, les jurés prirent leurs chapeaux et déclarèrent ne pas vouloir s'occuper davantage d'une question à laquelle ils ne pouvaient absolument rien comprendre. (Rires.) Je crois que souvent les jurés eussent pu justement faire de même dans bien d'autres cas; manquant des connaissances nécessaires pour juger la question qui leur est soumise, ils sont forcés de s'en rapporter complétement à des experts, et ils se décident le plus souvent parce qu'ils ont plus de confiance dans les experts d'une partie que dans ceux de l'autre, rarement par un jugement qui leur soit propre. Pour remédier à cet état de choses, j'ai entendu proposer de remplacer le jury ordinaire par un autre composé d'experts, c'est-à-dire de personnes engagées dans le genre particulier de fabrication avec lequel la patente a des rapports. Mais on trouverait probablement que dans le plus grand nombre de cas, un semblable tribunal serait le plus mauvais de tous, parce qu'il serait formé des rivaux commerciaux du patenté, c'est-à-dire des personnes qui auraient le plus à souffrir dans leur commerce des effets de sa patente.

« Une proposition d'un caractère différent a été faite, qui me paraît très-digne d'attention. La Chambre sait que dans les affaires d'amirauté, quand s'élève une question qui a un caractère technique, le juge s'associe, comme assesseurs, quelques anciens *frères de la Trinité*, qui ont une grande expérience de ces affaires, des cas de col-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ECONOMIE INDUSTRIELLE.

lision par exemple. Il a donc été proposé, au lieu d'un jury soit ordinaire, soit scientifique, d'adjoindre au juge comme assesseurs, dans les procès en contrefaçon, trois ou quatre personnes ayant des connaissances scientifiques générales, dégagées d'intérêts commerciaux, et par leurs études et la tournure de leur esprit disposées à s'appliquer facilement à l'étude de toute branche des sciences, des arts et des manufactures. Avec leur assistance, grâce à sa connaissance de la loi et des règles de l'évidence, le juge pourrait conduire une action de cette sorte d'une manière satisfaisante à la fois pour les patentés et le public. Je n'exprimerai aucune opinion sur ces propositions, mais je dirai seulement qu'au milieu de ces suggestions diverses, il est évidemment désirable qu'une commission examine d'une manière générale la question des patentes pour arriver au système le plus satisfaisant.

« Au dehors existe une énergique demande d'enquête sur le mode de fonctionnement du système des patentes; j'espère donc que la Chambre voudra bien accueillir la motion que je viens de lui soumettre. Si la commission qui sera nommée trouve la véritable voie, je serai bien heureux de voir le Parlement adopter les mesures qu'elle lui proposera, et qui seront un bienfait considérable pour les inventeurs et fabricants du pays, et par suite pour le public tout entier. » (Applaudissements.)

Publication immédiate des spécifications. — Lors de la nouvelle loi anglaise sur les brevets, un homme fort ingénieux, M. Bennett Woodcroft, proposa d'entrer dans une voie toute nouvelle pour porter les spécifications à la connaissance du public. Au lieu des descriptions plus ou moins écourtées publiées en Angleterre par les agences de patentes, au lieu de gros volumes renfermant des descriptions également incomplètes, et paraissant bien longtemps après la délivrance des brevets, comme en France, il proposa de publier les spécifications *in extenso*, avec le *fac-simile* des dessins annexés, aussitôt la délivrance des patentes; avec la condition spéciale que chacune d'elles fût publiée et vendue isolément et à un prix minime. Là était l'idée lumineuse, de suite comprise par la commission du Parlement, et dont l'application produisit les plus heureux effets. M. Bennett Woodcroft chargé de la publication, d'appliquer son idée (toujours le système anglais de se servir de l'individu spécial, au lieu de tout fondre dans une administration anonyme, comme nous tenons toujours à le faire en France), est considéré comme un des hommes qui ont rendu un des plus éminents services à l'industrie anglaise. Aujourd'hui, tous les brevets qui ont été délivrés depuis l'origine de la loi des patentes sont publiés *in extenso*, catalogués par M. Woodcroft; et toute personne qui s'occupe d'une question technique, a, pour quelques schellings, le texte de tous les brevets, la description de tous les essais qui peuvent l'intéresser. Un de nos amis a dépensé 900 francs pour avoir des copies, accompagnées de croquis, des brevets français qui se rapportent à la fabrication des pianos, dont il avait besoin à chaque instant, et que lui et ses confrères se fussent procurés pour 25 francs dans le système anglais.

Je rapporterai ici ma communication à la Société d'encouragement sur cette question, sur laquelle je crois inutile d'insister de nouveau, car le succès a été complet. Toutes les Sociétés savantes ont joint leurs efforts aux nôtres. La commission du Corps législatif a adopté avec empressement l'idée d'une semblable publication pour la France et elle passera sûrement dans le premier remaniement de la loi des brevets qui sera fait en France. Peut-être même un ministre intelligent n'attendra-t-il pas jusque là! Son utilité sera très-grande, si on ne la paralyse pas par une exécution trop lente, si l'on n'attend pas que les brevets soient trop vieux pour que leur publication offre un intérêt réel.

Société d'encouragement pour l'industrie nationale. — Extrait du procès-verbal de la séance du 22 décembre 1858.

M. Ch. Laboulaye, membre du comité des arts mécaniques, donne lecture de la note suivante:

« Je demande la permission d'entretenir un instant la Société d'encouragement des admirables résultats obtenus en Angleterre par le nouveau système d'impression immédiate des patentes à mesure de leur délivrance, qui a été adopté depuis la dernière loi et s'applique déjà à 30,000 ou 40,000 spécifications[1]. Sur l'annonce de ce système, nous en avions pressenti l'importance, et, dans nos observations au sujet du nouveau projet de loi sur les brevets d'invention, nous demandions que l'on imitât en France un mode de publication aussi libérale. Mais, depuis que M. l'agent de la Société a bien voulu acquérir quelques exemplaires de ces spécifications anglaises, nous avons été si frappé des avantages qu'il doit procurer, si on le compare au système suivi en France, ils saisiront si vivement chacun de vous à la seule inspection de ces brochures, qu'il me semblerait utile que la Société d'encouragement pour l'industrie nationale prît quelques mesures spéciales pour chercher à faire réaliser un mode de publication qui me paraît être un très-grand progrès.

« Permettez-moi d'entrer dans quelques détails à cet égard.

« Quelle que soit la loi qui régisse les brevets d'invention, quel que soit le tribunal chargé de faire respecter les priviléges des inventeurs; que ce soit le tribunal civil, comme le veut la nouvelle loi, ou un tribunal industriel consulaire,

(1) Il y en avait déjà 32,000 imprimées en mars 1859. (Extrait de documents officiels anglais.)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme le souhaite l'industrie tout entière, il est une juridiction qui aura toujours sur la juridiction officielle une grande influence, c'est celle de l'opinion publique. Certes, lorsque tous les savants, tous les hommes compétents applaudissent à une heureuse invention, célèbrent à l'envi une découverte nouvelle, l'œuvre du tribunal chargé de faire respecter le droit du breveté devient plus facile, moins inquiétante pour la conscience du juge, que lorsqu'il s'agit d'une invention dont on n'a jamais entendu parler, dont la réalité, la valeur sont inconnues de tous au jour du jugement.

« Quel est l'élément capital, essentiel pour que cette action de l'opinion du monde savant et industriel puisse venir aider efficacement la justice? C'est que les brevets soient connus.

« Le sont-ils aujourd'hui? Évidemment non. A de longs intervalles, deux ou trois ans[1] après l'époque où les brevets pourraient être publiés, lorsque l'attrait de la nouveauté qui les eût fait rechercher n'existe plus, il paraît un gros volume in-4°, d'un prix élevé, renfermant une multitude de brevets plus ou moins tronqués[2], sans ordre aucun et sur toutes sortes de sujets. Toute personne s'intéressant à une ou deux questions, qui pourrait avoir quelque intérêt à consulter cinq ou six brevets, se garde bien de perdre un temps précieux à feuilleter ces volumes, évite de les acheter, et cette coûteuse publication est, en réalité, faite presque complétement en pure perte.

« Si, au contraire, on pouvait pour 50 centimes ou 1 franc, comme cela se pratique depuis plusieurs années déjà en Angleterre, se procurer toute spécification dans sa nouveauté, quel est l'homme préoccupé d'un genre de recherches, exerçant une industrie, qui hésitera à acquérir la description d'une invention qui l'intéresse? Avec combien de chances de succès l'entrepreneur d'une semblable publication fera de curieuses collections de brevets pour chaque spécialité! Le but indiqué sera donc atteint, et par suite, de cet achat par les personnes compétentes résultera la formation de l'opinion publique dont nous venons de montrer la nécessité.

« Mais il y a plus, la justice est violée, ce nous semble, manifestement, par la publication tardive, incomplète et coûteuse des brevets. Celui qui est condamné comme contrefacteur n'est souvent qu'un inventeur de bonne foi qui a réinventé ce qu'un autre breveté plus heureux avait trouvé avant lui. Il a ignoré le premier brevet que, vis à-vis de la justice, il aurait dû connaître, et cependant, dans l'état actuel des choses, cela pouvait lui être tout à fait impossible. Il n'avait, dira-t-on, qu'à aller en prendre connaissance au ministère du commerce; mais, outre les difficultés (provoquées par des abus sans doute) dont on entoure cette communication, il pouvait travailler à Marseille, à Toulouse, sans avoir la possibilité de venir à chaque instant à Paris. Quant à la publication en volumes, il a vingt fois le temps d'être saisi comme contrefacteur avant qu'elle paraisse, s'il a le courage de la consulter, et s'il est assez riche pour en faire l'achat, ce qui est malheureusement l'exception.

« Il serait bon de prendre exemple sur ce qui a été fait pour l'administration de la justice. Nul citoyen n'est censé ignorer la loi, comme nul breveté n'est autorisé à donner son ignorance d'un brevet antérieur pour justification de la ressemblance de son invention avec une autre; mais au moins on a eu soin de faire en sorte que le citoyen n'eût pas, pour se procurer une loi, besoin d'acquérir des collections dont le prix s'élevât à des centaines de francs, comme celles que l'inventeur devrait acheter, et il trouve dans un endroit connu, au Dépôt des lois, pour 10 centimes, chaque loi dont la connaissance est obligatoire, aussitôt qu'elle a été promulguée. C'est ce qui doit nécessairement être imité pour les brevets au point de vue seul de la justice.

« S'il était besoin de multiplier les arguments pour établir les avantages si évidents du système proposé, pour montrer l'utilité d'une publication que l'on jugeait si importante autrefois, que la loi de 1791 créait un directoire chargé de la diriger, je dirais que ce serait pour le progrès des inventions, par suite, pour la prospérité de l'industrie française, un aide singulièrement puissant que cette connaissance complète, générale des efforts des inventeurs, que l'instruction qui en peut résulter; car, vous le savez, les progrès s'appellent, se multiplient les uns par les autres. Ce serait également un bien grand service rendu au breveté, souvent peu capable en affaires, que cette vulgarisation qui ferait connaître son invention à l'homme d'affaires placé de manière à en tirer parti, et à en assurer le succès par son aide.

« Est-ce quelque chose de bien difficile que de réaliser l'amélioration dont il s'agit? Je connais assez les publications pour garantir, après avoir dressé des devis avec plusieurs imprimeurs, et

(1) Le dernier volume publié en 1858 renfermait les brevets délivrés en 1854.

(2) L'Administration possède aujourd'hui le droit de publier les brevets soit complétement, soit par extraits; souvent ceux-ci sont tellement réduits, que le seul fruit des recherches est de trouver cette indication : *Telle invention est décrite dans un brevet.* Un de nos collègues a indiqué à la Société d'encouragement des brevets se rapportant à des découvertes importantes, récompensées de médailles de la Société, qui n'avaient été honorés que d'une semblable mention, ce qui, on l'avouera, ressemble à une mystification pour celui qui recherche un renseignement dans la publication des brevets.

Le savant général Poncelet, dans son bel ouvrage sur l'histoire des inventions, s'élève fréquemment contre l'insuffisance du mode de publication adopté. Nous ne citerons ici, comme exemple, que la note suivante (t. II, p. 448) :

« Je ferai observer avec regret, au sujet de la Collection « imprimée sous le régime de la loi de 1844, que les dessins « d'ensemble et même de détail y sont gravés avec une par- « cimonie et à une échelle de réduction qui les rendent à peu « près inintelligibles, sinon tout à fait inutiles. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

eu égard au grand nombre de brevets peu étendus et sans planches (ceux qui se rapportent aux arts chimiques notamment), que l'administration trouvera, quand elle voudra, dix maisons bien placées qui, au prix de 25 à 30 fr. par brevet, se chargeront de la publication des brevets dans leur nouveauté, sous forme convenable, avec reproduction des dessins à l'aide de l'autographie ou de la gravure sur pierre, c'est-à-dire exécuteront le *fac-simile* des mémoires des brevetés dans des conditions identiques à celles de la publication anglaise, et cela en remettant quelques exemplaires à l'administration, et en s'engageant, sous peine de tels dommages et intérêts que l'on voudra, à tenir constamment à la disposition du public tout brevet ayant une valeur légale, qui aura été délivré depuis moins de quinze ans, au prix de 50 c. à 1 fr. l'exemplaire, selon l'étendue [1]. L'exemple de l'Angleterre, où cela se pratique depuis plusieurs années, démontre, sans contestation possible, la facilité de faire ce que je demande ici [2].

« Si vous partagez, messieurs, ma manière de voir, je vous proposerai de faire exécuter un spécimen d'une semblable publication pour quelque brevet se rapportant à une intéressante découverte, qui nous ait été récemment communiqué. Rien ne me paraît plus irréfutable que la vue d'une semblable réalité, et elle me semble rendre tout à fait inutiles de longs développements sur l'utilité du progrès que nous souhaitons. En la répandant dans l'industrie, je crois que vous verrez s'élever un vœu unanime en faveur d'un système qui a si bien réussi en Angleterre pour la publication des spécifications. Sans doute, l'administration ne refusera pas de l'exaucer, et elle se félicitera d'être débarrassée de réclamations que la reproduction intégrale et immédiate des brevets peut seule faire cesser. Tout doit faire espérer la réalisation d'un système qui, quelle que soit la loi sur les brevets d'invention qu'on doive adopter, est utile à la bonne administration de la justice, est aussi profitable que juste, et enfin peut être appliqué immédiatement et sans aucune difficulté d'aucun genre. »

Le conseil de la Société, après en avoir délibéré, donne à *l'unanimité* son assentiment aux vues présentées par M. Ch. Laboulaye, et décide que, pour mettre mieux en lumière les avantages et la facilité d'exécution de la mesure qu'il propose, un spécimen de *fac-simile* d'un brevet français, dans le format des spécifications anglaises, sera imprimé par les soins de la commission du Bulletin, et adressé par le Bureau avec la présente délibération à S. Exc. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Adhésions. — L'approbation universelle que me paraissait devoir rencontrer le projet de publication spéciale des brevets dans leur nouveauté, n'a pas fait défaut. Parmi beaucoup de lettres adressées à la Société d'encouragement, je citerai les suivantes :

Lettre de M. Bennett Woodcroft.

Cette lettre du promoteur de la mesure de la publication intégrale des brevets en Angleterre, montre bien l'intérêt qu'il prenait à la mesure dont il avait entendu parler. On sent qu'elle est d'un homme persuadé que le progrès, d'où qu'il vienne, est la vraie base de la solide prospérité pour toutes les nations.

« Messieurs les secrétaires de la Société d'encouragement,

« Je vous serais infiniment obligé si vous vouliez bien me faire parvenir par la poste six exemplaires du spécimen de *fac-simile* d'un brevet français (ainsi que du rapport), tel qu'il a été proposé par M. Laboulaye et approuvé par le conseil de la Société.

« Je serais heureux, messieurs, de savoir que je pusse être de quelque utilité à votre Société pour la réalisation de ce projet, et à cet effet je vous prie de vous adresser à moi pour tous les renseignements ultérieurs dont vous pourriez avoir besoin pour mener votre entreprise à bonne fin.

« Je vous prie, messieurs, d'agréer mes sentiments très-distingués,

« B. Woodcroft. »

Société industrielle de Mulhouse.

« Plusieurs de nos collègues qui ont pu apprécier par eux-mêmes, soit par ce qu'ils ont vu en Angleterre, soit en recevant les *spécifications* de brevets à mesure qu'elles paraissent, les avantages incontestables de ce mode de publication, ont vivement appuyé la proposition. La Société

(1) La réforme proposée ne paraît pas pouvoir rencontrer d'autre objection sérieuse que celle des dépenses qu'elle entraînera. Nous manquons de chiffres exacts pour démontrer complétement *qu'elle ne coûtera rien ou presque rien*, mais nous croyons que ceux que nous allons poser sont très-approchés. L'administration publie aujourd'hui en gros volumes in-4° à 2 colonnes, ayant 60 planches remplies de dessins à une petite échelle, les descriptions des brevets. On ne peut évaluer ces volumes, en y comprenant le travail des rédacteurs qui abrégent les descriptions et celui de la réduction des dessins, à moins de 12,000 fr. Comme chacun de ces volumes renferme au maximum trois cents brevets, c'est plus de 40 fr. pour chacun d'eux. Il est vrai que l'on ne publie pas ainsi beaucoup plus de la moitié des brevets; mais malgré cela, on voit que la somme dépensée aujourd'hui d'après les prix indiqués ci-dessus, diffère peu de celle que demandera un entrepreneur qui saura trouver, dans l'économie de frais qui résultera de la reproduction textuelle et surtout dans la vente aux particuliers des brevets séparés, une compensation du déficit que lui ferait éprouver l'insuffisance d'une subvention à peu près égale à la somme que coûte maintenant une publication presque inutile.

(2) Aujourd'hui il est passé en usage dans l'industrie, lorsque l'on veut connaître un brevet important, qui par suite a donné sûrement lieu à l'obtention d'une patente en Angleterre, de faire venir la spécification anglaise, ce qui coûte 1 schelling et deux timbres d'un penny. C'est le moyen le plus simple qui existe maintenant de consulter un brevet français.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

industrielle m'a donc chargé, monsieur le secrétaire, de vous faire savoir qu'elle verrait avec satisfaction introduire dans la nouvelle loi des brevets la disposition indiquée par M. Ch. Laboulaye, parce qu'elle la croit aussi avantageuse au public qu'aux inventeurs eux-mêmes.

« J'adresse copie de la présente lettre au ministre du commerce, qui connaîtra ainsi l'opinion de la Société industrielle.

« J'ai l'honneur, etc.

« *Le Président,*

« D. Dolfus. »

Société des Ingénieurs civils.

« Elle considérerait comme un bienfait véritable l'adoption d'une mesure dont les heureux et essentiels résultats sont appréciés depuis longtemps par tous ceux qui ont eu à consulter le recueil déjà si considérable et si éminemment utile des patentes anglaises imprimées. C'est vous dire qu'elle entend se rallier avec empressement et conviction aux efforts qu'a pu faire déjà et à ceux que voudra faire encore le conseil de la Société d'encouragement pour la réalisation en France d'une mesure que vous qualifiez justement en disant qu'elle est d'utilité publique. »

Plusieurs autres lettres pourraient être citées; mais elles seraient évidemment superflues pour démontrer que l'accueil que ferait l'industrie française à la publication proposée serait aussi favorable que celui déjà fait par l'industrie anglaise, qui considère celle qu'il s'agit d'imiter comme un élément essentiel de prospérité.

Des frais de publication. — Je ne reproduirai pas ici les détails que j'ai donnés dans une autre publication pour répondre à quelques objections de nulle valeur, et surtout pour justifier les chiffres posés précédemment, et s'il ne s'agissait que de les mettre en pleine lumière pour obtenir enfin de l'administration une réforme qu'elle ne fait pas par le seul effet de l'inertie, je prouverais aisément que grâce à de nouveaux progrès dans les moyens d'exécution, ils sont peut-être trop-forts; mais fussent-ils trop faibles, les frais nécessaires seraient toujours une fraction minime de ce que produit la taxe des brevets, c'est-à-dire aujourd'hui environ 1,200,000 fr., et il ne faudrait pas que l'abus du principe de centralisation des recettes fît trop oublier que ce n'est pas là un impôt ordinaire, qu'il serait juste que l'excédant de cette taxe sur l'industrie, qui n'est que limitative du nombre des brevets, fût consacré à développer des fondations utiles au progrès industriel. C'est ainsi que la commission des patentes en Angleterre administre directement les recettes qui proviennent de cette taxe, et nous croyons qu'on n'aurait pas beaucoup à se plaindre, si le cinquième ou même le quart de ce produit était employé à faire une publication qui serait un puissant élément de prospérité pour l'industrie.

Il me semblerait même juste que l'excédant du produit de la taxe des brevets reçût une destination tendant au même but, que je prendrai la liberté d'indiquer brièvement.

Rémunération des savants. — J'ai cherché à indiquer le rôle capital du travail des savants pour faire naître les plus grands progrès industriels. Tout avancement de la science, tout progrès théorique vient se traduire aussitôt en applications multipliées, en inventions industrielles donnant lieu pour la plupart à des brevets profitables. Certes, je ne veux pas que les savants quittent leur voie de recherches de la vérité pour elle-même, et l'abandonnent pour tenter de tirer profit des lois qu'ils ont pu découvrir; mais pourquoi l'industrie serait-elle ingrate envers eux, et ne ferait-elle pas remonter vers leur source une partie des profits qu'elle leur doit?

Ne paraîtrait-il pas naturel que le tribunal industriel signalât, à certaines époques, les savants dont les découvertes ont été le point de départ des nouveaux brevets qu'il ferait respecter? Si Ampère et Arago vivaient encore, ne serait-il pas juste de leur rendre hommage pour les nombreux brevets relatifs à la télégraphie électrique qui se prennent chaque jour?

C'est à cet emploi que devrait être consacré le reste de la taxe des brevets par pensions viagères de 10,000 fr. par exemple. Combien de noms paraîtraient justement sur cette liste! Citons-en quelques-uns au hasard : *M. Poncelet*, pour ses travaux de mécanique; *M. Reynault*, pour ses recherches sur la chaleur; *M. Chevreul*, pour sa théorie de la saponification; *M. Morin*, pour ses appareils de dynamométrie; *M. Jacobi*, pour la découverte de la galvanoplastie; *M. Faraday*, pour ses grands travaux sur l'électricité, etc. Nous citons exprès ici quelques étrangers, car il serait digne de la France d'inaugurer la reconnaissance internationale des services dont le monde entier profite, et l'imitation de son exemple ferait bientôt de la position du savant, qui a su faire progresser la science, ce qu'elle doit être : la plus belle et la plus enviée de toutes, celle que chacun s'efforcerait d'atteindre par plus d'efforts, eux-mêmes essentiellement fructueux pour le progrès de la civilisation.

Mais je m'arrête; malgré la justice de la proposition et la facilité de son exécution, on va me reprocher de tomber dans l'utopie, parce que l'idée paraîtra trop nouvelle. Ayons confiance dans l'avenir.

Je me contenterai de citer ici, pour les personnes qui, dans l'état actuel de richesse de notre société, jugeront que c'est folie de penser à employer de semblables sommes pour rémunérer les travaux des savants, l'extrait suivant d'une pièce curieuse. Elle est intitulée :

Tableau des récompenses, gratifications, encouragements, etc., accordés par le bureau de con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sultation des Arts et Métiers depuis le 19 novembre 1791, jusqu'au 1er janvier 1793.

ARTISTES.	OBJETS.	SOMMES.
MM.		
Fourneau...	Pour avoir fait faire les plus grands progrès à l'art de la charpenterie, et avoir fait imprimer plusieurs *in-folio* concernant cet art.....	10.000
Boucebet...	Moulin pour la filature et les apprêts de la soie.....	9.000
Paulet.....	Auteur de l'*Art du fabricant d'étoffes de soie* et de différentes inventions.....	10.000
Tournant ..	Tour pour exécuter toutes sortes d'ouvrages profilés; machine à tailler les verres et les miroirs d'optique.....	10.000
Lenoir.....	Invention d'un instrument propre à diviser le cercle.....	6.000
Berthoud..	Montres marines pour les longitudes.	6.000
Berthelot..	Ouvrage intitulé : *la Mécanique appliquée aux arts, aux manufactures, à l'agriculture et à la guerre*.....	10.000
Dupaintriel.	Cartes minéralogiques de la France et autres objets de géographie..	10.000
Fortin.....	Machines pneumatiques; instruments destinés à diviser les lignes droites; machine qui mesure les dimensions des corps, au moyen d'un *nonius* ou *vernier*, qui donne les 12es de ligne.....	6.000

Ce tableau, portant le détail de sommes dont le total monte à 419,000 livres, chiffre bien considérable pour l'époque, montre que ce n'était pas avec parcimonie que l'on voulait agir pour encourager les travaux qui, profitables pour la société, ne sauraient l'être pour leurs auteurs. Il est rappelé en effet, à la fin, après la signature de Berthollet, président du bureau de consultation des Arts et Métiers et le visa de Gurat, ministre de l'intérieur, que ces récompenses sont prises sur le fonds de 300,000 livres affecté annuellement par la loi du 12 septembre 1791 pour récompense aux artistes. Il y avait, dans ces temps difficiles, plus de reconnaissance pour les services rendus par les inventeurs, que dans notre société infiniment plus riche.

Bien que nous n'ayons traité, dans ce qui précède, que des brevets d'invention, tout ce que nous en avons dit s'applique également aux privilèges de propriété littéraire, propriété de dessins, propriété industrielle de tout genre, etc. Nous n'avons nul besoin d'insister à cet égard, et espérons avoir démontré qu'il y a tout intérêt pour la société à constituer solidement un genre de monopole qui, s'il enrichit l'auteur, crée à toute la société des richesses bien autrement considérables; que le grand intérêt de celle-ci consiste à faire que les inventions fructueuses se succèdent avec rapidité, et que pour cela elle doit offrir autre chose que la misère aux inventeurs qui ouvrent des voies nouvelles.

DE L'ENSEIGNEMENT COMME MOYEN DE FACILITER L'ACCESSION AUX MONOPOLES PERSONNELS.

L'extension des moyens les plus utiles pour procurer la libre accession de tous aux monopoles personnels, repose surtout sur l'enseignement. En effet, la capacité qui se manifeste dans l'invention, dans l'exercice intelligent d'une industrie, repose surtout sans doute sur la force de pensée de l'inventeur, mais elle est singulièrement développée par l'exercice et l'étude et ne peut rien créer le plus souvent sans l'acquisition des connaissances déposées dans les sciences physiques. Rien ne saurait être plus désirable pour les individus, rien qui importe plus à une nation que la capacité, la force productive intellectuelle; et le grand moyen de la développer pour nos nations civilisées chez les individus doués d'une énergie, d'une volonté suffisante, résulte surtout de la diffusion de l'éducation.

Nous nous limitons ici à considérer l'instruction au point de vue de la valeur de la production; nul besoin de dire que c'est le petit côté de la question, si on pense à l'individu moral dont la valeur et la dignité croissent si rapidement avec l'instruction. Les mobiles qui doivent pousser chacun au développement de son intelligence sont les plus puissants qui puissent exister, et le désir de s'instruire le grand instrument du progrès. C'est à Channing que je donne la parole pour établir solidement cette importante vérité, et rendre au lecteur le service de lui faire connaître quelque chose de son traité de la *Self-Culture*, un des plus beaux écrits que nous connaissions.

« Je vais rechercher, dit-il, quels sont les moyens de favoriser l'éducation personnelle, et je ne sais par où commencer. Le sujet est si étendu et si important que je me sens incapable de le traiter convenablement, surtout dans les limites qui me sont assignées. Considérez, je vous prie, que je vous présente seulement quelques aperçus, tels qu'ils se sont offerts à mon esprit sans beaucoup de recherches.

« Avant tout, le grand moyen d'éducation, celui qui renferme tous les autres, c'est de s'attacher à cette culture de nous-mêmes, comme à notre fin principale, de prendre la détermination ferme et solennelle de tirer le plus grand et le meilleur parti des facultés que Dieu nous a données. Sans cette résolution, les meilleurs moyens sont de peu de valeur, et avec elle les plus petits deviennent efficaces. Vous verrez des milliers d'hommes qui, avec toutes les ressources que la richesse peut rassembler, maîtres, bibliothèques, instruments, ne font rien de passable, tandis que d'autres, avec de faibles secours, font des merveilles, uniquement parce qu'ils sont les seuls qui agissent sérieusement. L'homme qui se met sérieusement à l'œuvre trouve des moyens, ou, s'il n'en trouve pas, il en crée. Une volonté énergique fait beaucoup de peu, donne de la puissance

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à des instruments faibles, surmonte les difficultés et souvent même en tire un secours. Chaque état offre des moyens de progrès, si on a assez d'ardeur pour s'en servir. On a dernièrement publié des livres où sont contenus des exemples ou des histoires « de science acquise au milieu des obstacles ; » et c'est chose encourageante que d'y voir ce qu'un homme décidé peut faire pour lui-même. Une grande idée, comme celle de l'éducation personnelle, si on la saisit clairement et fortement, brûle dans l'âme comme un charbon ardent. Celui qui se propose résolûment une grande fin, y est, par cet acte, à moitié parvenu, et il a franchi la principale barrière qui le sépare du succès.

« Une chose est essentielle pour que la volonté soit énergique, c'est la foi dans la possibilité de l'éducation personnelle. Pour animer notre courage il faut que l'objet désiré paraisse à notre portée. Cette vérité, que le progrès est la fin même de notre être, ne doit donc pas être écoutée comme une leçon, mais comprise et sentie comme une réalité. Nos esprits sont disposés à languir et à mourir faute d'aliment, s'ils demeurent emprisonnés dans ce que nous avons déjà acquis. Une foi véritable, qui aspire à quelque chose de meilleur, qui entrevoit la perfection dans le lointain, qui nous promet des progrès proportionnés au sérieux de nos travaux, donne de l'énergie à la volonté, donne des ailes à l'âme; et cette foi grandira constamment en nous faisant connaître notre nature et les promesses d'assistance divine et d'immortalité qui abondent dans la révélation.

« Il est des hommes qui sont découragés et qui ne tendent de faire aucun progrès, par la fausse idée qu'ils ont que l'étude des livres, étude que ne leur permet pas leur position, est le moyen suprême et le seul efficace. Mais je les prie de considérer que les grands volumes, dont nos livres ne sont que des copies, c'est-à-dire la nature, la révélation, l'âme et la vie humaine, sont libéralement exposés à tous les yeux. Les grandes sources de la sagesse sont l'expérience et l'observation ; et celles-là ne sont fermées à personne. Ouvrir et fixer nos yeux sur ce qui se passe hors de nous et en nous, c'est l'étude la plus féconde. Les livres sont surtout utiles quand ils nous aident à interpréter ce que nous voyons et ce que nous expérimentons. Quand ils absorbent l'esprit, ce qui arrive quelquefois, et qu'ils le détournent de l'observation de la nature et de la vie, ils engendrent une folie savante, contre laquelle on pourrait échanger sans grande perte le simple bon sens de l'ouvrier. Il est à remarquer que les plus grands hommes se sont formés sans le secours des études qui sont considérées généralement comme indispensables. Homère, Platon, Démosthène, n'avaient jamais entendu parler de chimie et connaissaient moins le système solaire qu'un enfant de nos écoles. Ce n'est pas que ces sciences soient sans importance; mais ceci nous apprend que les moyens d'amélioration ne manquent jamais quand la résolution est profonde et sérieuse.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

« La volonté de s'élever soi-même, c'est là ce qui fait la vie et la force de tous les moyens que nous employons pour notre propre éducation. Je pose de nouveau ce principe à cause de son extrême importance; et j'ajouterai seulement une observation pour empêcher qu'il ne soit mal compris. Lorsque je parle de la volonté de s'élever soi-même, j'entends qu'elle soit sincère. En d'autres termes, le but réel, ce doit être notre éducation; c'est pour elle-même qu'il faut la chercher, et non pour en faire un moyen ou un instrument. Et ici je touche à une erreur commune et très-funeste. Le nombre des personnes qui désirent l'éducation seulement pour acquérir de la fortune et s'élever dans le monde est considérable; mais ces personnes ne cherchent pas véritablement le progrès; ce qu'elles poursuivent, c'est quelque chose d'extérieur, quelque chose qui leur est étranger; et une impulsion semblable ne peut amener qu'un progrès restreint, partiel, incertain. L'homme, comme je l'ai dit, doit se cultiver lui-même parce qu'il est homme. Il doit commencer avec la conviction qu'il y a en lui quelque chose de plus grand que dans toute la création matérielle, que dans toutes les choses qui frappent ses yeux et ses oreilles; il doit comprendre que le progrès intérieur a en lui-même une valeur et une dignité tout à fait distinctes du pouvoir qu'il donne sur les objets extérieurs. Sans doute un homme doit travailler à améliorer sa position, mais il doit d'abord songer à s'améliorer lui-même : s'il ne connaît pas d'autre usage plus noble de l'esprit que de le fatiguer au profit du corps, il faut désespérer de son éducation.

« En faisant ces observations, je n'entends pas conseiller à l'ouvrier de rester indifférent à sa position. Je regarde comme important que chaque homme, quel que soit son état, possède des moyens de bien-être : la santé, une nourriture et des vêtements convenables, et parfois un peu de retraite et de loisir. Voilà des biens véritables qui méritent d'être recherchés pour eux-mêmes, et d'ailleurs ce sont des ressources importantes pour la cause que je défends. Une habitation propre, confortable, avec des aliments sains, n'aide pas peu au développement intellectuel et moral. Un homme vivant dans une cave humide ou dans un grenier ouvert à la pluie et à la neige, respirant l'air impur d'une demeure sale, et essayant en vain d'apaiser sa faim par une nourriture insuffisante et désagréable, court risque de s'abandonner à une insouciance désespérée. Améliorez donc votre sort, multipliez vos ressources, et mieux encore, faites fortune si vous le pouvez par des moyens honnêtes, et si vous ne la payez pas trop cher. Une bonne éducation est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faite pour vous pousser dans vos affaires, et vous devez en user dans ce but. Seulement prenez garde que cette fin ne vous domine; que vos motifs ne baissent à mesure que votre condition s'élève; que vous ne soyez victimes de la misérable passion de rivaliser avec ceux qui vous entourent en étalage, en luxe et en dépenses. Respectez-vous toujours vous-mêmes. Comprenez que votre nature est plus précieuse que tout ce qui vous est étranger. Celui qui n'a pas entrevu ce qu'il y a en lui de raisonnable et de spirituel, de supérieur au monde et d'allié à Dieu même, celui-là ignore la véritable source d'où sort cette volonté sur laquelle j'ai insisté comme étant la première condition du progrès.

« Je passe à un autre moyen important d'éducation personnelle, c'est le contrôle des appétits brutaux. Pour élever la nature morale et intellectuelle, il faut abaisser la nature animale. La sensualité est l'abîme dans lequel un très-grand nombre d'âmes sont plongées et perdues. Parmi les classes les plus prospères, quelle somme considérable de vie intellectuelle est noyée dans les excès du luxe! C'est une des grandes malédictions de la richesse que nous en abusions pour la satisfaction de nos sens; et chez les classes pauvres, bien que le luxe manque, souvent on s'abandonne à un tel excès de nourriture que l'esprit s'en trouve accablé. Quand on se promène dans nos rues, c'est un triste spectacle que de voir combien de visages portent les signes de l'hébétement et de la brutalité, résultat d'une grossière habitude. Quiconque veut cultiver son âme doit réprimer ses appétits.

« J'arrive maintenant à un autre point important de l'éducation personnelle, c'est le commerce avec des esprits supérieurs. J'ai insisté sur notre propre activité comme étant essentielle à notre progrès; mais nous n'avons pas été faits pour vivre seuls. La société nous est aussi nécessaire que l'air et la nourriture. Un enfant condamné à une solitude absolue, grandissant sans voir ou sans entendre des êtres humains, n'égalerait pas certains animaux en intelligence, et l'homme qui n'aura jamais été mis en contact avec des esprits supérieurs au sien parcourra probablement le même cercle monotone de pensée et d'action jusqu'à la fin de sa vie.

« C'est surtout par les livres que nous jouissons du commerce des esprits supérieurs, et cet inappréciable moyen de communication est à la portée de tout le monde. Dans les plus beaux livres, les grands hommes nous parlent, nous donnent leurs plus précieuses pensées, et versent leur âme dans la nôtre. Remercions Dieu des livres. Ils sont la voix de ceux qui sont loin et de ceux qui sont morts: ils nous font les héritiers de la vie intellectuelle des siècles écoulés. Les livres sont les vrais niveleurs; à tous ceux qui veulent en user sincèrement ils procurent la société, la présence spirituelle des meilleurs et des plus grands hommes au moment de leurs plus sublimes inspirations. Qu'importe ma pauvreté? Qu'importe que les heureux du siècle dédaignent d'entrer dans mon obscure demeure? Si la sainte Écriture séjourne sous mon toit, si Milton passe mon seuil pour me chanter le paradis, Shakespeare pour m'ouvrir les mondes de l'imagination et les secrets du cœur humain, Franklin pour m'enrichir de sa sagesse pratique, je ne manquerai pas d'amis intellectuels, et je puis devenir un homme bien élevé, quoique je ne sois pas reçu par ce qu'on appelle la bonne société dans l'endroit que j'habite.

« Pour rendre ce moyen de culture efficace, on doit faire choix de bons livres, de ceux qui ont été écrits par des esprits droits et fermes, par de véritables penseurs qui, au lieu de délayer dans des répétitions les idées d'autrui, ont quelque chose à dire eux-mêmes et écrivent pour des gens sérieux. Ces ouvrages, il ne faut pas les effleurer par amusement, mais les lire avec une attention soutenue et l'amour respectueux de la vérité. Dans le choix de nos lectures, nous pouvons nous faire aider par ceux qui ont plus étudié que nous. Mais après tout, il vaut mieux, dans ce cas, être surtout déterminé par notre propre goût. Les meilleurs livres pour une personne ne sont pas toujours ceux que le sage recommande, ce sont plutôt ceux qui répondent à des besoins particuliers, à la soif naturelle de notre esprit, et qui, par conséquent, éveillent notre intérêt et fixent notre pensée.

« Et il est bon de faire observer que, non-seulement à l'endroit des livres, mais sous d'autres rapports, l'éducation doit varier avec l'individu. Tous les moyens ne conviennent pas également à tous. Un homme doit se développer librement et ménager les dons particuliers ou les penchants par lesquels la nature l'a distingué des autres hommes. L'éducation n'exige pas le sacrifice de l'individualité. Ce n'est pas une machine qui torture chaque homme pour le seul plaisir de le jeter dans un moule immuable appelé perfection. Comme le visage humain, toujours composé des mêmes traits, offre cependant une variété infinie, et n'est jamais le même chez deux individus, ainsi l'âme humaine, avec les mêmes grandes facultés et les mêmes lois, se développe sous une variété infinie de formes, et serait gênée d'une manière déplorable par une éducation qui forcerait tous les hommes à apprendre la même leçon et à s'incliner devant les mêmes règles.

« Je sais combien il est difficile pour quelques personnes, surtout pour celles qui sont absorbées par des travaux manuels, de fixer leur attention sur un livre. Qu'ils s'efforcent de surmonter les obstacles en choisissant des sujets qui les intéressent profondément, ou en lisant de compagnie avec ceux qu'ils aiment. Rien ne peut remplacer les livres. Ce sont des amis qui nous encouragent, qui nous consolent dans la solitude, la ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ladie, l'affliction. La richesse des deux continents ne remplacerait pas le bien qu'ils procurent. Que chacun, s'il est possible, rassemble sous son toit quelques bons ouvrages, et obtienne pour lui-même et pour sa famille l'entrée de quelque bibliothèque commune Il n'est pas de luxe qu'on ne doive sacrifier pour cela.

« Un autre moyen de progrès est celui que chacun peut trouver dans sa condition ou ses occupations, quelle qu'en soit la nature. Si j'en avais le temps, je pourrais passer en revue toutes les conditions de la vie, depuis la plus élevée jusqu'à la plus obscure, et je montrerais comment chacune d'elles peut toujours servir au progrès. Mais je prendrai pour exemple celle de l'homme qui vit du travail de ses mains. Ce travail peut devenir un moyen de culture. Par exemple, dans presque tout travail, on échange sa force pour un équivalent sous forme de salaire, d'argent ou de quelque denrée. En d'autres termes, le travail suppose un contrat; c'est un marché qui impose des obligations réciproques. Eh bien! l'homme qui, en travaillant, quelle que soit son œuvre, s'efforce toujours de remplir parfaitement ses obligations, d'accomplir avec fidélité toute sa tâche, d'être honnête, non pas parce que l'honnêteté est la meilleure politique, mais par amour de la justice, et pour rendre à chacun ce qui lui est dû, un tel travailleur glorifie en lui-même un des plus grands principes de la morale et de la religion. Chacun de ses coups de bêche ou de marteau contribue à la perfection de sa nature.

« De plus, le travail peut être exécuté de telle sorte qu'il donne une noble impulsion à l'esprit. Quelle que soit la profession d'un homme, sa règle doit être de remplir ses devoirs parfaitement, de faire de son mieux, et d'avancer ainsi continuellement dans son état. En d'autres termes, on doit se proposer la perfection, non pas seulement pour l'utilité qu'en retire la société, mais aussi pour le plaisir sincère qu'un homme éprouve en voyant un ouvrage bien fait. C'est là un moyen important de culture. De cette manière, l'idée de perfection prend racine dans l'esprit et s'étend bien au delà du métier. L'ouvrier prend le goût d'achever tout ce qu'il entreprend. Tout ce qui est imparfait, négligé, lui déplaît en toute circonstance; son idéal grandit, et tout est mieux fait dans sa vie, parce qu'il est devenu plus difficile dans son état... »

Nous n'ajouterons rien à ces paroles sur une question qui embrasse la vie morale et intellectuelle de toute nation. Personne ne contestera au dix-neuvième siècle l'utilité, pour grandir une nation, de mettre à la portée des intelligences d'élite les moyens de s'instruire, de s'élever, et cela en travaillant à l'enrichissement du pays. Il s'agit là, pour une grande nation, de sacrifices insignifiants en raison de la grandeur du but à atteindre. C'est sous cette forme que s'exerce naturellement l'action d'encouragement que nous avons montré incomber à la société.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Relativement à l'enseignement primaire, dont l'extension est la condition des progrès de la civilisation, nous dirons seulement que c'est vers les sciences et leurs applications qu'on doit en tourner les développements. C'est en Allemagne, où la diffusion de la science a précédé et permis de rapides progrès dans l'industrie, qu'il faut aller surtout étudier les modèles de ces institutions. En Wurtemberg notamment, chaque petite ville a son école, où tous les enfants apprennent le dessin, les éléments de la physique, de la mécanique, etc., c'est-à-dire non-seulement se forment le raisonnement, cultivent leur intelligence, mais encore apprennent les éléments de sciences qui leur seront des instruments directs de production, leur constituant un véritable capital personnel.

Enseignement professionnel. — Tentons d'indiquer toute l'importance de l'enseignement au point de vue de la production industrielle.

Qu'est-ce qui fait la valeur du produit créé par le travail du producteur? C'est la quantité d'utilité qui en résulte, si on peut s'exprimer ainsi; ce n'est pas seulement l'effort, la fatigue qu'a éprouvé le travailleur. Qu'il passe une journée à s'efforcer de soulever une pierre énorme sans pouvoir y parvenir, il sera beaucoup fatigué sans produire aucune utilité, le résultat de son travail sera zéro. Considérons, au contraire, un autre travailleur qui emploie les engins les plus convenables, coupe son travail par des alternatives de repos, entretient ses forces par une nourriture substantielle, vous le verrez accomplir un travail considérable, produire le maximum d'utilité possible. Or le but de l'instruction doit être d'amener le travail des citoyens à être le plus fructueux qu'il est possible, par suite de l'habileté professionnelle, de l'emploi judicieux des procédés les plus parfaits, des meilleurs tours de main pour atteindre le but le plus simplement et le plus sûrement, en un mot de perfectionner les méthodes de travail.

Cherchons à creuser un peu profondément cette importante question, et occupons-nous, à cet effet, de la manière dont les ouvriers s'initient au travail. C'est en général par l'apprentissage que l'ouvrier apprend son état; mais privé le plus souvent de conseils, ne parvenant à apprendre les méthodes de travail que par un esprit d'imitation naturel à l'enfance, il lui faut beaucoup d'intelligence pour parvenir à distinguer les meilleures méthodes de travail, et presque du génie pour réinventer les pratiques qu'il n'a pas vu employer sous ses yeux.

Ce travail serait bien simplifié, bien plus profitable, si l'ouvrier était initié aux principes des sciences dont sa pratique de chaque jour est une application. C'est ce qu'on obtiendra par des écoles professionnelles pouvant être ouvertes à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un grand nombre de jeunes gens, et surtout par des cours du soir et du dimanche, où l'apprenti viendra comprendre la raison du mode de travail qu'il a appliqué dans le jour; où on lui enseigne une théorie qu'il pratiquera le lendemain, et qui lui restera par suite gravée dans la mémoire jusqu'à la fin de ses jours. C'est par la libre réunion des ouvriers anglais dans leurs *Mechanics institut*, si utiles à imiter, que se développent leurs facultés. C'est autour de bibliothèques qu'ils aspirent à créer, que les ouvriers français pourront constituer des centres intellectuels qui feraient une utile concurrence au cabaret. C'est, qu'il nous soit permis de le dire sans fausse modestie, par la lecture d'un ouvrage comme le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, qu'en arrivant à comprendre les sciences en partant de sa pratique de chaque jour, un ouvrier se créera un fonds d'utiles connaissances. C'est ainsi qu'il avancera dans la bonne voie, c'est-à-dire travaillera à devenir excellent ouvrier, et sans jalousie misérable sera poussé par une noble ambition, tendra à s'élever régulièrement, à devenir contre-maître, puis maître à son tour, à réussir à force d'intelligence et de travail.

Ce sont surtout les municipalités qui doivent diriger de semblables institutions, naturellement de manière à aider le développement des industries qui prédominent dans la ville. C'est ainsi qu'à Paris, où prospèrent surtout les arts de la forme, la sculpture, la gravure, le moulage, etc., les écoles qui rendent le plus de services sont, sans contredit, les écoles de dessin, comme celle de la rue de l'École-de-Médecine, dont la fondation est déjà fort ancienne. Il n'est pas un apprenti graveur, sculpteur, etc., habitant les quartiers de la rive gauche, qui ne vienne y suivre le soir, et pendant plusieurs années, des cours gratuits sous la surveillance d'excellents maîtres. C'est avec de semblables institutions que s'élève le niveau des arts, que se révèlent les véritables vocations, les talents qui autrement fussent restés enfouis. C'est parce que l'utilité de ces fondations est évidente, que l'Angleterre consacre des millions à l'enseignement des arts, du dessin, depuis que l'exposition universelle de 1851 lui a indiqué que le goût était le point faible de son industrie.

C'est ce qu'indique encore bien évidemment la plus excellente création de ce genre, nous voulons parler de l'école de la Martinière, fondée dans la ville de Lyon par le pieux legs de deux de ses enfants, le major général Martin, et M. Eynard; école qui a donné d'admirables résultats dus et à l'intelligente générosité de ces deux grands citoyens, et aux lumières des directeurs, qui ont mis en pratique une ingénieuse méthode d'enseignement et un excellent plan d'études.

Aider à de semblables fondations est, ce nous semble, la vraie route que doivent suivre les classes aisées pour élever les classes peu fortunées, les guider vers leur complet développement.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

C'est à l'énergie individuelle à faire le reste. Car, pour celui qui veut se perfectionner, les occupations les plus ordinaires fournissent bien des occasions de progrès : mais il faut savoir en tirer parti. J'en citerai quelques exemples populaires en Angleterre, le pays de la volonté persévérante. Le professeur Lee, se sentit attiré vers l'étude de l'hébreu en voyant, dans une synagogue où il avait été appelé comme ouvrier charpentier pour réparer les bancs, une Bible imprimée en langue hébraïque. Il fut pris d'un immense désir de lire le livre dans l'original, et, ayant acheté une grammaire d'occasion, il se mit au travail, et réussit à apprendre seul cette langue. Comme le disait Edmond Stone au duc d'Argyle, qui lui demandait un jour comment il avait fait, lui, pauvre aide-jardinier, pour arriver à lire les *Principia* de Newton en latin. « On n'a besoin que de savoir les vingt-quatre lettres de l'alphabet... et de vouloir, pour apprendre tout le reste. »

On comprend combien est désirable pour l'industrie et tous ceux qui en vivent le développement d'institutions semblables à celles dont nous avons parlé. Elles sont essentiellement du ressort des associations des industriels de la localité, des municipalités, qui seules peuvent fonder sur des bases solides, poussant des racines profondes dans chaque contrée, l'enseignement professionnel. Elles nous paraîtraient devoir se rapporter à deux types principaux d'écoles :

1° Celles qui auraient pour modèles les écoles de la rue de l'École-de-Médecine, de Paris, et de la Martinière, de Lyon. Ce seraient surtout, avant tout, des écoles du dessin en tout genre, auxquelles seraient réunis des cours de tissage, montage de métiers, gravure, impression, moulage, etc. Toutes les industries où le goût est en jeu relèveraient de ces écoles.

2° Celles destinées aux mécaniciens, horlogers, ouvriers en fer et en bois, dans lesquelles l'enseignement comprendrait surtout le tracé, les machines, la physique expérimentale, et serait facilité par de nombreux modèles.

Je ne parle pas d'écoles de chimie, parce que ce sont de vastes laboratoires annexés à des cours publics qui peuvent les constituer sous une forme bien connue, et seule profitable.

Des écoles par corps d'état seraient extrêmement utiles; par exemple, des écoles pour les apprentis typographes, pour les menuisiers, les ouvriers en bâtiments, etc. Ces dernières seraient possibles dans les plus petites villes, et profitables à presque tous les artisans de la localité. Mais posons comme principe fondamental que l'apprentissage doit accompagner l'enseignement de l'école, pour que celui-ci soit complétement et immédiatement utilisé.

Toutes les grandes villes devraient avoir des institutions semblables, dirigées dans le but d'assurer la prospérité des industries locales. Des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ECONOMIE INDUSTRIELLE.

écoles du dimanche, des cours du soir devraient permettre aux adultes de suivre cet enseignement malgré leurs travaux journaliers. Les plus beaux résultats sont déjà, Dieu merci! obtenus de nos jours dans cette voie. Des écoles moins complètes devraient exister dans nos moindres cités, et jusque dans nos campagnes un champ cultivé par les élèves de l'école primaire permettre de leur faire apprécier les bonnes méthodes de culture, de fixer dans leur esprit les connaissances positives et de la plus grande utilité pour tout cultivateur.

C'est sur la multiplicité des institutions qui ont pour but l'instruction du peuple dans les divers genres de connaissances, que repose la prospérité de l'industrie américaine, et l'un des plus beaux et des plus fréquents spectacles dans ce pays, est devoir les gens les plus éminents venir dans les réunions d'ouvriers associés en vue de fonder une bibliothèque, de créer des cours utiles, pour leur parler sérieusement de leurs devoirs, les encourager à persévérer dans leurs efforts pour s'améliorer. C'est la libre association de tous qui peut seule conduire à d'aussi heureux résultats.

Haut enseignement. — Nous ne dirons qu'un mot des institutions destinées au haut enseignement industriel, qui doivent être le couronnement de l'édifice, et suivre les progrès de la science pure. Former des ingénieurs capables de diriger tous les travaux, c'est là le but de notre École Polytechnique, dont la porte n'est ouverte qu'aux plus méritants; c'est le but de l'École Centrale qui a conquis une si belle place auprès de son aînée, grâce au mérite réel de nombre d'ingénieurs qui en sont sortis. Vulgariser les derniers progrès scientifiques dans toutes les directions en les traduisant sous forme pratique, c'est la mission de l'enseignement industriel du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris. Tout fabricant doit pouvoir y suivre des cours publics qui le mettent au courant des derniers progrès accomplis, en ne dérobant aux affaires que le temps nécessaire pour écouter une leçon, visiter des modèles.

Les lacunes qui existent encore peuvent facilement être comblées, et le haut enseignement scientifique-industriel réuni à l'École Polytechnique, à celles des Ponts et Chaussées, des Mines, des Arts et Manufactures, des Beaux-Arts, au Conservatoire des Arts et Métiers, etc., sera de plus en plus, tout doit le faire espérer, une des gloires les plus incontestées de notre pays. C'est la base qu'il importe surtout d'élargir, en propageant le mouvement imprimé dans ces derniers temps, et réalisant complétement ce beau programme : « Faire que tout travailleur trouve la possibilité de s'instruire et d'acquérir les connaissances qui pourront lui former un capital intellectuel, pouvant assurer le succès des intelligences d'élite, et accroître dans des proportions énormes l'habileté, la puissance productive de la masse de la nation. »

En résumé, la diffusion et l'étendue de l'enseignement sont de telle importance pour engendrer des forces productives, qu'il faut que tout le monde contribue à le répandre, les uns en se faisant professeurs par dévoûment, et les autres en supportant les frais, avec le concours des communes, et enfin de l'État, s'il y a insuffisance. S'il est pour celui-ci une mission sacrée, c'est celle de développer l'éducation morale des citoyens pour en faire des honnêtes gens et leur éducation intellectuelle pour en faire d'habiles producteurs. S'il est un noble but à assigner aux efforts de l'association de tous, c'est sans contredit celui de rassembler les moyens et les influences propres à développer les plus nobles facultés de de chacun de ses membres. Cela est trop évident pour qu'il y ait lieu d'insister.

B. — DROITS DE PROPRIÉTÉ.

Les monopoles personnels, résultat de l'activité et de l'énergie de chacun, servent à créer le domaine de la propriété. L'essence de la propriété d'une utilité, c'est que celui qui l'a créée en fait tel usage qu'il lui plaît; ce droit, que définit le droit romain, d'user et d'abuser, est, de sa nature, absolu; on ne peut le limiter légalement sans spoliation.

En lui-même, sans correctif, la possession du capital, des instruments de production serait un monopole considérable; en analysant les phénomènes de la rente, nous en avons apprécié toute la valeur. Mais, comme tous les monopoles, il se corrige par la liberté, par la concurrence. Nous voyons chaque jour les établissements les plus puissants fondés par les industriels les plus éminents, primés par la rivalité d'un inconnu, d'un homme qui a commencé le plus souvent par être ouvrier, comme les maréchaux de l'Empire par être soldats, mais qui ayant un sentiment parfait des nouveaux besoins de l'industrie, sait trouver la voie du succès en ne laissant à ses riches concurrents que les charges, les frais généraux d'un lourd établissement qui bientôt décline, si les chefs ne sont plus dignes d'occuper la tête de l'industrie. Toutefois, cela n'est possible, cela n'a lieu chaque jour, surtout lorsqu'il s'agit d'entreprises considérables, de luttes avec de grands établissements, que par l'offre, par l'abondance des capitaux, qui ont un besoin absolu du travail et de la capacité pour fructifier, et qui se multiplient par la circulation. C'est dans les moyens de l'activer que se trouvent les remèdes à quelques abus, pour ne laisser que les bienfaits, la facilité d'enrichissement général qui résulte de l'abondance des capitaux; c'est dans l'activité de cette circulation, facilitée par de bonnes institutions de crédit, que réside le plus puissant moyen de développer les forces productives, intérêt le plus grand des individus et des nations; et cela

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en facilitant l'enrichissement de l'individu capable, en mettant à sa disposition des ressources qui lui permettent de créer, de mener à bien ce qu'il a su concevoir.

1.— DU CRÉDIT.

Puisque le capital est la condition essentielle des occasions de profit, une nation peut s'enrichir d'autant plus vite, multiplier d'autant plus ses richesses, que le capital se trouve plus à portée de seconder tous les efforts, toutes les énergies qui tendent à la production de la richesse. Après donc la première et essentielle condition que la nation soit laborieuse, énergique, possède des hommes versés dans les sciences et la pratique des arts, rien de plus indispensable qu'une grande abondance de capitaux, et surtout qu'une facile circulation des capitaux, circulation qui les multiplie quant aux services qu'ils peuvent rendre. C'est là l'important service que rend le crédit, le plus puissant levier de la civilisation moderne, dont le bon ou le mauvais maniement importe le plus à la prospérité des États. Il importe d'autant plus de se faire des idées parfaitement nettes sur cette question, qu'elle a été obscurcie dans tous les temps par des sophismes.

L'importance de la circulation des capitaux est facile à apprécier ; elle résulte de ce fait évident : qu'un capital est utile parce qu'il sert à la production, et que la circulation, qui le fait arriver successivement entre les mains des producteurs, le rend utile à l'égal de capitaux multiples.

M. F. Sharbeck a fort bien analysé les effets de la circulation dans sa *Théorie des richesses sociales*.

« Supposons, dit-il, qu'une pièce d'un franc soit remise dans la matinée d'une première journée, par un habitant de la capitale, à une laitière, en échange du lait qu'elle apporte au marché; que celle-ci l'emploie de suite à acheter une aune de toile; que le marchand de toile fasse avec cette même pièce de monnaie sa provision de viande à la boucherie; que le boucher la dépense dans la boutique d'un marchand de vin; que celui-ci l'emploie en achat de bouteilles; que le marchand de verreries la dépense en pain, le boulanger en bois, et enfin que le marchand de bois la retienne pour une dépense à venir et la laisse sans emploi dans le courant de la journée suivante.

« La différence des services rendus par cette pièce de monnaie dans le courant des deux journées est très-sensible; ils sont dans le rapport de 7 à 1. »

Ce qui est vrai de la monnaie est vrai de tout capital, de toute matière, de tout outil pouvant être employé dans une fabrication, être l'objet de transactions commerciales.

Si les avantages d'une circulation rapide sont évidents, puisque grâce à elle le capital profite à un nombre d'autant plus grand de producteurs, quel est le moyen de la favoriser ? C'est par l'emploi du crédit.

Le crédit est défini la mise en circulation des valeurs engagées, la métamorphose de ces valeurs en titres d'une circulation facile, auxquels la confiance puisse facilement s'attacher : telles sont les lettres de gage, les obligations qui représentent la richesse immobilière d'un pays; en les faisant circuler, il multiplie considérablement le travail produit avec un même capital.

Prenons un exemple du crédit par escompte, une des formes les plus importantes du crédit dans les transactions commerciales. Soit un fabricant de drap qui achète de la laine; il fait un billet au marchand de laine, qui escompte ce billet, c'est-à-dire en touche chez un banquier le montant, déduction faite de l'intérêt de la somme jusqu'à l'époque de l'échéance et de la commission du banquier. Il continue donc ses affaires avec un même capital, et la valeur de la laine se trouve représentée par un billet d'une circulation facile. Le fabricant de drap tisse la laine et la vend à un marchand de drap qui le règle en un effet, ce qui lui permet, à son tour, grâce à l'escompte, de continuer ses opérations avec son même capital, augmenté momentanément de la somme destinée à payer le billet qu'il a fait au marchand de laine. Du marchand de drap, l'étoffe passe chez le tailleur, de là chez le consommateur, et donne lieu à des phénomènes semblables.

Rien donc de plus simple, pour le producteur, que l'effet du crédit sous la forme la plus habituelle dont nous venons de parler : il se trouve, aussitôt chaque livraison de produit fabriqué, avoir à sa disposition le capital qu'il a dépensé en salaires et frais divers pour recommencer une autre fabrication, plus la somme nécessaire pour solder le prix des matières premières de cette fabrication, qui lui sont confiées contre son engagement de payer à une certaine époque, c'est-à-dire sans diminuer son capital actuel.

Il est donc bien évident que le crédit par escompte est ainsi une cause de travail incessante, en permettant au producteur de ne posséder qu'un capital inférieur à la valeur des produits qu'il crée en un certain temps, et égal seulement à la partie correspondante aux salaires nécessaires à la transformation en produits vendables de ce qui fait l'objet de la fabrication dans ses ateliers. Mais si le capital nécessaire au producteur est ainsi diminué, il semble que le travail est seulement en raison du capital social, car l'avance faite par l'escompteur n'est qu'un prêt que celui-ci fait de son propre capital, sur un engagement dont le payement lui semble certain. Il en est ainsi, en effet, dans le cas général, pour le particulier qui emploie en escompte ses capitaux. Cela n'ôte rien des grands avantages de la circulation, de l'emploi de capitaux sans cela inac-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tifs; mais, de plus, il n'en est pas ainsi pour tous les cas, et notamment pour les banques de circulation, qui offrent un cas remarquable, dans lequel le crédit, la confiance amène une véritable multiplication des capitaux.

Celles-ci, faisant l'escompte de valeurs reconnues parfaitement sûres (la Banque de France n'admet que les billets à trois signatures jugées bonnes), le public accepte comme argent, avec une sécurité entière, les propres engagements de ces Banques, leurs billets à vue qu'il se garde d'échanger contre de l'argent. Les billets en circulation atteignent alors trois ou quatre fois le chiffre de l'or ou de l'argent déposé dans les caves des Banques; il y a avance à la production de ce capital, de cette différence entre les billets et l'or.

C'est par cet artifice, par ce puissant moyen d'activer la circulation, la transmission des capitaux, de remplacer la majeure partie de la quantité d'or ou d'argent nécessaire à la circulation d'un pays par du papier reposant sur les engagements de producteurs actifs et laborieux (limite nécessaire de la circulation du papier, des banques, qui ne saurait donc être indéfinie, comme quelques novateurs l'ont supposé), qu'on a vu l'Amérique exploiter son sol, combiner des entreprises gigantesques, comme si elle avait possédé le capital accumulé des plus vieilles nations, et créer avec une rapidité extrême, par un travail énergique, d'immenses richesses.

En général, toute garantie qui assure le payement d'un titre et en facilite la circulation à l'égal de l'argent accélère, comme les banques de circulation, la circulation du capital et par suite la production de la richesse.

On peut dire que le crédit non-seulement fait circuler rapidement toute la richesse d'un pays, toutes les valeurs engagées, mais souvent il précède la création de ces valeurs; c'est lui qui les fait naître, l'assurance des risques suffisant pour établir, créer la confiance, le crédit. C'est ainsi que le développement des institutions de crédit a produit en Amérique d'immenses résultats.

Voici ce qu'écrivait, en 1838, M. Michel Chevalier, dans son ouvrage *Des Intérêts matériels en France*, dans lequel il indiquait la nécessité de donner une puissante impulsion à la production dans notre pays :

« Sous le rapport des institutions de crédit, dit-il, il faut avouer que notre situation est peu satisfaisante; de là un des plus forts obstacles à notre amélioration matérielle; c'est à raison de l'absence de ces institutions qu'une foule de projets utiles restent sur le papier. Qu'il s'agisse, par exemple, d'un canal ou d'un chemin de fer destiné à changer la face d'une province, le pays possède le capital suffisant pour l'exécuter, puisqu'il réunit les bras requis pour le construire, ainsi que les aliments et les denrées nécessaires aux travailleurs. Si l'ouvrage ne s'accomplit pas, le journalier ne trouve pas à utiliser sa force et à gagner son pain, et, d'un autre côté, le cultivateur, le manufacturier et le marchand, manquent de débouchés pour leurs produits. Le plus souvent néanmoins le projet, au lieu d'aboutir à la réalité, reste à l'état de rêve. C'est que, chez nous, entre l'ouvrier qui a besoin de consommer et le producteur ou le vendeur des objets de consommation, il n'y a d'autres intermédiaires qu'un ingénieur, homme de talent, mais pauvre, et avec lui les bourgeois des villes que le canal ou le chemin de fer intéresse, gens qui ont de l'aisance, mais rien de plus, et qui sont dépourvus de tout moyen de se procurer, autrement qu'à des conditions léonines, l'argent comptant qui doit servir à opérer l'échange entre le travail de l'ouvrier et les denrées que l'agriculteur a dans son grenier, le marchand dans son magasin. Chez nous donc les plus fécondes conceptions doivent très-fréquemment avorter. En d'autres pays, au contraire, en Angleterre et aux États-Unis, par exemple, à côté de l'ingénieur et du bourgeois, vous avez une ou plusieurs banques en qui tous, bourgeois, ouvriers et paysans, ont confiance, et souvent beaucoup plus qu'elles ne le méritent. La banque garantit au cultivateur et au marchand le payement de leurs denrées, et à l'ouvrier son salaire par le procédé suivant : elle remet aux bourgeois actionnaires, contre leur engagement personnel, et quelquefois moyennant le dépôt même des actions du chemin de fer ou du canal, du papier-monnaie que l'ouvrier accepte en payement de son travail, et que le cultivateur et le marchand acceptent non moins volontiers en retour de leurs provisions. Toute idée raisonnable a ainsi le moyen de passer rapidement de la théorie à la pratique; bien plus, comme il est difficile aux hommes d'user seulement et de ne pas abuser, mainte conception folle profite de ces facilités pour faire son entrée dans les affaires. »

N'est-ce pas là un exemple bien digne d'imitation, et ne devons-nous pas tendre à réaliser un semblable moyen d'aider si puissamment la création de la richesse par le travail, de faciliter l'échange des valeurs, de favoriser cette effervescence de production si utile au progrès général, qui fait que quiconque se sent quelque intelligence rougit de rester longtemps dans une position inférieure, car il sait qu'il lui suffira d'employer toute sa capacité et son énergie pour s'élever aux premiers rangs.

Il importe beaucoup de remarquer que le caractère propre du crédit est de faire surgir des capitaux faisant participer plus de personnes aux bénéfices possibles; car la facilité du crédit, le besoin d'utiliser les capitaux, tend à faire naître des établissements rivaux de toute fabrique qui réalise de gros bénéfices. Sans doute il permet aussi à l'établissement prospère de se développer rapidement, mais c'est ce succès même qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entraîne le premier effet, et la concurrence de tous contre un seul ramène nécessairement ses profits vers le taux moyen des profits.

Dans la plupart des pays, dans tous, nous croyons, quelques États des États-Unis d'Amérique exceptés, le privilége d'émettre des billets payables à vue, et circulant comme des espèces, ne s'exerce qu'en vertu d'un privilége accordé par l'État. Les institutions de crédit les plus importantes, les principales banques de circulation ne sont donc pas seulement des monopoles de fait, en tant que fondées par de puissantes compagnies, mais encore comme agissant avec un privilége légal, ce qui devrait nous les faire étudier dans la section suivante si nous voulions étudier leurs droits, tandis que nous n'avons en vue que leur fonctionnement. On comprend l'importance de cette question de privilége, puisque, ainsi que nous l'avons déjà dit, c'est dans la circulation des capitaux, dans leur mise à la disposition de la capacité, qu'existe le plus puissant levier de la production industrielle; qu'il faut que cette condition soit remplie pour que la capacité, le savoir, la moralité puissent conduire au succès.

Dans notre pays, si puissamment centralisé, agiter la question de la liberté des banques à une époque où l'on a renforcé de tant de manières le privilége de la Banque de France, serait prêcher pour un avenir bien éloigné, et nous ne croyons pas utile de nous arrêter à une question qui n'est que de pure théorie.

Nous ferons seulement remarquer que dans ce cas, comme dans tous les autres, l'intervention de l'État dans une circonstance, la concession d'un privilége entraîne comme conséquence nécessaire une succession d'interventions de même ordre. De ce que l'État a supprimé la liberté des banques, en concédant à une compagnie le privilége exclusif d'émettre seule du papier-monnaie dans toute l'étendue du territoire, c'est-à-dire de disposer sans intérêt du capital que représente ce papier, en quantité égale à celle nécessaire pour les besoins des transactions, qui pour les pays riches se compte par centaines de millions, puisqu'il l'a rendu l'arbitre de la circulation et du crédit commercial, il doit s'efforcer de remédier aux inconvénients que peut entraîner ce monopole. L'État se trouve engagé tacitement à faire en sorte que, malgré le monopole concédé, et en échange de la sécurité qu'il en retire, le crédit commercial ne soit pas plus rare et plus difficile que dans des pays où règne la liberté des banques, que les spéculations sur le change des divers pays ne viennent pas causer des pertes au petit commerçant par une élévation exagérée de l'escompte. C'est à quoi l'on arriverait dans les limites du possible, c'est-à-dire en dehors des crises que les événements politiques, les spéculations insensées, les disettes, etc., rendent inévitables, en forçant la banque à porter à un fonds de réserve les bénéfices qu'elle fait dans les temps de crise, en portant l'escompte à plus de 3 0/0, et la forçant à consacrer ce fonds à des achats de métaux avant toute élévation de l'escompte. Ce fonds d'assurance et la prévoyance des administrateurs pourraient amortir singulièrement l'intensité des crises de second ordre.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

C'est à des institutions complémentaires, très-propres, croyons-nous, à faire jouir la France de tous les avantages d'un crédit facile, que nous allons nous attacher, en admettant l'existence du grand établissement régulateur de la circulation, exploitant seul le privilége d'émission de papier-monnaie. Nous pensons qu'on peut ainsi obtenir la plupart des avantages de la liberté, en même temps que la fixité, la régularité de la valeur de l'instrument de circulation, du papier-monnaie, qui empêche des crises où la fortune d'une nation peut sombrer.

Capitaux circulants.

Traitons avec quelques détails de la meilleure organisation possible des établissements qui concourent, avec la Banque de France, à répandre le crédit.

L'escompte est le mode de crédit le plus employé dans le commerce pour multiplier les capitaux circulants; nous chercherons à en faire comprendre le fonctionnement normal en faisant un emprunt à une brochure publiée par nous en 1848, et qui, malgré son caractère spécial, renferme des idées applicables à toutes les industries, montre tout ce qu'on peut obtenir de l'entente des chefs d'industries.

« Définissons bien la nature intime de l'escompte, forme que le crédit prend le plus souvent pour venir en aide au producteur.

« Lorsqu'un négociant porte à l'escompte, chez un banquier, une valeur de commerce, l'engagement d'un commerçant de payer une certaine somme à une échéance déterminée, celui-ci lui donne le montant de cette valeur, moins une prime qui constitue l'escompte. Cette prime se forme de l'intérêt du capital au taux ordinaire, plus d'une assurance en raison de la solvabilité du négociant; c'est là le cachet spécial de l'escompte, le principe en dehors duquel il n'y a qu'idées fausses. *L'escompte est avant tout une prime d'assurance, l'escompteur un assureur à primes*, fonction qu'empêche d'apercevoir le rôle que remplit quelquefois le banquier comme commanditaire, lorsqu'il avance ses capitaux, ce qui n'est qu'accidentel et tout à fait en dehors de la fonction spéciale de l'escompteur.

« Nous avons vu en 1848, au moment de la révolution, tous les assureurs à primes disparaître: l'assurance ne pouvait cependant disparaître, car chacun ne pouvait payer ses engagements qu'avec l'escompte des valeurs qu'il avait en portefeuille. Il était clairement indiqué qu'il ne restait plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'une espèce d'assurance possible, la plus parfaite de toutes, l'assurance mutuelle, la mutualité des producteurs.

« Veut-on un exemple bien convaincant de la solidité de ce système? Qu'on considère la Banque de France ayant, par exemple, pour 500 millions de francs de billets émis. Ces billets sont reçus au pair dans toute la France. D'où naît cette sécurité? Est-ce du capital des actionnaires de la Banque, qui s'élève à 60 millions à peine? Évidemment non; elle provient de ce que l'on sait que tout billet émis par la Banque correspond à un billet d'un négociant parfaitement solvable, couvert par deux cautions, qui se trouve dans son portefeuille, de telle sorte que les 500 millions sont garantis par la totalité des fortunes de ces négociants, et par suite, par des richesses bien supérieures au chiffre des billets. Dans l'établissement dispensateur du crédit par excellence, c'est donc la mutualité qui produit la sécurité.

« Or la prospérité générale, en tant qu'elle peut résulter de la production même, est assurée principalement par la *facilité* du crédit (bien plus encore que par son bon marché).

« Définissons ce que nous entendons par là, et nous pensons que tout le monde sera de notre avis.

« 1° La facilité du crédit consiste dans la certitude de l'escompte de toute valeur, de tout billet portant de bonnes signatures, et cela sans l'intervention de la bienveillance personnelle d'un banquier protecteur. De plus il faut que cet escompte puisse, pour nombre de cas, pour la librairie par exemple, atteindre les billets qui dépassent quatre-vingt-dix jours, car l'éditeur ne pouvant fabriquer des livres que par mille, et ne les vendant que par unités, son industrie n'est possible qu'autant que l'imprimeur et le marchand de papier acceptent des billets à échéance éloignée, ce que ceux-ci ne peuvent faire qu'autant qu'ils trouvent à les escompter.

« 2° Tout ce que nous venons de dire des billets doit se rencontrer à plus forte raison pour les prêts sur dépôt de marchandises, c'est-à-dire de valeurs plus certaines encore que les billets, qui correspondent à des valeurs prochainement réalisables, mais un moment sans emploi dans les mains des producteurs.

« 3° La facilité du crédit, c'est le phénomène qui se manifeste dans les temps de grande prospérité, lorsque l'argent abonde chez les banquiers, quand par des avances, des prêts à découvert, ils excitent le producteur à créer, à employer des capitaux. Qu'on ne se récrie pas que c'est un genre d'affaires qui ruinerait un établissement, on verra tout à l'heure comment nous l'entendons; mais on nous accordera tout au moins que ce serait une facilité souhaitable dans certains cas.

« Si l'on suppose un instant le crédit d'une industrie organisée de manière à donner tous les résultats que nous venons d'indiquer, nous pensons qu'on ne pourra refuser d'admettre que l'on atteindra le maximum de la production; c'est-à-dire qu'il ne se trouvera pas une entreprise possible qui ne soit commencée, dans la librairie un livre vendable qui ne soit imprimé. Mais alors évidemment on dépasserait le but, bien des entreprises folles seraient tentées. Quel est le moyen de faire que le crédit permette tout le développement convenable de l'industrie et en arrête les écarts? C'est en même temps qu'on le fait résulter de la *mutualité*, de le faire distribuer par les *spécialités*.

« Nous disons que le crédit doit résulter de la mutualité, et déjà nous avons indiqué comment il y trouvait sa seule base solide sans éveiller d'intérêts qui se combattent; en outre, on ne niera pas que l'ensemble des producteurs d'une profession n'ait des richesses supérieures à celles de quelques escompteurs, et ne puisse faire la base d'un puissant établissement de crédit.

« Le crédit ne peut devenir certain, ne peut perdre l'instabilité qui résulte des caprices ou des spéculations d'un escompteur, tout en gagnant en étendue, qu'autant qu'il résultera de l'association de tout le corps d'état, de la mutualité établie entre tous les producteurs, qu'il cessera d'être une faveur et deviendra un droit, étant distribué par un établissement appartenant également à tous.

« Nous disons, en second lieu, que le crédit doit être dispensé par les *spécialités* : il n'y a en effet que ce moyen de rendre le crédit personnel possible, de le voir partagé en raison de la moralité, de l'intelligence, et non-seulement en raison de la fortune précédemment acquise. Supposons qu'un jeune homme intelligent débute dans la librairie (pour rester dans une industrie que nous connaissons) et que ses ressources soient épuisées par la publication d'un ouvrage bien conçu, bien étudié; le banquier qui sait que cet éditeur n'est pas riche, qui ne peut savoir ce que vaut sa publication, l'abandonne, et la ruine suit bientôt. Si au contraire il était jugé par des libraires, ceux-ci qui, comme confrères, ont pu apprécier depuis longtemps son honnêteté, qui par leur spécialité peuvent apprécier la valeur de l'opération qui cause sa gêne momentanée, seront certains, en l'aidant à la terminer, de ne faire qu'une opération très-sûre. N'est-ce pas là la constitution du crédit en raison de la moralité et de l'intelligence, et non-seulement de la fortune acquise? n'est-ce pas là de l'égalité et de la fraternité pratiques bien entendues.

« Mais ce n'est pas seulement à ce point de vue si important que la distribution du crédit par les spécialités est chose désirable, c'est surtout en ce qu'elles seules peuvent lui donner tout le développement souhaitable sans tomber dans l'exagération, sans causer de destructions de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

valeurs par les doubles emplois, par la concurrence exagérée, les opérations mal conçues.

« Les spécialités ne jugeant pas seulement la solvabilité de la personne au moment de la demande du crédit, mais nécessairement aussi par leur expérience de chaque jour, les entreprises auxquelles elle se livre, leur assistance est en raison de la bonne conception des opérations. S'ils en voient commencer de folles, comme ils savent que la ruine s'ensuivra, bien que l'entrepreneur qui les commence soit riche, ils ménagent leurs secours; leur peu d'empressement est un utile avertissement dont on peut profiter et le désastre sera d'autant moins grand, qu'un faux calcul n'aura pas été secondé par les ressources du crédit. De même les spécialités jugeront sévèrement ces luttes acharnées qui se présentent quelquefois, lorsqu'il s'agit avant tout de détruire des valeurs dans les mains d'un concurrent, et seront sobres de crédit vis-à-vis de maisons qui ne créent de valeurs qu'en annulant des valeurs créées équivalentes, et par suite ne fournissent à la société aucun résultat avantageux.

« L'objection faite à une pareille création sera sûrement qu'on trouvera trop grand le pouvoir accordé à notre espèce de syndicat d'admettre ou de refuser des opérations. Mais nous ferons remarquer que dans ce système la liberté de chacun est complétement ménagée, le refus n'est pas une interdiction de faire une opération, ce ne peut être le droit de délégués, seulement le refus de fournir les avantages qu'offre l'institution en vue d'une certaine opération, est l'expression de l'avis du syndicat qu'il juge cette opération désastreuse. Chacun d'ailleurs ne contribue à la mutualité qu'en acceptant d'avance les chances de ce jugement; mais surtout, répétons-le, chacun conserve sa liberté entière, absolue.

« C'est sous ce rapport qu'il existe une différence capitale entre les institutions du genre de celle dont nous parlons ici, qui doivent porter le cachet de la nouvelle société industrielle, et les corporations, les maîtrises, l'organisation industrielle, en un mot, de l'ancienne société que la révolution de 1789 a si justement renversée. Celles-ci confisquaient la liberté; dans toutes les institutions nouvelles, au contraire, la liberté doit être pleinement respectée. C'est là la première épreuve qu'elles doivent supporter pour pouvoir être considérées comme possibles. Ainsi, dans le système que nous avons tenté d'esquisser, chacun reste parfaitement libre de faire ce qui lui plaît, d'entreprendre ce qu'il juge convenable; mais il ne peut réclamer l'assistance de la mutualité fondée par tout le corps d'état, pour certaines entreprises jugées nuisibles, désastreuses pour tous. N'est-ce pas là de l'association bien entendue, qui aide pour faire le bien, s'abstient pour laisser faire ce qui paraît le mal, en respectant la liberté? Ce n'est la limitation de la concurrence que par les conseils d'une expérience qu'on est libre de récuser. »

L'étude du crédit nous conduit incidemment aux principes de l'organisation commerciale, et nous indique comment dans sa distribution peut se trouver le pouvoir régulateur qui l'empêche de venir s'absorber dans l'un des extrêmes entre lesquels elle oscille, la concurrence ou le monopole exagérés.

Le grand vice de la concurrence, son abus, est dans la destruction de valeurs, qui résulte de ce qu'elle dégénère quelquefois en hostilité, d'émulation qui devrait toujours être son caractère; aussi lui a-t-on souvent reproché d'être une cause de fraude, le vendeur ne pouvant souvent avoir recours qu'à la supercherie pour lutter avec un voisin de mauvaise foi; d'engendrer quelquefois le découragement, la misère des producteurs qui ne peuvent se constituer aucune position favorable, aucun monopole.

Si ces inconvénients étaient le résultat nécessaire de la liberté des transactions qui s'exprime par le mot de concurrence, nous ne pensons pas qu'on dût pour cela y renoncer, car alors il faudrait bien la remplacer par quelque chose d'opposé, et l'opposé de la liberté c'est l'autorité; c'est-à-dire que partout le fonctionnaire viendrait remplacer le commerçant, système qui aboutit forcément au communisme lorsque chacun n'a plus qu'à remplir la tâche qui lui est assignée, système trop manifestement absurde pour que nous pensions devoir nous y arrêter un. seul instant.

Le seul problème que l'on doive se poser est celui-ci : Comment diminuer et faire disparaître, s'il est possible, les inconvénients qui peuvent paraître dans la pratique de la liberté du travail et de la liberté des transactions; liberté qu'on ne peut songer à sacrifier sans tourner le dos à la civilisation et au progrès.

C'est à ce point de vue que nous attirons l'attention sur les syndicats dont nous venons de parler, qui pourraient avoir une action utile sur les mœurs et n'accorderaient le secours d'un crédit facile qu'aux entreprises conçues dans un but de création de richesses et non de destruction.

2° *Unions de crédit.*

Nous avons vu que l'escompte était par dessus tout une assurance de payement, et avons expliqué toute l'importance du développement de l'assurance par mutualité. Les comptoirs d'escompte fondés sur ces idées constituent peut-être la seule création utile de la révolution de 1848. Mais les comptoirs, devenus la propriété d'actionnaires auxquels les administrateurs doivent chercher à assurer de gros bénéfices, sont arrivés bientôt à ressembler beaucoup aux maisons de banque ordinaires. D'un autre côté la Banque de France

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne pouvant, d'après ses statuts, escompter du papier à deux signatures, et ne le voulant même pas à cause du nombre énorme de signatures diverses qui lui seraient offertes et rendraient le travail d'appréciation presque impossible, l'heureux effet des comptoirs fondés sur la mutualité pourrait être obtenu sans capital, ou avec un capital minime. Ce serait sous la forme d'une union de crédit, d'une institution de crédit mutuel, que les commerçants pourraient le plus facilement profiter du bon marché de l'escompte de la Banque de France, tout en donnant toute sécurité à celle-ci.

Que cent négociants connus se réunissent, constituent un conseil d'administration qui limite le crédit de chacun d'eux; que les valeurs composant le portefeuille de chacun d'eux soient, jusqu'à cette limite, escomptées par la banque à l'aide d'une troisième signature représentant la garantie par la mutualité, tous servant de caution à chacun, et aussitôt, sans capital, le but proposé sera atteint.

Inutile d'entrer ici dans le détail d'une organisation semblable; mais nous sommes convaincus qu'avec l'adhésion de la banque de l'État pour assurer le crédit d'une telle association, on trouverait dans de semblables combinaisons, le moyen d'allier l'énergie de la circulation des capitaux, que la liberté des banques assure à l'Amérique, avec la constance de la valeur du papier-monnaie et la puissance comme instrument de gouvernement et de centralisation de la Banque de France telle qu'elle existe aujourd'hui. Une création de cette nature a pleinement réussi en Belgique.

Peut-être pourrait-on aller plus loin en fait d'institutions de crédit, et se demander si le crédit personnel, celui qui est accordé à l'individu en raison de sa capacité et de sa moralité surtout, ne pourrait être la base presque exclusive d'une institution de crédit. Certes, si une institution ayant de raisonnables chances de succès était créée pour aider la distribution de ce crédit, qui, à cause de son caractère tout personnel, tout de confiance, appartient essentiellement aux relations amicales, nous croyons que des encouragements lui seraient dus, car elle serait cause du succès d'une foule de capacités dont les débuts surtout sont difficiles. Les banques de crédit et d'avances qui réussissent aujourd'hui en Allemagne, constituent un exemple à imiter de fondations de ce genre au profit des moins avancés dans la carrière. C'est le crédit dû à la moralité du travailleur, qui vient assurer son succès au moyen d'associations qui ne peuvent réussir qu'avec beaucoup de persévérance. Ce ne sont pas les organisations, ce sont les mœurs, les progrès de la moralité qui font naître ce genre de crédit, commun dans la pratique des banques d'Écosse. Les associations de consommation, la création d'établissements dont les ouvriers s'obligent à devenir les consommateurs, est un mode ingénieux de commencement de création de capital qui ne peut réussir que pour de grandes agglomérations d'ouvriers.

3° *Crédit sur nantissement.*

Le crédit sur dépôt de marchandises est l'extension du crédit sur les affaires conclues, aux marchandises fabriquées mais non vendues. Nous ne traiterons pas séparément du crédit foncier, qui est absolument de même ordre, car ce n'est que par habitude que nous considérons les immeubles comme une propriété d'un ordre spécial. Le problème est, au reste, le même que pour les marchandises, à savoir : représenter les créances hypothécaires par des obligations d'une transmission facile, grâce à l'intervention d'une compagnie assez riche pour les assurer contre toute dépréciation. C'est par la mutualité des propriétaires que ce problème a été heureusement résolu en Allemagne.

L'organisation du crédit sur nantissement de marchandises est un problème que l'Angleterre a parfaitement résolu par les *warrants* ou récépissés de dépôt délivrés aux importateurs par les directeurs des docks. Ces warrants, transmissibles par endossement, représentent la marchandise même, la mobilisent, et celle-ci est remise au porteur du titre qui la réclame. Le banquier peut donc facilement faire des avances sur une valeur qui vaut une consignation parfaitement certaine de la marchandise, et le commerçant peut ainsi se livrer à de vastes entreprises avec un capital limité. Cette institution est donc vraiment précieuse, et l'on doit savoir bon gré à M. Garnier-Pagès de l'avoir introduite en France en autorisant le comptoir d'escompte à compter comme une signature le récépissé de la douane, des magasins publics; c'était donner à celui-ci la majeure partie des qualités du warrant anglais.

Ce n'est pas seulement pour les matières premières importées par le commerce extérieur qu'une semblable institution est précieuse, mais encore pour toutes celles qui servent de base à des fabrications considérables. Ainsi à Lyon, où un établissement municipal fort important qui a pour objet le conditionnement des soies sur des bases fixes a puissamment aidé à lui conserver la supériorité du marché, il serait très-utile de créer quelque chose d'analogue. Le bon marché et la régularité du prix de la matière première sont les bases évidentes de la prospérité d'une industrie telle que l'industrie lyonnaise, et il importerait de lui assurer ces avantages en présence des efforts de rivaux entreprenants. Or qu'ont fait ceux-ci? Des monts-de-piété pour les soies, c'est-à-dire ce que nous voudrions. La municipalité ne pourrait-elle, par exemple, à l'aide d'un emprunt, créer un entrepôt des soies, et, à un taux d'intérêt peu élevé, faire aux déposants l'avance des trois quarts de la valeur? Les capitaux engagés dans le commerce de soies brutes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

devenant ainsi en grande partie disponibles, agiraient avec plus de facilité pour assurer à Lyon un marché qui ne pourrait plus lui échapper.

C'est l'idée qu'on a réalisée à l'aide des sous-comptoirs du Comptoir national d'escompte, d'abord, puis du Comptoir du commerce et de l'industrie, et qui, appliquée à des industries fournissant des matières premières propres à des fabrications, la papeterie, les métaux, etc., a donné d'excellents résultats, moins assurés quand ils s'appliquent à des objets de consommation, tels que livres, étoffes, etc., dont le prix est extrêmement variable, ou au moins qui exigerait l'intervention du syndicat de chaque profession pour fonctionner avec quelque sécurité, et fournir des ressources infiniment précieuses, surtout dans les temps de crise.

Nous terminerons ce qui a rapport à cette série d'idées, en faisant remarquer qu'il ne faudrait pas que les warrants devinssent un moyen de faire l'accaparement sur une très-vaste échelle, en permettant de différer la vente de la denrée à l'aide des ressources qu'ils fournissent, et forcer ainsi le consommateur à en donner un prix trop élevé.

Le remède consisterait à arrêter la marche de l'entrepôt, les avances, ou à rendre les récépissés les plus anciens exigibles aussitôt que le cours de la marchandise dépasserait un prix peu différent d'un prix moyen et fixé d'avance.

4° *Des sociétés par actions et à responsabilité limitée.*

Le partage de la propriété industrielle s'obtient par deux moyens : 1° la multiplication des établissements industriels; 2° la division de la propriété d'établissements qui représentent des capitaux considérables à l'aide de titres nominatifs ou au porteur.

Sans entrer ici dans l'analyse et les formes de sociétés par actions que reconnaît le Code (société en commandite, société anonyme, compagnies limitées), qui sont connues de tous, des droits et des obligations des associés, questions qui sont surtout du domaine de la jurisprudence commerciale, nous dirons seulement que ce moyen de division de la propriété industrielle s'applique naturellement aux fabrications qui doivent avoir nécessairement lieu sur une grande échelle, aux exploitations essentiellement unitaires, et qu'en France la division des héritages contraint nécessairement les propriétaires, successivement plus nombreux, des grands établissements à adopter cette forme de société. Il est bien remarquable que tandis qu'en Angleterre les entreprises par actions deviennent fréquemment des propriétés individuelles, on voit journellement, en France, des pères de famille aliéner, au profit de ces sociétés, des industries patrimoniales. Ce mouvement rétrograde est, dit M. Le Play, une des conséquences les plus directes de notre loi de succession. L'expérience apprend que nos entreprises industrielles ne résistent point au delà de deux générations aux partages qui suivent la mort des chefs de maison; un homme prévoyant ne peut donc assurer la perpétuité de son œuvre qu'en la cédant à des actionnaires.

La pleine liberté d'association est, sans contredit, un des plus puissants moyens de progrès de l'industrie, un des plus souhaitables pour notre pays; la moindre entrave vient accroître singulièrement la difficulté d'atteindre au succès.

La division de la propriété industrielle en actions est dans l'application souvent funeste aux actionnaires, par deux motifs : l'exagération des apports du fondateur, la difficulté de négociation de titres peu connus, qui ne donnent lieu qu'à un petit nombre de transactions.

Le premier inconvénient n'a guère de remède que dans une certaine sévérité de mœurs commerciales, ne faisant accepter que les titres d'une société fondée sur des bases étudiées par des hommes honorables et spéciaux qui s'y intéressent, cautionnée en quelque sorte par eux. Nous ne voulons pas ici nous attacher spécialement à cette question; nous allons voir, en traitant la seconde, que nous avons surtout en vue, que le système que nous proposons aiderait à porter remède au premier inconvénient que nous avons signalé.

C'est énoncer une chose évidente, même pour quelqu'un qui n'a aucune pratique commerciale, que parler de la difficulté de réalisation d'une part d'intérêt dans une société au capital de 3 ou 400,000 fr., qui a pour objet l'exploitation d'une fabrique dont le rayon d'affaires est très-limité; et dont le capital divisé en un petit nombre d'actions donne lieu à des transactions trop rares pour pouvoir être côtées à la Bourse. Quels acquéreurs peut trouver l'actionnaire qui est contraint à réaliser? Évidemment seulement des personnes connaissant l'affaire, c'est-à-dire quelques actionnaires ou le gérant. Obligé de solliciter un ou deux acquéreurs possibles, il n'obtient de conclure son marché qu'à l'aide de sacrifices considérables; le prix est en raison de son besoin d'argent bien plus qu'en raison de la valeur de l'affaire. La demande n'existant pour ainsi dire pas, l'offre entraîne la baisse et la dépréciation.

Il y a à ceci un inconvénient plus grave encore que la perte injuste que supportent certaines personnes; il y a, au point de vue économique, éloignement des capitaux de l'industrie, pénurie du travail productif, langueur du crédit industriel.

Ce crédit, pour la fourniture des moyens de production, pour la commandite du travail, forme sous laquelle nous avons vu qu'il n'existait rien en France, exige comme quand il s'agit du ca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pital qui répond aux transactions, que les titres qui le représentent soient d'une facile circulation. Nous n'avons pas besoin d'insister sur ce point. Sans facile transmission, sans cours réel, sans ventes et achats journaliers, un titre peut bien dormir dans un portefeuille; mais ce n'est plus de l'argent, une valeur qui sera recherchée pour une baisse de quelques francs. Elle ne fournira pas un placement pour les excédants annuels de capitaux; le crédit par commandite sera languissant.

La facile circulation des titres ne saurait avoir lieu que par une substitution de titres, par une opération financière que nous allons tenter de faire comprendre.

Elle consisterait à fonder une puissante société, à un capital considérable, divisé en un grand nombre d'actions, qui, par conséquent, donnerait lieu à des transactions journalières. Le capital de cette société serait employé à acheter des actions des diverses sociétés existantes, au prix le plus bas qui serait offert par les détenteurs.

Si l'on admet le fait incontestable que nous avons énoncé plus haut, que la négociation des actions des sociétés industrielles, à petit capital, est très-difficile, on devra en conclure que de semblables acquisitions se feront à des conditions avantageuses. Si l'on remarque, de plus, que de semblables achats ne se rapporteront qu'à des sociétés anciennes, fondées depuis plusieurs années, et par suite dont les titres sont estimés non en raison de bénéfices aléatoires, mais de ceux distribués depuis plusieurs années, on en conclura que des mécomptes seront peu à craindre.

Que cette opération puisse être avantageuse pour les fondateurs, si le nombre des sociétés par actions en prospérité est suffisamment grand, nous en sommes convaincu, mais au point de vue auquel nous nous plaçons, ce qui nous frappe le plus, c'est son résultat pour l'extension du crédit industriel. De semblables sociétés convertiront une part importante, 50, 100 millions peut-être de titres non négociables, ayant cependant une valeur réelle, en titres ayant un cours, cotés d'une manière avantageuse en raison de cette facile négociation. Bientôt, sans aucun doute, de nouveaux capitaux prendraient une route qu'ils ne connaissent pas, viendraient commanditer l'industrie, pousser à la multiplication, au perfectionnement des instruments de production.

Le patronage d'une semblable société, déclarant qu'elle acquerra, par la suite, des actions d'une société nouvelle que l'on doit fonder, permettrait d'exiger l'honnêteté des apports dont nous avons parlé; mais toutefois, comme nous l'avons dit, ce sont les mœurs qui forment le frein le plus énergique pour réprimer l'ardeur des charlatans.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

5° *Caisses d'épargne.*

Les caisses d'épargne sont trop connues pour qu'il soit utile d'insister sur leur extrême utilité, pour chercher à prouver qu'en facilitant l'accumulation des premières épargnes, elles constituent une des plus belles institutions des temps modernes, et qu'on ne saurait avoir assez de reconnaissance pour les citoyens éminents qui ont consacré leurs soins à leur fondation et à leur propagation.

Il est inutile de faire l'éloge de l'économie. « Le monde, disait Cobden aux ouvriers de Huddersfield, a toujours été partagé en deux classes : ceux qui épargnent, et ceux qui dépensent; les économes, et les prodigues. La construction de toutes les maisons, de toutes les usines, de tous les ponts, de tous les navires, aussi bien que l'achèvement de tous les grands ouvrages qui ont contribué au bien-être et à la civilisation, est l'œuvre de ceux qui savent économiser et qui ont toujours eu pour esclaves ceux qui ne savent que dissiper inutilement leurs ressources. Les lois de la nature et de la Providence veulent qu'il en soit ainsi, et je serais un imposteur si je faisais espérer aux membres d'une classe quelconque qu'ils pourront améliorer leur sort tout en restant imprévoyants, insouciants et parésseux. »

Faire jouir les économies, les premières épargnes de l'ouvrier, de tous les avantages que peuvent rencontrer les gros capitaux, les faire fructifier et grossir par l'intérêt composé, c'est là une heureuse et patriotique idée. Ce sont ces petits capitaux qui forment l'embryon de bien des petites fortunes, le point de départ de bien des petits établissements.

Multiplier ces admirables établissements, les entourer de toutes les garanties, faire, s'il le faut, quelques sacrifices pour que les capitaux y aient des bénéfices un peu trop grands, c'est la meilleure spéculation que puisse faire la société; elle retrouvera par l'esprit d'ordre et d'économie, par l'élévation d'une partie de ses membres, bien mieux que des compensations aux sacrifices momentanés qu'elle se sera imposés.

6° *Caisses de retraites, de secours mutuels.*

Nous pensons, comme Franklin, que *le meilleur moyen de faire du bien aux pauvres n'est pas de les mettre à l'aise dans leur pauvreté, mais de les en tirer.* Cependant nous croyons que des encouragements de l'État ont été bien employés (en gênant trop la liberté des associés, toutefois) en allant trouver les associations mutuelles que créent des ouvriers laborieux en cas de maladie et de vieillesse. Leur rendre possible la distribution de petites pensions aux vieillards (ce qu'elles ne peuvent réaliser généralement dans la pratique, par leurs seuls efforts) est une œuvre excellente, et personne ne se plaindra de la part de sacrifice qui lui sera imposé pour atteindre ce résultat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

2. — DIVISION DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.

Le caractère le plus saillant du développement tout moderne de la richesse manufacturière sous forme de grandes manufactures est qu'il devient fort difficile à l'individu isolé de réussir dans la lutte qu'il voudrait engager contre de puissants établissements, dont le nombre est nécessairement fort limité, d'ailleurs, en raison des débouchés et de la rapidité de production.

En compensation, il est juste d'ajouter que les nombreux contre-maîtres, chargés de diriger le personnel, y sont souvent rétribués de manière à rendre jaloux les petits entrepreneurs. C'était sur des répartitions annuelles aux contre-maîtres qui l'avaient secondé, que M. Paturle, le riche fabricant de mérinos du Cateau, faisait reposer l'organisation du travail de son usine, et ce système, où la capacité était surtout largement rémunérée, valait celui de bien des utopistes, comme l'a prouvé le développement de la plus importante usine du monde pour ce genre de fabrication. Dans les ateliers de mécaniciens les plus prospères, outre les marchandages individuels les travaux plus importants, comme le montage d'une locomotive, sont marchandés par des équipes, dirigées par une capacité hors ligne et ayant une part bien plus forte que les autres. Ces petites entreprises procurent d'importants bénéfices à des travailleurs courageux et intelligents.

On voit qu'il y a bien à rabattre de toutes les clameurs contre les grandes manufactures, sur l'infériorité de l'individu isolé, thème qui a fourni, grâce à l'envie et à l'ignorance, un prétexte, un point de départ pour bien des déclamations insensées; toutefois il y a lieu de chercher, par tous les moyens possibles, à éviter, pour notre pays, la difficulté d'exister pour toutes les petites entreprises, qui peuvent se multiplier à l'infini, car elles intéressent l'existence, la prospérité de la majeure partie des travailleurs.

Pour reconnaître d'une manière générale la véritable voie, cherchons un modèle en Amérique, où la demande de travail et d'intelligence est perpétuelle, non-seulement pour l'agriculture, pour défricher un vaste continent, mais encore pour les manufactures et le commerce, pour multiplier les établissements industriels. Sans aucun doute, il y existe un débouché intérieur sans cesse croissant; mais c'est surtout un ardent esprit d'entreprise qui entraîne tous les capitaux antérieurement accumulés à commanditer, avec une énergie décuplée par le crédit, de nouvelles fondations; le grand levier qui imprime le mouvement, c'est l'audace de gens entreprenants et hardis. Nous ne nierons pas qu'il ne puisse résulter des inconvénients de l'excitation que produit, dans le système américain, la grande facilité du crédit, une ardeur de spéculation quelquefois exagérée; mais les inconvénients de trop de créations, entraînant parfois des destructions de valeurs, sont précisément d'une nature tout opposée à ceux qui résultent de l'extension de puissants monopoles, qui tendent à s'établir dans les pays où le crédit s'offre seulement aux grandes Compagnies, aux positions fortement assises. Ce qui montre la vérité de ce que nous avançons c'est qu'en Amérique l'argent est cher, c'est-à-dire que la prime d'assurance est considérable; aussi le crédit descend-il très-bas, parce que les gros bénéfices y sont fréquents.

C'est en réalité ce qui existe, moins énergiquement il est vrai, et ce que nous désirons voir grandir de plus en plus en France; avec les connaissances et la moralité, c'est la route qui conduit à la diffusion du bien-être et de la richesse. Les personnes étrangères à l'industrie ne se doutent pas de la confiance dans le succès qui anime, à juste titre, les ouvriers de nos ateliers qui sentent leur supériorité. Quiconque les a pratiqués a connu de jeunes ouvriers annonçant qu'ils seraient chefs à leur tour et sauraient réussir; ils ont vu leur succès arriver comme ils l'avaient prédit, grâce à une énergie, une capacité hors ligne, bientôt universellement reconnue. Les personnes étrangères à l'industrie ne nous croiront peut-être pas, et pourtant c'est ce qui se voit souvent; nous pourrions citer de nombreux exemples dans les industries qui nous sont familières.

Nous n'avons rien à ajouter aux moyens que nous avons indiqués de développer le crédit; mais nous ne saurions trop répéter que c'est sur la moralité générale qu'est basée l'extension pratique du crédit, qu'on peut faire reposer la prospérité durable d'un pays, une prospérité qui se fasse sentir dans toutes les classes de la société.

Un point sur lequel j'attirerai l'attention des personnes bien intentionnées, capables de consacrer leurs efforts à une question capitale pour la société moderne, c'est celle de l'utilité d'organiser des ateliers, des centres d'industrie qui rappellent l'admirable création de Lowell aux États-Unis. Dans les filatures de cette ville, 30,000 ouvrières, des filles des planteurs de l'Ouest le plus souvent, qui viennent gagner leur dot avant de se marier, travaillent courageusement et joyeusement, grâce à l'intelligence de la race, à leur organisation en familles, sous la direction de femmes plus âgées d'une moralité reconnue, à la fermeté d'une administration communale qui ne laisse installer rien qui puisse devenir une source de désordres; aussi le travail à Lowell est-il une présomption d'honneur. Organiser le travail des femmes, si souvent peu profitable, surtout pendant quelques années de jeunesse, pour qu'elles en soient affranchies lorsque le fardeau du ménage et de l'éducation des enfants pèsera sur elles, est une des plus belles œuvres qu'on puisse réaliser.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Division des monopoles naturels. — Travaux publics.

On suppose, en général, quand on cherche à fixer les avantages que procure le crédit, que les instruments de production, possédés par quelques personnes, sont toujours faciles à acquérir avec de l'argent, de telle sorte que l'extension du crédit suffit pour les mettre à la disposition de tous ceux qui en ont besoin. Il faut, pour que cela soit vrai, que leur quantité en soit presque indéfinie, comme la terre en Amérique par exemple, ou que leur production soit toujours facile à prix d'argent, ce qui est le cas général des outils et machines qui constituent les manufactures, que les mécaniciens constructeurs sont toujours prêts à créer.

Il n'en est pas de même de certaines propriétés naturelles qui ne se rencontrent dans une contrée qu'en petit nombre; nous prendrons pour exemple le cas le plus important et le mieux caractérisé, celui des mines. On ne peut espérer, en thèse générale, que ni l'ingénieur, ni le contre-maître, ni l'ouvrier employé dans une mine puisse atteindre une position, espérer avoir une existence semblable à celle qui, dans le cas ordinaire, est le but naturel des efforts de l'homme doué d'une grande capacité, à savoir se trouver un jour possesseur d'un établissement de la nature de celui où il travaille, pour l'exploitation duquel il a acquis des connaissances spéciales.

La législation ne doit pas agir pour augmenter encore la rareté qui est dans la nature, mais au contraire tendre à la multiplication, à la division de la propriété minière, autant que cela est possible pour chaque nature d'exploitation, ou tout au moins ne jamais comprendre de mesures qui contraignent à une concentration qui n'est pas absolument nécessaire, comme sont, malheureusement dans certains cas, celles qui inspirent la législation des mines en France. Nous avons indiqué avec quels avantages, pour les mines en filons au moins, l'Allemagne arrivait à une exploitation plus divisée. Il est curieux d'observer que les mines de houille de l'Angleterre occupent des étendues bien moindres que les concessions de nos houillères françaises.

La valeur de l'organisation allemande avait été sentie par les rédacteurs de la loi française sur les mines de 1810. Toutes les mines avaient à payer une redevance (de 5 à 10 pour 100), qui devait être employée à payer les frais de l'administration des mines, à faire des recherches relativement aux mines anciennes ou à en mettre en exploitation de nouvelles. C'était revenir aux sages intentions de Henri IV, qui voulait que le droit régalien fût employé au profit des mines elles-mêmes ; c'était imiter le système de l'Allemagne, sans lequel les mines de cette contrée ne seraient jamais parvenues à l'état de prospérité où elles sont arrivées aujourd'hui.

Mais dès 1814, avec la nouvelle loi des finances, l'article 39 de la loi de 1810 est devenu lettre morte. Le compte de redevances cessant d'être un compte spécial affecté au développement des mines, est entré dans les comptes généraux du trésor : aussi depuis soixante ans n'a-t-il été rien fait pour les mines métalliques, et il a fallu acheter 100 millions par an, à l'étranger, de métaux dont nous avons de nombreuses mines en France.

Cette centralisation exagérée, ayant pour but de soutenir le cours de la rente, de favoriser la spéculation à la hausse des fonds publics, a fait là le même mal que dans bien d'autres directions, comme on l'a vu pour les brevets d'invention, comme pour les facultés, colléges, écoles notamment, dont les économies toujours dévorées par le Trésor, n'ont jamais pu servir à les agrandir, à les amener à l'état où le système contraire a amené les universités d'Allemagne et d'Angleterre.

Des travaux publics. — C'est surtout sous la forme de développement incessant des travaux publics que les ressources de la société sont appliquées, au profit de tous également, pour faciliter tout genre de travail, contribuer à la prospérité universelle. Les routes, les ponts, les canaux de navigation et d'irrigation, les chemins de fer, etc., sont exécutés en France complétement ou partiellement au moins aux frais de l'État, par des combinaisons où la part est faite à l'intérêt privé et à l'intérêt général, que nous étudions plus loin. Tout ce que nous voulons dire ici, c'est que, grâce aux ressources de la société tout entière, les résultats de dépenses très-considérables sont mis à la disposition de tous les citoyens, contribuent aux succès de tous. C'est là le cachet propre d'une société avancée, qui ne se contente pas de son territoire tel que la nature l'a fait, qui ne néglige aucune des richesses qu'il peut produire, et quand il faut pour ce faire des ressources qui dépassent les forces individuelles, arrive par l'association, par le concours de la société tout entière, aux plus grandes et aux plus utiles créations, et cela, répétons-le, au profit commun de tous les membres de la société, sans exception.

Le capital ainsi dépensé pour améliorer le sol qui constitue toujours la majeure partie du capital d'une nation, constitue le plus véritable, le plus certain enrichissement d'un pays, le plus durable.

Des encouragements aux petites fabrications.

Y a-t-il quelque chose à faire pour les fabrications ordinaires dans une autre voie que celle de l'extension et du développement du crédit? Ne pourrait-on pas, par exemple, destiner quelques encouragements à faire prospérer les industries qui s'exercent en famille, c'est-à-dire dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

des conditions excellentes au point de vue de la moralité, alternent souvent avec les travaux de l'agriculture: comme, par exemple, dans le Jura, l'industrie de l'horlogerie, qui fait la fortune de plusieurs cantons suisses de l'autre côté de la frontière? Nous croyons qu'on doit répondre affirmativement, surtout pour un mode d'encouragement applicable dans nombre de cas et que nous prendrons pour exemple d'application possible de nos idées. Nous voulons parler de mesures propres à amener les petites manufactures à des conditions d'égalité avec les grandes, qui se procurent à bon marché les forces motrices, aussitôt qu'on peut employer la machine à vapeur. L'influence de cette admirable machine, qui a constitué un privilége notable au profit des établissements importants qui ont pu l'utiliser, a été fâcheuse pour l'industrie française qu'elle a poussée dans un système de concentration éloigné de sa voie naturelle.

Sans doute l'abaissement du prix de construction a rendu cette machine abordable pour des ateliers de médiocre importance, et mieux encore, dans les faubourgs de Paris notamment, des systèmes de location de forces motrices minimes, prélevées sur une puissante machine à vapeur, ont commencé à se faire jour. C'est là ce qu'il importe de généraliser et de développer. Nous serions heureux que des travaux d'un autre ordre que celui-ci, que nous avons indiqué à l'article DYNAMOMÈTRE, en permettant de réaliser un compteur pour la force motrice, fonctionnant comme un compteur à gaz, pussent fournir dans la pratique des facilités au développement de ce système.

C'est surtout de l'intervention des municipalités, des conseils généraux jouissant d'une grande liberté, que nous attendons le progrès dont nous voulons parler, qui aurait pour but de diviser le plus possible la partie de la fabrication qui correspond au travail personnel, de laisser au petit entrepreneur l'indépendance, l'activité, le respect personnel que perd facilement l'ouvrier qui devient un rouage infime d'une grande manufacture; ce serait faire pour l'industrie quelque chose d'analogue à ce que les municipalités font par les marchés publics, au profit des petits marchands de denrées alimentaires dont elles multiplient singulièrement le nombre, en leur permettant de réussir avec un petit capital. A cet effet il faudrait rendre commune, en quelque sorte, l'action des forces naturelles, rendre facilement abordables les genres de fabrications pour lesquelles celles-ci jouent un grand rôle.

Aider l'industrie de la localité, fournir par le barrage d'un cours d'eau, la construction d'aqueducs élevés, d'abondantes distributions d'eau à une haute pression, le moyen à bien des petits producteurs de travailler dans des conditions de succès, c'est aider le succès de la démocratie laborieuse. Puisque le travailleur de la ville paye sa part des charges et impôts, serait-il extraordinaire que l'association que la municipalité représente combinât les moyens de lui être utile, lorsque la prospérité de la ville tient au progrès d'une industrie qui s'exerce par presque tous les habitants? Le prix de la force motrice pesant tout aussi bien que celui des transports sur le prix des objets fabriqués, pourquoi le gouvernement, les municipalités bornent-ils leur action à améliorer les voies de transport? Celles-ci seraient fort bien construites par l'industrie privée, comme en Angleterre, si on voulait lui concéder des droits de barrière. De même que, dans ce cas, l'intérêt général a primé l'intérêt privé, il peut en être de même dans nombre de villes pour la création et la distribution à domicile de la force motrice, en vue du plus grand intérêt des administrés.

S'il nous fallait indiquer des villes pour lesquelles de semblables créations seraient d'une grande utilité, rien ne serait plus facile. Paris, par exemple, grande ville manufacturière, où le combustible n'arrive qu'à un prix élevé, retirerait les plus grands avantages d'une création semblable. Nous avons indiqué, à l'article COURS D'EAU de cet ouvrage, comment il était possible, facile même, d'utiliser la Seine (ce qui a été fait imparfaitement à Asnières, depuis l'époque où l'article dont nous parlons a été écrit), à la suite de cette longue ligne de quais qui permet de relever par un barrage le niveau des eaux dans toute la longueur de la ville, et de créer ainsi une chute d'eau dont la puissance motrice serait extrêmement considérable. N'est-ce pas au conseil municipal de la capitale qu'il appartiendrait de réaliser une semblable entreprise, qui doit compenser l'une des causes d'infériorité de Paris comme ville manufacturière, la cherté de la force motrice?

Déjà la construction du canal Saint-Maur, ayant atteint un but analogue à celui dont nous parlons ici, a été fort utile, et les forces motrices qu'il permet d'utiliser, peu appréciées à l'époque où les ponts et chaussées exécutèrent ce beau travail, quand l'industrie était moins avancée, ont été louées à un prix élevé et parfaitement utilisées avec grand profit.

Comme exemple d'une application de ce genre, nous citerons la ville de Neufchâtel, en Suisse, et, sur une petite échelle, bien des villages situés dans les pays de montagnes, qui recueillent les eaux d'assez loin, par des travaux faits en commun par les habitants du village.

Nous n'en dirons pas davantage au sujet de ce mode d'action des municipalités; nous croyons que c'est celui qui doit se rencontrer le plus souvent; mais ce n'est pas le seul. Il est nombre de cas où leur intervention dans une opération industrielle, sur laquelle repose toute la production de la localité, peut être chose avantageuse, peut être un véritable bienfait, mais il est impossible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de rien dire de général à cet égard : on ne peut que se décider suivant les cas spéciaux, et surtout en établissant comme principe fondamental de cette intervention, que la municipalité ne doit jamais faire autre chose que seconder l'industrie privée, et non lui faire concurrence; jamais empêcher un citoyen de retirer les fruits de son travail, ne jamais écraser ses efforts individuels par la concurrence de l'association de tous.

Nous ne croyons pas douteux que, dans nombre de cas, on rende l'existence des petits ateliers parfaitement possible, par la jouissance de biens communaux d'un nouveau genre, d'une espèce de mainmorte industrielle mise à la disposition de petits établissements, se groupant pour retrouver, par la juxtaposition, tous les avantages de la fabrication en grand, la division extrême du travail, l'utilisation des déchets, etc., sans perdre les avantages du petit atelier où le fabricant, n'étant que le premier ouvrier, peut appliquer tous ses soins à un détail de fabrication, et par sa surveillance intéressée de chaque instant, tirer excellent parti des éléments dont il dispose.

Ce système tend à faire reposer principalement la supériorité industrielle du pays sur la prospérité de centres industriels comprenant un nombre sans cesse croissant de nouvelles fabriques, commençant sur une échelle modeste, et à créer ainsi une division du travail d'un ordre supérieur. Si l'on doutait de la valeur de ce système, nous répondrions en citant Birmingham, Lyon, Saint-Étienne, Elbeuf, Roubaix, Paris pour l'article de *Paris*, et tant d'autres accumulations si puissantes de fabriques souvent minimes, mais extrêmement multipliées, pour la production d'un même genre d'articles.

Nous allons terminer en cherchant à fixer par un exemple comment, dans un cas assez récent, le pouvoir social eût pu intervenir dans la production, en appliquant ces principes et sans froisser aucun intérêt. Nous voulons parler de la filature du lin.

Chacun sait ce qu'était dans nos campagnes la filature du lin et du chanvre : c'était le labeur du pauvre, l'occupation de la veillée sur presque toute la surface de la France; c'était, malgré la modicité du prix des façons, une production très-considérable, une source de bien-être ou au moins un moyen d'existence pour une grande partie de la classe agricole, qui forme les deux tiers de la population française. La société ne s'est pas inquiétée de voir tout ce travail disparaître, tous ces salaires échapper aux laborieuses ménagères pour servir à payer le travail des machines anglaises, ou au moins n'a su que favoriser par des droits de douane l'importation de ces machines, pour constituer en France des établissements sur une grande échelle, semblables à ceux de l'Angleterre; y voir concentrer par suite une industrie dont les bienfaits étaient répartis sur toute la surface du pays.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

N'y avait-il rien de mieux à faire? On n'oserait le soutenir en présence des résultats que l'on a obtenus.

Rappelons brièvement l'historique de l'invention de la filature du lin à la mécanique.

Napoléon, préoccupé du désir d'opposer à l'industrie anglaise du coton une rivale digne d'elle, proposa un grand prix d'un million pour celui qui parviendrait à filer le lin à des numéros aussi élevés que ceux auxquels on était parvenu pour le coton, prenant ainsi une initiative semblable à celle dont nous voulons charger l'État. Grâce à cet encouragement, la filature mécanique du lin devint l'objet d'une préoccupation générale. M. P. de Girard résolut le problème : les machines employées actuellement sont celles qu'il a inventées, auxquelles on a à peine apporté quelques perfectionnements.

Mais, dit M. Coquelin, auquel nous empruntons la plupart de ces détails, il ne suffisait pas de produire du fil par des machines, il fallait arriver à soutenir la concurrence des fileurs à la main pour que la filature mécanique existât réellement.

En France, dans les provinces les plus riches, le salaire des fileuses ne s'élevait guère à plus de sept ou huit sous par jour, en comptant la journée pleine : ajoutez à cela que la matière première était à leurs pieds et les frais de transport nuls.

Néanmoins après 1815, quelques établissements se formèrent où les machines inventées entrèrent en fonction : la filature mécanique fut constituée.

En 1824, un Anglais, M. Marshall, vint en France visiter nos ateliers, nos établissements, s'appropria d'un seul coup tous les procédés inventés, et alla fonder à Leeds un établissement qui prospéra.

A partir de ce moment l'Angleterre acquit une supériorité marquée; elle marcha de progrès en progrès. Aussi après avoir pourvu à la consommation de la Grande-Bretagne, ses filatures commencèrent en 1830 à répandre leurs produits à l'étranger, et bientôt inondèrent le marché français à des prix qui ne permettaient plus la concurrence du travail à la main.

Quelle était la position de cette industrie en France? « En 1831, la France possédait trente-sept filatures de lin à la mécanique : Lille seule en renfermait douze. Situées au centre de la production de la matière première, ces douze machines à filer donnaient des résultats sinon brillants, du moins assez satisfaisants pour encourager les efforts et les sacrifices qu'exigeait le perfectionnement d'une industrie naissante; mais bientôt cet état prospère fut troublé par l'invasion des produits des filatures anglaises, de telle sorte qu'aujourd'hui quinze ou seize de ces établissements subsistent à peine dans toute la France : il en reste huit à Lille. » (Hautrive de Lille, *Dictionnaire du commerce.*)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Depuis cette époque, on a simplement importé les machines anglaises, copié dans tous ses détails le travail de la factorie anglaise, son emploi des forces motrices, sa production sur une grande échelle, son exploitation par grands capitaux, et de magnifiques usines de ce genre prospèrent aujourd'hui.

Comment est-il croyable cependant que pour une industrie pratiquée de temps immémorial, dont la matière première se rencontre à chaque pas, la France, qui avait su inventer la fabrication mécanique fût incapable de l'exploiter sans imiter les établissements anglais? Cela n'est pas soutenable. Ce n'était ni l'habileté des ouvriers, ni la connaissance des machines qui nous manquait. Sur quoi repose donc le succès de l'Angleterre? Sur le bon marché de puissants moteurs qui remplaçaient les manéges de nos petites fabriques, sur l'économie d'une exploitation sur grande échelle, sur les perfectionnements des machines. N'est-il pas évident que tous ces avantages pouvaient êtres assurés aux petits ateliers par un peu d'aide, de secours qui leur eût permis de naître en assez grand nombre pour former par leur juxtaposition une très-grande exploitation?

Si l'on considère que le peignage se fait encore presque partout à la main, et que dans ce cas la filature du long brin n'exige que trois machines et celle des étoupes deux de plus, nous croyons que l'on eût sauvé cette industrie, qui produisait 300 millions de main-d'œuvre outre 175 millions de travaux agricoles, en évitant la concentration dans de grands ateliers de cette industrie, par des mesures analogues à celles que nous avons indiquées. Elles eussent pu, dans ce cas, se résumer ainsi :

1° Mise au concours d'un système simplifié de machines correspondant au moindre assortiment possible. Encouragement par diminution de prix aux premiers acquéreurs.

2° Force motrice mise par les communes dont la fabrication des toiles formait l'industrie principale, à la disposition des personnes de la localité les plus capables d'obtenir un bon résultat.

Dans ces conditions un pays tel que la Flandre, la Bretagne, eût été bientôt couvert de semblables fabriques, tous les déchets de filature, de tissage, eussent été parfaitement utilisés par suite d'une très-grande division du travail dans chaque localité, et nous sommes persuadés que, loin de disparaître, l'antique industrie de ces contrées eût pris le plus brillant développement.

C. MONOPOLES LÉGAUX.

SERVICES PUBLICS. — VOIES DE COMMUNICATION.

L'intervention de l'État ne peut être déclinée, comme déterminant et limitant les monopoles, dans le cas où ceux-ci sont constitués par l'intervention du pouvoir de l'État, par la délégation de partie du pouvoir social. Ainsi quand pour la construction d'une route, d'un chemin de fer, une compagnie vient solliciter de l'État la faculté d'exproprier les propriétaires qui ne voudraient pas lui livrer passage, le droit de couper les routes, de jeter des ponts sur les fleuves, d'user en un mot du domaine public comme d'une propriété, entraîne naturellement, pour la représentation du pouvoir social, le droit de juger l'entreprise projetée.

Ou le pouvoir social, concentrant dans ses mains l'exercice de ce pouvoir, ne voulant pas le déléguer, exécutera lui-même l'entreprise; mais alors en grandissant évidemment la nation administrative, en tendant à la plus complète centralisation, sans produire l'enrichissement de proche en proche, que ferait naître dans la masse de la nation, le succès de semblables entreprises; ou il se contentera de surveiller la délégation de ses pouvoirs; il favorisera l'esprit d'entreprise, l'initiative des citoyens, en tendant à la décentralisation, mais en courant le danger de voir se constituer des monopoles s'étendant bientôt au delà des limites qu'il aura cru prévoir.

La France avait pris l'initiative du premier système : rappelons la gabelle si décriée, mais qui, comme service public au moyen âge, pour la distribution d'une denrée aussi nécessaire que le sel, était une admirable création avant que l'impôt, confondu avec le prix du service, ne fût devenu excessif. Rappelons encore l'admirable réseau de nos routes royales affranchies de tout péage, et leur grande influence sur la fusion des diverses provinces de France.

Nous prendrons pour exemple d'un monopole exercé par l'État celui des postes, pour montrer combien il peut être d'intérêt public qu'un service semblable, exercé au profit de tous, soit administré par l'État. Nous parlerons ensuite des voies de communication, et surtout des chemins de fer.

MONOPOLE DES POSTES.

La régie des postes, la centralisation du transport des lettres dans les mains de l'État, est fort ancienne en France; jamais on n'a songé à confier à d'autres qu'à des fonctionnaires publics, un service qui entraîne une grande responsabilité.

Sous le rapport de la sécurité pour les objets confiés à la poste, de la régularité dans le service, l'administration française ne laisse rien à désirer. Nous n'avons pas à décrire ici son mode d'organisation, que chacun au reste connaît. Constatons seulement qu'elle s'est laissée singulièrement devancer par l'administration anglaise qui a réalisé un si admirable progrès en adoptant le beau système de E. Rowland-Hill et réduisant à un bon marché excessif le prix du port des lettres (à 0 fr. 10 pour toute l'Angleterre).

Grâce à cet exemple, une expérience qui a permis de constater le triplement du nombre des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

lettres, lorsqu'on réduit le prix du port à n'être plus qu'une dépense minime, on est enfin arrivé à réduire en France le prix du transport des lettres à 20 centimes.

Pour ce faible prix, grâce à l'économie de frais résultant de la centralisation du service, et grâce à l'accroissement des correspondances, une lettre parcourt le territoire entier du pays, un facteur va chercher la personne à laquelle elle est adressée dans quelque village, dans quelque hameau qu'elle vive. Et ce service si rapide, si régulier, si sûr, fait par des agents offrant toutes les garanties, et malgré tout cela fait à si bas prix, rapporte à l'État 25 à 30 millions comme impôt. Certes aucun exemple ne peut mieux démontrer la supériorité de la régie de l'État sur l'exploitation par concurrence, dans ce qui se rapporte à la gestion d'un service d'intérêt général, dont la centralisation évitant les rouages inutiles, les doubles emplois, procure une grande économie en même temps qu'elle assure une exécution parfaite dont jouissent également tous les citoyens, les plus pauvres comme les plus riches.

INDUSTRIE DES TRANSPORTS.

Une grande, une immense industrie, celle des transports de voyageurs et de marchandises, dont les statistiques, lors de la création des chemins de fer, faisaient monter la somme des produits annuels en France à près d'un *milliard*, était et, en partie minime, est encore exploitée par une foule de citoyens. Les uns, propriétaires de messageries, exploitaient les grandes distances de ville à ville, et malgré le monopole qu'avaient su se créer, à l'aide de grands capitaux, deux riches compagnies, leur nombre était très-considérable. Quant au transport des marchandises, outre une très-grande quantité d'entrepreneurs de roulage propriétaires de services dits accélérés, une multitude de charretiers, propriétaires de leur charrette et de leurs chevaux (l'élément démocratique du roulage, dont la concurrence des grandes entreprises n'a jamais pu triompher), faisaient la très-majeure partie des transports de marchandises sur toute la surface de la France.

Si l'on ajoute à ces intérêts ceux des maîtres de poste dont les établissements étaient d'une grande importance, on admettra facilement que la transformation d'une industrie aussi capitale exigeait les plus grandes précautions à tous les points de vue, et notamment à celui de la destruction des moyens d'existence d'une classe nombreuse de citoyens, parvenus à trouver dans leur travail l'aisance et quelquefois la fortune.

Mais par-dessus tout, il faut remarquer que le prix du transport venant s'ajouter au prix de toutes les denrées qui ne se consomment pour ainsi dire jamais sur les lieux de production, les richesses d'un pays s'accroissent avec l'amélioration des moyens de transport, le prix des marchandises baissant par cela même sur les lieux de consommation. Aussi la question des voies de communication a toujours été au premier rang de celles dont une société bien organisée s'est préoccupée. Construction de routes, de canaux, creusement du lit des rivières, amélioration des ports de mer, etc., tous ces travaux sont au premier rang de ceux qui peuvent servir à développer la prospérité d'un pays. Pour en juger, qu'on voie où en sont les pays où les voies de communication sont imparfaites, l'Espagne par exemple.

Le système adopté en France par l'ancienne monarchie est essentiellement gouvernemental, si nous pouvons nous exprimer ainsi, le seul en rapport avec cette fiction du pouvoir d'un roi, d'un chef ayant des droits plus grands que ceux de la société elle-même. L'État, seul constructeur des grandes routes, a débarrassé la circulation de tous les droits de barrière qui la grèvent dans la plupart des pays. Ne se contentant pas, comme dans les contrées où les voies de communication sont la propriété des compagnies, de fournir de bonnes routes, des canaux, aux pays riches déjà par leur industrie, il a cherché à développer toutes les sources de richesses qui pouvaient exister dans les diverses parties du territoire C'est ainsi que le canal du Midi, ce bel ouvrage qui excitait la noble jalousie du grand Vauban, entrepris par Riquet grâce à l'appui de Colbert, et qui ne put se terminer que par l'intervention de ce grand ministre, a été, pour les pays qu'il traverse, une source féconde de richesses et de prospérité, grâce au profond sentiment qu'avait ce grand homme de la justice de l'intervention de l'État dans une affaire d'un intérêt aussi général. On ne saurait donc nier la grandeur de ce système.

Nous avons cherché à établir quelle était la position de l'industrie privée et le rôle de l'État dans la question des transports, au moment de la révolution qu'y devait apporter la construction des chemins de fer sur l'ensemble du territoire. Ce nouveau genre de voies de communication exigeait d'après sa nature même :

1° Des frais de construction extrêmement considérables;

2° L'unité d'exploitation.

C'en était donc fait, par la force des choses, de l'industrie morcelée qui correspondait à de si nombreux intérêts : la construction des chemins de fer rendait sa destruction infaillible. Quant au progrès résultant de la réduction des prix de transport et de la vitesse de parcours qui devaient provenir de la construction des chemins de fer, il fallait l'atteindre soit par la construction par l'État, soit par la concession à des compagnies.

Examinons ces deux systèmes, nous passerons ensuite à celui qui a été adopté.

L'État, construisant et exploitant lui-même les chemins de fer, ne créait de monopole qu'au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

profit de tous. Propriétaire des chemins de fer, il pouvait exploiter l'industrie des transports de deux manières. L'une, c'était d'établir des tarifs assez élevés (assez bas toutefois, pour assurer la préférence à ce mode de transport), et alors trouver dans l'exploitation des chemins de fer un revenu, un impôt fort considérable. L'autre moyen, bien préférable, était de faire de ce nouvel instrument un puissant moyen de développer la richesse et la civilisation. En faisant les transports à un prix seulement égal au prix de revient ou peu supérieur, le pays ressentait par cela même une véritable augmentation de richesses. Les produits arrivant dans chaque pays grevés de frais de transport moindres baissaient de prix par cela même.

Remarquons que, dans un semblable système, le bon marché développant dans une proportion immense les transports (semblablement à ce que l'on a vu pour la poste aux lettres en Angleterre), les décuplant souvent pour de petites distances, il en résulte la possibilité de réduire les prix de plus en plus, et par suite, de pousser bien loin les progrès de tout genre du pays.

Ce système est celui que nous avons vu appliquer avec succès en Belgique, au moins pour les lignes qui réunissent ses plus grandes villes. C'est par lui qu'elle a assuré sa prospérité et affirmé sa nationalité auparavant douteuse.

L'immensité de l'entreprise dont les dépenses se comptent par milliards pour un grand pays comme la France, les armées d'employés qu'exige l'exploitation des chemins de fer étaient autant d'obstacles qu'il était difficile de surmonter sans peser singulièrement sur la nation, sans tourner le dos à l'avenir, où les associations libres de citoyens intelligents doivent suffire pour donner satisfaction à tous les intérêts d'ordre industriel.

Le système des compagnies recevant des encouragements de l'État, et surtout la garantie de l'intérêt des capitaux engagés, car l'entreprise était trop lourde, au moins au début, pour le crédit privé, offrait l'assurance d'une exploitation plus intelligente, plus capable de développer toutes les occasions de recettes que celle de l'État. Mais aussi elle offrait cet inconvénient que l'exploitation, soumise toutefois à un tarif modéré, ne devait plus être faite au point de vue seul de l'intérêt général, mais surtout à celui de l'intérêt privé des compagnies. Sauf cet inconvénient, on peut dire que la division en actions et obligations de la propriété des chemins de fer a été le point de départ d'un immense accroissement de richesse mobilière, de la mise en valeur d'une grande quantité de produits avilis sur les divers points du territoire. Ces titres ont singulièrement facilité le payement d'immenses dépenses, permis d'effectuer l'opération de crédit et consistant à payer un immense capital en titres en fournitures par la propriété de la valeur créée.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Le remède aux inconvénients que peut présenter l'exploitation des compagnies pouvait résulter de l'intervention de l'État, exercée non-seulement au début, mais encore pour affranchir les grandes lignes de toute concurrence, par l'introduction de cette clause dans la concession : Au delà d'un certain revenu (6 ou 7 p. 100 par exemple) toute compagnie devra chaque année abaisser ses tarifs d'une certaine quantité chaque année (5 p. 100 par exemple). De cette manière la circulation croissant par suite de l'abaissement des tarifs, l'extrême bon marché des transports eût résulté de leur développement. C'est ainsi qu'on pourra atteindre un jour le but que l'État doit poursuivre avant tout, l'extrême bon marché des transports.

En effet, lorsqu'un chemin de fer est exploité, il y a deux systèmes pour obtenir un maximum de produit net : l'un consiste à établir des tarifs élevés, de manière que le revenu étant assez considérable, les frais soient restreints ; l'autre consiste à établir des tarifs très-bas, à faire croître le nombre des voyageurs, la quantité des marchandises transportées, et à obtenir de grosses recettes en même temps que des frais d'exploitation considérables.

Les deux systèmes divisent les compagnies en Angleterre ; le second est évidemment celui qui correspond à la plus grande quantité de services rendus, le seul en vue duquel l'État doive déléguer son droit, s'il veut remplir convenablement sa mission ; celui qu'il doit rendre obligatoire, et qui donnerait les plus féconds résultats, si on appliquait la clause de partage des bénéfices, si on n'imposait pas aux compagnies une extension de leur réseau à des contrées pauvres, ce qui rend les bénéfices impossibles.

L'intervention directe de l'État n'est plus nécessaire aujourd'hui (si ce n'est pour faire jouir des avantages des chemins de fer de petites localités), car tous les capitaux se portent dans cette direction ; mais qu'on n'oublie pas, pour justifier au besoin les encouragements de l'État, qu'il a fallu dans notre pays, où l'association n'est pas entrée dans les mœurs, pour obtenir des chemins de fer exploités au point de vue de l'intérêt des compagnies, attendre pendant vingt années que l'éducation du public fût faite; que ces voies de communication fussent impérieusement réclamées par les intérêts privés, au lieu d'être venues au-devant de ces intérêts et d'avoir développé vingt ans plus tôt tous les éléments de prospérité de la France par des moyens connus de tous les gens instruits !

Voici ce qu'écrivaient, en 1832, des auteurs qui avaient le sentiment parfaitement net des hautes destinées de notre pays, si on avait su entrer franchement dans cette voie, et qui se sont associés comme ingénieurs aux travaux qui ont été exécutés depuis. (*Vues politiques et pratiques*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

sur les travaux publics de la France, par MM. Lamé, Clapevron, Stéphane et Eugène Flachat, 1832.)

« Les travaux publics auxquels le pays doit la plus forte part de ses progrès industriels, agricoles, commerciaux; le vaste réseau de nos routes royales; les canaux du Languedoc, du Centre, de Saint-Quentin; les 536 lieues de canaux en ce moment en exécution, n'auraient pas été établis si l'on eût dû attendre que des particuliers en fissent l'objet d'une spéculation privée; et comme il nous paraît impossible de supposer qu'on puisse élever l'ombre même du doute sur l'intérêt de ces travaux, nous ne saurions croire qu'il fût moins utile aujourd'hui de continuer dans cette voie. Loin de là, nous croyons que, plus que jamais, il est bon de devancer le moment où des routes, des canaux ou des chemins de fer pourraient devenir l'objet d'une spéculation privée, et d'établir ces chemins de fer, ces canaux, ces routes, non parce que l'on s'y trouverait comme forcé par un mouvement exubérant de transports et d'échanges, mais pour développer, pour créer même ces transports et ces échanges; pour répartir plus également par tout le territoire les bienfaits des communications, du commerce, de la civilisation; pour mettre en valeur le sol tout entier avec toutes ses ressources. »

L'État possède d'ailleurs, dans les impôts, un moyen de profiter de l'accroissement de richesses produit par de nouvelles voies de communication, qui lui permettent de retirer de ses avances des résultats qui échappent à une compagnie et qui justifient tout à fait son intervention pour aider à la réalisation de ces utiles entreprises.

« Le revenu net du canal du Centre, dit M. Vallé, est d'environ 400,000 fr.; il a coûté, en argent d'aujourd'hui, à peu près 16,000,000 de fr. Une compagnie qui l'aurait exécuté ne tirerait donc pas 3 p. 100 du capital qu'elle y aurait placé.

« D'après les recherches d'un ingénieur distingué (M. Favier), ce même canal, en 1824, avait augmenté la valeur annuelle des productions agricoles et industrielles de la France de 5,600,000 fr. au moins. Or, sur ce revenu, l'État prenait en patentes, en impôts foncier et mobilier, et en droits indirects autres que ceux des canaux et rivières, une somme extrêmement considérable. De telle sorte que la France tire 12 ou 15 pour 100 d'un capital qui, employé à ce grand ouvrage, ne donnerait pas 3 p. 100 à une compagnie. »

On a démontré de même que le canal du Languedoc donne en six années au commerce une économie égale au prix de sa construction; plus un bénéfice égal sur les impôts, en ayant donné aux produits agricoles et autres un accroissement annuel d'environ les deux tiers de son prix de construction. Certes il faudrait être bien pessimiste pour regretter l'argent que Colbert prit au trésor pour achever cette grande œuvre.

Je terminerai en cherchant à démontrer que c'est une idée erronnée que d'admettre un seul système comme possible pour la concession de voies de communication, des chemins de fer notamment. Si, pour les lignes de premier ordre, pour la communication de la capitale d'un pays à la mer, pour la ligne de Paris à la Méditerranée par exemple, il y a des intérêts de la société tout entière en jeu qui exigent une intervention directe de l'État, et sinon la construction directe par lui, pour que le gouvernement reste dans sa sphère, au moins le maintien de son influence de chaque instant sur la compagnie qui l'exploite, il n'en est pas de même pour des lignes très-importantes encore, mais qui intéressent bien plus les contrées qu'elles traversent que l'État même. L'exploitation des grandes artères est avec avantage remise à des compagnies, limitées par des cahiers de charges quant à l'étendue de leurs bénéfices, assujetties à l'égalité des tarifs pour tous les consommateurs, etc., de manière à éviter la création de monopoles abusifs et dangereux.

Mais aujourd'hui lorsqu'il s'agit de faire pénétrer les chemins de fer dans les parties les plus reculées du territoire, de construire ce qu'on appelle le quatrième réseau, on voit de semblables compagnies prêtes, pour la plupart, à succomber sous le lourd fardeau qu'on parle de leur imposer et on sent bien qu'il s'agit pour elles de sacrifices sans compensation, que le mode d'exploitation des grandes lignes, ne leur permet pas de tirer un parti fructueux des petites lignes qu'il s'agit de construire en grand nombre.

Si, au lieu de vouloir les faire dans le système adopté pour les premières, on les laissait construire dans un système plus libéral, on verrait bientôt le pays couvert de petits chemins qui contribueraient à accroître et à répandre par tout la richesse. Ce système consisterait à laisser la propriété entière, la liberté d'exploitation absolue aux constructeurs, de leur permettre de trouver ainsi des bénéfices là où on ne peut en obtenir dans le système actuel, de les laisser se confondre avec les sources de richesse de chaque contrée.

Les grandes usines, comme les salines de Dieuze, les houillères d'Anzin, ont fait pour leur service des embranchements qui les relient au chemin de fer voisin. Or, chaque contrée est un vaste ensemble d'exploitation industrielle et agricole qui a besoin de son embranchement, pourvu qu'il puisse l'utiliser pour exploiter convenablement ses richesses, quelque différence qu'il y ait entre cette exploitation et celle admise aujourd'hui.

Je connais un pays peu prospère, dénué de chemins de fer et où on ne peut en construire que de ruineux. Cependant l'agriculture y manque de débouchés et d'engrais, les terres froides ont besoin de chaux qui ne se rencontre pas dans la contrée. Si la construction d'un chemin de fer restant la propriété de ses créateurs était licite, les propriétaires des terres les plus capables viendraient se grouper autour de quelques spécula-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

teurs pour projeter sa création. Autour de ce noyau viendraient se grouper bien des intérêts, bien des moyens de fortune, qui ne pourraient résulter toutefois que d'une meilleure exploitation des ressources du pays, qui, la plupart, ne peuvent se séparer du chemin de fer, et ce ne serait qu'à la condition d'être propriétaire de houillère, de four à chaux, peut-être de bois, de terres, de sources minérales, etc., ce ne serait qu'avec des tarifs tout particuliers, un mode d'exploitation spécial dans chaque cas, que la compagnie du chemin de fer pourrait faire plus ou moins ses frais, mais sûrement enrichir le pays.

Agir autrement que je ne l'indique, c'est vouloir faire faire les chemins vicinaux par décret du ministre de l'intérieur, tandis que c'est l'affaire de voisins liés par les mêmes intérêts. Non-seulement en n'agissant pas comme je le dis, on n'aura pas tous les chemins de fer de petite communication, mais ceux qu'on fera seront peu utiles. Ici, comme pour les brevets d'invention, au début de la création de la richesse, dans un nombre infini de cas, non-seulement l'extension d'un monopole n'est pas nuisible, mais il est le plus puissant levier pour la création de la richesse.

Je reproduirai un curieux document qui montre l'accroissement qu'a éprouvée la fortune publique en Angleterre du fait de la création des lignes de chemins de fer, grâce à l'ardeur avec laquelle la nation anglaise a su profiter de l'occasion de travail profitable que leur construction lui offrait, et à l'accroissement du nombre de capitalistes qu'a engendré la division de leur propriété, et par suite du nombre de personnes capables de concevoir et faire réussir des entreprises industrielles. Le même résultat, chacun le sait, a été obtenu en France, en Allemagne, en Amérique, et l'ère des chemins de fer est une ère d'accroissement considérable de richesse pour le monde entier. Je veux parler du discours d'installation de M. Mac-Clean, président de la Société des ingénieurs civils de Londres en 1864.

« Je me propose, dit-il, de faire ressortir l'influence extraordinaire que les travaux du génie civil ont exercée pendant les trente dernières années sur l'avancement matériel et intellectuel de la Grande-Bretagne. Je vais démontrer que l'étonnante prospérité, atteinte dans le cours de cette période, c'est principalement à nos chemins de fer que nous la devons. »

« C'est une erreur que d'attribuer en grande partie cette prospérité aux perfectionnements de l'agriculture, comme on le dit souvent. Non, le sol n'est pour rien, ou presque rien, dans l'accroissement de la richesse de l'Angleterre; et, pour le prouver, il suffit de comparer des divers éléments de cette richesse à deux époques caractéristiques. L'une est l'année 1815, la dernière, où un relevé officiel du produit de l'*income-tax* fournit le moyen d'évaluer exactement le revenu de la Grande-Bretagne. En 1815, la machine à vapeur, au point où Watt l'avait amenée, les machines employées par l'industrie du tissage, les plus grandes découvertes industrielles, en un mot, à l'exception de la locomotive, étaient déjà en pleine application. En 1856, d'autre part, toutes les grandes lignes du réseau des chemins de fer anglais étaient livrées à l'exploitation. C'est aussi l'année où l'*income-tax*, aboli depuis 1816, revient fournir des éléments précieux à la statistique.

« En 1815, toutes les formes de propriété foncière comprises sous les dénominations de *terres, fiefs, dimes* et *redevances*, représentaient un revenu de 1,038,000,000 fr. En 1856, le revenu relatif aux mêmes chapitres, plus les *pêcheries*, s'était abaissé à 954,000,000 fr.

« Le revenu de la *propriété bâtie*, au contraire, en en retranchant les habitations des fermiers, s'était élevé entre 1815 et 1856, de 406,500,000 fr. à 1,211,000,000 fr., c'est-à-dire que cette valeur a triplé.

« En 1815, les *carrières, mines, fonderies, forges*, etc., produisaient des bénéfices montant à 36,000,000 fr. En 1856, les sources analogues de bénéfices, sous les titres de *carrières, mines, fonderies* et *forges, canaux, chemins de fer, usines à gaz*, etc., produisaient 452,000,000 fr. Cette branche du revenu public s'était donc augmentée de plus de 1,200 p. 100.

« Les gains des fermiers ne se sont accrus que de 62,000,000, à peine 12 p. 100. Le revenu des *fonds publics* s'est abaissé de près de 140,000,000 fr., sans doute par le fait de l'amortissement. Les émoluments des *fonctionnaires* et *employés de l'État* se sont accrus de 90,000,000 fr., environ 30 p. 100. Enfin, les bénéfices du *commerce* et des *professions libérales* ont augmenté de 1,109,000,000 fr., près de 150 p. 100.

« Il résulte des données qui précèdent que pendant les quarante années sur lesquelles s'étend la comparaison, le chiffre de toutes les sources de revenu, aptes à payer l'impôt, s'est accru de 2,252,000,000 fr., c'est-à-dire de 60 p. 100.

« Quelles sont les causes de cet énorme accroissement de la fortune de la Grande-Bretagne? D'où sont sorties ces centaines de millions de livres sterling, placées dans les railways, les canaux, les mines, la métallurgie, la navigation, tant dans le *Royaume-Uni* que dans l'Inde et les autres colonies anglaises? M. Mac Clean explique cette prospérité inouïe principalement par l'institution des chemins de fer. Après l'ouverture de la ligne de Manchester à Liverpool, les capitaux anglais, qui, jusque-là, ne s'étaient que parcimonieusement associés aux entreprises de grands travaux publics, se précipitèrent sur les titres des compagnies. On en arriva à se figurer que le crédit était une mine inépuisable. Une spéculation effrénée amena des désastres, et la panique succéda à l'engouement. Néanmoins, l'élan était donné au système; depuis lors il ne cessa d'avancer d'un pas soutenu; et aujourd'hui les voies

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

ferrées servent un intérêt rémunérateur à un capital de dix milliards de francs. Si cet immense capital a pu être réuni, c'est que les actions des compagnies de chemins de fer, fondées sur le principe de la responsabilité limitée, occupent la première place dans la confiance du public, qu'il les choisit de préférence pour placer ses économies ou ses bénéfices, par suite de la facilité du transfert des titres et des convenances que les différentes classes de la société trouvent dans leur fractionnement. »

M. Flachat établit les chiffres suivants pour la France :

Le capital dépensé pour les chemins de fer français était, en 1862, de 8,352,000,000 pour 30,130 kilomètres. La recette des chemins de fer français a été, en 1861, de 461,500,000 fr. qui sont le produit d'un tarif moyen de 6 à 7 centimes par voyageur et par tonne de marchandises transportées à 1 kil. au lieu de 20 centimes par voie de terre.

L'économie produite par les chemins de fer a été de 580,000,000 sur les marchandises et à peu près autant pour les voyageurs.

On voit quelle influence ces voies de communication ont eu sur la richesse du pays, pendant que leur construction entraînant une dépense de 8 milliards, a utilisé admirablement tous les bras, toutes les économies du pays, en créant au profit de toutes les classes de la société des titres reposant sur la propriété la mieux justifiée. Certes, jamais plus puissant élément de richesse n'est venu transformer plus heureusement une société, et il n'est pas de motif plus réel de l'accroissement de la richesse mobilière que nous avons vu grandir en France comme en Angleterre d'une si merveilleuse manière.

Nous l'avions bien compris en 1849. Voici ce que nous disions dans une lettre adressée au général Cavaignac, à cette désastreuse époque.

« C'est, nous le croyons, une circonstance vraiment providentielle pour la France, que, dans les circonstances actuelles, il se trouve à employer une quantité immense, illimitée, de travail manuel (celui nécessaire pour la construction des chemins de fer), c'est-à-dire de travail dont la rémunération produit nécessairement et immédiatement une consommation équivalente.

« Au milieu de la stagnation actuelle de l'industrie, la quantité de travail disponible est immense, cela n'est pas douteux. Ce travail ne peut être employé sans remettre immédiatement la production industrielle en mouvement ; cela ne saurait être davantage contesté. Car il est bien évident que si à Paris au lieu de recevoir 1 franc par jour à ne rien faire et à consommer 1 fr. de produits agricoles, 100,000 ouvriers reçoivent 3 fr. pour un travail utile, il se trouvera 300,000 fr. par jour qui seront en grande partie employés en consommation de produits manufacturés, de valeurs créées (100,000 fr. qui étaient prélevés par l'impôt restant à la disposition du contribuable) ; 50 ou 60,000 ouvriers seront employés à créer les produits que pourront consommer les 100,000 autres.

« Si le remède est possible, son effet est donc certain. Pour apprécier cette possibilité, il suffit de réfléchir à la nature des valeurs qui sont créées dans le cas de la construction des chemins de fer. Peuvent-elles se déprécier comme des produits manufacturés, comme des habitations trop nombreuses eu égard au nombre des locataires ? Il suffit de poser la question pour la résoudre. N'est-ce pas la plus certaine de toutes les valeurs que le monopole de l'industrie des transports sur toute la surface de la France, d'une industrie dont les produits sont aujourd'hui évalués à *un milliard* par an !

« Si l'on admet que ce travail ne produira que des valeurs réelles, parfaitement certaines, ce qui n'est pas contestable, l'objection naturelle : où trouver les capitaux disponibles pour créer immédiatement une masse considérable de travaux, 500 millions par exemple, sera résolue par cela même ? De quoi s'agit-il en effet ? de faire qu'une valeur certaine paye le travail qui sert à la créer.

« Nous ne savons si nous nous faisons illusion, mais le problème réduit à ces termes nous paraît susceptible d'une solution bien simple. En effet, dans aucun cas, il ne s'agit d'avoir 500 millions en numéraire pour construire des chemins de fer, le numéraire ne sert qu'à la circulation, à l'échange immédiat des produits. Toute la difficulté se réduit donc à organiser un échange, à établir la circulation entre deux valeurs bien positives, la travail disponible, et la propriété des chemins de fer de la France.

« L'échange entre deux valeurs réelles s'obtiendra toujours facilement par des institutions de crédit, par des banques convenablement organisées, c'est ce que savent bien tous les bons financiers.

« L'État a déjà dépensé pour les chemins de fer, en constructions, avances, prêts, etc., au moins 300 millions ; qu'il fasse de ces sommes la dotation d'une banque des chemins de fer. Que cette banque ait le droit d'émettre un papier portant intérêt à 8 p. 100 par exemple (en exagérant pour rendre le système plus sensible). Croit-on que ce papier ne conserverait pas le pair, ne serait pas accepté par les entrepreneurs de travaux, quand il aurait la garantie générale de l'État, et plus spécialement celle de la propriété des chemins que la banque aura pour mission de centraliser dans ses mains et dont le service des intérêts sera bientôt fait par le revenu des chemins exploités par l'État ?

« Si ce qui précède est certain, il faut agir au plus vite, car bientôt l'hiver va arriver. Que tous les travaux étudiés soient immédiatement adjugés payables en billets de la banque des chemins de fer rapportant un intérêt *trop* élevé (les prix d'adjudication seront en raison de cet intérêt, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'ailleurs qu'importe de dépenser quatre ou cinq millions de différence d'intérêt dans la première année, en vue du grand résultat à atteindre), et 200 millions de travaux pourront être immédiatement en activité sur la surface de la France. L'agriculture, l'industrie, l'industrie métallurgique et des machines surtout, renaîtront, la consommation venant s'adresser successivement à toutes les branches de la production, pendant que le trésor, allégé de dépenses énormes, pourra assurer par les ressources de l'impôt tous les services publics et sauvegarder le crédit général de l'État. »

DES DOUANES. — DU LIBRE-ÉCHANGE

Un des modes d'intervention le plus souvent employé par la plupart des gouvernements est celui des douanes, à l'aide desquelles on empêche ou l'on gêne l'entrée dans un pays d'une marchandise fabriquée à l'étranger, afin de réserver le marché aux producteurs nationaux; ce qui constitue évidemment un monopole légal à leur profit, relativement aux producteurs étrangers.

Nous allons examiner la question de la justice et de l'utilité de cette protection, et nous chercherons à résumer les arguments les plus valables des écoles opposées.

Les deux arguments capitaux des économistes sont les suivants :

Chaque nation s'efforçant d'obtenir par ses douanes le double résultat de vendre le plus possible à l'étranger et de lui acheter le moins possible, il en résulte évidemment hostilité ou au moins antagonisme permanent, premier résultat bien fâcheux et que les économistes ont fait ressortir avec grande raison, en montrant que dans les relations commerciales se trouvait le germe le plus fécond de la paix et de la concorde universelle entre les nations civilisées.

Aussi sir Robert Peel, en faisant triompher le libre-échange en Angleterre, a-t-il été applaudi dans le monde entier, car il arborait le drapeau de la politique de la paix universelle, ces réformes tendant à rapprocher les unités que forment les divers peuples pour les fondre en une grande famille; tendance bien évidente de la race germano-latine.

M. Chevalier rend bien cette idée dans le passage suivant, où il loue l'Angleterre d'être entrée franchement dans la voie du libre-échange.

« Le gouvernement anglais, par l'organe de sir Robert Peel, a répudié, en 1846, la politique de haine et d'isolement, qui se prétendait astucieuse et n'était que niaise. Il a reconnu que celui qui achète n'est pas la victime, ou, comme on le dit dans la langue protectionniste, le *tributaire* de celui qui vend, pas plus quand l'opération se fait entre un Anglais et un Français, que quand les deux acteurs sont de la même nation. Il a compris et proclamé que l'intérêt de tous les peuples, comme de tous les individus, était de s'entendre et de se concerter pour la satisfaction de leurs besoins communs, chacun fournissant librement ce qu'il fait de mieux, en se stimulant tous par la mutuelle concurrence. Pensée éminemment favorable au grand nombre, par plusieurs raisons : elle suppose la paix du monde, et c'est le grand nombre sur qui retombe le plus lourd fardeau de la guerre.

« L'Angleterre, par la politique commerciale qu'elle a arboré, a superposé l'hypothèse de la paix à celle de la guerre. Un peuple qui compte sur le blé étranger pour son alimentation, s'érige par cela même en défenseur de la paix; il s'oblige à vouloir le concert des peuples. »

Nous croyons difficile de ne pas admettre comme un but souhaitable à atteindre, quelque éloigné qu'on veuille le placer, celui de faire concourir les progrès de l'industrie et du commerce à réaliser la fraternité des peuples voisins, vivant de la même vie. Il est bien inutile d'insister à cet égard.

En second lieu, les économistes ayant établi que les produits ne s'achetaient qu'avec des produits, que les services s'échangent contre des services, comme a dit avec plus de précision encore F. Bastiat, en montrant que les dons naturels n'entraient pas nécessairement dans la fixation de la valeur, et la monnaie n'étant qu'une marchandise; ils en ont conclu qu'il y avait faux calcul, en même temps qu'injustice à empêcher un producteur d'échanger le produit qu'il a créé contre la plus grande utilité qu'il lui soit possible de rencontrer dans le monde entier.

Disons d'abord de quelle manière Bastiat a clairement démontré, dans ses *Harmonies économiques*, comment sous l'influence de la concurrence, de la liberté des échanges, le don divin était gratuit, et le travail humain seul rémunéré.

« Il y a un pays, l'Angleterre, qui a d'abondantes mines de houille. C'est là, sans doute, un grand avantage *local*, surtout si l'on suppose, comme je le ferai pour plus de simplicité dans la démonstration, qu'il n'y a pas de houille sur le continent. Tant que l'échange n'intervient pas, l'avantage qu'ont les Anglais, c'est d'avoir du feu en plus grande abondance que les autres peuples, de s'en procurer avec moins de peine. Sitôt que l'échange apparaît, abstraction faite de la concurrence, la possession exclusive des mines les met à même de demander une rémunération considérable et de mettre leur peine à haut prix. Ne pouvant ni prendre cette peine nous-mêmes, ni nous adresser ailleurs, il faudra bien subir la loi. Mais bientôt par cela même que le travail d'exploitation de la houille sera très-rémunéré en Angleterre, il y sera très-recherché, car les hommes recherchent toujours les grosses rémunérations. Le nombre des mineurs s'accroîtra; ils s'offriront au rabais; ils se contenteront d'une rémunération toujours décroissante jusqu'à ce qu'elle descende à l'*état*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

normal, au niveau de celle qu'on accorde généralement, dans le pays, à tous les travaux analogues. Cela veut dire que le prix de la houille anglaise baissera en France ; cela veut dire qu'une quantité donnée de travail français obtiendra une quantité de plus en plus grande de houille anglaise, ou plutôt de travail anglais incorporé dans la houille ; cela veut dire enfin, et c'est là ce que je prie d'observer, que le don que la nature semblait avoir fait à l'Angleterre, elle l'a conféré, en réalité, à l'humanité tout entière. La houille de Newcastle est prodiguée *gratuitement* à tous les hommes. Ce n'est là ni un paradoxe, ni une exagération ; elle leur est prodiguée à *titre gratuit*, comme l'eau du torrent, à la seule condition de prendre *la peine* de l'aller chercher ou de restituer cette peine à ceux qui la prennent pour nous. Quand nous achetons la houille, ce n'est pas la houille que nous payons, mais le travail qu'il a fallu exécuter pour l'extraire et la transporter. Nous nous bornons à donner un travail égal que nous avons fixé dans du vin ou de la soie. Il est si vrai que la libéralité de la nature s'est étendue à la France, que le travail que nous restituons n'est pas supérieur à celui qu'il eût fallu accomplir si le dépôt houiller eût été en France. La concurrence a amené l'égalité entre les deux peuples par rapport à la houille, sauf l'inévitable différence qui résulte de la distance et des frais de transport.

« De ce qui précède, on peut déduire la solution d'une des questions les plus controversées, celle de la liberté commerciale de peuple à peuple. S'il est vrai que les diverses nations du globe soient amenées à n'échanger entre elles que du travail, de la peine de plus en plus nivelée, et à se céder réciproquement, *par dessus le marché*, les avantages naturels que chacune d'elles a à sa portée ; combien ne sont-elles pas aveugles et absurdes celles qui repoussent législativement les produits étrangers, sous prétexte qu'ils sont à bon marché, qu'ils ont peu de valeur relativement à leur utilité totale, c'est-à-dire précisément parce qu'ils renferment une grande proportion d'utilité gratuite ! »

Rien de plus sensé que le raisonnement de Bastiat, lorsqu'il s'agit de matières premières telles que la houille, le coton, etc., de produits naturels déposés en un point du globe, ou ne pouvant se cultiver que dans certaines contrées. Aussi les arguments des partisans intelligents du système protecteur s'appliquent surtout aux produits obtenus à l'aide de manufactures et de machines, à ceux qui peuvent s'obtenir en France comme à l'étranger. On nie qu'il puisse y avoir avantage à payer une rémunération au capital engagé dans les fabriques de l'étranger, à assurer des redevances, des profits, aux monopoles personnels ou autres que l'étranger aura su se constituer.

Résumons, avant de conclure, les arguments des défenseurs les plus distingués du système protecteur. A la fusion souhaitable des intérêts de l'humanité ils opposent les intérêts *politiques*. Ainsi l'un des plus récents et l'un des plus brillants défenseurs du système protecteur, F. List, dit clairement que la question de protection est surtout une question de nationalité, au moins dans son principe.

« Le système de l'école, dit-il, ne voit partout que deux individus jouissant d'une entière liberté de relations les uns avec les autres... Il est évident que ce n'est pas là un système d'économie nationale, mais un système d'économie privée du genre humain, tel qu'il pourrait se concevoir sans l'intervention des gouvernements, sans la guerre, sans les mesures hostiles de l'étranger. Nulle part il n'explique par quels moyens les nations aujourd'hui florissantes sont parvenues au degré de puissance et de prospérité où nous les voyons, et par quelles causes d'autres ont perdu leur prospérité et leur puissance d'autrefois. Il enseigne comment, dans l'industrie privée, les agents naturels, le travail et le capital concourent à mettre sur le marché des objets ayant de la valeur, et de quelle manière ces objets se distribuent dans le genre humain et s'y consomment. Mais les moyens à employer pour mettre en activité et en valeur les forces naturelles qui se trouvent à la disposition de tout un peuple, pour faire parvenir une nation pauvre et faible à la prospérité et à la puissance, elle ne les laisse pas entrevoir, par la raison que l'école, repoussant absolument la politique, ignore absolument la situation particulière des diverses nations, et ne s'inquiète que de la prospérité du genre humain. »

On voit donc que List, se plaçant au point de vue politique, demande que l'action de la loi tende à développer l'énergie, les forces productives d'une nation ; que c'est comme loi somptuaire, comme obligation au travail que List approuve les douanes : c'est assez dire qu'il s'occupe surtout d'un pays qui naît à l'industrie, et sacrifie au besoin la liberté de l'individu, pour le contraindre à travailler. La question était tellement pour lui d'ordre politique que, tandis qu'il cherchait à démontrer la nécessité de réduire en Allemagne l'introduction des produits anglais par l'élévation des droits de douane, sa gloire sera d'avoir poussé à l'organisation du Zollverein, à la suppression des droits de douane entre les États de l'Allemagne (réforme nuisible, à son point de vue, aux producteurs de chaque petite principauté) ; d'avoir démontré la nécessité de construire rapidement les lignes de chemins de fer, condition essentielle du développement de l'industrie et de la fusion des intérêts de toute l'Allemagne.

C'est comme moyen de pousser à la création des fabriques, qui dans les premières années ne sauraient soutenir la lutte contre des fabriques plus anciennement organisées, que List défend les douanes ; son principe, celui à l'aide duquel le système protecteur a été surtout soutenu par les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

gens intelligents, c'est *l'éducation industrielle de la nation en vue de l'indépendance, en vue de la possibilité de traiter bientôt sur le pied d'égalité avec les nations rivales*. On voit que malgré l'opposition fondamentale de ses doctrines avec celles des économistes, List n'en est cependant séparé que par une question de temps, et qu'il juge réalisable dans l'avenir le système des économistes qui, pratiqué immédiatement, lui paraît nuisible aux nations les moins avancées. Chose remarquable, ce résultat est celui auquel est arrivé de son côté un économiste grand partisan de la liberté des échanges, l'Américain Carey, qui par des études très-sérieuses sur les effets des variations du tarif de douanes aux États-Unis, voyant la prospérité résulter de la protection et les crises succéder aux diminutions des droits, a conclu que la *protection était la seule route vers la liberté des échanges*; voulant dire, comme List, que ce n'était qu'après de grands progrès d'un pays dans l'industrie qu'il pouvait supporter la liberté. La division du travail entre toutes les nations en raison des aptitudes, des conditions spéciales à chaque pays, les avantages de l'échange ne sont niés par aucun d'eux, la liberté est pour eux le but vers lequel on doit tendre.

Le second argument des partisans du système protecteur, c'est qu'il n'est pas exact toujours de dire avec les économistes que les produits s'échangent contre les produits ; que si les échanges s'effectuent entre deux nations inégalement avancées dans la carrière industrielle, les manufactures de la plus avancée feront fermer celles de l'autre, l'inonderont de produits à bon marché qu'elle ne pourra payer qu'avec les produits du travail accumulé antérieurement, la propriété des maisons, des terres ; qu'en un mot la nation plus faible sera bientôt ruinée, aura mangé son capital comme le fait un fils de famille qui dissipe son patrimoine en consommations folles.

On voit que ces deux arguments reviennent à dire qu'il faut qu'une nation ait des produits, soit laborieuse, vouée au travail industriel, pour que l'échange lui soit avantageux, pour se lancer dans la carrière de liberté où le succès n'appartient qu'au plus habile.

La création rapide de manufactures dans les pays qui ont adopté des lois restrictives nous paraît le fait le plus en faveur des partisans de la protection. Nier le résultat de semblables mesures n'est pas possible. Est-ce que l'industrie du sucre de betterave serait née sans protection ? Et si, comme tout le fait présumer, elle parvient à lutter, à force de progrès, avec l'industrie coloniale, est-ce que ce résultat eût pu être obtenu par la seule liberté ? Sans doute on pourra prouver qu'il eût mieux valu ne pas faire tant de sacrifices, et qu'on ne peut protéger une industrie qu'en nuisant à d'autres qui, sans entraves, eussent prospéré ; mais la valeur du système prohibitif, pour faire éclore une industrie dans un pays, n'en est pas moins démontrée par un semblable exemple.

L'intervention de l'État pour faire naître des industries et atteindre le point élevé que nous venons d'assigner comme but, a été celui qui a guidé le plus grand administrateur que la France ait possédé, Colbert. Il a poussé la nation au travail, moins par des droits de douane que par des encouragements directs trop oubliés et trop peu appréciés de nos jours.

Revenons maintenant à l'application à la France de ces théories.

Traitons en premier lieu des matières premières, non de celles qui ne se trouvent qu'en certains pays, et pour lesquelles la démonstration de Bastiat est irréfutable, mais des matières nécessaires à la subsistance, produit de la plus grande industrie de chaque pays, matières dont le bon marché importe surtout aux classes les moins riches de la nation ; traitons de *la vie à bon marché*, question capitale pour la masse de la nation.

En effet le prix des salaires est fixé en raison du prix des marchandises créées, du prix trouvé, par exemple, par l'exportation des produits fabriqués. Dans le cas général et en ne tenant pas compte des circonstances accidentelles, ces salaires procureront donc une quantité d'autant plus grande de subsistances, de blé, de viande, etc., que celles-ci seront à meilleur marché. Il paraît évident qu'il en sera ainsi si on les laisse entrer de tous les pays qui produisent au prix le plus bas. Mais si, comme le montre l'exemple de l'Angleterre, le bien-être et la prospérité des classes industrielles peuvent résulter d'un semblable système, n'y a-t-il pas à craindre la misère et la détresse pour les classes agricoles ? Ne peut-il y avoir là compensation d'un avantage apparent ?

Étudions la question et plaçons-nous surtout au point de vue du journalier de l'agriculture, qui forme la fraction la plus nombreuse des travailleurs de la terre, celle par suite dont le bien-être et les progrès importent par dessus tout.

Que lui faut-il ? Travail croissant et bien rémunéré. C'est ce que ne produiront pas tous les droits protecteurs. Ainsi ce résultat ne sera pas obtenu par un impôt sur la viande, car son seul effet pourrait être de faire convertir des terres à blé en pâturages, et alors un pâtre suffirait pour une étendue de terrain qui fournissait du travail à cinquante cultivateurs. Quarante-neuf journaliers, auparavant occupés, n'auront d'autre ressource que l'émigration. Il pourrait parfaitement être utile au pays en même temps qu'au travailleur agricole que l'élève du bétail développé sur les montagnes de la Suisse, en Allemagne, vint prendre une part de l'approvisionnement du pays et seconder une plus grande consommation. Le même effet résultera de droits qui augmenteraient le prix du bois et par suite empêcheraient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de défricher des étendues de terrain qu'autrement la charrue eût parcourues.

Tous les droits prohibitifs ne sont donc pas favorables au travail, mais il paraît incontestable qu'un droit sur les céréales doit produire cet effet. En empêchant le blé étranger d'entrer, il forcera bien à cultiver une étendue de terre suffisante pour la nourriture de la nation et agira, comme nous l'avons dit, pour contraindre à la pratique de l'agriculture. Mais ce point est généralement atteint par les nations les moins riches, où chaque contrée suffit à la consommation locale, et l'est toujours pour la subsistance des classes agricoles, car la nourriture ne peut venir au paysan que de son travail, la faim agissant avec bien plus d'efficacité que tous les droits de douane, si la terre est à sa disposition pour utiliser son travail, ce que réalise surtout la petite propriété. Ce premier degré de prospérité ne peut être dépassé que par l'exportation ou l'accroissement de consommation intérieure, de population.

La première solution est celle du libre-échange. La possibilité d'exporter des céréales fera mettre en culture productive toutes les terres convenables, pourvu que les populations auxquelles ces céréales sont destinées puissent les payer avec le fruit de leur travail. La liberté sera donc, dans une contrée bien cultivée, favorable au développement des travaux agricoles, aux intérêts du journalier. Dans les pays qui recevront ces céréales, il pourra y avoir perte pour le propriétaire, dont le monopole sera ébranlé et qui verra baisser la rente de sa terre; mais, comme pour l'impôt foncier, l'excédant de rente qu'il aura pu obtenir antérieurement par la prohibition du blé étranger, comme sa diminution par la liberté, équivaudra une fois pour toutes à un changement du prix du sol. Disons de suite que ce système ne peut causer aucun dommage à la majeure partie de la France, où les céréales se produisent à aussi bon marché que dans aucun autre pays et où jamais les droits de douane n'ont fait vendre le blé à un prix démesurément plus élevé qu'en pays étranger, n'ont créé jusqu'à présent au propriétaire de rente abusive. Le sol ne cessera pas d'être cultivé, car la journée du paysan français n'est pas plus chère que celle du serf russe, et ce ne peut être le prix de son travail qui rendra le blé français plus cher que celui de la Russie; le paysan se chargerait volontiers de toutes les terres qu'on voudrait abandonner sous prétexte qu'elles ne produiraient pas de produit net, bien certain d'en retirer une riche rémunération de son travail. En réalité, le voisinage des centres de consommation, les travaux accumulés sur le sol, les desséchements, les irrigations qui assurent des rendements élevés, rendront toujours la rente de la terre suffisamment élevée dans les pays riches.

La seconde solution, c'est de faire naître l'accroissement du débouché de l'agriculture, de

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

l'accroissement de la production intérieure, du développement des manufactures que la cherté de certains produits force à créer, en supposant que ce développement résulte de la protection qui facilite les profits des manufacturiers. Il est clair que ce système ne peut conduire qu'à une prospérité restreinte, car l'industrie ne peut se développer beaucoup, les fabriques rencontrent un obstacle à leurs progrès ultérieurs dès qu'elles ont atteint quelque importance, dans les difficultés que rencontre l'exportation dans des contrées d'où l'on s'efforce de ne rien importer, dans le prix élevé des substances nécessaires à la vie, puisque l'élévation du taux des salaires qui en résulte nécessairement rend l'exportation difficile.

Concluons donc encore à la liberté du commerce pour les produits de l'agriculture, à la vie à bon marché, but et moyen de toute grande et vraie prospérité. Sans doute quelques fermages peuvent alors diminuer, comme il est arrivé par l'ouverture de quelques lignes de chemin de fer, qui ont amoindri des monopoles de distance, mais tout le mal se réduit à cet effet momentanément fâcheux pour le propriétaire actuel, et, sans aucun doute, cette réduction de rente peu considérable est bientôt facilement compensée par les progrès de la science, l'amélioration des cultures, l'emploi du drainage, des irrigations, comme on l'a vu en Angleterre. Au reste nous devons avoir confiance dans la valeur, en fait de production agricole, de notre pays dont les parties les mieux cultivées donnent déjà lieu à des exportations considérables. Les Anglais ne se doutaient guère, quand ils supprimaient les droits sur le blé et la viande, que le nouveau système devait surtout profiter aux éleveurs et aux cultivateurs de leurs voisins de Normandie. Cela ne veut pas dire que l'intérêt des 23 millions d'agriculteurs de France n'exige pas que les droits qu'on leur fait payer, sous forme d'impôts, soient imposés aux blés étrangers; ceux-ci ne doivent pas jouir d'un privilége.

Après avoir traité des matières premières et surtout de celles nécessaires à la vie matérielle, occupons-nous des produits manufacturés. Il nous semble évident, que l'on se place au point de vue de l'état de l'industrie ou à celui de l'habileté, de l'éducation industrielle d'une nation, que dans ces dernières années, le jour était arrivé où la France était en mesure de faire un pas vers l'organisation de l'avenir, dans la voie de la division rationnelle du travail entre les nations, et que les deux principaux arguments des partisans du système protecteur ne s'appliquaient plus à notre pays.

Ce n'est pas lorsqu'une nation est arrivée à exporter des marchandises pour des sommes considérables, qu'il peut être raisonnable de craindre qu'elle cesse d'avoir des produits pour opérer des échanges, que son travail s'arrête devant la concurrence de ses voisins; soit plus riches peut-être, mais fabriquant par les mêmes procédés qu'elle,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et avec lesquels elle soutient la lutte sur les marchés étrangers; soit plus pauvres, chez lesquels le salaire est moindre, mais qui n'ont pas ses moyens de fabrication et qui ne pourront s'enrichir sans lui fournir d'importants débouchés et la faire profiter de toutes les utilités gratuites qu'ils possèdent.

Aujourd'hui, et tous les fabricants éclairés le savent bien, la science industrielle est assez avancée pour qu'en Angleterre, en France, en Allemagne, les établissements ayant pour objet la même production, se trouvent rapidement au même niveau et ne diffèrent pas plus que les établissements voisins d'un même pays, c'est-à-dire par quelques avantages de position locale et de supériorité chez le chef de la manufacture.

C'est donc avec grande raison, comme le succès l'a prouvé, que l'on est entré dans une voie libérale. Nous étions arrivés, le jour où les grandes lignes de chemins de fer ont été terminées, au moment désigné par les fondateurs du système protecteur en France, car la plupart, M. de Saint Cricq, par exemple, ne considéraient pas la protection comme devant être éternelle; en présentant le projet de douanes, en 1829, il déclarait nettement qu'il fallait *tendre vers la liberté commerciale*.

C'est une erreur de croire que l'envahissement apparent d'une nation par les spéculateurs d'une nation voisine, qui viennent exploiter les mines, construire les chemins de fer, etc., de la première, lui envoyent des marchandises de toute sorte, ait pour résultat nécessaire une espèce d'expropriation de celle-ci au profit de la seconde. Quelque chose de cet effet se produit en apparence au premier moment, et s'il s'agit d'une nation sans aucune énergie pour le travail, peut durer. Mais pour une nation laborieuse, il n'en est pas de même, elle s'enrichit avec l'aide des capitaux apportés du dehors, par suite de l'amélioration de ses moyens de production, et bientôt rachète de l'étranger qui en apprécie mal l'avenir, les titres créés pour solder les dépenses.

La division naturelle du travail entre les diverses nations repose sur les qualités des races; la ténacité, le goût des arts, le savoir, le climat, etc., ces éléments assurent chez chaque nation la prospérité d'industries différentes. Ainsi la production du vin, de la soie dans le Midi de la France fera toujours la richesse de ces contrées.

Il faut faire du reste une distinction souvent négligée parmi les travaux de l'industrie, et qui répond à ce qu'il y avait de fondé dans la doctrine de physiocrates, qui étaient certes des esprits d'un ordre élevé.

Le premier des besoins de l'homme est de vivre, la première des industries qu'il exercera, et dont le principal instrument est la terre sur laquelle il vit, est l'agriculture. Donc et avant tout, indépendamment de tout échange qui suppose qu'on a produit déjà quelque chose, qu'il y a un capital accumulé, la terre sera cultivée, et dans un grand pays produira des milliards de valeurs souvent spéciales au climat, le vin, par exemple, dans notre pays,

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Or, il est bien évident que les industries qui se proposent la mise en œuvre des produits du sol devront malgré tout prospérer dans un pays, si tous les moyens sont mis en œuvre pour rendre la plus grande possible la production végétale, la première base de toutes les créations. Une fois créés, ces produits, surtout avec les progrès et la vulgarisation des sciences industrielles, n'iront pas chercher longtemps leur transformation à l'étranger.

Ainsi la filature du lin créée en Angleterre a fait une rude concurrence aux ouvrières des Flandres, mais aujourd'hui cette contrée possède des filatures mécaniques qui convertissent en toile le lin produit par la culture du sol.

C'est donc surtout l'agriculture d'un pays qu'il importe de ne pas laisser dépérir, qu'il faut mettre dans la voie de développement en détruisant les institutions qui s'y opposent, comme la vaine pâture par exemple, quand elle empêche la culture de bonne terre.

Pour la France, tant pour l'agriculture que pour l'industrie, il n'est pas bien certain qu'une intervention de l'État pour activer les progrès de l'industrie soit encore désirable, et évidemment il était temps de modifier la forme surannée des prohibitions multiples, exagérées, aliénant les sympathies des nations étrangères dont les produits pouvant alimenter des échanges étaient systématiquement repoussés, ce qui rendait le plus souvent impossible la vente d'un produit, sous prétexte d'en protéger un autre, qui était la base de la création du premier.

La protection n'est pas, comme bien des gens se l'imaginent, le seul procédé à l'aide duquel une administration intelligente puisse élever le niveau de l'industrie dans un pays; la voie d'encouragement direct convient mieux à une nation avancée.

Rappelons, comme exemple de ce genre d'encouragement, que Colbert avança 2,000 francs aux manufactures de draps et de soieries par chaque métier; de cette époque date le beau développement de ces industries. Rappelons surtout les encouragements du gouvernement anglais aux grandes lignes de navigation à vapeur, dont nous avons déjà parlé.

Ce système peut difficilement être appliqué aussi puissamment que la protection des douanes; mais s'il donne de moindres résultats pour faire naître une industrie presque impossible dans un pays, il évite les pertes qui surviendront le jour où la force des choses rétablira la division logique du travail entre les nations.

En résumé, lorsque la France exportait annuellement plus d'un milliard de produits manu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

facturés, elle pouvait espérer avec toute raison que l'accroissement des industries qui fournissent ces produits, par suite des économies que la liberté permettait d'apporter dans leur fabrication, pourrait amplement compenser quelques diminutions d'industries qui n'alimentaient que le marché intérieur. Il était temps de donner satisfaction aux meilleures aspirations de notre siècle, et on pouvait le faire sans danger en effectuant avec prudence la réforme dans les douanes pour laquelle notre industrie était mûre. Laissant de côté les droits sur les sucres, les cafés, etc., qui sont de véritables impôts et dont nous n'avons pas à nous occuper ici, on devait : dégrever complétement toutes les matières premières, base de notre belle industrie ; faire disparaître du tarif une multitude d'articles ne donnant que des revenus insignifiants ; réduire le tarif à la nomenclature de quinze à vingt articles d'une exécution difficile, et sans jamais voir le montant des droits temporaires dépasser (en opérant par des réductions progressives) 8 ou 10 p. 100 de la valeur. Il importait aussi de supprimer les formalités et vexations qui attendent tout importateur du moindre objet, qui arrêtent le transit, forcent à un luxe de dessins, de lavis, de cautions, quiconque importe un objet de 20 fr. ! Comme si ce n'était pas un véritable service rendu au pays que d'emprunter à l'étranger un moyen de fabrication, de s'assimiler un progrès qu'il a su réaliser. Telles étaient les réformes qui étaient la conséquence du rang élevé qu'occupe aujourd'hui l'industrie française au milieu de l'industrie universelle. Elles ressemblent beaucoup, on le voit, à ce qui a été fait.

Il faut en même temps que, par la vulgarisation de l'enseignement des sciences et des arts, par une amélioration dans nos mœurs qui donne plus de stabilité à nos établissements industriels, enfin par des encouragements directs, les industries retardataires soient sollicitées à accomplir les progrès qui les mettent au niveau des industries étrangères. Le travail d'un ingénieur, un concours, une récompense attirant l'attention publique, agissent souvent aussi efficacement que la protection douanière, conduisent quelquefois plus rapidement à un heureux résultat. Ce qu'il faut surtout, c'est faire disparaître les charges qui pèsent sur toutes les industries, comme les péages des voies de commmunication. Le pays a déjà fait de grandes choses pour les voies terrestres, pour les chemins de fer. Ce n'est même que depuis qu'ils sont terminés que l'on a pu parler des réformes de douanes, car ils empêchent l'étranger d'avoir, sur une grande étendue de nos côtes, un véritable monopole de voisinage.

Au milieu d'un admirable développement industriel comme celui de notre pays, obtenu par les efforts soutenus d'une génération aussi intelligente que laborieuse, avec le goût si pur qui

fait distinguer nos produits sur les marchés du monde entier, nous pouvions sans danger réduire l'action gouvernementale à une légère protection qui assure la préférence, pour la fourniture du marché intérieur, à nos compatriotes arrivés à la même habileté que les étrangers, facilite la transition à un régime de pleine liberté et tienne lieu des charges qui incombent à nos producteurs ; enfin, à des encouragements destinés à naturaliser en France quelques industries nouvelles, à seconder l'essor de l'énergie nationale, pour effectuer de nouveaux progrès, pour disputer partout et dans toutes les directions la supériorité aux autres nations.

C'est là la bonne, la vraie émulation de l'avenir, et ce régime doit être la fin de toutes ces mesures violentes et hostiles qui ont fait si longtemps la base du droit international, le plus souvent au plus grand préjudice de la nation qui s'imposait les plus lourds sacrifices.

Les résultats obtenus par la liberté commerciale, l'accroissement considérable des exportations, ont démontré victorieusement ses avantages.

Les questions que nous venons de traiter sont tout particulièrement du ressort de la politique, puisqu'il s'agit spécialement des actes du pouvoir social ou des délégations de ce pouvoir. Mais, à proprement parler, tout ce qui touche l'organisation industrielle, c'est-à-dire les conditions du travail dans une société laborieuse, appartient nécessairement à la politique, et nous l'avons maintes fois rencontrée, pour ainsi dire, malgré nous, en traitant de questions industrielles.

Il ne faudrait pas en conclure que l'économie du travail est toute la politique ; elle en est une partie essentielle, mais elle est loin d'être la seule ; l'industrie est plus souvent victime que dominatrice dans les grands cataclysmes, qui se rencontrent trop fréquemment dans la vie des nations. Son rôle grandit sans cesse avec le développement incessant du travail producteur, mais si nous avons dû tout naturellement, dans cet ouvrage, en exalter l'importance, nous devons prémunir le lecteur contre des conséquences exagérées, car c'est une des erreurs les plus répandues parmi les travailleurs et les plus communes à notre époque que d'établir en principe que lui seul mérite satisfaction. Les intérêts matériels occupent certes une grande place dans la vie des nations comme dans celle des individus ; mais les éléments moraux, sur lesquels repose la stabilité, l'ordre vrai, doivent en occuper une plus grande encore dans une société chrétienne, arrivée à un haut degré de civilisation.

Nous arrêterons ici des considérations que nous ne pourrions développer davantage, sans nous écarter beaucoup de la technologie, objet principal de cet ouvrage ; le terminant par le souhait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

de voir la France riche et prospère, grâce au travail producteur. Il suffit presque, pour cela, que l'ordre et la sécurité soient assurés par l'organisation politique, et il faudrait bien peu de chose pour voir se renouveler dans notre pays, sur une immense échelle, par une exportation énorme de nos produits dans le monde entier, les splendeurs du siècle de Périclès : les talents de nos artistes, de nos fabricants, de nos ouvriers d'élite, sont parfaitement suffisants pour cela. Avec un peu plus de bon sens que les citoyens d'Athènes, avec lesquels on nous compare fréquemment, avec le sacrifice de quelques mauvais préjugés, nous aurions bientôt réparé les désastres de la guerre du Péloponèse!

CH. LABOULAYE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLE DES MATIÈRES

DE L'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

Principes fondamentaux.

De l'économie politique. — De la méthode à suivre pour son étude..... 1
De la richesse. — Divisions de la science..... 3

Production de la richesse.

I. Du travail. — Économie, — Division, — Liberté du travail..... 4
II. Du capital qui concourt avec le travail à la production. — Des machines..... 8
III. Des éléments moraux de la production..... 10
IV. De l'échange. — De la valeur. — De son évaluation en travail..... 11
De la monnaie..... 12
Des variations des prix..... 13
V. Effets d'une grande puissance productrice..... 14

Distribution de la richesse.

De la propriété des fruits du travail..... 15
I. Rémunération du travail. — Ouvriers. — Entrepreneurs. — Inventeurs. — Savants..... 16
II. Rémunération du capital..... 20
III. De la rente. — Loi des profits. — Éléments qui limitent la concurrence..... 21

Consommation de la richesse.

De l'épargne. — Du luxe. — De la population..... 27

ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE.

I. — **De l'agriculture en France**..... 30

II. — **Des arts et manufactures en France**..... 31
Industries donnant lieu à des exportations :
Tissus. — Machines. — Produits chimiques..... 32
Articles de goût..... 33
Industries donnant lieu à des importations considérables. — Industries locales..... 34

III. — **L'agriculture en Angleterre et en Allemagne**..... 36

IV. — **Organisation de l'industrie française**..... 38
1. Des utopies modernes : Saint-Simonisme, Communisme, Coopération..... 39
2. De l'ordre dans l'industrie. — Grèves et Coalitions..... 41
Justice et nécessité de l'interdiction des caisses de résistance..... 44
3. Des grandes manufactures. — Fondations réalisées par la plupart d'entre elles : Caisses de secours, de retraite, magasins à prix réduit, maisons ouvrières..... 46

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

ET DE L'AGRICULTURE

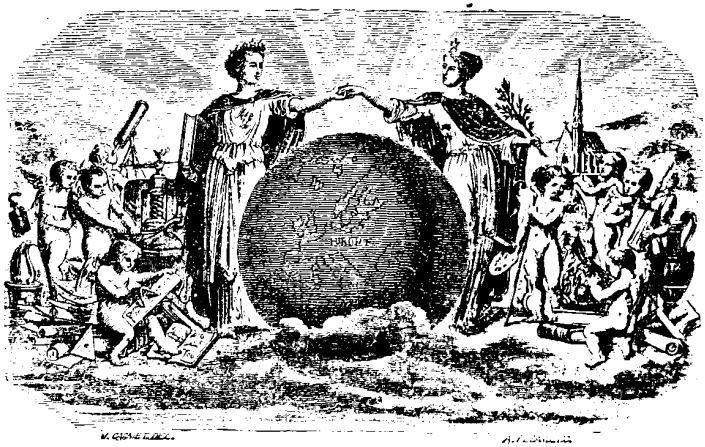
PAR M. CH. LABOULAYE

SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, MEMBRE DU JURY INTERNATIONAL AUX EXPOSITIONS UNIVERSELLES DE 1862 ET 1867, ETC.

AVEC LE CONCOURS DE SAVANTS, D'INGÉNIEURS ET DE FABRICANTS

QUATRIÈME ÉDITION (2e TIRAGE

COMPLÉMENT



SCIENCE ART

PARIS

LIBRAIRIE DU DICTIONNAIRE DES ARTS ET MANUFACTURES

60, rue Madame, 60

1877

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INTRODUCTION.

Nous devons commencer ce Complément, comme le Dictionnaire, en rappelant l'importance capitale des sciences pour la production industrielle, afin de ne jamais laisser oublier ce qui fait la noblesse comme la valeur du travail humain: la subordination de la matière à l'esprit.

La culture d'un art, aussi bien que celle d'une science, est un travail intellectuel exigeant une méthode pour être pratiquée avec quelque supériorité, et pour pouvoir augmenter les connaissances acquises par l'analyse de tout résultat nouveau.

La vulgarisation d'une semblable méthode dans les ateliers est la principale source du véritable progrès industriel, la condition essentielle d'améliorations incessantes. Or, comme c'est dans les sciences qu'elle s'établit d'une manière nécessaire en quelque sorte; comme ce sont elles qui apprennent à s'élever du connu à l'inconnu, rien ne peut plus contribuer à enseigner aux producteurs les bonnes méthodes intellectuelles, en même temps que leur fournir de bien précieux renseignements, que l'analyse des procédés de fabrication ramenés à des principes scientifiques, que l'exposition claire de la théorie de chaque fabrication considérée comme une application des sciences physiques, théorie à laquelle tous les progrès de la pratique viennent nécessairement se rattacher comme à un centre commun. C'est là le but le plus élevé que l'on puisse se proposer en écrivant sur l'industrie, et surtout dans un travail qui comprend l'ensemble de la technologie. C'est fondre dans un même ensemble les travaux des savants et des praticiens, en même temps avec quelque avantage pour la science et un immense profit pour la pratique, qui apprend à utiliser toutes les découvertes de la science.

Mais de là ne résulte pas qu'en présence des grands progrès de l'industrie le rôle des savants soit de descendre dans les ateliers, d'abandonner les études spéculatives pour ne s'occuper que des applications. Leur rôle est plus important; il consiste à créer, à accroître les connaissances dont les applications ont tant d'utilité, à élever à un niveau, sans cesse plus élevé, les efforts des producteurs. C'est la science qui fait grandir l'industrie; celle-ci applique les découvertes, mais ne les fait pas et même ne les utilise pas complétement en général; en outre, elle reste étrangère aux progrès réalisés dans l'ordre immatériel, dans la philosophie de la science. Nous ne pourrions, à cet égard, nous expliquer avec l'autorité de l'illustre Biot, qui, dans les derniers jours d'une vie toute consacrée à la science, a combattu avec toute l'autorité justement acquise par tant de travaux, une erreur trop commune de nos jours, un oubli trop fréquent du rôle du savant.

Nous extrayons le passage ci-après d'un article publié par lui dans le *Journal des savants* sur le *Commercium epistolicum J. Collins et aliorum de analysi promota*, publication curieuse relative au plus grand progrès des sciences modernes, à la découverte du calcul infinitésimal. Ce passage renferme des conseils qui ont autant d'à-propos que d'utilité.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Depuis cinquante ans, les sciences physiques et chimiques ont rempli le monde de leurs merveilles. La navigation à vapeur, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz et celui qu'on obtient par la lumière éblouissante de l'électricité, les rayons solaires devenus des instruments de dessin, d'impression, de gravure, cent autres miracles humains que j'oublie, ont frappé les peuples d'une immense et universelle admiration. Alors la foule irréfléchie, ignorante des causes, n'a plus vu des sciences que leurs résultats; et, comme le sauvage, elle aurait volontiers trouvé bon que l'on coupât l'arbre pour avoir le fruit. Allez donc lui parler d'études antérieures, des théories physiques, chimiques, qui, longtemps élaborées dans le silence du cabinet, ont donné naissance à ces prodiges! Vantez-lui aussi les mathématiques, ces racines génératrices de toutes les sciences positives; elle ne s'arrêtera pas à vous écouter. A quoi bon des théoriciens? Lagrange, Laplace ont-ils créé des usines ou des industries? Voilà ce qu'il faut! Elle ne veut que jouir. Pour elle le résultat est tout; elle ignore les antécédents et les dédaigne. Gardons-nous, tous tant que nous sommes qui cultivons les sciences, de nous laisser troubler à ce bruit des exigences populaires. Poursuivons avec une invariable persévérance notre patient travail d'exploration sans les écouter. Continuons à étudier la nature dans ses secrets intimes, à découvrir, mesurer, calculer les forces qu'elle met en œuvre, nullement préoccupés des applications profitables qu'on en pourra faire. Elle viendront toujours à leur temps, comme conséquences. Surtout, que nos leçons et notre exemple dirigent et entretiennent constamment la jeunesse studieuse dans ces vues élevées. C'est la condition de son développement et de tout progrès à venir. Car si pour le motif étroit de la préparer de bonne heure aux applications pratiques on la jetait prématurément dans le mécanisme des faits matériels, sans l'avoir d'abord instruite des lois abstraites qui les régissent et des théories générales qui les rassemblent, lui ôtant même le goût ainsi que la volonté de s'en instruire, on arrêterait, on enchaînerait pour toujours l'essor de son intelligence, et l'on verrait bientôt s'éteindre en elle ce feu, cette vivacité de perception, d'imagination, qui est une des qualités les plus brillantes et les plus distinctives de l'esprit français. *Quod Deus avertat!* »

Cette exclusion de la science pure par l'esprit utilitaire contre laquelle cherchait avec si grande raison à réagir le savant Biot, si elle est à craindre pour les sciences les plus abstraites, pour les sciences mathématiques pures et appliquées à divers ordres de connaissances, est bien moins à redouter pour la partie des sciences comprises généralement sous le nom de *philosophie naturelle*, dont les progrès se traduisent immédiatement en résultats pratiques, et excitent le vif intérêt des hommes qui apprécient le moins la pure théorie, mais qui sont forcés d'y reconnaître la source de moyens assurés de succès.

La philosophie naturelle qui comprend toutes les sciences physiques, toutes celles qui traitent des phénomènes de la nature, est, on peut dire, moderne sous sa forme actuelle. Son renouvellement date véritablement de Bacon et de Galilée, et les nouvelles méthodes ont trouvé dans Newton leur plus éminent interprète. Pendant tout le moyen âge et jusqu'au mouvement de rénovation, de confiance en soi de l'esprit humain qui s'est manifesté lors de la Réforme, à une époque si fertile en grands efforts intellectuels, le monde était considéré comme se maintenant par l'effet du hasard pour les uns, par l'intervention incessante de la volonté divine pour les autres. Ce ne fut guère qu'à partir de cette époque que, secouant le joug de la doctrine scolastique, l'esprit humain reprit la tradition des grands génies de l'antiquité; ce sont surtout les émi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nents philosophes du dix-septième siècle, Descartes et Leibnitz notamment, qui démontrèrent que le monde se maintenait par le jeu de forces obéissant à des lois parfaitement déterminées. Si quelques esprits s'étaient, dans plusieurs directions, élevés dans l'antiquité à cette notion de loi, c'était sans en faire un point de départ pour des recherches variées à l'infini. Ce n'est que depuis qu'elle est devenue prédominante que s'est construit l'immense édifice des sciences de la nature, qui ont permis le développement de la civilisation moderne, au point de vue matériel. Le nombre, l'étendue de ces sciences dont plusieurs, la chimie notamment, sont entièrement nouvelles, a prouvé toute la vérité de cet important principe.

C'est parce qu'il existe des lois, que la méthode expérimentale qui consiste à produire un phénomène en faisant varier un ou plusieurs éléments de son existence, permet d'obtenir la relation de cet élément avec le phénomène pour tous les cas possibles. Ce sont ces lois bien établies, dont les mathématiques permettent de tirer toutes les conséquences même les plus éloignées, qui constituent la masse des connaissances qui forme la plus véritable richesse que nous puissions transmettre aux générations futures. Découvrant un horizon immense, elles importent plus encore que les accumulations de travail déjà faites, qui sont cependant si considérables, et contribuent si utilement à l'amélioration du sort de l'humanité. C'est en effet par centaines de milliards qu'il faudrait évaluer celles-ci; nous le prouverons facilement en disant que tout récemment une dépense de plus de cinquante milliards a été faite par les nations civilisées pour la construction des chemins de fer, pour transformer merveilleusement les conditions de la locomotion !

Quant aux rapports de la théorie et de la pratique, on peut affirmer qu'il n'est plus douteux aujourd'hui, pour aucun bon esprit, que les sciences ne fournissent la base la plus solide du perfectionnement des procédés industriels, du succès des personnes qui s'y attachent (indépendamment, bien entendu, de la manière dont elles satisfont aux conditions commerciales, de leur adresse dans l'achat et la vente, ce qui se rapporte à la manière de tirer parti du produit industriel, mais nullement à sa création). Le présent ouvrage, en montrant les relations de chaque instant de la théorie et de la pratique, en constatant la continuité des sciences de la nature et des procédés industriels, renferme une foule de démonstrations de cette vérité qui apparaît dans l'analyse de chaque industrie.

Ce que nous disons des sciences, relativement aux procédés techniques de la fabrication, est également vrai des beaux-arts, relativement à la forme, à l'ornementation des objets devant servir à notre usage, et qui, par suite, doivent être en rapport intime avec le goût, avec l'état des esprits, le cours des idées des consommateurs. C'est une loi certaine qu'aux époques où la civilisation a été la plus brillante, les objets usuels ont pris une apparence qui en a fait des objets d'art pour les modernes. Qu'y a-t-il de plu précieux aujourd'hui que les vestiges de l'art grec, non pas seulement les temples, les statues, mais encore les monnaies, les poteries, etc.?

Nous réunissons dans le travail qui termine cet ouvrage les principes les plus certains qui régissent les questions d'art industriel, et de même que nous avons pu conclure d'une manière incontestable au développement des sciences pour grandir la technique de l'industrie, nous y établissons, avec non moins de certitude, la nécessité de la culture des beaux-arts, de l'accroissement et de la vulgarisation de leurs œuvres, pour accroître la valeur de la plupart des produits fabriqués. La puissance des moyens de production

EFERUS - Recherche & Classification numérique

n'est nullement un obstacle à ce qu'on puisse revoir le siècle de Périclès; ils n'éloignent nullement de la perfection, tout en fournissant le moyen de supprimer, par l'utilisation des puissances naturelles, le travail inintelligent, l'esclavage qui déshonorait les cités grecques, et en même temps de mettre à la portée de l'humanité tout entière les produits les meilleurs et les plus élégants.

On n'aime vraiment l'industrie que quand on sent dans ses œuvres des manifestations de l'art ou de la science; celui qui n'est préoccupé trop exclusivement que des bénéfices qu'elle procure est bien près d'y renoncer et de l'abandonner pour la spéculation. Inspiré par l'amour du progrès, le travail développe les facultés de celui qui s'y livre. Combien pourrait-on citer à notre époque de fabricants devenus de véritables savants, connaissant mieux que quiconque ce qui est du domaine de leur travail; de véritables artistes pour les objets qu'ils savent si bien inventer et transformer chaque jour!

Je n'entrerai pas ici dans plus de détails, ne voulant pas donner trop de développements à cette introduction qui ferait double emploi avec celle placée en tête du Dictionnaire, et je ne reviendrai pas sur les principes, les méthodes que j'ai cherché à analyser dans cette dernière. Il me paraît utile, toutefois, pour compléter mon premier travail, d'exposer avec quelques détails une loi peu connue encore, vaguement admise jusqu'ici dans la science comme conséquence du grand principe sur lequel repose l'édifice des sciences physiques, et dont on n'a nullement tiré les fécondes conséquences qui doivent résulter de son application.

Bien des lois que nous admettons comme la meilleure manière d'expliquer les phénomènes, dans un état donné de la science, n'ont de valeur que momentanément; il n'en est pas de même de celles qui, simples et étant l'expression directe de faits certains, sans prétendre révéler la nature intime des forces naturelles dont la conception change avec chaque progrès que nous faisons dans la connaissance de la nature, suffisent à expliquer un monde de faits. La conquête de semblables principes est la plus belle que l'on puisse tenter, et il nous paraît juste de mettre à ce rang élevé la loi dont nous voulons parler.

Avant d'en traiter, nous rappellerons que nous avons établi, en traitant de la physique, que la réduction à la mécanique, c'est-à-dire à la science du mouvement, est en physique le dernier progrès possible; qu'en dernière analyse il n'y a qu'étendue et mouvement, comme l'a proclamé Descartes, dont la puissante synthèse domine de nouveau la science, et que c'est à ramener à ces premières notions, les plus simples, les plus abstraites que nous puissions concevoir, les lois des phénomènes du monde matériel, que nous devons nous appliquer. Nous avons pris pour exemple les sons produits par les vibrations des corps; celles-ci étant connues et quant à leur rapidité et quant à leur amplitude, la théorie de la production des sons est complète et il n'y a rien de plus à découvrir sur ce sujet. C'est cette réduction à la mécanique de l'ensemble des faits physiques, qui paraît pouvoir être accomplie par l'établissement de la corrélation des forces qui produisent les grands phénomènes de la nature, du grand et important principe que je définis : le principe de la permanence du travail dans l'univers, autre expression et généralisation du principe établi dans la mécanique, de la conservation des forces vives.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DE LA PERMANENCE DU TRAVAIL DANS L'UNIVERS.

Chacune des modifications de la matière, a fort bien dit Senarmont, un des hommes de notre siècle qui ont vu de plus haut les phénomènes physiques, a été longtemps considérée comme l'effet d'une cause particulière, capable de mettre en jeu certaines forces qui lui étaient exclusivement propres. Un examen plus approfondi permit bientôt de reconnaître que cette conception de différents agents spécifiques et hétérogènes n'a au fond qu'une seule et unique raison, c'est que la perception de ces différents ordres de phénomènes s'opère, en général, par des organes différents, et qu'en s'adressant plus spécialement à chacun de nos sens, ils excitent nécessairement des sensations spéciales. L'hétérogénéité apparente pourrait bien être alors moins dans la nature même de l'agent physique que dans les fonctions de l'*instrument physiologique* qui en recueille les effets et les transforme en sensations; de sorte qu'en transportant, par une fausse attribution, les dissemblances de l'effet à la cause, on aurait en réalité classé les phénomènes médiateurs par lesquels nous avons conscience des modifications de la matière plutôt que l'essence même des modifications qui ont provoqué ces phénomènes médiateurs.

Cette homogénéité des puissances naturelles a été posée comme un axiome par Descartes; il la fait résulter de l'analyse de l'intelligence humaine. « Ayant premièrement considéré, dit-il, « toutes les notions claires et distinctes qui « peuvent être dans notre entendement touchant « les choses matérielles, et n'en ayant pas « trouvé d'autres, sinon celles que nous avons « des figures, des grandeurs et des mouve- « ments, et des règles suivant lesquelles ces « choses peuvent être diversifiées l'une par « l'autre, lesquelles règles sont les principes de « la géométrie et des mécaniques, j'ai jugé « qu'il fallait nécessairement que toute la con- « naissance que les hommes peuvent avoir de la « nature fût tirée de cela seul, parce que toutes « les autres notions que nous avons des choses « sensibles étant confuses et obscures, ne peu- « vent servir à nous donner la connaissance « d'aucune chose hors de nous, mais plutôt la « peuvent empêcher. »

Le principe posé si hardiment par Descartes et que l'école purement expérimentale qui règne aujourd'hui n'oserait établir ainsi *à priori*, se vérifie chaque jour plus complétement par tout progrès des sciences. La matière et le mouvement sont de plus en plus reconnus comme les seuls éléments du monde matériel, mais on peut aller plus loin, et reconnaître qu'ils ne se créent ni se détruisent, que leur quantité est invariable dans l'Univers.

Pour la matière, c'est une vérité démontrée par la chimie. *Rien ne se perd, rien ne se crée*, est le principe sur lequel Lavoisier a fait reposer l'édifice de la science; c'est parce qu'il est vrai que la balance permet de retrouver tous les éléments des combinaisons et décompositions de tout genre.

Cette grande vérité qui, introduite dans les sciences, a permis d'élever, avec une rapidité inouïe, un admirable édifice qui en a montré l'exactitude et la portée, appelait un complément plus important encore au point de vue de la philosophie des sciences, de la nature des forces; l'extension du principe de la conservation des forces vives démontré en mécanique comme vrai dans ses applications à des systèmes particuliers, à l'ensemble de l'Univers; conception à laquelle la constance des phénomènes astronomiques donne, *à priori*, un haut degré de probabilité.

Descartes avait aussi entrevu cette importante vérité, que l'on doit définir la *permanence du travail dans l'univers*. « Je tiens, écri- « vait-il, dans une lettre datée du 1er avril 1648, « qu'il y a une certaine quantité de mouvement « dans toute matière créée qui n'augmente ni ne « diminue jamais. » Leibnitz s'éleva contre le principe émis par Descartes, ou plutôt précisa et formula d'une manière plus complète la vérité qui n'était qu'imparfaitement énoncée dans le passage ci-dessus. Il démontra par de nombreux exemples que le principe de Descartes ne se vérifiait pas toujours, et établit que ce n'était pas la *quantité de mouvement* qui demeure constante dans l'univers, mais la quantité à laquelle Leibnitz donna, à l'état d'activité, le nom de *force vive*, et que nous rencontrons le plus souvent sous une forme particulière que nous nommons *quantité de travail*.

Montgolfier, l'inventeur des aérostats, posa en principe vers 1800, à l'imitation de Descartes, la permanence des mouvements. De cette aperception incomplète d'une notion exacte, il fit une application extrêmement remarquable dans un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-ingénieux appareil à l'invention duquel les principes reçus alors dans la science ne l'eussent sûrement pas conduit, et dont Bossut nia la possibilité à l'origine, au bélier hydraulique.

Faire remonter l'eau, par sa propre action, à un niveau supérieur à celui d'où elle tombe, était un problème qui paraissait insoluble; c'est cependant ce qui se passe dans le bélier de Montgolfier, dans lequel l'eau, mise en mouvement dans un tuyau, entraîne un boulet qui ferme momentanément l'orifice de sortie, et le mouvement de l'eau ne pouvant être instantanément anéanti, produit le seul effet qui est resté possible; l'eau soulève une soupape chargée d'une haute colonne d'eau et à chaque fois y fait passer une fraction du liquide en mouvement.

Malgré cette curieuse expérience, il est bien évident que si l'idée de Montgolfier contient une part de vérité, elle n'est pas toute la vérité, car nous voyons dans mille circonstances le mouvement s'anéantir sans laisser de traces. Ce n'est pas le mouvement qui persiste, en présence de résistances, c'est le travail réel ou *virtuel* de la force; c'est, dans le bélier, la force vive de l'eau en mouvement.

Définissons bien le travail mécanique. Lorsqu'une force produit un mouvement, elle engendre, en exerçant son action d'une manière continue sur un corps résistant, un effet qui doit évidemment s'évaluer par la répétition d'une pression, par le produit de cet effort et du chemin qu'il fait parcourir à son point d'application. C'est là le *travail*, l'unité complète dont l'introduction dans la science mécanique a été un immense progrès, d'une très-grande valeur logique, que Coriolis, Navier et surtout Poncelet ont bien fait apprécier par leurs beaux travaux. Elle a débarrassé la science de bien des difficultés, de bien des obscurités qu'y avait introduites l'abus des considérations statiques, se rapportant à l'état d'équilibre, qui tendaient à remplacer les forces par des lignes, la mécanique par la géométrie.

Nous avons analysé dans l'INTRODUCTION (*mécanique appliquée*), la notion du travail des forces, le moyen de le mesurer en partant de la force dont nous connaissons le mieux les effets, de la pesanteur. Nous avons vu qu'on pouvait toujours assimiler l'effet d'une force au soulèvement d'un poids, et par suite exprimer son travail par des poids élevés à une hauteur déterminée, ou par une hauteur à laquelle on a élevé un poids déterminé. Si on multiplie le poids par la hauteur, on a, sous la forme la plus concise, l'expression numérique de l'effet produit, le *travail*, exprimé en kilogrammes élevés à 1 mètre, ou en kilogrammètres en adoptant une unité de travail.

Il est facile, par l'examen de phénomènes dans lesquels le mouvement disparaît, de voir que le travail des forces en jeu n'est pas détruit, mais seulement transmis, et qu'un travail moteur ne peut disparaître qu'autant qu'il a produit un travail résistant égal, quand il a pu prendre naissance, ou bien qu'il est resté emmagasiné, prêt à se manifester, s'il n'en est pas ainsi, si les résistances sont insurmontables.

Toutefois, on ne peut jamais retrouver la totalité du travail dépensé pour produire un effet donné; une partie dans la mécanique terrestre disparaît toujours, sous diverses formes, celle de frottement notamment; c'est de là que résulte l'impossibilité du mouvement perpétuel. Le principe de la permanence du travail mécanique semblerait donc inadmissible, si l'on ne remarquait que lorsque ces déficits se produisent, on voit généralement apparaître de la chaleur. Ainsi, dans les frottements des axes de rotation, dans l'emploi des outils, des scies, des vrilles, etc., toujours il y a échauffement. On sait que les sauvages des forêts américaines se procurent du feu en frottant deux morceaux de bois l'un sur l'autre, et que bien souvent on a essayé de produire industriellement de la chaleur par le frottement.

Équivalence du travail mécanique et de la chaleur. — Lorsque toutes les idées que nous nous faisons du travail des forces, d'après tous les faits de la science, nous portent à penser qu'il ne peut s'anéantir de lui-même; lorsque nous voyons les corps célestes obéir, sans variation aucune, aux forces qui les sollicitent, nous devons croire à la permanence du travail. Il est donc nécessaire de conclure que dans les cas où un déficit se produit et un échauffement apparaît, il doit y avoir équivalence entre le travail qui disparaît et la chaleur qui apparaît. Tel est en effet le principe qui a été posé nettement en 1842 par le docteur Mayer d'Heilbronn. En établissant entre les deux phénomènes les relations de cause à effet, il formula le principe que les deux quantités devaient varier l'une proportionnellement à l'autre. C'est sous la forme d'équivalence de ces deux quantités que cette nouvelle notion s'est introduite récemment dans la science.

Déjà, dans un admirable travail publié dès 1824, S. Carnot (*Réflexions sur la puissance motrice du feu*), cherchant à analyser le mode d'action de la chaleur pour engendrer un travail mécanique à l'aide de la machine à vapeur, avait formulé une grande partie de la vérité, en montrant que le mouvement perpétuel était une conséquence nécessaire des idées qui régnaient alors, qui faisaient considérer le travail qui peut être produit par la chaleur comme variant avec les divers corps auxquels elle est communiquée. On ne rendit pas justice à cet esprit éminent et cependant les principes qu'il a posés restent la base de la théorie de la production du travail mécanique par la chaleur, sur-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tout celui que le travail théorique produit ne dépend pas de la nature du corps chauffé, mais seulement de la chaleur employée, que celle-ci est la seule cause du travail dans la production duquel n'intervient le corps échauffé que comme intermédiaire. De là se déduisait naturellement la mesure d'un *maximum* de travail que pouvait produire la chaleur, base solide pour la théorie de la machine à vapeur. C'était bien approcher de la notion d'équivalence formulée de nos jours.

Pour approfondir les relations de la chaleur et du travail mécanique, il faut comparer des unités complètes, et on ne pouvait arriver à reconnaître la vérité par l'expérience, si on ne tenait compte que de forces, de tensions ou de températures seulement. On a dû constituer une unité de chaleur adéquate à celle de travail, définir exactement la quantité de chaleur. On a adopté à cet effet pour unité la calorie, la quantité qui échauffe un kilog. d'eau d'un degré, qui ne dépend pas plus de la température que le travail mécanique de la vitesse, c'est-à-dire qui est dégagée de la considération des phénomènes secondaires, ne changeant pas seuls la valeur de l'unité complète formée du produit de plusieurs quantités.

Ceci établi, si l'on interroge les faits, on reconnaît expérimentalement la disparition, la consommation de chaleur dans la machine à vapeur, en *proportion* du travail produit; aussi bien que la production de la chaleur dans tous les cas d'emploi du travail mécanique, et cela en *proportion* de ce qui disparaît comme travail; ce qui démontre incontestablement une certaine homogénéité entre des quantités susceptibles de se transformer l'une dans l'autre et permet de conclure la généralité de la loi d'équivalence.

Établir que la conversion de travail en chaleur et réciproquement est soumise à la loi constante d'équivalence, est surtout affaire de logique. C'est ainsi qu'on ne peut pas démontrer expérimentalement l'impossibilité du mouvement perpétuel, et qu'il faut que l'esprit tire de l'étude d'un nombre limité de mouvements et surtout du raisonnement, la certitude qu'il ne pourra jamais être réalisé, que toutes les résistances ne pourront jamais être annulées. La démonstration de S. Carnot (Voy. Calorie) que la chaleur engendrant du mouvement, on arrive directement au mouvement perpétuel si on admet que le travail engendré par une quantité de chaleur complétement utilisée n'est pas une quantité constante, peut varier avec le corps auquel elle serait communiquée, est du seul genre possible; car comme on ne peut faire sur tous les corps de la nature l'expérience qui prouverait la vérité de cette proposition, et que l'action de la chaleur n'est pas toujours aisément mesurable, il faut se contenter d'une démonstration par l'absurde d'une vérité que l'expérience confirme.

La chaleur n'agit pas sur les solides et les liquides comme sur un gaz parfait; outre le travail qui surmonte les résistances extérieures, une autre quantité est employée, pour ces deux autres états physiques, à modifier l'état de réunion des molécules. Cette dernière partie est dans les solides une partie importante de travail produit; elle est même la totalité à la température où le corps se fond, où toute cohésion entre les molécules qui constituent le corps solide disparaît. On sait qu'alors il faut consommer pour le fondre une quantité considérable de chaleur qui est dite chaleur latente; cas anciennement connu et très-remarquable de la conversion d'une quantité considérable de chaleur en travail.

Dans ce qui précède, nous avons eu surtout en vue la production du travail par la chaleur; la proposition inverse, ou la constance du rapport du travail à la chaleur produite, le renversement de la proposition ci-dessus, ne peut être davantage contestée; c'est au fond la même proposition.

Ce n'est que dans ces dernières années que la valeur du rapport entre la chaleur et le travail produit, de ce qu'on nomme l'équivalent mécanique de la chaleur, a été déterminée par le calcul et par l'expérimentation. Nous consacrons plus loin un article aux expériences qui ont servi à la préciser. M. Joule avait obtenu par diverses méthodes le nombre 424, mais nos expériences nous permettent de considérer comme plus exact le nombre 370, moindre de $\frac{1}{10}$ que le précédent, c'est-à-dire que la quantité de chaleur qui peut élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau peut engendrer un travail mécanique mesuré par un poids de 370 kilogrammes élevé à un mètre.

On peut dire de même que $\frac{1}{370}$ est l'équivalent calorifique du travail, c'est-à-dire qu'un kilogrammètre peut produire une quantité de chaleur égale à $\frac{1}{370}$ de calorie.

La métamorphose de la chaleur en travail et réciproquement exige pour s'effectuer des conditions déterminées. Elles peuvent en principe se résumer en disant qu'il faut que le travail soit employé à mettre en jeu les forces qui s'exercent sur les molécules d'un corps individuellement, pour produire de la chaleur. D'une autre part, pour qu'une quantité de chaleur se transforme en travail, il faut qu'elle produise une dilatation, c'est-à-dire que la chaleur soit dirigée d'un corps plus chaud sur un corps moins chaud; d'où cette règle capitale pour la théorie de toute machine mue à l'aide de la chaleur, qu'il ne se fasse, dans les corps employés pour communiquer le travail, aucun changement de température qui ne corresponde à un changement utilisé de volume. Il faut encore que cette dilatation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rencontre une résistance, des obstacles mobiles, afin qu'il y ait travail produit; autrement il n'y a pas de métamorphose, la chaleur reste chaleur. C'est ce qui explique pourquoi une masse d'air se refroidit quand elle se détend en surmontant une pression, en produisant un travail, tandis que la température ne change pas s'il n'y a pas de travail mécanique engendré, si l'air augmente de volume en se rendant dans un vase clos à parois inextensibles. C'est ce que M. Joule a démontré par une expérience directe restée à bon droit célèbre, qui prouve en même temps que la chaleur dans un gaz est nécessairement une force vive moléculaire. C'est la question sur laquelle nous allons nous arrêter maintenant.

Nature de la chaleur. — Lavoisier, étudiant la chaleur qui apparaît dans les combustions, avant que la machine à vapeur n'eût établi un lien solide entre les phénomènes de chaleur et ceux de la production de travail mécanique par celle-ci, formula la théorie du calorique, fluide impondérable se combinant comme un corps quelconque avec les molécules pondérables des corps, dont la quantité contenue dans un corps déterminait la température. Laplace professa toujours, sans hésitation, la théorie du calorique dont il était en partie l'auteur, et son influence la fit régner en France plus longtemps que dans les autres pays.

Quelle théorie faisait disparaître celle du calorique? Surtout celle, assez mal formulée alors, qui consiste à considérer la chaleur dans les corps comme identique avec un mouvement vibratoire de leurs derniers éléments. Si on ouvre le *Traité de physique* de l'abbé Nollet, très-apprécié dans le siècle dernier et paru en 1748, on y lit : « Après une étude de deux ou trois mille « ans, après les méditations des Descartes, des « Newton, des Malebranche, après les observa- « tions et les expériences des Boyle, des Boer- « have, des Réaumur, des Lémery, etc., nous « en sommes encore à savoir définitivement : si « le feu est une substance simple, inaltérable, « destinée à produire par sa présence ou par son « action la chaleur, ou bien si son essence con- « siste dans le mouvement seul..... »

En effet, Descartes avait dit dans ses *Principes* :

« C'est une telle agitation des petites parties « des corps terrestres qu'on nomme encore la « chaleur, soit qu'elle ait été excitée par la lu- « mière du soleil, soit par quelque autre cause. »

Plus complétement encore, Newton définit la chaleur un petit mouvement vibratoire susceptible d'être communiqué par les vibrations de l'éther.

L'impossibilité de soutenir l'existence du calorique fut démontrée par Rumford, qui produisit des quantités indéfinies de chaleur en frottant indéfiniment deux corps l'un sur l'autre, ce qui dans la théorie du calorique faisait de ces corps des sources *inépuisables* de calorique, c'est-à-dire concluait à une impossibilité. Davy répéta cette expérience sous une forme saisissante, en montrant que deux morceaux de glace, frottés l'un sur l'autre dans une enceinte maintenue à basse température, fondaient bientôt.

Ces expériences et un grand nombre de cas variés de transformation de chaleur en travail ou inversement, ne permettent plus de conserver aucun doute sur l'homogénéité des forces vives mécaniques et de la chaleur, et conduisent à cette conclusion nécessaire :

Que la chaleur dans les corps est un mouvement vibratoire des atomes qui les composent (vibratoire puisque la position du centre de gravité ne varie pas) et que la métamorphose de la chaleur en travail mécanique n'est qu'une communication des forces vives du mouvement vibratoire, leur changement en mouvement de masse. L'inverse ou le changement de mouvement total d'un corps en mouvement vibratoire de ses molécules, a lieu dans la production de chaleur par travail mécanique.

L'explication de la conversion de la chaleur en travail résulte tout naturellement de cette conception de la nature de la chaleur, et vient la confirmer. Ainsi dans la machine à vapeur, les molécules de la vapeur ayant une grande vitesse de vibration, perdent partie de leur vitesse, de leur force vive, en choquant contre le piston en mouvement, en le poussant et produisant un travail précisément égal à cette perte. (Voy. AIR CHAUD, MACHINES A VAPEUR.)

Cette conception de la chaleur la fait évidemment rentrer dans le domaine de la mécanique, et le principe général de la conservation des forces vives vient s'appliquer aux phénomènes calorifiques comme aux phénomènes mécaniques, ou plutôt cette conception de la nature de la chaleur est le résultat nécessaire de la vérité et de la généralité du principe de la conservation des forces vives.

Observons que le résultat direct de ceci est que les éléments des corps sont dans un état constant de vibration, qu'il doit en résulter une tout autre manière de concevoir leur constitution dans un état dynamique, tout différent de celui statique qu'on leur suppose à un premier examen; nous verrons que cette manière d'être se prête parfaitement à l'analyse des phénomènes calorifiques. (Voy. GAZ, LIQUIDES, SOLIDES.)

Actions physiques autres que la chaleur. — Les phénomènes de travail mécanique et de chaleur ne sont pas les seuls que nous rencontrions dans la nature; il en est d'autres que nous rapportons à la lumière, à l'électricité, au magnétisme, aux forces d'affinité chimique, aux forces de cohésion.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces phénomènes, perçus par nos divers sens, dont les apparences sont très-différentes, nous paraissent d'espèce particulière, ce qui a conduit les physiciens à admettre l'existence d'agents spéciaux. Mais une étude plus attentive nous permet de constater que les effets caractéristiques dont nous parlons ont des relations intimes avec ceux de la chaleur, qu'ils apparaissent souvent simultanément, par l'effet des mêmes causes, ce qui conduit à établir qu'ils ne diffèrent pas essentiellement : c'est ainsi que des réactions chimiques engendrent à la fois de la chaleur et de la lumière; qu'il en est de même des courants électriques; inversement que de la chaleur engendre de l'électricité, etc.

Dans l'état actuel des sciences, nous ne pouvons considérer de semblables faits comme secondaires, nous devons reconnaître qu'ils sont dus à une corrélation intime qui existe entre leurs causes; à une similitude de nature qui rend la métamorphose possible d'un effet d'une espèce en un effet d'une autre espèce, suivant une loi d'équivalence. Nous allons faire voir que toutes ces manifestations se ramènent à une incontestable unité, et qu'étant démontrée l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, il en résulte, sans aucun doute, la nature mécanique des diverses forces qui causent les phénomènes du monde matériel et la permanence du travail qu'elles accomplissent dans l'univers.

Lumière. — Les beaux travaux des physiciens modernes, de Fresnel surtout, ont mis à l'abri de toute discussion la nature de la lumière formulée par Huyghens, mais abandonnée par la plupart des savants après les grands travaux de Newton, qui ne l'admettait pas. Les plus fertiles conséquences, l'explication des phénomènes les plus complexes sont résultés de l'établissement de la théorie qui attribue la lumière aux vibrations de l'éther. Telle doit être également la chaleur en dehors des corps, d'après la conception de la chaleur dans les corps comme due aux mouvements vibratoires de leurs derniers éléments, qui mettent nécessairement en mouvement l'éther qui leur est adhérent, comme le prouvent les phénomènes qui ne peuvent être expliqués que par cette adhérence. Et, en effet, les expériences de Melloni ont démontré l'identité absolue de la lumière et de la chaleur rayonnante. Même loi de propagation, de réflexion, de réfraction, etc. Les vibrations lumineuses propagent constamment de la chaleur, et les vibrations calorifiques deviennent lumineuses quand elles acquièrent une intensité suffisante. On ne peut donc échapper à cette conclusion que la lumière n'est qu'une seconde perception, à l'aide du sens de la vue, des vibrations calorifiques, quand elles acquièrent une très-grande vitesse.

Électricité. — L'électricité peut produire à volonté du travail mécanique, ou de la chaleur, ou des décompositions chimiques. Elle-même est produite par une action chimique, par l'oxydation du zinc le plus souvent.

Le progrès des sciences a conduit récemment à établir d'une manière très-satisfaisante l'équivalence de la chaleur et de l'électricité, et par suite du travail mécanique qui ne peut évidemment différer de celui qui correspond à la chaleur équivalente à l'électricité dégagée. (Voir ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ.) L'expérience a fait reconnaître que pour un même poids de zinc oxydé, par suite pour une même quantité d'électricité nécessairement proportionnelle à la quantité de zinc, la chaleur dégagée, tant dans l'intérieur d'une pile que dans un fil métallique qui en réunit les deux pôles, était une quantité constante. Cela est vrai, quelle que soit la nature de ce fil, sa section ou sa longueur, et par suite l'élévation de sa température.

D'un autre côté on sait effectuer la production de l'électricité à l'aide du travail mécanique, la transformation réciproque des deux quantités, dans des conditions se rapprochant de plus en plus du maximum.

Nul doute, par suite, sur le principe d'équivalence de l'électricité et de la chaleur; il ne reste plus, pour formuler le chiffre qui la représente, qu'à bien définir l'unité complète d'électricité, qui paraît s'exprimer d'une manière satisfaisante pour le fil possédant l'unité de résistance, par le produit de l'intensité du courant (mesuré par la déviation d'un galvanomètre) par la durée de l'action.

L'équivalence ne doit pas faire conclure une identité actuelle, sans analyse d'éléments particuliers, d'une métamorphose possible. Ainsi, bien que les manifestations de l'électricité soient accompagnées le plus souvent de phénomènes ignés, il faut les considérer seulement comme susceptibles de prendre la même nature. Celle-ci n'est pas plus ignée que celle du marteau dont les coups répétés échauffent un morceau de métal. La foudre ne descend des nuages, en rayons lumineux, que parce qu'une grande partie de sa puissance de travail est métamorphosée en chaleur par la résistance de l'air; elle n'embrase que les corps qui s'opposent à sa marche, cette résistance étant, comme l'expérience le prouve, la condition du dégagement de la chaleur, et épargne au contraire les corps qui se laissent facilement traverser. C'est précisément là le principe du paratonnerre.

La notion d'équivalence de la chaleur et de l'électricité qui, par suite de sa facile transformation en lumière, doit être rapprochée de la chaleur rayonnante, d'une vibration de l'éther adhérant aux molécules, ne permet pas d'admettre l'existence d'un fluide, d'une substance électrique spécifique, car l'existence d'une telle substance est incompatible avec le fait de la mé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tamorphose de l'électricité en chaleur et en force mécanique.

Avec la substance électrique, tombe également la substance magnétique, la science ayant établi l'identité des phénomènes magnétiques et des courants électriques. L'expérience de M. Foucault, dans laquelle on arrête, avec des électro-aimants, la rotation d'un disque, est un exemple frappant de la conversion des courants électriques en travail. Ainsi l'empire des impondérables touche à sa fin; et la science se débarrasse chaque jour de ces agents mystérieux multiples, qu'on douait de propriétés nouvelles chaque fois qu'il se présentait un phénomène nouveau à expliquer.

Cohésion. — Disons maintenant quelques mots des relations de la chaleur avec les phénomènes de travail intérieur attribué aux forces d'attraction inter-moléculaire. (Remarquons ici une fâcheuse lacune de la science, la nécessité d'admettre que tout se passe comme si des forces d'attraction agissaient entre les éléments de la matière, comme si ceux-ci étaient doués d'une propriété incompatible avec l'idée que nous nous faisons de la matière, essentiellement inerte, sans qu'on puisse expliquer encore aujourd'hui d'une manière satisfaisante les causes vraies des phénomènes). Ces forces moléculaires entre éléments différents, donnent tous les composés qu'étudie la chimie; entre éléments semblables les corps rendus résistants par la cohésion de leurs molécules.

Occupons-nous d'abord de ce dernier cas.

Les cohésions des corps peuvent être détruites soit par le travail mécanique, soit par la chaleur, soit même être modifiées par l'électricité. Mesurées, directement par le travail mécanique qui peut les détruire dans les expériences de rupture, indirectement par la chaleur latente de fusion des corps solides, la loi d'équivalence de la chaleur et du travail mécanique résulte de la possibilité de produire la rupture soit par l'une soit par l'autre cause, ce qui implique bien une nature semblable de celles-ci.

Au point de vue de la permanence générale du travail, les cohésions des solides apparaissent comme constituant un immense magasin de travail résistant, leur formation ayant fait dégager une quantité de chaleur équivalente, qui remplit probablement un rôle de régulateur universel de la chaleur dans l'univers. C'est ainsi qu'aux pôles de la terre une grande quantité de chaleur sera absorbée dans certains cas pour fondre la glace, et l'absorption de cette chaleur latente ne causera aucun changement de température, bien que sa quantité soit très-considérable comme le travail des cohésions détruites. Inversement la solidification d'une masse liquide dégagera une quantité de chaleur correspondant à une quantité de travail considérable.

Le rôle que nous attribuons ici aux liquides et aux solides comme régulateurs de chaleur est également vrai, et à un plus haut degré encore, des gaz et des vapeurs, dont la formation entraîne l'absorption de grandes quantités de chaleur (par l'évaporation produite à la surface des mers notamment) que dégage leur liquéfaction.

Combinaisons chimiques. — La notion d'équivalence du travail mécanique ou de la chaleur avec le travail de cohésion entre les atomes similaires d'un corps, dû à l'effet des forces d'attraction, s'applique évidemment de tout point aux cohésions entre atomes différents, opérées par l'action de la force tout à fait semblable à l'attraction dite affinité, pour tous les composés qu'étudie le chimiste. La notion de métamorphose du travail en chaleur combinée avec le principe de permanence, permet de retrouver sous ses diverses manifestations le travail qui ne disparaît pas plus qu'il ne peut naître seul. S'il ne paraît pas de corps solide en masse dans beaucoup de combinaisons chimiques, les atômes des éléments n'en ont pas moins été réunis semblablement; il n'y a pas moins eu de même *travail engendré par les forces d'attraction.* Il en résulte, comme on sait, production de chaleur, de vibrations calorifiques; donc inversement, les combinaisons chimiques ne peuvent être détruites que par des quantités de chaleur ou d'électricité équivalentes à cette quantité de travail capable de rompre les cohésions atomiques.

Ces effets inverses de combinaison et de décomposition se produisent incessamment dans la nature, et, malgré la grandeur des actions, l'effet final peut être nul et tout-à-fait dans le sens de la notion de permanence que nous cherchons à établir ici, indépendamment de toute métamorphose.

J'ai essayé de montrer (Voy. PRODUCTION DE LA CHALEUR) comment, en partant de ces principes et connaissant la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, on pouvait aux rapports en poids seuls connus aujourd'hui, aux équivalents chimiques des corps qui se combinent, ajouter la mesure du travail des forces qui effectuent la combinaison, c'est-à-dire déterminer les équivalents mécaniques des corps, les quantités de travail nécessaires pour séparer les atômes combinés ensemble, un des plus beaux progrès que la science puisse accomplir.

D'où ce résultat, nécessaire d'après le point de départ, mais à signaler ici, que la considération des équivalents mécaniques non-seulement ramène la chimie à la mécanique et par suite doit lui donner sa forme définitive, mais encore conduit nécessairement à la mesure de la chaleur produite quand l'équivalent mécanique du composé est une fois connu. La chaleur dégagée lors de la formation de ce corps est égale à celle qui sera consommée par sa destruction.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'analyse du travail des forces chimiques nous fournissant la loi de la production de la chaleur, nous donne en même temps la solution de questions relatives au travail mécanique; car ce sont les forces d'attraction mises en jeu dans les combinaisons chimiques qui produisent la chaleur utilisée dans les machines à vapeur et à air, l'électricité dans les appareils électro-magnétiques. Nous pouvons montrer l'utilité et la fréquente utilisation des principes théoriques pour faire prévoir la limite des résultats qu'on peut espérer.

Dans les machines à vapeur, chaque gramme de charbon converti en acide carbonique par action chimique produit 8 calories soit $8 \times 370 = 2960$ kil. mètres de travail mécanique possible, si toute la chaleur se métamorphose en travail, par exemple produit de la vapeur dont l'action est supposée parfaite, dont la détente est complète. Moins la machine remplit cette condition, plus l'effet reste au-dessous du maximum indiqué par le calcul. La différence est en général très-grande, mais eu égard aux difficultés de la question, les résultats déjà obtenus font de la machine à vapeur une des plus belles œuvres du génie de l'homme.

Dans une machine électro-magnétique, la force motrice a sa source dans l'oxydation du zinc de la pile. Le courant électrique qui en résulte se métamorphose partie en chaleur, par suite de la résistance opposée par le conducteur, partie en travail. Le calorique produit par l'oxydation d'un gramme de zinc, par la voie sèche, produit d'après Dulong 5 calories et un travail égal à celui de cette chaleur doit pouvoir résulter de l'action d'une machine parfaite, utilisant l'électricité produite par l'oxydation d'un gramme de zinc par voie humide (en supposant utilisée la chaleur qu'emporte l'hydrogène qui se dégage). Si cette chaleur était entièrement transformée en travail, si le courant électrique produisait un travail équivalent à l'aide de machines électro-magnétiques supposées absolument parfaites, il devrait être égal à $5 \times 370 = 1850$ kil. mètres.

Corps vivants. — Dans la revue générale que nous faisons ici des forces qui agissent sur la matière, nous devons dire un mot du travail que produisent ces merveilleuses machines que nous appelons corps vivants. Il est incontestable que c'est des forces chimiques, actives dans les phénomènes de la respiration et de la digestion, que provient le travail qu'ils produisent, la chaleur apparaissant dans les animaux en quantité très-considérable et en raison de leur alimentation.

On peut déjà conclure de la perfection de l'appareil de combustion des corps vivants que l'organisme animal, même abstraction faite des fins nombreuses et *sui generis* qui sont dans sa nature, et à ne considérer que l'emploi économique de sa force de travail, est une machine bien plus parfaite que celles inventées par le génie de l'homme. Cela est vrai, à la fois, quant à la variété infinie des mouvements possibles avec toutes les variations désirées de vitesse, de pression que règle la volonté, mais aussi eu égard à la meilleure utilisation des éléments des actions chimiques, à la perfection des appareils où s'effectue notamment la combustion du carbone et de l'hydrogène des aliments, qui produit toute la quantité de chaleur ou de travail qu'elle peut faire naître d'après la théorie.

Ce que nous disons ici des animaux est vrai pour les végétaux, notamment pour les forces chimiques actives dans la germination et le développement des végétaux. Il s'y fait une consommation abondante de la chaleur provenant du soleil, nécessaire à leur existence, par exemple à la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles. Aussi y a-t-il dans les végétaux création incessante de composés, accroissement rapide par cohésion entre molécules semblables et différentes, résultat direct de ce que le mouvement, la production de travail leur est interdit. Aussi fournissent-ils les moyens d'alimentation au règne animal.

Résumé. — En résumé, l'équivalence et la métamorphose des forces, conséquence et preuve du principe de la permanence du travail des puissances qui agissent sur la matière, fait considérer la nature comme un établissement bien ordonné, muni d'une somme fixe de travail qui se manifeste sous des formes différentes. Si dans un phénomène il y a déficit apparent de travail, nous sommes certains de retrouver sous une autre forme l'équivalent de ce déficit. Ainsi, si deux corps se rencontrent et qu'après le choc la somme des forces vives, le travail emmagasiné dans le corps en mouvement, exprimé en fonction de sa vitesse et de sa masse, paraisse moindre qu'auparavant, c'est qu'une partie a été employée à déformer le corps, à en rapprocher les molécules ou à produire de la chaleur.

Si malgré leur action constante, les locomotives de nos chemins de fer ne produisent pas une vitesse sans cesse croissante de la charge, c'est qu'on retrouve dans le mouvement imprimé à l'air choqué, dans le mouvement oscillatoire des voitures, dans les vibrations acoustiques qu'indique le bruit produit par le train, dans la chaleur des essieux et des supports, l'équivalent du travail disparu. C'est ainsi que tant qu'un mouvement a lieu dans le vide, tout le travail reste dans le corps mis en mouvement; mais l'entrée dans un milieu résistant a pour résultat une déperdition immédiate, et un dégagement de chaleur résultant de la compression. Une résistance opposée à un mouvement très-rapide peut échauffer le corps mû jusqu'à l'incandescence, ce qui suffit pour expliquer l'apparence

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ignée des masses météoriques tombant de l'espace dans l'atmosphère terrestre.

Ainsi donc les résistances qui forment obstacle au mouvement, le frottement et la résistance des milieux, ne peuvent plus être considérés comme des principes destructeurs. Ils n'anéantissent pas le travail qui est, soit simplement communiqué à d'autres corps, soit métamorphosé en chaleur, et cette métamorphose joue un grand rôle.

En général, tout travail moteur est engendré par un corps qui n'a emmagasiné cette quantité de travail qu'en consommant une égale quantité de travail résistant; de même tout corps chaud a emprunté sa chaleur à un premier corps avant de la céder à un second. La principale source de production de chaleur dans la nature étant celle qui provient du travail des actions moléculaires, on peut dire que tout travail vient originairement de la chaleur ou de quelque action équivalente, et inversement que toute chaleur vient d'un travail; ou mieux, que la chaleur est, dans l'univers, l'ensemble des forces vives des molécules et le travail mécanique, la consommation de semblables forces vives pour produire des mouvements de masse.

Les phénomènes qui se passent à la surface de la terre se trouvant expliqués, reliés entre eux, comme il vient d'être dit, si l'on veut aller plus loin et se demander si la stabilité due à des transformations diverses, mais non à des changements, créations ou destructions de puissance, s'étend à l'univers entier, ce qui précède, et surtout la non-variation des mouvements astronomiques semble démontrer l'affirmative d'une manière très satisfaisante; il est difficile d'en trouver d'autres preuves plus complètes dans l'état actuel de la science.

C'est surtout l'immensité de l'action solaire qui, produisant les évaporations qui donnent naissance aux nuages et causent les changements de densité de l'atmosphère, en un mot tous les grands faits du domaine de la météorologie (faits qui se traduisent en travail des courants atmosphériques, des chutes d'eau), paraîtrait pouvoir faire considérer comme variable la quantité de chaleur et de travail à la surface de la terre. Mais il est bien probable que nous nous préoccupons ici de faits secondaires, ce qui nous empêche d'apprécier les faits généraux. Si une portion de la terre s'échauffe le jour, une autre se refroidit la nuit; si elle reçoit plus de chaleur qu'elle n'en perd dans une saison, le contraire lui arrivera dans une autre, et le résultat général d'un mouvement complet de la terre dans son orbite sera constant, dépendant uniquement de la température de l'espace et des distances au soleil, qui, comparées à des périodes convenables, restent les mêmes.

La grande difficulté, qui n'est pas levée pour prouver la stabilité absolue de l'univers, c'est la démonstration de la persistance nécessaire du grand foyer de chaleur, du soleil. Dans notre manière habituelle de considérer la production de la chaleur, la persistance de cet immense foyer, son alimentation indéfinie semble inexplicable, d'autant plus que nous ne pouvons constater de variations. Il y a là un grand fait à expliquer, ce que permettront les progrès à venir de la science, dont les horizons vont sans cesse en s'agrandissant. Une ingénieuse théorie due à Mayer et précisée par M. Thompson, explique l'alimentation du foyer solaire par des astéroïdes qui, entraînés par son attraction, s'y précipitent avec une vitesse énorme, et par suite en produisant une très-grande quantité de chaleur. Indépendamment de cette explication des faits, la production de la chaleur et de la lumière par les courants électriques et magnétiques, fait entrevoir une des formes du retour possible à sa source, de la chaleur envoyée par le soleil à la terre. Quelle que soit cette forme, on peut dire que la loi d'équivalence permet d'établir *à priori* la permanence de la lumière et de la chaleur solaire.

Les périodes géologiques prouvent toutefois, lorsque l'on considère des périodes de temps extrêmement considérables, que la stabilité que nous admettons pour l'univers entier n'a pas toujours existé pour notre système solaire. Il s'agit là de phénomènes cosmiques d'un ordre particulier, de la formation de notre planète à une époque où l'état du système de notre soleil et des planètes, était autre sans doute que celui que nous connaissons, mais nous devons penser que même alors, dans l'univers tout entier, la somme des forces vives n'a pas varié. En tous cas depuis que notre système astronomique est parvenu à un état de parfaite stabilité, les changements sont sur la terre, ou nuls, ou complétement insensibles pour une longue suite de générations.

La notion de permanence du travail des forces et la loi d'équivalence des divers modes de leurs manifestations, vérification scientifique complémentaire de la conception purement mécanique de l'univers formulée par le génie de Descartes, nous procure sur le plan des mondes une vue aussi profonde que précise, une vérité capitale pouvant servir de base à l'édifice que les travaux des savants permettent d'élever. Elle ne peut manquer de donner une forme nouvelle et une impulsion féconde aux sciences de la nature et de nous rendre maîtres de vérités fécondes pour le progrès de l'humanité.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COMPLÉMENT DU DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES.

A

ABAQUE. — Les Grecs et les Romains comptaient souvent au moyen de cailloux ou de jetons, qu'on plaçait sur une table divisée en colonnes verticales, qu'on nommait *abax* en grec, et *abacus* en latin. Ce système revient à celui du *boulier*, représenté fig. 3301, analogue à celui qu'emploient encore aujourd'hui les Russes et les Chinois, ces derniers notamment depuis l'antiquité la plus reculée, pour opérer les calculs les plus simples. L'aspect de la figure suffit pour faire comprendre l'emploi des boules, représentant les chiffres des nombres, qui glissent sur des tringles qui les traversent.

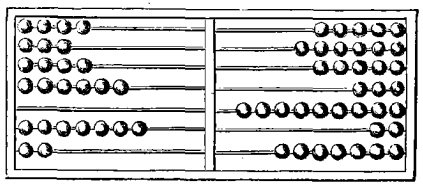


Fig. 3301.

Chaque ligne représentant les unités, dizaines, centaines, on écrit un nombre en repoussant vers la gauche, dans chaque colonne, le nombre d'unités de chaque espèce qui composent ce nombre. Ainsi, dans la disposition de la figure, le nombre écrit est 2706434. On effectuera une addition d'un nombre quelconque avec un nombre figuré de la sorte, en cherchant à l'écrire à la suite du premier en commençant par les unités simples, c'est-à-dire en ajoutant ensemble les unités de même ordre et reportant les retenues d'une colonne à la suivante, absolument comme dans les procédés ordinaires de l'addition.

La soustraction se fera de même avec la plus grande facilité.

En rendant en quelque sorte sensible le détail des opérations, l'abaque est utile pour commencer à apprendre le calcul aux enfants. Aussi est-il adopté avec succès dans les écoles primaires.

BATONS DE NÉPER. — L'illustre inventeur des logarithmes a combiné un système curieux décrit dans sa *Rhabdologie*, consistant en une mobilisation des colonnes de la table de Pythagore, qui donne de suite le produit d'un nombre par un chiffre quelconque, en faisant toucher en quelque sorte les produits d'un chiffre par un chiffre, comme le boulier le fait pour les unités. Ainsi imaginons des cylindres portant gravées sur leurs surfaces dix colonnes portant les dix chiffres horizontalement, et leurs multiples par 0, 1, 2, 3,...9 verticalement, on ne pourra écrire un nombre à la première ligne, en ramenant en avant les chiffres qui le constituent, sans que chaque tranche horizontale représente les produits de chacun de ces chiffres par les neuf premiers nombres, et ne donne par suite les nombres dont l'addition formera le produit total en les lisant sur les lignes convenables. Le seul soin à prendre consiste, pour les produits de la table de Pythagore qui renferment deux chiffres, d'ajouter les chiffres appartenant aux mêmes unités (placés obliquement sur les bâtons), avant de les écrire. Ainsi, dans la disposition de la figure 3302, on a, dans chaque ligne horizontale, le produit de 1296 par 1, 2, 3, 4.... Le produit par 6, par exemple, sera $6 + 1$, $2 + 5$, $4 + 3$, 6, ou 7776.



Fig. 3302.

On comprend facilement comment l'emploi de cet instrument peut faciliter le calcul, en réduisant la multiplication à des additions d'une grande simplicité.

La division se fera de même. Écrivant en haut le diviseur, on lit sur les bâtons le nombre qui se rapproche le plus du nombre formé par les chiffres du dividende, pris sur la gauche en nombre égal à celui du diviseur. Le numéro de la tranche sera le chiffre du quotient. Soit à diviser 7353 par 129, nous trouvons en face de 5, qui sera le premier chiffre du quotient, 645 qui, retranché de 735, donne 90. Opérant de même pour 903, nous trouvons ce nombre à la septième colonne, 7 est donc le deuxième chiffre, et 57 le quotient.

La figure 3302 représente les bâtons carrés, tels que les construisait Néper, et qu'il suffit d'apporter l'un à côté de l'autre pour obtenir un nombre quelconque à la première ligne horizontale, et par suite les multiples de ce nombre aux autres lignes.

ABAQUE DE M. PICCARD (de Lausanne). — M. Piccard a proposé un abaque d'une grande simplicité, fondé sur les propriétés des triangles semblables, qui paraît susceptible de recevoir d'utiles applications (fig. 3303).

Considérons deux triangles semblables tels que ADE et ABC (un D étant placé à côté du chiffre 5 sur la ligne AB), nous aurons la proportion

AD : DE :: AB : BC.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si nous faisons AB = 10 par exemple, nous aurons

$$AD \times BC = DE \times 10,$$

ou comme BG = DE

$$AD \times BC = BG \times 10.$$

Ce résultat permet de construire un abaque pouvant

à 100, pourvu qu'on ait soin de déterminer, mentalement, quel doit être le chiffre des unités du produit. Ainsi, pour avoir le produit de 97 par 86, on détermine le chiffre 2 des unités, et l'instrument, par sa lecture, donnera avec certitude le chiffre des dizaines, des centaines et des mille, soit le nombre 8340 qui devient 8342 par l'adjonction du chiffre 2 des unités. Mais si

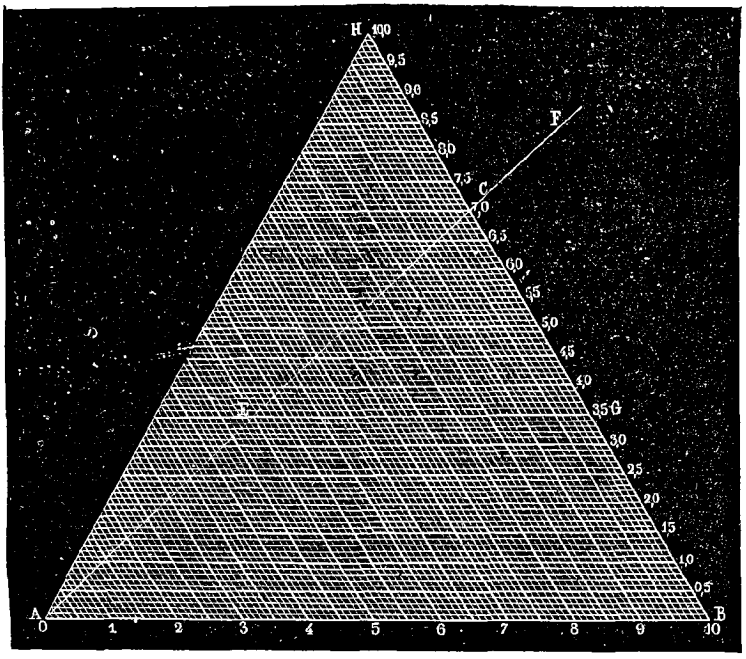


Fig. 3303.

servir à opérer numériquement la multiplication et la division et à calculer graphiquement avec le compas, sans aucun calcul, la surface des figures planes qui auraient été décomposées en triangles ou en rectangles.

Construction. — Prenez un triangle quelconque, le triangle équilatéral de préférence ; divisez les côtés en 100 parties égales : menez des parallèles entrecoupées par des lignes plus fortes, de 5 en 5, pour reposer la vue ; placez les chiffres de 1 à 10, de A en B ; placez les chiffres de 0,5 à 10,0 de B en H ; placez enfin au point A comme pivot, un fil fin, ou le tranchant d'une règle mobile autour de ce point, AF.

De la multiplication. — Pour obtenir le produit de deux facteurs inférieurs à 10, par exemple 5×7, placez la ligne AF sur l'un des facteurs, par exemple sur 7 en C ; prenez le facteur 5 en D. Remontez la parallèle DE passant en D jusqu'à sa rencontre avec AF en E ; suivez l'autre parallèle EG, le nombre 3,5 en G, multiplié par 10 donnera 35 pour résultat de 5×7. On aura de même à première vue les divers multiples de 7, par tous les nombres qui, marqués sur AB, sont le point de départ de toutes les parallèles à BH qui rencontrent AF.

En donnant aux côtés du triangle une longueur de 3 décimètres environ, on pourra obtenir exactement les produits inférieurs à 10,000, de deux facteurs inférieurs

l'on voulait obtenir exactement le produit inférieur à un million de deux facteurs inférieurs au nombre 1000, les côtés du triangle devraient atteindre à peu près 4 mètres de longueur. L'exactitude de cet instrument est donc fort limitée, mais il n'en est pas moins précieux, pouvant donner facilement et simplement des résultats approchés suffisants dans nombre de cas.

De la division. — Pour obtenir le quotient d'un nombre inférieur à 100, par un diviseur inférieur à 10, ce quotient devant aussi être inférieur à 10, par exemple 35 divisé par 7 : placez la ligne AF sur le diviseur 7 en C ; prenez le dividende 35 en G (produit du diviseur et du quotient qui doit être multiplié par 10) et suivez la ligne GE jusqu'à sa rencontre avec la ligne AF en E ; suivez la parallèle ED, le chiffre 5 en D indiquera le quotient cherché.

Dans la position actuelle de la ligne AF passant par le diviseur 7 en C, on peut obtenir de même les quotients par 7 de tous les nombres inférieurs à 70, ces quotients devant être inférieurs à 10.

Du calcul des surfaces en général. — Si l'on veut calculer l'aire d'une figure décomposée en triangles, sans opérer aucun calcul numérique, il faudra diviser la ligne BH des produits en 50 parties égales au lieu de 100. Puis, portant la hauteur du triangle sur BH, de B en C, par exemple, et la base sur AB, de A en D, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exemple, la ligne DE représentera graphiquement la surface du premier triangle, et on en porte la valeur sur la ligne BH, servant d'échelle, au point G. On obtiendra de même la surface des autres triangles au moyen d'autres lignes qui, réunies bout à bout sur la ligne BH servant d'échelle, conduiront à la valeur de l'aire totale de la figure cherchée, en opérant graphiquement, sans avoir fait aucun calcul numérique.

ABAQUE DE M. LALANNE. — M. L. Lalanne, ingénieur des ponts et chaussées, a construit un tableau graphique, auquel il a donné également le nom d'Abaque, qui offre des propriétés curieuses. Il consiste dans un tableau rectangulaire, fig. 3304, dont les côtés à angles droits sont divisés en longueurs proportionnelles aux logarithmes des nombres 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Il est clair que par l'emploi des lignes parallèles aux côtés, menées par les points de division, et celui des lignes à 45° passant par les points d'intersection des premières, pour revenir lire le chiffre marqué sur un des côtés (ce qui fournit l'addition des deux longueurs tracées sur les côtés du tableau), on trouvera les points correspondants à la somme des logarithmes et par suite aux produits des deux nombres lus sur les deux lignes on peut faire avec son aide, et à simple vue, des calculs assez compliqués (Voir CALCULER [MACHINE A]). Mais, de plus, il a sur la règle certains avantages. Ainsi une ligne inclinée à 1 sur 1, d'un angle à l'autre du carré (en partant du point marqué 1), donnera, en suivant l'oblique passant par un nombre jusqu'au point de rencontre de cette ligne, le nombre dont la racine carrée se trouvera au point de départ de la verticale passant par ce même point. Inversement cette ligne conduira au carré d'un nombre qui se trouvera en suivant l'oblique qui passe par le point de rencontre de la ligne des carrés avec la verticale du nombre dont on part.

On trouvera de même les racines cubiques à l'aide d'une ligne inclinée sur 2 de hauteur pour 1 de base; les racines cinquièmes à l'aide des lignes inclinées à 1 de base pour 4 de hauteur; le volume de la sphère à l'aide d'une ligne parallèle à celle des cubes tracée à une distance de l'origine égale au log. de $\frac{4}{3}\pi$. Nous renvoyons pour les détails du maniement de cet Abaque, et la discussion de l'ordre des unités considérées dans les calculs, quand on opère sur des nombres de plusieurs

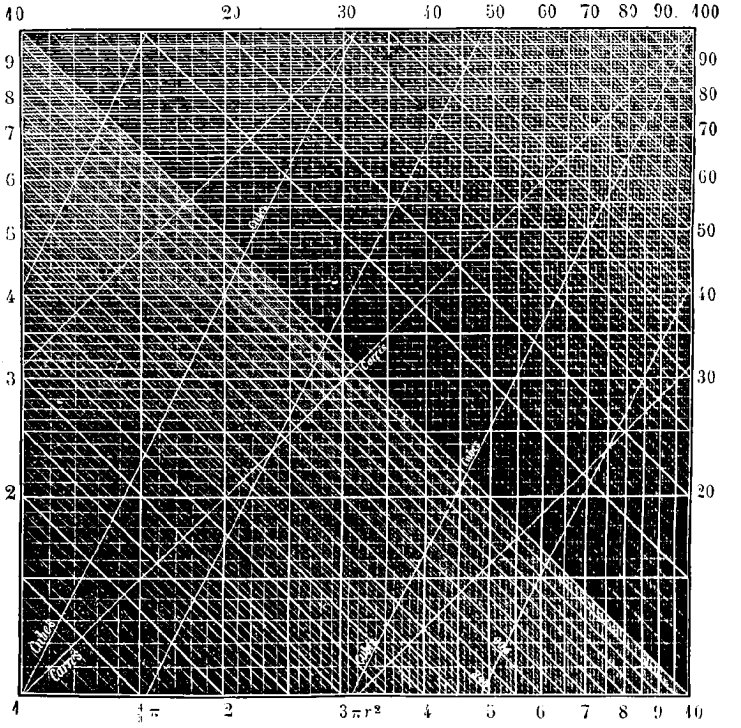


Fig. 3304.

extérieures. Inversement la division de 6 par 2 s'obtiendra en suivant l'oblique 6 jusqu'à la rencontre de l'horizontale 2, le chiffre 3 correspondant à la verticale passant par le point de rencontre sera le quotient.

On voit que cet Abaque possède les propriétés de la règle à calcul, et qu'en considérant les chiffres latéraux comme appartenant à des unités d'un ordre élevé, chiffres, à l'instruction spéciale publiée par l'auteur.

M. Lalanne a remarqué que les résultats ainsi obtenus appartenaient à une théorie générale de géométrie à laquelle il a donné le nom d'*anamorphique*, et dont plusieurs applications importantes avaient déjà été faites, et peuvent se faire chaque jour dans l'industrie; la plus célèbre notamment est celle faite aux cartes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

marines, connue sous le nom de Projection de Mercator. (Voir NAVIGATION.) Nous entrerons dans quelques détails à cet égard.

Depuis Descartes on sait qu'une courbe est propre à représenter les relations entre deux quantités variables (Voir *Introduction*), et cette vue de génie a permis de remplacer les tableaux représentant les relations de deux quantités liées entre elles, par des courbes.

De même une table numérique à double entrée représente un grand nombre de cas particuliers de la loi suivant laquelle une quantité variable dépend de deux autres, et on est conduit naturellement, par analogie avec le cas précédent, à l'idée de la remplacer par une surface courbe pour représenter la dépendance mutuelle qui existe entre trois quantités variables, la loi même qui réunit les trois quantités.

Or, comme nous l'avons vu en parlant du nivellement (Voy. NIVELLEMENT), le moyen de représenter sur un plan une surface courbe consiste à projeter sur ce plan les courbes successives qui sont les intersections de la surface par des plans parallèles au plan de projection, et à indiquer par une cote leur distance à ce plan.

Ces courbes représentent des équations à deux variables que donne l'équation à trois variables de la surface, lorsqu'on donne une certaine valeur à la variable représentant l'ordonnée perpendiculaire au plan de projection.

Tout ceci n'est que le résultat des principes fondamentaux de la géométrie analytique. Mais ce qui appartient à l'ordre de conception que nous étudions ici, c'est ce que nous appellerons la *Graduation des coordonnées*, qui fournit le moyen de remplacer dans nombre de cas des tables à double entrée par des constructions graphiques très-simples.

Les courbes dont nous avons parlé plus haut sont représentées par certaines équations, qui supposent en général que les axes des coordonnées sont divisés en longueurs égales correspondant aux nombres 1, 2, 3, etc. Mais si on gradue les coordonnées suivant une loi déterminée, les nouvelles coordonnées x', y', d'un point seront dans un rapport connu, avec les coordonnées ordinaires x, y ; autrement dit x' sera une fonction de x; y', une fonction de y. Si donc dans l'équation on remplace x et y par leurs valeurs en x' et y', on aura une nouvelle équation de courbe, et si la graduation est déterminée convenablement, une courbe plus simple que celle obtenue d'abord.

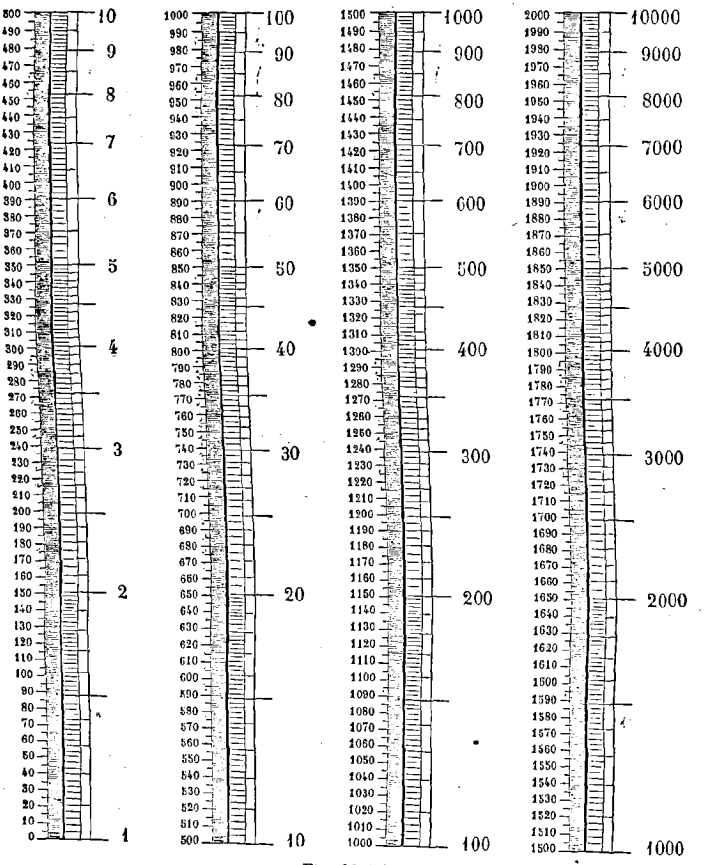


Fig. 3305.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce résultat est surtout important lorsqu'il permet de remplacer des courbes par des lignes droites dont l'espacement varie.

C'est ce que l'on obtient, dans le cas remarquable par ses nombreuses applications pratiques où il s'agit du produit d'x et d'y, en prenant les logarithmes des nombres au lieu de ceux-ci ; tel est le cas de l'abaque décrit ci-dessus. En effet, si nous considérons l'équation qui indique le produit de deux nombres $z = xy$, on sait que cette équation représente une surface dite hyperboloïde à une nappe, dont les différentes intersections seraient difficiles à tracer. Mais si l'on remplace ces quantités par leurs logarithmes, si on pose :

$$x' = \text{Log } x,\ y' = \text{Log } y, \text{ on aura Log } z = x' + y'.$$

Or, on sait que l'équation $x + y = a$, représente une ligne inclinée à 45° sur les axes des coordonnées. Toutes les lignes de niveau de la surface, dont l'équation est $z = xy$ deviendront donc des lignes droites parallèles entre elles et inclinées à 45° sur les axes des coordonnées, par le fait seul que les axes auront été gradués suivant les logarithmes des nombres naturels, au lieu d'être divisés en parties égales.

Les graduations suivant les logarithmes sont celles qui présentent le plus de cas d'applications en permettant de construire des abaques qui se rapportent aux produits de plusieurs quantités. On a pu ainsi construire des abaques pour le poids des fers, le calcul des intérêts, la conversion des numéros des fils anglais en numéros français, etc.

M. Lalanne a appliqué le principe de la graduation des coordonnées à l'exécution de tableaux ne renfermant que des lignes droites, pour l'évaluation du calcul des déblais et remblais pour la construction des chemins de fer. (Voir *Annales des ponts et chaussées, année* 1846.)

Échelle logarithmique. Tous les moyens d'employer les divisions logarithmiques, tant la règle à calcul opérant par glissement de la coulisse que l'Abaque ci-dessus, se réduisent à des moyens d'ajouter des longueurs déterminées, ou d'en soustraire une d'une autre. Ils s'appliquent mal aux calculs des nombres de plusieurs chiffres, notamment pour déterminer le nombre de chiffres d'un produit ou d'un quotient, suivant l'ordre des unités qu'on a fait représenter par les divisions de l'échelle. Cette difficulté, dans le cas de calculs assez simples (pour ceux compliqués, des tables de logarithmes seront toujours préférées) peut être évitée par la disposition représentée ci-contre, consistant en plusieurs lignes égales divisées d'un côté en longueurs logarithmiques et de l'autre en parties égales ; avec son aide toutes les opérations dans lesquelles on considère des nombres très-considérables peuvent être effectuées facilement.

Il est facile de montrer par quelques exemples la simplicité de cette application des logarithmes, et par suite l'utilité de la disposition que je propose (fig. 3305). Elle est basée sur l'égalité des divisions logarithmiques comprises entre les diverses puissances de la base, puisque pour les nombres 1, 10, 100, 1000. . . . . les logarithmes sont 0, 1, 2, 3. . . . . .

La multiplication et la division se réduisent à l'addition et à la soustraction des nombres placés à gauche, l'élévation à une puissance ou l'extraction d'une racine à une multiplication ou à une division simple par l'exposant de la puissance. Soit à élever 98 au carré, la division placée en face de 98 est marquée 996, qui, multiplié par 2, donne 1992, qui répond à 9600 faible ; la valeur réelle est 9604, qu'il était bien aisé d'obtenir rigoureusement en calculant le chiffre des unités.

Mais c'est surtout pour l'extraction des racines d'un ordre élevé, ce qui ramène le résultat vers le zéro de l'échelle, dans la partie où les lectures sont les plus faciles, les longueurs étant plus grandes, que l'application de cette disposition est assez intéressante ; ainsi soit par exemple à extraire la racine 5e de 9,000. Le chiffre des divisions de gauche correspondant à 9,000 sera sensiblement 1978,5 dont le 5e est 395,7. Cette division nous reporte à une division qui tombe entre 6,1 et 6,2 et fournit à vue environ 6,17 ou 6,18. Le premier nombre élevé à la 5e puissance donne 8911, le second 9013. On a donc toute l'exactitude qui peut être obtenue par l'emploi de semblables échelles, et cela avec une grande facilité, même pour des opérations très-compliquées.

Dans cet article, nous n'avons voulu traiter que des systèmes propres à aider à l'exécution des calculs à l'aide de mouvements très-simples. Nous renvoyons à l'article consacré aux machines à Calculer, l'emploi fait des ressources de la Cinématique, pour atteindre plus complétement le but.

ACCUMULATEUR. Voy. Presses hydrauliques et air comprimé.

ACETYLÈNE. C^4H^2. Gaz le moins hydrogéné de la série des hydrogènes carbonés, qui méconnu longtemps, joue un grand rôle dans toutes les combustions incomplètes des gaz carbonés, où il apparaît généralement. Il se rencontre dans le gaz d'éclairage, et M. Berthelot a montré qu'il se formait directement par le passage de l'arc électrique entre deux pointes de charbon placées dans l'hydrogène. Il le prépare en faisant passer de la vapeur d'éther, d'alcool ou d'esprit de bois à travers un tube chauffé au rouge. On obtient ainsi un mélange de gaz que l'on fait passer à travers une solution ammoniacale de chlorure de cuivre ; il se forme un précipité rouge qui, décomposé par l'acide hydrochlorique, fournit l'acétylène pur.

ACIER. Nous consignerons ici une observation intéressante du capitaine Caron, auteur de beaux travaux sur l'acier, qui rend compte d'une apparence particulière que ce corps présente souvent.

L'acier fondu, dans un creuset en terre réfractaire et abandonné à un refroidissement lent, est toujours rempli de bulles. On connaît l'acier poule, qui est désigné par ce phénomène. Rien de semblable ne se présente pour le fer. M. Caron pensant que cela était dû à la décomposition par le charbon de l'acier du silicate de fer qui se forme au contact de la silice des creusets et de l'oxyde de fer formé par l'atmosphère oxydante du foyer, fit pour le prouver, l'expérience suivante :

Deux morceaux d'acier provenant de la même barre ont été placés, l'un dans un creuset de terre réfractaire, l'autre dans un creuset taillé dans un morceau de chaux vive ; ces deux creusets, munis de leur couvercle, ont été placés chacun dans un creuset en terre, en ayant soin de les isoler du creuset enveloppe par une substance infusible. Ils ont été ensuite chauffés successivement dans le même fourneau à vent, autant que possible à la même température. Après quatre heures de chauffe, les creusets refroidis ont été cassés ; l'acier était parfaitement fondu dans les deux cas ; le creuset en terre réfractaire contenait un culot criblé de bulles ; le creuset en chaux renfermait, au contraire, un culot exempt de soufflures. La vérification était donc complète.

Il serait donc désirable que l'on cherchât à substituer les matières réfractaires calcaires aux matières réfractaires siliceuses dans le travail de l'acier.

AGRAFES. Les agrafes constituent un accessoire de toilette, un moyen de réunir et séparer à volonté les parties des vêtements, qui étant consommées en quantités très-considérables devaient fournir la base d'une fabrication mécanique à l'aide de machines. C'est un problème qui a été admirablement résolu par M. Gimgembre, avec de petites machines, inspirées par les machines à pointes, qui sont des chefs-d'œuvre de mécanisme automatique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Jusqu'en 1843 on ne connaissait que trois manières de faire les agrafes : l'agrafe ronde, l'agrafe plate du bout et l'agrafe entièrement plate. Toutes les trois offraient de grandes difficultés dans leur exécution ; la main-d'œuvre était très-longue et très-fatigante pour l'ouvrier, ne lui procurait que des salaires insuffisants, et cependant le prix des agrafes était relativement très-élevé. L'agrafe ronde, la plus facile à produire et la plus répandue dans le commerce, avait une forme sans élégance, et n'offrait pas toutes les garanties de solidité. L'agrafe plate du bout, plus généralement en usage dans le midi de la France et en Espagne, offrait des difficultés plus sérieuses encore, comme travail à la main, car elle devait subir trois opérations : la coupe droite, le redressage pour aplatir le bout et le recourbage du crochet. L'agrafe entièrement plate exigeait les mêmes opérations, avec la différence que l'action du battage, qui s'effectuait sur toute la longueur de l'agrafe, écrouissait le fil, le rendait cassant et ne donnait qu'un mauvais produit.

C'est M. Gingembre qui a opéré une heureuse révolution dans cette industrie, en parvenant à livrer avec bénéfice ses produits à 60 et 80 pour cent au-dessous des prix anciens. La fabrication mécanique de l'agrafe plate, découpée dans une feuille de laiton, était relativement facile ; aussi, a-t-elle été réussie par plusieurs inventeurs. Mais l'honneur d'avoir fabriqué mécaniquement celle formée avec le fil de laiton replié appartient entièrement à M. Gingembre.

Dès 1843, il a construit une machine admirable ; cette machine réduit toutes les opérations que nous avons énoncées plus haut à une seule, et tout en donnant des produits supérieurs dont l'exécution est irréprochable, elle offre l'avantage de supprimer tout déchet, toute cassure à la courbure du crochet, parce qu'elle a résolu le problème de ne frapper l'agrafe qu'après que l'agrafe même est formée. Ainsi, le bec du crochet, le corps et les deux anneaux reçoivent seuls l'écrouissage, tandis que le fil ne s'aplatit pas à la courbure et conserve toute sa force.

La machine de M. Gingembre et les nouveaux procédés d'argenture mis en œuvre par lui, ont créé une nouvelle branche d'industrie, dont les produits, appropriés aux besoins et aux habitudes des différents peuples, se répandent dans toutes les parties du monde. Cette ingénieuse machine exécute, avec la régularité la plus parfaite et en une seule passe, toutes les opérations qu'un fil de cuivre doit subir pour se transformer en agrafes ; elle saisit le fil, l'entraîne, le redresse, le coupe, le double, forme les yeux, replie le crochet, le pousse sous le marteau qui doit l'aplatir, le frappe, et le chasse pour faire place à celui qui le suit. MM. Gingembre et Damiron possèdent actuellement quatre-vingts machines commandées par la vapeur, et dont chacune fait de 80 à 200 agrafes à la minute, suivant ses dimensions : elles produisent ensemble 8 à 900 kilogrammes d'agrafes par jour. De 2 francs et plus, le prix de façon d'un kilogramme d'agrafes a été réduit à 5 ou 6 centimes en moyenne.

AIMANT. (*ang.* loadstone, *all.* magnet). L'antiquité connaissait une pierre qui a la propriété d'attirer le fer à distance. Ce minerai est un oxyde de fer (fig. 3306).

Le fer en contact avec l'aimant jouit des mêmes propriétés que celui-ci, mais cette action cesse avec le contact. Au contraire, une aiguille ou un barreau d'acier conserve l'aimantation qui lui a été communiquée par contact.

L'attraction d'un barreau aimanté s'exerce par des centres d'action dits pôles, placés sur les extrémités et quelquefois plus nombreux, mais toujours en nombre pair et placés à égale distance du centre. On le reconnaît facilement en plaçant ce barreau dans de la limaille de fer qui s'y attache, les grands axes des petites paillettes de fer se dirigeant vers les pôles, fig. 3307.

Un morceau d'acier aimanté possède aussi, comme la pierre d'aimant, la faculté de communiquer sa vertu magnétique à un autre barreau ; il suffit, pour obtenir ce résultat, de frotter dans toute sa longueur, et toujours dans le même sens, contre l'un des pôles de l'aimant, le barreau qu'on veut aimanter.

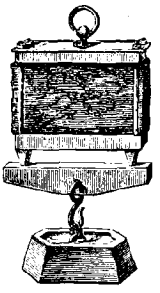


Fig. 3306.

Les barreaux sont ordinairement prismatiques ; on leur donne quelquefois la forme d'un fer à cheval pour rapprocher les deux pôles ; si l'on veut accroître les effets on en superpose plusieurs les uns sur les autres. Ils sont alors capables d'attirer de grandes masses de fer et de supporter des poids de

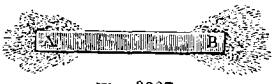


Fig. 3307.

25 ou 50 kilogr. sans qu'un poids aussi considérable puisse détacher de leurs pôles le fer qui y est adhérent, fig. 3308.

Les propriétés de l'aimant sont utilisées dans l'industrie, en outre de l'application capitale de la boussole à la navigation. Nous avons décrit à l'article Aiguilles, l'ingénieux emploi fait de masques en acier aimanté pour empêcher la poussière de fer des aiguiseries de pénétrer jusqu'aux organes respiratoires des ouvriers.

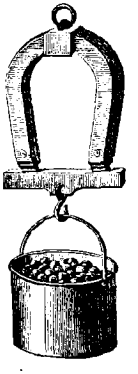


Fig. 3308.

La science a donné un moyen tout différent de ceux autrefois connus, pour produire des aimants, qui a un immense intérêt en ce qu'il a donné la clef des phénomènes si obscurs du magnétisme. Si l'on enroule un fil métallique en hélice et que l'on place un barreau d'acier dans l'axe de cette hélice, en faisant passer dans le fil une forte décharge électrique, le barreau sera parfaitement aimanté. C'est sur cette belle expérience d'Arago, qu'Ampère a fondé sa célèbre théorie de magnétisme terrestre, adoptée universellement aujourd'hui par tout le monde savant.

Cette propriété des courants électriques d'aimanter les barres d'acier, s'applique également au fer doux, seulement l'aimantation n'est que temporaire et cesse avec le courant. Avec une longueur suffisante de fil (couvert de soie) enroulé autour du fer et des courants, de piles énergiques, on a pu faire porter jusqu'à 4,000 kilog. à un barreau de fer doux. On appelle *électro-aimants* ces aimants temporaires pour les distinguer des aimants d'acier permanents.

Dans plusieurs articles de cet ouvrage, et notamment à l'article TÉLÉGRAPHIE, on décrit les nombreuses applications des électro-aimants comme moyen de transmettre instantanément un travail à une grande distance, et de multiplier les indications avec une rapidité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui n'est limitée que par le temps qu'exige le fer doux pour acquérir et perdre son aimantation, durée presque nulle quand le métal est parfaitement pur.

Un élégant petit appareil construit par M. Froment, que nous représentons figure 3309, montre combien cette

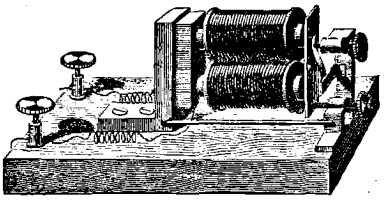


Fig. 3309.

durée est petite. Il consiste en un petit électro-aimant dont l'armature, qui se compose d'une plaque de fer très-légère, peut osciller entre les pôles d'une part, et un arrêt d'autre part, contre lequel un ressort tend à le faire appuyer. Un courant électrique introduit dans l'appareil passe par la plaque de fer et son arrêt, de telle façon que le circuit soit interrompu dès que les deux pièces se séparent. Cet effet se produit de lui-même en interposant dans le circuit le fil qui entoure l'électro-aimant, car celui-ci attire alors la plaque de fer doux qui, en se séparant de son arrêt, interrompt le passage du courant; aussitôt l'aimantation cesse, la lame de fer, poussée par le ressort, retourne frapper l'arrêt et fermer de nouveau le circuit; nouvelle aimantation, nouvelle interruption du circuit et ainsi de suite avec une rapidité qu'on est maître de régler et qui peut atteindre plusieurs milliers de battements par seconde. En tournant les vis qui servent à régler l'amplitude de la vibration et la force du ressort, on fait rendre à l'instrument tous les sons de l'échelle musicale, ce qui permet d'en déduire le nombre de vibrations.

AIR CHAUD (MACHINES A). La combinaison de machines à feu fonctionnant par l'échauffement de gaz, dans le but d'obtenir des machines plus économiques que les machines à vapeur d'eau, a été dans ces dernières années l'objet des travaux de nombre d'inventeurs. Encouragée par des corps savants, tentée par des ingénieurs distingués, elle n'a cependant pu aboutir à rien d'important, et l'expérience semble indiquer que les principes dont on partait étaient ou faux, ou mal appliqués.

Une théorie exacte des machines à gaz chauffés est donc un *desideratum* de l'industrie, ce qui nous engage à la formuler ici, sans craindre un appareil scientifique un peu exagéré pour un ouvrage où les théories mathématiques ne se révèlent, en général, que par leurs applications.

Et d'abord nous remarquerons que gaz chauffés ou air chaud, c'est ici la même chose, les dilatations des gaz simples et leurs chaleurs spécifiques à égalité de volume étant égales, un même travail répond, pour tous, à une même quantité de chaleur. La substitution d'un gaz simple à un autre, n'a donc nul intérêt au point de vue de l'économie de la chaleur.

Pour les gaz autres que les gaz simples, la démonstration de Carnot (Voy. CALORIE) prouve qu'il ne peut y avoir avantage dans une semblable substitution s'il s'agit d'un gaz parfait; et s'il se produit des actions intermoléculaires, une chaleur spécifique différente de celle des gaz simples, n'est pas une cause qui puisse faire donner la préférence à un gaz composé, l'action directe pourrait paraître avantageuse que la détente de ce gaz produisant un plus rapide refroidissement, une plus rapide diminution de pression et par suite de travail, il y aura compensation. C'est ce qui se vérifie pour un cas où les effets intermoléculaires sont très-considérables, pour les vapeurs saturées, comme nous l'avons dit à GAZ LIQUÉFIÉS.

Comment l'échauffement des gaz engendre du travail. — La chaleur, dans les corps, étant une force vive atomique et leur échauffement un accroissement de vitesse du mouvement vibratoire de leurs molécules, mouvement qui, seul, est à considérer dans l'état gazeux (Voy. GAZ), la production du travail mécanique par les gaz est un phénomène simple. Il consiste dans la communication des forces vives des atomes (qui étant dus à des mouvements alternatifs, ne déplaçant pas le centre de gravité des atomes presque infiniment petits, ne sont perçus que comme chaleur) à des masses finies, à leur conversion en forces vives mécaniques. Il est impossible de comprendre autrement la production de celles-ci par l'action, sur un corps qui se met en mouvement, de corps en repos, et lorsque l'effet produit est une force vive, que celle-ci n'existât pas antérieurement.

Ainsi donc, les atomes gazeux venant choquer les parois d'une capacité qui les renferme, un cylindre par exemple, dans l'intérieur duquel glisse un piston mobile, elles rebondiront sans changement de vitesse, et par conséquent de température, sur les parties fixes, mais avec une vitesse différente lorsqu'elles rencontreront la paroi mobile, variation qui sera en raison de cette vitesse, et dont le signe dépendra du sens du mouvement. Si le piston s'éloigne du fonds du cylindre, il y a diminution de vitesse du mouvement vibratoire et par suite de forces vives moléculaires, c'est-à-dire consommation de chaleur en même temps que production de travail mécanique; si le piston se rapproche du fonds du cylindre, il y a échauffement du gaz, production de chaleur et consommation de travail mécanique.

Étudions maintenant comment les effets mécaniques de l'échauffement des gaz se transmettent aux mécanismes qui permettent de les utiliser.

Nous disons à *Chaleurs spécifiques* comment c étant la chaleur spécifique sous pression, c' celle à volume constant, celle de l'échauffement de l'unité de poids des molécules gazeuses, p la pression, Δv l'augmentation de volume, on avait pour chaque degré d'échauffement :

$$c = c' + p\,\Delta v.$$

L'accroissement élémentaire dv sous la pression p est directement utilisable, c'est un travail extérieur directement transmissible à la paroi de la capacité qui renferme les gaz. C'est à cause de la grandeur du terme pdv pour les gaz et les vapeurs, tandis qu'il est très-petit pour les solides et les liquides, que les corps à l'état gazeux peuvent seuls être aisément employés pour l'établissement des machines à feu. Les gaz sont aussi les seuls corps pour lesquels on connaît, sous forme analytique, les relations entre p et v permettant d'intégrer pdv, et par suite d'analyser complétement les phénomènes, de mesurer les effets produits en chaque instant.

Passons en revue les divers moyens d'utiliser l'échauffement des gaz pour produire du travail.

1° *Action directe. — Travail produit par l'échauffement d'un gaz dont la pression reste constante.* — La pression restant constante, la valeur de pdv se réduit à $p\ (v_2 - v_1)$, le gaz passant du volume v_1 au volume v_2, t_1 et t_2 étant les températures correspondantes, la quantité de chaleur communiquée au gaz est $c\,(t_2 - t_1)$ et on a :

$$c(t_2 - t_1) = c'(t_2 - t_1) + \mathrm{A}\,p\,(v_2 - v_1)$$

$\frac{1}{\mathrm{A}}$ étant l'équivalent mécanique de la chaleur.

La quantité de chaleur utilisée est :

$$\mathrm{A}\,p\,(v_2 - v_1) = (c - c')(t_2 - t_1).$$

Le rapport de la quantité de chaleur qui peut être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

utilisée en se servant de cet accroissement de volume est donc à celle communiquée au gaz dans le rapport de

$$\frac{c - c'}{c} = \frac{1}{3}$$

pour l'air et les gaz simples. Un semblable coefficient théorique qui montre que tout système de machines fondé sur une semblable utilisation sacrifie d'abord, avant tout déchet, toute résistance passive, 2/3 de la chaleur (et on reconnaîtra que bien des machines tentées sont dans ces conditions) ne peut conduire qu'à de très-mauvais rendements pratiques.

2° *Action de détente. — Travail produit par la détente d'un gaz dont la température demeure constante.* Nous prenons ce cas particulier pour lequel nous savons calculer $p\,dv$, puisque la loi de Mariotte s'applique aux relations qui existent entre les volumes et les pressions, qu'il en résulte une expression de forme logarithmique qui est l'expression analytique de cette loi, que la courbe des pressions est une branche d'hyperbole.

Le travail produit étant $\int p dv$ et ayant $p_1 v_1 = p_2 v_2$

ou $$p = \frac{p_1 v_1}{v}$$

on a $$F = p_1 v_1 \int \frac{dv}{v} = p_1 v_1 \text{, Log hyp. } \frac{v_2}{v_1},$$

et la quantité de chaleur correspondante, qu'il faut communiquer au gaz pour qu'il ne refroidisse pas en se détendant est

$$Q = AF = A\,p_1 v_1 \text{ Log hyp. } \frac{v_2}{v_1}.$$

Pour qu'un semblable mode d'opérer soit possible, il faut que le gaz soit amené d'abord à une pression supérieure à la pression ambiante, qui forme résistance; l'action ne peut avoir lieu qu'autant que le gaz a été amené à avoir une semblable pression. Or, ce ne peut être seulement par une dépense antérieure de travail, car une action de compression, inversement identique à celle de la détente, dégage une quantité de chaleur égale à celle que consommerait la détente à température constante (en enlevant la chaleur à mesure qu'elle se dégage). Les deux effets successifs étant égaux et de signes opposés; il n'y a pas de résultat utile à obtenir en opérant ainsi.

Il est donc plus naturel, pour produire du travail au moyen de la chaleur par détente, de chauffer l'air sous volume constant, puis après l'avoir détendu, en lui fournissant de la chaleur pour que sa température reste constante, recommencer sur une nouvelle quantité de gaz, ou agir sur le même en utilisant le travail produit par son refroidissement, et le ramenant au volume primitif sans le laisser s'échauffer. Les conditions à remplir pour obtenir le maximum du travail utilisable dans de semblables conditions, sont celles que nous avons déjà analysées et qui constituent le cycle de Carnot que nous allons étudier; nous pouvons maintenant calculer les effets produits dans ses diverses périodes successives.

3° *Cycle de Carnot.* — Nous avons vu art. CALORIE que le cycle de Carnot consistait en deux opérations de détente ou compression, à température constante et deux opérations semblables, à température variable, de manière qu'il n'y ait jamais perte de chaleur ou variation de température sans travail, par le contact des corps à des températures différentes. Les deux premières nous donneront pour les quantités de chaleur consommées ou dégagées :

Dans le premier cas le volume de l'air passant de v à v_1 par détente

$$q = Av\,p \text{ Log hyp. } \frac{v_1}{v}.$$

Dans le second cas le volume passant de v_2 à v_3 par compression

$$q_1 = Av_2\,p_2 \text{ Log hyp. } \frac{v_2}{v_3}.$$

Or pour un même poids de gaz passant de t à t_1, et inversement par la détente ou la compression, sans communication de chaleur extérieure, les quantités de chaleur comme de travail qui correspondent aux deux dernières opérations sont égales, et de signe contraire, se détruisent. Elles n'ont pas, par suite, d'utilité dans la pratique, pour des machines à air chaud.

Les courbes du petit quadrilatère figuré à l'article CALORIE sont les mêmes deux à deux, et les courbes hyperboliques de la détente, peu inclinées sur l'axe des abscisses, peuvent être considérées comme parallèles pour des différences de température qui ne sont pas très-grandes, et alors on tire des triangles semblables, si $v_1 = mv$, qu'on peut poser $v_2 = mv_3$. (Si les différences sont très-grandes, il est facile de voir que le rapport des volumes pour la compression devient plus grand que celui des volumes pour la détente, la partie à soustraire est prise trop faible dans le calcul ci-après, et, par suite, l'emploi de la formule à laquelle nous allons arriver donne des résultats trop grands.)

Posant donc $\frac{v_1}{v} = \frac{v_2}{v_3}$, la chaleur dépensée est alors :

$$q - q_1 = A(vp - v_2 p_2) \text{ Log. hyp. } \frac{v_1}{v}.$$

La combinaison de la loi de Mariotte et de Gay-Lussac donne d'ailleurs la relation constante :

$$\frac{v_o\,p_o}{a + t_o} = \frac{v\,p}{a + t}, \; a \text{ étant } \frac{1}{\alpha} = 273, \; \alpha \text{ coefficient}$$

de dilatation des gaz.

Posant $\frac{v_o\,p_o}{a + t_o} = R$, on a $vp = R(a + t)$;

et par suite l'expression ci-dessus, pour laquelle vp répond à la température t, et $v_2 p_2$ à la température t_1 devient

$$q - q_1 = AR(t - t_1) \text{ Log. hyp. } \frac{v_1}{v}$$

et le rapport de la quantité utilisée à celle communiquée aux gaz pour les amener à une température supérieure à celle des corps ambiants est :

$$\frac{q - q_1}{q} = \frac{t - t_1}{a + t}.$$

On voit qu'il s'en faut de beaucoup que la disposition du cycle de Carnot réponde à l'utilisation de la chaleur totale, et que le coefficient d'utilisation théorique ne se rapproche de l'unité que si la différence $t - t_1$ est très-grande. Ainsi, pour

$t = 300°$ et $t_1 = 0$, $\frac{t - t_1}{a + t} = \frac{300}{273 + 300} = \frac{300}{573}$,

il n'atteint pas $\frac{1}{2}$. Pour qu'il fût égal à 1, il faudrait que l'on eût $t_1 = -273°$, limite toute théorique qui suppose qu'un gaz qui se dilate de $\frac{1}{273}$ aux températures ordinaires conservera le même coefficient de dilatation à des températures aussi basses, que le gaz disparaîtra en quelque sorte à $-273°$. La réalité est bien éloignée d'une semblable hypothèse.

4° *Cas général.* — Ce n'est pas seulement dans les deux cas qui viennent d'être examinés que l'on peut obtenir l'intégrale de $p\,dv$ et par suite se rendre compte de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'effet utile des machines à air chaud. Il est possible d'obtenir une relation algébrique simple entre le volume et la pression d'un gaz qui varie de volume en produisant un travail par sa détente, sans recevoir de chaleur extérieure, d'où peut se déduire la théorie générale des machines à air chaud. Voyons d'abord à établir cette formule.

Formule de Poisson. — Poisson et Laplace sont arrivés pour un gaz qui se détend à la formule :

$p v^{\gamma} =$ Constante, en posant $\gamma = \frac{c}{c'}$. Bien qu'ils ne considérassent pas la production de travail comme causant une consommation de chaleur, et que par suite les raisonnements qui les ont conduits à cette formule aient pu difficilement être à l'abri de toute critique, cependant la formule est exacte et s'établit directement en partant des principes fondamentaux de la théorie mécanique de la chaleur.

En effet, nous savons que la combinaison des lois de Mariotte et de Gay-Lussac est exprimée par l'équation entre p, v et t :

$$v p = \mathrm{R}\,(a + t). \qquad (1)$$

Le travail élémentaire $d\,\mathrm{T}$ pour une détente répondant à un accroissement de volume $d\,v$ est donc :

$$d\,\mathrm{T} = p\,d\,v = \mathrm{R}\,(a + t)\frac{d\,v}{v}. \qquad (2)$$

Pour intégrer cette expression, il suffit d'une autre équation entre plusieurs de ces trois quantités, c'est ce que donne le principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur. En effet le travail T n'étant que de la chaleur interne du corps qui se convertit en travail mécanique, et $\frac{1}{\mathrm{A}}$ étant l'équivalent mécanique de la chaleur, on a :

$$\mathrm{A\,T} = c'(t - t_1) \text{ ou } \mathrm{A}\,d\,\mathrm{T} = -c'\,d\,t. \qquad (3)$$

Éliminant $d\,\mathrm{T}$ entre ces deux équations, il vient :

$$-\frac{c'\,d\,t}{\mathrm{A}} = \mathrm{R}\,(a + t)\,\frac{d\,v}{v} \text{ ou } -\frac{c'}{\mathrm{AR}}\frac{d\,t}{a + t} = \frac{d\,v}{v},$$

et en intégrant

$$-\frac{c'}{\mathrm{AR}}\,\mathrm{Log}\,\frac{a + t_1}{a + t_0} = \mathrm{Log}\,\frac{v_1}{v_0},$$

ou

$$\left(\frac{a + t_1}{a + t_0}\right)^{-\frac{c'}{\mathrm{AR}}} = \frac{v_1}{v_0}. \qquad (4)$$

On a vu que $\frac{a + t_1}{a + t_0} = \frac{v_1\,p_1}{v_0\,p_0}$ d'après (4) et aussi que $c - c' = \mathrm{A}\,v_0\,p_0\,\alpha = \mathrm{A}\,\frac{v_0\,p_0}{a} = \mathrm{A\,R}$, pour $t = 0$.

L'expression (4) revient donc à

$$\left(\frac{v_1\,p_1}{v_0\,p_0}\right)^{-\frac{c'}{c - c'}} = \frac{v_1}{v_0}$$ et enfin en faisant disparaître l'exposant négatif

$$\frac{v_1\,p_1}{v_0\,p_0} = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{\frac{c - c'}{c}}$$

$$\text{ou } \frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{\frac{c - c' + 1}{c}} = \left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{\frac{c}{c'}}. \qquad (5)$$

C'est bien la formule de Laplace et Poisson

$$p\,v^{\frac{c}{c'}} = \text{Constante}.$$

Pour les gaz parfaits qui ont même chaleur spécifique à volume égal, pour l'air (Voy. CHALEURS SPÉCIFIQUES, *Loi de Dulong*) $c' = 3\,\mathrm{A\,R}$ et $c - c' = \mathrm{A\,R}$; par suite $\frac{c}{c'} = \frac{4}{3}$ et la formule devant $p\,v^{\frac{4}{3}} =$ Constante.

Il est facile de voir que la pression diminue plus rapidement que ne l'indique la loi de Mariotte. Ainsi, avec celle-ci, en partant de $p = 1$ et $v = 1$ pour les valeurs de v : 1, 2, 3, 4.... 10, les valeurs de p sont 1, 1/2, 1/3, 1/4.... 1/10, pour la loi de Mariotte et pour celle de Poisson 1, 1/2.52, 1/4.33, 1/6.4.... 1/46.4.

Travail produit par l'action de l'air chaud, sans réchauffement extérieur, par consommation de chaleur interne. — La relation à laquelle nous sommes arrivés, permet d'intégrer l'expression différentielle $d\,\mathrm{T} = p\,d\,v$

en donnant le moyen d'éliminer $p = \frac{p_0\,v_0^{\frac{4}{3}}}{v^{\frac{4}{3}}}$

On a ainsi :

$$\mathrm{T} = \int_{v_0}^{v_1} p\,d\,v = p_0\,v_0^{\frac{4}{3}} \int_{v_0}^{v_1} \frac{d\,v}{v^{\frac{4}{3}}}$$

$$= 3\,p_0\,v_0^{1{,}33}\left(\frac{1}{\sqrt[3]{v_0}} - \frac{1}{\sqrt[3]{v_1}}\right). \qquad (6)$$

La quantité de chaleur consommée est :

$$\mathrm{A\,T} = c'(t_0 - t_1) = 3\,\mathrm{A\,R}(t_0 - t_1).$$

Comme d'ailleurs $p_0\,v_0 = \mathrm{R}\,(a + t_0)$, d'où on peut tirer p_0, il vient pour $v_0 = 1$:

$$\mathrm{AT} = 3\mathrm{AR}\,(t_0 - t_1) = 3\,\mathrm{AR}\,(a + t_0)\left(\frac{1}{\sqrt[3]{v_0}} - \frac{1}{\sqrt[3]{v_1}}\right)$$

et $$t_0 - t_1 = (a + t_0)\left(1 - \sqrt[3]{\frac{v_0}{v_1}}\right). \qquad (7)$$

Nous ne pouvons pas conclure de là un coefficient d'utilisation d'une machine, car il ne suffit pas de connaître la quantité de chaleur consommée, de savoir qu'elle est parfaitement et complètement utilisée; il faut encore déterminer les limites entre lesquelles la machine peut fonctionner dans le milieu ambiant, pour que le gaz s'y trouve à une pression plus grande que celle de l'air extérieur. C'est là l'obstacle à une utilisation complète par détente, pour faire croître le volume, car la pression devient bientôt trop faible pour être utilisée pratiquement.

Sans revenir sur le cas d'une compression préalable de l'air qui ne donne que des résultats illusoires, que la restitution, tout au plus, du travail dépensé pour la compression; si on a échauffé le gaz à volume constant, de $c'(t_0 - t_2)$ pour l'amener à une température t_0 suffisamment élevée, t_2 étant la température ambiante, le coefficient d'utilisation sur $\frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_2}$, en comparant l'utilisation pratique à l'utilisation théorique complète (et non $\frac{t_0 - t_1}{a + t_0}$ comme on le professe à tort), coefficient qui sera toujours bien moindre que l'unité, puisque t_1 devra être bien supérieur à t_2 pour que la détente soit possible, pour que la pression ne soit pas inférieure à la pression de l'atmosphère. En faisant le calcul pour un cas particulier, on le verra facilement.

Soit $t_2 = 0, t_0 = 300°, p_0\,v_0^{\frac{4}{3}} = 1033{,}0 \times 1 + \left(\frac{300}{273}\right)$ pour 1^{me}, ou 2168 1^{km} et la limite de la valeur de v_1 pour atteindre la limite de la pression atmosphérique sera

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donné par $21684 = 10330\, v_1^{\frac{4}{3}} = 2{,}1$, ou $v_1 = 1{,}75$.

On en déduit $t_0 - t_1 = 573\left(1 - \left(\frac{1}{1{,}75}\right)^{0{,}33}\right)$

$= 573\left(1 - \frac{1}{1{,}20}\right) = 573\,(1 - 0{,}8) = 114{,}6$. Le rapport cherché est donc $\frac{114}{300}$, peu supérieur à 1/3, dont on s'écarte peu pour des valeurs de t_0 plus élevées même que celles qu'on peut obtenir pratiquement, et qui est la valeur de $\frac{c - c'}{c'} = A \int \frac{p\,dv}{c'}$, du rapport de la chaleur qui répond au travail produit par action directe, par la dilatation lors de l'échauffement à celle nécessaire pour produire celui-ci à volume constant, pour obtenir la pression initiale; ce qui prouve que le travail utile dû à la détente est très-faible. La dilatation avec réchauffement du cycle de Carnot, répond, on le voit, à la meilleure condition d'utilisation de la chaleur pour la production du travail.

Résumé. — Nous pouvons maintenant procéder au calcul à l'aide des formules qui viennent d'être établies, des diverses machines à air chaud, des inventions nouvelles, dans les divers cas de la pratique, pouvant calculer les effets mécaniques et calorifiques qui se produisent dans chaque cas déterminé. Nous venons en effet de voir comment on calcule le travail produit quand le gaz se détend sans communication de chaleur extérieure. S'il recevait de la chaleur en un moment quelconque, il est évident que le travail produit pourrait être calculé en évaluant l'action directe comme (1°), puis supposant la détente effectuée à température constante (2°), puis enfin sans communication de chaleur extérieure (3°); l'état final et initial du gaz seraient les mêmes dans les deux cas et par suite aussi le travail engendré comme la chaleur consommée, par ces actions également continues, sans chute de température. Ce mode d'analyse des phénomènes rend facile des calculs autrement très-difficiles et évite bien des erreurs dans l'appréciation d'inventions nouvelles.

Des divers systèmes de machines a air chaud.

L'étude théorique qui précède montre clairement combien était erronée la base théorique sur laquelle on faisait reposer la prétendue supériorité de la machine à air chaud sur la machine à vapeur, au point de vue de l'économie du combustible, idée qui a déterminé bien des inventeurs à s'occuper de ce genre de machines. Si à cause de l'état gazeux de l'air et de sa faible chaleur spécifique, on peut en accroître la pression au moyen d'une faible quantité de chaleur; par contre, on ne peut produire de travail par détente sans que la pression diminue rapidement, et par suite qu'elle ne devienne bientôt trop faible pour que la production du travail puisse continuer d'avoir lieu avant que la majeure partie de la chaleur communiquée au gaz soit utilisée. Si la vapeur coûte plus de chaleur, comparativement aux gaz, par contre la détente n'en fait pas baisser la pression avec la même rapidité, à cause de la grande quantité de chaleur dégagée par les parties qui se condensent, et il résulte un avantage de ce qui était considéré comme un inconvénient, la possibilité d'utiliser, au moyen de la détente prolongée, une plus grande partie de la quantité de chaleur incorporée. La supériorité des machines à vapeur sur les machines à air chaud résulte manifestement de cet élément, comme nous le montrerons à l'article Machines a vapeur. Pour le moment, passons en revue les différents systèmes de machines à air chaud qui ont été tentés, et les applications utiles qu'on leur a trouvées dans quelques circonstances spéciales. Nous possédons maintenant les éléments suffisants pour calculer les effets produits par l'échauffement de l'air, soit avant, soit pendant qu'il engendre un travail mécanique.

1° Machines dont la disposition se rapproche du cycle de Carnot..

Machine de Stirling. — Cette machine, la première machine à air chaud sérieusement étudiée, a été construite en 1826. Elle a été analysée, avec beaucoup de soin, par M. Verdet, auquel nous empruntons la description qui suit.

Dans cette machine, l'air est d'abord chauffé sous volume constant, puis dilaté à température constante, ramené à sa température primitive en conservant son nouveau volume, et enfin ramené à son volume initial par compression, sans changement de température. La dilatation s'opérant à une température, et par conséquent à une pression plus élevée que la compression, le travail, engendré par la première, est supérieur au travail absorbé par la seconde, et l'excès peut recevoir une application extérieure.

Représentons ces phénomènes successifs par une construction géométrique. Représentons, par l'abcisse OA, le volume v_0 de l'unité de poids d'air, à la température t_0, et par l'ordonnée AM, la pression correspondante p_0. L'air est d'abord porté, sans que son volume augmente, de la température t_0 à la température t_1, ce qui exige qu'on lui communique une quantité de chaleur égale à $c'(t_1 - t_0)$, c' étant la chaleur spécifique de l'air à volume constant. Dans cette opération, la pression augmente et devient égale à p_1, c'est-à-dire sur la figure à l'ordonnée AP; mais le volume restant invariable, aucun travail n'est effectué. Il faut seulement que la pression exercée sur le piston mobile, dans la capacité remplie par l'air chaud, croisse de p_0 à p_1, pour la maintenir immobile. Ensuite la charge sur le piston étant graduellement diminuée, l'air se détend sans changer de température, et passe du volume v_0 au volume v_1, représenté par l'abcisse OB. La température restant constante par communication d'une quantité de chaleur convenable, le volume de l'air varie en raison inverse de sa pression, et l'arc d'hyperbole équilatère PQ représente la loi de la variation; l'ordonnée BQ mesure la pression finale.

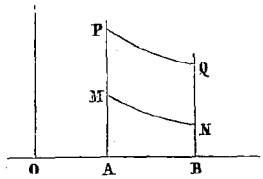


Fig. 3310.

Un travail extérieur est effectué, qui, sur la figure, est évidemment représenté par l'aire APQB, compris entre l'arc d'hyperbole, l'axe des abcisses et les deux ordonnées AP et BQ. Mais en même temps, pour empêcher le refroidissement que la dilatation tend à produire, il faut communiquer à l'air une quantité de chaleur q, dont l'équivalent mécanique est précisément le travail extérieur que l'aire APQB représente. Dans une troisième opération, on ramène le gaz à la température initiale t_0, sans que le volume varie. La pression se réduit ainsi de BQ à BN, sans dépense ni production de travail, et on enlève à l'air une quantité de chaleur exprimable encore par $c'(t_1 - t_0)$, la chaleur spécifique de l'air, sous volume constant, étant indépendante de sa densité.

Enfin, dans une quatrième et dernière période, on comprime le gaz, en le maintenant à la température t_0, jusqu'à ce que son volume ait repris la valeur v_0. Pour cela, une dépense de travail et une soustraction de chaleur sont nécesaires. L'arc d'hyperbole NM représentant encore la relation mutuelle du volume et de la pression,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

puisque la température est invariable, l'aire AMBN est l'expression de la dépense de travail; la chaleur dégagée q' a précisément cette dépense pour équivalent mécanique.

En définitive, dans les deux premières opérations, le gaz reçoit du foyer une quantité de chaleur égale à $c'(t_1 - t_0) + q$, et développe une quantité de travail extérieur, représentée géométriquement par la surface APQB. Dans les deux opérations suivantes, le gaz abandonne une quantité de chaleur égale à $c'(t_1 - t_0) + q'$, et exige la dépense d'une quantité de travail, représentée géométriquement par la surface AMNB. Il y a donc à la fois consommation d'une quantité de chaleur $q - q'$, création d'une quantité de travail disponible, représentée par l'aire MPQN, différence de APQB et de AMNB, et, en apparence, au moins, transport de la quantité de chaleur $c'(t_1 - t_0) + q'$ d'un corps chaud à un corps plus froid. La dépense utile de chaleur est donc simplement $q - q'$, tandis que la dépense utile totale semble être $c'(t_1 - t_0) + q$, et la dépense inutile $c'(t_1 - t_0) + q'$.

Mais avec un peu d'attention, il est facile de voir que cette dernière partie de la conclusion n'est pas exacte, et que la seule quantité q' est inutilement dépensée et perdue à jamais pour l'entretien de la puissance motrice de la machine. En effet, la quantité de chaleur $c'(t_1 - t_0)$ que le gaz abandonne dans la troisième période de l'expérience, lorsqu'il se refroidit de t_1 à t_0 sans changer de volume, peut être employée tout entière à partir de la température t_0 à la température t_1; une autre masse de gaz égale à l'unité de poids, qui se trouve ainsi préparée à développer du travail par sa dilatation à température constante, et quand cette deuxième masse se refroidit à son tour, la chaleur qu'elle abandonne peut ramener de t_0 à t_1 la température de la première masse, et ainsi de suite. Par cette disposition, la quantité de chaleur $c'(t_1 - t_0)$ ne fait que voyager de l'une à l'autre des deux masses de gaz nécessaires au jeu continu de la machine, et comme on peut concevoir une machine parfaite où ces voyages incessants s'opèrent sans déperdition, cette quantité ne fait réellement pas partie de la dépense calorifique, utile ou inutile. Elle se retrouve disponible tout entière à toute époque. Il en est autrement de la quantité q' que le gaz abandonne lorsqu'il est comprimé à température constante; accumulée en totalité dans un appareil réfrigérant à la température t_0, elle ne peut plus servir à échauffer le gaz au-dessus de cette température, ni à maintenir sa température égale à t_1 pendant la période de dilatation. On est en droit de dire qu'elle est dépensée en pure perte, tandis que la quantité $q - q'$ se transforme en travail utile. $\frac{q - q'}{q}$ est donc le rapport de la dépense calorifique utile à la dépense totale, le coefficient d'utilisation.

Pour retrouver pratiquement la chaleur $c'(t_1 - t_0)$, Stirling fit la curieuse invention du régénérateur.

Le gaz se refroidit dans la machine à air de t_0 à t_1, en traversant les interstices d'un corps poreux et conducteur, et dépose successivement les diverses portions de la chaleur qu'il contient sur les diverses couches du corps. Si le corps poreux est d'abord à la température t_0, il est évident que toutes ses couches prendront, par le passage du gaz, des températures supérieures à t_0, bien qu'inférieures à t_1, à l'exception de la dernière, qui conservera la température initiale si l'épaisseur du corps est suffisante. Par conséquent, lorsqu'on y fera passer en sens inverse une deuxième masse de gaz à la température t_0, elle s'y échauffera graduellement, et arrivera dans le cylindre de la machine avec une température plus élevée que t_0, de façon que, pour l'élever à la température t_1, il ne faudra pas la même quantité de chaleur que pour la première masse. Lorsque après avoir travaillé dans la machine elle s'échappera à son tour, cette deuxième masse trouvera toutes les couches du corps poreux à des températures plus élevées que t_0, sauf la dernière, et par conséquent les portera en définitive à des températures plus élevées que ne l'avait fait la première masse. Il suit de là que la troisième masse qui pénétrera dans l'appareil au troisième coup de piston arrivera au cylindre avec une température plus élevée que la deuxième, et ces phénomènes successifs se reproduisant sans cesse, la différence entre la température t_1 et la première couche du corps poreux ira toujours en s'atténuant. La quantité de chaleur qu'il faudra emprunter au foyer avant chaque coup de piston, pour amener l'air rigoureusement à la température t_1, sera donc pareillement décroissante. En théorie, ces divers décroissements n'ont pas de limite, et la machine s'approche indéfiniment de l'état considéré ci-dessus, où la quantité de chaleur $c'(t_1 - t_0)$ est tour à tour abandonnée et reprise par le gaz, sans déperdition aucune. Dans la pratique, une certaine fraction de cette quantité doit toujours être remplacée, à chaque coup de piston, aux dépens de la chaleur du foyer; mais en théorie, il suffit que l'air le traverse de bas en haut pour se refroidir, et de haut en bas pour retrouver sa température initiale.

Le corps poreux qui restitue sans cesse à la machine la chaleur dépensée à faire varier la température du gaz sans produire de travail a reçu le nom de *régénérateur de chaleur*. On a construit le régénérateur de bien des manières différentes : tantôt on s'est servi d'un système de tiges de verre pressées les unes contre les autres, tantôt de toiles métalliques superposées. Le verre et les matières analogues manquent de conductibilité, et ne remplissent pas l'office auquel on les destine. Les plaques métalliques perforées, employées par Stirling, conviennent beaucoup mieux, mais se détruisent rapidement sous l'influence oxydante de l'air chaud.

Calcul des quantités de chaleur. — Les quantités q et q' sont faciles à évaluer, puisqu'elles ont respectivement pour équivalents mécaniques les quantités de travail représentées géométriquement par les surfaces APQB et AMNB. L'équivalent mécanique de la chaleur étant $\frac{1}{A}$, on a donc :

$$\frac{q}{A} = \text{surf. APQB}, \quad \frac{q'}{A} = \text{surf. AMNB},$$

et

$$\frac{q - q'}{q} = \frac{\text{surf. APQB} - \text{surf. AMNB}}{\text{surf. APQB}}.$$

Or, puisqu'il s'agit d'une machine où les détentes ont lieu à température constante, on a :

$$\text{surf. APQB} = p_1 v_0 \log. \frac{v_1}{v_0};$$

$$\text{surf. AMNB} = p_0 v_0 \log. \frac{v_1}{v_0}.$$

Comme d'ailleurs p_1 et p_0 sont les pressions d'une même masse de gaz sous le volume v_1 et v_0 aux deux températures t_1 et t_0, on a :

$$vp = R(a + t) = \text{constante}; \text{ d'où, enfin :}$$

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{a + t_1}{a + t_0}, \quad \text{et} \quad \frac{q - q'}{q} = \frac{p_1 - p_0}{p_1} = \frac{t_1 - t_0}{a + t_1};$$

comme nous l'avons trouvé pour le cycle de Carnot, dont cette machine ne diffère que par les détentes et compressions sans chaleur extérieure, qui se détruisent comme il a été dit. Cette formule permet de calculer immédiatement le coefficient économique *théorique*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une machine de ce système, pourvu qu'on connaisse les températures extrêmes entre lesquelles elle fonctionne.

Faisons le calcul pour une machine à air de ce genre, travaillant dans les mêmes limites de température que les machines à vapeur les plus usitées, ce qui suppose un échauffement et un refroidissement plus rapides qu'on ne peut l'obtenir dans de semblables machines. Soit $t_1 = 146$, $t_0 = 34$, $a = 273$, la formule donne $\frac{112}{419}$, un peu moins de $\frac{2}{7}$, un peu plus du tiers.

Il y aurait après cela à déduire pour obtenir le travail utile les résistances de toute nature, notamment les frottements des pistons de grande dimension, qui sont nécessités par les faibles pressions pratiquement possibles et la petite vitesse des pistons, les pertes de chaleur par rayonnement, et surtout par action incomplète du régénérateur, etc. Aussi, dans la pratique, cette machine n'a pas pu fonctionner utilement, donner des résultats de quelque valeur.

2 — Machines a air chaud d'Ericson. — La grande machine à air chaud d'Ericson, qui a si vivement attiré l'attention publique en 1849, qui a été exécutée sur une grande échelle en Amérique, en réunissant toutes les conditions de succès que donnait la confiance généralement partagée, que l'on tenait une grande découverte, a été finalement abandonnée. Nous reproduirons ici la description qui nous arriva d'Amérique à l'apparition de cette machine; elle était faite avec l'enthousiasme de personnes qui croyaient assister à un grand progrès, et elle mérite d'être conservée dans l'histoire des inventions, malgré son peu de valeur au point de vue de la science.

L'exagération des résultats qui étaient annoncés, était bien évidente, et comme nous le disions dès l'origine, ce n'était rien moins que l'annonce du mouvement perpétuel, ou tout au moins un renversement de tous les rapports connus de cause à effet entre la chaleur et le travail mécanique qu'elle peut engendrer.

« La machine d'Ericson, disait le *New-York Daily Tribune*, se compose de quatre cylindres. Deux, de 72 pouces de diamètre chacun, sont placés l'un à côté de l'autre et portent, chacun aussi, un cylindre beaucoup plus petit. Dans chaque cylindre court un piston qui le clôt hermétiquement. Les quatre pistons sont réunis deux à deux de façon à se mouvoir exactement ensemble dans chaque paire de cylindres superposés. Sous chaque cylindre inférieur existe un fourneau, mais il n'en existe pas d'autres, comme il n'est besoin ni de chaudières, ni d'eau. Le cylindre inférieur, le plus grand, s'appelle le cylindre d'action (*working cylinder*), et l'autre cylindre alimentaire (*supply cylinder*). Quand le piston descend dans le cylindre alimentaire, des soupapes placées à son sommet s'ouvrent, et il se remplit d'air froid; quand au contraire il remonte, les soupapes se ferment, et l'air, qui ne peut plus s'échapper par le chemin qu'il a suivi pour entrer, passe par une autre série de soupapes dans un réservoir d'où il faut qu'il arrive au cylindre d'action pour forcer le piston à remonter. Lorsqu'il sort du réservoir pour remplir cette fonction, il traverse le régénérateur, appareil que nous décrirons tout à l'heure, où il est chauffé à environ 450 degrés Fahrenheit (215 degrés centigrades), et reçoit encore, en entrant dans le cylindre d'action, un supplément de calorique du feu qui est entretenu au-dessous de ce cylindre.

Nous avons dit que le cylindre d'action a un diamètre plus grand que celui du cylindre alimentaire. Supposons par exemple que son volume soit double, il en résultera que la quantité d'air froid fournie par le cylindre alimentaire ne remplira que la moitié de l'autre. Mais nous avons dit que pour y arriver il passait par un régénérateur, et nous admettons encore qu'en entrant dans le cylindre d'action il est chauffé à environ 480 degrés. Or, à cette température l'air atmosphérique double son volume. Donc la quantité d'air atmosphérique qui était contenue dans le cylindre alimentaire est devenue capable de remplir un cylindre double de grandeur, et c'est avec cette propriété qu'il entre dans le cylindre d'action. Nous supposerons encore que la surface du piston de ce cylindre soit de 1,000 pouces carrés et celle du cylindre alimentaire de 500 pouces seulement; l'air pèse sur ce dernier avec une force de pression que nous estimerons à 11 livres par pouce carré, soit d'un poids total de 5,500 livres; mais, quand il est échauffé, le même air pèse sur la surface du piston inférieur avec une force égale par pouce carré, ou, en d'autres termes, comme il est double de volume, avec une force totale de 11,000 livres. Il y a donc production d'une force qui, après avoir soulevé le poids du piston supérieur, laisse un surplus de 5,500 livres si nous ne tenons pas compte des frottements. Cette différence, ce surplus, représente la force d'action de la machine, et l'on comprendra facilement qu'après un premier coup de piston elle pourra continuer à fonctionner aussi longtemps qu'on fournira au cylindre d'action une chaleur suffisante pour dilater l'air à la proportion voulue, car aussi longtemps que les proportions ne sont pas dérangées entre les surfaces des deux pistons, et qu'on peut faire peser sur chacun d'eux une force égale par pouce carré, aussi longtemps le piston du plus grand cylindre fera mouvoir celui du plus petit, de même qu'un poids de deux livres placé dans le plateau d'une balance fait monter l'autre plateau, si l'on n'y a mis qu'un poids d'une livre. Tel est au fond le mode d'action de la machine calorique.

« La partie la plus curieuse de cette machine, c'est l'appareil appelé régénérateur par M. Ericson. On sait que dans la machine à vapeur la puissance résulte de la chaleur dépensée pour produire la vapeur dans les cylindres, et que cette vapeur est anéantie par la condensation aussitôt après avoir agi sur le piston. Or, si au lieu de se perdre ainsi, le calorique employé à produire la vapeur pouvait être renvoyé aux fourneaux, et utilisé de nouveau à chauffer les chaudières, il ne serait plus besoin, une fois la pression obtenue, que de très-peu de combustible, juste ce qu'il en faudrait pour remplacer le calorique perdu par le rayonnement. Eh bien, c'est cette condition de retour et de l'emploi presque indéfini du calorique que le régénérateur est destiné à accomplir. Il se compose d'une série de disques en toile métallique, placés l'un à côté de l'autre sur une épaisseur d'environ un pied. L'air est dirigé à travers les innombrables conduits formés par les intersections de tous les fils qui composent les disques avant d'arriver au cylindre d'action. Dans ce passage il est divisé en masses extrêmement petites, les molécules elles-mêmes entrent toutes en contact avec le métal qui forme le tissu des disques. Supposons en outre, comme d'ailleurs il arrive dans la réalité, que l'extrémité du régénérateur qui touche au cylindre d'action est chauffée à une température élevée: avant d'entrer dans le cylindre, l'air traverse cette substance échauffée, et dans ce passage il prend, comme le thermomètre l'accuse, environ 450 degrés de calorique sur les 480 qui sont nécessaires pour doubler son volume par la dilatation. Les 30 degrés qui manquent sont fournis par le feu que l'on entretient sous le cylindre. L'air est dilaté, il force le piston à monter; puis, quand ce résultat est obtenu, des soupapes s'ouvrent, l'air emprisonné et chauffé à 480 degrés sort du cylindre et passe dans le régénérateur qu'il doit traverser avant d'abandonner la machine. Nous avons dit que l'extrémité de l'appareil voisine du cylindre est chauffée à une certaine température; il faut ajouter que l'autre extrémité reste froide sous l'action de l'air que lui envoie dans cette direction chaque coup de cylindre alimentaire. D'un autre côté, à mesure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'air qui arrive du cylindre d'action traverse le régénérateur, les fils du tissu métallique absorbent si énergiquement son calorique, qu'il en a été presque complétement privé, à 30 degrés près, lorsqu'il abandonne le régénérateur. En d'autres termes, l'air, avant d'entrer dans le cylindre d'action, reçoit du régénérateur une somme de calorique d'environ 450 degrés, et il ne sort du cylindre que pour aller restituer au régénérateur le calorique qu'il lui avait emprunté, et cela indéfiniment, les feux entretenus sous les cylindres n'étant appelés qu'à fournir les 30 degrés dont nous avons parlé, qu'à remplacer les pertes produites par le rayonnement.

« Le régénérateur attaché à la machine de 60 chevaux, que nous avons étudiée en détail, mesure à l'intérieur 26 pouces de haut sur autant de large. Chacun des disques métalliques qui le composent représente une surface de 676 pouces, et son tissu métallique contient 10 mailles par pouce. Chaque pouce superficiel contient donc 100 mailles qui, multipliées par 676, donnent un total de 67,000 mailles par chaque disque, et comme ils sont au nombre de 200, il s'ensuit que le régénérateur contient 13 millions 520,000 mailles; et comme il existe autant de petits espaces entre les disques qu'il y a de mailles, le nombre des cellules à travers lesquelles l'air se distribue est de plus de 27 millions. Par suite encore, il est évident que chacune des molécules dont se compose le volume de l'air est mise, lorsqu'elle traverse le régénérateur, en contact immédiat avec une surface métallique qui le chauffe et le refroidit alternativement. L'étendue de cette surface, quand on essaye de la calculer, surprend l'imagination. La longueur du fil employé dans chaque disque est de 3,140 pieds, et par conséquent, dans le régénérateur tout entier, de 228,000 pieds, soit 44 milles et demi; et cependant le régénérateur, qui présente cette vaste surface à la production du calorique, n'est qu'un solide de 2 pieds cubes.

« Ce merveilleux moyen de produire et de reprendre le calorique constitue une des découvertes les plus remarquables qui aient été faites dans les sciences physiques. L'auteur avait depuis longtemps reconnu, et c'est la base sur laquelle se fonde la propriété la plus extraordinaire de la machine calorique, que l'air atmosphérique et les autres gaz permanents peuvent, en traversant une distance de 6 pouces seulement, et dans l'intervalle d'un cinquantième de seconde, acquérir ou perdre une température de plus de 100 degrés. Il a le premier découvert cette merveilleuse propriété du calorique, sans laquelle l'air atmosphérique ne pouvait pas être employé comme puissance motrice. Cela se comprend aisément. A moins d'être dilaté par la chaleur, l'air ne peut exercer aucune action sur le piston; et s'il fallait beaucoup de temps pour obtenir cette dilatation, le mouvement du piston en serait rendu si lent, qu'il serait impossible d'en tirer parti. Mais le capitaine Ericson a démontré que la chaleur peut se communiquer à l'air atmosphérique et la dilatation s'obtenir avec une rapidité presque électrique, et qu'il est par conséquent éminemment capable d'imprimer la plus grande rapidité à toute espèce de machine. »

Comparativement à la machine de Stirling, complétement oubliée à l'époque où Ericson inventa la sienne, qui conservait les avantages du régénérateur, cette dernière paraît économiser le travail de compression q', nécessaire pour ramener l'air froid à son volume primitif, en puisant dans l'atmosphère de nouvelles quantités d'air à chaque pulsation du piston, celle-ci nous offrant un réservoir indéfini, à température et à pression sensiblement constante.

Mais pour que la chaleur puisse agir sur une masse d'air un peu notable, il faut pour agir sur de l'air comprimé, ce qui entraine la dépense d'un travail d'alimentation, la consommation d'un travail résistant considérable, qui est loin d'être équivalent à une quantité de valeur moindre que q'. En effet, tandis que, pour la machine à vapeur (et c'est là une des causes de sa supériorité sur la machine à air), le travail d'alimentation est minime, à cause de la grande densité relative de la vapeur liquéfiée, de l'eau à introduire dans la chaudière, densité qui est 1700 fois celle de la vapeur à la pression de l'atmosphère, dans la machine dont nous parlons; l'air froid doit être emmagasiné dans un réservoir sous une pression suffisante pour déterminer son envoi dans le cylindre travaillant, en traversant le régénérateur sous un volume qui, dans la pratique, atteint plus de moitié de celui du volume de l'air chauffé, et par suite de ce seul chef, indépendamment des résistances passives considérables auxquelles il donne lieu, consomme déjà un travail résistant d'environ moitié du travail utile. Ainsi, si l'air est chauffé à 200° centigrades (au delà, les huiles se volatilisent, les toiles se brûlent), son volume deviendra, par son passage à travers le régénérateur $(1 + 0{,}00366 \times 200) = 1{,}73$; le travail brut étant 1,73, le travail nécessaire pour l'alimentation sera voisin de 1, c'est-à-dire en appliquant un coefficient de réduction au travail brut, semblable à celui qu'il faut appliquer au rendement théorique de toutes les machines, que la machine pourra, dans la pratique, au plus se mouvoir elle-même, mais ne saurait produire un travail utile de quelque valeur pour surmonter des résistances extérieures.

Après ce qui a été dit plus haut sur la machine Stirling, ceci suffit pour faire comprendre comment la machine Ericson ne pouvait réussir; aussi, après bien des essais, l'habile ingénieur a-t-il dû y renoncer complétement; il a utilisé l'expérience qu'il avait chèrement acquise, pour combiner une petite machine dans laquelle il fait faire l'alimentation d'air par la pression atmosphérique, renonçant au régénérateur et aux résultats merveilleux qui avaient été annoncés.

NOUVELLE MACHINE A AIR CHAUD D'ERICSON, DITE *Domestic Engine*. — Dans cette machine l'inventeur n'a plus cherché à obtenir une grande économie de combustible, mais seulement une machine facilement applicable dans toute circonstance, n'exigeant pas d'eau ni de chaudière. La petite industrie de New-York paraît lui avoir fait un accueil favorable, et elle est aujourd'hui, dit-on, assez fréquemment employée en Amérique.

Je n'entrerai pas ici dans de longs détails sur cette machine, sur laquelle M. Tresca a fait des expériences très-complètes. Il a trouvé une consommation de 4k,13 de coke par cheval et par heure, c'est-à-dire près de trois fois celle d'une bonne machine à vapeur.

Cette machine, qui est une espèce de calorifère alimenté par une soufflerie intérieure, se compose essentiellement de deux pistons qui se meuvent dans un corps de pompe. Le piston extérieur, dit piston moteur, est muni de soupapes d'aspiration par lesquelles l'air extérieur entre dans l'espace compris entre les deux pistons, toutes les fois que la pression, dans cet espace, s'abaisse au-dessous de la pression atmosphérique. Quant au piston alimentaire terminé en forme de cloche semblable à celle qui entoure le foyer, il augmente la pression de cet air lorsqu'il se rapproche du foyer, et le force à venir au contact de ses parois chaudes.

On voit donc que, par des mouvements relatifs convenables des deux pistons, on pourra 1° introduire rapidement de l'air froid presque aussitôt que se sera ouvert l'orifice d'échappement qui donne issue à l'air qui vient de travailler; 2° le chauffer et augmenter sa pression, ce qui fera naître un travail moteur.

C'est par une ingénieuse combinaison de bielles, par leur emploi sous des inclinaisons convenables, que sont obtenus ces mouvements relatifs d'emprisonnement brusque et de sortie de l'air, mouvements curieux à étudier au point de vue mécanique.

Au point de vue physique, la mesure des tempéra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tures montre que les 5/6 de la chaleur produite sont emportés par les gaz, ce qui rend bien compte de la grande consommation de combustible. La pression maximum ne dépasse pas 1at,75, et c'est cet accroissement de pression, permettant un accroissement de volume utile, qui produit du travail.

A peine admissible pour de petites forces, quand on utilise l'air qu'elle chauffe, qu'on l'emploie comme calorifère, cette machine, avec son volume relativement grand, ses grandes vitesses, les chocs des soupapes, etc., n'est pas exécutable sur une grande dimension pour fournir un travail un peu considérable.

On a continué en Amérique les recherches dans une voie qui ne peut, théoriquement, conduire à des résultats réellement économiques, en se plaçant seulement au point de vue du bon marché de l'établissement de semblables machines, qui n'ont pas besoin de chaudières comme les petites machines à vapeur, surtout pour mettre en mouvement des machines à coudre.

La figure 3311 montre la machine de Wilcox, qui est

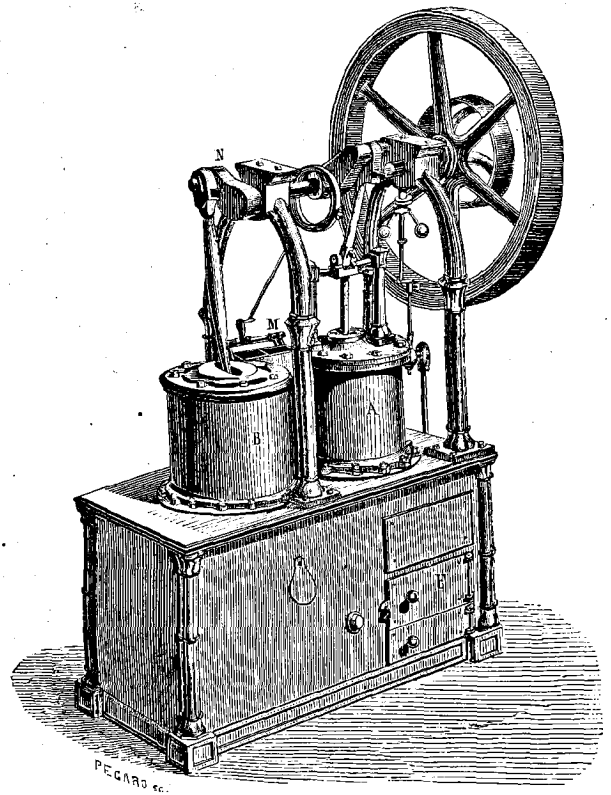


Fig. 3311.

intermédiaire en quelque sorte entre les deux machines d'Ericson. Elle se compose simplement d'un soubassement formant fourneau, sur lequel sont établis deux cylindres verticaux A et B. Le premier cylindre A est directement placé au-dessus du foyer F, et c'est dans sa chambre inférieure que l'air est porté à la plus haute température. Cet air est d'abord aspiré, à la température ordinaire, dans la chambre supérieure de ce cylindre, comprimé un peu pendant le mouvement de retour du piston, puis chassé par lui au travers d'un robinet M de distribution et à travers des canaux remplis de feuilles métalliques, au contact desquelles il se réchauffe, dans le bas du cylindre à simple effet B, chargé d'utiliser une partie seulement de la chaleur perdue du foyer. Enfin cet air arrive dans le fond du cylindre A, où il développe le plus grand travail moteur avant de s'échapper à travers les feuilles métalliques chargées de le dépouiller de la plus grande partie de son calorique, avant qu'il ne se perde dans l'atmosphère.

Quant aux organes de transmission, ils ressemblent beaucoup à ceux d'une machine verticale à deux cylindres; l'arbre moteur horizontal est coudé pour recevoir l'action de la bielle motrice, et il porte à son extrémité une autre manivelle N, au bouton de laquelle est assemblée la tige articulée du piston B. Un modérateur à boules agit d'ailleurs à la manière ordinaire pour faciliter ou entraver, suivant qu'il en est besoin, l'introduction de l'air, sur lequel la chaleur doit développer son action motrice.

Cet appareil fonctionne avec régularité; il a, comme toutes les machines à air chaud, un volume exagéré par rapport au travail qu'il développe. M. Wilcox assure qu'il ne dépense pas plus de 3 à 4 kilogrammes par force de cheval et par heure.

3. — MACHINES A GAZ CHAUFFÉS A L'INTÉRIEUR DES ORGANES MOTEURS. — La grande quantité de chaleur produite dans un foyer, qui est perdue dans le chauffage d'une chaudière, qui ne pénètre pas à l'intérieur de celle-ci, et la difficulté de chauffer rapidement l'air mauvais conducteur de la chaleur, ont souvent fait songer à effectuer la combustion à l'intérieur du cylindre moteur, ou du moins dans des capacités fermées communiquant avec lui, dans l'espoir d'utiliser ainsi la totalité de la chaleur. En général, l'avantage que l'on poursuit ne peut être obtenu qu'à l'aide d'une dépense nouvelle, qui entraîne la consommation d'une fraction notable du travail produit, à savoir celle nécessaire pour alimenter d'air un réservoir fermé, dans l'intérieur duquel la pression est élevée, est celle du piston moteur.

Emploi du charbon. — A l'inconvénient dont il vient d'être parlé, on doit joindre, quand on emploie le charbon, des difficultés assez graves dans la pratique, notamment, celle de se débarrasser des cendres et d'éviter l'action destructive de l'air, porté à une température très-élevée, sur les pièces métalliques.

MACHINE PASCAL. — La machine Pascal, combinée pour utiliser la puissance motrice des gaz de la combustion produits dans un foyer fermé, alimenté par une soufflerie, a été bientôt transformée par cet inventeur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en une machine simultanément à air et à vapeur, que nous avons décrite à BATEAU A VAPEUR.

L'expérience a montré qu'une très-grande partie du travail moteur, produit dans cette machine, servait à alimenter la soufflerie, de telle sorte que le travail utile était insignifiant.

MACHINE BELOU. — On est resté, dans cette machine, dans la voie des machines à air, et de grands efforts de tout genre on été faits pour atteindre au succès dans lequel l'inventeur et les intéressés avaient grande foi.

C'est en mélangeant de l'air froid aux produits de la combustion, qu'on s'est débarrassé des dangers de destruction des pièces métalliques par l'air trop chaud, et qu'on a pu continuer à lubréfier le piston à l'eau de savon, condition indispensable d'un bon fonctionnement.

Nous pouvons entrer dans quelques détails précis sur cette machine, grâce à une série d'expériences faites par M. Tresca, sur une machine de 100 chevaux de ce système, qui a marché quelque temps à la papeterie de Cusset (Allier).

L'air comprimé, à près de 2 atmosphères, par une soufflerie, est chassé par un foyer clos, partie à travers le combustible et partie directement au cylindre; le mélange d'air chaud et froid se fait avant leur entrée dans celui-ci. La pression y est égale à 1 atm. 68.

Le cylindre moteur a un diamètre de $1^{m},40$, et son piston une course de $1^{m},50$. Le cylindre alimentaire a un diamètre de 1 mètre, et son piston a la même course que le précédent.

Les deux cylindres sont à double effet.

Le combustible est distribué mécaniquement, et tombe sur une planchette en fer qui, par ses diverses inclinaisons, l'étend sur toute la grille.

Une chambre est ménagée un peu au-delà du foyer, pour recevoir les cendres et les poussières du charbon, entraînées par la vitesse du courant d'air.

L'air chaud, après avoir agi sur le piston, est rejeté dans l'atmosphère; par suite la limite d'utilisation, sauf une faible détente, seule possible en l'absence de condenseur, comme la pratique l'a montré, est :

$(c - c')\ t = A \int p\ d\ v$, c'est-à-dire ne peut dépasser *théoriquement* 1/3 du maximum possible, indépendamment de toutes les résistances.

Le travail de l'air a été trouvé de 119 chev. vap. 74; mais celui indiqué sur le piston de la soufflerie de 80 chev. 62. La différence, ou 39 chev. 20, soit 30 chevaux au plus sur l'arbre moteur, conduit à une consommation de 1,33 kil. de houille par cheval et par heure, c'est-à-dire une consommation aussi faible que les bonnes machines à vapeur à détente que l'on construit aujourd'hui, mais au moyen d'une machine bien plus volumineuse, plus coûteuse par suite, et dont l'usure serait rapide. C'est toutefois la machine à air qui a fourni les résultats les plus avantageux constatés jusqu'ici.

Machines employant un autre combustible que le charbon. — Si le charbon est le combustible économique par excellence, il n'est toutefois pas certain qu'un combustible plus coûteux ne pût lui être préférable, dans son emploi à l'intérieur d'un cylindre; il suffirait pour cela que ce dernier pût être employé dans des conditions de perfection telles que le meilleur emploi compensât la différence de prix. La question d'économie journalière n'est d'ailleurs pas toujours la seule dont on ait à se préoccuper exclusivement dans l'industrie; la simplicité, la facilité d'emploi, l'économie dans les dépenses de premier établissement, par exemple, peuvent faire préférer dans certains cas, la solution la plus coûteuse.

MACHINE NIEPCE. Nous citerons ici un curieux essai fait vers 1810 par Niepce, un des inventeurs du daguerréotype, de l'emploi d'une poudre combustible très-fine, dans le cylindre d'une machine qu'il nomma *Pyréolophore*. Nous extrayons ce qui suit du rapport fait par Carnot à l'Institut sur cette machine.

« C'était un cylindre muni d'un piston, où l'air atmosphérique était introduit à la pression ordinaire. L'on y projetait une matière très-combustible, réduite à un grand état de ténuité, et qui restait un moment en suspension dans l'air, puis on y mettait le feu. L'inflammation y produisait le même effet que si le fluide eût été un mélange d'air et de gaz combustible, d'air et d'hydrogène carboné, par exemple; il y avait une sorte d'explosion et une dilatation subite du fluide élastique, dilatation que l'on mettait à profit en la faisant agir tout entière contre le piston. Celui-ci prenait un mouvement d'une amplitude quelconque, et la puissance motrice se trouvait ainsi réalisée. Rien n'empêchait ensuite de renouveler l'air et de recommencer une opération semblable à la première.

« Cette machine, fort ingénieuse et intéressante, surtout pour la nouveauté de son principe, pêchait par un point capital. La matière dont on faisait usage comme combustible (c'était la poussière de lycopode, employée à produire des flammes sur les théâtres) était trop chère pour que son avantage ne disparût pas par cette cause; et malheureusement il était difficile d'employer un combustible de prix modéré, car il fallait un corps en poudre très-fine, dont l'inflammation fût prompte, facile à propager, et laissât peu ou point de cendres. »

Machines à gaz hydrogène.

MACHINE LENOIR. — Carnot, dans la description ci-dessus, sentait bien que la vraie solution était dans l'emploi de gaz combustibles, mais il n'osait s'y arrêter à cause du danger, de l'absence de toute mesure connue des phénomènes d'explosion, et de la difficulté de produire à volonté l'inflammation, au moyen d'un corps enflammé.

M. Lenoir, l'inventeur de la machine dont nous voulons parler, a eu le mérite de juger que l'explosion ne produisait d'effets qu'en raison de la quantité de chaleur dégagée, et communiqué à l'air au milieu duquel elle se produisait, par suite qu'elle pouvait être maîtrisée; en second lieu, qu'il possédait dans l'électricité, et surtout dans les machines de Rumkorf et de Clarke, un moyen facile de produire une étincelle, et par suite l'inflammation du gaz lors d'une position déterminée du piston.

La machine Lenoir consiste dans un cylindre recevant à chaque extrémité un tuyau amenant du gaz d'éclairage, et fermé par un tiroir qui laisse sortir du gaz au moment où le piston commence à s'éloigner de l'extrémité voisine. De l'air arrive par un tuyau plus gros dans la proportion de 10 à 1 par rapport à celui qui amène le gaz. Quand une quantité suffisante est entrée, les tiroirs sont fermés; et une étincelle provoquée par un appareil de Rumkorf, dans un fil isolé qui traverse le fond du cylindre, vient déterminer l'inflammation et l'explosion génératrice de chaleur. De là, production de travail mécanique, par suite de l'accroissement de température, et par suite de pression de l'air, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau formée. En faisant varier l'arrivée du gaz d'éclairage au moyen d'un robinet, on augmente à volonté l'explosion, ce qui montre bien qu'on est maître de la diriger, de la régler à volonté.

Des actions alternatives sur les deux faces du cylindre se répétant, produisent une machine fonctionnant avec régularité et susceptible de tous les mêmes emplois que la machine à vapeur, à laquelle elle ressemble extérieurement, comme le montre la fig. 3342.

Décrivons-la avec quelques détails.

Une bielle *b* articulée sur la tête de la tige *p* du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

piston mobile dans le cylindre c, transmet l'action de ce piston au volant V. Le gaz d'éclairage arrive par un tuyau T (garni d'une poche en caoutchouc R faisant régulateur de pression) au tiroir D mû par la bielle *t*, conduite par un excentrique. De ce tiroir il passe alternativement sur chacune des faces du piston. Mais, en outre de la lumière par laquelle s'opère l'introduction du gaz dans le tiroir D, d'autres lumières, pratiquées au milieu de ce même tiroir, permettent l'entrée de l'air aspiré par le mouvement du piston. C'est lorsque ces lumières sont fermées qu'un commutateur guidé par la tige du piston, vient déterminer le passage d'une étincelle entre deux pointes placées vers le fonds du cylindre, en les faisant communiquer avec un appareil de Rumkorf B chargé par une pile de 2 ou 3 éléments Bunsen.

Après la combustion, les gaz sortent par le tiroir et

Les observations dynamométriques de M. Tresca lui ont permis de constater une consommation de 2,740 litres de gaz d'éclairage par cheval et par heure et montrent que les 2/3 de leur chaleur sont emportés par l'eau qui maintient le cylindre à une température qui ne soit pas trop élevée. L'indicateur donne des courbes fort curieuses, montrant que la pression s'abaisse presque immédiatement après l'explosion, presque aussi rapidement qu'elle s'élève, c'est-à-dire qu'il se produit un choc brusque, et qu'il n'a pas de détente sensible.

Il y aurait avantage, croyons-nous, à modifier quelque peu l'action du piston qui ne saurait être continue comme dans une machine à vapeur, car il est soumis à une action considérable en un moment très-court, celui de l'explosion. Il est douteux que la vitesse qu'il a alors, dans la disposition actuelle, soit celle qui répond

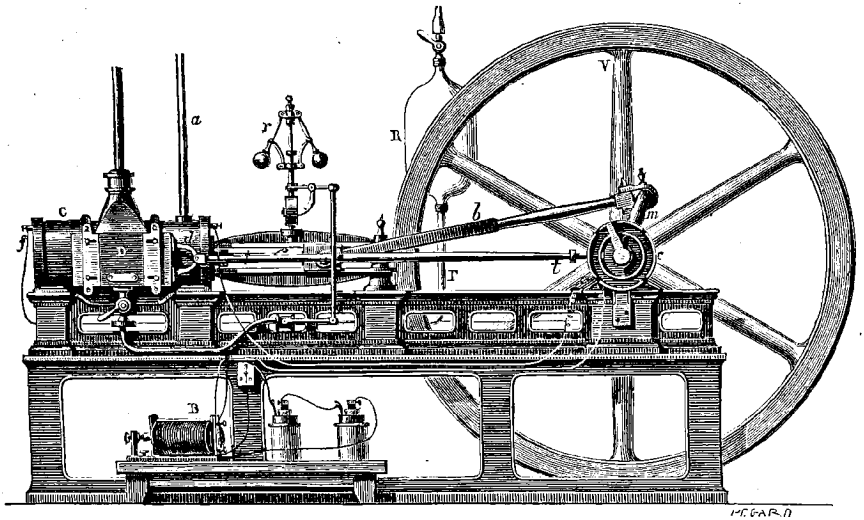


Fig. 3312.

un tuyau, et pour empêcher que la température trop élevée ne porte les parois du cylindre à un degré de chaleur qui rende tout graissage impossible (il a toujours besoin d'être fréquemment renouvelé), on amène par le tuyau *a* de l'eau qui circule autour du cylindre, dans une double enveloppe.

Cette déperdition de chaleur aussi bien que l'élévation de température des produits gazeux qui s'échappent par le tuyau U, montrent de suite qu'au point de vue d'une économie absolue, cette machine ne saurait lutter avec la machine à vapeur, d'autant plus que les points de départ sont trop différents; c'est ce qu'il est facile d'établir en évaluant les quantités de chaleur, élément principal à considérer. La combustion d'un mètre cube de gaz d'éclairage dégage par mètre cube 12,000 calories d'après Dulong, soit 17,000 calories par kilogramme. Il coûte à Paris 30 centimes le mètre, soit 43 centimes le kil. En supposant ce prix élevé, une usine spéciale pour la production du gaz, grevée de frais généraux, le fera revenir toujours à plus de 20 ou 25 centimes, soit environ 10 centimes pour 7,500 calories que peut produire un kil. de houille coûtant 2 ou 3 centimes. Il faudrait une utilisation bien complète pour compenser l'infériorité d'un semblable point de départ, ce que ne paraît guère indiquer l'observation ci-dessus.

au maximum de travail, ou plutôt le contraire est certain et il y aurait avantage à satisfaire à cette condition par un organe de transmission convenable.

Malgré le prix élevé du cheval vapeur et les soins qu'exige cette machine, l'entretien de la pile notamment, la facilité de mettre en mouvement le mécanisme dans toute ville où on a le gaz courant à sa disposition, en ouvrant simplement un robinet, la rendent précieuse. On compte que le travail revient à 1 franc par cheval et par heure, ce qui est bien meilleur marché que le travail du tourneur de roue, auquel il faut avoir recours dans les cas nombreux où l'on ne peut établir les fourneaux, chaudières, etc., de la machine à vapeur.

Un mérite à noter de l'invention de M. Lenoir est d'avoir employé le minimum du gaz nécessaire pour déterminer une explosion et une production de chaleur se répartissant dans une masse maximum (la même que celle que nous indiquons ci-après pour une machine de même nature), et par suite produisant la température la moins élevée possible.

Machine Hugon. — M. Hugon a tenté longtemps, dans l'idée d'éviter un choc, d'établir des machines à gaz dans lesquelles l'explosion mettait en mouvement une colonne liquide; mais il a dû y renoncer pour établir une machine d'un usage plus commode. Il les a donc transformées et il construit des machines à gaz ana-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

logues à la précédente, mais qui diffèrent toutefois du moteur Lenoir par des particularités essentielles. Le cylindre est à double effet, et alimenté par un mélange d'air et de gaz fait à l'avance pour chaque cylindre, dans une sorte de soufflet cylindrique, placé à l'arrière de la machine. Le mélange formé de 1 partie de gaz d'éclairage pour 13,5 parties d'air, proportions reconnues des plus avantageuses, se distribue dans le cylindre moteur au moyen d'un tiroir, et l'inflammation se produit directement par des becs de gaz installés dans deux petites cavités ménagées au bas du tiroir, et qui viennent, à un moment donné, en communication avec les lumières des cylindres remplis de gaz; chaque bec tour à tour pénètre allumé dans l'intérieur de la boîte, allume le mélange, s'éteint par l'agitation que l'inflammation produit, sort et est rallumé par un bec fixe situé à l'extérieur; ce mode d'inflammation du gaz est bien plus sûr que l'emploi de l'étincelle d'induction, mais exige une dépense assez notable de gaz à une pression élevée. Soumise par M. Tresca à un travail soutenu pendant plus de cinq heures, la machine a fonctionné régulièrement; les inflammations se sont succédé sans qu'on ait pu remarquer d'interruption; elle a fourni un travail effectif de 2,07 chevaux au frein, et a consommé tant dans le cylindre que pour l'allumage 2,00 m. cubes de gaz d'éclairage par cheval et par heure; c'est à peu près la consommation du moteur Lenoir. M. Tresca pense que la machine de M. Hugon est plus sûrement applicable que la précédente pour les puissances un peu plus grandes, car ni l'une ni l'autre ne sont propres à être établies sur une très-grande échelle et par suite pour utiliser des explosions dues à des quantités de gaz considérables, qu'on ne pourrait plus maîtriser.

Les courbes tracées à l'indicateur à chaque pulsation, marquent une pression de 3,78 atmosphères à l'instant du maximum et indiquent une détente analogue à celle de la machine à vapeur, ce qui est dû à l'heureuse idée qu'a eue M. Hugon, d'injecter dans le cylindre, à l'aide d'une petite pompe, un peu d'eau aussitôt après l'explosion, ce qui offre le double avantage de procurer une détente utile, grâce à l'eau vaporisée, et de diminuer la température du cylindre, toujours bien élevée dans les machines à gaz, pour un bon graissage du piston.

MACHINES ATMOSPHÉRIQUES A GAZ. — La première machine à gaz qui ait été tentée l'a été en Angleterre, dès 1824, par M. Brown, d'après les principes formulés auparavant par M. Cecil (de Cambrige). C'était une machine atmosphérique, directement employée à l'élévation de l'eau. Elle consistait (Voy. EXPLOSION), dans sa forme primitive, en un cylindre muni de deux soupapes, celle du bas communiquant avec un bassin. Le gaz étant introduit dans le cylindre plein d'air, l'explosion était produite par l'introduction d'un bec de gaz enflammé. Au moment de l'explosion, une grande partie de l'air dilaté s'échappait par la soupape placée à la partie supérieure, puis le refroidissement de l'air et la condensation de l'eau produite par l'explosion, par l'action de l'eau placée au bas du cylindre, déterminaient une diminution de pression à l'intérieur. La pression atmosphérique extérieure élevait de l'eau dans le cylindre, d'où elle se déversait dans un bassin supérieur, et l'opération recommençait.

On s'intéressa beaucoup à cette machine en Angleterre, et bien des personnes pensaient qu'elle était appelée à remplacer la machine à vapeur. On était encore à une époque assez voisine de la transformation de la pompe à feu, pour admettre qu'on pouvait avec avantage diriger l'eau élevée sur une roue hydraulique pour les divers emplois mécaniques. Nul besoin de montrer combien ces espérances étaient peu fondées, mais à une époque où la théorie était moins avancée, on comprend qu'on se soit beaucoup intéressé à ces machines que l'on a construites, ainsi que nous venons de le dire, sans obtenir de résultats pratiques.

Ce n'est que pour de petits moteurs que les facilités d'installation peuvent faire adopter les machines à gaz, qui, en supposant qu'on pût les amener à utiliser la chaleur aussi bien que la machine à vapeur, produiront toujours cette chaleur avec une combustible bien plus coûteux que la houille. Nous avons déjà décrit deux systèmes; la fig. 3312 représente un troisième qui

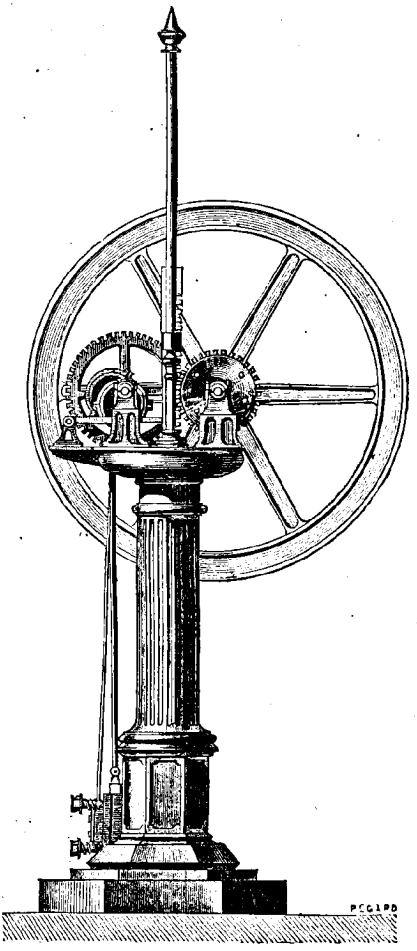


Fig. 3312.

figurait à l'Exposition de 1867 et qui est fondé sur les principes de la machine de Brown; elle est atmosphérique. Nous voulons parler de la machine de MM. Otto et Compagnie, de Cologne.

La colonne qui en forme la masse principale n'est autre chose qu'un long cylindre; dans la partie inférieure se trouve le tiroir et sur la colonne sont les pièces destinées à la mise en mouvement.

Le dessus de la colonne sert de plaque de fondation au système de transformation du mouvement rectiligne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la tige du piston en mouvement circulaire continu. Cette tige du piston est munie d'une crémaillère que guident deux longues et minces colonnes placées en face l'une de l'autre aux bords diamétralement opposés du chapiteau. Ces guides sont liés ensemble dans le haut par une traverse. Une autre traverse fixée à la crémaillère glisse le long des guides.

La crémaillère engrène avec une roue montée sur l'arbre du volant; cette roue est munie intérieurement d'une roue à rochet qui la laisse folle lorsque la crémaillère monte et la fixe lorsqu'elle descend. Sur le même arbre est une roue qui engrène sur une autre portée par l'arbre des excentriques.

Les excentriques, au nombre de deux, ne sont pas calés sur l'arbre. Le plus éloigné porte la barre qui met le tiroir en mouvement, et l'anneau de l'autre est fixé à un petit levier qui oscille autour de son point d'appui, lequel est situé sur une console fixée au chapiteau. Ces deux excentriques, liés ensemble, tournent en même temps. Sur l'arbre est fixée une roue à rochet et une ancre qui forment un système semblable à celui des échappements à ancre que l'on emploie en horlogerie. Le centre d'oscillation de l'ancre est un point fixe de l'excentrique en contact avec la roue à rochet. Quand un des becs de l'ancre pénètre dans les dents, il est entraîné ainsi que les excentriques dans la rotation de la roue. Un levier placé côte à côte et de la même façon que le levier de l'excentrique, est pressé par un ressort de bas en haut sous l'ancre et force cette dernière à se désengrener et par suite à s'arrêter, ainsi que les excentriques. Le levier est prolongé jusque derrière la crémaillère. Lorsque cette dernière arrive tout près du bas de sa course, un talon, dont elle est munie, s'appuie sur l'extrémité du levier et lui fait lâcher l'ancre. Pendant que l'excentrique fait sa révolution, le levier est remonté et après une révolution il arrête de nouveau le mouvement.

Ainsi les excentriques ne sont en mouvement que pendant le temps très-limité qu'emploie le piston pour décrire le bas de sa course.

D'après ce qui précède, on voit que le mouvement du tiroir est intermittent.

Dans la première partie du mouvement du tiroir, la lumière d'exhaustion laisse échapper les résultats de la combustion, ensuite le mélange d'air et de gaz s'introduit. Enfin une lumière spéciale, dans laquelle existe un conduit de gaz qu'enflamme un bec extérieur, est rapidement mise en contact avec l'intérieur et enflamme le mélange.

L'explosion repousse le piston avec une grande rapidité et le fait monter dans la colonne aussi haut que la force expansive des gaz le pousse; cette hauteur est très-variable. La condensation qui a lieu détermine la raréfaction, et la crémaillère descendant donne une impulsion au volant. Arrivé à environ 20 centimètres de l'extrémité de sa course, il y a équilibre entre la pression de l'atmosphère et celle des gaz renfermés; le piston n'en continue pas moins à s'abaisser, la force acquise du volant lui fait continuer sa course et le fait même remonter à 12 centimètres environ avant qu'une nouvelle explosion ait lieu.

On obtient ainsi la double utilisation des deux modes d'action du gaz à la fois, comme dans la machine Lenoir et dans la machine Brown, c'est-à-dire de la force vive produite par l'explosion et du vide produit par la condensation de l'eau l'action de la pression atmosphérique. Par cette combinaison, la consommation est réduite à 1 mèt. 20 ou 1 mèt. 30 par cheval-vapeur, résultat remarquable et qui le serait bien davantage si on parvenait à une construction plus acceptable pour des puissances un peu considérables, si on remédiait au mauvais fonctionnement de cette machine, à l'irrégularité de sa marche qui résulte surtout de ce que, pendant près de la moitié du temps d'une oscillation, le mouvement n'a lieu qu'en vertu de la vitesse acquise.

DES MACHINES A AIR CHAUD. — De l'étude détaillée à laquelle nous venons de nous livrer, il résulte clairement que pour les puissantes machines des manufactures, la machine à vapeur présente une incontestable supériorité sur les machines à air chaud, qui au total utilisent la puissance motrice de la chaleur de la même manière, c'est-à-dire les effets de pression et de détente de la masse gazeuse chauffée, mais dans des conditions d'utilisation bien inférieures à celles des machines à vapeur.

On peut conclure de la théorie que la voie des améliorations serait de chercher une disposition qui fournit des résultats analogues à ceux que procure l'emploi des enveloppes, c'est-à-dire de fournir pendant le travail du gaz, de la chaleur qui est complétement utilisée pour le réchauffement pendant la détente, comme on le suppose dans le cycle de Carnot.

Malgré tout, il est manifeste que les machines à air chaud présentent quelques avantages spéciaux dans le cas des petites forces; lorsque l'économie d'un chauffeur devient importante et qu'elle est permise par la régularité d'alimentation du gaz d'éclairage pris pour combustible, gaz qui est distribué dans les villes par une canalisation partant d'usines où le travail de sa production est centralisé pour tous les consommateurs. Il n'est pas douteux que si la consommation du gaz dans ces machines pouvait être diminuée, surtout avec une construction simple, leur emploi deviendrait d'un très-grand usage pour toutes les industries si nombreuses, qui s'exercent au foyer domestique et dont il est d'un immense intérêt d'assurer la prospérité.

Mais pour atteindre des résultats nouveaux et importants, il faudrait entrer dans une voie différente de celle consistant dans une simple imitation de la machine à vapeur, ce qui produit à des machines qui sont moins avantageuses que ne le serait une petite machine à vapeur, dont la chaudière (une chaudière Field par exemple) serait chauffée au gaz. Il faudrait abandonner des systèmes qui ne permettent d'utiliser pratiquement qu'une assez faible fraction de travail théorique de la chaleur, et trouver les principes de son utilisation intégrale, théoriquement. Cette voie, dans laquelle on n'est pas encore entré, me paraît être sûrement, d'utiliser pour la production du travail mécanique, non pas l'action de masse comme on l'a fait jusqu'ici, mais la vibration moléculaire, c'est-à-dire directement la chaleur même. Bien que le problème ne soit pas d'une solution facile, il me semble résulter des expériences de Graham (voy. GAZ), l'indication d'un moyen de l'attaquer. En effet, il résulte de ses expériences sur le passage des gaz à travers les corps poreux tels que le graphite, la porcelaine dégourdie, etc., que ce passage à travers les pores a lieu à l'état moléculaire. Si donc on construit une roue à réaction devant marcher par la pression d'un gaz, et qu'on ferme les orifices de sortie, ayant alors de très-grandes dimensions, avec des plaques poreuses, le gaz qui les traversera en vertu d'un excès de pression, y vibrera en perdant plus de vitesse dans le sens du mouvement, supposé très-rapide, qu'en sens contraire; se refroidira comme quand le travail est produit dans le cylindre d'une machine à vapeur; effet qui se produira non plus en masse, mais bien molécule à molécule. On se trouve alors dans des conditions bien plus convenables pour utiliser la chaleur dont les effets sont directement employés au moyen de dispositions d'une grande simplicité.

Nous aurions été curieux de tenter de réaliser une petite machine de ce genre, et le ferons peut-être un jour, mais probablement après quelque lecteur du présent article, l'expérience nous ayant montré, et c'est notre plus grande satisfaction, que nous avions plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

souvent ouvert la voie à des inventeurs qui ont bien voulu nous rendre hommage pour notre inspiration, que nous n'avions exécuté nous-même nos conceptions. Notre véritable voie nous paraît être celle de rédiger cette Encyclopédie. Puisse-t-elle être aussi souvent utile que je le souhaite!

Machines a gaz autres que l'air.

Nous avons dit au commencement de cette étude que la substitution de gaz divers à l'air, pour utiliser l'action de la chaleur, n'était d'aucun intérêt, et que la même théorie s'y appliquait, quand le travail est produit de la même manière.

Le cas où il s'agit de gaz liquéfiables sous la pression qui se produit dans la machine, a déjà été traité à l'article Gaz liquéfiés, où nous avons parlé des principes qui permettent de se rendre bien compte des avantages illusoires de l'emploi de l'éther, de l'alcool, du gaz carbonique ou du gaz ammoniac liquéfié.

Nous parlerons toutefois ici d'une machine à gaz ammoniac d'un genre particulier, dans laquelle on fait intervenir non la liquéfaction par pression, mais la dissolution de ce gaz dans l'eau, pour produire le vide après qu'il a engendré un travail par l'action de la chaleur. Ce n'est plus tout à fait le cas de gaz liquéfiés, assimilés avec raison aux vapeurs, mais un cas particulier de machine à gaz, et il est intéressant d'examiner un genre particulier d'emploi de certains gaz pour engendrer du travail mécanique à l'aide de la chaleur, quand leur nature permet de modifier le fonctionnement de la machine.

Machine a gaz ammoniac. — L'attention s'est fixée, à l'Exposition de 1867, sur une machine de cette nature fonctionnant à l'aide du gaz ammoniac, due à M. Frot, ingénieur de la marine.

Ce n'est pas la première fois que l'on propose d'utiliser pour la production du travail mécanique, comme on le fait dans cette machine, les propriétés d'une dissolution d'ammoniaque dans l'eau. Celle-ci à la température ordinaire de 15 degrés dissout 500 fois son volume de gaz ammoniac, et à son point d'ébullition elle ne conserve plus aucune trace de ce gaz. La grande solubilité de l'ammoniaque dans l'eau, la facilité avec laquelle elle se dégage, pouvaient faire penser que ses dissolutions auraient, à des températures relativement basses, de 100 à 120 degrés, des tensions suffisantes pour agir d'une manière efficace sur le piston d'une machine à vapeur. Il s'agit en effet alors d'un chauffage de gaz. L'essai fait sur des dissolutions du commerce, à 22° B., a montré que la tension du liquide s'élevait rapidement avec la température de façon à atteindre 7,5 atmosphères à 100 degrés et 10 atmosphères à 120 degrés; dans ces mêmes conditions, la tension de la vapeur d'eau est seulement de 1 et de 2 atmosphères.

Tandis qu'il faut 532 calories pour vaporiser un kilog. d'eau déjà porté à 100 degrés, et 516 pour gazéfier un kilogramme d'ammoniaque liquéfié, la chaleur latente de dissolution de l'ammoniaque est inférieure à 126 calories; elle est donc au plus le quart de celle de l'eau, et elle donne près du tiers du volume de la vapeur d'eau, 500 contre 1700, et même 700, suivant M. Frot.

Le nombre de 126 a été trouvé en mesurant l'échauffement produit par la dissolution du gaz dans l'eau, mais on aurait tort d'en conclure que cette quantité de chaleur appliquée à la dissolution permet de dégager complétement le gaz. L'eau se vaporise en même temps et on a trouvé que pour dégager la première moitié du gaz dissous, il fallait une vaporisation consommant 300 à 350 calories, et, pour la seconde partie, qu'on se rapprochait de 500 calories, la séparation devenant de plus en plus difficile, par suite d'effets de masse analogues à ceux indiqués à l'article Ébullition. L'eau qui se vaporise en même temps que le gaz joue donc un grand rôle et fait que la loi donnée à Gaz liquéfiés s'applique bien probablement ici, au moins à peu près.

Quoi qu'il en soit, continuons la description de la machine que nous étudions, dont le travail par action directe résulte clairement de ce qui précède et voyons comment elle fonctionne, comme la machine à vapeur, par l'emploi d'un condenseur à surface, ou plutôt d'un *condenseur* et d'un *dissoluteur*. Ces deux organes nouveaux sont les seuls à faire connaître, car dans les moteurs à ammoniaque le foyer, la chaudière, le piston, sont identiques à ceux des machines aujourd'hui adoptées. Nous prendrons pour type de notre description une locomobile de 15 chevaux construite par M. Claparède pour un service ordinaire, et transformée par M. Frot.

Le mélange de vapeur d'eau et de gaz ammoniac pris dans la chaudière à une température de 110 degrés et avec une tension de 6 atmosphères environ agit sur le piston, se détend et arrive dans le *condenseur*. Cet appareil se compose de tubes disposés en trois étages entre les parois opposées d'une double caisse métallique que traverse d'une manière continue un courant d'eau froide; des divisions convenablement placées forcent les gaz à passer successivement dans l'intérieur des trois séries de tubes. Comme l'expérience montre que les gaz humides se refroidissent plus facilement que les gaz secs, la chambre qui sépare la première rangée de tubes de la seconde renferme une sorte de pomme d'arrosoir par laquelle le jeu d'une pompe injecte une dissolution ammoniacale non saturée prise à la chaudière et amenée à une basse température. Au sortir du condenseur, les gaz refroidis et mélangés avec beaucoup d'eau, provenant d'une part du liquide injecté, de l'autre de la vapeur liquéfiée, pénètrent dans le *dissoluteur* en passant par les nombreuses ouvertures d'une sorte de crible plongé dans une dissolution ammoniacale non saturée. Dans cet appareil, refroidi par des courants d'eau, les dernières parties du gaz sont dissoutes et absorbées. La dissolution ammoniacale, ainsi ramenée à sa concentration primitive, est renvoyée dans la chaudière par une pompe d'alimentation.

Dans son retour vers le générateur, la dissolution d'alimentation traverse des serpentins plongés dans la liqueur qui doit servir à l'injection. Entre ces deux masses liquides, la première froide, la seconde chaude, et qui se meuvent en sens inverse, se produit un échange de chaleur dont le résultat est d'amener la dissolution d'alimentation à une température presque égale à celle de la chaudière et de refroidir d'une manière à peu près suffisante le liquide qui doit être lancé dans le condenseur.

La dissolution complète du gaz ammoniac est beaucoup plus difficile à obtenir que la condensation de la vapeur d'eau employée dans les machines à vapeur ordinaires; néanmoins la pression dans le condenseur n'est jamais supérieure à 35 ou 40 centimètres de mercure, soit une demi-atmosphère, en sorte que, pour une tension de 6 atmosphères dans la chaudière, la pression efficace sur le piston du cylindre à vapeur est encore de 5 atmosphères et demie.

Les dispositions imaginées par M. Frot réalisent donc la condition d'agir toujours sur une même masse de liquide voyageant sans cesse des condenseurs à la chaudière et de la chaudière aux condenseurs, soit à l'état de liquide, soit à l'état de vapeur. Il n'y a donc point à s'inquiéter de la valeur (8 fr. par cheval) de la dissolution ammoniacale à introduire dans le générateur; c'est une dépense peu considérable et qui n'a besoin d'être renouvelée qu'à de très-longs intervalles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Donnons maintenant le résultat des essais qui ont été faits sur la locomobile de 15 chevaux qui a figuré à l'Exposition de 1867. Les seules modifications apportées à cet appareil, construit pour le service ordinaire à la vapeur d'eau, ont été la substitution du fer au cuivre dans les parties où le métal pouvait être en contact avec le gaz, et l'adjonction du dissoluteur; la machine peut donc fonctionner alternativement à l'eau pure et à l'ammoniaque, ce qui rend les essais comparatifs très-faciles. Par une série d'expériences conduites avec le plus grand soin, M. Frot a trouvé que, pour un même travail produit, les consommations de charbon étaient 4k.82 avec la vapeur d'eau et 2k.23 avec l'ammoniaque, par cheval et par heure. La machine marchant à l'ammoniaque brûle seulement la moitié du combustible nécessaire pour la marche à l'eau pure et même quelquefois sensiblement moins.

Le résultat consigné ici n'est pas très-probant. On sait que les locomobiles sont des machines à vapeur assez imparfaites, où la détente est à peu près nulle, surtout quand on leur demande un grand travail, comme dans le cas actuel. Dans ces machines, tout est sacrifié à la légèreté, de telle sorte que le rapport de la consommation des bonnes machines à vapeur à celle des locomobiles serait au moins aussi avantageux que celui trouvé pour les machines dont nous parlons.

Le résultat obtenu est toutefois intéressant pour les cas où il importe de produire beaucoup de travail à l'aide d'appareils simples et des pressions élevées, surtout quand l'abondance d'eau dans le condenseur est facile à obtenir, dans la navigation par exemple, car la dissolution du gaz ammoniac ne peut se faire sans engendrer une contre-pression notable qu'à basse température. Mais au point de vue théorique, il ne résulterait pas de quelque avantage dans la production du travail, par action directe, une supériorité de cette machine sur la machine à vapeur, dont la supériorité théorique est incontestable.

La machine à gaz, même améliorée d'une manière très-importante pour la pratique, par un amoindrissement notable de la dépense d'alimentation, car c'est ainsi qu'on doit considérer le principe de l'invention dont nous parlons, qui fait disparaître une dépense qui coûte, dans la machine Ericson, plus de moitié du travail moteur, ne peut donner une utilisation *théorique* complète en agissant par détente. Comme nous le disons à MACHINE A VAPEUR, les vapeurs seules peuvent agir par détente; un gaz, au contraire, comme nous l'avons vu, diminue de pression avec une rapidité telle, que ce mode d'emploi de la chaleur ne fournit qu'une fraction minime du travail total, et qu'il faut nécessairement perdre une proportion considérable de la chaleur d'échauffement, 2/3 pour l'air et les gaz simples, sensiblement la même proportion pour les autres gaz.

En résumé, il y a là un phénomène curieux et qui rend cet essai intéressant, à savoir la persistance de la nature gazeuse dans la dissolution, par un effet analogue sans doute à l'action des corps poreux. C'est parce que c'est un gaz qui se dégage, que la chaleur latente est petite, que l'action directe est à peu près seule utilisable et la détente à peu près inutile, l'échauffement du gaz presque entièrement perdu, en laissant de côté le mélange de vapeur d'eau qui fait de cette machine une réunion de machine à vapeur et de machine à gaz. En supposant donc quelque avantage dans l'action directe, l'impossibilité d'utiliser une détente un peu étendue le compensera amplement, relativement à la comparaison de cette machine avec la machine à vapeur amenée à son dernier degré de perfection.

Nous n'avons donc pas besoin de nous arrêter sur quelques inconvénients spéciaux de l'emploi du gaz ammoniac, pour conclure que l'essai dont il s'agit, malgré ce qu'il présente d'intéressant ne nous paraît pas devoir conduire à d'importants résultats dans la pratique.

MACHINES A POUDRE A CANON. — Au lieu de changer seulement le combustible dans des machines à combustion intérieure, on peut changer à la fois et celui-ci et le corps comburant, remplacer l'oxygène de l'air par celui d'un composé oxygéné d'une facile décomposition, utiliser le travail mécanique engendré par une réaction chimique faisant dégager des gaz à haute température. On en revient ainsi aux machines à poudre à canon, proposées, à la fin du dix-septième siècle, par Huyghens et l'abbé Hautefeuille, et qui ont conduit Papin à l'invention de la machine à vapeur.

C'était comme moyen de chasser l'air, de faire le vide sous le piston d'une machine atmosphérique, que l'emploi de la poudre à canon fut tenté; c'était pour remplacer la poudre que Papin proposa la vapeur d'eau qui, grâce à sa facile et complète condensation par l'eau, fournit la véritable solution du problème, et entra dans la voie qui a conduit à la machine à vapeur moderne.

Comme moyen d'engendrer du travail moteur pour les opérations de l'industrie, la poudre à canon, formée de substances d'un prix bien plus élevé que celui de la houille, fournirait un travail coûtant plus de 100 fois celui produit par la vapeur d'eau (voy. Poncelet: *Introduction à la Mécanique industrielle*), et de plus les sulfures, résidu de la combustion, détruiraient bientôt toute enveloppe métallique.

La poudre-coton, la nitro-glycérine, qui font explosion sans laisser de résidus, n'ont pas cet inconvénient; mais outre celui de leurs vapeurs nitreuses, elles sont plus coûteuses encore que la poudre à canon. Elles pourraient toutefois servir de point de départ pour la construction d'une machine motrice curieuse, sinon applicable dans beaucoup de circonstances.

Artillerie. — Il est un cas où la production instantanée d'une grande quantité de travail mécanique étant le but à atteindre à tout prix, la poudre à canon donne des résultats merveilleux qui doivent encore être analysés à l'aide de la théorie dynamique de la chaleur : nous voulons parler de l'emploi de la poudre dans les bouches à feu. La production instantanée d'un volume considérable de gaz, au moment de l'explosion, est la cause de la grande quantité de travail produite par l'inflammation de la poudre, en y joignant l'élément capital d'une température élevée, communiquée aux gaz par la grande quantité de chaleur qui se dégage en même temps.

En admettant, pour faire un calcul approximatif, 193cc pour le volume des gaz fournis par un gramme de poudre, et 619 calories pour la chaleur dégagée lors de la combustion d'un kilogramme de poudre sous volume constant, les nombres de M. Bunsen donnés à l'article POUDRE, le travail mécanique que pourra théoriquement engendrer cette chaleur, échauffant les gaz qui se dégagent, sera un peu supérieur à

$$619 \times 370 = 229030^{km} \text{ plus } 0{,}193 \times 10333 = 1994{,}26$$

pour la formation du gaz, c'est-à-dire à environ 230024 kilogrammètres.

La force vive d'un projectile d'un poids P est $\frac{Pv^2}{2g}$

pour la charge c, et pour l'unité de poids $\frac{Pv^2}{2gc}$.

En prenant le cas le plus favorable dans les résultats de tir (*Traité de balistique*, du général Didion), on voit qu'un boulet pesant 6k,08 reçoit une vitesse initiale de 400 mètres par seconde, avec une charge de 0k875; dans une pièce de 0m,1213 de calibre, celui du boulet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étant 0,1182, et 2m,815 étant la longueur de l'arme. L'effet obtenu d'un kilogramme de poudre est alors

$$\frac{6{,}08 \times 160000}{0{,}875 \times 19{,}628} = 56656 \text{ kil. mèt.}$$

L'effet utile peut donc atteindre 25 p. 100 du travail théorique. Bien que ce calcul soit d'une médiocre exactitude, il nous paraît curieux, en permettant de conclure, que les machines de l'artillerie sont moins imparfaites, au point de vue de l'utilisation du travail mécanique théorique, qu'on n'eût été porté à le penser.

AIR COMPRIMÉ. — Dans certains moments, des moyens d'action négligés auparavant, mieux compris des ingénieurs, grâce à quelques heureux progrès scientifiques, trouvent de nombreuses applications; il semble qu'une espèce de mode industrielle préside à une révision de tous les cas où le nouveau procédé est utilisable. Tel est en ce moment l'emploi fait dans une foule de cas, de l'air comprimé, dont l'élasticité était bien connue, mais dont on se méfiait à l'état dynamique. Quelques heureux emplois, aussi bien que les progrès de la théorie, ont appris à en tirer bon parti dans diverses circonstances.

Nous avons traité à divers articles des emplois divers de l'air comprimé pour résoudre des problèmes spéciaux, mais il nous semble intéressant, et c'est ce que nous ferons ici, de passer en revue l'ensemble des applications de tout genre de l'air comprimé qui ont été faites ou tentées.

La fontaine de Héron et divers appareils de même ordre, construits par les Grecs, nous représentent les premiers essais, dans l'ordre historique, des emplois de l'air comprimé; mais ce n'est que depuis les recherches sur la pesanteur de l'air que l'invention de la machine pneumatique ayant conduit à la pompe de compression, l'on a appris à manier l'air comprimé. On a pu analyser toutes les conditions physiques du phénomène (sauf les effets calorifiques qui n'ont été compris que récemment, grâce à l'établissement de la théorie mécanique de la chaleur) et on a vu que l'air comprimé fournissait un ressort parfait pouvant supporter des efforts indéfinis, et qu'il devait permettre de retrouver par la détente de l'air le travail consommé pour sa compression. Aussi, outre le réservoir d'air faisant partie de la plupart des pompes, plusieurs machines pour l'élévation des eaux, celle de Schemnitz par exemple, d'autres pour la propulsion d'un corps dans un tuyau, mais le plus souvent de l'air lui-même dans les machines soufflantes de formes diverses, furent-elles successivement inventées. D. Papin, qui vivait en Allemagne à l'époque où il formula les principes de la machine atmosphérique à piston, s'associa aux tentatives d'emploi d'air comprimé dans les mines, et proposa l'emploi d'une chute d'eau pour comprimer de l'air destiné à faire mouvoir dans une mine, à un mille de distance, le piston d'une pompe, à l'aide d'un tuyau de semblable longueur. Il explique fort bien, dans sa célèbre brochure, que le seul obstacle que rencontre la réalisation de son projet est la difficulté, fort grande alors, d'exécuter des tuyaux convenables.

Ces questions furent agitées de nouveau en Angleterre, au commencement de ce siècle, après la création de l'art de la construction des machines. Vers 1820, on proposa des grues, des marteaux à air; les balanciers de la monnaie de Londres furent mis en mouvement par un semblable système. En 1824, Vallance inventa le chemin de fer atmosphérique.

Il nous tarde d'arriver à la première personne qui, de nos jours, comprit, en se plaçant à un point de vue très-élevé (trop élevé peut-être) toute l'importance de l'air comprimé, à M. Andraud, qui voua de longues années à l'expérimentation des moyens d'obtenir et d'utiliser l'air comprimé sur une grande échelle. Bien que ses efforts aient laissé peu de traces dans l'industrie, il serait injuste de ne pas conserver le souvenir de tous les efforts que fit ce généreux esprit pour ouvrir une voie nouvelle. Malheureusement étranger aux sciences mécaniques, il fit bien des essais inutiles, mais surtout frappé très-vivement de la possibilité d'utiliser les forces naturelles perdues à la compression de l'air, il confondit, quelque peu, l'air comprimé avec une création nouvelle et indéfinie de travail et de richesses; il ne saisit pas bien le caractère de l'air comprimé, de n'être qu'une espèce de ressort intermédiaire et susceptible de restituer, dans des conditions déterminées, le travail dépensé pour le comprimer. A son exemple, et encore de nos jours, on entend nommer encore trop souvent, l'air comprimé une *force nouvelle*, en l'assimilant ainsi bien à tort à la gravité, à la chaleur.

Nous rencontrerons souvent dans la suite de ce travail le nom de M. Andraud, et pourrons rendre justice à l'ingéniosité de nombre de ses essais, mais nous devions dès le début de cette étude rappeler ses travaux. Nous emprunterons la description des plus intéressantes de ces tentatives à un rapport curieux fait en 1858, au Cercle de la Presse scientifique, par M. Gaugain, au nom d'une commission dont M. Andraud faisait partie.

Le but de ce travail consiste, comme il est dit au début, à constater.

1° Que l'air comprimé, employé comme force motrice, ou comme agent de locomotion, est, en tant que fluide élastique, applicable, aussi bien que la vapeur, tant aux machines fixes qu'aux machines locomotives.

2° Que cette force peut, dans certains cas, être obtenue presque gratuitement, et que, principalement sous ce rapport, elle mérite au plus haut degré de fixer l'attention des savants, des ingénieurs spéciaux et des industriels.

Sauf l'illusion de ne pas tenir assez de compte des dépenses souvent très-considérables qu'entraîne le transport du travail accumulé dans une masse d'air comprimé, rien qui ne soit vrai dans ce programme, comme dans la discussion des principales applications déjà faites à cette époque et que nous retrouverons en les examinant successivement.

Nous donnerons une idée des généreuses illusions de M. Andraud, dont les idées inspiraient évidemment le second paragraphe ci-dessus, en citant ici ses paroles : « Il faut, dit-il, qu'on arrive à ce point que chacun « puisse avoir des forces en magasin comme on a des « chevaux à l'écurie pour le travail du lendemain. Il « s'établira en lieux convenables des réservoirs à poste « fixe où chacun viendra, avec son vase vide, puiser de « la force moyennant une faible rétribution, comme « nous voyons à Paris les porteurs d'eau emplir leurs « tonneaux aux fontaines publiques : la force deviendra « marchandise qu'on fabriquera et qu'on vendra. »

Que ceci soit possible, on doit l'admettre, mais à quel prix et avec quelle difficulté de maniement? C'est ce que M. Andraud n'a pas étudié en ingénieur. Les travaux de barrage (celui de Marly a coûté 2 millions) pour établissement de pompes sur les cours d'eau, les canalisations étendues, coûtent des sommes énormes, et en supposant toutes difficultés d'exécution levées, le prix de revient d'un semblable travail moteur se trouvera, dans bien des cas, supérieur à celui fourni par une machine à vapeur. Nous reviendrons, au reste, spécialement sur ce point de vue, en traitant des applications, et nous montrerons qu'il y a loin, bien souvent, du travail moteur naturel à celui employé sur le lieu de consommation. La houille ne coûte que le prix d'aller la chercher, le travail moteur de la vapeur est cependant assez coûteux en général. La nature fournit toujours gratuitement ses forces, et le prix du travail ne provient jamais que des dépenses nécessaires pour l'obtenir dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des conditions voulues et en un lieu déterminé. Cela est vrai de l'air comprimé comme de tout autre moyen de production de travail, c'est la comparaison des frais qui montre quel est le meilleur système dans chaque cas. Tel est le principe économique qui ne doit jamais être perdu de vue dans l'examen et la comparaison des diverses puissances motrices.

THÉORIE DES PHÉNOMÈNES.

La théorie générale des phénomènes qui apparaissent lors de la compression ou de la détente de l'air peut se diviser en deux catégories bien distinctes : les phénomènes purement mécaniques et les phénomènes calorifiques généralement négligés, fort à tort, jusqu'à ce jour, ce qui rendait incompréhensible bien des circonstances de l'emploi de l'air comprimé.

I. *Phénomènes mécaniques.* — Considérée en elle-même, indépendamment de toute variation de température, l'étude de la compression de l'air est assez simple, et la théorie se ramène complétement à l'ancienne manière de calculer les effets de la vapeur dans la machine à vapeur, quand on admettait l'applicabilité de la loi de Mariotte. Au contraire, quand il s'agit de l'air à *température constante*, comme nous le supposons ici, la loi de Mariotte est tout à fait exacte, *les volumes de l'air sont en raison inverse des pressions*, et par suite le travail peut se calculer ainsi qu'il suit, dans la plupart des cas où les phénomènes peuvent être considérés comme une succession d'états statiques. (Nous reviendrons plus loin sur les cas où ceci n'est pas admissible.)

Ainsi que nous l'avons établi, en traitant le même cas à AIR CHAUD, le travail élémentaire en chaque instant étant dT, égal à $p\,dv$, au produit de la pression par l'accroissement de volume, comme $\frac{p}{P} = \frac{V}{v}$ d'après la loi de Mariotte, P et V étant la pression et le volume initial, $p = \frac{PV}{v}$; on a donc :

$$dT = p\,dv = PV\frac{dv}{v},$$

et. $$T = PV\int\frac{dv}{v} = PV \log \text{hyp.}\,\frac{V_1}{V}.$$

V_1 étant le volume final après la détente complète d'un volume d'air V comprimé sous la pression P. Inversement, la compression étant exactement le phénomène inverse de la détente pour arriver finalement à la pression atmosphérique, la formule donnera le travail nécessaire pour comprimer V_1 le volume primitif de l'air, pour amener ce volume à celui V sous la pression P. On aura donc, par une même table, le travail théorique que peut produire 1 mèt. cube d'air comprimé par sa détente complète, c'est-à-dire l'utilisation intégrale de son *énergie*, dirait-on aujourd'hui, et celui nécessaire pour obtenir ce mètre cube d'air par compression; ce sont les mêmes quantités.

Ainsi soit P = 100 atmosphères, V = 1, V_1 = 100 V, puisque PV = 100 et $p = 1$, on aura :

$$P = 100 \times 10333 \log \text{hyp. } 100$$

Le logarithme hyp. de 100 = 4,605170, et par suite

$$T = 4758522.$$

Le cheval-vapeur en 1 heure consomme 75 × 3600 = 270000 kilogrammètres, 1 mètre cube d'air à 100 atmosphères produit donc en 1 heure, en agissant uniformément, le travail de $\frac{4758522}{270000} = 17$ chev. 624, ou 1 cheval-vapeur en 1 h. comprimerait à 100 atmosphères $\frac{1}{17{,}624} = 0{,}0566$ de mètre cube.

La formule comprend tous les cas possibles; mais un tableau peut être commode dans bien des circonstances. Nous avions commencé à la calculer pour ce travail, lorsque les premiers nombres trouvés nous ont montré que nous perdions notre temps à refaire un tableau inséré à la fin du Mémoire de M. Gaugain, et dû à M. Lindelof, ingénieur suédois. Nous insérons ici ce tableau du travail mécanique que peut produire l'air comprimé et du travail nécessaire pour le comprimer.

PRESSION en ATMOSPHÈRES.	TRAVAIL DE 1 MÈTRE CUBE D'AIR COMPRIMÉ.		1 CHEVAL PRODUIT EN 1 HEURE MÈTRES CUBES.
	KILOGRAMMÈTRES	CHEVAUX EN 1 HEURE.	
1	0	0.000	∞
2	11330	0.053	18.845
3	34060	0.126	7.926
4	57310	0.212	4.716
5	83170	0.308	3.246
6	111110	0.412	2.430
7	140780	0.521	1.918
8	171930	0.637	1.570
9	204380	0.757	1.321
10	237970	0.821	1.135
11	272600	1.010	0.990
12	308200	1.141	0.876
13	344600	1.276	0.784
14	381800	1.414	0.707
15	419800	1.555	0.643
16	458500	1.698	0.589
17	497800	1.844	0.542
18	537700	1.991	0.502
19	578200	2.141	0.467
20	619200	2.293	0.436
21	660800	2.447	0.409
22	702800	2.603	0.384
23	745300	2.761	0.362
24	788300	2.920	0.343
25	831700	3.080	0.325
26	875500	3.243	0.308
27	919700	3.406	0.294
28	964300	3.572	0.280
29	1009200	3.738	0.268
30	1054500	3.906	0.256
31	1100200	4.075	0.245
32	1146200	4.245	0.236
33	1192500	4.417	0.226
34	1239200	4.590	0.218
35	1286100	4.763	0.210
36	1333300	4.938	0.203
37	1380800	5.114	0.196
38	1428600	5.291	0.189
39	1476700	5.469	0.183
40	1525000	5.648	0.177
41	1573600	5.828	0.172
42	1622400	6.009	0.166
43	1671500	6.191	0.162
44	1720800	6.374	0.157
45	1770400	6.557	0.153
46	1820200	6.742	0.148
47	1870300	6.927	0.144
48	1920400	7.113	0.141
49	1970900	7.300	0.137
50	2021500	7.487	0.134
100	4758522	17.614	0.0566

Nous avons supposé qu'il s'agissait d'une compression suffisamment lente, comme celle produite par le piston d'une pompe qui se meut à une petite vitesse, et toutefois, dans ce cas, les résistances passives de la machine for-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cent à augmenter de près de 50 p. 100 le travail à obtenir pour avoir le travail dépensé.

Quand on emploie un ventilateur, les résistances passives sont bien moindres, mais l'air est agité, mû en tourbillons qui consomment, inutilement au point de vue de la compression, une partie notable du travail moteur. C'est par ce motif que les ventilateurs sont moins avantageux qu'il ne semblerait devoir être à première vue, et qu'ils deviennent très-désavantageux quand on veut les employer à produire des pressions un peu notables en augmentant les vitesses.

Nous reviendrons plus loin sur l'emploi des appareils de compression.

II. *Phénomènes calorifiques.* — Trop souvent négligés, les phénomènes calorifiques qui se produisent lors des variations de pression de l'air, ont rendu obscures les lois des phénomènes qui se produisaient simultanément et dont on laissait de côté un élément essentiel, démontré cependant depuis longtemps par la curieuse expérience du briquet pneumatique, répétée dans tous les cours de physique, et qui consiste à enflammer l'amadou par la compression brusque de l'air dans un cylindre, à l'aide d'un piston. Il nous semble que la théorie nous permet de les mesurer avec facilité; essayons donc de le faire, afin de disposer de cet élément pour le calcul des effets de l'air comprimé, dans les diverses applications que nous passerons en revue.

Ce n'est, comme il a été dit plus haut, qu'autant qu'on refroidit l'air à mesure qu'il est comprimé, de manière à ce que sa température reste constante, que l'on peut calculer les faits mécaniques, ainsi que nous l'avons fait ci-dessus. Or quelle est la quantité de chaleur qu'il faut ainsi enlever à chaque instant? Évidemment la chaleur équivalente au travail élémentaire qui est employé à effectuer la compression. En effet, l'expérience de Joule montre clairement qu'un gaz ne possède pas des quantités de chaleur constitutive différentes, lorsqu'à même température il est soumis à des pressions différentes, puisqu'il ne se produit de variation de température que quand il y a travail extérieur et en proportion de ce travail.

Le minimum de chaleur dégagée pour une variation de volume déterminée, c'est-à-dire en opérant dans des conditions telles, que la compression n'échauffe pas l'air et que la détente ne le refroidisse pas d'une quantité appréciable, que des corps étrangers interviennent pour empêcher toute variation de température, sera donc obtenu, pour 1 mètre cube, aux diverses pressions, en divisant le nombre de kilogrammètres insérés au tableau précédent par $\frac{1}{A} = 370$, par l'équivalent mécanique de la chaleur.

On a ainsi, pour 1 mètre cube d'air comprimé, revenant à la pression d'une atmosphère ou, inversement, amené à une pression d'un certain nombre d'atmosphères, en partant d'une pression initiale de 0^{m},760, les nombres suivants de calories absorbées ou dégagées :

Atmosphères.	Nombre de calories.
1.	0,00
2.	38,07
3.	92,05
4.	154,89
5.	224,78
6.	300,03
7.	380,49
8.	464,67
9.	552,37
10.	643,16
20.	1673,51
30.	2850,00
40.	4121,62
50.	5463,55
100.	12860,87

On voit combien sont considérables les quantités de chaleur dégagées par la compression à température constante, ou qu'il faut communiquer au gaz pour que la détente ait lieu à température constante. Si on suppose que cette chaleur sert à chauffer instantanément le gaz (ce qui n'est que théorique, puisque si l'on ne refroidit pas le gaz, les pressions successives pendant la compression seraient plus grandes, et par suite le travail, pour amener le gaz comprimé à occuper un volume d'un mètre cube plus considérable que celui trouvé par le calcul précédent ; l'effet inverse sera produit par la détente), il suffirait de diviser les nombres de calories trouvées par 0,237, chaleur spécifique de l'air. On trouve ainsi pour 2 atmosphères 154°,8, et pour 10 atmosphères 2717,7, température considérable, et qui explique bien la nécessité à laquelle ont été conduits, dans la pratique, tous les expérimentateurs, d'opérer la compression en présence d'eau, soit en masses relativement grandes si l'eau est extérieure au vase où se fait la compression, soit en quantités assez limitées si elle est à l'intérieur, car alors la vaporisation d'une petite quantité d'eau consomme des quantités de chaleur considérables.

Nous pouvons aller plus loin dans l'étude théorique des effets calorifiques produits par la compression et la détente, les déterminer exactement à l'aide de la théorie, car l'expérience ne permet en général de les mesurer qu'imparfaitement, à cause surtout du peu de masse du gaz, relativement à celle des corps environnants, qui agissent toujours puissamment sur lui comme réchauffeurs ou refroidisseurs, suivant qu'il s'agit de détente ou de compression.

Cas général. — Compression ou détente sans intervention extérieure calorifique. — Le calcul $T = \int p\,dv$ peut se faire à l'aide de la relation de la loi de Poisson $pv^{\gamma} = \text{Const.}$, qui s'applique à la détente ou à la compression d'un gaz qui ne reçoit pas de chaleur extérieure, comme nous l'avons montré à l'article AIR CHAUD.

La valeur $\gamma = \frac{c}{c'}$, rapport des chaleurs spécifiques, est égale à $\frac{4}{3}$ pour l'air.

On a donc, comme nous l'avons établi :

$$p = \frac{p_0 v_0^{\frac{4}{3}}}{v^{\frac{4}{3}}}, \text{ et}$$

$$T = \int_{v_0}^{v_1} p\,dv = p_0 v_0^{\frac{4}{3}} \int \frac{dv}{v^{\frac{4}{3}}} = 3\,p_0 v_0^{\frac{4}{3}} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{v_1}} - \frac{1}{\sqrt[3]{v_0}} \right)$$

On peut dresser, à l'aide de cette formule, un tableau analogue à celui donné plus haut, mais cette fois conforme aux faits réels, des quantités de travail ou des quantités de chaleur AT, équivalentes, pour des compressions ou des détentes d'air, sans refroidissement ni communication de chaleur extérieure.

Le volume final et le volume initial étant donnés, comme la pression finale ou la compression initiale (égales à l'unité), on ne retombe plus nécessairement sur des nombres entiers d'atmosphères ; mais en calculant un nombre un peu grand de termes, on arrive aussi exactement que l'on veut, par interpolation, au résultat cherché.

La détente et la compression n'ont plus ici la même expression, et cela doit être évidemment, puisque la chaleur consommée dans le premier cas fait décroître

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la pression, et celle dégagée dans le second la fait augmenter, comparativement avec les mêmes opérations effectuées sur l'air à température constante.

La formule de Poisson nous permettra de calculer les compressions pour 1 mètre cube de volume final, en posant $v_1 = 1$, et $v_0 = 1, 2, 3, 4\ldots$, d'où $p_1 = v_0^{\frac{4}{3}}$, et le travail de détente pour 1 mètre cube, et une pression finale d'une atmosphère, en posant $v_0 = 1$, et $p_0 = 1, 2, 3\ldots$ atmosph., d'où $p_0 = v_1^{\frac{4}{3}}$, ce qui donne le volume final.

Dans les deux cas, la formule donnée ci-dessus fournira la valeur du travail T.

Compression. — Réduction, à 1 mètre cube, des volumes ci-après d'air, pris à la pression atmosphérique:

Mèt. cub.	Travail.	Pression finale. Atm.
2.	16119 km	2,52
3.	41407	4,327
4.	72800	6,349
5.	110046	8,55
6.	151787	10,89
7.	198325	13,39
8.	247992	16,00
9.	301310	18,72
10.	357728	21,56
20.	1,062841	54,29
50.	4,155711	184,00

On voit combien le dégagement de chaleur et par suite l'accroissement qui résulte de l'échauffement font croître le travail résistant, en proportion d'autant plus grande que la compression est plus grande. On voit qu'à 50 atmosphères, il est plus que doublé, relativement à celui de la compression sans échauffement et la pression finale près de 4 fois celle que fournirait la loi de Mariotte.

Détente. — Travail d'un mètre cube passant à la pression atmosphérique, sans réchauffement, en partant des pressions suivantes :

Atm.	Travail.	Volume final.
2.	9867 k.	1m c,689
3.	22338	2 ,279
4.	36304	2 ,829
5.	51250	3 ,341
6.	67135	3 ,836
7.	83629	4 ,304
8.	100553	4 ,757
9.	117910	5 ,195
10.	135740	5 ,624
20.	340079	9 ,458
50.	967042	18 ,80

La détente frigorifique, telle qu'elle se produit réellement dans la plupart des applications où le réchauffement très-rapide du gaz est souvent très-difficile, ne produit pas en moyenne un travail très-différent de la moitié du travail de détente à température constante, par suite de l'abaissement de température et par suite de pression qui en résulte. On voit quel élément capital on néglige quand on ne tient pas compte de cet élément, comme on l'a fait en général jusqu'à ce jour.

Résumé. — La distinction faite habituellement entre les phénomènes mécaniques et les phénomène caloriﬁques devient bien claire par ce qui précède ; en réalité, les premiers répondent aux faits statiques, les seconds aux faits dynamiques qui se passent dans les molécules gazeuses. L'air comprimé doit être considéré comme un ressort, amené statiquement à un état plus ou moins grand de tension qu'indique la pression. La variation de sa quantité de chaleur est l'expression du travail mécanique employé à le comprimer ou produit par sa détente, à la variation de sa force vive moléculaire (Voy. Gaz); c'est pour ce motif que, ainsi que nous venons de l'établir, l'enlèvement d'une quantité de chaleur entraîne la diminution d'une partie du travail nécessaire pour réduire son volume, et que le réchauffement de l'air qui se détend, accroît considérablement la quantité du travail qu'il peut produire.

C'est dans les formules établies ci-dessus que se trouve renfermée la théorie de tous les emplois possibles de l'air comprimé. Nous allons les passer successivement en revue, en utilisant les résultats théoriques obtenus dans les pages précédentes et les principes presque évidents, démontrés d'ailleurs aux articles Air chaud Calorie, etc., que c'est par une détente successive et complète que s'obtient le maximum du travail possible d'une masse de gaz comprimé.

APPLICATIONS DE L'AIR COMPRIMÉ.

Nous diviserons en 12 sections l'étude des applications de l'air comprimé, et les examinerons dans l'ordre suivant :

État statique. Emploi de l'air comprimé à l'état de ressort permanent.

1. — Réservoir d'air des pompes. — Régulateur. — Cloche à plongeur.

2. — Percement de puits.— Appareil Triger.— Fondations tubulaires.

État dynamique. Emploi de l'air en mouvement.

3. — Élévation des liquides.

4. — Déplacement des liquides.

5. — Machines soufflantes.

6. — Lancement des solides. — Fusil à vent.

7. — Machine à piston, appareil anglais. — Appareils du Mont-Cenis.

8. — Distribution de la force à domicile par canalisation.

9. — Compression et transport du gaz comprimé.

10. — Chemins de fer avec locomotives à air. — avec canalisation Chameroy. — Chemins éoliques Andraud.

11. — Transport dans des tubes. — Service du télégraphe.

Ventilation devenant l'emploi principal de l'air.

12. — Ventilation par injection d'air comprimé.

Enfin, nous comparerons les moyens de compression de l'air qu'il est possible d'employer dans les diverses circonstances.

1. *Réservoirs d'air comprimé.* — Dans les pompes élévatoires, dans le bélier hydraulique, dans le plus grand nombre d'appareils à élever l'eau, on place, en communication avec la conduite ascensionnelle, une capacité remplie d'air comprimé, qui, par son élasticité, amortit les chocs brusques, dits *coups de bélier*, que produit une colonne d'eau en mouvement, et qui, servant de masse élastique régulatrice, rend continu l'écoulement du liquide amené à intervalles périodiques, par le jeu d'un piston.

Nous ne reviendrons pas ici sur une disposition bien connue, nous renverrons, à cet effet, aux articles spéciaux. Nous donnerons la description d'un curieux appareil dû à M. Legat, employé pour conserver une pression d'eau régulière, malgré un débit intermittent, au moyen de l'air comprimé. Cet ingénieux appareil est employé avec succès pour les machines à apprêter dans lesquelles on emploie la pression hydraulique.

Régulateur automoteur de pression. — Cet ingénieux appareil est représenté fig. 3313, et la légende ci-après suffira pour faire bien comprendre le mode de fonctionnement de l'appareil.

A Cloche pleine d'air comprimé à la pression voulue.
B Capacité pleine d'eau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C Membrane en caoutchouc séparant l'air de l'eau, suivant le niveau que prend cette dernière, et reliée aux leviers H et I au moyen de bielles T.

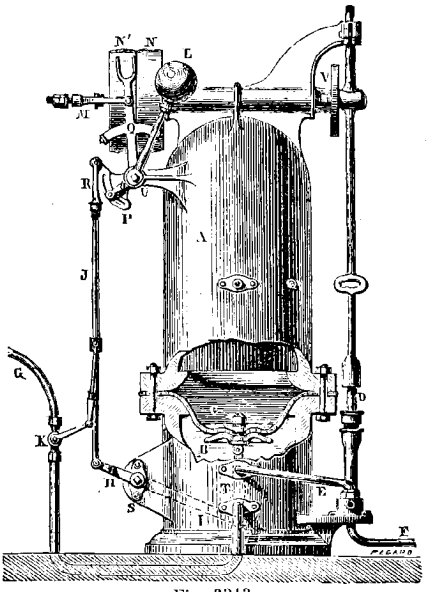


Fig. 3313.

D Pompe de pression, munie de son tuyau d'aspiration F et de celui E de refoulement.

G Tuyau de prise d'eau des machines en communication avec le récipient.

H Levier à deux branches } fixés en prolongement sur
I Levier simple intérieur } le même axe traversant la presse étoupe S.

J Bielle terminée par une chape R, reliant le secteur guide à rainure P au levier H.

K Robinet régulateur, se mouvant automatiquement au moyen de son levier et d'une petite bielle articulée à la bielle J, ayant pour but d'empêcher les déchirures du caoutchouc, quand ce dernier est à fin de course inférieure.

L Contre-poids fixés sur l'arbre U du débrayage.

O Leviers fixés sur l'arbre U et assemblés à leur extrémité par un goujon passant dans la rainure du secteur P.

P Secteur guide, fou sur l'arbre U.

Q Fourchettes folles sur l'arbre U, articulées à la chape M limitant leur course.

N Poulie fixée sur le même arbre que le plateau V.

N' Poulie folle tournant sur ledit arbre.

V Plateau excentrique donnant le mouvement à la pompe.

Le croquis représente le caoutchouc presque à fin de course inférieure. Le robinet régulateur K est presque fermé; il ne peut laisser passer qu'une quantité d'eau égale ou inférieure à celle que doit fournir la pompe.

On voit que la pompe est sur le point de se mettre en marche, car les boules, par suite de la position que le secteur P a fait prendre aux leviers O, ont dépassé la verticale, et basculent en entraînant les fourchettes et conséquemment la courroie sur la poulie fixe.

La pompe marchera jusqu'à ce que les boules, entraînées par le caoutchouc montant vers sa fin de course supérieure, aient dépassé de nouveau la verticale pour basculer et ramener les fourchettes et le cuir sur la poulie folle.

On voit que cet intéressant appareil, n'exigeant que des poids de métal fort limités, ne mettant pas en jeu des masses considérables, remplit sensiblement le même effet que l'accumulateur d'Armstrong (Voy. PRESSE HYDRAULIQUE), une précieuse conquête de l'art de l'ingénieur.

Cloche à plongeur. Dans la cloche à plongeur c'est l'air qui agit comme ressort pour empêcher l'eau de rentrer dans la cloche, et, sous ce rapport, cet appareil peut être assimilé aux précédents. Toutefois une condition spéciale, la nécessité de changer l'air pour qu'il reste respirable, pour qu'il ne soit pas vicié par les produits de la respiration, exige une insufflation et une évacuation d'air continue, qui la font rentrer dans la seconde famille d'appareils, mais au point de vue seulement de la ventilation de la cloche. Au reste, nous n'avons rien à ajouter ici à ce qui a été dit à CLOCHE DE PLONGEUR, où nous avons décrit, en détail, l'appareil de ce genre le plus perfectionné.

2. *Appareil Triger pour la traversée des terrains éboulcux et aquifères.* L'emploi de l'air comprimé envoyé dans une capacité étanche, faisant naître une atmosphère artificielle qui équilibre des colonnes d'eau de hauteur croissante, en raison de la pression, est une des plus belles conquêtes de l'art de la construction, permettant d'exécuter des travaux hydrauliques qui eussent été impossibles sans cette ressource. Ajoutons toutefois que les progrès du travail des métaux qui permettent d'obtenir facilement de vastes capacités étanches, ont fourni un élément essentiel du succès de ce mode de construction. Pour faire comprendre l'appareil, de M. Triger, dont le croquis, fig. 3314, donne une idée, nous supposerons qu'il s'agisse d'atteindre le terrain houiller recouvert par une vingtaine de mètres de sables, dans lesquels s'infiltre l'eau d'une rivière, ce qui était précisément le but que M. Triger s'était proposé d'atteindre, lorsqu'il imagina d'employer ce procédé. On commencera par se procurer une suite de bouts de tubes en tôle, ou mieux en fonte, celle-ci s'attaquant moins par les eaux que la tôle, d'un grand diamètre (celui que l'on veut donner au puits), que l'on enfonce successivement à coups de mouton, en les réunissant à mesure, jusqu'à ce qu'on ait atteint le terrain solide. On drague ensuite le sable contenu dans le tube soit à l'aide de cylindres à soupapes (Voy. SONDAGES), soit de toute autre manière; reste encore à épuiser l'eau et à pénétrer dans le terrain solide à une profondeur telle qu'on puisse y asseoir le tube en tôle par un *picotage* (Voy. MINES), qui ne laisse filtrer qu'une quantité d'eau insignifiante. On emploie à cet effet l'appareil ci-contre, qui se compose:

1° D'une machine à vapeur A qui met en mouvement deux pompes P, P', qui refoulent l'air dans le tuyau N; les pistons sont munis, ainsi que le fonds des corps de pompe de soupapes s'ouvrant de haut en bas.

2° D'un sas à air S, supporté par un câble C et fixé dans le tube T par un presse-étoupe I, I, ayant pour but de s'opposer à toute communication directe entre l'intérieur du puits et l'atmosphère. Ce sas renferme deux soupapes trous d'homme L, M, destinées à la manœuvre du sas pour l'introduction des ouvriers et l'extraction des déblais; deux robinets Q, R, destinés au même usage ainsi qu'un manomètre et une soupape de sûreté pour prévenir tout accident. Il est en outre traversé par deux tuyaux, dont l'un NN est destiné à l'introduction de l'air comprimé dans le puits, et l'autre OO à faciliter la sortie de l'eau, lorsque par suite de la compression de l'air, cette eau est forcée de sortir avec plus de vitesse que ne le permettent les ouvertures qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peuvent exister au bas du puits au contact imparfait du tube T avec le terrain solide.

Dès que la machine à vapeur sera en activité, les pompes foulantes injecteront, au-dessous du sas à air, de l'air qui s'y comprimera, et, si le puits est rempli d'eau, cette eau, cédant alors à la pression de l'air, s'échappera par le tuyau OO, de sorte qu'au bout d'un certain temps, toute celle contenue dans le puits se trouvera remplacée par de l'air comprimé, et si la manœuvre continue ce puits se trouvera constamment à sec.

Quant à l'introduction des ouvriers dans le puits, elle se fait au moyen du sas à air S. Supposons pour un instant la soupape M fermée et l'air comprimé dans le puits à la pression de deux ou trois atmosphères, celle qui correspond à une hauteur d'eau de 20 à 30 mètres. La soupape L étant ouverte, les ouvriers pourront descendre dans le sas à air, puis fermer au-dessus de leur tête cette soupape et ouvrir en même temps le robinet inférieur Q, pour se mettre en communication avec l'air comprimé du puits; à l'instant même la soupape L se trouvera collée contre ses parois, et dès que l'équilibre se sera établi entre la tension de l'air dans le puits et dans le sas à air, la soupape inférieure M s'ouvrira d'elle-même par son propre poids, et les ouvriers pourront s'introduire dans le puits. Pour en sortir, il suffira de faire une manœuvre pareille en sens inverse, c'est-à-dire de fermer la soupape M et d'ouvrir le robinet supérieur R pour se mettre de suite en communication avec l'atmosphère. La tension de l'air diminuant alors au-dessous de la soupape L, celle-ci s'ouvrira d'elle-même, et les ouvriers pourront sortir et faire enlever leurs déblais.

Lorsqu'on passe de l'air libre dans l'air comprimé, on ressent dans les oreilles une douleur plus ou moins forte de peu de durée, et le meilleur moyen de la faire disparaître est d'opérer un mouvement de déglutition en avalant sa salive. Cet espèce d'engourdissement est d'autant moins sensible que l'appareil est plus grand et que l'on met plus de temps à passer de l'air libre dans l'air comprimé et réciproquement, temps qu'il est facile de faire varier à volonté en tournant plus ou moins les robinets Q, R.

Un autre phénomène produit par l'air comprimé, est une accélération sensible de la combustion avec l'intensité de la compression, au point que, sous une pression de trois atmosphères, cette accélération devient

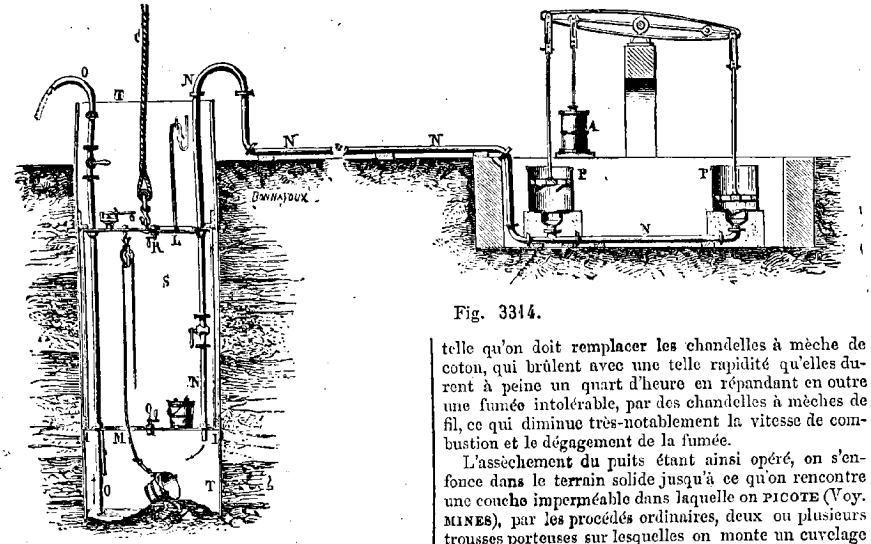


Fig. 3314.

telle qu'on doit remplacer les chandelles à mèche de coton, qui brûlent avec une telle rapidité qu'elles durent à peine un quart d'heure en répandant en outre une fumée intolérable, par des chandelles à mèches de fil, ce qui diminue très-notablement la vitesse de combustion et le dégagement de la fumée.

L'assèchement du puits étant ainsi opéré, on s'enfonce dans le terrain solide jusqu'à ce qu'on rencontre une couche imperméable dans laquelle on PICOTE (Voy. MINES), par les procédés ordinaires, deux ou plusieurs trousses porteuses sur lesquelles on monte un cuvelage qui se relie au tube en tôle ou en fonte.

Il convient, pour diminuer la tension de l'air comprimé dans le puits, d'adapter au bas du tube de dégagement de l'eau OO et sur l'une de ses parois un robinet permettant l'introduction de l'air; par ce moyen, il s'échappe par l'extrémité de ce tube un mélange artificiel d'eau et d'air qui, étant spécifiquement plus léger que l'eau, peut être élevé à une hauteur plus considérable, sous la même pression, comme dans l'appareil connu sous le nom de pompe de Seville qui se rencontre dans les cabinets de physique.

Fondations tubulaires. L'art de la construction a tiré le plus heureux parti du système Triger pour fonder des piles de pont au milieu des fleuves, à des profondeurs et dans des conditions où l'emploi des batardeaux était impossible. Nous avons donné à l'article FONDATIONS TUBULAIRES la description de ce mode de travail, et notamment celle de la fondation des piles du pont de Kehl sur le Rhin, un des plus beaux exemples que l'on puisse donner. Un des plus grands progrès accomplis dans cette construction sur le système Triger, dû à un habile ingénieur des ponts et chaussées, M. Fleur Saint-Denis, est celui de la rapide sortie des matériaux, non par le sas, mais par une noria placée au centre et remplie d'eau, atteignant le niveau de celle à laquelle l'air comprimé fait équilibre, disposition représenté fig. 3315. Elle permet d'accomplir des travaux réellement interminables, quand il fallait faire passer des quantités considérables de déblais par le sas à air. Les caissons chargés, pour ne pas se soulever, d'une enveloppe en bois calfatée, puis de maçonnerie, permettent d'obtenir, pour l'intérieur, comme un batardeau qui permet, quand le bon sol est atteint, de remplir de béton la partie qu'on ne peut démonter de la cheminée et le caisson inférieur et de construire une pile fondée sur le bon sol et à l'abri de tout accident. — La figure 3316 montre la pile terminée et formant un ouvrage indestructible, assis sur le sol solide et à l'abri des affouillements. Ce beau travail est devenu un modèle auquel on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a emprunté, pour tous les grands travaux de même genre qui se sont faits depuis, son heureuse dispozition d'une noria immergée au milieu d'une colonne d'eau soutenue par la pression de l'air.

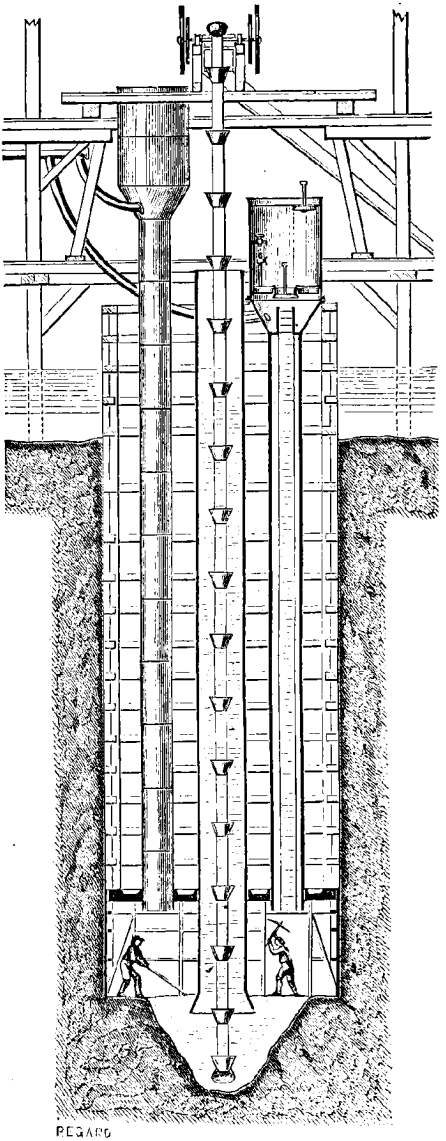


Fig. 3315

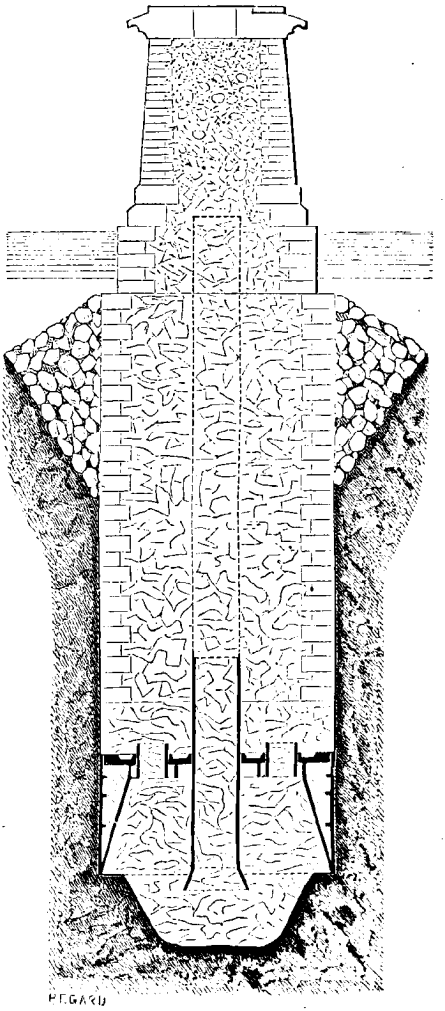


Fig. 3316.

3. *Élévation des liquides.* Les divers systèmes d'application de l'air comprimé dont il vient d'être parlé, consistent essentiellement dans l'emploi statique de la pression de l'air, pour supporter une pression d'eau, pour refouler celle-ci. Si on renouvelle l'insufflation d'air et si l'eau passe dans des tuyaux convenablement placés, on produit l'élévation continue des liquides, par un système analogue à celui des pompes aspirantes ordinaires, avec l'avantage que la hauteur de l'aspiration ne sera plus limitée par la pesanteur de l'atmosphère, comme on l'a vu pour la machine de Schemnitz. (Voy. FONTAINE de HÉRON.)

Nous reproduirons ici, sur des tentatives faites dans cette voie, un passage intéressant que M. Gaugain lui a consacré dans son rapport.

M. Andraud a construit, en 1839, une pompe aéro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hydraulique dont il a fait publiquement l'expérience en 1840 ou en 1841. Cette pompe consiste en deux cylindres de diamètres différents, dont les deux pistons ont une tige commune.

Le plus grand des deux est le cylindre à air; le plus petit est le cylindre à eau.

Il est aisé de comprendre que, si le rapport des deux sections est, par exemple, comme de dix à un, de l'air comprimé à deux atmosphères moins une, suffira pour faire équilibre à une pression d'eau dix fois plus forte, et c'est ce qui arrive en effet.

Au moyen de cette très-faible pression, toujours facile à obtenir sans grand travail et sans danger, M. Andraud faisait aisément jaillir l'eau à 25 mètres de hauteur, où la portaient des tuyaux flexibles en gutta-percha ou en caoutchouc; et trouvait, dans la construction même de sa pompe, l'inappréciable avantage de pouvoir aller chercher l'eau sous terre à quelque endroit qu'elle se trouve, sans avoir égard à la verticale, bien que le moteur agisse à la surface du sol. M. Andraud ne doutait pas d'ailleurs qu'avec cette même pression de deux atmosphères, il n'eût fait jaillir l'eau tout aussi bien à 100 mètres de hauteur qu'à 25 mètres, et il mit sous les yeux de la commission de nombreux dessins relatifs à diverses applications de la puissance expansive de l'air comprimé à l'élévation des eaux.

Ces intéressantes communications de M. Andraud étaient évidemment trop curieuses pour n'être pas écoutées avec plaisir, aussi chacun s'empressa-t-il de lui demander de nouveaux détails.

C'est ainsi que ce savant ingénieur a longtemps entretenu votre commission d'un siphon à jet continu, qui simule, à s'y méprendre, le mouvement perpétuel. Dans ce curieux instrument, une petite quantité d'air comprimé, injectée dans une colonne d'eau, diminue sa pesanteur et détermine le mouvement de circulation; mais M. Andraud s'empresse de déclarer qu'un système analogue, essayé en Angleterre pour l'élévation de l'eau par une insufflation d'air convenable, avait entraîné une telle dépense de force qu'on y avait dû renoncer.

Une idée semblable avait été déjà vainement tentée par Manoury d'Hectot.

C'est encore à cette occasion que M. Andraud, sans pouvoir donner précisément le chiffre exact du rendement utile de sa pompe aéro-hydraulique, a démontré néanmoins jusqu'à l'évidence que, moyennant l'emploi de deux cylindres de diamètre différent, on peut toujours, avec une pression d'air relativement très-minime, élever l'eau à telle hauteur et de telle profondeur que l'on veut.

Quant à la possibilité de comprimer l'air à de très-hautes pressions, il ne doutait pas qu'on ne puisse aisément atteindre 200 à 250 atmosphères, avec des vases suffisamment résistants.

4. *Déplacement des liquides.* Nous arrivons naturellement, dans cette revue de toutes les applications possibles de l'air comprimé, à celle que nous avons proposée pour la navigation et décrite à l'article BATEAU A VAPEUR. L'air insufflé en avant du taille-mer d'un navire, vient diminuer, en proportion de la quantité lancée, la densité du fluide résistant, à laquelle le travail consommé pour la propulsion est proportionnel. La diminution de résistance n'est pas douteuse, si elle est difficile à constater indépendamment d'expériences répondant à des dispositions déterminées, et il est facile de voir que le travail nécessaire pour l'insufflation n'est pas une difficulté qui doive effrayer. Ainsi pour l'*Himalaya* (1200 chev. nom.), le creux est $10^{m}8$, largeur $14^{m}58$, ou 153^{mc} de maître-couple, la pression de l'air à injecter ne sera que de 2 atm. (indépendamment du petit excédant nécessaire pour l'insufflation), et d'après la table donnée plus haut, la consommation du travail d'un cheval vapeur, suffit pour comprimer $18{,}84^{mc}$ à cette pression par heure.

Il semble intéressant d'expérimenter la diminution de résistance qui résulterait de l'insufflation au centre de maîtres-couples d'aussi grandes dimensions, d'un volume d'air aussi considérale, pour un travail moteur assez limité, venant faire disparaître un volume d'eau, auquel, dans l'état actuel des choses, une force vive notable est imprimée par le navire.

5. *Machines soufflantes.* L'emploi le plus usuel de la compression de l'air est celui fait au moyen d'appareils qui ont pour but de transformer le travail dépensé à la compression de l'air, en force vive de l'air lui-même. Tels sont les soufflets de toute espèce, les machines soufflantes de tout genre, employées pour activer la combustion, au moyen d'un courant d'air forcé. Nous avons fait une étude spéciale de ces machines à l'article MACHINES SOUFFLANTES, nous n'y reviendrons pas ici. Nous nous contenterons de rappeler qu'elles consistent essentiellement, pour la plupart, dans des dispositions propres à emprisonner l'air dans une capacité, dont le volume diminue par suite le mouvement d'une des parois. L'air ainsi comprimé sort avec une vitesse plus ou moins grande, en raison de la grandeur de la compression, par un orifice.

6. *Lancement des solides.* Au lieu d'employer l'air comprimé à lancer seulement de l'air à une grande vitesse, on pourrait s'en servir pour lancer des corps solides ou liquides.

C'est bien comme réservoir de gaz comprimé, sous une très-grande pression, qu'agit la poudre à canon, dont l'explosion produit instantanément une grande quantité de gaz sous une pression infiniment plus élevée que celle que l'on peut obtenir pratiquement en comprimant de l'air dans un réservoir métallique. Quoi qu'il en soit, c'est en agissant sur le projectile, lors de son départ et tout le long de sa progression dans l'âme, que les gaz de la poudre lui communiquent sa vitesse; ce mode d'action employé avec de l'air comprimé, en prolongeant au besoin la détente, peut permettre de communiquer à une balle une vitesse assez grande pour que bien des inventeurs, depuis Otto Guericke, lors de l'invention de la machine pneumatique, jusqu'à M. Perrot, de Rouen, de nos jours, aient tenté d'en faire le point de départ de machines de guerre. Nous décrirons la forme la plus connue de ces dispositions d'armes, qui n'ont pas trouvé d'application sérieuse, ne pouvant pas donner des effets comparables à celles qui emploient la poudre, le fusil à vent.

Fusil à vent. Les figures 3317 et 3318 montrent en quoi le mécanisme de cet appareil diffère du fusil ordinaire. La crosse R est un réservoir en cuivre muni d'une soupape *s* s'ouvrant du dehors en dedans; on la dévisse et on y comprime de l'air sous une pression de 8 ou 10 atmosphères, à l'aide d'une petite pompe foulante F (fig. 3319). On remet alors la crosse en place et on charge la balle B dans le canon *c* du fusil. Ensuite, en faisant partir, comme à l'ordinaire, le chien P, celui-ci fait basculer le levier *b*, dont l'extrémité inférieure pousse la tige *s* et ouvre la soupape *s*, l'air sort avec violence, chasse la balle et la soupape se referme à l'instant. On peut tirer de suite plus ou moins de coups, suivant que le réservoir est plus ou moins grand. Le fusil à vent peut lancer la balle avec presque autant de vitesse que le fusil ordinaire; car, quoique la pression initiale soit bien moins considérable que celle due à l'inflammation de la poudre, d'un autre côté, cette pression s'exerce sur le projectile avec une intensité à peu près constante, si le réservoir est suffisamment grand, pendant tout le temps qu'il met à en parcourir le canon qu'on a soin de faire très-long, afin d'obtenir une vitesse suffisante par l'action prolongée de l'air, sans que la pression de celui-ci dans le réservoir soit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

énorme. Cet effet ne se produit pas sans bruit ni sans lumière, et, à l'extrémité du canon, on voit un jet de flamme qui est produit par le frottement des petites poussières solides que l'air rencontre ou qu'il emporte avec lui; car il paraît que dans un air très-pur, il n'y a plus de flamme perceptible. La quantité d'air qui sort du réservoir à chaque coup, et qui est égale en volume au moins à celui du canon du fusil, diminue rapidement la pression dans le réservoir, ce qui fait que les vitesses des coups qui se succèdent décroissent rapidement. C'est là un des principaux inconvénients qui ont toujours empêché de faire du fusil à vent un usage sérieux.

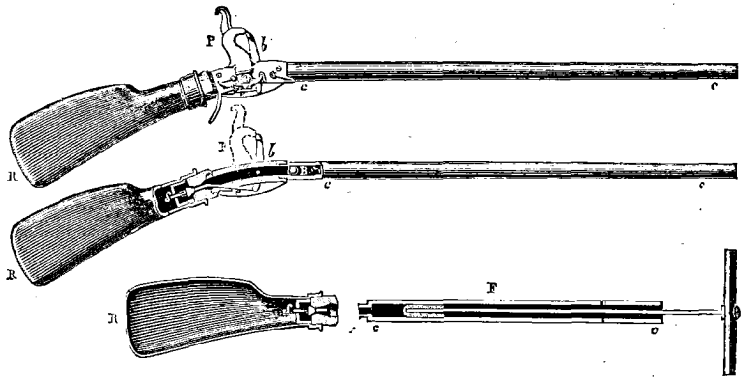


Fig. 3317.

Fig. 3318.

Fig. 3319.

Appareil Bourdon. M. Bourdon, l'habile mécanicien, qui a fait tant d'ingénieuses inventions dans des voies nouvelles, celle des manomètres métalliques notamment, a combiné un curieux appareil propre au lancement d'un solide par l'air comprimé, qui montre clairement l'influence de la masse et de la vitesse sur l'effet balistique des projectiles, et que représente la figure 3320.

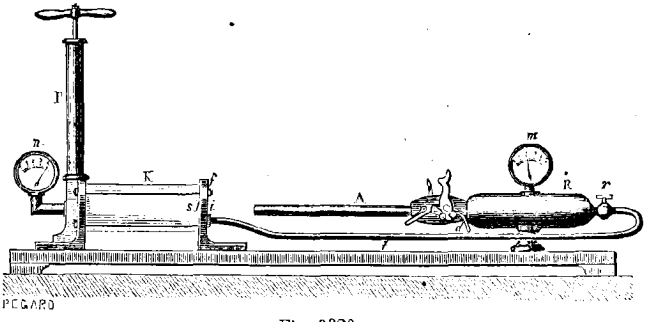


Fig. 3320.

On sait que la force vive que possède un projectile en un point quelconque de sa trajectoire est égale au produit de sa masse M par le carré de la vitesse V^2 dont il est animé en cet instant, ou a MV^2 divisé par 2. Donc, avec une force constante, on pourra communiquer à des mobiles des quantités de mouvement très-différentes, suivant la matière dont ils seront formés, et aussi suivant le temps pendant lequel cette force agira.

L'appareil de M. E Bourdon repose sur ce principe et montre ce fait curieux et en apparence paradoxal, à savoir : qu'un projectile lancé au moyen d'un jet d'air comprimé et à l'aide d'un canon assez long peut rentrer dans le réservoir d'air moteur, en forçant à s'ouvrir la soupape qui en ferme l'entrée.

Une pompe foulante P comprime de l'air dans un cylindre en cristal épais K, fixé sur une table et serré entre deux fonds métalliques par un certain nombre de tringles et d'écrous. Du fond *f* de ce cylindre part un tube en cuivre *t* débouchant dans la crosse R d'un pistolet à vent; dans ce même fond *f* est disposé, juste en face de la gueule du pistolet, un ajutage intérieur *i*, fermé par une petite soupape à clapet *s*. Le réservoir K et la crosse du pistolet R peuvent être isolés au moyen d'un robinet *r*; ils portent chacun un manomètre *m*, *n*, qui mesure leur pression intérieure.

Le robinet *r* étant ouvert, on comprime l'air dans l'appareil jusqu'à 4 atmosphères, par exemple; on introduit une balle dans le canon A et on lâche la détente *d*; la balle est alors lancée dans l'ajutage *i*. Il semble, au premier abord, que la pression qui ferme la soupape *s* étant de 4 atmosphères comme celle qui a chassé la balle, ces deux pressions doivent se faire équilibre, et que la seconde ne saurait vaincre la première. Pourtant la balle ouvre la soupape *s* et elle pénètre avec une certaine force dans le cylindre. Il y a plus : si on ne comprime que jusqu'à 2 atmosphères l'air de la crosse R qui doit lancer la balle, et qu'on élève jusqu'à 4 atmosphères la pression du cylindre qui doit recevoir le projectile, on peut lâcher la détente : la balle ouvrira encore la soupape *s* et pénétrera dans l'air comprimé à 4 atmosphères. Mais si au lieu d'employer des balles métalliques qui possèdent une grande densité, on répète l'expérience avec des balles de bois ou de liége, ces projectiles, quoique soumis à la même force, ne pourront vaincre la résistance qu'oppose la soupape *s*, puisque vu leur faible masse, ils ne peuvent acquérir une force vive suffisante.

On peut expliquer de la même façon le fonctionnement de l'injecteur Giffard dans l'alimentation des chaudières à vapeur; seulement, dans cet appareil, la balle se trouve remplacée par une colonne liquide d'une certaine longueur.

7. *Machines à piston.* Il nous semble intéressant de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner, d'après un ouvrage anglais, la description d'une machine à air comprimé analogue à une machine à vapeur qui a été établie dans une mine et qui fonctionne avec succès depuis plusieurs années.

Il se présente dans l'industrie certaines circonstances où la machine à vapeur ne peut être appliquée avec avantage ou sans danger, comme pour mettre en mouvement les machines d'une fabrique de poudre ou effectuer un travail mécanique dans l'intérieur d'une mine de houille, sujette au grisou ; on peut alors employer utilement l'air comprimé qui offre l'avantage de pouvoir être conduit à une grande distance pour mettre en mouvement des machines motrices.

On peut citer comme modèle de ce genre de machines celle établie, il y a quelques années, aux mines de Govan, près de Glascow, où il était difficile d'aérer et de faire mouvoir les pompes d'un second puits, distant de près d'un demi-mille du puits d'extraction. La situation ne permettait pas d'y établir un corps de chaudières et la distance était trop grande pour conduire la vapeur de la première machine par des tuyaux. Le directeur, M. James Allan, songea à employer la puissance de l'eau et chargea M. Randolph de Glascow d'exécuter ce projet ; mais celui-ci, à la suggestion de M. David Elder, proposa l'emploi de l'air comprimé fourni par une pompe de compression, mue par la machine à vapeur, et conduit au fond du second puits, pour y mettre en mouvement une machine semblable à une machine à vapeur sans condensation, l'air devant servir, à la fois, à effectuer un travail et à ventiler la mine. Ce plan fut adopté et la machine, dessinée et construite par MM. Randolph, Essiot et Cᵉ, a parfaitement atteint le but proposé.

La fig. 3321 est une coupe verticale de la machine de compression, dans laquelle le cylindre à vapeur C a 15 pouces de diamètre et sa course est de 3 pieds; il met en mouvement deux pompes de compression P, P, qui se meuvent alternativement, étant placées à droite et à gauche de l'axe du balancier, envoyant l'air dans le réservoir N, N, placé au centre, auquel est adapté le tuyau de conduite M. Le balancier porte à son extrémité une bielle qui met en mouvement un volant qui régularise le mouvement.

Les pompes à air P, P ont 21 pouces de diamètre et

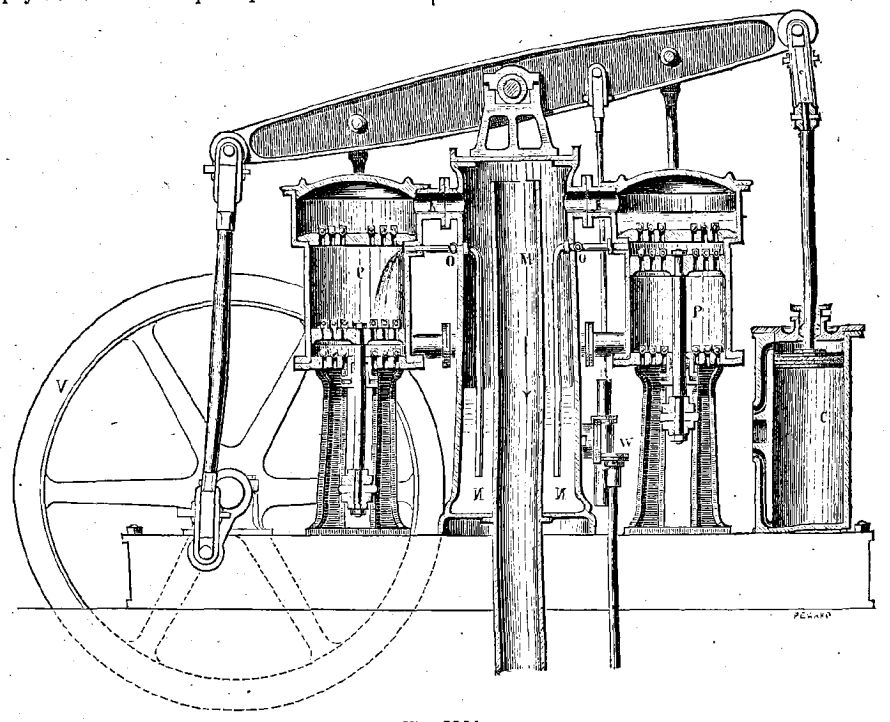


Fig. 3321.

une course de 18 pouces; les tiges du piston sont placées à la partie inférieure (au moyen d'un cadre), afin d'éviter un stuffing box en haut, dans l'air comprimé, et leur tête est guidée dans une glissière. Les pompes ont des soupapes sphériques, dont il existe trois séries sur chaque pompe, chacune consistant en 44 balles de laiton de 2 pouces de diamètre, disposées en 3 rangées concentriques. Chaque balle est maintenue par une petite cage.

Comme la pression de l'air monte jusqu'à 30 livres par pouce carré, on laisse, pour éviter les fuites par les soupapes, une couche d'eau sur le piston qui couvre celles-ci, aussi bien pour la sortie que pour l'entrée de l'air. Une petite pompe W, de 3 pouces de diamètre et 10 pouces de course, est employée à fournir l'eau dans ce but, et l'envoie du centre du réservoir KN, duquel elle sort par les petits tuyaux ON, dans chacune des pompes à air, dans la période de descente, la quantité étant réglée pour chaque tuyau par un robinet O. L'excès d'eau est renvoyé à chaque ascension, par les conduites de sortie, dans le réservoir central. De cette manière, l'air est entièrement chassé, et il n'y a pas de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pertes de travail par suite de l'expansion de l'air derrière le piston, au commencement de la course descendante.

Le niveau de l'eau dans le réservoir central est réglé au moyen d'un tube de niveau d'eau placé sur le devant.

L'air est envoyé dans un réservoir placé près des pompes à air. Les tiges de celles-ci sont enveloppées de laiton pour éviter toute corrosion ; il en est de même des faces des pistons. Ceux-ci n'ont pas de garniture, mais sont seulement tournés avec soin au diamètre du cylindre.

La vitesse de la machine est de 25 tours par minute, avec une pression moyenne de 18 livres par pouce carré, fournissant une pression finale de l'air d'environ 20 livres par pouce carré.

La machine à air des puits inférieurs a un cylindre d'un diamètre de 10 pouces; la course est de 18 pouces et elle fait habituellement 25 tours par minute; c'est une vieille machine à vapeur à haute pression.

On avait compté y employer de l'air à la pression de 30 livres par pouce carré, et, à cette pression, on pensait que la chaleur dégagée par la compression serait considérable; on avait calculé que l'on atteindrait le point de fusion de l'étain. Grâce aux dispositions adoptées, la chaleur est absorbée par l'eau qui recouvre les soupapes de la pompe de compression, aussitôt qu'elle est engendrée; une portion de l'eau étant entraînée dans le tuyau de conduite sous forme de vapeur, elle s'y condense et des dispositions sont prises pour enlever, de temps en temps, cette eau de condensation, au moyen d'un robinet placé à la partie inférieure du puits. La pression de l'air de la machine à air est d'environ 1 livre par pouce carré moindre que celle fournie par la pompe de compression à l'ouverture du puits. L'absorption de chaleur due au dégagement de l'air comprimé à chaque coup de piston, cause assez de froid pour qu'en hiver la machine soit quelquefois arrêtée par la formation de la glace dans le tuyau de sortie.

La machine à air comprimé qui vient d'être décrite a été connue par une notice lue à l'Institution des ingénieurs-mécaniciens, à leur réunion à Glascow, en septembre 1856. M. Randolph a expliqué que la préoccupation des constructeurs s'était surtout portée sur le développement de chaleur que devait produire la compression, et que l'emploi de l'eau avait à la fois remédié à cet inconvénient et supprimé l'espace nuisible qui résultait de la saillie des soupapes. Il évalue la température de l'air, dans la colonne principale, de 90 à 140° fahr. suivant la vitesse du piston et l'état de l'atmosphère; ce qui montre bien que, si on n'avait pas fait usage de l'eau, la machine eût été sûrement altérée quand on aurait comprimé l'air à 20 livres par pouce carré, ce qui eût conduit dans le voisinage de la température du point de fusion de l'étain.

Les trois séries de soupapes ont été employées pour assurer l'action des pompes. On comptait faire en guttapercha les soupapes du plateau inférieur, qui, par leur faible poids, eussent rendu plus facile l'entrée de l'air sans pression en ce moment; la difficulté de trouver des sphères bien régulières en cette matière, y a fait renoncer.

L'appareil a marché depuis son établissement sans aucune réparation, sauf le remplacement de quelques cages de soupapes.

Percement du Mont-Cenis. Le percement du Mont-Cenis, au moyen de l'emploi de l'air comprimé, a fixé l'attention publique dans ces dernières années sur un mode de travail extrêmement ingénieux et qui consiste à utiliser la chute de l'eau des torrents, des cours d'eau, qui descendent sur les flancs de la montagne, pour leur faire opérer une part importante du percement de celle-ci. Le rapport de l'ingénieur italien L.-F. Menabrea, sur les moyens proposés par MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller, et qui a décidé l'exécution, est un modèle à conserver, car il définissait et jugeait parfaitement la nouvelle entreprise et la pratique a justifié ses prévisions. Nous en reprodvisons ici les passages les plus importants :

« La base de ce système est une machine destinée à comprimer l'air, dite *compresseur hydraulique*. Cet appareil consiste en un syphon renversé, qui, d'un côté, est en communication avec une prise d'eau, et, de l'autre, avec un réservoir à air comprimé. L'eau descend, se précipite dans la première branche du syphon, remonte dans la deuxième et y comprime l'air qui s'y trouve; cet air, lorsqu'il est arrivé à un degré de compression suffisant, ouvre une soupape qui l'introduit dans le réservoir. Alors la soupape de vidange s'ouvre, et, lorsque l'eau de la deuxième branche du syphon est évacuée, le mouvement recommence. Le mouvement des soupapes d'admission de l'eau et de vidange est réglé par une petite machine à colonne d'eau. L'air dans le réservoir est maintenu à une pression constante au moyen d'un fort manomètre à cau. La force vive acquise par l'eau dans le syphon est utilisée pour opérer la compression de l'air ; ainsi, avec une chute d'eau de 20 mètres, on a pu comprimer l'air à six atmosphères soit près de 62 mètres de hauteur d'eau de pression.

« La fig. 3322 représente le compresseur. A est la soupape d'admission, B celle de vidange, R le réservoir d'air.

« La commission nommée par le gouvernement sarde fit une série d'expériences sur un compresseur de la force d'environ quatre chevaux et demi effectifs.

« La chute était de 20 mètres environ et la pression de l'air atteignait six atmosphères. La proportion du travail utile au travail théorique était de 0m,50. Un examen attentif de la machine démontra qu'il serait facile d'atteindre la proportion de 60 p. 100. La machine marchait avec une régularité remarquable. On avait d'abord craint que l'air ne s'élevât à une haute température par l'effet de la compression; mais on remarqua qu'après avoir fait travailler la machine pendant longtemps, cette température ne dépassa jamais de plus de 30 degrés la température extérieure, résultat dû à ce que le piston qui opérait la compression était une colonne d'eau qui se renouvelait sans cesse.

« Les réservoirs, de la capacité de 8 mètres cubes, étaient formés de chaudières ordinaires à vapeur. Ils avaient été goudronnés intérieurement, ce qui les rendait parfaitement étanches.

« Après avoir expérimenté la machine, la Commission établit une série d'expériences sur le mouvement de l'air dans les tubes. A cet effet, on disposa des tubes du diamètre intérieur de 60 milimètres.

« Leur développement total était de 399 mètres, composé de :

Tubes en plomb.	301 m. de long.
Tubes en caoutchouc revêtus extérieurement de toile..	98 —
Total.	399 m. de long.

« Il y avait 18 diaphragmes qui restreignaient la section à 53 millimètres de diamètre; les tubes formaient 76 spires de 1m10 environ de diamètre. On fit varier la section de l'orifice d'écoulement de 18mm43 à 492mm84.

« L'air dans le réservoir était maintenu à une pression constante par une colonne d'eau de 51 mètres de hauteur environ. Afin de mesurer la perte de pression qui avait lieu dans la conduite, on établit deux vases remplis de mercure, communiquant, l'un avec le réservoir à air, à l'origine de la conduite, l'autre avec l'extrémité de celle-ci. Deux tubes étaient adaptés verticalement, un à chacun de ces vases; leurs extrémités infé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

AIR COMPRIMÉ.

rieures plongeaient dans le mercure qui s'élevait librement dans ces tubes, dont les extrémités supérieures communiquaient avec l'atmosphère. Le résultat des expériences est consigné dans le tableau suivant :

Section de l'orifice. millim. car.	Vitesse dans la conduite. mètres.	Vitesse à l'orifice de la conduite. mètres.	Manomètre à l'origine de la conduite. mètres.	Perte de pression observée. mètres.
18,13	1,012	149,0	0,3780	0,0039
63,43	3,197	144,2	0,3775	0,0582
63,43	3,604	160,6	0,3814	0,0609
63,43	4,106	183,0	0,3740	0,0608
81,56	4,415	150,9	0,3783	0,0683
179,07	10,157	160,4	0,3689	0,3910
342,59	10,100	136,6	0,3751	0,9038
492,56	16,460	105,9	0,3592	0,5560

« Toutes ces expériences sont représentées par une courbe de forme très-régulière. Les résultats qu'on en déduit s'éloignent notablement de ceux assez généralement admis d'après d'autres expériences assez incomplètes; ils se rapprochent, au contraire, de ceux auxquels ont été conduits Poncelet et Pecqueur, dans des expériences qu'il est à regretter qu'on n'ait pas publiées.

« On peut donc déduire avec certitude des expériences que nous avons faites, que, à la distance de 6,500 mètres (moitié de la longueur de la galerie des Alpes), pour un tube de 10 centimètres de diamètre, avec une vitesse de 5 mètres à l'origine de la conduite, et une pression de 6 atmosphères dans le réservoir, la perte de pression ne serait que de 1 1/3 atmosphère : ce résultat, déduit d'expériences faites avec le plus grand soin et sur une vaste échelle, suffit pour dissiper toutes les craintes que l'on aurait pu concevoir sur la possibilité de conduire de l'air dans le centre de la montagne.

« Après avoir établi ce fait important, la Commission s'est occupée de l'emploi de l'air comprimé comme force motrice. Elle a d'abord expérimenté sur un perforateur inventé par M. Bartlett, dans lequel on avait substitué l'air comprimé à la vapeur qui le faisait primitivement mouvoir. Le succès de la substitution de l'air à la vapeur fut complet.

« On essaya ensuite un autre perforateur très-simple et de peu de volume, inventé par M. Sommeiller; cette nouvelle machine réussit parfaitement. (Voy. PERFORATEUR.) Ainsi la question de l'air comprimé comme force motrice est résolue.

« On a constaté un fait important dans la question dont il s'agit : c'est que, par l'effet de la dilatation rapide de l'air comprimé à 6 atmosphères lorsqu'il sort de la machine, l'eau située à proximité de la machine se congelait, quoique la température fût moyennement de 18 degrés.

« Avec les perforateurs à air, on a pratiqué des trous de mine dans des roches de diverses espèces, depuis les calcaires tendres jusqu'aux *siénites* les plus dures, et il a été constaté qu'en employant cet appareil, on faisait

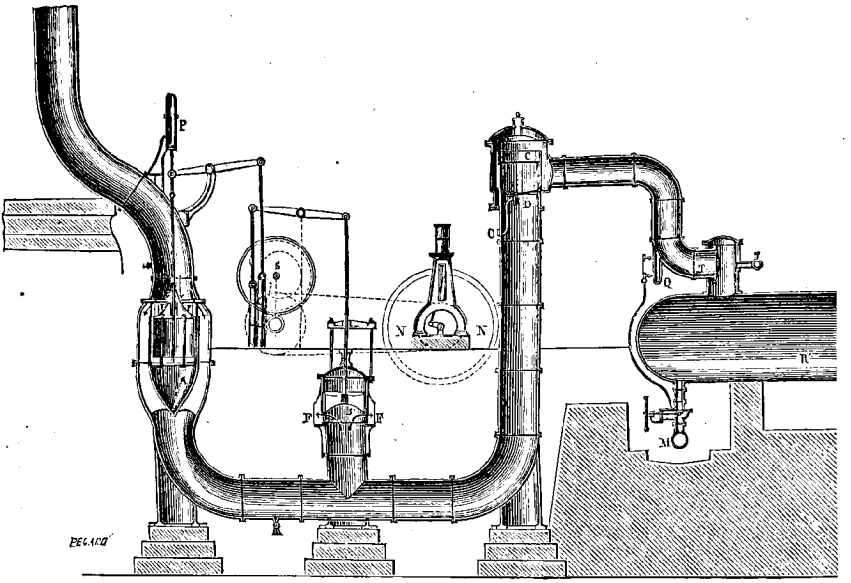


Fig. 3322.

moyennement un trou de mine *douze fois* plus vite qu'avec les moyens ordinaires actuellement en usage. Pour apprécier l'importance de ce résultat, il suffit d'observer que, dans la formation des galeries de mines, les *trois quarts* du temps total sont employés pour faire les *seuls trous de mines;* l'autre *quart* suffit pour charger les mines, en déterminer l'explosion, et pour déblayer.

« Si donc, par le moyen des nouveaux appareils, on diminue dans une proportion si considérable la proportion principale du temps employé ordinairement à la formation des galeries de mines, il est évident que l'on aura résolu la partie la plus importante du percement des Alpes, celui de l'accélération du travail.

« Mais il y a plus : les nouveaux perforateurs occupent peu d'espace; là où trois couples de mineurs à peine peuvent travailler, on peut placer jusqu'à dix-huit perforateurs, ce qui sera un nouvel élément pour rendre le travail plus rapide.

« La petite galerie sera de section rectangulaire de $2^m,50$ de côté.

« Afin de rendre les déblais plus faciles, on a imaginé un système d'appareils très-simples; d'un autre côté,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pour faciliter les manœuvres et pour éviter les dangers que présenterait une galerie de petite section, l'on formera simultanément la galerie à grande section, qui suivra celle à petite section à la distance d'environ 200 mètres.

Nous décrirons, pour compléter cette description, le compresseur à piston agissant sous l'eau, établi du côté de Modane, et mis en mouvement par des roues hydrauliques ; c'est, croyons-nous, l'appareil le plus convenable connu à ce jour. Il est représenté fig. 3323,

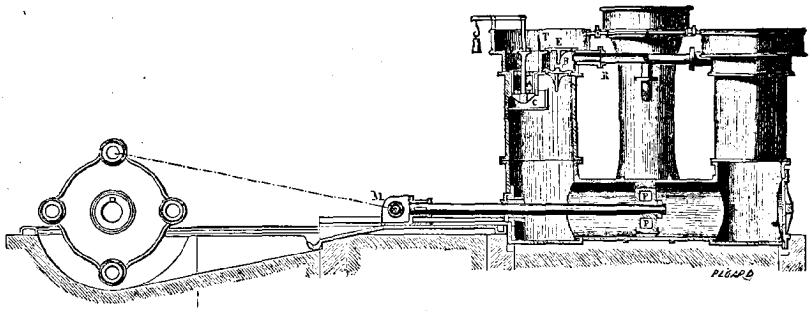


Fig. 3323.

« D'après les données précédentes, les auteurs du projet espèrent, dans six ans, avoir terminé la galerie des Alpes. Ils évaluent à 3 mètres par jour l'avancement de chaque côté de la montagne, c'est-à-dire à 6 mètres par jour en total; tandis que, par les moyens ordinaires, l'avancement de chaque galerie ne dépasserait pas 0m,45 à 0m,50 par jour, et en total 0m,90 à 1 mètre.

« Je résumerai, en terminant, les données principales relatives à la galerie. Sa longueur totale est de 12,500 mèt., comme il a été dit. Elle est tracée dans un même plan vertical; mais elle se divise en deux pentes vers les deux orifices, afin de faciliter l'écoulement des eaux que l'on pourrait rencontrer. L'orifice méridional de la galerie, vers Bardonèche, est à la cote de 1,324 mètres au-dessus du niveau de la mer. A partir de ce point, la galerie s'élève avec une pente moyenne de 5 p. 1,000 sur une distance de 6,250 mèt. jusqu'à la cote 1,335 m., qui est le point culminant; de là, elle descend sur une longueur pareille de 6,250 mètres, avec une pente moyenne de 23 p. 1,000, jusqu'à l'orifice septentrional vers Modane, qui est à la cote 1,190 mètres. La crête de la montagne se trouve au-dessus du point culminant, à une élévation verticale de 1,600 mètres environ.

« On a calculé que, pour l'aération nécessaire au renouvellement de l'air vicié par la respiration, par les lumières et par la poudre employée pour les mines, il fallait, dans chacun des deux troncs de galerie, 86,924 mètres cubes d'air par vingt-quatre heures à la pression atmosphérique, soit 14,320 mètres cubes à la pression de 6 atmosphères.

« La quantité d'air nécessaire pour faire mouvoir les perforateurs n'est que de 667 mètres cubes à 6 atmosphères de pression. Ainsi l'air comprimé, après avoir agi comme force motrice, contribuera en partie à l'aération. Du côté de Bardonèche, il existe plusieurs torrents qui ne tarissent jamais, et dont la chute est capable de comprimer au moins 98,064 mètres cubes d'air par jour et de les réduire à la pression de 6 atmosphères.

« Du côté de Modane, on a l'Arc, torrent rapide, et dont la pente considérable fournit une force qui dépasse de beaucoup celle requise. »

Toutes les prévisions de l'excellent travail que nous venons de citer se sont réalisées. On avait dépassé, en janvier 1868, 7,000 mètres sur 12,000, et si l'avancement journalier a été moindre qu'on n'avait espéré, il est arrivé avant la fin du travail à la longueur de 3 mètres fixée au début.

et est formé d'une espèce de tube recourbé, à deux branches égales, munies à la partie supérieure de deux soupapes A, B : la première s'ouvrant du dehors en dedans et fermée par un poids, et la seconde du dedans au dehors, ouvrant un passage à l'air comprimé qui se rend dans le réservoir intermédiaire R. Dans la partie horizontale se meut un piston qui, par l'effet d'une bielle motrice, prend un mouvement de va-et-vient ; ce piston est plongé dans une colonne d'eau qui remplit à moitié les tubes verticaux, lorsqu'il est au milieu des tuyaux. L'air est donc comprimé par des pistons d'eau ne pouvant permettre aucune fuite.

Le piston fait huit oscillations par minute; sa course est de 1,20 et le diamètre du corps de pompe de 0m,57. Une semblable pompe comprime 7027 mètres cubes par vingt-quatre heures.

8. *Distribution de la force à domicile.* — L'air comprimé étant susceptible d'engendrer un travail moteur aussitôt qu'on le fait agir dans des appareils convenables, par exemple sur les faces d'un piston dans une machine entièrement semblable à une machine à vapeur à haute pression, il semble naturel de chercher les moyens de mettre de l'air comprimé à la disposition des ateliers où l'on a besoin d'un travail moteur, mais qui ne sont pas assez considérables pour qu'on puisse y faire la dépense d'une machine à vapeur fonctionnant dans des conditions avantageuses.

Deux moyens sont évidemment possibles pour atteindre ce but : l'un de transporter des réservoirs d'air comprimé, comme on transporte tout genre de marchandise; l'autre de l'envoyer aux points de consommation au moyen d'une canalisation, comme on le fait pour le gaz d'éclairage. La supériorité de ce dernier système, dans lequel les frais de transports peuvent se réduire à une faible dépense, si la quantité de travail transmis est considérable, n'est pas douteuse; toutefois permet-elle d'arriver à distribuer la force à domicile dans les grandes villes, comme on distribue le gaz d'éclairage ou l'eau qui pourrait aussi, partant d'un niveau élevé, être utilisée comme productrice du travail moteur? Il était curieux de faire tous les calculs d'un semblable système; c'est ce qu'a fait M. Biez pour Paris, sous la direction de M. Sommeiller, l'ingénieur le plus capable de diriger une semblable organisation, grâce à l'expérience qu'il a acquise dans ses travaux du mont Cenis.

Ils se sont proposé ce problème : Produire la compression de l'air au moyen de puissantes machines à vapeur, l'envoyer à domicile au moyen de tuyaux pour mettre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en mouvement de petites machines à air qui seraient plus économiques que les machines à gaz combustibles, et même que les petites machines à vapeur pour lesquelles les frais généraux (le salaire d'un chauffeur notamment) et la dépense de combustible sont bien plus onéreux, par cheval-vapeur, que pour des machines de grande puissance.

La première chose à faire était de déterminer l'effet utile des machines de compression. Des expériences faites à Modane ont donné, suivant l'auteur du projet, 45,33 p. 100 du travail moteur.

Ces expériences ont été faites sur les machines primitives établies dès le début de l'entreprise de la percée des Alpes; aussi M. Sommeiller ne doute pas que, dans l'application future, le rendement ne puisse être augmenté de beaucoup, grâce à des améliorations qu'il se propose d'apporter dans l'ensemble des machines.

Ce n'est pas, au reste, le fait du rendement qui doit entraîner le prix élevé de l'air comprimé; c'est qu'il faut immobiliser un capital considérable, tout d'abord, pour une canalisation étendue et les achats de terrains et les machines nécessaires.

En entrant dans l'examen de ce prix, le projet suppose la vente des 7/10 de la production à 0 fr. 16, et les 3/10 à 0 fr. 12. Or un cheval-vapeur revient par heure à 0,612 avec une locomotive d'un cheval, à 0,389 avec une machine de 3 chevaux, à 0,339, avec une machine de 10 chevaux; enfin, pour des machines de 100 chevaux, l'auteur arrive à 0,06 seulement, ce qui lui permet, avec un prix moyen de vente, de la totalité de la production, de 0 fr. 148 le mètre cube, de donner le cheval par heure à 0 fr. 62 (4,50 mèt. cubes à 6 atmosphères).

Un fait capital, ajoute l'auteur du projet, vient du reste donner tout avantage à l'air comprimé sur la vapeur pour les petites forces : c'est que la consommation a lieu seulement pendant le temps que la machine à air est en marche. Si, par exemple, sa marche a duré quatre heures par jour, *disséminées* dans un travail de dix heures, la dépense sera représentée par 0 fr. 62 × 4, soit 2 fr. 48; tandis que, pour la vapeur, on aurait dû toujours maintenir la pression, et que, pour une machine d'un cheval, on aurait, pour un travail de quatre heures *suivies* dans une journée, une dépense de 0 fr. 90 × 4, soit 3 fr. 60.

C'est ce qui, malgré la dépense de 0 fr. 78 par cheval et par heure de la machine à gaz, dépense à laquelle il faut ajouter les frais d'entretien et d'amortissement, l'a fait préférer dans beaucoup de cas à la machine à vapeur.

A propos du choix de la force initiale, il est incontestable, en principe, que le moteur hydraulique est le moins coûteux. Notre première pensée, disent les auteurs du projet, à la publication desquels nous empruntons ce qui suit, a dû être d'utiliser les forces perdues résultant des barrages de la Seine. L'exemple de l'application au mont Cenis nous y poussait.

Un canal y prend l'eau dans le torrent de la vallée, l'amène sur des roues à augets qui font mouvoir directement les machines à comprimer; un canal de décharge la restitue au torrent, à un point assez éloigné de l'usine pour qu'aucune crue des eaux ne puisse venir l'obstruer et arrêter les travaux. A la prise, des vannes réglées laissent passer la quantité d'eau normale, toujours la même, quelle que soit la grosseur du torrent. Nous avons assisté au triste spectacle de toute la vallée inondée, de routes emportées par une crue des plus considérables, sans que le travail de compression ait eu besoin d'être interrompu. De plus, en hiver, la rapidité du courant empêche les gélées.

L'examen de l'état des choses, à Paris, nous a amené à reconnaître de grandes différences; nous ne pouvions utiliser les forces perdues de la Seine que sur le lieu même où elles se produisent; là les crues d'eau et les gelées en hiver, la diminution d'eau en été, sont autant d'entraves à un projet de production régulière; et, dans le cas de crues considérables, comme celles qui se sont produites cet hiver, si on avait le bonheur d'éviter à l'usine de sérieuses avaries, on se trouverait forcément arrêté pendant de longs jours.

Une industrie considérable, mais unique, cherchant pour ses besoins individuels une force économique, trouvera là un grand secours, et faisant entrer en ligne de compte ces irrégularités, sa production générale n'aura pas à en souffrir. Nous ne sommes pas dans ce cas; ce qu'il nous faut, c'est une force toujours prête à être distribuée à une quantité considérable d'ateliers, qui ont tous des intérêts divers et ont besoin de cette force à un moment donné; il la faut constante et que, comme l'eau et le gaz, elle réponde aux besoins journaliers de chacun. Qu'il y ait une interruption de quelques heures, des milliers d'industriels seront lésés dans leur intérêt matériel, et nous verrions tous les adhérents à notre système l'abandonner pour jamais. La vapeur, au contraire met à notre disposition cette force constante. Un groupe de machines étant installé, il n'y a jamais d'interruption complète; si l'une se dérange, les autres y suppléent pendant la réparation.

Il pourrait venir à l'idée de recourir à des réservoirs pour emmagasiner la force, et ce système serait possible s'il s'agissait de la produire en quantité peu considérable. L'air comprimé emmagasiné serait maintenu à la même pression par une colonne d'eau faisant équilibre à sa pression jusqu'à son entière consommation, et venant, par conséquent, le remplacer au fur et à mesure de son écoulement. Mais si on opère sur 3000 chevaux, comme dans le projet dont parle notre brochure, on arrive à des chiffres tels que la réalisation n'est plus possible. A 4m,200 par cheval et par heure, il faudrait, pour un seul jour de 15 heures de travail, un ou plusieurs réservoirs d'une contenance de 190,000 mètres cubes. La difficulté de l'emplacement est déjà un obstacle, s'il n'était évident que la dépense de pareilles constructions absorberait, et bien au delà, l'économie résultant du moteur hydraulique; et, troisième impossibilité, il faudrait une colonne d'eau fournissant en un jour 190,000 mètres cubes, pour maintenir jusqu'au bout la pression au même degré.

Un projet affectant de telles proportions tombe forcément de lui-même.

Il pouvait venir enfin à la pensée de comprimer, toujours au moyen d'un moteur hydraulique puissant, à des pressions très-élevées (50 à 100 atmosphères par exemple), dans des réservoirs, quitte à faire détendre ensuite l'air et le ramener à la pression demandée dans les canaux de conduite. Le volume des réservoirs diminuait alors considérablement, et il n'était plus question de colonne d'eau pour maintenir la pression. Un obstacle aussi grave que ceux cités plus haut s'y opposait : c'est l'énorme production de froid résultant de la détente qui aurait pour conséquence de congeler toute l'eau ambiante dans l'air, d'obstruer les canaux, et d'ôter toute régularité dans la consommation, si elle ne l'arrêtait pas complétement; et, par réciprocité, la compression ne serait pas possible pratiquement, l'énorme chaleur qui se dégagerait empêcherait tout travail utile. La compression à ce degré est plutôt le domaine du cabinet que destinée à servir à l'industrie.

Le système employé par l'administration des lignes télégraphiques, pour comprimer l'air dont elle se sert pour le transport des dépêches, est le plus simple en principe; mais à Paris il devient très-coûteux, du moment où l'eau est vendu à l'administration 0 fr. 07 le mètre cube. Le mètre cube comprimé à une atmosphère et demie revient à 0 fr. 105 par le fait seul de la dépense d'eau, sans tenir compte de l'intérêt et de l'a-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mortissement du capital immobilisé pour l'installation.

L'effet frigorifique de la détente dont parle ici l'auteur du projet n'est pas moins préjudiciable aux pressions modérées, et il y aurait avantage, dans les villes où se rencontre le gaz courant, à employer un bon système de réchauffeur, une enveloppe chauffée au gaz, qui viendrait ajouter une utilisation de chaleur à celle de la compression, que le froid produit par la détente réduit, comme nous l'avons vu, dans une proportion considérable. Ce n'est pas trop d'une amélioration semblable pour permettre l'application d'un système de ce genre à l'aide d'une canalisation coûteuse, que de le combiner avec une utilisation complète de chaleur obtenue simultanément. Il ne paraît, dans l'état actuel des choses (sauf les applications à la ventilation et à la propulsion dans les tuyaux), que l'air comprimé soit un moyen de transmission de travail avantageux pour de grandes distances, si ce n'est pour de grandes quantités de travail, pour desservir des centres importants de fabrication. C'est le moyen à employer quand le procédé Hirn devient insuffisant, que la distance est trop grande, atteint par exemple 3 ou 4000 mètres.

9. *Compression et transport du gaz comprimé.* — L'idée de comprimer de l'air dans un réservoir, pour le transporter sur des voitures au lieu où il doit être employé, ne paraît pas pouvoir conduire à un système admissible; il serait toujours, quelles que soient les dispositions de détail que l'on peut imaginer, très-défectueux, et au point de vue économique, trop dispendieux. On peut en juger par les frais auxquels entraîne ce système, parfaitement organisé dans un cas particulier par des ingénieurs distingués, MM. d'Hurcourt et Hugon. Nous voulons parler du gaz comprimé, qui est exploité à Paris, rue de Charonne. Du gaz de boghead, très-éclairant, est comprimé à 11 atmosphères, par des pompes à piston plongeur, dans des voitures gazomètres renfermant 12 réservoirs cylindriques de 40 cent. de diamètre. Ces voitures transportent le gaz chez le consommateur, qui est alimenté par plusieurs réservoirs analogues aux précédents, et dans lesquels on fait passer le gaz de la voiture, en les mettant en communication avec ceux-ci par des tuyaux convenables.

Il est évident que de semblables dispositions, indépendamment des frais propres aux appareils d'éclairage proprement dits, ne sauraient lutter avec une canalisation continue, dès que les consommateurs sont un peu nombreux et un peu rapprochés. Aussi le gaz portatif n'essaye-t-il pas de lutter avec le gaz courant; il ne trouve ses débouchés qu'en dehors de la sphère d'action des usines de cette nature, et encore là, dès que les consommateurs se multiplient quelque peu, il tend à se transformer, comme nous l'avons dit à l'article ÉCLAIRAGE.

Cette expérience, faite sur un gaz vendu 40 centimes le mètre cube, dont les frais de transport empêchent la vente d'être sérieusement profitable, montre bien que de l'air comprimé, qui pourrait difficilement être vendu plus de 10 ou 15 cent. le mètre cube, ne saurait supporter les frais de transport en voiture.

10. *Chemins de fer.* — L'exploitation des chemins de fer est-elle possible au moyen de l'air comprimé? L'expérience paraît conduire à une réponse négative; les divers essais tentés dans cette direction ont été infructueux et on ne voit guère quelle voie on pourrait prendre pour obtenir, avec son aide, des résultats plus avantageux que ceux donnés par la locomotive. Nous passerons en revue les diverses tentatives qui ont été faites.

Locomotives à air comprimé. — La solution qui se présente la première à l'esprit, celle qui a été expérimentée par M. Andraud, consiste à employer en quelque sorte la locomotive ordinaire en faisant de la chaudière un réservoir d'air comprimé. Mais il n'est pas besoin d'un long examen pour voir que cette substitution ne donne pas l'équivalent de la locomotive, si on n'y joint un équivalent de la houille et de l'eau emportées par la locomotive, c'est-à-dire la possibilité de renouveler un très-grand nombre de fois la quantité de travail moteur emmagasiné dans la chaudière par le gaz à une pression élevée. C'est cependant sous la forme simple d'un réservoir renfermant de l'air comprimé au départ que le système a été essayé par M. Andraud, et l'expérience lui a montré bien vite qu'il ne pouvait obtenir ainsi que des parcours de longueur minime. C'est ce qu'un simple calcul, fait en exagérant les résultats qu'il est possible d'obtenir dans la pratique, montrera facilement.

Soit une énorme locomotive à air, dont la chaudière, le réservoir, ait une capacité de 10 m.c. dans lequel l'air soit comprimé à 10 atm.

D'après le tableau donné ci-dessus, en admettant une utilisation complète, quand il serait peut-être difficile d'atteindre 50 p. 100, en supposant encore que l'on fournisse assez de chaleur à l'air pour que la détente de l'air se produise à température constante (ce qui revient à ajouter une locomotive à feu à la première), le mètre cube d'air ne produit par heure que 0,88 de cheval-vapeur, et les 10 mètres cubes 8,8. Il ne faudrait donc pas que le travail durât plus de 1/10 d'heure ou 6 minutes, ou à 50 p. 100 3 minutes, pour que la puissance fût de 88 chevaux-vapeur *théoriques*, c'est-à-dire la puissance égalât d'une locomotive à vapeur.

On comprend donc l'emploi d'une réunion de semblables machines de ce genre pour la traversée de tunnels d'une ventilation difficile, à l'entrée desquels on dispose de puissances naturelles pouvant fournir à bon marché de l'air comprimé, pour le tunnel du mont Cenis, par exemple; mais pour l'exploitation courante des chemins de fer, l'application d'un pareil système est inadmissible.

Aussi, instruit par l'expérience d'un essai fait de Paris à Clamart sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), M. Andraud proposa de compléter son système, en accompagnant le chemin de fer d'une conduite d'air comprimé, afin de pouvoir fréquemment recharger le réservoir. La multiplicité des arrêts, la dépense de la canalisation et des usines de compression, la faiblesse de rendement, si on n'en réchauffe pas l'air en retrouvant partie des dépenses de la locomotion ordinaire, sont bien des motifs qui doivent faire condamner ce système.

Chemins de fer Chameroy. — Toutefois si l'on admet une position où l'abondance des transports soit tellement grande que la dépense d'une canalisation continue d'air comprimé soit possible, ou bien où la fumée de la locomotive soit à éviter absolument, et une ventilation abondante soit nécessaire, il semble qu'il n'y a plus lieu alors de conserver un système plus ou moins dérivé de la locomotive, machine établie à un point de vue tout autre et qu'il y a à supprimer des arrêts incessants.

Le plus curieux essai dans une direction analogue à celle que l'on pourrait alors, sans doute, suivre, est celui tenté par M. Chameroy, l'ingénieux inventeur des tuyaux en tôle et bitume. Il disposait au milieu de la voie, de 25 en 25 mètres par exemple, des espèces de fuseaux tubulaires en communication avec la conduite d'air comprimé. La voiture placée sur le chemin de fer portait un tube fermé par des soupapes qui, par le mouvement, venait coiffer le fuseau, faisait tourner un robinet qui donnant passage à l'air comprimé qui venait agir sur la soupape alors fermée du tube, produisait une impulsion.

Il n'est pas besoin d'insister plus longtemps sur ce pre-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mier essai curieux, mais évidemment encore bien éloigné d'une réalisation pratique quelque peu satisfaisante.

Chemins de fer éoliques. — M. Andraud a résumé ses recherches dans un système qu'il a expérimenté longtemps et dont la pratique a montré l'inapplicabilité (voyez CHEMIN DE FER). Il est assez curieux et mérite assez de tenir sa place dans l'histoire des inventions pour que nous devions en donner ici la description; nous l'empruntons au mémoire de M. Gaugain :

Ce nouveau système de traction sur les voies ferrées, inventé et expérimenté par M. Andraud en 1849, consiste, outre la voie ordinaire, en un tube posé sur une longuerine centrale qui règne tout le long de la voie et qui est fixée de mètre en mètre sur les traverses.

Ce tube est composé de trois parties distinctes :

1° Un tube intérieur en toile de coton, à cinq ou six épaisseurs, enduite de caoutchouc ;

2° Un fort tube en toile de chanvre, tissu sans couture et de force à supporter, sans se rompre, une pression intérieure de 5 à 6 atmosphères;

3° Une toile de recouvrement destinée à protéger le tube proprement dit.

L'enveloppe intérieure assure *l'herméticité;* celle de chanvre, *la résistance*, et la supérieure, *la conservation* des deux autres.

Le tout est fixé au madrier central, soit par des clous, soit avec de la glu marine, de sorte que c'est le madrier inerte qui supporte l'effort de traction. La toile de recouvrement supporte seule la friction du cylindre tracteur et en garantit le tube propulseur.

Dans ce système, pas de locomotive. Des pompes mues par un moyen quelconque compriment l'air et l'emmagasinent dans un tube-réservoir placé en dehors de la voie, à fleur de terre et susceptible de supporter l'air très-comprimé. Le tube central est mis en communication avec ce réservoir, au moyen de robinets.

Le convoi se compose de plusieurs voitures, dont la première en tête porte en dessous un cylindre dit *cylindre tracteur*, en cuivre, qui s'appuie sur le tube central.

Les choses ainsi disposées, si, à l'arrière du convoi, de l'air provenant du réservoir est injecté dans le tube, celui-ci se gonflera, tendra à soulever le cylindre et la voiture; et, comme le poids du véhicule est supérieur à l'effort produit par l'air comprimé, le cylindre prendra un mouvement de rotation, et entraînera le convoi avec d'autant plus de vitesse, que le tube sera plus large ou l'air plus fortement comprimé.

« On comprend, nous disait M. Andraud, dans les explications pleines d'intérêt que votre Commission a reçues de lui, à plusieurs reprises, sur cet ingénieux système; on comprend que chaque fibre longitudinale du tube agit en se développant sur chaque section correspondante du cylindre tracteur, comme le ferait une corde sur une poulie. Il y a emploi total de la détente de l'air, non pas sur l'axe du cylindre, mais sur sa circonférence, de sorte que l'effet produit doit se mesurer, non sur le chemin que parcourt le centre, mais par la ligne que tracerait un des points de la circonférence.

« En d'autres termes, le char se trouve entraîné comme s'il était continuellement sur le penchant d'une côte inclinée à 50 degrés. »

Il n'y a pas à discuter les inconvénients d'un semblable système; à montrer comment un tube de toile venant presser une roue dans la direction des rayons et non tangentiellement, comme le voulait M. Andraud, serait un organe insuffisant pour mettre en mouvement de lourds convois, quand on pourrait trouver une substance à la fois aussi souple et aussi résistante qu'il serait nécessaire, ce qui semble de toute impossibilité. Ce système n'a évidemment qu'un intérêt de curiosité.

Remorquage. — La vitesse des eaux des fleuves et rivières, source de travail permanente, a été quelquefois utilisée à l'aide de systèmes analogues aux aqua-moteurs, de roues à palettes placées sur des bateaux amarrés servant à enrouler la corde qui opère le halage d'un bateau remontant. Ce système tenté sur quelques fleuves à grande vitesse, comme le Rhône, a été abandonné à cause des frais de tous ces relais.

Il en serait bien probablement de même, dans la plupart des cas, du système qui consisterait à multiplier les réservoirs d'air comprimé le long des rives d'un fleuve, pour l'employer à alimenter des appareils de remorquage. Si la force motrice est gratuite, les travaux à faire pour l'appliquer à cet usage seraient le plus souvent trop considérables, les frais généraux seraient trop élevés pour que le succès puisse être considéré comme probable.

11. *Transport dans des tuyaux.— Poste télégraphique. — Post-office.* — Nous avons vu qu'une canalisation continue était la condition nécessaire de l'emploi de l'air comprimé pour faire parcourir à une résistance un chemin un peu étendu. Après les difficultés et les frais d'une longue canalisation, il reste encore à combiner la machine propre à surmonter la résistance, dans des conditions voulues pour l'emploi que l'on en doit faire, et nous venons de voir que, dans les cas les plus importants, le problème n'est pas résolu.

La question n'est plus à se poser, ou au moins la solution est d'une très-grande simplicité, si on cherche à transporter les objets dans le tuyau même où l'on comprime l'air. Il suffit évidemment d'un obturateur formant piston sur toute la longueur de la conduite, comme l'avait proposé l'inventeur du chemin atmosphérique, dont l'idée est devenue inexécutable lorsqu'on a voulu l'appliquer à un chemin de fer ordinaire, lorsqu'on a voulu employer une soupape longitudinale tout le long du tube.

Ce n'est évidemment qu'à des paquets que le transport dans un tuyau, sur un parcours un peu étendu, peut s'appliquer. C'est en effet un emploi de ce genre qui a été fait pour la première fois à Londres, au Post-Office, pour mettre en rapport le bureau central avec des bureaux de quartier, pour envoyer les lettres de l'un à l'autre, en diminuant ainsi le nombre des voitures et l'encombrement du bureau central.

Ce système a été imité avec succès par l'administration des lignes télégraphiques de France, pour des transports à travers la capitale, qu'il fallait effectuer avec une célérité en rapport avec celle du mode de transmission dont il s'agissait.

Dans un tube de 30 millimètres est placé un petit chariot de forme cylindrique. Une colonne d'eau, moteur indiqué grâce à l'abondance des distributions d'eau à Paris, et au niveau élevé des réservoirs, fournit, en tombant dans un réservoir communiquant, une pression qui refoule l'air et chasse le chariot.

Le refoulement de l'air fournit un coussin élastique qui amortit la vitesse du chariot, le fait rebondir, pour arriver dans la main de l'opérateur qui ouvre l'orifice de sortie.

12. *Ventilation par l'air comprimé.* — L'air comprimé, en se dégageant, sert toujours à effectuer la ventilation des lieux habités; au tunnel du mont Cenis, c'est un de ses emplois principaux. On paraît devoir l'employer avec succès dans ce but exclusivement.

Le rapport publié par M. Gaugain, en 1858, contient déjà un paragraphe intitulé : *Application de l'air comprimé à l'aérage des mines*, dans lequel il est dit :

« Au système d'aérage par extraction, presque toujours insuffisant et dispendieux dans tous les cas, M. Andraud propose de substituer l'aérage *par insufflation*, qui aurait le double avantage d'être moins cher et de prévenir efficacement les terribles explosions du feu grisou. »

C'est en effet à propos des recherches faisant espérer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'éviter le dégagement du grisou en travaillant dans les mines de houille sous une pression un peu élevée, théorie hasardée et qui n'a pas été admise, que M. Andraud a proposé un système de ventilation nouveau, mais qui n'était admissible que combiné avec des moyens d'entraînement de l'air extérieur, comme l'a proposé un habile ingénieur, M. Piarron de Mondesir, pour les bâtiments de l'Exposition universelle de 1867, avec la collaboration de MM. Julienne et Lehaitre.

Nous reproduirons l'exposé du système de ce dernier, d'après le procès-verbal de sa communication à la Société des ingénieurs civils, du 15 février 1867.

Il établit d'abord le bon marché de la ventilation par appel (que M. Grouvelle a montré pouvoir descendre à 0,04 par 1000 mètres cubes, dans son article VENTILATION de cet ouvrage), et rappelle que, d'après les observations du général Morin, sur la grande cheminée centrale qu'il a fait établir au Conservatoire, à l'imitation de celle que M. Grouvelle avait fait construire à Mazas, il suffit de 5k,90 de charbon pour extraire des amphithéâtres un volume d'air de 15,880 mètres cubes par heure.

A l'hôpital Lariboisière, le pavillon des femmes est ventilé par appel direct de la chaleur, et le prix des 1000 mètres cubes est de 0,16; celui des hommes est ventilé mécaniquement, par l'action d'un ventilateur, et le prix des 1000 mètres cubes s'élève à 0,28. Ce système est donc coûteux, et peu satisfaisant d'ailleurs sous d'autres rapports. Aussi n'est-ce pas la simple et peu considérable compression de l'air par un ventilateur ordinaire que M. Montdesir s'est proposé d'utiliser directement, mais une pression plus élevée, combinée avec des effets d'entraînement d'air extérieur.

Dans le système de ventilation par l'air comprimé qu'il propose, et dont il a fait les premières applications aux immenses bâtiments de l'Exposition universelle de 1867, en satisfaisant à des conditions toutes spéciales auxquelles tout autre système eût été impropre, l'air comprimé circulait dans des tuyaux, sur lesquels on plaçait des ajutages adaptés au centre d'un pavillon terminant un tuyau de 0,20 de diamètre. L'air comprimé qui sort par l'ajutage forme, en s'épanouissant, un véritable piston gazeux, qui pousse devant lui l'air contenu dans le tuyau. Cet air est remplacé par de l'air nouveau entrant par le pavillon; et un courant général, plus ou moins rapide, se produit dans toute la section du tuyau.

Comme on dispose de la pression de l'air et de la section de l'orifice pour envoyer par un tuyau une même quantité d'air, il s'ensuit que le minimum de travail nécessaire, pour obtenir un effet déterminé, dépend beaucoup du système de la machine de compression adoptée et des résistances intérieures.

L'emploi de l'air comprimé pour la ventilation paraît devoir offrir divers avantages précieux.

Un des principaux réside dans la facilité d'obtenir une ventilation rafraîchissante. En effet, la compression dégage une quantité de chaleur notable, qu'il n'est pas très-facile d'enlever en faisant passer des surfaces étendues de la conduite d'air dans un bain d'eau à la température ambiante, mais alors l'air ramené à cette température ne peut se dégager sans emprunter aux corps voisins une quantité de chaleur équivalente au travail utilisé pour la compression, et rendre en quelque sorte, sous cette forme, la dépense faite.

Remarquons qu'il a été montré, au début de cette étude, que la plupart des variations de force vive de l'air se traduisaient en phénomènes calorifiques, suivant une loi d'équivalence entre le travail mécanique et la chaleur; c'est en considérant à la fois ces deux éléments dans l'air en mouvement que l'on parviendra à formuler une théorie de la ventilation plus satisfaisante que ce qui a été fait jusqu'ici.

La compression de l'air permet l'utilisation d'un travail $T = \frac{1}{2}MV^2$, qui deviendra, la masse M d'air étant proportionnelle à la vitesse V, pour une même section, $M = KV$, $T = \frac{1}{2}KV^3$. Si elle entraîne par des ajutages convenables, en s'échappant, une autre masse d'air M', on aura :

$$\frac{1}{2}KMV^3 = \frac{1}{2}K(M + M')V'^3,$$

et V'' étant très-petit, M' sera très-grand.

Mais, malgré l'heureuse disposition de l'entraînement de l'air, les machines de compression dont le rendement atteint rarement 50 p. 100 d'effet utile sont trop peu avantageuses, comme les machines à vapeur qui servent à les mouvoir, pour qu'on puisse supposer la ventilation obtenue par insufflation d'air comprimé comme aussi économique que la ventilation par appel direct, surtout si on emploie des pressions élevées. A de faibles pressions, le système paraît assez avantageux, d'après les expériences faites par M. Tresca au Conservatoire des arts et métiers, qui ont permis d'analyser les conditions d'application de ce nouveau système.

En rapportant les observations à la dépense d'un cheval-vapeur mesurée en air comprimé, à la puissance motrice consommée pour un jet équivalent à un cheval-vapeur pris par unité, on est arrivé aux résultats renfermés dans le tableau suivant :

Tableau du volume d'air débité par cheval de jet.

PRESSION de L'AIR COMPRIMÉ.	DIAMÈTRE DU JET.	VITESSE de la VENTILATION.	VOLUME D'AIR par cheval de jet.
atm.	m.	m.	m.c.
2.000 à 2.018	0.010	1.096	2852
1.592 à 0.755	0.015	1.111	2450
0.532 à 0.500	0.020	1.076	3990
0.255 à 0.253	0.020	0.751	7053
0.259 à 0.250	0.025	1.122	6089
0.162 à 0.151	0.025	0.705	8330
0.131 à 0.100	0.030	0.855	10216

Si avec une machine et une pompe parfaitement appropriées à cette destination, il était permis d'espérer que l'on pût obtenir le cheval de jet à raison de 4 kilogrammes de charbon, ce qui paraît être en ce moment un minimum presque irréalisable, la ventilation par l'air comprimé ne reviendrait qu'à un kilogramme de houille pour une ventilation effective de 2500 mètres cubes, pour des pressions notables.

L'augmentation d'effet utile avec la diminution de pression motrice s'explique d'ailleurs, parce que la perte de force vive qui a nécessairement lieu, lors du mélange à la sortie du jet, entre l'air comprimé et l'air aspiré, doit être, en effet, d'autant moindre que la pression est plus faible.

Il est donc supposable que pour des pressions motrices plus faibles encore, on obtiendrait une ventilation plus grande pour un jet de même section, mais la puissance de la ventilation irait en décroissant d'une manière gênante.

Disons aussi ce qui rend ce système très-intéressant: c'est, avec les avantages déjà indiqués, la facilité de porter la ventilation là où il est besoin, en allongeant le tuyau, par exemple dans une partie des mines infectées de gri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sou, et pour les applications à la salubrité des lieux habités, la facilité de l'employer à la fois à l'entrée et à la sortie de l'air.

En effet, dans les systèmes décrits à VENTILATION, on ne s'occupe que de la sortie de l'air vicié, sortie qui cause l'appel de l'air nouveau. Mais au lieu de parvenir de l'endroit où on veut le puiser pur, chaud ou frais, selon les saisons, il arrive dans la pratique de toutes parts, par les divers orifices qu'il rencontre. Cet inconvénient capital peut être évité par un premier appareil insufflant placé à l'entrée de l'air nouveau, opérant absolument comme l'appareil aspirant placé à la sortie.

Tirage des cheminées de machines à vapeur. — Nous ferons rentrer dans la ventilation l'emploi de l'air comprimé pour activer le tirage d'un foyer par son insufflation dans la cheminée. Les expériences de M. E. Bertin ont montré toute la supériorité de ce système sur l'injection de la vapeur; il estime que la quantité de vapeur employée pour comprimer l'air n'est que le dixième de la quantité de vapeur à injecter pour produire l'effet que produirait cet air injecté dans la cheminée.

Il ne faut pas croire que le but pût être atteint par une insufflation dans le foyer, système qui donne lieu à des coups de feu qui mettent les ouvriers en danger, quand on ouvre la porte du foyer sans précaution convenable. Disons ici qu'une disposition nouvelle, dans laquelle la chambre de chauffe tout entière est mise sous une pression de 10 à 12 centimètres d'eau, a donné des résultats satisfaisants.

L'air comprimé fournit la solution de ce problème capital pour la marine militaire, d'employer des machines économiques au point de vue de la consommation du charbon, susceptibles par suite de tenir longtemps la mer, et pouvant aussi prendre de très-grandes vitesses au moment d'une action de guerre, faire tourner l'hélice à un plus grand nombre de tours par minute, ce qui nécessite une augmentation considérable de la production de vapeur. A cet effet, une insufflation d'air comprimé se fait dans la cheminée et les expériences citées montrent que l'on porte facilement de 90 à 130 kil. la consommation de charbon par mètre carré de grille et que la production de vapeur croît dans la même proportion.

MODES DE COMPRESSION.

En décrivant les divers systèmes d'emploi de l'air comprimé, nous nous trouvons avoir décrit les dispositions adoptées avec le plus d'avantage pour comprimer l'air. Nous y reviendrons en quelques mots.

En principe, toute capacité dans laquelle l'air est emprisonné peut servir à comprimer l'air en réduisant le volume par un moyen mécanique quelconque. Tels sont les soufflets de tout genre, et, parmi eux le plus parfait de tous et permettant d'obtenir des pressions élevées, la pompe de compression à corps de pompe et piston, effet produit en faisant dégager des quantités de chaleur proportionnelles au travail de compression. Alors, en travaillant à sec, les pistons et les clapets s'échauffent, les corps de pompe se dilatent, et les soupapes sont bientôt détruites, surtout quand la pression commence à devenir considérable et que des réservoirs de grande capacité ne régularisent pas la pression résistante.

On chercha d'abord à remplacer la pompe simple par la pompe à mercure de Taylor et Martineau.

Dans cet ingénieux appareil, le piston de fer se meut dans un bain de mercure dont la surface, s'élevant dans le corps de pompe, comprime l'air au-dessus d'elle, et sert ainsi d'intermédiaire entre le volume d'air à comprimer et le piston compresseur.

Ces pompes, outre qu'elles étaient assez chères, perdaient toujours du mercure et se déréglaient aisément; elles avaient en outre l'inconvénient bien plus grave d'altérer en peu de temps la brasure en cuivre des réservoirs, et il fallut chercher mieux.

Les pompes à double effet de Thilorier, employées par M. Perrot, donnaient de bons résultats; mais, à l'usage, on y trouvait encore cet inconvénient qu'à chaque coup de piston la résistance allait croissant et rendait la compression de l'air, à de hautes pressions, de plus en plus difficile et dispendieuse.

Frappé de ces imperfections, M. Andraud imagina un nouveau moyen de fouler l'air à un degré indéfini avec des pompes de force médiocre qu'il faisait agir dans l'intérieur des récipients déjà chargés eux-mêmes d'air comprimé à un certain degré. Ces récipients communiquaient entre eux au moyen de tuyaux garnis de valves, et chacune des pompes intérieures, aspirant ainsi de l'air comprimé à un certain degré, le refoulait dans un récipient voisin contenant de l'air plus comprimé encore.

C'était un progrès notable; mais la chaleur dégagée, par le fait même de la compression, dilatait toujours les appareils et devenait une cause de détérioration assez prompte : ce qui conduisit M. Andraud, ainsi qu'il le dit lui-même dans la spécification de son brevet de 1844, à faire intervenir l'eau dans la compression, et cela de trois manières :

1° En plongeant les pompes et les tuyaux dans l'eau maintenue froide autant que possible;

2° En agissant directement sur l'eau refoulée alternativement dans deux réservoirs contigus, dans lesquels l'air supérieur se comprime et passe dans le récipient général;

3° Enfin, en disposant les pompes foulantes, de telle sorte que l'air, en sortant de ces pompes, passe à travers une masse d'eau froide avant de se rendre dans le récipient.

Ce moyen mettait déjà sur la voie de la compression par l'eau, et c'est à peu près vers le même temps que M. Julienne substituait ainsi définitivement le piston *liquide* au piston *solide*, par des dispositions analogues à celles adoptées par Sommellier, décrites plus haut et qui déjà fort satisfaisantes ont été améliorées par le système dont nous allons donner la description.

COMPRESSEUR COLLADON. — Le piston d'eau, s'il procure le refroidissement de l'air, fait naître des résistances nuisibles pour peu qu'on marche rapidement et diminue la capacité utile. Aussi doit-on considérer comme un progrès notable les perfectionnements apportés aux compresseurs par D. Colladon, par lesquels on obtient sans mettre des masses liquides en mouvement, et en marchant avantageusement à grande vitesse, un refroidissement presque complet de l'air, en pulvérisant l'eau injectée dans le cylindre, de manière à augmenter considérablement les surfaces en contact, et par suite l'action réfrigérante de l'eau, et en faisant circuler de l'eau dans toutes les parties du compresseur en contact avec l'air comprimé, parois, fonds de cylindre, piston et tige, de manière à enlever à chaque instant au métal la chaleur qu'il prend à l'air et que la compression de celui-ci développe à chaque impulsion.

L'ensemble de ces dispositions, telles qu'elles ont été appliquées à Airolo, pour comprimer l'air servant à mettre en action les perforateurs employés dans le travail de percement du Saint-Gothard, est représentée fig. 3324.

Le cylindre horizontal du compresseur proprement dit est parcouru par un piston porté par une tige traversant ses deux fonds, sur lesquels sont placées les soupapes d'aspiration et de refoulement. Les dispositions prises pour refroidir l'air comprimé, comprennent, comme il a été dit :

Une circulation d'eau dans les fonds et autour du cylindre; une circulation d'eau dans le piston lui-même et à l'intérieur de sa tige; enfin, une injection d'eau pulvérisée aux deux extrémités du cylindre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La circulation d'eau dans les fonds et autour du cylindre s'obtient aisément au moyen d'une petite pompe établie latéralement au cylindre et dont le piston plongeur prend son mouvement sur la traverse d'attelage de

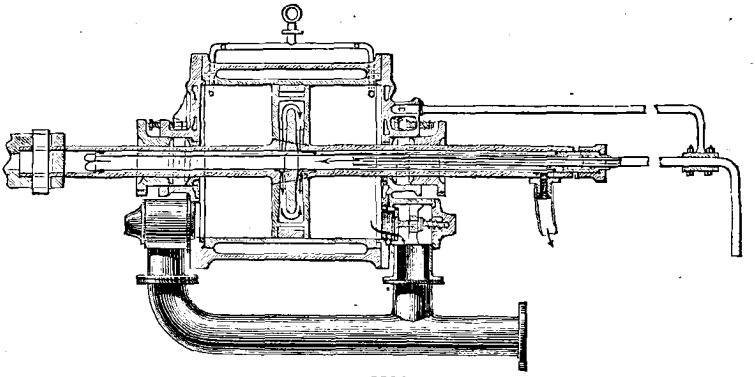


Fig. 3324.

la tige du piston compresseur. Cette pompe injecte de l'eau dans des vides ménagés à la fonte dans l'épaisseur même des fonds du cylindre, et dans le vide annulaire formé autour du cylindre par l'enveloppe en tôle établie sur toute sa longueur. Des tuyaux en cuivre de 0m.02 de diamètre intérieur amènent, dans ces vides, l'eau qui s'écoule constamment, par d'autres tuyaux établis à la partie inférieure.

La circulation d'eau, dans l'intérieur du piston et de sa tige, un peu compliquée et pas très-essentielle (aussi souvent on ne la fait pas fonctionner), est obtenue au moyen des artifices suivants :

La tige du piston, qui est en acier, est forée dans toute sa longueur à un diamètre assez grand pour recevoir un tube en cuivre autour duquel subsiste un vide annulaire de quelques millimètres : ce tube a une longueur presque égale à celle de la tige, et il est relié à elle par son extrémité postérieure au moyen d'un bouchon fileté en bronze dans lequel pénètre à frottement doux, jusqu'au delà du presse-étoupe, un tuyau maintenu complétement fixe par un bras en fer le reliant au cylindre. L'eau, injectée par la pompe mentionnée précédemment, arrive par ce tuyau dans le tube, va jusqu'à son extrémité intérieure, revient par l'espace annulaire laissé entre lui et la tige, jusqu'au diaphragme qui, formé d'une bague en bronze fixée sur la tige au droit du piston, oblige l'eau à y pénétrer en en refroi-

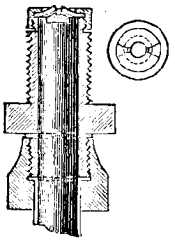


Fig. 3324 *bis.*

dissant successivement les deux faces, comme le montrent les flèches tracées sur la coupe. Cette eau s'échappe ensuite par le tuyau en caoutchouc qui est fixé à l'extrémité postérieure de la tige du piston.

L'injection d'eau se fait à chaque extrémité du cylindre par deux busettes en bronze placées à la partie inférieure du cylindre, une de chaque côté du plan diamétral. Ces busettes, dont la fig. 3324 *bis* montre la disposition, sont fermées à leur extrémité par un disque en laiton, percé de deux trous inclinés débouchant l'un vis-à-vis de l'autre par un orifice d'un demi-millimètre de diamètre. L'eau, injectée par la pompe qui alimente toute la circulation d'eau du compresseur, pénètre ainsi dans le cylindre par deux jets extrêmement minces qui, se rencontrant sous un angle presque droit, sont pulvérisés par leur choc. On règle expérimentalement la quantité d'eau introduite ainsi de manière à entretenir l'air complétement saturé avec un certain excès d'eau liquide : dans ces conditions, même en supprimant la circulation de l'eau à l'intérieur du piston, on arrive à maintenir la température de tout l'appareil à 30° environ, l'air étant comprimé à 6 atmosphères.

ALLUMETTES CHIMIQUES. La fabrication des allumettes chimiques se compose de plusieurs opérations bien distinctes et qui sont les suivantes :

1° Le débitage du bois en petites baguettes, qui sont ensuite découpées en tiges;

2° La mise en presse des allumettes;

3° Le *soufrage* des tiges ou le *trempage* dans un corps gras remplaçant le soufre;

4° La préparation de la pâte phosphorée;

5° Le *chimicage* ou trempage du bout soufré dans la pâte phosphorée;

6° Le *desséchement* des allumettes;

7° Le démontage des presses;

8° La mise en paquets ou en boîtes.

Débitage du bois. Deux moyens sont employés pour débiter le bois. Dans la plupart des petites fabriques, où une seule famille exécute tout le travail, et où l'on n'achète pas les tiges confectionnées, le bois est fendu au couteau. Dans plusieurs grandes usines même, ce procédé est employé concurremment avec d'autres, pour la confection des tiges d'allumettes en bois de sapin, dont on se sert dans les ménages. Quel que soit le bois employé, ce procédé fournit toujours des tiges *plucheuses*, inégales, plus ou moins tordues, et s'arrangeant assez mal en paquets ou en boîtes.

En Autriche, on se sert exclusivement d'un rabot muni d'un fer spécial. C'est Étienne Rœmer qui, le premier, réussit à confectionner ainsi les tiges d'allumettes. Le fer de ce rabot ressemble à une mèche ordinaire; seulement à la place du tranchant, son extrémité inférieure se termine par une *partie recourbée*. On ménage dans cette partie, trois, quatre ou cinq trous cylindriques qu'on perce d'outre en outre, à l'aide d'un forêt. C'est dans les forêts de la haute Autriche, de la Bohême, et dans la Forêt-Noire du Wurtemberg qu'on fabrique toutes les tiges d'allumettes employées par les nombreuses usines de l'empire d'Autriche et du reste de l'Allemagne.

Dans les autres pays, quand les fabricants ne s'approvisionnent pas de petites baguettes préparées en Autriche, on se sert de machines spéciales pour fendre le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bois. Ce débitage se fait dans des ateliers séparés de la fabrique d'allumettes. En France, le bois le plus employé est le *tremble*, qui est léger et facile à fendre. On y utilise également le *bouleau*, qui est plus lourd et donne de meilleurs produits, mais d'un prix de revient supérieur à ceux du tremble. Avant de couper le bois, on le dessèche au four, on le scie ensuite en tronçons de cylindres qui sont débités en tiges *carrées* ou *cylindriques*. Comme les fibres du bois de tremble et de bouleau ne sont pas droites, les tiges coupées, carrées ou rondes, n'ont guère de fils dépassant en longueur deux fois le diamètre de celles-ci, ce qui rend ces tiges très-sujettes à se casser lors du frottement qu'on exerce pour allumer la pâte phosphorée. On évite cet inconvénient en prenant l'allumette le plus près possible du bout, mais, dans ce cas, on risque de se brûler les doigts. Certaines allumettes carrées, en bois léger, qui se trouvent dans la consommation parisienne, présentent ce défaut de solidité à un degré très-prononcé. Le fragment d'allumette qui se détache tombe souvent à terre, quand il a déjà pris feu, ou bien s'il ne s'est pas allumé, il s'enflamme par le frottement involontaire du pied; dans l'un et l'autre cas, les risques d'incendie sont évidents.

Les bouts des allumettes sciées conservent la trace de la scie; ce qui rend leur *extrémité plucheuse* et nuit à l'opération du *chimicage*. La pâte phosphorée s'envelopperait très-irrégulièrement. Les bouts qui présentent ce défaut devraient être roussis, par leur application contre une surface rougie, avant d'être soufrés, comme on le pratique pour les allumettes où un corps gras remplace le soufre.

Mise en presse. — Pour que le bout de chaque tige d'allumette puisse recevoir d'abord le soufre, puis la pâte phosphorée, il est indispensable de les tenir isolées les unes des autres; on arrive à ce résultat par la mise en presse. A cet effet, une ouvrière, car c'est presque toujours une femme qui exécute ce travail, prend dans sa main un certain nombre d'allumettes, et elle les étend rapidement sur une planchette à crans, disposée de telle sorte que chaque cran, creusé un peu en biais, retient une allumette; elle prend aussitôt de son autre main une autre planchette semblable, et elle en recouvre la première, puis elle étend de nouveau ses allumettes; chaque planchette présente à son revers deux bandelettes de flanelle collées dans le sens de sa longueur, et destinées à maintenir les allumettes qu'elle recouvre; ces planchettes, ainsi garnies, se superposent et se fixent les unes sur les autres, en remplissant l'espace laissé entre deux baguettes rondes et verticales, taraudées à leurs sommets, qui reçoivent les planchettes par les deux trous qu'on a ménagés à leurs extrémités. Lorsque ce châssis est rempli par vingt ou vingt-cinq planchettes superposées, on les fixe toutes au moyen d'une dernière planchette pleine, qui est assujettie par des vis. C'est là le procédé autrichien, qui est exécuté de la même manière dans presque toutes les usines. Néanmoins, en France, quelques industriels opèrent la mise en presse à l'aide d'une machine.

Trempage au soufre. — Les tiges étant mises en presse, on procède à l'opération du soufrage. Cette opération s'exécute en plongeant l'extrémité des tiges jusqu'à un centimètre environ dans du soufre maintenu en fusion sur une plaque de fonte à rebords recourbés. On opère sur 700 à 800 tiges à la fois.

Lorsqu'on remplace le soufre par un corps gras ou par une matière résineuse, avant de tremper le bout de la tige dans le corps gras *fortement chauffé*, on le roussit préalablement, ou même on le charbonne légèrement en l'appuyant un moment sur une plaque de fonte faiblement rougie. La légère carbonisation qui s'opère au bout de l'allumette rend celle-ci plus combustible lors de la déflagration et de l'inflammation de la pâte dont on l'entoure.

ALLUMETTES CHIMIQUES.

Chimicage. — Le bout des tiges étant soufré, on procède au chimicage, qui consiste uniquement à les tremper dans la pâte inflammable qui se trouve étalée à l'aide d'une règle sur une table de pierre, comme en Autriche, ou de fonte de fer, ou bien dans une auge à fond plat en cuivre, de forme carrée, et placée sur une table de pierre.

Le chimicage se fait à chaud ou à froid. On l'exécute à chaud lorsqu'on emploie la colle forte, et à froid quand on se sert de gomme ou de dextrine.

Nous avons déjà indiqué dans un premier article les éléments essentiels de la pâte des allumettes.

Dessèchement des allumettes. — La dessiccation du mastic adhérent au bout des allumettes se fait dans un séchoir à air chaud. Dans les fabriques bien montées, les séchoirs sont chauffés à l'aide de la vapeur d'eau qui circule dans les tuyaux, ou bien par une circulation d'eau chaude.

L'emploi de tuyaux de poêles, chauffant toujours très-inégalement les ateliers, devrait être interdit; le courant d'air très-chaud, qui se produit ainsi dans certains endroits, a souvent occasionné des incendies. Le dessèchement est complet au bout de vingt-quatre heures. Les presses, avec les allumettes desséchées, sont alors retirées du séchoir; elles sont dégarnies et les allumettes réunies en bottes ou bien placées dans des boîtes.

INCONVÉNIENTS ET DANGERS AUXQUELS EXPOSENT LA FABRICATION ET L'EMPLOI DES ALLUMETTES PHOSPHORIQUES.

Danger pour la santé des ouvriers. — La fabrication des allumettes chimiques, lorsqu'elle est faite sans précautions particulières, est la cause de maux bien cruels pour certains ouvriers. Ces maux sont dus à la vapeur de phosphore, qu'exhale d'une manière continue la pâte inflammable, et cela d'autant plus fortement que sa température est plus élevée.

Cette vapeur de phosphore passe à l'état d'acide phosphoreux, qui, restant suspendu dans l'air, le rend complétement nuageux et délétère pour les ouvriers. Le docteur Lorinzer, de Vienne, a, le premier, en 1845, appelé sur ces maux l'attention de l'autorité publique et de la médecine.

Depuis cette époque, les médecins, dans différents pays, ont constaté avec soin les accidents qui se sont produits. En France, le docteur Théophile Roussel, dans un écrit présenté, le 16 février 1846, à l'Académie des sciences de l'Institut, et intitulé, *Recherches sur les maladies des ouvriers employés à la fabrication des allumettes chimiques*, a décrit avec une grande exactitude toutes les affections qu'il a observées.

Les ouvriers qui exécutent les opérations que nous venons d'indiquer ne sont pas tous exposés de la même manière : ceux qui opèrent la préparation de la pâte et le chimicage sont le plus en danger; chez eux la maladie se développe après qu'ils ont pratiqué ces opérations pendant quatre à six années. Les autres y sont infiniment moins sujets. La malpropreté paraît être une cause prédisposante pour tous; les ouvriers atteints de carie de dents sont plus exposés que ceux qui ont une denture saine.

Une ventilation convenable des locaux où se fait la préparation de la pâte, le chimicage, le dessèchement des tiges armées de mastic, le dégarnissage des presses et l'arrangement des allumettes en paquets et en boîtes, diminue *considérablement* les chances qu'ont les travailleurs d'être atteints.

Les faits qui précèdent, dont la gravité ne peut être méconnue de personne, imposent des devoirs à l'auto-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rité et aux fabricants. Dès 1847, M. J. Preshel, à Vienne, a reconstruit son usine dans l'espoir de soustraire ses ouvriers à ces affections. Le résultat a couronné ses efforts. Les maladies sont devenues tellement rares dans son usine, qu'on peut dire que le danger n'existe presque plus. Les modifications apportées par M. J. Preshel consistent dans une disposition particulière des locaux et dans le système de ventilation qui y est établi. La faculté de médecine de Vienne, appelée à émettre son avis sur la valeur de ces modifications, les a complétement approuvées et les a proposées pour un modèle à suivre dans la construction des autres fabriques d'allumettes.

Mais ce n'est pas le seul danger auquel les allumettes phosphoriques exposent la société, il en existe deux autres : les chances d'incendie et les empoisonnements accidentels et criminels.

Danger d'incendie. — Des paquets d'allumettes placés dans des lieux trop chauds, ou bien frappés par la lumière solaire directe, peuvent prendre spontanément feu. La chaleur, déterminant l'inflammation spontanée de la pâte, a été la cause des incendies qui ont éclaté chez les débitants d'allumettes ou chez des particuliers qui avaient placé des allumettes en *paquets* ou en *boîtes ouvertes* dans un lieu trop fortement chauffé ou exposé au rayonnement d'un foyer.

Pendant l'été, le feu a été mis aux granges et aux meules, dans les toits desquelles des malveillants avaient implanté quelques allumettes. Le danger pour la sécurité publique et privée existe donc ; mais il n'est qu'un résultat prévu, inévitable des qualités de l'allumette ; il est en raison même de sa *sensibilité*, c'est-à-dire de la facilité avec laquelle elle produit du feu, lorsqu'on veut s'en servir. Pour que ces inconvénients disparaissent, il faut que le consommateur cesse de réclamer cette sensibilité.

En examinant tous les cas d'accidents signalés et en exceptant ceux causés par la malveillance, on s'aperçoit aisément qu'ils dépendent, soit de l'imprudence, soit de l'imprévoyance des personnes. Combien n'en existe-t-il pas qui abandonnent les allumettes en paquets ou en vases ouverts et combustibles sur la tablette d'une cheminée? Combien n'en trouve-t-on pas qui les laissent trainer partout ?

Empoisonnements causés par les allumettes chimiques. — Reste la dernière cause de danger : les propriétés toxiques du phosphore contenu dans la pâte. Les propriétés vénéneuses du phosphore sont connues depuis plus d'un siècle. On sait qu'introduit dans le corps en très-petite quantité, un centigramme, par exemple, il excite énergiquement l'économie animale et produit un orgasme vénérien. On sait, en outre, que cinq centigrammes ont souvent suffi pour déterminer la mort au milieu de convulsions. D'ailleurs, le phosphore, divisé dans des matières alimentaires, a été employé depuis quinze à vingt années pour détruire les animaux nuisibles. Dans certains pays, des marchands ambulants colportent dans les campagnes de la pâte phosphorée pour détruire les rats et les souris. On a donc appris au peuple que le phosphore peut donner la mort. Peut-on s'étonner, après cela, qu'il se soit servi du phosphore des allumettes pour commettre des crimes? Partout ne trouve-t-on pas l'abus à côté de l'usage? Mais le danger auquel est exposée la société est-il bien grave? A certain point de vue, nous n'hésitons pas à déclarer que ce danger est immense. En effet, celui qui médite un crime a sous la main le moyen de le perpétrer immédiatement. Ce qui doit, jusqu'à un certain point, rassurer la société, et ce que l'on ne saurait proclamer trop haut, c'est que si l'empoisonnement est facile à commettre, les symptômes offerts par la victime trahissent toujours le crime, et qu'après la mort il est possible, et même facile, de constater la présence du poison. D'ailleurs, les mets chauds et même froids auxquels on a ajouté du phosphore exhalent une odeur nauséabonde et possèdent un goût d'ail très-prononcé.

Existe-t-il un moyen de se procurer facilement du feu et de la lumière? Ce moyen n'expose-t-il pas la santé de l'ouvrier, ne peut-il donner lieu ni à des incendies ni à un empoisonnement, soit accidentel, soit criminel? Ce moyen existe, c'est l'emploi du *phosphore rouge*, découvert, en 1847, par le docteur Schotter, secrétaire perpétuel de l'Académie impériale de Vienne. Ce corps qu'on désigne encore sous le nom de phosphore *amorphe*, se distingue du phosphore ordinaire par un ensemble de propriétés. Ainsi, il ne produit ni émanations nauséabondes, ni lueur dans un lieu obscur; il ne *s'enflamme jamais spontanément* dans les conditions que l'on peut rencontrer dans un lieu habité ou habitable. Pour brûler, il lui faut au moins 200 degrés de chaleur. Il est *complétement dépourvu de propriétés vénéneuses;* il en résulte que son maniement et son mélange avec les aliments ne peuvent pas altérer la santé. Le changement qu'éprouve le phosphore dans la combustibilité, en prenant la forme du phosphore *rouge*, le suit dans sa manière d'être à l'égard des corps comburants avec lesquels on le mêle. Ainsi, additionné de bioxyde de plomb, ou de bioxyde et d'azotate de plomb, d'azotate de potasse, il ne s'enflamme plus par le frottement. Ces composés ne peuvent donc pas lui servir d'oxydant, comme c'est le cas pour le phosphore ordinaire. Jusqu'ici, on ne connaît que le *chlorate de potasse avec lequel il brûle par frottement.* Malheureusement, le mélange de ces deux corps, soumis au frottement contre un corps dur et rugueux, produit une déflagration bruyante et des projections, phénomènes qui entraînent avec eux toutes sortes de dangers qui existaient dans le mélange de chlorate de potasse avec le phosphore ordinaire, et qui ont déterminé le remplacement de ce sel par des composés de plomb.

D'après l'expérience que nous en avons faite, l'emploi des allumettes armées d'une pâte dans laquelle entrent simultanément le phosphore amorphe et le chlorate de potasse, est tout aussi dangereux, sinon plus dangereux que celui des allumettes faites avec le chlorate et le phosphore ordinaire; un faible frottement enflamme celles-ci, tandis qu'il faut un frottement plus fort pour enflammer les premières, et par ce frottement un peu énergique on détache presque toujours une partie de la pâte, qui est lancée au loin en pleine ignition. La déflagration de la pâte nous a paru d'ailleurs beaucoup plus bruyante. Ce dernier fait dépend-il de la composition des matières? c'est ce que nous ne savons pas; mais ce qui nous fait supposer que cela dépend de la nature même du phosphore rouge, ce sont les propriétés de la pâte faite par un même fabricant à l'aide des deux phosphores. Dès 1847, M. J. Preshel s'est servi du phosphore rouge, préparé par M. Schotter même, pour en confectionner des allumettes. Or, celles-ci explosionnent d'une manière beaucoup plus bruyante, *crachent plus* que celles confectionnées au chlorate et au phosphore ordinaire.

Les inconvénients et les dangers que présentent les allumettes munies d'une pâte au phosphore amorphe et au chlorate de potasse sont donc tels que la simple prudence oblige de les proscrire. Mais de là il ne résulte pas nécessairement que le phosphore amorphe ne puisse pas remplacer le phosphore ordinaire. Il a été fabriqué des *allumettes spéciales ne s'enflammant par la friction qu'autant qu'on les frotte sur une surface particulière.* On sait que les allumettes ordinaires s'enflamment par la friction contre une surface quelconque, pourvu qu'elle soit dure. La pâte dont les nouvelles allumettes sont garnies renferme du chlorate de potasse mêlé de matières combustibles et d'un corps dur pulvé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rulent; la surface sur laquelle la friction se fait est recouverte d'un vernis contenant du phosphore amorphe disséminé dans une matière fort dure. Ainsi, la pâte de l'allumette ne contient aucune trace de phosphore; ce corps en est séparé et déposé sur une surface préparée *ad hoc*, distincte de l'allumette, et qui lui en *cède une trace sous l'influence de la friction*. Trois fabricants ont envoyé à l'Exposition de 1855 un système d'allumettes basé sur le principe de la séparation de la matière comburante d'avec la matière combustible destinée à provoquer la combustion. Ce sont M. Bernard Furth, de Schüttenhoffen (Bohême), M. J. Preshel, de Vienne, et la fabrique de Jonkoping (Suède), représentée par M. C.-F. Lundstrom, copropriétaire de cette usine[1].

Toutes les objections faites contre l'emploi des allumettes phosphoriques ordinaires tombent devant ce système. *La pâte, dont le bout est garni, peut être chauffée à une température presque égale à celle nécessaire pour la destruction du bois, sans prendre feu, et, lorsqu'elle déflagre, elle ne produit pas de projection de parties enflammées.* La surface, enduite de phosphore rouge, supporte également sans s'enflammer une température supérieure à celle nécessaire pour détruire les matières combustibles. Ni la pâte, ni la surface ne prennent feu sous l'influence du frottement. Ainsi, la pâte adhérente au bout de la tige, la surface sur laquelle il faut opérer la friction, présentent une égale sécurité. Le nom d'*allumettes de sûreté* ou de *briquet de sûreté*, qu'on leur a donné, est parfaitement applicable.

En examinant de près ce système d'allumettes, on voit qu'il repose sur le même principe que celui qui a donné naissance au briquet oxygéné. Il est remarquable qu'après un demi-siècle de recherches, on soit ramené au point de départ. En effet, dans le briquet oxygéné, comme dans le briquet de sûreté, l'agent qui doit développer le feu est séparé de la matière combustible. Dans l'un, c'est l'acide sulfurique, corps liquide très-altérable à l'air humide; dans l'autre, c'est un corps solide, complétement inaltérable dans l'air, *pourvu qu'on ne l'expose pas à la radiation solaire directe*. L'un repose sur le simple contact, l'autre sur la friction. Mais, quoique le principe soit le même, il y a un progrès évident, incontestable. (M. Stass. — Rapport du jury de 1855.)

ALUMINIUM. La découverte de l'aluminium ou plutôt de sa préparation à l'état métallique a frappé vivement l'attention publique dans ces dernières années. Elle a conquis une juste popularité au savant chimiste M. H. Deville, dont la science n'était auparavant appréciée que dans le monde savant.

Extraire de l'argile, si commune partout, un métal analogue aux métaux précieux par sa résistance à l'action de l'air, aussi léger que le verre, la densité de l'aluminium n'est que 2,56, comparable à l'argent quant à l'aspect, bien qu'un peu bleuâtre (ce qui empêche de l'employer bruni), doué de beaucoup de ténacité et par suite susceptible de nombreuses applications soit seul, soit à l'état d'alliages avec d'autres métaux, c'était à coup sûr obtenir de curieux et intéressants résultats bien dignes de frapper vivement l'attention publique.

L'aluminium se produit par la décomposition du chlorure d'aluminium au moyen du sodium; le sodium, en s'emparant du chlore pour former du sel marin, isole l'aluminium de sa combinaison.

Il y a donc ici trois faits à considérer et à étudier :

La préparation du sodium;

La préparation du chlorure d'aluminium;

[1] Le système de fabrication de cette usine est celui vulgarisé à Paris par MM. Coignet.

Et enfin la réaction entre ces deux corps; l'extraction de l'aluminium.

Nous procéderons suivant l'ordre que nous venons d'indiquer.

Préparation du sodium. — En s'appuyant des travaux de MM. Mareska et Donny, qui ont publié en 1852 un excellent travail sur l'extraction du sodium, en modifiant très-heureusement le genre de récipient plat, qu'ils avaient adopté, et aussi la composition du mélange, M. Deville est parvenu à produire du sodium avec une facilité et une abondance qu'on aurait volontiers, il y a quelque temps, regardées comme impossible.

Il s'est surtout attaché principalement à faire de la fabrication du sodium une opération continue, condition fondamentale pour une exploitation industrielle. Il fallait pour cela qu'on ne fût pas obligé de retirer la cornue du fourneau, après l'épuisement du mélange. Il fallait, de plus, que cette cornue fût mise à l'abri de l'oxydation pour en prolonger la durée et éviter ainsi les temps d'arrêt tout en diminuant la dépense. Un fait important qui résulta des expériences de M. Deville, c'est qu'on pouvait diminuer la température en augmentant la surface de chauffe et en rétrécissant l'ouverture qui doit donner passage à la vapeur du sodium. Toutes ces conditions se trouvent remplies par les dispositions suivantes :

La bouteille à mercure, qu'on avait employée jusqu'ici, est remplacée par un tube de fer étiré, d'un diamètre de 1 décimètre sur $1^m,20$ de longueur. (L'expérience a prouvé à M. Deville qu'un plus grand diamètre devenait bientôt désavantageux.) A l'une de ses extrémités, ce tube est fermé par une plaque de fer soudée à la forge, et percée, non pas au centre, mais près de sa circonférence, d'une ouverture dans laquelle on visse un bout de canon de fusil de 1 décimètre, lequel constitue le tube de dégagement. Ce tube se rend dans un récipient plat que l'on vide dans l'huile de schiste toutes les fois qu'il est plein. A l'autre extrémité du cylindre est un bouchon de forte tôle, qu'on peut enlever et replacer à volonté, au moyen d'une poignée en forme d'anneau. On recouvre ce cylindre d'un lut qui doit être un peu fusible, et qui est composé de terre à poêle et de crottin de cheval. Le cylindre est alors introduit dans un manchon de terre réfractaire, assez large pour qu'un espace annulaire reste libre entre la paroi intérieure et la surface du cylindre. Cet espace est rempli par de la brique pilée.

L'appareil ainsi préparé se place dans le fourneau horizontalement, de manière que le tube de dégagement, qui a besoin d'être maintenu à une haute température, ne sorte que de 1 ou 2 centimètres. La culasse du cylindre traverse la face postérieure du fourneau, assez pour qu'on puisse facilement ôter le bouchon et le remettre en place.

La disposition intérieure du fourneau est telle que l'appareil se chauffe à la flamme. C'est, du reste, un fourneau à réverbère ordinaire. M. Deville a opéré sur deux cylindres à la fois, mais on pourrait facilement opérer sur un plus grand nombre.

La chaleur perdue du fourneau sert à chauffer un four voisin, où se calcine, dans des pots de terre fermés d'un couvercle, le mélange d'où l'on se propose d'extraire le sodium.

Voici la composition du mélange que M. Deville a employé dans ses dernières opérations :

Carbonate de soude (en cristaux). . .	1,000 part.
Craie (blanc de Bougival).	450
Houille de Charleroy pulvérisée. . .	450

Ces matières étant préalablement triturées et mélangées avec soin par un moyen mécanique quelconque, on les calcine dans le four dont nous avons parlé plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

haut. Il est nécessaire de pousser la calcination assez loin pour que le mélange soit en masse compacte et non pulvérulente. Le mélange est introduit par gros fragments dans le cylindre, et il n'y a plus qu'à chauffer et à adapter le récipient ou condensateur.

Quand le dégagement cesse, on ouvre le cylindre par la culasse; on enlève les résidus avec une pelle demi-cylindrique, et on les remplace par une nouvelle charge. Pour opérer ce chargement avec plus de facilité, on peut mettre le mélange sous forme de cartouches à enveloppes de calicot ou simplement de fort papier.

Le sodium qui coule dans la terrine est tout à fait pur et n'a plus besoin d'aucun traitement. Dans le récipient, on en trouve également une grande quantité, en lames épaisses ou en gros fragments, très-bons à recueillir. Mais le récipient contient aussi beaucoup de sodium divisé en petits globules mêlés à du charbon, ou à d'autres produits condensés. Ces résidus sont chauffés dans l'huile de schiste, dans une marmite en fonte, où on les écrase à l'aide d'un pilon de métal. Au bout de peu de temps, une grande partie du sodium se rassemble en grappes que l'on recueille. Cependant, le résidu final est encore riche en métal; on le traite comme un mélange, mais alors dans de simples bouteilles à mercure, car, dans le grand cylindre, l'opération marcherait trop rapidement. Le sodium ainsi obtenu, du premier ou du second jet, est parfaitement pur, et se dissout dans l'alcool sans résidu aucun.

Il est facile de juger, d'après ce qui précède, des perfectionnements apportés par M. Deville à la préparation du sodium. L'introduction de la craie dans le mélange a augmenté le rendement dans une proportion inespérée. La houille agit comme excellent réducteur. Elle fournit des gaz hydrogénés et à la fin du gaz hydrogène pur qui contribue à emporter la vapeur de sodium dans le récipient, et à préserver le métal réduit contre l'action destructive de l'oxyde de carbone. C'est un service de ce genre que la houille rend dans la fabrication du zinc. Par la substitution des longs cylindres aux bouteilles à mercure, l'opération est devenue possible à une température beaucoup plus basse. De là économie de combustible, et, circonstance plus précieuse encore, possibilité de recouvrir les cylindres d'une enveloppe protectrice qui les garantit de l'oxydation.

Enfin la question de continuité dans l'opération, par le non-déplacement et la multiplication des cylindres, d'où dépendait essentiellement l'exploitation industrielle, est complétement résolue. Il est certain qu'aujourd'hui, ainsi que le disait M. Dumas à l'Institut, la fabrication du sodium est pour le moins aussi facile que celle du zinc, avec laquelle elle a, du reste, la plus grande analogie.

Le sodium peut être manipulé sans aucun danger, pourvu qu'on prenne les précautions que la prudence commande. Il peut rester fondu au contact de l'air sans s'enflammer; on peut impunément le couper, l'étaler sous le marteau et même le manier, à condition que l'eau en sera éloignée avec soin. Enfin, il ne peut pas y avoir dans la préparation du sodium d'accident imprévu. Le phosphore présente incomparablement plus de dangers, ce qui n'empêche pas qu'on n'en fabrique journellement de quantités considérables.

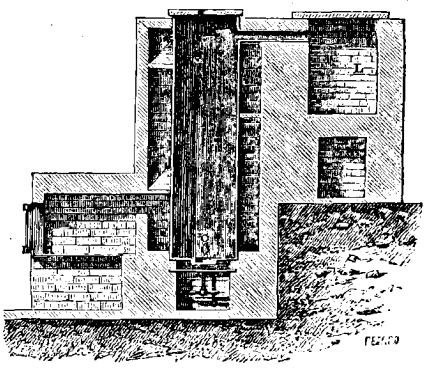
Obtenu aujourd'hui à 6 fr. le kil., le sodium offre à l'industrie un élément d'une extrême puissance à réaction alcaline, qui jouera peut-être un rôle, dans l'avenir, analogue à celui de l'acide sulfurique. C'est, on peut l'assurer, un progrès qui sera fécond en grands résultats.

Chlorure d'aluminium. — On sait que le chlorure d'aluminium se produit quand on fait passer un courant de chlore sec sur un mélange calciné d'alumine et de charbon chauffé au rouge. C'est M. Thénard qui, le premier, eut l'idée de ce mode de préparation, mais on en doit l'exécution à OErstedt.

Jusqu'à présent, ce produit n'avait pour ainsi dire pas d'emploi dans les laboratoires, et les collections les mieux montées n'en possédaient que quelques grammes à titre d'échantillon.

Disons tout de suite comment M. Deville parvient aujourd'hui à le préparer par centaines de kilogrammes.

La pièce principale est une cornue en terre, de celles qu'on emploie pour distiller la houille dans les usines à gaz. Cette cornue, d'une capacité de 300 litres, est placée verticalement dans un fourneau en maçonnerie, qui la chauffe à la flamme dans toute sa hauteur, fig. 3325.



3325.

Elle est percée de quatre ouvertures : deux en bas et deux en haut. L'une des ouvertures du bas O, est placée latéralement, à une certaine distance au-dessus du fond. Elle donne passage à un tuyau de porcelaine par où arrive le chlore, lequel tuyau pénètre jusqu'à l'axe de la cornue. La seconde ouverture, placée plus près du fond et du côté opposé à la première, sert au nettoyage.

Par en haut, et au centre du couvercle, est le trou par où l'on introduit la charge. Sur le côté est l'issue du chlorure d'aluminium qui va se condenser dans une chambre L en maçonnerie, qu'il serait plus avantageux, d'après M. Deville, de construire en tôle, et dont les parois sont recouvertes de plaques de faïence vernissée. La chambre à condensation communique elle-même, par un conduit, avec l'air extérieur, pour l'écoulement des produits gazeux de la réaction.

L'alumine employée provient de la calcination de l'alun ammoniacal, auquel le sulfate d'alumine pourrait être substitué avec économie. Au lieu d'ajouter à l'alumine, d'abord du charbon pulvérisé, puis de l'huile, pour rendre le mélange plastique, M. Deville emploie tout simplement le goudron de houille, déchet des usines à gaz, dont le prix est extrêmement minime, et qui remplace à la fois l'huile et le charbon. Ce mélange est distribué dans des pots de terre pour être calciné dans un four à réverbère. M. Deville a indiqué d'opérer ici comme pour le mélange à sodium, c'est-à-dire d'effectuer la calcination au moyen de l'excès de chaleur du fourneau à chlorure.

Le mélange étant calciné, on en remplit la cornue, et on chauffe progressivement jusqu'au rouge. Alors on fait passer par le tube de porcelaine dont nous avons parlé le courant de chlore qui se produit dans des bonbonnes de grès contenant du peroxyde de manganèse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et de l'acide chlorhydrique, et chauffées sur un vaste bain de sable.

On pouvait craindre, dans cette partie de l'opération, que le chlore n'attaquât la matière même de la cornue, mais heureusement il n'en est rien. Le chlore n'agit que suivant l'axe de la cornue, et sur un rayon de 1 à 2 décimètres, de sorte que les parois se trouvent protégées par une couche épaisse de mélange inattaqué. Tout le chlore est rigoureusement absorbé, si rapide que soit son dégagement, et il n'en arrive pas la moindre trace dans la chambre de condensation.

MM. Rousseau ont substitué avec grand avantage, à la production assez difficile de chlorure, et au moyen du chauffage d'un mélange de sel marin, de matière alumineuse et de charbon, la fabrication d'un chlorure double liquide qui vient se condenser d'une manière continue.

Enfin l'emploi de la *cryolithe*, minerai du Groënland, qui est un fluorure double d'aluminium et de sodium, rendra peut-être presque inutile dans l'avenir cette préparation, lorsqu'on exploitera ce minéral sur une échelle suffisante.

Aluminium. — Œrstedt le premier essaya d'extraire l'aluminium, en traitant son chlorure par un amalgame de potassium (alliage de potassium et de mercure), mais ses tentatives n'eurent aucun succès.

En 1827, M. Wœhler, le célèbre professeur de l'Université de Gœttingue, attaqua le chlorure d'aluminium par le potassium, dans un creuset de platine, en employant chaque corps à équivalents égaux. Il obtint une poudre grise prenant l'éclat métallique sous le brunissoir, mais infusible et décomposant facilement l'eau à 100°.

En 1845, M. Wœhler reprit ses travaux; cette fois, il produisit des globules métalliques, très-petits à la vérité, dont l'un put être laminé et fournir une petite lame de 11 millimètres. Mais ce métal ne pouvait se fondre qu'au chalumeau, à l'aide du borax, et il continuait à décomposer l'eau à la température de l'ébullition.

Les choses étaient là, bien loin de l'application industrielle, quand M. Deville étudia de nouveau la question, et modifia la méthode de M. Wœhler.

L'aluminium obtenu par M. Deville était fusible dans un creuset, inoxydable, sans action sur la vapeur d'eau aux températures les plus élevées, et jouissait enfin de propriétés remarquables bien connues aujourd'hui. Il y avait loin du produit obtenu à l'aluminium de M. Wœhler, qui préparé dans un vase de platine et sans excès de chlorure, contenait à la fois du platine, qui le rendait presque infusible, et du sodium, qui le rendait attaquable par l'eau.

C'est en faisant passer le chlorure d'aluminium en vapeur sur le sodium contenu dans des nacelles métalliques qu'on opéra d'abord; mais, ainsi préparé, l'aluminium renferme toujours quelques alliages qu'il forme avec le métal avec lequel il a été en contact, ce qui nuit à sa malléabilité et à son éclat.

Après bien des essais, M. Deville a reconnu qu'avec l'addition d'un fondant convenable, permettant aux globules d'aluminium de se réunir, on pouvait mélanger directement les substances entre lesquelles la réaction doit s'effectuer. Aussi aujourd'hui c'est en mélangeant simplement le sodium et le chlorure d'aluminium, en les jetant à la pelle dans un four à réverbère chauffé, que l'on ferme quand il a été chargé; enfin en employant la cryolithe comme fondant, que l'on produit la réaction qui donne naissance à l'aluminium métallique, qui vient couler en lingots. Il n'est plus alors altéré que par une faible proportion de l'alliage qu'il forme avec le silicium des fourneaux.

L'emploi de l'argile des Baux, dont il a été parlé à ALUN et qui a servi de point de départ à la création de l'industrie de l'alumine, a été un des éléments, moins toutefois que l'accroissement de l'échelle de la production, de la diminution du prix, d'abord fort élevé, de l'aluminium. Aujourd'hui ce métal coûte environ moitié du prix de l'argent, et comme il est quatre fois plus léger, les objets confectionnés en aluminium ne coûtent que 1/8 du prix des objets de même dimension exécutés en argent.

L'aluminium résiste bien à l'action de l'air, à celle des acides faibles, mais est attaqué rapidement par les alcalis. Il se moule fort bien. Les principales applications qu'il a rencontrées sont: la petite bijouterie, à cause de son apparence particulière qui rappelle un peu l'argent oxydé, le moulage des statuettes et objets d'art, les vases culinaires et fonds de chaudière à cuire les sirops ; enfin à cause de sa légèreté, il est employé, dans certains appareils, pour des pièces dont il faut rendre le poids un minimum.

Des alliages de zinc et d'aluminium ont fourni la solution du problème de la soudure de l'aluminium, opération nécessaire pour la fabrication de la plupart des objets usuels.

Bronze d'aluminium. — La plus importante application peut-être qu'ait rencontré l'aluminium est celle de servir à préparer le bronze d'aluminium, espèce de laiton dans lequel le zinc est remplacé par l'aluminium. Très-résistant, doué d'une grande élasticité (voy. ALLIAGES), l'alliage formé de 9 parties de cuivre et de 1 d'aluminium, constitue pour l'industrie un nouveau métal très-précieux, qui rencontrera dans l'industrie de nombreuses applications, surtout quand son prix encore un peu élevé (15 fr. le kil.) aura diminué. A cause de son grain il convient tout particulièrement pour les pièces frottantes, et des glissières de locomotives, garnies de ce métal, ont résisté deux fois plus de temps que celles établies avec le bronze ordinaire. Outre sa grande ténacité, ce qui pourra faire multiplier ses applications, c'est qu'il peut comme le fer (et c'est le seul alliage connu qui jouisse de cette propriété), se souder et se marteler à chaud, à une assez grande distance, bien entendu, de son point de fusion.

M. Hulot a trouvé avantage à remplacer l'acier qui s'usait rapidement, par le bronze d'aluminium, pour les matrices des poinçonneuses qui lui servent à découper 4 ou 5 feuilles gommées, à la fois, de timbres-poste. Il le soude avec lui-même et aussi au fer et à la fonte, en employant une soudure formée d'un amalgame de zinc, et de soudure ordinaire et d'étain. Il recouvre ainsi les surfaces frottantes, de lames minces d'un métal presque indestructible, à grain très-fin.

Mais c'est surtout à cause de sa belle couleur d'or que le bronze d'aluminium est justement célèbre et que le commerce vend au lieu de vermeil, d'argent doré, du bronze d'aluminium. Son éclat répond à une inaltérabilité fort remarquable, que M. Debray, auquel on doit le bronze d'aluminium, explique avec grande raison, à notre avis, par la grande quantité de chaleur qui se dégage lorsqu'on allie l'aluminium au cuivre. Elle indique que la combinaison est très-énergique, et il est clair qu'elle devrait être restituée au composé pour que l'un des métaux pût entrer dans une combinaison nouvelle, leurs propriétés chimiques étant d'ailleurs trop opposées pour qu'ils puissent en faire partie simultanément.

En dehors de cette application aux usages de l'économie domestique du bronze d'aluminium, on emploie encore ce dernier métal à améliorer le laiton. A la dose de 2 ou 3 p. 100, il rend les pièces travaillées susceptibles de prendre un éclat qui rend les dorures inutiles.

ANALYSE CHIMIQUE. Pour séparer des corps différents que l'on ne peut se procurer qu'à l'état de mélange, il faut tirer parti des propriétés différentes de ces corps, de ce qui les distingue. C'est sur les différences des propriétés physiques des corps qu'est fondée toute l'analyse chimique, qui, maniée par d'habiles ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

périmentateurs avec tant de talent et de finesse, permet d'obtenir la séparation de corps semblables, dont les propriétés sont très-voisines. C'est par la couleur, la forme cristalline, la saveur, l'odeur, etc., c'est-à-dire par les propriétés physiques des corps qu'on peut les reconnaître; c'est par des propriétés du même ordre qu'on les sépare. Nous n'avons nulle intention de passer en revue ici les méthodes si nombreuses qu'emploie la chimie, de faire un traité d'analyse, ce qui est une œuvre très-considérable, dont nous avons indiqué des fragments dans une foule de cas particuliers, à l'article DOCIMASIE notamment, mais seulement indiquer les méthodes les plus générales.

On doit au point de vue purement physique, indépendamment de toute réaction chimique, distinguer les différences de fusibilité, de volatilité et de solubilité.

Fusibilité. — Quand deux corps mélangés ont des points de fusion différents, leur séparation peut en résulter par cela même. Un des corps étant liquide et l'autre solide, il suffira de poser le tout sur un plan incliné ou de le soumettre à une pression, comme dans le cas de l'extraction des huiles, pour que le liquide s'écoule, et se sépare du solide. Si les deux corps sont solides à la température ordinaire, il suffira de les chauffer jusqu'à la température où le plus fusible des deux devient liquide, pour que la séparation ait lieu. Ce procédé employé fréquemment dans les essais par la voie sèche (voy. DOCIMASIE), entraîne en général à des pertes du corps liquéfié, dont la partie qui mouille les corps solides n'en saurait être séparée par la seule action de la gravité. C'est sur cette propriété que reposent les procédés de liquation.

La volatilité, mieux encore que la fusibilité, permet de séparer un corps d'autres corps liquides ou solides, qui ne se vaporisent qu'à une température plus élevée. Il suffit pour cela de chauffer le mélange jusqu'au point où le corps le plus volatil prend l'état gazeux. C'est sur ce principe que repose la distillation.

La solubilité est la base du procédé physico-chimique, le plus général pour la séparation des corps. Deux corps mélangés étant inégalement solubles dans un liquide convenable (c'est habituellement l'eau qui est employée; l'alcool sert assez souvent pour les substances organiques), on dissoudra, en employant une faible proportion du liquide dissolvant, presque exclusivement la substance la plus soluble, et on l'enlèvera entièrement par un emploi convenable de la *méthode de* DÉPLACEMENT. Toutefois il est impossible, dans nombre de cas, lorsque la différence de solubilité des substances n'est pas extrêmement grande, que le liquide ne soit pas chargé d'une certaine quantité de la substance la moins soluble. On la sépare de l'autre, dans la seconde partie de l'opération; consistant à séparer la substance soluble du liquide, en concentrant les solutions par la chaleur, par l'évaporation; les substances dissoutes se précipitent dans l'ordre inverse de solubilité, les moins solubles les premières. Par une répétition suffisante d'opérations, dans l'un et l'autre sens, on parvient ainsi à séparer même des substances dont la différence de solubilité n'est pas très-grande.

RÉACTIONS CHIMIQUES.—Les moyens de séparation qui viennent d'être indiqués sont généraux, et c'est pour les appliquer, que l'on emploie les réactions chimiques. Un minerai complexe étant donné, qui ne pourrait être fondu, ni dégager aucune vapeur par la chaleur, qui ne se dissout pas dans l'eau, il ne saurait être séparé en ses éléments, par les moyens indiqués ci-dessus. Mais en l'attaquant par une base ou un acide, les éléments du minerai se trouvent faire partie de sels susceptibles de séparation, en raison de leur solubilité différente et surtout de l'insolubilité absolue de ceux que l'on peut faire naître au sein de la solution.

La question posée ainsi d'une manière générale ne fait pas comprendre les difficultés qu'offre l'analyse chimique, lorsqu'il s'agit de corps semblables, dont les composés ont des propriétés tout à fait analogues. Nous renverrons pour exemple aux métaux du PLATINE (voir aussi DOCIMASIE). L'expérience et le savoir des habiles chimistes sont consacrés à trouver des sels dont les propriétés soient différentes, relativement à l'action de quelque réactif, de quelque corps soluble convenablement choisi, et la découverte d'une bonne méthode est un des genres de travaux auxquels ils attachent le plus de prix, car ils en connaissent les difficultés, comme l'utilité, pour les progrès de la science.

APPRÊTS. Toute étoffe sortant du métier à tisser, tout produit en substances flexibles sortant des mains de l'ouvrier qui l'a façonné, comme les draps, les soieries, les cotonnades, les vêtements, les chapeaux de feutre, de paille, etc., ne peut immédiatement entrer dans le commerce. Il lui faut, pour devenir vendable, prendre un aspect plus séduisant que celui qu'il a après un travail qui l'a fripé, lui communiquer un éclat particulier, une apparence flatteuse à l'œil.

Dans chaque industrie il existe une série d'opérations finales, constituant les *apprêts*, que nous avons décrites en détail en traitant de chaque fabrication; nous voulons seulement résumer ici l'indication des principaux moyens d'action employés pour obtenir des apprêts, genre de revue, qui généralisant des procédés spéciaux, permet de voir, d'un coup d'œil, la manière d'opérer la plus convenable dans un cas déterminé.

Le type de cette nature d'opérations est le repassage du linge qui s'effectue, comme chacun sait, avec un fer chauffé. L'effet de la chaleur de la surface plate du fer à repasser, combiné avec la pression qu'exerce la main, écrase et polit la surface du linge, fait disparaître tous les plis et la rend brillante.

Il faut, pour que le résultat obtenu soit tout à fait satisfaisant, que le linge soit un peu humide; la petite quantité de vapeur qui se forme entre les fibres, agit puissamment pour les disposer individuellement à obéir à la pression de la surface polie du fer.

Pour augmenter le poli de la surface, pour lustrer celle-ci, on emploie souvent des enduits gommeux ou gélatineux, qui donnent des surfaces très-brillantes.

Jusqu'ici nous supposons qu'il s'agit de corps d'épaisseur uniforme en tous points, ce qui est le cas le plus général; lorsque les épaisseurs sont variables en certains points, l'ouvrier sait proportionner la pression à l'effet à produire, et il semble que le travail ne saurait plus alors ressortir des machines, dont nous avons surtout en vue ici d'indiquer le mode d'opérer, pour produire des apprêts rapidement et à bas prix. Il en était ainsi en effet jusque dans ces derniers temps, jusqu'à ce qu'on ait eu l'idée d'employer le caoutchouc qui, pressé par l'eau ou la vapeur, peut, en se moulant sur des épaisseurs différentes, appliquer la surface à lustrer sur une surface métallique chauffée.

Les moyens d'apprêter peuvent donc se résumer ainsi:

1° Une pression; 2° une surface lisse; 3° la chaleur; 4° l'humidité; 5° un enduit; 6° le caoutchouc.

1° *La pression.* — Elle se donne entre des rouleaux, comme dans les CALANDRES, lorsque l'effet peut être produit instantanément; lorsqu'au contraire il faut que la pression dure un certain temps, comme pour des poils qu'il s'agit de plier, c'est à l'aide de presses qu'on maintient les surfaces à apprêter, entre des surfaces résistantes. Pour obtenir des pressions considérables nécessaires pour écraser la surface, coucher des fibres de manière qu'elles ne se redressent plus, c'est naturellement à la presse hydraulique qu'on a recours, et elle est fréquemment employée pour cet usage dans l'industrie. La pression immédiate d'un liquide, c'est-à-dire d'un corps qui transmet une pression égale en tous les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

points, sur la pièce à apprêter, paraît préférable à celle produite par l'intermédiaire de plaques, d'épaisseurs d'étoffes, plus ou moins régulières. Nous dirons plus loin comment elle peut être appliquée.

2° *Une surface lisse.*—Elle est formée le plus souvent par des surfaces métalliques, quelquefois par des cartons comme pour le satinage du papier. Des rondelles de papier fortement pressées à la presse hydraulique et maintenues par deux larges écrous en fer, montés sur un axe résistant de même métal, fournissent sur le tour un cylindre très-dur, très-convenable pour l'apprêt de certaines étoffes. Des cartons, des plaques de zinc, des plaques creuses de fer, des cylindres de papier, de fer, etc., telles les surfaces lisses qui servent pour les étoffes; des formes fondues et polies en bronze, en zinc, en étain, peuvent servir de même pour les objets devant avoir des contours déterminés, pour certains objets façonnés par exemple.

3° *La chaleur.* — Elle doit être suffisante pour sécher les objets à apprêter, faire même contracter les fibres, mais sans pouvoir jamais atteindre la limite où elle tendrait à les roussir, à les altérer. Aussi sauf dans quelques procédés anciens, où l'on emploie des formes métalliques préalablement chauffées à feu nu, c'est à la vapeur, comme source de chaleur, qu'on a presque toujours recours. Celle-ci en effet, employée à une pression, ou, ce qui est la même chose, à une température convenable, fournira rapidement le degré de chaleur voulu, sans qu'il puisse être dépassé. Il suffira donc d'envoyer la vapeur soit à l'intérieur d'un cylindre lamineur comme celui d'une calandre, soit dans des plaques métalliques creuses entourées de l'étoffe, comme pour l'apprêt des draps (Voy. LAINES), soit enfin sur une face de toute forme métallique devant servir par l'autre face à apprêter un corps appliqué contre elle, pour obtenir un chauffage convenable, que l'expérience apprendra bientôt à maintenir à un degré et pendant un temps voulu.

4° *L'humidité.* — Nous avons déjà dit comment la formation de vapeur en chaque point des fibres d'un corps, rendait en quelque sorte moléculaire l'action du repassage, de la pression qui produit l'apprêt, et était par suite la cause de l'effacement complet des plis.

Il est clair que l'humidité suffit; qu'une trop grande quantité d'eau ne pourrait se trouver dans un étoffe à apprêter, sans que l'action des surfaces chauffées fût contrariée par un refroidissement notable.

5° *Un enduit.* — Pour la plupart des tissus légers, tels que les mousselines, les batistes, etc., une simple pression à chaud ne suffirait pas; elle ne donnerait pas une étoffe souple et brillante; on n'y parvient qu'à l'aide d'un corps liquide, collant et donnant par la dessiccation une matière brillante et souple. La fécule, l'amidon ou empois, la colle animale et surtout la colle de poisson, sont les substances les plus employées; toutefois les matières animales donnant lieu à des *piqûres*, à cause de leur hygrométricité, ne peuvent être employées que dans des cas particuliers, quand les produits doivent être immédiatement consommés. On ajoute souvent aux corps qui viennent d'être indiqués, un peu d'alun, de savon blanc, de stéarine, etc., suivant des recettes qui varient beaucoup.

L'étoffe imprégnée de la solution de la matière qui doit lui donner du brillant, doit être tendue sur un châssis pour sécher convenablement.

On accélère la dessiccation en faisant passer sous l'étoffe un chariot contenant du combustible allumé. Ce système assez coûteux est employé pour les plus beaux produits et offre l'avantage d'empêcher l'étoffe de prendre du retrait; pour les produits à bon marché, on applique l'apprêt au foulard et on le sèche avec des cylindres chauffés intérieurement par de la vapeur.

Dans la fabrication des chapeaux, on emploie une solution de gomme laque dans l'alcool, une espèce de vernis résineux qui donne à la peluche de soie qui les recouvre un lustre très-brillant et les rend en même temps imperméables à l'eau, par l'effet de la résine.

Cette imperméabilité est communiquée très-simplement aux étoffes de laine, en les trempant dans des sels d'alumine. Une autre propriété bien précieuse, qu'un enduit minéral peut communiquer aux étoffes légères, comme les mousselines, est *l'incombustibilité*, que produit très-bien le phosphate double d'ammoniaque et de soude, le tungstate de soude et même le sulfate d'ammoniaque, sel fort peu coûteux. La fibre végétale enveloppée d'un sel minéral qui n'est nullement apparent, ne peut plus donner de flammes par l'effet de la chaleur, elle distille et charbonne, sans pouvoir par suite enflammer les parties voisines. Ce procédé offre donc un précieux moyen d'éviter de funestes accidents.

6° *Le caoutchouc.* — L'emploi du caoutchouc pour obtenir des apprêts nous paraît intéressant comme fournissant un moyen absolument indispensable pour opérer mécaniquement et par suite économiquement sur des objets façonnés. J'en montrerai l'application, combiné avec l'action directe de la pression hydraulique, en décrivant les dispositions de l'outillage de M. Mathias, les machines à l'aide desquelles il apprête fort bien des chapeaux de paille et de feutre, par un système dont il a déjà été dit quelques mots à l'article CHAPEAUX.

Une poche de caoutchouc pleine d'eau, venant s'appliquer sur une forme métallique, donnera à l'objet qui y sera placé les contours de cette forme en le repassant, en l'apprêtant, à la condition : 1° que la forme métallique soit chauffée à une température convenable, ce qui sera facile en faisant circuler autour d'elle de la vapeur provenant d'un générateur à une pression et par suite à une température voulue ; 2° que la pression soit considérable, ce qui exige non-seulement que l'on puisse soumettre à cette pression l'eau renfermée dans la poche de caoutchouc, mais que celle-ci transmette la pression. Or, ceci ne peut avoir lieu qu'autant que la poche de caoutchouc est renfermée dans une capacité inextensible, sur laquelle elle s'appuie par toute sa surface extérieure ; autrement la pression qu'elle pourrait transmettre serait minime, seulement celle qui répondrait à la résistance si faible du caoutchouc à l'extension.

Le caoutchouc en s'appliquant sur une partie où l'épaisseur est double, où la paille est cousue par exemple, au lieu de porter exclusivement sur les parties de double épaisseur, et de les écraser avant d'atteindre les parties qui n'ont que l'épaisseur simple, comme le ferait un noyau rigide de forme semblable à la forme extérieure, se moule sur ces parties saillantes et les presse toutes uniformément quelle que soit leur épaisseur.

L'action s'applique suivant la direction indiquée par la forme résistante, la pression s'exercera aussi bien dans un fond creux, qu'elle fera retourner partie du corps à apprêter sur une partie saillante; effet curieux et de grande valeur industrielle.

La fig. 3326 représente l'appareil de M. Mathias, propre à l'apprêt des chapeaux. A est le couvercle équilibré par les boules E, F, portant la poche de caoutchouc B, pleine d'eau, dans laquelle peut se produire une pression hydraulique qui s'élève jusqu'à 15 atmosphères, quand on tourne le robinet du tuyau qui traverse la charnière, et qui est en communication avec un réservoir d'eau soumis à cette pression.

Le chapeau à apprêter ayant reçu l'enduit convenable, n'étant plus que légèrement humide, est placé sur la forme en étain fondu pour pouvoir être fabriquée d'une manière peu coûteuse malgré toutes les variations de la mode, au moyen d'un simple moulage en sable, semblable à celui de la fonderie de fer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On abat alors le couvercle qui est assemblé par deux fortes clavettes J, J, sur la partie inférieure, qui s'engagent dans les trous K, K, par l'action du levier vertical N, des roues d'angle M et de la crémaillère L. On envoie alors la vapeur dans la forme pour la chauffer, en ouvrant le robinet du tuyau qui amène celle-ci du générateur. Puis ouvrant le robinet de pression d'eau, et laissant celle-ci persister quelque temps, l'opération se trouve effectuée et l'apprêt parfaitement exécuté en 3 ou 4 minutes, pour recommencer aussitôt après avoir fermé le robinet

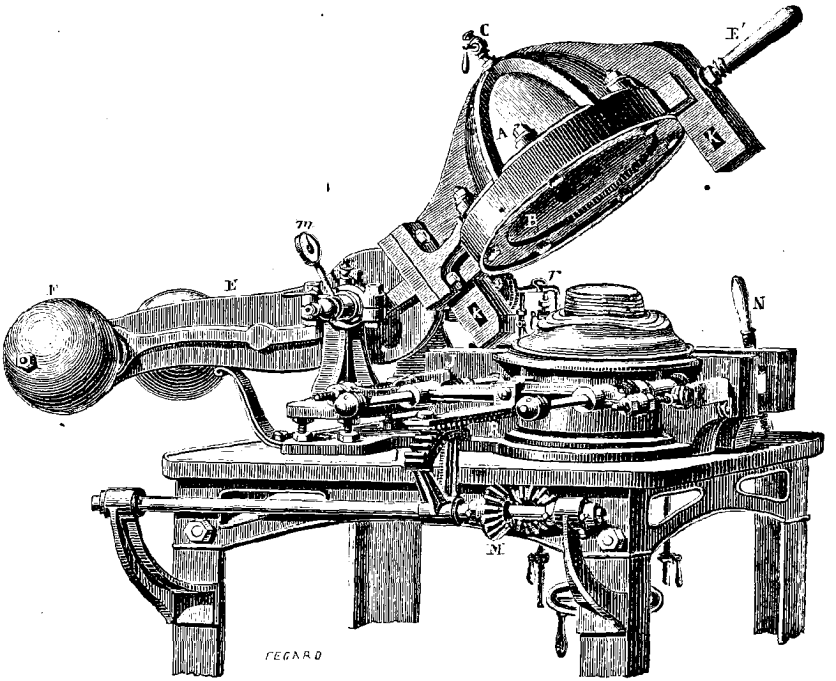


Fig. 3326.

de pression et en avoir ouvert un autre de sortie d'eau, avant d'ouvrir l'appareil, pour que le caoutchouc ne soit pas soumis à une tension qui le déchirerait.

Le problème consistant à avoir toujours de l'eau sous une pression de 15 atmosphères, a été résolu par M. Legat, associé de M. Mathias, au moyen d'un élégant appareil, dans lequel le travail de la pompe alimentaire et le volume de l'eau sous pression varient automatiquement, par l'effet d'une paroi mobile de caoutchouc. Nous avons déjà fait connaître, à AIR COMPRIMÉ, cet élégant appareil, et y renvoyons pour le dessin et la description.

ARDOISES. Nous ajouterons à notre premier travail quelques détails sur les propriétés des ardoises. En France l'ardoise s'exploite en Anjou depuis un temps immémorial (un autre centre d'exploitation existe dans les Vosges, mais est de bien moindre importance). L'ardoise d'Anjou a une couleur noire ou noire-bleuâtre. Elle est très-schisteuse et peu compacte; cependant elle résiste assez bien à l'action mécanique ou chimique des agents atmosphériques. Diverses expériences ont été faites par M. A. Blavier, sur les propriétés de l'ardoise de l'Anjou. Elle renferme seulement quelques millièmes de pyrite de fer, qui n'est pas intimement disséminé dans sa pâte, mais qui y forme de petits nodules isolés, ce qui permet de rejeter les échantillons qui en renferment trop. Lorsqu'elle est immergée, elle s'imbibe d'une plus grande quantité d'eau que l'ardoise anglaise. Car, tandis que cette dernière n'absorbe que 0,0002 de son poids, pour une épaisseur de 3^{mm}, l'ardoise de l'Anjou en absorbe 0,0005, c'est-à-dire plus du double pour une épaisseur qui est seulement de 2^{mm}. M. Blavier a cherché ensuite la résistance à la rupture d'ardoises ayant différentes épaisseurs. Il a opéré sur des ardoises carrées de $0^{m},25$, reposant par leurs quatre côtés sur un cadre bien dressé et chargées directement sur une surface de 1 décimètre carré. Les charges nécessaires pour produire la rupture sont données par le tableau ci-dessous:

ÉPAISSEUR DE L'ARDOISE. millimètres.	CHARGE. kilogrammes.
1	8
2	35
3	50
4	90
5	120
6	150
7	170

On voit que la résistance de l'ardoise à la rupture augmente rapidement avec son épaisseur. Il y a donc avantage à employer des ardoises épaisses, et l'expérience a montré, en effet, que l'ardoise d'Angers peut ne durer que vingt-cinq ans, lorsqu'elle est très-fine,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tandis qu'elle dure plus d'un siècle lorsque son épaisseur est convenable.

La quantité d'ardoises fabriquées annuellement est de 141,864,000 : elle représente une valeur de 2,713,876 francs. On fabrique, en outre, divers produits avec des dalles de schiste ardoisier, mais leur valeur est seulement de 75,000 francs.

ARDOISE ÉMAILLÉE. — En Angleterre, M. Magnus est le créateur d'une industrie toute nouvelle, celle de l'ardoise dite émaillée; et il a eu le rare bonheur de la porter à un degré de perfection tel, qu'il ne lui reste, pour ainsi dire, plus de progrès à faire.

Les premières recherches de M. Magnus datent de 1834, et elles lui ont été suggérées par un séjour de plusieurs années, qu'il fit dans les fabriques de poteries du Straffordshire. Il eut d'abord l'idée de soumettre l'ardoise à la chaleur graduée des fours de poterie, et il vit qu'au lieu de s'altérer, elle devenait plus dure et plus résistante; il songea ensuite à fixer des couleurs sur l'ardoise, et il y réussit également. Il prit un brevet en Angleterre, en 1838, et maintenant il possède à Pimlico (Londres) une usine très-importante, qui occupe une centaine d'ouvriers.

L'ardoise est une matière minérale qui réunit un grand nombre de qualités; en effet, elle est homogène, compacte; elle n'absorbe pas l'humidité, elle résiste bien à l'action de la chaleur et elle se taille très-facilement, surtout en dalles ou en plaques. Dans l'état naturel, elle a cependant une couleur sombre et se raye très-facilement; aussi est-elle très-peu employée à cet état pour la décoration et l'ameublement; mais ces inconvénients disparaissent quand on la recouvre d'un vernis auquel on peut d'ailleurs donner les couleurs les plus variées.

L'ardoise du pays de Galles est celle que M. Magnus emploie pour la fabrication de l'ardoise dite émaillée. L'application de la couleur imitant le marbre se fait à l'aide d'un vernis et par un procédé consistant à utiliser les effets produits par le mélange de corps pâteux, qui est celui même que la nature a employé pour créer les marbres.

Pour appliquer les couleurs sur l'ardoise, de manière à imiter le marbre, on prépare des couleurs épaissies avec un vernis; on les répand sur un bain d'eau et on vient appliquer la surface de l'ardoise sur ce bain coloré; la fixation des couleurs sur l'ardoise a lieu immédiatement.

Ce procédé est très-simple et très-rapide, puisque un seul ouvrier peut marbrer plus de 50 pièces en un jour. L'ardoise, recouverte de son enduit coloré, est ensuite introduite dans des fours, où elle est soumise graduellement à une température de 200 à 300° centigrades. Elle reste huit à dix jours dans ces fours. Lorsqu'elle en sort, elle possède, d'après M. Magnus, une grande résistance à la rupture; car cette résistance serait égale à celle d'une dalle de marbre d'épaisseur quadruple. L'enduit coloré qui recouvre l'ardoise n'a qu'une épaisseur très-mince, mais il est parfaitement fixé, et il ne s'enlève pas, même après un usage de plusieurs années. Il résiste bien à l'action de l'air qui, à ce qu'il paraît, l'altère moins rapidement que le marbre. Toutefois sa durcté est beaucoup moindre que celle du marbre, et il se laisse facilement rayer avec l'ongle. Pour rendre l'enduit brillant, lorsque l'ardoise sort du four, on la polit avec du tripoli et avec de la potée d'étain.

Ce qui vient d'être dit sur la préparation de l'ardoise émaillée, montre qu'elle n'est pas recouverte par un émail comme celui des poteries, ainsi que son nom semblerait le faire croire; mais qu'elle est simplement protégée par un vernis; il serait donc préférable de la nommer ardoise vernissée.

Par le procédé que nous venons d'indiquer, M. Magnus est parvenu à imiter la porcelaine et surtout à représenter toute espèce de roches : l'albâtre d'Égypte, la serpentine verte et rouge de Gênes, la griotte, le portor, le jaune de Sienne, le marbre wendien de Purbeck, les granites, les porphyres de Suède et le porphyre rouge antique.

La ressemblance de l'ardoise émaillée avec ces diverses roches est quelquefois si grande, qu'il faut l'examiner avec beaucoup de soin, pour reconnaître que c'est seulement une imitation qu'on a sous les yeux; nous citerons notamment le porphyre rouge antique, comme l'une des roches qui peuvent le mieux être imitées.

Le prix de l'ardoise émaillée varie avec les difficultés que présente la reproduction du marbre qu'on a cherché à imiter; et on distingue quatre classes de prix :

1re classe.—Albâtre d'Égypte, malachite de Russie, lumachelle, griotte, jaspe; marbres noirs, blancs et de diverses couleurs.

2e classe. — Serpentine, jaune de Sienne, portor, porphyres, granites, marbres de Purbeck.

3e classe. — Lapis-lazuli et marbres riches, ou à dessins complexes.

4e classe. — Imitation de mosaïques; représentation de fleurs et d'animaux.

Le prix de l'ardoise varie avec son épaisseur; et le tableau suivant fait connaître, pour un pied carré, quels sont les principaux prix de l'ardoise émaillée :

	1re classe.	2e classe.	3e classe.
Ardoise de 1 pce d'épaisseur	2sch9d	3sch6d	4sch0d
» » 2.	4 6	5 6	6 0

Les prix de la 4e classe sont, très-variables, et ils dépendent entièrement des objets à représenter.

Remarquons qu'en Angleterre, le marbre jaune de Sienne revient à 15 sch. 6 d.; le portor, à 16 sch.; et le marbre noir, à 8 schellings par pied carré; les prix de l'ardoise émaillée sont donc bien inférieurs à ceux des marbres; ainsi, par exemple, pour l'imitation du marbre noir, le prix est seulement un peu plus du tiers; pour l'imitation du jaune de Sienne, il n'est guère que le cinquième.

L'Angleterre, si largement dotée de toutes les richesses minérales, est, par exception, pauvre en marbres; comme l'ardoise émaillée imite très-bien le marbre et revient à un prix beaucoup moins élevé, il est facile de comprendre pourquoi son usage s'est répandu avec une si grande rapidité. Elle a, en effet, été adoptée par le riche comme par le pauvre, et elle décore même des résidences royales. En quelques années, sa consommation est devenue si grande, que la production ne peut y suffire. On l'emploie, dès à présent, pour tables, consoles, toilettes et pour toutes sortes de dessus de meubles. Elle est très-propre aussi à faire des cheminées ou des poêles.

Lorsque les cheminées sont formées de pièces ayant seulement 5 pouces d'épaisseur, leur prix n'est que de 17 sch. pour la 1re classe de marbres, 1 liv. 5 sch. pour la 2e classe, et 1 liv. 18 sch. pour la 3e classe.

On se sert de l'ardoise émaillée pour faire des baignoires très-élégantes.

Les parois des appartements peuvent encore être revêtues et décorées, avec beaucoup de luxe, par des plaques d'ardoise émaillée; des salles de bains en sont entièrement construites. On en fabrique aussi des vases, des piédestaux, des autels, des pierres tumulaires.

Enfin, l'ardoise émaillée est très-propre à faire des billards, dont les prix ne sont pas très-supérieurs à ceux des billards en bois; comme tous les billards en ardoise, ils ont sur eux l'avantage de présenter une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

surface mieux nivelée et qui ne varie pas par l'action de la température ou de l'humidité.

L'ardoise émaillée commence à se répandre hors de l'Angleterre; ainsi on l'emploie en Allemagne, surtout à Berlin, où elle sert à faire des bains et des lavoirs.

Jusque dans ces derniers temps, l'emploi de l'ardoise était à peu près limité à la toiture et à quelques usages dans les constructions; mais la découverte de l'ardoise émaillée a permis de s'en servir dans l'ameublement et dans la décoration; cette découverte a donc créé un débouché nouveau à une matière minérale qui se trouve en masses inépuisables dans le sein de la terre.

ARGILE. L'introduction dans les arts des silicates alumineux qu'on nomme *argiles* fut de la plus grande importance. Ces combinaisons de la silice et de l'alumine, abondamment répandues dans la nature, jouent en effet un grand rôle dans la fabrication des ciments, dans l'art métallurgique, dans beaucoup de productions appartenant aux arts chimiques; leur emploi le plus intéressant est la fabrication des poteries. Tous ces divers usages ont pour cause les propriétés caractéristiques et variées que nous allons énumérer.

Si les silicates anhydres simples, que les minéralogistes connaissent sous les noms de dysthène, d'andalousite, de sillimanite, dont la composition se représente par la formule $2\,(Si\,O^3)$, $3\,(Al^2\,O^3)$, sont assez rares et jusqu'ici sans applications industrielles, il n'en est plus de même des divers silicates hydratés qui sont, au contraire, très-répandus. Ces sels occupent en effet une place considérable dans les couches qui forment l'écorce du globe que nous habitons, et leur mise en œuvre par des ouvriers intelligents transforme des matières presque sans prix en outils indispensables aux progrès de nos diverses industries, en ustensiles de ménage, et souvent même en objets d'art du plus grand mérite. L'étude des hydrosilicates d'alumine contient celle des marnes, des argiles, des kaolins, etc. Nous allons la résumer, au point de vue le plus général. Les argiles que nous présente la nature ont une composition variable entre d'assez grandes limites. Mais les corps qui portent ce nom réunissent un ensemble de caractères qui permet de les réunir en un seul groupe; ils donnent par l'exposition à l'air une matière blanche ou grise, quelquefois colorée par des mélanges accidentels, douce au toucher et présentant au frottement une odeur particulière, s'écrasant à l'état humide ou *vert* sans difficulté, assez dure quand elle est sèche.

L'argile desséchée happe fortement à la langue; quand on l'humecte et lorsqu'on la pétrit avec un peu d'eau, elle répand une odeur particulière *sui generis* dont la cause est inconnue; en même temps, elle forme une pâte liante, *plastique*, durcissant par l'exposition à l'air et surtout lorsqu'on la soumet à l'action d'une température élevée. Délayée dans beaucoup d'eau, l'argile trouble le liquide et reste en suspension pendant un temps souvent très-long, ce qui prouve la grande ténuité des particules tout à fait impalpables qui nagent au sein du liquide.

Les argiles sont essentiellement formées de silice, d'alumine et d'eau; aucun de ces corps isolés, aucune des combinaisons de ces corps deux à deux, n'a la propriété plastique; de plus, l'argile chauffée jusqu'à 200 ou 300 degrés et qui a perdu son eau de combinaison ne reprend plus sa plasticité, quand on vient à l'humecter de nouveau.

On ignore si les argiles sont des mélanges de divers silicates alumineux en proportions définies; les proportions des trois éléments sont variables dans la composition des argiles; elles renferment en général, pour 100 parties :

Silice	de 45 à 80
Alumine.	de 15 à 40

et de l'eau dont la proportion s'élève rarement au dessus de 18 pour 100.

On a remarqué que les argiles les plus alumineuses sont les plus plastiques; ce sont aussi celles qui contiennent le plus d'eau de combinaison. Telle est la composition de l'argile pure. Le plus généralement les argiles donnent à l'analyse d'autres substances qui modifient leur couleur et leurs propriétés; ces corps ne s'y trouvent certainement qu'à l'état de mélange, et ce mélange modifie les propriétés et les usages des terres argileuses : ces usages sont en rapport direct avec la composition.

Les argiles acquièrent par l'action du feu des propriétés remarquables : elles prennent de la dureté, de la cohésion, de la retraite; toutes ces modifications dans leurs propriétés initiales ont été mises à profit par les arts. Chauffées jusqu'à 100 degrés, elles ne perdent pas toute leur eau de combinaison, elles conservent leur plasticité qu'elles perdent complétement vers 300 degrés.

Une température convenable les transforme en des matières qui ne sont plus entamées par l'acier ou qui étincellent par le briquet, qui ne se brisent, sous le choc ou sous la pression, qu'avec la plus grande difficulté. En même temps, elles prennent du retrait ou de la retraite, c'est-à-dire que leurs dimensions linéaires diminuent et quelquefois dans la proportion de 20 pour 100; les molécules se rapprochent par ce mouvement, et c'est sans doute à ce rapprochement des molécules, comme à la combinaison qui peut en résulter, qu'il convient d'attribuer les modifications qui surviennent par la cuisson dans la cohésion et la dureté des pâtes céramiques.

La calcination les rend aussi plus facilement attaquables, surtout quand elles sont légèrement calcaires et qu'elles n'ont pas été soumises à des températures trop élevées. La fabrication en grand du sulfate d'alumine, qui remplace aujourd'hui l'alun dans la confection des toiles peintes, repose sur cette action de la chaleur sur les argiles. La matière qui n'est que difficilement attaquée, même à chaud, par l'acide sulfurique, lorsqu'elle est à l'état cru, se décompose rapidement, au contraire, si l'on fait agir l'acide sur des matières préalablement calcinées d'une manière convenable. L'argile que l'on choisit de préférence est le kaolin argileux le plus blanc, c'est-à-dire le plus dépouillé d'oxyde de fer. L'attaque se fait dans des vases de plomb avec l'acide sulfurique chauffé par de la vapeur qui circule dans des tuyaux de plomb placés dans les réservoirs d'attaque.

La retraite des argiles a été mise à profit pour établir un instrument propre, dans certaines limites, à la mesure des plus hautes températures. Le pyromètre de Wedgwood, que nous décrirons plus tard avec les détails convenables (voir PYROMÈTRE), est basé sur cette propriété. On sait qu'il est formé de deux règles métalliques se croisant sous un angle très-aigu; de petits disques d'argile blanche infusible, tous de même diamètre, sont soumis à l'action du feu; on juge par la diminution de leur diamètre, mesurée par la longueur de la course qu'ils peuvent faire entre les deux règles, la retraite qu'ils ont subie, c'est-à-dire la température à laquelle on les a soumis.

Les argiles, quand elles sont pures de tout mélange étranger, restent blanches à la température la plus élevée de nos fourneaux; elles ne fondent pas : de là, la propriété réfractaire qui appartient à tous les silicates d'alumine; seulement elles prennent une texture serrée, compacte, analogue à celle du grès ou de la porcelaine. Les argiles les moins ramollissables aux feux de nos fourneaux ne paraissent être ni les plus siliceuses ni les plus alumineuses : celles qui sont très-alumineuses se ramollissent sensiblement, et les pièces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui sont façonnées avec ces argiles se déforment notablement. Il y a quelques proportions intermédiaires correspondantes au maximum de résistance. Les températures très-élevées qu'on produit en petit par l'emploi du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène transforment les argiles en verre avec une très-grande facilité.

Nous avons dit que les argiles admettaient en mélange des matières étrangères : ces dernières sont assez nombreuses ; tantôt elles sont disséminées en fragments beaucoup plus volumineux que les particules argileuses, tantôt elles ont le même degré de ténuité. Dans le premier cas, on sépare aisément les matières étrangères par un délayage dans l'eau suivi d'une simple décantation ; les matières très-ténues restent en suspension bien plus longtemps que les autres, bien que leur densité soit à très-peu près la même. Cela tient à ce que la force qui tend à précipiter les matières au fond du vase est proportionnelle à leur masse, tandis que la force qui empêche leur précipitation est proportionnelle à la surface en contact avec le liquide ; or les masses croissent comme les cubes des dimensions, et les surfaces comme les carrés seulement ; la force accélératrice croît ainsi beaucoup plus rapidement que la force retardatrice, à mesure que les dimensions des particules augmentent.

En soumettant donc les argiles au lavage suivi d'une décantation, les matières qui ont une certaine masse se précipitent au fond du vase ; presque toutes les argiles que nous offre la nature laissent de la sorte déposer une quantité plus ou moins considérable de parties sableuses rudes au toucher ; ce sont :

1° Des grains de quartz reconnaissables à leur cassure inégale, non lamelleuse, à leur dureté, à leur couleur, à leur transparence, enfin aux autres caractères qui distinguent l'acide silicique.

2° Du feldspath moins dur que le quartz, en cristaux plus ou moins nets, opalins, fusibles au chalumeau.

3° Du mica qui se présente en lamelles très-minces, larges, restant longtemps en suspension dans l'eau ; le mica est souvent visible dans les argiles elles-mêmes sous forme de paillettes brillantes ; ces dernières se séparent alors en lits de mince épaisseur.

4° Des pyrites de fer ; ces pyrites sont des cristaux ou des grains de bisulfure de fer, lourds, ayant l'éclat métallique et la couleur jaune du laiton ; les pyrites se trouvent dans les argiles, surtout dans les variétés qui contiennent du bitume en quantité notable.

Les argiles contiennent encore d'autres matières qui sont intimement mélangées avec le silicate d'alumine et qu'on ne peut en séparer par la décantation ; ce sont le carbonate de chaux, l'oxyde de fer, le sulfure de fer, les alcalis et le bitume.

1° On reconnaît le carbonate de chaux à la propriété qu'ont les argiles de faire effervescence avec les acides ; une petite proportion de calcaire ne détruit pas la plasticité. Les argiles mêlées de calcaires prennent le nom de marne. Les marnes sont plastiques et se travaillent assez bien quand elles ne contiennent pas beaucoup de calcaire, comme 10 ou 12 pour 100. Ce sont les marnes argileuses ; elles acquièrent une grande dureté par le fait de la cuisson. On les emploie le plus ordinairement dans la fabrication des poteries communes.

Quand la proportion de calcaire dépasse une certaine limite, la matière devient plus solide et prend une texture plus compacte. Cependant il y a des marnes crayeuses qui ne présentent pas une très-grande consistance. L'argile, dans ce cas, se désagrége facilement sous les influences atmosphériques ; employée sans argile plastique dans la fabrication des poteries, elle ne donne pas des pâtes réellement plastiques. Les marnes calcaires sont moins employées que les marnes argileuses dans les arts céramiques, et seulement comme matières dégraissantes, c'est-à-dire antiplastiques.

2° L'oxyde de fer se trouve fréquemment disséminé dans les argiles ; il les colore quelquefois en rouge, il est alors à l'état de peroxyde anhydre ; d'autres fois en jaune ocreux, il est alors à l'état d'hydrate de peroxyde ; dans ce dernier cas, les argiles rougissent par l'exposition au feu, le peroxyde anhydre étant beaucoup plus colorant que l'hydrate. Les argiles absolument dépourvues de fer et qui ne se colorent pas par la calcination sont excessivement rares. Quelquefois l'oxyde de fer est engagé dans la combinaison sous forme de silicate ou de carbonate.

3° Le sulfure de fer qui se sépare quelquefois très-facilement par le lavage des argiles, ne s'aperçoit pas toujours ; il peut être disséminé dans la masse sous forme impalpable, comme il l'est dans certains calcaires qu'il colore soit en bleu, soit en gris. Beaucoup d'argiles peuvent devoir leur coloration à des sulfures de fer disséminés ; dans ce cas, la calcination fait apparaître une couleur rouge ou rougeâtre plus ou moins foncée, c'est l'indice de la présence du fer que le lavage ne séparerait pas.

Le carbonate de chaux et l'oxyde de fer, qui ne diminuent la plasticité de l'argile que lorsqu'ils lui sont mêlés en proportions notables, exercent une grande influence sur une propriété très-importante des argiles, la qualité réfractaire.

Certaines argiles sont rendues fusibles à haute température par la présence d'une quantité, même peu considérable, de chaux ou d'oxyde de fer ; aussi la plupart des poteries ordinaires fondent-elles en une matière vitreuse à la chaleur d'un four à porcelaine ; celles qui contiennent du fer donnent une matière vitreuse noirâtre, analogue aux scories des hauts fourneaux. J'ai dit plus haut que les argiles renfermaient quelquefois des pyrites en grains : ces pyrites sont beaucoup plus nuisibles dans la fabrication des poteries que les pyrites disséminées ; elles se transforment par le grillage en oxyde, et cet oxyde fait fondre toute la matière qui l'entoure en formant une cavité.

4° Les argiles renferment généralement une petite quanté d'alcalis (potasse et soude) dont le poids peut s'élever jusqu'à 2 ou 3 pour 100. Les argiles plastiques des environs de Paris n'en contiennent que 4 à 5 millièmes ; on en trouverait certainement dans toutes les argiles. Une petite quantité d'alcalis dans une argile suffit pour la rendre ramollissable à la haute température de nos fourneaux ; aussi les kaolins qui renferment 2 ou 3 pour 100 de potasse et de soude ne sont-ils pas complétement réfractaires ; ces éléments ne communiquent aucune coloration au silicate d'alumine, même aux températures les plus élevées. La texture serrée semi-vitreuse et la translucidité qui caractérisent la porcelaine sont dues à l'influence des silicates alcalins qui fondent au feu de cuisson. On peut admettre que, dans le plus grand nombre des cas, les alcalis que l'on rencontre dans les argiles proviennent des parties feldspathiques ou micacées qui s'y trouvent naturellement disséminées en particules tellement ténues, qu'elles ne peuvent être séparées de l'argile pure par un simple lavage.

5° Les argiles et les marnes sont souvent colorées en brun, en gris ou en noir, par des matières de nature organique qui exhalent une odeur bitumineuse par le frottement, par la calcination ; elles peuvent être employées comme les autres argiles dans la fabrication des poteries, et les objets qu'on en fait peuvent acquérir et conserver au feu une couleur noire due au charbon qu'ils contiennent quand la cuisson se fait à une température peu élevée ou comme en vase clos. Lorsque le charbon se brûle sous l'influence d'un courant d'air, on observe des places plus ou moins colorées en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rouge si l'argile est ferrugineuse. Certaines argiles renferment des proportions considérables de matières analogues à la houille et donnent des poteries noires que l'infusibilité du charbon rend très-réfractaires. Les creusets de plombagine employés dans certains cas sont faits avec cette sorte d'argile; du reste, on les imite artificiellement en faisant un mélange d'argile et de coke pulvérisé.

Pour faire l'analyse des argiles, on profite de ce que les argiles pures sont à peine attaquables par les acides faibles. On peut ainsi en séparer le calcaire et même l'oxyde de fer hydraté au moyen de l'acide oxalique, le résidu peut ensuite être décomposé pour l'analyse, soit à la température rouge, par une attaque à la potasse dans un creuset d'argent, ou par une attaque au carbonate alcalin, soit à la température ordinaire, par l'acide fluorhydrique.

Il est convenable de faire précéder l'analyse de toute argile d'une décantation en grand, opérée sur une quantité pesée de matière, afin de connaître la proportion de sable qui s'y trouve; à cet effet, on délaye la matière dans l'eau, dans un vase d'une assez grande capacité; on laisse reposer une ou deux minutes, puis on fait écouler la partie laiteuse avec la plus grande précaution pour ne rien entraîner du résidu sablonneux; on recommence à plusieurs reprises l'opération toujours de la même manière, en observant les mêmes règles, en mettant à chaque fois la matière en suspension jusqu'à ce que l'eau de lavage cesse d'être un peu sensiblement trouble après deux ou trois minutes de repos. On fait sécher les résidus afin de les amener au même degré de sécheresse que la prise d'essai, puis on pèse; on examine ensuite à la loupe le résidu sableux formé des substances dont il peut être utile de déterminer la nature.

Les silicates d'alumine sont attaquables par l'acide sulfurique concentré et chaud qui enlève une partie de l'alumine; un lavage avec une dissolution alcaline dissout la silice mise en liberté par ce premier traitement, et celle qui, primitivement à l'état de liberté, pouvait exister en mélange intime avec le silicate alumineux; on reprend par l'acide sulfurique pour décomposer une nouvelle portion de l'argile, et par la potasse pour dissoudre la silice que ce second traitement vient de rendre libre à son tour. On peut ainsi, par une suite d'attaques alternatives par l'acide sulfurique et la potasse, décomposer la totalité de l'argile proprement dite, et ne laisser à l'état insoluble que les matières étrangères, telles que le quartz, le feldspath, etc., non attaquables par les acides et les solutions alcalines, matières qui se trouvaient à l'état de mélange dans l'hydrosilicate alumineux.

La liqueur sulfurique contient de l'alumine, du fer, de la chaux, de la magnésie; on précipite le fer et l'alumine par l'hydrosulfate d'ammoniaque, qu'on sépare ensuite l'un de l'autre par la potasse après avoir redissous les sulfures dans l'acide chlorhydrique. Il reste des sulfates de chaux et de magnésie mêlés de sulfates alcalins; on les sépare au moyen de l'oxalate et du phosphate d'ammoniaque. C'est là ce qu'on appelle l'analyse rationnelle; c'est cette analyse qui permet de définir l'argile dans un but purement théorique et qui sert aux spéculations de la science. L'analyse empirique, celle qui intéresse le potier, le fabricant de produits chimiques, le fabricant de ciment hydraulique, etc., consiste à décomposer l'argile sans s'inquiéter de l'état de combinaison des éléments qu'elle contient: on détermine d'abord l'eau par une calcination, puis on attaque l'argile par la potasse au creuset d'argent, ou par le carbonate de soude au creuset de platine.

J'ai dit plus haut que l'argile cuite était plus attaquable par les acides que l'argile crue; MM. Vicat, Thénard et Berthier ont constaté cette propriété, mise depuis hors de doute par des expériences de M. Marignac. L'argile de Dreux, traitée par l'acide chlorhydrique, perd seulement les 0,25 de son poids lorsqu'elle est crue, et près de 0,45 quand elle est cuite; à une température très-élevée, la dissolution redevient très-difficile; les 0,08 du poids de l'argile seulement ont été dissous.

On a fait une expérience semblable avec une argile ferrugineuse, avec de l'ocre jaune. L'ocre crue a laissé sans se dissoudre un résidu pesant 0,63 insoluble dans l'acide chlorhydrique. Après une première calcination, ce résidu pesait 0,64; après une deuxième calcination, 0,57; enfin, après un troisième coup de feu, on n'a plus trouvé que 0,73 de résidu non attaqué.

Une marne, soumise aux mêmes essais, a perdu, crue, 0,58, et cuite, 0,60. Si l'on enlève le calcaire, l'argile crue laisse 0,70 et l'argile calcinée 0,95, c'est-à-dire 0,30 de perte dans un cas et seulement 0,05 dans l'autre. Ces résultats mettent hors de doute que la composition de l'argile exerce, tout aussi bien que la température employée pour la calcination, une influence importante sur les différences qu'on pourrait observer. La pâte de porcelaine crue perd 0,10 de parties solubles, tandis qu'elle n'en abandonne que 0,06 à l'état de dégourdi.

Les diverses méthodes d'analyses décrites plus haut ont conduit à la connaissance exacte de certaines argiles qu'on est convenu de considérer comme types. Nous les avons classées dans les tableaux qui suivent, et je n'ai pas cru devoir omettre ici les résultats qui représentent les compositions et les usages des principales argiles provenant soit du territoire français, soit des contrées environnantes. Beaucoup de ces analyses ont été faites au laboratoire de Sèvres par les différents chimistes qui ont été successivement attachés à cet établissement, MM. Laurent, Malaguti, Marignac, Salvétat; quelques autres sont empruntées au traité classique de M. Berthier, sur les Essais par la voie sèche, t. I, p. 39 et suivantes :

ARGILES DES LOCALITÉS PRISES EN FRANCE.

		POUR 100 PARTIES D'ARGILE séchées à + 100 degrés centigrades.					
		Eau.	Silice.	Alumine.	Oxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.
1	Abondant. .	13.10	50.60	35.20	0.40	0.00	0.00
2	Arcueil . . .	11.01	62.14	22.00	3.09	1.68	traces
3	Belin	8.64	63.57	27.45	0.15	0.55	traces
4	Échassières. .	16.40	49.20	34.00	0.00	0.00	0.00
5	Étrépigny. .	9.96	70.00	18.50	0.50	0.75	traces
6	Forges. . . .	11.00	65.00	24.00	traces	0.00	0.00
7	Gaujac. . . .	14.50	46.50	38.10	0.00	traces	0.00
8	Hayanges . .	7.50	66.10	19.80	6.30	0.00	0.00
9	Klingenberg.	16.00	48.32	32.48	1.52	1.64	traces
10	Labouchade .	12.00	55.40	26.40	4.20	0.00	0.00
11	Leyval. . . .	12.60	52.00	31.60	4.40	0.00	0.00
12	Livernon . .	18.00	49.00	24.00	6.26	2.00	0.00
13	La Malaise. .	15.00	52.53	26.50	0.53	3.00	1.50
14	Montereau. .	10.00	64.40	21.60	traces	0.00	0.00
15	Provins . . .	»	57.00	37.00	4.00	1.70	0.00
16	Retourneloup	16.96	42.00	38.96	0.55	1.04	0.17
17	Salavas . . .	11.05	58.76	25.10	2.50	traces	2.51
18	Savoignies. .	»	65.00	31.00	1.00	traces	2.00
19	Strasbourg. .	12.00	66.70	18.20	1.60	0.00	0.60
20	Vaugirard. .	14.38	51.84	26.10	4.91	2.25	0.23

Voici les caractères et les usages de ces diverses argiles :

1. Argile d'Abondant, près Dreux (Eure-et-Loir),

EFERUS - Recherche & Classification numérique

blanche, plastique, très-estimée, sert à faire des hygrocérames, des grès, des cazettes à porcelaine, des creusets pour fondre l'acier; très-réfractaire. On peut supposer que, dans cette argile, une partie de l'alumine est à l'état d'hydrate d'alumine en mélange avec le silicate alumineux hydraté. Les qualités de cette terre, sa manière d'être dans la nature, sur laquelle nous reviendrons plus loin, permettent cette hypothèse.

2. Argile d'Arcueil (Seine), noirâtre, plastique, inférieure au calcaire grossier; utilisée dans la fabrication des poteries de Paris.

3. Argile de Belin (Ardennes), grise, plastique, infusible, mais se frittant légèrement au grand feu de porcelaines; on l'emploie dans les faïenceries de Douai.

4. Argile d'Echassières (Allier), blanche et plastique, sert à la confection des creusets à fondre l'antimoine; on la fait entrer aussi dans la composition de quelques porcelaines dures.

5. Argile d'Étrépigny (Jura), grasse, verdâtre, chargée de grains de quartz, infusible; employée dans les faïenceries du Doubs.

6. Argile de Forges (Seine-Inférieure), plastique, grise, supérieure à la craie; très-estimée pour la fabrication des pots de verrerie, pour la faïence fine et la faïence commune.

7. Argile de Gaujac (Landes), plastique et blanche; sert à faire les cazettes de la manufacture de Villedieu.

8. Argile de Hayanges (Moselle), jaunâtre, sableuse; employée à la fabrication des briques réfractaires.

9. Argile de Klingenberg (Vosges), plastique, grise; sert à faire les pots de verrerie, cuvettes pour les glaces coulées, etc.

10. Argile de Labouchade, près de Montluçon (Allier), dure, blanc-jaunâtre; sert à faire des pots de verrerie.

11. Argile de Leyval (Charente-Inférieure), blanche, marbrée de rouge; employée dans la fabrication des pots de verrerie.

12. Argile de Livernon (Lot), rouge; sert dans la fabrication des poteries faites en imitation des poteries étrusques.

13. Argile de la Malaise (Haute-Vienne), plastique, veinée de rouge, infusible au grand feu; sert à la confection des cazettes pour la porcelaine de Limoges.

14. Argile de Montereau (Yonne), plastique, d'un gris clair; très-estimée dans la fabrication des terres dites anglaises à Creil, Montereau, Rubelles, Courbeton, Salins, etc. Les variétés communes donnent des briques réfractaires dites de Bourgogne. Nous ferons remarquer, en temps utile, les différences que les mêmes bancs de cette argile présentent dans leur composition. Elles sont telles qu'il faut une très-grande habitude pour distinguer à première vue les gîtes de la meilleure qualité.

15. Argile de Provins (Seine-et-Marne), plastique, blanchâtre; employée pour la fabrication des briques réfractaires et momentanément à Sèvres pour les cazettes à porcelaine.

16. Argile de Retourneloup (Seine-et-Marne), plastique, grise, mêlée de veines rouges, infusible; sert à fabriquer actuellement les cazettes dont fait usage la manufacture impériale de Sèvres.

17. Argile de Salavas (Ardèche), plastique, rosâtre, avec paillettes de mica, infusible, devenant grise au grand feu des fours à porcelaine; employée pour faire les creusets à fondre l'acier de Saint-Étienne.

18. Argile de Saveignies (Oise), plastique, noirâtre, supérieure à la craie; employée dans la fabrication des grès et poteries du pays.

19. Argile de Strasbourg (Bas-Rhin), plastique, grise; employée dans la fabrication des terres de pipe de Strasbourg.

20. Argile de Vaugirard (Seine), noirâtre, plastique, veinée; sert à faire la poterie commune de Paris.

Les dépôts argileux ne sont pas très-rares; d'autres contrées que la France en possèdent des amas qui sont renommés; nous en citerons quelques-uns parmi les plus importants. Voici leurs compositions, leurs usages et leurs caractères.

ARGILES DE LOCALITÉS PRISES HORS DE FRANCE.

		POUR 100 PARTIES D'ARGILE séchées à + 100 degrés centigrades.					
		Eau.	Silice.	Alumine.	Oxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.
1	Bornholm. .	5.92	72.50	19.50	1.00	0.50	0.50
2	Helsingborg.	9.00	60.70	20.45	7.93	0.55	0.47
3	Gloukoff. . .	16.50	46.35	37.00	0.00	0.00	0.15
4	Devon. . . .	11.20	49.60	37.40	0.00	0.00	0.00
5	Longport . .	10.60	54.50	16.50	3.13	3.37	0.00
6	Stourbridge .	17.34	45.25	28.77	7.72	0.47	0.00
7	Andennes. .	19.00	52.00	27.00	2.00	0.00	0.00
8	Antragues. .	9.00	71.00	19.00	0.00	0.00	0.00
9	Lautersheim.	13.56	49.00	33.09	2.10	2.00	0.20
10	Valendar. . .	6.75	65.27	24.19	1.00	0.00	2.02
11	Gross-Almerode. . . .	14.00	47.50	34.37	1.24	0.50	1.00
12	Loshhayn . .	11.70	61.52	20.92	0.50	0,02	4.97
13	Theuberg . .	10.00	58.39	27.94	traces	0.74	1.00
14	Gottweith. .	10.00	65.60	20.75	2.00	1.55	traces

1. Argile de l'île de Bornholm (Danemark), plastique, grise, supérieure à la craie; employée pour la confection des cazettes dans la manufacture de Copenhague.

2. Argile de Helsingborg (Suède), plastique, grisâtre; employée dans la fabrication des grès de Scanie.

3. Argile de Gloukoff (Russie), blanche, plastique; base de la porcelaine de Saint-Pétersbourg.

4. Argile de Devon (Angleterre), plastique, grise; base des cailloutages anglais; très-estimée.

5. Argile de Longport (Angleterre), plastique, violacée; sert à faire les briques ferrugineuses du Staffordshire.

6. Argile de Stourbridge (Angleterre), noire, peu plastique, provenant du terrain houiller, infusible; sert à faire les creusets à fondre l'acier, les briques réfractaires, etc.

7. Argile d'Andennes (Belgique), plastique, blanche; employée dans les faïenceries d'Andennes; sert à faire des creusets, des pots de verrerie, etc.

8. Argile d'Antragues (Belgique), plastique, grise, très-estimée pour faire des pots de verrerie, des cornues de distillation pour les fabriques de gaz d'éclairage, des briques réfractaires, des faïences, etc.

9. Argile de Lautersheim (Prusse), plastique, blanchâtre; base des poteries fines de Mettlach, de Vaudrevanges, de Sarreguemines.

10. Argile de Valendar (Prusse), plastique, grisâtre; base des poteries fines de Mettlach, des grès du Rhin, etc.

11. Argile de Gross-Almerode (duché de Hesse), plastique, grise, inférieure aux terrains lignifères, très-pure; très-estimée pour faire les creusets de Hesse. Ces creusets sont fabriqués avec un mélange d'argile et de sable quartzeux; ils supportent sans se fêler les changements de température les plus brusques.

12. Argile de Loshhayn, près Meïssen (Saxe), noirâtre, mêlée de quartz; sert à fabriquer les cazettes dans la manufacture de Meïssen.

13. Argile de Theuberg (Bohême), plastique et grise, douce au toucher, inférieure aux terrains de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lignite; employée dans la manufacture d'Elbogen pour fabriquer les cazettes à cuire la porcelaine.

14. Argile de Gottweith, près Krems (Autriche), d'un vert sale pâle, mêlée de taches ferrugineuses; employée dans les manufactures de Vienne pour la confection des cazettes.

Dans toutes ces argiles, il y a plus ou moins de potasse ou de soude qui n'ont pas été dosées; la présence de l'alcali peut modifier un peu les qualités qu'on serait, à première vue, tenté d'attribuer à ces argiles d'après leur teneur en alumine.

Les argiles sont très-abondantes dans la nature; elles se présentent généralement en couches assez régulières dans les terrains appelés stratifiés, formés au sein des eaux, soit douces, soit marines, intercalées entre les couches de grès, de calcaires, etc. On y trouve très-souvent des débris organiques fossiles, animaux ou végétaux; elles sont évidemment le produit d'un dépôt formé par une matière primitivement en suspension au sein d'un liquide charriant des matériaux de transport.

Les argiles existent dans presque tous les terrains stratifiés.

Les argiles plastiques et réfractaires sont supérieures à la craie, et appartiennent à la base du terrain tertiaire; on en trouve dans le terrain houiller. Les argiles mêlées de calcaires sont beaucoup plus répandues; elles appartiennent à tous les terrains stratifiés (oolithe), craie, terrains tertiaires; les argiles rouges sont assez abondantes. Nous allons voir que les argiles sont des kaolins transportés, qui, dans leur transport, ont été souillés par des matières étrangères.

Une seule matière argileuse, la terre à porcelaine qu'on nomme kaolin, fait exception à cette règle générale et se présente sous forme d'amas tout à fait irréguliers au milieu des roches primitives, comme le granite, le gneiss, entremêlée d'autres roches que leur analogie avec les roches volcaniques indique comme ayant originairement possédé l'état de fusion.

On distingue les kaolins argileux, sablonneux, caillouteux.

Tantôt le kaolin se présente en masses onctueuses, très-blanches, douces au toucher, liantes et plastiques, avec tous les caractères d'une véritable argile; c'est un kaolin *argileux*. Tantôt la décantation laisse une quantité de grains fins de quartz et de feldspath; c'est le kaolin *sablonneux*.

Tantôt enfin le gîte de kaolin se compose d'une masse blanche qui s'égrène entre les doigts, mais qui n'est pas plastique; délayée dans l'eau, cette matière se désagrége et donne un kaolin pur, véritable argile qu'on sépare par l'évigation des grains plus ou moins volumineux de quartz ou de feldspath; c'est le kaolin *caillouteux*.

L'étude des gîtes de kaolins a permis de préciser l'origine des roches que l'aspect extérieur éloigne, en apparence seulement, des véritables argiles. En effet, les kaolins ne se sont montrés associés jusqu'à ce jour qu'avec les roches suivantes:

Les pegmatites, à Saint-Yrieix (Haute-Vienne), à Cambo, dans les Pyrénées; à Saint-Stephen, dans les Cornouailles.

Les gneiss, à Passau, à Saint-Yrieix.

Les granites, à Hall, près Schneeberg.

Les curites, à Tretto, dans le Vicentin.

Les porphyres, en Saxe, à Morl, près de Hall.

Or, toutes ces roches, au milieu desquelles le kaolin se trouve enclavé, renferment un élément commun qui est le feldspath.

Ce silicate, répandu dans la roche, soit à l'état de cristaux, soit à l'état de pâte réunissant les cristaux parfaits, se montre souvent intact, et souvent aussi sans résistance et sans solidité; l'examen attentif de la

roche démontre d'une manière évidente que ce sont les parties feldspathiques qui se sont transformées en cette matière blanche de nature argileuse, qu'une décantation permet d'isoler et qui a tous les caractères d'un kaolin.

On trouve même des cristaux de feldspath imparfaitement décomposés.

La conclusion la plus naturelle qu'on puisse tirer de l'observation de ce dernier fait est que le kaolin provient de la décomposition du feldspath sous certaines influences atmosphériques. La connaissance des compositions chimiques des deux matières conduit au même résultat:

Le feldspath renferme :			Le kaolin supposé pur contient :		
$4\,(Si\,O^3)$	silice. . . .	64.8	$Si\,O^3$	silice.	39.5
$Al^2\,O^3$	alumine . .	18.3	$Al^2\,O^3$	alumine . . .	44.8
KO	potasse. . .	16.9	2 (HO)	eau	15.7
		100.0			100.0

En rapportant les deux compositions à la même proportion d'alumine égale à 100, on aura :

	Pour le feldspath.	Pour le kaolin.
Alumine.	100	100
Silice	332	88
Potasse	92	0
Eau	0	35
	524	223

Ainsi le feldspath perd les trois quarts de la silice et gagne de l'eau. On peut représenter cette réaction par la formule chimique

$$4\,(Si\,O^3)\,KO, Al^2O^3 + 2(HO) = \begin{cases} 3\,(Si\,O^3)\,KO \\ Si\,O^3, Al^2O^3, 2\,(HO). \end{cases}$$

La matière s'est transformée en une autre qui ne pèserait plus que les 0.4 environ si la décomposition était complète, ce qui n'a pas lieu généralement; il reste presque toujours de la potasse et de la silice en excès, ce qui semble prouver une altération incomplète.

Les kaolins de toutes les localités contiennent encore des alcalis, comme le démontrent les analyses suivantes:

		POUR 100 PARTIES SÉCHÉES à + 100 degrés.			
		Eau.	Silice.	Alumine.	Alcalis.
1	Limousin. .	13.10	48.00	37.00	2.50
2	Nièvre . . .	12.60	49.00	36.00	1.60
3	Bretagne . .	13.00	48.00	36.00	2.00
4	Chine. . . .	14.20	50.00	33.70	1.90
5	Pyrénées. .	14.50	48.00	34.60	2.15
6	Russie . . .	12.60	48.00	36.00	2.40

Quand le granite se décompose, le kaolin est mêlé de mica; en partie décomposé, il est coloré, ferrugineux, et ne peut donner des porcelaines translucides et complétement blanches. Le granite se présente quelquefois sans mica. La roche est alors composée de quartz et de feldspath; on l'appelle pegmatite; c'est la décomposition de la pegmatite qui donne lieu généralement aux gîtes des meilleurs kaolins; le quartz est plus ou moins abondant, le kaolin est alors plus ou moins caillouteux. Quoi qu'il en soit, ces gîtes sont ordinairement très-irréguliers, et le kaolin argileux, qui est très-rare, se trouve sous forme de veines ou d'amas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peu importants au milieu des gîtes de kaolins caillouteux.

Ces roches sont fréquemment associées à des terres rougeâtres, ferrugineuses, qui entourent le gîte. M. Brongniart a conclu de ces observations générales que cette association avait facilité la transformation du feldspath en kaolin.

On a cherché longtemps à expliquer la décomposition du feldspath ; diverses réactions se sont présentées à l'esprit.

1° Par une longue ébullition dans l'eau sous une forte pression, le feldspath laisse dissoudre de la silice et de la potasse (Forkhammer) ; les parois de carrières feldspathiques constamment mouillées se kaolinisent.

2° Du feldspath en poudre humide, mis dans un tube en U dans lequel on détermine un courant électrique, a donné sur l'un des pôles une réaction alcaline au bout de deux ans. (Brongniart et Malaguti.)

Ainsi, un courant électrique, longtemps prolongé, transmis par l'eau, peut à la longue décomposer le feldspath. M. Brongniart en avait conclu que le contact des roches ferrugineuses déterminant un courant électrique pouvait avoir accéléré la décomposition ; mais l'eau seule, surtout chargée d'acide carbonique, sous une forte pression, suffit pour déterminer ces transformations, ainsi que l'ont démontré des exemples tirés par M. Fournet des carrières de Pontgibeaud.

La décomposition des granites sur de grandes étendues paraît s'opérer, sans qu'il y ait nécessité d'une action électrique, par la simple action de l'eau, de l'air et de l'acide carbonique. Les roches en décomposition sont constamment lessivées ; l'acide carbonique que l'eau tient en dissolution forme du carbonate de potasse, et la silice est à son tour entraînée par cette dissolution alcaline.

La formation du nitre peut encore enlever des alcalis à l'état d'azotate ; c'est ainsi que s'explique la formation des nitrières de l'Espagne et de la Barbarie.

L'étude des gîtes de kaolins fait voir que les roches sont surtout décomposées près de la surface du sol ; pegmatites et granites se comportent de même ; en descendant en profondeur, on est presque certain de rencontrer la masse inaltérée, et l'on peut avancer que les causes qui ont agi n'ont pas transformé les silicates au delà d'une vingtaine de mètres. Comme la pegmatite en s'altérant diminue beaucoup de volume, on peut expliquer, au moins dans de certaines limites, le désordre qu'on remarque dans les relations que présentent les diverses roches mises à nu par l'exploitation des carrières.

Il est évident d'ailleurs que les différents granites, j'ajouterai même, les divers points d'une même formation granitique, présentent de grandes différences entre eux sous le rapport de la facilité avec laquelle leur décomposition s'opère.

Le rendement des kaolins bruts est excessivement variable, souvent d'un point à un autre du même gisement.

Le kaolin argileux laisse quelquefois 0,03 de sable dont la nature est tantôt siliceuse, tantôt feldspathique. La proportion de ce résidu peut s'élever jusqu'à 0,15 ou 0,20, mais c'est un maximum assez rare.

Le kaolin caillouteux ne donne souvent au lavage que 0,20 d'argile pure, quelquefois il en produit 0,70. Des différences de même ordre sont observées dans le lavage des kaolins sablonneux.

Les kaolins s'exploitent à ciel ouvert et par gradins.

Les matières montées au jour par des femmes ou des enfants sont épluchées avec un grand soin ; on rejette les parties ferrugineuses, qu'on distingue facilement à la vue. On enlève avec un couteau les veinules ocreuses dont les masses sont injectées, et les matériaux ainsi dépouillés de fer sont mis de côté pour servir à la confection des pâtes de porcelaine.

Dans le Limousin, les pâtes se composent directement avec les variétés de kaolin caillouteux, sans lavage, auxquelles on ajoute 1° des kaolins argileux, qui sont rares et également non lavés ; 2° des cailloux, et 3° des argiles qu'on nomme *décantées* et qui proviennent du lavage des rebuts que laisse l'épluchage.

En Angleterre, dans le Nivernais ou l'Allier, on traite par lavage en grand les kaolins bruts, et ce lavage se fait par toutes les méthodes employées dans les arts métallurgiques pour le débourbage et la séparation des minerais de leurs gangues inutiles.

Les kaolins ont dans le commerce des valeurs différentes, suivant leurs qualités. Le plus estimé, le plus coûteux, mais aussi le plus rare, est le kaolin argileux. On le trouve à Limoges, aujourd'hui, rendu en gare au prix de 13 à 15 francs les 100 kilog. à l'état sec. L'argile décantée ne vaut guère que 6 à 8 fr. les 100 kilog.

La formation du kaolin n'est pas un fait isolé ; rien n'est plus facile que d'y rattacher l'origine des argiles et de toutes les matières sédimentaires. Le kaolin est une argile en place ; l'argile est le kaolin transporté qui, dans son transport, s'est trouvé, comme nous l'avons dit, souillé de matières étrangères. Les travaux d'Ebelmen ont expliqué ces phénomènes de la manière la plus philosophique.

La transformation des espèces feldspathiques en kaolin est un fait acquis à la science ; ce n'est qu'un cas particulier des altérations que subit ou peut subir la croûte extérieure du globe terrestre. Ce phénomène, accompli sur une très-grande échelle autrefois, s'accomplit probablement encore tous les jours, et l'élément feldspathique n'est pas le seul qui se trouve altéré ; des silicates, qui ne renferment pas d'alcalis, sont souvent aussi décomposés, et la liste des roches ou minéraux examinés attentivement et trouvés dans des états d'altération que l'analyse chimique a permis de suivre pour ainsi dire pas à pas, montre d'une manière évidente que la transformation du feldspath en kaolin rentre dans le fait général de la décomposition des silicates sous l'influence des agents atmosphériques.

On a constaté l'altération en quelque sorte kaolinique dans le bisilicate de manganèse d'Alger, dans le bisilicate de manganèse de Saint-Marcel, dans la bustamite de la mine d'argent de Tétala (Mexique), dans le grenat mélanite de Beaujeux (Rhône), dans le basalte de Crouzet, dans le basalte de Polignac (Haute-Loire), dans le basalte du Krammer-Bull, près Eger (Bohême), dans le grau-stone des environs de Saint-Austell (Cornwall), dans le basalte de Linz (bords du Rhin). Or, dans tous ces minéraux, dans toutes ces roches, on a vu la plupart des éléments disparaître, et l'alumine se concentrer dans les résidus en combinaison avec l'acide silicique avec fixation d'une certaine quantité d'eau.

En généralisant le fait de cette décomposition et l'étudiant en dehors de toute hypothèse sur les causes premières de l'altération, on peut résumer ainsi les principes qui régissent la décomposition des silicates sous l'influence des agents atmosphériques.

1° Dans la décomposition des silicates contenant de la chaux, de la magnésie, des protoxydes de fer et de manganèse, sans alumine, on trouve constamment que la silice, la chaux, la magnésie sont éliminées et tendent à disparaître complétement par le fait de la décomposition ; tantôt le fer et le manganèse restent dans le résidu à un état d'oxydation supérieur au protoxyde, tantôt ils disparaissent comme les autres bases.

2° Dans la décomposition des silicates contenant de l'alumine et des alcalis avec ou sans les autres bases, l'expérience prouve que l'alumine se concentre dans le produit de la décomposition, en retenant une partie de la silice et en fixant une certaine quantité d'eau, pendant que les autres bases sont entraînées avec une grande partie de la silice.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le produit final de la décomposition se rapproche de plus en plus de la composition d'un silicate d'alumine hydraté.

Comme conséquence de ces faits, on admettra que toutes les roches ignées contenant de l'alumine laissent par leur décomposition un résidu argileux plus ou moins pur, plus ou moins mélangé de quartz, d'oxyde de fer, etc., suivant la nature de la roche primitive et suivant les circonstances qui ont accompagné son altération.

Si, de plus, on considère que presque toutes les roches d'origine ignée sont sujettes à la décomposition, sous l'influence atmosphérique, on pourra facilement rattacher à la décomposition de ces terrains, qui sont si répandus dans la masse de la terre, la formation des matières argileuses. On peut faire remarquer à l'appui de cette opinion que l'on ne rencontre que par exception, dans les terrains stratifiés, des silicates à plusieurs bases analogues à ceux des roches plutoniques, tandis que le silicate d'alumine hydraté, l'argile, en forme l'élément principal.

Toutes les argiles enfin renferment, comme M. Mitscherlich et d'autres chimistes l'ont démontré, des quantités d'alcalis qui prouvent leur communauté d'origine avec les kaolins.

La promptitude avec laquelle la roche, amenée de la sorte à l'état terreux, peut être délayée dans les eaux pluviales, explique d'une manière simple son entraînement par voie mécanique jusque dans les terrains marins ou lacustres où les matières se sont déposées.

On trouverait difficilement une autre origine aux masses argileuses des terrains stratifiés ; personne ne saurait voir dans ces matières le résultat d'une simple désagrégation des roches ignées.

Elles diffèrent de celles-ci par leur composition chimique moins complexe, par l'eau qu'elles renferment en combinaison, par leurs propriétés physiques, par leur plasticité et leur infusibilité.

Cette explication paraît satisfaire d'une manière complète à toutes les conditions du problème ; on explique ainsi toutes les variétés que présentent ces couches, soit dans leur composition, soit dans leur nature ; car les eaux qui entraînent l'argile en suspension enlèvent en même temps d'autres matières de grosseur et de densité différentes qui peuvent se mêler avec les dépôts argileux (sable, mica) ; ces dépôts mécaniques se mélangent nécessairement d'ailleurs avec les autres corps qui se précipitent chimiquement dans le même bassin, comme la silice qui a été dissoute et qui se sépare sous l'influence de l'acide carbonique de l'air ou de l'eau pure elle-même, comme les carbonates de chaux et de magnésie, comme l'oxyde de fer, etc.

Si l'on applique aux kaolins les procédés d'analyse rationnelle que nous avons décrits plus haut, on trouve qu'en général, en négligeant les résidus éloignés par les lavages successifs, par l'acide sulfurique et la potasse, les formules qui représentent la composition de l'hydrosilicate d'alumine contiennent l'alumine et l'eau dans des proportions définies dans le rapport de 1 à 2.

Les analyses dues à M. Malaguti le démontrent évidemment.

Le tableau qui suit contient les résultats des analyses sur lesquelles MM. Brongniart et Malaguti purent établir leur théorie. La première colonne contient le poids du résidu, c'est-à-dire le silicate insoluble dans les acides et les alcalis, après plusieurs traitements successifs ; il est étranger à la constitution chimique du minéral. La deuxième et la troisième colonne contiennent les proportions d'alumine et de silice abandonnées aux agents acides et basiques employés pour l'attaque. La dernière renferme l'eau de combinaison nécessaire à la constitution de l'argile.

		Résidu.	Silice.	Alumine.	Eau.
1	Saint-Yrieix	9.76	42.07	34.65	12.17
2	Les Pieux. .	9.67	42.31	34.51	12.09
3	Clos-Madme	8.96	39.91	36.37	12.94
4	Chabrol. . .	24.87	32.93	29.88	10.73
5	Cornouailles	19.65	46.63	24.06	8.74
6	Devon . . .	4.30	44.26	36.81	12.74
7	Chiesi . . .	8.14	45.03	32.24	11.36
8	Piémont . .	48.00	23.94	21.14	7.42
9	Passau . . .	4.50	42.15	37.08	12.83
10	Auc.	18.00	35.98	34.12	11.09
11	Seidlitz. . .	12.33	40.78	34.16	12.10
12	Hall	43.84	26.10	22.50	7.55
13	Oporto . . .	0.11	40.62	43.94	14.62
14	Sargadelos .	5.64	43.25	37.38	12.83
15	Wilmington	22.81	32.69	35.01	12.12

Les analyses 1, 2, 6, 11, 12, 14, correspondent à la formule

$$4\,(Si\,O^3),\ 3\,(Al^2\,O^3) + 6\,(HO).$$

Les analyses 3, 4, 6, 9, correspondent à la formule

$$5\,(Si\,O^3),\ 4\,(Al^2\,O^3) + (HO).$$

L'analyse 7 donne la formule

$$3\,(Si\,O^3),\ 2\,(Al^2\,O^3) + 4\,(HO).$$

Les analyses, 5, 13 et 15 conduisent à la formule

$$2\,(Si\,O^3),\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO).$$

Les nombres inscrits dans la deuxième colonne présentent généralement plus de silice que d'alumine ; or si l'on traite le kaolin brut par une lessive étendue de soude caustique, on enlève précisément cet excès de silice qui est à l'état gélatineux, hors combinaison.

Dans tous ces kaolins, les compositions se présentent, en définitive, par les formules beaucoup plus simples

$$Si\,O^3,\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO).$$

Les kaolins de Cornouailles et d'Oporto n'ont rien perdu. Or nous savons que la formule

$$Si\,O^3,\ Al^2\,O^3 + 2\,(HO)$$

est précisément celle que donne l'équation par laquelle nous avons représenté l'altération du feldspath. La présence de la silice libre s'explique avec non moins de facilité. La combinaison

$$3\,(Si\,O^3),\ KO,$$

qui est insoluble, se décompose à son tour en

$$Si\,O^3 + 2\,(Si\,O^3)\,KO$$

en partie soluble, et la présence de la silice gélatineuse est une conséquence de cette altération.

De ces expériences, nous déduisons avec MM. Brongniart et Malaguti, dont nous transcrivons les conclusions si nettement posées dans un travail remarquable :

1° Les kaolins normaux, à l'état brut et seulement débarrassés par le lavage des corps grossiers qui leur sont étrangers, sont un mélange d'argile kaolinique, et d'un résidu qui ne se dissout ni dans les alcalis, ni les acides, renfermant des silicates à diverses bases.

2° L'argile de kaolin est une combinaison de silice, d'alumine et d'eau, dans des proportions définies, à peu près toujours les mêmes et qu'on peut représenter par une formule invariable.

3° Mais il y a dans beaucoup de ces argiles un excès de silice hors de combinaison, susceptible d'être dissoute, suivant certaines règles, dans la potasse caustique et qui se sépare nettement du silicate d'alumine hydraté, constituant la véritable argile kaolinique. Le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

silicate d'alumine, débarrassé de cet excès de silice, donne une formule plus simple et plus générale que nous appellerons formule définitive:

$$Si\,O^3, Al^2\,O^3 + (HO).$$

4° Cet excès de silice dans les argiles kaoliniques peut être regardé comme le résultat d'une action électrique, qui d'abord a transformé successivement le feldspath en argile de kaolin et en silicate de potasse insoluble; puis qui a, par une nouvelle action, dédoublé ce dernier en silicate soluble et en silice qui reste dans le mélange avec l'argile.

5° Enfin, la variabilité dans la proportion de cet excès de silice dans les différentes argiles kaoliniques peut dépendre de l'action postérieure des eaux naturelles qui ont dépouillé ces argiles d'une plus ou moins grande quantité de silice dissoluble.

Les gîtes de kaolin sont, en France, assez nombreux; on connaît ceux de Saint-Yreix et de Cherbourg; les départements de la Nièvre et de l'Allier sont riches en kaolins de bonnes qualités. Les environs de Brest paraissent devoir fournir des carrières exploitables et de qualités supérieures, capables de lutter avec celles des kaolins de Bayonne, entrés en concurrence depuis longtemps avec les terres du Limousin.

La formule

$$Si\,O^3, Al^2\,O^3 + 2\,(HO),$$

par laquelle nous avons représenté la composition de généralité des kaolins, ne pourrait représenter d'une manière absolue tous les kaolins, quelle que soit leur provenance, quelles que soient les circonstances dans lesquelles ils se sont formés, quelle que soit enfin la formule de la matière minérale de laquelle ils dérivent. Dans leur important travail, MM. Brongniart et Malaguti avaient rencontré des anomalies. Il est probable que ceux des kaolins dont les analyses rationnelles ont conduit à des formules compliquées par rapport à celle que nous venons d'admettre, appartiennent à des types différents ayant une origine différente.

C'est sans doute à ces types qu'il convient de rattacher certaines matières argileuses très-hydratées, auxquelles on donne les noms de collyrites, d'halloysites, de lenzinites, de smectites, etc.

Ces substances, qui peuvent être employées dans la fabrication des poteries, diffèrent des kaolins par leur homogénéité; elles diffèrent encore des argiles proprement dites parce qu'elles se présentent en place, c'est-à-dire parce qu'elles ne paraissent pas avoir été soumises à des transports qui les ont souillées de quartz, de mica, de pyrites, etc.

Je donne dans le tableau suivant la composition de quelques-unes de ces matières, et les formules par lesquelles on peut les représenter:

		$Si\,O^2$.	$Al^2\,O^3$.	H O.
1	Halloysite de Saint-Jean-de-Col.	45.55	22.60	26.20
2	Halloysite de Montmorillon	51.10	20.68	25.34
3	Lenzinite de Saint-Sever. .	48.40	36.80	13.00
4	Lenzinite de la Villate. . .	36.30	36.00	21.50
5	Lenzinite de Hall.	39.50	37.50	25.00
6	Smectite de Condé.	43.00	32.50	24.07

Ces chiffres conduisent aux formules:

$$2\,(Si\,O^3), Al^2\,O^3 + 7\,(HO),$$
$$2\,(Si\,O^3), Al^2\,O^3 + 9\,(HO),$$
$$(Si\,O^3), Al^2\,O^3 + 2\,(HO),$$
$$(Si\,O^3), Al^2\,O^3 + 3\,(HO),$$
$$(Si\,O^3), Al^2\,O^3 + 4\,(HO),$$

Je néglige ici les matières étrangères à la constitution des minéraux. On voit combien ces substances sont différentes; on comprend que, par leur mélange avec les argiles de kaolin pur, elles puissent en altérer la composition et masquer la véritable nature de ces matières minérales.

On trouve quelques-unes de ces substances au milieu même de masses argileuses, comme si leur formation avait de l'analogie avec celle des silex de la craie réunis en rognons; la singularité de ces gisements explique la bizarrerie de certaines masses argileuses qui, loin de se présenter en lits stratifiés régulièrement, affectent au contraire des allures accidentées.

Quelques argiles, même parmi les argiles éminemment plastiques, se présentent en amas à peu près lenticulaires ou ellipsoïdaux allongés, dont l'exploitation, en raison même de cette circonstance, est suivie rarement avec régularité. Nous citerons comme appartenant à cette espèce les meilleures argiles de Dreux et de Montereau; elles se rencontrent dans des amas argileux plus ou moins plastiques, mais qu'il faut éloigner par une exploitation intelligente, parce qu'ils n'offrent ni la blancheur ni la plasticité des nodules ou noyaux que l'industrie estime au plus haut degré.

SALVETAT.

ARMES A FEU. Les inventions les plus récentes pour le perfectionnement des armes à feu sont toutes dans la voie nettement tracée dans notre premier article et dans celui consacré aux CARTOUCHES métalliques. Le perfectionnement de celles-ci a en effet, comme il a été dit, assuré une supériorité incontestable aux armes qui en font usage. De là est résulté une double série d'inventions: les unes de simplification des fusils à aiguille en y employant des cartouches métalliques, les autres de modification des moyens destinés à maintenir directement la cartouche dans le canon, sans les complications apportées aux fusils à aiguille pour satisfaire au programme de n'avoir rien à retirer du fusil le coup tiré, condition qui paraissait essentielle avant que la cartouche à culot ne fût acceptée et amenée au degré de perfection qu'elle a atteint.

Nous passerons successivement en revue les systèmes préposés dans ces deux directions.

Fusils à aiguille. — L'impossibilité de changer complétement les immenses quantités d'armes à feu nécessaires pour l'armement de grandes nations a fait chercher à les utiliser en y adaptant la cartouche métallique. Cet emploi a amélioré des armes déjà excellentes comme calibres, rayures, etc., tel que le modèle français de 1866, a remédié aux plus graves inconvénients qu'elles présentaient, et a même permis des simplifications de mécanisme qui ont rapproché leur vitesse de tir de celle des armes combinées pour l'utilisation de la cartouche métallique, dont nous avons décrit les principaux types à l'article ARMES A FEU.

Nous analysons ici principalement la disposition adoptée en Prusse, le fusil Mauser; celle du fusil Beaumont, comme celle du commandant Gras, adoptée en France, est analogue et équivalente.

La cartouche métallique à percussion centrale permet de réduire la course du percuteur, rend inutile le caoutchouc obturateur que remplace avec grand avantage le culot métallique; de plus, le percuteur très-solide, n'ayant plus qu'une petite course, débarrassé du dard si fragile, peut être armé par le mouvement de la manotte, par une disposition excellente empruntée au fusil suisse de Vetterlin, au moyen d'un double plan incliné qui termine la face postérieure de la partie glissante comme celle de la tête du percuteur et l'amener par son relèvement dans la position indiquée figure 1. En dressant la poignée, le plan incliné fait reculer la pièce de percussion C portant le percuteur B, en comprimant le ressort à boudin: un arrêt placé à la partie supérieure maintient le système à l'état armé.

Lorsqu'on tire en arrière le cylindre obturateur, l'ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tracteur E placé à sa partie antérieure tire en arrière par son crochet à bascule, l'enveloppe de la cartouche

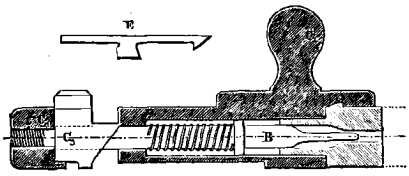


Fig. 1.

qui peut alors être enlevée, et la chambre devient libre pour recevoir une nouvelle cartouche.

Après avoir introduit une cartouche, celle-ci est enfoncée dans le canon par le mouvement en avant du cylindre, mais une forte pression est produite seulement lorsqu'on tourne la poignée à droite pour assurer l'obturation; jamais une inflammation anticipée de la cartouche ne peut avoir lieu. C'est là un point de supériorité incontestable des nouvelles armes sur le fusil Chassepot qui donne assez fréquemment des *départs accidentels*. On recommande bien dans le système français, pour éviter les accidents, de s'assurer que l'aiguille est rentrée et ne déborde en aucune façon l'extrémité du dard; mais on peut même alors déterminer le départ prématuré de l'amorce en frappant brusquement sur une cartouche qui ne peut pas entrer dans la chambre. Dans ce cas, la culasse mobile est violemment projetée en arrière, *la vis arrêtoir* est brisée, et le plus souvent le soldat qui vient de charger est fortement blessé au pouce de la main droite.

Remarquons encore qu'en tournant la poignée pour fermer, après avoir ramené en avant le cylindre, le maintien de l'*armé* a été transmis à l'arrêt du ressort de gachette. Si maintenant on presse la détente, on fait baisser cet arrêt, et par ce dégagement le percuteur B, lancé en avant par le ressort à boudin devenu libre, provoque l'inflammation de la cartouche.

Par une pièce de sûreté avec ressort, agissant sur la tête de la pièce de percussion, cette dernière peut être empêchée d'avancer.

Ces dispositions abrégent le chargement, font disparaître un danger réel pour le tireur, et enfin le mouvement de l'*armé*, si difficile et presque impraticable dans le fusil Chassepot, lorsque après de nombreux coups tirés l'arme est encrassée, l'*enrochement* s'est produit, a été supprimé.

Fusils à bloc. Les armes à tonnerre glissant ont l'avantage que l'obturateur pressant sur la cartouche la met bien en place, mais par suite offrent l'inconvénient que c'est ce mécanisme mobile, et par suite toujours quelque peu susceptible d'altération, donnant lieu à des vibrations désagréables et peut-être nuisibles pour la précision du tir, qui reçoit toute la réaction lors du tir de l'arme. Les armes à tonnerre basculant transmettent toute la réaction à un seul axe placé toujours trop haut, ce qui présente encore des inconvénients.

Les recherches les plus intéressantes se portent aujourd'hui vers les armes à bloc ou à verrou, qui, rappelant la fermeture à coin du canon Cavalli, reportent sur toute la culasse la réaction du tir. Il y a longtemps que Gastinne-Renette, l'habile armurier, avait construit un élégant pistolet, dont la culasse montant et descendant à volonté portait le percuteur qui venait agir sur une cartouche à percussion centrale. Le placement et l'enlèvement de la cartouche étaient peu commodes, inconvénient qu'a évité M. Gastinne-Renette fils dans son remarquable modèle d'armes de guerre, en pratiquant une fenêtre latérale d'une longueur plus grande que celle de la cartouche, le bloc traversé par la broche qui transmet la percussion, encore plus grand, se levant et s'abaissant, au moyen du mouvement de la sous-garde, entre l'extrémité du canon et celle de la crosse. Les détails d'extracteur et autres sont très-bien entendus dans cette arme.

Nous donnerons encore ici la description d'une autre arme à bloc, à armement automatique, pour montrer que cette voie est bien celle que suivent les inventeurs les plus capables.

L'inventeur, M. Greneu, intelligent ouvrier mécanicien, s'est proposé de faire une arme supérieure aux systèmes en usage, notamment au Martiny, analogue au Werder que nous avons décrit, et qu'ont adopté les Anglais. Cette dernière arme, bien construite, est excellente, mais a été jugée toutefois un peu délicate pour le rude service que l'on demande à une armée en campagne et repousse beaucoup. Le bois coupé entièrement à la platine ne peut pas être réuni aussi solidement au canon que dans les armes où il peut se prolonger le long de celui-ci. Il est vrai que, dans le type dont nous parlons, le bois est tellement entaillé qu'il est nécessaire de le consolider latéralement.

L'obturation du tonnerre est obtenue par le mouvement vertical d'un coin allongé glissant entre deux guides formés par le prolongement des deux côtés du canon, fig. 2. On peut donner à ce prisme assez d'épais-

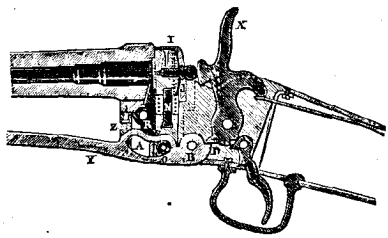


Fig. 2.

seur, et surtout à la partie saillante du prolongement du canon qui le soutient, assez de longueur (la largeur étant limitée vers l'intérieur seulement, par la condition de donner passage à la cartouche), pour que la résistance opposée à l'explosion de la poudre soit suffisante. Ceci était important à établir, car là est la partie délicate de l'arme, qui exige des soins dans la fabrication, pour éviter une usure que pourrait sans cela produire une pression considérable fréquemment répétée. Le mouvement du prisme-obturateur est donné par des articulations très-résistantes et d'un effet sûr. La sous-garde tournant autour d'un axe placé à son extrémité fournit

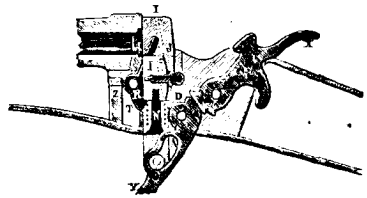


Fig. 3.

(comme dans le Peabody) un puissant levier, actionnant une articulation qui pousse à fond et maintient le prisme-obturateur. Le même levier actionne simultanément un tire-cartouche, enfin par son prolongement arme le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chien (fig. 3). Un ressort à boudin, placé sous le bloc et fortement comprimé lors de la fermeture, assure l'engagement du bloc à la partie supérieure de l'entaille, produit la pression sur le tonnerre par un effet de plan incliné, qui rachète toute usure.

On voit combien les mouvements sont simples et réduits, les articulations solides dans cette arme, qui n'a pas reçu, à notre avis, l'accueil qu'elle méritait.

Quant à la percussion elle se produit facilement à l'aide d'une petite broche de peu de longueur, maintenue dans le prisme au moyen d'un petit ressort à boudin, de manière à le dépasser en arrière ; cette partie percutée par le chien vient frapper la capsule placée au centre de la cartouche à percussion centrale. L'ensemble est bien moins long que dans les autres armes.

L'armement automatique, fig. 3, produit en même temps que le mouvement du bloc, par le mouvement du levier de sous-garde, rend le tir de cette arme très-rapide, mais il faudrait une expérimentation un peu longue pour être certain qu'on pût l'établir de manière à être à l'abri de tout dérangement. Ce n'est pas d'ailleurs une partie absolument nécessaire de l'arme.

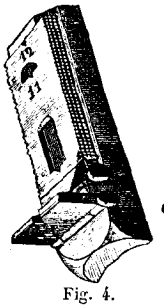


Fig. 4.

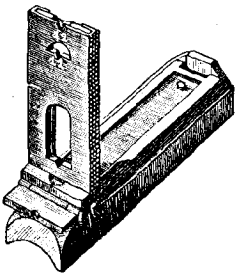


Fig 5.

Hausse. Nous terminons par la description de la hausse adoptée pour le fusil Mauser qui, à la fois courte et susceptible d'être employée pour de très-grandes distances, nous paraît devoir être adoptée.

Elle comporte :

Le but en blanc.	200 mètres.
La petite hausse d'arrière levée, fig. 4.	300

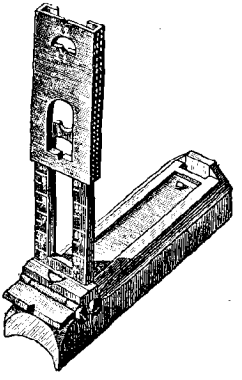


Fig. 6.

Le bas de la hausse d'avant	400 mètres.
Le glissant à la division 500.	500
— 600, fig. 6.	600

Et ainsi de suite suivant les divisions placées à gauche sur le guide.

Le bas de l'ouverture du haut. . .	1 100 mètres.
Le dessus de la hausse.	1 200
Puis en tirant la partie glissante. .	1 300, 1 400 et 1 600 mètres, suivant les divisions de droite du guide.

ASPIRATEUR HYDRO-PNEUMATIQUE. Appareil curieux dû à M. Legat, appliqué avec succès aux machines à papier, pour remplacer les pompes aspirantes servant à faire le vide, par une aspiration qui résulte de l'écoulement de l'eau, par un effet d'entraînement analogue à celui qui se produit dans la trompe. On reconnaît, dans les dispositions générales, une certaine ressemblance avec l'injecteur Giffard; mais la conception et les principes de son fonctionnement sont tout à fait différents. On concevra facilement combien sa simplicité le rend avantageux dans les nombreuses papeteries établies dans des localités où l'on dispose d'eau en abondance.

La figure 3327 est une coupe de cet appareil.

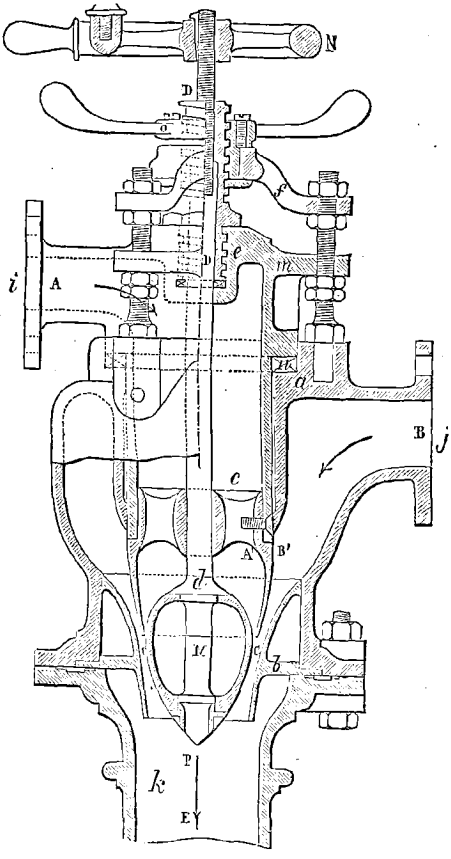


Fig. 3327.

a Enveloppe circulaire.
B Ajutage fixé à l'enveloppe *a*, servant à guider la lame d'eau aspirante.
C Cylindre communiquant avec la caisse d'aspiration

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la machine à papier, à l'aide d'un tuyau flexible fixé à la tubulure *i*.

La partie inférieure de ce cylindre est terminée en ajutage pour régler l'épaisseur de la lame d'eau aspirante et guider intérieurement l'eau et l'air aspirés.

La partie supérieure est terminée par une vis s'engageant dans un écrou D.

d Poire terminée par une tige filetée avec volant N, lui servant de guide pour régler le degré d'aspiration sous la toile métallique, en raison de l'épaisseur du papier et du degré d'humidité que la pâte doit conserver à son arrivée sur le premier cylindre sécheur.

D Écrou pouvant se mouvoir circulairement à l'aide de ses manettes *o*, pour obtenir le mouvement vertical du cylindre *d*.

f Collier à trois pattes, fixé à des tiges verticales pour supporter et guider l'écrou D.

m Oreilles faisant corps avec le cylindre *c*, servant à le repérer pour conserver l'épaisseur de la lame aspirante, en s'appuyant sur les écrous que l'on fixe à la demande sur les tiges qui les supportent et qui sont fixées à l'enveloppe circulaire *a*.

n Joint élastique en caoutchouc.

k Colonne servant à supporter l'appareil et à l'écoulement de l'eau.

La mise en marche de l'appareil est très-simple; il suffit d'établir, à l'aide d'un robinet, la communication entre l'enveloppe *a* et un réservoir, puis de régler (une première fois) l'épaisseur de la lame aspirante à environ un quart ou un demi-millimètre (sans qu'elle se divise), en faisant suffisamment descendre l'ajutage du cylindre à l'aide des manettes *o*.

Ensuite le degré de vide s'obtient, à l'examen du tirage produit sur la pâte par la simple manœuvre du petit volant N, qui amène la poire *d* plus ou moins en contact avec la lame d'eau aspirante passant par l'intervalle *c* et faisant ainsi le vide, entraînant l'air et l'eau qui y arrivent.

L'appareil, ainsi réglé, continue, d'après son principe, à fonctionner régulièrement, sans pouvoir se désamorcer et constitue un excellent accessoire des machines à papier.

ASSOLEMENTS. Dans l'article AGRICULTURE, on a fait comprendre l'importance des assolements, de la succession de cultures de plantes différentes sur un même sol, chacune d'elles lui empruntant plus particulièrement des principes différents. Nous reviendrons ici sur les assolements pour faire apprécier un second élément de la question (dont il a été tenu compte dans beaucoup d'exemples donnés dans l'article dont nous parlons), à savoir la profondeur de sol pénétré par les racines des plantes, l'influence des plantes pivotantes qui vont puiser leur nourriture dans des couches où n'arrivent pas les autres plantes.

Nous empruntons la démonstration de l'importance de la culture des plantes pivotantes à un excellent discours prononcé par M. Thénard à un comice agricole : « Avez-vous remarqué, dit-il à ses auditeurs adonnés à l'agriculture, ce qui arrive quand un sol s'appauvrit? il y apparaît des plantes à long pivot, qui le pénètrent profondément : dans les craies de la Champagne, c'est une espèce de panais à fleurs jaunes; dans les terrains siliceux et humides, c'est la fougère; l'ajonc épineux se montre dans les schistes et les granits, le pas-d'âne dans les argiles plastiques, surtout quand elles sont un peu calcaires; la prêle dans les rougets humides de bonne nature; la save blanche et la renoncule puante dans nos herbues froides; l'hièble et le chardon dans nos meilleurs terrains.

« Avez-vous aussi remarqué que quand on sème de la luzerne même sans orge ou sans avoine (ce qui est le meilleur mode quand le terrain est froid), elle pousse parfois assez mal au début, au point de faire croire que mieux vaudrait la retourner; puis, qu'elle s'améliore avec l'âge, et finit souvent par donner d'admirables récoltes.

« D'où vient cela? Ainsi qu'une maison élevée, le sol a plusieurs étages, dans chacun desquels ne vivent pas toutes les plantes.

« Les céréales, et principalement celles de printemps, la plupart de nos légumineuses annuelles, la pomme de terre, les graminées de nos prairies naturelles et presque toutes les plantes repiquées étalent leurs racines très-près de la surface, et par conséquent vivent de la surface; tandis que les plantes à grand pivot dont je viens de parler et bien d'autres que je n'ai pas nommées, tout en vivant du sol comme les précédentes, vivent plus particulièrement encore du sous-sol.

« Cela dit, rien n'est plus simple que d'expliquer l'apparition des plantes pivotantes dans un sol appauvri : par le fait seul de son appauvrissement, la surface, devenant paresseuse, n'engendre plus assez de plantes traçantes pour étouffer les plantes pivotantes, qui dès lors, trouvant dans le sous-sol une énergie plus grande que dans le sol lui-même, viennent aussi réclamer leur part de soleil.

« Quant au fait concernant la luzerne, il s'explique aussi par la différence de fécondité entre le sous-sol et le sol.

« Tel est un des faits les plus intéressants que la nature met chaque jour sous nos yeux; mais examinons-le dans quelques-unes de ses principales conséquences, et voyons si pour notre pratique nous n'avons pas quelque fructueuse conclusion à en tirer.

« En Bretagne il est d'immenses pâturages occupant de vastes plateaux inaccessibles à toute irrigation; le terrain, d'une qualité généralement très-inférieure, y est pourtant tapissé d'une herbe nourrissante, mais qui, en partie, est cachée par de nombreux ajones qu'il serait cependant si facile de faire disparaître, mais qu'avec intention on laisse subsister. Est-ce parce que l'ajonc est une plante alimentaire? Certainement non, car, à moins d'une préparation qui en éliminerait le vieux bois et en amortirait les épines, les bestiaux ne peuvent le consommer. Est-ce parce qu'il protége l'herbe d'un soleil trop brûlant? Sous ce climat brumeux, l'ombre est plutôt nuisible; c'est qu'avec lui l'herbe disparaîtrait bientôt, faute des dépouilles que l'ajonc lui apporte sans cesse et qui la fument constamment.

« L'ajonc est en effet une plante pivotante, qui pénètre profondément dans le sous-sol et finit par vivre à ses dépens, de sorte que les dépouilles de l'ajonc proviennent non du sol, mais du sous-sol, et l'herbe qui en hérite, mais qui vit aussi du sol, synthétise en quelque sorte en elle seule la puissance de tous les étages du sol.

« Dans les landes de la Gascogne, si célèbres par leur infertilité, ce n'est plus l'ajonc, c'est la fougère qui remplit ce rôle important : là aussi paissent des troupeaux. Cependant, au milieu d'un océan d'une verdure souvent trompeuse, tâchez d'apercevoir quelques animaux. Sont-ils rares et chétifs? la fougère est peu abondante et la bruyère domine; sont-ils un peu meilleurs? elle se multiplie davantage et la bruyère diminue; acquièrent-ils une valeur véritable? la proportion de fougère augmente encore, et l'herbe remplace presque complétement la bruyère.

« Cependant ces troupeaux ne paissent ni la fougère ni la bruyère, ils ne paissent que l'herbe. Mais de quoi vit donc cette herbe? En dehors du sol, d'ailleurs très-pauvre, c'est évidemment de la fougère comme tout à l'heure de l'ajonc, et pour les mêmes raisons; mais ce n'est pas de la bruyère qui, comme plante traçante, lui fait au contraire la plus rude concurrence; seulement la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bruyère étant une de ces plantes qui choisissent avec soin leur terrain, il arrive que du moment que, sous l'influence de la fougère, celui-ci se modifie, elle disparaît graduellement et en raison même des modifications qu'il éprouve, tandis que l'herbe suit la progression inverse. En sorte qu'ici l'action est double, car tout à la fois il y a production d'une plante utile et destruction d'une plante nuisible.

« Mais peut-être en tout ceci allez-vous croire que je livre trop à la spéculation : eh bien! permettez-moi de vous citer un dernier exemple, où vous allez voir la plante la plus maudite, *le chardon*, entrer dans l'assolement régulier, comme moyen de fumer et régénérer la surface du sol quand elle est épuisée.

« En Pologne, dans la Podolie et en Russie, sur les bords du Don et du Volga, il est des terres renommées pour leur fécondité et qu'on nomme *les terres noires*. Les céréales diverses y prospèrent à l'envi, et s'y succèdent sans fumier et sans interruption pendant cinq ou six ans; mais au bout de ce temps arrive la jachère morte, c'est-à-dire sans culture, qui dure dix à douze ans et se divise en deux périodes : la première est celle des chardons, la seconde des prairies. Sitôt, en effet, que ces terres sont ainsi abandonnées à elles-mêmes, les chardons s'en emparent, et ils deviennent si drus, si gigantesques, qu'ils sont comparables aux taillis de nos forêts.

« Cependant, au bout de cinq ou six ans, quand le sol s'est suffisamment enrichi de leurs dépouilles et que la différence entre la richesse du sol et du sous-sol s'est inversée, une herbe touffue et succulente apparaît à son tour et détruit les chardons. Or, pendant cinq ou six nouvelles années, les bestiaux la pâturent, puis la rotation recommence.

« Là, il n'est pas à dire, l'action du chardon est on ne peut mieux marquée, et cela est si vrai, qu'il n'est pas un système de culture, si savant qu'il soit ou du moins qu'il paraisse, qui, jusqu'ici, ait pu avec quelque avantage remplacer celui-ci. »

AVENTURINE. Espèce de verre semblable à un quartz rare portant le même nom, fabriquée à Murano (Venise) par deux ou trois verriers, à l'aide de procédés qu'ils tiennent secrets. Il est jaune et dans sa masse se trouve disséminée une infinité de petits cristaux très-brillants de cuivre, ou suivant quelques chimistes, de silicate de protoxyde de cuivre. Poli, ce verre offre, à la lumière surtout, un aspect chatoyant qui le fait rechercher par la bijouterie.

Il est évident que ces cristaux se sont produits au milieu de la masse vitreuse quand elle était à l'état liquide. Comme parmi les éléments qui composent ce verre on rencontre l'oxyde de fer et l'oxyde d'étain, il est très-probable, dit M. Peligot, que c'est à la réduction du bioxyde de cuivre par ces métaux qu'on doit attribuer cette cristallisation,

Un chimiste, M. Hautefeuille, est arrivé à fabriquer ce verre. Nous citerons un de ses dosages :

Glace de Saint-Gobain.	2000 gr.
Nitre	200
Battitures de cuivre	125
Peroxyde de fer.	60

Quand le verre est bien liquide, on ajoute 86 gr. de fer ou de fonte en tournure fine, enveloppés dans du papier; on les y incorpore en maclant le verre au moyen d'une tige de fer rougie. Le verre devient rouge de sang, opaque et en même temps pâteux et bulleux; on arrête le tirage du fourneau, on ferme le cendrier, on couvre de cendres le creuset recouvert de son couvercle, et on laisse refroidir très lentement. Le lendemain, en cassant le creuset, on trouve l'aventurine formée.

On obtient ainsi, à chaque opération, du verre parsemé de cristaux; néanmoins le produit commercial est difficile à produire à cause de la répartition irrégulière de ces cristaux dans la masse.

AVENTURINE DE CHROME. — Verre d'un grand éclat dû à M. Pelouze, qui lui a donné ce nom.

Voici le dosage convenable pour l'obtenir:

Sable	250	parties.
Carbonate de soude	100	—
— de chaux.	50	—
Bichromate de potasse.	40	—

Le verre qui résulte de cette combinaison contient 6 à 7 p. 100 d'oxyde de chrome dont la moitié à peu près est combinée avec le verre et l'autre partie reste à l'état de liberté, sous forme de cristaux et de paillettes brillantes.

« L'aventurine de chrome, dit M. Pelouze, jette des éclats de lumière au soleil et dans les lieux fortement éclairés; sous ce rapport, elle ne le cède qu'au diamant. Elle est plus dure que le verre à vitre qu'elle raye et coupe facilement, beaucoup plus dure que l'aventurine de Venise, et sous ce dernier rapport, d'une plus grande valeur.

« La couleur de l'aventurine de chrome est celle du troisième jaune-vert, treizième ton du cercle chromatique de M. Chevreul. »

B

BALAYEUSE A CHEVAL. On a souvent essayé, en Angleterre notamment, d'effectuer à l'aide de chevaux le balayage de la voie publique; mais on avait échoué, surtout parce qu'on cherchait en général à balayer et à enlever la boue en même temps. C'est en ne s'occupant que du balayage et en simplifiant le plus possible la machine que M. Taillefer a obtenu un véritable succès avec la balayeuse que nous allons décrire, et qui a été adoptée par les ingénieurs du service municipal à Paris.

Elle se compose d'une charrette à deux roues (fig. 3328), traînée par un cheval, avec un siége de conducteur; à l'arrière se trouve l'appareil balayeur composé d'un rouleau armé de brins de *piazzava*. Sur la roue de la charrette est ajustée une grande roue d'engrenage, engrenant avec un petit pignon fixé à l'extrémité d'un arbre intermédiaire placé sous la caisse de la voiture.

Par le moyen d'une chaîne de Galle, le mouvement de ce pignon est communiqué à un autre pignon placé à l'extrémité de l'arbre du balai.

Le premier pignon peut engrener ou être désengrené à volonté, de sorte que la voiture peut marcher en faisant tourner le balai ou en le laissant immobile.

La brosse a 1m.73 de longueur; d'un côté, celui qui reçoit le mouvement, elle touche presque l'arrière de l'une des roues de la charrette, elle s'éloigne de l'autre de manière à laisser une base de 0m.55 au pied de la perpendiculaire à l'axe de la route. C'est là le point essentiel de la balayeuse de M. Taillefer.

L'axe du balai est supporté par deux pièces de bois mobiles sur l'essieu. Au moyen d'une tringle qui est sous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la main du conducteur, on les déclanche et elles s'abaissent vers la chaussée, lorsqu'on veut faire fonctionner le balai. La même manette relève la brosse lorsque le balayage doit cesser.

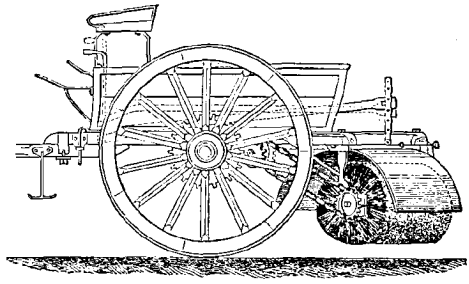


Fig. 3328.

Pour éviter que le balai cylindrique, assez lourd, n'écrase trop les brins qui portent sur le sol, on a trouvé avantage à garnir ses deux extrémités de deux roulettes assemblées sur le cadre qui porte l'axe, pouvant s'élever ou s'abaisser à volonté.

Le poids total de la balayeuse, dont le coffre est en tôle légère, est de 770 kil., dont 260 pour les roues.

Lorsque le cheval est en marche, la brosse abaissée reçoit un mouvement rapide de rotation; ce mouvement est oblique à l'axe, et a pour conséquence de chasser par le côté ouvert, toute la boue que rencontre le hérisson et de former un bourrelet de boue parallèle à la direction de la voiture, et une largeur de 1m.73 de chaussée se trouve ainsi nettoyée.

Une seconde voiture qui marche parallèlement à la première avec l'inclinaison de l'axe du balai dans le même sens, repousse latéralement le bourrelet et nettoie 1m.73 de chaussée, et ainsi de suite, suivant la largeur de la route, et le volume du bourrelet qu'il faut, en fin de compte, enlever avec une charrette ordinaire ou pousser dans les égouts voisins.

Suivant qu'on se sert d'un balai dont l'inclinaison sur l'axe de la chaussée est à droite ou à gauche, le bourrelet se trouve formé à droite ou à gauche de la charrette.

D'après les observations qui ont été faites, huit voitures balayeuses, dans un espace de 1 heure 10 minutes, ont approprié 40,000 mètres carrés de chaussée, ce qui correspond au travail de cent hommes environ.

A cause du recouvrement, on ne compte en pratique que 1 mèt. 50 de largeur de voie balayée, quoique le balai ait 1 mèt. 73 de longueur, c'est-à-dire que si une voiture passe elle balaie 1 mèt. 73; mais si quatre voitures passent, elles balaient 1 mèt. $50 \times 4 = 6$ mèt.

Le balayage s'opère au pas d'un cheval, soit 4 kilomètres à 4 kilomètres et demi par heure; avec la largeur de 1 mèt. 50 balayée, on aurait 6,000 mètres carrés, mais on ne compte que 5,000 mètres carrés en pratique, équivalant à peu près au travail de treize hommes, à raison de 400 mètres par heure et par homme.

En admettant le prix de revient par heure à 1 fr. 50, pour le véhicule, celui pour l'homme à 0 fr. 30, le rapport de la dépense est de 1 fr. 50 à 13×0 fr. 30, ou 1 fr. 50 à 3 fr. 90, c'est-à-dire à une économie importante, moins encore que l'avantage de nettoyer rapidement les grandes voies après la pluie et la neige.

BAROMÈTRE (*angl.* barometer; *allem.* schwermesser). Instrument qui sert à déterminer la pression de l'atmosphère. Ce fut Galilée qui conçut le premier l'idée du baromètre, et elle lui fut suggérée par l'analyse du fait que l'eau ne pouvait s'élever dans les corps de pompe au-dessus d'une hauteur invariable, c'est-à-dire 32 pieds ou 10 mètres 33 cent., ne pouvant admettre que l'explication alors reçue que *la nature a horreur du vide* dût être complétée par l'étonnante addition que cette horreur s'arrêtait à 32 pieds. Toricelli, disciple de Galilée, construisit le premier baromètre; il fit connaître cet instrument en 1643, et des expériences simultanées amenaient à la même découverte Otto de Guericke, l'inventeur de la machine pneumatique.

On a donné diverses formes à cet instrument; nous les décrirons rapidement.

Le baromètre à cuvette, celui de l'invention de Toricelli, se compose d'un tube de verre fermé d'un bout, long d'environ 90 centim., qui, après avoir été rempli de mercure, est renversé par son extrémité ouverte dans une cuvette également remplie de mercure. Le mercure ne s'élève que jusqu'à une certaine hauteur. A la partie supérieure existe un vide que l'on nomme *chambre barométrique*, ou *vide barométrique*, dans lequel le mercure peut se mouvoir librement. Lorsque l'on fait répondre le zéro de l'échelle au niveau du mercure de la cuvette, on voit que, malgré la communication établie entre le liquide de cette cuvette et celui du tube, ce dernier s'élève à environ 760 millimètres ou 28 pouces au-dessus de l'autre; inégalité de niveau qui est due évidemment à la pression de l'air extérieur sur la surface du mercure contenu dans la cuvette; la colonne de mercure faisant équilibre à cette pression de l'atmosphère. Si à la place du mercure on employait de l'eau, qui est 13 fois 1/2 moins pesante que le mercure, la colonne s'élèverait à une hauteur 13 fois 1/2 plus grande, c'est-à-dire à 32 pieds ou 10 mèt. 26, hauteur à laquelle elle parvient en effet dans les tuyaux de pompe, comme l'avaient très-bien remarqué les fontainiers.

C'est ce qui a été réalisé à Londres, pour la première fois dans des conditions convenables; car, depuis l'invention du baromètre, plusieurs tentatives ont été faites de construire un baromètre à eau, afin d'obtenir des oscillations plus étendues, permettant par suite de mesurer des variations moindres de pression. L'instrument dont nous voulons parler a été établi par le professeur Daniell, dans la salle de la Société royale de Londres, à Somerset-house. Il consiste en un tube de verre de 40 pieds anglais de longueur. Son diamètre est d'environ un pouce. Quand il fut d'abord établi dans l'année 1832, l'eau du réservoir fut couverte d'une couche d'huile de castor; mais cela ne suffit pas pour éviter l'introduction de l'air extérieur, et il fallut procéder à un nouveau remplissage du tube. Ce fut fait en 1845, et une dissolution de caoutchouc dans du naphte fut substituée à l'huile de castor.

Lorsqu'il fait du vent, la colonne de ce baromètre est perpétuellement en mouvement, indiquant des changements de pression qui n'ont aucun effet sensible sur le baromètre à mercure le plus délicat. Cette agitation perpétuelle ressemble à une respiration lente. Mais le plus important résultat obtenu, c'est que les indications de cet instrument précèdent beaucoup le baromètre à mercure, dont le tube a un demi-pouce de diamètre, comme cela a lieu pour celui-ci, relativement au baromètre de montagne, de 0,15 de pouce pour les oscillations horaires; ce qui montre que les heures de maxima et de minima, sur lesquelles les savants ont beaucoup disputé, dépendent beaucoup de la construction de l'instrument employé pour les observations.

Revenons au baromètre à mercure, seul employé fréquemment, et achevons d'indiquer les précautions à prendre pour sa construction.

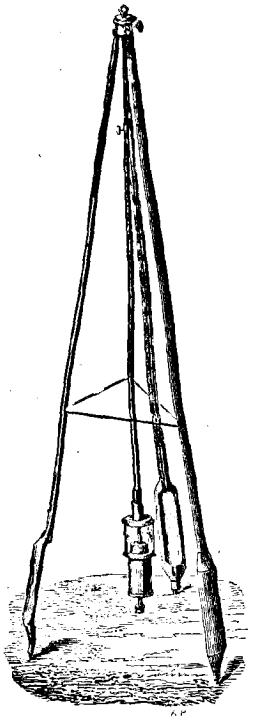
La condition essentielle est que le vide de sa partie supérieure soit absolument parfait, qu'aucune trace d'air

EFERUS - Recherche & Classification numérique

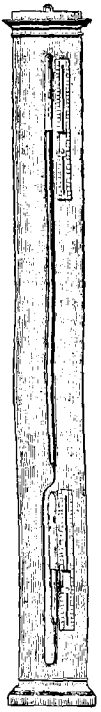
adhérent ou dissous dans le mercure, d'humidité ne fasse naître une pression. C'est en chauffant le tube plein de mercure qu'on satisfait complétement à cette condition essentielle. Nous renverrons à tous les traités de physique pour la description de la manière d'opérer habituellement employée.

On reconnaît qu'un baromètre est bien construit, lorsqu'en inclinant son tube on entend un petit choc sec du mercure contre le bout du tube, qu'il va frapper sans éprouver de résistance. Cet effet n'est produit qu'autant qu'on a bien chauffé le tube avant d'introduire le mercure chaud, pour éviter toute trace d'humidité, de vapeur d'eau, qui fausse les indications du baromètre. Par la même raison, il faut que le mercure soit très-pur pour posséder sa densité normale.

Dans le *baromètre Fortin* (fig. 3408), la cuvette se



3408.



3409.

compose d'un fond en peau, qu'une vis fait monter et descendre à volonté, et la partie supérieure de cette cuvette porte une petite pointe en ivoire à l'aide de laquelle on obtient un niveau constant. Ce baromètre est portatif; il est enfermé dans un étui en métal, fendu sur les côtés, et portant des divisions; et la cuvette est recouverte d'une peau perméable à l'air, mais qui ne l'est point au mercure.

Le *baromètre à siphon* est formé par un tube recourbé en U, à branches inégales, mais de même diamètre; la dépression due à la capillarité dans le tube, dont il faut tenir compte avec le baromètre à cuvette, se trouve alors semblable des deux côtés et n'a plus besoin d'être corrigée. — Le *baromètre de Gay-Lussac* (fig. 3409) est à siphon, et ses deux branches sont séparées par une portion de tube capillaire dont le diamètre est assez fin pour que l'air ne puisse traverser le mercure et le déplacer. L'extrémité de la courte branche est fermée, sauf qu'elle présente, sur le côté, une petite ouverture par laquelle l'air peut entrer, mais sans permettre au mercure de sortir. Grâce à cette disposition, ce baromètre peut être retourné sans inconvénient et est facilement transportable.

Le *baromètre à cadran*, autre instrument à siphon, est disposé de manière à faire mouvoir une aiguille. Un petit poids pèse sur la surface du mercure; on y attache un fil qui s'enroule sur une poulie et qui porte un contre-poids à son extrémité. Quand le mercure monte ou descend dans la branche courte, le flotteur suit le mouvement et fait marcher l'aiguille. Mais les frottements et les adhérences rendent la marche de cet instrument très-irrégulière, et par conséquent ses indications peu exactes.

Citons encore un curieux instrument que l'on a construit récemment : c'est le *baromètre à équerre*, disposition qui offre l'avantage d'amplifier beaucoup les mouvements apparents du mercure, et, par suite, de faciliter la mesure de ses variations. C'est un baromètre à cuvette, dont la cuvette est remplacée par un long tube horizontal, de diamètre assez petit. Les faibles variations de hauteur de la colonne verticale produisent dans la colonne horizontale des variations considérables, dix fois plus grandes si l'on veut, en raison du rapport du diamètre des deux tubes.

Cassini et Bernouilli avaient déjà tenté cette disposition, mais l'emploi qu'ils avaient fait d'un tube capillaire avait rendu l'instrument tout à fait défectueux. M. de Celles, qui a inventé de nouveau ce baromètre, l'a rendu plus pratique par l'emploi d'un petit index en fer placé sur la surface du mercure dans le tube horizontal.

Variations horaires. — Le baromètre offre quelques phénomènes curieux et assez incomplétement étudiés jusqu'ici. Outre les mouvements extraordinaires du mercure, il en est de périodiques, et que les physiciens ont reconnus sans pouvoir en bien fixer les causes. Le métal oscille sans cesse dans le tube, et on a remarqué qu'il est à sa plus grande hauteur à 9 heures du matin, descend jusque vers 4 heures du soir, atteignant à midi la hauteur moyenne. Il remonte jusqu'à 11 heures du soir, redescend durant la nuit, puis remonte enfin jusqu'à 9 heures du matin. Les variations du mercure, causées par les grands changements de l'atmosphère, se combinent avec les mouvements périodiques, et par leur grandeur masquent ceux-ci; mais on vient à bout de s'en rendre indépendant, en prenant les moyennes des observations, faites à la même heure, pendant un long temps, parce que les écarts dus aux causes accidentelles se compensent. L'étendue de ces excursions diurnes varie avec les lieux et les saisons, ce qui montre leur relation avec l'échauffement et le refroidissement de l'air.

Nous rapporterons ici la théorie formulée par M. Kœmtz, qui nous semble tout à fait irréfutable :

« Toutes les fois qu'une portion de l'atmosphère se trouve plus échauffée que les parties voisines, l'air chaud détermine par sa légèreté spécifique un courant ascendant, et vient dans les régions supérieures se déverser sur les parties voisines. Il en résulte une diminution de pression atmosphérique dans la partie où se produit le courant ascendant, et une augmentation dans les lieux au-dessus desquels se déverse l'air chaud. On peut donc poser ce principe : « Quand le baromètre « baisse dans un pays, cela tient à ce que la tempéra- « ture de ce pays est plus élevée que celle des contrées « avoisinantes, soit parce qu'il s'est échauffé directe- « ment, soit parce que les contrées voisines se sont re-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« froidies ; au contraire, l'ascension du baromètre « prouve que ce pays devient plus froid que ceux qui « l'entourent. » En parlant de ce principe, M. Kœmtz explique d'une manière satisfaisante les variations diurnes et annuelles du baromètre. « En effet, tant que le soleil est dans notre méridien, il échauffe la portion du globe terrestre située entre les lieux pour lesquels il se couche et ceux pour lesquels il se lève dans ce moment. Cet échauffement est surtout très-marqué entre les méridiens qui marquent neuf heures du matin et trois heures du soir, tandis que le soleil marque midi pour nous. Dans cet intervalle, l'air se dilate, s'élève, s'écoule vers les régions voisines, et le baromètre baisse ; mais il monte au contraire sous le poids des masses d'air qui se sont écoulées, entre les méridiens de trois heures et de onze heures, puis de cinq heures de la nuit et de neuf heures du matin. Dans le dernier de ces espaces l'atmosphère est moins élevée parce que l'influence nocturne n'est pas encore détruite, et l'air s'écoule au-dessus d'elle. A cinq heures, l'air se refroidit parce que la chaleur du jour est passée ; ce mouvement se propage ainsi d'un pays à l'autre. Le baromètre baisse donc entre neuf heures du matin et quatre heures du soir parce que la chaleur du jour a diminué la densité de l'atmosphère, dont la hauteur est moindre de toute l'épaisseur des couches qui se sont écoulées vers les régions voisines : de là les deux *maxima* et le *maximum* du jour. Quant au *minimum* du matin, il est suivi, à l'est de l'endroit où il a lieu, d'un *minimum* de température, et une partie de l'air des contrées occidentales s'écoule de ce côté : de là une baisse du baromètre. »

Marées atmosphériques.—Lorsque l'on assiste, au bord de la mer, au phénomène des marées et lorsque l'on sait que l'air a une mobilité extrême, on se reporte volontiers aux registres d'observations barométriques, qui doivent indiquer des mouvements de l'air en rapport avec les marées atmosphériques que doit également produire la double attraction du soleil et de la lune. Malheureusement les observations rapportées sont en général des moyennes d'un très-grand nombre d'observations, prises à une même heure du jour. Si cela peut suffire pour évaluer l'effet du soleil, qui se confond avec les effets d'échauffement quotidien, il n'en est pas de même pour l'action de la lune qui passe chaque jour à des heures différentes au méridien du lieu, ce qui fait que l'heure de la haute mer varie chaque jour. On voit donc comment le phénomène des marées disparaît complétement et pourquoi le mélange des mouvements réguliers avec des mouvements accidentels fait des registres d'observations barométriques quelque chose de si embrouillé qu'il est impossible d'en rien déduire. De même qu'il est impossible d'étudier les courants marins, dans les parties de la mer sujettes aux marées, sans rapporter les observations à l'heure des marées et par suite à la position de la lune, de même la première condition à remplir pour que des observations du baromètre puissent apprendre quelque chose relativement aux phénomènes locaux, ce serait de les rapporter non à une même heure du jour moyen, qui ne répond nullement à une même position de la terre, relativement à la lune et au soleil, mais au moins à une même position de la lune, qui a tant d'influence sur les marées.

Il paraîtrait naturel de chercher à comparer les marées de l'atmosphère, manifestées par les mouvements du baromètre, avec celles de la mer, pour partir d'un point de repère certain ; mais le retard considérable des premières, relativement à la position des astres qui les produisent, et qui n'existe sûrement pas au même degré pour les marées atmosphériques, n'a jusqu'ici permis de rien formuler de certain.

Le seul travail sérieux que nous ayons pu trouver sur la question est l'excellente notice publiée par Arago dans l'*Annuaire du bureau des Longitudes* pour 1833, dans laquelle il discute avec une lucidité dont il a emporté le secret, cette question capitale qui est la clef de la météorologie : *La lune exerce-t-elle une action sur notre atmosphère?* Nous lui emprunterons quelques passages dans lesquels il compare les observations barométriques prises dans une longue suite d'années.

La lune exerce-t-elle quelque influence sur la pluie?

Cette question (qui, on le remarquera, se rapporte à l'existence de courants atmosphériques spéciaux, de vents particuliers au lieu de l'observation où un certain vent cause la pluie) a été examinée avec beaucoup de soin en 1830, par M. Schübler, dans un ouvrage allemand qui est à peine connu en France.

On a compté comme jours de pluie tous les jours pour lesquels une chute de pluie ou de neige était indiquée dans les journaux météorologiques, pourvu que la hauteur de la quantité recueillie dépassât 2 centièmes de ligne. Dans la formation des groupes, *le jour même* du premier quartier a été compris dans l'intervalle de la nouvelle lune au premier quartier; *le jour même* de la pleine lune, dans l'intervalle du premier quartier à la nouvelle lune, et ainsi de suite.

Le tableau renferme les résultats, d'abord pour les 20 dernières années, ensuite pour le nombre total de 28 années, dont M. Schübler pouvait disposer. En prenant, à chaque époque, les moyennes de deux jours consécutifs, on avait en vue d'affaiblir les effets des perturbations accidentelles, et d'arriver à une série de nombres un peu plus régulière.

NOMBRE DE JOURS DE PLUIE.

	PENDANT 20 ANS.		PENDANT 28 ANS.	
	Le jour même.	Moyenne de deux jours.	Le jour même.	Moyenne de deux jours.
Le jour de la nouvelle lune. . . .	105	109	148	148
Le jour suivant. .	113		148	
Le jour du premier octant. . . .	119	117	152	150
Le jour suivant. .	115		148	
Le jour du premier quartier. . .	111	112	155	153
Le jour suivant. .	113		151	
Le jour du deuxième octant. . . .	124	126	164	165
Le jour suivant. .	128		167	
Le jour de la pleine lune.	116	115	162	161
Le jour suivant. .	113		161	
Le jour du troisième octant. . .	125	117	161	155
Le jour suivant. .	109		150	
Le jour du dernier quartier. . . .	92	94	130	135
Le jour suivant. .	96		140	
Le jour du quatrième octant. . .	100	94	138	133
Le jour suivant. .	88		129	

On voudra bien remarquer que dans l'espace de 20 ans il y a eu 249 révolutions synodiques de la lune, et 348 en 28 ans ; en sorte que cet astre est revenu autant de fois à chacune des positions qu'on vient de considérer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces moyennes, soit pour 20, soit pour 28 ans, indiquent un accroissement assez régulier du nombre de jours pluvieux, depuis la nouvelle lune jusque vers le 2me octant; ensuite, un décroissement graduel; enfin un *minimum* situé entre le dernier quartier et le 4me octant.

Quand on possédera une plus longue suite d'observations, il sera facile d'effectuer ces mêmes calculs relativement à tous les jours du mois lunaire. Alors, pour éliminer totalement les effets des causes accidentelles, il suffira de grouper ensemble les nombreuses observations particulières faites, soit le jour de la nouvelle lune, soit le lendemain, soit le jour suivant, etc. En attendant que les richesses météorologiques permettent de suivre cette marche, M. Schübler a essayé d'approcher des résultats qu'elle fournira, en faisant concourir à la détermination des quantités correspondantes aux diverses époques caractéristiques de la lunaison, les moyennes particulières de plusieurs jours précédents et de plusieurs jours suivants. Je n'insisterai pas sur le genre d'interpolation qu'il a suivi, car toutes les méthodes connues auraient à peu près donné les mêmes nombres. Deux mots suffiront, au surplus, pour rendre la table suivante parfaitement intelligible.

En 28 ans il y a eu en Allemagne 4,299 jours de pluie. Pour avoir un nombre rond, M. Schübler a ramené tous ses résultats, par des parties proportionnelles, au cas hypothétique d'un total de 10,000 jours pluvieux. Ainsi, lorsque dans la seconde colonne de la table on lit 290, cela signifie que, sur un espace de temps durant lequel il y a eu 10,000 jours de pluie, les jours pluvieux du quatrième octant, compris dans le même intervalle, ont été au nombre de 290; et ainsi de même pour les autres résultats.

Nombre de fois qu'il pleut, au sud-ouest de l'Allemagne, dans les différentes phases, sur un nombre total de 10,000 jours pluvieux.

Le jour de la nouvelle lune. . .	306	
Le jour du 1er octant.	306	
Le jour du 1er quartier.	325	
Le jour du 2me octant	341,	*maximum;*
Le jour de la pleine lune. . . .	337	
Le jour du 3me octant.	313	
Le jour du dernier quartier . . .	284,	*minimum;*
Le jour du 4me octant	290	

Pilgram chercha déjà, en 1788, si à Vienne, en Autriche, les phases lunaires n'exerçaient pas quelque influence sur la pluie. Voici quels furent ses résultats :

Sur 100 observations de la même phase.

Nouvelle lune	26 chutes de pluie.
Moyennes des deux quartiers.	25
Pleine lune	29

Ici, comme à Augsbourg et à Stuttgard, la pleine lune offre plus de jours pluvieux que la lune nouvelle. La comparaison ne saurait être poussée plus loin, puisque les quadratures, pour Vienne, ne sont pas séparées. Au reste, la similitude que j'ai pu signaler est d'autant plus remarquable, que les capitales de l'Autriche, du Wurtemberg, et Augsbourg, diffèrent extrêmement entre elles, quant à la quantité de pluie qu'on y recueille.

A Vienne, la moyenne annuelle s'élève seulement à. . . . . 433 millim.
A Stuttgard, on a trouvé 641
A Augsbourg, la somme énorme de . . 971

Influence de la lune sur la QUANTITÉ *de pluie et sur la sérénité de l'atmosphère.*

A l'aide des 16 années d'observations d'Augsbourg, embrassant 198 révolutions synodiques, M. Schübler a pu former la table suivante, dont on comprendra aisément la signification, si je dis qu'on a considéré comme jours sereins tous ceux où le ciel était sans nuages à 7 h. du matin, à 2 h. et à 9 h. du soir; et comme jours couverts, ceux où il n'existait pas d'éclaircies aux mêmes heures de la journée.

Époques.	Nombre de jours sereins en 16 ans.	Nombre de jours couverts en 16 ans.	Quantité de pluie, en lignes, en 16 ans.
Nouvelle lune . .	31	61	299
1er quartier . . .	38	67	277
2me octant. . . .	25	65	301
Pleine lune . . .	26	61	278
Dernier quartier .	41	53	220

Ces résultats s'accordent assez bien avec ceux qui précèdent. On voit en effet, 1° que les jours sereins sont de beaucoup les plus fréquents au dernier quartier, époque du moindre nombre de jours pluvieux, comme le montre la table précédente; 2° que c'est vers le deuxième octant qu'arrive le plus grand nombre de jours complétement couverts, ainsi que le *maximum* du nombre de jours de pluie.

Quant aux *quantités* d'eau recueillies, le *maximum*, comme il fallait s'y attendre, correspond au deuxième octant, et le *minimum* au dernier quartier.

De la pluie en tant qu'elle est modifiée par la distance de la lune à la terre.

Dès qu'une certaine action de la lune sur notre atmosphère était constatée, on devait naturellement penser que, quelle qu'en fût la nature, les variations de distance de cet astre à la terre auraient sur les phénomènes une influence marquée. M. Schübler a trouvé, en effet, que, durant les 371 révolutions anomalistiques qui ont eu lieu en 28 ans, il a plu :

Pendant les 7 jours les plus voisins du périgée. . . . . 1169 fois;
Pendant les 7 jours les plus voisins de l'apogée 1096

Ainsi, toutes choses égales, plus la lune est voisine de la terre, et plus les chances de pluie sont grandes.

Les observations de Vienne ont donné à Pilgram, sur 100 répétitions de la même phase :

Périgée. . . . . 36 jours de pluie;
Apogée. . . . . 20 jours seulement.

Résumé.

En nous bornant aux principaux résultats, il semble difficile de ne pas conclure de ce qui précède, que la lune exerce une influence sur notre atmosphère; qu'en vertu de cette influence, la pluie tombe plus fréquemment vers le deuxième octant qu'à toute autre époque du mois lunaire; qu'enfin, les moindres chances de pluie arrivent entre le dernier quartier et le quatrième octant.

Ces résultats sont sans doute fort éloignés des idées généralement admises par les géomètres, les physiciens et les météorologistes les plus instruits; mais que leur opposer? Ne résultent-ils pas de la discussion arithmétique des observations? Peut-être dira-t-on qu'on n'a pas embrassé dans le calcul un espace de temps assez étendu; que les différences entre les nombres de jours pluvieux, correspondant aux diverses phases de la lune, sont purement accidentelles; que si M. Schübler prenait d'autres observations, il arriverait à des résultats entièrement opposés aux premiers; que, par exemple, il trouverait le *minimum* de pluie au deuxième octant, et le *maximum* au quatrième, etc., etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces doutes ne peuvent être opposés aux faits contenus dans le tableau ci-dessus. Là, en effet, l'influence des phases de la lune se manifeste, et pour la période totale de 20 années, et de la même manière, sans aucune exception, dans cinq courtes périodes, de trois années seulement, que M. Schübler a également formées. Une telle concordance ne saurait être l'effet du hasard.

Sur les hauteurs moyennes du baromètre, dans les différentes positions de la lune.

Les observations sur lesquelles se fondent les résultats que je vais rapporter, ont été faites à Viviers (département de l'Ardèche) par M. Flaugergues. Elles embrassent les 20 années comprises entre le 19 octobre 1808 et le 18 octobre 1828. M. Flaugergues a discuté les seules observations de midi, afin que tout étant constamment égal par rapport au soleil, il ne restât dans les moyennes que les effets dépendants de la lune. Les hauteurs ont été réduites à la température de la glace fondante.

Hauteurs moyennes du baromètre.

Nouvelle lune.	755mm,48
Premier octant	755 44
Premier quartier	755 40
Deuxième octant	754 79
Pleine lune.	755 30
Troisième octant	755 69
Second quartier.	756 23
Quatrième octant.	755 50

Pour comparer ces résultats à ceux de M. Schübler, il suffira de se rappeler qu'en général, quand il pleut, le baromètre est bas; en sorte que les chances de pluie doivent augmenter si la colonne mercurielle se raccourcit, et diminuer, au contraire, quand elle s'allonge. D'après la table précédente, si toutefois l'on veut tenir compte des faibles variations qu'elle présente, le *maximum* du nombre de jours de pluie devrait donc correspondre au deuxième octant, et le *minimum* au second quartier. Tels sont, en effet, les résultats qu'a obtenus le physicien de Stuttgard.

Malgré la distance qui sépare Stuttgard de Viviers; malgré la diversité des méthodes, MM. Flaugergues et Schübler parviennent à des conséquences analogues. Il semblerait donc bien difficile, aujourd'hui, de ne pas reconnaître que la lune exerce sur notre atmosphère une action, très-petite il est vrai, *mais qui cependant est appréciable,* même avec les instruments dont les météorologistes font habituellement usage. Cherchons, néanmoins, si ce résultat capital ne pourrait pas encore se conclure d'observations faites dans d'autres lieux.

L'idée fort naturelle que la lune devait agir exactement de la même manière, sur l'atmosphère, d'abord dans le premier et dans le second quartier, ensuite dans la nouvelle et dans la pleine lune, avait amené jusqu'ici les *météorologistes*, dans toutes les discussions auxquelles ils se sont livrés, à réunir ces quatre phases par groupes de deux. Le travail de M. Flaugergues montre qu'à l'avenir il sera nécessaire d'adopter d'autres bases. En ce moment je ne puis pas m'en écarter.

Eh bien! prenons les observations de M. Flaugergues, et nous aurons :

Hauteur moyenne des quadratures. . . .	755mm,81
Hauteur moyenne des syzygies.	755 39
Excès du premier résultat sur le second..	0 42

Venons enfin aux observations de Paris, que M. Bouvard a discutées, et nous trouverons :

Hauteur moyenne des quadratures . . .	756mm,59
Hauteur moyenne des syzygies	755 90
Différence, toujours dans le même sens .	0 69

Ainsi, plus d'incertitude possible : la lune, dans nos climats, exerce sur l'atmosphère une action très-petite, mais que la combinaison d'un grand nombre de hauteurs barométriques fait ressortir nettement. Il reste à décider de quelle nature est cette action.

Si la lune agissait sur l'enveloppe gazeuse du globe, de la même manière que sur la mer, c'est-à-dire par voie d'attraction; si elle y produisait un double flux et reflux diurne; si les heures des marées atmosphériques changeaient chaque jour, comme les heures des marées de l'Océan, avec l'heure du passage de la lune au méridien; pour déterminer toute l'étendue de l'effet, il faudrait comparer entre elles, *jour par jour* (on me pardonnera l'expression que je vais employer), les hauteurs barométriques correspondantes *aux hautes et aux basses atmosphères*. Or jusqu'ici il n'a été question, dans ce qui précède, que des observations d'une seule heure de la journée, que des observations de midi.

Dans les syzygies, la lune passe au méridien supérieur ou inférieur à midi. Si, en chaque lieu, comme il paraît naturel de le supposer à cause de l'extrême mobilité de l'air, le *maximum* d'effet coïncide, à peu près, avec la présence de l'astre au méridien, les moyennes des seules observations faites à midi, les jours de syzygies, seront des moyennes de *hautes atmosphères*.

A toutes les époques de la lunaison, les *hautes* et les *basses atmosphères* semblent devoir être séparées entre elles, comme le sont les hautes et les basses mers, par des intervalles d'environ 6 heures. Les observations faites à midi, les jours où la lune passe au méridien vers 6 heures du soir ou vers 6 heures du matin, c'est-à-dire vers le premier et vers le second quartier, ou ce qui est la même chose en d'autres termes, à l'époque des quadratures, correspondent donc à de *basses atmosphères*.

Comparer les observations *méridiennes* syzygies aux observations *méridiennes* quadratures, c'est donc comparer entre elles de *hautes* et de *basses atmosphères lunaires*.

On remarquera sans doute que je n'ai pas annoncé encore comment les hautes atmosphères devront se manifester; on demandera s'il faut s'attendre à un mouvement ascensionnel ou à un mouvement descendant du baromètre. Je me bornerai à répondre qu'il m'était inutile en ce moment de décider cette question. Il me suffira, pour arriver au but vers lequel je tends, d'observer que les deux syzygies, si l'action lunaire pouvait être assimilée à celle qui s'exerce sur l'Océan, si, en un mot, elle était attractive, devraient donner les mêmes résultats; qu'il en serait également ainsi des premier et second quartiers comparés entre eux. Or, en jetant seulement les yeux sur la table qui donne les hauteurs qui correspondent aux diverses phases de la lune, tout le monde verra que ces conditions ne sont pas satisfaites. Les inégalités de pression que les observations ont fait reconnaître, doivent donc tenir à quelque cause différente de l'attraction; à quelque cause d'une nature encore inconnue, mais certainement dépendante de la lune.

Après avoir montré que les différences de hauteurs du baromètre à midi et à 9 heures du matin sont sensiblement les mêmes aux syzygies et aux quadratures, comparaison qui ne me paraît pas avoir la valeur qu'il lui attribue, Arago conclut ainsi :

« La marée atmosphérique, en tant qu'elle dépendrait de la cause qui produit les marées de l'Océan, en tant qu'elle serait régie par les mêmes lois, n'aurait donc qu'une valeur insensible. Nous voilà ainsi ramenés, une seconde fois, à reconnaître dans les variations barométriques correspondantes aux diverses phases lunaires, les effets d'une cause spéciale, totalement différente de l'attraction, mais dont la nature et le mode d'action restent à découvrir. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette conclusion de l'illustre savant me paraît devoir être repoussée. De ce que le baromètre ne donne pas des indications suffisantes pour manifester les effets que l'attraction entraîne nécessairement; on n'est pas fondé à conclure que ces effets n'ont pas lieu et qu'une cause nouvelle vient régir les phénomènes. N'est-il pas bien plus probable, bien plus évident même, pour peu qu'on réfléchisse à la manière dont les faits se produisent, que les effets ne peuvent être identiques pour l'air et pour l'eau, fluides d'une mobilité si différente, et qu'en outre l'instrument d'observation est insuffisant et qu'il faut chercher à le compléter par un autre, afin de mesurer un élément du phénomène négligé à tort jusqu'ici? N'est-il pas bien clair que cet élément, c'est l'échauffement et le refroidissement alternatif et quotidien de l'air, par l'effet de la chaleur solaire? Cette cause de courants atmosphériques, qui n'agit pas sur les liquides, dont les effets sur l'air sont tout à fait comparables à ceux de l'attraction, vient modifier profondément la ressemblance qui existerait sans cela entre les marées de la mer et celles de l'atmosphère.

Prévision du temps. — Ce qui précède répond bien clairement à la question de savoir à quel point le baromètre est propre à indiquer le changement de temps, en montrant que ses variations de hauteur dépendent de causes complexes mal connues, mais qui expriment toujours des variations de pression dans l'air, au lieu de l'observation, par suite des mouvements atmosphériques. Or, c'est de vents différents pour chaque contrée, en raison de sa position relativement à la mer, d'où sortent surtout les vapeurs qui forment les nuages, et aux vastes étendues de continent qui les dessèchent, que dépendent la pluie et le beau temps, l'arrivée sur le point de l'observation des nuages qui peuvent donner la pluie, s'ils en rencontrent d'autres à des températures différentes de la leur. Les mouvements du baromètre indiquent les variations de pression en raison de l'état dynamique de l'air en mouvement et rien de plus; ils ne peuvent, pour tous les pays placés différemment par rapport à la mer, indiquer la pluie et le beau temps que par une même variation de niveau. Ce n'est pas à dire toutefois que leur observation n'ait pas quelque peu de valeur pour un observateur attentif qui, en combinant l'observation barométrique avec quelques signes précurseurs et spéciaux au lieu de l'observation, à la saison et à l'heure de la journée, à l'action calorifique du soleil, et surtout à la direction du vent, pourra prévoir, quelque peu de temps à l'avance, le mauvais ou le beau temps dans sa contrée.

Précisons l'interprétation des phénomènes barométriques.

Une baisse du baromètre indique une diminution de pression dans un endroit qui fera sûrement affluer l'air d'un endroit voisin où elle est plus grande; l'étude de la direction de ce mouvement, combinée avec celle de la hauteur du baromètre qui en fait prévoir l'intensité par son écart de la hauteur moyenne, indiquera par exemple un vent chargé d'humidité, apportant habituellement la pluie dans l'endroit considéré.

Mais cette prévision, tirée seulement de l'observation de l'endroit où le baromètre est bas, n'a que peu de valeur, parce qu'elle indique seulement ce qui est, et non ce qui va être, si ce n'est par confiance dans une certaine régularité de répétition d'effets. Il n'en serait pas ainsi, si elle était accompagnée de celles déduites d'observations faites simultanément dans les endroits où le baromètre est haut; car on saurait alors d'où viendra le vent. Ces phénomènes de changement de temps sont en effet bien moins instantanés qu'on ne peut penser.

Ainsi le fameux ouragan du 14 novembre 1854, qui a sévi en Crimée sur les flottes alliées de France et d'Angleterre, offre un exemple remarquable d'une tempête, dont la marche pouvait être prévue par de semblables observations; cet ouragan a mis trois jours environ pour se développer, depuis l'Atlantique jusqu'à la mer Noire.

Impossibles utilement jusque dans ces dernières années, des observations de cette nature sont devenues faciles, grâce à la télégraphie électrique, qui peut, à un instant donné, faire connaître l'état de l'atmosphère, les hauteurs barométriques de divers points.

C'est principalement sur de semblables observations que l'amiral Fitz-Roy avait basé ses travaux, à l'aide desquels il annonçait chaque matin aux pêcheurs des côtes d'Angleterre le temps probable, d'après les indications fournies par des points éloignés.

C'est l'ensemble des observations de cette nature qu'on a cherché à centraliser et à interpréter chaque jour à l'Observatoire de Paris, et que les indications des câbles transatlantiques et autres de grande longueur, pourront rendre plus sûres qu'elles ne l'ont été jusqu'ici, pour la tenue générale du temps, indépendamment des phénomènes secondaires.

Bien entendu qu'il ne s'agit que de prévisions se rapportant à une période très-courte de temps; pour aller au delà, il faudrait connaître et évaluer les causes diverses qui influent sur le temps, c'est-à-dire connaître et évaluer toutes les forces en jeu, pouvoir traiter la météorologie par la méthode des sciences positives, par la mécanique, tandis qu'on ne peut l'attaquer que par la méthode des sciences physiologiques; l'atmosphère, soumise à une multitude de causes de mouvement, se comportant d'une manière analogue à un corps vivant.

Les causes qui produisent cette *chose variable et changeante* que nous appelons LE TEMPS, dit très-bien sir John F. W. Herschel, sont en elles-mêmes en petit nombre et assez simples; mais les faits physiques qui modifient leurs actions sont nombreuses et complexes, et par suite les résultats de ces causes sont si entremêlés, les conditions momentanées de leur action sont si dépendantes de l'état de choses amené par leur disposition antérieure, qu'il n'y a rien d'étonnant qu'il soit impossible d'attribuer à chaque cause en particulier, agissant aujourd'hui comme elle a toujours agi, l'effet qu'elle tend directement à produire. Cependant de cette complexité même résultent d'abord : cette sorte de hasard réglé, ces écarts accidentels en apparence, mais qui oscillent de part et d'autre d'un état moyen monotone, cette excessive variété de climat, qui rendent notre globe apte à être habité par des êtres si prodigieusement nombreux, si divers, ayant des genres de vie si incompatibles; puis cet équilibre général qui assure à chaque espèce, à chaque individu de toutes les espèces, sa part légitime dans la distribution de la chaleur, de l'humidité, d'un air sain, etc.; et enfin ces considérations bien chères à ceux qui croient pouvoir découvrir dans la nature la preuve d'un but et d'un dessein, ce qui exclut l'idée d'une pure nécessité provenant de la nature des choses et de la conservation de la *force vive*.

Prenons notre globe comme nous le trouvons, faisant une révolution sur son axe en vingt-quatre heures; parcourant en une année autour du soleil une orbite inclinée sur son équateur; partagé en deux moitiés un peu inégales, d'un équinoxe à l'autre, par son mouvement angulaire inégal sur une orbite légèrement elliptique, et donnant ainsi naissance à des étés et à des hivers inégaux dans les deux hémisphères; sa surface très-inégalement partagée en terres et en mers, les terres rassemblées principalement dans une de ses moitiés, et cette moitié appartenant surtout à l'hémisphère boréal; ces terres distribuées de manière à barrer complétement toute circulation libre de l'Océan dans le sens de la rotation diurne (ou autour de l'é-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quateur) et à ne permettre qu'une circulation restreinte dans une direction perpendiculaire (suivant la ligne des pôles), forçant ainsi toute circulation de s'établir dans trois grands bassins ou surfaces à demi formées par des terres, bassins s'ouvrant tous trois dans une vaste étendue australe, bassins dans chacun desquels les vents maintiennent un système de circulation dont le cours est déterminé en partie par les sinuosités de leurs bords, en partie par les inégalités de leurs fonds, en partie par la rotation de la terre elle-même.

Nous avons en outre à considérer le globe comme entièrement recouvert par une très-haute atmosphère de gaz mélangés, parfaitement élastiques, très-dilatables par la chaleur, et d'une extrême mobilité; s'étendant, en vertu de son élasticité dans l'espace, bien au-dessus du sommet des plus hautes montagnes; mais en vertu de sa compression, tellement condensée dans les couches inférieures, que la moitié de la masse pondérable totale ne s'élève pas à 4600 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer; que le tiers de la masse ne s'élève pas à la hauteur de trois kilomètres, et les deux tiers à une hauteur de quatre kilomètres et demi; que toute la masse enfin ne s'élèverait pas à cette dernière hauteur si la densité était partout la même qu'à la surface, de sorte qu'un tiers seulement de la masse totale est libre de circuler sans être empêchée par les crêtes des plus hautes montagnes de l'Himalaya, et qu'il n'y en a guère plus des deux cinquièmes qui puissent se dégager tout à fait de la chaîne des Andes sans être refoulés en arrière. Cette atmosphère, lorsqu'elle est poussée à l'état de VENT, naissant nécessairement par l'élévation de température résultant de l'action de la chaleur solaire, sur ces chaînes de montagnes ou sur d'autres, donne naissance à de vastes ondes qui, lancées en avant et se propageant sur des surfaces indéfinies de terres et de mers, deviennent sans doute l'origine, en grande partie au moins, de ces fluctuations accidentelles du baromètre qui donnent tant de tourment aux météorologistes.

C'est qu'en effet cet océan aérien n'est pas partout à la même température, pas même sous un climat donné, ou sur toute l'étendue d'une même contrée. Il est partout plus chaud près du sol, plus froid en haut; et, à de très-grandes hauteurs, il règne un froid très-intense, plus intense que celui de nos hivers les plus rigoureux. De là la neige qui couvre les sommets des hautes montagnes, même dans les climats les plus chauds. De toutes ces causes naissent des mouvements dont la naissance et la propagation ne sauraient être déterminés scientifiquement, prévus avec certitude pour chaque endroit.

Mesure des hauteurs par le baromètre. — La diminution de la hauteur de la colonne barométrique en raison du lieu où se fait l'observation, observée par Pascal pour démontrer qu'elle faisait réellement équilibre au poids de l'atmosphère, peut servir à mesurer ces hauteurs. Laplace a donné une formule qui permet d'obtenir ce résultat avec une grande précision; toutefois les petites variations continuelles du baromètre, surtout lorsqu'on compare des lieux à des températures très-différentes, comme la plaine et une montagne couverte de glace, font préférer les observations géodésiques quand elles sont possibles. Le baromètre n'en fournit pas moins une précieuse et assez grande approximation. Nous emprunterons à M. A. Transon l'exposé des principes sur lesquels repose le calcul qui permet de l'obtenir.

Si l'air était un fluide *incompressible*, tel que l'eau par exemple, les hauteurs d'air et de mercure qui se font équilibre par le moyen du baromètre seraient en raison inverse de leurs densités; de sorte qu'en supposant connu le rapport de ces densités, il serait très-facile de calculer la différence de niveau qui produit un abaissement quelconque du baromètre. Mais l'air est un fluide *compressible*, c'est-à-dire un fluide dont le volume dépend de la pression à laquelle il est soumis; et la loi de cette dépendance, c'est que le volume de l'air est *en raison inverse* de sa pression, ce qui revient à dire que *la densité de l'air est proportionnelle à sa pression*. D'après cela, comme les couches inférieures de l'atmosphère supportent les couches supérieures, elles ont une densité plus grande; elles occupent, sous le même poids, un moindre volume; ou bien encore, pour exprimer le même fait sous une autre forme, si on considère dans la colonne atmosphérique deux tranches égales, dont l'une soit prise au niveau du sol et l'autre dans les régions élevées, la première sera trouvée la plus pesante, et par conséquent elle fera équilibre à une plus grande hauteur du mercure. On voit donc que la différence de niveau, relative à un abaissement quelconque du baromètre, ne dépend pas seulement du rapport des densités de l'air et du mercure; elle dépend aussi, et essentiellement, de la loi particulière suivant laquelle la densité de l'air diminue quand on s'élève dans l'atmosphère. La découverte de cette loi était le premier pas à faire pour pouvoir appliquer le baromètre à la mesure des hauteurs. L'honneur en revient au célèbre Halley.

Pour arriver à connaître la loi de décroissement de densité des couches de l'atmosphère, considérons dans la colonne atmosphérique et à une élévation quelconque une tranche formée par deux plans horizontaux. Supposons d'ailleurs ces deux plans assez rapprochés pour que, dans l'espace intermédiaire, la densité de l'air n'éprouve pas de variation sensible. — En passant de l'un à l'autre de ces plans, le baromètre indiquera une différence de pression égale au poids de la tranche, et par conséquent proportionnelle au produit de la pression (ou densité) constante qui a lieu dans cette tranche, multipliée par la distance des deux plans. — D'après cela, si la colonne atmosphérique tout entière était partagée en tranches égales, assez minces pour que la densité de l'air pût être supposée constante dans l'intérieur de chacune d'elles, alors la pression barométrique relative à l'un quelconque des plans de division serait égale à la pression qu'on observerait dans le plan immédiatement inférieur, multipliée par un facteur composé de l'unité diminuée d'une quantité proportionnelle à l'épaisseur de la tranche. Mais puisque toutes les tranches sont supposées avoir la même épaisseur, le facteur en question sera le même pour toutes les tranches, c'est-à-dire que deux pressions consécutives auront toujours le même rapport; et ainsi la suite de toutes ces pressions, à partir du sol jusqu'au haut de l'atmosphère, formera une *progression géométrique décroissante*. D'ailleurs les hauteurs absolues des plans de division forment évidemment une *progression arithmétique*, puisque ces plans sont équidistants. La loi cherchée est donc que *les densités de l'air diminuent en progression géométrique, lorsque les hauteurs croissent en progression arithmétique.* — C'est là ce qu'on doit à Halley.

Il résulte de cette loi et des propriétés des *logarithmes* que la différence de niveau entre deux stations est proportionnelle à la différence entre les logarithmes des nombres qui représentent les pressions observées. Il ne s'agira donc que de multiplier la différence de ces logarithmes par un certain coefficient dont nous allons donner la détermination.

Or, on sait que sur le parallèle de 45 degrés (nonagésimaux), à la température de la glace fondante, et à la hauteur moyenne du baromètre au niveau des mers, hauteur qui peut être supposée de 0m,76, le poids de l'air est à celui d'un pareil volume de mercure dans le rapport de l'unité à 10477,9. Ainsi, dans ces mêmes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BAROMÈTRE.

circonstances, un centième de millimètre de mercure ferait équilibre à une hauteur d'air égale à $0^m,104770$, car cette hauteur d'air est assez petite pour que les parties supérieures n'y compriment pas sensiblement les parties inférieures. Donc, lorsqu'on l'élèvera dans l'air de cette quantité, le baromètre passera de $0^m,76$ à $0^m,75999$. Ici nous connaissons à la fois les deux pressions barométriques et la différence de niveau correspondante; il est donc facile de calculer le coefficient constant qui sera égal à la différence des logarithmes tabulaires des nombres 0,76000 et 0,75999; cela donne 18336^m pour le coefficient.

Un autre moyen de trouver ce coefficient consiste à observer avec beaucoup de soin les pressions simultanées qui ont lieu à deux stations dont la différence de niveau a été préalablement déterminée par des moyens géométriques. C'est la marche que M. Ramond a suivie, et même c'est à l'aide du coefficient ainsi évalué à 18336^m, qu'il a déduit le rapport des densités de l'air et du mercure ci-dessus indiqué. Mais dans le même temps, MM. Biot et Arago déterminaient, par des mesures directes, ce même rapport, et ils le trouvaient de 1 : 10163. La petite différence qui existe entre cette valeur et la précédente 1 : 10177,9 n'en produirait pas une de 1 mètre sur la hauteur entière du Chimborazo. D'ailleurs il y a lieu de s'en tenir à la détermination de M. Ramond, au moins dans l'application du baromètre à la mesure des hauteurs, et cela pour des raisons qui seront déduites à l'instant.

Pour mesurer la hauteur d'une montagne par le baromètre, l'opération fondamentale consiste donc à observer simultanément le baromètre en haut et en bas; prendre dans les tables ordinaires les logarithmes correspondants aux hauteurs barométriques, celles-ci étant nécessairement exprimées toutes deux en unités de même espèce, c'est-à-dire en lignes et fractions de ligne, ou bien en millimètres et fractions de millimètre; soustraire le plus petit logarithme du plus grand, et multiplier la différence par le coefficient constant. Le produit donnera la hauteur cherchée, en mesures de la nature de celles qui sont entrées dans la détermination du coefficient (par exemple *en mètres*, si on multiplie la différence des logarithmes par 18336). La hauteur ainsi calculée sera juste si on a opéré dans les circonstances qui ont servi à déterminer le coefficient; sinon il y aura lieu d'appliquer plusieurs corrections dont nous supprimons à regret l'explication, afin de ne pas dépasser les bornes de cet article. Qu'il nous suffise de dire que, jusqu'à notre illustre Laplace, on n'avait eu égard qu'à une partie des circonstances qui peuvent influer sur les résultats de l'opération; les autres conditions, quoique aperçues et même indiquées par des physiciens célèbres, étaient demeurées sans usage. Elles ont été réunies toutes pour la première fois dans la formule de Laplace, formule entièrement fondée sur les lois générales de l'équilibre des fluides.

Toutefois, il y a une circonstance indiquée dès le commencement de cet article, et dont il n'était pas possible de tenir compte dans l'état actuel de la science; c'est que la *pression* de l'atmosphère n'est pas toujours identique à son *poids*. Le rapport de ces quantités varie d'un climat à l'autre, et varie dans un même climat avec les saisons, bien plus, avec les heures de la journée. C'est surtout par l'action des vents que la pression de l'air se trouve différente de son poids; car un vent ascendant déchargera sensiblement le baromètre, tandis qu'un courant descendant augmentera la pression apparente. D'après cela, la méthode de déterminer le coefficient de la formule par des observations faites sur une montagne dont la hauteur a été mesurée géométriquement, doit être préférée à la méthode qui déduirait ce coefficient de la comparaison directe des densités de l'air et du mercure. Il faudra seulement choisir la saison et l'heure auxquelles l'atmosphère jouit du plus grand calme relatif, et le coefficient ainsi déterminé ne conviendra rigoureusement qu'aux mêmes circonstances de climat, de saison et d'heure. Le coefficient de Ramond se rapporte aux climats tempérés; il doit être employé de préférence pendant l'été, et depuis onze heures du matin jusqu'à une heure après midi.

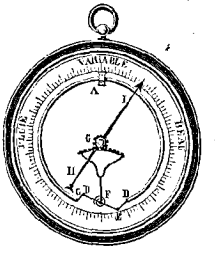
Les opérations à l'aide du baromètre exigent des soins assez minutieux; mais leur rapidité et l'exactitude remarquable avec laquelle elles donnent les hauteurs lorsqu'on remplit toutes les conditions du problème, les rendent préférables aux moyens géométriques, surtout pour les voyageurs qui ne peuvent disposer de beaucoup de temps, ni s'embarrasser d'un grand attirail d'instruments.

Nous ne devons pas oublier, en terminant, de faire remarquer que si la hauteur de deux stations, comme de deux sommets de montagne, se trouve déterminée par des opérations barométriques, il suffira de mesurer l'angle apparent d'élévation de l'un de ces sommets au-dessus de l'autre pour être en état de calculer la distance horizontale qui sépare ces deux stations. Voilà donc un moyen facile d'opérer des nivellements considérables, et ce moyen est susceptible d'une très-grande précision. C'est ainsi qu'un simple voyageur, le célèbre Humboldt, a pu établir à très-peu de frais la jonction de Mexico avec le port de Vera-Crux, sur une distance de plus de trente myriamètres. Ceci achèvera sans doute de glorifier l'invention du baromètre dans l'esprit de nos lecteurs.

Baromètres métalliques. — Anéroïdes. — La facile rupture du baromètre, la difficulté de son transport en voyage, l'impossibilité de s'en servir à la mer, où ses observations offrent le plus d'intérêt pour faire prévoir les vents, ont fait chercher à construire un baromètre métallique sans liquide.

Tentée sans succès par Conté, la construction de semblables baromètres a été réussie par M. Vidi. Ils consistent en une capacité métallique fermée, dont la partie supérieure est formée d'une plaque mince et cannelée, et de moyens de transmettre à une aiguille indicatrice par suite en les amplifiant beaucoup, les moindres mouvements de cette plaque. Ces petits mouvements seront les résultats nécessaires des changements de pression de l'atmosphère, la quantité d'air renfermée dans la capacité métallique étant constante, n'ayant aucune communication avec l'air extérieur.

La disposition des tubes recourbés, employés avec succès en Allemagne par M. Schmtz, en France par M. Bourdon, pour la construction de manomètres propres à mesurer les pressions de la vapeur, était tout à fait convenable pour obtenir des baromètres métalliques d'une excellente construction (fig. 3440). C'est ce que MM. Bourdon et Richard ont fait, sans que nous puissions dire que leur appareil soit plus régulier dans ses indications que celui de M. Vidi, mais il est plus facile de le faire très-sensible. Or, dans les baromètres qui ne sont pas destinés aux observations scientifiques, c'est bien plus l'étendue des mouvements suffisants pour étudier les variations atmosphériques que la proportionnalité des effets qu'il importe d'obtenir.



3440.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BARRAGE. C'est sur les parties les plus élevées du sol, dans les montagnes, que les nuages apportent de l'eau en grande abondance, à des hauteurs très-considérables au-dessus du niveau de la mer; c'est vers ces régions peu habitées que les travaux de l'ingénieur peuvent se faire, plus aisément et plus profitablement que dans les plaines. Les plus simples et les plus utiles ont leur point de départ dans des barrages qui maintenant l'eau à un niveau élevé, pour en disposer suivant les besoins, devraient être bien plus multipliés qu'ils ne le sont, et qui, partout où ils ont été établis, ont donné d'admirables résultats, et permis d'utiliser des richesses considérables, autrement perdues. Ce système étendu pourrait, par exemple, fournir des forces motrices en quantités plus grandes que celles des machines à vapeur existant dans bien des pays civilisés, par une utilisation intelligente des phénomènes naturels.

Parmi les exemples de travaux de retenue et d'accumulation des eaux dans des bassins artificiellement établis au moyen de barrages, nous citerons celui de Saint-Ferréol, qui a permis d'assurer la navigation sur le canal du Midi, à l'aide d'un petit ruisseau coulant au loin dans la montagne; celui du Nil décrit à AGRICULTURE; ceux de Lowell et de Lawrence, aux États-Unis, qui ont fait naître des cités manufacturières, en créant des puissances motrices gratuites sur une grande échelle.

Dans les pays chauds, où la végétation ne se maintient que grâce à l'arrosage, le bon aménagement des eaux est la condition absolue de richesse, et fait succéder la fertilité au désert, comme le montrent par exemple les travaux des Maures, dans la Huerta de Valence et en Andalousie. Nous commençons enfin à les imiter en Afrique, et le barrage de l'Habra, qui permettra d'emmagasiner trente millions de mètres cubes, va montrer tout ce qu'on peut espérer de travaux faits dans cette voie, mais il serait erroné de croire que ces travaux sont médiocrement utiles dans notre climat plus tempéré, et comme indépendamment des irrigations presque aussi profitables au Nord qu'au Midi (voy. AGRICULTURE) ils offrent d'utiles applications, nous décrirons ici en détail, comme exemple le barrage du Furens, dont les plans et modèles ont été admirés à l'Exposition de 1867, description que nous emprunterons à la notice publiée par le ministère des travaux publics. On verra par cet exemple comment une étude bien faite peut, dans chaque cas particulier, transformer un cours d'eau torrentiel, inutile, quand il n'est pas nuisible, en une source féconde de richesses de tout genre. Puissances mécaniques considérables, fertilité du sol par l'irrigation, salubrité des villes par d'abondantes distributions d'eau, telles sont les principales richesses créées par des barrages établissant de vastes réservoirs, qui suppriment en outre les dangers des inondations, et n'exigent en plus des travaux exigés par leur construction que l'établissement d'un canal conduisant l'eau, sans perte de chute inutile, aux lieux de consommation. Nous commençons à peine à débuter dans de semblables travaux, qui devraient être faits sur une vaste échelle dans la Haute-Loire, et les Alpes surtout, et donner lieu à des travaux intéressants dans presque toutes les parties du sol parcouru par des eaux dont le régime est quelque peu torrentiel.

Revenons à l'exemple dont nous voulons parler et qui, bien que ne s'appliquant qu'à un cas particulier, fera réfléchir tout lecteur intelligent aux grands résultats qu'on peut, dans d'autres cas, retirer des travaux du même ordre, consistant à conserver à un niveau élevé, jusqu'au moment de leur emploi, les eaux que la chaleur solaire a élevées du niveau de l'Océan au sommet des montagnes. La chute de l'eau d'une certaine hauteur est une destruction de valeur; c'est une force motrice, une irrigation sacrifiée, et tout barrage, canal, aqueduc, etc., est la conservation, ou, relativement à l'état intérieur, la création de cette richesse. Les travaux faits dans cette voie, dans les pays civilisés, dans ceux surtout qui, comme la France, possèdent des parties élevées où les rivières prennent naissance, ne sont rien, nous ne saurions trop le répéter, auprès de ceux qui doivent être sans doute prochainement entrepris. Le succès des constructions récentes de cet ordre, telle que la conduite à Paris de sources à un niveau élevé, suivant les excellents projets de M. Belgrand (voy. EAUX), où l'emploi de conduites forcées que l'on peut faire aujourd'hui de plusieurs mètres de diamètre, (avec des tuyaux de fonte de fer), réduit considérablement les dépenses, comme celui du réservoir du Furens que nous allons décrire, semble indiquer qu'il y a là une nouvelle et féconde *occasion* de travail pour notre pays, s'il sait faire, pour l'emploi des eaux afin de développer la richesse, quelque chose qui rappellera ce que la nature a fait pour l'Égypte par les crues du Nil. (Voy. EAUX, AMÉNAGEMENT DES.) Il est digne de notre état de civilisation d'amener notre sol au degré de fertilité que certaines contrées doivent à d'heureuses conditions physiques. Au reste, il s'agit là d'un ordre de travaux qui s'impose de plus en plus chaque jour et par la seule force des choses en quelque sorte, sans idée préconçue; les réservoirs artificiels se sont beaucoup multipliés dans les pays riches, en Angleterre notamment, là où le climat paraît les rendre peu nécessaires.

BARRAGE DU FURENS. *Système hydraulique du réservoir.* — La ville de Saint-Étienne a fait établir une rigole souterraine qui va chercher aux sources du Furens les eaux nécessaires à son alimentation; en même temps elle a concouru à la dépense d'un réservoir, placé au-dessus du village de Rochetaillée, dont les travaux ont été exécutés par l'État. La part de l'État a été fixée à 570,000 francs; tout le surplus, soit environ un million de francs, est resté à la charge de la ville; en échange de ce concours, celle-ci a obtenu le droit de se servir du réservoir, afin d'y emmagasiner les eaux excédantes du Furens et de les utiliser en partie pour sa propre consommation, et pour le lavage de ses égouts; et en partie pour augmenter le débit d'étiage du Furens et améliorer ainsi la position des usines de ce cours d'eau.

Le Furens, avant l'ouverture des travaux, suivait le thalweg de la vallée. Un barrage de 50 mètres de hauteur a été construit au point le plus étroit de cette vallée pour former le réservoir décrit dans la présente notice. En même temps, on a ouvert un canal de dérivation où coule aujourd'hui la rivière.

Le réservoir fonctionne de la manière suivante : le niveau auquel la ville de Saint-Étienne peut retenir ses eaux est fixé à $44^m,50$ au-dessus du fond devant le barrage; depuis ce niveau jusqu'au maximum de retenue, il y a une hauteur de $5^m,50$ sur laquelle le réservoir doit rester vide pour emmagasiner la partie dommageable des crues qui peuvent inonder Saint-Étienne. La crue passée, on vide ces eaux emmagasinées par un souterrain dans le lit inférieur du Furens. Toutes les eaux, jusqu'à la hauteur de $44^m,50$ au-dessus du fond, sont réservées pour l'alimentation de Saint-Étienne et des usines. Afin de les conduire à leur destination, un second souterrain, plus bas que le premier, est creusé dans le contre-fort contre lequel s'appuie le barrage; dans ce souterrain, bouché à son extrémité du côté du réservoir par une maçonnerie, il y a deux tuyaux en fonte de $0^m,40$ de diamètre chacun, traversant cette maçonnerie. Ils reçoivent librement, à leur extrémité d'amont, les eaux du réservoir et les conduisent dans un puisard au moyen de robinets d'un débit déterminé; l'eau arrivée dans le puisard est affectée au double service des usines et de la ville; à cet effet, un premier canal à ciel ouvert, muni à son origine d'une vanne modératrice, permet de jeter dans le lit du Furens la quantité d'eau de réserve que l'on veut y amener; un second

EFERUS - Recherche & Classification numérique

canal souterrain, muni également d'une vanne régulatrice, permet d'amener ces eaux de réserve dans la conduite des eaux de Saint-Étienne, soit en les y faisant tomber directement par un robinet, soit en les emmagasinant dans un petit réservoir qui communique lui-même avec la conduite au moyen d'un tuyau.

En été, l'arrosage des rues et le lavage des égouts doivent se faire au moyen des ressources du réservoir, les eaux de sources amenées par l'aqueduc à Saint-Étienne ne suffisant pas pour assurer ce service. On établit alors la communication de la conduite avec le réservoir par le second des canaux mentionnés tout à l'heure. S'agit-il d'augmenter le débit de la rivière dans cette même saison d'été, où les usines du Furens ont tous les ans d'importants chômages à subir, on établit en même temps la communication entre le réservoir et le Furens par le premier canal. L'aqueduc qui va prendre les eaux du Furens à leurs sources est partout ainsi indépendant du réservoir, avec lequel il ne communique absolument que par le second canal.

Fonctions des prises d'eau de tête. — Les ventelleries placées en tête du canal d'alimentation du réservoir et du canal de dérivation, qui sert actuellement de lit au Furens, fonctionnent de la manière suivante.

Dans les grandes crues, lorsque le débit du Furens atteint 93 mètres cubes par seconde, ce qui correspond à 2 mètres de hauteur à l'échelle d'observation placée en amont des vannes, la ville de Saint-Étienne commence à être inondée. Si l'on suppose que la crue arrive, le réservoir étant plein jusqu'à la hauteur de $44^m,50$ de la retenue permanente à l'usage de la ville, cas le plus défavorable, voici comment on manœuvrera : la ventellerie du canal d'alimentation restera fermée, et la ventellerie du canal de dérivation ouverte, tant que les eaux ne s'élèveront pas au-dessus de cette hauteur de 2 mètres à l'échelle. Toutes les eaux s'écouleront ainsi par le canal de dérivation, qui les ramène dans le Furens au-dessous du réservoir.

Dès que les eaux tendront à s'élever à l'échelle au-dessus de 2 mètres, c'est-à-dire entreront dans la période dommageable de la crue, la ventellerie du réservoir s'ouvrira et se manœuvrera de manière à maintenir la hauteur d'eau de 2 mètres à l'échelle; cela est toujours facile à obtenir, car cette ventellerie est construite de manière à pouvoir débiter la différence 38 mètres cubes entre le débit maximum, 131 mètres cubes par seconde, de la plus grande crue connue, et 93 mètres cubes, débit où la crue commence à être dommageable pour Saint-Étienne. La partie dommageable de la crue sera ainsi reçue dans le réservoir, où elle s'emmagasinera dans le vide de $5^m,50$ de hauteur, réservé au-dessus de la ligne du niveau permanent qui limite l'usage que la ville de Saint-Étienne est, aux termes de ses conventions avec l'État, en droit d'exercer sur le réservoir.

Il faut dire maintenant comment on manœuvre les ventelleries d'amont pour l'alimentation de cette réserve permanente du réservoir, en le supposant vide au commencement.

On doit assurer d'abord le jeu régulier des usines dans les conditions où elles se trouvaient avant la construction du réservoir; pour cela, un débit de 350 litres par seconde est nécessaire. On a marqué sur l'échelle la hauteur d'eau correspondant à ce débit; tant que le niveau de l'eau restera dans le lit du Furens au-dessous de cette hauteur, la ventellerie du réservoir devra évidemment rester entièrement fermée, toute l'eau devant passer par la ventellerie de la dérivation pour arriver aux usines situées en aval du réservoir. Mais dès qu'il la dépassera, cette ventellerie devra être manœuvrée de manière à maintenir cette hauteur, et alors toute la partie du débit qui excédera 350 litres par seconde ira s'emmagasiner dans le réservoir par son canal d'alimentation. Si l'état du cours d'eau qui a produit cette petite crue tend à se réduire, on fermera progressivement la ventellerie du réservoir, de manière qu'elle soit entièrement fermée lorsque le débit s'abaissera à 350 litres ou au-dessous.

BARRAGE.

Il est facile de voir qu'en opérant ainsi, on ne prend au Furens que les excédants non utilisables pour les usines. Lorsque le cours d'eau débitera plus de 350 lit. par seconde, on emmagasinera le surplus inutile pour les usines, et qui doit leur être rendu en partie en été par le jeu du canal inférieur. On comprend immédiatement tous les avantages que les usiniers tireront de cette combinaison.

Débit du Furens. Capacité du réservoir. L'étiage du Furens s'abaisse à 100 et même 80 litres par seconde dans les années très-sèches; d'après les jaugeages journaliers exécutés depuis huit ans à la prise d'eau du réservoir, le module ou débit moyen par seconde, réparti sur l'année entière, serait de 500 litres par seconde. La superficie de la partie du bassin du Furens, située en amont du réservoir qui fournit ce débit, est de 2,500 hectares, et la hauteur moyenne d'eau qui y tombe par an est de 1 mètre.

Le débit des plus grandes crues, depuis dix ans, n'a pas dépassé 15 mètres cubes par seconde; mais le 10 juillet 1849, une trombe ayant éclaté dans la partie supérieure de la vallée, il en est résulté un débit anormal qui a inondé la ville de Saint-Étienne. C'est ce débit qu'il s'agissait de déterminer approximativement pour fixer la capacité du réservoir destiné à emmagasiner la partie dommageable de cette crue unique et hors de proportion avec ce que l'on avait observé jusque-là.

Il résulte des études auxquelles on s'est livré à cette occasion, que l'inondation de la ville de Saint-Étienne commence lorsque le débit atteint 93 mètres cubes par seconde, et que le maximum de ce débit a été de 131 mètres cubes. On en a conclu que la tranche supérieure du réservoir, destinée à rester vide pour attendre une crue, doit avoir une capacité de 200,000 mètres cubes.

On a vu plus haut que la tranche en question était comprise entre les plans horizontaux situés à 50 et à $44^m,50$ au-dessus du fond du réservoir, près du barrage, et avait par conséquent $5^m,50$ de hauteur. Or il résulte d'un lever très-exact par courbes horizontales du réservoir du Furens, fait depuis l'exécution des travaux, que la capacité correspondant à ce niveau de la retenue permanente, soit à la hauteur $44^m,50$ au-dessus du fond, est de 1,200,000 mètres cubes, et que la capacité correspondant à la hauteur de 50 mèt. est de 1,600,000 mètres cubes. Il en résulte que la tranche de $5^m,50$ de hauteur, destinée au service des inondations, a une capacité de 400,000 mètres cubes, c'est-à-dire le double de celle qu'il faudrait pour emmagasiner la partie dommageable de la trombe qui a éclaté en 1849, dans la partie supérieure du Furens. Une crue comme celle de 1849 ne donnerait dans la tranche de réserve qu'une hauteur de 3 mètres correspondant à un cube de 200,000 mètres et à la hauteur de $47^m,50$ au-dessus du fond d'amont. On voit donc que les choses ont été disposées de manière à éviter toute espèce de mécompte.

Il résulte des calculs de jaugeages faits depuis huit ans, et de l'expérience des années 1865 et 1866 sur le réservoir même, que la réserve permanente de 1,200,000 mètres cubes se renouvellera deux fois par an, en automne et au printemps. Le cube à prélever pour le service supplémentaire de la ville de Saint-Étienne ne peut, en aucun cas, dépasser 600,000 mètres cubes par an, de sorte qu'il restera à répartir pour les usines, entre les chômages d'été et d'hiver, un cube de 1,800,000 mèt.; cela ferait un excédant moyen de débit de 120 litres par seconde sur le débit du Furens pendant six mois de l'année. On voit par ce chiffre combien l'amélioration apportée aux soixante usines desservies par le Furens, par la construction du réservoir, sera grande.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR. Nous avons résumé, dans le premier travail publié dans cet ouvrage, les résultats fournis par la pratique jusque dans ces dernières années. Le grand navire de guerre à hélice, capable de prendre de grandes vitesses tout en portant un armement formidable, s'est amélioré chaque jour et réalise sous la forme de navire cuirassé la plus puissante machine de guerre offensive et surtout défensive qui ait été créée. En même temps le développement des communications à travers l'Océan a conduit à des constructions de magnifiques navires, qui ont pu faire leurs immenses traversées avec une vitesse inconnue auparavant. La question de leur construction a un grand intérêt pour la France, si bien placée pour effectuer la navigation à grande vitesse entre le continent de l'Europe et l'Amérique; aussi, dans cette étude, nous nous placerons surtout au point de vue des transatlantiques.

Au lieu de décrire en détail quelques types de construction dont plusieurs parties sont souvent défectueuses, nous passerons en revue successivement tous les éléments du problème, de manière à indiquer pour chacun les perfectionnements qui ont été apportés, les progrès dont la scienc indiquee les réalisations comme possibles. Nous terminerons par l'indication des combinaisons d'éléments qui forment les types des principales constructions.

Nous diviserons cette étude de la navigation à vapeur en trois parties :

La première comprendra tout ce qui se rapporte au travail moteur sous trois divisions : la vaporisation, la machine à vapeur, les appareils de propulsion; la seconde, tout ce qui se rapporte au travail résistant, les formes des navires, le mode d'action du fluide sur le corps flottant et du corps flottant sur le fluide. Ce sont les solutions les plus parfaites de ces divers problèmes qui permettent de produire le plus économiquement, au moyen de la combustion du charbon, un travail moteur considérable, bien transmis au corps flottant, dont la résistance deviendra un *minimum* si on lui donne les formes les plus convenables. La troisième partie comprendra l'étude des combinaisons principales de ces éléments, et notamment tout ce qui se rapporte à la question de la construction des transatlantiques, grands navires devant avoir des vitesses supérieures. Nous ne négligerons pas tout ce qui se rapporte à la construction des navires de guerre à vapeur, pour lesquels une grande puissance de propulsion est également nécessaire, mais doit être en partie sacrifiée aux besoins, aux conditions qu'ils doivent remplir comme machine de guerre.

Ire PARTIE. — TRAVAIL MOTEUR.

Les derniers progrès de la science physique, l'expérience notamment que nous rapportons à l'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR, fournit l'indication du maximum théorique de travail que peut donner une quantité de chaleur, et par suite de combustible. Nous avons vu qu'on devait admettre qu'une calorie, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui élève un kilogramme d'eau d'un degré, peut théoriquement produire un travail de 370 kilogr.-mèt. La pratique est bien éloignée du maximum théorique, et il reste des progrès considérables à accomplir avant d'approcher des limites que la théorie indique, dans le voisinage desquelles les progrès seraient bien difficiles à réaliser.

Le kilogramme de charbon produisant 7,500 calories peut donc engendrer théoriquement, à raison de 370 kilogr.-mèt. par calorie, 2,775,000 kilog.-mèt., et vaporiser 11,5 kilogr. d'eau en moyenne, la quantité variant peu avec la pression. Le cheval-vapeur de 75 kilogr.-mèt. par seconde, soit $75 \times 3,600 = 270,000$ kilogr.-mèt. par heure, devrait être obtenu par une consommation de 1/10 de kilogr. de charbon par heure. Les machines de Cornouailles, les plus perfectionnées de toutes, celles qui consomment le moins de combustible, brûlent environ, dit-on, 1 kilogr., c'est-à-dire, rendent environ 1/10 du travail utile; plusieurs machines de Woolf consomment 1 k. 20. C'est un résultat qui, après tant de progrès accomplis par la science, doit peu étonner; il s'explique surtout à cause des pertes considérables qu'il est impossible d'éviter, vu la température nécessairement élevée avec laquelle les produits de la combustion sont lancés dans l'atmosphère, et le travail consommé par le tirage, qui n'est jamais compté. Mais s'il est bien difficile de s'approcher du rendement théorique, dans les machines fonctionnant dans les conditions les plus favorables, qui ne sont pas à beaucoup près celles de la navigation, et que nous étudierons spécialement à MACHINES A VAPEUR, il semble que l'on ne se propose qu'un but assez facile à atteindre lorsque l'on cherche à faire des machines à vapeur qui donnent à la mer des résultats qui approchent de ceux que donnent les machines de Cornouailles ou de Woolf, et il ne peut être douteux qu'en étudiant les causes du bon fonctionnement de ces dernières, on ne puisse arriver à les reproduire dans d'autres machines à vapeur.

Dans la navigation à vapeur, les plus importants progrès peuvent être obtenus en restant bien au-dessous d'un semblable degré de perfection, car la consommation de la plupart des machines des bateaux à roues dépasse 4 kilogr. par cheval. On est arrivé, dans les nouveaux navires à hélice, à réduire les consommations dans une proportion considérable, à 2 kilogr. par cheval, et cela par l'application des principes que nous allons exposer. La réduction de la consommation de 4 kilogr. à 2 kil. seulement dans le premier cas, ou celle de moitié ou du tiers pour le second, à l'imitation des bonnes machines terrestres de divers systèmes qui ne brûlent que 1 kilogr. ou 1 k. 25, c'est-à-dire une économie de moitié sur les consommations de houille (indépendamment d'un bénéfice au moins égal qui résulterait du tonnage employé par la houille devenu disponible pour les marchandises), correspondrait à une économie énorme.

Vaporisation.

Nous avons traité, à l'article CHAUDIÈRES A VAPEUR, de la question générale de la vaporisation, et l'admirable article COMBUSTION, dont le savant Ebelmen a enrichi cet ouvrage, est toujours ce qui existe de plus complet, de plus parfait sur la question.

Malgré la grande importance de la question et bien que ce soit surtout du perfectionnement des appareils de vaporisation qu'on doive attendre les plus grands progrès, nous ne reviendrons ici que sur quelques points particuliers, spéciaux à la navigation, que nous emprunterons en grande partie au *Guide du chauffeur*, de M. Grouvelle, qui renferme les résultats de l'expérience que de nombreuses constructions ont fait acquérir aux ingénieurs de l'État. Enfin nous renverrons à l'article CHAUDIÈRE de ce complément, où nous décrirons la chaudière Belleville, qui ouvre une voie nouvelle pour la construction d'un genre de chaudières très-résistantes, et fournissant très-rapidement de la vapeur, moins rapidement toutefois que la chaudière Field, décrite dans ce même article.

Chaudières. — La nécessité d'éviter la propagation de la chaleur du foyer hors de la chaudière, dans un cas où il est impossible de songer à employer des fourneaux dans lesquels les épaisseurs de briques soient considérables, a fait employer, dès l'origine de la navigation à vapeur, des chaudières à foyer intérieur, qui convenaient évidemment dans ce cas, d'une manière toute spéciale. Restait à leur donner une surface de chauffe suffisante pour la bonne vaporisation que l'on évalue à terre, avec de bonnes cheminées à 1m.50 par cheval. Cette condition ne peut être satisfaite pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les bateaux mus par de puissantes machines, car la place manque; on cherche en compensation à augmenter autant que possible le développement du parcours des produits de la combustion, la surface de chauffe indirecte.

Deux systèmes ont été adoptés pour obtenir ce résultat. Celui adopté le plus généralement aujourd'hui et qui a la préférence pour les grandes constructions de la marine militaire, consiste à munir la partie supérieure de la chaudière, pour le retour de la flamme seulement, d'un grand nombre de tubes de 0,08 de diamètre, à imiter la disposition de la chaudière de locomotive. On obtient ainsi une grande surface de chauffe en restant dans des limites d'incrustation supportables (voir INCRUSTATION).

Nous donnons comme exemple les chaudières de *l'Ardente* de 800 chevaux. Les fig. 3411 et 3412 représentent l'une d'elles vue de face et de profil.

L'appareil de vaporisation est formé de plusieurs corps de chaudières semblables. Nous rapporterons ici l'indication des dimensions des diverses parties qui le constituent :

Nombre des chaudières	8
Nombre total des foyers	32

Dimensions d'un corps de chaudière.

Longueur		4m, 30
Largeur	en haut	3 60
	en bas	2 95
Hauteur		3 30
Longueur d'un foyer		2 25
Hauteur d'un foyer		0 98
Longueur d'une grille		2 30
Tubes	longueur	2
	diamètre extérieur	0 085
	diamètre intérieur	0 080
Nombre de tubes		234
Épaisseur des tôles		0m,01
Diamètre de la cheminée (en haut)		2 74
Surface des quatre grilles		7 912
Surface de chauffe directe		27 35
Surface de chauffe des tubes		117 61
Volume d'eau, en supposant le niveau à 0m,25 au-dessus des tubes		12mc,94
Volume de vapeur		12mc,53

Chaudières à galeries. — Dans la pratique l'assemblage des tubes résiste difficilement aux variations de température qui se produisent dans les diverses parties qui composent la chaudière, surtout dès que quelques incrustations commencent à se produire; aussi la plupart des bateaux après une navigation un peu longue rentrent-ils avec nombre de tubes tamponnés avec des bouchons de bois, qui ont médiocrement arrêté les fuites, et les chaudières ont besoin, au port d'arrivée, de l'intervention d'habiles mécaniciens. C'est pour cela que la Compagnie Péninsulaire et Orientale qui opère les transports postaux entre l'Angleterre et l'Inde a conservé, en les perfectionnant, les chaudières à galeries, dans lesquelles la fumée circule autour de cloisons rectangulaires boulonnées, l'eau qui circule dans l'intérieur de ces cloisons s'y trouve entourée de toutes parts par les produits de la combustion. Ces chaudières sont plus coûteuses, offrent moins de surface relative de chauffage que les chaudières à tubes, mais elles paraissent exiger moins de réparations, et précisément parce que les produits de la combustion sont moins refroidis, en même temps qu'ils ne perdent pas toute leur vitesse par des étranglements, par des passages à travers des conduits de faible section, le tirage par la cheminée reste meilleur, ne devient pas insuffisant pour une combustion active, ce qui n'arrive que trop souvent avec les chaudières tubulaires.

Malgré les effets théoriques de ces développements considérables de surface de chauffe indirecte, nous allons voir qu'en réalité on n'obtient pratiquement aujourd'hui une abondante production de vapeur à la mer, que par l'intervention d'une grande quantité de chaleur rayonnante, en multipliant beaucoup les grilles et les foyers, au détriment de la bonne utilisation de la combustion, et au prix des souffrances des malheureux ouvriers chauffeurs, véritablement grillés dans des chambres de capacité insuffisante, où les courants d'air sont trop faibles pour combattre la grande quantité de chaleur rayonnante.

Combustion. — De quelque manière que l'on combine le développement de la surface des chaudières, il est certain, pour quiconque a examiné quelques bateaux à vapeur, que la combustion ne s'y opère pas dans de bonnes conditions. C'est ce que rendent manifeste aux yeux les moins exercés, les flots de fumée noire qui sortent des cheminées des bateaux à vapeur. C'est qu'en effet le tirage obtenu par une cheminée métallique de peu d'élevation, est tout à fait insuffisante pour dépouiller les produits de la combustion de leur chaleur par une longue circulation. Cette seule vue démontre complétement ce que nous venons de dire de l'emploi prédominant de la chaleur rayonnante du combustible; ce n'est qu'en rejetant dans l'air les produits de la combustion presque aussitôt qu'ils sont formés, qu'on peut parvenir, dans ces conditions, à obtenir des vaporisations considérables mais très-coûteuses.

Ainsi donc, avec un tirage peu énergique, on n'utilise pas toute la chaleur des produits de la combustion qui circulent dans des conduits bientôt encombrés de suie, et de plus, trop de charbon sur la grille donne lieu à une production d'oxyde de carbone (voir COMBUSTIBLES), dont la formation refroidit les gaz; aussi voit-on souvent le chauffeur ouvrir les portes pour fournir le supplément d'air nécessaire à une combustion complète.

Le remède évident à ces défauts, le seul possible, c'est d'obtenir des tirages plus grands que ceux des constructions actuelles. Une plus grande quantité d'air traversant la grille, l'acide carbonique remplacera l'oxyde de carbone, et les produits de la combustion traversant avec rapidité des conduits qui ne seront plus encombrés de suie, auxquels on pourra donner sans inconvénient une longueur suffisante, leur communiqueront une bien plus grande quantité de chaleur. Bien entendu qu'il s'agit ici de bateaux à grande vitesse et non de caboteurs à vapeur qui doivent être construits à bon marché et naviguer avec le moins de surveillance possible.

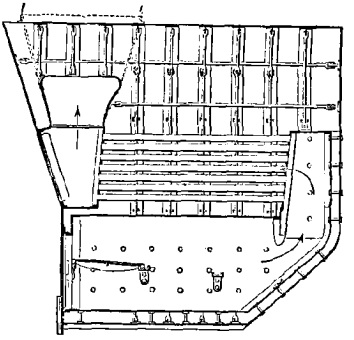
Rien ne montre mieux l'influence heureuse d'un puissant tirage que la machine locomotive qui, avec sa seule cheminée, sans le tirage produit par le jet de vapeur à haute pression, n'est plus qu'un corps sans âme, ne peut donner de vapeur. Si l'on cherche à se rendre compte de la réduction de dimensions que permet cet énergique tirage, on reconnaît que l'on peut brûler sur une grille de locomotive, à surface égale, quatre fois le poids de combustible que l'on peut brûler sur une grille ordinaire. Comme exemple bien probant, on cite deux chaudières de bateaux de rivière, à peu près semblables, toutes deux tubulaires, dont les vaporisations étaient dans le rapport de 5 à 1, l'une ayant un échappement de vapeur dans la cheminée, tandis que le tirage de l'autre ne résultait que d'une cheminée ordinaire. C'est donc bien l'insufflation par la tuyère qui quintuple la vaporisation.

C'est aujourd'hui un résultat parfaitement certain de l'expérience générale, de celle surtout fournie par la pratique des chemins de fer, que des combustions considérables, rapides, que la production de grandes quantités de vapeur pour alimenter de puissantes ma-

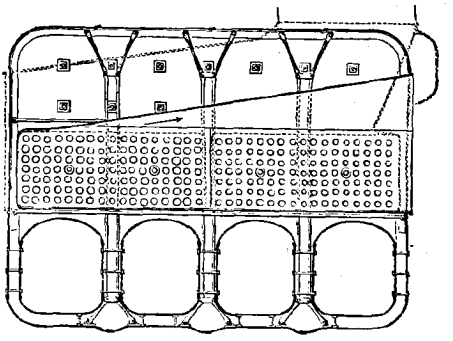
EFERUS - Recherche & Classification numérique

chines à course de piston rapide, autrement dit l'établissement de chaudières et de machines produisant un grand travail sans être d'un poids énorme, condition fondamentale pour tout moyen de transport qui porte son moteur, n'est possible qu'à l'aide d'un tirage forcé.

ployée assez fréquemment sur mer par les Américains (sur le *Niagara*, magnifique frégate à vapeur notamment), qui a été adoptée par M. Dupuy de Lôme et les ingénieurs qui ont construit les grands navires à vapeur à hélice de la marine militaire, *le Solférino*, *le*



3441.



3442.

C'est la solution du problème de la rapide vaporisation à l'aide de la chaudière tubulaire et du jet de vapeur, qui a fait le succès de la locomotive et des chemins de fer; ce sera la solution convenable du même problème qui permettra d'obtenir des bateaux à vapeur bien plus rapides que ceux construits jusqu'ici, dans lesquels on en est resté au tirage obtenu seulement à l'aide d'une cheminée peu élevée, faute d'avoir expérimenté les moyens simples qui peuvent être employés dans ce but. Nous croyons utile de les discuter ici en détail, parce qu'il s'agit là d'un progrès important dont l'adoption est sûrement proche.

Jet de vapeur. — Si on employait à la mer une pression élevée comme sur les locomotives de chemin de fer, on trouverait la solution du problème d'obtenir un tirage puissant en imitant les dispositions qui ont si bien réussi pour celles-ci, c'est-à-dire le jet de vapeur dans la cheminée. C'est en effet ce qui a été déjà fait avec succès, depuis plusieurs années, sur les bateaux de rivière les plus remarquables, sur ceux du Rhône notamment. Mais l'eau de mer donne tant d'incrustations dont l'adhérence augmente rapidement avec l'intensité du chauffage, le mouvement de la mer fait que si souvent des parties fortement chauffées de la surface des chaudières ne sont plus recouvertes d'eau, que l'emploi d'une pression de plusieurs atmosphères nécessaire pour l'insufflation par la vapeur, a été universellement repoussé. En effet, cette pression exige un actif chauffage à une température élevée, d'où résulte rapidement le chauffage au rouge de quelque partie des chaudières et un grand danger d'explosion. Nous ne saurions aller à l'encontre de la pratique universelle, au moins jusqu'à ce que la question des *incrustations* par l'eau de mer soit complétement résolue, et nous admettrons qu'on doit renoncer à l'emploi des très-hautes pressions à la mer malgré les avantages de la grande légèreté relative des machines qui les emploient.

La limite la plus élevée, et non encore admise en Angleterre, que l'on peut considérer comme sans danger, vu les progrès de la pratique pour combattre les inconvénients ci-dessus énoncés, pour les navires qui sont soumis à une surveillance incessante, pour les grandes machines toujours dirigées par des mécaniciens expérimentés, est la pression de 2 à 2 1/2 atmosphères. C'est cette pression, qui correspond à une température de 120 à 125 degrés seulement, qui est employée sur le *Magenta*. Les inconvénients qu'elle peut encore entraîner sont inférieurs aux avantages de diminuer de moitié le poids des machines, les dimensions des cylindres, de permettre d'augmenter la vitesse du piston et par suite l'action directe de la tige du piston sur l'arbre de l'hélice, etc.

En restant au point de vue du tirage, la pression de 2 atmosphères est insuffisante pour produire une insufflation dans la cheminée. Il faudrait donc, pour utiliser ce moyen simple, avoir une petite chaudière à haute pression et pour cela pouvoir l'alimenter à l'eau distillée. Nous verrons plus loin qu'il n'est nullement impossible de condenser, par contact, une fraction de la vapeur sortant des cylindres sans surcharger les pistons et alourdir la marche de la machine.

On pourrait donc très-bien disposer un semblable système pour les bateaux à grande vitesse, et tirer un parti très-avantageux de la vapeur à produire un excellent tirage, à réchauffer auparavant la vapeur qui se détend, en faisant circuler cette vapeur chaude et se mouvant rapidement dans les enveloppes des cylindres, enfin en envoyant l'excédant de vaporisation dans les réservoirs de vapeur où celle-ci serait utilement emmagasinée avant de passer dans les cylindres.

Ventilateur. — A défaut de vapeur à haute pression, et préférablement même au jet de vapeur à mon avis, on peut employer, pour produire le tirage forcé, une machine bien connue, le ventilateur. On doit se rappeler que déjà au célèbre concours de Manchester, dont date la locomotive, la *Novelty*, construite par Bratwhaite et Ericson, lutta jusqu'au dernier moment avec le *Rocket* de Stephenson, qui avait su appliquer le tirage par un jet de vapeur, et que la combustion dans la première machine était activée par un ventilateur. Cette presque égalité indique bien la solution à adopter dans le cas où l'on ne dispose pas de vapeur à haute pression.

Si l'on examine les résultats fournis par le ventilateur dans quelques cas, on verra que ce moyen direct en quelque sorte d'imprimer à l'air, ou aux produits de la combustion, la vitesse nécessaire, est très-peu dispendieux et qu'il ne faudra le plus souvent brûler, pour le faire mouvoir, qu'une faible partie du combustible qu'économisera son emploi. M. Grouvelle a donné à l'article VENTILATION une excellente étude sur l'application du ventilateur aux mines. Il y rap-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

porte, par exemple, une expérience de M. Guépin, du Grand Hornu, montrant que pour 60,000 mètres cubes d'air par heure, c'est-à-dire une combustion de 3,000 kilog. devant suffire pour 12 ou 1,500 chevaux, le mouvement du ventilateur ne coûterait pas 65 kilog. de charbon par heure, soit 1/100e du combustible brûlé, soit enfin 12 à 15 chevaux-vapeur.

On peut employer le ventilateur de deux manières, en avant du foyer, pour y lancer de l'air, c'est le ventilateur soufflant; en arrière du foyer pour enlever les produits de la combustion, c'est le ventilateur aspirant. C'est sous cette forme qu'il est utilisé et expérimenté dans les mines. Disons un mot de chacun de ces systèmes.

Le ventilateur soufflant, qui doit lancer l'air nécessaire à la combustion avec une vitesse assez grande pour que les produits de la combustion se meuvent convenablement à travers les circuits qu'ils doivent parcourir, offre le grand désavantage que le chargement du fourneau devient difficile. Essayé sur le *Great-Western*, cet emploi du ventilateur fut, dit-on, abandonné, à cause de la sortie de la fumée par la porte du fourneau quand on le chargeait.

Au lieu d'employer le ventilateur soufflant à activer la combustion, à lancer des quantités d'air considérables dans le fourneau de manière à éviter la production d'oxyde de carbone, il est bien préférable, en augmentant beaucoup l'épaisseur du combustible, de transformer tout le combustible en oxyde de carbone pour aller brûler celui-ci en longues flammes dans les chaudières sans production de fumée, de suie. C'est là l'appareil *Beaufumé* qui dérive de la chaudière de locomotive et du désir d'appliquer les beaux travaux d'Ebelmen, que ce savant ingénieur a si bien résumés à l'article COMBUSTIBLE. D'après les expériences de M. Grouvelle, cet appareil a fourni jusqu'à 10 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, quand en général on n'obtient que 5 à 6 kilogrammes et avec les chaudières les plus parfaites 7 ou 8.

Les expériences faites à la mer n'ont pas donné d'aussi beaux résultats, mais ont bien établi la supériorité de cet appareil sur les chaudières marines existantes. Toutefois la condition essentielle de son emploi est encore de disposer d'eau pure, l'eau de mer ne peut servir à garnir la boîte à feu, analogue à celle des locomotives, dans laquelle s'opère la combustion. Elle serait bientôt brûlée par suite des incrustations qui viendraient tapisser la surface intérieure.

Le ventilateur aspirant me paraît le véritable appareil convenable pour les navires à vapeur. Parfaitement convenable pour s'agencer avec l'ensemble du mécanisme, n'exigeant pas de changement notable aux chaudières dont le bon effet est connu par expérience et dont il augmentera seulement beaucoup la production de vapeur tout en soulageant singulièrement, par une plus grande vitesse de l'air, le pénible service des chauffeurs, il satisfait à toutes les conditions essentielles. Il me paraît devoir être adopté un jour généralement, et constituer un des grands progrès de la navigation à vapeur. Non-seulement il permettra de faire disparaître la cheminée et les flots de fumée qui salissent le pont des bateaux à vapeur, mais encore il augmentera leur valeur au point de vue nautique et mécanique. Son action se combine très-heureusement avec celle des vents, dont il faut toujours tenir compte à la mer, et des dispositions nouvelles que nous espérons bientôt expérimenter, pourront rendre son effet doublement utile.

Machine Pascal. — La nécessité d'obtenir une rapide vaporisation ne saurait être mieux démontrée que par les recherches faites pour obtenir un semblable résultat par des voies détournées, par l'invention de systèmes, qui après bien des transformations, ne tirent leurs chances de succès que de ce qu'ils atteignent ce but plus ou moins complétement. Nous rangerons dans cette catégorie une curieuse machine fonctionnant par un mélange d'air chauffé et de vapeur, de l'invention de M. Pascal de Lyon, et qui heureusement modifiée par d'habiles ingénieurs, MM. Thomas et Laurens a été employée pour mouvoir un navire à hélice.

Cette machine se compose de trois cylindres à vapeur faisant marcher trois pistons de machines soufflantes, placées en regard de chacun des cylindres à vapeur. Ces soufflerie envoient de l'air dans trois cubilots formés et y entretiennent une combustion active. De l'eau, chassée par les pompes alimentaires, arrive dans ces foyers par plusieurs orifices, au-dessus du combustible et en quantité convenable à chaque coup de piston. La vapeur formée immédiatement se mélange avec les produits de la combustion qu'elle refroidit en s'échauffant et passe dans les cylindres.

Plusieurs résultats remarquables paraissent résulter des premiers essais de cette curieuse machine.

1° Les cylindres ne reçoivent pas de cendres; la vapeur refroidissant la partie supérieure, le point de la combustion la plus active est inférieur à la surface et par suite les cendres fondent au-dessous et forment mâchefer qu'on retire à la partie inférieure.

2° Sans chaudières et par suite sans danger d'explosion, on peut produire rapidement des quantités considérables de vapeur en très-peu de temps, une grande surface de chauffe se trouvant, comme disent les inventeurs, dans les gaz de la combustion.

Nul doute que grâce à cette manière de produire de la vapeur par une soufflerie, on ne parvienne à engendrer un travail moteur considérable, avec une machine de dimensions et de poids très-modérés.

Si cette machine prouve ainsi bien clairement l'utilité d'une combustion activée par des moyens mécaniques, nous ne pouvons cependant croire à son succès. Les pompes d'air étant comme les cylindres à vapeur en communication avec les cubilots, la résistance est donc, à volume égal, la même que la puissance, et le travail utile ne répond qu'à la différence des volumes de l'air chaud mélangé de vapeur avec celui de l'air froid. En supposant le rapport de ces volumes de 5 à 2, ce que nous croyons peu éloigné de la réalité, on voit qu'en comprenant les résistances pressives des pompes d'air, la moitié du travail produit serait consommée par la soufflerie. L'emploi de l'appareil Beaufumé, ou du ventilateur aspirant que nous proposons, serait bien loin de coûter aussi cher, et il n'est pas besoin alors d'une pression de 2 ou 3 atmosphères (celle de la machine), pour donner à l'air le mouvement nécessaire afin que les produits de la combustion transmettent leur chaleur à la vapeur avec des surfaces de chauffe convenables. En effet, dans la pratique les effets ont été, on peut dire, déplorables.

Incrustations. — Nous ne traiterons pas ici la question des incrustations, à laquelle nous avons consacré un article spécial, des moyens à employer pour empêcher les incrustations de devenir adhérentes. D'heureuses inventions dans cette voie constitueraient un immense service rendu à la navigation à vapeur; nous ne parlerons ici que de ce qui se fait aujourd'hui sur tous les bateaux à vapeur.

L'eau de mer renferme environ $\frac{1}{35}$ de son poids de sels en dissolution, et elle est saturée, elle laisse déposer des cristaux lorsqu'elle en contient $\frac{12}{35}$. Ces sels consistent principalement en sel marin très-soluble, et en sulfate de chaux qui constitue la très-majeure partie des incrustations adhérentes aux chaudières. On voit par l'énorme proportion des matières salines, avec quelle effrayante rapidité se feraient les dépôts, si on n'avait trouvé un moyen d'empêcher l'eau de la chaudière d'atteindre jamais le point de saturation. Ce moyen consiste dans l'emploi d'une pompe,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de *désaturation* ou pompe à *saumure*, agissant à l'inverse de la pompe alimentaire, enlevant de l'eau presque saturée du fond de la chaudière, pour la rejeter au dehors, en quantité égale à *la moitié* de celle envoyée par la pompe alimentaire. En enlevant ainsi une quantité aussi considérable d'eau bien plus chargée de sels que celle qui arrive dans la chaudière, et surtout en la puisant à la partie inférieure où se déposent les boues, où s'agitent les molécules qui n'adhèrent pas encore à la chaudière, on amoindrit beaucoup les dépôts du sulfate de chaux sur les surfaces directes de chauffage, et ils n'arrivent pas jusqu'aux surfaces indirectes, placées plus haut, surfaces qui avec un fort tirage, agissent très-puissamment pour maintenir la régularité de la vaporisation, surtout lorsqu'un commencement d'incrustation n'a pas permis aux surfaces directes de refroidir déjà les produits de la combustion.

En rejetant au dehors une aussi grande quantité d'eau très-chaude, la perte de chaleur qui en résulterait serait très-sensible, si on ne pouvait en reprendre une partie pour échauffer l'eau d'alimentation. A cet effet on fait écouler l'eau de la chaudière à travers des tubes qu'entoure l'eau d'alimentation qui s'avance en sens contraire. Les incrustations viennent souvent contrarier ces effets, en détruisant la conductibilité des parois métalliques, aussi importe-t-il, dans la pratique, de faire très-grandes les sections des conduits et de tout disposer pour un facile nettoyage.

Condensation de la vapeur. — Après avoir traité de la production de la vapeur, je traiterai de la condensation de la vapeur au point de vue spécial de l'eau de mer.

On a vu plus haut que la limite de l'emploi de la haute pression comme de bien des progrès dans la grande navigation, la principale cause de l'infériorité du steamer comparé au bateau à vapeur de rivière, qui réalise des vitesses de 30 à 40 kilomètres à l'heure, tandis que l'on n'atteint presque jamais 20 kilomètres sur mer, résidait dans l'impureté de l'eau de mer. Le remède serait donc de parvenir à condenser la vapeur d'eau pure qui sort des chaudières, et c'est ce qui a été tenté à l'aide des condenseurs de Hall, imités du serpentin des alambics, consistant en des tubes dans lesquels la vapeur d'eau n'est en contact qu'avec des surfaces métalliques refroidies par le contact avec l'eau froide placée à l'extérieur. Si ce système avait réussi convenablement, l'alimentation pouvant se faire avec de l'eau distillée, c'est-à-dire parfaitement pure, il n'y eût plus eu à s'occuper des incrustations, des difficultés qui résultent des sels dissous dans l'eau de mer.

Après de nombreux essais il a fallu malheureusement renoncer à ce système ; la frégate à vapeur de la marine anglaise la *Medea*, munie d'un tube condenseur de 35 kilomètres de développement, replié circulairement dans des caisses qui recevaient l'eau de mer froide, après avoir donné d'abord des résultats assez satisfaisants, démontra l'impossibilité de continuer l'emploi de cette disposition. C'est que, dès que l'eau de mer s'échauffe, elle laisse déposer des matières terreuses qu'elle tient en suspension en partie par l'action de l'acide carbonique qui se dégage par la moindre chaleur, et la surface, ternie et recouverte de matières terreuses, ne donne bientôt plus un passage assez rapide à la chaleur pour que la condensation s'opère avec la rapidité suffisante pour le bon fonctionnement de la machine à vapeur.

Y a-t-il lieu de juger comme tout à fait inacceptable un système qui offre d'ailleurs tant d'avantages? Ne peut-on en tirer parti au moins partiellement? C'est ce qu'il nous paraît intéressant à examiner.

Les Anglais, avec leur persévérance accoutumée, ont repris la question du condenseur à surface, et se sont efforcés de faire passer dans la pratique un progrès théorique qui n'est pas douteux. L'emploi du caoutchouc pour former l'extrémité des tubes, l'emploi de pompes centrifuges mues par une machine auxiliaire, proposé par Penn, pour maintenir très-basse la température du condenseur, ont fait beaucoup avancer la question. Les condenseurs à surface, adoptés par un bon nombre de bateaux à vapeur du commerce anglais, s'introduisent dans la flotte militaire. Le transatlantique, *la Ville de Paris*, a un condenseur à surface qui fonctionne très-bien.

Le nettoyage des tubes de ces appareils est plus aisé qu'on n'est disposé à le croire, d'après une assimilation erronée avec ceux des chaudières ; en effet, les dépôts produits dans de semblables conditions ne ressemblent nullement aux incrustations des chaudières, devenues adhérentes par l'effet de la haute température du foyer, et l'on peut poser en principe que le nettoyage serait facile si la forme des tuyaux s'y prêtait, en admettant que la prompte circulation de l'eau ne suffise pas pour enlever les dépôts.

Reste la difficulté que, malgré l'étendue des surfaces, l'effet même minime des dépôts de la graisse qui s'échappe avec la vapeur, et qui l'empêche de bien mouiller le métal, mais surtout la conductibilité limitée du métal, rendent toujours la condensation bien moins rapide qu'avec le condenseur à eau ; d'où des résistances nuisibles sur l'une des faces du piston et l'impossibilité de donner à celui-ci la rapidité de marche, condition essentielle pour la production d'un travail considérable. Les deux remèdes à apporter à cet inconvénient sont de conserver au moins comme accessoire le condenseur à eau, l'autre d'agrandir la capacité dans lequel la vapeur se précipite. Je vais rendre ceci sensible par la description sommaire de systèmes applicables dans deux cas différents, où il ne s'agira toujours de condenser par surfaces métalliques que partie de la vapeur, ce qui n'est pas la solution intégrale du problème en ce qu'on ne peut faire marcher tout le système avec de l'eau pure, mais une solution partielle donnant presque tous les avantages de la solution complète, en permettant d'avoir au moins une des six ou huit chaudières d'un grand steamer, à haute pression.

Soit d'abord à obtenir une petite quantité d'eau condensée. Recourbons le tube qui envoie la vapeur du cylindre de la machine au condenseur à eau, et donnons-lui, par exemple, un développement de 25 mètres. Enveloppons-le d'un tuyau dans lequel on fait circuler l'eau froide en sens inverse de la vapeur par l'action d'une pompe aspirante ; cette disposition, sans altérer en rien l'action du condenseur à eau, y adjoindra l'effet d'un condenseur à surface dont il sera facile d'extraire l'eau par une capacité fermée par un robinet à l'entrée et un autre à la sortie. En admettant que le mouvement de l'eau suffise pour éviter l'adhérence des dépôts terreux, on pourrait ainsi obtenir de l'eau condensée en proportion du développement donné au tuyau de vapeur et à la quantité d'eau employée à refroidir les surfaces métalliques. Jusqu'à de nouvelles expériences on ne saurait considérer ce système que comme un moyen de produire de petites quantités d'eau pure, sans qu'on puisse baser sur lui une modification essentielle du mécanisme.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'obtenir une quantité d'eau très-considérable et que le système précédent ne soit pas admissible, qu'un nettoyage direct des surfaces condensantes soit nécessaire (et il est bien probable qu'il est impossible de l'éviter au moins à intervalles peu éloignés), la rapidité avec laquelle la vapeur se précipiterait dans le condenseur à eau, dans la disposition ci-dessus, et traverserait le condenseur à surface, rendrait l'action de celui-ci presque insignifiante. Pour qu'il en fût autrement, et pour que le condenseur à surface n'alourdit pas la machine, il fau-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

drait augmenter les surfaces refroidissantes et surtout (et c'est là le principe nouveau, non appliqué encore, très-essentiel pour le succès) rendre très-grand le volume du vide relatif dans lequel vient se précipiter la vapeur. Je rendrai bien compte de ce système en rapportant ici la description d'un appareil de ce genre que je proposais dans ma brochure sur les bateaux transatlantiques publiée en 1857. Le condenseur dont il va être question était destiné à permettre de trouver l'eau pure nécessaire pour alimenter une machine à haute pression, de la force d'une double locomotive, à l'aide de la partie condensée de la vapeur alimentant un puissant mécanisme à vapeur composé de trois couples de cylindres à vapeur, utilisant 16,000 kilog. de vapeur par heure, cylindres portés sur des bâtis triangulaires parallèles.

L'intérieur des bâtis triangulaires, disais-je, qui supportent chaque paire de cylindres à vapeur (système décrit plus loin, voir la fig. 3446) serait rempli, pour la plus grande partie, par une grande caisse carrée en forte tôle rivée, divisée en trois compartiments pouvant avoir les dimensions suivantes : longueur 7 mètres, largeur moyenne 3 mètres, hauteur 3 mètres, soit en volume 60 à 70 mètres cubes, et, pour les trois, 200 mètres cubes. Si l'on suppose cette caisse garnie de tubes placés verticalement, plus rapprochés et moins épais que ceux d'une chaudière de locomotive, on voit, par le rapport des dimensions respectives et la grande étendue des surfaces indirectes de chauffe, que si l'on obtient ainsi, dans les locomotives, des surfaces de 100 mètres carrés pour 20 ou 25 mètres cubes de capacité, il sera possible d'obtenir des surfaces de tubes, pour chaque condenseur, de 2 à 300 mètres carrés, soit 7 à 800 pour le tout. Cette surface extérieure étant en contact avec la vapeur est la surface de refroidissement et fonctionne toujours efficacement, l'intérieur des tubes qui reçoit l'eau étant facile à nettoyer, à débarrasser des faibles dépôts peu adhérents qui peuvent s'y former, qui n'enlèvent pas le mouvement ascensionnel de l'eau qui s'échauffe.

En effet, l'eau reçue dans l'intérieur des tubes et du double fond qui entoure la caisse (le diamètre des tubes étant assez petit pour que le poids de l'eau condensante ne soit pas trop considérable) entre vers le bas du système dans une capacité dont la partie supérieure reçoit les extrémités de tous les tubes et parvient à travers ceux-ci, vers le haut, dans une capacité qui communique avec une pompe aspirante, une pompe à eau et à air, qui enlève l'eau échauffée et la rejette au dehors.

La vapeur traversant cette capacité s'y condense en partie, puis vient aboutir à un condenseur ordinaire de faible dimension, qui assure la condensation complète de la vapeur et le maintien constant d'un vide convenable dans la capacité qui la reçoit.

Le nettoyage des tubes verticaux qui traversent le condenseur métallique se fera avec une grande facilité, à peu près comme on le fait fréquemment pour les tubes de locomotives, en employant un racloir et un écouvillon, après avoir démonté le couvercle supérieur. Cette opération, qui ne sera à faire que de loin en loin, et seulement dans le port d'arrivée, n'offrira pas de difficulté et suffira pour assurer l'excellent fonctionnement de l'appareil. Le démontage de parties qui doivent ne pas laisser fuir l'eau ne saurait effrayer, car il s'agit d'eau à 40 ou 50 degrés au milieu de laquelle se conserve très-bien le caoutchouc vulcanisé, dont l'emploi rend facile l'exécution de fermetures hermétiques.

Le vide ou la pression minime du condenseur métallique est assuré par la continuité de l'action du refroidissement des surfaces, lors même que le tiroir est fermé, et surtout par la grandeur de la capacité avec laquelle la cylindrée de vapeur est mise en communication, et qui étant au moins vingt-cinq fois plus grande qu'elle, assure contre toute contre-pression, toute lourdeur du piston.

Dans les dimensions indiquées ci-dessus, la condensation par contact avec des mouvements convenables de l'eau refroidissante et de la vapeur à condenser dépasserait 5,000 à 6,000 kilog. par heure. Les seuls renseignements que l'on possède pour cette détermination sont, d'une part, le résultat de la disposition tubulaire indiquée ci-dessus, qui a permis de condenser la vapeur à raison d'une surface de $0^m,50$ par cheval (ce qui nous donnerait 16,000 kil.), et la prescription de Hall d'employer $1^m,68$ de surface refroidissante par cheval-vapeur, c'est-à-dire par 5 à 6 kilog. de vapeur. Mais il cherchait à faire la part des incrustations; le résultat serait sûrement bien supérieur avec des tubes bien nettoyés et en augmentant l'étendue des surfaces refroidissantes par l'emploi de toiles métalliques; Ericson a montré l'effet en quelque sorte instantané de semblables surfaces froides auxquelles on peut donner un grand développement pour absorber la chaleur d'un gaz. Ces toiles ou fils métalliques formant grillage autour des tubes froids produiraient non-seulement cet effet, mais encore permettraient, en formant écran, de diriger la marche de la vapeur pour la forcer de circuler en léchant les tubes, pour lui faire parcourir un chemin suffisamment long au lieu de se précipiter vers le condenseur à eau placé vers la partie supérieure des caisses. Voy. BATEAU A VAPEUR. (*Dictionnaire.*)

La grande quantité d'eau qui peut être ainsi condensée dans de puissantes machines étant certainement plus que suffisante pour alimenter une machine à haute pression très-importante, nous verrons quelle ressource cela offrirait pour la construction des transatlantiques à marche rapide, pour assurer la victoire dans une lutte de vitesse, dans laquelle doivent se manifester la puissance scientifique, les ressources de toute nature des plus riches nations maritimes du monde.

Réservoirs de vapeur. — Je compléterai cette revue de tout ce qui se rapporte à la vapeur, en rappelant la nécessité d'organiser des réservoirs, des magasins de vapeur de grande capacité. En général, les chaudières sont disposées pour cela; leur partie supérieure renferme un grand volume de vapeur, et celle-ci s'y sèche, s'y surchauffe même souvent par l'action des parois chauffées plus ou moins par les produits de la combustion. Toutefois il y a toujours avantage à y joindre de grands réservoirs séparés, formant régulateurs de pression, qui assurent la bonne marche de la machine, empêchent la pression de varier par l'effet du changement de l'activité de la combustion dans l'un des foyers. Plusieurs bateaux de rivière ont dû, à l'emploi de semblables réservoirs, la supériorité de leur marche, et les mêmes avantages seront obtenus pour les bateaux à vapeur marins à grande vitesse, dans ceux surtout dont les appareils de vaporisation sont quelque peu insuffisants, dans lesquels il faut toujours forcer le feu, de telle sorte que les variations de combustion se font immédiatement sentir à la machine.

On exécute en général ces réservoirs avec de longs et gros cylindres de fonte qu'on préserve du refroidissement à l'aide d'une enveloppe de corps non conducteurs, de douves de bois par exemple.

De la machine à vapeur.

Après des essais multipliés à l'infini pour varier les systèmes de machines propres à la navigation, deux types principaux, deux simplifications de la machine à vapeur ont été jugés préférables à tous autres, et sont presque seuls exécutés aujourd'hui, à savoir : les machines à cylindre oscillant et les machines à action di-

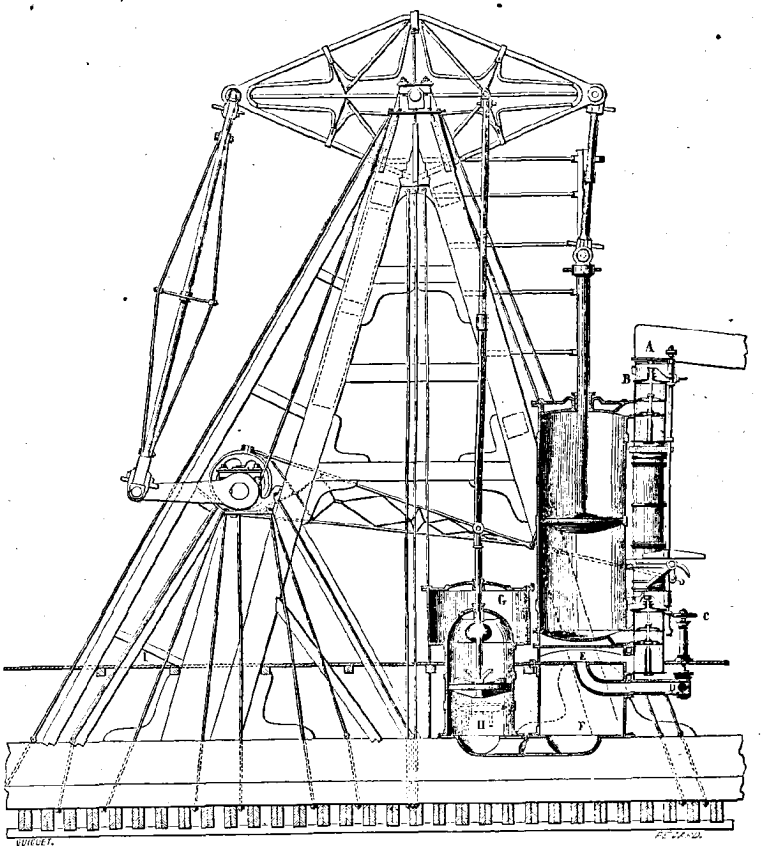
EFERUS - Recherche & Classification numérique

recte, dont les premières ne forment qu'un cas particulier.

On a été amené à étudier ces dispositions par le poids énorme des anciennes machines que nous avons déjà décrites dans notre premier article. Elles étaient construites sur les mêmes principes que celles que Watt avait établies pour machines fixes, avec cette seule différence que le balancier avait été reporté à la partie inférieure du bâti ; et le volant rendu inutile par l'accouplement de deux machines. L'emploi de lourds bâtis en fonte de fer, du balancier d'un poids notable rendent ces machines très-lourdes, et leur poids contribue beaucoup à abaisser la limite de la puissance possible pour un bateau d'un tonnage donné.

Ce genre de machines, grâce à la symétrie des pièces, présentait de grands avantages de solidité, qui avaient fait penser à plusieurs savants ingénieurs, à M. Hubert de Rochefort notamment, un des plus habiles qu'ait possédés la marine française, que jamais ce système ne serait avantageusement remplacé ; mais l'inconvénient majeur dont nous venons de parler fait que la pratique l'a définitivement abandonné.

Il faut remarquer que le poids de la machine, du bâti principalement, croissant rapidement avec la longueur du balancier, on ne saurait employer facilement ce système pour construire de bonnes machines, c'est-à-dire des machines utilisant de longues détentes, et par suite ayant de longues courses de piston. Les Américains ont cependant employé ces machines dans ces conditions de perfection pour la navigation de leurs grands fleuves, et sont arrivés à de très-beaux résultats en employant de très-grandes courses de piston, mais alors, pour éviter de longs balanciers en augmentant les courses des pistons, ils emploient de très-longues bielles, pouvant prendre sans inconvénient des inclinaisons considérables, ce qui les a ramenés à la machine terrestre, c'est-à-dire qu'ils ont replacé le balancier, qu'ils ont pu faire court, à la partie supérieure de la machine à une grande hauteur. Nous donnons ci-dessus (fig. 3413) un dessin de ces machines, aussi curieuses par la simplicité de leur construction que par leur puissance. Celle représentée par cette figure appartient au *North-America*. Le cylindre a 43 pouces anglais, la course est de 11 pieds, les roues ont 27 pieds de diamètre ; la pression de la vapeur est de 50 livres au pouce carré.



3413.

Un audacieux entrepreneur de transports, M. Vanderbilt, voulant utiliser ces progrès, a construit un ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gnifique navire qui porte son nom pour faire les traversées entre New-York et le Havre, et a obtenu une vitesse égale à celle des meilleurs bateaux, avec une sensible économie de combustible, grâce à l'emploi d'une détente à moitié et de longues courses de piston. La machine de ce steamer, dont le tonnage est de près de 4,000 tonneaux, est double; ses cylindres ont $2^m,25$ de diamètre et $3^m,64$ de course. Les inconvénients attachés à l'emploi d'un balancier situé à une grande hauteur au-dessus du pont sont trop évidents pour qu'on puisse recommander un pareil système; la hauteur à laquelle est suspendue, au-dessus de l'arbre des roues, la bielle, le balancier, à laquelle s'élèvent le piston et sa tige, la masse qui supporte l'axe du balancier, sont très-contraires à la stabilité du navire, et par les gros temps ce bateau roule d'une manière inquiétante. Ce système n'est évidemment pas convenable pour la navigation maritime, n'est pas fait pour les agitations de la mer.

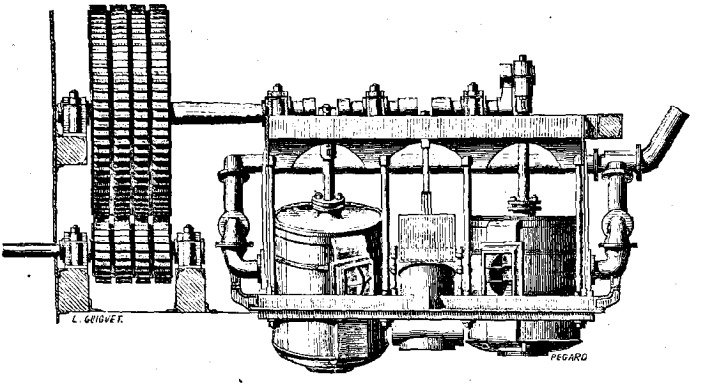
La machine à cylindre oscillant après avoir fait ses preuves pour des forces modérées, surtout dans la navigation de rivière, et entre les mains de notre habile constructeur M. Cavé, a été appliquée à des navires de premier ordre par les excellents constructeurs anglais Penn et fils de Greenwich.

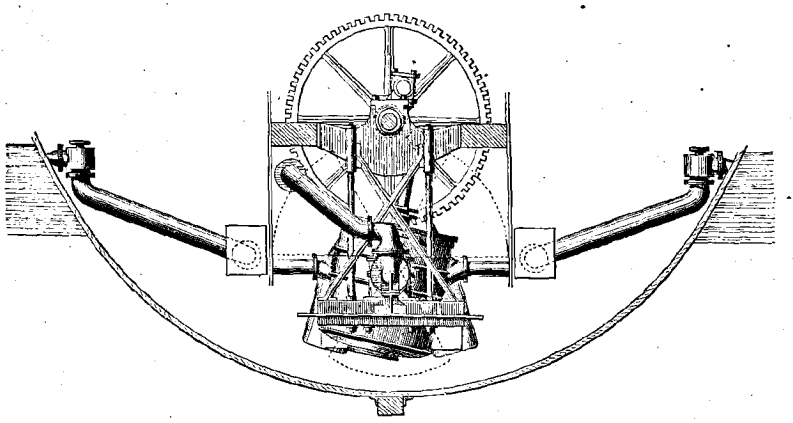
BATEAU A VAPEUR.

Ses avantages résident surtout dans une très-grande légèreté, une grande simplicité de mécanisme. La détente assez mal appliquée dans les premières machines, l'a été beaucoup mieux depuis que Penn est parvenu à les munir d'un appareil de distribution semblable à celui des machines fixes.

Les figures 3414 et 3415 représentent, vue de côté et de face, cette machine telle que, dans sa plus grande perfection, elle est employée par Penn, pour appliquer la machine oscillante à mouvoir une hélice propulsive, c'est-à-dire les cylindres placés à la suite les uns des autres dans l'axe du bateau, tandis qu'ils sont placés transversalement pour faire tourner les roues. On y remarquera l'heureuse disposition, due à ce constructeur, du condenseur incliné placé entre les deux cylindres à vapeur. La nécessité de faire circuler la vapeur par les tourillons qui supportent les cylindres, jointe à celle de mettre en mouvement, à l'aide du piston et de sa tige, des poids qui deviennent énormes pour des machines de 4 à 500 chevaux, l'usure rapide des guides du piston qui en résulte, surtout si l'on veut rendre la vitesse du piston un peu grande, ne permet pas de considérer le système de machine oscillante comme celui qui doit être recommandé pour les très-grandes constructions maritimes.

3414.





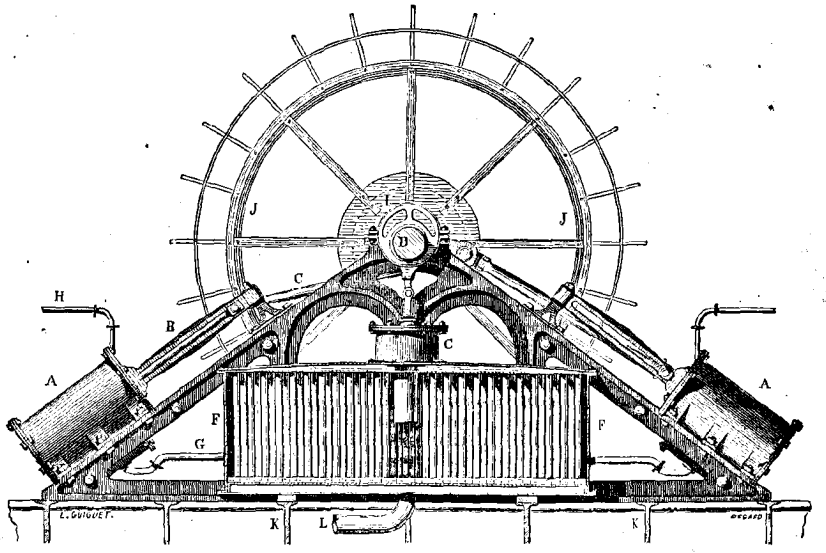
3415.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Aucun inconvénient de ce genre ne se rencontre dans la machine à action directe, c'est-à-dire, dont la bielle assemblée d'une extrémité à la tige du piston agit par l'autre extrémité sur la manivelle de l'arbre moteur. Toutes les conditions propres à assurer la meilleure utilisation de la vapeur peuvent être remplies dans ce genre de machines, à la condition que l'on ait assez de place pour donner à la bielle une longueur égale à 4 ou 5 fois le rayon de la manivelle. Si on reste au-dessous de cette limite, les pressions qui s'exercent sur les guides de la tige du piston deviennent très-considérables, et dans de grandes machines entraînent des consommations de travail, des chances de détérioration très-grandes. Aussi, dans le plus grand nombre des puissantes machines de ce genre (et ce n'est que pour de grands navires ayant un creux considérable qu'on a pu adopter le mode de construction dont nous allons parler), pour les derniers transatlantiques, par exemple, dans lesquels les cylindres sont verticaux et placés sous l'arbre des roues, les courses des pistons ont été les résistances intérieures nuisibles qui ont empêché le succès de ce système.

La seconde est la machine à fourreau. La tête de la bielle est attachée au piston, et elle oscille dans un cylindre elliptique qui fait partie de ce dernier. Ce fourreau glisse dans un stuffing-box de grande dimension; d'où résistance nuisible, refoidissement des surfaces qui viennent à l'air avant d'être en contact avec la vapeur. Ces solutions sont insuffisantes. Voyons celle qui semble devoir être préférable.

Nous allons passer en revue deux types de machines, l'un pour les bateaux à roues, l'autre pour les navires à hélice. Les nouvelles constructions de la marine militaire me fourniront un type du second cas, établi de manière à satisfaire aux conditions de perfection de travail; pour les bateaux à roues, je ne connais pas de grandes constructions qui soient établies de manière à éviter les imperfections dont j'ai parlé ci-dessus. Je ne pourrai donner ici qu'un projet, et, à cet effet, j'emprunterai à ma brochure sur les transatlantiques la



3416.

extrêmement réduites, tout en exagérant le diamètre des roues, pour placer l'arbre plus haut, ce qui fait que leur vitesse est trop grande ou celle du piston trop petite. Inutile d'insister pour démontrer que de pareilles dispositions ne peuvent, même avec de très-grands navires, que donner des machines défectueuses au point de vue de l'économie du travail.

Pour remédier à ces défauts, Maudslay, le célèbre constructeur anglais, a tenté deux élégantes solutions. La première consiste à employer deux cylindres accouplés, les deux têtes des tiges des pistons sont assemblées à une traverse horizontale, à laquelle est réunie la tête de la bielle par l'intermédiaire d'une barre verticale, descendant dans l'intervalle resté libre entre les deux cylindres. Cette disposition, qui éloigne autant que possible la tête de la bielle de l'axe des roues, permet par suite de lui donner une grande longueur.

L'impossibilité de faire marcher constamment les deux pistons dans des conditions identiques, explique

description d'une machine de ce genre, dans la combinaison de laquelle j'ai cherché à réaliser toutes les conditions de maximum qu'indique la théorie.

Machine à action directe pour grand bateau à vapeur à roues. — Les conditions principales auxquelles on doit satisfaire sont: pour la légèreté de la machine, avec une pression élevée, question déjà traitée, une vitesse assez grande du piston, et pour la bonne utilisation de la chaleur, l'emploi de longues détentes et de longues courses de piston. Or, ces dernières conditions ne sauraient être réalisées par les machines actuelles à action directe, dont les cylindres sont placés au-dessous de l'arbre des roues, de telle sorte que ne pouvant les employer que pour les très-grands navires dont le creux est considérable (la machine oscillante est pour de petits navires la seule machine à action directe qui soit possible) la course est toujours limitée par la distance qui sépare l'arbre des roues de la plaque de fondation qui supporte la machine, et elles ont toutes le défaut capi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tal d'avoir des bielles trop courtes et des courses de piston de peu d'étendue.

Pour corriger ces défauts, il faudrait se rapprocher de la disposition adoptée avec succès par les ingénieurs du Creuzot, qui, dans les excellentes machines qu'ils ont construites pour la navigation du Rhône, ont disposé les cylindres à vapeur horizontalement, de manière à donner aux bielles toute la longueur nécessaire et en trouvant l'avantage de reporter sur une grande surface le poids des machines, ce qui évite la déformation des coques. Dans l'impossibilité de l'adopter tout à fait, car elle ne satisfait pas à la condition essentielle des machines marines de servir de lest, d'assurer la stabilité du bâtiment, en reportant les poids à la partie inférieure de la coque, nous choisirons la position intermédiaire, et nous placerons le cylindre à vapeur sur un bâti suffisamment incliné, ce qui permet d'allonger en même temps la bielle et la course du piston, tout en laissant le mécanisme au-dessous de l'arbre des roues, la majeure partie du poids étant vers le bas du bâti, sur la plaque de fondation.

Nous pourrons avec avantage remplacer par deux cylindres, placés symétriquement à la base d'un bâti triangulaire, et dont les bielles agiraient simultanément sur un même point de l'arbre des roues, chacun des énormes cylindres adoptés en général dans la navigation à vapeur, multiplication des cylindres que nous rencontrerons plus loin dans les machines à hélice, cas pour lequel elle a été reconnue être très-avantageuse, comme l'indiquait déjà la théorie des enveloppes trop généralement négligées dans les constructions marines, qui ont peu d'effet quand les diamètres sont trop grands. Le bâti triangulaire auquel nous sommes ainsi ramenés avait déjà été proposé jadis par M. Brunel père, mais dans l'application qu'il s'agissait alors de faire à de petites machines, cette disposition dut céder, dans ce cas, devant celle des machines oscillantes plus simples et moins coûteuses (fig. 3416).

Nul besoin d'insister pour montrer qu'en remplaçant la distance de l'arbre des roues à la plaque de fondation, par l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont un côté est cette distance, et l'autre une longueur arbitraire, on pourra allonger à volonté la course des pistons, et cela en conservant les proportions normales relatives des bielles et des manivelles. Quant à la réduction des diamètres des cylindres, on pourra composer l'appareil moteur de deux ou même de trois couples semblables pour les bateaux à grande vitesse. En disposant convenablement le calage des manivelles, en raison de la variation des pressions dans les cylindres, par suite de la longueur de la détente, on pourra éviter toutes les secousses, toutes les vibrations, si désagréables sur la plupart des bateaux à vapeur. On y serait aidé au besoin par l'adaptation de contre-poids aux roues, comme sur les chemins de fer, pour balancer les actions perturbatrices qui deviennent sensibles quand on augmente beaucoup les vitesses des pièces à mouvement alternatif.

A l'aide de ces dispositions et en employant la pression de 2 atmosphères 1/2, il est facile de donner, pour les navires de premier ordre, une course de 2 mètres, une vitesse de $1^m,50$ à $1^m,60$ par seconde, et une détente de deux fois au moins le volume primitif, qui correspond à un travail double de celui obtenu avec la seule pression pleine. Nous parlons de navires qui ont au moins 5 ou 6 mètres entre l'axe des roues et la plaque de fondation, avec une largeur suffisante de celle-ci, pour placer le nombre voulu de cylindres. En donnant 6 mètres de largeur à la base du triangle rectangle du demi-bâti, on aura une hypoténuse de 8 à 9 mètres, bien suffisante pour que le cylindre à vapeur étant placé à la partie inférieure, la bielle ait une longueur de $4^m,5$ à 5 mètres, quatre ou cinq fois au moins le rayon de la manivelle, dont le rayon serait de 1 mètre.

Machines à action directe pour navires à hélice. — Les premières machines adoptées lorsqu'on commença à appliquer l'hélice à la navigation maritime furent les mêmes que celles qui servaient pour les navires à roues. Ainsi en disposant les deux cylindres d'une double machine oscillante dans l'axe des navires (on cite d'excellentes constructions de Penn conformes à cette description), ils feront tourner un arbre parallèle à cet axe. C'est cette disposition souvent appliquée avec succès en Angleterre que représentent les figures 3414 et 3415 données plus haut. En munissant cet arbre d'une forte roue d'engrenage, qui commande un pignon monté sur l'arbre parallèle au premier qui porte l'hélice, on fera mouvoir celle-ci avec la rapidité nécessaire au bon fonctionnement de ce propulseur.

Il n'était pas besoin d'une longue expérience pour reconnaître les inconvénients inhérents à une semblable disposition. Le frottement des engrenages, leur poids énorme, l'annulation de la machine dès qu'une dent des engrenages était cassée, le manque d'élasticité d'un appareil exposé aux coups de mer, dans lequel, depuis le moteur jusqu'au propulseur, tout n'est pas lié par des articulations qui donnent à l'appareil une suffisante élasticité, etc., toutes ces causes devaient faire penser à des machines à action directe, analogues à celles dont la locomotive offre le type.

C'est ce que fit heureusement, pour répondre à la demande de M. Labrouste qui, le premier, fit connaître à la France les avantages de l'hélice, M. Cavé, en utilisant dans la construction du *Chaptal* sa double expérience de constructeur de machines de navigation et de locomotives. Les résultats furent assez satisfaisants pour montrer qu'il avait trouvé la véritable voie.

Toutefois dans la construction des machines du *Napoléon*, les ingénieurs de la marine conservèrent les engrenages, n'admettant pas la possibilité d'employer sur mer des machines autres que celles à basse pression. Malgré le magnifique succès de ce navire, le poids énorme de son appareil moteur montant à 1,000 kilog. par cheval, comme celui des anciennes machines à balancier, sa grande consommation de charbon, indiquaient bien la nécessité de chercher le vrai type de ces machines dans celles à action directe.

C'est en effet à cette solution que se sont arrêtés les ingénieurs de la marine dans toutes les nouvelles constructions, qui leur ont fourni d'excellentes utilisations avec un poids de machines bien moindre que celui des machines à balancier.

Nous donnons ci-contre la figure (3417) d'une des machines, qui peut être considérée comme le premier modèle adopté par les ingénieurs de l'État. On voit que dans ce système la course du piston est petite et qu'une seconde tige adaptée au piston moteur fait marcher la pompe à air. Cette dernière disposition n'est pas toujours adoptée, mais celles qui la remplacent sont équivalentes. Quant à l'allure de ces machines, les ingénieurs ont satisfait aux conditions que nous avons indiquées plus haut comme indispensables à la bonne utilisation de la vapeur, savoir : mouvements rapides du piston et emploi de longues détentes, en augmentant le rayon du piston, ce qui accroît les espaces nuisibles et ne convient pas pour l'emploi avantageux des enveloppes de vapeur ; enfin multiplication des cylindres à vapeur ; ils sont au nombre de quatre dans les grands navires.

M. Mazeline, le constructeur du Havre, a montré que les attaches des pistons devaient être espacées, en raison de la détente employée de manière à égaliser l'impulsion moyenne. Il a ainsi détruit toutes espèces de vibrations qui étaient très-désagréables sur tous les navires à hélice construits antérieurement.

On a trouvé avantageux, dans les constructions les plus récentes, pour pouvoir obtenir de plus grandes courses de piston qui, comme je viens de le dire, sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

insuffisantes dans le modèle représenté dans la figure, d'aller chercher, de l'autre côté de l'arbre de l'hélice, les guides des têtes des pistons, portant deux tiges pour le passage de l'arbre de l'hélice, aux manivelles duquel s'assemblent les extrémités des bielles. C'est là un progrès important qui a constitué un très-bon modèle dans les conditions générales admises aujourd'hui. C'est le seul qu'utilise aujourd'hui la marine de l'État, et c'est le système qu'a adopté M. Dupuy de Lôme, dans son essai capital, pour diminuer l'énorme consommation des nouveaux navires de guerre, en se plaçant au point de vue de l'économie du combustible, en faisant de la machine marine une machine de Woolf, par la disposition que nous allons donner ci-après, en reproduisant la note du savant ingénieur.

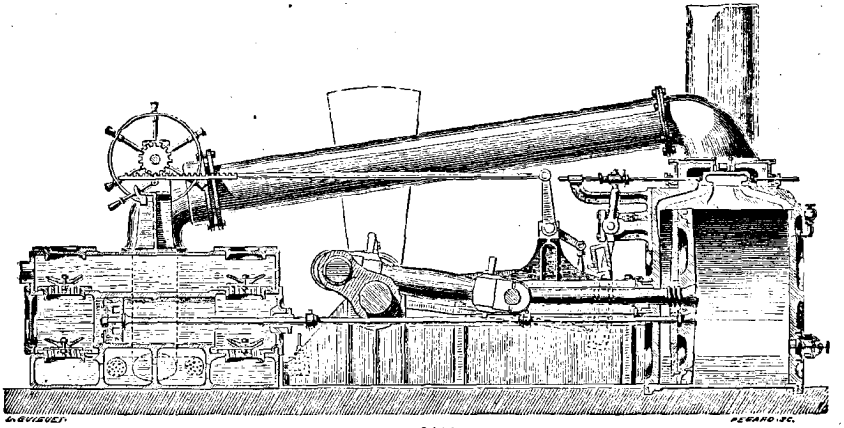


Fig. 3417.

Nous devons encore citer la machine à pilon, qui, à cause de la position verticale du cylindre, se prête heureusement à la communication du mouvement de la tige du piston à l'arbre de l'hélice, sans qu'il soit besoin de la placer dans les parties les plus larges du navire et qui est appliquée de plus en plus souvent aujourd'hui, surtout pour les constructions à bon marché des navires à hélice destinés au commerce, au transport des marchandises.

Dans la plupart des machines dont nous avons parlé plus haut, on s'est surtout préoccupé des formes les plus convenables à donner à la machine à vapeur pour l'adapter aux conditions spéciales à la navigation, et, le plus souvent, au point de vue dynamique, on s'en est tenu à l'imitation de la machine de Watt à basse pression, sans détente. Cela était complétement vrai pour les bateaux à vapeur à roues; c'est l'emploi de l'hélice et la grande vitesse de sa rotation, si peu conciliable avec de grandes dimensions des pistons, qui ont fait rechercher l'emploi des pressions les plus élevées qu'il fût possible d'obtenir avec l'emploi de l'eau de mer, dans les conditions actuelles, sans condenseur à surface.

Pour obtenir à la mer les économies de combustible qu'on a su réaliser avec la machine à vapeur de nos ateliers, il faut appliquer à la machine marine tous les perfectionnements que la première a reçus. Ils consistent essentiellement en trois principaux, que M. Dupuy de Lôme a cherché à réaliser par les dispositions que nous allons décrire, à savoir: chauffage de l'enveloppe du cylindre, longue détente et bonne vaporisation dans la chaudière, ce qui, sur mer, où la place fait défaut, ne peut guère être obtenu que par un surchauffage de la vapeur détruisant les effets d'entraînement d'eau, qui se produisent trop souvent.

Pour l'emploi des enveloppes, il est évident que ces avantages sont relativement plus grands avec de petits cylindres (plus multipliés pour la production d'une même quantité de travail) qu'avec des cylindres d'un grand rayon, pour lesquels le chemin à parcourir par la chaleur pour parvenir au centre est considérable. On ne saurait trouver un remède dans une température très-élevée des enveloppes lorsque la vitesse des pistons est très-grande et par suite qu'un grippement destructeur est le grand danger à redouter.

Machine à vapeur à trois cylindres égaux, avec introduction directe dans un seul. « En étudiant l'Exposition internationale au point de vue des machines marines, on a pu remarquer que les appareils à hélice, construits par la marine impériale française, présentent tous une disposition nouvelle.

« Cette disposition consiste dans l'application que j'ai faite du système de Woolf, en opérant la détente de la vapeur dans les cylindres séparés de celui où se fait l'introduction directe, mais en modifiant ce système pour les machines marines, de manière à employer trois pistons de même diamètre et de même course, conjugués sur un même arbre, sans qu'aucun des points morts se correspondent.

« Les résultats principaux que je me suis attaché à obtenir par ces machines à trois cylindres, avec introduction directe dans un seul, sont : 1° Économie de combustible; 2° Faculté de reculer la limite du nombre de tours qu'on peut obtenir pour les hélices sans engrenage multiplicateur; 3° Équilibre statique presque complet des pièces mobiles autour de l'axe de l'arbre, quelle que soit au roulis la position du navire.

« J'emploie trois cylindres égaux de même diamètre et de même course (fig. 3417 *bis*), placés côte à côte, avec leurs axes dans un même plan, et leurs trois pistons agissant sur un même arbre de couche à trois coudes. Les deux coudes des pistons extrêmes sont placés à angle droit, et celui du piston du milieu (qui reçoit seul directement la vapeur) est placé à l'opposé de cet angle droit, dans le prolongement de la ligne qui le divise en deux parties égales. Enfin deux condenseurs, munis chacun d'une pompe à air, sont destinés à condenser la vapeur à l'issue des deux cylindres extrêmes.

« En sortant des chaudières, la vapeur, séparée du contact de l'eau bouillante, circule dans un appareil sé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

cheur pratiqué à la base de la cheminée; cet appareil utilise une partie de la chaleur des gaz chauds, en leur en laissant encore assez pour le tirage naturel et en procurant à la vapeur une légère surchauffe. La tension de la vapeur correspondante à la charge des soupapes est de 2 atm. 75 ou 209 centimètres de mercure, soit 133 sur les soupapes de sûreté. C'est la limite supérieure des tensions compatibles sans danger avec l'alimentation par de l'eau salée. La température de la vapeur saturée correspondante à cette tension serait de 131 degrés; le sécheur amène cette vapeur à la température de 156 degrés, ce qui représente une surchauffe de 25 degrés.

« La vapeur venant du sécheur se bifurque dans deux tuyaux égaux, qui la conduisent dans deux chemises-enveloppes, disposées autour de chacun des deux cylindres extrêmes. La vapeur circule dans ces enveloppes à l'effet d'échauffer le métal des cylindres extrêmes, dans lequel elle laisse une portion de sa température de surchauffe, et c'est à la sortie de ces enveloppes

« La durée de l'introduction de la vapeur dans les cylindres, abstraction faite des différences entre le dessus et le dessous, qui sont dues à l'obliquité des bielles, est réglée ainsi qu'il suit :

Pour le cylindre central. . . . 0,84 de la course réalisant 0,80;

Pour chacun des deux cylindres extrêmes. . . 0,78 de la course réalisant 0,75.

« Avec cette régulation, avec la tension de la vapeur précitée, avec la position décrite pour les trois manivelles de l'arbre de couche, avec des pompes à air bien disposées, avec des sections suffisamment larges pour tous les passages de la vapeur, c'est-à-dire avec une ouverture pour l'introduction représentant, à la position extrême des tiroirs, 3 1/2 p. 100 de la suface du piston, multipliée par la vitesse moyenne de ce piston exprimée en mètres par seconde; enfin, avec des passages pour l'évacuation un peu supérieurs à la section précitée

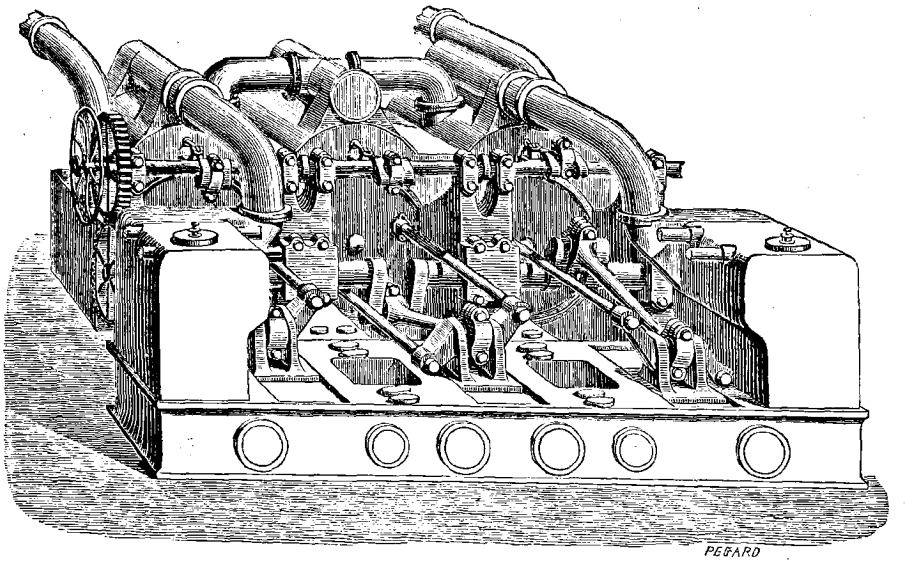


Fig. 3417 *bis*.

qu'elle arrive des deux côtés dans la boîte du tiroir du cylindre central. Deux valves de vapeur sont placées à la sortie des chemises des cylindres extrêmes, c'est-à-dire à l'entrée de la boîte du tiroir du cylindre du milieu. Par cette disposition, lorsqu'on réduit l'ouverture de la valve pour modérer l'allure de la machine, on conserve néanmoins à l'intérieur des chemises, pour chauffer les cylindres extrêmes, de la vapeur à une tension élevée, ce qui est d'une grande importance.

« Lorsque les valves sont ouvertes en grand et que la pression de la vapeur est poussée à son maximum, elle arrive au cylindre central à une tension d'environ 200 centimètres de mercure.

« La vapeur, après avoir poussé le piston du cylindre central, s'évacue en se partageant entre les deux cylindres extrêmes, en arrivant à leurs boîtes à tiroirs par de larges passages, dont le volume fait en partie fonction de réservoir intermédiaire. Enfin, après avoir poussé les pistons des cylindres extrêmes, elle s'évacue dans le condenseur correspondant.

on obtient (les valves ouvertes en grand) des pressions moyennes effectives, qui sont de 88 centimètres de mercure sur le piston du cylindre central, et de 82 centimètres pour chacun des cylindres extrêmes, ce qui fait pour les trois pistons une pression moyenne effective de 84 centimètres.

« Pour la machine de ce système qui fonctionne à l'Exposition, le diamètre des trois cylindres à vapeur est de $2^m,10$, et la course de leurs pistons de $1^m,30$. Avec ces dimensions et des pressions moyennes de $0^m,84$ de mercure sur les pistons, il faut faire 57 3/4 tours par minute pour développer 4000 chevaux de 75 kilogrammètres mesurés à l'indicateur. La vitesse moyenne des pistons est alors de $2^m,50$ par seconde, et leur vitesse maximum à mi-course est de $3^m,93$.

« Cette machine est destinée au *Friedland*, frégate cuirassée de premier rang qui, avec son chargement complet de munitions et de charbon, pèsera 7200 tonnes. L'hélice a $6^m,10$ de diamètre, et $8^m,50$ de pas. A 57 3/4 tours par minute, elle imprimera à cette frégate, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

calme, une vitesse d'environ 14 1/2 nœuds, ce qui fait un peu plus de 27 3/4 kilomètres à l'heure.

« Le poids de cet appareil complet, comprenant l'hélice, les parquets et tous les accessoires, se compose de : 415 tonnes pour la machine proprement dite; 280 ton. pour les chaudières, sécheurs, cheminées; 115 tonnes pour l'eau des chaudières. Total : 800 tonnes ; soit 203 kilogrammes par force de cheval de 75 kilogrammètres, eau comprise. Une machine ordinaire à deux cylindres de même puissance aurait au moins le même poids.

« Les machines marines à deux cylindres, les mieux entendues, avec sécheur de vapeur et chaudières alimentées avec de l'eau de mer, consomment à toute vapeur au moins 1 kilogr. 60 de bonne houille par heure et par cheval de 75 kilogrammètres mesuré sur les pistons. Cette consommation, pour les machines à trois cylindres, ne saurait être évaluée à plus de 1 kilogr. 28; ce qui fait une économie de 20 p. 100. Le poids total de cet appareil à deux cylindres, avec chaudières pleines, serait de 818 tonnes; tandis que celui de l'appareil à trois cylindres, de même puissance, est de 810 tonnes. L'économie de combustible, avec les nouvelles machines, reste donc tout entier à l'avantage du chargement du navire.

« En ce qui concerne la limite plus éloignée du nombre de tours auxquels on peut lancer la machine à hélice à trois cylindres, sans être arrêté par des échauffements des coussinets, des bielles et de l'arbre de couche, cette faculté tient à la réduction considérable de pression sur les coussinets, résultant des dispositions nouvelles, pour une même puissance développée. A cet égard, il ne faut pas seulement considérer les pressions moyennes, mais bien les pressions maxima initiales.

« Avec la machine à trois cylindres, la tension initiale, dans le cylindre milieu, est de. . . . 198 centimètres.

La contre-pression est de.	102	»
Il reste pour la pression effective.	96	»
Dans les cylindres extrêmes, la tension initiale est de.	100	»
La contre-pression minimum, de.	10	»
Il reste pour la pression initiale.	90	»

« Avec une machine à deux cylindres, égaux en diamètre et en course à ceux de la machine à trois cylindres et faisant le même nombre de tours, il faudrait accroître la pression moyenne dans le rapport de 3 à 2; elle serait donc de 126 centimètres au lieu de 84.

« Mais en outre pour obtenir ce diagramme moyen de 126 centimètres, même avec une introduction de 0,70 et une contre-pression réduite à 10 centimètres, il faudrait la même tension initiale de 198 centimètres, donnant une pression effective de 188; nous venons de voir que, dans la machine à trois cylindres, avec une introduction directe dans un seul, cette pression est de 96 centimètres, c'est-à-dire qu'elle est réduite à près de la moitié.

« Le troisième avantage que j'ai signalé pour la machine à trois cylindres est l'équilibre statique presque complet que présentent toutes les pièces mobiles autour de l'arbre de couche, aussi bien durant les mouvements de roulis du navire que lorsqu'il se maintient vertical.

« Il est évident que cet équilibre serait complet si les trois manivelles étaient entre elles à une distance exacte de 120 degrés. Mais, pour obtenir un fonctionnement plus régulier, sans l'emploi d'un grand réservoir intermédiaire dans lequel viendrait s'évacuer la vapeur sortant du cylindre central avant de s'introduire dans les boîtes à tiroir des cylindres extrêmes, j'ai reconnu préférable de placer, comme je l'ai dit, les deux manivelles extrêmes à 90 degrés entre elles, et les manivelles du cylindre central divisant en deux parties égales cet angle à l'opposé. Avec cette division, l'équilibre n'est plus parfait: mais la situation, à ce point de vue, est évidemment bien plus favorable que s'il n'y avait que deux pistons attelés sur deux manivelles à angle droit qui, à certain moment, sont ensemble tous deux du même côté de la verticale. C'est en raison de cette disposition que la grande machine du *Friedland*, qui figure à l'Exposition, peut fonctionner régulièrement, depuis moins de 10 tours jusqu'à plus de 60 tours par minute, sans avoir de travail sérieux, de résistance à vaincre et sans autre volant que l'hélice, dont le moment d'inertie est insignifiant par rapport aux moments des poids des pièces douées du mouvement alternatif. Une machine à deux cylindres, avec manivelle à angle droit, serait, dans ces conditions, hors d'état d'échapper à l'alternative ou de s'arrêter si la pression de vapeur était insuffisante, ou de partir avec une violence dangereuse si on ouvrait les valves assez pour relever les pièces mobiles au moment où les deux manivelles remontent à la fois. Cette propriété des machines à trois cylindres ne présente pas seulement un intérêt de curiosité, elle est des plus précieuses pour les manœuvres à très-petite vitesse et pour la régularité du mouvement des machines par grosse mer.

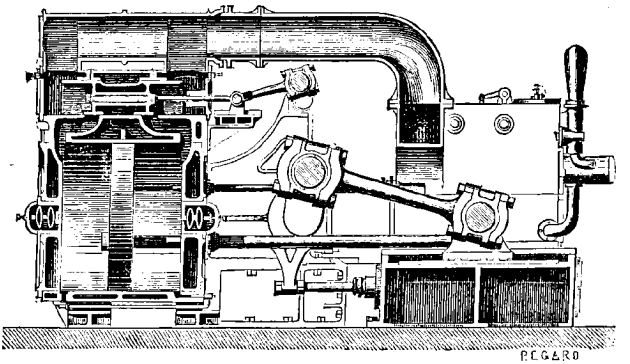


Fig. 3417 *ter*.

« Dans la machine du *Friedland*, dont les pompes à air horizontales sont attelées directement sans balancier sur les pistons à vapeur (ce qui se voit bien sur la coupe fig. 3417 *ter* d'un des cylindres extrêmes), la vitesse de ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pistons est de 57 3/4 tours par minute, et, comme je l'ai dit, de $2^m,50$ par seconde en moyenne; mais, à mi-course, cette vitesse est de $3^m,93$. Si cette pompe se composait d'un piston plein ordinaire, fonctionnant dans un corps de pompe, fût-il ouvert par les deux bouts de tout son diamètre, l'eau, poussée par une pression aussi faible que celle de 10 centimètres qu'on veut obtenir dans le condenseur, ne suivrait pas le piston à mi-course, quelle que soit la somme des orifices des clapets de pied; de là des chocs, des pertes notables dans le volume théorique décrit par le piston de la pompe à air, et finalement, vide insuffisant dans le condenseur.

« On évite ces inconvénients, quelle que soit la vitesse du piston de la pompe à air, en le transformant en piston plongeur, fonctionnant dans deux larges boîtes à clapet, séparées par une cloison qui traverse ce piston plongeur porté sur un coussinet formant presse-étoupe.

« Les mouvements horizontaux du piston plongeur se transforment en mouvements verticaux de montée ou de descente de l'eau dans les boîtes à clapet, et, avec la faculté que l'on a de donner à la somme de ces clapets, conservés petits, la surface que l'on veut, l'excellence du vide des condenseurs n'est plus limitée par la vitesse du piston des pompes à air. »

Sauf les dimensions bien considérables de cette machine, qui rendent effrayant l'emploi, à de très-grandes vitesses, de masses très-grandes mais bien équilibrées, tout fait présumer qu'elle doit donner d'excellents résultats, tant que le navire n'éprouvera aucune déformation grave. C'est à ce point de vue en effet que se sont placés quelques esprits critiques, malgré le joint de cardan porté par l'hélice, et on le comprendra quand nous dirons que la base de fondation a 7 mètres sur 8. Dans les dernières machines anglaises à hélice, on ne considère comme immuable que l'arbre de l'hélice, et on cherche à faire en sorte que les machines motrices puissent obéir à quelques petits mouvements inévitables sans que l'appareil soit en danger. Telles sont les machines à pilon des grands transatlantiques à hélice construits par Ch. Napier, et dont les machines se prêteront bien au progrès le plus prochain sans doute, celui de l'emploi des hautes pressions à la mer par l'emploi des condenseurs à surfaces perfectionnés et par suite à la diminution notable du poids des machines.

Organes de propulsion.

Deux moyens de propulsion sont appliqués aujourd'hui dans la navigation à la vapeur, les roues à pales et les hélices. Les divers appareils à réaction qui ont été essayés dans ces dernières années, n'ont donné aucun résultat comparable à ceux obtenus par ces organes dont l'effet provient évidemment de celui des rames, qui ne sont que des rames tournantes, agissant directement sur le fluide pour faire progresser le corps flottant.

Roues à pales. Le mode d'action des roues à pales est bien connu. En tournant par l'action de la machine à vapeur, elles viennent choquer l'eau qui, à cause de son inertie ne pouvant s'écarter instantanément, résiste, et l'axe des roues assemblé avec le bateau est sollicité à s'avancer comme l'essieu d'une locomotive.

C'est dans l'étude des phénomènes qui accompagnent le mouvement d'une surface en mouvement, s'introduisant et se mouvant dans un fluide, dans les mêmes conditions que les pales de la roue, que se peuvent trouver les lois de l'action mécanique de cet organe, et, comme nous le dirons plus loin, la limite de leur emploi.

Quant aux inclinaisons diverses de la pale, nous avons vu comment on avait cherché à obvier à l'obliquité des pales, à leur entrée et à leur sortie de l'eau, par un double mouvement. Malgré ce que ces systèmes ont d'ingénieux, ils n'ont pas prévalu; les avantages trouvés n'ont pas été aussi grands pour compenser une plus grande complication de la partie du mécanisme qui fatigue le plus.

La vitesse absolue V des pales, v étant celle du bateau, doit être telle que la différence $V - v = W$ soit la plus convenable pour une bonne utilisation du travail moteur, relativement aux mouvements de la mer. L'expérience prouve que la vitesse des roues doit être environ de 1,50 de celle du bateau; on la rend un peu plus grande pour les bateaux à grande vitesse, où la question d'économie absolue n'est que secondaire, mais on ne peut s'écarter beaucoup de cette moyenne sans détruire une quantité de travail considérable par le choc des pales contre l'eau. Dans ces conditions, les roues à pales transmettent une impulsion qui n'entraîne pas de trop grandes destructions de travail et permettent un bon fonctionnement des machines à petite vitesse de piston et à basse pression, les plus simples à faire fonctionner à la mer, comme nous l'avons vu en décrivant les difficultés qu'entraîne la haute pression.

Les roues qui conviennent bien pour les bateaux de dimensions modérées offrent des inconvénients lorsqu'il s'agit de puissants navires. La surface des pales devient alors tellement grande, que l'eau qui cédait et abandonnait facilement les pales, tant qu'elles n'avaient que des dimensions restreintes, après qu'elles ont agi sur l'eau utilement, ne pouvant plus s'écouler assez vite, est inutilement projetée en l'air. Cet effet, qui se produit surtout par la partie centrale des pales, va en croissant rapidement avec l'augmentation de leur surface, et entraîne des consommations considérables et inutiles de travail moteur.

C'est parce que le travail moteur est d'autant plus mal utilisé que les pales sont plus grandes et que la vitesse des roues dépasse une certaine limite, que la difficulté d'accroître la vitesse des grands steamers à roues est si grande. Nous avons déjà donné, d'après M. Campaignac, la proportion énorme dans laquelle il faut faire croître le travail moteur pour augmenter quelque peu la vitesse.

Hélice. L'emploi de l'hélice dans la navigation est un des grands progrès accomplis à notre époque. Nous reviendrons plus loin sur les grands avantages qu'offre ce propulseur de se combiner avec l'emploi des voiles pour l'économie de la navigation, et de rendre à la marine militaire des batteries puissantes, avantages qui manquent aux navires à roues, par suite de la présence des roues si facilement mises hors de service et de leurs grands et volumineux tambours placés au milieu des flancs. Malgré cela, toutefois, l'expérience de la plupart des bateaux à grande vitesse, naviguant sur des mers habituellement assez calmes, est à l'avantage des roues; elles seules permettent de conserver de la vitesse vent debout. Les beaux transatlantiques anglais sont, en général, à roues, et aucun bateau à hélice n'a pu, pendant longtemps, entrer en concurrence avec eux sous le rapport de la vitesse. Disons aussi que la trépidation due à l'hélice, agissant à l'extrémité du navire, rend les longues traversées à bord des navires mus par ce propulseur assez fatigantes.

Nous ne discuterons pas ici les formes de l'HÉLICE, consacrant un article spécial à cette intéressante question.

La supériorité de l'hélice sur les roues, en tant qu'utilisation du travail moteur, résulte de ce qu'étant toujours immergée, son action ne diminue pas à la mer par les plus gros temps, circonstance dans laquelle les roues donnent peu de travail utile, l'une d'elles étant souvent noyée, tandis que l'autre tourne dans l'air.

Son infériorité consiste en ce qu'elle est impropre à faire marcher le bateau quand le vent est directement contraire à la marche, à moins d'une surface très-grande (qui doit répondre à une moins bonne utilisation) et d'une puissance motrice extrêmement considérable, et c'est là la vraie cause de la moindre vitesse des bateaux à

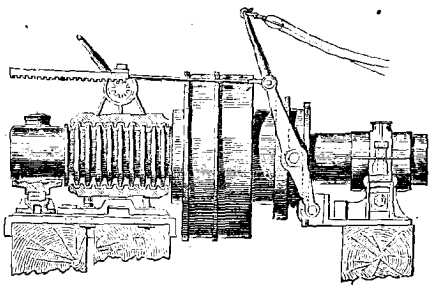
EFERUS - Recherche & Classification numérique

BATEAU A VAPEUR.

hélices comparés aux bateaux à roues. La résistance du navire croissant par cette action du vent debout, l'action de l'hélice pour faire tourner circulairement l'eau qui ne se renouvelle pas, plutôt que de la repousser, va en augmentant; elle forme frein hydraulique, et le travail utile diminue très-rapidement avec l'accroissement de la résistance.

Nous remarquerons aussi qu'un grand enfoncement de l'hélice est favorable à son bon effet, ou plutôt, que l'on peut dans ce cas, pour de forts tirants d'eau, employer les formes les plus convenables qui exigent un grand diamètre.

Une des grandes difficultés qu'a présentées l'emploi de l'hélice a été de réussir à bien transmettre au navire l'impulsion qu'elle peut procurer, et, en même temps, de disposer un embrayage d'un effet sûr, lorsque le vent est suffisant pour marcher rapidement par l'action des voiles, quand on ne fait pas fonctionner la machine à vapeur, pour qu'elle ne s'oppose pas alors au mouvement du navire. La figure 3418 représente le sys-



3418.

tème d'embrayage à grande surface et le coussinet de butée de l'arbre de l'hélice qui ont le mieux réussi; ce dernier est composé de rainures qui reçoivent les collets de l'arbre, disposition heureuse et supérieure à toutes celles qui avaient été tentées, en ce qu'elle donne la possibilité d'accroître la surface de butée en augmentant le nombre des rainures, et par suite d'atteindre le point où il ne se produit qu'un frottement sans usure du métal, pour transmettre à la masse du navire l'impulsion de l'hélice.

II. — TRAVAIL RÉSISTANT.

Du tonnage et des formes des navires à vapeur.

La longueur des traversées que doit faire un navire à vapeur et la vitesse avec laquelle il doit les effectuer déterminent le minimum du tonnage qu'il doit posséder, en donnant le poids des machines et des approvisionnements qu'il doit transporter.

Le principe de l'accroissement du tonnage des navires comme moyen d'augmenter la puissance des machines plus rapidement que les résistances qui s'opposent au mouvement, ce qui correspond bien à l'augmentation des vitesses par comparaison à un type connu, est facile à établir. En effet, les capacités de deux navires semblables sont entre elles comme les cubes des lignes homologues, tandis que les résistances proportionnelles au maître couple immergé sont entre elles comme les carrés de ces lignes. Donc, en augmentant les dimensions des navires, on peut leur adapter des machines (et des approvisionnements proportionnels au nombre de chevaux-vapeur de la machine, en raison de la longueur de la traversée) dont le poids et la puissance croissant comme le tonnage, c'est-à-dire comme les cubes, augmenteront plus vite que les résistances et donneront par suite des vitesses croissantes.

Il ne faut se fier, que comme à un moyen de trouver une première approximation, à ce raisonnement qui conduit cependant à des résultats assez bien confirmés par l'expérience. En effet, il n'est pas rigoureusement exact de considérer tous les éléments de deux bateaux que l'on compare comme proportionnels; ainsi dans un navire double d'un autre, les poids agissant au bout de leviers plus longs, aux extrémités du navire notamment, produisent, dans les cas d'échouage surtout, des effets destructeurs d'une intensité bien plus que double; la sécurité ne peut résulter que de constructions plus solides et bien plus pesantes par suite que celles obtenues avec des éléments qui seraient calculés d'après la simple proportionnalité des dimensions.

La résistance du fluide augmente plus rapidement que les dimensions; inversement et par la même cause, donnant au point de vue du mouvement du bateau des résultats contraires, l'action du propulseur croit moins rapidement que ses dimensions. Ainsi, comme je l'ai dit plus haut, à mesure que la pale d'une roue devient plus grande, l'eau se dégageant plus difficilement, est projetée en l'air en plus grande quantité; la proportion du travail utile devient de ce fait d'autant moindre, à mesure que le travail moteur augmente.

Les accroissements de vitesse deviennent donc de plus en plus coûteux, et bientôt des augmentations énormes de dépenses ne donnent plus que des résultats insignifiants, tant qu'on reste dans les applications des mêmes systèmes.

Les dimensions des principaux navires transatlantiques pour les traversées les plus longues, qui peuvent être considérés comme des modèles d'une grande perfection, sont les suivantes:

Ligne Cunard : Liverpool à New-York.

Asia (à roues). — Tonnage, 2,136 tonneaux. — Longueur à la flottaison, 79.40. — Largeur, 12.15. — Creux, 5.55. — Maître couple, 60.40. — Sillage, 2 nœuds. — Piston, 4. — 1.91 diam.

Compagnie péninsulaire et orientale : Inde.

Himalaya (à hélice). — Tonnage, 3,750 tonneaux. — Longueur à la flottaison, 97.5. — Largeur, 14.18. — Creux, 10.85. — Diamètre de l'hélice, 5.40 (à deux ailes). — Pas, 8.54.

Machine, 1,200 chevaux, 2 pistons, $2^m,03$ diamètre, $1^m,06$ course, 60 tours par minute.

Pour les navires de guerre à hélice, c'est la puissance de l'armement, le nombre de canons qu'ils doivent porter qui en détermine les dimensions. Nous donnerons ici les chiffres pour quelques constructions célèbres:

Napoléon. — 950 chevaux, 90 canons. — Longueur de la coque, $75^m,25$. — Largeur, $18^m,80$. — Section immergée, 98. — Hélice, $5^m,08$.

Bretagne. — 1,200 chevaux, 130 canons. — Longueur de la coque, 81 mèt. — Largeur, 18. — Creux, $8^m,35$. — Hélice, $6^m,30$.

Des formes. — La détermination des formes les plus convenables se rapporte, on le sait, à un de ces phénomènes complexes qui échappent à la puissance de la science pure; elles sont bien plus le résultat de la pratique des ingénieurs et des constructeurs que des travaux de théorie pure.

On représente en général la résistance par KAV^2, K étant un coefficient variant de 0,09 à 0,063, suivant les formes, multipliant 60^k, résistance pour un mètre carré de la section immergée transversale A d'un corps flottant, au point où elle est plus large, du maître couple; et V la vitesse. Le travail résistant est donc KAV^3 pour un chemin parcouru égal à V et par seconde.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une solution passable du problème de la détermination des formes est facile à obtenir quand il s'agit de la navigation fluviale. Employer la machine la plus légère possible, allonger beaucoup le bateau pour diminuer le maître couple immergé A, enfin donner à la proue comme aux évidements de la poupe des formes imitées de bons modèles, c'est ce qui a été fait avec assez de facilité et avec succès par la plupart des habiles constructeurs qui se sont distingués dans les constructions de bateaux à vapeur destinés à la navigation fluviale.

La question est bien plus complexe quand il s'agit de la navigation maritime; les agitations de la mer ne permettent plus sans danger les mêmes allongements que sur les fleuves, les faibles tirants d'eau qui sont presque suffisants pour assurer les grandes vitesses dans la navigation fluviale; des navires construits ainsi seraient bientôt brisés, ne sauraient tenir la mer. Il faut donc se préoccuper d'éléments variables et accumuler les résultats d'expériences pour résoudre pratiquement un problème insoluble en principe, en ce sens que les formes qui conviendraient pour une vitesse et un état donné de la mer ne sauraient convenir pour une autre vitesse, une autre direction du navire par rapport à celle des vagues et du vent; de telle sorte qu'une forme convenable en un moment donné ne le sera plus le moment suivant.

Nous passerons brièvement en revue les conditions principales du problème de la construction des bateaux à vapeur, celles qui influent sur la détermination des lignes principales.

Longueur et largeur. — Le tonnage étant donné, le navire à construire se trouve par suite classé dans une catégorie dont le tirant d'eau est en général déterminé, au moins pour les petits navires, par la condition de stabilité, de manière à empêcher le navire de rouler à cause de l'influence de la quille saillante. Pour les grands navires, on est obligé souvent de rester pour le tirant d'eau bien au-dessous des dimensions proportionnelles, par rapport aux petits, le plus souvent par suite du peu de profondeur d'eau du port d'embarquement. La vue des bons modèles indique le tirant d'eau nécessaire pour une stabilité suffisante, pour qu'il ne roule pas trop.

Le creux étant fixé, la question des dimensions se réduit à fixer le rapport entre la largeur et la longueur; inférieur de 4 à 1 dans quelques anciens navires à voiles, n'acquérant jamais de grandes vitesses, mais tenant très-bien la mer, ce rapport a été successivement croissant sur mer comme sur les rivières, grâce aux progrès de l'art de la construction qui a permis de braver, sans accident, les gros temps, et grâce à la facilité d'évoluer, de faire obéir au gouvernail un bateau auquel on peut toujours imprimer un mouvement de progression. Ce rapport, variable suivant les constructions, s'est élevé successivement jusqu'à arriver dans les derniers transatlantiques à grande vitesse (Cunard), jusqu'à s'approcher de 7 : 1. Sur les rivières il s'est élevé de 7 à plus de 20.

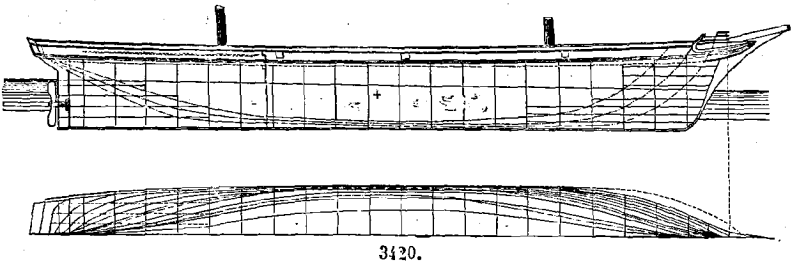
M. Brunel a même osé adopter le rapport de 8 : 1 dans le *Léviathan*, et ce n'est pas la première fois qu'on l'a appliqué, même dans de moins bonnes conditions que ce navire construit de manière à obtenir une grande solidité par un mode de construction spécial dont nous aurons occasion de parler plus loin.

Avant de navire. — On a tenté bien des essais pour modifier cette partie du navire et résoudre le problème de faire que, pour une vitesse donnée de marche, le fluide soit écarté pour faire place au navire sans former un remou nuisible. Je dis nuisible, parce que si la réaction, qui écarte le fluide perpendiculairement à la direction du corps flottant, produit seulement l'effet d'écarter par communication de vitesse de proche en proche le liquide de manière à engendrer un vide intérieur exactement égal à celui du navire et un passage rapide par la surface de ce volume du liquide de l'avant à l'arrière, il n'y aura pas réaction nuisible, mais seulement la communication des forces vives au fluide, qu'on ne saurait éviter, le minimum possible de consommation du travail avec les éléments dont on dispose.

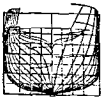
On a pendant longtemps incliné beaucoup le taille-mer, en pensant que cette disposition qui faisait attaquer le liquide obliquement avait beaucoup de valeur, ce qui semblait peu fondé d'après le raisonnement ci-dessus. En effet, les Américains, très-habiles constructeurs de navires à grande vitesse, ont complétement renoncé à ce mode de construction, et leurs bateaux à taille-mer droit et fin ne le cèdent à aucun.

Si cet élément est sans valeur, sinon comme ornement, il n'en est pas de même des surfaces gauches qui constituent les faces de la proue et qui, par leur analogie évidente avec le versoir de la charrue, ont pour objet de retourner sur elle-même la vague qui vient choquer le corps flottant et de la replier sur elle-même. Nous ne pouvons ici que renvoyer à l'étude

3419.



3420.



3421.

des meilleures constructions, dont nous donnerons une idée par la figure qui représente le steamer *le Francfort*, très-bonne construction anglaise, figure qui permet de faire apprécier le mode de représentation des courbures, à l'aide de la projection sur trois plans rectangulaires. Le premier (fig. 3419) est vertical, passe par l'axe longitudinal du navire, et reçoit la projection des coupes obtenues par des plans parallèles à ce plan, indiqués dans la projection horizontale (fig. 3420). Celle-ci (où l'on ne représente qu'une moitié à cause de la symétrie) représente les courbes obtenues par des plans horizontaux équidistants, dont la trace rectiligne est indi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quée sur la première figure. Enfin le troisième plan de projection, perpendiculaire aux deux premiers, donne les courbes qui répondent aux coupes par des plans perpendiculaires à la longueur du navire, un côté correspondant aux façons avant, l'autre aux façons arrière.

Arrière du navire. — Les flancs du navire doivent, comme la proue, retourner la lame quand la mer prend le navire par le travers, mais surtout faciliter, par leur rentrée progressive, le passage de l'eau de l'avant à l'arrière, et réduire ainsi à son minimum tant le gonflement de l'eau à l'avant, que la dépression, le vide que tend à laisser la marche du navire, surtout aux grandes vitesses. La finesse de l'arrière a bien plus d'importance que l'on ne pourrait croire à priori, aussi bien que son allongement. C'est un résultat bien certain des constructions les plus modernes, ayant permis des vitesses jusqu'alors inconnues, que des façons avant courtes et de longues façons arrière sont les plus favorables à la vitesse pour les bateaux à vapeur, tandis qu'au contraire, pour les bateaux à voiles les plus rapides, les clippers, il faut allonger l'avant et raccourcir les façons arrière. L'expérience a ainsi ramené pour les steamers vers les formes des poissons, du saumon par exemple, qui se meuvent le plus rapidement (on dit que le saumon parcourt 8 mètres par seconde), et dont le corps, soumis intérieurement comme extérieurement à la pression du fluide, a pris des formes ayant un rapport intime avec ces vitesses et les mouvements du fluide qui accompagnent leur progression.

C'est surtout pour les navires à hélice que la finesse de l'arrière est d'une importance capitale, ce qui se comprend facilement, puisque, avec de mauvaises formes, l'hélice se meut, pour ainsi dire, dans le vide. Nous citerons, d'après Bourne, des expériences faites sur le *Dwarf*, qui l'établissent bien catégoriquement. Ce navire ayant reçu à son arrière deux épaisseurs de bordage, sa vitesse se réduisit à 3,15 avec 24 tours; avec une seule épaisseur, elle fut de 5,75 avec 26 tours, tandis qu'en enlevant tout, on retrouva la marche primitive de 9,1 avec 32 tours.

On voit quelle énorme influence a la finesse de l'arrière, l'action de l'eau qui presse le navire en se rejoignant après avoir échappé à l'action d'écartement produit à l'avant.

Des communications de forces vives du liquide au corps flottant et inversement. — Si l'on considère synthétiquement les questions de résistances de corps flottant sur des liquides, on pourra résumer tous les faits sous forme de communication de forces vives, car ce qu'on appelle le frottement n'est qu'une résistance de ce genre; il ne peut pas y en avoir d'une nature semblable à celle du frottement des solides avec des molécules aussi mobiles que celles des liquides. On pourra ainsi analyser d'une manière simple des effets qu'il serait assez difficile de bien comprendre en les attaquant par une autre voie.

Un élément important de minimum de communication de la force vive du liquide au corps flottant réside dans la masse, la solidité, la non-élasticité de celui-ci. En effet, si l'on considère un petit canot abandonné sur la mer, il est clair que, n'offrant aucune résistance à la vague qui le porte, il se mouvra exactement avec la vitesse de l'eau. Si, passant à l'extrémité de l'échelle, on suppose la gigantesque construction de Brunel, pesant 15 ou 20 millions de kilogrammes, choquée par une vague de quelques mètres de longueur, elle restera immobile du fait de cette impulsion. La vague sera retombée et renversée avec toute sa vitesse, avant qu'aucun mouvement du corps flottant, dont l'inertie est si considérable, ait eu lieu. Il n'y aura donc aucun travail produit par ce choc. Il est donc exact de dire que la grandeur de la masse soustrait en partie le corps flottant aux destructions de force vive qui résultent du choc du fluide en mouvement. Telle est, nous croyons, la cause essentielle des remarquables vitesses obtenues par le *Napoléon*, dont la masse est très-grande, au moyen de l'hélice, vitesses supérieures à celles de bateaux plus petits, ayant proportionnellement des machines motrices aussi puissantes. La machine seule du *Napoléon*, de 960 chevaux-vapeur, pèse 1,000 tonneaux, soit 1,000,000 de kilogrammes.

Quant à la communication des forces vives du corps flottant au liquide, qui explique la résistance des fluides en raison du carré des vitesses, elle se produit surtout lorsque le liquide, restant longtemps en contact avec le corps flottant, ne pouvant s'échapper, reçoit communication de sa vitesse.

La réalité de ce mode d'action est facile à établir.

Dans une série d'expériences bien connues de la Société anglaise d'architecture navale, on trouve les résultats suivants, pour une proue de 40 centimètres de longueur et 1 mètre de base :

Pour une vitesse de $0^m,50$, une résistance de 4 kilog.
— 3^m — 130 kilog.

La résistance de pénétration, qui est de 4 kilog. pour une longueur de $0^m,50$, devrait être de $4^k \times 6 = 24$ kilog. pour 3 mètres. La différence $130 - 24 = 106$ kilog., c'est-à-dire les 4/5 de la résistance totale ne répondent donc pas à une action de pénétration, mais à l'impulsion communiquée à l'eau, qui ne peut s'écarter assez vite pour ne pas être choquée par le corps en mouvement.

Le grand moyen de diminuer cet effet, ce qui s'énonce autrement, de diminuer le coefficient de résistance, consiste dans l'adoption des formes les plus convenables pour que l'eau s'écarte le mieux possible, passe facilement de l'avant à l'arrière.

En dehors de cette disposition et en laissant de côté le résultat curieux de la traction des bateaux rapides dont la résistance diminue à mesure que la vitesse augmentant, la communication de vitesse au liquide n'a pas le temps de s'effectuer, je ne connais que celle que j'ai proposée, il y a une vingtaine d'années, et que je n'ai pas été assez heureux pour pouvoir encore expérimenter, je veux parler d'une insufflation d'air à l'avant, système que j'ai déjà décrit dans un premier article, dans la constitution d'un mélange globulaire d'eau et d'air qui donne de curieux résultats dans la pompe de Séville, et qui repose sur des idées ayant quelque analogie avec les moyens d'*hydropneumatisation* adoptés depuis pour les turbines. Ce système n'a pas été appliqué jusqu'à ce jour par les constructeurs, et j'admets bien volontiers que c'est avec raison, pour la plupart des cas de la pratique, mais dans les quelques cas (celui des transatlantiques notamment) où il faut obtenir à tout prix des vitesses supérieures, dont les derniers accroissements coûtent si cher et sont souvent impossibles pour des bateaux de très-grande dimension, les chances de succès seraient très-grandes. On comprend toute la difficulté qu'éprouve le liquide à s'écarter des deux côtés d'un maître couple dont la grandeur atteint 50 ou 60 mètres carrés, sans que la partie placée au centre reçoive l'impulsion du navire et agisse comme frein en amortissant sa force vive.

Dans le système que nous proposons, au contraire, l'espèce de coussin élastique que formerait le mélange d'eau et d'air, fera produire le choc entre corps élastiques au lieu de s'effectuer entre corps privés d'élasticité.

Nous avons retrouvé avec plaisir notre idée dans le savant Traité de Bourne, sur l'hélice propulsive. Voici le passage où il en est question :

« Pour diminuer le frottement de l'eau sur le fond « des navires, il me paraît qu'il serait convenable d'in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« terposer une couche mince d'air entre la carène et « l'eau; elle serait facilement refoulée à travers une « fonte pratiquée dans un tuyau de chaque côté de la « quille, et je pense qu'on obtiendrait ainsi un très-bon « moyen de lubrifier la carène. Je remarquerai qu'il « faudrait refouler plus d'air qu'il ne serait réellement « nécessaire afin de produire l'effet désiré; car non- « seulement il serait comprimé par la pression hydro- « statique, mais il serait absorbé en partie par l'eau. « Les navires ayant une marche lente à la voile, peu- « vent avoir leur vitesse augmentée en introduisant « une couche d'air à l'avant et à l'arrière : car l'air ou- « vrirait aussi bien le chemin à l'étrave qu'il rempli- « rait le vide à l'étambot, et il formerait ainsi un taille- « mer et un arrière artificiels et élastiques. »

On le voit, l'idée fait des progrès, et des hommes intelligents, familiarisés avec la pratique, commencent à l'entrevoir. Encore quelque dix ans, et le nombre des personnes qui l'auront comprise sera assez grand pour qu'il se trouve un ingénieur assez entreprenant pour tenter une application qui, faite à propos, donnera d'excellents résultats.

III. PLANS D'ENSEMBLE.

Navires à voiles comparés aux navires à vapeur.

Nous avons besoin de dire quelques mots de l'emploi du vent pour la navigation, car il faut toujours comparer la navigation à vapeur à celle à la voile, qui est le moyen économique de transport par excellence, et évaluer les frais comme les avantages des deux systèmes.

On a dit à l'article NAVIGATION comment les voiles, équilibrées de chaque côté de la verticale, passant par le centre de gravité, assuraient la direction de la marche, en même temps que la progression du navire. L'étendue de la voilure, proportionnée nécessairement à la stabilité du navire, à la résistance qu'il éprouve pour s'enfoncer de l'avant, croissant par suite avec la convexité (défavorable à la vitesse) et l'élévation au-dessus de l'eau de l'avant, mais surtout avec la longueur du navire, propriété dont on a tiré grand parti dans la construction des CLIPPERS, détermine la vitesse minimum du vent qui imprime un mouvement au corps flottant.

C'est parce que cette vitesse est assez grande pour un mouvement presque insignifiant du navire, parce que les vents, de vitesse minime, incapables de mouvoir le navire, sont assez fréquents, qu'il est des limites aux avantages des navires à voiles sur tous les autres, au point de vue économique, au moins dans quelques cas, comme nous le verrons plus loin.

Dans le cas général, l'impulsion du vent étant entièrement gratuite, il est évident qu'au point de vue de l'économie absolue des frais de traction, la navigation à voile conservera toujours une grande supériorité. Mais dès que la vitesse est une qualité précieuse, qu'il s'agit de lettres, de voyageurs, qu'il s'agit de batteries, comme sont les vaisseaux de guerre qu'il faut conduire rapidement à une place déterminée, dont la puissance n'est utile qu'à cette condition, c'est à la vapeur qu'il faut avoir recours.

Enfin, en combinant ensemble la propulsion par le vent et celle à l'aide de la vapeur, on doit pouvoir réunir, pour des cas particuliers, économie et rapidité.

Ce sont les constructions qui correspondent à ces divers cas, que je vais maintenant passer en revue.

Bateaux à roues.

Les bateaux à roues, à rames tournantes, comme les appelait Papin, les seuls qui aient été construits jusque dans ces dernières années, ne sont restés supérieurs à tous autres que pour obtenir de très-grandes vitesses; on peut à ce point de vue les classer en deux catégories.

1° Ceux qui servent pour de petites traversées, qui par suite n'ayant à transporter que de petites quantités de combustible, peuvent avoir des machines très-puissantes relativement à leur tonnage et atteignent de grandes vitesses. Tels sont les bateaux pour la navigation côtière entre les grandes villes, de Douvres à Calais, etc.

2° Ceux qui servent pour transporter les lettres et les voyageurs à de grandes distances et que la nécessité d'un grand approvisionnement force à construire de dimensions énormes. La concurrence qui assure le succès au service le plus rapide, fait même que l'on dépasse de beaucoup la limite inférieure qui permettrait d'effectuer le service avec toute sécurité, pour rechercher de plus grandes vitesses en adoptant des dimensions bien plus grandes. C'est une nécessité qu'a fait très-bien apprécier M. X. Raymond dans une excellente étude publiée dans le *Journal des Débats*, à propos de la loi relative à l'établissement de lignes transatlantiques en France.

« On peut proposer, dit-il, d'employer des navires moins coûteux, mais aussi moins rapides et moins capables que ceux des Américains et des Anglais. Supposons qu'au lieu d'employer des navires de 800 ou 1,000 chevaux de force, et de 2,500, de 3,000, de 4,000 tonneaux de charge; qu'au lieu d'employer de si grands navires, nous nous contentions de bâtiments de 1,500 à 1,800 tonneaux et de 400 à 500 chevaux de force. On en peut construire de ces dimensions avec lesquels on serait à peu près sûr de pouvoir en toute saison franchir l'Atlantique en beaucoup moins de temps que n'en mettent les navires à voiles pour aller d'Europe en Amérique. Il est de plus incontestable que ces navires coûteraient moins que les grands paquebots qui font aujourd'hui le service, et comme prix de construction, et comme frais d'exploitation. Mais trouverait-on une économie réelle à s'en servir? Je ferai d'abord remarquer que sur des bâtiments construits dans ces conditions, l'espace utile, celui qui produit des recettes, celui qui peut être fructueusement consacré au transport des passagers ou des marchandises, est relativement inférieur à celui que l'on peut se réserver sur les grands navires, si bien que, tout compensé, il en coûte en définitive plus cher pour transporter un passager ou une tonne de marchandise sur un paquebot de médiocre puissance que sur un paquebot de grandes dimensions. La capacité utile croît en raison même de la grandeur et de la force des navires. C'est la loi générale qui régit tous les armements maritimes, qui domine encore plus impérieusement que toutes les autres une entreprise comme celle d'un service de paquebots transatlantiques, qui ne doit pas demander ses conditions d'existence à la modicité de ses frais d'établissement, mais au développement des sources qui peuvent lui apporter des recettes. Voilà ce qu'enseigne la théorie et ce que la pratique confirme par de nombreux exemples. En effet, ce n'est pas une idée nouvelle, et ce ne serait pas la première fois qu'on se laisserait prendre à la décevante tentation d'essayer de s'établir sur l'Océan avec des navires qui coûteraient moins que les grands paquebots des compagnies anglaises ou américaines de New-York, de Liverpool ou de Southampton. Les compagnies qui se sont formées pour établir sur ces données d'une économie trompeuse des services réguliers n'ont pas réussi.

« De nombreux exemples démontrent qu'il n'y a rien à espérer, au moins pour l'accomplissement d'un service postal et régulier, de navires de petite dimension et de faible puissance. Ils se trouvent, comme on dit, pris entre l'enclume et le marteau, entre les grands paquebots qui attirent nécessairement tout ce qui a besoin de vitesse, passagers, correspondance ou marchandises, et les bâtiments à voiles qui transportent souvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sans différence appréciable dans le temps et toujours à beaucoup moins de frais, tout ce qui n'est pas forcé d'arriver à jour et à heure fixes, tout ce qui est devenu valeur négociable ou échangeable, lorsqu'une lettre dirigée par la voie la plus rapide a fait savoir qu'il était embarqué pour sa destination à bord d'un bâtiment quelconque. Or, c'est là le cas où se trouve la plus grande partie des marchandises échangées par le commerce entre toutes les parties du monde. »

Ainsi la nécessité d'avoir de très-grands navires munis d'un moteur très-puissant est parfaitement démontrée; mais en même temps cette grandeur a une limite dans l'abondance du fret, dans le nombre de passagers qu'il est possible de réunir, dans le rapport des revenus qui peuvent résulter de cet accroissement avec les dépenses que nécessite l'agrandissement des navires, tant comme frais de premier établissement que pour les dépenses d'entretien, de navigation, etc.

Si nous étudions la célèbre compagnie Cunard, qui dessert la ligne entre Liverpool et New-York, et qui jouit d'une juste réputation pour sa parfaite entente de ce service, nous verrons que, pour cette ligne, on trouve aujourd'hui petits les navires comme l'*Arabia* dont nous donnons ici les dimensions, et malgré les succès de vitesse du *Persia*, elle paraîtrait le trouver un peu grand, car elle ne se presse pas de multiplier cette construction pour remplacer les bâtiments moindres qui partagent le service avec elle. Voici les renseignements sur l'*Arabia* :

Longueur.	86m,90
Largeur.	12m,35
Tirant d'eau moyen.	6m,2
Surface immergée du maître couple.	63 m.
Déplacement..	3,750 ton.
Tonnage.	2,300 ton.
Force nominale de la machine.	960 chev.-vap.
Poids des machines.	680 ton.
Espace occupé par la machine.	928 m. c.
Combustible brûlé en 24 heures	90 ton.
Poids réservé pour la cargaison.	400 ton.
Vitesse moyenne des traversées..	11 nœuds, 37

Le nœud correspond à un mille, soit 1,851 mètres, 11 nœuds 37 donnent donc 21 kilomètres par heure.

Le *Persia* a un tonnage de 3,500 tonneaux, sa machine à action directe, dont les cylindres sont placés sous l'arbre des roues, est d'une très-grande puissance, et a fait parcourir 13 nœuds, soit 24 kilomètres à l'heure, de vitesse moyenne sur des traversées totales, qu'il ne faut pas confondre avec des vitesses d'essai en eau calme. Ce résultat a été considéré comme très-remarquable, et la plupart des ingénieurs admettent qu'il approche beaucoup du maximum qu'il est possible d'atteindre avec les modes de construction adoptés jusqu'alors.

Navires à hélice.

Tout le monde s'est intéressé à la transformation de la marine militaire qu'est venue récemment accomplir l'adoption de l'hélice pour mouvoir les navires de guerre. Ne rien changer aux batteries des navires à voiles, garnir d'une ligne non interrompue de canons les flancs du navire, le faire mouvoir par des machines placées au-dessous de la flottaison, et par suite à l'abri du boulet de l'ennemi, amener rapidement au point voulu, faire évoluer facilement cette puissante machine de guerre, tel est le programme auquel les nouvelles constructions de navires à vapeur à hélice ont complétement satisfait. Il n'est pas besoin de dire quelle puissante machine de guerre est un semblable navire et combien il est impossible au navire à voiles, qui ne peut se mouvoir que lentement et manœuvrer qu'autant que le vent le permet, de venir lutter avec un adversaire qui lui est si supérieur. Les dernières guerres ont démontré victorieusement combien une semblable lutte était impossible, et qu'il n'y avait plus de marine militaire que pour les nations pouvant réaliser ces grandes constructions.

BATEAU A VAPEUR.

Nous emprunterons à M. Ch. Dupin quelques détails sur le *Napoléon*, qui a été le premier véritable et grand succès de ce genre de navire en France. La vitesse de ce puissant navire, dont nous avons déjà indiqué les dimensions et la puissance, a atteint 13 nœuds et demi, soit plus de 6 lieues par heure, c'est-à-dire est supérieure à celle de la plupart des steamers à grande vitesse. D'après les calculs primitifs, elle n'eût pas dû dépasser 11 nœuds pour un petit navire, résultat qui a bien démontré l'avantage des grandes constructions pour conserver de grandes vitesses à la mer, dont j'ai fait apprécier plus haut les motifs probables.

Le *Napoléon* a pu remorquer deux grands vaisseaux à voiles, dont un à trois ponts, en conservant une vitesse de 5 nœuds et demi.

Comment une escadre de navires à voiles pourrait-elle venir affronter les feux de semblables navires? Cela est évidemment impossible, et la transformation complète des flottes militaires, qui devront être composées exclusivement de navires à hélice, est une œuvre qui se poursuit chez toutes les nations maritimes. Il n'y a ni doute ni hésitation possible à cet égard.

Le grand défaut du *Napoléon* était dans le poids des engrenages de transmission du travail produit par deux énormes cylindres. Dans les dernières constructions, pour tous les navires cuirassés, on a adopté des machines à action directe, sans engrenages; on a multiplié les cylindres et augmenté les courses autant que le permettait la position transversale des machines, enfin donné à leur énorme piston des vitesses effrayantes. Ces types sont les plus perfectionnés qui aient été réalisés jusqu'ici pour les navires à hélice. Les ingénieurs de la marine donnent pour ces vaisseaux, pas peut-être dans la pratique courante, mais pour les épreuves de réception, des consommations de 2 kilogrammes de houille par cheval-vapeur réel, très-différent de la force nominale évaluée en général d'après les dimensions des cylindres, et en supposant que les choses se passent comme dans la machine de Watt, ce qui est bien loin d'être exact, surtout quand, comme dans le cas actuel, on emploie la moyenne pression.

Le commerce a construit nombre de navires à hélice. C'est surtout pour le parcours de distances assez limitées, quand des vitesses moyennes sont suffisantes pour le cabotage, le transport des marchandises à distance modérée, pour celui du charbon de terre notamment en Angleterre, que l'hélice a été employée avec grand succès.

Dans la nouvelle transformation de la flotte qui a fait adopter des navires cuirassés, ayant besoin de moteurs encore plus puissants pour mouvoir outre les poids des anciens navires à hélice, celui de cuirasses de 0,11 à 0,20 d'épaisseur, il a fallu construire des machines de très-grande puissance. La description donnée plus haut de la machine du *Friedland* marque le dernier progrès de ces constructions et montre aussi la grandeur des dimensions des machines auxquelles il faut arriver. Les vitesses ainsi obtenues sont fort belles, et si la consommation du charbon est telle qu'il semble que la solution qui consiste à employer des navires analogues pour les longues traversées soit peu satisfaisante à cause du poids énorme de charbon à emporter, la marche à la voile n'étant plus admise dans ce cas, la difficulté peut être levée par l'accroissement des dimensions et surtout de la longueur des bateaux, et par la finesse des formes. C'est le résultat

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'a obtenu Ch. Napier en construisant le *Pereire*, qui a fait des traversées de New-York en 9 jours.

On a remarqué, dans cette magnifique construction, d'abord la perfection des formes du navire, puis, pour diminuer le poids de la machine, l'emploi de la machine à pilon qui permet de réduire la longueur de l'arbre, et qui, étant disposée en hauteur, n'a plus besoin, à cause de ses dimensions, d'être placée vers le milieu du navire, comme celle de M. Dupuy de Lôme. Les qualités nautiques d'un bâtiment à hélice qui ne craint pas les tempêtes comme le bateau à roues, qui peut mieux utiliser sa voilure quand le vent est fort et favorable, paraissent en faire le bâtiment par excellence pour les grandes traversées.

Il ne faudrait pas cependant tirer d'un beau succès des conséquences exagérés, et croire qu'il est impossible d'arriver à des systèmes moins coûteux et donnant des vitesses plus grandes encore. Nous indiquerons ci-après une voie qui nous paraît pouvoir être tentée pour atteindre ce but, étant bien entendu que toute tentative de ce genre n'a de valeur qu'autant que l'ensemble de la construction sera fondu en un seul tout par un ingénieur capable, que tous les éléments concourront pour arriver au résultat cherché. Cette observation est surtout vraie pour les systèmes un peu complexes.

Remarquons que, malgré le succès des transatlantiques mus par l'hélice, on ne pense pas à généraliser l'emploi de ce moteur pour tous les services postaux; que pour la plupart des mers et des puissances motrices modérées, les bateaux à roues conservent la supériorité au point de vue des vitesses.

NAVIRES MIXTES

Dans lesquels la vapeur est l'auxiliaire de la voile.

Les bateaux mixtes sont aujourd'hui des bateaux à hélice, dans lesquels la propulsion par la vapeur ne joue qu'un rôle secondaire relativement à celui du vent qui gonfle les voiles, de manière à ne pas changer trop radicalement les prix de revient des transports. Dans cette combinaison, les machines étant petites, occupant peu de place et ne consommant que des quantités assez modérées de combustible, ces navires peuvent être supérieurs même aux simples navires à voiles, mus par un moteur entièrement gratuit pour certaines traversées, au point de vue de l'économie. Cela résulte du plus grand nombre de voyages qui peuvent être accomplis dans un même temps, d'où une grande économie sur les frais généraux afférents à chaque voyage; cette supériorité peut surtout se rencontrer pour des traversées de faible étendue, pour lesquelles la partie du tonnage à prendre pour le charbon est peu considérable, où le fret toujours en excédant permet d'éviter toute perte de temps, et lorsque la régularité d'un transport accéléré à départs réguliers constitue une véritable valeur commerciale.

On a vu à l'exposition les curieux modèles de Gache de Nantes, de Carlsund de Suède, à cylindres inclinés vers l'axe de l'hélice, machines à action directe, qui, se plaçant à l'extrémité arrière d'un navire, permettent de munir, sans sacrifier beaucoup de place, un navire à voiles d'une machine auxiliaire, qui assure la régularité de sa traversée. Malgré ce qu'il offre de séduisant, ce système se développe peu, non à cause des périls et de l'emplacement de la machine si heureusement réduits, mais à cause du poids et du prix du combustible. Le navire à voiles étant employé, par suite du bon marché du fret que permet la propulsion gratuite du vent, il est difficile de trouver, dans l'économie de quelques jours de traversée que produira la consommation du combustible embarqué, un profit correspondant à sa valeur. C'est au point de vue militaire que ces navires mixtes, c'est-à-dire munis d'hélices et de machines à vapeur de faible dimension relativement à leur tonnage, conservant d'ailleurs la puissante voilure des navires à voiles, paraîtraient d'une grande importance. On avait pensé un instant à transformer ainsi la majeure partie de nos anciens vaisseaux de ligne, mais les formes s'y prêtant mal, on n'a obtenu ainsi que de mauvaises constructions.

Le succès du *Napoléon*, en montrant que l'on pouvait réunir une puissante voilure à une grande puissance motrice de vapeur, surtout en plaçant très-bas la machine à hélice qui vient remplacer une partie du lest considérable nécessaire aux grands navires de guerre, a fait abandonner les vaisseaux mixtes, moins coûteux, mais constituant des machines bien moins puissantes et comme vitesse et quant aux effets terribles qu'ils peuvent produire par leur choc, élément nouveau et très-énergique de la puissance de destruction de ces grandes machines, qui n'a pas encore été appliqué dans toute l'étendue qu'il comporte.

Pour bien comprendre les insuccès de l'emploi de l'hélice auxiliaire dans la navigation du commerce, il faut remarquer que l'action de l'hélice ne s'ajoute pas à celle du vent lorsque celui-ci est trop faible pour produire la vitesse moyenne que l'on veut obtenir, mais en annule en partie l'effet en faisant marcher le bateau, si bien que la dépense du moteur mécanique procurant le plus souvent, et à grands frais, une vitesse à peine supérieure à celle gratuite du vent, le capitaine est toujours disposé à économiser un combustible qu'il brûlerait sans résultat sensible, et, le plus souvent, il accomplit ses traversées sans employer son hélice. Il n'en serait pas de même si l'on pouvait combiner un système à l'aide duquel la durée de la traversée fût sûrement réduite, en raison du combustible brûlé, de manière à obtenir l'accroissement de vitesse moyenne que l'on espérait gagner à l'aide de l'hélice auxiliaire. C'est ce qu'il ne me paraît pas du tout impossible de réaliser.

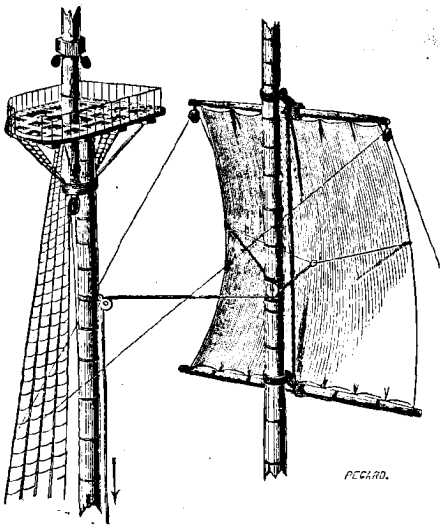
Navires mixtes sans autre appareil de propulsion que les voiles.

Il me semble que l'on pourrait étudier un système assez curieux pour aider à l'action du vent au moyen de la vapeur, et accroître la rapidité de la marche de ces admirables navires à voiles dits *clippers*, qui, dans certaines traversées, d'Angleterre en Australie notamment, sont parvenus à lutter de vitesse avec les bateaux à vapeur, tout en conservant une supériorité immense comme économie.

Si l'on considère une voile carrée, supportée par des vergues horizontales, dont les bords (rendus suffisamment rigides) soient assemblés en leur milieu par un cordage, qu'enfin celui-ci, ou plutôt une autre corde attachée à celle-ci en un point variable, en raison de la direction du vent par rapport à l'axe du bateau, vienne passer sur une poulie adaptée au mât placé en arrière de celui qui porte la voile (fig. 3422), on pourra, en exerçant une action sur l'extrémité de cette corde, par exemple en l'assemblant à l'extrémité de la tige du piston d'une pompe à vapeur à simple effet ou d'un balancier mû par elle, exercer une traction sur toute la voile. Pour cela, toutefois, il est nécessaire que l'assemblage des vergues avec le mât permette à la voile de s'écarter de celui-ci sans qu'elles se rapprochent l'une de l'autre, ce qu'on obtiendra facilement en plaçant les vergues à l'extrémité de charnières assemblées au mât par un collier, ce qui limite l'écartement de la voile par rapport au mât; et en forçant ces charnières à marcher ensemble en les réunissant par une barre qui, avec le mât, forme parallélogramme. A l'aide de ce mécanisme, le travail de propulsion dû à la voile sera considérablement augmenté. En effet, il est évident que par chaque coup de piston la voile sera attirée contre le vent,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que le navire sera halé à l'aide de la résistance qu'il offrira, ce qui produira une traction contre la poulie qui porte le cordage, puis le piston se relevant, sans dépense de vapeur, la voile s'élevant par l'effet du vent



3122.

viendra produire un choc impulsif sur le mât qui la porte et pousser le navire. Cet effet sera possible pour toutes les aires de vent en faisant varier le point du cordage attaché aux deux bords de la voile, à l'aide duquel on exerce une traction.

Soit V la vitesse du vent, donnant sur la surface A de la voile une pression KAV^2, K coefficient d'expérience dont les principales valeurs sont, d'après Poncelet, pour V, de 0 à 5m K=2,81 et V variant de 4 à 9m K=1,3574. Le travail que produira cette pression pour une vitesse W du navire sera KAV^2W par seconde. W étant en général très-petit, on voit que le travail est petit pour des navires lourds et pesamment chargés. C'est l'explication du grand succès des clippers qui obtiennent de belles vitesses, directement parce que leurs formes diminuent les résistances, et permettent de leur faire porter beaucoup de voiles, et indirectement parce que la vitesse plus grande, obtenue par cette diminution de résistance, augmente le travail moteur du vent. C'est ce même effet que produira le système que je propose. Ainsi, supposons que le mouvement de la pompe, analogue à une machine de Cornouailles, donne à la voile une vitesse moyenne de 1 mètre par seconde, celle du bateau étant également de 1 mètre, le travail que le vent transmettra à la voile, qui était KAV^2, deviendra $KAV^2 \times 2$, sera doublé, la voile agissant comme si elle refoulait le vent avec une vitesse égale à 2. Si le bateau ne se déplaçait pour ainsi dire pas, si l'on avait $W = 0,10$, les quantités respectives de travail seraient $KAV^2 \times 0,10$ et $KAV^2 \times 1,10$; ainsi, dans le cas le plus important, le travail serait décuplé; c'est dans ces cas que, par un mécanisme analogue à la cataracte, on augmenterait considérablement le travail en multipliant les oscillations de la voile pendant l'unité de temps. On agirait certainement ainsi d'une manière bien plus efficace dans ce cas qu'avec l'hélice auxiliaire.

La vitesse de la voile pour le maximum de travail utile produit par le vent ne correspondant nullement à la plus petite valeur, au contraire le travail étant nul pour une vitesse nulle, on voit que les mouvements alternatifs de la voile qui changent sa vitesse, non-seulement transformeront en impulsion le travail mécanique de la vapeur, lors de la traction, mais encore augmenteront la quantité de travail engendré par l'action du vent, notamment lorsque la voile s'élèvera librement, et l'utiliseront pour mouvoir le navire et surmonter les résistances qui s'opposent à son mouvement.

Si l'on remarque que la voile est un excellent moyen d'impulsion, que, en tout cas, dans ce système, dont on retrouve des analogies dans les manœuvres des bateaux-pêcheurs, le travail dépensé n'est qu'en raison de l'impulsion communiquée au navire, qu'il permet (et c'est là le point capital) avec un mécanisme simple, pouvant même être disposé pour utiliser au cabestan le travail d'un équipage nombreux, de naviguer avec des vents trop faibles pour produire une impulsion sensible, et par suite sans donner de travail moteur, il semble que ce système étudié par d'habiles praticiens pourrait avoir du succès. Déjà, sur de très-grands clippers, on a pensé à employer une machine à vapeur auxiliaire pour aider à l'exécution des grandes manœuvres, relever les gros cordages, hisser les grandes voiles, etc. Il faudrait aller au delà, augmenter l'action des vents faibles, pour que jamais, pour ainsi dire, ils ne soient soumis aux calmes qui seuls compromettent la vitesse de traversée de ces beaux navires.

Dans ces conditions, la diminution du temps des traversées étant toujours en raison du combustible brûlé, on voit qu'il y aura toujours avantage à consommer la quantité emportée dès que le vent faiblira, en faisant donner à la machine un nombre de coups de piston d'autant plus grand que la vitesse du vent sera moindre. On parviendra à établir ainsi, pour de longues traversées, des lignes de clippers qui effectueront leurs voyages avec une vitesse remarquable, une régularité et une économie très-grande par l'effet de la multiplication des voyages annuels de ces beaux mais dispendieux navires.

La difficulté est de réaliser cette disposition d'une manière acceptable par la pratique, notamment de ne pas compromettre la solidité des mâts qui auraient à résister à des efforts considérables en des points fort élevés. On y parviendrait par l'emploi des cordages ou tirants en fer, réunissant solidement les extrémités des mâts entre eux et avec la coque, sans détruire l'élasticité qui est une condition essentielle.

BATEAUX A ROUES ET A HÉLICES.

Projet de transatlantiques à très-grande vitesse.

Les roues à pales demeurent le moyen principal de propulsion des grands navires transatlantiques, c'est ce que nous avons cherché à établir par le raisonnement et l'expérience; l'hélice seule ne peut être appliquée qu'à grands frais pour les bateaux à grande vitesse parce qu'on ne peut, pour une résistance donnée, faire dépasser une certaine limite aux dimensions ou à la vitesse de l'hélice, sans voir croître rapidement les tourbillonnements, les entraînements circulaires de l'eau, en atteignant même plus tôt qu'avec les roues à pales les limites *maxima* de dimension et de vitesse au delà desquelles le travail moteur est dépensé presque inutilement; de telle sorte qu'en définitive la vitesse du navire sera moindre avec l'hélice qu'avec les roues, pour un même travail moteur.

Mais aussi il paraît évident que lorsqu'il s'agit de constructions nécessairement très-grandes, comme nous l'avons vu pour les transatlantiques avec lesquels on cherche, même au prix de grands sacrifices, à dépasser

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les limites ordinaires de vitesse acquises aujourd'hui en employant un des deux systèmes, lorsqu'on consomme un travail moteur considérable pour obtenir les derniers degrés de vitesse, pour atteindre les dernières limites du *maximum* possible, il y aurait avantage à joindre le travail d'une hélice à celui des roues, à y appliquer une partie du travail moteur engendré. On arrivernit ainsi à une réduction notable sur le temps total d'une traversée, tant parce que pendant la durée de celle-ci il y a, en général, toujours quelques jours de gros temps pendant lequel l'hélice travaillerait mieux que les roues, que surtout parce que l'action de ce propulseur, agissant dans les conditions de *maximum* d'effet utile, ne devrait être comparée qu'à celle produite par un accroissement de grandeur des pales, qui, au delà de certaines limites, devient tout à fait minime.

C'est M. Brunel qui, dans son immense navire construit dans le système tubulaire, a le premier réalisé la réunion des deux moyens de propulsion sur un même navire, et bien que l'expérience ne puisse donner de résultats bien probants, à cause de la grandeur inusitée des organes propulseurs, je suis convaincu que le célèbre ingénieur a vu parfaitement juste, en appréciant les avantages pour les navires de grande dimension à grande vitesse, de la réunion de ces deux propulseurs qui agissent, remarquons-le en passant, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du centre de gravité. Seulement si l'on considère comme propres à mouvoir l'hélice, seulement les machines lourdes et encombrantes comme celles du *Napoléon*, par exemple, il n'y a pas à songer à les réunir à celles d'un bateau à roues sans se rapprocher de la gigantesque construction de M. Brunel, sans sortir de toutes les limites habituelles, puisqu'on doublerait le poids des machines et des approvisionnements qui est déjà un *maximum* pour chaque système.

Persuadé que la réunion des deux propulseurs était le moyen de réaliser un très-grand progrès pour les transatlantiques, si on savait convenablement employer l'hélice qui, en dehors de son emploi isolé, n'a servi jusqu'ici que d'auxiliaire assez imparfait des voiles; qu'elle pouvait devenir un auxiliaire des roues; voyant ce progrès parfaitement mûr au moment où la France se décidait à créer des lignes postales, et pouvait par suite créer un matériel très-supérieur à tout ce qui existait, j'ai essayé de formuler le moyen de réaliser ce progrès dans une brochure à laquelle j'emprunterai la description de l'ensemble du système, dont j'ai déjà décrit les principaux éléments.

La puissance motrice principale est une machine à vapeur à action directe, à six cylindres inclinés montés sur un bâti triangulaire, alimentée de vapeur à la pression de deux atmosphères et demie. Les cylindres de $1^m,40$ de diamètre, 2 mètres de course et $1^m,40$ de vitesse, produiraient 1 tour en 3 secondes ou 20 tours par minute. Dans ces conditions, les six cylindres donneront pour une détente de deux fois le volume primitif de 1 mètre cube, soit 0,65 de hauteur admise, un travail d'environ 1,400 chevaux, avec une consommation de 12 mètres cubes de vapeur en 3 secondes, soit $4^k,44 \times 4 = 4^k,44$ par seconde et par heure 16,000 kilogrammes, qui exigeraient à raison de 1 kilog. de houille par 6 ou 7 kilog. de vapeur seulement, 2,500 kilog. environ, soit, pour 24 heures, 60 à 70 tonneaux de combustible.

On voit qu'un magnifique navire de 3,500 à 4,000 tonneaux, construit de formes convenables pour les grandes vitesses, aurait, par les améliorations apportées à la combustion et surtout par l'emploi de la détente, une consommation moindre avec une puissance motrice au moins égale à celle des plus grands steamers existants. On aurait donc déjà de ce fait la vitesse obtenue par les meilleurs transatlantiques.

Si, de plus, on fait passer la vapeur sortant des cylindres dans des condenseurs à surface métallique, établis ainsi que nous l'avons supposé précédemment, nous pourrons admettre que nous disposerons de ce fait de 7,000 à 8,000 kilog. d'eau pure. Or, d'après M. Poirée, une machine locomotive mixte du chemin de fer de Lyon, pesant 24 tonnes, a développé une puissance motrice de 250 chevaux en consommant 3,900 kilog. d'eau et 450 kilog. de houille. On pourrait donc alimenter d'eau une double locomotive donnant 500 chevaux de puissance motrice ne pesant que 48 tonnes et usant moins de 1,000 kilog. par heure.

C'est ce résultat que nous proposons d'obtenir en employant cette double locomotive placée à l'arrière du bâtiment, à faire tourner une hélice. En employant de l'eau pure, nous acquérons la possibilité d'utiliser au profit de la navigation tous les progrès qu'on a réalisés dans la construction de la locomotive, le chef-d'œuvre de la mécanique moderne, comme légèreté, puissance, économie. Pour cela il fallait la conserver tout entière, c'est-à-dire employer la pression élevée, le tirage par le jet de vapeur, la chaudière tubulaire, l'articulation directe des bielles à l'arbre de l'hélice.

La vitesse de rotation de l'hélice se prête tout à fait à cette application, surtout dans le cas actuel où elle doit être accrue de toute la vitesse que le bateau reçoit des roues, rapportée à l'hélice. C'est cet élément de vitesse, qui ne frappe pas à première vue, qui est la condition essentielle de succès de ce système, c'est ce qui rend impossible le renouvellement de l'insuccès, en tant que vitesse, des canonnières. Tandis que la grande résistance que celles-ci rencontrent dans le liquide, à cause de leurs formes, reproduit la condition de l'hélice appliquée à un navire ayant vent debout, c'est-à-dire fait qu'elle n'imprime qu'une impulsion insuffisante pour produire une grande vitesse, que tout le travail moteur est usé à mouvoir circulairement le cylindre d'eau dans lequel elle demeure sans produire de travail utile; ici, au contraire, l'hélice, toujours entraînée dans de nouvelles couches d'eau par l'action des roues, pouvant prendre une vitesse bien plus grande que celle des bateaux mus par l'hélice seule, est dans les meilleures conditions pour produire son *maximum* de travail. Nul doute que ce supplément si désirable de travail moteur, utilisé par un organe différent des roues et travaillant dans d'excellentes conditions, donnant de bien autres effets que le même travail utilisé au moyen d'un supplément de vitesse des roues ou de grandeur des pales, ne conduise à d'excellents résultats.

Une condition essentielle pour qu'un double propulseur soit appliqué à un bateau, sans inconvénient, c'est que la coque du bateau soit assez solide pour ne pas fatiguer par l'effet de cette double action. C'est à quoi on arrive par des constructions en fer, que le commerce préfère avec raison chaque jour davantage pour les grandes constructions, en appliquant des dispositions qui assurent une très-grande rigidité. C'est ce qu'on obtiendra avec des armatures intérieures en fer ou mieux encore par l'emploi de tôles croisées, comme sur les bateaux du Rhône, sans avoir recours, à cause de la dépense, à l'application si élégante du système tubulaire, inauguré sur mer par M. Brunel. Le prix élevé de semblables constructions est compensé par leur durée, car bien que les progrès de chaque jour tendent à faire abandonner rapidement les constructions navales qui datent de quelques années, nul doute qu'à mesure que l'on progressera, qu'on se rapprochera des limites qu'indique la théorie, les progrès seront moins radicaux et on profitera davantage de la solidité et de la durée des bonnes constructions.

Vitesse de ces bateaux. — Le travail de la résistance se compose de la valeur de celle-ci : $dKAV^2$ (A maître couple immergé, K coefficient de réduction en raison de la forme, d densité $= 1$ pour l'eau, V vitesse) mul-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tipliée par le chemin parcouru, or, en une seconde, le chemin parcouru est V, c'est-à-dire KAV^3 pour la vitesse V. Si donc deux bateaux sont sensiblement dans les mêmes conditions de formes et de dimensions, on pourra admettre la proportionnalité du travail moteur aux cubes des vitesses. Si l'on applique cette formule au système ci-dessus pour en apprécier les effets, comparativement aux constructions existantes, ce qui revient en réalité à supposer implicitement qu'il s'agit du même propulseur employé à utiliser le travail moteur, et par suite, sans tenir compte du principal avantage du système proposé qui consiste à employer deux propulseurs dans les conditions indiquées, qui ne rencontrent pas en même temps leurs limites de maximum d'effet, on aurait pour le moins, en comparant au *Persia*, de même grandeur à peu près et de 1,200 chevaux-vapeur de puissance, $13^3 : x :: 1200 : 1900$; d'où $x = 15$ nœuds, indépendamment de la meilleure utilisation de la force motrice.

C'est un semblable accroissement de vitesse qui est le but qu'on doit aujourd'hui se proposer d'atteindre dans ces constructions; je crois avoir indiqué le moyen d'y parvenir pour les transatlantiques sans une plus grande dépense journalière, par suite avec une très-grande économie sur les traversées totales qui s'effectueront en un moindre nombre de jours. Je souhaite que la pratique confirme ces indications et suis convaincu que cela aura lieu dès que les condenseurs à surface, employés déjà sur nombre de bateaux, seront considérés comme d'un emploi sûr et facile. Alors des chaudières à vaporisation rapide, des machines à haute pression et à grande vitesse de piston seront nécessairement préférées aux machines actuelles pour faire mouvoir les hélices, avec grande économie de poids et de dépense; c'est-à-dire qu'on sera amené tout naturellement à la combinaison dont nous nous sommes efforcés de montrer les avantages pour obtenir les plus grandes vitesses. Il est bien entendu que les navires de guerre ne sauraient abandonner l'emploi exclusif de l'hélice, puisque, grâce à l'accroissement considérable de la puissance, ils peuvent obtenir de grandes vitesses à l'aide de l'hélice seule mue très-rapidement, mais avec des approvisionnements de charbon limités.

OBSERVATION. L'étude précédente, faite lors de l'organisation des grands services transatlantiques en France, nous paraît devoir être conservée, non-seulement parce qu'elle indique bien la voie des progrès qui depuis ont été si utilement réalisés, savoir l'emploi du condenseur à surface pour alimenter à l'eau douce et par suite la possibilité de faire usage à la mer de machines à haute pression et à longue détente, à grande vitesse de piston, qui procurent une économie considérable de combustible; mais encore parce qu'elle indique une combinaison qui pourrait sans doute toujours fournir des vitesses très-grandes, supérieures à celles que l'on peut obtenir avec l'hélice seule. L'addition d'une sorte de locomotive actionnant une hélice, au grand navire à roues, était un vrai progrès, mais qui a perdu une partie de son importance devant les beaux résultats obtenus avec l'hélice seule, par le grand développement qu'on est parvenu à donner à la puissance motrice, et cela dans des conditions économiques, par une meilleure utilisation de la chaleur, voie de progrès où il y a encore à trouver des améliorations importantes.

D'ailleurs ici, comme dans toute question de technologie, intervient la question économique, qui a fixé le type du bateau transatlantique le plus parfait au point de vue de l'ensemble des conditions auxquelles il faut satisfaire. Or, sous le rapport du produit financier des traversées, c'est la place réservée au fret et aux passagers qui fournit des recettes, et un bateau encombré de machines, de chaudières et du charbon destiné à les alimenter, sans place pour loger une grande quantité de fret producteur de recettes, peut être comparé aux yacks de plaisance, c'est un objet de grand luxe, ce n'est pas un engin de commerce. Il faudrait faire payer la petite diminution de durée des traversées qu'il procurerait, un prix tel que les voyageurs seraient en bien petit nombre. C'est ce qui arriverait sans doute au bateau à doubles machines, à roues et à hélice, à moins qu'il n'atteignît des dimensions colossales comme celles du Great-Eastern, qui sort des possibilités pratiques et qui a coûté trop cher à ses constructeurs pour qu'on ait songé à l'imiter.

Par une succession d'heureux progrès, l'économie du combustible que l'on a pu obtenir par l'emploi de machines à longue détente, la diminution du poids de celles-ci qu'a permis de réaliser l'usage des hautes pressions à la mer et par suite de ces éléments, la puissance considérable qu'il a été possible de développer sur l'arbre de l'hélice par un seul système de machines de dimensions relativement modérées, les belles vitesses que l'on a pu obtenir avec des navires de grande capacité (ce qui a conduit même à allonger les premiers navires), a conduit à un type de transatlantique excellent, pouvant transporter une quantité considérable de marchandises, assurant, même avec un prix de transport modéré, des voyages très-fructueux pour les armateurs.

Les résultats obtenus ont été tels, que le navire à voiles a reculé devant les grands transports à vapeur, ce qui à l'origine de la navigation transatlantique eût paru absolument inadmissible, tout à fait impossible au point de vue économique. Le transport des marchandises par vastes navires à vapeur grandit chaque jour au grand profit des relations internationales.

BENZINE. La benzine est un liquide d'une grande mobilité, incolore, possédant une odeur assez agréable quand elle est pure. Sa densité est d'envion 0,85 à 15°. Elle forme une partie notable des huiles légères que la distillation sépare du goudron de houille, et se prépare par les procédés décrits à l'article GOUDRON. Elle se vaporise à 85°, s'évapore à l'air, c'est un hydrocarbure brûlant avec une flamme brillante et fuligineuse. L'odeur éthérée qu'elle répand rappelle celle du goudron; elle ne laisse aucun résidu après son évaporation.

Nous parlerons à l'article ESSENCES des composés qu'elle forme avec les acides et qui fournissent des produits assez analogues à plusieurs essences d'un prix élevé, pour pouvoir leur être substitués dans diverses applications industrielles. A l'article TEINTURE il est traité des riches couleurs que l'on prépare en partant de la benzine, qui apparaît comme le composé élémentaire le plus propre à la reproduction des matières colorantes.

La benzine, dissolvant les corps gras et résineux, est employée avec succès pour le dégraissage des tissus de toute espèce, sur lesquels elle n'exerce d'ailleurs aucune action décolorante ou autre. Les corps gras étant la base la plus ordinaire des taches faites sur les meubles, les vêtements, les gants, la benzine les fait parfaitement disparaître. Les corps à dégraisser agités *à sec* suivant l'expression consacrée, c'est-à-dire sans eau, dans la benzine, sont rapidement débarrassés des matières grasses qui les imprègnent. La benzine a sur les autres substances, qui pourraient être employées pour le même usage, l'avantage de ne laisser aucune trace sur l'étoffe, de ne pas se résinifier à l'air, comme le font la plupart des essences végétales, et de se volatiliser très-promptement.

BLANCHIMENT. Il a été traité en détail dans l'article consacré au blanchiment des procédés employés dans les usines pour les divers genres de tissus. Nous n'avons ici qu'à parler de quelques essais de modification des procédés usités, et surtout de la voie nouvelle que paraît devoir ouvrir la découverte de l'ozone

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BLANCHIMENT.

ou oxygène actif, dont on était habitué à utiliser les effets sans les analyser, dans le blanchiment des toiles sur le pré, pour l'intervention de l'oxygène de l'air et de l'eau.

La méthode nouvelle de blanchiment repose sur l'emploi de substances pouvant fournir de l'oxygène actif dans des conditions industrielles, et sur l'emploi de dissolvants ayant la propriété d'oxyder et de dissoudre la matière colorante des tissus, conditions analysées en détail à l'article BLANCHIMENT, et sur lesquelles nous n'avons pas à revenir.

Les agents d'oxydation reconnus les plus efficaces, les plus commodes pour fournir l'oxygène, sont: 1° l'acide permanganique produit par la décomposition des permanganates au moyen de l'acide hydrofluosilicique; 2° les permanganates alcalins additionnés de chlorures, de sulfates, de fluosilicates alcalino-terreux, capables de former des sels avec la base de l'acide permanganique, au moment même où cet acide décomposé par les fibres passe à l'état basique. On sait que les permanganates sont des oxydants énergiques des substances organiques, utilisés depuis longtemps dans ce but dans la chimie organique, mais qu'on n'avait pas encore cherché à produire économiquement et sur une grande échelle.

Considérons, par exemple, un bain de permanganate de soude, additionné de sulfate de magnésie: si on y plonge des fibres, fils ou tissus, ces fibres, fils ou tissus décomposeront l'acide permanganique du permanganate, par une action propre des fibres végétales sur ce composé peu stable, en s'emparant d'une partie de son oxygène dégagé à l'état naissant et qui les blanchira, en même temps qu'ils se recouvriront d'un mélange de sesquioxyde et de peroxyde de manganèse, et que mise à nu, la soude, réagissant encore sur le sulfate de magnésie se transformera en sulfate de soude et précipitera une quantité de magnésie équivalente.

Voici comment opère M. Tessié du Motay, inventeur de ce procédé:

Blanchiment des étoupes, des fils ou des tissus de coton, de chanvre ou de lin. On les dégorge d'abord dans de l'eau chaude; puis on les dégraisse dans une lessive alcaline. On les plonge ensuite dans un bain contenant en dissolution, soit de l'acide permanganique, soit du permanganate de soude additionné de sulfate de magnésie. Après cette immersion qui doit être prolongée pendant quinze minutes environ, on enlève les substances à blanchir et on les porte, soit dans les lessives alcalines, soit dans des bains contenant ou de l'acide sulfureux ou de l'acide azoto-sulfurique ou du peroxyde d'hydrogène. Dans le premier cas, les fibres, fils ou tissus sont chauffés à 100 degrés dans les lessives, pendant plusieurs heures, jusqu'à ce que les oxydes de manganèse qui les recouvrent soient en partie ou en totalité dissous. Dans le second cas, les matières à blanchir sont laissées dans les bains contenant ou de l'acide sulfureux, ou de l'acide azoto-sulfurique, ou de l'eau oxygénée, jusqu'au moment où la laque d'oxyde de manganèse qui les recouvre est dissoute en entier; après quoi, elles sont lavées puis replongées: 1° dans une dissolution d'acide permanganique ou de permanganate; 2° dans des lessives alcalines ou dans des dissolvants des oxydes de manganèse plus haut cités; et ainsi de suite jusqu'à complète décoloration.

Un bain de blanchiment contenant, selon la nature des fibres, fils ou tissus à décolorer, de 2 à 6 kilogrammes de permanganate de soude, suffit pour blanchir complétement 100 kilogrammes de coton, de chanvre ou de lin filés ou tissés.

BLANCHIMENT AU CHLORURE DE CHAUX. — *Procédé F. Didot.* On sait que le chlorure de chaux pris isolément n'a aucune action sur les fibres des chiffons ainsi que des étoffes, et que, pour que son action ait lieu, il faut faire intervenir un agent capable d'opérer sa décomposition. Que l'on mette, en effet, dans un flacon hermétiquement bouché, du chlorure de chaux avec de la teinture de tournesol, cette teinture n'est nullement décolorée. Mais vient-on à laisser pénétrer de l'air dans ce flacon, la décoloration s'opère, du chlorure de chaux se trouvant alors décomposé par l'acide carbonique contenu dans l'air. Il y a alors formation d'acide hypochloreux, et c'est ce dernier qui, cédant d'une part son oxygène à l'hydrogène des matières colorantes pour former un équivalent d'eau, et, d'une autre part, unissant son équivalent de chlore à un second équivalent d'hydrogène des matières colorantes pour former de l'acide chlorhydrique, opère ainsi leur blanchiment.

Le blanchiment au *chlore liquide* s'exécutant toujours dans des vaisseaux ouverts, il en résulte que la décomposition du chlorure de chaux n'est due le plus ordinairement qu'à l'action de l'acide carbonique contenu dans l'air. Mais la décomposition du chlorure de chaux au contact de l'air ne s'exécute qu'avec une très-grande lenteur, car l'air ne contient *qu'un quatre dix-millième* d'acide carbonique: aussi est-on quelquefois obligé, pour hâter le blanchiment, de provoquer cette décomposition par l'intervention d'un acide énergique, le plus ordinairement par l'acide sulfurique. Or, ce moyen a des inconvénients très-fâcheux: d'abord, l'emploi de l'acide sulfurique, ou de tout autre acide, occasionne un surcroît de dépense; en outre, les appareils sont détériorés au bout de peu de temps, et, ce qui est plus grave, les chiffons ainsi traités perdent de leur force, leurs fibres étant affaiblies par ce traitement trop énergique.

« L'addition de l'acide sulfurique à la dissolution de chlorure de chaux, a dit Berthollet dans son *Traité sur la teinture*, tome I, p. 273, en augmente l'effet par la décomposition du chlorure de chaux; mais pour que cet effet soit assez considérable, il faut une quantité d'acide qui devient dangereuse. »

Pour obvier à ces inconvénients et arriver au même résultat de promptitude, la question était fort simple, mais cependant jusqu'à l'invention qui va être décrite, elle n'avait pas été résolue: il s'agissait de trouver un agent de décomposition ne produisant aucun effet fâcheux, et permettant d'exécuter le blanchiment avec une grande rapidité.

Le moyen le plus simple consistait à imiter, en l'accélérant, l'action de l'air, à augmenter la proportion de l'acide carbonique, agissant sur le chlorure de chaux, de l'acide qui, tout le monde le sait, est de tous les acides le moins énergique; dont l'action sur les fibres des chiffons est nulle.

Tel est le but de la disposition due à M. P. Firmin Didot. Un appareil semblable à celui que nous allons décrire fonctionne régulièrement depuis longtemps déjà. Les points de comparaison que nous pourrions établir entre ce nouveau mode de blanchiment et l'ancien sont trop nombreux pour que nous entreprenions ici de les énumérer; nous dirons seulement que, *théoriquement*, ce procédé doit effectuer le blanchiment des chiffons, ainsi que celui des étoffes, *deux cents quatre-vingt fois* plus vite que l'ancien. En effet, la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air n'est que de *un quatre dix-millième*, tandis que celle que contient la cheminée d'un foyer en combustion est, en moyenne, de *sept* pour cent.

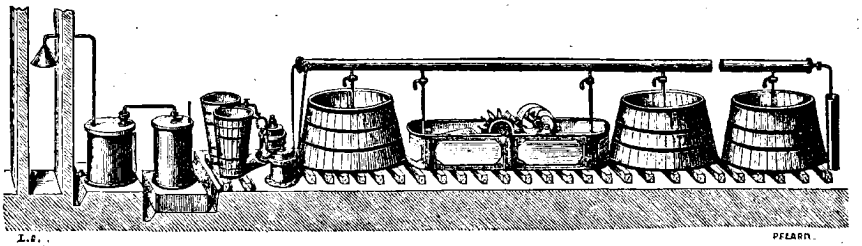
On a placé dans des appareils à blanchiment des chiffons de qualités identiques: une portion de ces appareils fonctionnait par l'ancien procédé, l'autre portion fonctionnait par le nouveau; les nombres obtenus sous le rapport de la rapidité du temps employé pour les opérations ont été de 1 à 5, de 1 à 7, et de 1 à 10. Quant à l'économie résultant de la suppression de l'a-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

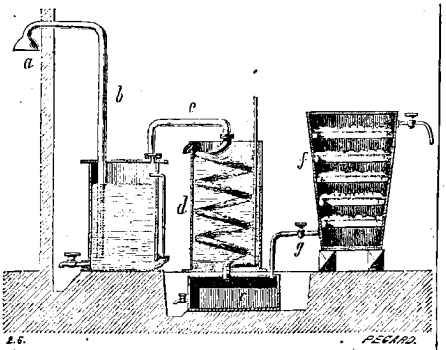
cide sulfurique et de la possibilité de blanchir rapidement une grande quantité de chiffons ou d'étoffes avec un nombre très-minime d'appareils à blanchiment, elle est des plus notables.

L'appareil, dont la figure 3423 représente l'ensemble et la figure 3424 les détails à l'entrée du gaz, est disposé et construit de la manière suivante :

Un tuyau *a* part d'un générateur quelconque, où l'on



3423.



3424.

veut puiser l'acide carbonique ; ainsi, par exemple, de la cheminée d'un foyer dont l'activité est constante, où il est puisé par une pompe aspirante très-simple ; ce tuyau plonge au fond d'un réservoir *b*, rempli d'eau en partie, faisant l'office de laveur, où le gaz se sature d'eau, qu'il soit chaud ou froid. Au moyen d'un tuyau *c* partant de la partie supérieure de ce laveur, le gaz passe dans un serpentin *d*, où il se refroidit, s'il est chaud.

L'extrémité inférieure du serpentin pénètre dans la partie supérieure d'une caisse fermée, munie d'un robinet de vidange ; la caisse est destinée à recevoir l'eau condensée dans le serpentin. — Le serpentin est dans un réfrigérant, au fond duquel arrive un courant d'eau froide par un tube ; — l'eau chaude s'écoule par un trop-plein. — La caisse fermée porte à sa partie supérieure un tuyau pour communiquer avec la partie inférieure d'un épurateur *f*. — Cet épurateur est un cône tronqué en bois ou en métal pourvu intérieurement de claies en osier ou de treillages en bois ou métal, espacées d'environ deux decimètres ; on le garnit de mousse, de laine, etc., humide, si on le juge nécessaire ; ou bien on remplace cette disposition par des cadres garnis de toiles, de feutres, etc., assez clairs pour laisser passer le gaz tout en retenant les poussières, etc. ; on les mouille aussi au besoin. De l'épurateur, le gaz passe dans un tuyau qui le porte dans les cuves où la matière à blanchir est mélangée au chlorure, dans une pile à papier par exemple, comme on le voit dans la figure 3424.

BORIQUE (ACIDE). Le plus important des usages de l'acide borique est la fabrication du borax, et, sous cette dernière forme, les arts céramiques en consomment une quantité considérable ; brut, il est, en effet, trop impur pour entrer directement dans la composition des glaçures auxquelles il communique des qualités précieuses, brillant et dureté ; cependant, l'acide borique entre en nature dans la préparation des couleurs vitrifiables destinées à la décoration de la porcelaine et des faïences ; mais ce dernier emploi n'enlève que des quantités inappréciables à côté de celles que consomme la fabrication des glaçures. En Angleterre surtout, le borax est l'objet d'une consommation considérable. En France, cette matière acquiert tous les jours une importance de plus en plus grande, ainsi qu'il résulte des données suivantes :

	QUANTITÉS IMPORTÉES.		QUANTITÉS EXPORTÉES.	
	Commerce général.	Commerce spécial.	Commerce général.	Commerce spécial.
	kil.	kil.	kil.	kil.
1846	109,920	109,683	3,513 *b*	973 *b*
1850	113,598	145,973	21,272 *b*	16,179 *b*
1851	115,014	134,597	3,582 *b*	1,815 *b*
1852	140,667	140,667	3,789 *b*	2,206 *b*
1853	146,809	146,809	2,532 *b*	350 *b*
1854	214,366	213,630	12,274 *a*	397 *a*
			3,802 *b*	1,459 *b*
1855	159,829	159,528	3,644 *a*	3,644 *a*
	200,921 *a*	198,458	7,531 *a*	3,401 *b*
1856	98,288	96,973	255 *b*	255 *a*
	158,503 *a*	158,469 *a*	20,514 *b*	5,913 *b*
1857	299,064	296,694	3,077 *a*	2,672 *a*
	115,350 *a*	90,643	12,906 *b*	9,333 *b*

Les nombres suivis de la lettre *a* s'appliquent au borax brut, ceux marqués de la lettre *b* représentent du borax raffiné.

On voit, en comparant les chiffres de l'importation au commerce général et spécial, qu'à partir de 1852 l'industrie française n'avait plus de réserve. Depuis cette époque, nos industries ont souffert du monopole que l'Angleterre exerce sur la production de la Toscane. Cependant cette source n'est pas la seule à laquelle on a recours pour obtenir les acides bruts ou le borax commun. On en reçoit du Pérou ; toutefois les quantités les plus importantes arrivent de l'Angleterre et de la Toscane. Le borax brut vient sur le marché français des Indes anglaises et du Chili. L'exportation se fait principalement en borax brut et borax raffiné pour les États de l'Association allemande, pour l'Espagne, les États Sardes et la Suisse. Mais elle porte plus particu-

EFÈRUS - Recherche & Classification numérique

lièrement sur des produits de fabrication étrangère, figurés au commerce général.

Le malaise commercial qui résulte de l'absence sur les marchés des acides boriques à des prix convenables, a dû conduire les manufacturiers à se préoccuper des moyens de remplacer ces produits sans nuire aux qualités de leurs marchandises. Le problème n'est peut-être pas insoluble.

L'acide phosphorique et les phosphates permettront sans doute d'arriver aux résultats cherchés dans le cas où l'acide borique viendrait à manquer. Certains silicates à plusieurs bases, peu plombeux, peut-être à base d'oxyde de zinc, cuisant à des températures élevées, formeraient aussi sans doute des glaçures convenables d'une dureté suffisante, d'un usage dépourvu de dangers.

Mais l'important pour le présent serait de régler les prix de l'acide borique, en créant sur le sol français une exploitation régulière, comme elle existe en Toscane. On sait que MM. Bouis et Filhol ont signalé tout récemment dans les eaux des Pyrénées et du Midi la présence de l'acide borique ; il est possible que de nouvelles recherches fassent découvrir des sources exploitables.

Je disais, il y a quelques années, qu'il était à désirer qu'on tirât parti des amas de borate de chaux, dont l'Amérique du Sud présente de grandes masses, contenant en moyenne 0,1344 de borate de soude, et 0,2635 de borate de chaux. Les borates sont intimement mêlés à des chlorures, iodures, bromures, et à des sulfates alcalins. En traitant ce mélange par l'acide chlorhydrique à chaud, on a de l'acide pur cristallisé ; en le traitant par le carbonate de soude, on a du borax ; en fondant le mélange brut avec des silicates alcalins ou plombeux, on a directement une glaçure convenable pour les diverses sortes de poteries.

Nous avons indiqué plus haut que l'acide phosphorique et les phosphates pourraient être substitués à l'acide borique et aux borates dans la fabrication des poteries. Ces matériaux pourraient être assurément aujourd'hui puisés à différentes sources.

On rencontre dans la nature un phosphate de chaux basique de même composition que le phosphate de chaux des os. On lui donne le nom de *phosphorite*.

Lorsqu'on traite par l'acide sulfurique la cendre d'os, on obtient un phosphate acide de chaux ; ce sel, soumis à l'action de la chaleur, se transforme en métaphosphate de chaux ; ce sel entrera certainement un jour comme fondant dans un grand nombre de composés céramiques.

On a signalé récemment dans le nord de la France, et particulièrement dans les départements de la Seine-Inférieure, de l'Oise, du Pas-de-Calais, du Nord, de l'Aisne, des Ardennes, de la Meuse, de la Marne, de la Haute-Marne, de l'Aube et de l'Yonne, l'existence de phosphates fossiles. Ces matières pourraient être avantageusement introduites dans les arts céramiques, comme elles le seront incessamment en agriculture.

Les gites se rencontrent à peu près à la surface du sol ; ils sont généralement formés par l'agglomération de nodules gros comme des œufs de poule, gris ou verdâtres, empâtés dans la craie sous forme de galets.

Lorsque la roche encaissante est solide, la chaux phosphatée s'y présente en nodules disséminés et empâtés dans la masse.

Lorsque la roche encaissante est meuble, la chaux phosphatée s'y présente indépendante et constitue sous cette forme des lits réguliers, dont l'épaisseur varie entre 10 et 35 centimètres.

En moyenne, la richesse en phosphate des nodules de la première catégorie varie entre 0,32 et 0,60 ; celle des nodules de la deuxième catégorie entre 0,46 et 0,65.

L'analyse faite sur les amas de phosphates trouvés

agglomérés dans la craie de l'arrondissement de Vouziers (Ardennes) a conduit sur trois échantillons aux résultats suivants :

Argile et silice.	25,66	30,00	35,7
Oxyde de fer.	traces	traces	traces
Chaux.	44,54	46,94	32,5
Acide phosphorique. . . .	12,12	12,72	22,0
Acide carbonique.	7,33	7,66	4,9
Eau et matières volatiles. .	10,33	»	4,9

Les phosphates de cette composition pourraient certainement entrer dans la préparation d'un grand nombre de glaçures qu'on applique sur les poteries, peut-être même sur les poteries fines.

Mais la solution du problème est peut-être plus proche encore qu'on ne le croit ; car, sans remplacer le borax, on peut l'emprunter à des matériaux moins coûteux que l'acide borique brut ou purifié.

Pour faire ressortir l'importance de la question, citons quelques chiffres. Le borax est surtout en Angleterre l'objet d'une consommation considérable. En évaluant à 1,500 tonnes la masse de borax employée dans l'année par le monde entier, 1,000 tonnes sont consommées dans le Staffordshire, dans l'Écosse et le reste de l'Angleterre ; le Staffordshire seul entre pour un chiffre de 666 tonnes dans cette consommation. La manufacture de M. Minton en écoule par an, dans les diverses glaçures des produits qu'elle fabrique, 10 à 12 tonnes, sans tenir compte des 4 tonnes de tinkal qui provient directement des Indes.

Le borax valait à Liverpool, en 1851, 1,750 francs la tonne, en 1857, 2,400 francs. Sa fabrication est monopolisée depuis plusieurs années entre les mains de M. Wood, de Liverpool.

Or les dépôts de borate de chaux qu'on exploite tant au Chili qu'au Pérou, peuvent modifier sous peu de temps ces conditions anormales. Une manufacture d'une certaine importance traite à Bordeaux ces amas boraciques, pour en retirer l'acide purifié ou pour les transformer en borax. D'autre part, on utilise directement en Angleterre le borate de chaux qu'on fait fondre avec les divers éléments de glaçures. Ce borate de chaux n'était connu qu'à l'état d'échantillon de collection, lorsqu'en 1851 l'Exposition universelle appela sur lui l'attention des hommes de progrès.

Un chimiste américain, nommé Hayes, l'avait découvert tout formé dans la nature, et les minéralogistes le désignaient sous le nom de hayessine. L'Amérique du Sud le livre maintenant au commerce européen. On l'extrait de la province Tarapaca du Pérou, très-près du port d'Iquique ; c'est un sel blanc qui se présente sous forme de cristaux soyeux et brillants, agglomérés en nodules irréguliers plus ou moins volumineux.

Le borate de chaux, à l'état de pureté, contiendrait :

Acide borique.	45,00
Chaux.	20,00
Eau.	35,00

Mais tous les échantillons sont loin de présenter la même richesse en acide borique ; les nodules sont en général composés de borates de chaux et de soude, de sulfates et de chlorures en proportions variables, souillés par des matières terreuses adhérentes à la surface des nodules et qui les pénètrent quelquefois. Quelques nodules ont empâté des cristaux de quartz. Voici les résultats que m'ont donnés les analyses de trois variétés de nodules :

Eau.	41,25	45,50	35,00
Acide borique.	12,11	30,18	34,74
Chaux.	16,32	11,00	15,78
Matières terreuses.	8,00	2,50	2,90
Acide sulfurique.	10,66	1,72	0,34
Soude correspondante. . . .	8,95	7,24	8,33
Chlore.	2,71	1,73	0,49

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sodium correspondant. . .	1,50	1,13	0,32
Iodures et bromures. . . .	»	»	»

Les iodures n'ont pas été dosés ; ils sont inégalement répartis à l'intérieur d'un même nodule. Ce gisement est voisin de celui des azotates de soude qui nous viennent maintenant en assez grande quantité du Pérou. Comme la tonne d'acide borique vaut, à l'état cristallisé, 1,875 francs, on comprend l'intérêt qu'il y aurait à faire usage de l'acide borique emprunté sans travail au borate de chaux. Cette matière est amenée de l'intérieur avec des mules ; elle est vendue à bord à raison de 300 francs la tonne. Le fret coûte, pour arriver en Europe, 87,5 la tonne. En ajoutant ces chiffres, on trouve que la valeur d'environ 300 kilog. d'acide cristallisé ne dépasserait pas 390 francs pris à bord. On emploie ce sel actuellement, sans autre préparation qu'un simple épluchage, dans plusieurs fabriques de l'Angleterre. Voici, d'après M. Nathan Hacney, comment on fait usage de ce composé pour remplacer le borax dans les glaçures : on le lave, puis on l'amène à l'état de poudre sèche ; on ajoute 0,25 de bicarbonate de soude, le tout est mélangé mécaniquement. Pour faire un vernis, on prend :

	I.	II.
Cornish stone.	45	45
Borate mêlé de soude.	75	50
Silex.	25	25
Craie.	9	9
Cristaux de soude.	15	5
On calcine, puis on ajoute :		
Céruse.	30	30
Oxyde de cobalt.	traces	traces
Oxyde d'étain.	4	4
Craie	»	9
Silex.	»	25

Ces chiffres donnent deux compositions limites.

J'ai fait moi-même pour le service de la Manufacture de Sèvres des glaçures au borate de chaux pour vernir des terres cuites, simplement en substituant le borate de chaux au borax que j'employais antérieurement. Il suffit, pour avoir une glaçure de bonne qualité, de fondre le mélange suivant :

Minium.	2000 kilog.
Sable.	1000
Borate de chaux. . . .	500

On coule la fonte dans l'eau, on la lave à l'eau bouillante, puis on la broie par décantation.

Cette glaçure admet en mélange toute espèce d'oxyde métallique pour la préparation des émaux colorés.

Les commerçants anglais comprennent tellement l'importance de ces exploitations, qu'ils ont tout fait jusqu'ici pour s'en rendre acquéreurs. La fermeté des gouvernements du Chili et du Pérou les a fait résister jusqu'à ce jour. La propriété n'a pas encore été transmise aux étrangers qui se la disputent. SALVÉTAT.

BOULETS TOURNANTS.—CANONS RAYÉS. Les améliorations apportées dans ces dernières années aux armes portatives, la précision du tir, la longue portée des armes carabinées, surtout avec l'emploi des balles allongées ayant la forme du solide de moindre résistance, appelaient des progrès semblables dans l'artillerie, dans les puissantes machines qu'elle traîne sur les champs de bataille, qu'elle conduit devant les places assiégées.

L'intérêt qu'a toujours excité en nous cette question nous ayant fait chercher à nous tenir au courant des divers essais qui ont été tentés, je pourrai publier ici un travail complet sans enfreindre les lois d'une juste discrétion imposée par l'importance de certains détails de construction, dont le secret constitue une véritable propriété nationale.

La supériorité du tir de l'artillerie sur celui des armes portatives réside dans ces conditions principales :

La portée ;

La précision ;

L'intensité des effets.

Les fusils et les carabines, par l'adoption des divers systèmes de balles allongées et de rayures de leurs canons, satisfont si bien aux deux premières, depuis quelques années, qu'il a semblé à beaucoup de militaires que l'artillerie avait perdu son ancienne prééminence. Mais l'artillerie n'avait pas attendu pour marcher dans la voie du progrès que l'exemple lui fût donné. Depuis longues années, elle travaillait en silence ; seulement le problème qu'elle avait à résoudre était bien autrement ardu ; les difficultés étaient bien plus grandes que pour les armes à feu.

Les procédés successivement proposés pour obtenir plus de portée et plus de justesse, pour les boulets comme pour les balles, peuvent être classés en trois catégories.

Dans la première, on cherche à supprimer le vent, c'est-à-dire l'espace laissé libre entre le projectile et l'âme de la pièce. On conçoit que le projectile d'un diamètre plus petit que celui de l'âme de la pièce sort non en glissant contre ses parois, mais par bonds successifs, ce qui est à la fois une cause de détérioration pour l'arme et d'incertitude pour le tir. Dans la carabine à balle forcée, au contraire, la balle sort en glissant, et c'est là précisément la cause de la supériorité de son tir sur celui de la balle roulante qui ricoche le long de l'âme du fusil. Mais on peut forcer une balle en plomb contre les parois en fer d'une carabine, comment forcer un projectile en fonte contre les parois en bronze d'un canon ? Nulle possibilité d'ailleurs de changer le métal du projectile, tant à cause du prix exagéré qu'atteindraient des approvisionnements en un métal plus cher que la fonte, que parce que la dureté de celle-ci est la condition essentielle de la pénétration des projectiles dans les corps durs, pour la destruction des fortifications notamment. Il en est de même pour la pièce de canon, comme nous l'avons dit à l'article BOUCHE A FEU. On voit de suite que sur cette première question les conditions du problème sont inverses : ici un projectile d'un métal plus malléable que celui de l'arme ; là, au contraire, un projectile rigide et une arme d'une détérioration très-facile. C'est là la grande difficulté du problème pour les bouches à feu.

Dans la deuxième catégorie, on change la forme du projectile, on l'allonge pour le rapprocher de la forme du solide de moindre résistance, ce qui permet de tirer un poids plus grand avec une âme d'une dimension et d'une résistance données, et l'on espère procurer au tir plus de justesse, en imprimant au projectile, ce qui est indispensable avec la forme allongée pour maintenir la direction, un mouvement de rotation autour de son grand axe.

Enfin, dans la troisième, on cherche à combiner les effets de la suppression du vent et de la rotation du projectile.

La rotation, condition essentielle de l'emploi de projectiles non sphériques, est imprimée par deux méthodes différentes.

La première consiste à engager dans des rainures faites en hélice dans l'âme de la pièce, des tenons en saillie sur la surface du projectile ; dans l'autre on utilise la pression des gaz soit contre des palettes posées sur une tige vissée à l'arrière du projectile, soit contre des évents pratiqués dans les projectiles mêmes.

Pour mieux faire comprendre l'application de ces différents procédés, nous citerons quelques-uns des plus récents qui en offrent chacun un exemple remarquable.

Nous dirons auparavant un mot d'un système tout particulier qui a été tenté en Angleterre pour des

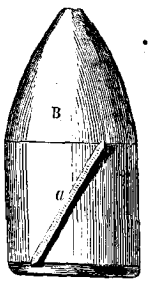
EFERUS - Recherche & Classification numérique

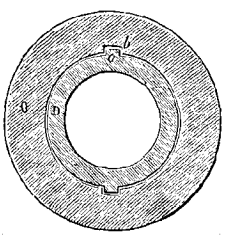
BOULETS.

canons en fonte qui ont un moment attiré l'attention publique. Je veux parler des canons Loicester, qui sont des canons en fonte à âme tordue. Le problème mécanique consistant à exécuter une âme semblable à l'aide d'un alésoir dont l'outil est guidé par un noyau central héliçoïdal, est évidemment soluble, et, en effet, l'exécution de ces canons a été fort bien réussie en Angleterre. Mais ce qui n'a pas réussi, c'est le canon même. Et d'abord il ne répondait qu'à une partie du problème; il ne comportait évidemment pas des projectiles allongés, ce qui est une condition essentielle de succès. Toutefois un mouvement de rotation autour de l'axe horizontal suffit pour accroître la justesse du tir dans une grande proportion, aussi les résultats des premières expériences avaient fait croire à un certain succès pour ce genre de canons; mais, comme on devait s'y attendre, le boulet rencontrant des parois inclinées a produit des effets destructeurs pour la pièce, pour peu surtout que le vent du projectile fût un peu notable. L'expérience a parfaitement prouvé qu'il n'y avait rien à faire dans cette voie.

Système Cavalli. — Le major Cavalli est un officier de l'armée sarde; il a l'honneur d'avoir le premier proposé un système assez pratique pour que son adoption ait eu lieu chez quelques puissances : en Sardaigne, par exemple, et en Angleterre pour l'artillerie de marine. Cet officier fut envoyé, en 1846, à Acker, en Suède, pour fabriquer et expérimenter des pièces de son invention, d'un gros calibre, destinées à remplacer les mortiers pour la défense des côtes. Son canon est en fonte, du calibre de 30; l'âme porte deux rainures en hélice du pas de 3m,75, le chargement a lieu par la culasse (fig. 3425 et 3426). Le projectile pèse 25 kilog., est cylindro-ogival et porte sur sa partie cylindrique deux ailettes (*a*) venues de fonte avec le projectile qui entrent dans les rainures (*b*) de la pièce. C'est, comme on voit, le système de la rotation sans le forcement. Les épreuves constatèrent de remarquables résultats; ainsi avec 3k,628 de poudre et sous un angle de 5°, les portées moyennes des boulets sphériques et des projectiles allongés sont à peu près les mêmes; mais sous l'angle de 10°, les seconds dépassent les premiers de 358 mètres, et de 700 sous l'angle de 15°.

3425.





3426.

Si l'on prend la charge de 4k,534, l'augmentation de portée commence avec l'angle de 5°; elle est alors de 100 mètres, puis de 600 mètres pour 10°, et enfin de 1,000 mètres pour 15°.

Enfin, avec la charge de 5 kilog. que l'on adopta, on obtient une portée moyenne de 5,000 mètres, tandis que le mortier de 32, avec une charge de 14 kilog., ne va que jusqu'à 4,000 mètres et avec une justesse incomparablement moindre. Ces travaux furent connus en France par les rapports du capitaine Lepage, que le gouvernement envoya successivement en Suède et en Angleterre pour assister aux diverses épreuves qui y furent faites. Le capitaine Lepage ne se contenta pas de ces simples renseignements, il proposa à son tour une pièce de même nature, mais en supprimant le chargement par la culasse, si évidemment défectueux. Des épreuves pleines d'intérêt en furent faites à Calais, en 1854, et servirent, avec les résultats obtenus à Gavres par la marine, à arrêter définitivement la pièce aujourd'hui adoptée pour l'armement des côtes, qui est une pièce en fonte à trois rainures, se chargeant par la gueule et appartenant à la deuxième catégorie, c'est-à-dire donnant la rotation sans forcement avec un projectile allongé.

Mais le problème était loin d'être résolu pour les pièces en bronze. On ne pouvait songer aux ailettes en fonte qui eussent mis les bouches à feu immédiatement hors de service en arrachant le bronze, puisque le rapport de dureté entre l'âme et le projectile est inverse de celui qui existe dans la carabine, où le projectile en plomb suit les rainures d'une âme en fer. De plus, il n'était pas prouvé qu'à des distances plus rapprochées, telles que celles demandées par le service de campagne, la justesse dans le système de rotation sans forcement fût supérieure à celle des projectiles sphériques.

Système de M. le lieutenant Gras. — En 1850, M. le lieutenant Gras proposa deux projectiles cylindro-ogivaux auxquels il proposait de donner un mouvement de rotation autour de leur grand axe, et cela sans faire subir à la pièce en bronze aucune modification, en employant la réaction des gaz passant dans des évents inclinés ménagés à l'intérieur ou dans des canaux pratiqués à la surface du projectile.

La rotation fut produite d'une manière assez satisfaisante, mais la trajectoire était très-irrégulière, et l'on fut conduit à admettre en principe que dans tout système de projectile allongé tournant autour de son axe, la condition de la suppression du vent ou du forcement était indispensable. En effet, si l'on considère la manière dont un projectile sphérique se comporte dans l'âme de la pièce au moment de l'expansion des gaz causée par l'inflammation de la poudre, on remarque d'abord une pression sur cette âme par la partie inférieure du projectile. Celui-ci se relève ensuite et parcourt l'âme de la pièce par bonds successifs; c'est ce qu'on appelle les battements, cause principale des irrégularités du tir qui croissent avec la forme allongée du projectile et qui ne sont en rien diminuées par la rotation insuffisante produite par l'expansion des gaz. D'autres systèmes destinés de même à produire la rotation sans forcement n'ont pas eu des résultats plus satisfaisants.

Système Burnier. — La même cause amena le même résultat et vint confirmer la même conclusion pour ce système, qui était un pas important vers la solution de la question.

L'auteur proposait de creuser dans l'âme de la pièce trois rainures héliçoïdales. Dans ces rainures s'engageaient des boutons en cuivre qui faisaient saillie sur le projectile où ils étaient fixés dans un plan passant par son centre de gravité.

Les résultats furent bien autrement constants qu'avec le projectile précédent, mais toujours avec une trop grande incertitude dans la trajectoire.

Cependant la question venait de faire un pas, le tenon en cuivre n'endommageait pas d'une manière sensible la rainure pratiquée dans l'âme en bronze de la pièce, et dès lors on pouvait espérer pouvoir appliquer à l'artillerie de campagne le système Cavalli, par l'interposition, entre le bronze de la pièce et la fonte du projectile, d'un métal qui n'eût pas les effets destructeurs du second.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous n'entrerons pas dans les détails des quelques essais faits pour opérer le forcement par des sabots métalliques, susceptibles de s'écraser par l'effet de l'explosion. Ce culot, presque toujours brisé dans l'intérieur de la pièce, était projeté à petite distance et par suite d'un emploi dangereux. Cela n'était pas admissible.

Système du capitaine Tamisier. — Nous arrivons enfin au système qui donna la solution du problème si longtemps et si vainement cherché.

L'expérience avait démontré que toute modification apportée au projectile, sans rayer la pièce, ne pouvait réussir. L'axe de plus grande stabilité étant fort différent de l'axe de symétrie dans les projectiles allongés, dans une position donnée, dès que la rotation commence à s'établir autour de ce dernier axe, le projectile se présente plus ou moins de côté, les résistances extérieures croissent rapidement et diminuent en même temps la portée et la justesse.

Il n'en est pas de même avec des projectiles allongés à ailettes tirés dans des armes rayées : la force de rotation est alors suffisante pour donner au projectile une direction normale ; cependant à sa sortie de l'âme de la pièce, il se présente encore dans des conditions assez variables pour influer d'une manière fâcheuse sur la constance de la trajectoire. De là une seconde condition imposée : le forcement.

Enfin on ne pouvait songer à employer dans des armes rayées, en bronze, des projectiles en fonte, garnis d'ailettes de même métal comme dans la pièce Cavalli. Autre problème à résoudre. Tous allaient recevoir pour la première fois une solution satisfaisante.

M. le capitaine Tamisier s'était beaucoup occupé du tir des carabines rayées, ce qui lui permit d'établir que les principes appliqués à ce tir devaient être les mêmes pour celui des canons rayés. Il se posa donc pour conditions.

I. Pour le canon :

Une âme rayée.

II. Pour le projectile :

1° La forme oblongue cylindro-conique ou cylindro-ogivale.

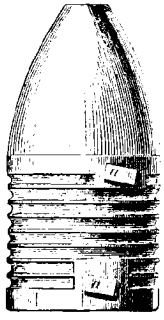
2° Le mouvement de rotation autour du grand axe.

3° Des résistances directrices pour corriger la dérivation dont nous parlerons tout à l'heure.

4° Enfin le forcement ou la suppression des battements.

Voici comment il satisfit à chacune de ces conditions.

La pièce choisie pour les expériences était une pièce de 6 ; elle reçut trois rayures en hélice, également espacées de 4 millim. de profondeur et de 22 millim. de largeur, dirigées de gauche à droite pour l'observateur qui regarde la partie supérieure de l'âme, en étant placé à la culasse de la pièce, de sorte que le projectile sort en tournant de gauche à droite.



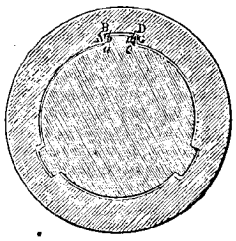
3427.

Le projectile était creux, cylindro-ogival, d'une hauteur double environ du diamètre de l'âme de la pièce, et pesant, chargé, à peu près deux fois le projectile sphérique ordinaire.

Sur la partie cylindrique du projectile, en haut et en bas, se trouvaient disposés deux à deux six tenons (fig. 3427), se raccordant exactement comme position, mais avec des dimensions un peu moindres avec les 3 rayures de la pièce. Ces tenons étaient en *zinc laminé*. Cette application du zinc, qui appartient en propre à M. Tamisier, est à elle seule la plus grande partie de la solution du problème, et, malgré nombre d'essais, on n'a pu s'en écarter.

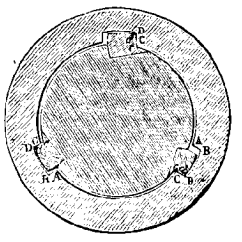
Dans le tir des projectiles allongés, on remarque qu'ils portent toujours dans le sens de leur rotation, c'est-à-dire que s'ils sortent de l'âme de la pièce en tournant de gauche à droite, ils porteront d'une manière fort sensible à droite, c'est ce qu'on appelle la dérivation. Pour corriger cette dérivation, des cannelures horizontales à arêtes vives furent pratiquées sur la partie cylindrique du projectile ; elles étaient au nombre de 7, avec une profondeur de $2^{mm},5$. Quant au forcement, M. Tamisier l'obtint par un moyen fort ingénieux, mais qui demande, pour être compris, quelques explications préalables.

La rotation est produite par la pression du tenon du projectile contre la rainure de l'âme de la pièce, celle-ci étant tracée en hélice entraîne dans sa direction le projectile. Ainsi, si la rotation est à droite, c'est-à-dire si le projectile doit sortir en tournant de gauche à droite, elle est produite par la pression du flanc gauche *ab* du tenon contre la face correspondante AB (*fig.* 3428) de la rainure. Nous donnerons à ces faces *ab*, AB le nom de *faces directrices du tir*.



3428.

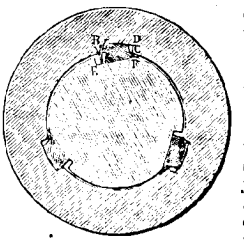
Lorsqu'au contraire le projectile entre dans la pièce, la rotation se fait par la pression des deux faces opposées *cd*, CD. Nous appellerons ces faces : *faces directrices du chargement*.



3429.

Ceci posé, examinons le tenon de M. Tamisier (fig. 3429). Le tenon en zinc laminé était mobile, entrant dans un encastrement, et glissant sur un plan EF perpendiculaire au rayon passant par l'extrémité A.

Dans le chargement, la pression des deux faces *cd*, CD ne produit aucun déplacement du tenon ; mais dès que le projectile se met en marche, chassé par l'expansion des gaz, la pression des deux faces *ab*, AB, directrices du tir, fait glisser le tenon sur le plan EF (fig. 3430). La saillie du tenon sur le projectile augmente alors, et son sommet vient butter contre le fond de la rainure. Il y a donc suppression du vent dans le fond des trois rainures ; les battements sont annulés et le projectile, dont l'axe se confond sensiblement avec celui de la pièce, se trouve forcé.



3430.

Il était difficile de trouver une solution plus ingénieuse. Employer des tenons rapportés en zinc et leur faire produire le forcement, c'était résoudre complète-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment le problème de la manière la plus heureuse et la plus nouvelle. Deux commissions, dont M. Tamisier faisait partie, examinèrent le système à Vincennes, en 1850 et 1851, et demandèrent la continuation des épreuves qu'elles déclarèrent satisfaisantes; malheureusement M. Tamisier, cédant à d'honorables scrupules, crut devoir, après le coup d'État du 2 décembre, donner sa démission, et se vit forcé d'abandonner ainsi à d'autres le soin des perfectionnements qui devaient rendre pratique son œuvre. La gloire de la solution trouvée ne lui en appartient pas moins tout entière, et ses camarades n'ont jamais cherché à la lui contester.

En 1853, la question fut reprise à La Fère, au point où l'avait laissée M. Tamisier, et fut soumise à une nouvelle commission, présidée par M. le général Larchey.

La commission, à la fin de ses travaux, résumait ainsi les observations qui donnent une idée complète de l'état où se trouvait la question des canons rayés en 1853.

1° Le chargement se fait sans difficulté toutes les fois que le tenon est en place.

2° La mobilité du tenon à laquelle est dû le forcement, présente plusieurs graves inconvénients. Dans le transport, le tenon se déplace, ce qui rend le chargement impossible, souvent même il s'échappe de son encastrement; plusieurs ont été retrouvés au fond des coffres. Enfin la moitié au moins de ces tenons est lancée avec la force d'une balle, à droite et à gauche, à 20, 30 et 50 mètres en avant de la bouche de la pièce.

3° En arrivant au but, ou à la fin de leur portée, les projectiles se sont toujours présentés la pointe en avant.

4° La dérivation à droite n'est sensible que dans la 2e partie de la trajectoire; on peut n'en tenir aucun compte jusqu'à 1,000 mètres. Dans le tir, sous de grands angles, il est facile, vu sa constance, d'y remédier par le pointage.

5° La supériorité de la pièce de 6, tirant un projectile pesant 5 kilog., avec une charge de 850 grammes de poudre seulement sur la pièce de 12 de campagne ordinaire, tirant un projectile de 6 kilog. avec 2 kilog. de poudre pour charge, s'est toujours maintenue sous le rapport de la justesse et de la portée.

De 600 à 900 mètres le tir est au moins égal pour les deux pièces, à 900 mètres, celui de la pièce de 6 devient incontestablement supérieur; à 1,200 mètres, cette supériorité augmente; à 1,500 et à 1,800 mètres, le tir de la pièce de 12 est sans effet, celui de la pièce de 6 est encore efficace.

6° Les ricochets sont plus nombreux et plus rasants *dans le système rayé que dans l'ancien système roulant.*

7° Dans le tir, sous de grands angles, mêmes résultats quant à la portée; sous l'angle de 30°, l'obus de la pièce de 6 a donné une portée moyenne de 4,400 mètres. Dans les mêmes conditions, le boulet de la pièce de 12 n'en a obtenu qu'une de 3,100 sans aucune justesse.

8° Les fusées lisses en bois et en zinc ont été essayées sans succès, probablement à cause de la faiblesse du diamètre de l'œil, et par conséquent de celle de la surface d'adhésion des fusées à la paroi de l'œil.

9° L'affût de 6 n'a éprouvé aucune fatigue, quoique dans le tir, sous de grands angles, il ait été placé dans les conditions les plus défavorables.

Devant d'aussi remarquables résultats, la commission n'hésite pas à conclure qu'il est de la plus haute importance de continuer les expériences relatives aux bouches à feu rayées tirant avec des projectiles à tenons en zinc.

Que ces expériences doivent porter surtout :

1° Sur la possibilité de substituer un tenon fixe au tenon mobile;

2° Sur toute autre méthode qui tendrait à rendre le chargement plus facile dans toutes les circonstances du service de guerre, soit de jour, soit de nuit;

3° Sur les moyens d'adapter à l'obus une fusée, soit en taraudant l'œil, soit en augmentant son diamètre;

4° Sur la meilleure forme à donner au projectile, en considérant l'obus de M. Tamisier comme remplissant le mieux les conditions de justesse et de portée.

Une nouvelle commission, composée à peu près des mêmes membres et toujours présidée par M. le général Larchey, se réunit en 1854, et le ministre lui ayant laissé toute latitude pour faire tous les essais qu'elle jugerait convenables dans les voies qu'avait tracées le rapport de 1853, le capitaine de Chanal, qui en avait été l'auteur, soumit à son examen cinq propositions :

1° Égueuler la pièce par un chanfrein de 4 millim. et en même temps raccorder le culot du projectile avec sa partie cylindrique par un arc de cercle de 20 millim. de rayon. Le chargement devait alors se faire avec la même facilité que pour les projectiles sphériques;

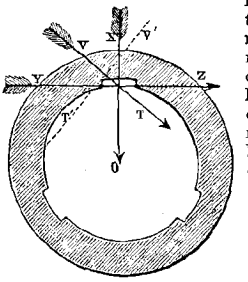
2° Agrandir l'œil de l'obus de manière à se servir de la fusée de 24 ordinaire;

3° Supprimer comme inutiles les rayures horizontales des projectiles destinés à procurer les résistances directrices;

4° Enfin remplacer le tenon mobile par un tenon fixe, mais en modifiant la forme de la rainure de la pièce;

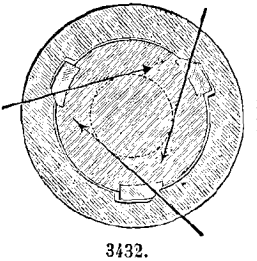
5° Remplacer, par suite de ce changement d'action du tenon, le zinc laminé de M. Tamisier par du zinc fondu.

La quatrième proposition, qui était la principale et ne tendait à rien moins qu'à entraîner la commission dans l'examen d'un nouveau système, fut celle qui souleva le plus d'objections. Elle ne fut admise que grâce au général Larchey, qui comprit de suite que là résidait la solution définitive des canons rayés. Il importe de bien faire comprendre en quoi elle consistait.



3431.

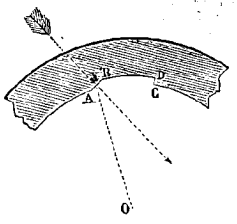
On se rappelle ce que nous avons appelé faces directrices du tir, faces directrices du chargement. Lorsque le projectile Tamisier est en marche dans l'intérieur de l'âme de la pièce, il tourne en vertu de la pression de la face directrice du tir de la rainure contre la face directrice du tenon, cette pression est représentée par une perpendiculaire YZ à la direction de ces deux faces (fig. 3431). Le forcement s'opère par la pression du sommet du tenon contre le fond de la rainure. Cette seconde pression est représentée par une normale OX à la surface interne de l'âme. Or si l'on compose ces deux lignes OX, YZ, la force TV ou la résultante donnera à la fois et la rotation et le forcement. En abattant donc le chanfrein de la face directrice du tir de la rainure (fig. 3432), suivant une ligne TV perpen-


3432.

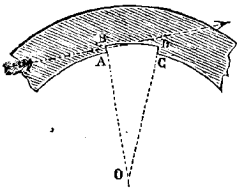
EFERUS - Recherche & Classification numérique

diculaire à cette composante, cette nouvelle face donnera la pression cherchée, pression qui produira et la rotation et le forcement.

On peut encore se rendre compte autrement de la réalité de ce résultat : soit une pièce dont la rainure ait ses deux faces directrices du tir et du chargement construites suivant le prolongement des rayons de l'âme (fig. 3433), AB est la face directrice du tir, et le tenon ne peut que s'appuyer contre elle en suivant l'hélice de la rainure, il y a alors rotation sans forcement. Soit, au contraire, cette face directrice AB (fig. 3434) inclinée, la coupe longitudinale montrera l'inclinaison de la face produisant une véritable modification de l'âme devenue d'un rayon variable OB, OX, OA, en sorte que l'on peut dire que c'est le plan incliné du projectile Tamisier sur lequel glissait le tenon qui se trouve transporté sur la pièce et que le forcement est obtenu par des moyens exactement inverses. Dans le cas du tenon mobile, le forcement était produit par un projectile, d'un rayon variable tendant sans cesse à s'accroître, glissant dans une âme d'un diamètre constant ; dans celui du tenon fixe, il est produit par un projectile d'un rayon constant, glissant dans une âme dont le rayon variable tend sans cesse à diminuer.



3433.

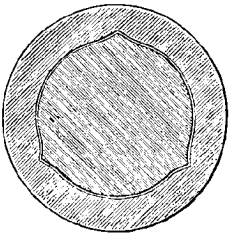


3434.

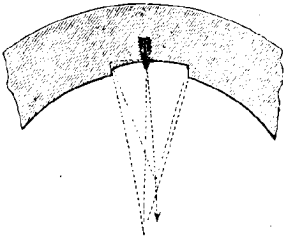
Cette dernière démonstration est peut-être moins saisissante que la première ; mais, outre qu'elle sert à la compléter, nous tenions à la produire parce que c'est en voulant, par une coupe de la pièce, se rendre compte de l'effet produit par la face directrice du tir de la rainure contre la face directrice du tir du tenon, que le capitaine de Chanal a trouvé la solution qui faisait l'objet de sa proposition.

Nous avons dit que la proposition avait été accueillie par maintes objections. Le capitaine de Chanal avait remarqué que lorsque les tenons du projectile Tamisier restaient en place ils prenaient l'empreinte de la rainure du canon; il prétendait donc que les tenons fixes viendraient se mouler pour ainsi dire sur le chanfrein abattu de sa nouvelle rainure et former de cette manière un ajustage parfait entre le projectile et la pièce. On répondait, au contraire, que la pression du nouveau flanc de la rainure serait telle qu'elle raserait complétement les tenons, et que si un mouvement de rotation était d'abord imprimé au projectile, ce dernier, privé de ses tenons, sortirait de la pièce sans être forcé comme le projectile Cavalli.

A Paris, le capitaine Treuil de Beaulieu, chef de l'atelier de précision du dépôt central, disait que ces tenons rapportés après coup n'avaient rien de pratique, et il voulait faire substituer au projectile que la commission de La Fère avait adopté, un projectile en fonte qu'il avait, disait-il, inventé depuis deux ans (fig. 3435). On a voulu établir, au moyen de ce projectile, une question de priorité; ce ne peut être sérieusement, car l'insuffisance de ce système est par trop évidente. En effet, le projectile avait des tenons venus de fonte dont les deux flancs étaient tangents à sa partie cylindrique, et c'est à ce titre que l'inventeur réclamait pour lui la priorité de l'idée de la rainure à flanc incliné. Or ce projectile qui n'avait été l'objet d'aucune proposition, parfaitement inconnu à la commission de LaFère, était impossible. En inclinant également le flanc directeur du chargement et le flanc directeur du tir, son auteur prouvait qu'il s'était rendu un compte fort peu exact du rôle que devait jouer cette inclinaison. Le projectile avec ses tenons en fonte aurait en dix coups mis la pièce en bronze hors de service. — Mais, disait M. Treuil, il n'y a pas de frottement plus doux que celui du fer sur le cuivre. — Il ne s'agit pas seulement du frottement, lui répondait-on, mais d'abord au départ d'un choc et ensuite d'une énorme pression pendant tout le parcours de l'âme de la pièce. — J'étamerai fortement mon tenon. — Votre étamage ne garantira pas suffisamment la pièce, et puis comment espérer faire venir de fonte un projectile tellement ajusté que les trois faces de ces tenons viennent s'appliquer sur les trois faces des rainures correspondantes, ajustage qui se fait aisément avec une précision parfaite quand on emploie le zinc de M. Tamisier?


3435.

Le seul système qui eût pu, au point de vue de la priorité, primer celui du capitaine de Chanal est le système de M. Didion, aujourd'hui général d'artillerie. Pendant les épreuves Tamisier, en 1850, le général Didion proposa et essaya un système de rayure dont nous donnons le tracé. Le fond de la rayure donnait le forcement et en partie la rotation, il n'était plus concentrique avec l'âme de la pièce, mais incliné vers la face directrice du tir. Celle-ci se trouvait réduite à un simple arrêtoir de 2 millimètres (fig. 3436). Quant au projectile, au lieu de deux tenons, il n'avait par rayure, comme le projectile Cavalli, qu'une ailette qui occupait toute la hauteur de sa partie cylindrique. Ces ailettes étaient en métal d'imprimerie et fondues sur le projectile même. Il est évident que si les épreuves de ce système eussent été suivies avec attention, si la proposition de M. Didion eût rencontré le patronage intelligent d'un homme comme le général Larchey, on serait très-probablement arrivé, avec quelques modifications qu'aurait apportées l'expérience, à la solution du capitaine de Chanal, et le problème de l'artillerie rayée aurait été résolu quatre ou cinq ans plus tôt, c'est-à-dire assez à temps pour recevoir son baptême de feu à la guerre d'Orient.


3436.

Grâce cependant à l'énergie et à la persévérance de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. le général Larchey, que l'on peut dans cette circonstance considérer comme le second père du système proposé, les expériences eurent lieu, et toutes les prévisions du capitaine de Chanal se vérifièrent.

Les tenons ne furent pas rasés. Le projectile sorti de la pièce sans aucun battement tournait autour de son grand axe, et avait gagné en justesse et en portée sur le projectile Tamisier.

L'arrondissement du raccordement du culot avec la partie cylindrique du projectile, destiné à faciliter le chargement, n'eut aucune influence sur le tir.

Il en fut de même de la suppression des résistances directrices ; enfin le zinc fondu put remplacer pour les tenons fixes le zinc laminé qu'exigeaient les tenons mobiles de M. Tamisier.

En 1855, une nouvelle commission s'assembla à Calais : on mit à sa disposition deux pièces de 16, tirant des projectiles de 15 kilog. Ces pièces et leurs projectiles étaient exactement construits d'après les principes dont l'application avait réussi à La Fère, c'est-à-dire que l'on allait continuer les épreuves du système Tamisier, modifié par le capitaine de Chanal, mais sur un gros calibre. On était alors au plus fort de la guerre de Crimée, et le siége de Sébastopol, ainsi que les projets d'attaque dans la mer Baltique, demandaient l'emploi des engins les plus puissants.

La même commission devait essayer en même temps deux pièces en fonte du système Cavalli, modifié par M. le commandant Lepage, modification qui, comme nous l'avons dit déjà, consistait à les charger par la bouche, tandis que la pièce primitive Cavalli se chargeait par la culasse. Ces pièces étaient des obusiers de 80, forés au calibre de 30, et tirant des projectiles pesant 50 kilog.

Les expériences démontrèrent que la modification de M. Lepage était possible. Le projectile se chargeait aussi facilement qu'un boulet sphérique, et le tir fut aussi satisfaisant que celui de la pièce Cavalli sous le rapport de la portée et de la justesse.

Les deux pièces en bronze de 16, système Tamisier modifié, donnèrent des résultats inattendus, même pour les esprits les plus prévenus en leur faveur.

Les tableaux suivants en sont le résumé, comparativement à ceux obtenus ordinairement par les pièces de même calibre à boulets sphériques. La pièce de 16 ordinaire, tirant un projectile de 8 kilog. avec $2^{kil},66$ de charge, a une portée de [1]

955 mètres pour une inclinaison de tir de. .	2°
1,230 mètres.	3°
1,460 mètres.	4°
2,020 mètres.	7°
3,100 mètres.	15°
4,000 mètres.	40°

La pièce de 16 rayée, tirant un projectile cylindro-ogival de 15 kilog. avec $2^{kil},50$ de charge, a une portée de

500 mètres pour un tir horizontal.	0
1,000 mètres pour un angle de tir de. . . .	1°,30
1,500 mètres	3°,00
2,000 mètres	4°,45
3,000 mètres	9°,10
4,000 mètres	14°
5,000 mètres	20°

Ainsi, pour obtenir un tir de 4,000 mètres, il faut mettre la pièce de 16 ordinaire sous l'angle de 40°, impossible dans la pratique habituelle de la guerre. On tire au contraire la pièce rayée facilement sous un angle de 20°, et l'on obtient une portée de 5,000 mètres.

[1] Ouvrage du général Piobert, page 130.

Quant à la justesse, le premier tir en a si peu que son appréciation à ces distances ne se trouve dans aucun ouvrage ; celle de la pièce rayée peut, au contraire, avoir de fort bons effets. Ainsi la comparaison des deux tirs, sous le rapport de la justesse, donne le tableau suivant [1] :

Distance.	16 ORDINAIRE. Moyenne des écarts.	16 RAYÉ. Moyenne des écarts.
1,000	2m,30	1m,23
1,500		1m,43
1,600	7m,20	
2,000	13m,00	1m,63
2,200	17m,20	
2,400	22m,00	
2,500		3m,00
4,000		5m,50
5,000		15m,29

Enfin, pour terminer ces comparaisons, le canon de 16 ordinaire, à 550 mètres, atteint une embrasure de batterie 14 fois sur 100, le canon de 16 rayé, à 1,000 mètres, donne le même résultat 40 fois sur 100. Quant à la dérivation, sa constance fut telle, qu'il fut possible de dresser une table des hausses horizontales et verticales depuis 1,000 jusqu'à 5,000 mètres, la hausse horizontale étant destinée à corriger complétement cette dérivation.

Les conclusions de la commission furent que le problème était résolu, qu'il n'y avait pas un moment à perdre pour transporter les épreuves sur le théâtre de la guerre. La commission demandait seulement, comme celle de La Fère, la suppression des rainures destinées à procurer des résistances horizontales, l'arrondissement du culot du projectile, et enfin un agrandissement de la chambre intérieure pour que le projectile pût contenir une plus grande quantité de poudre. Le capitaine de Chanal, devenu le major de Chanal, était encore rapporteur de la commission. Mais la commission n'avait pour président qu'un simple colonel, et son enthousiasme recevait à Paris encore des sourires d'incrédulité. Le rapporteur, le major de Chanal, se décida à porter directement sous les yeux de l'empereur les résultats obtenus à Calais. A cette époque, la guerre de Crimée préoccupait tous les esprits, et la cause des projectiles allongés, où leur rôle semblait devoir être si important, était si peu gagnée, que le président du comité de l'artillerie, M. le général Lahitte, voulait que l'armement de l'expédition de la Baltique se fît avec les canons rayés en fonte de la marine, canons expérimentés à Gavres, et qui donnaient des résultats à peu près semblables à ceux obtenus par le commandant Lepage à Calais, c'est-à-dire de la portée sans justesse, ne trouvant pas que les études sur les canons Tamisier modifiés fussent assez complètes.

L'empereur décida que l'armement de l'expédition qui devait avoir lieu dans la Baltique contiendrait 50 pièces de 24 rayées au nouveau système, et tirant des projectiles creux cylindro-ogivaux à tenons fixes, pesant 25 kilog. La commission s'assembla encore à Calais à la fin de 1855 et au commencement de 1856 ; une table de tir était dressée pour les nouvelles pièces, depuis 1,000 mètres jusqu'à 6,000 mètres.

Les rainures directrices horizontales étaient supprimées sur le projectile.

L'arrondissement du culot n'avait pas été adopté, mais la pièce avait été légèrement égueulée, ainsi que l'avait proposé M. le major de Chanal dans la commission de 1853.

Ces dernières expériences de Calais furent couronnées par un tir en brèche sur un ouvrage de fortification abandonné. Il fut alors démontré que ces nouveaux

[1] Ouvrage du général Piobert, page 137.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

projectiles agissaient sur les maçonneries à l'instar d'une fougasse, c'est-à-dire que, pénétrant et éclatant à la fois, ils formaient une chambre bien autrement formidable que l'entonnoir obtenu par des projectiles sphériques, et qu'on pouvait ainsi, à une distance infiniment plus grande que la distance du tir en brèche ordinaire, faire une brèche praticable avec moitié moins de coups, et par conséquent moitié moins de temps et de sang qu'avec les anciens boulets.

Depuis que l'empereur s'était prononcé, le plus vif enthousiasme avait succédé au doute et même quelquefois à l'ironie. L'empereur envoya au général vicomte de Lahitte le programme d'une pièce ayant le poids et le calibre de l'ancienne pièce de 1, et devant tirer des projectiles pesant 4 kilog.. C'était rentrer dans les véritables conditions du nouveau système, car, ainsi que le disait la commission de 1855 dans son rapport : Le système de l'artillerie rayée a sur celui des armes portatives analogues l'énorme avantage que son perfectionnement, loin de s'acheter par une augmentation de poids qui rend l'usage de ces dernières d'un succès douteux, s'opère au contraire par un allégement tel qu'on double au moins les effets sans toucher au poids de l'arme.

Une nouvelle commission fut assemblée à La Fère, pour la confection de cette pièce. Le major de Chanal, qui cependant n'avait demandé d'autre récompense que celle d'être attaché à tous les travaux qui se feraient sur le système Tamisier, qu'il avait si heureusement modifié, n'y fut pas appelé, et dut rester à son corps. Plusieurs changements furent encore apportés à la pièce et au projectile, mais aucun n'affecta l'essence même du système, qui resta tel que l'avait proposé la commission de La Fère, et expérimenté avec tant de succès celle de Calais, c'est-à-dire des rainures en hélice, dont la face directrice du tir est inclinée, rainures dans lesquelles entrent des tenons en zinc rapportés d'une manière fixe dans la partie cylindrique du projectile et que la force de l'expansion de la poudre vient ajuster contre le bronze de la pièce. Enfin le projectile a sa partie cylindrique lisse, étant définitivement admis que les rainures horizontales du système Tamisier ne produisaient aucun effet utile.

La commission de Calais avait demandé des études sur la position qu'occupaient les rainures au fond de la pièce; il n'était pas en effet indifférent pour l'équilibre du projectile que celui-ci, au moment de l'expansion des gaz de la poudre, reposât sur un tenon dans sa partie inférieure ou sur deux dans sa partie moyenne. La commission de La Fère, en adoptant six rainures et douze tenons, obvia à cet ordre d'inconvénients. De plus, elle fit rétrécir les rainures vers leur extrémité et l'ailette touchant les deux faces lorsque le projectile est en place, on évita ainsi un choc destructeur qui avait lieu lorsqu'il quitte, au moment de l'explosion, la face directrice du chargement pour s'appuyer sur la face directrice du tir. Ainsi faite la pièce est inusable et le tir encore amélioré.

La commission apporta encore un changement à la forme des tenons. Ceux-ci, dans les pièces de 6, de 16 et de 24, essayées à La Fère et à Calais, étaient carrés. Pour le tir de guerre, cette forme n'avait aucun inconvénient, mais pour le polygone où les projectiles doivent servir plusieurs fois et où par conséquent les vieux tenons doivent être remplacés par des neufs, il n'en est pas de même. En effet, le métal est refoulé dans sa mortaise et il est difficile de l'en arracher sans endommager celle-ci. La commission donna la forme ronde cylindrique à ses tenons; la mortaise peut alors facilement être vidée au moyen d'une mèche anglaise.

Un matériel complet, voitures, affût et caissons, fut exécuté pour les nouvelles pièces, et en 1857, au mois de mai, date qui sera mémorable dans les fastes de l'artillerie, une pièce rayée, tirant des projectiles cylindro-ogivaux à rotation et forcement, avec affût et caissons, fut présentée à l'empereur dans la cour du dépôt central de Saint-Thomas-d'Aquin; le programme tracé par Sa Majesté avait été rempli en moins d'un an.

Projectiles Armstrong, Krupp, etc. — Les projectiles à tenons adoptés avec grand succès en France ne constituent pas le seul système employé. En Angleterre notamment, on a pris une direction différente pour arriver à construire des bouches à feu lançant des boulets tournants à de très-grandes distances. Nous avons déjà décrit la fabrication des bouches à feu construites par Armstrong et Withworth, nous n'avons qu'à décrire ici les projectiles et les modes de chargement.

Système Armstrong. — Le chargement se fait par la culasse, à travers une ouverture cylindrique pratiquée au centre de celle-ci, et qui dans cette partie consiste en une très-forte vis. Une autre ouverture à section rectangulaire est ménagée dans la pièce à sa partie supérieure et descend jusqu'au delà de l'arête inférieure de l'âme. C'est par cette ouverture que l'on introduit de haut en bas une sorte de coin à poignée A, destiné à servir d'obturateur pour s'opposer à l'échappement des gaz. Cette pièce en fer présente antérieurement un tronc de cône en cuivre rouge, qui s'ajuste dans une portion creuse de même forme ménagée dans l'âme en arrière de la charge.

Lorsque l'obturateur est à sa place, on l'y serre fortement à l'aide de la vis de la culasse D, vis creuse de grand diamètre qui donne passage à la gargousse par son centre et qui applique le tronc de cône en cuivre dans le logement qui lui est réservé, comme on le voit par la coupe figure 3330, qui montre le vide pratiqué pour le

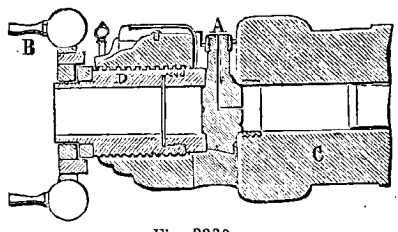


Fig. 3330.

passage de l'obturateur et comment il est serré par le contour extérieur de la grosse vis, mue à l'aide des poignées B. Cet obturateur se déforme assez vite et il faut le remplacer souvent pour éviter les fuites de gaz. Il faut d'ailleurs remarquer que pour peu que l'action des gaz fasse reculer cet obturateur, il en résulte qu'un passage annulaire plus ou moins grand leur est ouvert.

Les rayures, en grand nombre, de ce canon, sont analogues à celles qui étaient autrefois pratiquées dans les carabines à balles forcées, qui se chargeaient au maillet par la volée, ce que d'ailleurs il était naturel d'imiter, puisque le projectile est enveloppé de plomb coulé autour de la fonte, cannelée circulairement pour rendre le plomb le plus adhérent qu'il est possible. Ce projectile ayant un diamètre extérieur un peu plus grand que celui de l'âme, son enveloppe en plomb se force dans les rainures, et il est obligé de prendre le mouvement de rotation. Le peu de résistance du plomb a d'ailleurs obligé à multiplier les rayures autant qu'il a été possible.

Ce mode de direction par le forcement du plomb supprime le vent et offre certains avantages; la vitesse imprimée est plus grande, et l'absence du vent empêche, au moment de la sortie, le projectile de prendre un mouvement anormal. Il en résulte donc plus de vitesse,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus de portée et plus de justesse, toutes choses égales d'ailleurs.

Ces avantages sont compensés par des inconvénients nombreux. La fabrication des projectiles est délicate; il faut des précautions particulières pour que l'enveloppe de plomb se maintienne exactement pendant qu'elle est

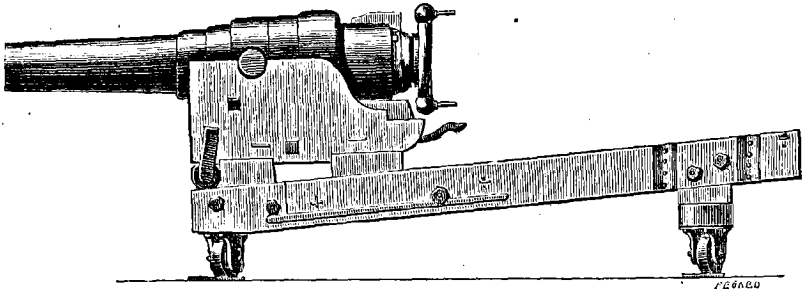


Fig. 3331.

entaillée, coupée par l'extrémité des filets saillants qui subsistent entre les rainures creuses; car si elle venait à se séparer, il n'y aurait plus de mouvement de rotation. La conservation de ces projectiles dans les transports, dans les parcs, dans les batteries, exige de grands soins et des précautions minutieuses, difficiles à prendre à la guerre. Le moindre choc peut déformer l'enveloppe et gêner l'introduction du projectile dans l'âme. Enfin elle peut s'arracher et devient dangereuse pour les troupes qui se servent de cette pièce que la fig. 3331 représente placée sur un affût de place.

La chaleur développée par les gaz de la poudre et l'échauffement de la pièce peut déterminer et paraît déterminer fréquemment la fusion d'une partie du plomb, qui alors encrasse les rayures et empêche le forcement complet. Aussi se croit-on obligé de laver la pièce après chaque coup de canon, d'abord, sans doute, pour la refroidir, et peut-être bien pour enlever la crasse de la poudre, qui peu à peu pourrait bientôt remplir les rayures peu profondes et nuire au forcement.

Système Withworth. Dans le système adopté par Withworth le mouvement de rotation des projectiles est obtenu au moyen de rayures à profil courbe, qui, au lieu d'être creuses, sont en saillie sur la partie cylindrique de l'âme. Ces sortes de filets, dont le pas est à peu près le double de la longueur de l'âme, n'ont pas le même profil aux deux bords; du côté où appuie le boulet, le contour a un rayon de courbure plus petit que de l'autre.

Le boulet, au lieu d'ailettes en saillie, présente des rayures hélicoïdes creuses, à profil courbe, faites à la machine, et qui au besoin peuvent être obtenues à la fonte. La rotation est ainsi obtenue, mais le forcement est seulement approché et cela au prix d'une fabrication très-parfaite des projectiles.

A l'aide de ces dispositions, le projectile peut être introduit dans l'âme à frottement libre, soit par la volée à la manière ordinaire, soit par la culasse. On a adopté, pour le service de terre, une forme ovoïde allongée dont la longueur peut atteindre deux à trois fois son diamètre; mais pour le service de la marine, et principalement pour obtenir le percement des plaques, la forme ovoïde est considérablement modifiée: les deux extrémités sont tronquées par un plan perpendiculaire à l'axe et offrent une section circulaire à contours à peu près vifs et d'un diamètre peu inférieur à celui de la pièce.

Les gargousses de M. Withworth, pour les pièces qui se chargent par la culasse, sont terminées par un culot en fer-blanc analogue à celui de cuivre ou de papier que l'on a depuis longtemps proposé et employé pour les armes portatives qui se chargent par la culasse, et qui, en s'ouvrant un peu sous l'action des gaz sert naturellement d'obturateur. Il convient d'ailleurs de faire de nouveau remarquer que ce système de culots expansifs utilise l'action du gaz de la poudre pour assurer l'obturation, et qu'il est en lui-même bien plus rationnel que celui des tampons tronconiques métalliques, qui, pour peu qu'ils cèdent à la pression des gaz, leur ouvrent une issue, ce qui effectivement arrive avec les obturations de S. Armstrong après un certain nombre de coups. On a reproché aux canons de M. Withworth la plus grande précision donnée à certaines parties et en particulier au projectile, qui n'a que très-peu de vent, ce qui, après quelques coups, doit occasionner des difficultés pour le chargement.

ARTILLERIE DE MARINE. Le système des projectiles à enveloppes de plomb a été adopté par divers fabricants renommés de bouches à feu se chargeant par la culasse, par Krupp notamment. En France, on est resté fidèle, avec grande raison, au système de tenons pour les puissantes pièces d'artillerie de nos navires, destinées à être employées contre les cuirasses, et qui, dans les conditions de leur emploi à bord des navires, doivent être chargées par la culasse. Comme nous l'avons dit à BOUCHES A FEU, le système de frettage en acier puddlé,

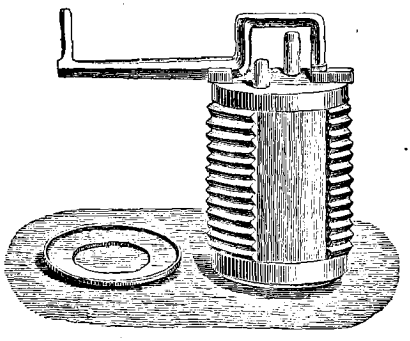


Fig. 3352.

pratiqué à chaud, a permis de les exécuter avec toute sécurité, en excellente fonte de fer au bois, et on a pu ainsi, dans des conditions acceptables par la pratique, penser à transformer l'artillerie de la marine de manière à balancer par son progrès dans l'offensive, le grand progrès fait dans la défensive par les cuirasses formées de plaques de fer de 0,15, qu'avaient rendues nécessaires les puissantes bouches à feu placées sur les navires, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

obusiers longs proposés par Paixhans, dès 1821, avec lesquels il montrait qu'on pouvait avec un seul projectile détruire le plus grand navire.

Sans vouloir ici décrire la fabrication de ces bouches à feu, nous donnerons le curieux système de fermeture, dû à l'Américain Castman (fig. 3332), qui est bien supérieur à celui d'Armstrong, n'affaiblit pas les parties de la bouche à feu qui ont besoin de la plus grande résistance. Nous devons en donner ici la description.

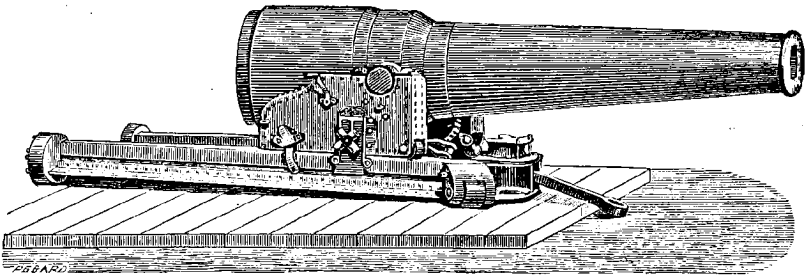


Fig. 3333.

Il consiste dans une forte vis qui répartit sur de nombreux filets la pression due à l'explosion de la poudre, semblablement au système employé pour communiquer à un navire la poussée de l'hélice, mais en supprimant l'inconvénient qui résulterait de la nécessité de détourner un grand nombre de tours. A cet effet, on divise la vis et l'écrou de la culasse en six sections égales : trois dans lesquelles les pas de la vis sont enlevés alternativement avec les parties conservées. Lorsqu'on veut enfoncer le bouchon de culasse dans la pièce, on le présente de manière que les parties filetées conservées se trouvent en face des parties devenues lisses dans le canon, et réciproquement; un faible effort enfonce le bouchon supporté par une forte charnière, et lorsqu'il est à fond, on n'a qu'à lui faire décrire un sixième de tour pour faire reposer, l'une sur l'autre, les deux parties filetées. Une longue manivelle indique cette rotation, et est maintenue par un verrou qui empêche un déplacement qui pourrait être produit par quelque vibration, et qui causerait des accidents d'une extrême gravité.

A l'extrémité extérieure du bouchon de culasse est fixée une rondelle porte-obturateur en acier; son centre est une saillie circulaire qui sert à placer et cintrer l'obturateur. Ce dernier, espèce de couronne de forme tronconique, dont les bords vont en s'amincissant, fait la fonction de culot dans la cartouche des fusils Lefaucheux, reçoit la pression des gaz, et, grâce à son élasticité, est dilaté et pressé sur les parties environnantes, de manière à empêcher tout passage des gaz. Fixé à la rondelle par un boulon à large tête, l'obturateur est facilement changé, ce qui rend nécessaire sa fréquente déformation ou sa rupture.

Le canon de 0m,20, rayé (fig. 3333), pesant 14,000 kilogr., que la figure représente placé sur son affût en fer et tôle, tire, avec une charge de 20 kilogr. de poudre, un boulet massif en acier, ogivo-cylindrique ou cylindrique, du poids de 144 kilogr. L'extrémité du projectile doit être plane pour ne pas entraîner de consommation de force vive par l'écrasement de sa pointe, quand il s'agit de traverser des cuirasses.

Ce canon pourrait être employé jusqu'à 2000 mètres contre des navires cuirassés, revêtus de plaques de 15 centimètres; mais son action très-efficace est limitée à 1000 mètres. A cette distance, il détruirait en un petit nombre de coups les plus fortes murailles construites jusqu'à ce jour. C'est, on le voit, une puissante machine de destruction, qui n'est pas encore de poids par trop considérable, pour les manœuvres sur un navire.

Matière des projectiles. Nous avons supposé, dans ce qui précède, que la matière du projectile est la fonte de fer, la substance par excellence par son bas prix et la facilité de l'amener par la fusion à la forme voulue. Toutefois la fonte ordinaire est trop cassante pour le tir contre les cuirasses, et l'effet du projectile qui se brise est annulé. Aussi on a fabriqué des projectiles en acier martelé, qu'il eut fallu adopter malgré leur prix élevé, si on n'arrivait à d'aussi bons résultats avec la fonte durcie par la trempe. Les plus surprenants ont été obtenus par Paliser qui a produit des projectiles en fonte durcie, bien supérieurs même à ceux en acier pour le tir contre des plaques de blindage.

Boulets percutants. — Toutes les fois qu'un projectile allongé se meut avec une rotation autour de son grand axe, qu'il atteint le but la pointe en avant, il est possible d'en faire un projectile percutant qui fait explosion en atteignant l'obstacle contre lequel il est lancé. C'est surtout au point de vue de la guerre maritime que ces projectiles ont été essayés; on comprend l'effet destructeur d'un projectile creux qui ferait explosion au moment où il traverse la paroi d'un vaisseau.

M. Devisme, armurier de Paris, a proposé une disposition de ce genre pour des projectiles creux qu'on peut lancer avec ses grosses carabines. Nous donnerons une idée du système qui lui a réussi malgré la difficulté de loger le système percutant dans un projectile de petit volume (c'est toujours dans des dispositions analogues à celles que nous allons décrire que reviennent celles adoptées); mais, répétons-le, elles ne sont possibles qu'autant qu'on résout d'abord complétement le problème de donner au projectile allongé une rotation autour de son axe.

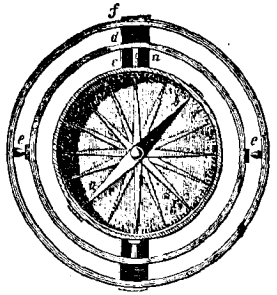
Dans l'axe du projectile on dispose une broche en fer d'un certain poids, qui est maintenue à frottement doux dans deux collets faisant partie du projectile et dans lesquels elle peut glisser par un choc brusque exercé dans le sens de la longueur. Ce choc sera l'effet produit par la rencontre du but, et par son inertie la broche exercera un effort considérable pour continuer son mouvement. Si donc on a disposé une capsule, une amorce fulminante, placée sur une partie solide, devant cette broche, celle-ci viendra percuter l'amorce et déterminer l'explosion de la poudre en contact avec elle.

Pour éviter les dangers auxquels pourrait exposer le maniement de semblables projectiles, on a adopté dans la marine un fil de plomb pour maintenir la broche. Ce fil est assez fort pour résister à une chute du projectile de 9 mètres de hauteur sur le pavé, ce qui met à l'abri de tout accident, sans que l'explosion manque jamais quand le boulet atteint son but.

Ceci devient inutile pour les énormes projectiles destinés à percer les blindages; au moment du choc, la production de chaleur est amplement suffisante pour enflammer la poudre placée dans leur intérieur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BOUSSOLE. Nous avons déjà parlé de la boussole dans ses applications au levé des plans où la direction constante qu'elle fournit facilite beaucoup le travail, pour le levé des mines souterraines notamment, et de son emploi pour la navigation où cette propriété d'indiquer la direction est si précieuse. Nous représentons fig. 3437 la disposition que l'on donne sur les navires



3437.

à la boussole. Elle offre ceci de particulier que, par l'effet d'une double suspension à angle droit des deux cercles qui la portent, d'un joint de Cardan, les mouvements du navire sont annulés, qu'elle reste horizontale et son axe vertical, qu'il ne se produit pas de frottements qui empêchent l'aiguille de conserver sa véritable direction.

La boussole se dirige vers le sud avec une intensité qui est en raison de la force du magnétisme terrestre, la terre agissant tout à fait comme le ferait un barreau aimantée. Elle peut donc servir à déterminer la composante horizontale du magnétisme en un lieu donné. A l'aide de la boussole dite *d'inclinaison* on peut, de même, en chaque lieu, déterminer la direction de la composante verticale. Elle se compose d'une aiguille aimantée traversée en son centre de gravité par un axe cylindrique en acier poli qui repose par ses deux extrémités sur des couteaux d'agate très-fine. Un cercle gradué, ayant même centre que la boussole, donne l'inclinaison du lieu comme la boussole horizontale donne la déclinaison avec le méridien du lieu ; seulement la première doit avoir son centre de gravité dans le méridien magnétique du lieu, déterminé à l'aide de la boussole horizontale.

On a dû souvent se demander pourquoi la boussole marine, le compas, comme l'appellent les marins, était formée d'une aiguille portant une chape par laquelle elle repose sur une pointe, et par suite était établie de manière à être à la mer dans un état perpétuel d'agitation fort préjudiciable aux observations.

M. Keller a indiqué l'origine de cette disposition traditionnelle dans l'emploi fait autrefois de la boussole pour déterminer les situations lunaires (méthode abandonnée à tort pour étudier les courants de marée), ce qui exigeait que l'axe de la boussole fût placé parallèlement à l'axe du monde, à ce que leur plan devint un plan équatorial.

A partir du moment où cette méthode fut vouée à l'oubli, on ne comprend pas, dit le savant ingénieur, que la tradition des roses ballottantes ait pu lui survivre, en présence des graves inconvénients qu'elles offrent aux navigateurs par leurs mouvements perpétuels. Cependant, rien n'était plus facile que de supprimer ces oscillations imprimées à la rose du compas par les mouvements incessants du navire. En effet, dès que la mobilité de la rose en tous sens n'était plus nécessaire, on était certain d'anéantir ses ballottements verticaux en maintenant son axe entre deux chapes fixes superposées. Par ce moyen, le plan de la rose étant devenu horizontal, il devenait inutile de contre-balancer l'effet de l'inclinaison magnétique par un poids placé sur la branche sud de l'aiguille aimantée. Or la position excentrique de ce contre-poids et son inertie l'empêchant de participer immédiatement aux changements de vitesse du centre de suspension entraîné par les mouvements du navire, évidemment ce contre-poids est la cause principale de l'agitation de la rose. Sa suppression assurerait la stabilité de la rose en même temps qu'elle dispenserait de la nécessité de déplacer le contre-poids sur la même branche de l'aiguille, d'une latitude à l'autre dans le même hémisphère, et d'une branche à l'autre en changeant d'hémisphère : or, pour réaliser ces avantages, il suffirait que l'axe de suspension de l'aiguille aimantée passât par son centre de gravité déterminé avant l'aimantation, comme pour les aiguilles d'inclinaison. Il ne resterait plus alors qu'à opposer un frottement à l'action de l'inclinaison magnétique pour l'empêcher d'agir sur la rose quand (le navire donnant de la bande) elle se trouve écartée notablement du plan horizontal malgré la suspension à la *Cardan ;* or ce frottement efficace pourrait être déterminé par un petit ressort maintenu par le poids de la rose, quand son axe est vertical, et qui entrerait en jeu lorsque, cet axe s'inclinant, le poids de la rose pèserait moins sur les ressorts que sur les colliers de l'axe. Dans ces conditions, le compas ne fonctionnant que dans le plan horizontal, sa rose serait exempte de toute oscillation accidentelle.

BRIQUES CREUSES. Une heureuse idée, reposant sur une extension des moyens d'agir sur les matières plastiques, est venue donner naissance à une importante industrie. Voici ce que dit, à cet égard, le rapporteur du Jury de la quatorzième classe, qui, à l'exposition universelle de 1855, a décerné à son auteur, M. Borie, la médaille d'honneur :

« On éprouvait depuis longtemps le besoin de matériaux en même temps solides, légers et susceptibles, par leur forme et par la disposition de leurs pleins et de leurs vides, de se juxtaposer et de se superposer convenablement et facilement, de se lier avec le moins possible de mortier ou de plâtre, de s'opposer à la propagation de l'humidité du sol, du froid ou du chaud extérieurs, des sons d'une localité à une autre, etc., c'est à quoi satisfont parfaitement et complétement les matériaux tubulaires ou briques creuses de M. Borie. Leurs dimensions variées sont convenablement appropriées aux différents besoins des constructions et judicieusement déterminées en fractions du système décimal. La terre en est bien choisie et habilement mise en œuvre à l'aide d'une machine ingénieuse et susceptible d'être appliquée à la fabrication des tuyaux de drainage et d'un grand nombre d'autres produits.

« Les briques creuses sont donc des matériaux en même temps nouveaux, habilement établis, parfaitement appropriés aux besoins des constructions de toutes sortes : ils sont, de plus, favorables à la solidité, à la commodité, à la salubrité des habitations ; enfin ils donnent lieu à des exportations assez considérables en divers pays. »

Il existe plusieurs espèces de briques creuses : les briques à grandes, à moyennes et à petites cavités ; ces dernières sont généralement préférées, car elles sont plus légères pour une même résistance, et n'admettent le mortier dans leur intérieur qu'en très-petites quantités. Quant aux formes et aux dimensions, il est facile de les modifier suivant les usages locaux et le besoin des circonstances ; toutefois on gagne à ne pas trop s'éloigner, sous ce double rapport, des types

EFERUS - Recherche & Classification numérique

admis généralement pour les briques pleines. Il ne faut pas perdre de vue, d'une part, que des formes compliquées, quoique d'une exécution relativement peu coûteuse, sont, en définitive, rarement pratiques; d'autre part, que rien n'est plus difficile que de faire sécher et cuire, sans non-valeurs nombreuses, de gros volumes de terre, tandis que les produits de petit échantillon supportent l'action de l'air et du feu sans pertes et presque sans aucun soin.

Les briques tubulaires étant un produit nouveau, il ne sera peut-être pas sans intérêt de mentionner quelques-unes des circonstances qui ont, en quelque sorte, favorisé leur introduction dans l'industrie du bâtiment. Les détails qui suivent, et que nous empruntons au *Bulletin de l'industrie minérale,* ont trait à une série d'expériences en grand faites à Paris, au mois de septembre 1852, par M. Eugène Flachat, ingénieur du chemin de fer de l'Ouest, avant de procéder à la construction en briques creuses des 8,000 mètres carrés environ d'arceaux surbaissés qui, aujourd'hui, soutiennent les salles d'attente de la gare de ce chemin.

Le projet était de faire pénétrer les voitures chargées de voyageurs dans la plus grande de ces salles, qui occupent toutes le premier étage de l'édifice, et c'est à cette considération, autant qu'à celle de la hardiesse du plan adopté, que sont dus les essais que nous allons relater.

Les arceaux appuient leur naissance à de fortes sablières de fonte supportées par des colonnes également en fonte; ils ont 5 mètres de portée, 0m,50 de flèche et 0m,22 d'épaisseur seulement. Cette épaisseur se compose de deux anneaux concentriques de briques doubles à seize cavités. Leurs longueurs, suivant les génératrices, sont variables.

Les essais eurent lieu sur deux fragments d'arceaux formés d'une double brique, chacun de 2 mètres de génératrice, et se trouvant, d'ailleurs, dans des conditions de portée, de flèche et d'épaisseur, identiques avec celles qui viennent d'être indiquées. Pour l'un des arceaux on se servit de plâtre; pour l'autre, de mortier ordinaire. Ils étaient construits depuis moins d'une semaine lorsque les expériences commencèrent. Les briques offraient l'apparence d'une cuisson médiocre.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

Arceau à joints de plâtre.

Charges.	Fléchissement.
27,000 kilog.	0m,025

Arceau à joints de mortier.

30,000 kilog.	0m,014

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Les arceaux furent déchargés. On enleva à chacun d'eux son anneau supérieur de briques, et désormais l'on opéra sur l'anneau inférieur épais de 0m,11.

Arceau à joints de plâtre.

Charges.	Fléchissement.
3,100 kilog.	0m,002
6,000 —	0m,004
10,000 —	0m,009
15,000 —	0m,017
20,000 —	0m,03

On transporta alors la charge entière sur l'un des côtés de l'arceau, qui, néanmoins, ne fit aucun mouvement. Enfin, la charge ayant été portée à 25,000 kilog., l'autre moitié de l'arceau se souleva et produisit écroulement.

Arceau à joints de mortier.

Charges.	Fléchissement.
5,000 kilog.	0m,005
9,500 —	0m,009
15,000 —	0m,015

BRIQUES CREUSES.

La charge ayant été, comme précédemment, portée sur l'un des reins et augmentée, l'arceau tomba sous 17,800 kilog.

Ces chiffres de résistance ayant paru plus que satisfaisants, on procéda de suite aux travaux qui avaient motivé les essais.

Pendant plusieurs mois, la grande salle d'attente a reçu, en effet, toutes sortes de voitures chargées de voyageurs. Aujourd'hui les piétons seulement y sont admis, afin d'éviter le renouvellement des accidents auxquels l'encombrement des véhicules mêlés à la foule avait donné lieu.

Ces faits parlent en faveur des briques creuses et démontrent suffisamment leur résistance à l'écrasement. Quant à leur légèreté, si précieuse dans le cas des cloisons, murs, voûtes, que l'on est souvent obligé de construire en porte-à-faux, et dans celui des exhaussements de maisons, voici un exemple du parti qu'on en peut tirer; il s'agit d'un fait qui s'est passé à Paris, à l'occasion du pont de l'Alma. Ce pont, qui franchit la Seine sur trois arches de pierre à grande portée, subit, aussitôt achevé, un affaissement notable qui donna des craintes sérieuses sur sa solidité. On se hâta d'enlever la chaussée dont il était déjà recouvert, de décharger ses tympans, de consolider celui des piliers qui était la cause du mouvement produit, et aux matériaux employés pour porter la chaussée d'un tympan à l'autre on substitua des briques creuses disposées en arceaux minces. De la sorte, le pont se trouva allégé d'un poids considérable (300,000 kilog. environ), et depuis ce moment il est livré à la circulation.

En résumé, les briques creuses sont aujourd'hui recherchées par les architectes et les entrepreneurs, et, si elles ont leur place marquée dans les constructions, elles la doivent non-seulement à leur légèreté et à la modicité de leur prix de revient, mais encore à diverses propriétés révélées par la pratique, et que les briques pleines ne possèdent pas au même degré. Ces propriétés sont : une résistance plus considérable à la rupture et aux agents atmosphériques; une liaison plus intime des maçonneries; une inconductibilité de la chaleur plus prononcée; un isolement plus complet de l'humidité. Déjà, dans le nord de l'Europe, il existe plusieurs établissements qui se livrent actuellement à cette fabrication; il y en a également en Italie, en Espagne, dans l'Amérique du Sud, les Indes et l'Australie. En 1854, le gouvernement a donné l'un des premiers l'exemple, en envoyant de Paris aux colonies françaises non-seulement des quantités importantes de briques creuses pour servir à l'édification de plusieurs monuments importants tels que casernes et hôpitaux, mais encore des machines à mouler, destinées à encourager sur les lieux la fabrication de ces nouveaux et utiles matériaux de construction.

Fabrication.—La fabrication des briques creuses n'est pas aussi simple que celle des briques pleines; elle exige un matériel complet pour le malaxage des terres, le moulage, l'étendage et la cuisson.

La composition chimique des terres variant non-seulement dans un même pays, mais encore dans une même localité, il n'est possible de fournir que quelques données générales sur le choix qu'on en doit faire pour telle ou telle application. A l'égard des briques creuses non réfractaires, toutes les argiles sont bonnes, pourvu, toutefois, que la proportion d'alumine soit à peu près normale, car c'est à la présence de ce corps que la plasticité et le retrait des terres sont dus. Un retrait de 1/8 environ sur les dimensions entre une brique sortant du moulage et cette même brique sèche et prête à mettre au four, indique que le mélange argileux est en proportions convenables. Si le retrait est sensiblement moindre, le mélange ne possède pas toute la plasticité voulue et se moule imparfaitement; on rectifie alors ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

défaut soit par une addition d'argile plus liante, soit en éliminant, à l'aide d'un lavage, l'excès des matières siliceuses. Si le retrait est, au contraire, plus prononcé, les produits courent le risque de se fissurer à la dessiccation et à la cuisson ; dans ce cas, on diminue la plasticité de la terre à l'aide de sable, de craie pulvérisée, de terre ou autres matières inertes. Il existe des argiles, celles de Paris, par exemple, qui absorbent utilement jusqu'à 40 pour 100 de sable fin. Celles qu'on met en œuvre à l'usine de la rue de la Muette, viennent des plaines d'Ivry et de Chantilly ; la proportion de sable qu'on y ajoute est de 33 pour 100.

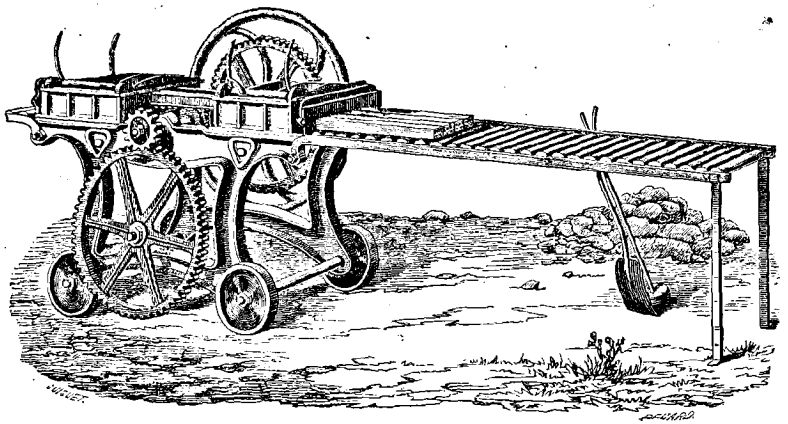
L'argile ayant été réduite à un état de division convenable soit par des cylindres lamineurs, soit au moyen de couteaux mécaniques, on la livre au malaxeur, en y ajoutant le sable qui doit servir au mélange. Le malaxeur est un cylindre de bois ou de métal dans lequel tourne un arbre vertical armé de couteaux, qui produisent le mélange intime des matières. (Voyez MORTIER.) Un orifice placé à la base du cylindre livre passage à une traînée continue de terre malaxée que l'on divise en lopins, et qui se trouve ainsi parfaitement préparée pour subir l'opération du moulage.

La machine à mouler, que représentent les figures

BRIQUES CREUSES.

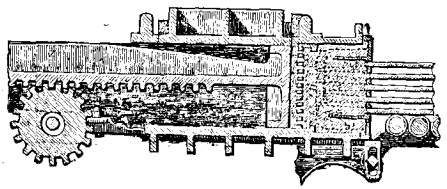
et s'ouvrant, par le haut, au moyen de forts couvercles à charnières. Chaque caisse porte, à son extrémité antérieure, une filière derrière laquelle est placé un crible épurateur. Une table couverte de rouleaux enveloppés de drap grossier, fait suite à chaque filière ; elle est munie d'un châssis mobile, sur lequel sont tendus des fils de fer distancés entre eux de la longueur d'une brique et faisant fonction de couteaux.

L'ouvrier principal remplit l'une des caisses de la machine avec les lopins de terre sortant du malaxeur ; il rabat le couvercle, le fixe invariablement à l'aide d'un levier à came d'une grande solidité, et la machine est mise en jeu. Sous l'effort du piston, la terre argileuse passe au travers du crible, qui intercepte au passage tous les corps étrangers d'un diamètre au-dessus de 0m,005 ; puis elle traverse la filière qui la moule et la laisse sortir sous la forme de plusieurs bandes prismatiques, qui glissent parallèlement sur les rouleaux de la table. La sortie effectuée, on rabat le châssis dont les fils de fer découpent des briques, qui sont immédiatement enlevées et portées au séchoir. Pendant cette manœuvre, qui dure une minute environ, l'ouvrier a eu le temps de charger la seconde caisse ; le piston, arrivé au bout de sa course, revient alors au point de



3438.

3439.





3440.



3441.

3438 et 3439 se compose d'un double piston mis en mouvement par des engrenages, et qui accomplit un mouvement horizontal de va-et-vient dans les intérieurs de deux caisses prismatiques en fonte, placées sur un bâti

départ, sous l'impulsion inverse de la machine, et le même travail s'accomplit au travers de l'autre filière : l'opération peut donc ainsi se poursuivre indéfiniment.

Le crible au travers duquel la terre est obligée de passer retenant toutes les impuretés, telles que graviers, racines, etc., empâtées dans la terre argileuse, le piston ne peut jamais s'en approcher qu'à une distance d'environ 0m,03. Lorsque cet espace est rempli par les impuretés, l'ouvrier opère le nettoyage à l'aide de la truelle.

Plusieurs appareils de ce genre fonctionnent à l'usine de M. Borie ; ils sont mus par une machine à vapeur qui commande en même temps les couteaux à découper l'argile, les malaxeurs, ainsi que plusieurs monte-charges emportant les briques à l'étage supérieur, où sont déposés une partie des séchoirs.

Chaque machine à mouler fournit, par journée de travail, 6 à 7,000 briques ; elle n'en produit que 4 à 5,000 lorsqu'elle est mue à bras. Dans le premier cas, elle est desservie par quatre hommes ; dans le second, trois suffisent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Séchage et cuisson. — Les briques creuses, on le comprend, doivent sécher plus rapidement que les briques pleines. Le séchage est effectué sur des rayons mobiles; ce sont des planchettes longues de 1 mètre chacune, pouvant recevoir dix briques posées sur champ, et que les ouvriers transportent sans effort.

Quant à la cuisson, elle ne présente rien de particulier; elle s'opère dans des fours prismatiques accolés et marchant alternativement. Ici, comme partout, la difficulté consiste à répartir la chaleur d'une manière égale dans toute la masse des briques et à économiser le combustible.

Prix de revient. — Comparé au prix de revient des briques pleines de même qualité et fabriquées aux mêmes lieux et dans les mêmes circonstances, le prix de revient des briques tubulaires est notablement inférieur. Voici quels sont les éléments divers qui composent ce prix de revient :

1° Les matières premières : terre et sable;
2° La préparation du mélange ou malaxage;
3° Le moulage;
4° Le séchage pendant lequel les briques doivent être retournées;
5° L'enfournement et le défournement;
6° La cuisson : temps et combustible;
7° Le transport à pied d'œuvre;
8° Le déchet;
9° Les frais généraux.

Or, en fait d'économies, on peut compter :

50 pour 100 sur les matières premières et leur préparation; en effet, la somme des vides étant sensiblement égale à celle des pleins, il faut, pour un certain nombre de briques creuses, moitié moins de matières premières que pour le même nombre de briques pleines;

50 pour 100 sur le temps du séchage;

10 pour 100 sur la main-d'œuvre du moulage;

25 à 30 pour 100 sur le temps et sur le combustible;

40 pour 100 sur le transport, car le poids des briques creuses est presque moitié de celui des briques pleines de même qualité et de mêmes dimensions.

En résumé, voilà différentes économies qui portent sur presque tous les éléments du prix de revient, et qui se traduisent par une moyenne générale variant dans les limites de 25 à 30 pour 100.

BROCHE DE FILATURE. La filature, amenée depuis le commencement du siècle à un si admirable degré de perfection, reçoit depuis quelques années des améliorations d'une importance inespérée, soit par l'addition de machines auxiliaires destinées à rendre plus complet le classement des matières premières, telle est la remarquable peigneuse de Heilmann, dont nous parlons ci-après, soit par des améliorations apportées à quelques parties du mécanisme des métiers à filer.

C'est dans cette classe qu'il faut ranger la broche de l'invention de M. F. Durand, sur laquelle M. Alcan a fait un excellent rapport à la Société d'encouragement, dans lequel il fait apprécier les imperfections de la filature actuelle et montre comment la nouvelle invention cherche à y remédier.

« Deux systèmes de métiers à filer, dit-il, sont seuls en possession, comme on le sait, du vaste domaine de la filature. Quelle que soit la substance à transformer, elle est soumise soit au système connu chez nous sous le nom de *continu* et de *throstle* en Angleterre, soit au métier mull-jenny. Malgré les mérites relatifs et incontestés de ces deux systèmes, ni l'un ni l'autre ne satisfait entièrement aux exigences rationnelles de l'industrie. Le continu, séduisant par la simplicité des combinaisons mécaniques, la simultanéité d'action des différentes fonctions du filage (l'étirage, la torsion et le renvidage), présente des inconvénients graves. L'ailette qui dirige le fil pendant la torsion, libre à l'une de ses extrémités, est soumise à des vibrations telles que la vitesse qui les produit ne peut dépasser une certaine limite sans énerver le fil et en occasionner la rupture. La marche de l'organe renvideur (de la bobine) est moins bien assurée encore; les couches concentriques sont produites par une différence de vitesse entre la bobine et la broche; cette différence est obtenue par un ralentissement d'action résultant de l'embase inférieure de la bobine enfilée librement sur la broche, et une saillie de celle-ci; c'est-à-dire que la bobine et la broche ont la même commande et fourniraient le même développement dans l'unité de temps, si l'action de la bobine n'était libre autour de la broche et influencée par une cause retardatrice pendant le mouvement. Cette cause est 1° le frottement, toujours insuffisant, de l'embase; 2° celui d'un petit poids fixé par une ficelle à cette embase pour produire la quantité de frottement nécessaire. Il suffit de signaler ce mode d'action pour faire comprendre ce qu'il a de peu précis comme moyen de règlement au point de départ, et d'irrégulier dans sa marche. En effet, si au commencement du renvidage l'action retardatrice est insuffisante, le fil flottera, les couches seront molles; non-seulement la bobine sera trop vite pleine, mais elle s'éboulera au dévidage ultérieur et occasionnera du déchet; si, au contraire, on est arrivé à un frottement convenable, par le tâtonnement, au commencement du renvidage, il faut pouvoir l'augmenter graduellement et en raison directe de l'accroissement du diamètre de la bobine, ce qui est pratiquement impossible.

Ces circonstances, jointes au mouvement vertical de va-et-vient du chariot porte-bobines, destiné à la distribution des couches concentriques sur toute la hauteur de l'enroulement, occasionnent la consommation d'une quantité de force motrice relativement considérable. C'est à la réunion de ces différentes causes qu'il faut attribuer l'usage restreint du système continu et la difficulté d'y produire, avec avantage, un fil dont la finesse dépasse le n° 40 métrique, c'est-à-dire 40 kilomètres par 500 grammes.

On obtient du mull-jenny des résultats bien supérieurs, puisqu'il fournit couramment, dans le filage du coton par exemple, du n° 200 métrique. Aussi l'a-t-on proclamé le système par excellence; il est néanmoins l'objet des recherches les plus actives et des améliorations de tous les jours, qui indiquent suffisamment qu'il n'a pas atteint toute sa perfection. Il diffère surtout du précédent par l'absence d'un appareil renvideur spécial. La broche remplit alternativement les fonctions d'organe tordeur et renvideur, et souvent même elle fournit un supplément d'étirage. La simultanéité n'est donc pas possible pour les différentes fonctions qui constituent le filage. Le renvidage ne peut avoir lieu qu'après la torsion, et, comme celle-ci doit s'exercer sur la préparation convenablement tendue, les broches sont obligées de s'éloigner des cylindres étireurs pendant le temps que ceux-ci leur fournissent le fil ébauché; cette translation a lieu avec une accélération susceptible de produire un certain allongement. A la limite de sa course, le chariot et les cylindres étireurs s'arrêtent, l'étirage cesse et la rotation des broches est, au contraire, continuée pendant un certain temps encore pour terminer la torsion. Celle-ci opérée, le chariot porte-broches revient sur ses pas pour cueillir ou renvider les fils par la continuation du mouvement des broches.

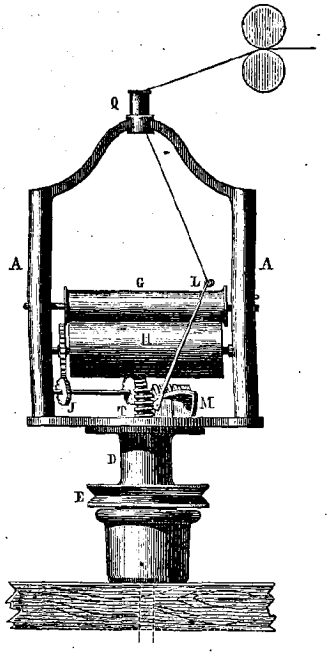
La nécessité de suspendre et de rendre le mouvement aux cylindres et au chariot à des intervalles déterminés, d'imprimer simultanément une vitesse de rotation et de translation de va-et-vient à un nombre de broches qui peut varier de 300 à 600 par métier, sont des causes premières de complications, qui augmentent encore par les conditions de variations de

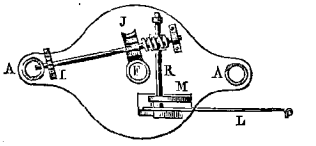
EFERUS - Recherche & Classification numérique

vitesse imposées aux commandes. En effet, pour opérer graduellement le tirage et la torsion et réserver le plus d'élasticité possible à la matière, la vitesse des broches et des cylindres est augmentée du double environ pendant chaque course ou production des aiguillées. Les avantages du mull-jenny sont donc contrebalancés par l'intermittence dans la production, par la nécessité d'un emplacement considérable, par une complication extraordinaire dans les transmissions, surtout si le métier est entièrement self-acting, et enfin par les difficultés de règlement et de conduite qui exigent des soins particuliers, et de l'habileté chez les ouvriers.

Le métier imaginé par M. Durand, paraissait réunir la simplicité et l'économie du système continu à la perfection du mull-jenny parfaitement réglé. Ce nouveau système, entièrement automatique, est applicable à toute espèce de matières et de genres de fils, quelles que soient les finesses, depuis les numéros les plus bas jusqu'aux plus élevés en trame ou en chaîne, aux fils peu tordus aussi bien qu'à ceux du tors le plus intense.

3442





3443.

Le règlement de la machine a lieu avec une précision telle, qu'une fois alimentée par une préparation convenable il n'y a plus d'exemple de rupture. L'étirage ayant lieu ici par les cylindres d'Arkrwrigt, comme pour tous les procédés en usage, nous n'avons qu'à décrire une broche pour faire comprendre le système.

BROCHE DE FILATURE.

Cette broche se compose d'une sorte d'étrier vertical fermé de toutes parts; une tige fixe traverse le milieu de la base de cet étrier. L'extrémité supérieure de cette tige, qui dépasse la base, à l'intérieur, de 15 millimètres environ, est filetée en vis sans fin; elle porte du côté opposé, au-dessous de l'étrier, une douille sur laquelle est adaptée une noix à gorge pour recevoir la cordo destinée à mettre l'étrier en mouvement (fig. 3442 et 3443).

La bobine porte-fil est placée à l'intérieur de l'ailette fermée, dans un plan horizontal, ayant par conséquent son axe perpendiculaire à la direction du mouvement de l'étrier. Les tourillons de cette bobine sont soumis, chacun, à l'action d'un ressort placé dans une rainure verticale pratiquée dans les montants ou côtés latéraux de l'ailette fermée. Ces tourillons et leur bobine peuvent ainsi se déplacer, parallèlement à leur direction, sous l'influence d'une pression. Le mouvement circulaire de la bobine autour de son axe, pour opérer le renvidage en couches concentriques, est imprimé par la pression tangentielle d'un cylindre cannelé qui lui est parallèle; les axes de la bobine et de ce cylindre sont dans le même plan vertical. Une petite roue droite, placée sur un des tourillons du cylindre de commande, reçoit son mouvement d'une autre roue placée sur un petit arbre, commandé lui-même par la partie de la vis sans fin de la tige fixe, qui engrène avec un pignon convenablement placé sur ce petit arbre, du côté opposé à celui de la transmission dont il vient d'être question. Enfin la distribution du fil en spires régulières sur la longueur de la bobine est obtenue au moyen d'un guide-fil à mouvement de va-et-vient vertical, réalisé par un petit excentrique, dont l'axe est mû également par l'arbre de commande du cylindre enrouleur, au moyen d'une petite vis sans fin qui engrène avec une roue à dents inclinées placée sur l'axe de l'excentrique.

On voit le but qu'on a cherché à atteindre, l'idée qui a présidé à la combinaison de cette broche. Le double mouvement de l'envideur et du distributeur gravite autour d'une tige fixe pendant la rotation de la broche. Ainsi, pendant que celle-ci est animée d'un mouvement rotatif vertical qui peut s'élever à 4,500 tours à la minute, suivant le degré de torsion que l'on veut obtenir, cette rotation se transmet, dans un rapport ralenti, 1° à la bobine d'envidage qui tourne horizontalement; 2° au distributeur du fil de la bobine, par un mouvement de va-et-vient vertical.

Dans la disposition fondamentale qui vient d'être décrite, la tige fixe, centre de gravitation du système de la broche, porte avec elle son mouvement différentiel et l'organe qui remplit les fonctions du chariot; mais on peut, pour certains cas, s'il s'agit de l'appliquer à des préparations qui n'ont besoin que d'une légère torsion, rendre cette tige libre et la munir d'un pignon à sa partie inférieure. Un seul arbre commande, dans ce cas, une rangée de broches et établit le mouvement différentiel voulu entre ces broches et leurs bobines, ce qui, jusqu'ici, n'a pu se pratiquer aussi aisément.

Apprécié *à priori*, le métier de M. François Durand présente les avantages suivants : 1° simultanéité des fonctions du filage; 2° grande simplicité de combinaison et économie d'espace; 3° perfection égale pour les fils de différentes finesses; 4° suppression des inconvénients de la force centrifuge; 5° précision de renvidage pendant toute la période du travail; 6° régularité de torsion; 7° économie de dépenses, puisqu'il ne consomme que la force motrice exactement nécessaire au travail.

Mais une appréciation théorique et basée sur un examen réitéré pouvait être mise en défaut par un usage prolongé; nous nous sommes livrés en conséquence à une espèce d'enquête auprès des nombreux et ha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

biles industriels qui ont vu fonctionner le système nouveau. Tous se sont accordés à reconnaître la bonne qualité du fil; aucun n'a trouvé une objection sérieuse contre l'emploi du métier. Toutefois l'expérience a été contraire à ce système ingénieux, mais formé de trop d'organes complexes.

BRONZE. Nous compléterons ici l'article Bronze par quelques considérations sur la composition et le moulage, que nous empruntons à M. A. Gruyer, chimiste-ingénieur attaché à l'ancien institut agronomique de Versailles. Il a publié, dans la *Revue des Deux Mondes* du 1er janvier 1856, un article intéressant sur ce sujet, dont nous extrayons ce qui suit :

On comprend généralement, dit l'auteur, sous le nom de *bronze* ou d'*airain*, un alliage de cuivre ou d'étain. Cependant cette définition n'est guère exacte que pour le composé destiné aux bouches à feu; car le bronze, dans les autres applications, notamment dans la fabrication des objets d'art, est un alliage quaternaire, contenant à la fois du cuivre, de l'étain, du zinc et du plomb. Le bronze est toujours plus dur et plus flexible que le cuivre ; d'autant plus cassant qu'il contient plus d'étain, la trempe le rend alors plus parfaitement malléable. La densité du bronze est supérieure à la densité moyenne des métaux qui le composent : il s'oxyde lentement, même à l'air humide; néanmoins, fondu au contact de l'air, il s'oxyde alors facilement, et l'oxydation de l'étain et du zinc marchant plus vite que celle du cuivre, l'alliage qui reste perd ses proportions primitives.

La dureté remarquable du bronze, la finesse de son grain, la résistance de cet alliage à l'action oxydante de l'air humide, la fusibilité et la fluidité qui le rendent capable de prendre l'empreinte des moules les plus délicats le désignaient naturellement à la fabrication des objets d'art.

En général, le bronze destiné à l'art statuaire doit être assez fluide lors de sa fonte pour pénétrer facilement dans les cavités les plus délicates du moule; il doit présenter une couleur convenable et pouvoir prendre une belle *patine* par l'application d'un mordant; il faut enfin qu'il soit docile au travail de la lime et du ciseau. Malheureusement on ne trouve pas sans peine un alliage remplissant toutes ces conditions. Le bronze, exclusivement composé de cuivre et d'étain, est dur et tenace, mais ne jouit pas, à la fonte, d'une très-grande fluidité. Si l'on substitue le zinc à l'étain, on a un alliage très-fluide, mais dont la ténacité n'est pas suffisante, et qui, de plus, est facilement oxydable. Le mieux sera donc de former un alliage intermédiaire contenant du cuivre, de l'étain et du zinc. En tout cas, on ne saurait apporter trop de soins à la composition de ces alliages.

Si la composition de l'alliage est d'une grande importance, la fonte est une opération également délicate. Pour donner de bons résultats, elle doit être rapide, afin d'éviter les pertes d'étain, de zinc et de plomb, car ces métaux étant plus facilement oxydables que le cuivre, les proportions de l'alliage se trouvent souvent dérangées pendant cette opération. Ainsi, lorsqu'on coule le bronze, il arrive souvent qu'il n'a plus la fluidité suffisante et qu'il se refuse à sortir du fourneau : c'est qu'il ne contient plus la quantité d'étain et de zinc nécessaire, et qu'il est déjà trop riche en cuivre; il est ce que les Florentins appelaient *incantato*.

Un autre phénomène remarquablement lié aux propriétés les plus importantes du bronze dépend du partage qui s'établit par le refroidissement dans la masse de cet alliage. En effet, une portion du cuivre et de l'étain forme d'abord un alliage qui se solidifie, tandis qu'une autre portion de ces deux métaux constitue un second alliage qui reste liquide encore pendant quelque temps. Dès que le refroidissement commence, l'alliage le moins fusible cristallise, et la masse prend du retrait; alors l'alliage liquide, pressé par la colonne métallique, s'écoule dans l'espace vide qui s'est formé à la circonférence et dans le haut du moule. De là, un partage qui s'établit de telle sorte qu'au centre de la masse se trouve l'alliage le plus riche en cuivre, tandis qu'à la périphérie vient se placer celui qui contient le maximum d'étain. Ce phénomène est celui de la *liquation*. Tant que l'alliage est liquide, il est homogène ; mais il y a dans la masse un mélange de plusieurs alliages, doués de points de fusion différents et pouvant se solidifier les uns après les autres. Cela nous montre qu'il est impossible d'obtenir de grandes pièces d'une composition bien homogène, et qu'il y a toujours intérêt à fractionner le plus possible la fonte d'un monument. C'est à ce phénomène de liquation qu'il faut attribuer la quantité innombrable de petits trous que l'on remarque à la surface de la plupart des bronzes anciens. La partie de l'alliage la plus riche en étain étant venue se déposer à la surface, elle est facilement oxydée et détruite sous la double influence de l'air et de l'humidité. De là cet aspect poreux qu'ont une grande quantité de bronzes antiques.

Quant aux procédés de moulage, ils sont très-compliqués. Un bon moulage doit reproduire le modèle sans en altérer ni la forme ni le sentiment; il doit donner à chaque partie l'épaisseur minimum qui lui convient; il doit être tel enfin que l'objet sorte du moule avec la perfection presque définitive. La question économique, qui domine toutes les industries, veut, en effet, qu'on épargne en même temps le métal et la main-d'œuvre.

Nous manquons de détails précis sur les procédés de moulage des anciens. Pline et les écrivains grecs ou latins, qui nous ont transmis le catalogue des plus beaux bronzes de l'antiquité, ne nous disent rien sur le mode de fabrication. Nous savons seulement qu'il était très-perfectionné, et les monuments sont là pour témoigner en faveur de la haute intelligence des fondeurs anciens. On croit que les anciens faisaient leurs moules avec de l'argile mêlée de fleur de farine, et nous avons la preuve que, loin de chercher à fondre leurs statues d'un seul jet, ils s'attachaient, au contraire, à fractionner le travail. Ainsi ils composaient leurs figures de plusieurs pièces, qu'ils réunissaient ensuite par des soudures et des attaches en queue d'aronde. En opérant de la sorte, les anciens se mettaient à l'abri des fontes manquées et du défaut d'homogénéité que nous signalions tout à l'heure en parlant du phénomène de liquation. Enfin l'immense quantité de statues de bronze qui peuplaient les villes grecques et romaines atteste la perfection et la rapidité des procédés dont disposaient autrefois les artistes et les fondeurs. Toutefois les anciens payaient fort cher les statues de bronze, et le prix qu'ils en donnaient paraîtrait, de nos jours, fort exagéré.

Depuis la renaissance jusqu'à nos jours, le moulage en cire perdue a été presque exclusivement employé, et nous lui devons les monuments du XIVe au XVIIIe siècle; mais ce procédé est abandonné maintenant, ou n'est plus employé que par exception. Il exigeait des frais énormes, un temps considérable, et il était, en outre, soumis à des chances de non-réussite que l'industrie moderne ne peut plus courir ; enfin il demandait l'intervention directe de l'artiste. Voici quelles sont les diverses phases de cette opération compliquée. Il fallait, pour une statue, par exemple, faire sur le modèle un moule en plâtre, le garnir d'une couche de cire égale à l'épaisseur que devait avoir le bronze, construire dans la cavité du moule une armature formée de pièces de fer capables de soutenir le noyau, y couler ce noyau auquel allaient adhérer les cires, répa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rer les cires (travail qui ne pouvait être confié qu'à l'artiste lui-même), les renfermer dans un moule épais et solide appelé *moule de potée*, dans lequel on ménageait des canaux, dont les uns (les *jets*) recevraient le bronze en fusion, et dont les autres (les *évents*) donneraient issue aux gaz et à l'air déplacé par l'alliage métallique. Il fallait ensuite, après avoir armé le moule de potée de forts bandages de fer, fondre les cires, opération très-délicate et fort longue (pour de grandes fontes elle durait jusqu'à trois semaines). Enfin on revêtait le moule d'une dernière chemise en plâtre, et on le plaçait dans de la terre fine, assez fortement foulée pour qu'elle opposât une résistance suffisante aux efforts du métal en fusion. On ne voyait plus alors du moule que les bouches des jets dans lesquels on allait couler le bronze, et des évents par lesquels les gaz et l'air déplacé allaient trouver une issue facile.

Ces quelques mots suffisent pour montrer toutes les difficultés du moulage en cire ; et, comme si ces difficultés n'étaient pas suffisantes, on les exagérait encore en voulant sans cesse tenter les fontes d'un seul jet. Contrairement à la pratique des anciens, qui fractionnaient le plus possible la fonte de leurs bronzes, il semble que, depuis la renaissance jusqu'au dix-huitième siècle, le but unique des meilleurs fondeurs ait été de couler leurs monuments d'une seule pièce. Nous avons montré comment la constitution atomique des alliages métalliques s'opposait à ces fontes colossales ; aussi les voyons-nous presque toujours manquées, refaites et raccordées à l'aide de pièces additionnelles. La plupart de ces statues sont d'un poids infiniment trop considérable. La matière n'était pas ménagée, et ne comptait, pour ainsi dire pas, à côté de la main-d'œuvre. Les bronzes de ces époques sortaient généralement informes de leurs moules et avaient besoin d'être travaillés par les artistes eux-mêmes. Ciselés ainsi de la main du maître, ils acquéraient une très-grande valeur d'art, puisque le sentiment et la vie leur étaient définitivement donnés par l'artiste ; mais le prix devenait excessif, et l'usage d'autant plus restreint. C'est ce qui fait la valeur des bronzes florentins. Les chefs-d'œuvre du Baptistère, les merveilles de Ghiberti, de Donato, de Cellini sont des pièces véritablement ciselées, portant l'empreinte divine du génie créateur de ces grands maîtres : de là leur charme et leur beauté. Les bronzes des Keller eux-mêmes, les plus habiles fondeurs des temps modernes, sont tous retouchés, refoulés, ciselés par une main savante, par la main de l'artiste lui-même. Mais aussi les portes de Ghiberti pèsent 34,000 livres et coûtèrent 22,000 florins, ce qui représenterait aujourd'hui une somme énorme. Aujourd'hui les temps sont moins favorables aux arts, et une statue de bronze se paye 5 à 6 fr. le kilogramme. Les portes de la Madeleine ont été fondues pour 140,000 fr. par MM. Eck et Durand, et elles sont un chef-d'œuvre industriel. Le gouvernement de la restauration payait encore 200,000 fr. la statue équestre de Louis XIV, qu'il faisait ériger à Lyon, tandis qu'en 1853 MM. Eck et Durand ont fondu, pour la même ville, celle de Napoléon Ier avec ses quatre bas-reliefs pour 61,000 fr.

Les conditions actuelles de la fonte des bronzes sont donc toutes nouvelles et sans précédents. Autrefois la question d'art primait la question industrielle ; on ne regardait ni à la quantité de matière employée, ni à la main-d'œuvre, ni au temps nécessaire pour produire quelque chose de parfait : les grandes statues de bronze étaient fondues pour les souverains et pour les villes, et les petites pour un certain nombre d'amateurs capables de les payer comme œuvres d'art. Un nouvel ordre de choses a créé, pour cette industrie, des obligations nouvelles. La question industrielle, la question du bon marché est presque tout ; il faut produire beaucoup, promptement et à bas prix, c'est-à-dire qu'il faut économiser, trop souvent même altérer la matière, et, par des procédés nouveaux de moulage, arriver à fabriquer des bronzes qui, une fois sortis du moule et débarrassés des jets et des évents, se présentent avec leur perfection définitive, tels enfin qu'ils doivent être livrés au commerce. Ainsi le travail si patient de l'artiste, qui passait des années à refouiller son œuvre avec un soin infini et à lui imprimer le caractère d'originalité que nous admirons dans les monuments antiques, ce travail n'est plus possible. Quand bien même le temps et l'argent ne feraient pas défaut, on ne trouverait plus maintenant d'hommes formés à ce labeur si long, si pénible et si délicat. En outre, dans les temps anciens et pendant les beaux siècles de la renaissance, les artistes dirigeaient eux-mêmes la fonte de leurs statues ; ils avaient une connaissance profonde de tous les secrets de cette industrie, qu'ils considérnient comme le complément de leur art. Les artistes modernes n'en jugent pas ainsi ; ils se contentent de donner leurs modèles, et ils abandonnent ensuite à des mains trop souvent inintelligentes le soin de réparer leurs bronzes : de là vient que le sentiment de leur œuvre se trouve si souvent altéré.

Toutefois de grands perfectionnements matériels ont été apportés, dans ces trente dernières années, aux procédés de l'art des bronzes. D'abord on moule généralement en sable, ensuite on ne cherche plus à fondre d'un seul jet, sinon par simple curiosité et pour de petites pièces ; au contraire, on fractionne la fonte le plus possible, afin d'avoir plus de perfection dans le moulage et plus d'homogénéité dans la matière. Le fondeur doit d'abord examiner, étudier dans ses moindres détails le modèle qu'on lui présente, le diviser par la pensée de la manière la plus convenable pour que le moulage le reproduise avec fidélité, intelligence et délicatesse, combiner toutes ses pièces de rapport, et examiner quelles seront les coupes les plus propres à faciliter la dépouille sans altérer la forme. C'est seulement après cette œuvre préliminaire qu'il se met à l'œuvre avec sécurité et qu'il peut compter sur le succès. Dans le choix du sable employé pour le moulage, il faut éviter la présence du calcaire, qui, par sa calcination, produirait, au moment de la coulée, un dégagement de gaz fâcheux. On évite également la présence de l'oxyde de fer, qui, sous l'influence du métal en fusion, formerait, avec l'argile, des composés nuisibles et de nature à entraîner, dans le moule, de graves altérations. Le sable généralement employé à Paris vient de Fontenay-aux-Roses : c'est une argile jaune, pure et suffisamment plastique pour prendre facilement l'empreinte du modèle ; on la mélange avec du poussier de charbon, et on la broie en l'humectant légèrement. Pour les petits objets, le moulage s'exécute en *coquilles*, c'est-à-dire dans deux châssis en fonte repérés par trois points. Après avoir divisé le modèle en parties telles qu'elles puissent être moulées et fondues avec facilité, on les réunit dans l'un des châssis préalablement rempli de sable, et on les y enfonce à moitié d'épaisseur ; on tasse ensuite le sable autour du modèle ; on prépare toutes les pièces de rapport pour les endroits refouillés, on réserve la place des jets et des évents, et l'on obtient ainsi la dépouille de la moitié du modèle. On procède de la même manière pour l'autre moitié dans le second châssis, et le moule en sable se trouve fait. Il ne reste plus qu'à le réparer, à lui imprimer toutes les finesses que devra avoir le bronze, à le recuire afin de lui donner une solidité suffisante, et à le recouvrir de poussier de charbon, afin d'éviter de fausses adhérences entre le sable et l'alliage métallique. On dispose alors, dans chacune des parties du moule, l'armature du noyau. Quand ce noyau a pris une consistance suffisante, on le retire du moule avec son armature, et on en retranche une épaisseur égale à celle que l'on veut donner au bronze. C'est là qu'est aujourd'hui la grande difficulté du moulage, et il faut une main très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

habile pour enlever ainsi du noyau une épaisseur faible et égale dans toutes les parties. On replace ensuite le noyau dans le moule, auquel il n'adhère plus, et il ne reste qu'à couler le bronze dans la partie vide entre le moule et le noyau. On voit combien la pratique actuelle du moulage est plus simple et plus expéditive que le moulage en cire perdue.

Dans ces derniers temps, quelques fondeurs ont substitué la fécule au poussier de charbon. Cette substitution ne semble pas être, jusqu'ici, un perfectionnement industriel : la fécule présente même des inconvénients que n'offre pas le charbon, et qui compromettent souvents les résultats de la fonte ; elle donne au sable une sécheresse et une aridité qui augmentent la dureté des moules, leur enlèvent toute porosité et les rendent imperméables aux gaz. Il en résulte que, lorsqu'on y verse l'alliage en fusion, l'air, ne trouvant plus d'issue facile, opère, dans la masse métallique, des ravages qui rendent le bronze défectueux; on obtient alors des fontes rugueuses qui exigent un travail de lime long et dispendieux.

C'est surtout au point de vue hygiénique qu'on recommande l'emploi de la fécule ; la poussière de charbon, longtemps respirée, s'accumulerait dans le poumon et y opérerait souvent des altérations mortelles. La fécule n'aurait pas cet inconvénient; plus grosse et plus lourde que le poussier de charbon, elle tombe dans le moule sans se mêler à l'air respirable. Toutefois cette question de la supériorité de la fécule sur le charbon est loin d'être résolue ; une longue pratique pourra seule prononcer à cet égard. On a, sans doute, exagéré les inconvénients industriels de la fécule, aussi bien que les inconvénients hygiéniques du charbon, et les fondeurs ne sont pas plus d'accord que les savants sur ce sujet. Cependant les praticiens les plus habiles donnent encore la préférence au charbon.

Quoi qu'il en soit, c'est grâce aux perfectionnements apportés maintenant dans le moulage, aussi bien qu'à la division intelligente du travail substituée aux vains efforts qu'on faisait autrefois pour couler d'un seul jet, que les fondeurs sont parvenus, surtout dans ces vingt dernières années, à imprimer à leur industrie une impulsion puissante. Ils peuvent maintenant traduire en bronze, avec promptitude et économie, les modèles qu'on leur présente sans en altérer ni le sentiment ni la délicatesse. Une fois débarrassée des jets et des évents, chacune des parties du modèle sort du moule telle à peu près qu'elle doit demeurer définitivement ; il ne reste plus qu'à les raccorder et à les souder entre elles ; le travail du ciseau est réduit à son minimum. Ce travail ainsi restreint exige même encore beaucoup d'habileté et d'intelligence, et, si des hommes exercés à la pratique du dessin mettaient la dernière main à ces bronzes, l'exécution y gagnerait certainement beaucoup ; mais il en est rarement ainsi : ce travail est le plus souvent abandonné à des ouvriers, et, si, au point de vue de l'art, les résultats sont peu satisfaisants, ils le sont complétement au point de vue de l'industrie et du bon marché.

Les bronzes d'art sont destinés soit à figurer comme bronzes proprement dits, soit à être dorés. Dans le premier cas, on les met en couleur à l'aide de compositions diverses qu'on applique au pinceau sur la surface du métal préalablement chauffé. Cette couleur varie suivant le goût des époques, et le temps lui donne un caractère spécial qui relève singulièrement la beauté de l'alliage ; c'est ce qu'on appelle la *patine* du bronze : elle devient d'autant plus belle que l'alliage a été mieux composé ; elle est surtout admirable dans les bronzes antiques et florentins. On arrive, du reste, à donner directement au bronze la couleur antique au moyen de solutions diverses dans lesquelles il entre du vinaigre, du sel ammoniac, de la crème de tartre, du sel marin et du nitrate de cuivre. Il est plus difficile d'imiter la *patine* des bronzes florentins. Si le bronze est destiné à être doré, il faut le composer de telle sorte qu'il présente un grain assez compacte pour que la quantité d'or nécessaire à le couvrir ne soit pas trop considérable. L'alliage quaternaire (cuivre, zinc, étain, plomb) est alors le meilleur.

C

CABLES ET CORDAGES. La fabrication des câbles et cordages a reçu des améliorations, tant par l'application des moyens mécaniques, pour obtenir des fils de caret d'une grande régularité, que par une meilleure construction des appareils propres à effectuer les opérations ultérieures.

Pour fabriquer le fil de caret, la filasse de chanvre, peignée en partie à la main, est soumise par rubans doubles à l'action du peigne à barrettes continu du métier ordinaire, puis étirée en rubans sur deux métiers préparatoires; enfin étirée de nouveau, tordue et enroulée finalement, sous forme de caret, sur de grosses bobines verticales animées d'un mouvement de va-et-vient convenable, d'après les procédés ordinaires de la filature du chanvre.

La fabrique de cordages de M. Merlié-Lefèvre (du Havre), que nous prendrons pour exemple et qui jouit d'une juste célébrité, emploie, mus par une machine à vapeur de 15 chevaux, outre les métiers à filer ci-dessus mentionnés : 1° des bobinoirs ou tourets mécaniques où les fils de caret sont enroulés avec célérité et précision, avant ou après leur passage au travers d'une cuve à goudron; 2° une machine à chariot servant au tirage simultané de quatre petits torons ou au simple tirage d'un gros toron, chariot en fer et en fonte qui est mû sur des rails en fer à l'aide de la machine à vapeur ; les tubes compresseurs et les passoires ou filières en calottes sphériques, que traversent les fils de caret, sont établis sur un chantier massif et inébranlable qui porte un mécanisme ingénieux, dont l'idée première, due à M. Hubert (de Rochefort), consiste à rapprocher entre eux, avec une précision très-grande, ces tubes ou passoires, en raison du plus ou moins de résistance que tend à opposer chaque fil de caret, à compenser par leur déplacement latéral les petites variations qui se produisent ; 3° enfin, en un puissant appareil pour commettre les gros cordages, composé de deux machines semblables placées, à distance et en regard l'une de l'autre, suivant un même axe, et dont celle de gauche, établie sur une table à support en fonte inébranlable, sert à donner aux torons le degré de surtors nécessaire à leur commettage ultérieur, tandis que celle de droite montée sur un traîneau ou carré mobile, pour permettre le retrait dû à la torsion du cordage d'ailleurs fortement chargé, mais dont le glissement sur les rails, facilité par un mécanisme régulateur à bascule et à frein agissant directement sur les roues, a pour objet unique de donner, en sens contraire, à l'ensemble des torons amarrés au crochet du tourniquet central, que met en

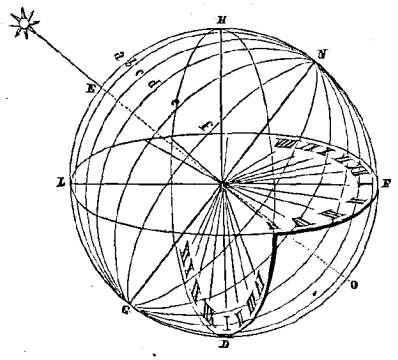
EFERUS - Recherche & Classification numérique

mouvement l'axe horizontal de cette seconde machine, le supplément de tors indispensable, et dont il manquerait essentiellement par suite du débandement des ressorts élastiques des fils de chacun des torons constitutifs.

Inutile d'ajouter que les torons, avant de s'enrouler les uns autour des autres en hélices, sont dirigés, à l'ordinaire, par un toupin à rainures, établi sur un chariot en bois qui porte aussi de grosses bobines, dont l'une, postérieure, est chargée de l'âme, qui, après avoir traversé l'axe du toupin, lui sert de mèche centrale, et dont les quatre autres reçoivent les cordelles servant également, après leur passage oblique à travers le toupin, à garnir les intervalles libres et extérieurs des torons de l'aussière ou à opérer ce qu'on appelle son *congréage*.

Il importe beaucoup, au contraire, pour l'intelligence des procédés suivis par M. Merlié-Lefèvre, dit M. Poncelet, auquel nous empruntons ce qui précède, de faire observer que le mécanisme du chantier ou support fixe et le traîneau ou carré mobile de commettage portent chacun un double embrayage à roues d'angle et à griffes servant à faire tourner à volonté les crochets d'attache des torons et du câble, tantôt dans un sens, tantôt en sens contraire, suivant les besoins du service.

CADRANS SOLAIRES. Le principe sur lequel repose la construction des cadrans solaires sera facilement compris en supposant que la terre est une sphère transparente sur la surface de laquelle sont tracés vingt-quatre cercles, passant par les pôles, vingt-quatre méridiens équidistants (fig. 3444).



3444.

Dans sa révolution journalière autour de son axe NG, le centre du soleil traverse successivement le plan de chaque cercle, et comme l'axe de la terre est toujours contenu dans ces plans, si on le suppose opaque, formé par exemple d'une tige métallique, son ombre couvrira la moitié de chaque cercle à chaque heure, à chaque vingt-quatrième partie de la révolution de la terre.

Comme la distance du soleil à la terre peut être considérée comme infinie relativement à la grandeur de celle-ci, tout petit globe transparent situé à la surface de la terre sur lequel on aura tracé vingt-quatre méridiens équidistants, et dont l'axe sera placé parallèlement à l'axe de la terre, présentera les mêmes apparences que le globe terrestre dont nous venons de parler pendant sa révolution en vingt-quatre heures, les ombres indiqueront de même les heures.

Si le petit globe est coupé par un plan passant par son centre et parallèle à l'horizon du lieu où l'on est placé, et que l'on trace les lignes droites qui joignent le centre avec les points de rencontre de ce plan avec les méridiens, l'ombre du dernier axe viendra à chaque heure coïncider avec ces lignes. Tel est le cadran solaire horizontal.

Si on coupe le globe par un plan vertical, la seconde partie de l'axe projettera de même son ombre sur les lignes tracées de la même manière que ci-dessus sur le plan vertical, et on aura un cadran solaire vertical.

Comment doit-on tracer les lignes d'heures successives, supposant tracée la méridienne du lieu, correspondant au passage du soleil au méridien et donnant le midi vrai. Nous décrivons le moyen de l'obtenir à l'article HORLOGERIE, où nous traitons également du temps vrai et du temps moyen.

Prenons le cas le plus simple, celui où le plan du cadran solaire serait le même que celui de l'équateur, perpendiculaire à l'axe du monde, il est dit alors *équatorial* ou *équinoxial*. La ligne de midi étant marquée sur ce plan, il suffit de le diviser en parties égales; en élevant d'abord une perpendiculaire sur la ligne de midi, qui donnera six heures du matin et six heures du soir, puis chaque angle divisé en six parties égales donnera toutes les lignes horaires.

Un semblable cadran offre l'inconvénient de ne pouvoir servir que pendant six mois, les six autres mois sa face supérieure est plongée dans l'ombre; il faudrait pour qu'il pût toujours servir que l'axe traversât le plan horaire et que l'on employât pour les six autres mois les ombres portées en dessous de ce plan.

La figure ci-dessus montre comment le tracé des lignes horaires de tout cadran solaire peuvent se déduire de celles d'un cadran équatorial placé sur le même style. Les plans horaires (passant par le style et une ligne horaire) de ce dernier, prolongé jusqu'à leur rencontre avec le plan du premier, y détermineront des intersections qui seront les lignes horaires cherchées. Quand l'ombre du style se couchera sur une des divisions de l'équatorial, elle sera également dirigée suivant la ligne horaire correspondante du nouveau cadran, qui, par suite, marquera les heures aussi bien que le premier.

C'est en partant de ces principes et à l'aide de méthodes graphiques assez simples, du domaine de la géométrie descriptive, que l'on détermine les projections des lignes du cadran équatorial, les tracés des lignes horaires des cadrans verticaux et horizontaux et celles des lignes du temps moyen dont nous dirons en terminant quelques mots.

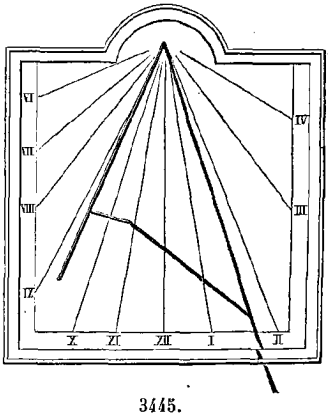
Le plus ordinairement, c'est sur la face verticale d'un mur, exposé pour être exposé longtemps au soleil, que l'on reçoit l'ombre d'un style et que l'on trace par conséquent les lignes horaires avec lesquelles cette ombre doit venir coïncider successivement; le style est installé d'une manière invariable, en avant de ce mur, dans la position d'après laquelle les lignes horaires ont été déterminées (fig. 3445). Son inclinaison est donc déterminée par la latitude connue du lieu où on établit le cadran solaire.

On remplace avec avantage le style par une plaque percée d'un trou (pour éviter les effets de pénombre) et placée de manière que ce trou soit situé sur la direction même du style auquel la plaque est substituée. La plaque produit une ombre sur la surface du cadran, et les rayons solaires qui traversent le trou dont elle est munie viennent éclairer un petit espace au milieu de cette ombre; on observe la marche de ce petit espace éclairé à travers les lignes horaires, de la même manière qu'on aurait observé la marche de l'ombre qu'aurait produite le style, s'il n'avait pas été supprimé. Dans ce cas, le style est représenté par la ligne droite que l'on imagine menée par le centre de l'ouverture de la plaque, parallèlement à l'axe du monde; c'est au point

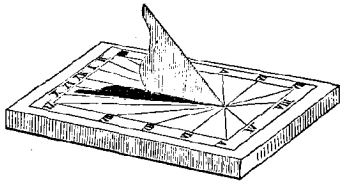
EFERUS - Recherche & Classification numérique

où cette ligne droite perce la surface du cadran que doivent concourir les diverses lignes horaires.

Souvent dans les cadrans solaires, le style est remplacé par une plaque métallique, terminée par un bord rectiligne qui est dirigé suivant l'axe du monde (fig. 3446);



3445.



3446.

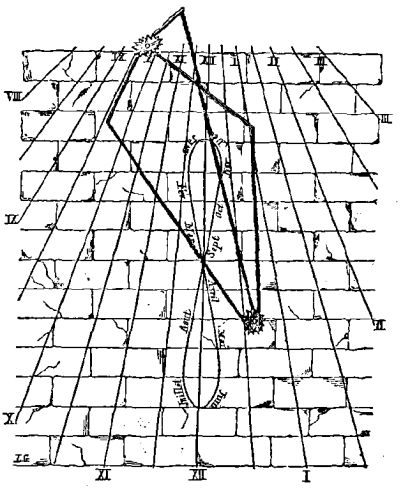
dans ce cas, au lieu d'observer l'ombre de la tige qui forme habituellement le style, on observe le bord rectiligne de l'ombre de la plaque qui a été substituée à cette tige.

La pose du cadran horizontal est tellement simple que nous devons l'indiquer. En effet, avec le secours d'une montre bien réglée sur un cadran convenablement tracé, il suffit d'attendre que l'ombre du style doive tomber sur la division horaire correspondante à l'heure de la montre, et de tourner tout l'appareil jusqu'à ce que cette coïncidence ait lieu, sans déranger l'horizontalité de la surface. De cette façon, en quelques minutes, l'opération se trouvera faite.

Les cadrans solaires dont nous venons de parler marquent nécessairement le temps vrai; toutefois on a essayé de leur faire marquer également le temps moyen.

La disposition la plus ancienne et la plus répandue consiste à tracer sur un cadran solaire, à plaque percée, une ligne courbe destinée à faire connaître chaque jour l'instant auquel il est midi moyen. Cette ligne courbe, que l'on nomme *la méridienne du temps moyen*, a la forme d'un huit allongé comme on le voit sur la fig. 3447. Cette courbe comprend les positions successives du petit espace éclairé de chaque côté de la ligne horaire de midi pour les moments correspondants au midi moyen de chaque jour, suivant que le midi moyen retarde ou avance sur le midi vrai; d'ailleurs ils se trouvent nécessairement à d'inégales hauteurs sur le cadran, par suite du changement qu'éprouve constamment la hauteur méridienne du soleil au-dessus de l'horizon, d'un jour au jour suivant.

Donc, d'après la manière dont cette courbe est définie, il est clair que chaque jour, à l'instant du midi



3447.

moyen, le petit espace éclairé doit se trouver sur la courbe; de sorte que, en observant le moment où cet espace éclairé vient la traverser, on aura le midi moyen, tout aussi facilement qu'on a le midi vrai en observant le moment où il traverse la ligne horaire de midi. Des noms de mois placés près de la courbe indiquent celle des rencontres que l'on doit choisir, car d'après la forme de la courbe elle est rencontrée deux fois chaque jour.

Une autre disposition fort ingénieuse a été proposée dans ces derniers temps par M. de Saulcy. Elle consiste à faire tourner le cadran chaque jour, autour du style, d'une quantité indiquée par la valeur de l'équation du temps pour que les heures qu'il marquera aient sur le temps vrai le même retard ou la même avance que le temps moyen, c'est-à-dire qu'il marque précisément le temps moyen.

CALCULER (MACHINE A) de Babbage. Nous reproduirons sur la machine inventée par ce savant, qui est le type des machines propres à faire les calculs de l'ordre le plus élevé, à l'aide du principe fécond de l'emploi des différences qu'il y a si heureusement appliqué, les détails que l'auteur a publiés dans son intéressant ouvrage sur l'*Économie des Machines*.

Presque toutes les tables de nombres qui suivent une loi quelconque, quelle que soit sa complication, peuvent être formées sur une échelle plus ou moins étendue par la simple combinaison d'additions ou de soustractions.

Prenons pour exemple le tableau suivant bien connu :

	A	B	C
Nombres.	Carrés.	1re différence.	2me différence.
1	1		
2	4	3	
3	9	5	2
4	16	7	2
5	25	9	2
6	36	11	2
7	49	13	2

Tout nombre de la colonne A peut s'obtenir en multipliant par lui-même le nombre qui exprime sa distance du commencement de la colonne. Ainsi 25 est le cinquième terme depuis le commencement de la colonne et 5 multiplié par 5 donne 25. Retranchons chaque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CALCULER (MACHINE A).

terme de cette colonne du terme suivant, et mettons le résultat dans la colonne B, qui s'appelle la colonne des premières différences. Si nous retrauchons ensuite chaque terme des premières différences du terme suivant, nous trouvons pour résultat unique le nombre 2 (colonne C), et ce nombre reparaîtra constamment dans cette colonne des secondes différences. La constance de cette seconde différence étant démontrée, il est évident que, pourvu que les premiers termes des trois colonnes A, B, C soient donnés, nous pouvons pousser cette table aussi loin que nous voudrons par des additions successives; car on peut former la série des premières différences en ajoutant successivement la différence constante 2 au nombre 3, le premier de cette colonne, puis encore 2 à la somme ainsi produite, etc., et l'on obtient ainsi la suite des nombres impairs 3, 5, 7, 11, etc.; et en ajoutant successivement chacun d'eux au nombre 1, le premier de la colonne A, nous formerons tous les carrés.

Concevons trois horloges, dit M. Babbage, placées l'une à côté de l'autre, chacune ayant une seule aiguille, et portant mille divisions sur un cadran au lieu des douze heures. Concevons de plus chaque horloge garnie d'un ressort qu'il suffit de presser pour qu'une sonnerie compte le nombre de divisions marquées par l'aiguille. Supposons encore que deux des horloges, que nous désignerons par B et C pour les distinguer, soient unies par une espèce de mécanisme tel, que l'horloge C, à chaque coup de sa sonnerie, fasse marcher l'aiguille de B d'une division. Enfin supposons que, par un semblable mécanisme, l'horloge B, à chaque coup de sa sonnerie, fasse marcher d'une division également l'aiguille de A. Dans cet état de choses, supposons que l'on mette l'aiguille de A à la division 1, l'aiguille de B à la division 3, l'aiguille de C à la division 2, et que l'on fasse partir le ressort de répétition de chaque horloge dans l'ordre suivant : d'abord le ressort de A, puis celui de B, enfin celui de C.

Le tableau suivant représentera la marche successive des aiguilles et le résultat de leurs indications.

SÉRIE des RÉPÉTITIONS.	RESSORTS poussés.	HORLOGE A. L'aiguille est sur 1.	HORLOGE B. L'aiguille est sur 3.	HORLOGE C. L'aiguille est sur 2.
			Première différence.	Seconde différence.
1	A	A sonne 1.	B sonne 3.	
	B	B fait parcourir trois divisions à l'aiguille de A.		
	C	. . . . .	C fait parcourir deux divisions à l'aiguille de B.	C. sonne 2.
2	A	A sonne 4.		
	B	L'aiguille de A parcourt cinq divisions.	B sonne 5.	
	C	. . . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.
3	A	A sonne 9.		
	B	L'aiguille de A avance de sept divisions.	B sonne 7.	
	C	. . . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.
4	A	A sonne 16.		
	B	L'aiguille de A avance de neuf divisions.	B sonne 9.	
	C	. . . . .	L'aiguille de B parcourt deux divisions.	C sonne 2.

C'est-à-dire que si l'on note les nombres indiqués par la sonnerie de A, l'horloge A, on trouvera qu'ils représentent la suite des carrés des nombres naturels, et cela en faisant marcher de deux divisions à chaque fois l'aiguille C.

La machine complète donnant les résultats de séries compliquées, qu'avait projetées M. Babbage, n'a jamais été exécutée par l'auteur, malgré les encouragements pécuniaires considérables du gouvernement anglais ; on n'a exécuté qu'un petit modèle assez simple. On n'a pas non plus réalisé la disposition indiquée par lui de faire tracer par la machine, à l'aide d'enfoncement de poinçons dans une plaque de cuivre, les chiffres du résultat indiqué par la machine.

MACHINE DE MM. SCHEUTZ. — Deux courageux et laborieux inventeurs, M. George Scheutz, éditeur d'un journal technologique à Stockholm, et son fils Édouard Scheutz, élève de l'institut de technologie de la même ville, se proposèrent de réaliser le programme dressé par M. Babbage, et y réussirent à l'aide de faibles ressources, par leur travail personnel et grâce à leur persévérance secondée par l'Académie des sciences de Stockholm et le roi de Suède.

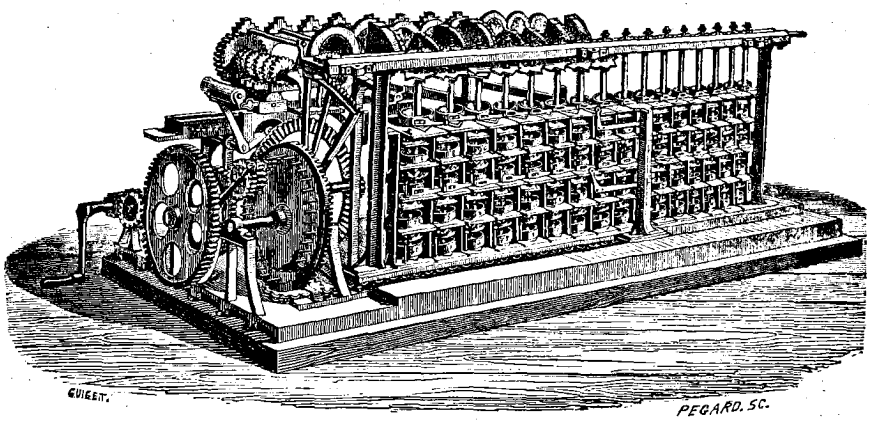
Cette machine, qui a été fort admirée, par le petit nombre de personnes capables de l'apprécier, à l'Exposition universelle de Paris, par M. Babbage notamment qui signala les différences qui existaient avec la sienne et par suite tout le mérite des inventeurs, calcule toute espèce de table répondant à des formules dont les différences quatrièmes sont constantes, pour des valeurs successives de la variable; et les résultats de ces calculs sont imprimés en creux sur du plomb dont on tire des clichés en relief pour la galvanoplastie.

Les auteurs ont ainsi exécuté des tables de logarithmes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exemptes des fautes qui échappent toujours aux compositeurs d'imprimerie.

La fig. 3448 représente une vue perspective de cette



3448

machine, qui a été achetée par un riche négociant des États-Unis, M. John-Fr. Rathbone, et offerte par lui à l'Observatoire Dudley à Albany (New-York). Une autre, construite pour le gouvernement britannique, est destinée à faciliter les calculs du *Nautical Almanach*.

Nous en empruntons la description à la brochure publiée par les inventeurs.

La partie calculante de la machine (qui en totalité a à peu près les dimensions d'un petit piano) est représentée dans la partie antérieure de la figure, elle se compose d'une rangée de quinze axes verticaux en acier passant chacun par le centre de cinq anneaux calculateurs, argentés, formant autant d'étages; chaque anneau est supporté par une tablette de laiton et tourne concentriquement avec son axe. Sur la surface cylindrique de chaque anneau se trouvent gravés circulairement les dix chiffres ordinaires 0, 1, 3, etc., de manière que l'un de ceux-ci, dans chaque position de l'anneau, fait face au spectateur, et que les chiffres de front de chaque rayon peuvent être lus ensemble, comme si c'était une ligne écrite.

Le rayon supérieur ou le premier présente le nombre ou la réponse résultant du calcul et exprimé par quinze chiffres, dont les huit premiers sont stéréotypés par la machine. Le nombre que l'on voit au second rayon, à partir d'en haut, présente des différences de premier ordre et peut être exprimé aussi par quinze chiffres, si c'est nécessaire. Les nombres des rayons troisième, quatrième et cinquième, présentent, de la même manière, des différences de deuxième, troisième et quatrième ordre, exprimées aussi chacune par quinze chiffres. Chaque rayon peut être arrangé à la main pour présenter un nombre quelconque : prenons par exemple le nombre 987,654,321,056,789, si ce nombre se trouve au rayon supérieur, ses huit premiers chiffres seront stéréotypés immédiatement par la machine chaque fois qu'elle aura fini le calcul dudit rayon. Mais en changeant seulement les anneaux de deux colonnes verticales, la machine peut être arrangée pour calculer des nombres sexagésimaux représentant des heures, des minutes, des secondes et des décimales de secondes, ou des degrés avec des minutes et des secondes. Ainsi, en supposant que le nombre 874,324,687,356,402 se trouvât indiqué au rayon supérieur, il serait stéréotypé comme 87° 43' 24,69". Durant cette même opération, l'argument de chaque résultat est stéréotypé simultanément à sa juste place, sans qu'il ait fallu pour cela d'autre mesure préalable que celle d'avoir disposé chaque rayon de manière à représenter le nombre, les différences et l'argument d'où la série doit partir, et d'avoir couché une bande de plomb laminé sur le traîneau de la partie imprimante. Alors, en faisant tourner la manivelle (ce qui ne demande pas plus d'effort que de faire jouer un orgue de Barbarie), la table requise sera *calculée* et *stéréotypée* simultanément dans le plomb; c'est-à-dire que la lame de plomb sera transformée en une belle matrice, dont on pourra tirer autant de stéréotypes qu'on voudra, tous parfaitement nets et prêts à être mis immédiatement sous la presse typographique. En faisant travailler la machine avec une vitesse moyenne, elle calcule et stéréotype à l'heure 120 lignes, prêtes à être mises sous presse. Des essais comparatifs ont prouvé que la machine produit deux pages et demie de chiffres dans le temps qu'il faut à un compositeur intelligent pour assembler les caractères d'une seule page.

M. Gravatt, savant anglais, résume ainsi qu'il suit l'esprit de la méthode qui doit être employée pour calculer sous forme tabulaire une quantité variant suivant une loi donnée, pour intercaler entre des valeurs calculées d'une fonction des valeurs intermédiaires qui puissent être représentées par une série qui comprend des termes des quatre premiers degrés, ce qui souffre bien peu d'exceptions.

Les valeurs de la fonction à calculer étant représentées d'une manière générale sous la forme

$u_x = u_0 + ax + bx^2 + cx^3 + dx^4$; faisons successivement $x = 0, \pm 1, \pm 2$, nous aurons

		1res différences.	2nes différences.
$u = u$	$-2a+4b-8c+16d$		
$-2 \quad 0$		$a-3b+7c-15d$	
$u = u - a + b - c + d$			$2b-6c+14d$
$-1 \quad 0$		$a - b + c - d$	
$u = u$			$2b+2d$
$0 \quad 0$		$a + b + c + d$	
$u = u + a + b + c + d$			$2b+6c+14d$
$1 \quad 0$		$a+3b+7c+15d$	
$u = u + 2a + 4b + 8c + 16d$			
$2 \quad 0$			

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3mes différences.	4mes différences.
$6c-12d$	
	$24d$
$6c+12d$	

De là peuvent se déduire les valeurs des coefficients a, b, c, d en fonction de ces différences supposées connues $d=\frac{1}{24}\Delta^4_{-2}u$ $c=\frac{1}{6}\Delta^3_{-2}u+2d$ $b=\frac{1}{2}\Delta^2_{-1}u-d$ et

$$a=\Delta^1_{-1}u+\frac{1}{2}\Delta^2_{-1}u-c$$

La proposition est vraie pour une valeur quelconque de x prise pour unité, et on a plus généralement :

$$\Delta^4_{-2x}u=24dx^4,$$
$$\Delta^3_{-2x}u=6\ (cx^3-2dx^4),$$
$$\Delta^2_{-x}u=2\ (bx^2+dx^4),$$
$$\Delta^1_{-x}u=ax-bx^2+cx^3-dx^4,$$

différences avec lesquelles nous pouvons disposer la machine pour tabuler en avant de u_0 à u_{2x}; et, en changeant le signe des différences impaires, nous pouvons tabuler à rebours de u_0 jusqu'à u_{-2x}, par suite obtenir toutes les valeurs de la fonction comprises entre les limites des valeurs de x, et cela sans connaître même la forme de la fonction que nous tabulons, puisqu'il suffit d'avoir auparavant cinq valeurs choisies pour des intervalles égaux de variation de valeur de la variable.

MACHINES A ÉQUATIONS. — Dans l'article Machines à calculer du *Dictionnaire*, j'ai indiqué comment les machines inventées depuis Pascal, qui n'avait inventé qu'une machine à addition et soustraction, dont celle du docteur Roth peut être considérée comme un perfectionnement en rendant le jeu des roues successif, et celles plus puissantes de M. Thomas et de M. Maurel, n'avaient encore utilisé que la fonction produit et la fonction somme, grâce aux roues différentielles; qu'il restait à tirer parti de la fonction puissance, de la forme x^m, que des réunions de roues et de pignons permettait d'obtenir au moyen des rouages ordinaires.

Cette possibilité conduit à la démonstration de la possibilité théorique de construire une machine susceptible d'effectuer le calcul d'une équation algébrique à une seule variable, ce qui permet d'arriver à des résultats d'un très-grand intérêt.

C'est ce qu'a su faire, dans une recherche qui exigeait une grande puissance d'investigation, M. Stamm, qui a publié ses recherches trop peu connues, dans une très-intéressante brochure intitulée : *Essais sur l'automatique pure*, à laquelle nous emprunterons l'exposition de la théorie générale qu'il a établie, et dont nous tirerons des conséquences utiles au point de vue de la question, fort controversée autrefois, des courbes qui peuvent être tracées avec la règle et le compas; question à laquelle il nous paraît possible de faire, en tirant parti des résultats que nous allons analyser, une réponse entièrement satisfaisante.

Jetons d'abord un coup d'œil sur les résultats théoriques obtenus par les machines connues, et dont nous avons donné la description.

Les machines à calculer numériquement les plus parfaites, comme l'arithmomètre, donnent les valeurs d'une somme algébrique d'un produit ou d'un quotient de quantités connues, ou les valeurs

$$y=a\pm b\pm c\ldots\ y=abcd,\ y=\frac{abc\ldots}{def\ldots},$$

quels que soient les nombres $a, b, c\ldots$; c'est-à-dire en réalité on peut dire que ces appareils sont des machines à équations du premier degré, sous les diverses formes qu'on peut leur donner pour les diverses fonctions simples

$$y=a\pm x,\quad y=ax+b,\quad y=\frac{x}{a}+b,$$

c'est-à-dire donneront toutes les valeurs de y, répondant aux diverses valeurs de x.

La détermination de toutes les valeurs simultanées de y et de x ne conduit pas à la représentation de la fonction d'une manière complète. Il en serait ainsi, au contraire, si on faisait tracer à la machine la droite que représente l'équation du premier degré à deux variables. Or c'est ce qui paraît facile.

Soit par exemple l'équation $y=ax$: faisons enrouler sur le cylindre dont les rotations mesurent les valeurs croissantes de x, un ruban qui tire un cadre convenablement guidé; ce mouvement représentera les abscisses. Pour avoir les ordonnées, il suffit d'imaginer un autre ruban qui s'enroule sur le cylindre, qui marque les valeurs de y, de faire porter un crayon par ce ruban assujetti à se mouvoir perpendiculairement à la direction des x.

La machine à calculer pourra servir ainsi à tracer autant de points que l'on voudra de la droite $y=ax$; elle la tracerait d'une manière continue, si son but étant de représenter des nombres, on n'avait introduit dans sa construction une discontinuité apparente, par des engrenages à dents dont l'effet n'est sensible que quand on marche par unités successives; mais le système se prête à la continuité, équivaut à l'emploi des deux cylindres dont nous avons parlé, mis en rapport par des roues d'angle convenables.

Ce curieux rapprochement montre que la question des machines à équation et celle du tracé des courbes, sont deux questions qui non-seulement ont grand nombre de points communs, mais qui se confondent en réalité.

Il est curieux de voir les deux problèmes, les plus délicats peut-être que l'on puisse se poser aujourd'hui en cinématique, n'en former en réalité qu'un seul, et la solution théorique de l'un fournir aussi la solution théorique de l'autre. C'est là un résultat intéressant et on ne peut traiter spécialement la question des machines à équation, sans arriver à des conséquences curieuses, au point de vue du tracé des courbes.

Avant tout, il faut bien définir les deux problèmes :

Construire une machine à équations, c'est obtenir, à l'aide d'une combinaison de roues dentées et de crémaillères, ou plus généralement de cercles et de plans, une machine qui fournisse les valeurs d'une variable, lorsqu'on donne aux autres variables des valeurs quelconques; ce qui correspond, pour le cas de deux variables, au tracé de tous les points des courbes représentées par les équations, au moyen de semblables mouvements, c'est-à-dire qu'il est possible d'obtenir à l'aide du cercle et de la règle, *sans directrice*, *sans rosette spéciale* pour la courbe à tracer. On voit clairement la liaison intime des deux questions. Or, tandis que la première se rapporte aux calculs les plus difficiles que les savants aient à exécuter, à l'application des lois les plus complexes, les plus grands géomètres du siècle dernier, Descartes, Pascal, Roberval, de Lahire, Réaumur, Newton, Maclaurin, etc., se sont occupés de la seconde question. Ce sont surtout les courbes variées obtenues par le roulement, le transport des guides, les curieux théorèmes fournis par le cycloïde et les épicycloïdes, qui avaient fait concevoir l'espérance de tracer avec la règle et le compas presque toutes les courbes. Il reste toujours à déterminer les limites du problème, qui a attiré l'attention de tant de grands esprits.

Equations du premier degré en y et d'un degré quelconque en x. — Je reviens aux équations, et je pren-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

drai le cas si important où une des variables entre au premier degré et dans un seul terme, l'autre formant les termes d'un degré quelconque de l'équation, c'est-à-dire que celle-ci est de la forme :

$$y = Ax^m + Bx^m - 1 \ldots + q.$$

On voit que c'est le cas qui répond à la solution des équations numériques de la forme :

$$Ax^m + Bx^{m-1} \ldots + q = 0,$$

c'est-à-dire que cette voie conduit à la solution mécanique des équations numériques, à la détermination des racines des équations, une des plus curieuses applications qu'on puisse se proposer du genre de machines dont nous nous occupons.

Le problème peut être considéré comme se ramenant, avec l'addition des divers termes et de la multiplication par des coefficients, que l'on sait effectuer, à l'emploi d'un système fournissant, pour un mouvement répondant à une valeur quelconque de x, la valeur de y, qu'on peut calculer à la rigueur à l'aide des machines déjà considérées; car on peut aussi bien calculer a^m que $abcd$, sauf la durée de l'opération qui ferait du calcul des termes successifs une opération trop longue. Pour la solution complète, applicable géométriquement, il faudrait un nouveau progrès, que le calcul des divers termes fût simultané, ce qui ne paraît pas impossible.

La solution directe de ce problème n'a jamais, que nous sachions, été tentée. Nous ne savons si Vaucanson qui, avons-nous lu, avait conçu une semblable entreprise, a pris la route que nous avons indiquée.

Cette solution repose sur la possibilité de représenter la fonction puissance au moyen du système de roues dentées et de pignons montés sur un même axe. On sait que R, R', R''... étant les rayons des roues, r, r', r''... ceux des pignons, le rapport des chemins parcourus par le premier et le dernier mobile est $\frac{R, R', R''}{r, r', r''}$, ou $\left(\frac{R}{r}\right)^k$ si les roues et les pignons sont égaux et s'il y a k axes.

Avec des valeurs de R et r telles que $\frac{R}{r}$ représente la suite des nombres 1, 2, 3... et qu'il en soit de même pour k, on pourra obtenir toutes les valeurs possibles de x^m. Pratiquement les solutions possibles par cette manière d'opérer sont fort limitées; il faudrait inventer des dispositions complémentaires fort compliquées, consistant en séries de rouages, dont le rapport variât de 1 à 100 par exemple, mis en communication à volonté par des pièces glissantes, pour parvenir à l'appliquer au calcul d'équations numériques assez simples, en n'employant qu'un nombre de rouages limité; mais indépendamment d'un système établissant la continuité, que nous allons voir bientôt être possible au point de vue théorique, lorsqu'on peut considérer le nombre de rouages comme indéfini, pour les valeurs comme pour les diverses puissances de x fonctionnant en même temps pour une même valeur de x (multipliées par les coefficients convenables), un résultat du plus haut intérêt peut se déduire de cette seule possibilité.

Elle permet d'établir que l'équation

$$y = Ax^m + Bx^m - 1 \ldots + q$$

peut toujours être calculée mécaniquement; que les valeurs de y, pour une valeur quelconque de x, peuvent être obtenues au moyen de mécanismes composés de rouages circulaires, *quel que* soit le degré de x.

Tracé des courbes. — En passant au problème corrélatif du tracé des courbes qui est résolu dans les mêmes limites par le même système, et en transformant, comme il a été dit, le mouvement des roues initiales et finales en mouvement rectiligne de coordonnées, on peut dire : ***que l'on peut, à l'aide de mouvements rectilignes et circulaires, sans directrice spéciale, tracer toutes les courbes dont l'équation est du premier degré pour l'une des variables, quel que soit le degré de l'autre variable;*** la variable du premier degré se trouvant alors égale à la somme des termes de polynôme formé par les diverses puissances de l'autre variable, qui forme une équation à une inconnue quand on l'égale à zéro; les racines sont alors données par la rencontre de la courbe avec l'axe des abscisses. Quand nous disons polynôme, nous montrons que la solution que nous venons d'exposer n'est pas complète et qu'on ne doit pas se limiter exclusivement à une fonction algébrique, car nous avons dans la cycloïde l'exemple d'une courbe dont l'équation du premier degré en y, comprend, dans le second, une fonction trigonométrique (arc sin =), que nous savons tracer à l'aide d'une règle et d'un cercle qui roule sur la règle, dont un point porte un traçoir. Le déplacement du cercle fait de cette machine un système tout différent de celui indiqué ci-dessus, et montre que la solution indiquée n'est ni la seule possible, ni sûrement la plus générale.

On en a une preuve bien plus complète encore si l'on étudie la variété infinie de courbes épicycloïdales que l'on peut obtenir, en faisant tourner des cercles les uns autour des autres, avec des combinaisons de rouages, des rapports de rayons différents. Nous montrons à l'article Epicycloïdales (Courbes), comment on pourrait prévoir les caractères principaux de ces diverses courbes, le nombre des points de rebroussement, etc., en raison du nombre qui représente le rapport des vitesses. Tout ce qui importe ici, c'est de montrer que l'on peut obtenir ainsi des courbes engendrées exclusivement à l'aide de mouvements circulaires, courbes fermées, pouvant être coupées par des droites en m points (quel que grand que soit le nombre m), qui ne pourraient, par suite, être représentées que par des équations du degré m, en x et y. La possibilité d'un semblable tracé indique donc bien que la solution indiquée ci-dessus n'est pas la plus complète qu'il soit possible de trouver; mais il serait évidemment absurde d'en conclure la possibilité de tracer toutes les courbes à l'aide d'appareils n'ayant que des rouages circulaires.

C'est par des considérations théoriques d'un ordre plus élevé que nous arriverons à résoudre complétement le problème, en nous appuyant sur des principes déjà utilisés dans le planimètre, et quelques machines graphiques.

Théorie des machines a équations de M. Stamm. — Nous allons maintenant emprunter, au remarquable travail de M. Stamm, les principes fondamentaux de sa théorie générale, à laquelle il donne le nom d'*Automatique pure*, donnant ce nom à des combinaisons d'organes mécaniques n'employant que la droite, le cercle et le plan combinés, et toutes les fonctions qu'elles peuvent servir à calculer, ce qui revient à déterminer les machines à équation qu'elles peuvent permettre de construire.

Addition et soustraction. — C'est au moyen d'un système différentiel, de roues épicycloïdales, que peuvent être effectuées ces opérations. Décrivons le système qui sera continuellement employé dans ce qui suit.

Soit sur un axe A une roue B (fig. 3240), et sur l'un des rayons de cette roue, pris comme axe, une roue d'angle H engrenant avec deux roues d'angle D, E, disposées sur le même axe A. Le chemin angulaire de la roue B est la moyenne des chemins des roues D, E,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire qu'il est égal à la demi-somme des chemins angulaires des roues D, E, comme le montre l'analyse des systèmes à mouvement différentiel (voy. DIFFÉ-

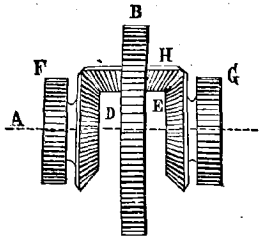


Fig. 3340.

RENTIEL). Si les rayons des pignons F, G, qui sont respectivement solidaires des roues D, E, lesquels reçoivent le mouvement d'organes extérieurs, sont égaux et moitié plus petits que le rayon de la roue B, les chemins parcourus par la circonférence de la roue B seront exactement égaux à la somme algébrique des chemins circonférenciels des roues F, G.

Si $f(t)$ est le mouvement linéaire transmis à la roue F, et $\varphi(t)$ le mouvement linéaire transmis à la roue G dans le même temps t, on a, en représentant par $F(t)$, le mouvement linéaire de la roue B :

$$f(t) + \varphi(t) = F(t),$$

et par conséquent, entre les accroissements élémentaires, en prenant les dérivées :

$$d.f(t) + d\varphi(t) = df(t),$$

ou entre les vitesses :

$$\frac{df(t)}{dt} + \frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{d.F(t)}{dt}.$$

Voilà donc un système qui traduit l'équation

$$a + b = q,$$

c'est-à-dire que deux de ces quantités étant données, la troisième s'en déduit ; et des compteurs étant attachés aux trois roues, si on fait tourner deux roues, de manière que leurs compteurs marquent les valeurs assignées à deux termes de l'équation, le troisième indiquera le nombre qui satisfait à l'équation ci-dessus, et cela dans des conditions excellentes, puisque les trois nombres apparaîtront en même temps.

Des générations et des générateurs. — Dans les arts, lorsqu'on veut imprimer à volonté à un axe toute vitesse comprise entre deux limites données, on emploie souvent un cône qui commande une poulie, à l'aide d'une courroie et d'un tendeur.

En déplaçant la poulie et la courroie le long du cône, on varie le rapport des diamètres, et par conséquent celui des vitesses.

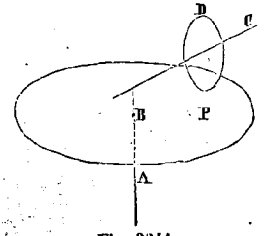


Fig. 3341.

Au lieu d'un cône, on emploie aussi un plateau P, qui est fixé sur un axe A (fig. 3341), et une roulette D fixée sur un axe C parallèle au plateau P, et passant par le prolongement de l'axe A. Cette roulette est pressée sur le plateau, et elle est susceptible de se déplacer le long de son axe, tout en restant solidaire avec lui quant à la rotation. Cet appareil est équivalent à celui du cône; il est plus simple à représenter par des lignes d'axes, comme fig. 3342.

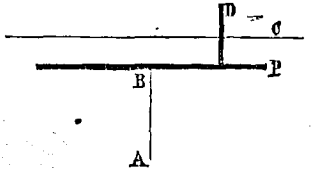


Fig. 3342.

M. Stamm appelle cet appareil *générateur*, quand le plateau commande la rotation, et *générateur inverse* quand c'est la roulette qui commande. Il nomme *génération*, l'opération qu'effectue le générateur.

De l'intégration automatique. — L'intégration automatique s'obtient à l'aide d'un générateur, équivalent à l'appareil qui sert à exécuter des quadratures dans le PLANIMÈTRE d'Ernst et dans le DYNAMOMÈTRE TOTALISATEUR de MM. Poncelet et Morin.

Soit (fig. 3343) un générateur. Le mouvement transmis

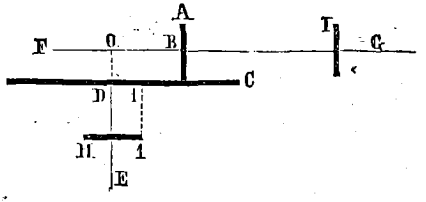


Fig. 3343.

à la roue H, dont le rayon est 1, est représenté par t, la vitesse angulaire pouvant toujours être considérée comme constante et égale à l'unité. Pendant un temps élémentaire dt, le mouvement y transmis par la roue I fixée sur l'axe FG est représenté par rdt, r étant la distance de la roulette au centre du plateau.

Supposons que par l'action du plateau, soit au moyen d'une courbe directrice, soit par toute autre combinaison, la roulette se déplace suivant une loi $f(t) = r$, on aura, pour le mouvement élémentaire transmis par la roue I :

$$f(t)\,dt = dy,$$

et par conséquent, pour le mouvement même :

$$y = \int f(t)dt.$$

Le mouvement représenté par r est la dérivée du mouvement fourni par la roue I. Toutes les parties de l'appareil étant liées ensemble, on peut le commander aussi bien par la roue I que par la roue H.

Nous renverrons à l'ouvrage de M. Stamm pour la description de la disposition qui permet d'effectuer la différentiation automatiquement, l'opération inverse de la précédente.

Génération des mouvements représentés par les diverses fonctions. — On a supposé ci-dessus l'emploi d'une directrice quelconque ; or nous ne disposons pas de tout genre de courbe pour le problème que nous nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sommes posé, mais seulement de la droite, du cercle et du plan. Nous allons montrer que ces éléments suffisent pour représenter les diverses fonctions de x algébriques et même transcendantes, et en généra $y = f(x)$, et même $f(y) = f(x)$. Nous verrons où est la limite de ce mode d'opérer.

1° *Génération des mouvements représentés par* t^m. — En général pour engendrer

$$f(x)\,dx$$

on établit un générateur, on imprime au plateau le mouvement x, représenté par le mouvement du cercle du rayon 1, et on donne à la roulette, à partir du centre, un mouvement de translation représenté par $f(x)$.

Soit (fig. 3344) un générateur Q dont la roue H, de

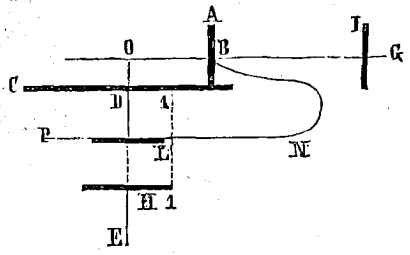


Fig. 3344.

rayon 1, reçoit un mouvement t. Soit encore une roue L sur l'axe E du plateau; cette roue commande une crémaillère PN, qui se recourbe autour du plateau pour saisir la roulette A par son centre, la déplacer par l'axe FG, et faire varier r par conséquent.

Supposons que quand $t = 0$, la roulette soit sur le centre du plateau au point O, a étant le rayon de la roue L, comme OB ou r sera toujours égal à at, le mouvement élémentaire transmis par la roue I sera $at\,dt$, et par conséquent son chemin représenté par

$$\int at\,dt = \frac{1}{2}\,at^2.$$

Si un second générateur Q' non figuré, identique au précédent, sauf qu'il ne possède pas de crémaillère mue par une roue L', a son axe E' également animé du mouvement t, et si sa roulette A', placée également au centre du plateau au début du mouvement, est déplacée par l'action d'une crémaillère mue par la rotation de la roue I du générateur Q, de manière qu'on ait $r' = \frac{1}{2}\,at^2$, le mouvement d'une roue I' sera représenté par

$$\int \frac{1}{2}\,at^2\,dt = \frac{1}{2\,.\,3}\,at^3.$$

En répétant la même opération sur un troisième générateur Q'', de manière qu'on ait $r'' = \frac{1}{2\,.\,3}\,at^3$, le mouvement de la roue I'' sera donné par

$$\int \frac{1}{2\,.\,2}\,at^3\,dt = \frac{1}{2\,.\,3\,.\,4}\,at^4.$$

On peut continuer indéfiniment ces combinaisons. Pour la solidarité réciproque des générateurs, *on doit lier toutes les roues* H, H', H''... *par une crémaillère ou toute autre transmission simple.*

Si au lieu de transmettre directement le mouvement de chaque roue I au centre de la roue I', on établit des transmissions, des intermédiaires-coefficients représentés par les rapports a', a'', a'''..., on peut, en prenant des rapports convenables, réaliser, par les roues successives, les puissances simples t^2, t^3... Ces valeurs doivent être $a = 2$, $a' = 3$, $a'' = 4$...

M. Stamm donne le nom de *généalogie* à une suite de générateurs ainsi liés.

On conclut de ce qui précède, que : *Étant donn généralement à engendrer un mouvement représenté par* At^n, *n étant entier et positif, on établit les dérivées successives :*

$$At^n,\quad nAt^{n-1},\quad n(n-1)At^{n-2}..$$
$$[n(n-1)(n-2)\ldots\quad (n'(n-1)]A.$$

On construit $n-1$, *générateurs dont chaque roulette est déplacée par une crémaillère mue par la roue finale du générateur précédent, et on donne à la roue* L, *motrice de la crémaillère du premier générateur, un rayon*

$$a = n(n-1)(n-2)\ldots\ [n-(n-1)]A.$$

Génération des mouvements représentés par $\sqrt[n]{x}$. — On vient de voir la génération de $y = At^n$. Si sans rien changer au mécanisme de $y = At^n$, on commande son mouvement par la roue finale I_{n-1}, cela revient à considérer t comme variable dépendante, et y comme variable indépendante. La roue H du premier générateur engendre alors le mouvement $t = \sqrt[n]{\frac{1}{A}\,y}$, parce que toutes les parties étant solidaires, le mouvement se transmet aux plateaux qui transmettent immédiatement les mouvements de déplacement voulus aux roulettes.

Ainsi étant donné à engendrer le mouvement

$$\sqrt[n]{y} = t.$$

on réalise d'abord une *généalogie directe* pour la génération de $y = t^n$; puis renversant la commande en commandant le mécanisme par sa roue finale avec le mouvement y, on obtient, par la première roue H, le mouvement t.

Employée ainsi, la généalogie devient inverse.

Étant réalisée une généalogie inverse qui permet d'engendrer $\sqrt[n]{y}$, si l'on commande sa dernière roue par une roue finale d'une généalogie directe qui donne le mouvement t^m, c'est-à-dire si l'on fait $y = t^m$, la première roue finale de la généalogie inverse fournit le mouvement $t^{\frac{m}{n}}$.

En général donc, étant demandé un mouvement $AX^{\frac{m}{n}}$, X *étant une fonction quelconque, on realise deux généalogies, l'une pour* X^m, *l'autre pouvant former* X^n, *on imprime le mouvement* X *à la première roue de la première généalogie, et on commande la dernière roue de la seconde généalogie par la roue finale de la première; enfin on multiplie le mouvement obtenu dans la généalogie seconde ou inverse par* A, *à l'aide d'un intermédiaire-coefficient.*

Génération d'un mouvement donné par un produit de deux fonctions. — Soient u, v, deux fonctions représentant deux mouvements, il s'agit d'engendrer le mouvement uv.

On sait que $d.uv = u\,dv + v\,du$.

On réalise (fig. 3345) deux générateurs Q et Q'.

A la roue H du premier Q, on imprime le mouvement représenté par u, et on transmet par crémaillère de la roue H le même mouvement au centre de la roulette A' du second Q', de manière qu'on ait $r' = u$.

A la roue H' du second Q', on imprime le mou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vement représenté par v, et on transmet le même mouvement, par crémaillère, de la roue H', au centre de la roulette A du premier Q, de manière qu'on ait $r = v$.

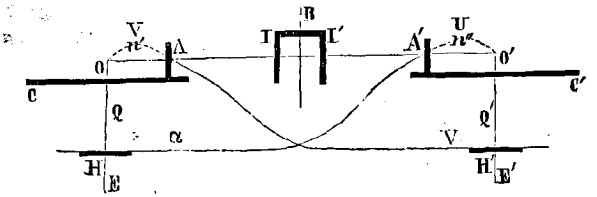


Fig. 3345.

La roulette A aura un mouvement rotatoire élémentaire représenté par $v\,du$, et l'autre roulette A' aura un mouvement rotatoire élémentaire représenté par $u\,dv$.

Faisons des roues I et I' les roues de côté d'un train épicycloïdal additionneur, — la roue B du milieu étant toujours double des roues de côté I, I', et les roues A, I, A', I', étant égales, — le mouvement circonférentiel élémentaire de la roue B sera représenté par $v\,du + u\,dv = d.\,uv$, et par conséquent son mouvement sera uv.

Ce mécanisme s'accorde bien avec le générateur du mouvement $y = t^2$; car si l'on fait $t^2 = vu$ et $v = u$, on remarque que chaque roulette peut être aussi bien déplacée par la roue de son propre plateau (les roues H, H', étant toujours du rayon 1), et que chaque roulette réalise par conséquent $\frac{1}{2}t^2$, ce qui fait bien, par l'addition de leurs mouvements, le mouvement $t^2 = y$, fourni par la roue B.

S'il s'agit d'un mouvement donné par le produit de trois fonctions uvz; on sait qu'on a :

$$d.uvz = uv\,dz + uz\,dv + vz\,du.$$

On commence par réaliser séparément les mouvements uv, uz, vz; on prend ensuite trois générateurs, aux plateaux desquels on donne les mouvements z, v, u, et à leurs roulettes on transmet les mouvements de translation uv, uz, vz; enfin on additionne deux des trois mouvements ainsi obtenus $uv.\,dz$, $uz.\,dv$, $vz.\,du$, à l'aide d'un train épicycloïdal, et par un autre train pareil, on ajoute le mouvement total obtenu au troisième mouvement. La roue finale est dès lors animée du mouvement élémentaire $d.\,uvz$, et par conséquent du mouvement uvz.

On peut procéder ainsi, pour un mouvement donné par un produit d'un nombre quelconque n de fonctions, et vérifier toujours la justesse des mécanismes par la supposition de leur emploi pour la génération du mouvement t^n, en faisant $t^n = u\,v\,z \ldots w$, et en égalant entre eux les facteurs pris en nombre n.

Observation. — Nous devons nous arrêter sur la génération d'un mouvement donné par un produit de deux fonctions, qui, sous la forme générale donnée par M. Stamm dans l'analyse de son ingénieuse disposition, pourrait prêter à une interprétation erronée.

En effet, si on concluait que les produits de la forme $xy = z$ pourraient ainsi être obtenus, on commettrait une erreur.

On doit en effet remarquer que, dans le système précédent, il faut que les roues u et v réagissent *simultanément* l'une sur l'autre, qu'elles doivent être mues en même temps par des simples roues dentées, ce qui revient à dire que u et v sont fonction d'une seule variable indépendante, et que par suite le système décrit revient à $y = f(x)\,\varphi(x)$, et non à une relation $f(x, y)$ renfermant des termes en $x\,y$, où les deux variables seraient liées par une relation de produit.

Génération d'un mouvement donné par un quotient $\frac{1}{v}$.

osons $u = \frac{1}{v}$ ou $u\,v = 1$.

Si l'on fait d'abord $u = 1$ et $v = 1$, la roue totalisatrice B prend une position que l'on rend fixe. La roue B ne bougeant plus, il est clair qu'en imprimant le mouvement v par exemple à l'un des plateaux, l'autre donnera le mouvement

$$u = \frac{1}{v}.$$

Il est intéressant de voir comment se passe cette opération automatique. Le mouvement circonférentiel de la roulette A est égal à celui de la roulette A' (la roue B ne bougeant pas), qui est mue par le plateau C', dont le mouvement est v; le mouvement rectiligne r du centre de la roulette A est égal au mouvement v du plateau moteur; le mouvement r' de la roulette A' est égal au mouvement à réaliser.

Ainsi le mouvement rectiligne et le mouvement rotatoire élémentaire des roulettes qui déterminent le mouvement élémentaire du dépendent l'un du mouvement v du plateau moteur, l'autre du *mouvement à engendrer* en même temps que du mouvement du plateau moteur.

Génération de t^{-m}. — Ce qui précède donne le moyen de réaliser $y = t^{-m}$, car $t^{-m} = \frac{1}{t^m}$.

Or on sait engendrer t^m, et on en déduira $\frac{1}{t^m}$ au moyen de l'appareil de la figure 3345. On sait donc également obtenir

$$y = A\,t^{-\frac{m}{n}} = \frac{A}{\sqrt[n]{t^m}}.$$

Représentation des équations algébriques. — On peut donc considérer comme résolu le problème d'engendrer, par une seule opération, un polynome à une variable, de la forme

$$A x^m + B x^{m-1} + C x^{m-2} \ldots + Q x + K = y.$$

On peut aller au delà, et chercher la représentation des fonctions non algébriques.

Génération des fonctions exponentielles et logarithmiques. — Ces générations ont ceci de particulier que les dérivées sont fonction du mouvement à engendrer, ou, pour être plus clair, que la vitesse du mouvement à réaliser est fonction du chemin parcouru par ce mouvement.

Nous avons déjà montré une génération de cette espèce pour $u = \frac{1}{v}$.

Soit (fig. 3346) un plateau tournant par l'action d'un moteur en raison des valeurs d'une variable indépendante x agissant sur une roue H, de rayon 1, montée sur l'axe E du plateau. La figure représente les deux roues en élévation et un plan de l'appareil.

Soient F G un axe parallèle au plateau et passant par le prolongement géométrique de l'axe E; A une roulette susceptible de se déplacer sur l'axe F G et mue par le plateau (cette roulette et son axe sont solidaires, quant à la rotation); L, K, une paire de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roues d'angle, égales entre elles, et commandant la rotation d'une roue M par la rotation de l'axe FG;

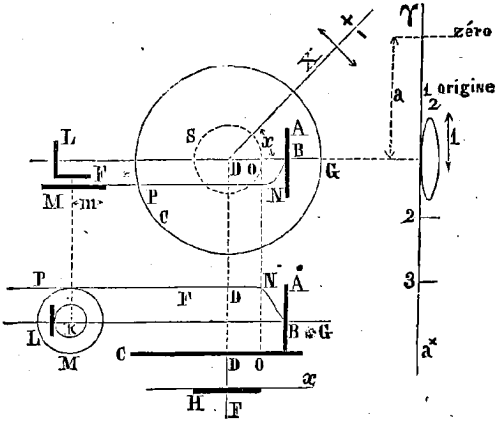


Fig. 3346.

NP une crémaillière qui déplace la roulette par l'action de la roue M, dont le rayon sera désigné par m.

Soit X un rayon tracé sur le plateau, et qui, à l'origine du mouvement de ce dernier, se trouve parallèle à l'axe FG. Sur le centre D, traçons un cercle S de même rayon 1 que celui de la roue H. Les chemins x de la roue H pourront se compter sur ce cercle dans l'angle du rayon X et à partir de sa position originelle DG. Sur le prolongement de l'axe FG, construisons une roue I, identique à la roulette et invariable de position, qui transmettra le mouvement rotatoire de la roulette à une crémaillère y, située derrière elle sur la figure. Sur cette crémaillère, portons une série indéfinie de divisions correspondantes aux nombres 0, 1, 2, 3... Cette crémaillère figurera un compteur; nous ne la substituerons à un compteur ordinaire que pour la clarté des explications.

Supposons maintenant la roulette sur le plateau, dans une position telle que BD ou $r = m$, et en même temps la crémaillère y dans la position où la division 1 est exactement derrière l'axe FG, et représentée sur la figure par l'intersection de la ligne y avec le prolongement de l'axe FG.

Faisons tourner le plateau dans le sens des x positifs indiqué plus haut sur le rayon X; la variable indépendante x (qui peut être le *temps* si l'on veut), est indiquée, comme nous l'avons déjà dit, par l'arc parcouru sur le cercle fictif S, supposé immobile.

Soit $f(x)$ le mouvement imprimé à la crémaillère y, ce mouvement est positif et a lieu de bas en haut. Faisons $m = 1$.

Il est évident que chaque mouvement élémentaire de $y = f(x)$ se traduit, au moyen de la roue M, par un déplacement élémentaire égal de la roulette A; en conséquence, le rayon DB ou r est toujours égal à $f(x)$. Donc on a ici

$$d.f(x) = f(x)\,dx, \qquad (1)$$

et pour une valeur quelconque de m, on aurait eu

$$d.f(x) = mf(x)\,dx. \qquad (2)$$

Qu'est-ce que l'expression (2), dont la dérivée est égale à la fonction elle-même? C'est celle-ci:

$$de^x = e^x\,dx.$$

Le mécanisme engendre $e^x = y$, à l'aide du moteur développant la variable indépendante x, et avec une vitesse toujours égale à e^x.

Quand $x = 1$, la crémaillère fournit la valeur de e, qui est 2,718,281... base des logarithmes népériens.

Quand $x = 0$, $y = 1$ par convention, et la roulette est sur le cercle S.

Considérons la génération de l'expression (2).

Quand $f(x)$ ou $y = 1$, ce qui correspond à $x = 0$, on a :

$$\frac{df(x)}{dx} = m = r.$$

Quand $x = 1$, $f(x)$ ou y égale une certaine valeur a, qui est la base du système exponentiel par lequel on peut représenter l'expression (2), c'est-à-dire qu'on a

$$d.a^x = ma^x\,dx.$$

On sait, par le calcul, que

$$m = \frac{\text{Log } a}{\text{Log } e} = \text{L}a.$$

(La est le logarithme népérien de a.)

Il est évident que les rotations du plateau, comptées sur le cercle S, sont les logarithmes des valeurs y, et que l'on peut automatiquement, par l'appareil, obtenir le logarithme d'une grandeur donnée ou la grandeur dont on donne le logarithme; on peut donc se servir de cet appareil pour trouver m.

Étant donnée généralement une exponentielle $y = a^x$, on la réalise automatiquement par l'appareil de la figure 3346, en donnant à la roue M un rayon

$$m = \frac{\text{Log } a}{\text{Log } e} = \text{L}a,$$

et en plaçant la roulette à une position telle que pour $x = 0$ ou $y = 1$, BD ou r soit égal à m.

Quand on commande le mouvement de l'appareil par y, c'est-à-dire qu'on change la variable indépendante, le plateau engendre les logarithmes.

Si l'on veut engendrer le mouvement représenté par une fonction donnée quelconque $y = Na^x$, on peut engendrer a^x et donner à la roue I un rayon N fois plus grand que celui de la roulette.

Il est facile de suivre les phases de la génération de $y = a^x$ sur l'appareil automatique qui vient d'être décrit.

On voit aisément que lorsque x passe de 0 à $-\infty$, y va de 1 à zéro, et lorsque x de 0 à $+\infty$, y va de 1 à $+\infty$.

Génération des fonctions trigonométriques.— On sait qu'en employant des rosettes, des courbes convenables, on peut obtenir des courbes quelconques, par conséquent figurer les fonctions qui représentent ces courbes. Dans sa généralité nous n'avons pas à nous occuper du problème, puisque nous sommes limités à la ligne droite et au cercle; or, ce dernier nous fournit, en opérant comme on pourrait le faire avec une courbe quelconque, la représentation d'une série très-importante de fonctions transcendantes, celle des fonctions trigonométriques. Il n'est pas nécessaire pour cela d'employer des générateurs à glissement.

En effet, la manivelle et la bielle et toutes les combinaisons qui en dérivent donnent le mouvement sinusoïdal, très-approché quand il n'est pas tout à fait exact, à l'extrémité de la tige guidée en ligne droite qui meut la bielle; c'est-à-dire que x étant le chemin parcouru par le bouton de la manivelle, celui parcouru par l'extrémité de la bielle sera aussi x (voy.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

BIELLE), de telle sorte que la sinusoïde, courbe transcendante, sera tracée très-simplement (avec la règle et le compas) par le système qui vient d'être indiqué, pourvu qu'on donne au plan un mouvement de progression à angle droit avec celui de l'extrémité de la tige. En employant le système de rainure, représenté sur la figure 3347, on se débarrasse tout à fait de l'im-

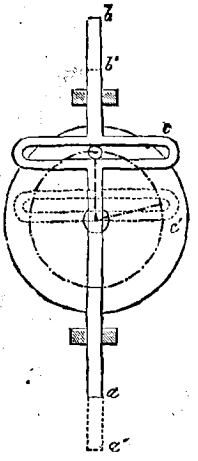


Fig. 3347.

perfection qui résulte dans la pratique de l'obliquité de la bielle, et le mouvement est exactement, à partir du centre, $R \sin \varpi$ ou pour $R = 1$, $\sin \varpi$. — La circonférence de la roue qui porte la cheville tournant de ϖ, la barre aura un mouvement rectiligne égal à $\sin \varpi$.

C'est par l'emploi de dispositions de ce genre que MM. Froment et Lissajous ont construit une élégante petite machine qui trace et grave automatiquement les courbes résultant de deux mouvements sinusoïdaux, à angle droit, dans les diverses positions relatives du commencement du mouvement, courbes identiques à la projection sur un plan de la lumière envoyée à deux petits miroirs collés à l'extrémité des branches de deux diapasons placés à angle droit, que l'on fait vibrer simultanément.

Revenant à la génération du sin ϖ (et par suite de cos x en prenant une origine convenable, en comptant les angles à partir du rayon vertical), on voit que sa valeur sera représentée par le mouvement d'une crémaillère, en garnissant de dents l'extrémité de la tige, résultat semblable à celui obtenu pour les fonctions exponentielles et logarithmiques et qui résout complètement le problème. Il est inutile d'observer qu'une crémaillère peut être mise à volonté en rapport avec une roue épicycloïdale ou une roue à coefficients, et par suite donner naissance à des systèmes semblables à ceux décrits précédemment aussi bien qu'une roue dentée de petit rayon, bien qu'elle constitue une roue de rayon infini. On peut donc établir des généalogies de ces genres de valeurs, à l'aide d'intégrations et de différentiations, comme on l'a fait pour les fonctions algébriques, et notamment obtenir les diverses puissances de ces lignes, et par suite théoriquement aussi des lignes trigonométriques diverses, puisqu'on sait multiplier et diviser des mouvements imprimés à des roues et pignons.

Considérations sur les appareils construits d'après les principes qui viennent d'être exposés. — D'après les citations qui viennent d'être faites, on voit clairement comment on peut construire des appareils propres à réaliser des équations, au moyen de systèmes qui offrent la propriété de permettre à chaque organe un mouvement de roulement indéfini, de pouvoir par suite servir à reproduire simultanément des quantités indéfiniment croissantes ou décroissantes, propriété capitale sans laquelle une machine de semblable nature est radicalement inutile, pratiquement et théoriquement ; toutefois la continuité indéfinie du mouvement n'est possible que pour la rotation des axes, mais pour le mouvement transversal, celui suivant les diamètres du plateau, il n'en saurait être de même. En partant du centre, on ne peut faire parcourir au plateau qu'une longueur égale à celle du rayon, longueur que l'on peut rendre très-grande relativement à celle de la roue qui agit sur la crémaillère et par suite le plus souvent suffisante, mais nécessairement limitée. Pour ce qui est de la marche de la roulette vers le centre, quand elle arrive à ce point, le mouvement est nul, et quand ce point est dépassé, le mouvement du plateau changeant de sens, commandé par la roulette dont le sens ne change pas, la continuation du mouvement moteur devient impossible.

Il est aisé de voir que cet effet est dû à une particularisation faite en plaçant la crémaillère d'un côté plutôt que de l'autre de la roue, donnant par suite un mouvement plutôt pour éloigner du centre que pour rapprocher.

Je renverrai la brochure de M. Stamm pour l'analyse de cette disposition qui permet, par le changement de crémaillère, de continuer le mouvement dans le même sens après le passage du centre. Je citerai seulement ici sa curieuse observation que les cas où le mouvement est impossible, répondant à l'état *imaginaire*, dont la valeur ne saurait être représentée par un mouvement soit positif ou négatif; les deux mouvements indiqués par l'équation étant incompatibles, l'appareil refuse de les donner simultanément, refuse de fonctionner.

Je m'arrêterai seulement aux conséquences tirées par M. Stamm de ce qui précède, afin de discuter une généralisation qu'il formule comme nous allons le dire et qui me paraît exagérée, enfin pour appliquer au tracé des courbes, les résultats théoriques auxquels il est parvenu.

Réflexions sur les machines à équations. — On a souvent tenté de réaliser des machines à équations, mais la direction dans laquelle on cherchait la solution ne pouvait conduire au résultat desiré. Si Vaucanson était entré dans la direction que nous avons prise, dit M. Stamm, il aurait sans doute résolu ce curieux problème, car, avec tout ce qui précède une machine à équations ne semble pas une tentative impossible : les roulettes peuvent glisser il est vrai, mais un habile emploi de certains moyens propres à multiplier l'adhésion de ces roulettes (les moyens électro-magnétiques proposés par M. Nicklès, par exemple) permettrait probablement de surmonter cet obstacle d'une manière satisfaisante. Quoiqu'il en soit, parlons de la question au point de vue géométrique.

Si l'on veut réaliser un appareil par lequel une équation donnée pourra se résoudre par rapport à l'une quelconque de ses lettres, et *reproduire aux yeux l'équation transformée*, dont le premier membre représentera cette lettre seule et dégagée d'exposants, et le second les autres lettres combinées comme il convient pour représenter des opérations immédiatement exécutables par le calcul, si c'est là ce qu'on entend par une machine à équation, nous ne signalons aucune solution du problème, qui ne saurait être du ressort de la mécanique qui ne peut opérer que sur des nombres. Si

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'on entend par une machine à équation ce que l'on entend par les mots Machine à calculer, la solution sera plus possible à nos yeux. On pourra en effet adapter des *compteurs* à chaque organe et, après avoir choisi dans l'équation deux variables, dont l'une sera l'*inconnue* et l'autre une lettre *connue*, convenablement prise pour inconnue, on pourra amener, par le mouvement, cette dernière à sa valeur donnée et reconnaître ensuite la valeur cherchée de l'autre variable ou inconnue réelle.

Des équations automatiques. — Une équation automatique est un mécanisme composé de figures géométriques qui représentent par leurs actions réciproques et leurs grandeurs simultanées, les opérations contenues dans une équation algébrique, et les valeurs simultanées des parties variables de cette équation.

Toute équation (composée de termes simples de chacune des variables, restriction nécessaire à notre avis) est réalisable automatiquement à l'aide des moyens que nous avons décrits pour la génération des mouvements représentés par les fonctions fondamentales dont se composent toutes les équations.

Quoiqu'on puisse toujours, dans une équation, considérer une variable comme indépendante et l'autre comme dépendante, ou une variable comme motrice dans le mouvement qui la développe et l'autre comme mue, il vaut mieux ne plus considérer l'expression automatique sous ce seul aspect.

Nous faisons bien mouvoir le système de l'une des variables, mais suivant la nature de l'équation il faut quelquefois nous arrêter au bout d'un certain chemin, lorsque l'appareil touche à des rainures en opposition les unes avec les autres, refuse de marcher et indique *qu'il est à la limite où finit le réel et où commence l'imaginaire*, alors nous essayons de retourner en arrière, de changer les signes de certaines dérivées partielles en renversant des crémaillères, de commander le mouvement par l'autre variable dans un sens ou dans l'autre, et même, s'il le faut, de commander les deux variables à la fois, quoiqu'elles soient dépendantes l'une de l'autre. On le voit, l'appareil ne doit plus être considéré dans le cas général comme un générateur complexe mû par un moteur de mouvement uniforme développant une variable, *mais comme un conditionnement automatique de variables simultanées*. Nous entendons par *système automatique ou généalogique* d'une variable, l'ensemble des pièces ou généalogies directement commandées par cette variable, quand on la suppose *motrice indépendante* dans l'appareil ou équation automatique.

Les *généalogies partielles* ou composantes de chaque système automatique compliqué, prises chacune à part, représentent bien encore des fonctions automatisées, mais elles sont assujetties à des conditions telles, que leurs dérivées partielles n'ont plus aucun sens propre, capable de faire connaître à l'avance le mouvement final. Pour en tirer des conséquences, quant à ce mouvement final, il faut examiner les réactions des diverses généalogies, les équations dérivées ou *dérivées générales* de l'équation algébrique donnée, et en conclure : 1° les évolutions diverses des variables et leurs instants ou points singuliers ; 2° les signes des dérivées secondes générales ou particelles.

Quand les dérivées générales $\frac{dy}{dx}$ et $\frac{d^2y}{dx^2}$ donnent l'*infini momentané*, les dérivées particelles placent telles roulettes sur les centres de leurs plateaux et telles autres sur les rayons finis de ces plateaux, en sorte que ces rapports infinis ne comportent pas des systèmes automatiques de dimensions impossibles ; dans le cas inverse où telles dérivées égalent zéro, les mêmes observations sont à faire. Il n'en est pas de même quand il s'agit des valeurs pouvant aller réellement à l'infini, comme chemin absolu. Les fonctions automatiques fondamentales que nous avons exposées, sont d'ailleurs toutes dans ce cas quand elles sont prises isolément. La génération de telles valeurs trouve ses limites dans les limites finies de l'action humaine quand on veut les réaliser, mais aussi celles-là ne sont jamais demandées directement dans les arts que pour une valeur finie de leur parcours.

Les mouvements généalogiques qui ont des points de rebroussement se signalent aussi, à ces points, par un refus de fonctionner ; le rebroussement exige des changements brusques de rotation, de signes et de grandeurs dans leurs dérivées secondes.

Si l'équation qu'on veut réaliser contient trois variables, on la réalise comme les autres, en ayant soin pour chaque variable de réunir à une transmission spéciale toutes les pièces qui doivent avoir le mouvement de cette variable ; cela fait trois systèmes généalogiques. Si l'on ne commande qu'une variable, les deux autres sont indéterminées dans les limites de l'équation, ou, si l'on veut, dans la surface qui représenterait ses lieux géométriques.

Si on commande deux des trois variables, ou si on en relie deux par des *équations automatiques de condition*, la troisième variable est évidemment déterminée.

Il serait superflu de répéter les mêmes raisonnements pour une équation d'un nombre quelconque de variables.

Terminons ces observations par une règle générale pour l'automatisation d'une équation.

Etant donnée une équation à automatiser, on automatise d'abord chacun des termes qui contiennent des variables, par des combinaisons de généalogies, des additions, des soustractions, des multiplications, etc., comme nous l'avons montré dans l'exposé des fonctions automatiques simples ; on additionne ensuite dans chaque membre les termes constants et variables à l'aide d'appareils épicycloïdaux ; puis on rend solidaires les roues finales du premier et du second membre. — Si l'équation est de la forme $(X, Y\ldots) = 0$, *la roue finale du premier membre doit rester immobile. — On lie ensuite, pour chaque variable, toutes les pièces qui doivent avoir un mouvement par une transmission commune qui rend leurs mouvements solidaires.*

Nous avons reproduit ce qui précède, surtout pour pouvoir discuter une conséquence importante, à savoir :

Toute équation est-elle réalisable automatiquement ? Il semblerait que l'affirmation résulte de ce qui précède, ce qui serait une erreur, comme je vais chercher à l'établir.

Je m'occuperai d'abord, pour la détermination des limites du problème, des équations à deux variables, la solution étant complète pour celles à une variable, pour les valeurs des polynomes de la forme générale $y = Ax^n + Bx^{n-1}\ldots + q$, pour les équations en vue desquelles on a cherché à construire des machines à équation, afin d'obtenir mécaniquement leurs racines ou la suite de leurs valeurs pour les diverses valeurs de x.

Lorsque nous avons étudié les organes servant à réaliser le produit uv nous sommes arrivés à un système qui exige que u et v soient deux fonctions d'une seule variable indépendante x. S'il s'y trouvait une seconde variable y et des termes en xy, les valeurs de u et v ne seraient plus simultanées et le système mécanique deviendrait insuffisant.

On comprend facilement que les réactions mutuelles de x et de y, dans la réalisation d'expressions où les variables sont combinées à la fois par addition et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par multiplication, par une opération d'un ordre plus élevé que leur combinaison par addition seulement, cas pour lequel elle n'est, comme on l'a vu, possible qu'au moyen d'organes qui réagissent simultanément l'un sur l'autre, dépasse les limites des organes mécaniques employés. Le système de roues circulaires et de droites devient en général insuffisant, ce qui est bien naturel, puisqu'il s'agit d'équations qui répondent à la généralité des courbes algébriques, qui certainement ne peuvent se tracer toutes avec la règle et le compas.

La représentation des polynomes à une variable à l'aide de systèmes pouvant agir directement et inversement, conduit comme il a été établi à la réalisation d'une très-nombreuse famille de courbes à deux inconnues d'un degré quelconque, à ce curieux théorème :

Toute équation à 2 variables où les termes en x *et* y *se resolvent en deux polynomes à une seule variable de la forme* $F(x) + f(y) = 0$, *peut être réalisée par un appareil qui ne comprend que des mouvements rectilignes ou circulaires.*

Il reste toutefois à faire observer que s'il est nécessaire qu'une valeur a de la variable indépendante x ne donne qu'une valeur de $F(x)$, il ne l'est pas que $f(y) + F(a) = 0$ ne donne qu'une valeur de y, ce que l'appareil semble pouvoir faire seulement. Il devrait fournir toutes les racines réelles de cette dernière équation.

Il faut distinguer ici entre les résultats théoriques et les résultats pratiques, qui, dans le cas actuel, ont moins de valeur que les premiers. Un système exécuté, avec la disposition de ses roues, crémaillères, etc., ne peut donner qu'une valeur de $F(x)$ pour une valeur de x, une valeur de y pour une fonction de $f(y)$. Mais cette disposition est elle-même variable dans chaque partie de chaque système qui répond à une puissance de la variable. Ainsi une roulette placée d'un côté de l'axe pourrait être placée de l'autre côté, de manière à donner des produits de signe différent, etc.

Autrement dit, le résultat théorique répond évidemment à la succession de toutes les dispositions possibles et non pas seulement à la position initiale du système qui est la cause du résultat unique dans chaque cas; par suite il est parfaitement certain, bien que la construction de l'appareil ne permette pas d'obtenir commodément toutes ces dispositions dans la pratique, que la discussion montrerait qu'elles peuvent fournir toutes les valeurs possibles. Nous arrivons encore ici à un résultat évident d'après ce qui précède; c'est que les appareils dont il s'agit ici, considérés dans leur plus grande généralité, ne présentent pas la chance de réalisations bien utiles; mais il n'en est pas de même des conséquences théoriques qui offrent le plus grand intérêt.

Nous compléterons toutefois cette étude au point de vue théorique en parlant des équations à plus de deux variables, et le ferons en peu de mots, car il s'agit ici de faits bien éloignés de la pratique.

Équations à plus de deux variables. — Une équation à plus de deux variables ne pouvant fournir, pour une valeur d'une première variable indépendante, une valeur déterminée des autres, il n'y a plus en réalité de machine à équation possible; on ne peut que combiner des espèces de compteurs plus ou moins ingénieux pour faciliter l'étude de ces équations.

La détermination de variables indépendantes, sauf deux, permettra de calculer l'équation finale, si elle est de la forme $F(x) + f(y) = 0$, mais on n'aura ainsi qu'un résultat de peu de valeur, propre à donner une valeur de la dernière variable pour une de l'avant-dernière. Pour trois variables, on pourra ainsi étudier la section, par un plan, de la surface représentée par l'équation à trois variables, et cela pourra avoir lieu dans le cas où l'équation pourra se ramener à la forme $F(x) + f(y) + \varphi(z) = 0$, et on obtiendra toujours une valeur de la troisième variable pour des valeurs arbitraires des deux premières.

On voit qu'en réalité les machines à équation peuvent fournir la représentation complète d'une équation à une inconnue, et celle d'une famille d'équations à deux variables. C'est là la limite de leur puissance. Cela nous ramène à la liaison intime de la question de la construction de ces machines au moyen du plan, de la ligne droite et du cercle, et celle du tracé des courbes avec la règle et le compas. Or l'étude précédente qui résout si complétement en théorie le premier problème, nous paraît résoudre encore mieux le second, et fournir une réponse parfaitement satisfaisante à une question posée inutilement, et depuis longtemps, par les plus grands géomètres.

Tracé des courbes. — Quelles sont les courbes qui peuvent être tracées à l'aide de la règle et du compas?

Nous avons vu que la forme la plus générale de l'équation à deux variables qui puisse être automatisée avec des roues et des crémaillères est celle où les termes en x peuvent se séparer de ceux en y, qui peut s'écrire $(F x) + f(y) = 0$, et dans ce cas si un ruban enroulé autour de la roue des x, ou une crémaillère engrenant avec elle, fait mouvoir un tableau, les mouvements de celui-ci seront les abscisses de la courbe. Si un autre ruban enroulé autour de la roue des y se replie perpendiculairement au premier, et porte un traçoir, la machine à équations deviendra une machine à tracer les courbes, en traçant un nombre infini de points, à mesure qu'on fera tourner la roue des x de 0 à $+\infty$ et de 0 à $-\infty$.

D'où l'on doit conclure : *que l'on peut tracer, à l'aide de roues et de lignes droites, toute courbe dont l'équation pourra se mettre sous la forme* $F(x) + f(y), = 0$, *quelque élevé qu'en soit le degré*, ou en développant, par exemple, quelles que soient les valeurs de m et n, se résoudra en une expression pouvant se diviser en deux termes distincts en x et en y que :

$$Ax^m + Bx^{m-1} \ldots + \cos.\ x + q \text{ et}$$

$$Ay^n + By^{n-1} \log.\ y + \ldots q' = 0, \textit{ et que les courbes dont l'équation ne pourra rentrer dans cette forme ne sauraient être obtenues à l'aide de la règle et du compas, suivant la locution habituelle.}$$

Ce qui précède est la démonstration de ce curieux théorème; nous n'avons pas à y revenir; seulement il est curieux de le vérifier, en montrant que les nombreuses courbes que l'on sait déjà tracer ainsi sont dans ce cas.

Le cercle se trace à l'aide du compas, l'ellipse à l'aide de directrices droites : ce sont des courbes de second degré, et toutes les courbes de ce degré doivent être obtenues ainsi, car, par un choix convenable, on peut toujours faire disparaître de l'équation générale le terme en xy.

La sinusoïde $y = \sin.\ x$, la cycloïde

$$x = arc\left[\sin. = \sqrt{(y\ 2r - y)}\right] - \sqrt{y\ (2r - y)}$$

sont des courbes que l'on sait obtenir avec des mouvements rectilignes et circulaires; elles rentrent bien dans la formule générale. La conchoïde $\rho \cos.\ \theta = m$ rentre dans la condition $uv = 1$ en prenant m pour unité.

Nous arrivons maintenant au cas le plus intéressant, aux courbes Épicycloïdales (voy. ce mot) comprenant des courbes fermées de tous les degrés possibles en x et y, et que l'on parvient à tracer à l'aide de générateurs, par une disposition semblable à celle qui constitue les systèmes décrits précédemment, et qui nous a conduit à notre théorème général sur les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

équations qu'on peut réaliser automatiquement, avec cette particularisation que les roulettes restent toujours à la même distance du centre.

Si les deux cercles sont égaux, l'équation de la courbe est $\rho = 4a \sin.^2 \theta$, et est bien de la forme voulue. Dans le cas général, les équations de la courbe épicycloïdale décrite par un point d'une circonférence du rayon R', qui fait μ tours entiers en roulant sur la circonférence d'un cercle fini du rayon R, sont :

$$x = (R + R') \cos. \omega - R' \cos. (\mu + 1) \omega.$$
$$y = (R + R') \sin. \omega - R' \sin. (\mu + 1) \omega.$$

En éliminant ω, on aura l'équation cherchée en x et y. Cela n'est pas possible le plus souvent. Mais on sait que cos. $(\mu + 1) \omega$ et sin. $(\mu + 1) \omega$ s'exprime en puissances de cos. ω et sin. ω qui s'élèvent au degré $\mu + 1$. Or en élevant au carré on a $x^2 + y^2 = \rho^2 = f(\sin. \omega, \cos. \omega)$ et par suite on a bien une équation de la forme voulue $y^n = f(x)$.

Les résultats connus rentrent donc bien dans la règle posée, et le théorème entièrement nouveau que nous avons formulé ci-dessus répond pleinement à la question posée par les géomètres : *Quelles sont les courbes qui peuvent être tracées avec la règle et le compas?* Ce qui revient en reportant la question des courbes à leurs équations, à la solution du problème *quelles sont les équations qui peuvent être représentées par des machines à équations ne possédant que des organes de forme rectiligne ou circulaire?* Ce sont celles qui peuvent être mises sous la forme $F(x) + f(y) = 0$.

CAOUTCHOUC. Le développement rapide de l'industrie du caoutchouc a conduit à fabriquer avec cette substance un grand nombre de produits nouveaux et curieux qui ont vivement fixé l'attention publique à l'Exposition universelle de 1855. Bien que plusieurs aient été trop vantés, et quoique l'expérience n'ait pas complétement répondu à toutes les espérances conçues, ces produits sont assez intéressants et peuvent trouver dans des industries nouvelles des applications encore inaperçues assez curieuses, pour que nous devions en parler et compléter ainsi notre premier travail.

Pétrissage du caoutchouc.— Nous avons décrit les appareils de malaxation avec lesquels on pétrit le caoutchouc, on ramène en une seule masse de petits fragments. Cette opération est très-remarquable par la grande quantité de chaleur qui résulte de ce pétrissage, qui porte très-rapidement à l'ébullition l'eau versée sur le caoutchouc. La théorie de l'équivalence de la chaleur et du travail mécanique trouve ici une curieuse application, tant parce que le travail mécanique qui rompt les cohésions moléculaires fait dégager la quantité de chaleur qui correspond à ce travail, comme je l'ai prouvé par les expériences d'écrasement du plomb, que parce que les molécules du caoutchouc rompu dégagent de la chaleur en se recombinant, en se ressoudant entre elles comme cela a lieu lors de la solidification d'un corps fondu. Il en résulte un paradoxe apparent, à savoir que cette opération produit une quantité de chaleur plus grande que celle équivalente au travail consommé, ce qui conduit directement au mouvement perpétuel, à l'absurde.

Il est facile de voir que cette propriété de se resouder après arrachement de manière à donner des quantités supplémentaires de chaleur, correspondant à une quantité de travail plus grande que celle qui répond à la quantité consommée, ne peut appartenir qu'à des corps d'origine organique, dont cet arrachement détruit les utricules constituantes, et que le prolongement du pétrissage viendrait détruire cette propriété et par suite la faculté de donner un excédant de chaleur qui correspond à une cohésion moléculaire, ce qui équivaut à de la chaleur emmagasinée, engendrée lors de la végétation.

Caoutchouc dissous. — Nous allons trouver la preuve

des propositions précédentes, pour le caoutchouc, dans les faits suivants :

MM. Aubert et Gérard, habiles fabricants de caoutchouc, voyant avec quelle facilité le caoutchouc se gonflait, se ramollissait dans les essences, ont voulu aller au delà pour faciliter les opérations mécaniques. Ils sont parfaitement parvenus, en le pétrissant avec le sulfure de carbone qui s'évapore facilement et une petite dose d'alcool, à en faire une pâte bien homogène, et ont pu, par une simple pression, la faire passer à travers une filière, ce qui leur a donné des fils ronds d'une grande beauté ; évidemment supérieurs, quant à leur forme, aux fils carrés que produisent les cisailles et dont la rupture commence toujours par l'éraillement d'un angle.

Mais, malgré tous les soins apportés, ces fils de caoutchouc, dont la forme était excellente, n'ont jamais pu retrouver une élasticité comparable à celle des premiers, évidemment parce que la dissolution poussée trop loin avait trop désagrégé les fibres végétales pour ne plus laisser subsister que le composé chimique, dont les molécules n'ont plus entre elles la même adhérence que lorsqu'elles restent groupées d'une manière déterminée par l'acte de la végétation.

Préparation première du caoutchouc.—Cette espèce de trame organique, dit également le savant M. Balard, dans les excellentes pages qu'il a écrites sur l'industrie du caoutchouc dans le rapport sur l'Exposition universelle de 1855, que possède le caoutchouc naturel lui donne une élasticité bien supérieure à celle qui distingue le caoutchouc malaxé, qu'on appelle dans le commerce caoutchouc régénéré. Il est donc à désirer que les procédés de l'épuration du caoutchouc s'améliorent, de manière à conserver à ce produit naturel toutes ses qualités, et que les formes sous lesquelles on l'obtient le rendent susceptible d'être débité en fils avec moins de perte. C'est précisément ce que tend à réaliser le mode d'extraction que commencent à employer les Indiens du Para, et qu'a fait connaître M. Émile Carrey, par un petit modèle qui figurait à l'exposition des produits de l'Amazone. L'arbre étant incisé par une entaille faite avec une petite hache, ils disposent sous l'incision une coquille retenue en place par le moyen d'un peu de terre grasse, de manière à recueillir le suc pur et sans mélange de matières terreuses ou de débris de bois. Au lieu de façonner ce suc concrété en poires, ils commencent maintenant à tremper dans ce suc une planche rectangulaire munie d'un manche et ayant à peu près la forme et la dimension d'un battoir. Ces appareils se prêtent à un arrangement facile sous la cape d'une espèce de cheminée où on active la dessiccation de ce suc concrété, par la combustion de certains bois indigènes. Cette dessiccation rapide donne au caoutchouc cohérent une teinte uniforme brunâtre due à la fois à l'air et à la fumée, teinte qui est une garantie qu'il ne contient pas d'eau comme le caoutchouc opaque et blanc qui se trouve dans l'intérieur de certaines poires épaisses qui, présentant dans leur section l'apparence du lard, ont été appelées poires lardeuses. On détache ensuite le caoutchouc desséché en tranchant cette espèce de fourreau sur ses côtés, et l'on obtient ainsi des lames naturelles dont le découpage en fils, plus facile et donnant lieu à moins de déchets que celui que l'on exécute sur les poires aplaties, fait vivement désirer que cette méthode plus rationnelle de dessiccation du caoutchouc se répande chez les peuplades qui nous fournissent ce produit.

Cette extraction du caoutchouc, déjà améliorée, le sera bien plus encore quand on pourra y introduire les pratiques rationnelles de l'industrie européenne. M. Antoine, représentant de la Californie à l'Exposition universelle, paraît avoir employé avec succès un procédé qui consiste à recevoir le suc laiteux sur un châssis.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont le fond en toile de coton grossière repose sur une couche de sable fin, de telle sorte que la partie aqueuse de la sève laiteuse, enlevée rapidement par l'imbibition, laisse à la surface une lame de caoutchouc pur, dont on peut compléter la dessiccation au soleil. Cette filtration est cependant lente, et la sève laiteuse sur laquelle on opère pourrait éprouver la fermentation. On peut la prévenir en ajoutant à la liqueur aqueuse 2 ou 3 centièmes d'eau-de-vie du pays, et empêcher ainsi ces altérations de la sève qui déprécient notablement certains caoutchoucs du commerce. On conçoit que quand un tel mode de préparation se sera répandu, le caoutchouc naturel devra présenter une homogénéité de composition analogue à celle du caoutchouc manufacturé, et une résistance à la traction très-appréciée dans la confection des tissus élastiques.

Volcanisation. — L'Exposition universelle présentait deux espèces de caoutchouc volcanisé : caoutchouc résistant à la compression, volcanisé avec introduction dans la masse de carbonate de plomb qui, se transformant en sulfure de plomb, donne à ce produit une teinte noire foncée qui concourt, avec la résistance à la compression, pour rendre cette qualité de caoutchouc plus propre à la confection des chaussures ; et caoutchouc volcanisé sans introduction de matières étrangères, autres que le soufre, qui, selon qu'il a été ou non désulfuré par les solutions alcalines, présente ou la teinte grisâtre du soufre qui vient s'effleurir à la surface, ou la teinte brune du caoutchouc ordinaire. Ce caoutchouc diffère du précédent en ce que, pouvant être comprimé par l'intervention d'une force moins grande, il est moins apte à reprendre le volume qu'il avait avant cette compression, mais en compensation il s'allonge beaucoup plus sous des tractions opposées sans crainte de rupture.

Dans les fabriques d'Allemagne, il arrive souvent qu'à l'exemple de ce qui se pratique aussi parfois en Amérique, on introduit dans le caoutchouc ramolli, de l'oxyde de zinc, matière inerte qui, répandue dans la masse, contribue à lui donner la teinte blanchâtre qu'elle possède, et en augmente la densité ; mais cette addition, qui rend le caoutchouc plus cassant quand on l'étire, sans qu'il présente plus de force de compression quand on le comprime, et qui contribue à rendre plus prompte son altération spontanée par le temps, aidé surtout d'une certaine température, présente des inconvénients que rien ne rachète, et n'a pour résultat que de diminuer le prix du produit aux dépens de la qualité.

Si, à la place de cet oxyde de zinc, inaltérable par le soufre, on introduit dans la masse du caoutchouc d'autres matières colorantes, inaltérables aussi par cet agent, telles que le vermillon, l'outremer, le chromate de zinc, on peut obtenir ainsi, avec des couleurs franches répandues dans la masse et non sujettes à s'effacer, ce qu'on fabriquait autrefois en recouvrant simplement au pinceau, après la volcanisation, les objets en caoutchouc d'une couche de couleur qui ne présentait jamais beaucoup d'adhérence.

On peut mêler, à l'exemple de MM. Aubert et Gérard, les caoutchoucs diversement colorés, ramollis par la chaleur de manière à les incorporer d'une manière incomplète, et produire ainsi des masses présentant cet aspect marbré qui caractérise certains savons. On conçoit qu'en découpant ces masses en lames minces, on peut obtenir ainsi des feuilles de caoutchouc qui présentent l'aspect d'un tissu imprimé. Soude-t-on l'un sur l'autre des disques différemment colorés et d'épaisseur variable, on obtiendra, en les découpant à leur circonférence, des lanières à bandes parallèles diversement colorées, qui constituent des ceintures élastiques simulant parfaitement des ceintures ordinaires tissées avec des fils de différentes couleurs.

Cette manière de découper ainsi un bloc cylindrique de caoutchouc suivant une spirale, et de façon à obtenir une feuille continue de 50 à 60 mètres de longueur, est une amélioration importante dans la manière d'obtenir ces feuilles, qui présentent beaucoup d'avantages quand elles sont de grandes dimensions. Dans la machine qui sert à obtenir ces feuilles, le couteau, maintenu dans des coulisses fixes, au lieu de marcher en avant comme dans les machines anciennes, n'a qu'un mouvement de va-et-vient et ne se déplace pas. C'est le cylindre de caoutchouc qui, tournant sur lui-même, de manière à présenter ainsi les divers points de sa circonférence au couteau, avance progressivement par le moyen d'une vis adaptée au chariot qui le porte. Ces deux mouvements sont solidaires, et tellement combinés, que la feuille détachée a la même épaisseur dans toute son étendue, et que les rayures que forme le couteau et qui donnent le grain distinctif de cette espèce de feuilles sont parfaitement équidistantes dans toute son étendue, résultat qui n'avait pas été réalisé avant les perfectionnements apportés à la machine par MM. Guibal et C^ie^.

Caoutchouc durci. — Le durcissement du caoutchouc trop sulfuré était un inconvénient sérieux qui empêchait de le faire servir à la place du cuir, pour réunir les brides des tuyaux où circule la vapeur. On a pu, dans ces derniers temps, employer le caoutchouc à cet usage, d'une manière très-utile, par deux moyens différents. On l'associe en petite quantité à des matières textiles, qu'il pénètre uniformément et de manière à réunir la résistance mécanique de ces matières avec les qualités que présente le caoutchouc lui-même. En observant que le caoutchouc mêlé de carbonate de plomb ne présente cet inconvénient qu'à un très-faible degré, Gorand a eu l'idée de le mêler avec de l'hydrate de chaux, qui doit, on le sent bien, produire une désulfuration encore plus certaine. 100 parties de caoutchouc, 4 de soufre et 50 d'hydrate de chaux, sont les proportions qu'il emploie pour préparer une pâte de caoutchouc parfaitement élastique, qui se façonne comme à l'ordinaire, et que l'on volcanise ensuite par le procédé usité, puis à la chauffer à 140 degrés pendant une heure ou une heure et demie, soit dans la vapeur d'eau, soit dans l'eau elle-même, qui, dissolvant plus spécialement le sulfure et la chaux de la surface, la laisse bien plus souple.

On sait que ce durcissement du caoutchouc convenablement régularisé est devenu pour M. Goodyear la source d'applications importantes. L'examen des objets de ce genre, exposés déjà en 1851 à Londres, permettait de concevoir, pour le développement de cette industrie nouvelle, des espérances qui ont paru des réalités à l'Exposition de 1855. On a essayé d'employer à des usages très-divers ce caoutchouc survolcanisé, et qui, selon la quantité de soufre qu'il contient et la température à laquelle il a été exposé, peut acquérir des intermédiaires entre l'élasticité du caoutchouc et la rigidité du bois ; on a essayé de le substituer à la toile pour la peinture à l'huile, au fer pour la fabrication des plumes, au cuivre pour le doublage des navires, aux canons de baleine pour fabriquer les baleines des parapluies, à l'écaille dans la confection des peignes, ainsi que de plusieurs objets de tabletterie. Toutes ces applications nouvelles n'ont pas encore eu un succès complet, et l'expérience leur a été peu favorable. Elles n'en sont pas moins très-intéressantes, et quelques-unes subsistent, notamment la fabrication des peignes en caoutchouc, qui est devenue l'objet d'un commerce assez important.

Quelques-unes des grandes usines où se travaille le caoutchouc confectionnent des plaques de caoutchouc durci qui, livré aux ouvriers tabletiers, devient pour eux la matière première qui sert à la confection d'objets

EFERUS - Recherche & Classification numérique

divers. Ces plaques sont toutes fabriquées avec des feuilles de caoutchouc contenant 50 pour 100 de soufre laminées, puis exposées pendant un temps qui varie de 7 à 12 heures, suivant l'épaisseur, à une température de 150 degrés, supérieure dès lors de 20 degrés à celle qui est nécessaire pour produire la volcanisation ordinaire.

En diminuant la proportion du soufre, comme aussi la durée et l'intensité de la chaleur, on obtient une matière d'une dureté et d'une flexibilité comparables à celle du cuir épais, et c'est cette dernière préparation que l'on a essayé de substituer au cuivre pour le doublage des coques de navire. Quelques essais en grand ont déjà eu lieu, et M. Goodyear assure qu'un navire recouvert de ce caoutchouc sulfuré a pu faire un voyage de circumnavigation sans que la couche préservatrice ait été altérée, et qu'il se soit développé à sa surface cette végétation sous-marine qu'un vaisseau non doublé emporte avec lui, et qui ralentit sa marche d'une manière si notable. Du reste, le caoutchouc tout à fait durci lui-même jouit de la propriété de se ramollir légèrement par la chaleur et devient susceptible de recevoir, par la pression, des empreintes diverses. Cette circonstance a permis de tenter, avec chance de succès, des essais pour le substituer aux cylindres métalliques gravés dont on se sert dans l'impression des toiles peintes. Si sa résistance mécanique est suffisante, il est certain qu'il présentera dans son emploi plus d'économie que le cuivre, dont on fait usage généralement, et une matière moins altérable que ce métal par les produits chimiques déposés sur les toiles avec les matières colorantes par la voie de l'impression.

Sauf les modifications de détail appropriées à chaque espèce d'objet, le mode général de fabrication des objets en caoutchouc durci est le suivant : les objets à surfaces planes, tels que les peignes, les manches de brosse, les manches de couteau, les cannes, les baleines, les couteaux à papier, les règles, les équerres, etc., sont obtenus en découpant dans des plaques, par les moyens ordinaires, des morceaux de forme convenable qu'on évide ensuite, que l'on contourne et que l'on fend comme il est nécessaire. L'objet est ensuite poli comme s'il était en écaille. Quant aux objets qui ont une partie légèrement courbe, tels que les lunettes, les peignes à tenir les cheveux, les chausse-pieds, etc., ils s'obtiennent en faisant d'abord ces objets plats, puis en les chauffant assez fortement en les exposant au-dessus d'un fourneau et, profitant de l'espèce de ramollissement qu'ils éprouvent ainsi, pour les bomber sur un moule où ils se refroidissent rapidement en conservant la forme prise.

Pour tous les objets présentant la forme de boîte, tels que les tabatières, les étuis de tout genre, les tubes de télescopes, les petits coffres, on forme par les moyens indiqués ci-dessus les faces planes ou bombées qui composent ces objets, et pour les réunir tous ensemble, on prend des moules intérieurs et extérieurs qui, convenablement disposés, laissent entre eux des vides présentant également les dimensions des objets à obtenir ; on place dans ces vides, aux endroits convenables, les différentes faces déjà préparées, et aux points de contact de ces faces, là où elles doivent être soudées, on met de la poudre fine obtenue en râpant le caoutchouc durci. Le moule alors est soumis à des pressions qui, rapprochant l'intérieur de l'extérieur, compriment très-fortement la matière qui garnit le vide. Il faut, en même temps qu'on presse, avoir soin de chauffer fortement, de manière à ramollir un peu la matière. Ces deux actions continues amènent la réunion parfaite des diverses parties de l'objet par le moyen de la poudre qui sert en quelque sorte de soudure.

Cette poudre est exclusivement employée quand il s'agit de formes très-compliquées, telles que statuettes, moulures de tout genre, etc. Les grains de cette poudre, qui s'agglomèrent sous l'influence de la pression et de la chaleur, forment une matière cohérente qu'on polit et qu'on incruste comme l'écaille, à laquelle, on le voit, le caoutchouc ressemble par son aspect, par son emploi, et par son mode de fabrication.

Il en diffère cependant par la propriété de développer par le frottement des quantités considérables d'électricité, circonstance qui n'a pas lieu d'étonner quand on se rappelle combien est idio-électrique et mauvais conducteur le soufre qui fait partie de ce composé : on avait présenté ce dégagement d'électricité, de même que la production légère mais constante, d'acide sulfhydrique, à laquelle donnent lieu les objets en caoutchouc sulfuré, comme un inconvénient attaché à l'emploi de cette matière : si cet inconvénient pouvait devenir sensible dans un salon où on aurait trop multiplié les meubles en caoutchouc durci, qui, légèrement odorants, pourraient, par l'électricité dont on les chargerait en les frottant, attirer à eux les parcelles flottant dans l'atmosphère, il ne l'est pas évidemment pour les peignes, dont la consommation constante a fait justice de ces objections.

Si cette faculté de dégager de l'électricité n'est pas dans ce cas un défaut, on peut dire que dans d'autres elle constitue une faculté précieuse dont les physiciens sauront tirer parti.

L'Exposition américaine contenait une petite machine électrique, construite par les soins de M. Goodyear, dans laquelle le plateau et les isoloirs en verre avaient été remplacés par du caoutchouc durci, et qui, montée au moment même où elle venait d'être déballée, put, sans aucun soin, donner de vives étincelles dans des conditions où les machines ordinaires n'en auraient pas donné une seule.

Applications du caoutchouc. — Ces applications nouvelles du caoutchouc, quand il a été durci, marchent de pair avec celles où l'on utilise la mollesse et l'élasticité que lui communique la volcanisation ordinaire. L'Exposition universelle a permis d'en constater quelques-unes de nouvelles.

Le velouté de la surface du caoutchouc, et la nature de ses éléments, le rendent propre à recevoir l'encre grasse de l'imprimerie et de la lithographie ; M. Goodyear, en imprimant sur des feuilles de caoutchouc l'ouvrage qu'il a composé sur ce singulier produit, en faisant tirer des lithographies sur des feuilles de caoutchouc substituées au papier, a montré combien il était propre à rendre toute la finesse des détails dessinés sur la pierre. C'est cette propriété, jointe à son élasticité, que M. Devillers a essayé d'utiliser dans une machine à amplifier les dessins. Qu'un dessin soit tracé avec une encre lithographique sur une plaque de caoutchouc blanche et lisse de forme circulaire, et qu'en tirant uniformément cette lame circulaire par tous les points de sa circonférence on donne à la lame une dimension plus grande, qu'on le tende dans tous les sens, le dessin prendra des proportions plus grandes sans se déformer, et on pourra en obtenir des reproductions amplifiées juste au degré nécessaire.

Parmi les produits anglais figurait une bride, où l'élasticité du caoutchouc avait été utilisée d'une manière heureuse. La courroie de cuir qui constitue la bride se bifurque des deux côtés de la tête du cheval en deux courroies différentes, presque parallèles : l'une, en cuir, s'attachant à l'anneau inférieur du mors ; l'autre, plus courte, en caoutchouc, s'attachant à l'anneau supérieur. Tire-t-on modérément cette bride complexe, on n'agit d'abord que sur l'anneau supérieur du mors, et par l'intermédiaire du caoutchouc, qui s'allonge, la courroie de cuir qui lui est parallèle se développe, mais incomplétement et sans se tendre. Mais, dès que par une traction plus grande on a atteint

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la limite où le caoutchouc, suffisamment allongé, cesse d'agir seul et permet à la courroie de cuir de se tendre et d'agir à son tour, la traction qui se transmet alors, d'une manière plus efficace, sur l'anneau inférieur du mors, permet au cavalier d'exercer une action énergique sur sa monture, et, en n'ayant à la main qu'une courroie, il peut produire, pour diriger et modérer la marche du cheval, deux effets qu'on n'obtient ordinairement qu'en agissant sur deux courroies différentes.

La souplesse du caoutchouc volcanisé, qui le rend susceptible de s'appliquer d'une manière parfaite sur des ouvertures diverses, a fait depuis longtemps employer ce produit pour des fermetures hermétiques, et la confection de soupapes diverses. On en fabrique aujourd'hui d'excellentes en forme d'anches, dues à MM. Perrault et Jobard, d'autres de forme sphérique, tantôt en recouvrant de caoutchouc un boulet en fonte, mais mieux encore par les procédés qui servent à obtenir ces balles creuses si légères, dont l'aptitude à rebondir est augmentée par l'air comprimé qu'on y insuffle et qui constituent un jouet d'enfant dont l'usage doit se répandre d'autant plus qu'il est d'une innocuité complète pour ceux qui en font usage, et pour les vitres des appartements où l'on s'en sert. Quoique plus épaisses que ces balles creuses qui servent de joujoux, ces sphères, servant de soupapes, ont cependant des parois assez minces, ce qui les laisserait trop légères, mais lestées avec de la grenaille de plomb placée dans leur intérieur, elles deviennent ainsi plus pesantes, tout en conservant leur parfaite souplesse, et peuvent retomber naturellement et s'appliquer avec exactitude sur les orifices qu'elles doivent fermer quand elles sont abandonnées à elles-mêmes dans le jeu des pompes.

Cette flexibilité du caoutchouc ne lui permet pas de s'appliquer directement à la fabrication des tuyaux des pompes aspirantes, tuyaux qui seraient déprimés promptement et oblitérés par la pression de l'air. On avait essayé d'obvier à cet inconvénient en plaçant dans l'intérieur du tuyau des spirales métalliques résistantes, mais qui ne permettaient pas de faire circuler dans ces tuyaux toute espèce de liquide. On place aujourd'hui ces spirales dans la paroi même du tuyau qui forme ces tubes, qui peuvent alors servir pour la conduite et l'aspiration des acides, la substance métallique étant garantie de tout contact.

Il est des circonstances dans lesquelles on a à exercer, au moyen de corps à surfaces raboteuses, une friction qu'on a intérêt à rendre très-douce. On a, pour atteindre ce but, fabriqué dans ces derniers temps, avec des plaques de caoutchouc volcanisé, présentant des stries et de petits cylindres placés en saillie, des espèces de brosses propres à une foule d'usages, ainsi que des planches à laver, avec lesquelles on ne court aucun risque de déchirer ou d'user le linge, comme il arrive avec les planches de ce genre en bois ou en métal. Il est permis d'espérer que ces nouveaux appareils, introduits dans les buanderies, préviendront peut-être un peu la rapide détérioration du linge qu'on y blanchit.

Chaque jour voit surgir des applications nouvelles du caoutchouc. Enveloppes pour emballer les bouteilles et prévenir la casse; rondelles pour déposer sur l'épaulement d'un flacon en cristal, et rendre la fermeture obtenue par un couvercle de même substance exacte et facile; siphons destinés à transvaser les acides, et qui s'amorcent d'eux-mêmes quand, après avoir pressé une sphère de caoutchouc qui communique avec le tube, on permet à son élasticité de déterminer une aspiration; tête-vin commode, composé d'un tube et d'une boule de caoutchouc qui se remplit de vin par le même moyen, et introduit dans l'industrie l'usage de la pipette en gomme élastique des laboratoires, ce sont autant de formes nouvelles sous lesquelles s'est manifesté, à l'Exposition universelle, l'emploi du caoutchouc.

CAPILLARITÉ. Nous avons indiqué déjà le grand rôle que joue la capillarité dans un grand nombre de phénomènes et les applications multipliées qu'on en fait dans les travaux industriels.

L'étude de cette question par Laplace et Poisson a conduit ces savants à des formules qui représentent convenablement les phénomènes, et réciproquement l'interprétation de ces formules a conduit à des expériences très-curieuses que nous devons indiquer ici.

La formule à laquelle Laplace est arrivé permet de prévoir la forme de la surface du liquide sur lequel s'exerce la capillarité. Elle consiste en ce que, si l'on appelle R et R' les rayons de courbure principaux de la surface en chaque point, K^2 un coefficient qui dépend des corps en présence, et B la quantité dont il faut diminuer la pression moléculaire A qui s'exerce sur la surface du liquide, quand de plane elle devient concave, on a :

$$B = K^2\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$$

Cette formule a conduit M. Plateau aux curieuses expériences que nous voulons rapporter ici.

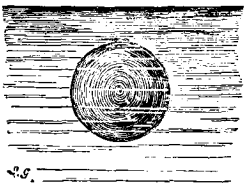
Si un liquide n'était pas pesant, il prendrait un état d'équilibre uniquement déterminé par les actions moléculaires qu'il exerce sur lui-même, et qui doivent agir symétriquement s'il n'y a aucune force étrangère; donc l'on devrait, quel que soit le point considéré sur sa surface, avoir :

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = \text{constante}.$$

La figure que ce liquide prendrait naturellement satisferait nécessairement à cette condition, et réciproquement toutes les formes de surfaces qui y satisfont sont des figures d'équilibre possible, stables ou instables.

Pour réaliser ce cas d'un liquide sans pesanteur, M. Plateau compose avec de l'eau et de l'alcool un mélange en proportions telles, qu'il ait exactement la densité de l'huile, de façon que cette huile s'y maintienne en équilibre parfait.

Pour faire l'expérience, on engage au milieu du liquide mélangé, placé dans un vase de verre, l'extrémité d'une pipette pleine d'huile qu'on laisse écouler très-lentement; elle se réunit en masse à l'extrémité du tube, et, quand elle est en quantité suffisante, on retire la pipette en la bouchant; l'huile reste immobile à la place où elle a été déposée, elle y prend la forme sphérique (fig. 3449). On sait qu'il en est ainsi toutes les fois qu'on agite de l'huile dans un liquide aqueux; les gouttelettes oléagineuses sont toujours sphériques. C'est la forme la plus stable, et elle satisfait évidemment à l'équation ci-dessus.

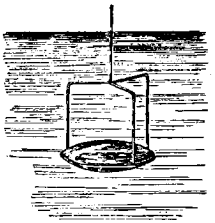


3449.

Pour obtenir d'autres formes, il faut introduire d'autres forces que celles dues aux actions moléculaires. M. Plateau a recours à un artifice qui consiste à fixer certains points de la surface à des contours métalliques formés de fils de fer préalablement huilés; l'huile adhère à ces contours et se présente sous des formes nouvelles. Ainsi, sur une circonférence, elle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

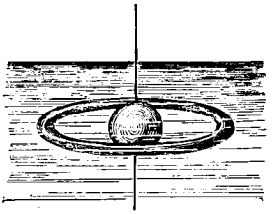
se dispose sous la forme d'une lentille bi-convexe dont les deux surfaces ont le même rayon (fig. 3450). Dans ce cas, on a déterminé la figure de la masse en assujettissant sa surface à passer par une circonférence fixe, et la nouvelle forme satisfait à la fois à la condition générale et à une condition particulière.



3450.

A l'aide de deux contours circulaires métalliques, on peut obtenir un cylindre d'huile parfait, comme à l'aide d'arêtes en fil métallique d'un solide polyédral, des polyèdres dont les faces sont convexes si l'huile est en excès, planes si on en enlève une quantité convenable, et concaves si l'on en retire davantage.

L'expérience la plus curieuse est celle qui s'exécute en imprimant, au moyen d'un axe central, un mouvement de rotation à la sphère qui se forme directement, ce qui s'obtient en la traversant par une tige métallique à laquelle on imprime un mouvement rotatoire. Il se communique bientôt à la masse de l'huile (fig. 3451), et la sphère s'aplatit par l'effet de la force centrifuge, d'autant plus qu'elle tourne plus vite. On sait que c'est à cette cause que l'on attribue l'aplatissement vers les pôles du sphéroïde terrestre.



3451.

Mais quand la rapidité de la rotation augmente, l'aplatissement de la goutte d'huile s'exagère, elle se creuse, et bientôt se sépare en deux parties : l'une, intérieure, est un sphéroïde qui reste au centre; l'autre est un anneau qui l'entoure, et que l'on ne peut s'empêcher de comparer, pour son origine et son aspect, à l'anneau de la planète Saturne.

CHALEUR LATENTE, ou *plutôt chaleur de changement d'état physique des corps.* — Une des plus importantes découvertes, des plus propres à conduire à l'analyse exacte de la nature de la chaleur dans les corps, est celle de la disparition de la chaleur qui accompagne la fusion des solides, ou la vaporisation des liquides, de la chaleur latente. Elle est due à Black, professeur à l'Université de Glasgow.

Bien que la simultanéité des phénomènes calorifiques et des faits mécaniques qui les accompagnent, c'est-à-dire la rupture de toutes les cohésions qui réunissent les molécules des solides et agissent entre celles des liquides, le grand volume de la vapeur, formée en surmontant des pressions, n'ait pas attiré l'attention de ce savant, sa découverte n'en eut pas moins, dans l'ordre mécanique, des résultats d'une très-grande importance. En effet, recueillie par Watt, chargé de la réparation des modèles à la même Université, la théorie de la chaleur latente conduisit ce dernier à calculer les éléments de la condensation de la vapeur pour les machines de Newcomen, et bientôt au condenseur séparé, aux améliorations capitales qui ont fait de la machine à vapeur la plus utile invention des temps modernes.

Newton et Renaldi, en fixant le zéro du thermomètre à la température de la glace fondante, savaient qu'ils obtenaient ainsi un point fixe, constant, tant que toute la glace n'est pas fondue, ne pouvant être influencé par toutes les causes extérieures de réchauffement. Que devenait donc la chaleur communiquée au vase pendant toute la durée de la fusion? Ce fut Black qui se posa le premier la question. Il conclut de la disparition évidente de la chaleur qui ne pouvait s'anéantir, qu'elle s'emmagasinait dans le corps bien que cessant d'être apparente, de produire les effets par lesquels elle se manifeste habituellement. C'est pour cela qu'il l'appela latente, cachée.

Il n'y avait évidemment, dans cette manière de comprendre les faits, qu'une idée systématique, contraire aux résultats de l'expérience, puisque nous ne reconnaissons la chaleur dans les corps que par les variations de température, que nous ne concevons pas de la chaleur qui ne se manifeste pas ainsi. C'est qu'en effet la chaleur n'est nullement cachée, latente, dans les phénomènes dont il s'agit ici. Si elle disparaît, c'est qu'elle est réellement consommée, ainsi que nous allons le voir.

1. CHALEUR DE FUSION DES SOLIDES. — La fusion des corps solides, c'est-à-dire la destruction des cohésions moléculaires qui les constituent, coïncidant avec une disparition d'une quantité de chaleur, il est manifeste, dès que la notion d'équivalence de la chaleur et du travail mécanique est admise, que cette chaleur doit être principalement consommée par le travail résistant des forces de cohésion moléculaire qui réunissent les molécules entre elles.

Inversement la quantité de chaleur qui se dégage lors de la solidification d'un liquide, égale à celle qui est consommée lors de la liquéfaction du solide, répond surtout au travail mécanique, à l'accroissement de forces vives engendré par les forces d'attraction moléculaire.

Nous pouvons aller plus loin, préciser davantage l'analyse des faits à l'aide des notions établies sur la constitution des LIQUIDES et des SOLIDES.

Nous avons vu que les solides pouvaient être représentés dynamiquement par l'expression

$$-AA+\Sigma\frac{mS^2}{2},$$

$\frac{mS^2}{2}$ étant la force vive calorifique de la molécule du corps solide, A le travail mécanique nécessaire pour rompre les cohésions moléculaires pour l'unité de poids, AA l'expression de ce travail en chaleur.

De même, pour le liquide, on a :

$$-AA'+\Sigma\frac{mL^2}{2}.$$

Pour le même corps à l'état solide et à l'état liquide, A est bien plus grand que A', et au contraire $\frac{mS^2}{2}$, la force vive répondant à la vibration de la molécule solide, bien plus petite que celle de cette molécule libre, à l'état liquide.

Soit Q la quantité de chaleur latente déterminée par l'expérience, ce sera évidemment la quantité à ajouter au solide, pour obtenir, à l'aide du travail résistant et emmagasiné dans celui-ci et de sa force vive calorifique, les mêmes quantités dans le liquide produit par la fusion, sans variation sensible de température, c'est-à-dire que l'on a :

$$Q-AA+\Sigma\frac{mS^2}{2}=-AA'+\Sigma\frac{mL^2}{2},$$

$$\text{ou } Q=A(A-A')+\Sigma\frac{m(L^2-S^2)}{2}.$$

Cette formule nous fait bien connaître les effets de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la chaleur latente. Elle nous montre que l'on peut connaître la valeur de l'expression dynamique d'un solide, connaissant celle du liquide auquel il peut donner naissance, en observant la quantité Q. Nous reviendrons sur ce point après avoir étudié les chaleurs de vaporisation des liquides et avoir vu ce qu'on peut déduire de celles-ci et des chaleurs totales des GAZ que l'on sait déterminer, relativement à la valeur de l'expression dynamique des liquides.

Je donnerai ici un tableau des chaleurs latentes des solides, déterminées en trop petit nombre par les physiciens, en employant la méthode des mélanges.

Corps.	Chaleur latente pour 1 kil.
Glace	79,25
Zinc	28,13
Argent	21,07
Étain	14,25
Cadmium	13,58
Bismuth	12,64
Plomb	5,37
Soufre	9,37
Phosphore	5,03

D'après la formule donnée plus haut, les nombres qui expriment les chaleurs latentes varient avec la valeur de A, du coefficient d'élasticité du corps; les quantités $A - A'$ et $L^2 - S^2$ varient de même en raison de la grandeur des forces de cohésion intermoléculaires, S^2 diminuant en raison de la roideur. Nous avons vu, à l'article CALORIE, comment M. Pierson avait établi par l'expérience cette curieuse relation.

Elle permet de déduire, par le calcul et avec une approximation probablement assez grande, les chaleurs de fusion de certains corps importants, qu'on ne saurait obtenir expérimentalement.

Par un calcul équivalent, on parvient plus directement à ce résultat en posant $KE\left(\frac{1}{D}\right)^{\frac{2}{3}} = L$, E étant le coefficient d'élasticité pris pour le décimètre carré, pour rapporter les nombres au kilogramme, V étant le volume du kil. $V = 1$, on $V = \frac{1}{D}$, D densité rapportée au décimètre cube, le côté du volume sera $\sqrt[3]{V}$, et le carré sur lequel la traction s'exercera $\left(\frac{1}{D}\right)^{\frac{2}{3}}$ rapporté au décimètre. Enfin K est un nombre constant pour toutes les déterminations (comprenant A et les différences d'unité adoptées), L étant la chaleur de fusion.

Cette formule, pour une même valeur de $K = 0,0135$, obtenue d'après les déterminations expérimentales du plomb, de l'argent, etc., doit s'appliquer aux divers métaux, et permet de poser.

Corps.	Coefficient d'élasticité.	Densité.	Chaleur latente.
Fer	20689	7,74	72,
Acier	18549	7,17	70,7
Platine	15814	21,26	10,04

Observation. — Les chaleurs de fusion des solides dont il s'agit se rapportant au point de fusion des corps, la valeur de A va en croissant à mesure que le corps se refroidit. Nous étudierons cette question en parlant des chaleurs spécifiques, et nous verrons ce qu'indique bien la formule, que la séparation entre celles-ci et la chaleur de fusion, la consommation de celle-ci à une température fixe et parfaitement déterminée est purement théorique; toutefois la plus grande partie du travail a lieu en un point déterminé, comme toute rupture d'un corps élastique est préparée par la traction, mais accomplie dans un court intervalle.

Nous supposons aussi qu'il s'agit de corps considérés dans l'état d'agrégation sous lequel nous les rencontrons habituellement; car, sous des états différents, le travail des forces moléculaires est différent, et par suite la chaleur de fusion varie. Tel est, par exemple, le soufre mou, amené à cet état par la trempe, dont les molécules ne sont pas arrivées au point où elles arrivent dans l'état définitif de soufre durci, après un certain temps. C'est ce que les expériences de M. Regnault ont établi pour le soufre, en constatant qu'il dégage de la chaleur en passant à l'état de soufre cassant. La cristallisation complète produit des effets de même nature.

II. CHALEUR DE VAPORISATION DES LIQUIDES. — La vaporisation des liquides entraîne la consommation d'une quantité de chaleur généralement considérable, employée 1° à rompre les cohésions moléculaires; 2° à engendrer l'état aériforme.

Cette seconde partie de l'effet de la chaleur n'est pas seulement intérieure; la production de la vapeur lorsqu'elle a lieu avec le volume relativement considérable qui lui appartient, en général, sous la pression ambiante, entraîne la consommation d'une quantité de travail considérable dont l'expression est $A\,p\,u$ pour l'unité de poids, p étant la pression et u le volume de vapeur formé.

Ainsi, pour l'eau sous la pression atmosphérique,

$$p = 10330, \quad u = 1^{mc}\,7,$$

et

$$A p u = \frac{10330 \times 1,7}{370} = 47^{c},46.$$

Cette partie de la chaleur de vaporisation devra donc être déduite de la chaleur totale que pourra fournir l'observation pour fournir la mesure des effets intérieurs appartenant aux molécules des liquides.

Détermination des chaleurs de vaporisation. — Nous ne nous étendrons pas ici longuement sur les appareils qui servent à condenser les vapeurs dans des calorimètres qui permettent de mesurer les quantités de chaleur dégagées pour un poids déterminé de vapeur, sans changement de pression. On en trouvera la description dans tous les traités de physique.

Nous donnerons ici les principales déterminations que l'on possède :

Liquides.	Point d'ébullition sous la pression 0m,760.	Chaleur de vaporisation pour 1 kil.
Eau	100°	531
Alcool	78	208
Éther	38	91
Éther acétique	74	106
Essence de térébenthine	156	68,71
Esprit de bois	665	264
Acide sulfurique	»	94
Acide acétique	120	102
Acide formique	100	169
Acide butirique	164	115
Acide valérique	175	104
Essence de citron	165	70

Nous ferons sur ces nombres deux observations :

La première, c'est que le nombre indiqué pour la chaleur de vaporisation est déduit de la chaleur totale observée, en calculant, au moyen de la connaissance de la chaleur spécifique, celle qui appartient seulement au changement de température. Ce calcul, fondé sur l'hypothèse que la chaleur spécifique demeure constante dans le voisinage du changement d'état, est sûrement inexact, mais il permet d'effectuer approximativement la séparation des effets des deux phénomènes.

La seconde, c'est que la chaleur de vaporisation indiquée sur le tableau précédent n'est exacte que pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les points d'ébullition indiqués, qu'elle n'est plus vraie pour des points d'ébullition plus élevés, ou ce qui revient au même, sous des pressions plus considérables que la pression atmosphérique. M. Regnault a trouvé, pour la chaleur totale de la vapeur d'eau entrant en ébullition à la température t :

$$Q = 606{,}5 + 0{,}305\,t$$

et en général que pour les diverses vapeurs, les résultats d'expérience étaient représentés par une expression de la forme

$$Q = A + Bt,$$

pour quelques-unes seulement plus irrégulières dans leurs allures, il a fallu adopter une expression à trois termes de la forme

$$Q = A + Bt + Ct^2.$$

La chaleur totale, évaluée par M. Regnault, comprend :

1° L'échauffement du liquide de 0 à t^0 (t température d'ébullition) ;

2° La chaleur latente L proprement dite.

La chaleur totale, au point de vaporisation est égale à la somme ci-après :

1° U_1 chaleur des molécules de la vapeur ;

2° AA', chaleur répondant au travail d'attraction des molécules lors de la vaporisation.

3° Apu chaleur répondant au travail extérieur.

Donc, chaleur totale $= U_1 + AA' + Apu$.

Nous savons que, pour tout corps à l'état gazeux (voy. GAZ), $U_1 = 3\,Apu$.

On peut donc écrire :

$$\text{Chaleur totale} = 4Apu + AA'.$$

Constance de Apu par calorie. La cohésion des molécules du liquide comme la force vive moléculaire est proportionnelle à la masse de la molécule élémentaire ; il paraît en résulter que le volume de la vapeur formée variera suivant la même proportion, et par suite que les chaleurs de vaporisation des divers liquides, sous la même pression, seront proportionnelles aux volumes de la vapeur formée. De là se déduit la constance du travail d'action directe, de Apu *par calorie* de vaporisation.

Cette loi partant d'une proportionnalité qui n'est que le premier terme d'une loi plus complexe, est pour le moins assez approchée ; elle se vérifie, pour tous les corps bien étudiés, comme il a été dit à CALORIE.

Ainsi un litre d'eau produisant 1700 litres de vapeur et la chaleur latente étant 536, on trouve :

$$\frac{1700}{536} = 3^k{,}17 \text{ par calorie.}$$

Pour l'alcool dont la chaleur latente est 208, qui donne 520 fois le volume du liquide de densité 0,8, et par conséquent $\frac{520}{0{,}8}$ litres, le rapport est :

$$\frac{520}{0{,}8 \times 208} = 3^k{,}155 \text{ par calorie.}$$

L'essence de térébenthine donne une vérification excellente ; l'éther, l'acide acétique, le brome des nombres très-peu plus faibles.

Nous en conclurons pour les divers liquides et dans les limites d'exactitude indiquées, la généralité du rapport obtenu pour l'eau $\frac{47^c{,}46}{536} = 0{,}088$, pour toute vapeur, du travail extérieur (Apu) pour chaque calorie de la chaleur de vaporisation.

Détermination de la valeur de l'état dynamique d'un corps.

Le résultat immédiat de l'analyse précédente est de conduire à la possibilité de trouver le nombre qui représente l'état dynamique d'un corps, la force vive calorifique que possèdent les atomes et le travail mécanique elles faudrait consommer pour les séparer quand ils ont été réunis par des forces de cohésion, et que la chaleur dégagée par suite de ce travail a été enlevée par un refroidissement ; les valeurs du terme positif et du terme soustractif, dont la somme algébrique représente, en général, la constitution de chaque corps.

Passons en revue les divers états physiques des corps, pour appliquer ces principes et établir le genre de calcul qu'il importe de rendre possible pour les progrès de la science, mais qui ne l'est pas encore avec une certitude suffisante, sans hypothèses à vérifier ; il conduirait à l'évaluation de la mesure de la puissance mécanique des corps.

1° GAZ. — Nous disons à GAZ qu'il n'y avait dans cet état des corps nulle influence sensible des forces d'attraction, que leur force vive totale était représentée par $\Sigma \frac{mG^2}{2}$, tout terme négatif étant nul.

Nous sommes arrivés à l'expression de la force vive totale des principaux gaz, à l'aide de l'expression

$$3\,pv = \frac{\bar{n}mG^2}{2}$$

Ainsi, en faisant application de ces éléments à la vapeur d'eau à 100°, $p = 1{,}0330$ $v = 1{,}689$, on trouve $3pv = 17{,}447^{km}$ et en chaleur $41^c{,}46$.

2° LIQUIDES. — Pour les liquides, représentés dynamiquement par

$$-AA' + \Sigma \frac{mL^2}{2}$$

on entrevoit la possibilité de calculer A' au moyen de la chaleur latente, en admettant l'égalité des forces vives des mêmes molécules à l'état liquide et à l'état gazeux pour la même température, puisqu'elles sont libres toutes deux, qu'elles sont également indépendantes de la masse totale du corps, libres par suite d'obéir aux impulsions qu'elles reçoivent, lorsqu'elles vibrent à l'unisson avec l'éther possédant un même état vibratoire.

C'est ainsi que l'impulsion que reçoit une planète n'est modifiée que quant à sa trajectoire, mais non quant à sa vitesse par l'attraction solaire, comme tout système indépendant libre de se déplacer.

En admettant cette manière de raisonner, qui fournit au moins une première approximation, pour l'eau à 100° prise pour exemple, nous trouvons pour la chaleur de vaporisation répondant seulement à $AA' + Apu$, aux éléments particuliers du liquide (d'après ce qui a été dit plus haut $AA' = 0{,}912$ Ch. V) :

$$AA' = 488^c{,}83, A\Sigma \frac{mL^2}{2} = 441{,}46.$$

L'eau à 100° est donc en chaleur

$$-448^c + 441{,}46 = 307^c$$

et en travail

$$-460{,}687 + 52341^{km} = 443716^{km}.$$

Si on connaissait la chaleur spécifique vraie, on pourrait avoir la force vive à toutes les températures. Admettons-la égale à 1. A zéro, il faudrait retrancher 100 calories, et par suite 1 kilog. d'eau serait représenté, vu l'accroissement du travail des forces, par

$$-407^c \text{ ou } -450590^{km}.$$

Le même calcul fait pour l'alcool bien plus facilement vaporisable que l'eau, donne au point d'ébullition $-435{,}29$ seulement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHALEUR LATENTE.

SOLIDES. — Nous avons vu qu'un solide devait aussi être représenté dynamiquement par

$$-A\alpha + A\Sigma\frac{mS^2}{2}$$

et par suite que le même corps devenant liquide par l'addition de la chaleur de fusion (Ch. F) on avait l'égalité

$$-A\alpha + A\Sigma\frac{mS^2}{2} + \text{Ch. F} = -A\alpha' + A\Sigma\frac{mL^2}{2}$$

Nous venons d'apprendre à calculer la valeur du second terme, et par suite nous pouvons calculer celle du premier. Ayant ainsi trouvé pour l'eau à zéro, — 407 calories, et sachant que la chaleur de fusion d'un kilog. de glace est 79c 2, nous avons

$$-A\alpha + \Sigma\frac{mS^2}{2} = -79{,}2 - 407{,}25 = -486$$

ou — 479,820tm.

Il serait utile de distinguer les valeurs $A\alpha$ et $\Sigma\frac{mS^2}{2}$

A cet effet il faut remarquer que les chaleurs spécifiques et les dilatations permettent de distinguer les parties de la chaleur d'échauffement qui appartiennent au travail mécanique et aux vibrations calorifiques, pour chaque degré d'échauffement (voy. CHALEUR SPÉCIFIQUE). Or les variations des forces vives et du travail sont soumises sous ce rapport aux mêmes lois que la somme totale, et par suite la solution du problème indiqué dans ce cas s'applique ici également.

Résumé. En résumé, nous arrivons à l'évaluation en nombres de l'état dynamique d'un corps, quel que soit son état physique, résultat considérable qui fournit une base solide à la mécanique moléculaire, et permet d'évaluer les éléments en jeu, d'apprécier les grandeurs des phénomènes dans toute modification.

Emploi industriel des chaleurs de changement d'état. — Les phénomènes calorifiques de changement d'état trouvent dans l'industrie (indépendamment de la production du travail mécanique étudiée à MACHINE A VAPEUR) trois séries d'applications principales, à savoir : 1° pour obtenir une température constante; 2° pour transmettre rapidement la chaleur; 3° pour refroidir les corps.

1° *Température constante.* — Tout corps solide en fusion ou tout liquide se vaporisant, restant à une température constante, on a donc dans l'industrie, par l'emploi d'un corps en cet état, le moyen d'obtenir les températures les plus convenables pour des opérations déterminées, en évitant les inconvénients qui résulteraient de températures plus élevées. C'est ainsi que le bain de plomb est employé avec succès pour la distillation des graisses, et permet d'éviter les décompositions par la chaleur qui se produiraient rapidement à une température supérieure à celle de la fusion du plomb.

Le corps qui change d'état physique ne sert de régulateur de température que d'une manière assez défectueuse au point de vue de l'économie de la chaleur, car pour éviter un surchauffage, il faut, par exemple, dans le cas cité ci-dessus, qu'une certaine quantité de plomb solide nage dans le bain, et à cet effet faire couler au besoin une partie du plomb liquéfié pour le remplacer par un saumon. Nul besoin d'observer par suite, pour diminuer les pertes de chaleur qui en résultent, qu'il est nécessaire de construire le fourneau de manière à obtenir le maximum de régularité possible. Dans certains cas, par exemple, l'emploi du gaz procurera cet avantage, le bain liquide ne servant plus qu'à corriger les irrégularités accidentelles.

2° *Transport de la chaleur.* — La vapeur d'eau est le moyen par excellence pour échauffer jusqu'à 100° l'eau qui sert dans tant d'opérations. Les teintureries notamment sont organisées de la sorte ; un seul foyer, une seule chaudière à vapeur suffisent pour chauffer à volonté un nombre quelconque de cuves, chaque kilogramme de vapeur portant ainsi, en un temps très-court, plus de 636 calories à l'eau à chauffer. Cette disposition est commode et économique au plus haut degré, si on la compare au système primitif qui consistait à chauffer chaque cuve par un foyer spécial, avec toutes les pertes de chaleur, tous les frais de surveillance et autres nécessaires pour faire fonctionner chacun d'eux.

3° *Production du froid.* — Nous examinerons successivement les cas de l'emploi de la chaleur de fusion des solides, et celui de la chaleur de vaporisation des liquides.

Chaleur de vaporisation des liquides. — Tout liquide se réduisant en vapeur emprunte en raison du poids de vapeur formée et de la chaleur latente de la vapeur, une quantité de chaleur aux corps environnants, qui en abaisse la température. Nombre d'applications industrielles reposent sur ces faits.

Nous citerons d'abord les vases poreux, les alcarazzas, qui laissant suinter l'eau qui s'évapore à leur surface, refroidissent constamment celle-ci et sont si utiles dans les pays chauds pour rafraîchir les boissons.

Mais c'est surtout lorsque, à l'imitation de la célèbre expression de Leslie, on active la vaporisation par des moyens mécaniques, en faisant le vide, ou que ce dernier est produit par la condensation rapide de la vapeur, à une distance convenable de la partie à refroidir, que la production du froid a lieu avec une intensité et une rapidité qui en font un puissant moyen d'action. Nous avons consacré l'article PRODUCTION DU FROID à l'étude des appareils fondés sur ces principes, qui constituent une des conquêtes les plus précieuses de l'industrie moderne, et qui ont fait de la fabrication de la glace à l'aide de la houille, une opération régulière et peu coûteuse.

Emploi de la chaleur de fusion des solides, — Tout solide amené à une température supérieure à celle de son point de fusion, emprunte à tous les corps avoisinants plus chauds la chaleur de fusion qui lui est nécessaire pour passer à l'état liquide.

La fusion ne se produisant que par une température fixe, l'emploi d'un seul corps solide ne peut pas produire une température plus basse que celle de sa fusion, comme cela est possible pour les liquides qui fournissent des vapeurs à une température inférieure à celle de l'ébullition du liquide sous une pression déterminée. La diminution de la pression qui accélère la vaporisation des liquides est remplacée pour les solides par des mélanges de ces corps réagissant chimiquement, mais dégageant de ce fait une quantité de chaleur bien moindre que celle consommée par leur fusion.

La connaissance des chaleurs de fusion, combinée avec celle des chaleurs spécifiques du produit, et la quantité de chaleur K dégagée par le mélange des deux corps à l'état liquide, facile à déterminer par une expérience directe, permet de calculer exactement la limite de la température la plus basse que peut produire un mélange réfrigérant.

Ainsi, soit un mélange de m parties en poids de glace pilée et n parties d'azotate de soude, on aura entre ces quantités et les chaleurs de fusion, C étant la chaleur spécifique du liquide qui se produit et T la température cherchée :

$$-m \times 79{,}25 - n \times 67 = -(m+n)\,C\,T + K.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Supposons C très-voisin de l'unité, on aura :

$$-T = \frac{-m \times 79 - n \times 67 + K}{m+n},$$

T étant le nombre de degrés au-dessous de zéro.

Si la quantité C T est constante, elle se produit dans des temps très-différents, et par suite T varie avec ce temps, la consommation de chaleur par les corps refroidis par le contact du mélange réfrigérant ayant lieu d'autant plus rapidement que le mélange des matières est plus intime, que le réchauffement externe est moindre, que la réaction mutuelle qui détermine la fusion s'exerce plus facilement. C'est pour cela qu'on trouve grand avantage à piler les substances et à agiter le mélange, ce qui augmente les surfaces.

Une limite de la température T est d'ailleurs déterminée par celle du point de congélation du mélange. Aussi le moyen par excellence pour obtenir des froids intenses est non-seulement d'employer des substances qui soient en contact immédiat, mais encore de ne pas partir de la glace qui agit avec difficulté pour produire des températures de beaucoup inférieures à zéro. On a trouvé un moyen bien plus puissant dans l'emploi de la chaleur de vaporisation d'un corps naturellement gazeux.

Acide carbonique solide et éther. — Depuis la belle découverte de Thilorier pour obtenir en abondance l'acide carbonique solide, on a pu s'en servir pour obtenir des froids très-intenses, en en faisant une pâte avec de l'éther qui favorise la vaporisation, et soumettant le tout à l'action d'une puissante machine pneumatique qui maintient une pression très-faible. Il est facile de se rendre compte de cet effet.

Soit cette pression $\frac{1}{20}$ de la pression atmosphérique, soit 3,80 cent. de mercure : quelle sera la température correspondante ? La température qu'on obtiendra par 1 kilog. d'acide carbonique solide sera :

— Chal. lat. de fusion — chal. lat. de vaporisation

$$= -T \times C.$$

Or la chaleur de vaporisation est au moins égale au travail que peut produire la liquéfaction du gaz, et pour une compression de $\frac{1}{20}$ d'atmosphère à 36 atmosphères sera par litre, à la pression atmosphérique (Voy. LIQUÉFACTION), $P_0 V_0$ (2 + log. hyp. 720), car $\frac{V_1}{V_0} = 20 \times 36$ ou $10,330 \times 7,58 = 78,30$ pour 1 litre pesant 2 grammes à peu près, soit pour 1 kilog., 39150 kilog. mèt. ou en divisant par 370, 107 calories. C étant la chaleur spécifique de l'acide carbonique égale à 0,22, d'après Regnault, on aura, en négligeant la chaleur de fusion qui est petite relativement à celle de vaporisation :

$$-107 = -T \times 0,22.$$

L'abaissement de température peut donc être extrêmement considérable, et n'est limité que par le fait physique de la lente vaporisation du gaz carbonique, à la température si basse ainsi produite. Dans le cas ci-dessus, on obtient pratiquement une température inférieure à — 100°.

Ce résultat conduit, ce me semble, à la possibilité d'obtenir, par la même méthode, des froids indéfiniment croissants. En effet, on peut, à l'aide de la pression et de l'acide carbonique solide, liquéfier et solidifier des gaz plus réfractaires que l'acide carbonique, et qui, par suite, sur le plateau de la machine pneumatique, donneraient encore des vapeurs à des températures où celui-ci n'en donne presque plus. Théoriquement donc, rien ne s'oppose à ce que, par cette manière de procéder, on produise un froid supérieur à toute limite indiquée.

CHALEUR PERDUE (APPAREILS POUR UTILISER LA). Nous réunirons ici un certain nombre d'appareils qui ont ce point de ressemblance qu'ils servent à utiliser la chaleur qui, sans leur emploi, serait perdue. On comprend facilement la grande utilité de semblables dispositions. En effet, la plupart des opérations industrielles pour lesquelles on emploie la chaleur exigent des conditions spéciales, de température notamment, qui le plus souvent ne coïncident nullement avec celles d'économie, s'opposent en général à l'utilisation complète du combustible. Le problème à résoudre dans ces divers cas consiste à disposer à la suite des appareils principaux d'autres appareils accessoires, qui, sans gêner en rien la marche de l'opération principale, donnent gratuitement, en quelque sorte, l'échauffement utilisable d'autres corps. De grands progrès, dignes en tous points d'une industrie avancée, ont été réalisés en France depuis quelques années dans cette direction.

Nous les passerons en revue sous trois divisions :

1° Fourneaux à température élevée tels que ceux des usines à fer, abandonnant le plus souvent dans l'air une grande quantité de gaz combustibles non utilisés ;

2° Chaudières et machines à vapeur sans condensation répandant leur vapeur dans l'atmosphère ;

3° Eau chaude rejetée à une température élevée, comme dans celle des bains épuisés de teinture.

1re section. — Nous avons traité ailleurs de diverses applications qui ont été faites des parties des combustibles, des gaz combustibles, qui sortent non brûlés des cheminées. Aux articles FER et COMBUSTIBLES, on a traité cette question en détail et montré comment on pouvait trouver dans l'utilisation des gaz d'un haut fourneau la quantité de chaleur suffisante pour chauffer une chaudière à vapeur pouvant mouvoir la soufflerie de ce haut fourneau.

Les fours à puddler et à réchauffer, les feux d'affinerie, dans lesquels le métal doit toujours être travaillé dans une atmosphère d'oxyde de carbone, donnent les mêmes résultats. D'après M. Grouvelle, on peut évaluer à 16 ou 18 chevaux la chaudière que l'on peut placer à la suite d'un four à puddler. Les savantes recherches de notre éminent et si regrettable collaborateur, Ebelmen (Voy. COMBUSTION), ont bien montré comment la majeure partie de la chaleur d'un combustible reste disponible lorsqu'on le brûle en grandes épaisseurs, et que par suite le produit principal de la combustion est de l'oxyde de carbone et non de l'acide carbonique. Dans des cas semblables, le progrès indiqué, et que l'on doit toujours parvenir à réaliser, consiste à brûler les gaz combustibles qui se dégagent d'un premier foyer et à produire ainsi une source de chaleur ou de force, si on emploie la chaleur à produire de la vapeur.

Il est des cas où il peut même y avoir avantage à utiliser autant que possible la totalité de la chaleur des produits de la combustion pour effectuer un travail industriel plutôt qu'à en employer une partie à produire le tirage de la cheminée ; tel serait le cas d'une usine possédant une chute d'eau considérable et payant le combustible très-cher. Dans ce cas, il peut être avantageux d'employer un TIRAGE mécanique, un ventilateur ; quant à l'utilisation de la chaleur, elle serait obtenue par des moyens analogues à ceux dont nous avons si souvent parlé. (Voy. CHAUFFAGE, CHAUDIÈRE, etc.)

2e section. — Pour cette section, nous ne saurions mieux faire que d'emprunter la description des meilleures dispositions à employer à l'excellent *Guide du Chauffeur* de M. Grouvelle, l'ingénieur qui a le plus fait pour la solution des intéressantes questions dont nous parlons :

« *Emploi de la vapeur perdue dans une machine sans*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHALEUR PERDUE.

condensation. — Lorsque les circonstances locales exigent l'emploi d'une machine sans condensation, ce qui est presque général dans les ateliers de l'intérieur des villes où l'on dispose rarement d'assez d'eau pour condenser, il se perd, avec la vapeur qui a travaillé, une quantité considérable de chaleur, dont on peut encore obtenir un important service. Dans une machine de 30 chevaux, au prix de 4 fr. les 100 kilog. de houille, la vapeur perdue équivaut à 1,500 kilog. de combustible et à 60 fr. par jour.

« *Chauffage de l'eau d'alimentation.* — Le chauffage des ateliers, séchoirs, de l'eau destinée à alimenter la chaudière ou à tout autre usage, comme blanchiment, teintures, tels sont les premiers emplois qui se présentent. Un appareil bien disposé peut recueillir toute cette chaleur sans donner au piston une arrière-pression et, par conséquent, sans gêner en rien la marche de la machine.

« La première pensée qui se présente est de chauffer directement l'eau, en y condensant la vapeur. Mais si l'on fait plonger le tuyau d'échappement dans l'eau, on donne lieu à une arrière-pression qui charge la machine, outre qu'il se fait des claquements continuels par la condensation de la vapeur dans l'eau froide, c'est un bruit très-désagréable qui produit des ébranlements et brise les tuyaux et les appareils. Si, au contraire, la vapeur passe à la surface de l'eau, on ne chauffe pas la masse entière, parce que l'eau chaude, étant plus légère, reste à la surface, et défend les couches inférieures de l'action de la vapeur. Le chauffage est plus complet et plus égal, en faisant agir la vapeur à travers une enveloppe métallique, et un tuyau placé au fond du réservoir.

« *Mauvaise disposition d'appareil.* — Le but que se sont proposé quelques constructeurs, dans les appareils de ce genre, a été de multiplier considérablement les surfaces, et les circonvolutions que parcourent l'eau et la vapeur, afin de réduire l'emplacement occupé par l'appareil. Mais ils ont ainsi compliqué leurs dispositions sans profit, rendu les ajustements difficiles à faire et faciles à déranger.

« *Dispositions à adopter.* — Au lieu de refouler l'eau dans l'appareil de chauffage contre la pression des chaudières, il faut chauffer l'eau qui descend d'un réservoir supérieur; puis on l'aspire pour l'envoyer directement dans les chaudières, sans circulation ni choc. Le réservoir-chauffeur est placé à 2 ou 3 mètres au-dessus de la pompe, pour que la pression de la colonne d'eau soulève les clapets, qui ne s'ouvriraient pas si la pompe était obligée d'aspirer, de bas en haut, de l'eau presque bouillante; quand le corps de pompe est rempli d'eau à 60 ou 80°, la vapeur que cette eau développe, à chaque coup de piston, suffit pour remplir la capacité du cylindre, empêcher le vide de se former, et, par conséquent, l'eau de monter.

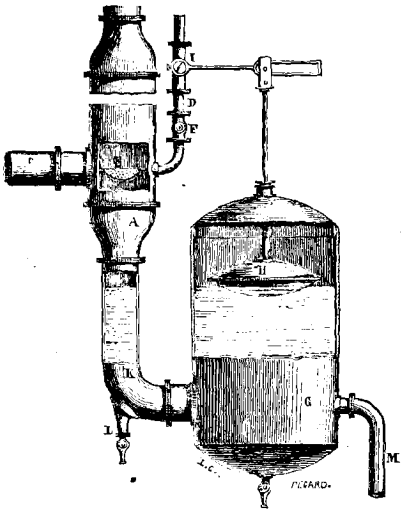
« Il faut toujours choisir des appareils très-simples pour le réchauffement de l'eau. » Nous en donnerons deux, l'un construit par M. Grouvelle et l'autre de MM. Le Gris et Choisy.

« Le premier et l'un des meilleurs est un double tuyau, dont l'un, intérieur, est en cuivre, et l'autre, extérieur, en fonte; la vapeur passe dans le tuyau central, auquel il faut donner un grand diamètre et surtout de la longueur, d'abord pour que la surface de refroidissement soit suffisante, et ensuite pour que la sortie de vapeur et le travail de la machine ne soient pas gênés; on arrondira aussi les coudes, et on évitera les étranglements.

« Dans le tuyau extérieur, circule l'eau destinée à être chauffée; on l'introduit froide à une extrémité, au moyen d'un tuyau descendant du réservoir, et après qu'elle a circulé et s'est chauffée entre les deux tuyaux en sens contraire de la vapeur, la pompe alimentaire l'appelle par son tuyau d'aspiration, qui est branché sur le tuyau de fonte,

« Cet appareil, qui chauffe en même temps de l'eau pour le blanchiment des toiles, et un séchoir, fonctionne dans la filature de lin de Gerville (Seine-Inférieure), que nous avons organisée et montée. Les calculs nécessaires à son établissement, et sa description détaillée, suffiront pour l'exécuter et en varier les applications. » (Voir le *Guide du Chauffeur.*)

Appareil de chauffage d'eau d'alimentation de MM. Legris et Choisy. — Le principe de ce système est de faire arriver l'eau froide, destinée à l'alimentation des chaudières, *très-divisée et en pluie dans une capsule percée de trous au centre du courant de vapeur perdue* d'une machine à vapeur (fig. 3453).



3453.

L'appareil consiste en un cylindre en tôle A, du haut duquel part un tuyau d'échappement de vapeur perdue, d'un diamètre proportionné à la puissance de la machine, et qui porte au dehors tout ce que le chauffage de l'eau d'alimentation n'a pas utilisé.

En bas de ce cylindre et d'un côté arrive, par un tuyau C, de même grosseur que le précédent, le jet de vapeur perdue de la machine. En face de ce jet, le courant d'eau froide destinée à l'alimentation est amené par un tuyau D et une cuvette percée de trous E qui réduit l'eau en pluie; le tuyau en D est muni d'un robinet d'arrêt F.

Un peu au-dessous de l'appareil A et à côté, est un cylindre G qui sert de réservoir à l'eau, après qu'elle a été chauffée. Un flotteur H en détermine le niveau; la tige du flotteur passe à travers une boîte à étoupes, placée en haut du cylindre, et conduit, au moyen d'un levier, un robinet I qui règle l'entrée de l'eau dans le cylindre A.

Quand l'eau a été chauffée par son passage au centre du jet de vapeur, elle arrive dans le cylindre G au moyen d'un tuyau K de $0^m,27$ au moins de diamètre, du bas duquel une tubulure L, fermée par un robinet, permet d'extraire les dépôts terreux que la plupart des eaux d'alimentation laissent précipiter en s'échauffant.

L'eau ainsi chauffée est aspirée par le tuyau M de la pompe alimentaire de la machine à vapeur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une grande partie des carbonates calcaires tenus en dissolution dans les eaux par un excès d'acide carbonique, est précipitée dans l'appareil même, au moment où le gaz acide est chassé par l'échauffement de l'eau, et ces dépôts sont enlevés en boue par le robinet L. Quoique tous les sels calcaires ne soient pas entièrement éliminés dans cet appareil, les dépôts qu'on en retire avec des eaux fortement chargées, sont déjà considérables et très-importants pour la conservation des générateurs. Avec quelques eaux de Paris, les dépôts sont si abondants dans le tuyau A, qu'il s'est quelquefois bouché et a amené des ruptures graves de pièces dans la machine, en remplissant le cylindre d'eau.

L'appareil donne de très-bons résultats et ne se dérange pas. L'eau y est évidemment très-bien chauffée ; seulement il ne faut pas pousser l'échauffement trop loin, parce que l'on serait exposé à n'avoir plus que de la vapeur au lieu d'eau dans le cylindre, ce qui supprimerait de suite le travail de la pompe alimentaire et forcerait à arrêter la machine à vapeur pour pouvoir laisser refroidir l'appareil de chauffage d'eau.

M. Grouvelle indique encore une excellente utilisation de la vapeur sortant d'une machine à haute pression, c'est de l'employer à chauffer l'eau d'une circulation d'eau par une disposition analogue à celle qu'il donne pour la boulangerie des hôpitaux, par l'emploi du système de chauffage par la combinaison de l'eau et de la vapeur, qu'il a employé à la prison Mazas, et qu'il a décrit en détail à l'article CHAUFFAGE de cet ouvrage. C'est encore là une utile et heureuse application de cette ingénieuse combinaison.

Avec ce mode d'utilisation de la chaleur, comme toutes les fois qu'une usine emploie de grandes quantités d'eau chaude, on peut tirer parti de toute la chaleur perdue à la sortie d'une machine à vapeur, tandis que les appareils limités à chauffer l'eau d'alimentation n'en utilisent nécessairement qu'une partie. Ainsi la chaleur de la vapeur d'eau à 5 atmosphères est de 650 calories, et par suite, si l'on alimente avec de l'eau à 10°, il faut que le foyer lui communique 640 unités de chaleur ; cette quantité est réduite à 550, si l'on alimente avec de l'eau à 100°. La limite de l'économie que peuvent fournir ces appareils est donc de $\frac{90}{550} = 16\frac{2}{3}$ pour 100, quand on n'a pas d'autre emploi de l'eau chaude.

3e *section*. — Eau chaude rejetée à une température élevée.

Dans certaines industries, dans les teintureries notamment, on emploie des quantités considérables d'eau chaude, qu'il faut rejeter quand l'opération est terminée. Pendant longtemps on a ainsi laissé perdre des quantités de chaleur très-considérables, et ce n'est que depuis quelques années que l'on s'est appliqué à les utiliser.

Lorsqu'il s'agit d'eau pure, comme l'eau de condensation de machines à vapeur, le meilleur emploi est de l'appliquer à des opérations pour lesquelles l'eau pure est constamment et partout employée, les bains et les lavoirs notamment. On peut encore faire circuler cette eau dans des tuyaux pour établir avec elle un chauffage de l'air par l'eau chaude. M. Grouvelle donne, dans son *Guide du Chauffeur*, le devis et les conditions d'établissement d'un pareil chauffage, conditions qui sont celles indiquées à l'article CHAUFFAGE, avec cette observation toutefois que, la température de l'eau de condensation ne dépassant pas 40°, il faudrait doubler pour le moins l'étendue des surfaces métalliques qui chauffent l'air.

Quand il s'agit de bains de teinture épuisés, d'évacuation d'eau saturée des chaudières à vapeur marines pour éviter les incrustations, il faut mettre en contact l'eau chaude expulsée avec l'eau froide destinée au travail ultérieur, de manière toutefois à éviter tout mélange, c'est-à-dire à travers des surfaces métalliques. Le mode d'opérer est indiqué à l'article DÉPLACEMENT, c'est-à-dire que l'eau chaude doit rencontrer l'eau de plus en plus froide. La disposition la plus naturelle consiste à faire sortir l'eau chaude par un tuyau enveloppé d'un autre de plus grand diamètre, que parcourt l'eau froide entrant par l'extrémité opposée. On peut arriver à un résultat complet en allongeant les tuyaux, mais ces dispositions causent bien souvent des engorgements nuisibles.

M. Pimont (de Rouen) a parfaitement résolu le problème en multipliant les surfaces à l'aide de caisses métalliques successives, à double fond, et les larges passages des ses appareils dits *caloridores*. Nous donnerons idée de l'importance des résultats qu'il obtient en disant qu'ayant établi à ses frais un appareil dans la blanchisserie de MM. Dolfus, Mieg et Cie, à Dornach, près Mulhouse, à la condition de profiter des économies qu'il procurerait pendant trois années, ces messieurs eurent à lui solder une somme de 44,424 fr., correspondant à 63,500 litres d'eau chauffée à 98 degrés centigrades, chaque jour de travail, pendant trois ans, sans dépense de combustible.

CHALEURS SPÉCIFIQUES. — La chaleur spécifique ou la capacité pour la chaleur d'un corps, est la quantité de chaleur, le nombre de calories qu'il faut communiquer au kilog. de ce corps pour élever sa température de 1°.

Les effets que la chaleur produit en se communiquant à un corps ne sont pas toujours limités à l'échauffement proprement dit de ce corps ; des effets mécaniques internes ou externes se produisent le plus souvent simultanément, et cet élément dont la connexité avec la chaleur n'était pas reconnue a longtemps répandu une obscurité très-grande sur plusieurs points de cette partie de la science. Grâce à la notion d'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, et aux principes de mécanique moléculaire auxquels elle conduit, cette obscurité peut être dissipée, et il devient possible, ce me semble, d'élucider d'une manière satisfaisante les questions qui se rapportent à l'action de la chaleur sur les corps.

Je passerai successivement en revue les chaleurs spécifiques des gaz simples (cas le moins complexe, puisque leurs atômes sont complétement libres), puis celles des corps solides et liquides et enfin celles des gaz composés et des vapeurs.

I. CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ SIMPLES.

M. Regnault a, dans une magnifique série d'expériences, déterminé les chaleurs spécifiques des gaz. Nous donnerons ici une analyse détaillée de ce travail, modèle d'expérimentation.

Le procédé expérimental le plus naturel et celui susceptible de la plus grande précision pour la détermination des chaleurs spécifiques, est celui fondé sur la méthode des mélanges, qu'il faut, dans le cas dont il s'agit, modifier en raison de la nature spéciale des gaz, c'est-à-dire leur faire parcourir un serpentin métallique plongé dans de l'eau réchauffée par leur refroidissement.

C'est ainsi qu'opérèrent Lavoisier et Laplace pour l'air et l'oxygène, en remplaçant un liquide par de la glace ; ce fut la méthode suivie par Delaroche et Bérard, dans un mémoire couronné en 1812 par l'Académie des sciences de Paris, et dont l'analyse se trouve dans tous les traités de physique.

C'est celui qu'a adopté M. Regnault qui, dès le début de sa carrière de chimiste et de physicien, a bien compris l'utilité de déterminer exactement les chaleurs spécifiques des corps.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EXPÉRIENCES DE M. REGNAULT. — La description des appareils se divise nécessairement en trois parties ; car, pour obtenir une grande précision, il fallait résoudre trois, ou au moins deux problèmes très-différents : 1° obtenir un courant de gaz à pression et vitesse constante, afin d'éviter toute compression ou dilatation dans l'intérieur de l'appareil, cause de production ou de consommation de chaleur par action intérieure ; 2° échauffer le gaz dans un bain à une température bien fixe ; 3° le refroidir dans un calorimètre pour le ramener à une température parfaitement constatée.

1° *Moyens de produire un courant constant.* — A l'aide d'une pompe spéciale, le gaz était aspiré à la sortie des appareils d'où il sortait purifié et desséché, et conduit par le tube I dans un grand réservoir V très-résistant, où il s'accumulait en quantité suffisante (fig. 3350).

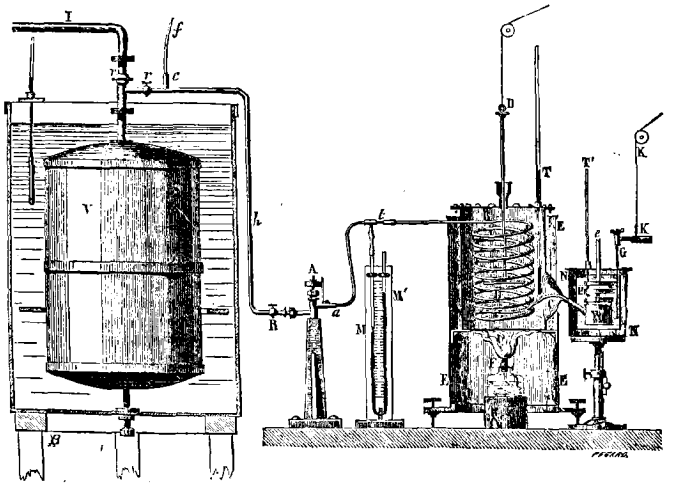


Fig. 3350.

Le gaz était dans le réservoir V à une pression mesurée par un manomètre à air libre, communiquant avec le tube *cf*, et à la température de l'eau qui entourait le réservoir ; de là il s'écoulait par le tube *h* lorsqu'on ouvrait le robinet R. Comme la pression va toujours en diminuant à mesure que le gaz s'écoule, M. Regnault a disposé un petit appareil pour régulariser la vitesse, une espèce de modérateur permettant de prévenir un changement de vitesse d'arrivée dans l'appareil calorimétrique (fig. 3351). Le gaz arrivant par le tube B R s'échappait par l'espace laissé libre par l'extrémité d'une vis D A, pour se rendre dans le tube G. La vis traversant une boîte à étoupes D était terminée par une large tête divisée E. En faisant tourner cette vis à mesure que la pression baissait, on augmentait l'orifice de sortie C, et par suite la quantité de gaz traversant le tube pouvait rester la même malgré une diminution de pression. On en jugeait en consultant un manomètre à eau MM', communiquant avec un large conduit *at*, par lequel arrive le gaz, conduit qui se termine par un tube très-étroit *t*. Par l'effet de ce rétrécissement suivi de parties d'un plus grand diamètre en libre communication avec l'atmosphère, le gaz conservait en *at* un excès de pression qui était indiqué par le manomètre MM'. En relevant progressivement la vis A, il était facile de rendre cet excès de pression uniforme pendant toute la durée d'une expérience, et par suite, relativement au rétrécissement *t*, qu'on peut considérer comme l'origine de l'appareil calorimétrique, tout se passe comme si le gaz eût été fourni par un réservoir où sa pression eût été constante et égale à celle qu'il possède dans l'espace *at* et qui est mesurée par le manomètre MM'. Il n'y a pas à tenir compte du refroidissement produit par la détente avant l'appareil regulateur, la température du gaz n'étant considérée que plus loin, et le seul effet qui en résulte étant quelque variation dans l'écoulement, corrigée par le déplacement de la vis.

L'observation de la pression dans le réservoir V fournissait directement le volume du gaz dépensé.

2° *Échauffement du gaz.* — A la sortie du tube *t* le gaz pénétrait dans un serpentin BC qui était formé d'un tube de 10 mètres de longueur, et de huit millimètres de diamètre, qui était plongé dans un bain d'huile (fig. 3350). Un agitateur DD', mis en mouvement mécaniquement, assurait l'uniformité de la température, qu'il fallait prendre assez élevée pour rendre notables les quantités de chaleur à mesurer, la masse du gaz étant minime. Un thermomètre T mesurait cette

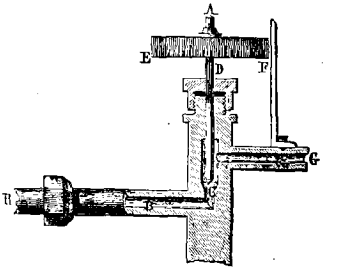


Fig. 3351.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

température (ramenée à celle d'un thermomètre à air par une comparaison antérieure avec les indications fournies par l'emploi de celui-ci dans les mêmes conditions), et une lampe à alcool placée sous le bain en F la maintenait fixe pendant l'opération, fournissait la quantité de chaleur dissipée extérieurement et celle enlevée par le passage du gaz dans le serpentin. La grande longueur, le faible diamètre et le peu d'épaisseur du serpentin étaient combinés en vue d'assurer l'égalité de température du gaz et du bain d'huile. M. Regnault s'assura de la bonté du système en adaptant un tube à l'extrémité du conduit, et y plaçant un thermomètre qui indiquait exactement la température du bain.

Pour diriger le gaz dans le calorimètre en amoindrissant les causes de perturbation, le vase contenant l'huile portait un renflement extérieur qui accompagnait et garantissait le conduit C, jusqu'à la paroi de l'enveloppe (fig. 3352). A partir de là, ce tube C, entouré par un bouchon de liége peu conducteur *mm*, se continuait par un petit tube de verre *p*, et s'engageait dans le calorimètre W. L'interposition du liége et du verre diminue, autant qu'on peut le faire, la propagation de la chaleur par les parois, principale cause d'erreur dans ce genre d'expériences.

4° *Calorimètre.* — Pour multiplier beaucoup les surfaces, sans avoir besoin d'employer un volume de liquide trop considérable, M. Regnault forma son calorimètre de boîtes plates en laiton, divisées à l'intérieur par des cloisons en spirales, de manière à faire parcourir au gaz un long chemin en passant successivement de la première à la dernière. Ces boîtes sont plongées dans le calorimètre PP, renfermant un poids connu d'eau (fig. 3352 et 3353). Il pose sur trois cales en

Fig 3352.

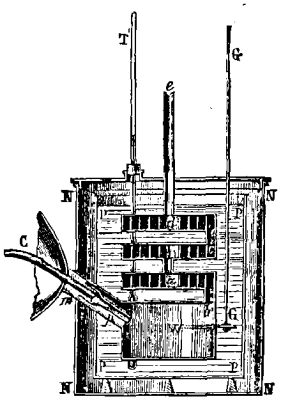




Fig. 3353.

bois, et il est entouré d'une caisse de sapin NN destinée à prévenir son refroidissement. Un thermomètre fixe T' indique les variations de la température qu'on lit de loin avec un cathétomètre à lunette; enfin un

agitateur, guidé le long d'une tringle verticale, est mis en mouvement au moyen d'un fil KK, l'agitation étant une condition essentielle lorsqu'il faut mesurer des échauffements de liquides.

On s'assura d'avance, en plaçant un thermomètre dans le tube *e*, que le gaz avait à sa sortie du calorimètre exactement la même température que l'eau.

Ce qu'il importait beaucoup de savoir, c'est si le gaz éprouve des changements notables de tension dans son trajet de *t* en *e*. Dans le serpentin, ils n'auraient d'influence que sur la quantité de chaleur fournie au gaz pour l'amener à une température fixe, ce qui est de nulle importance; mais s'il se détendait dans le calorimètre, il absorberait de la chaleur, et la mesure de la capacité serait inexacte. Or, en plaçant deux manomètres à eau en communication avec les tubes *c* et *e*, et dans les cas où la vitesse d'écoulement était la plus grande, la différence des pressions du gaz à son entrée et à sa sortie du calorimètre atteignait à peine 1 millim. d'eau. C'était une cause d'erreur absolument insensible.

Expérimentation. — Décrivons maintenant la manière d'observer.

Le réservoir V renfermant une quantité suffisante de gaz comprimé, on échauffait le bain d'huile jusqu'à une température T qu'on maintenait constante en réglant convenablement la lampe; puis on remplissait d'eau le calorimètre, et tout étant ainsi disposé, on commençait les opérations.

Elles se divisent en trois phases :

I. On observe pendant dix minutes le réchauffement qu'éprouve le calorimètre sous l'action des causes perturbatrices extérieures; ces causes sont :

1° Le réchauffement par l'air ambiant. Il est proportionnel à la différence $t_0 - \theta_0$ de l'air et du calorimètre; il est égal à $A(t_0 - \theta_0)$.

2° Le rayonnement des écrans.

3° La conductibilité du tube de jonction C.

Ces deux dernières causes sont constantes, car la différence de température entre le bain d'huile et le calorimètre est très-grande et sensiblement invariable. En réunissant les deux effets en un seul, appelons K le rechauffement qu'ils produisent en une minute.

Soit $\Delta\theta_0$ le dixième de la variation de température observée pendant les dix minutes, c'est-à-dire le réchauffement que le calorimètre éprouve pendant une minute, on a :

$$(1) \qquad \Delta\theta_0 = A(t_0 - \theta_0) + K.$$

t_0 et θ_0 sont les températures moyennes de l'air et du calorimètre pendant la durée de l'observation.

II. A la fin de la dixième minute, on fait passer le gaz dans l'appareil; la température du calorimètre varie par la chaleur communiquée par le gaz et l'action des causes perturbatrices, effet qu'il faut calculer et retrancher du résultat total. Pour cela on observe de minute en minute les températures moyennes t, t', t''... de l'air, et θ, θ', θ''... du calorimètre. D'après cela, les réchauffements perturbateurs sont pendant chaque minute

$$\Delta\theta = A(t - \theta) + K.$$
$$\Delta\theta' = A(t' - \theta') + K.$$
$$\cdots\cdots\cdots$$

Quand l'action a été suffisamment prolongée, on ferme le robinet d'écoulement, et l'on continue pendant trois minutes à observer le calorimètre, pour être bien assuré qu'il a absorbé toute la chaleur du gaz. Alors, en faisant la somme de toutes les valeurs de $\Delta\theta$, on a :

$$\Delta\theta + \Delta\theta' + \ldots =$$
$$= A(t + t' + t'' \ldots - \theta - \theta' - \theta'' \ldots) + nK = \varepsilon(2).$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette somme r est le réchauffement total que les actions perturbatrices ont fait subir au calorimètre pendant les n minutes qu'a duré l'observation. Il faudra la retrancher de la température finale observée θ^n pour avoir celle que le calorimètre aurait prise s'il n'avait reçu que la chaleur cédée par le gaz.

III. — Le gaz cessant d'arriver dans l'appareil, le calorimètre recommence à n'être plus soumis qu'aux actions perturbatrices, et les variations de température ne sont dues qu'à cette cause. On observe encore pendant dix minutes, t_1 et θ_1 étant les températures de l'air et du calorimètre pendant ce temps, et $\Delta\theta$ le dixième du réchauffement observé, on a :

$$\Delta\theta_1 = A\,(t_1 - \theta_1) + K. \qquad (3)$$

Les équations (1) et (3) permettant de calculer les valeurs A et K, on a, en les introduisant dans l'équation (2), la valeur de r, et la chaleur spécifique x du gaz sera obtenue par l'équation suivante, qui indique qu'il y a égalité entre la chaleur perdue par le gaz dans le calorimètre et le réchauffement de celui-ci par cette cause :

$$Px\left[T - \left(\frac{\theta + \theta_n}{2}\right)\right] = p\,[(\theta_n - r) - \theta].$$

P est le poids du gaz, T la température moyenne du bain d'huile, θ et θ_n les températures du calorimètre au commencement et à la fin de la seconde période, $\theta_n - r$ cette dernière diminuée de l'effet des actions pertubatrices, p le poids total du calorimètre en eau.

Cas particuliers. — Pour opérer à des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, il suffisait de supprimer la diminution de la section du tube en t et de terminer le tube e par un étranglement, enfin de remplacer le manomètre à eau MM' par un manomètre à mercure. Le gaz conservait dans l'intérieur de l'appareil une pression intermédiaire entre celle qu'il avait dans V et celle de l'atmosphère.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur les méthodes d'expérimentation employées par l'habile physicien dont nous analysons le travail. C'est dans son savant mémoire qu'il faudra lire la description des précautions prises dans chaque cas particulier, les soins apportés à la préparation de chaque gaz notamment, voir les résultats des séries d'expériences dont sont déduites les valeurs moyennes adoptées après discussion; en un mot, c'est dans le travail original qu'il faut chercher un modèle parfait d'expérimentation physique qui ne le cède en rien aux travaux si justement célèbres du même savant.

Nous dirons seulement un mot de la méthode qu'il a employée pour déterminer la chaleur spécifique des gaz qui attaquent le laiton, ce qui rend impossible l'emploi des appareils précédemment décrits, et surtout du réservoir à gaz, car les autres parties de l'appareil se remplaçaient aisément par des serpentins en platine.

Le réservoir à gaz étant supprimé, la régularité des pressions n'étant plus obtenue, on ne pouvait plus opérer tout à fait comme il vient d'être dit; mais la multiplicité des observations permettait de traiter chaque expérience comme formée d'une somme d'écoulements à pression constante. Nous allons dire comment on a opéré dans ce cas, c'est-à-dire lorsqu'on faisait passer directement les gaz de l'appareil chimique où ils prenaient naissance dans le serpentin au bain d'huile, par suite en n'ayant plus des courants gazeux de vitesse constante. L'expérience répétée avec l'air a prouvé qu'on pouvait arriver à un résultat exact avec une vitesse variable, en admettant que, pendant chaque minute, la quantité de gaz qui traversait l'appareil était proportionnelle à l'élévation de température

CHALEURS SPÉCIFIQUES.

que l'on avait observée pendant cette minute sur le thermomètre du calorimètre, et que le nombre de degrés dont ce gaz s'était refroidi était représenté par la différence qui existe entre la moyenne des températures du bain d'huile, au commencement et à la fin de cette minute, et la moyenne des températures indiquées, aux mêmes instants, par le thermomètre du calorimètre. On faisait donc la somme des produits des élévations de température du calorimètre, pendant chaque minute, par les différences correspondantes entre les températures du bain d'huile et celles du calorimètre. On divisait cette somme par l'élévation totale de température que le calorimètre avait subie pendant l'écoulement; le quotient était considéré comme représentant l'abaissement moyen de température que la totalité du gaz avait subi pendant son passage dans le calorimètre.

La vérification trouvée pour l'air, avec des vitesses de courant très-différentes, a montré que cette méthode pouvait donner de bons résultats dans son application au gaz sulfureux, au chlore, etc., et aux vapeurs de toute sorte auxquelles elle s'applique également. Elle est évidemment d'une pratique plus délicate et peut plus difficilement fournir le même degré de précision que celle précédemment décrite.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.

1° *Chaleurs spécifiques des principaux gaz.* — Nous rapportons dans le tableau suivant les chiffres déterminés, en opérant ainsi qu'il vient d'être dit.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ RAPPORTÉES A L'EAU.

Gaz simples.

Air	0,23741
Oxygène	0,21751
Hydrogène	3,4090
Azote	0,24380
Chlore	0,12099

2° *Influence de la pression.* — La chaleur spécifique des gaz est indépendante de leur pression. Nous en donnerons pour preuve les chiffres suivants qui se rapportent à deux séries d'expériences distinctes dans lesquelles on ne s'est point attaché à faire disparaître les causes d'erreur, mais seulement à les rendre constantes; c'est pourquoi ils diffèrent sensiblement de ceux rapportés plus haut.

Air.

Pression.	Capacité.
de 5674^{mm} à 4094	0,22546
760	0,26616
3000	0,23236
860	0,23204

De semblables expériences faites avec l'hydrogène et l'acide carbonique, gaz dont la compression ne suit pas la loi de Mariotte, conduisent à des résultats semblables.

« La loi que je viens d'énoncer, dit M. Regnault (*que la chaleur spécifique des gaz permanents ne dépend que de leur poids et est indépendante du volume qu'ils occupent*), est remarquable, parce qu'elle démontre que la capacité calorifique des gaz dépend principalement des particules matérielles qui les composent, et qu'elle est indépendante de la distance plus ou moins grande qui les sépare. On explique ainsi la constance que nous avons reconnue à la capacité calorifique des gaz qui suivent sensiblement la loi de Mariotte; mais on se rend compte difficilement de l'accroissement rapide que subit la chaleur spécifique de l'acide carbonique, avec la température, voir 4°. Il faut admettre que ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gaz subit, dans la position relative de ses particules, des changements successifs qui absorbent des qualités notables de chaleur, sans déterminer des accroissements correspondants de volume. »

3° *Influence de la température.* — En faisant arriver les gaz dans le calorimètre, après les avoir refroidis ou réchauffés dans un serpentin entouré soit d'un mélange réfrigérant, soit d'un bain d'huile, M. Regnault a obtenu les nombres suivants pour l'air :

Température.	Chaleur spécifique.
De — 30° à + 10°.	0,23771
De — 0° à + 100°.	0,23741
De — 0° à + 200°.	0,23751

c'est-à-dire que l'influence de la température est nulle.

Nous verrons que cette conclusion n'est pas vraie pour la plupart des gaz composés et les vapeurs.

4° *Relations entre les chaleurs spécifiques des fluides élastiques et leurs densités ou leurs poids atomiques.* — Delaroche et Bérard avaient annoncé que les capacités des gaz simples, à volume égal, étaient les mêmes. C'est ce que confirment les expériences de M. Regnault, pour l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, mais non pour le chlore et le brome. Cela ressort bien du tableau ci-après :

GAZ SIMPLES.

	CHALEUR SPÉCIFIQUE		
	à poids égal C.	à volume égal Cd.	atomique mC.
Oxygène....	0.21751	0.24049	21.75
Azote.....	0.24380	0.23680	20.33
Hydrogène..	3.40900	0.23590	21.32
Chlore.....	0.12099	0.29645	26.80
Brome.....	0.05552	0.30100	27.6

M. Regnault, en discutant les résultats de ce genre, obtenus pour les divers gaz composés, fait observer qu'il a été forcé d'admettre pour plusieurs corps les *densités théoriques*, telles qu'on les déduit de considérations chimiques et des équivalents adoptés pour ces corps; et c'est à l'aide de ces densités théoriques qu'il a transformé les chaleurs spécifiques en poids, trouvées expérimentalement, en chaleurs spécifiques pour le volume. « Il est impossible, ajoute-t-il, que les densités réelles, dans les conditions où nous avons expérimenté, soient très-différentes de ces densités théoriques; mais il est probable, d'après ce que nous savons jusqu'ici sur les fluides élastiques qui s'écartent beaucoup de la loi de Mariotte, que les densités réelles sont plus fortes que les densités théoriques, et alors les anomalies que nous constatons dans les chaleurs spécifiques du chlore et du brome gazeux, par rapport à celles des gaz permanents, hydrogène, azote et oxygène, seraient plus considérables encore que nous ne l'avons indiqué. »

Si l'on remarque que le chlore si facilement liquéfiable et surtout le brome, sont de véritables vapeurs, entre les molécules desquelles, aux températures peu élevées de l'expérience, persistent les actions d'attraction, on devra conclure des nombres qui précèdent l'exactitude de la loi : *que les chaleurs spécifiques des gaz simples, rapportés aux mêmes volumes, sont identiques*, ou ce qui revient au même, l'équivalent ou le poids atomique des gaz étant proportionnel au poids de l'unité de volume, que le *produit de la chaleur spécifique par le poids atomique est une quantité constante.* C'est la célèbre loi de Dulong et Petit à laquelle sont arrivés ces savants par des recherches expérimentales sur les

corps solides, loi d'une grande importance, sur laquelle il importe d'insister.

Loi de Dulong et Petit. — Voyons d'abord comment cette loi s'accorde avec la conception des corps gazeux, donnée à l'article GAZ; quelles conséquences on en peut tirer.

Nous avons trouvé pour la valeur de la force vive totale d'un gaz pour le volume v : $3pv = \frac{nmG^2}{2}$ à la température t et à la pression p.

A la température $t + 1$, le volume devenant $v(1 + \alpha)$, α étant le coefficient de dilation des gaz, on aura de même

$$3pv(1+\alpha), \alpha = \frac{nmG_1^2}{2}.$$

Or la différence des deux forces vives, pour l'unité de poids, est de $\frac{c}{A}$, la chaleur spécifique (convertie en travail pour être homogène avec pv), multipliée par l'équivalent mécanique de la chaleur $\frac{1}{A}$; par suite on a

$$3pv\alpha = \frac{c}{A},$$

V étant le volume de l'unité de poids ou Vd étant égal à l'unité $V = \frac{1}{d}$, d étant le poids du mètre cube, on a donc pour tout gaz :

$$3Ap\alpha = cd = mc = \text{constante}.$$

C'est-à-dire la loi de Dulong qui se trouve une conséquence nécessaire de la manière de comprendre la constitution des corps gazeux tels que les gaz simples parfaits, pour lesquels l'action intérieure est nécessairement nulle.

Valeur de $\frac{1}{A}$, de l'équivalent mécanique de la chaleur. — La relation $3Ap\alpha = cd = 30990\ A\alpha$ pour la pression 0,760, nous donne, au moyen des déterminations les plus précises de la physique expérimentale, la valeur de $\frac{1}{A}$, de l'équivalent mécanique de la chaleur, qu'on n'a pu obtenir qu'imparfaitement jusqu'ici par des expériences complexes.

C'est un résultat bien curieux, à la réalité duquel il nous coûtait de croire, en présence de tous les efforts faits dans tant de voies différentes par nombre de savants, mais qui est cependant parfaitement exact. Voyons les valeurs auxquelles conduisent les gaz simples.

POIDS du mètre cube.	NOMS DES GAZ.	CHALEUR SPÉCIFIQUE du kilogramme.	VALEUR de α.	VALEUR de cd.	VALEUR de mc.
1k.2931	Air.	0,23741	0.003665	0.30697	
1 .4298	Oxygène.	0.21751	0.003665	0.31099	21.751
1 .2561	Azote.	0.24380	0.003668	0.30623	21.576
0 .0895	Hydrogène.	3.40900	0.003667	0.30570	21.306
			Moyenne.	0.30733	

On voit combien ces valeurs sont concordantes. En prenant les valeurs moyennes pour tenir compte de variations minimes, on arrive avec une très-grande précision à la relation

$$0,30733 = 0,30990 \times 366,6 \times A.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$\frac{1}{A}$ est très-voisin de 366,6, le coefficient de la dilatation du gaz étant 0,366 pour 100. La valeur exacte que fournit l'équation est $\frac{1}{A} = 366,6 \times 1,0083 = 369,61$. C'est cette valeur $\left(\frac{1}{A} = 370\right)$ que nous avons adoptée dans cet ouvrage et que nous justifierons encore par les expériences directes que nous rapporterons à l'article EQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

Inversement A étant connu, la valeur de c s'en déduit; ainsi pour la vapeur d'eau pour laquelle $d = 0,620$, (densité théorique), ce qui donne $c = 0,49$, valeur approchée comme nous le verrons plus loin, et qui ne peut être exacte pour les températures des expériences, puisqu'il faut admettre que le coefficient de dilatation est celui des gaz parfaits, qui obéissent exactement à la loi de Mariotte, ce qui ne saurait être le cas de la vapeur d'eau, dans le voisinage du point d'ébullition.

II. CHALEURS SPÉCIFIQUES DES SOLIDES.

La méthode des mélanges s'applique très-simplement à la détermination de la chaleur spécifique des corps solides; toutefois, pour avoir des résultats précis, il faut opérer dans des conditions particulières.

Les principales se rapportent : 1° Au moyen de chauffer le corps dont on veut déterminer la chaleur spécifique à une température bien déterminée, ce qui n'a vraiment lieu que si celle-ci est fixe : la vapeur d'eau arrivant, par un large orifice, dans une étuve où le corps est placé, fournit le meilleur moyen de la chauffer à la température de 100°; 2° A l'observation de la variation de température de l'eau renfermée dans un vase dans lequel on plonge le corps chaud, ce qui exige que l'on agite le corps pour que la chaleur soit rapidement communiquée à l'eau, puis que l'on observe la loi de refroidissement du système pendant quelques instants postérieurs au moment de l'observation, afin de déterminer par un calcul la perte de chaleur du calorimètre par rayonnement.

Loi de Dulong et Petit. C'est en opérant sur les solides que Dulong et Petit ont découvert la loi si remarquable de la constance du produit de la chaleur spécifique par le poids atomique, que nous avons reconnu théoriquement vraie pour les gaz simples. De nombreuses expériences ont été faites pour établir la vérité et le degré d'exactitude de cette loi, non-seulement pour les corps simples, mais encore pour les corps composés, et alors le produit se rapproche, comme on va le voir par les tableaux ci-après, de la proportionnalité avec le nombre des atomes. Rigoureusement la règle constatée par les recherches de Newman et de M. Regnault, pour vérifier et étudier la loi de Dulong, se formule ainsi :

Dans tous les corps composés, de même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques.

Le tableau ci-après renferme les principaux résultats obtenus expérimentalement par M. Regnault.

Noms des substances.	Capacités.	Poids atomiques. L'atome d'oxygène étant 100.	Produit.
Fer	0,11379	339,21	38,597
Zinc	0,09555	403,23	38,526
Cuivre	0,09515	395,70	37,649
Cadmium	0,05669	696,77	39,502
Argent	0,05701	675,80	38,527
Arsenic	0,08140	470,04	38,261
Plomb	0,03140	1294,50	40,647
Bismuth	0,03084	1330,37	45,034

Noms des substances.	Capacités.	Poids atomiques. L'atome d'oxygène étant 100.	Produit.
Antimoine	0,05077	806,45	40,944
Étain des Indes	0,05623	735,29	41,345
Nickel	0,10863	369,68	40,160
Cobalt	0,10696	368,99	39,468
Platine laminé	0,03243	1233,50	39,998
Palladium	0,05927	665,90	39,468
Or	0,03244	1243,01	40,328
Soufre	0,20259	201,17	40,754
Phosphore (pas très-pur)	0,1887	196,14	37,024
Sélénium	0,0837	494,58	41,403
Tellure	0,05155	801,76	41,549
Iode	0,05412	789,75	42,703
Mercure	0,03332	1265,82	42,149
OXYDES RO.			
Protoxyde de plomb en poudre	0,05148	1394,5	71,84
—fondu	0,05089	1394,5	70,94
Oxyde de mercure.	0,05179	1365,8	70,74
Protoxyde de manganèse	0,15701	445,9	70,01
Oxyde de cuivre.	0,14204	495,7	70,39
—de nickel	0,16234	469,6	76,21
—calciné	0,15885	469,6	74,60
Magnésie	0,24394	258,4	63,03
Oxyde de zinc.	0,12480	503,20	62,77
OXYDES R^2O^3.			
Peroxyde de fer (fer oligiste)	0,16695	978,4	163,35
Colcothar peu calciné	0,17569	978,4	171,90
—calciné deux fois.	0,17167	978,4	168
—fortement calciné une 2me fois.	0,16814	978,4	164,44
Acide arsénieux.	0,12786	1240,1	158,56
Oxyde de chrome.	0,17960	1003,6	180,01
—de bismuth	0,06053	2960,7	179,22
—d'antimoine.	0,09009	1912,9	172,34
Alumine (corindon)	0,19762	642,4	126,87
—(saphir).	0,21732	642,4	139,61
OXYDES RO^2.			
Acide stannique.	0.09326	935,3	87,23
—titanique (artific.)	0,17164	503,7	86,45
— — (rutile).	0,17032	503,7	85,79
—antimonieux.	0,09535	1006,5	95,92
SULFURES RS.			
Proto-sulfure de fer	0,13570	540,4	73,33
Sulfure de nickel.	0,12813	570,8	73,15
—de cobalt	0,12542	570,0	71,34
—de zinc	0,12303	604,4	74,35
—de plomb	0,05086	1495,6	76,00
—de mercure	0,05147	1467,0	75,06
Proto-sulf. d'étain.	0,08365	936,5	78,34
SULFURES R^2S^3.			
Sulf. d'antimoine.	0,08403	2216,4	186,24
—de bismuth	0,06002	3264,2	195,90
CHLORURES R^2Cl^2.			
Chlorure de sodium	0,21401	733,5	156,97
—de potassium	0,17295	932,5	161,19
—de mercure.	0,05205	2974,2	154,8
—de cuivre.	0,13827	1234,0	156,83
—d'argent.	0,09109	1794	163,42
CHLORURES RCl^2.			
Chlorure de barium	0,08957	1299	116,44
—de strontium	0,11990	989,9	118,70
—de calcium	0,16420	698,6	114,72

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Noms des substances.	Capacités.	Poids atomiques. L'atome d'oxygène étant 100.	Produit.
Chl. de magnésium	0,19460	601,0	118,54
—le plomb. . . .	0,06641	1737,1	115,35
—de mercure. . .	0,06889	1708,4	117,68
—de zinc.	0,13618	845,8	115,21
—d'étain	0,10161	1177,9	119,59
NITRATES $Az^2O^5 + R^2O$.			
Nitrate de potasse .	0,23875	1266,9	302,49
—de soude	0,27821	1067,9	297,13
—d'argent	0,14352	2128,6	305,55
SULFATES $SO^3 + RO$.			
Sulfate de baryte. .	0,11285	1458,1	164,54
—de strontiane . .	0,14279	1148,5	164,01
—de plomb. . . .	0,08723	1895,7	165,39
—de chaux	0,19656	857,2	168,49
—de magnésie. . .	0,22159	759,5	168,30
CARBONATES $CO^2 + R^2O$.			
Carbon. de potasse.	0,21623	865,0	187,04
—de soude	0,27275	666,0	181,65
CARBONATES $CO^2 + RO$.			
Carbonate de chaux (spath d'Irlande)	0,20858	631,0	131,61
—(arragonite). . .	0,20850	631,0	131,56
Marbre saccharoïde blanc.	0,21585	631,0	136,20
—gris.	0,20989	631,0	132,45
Craie blanche . . .	0,21485	631,0	135,57
Carbon. de baryte.	0,11038	1231,9	135,99
—de strontiane . .	0,14483	922,3	133,58
—de fer	0,19345	714,2	138,16
—de plomb	0,08596	1669,5	143,55
Dolomie.	0,21743	582,2	126,59

Les résultats des expériences montrent que la loi de Dulong, appliquée aux corps solides, n'est pas très-approchée, et de plus que le produit mc est plus grand pour les solides que pour les gaz. Or il n'est pas compréhensible que le mode de constitution des solides, la nature pendulaire des vibrations calorifiques de leurs molécules, qui doit les faire assimiler à une lame vibrante, augmente les amplitudes, les forces vives des vibrations. Le contraire paraît résulter bien plutôt de l'adhérence des molécules, qui contribue à propager le mouvement de proche en proche.

Il y a en effet à tenir compte d'un élément important; c'est que la quantité de chaleur qui donne l'expérience n'est pas seulement celle qui correspond à l'échauffement du solide de 1^0; mais encore la chaleur équivalente à un travail intérieur de séparation des molécules des corps, manifestée par leur dilatation, effet produit malgré la grandeur des forces qui les réunissent.

Insistons sur ce point, qui seul peut permettre d'expliquer des anomalies autrement incompréhensibles, et dont la théorie mécanique de la chaleur pouvait seule rendre compte.

La chaleur communiquée à un solide détruit un travail intérieur. Nous avons vu à SOLIDES que la constitution dynamique d'un solide pouvait être représentée par

$$-AA + \Sigma \frac{mS^2}{2} \quad \text{ou} \quad \Sigma m\left(\frac{S^2}{2} - A\lambda\right),$$

car la cohésion moléculaire est évidemment fonction de la masse de l'atôme élémentaire, observation importante en ce qu'elle explique comment la loi de Dulong s'applique manifestement aux solides, comme nous allons le voir, seulement avec une plus grande valeur du produit mc.

La quantité de chaleur AA, dégagée lors de la solidification du solide, lui est en partie restituée lorsqu'on échauffe le corps, ce que prouvent les dilatations, c'est-à-dire les accroissements de volume produits malgré les forces de cohésion. Ainsi donc, et en tenant compte des signes contraires des deux termes qui représentent l'état dynamique du solide, la force vive calorifique et le travail résistant moléculaire qui diminue à mesure que la force vive augmente, la somme algébrique des variations des deux termes correspondra à la chaleur spécifique. On aura, pour un échauffement de t^0, une consommation de chaleur égale à ct, et par suite

$$ct = -AA_t + AA_0 + \Sigma \frac{mS_t^2}{2} - \Sigma \frac{mS_0^2}{2}.$$

Les deux derniers termes répondant à la variation des forces vives, à la chaleur proprement dite; les deux premiers au travail mécanique intérieur qui accompagne nécessairement l'échauffement et qui entraîne la consommation d'une quantité déterminée de chaleur.

M. Regnault, bien avant qu'on ne parlât de la théorie mécanique de la chaleur, avait reconnu, en cherchant à analyser ses nombreuses expériences sur les chaleurs spécifiques, ce double effet. « La capacité calorifique des corps, dit-il, se compose de leur capacité calorifique proprement dite et de la chaleur que ces corps absorbent à l'état de chaleur latente en augmentant de volume. Le résultat donné par l'expérience est donc un résultat complexe, dans lequel, heureusement, la chaleur spécifique domine assez pour que la loi élémentaire ne soit pas complétement violée. »

Nous pouvons vérifier dans deux cas la vérité de ces prémisses : 1° Quand la cohésion du corps varie par l'effet du changement de température; 2° Quand elle varie par suite d'actions mécaniques auxquelles il a été soumis, suivant qu'il est à l'état cristallin, amorphe, etc.

1° *Températures.* L'élévation de température diminue l'action des forces d'attraction moléculaire, par suite de l'accroissement de distance des molécules que montre l'augmentation de volume, la dilatation du corps. Elle permet par suite à la chaleur de produire de plus grands effets, pour une même variation de température; aux vibrations calorifiques d'acquérir de plus grandes amplitudes; en d'autres termes, les chaleurs spécifiques des solides doivent croître avec les températures. C'est ce que l'expérience montre clairement.

M. Pouillet, en chauffant le platine à des températures croissantes, a trouvé les nombres suivants :

Températures.	Capacités moyennes.
100^0.	0,03350
300	0,03434
500	0,03518
700	0,03602
1000	0,03728
1200	0,03818

Voici une autre série d'expériences s'appliquant à des corps différents. Elle est due à Dulong et Petit, et a été exécutée, comme la précédente, par la méthode des mélanges :

Noms des substances.	Capacités moyennes entre 0 et 100^0.	Capacités moyennes entre 0 et 300^0.
Platine.	0,0335	0,0335
Antimoine. . . .	0,0507	0,0547
Argent.	0,0557	0,0611
Zinc.	0,0927	0,1015
Cuivre.	0,0940	0,1013
Fer	0,1098	0,1218
Verre	0,1770	0,1900

2° *État moléculaire.* La plus grande roideur qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHALEURS SPÉCIFIQUES.

appartient essentiellement à l'état cristallin, doit faciliter la production des vibrations calorifiques très-rapides, absolument comme cela a lieu pour une lame métallique vibrant acoustiquement. Les chaleurs spécifiques des solides doivent donc diminuer quand leur roideur augmente.

Voici des chiffres qui le démontrent manifestement :

	Chaleur spécifique.	
Cuivre, écroui, cassant	0,0936	0,0933
recuit, malléable . . .	0,0945	0,095
Soufre cristallisé naturel	0,1776	
fondu récemment	0,1844	
Carbone cristallisé diamant		0,1469
graphite des hauts-fourneaux		0,1972
graphite des cornues à gaz		0,2036
graphite naturel		0,2019
coke		0,2031
charbon de bois		0,24
noir animal		0,26

Effets de la cohésion moléculaire. Cherchons à évaluer au moins approximativement la quantité de chaleur, équivalente au travail intérieur, qui accompagne l'accroissement de volume résultant de l'échauffement d'un corps solide, dans quelques cas où cela est possible, pour les métaux par exemple.

En effet la quantité $A_0 - A_t$ est égale à la valeur, en chaleur, du travail des forces de cohésion, au produit de la résultante des forces de cohésion, donnée par le coefficient d'élasticité E, multiplié par l'accroissement de volume Δv. On aura donc :

$$d(A_0 - At) = AE\Delta v;$$

car $v = 1$ mètre cube, l'unité, et par suite $AE\Delta v$ se rapporte à d kilogr.

Nous ne connaissons pas Δv, mais seulement la dilatation linéaire δl de la longueur l, et on pose habituellement $\Delta v = 3\delta l$. Cela ne peut avoir lieu quand on emploie le coefficient d'élasticité, parce qu'il se produit un raccourcissement sur les côtés d'un corps qui s'allonge suivant sa longueur, et Wertheim a déduit de ses expériences et de l'analyse de Cauchy, qu'on devait considérer le coefficient de dilatabilité cubique comme égal à celui de dilatabilité linéaire, et par suite écrire, pour un degré, en quantité de chaleur :

$$A(A_0 - At) = AE\delta\frac{1}{d} = x.$$

Il y a, on le voit, dans la manière de mettre les effets mécaniques en rapport avec les effets calorifiques, un point obscur dans l'état actuel de la science. Aussi les résultats auxquels on parvient en combinant ainsi divers éléments qui, la plupart, ne peuvent se rapporter à un même état du corps, sont de peu de valeur, et ils offrent de nombreuses discordances qui prouvent que l'on n'est pas en possession de la vérité entière. Quoi qu'il en soit, nous donnerons ici le tableau qui se rapporte aux principaux corps, pour lesquels on peut effectuer le calcul.

CORPS.	DENSITÉ. (Poids du mèt. c.)	VALEUR de E.	DILATATION δ.	CHAL. SPEC.	x.	c−x.
Plomb. . . .	11445 kil.	1.775.000.000	0.0000286	0.0314	0.012	0.0194
Etain.	7291	4.172.000.000	0.0000228	0.05691	0.0352	0.0217
Or.	19258	5.584.000.000	0.0000146	0.03244	0.011	0.021
Argent.	10474	7.140.000.000	0.000020	0.05705	0.0368	0.0200
Zinc.	7190	8.734.000.000	0.000029	0.09555	0.095	»
Platine	20336	15.683.000.000	0.00000794	0.03243	0.0155	0.0169
Cuivre.	8788	10.519.000.000	0.000019	0.09515	0.061	0.034
Fer.	7788	19.359.458.000	0.0000118	0.11379	0.078	0.0352

Si nous faisons les produits de ces chaleurs spécifiques, par les poids atomiques, nous trouvons les nombres suivants :

CORPS.	POIDS atomique.	PRODUIT mc	PRODUIT mx	PRODUIT $m(c-x)$.
Plomb	1294	40.647	15.528	25.10
Etain. . . .	735	41.35	25.87	16.00
Or.	1243	40.32	13.67	26.09
Argent. . . .	675.8	38.527	25	13.51
Zinc.	403	38.526	38.5	»
Platine . . .	1233	39.093	19.11	20.88
Cuivre. . . .	395	37.849	24.09	13.75
Fer.	339	38.597	26.44	11.93

Les résultats sont trop irréguliers pour qu'on puisse en tirer une conclusion précise. Toutefois ils permettent d'établir ce principe important que, déduction faite du travail de cohésion des solides, le produit mc, qui se rapporte à l'échauffement proprement dit, à l'accroissement des vibrations calorifiques, n'est pas plus grand pour les corps solides que pour les corps gazeux.

Les chiffres donnés pour le zinc, métal cristallin et roidi par le laminage le plus souvent, ne se rapportent pas à un même état de ce corps; il a sûrement une chaleur spécifique proprement dite, très-faible, comme on l'a déjà trouvé pour le diamant.

Chaleur spécifique à volume constant.

L'évaluation du travail $A_0 - A_t$ n'est autre que celle du travail (ou de la chaleur correspondante), qui serait nécessaire pour ramener le corps à son volume primitif, la quantité qu'il faut soustraire de la chaleur spécifique c, pour avoir la chaleur c_1 consommée par le seul échauffement des molécules, à volume constant. La quantité x que nous avons cherché à calculer, en partant de données malheureusement insuffisantes dans l'état actuel de la science, est égale à $(c - c_1)t$, et la quantité $c - x$ n'est autre chose que la chaleur spécifique c_1, à volume constant, en négligeant la quantité qui se rapporte au soulèvement de l'atmosphère dans lequel le corps est plongé, quantité très-petite pour l'unité de poids, à cause de la faible dilatation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et de la grande densité des métaux soumis au calcul ci-dessus.

Relation entre les chaleurs spécifiques des solides et leurs chaleurs latentes.

On peut comparer la somme des quantités de chaleur communiquées à un corps solide jusqu'à ce qu'il atteigne le point de fusion à la quantité de chaleur, mesurée à l'aide de la chaleur spécifique du liquide produit, c'est-à-dire, à l'action de la chaleur sur le corps supposé toujours liquide pour l'amener à cette même température; celle-ci devra être peu différente pour les corps non malléables, dont la cohésion moléculaire varie peu avec la température, de celle mesurée à l'aide de la chaleur spécifique du solide, plus la chaleur latente qui répond à la destruction du travail mécanique emmagasiné dans le corps solide lors de la solidification du corps. En employant pour valeur moyenne de la chaleur spécifique du solide celle déterminée par une expérience faite à une température assez éloignée du point de fusion, de quel degré faut-il partir pour faire la somme de ces quantités de chaleur? La température zéro n'est pas applicable ici; le point de départ varie avec les corps.

Dans l'impossibilité de le déterminer *à priori*, le mieux est de chercher *à posteriori* la valeur qui s'applique à un cas donné. Elle doit convenir également comme approximation, pour tous les corps dont les points de fusion ne diffèrent pas beaucoup et dont les cohésions moléculaires sont peu considérables.

Voici les résultats que nous trouvons dans un mémoire de M. Person, qui a établi cette relation qui existe entre les chaleurs spécifiques des solides et celles des liquides qui proviennent de leur fusion, pour des corps de nature voisine.

Ayant posé l'équation $L = (m + N)(C - c)$, L chaleur latente, N température de fusion, C chaleur spécifique à l'état liquide, c à l'état solide, il a trouvé, par des expériences très-soignées, les résultats ci-après :

Glace. . . C=1 L=79,25 (d'après M. Desains).
c=0,504 N=0

La formule devient $m \times 0{,}496 = 79{,}25$, d'où l'on tire $m = 159{,}80$.

Pour ce qui suit, nous admettrons donc la formule

$$(160 + N)(C - c) = L.$$

Les résultats des expériences, comparés à ceux que donne la formule, sont les suivants :

l'hosphore . . . . C=0,2045 N=44°
c=0,1788 L=5°,034 la formule donne 5,243.
Soufre . . . . . C=0,234 N=115°
c=0,20259 L=9°,368 la formule donne 9,350.
Azotate de soude. C=0,413 N=310,5
c=0,278 L=62°,975 la formule donne 63°.
Azotate de potasse C=0,33186 N=342°
c=0,23875 L=47°,37 la formule donne 46,46.

La relation exprimée par l'équation ci-dessus est donc vérifiée par la constance du nombre m, pour les corps considérés; elle ne s'appliquerait pas à tous les corps, aux métaux par exemple.

III. CHALEURS SPÉCIFIQUES DES LIQUIDES.

Les chaleurs spécifiques des liquides sont obtenues par la méthode des mélanges, par des appareils peu différents de ceux employés pour les solides. Le liquide chauffé à température constante, dans un cylindre incliné, est envoyé, au moment convenable, au moyen d'air comprimé, dans le serpentin d'un calorimètre.

Un autre procédé moins précis, mais assez commode dans diverses circonstances, consiste à plonger dans le liquide un corps solide dont la capacité est bien connue et qui est chauffé à une température déterminée, et à mesurer l'échauffement du liquide, par suite de l'apport de cette quantité de chaleur.

Chaleurs spécifiques des liquides. Nous donnons dans le tableau ci-contre les chaleurs spécifiques des principaux liquides. Il montre qu'elles varient peu pour de petits changements de température; il en est autrement si ces variations sont considérables, et surtout si les températures se rapprochent du point de vaporisation des liquides.

NOMS DES SUBSTANCES.	CAPACITÉS de 20 à 15°	de 15 à 10°	de 10 à 5°
Eau distillée	1	1	1
Essence de térébent.		0,4672	
Dissolution de chlorure de calcium. .	0,6462	0,6389	0,6423
Alcool ordinaire n° 1	0,6725	0,6654	0,6588
—plus étendu n° 2	0,8518	0,8429	0,8523
—encore plus ét. n° 3	0,9752	0,9682	0,9770
Acide acétique . . .	0,6589	0,6577	0 6609
Acide acétique cristallisable	0,4618	0,4599	0,4587
Mercure	0,0290	0,0283	0,0282
Térébène.	0,4267	0,4156	0,4154
Essence de citron. .	0,4504	0,4424	0,4489
Pétrolène.	0,4342	0,4325	0,4321
Benzine.	0,3932	0,3865	0,3999
Chlorure de silicium	0,1904	0,1904	0,1914
—de titane.	0,1828	0,1802	0,1810
Proto-chlorure de phosphore.	0,1991	0,1987	0,2017
Sulfure de carbone.	0,2206	0,2183	0,2179
Éther.	0,5157	0,5158	0,5207
Éther oxalique. . .	0,4554	0,4521	0,4629
—iodhydrique . . .	0,1569	0,1556	0,1574
—bromhydrique . .	0,2133	0,2135	0,2164
Esprit de bois. . . .	0,6009	0,5868	0,5901
Chlorure de soufre.	0,2038	0,2024	0,2018

Variations des chaleurs spécifiques des liquides avec la température.

D'une manière générale, la loi théorique, suivant laquelle varie la quantité Q de chaleur qui produit l'échauffement de t degrés d'un corps, peut être représentée par une équation de la forme :

$$Q = At + Bt^2 + Ct^3.$$

Cette équation donnera, si on porte le corps de t à t' degrés :

$$\frac{Q' - Q}{t' - t} = A + \frac{1}{t' - t}[B(t'^2 - t^2) + C(t'^3 - t^3)],$$

la quantité $\frac{Q' - Q}{t' - t}$ représentera la *chaleur spécifique moyenne entre t et t' degrés.*

En différentiant l'équation, on aura le rapport de la variation de la quantité de chaleur à la variation simultanée de température, ou

$$\frac{dQ}{dt} = A + 2Bt + 3Ct^2.$$

Ce sera la chaleur spécifique élémentaire à t degrés.

M. Regnault a fait de nombreuses expériences sur l'eau. Celle-ci était continue dans une chaudière de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

300 litres de capacité environ, dans laquelle on exerçait à volonté une pression supérieure ou inférieure à celle de l'atmosphère, en la mettant en communication avec une réservoir plein d'air dilaté ou comprimé. On peut ainsi faire bouillir cette eau à des températures constantes, très faibles ou très-élevées. Au moment de l'observation, on en faisait passer un poids facile à déterminer dans un calorimètre dont on mesurait le réchauffement. Les résultats obtenus peuvent être représentés par la formule

$$Q = t + 0{,}00002\,t^2 + 0{,}0000009\,t^3.$$

Conséquemment la chaleur spécifique élémentaire est

$$\frac{dQ}{dt} = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}0000028\,t^2,$$

ce qui conduit aux valeurs suivantes :

t	Q	$\frac{dQ}{dt}$	DIFFÉRENCES par 20°.	PRESSIONS en mil.	DIFFÉRENCES par 20°.
0	0	1.000	12	$4^m/_m,6$	12
20	20.10	1.0012	18	17	37
40	40.051	1.0030	26	45	94
60	60.137	1.0056	33	148	106
80	80.282	1.0089	41	245	506
100	100.500	1.0130	47	760	731
120	120.806	1.0177	55	1491	1226
140	141.215	1.0232	62	2717	1934
160	161.741	1.0294	70	4651	2895
180	182.398	1.0364	80	7546	4142
200	203.200	1.0444	83	11688	8232
220	224.708	1.0568		20026	

J'ai joint au tableau des températures et des capacités, l'indication des pressions de la vapeur d'eau aux diverses températures, parce qu'il me paraît que l'accroissement de capacité observé doit surtout être attribué à une augmentation de travail mécanique. Nous avons vu les énormes dilatations trouvées par MM. Thilorier et Drion pour les gaz liquéfiés ; il doit se produire des effets analogues pour un liquide qui se gazéifie lorsqu'on dépasse le point où, d'après la nature du corps, il doit rester liquide. C'est ce qui fait comprendre comment un échauffement de 40°, de 20° à 60, faisant varier la pression de 131^{mm}, et la chaleur spécifique de 44 dix millièmes, un même échauffement de 40°, de 160 à 200°, fait croître la pression de 7037 millimètres, et la chaleur spécifique de 150 dix-millièmes.

M. Regnault faisait la même observation, dans des termes un peu différents, dans un de ses premiers Mémoires sur les chaleurs spécifiques des corps (*Annales de chimie*, 1843).

« Nous voyons, dit-il, que la chaleur spécifique de l'essence de térébenthine croît rapidement avec la température. Un accroissement semblable avait été signalé, par Dulong et Petit, sur quelques métaux ; mais il est beaucoup plus faible pour ces corps, et il ne se manifeste d'une manière sensible que pour de grandes différences de température. Il est probable que l'accroissement de la chaleur spécifique des corps avec la température est en rapport avec l'accroissement que subit leur dilatation dans les mêmes circonstances, et que la plus grande partie, et peut-être la totalité de cet accroissement, doit être attribuée à la chaleur *latente*, absorbée par l'augmentation de la dilatation. »

Pour les corps de nature complexe, de composition multiple et facilement décomposable, il a à tenir compte d'un élément qu'on peut dire *chimique*, sur lequel nous reviendrons ci-après.

Donnons les observations de M. Regnault sur les chaleurs spécifiques, à diverses températures, de plusieurs liquides, vaporisables à plus basse température que l'eau. Il faisait trois mesures des chaleurs spécifiques : 1° Entre une température très-basse t_1, et la température ambiante θ ; 2° entre θ et le point t_2 d'ébullition du liquide ; 3° entre θ et une température t_3, sensiblement moyenne entre θ et t_2. Les résultats servent à déterminer les coefficients de la formule qui donne la valeur $\frac{dQ}{dt}$, qui fournit les valeurs ci-après :

TEMPÉRATURE.	ESSENCE de térébenthine.	ALCOOL.	SULFURE de carbone.	ÉTHER.	CHLOROFORME.
— 30	»	»	0,23034	0,51126	0,22931
— 20	0,38121	0,505315	»	»	»
— 00	0,41052	0,517541	0,23523	0,52001	0,23235
+ 20	0,43376	0,505062	»	»	»
+ 30	»	»	0,24012	0,54676	0,23539
+ 60	0,47056	0,705987	»	»	0,23843
+ 80	0,481187	0,769381	»	»	»
+ 120	0,501877	»	»	»	»
+ 160	0,506823	»	»	»	»

On voit par ces chiffres que les variations des chaleurs spécifiques croissent rapidement dans le voisinage des points de vaporisation.

Application de la loi de Dulong aux liquides de composition variée.

La grande variabilité des chaleurs spécifiques des liquides avec la température, laisse peu d'espoir, dit M. Regnault, de trouver, entre les chaleurs spécifiques et les poids atomiques, une loi analogue à celle que l'on reconnaît pour les corps simples ou pour les composés solides, même pour les moins compliqués dans leur constitution chimique.

On ne peut opérer que sur un petit nombre de substances qui présentent des compositions chimiques telles qu'on puisse naturellement les comparer, au point de vue des résultats obtenus, lors d'une étude semblable faite sur les corps solides.

Passons en revue les principaux nombres obtenus qui sont comparables.

Le sulfure de carbone CS^2 a la même formule que l'eau H^2O. Le produit du poids atomique par la chaleur est à 0° :

Pour l'eau. 112,5
Pour le sulfure de carbone. . . 111,7

A la température de leur ébullition respective, le même produit est :

Pour l'eau. 113,9
Pour le sulfure de carbone. . . 115,4

Les deux produits sont sensiblement égaux, et on retrouve, pour ces deux liquides, à peu près le produit par atome, voisin du nombre 40, moyenne de ceux trouvés pour les solides, échauffement et travail moléculaire réunis.

Le chlorure de carbone C^2Cl^8 dérive du chloroforme $C^2H^2Cl^6$ par simple substitution ; ces deux substances ont donc des formules chimiques semblables. Le produit de la chaleur spécifique à 0°, par le poids atomique, est :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour le chlorure de carbone. . . 380,7
Pour le chloroforme. 346,7

A la température de leur ébullition respective, ce produit est :

Pour le chlorure de carbone. . . 407,8
Pour le chloroforme. 355,9

au lieu de 400 qui répondrait à 10 atomes. La différence est donc assez grande pour l'un d'eux.

Cette différence devient bien plus grande, et la loi de Dulong, pour les chaleurs spécifiques des solides, ne s'applique plus du tout à des liquides d'une composition très-complexe, pour des composés de 20, 30 atomes, groupés suivant des lois inconnues, dont la nature se modifie par la chaleur d'une manière souvent peu perceptible. Telle est l'essence de térébenthine, dont la composition admise aujourd'hui serait de 52 atomes. On comprend facilement que, dans ces cas, la chaleur spécifique sert, pour une très-grande partie, à produire des effets intérieurs dans le petit solide élémentaire complexe, qui constitue la molécule composée comme nous le dirons plus loin. Nous continuons à citer M. Regnault.

L'essence de térébenthine et le pétrolène sont des hydrocarbures isomères qui ne diffèrent que par la densité de leur vapeur, laquelle est deux fois plus grande pour le pétrolène que pour l'essence de térébenthine. Si l'on suppose pour le moment, aux deux substances, la même formule $C^{20}H^{32}$, le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique, est à 0° :

Pour l'essence de térébenthine. 698,0
Pour le pétrolène. 709,2

Aux températures d'ébullition :

Pour l'essence de térébenthine. 860,0
Pour le pétrolène. 1137,3

Lorsqu'il s'agit de substances isomorphes, dont les groupements semblables doivent se modifier semblablement, qui sont formés d'éléments doués de propriétés chimiques peu différentes, les écarts sont moindres.

Ainsi l'éther ordinaire $C^4H^{10}O$ est isomorphe avec l'éther sulfhydrique $C^4H^{10}S$; la chaleur spécifique moyenne est :

Pour l'éther ordinaire, entre 6° et 32°. . 0,5403;
le produit, par le poids atomique 249,9.
Pour l'éther sulfhydrique, entre 20° et 70°. 0,4785;
le produit, par le poids atomique 269,2.

De même, l'éther chlorhydrique $C^4H^{10}Cl^2$ peut être comparé à l'éther iodhydrique $C^4H^{10}I^2$; on a :

Pour l'éther chlorhydrique entre — 28° et + 40,5. . . . . 0,4276;
le produit par le poids atomique 344,5.
Pour l'éther iodhydrique, entre — 18° et + 60,5. . . . . 0,1597;
le produit par le poids atomique 309,9.

Dans ce dernier cas, les chaleurs spécifiques moyennes sont prises entre les mêmes limites de température. Mais on peut aussi les comparer entre des températures également éloignées de leurs points d'ébullition. On a alors :

Pour l'éther chlorhydrique entre — 28° et + 40,5. . . . . 0,4276;
le produit par le poids atomique 344,5.
Pour l'éther iodhydrique, entre 32°,0 et 61,5. 0,1694;
le produit par le poids atomique 328,7.

La différence entre les deux produits est alors moins considérable.

Pour la liqueur des Hollandais $C^4H^8Cl^4$,
entre 22 et 68°. 0,3119;
produit par le poids atomique. . . . . 385,6.

Pour l'hydrocarbure de brôme $C^4H^8Br^4$,
entre 130 et 196°. 0,1755;
produit par le poids atomique. . . . . 409,9.

Si l'on veut comparer les chaleurs spécifiques moyennes de ces deux substances, pour des écarts égaux de leurs points d'ébullition respectifs, les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques diffèrent davantage l'un de l'autre, que quand on adopte les chaleurs spécifiques moyennes entre les limites de température où elles ont été déterminées directement par l'expérience.

De ces observations, on doit conclure que la loi de Dulong ne se révélerait que si nous avions une connaissance plus complète que celle que nous possédons du mode d'action de la chaleur sur les liquides.

Dans les cas où on retrouve sensiblement le produit $mc = 40$, comme pour les solides, comme pour le sulfure de carbone, le chlorure de soufre, il est naturel de penser que l'effet prédominant est celui éprouvé par le solide élémentaire. En effet, toute combinaison chimique se produit entre les atomes des éléments, engendre un petit solide élémentaire formé par la réunion des atomes, par une force de cohésion. Ceux-ci doivent être assujettis aux mêmes lois que les solides, donner un produit semblable à ceux obtenus dans ce cas, pour la somme des échauffements propres aux molécules et du travail des actions intérieures qui se produisent. De même encore, des groupements complexes assimilables à la cristallisation entre molécules de même nature, dont nous avons vu les effets pour le carbone, doivent fournir des produits beaucoup plus faibles.

En résumé, dans la plupart des cas, nous avons deux chaleurs spécifiques mélangées, celle du solide formée par la réunion des atomes élémentaires, dont la loi doit être celle des solides, et celle des molécules liquides, soumise à une loi différente. Une relation simple ne peut résulter du mélange de ces deux lois.

De la grandeur de la chaleur spécifique des liquides. La chaleur spécifique des liquides est plus grande que celle des solides qui les produisent; ainsi la chaleur spécifique de l'eau étant 1 et donnant $mc = 37,5$, près de 40 comme la plupart des solides, celle la glace, corps solide cristallin, est 0,50 (comme à bien peu près celle de la vapeur d'eau) donnant

$$mc = \frac{112,5}{3} \times 0,50 = \frac{56,2}{3} = 18,7,$$

voisine de celle des gaz qui entrent dans sa composition.

Il reste à définir les actions d'ordre mécanique, sans doute, que l'échauffement des liquides produit en même temps que l'accélération des mouvements calorifiques, qui évaluée seule devrait conduire à une valeur de la chaleur spécifique voisine de celle du corps à l'état gazeux, puisqu'il s'agit de molécules libres dans les deux cas.

Si on cherche comment on pourrait arriver à l'évaluation de ces effets, on ne trouve pas, dans l'état actuel de la science, d'éléments suffisants. Nous avons vu qu'on approchait du but pour les solides, à l'aide de la connaissance du coefficient d'élasticité. Il semble que pour les liquides, représentés de même dynamiquement par une expression de la forme,

$$-A\Lambda' + \Sigma\frac{mL^2}{2},$$

on pourrait y parvenir par une expression analogue, puisque nous possédons la valeur de la compressibilité du liquide en atmosphères, dont l'emploi par un raisonnement semblable, nous conduirait comme pour les solides à l'expression

$$A(\Lambda'_0 - \Lambda'_1) = A\,10333\,\frac{\delta}{B}\,\frac{1}{d};$$

mais il est facile de voir qu'elle n'est nullement applicable à la dilatation par échauffement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHALEURS SPÉCIFIQUES.

En effet la puissance qui résiste à la compression d'un liquide est (voy. LIQUIDES) $\frac{V^2}{r}$, la force centrifuge pour la vitesse V et le rayon de courbure r de l'orbite. Si on compare deux variations Δr par compression ou par refroidissement (et dans ce cas seul la vitesse V devient $V - \Delta V$), on a, pour la variation de la force vive dans le premier cas :

$$\frac{V^2}{r - \Delta r} - \frac{V^2}{r} = \frac{V^2 \Delta r}{r(r - \Delta r)},$$

et dans le second :

$$\frac{(V - \Delta V)^2}{r - \Delta r} - \frac{V^2}{r} = \frac{V^2 \Delta r + 2\, V \Delta V + r \Delta V^2}{r(r - \Delta r)}.$$

En prenant la résistance de compressibilité pour celle de la résistance du liquide qui varie de température, on prend donc un nombre trop petit, et les résultats de la formule ci-dessus par laquelle on cherche à utiliser des coefficients de compressibilité peu certains, sont sans valeur. C'est ce que prouvent bien les résultats ci-dessous, auxquels on arrive ainsi.

POIDS de m. c.	CORPS.	COMPRESSIBILITÉ B par atmosphère.	COEFFICIENT δ de dilatation.	CHALEUR spécifique. c	$A(A_0 - A_t)$ ou $c - c_1$	CHAL. SPÉC. à vol. const. c_1
Den-ité.						
13596	Mercure... (0°)	0.00000295	0.00018	0.0333	0.125	—
1000	Eau..... (10°)	0.000048	0.00046	1	0.279	0.721
870	Alcool .... (13°)	0.0000904	0.001195	0.67	0.455	0.215
737	Éther..... (14°)	0.00014	0.001647	0.5157	0.445	0.07

IV. CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ COMPOSÉS.

L'application de la méthode d'expérimentation décrite plus haut, pour la détermination des chaleurs spécifiques des gaz simples, a été faite par M. Regnault à la mesure des chaleurs spécifiques des gaz composés. Il a obtenu les nombres suivants :

	Chal. spécif.
Acide carbonique	0,20216
Oxyde de carbone	0,24500
Protoxyde d'azote	0,3447
Bioxyde d'azote	0,23173
Hydrogène protocarboné	0,59295
Hydrogène bi-carboné	0,4040
Acide sulfureux	0,15531
Acide chlorhydrique	0,1852
Hydrogène sulfuré	0,24318
Ammoniaque	0,50836

Influence de la température. La constance des chaleurs spécifiques vérifiée pour les gaz simples n'existe pas pour les gaz composés ; c'est ce que montrent bien les expériences faites sur l'acide carbonique, à des températures très-différentes. M. Regnault a trouvé :

Températures.	Chal. spécif.
De — 30 à + 10°.	0,18427
De — 10 à + 100°.	0,20246
De — 10 à + 200°.	0,21692

Des variations aussi notables, tout à fait analogues à l'accroissement de capacité observé pour les solides pour des augmentations de température, rendent bien évidente la part qui doit être faite à la chaleur spécifique du solide élémentaire, formé par la combinaison des atomes des corps constituants, dont nous avons vu qu'il y avait nécessité de tenir compte en étudiant les effets de la chaleur sur les liquides.

Loi de Dulong. Il résulte encore, des considérations qui précèdent, la conséquence que la constance du produit de la chaleur spécifique par le poids atomique ne saurait avoir la même précision que pour les gaz simples. C'est ce que nous allons voir en examinant en même temps deux autres lois qu'avait cru pouvoir conclure Dulong d'une série de recherches qui n'ont jamais été publiées, savoir :

1° Quand deux gaz simples se combinent sans condensation, le composé qui en résulte possède, à volume égal, la même capacité que les gaz simples.

2° Les gaz composés formés par des gaz simples qui éprouvent une condensation égale en se combinant possèdent, sous le même volume, des chaleurs spécifiques égales entre elles, mais différentes de celles des gaz simples.

La première de ces lois paraît se vérifier, et les gaz étudiés ont sensiblement, à volume égal, la même chaleur spécifique que les gaz simples, mais non la seconde; c'est ce que montrent les tableaux suivants :

POIDS de 1 mèt. cub.	GAZ COMPOSÉS.	C	Cd	PRODUIT par atome.
	Sans condensation.			
kil.				mC
1.347	Bioxyde d'azote, AzO.	0.2317	0.2406	28,75
1.243	Oxyde de carbone, CO	0.2450	0.2370	20.33
1.622	Acide chlorhydrique, H^2Cl^2	0.1852	0.2352	24.09
	Gaz formés de 3 volumes condensés en 2.			
		C	Cd	mC
1.977	Acide carbonique, CO^2	0.2169	0.3307	18.87
1.977	Protoxyde d'azote, Az^2O	0.2262	0.3447	20.89
0.592	Vapeur d'eau, H^2O	0.4803	0.2989	17.76
2.849	Acide sulfureux, SO^2	0.1544	0.3424	20 63
1.537	Hydrogène sulfuré, SH^2	0.2432	0.2857	17.28
	Sulfure de carbone, SC^2	0.1569	0.4122	18.25

Les variations des chaleurs spécifiques sont, on le voit, considérables dans ce second cas, et infirment la seconde loi indiquée.

Chaleurs spécifiques de corps formés par la combinaison d'un corps solide et d'un corps gazeux.

Les corps formés par des éléments dont les chaleurs spécifiques ne nous sont connues que sous deux états différents, les oxydes, les chlorures métalliques par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exemple, peuvent faire l'objet d'une comparaison intéressante au point de vue de la manière dont l'élément gazeux satisfait à la loi de Dulong.

Cherchons, par exemple, en raisonnant comme nous l'avons fait pour les corps solides, à déterminer la capacité de l'oxygène ou du chlore, en partant de la connaissance de celles du composé et d'un de ses éléments. Il suffira de considérer une combinaison R^mO^n; en désignant par x la capacité cherchée de l'oxygène, par c la capacité du composé, et par c_1 celle du radical R, on doit avoir :

$$(R^mO^n)\,c = m\,Rc_1 + n\,Ox,$$

relation qui permet de déterminer x. Voici les résultats de semblables calculs pour l'oxygène et le chlore :

COMPOSÉ.	PRODUIT pour oxygène.	COMPOSÉ.	PRODUIT pour chlore.
PbO.....	30.293	$AgCl^2$.....	43.188
HgO.....	27.661	Cu^2Cl^2.....	40.566
Fe^2O^3.....	28.71	Sn^2Cl^2.....	39.122
Sb^2O^3.....	30.15	$Zn Cl^2$.....	38.342
Pb^2O^3.....	28.90	$Hg Cl^2$.....	37.765
Bi^2O^3.....	29.72	$Pb Cl^2$.....	37.351

Il est remarquable que les capacités atomiques de l'oxygène et du chlore, ainsi calculées, sont constantes. Elles sont de plus différentes de celles qui appartiennent à ces corps considérés à l'état gazeux, et cela doit être puisqu'ils font ici partie de composés solides. Pour le chlore, gaz facilement solidifiable, donnant des composés fusibles à basse température, le nombre trouvé est exactement celui trouvé pour les capacités atomiques des corps simples solides. Pour l'oxygène, gaz qui n'a pu être liquéfié, donnant des composés pulvérulents, le produit mc est plus voisin de celui obtenu pour les gaz simples.

V. CAPACITÉS DES VAPEURS.

Par la même méthode que celle employée pour les gaz qui attaquent le cuivre, M. Regnault a mesuré la chaleur spécifique des vapeurs. La marche de l'opération était très-régulière quand la distillation se produisait facilement ; dans le cas contraire, il fallait quelques précautions particulières.

On faisait arriver la vapeur dans le bain d'huile, où on la surchauffait jusqu'à T, à 10 ou 15 degrés au-dessus de la température d'ébullition du liquide. Elle passait ensuite dans le calorimètre, où elle perdait :

1° La chaleur qui est nécessaire pour l'élever depuis le point d'ébullition τ jusqu'à T; 2° sa chaleur latente λ; 3° la chaleur nécessaire pour l'élever, à l'état liquide, depuis la température θ_0 du calorimètre jusqu'à τ. C'était cette somme de pertes que l'on mesurait, et en y ajoutant la chaleur nécessaire pour élever le liquide depuis zéro jusqu'à θ_0 qui peut se calculer si l'on connaît la chaleur spécifique de ce liquide, on avait le total Q des chaleurs absorbées par le corps solide quand il passe de l'état liquide à zéro à l'état de vapeur à T degrés.

On recommençait ensuite l'expérience en portant la vapeur à une température T' très-supérieure au point d'ébullition ; on obtenait de même la chaleur Q' correspondante, comprenant tous les éléments indiqués ci-dessus, et la différence entre Q et Q', divisée par T — T', donnait la chaleur spécifique moyenne de la vapeur entre T et T'.

On conçoit que, dans ces expériences, la chaleur abandonnée de T' à T degrés est très-petite, tandis que la chaleur latente est très-considérable. Q' et Q sont donc deux quantités très-grandes, presque égales entre elles ; et par suite, toutes les erreurs des mesures peuvent affecter d'une inexactitude notable leur différence, qui est la seule quantité que l'on veuille conclure. Les déterminations obtenues par cette méthode ne doivent donc pas être considérées comme d'une très-grande précision. A cela s'ajoute l'observation déjà faite.

« Nous avons vu, dit M. Regnault, que la chaleur spécifique du gaz acide carbonique augmente continuellement avec la température dans toute l'étendue de l'échelle thermométrique accessible à nos moyens d'observation, et néanmoins aux températures les plus basses où nous l'ayons observé, ce gaz est encore loin de son point de liquéfaction. Il est très-probable que des variations analogues se présentent pour les vapeurs, et qu'elles sont surtout très-sensibles dans les premiers degrés au-dessus de leur point de liquéfaction. Quelques vapeurs, notamment celle de l'acide acétique, changent encore de densité à plus de 100 degrés au-dessus de leur point d'ébullition ; or il est peu probable que des variations aussi considérables dans la densité des fluides élastiques, ne soient pas accompagnées de variations analogues dans leur capacité calorifique. Mais il est difficile de constater ces variations de capacité par l'expérience, parce qu'on ne connaît qu'un petit nombre de vapeurs que l'on puisse étudier entre des limites de température suffisamment étendues.

« On ne doit donc pas considérer la capacité calorifique d'une vapeur comme un élément constant, et la valeur qui en est donnée par l'expérience doit être regardée comme une moyenne, qui n'est exacte qu'entre les limites de température pour lesquelles on l'a déterminée. »

Nous donnons ici le tableau des déterminations obtenues par M. Regnault.

CORPS.	DENSITÉS du liquide.	DENSITÉS de la vapeur.	VOLUME de 1 kil. de vapeur en litres.	CHALEURS spécifiques à l'état liquide.	CHALEURS spécifiques des vapeurs d'après M. Regnault.
	gr.	gr.	litres.		
Eau.....	1000	0,588	1689	1,000	0,48051
Brome.....	3180	6,00	166	0,1070	0,055518
Alcool.....	815	2,09	478,6	0,652	0,4534
Éther.....	736	3,39	294,97	0,546	0,47966
Protochlor. de phosphore...	1616	6,35	159	0,2092	0,13473
Protochlorure d'arsenic....	2204	8,18	123	0,17604	0,11224
Éther chlorhyd.	921	2,88	428,45	0,4276	0,27376
Sulfure de carbone.....	1293	3,43	292	0,24257	0,15696
Benzine.....	850	3,10	325	0,42602	0,3754
Esprit de bois.	798	1,30	769	0,670	0,45802
Éther sulfhydr.	825	4,089	245	0,47853	0,40081
Éther acétique.	907	3,05	327,9	0,52711	0,40082
Acétone.....	792	2,62	381,9	0,53022	0,41246
Liqueur des Hollandais.....	1280	4,48	221,3	0,318	0,22931
Chlorure de silicium.....	1523	5,939	171	0,1904	0,1322

DU TRAVAIL MÉCANIQUE EXTÉRIEUR PRODUIT PAR LES DILATATIONS. — *Des capacités des gaz à pression constante et à volume constant.*

Dans ce qui précède, nous n'avons pas tenu compte du travail extérieur produit par la dilatation des corps, en surmontant la pression de l'atmosphère. Il est aisé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de reconnaître que, pour les solides et les liquides, c'est une quantité tout à fait insignifiante, et que la quantité de chaleur qu'il coûte n'est qu'une bien faible fraction de la chaleur spécifique totale. Ainsi, pour le mercure, le travail exprimé par $10333\,\alpha v_0$ est égal, d'après les valeurs, pour 1°, de $\alpha = 0,0001791$ et $v_0 = \frac{1}{d} = 0,000073551$, à 0,000136 kilogrammètres, dont l'équivalent calorifique est $\frac{0,000136}{370} = 0,00000037$, c'est-à-dire $\frac{1}{100,000}$ de la chaleur spécifique à pression constante, c'est-à-dire tout à fait négligeable.

Pour les gaz, il est loin d'en être ainsi : la grandeur de la dilatation et la faible densité, le grand volume occupé par l'unité de poids, font que cette quantité de travail est notable, et la chaleur correspondante est une fraction importante de la chaleur spécifique du gaz chauffé sous pression constante, ayant la possibilité de se dilater.

L'équation générale de la quantité de chaleur Q nécessaire pour échauffer un corps soumis à une pression extérieure p, U étant sa force vive atomique, v son volume, A le travail de la cohésion moléculaire, a pour expression la plus générale, d'après ce qui a été dit précédemment, pour l'unité de poids :

$$Q_1 - Q_0 = U_1 - U_0 + A(A_1 - A_0) + A\int_{v_0}^{v_1} p\,dv.$$

Nous venons de voir que, pour les solides et les liquides, ce dernier terme était négligeable, et qu'il n'y avait à tenir compte que du terme $A(A_1 - A_0)$ pour les quantités de chaleur que consomme le corps libre de se dilater et le même corps chauffé à volume constant.

Pour les gaz, au contraire, les actions moléculaires étant nulles, ce terme disparaît de l'équation, et pour un degré, $Q_1 - Q_0 = c$, la chaleur spécifique sous pression ; $U_1 - U_0 = c_1$, la chaleur spécifique à volume constant, et l'équation ci-dessus devient :

$$c = c_1 + A\int p\,dv.$$

Or, par suite de l'égale dilatation des gaz,

$$dv = v_0\alpha = \frac{\alpha}{d},$$

d étant la densité, le poids du mètre cube, puisque v_0 est le volume de l'unité de poids, $v_0 d = 1$, on peut donc écrire :

$$c = c_1 + A\frac{P\alpha}{d}.$$

Cette relation simple résulte clairement des principes posés ; mais elle peut de plus être démontrée par la célèbre expérience de M. Joule, qui est la preuve directe de la vérité de la théorie dynamique de la chaleur.

Expérience de M. Joule. Ce physicien plaça dans un calorimètre deux récipients en cuivre d'égale capacité, réunis par un tuyau dans lequel se trouvait un robinet. L'un d'eux renfermait de l'air comprimé à 22 atmosphères ; l'autre était vide. Tout le système étant à une même température, lorsqu'on vint à mettre les deux récipients en communication, la pression devint de 11 atmosphères dans les deux, et le calorimètre n'*indiqua aucune variation*. Ainsi le gaz, en se détendant dans une capacité inextensible, sans pouvoir produire de travail extérieur, ne se refroidit pas. Au contraire, s'il se rend dans une cloche mobile sur l'eau, on voit la température s'abaisser ; il y a consommation de chaleur en même temps que production de travail extérieur.

CHALEURS SPÉCIFIQUES

On doit donc conclure de ces faits que la chaleur propre aux atomes d'un gaz, ce que nous appelons sa chaleur spécifique à volume constant, diffère de sa chaleur spécifique sous pression, de la quantité de chaleur qui correspond au travail qu'il peut alors effectuer.

Si un gaz se refroidit *habituellement* lorsqu'il se dilate, c'est parce qu'il produit *habituellement* du travail de même que s'il s'échauffe par la compression, c'est parce qu'il consomme du travail.

Ces déductions sont pleinement vérifiées par l'expérience de M. Joule ; elles permettent même d'aller plus loin, et de comprendre comment les choses se passent.

En effet M. Regnault, ayant repris l'expérience de M. Joule, en cherchant à augmenter la sensibilité de l'appareil, a reconnu qu'elle était parfaitement exacte, mais aussi comment il se faisait qu'il n'y avait pas de variation de température, malgré les effets intérieurs de détente et de compression qui se produisent dans la masse du gaz, et qui, considérés dans une fraction du volume, au moment de l'ouverture du robinet, produisent un travail intérieur et ne sauraient naître sans variation de température.

En divisant tout le calorimètre, le système total, en deux parties parfaitement symétriques, il a en effet constaté que l'une d'elles s'échauffe exactement de la quantité dont l'autre se refroidit. La détente d'une partie du gaz produit un refroidissement, la compression, le choc contre les parois de l'autre partie, un réchauffement, et les quantités de chaleur sont égales comme les quantités de travail qui leur ont donné naissance, et qui sont en réalité un même phénomène, une transformation de force vive atomique calorifique en travail mécanique.

Des chaleurs spécifiques des gaz déterminées par M. Regnault.

Les considérations précédentes conduisent à se poser une question dont l'importance est évidente : Quelles sont les chaleurs spécifiques déterminées par M. Regnault ? Sont-ce les chaleurs spécifiques sous pression ou les chaleurs spécifiques à volume constant ? Cette question n'a pas même été posée jusqu'ici, les expériences étant faites dans des vases ouverts, par suite sous la pression de l'atmosphère, on a toujours considéré les nombres trouvés comme appartenant à la chaleur spécifique sous pression constante. Nous sommes arrivés à une conviction tout à fait différente, et croyons qu'il est aisé de prouver que ce sont les chaleurs spécifiques à volume constant qu'il obtient, grâce à la notion plus précise que nous avons des conditions à satisfaire, pour que la production du travail, qui fait partie de la capacité sous pression, ait lieu.

En effet la différence entre les deux chaleurs spécifiques, $c - c_1$, est la valeur, en chaleur, du travail mécanique qui accompagne l'échauffement du gaz, ou $\frac{p\alpha}{d}$. Pour qu'une expérience de mesure de la chaleur spécifique d'un gaz donne celle à pression constante, il faut qu'elle soit disposée de telle sorte que non-seulement les molécules gazeuses perdent de la chaleur dans leur passage à travers un calorimètre, mais encore que celui-ci indique celle qui répond à la détente ou à la compression du gaz qui se produit simultanément.

Dans les expériences dont il s'agit, tout est parfaitement disposé pour que les molécules gazeuses se refroidissent par leur contact avec les parois du calorimètre, ce qui donne la chaleur spécifique à volume constant. Mais le travail mécanique qui accompagne la diminution de volume occasionnée par le refroidisse-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHALEURS SPÉCIFIQUES.

ment du gaz, sous la pression constante de l'atmosphère, y est-il transformé en chaleur qui soit transmise au calorimètre? C'est à cela que se réduit la question.

S'il s'agissait d'une masse de gaz en repos, refroidi dans le calorimètre en restant en communication avec l'atmosphère, il est certain que l'on devrait répondre par l'affirmative. Mais en est-il de même pour le gaz en mouvement, ainsi que M. Regnault l'emploie dans ses expériences pour faire passer dans le calorimètre un poids notable de gaz? Nous ne le croyons pas.

Dans l'ancienne manière de raisonner, en considérant les phénomènes au point de vue statique, il semble qu'il n'y a pas même à se poser la question. Puisque le gaz débouche dans l'atmosphère, il est soumis à la pression de celle-ci, donc il semble que la capacité mesurée est celle du gaz à pression constante.

Mais aujourd'hui que l'on sait qu'il faut considérer les phénomènes de la chaleur comme des phénomènes dynamiques, cette manière de raisonner n'est plus suffisante; il importe de considérer comment et où se produit le travail mécanique producteur de la chaleur.

Quand de la vapeur se détend en poussant le piston d'une machine, on sait qu'elle se refroidit en proportion du travail produit, de la chaleur qui se convertit en travail. Si l'on cherche à analyser comment cet effet se produit, on arrive avec certitude, grâce à la conception de la nature vibratoire de la chaleur et à celle de la constitution des gaz, à concevoir que les molécules de la vapeur en vibration, qui rebondissent avec toute leur vitesse sur les parois fixes du cylindre, ne peuvent rebondir sur le piston en mouvement qu'avec leur vitesse diminuée de celle du piston, par suite avec une vitesse de vibration moindre, une température moins élevée.

Puisque dans la machine à vapeur c'est sur la face inférieure du piston que se produit du froid lorsque le gaz se détend; que s'y produit de la chaleur lorsque le gaz est comprimé par travail mécanique; on arrive nécessairement à cette conséquence, que si la couche de gaz qui vient frapper la face inférieure du piston cessait, aussitôt produite cette action qui cause le refroidissement ou l'échauffement, d'être en communication avec le reste de la masse gazeuse, la température de celle-ci ne changerait pas, la communication de proche en proche de la variation de température n'ayant pas lieu.

Or tel est évidemment le cas des expériences faites en laissant sortir le gaz dans l'atmosphère. Celle-ci représente le piston à la surface duquel se produit la variation qui devrait se communiquer de proche en proche au gaz situé en arrière de l'orifice de sortie pour venir agir sur le calorimètre, mais qui, dans l'appareil dont il s'agit, ne se produit que sur une quantité de gaz qui ne peut rentrer dans celui-ci à cause de l'entraînement général. Ce piston idéal s'éloigne moins vite en chaque instant qu'il ne le ferait sans le refroidissement produit par le calorimètre (plus vite lorsqu'on dispose l'expérience de manière que le gaz refroidi s'échauffe dans le calorimètre); mais aucun effet calorifique, dû à la compression ou à la dilatation relative qui a lieu, ne peut se faire sentir dans celui-ci, parce qu'il n'y rentre aucune partie du gaz sur lequel se produit l'action mécanique. La pression, la vitesse du courant reste parfaitement constante dans l'appareil, par suite la quantité de chaleur mesurée ne comprend aucun travail mécanique extérieur; elle répond à la chaleur spécifique à volume constant.

Nous trouverons une confirmation de cette manière de voir dans la conformité de la valeur de l'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE, à laquelle nous conduira l'expérience, avec la valeur théorique, à laquelle nous sommes parvenus; et à l'exagération du nombre auquel on arriverait, relativement aux expériences connues, si on n'admettait le principe posé ci-dessus.

Donnons, d'après ce qui précède, le tableau des deux chaleurs spécifiques des gaz :

GAZ.	POIDS du mètre cube.	EXPÉRIENCES de M. Regnault. c_1	c.	$\frac{c}{c_1}$
GAZ SIMPLES.	kil.			
Oxygène	1.43	0.2182	0.2896	1.33
Azote	1.264	0.2440	0.326	1.33
Air	1.293	0.237	0.317	1.33
Hydrogène	0.089	3.409	4.55	1.33
Chlore	3.172	0.1209	0.1529	1.26
GAZ COMPOSÉS.				
CO Oxyde de carbone	1.243	0.2479	0.3299	1.33
CO^2 Acide carbonique	1.977	0.21692	0.2687	1.238
$H^2 Cl^2$ Acide chlorhydrique	1.622	0.1845	0.2475	1.34
SO^2 Acide sulfureux	2.849	0.1553	0.195	1.256
Az^2O Protoxyde d'azote	1.977	0.2238	0.2763	1.23
AzO Bioxyde d'azote	1.347	0.23140	0.2996	1.29
H^2S Hydrogène sulfuré	1.547	0.24318	0.3091	1.27
$Az H^3$ Ammoniaque	0.776	0.50836	0.64036	1.259

L'égalité du rapport des deux capacités pour les gaz simples, et sa valeur 1,33, résultent du mode de calcul adopté pour c_1 et $c - c_1$, comme il est facile de le vérifier.

Pour les gaz dont le coefficient de dilatation n'est pas connu exactement, on a une valeur très-approchée en admettant le coefficient 0,00366, qui est au moins très voisin du nombre réel. Il n'en est pas de même pour les vapeurs saturées, dans le voisinage du point d'ébullition, dont les coefficients de dilatation ne sont pas connus et sont sûrement très-différents de celui des gaz permanents, tant qu'on ne les considère pas à des températures très-élevées, à des distances très-grandes de leur température de formation. Les gaz sont des vapeurs que nous étudions dans de pareilles conditions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHARPENTE.

CHARPENTE. La charpenterie a pour objet le travail des bois de fort équarrissage, destinés: 1° aux constructions civiles, où ils sont employés soit d'une manière permanente pour former des éléments essentiels des bâtiments, tels que les planchers, les escaliers, les combles, et quelquefois des édifices complets, soit d'une manière provisoire pour aider à l'exécution de gros ouvrages ou à leur restauration, sous forme d'échafaudages, d'étais ou de cintres; 2° aux constructions navales; 3° aux machines, telles que les grues, roues hydrauliques, sonnettes, etc. Les indications suivantes n'auront pour objet que l'emploi des charpentes dans les constructions civiles (voir, pour le surplus, les articles CONSTRUCTION DES NAVIRES, PONTS, PONTS AMÉRICAINS, ETC.).

Les principes de l'art du charpentier dérivent de la connaissance des propriétés des bois que la nature met libéralement à notre disposition (voir l'article BOIS, pour tout ce qui concerne la constitution physiologique et la connaissance des essences).

Dans les constructions en pierres, les petites dimensions des matériaux ne permettent pas de les réunir autrement qu'en les superposant : ils ne sont propres à résister qu'à des efforts de compression; leur stabilité est due à leur pesanteur, aux pressions qu'ils exercent mutuellement les uns sur les autres, et qui doivent être, autant que possible, normales aux surfaces de lit : lorsque les résultantes dues aux actions extérieures et supérieures sont inclinées sur la verticale, on ne peut faire équilibre à leurs composantes horizontales que par d'épais massifs, culées ou contre-forts.

Dans les constructions en bois, les matériaux s'offrent au constructeur sous une forme à peu près constante, celle de prismes très-allongés; ils peuvent résister à toute espèce d'effort, tension, compression, effort transversal, flexion, torsion, choc. Ils sont beaucoup plus faciles à transporter et à manier, plus légers, plus élastiques que les pierres; en même temps ils résistent aussi bien à la compression que la plupart d'entre elles, et beaucoup mieux à l'extension, ainsi que le montre le tableau suivant :

NOMS des essences.	POIDS d'un mètre cube.	RÉSISTANCE par centimètre carré à la rupture, par : Extension.	Compression (prismes courts).
1° *Dans le sens des fibres.*			
Chêne.....	700 à 1000	600 à 800	200 à 400
Noyer.....	600 à 700		426
Sapin jaune ou rouge.....	657	800 à 900	400 à 500
Frêne.....	845	700 à 1200	600
Orme.....	800	700 à 1040	90
Hêtre.....	852	800	543
Peuplier.....	519 à 383		218
Sapin blanc...	550	400	476
Teak.....	750	1100	900
Larix.....	560		224
2° *Perpendiculairement aux fibres*			
Chêne.....		160	
Peuplier.....		125	
Larix.....		194	

Il n'est pas prudent de faire supporter aux bois, d'une manière permanente, plus que le dixième des charges indiquées dans le tableau précédent.

Par leurs grandes dimensions, par la facilité avec laquelle on peut les poser sous toutes les inclinaisons et en tous sens, les bois se prêtent à une infinité de combinaisons variées, et particulièrement à celles qui ont pour objet de transmettre à distance les actions des forces, de les répartir ou de les concentrer à volonté dans la direction et dans le sens le plus convenable, de manière à n'exercer sur les points d'appui que des efforts verticaux.

Les constructions en bois présentent donc, comme caractères principaux et comme avantages particuliers, quand on les compare aux maçonneries, un rapport plus favorable entre les parties occupées et les parties libres ou utiles des plans, la facilité d'édification, l'élasticité, la légèreté et l'économie; ces qualités les font ordinairement préférer, pour les parties élevées et suspendues des édifices, comme les planchers et les combles; pour les constructions provisoires et dans les pays exposés aux tremblements de terre : des inconvénients graves balancent en partie ces avantages; les bois sont moins durables; l'état hygrométrique de l'atmosphère agit sur eux, modifie leur volume et leur forme; ils sont combustibles; ils sont exposés aux ravages des insectes, des mollusques et des végétations cryptogamiques; ils sont moins stables; enfin à mesure que l'on déboise, leur prix s'élève et l'économie disparaît.

La durée des bois est différente suivant les essences; généralement elle est d'autant plus grande que l'atmosphère, dans laquelle ils sont placés, est dans des conditions moins variables. Les bois exposés à des alternatives de sécheresse et d'humidité, comme ceux des ponts en charpente, durent peu; ceux, au contraire, qui sont constamment plongés dans l'eau, comme les pilotis des fondations, se conservent très-bien. On voit dans les galeries de l'École des ponts et chaussées, à Paris, des échantillons de chêne dans un état très-satisfaisant, qui proviennent des fondations du pont de Pont-de-l'Arche, construit en 1200.

Les bois des combles, bien aérés et bien couverts, durent aussi très-longtemps. On dit que lorsqu'on démolit l'ancienne basilique qui a été remplacée par la célèbre église de Saint-Pierre de Rome, on y voyait encore en bon état plusieurs fermes datant de Constantin, et qui avaient par conséquent treize siècles d'existence.

Opérations préliminaires.

Avant d'être livrés aux charpentiers, les bois ont à subir des opérations nombreuses, dont la bonne exécution a une grande importance pour leur durée.

1° *Exploitation des forêts et abattage des arbres.* C'est un des principaux objets de l'art forestier, et à ce titre il est en dehors de notre sujet : une longue expérience a indiqué dans chaque pays l'époque la plus convenable pour la coupe; sous nos climats, cette époque est celle où la sève a cessé de monter et qui suit la chute des feuilles.

2° *Équarrissement.* Les arbres abattus doivent être débarrassés de leur écorce et de leur aubier; la forme la mieux adaptée aux usages de la charpenterie, et la plus facile à obtenir avec les outils ordinaires, est celle d'un prisme à base rectangulaire; mais le rapport à observer entre les côtés du rectangle n'est pas indifférent: on sait en effet que la résistance à la flexion d'un prisme à base rectangulaire, dont la base horizontale est b et la hauteur h, est proportionnelle au produit bh^2. De tous les rectangles que l'on peut inscrire dans un cercle ABCD, représentant la section transversale d'un tronc

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'arbre, on peut se demander quel est celui pour lequel le produit bh^2 est maximum; un calcul facile montre que ce maximum correspond au rapport $\frac{b}{h} = \frac{5}{7}$: le rectangle correspondant se construit en élevant une perpendiculaire au diamètre en un point E, qui le partage en trois parties égales; on peut vérifier que le volume, et par conséquent le poids et le prix d'une pièce dans

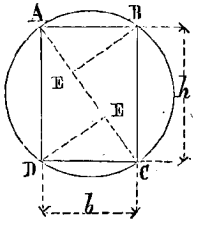


Fig. 3354.

ces conditions, sont inférieurs de 6 p. 100 à ceux de la pièce à base carrée inscrite dans le même cercle, tandis que sa résistance l'emporte de 9 p. 100. Le plus fort équarrissage qu'on puisse tirer d'un arbre n'est donc pas le plus avantageux, du moins quand la pièce équarrie doit résister à la flexion.

L'équarrissement se fait à la cognée, à la scie de long, ou à la scie mécanique.

Le débit des bois est aussi une opération importante au point de vue de l'économie et du bon emploi des matières; elle intéresse plus particulièrement la menuiserie, et nous y reviendrons à cette occasion.

3° *Transport.* Le transport des bois dans les montagnes et sur les cours d'eau constitue, dans les régions forestières, une véritable industrie (schlitteurs des Vosges, plans inclinés d'Alpnach (Suisse), glissières, flottage). Sur les routes pour les très-grandes pièces, on fait usage de véhicules spéciaux nommés fardiers et triqueballes; dans les ateliers, on se sert de rouleaux pour déplacer les bois dans le sens de leur longueur, et de chantiers pour les faire glisser transversalement.

4° *Courbure.* Les bois naturellement courbes et de fil sont réservés ordinairement pour les constructions navales et la charronnerie; ils sont rares, et l'on a cherché à y suppléer par divers artifices.

On peut obtenir des bois courbes en contrariant la croissance des arbres au moyen de liens et d'échafaudages convenablement disposés : ce procédé n'est guère susceptible d'être employé sur une grande échelle.

Le plus souvent on amollit les bois débités par la chaleur et l'humidité, pour les plier ensuite sur des gabarits. Cette action est utilisée depuis longtemps par diverses industries (manches des couteaux, dits eustaches (hêtre), sculptures et inscriptions sur le noyer, assemblages curieux, tonnellerie, charronnerie).

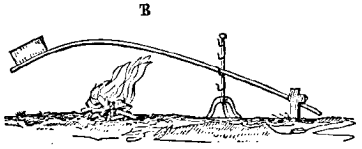


Fig. 3355.

Les charpentiers de bateau usent d'un procédé très-simple, représenté par le croquis ci-contre, pour courber les bordages.

Pour les pièces plus fortes, on les plonge, pendant un temps suffisant, dans une chaudière pleine d'eau bouillante, ou dans une étuve à vapeur ou à sable.

Dans les constructions civiles, les procédés indiqués plus loin, de Philibert Delorme et du colonel Émy, suffisent pour obtenir les formes courbes dans la plupart des circonstances.

5° *Emmagasinement.* Les bois abattus sont sujets à diverses causes de détérioration, et on ne saurait apporter trop de soin à leur conservation. Sous l'influence d'une dessiccation très-prompte, due à des courants trop vifs d'air sec, de l'exposition au soleil ou à la gelée, d'une chaleur trop élevée, des alternatives de sécheresse et d'humidité, d'une atmosphère humide et non renouvelée, les bois tantôt se fendent, tantôt s'échauffent et se pourrissent.

Le plus souvent les bois sont engerbés ou empilés les uns sur les autres; les premiers rangs sont élevés de quelques décimètres au-dessus du sol, sur des rondins; les rangs supérieurs sont couverts d'un toit de planches qui rejette les eaux pluviales au dehors.

Les maladies des bois sont éminemment contagieuses; il est essentiel que les magasins soient visités souvent, que les bois soient remaniés de temps en temps et que tous ceux qui présentent des vices contagieux soient enlevés.

6° *Conservation.* Les soins apportés dans l'emmagasinage et la surveillance des approvisionnements ne suffisent pas pour préserver les bois de toute altération, et l'on a cherché divers moyens de prolonger leur durée et de les mettre à l'abri des causes de dépérissement qui les atteignent. Parmi ces causes, il faut compter en première ligne la fermentation des substances organiques azotées, sucrées ou gommeuses, que la séve entraîne et dépose dans les divers organes des végétaux.

La dessiccation est un premier moyen usité : elle augmente la force des bois; mais elle n'enlève pas les matières fermentescibles et au contact de l'air ambiant, l'humidité atmosphérique replace les bois dans leurs conditions primitives.

Pour être efficace, cette opération doit être précédée de l'immersion dans l'eau, prolongée pendant trois ou quatre mois, la séve est dissoute et l'effet produit est satisfaisant, à la condition que les bois soient entièrement plongés.

L'immersion dans l'eau chaude agit plus rapidement; suivie de la dessiccation progressive à l'étuve, elle peut être appliquée aux bois de menuiserie (système Migneron, 1784); le bois y perd un peu de sa qualité.

Dans les arsenaux, on conserve les bois de marine dans des fosses remplies d'eau de mer, on on les enfouit dans la vase ou dans le sable humide des plages; dans les régions exposées aux ravages des tarets et des pholades, l'eau salée est mélangée à une proportion d'eau douce suffisante pour empêcher ces mollusques de vivre. Les bois conservés dans l'eau de mer restent toujours imprégnés de sel et hygrométriques; ils sont impropres aux constructions civiles.

La carbonisation à la surface est très-anciennement usitée. On l'a employée en grand dans la marine, en promenant sur les bois en œuvre des navires en chantier un jet de gaz incandescent, amené par un tube flexible (procédé de M. de Lapparent).

De tous les moyens employés les plus répandus sont les enduits de brais, vernis, mastics ou peintures; ils empêchent l'action de l'humidité, et pendant quelque temps au moins arrêtent l'introduction des insectes. L'emploi du brai exige les plus grandes précautions pour éviter les incendies.

Les moyens précédents n'offrent que des garanties assez précaires. Plusieurs procédés, aujourd'hui fort répandus, permettent d'atteindre de meilleurs résultats; ils ont pour principe l'injection d'une substance préser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vatrice dans la masse ligneuse, par pression en vase clos, immersion ou déplacement de la sève. Les substances essayées sont le sulfate de fer, le sulfate de cuivre, l'huile de lin siccative, la créosote, le chlorure de zinc, etc. (procédés de MM. Briant, Bethel, Légé et Fleury-Pironnet, Boucherie). Ces injections ne pénètrent pas dans les bois durs tels que le chêne.

COMPOSITION DES OUVRAGES DE CHARPENTE.

Des formes et des propriétés générales des bois dérivent les principes de leur mise en œuvre. Les pièces se présentent sous la forme de parallélipipèdes très-allongés à base rectangulaire; pour que deux pièces qui se rencontrent s'arc-boutent sans que ni l'une ni l'autre soit exposée à se déverser, il faut que leurs axes soient dans un même plan. On distingue dès lors, dans chaque pièce, deux faces de *parement*, parallèles au plan des axes, et deux faces dites d'*épaisseur* ou d'*assemblage* normales au même plan : les abouts des pièces sont disposés de la manière la plus convenable pour assurer leur juxtaposition, et forment ce que l'on nomme un *assemblage*.

L'ensemble des pièces diversement combinées, dont les axes sont dans un même plan, forme un *pan* de charpente; toutes les forces qui agissent sur un même pan se réduisent nécessairement à une composante ou à un couple unique.

Un pan vertical et chargé verticalement, bien assemblé, se maintiendrait théoriquement en équilibre, mais en pratique, il serait très-peu stable; pour le soutenir, on établit ordinairement d'autres pans transversaux qui l'empêchent de ployer et de se renverser.

Le premier objet qu'on se propose dans la composition des projets de charpente est de déterminer la disposition des pans; on commence par les indiquer en supposant les pièces réduites à leurs axes. La répartition des pans a lieu, suivant celle des points d'appuis et des charges, en tenant compte de la distribution intérieure. On se trouve entre deux partis entre lesquels il faut choisir; les pans multipliés répartissent plus uniformément les pressions, n'exigent que des bois de faible équarrissage, mais demandent plus de main-d'œuvre; les pans plus rares font gagner de la place, sont d'un aspect plus simple, plus clair et plus monumental; mais ils doivent être exécutés avec des bois plus forts.

Les lignes principales de chaque pan sont déterminées par la destination de la construction et par les conditions de stabilité; elles doivent être combinées de manière à former des figures géométriques invariables, c'est-à-dire des triangles et des combinaisons de triangles, à renforcer les parties exposées à fléchir et à transmettre les efforts aux points invariablement fixes et résistants. On tient compte des pièces appartenant aux pans incidents pour éviter d'affaiblir les bois en multipliant les assemblages aux mêmes points.

Quand la première esquisse des pans est arrêtée, on marque l'épaisseur des bois en raison de la nature et de l'intensité des charges qu'ils ont à supporter; cette opération peut conduire à *dévoyer* certaines pièces, c'est-à-dire à les déplacer pour rendre les assemblages praticables.

Une troisième opération a pour objet le tracé des assemblages.

ASSEMBLAGES.

On appelle *about* l'extrémité taillée convenablement d'une pièce de bois assemblée avec une autre, et *portée de l'about* ou *occupation de l'about* la portion de la face normale par laquelle cette seconde pièce se trouve en contact avec la première.

1° Assemblages de pièces formant un angle, l'about de l'une des pièces portant sur un point intermédiaire de la longueur de l'autre.

Assemblage à tenon et mortaise; c'est le plus usuel: l'épaisseur du tenon et celle des *jouées* de la mortaise sont égales au tiers de l'épaisseur des pièces assemblées (fig. 3356.)

La disposition très-simple représentée dans la figure 3356 ne suffit pas quand les pièces ont de grands

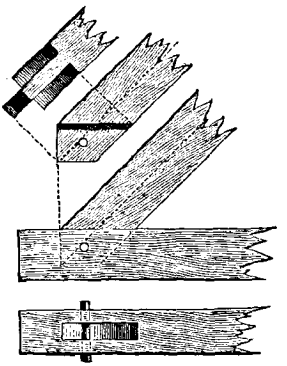


Fig. 3356.

efforts à supporter; le tenon s'écraserait; l'assemblage est alors consolidé par un *embrèvement*, qui permet de répartir la charge sur une surface plus étendue d'un tiers environ que celle de l'about du tenon (fig. 3357).

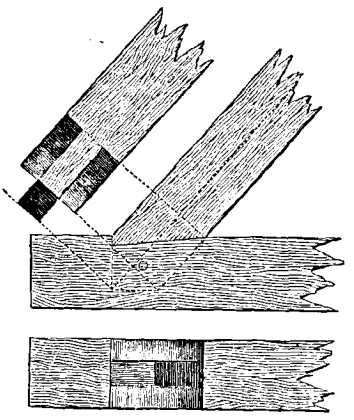


Fig. 3357.

L'assemblage à tenon et mortaise d'une pièce verticale avec une pièce inclinée prend le nom particulier d'assemblage à *oulice*.

Quand les pièces sont horizontales et fort chargées, comme dans les planchers, le tenon est pourvu d'un *renfort* ou d'un *chaperon* (fig. 3358.)

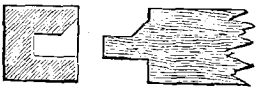


Fig. 3358.

Quand la pièce incidente doit supporter un effort de traction, le tenon prend la forme d'une *queue d'hironde*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et l'assemblage est serré avec une clef (fig. 3359). Souvent la queue d'hironde simple suffit (fig. 3360). Quand

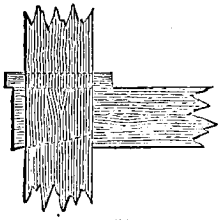


Fig. 3359.

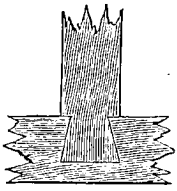


Fig. 3360.

l'effort de traction est dirigé verticalement, on peut employer le tenon passant avec clef (poinçons des combles) (fig. 3361 et 3362).

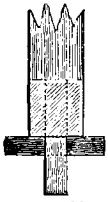


Fig. 3361.

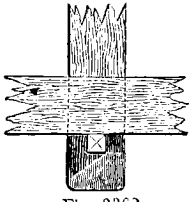


Fig. 3362.

2° Assemblage d'angle, lorsque les pièces se joignent par leurs extrémités, comme pour former des cadres.

Assemblage par entaille à mi-bois;

Assemblage à entailles et onglets, simples (fig. 3363) ou avec tenon et mortaise (fig. 3364);



Fig. 3363.

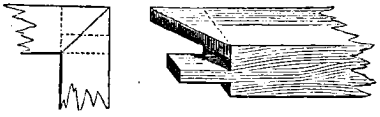


Fig. 3364.

Assemblage à queue d'hironde simple ou à recouvrement.

3° Entures horizontales.

Entures à mi-bois avec abouts carrés (fig. 3365);



Fig. 3365.



Fig. 3366.

Entures à mi-bois avec queue d'hironde (fig. 3366 et 3367).

Entures à mi-bois avec tenons d'about (fig. 3368); Trait de Jupiter (fig. 3369).



Fig. 3367.



Fig. 3368.



Fig. 3369.

4° Entures verticales de pièces comprimées les unes contre les autres et exposées à des efforts de torsion. Ces assemblages ne sont pas très-solides et doivent être consolidés par des armatures en fer (fig. 3370).

Enture à tenon et tenaille en croix.

Enture par quartier à mi-bois sur les quatre faces.

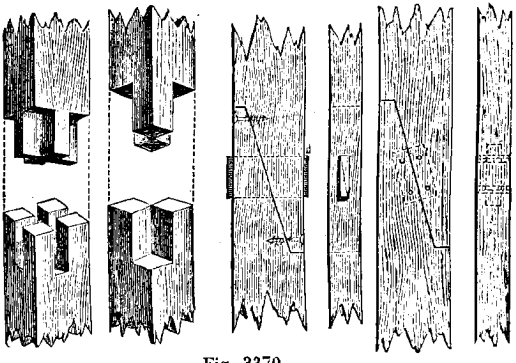


Fig. 3370.

5° Entures de pièces de bois minces:

Enture en fausse coupe avec clef;

Enture en fausse coupe avec faux tenon chevillé.

6° Assemblages de pièces de bois croisées:

Assemblage croisé, croix de Saint-André, à mi-bois, tiers-bois, etc.;

Assemblage à mi-bois avec clef (fig. 3371).

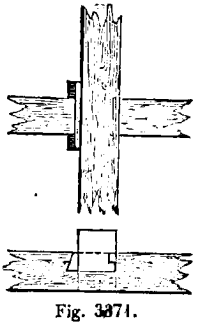


Fig. 3371.

7° Assemblages longitudinaux de planches et ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

driers, ils sont plus particulièrement affectés aux usages de la menuiserie:

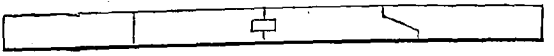


Fig. 3372.

rainure et languette, avec faux tenons chevillés (fig. 3374); à double rainure et languette (fig. 3376); à grain d'orge (fig. 3375); cet assemblage est très-employé pour les palpanches battues à la sonnette et formant les enceintes des fondations dans les sols affouillables; à rainure et languette avec traverse (fig. 3377).

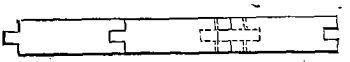


Fig. 3374.

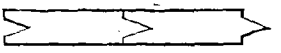


Fig. 3375.



Fig. 3376.

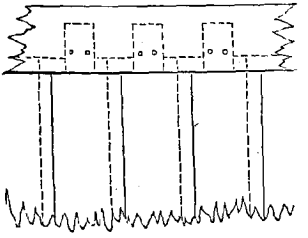


Fig. 3377.

Assemblages divers; moises; bois courbes; endentures longitudinales et entures de la charpenterie navale.

Mise en œuvre des bois. Les opérations précédentes se font sur des épures par les procédés ordinaires de la géométrie descriptive et de la stéréotomie. Il faut ensuite donner aux bois les formes convenables pour que, réunis sur le tas, ils présentent en exécution toutes les dispositions prévues par les projets. C'est l'objet de l'art du trait; il comporte les opérations suivantes.

1° *Tracé de l'ételon.* L'ételon est une épure à l'échelle de l'exécution, dessinée sur une aire horizontale bien dressée, où toutes les pièces de chaque pan sont représentées par leurs axes.

2° *Établissement des bois.* Cette opération a pour objet de placer les pièces en les superposant et les calant, de manière que leurs axes réels soient horizontaux et en projection avec les lignes correspondantes de l'ételon; les faces de parement étant établies horizontalement, les faces d'épaisseur sont verticales; ces dernières se trouvent dans des plans qui se coupent au droit des assemblages, suivant des lignes coïncidant avec la direction du fil à plomb, ce qui en rend le tracé très-facile.

3° *Piqué des bois.* Quand toutes les pièces d'un pan sont établies, il suffit, avec la pointe d'un compas, de faire sur la face d'assemblage de chaque pièce et dans le voisinage des arêtes deux piqûres sur la verticale

Assemblage à plat joint; à fausse languette; en fausse coupe (fig. 3372); à joints recouverts (fig. 3373); à

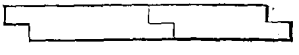


Fig. 3373.

donnée par le fil à plomb, pour déterminer toutes les lignes d'intersection de ces faces.

4° *Marques des bois.* Elles ont pour objet de reconnaître les pièces et d'éviter toute confusion au moment du levage. On distingue celles communes aux pièces d'un même pan; celles qui servent de repère pour les assemblages, et qui sont répétées sur les deux pièces contiguës; on les nomme contre-marques; celles qui indiquent le haut, le bas, la droite et la gauche; les traits ramenerets, qui sont des repères pour les pièces appartenant à plusieurs pans.

5° *Reconnaissance des piqûres.* C'est le tracé, avec la pointe du compas et une règle, des lignes d'intersection des faces d'assemblages, déterminées chacune par deux piqûres.

6° *Tracé des assemblages.*

9° *Coupe des assemblages; mise en joint.*

8° *Levage et pose.*

OUTILLAGE.

Les outils employés par les charpentiers sont très-connus, et il suffit d'en donner ici l'énumération.

1° *Outils servant à tracer.* Jauge, règle de 0m,32 de longueur pour tracer les assemblages;

Traceret; trusquin;

Cordeau ou ligne;

Fil à plomb;

Compas de charpentier, d'appareil, à verge; compas fixe;

Décamètre en ruban.

2° *Outils servant à déterminer les positions des lignes et des plans.* Équerre à épaulement; équerre à épure; sauterelle ou fausse équerre; équerre à onglets. Niveau de maçon; niveau de dessous; niveau de pente et de talus.

3 *Outils tranchants par percussion.* Haches, doloires, cognées, hache à main, herminette; ciseau, fermoir, ébauchoir, bédane; bisaigue; piochon; gouge; ciseau à froid; pieds-de-biche; tenailles.

4° *Outils tranchants à corroyer et planer le bois.* Rabots; galère, varlope; guillaume; bouvets à languettes et à rainure; guimbarde.

5° *Outils à percer.* Tarières; boulonnières; mèches à trépan; vilebrequin; vrille.

6° *Outils à scier.* Scie de charpentier; scie à chantourner; passe-partout; scie de long; scie à main; scies mécaniques.

7° *Outils à frapper.* Marteau; marteau à main; masse; maillet.

8° *Instruments pour le maniement, le transport, le levage et le montage des bois.* Chantiers, roules, fardiers, triqueballes; chèvres, grues; crics, pinces, leviers, cordages, poulies, palans.

Les charpentiers font usage, pour la consolidation des assemblages et la liaison des bois, de pièces de fer de diverses formes: clous, vis, clameaux, boulons, frettes, liens, scellements; étriers, équerres, ancres, chaînes.

ÉLÉMENTS DES CONSTRUCTIONS EN CHARPENTE.

Supports isolés. Les supports les plus simples que l'on puisse concevoir sont les poteaux en bois; la charge par centimètre carré de section transversale que ces poteaux peuvent supporter dépend du rapport de la plus petite dimension de leur base à leur hauteur. Rondelet enseigne que la résistance diminue à mesure que la hauteur augmente dans les proportions suivantes:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

RAPPORT de la hauteur à la base.	CHARGES relatives.	CHARGES permanentes par centimètre carré (chêne ou sapin).
1	1	42
12	5/6	35
24	1/2	21
36	1/3	14
48	1/6	7
60	1/12	3.5
72	1/24	1.7

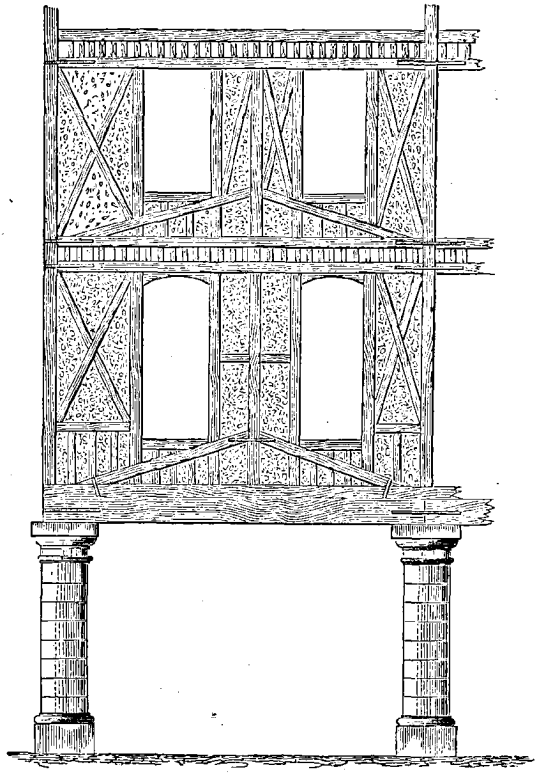


Fig. 3378.

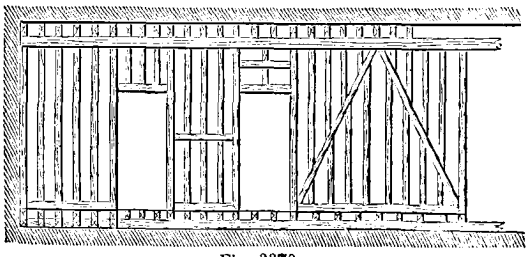


Fig. 3379.

Des expériences plus récentes ont confirmé que ces indications pouvaient être admises comme suffisamment exactes pour la pratique.

On admet aussi généralement que, lorsqu'une pièce de bois comprimée est divisée en plusieurs parties par des points fixes, tels que ceux qu'on obtient naturellement avec les pièces de contreventement et de liaison des charpentes, on peut considérer isolément chacune de ces parties, et ne tenir compte que du rapport à la base de la fraction de la hauteur totale qu'elle représente.

Quand on a des charges très-considérables à supporter, surtout quand ces charges sont mobiles, on dispose les pans en forme de pyramides (palées des ponts en charpente, chevalets, beffrois des clochers, etc.).

Les assemblages ordinaires à entures verticales sont défectueux pour les fortes charges ; les fibres ligneuses s'écrasent et se pénètrent au droit des joints; on leur substitue avantageusement des boîtes métalliques; on éloigne aussi le pied des supports du sol sur des dés en pierre avec siége en fonte (docks-entrepôts de la Villette, etc.)

PANS DE BOIS.

Comparés aux murs en maçonnerie, les pans de bois ont l'avantage d'être légers, élastiques, d'occuper peu de place et de s'élever très-rapidement; mais de nombreux inconvénients, instabilité, combustibilité, protection insuffisante contre les variations extérieures de la température ou contre les attaques du dehors, etc., les font presque toujours rejeter dans les constructions soignées, sauf pour l'établissement des cloisons intérieures.

On adopte généralement les dimensions suivantes pour des habitations de trois à quatre étages, ayant chacun 3 à 4 mètres de hauteur.

Pans de bois extérieurs.

Épaisseur compris ravalement.	0m,22 à 0m,25
Poteaux corniers. . . .	0 ,25 à 0 ,27
— d'étrière. . . .	0 ,22 à 0 ,25
— d'huisserie. . .	0 ,19 à 0 ,22
— de remplage. .	0 ,16 à 0 ,22
Guettes, décharges, croix de Saint-André.	0 ,16 à 0 ,22
Écartement des poteaux de remplage.	0 ,27 à 0 ,23

Cloisons intérieures.

Poteaux portant plancher.	0m,14 à 0m,16
Poteaux ne portant pas plancher.	0 ,11 à 0 ,14
Épaisseur.	0 ,11 à 0 ,19

Cloisons de refend ou en porte à faux.

Épaisseur.	0m,08 à 0m,14

Le remplissage des intervalles des bois se fait de différentes manières : la meilleure consiste à rainer les poteaux sur le champ, et à construire dans le vide une cloison en briques, revêtue d'enduits intérieurs ou extérieurs affleurant la face du pan de bois; les matériaux restent apparents, et s'ils sont régulièrement disposés, il en résulte un aspect très-agréable, comme on peut l'observer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dans nos anciennes villes en Normandie, en Bretagne, en Alsace; Paris même était presque entièrement bâti en pans de bois, c'est seulement au commencement du dix-septième siècle qu'on a commencé à bâtir en pierres

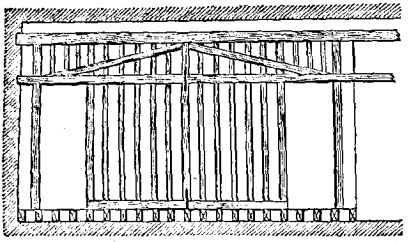


Fig. 3380.

des habitations particulières : les maisons de la place Dauphine passent pour les plus anciennes. Ce système est le plus favorable à la conservation des bois et le plus convenable à tous égards; mais il exige des bois bien équarris, et l'on n'a souvent à sa disposition que des matériaux grossiers; c'est ce qui arrive généralement aujourd'hui à Paris; les pans de bois sont recouverts sur les deux faces d'un lattis; l'intérieur est garni en plâtras, et le tout est dissimulé sous les enduits en plâtre, à l'intérieur et à l'extérieur.

Nous donnons ci-contre diverses dispositions de pans de bois ou cloisons intérieures; les remplissages peuvent se faire avec de simples planches, ou avec des briques, des carreaux de plâtre, etc.

Les décharges sont disposées de manière à reporter les pressions sur les points d'appui invariables, tels que les murs ou poteaux d'étrière, et à soulager les pièces en porte à faux, telles que les solives et poutres des planchers.

D. Chevêtre, placé au-devant du foyer d'une cheminée.
E, E. Solives boiteuses.
F, F. Linçoirs, recevant les solives au droit des portes et fenêtres.
G, G. Lambourdes ou sablières, portant les solives pour éviter le scellement dans les murs.

Le poids de chaque travée se trouve reporté sur quatre assemblages qui ne présentent pas par eux-mêmes une solidité suffisante; on les garnit ordinairement d'étriers en fer plat chantourné; on ajoute aussi aux extrémités des solives d'enchevêtrures des ancres armées de chaînes en fer, qui ont pour objet de maintenir l'écartement des murs et de consolider le scellement des solives, de manière à réaliser un encastrement au moins partiel, ce qui augmente notablement leur résistance.

Quand l'intervalle à franchir est considérable et dépasse les dimensions longitudinales des bois ordinaires, on supporte les abouts des solives sur des poutres; les solives peuvent être simplement posées

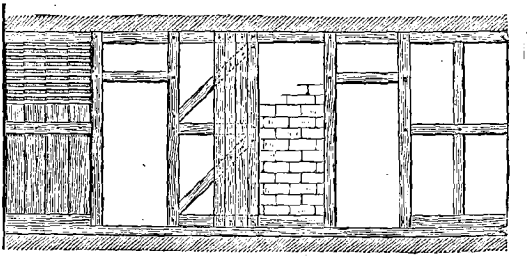


Fig. 3381.

sur le dessus de la poutre, ou bien engagées dans des entailles de la poutre; quand on dispose d'une

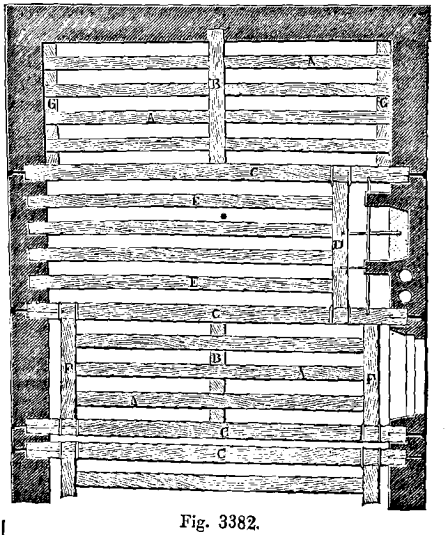


Fig. 3382.

faible hauteur, on garnit la poutre de deux lambourdes solidement maintenues par des boulons et des

PLANCHERS.

Les planchers sont des pans de bois horizontaux essentiellement composés de solives équarries, posées parallèlement, plus ou moins écartées, et destinées à porter l'aire des divers étages d'un édifice.

La disposition générale des planchers serait facile si les murs pouvaient partout leur offrir des points d'appui convenables; mais il n'est pas possible de procéder aussi simplement; on doit éviter de prendre les points d'appui au-dessus des parties évidées, telles que les portes et les fenêtres; il faut éloigner les bois des conduits de cheminées, et les maintenir au moins à la distance de 0m,16, prescrite par les règlements de police, pour éviter les dangers d'incendie; il faut enfin s'abstenir d'affaiblir les murs par les trous de scellement de solives très-rapprochées et placées à la même hauteur. De là des sujétions qui obligent à employer des pièces très-diverses; la figure 3382 indique comment les difficultés que présente la composition des planchers peuvent être levées dans les cas les plus ordinaires. Les pièces reçoivent les noms suivants :

A, A'. Solives.
B. Lierne ayant pour objet de s'opposer au gauchissement des solives; on substitue souvent aux liernes de simples cales, comme celles qui sont interposées entre les solives A'.
C, C. Solives d'enchevêtrure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étriers, et l'on adopte l'une ou l'autre des dispositions ci-contre (fig. 3383).

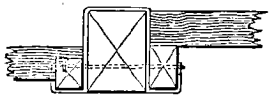


Fig. 3383.

On peut aussi couvrir de larges espaces avec des bois de faibles dimensions, au moyen de diverses dispositions telles que celles représentées par les figures 3384 et 3385.

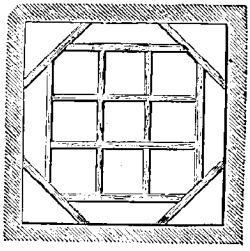


Fig. 3384.

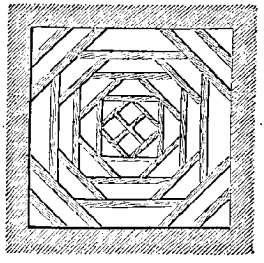


Fig. 3385.

La figure 3386 représente une disposition indiquée par Serlio; elle n'est que l'application en grand d'un jeu enfantin bien connu, qui consiste à faire tenir en l'air

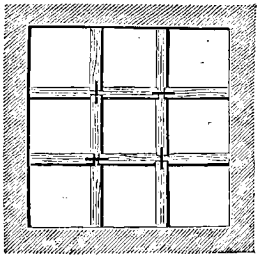


Fig. 3386.

des couteaux dont les pointes sont engagées les unes dans les autres. Le plancher est formé de huit pièces de bois, quatre ayant les deux tiers de la portée, et reposant les unes sur les autres comme le fait voir la figure 3387; quatre ayant seulement le tiers de cette portée et placées dans le prolongement des premières.

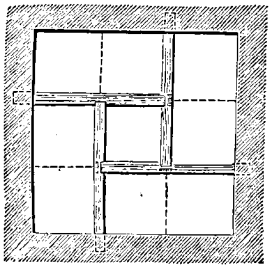


Fig. 3387.

La manière dont les poutres et solives sont scellées et encastrées dans les murs exerce une grande influence sur leur résistance et sur leur durée; il est essentiel que le bois ne soit pas entièrement privé du contact de l'air; sans cette précaution, il se pourrit assez vite. Dans les constructions économiques, telles que les bâtiments ruraux, on fait simplement passer les abouts des poutres à travers les murs, et on les laisse apparents à l'extérieur; dans les constructions plus soignées, on fait reposer les poutres sur des consoles en pierre sans les engager dans les murs, où l'on forme des chambres de scellement, quelquefois en métal, quelquefois garnies de liége.

Pour déterminer les dimensions des bois des planchers, on peut recourir à la théorie de la résistance des matériaux; il est plus court d'employer les formules empiriques suivantes :

Pour les solives :

$$h = 0{,}05\,l, \quad b = \frac{h}{2} \text{ ou } \frac{h}{\sqrt{2}} \quad E = b \text{ ou } 1{,}5.b;$$

Pour les poutres :

$$h = 0{,}05\,l\sqrt[4]{E}, \quad b = \frac{h}{\sqrt{2}} \text{ ou } h;$$

h représente la hauteur; b, l'épaisseur; E, l'espacement.

Il convient, pour la bonne disposition des parquets et plafonds, que toutes les solives aient même hauteur; on fait varier les espacements et les épaisseurs; ainsi, dans les planchers ordinaires, on donne 0m,03 de plus aux solives d'enchevêtrure.

Voici maintenant quels sont les principaux moyens pour remplir les intervalles des solives et former le sol et les plafonds des appartements.

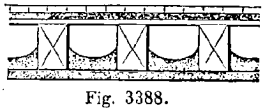


Fig. 3388.

1° Solives recouvertes d'un plancher simple ou double, dit plancher de pied, apparentes au-dessous.

2° Solives recouvertes d'un lattis avec aire en mortier et carrelage; entrevous hourdés;

3° Plafonds hourdés avec augets: plus sourds; les augets maintiennent les solives et empêchent leur gauchissement (fig. 3388);

4° Grands plafonds : les vibrations des planchers les feraient fendre si on les établissait directement au-dessous; on construit alors pour les supporter directement, un faux plancher plus léger et complétement indépendant du premier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHARPENTE.

Poutres armées. Les poutres armées en charpente s'exécutent pour planchers de grandes portées quand on ne dispose pas de bois assez forts; elles ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis le développement des constructions métalliques. Les dispositions les plus usuelles sont les suivantes:

1° Poutres armées de fourrures superposées. Au-dessus d'une pièce de toute longueur, on place deux ou trois pièces solidement reliées à la première par des étriers et des boulons, et s'arc-boutant à la manière des arbalétriers. Souvent aussi on superpose deux ou plusieurs poutres; pour établir une solidarité plus complète entre les pièces, on les réunit par des endentures, et l'on interpose, dans le sens perpendiculaire aux fibres, des clefs en bois dur qui empêchent les fibres de se déchirer en se pénétrant.

2° Poutres d'assemblage; elles sont formées à la manière des précédentes, mais aucune n'a la portée totale à franchir; on a soin de croiser les entures.

3° Poutres en forme de fermes très-surbaissées; elles peuvent être combinées de différentes manières, suivant la hauteur dont on dispose.

4° Poutres américaines, en treillis, à croisillons. On a fait un fréquent usage en Amérique de ces divers systèmes pour construire des ponts de très-grande portée; ils peuvent aussi être utilisés pour d'autres usages, planchers, combles, cintres, poitrails, etc. Le plus répandu et le plus simple de ces systèmes, celui de Town, a été décrit dans le *Dictionnaire* à l'article PONTS AMÉRICAINS.

COMBLES.

Les combles sont des combinaisons de pans de bois inclinés et verticaux destinés à supporter la couverture des édifices. La première chose à déterminer pour l'établissement d'un comble, c'est son inclinaison; elle dépend de la nature de la couverture et d'une façon secondaire du climat. La couverture est le plus ordinairement disposée suivant des surfaces planes; elle repose sur les pans du comble par l'intermédiaire de planchers spéciaux ou de lattis (Voir l'article COUVERTURE). Les pans de bois inclinés sont formés de chevrons, pièces de bois rangées parallèlement aux lignes de plus grande pente, ayant 0m,08 à 0m,10 d'équarrissage, et espacées de 0m,33 à 0m,60, suivant le poids qu'elles ont à supporter. Par leur extrémité supérieure, ces chevrons reposent sur une pièce horizontale nommée faîtage; par leur extrémité inférieure, ils s'engagent dans les entailles d'une sablière, posée directement sur le mur. Quand les eaux de pluie sont rejetées au dehors directement, on ajoute au pied du chevron un petit coyau reposant sur l'arête de la corniche. Dans la partie intermédiaire, les chevrons sont soutenus par des pannes horizontales, réparties à des distances de 2m,50 à 3 mètres les unes des autres.

Les pannes et faîtages reposent sur des appuis formés soit par les murs de refend et de pignon, soit par des arcs en maçonnerie, le plus souvent par des pans de bois transversaux, nommés fermes; ceux-ci à leur tour sont maintenus verticalement par d'autres pans de bois longitudinaux très-simples.

Ainsi les combles sont ordinairement composés de trois systèmes de pans de bois; les fermes sont les plus importants; elles sont communément espacées de 3m,50 à 4 mètres. On dispose les fermes de différentes manières suivant l'inclinaison du toit, la portée, les convenances et la destination de l'édifice.

§ Ier. *Fermes à inclinaison très-prononcée, plus grande que 30°.*

Les dispositions dépendent de la portée; celle-ci est proportionnelle au nombre des pannes, qui sont placées en projection horizontale à des distances de 2 mètres à peu près.

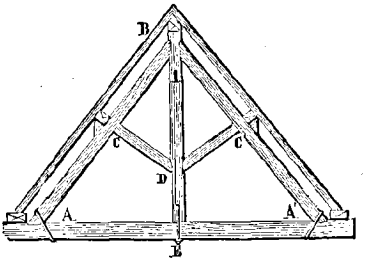


Fig. 3390.

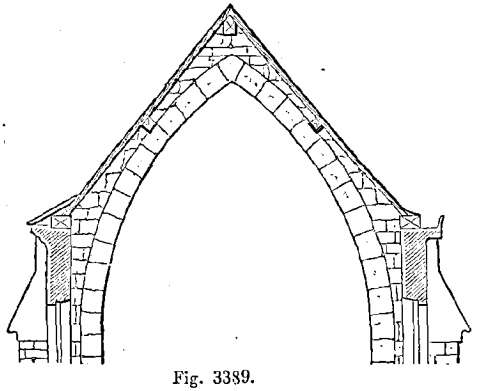


Fig. 3389.

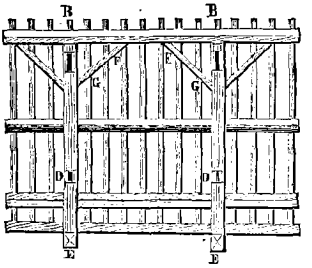


Fig. 3391.

1° Ferme à une paire de pannes, de 8 mètres de portée. Elle se compose de six pièces, dont les fonctions sont faciles à déterminer par la décomposition des forces qui agissent sur elles, savoir:

Deux arbalétriers AB, A'B; une fraction du poids de la couverture, égale aux 5/8 du poids total d'une travée, est reportée sur leur milieu par l'intermédiaire de la panne C; cette action P (fig. 3392) se décompose en deux: l'une dirigée suivant la parallèle à l'arbalétrier, tend à le comprimer; l'autre dirigée dans le sens CD tendrait à faire fléchir l'arbalétrier; mais la contre-fiche s'oppose à cette flexion; quand des points d'appui sont ainsi disposés au-dessous de chaque panne, les arbalétriers n'ont d'autre effort de flexion à supporter que celui qui résulte de leur propre poids dans les inter-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHARPENTE.

valles BC, CA; cette disposition est très-convenable, et on s'est conformé au même principe dans les exemples suivants. En résumé, l'arbalétrier doit avoir les dimensions suffisantes pour résister à la compression due à la

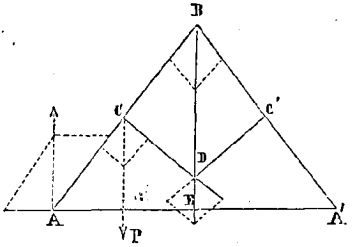


Fig. 3392.

décomposition suivant BC, BC' de la tension du poinçon BE et de la charge du faîtage dans toute son étendue; dans la partie CA, il faut ajouter à cette compression la composante due à la charge des pannes, mais néanmoins en pratique on donne aux pièces le même équarrissage sur toute leur longueur; enfin, pour être complétement exact, il faudrait tenir compte de la flexion due au poids propre des pièces.

Un tirant AA', qui résiste à un effort d'extension dû à l'action des arbalétriers et à un effort de flexion dû à son propre poids.

Deux contre-fiches CD, C'D, qui soutiennent l'arbalétrier en son milieu et résistent à un effort de compression.

Un poinçon BE, qui résiste à l'extension due aux liens GF, aux contre-fiches et aux tirants et qui prend son point d'appui au sommet des arbalétriers.

Les assemblages du tirant avec les arbalétriers et avec le poinçon se trouvent ordinairement consolidés par des étriers en fer.

Dans les exemples suivants, on peut se rendre compte des efforts auxquels sont soumises les diverses pièces par une analyse analogue à la précédente, et il n'a pas paru nécessaire de revenir sur des explications qui paraissent suffisantes pour rendre compte du rôle de chaque pièce dans les divers types de fermes.

2° *Ferme à deux paires de pannes, portées d'environ 12 mètres* (fig. 3393). La disposition est la même que la précédente; on ajoute seulement deux petites pièces nommées *jambettes*, qui reportent la charge des pannes inférieures vers l'extrémité du tirant.

3° *Ferme à trois paires de pannes, portées d'environ 16 mètres* (fig. 3394). Elle se compose de deux parties : la première, semblable à la ferme à deux pannes, est limitée horizontalement par un faux entrait qui résiste à un effort de compression; la seconde est en forme de trapèze, les angles sont consolidés par des aisseliers et des jambettes.

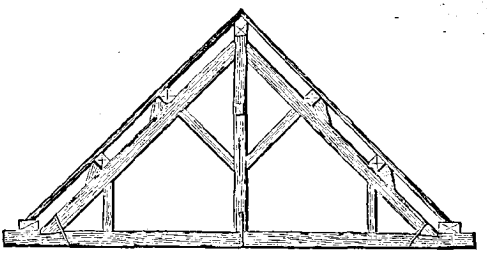


Fig. 3393.

4° *Ferme à quatre paires de pannes, portées d'environ 20 mètres* (fig. 3395). Les arbalétriers sont renforcés de

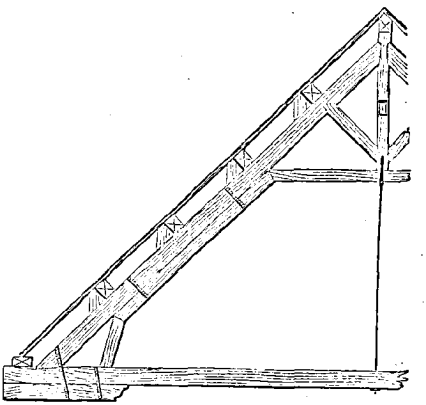


Fig. 3395.

pièces jumelles dans la partie inférieure de la ferme.

5° *Ferme à entrait retroussé.* On peut installer sous les combles des greniers, des magasins, ou même des logements, en modifiant légèrement les dispositions précédentes, comme l'indiquent les figures ci-contre. La

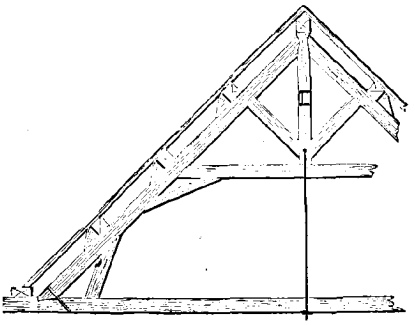


Fig. 3394.

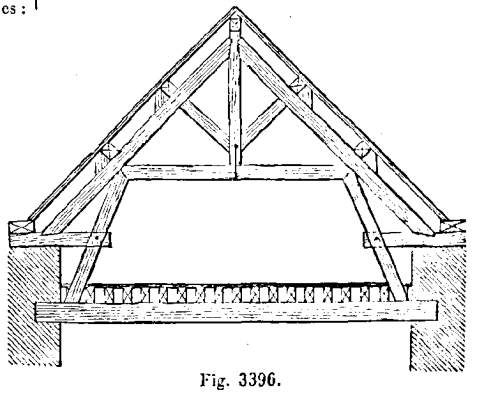


Fig. 3396.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

partie supérieure de la ferme est pourvue d'un faux entrait; la poussée est reportée sur l'extrémité du tirant par une pièce inclinée nommée *jambe de force*, et celle-ci est reliée à la tête du mur par un *blochet* simple ou moisé (fig. 3396 et 3397).

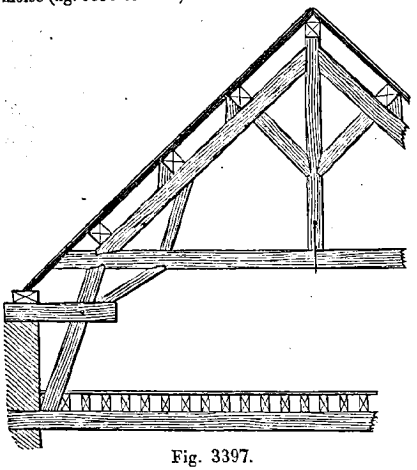


Fig. 3397.

6° *Ferme sans entrait.* Dans certaines circonstances l'entrait est gênant; on peut le supprimer en employant la disposition suivante, avec laquelle on doit se préoccuper de la poussée exercée sur les murs (fig. 3398). Les pieds des arbalétriers doivent être reliés au moyen de solives frettes en fer.

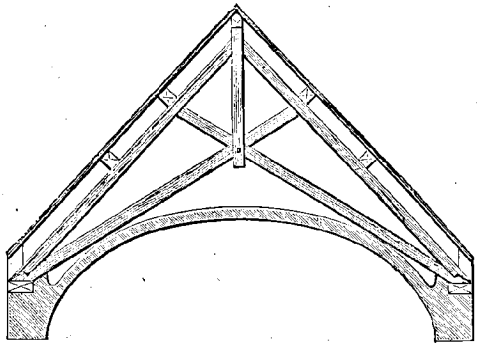


Fig. 3398.

Avec de bonnes planches de sapin, et de simples clous ou chevilles, sans aucun assemblage, on peut faire, dans beaucoup de circonstances, des combles économiques et simples en très-peu de temps, en suivant cette disposition.

§ II. *Fermes à pente peu prononcée, inférieure à* 30°.

1° *Fermes disposées à la manière des poutres armées.* Les arbalétriers et les tirants sont liés invariablement par des pièces pendantes, aiguilles ou moises, qui peuvent être plus ou moins multipliées, suivant l'espacement des fermes et leur charge propre, dans le cas par exemple où elles auraient à supporter des arbres de couche ou des armatures de grues. Les deux dispositions sont représentées, l'une à droite, l'autre à gauche de la figure 3399.

2° *Fermes des basiliques latines.* Disposition très-simple, très-convenable dans les édifices où les combles doivent rester apparents; on augmente la force des arbalétriers en les doublant et en juxtaposant deux fermes. C'est suivant ces dispositions que sont établis les combles des célèbres basiliques de Rome, telles que Sainte-Marie-Majeure (19 mètres d'ouverture) et Saint-Paul-hors-les-Murs (26 mètres); au point de vue du bon emploi des bois, il vaudrait mieux espacer les fermes ou superposer les pièces au lieu de les juxtaposer.

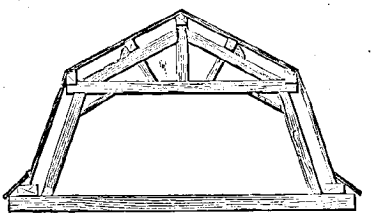


Fig. 3401.

§ III. *Combles brisés ou en mansarde.*

Ces combles offrent une sorte de compromis entre les inclinaisons prononcées et douces; ils sont employés pour établir des logements dans les étages supérieurs des édifices (fig. 3401).

Fig. 3399.

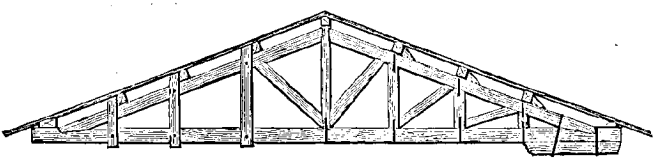
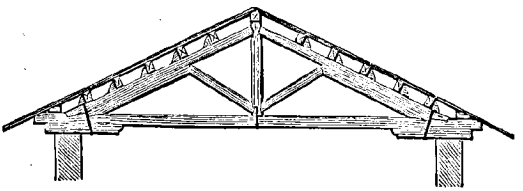


Fig. 3400.



PROPORTIONS.

Les dimensions des pièces des fermes peuvent se calculer assez facilement; pour établir les projets, on peut faire usage des proportions suivantes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui suffisent dans les cas ordinaires, et peuvent en tous cas servir de point de départ pour des calculs plus précis. L'équarrissage des pièces est exprimé en fractions de la demi-portée de la ferme.

Entraits portant plancher.	$\frac{1}{18}$
— ne portant pas plancher. .	$\frac{1}{20}$
Arbalétriers.	
Poinçons.	
Faux entraits.	$\frac{1}{24}$
Liens.	
Pannes $\frac{1}{24}$ de l'espacement des fermes.	

Fermes du moyen âge. A cette époque, les bois étaient

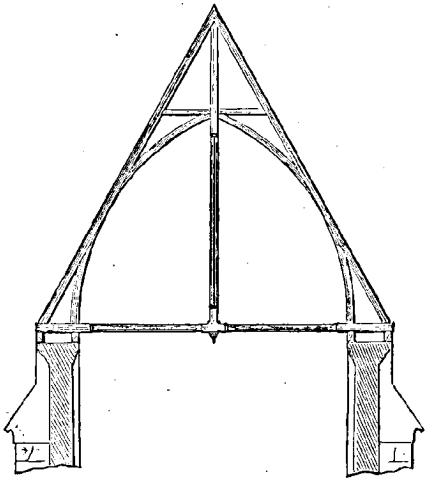


Fig. 3402.

plus abondants qu'aujourd'hui; les combles étaient généralement disposés d'une manière différente; ils étaient

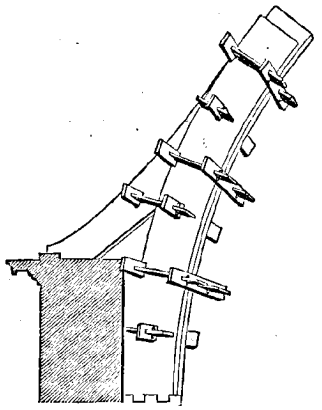


Fig. 3403.

élevés sur des murs très-hauts et très-étroits, et il importait de réduire l'intensité des poussées d'autant plus que les chevrons étaient généralement dépourvus de pannes, et exerçaient une pression continue sur toute la longueur du mur; ces motifs ont conduit à l'adoption de pentes très-prononcées, qui étaient d'ailleurs en harmonie avec le caractère de l'architecture ogivale. Les combles du moyen âge se composent ordinairement de chevrons portant fermes, et de fermes maîtresses qui correspondent aux contre-forts, et sont seules pourvues de tirants. Souvent les chevrons sont consolidés au moyen d'aisseliers et de jambettes courbes, et vu de l'intérieur, le comble présente l'aspect d'une carène renversée. Des planches ou un enduit de plafond recouvraient cette membrure, et on décorait la surface de peintures brillantes. (Ancienne salle des Pas-Perdus du Palais de justice à Paris, salle des États à Blois, Palais de justice de Rouen, églises, etc.)

Fermes courbes de Philibert Delorme (fig. 3403). La disposition précédente exigeait des bois d'un équarrissage courant très-fort. Quand les forêts commencèrent à s'épuiser, on chercha les moyens d'obtenir les apparences auxquelles on s'était habitué au moyen de bois de petit échantillon : de là l'origine du système de Philibert Delorme, qui permet d'établir des combles de grande portée avec de simples planches.

Le comble se compose, comme les précédents, de fermes de remplage très-rapprochées, répartissant la pression sur toute la longueur du mur. Ces fermes peuvent facilement recevoir les formes qu'on désire soit à l'intérieur, soit à l'extérieur : en effet, chacune d'elles est formée de deux ou trois cours de planches juxtaposées de telle manière que les solutions de continuité se trouvent en découpe. Les fermes sont reliées par des entretoises avec clefs passantes qui maintiennent leur écartement; ces entre-

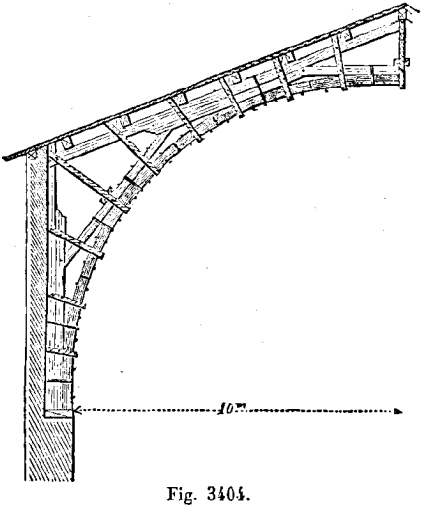


Fig. 3404.

toises sont tantôt moisées, tantôt simples et traversant les planches. (Coupole de la Halle au blé : 39 mètres de diamètre, brûlée en 1802; coupole des petites écuries à Versailles; cale couverte de Lorient.)

Fermes courbes du colonel Émy (fig. 3404). Le système de Philibert Delorme a beaucoup perdu de ses avantages économiques, par suite de l'élévation du prix de la main-d'œuvre. Le colonel Émy a employé, pour franchir de grandes portées, une disposition plus simple, qui consiste à superposer des planches de toute longueur sur un gabarit cintré, en ayant soin de croiser leurs joints et de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les relier au moyen de boulons et d'étriers : on donne au comble la forme extérieure convenable, au moyen de bois ordinaires qui, réunis à l'arc par des moises, assurent sa rigidité.

Le hangar de Marac, près Bayonne, dont une moitié de ferme est représentée par la figure 3404, peut être considéré comme le type du système Émy; les fermes sont espacées de 3 mètres; l'arc est composé de planches de sapin, de 12 à 13 mètres de longueur, $0^m,13$ de largeur et $0^m,55$ d'épaisseur; il y a sept planches à la naissance, huit aux reins et cinq à la clef.

Divers systèmes de fermes courbes. On peut évidemment, si l'on dispose par hasard de bois courbes, les employer pour former des arcs analogues aux précédents; on peut aussi faire des combles de grande ouverture avec des bois de petit échantillon, en juxtaposant des châssis à croisillons, qui forment comme les voussoirs d'une voûte en bois.

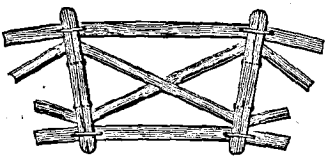


Fig. 3405.

Ces châssis sont réunis au moyen de plates-bandes et de boulons ; ils sont faciles à transporter et employés avantageusement pour établir des abris mobiles ou provisoires. (Docks du Havre; halles à marchandises de Reims.)

Diverses dispositions des combles.

Dans tout ce qui précède nous n'avons considéré que des bâtiments de plan rectangulaire avec comble à deux égouts, c'est-à dire composé de deux pans inclinés en sens opposés. Un tel bâtiment peut être terminé transversalement par deux pignons, c'est-à-dire par deux murs surmontés de triangles ou de frontons, dont le sommet s'élève au niveau du faite. Cette disposition

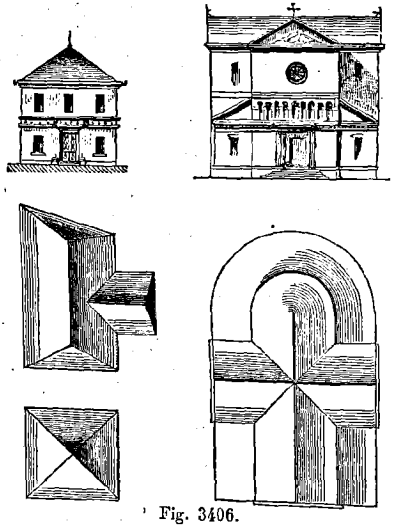


Fig. 3406.

est très-convenable avec les toits peu inclinés : elle présente avec les toits à inclinaison prononcée moins

d'avantages, à cause de l'instabilité d'un pignon aig et de l'action dangereuse que le vent pourrait exerce sur lui. Dans ce cas on termine le comble par un pa transversal incliné qui prend le nom de *croupe*.

Les combles des divers corps de bâtiments qui com posent un grand édifice, forment en se rencontrant de angles rentrants qu'on appelle *noues*, quand les faite sont de niveau, et *noulets*, quand ils sont à de hauteurs différentes (fig. 3406). Les dispositions de pièces de bois au moyen desquelles on forme les com bles et les noues sont étudiées avec détails à l'articl STÉRÉOTOMIE.

Par la combinaison des pignons, des croupes et de noues, on obtient divers systèmes de combles qu'il suf fira de définir ici.

Les combles en pavillon sont applicables à des bâti ments carrés en plan et formés généralement de quatr croupes juxtaposées.

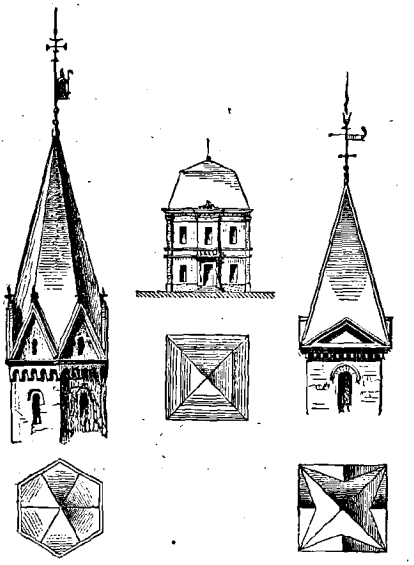


Fig. 3407.

Le pavillon à cinq épis est formé par la rencontre de deux combles courts, avec croupes.

Le pavillon peut aussi être terminé par quatre pignons; cette disposition peut se combiner avec les précédentes et elle a été souvent employée pour les flèches de clochers (fig. 3407).

Sur les bords du Rhin on voit beaucoup de constructions de ce genre, sur plan octogonal, avec pans de croupe sur les angles.

Les combles des grands bâtiments, dont la forme est polygonale ou circulaire, sont formés par une série de pans de croupe juxtaposés; les fermes des dômes ne diffèrent des fermes ordinaires que par l'addition de quelques pièces de bois inscrites dans le contour curviligne de l'extrados.

La forme circulaire ou polygonale du plan offre cet avantage que les entraits destinés à faire équilibre aux poussées des arbalétriers peuvent être supprimés et remplacés par une ceinture inextensible reliant les pieds des fermes sur les murs. (Cirque du boulevard du Temple, etc.)

Bibliographie. — Les principaux traités généraux sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'art de bâtir et sur l'architecture contiennent des parties plus ou moins développées consacrées à la charpente. Parmi les traités spéciaux nous devons citer les ouvrages de Mathurin Jousse et de Nicolas Fourneau qui remontent au temps de la Renaissance, les recueils de Krafft, le manuel succinct de MM. Hanus et Biston, le traité de l'art de la charpenterie, par le colonel Emy, œuvre classique, et qui laisse peu de chose à ajouter sur le sujet. On consultera encore avec fruit les études de M. Ardant, les recherches de M. le général Morin, insérées dans son traité de la résistance des matériaux, le cours de construction de M. Demanet, et enfin le traité d'architecture de M. Léonce Reynaud. Nous avons fait de nombreux emprunts à ces divers ouvrages. E. BAUDE.

CHARRONNAGE. Le charron est l'artisan qui fait les voitures de fatigue, les roues et les trains des voitures suspendues, les caisses et les garnitures étant seules du ressort des selliers-carrossiers.

Aux articles VOITURES, SCIERIE, etc., nous avons traité de la machine constituée par l'emploi des roues pour diminuer le frottement et surmonter les obstacles, et des moyens mécaniques employés pour la fabrication des roues, progrès capital dans une industrie qui en avait accompli beaucoup, au moment où l'industrie des chemins de fer est venue simplifier, pour ses plus grandes applications, le problème dont elle poursuit la solution.

Nous passerons en revue les derniers progrès accomplis en reproduisant ici la majeure partie de l'intéressant rapport du général Morin sur la fabrication des voitures.

1. — *Fabrication des voitures de luxe.* Pour les voitures de luxe, la légèreté tant réelle qu'apparente, la solidité et l'invariabilité de forme de toutes les parties, sont des conditions de rigueur. On conçoit, en effet, que la peinture, que l'on polit avec tant de soin, serait rapidement altérée, si les bois qui forment la caisse et le charronnage étaient susceptibles de se tourmenter.

Le choix et la préparation des bois sont donc d'une extrême importance sous le triple rapport de la solidité, de la durée et de l'invariabilité de la forme.

Les carrossiers habiles de France et d'Angleterre apportent le plus grand soin à ce choix, et sont dans l'usage de faire eux-mêmes leur approvisionnement et leur débit.

Dans la construction ordinaire des voitures en France, les pièces du train se font en frêne, les roues en orme tortillard pour les moyeux, en acacia pour les rais et les jantes, que l'on fait aussi souvent en frêne, et même en orme ordinaire, ce qui ne vaut rien, parce que ce dernier bois est trop sujet à la pourriture.

Malgré le choix que l'on peut faire de ces bois, ils sont loin d'avoir la solidité et surtout l'incorruptibilité de certains bois exotiques.

On a jusqu'ici préféré, en France, le bois de noyer pour les panneaux destinés à être peints et polis ; mais l'expérience des Anglais les ayant conduits à se servir de l'acajou, qui absorbe mieux l'huile et se tourmente moins que le noyer, l'usage de ce dernier bois commence à prévaloir pour cette partie, quoiqu'il exige un débit particulier pour être approprié à cette destination.

L'emploi des bois exotiques pour pièces du charronnage est déjà très-répandu en Angleterre, et tend à s'introduire en France. Le Canada et les États-Unis fournissent à la première, non-seulement des bois en plateaux ou débités, mais même des roues en blanc. La Guyane française expédie en France des bois de très-bonne qualité, très-propres aux constructions navales et à la carrosserie.

Je crois devoir donner quelques indications sur ces bois et sur les emplois qu'on en a faits.

Bois du Canada. — Chêne blanc, *Quercus alba.* Très-abondant, regardé comme la meilleure variété de chêne du pays, très-résistant et très-durable ; s'exporte beaucoup en Angleterre. Densité, 0,675. Prix moyen à Québec, 45 fr. 50 cent. le mètre cube. Il s'emploie pour les rais.

Shell bark hickory, *Carya alba*, appelé aussi *noyer blanc.* Il est regardé comme le plus fort, le plus compact, le plus élastique et le meilleur des bois du Canada. Il est très-employé pour manches d'outils, pour rais, moyeux et brancards. Densité, 0,929.

Frêne blanc, *Fraxinus americana*, remarquable par son élasticité ; employé pour les brancards et les jantes des roues. Densité, 0,646. Prix à Québec, 40 francs le mètre cube.

Ces trois essences de bois sont très-employées en Angleterre, et notre industrie peut aussi en faire usage avec sécurité.

Bois de la Guyane française. — Les renseignements fournis sur ces bois sont encore trop incomplets pour que nous puissions en conseiller l'adoption. Quelques-uns cependant sont signalés comme étant d'un bon emploi pour le charronnage. Ce sont : le bois balle, le bois la morue, le bois rose mâle, le bois macaque, le bois rouge, le bois puant, le bois pagayes, le bois mary, le bois devin, le coupi, le cours-dehors, *Diplotropis guyanensis*, le courbaril, *Hymenea courbaril.*

Dessiccation des bois. — La question de la dessiccation artificielle des bois a été fort controversée.

Pour les bois de fusil, le procédé de lessivage par la vapeur dans une étuve est préféré en France à celui de la dessiccation par l'air chaud à 40 ou 45 degrés. Ce dernier procédé, qui avait d'abord été adopté en Angleterre après des essais que l'on avait trouvés satisfaisants, y est abandonné, à ce que l'on m'a assuré ; il est, je crois, encore pratiqué pour la préparation rapide des bois de menuiserie. Après huit jours pour les planches de $0^m,025$ d'épaisseur, et quinze jours pour les madriers de $0^m,05$, des bois placés dans une étuve chauffée à 45 degrés environ, et suffisamment ventilés, ont perdu presque toute leur humidité et peuvent être employés. Les expériences faites à la manufacture d'armes d'Enfield semblent même prouver que les bois ainsi préparés reprennent moins d'humidité que ceux qui sont desséchés dans des hangars.

Quoi qu'il en soit, l'industrie de la carrosserie n'emploie ni l'un ni l'autre de ces procédés, et, à vrai dire, le faible échantillon des bois qui lui sont nécessaires permet de s'en dispenser, puisqu'il suffit d'un séjour de deux ou trois ans dans des hangars, après le débit, pour les dessécher complétement.

Mais, pour la courbure de certaines pièces de charronnage on a recours à l'immersion dans l'eau chaude, qui rend le bois plus flexible, et permet de le placer dans des coquilles ou de le courber sur des gabarits de forme convenable.

Emploi du fer et de l'acier. — De même que les bois, le fer et l'acier ont une grande importance dans la carrosserie. Le second de ces métaux, l'acier, prend, dans la construction des voitures, une place de plus en plus grande, à mesure qu'il se fabrique à meilleur marché et que sa qualité s'approprie mieux à la confection des grosses pièces.

On recherche pour les essieux une grande ductilité, qui les préserve de la rupture par l'effet des chocs, jointe à une dureté qui s'oppose à ce que leurs fusées s'usent trop promptement. Ces deux conditions, assez difficiles à trouver pour les fers, se voient réunies dans les aciers que fournissent les fabrications nouvelles, et la grande rigidité de ces aciers permet en même temps de réduire les dimensions du corps et des fusées des essieux, ce qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

procure le double avantage de diminuer leur poids et le rayon des fusées, qui est à très-peu près le bras de levier du frottement, attendu que le jeu des boîtes ne doit être qu'une fraction de millimètre.

La suppression de la flèche dans un grand nombre de voitures, et la condition de se réserver la faculté de faire passer sous la caisse les roues de l'avant-train, exigent que les brancards en bois soient renforcés par des bandes de métal qui en suivent les contours, souvent très-compliqués, particulièrement pour les coupés à deux ou à quatre places.

Ces bandes se font généralement en fer, que l'on choisit de la meilleure qualité ; mais elles sont alors d'un poids assez considérable, parce qu'il importe beaucoup que, dans les secousses éprouvées par la caisse, elles ne subissent non-seulement aucune déformation permanente, mais n'offrent même que des flexions très-légères.

Depuis quelque temps, les bons constructeurs anglais remplacent, pour la fabrication de ces pièces, le fer par l'acier, ou par ce que l'on nomme du fer *aciéreux* ou du métal homogène : ces derniers noms s'appliquent, en réalité, à des aciers de qualité ordinaire, mais uniforme. Cette substitution d'un métal moins flexible, et dont l'élasticité ne s'altère que sous des charges bien supérieures à celles que le fer peut supporter sans se déformer, permet de réduire considérablement, de moitié au moins, comme j'ai pu m'en assurer, la section transversale et par conséquent le poids des bandes de renfort, en leur conservant une force égale. Le prix de ces sortes d'aciers étant d'ailleurs peu supérieur à celui des bons fers auxquels on les substitue, il y a dans ce remplacement économie de poids et de dépense.

La fabrication des ressorts a aussi profité des perfectionnements introduits dans celle de l'acier, et, au lieu de ces étoffes de fer et d'acier, corroyés ensemble, qui étaient et qui sont encore en usage pour allier la roideur de l'acier à la ductilité du fer, on emploie de plus en plus des ressorts en acier pur, que l'on a seulement le soin de choisir parmi les variétés ductiles.

Quant aux ferrures du charronnage, qui, par leurs formes, permettent de donner à la plupart des pièces une apparence de légèreté plus grande que si elles étaient en bois, tout en leur conservant la même force, il convient de continuer à les fabriquer en fer de bonne qualité et très-ductile.

Les bandages de roues doivent être à la fois durs et ductiles. L'expérience de la Compagnie générale des omnibus montre que, sur les voies macadamisées, ces bandages s'usent plus vite que sur le pavé, tandis que le charronnage des roues fatigue plus sur le pavé. Ainsi, alors que dans le service une roue peut durer de quatre à cinq ans, un bandage doit être remplacé après trois ou quatre mois. Il paraît donc probable que, si le prix de l'acier continue à se rapprocher de celui du fer, il y aura bientôt avantage à substituer ce métal au fer pour les bandages de roues, en le choisissant encore parmi les aciers ductiles. Déjà, du reste, plusieurs de nos bons constructeurs sont entrés dans cette voie d'amélioration.

Poids des voitures. — Puisque j'ai parlé de la légèreté des voitures, il convient de faire connaître les poids ordinaires, et de montrer dans qu'ils varient, selon les ateliers de construction, dans les limites suivantes :

Berline.	650 à 700 kilog.
Coupé brougham à quatre places.	450 à 550
Coupé à deux places. . .	350 à 500
Calèche à un cheval. . .	480 à 500
Cabriolet à quatre roues, dit *victoria* ou *mylord*.	380 à 425

Dans les poids que je viens d'indiquer, les diverses parties ou divers éléments de la voiture entrent à peu près dans les proportions suivantes :

GENRES de VOITURES.	CAISSE.	CHARRONNAGE et ROUES.	FERRURES et LANTERNES.	SIÈGE.	PEINTURES.	GARNITURES.	TOTAUX.
Berline.	0.287	0.086	0.520	0.014	0.045	0.078	1.000
Coupé à quatre places. .	0.282	0.058	0.537	0.018	0.019	0.086	1.000
Coupé à deux places. . .	0.260	0.066	0.560	0.018	0.017	0.080	1.000
Calèche à un cheval. . .	0.222	0.067	0.590	0.018	0.010	0.103	1.000
Cabriolet à quatre roues (mylord).	0.210	0.074	0.590	0.023	0.010	0.093	1.000

Ce tableau montre que la substitution du fer au bois donne à certaines voitures une légèreté apparente, mais ce n'est que par une augmentation du poids relatif des ferrures, qui entrent dans une proportion supérieure à 0,50 du poids total, et d'autant plus grande que les voitures sont plus légères. La substitution de l'acier au fer pour les pièces principales contribuerait donc à alléger notablement le poids des voitures.

On voit, par ces exemples et par ces rapprochements, quelle réduction de poids on peut obtenir, en y apportant une attention soutenue et par un bon choix de matériaux.

Mode d'exécution. — La variété excessive des formes des voitures de luxe, pour lesquelles le constructeur est bien souvent obligé de se soumettre non-seulement au goût, mais encore aux fantaisies de l'acheteur, s'oppose à ce que l'usage des machines s'introduise pour une grande part dans la carrosserie de luxe. D'un autre côté, les carrossiers en renom qui tiennent à la bonne réputation de leurs établissements, s'attachent à tout faire faire chez eux, ce qui contribue aussi à écarter l'emploi des machines, qui n'est avantageux que pour des fabrications où l'on exécute un grand nombre de pièces identiques.

Cependant il y a certaines parties pour lesquelles des ateliers spéciaux deviendront de plus en plus nécessaires.

La fabrication des roues en blanc, celle des essieux et celle des ressorts sont de ce nombre, et déjà l'usage se répand de plus en plus parmi les constructeurs de recourir à des établissements spéciaux pour ces parties de la construction.

2. — *Voitures de service courant.* Ce genre de voitures, dont le plus grand nombre est affecté au service public comme voitures de louage, constitue une classe qui ne comprend qu'un petit nombre de types, dans chacun desquels toutes les voitures sont pareilles.

Cette uniformité conduit nécessairement à l'emploi des machines pour le travail de toutes les pièces sem-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

blables, parce que l'on y trouve l'économie et l'identité des pièces, comme on le voit dans les ateliers de la Compagnie générale de Paris.

3 — *Machines employées par l'industrie de la carrosserie.* Pour permettre d'apprécier l'économie que la fabrication en grand, à l'aide de moyens mécaniques, peut apporter à la construction des voitures, je relaterai ici les résultats d'un examen approfondi de cette question, auquel j'avais dû me livrer en 1845, alors qu'il s'agissait d'établir auprès de Paris un arsenal central pourvu de grands moyens de production. Ce projet, dont les bases générales ont été établies à cette époque, et qui, depuis, a été repris à la suite d'un rapport que je rédigeai en 1859 pour le comité d'artillerie, s'exécute à Bourges, dont la position centrale au milieu de nos réseaux de voies ferrées a déterminé le choix du gouvernement.

J'extrais donc du rapport de 1845 les renseignements suivants :

Machines à fabriquer les roues. — L'assortiment des machines nécessaires pour la fabrication des roues se compose comme l'indique le tableau suivant, dans lequel on a aussi rapporté :

1° Les quantités de paires de roues pour lesquelles chaque machine peut fournir les pièces qu'elle est destinée à produire ;

2° Le nombre de journées d'ouvriers employées pour la confection, à la machine, des pièces nécessaires à la fabrication de cent roues

3° Le nombre de paires de roues pour lesquelles les mêmes machines peuvent servir.

On remarquera que, dans cette fabrication, le même ouvrier peut être successivement employé à plusieurs machines différentes.

Produit des machines employées à la fabrication des roues.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	NOMBRE de paires de roues pour lesquelles la machine peut produire les pièces. en 1 mois.	en 1 an.	NOMBRE de journées employées à chaque machine pour 100 roues.
	Paires de roues.	Paires de roues.	Journées.
Scie circulaire pour scier les plateaux en travers et débiter les rais en long.	300	3,600	5 00
Scie circulaire pour mettre les rais d'équerre.	300	3,600	5 00
Scie à chantourner les jantes.	300	3,600	5 00
Scie pour couper les jantes selon le rayon.	1,000	12,000	1 50
Machine à percer les jantes pour les rais et les broches.	500	6,000	3 00
Machine à équarrir les mortaises dans les jantes.	500	6,000	3 00
Machine à faire les broches des bouts des rais.	400	4,800	3 75
Machine à araser les broches au bout des rais.	400	4,800	3 75
Machine à scier les rais de longueur.	500	6,000	3 00
Machine à faire les tenons des rais.	700	8,400	2 15
Machine à planer les rais.	300	3,600	5 00
Machine à percer les trous des moyeux.	1,000	12,000	1 50
Machine à diviser les moyeux, à percer et à équarrir les mortaises.	300	3,600	5 00
Machine à enrayer.	300	3,600	5 00
Trois goujonniers.	300	6,000	5 00
Total des journées employées aux machines pour 100 roues.			56 65
Journées d'ouvriers travaillant à la main pour le montage de 100 roues. — Planage des rais.			35 00
— Enrayage.			2 25
— Montage.			6 25
— Planage des hérissons.			14 30
			114 45

Les résultats consignés dans ce tableau sont inférieurs à ceux que l'on obtenait à la même époque aux ateliers des messageries royales, où la confection de cent roues en blanc n'exigeait que 87 journées 63 ; mais les roues d'artillerie étant plus grandes que celles des messageries, j'avais préféré adopter des données moins favorables.

Aujourd'hui il convient d'ajouter que l'on a imaginé des machines qui terminent le planage des rais et celui des hérissons, ce qui diminuerait encore très-notablement le nombre des journées.

Quant à l'opération du cerclage des roues, qu'on nomme l'*embattage*, voici sur quelles bases j'avais calculé le nombre des journées nécessaires :

Un homme peut, avec la machine,
cintrer . . . . . 150 cercles par jour.
Quatre hommes soudent. . . . . 40 cercles par jour,
Trois hommes amorcent. . . . . 50 barres p. cercles.
Un homme place les bandes de. . 17 roues par jour.

Par conséquent, il faut pour 100 roues :

Pour cintrer les cercles. . .	0,66	journées.
— souder les cercles. . .	10,00	»
— amorcer les cercles . .	6,00	»
— les cercler.	5,88	»
Total des journées pour l'embattage	22,54	»

Il aurait donc fallu en tout, à cette époque, pour 100 roues, avec les machines dont on proposait l'emploi :

Journées d'ouvriers en bois, au plus. .	114,45
Journées d'ouvriers en fer.	22,54
	136,99

Or, d'après des données, que je dus à l'obligeance de M. le colonel Hennocque, directeur de l'Arsenal d'artillerie de Metz, on employait par les procédés ordinaires pour fabriquer 100 roues :

Journées d'ouvriers en bois	665.00
Journées d'ouvriers en fer.	235.00
Total des journées	900,00

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi, dès 1845, le nombre des journées à employer pour la construction de 100 roues d'artillerie aurait pu être réduit à moins d'un sixième de ce qu'il était et est encore actuellement.

Depuis cette époque, les machines à travailler les bois se sont beaucoup perfectionnées : l'établissement de Graffenstadt a présenté à l'Exposition de 1855 et emploie, pour la construction des wagons, des machines à planer et à mortaiser les gros bois (voy. MENUISERIE); l'atelier des chemins de fer de l'Est, à Montigny près Metz, utilise avec succès une ingénieuse machine de M. Diez pour planer et pour équarrir à la fois, sur les quatre faces, toutes les pièces pour brancards, etc.; la scie à rubans de M. Perrin s'est répandue dans beaucoup d'ateliers (voy. SCIERIES), et sert à façonner les bois de toutes formes; les machines à faire les roues ont été perfectionnées; et l'usage des moyens mécaniques peut être étendu à la préparation de tous les bois qui entrent dans le matériel d'artillerie.

Ces détails montrent les avantages que trouverait la grande industrie de la carrosserie à se spécialiser, à concentrer dans quelques établissements principaux la fabrication de certaines parties de voitures, pour les livrer ensuite aux ateliers particuliers. Ceux-ci, par un contrôle sévère, trouveraient toutes les garanties de bonne exécution, pourraient prescrire le choix des matériaux qu'ils désireraient, et n'auraient plus qu'à s'occuper des parties qui ressortissent plus spécialement de l'art du carrossier.

4. — *Diligences, omnibus et autres voitures.* La construction de ces divers genres de voitures, par suite de l'uniformité et du petit nombre des types, et surtout parce que les services qu'elles doivent alimenter sont habituellement concentrés dans les mains de compagnies puissantes, doit, à plus forte raison encore, se faire presque exclusivement par les moyens mécaniques.

La Compagnie des omnibus de Paris a confié la direction de ses ateliers à un directeur et à un ingénieur habiles, qui ont organisé un bel ensemble de machines pour effectuer toutes les opérations qui peuvent être faites avec leur aide.

5. — *Voitures d'agriculture et de roulage.* Ce genre de véhicules rustiques, confiés à des conducteurs plus ou moins inhabiles, n'exige que de la solidité et une légèreté relative. Il faut de plus qu'ils soient faciles à réparer en tous lieux par les ouvriers de la campagne, avec les matériaux les plus faciles à trouver partout. Ils doivent donc être construits en bois, et ne recevoir que les ferrures indispensables.

Pour les voitures de roulage cependant, on pourrait aussi employer les mécaniques avec d'autant plus de motifs qu'il n'est pas sans importance d'alléger le plus possible, en leur conservant la solidité suffisante.

La largeur des jantes des voitures qui doivent circuler sur les routes est prescrite par les règlements, et pour l'agriculture, il ne convient guère qu'elle soit inférieure à 0m,08 ou 0m,10, afin qu'elles puissent aller dans des terrains ou des prés humides sans éprouver trop de résistance, et sans y occasionner trop de dégradations.

CHAUDIÈRES A VAPEUR. La construction des chaudières à vapeur a exercé la sagacité de tous les constructeurs, car il a été bientôt reconnu, en cherchant à obtenir des résultats économiques par l'amélioration de la machine à vapeur, que c'était l'appareil de vaporisation qui laissait le plus à désirer en général, que c'était de sa bonne disposition que l'on pouvait obtenir les plus grands progrès. Sans revenir sur les principes, notamment sur les avantages que procurent les grandes surfaces de chauffe, nous passerons en revue les trois types qui ont reçu les plus importants perfectionnements : les chaudières à foyer intérieur, les chaudières tubulaires et celles à circulation, renfermant l'eau dans l'intérieur des tubes.

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

CHAUDIÈRES A FOYER INTÉRIEUR. M. Grouvelle a fait justement remarquer, dans son excellent *Guide du chauffeur*, que ce genre de chaudières n'était bon qu'exécuté sur de grandes dimensions et pour fournir de la vapeur à une pression peu élevée. C'est dans ces conditions que les Anglais lui sont restés fidèles, en l'améliorant par une disposition fort heureuse, dont nous parlerons après avoir d'abord rappelé les observations très-justes du savant ingénieur dont nous venons de citer le nom.

« La plupart des ingénieurs qui ont cherché des perfectionnements aux chaudières ont cru les obtenir en enveloppant le foyer de métal en contact avec l'eau, et faisant circuler la fumée au milieu de l'eau, entre des surfaces multipliées et compliquées, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement refroidie; confondant les conditions ordinaires du tirage par le seul effet de la cheminée avec les puissants tirages des locomotives pour lesquelles cette disposition devient alors parfaite. Au reste, l'expérience a parlé clairement, et partout où le poids des fourneaux en briques n'en interdit pas l'emploi, on a adopté et on emploie les chaudières métalliques enveloppées de foyers et de carneaux en briques.

« Nous avons montré qu'il était avantageux que plus de moitié de la surface de chauffe d'un générateur fût exposée à l'action directe et verticale du feu, et que la majeure partie de l'effet utile se produisait là.

« Or le diamètre extérieur que l'on peut donner à une chaudière étant limité, et ne pouvant guère dépasser 1m,30 ou 1m,50, le diamètre du cylindre intérieur qui contient le foyer, et par conséquent la surface exposée directement, ne peuvent être que fort réduits. De plus, cette surface, au lieu d'être placée tout entière à peu près horizontalement au-dessus du foyer, l'enveloppe latéralement dans une grande partie de son développement, et ne reçoit par conséquent son action que d'une

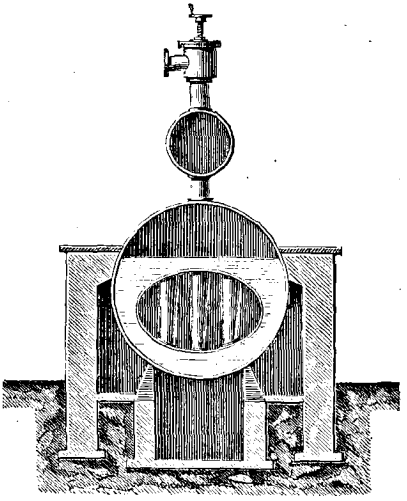


Fig. 3454.

manière indirecte et désavantageuse. Il n'y a que la moitié supérieure du cylindre qui puisse être considérée comme surface de chauffe; toute la partie inférieure, placée au-dessous des courants, chauffe mal et est couverte immédiatement de cendres et de suie. Pour compenser ces inconvénients, on est obligé de multiplier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les circulations à travers l'eau, et alors le rapport entre la surface directe et la surface indirecte est moins avantageux.

« Ces dispositions ont d'autres défauts encore. On a reconnu en effet que la combustion souffrait toujours du contact d'une surface métallique sans cesse refroidie extérieurement par de l'eau.

« En Angleterre, et surtout dans le Cornouailles, on a donné des diamètres énormes aux chaudières et à leurs tubes intérieurs, en tête desquels se trouve placé un foyer de très-grande dimension. Avec le principe de brûler à basse température, et en multipliant autant qu'on le fait la surface de chauffe, on arrive, au moyen d'un foyer où la quantité brûlée est considérable, à avoir ainsi un très-bon emploi du combustible. Il n'en serait pas de même en France, où, avec l'emploi presque général de la vapeur à six atmosphères et au-dessus, l'administration ne permettrait pas l'emploi de ces grands diamètres, et où il faut nécessairement avoir de hautes températures. La combustion dans des foyers intérieurs trop resserrés doit certainement toujours être imparfaite. »

Un perfectionnement considérable apporté à ces chaudières est celui dû à M. Galloway, représenté fig. 3454; il a disposé, à l'extrémité du tube central, des tubes presque verticaux, sur lesquels la colonne des produits de la combustion vient se briser, ce qui augmente d'une manière très-notable la vaporisation. Cette disposition a été appliquée à un grand nombre de chaudières en Angleterre.

Chaudières tubulaires. La locomotive a appris à multiplier, dans une énorme proportion, la surface de chauffe des chaudières, en faisant passer les produits de la combustion à travers des tubes de petite section, immergés dans l'eau. S'il n'est pas possible d'imiter absolument les dispositions des chaudières des locomotives dans la pratique industrielle ordinaire, c'est-à-dire en l'absence de tirage forcé, il est possible de s'en rapprocher, d'imiter les dispositions adoptées pour la chaudière marine.

Ainsi, pour de longues chaudières à foyer intérieur, on a pu faire revenir la fumée par des tubes placés à la partie supérieure, et obtenir ainsi, au besoin, non avec économie, mais dans des conditions assez satisfaisantes, des chaudières n'exigeant plus de fourneaux en briques, en diminuant le refroidissement par une chemise de tôle retenant une couche d'air stagnant.

Chaudières a circulation. Au lieu de faire passer des tubes au milieu de l'eau de la chaudière, on peut imaginer la disposition inverse, c'est-à-dire placer l'eau à l'intérieur des tuyaux, sur l'extérieur desquels on fait agir la chaleur. La grande résistance de tuyaux en fer d'un petit diamètre, la facilité de faire mouvoir l'eau à vaporiser à l'encontre de la chaleur, d'appliquer les principes de la méthode de déplacement, a fait songer plusieurs fois à de semblables dispositions, que la pratique n'avait pas adoptées jusqu'ici. M. Farcot avait bien obtenu une partie des résultats qu'on peut espérer par une semblable disposition, par l'emploi de ses tubes réchauffeurs, mais ce n'était évidemment pas la solution complète du problème.

Une construction de ce genre, paraissant offrir des avantages considérables, a été fort remarquée à l'Exposition de 1867; nous devons nous y arrêter avec le soin que commande l'importance de la question, et étudier des systèmes qui, s'ils ne peuvent guère être aussi économiques que les précédents, possédant difficilement des surfaces de chauffe aussi étendues, sont beaucoup plus légers, fournissent de la vapeur plus sèche, moins mélangée d'eau, se mettent rapidement en pression, et surtout diminuent beaucoup les dangers des explosions, si redoutables avec les chaudières renfermant des masses d'eau considérables.

Chaudière Belleville. Le danger des explosions a fait songer divers inventeurs à construire des chaudières ne renfermant pas d'eau, dans lesquelles l'eau passât immédiatement à l'état de vapeur. C'est en général par l'emploi de tubes en fer que le problème a été attaqué par M. Isoard et M. Belleville notamment. Une hélice, formée de semblables tubes et placée sur un foyer, s'échauffe rapidement; l'eau projetée à la partie inférieure est immédiatement vaporisée, séchée et surchauffée en traversant la partie supérieure de l'appareil. C'est sous une forme semblable que la chaudière Belleville a été proposée, et la facilité qu'elle fournissait de donner, sans aucun danger, de la vapeur à haute pression, l'avait fait accueillir avec faveur, grâce à des idées théoriques assez généralement reçues, bien qu'erronées, sur l'avantage que présente l'emploi de très-hautes pressions. La pratique a bien vite fait reconnaître que les tubes vides d'eau, qui ne pouvaient être débarrassés des incrustations qui se formaient à l'intérieur, étaient bientôt brûlés, et qu'un semblable système n'était pas acceptable dans la pratique.

L'inventeur, qui avait constaté les avantages considérables de la forme tubulaire pour la rapide vaporisation, s'est attaché, avec une grande fécondité de ressources à remédier aux inconvénients qu'offrait son premier système, et il est parvenu à construire une chaudière que l'industrie recherche aujourd'hui dans bien des circonstances. Elle se rapproche de la chaudière à circulation qu'avait fait construire M. Seguier, mais elle est plus solidement établie. Elle n'est plus inexplosible d'une manière absolue, ni à vaporisation absolument instantanée; mais elle est très-vite en vapeur, ses explosions ne sont pas à craindre, se réduisent à l'ouverture d'un tube, et de plus elle se trouve dans de bien meilleures conditions d'utilisation de la chaleur que le système primitif; enfin les produits de la combustion ne sortent plus nécessairement à une température aussi élevée.

Nous ne connaissons pas d'expériences précises sur la puissance de vaporisation de ces chaudières; évidemment elles ne sont pas aussi économiques que d'immenses chaudières de Cornwall; mais il ne faut pas qu'elles soient trop désavantageuses pour avoir obtenu, malgré leur complication un peu effrayante, un véritable succès industriel, grâce à leur faible volume relatif pour une puissance voulue, et à la rapidité de la production de la vapeur. L'inventeur a cherché à obtenir une certaine régularité, dans la production de la vapeur, à l'aide d'un registre mobile dans la cheminée, registre qui se déplace en raison de la pression de la vapeur dans la chaudière, ce qui active ou modère automatiquement la combustion, action qui ne peut rivaliser, et c'est le point faible de cet appareil, avec les vastes réservoirs des grandes chaudières cylindriques. Aussi sommes-nous convaincus que l'inventeur, qui a déjà donné un certain volume à son réservoir de vapeur, sera conduit à l'augmenter beaucoup, ce qui n'a pas d'inconvénients au point de vue des explosions qui ne sont jamais dues à la vapeur déjà formée dans une chaudière.

Nous représentons ce système (fig. 3455 et 3456) de face et latéralement, la description suivante le fera bien comprendre.

A Tubes en U, en fer, raccordés entre eux par des boîtes et des coudes, et communiquant en haut et en bas avec des tubes dits conducteurs.

B Collecteur inférieur composé d'un tube de forme carrée ou oblongue, dans lequel les tubes générateurs puisent leur alimentation.

C Collecteur supérieur qui reçoit la vapeur formée.

D Tube diviseur de prise de vapeur. Ce tube est adapté à l'intérieur du collecteur supérieur. La vapeur est obligée, pour passer au dehors, de se diviser en traversant les petits trous dont ce tube est percé suivant toute la longueur de sa génératrice supérieure. Ces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

trous, dont la grandeur augmente à mesure qu'ils s'éloignent de la sortie, ont pour but de régulariser la sortie de vapeur et d'éviter les soulèvements et entraînements d'eau, l'instabilité de niveau et la difficulté de le maintenir à une hauteur convenable, faits qui, contenance du cylindre, ce qui permet une alimentation régulière, un niveau stable, et donne la facilité d'alimenter à l'aide d'un injecteur Giffard.

K Tube de communication et de retour d'eau du collecteur supérieur au cylindre-niveau, renvoyant des

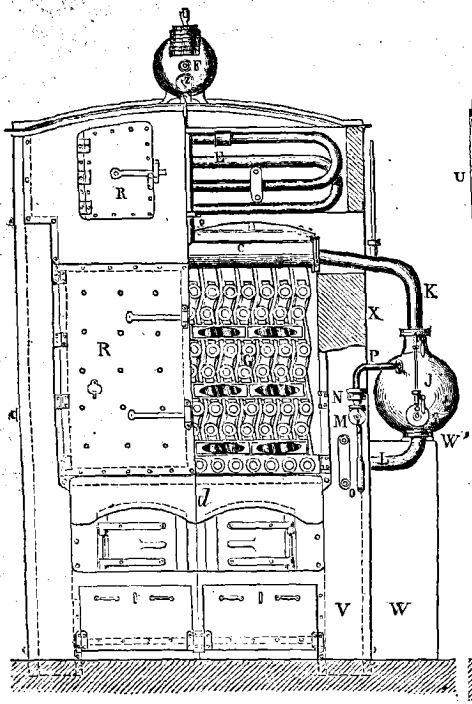


Fig. 3455.

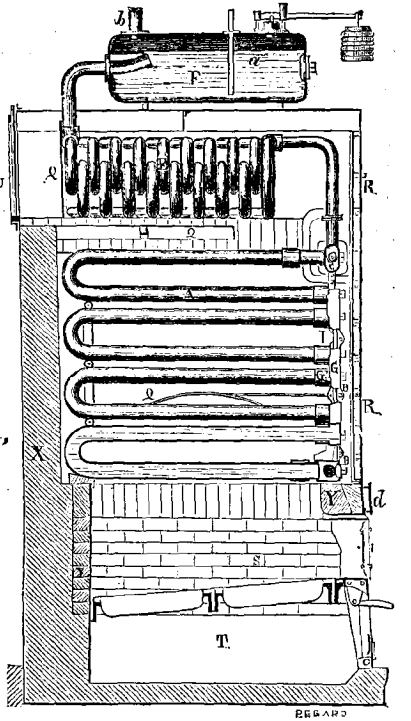


Fig. 3456.

en l'absence de ce tube diviseur, résulteraient des succions produites lors des intermittences de dépense de vapeur.

E Dessécheur à deux circulations, formé de tubes entrecroisés qui communiquent, par une extrémité, avec le collecteur supérieur G, et par l'autre avec l'épurateur F. Ce système peut être remplacé par un plus grand nombre de tubes en U, ce qui a lieu souvent avec une moindre complication de l'appareil.

F Cylindre épurateur muni d'une soupape de sûreté, d'attentes pour prise de vapeur et d'un bouchon de nettoyage.

G G' Boites de raccord en fonte malléable, substance qui se prête fort heureusement à leur exécution, à un prix modéré. Elles forment des chambres à mastic, et les ajustements effectués au tour ne permettent pas de fuites.

H Bouchons à boulons à anerc, facilement démontables pour permettre de racler l'intérieur des tubes, au moyen d'une tarière de forme spéciale. La fréquence des nettoyages dépend du plus ou moins de pureté des eaux, et varie, en pratique, de huit jours à un mois.

J Cylindre-niveau, muni d'un tube en verre, de bouchons pour le nettoyage et d'un injecteur pour l'alimentation. La quantité d'eau contenue dans les tubes étant petite, on a augmenté son volume de toute la excédants de vapeur qui est condensée par l'eau d'alimentation.

L Tube de communication du cylindre-niveau avec le collecteur inférieur.

M Robinet gradué servant à régler l'alimentation.

N Clapet de retenue, destiné à empêcher le retour d'eau de la vapeur ou de l'eau à la bâche alimentaire.

O Tuyau d'alimentation qui conduit l'eau d'alimentation dans la partie supérieure du cylindre-niveau, en traversant le clapet de retenue.

P Tuyau qui conduit l'eau d'alimentation du robinet M dans la partie supérieure du cylindre-niveau, en traversant le clapet de retenue.

Q Brise-flamme et systèmes destinés à répartir également la chaleur sur toutes les surfaces de chauffe.

R Portes de nettoyage. S Foyer. T Cendrier avec portes.

U Registre.

V Enveloppes, armatures en tôle. X, Y, Maçonneries.

L'eau remplit habituellement les trois ou quatre rangées de tubes inférieurs; la vapeur qui s'en dégage, en entraînant de nombreuses gouttelettes d'eau, circule à travers les tubes supérieurs où toute l'eau se vaporise, la vapeur se dessèche et même se surchauffe si la longueur des tuyaux est suffisante. La circulation de l'eau est rapide, condition excellente pour son rapide échauffement, pour que la chaleur soit rapidement enlevée aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parois, qu'ils n'arrivent pas par suite à une très-haute température; aussi ils ne se détruisent plus, et l'action du foyer est assez bien utilisée. Il faut même brosser assez souvent l'extérieur pour empêcher la suie d'y former des couches épaisses.

L'emploi des réchauffeurs qui a amélioré les chaudières à bouilleurs serait évidemment bien plus nécessaire ici, ou plutôt la température plus élevée des produits de la combustion en ferait un second appareil de vaporisation. Ce double système d'une chaudière à circulation et d'une chaudière tubulaire à la suite posséderait des avantages économiques qui font seuls défaut à la première, et cela sans aucun danger, les coups de feu n'étant pas possibles pour une chaudière chauffée loin du foyer, avec des gaz déjà refroidis, au-delà des points qu'atteint la flamme.

En augmentant presque forcément par une semblable disposition le réservoir de vapeur, on remédierait aux entraînements d'eau qui se produisent assez souvent, tout en rendant ces chaudières plus économiques. L'avenir des chaudières Belleville est fort beau, puisqu'elles se construisent en assez grand nombre (en partie à cause de notre législation sur les chaudières à vapeur) pour que les perfectionnements dans la construction et les dispositions imaginées par l'habile inventeur l'améliorent chaque jour.

Déjà, en 1863, M. Tresca reconnaissait ainsi qu'il suit, en dehors des conditions d'économie de combustible et d'entretien, les avantages qu'offrent, sur plusieurs points, les chaudières à circulation comparées aux autres chaudières.

Elles sont moins encombrantes.

Elles coûtent moins cher d'installation.

Elles peuvent être mises en vapeur beaucoup plus promptement.

Elles sont pour la plupart moins sujettes aux explosions.

Ce sont là certainement des propriétés remarquables et l'attention publique est justement préoccupée de quelques-uns de ces avantages, réalisés dès aujourd'hui, disait-il, d'une manière assez pratique pour que quelques industriels aient pu les obtenir, sinon un temps très-considérable, au moins d'une manière suivie.

Chauffage des chaudières par les gaz combustibles. Une grande économie de combustible pour le chauffage des chaudières résulterait de l'emploi bien entendu des gaz combustibles. A l'article COMBUSTION, après l'exposé si lucide d'Ebelmen sur la conversion des combustibles en gaz, et la démonstration que cette méthode n'entraîne théoriquement aucune perte de chaleur, en compensation des facilités qu'elle procure pour une complète utilisation de la chaleur, nous avons décrit l'appareil Beaufumé combiné à cet effet, mais qui s'est trouvé trop compliqué et trop délicat pour la pratique.

L'usage du four Siemens, en habituant les industriels à la production et au maniement des gaz, conduira à un système pratique exempt des premiers inconvénients rencontrés, notamment de brûler les chaudières par des langues de feu, ce qui s'obtient par l'emploi de briques et de plaques en terre pour préserver certaines places, mais surtout par des vitesses modérées de la flamme au moyen d'une grandeur suffisante des sections.

Cette voie paraît être celle de progrès considérables, surtout quand il s'agit de puissants appareils exigeant un grand nombre de foyers; tel est le cas des grands navires à vapeur.

Nous décrirons ici les dispositions expérimentées par M. Ponsard.

Le nouveau système de chauffage consiste essentiellement dans le remplacement du foyer ordinaire à grille, par un appareil *gazogène*, et dans l'adjonction d'un appareil dit *récupérateur de chaleur*, destiné à chauffer l'air comburant en utilisant les flammes perdues. La transformation préalable du combustible en gaz oxyde de carbone et hydrogènes carbonés, qui sont ensuite brûlés au moyen d'air chaud, présente de nombreux avantages, tant au point de vue de l'emploi possible de toute espèce de combustibles, qu'au point de vue de leur combustion complète au moyen d'une faible quantité d'air, très-peu supérieure à la quantité nécessaire théoriquement. Les gaz combustibles venant des gazogènes sont amenés sous les bouilleurs par un conduit longitudinal, et ils sont répartis sur presque toute la longueur de l'appareil. L'air chaud venant du récupérateur est distribué par un canal placé latéralement au premier. Les flammes s'élèvent de chaque brûleur d'abord verticalement, puis, se dirigeant dans le sens de l'axe de la chaudière, finissent par s'infléchir pour se rendre dans le récupérateur. Il résulte de cette disposition que les flammes ont un parcours très-faible et que toutes les parois de l'appareil sont chauffées à peu près également en raison de la possibilité de placer des brûleurs, c'est-à-dire des foyers, sur presque toute la longueur de la chaudière. Il est bon de faire observer que, avec ce chauffage uniforme, on n'a plus à redouter les efforts de dilatation qui disloquent les cuissards et les assemblages dans les chaudières chauffées à l'aide de foyer direct. Les flammes, ayant moins de chemin à parcourir, se refroidissent moins que dans les systèmes ordinaires; l'intensité du chauffage se trouve augmentée, et cependant aucun point de la chaudière n'est exposé aux coups de feu, ni même à une température aussi élevée que dans les parties des chaudières ordinaires voisines du foyer. Enfin les produits de la combustion sortent encore assez chauds de l'enceinte pour servir au chauffage de l'air dans le récupérateur qu'ils ont à traverser avant de s'échapper dans la cheminée. Au-dessus de chaque brûleur, une petite voûte protége la chaudière contre les coups de feu, et sert, en outre, en divisant la flamme, à faire épanouir le mélange gazeux et à favoriser ainsi la combustion complète.

De distance en distance sur la longueur de la chaudière, des murs verticaux s'élèvent jusqu'au-dessus des bouilleurs, et partagent la chambre de combustion en plusieurs parties, empêchant ainsi les flammes de se rendre directement au récupérateur en les forçant à lécher toute la surface à chauffer. Ces murs servent en même temps à supporter la chaudière.

On emploie des dispositions différentes de celle qui vient d'être décrite lorsqu'il s'agit de chaudières à bouilleurs très-courtes, ou de forme spéciale. Ainsi, pour une chaudière courte, les brûleurs existent sur toute la longueur du générateur, et les flammes, après être montées verticalement, descendent dans l'épaisseur des murs latéraux pour se rendre dans l'appareil récupérateur.

Les avantages qui découlent de ce système de chauffage sont nombreux; nous rappellerons seulement: 1° l'économie de combustible; 2° l'uniformité de chauffage qui augmente la durée des appareils; 3° l'augmentation de production par mètre carré de chauffe; 4° la fumivorité presque complète, obtenue sans appareil spécial. Le défaut de fumivorité que l'on trouve dans presque tous les appareils industriels, outre qu'il entraîne une perte considérable de combustible, est, par suite de la présence des fumées, une cause d'insalubrité souvent très-grande.

CHAUFFAGE (*au coke, au gaz et au pétrole*). Dans le beau travail sur le CHAUFFAGE, dont il a enrichi cet ouvrage, Grouvelle s'est placé au point de vue de la bonne utilisation de la chaleur produite bien plus qu'à celui du combustible le plus convenable dans chaque cas, ou plutôt, sauf dans le cas des cheminées spécialement destinées au bois, il suppose, comme c'est le cas général, qu'on emploie le combustible le moins cher, le charbon de terre.

Il y a donc à compléter cette étude, sous le rapport

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'emploi d'autres combustibles qui peuvent, dans certains cas, offrir des avantages particuliers; à savoir : le coke, le gaz hydrogène, et enfin cet hydrocarbure naturel qui se trouve aujourd'hui en si grandes quantités en Amérique, le pétrole.

CHAUFFAGE AU COKE. Le coke, produit en très-grande quantité dans les usines d'éclairage des villes, est un résidu qu'il faut vendre sur place, et qui, par suite, est d'un prix avantageux tant que la demande ne dépasse pas les besoins. La combustion du coke des cornues, malgré sa porosité, n'a pas lieu à l'air libre; mais dans un appareil où se produit un fort tirage, elle se fait facilement en dégageant une chaleur intense par rayonnement, le coke restant longtemps incandescent. Pour le bien brûler, il faut employer un courant d'air qui réponde à une quantité limitée, strictement nécessaire à la combustion; on évite ainsi l'énorme perte de chaleur qui, dans nos foyers ordinaires, est emportée dans la cheminée par l'air qui n'a pas servi à la combustion. On n'obtient jamais ce résultat avec les combustibles qui brûlent avec flamme : ceux-ci doivent brûler dans un grand excès d'air, surtout au moment du chargement, sans quoi ils donneraient de la fumée en grande quantité.

Dans le but de créer un mode de chauffage économique et salubre, et pour développer la consommation du coke, la Compagnie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz a fait faire des expériences complètes sur le chauffage au coke et sur les dispositions les plus convenables à donner aux foyers. Elle a fait exécuter sur ses dessins, par de grandes usines métallurgiques, de nouveaux appareils en fonte qu'elle livre à bon marché. Nous donnerons ici les dessins des deux principaux types.

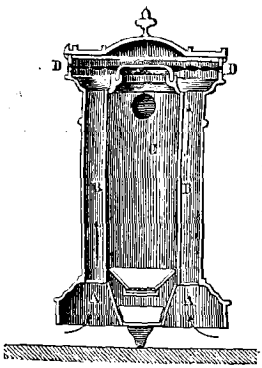
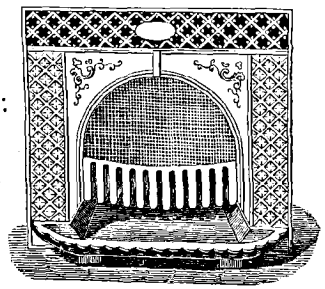


Fig. 3458.

L'appareil vu en coupe (fig. 3458) donne une chaleur douce, régulière et continue. C'est un poêle à circulation d'air. Une fois chargé, il fonctionne, sans qu'on s'en occupe, pendant 6, 10 ou 12 heures, suivant les dimensions. Les entrées d'air étant petites, la combustion du coke n'a lieu que sur une petite hauteur au-dessus de la grille, bien que l'intérieur soit rempli de combustible. Les gaz


Fig. 3459.

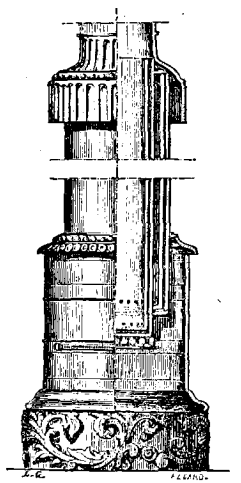
de la combustion traversent le coke incandescent pour s'échapper, après une entière combustion, par le tuyau de fumée C. L'air de la pièce s'échauffe au contact du cylindre métallique qui entoure le foyer.

Les foyers à bouches de chaleur (fig. 3459), plus répandus que le précédent, se placent, comme les foyers simples, dans toutes les cheminées. Ils fonctionnent à la fois comme cheminées ordinaires et comme calorifères, au moyen d'une double enveloppe du foyer que vient parcourir l'air puisé à la partie inférieure et qui sort par la partie supérieure, ce qui fait qu'une grande partie de la chaleur produite est utilisée pour le chauffage, soit par le rayonnement direct, soit par l'échauffement du volume d'air qui passe entre le foyer et l'enveloppe.

Il est bon d'établir l'appareil de façon que l'air arrive dans l'enveloppe par une prise d'air extérieur; on réalise ainsi de bonnes conditions de chauffage et de ventilation.

CHAUFFAGE AU GAZ. — *Emploi du gaz d'éclairage.* La facilité que procure le gaz, emprunté aux gazomètres des usines, d'obtenir de la chaleur immédiatement en ouvrant un robinet, comme d'avoir une quantité constante de chaleur en employant une flamme de longueur constante, rend l'usage du gaz très-commode dans nombre de cas particuliers. Malheureusement il est assez coûteux, au prix de vente de la plupart des usines françaises. Ainsi il coûte 30 centimes le mètre cube, à Paris, pour 8000 calories, ou l'équivalent de 1k,00 de houille valant 3 ou 4 centimes.

La flamme possédant une assez faible chaleur rayonnante, on n'obtient pas des résultats économiques du système, agréable à la vue, consistant en une cheminée dont on garnit l'âtre de files de petits becs; il est moins dispendieux d'employer des appareils de la nature des poêles. Nous emprunterons la description de ce genre d'appareils au *Guide du chauffeur*, si riche en renseignements sur toutes les questions de production et l'emploi de la chaleur.


Fig. 3460.

« *Poêles à gaz.* Nous donnons ici (fig. 3460) le plan d'un poêle de ce genre apporté de Londres, et qui chauffe un bureau. Il présente un tuyau formant couronne et percé d'un grand nombre de trous pour l'allumage du gaz. Cette couronne est entourée d'une enveloppe métallique ornementée, dans laquelle passe de l'air extérieur qui se verse dans la salle, ou bien l'air de la salle même; cet air reçoit la chaleur développée par la combustion du gaz et la transmet aux salles à chauffer. Cet appareil chauffe vite et bien, mais il a deux vices graves: d'abord il verse dans la salle l'acide carbonique et les acides hydrosulfurique et sulfureux résultant de la combustion du gaz, ainsi que des vapeurs de carbure de soufre, atmosphère désagréable et dangereuse même; pour diminuer cet inconvénient, on a soin de percer dans le plafond des ouvertures qui servent à emporter l'air vicié et à assainir la salle, disposition bien inférieure à celle de l'hôpital Saint-Louis que nous décrivons plus loin. Ensuite ces poêles se refroidissent presque instantanément, dès que les becs de gaz sont éteints. C'est le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

défaut de tous les appareils de chauffage au gaz jusqu'à présent.

« *Poêle pour chauffer un bain.* Cet appareil est très-bien disposé (fig. 3461). C'est une couronne de becs de gaz qui chauffe une petite chaudière close, en tôle, remplie d'eau, et qui se met à volonté en communication avec une baignoire par des tuyaux munis de raccords à vis; ces tuyaux servent à établir une circulation régu-

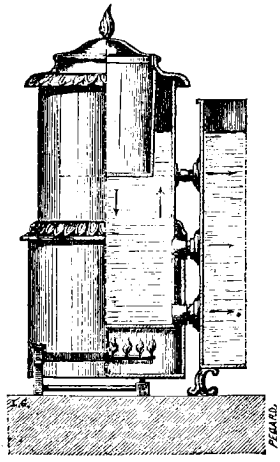


Fig. 3461.

lière entre la petite chaudière et la baignoire. En moins d'une heure la baignoire est parfaitement chauffée, et quand on est entré dans le bain, en fermant aux trois quarts le robinet du gaz, on laisse la circulation marcher lentement, et on maintient le bain rigoureusement à la même température; un récipient, placé dans le haut de l'appareil, chauffe le linge dont on a besoin.

« *Chauffage de l'hôpital Saint-Louis.* Il n'y a aujourd'hui encore en France qu'un seul établissement public chauffé complétement au gaz, et les résultats en sont excellents : c'est l'hôpital Saint-Louis, de Paris, qui possède une usine à gaz, à l'aide de laquelle le gaz obtenu, dans des conditions économiques, coûte, dit-on, de 5 à 6 centimes le mètre cube.

« Toutes les salles de malades de l'hôpital sont chauffées par de gros poêles en tôle avec une galerie en cuivre sur le haut, pour maintenir les pots de tisane qu'on y place.

« Le principe de ces poêles, contraire à celui des poêles anglais précédemment décrits, est d'isoler complétement l'air qui sert à brûler les gaz et les produits infects de leur combustion, de l'air pur que l'on chauffe et que l'on verse dans la salle.

« Il y a deux arrivées d'air distinctes, et qui viennent de la même prise extérieure, mais qui sont séparées par une cloison à 1 mètre au moins du poêle.

« L'air qui a servi à la combustion des gaz est forcé de redescendre, pour passer sous des plaques de fonte qui entourent le poêle et qui servent de chaufferette aux malades. Cet air vicié est ensuite emporté dans une cheminée établie dans les murs du bâtiment.

« Le gaz est brûlé sur une couronne de becs, que l'on allume ou que l'on éteint par le jeu d'un robinet manœuvré de la salle, à travers le plancher. Il brûle sous une pièce de fonte, semblable à une cloche de calorifère.

« L'air pur destiné à chauffer et à assainir la salle, amené par un canal distinct, vient s'échauffer autour de la cloche, et de là il passe entre deux surfaces métalliques chauffées par la flamme et la fumée du gaz, pour être versé dans la salle à l'aide de quatre larges bouches de chaleur. Au-dessous du bain de sable à tisanes et au-dessus du calorifère, est une capacité en communication, au moyen de grandes ouvertures, avec la salle dont elle facilite l'échauffement.

« Deux poêles de 13 becs et de 1 mètre de diamètre sur $1^{m},20$ de haut, allumés 24 heures, chauffent parfaitement une salle de 1,200 mètres cubes, contenant 45 lits. Une salle de 80 lits est chauffée par 4 poêles de 36 becs l'un, et brûlant chacun par heure 3 mètres cubes de gaz.

« On peut compter que les deux poêles de 13 becs de la salle, de 1,200 mètres cubes, brûlent ensemble 3 mètres cubes de gaz à l'heure.

« D'après les analyses du gaz de houille par Dulong, 1 litre de ce gaz dégage en brûlant 8 cal. 880;

« Soit pour 1 mètre cube de gaz. . . 8880 calor.

« Ou l'équivalent en houille de. . . . $1^{k},436$

« En nombre rond, on peut prendre 1 mètre cube de gaz de houille comme égal à la puissance calorifique de 1 kilogramme de houille.

« Avec 3 mètres cubes de gaz brûlés par heure, le nombre d'unités de chaleur versées dans la salle de 1,200 mètres cubes, contenant 45 lits de malades, est donc de 24,024. En pratique, on sait qu'on ne peut pas chauffer une salle de malades avec le renouvellement d'air nécessaire, à moins de $1^{m},150$ de surface de chauffe à la vapeur ou à l'eau chauffée à 3 atmosphères, par 100 mètres cubes, et que chaque mètre de surface métallique, plongé dans l'air à 15° dans les conditions ci-dessus, et ayant 135° degrés centigrades, dégage au moins 1,340 calories par heure.

« Les 10 mètres carrés de chauffe nécessaires pour la salle de 1,200 mètres cubes donnent donc par heure 24,300, ce qui est parfaitement d'accord avec les résultats et les dépenses de gaz constatés à l'hôpital Saint-Louis.

« Avec ces éléments, il sera facile d'établir et de proportionner partout des appareils de chauffage au gaz.

« Les poêles de l'hôpital Saint-Louis sont assez bien disposés et fort commodes pour les malades, par suite des plaques circulaires en fonte qui les entourent; ils sont très-salubres, parce qu'ils envoient au dehors tout l'air vicié par la combustion du gaz, et que les salles ne reçoivent que de l'air pur. On est très-satisfait de leur service, qui est propre, régulier, facile à conduire, et n'exige presque aucune réparation. »

Chauffage des appareils de chimie. — Production des hautes températures. Bunsen, le célèbre chimiste d'Heidelberg, qui a fait adopter pour les laboratoires de chimie l'emploi du gaz, si commode et si propre, a établi la théorie de l'emploi de ces appareils au moyen des expériences faites à l'aide de son brûleur qui a fourni le moyen d'obtenir à volonté de la chaleur ou de la lumière. Il est représenté figure 3462.

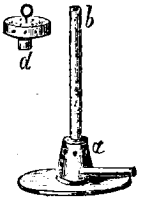


Fig. 3462.

Le conduit par lequel arrive le gaz l'amène dans un tuyau percé de trous presque au niveau de l'orifice du gaz; ces trous donnent passage à l'air qui se mêle intimement au gaz, et le mélange s'échappe par le sommet du tube *a b*. *d* est un bec en rose qui sert à faire varier la forme de la flamme. Si on laisse entrer l'air abondamment, s'il s'agit d'obtenir de la chaleur, on aperçoit à peine de lumière, et cette flamme donne beaucoup de chaleur par l'effet de la combustion complète des particules charbonneuses. Si on bouche en partie les orifices *a*, l'affluence de l'air

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est diminuée, et la flamme devient aussitôt lumineuse; on a un bec d'éclairage, formé d'un noyau de gaz non brûlé, entouré d'une gaine de flamme. En réalité, le pouvoir éclairant du gaz peut se mesurer par la quantité d'air qu'il faut lui ajouter pour empêcher la précipitation des molécules solides de carbone; plus le gaz sera riche, plus il faudra d'air pour brûler son carbone et éteindre sa lumière.

En ouvrant les ouvertures de sortie de gaz, en entourant la flamme d'enveloppes en argile, on parvient à construire, en partant du brûleur de Bunsen, tous les appareils dont les chimistes ont besoin pour évaporations, calcinations, etc.

Ce n'était que pour le cas de la production de températures extrêmement élevées que ces appareils laissaient quelque chose à désirer; c'est ainsi que M. Deville a été obligé de recourir à un chalumeau à gaz oxygène pour fondre le platine. Cette lacune a été comblée par M. Sclœsing, en employant, dans un appareil semblable au précédent, le gaz et l'air sous pression. Nous reproduirons la note dans laquelle l'éminent ingénieur a résumé ses recherches.

« Les chimistes, dit-il, n'ont pas encore obtenu du gaz d'éclairage tous les avantages qu'il offre comme source de chaleur. Les appareils usités dans les laboratoires donnent tout au plus la température du blanc naissant, à moins qu'on ne remplace l'air par l'oxygène, comme l'ont fait MM. H. Deville et Debray. Cependant, si l'on calcule la température produite par le gaz brûlé avec la quantité d'air strictement suffisante, on demeure convaincu de la possibilité de produire de hautes températures par sa simple combustion dans l'air. C'est une question d'appareils, je me suis proposé de la résoudre.

« J'ai vu deux conditions principales à remplir : 1° combustion sans excès d'air ni de gaz, accomplie en totalité dans l'espace à chauffer; 2° vitesse des gaz comburants, assez grande pour maintenir la température élevée, malgré les pertes par les enveloppes, ou tout autre genre de consommation de chaleur. Au sujet de cette deuxième condition, je rappellerai que, dans la plupart des opérations de laboratoire ou de l'industrie exigeant une haute température, la perte de chaleur par les enveloppes est la principale cause du refroidissement; elle est proportionnée à leur développement : de là l'avantage des grands fours sur les petits, à ne considérer que le meilleur emploi de la chaleur; les quantités de matière qu'on y met en œuvre croissent comme les cubes, tandis que la perte de chaleur, et, par suite, le flux réparateur ne croissent guère plus vite que les carrés des dimensions.

« Ces deux conditions sont réalisées par le dispositif suivant : de l'air est injecté dans un tuyau de cuivre de 3 à 4 décimètres de long, par un bout de tube qui y pénètre de quelques centimètres; deux trous opposés sont percés sur le tuyau un peu en arrière de l'orifice du tube; à cet endroit, le tuyau est entouré d'un manchon alimenté par le gaz : celui-ci, aspiré par le courant d'air, s'y précipite et s'y mêle. On ne peut mieux se figurer le jeu de cet appareil qu'en se représentant une lampe Bunsen, dans laquelle les accès d'air et de gaz seraient renversés, l'orifice du gaz fort élargi, débitant de l'air, et les trous d'air donnant du gaz. Naturellement le débit du gaz est réglé sur un robinet, celui de l'air l'est par une pression déterminée. Quand on enflamme le mélange gazeux ainsi effectué dans l'air, on produit une grande flamme bleuë dont la puissance calorifique ne paraît pas plus intense que celle d'un chalumeau ordinaire d'un égal débit; mais si le dard pénètre dans une enveloppe réfractaire, sans entraîner d'air extérieur, la flamme, que je suppose produite par un mélange en proportions théoriques de gaz et d'air, devient très-courte, et la combustion s'accomplit en totalité dans un espace resserré, ce qui provient sans doute de l'état préalable de mélange des fluides dû à leur parcours simultané dans un même tuyau. Il ne faudrait pas voir un danger dans ce mélange de gaz explosible; il résulte, en effet, des recherches exécutées en commun par M. de Mondesir et moi, sur la combustion des mélanges gazeux, que la vitesse de propagation de la combustion du mélange théorique du gaz d'éclairage et d'air dans un large tube est au plus de 5 mètres par seconde : si donc la vitesse est notablement supérieure dans mon chalumeau, la flamme ne saurait remonter le courant pour venir brûler dans l'intérieur du tuyau. D'ailleurs, une explosion dans de pareilles conditions ne saurait causer d'inquiétude; on n'a pas non plus à se préoccuper de la puissance de la soufflerie qui fournit l'air. Des pressions de 10 à 20 centimètres d'eau donnent des vitesses bien suffisantes pour l'objet dont il s'agit; mais on devra veiller avec soin à laisser aux gaz brûlés des passages convenables à l'issue du four : on serait exposé sans cela à des refoulements d'air dans les conduites de gaz.

« Je me sers d'un soufflet de M. Enfer, dont je régularise l'action en envoyant son vent dans une sorte de gazomètre formé par une grande cloche en zinc, fixée et noyée dans une enveloppe pleine d'eau; un manomètre à eau indique la pression dans le gazomètre. Le gaz est réglé par un robinet dont le boisseau peut exécuter de très-petits mouvements imprimés par une clef de 1 décimètre environ. Je reconnais que mon mélange approche le plus possible de la perfection lorsque deux positions de la clef très-voisines me donnent l'une un mélange oxydant, l'autre un mélange désoxydant, ce que je vois en présentant un fil de cuivre dans les gaz qui s'échappent du four.

« S'agit-il de chauffer au blanc un tube de porcelaine, j'emboîte, à l'extrémité du chalumeau, une sorte d'entonnoir aplati qui transformera le jet cylindrique en une nappe plane. J'introduis le bord de l'entonnoir entre deux briques réfractaires liées ensemble par du fil de fer : l'une d'elles a été auparavant limée de manière à former après sa jonction avec l'autre un vide qui est la continuation de l'entonnoir, et dans lequel la nappe gazeuse va s'étalant toujours plus jusqu'à ce qu'elle s'échappe par une fente de 11 à 18 centimètres de long sur 2 à 3 millimètres de large; ce n'est qu'à partir de là qu'elle brûle, bien entendu si la vitesse est supérieure à 5 mètres. Je me garde d'exposer mon tube trop près de l'issue des gaz, la porcelaine ne manquerait pas de fondre tout le long de la ligne frappée par eux; de chaque côté, et aux deux bouts de la fente, j'établis quatre morceaux de briques emprisonnant la flamme dans un espace de 1 à 2 centimètres de large sur 5 à 6 de haut, et de la longueur de la fente; un peu au-dessus, je place un tube, et je lui fais une enveloppe avec d'autres morceaux de brique convenablement taillés. Les gaz comburants, divisés par le tube, l'embrassent des deux côtés, se réunissent au-dessus, et s'échappent par une fente étroite. L'échauffement doit naturellement être gradué au début; je commence donc par donner peu de vent, puis j'ouvre lentement le robinet du gaz, et je m'arrête quand j'ai atteint la limite inférieure d'inflammabilité du mélange de gaz et d'air. Malgré l'excès d'air, la combustion est alors très-incomplète : l'hydrogène brûle, mais le carbone ne fait guère que de l'oxyde; la température est donc peu élevée, et le tube la supporte sans accident. Peu à peu j'augmente à la fois le vent et la proportion du vent; au bout de cinq minutes, j'ai pris l'allure à laquelle je veux me tenir.

« Pour chauffer un creuset, je prends d'autres dispositions. Deux briques, juxtaposées à plat, font le socle du four; au centre, j'établis le creuset sur un fromage; je lui fais une enveloppe à parois verticales avec des morceaux de brique d'égale hauteur, et serrés par un fil de fer : cette enveloppe repose sur quelques fragments de brique, de manière à laisser entre elle et le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

socle un vide de 3 à 4 millimètres. Je la couvre enfin d'une brique percée d'un trou central qui reçoit mon chalumeau; ainsi je chauffe par en haut; la flamme frappe le couvercle, s'étale sur lui, descend et s'échappe tout à l'entour par une fente circulaire.

« On peut évidemment varier de bien des façons la forme du jet de la flamme et celle des enveloppes, selon l'objet à chauffer; on peut aussi alimenter un seul four avec plusieurs chalumeaux. Les chimistes qui voudront bien essayer mon mode de chauffage éprouveront certainement quelque étonnement en voyant les effets produits. Pour ma part, j'ai fondu, en vingt minutes, dans un creuset de Paris, un morceau de fer de 400 grammes; j'ai fondu, dans le même temps, des tubes de Bayeux, jusqu'à transformer la porcelaine en verre transparent. Ce dernier résultat oblige à certaines précautions dans le chauffage des appareils en porcelaine. Quand je chauffe un tube, je place à l'une des extrémités un ballon, dont le fond est noirci, et à travers lequel je surveille les effets de la chaleur sur la porcelaine; le ballon est tubulé, quand un gaz doit circuler dans le tube. Si j'aperçois un commencement de déformation, je diminue la pression de l'air. Du reste, étant donnés un chalumeau et un four à tube, on fera bien de déterminer, par expérience, la pression d'air qui correspond à la fusion commençante de la porcelaine; ce sera une limite qu'il ne faudra plus atteindre à l'avenir. Cette première limite est évidemment très-variable, selon les dimensions du chalumeau et du four. Il est clair qu'on aura toujours avantage à forcer, autant que possible, le diamètre du premier, pour diminuer le travail de la soufflerie, mais sans oublier que la vitesse du mélange gazeux doit dépasser 5 mètres. Il ne faudrait pas supposer que la dépense en gaz est excessive; je l'ai mesurée diverses fois : pour chauffer à blanc, pendant vingt minutes, un tube de porcelaine de 20 millimètres, sur une longueur de 16 centimètres, je dépense environ 250 litres de gaz; j'en ai dépensé 500 pour fondre le morceau de fer. »

La facilité de l'emploi du gaz pour produire de hautes températures est telle, qu'il n'est pas douteux que ces procédés ne passent fréquemment des laboratoires dans les ateliers industriels. Ils doivent rendre de grands services à cause de leur simplicité, de la facilité avec laquelle ils s'adaptent à tous les usages, et de l'économie remarquable qu'ils procurent.

Chauffage au pétrole. La découverte et l'exploitation du pétrole en Amérique, en fournissant des quantités toujours croissantes de cet hydro-carbure, a fait chercher tous les genres d'emploi auquel on pouvait l'appliquer. Il est bien évident que c'est l'éclairage qui en constitue l'emploi principal, sur lequel nous n'avons pas à revenir ici, et que ce n'est que dans des cas particuliers que l'on peut penser à l'appliquer au chauffage, que sa grande inflammabilité permet de produire avec une très-grande rapidité. Or, dans les cas où la production de force est capitale, dans un navire à vapeur il peut en être ainsi, le pétrole apparaît aujourd'hui comme un combustible de guerre, convenable surtout pour le moment du combat.

Comme puissance calorifique, le pétrole formé de 845 grammes de carbone et 155 d'hydrogène par kilogramme doit produire environ 11,500 calories, soit autant que 1 k 6 de houille, dans des conditions où une combustion rapide peut être bien plus aisément obtenue.

La grande volatilité du pétrole rend sa combustion complète plus difficile qu'on ne pourrait croire, et dans les premiers essais, comme lorsqu'on cherchait à employer le goudron pour chauffer les cornues, pour une petite quantité de pétrole brûlée, on en distillait bien davantage en faisant beaucoup de fumée, et on perdait, par la cheminée, des quantités considérables. C'est en faisant tomber le pétrole d'une manière continue sur une plaque d'argile incandescente, et avec l'aide d'une soufflerie, que la vaporisation et la combustion du pétrole paraissent se produire le mieux. L'insufflation de l'air à travers le liquide opère un entraînement nuisible. On s'est trouvé fort bien de l'emploi de vapeur d'eau surchauffée, par une disposition analogue à celle de l'appareil Thierry (Voy. Fumée).

M. Day, ingénieur, qui a assisté à l'essai d'un grand appareil de cette nature, établi par M. Richardson, décrit ainsi qu'il suit les résultats obtenus :

« Pendant que, sous la chaudière de M. Richardson, on brûlait du pétrole américain, il est certain que, lorsqu'on ouvrait le robinet de vapeur d'eau, l'effet était étonnant. Avant que la main eût quitté ce robinet de vapeur, la flamme avait pris un volume quatre fois plus considérable, toute fumée disparaissait, et une flamme active et jaune remplissait le foyer tout entier, la boîte à feu et les tubes. La chaudière ne suffisait plus pour contenir la flamme, et au lieu d'allumer quatre feux, deux seulement suffisaient. Enfin, avec un feu et un jet entier de vapeur d'eau de 9 millimètres de diamètre, on dépassait le travail de la grande chaudière de l'arsenal de Woolwich, qui a une chauffe de près de 2 mètres cubes de capacité. Lorsqu'on allumait deux feux sous la chaudière au pétrole, on ne pouvait ouvrir les jets que de 1,3, et on ne brûlait pas plus de 40 kilogrammes par mètre carré de surface de grille et par heure. La vapeur d'eau était très-légèrement surchauffée, et sous une pression de 1k,7 par centimètre carré.

« L'emploi du pétrole et des huiles de schiste procure une grande économie de temps et de main-d'œuvre; il ne faut pas ouvrir les portes du fourneau pour allumer et éteindre les feux, et en tournant simplement le robinet au pétrole, la vapeur d'eau éteint aussitôt le feu. Si une chaudière a trois chauffes, on peut en éteindre deux et maintenir la troisième à l'état de combustion lente, puis au premier signal ouvrir les robinets, et aussitôt que le pétrole commence à se vaporiser, tout est en flamme.

« Le pétrole et les huiles ne laissent ni mâchefer, ni cendres; seulement il se forme sur la surface de la grille un coke indestructible.

« On peut entretenir un feu continu sans la moindre interruption pendant un temps quelconque, et c'est probablement à ce fait qu'est due en partie une évaporation de 18 kil. 02 par kilogramme de pétrole. Du reste, les expériences ont démontré que les manœuvres pour chauffer au pétrole étaient de la nature la plus simple, et établi ce fait que ce feu est plus aisé à conduire qu'un éclairage au gaz. L'application du principe aux chaudières existantes, ayant des espaces d'eau sous la grille, s'opère avec une extrême facilité, et n'exige d'autres modifications qu'un tuyau de fumée plus petit. »

Voici comment M. Richardson résume les avantages de son système de chauffage :

« Rapidité de production de la vapeur; réduction dans les dimensions de la chaudière et du fourneau; feu continu; absence de fumée, de mâchefer, de cendres ou autres résidus; faculté de produire instantanément un feu forcé sans forcer le tirage; réduction du personnel, porteurs, tiseurs, etc. Ajoutez à cela qu'en alimentant en combustible par un tube et en produisant un feu continu, on évite les pertes de chaleur occasionnées dans les fourneaux à la houille, lors de chaque chargement; que l'absence de résidus qui, avec la houille, s'élèvent à environ 16 p. 100 du poids total du combustible, supprime tous les inconvénients provenant de l'enlèvement du mâchefer, des escarbilles et des cendres du fourneau, circonstance d'une très-haute importance à bord des navires, et chose non moins importante à la mer de pouvoir en un instant forcer le feu, ce qui est extrêmement facile avec le pétrole, en même temps que l'emmagasinage de ce combustible occupe infiniment moins de place que la houille. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUSSURES A VIS. L'industrie de la chaussure qui, vers la fin du siècle dernier, s'exerçait, pour la plus grande partie, à l'état nomade, est restée stationnaire ou au moins a progressé très-lentement, tant qu'elle n'a possédé pour éléments de développement que le concours des ouvriers de la spécialité.

Dans ces conditions elle suffisait à peine à la consommation intérieure ; quant aux opérations commerciales, elles étaient à peu près nulles.

Transformation récente de la chaussure. Vers le tiers environ de ce siècle, les besoins augmentant plus rapidement que la production, et surtout plus rapidement que la formation des élèves cordonniers, on eut recours, pour suppléer au talent manuel qui faisait défaut, à l'emploi des chevilles en bois, en fer, ou en cuivre en remplacement de la couture, pour opérer la suture des semelles, et l'on fabriqua par ces divers procédés, plus rapidement et à plus bas prix, des chaussures qui trouvèrent facilement leur place, bien qu'elles ne présentassent pas plus de solidité que la chaussure cousue.

Cette fabrication, quoique laissant à désirer sous plusieurs rapports, eut le très-grand mérite, en ne limitant plus la production de cette branche importante au nombre des ouvriers spéciaux existant, d'être le point de départ, le signal, en quelque sorte, d'un immense développement industriel et commercial.

Importance statistique de la chaussure. A partir de ce moment l'industrie de la chaussure se divisa en deux branches : — l'une, conservant les traditions, fit ce que l'on pourrait appeler la chaussure de luxe ; — l'autre, plus démocratique, visa au bas prix et au grand nombre et toutes deux progressèrent parallèlement dans une proportion considérable ; proportion dont les relevés officiels de 1847 et de 1860 fournissent l'éloquente mesure.

Ainsi, en 1847, la production totale des chaussures dans la capitale, était de. . . . . 45,000,000 fr.
dont 23 millions attribués à la consommation locale, et 22 millions à l'expédition.

En 1860, treize ans après, la fabrication parisienne avait atteint le chiffre de. . . . . 83,000,000 fr.
dont 44 millions attribués à la consommation intérieure du Paris agrandi, et 40 millions à l'expédition.

En appliquant cette même progression aux sept années qui se sont écoulées depuis le dernier relevé, on trouve que la production actuelle de la chaussure à l'intérieur de Paris doit être d'au moins. . . . . 103,000,000 fr.
par année.

C'est-à-dire que cette branche importante de la production parisienne a, comme beaucoup d'autres, pris, dans l'industrie générale, le rang qui lui appartient réellement, aussitôt qu'elle n'a plus été limitée par une main-d'œuvre spéciale, et, de simple industrie de consommation, elle s'éleva rapidement au premier rang comme importance chiffrée ; de plus, elle se vit représentée par des maisons qui occupent aujourd'hui le sommet des affaires, qui ont à leur tête des hommes embrassant la question de très-haut, et qui ont voué à cet utile et difficile produit leur temps et leur intelligence.

Chaussure à vis. Dans ce mouvement de transformation qui a toujours grandi, l'industrie se trouvait en possession de moyens d'accroissement comme quantité, comme nombre ou comme bas prix, mais nullement comme supériorité de qualité.

La supériorité dans les produits et dans les moyens de fabrication, autres que les procédés manuels, ne se manifesta qu'à l'apparition de la chaussure à vis et de machines pour les fabriquer.

De cette époque (25 ans environ), date pour l'art de la cordonnerie une ère tout à fait nouvelle.

La chaussure atteignit par l'emploi de la vis et par l'usage des machines comme qualité, comme durée, comme indéformabilité, un degré de perfection tout fait inattendu et qui lui valut la haute réputation qu'elle s'est si justement acquise dans le quart de siècle qui vient de s'écouler ; réputation dont une notable part revient à la maison Sylvain-Dupuis qui, par les soins qu'elle n'a cessé de lui donner et par le choix consciencieux qu'elle a constamment fait de ses matières premières, n'a pas peu contribué à maintenir à ces nouvelles chaussures le rang qu'elles occupent à si juste titre.

Conditions d'une bonne chaussure à vis. Pour justifier cette assertion sur la supériorité de la chaussure à vis, examinons d'abord au point de vue du produit en lui-même quelles sont les qualités que doit posséder une bonne chaussure vissée ; il nous sera facile, ensuite, d'en déduire les conditions que doivent remplir, d'une part, les vis qui jouent le principal rôle, et, d'autre part, les machines qui opèrent le vissage.

La chaussure doit, en sortant de la machine, posséder :
LA SOLIDITÉ,
L'IMPERMÉABILITÉ,
LA DURÉE,
LA SOUPLESSE,
Enfin la COURBURE exacte du pied, c'est-à-dire la conservation des courbes qu'il a fallu faire prendre à la matière première, pour qu'elle épousât le modelé du pied.

La *solidité* et l'*imperméabilité* sont la conséquence du principe même de la chaussure à vis qui emprisonne la substance molle de l'empeigne entre deux semelles plus denses, remplissant, de chaque côté de l'empeigne, l'office de la tête et de l'écrou d'un boulon dont le corps traverse toutes les épaisseurs à joindre.

Cette structure est aujourd'hui commune à toutes les chaussures à vis, mais son efficacité est dépendante de la conformation de la vis qui est l'élément essentiel, et de conditions dans lesquelles on opère la pose de ces boulons d'un nouveau genre.

La *durée* de la chaussure à vis est dépendante, — en ce qui concerne le vissage, — de la forme du filet des vis, seulement ces dernières ayant sur la durée de la chaussure une influence capitale, nous en ferons plus loin l'objet d'un examen tout spécial.

La *souplesse* d'une chaussure à vis s'obtient, au point de vue mécanique, à l'aide de la réglementation de la pression sous laquelle les cuirs sont joints ; cette pression préalable et concomitante a pour but d'opérer le rapprochement des matières que la vis a pour mission de maintenir.

Or, pour faire ployer une semelle composée de plusieurs épaisseurs réunies de distance en distance par des vis qui s'opposent à leur écartement, il faut, ou que les différentes couches qui la composent puissent glisser l'une sur l'autre, ou que chaque partie de matière placée entre deux vis consécutives puisse se tendre, s'allonger à l'extérieur de la courbe de flexion et se fouler à l'intérieur de cette courbe.

Si donc les cuirs composant une chaussure ont été réunis sous l'influence d'une pression assez énergique pour empêcher tout glissement ou tout refoulement, la chaussure sera dure, rigide, inflexible ; si, au contraire, la machine possède les moyens de mesurer et de régler la pression sous laquelle le vissage doit s'opérer, il devient facile, en limitant cette pression au degré convenable d'arriver, à la souplesse qu'on veut obtenir.

Enfin la *conservation* des courbes de la semelle ou, plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exactement, des formes du dessus et du dessous de la chaussure, a une très-grande importance au point de vue d'une bonne fabrication, disons plutôt au point de vue de l'art. En effet, il ne suffit pas que le cordonnier prenne la mesure au coude-pied et à la naissance des orteils; — si, bien que la mesure en ces deux endroits, soit parfaitement exacte, on aplatissait la semelle destinée à un pied cambré, ou, réciproquement, qu'on cambrât une semelle destinée à un pied plein, on donnerait naissance, dans les deux cas, à un résultat déplorable: — le pied, en cherchant à remettre l'axe des deux sections dans leurs relations respectives, donnerait naissance à une foule de plis sur la guêtre de la chaussure, et occasionnerait une gêne intolérable au malheureux qui serait condamné au supplice de modeler à son pied une telle chaussure.

Il est donc des plus important, comme nous venons de le dire, que la compression sous laquelle on opère le vissage de la chaussure s'exerce sans déranger les courbes de celle-ci.

Les conditions qu'il faut réunir pour obtenir une bonne chaussure à vis étant, pour la plupart, dépendantes de la nature des vis employées, il devient indispensable d'examiner ce qui constitue une bonne vis à chaussure.

Conditions d'une bonne vis pour chaussure. Pour faire apprécier ce qui constitue une bonne vis destinée à joindre des substances relativement très-peu denses, telles que le cuir de bœuf ou de vache, les peaux molles, etc., il faut d'abord faire remarquer que, en dehors de la vis elle-même, ce qui constitue la solidité de la chaussure à vis consiste dans l'emploi de semelles intérieures, appelées semelles premières, d'une épaisseur de 2 à 3 millimètres, soit d'environ 2^m 1/2 en moyenne;

Que cette semelle représente l'une des deux parties du nouveau boulon auquel est confiée toute la résistance de la chaussure;

Que la semelle extérieure représente la deuxième partie de ce boulon;

Et que c'est entre ces deux parties d'un même boulon que se trouve comprimée et serrée l'empeigne de la chaussure.

Qu'en conséquence, soit qu'on se base sur la limite de résistance du cuir, soit que l'on considère la résistance des filets de la vis, on n'a, en aucun cas, intérêt à dépasser dans les autres parties constituantes la plus faible de ces deux résistances.

Or, la semelle intérieure étant, de toutes les parties servant à la jointure, la plus délicate, c'est d'elle et des deux filets engagés dans son épaisseur que dépend la solidité de la chaussure.

C'est donc, en définitive, sur cette partie, infime en apparence, qu'il faut reporter tous les soins de la construction, puisque de cette partie dépend tout le succès de la chaussure.

Nous n'aurons donc pour établir un parallèle entre deux produits, qu'à comparer cette partie qui est commune à tous.

La mesure de la solidité en ce point nous donnera la mesure de la solidité comparative.

La résistance des filets métalliques (cuivre) attachés à un corps cylindrique est à la résistance des filets semblables, faisant corps avec une substance moins dense, (cuir) comme la densité ou plutôt les résistances des deux matières sont entre elles.

Or, le cuivre, avec lequel on confectionne les vis, rompt sous un effort de traction de 120 kilogrammes par millimètre carré de section.

Le cuir de vache de bonne qualité, servant à faire les semelles intérieures, appelées semelles premières, cède sous un effort de traction de 2 kilogrammes par millimètre carré de section (1); il faut donc, en supposant les efforts faits dans tous les sens comme proportionnels aux efforts de traction, que les filets métalliques, par rapport aux filets de cuir, soient entre eux comme volume dans le rapport de 1 à 60.

C'est ce qui fait que l'auteur de ces chaussures a été conduit, dès l'origine, à adopter pour les filets métalliques une proportion aussi grande que possible entre le plein et le vide des filets, laquelle, dans la pratique, n'a pu aller, jusqu'ici, au delà de 1 de plein contre 3 de vide, ensemble 4 pour le pas (fig. 1); le cuir qui remplit les filets de la vis possède donc 3 de plein contre 1 de vide.

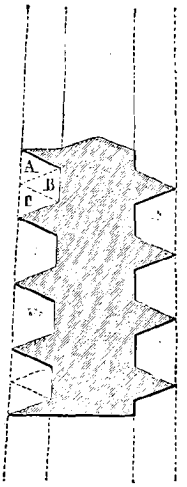


Fig. 1.

Les parties comprises entre deux filets métalliques consécutifs ayant mêmes angles et mêmes côtés que les filets métalliques, présentent, chacune, une surface égale à 3 fois celle des filets de la vis.

Ceci, en ne considérant que les surfaces de section par l'axe longitudinal; mais pour que le rapprochement soit exact, il faut avoir égard:

1° A ce que les filets de cuir étant plus épais doivent résister en raison du carré de leur épaisseur: or l'épaisseur des filets étant double, leur résistance devient quadruple = 8 kilogrammes;

2° A ce que la surface de révolution qui forme la base d'adhérence des filets en cuivre sur le cylindre ou tige centrale, est plus petite que la base d'attache ou surface de révolution des filets en cuir à leur diamètre extérieur, dans le rapport de 1,89 millimètre carré à 7,90 millimètres carrés, ou de 1 à 4;

3° Enfin à ce que le cube de cuir engagé entre les filets du cuivre est au cube du cuivre comme $0{,}75^{mil.3}$ est à $2{,}63^{mil.3}$, ce qui porte la résistance à l'arrachement à $\frac{8 \times 2{,}63}{0{,}75} = 28$ kilogrammes (l'expérience directe donne 24 kilogrammes).

On voit que, malgré l'énorme différence qui existe comme densité et comme résistance entre les deux substances cuivre et cuir, on peut, par les proportions des différentes parties de la vis, par rapport au cuir, approcher, pour chacune d'elles, d'une égale somme de travail, et donner aux parties jointes une solidité que nul autre mode de jonction connu ne pourrait leur procurer.

Seulement, pour obtenir ce résultat, il faut que les vis

(1) $1^k.70$ avec du cuir baissé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en métal possèdent des creusures relativement considérables en vue desquelles on doit prendre, pour la fabrication des vis, les précautions que commande ce genre de produit, si l'on veut l'obtenir dans de bonnes conditions.

Il y a d'autant moins à transiger avec les proportions de vide et de plein, surtout à l'extrémité des vis, que les semelles intérieures sont toutes en vache, — moins par raison d'économie que comme condition de souplesse, — et ne possèdent, en général, que 2 à 3 millimètres d'épaisseur, ne permettant d'utiliser que les deux ou trois premiers filets de la vis, et que c'est sur ces deux ou trois premiers filets, comme nous l'avons déjà dit, que repose toute la solidité de la chaussure.

Ajoutons que la forme des filets influe énormément sur la durée de la chaussure. — Si les vis possèdent des filets très-saillants et surtout très-aigus comme ceux des vis filetées au burin, la jonction de la semelle contre la chaussure persistera alors même que la semelle n'aurait plus pour épaisseur qu'une infime fraction de millimètre, parce que le cuir emprisonné par la spirale d'une vis terminant en lame de couteau ne cesse d'exister qu'avec la vis elle-même (fig 2).

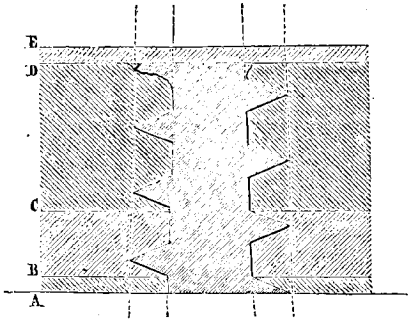


Fig. 2.

AB, épaisseur de semelle restant à user;
BC, épaisseur de l'empeigne;
CD, épaisseur de la semelle intérieure;
E, talonnette.

Nota. Les cinq figures de démonstration sont à l'échelle de dix fois grandeur.

AB représentant l'épaisseur du cuir restant à user,

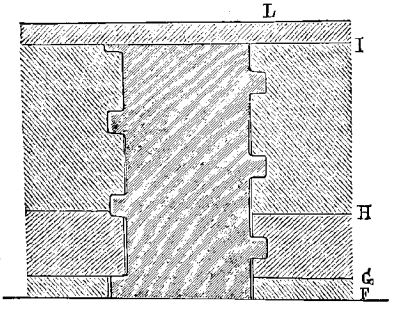


Fig. 3.

on voit que le plan incliné du filet de la vis retiendra jusqu'au dernier atome le cuir de la semelle.

Au contraire, si la vis porte, comme la plupart des vis taraudées au moment du vissage, des filets métalliques épais, la durée sera limitée à une épaisseur de cuir égale à l'épaisseur matérielle des filets métalliques (voir fig. 3); l'épaisseur FG du filet de la vis ne retient plus le cuir, et la chaussure est hors de service avant d'être complétement usée.

FG, cuir de semelle restant à user;
GH, épaisseur de l'empeigne;
HI, épaisseur de la semelle intérieure;
L, talonnette.

Résumons, en quelques mots, les conditions que doivent remplir les vis à chaussure.

Premièrement. Elles doivent posséder un noyau conique:

1° Pour servir de contre-partie à la rivure intérieure;

2° Pour qu'il y ait serrage ou compression dans tous les sens de la matière à chacune des révolutions que fait la vis pour pénétrer, ou, autrement dit, pour qu'elle ne tourne pas plusieurs fois dans le même trou sans s'y serrer latéralement davantage;

3° Pour qu'elles ne se rompent pas sous l'effort de la torsion, ce qui arriverait avec des vis cylindriques si elles étaient uniformément évidées dans toute leur longueur.

Secondement. Les filets doivent être plus creux à l'extrémité de la vis pour obtenir le maximum de travail dans les semelles premières et dans les deux derniers filets de la semelle extérieure.

Troisièmement. Les filets doivent être aigus dans les derniers éléments de la semelle extérieure, pour que la chaussure puisse atteindre à son maximum de durée.

Quatrièmement. Les filets supérieurs doivent être plus camards pour joindre leur résistance naturelle à celle de la vis, ce qui permet d'employer du métal d'un diamètre moindre.

Cinquièmement. Elles doivent posséder un commencement de pointe pour faciliter leur introduction, et cependant assez peu pour permettre au premier filet de se rabattre ou de se rapprocher du second, et de constituer ainsi une sorte de rivure intérieure s'opposant au détournement de la vis, comme on le voit figure 4.

AB, extérieur cylindrique;
BC, extérieur conique;
EF, noyau conique;
GH, épaisseur de la semelle intérieure;
HI, épaisseur de l'empeigne;
IJ, moitié de l'épaisseur de la semelle extérieure;
IK, deuxième moitié de la semelle extérieure.

Mode de fabrication des bonnes vis. Pour obtenir des creusures aussi considérables, il faut les fileter au burin, c'est-à-dire enlever le métal par couches successives, et assez minces pour que la résistance que produit chaque copeau à enlever de la tige métallique n'excède pas la puissance de torsion de cette tige.

Lorsque les vis ne sont creusées, comme dans les machines vissant et taraudant, que de la quantité correspondant à ce que la torsion permet d'enlever de métal en une seule opération, on arrive, en dehors des autres inconvénients que présentent ces machines, à des proportions de creux et de plein, qui ne permettent aucune espèce d'équilibre dans les résistances, et, par suite, aucune espèce de solidité ni de durée.

L'examen du tableau synoptique X, ci-après, indique la différence des résistances obtenues par de bonnes vis filetées au burin et des vis taraudées sur la machine à visser.

Ce qui met encore davantage en relief la disproportion des différentes parties de ces vis, c'est que, pendant que les filets en cuir engagés entre les filets de cuivre ne peuvent supporter que 14^{kilogr},65, le noyau de la vis ou tige centrale peut résister à des efforts de traction de 339 kilogrammes, tout à fait en dispro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

portion avec le reste de la vis, par suite de la creusure insuffisante.

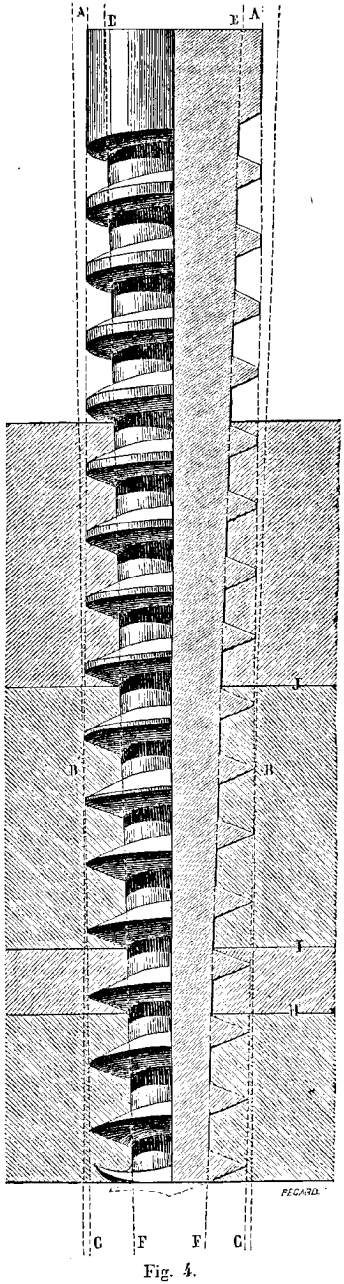


Fig. 4.

Examen des différentes machines à visser la chaussure. Après avoir indiqué ce qui constitue une bonne chaussure et une bonne vis, examinons les machines à visser la chaussure qui se sont, en dehors des machines de la maison Sylvain-Dupuis, produites à l'Exposition dernière et qui sont en ce moment livrées au commerce.

Ces machines sont de trois sortes :

1° Les machines employant des vis filetées à l'avance et faisant usage d'un guide-vis fileté;

2° Les machines employant des vis filetées à l'avance mais ne faisant pas usage du guide-vis;

3° Enfin les machines fabriquant les vis sur la machine à visser et au moment même du vissage.

Pour se rendre compte de la valeur relative de ces différentes machines, il faut les examiner comparativement au triple point de vue :

De la conservation des formes de la chaussure;

De la facilité du service des machines;

Et enfin de la solidité du joint opéré par les vis.

Disons de suite qu'aucune de ces trois sortes de machines ne donne des résultats satisfaisants au point de vue de la conservation, pendant le vissage, des formes de la chaussure.

Elles ne possèdent qu'un seul support pour le vissage de la presque totalité de la périphérie de la semelle, et sont de ce fait complétement impuissantes à répondre à cette exigence primordiale d'une bonne chaussure.

On conçoit en effet que la chaussure présentant successivement dans sa longueur des courbes de sens contraires, il arrive que si le support ou bigorne sur lequel s'opère le vissage est de convexité convenable pour un point de la semelle, il doit être contraire pour la partie suivante et provoquer sa déformation.

Machines à visser employant des vis filetées à l'avance et faisant usage d'un guide-vis. Cette première machine, par suite de ce que nous venons de dire d'une manière générale de la conservation des courbes, ne satisfait donc pas à la condition essentielle du respect de la forme.

Au point de vue de la facilité de son service, elle présente l'inconvénient d'exiger, à chaque pression nécessaire pour la pose d'une vis, le déplacement de la totalité du corps de l'ouvrier visseur. En outre la pose de la vis s'y effectue au moyen de roues d'engrenage coniques actionnées par une manivelle à main, ce qui constitue une manœuvre assez fatigante pour exiger l'intervention d'ouvriers visseurs.

Au point de vue de la solidité du vissage, cette machine étant alimentée par des vis coniques filetées à l'avance et guidées dans leur course par un manchon conducteur de même pas, le vissage qu'elle opère peut être très-solide et très-rationnel.

Machines employant des vis filetées à l'avance, mais ne faisant usage d'aucun guide-vis. La seconde sorte de machine présente les mêmes inconvénients au point de vue de l'altération des courbes de la chaussure, par suite de la pression opérée sur une seule bigorne pour la presque totalité du pourtour de la semelle.

Quant à la facilité de service, à part l'obligation de recourir à un moteur séparé, ce qui, dans beaucoup de cas, constitue un très-grave inconvénient et s'oppose à la vulgarisation de la chaussure à vis, — elle est aussi grande qu'on peut le désirer; — une femme, une fillette, nous dirions presque un enfant, peuvent la mettre en fonction (moyennant, comme nous le disions, le secours d'une force motrice étrangère).

Mais par contre en ce qui concerne la qualité du vissage, bien que cette machine permette d'employer des vis à noyau conique, le travail qu'elle livre ne présente aucune garantie, aucune sécurité. — par suite de l'absence d'un guide-vis métallique qui remplisse la double fonction :

1° D'assurer une rivure régulière;

2° De s'opposer à ce que la vis, en arrivant à la fin

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sa course, ne fasse vis sans fin comme le tire-bouchon le fait souvent dans le liége.

On conçoit parfaitement qu'une ou deux vis seulement dans tout le périmètre d'une chaussure, placées dans ces conditions déplorables, suffisent pour mettre la chaussure hors de service, et qu'un tel risque, une telle éventualité doivent faire répudier un instrument pouvant avoir des conséquences aussi fâcheuses.

Machines visseuses et taraudeuses. La troisième sorte de machine est celle qui taraude la vis au moment et pendant même que la chaussure se visse.

Ces machines, au point de vue de la conservation des courbes de la chaussure, présentent les mêmes inconvénients que les deux sortes précédentes; n'y faisant usage que d'une seule bigorne, il y a altération des courbes que devrait conserver la chaussure.

Au point de vue de la facilité du service, ces machines exigent l'intervention d'un ouvrier d'autant plus habile qu'il doit, à un moment donné, se transformer en ouvrier mécanicien pour le remplacement des mordaches de la filière, pour l'affûtage des couteaux, de la cisaille, etc. En outre le vissage et le taraudage simultanés y sont opérés par des engrenages d'angle, et présentent une certaine résistance qui ne permet pas d'utiliser des femmes; en sorte que tout l'avantage résultant de la différence du prix des vis est absorbé par la différence du prix de la journée d'une femme sans profession, comparé à celui d'un ouvrier possédant une nouvelle spécialité.

Enfin, au point de vue de la solidité et de la durée du joint opéré par les vis cylindriques, ces machines donnent des résultats détestables :

Les filets de vis y sont à peine tracés;

Ces filets sont raboteux, parce que la matière a été, la plupart du temps, plutôt grattée, foulée, que coupée;

Le noyau de la vis y est cylindrique, et par conséquent chacun des trous par où pénètre la vis se trouve alésé autant de fois qu'il faut faire faire de tours à la vis pour l'amener à fond;

Le premier filet y est déformé par les mordaches des cisailles, et trace en creux un filet plus grand que le filet en saillie qui suit la déformation ou mâchure occasionnée par la cisaille;

L'effort exercé pendant l'acte du taraudage pour marquer le filet y est tel, que le noyau central cesse de posséder un axe géométrique commun;

Enfin leur mise en place ayant lieu sous l'influence d'une tige faussée par l'effort des coussinets de la filière, la rotation de la vis y produit l'effet d'un vilebrequin agrandissant le trou de la semelle extérieure autant de fois qu'il faut faire faire de révolutions à la vis pour traverser toutes les épaisseurs des matières à joindre.

Influence de l'humidification sur le vissage. Ceux qui font usage de ces vicieux procédés croient pallier leurs fâcheux résultats en humidifiant les cuirs. C'est une erreur; le mal n'est peut-être pas aussi apparent, mais il n'en existe pas moins; car, lorsque les fibres d'un tissu mort ont été coupées ou déchirées, elles ne se ressoudent plus, et, comme la dessiccation amène un retrait général de la matière, les trous percés pendant l'humidification s'agrandissent en séchant.

Les cordonniers connaissent tout spécialement cet effet de la dessiccation, car ils en éprouvent chaque jour les inconvénients en cherchant à reboucher avec des chevilles en bois ou en cuir les trous qu'ils pratiquent sous le milieu de la semelle pour l'opération du brochage; ni les unes, ni les autres ne résistent à la dessiccation, qui produit simultanément la diminution des chevilles et l'agrandissement des trous.

L'abus de l'humidification, à laquelle on est souvent forcé de recourir avec ces machines, n'est donc pas un remède, pas même un palliatif, puisque, pendant la dessiccation, les matières se retirent dans tous les sens pour abandonner leur eau d'imbibition, mais ne ressoudent, ni même ne rapprochent les tissus altérés.

Aussi, machines et produits, sous l'influence de ces moyens de fabrication, loin d'être en progrès, ont, depuis dix ans, visiblement dégénéré.

Résistance comparative des deux systèmes de vis. Une appréciation en apparence aussi sévère que celle que nous venons de formuler, ne doit pas se produire sans être immédiatement accompagnée de preuves à l'appui.

Or nous avons vu, à l'occasion de l'analyse des conditions à remplir pour obtenir une bonne vis à chaussure, que les caractères qui distinguent ces sortes de vis sont :

A Pour le creux et le plein relatifs des filets de la vis mesurés en surface sur la section longitudinale de la vis :
Cuivre. . . 1 = 25 p. 100.
Cuir . . . . 3 = 75 p. 100.

B Cube des matières engagées dans un filet complet de 1 millimètre de pas :
Cuivre. . . 0 mil.^{3}, 753, 509,
Cuir . . . . 2 mil.^{3}, 634, 607,
ou en cuir près de 4 fois le volume du cuivre :
= 21,9 p. 100, cuivre;
= 78,1 p. 100, cuir.

C Diamètre moyen du noyau de la vis, 1 mil.,2 = section transversale du noyau de la vis, 1 mil.^{2},13.

D Résistance à la rupture, 135 kil. 6, soit par millimètre carré = 120 kilogrammes.

E Résistance du cuir de vache de 2 mil. 1/2 d'épaisseur, 24 kilogrammes.

F Surface en contact pour la révolution d'un filet perpendiculairement à l'axe de la vis, 3 mil.^{2} 39.

G Surface de révolution ou base d'attache des filets autour du noyau de la vis et à la naissance des filets dans le cuir :
Pour le cuivre. . . . . 1 mil.^{2},89
Pour le cuir. . . . . 7 mil.^{2},70
ou 4 fois plus,
c'est-à-dire. . . 19,7 p. 100 cuivre ;
— . . . 80,3 p. 100 cuir.

Les mêmes éléments, pris sur des vis fabriquées par la machine vissant et taraudant tout à la fois, fournissent les données suivantes (le pas de vis étant ramené à 1 millimètre) :

A' Creux et plein des filets de la vis, mesurés en surface sur la section longitudinale de la vis :
0 mil.^{2}, 10.50 cuivre 1 = 34 p. 100;
0 mil.^{2}, 19.50 cuir 1.9 = 66 p. 100.

B' Cube des matières engagées dans un filet complet de 1 millimètre de pas :
Cuivre. . . 0 mil.^{3}, 725, 655
Cuir . . . . 1 mil.^{3}, 347, 645
ou en cuir 1.8 le volume de cuivre
= 35 p. 100 cuivre
= 65 p. 100 cuir.

C' Diamètre du noyau de la vis, 1 mil.,9 = section transversale du noyau de la vis, 2 mil.^{2},83.

D' Résistance à la rupture, 339 kilogrammes.

E' Résistance dans du cuir de vache de 2 mil. 1/2 d'épaisseur, prenant pour point de rapprochement la surface de contact du filet des vis filetées à l'avance, comparée à celle des vis taraudées sur la machine à visser, on trouve pour l'une 3,39 millimètres carrés, et pour la seconde 2,07 millimètres carrés.
Or en faisant la proportion

$$3{,}39 : 207 :: 24 : x,$$

$$x = \frac{2{,}07 \times 24}{2{,}39} = 14^{k},65$$

pour la résistance, au lieu de 24 kilogrammes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

F' Surface en contact pour la révolution d'un filet perpendiculairement à l'axe de la vis, 2 mil.²,07.
G' Surface de révolution ou base d'attache des filets autour du noyau de la vis et à la naissance des filets dans le cuir :
Pour le cuivre. . . 2 mil.², 08.91
Pour le cuir. . . . 5 mil.², 10.54

CHAUSSURES A VIS.

ou 2,4 fois,
c'est-à-dire . . . . 29 p. 100 cuivre
— . . . . 71 p. 100 cuir.

Si maintenant nous rapprochons tous ces éléments de comparaison pour en former un tableau synoptique, nous trouverons les résultats suivants :

TABLEAU X.

LETTRES de renvoi aux articles.	LIBELLÉ.	VIS filetées à l'avance.	VIS taraudées par la machine à visser.	AVANTAGES en faveur des vis filetées.
A et A'	Creux ou vides mesurés sur la section longitudinale....	3	2	33°/₀
B et B'	Cube de matière engagé dans un filet.....	2.634$^{m}/_{m^3}$	1.347$^{m}/_{m^3}$	50°/₀
C et C'	Diamètre du noyau 1,2$^{m}/_{m}$ pour la section transversale.	1.13$^{m}/_{m^2}$	2.83$^{m}/_{m^2}$	Matière en trop dans les vis taraudées 1,70 millim.² ou 61 p. 100.
D et D'	Résistance à la rupture.....	135.6^{k}	339^{k}	Résistance superflue dans les vis taraudées 204 kil. ou 61 p. 100.
E et E'	Résistance dans du cuir de vache de 2,5$^{m}/_{m}$.....	24^{k}	14.65^{k}	39°/₀
F et F'	Surface en contact pour la révolution d'un filet.....	3.39$^{m}/_{m^2}$	2.07$^{m}/_{m^2}$	39°/₀
G et G'	Surface de révolution ou base d'attache des filets.....	7.70$^{m}/_{m}$	5.10$^{m}/_{m^2}$	40°/₀

Comme on le voit à l'inspection de ce tableau X, toutes les dimensions qui tendent, dans les vis filetées à l'avance, à équilibrer ou à uniformiser les résistances du cuir ou du cuivre, en les faisant concourir au maximum de travail utile, sont, — dans les vis taraudées sur la machine à visser, — en si complet désaccord avec les règles les plus simples et les plus élémentaires, qu'il semblerait qu'on n'a eu pour unique but, en les adoptant, de porter le discrédit sur un excellent produit.

Et encore n'établissons-nous de comparaison qu'avec

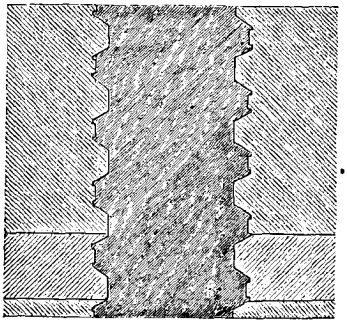


Fig. 5.

les vis les moins défectueuses; car si nous nous reportons à certaines machines de l'Exposition, employant des vis dont la section est représentée fig. 5, on trouve que les différents rapprochements deviennent ce que les indique le tableau Y, page suivante.

Rétrogradation de la chaussure à vis depuis 10 ans. Contrairement donc à ce qui se manifeste d'ordinaire lorsqu'une industrie passe du domaine privé dans le domaine commun; à ce moment où d'ordinaire les derniers entrés dans l'arène apportent aux moyens originaires de fabrication les modifications, perfectionnements ou améliorations que le temps et l'expérience amènent invariablement avec eux, il s'est, dans le cas présent, produit précisément le contraire, et nous sommes forcés de constater que depuis l'introduction dans le domaine public du principe de fabrication de la chaussure à vis, tous les appareils construits dans la vue d'appliquer ces principes en concurrence avec la maison mère, plongent cette industrie dans une dégénérescence de nature à entraîner sa très-prompte décadence.

Aussi, sous aucun rapport, les machines fabricant les vis eussent-elles été bonnes d'ailleurs, nous n'eussions pu et nous ne pourrions en conseiller l'usage, parce qu'elles donnent des produits inférieurs qui déprécient toute une branche d'industrie, et blessent en fin de compte les intérêts généraux du pays.

Nouvelle intervention de l'auteur des chaussures à vis. C'est pourquoi nous voyons avec une vive satisfaction que, par un sentiment d'orgueil national et d'amour-propre bien naturel, l'initiateur de cette industrie se décide à rentrer dans la lice après dix ans d'abstention. Il y rentre par la création de nouvelles machines dont notre dictionnaire a la primeur, et qui sont de nature à rendre de très-grands services aussi bien dans les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU Y.

LETTRES de renvoi aux articles.	LIBELLÉ.	VIS filetées à l'avance.	VIS taraudées par la machine à visser.	AVANTAGES en faveur des vis filetées.
A et A″	Creux ou vides mesurés sur la section longitudinale.....	3	1	75 °/₀
B et B″	Cube de matière engagé dans un filet.....	$2^{m}/_{m}{}^{3}634$	$0^{m}/_{m}{}^{3}852.937$	68 °/₀
C et C″	Diamètre du noyau $1,2^{m}/_{m}$ pour la section transversale.	$1^{m}/_{m}{}^{2}13$	$2^{m}/_{m}{}^{2}8352$	Matière en trop dans les vis taraudées 1,70 millim.² ou 61 p. 100.
D et D″	Résistance à la rupture par $^{m}/_{m}{}^{2}$.....	135.6	340k	Résistance superflue dans les vis taraudées 203 kil. ou 61 p. 100.
E et E″	Résistance dans du cuir de vache de $2,5^{m}/_{m}$.....	24k	6k.1 (1)	75 °/₀
F et F″	Surface en contact pour la révolution d'un filet.....	$3^{m}/_{m}{}^{2}39$	$1^{m}/_{m}{}^{2}69$	41 °/₀
G et G″	Surface de révolution ou base d'attache des filets.....	$7^{m}/_{m}{}^{2}70$	$4^{m}/_{m}{}^{2}80$	38 °/₀

(1). Le plein de la vis étant égal au creux, la résistance 2 kil. par millim.², au lieu d'être élevée au carré, comme il est dit plus haut à la suite de la fig. 1, ne peut être comptée que pour sa valeur simple de 2 kil.

On a donc à établir ici la proportion $\frac{2k \times 2.034}{0.852} = 6k.1$.

C'est-à-dire que les deux éléments qui devraient se faire équilibre, loin de se rapprocher, s'éloignent de telle sorte que la tige métallique présente une résistance de 340k, alors que le cuir ne peut, dans ces conditions, résister qu'à 6kil.1...!

grandes usines, que dans les ateliers privés où le travail s'exécute en famille, et sans moteur.

Conditions que doit remplir une bonne machine à visser. De tout ce qui précède il sera maintenant facile de déduire les conditions que doit réaliser une bonne machine à visser la chaussure.

Pour qu'une machine puisse mériter cette qualification il faut:

1° Que le cône du noyau des vis ait sa contre-partie à l'intérieur, c'est-à-dire que, par un choc mesuré, la vis se rive à l'intérieur de la chaussure, ou, plus exactement, que le premier filet se rabatte sur lui-même pour s'opposer au dévissage ;

2° Que, pour donner à la chaussure toute la souplesse qu'on désire obtenir, il soit possible de mesurer la pression, de la régler à volonté, et de la faire connaître sur un cadran indicateur qui marque sous quelle pression on travaille;

3° Que la vitesse de production soit égale à celle des meilleures machines existantes, c'est-à-dire dépassant 60 paires par jour;

4° Qu'il ne soit pas nécessaire, pour utiliser la machine de recourir à une force motrice étrangère ;

5° Que les efforts à faire soient assez faibles, pour que le travail puisse s'effectuer par des femmes, des fillettes ou des enfants;

6° Que les conditions hygiéniques soient aussi bien observées que dans les machines de la maison Sylvain-Dupuis, qui fonctionnent depuis 25 ans et qui, pendant ce laps de temps, ont constamment maintenu les ouvrières visseuses dans un état de santé des plus satisfaisant ;

7° Qu'elles puissent se localiser partout ;

8° Qu'elles puissent se déplacer facilement;

9° Qu'elles ne coûtent pas plus cher que les machines de troisième ordre;

10° Que leur entretien soit nul;

11° Enfin, que le vissage y revienne sensiblement au même prix que s'il était effectué par les plus mauvaises machines.

Toutes ces conditions sont remplies par les dispositions de la nouvelle machine, et très-simplement obtenues, comme on pourra s'en convaincre par l'explication du jeu de cette machine.

La fig. 6 donne un aperçu de l'aspect extérieur de la machine.

Legende:

A Bâti;
B Bigorne multiple;
C Coussinet recevant l'axe porte-bigorne;
D Coulisse verticale porte-bec de pression;
E Axe vertical du tourne-vis;
F Dynamomètre de pression;
G Bras de leviers horizontaux portant les poulies mouflées du brin funiculaire actionnant le tourne-vis;
H Pédale actionnant le levier de pression;
I Pédale de verrouillage pour la fixation des bigornes;
J Siége.

Jeu de la machine. Le jeu de la machine est lui-même excessivement simple:

L'ouvrière est assise sur un siége élevé disposé de façon à lui donner la complète indépendance de ses membres inférieurs.

La hauteur du siége est telle que les mouvements des jambes s'accomplissent presque verticalement, ce qui, sans fatigue, permet d'obtenir le maximum d'effet utile.

Chacun de ces deux pieds repose sur une pédale ; le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pied gauche sur la pédale de pression, le pied droit sur la pédale de vissage.

Une des deux mains tient la chaussure, l'autre une vis.

Dans cet état l'ouvrière avec la main qui tient le soulier l'engage sur une des bigornes; avec le pied gauche elle opère la pression et presque simultanément elle présente la vis et abaisse le pied droit qui, par un renvoi funiculaire et un guide fileté, procure à la vis le double mouvement de rotation et de direction hélicoïdal; elle relève le pied gauche, puis le droit et recommence ainsi pour toutes les vis à placer.

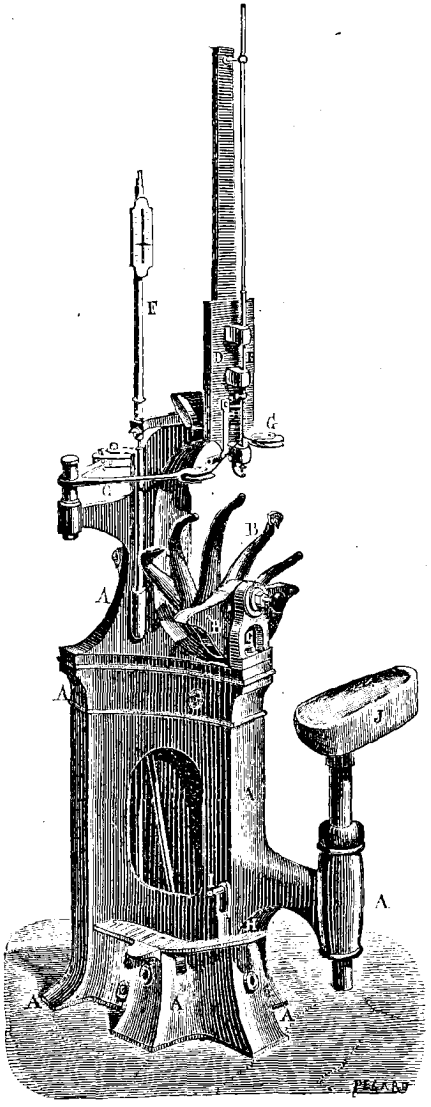


Fig. 6.

Si, malgré des mouvements aussi simples que ceux qui sont demandés à l'ouvrière, le produit obtenu possède toutes les perfections que nous avons énumérées, c'est que l'arrangement des organes assure cette perfection presque indépendamment de la volonté de l'ouvrière.

Ainsi nous avons dit que, pour qu'une vis fût placée dans des substances molles avec la certitude qu'elle s'y introduise dans de bonnes conditions, il fallait qu'elle fût introduite sous l'égide d'un guide ou conducteur de même pas qu'elle, qui ne lui laissât prendre ni retard, ni avance, qui lui serait, l'un ou l'autre, également préjudiciable, car la vis serait immédiatement convertie en une tarière anglaise forant un trou général de la grosseur de l'extérieur de la vis.

Le guide ou conducteur, dans la nouvelle machine, n'exige plus à chaque vis posée l'ouverture ou la fermeture d'un écrou brisé; il se compose tout simplement d'une tige filetée et d'un écrou d'une seule pièce conservant constamment en prise le conducteur et son écrou: et c'est grâce à l'application du mouvement funiculaire de l'archet, que l'ouvrière fait remonter l'appareil visseur, tout en se trouvant dispensée de toute préoccupation relative au conducteur.

Quant à la rivure qui dépend à la fois et du conducteur et du choc final donné sous l'influence du conducteur, elle est également obtenue très-simplement et d'une façon tout à fait indépendante de l'action de l'ouvrière, comme on le voit fig. 7:

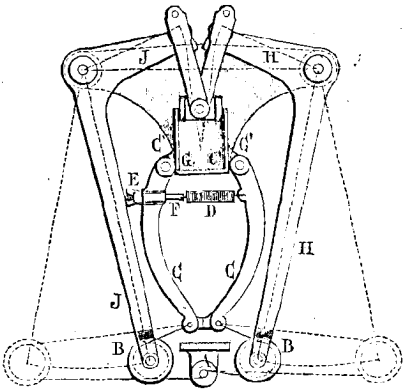


Fig. 7.

Le brin funiculaire, mouflé sur les deux poulies B, s'attache d'un bout autour du tourne-vis A et de l'autre bout aux leviers C articulés en C', et maintenus rapprochés l'un de l'autre par le ressort D, dont on modère ou augmente la tension au moyen de l'écrou E et de la vis de rappel F.

Dans cette figure, à l'échelle de 1/10, G représente la section horizontale du bâti de la machine et H et J les leviers de vissage.

La pression mesurée est également indépendante de l'intervention de l'ouvrière.

Un dynamomètre placé dans le trajet de la communication de mouvement de la pression, limite cette pression, et lorsque le pied placé sur la pédale est arrivé à mettre les matières en contact, il peut continuer sa course sans que la pression varie d'une manière sensible.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cette disposition donne en outre naissance à deux conditions avantageuses pour l'ouvrière : une plus grande assurance dans ses mouvements ; un allégement de travail en n'appuyant pas sur un arrêt limité que l'on comprime toujours trop énergiquement parce qu'on craint, manquant d'indication, de rester au-dessous du nécessaire.

La conservation des courbes de la chaussure exige, au contraire, tous les soins, toute l'attention de la visseuse, et le mérite des nouvelles machines consiste à avoir mis à sa disposition des ressources qui manquaient aux premières machines.

Ainsi le bec de pression qui, dans les premières machines, devait servir à exercer la pression successivement sur des parties de semelle alternativement convexes et concaves, ne pouvait posséder une forme convenable pour ces deux besoins opposés, et n'avait, en effet, qu'une forme mixte, ne permettant pas d'atteindre au maximum de perfection, l'une des deux courbes de la semelle étant sacrifiée à l'autre.

La nouvelle machine pour combler cette lacune a été munie d'un double bec de pression mobile et possédant chacun une forme en rapport, l'un, avec la partie convexe, l'autre avec la partie concave de la semelle ; de la sorte, pour peu que l'ouvrière visseuse prête la moindre attention à son travail, elle est à même de livrer des produits exempts de tout reproche.

La fig. 8 donne à l'échelle de demi grandeur d'exécution le détail de ce nouvel organe :

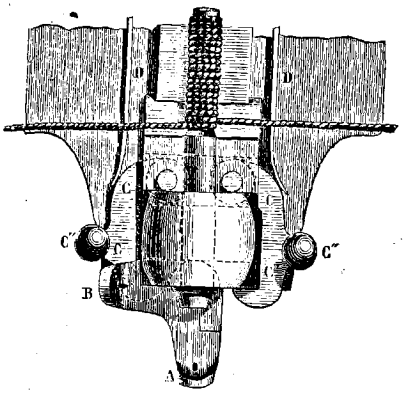


Fig. 8.

A est l'un des deux becs de pression amené à sa place de travail ;

B le deuxième bec de pression ;

C cliquet retenant par le mentonnet C' le bec de pression A dans la position qu'il occupe ;

C'' boutons par lesquels on actionne le cliquet C pour changer le bec de pression ;

D ressort maintenant les cliquets C constamment appliqués.

Ce qui a été fait pour les becs de pression, l'a été également à l'égard des becs de bigorne ; la partie sur laquelle s'exerce la pression a été rendue mobile de manière à produire, à l'intérieur de la chaussure, les bons effets produits à l'extérieur par le bec de pression.

On le voit, tout en simplifiant considérablement les machines primitives, on les a améliorées de telle sorte que, avec un travail relativement simple de l'ouvrière, le produit qu'elle confectionne puisse jouir de toutes les perfections désirables.

En somme, il y a avantage pour tous à l'application de ces nouvelles machines.

Le produit y est plus solide, plus durable, de meilleure forme ;

Le fabricant y trouve un matériel d'une construction simple,

Occupant peu de place, — un demi-mètre de surface ;

D'un prix peu élevé,

N'exigeant pas de moteur,

Dirigeable par des femmes,

D'un entretien absolument nul,

D'une production rapide, et donnant des produits d'une exécution irréprochable.

Les ouvrières elles-mêmes y rencontrent :

Un service facile,

Pas de fatigue,

Un apprentissage très-court,

Une grande puissance de production,

Enfin un travail tout à fait hygiénique.

Ajoutons que le travail donné aux femmes n'est pas seulement économique, il est encore et avant tout, essentiellement moralisateur, et procure une indépendance des plus précieuses pour l'industrie.

Ce que nous venons de dire à l'égard du concours que les machines sont susceptibles d'apporter dans le développement de cette industrie, s'applique à toutes les autres branches de la fabrication ; ainsi le découpage des semelles et des empeignes, le cambrage, le lissage, le montage des chaussures, la fabrication des talons, des contre-forts, le déformage, etc., etc., sont autant de branches très-importantes de cette intéressante fabrication que nous nous proposons de traiter ; seulement leur développement est tel que l'abondance des matières nous oblige à les reporter plus loin, à l'article VÊTEMENT.

Limitation de la production par les matières premières. La main-d'œuvre spéciale n'est pas le seul genre de limitation que rencontre cette industrie : nous disions, au commencement de cette note, que la cordonnerie n'a commencé à se développer qu'à partir du moment où elle a été mise à même, par de nouveaux procédés de fabrication, de suppléer à la main-d'œuvre spéciale manquante.

Ce qui est vrai pour la main-d'œuvre l'est également pour les matières premières qui alimentent cette industrie ; son propre développement devient son entrave en faisant hausser le prix des matières premières. Aujourd'hui ce n'est plus la main-d'œuvre qui peut devenir inquiétante au point de vue de l'essor de cette industrie, c'est la matière première qui menace de produire la limitation ; aussi appelons-nous de tous nos vœux le succès de nouvelles semelles en caoutchouc qui sont en voie de se produire.

Il n'est guère facile de prévoir, parmi les très-nombreuses branches de chaussures qui se fabriquent à cette heure, à laquelle correspondront ces nouvelles semelles ; mais quelle qu'elle soit, les quantités à fournir peuvent être considérables.

La pénurie les menaçant toutes, nous ne pouvons que donner la bienvenue à ce nouvel auxiliaire, en lui souhaitant toute la prospérité que mérite une facilité apportée à la confection d'un article de première nécessité, et dans lequel un abaissement de prix prendrait les proportions d'un bienfait.

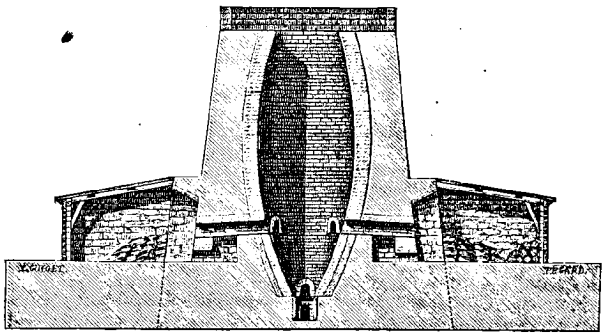
Espérons que les deux progrès réalisés, l'un en ce qui concerne la main-d'œuvre, l'autre en ce qui touche à la matière première, marcheront de pair et seront le point de départ d'une nouvelle expansion dont les avantages, en définitive, tourneront au profit du consommateur.

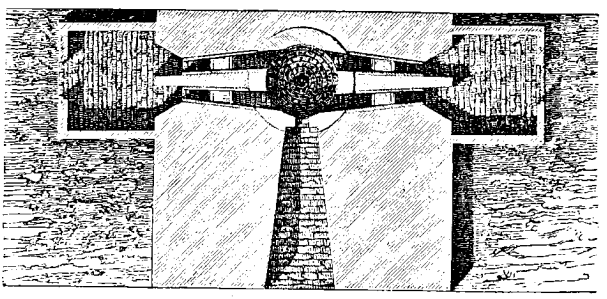
EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHAUX (FOUR À). Nous compléterons ici la description des fours à chaux, donnée à l'article MORTIER, par la description du système de M. Simonneau (de Nantes). Le four de son invention a fourni d'excellents résultats au point de vue de l'économie de chauffage qu'il procure, ce qui n'est pas de minime importance pour des pays qui, comme l'ouest de la France, doivent leur prospérité agricole à la chaux employée sur une grande échelle comme amendement. Ce four est continu, sans que le combustible soit toujours mélangé avec la pierre, différant en cela de ceux de cette espèce décrits à l'article MORTIER. Les dispositions spéciales qui en ont fait le succès peuvent le rendre précieux pour l'utilisation de certains combustibles de qualité très-inférieure.

La forme générale de ce four, que représentent les figures 3463 et 3464 est celle d'un ellipsoïde inégalement tronqué à ses extrémités, la plus grande section, celle du gueulard, étant de 3 mètres environ, tandis que la section horizontale inférieure formée par une grille n'a qu'une ouverture de 80 centimètres.

3463.





3464.

Au niveau de cette grille le four présente une ouverture destinée au défournement de la chaux et fermant au moyen d'une porte à coulisse en tôle épaisse.

Au-dessous de cette même grille se trouve le cendrier du four, revêtu à l'intérieur de briques réfractaires et pourvu aussi d'une porte à registre.

A 3 mètres environ au-dessus de la grille viennent aboutir, dans le four et sur le même plan horizontal, quatre conduits ou chauffes opposés deux à deux et symétriquement disposés de chaque côté du four. Entre les deux conduits s'élève un massif en maçonnerie pleine servant de point d'appui à la voûte des chauffes. Vers le milieu de leur longueur, ces conduits sont pourvus d'une grille qui reçoit le combustible. Les cendriers de ces chauffes sont munis de portes à registres.

Ce four rappelle les fours usités dans diverses contrées où l'on cuit la chaux à l'aide de la tourbe. Il en diffère par les proportions qui permettent l'emploi de tous les combustibles en faisant varier l'intensité du feu à l'aide des registres, et aussi par l'excellente disposition de sa grille en plan incliné, formée de barreaux de fer espacés de 3 centimètres, et servant, pendant le défournement de la chaux, à tamiser les cendres et la poussière de chaux, et par suite à diminuer beaucoup la fatigue du chaufournier.

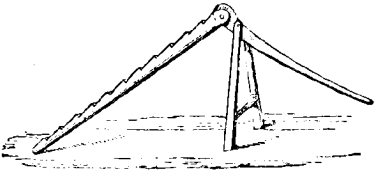
Lorsqu'on emploie du combustible donnant de grandes flammes, comme des fagots, des branchages, des ajoncs, on ferme le grand cendrier et on entretient sur chaque chauffe un feu vif.

Lorsqu'on emploie la houille, il faut stratifier le calcaire par couches de 5 mètres, puis déposer un lit de branchanges, de fagots, sur lequel on charge 7 hectolitres de houille. En opérant de la sorte, on obtient jusqu'à 8 hectolitres de chaux par hectolitre de houille.

Quand on emploie de la tourbe ou de l'anthracite, il faut diminuer la couche de calcaire de moitié, et tirer toutes les heures exactement un hectolitre de chaux pour faire couler les cendres et aviver le feu.

On ne saurait évaluer à moins de 8 ou 10 fr. par 1,000 kilog., dit M. Jacquelain dans son rapport à la Société d'encouragement, auquel nous empruntons les détails qui précèdent, l'économie que procure l'emploi des grands fours à chaux de M. Simonneau, de 120 mètres cubes de capacité, pouvant produire 40 mètres cubes par 24 heures, quand on les compare aux petits fours généralement employés dans les campagnes. Or on sait de quelle importance extrême est le bas prix de la chaux pour l'agriculture, et que certaines terres froides notamment ne donnent que des résultats misérables sans l'emploi de cet amendement sur une grande échelle.

CHÈVRE. On donne le nom de chèvre non-seulement à l'espèce de treuil qui sert à élever les matériaux dans les constructions, mais encore à une combinaison de leviers qui forme un appareil fort simple et



3465.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fort ingénieux employé pour lever les voitures légères, et qui consiste (fig. 3465) en un chevalet à deux pieds, portant un axe qui est traversé par l'œil d'un levier dont le petit bras est articulé avec une longue pièce de bois dont l'autre extrémité porte à terre. Le mouvement du grand bras fait lever la pièce de bois sur laquelle appuie l'essieu de la voiture et élève celle-ci. Le petit bras de levier pouvant dépasser la verticale, la voiture reste soulevée pour le nettoyage des roues, le démontage des boîtes, etc., etc.

CHLOROFORME. Nom donné à un éther chloré qui, au contact d'une dissolution alcoolique de potasse, donne du chlorure de potassium et du formiate de potasse. Il s'obtient par la réaction de l'alcool sur le chlorure de chaux, et se sépare de la liqueur par une distillation.

Le chloroforme est liquide, incolore, d'une odeur éthérée très-agréable, d'une saveur sucrée. Sa densité à 18° est de 1,48. Il bout à 60°,8; la densité de sa vapeur est de 4,2; il brûle avec une flamme verte.

Le chloroforme produit, à un plus haut degré que l'éther, les effets d'ivresse propres aux produits alcooliques, d'anesthésie, qui ont été mis à profit pour rendre insensible à la douleur dans les opérations chirurgicales.

A une époque où l'on pensait devoir retirer de très-grands résultats pour la navigation, de la machine à vapeurs combinées, et lorsque la facile inflammabilité des vapeurs d'éther semblait le grand obstacle qui s'opposait à leur adoption, M. Lafond, officier de marine, avait substitué avec succès le chloroforme à l'éther. L'expérience prolongée a montré que le chloroforme attaquait les condenseurs tubulaires en cuivre employés dans ces machines.

CHOCOLAT. La fabrication du chocolat a pris, en France, depuis quelques années, une grande extension, et les appareils à l'aide desquels on l'a rendue facile ont atteint une grande perfection. Nous citerons parmi les principaux :

Les moulins coniques en granit pour broyer le cacao; les deux surfaces flottantes sont taillées en spirales, les spirales du cône n'étant entaillées que sur une très-petite étendue du cône, assez pour saisir et entraîner le cacao.

Les mélangeurs, composés de deux meules en granit tournant aussi dans une auge en granit. La matière est continuellement ramenée sous les meules par des roulettes en forme de versoirs de charrues, qui servent aussi à la mélanger.

La machine à broyer le chocolat la plus répandue est la machine à trois cylindres de granit que nous avons décrite à l'article BROYER. On y a adapté des couteaux en quartz de Finlande, pour éviter le contact du fer avec le chocolat. Quelquefois on multiplie les broyeurs, surtout quand on emploie les rouleaux coniques tournant autour d'un seul arbre. On emploie des broyeurs avec étages superposés, de huit rouleaux coniques chacun. Il y a ainsi 24 génératrices de contact qui opèrent le broyage.

Enfin, comme machine fort ingénieuse et fort curieuse, nous décrirons la machine à peser et mouler le chocolat, mise à l'Exposition universelle par M. Devinck, fabricant à Paris.

La pâte, étant introduite dans un distributeur, est amenée au dehors de celui-ci par une vis sans fin, employée pour la première fois par M. Devinck, et qui est reconnue maintenant être le seul appareil propre à extraire convenablement l'air. Cette vis débite le chocolat dans un tambour vertical, muni sur son pourtour de cavités, dans lesquelles circulent des pistons. Les pistons opposés sont reliés par une même tige de cette façon : à mesure que l'un des pistons, placé en face de la vis sans fin, recule sous la pression de la pâte qui remplit la cavité, le piston opposé refoule au dehors le chocolat qui avait rempli le vide correspondant. Cette opération se reproduit à chaque instant, le tambour tournant continuellement devant le distributeur, devant lequel il s'arrête chaque fois, pendant le temps où il se charge de chocolat. Le boudin de chocolat, à sa sortie du tambour, est saisi par le contour d'une roue verticale en bois, qui l'entraîne sur un petit chemin incliné jusque sur la table de moulage et dressage. Le contour de cette roue forme saillie sur le milieu, et, de cette manière, il entraîne mieux le boudin. La table de dressage porte sur son pourtour un assez grand nombre de moules, en forme de tablettes, sur lesquels chaque boudin est recueilli successivement. Cette table est animée d'un mouvement de rotation, et deux roues à galets, tournant en sens inverse, communiquent, à l'aide de cames, un mouvement de vibration continuel à tous les moules. De cette façon, le boudin s'étale successivement à mesure qu'il est entraîné par la table, et avant d'avoir fait un tour entier, il est entièrement étalé. Arrivé à la fin de sa révolution, le moule est enlevé par un mécanisme très-simple et amené sur une espèce de chaîne sans fin qui le descend de suite dans la cave, où s'achève le refroidissement.

Il est à remarquer que tous les mouvements sont commandés par les pistons du tambour, qui font mouvoir d'une part ce tambour lui-même, et d'autre part la table et les roues à galets. Il en résulte un avantage, c'est que, si le distributeur manquait de chocolat, l'appareil s'arrêterait de lui-même et ne fonctionnerait pas inutilement.

Cet appareil est très-bien conçu et fonctionne parfaitement bien. L'emploi de la vis pour expulser l'air est capital, puisque c'est le seul moyen qui réussisse à le chasser convenablement. Le dressage des boudins en tablettes s'effectue d'une manière continue, ce qui fait qu'on peut s'arranger de manière que ce moulage n'ait lieu qu'à la température la plus basse possible, d'où résulte un grain bien meilleur pour le chocolat. Cet effet est encore favorisé par la descente immédiate des moules à la cave. Enfin, la main de l'ouvrier est complétement évitée.

CHRONOMÈTRES ET PENDULES. *Méthode proposée par M. Lieussou pour les observations qui demandent une grande précision.* — La parfaite régularité de la marche des appareils chronométriques est le but qu'on se propose d'atteindre par tous les soins apportés à remédier à toutes les causes de variation dans la marche, par suite des variations de température notamment. Jamais on n'avait pensé qu'il pût exister une autre voie pour arriver à la précision. On doit donc une grande obligation à M. Lieussou, ingénieur-hydrographe d'un grand talent, mort bien jeune, d'avoir ouvert une voie nouvelle consistant à apprécier la valeur de faibles variations qu'on ne sait pas éviter aujourd'hui, de manière à obtenir des chiffres tout aussi exacts que si on était parvenu à y remédier.

C'est, nous croyons, entrer dans une voie très-bonne et déjà suivie pour toutes les observations physiques de grande précision, que de faire résulter le chiffre définitif d'une observation, non pas d'une seule lecture, mais d'une formule d'interpolation, dans laquelle se trouvent figurer les éléments qui influencent l'appareil qui fournit les indications. C'est surtout aux chronomètres marins que les observations de M. Lieussou sont applicables, non pas parce que la méthode n'est pas générale, mais parce que son emploi serait de faible utilité dans d'autres cas, ainsi que nous allons le voir. Nous laissons de côté, bien entendu, les pendules et montres pour l'usage civil, pour lesquelles la grande précision n'est pas réclamée, où celle-ci est souvent sacrifiée à des convenances de mode et de bon marché.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous suivrons pas à pas le travail de M. Lieussou, qui ne se trouve que dans un recueil de mémoires d'hydrographie qui n'est pas très-aisé à rencontrer.

Des causes de variation des appareils chronométriques. — Dans les horloges, le moteur est un poids et le régulateur un pendule.

L'épaississement des huiles semblerait devoir diminuer l'oscillation du pendule qui reçoit une moindre impulsion; mais sa masse étant très-grande et l'amplitude des oscillations ne dépassant guère 2 degrés, cet effet est en réalité insensible dans l'espace d'une année.

Quant aux variations de la durée des oscillations en raison des variations de longueur, on y remédie par les pendules compensateurs dont on peut à l'aise varier la disposition; les pendules à grille de longueur considérable ou à mercure permettent d'obtenir des résultats assez précis; toutefois, dans la pratique, le but n'étant jamais atteint d'une manière absolue, dès lors, suivant que la compensation est trop forte ou trop faible, la marche de l'horloge (les variations avec l'heure vraie) croît ou décroît si la température augmente, et *vice versâ* si elle diminue.

Dans les chronomètres, l'effort du ressort moteur diminue à mesure qu'il se déroule; mais en même temps, grâce à la fusée, il agit sur un bras de levier plus grand, de telle sorte que l'impulsion qu'il imprime au rouage reste sensiblement constante.

Le moteur et le régulateur exercent leur action l'un sur l'autre par l'intermédiaire de la roue d'échappement, disposée de telle sorte que le moteur restitue au balancier la quantité de mouvement qu'il a perdue à chaque oscillation par le frottement et la résistance de l'air. Les oscillations, conservant la même amplitude, ont la même durée.

L'épaississement des huiles qui a lieu avec le temps, en augmentant la résistance pendant que l'impulsion reste constante, tend à diminuer l'amplitude des oscillations. La masse du balancier étant fort petite et l'amplitude des oscillations fort grande, cet effet est naturellement considérable; ainsi, en moyenne, l'amplitude étant de 415 degrés quand les huiles sont fraîches, n'est plus que de 330 lorsque les huiles sont âgées de trois ans.

Dans la pratique, un spiral ne peut rigoureusement assurer l'isochronisme des oscillations pour d'aussi grandes variations; par suite la marche d'un chronomètre doit varier avec l'âge des huiles.

La chaleur, en altérant les dimensions du balancier et la constitution physique du ressort spiral, sous l'action duquel il oscille, change notablement la durée des vibrations; on cherche à annuler cet effet en fixant, aux deux extrémités d'un diamètre du balancier, deux lames demi-circulaires formées de deux métaux inégalement dilatables soudés ensemble et portant chacun une petite masse; le centre de gravité de chaque arc se rapprochant ainsi du centre d'oscillation à mesure que la température augmente, la durée de l'oscillation diminue.

On peut donc déterminer par tâtonnement la position des masses, de manière que les oscillations du balancier aient la même durée à deux températures très-différentes; toutefois, comme le retard produit par l'altération du ressort spiral, et l'avance résultant du raccourcissement du balancier, varient avec la température, d'après des lois inconnues, mais nécessairement différentes, ces deux effets peuvent s'annuler lorsque la température varie de 0 à 30 degrés, par exemple, sans qu'on puisse conclure qu'ils s'annuleront si elle s'élève de 0 à 5 degrés.

En effet, la position des masses compensatrices ayant été déterminée de manière que la marche du chronomètre soit exactement la même aux températures t_1 et t_2, l'observation constate que la marche est maxima à la température moyenne $T = \frac{t_1 + t_2}{2}$; et que cette marche maxima diminue de quantités égales pour un même écart de température, en plus ou en moins, à partir de T; il est dès lors naturel de dire que le compensateur est réglé à la température T, sans se préoccuper des températures t_1 et t_2, équidistantes de T, qui ont servi à ce réglage.

Il suit de ce qui précède que si on peut concevoir théoriquement une pendule à marche invariable, on ne saurait même concevoir, d'après le mode actuel de construction, un chronomètre à marche constante et l'on peut établir :

1° Que la marche d'une pendule est sensiblement indépendante de l'âge des huiles, mais qu'elle varie quelque peu avec la température;

2° Que la marche d'un chronomètre varie à la fois avec l'âge des huiles et avec la température.

Voyons maintenant par quelles formules empiriques on peut remplacer les lois inconnues qui lient la marche de ces appareils à la variation des huiles et des températures, seules quantités variables qui influent sur elles, car s'il s'agissait d'absence de solidité, de déformation des pièces, les appareils devraient être non corrigés, mais remplacés.

Disons d'abord comment M. Lieussou est arrivé aux formes de fonctions qu'il a adoptées, comment l'observation les lui a indiquées; nous verrons plus loin comment les expériences les vérifient.

Chargé du service des chronomètres au Dépôt de la marine, il a d'abord cherché à reconnaître la loi des variations qu'il reconnaissait.

En prenant les intervalles du temps pour abscisses et les températures diurnes observées à chaque époque pour ordonnées, on obtient la courbe des températures diurnes. En prenant les mêmes abscisses et pour ordonnées les marches diurnes, on obtient de même la courbe des marches diurnes.

La comparaison de la courbe des marches diurnes avec la courbe des températures diurnes a révélé deux faits remarquables :

1° Les points de la courbe des marches, dont les ordonnées représentent des marches diurnes observées à une même température, sont sensiblement en ligne droite;

2° Les diverses lignes droites, obtenues en joignant sur la courbe des marches les points correspondant aux températures égales, sont sensiblement parallèles entre elles.

Par conséquent : 1° l'inclinaison b de ces parallèles sur l'axe des x représente la variation de marche à une température constante, sous l'action du temps écoulé; 2° la distance de ces parallèles, comptée sur les ordonnées, représente les variations de marche, à une même date, sous l'action du changement de température; il suit de là, qu'en coupant la courbe des marches par la série des parallèles isothermes correspondant aux divers degrés du thermomètre, l'accroissement de l'ordonnée, en passant d'une abscisse à l'autre sur la même parallèle, donnera le changement de marche dû au changement de date, tandis que l'accroissement de l'ordonnée, en passant d'une parallèle à l'autre sur la même abscisse, donnera le changement de marche dû au changement de température.

Les droites isothermes, tracées sur la courbe des marches d'une pendule, sont parallèles à l'axe des abscisses; leurs distances, comptées sur l'ordonnée, sont sensiblement proportionnelles aux différences de température. Il en résulte que, a étant la marche de la pendule à zéro, la marche m a t° sera :

$$m^\circ = a^\circ + c^\circ t^\circ.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le système des parallèles isothermes, tracées sur la courbe des marches d'un chronomètre, a une inclinaison très-marquée sur l'axe des abscisses; il présente une parallèle maxima correspondant à une certaine température T spéciale à chaque chronomètre, et une coïncidence sensible entre les deux parallèles correspondant à deux températures quelconques (T+K) et (T — K) équidistantes de T, dont l'écart à la parallèle maxima, compté sur l'ordonnée, est proportionnel à K^2.

Si donc a est la marche initiale observée à T°, b l'inclinaison des parallèles isothermes sur l'axe des x, et c le rapport constant entre les écarts des parallèles à la parallèle maxima et le carré des écarts des températures à la température T°, sa marche a T°, à une date quelconque x sera $a + bx$, et la marche m à la même date x et à la température $t°$ sera :

$$m^s = a^s + b^s x - c^s (T° - t_o)^2.$$

RÉGIME DES PENDULES. — L'équation de la marche d'une pendule sera représentée d'une manière convenable par une fonction de la température t de la forme $m = a + ct$. Les deux constantes a et c, qui entrent dans cette équation et dont les valeurs différentes pour chaque pendule constituent son régime spécial, seront déterminées par l'observation de deux marches moyennes quelconques correspondant à des températures très-différentes.

Soient m_1 et m_1, t_1 et t_2, les températures moyennes observées, on a les deux relations $m_1 = a + c\,t_1$, $m_2 = a + c\,t_2$, d'où :

$$c = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \qquad a = \frac{1}{2}\left\{ m_1 + m_2 - c\,(t_1 + t_2) \right\}$$

qui donnent les constantes c et a en raison de deux marches et deux températures moyennes pour un intervalle quelconque; elles les donneront d'autant mieux que cet intervalle sera plus grand; en observant, par exemple, les marches et températures moyennes en six mois, observées en hiver et en été, on les obtiendra avec une grande précision.

Ces formules, appliquées à la pendule 4367 Bréguet, à laquelle les chronomètres suivis au Dépôt de la marine sont comparés, ont fourni les résultats suivants :

Première période : les huiles dataient de 7 à 8 ans.

Dates.	Intervalles.	État observé.	Marche moyenne.	Température moyenne.
1er octobre 1850	. . . . .	+0' 23" 2		
	152 jours	. . . . .	—1s,79	11°,8
1er mars 1851. .	. . . . .	—4' 8" 7		
	154 jours	. . . . .	—2s,19	16°,6
2 août 1851. . .	. . . . .	—9' 41" 6		

D'où l'on déduit : $c = 0^s,084$; $a = -0^s,80$, et par conséquent, $m = -0^s,80 - 0^s,084\,t$.

Seconde période d'observations, alors que les huiles venaient d'être renouvelées.

Dates.	Intervalles.	État observé.	Marche moyenne.	Température moyenne.
1er septem. 1851	. . . . .	— 0' 2" 4		
	182 jours	. . . . .	+1s,59	12°,2
1er mars 1852. .	. . . . .	+4' 46" 0		
	184 jours	. . . . .	+1s,19	16°,8
1er septembre .	. . . . .	+8' 24" 5		

D'où l'on déduit $c = -0^s,084 : a = +2^s,65$, et par conséquent $m = +2^s,65 - 0^s,004\,t$.

En ayant ainsi déterminé l'équation d'une pendule (et l'observation, portant sur un seul mois, donne sensiblement les mêmes valeurs pour les constantes a et c que l'emploi de deux marches et de deux températures moyennes en six mois), on pourra calculer les marches de la pendule. M. Lieussou donne, dans son mémoire, cette comparaison pour la pendule du Dépôt et pour celle de l'Observatoire de Toulon, pour des marches moyennes en un mois, ou de dix en dix jours. Il nous suffira de dire que la différence entre la marche observée et la marche calculée n'est jamais que de quelques centièmes de seconde et ne dépasse jamais 20 centièmes, et par suite l'équation est convenable pour donner la marche de la pendule, au moyen d'une simple observation thermométrique, à $0^s,2$ près, c'est-à-dire avec une précision comparable à celle que comporte l'observation directe.

Régime général d'une pendule. — Dans la formule $a + ct$, la constante a est la marche à 0°; elle se conserve invariable tant que l'on ne change pas la longueur du pendule.

La constante c est la variation de marche pour un accroissement de température de 1°; elle se conserve invariable tant que l'on ne modifie pas l'appareil compensateur.

Pour que l'heure d'une pendule s'écartât le moins possible de l'heure du temps moyen, il faudrait que sa marche à la température moyenne du lieu θ, c'est-à-dire $m_1 = a + c\theta$, fût nulle. Ce résultat poursuivi par tâtonnement, en faisant varier la longueur du pendule, n'est jamais rigoureusement atteint; ainsi, les deux périodes d'observations qui ont précédé et suivi le renouvellement des huiles de la pendule du Dépôt ont conduit aux deux équations : $m^s = -0^s80 - \frac{1}{12}t$, $m^s = +2^s65 - \frac{1}{12}t$, la marche à 15°, température moyenne de l'Observatoire du Dépôt, était :

Pour la première période, $m^s = -0^s,80 - \frac{15}{12} = -2^s,05$; pour la seconde, $m^s = +2^s,65 - \frac{15}{12} = +1^s,40$.

Le pendule était donc trop long avant le renouvellement des huiles et trop court après; ces imperfections du réglage du pendule avaient pour résultat : dans le premier cas, un retard de 2^s05 par jour ou de 12' 28" par an, et, dans le second cas, une avance de 1^s40 par jour ou de 8' 31" par an.

Nous ne suivrons pas M. Lieussou dans la discussion des méthodes à employer pour déterminer le régime moyen annuel des pendules, par des moyens analogues à ceux que nous étudierons pour les chronomètres. Pour une pendule qui reste dans un observatoire, les véritables corrections doivent toujours être obtenues par des observations directes, et la question n'a plus la même importance que pour un chronomètre emporté à bord d'un navire qui s'éloigne du point de départ.

Disons aussi que les moyens d'obtenir une grande précision avec les pendules étant très-grands, l'observation directe entre deux déterminations astronomiques est suffisante. L'appareil compensateur réclame seul quelques perfectionnements; les compensateurs tubulaires à mercure résoudront probablement le problème, en donnant aux tubes une direction qui fasse correspondre les effets de la dilatation avec les variations d'isochronisme produites par le changement de longueur du pendule.

RÉGIME DES CHRONOMÈTRES.

Détermination des constantes qui entrent dans l'équation de la marche d'un chronomètre.

L'équation générale de la marche d'un chronomètre en fonction du temps et de la température, considérés comme des variables indépendantes, est

$$m^s = a^s + b^s x - c^s (T° - t°)^2.$$

En laissant de côté la route qui a mené M. Lieus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sous à cette forme, elle sera volontiers admise comme formule empirique, la variation de température modifiant le rayon du balancier, et faisant par suite varier sa force vive qui varie avec le carré des vitesses. Nous verrons plus loin comment elle se vérifie par l'observation.

Les quatre constantes a, b, c et T, qui entrent dans cette équation et dont les valeurs particulières à chaque chronomètre constituent son régime spécial, seront déterminées au moyen de quatre marches quelconques observées à des températures et à des époques différentes. Soient $m_1\ m_2\ m_3\ m_4$ les quatre marches diurnes observées aux températures $t_1\ t_2\ t_3\ t_4$; en les supposant, pour faciliter le calcul des constantes, séparées par des intervalles égaux h, on a les équations de condition :

$$m_1 = a + b - c\,(T - t_1)^2 \quad m_2 = a + hb - c\,(T - t_2)^2$$
$$m_3 = a + 2hb - c\,(T - t_2)^2 \quad m_4 = a + 3hb - c\,(T - t^4)^2$$

d'où l'on tire $m_1 - 2m_2 + m_3 = -c\,[t_1^2 - 2t_2^2 + t_3^2 - 2T\,(t_1 - 2t_2 + t_3)]$

$$m_2 - 2m_3 + m_4 = -c\,[t_2^2 - 2t_3^2 + t_4^2 - 2T\,(t_2 - 2t_3 + t_4)]$$
$$m_3 + m_4 - m_1 - m_2 = 4hb - c\,[t_3^2 + t_4^2 - t_1^2 - t_2^2 - 2T\,(t_3 + t_4 - t_1 - t_2)]$$
$$m_1 + m_2 - m_3 + m_4 = 4a + 6hb - c\,[(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2].$$

Représentant les termes de ces équations par des symboles pour abréger, et posant :

$$\alpha = -c\,(\mathcal{C} - 2T\gamma)$$
$$\alpha' = -c\,(\mathcal{C}' - 2T\gamma')$$
$$\alpha'' = 4hb - c\,(\mathcal{C}'' - 2T\gamma'')$$
$$\alpha''' = 4a + 6hb - c\,[(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2],$$

ces relations conduisent aux expressions suivantes :

$$T^o = \frac{1}{2}\,\frac{\alpha\mathcal{C}' - \alpha'\mathcal{C}}{\alpha\gamma' - \alpha'\gamma} \qquad c^s = \frac{\alpha\gamma' - \alpha'\gamma}{\mathcal{C}'\gamma - \mathcal{C}\gamma'}$$
$$b^s = \frac{1}{4h}\,[\alpha'' + c\,(\mathcal{C}'' - 2T\gamma'')]$$
$$a^s = \frac{1}{4}\,[\alpha''' - 6\,hb + c\,(T - t_1)^2 + (T - t_2)^2 + (T - t_3)^2 + (T - t_4)^2)].$$

Dans un observatoire, des observations de 10 en 10 jours sont à peu près suffisantes ; des observations mensuelles sont préférables et fournissent un degré de précision plus élevé.

Ainsi, M. Lieussou, observant un chronomètre n° 200 de M. Winnerl, a trouvé, pour le mois d'octobre 1847, janvier, avril et juillet 1848, les chiffres suivants :

ÉTATS OBSERVÉS.		MARCHE ET TEMPÉRATURE MOYENNE OBSERVÉES DANS UN MOIS.				ÉQUATIONS DE CONDITION.
Date.	État.	Date.	Intervalle.	Marche.	Température.	
30 septembre 1847.	$+ 1^m,55^s,2$	15 octobre.	91 jours	$+ 1^s,21$	15°,0	$1^s,21 = a + b - c\,(T - 15)^2$
30 octobre	$+ 2^m,31^s,5$					
31 décembre	$+ 3^m,18^s,9$	15 janvier.	91 jours	$- 0^s,69$	2°,3	$0^s,69 = a + \frac{365}{4}b - c(T - 2,3)^2$
30 janvier 1848. . .	$+ 2^m,58^s,2$					
31 mars	$+ 3^m,27^s,4$	15 avril . .	91 jours	$+ 1^s,41$	12°,0	$1^s,41 = a + 2\frac{365}{4}b - c(T - 12)^2$
30 avril.	$+ 4^m,09^s,7$					
30 juin.	$+ 5^m,55^s,9$	15 juillet. .		$+ 1^s,72$	21°,0	$1^s,72 = a + 3\frac{365}{4}b - c(T - 21)^2$
30 juillet.	$+ 6^m,47^s,6$					

On en déduit :

$\alpha = + 4^s,00 \quad \mathcal{C} = 356 \quad \gamma = + 22 \quad \alpha'' = + 2^s,61$
$\alpha' = - 1^s,79 \quad \mathcal{C}' = 160 \quad \gamma' = - 0^s,5 \quad \alpha''' = + 3^s,65$

et par suite

$$T^o = \frac{1}{2}\,\frac{640 + 637}{2 + 35} = \frac{1}{2}\,\frac{1277}{37} = \frac{1277}{74} = 17^o$$
$$c^s = \frac{37}{3402} = 0^s,010$$
$$b^s = \frac{1}{365}\,[2^s61 + 0,01\,(354 - 34\,(33 - 17,5))] = 0^s0024$$
$$a^s = \tfrac{1}{4}\,[3^s,65 - 1^s,32 + 0^s,01\,(260)] = \tfrac{1}{4}\,493 = + 1^s,23.$$

$a = 1^s,23$ correspond au 15 octobre 1847 ; l'équation du chronomètre 200 de Winnerl, conclue de 4 marches moyennes mensuelles d'octobre 1847, janvier, avril et juillet 1848, est donc :

$$m = 1^s,23 + 0^s,0024\,x - 0^s,01\,(17^o - t)^2.$$

Avec les observations de 4 autres mois, M. Lieussou trouve pour le même chronomètre l'équation suivante, rapportée au 25 *janvier* 1848 :

$$m = 1^s,56 + 0,0024\,x - 0^s,01\,(17^o - t)^2,$$

qui ne diffère de la précédente que par la marche initiale, qui est un peu plus forte de $0^s,09$ que ne le demande la différence de point de départ.

M. Lieussou rapporte, dans son mémoire, les vérifications de la marche d'un grand nombre de chronomètres d'après cette méthode, et un parfait accord règne entre les marches observées et calculées. Nous en rapporterons un exemple plus loin.

La précision des résultats, consignés au tableau ci-après, a été obtenue pour les nombreux chronomètres que M. Lieussou a observés, et prouve que la formule proposée :

$$m^s = a^s + b^s\,x - c^s\,(T - t)^2,$$

résout parfaitement le problème proposé. Sa discussion va nous permettre d'établir le *régime général d'un chronomètre*.

La constante T est la température spéciale à laquelle le chronomètre prend sa marche maxima ; elle est, comme nous l'avons vu, la moyenne arithmétique des deux températures pour lesquelles l'horloger a établi l'égalité de marche ; pour un chronomètre bien réglé, cette constante doit être comprise entre 15 et 20°.

Le coefficient c est la diminution de marche diurne pour un changement de température d'un degré centigrade en plus ou en moins, à partir de T_o. Il est la mesure de l'imperfection de la compensation, et se conserve invariable tant que la spirale et le balancier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ANNÉES.	MOIS.	TEMPÉRATURE.	CHRONOMÈTRE 627 BRÉGUET $m = 3^s,60 - 0^s,40\,x - 0^s,02\,(8° - t)^2$				
			$3^s,60 - 0^s,40\,x$	$-0^s,02\,(8° - t)^2$	MARCHE		
					Calculée.	Observée.	Différence.
1849	Avril. . .	9°,6	— 0s,00	— 0s,06	— 0s,06	— 0s,60	+ 0s,54
	Mai. . . .	15°,2	— 0s,40	— 1s,05	— 1s,45	— 1s,84	+ 0s,39
	Juin. . . .	20°,0	— 0s,80	— 2s,88	— 3s,68	— 3s,89	+ 0s,21
	Juillet. . .	20°,6	— 1s,20	— 3s,18	— 4s,38	— 4s,43	+ 0s,05
	Août. . . .	20°,0	— 1s,60	— 2s,88	— 4s,48	— 4s,58	+ 0s,10
	Septembre.	19°,0	— 2s,00	— 2s,42	— 4s,42	— 4s,82	+ 0s,40
	Octobre . .	15°,2	— 2s,40	— 1s,04	— 3s,44	— 3s,30	— 0s,14
	Novembre .	10°,6	— 2s,80	— 0s,18	— 2s,98	— 2s,95	— 0s,03
	Décembre..	7°,0	— 3s,20	0s,00	— 3s,20	— 3s,13	— 0s,07
1850	Janvier.. .	3°,0	— 3s,60	— 0s,50	— 4s,10	— 4s,17	+ 0s,07
	Février.. .	7°,5	— 4s,00	0s,00	— 4s,00	— 3s,95	— 0s,05
	Mars. . . .	7°,5	— 4s,40	0s,00	— 4s,40	— 4s,74	+ 0s,34
	Avril. . . .	11°,6	— 4s,80	— 0s,26	— 5s,06	— 5s,02	— 0s,04
	Mai	13°,5	— 5s,20	— 0s,60	— 5s,80	— 5s,75	— 0s,05
	Juin. . . .	18°,3	— 5s,60	— 2s,10	— 7s,70	— 7s,35	— 0s,35

ne sont pas modifiés; pour un bon chronomètre, ce coefficient ne doit pas dépasser $0^s,02$.

Le coefficient b est le changement de marche du chronomètre dans l'unité de temps. Il paraît varier un peu à la longue, mais il est sensiblement constant pendant un an (temps bien supérieur à la durée des plus longues traversées avant de rencontrer un observatoire). Il peut être considéré comme la mesure du défaut d'isochronisme entre les grandes et les petites oscillations du balancier; pour un bon chronomètre, il ne doit pas dépasser $\pm 0^s,01$ par jour ou $\pm 0^s,30$ par mois.

La constante a est la marche initiale du chronomètre à T°; elle est la mesure de l'imperfection du réglage de la montre sur le temps moyen à la température T. Cette marche initiale augmente ou diminue d'une quantité bx proportionnelle au nombre de jours x; b étant généralement positif et inférieur à $0^s,01$. Les horlogers établissent habituellement la marche initiale en retard de quelques secondes sur le temps moyen, de manière à ce qu'en trois ans, elle s'en écarte le moins possible. On comprend, en effet, que a égalant $-5^s,0$ au moment où la montre sort de chez l'artiste, sera égale à $-5^s,00 + 548b$ ou environ $0^s,0$ après 18 mois et $-5^s,00 + 1094\,b$, soit environ $+5^s,00$ après trois ans.

Les quatre constantes a, b, c et T, qui entrent dans l'équation de la marche d'un chronomètre, peuvent être déterminées par quatre équations de condition données par quatre marches quelconques, observées à des époques et à des températures diverses; elles le seront avec d'autant plus de précision, que l'intervalle des observations et l'écart des températures seront plus grands. Toutefois, il importe de remarquer que si, pour un intervalle trop court, les constantes sont affectées par l'erreur inhérente à des observations isolées, pour un intervalle trop grand elles seront entachées de l'erreur que l'on commet en prenant la marche moyenne pour la marche correspondante à la température moyenne.

Ces quatre constantes ayant été préalablement déterminées et vérifiées par un nombre suffisant d'équations de condition; de plus, l'état initial E_0 du chronomètre sur le temps moyen du lieu de départ étant connu, l'équation :

$$m = a + bx - c\,(T - t)^2$$

donnera, au moyen de la série des températures diurnes $t\ t_2 \ldots t_x$ observées pendant la traversée, la série des marches diurnes $m_1\ m_2\ m_3 \ldots$, et par suite la série des états diurnes du chronomètre $E_1\ E_2\ E_3 \ldots$ sur le temps moyen du lieu de départ.

Emploi de l'équation de la marche d'un chronomètre à la détermination de la longitude à la mer.

La longitude d'un lieu, en temps, est donnée par la différence des états d'un chronomètre sur l'heure du lieu et sur l'heure simultanée de Paris.

A bord d'un bâtiment, on déduit l'état de l'heure du lieu, de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon de la mer mesurée avec un cercle à réflexion ou un sextant; et on estime l'heure de Paris, en ajoutant à l'état constaté au départ la marche diurne initiale multipliée par le nombre de jours écoulés.

L'état d'un chronomètre sur l'heure du bord est obtenu, par un bon observateur, à deux secondes près; mais son état sur l'heure de Paris, grossièrement estimé dans l'hypothèse d'une invariabilité de marche impossible, comporte une erreur bien autrement considérable, différente pour chaque chronomètre et chaque traversée.

Pour apprécier la grandeur de cette erreur, M. Lieussou la calcule pour le cas le plus simple, celui où la température diurne varierait progressivement d'une quantité p par vingt-quatre heures. En prenant pour b, c les valeurs moyennes que fournit la pratique, et faisant l'hypothèse d'un changement de température de 8° en dix jours de navigation, de 12° en vingt jours, de 15° en un mois et de 21° en deux mois, les erreurs en longitude varient, selon les circonstances, entre les limites suivantes :

Pour une traversée de	10 jours : de — 6millies,5	à + 5millies,6.	
	20 jours : de — 18	2 à + 14	1.
	30 jours : de — 32	6 à + 23	1.
	60 jours : de — 82	6 à + 45	0.

On voit combien l'erreur devient grave et dangereuse bientôt pour le navigateur, et par suite combien il serait utile d'employer la méthode qui permet de les corriger, méthode dont l'application pourrait être très-simplifiée, dans la pratique, par l'emploi d'une table donnant immédiatement la correction à faire à la mar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

che du chronomètre, selon l'âge des huiles et la température observés.

Dans tout ce qui précède, on n'a pas tenu compte des perturbations que diverses circonstances inhérentes à la navigation, telles que les tempêtes, le tir du canon, etc., peuvent apporter à la marche d'un chronomètre ; ces perturbations accidentelles sont de courte durée, car elles cessent probablement avec la cause qui les produit; elles ne doivent tout au plus altérer que 5 ou 6 marches sur une traversée de deux mois ; dès lors elles ne sauraient avoir un effet comparable à l'influence progressive du temps et de la température. En tout cas ce n'est que par la même voie empirique que l'on peut tenir compte de ces perturbations, qui pourront être plus facilement appréciées lorsque les effets permanents du temps et de la température auront été mis de côté.

Nous avons fait des emprunts étendus au mémoire de M. Lieussou, parce qu'il nous paraît ouvrir une voie nouvelle. Il part d'un principe parfaitement vrai et qu'on peut généraliser. Tout chronomètre construit solidement, dont les pièces, les assemblages ne s'altèrent pas, donne des résultats de mesure du temps, qui ne varient que par des causes de changements qui peuvent être appréciées par des expériences préparatoires. D'où cet important résultat que l'observation faite avec une formule, une table de correction convenable, pourra donner des résultats d'une merveilleuse exactitude avec des instruments qui n'auront pas exigé des dépenses considérables de réglage, de tâtonnements fort coûteux pour masquer imparfaitement des erreurs notables dans des cas non prévus, mais surtout permettra d'apprécier les perturbations auxquelles les ressources de la mécanique ne donnent pas le moyen de remédier. C'est un important progrès pour la navigation, si intéressée à la précision des observations chronométriques.

CIMENT. (Voy. MORTIER.)

CLASSIFICATION DE L'INDUSTRIE. En regard de la classification des procédés du travail industriel, utilisant les connaissances réunies dans les sciences, que nous avons donnée dans l'INTRODUCTION, nous croyons devoir reproduire ici, comme travail à conserver, la classification formulée par M. Le Play et ses collaborateurs, pour l'Exposition universelle de 1867. Faite pour répondre aux exigences pratiques de cette grande réunion d'objets fabriqués, c'est-à-dire en faisant la part de deux points de vue différents, en tenant compte à la fois de l'importance et de l'utilité de la production, comme de l'intérêt mérité intellectuellement par les difficultés de la fabrication, ce qui conduit à bien des juxtapositions bizarres qui montrent la faible valeur logique de cette classification, elle a l'avantage de représenter une image fidèle du travail humain, sans qu'aucun détail ait pu y échapper, comme il arrive lorsqu'on procède en partant d'une idée préconçue, au lieu de consulter l'expérience.

Les classes y sont réparties en dix groupes, dont le premier et le dixième ne se rapportent pas à des produits industriels proprement dits; nous les avons conservés pour ne pas tronquer cet inventaire complet des œuvres que peut enfanter le travail.

PREMIER GROUPE. — Œuvres d'art.

CLASSE 1re. — *Peintures à l'huile.*

Peintures sur toiles, sur panneaux, sur enduits divers.

CLASSE 2. — *Peintures diverses et dessins.*

Miniatures, aquarelles; pastels et dessins de tout genre; peintures sur émail, sur faïence et sur porcelaine; cartons de vitraux et de fresques.

CLASSE 3. — *Sculptures et gravures sur médailles.*

Sculptures en ronde-bosse. Bas-reliefs. Sculptures repoussées et ciselées. Médailles, camées, pierres gravées. Nielles.

CLASSE 4. — *Dessins et modèles d'architecture.*

Études et fragments. Représentations et projets d'édifice. Restaurations d'après des ruines ou des documents.

CLASSE 5. — *Gravures et lithographies.*

Gravures en noir. Gravures polychromes. Lithographies en noir, au crayon et au pinceau. Chromolithographies.

2e GROUPE. — Matériel et applications des arts libéraux.

CLASSE 6. — *Produits d'imprimerie et de librairie.*

Spécimens de typographie; épreuves autographiques; épreuves de lithographie, en noir ou en couleur; épreuves de gravures.

Livres nouveaux et éditions nouvelles de livres déjà connus; collections d'ouvrages formant des bibliothèques spéciales ; publications périodiques. Dessins, atlas et albums publiés dans un but technique ou pédagogique.

CLASSE 7. — *Objets de papeterie; reliures; matériel des arts de la peinture et du dessin.*

Papiers; cartes et cartons; encres; craies, crayons, pastels. Fournitures de bureau; articles de bureau : encriers, pèse-lettres, etc. Presses à copier.

Objets confectionnés en papier : abat-jour, lanternes, cache-pots, etc.

Registres, cahiers, albums et carnets. Reliures. Reliures mobiles, étuis.

Produits divers pour lavis et aquarelles; couleurs en pains, en pastilles, en vessies, en tubes, en écailles. Instruments et appareils à l'usage des peintres, dessinateurs, graveurs et modeleurs.

CLASSE 8. — *Applications du dessin et de la plastique aux arts usuels.*

Dessins industriels. Dessins obtenus, reproduits ou réduits par procédés mécaniques. Peintures de décors. Lithographies ou gravures industrielles. Modèles et maquettes pour figures, ornements, etc. Objets sculptés. Camées, cachets et objets divers décorés par la gravure. Objets de plastique industrielle obtenus par les procédés mécaniques : réductions, photosculptures, etc. Objets moulés.

CLASSE 9. — *Épreuves et appareils de photographie.*

Héliographies sur papier, sur verre, sur bois, sur étoffe, sur émail. Gravures héliographiques. Épreuves lithophotographiques. Clichés photographiques. Épreuves stéréoscopiques et stéréoscopes. Épreuves obtenues par amplification.

Instruments, appareils et matières premières de la photographie. Matériel des ateliers de photographes.

CLASSE 10. — *Instruments de musique.*

Instruments à vent non métalliques à embouchure simple, à bec de sifflet, à anches avec ou sans réservoir d'air. Instruments à vent métalliques : simples, à rallonges, à coulisses, à pistons, à clefs, à anches. Instruments à vent à clavier : orgues, accordéons, etc. Instruments à cordes, pincées ou archet, sans clavier. Instruments à cordes, à clavier : pianos, etc. Instruments à percussion ou à frottement. Instruments automatiques : orgues de Barbarie, serinettes, etc. Pièces détachées et objets du matériel des orchestres.

CLASSE 11. — *Appareils et instruments de l'art médical; ambulances civiles et militaires.*

Appareils et instruments de pansement et de petite chirurgie. Instruments d'exploration médicale. Appareils et instruments de chirurgie.

Trousses et caisses d'instruments et de médicaments, spécialement destinées aux chirurgiens de l'armée et de la marine, aux vétérinaires, aux dentistes, oculistes, etc. Appareils de secours aux noyés et aux asphyxiés, etc. Appareils d'électrothérapie. Appareils d'anesthésie locale et générale. Appareils de prothèse plastique et mécanique. Appareils d'orthopédie, bandages herniaires, etc. Appareils divers destinés aux malades, aux infirmes, aux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aliénés. Objets accessoires du service médical, chirurgical et pharmaceutique des hôpitaux et infirmeries. Matériel des recherches anatomiques. Appareils destinés aux recherches de médecine légale. Matériel spécial de la médecine vétérinaire. Appareils balnéatoires, hydrothérapiques, etc. Appareils et instruments destinés à l'éducation physique des enfants; gymnastique médicale et hygiénique. Matériel des secours à donner aux blessés sur le champ de bataille. Ambulances civiles et militaires, destinées au service des armées de terre et de mer.

CLASSE 12. — *Instruments de précision et matériel de l'enseignement des sciences.*

Instruments de géométrie pratique: compas, verniers, vis micrométriques, planimètres, machines à calculer, etc. Appareils et instruments d'arpentage, de topographie, de géodésie et d'astronomie. Matériel des divers observatoires.

Appareils et instruments des arts de précision. Mesures et poids des divers pays. Monnaies et médailles. Balances de précision. Appareils et instruments de physique et de météorologie. Instruments d'optique usuels. Matériel de l'enseignement des sciences physiques, de la géométrie élémentaire, de la géométrie descriptive, de la stéréotomie, de la mécanique. Modèles et instruments destinés à l'enseignement technologique en général. Collections pour l'enseignement des sciences naturelles. Figures et modèles pour l'enseignement des sciences médicales, etc., pièces d'anatomie plastique, etc.

CLASSE 13. — *Cartes et appareils de géographie et de cosmographie.*

Cartes et atlas topographiques, géographiques, géologiques, hydrographiques, astronomiques, etc. Cartes marines. Cartes physiques de toutes sortes. Plans en relief. Globes et sphères célestes. Appareils pour l'étude de la cosmographie. Ouvrages et travaux de statistique. Tables et éphémérides à l'usage des astronomes et des marins.

3e GROUPE. — Meubles et autres objets destinés à l'habitation.

CLASSE 14. — *Meubles de luxe.*

Buffets, bibliothèques, tables, toilettes; lits; canapés; siéges; billards, etc.

CLASSE 15. — *Ouvrages de tapissier et de décorateur.*

Objets de literie. Siéges garnis, baldaquins, rideaux, tentures d'étoffes et de tapisseries. Objets de décoration et d'ameublement en pierres et en matières précieuses. Pâtes moulées, et objets de décoration en plâtre, cartonpierre, etc. Cadres. Peintures en décors. Meubles, ornements et décors pour les services religieux.

CLASSE 16. — *Cristaux, verrerie de luxe, et vitraux.*

Gobeletterie de cristal, cristaux taillés, cristaux doublés, cristaux montés, etc. Gobeletterie ordinaire, verrerie commune et bouteilles. Verres à vitres et à glaces. Verres façonnés, émaillés, craquelés, filigranés, etc. Verres, cristaux d'optique, objets d'ornement, etc. Vitraux peints.

CLASSE 17. — *Porcelaines, faïences et autres poteries de luxe.*

Biscuits. Porcelaines dures et porcelaines tendres. Faïences fines à couverte colorée, etc. Biscuits de faïence. Terres cuites. Laves émaillées. Grès cérames.

CLASSE 18. — *Tapis, tapisseries et autres objets d'ameublement.*

Tapis, moquettes, tapisseries, épinglés ou veloutés. Tapis de feutre, de drap, de tontisse, de soie ou de bourre de soie. Tapis de sparterie, nattes. Tapis de caoutchouc. Tissus d'ameublement, de coton, de laine ou de soie, unis ou façonnés. Tissus de crin. Cuirs végétaux, moleskines, etc. Cuirs de tenture et d'ameublement. Toiles cirées.

CLASSE 19. — *Papiers peints.*

Papiers imprimés à la planche, au rouleau, à la machine. Papiers veloutés, marbrés, veinés, etc. Papiers pour cartonnages, reliures, etc. Papiers à sujets artistiques. Stores peints ou imprimés.

CLASSE 20. — *Coutellerie.*

Couteaux, canifs, ciseaux, rasoirs, etc. Produits divers de la coutellerie.

CLASSE 21. — *Orfévrerie.*

Orfévrerie religieuse, orfévrerie de décoration et de table, orfévrerie pour ustensiles de toilette, de bureau, etc.

CLASSE 22. — *Bronzes d'art, fontes d'art diverses et ouvrages en métaux repoussés.*

Statues et bas-reliefs de bronze, de fonte de fer, de zinc, etc. Bronze de décoration ou d'ornement. Imitations de bronzes en fonte, en zinc, etc. Fontes revêtues d'enduits métalliques par galvanoplastie. Repoussés en cuivre, en plomb, en zinc, etc.

CLASSE 23. — *Horlogerie.*

Pièces détachées d'horlogerie. Horloges, pendules, montres, chronomètres régulateurs. Compteurs à secondes, à pointage, etc. Appareils pour la mesure du temps : sabliers, clepsydres. Horloges électriques.

CLASSE 24. — *Appareils et procédés de chauffage et d'éclairage.*

Foyers, cheminées, poêles et calorifères. Objets accessoires du chauffage. Fourneaux. Appareils pour le chauffage au gaz. Appareils de chauffage par circulation d'eau chaude ou d'air chaud. Appareils de ventilation. Appareils de dessiccation; étuves. Lampes d'émailleur, chalumeaux, forges portatives. Lampes servant à l'éclairage au moyen des huiles animales, végétales ou minérales. Accessoires de l'éclairage. Allumettes. Appareils et objets accessoires de l'éclairage au gaz. Lampes photo-électriques. Appareils pour l'éclairage au moyen du magnésium, etc.

CLASSE 25. — *Parfumerie.*

Cosmétiques et pommades. Huiles parfumées; essences parfumées, extraits et eaux de senteur, vinaigres aromatisés; pâtes d'amandes, poudres, pastilles et sachets parfumés; parfums à brûler. Savons de toilette.

CLASSE 26. — *Objets de maroquinerie, de tabletterie et de vannerie.*

Nécessaires et petits meubles de fantaisie, caves à liqueurs, boîtes à gants, coffrets. Trousses et sacs, écrins. Porte-monnaie, portefeuilles, carnets, porte-cigares. Objets tournés, guillochés, sculptés, gravés, en bois, en ivoire, en écaille, etc. Tabatières, pipes. Peignes de luxe; objets de brosserie fine de toilette. Objets divers en laque. Corbeilles et paniers de fantaisie, clissages et objets de sparterie fine.

4e GROUPE. — Vêtements (tissus compris) et autres objets portés par la personne.

CLASSE 27. — *Fils et tissus de coton.*

Cotons préparés et filés. Tissus de coton pur, unis ou façonnés. Tissus de coton mélangé. Velours de coton. Rubanerie de coton.

CLASSE 28. — *Fils et tissus de lin et de chanvre.*

Lins, chanvres et autres fibres végétales filées. Toiles et coutils. Batistes. Tissus de fil avec mélange de coton ou de soie. Tissus de fibres végétales, équivalents du lin et du chanvre.

CLASSE 29. — *Fils et tissus de laines peignées.*

Laines peignées; fils de laine peignée. Mousselines, cachemire d'Écosse, mérinos, serges, etc. Rubans et galons de laine mélangée de coton ou de fil, de soie ou de bourre de soie. Tissus de poils purs ou mélangés.

CLASSE 30. — *Fils et tissus de laine cardée.*

Laines cardées; fils de laine cardée. Draps et autres tissus foulés de laine cardée. Couvertures. Feutres de laine ou poil pour tapis, chapeaux, chaussons. Tissus de laine cardée non foulés ou légèrement foulés : flanelles, tartans, molletons.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CLASSE 31. — *Fils et tissus de soie.*

Soies grèges et moulinées. Fils de bourre de soie. Tissus de soie pure, unis, façonnés, brochés. Étoffes de soie mélangée d'or, d'argent, de coton, de laine, de fil. Tissus de bourre de soie, pure ou mélangée. Velours et peluches. Rubans de soie pure ou mélangée.

CLASSE 32. — *Châles.*

Châles de laine pure ou mélangée. Châles de cachemire. Châles de soie, etc.

CLASSE 33. — *Dentelles, tulles, broderies et passementeries.*

Dentelles de fil ou de coton faites au fuseau, à l'aiguille ou à la mécanique. Dentelles de soie, de laine ou de poil de chèvre. Dentelles d'or ou d'argent. Tulles de soie ou de coton, unis ou brochés. Broderies au plumetis, au crochet, etc. Broderies d'or, d'argent, de soie. Broderies-tapisseries et autres ouvrages à la main. Passementeries en fin et en faux. Passementeries spéciales pour équipement militaire.

CLASSE 34. — *Articles de bonneterie et de lingerie. objets accessoires du vêtement.*

Bonneterie de coton, de fil, de laine ou de cachemire, de soie ou de bourre de soie, purs ou mélangés. Lingerie confectionnée pour hommes, pour femmes et pour enfants. Layettes. Confections de flanelles et autres tissus de laine. Corsets. Cravates. Gants. Guêtres. Éventails; écrans. Parapluies, ombrelles, cannes, etc.

CLASSE 35. — *Habillements des deux sexes.*

Habits d'homme; habits de femme. Coiffures d'homme; coiffures de femme. Perruques et ouvrages en cheveux. Chaussures. Confections pour enfants. Vêtements spéciaux aux diverses professions.

CLASSE 36. — *Joaillerie, bijouterie.*

Bijoux en métaux précieux (or, platine, argent, aluminium), ciselés, filigranés, ornés de pierres fines, etc. Bijoux en doublé et en faux. Bijoux en jaïet-ambre, corail, nacre, acier, etc. Diamants, pierres fines, perles et imitations.

CLASSE 37. — *Armes portatives.*

Armes défensives; boucliers, cuirasses, casques. Armes contondantes: massues, casse-tête. Armes blanches: fleurets, épées, sabres, baïonnettes, lances, haches. Couteaux de chasse. Armes de jet: arcs, arbalètes, frondes. Armes à feu: fusils, carabines, pistolets, revolvers. Objets accessoires d'arquebuserie: poudrières, moules à balles. Projectiles sphériques, oblongs, creux, explosibles. Capsules, amorces, cartouches.

CLASSE 38. — *Objets de voyage et de campement.*

Malles, valises, sacoches, etc. Nécessaires et trousses de voyage. Objets divers: couvertures de voyage; coussins; coiffures, costumes et chaussures de voyage, bâtons ferrés et à grappins, parasols, etc. Matériel portatif spécialement destiné aux voyages et aux expéditions scientifiques: appareils de photographie. Instruments pour les observations astronomiques et météorologiques; nécessaires et bagages du géologue, du minéralogiste, du naturaliste, du colon pionnier, etc. Tentes et objets de campement. Mobilier des tentes militaires: lits, hamacs, sièges pliants. Cantines; moulins, fours de campagne, etc.

CLASSE 39. — *Bimbeloterie.*

Poupées et jouets. Figures de cire et figurines. Jeux destinés aux récréations des enfants ou des adultes. Jouets instructifs.

5e GROUPE. — Produits (bruts et ouvrés) des industries extractives.

CLASSE 40. — *Produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie.*

Collections et échantillons de roches, minéraux et minerais. Roches d'ornement: marbres, serpentines, onyx. Roches dures. Matériaux réfractaires. Terres et argiles. Produits minéraux divers. Soufre brut. Sel gemme, sel des sources salées. Bitumes et pétroles. Échantillons de combustibles crus et carbonisés. Agglomérés de houille. Métaux bruts: fontes, fers, aciers, fers aciéreux, cuivre, plomb, argent, zinc, etc. Alliages métalliques. Produits de l'art du laveur de cendres et de l'affineur de métaux précieux, du batteur d'or, etc. Produits de l'électro-métallurgie: objets dorés, argentés, cuivrés, aciérés, etc., par la galvanoplastie. Produits de l'élaboration des métaux bruts: fontes moulées; cloches; fers marchands; fers spéciaux; tôles et fers-blancs; tôles extra pour blindages et constructions. Tôles de cuivre, de plomb, de zinc. Métaux ouvrés: pièces de forge et de grosse serrurerie; roues et bandages; tubes sans soudure; chaînes, etc. Produits de la tréfilerie. Aiguilles, épingles, treillages, tissus métalliques, tôles perforées. Produits de la quincaillerie, de la taillanderie, de la ferronnerie, de la chaudronnerie, de la tôlerie et de la ferblanterie. Métaux ouvrés divers,

CLASSE 41. — *Produits des exploitations et des industries forestières.*

Échantillons d'essences forestières. Bois d'œuvre, de chauffage et de construction; bois ouvrés pour la marine; merrains, bois de fente. Liéges; écorces textiles. Matières tannantes, colorantes, odorantes, résineuses, etc. Produits des industries forestières: bois torréfiés et charbons; potasses brutes; objets de boisselleries, de vannerie, de sparterie; sabots, etc.

CLASSE 42. — *Produits de la chasse, de la pêche et des cueillettes.*

Collections et dessins d'animaux terrestres et amphibies, d'oiseaux, d'œufs, de poissons, de cétacés, de mollusques et de crustacés. Produits de la chasse: fourrures et pelleteries, poils, crins, plumes, duvets, cornes, dents, ivoire, os; écaille, musc, castoréum et produits analogues. Produits de la pêche: huile de baleine, sperma ceti, etc.; fanons de baleine; ambre gris; coquilles de mollusques, perles, nacres, sépia, pourpre; coraux, éponges.

Produits des cueillettes ou récoltes obtenues sans cultures: champignons, truffes, fruits sauvages, lichens employés pour teintures, aliments et fourrages; séves fermentées; quinquinas; écorces et filaments utiles; cires, gommes-résines; caoutchouc brut, gutta-percha, etc.

CLASSE 43. — *Produits agricoles (non alimentaires) de facile conservation.*

Matières textiles: cotons bruts, lin et chanvre tillés et non tillés, fibres végétales textiles de toute nature; laines brutes lavées ou non lavées; cocons de vers à soie. Produits agricoles divers, employés dans l'industrie, dans la pharmacie et dans l'économie domestique: plantes oléagineuses, huiles, cires, résines. Tabacs en feuilles ou fabriqués. Amadou. Matières tannantes et tinctoriales. Fourrages conservés et matières spécialement destinées à la nourriture des bestiaux.

CLASSE 44. — *Produits chimiques et pharmaceutiques.*

Acides, alcalis. Sels de toutes sortes. Sel marin et produits de l'exploitation des eaux mères. Produits divers des industries chimiques: cires et corps gras; savons et bougies; matières premières de la parfumerie; résines, goudrons et corps dérivés; essences et vernis; enduits divers, cirages. Produits de l'industrie du caoutchouc et de la gutta-percha; substances tinctoriales et couleurs. Eaux minérales et eaux gazeuses, naturelles ou artificielles. Matières premières de la pharmacie. Médicaments simples et composés.

CLASSE 45. — *Spécimens des procédés chimiques de blanchiment, de teinture, d'impression et d'apprêt.*

Échantillons de fils et tissus teints. Échantillons de préparations pour la teinture. Toiles imprimées ou teintes. Tissus de coton, pur ou mélangé, imprimés. Tissus de laine, pure ou mélangée, peignée ou cardée, imprimés. Tissus de soie, pure ou mélangée, imprimés. Tapis de feutre ou de drap imprimés. Toiles cirées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CLASSE 46. — *Cuirs et peaux.*

Matières premières employées dans la préparation des peaux et des cuirs. Peaux vertes, peaux salées. Cuirs tannés, corroyés, apprêtés ou teints. Cuirs vernis. Maroquins et basanes. Peaux hongroyées, chamoisées, mégissées, apprêtées ou teintes. Peaux préparées pour la ganterie. Pelleteries et fourrures apprêtées ou teintes. Parchemins. Articles de boyauderie; cordes pour instruments de musique, baudruche, nerfs de bœuf, etc.

6e GROUPE. — Instruments et procédés des arts usuels.

CLASSE 47. — *Matériel et procédés de l'exploitation des mines et de la métallurgie.*

Matériel des sondages des recherches, pour puits artésiens et pour puits à grande section. Machines à forer les trous de mine, à abattre la houille et à débiter les roches. Appareils pour le tirage électrique des mines. Modèles, plans et vues de travaux d'exploitation de mines et carrières. Travaux de captage des eaux minérales. Échelles de mines mues par des machines. Matériel de l'extraction. Machines d'épuisement, pompes. Appareils d'aérage; ventilateurs. Lampes de sûreté, lampes photo-électriques. Appareils de sauvetage, parachutes, signaux, Appareils de préparation mécanique des minerais et des combustibles minéraux. Appareils à agglomérer les combustibles. Appareils pour la carbonisation des combustibles. Foyers et fourneaux métalliques; appareils fumivores. Matériel des usines métallurgiques. Matériel spécial des forges et fonderies. Appareils d'électro-métallurgie. Matériel des ateliers d'élaboration des métaux sous toutes les formes.

CLASSE 48. — *Matériel et procédés des exploitations rurales et forestières.*

Plans de culture, assolements et aménagements agricoles. Matériel et travaux du génie agricole; desséchements, drainage, irrigations. Plans et modèles de bâtiments ruraux. Outils, instruments, machines et appareils servant au labourage et autres façons données à la terre, à l'ensemencement et aux plantations, à la récolte, à la préparation et à la conservation des produits de la culture. Matériel des charrois et des transports ruraux. Machines locomobiles et manèges. Matières fertilisantes d'origine organique ou minérale. Appareils pour l'étude physique et chimique des sols. Plans de systèmes de reboisement, d'aménagement, de culture des forêts. Matériel des exploitations et des industries forestières.

CLASSE 49. — *Engins et instruments de la chasse, de la pêche et des cueillettes.*

Armes, pièges, engins et équipements de chasse. Lignes et hameçons. Harpons. Filets. Appareils et appâts de pêche. Appareils et instrumens pour la récolte des produits obtenus sans culture.

CLASSE 50. — *Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.*

Matériel des usines agricoles; fabrique d'engrais artificiels, de tuyaux de drainage; fromageries et laiteries; minoteries, féculeries, amidoneries; huileries, brasseries, distilleries; sucreries, raffineries; ateliers pour la préparation des matières textiles; magnaneries, etc. Matériel de la fabrication des produits alimentaires : pétrisseurs et fours mécaniques pour boulangers, ustensiles de pâtisserie et de confiserie. Appareils pour la fabrication des pâtes alimentaires. Machines à faire le biscuit de mer. Machines à préparer le chocolat. Appareils pour la torréfaction du café. Préparation des glaces et des sorbets; fabrication de la glace.

CLASSE 51. — *Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie.*

Ustensiles et appareils de laboratoires. Appareils et instruments destinés aux essais industriels et commerciaux. Matériel et appareils des fabriques de produits chimiques, de savons, de bougies. Matériel et procédés de la fabrication des essences, des vernis, des objets en caoutchouc et en gutta-percha. Matériel et appareils des usines à gaz. Matériel et procédés des blanchisseries. Matériel de la préparation des produits pharmaceutiques. Matériel des ateliers de tannerie et de mégisserie. Matériel et procédés des verreries et des fabriques de porcelaine.

CLASSIFICATION.

CLASSE 52. — *Moteurs, générateurs et appareils mécaniques spécialement adaptés aux besoins de l'Exposition.*

Chaudières et générateurs de vapeur avec leurs appareils de sûreté. Conduites de vapeur et appareils accessoires. Arbres de couche. Poulies de renvoi, courroies. Organes de mise en marche, d'arrêt, d'embrayage et de débrayage. Moteurs employés pour fournir l'eau et la force motrice nécessaires dans les diverses parties du Palais et du Parc. Grues et appareils de toute sorte proposés pour la manutention des colis. Rails et plaques tournantes proposés pour la manutention des colis, des fourrages, des fumiers et pour les autres services du Palais et du Parc.

CLASSE 53. — *Machines et appareils de la mécanique générale.*

Pièces de mécanisme détachées : supports, galets, glissières, excentriques, engrenages, bielles, parallélogrammes et joints, courroies, systèmes funiculaires, etc. Embrayages, déclics, etc. Régulateurs et modérateurs de mouvement. Appareils de graissage. Compteurs et enregistreurs. Dynamomètres, manomètres, instruments de pesage. Appareils de jaugeage des liquides et des gaz. Machines servant à la manœuvre des fardeaux. Machines hydrauliques élévatoires : norias, pompes, tympans, béliers hydrauliques, etc. Récepteurs hydrauliques : roues, turbines, machines à colonne d'eau. Machines motrices à vapeur. Chaudières, générateurs de vapeur et appareils accessoires. Appareils de condensation des vapeurs. Machines à vapeur d'éther, de chloroforme, d'ammoniaque; à vapeurs combinées. Machines à gaz, à air chaud, à air comprimé. Moteurs électro-magnétiques. Moulins à vent et panémones. Aérostats.

CLASSE 54. — *Machines-outils.*

Machines-outils servant au travail préparatoire des bois. Tours et machines à aléser et à raboter. Machines à mortaiser, à percer, à découper. Machines à tarauder, à fileter, à river. Outils divers des ateliers de constructions mécaniques. Outils, machines et appareils servant à presser, à broyer, à malaxer, à scier, à polir, etc. Machines-outils spéciales à diverses industries.

CLASSE 55. — *Matériel et procédés du filage et de la corderie.*

Matériel du filage à la main. Pièces détachées appartenant au matériel des filatures. Machines et appareils servant à la préparation et à la filature des matières textiles. Appareils et procédés destinés aux opérations complémentaires : étirage, dévidage, retordage, moulinage, apprêts mécaniques. Appareils pour le conditionnement et le tirage des fils. Matériel des ateliers de corderie. Câbles ronds, plats, diminués, cordes et ficelles, câbles en fils métalliques, câbles à âme métallique, mèches à feu, étoupilles, etc.

CLASSE 56. — *Matériel et procédés du tissage.*

Appareils destinés aux opérations préparatoires du tissage : machines à ourdir, à bobiner. Lisages. Métiers ordinaires et mécaniques pour la fabrication des tissus unis. Métiers pour la fabrication des étoffes façonnées et brochées, battants-brocheurs, métiers électriques. Métiers à fabriquer les tapis et les tapisseries. Métiers à mailles pour la fabrication de la bonneterie et des tulles. Matériel de la fabrication de la dentelle. Matériel des fabriques de passementerie. Métiers de haute lisse et procédés d'espoulinage. Appareils accessoires : machines à fouler, calendrer, ganfrer, moirer, métrer, plier, etc.

CLASSE 57. — *Matériel et procédés de la couture et de la confection des vêtements.*

Outils ordinaires des ateliers de couture et de con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fection. Machines à coudre, à piquer, à ourler, à broder. Scies à découper les étoffes et les cuirs pour la confection des vêtements et des chaussures. Machines à faire, à clouer et à visser les chaussures.

CLASSE 58. — *Matériel et procédés de la confection des objets de mobilier et d'habitation.*

Machines à débiter les bois de placage. Scies à découper, à chantourner, etc. Machines à faire les moulures, les baguettes de cadre, les feuilles de parquet, les meubles; etc. Tours et appareils divers des ateliers de menuiserie et d'ébénisterie. Machines à estamper et à emboutir. Machines et appareils pour le travail du stuc, du carton-pâte, de l'ivoire, de l'os, de la corne. Machines à mettre au point, à sculpter, à réduire les statues, à graver, à guillocher, etc. Machines à scier et polir les pierres dures, les marbres, etc.

CLASSE 59. — *Matériel et procédés de la papeterie, des teintures et des impressions.*

Matériel de l'impression des papiers peints et des tissus. Machines à graver les rouleaux d'impression. Matériel du blanchiment, de la teinture et de l'apprêt des papiers et des tissus. Matériel de la fabrication du papier à la cuve et à la machine. Appareils pour gaufrer, régler, glacer, moirer le papier. Machines à découper, rogner, timbrer les papiers, etc. Matériel, appareils et produits des fonderies en caractères, clichés, etc, Machines et appareils employés dans la typographie, la stéréotypie, l'impression en taille-douce, l'autographie, la lithographie, la calchographie, la paniconographie, la chromolithographie, etc. Impressions des timbres-poste. Machines à composer et à trier les caractères.

CLASSE 60. — *Machines, instruments et procédés usités dans divers travaux.*

Presses monétaires. Machines servant à la fabrication des boutons, des plumes, des épingles, des enveloppes de lettres, à empaqueter, à confectionner les brosses, les cardes, à fabriquer les capsules, à plomber les marchandises, à boucher les bouteilles, etc. Outillages et procédés de la fabrication des objets d'horlogerie, de bimbeloterie, de marqueterie, de vannerie, etc.

CLASSE 61. — *Carrosserie et charronnage.*

Pièces détachées de charronnage et de carrosserie : roues, bandages, essieux, boîtes de roues; ferrures, etc. Ressorts et systèmes divers de suspension. Systèmes d'attelage. Freins. Produits de charronnage : chariots, tombereaux, camions, véhicules à destination spéciale. Produits de la carrosserie : voitures publiques, voitures d'apparat, voitures particulières ; chaises à porteurs, litières, traîneaux, etc.; vélocipèdes.

CLASSE 62. — *Bourrelerie et sellerie.*

Articles de harnachement et d'éperonnerie : bâts, selles, cacolets; brides et harnais pour montures, pour bêtes de somme et de trait; étriers, éperons; fouets et cravaches.

CLASSE 63. — *Matériel des chemins de fer.*

Pièces détachées : ressorts, tampons, freins, etc. Matériel fixe : rails, coussinets, éclisses, changements de voie, aiguilles, plaques tournantes; tampons de choc; grues d'alimentation et reservoirs, signaux optiques et acoustiques. Matériel roulant : wagons à terrassement, à marchandises, à bestiaux, à voyageurs; locomotives, tenders. Machines spéciales et outillage des ateliers d'entretien, de réparation et de construction du matériel. Matériel et machines pour plans inclinés et plans automoteurs; matériel pour chemins de fer atmosphériques; modèles de machines, de systèmes de traction, d'appareils relatifs aux voies verrées. Modèles, plans et dessins de gares, de stations, de remises et de dépendances de l'exploitation des chemins de fer.

CLASSE 64. — *Matériel et procédés de la télégraphie.*

Appareils de télégraphie fondés sur la transmission de la lumière, du son, etc. Matériel de la télégraphie électrique : supports, conducteurs, tendeurs, etc.; piles électriques pour la télégraphie; appareils manipulateurs et récepteurs. Sonneries et signaux électriques. Objets accessoires des services télégraphiques : parafoudres, commutateurs, papiers préparés pour télégraphes imprimant et transmissions autographiques. Matériel spécial de la télégraphie sous-marine.

CLASSE 65. — *Matériel et procédés du génie civil, des travaux publics et de l'architecture.*

Matériaux de construction : roches, bois, métaux; pierres d'ornement; chaux, mortier, ciment, pierres artificielles et bétons; tuiles, briques, carreaux; ardoises, cartons et feutres pour couvertures. Matériel et produits des procédés employés pour la conservation des bois. Appareils et instruments pour l'essai des matériaux de construction. Matériel des travaux de terrassement; excavateurs. Appareils des chantiers de construction. Outillages et procédés de l'appareilleur, du tailleur de pierres, du maçon, du charpentier, du couvreur, du serrurier, du menuisier, du vitrier, du plombier, du peintre en bâtiments, etc. Serrurerie fine : serrures, cadenas; grilles, balcons, rampes d'escalier, etc. Matériel et engins des travaux de fondations : sonnettes, pilotis, pieux à vis; pompes, appareils pneumatiques; dragues, etc. Matériel des travaux hydrauliques, des ports de mer, des canaux, des rivières. Matériel et appareils servant aux distributions d'eau et de gaz. Matériel de l'entretien des routes, des plantations et des promenades. Modèles, plans et dessins de travaux publics : ponts, viaducs, aqueducs, égouts, ponts-canaux, etc.; phares, monuments publics de destination spéciale; constructions civiles : hôtels et maisons à loyer; cités ouvrières, etc.

CLASSE 66. — *Matériel de la navigation et du sauvetage.*

Dessins et modèles de cales, bassins de radoub, docks flottants, etc. Dessins et modèles des bâtiments de tout genre, usités pour la navigation fluviale et maritime. Types et modèles des systèmes de construction adoptés dans la marine. Appareils employés dans la navigation. Canots et embarcations. Matériel du gréement des navires. Pavillons et signaux. Bouées et balises, etc. Matériel et exercices de natation, de plongeage et de sauvetage; flotteurs, ceintures de natation, etc. Cloches à plongeur; nautilus, scaphandre, etc. Bateaux sous-marins. Matériel de sauvetage maritime, porte-amarres, bateaux dits *life-boats*, etc. Matériel du sauvetage pour les incendies et autres accidents de divers genres.

CLASSE 66 *bis.* — *Navigation de plaisance.*

7e GROUPE. — Aliments (frais ou conservés) à divers degrés de préparation.

CLASSE 67. — *Céréales et autres produits farineux comestibles, avec leurs dérivés.*

Froments, seigle, orge, riz, maïs, millet et autres céréales en grain et en farine. Grains mondés et gruaux. Fécules de pommes de terre, de riz, de lentilles, etc. Gluten. Tapioca, sagou, arrow-root, cassave et autres fécules. Produits farineux mixtes, etc. Pâtes dites d'Italie, semoules, vermicelles, macaronis. Préparations alimentaires propres à remplacer le pain : nouilles, bouillies, pâtes de fabrication domestique, etc.

CLASSE 68. — *Produits de la boulangerie et de la pâtisserie.*

Pains divers, avec ou sans levain. Pains de fantaisie et pains façonnés. Pains comprimés pour voyages, campagnes militaires, etc. Biscuits de mer. Produits divers de pâtisserie propres à chaque nation. Pains d'épice et gâteaux secs susceptibles de se conserver.

CLASSE 69. — *Corps gras alimentaires ; laitage et œufs.*

Graisses et huiles comestibles. Lait frais et conservé. Beurre frais et salé. Fromages. Œufs de toute sorte.

CLASSE 70. — *Viandes et poissons.*

Viandes fraîches et salées de toute nature. Viandes conservées par divers procédés. Tablettes de viande et de bouillon. Jambons et préparations de viandes. Vo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CLASSIFICATION.

lailles et gibier. Poissons frais. Poissons salés, encaqués: morues, harengs, etc. Poissons conservés dans l'huile : sardines, thon mariné, etc. Crustacés et coquillages: homards, crevettes, huitres; conserves d'huitres, d'anchois, etc.

CLASSE 71. — *Légumes et fruits.*

Tubercules : pommes de terre, etc. Légumes farineux secs : haricots, lentilles, etc. Légumes verts à cuire : choux, etc. Légumes racines : carottes, navets, etc. Légumes épices : oignons, ail, etc, Salades. Cucurbitacées ; citrouilles, melons, etc. Légumes conservés par le sel, par le vinaigre ou par la fermentation acétique; choucroute, etc. Légumes conservés par divers procédés. Fruits à l'état frais. Fruits secs et préparés : prunes, figues, raisins, etc. Fruits conservés sans le secours du sucre.

CLASSE 72. — *Condiments et stimulants; sucres et produits de la confiserie.*

Épices : poivre, cannelle, piments, etc. Sel de table. Vinaigres, condiments et stimulants composés : moutardes, kari, sauces anglaises, etc. Thés, cafés et boissons aromatiques. Cafés de chicorée et de glands doux. Chocolats. Sucres destinés aux usages domestiques. Sucres de raisin, de lait, etc. Produits divers de la confiserie : dragées, bonbons de sucre fondants, nougats, angélique, anis, etc. Confitures et gelées. Fruits confits : cédrats, citrons, oranges, ananas. Fruits à l'eau-de-vie. Sirops et liqueurs sucrées.

CLASSE 73. — *Boissons fermentées.*

Vins ordinaires, rouges et blancs. Vins de liqueur et vins cuits. Vins mousseux. Cidres, poirés et autres boissons tirées des fruits. Bières et autres boissons tirées des céréales. Boissons fermentées tirées des sèves végétales, du lait et des matières sucrées de toute nature. Eaux-de-vie et alcools. Boissons spiritueuses : genièvre, rhum, tafia, kirsch, etc.

8e GROUPE. — Produits vivants et spécimens d'établissements de l'agriculture.

CLASSE 74. — *Spécimens d'exploitations rurales et d'usines agricoles.*

Types des bâtiments ruraux des diverses contrées. Matériel des écuries, étables, chenils, etc. Appareils pour préparer la nourriture des animaux. Machines agricoles en mouvement : charrues à vapeur, moissonneuses, faucheuses, faneuses, batteuses, etc. Types d'usines agricoles : distilleries, sucreries, raffineries; brasseries; minoteries, féculeries, amidonneries; magnaneries, etc. Pressoirs pour le vin, le cidre, l'huile, etc.

CLASSE 75. — *Chevaux, ânes, mulets, etc.*

Animaux présentés comme spécimens caractéristiques de l'art de l'éleveur dans chaque contrée. Types d'écuries.

CLASSE 76. — *Bœufs, buffles, etc.*

Animaux présentés comme spécimens caractéristiques de l'art de l'éleveur dans chaque contrée. Types d'étables.

CLASSE 77. — *Moutons, chèvres.*

Animaux présentés comme spécimens caractéristiques de l'art de l'éleveur dans chaque contrée. Types de bergeries, de parcs à moutons et d'établissements analogues.

CLASSE 78. — *Porcs, lapins, etc.*

Animaux présentés comme spécimens caractéristiques de l'art de l'éleveur dans chaque contrée. Types de porcheries et des établissements propres à l'élevage des animaux de cette classe.

CLASSE 79. — *Oiseaux de basse-cour.*

Animaux présentés comme spécimens caractéristiques de l'art de l'éleveur dans chaque contrée. Types des poulaillers, des pigeonniers, des faisanderies, etc. Appareils d'éclosion artificielle.

CLASSE 80. — *Chiens de chasse et de garde.*

Chiens de berger, chiens de garde. Chiens de chasse. Types de chenils et engins de dressage.

CLASSE 81. — *Insectes utiles.*

Abeilles. Vers à soie et bombyx divers. Cochenilles, insectes producteurs de laque, etc. Matériel de l'élevage des abeilles et des vers à soie.

CLASSE 82. — *Poissons, crustacés et mollusques.*

Animaux aquatiques utiles, à l'état vivant. Aquariums. Matériel de l'élevage des poissons, des mollusques et des sangsues.

9e GROUPE. — Produits vivants et spécimens d'établissements de l'horticulture.

CLASSE 83. — *Serres et matériel de l'horticulture.*

Outils du jardinier, du pépiniériste et de l'horticulteur. Appareils d'arrosement, d'entretien des gazons, etc. Grandes serres et leurs accessoires. Petites serres d'appartements et de fenêtre. Aquariums pour plantes aquatiques. Jets d'eaux et autres appareils pour l'ornementation des jardins.

CLASSE 84. — *Fleurs et plantes d'ornement.*

Espèces de plantes et spécimens de cultures rappelant les types caractéristiques des jardins et des habitations de chaque contrée.

CLASSE 85. — *Plantes potagères.*

Espèces de plantes et spécimens de cultures rappelant les types caractéristiques des jardins potagers de chaque contrée.

CLASSE 86. — *Fruits et arbres fruitiers.*

Espèces de plantes et spécimens de cultures rappelant les types caractéristiques des vergers de chaque contrée.

CLASSE 87. — *Graines et plants d'essences forestières.*

Espèces de plantes et spécimens de cultures rappelant les procédés de repeuplement des forêts, usités dans chaque pays.

CLASSE 88. — *Plantes de serres.*

Spécimens des cultures usitées dans divers pays, en vue de l'agrément et de l'utilité.

10e GROUPE. — Objets spécialement exposés en vue d'améliorer la condition physique et morale de la population.

CLASSE 89. — *Matériel et méthode de l'enseignement des enfants.*

Plans et modèles des bâtiments scolaires. Mobiliers d'école. Appareils, instruments, modèles, cartes murales conçus en vue de faciliter l'enseignement des enfants. Collections élémentaires propres à l'enseignement des notions scientifiques usuelles. Modèles de dessins. Tableaux et appareils propres à l'enseignement du chant et de la musique. Appareils et tableaux propres à l'enseignement des aveugles et des sourds-muets. Livres d'école, atlas, cartes et tableaux. Publications périodiques et journaux d'éducation. Travaux d'élèves des deux sexes.

CLASSE 90. — *Bibliothèque et matériel de l'enseignement donné aux adultes dans la famille, l'atelier, la commune ou la corporation.*

Ouvrages propres à former la bibliothèque usuelle du chef de famille, du chef d'atelier, du cultivateur, de l'institut communal, du marin, du naturaliste voyageur, etc. Almanachs, aide-mémoire et autres publications utiles destinées au colportage. Matériel des bibliothèques scolaires, communales, etc. Matériel des cours techniques nécessaires à l'exercice de certaines professions manuelles.

CLASSE 91. — *Meubles, vêtements et aliments de toute origine distingués par les qualités utiles, unies au bon marché.*

Collection méthodique d'objets (énumérés au IIIe, IVe et VIIe groupes) livrés au commerce par de grandes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fabriques ou par des ouvriers chefs de métier et spécialement recommandés au point de vue d'une bonne économie domestique.

CLASSE 92. — *Spécimens des costumes populaires des diverses contrées.*

Collection méthodique de costumes des deux sexes, pour tous les âges et pour les professions les plus caractéristiques de chaque contrée.

CLASSE 93. — *Spécimens d'habitations caractérisées par le bon marché uni aux conditions d'hygiène et de bien-être.*

Types d'habitations de famille, propres aux diverses classes de travailleurs de chaque contrée. Types d'habitations proposées pour les ouvriers des manufactures urbaines ou rurales.

CLASSE 94. — *Produits de toute sorte fabriqués par des ouvriers chefs de métier.*

Collection méthodique de produits (énumérés aux groupes précédents) fabriqués par des ouvriers travaillant à leur propre compte, soit seuls, soit avec le concours de leur famille ou d'un apprenti, pour le commerce ou pour la consommation domestique.

CLASSE 95. — *Instruments et procédés de travail spéciaux aux ouvriers chefs de métier.*

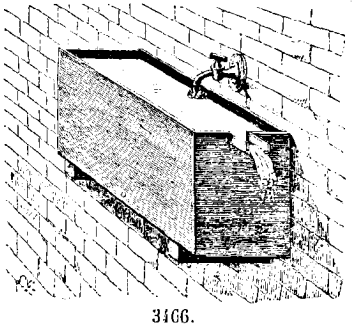
Instruments et procédés (énumérés au VI^e^ groupe) employés habituellement par des ouvriers travaillant à leur propre compte, ou spécialement adaptés aux convenances du travail exécuté en famille, au foyer domestique. Travaux manuels, où se manifestent, avec un caractère particulier d'excellence, la dextérité, l'intelligence ou le goût de l'ouvrier. Travaux manuels qui, par diverses causes, ont le mieux résisté, jusqu'à l'époque actuelle, à la concurrence des machines.

Ce catalogue détaillé des produits du travail mérite d'être consulté pour toute question se rapportant à l'ensemble de l'industrie.

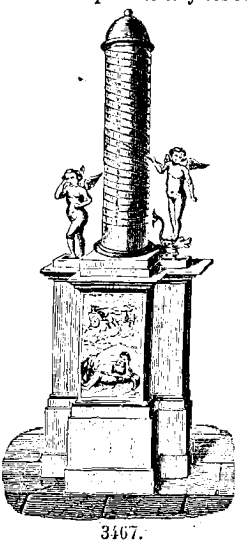
CLEPSYDRES. Les anciens avaient employé, pour obtenir la mesure du temps, le moyen le plus simple de produire un mouvement uniforme et par suite proportionnel au temps, l'écoulement de l'eau, sous une pression constante, dans leurs horloges à eau ou clepsydres.

La condition essentielle à remplir, celle d'une pression constante dans le réservoir d'où l'eau s'écoule, est facile à obtenir.

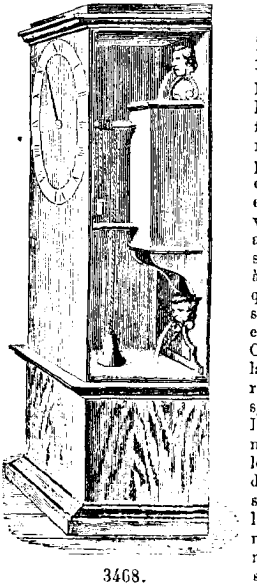
Pour cela, en effet, il suffit d'y entretenir un niveau constant; on y arrive très-facilement au moyen de la disposition suivante. Un réservoir (fig. 3466) est constamment alimenté à l'aide d'un robinet. La quantité d'eau fournie par ce robinet est plus grande que celle qui doit traverser l'orifice pratiqué dans la paroi du réservoir par lequel on fera écouler l'eau. Par suite de cet excès du liquide qui arrive dans le réservoir, le niveau tend à s'y élever de plus en plus; mais une décharge latérale s'y oppose en laissant constamment sortir le liquide excédant. Le niveau de l'eau reste ainsi invariable dans le réservoir, et par suite l'écoulement s'effectuera par l'orifice sous une charge constante, avec une vitesse qui reste toujours la même.



3466.



3467.



3468.

Pour mesurer ainsi un intervalle de temps quelconque, au moyen de l'écoulement ainsi obtenu, il n'y a plus qu'à recueillir l'eau qui sort du réservoir pendant cet intervalle de temps, et à en déterminer le volume. A cet effet, l'eau sortant du réservoir tombe dans un vase de forme cylindrique ou prismatique, et s'y accumule de plus en plus. Le niveau de l'eau montera dans ce vase avec une vitesse uniforme et marquera le temps par la position qu'il occupera, et qui sera déterminée par une échelle graduée fixée au vase.

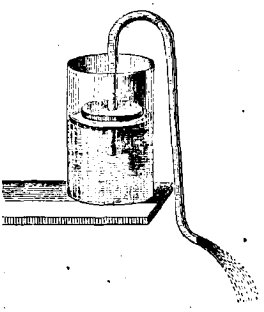
Pour rendre les indications plus visibles et aussi pour donner plus d'élégance à l'appareil, on plaçait le plus souvent un flotteur sur le vase dans lequel l'eau se rend. Ce flotteur, formé d'un morceau de liége, portant un index, est placé à côté d'une échelle graduée et vient correspondre aux diverses divisions de cette échelle, à mesure que le liquide se soulève en s'accumulant de plus en plus dans le vase. C'est ce que montre la figure 3467, qui représente une clepsydre de cette espèce. L'eau, dont l'écoulement sert à mesurer le temps, se rend dans une capacité située vers le bas de l'appareil, et fait monter successivement un flotteur qui supporte les deux petites figures placées de chaque côté de la colonne supérieure.

Une autre disposition adoptée plus tard avait pour objet de faire marquer le temps par une aiguille mobile sur un cadran, comme cela a lieu dans nos hor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

loges actuelles. A cet effet, le flotteur A (fig. 3468), auquel l'eau de la clepsydre communique un mouvement ascendant, est attaché à l'extrémité d'une chaine qui s'enroule autour d'un cylindre horizontal B, et qui supporte à son autre extrémité un contre-poids C, un peu plus léger que le flotteur A. Le cylindre B peut librement tourner sur lui-même; il porte à une de ses extrémités une aiguille qui le suit dans ce mouvement, et qui parcourt ainsi toute la circonférence d'un cadran adapté à la face extérieure de l'appareil. Lorsque le flotteur A monte, le contre-poids C descend et la chaîne fait tourner le cylindre B, ainsi que l'aiguille qui lui est fixée; cette aiguille marque le temps par la position qu'elle occupe sur le cadran.

La physique moderne fournirait plusieurs moyens d'obtenir un écoulement constant : le vase de Mariotte, par exemple, pourrait être employé à cet effet, si les clepsydres offraient un autre intérêt qu'un intérêt historique, en présence des développements de l'horlogerie moderne. Nous ne nous y arrêterons pas; nous citerons seulement l'application du siphon, déjà faite par Héron d'Alexandrie, comme une disposition ingénieuse pour fournir la mesure du temps à l'aide des divisions égales du vase qui reçoit l'eau qui s'en écoule.



3469.

Soit un flotteur surmontant l'eau renfermée dans un vase, et soit assemblé avec ce flotteur un siphon (fig. 3469). Ce siphon suit les mouvements de l'eau, et comme la distance entre la surface de celle-ci et le point de sortie à l'extrémité du siphon est toujours la même, la vitesse de l'écoulement est constante, et par suite aussi celle de la descente du flotteur le long de l'échelle qui fournit la mesure du temps.

CLOUS DE TAPISSIER. L'élégante fabrication de ces produits, par des procédés nouveaux, a été créée de toutes pièces par deux ingénieurs inventeurs. Nous ne pouvons mieux faire pour la décrire que de transcrire ici l'excellent rapport fait à ce sujet par M. Duméry à la Société d'encouragement.

« Le clou doré pour tapissiers est composé d'une tête hémisphérique creuse et d'une tige pointue formant le corps du clou. Jusqu'ici ces sortes de clous avaient été presque exclusivement obtenus par la fonderie et avaient conservé, avec le caractère d'irrégularité des objets fondus, l'inconvénient de posséder, d'une part, des tiges peu résistantes qui se rompaient en les implantant dans les meubles; d'autre part, des têtes dont les bords, à bavures coupantes, étaient susceptibles d'altérer les étoffes qu'ils pressaient.

« Le problème qui s'offrait à M. Carmoy consistait donc :

« 1° A obtenir des tiges rondes, uniformes de longueur, aussi pointues et aussi déliées que leur destination le réclamait;

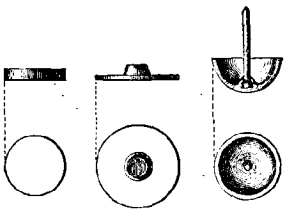
« 2° Des têtes identiques les unes aux autres, à bords réguliers et composées de matières différentes de celle de la tige, sans faire intervenir la fonderie ni la soudure.

« Pour arriver à solution, M. Carmoy a eu recours à trois opérations : un découpage et deux estampages.

« La demi-sphère du clou devant avoir une épaisseur d'environ 1/4 de millimètre, M. Carmoy prend de la planche de cuivre de 1 millimètre d'épaisseur et y découpe des flans plus petits que le développement de la tête; puis, à l'aide d'un premier estampage, il amincit ces petits flans et les étend à la dimension qu'ils doivent avoir; mais la matrice qui produit cette opération possède, vers son centre, une creusure annulaire dans laquelle la matière vient se loger et donne au produit l'aspect d'un chapeau rond à large bord dont le dessous serait fermé et dont l'ouverture aurait lieu à la partie supérieure (fig. 3470 et 3471).

« Faisons remarquer, en passant, que, dans ce premier estampage, en même temps que les bords s'aplatissent, la couronne saillante, s'emparant de la matière centrale, augmente de hauteur et présente cette particularité de sortir de la presse avec un millimètre et un tiers d'épaisseur alors que le cuivre, avant la compression, ne possédait que 1 millimètre.

« Le deuxième et dernier estampage qui doit terminer le produit consiste à placer ce petit flan dans une feuillure circulaire pratiquée sur le bord d'une matrice présentant, en creux, la forme que l'on désire donner à la tête du clou; l'on introduit dans le cylindre qui surmonte le flan une pointe de Paris à tête camarde.



3470. 3471. 3472.

« Les trois pièces en cet état, c'est-à-dire :

« La matrice d'abord,

« Le flan posé sur la matrice et prêt à y être comprimé,

« Puis enfin la tige placée verticalement et la pointe en haut,

« M. Carmoy exerce sur le flan, avec un poinçon convexe ayant extérieurement la forme intérieure de la tête du clou, une pression capable de déterminer l'emboutissage ou transformation du plan horizontal en une calotte ou tête hémisphérique.

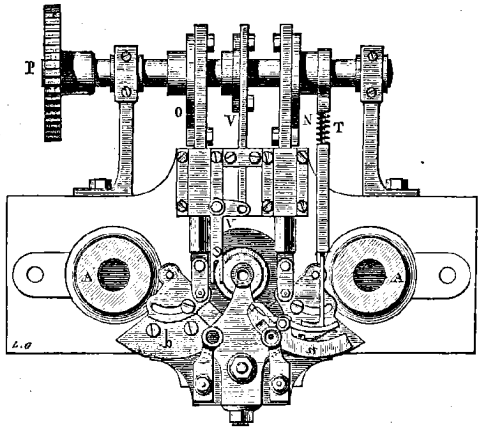
« Le poinçon emboutisseur est percé, à son centre, d'un trou suffisant pour contenir la tige du clou pendant l'emboutissage; et, pour que cette tige ne se soulève pas dans le cours de l'opération, elle est maintenue appuyée contre le plateau à emboutir par un petit ressort à boudin logé dans l'axe du poinçon presseur.

« Le poinçon presseur ne se borne pas, comme on le pense bien, à emboutir le flan métallique et à le transformer en une sorte de demi-sphère, il foule encore le cylindre central, de manière à en rabattre la matière sur la tige et à convertir l'anneau cylindrique en une sorte de cône emprisonnant la tête de la pointe qu'on a voulu y faire adhérer; de la sorte, on obtient un produit plus léger, à surface extérieure parfaitement lisse, ne coupant pas les étoffes, jouissant d'une plus grande régularité, possédant une solidité inconnue jusqu'ici, et surtout des tiges déliées et très-résistantes.

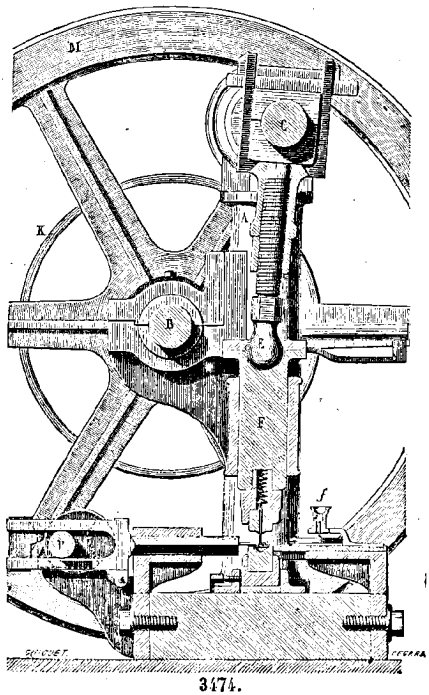
« Ces clous se fabriquent chez M. Carmoy en toutes matières : en cuivre, en zinc, en doublé d'or, en fer et en acier; ils sont très-appréciés et très-demandés, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le chiffre de leur fabrication ne s'élève pas à moins de quatre-vingt-dix mille par jour.



3473.



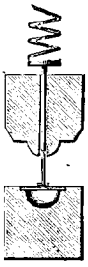
3474.

« Le produit imaginé par M. Carmoy est de nature à satisfaire à tous les genres d'exigences ; mais, pour qu'il devînt objet de commerce, il fallait qu'il fût obtenu mécaniquement.

« M. Carmoy a confié cette seconde partie du problème à M. Clément Colas, de Belleville, et voici comment cet habile mécanicien a répondu à l'appel qui lui a été fait, en combinant une machine qui rappelle heureusement la presse monétaire, et que représentent les figures 3473 et 3474.

« Dans les presses monétaires, les flans destinés à produire les pièces de monnaie sont placés dans un tube vertical en dehors du point d'estampage, et une espèce de main métallique décrivant un mouvement circulaire en transporte un à la fois entre les matrices à chacune des évolutions de la machine.

« M. Clément Colas a placé au-devant de sa presse non pas seulement un de ces poseurs mécaniques, mais deux (A, A), l'un à droite, l'autre à gauche ; chaque flan se place dans celui de gauche qui part le premier déposer ce flan dans la feuillure de la matrice et revient à sa place ; chaque tige de clou se met dans celui de droite qui le transporte au centre du flan déjà placé et reste dans cette position jusqu'à ce que le poinçon ait accompli une partie de sa descente et ait, à l'aide du ressort intérieur (fig. 3475), exercé sur la pointe du clou une pression qui le maintienne en contact avec le flan ; dès que la pointe est maintenue par ses deux extrémités, le poseur qui l'a apportée se retire, et le poinçon presseur, mû par un excentrique, achève sa course et accomplit le double phénomène d'emboutissage de la demi-sphère et de sertissage de la matière réservée en saillie au centre du flan pour emprisonner la tête du petit clou central.



3475.

« Après chaque opération, un troisième bras enlève de la matrice le produit fabriqué, et le rejette au dehors pour faire place à un nouveau.

« Cette machine fabrique vingt mille clous par jour, tandis que le travail à la main n'en fournit que six mille : elle est simple, bien entendue ; elle fonctionne sans bruit et sans chocs, et, si le produit qu'on en obtient est de nature, par sa nouveauté, par les besoins auxquels il satisfait, et surtout par les combinaisons qui ont présidé à sa conception, à fixer l'attention des membres du Conseil, nous avons la satisfaction de reconnaître que le mécancien a été le digne émule de l'auteur et que sa machine répond parfaitement à sa destination. »

CO-LAMINEUR. La nécessité de déplacer latéralement ou de ramener les pièces qui sortent d'un laminoir, du côté où les cylindres peuvent l'entraîner, lorsque le train n'est formé que par deux cylindres, ou de les élever lorsqu'il en comporte trois, rend le laminage des pièces longues et pesantes extrêmement pénible et difficile. Plusieurs systèmes de contre-poids ont été inventés pour faciliter le travail ; nous donnerons ici la solution complète du problème telle qu'elle a été réalisée, en profitant des travaux antérieurs, par le directeur de l'usine de Decazeville, M. Cabrol, pour supprimer tout relevage des pièces lourdes. Il a fait exécuter cet ensemble de dispositions pour accélérer et faciliter le laminage de rails Barlow, et, en général, de toutes les pièces de grandes dimensions et d'un poids considérable.

Ces dispositions comprennent :

1° Deux chariots mobiles, sur lesquels se placent les lamineurs, et qui présentent des supports disposés de manière que la barre soit constamment bien soutenue pendant toute l'opération, et que chaque lamineur n'ait rien autre chose à faire qu'à la diriger avec ses tenailles ;

2° Un système de pistons mus par l'eau ou par la vapeur, qui, au moyen d'une transmission convenable,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peuvent faire mouvoir les chariots ci-dessus, parallèlement à l'axe des laminoirs, et les arrêter à volonté devant chaque cannelure;

3° Enfin, un ensemble de deux cages, munies chacune d'une paire de cylindres marchant en sens contraire; ces cylindres, de 0m,70 de diamètre, reçoivent une vitesse de 70 tours par minute, et sont mus par deux machines de 150 chevaux chacune.

On comprend comment fonctionne tout ce système: la barre qui traverse une première cannelure est reçue sur l'un des deux chariots; le chariot est amené rapidement devant la cannelure convenable du second laminoir: le lamineur, qui a été déplacé avec le chariot, engage aussitôt la barre dans cette deuxième cannelure; dès que la barre est passée, le chariot est ramené devant la première cage pour recevoir la barre à sa sortie d'une troisième cannelure, et ainsi de suite. Des manœuvres semblables se font de l'autre côté des cages.

Par ce système, on économise la main-d'œuvre qui est nécessaire pour le relevage des pièces dans le système ordinaire à une seule cage, et l'on évite la perte de temps qu'entraîne ce relevage. D'un autre côté, n'ayant pas, comme on le pratique dans quelques usines, à changer le sens de rotation des cylindres entre deux passes, on peut faire aller ceux-ci avec une plus grande vitesse. En un mot, on réalise une grande économie de main-d'œuvre et de temps par ces nouvelles dispositions. Elles sont appelées, selon nous, à rendre de grands services, non-seulement par l'économie directe qu'elles procurent dans la fabrication des grosses pièces, mais surtout parce qu'elles tendront à vulgariser la fabrication, avec les diverses natures de fer, de pièces regardées jusqu'à ce jour comme ne pouvant être fabriquées que d'une manière exceptionnelle.

COMBUSTION. Dans le beau travail sur la combustion dont Ebelmen a enrichi cet ouvrage, ce savant a indiqué dans quel cas l'essai d'un combustible par la litharge peut être suffisant pour la pratique, bien que fondé sur un principe dont les expériences de Dulong ont prouvé l'inexactitude. Nous compléterons cette indication par celle de la méthode que Dulong a proposée, et qui paraît donner, pour les composés organiques hydrogénés, une approximation très-satisfaisante, conforme aux résultats de ses expériences. Elle doit remplacer, dans ces cas, celle fondée sur la croyance que la chaleur dégagée était proportionnelle à la quantité d'oxygène consommé; ce qui était revenir indirectement à la théorie de Lavoisier. La combustion de charbon pour former de l'oxyde de carbone, et celle de celui-ci pour être converti en acide carbonique donnant des quantités de chaleur dans le rapport de 1 à 3 pour un même poids d'oxygène, prouve que cette théorie n'est pas admissible. Celle de Dulong est au contraire parfaitement suffisante pour la pratique, surtout lorsqu'elle est appliquée avec quelque intelligence du phénomène que nous venons d'analyser.

Les corps combustibles qu'emploie l'industrie ne contenant, pour ainsi dire, jamais que de l'hydrogène et du carbone comme substances utiles à la combustion, les produits de la combustion étant les mêmes que ceux qui résultent de la combustion de ces corps isolés, on aura une approximation très-satisfaisante en prenant, pour la chaleur produite par la combustion du corps composé, celle qui résulterait de la combustion de ses éléments. En opérant ainsi, on ajoute à la chaleur produite par les éléments : la chaleur due au travail correspondant à l'équivalent mécanique du corps combustible, la chaleur équivalente au travail nécessaire pour rompre la combinaison de ces atomes, emmaganisée par cette cohésion chimique, comme nous le montrons à l'article PRODUCTION DE LA CHALEUR, quantité petite relativement à celle produite par la combustion.

Dans la plupart des produits composés de carbone et d'hydrogène d'origine végétale, le travail correspondant aux forces de cohésion n'est pas assez grand pour que les erreurs commises par cette manière de raisonner soient bien sensibles; c'est ce que prouvent les calculs ci-après empruntés à M. Péclet :

« Vérifions, dit-il, si, comme nous l'avons supposé, la quantité de chaleur produite par un composé est égale à la somme des quantités de chaleur qui seraient produites par chacun de ses éléments.

En partant de cette supposition, on trouve :

Pour l'hydrogène proto-carboné :

$$\left.\begin{array}{l} 75\text{g},17 \times 7170 = 5389 \\ 24\text{g},83 \times 34742 = 8626 \end{array}\right\} 14015 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour l'hydrogène bi-carboné :

$$\left.\begin{array}{l} 85\text{g},8 \times 7170 = 6151 \\ 14\text{g},2 \times 34742 = 4933 \end{array}\right\} 11084 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour l'essence de térébenthine :

$$\left.\begin{array}{l} 88\text{g},4 \times 7178 = 6352 \\ 11\text{g},6 \times 34742 = 4030 \end{array}\right\} 10382 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour l'alcool (déduction faite, comme dans les cas analogues, de l'hydrogène pouvant former de l'eau avec l'oxygène du composé) :

$$\left.\begin{array}{l} 51\text{g},98 \times 7170 = 3726 \\ 9\text{g},41 \times 34742 = 3279 \end{array}\right\} 7005 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour l'éther sulfurique :

$$\left.\begin{array}{l} 65\text{g},31 \times 7170 = 4682 \\ 10\text{g},66 \times 34742 = 3703 \end{array}\right\} 8385 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour l'huile d'olive :

$$\left.\begin{array}{l} 77\text{g},21 \times 7170 \\ 12\text{g},18 \times 34742 \end{array}\right\} 9766 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour le suif :

$$\left.\begin{array}{l} 79\text{g} \times 7170 = 5664 \\ 10\text{g},6 \times 34742 = 3474 \end{array}\right\} 9138 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Pour la cire :

$$\left.\begin{array}{l} 84\text{g},6 \times 7180 = 5850 \\ 12\text{g},85 \times 34642 = 4464 \end{array}\right\} 10314 \text{ pour } 1\text{g}.$$

Les nombres trouvés par Dulong pour les premiers corps étant :

Hydrog. prot. carboné.	Hydrog. bi-carboné.	Essence.	Alcool.	Éther.	Huile.
13205	12032	10836	6855	9430	9862

Ceux qu'on obtient en prenant la somme des effets produits par les éléments sont pour les mêmes corps :

14015	11084	10382	7005	8385	9866

Ces derniers nombres sont assez rapprochés des premiers pour justifier le principe d'après lequel ils ont été calculés. »

COMPRESSIBILITÉ DES GAZ. Jusque dans ces dernières années, la loi de la compressibilité des gaz, de la réduction de leur volume en raison de la pression, était considérée comme une des lois les plus certaines de la physique. Formulée par Mariotte, qui l'avait conclue d'expériences faites sur une petite échelle, à l'aide de simples tubes barométriques, elle consiste en ce que *les volumes sont en raison inverse des pressions*. Cette loi, confirmée par plusieurs expérimentateurs, et notamment par Dulong et Arago pour l'air, pour des pressions de 1 à 30 atmosphères, a évidemment une exactitude suffisante pour la pratique, puisque les différences ont échappé à ces éminents physiciens.

Les théoriciens ont unanimement adopté dans les recherches analytiques la loi de Mariotte, qui se rapporte aux gaz théoriques dont nous concevons la manière d'être d'après l'ensemble des phénomènes. Quel

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est donc l'élément négligé lorsqu'on applique cette loi dans la pratique ? Avant de dire quelques mots à ce sujet, donnons les chiffres des expériences très-précises de M. Regnault qui infirment cette loi.

VALEURS de $\frac{V_1}{V_0}$.	PRESSIONS P Correspondant au volume final pour			
	L'air.	L'azote.	L'acide carbonique.	L'hydrogène
1	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
2	1,997828	1,998634	1,98292	2,001110
4	3,987432	3,991972	3,89736	4,006856
8	7,945696	7,964112	7,51936	8,033944
16	15,804480	15,859712	13,92608	16,161632
20	19,719880	19,788580	16,70540	20,268720

La plus grande différence que présentent ces chiffres avec la loi de Mariotte est celle qui se rapporte à l'acide carbonique. Que ce gaz se comprime plus rapidement que le gaz théorique, qu'une différence très-sensible se manifeste pour une compression de 20 atmosphères, lorsque l'on sait que ce gaz se liquéfie sous une pression de 32 atmosphères, cela semble naturel, et l'on est porté à chercher à ajouter à la loi de Mariotte un terme dans lequel entre le point de liquéfaction des gaz, terme négligeable pour ceux qui ne se liquéfient qu'à des pressions très-élevées. Cela paraît d'autant plus admissible que M. Regnault a vu cette différence devenir insensible pour le gaz carbonique chauffé à 100°.

Mais si les différences en moins de l'acide carbonique de l'air et de l'azote, peuvent ainsi s'expliquer d'une manière assez plausible, il n'en est pas de même de la différence *en plus* que présente l'hydrogène. Elle infirme tout à fait l'ancienne notion de la constitution des gaz, considérés comme formés de molécules en repos séparées par des actions mutuelles répulsives, et fournit une confirmation de la nouvelle hypothèse que ces molécules possèdent un mouvement vibratoire permanent, dont l'intensité est en raison de la température. (Voy. GAZ.)

Avec cette manière de considérer les gaz, il n'est plus surprenant que l'hydrogène, dont la densité n'est que 1/15 de celle de l'air, conserve un ressort plus parfait que l'air, et que par suite la loi de Mariotte, qui s'applique assez bien à celui-ci, donne pour l'hydrogène des résultats trop faibles.

Le mouvement vibratoire de deux gaz et les forces vives des molécules d'un même volume gazeux mV^2, Mv^2, étant égales pour une même température et une même pression, on voit que si m étant très-petit par rapport à M et V^2 très-grand par rapport à v^2, il est par suite, naturel que pour une diminution de vitesse résultant de la compression (effet du choc des molécules agissant, pour une même diminution de volume, sur un piston compresseur mû dans un cylindre dans lequel le gaz est renfermé), la perte de forces vives, comparativement à la quantité totale que possède le gaz, soit moindre.

COMPTEUR A EAU. Voyez JAUGEAGE.

CONCHOIDE. Le mouvement rectiligne produit par le glissement dans une rainure rectiligne, lorsque les guides qui limitent le mouvement sont ou une ligne droite proprement dite ou un cercle, fournit le tracé de la *conchoïde* et celui du *limaçon de Pascal*.

Soit DD', une directrice rectiligne (fig. 3476); menons par le centre O une droite quelconque, et à partir du point C où elle coupe la droite, prenons une longueur constante $CM = a$; le lieu des points ainsi déterminés appartient à la courbe dite *conchoïde* proprement dite. C'est bien la courbe obtenue par le mouvement du

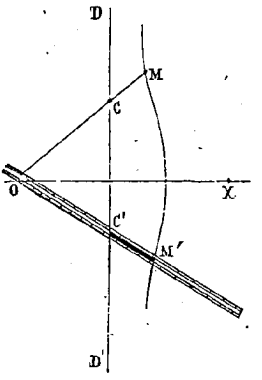


Fig. 3476.

rayon OM portant une partie glissante CM, portan une cheville C assujettie à glisser dans une rainure pratiquée suivant DD'. Son équation est, ρ étant le rayon vecteur OM, θ l'angle qu'il fait avec l'axe OX:

$$(\rho \pm a)\cos\theta = m,$$

ou

$$\rho = \frac{m}{\cos\theta} \mp a.$$

La conchoïde a deux branches, puisqu'on peut porter la longueur CM des deux côtés du point C.

Si au lieu d'une droite on prend pour directrice une circonférence du cercle, et pour pôle un point fixé sur cette circonférence, on a le *limaçon de Pascal* (fig. 3477)

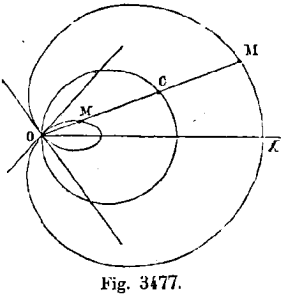


Fig. 3477.

courbe obtenue en portant sur une corde mobile passant par le centre O, à partir du point de rencontre avec la circonférence, une longueur constante $CM = CM' = a$.

On peut évidemment obtenir ce tracé avec des rainures et une pièce glissante, comme dans le cas précédent.

Il est facile de voir qu'en coordonnées polaires, l'axe polaire étant la ligne OX, l'équation de cette courbe est

$$\rho = 2r\cos\theta \pm a.$$

CONSERVATION DES BOIS PAR CARBONISATION. *Appareil Hugon.* M. Hugon a combiné, pour la vulgarisation du procédé Lapparent, décrit à l'article

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

COLORATION et CONSERVATION des bois de ce Dictionnaire, une espèce de forge d'un maniement simple, qui donne à bas prix de grandes flammes très-convenables pour une carbonisation rapide des surfaces. Il peut servir pour toutes les pièces de bois, même d'un fort volume, dans les limites toutefois où l'on peut les déplacer assez aisément.

Le fourneau en fonte, représenté fig. 3494, est muni

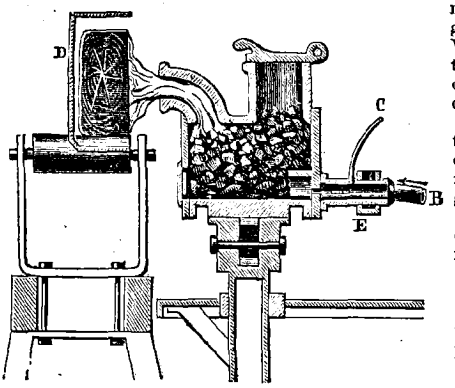


Fig. 3494.

d'une porte dans le bas pour retirer les résidus de la combustion, d'un couvercle dans le haut pour le chargement, et d'un conduit recourbé pour la sortie de la flamme, enfin d'un orifice d'entrée d'air, situé à la partie inférieure. Ce fourneau est supporté par une colonne, laquelle, par l'effet d'un levier à contre-poids, peut se mouvoir aisément soit de bas en haut, soit horizontalement autour de son axe.

La soufflerie est à double effet, à moyenne pression, et consiste en un fort soufflet de forge ordinaire; le tube en fonte A est relié à un tube B en caoutchouc, pour permettre au fourneau de se mouvoir sans inconvénients pour la soufflerie. L'air se transforme, par suite de la grande épaisseur du charbon, en oxyde de carbone, qui vient brûler avec flamme en se mélangeant avec les produits de la distillation de la houille avec laquelle on charge le fourneau. Cette flamme est augmentée à volonté en faisant tomber un peu d'eau, goutte à goutte, par le tube C; cette eau se vaporise, puis, par l'effet de la température du charbon embrasé, donne de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène.

On place la pièce de bois sur deux rouleaux, et pour que tous les points de la surface soient carbonisés, on la fait avancer ou reculer en même temps que l'ouvrier fait monter, descendre, pivoter son fourneau. Un écran D en tôle ramène au besoin la flamme sur la pièce à carboniser. A la jonction des tubes en E est une cavité dans laquelle on entretient de l'eau pour que la chaleur n'altère pas le caoutchouc.

Avec un semblable appareil, on peut, sur le chantier, carboniser 80 à 90 traverses de chemin de fer par jour.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS. — *Fondation du Conservatoire.* Vaucanson, le grand mécanicien français du siècle dernier, dont les travaux antérieurs à ceux des grands constructeurs anglais n'ont pas moins de valeur (car indépendamment de ses automates admirés dans toute l'Europe, il a fait pour le travail de la soie des inventions qui ne le cèdent pas à celles d'Arkwright pour la filature du coton), doit être considéré comme le véritable créateur du Musée des machines, qui est devenu le Conservatoire des arts et métiers. Ayant fait construire nombre de métiers, ayant dû réunir pour ses recherches bien des appareils afin de les étudier, il comprit toute l'utilité dont pouvait être la vue de nombreuses machines pour l'enseignement de la mécanique, pour permettre à tous les esprits ardents de chercher à perfectionner les procédés de l'industrie, et dès 1775 il avait formé à l'hôtel de Mortagne, rue de Charonne, faubourg Saint-Antoine, la première collection publique de machines, instruments et outils. En mourant, il légua cette collection au gouvernement, qui acheta l'hôtel de Mortagne et nomma Vandermonde conservateur de ce premier musée industriel, qui alla en grandissant peu à peu. Depuis sa fondation, jusqu'en 1792, il avait déjà été augmenté de plus de 300 machines.

Lorsque la révolution vint bouleverser la France, on trouva dans les châteaux, les couvents, etc., une foule d'objets précieux qu'une *Commission temporaire des Arts*, nommée par la Convention, fit placer à l'hôtel d'Aiguillon, rue de l'Université.

Bientôt, grâce aux services rendus par la collection de Vaucanson, grâce à ce que son idée, si juste et déjà réalisée, avait été généralement appréciée, on comprit qu'il fallait réunir la partie de ces richesses ayant quelque rapport avec l'industrie à la fondation du grand mécanicien. Sur un rapport présenté par Grégoire, la Convention rendit, le 19 vendémaire an III, un décret portant: « qu'il serait fondé à Paris, sous le nom de CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, un dépôt public de machines, modèles, outils, dessins, livres et descriptions d'arts et métiers, dont la construction et l'emploi seraient expliqués par trois démonstrateurs attachés à l'établissement. »

Le choix du local retarda longtemps la réalisation de ce décret, et ce ne fut qu'en l'an VI, encore sur un rapport de Grégoire, que le Conseil des Cinq-Cents décida que le Conservatoire serait installé dans les bâtiments de l'ancien prieuré de Saint-Martin-des-Champs, alors occupé par une manufacture d'armes.

En l'an VIII, tous les modèles et machines appartenant à l'État, existant dans les dépôts dont il a été parlé plus haut, et aussi la collection de modèles appartenant à l'ancienne Académie des sciences, étaient réunis dans l'établissement de la rue Saint-Martin. Le projet de Vaucanson était réalisé sur une grande échelle, le Musée de l'industrie était installé dans un vaste local, et un homme capable, Molard, nommé démonstrateur dès l'origine, devint le directeur de cet établissement. Le Conservatoire était créé, mais il restait à suivre les progrès de l'industrie moderne, surtout lorsque, la paix ayant rétabli les relations commerciales, nos ateliers importèrent tant de machines inventées ou perfectionnées en Angleterre. Le mouvement fut, il faut le dire, bien lent, et ceux de nos lecteurs qui ont le malheur de dater d'années un peu voisines du commencement du siècle, peuvent se rappeler avoir visité dans leur jeunesse les longues galeries du Conservatoire, et n'y avoir vu guère que d'anciens modèles en bois, comme si la construction des machines en fer et en fonte n'eût pas encore existé. Quoi qu'il en soit, le sentiment de la fécondité du travail, de l'utilité de l'invention, ne se dégageait pas moins de la vue de ces archives des travaux de nos pères, et la promenade au Conservatoire a déterminé plus d'une vocation, a allumé le feu sacré chez bien des enfants qui sont aujourd'hui nos meilleurs ingénieurs, nos plus habiles industriels.

Sans poursuivre l'étude historique du développement de ce bel établissement, étude qui n'a pas le même intérêt que celle de sa création, de la mise en lumière de l'idée féconde sur laquelle il repose, je passerai à l'analyse sommaire de l'état actuel.

État actuel des collections. Un mot d'abord des bâtiments, qui comptent parmi les plus anciens de Paris et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

ont été restaurés avec beaucoup de goût par M. Vaudoyer. L'église (un des plus anciens monuments de la capitale) et le réfectoire des moines, occupé aujourd'hui par la bibliothèque, sont particulièrement remarquables. Parmi les parties modernes, on doit citer l'escalier d'entrée communiquant par une double rampe au premier étage, à la grande galerie des modèles, et dont le plafond offre un modèle des richesses de l'art décoratif moderne.

Une analyse détaillée des objets (au nombre de 8,000 à 10,000) qui composent le Musée industriel du Conservatoire, ne saurait être donnée ici; elle est d'ailleurs fort bien faite dans le Catalogue des collections publié par le Directeur, qui renferme un grand nombre de notes techniques et historiques fort intéressantes.

Nous nous contenterons de citer les principales richesses toutes spéciales à cet établissement, qui, fussent-elles seules dans les galeries, méritent grandement que toute personne qui ne les connaît pas s'empresse d'aller les examiner.

Avant tout, nous parlerons de pièces qui se rapportent à la glorieuse tradition de nos savants et de nos ingénieurs. En premier lieu, nous citerons le métier de Vaucanson pour la fabrication des étoffes façonnées, qui avait tant avancé la solution d'un bien difficile problème que Jacquard a eu la gloire de compléter. La célèbre machine arithmétique de Pascal est représentée par deux modèles vérifiés par l'illustre savant. L'appareil qui a servi à Lavoisier pour établir la composition de l'eau est une bien glorieuse relique, qui a été cédée au Conservatoire par l'Académie des sciences. Parmi bien des objets curieux, nous signalerons encore : la première machine locomotive pour routes ordinaires, construite par Cugnot en 1770; le modèle de la fameuse machine de Marly; le tour de Louis XVI, qui excellait, on le sait, dans les ouvrages de serrurerie, talent malheureusement peu utile pour le métier de roi; les miroirs ardents de Buffon, formés avec de petites glaces planes; enfin diverses pièces du cabinet de physique de Charles, et notamment la soupape de son ballon.

La galerie d'horlogerie, principalement formée du cabinet de Berthoud, légué par lui à l'État, renferme les pièces les plus curieuses que ce constructeur a décrites dans son grand ouvrage sur l'horlogerie. Nombre d'autres constructions précieuses, de Pierre Leroy et de Bréguet notamment, augmentent l'intérêt historique et technique de cette belle collection, complétée par des échantillons excellents d'horlogerie moderne. On ne saurait oublier, à ce titre, la magnifique horloge donnée au Conservatoire par MM. Detouche et Houdin, admirablement exécutée par ce dernier.

La galerie de modèles de Géométrie descriptive, exécutés sur les dessins et sous la direction du savant Olivier, dont la vie a été consacrée, non sans éclat, à la science formulée par Monge, excite à juste titre la vive admiration de toute personne qui s'est quelque peu occupée de cette partie de la science. Il s'est appliqué à représenter les surfaces qui y sont étudiées par des fils représentant des génératrices; par suite, les intersections de surfaces se trouvent nettement indiquées. Enfin, en n'attachant pas les fils aux sections terminales qui servent à fixer leur position, mais les faisant passer dans des trous et tendre par des poids, il a pu montrer comment de semblables surfaces se modifient, se transforment par un mouvement de ces sections. Le même savant, dans les nombreux modèles d'engrenages qu'il a fait exécuter, a matérialisé toutes les solutions que la théorie a pu suggérer, et leur ensemble représente admirablement les ressources qu'une science élevée peut mettre à la disposition du travail industriel.

La collection des Dynamomètres que le savant directeur du Conservatoire, le général Morin, a fait établir pour permettre d'évaluer le travail mécanique dans tous les cas de la pratique, doit être citée comme une des richesses de notre Conservatoire. Nous reviendrons plus loin sur l'emploi qui en est fait en parlant de la salle des machines en mouvement.

Nous terminerons en citant des modèles de machines modernes qui garnissent principalement la galerie du premier étage. C'est le savant physicien M. Pouillet, directeur du Conservatoire de 1830 à 1849, qui en fit faire le plus grand nombre. Exécutés avec une grande perfection, à une échelle déterminée, disposés pour laisser voir facilement l'intérieur des mécanismes, ces modèles sont fort beaux. La locomotive, les machines à vapeur de bateaux, etc., ont été fort admirées; malheureusement de petits modèles ne donnent pas toujours aux débutants une idée bien juste des machines imitées. Les modèles relatifs à la filature et au tissage méritent d'être cités; ils sont d'une grande utilité pour les descriptions faites dans le cours consacré à l'industrie des matières textiles.

Galerie des machines en mouvement. — Salle d'expériences de mécanique. La grande église de Saint-Martin-des-Champs, fournissant un vaste emplacement, a été utilisée pour y réunir de véritables machines motrices, fonctionnant dans les conditions de la pratique. Dans la tour de l'église ont été placés, à des hauteurs différentes (jusqu'à 14 mètres), trois réservoirs d'eau faciles à jauger. Sur le côté droit de l'église, un coursier amène l'eau à diverses roues hydrauliques. Le côté gauche a reçu des chaudières et des machines à vapeur.

Les jours où le public est admis à visiter le Conservatoire, l'eau fournie aux roues hydrauliques permet à celles-ci de mettre en mouvement les tympans, pompes rotatives, etc., qui relèvent l'eau dans le coursier, en quantité suffisante, pour continuer le mouvement, grâce au supplément de travail fourni par la machine à vapeur pour compenser les pertes.

Si cette installation est intéressante et fort utile pour donner aux visiteurs une connaissance exacte des machines des usines, elle a, à notre avis, bien plus d'importance encore pour avoir constitué au Conservatoire un atelier d'expériences de mécanique comme il n'en existe pas d'autre en Europe, qui est d'une utilité majeure au point de vue des progrès de la science des machines et de la justice dans les transactions auxquelles elles donnent lieu. Grâce à l'emploi des appareils dynamométriques, habilement maniés par M. Tresca, sous-directeur et ingénieur du Conservatoire, qui a si bien secondé le général Morin dans l'installation de cet atelier, la valeur de toute machine est immédiatement déterminée; les appareils dynamométriques disent si la quantité de travail consommé par une machine est celle qui a été prévue par le traité passé avec le constructeur. On est parvenu à créer ainsi un nouveau *bureau de poids public pour l'industrie*, où toute erreur est aussitôt constatée.

L'organisation de ces moyens pratiques d'évaluation du travail mécanique tend à vulgariser bien utilement l'application des principes établis par l'illustre général Poncelet, qui a fait de nos jours progresser la science des machines, au point de vue de l'économie du travail, comme l'avait fait Vaucanson au point de vue de la variété des mécanismes. Les progrès dus à ces deux célébrités de notre pays sont aujourd'hui bien représentés dans le Musée industriel de la capitale de la France.

Nous espérons avoir fait apprécier, dans cette revue rapide des richesses que renferme le Conservatoire, tout l'intérêt que mérite ce grand établissement. N'y a-t-il pas cependant beaucoup à faire encore pour qu'il soit la représentation fidèle de l'industrie moderne ? Nous nous permettrons à ce sujet quelques observations, inspirées par le désir du mieux qui doit animer les personnes jalouses d'assurer les progrès indéfinis de l'industrie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Mais auparavant nous passerons en revue les ressources que le Conservatoire met, outre ces collections de modèles, à la disposition des personnes désireuses de s'instruire.

Bibliothèque. — Portefeuille. — Archives. — Brevets expirés. — La bibliothèque du Conservatoire, riche d'environ 20,000 volumes relatifs aux sciences, aux arts et à l'industrie, est installée dans l'ancien réfectoire du prieuré splendidement restauré. Il n'est pas besoin de dire combien la spécialité et la richesse de cette bibliothèque, sa position dans un quartier habité par une population laborieuse, la rendent utile et y attirent un nombreux public. Elle est ouverte au public le dimanche et tous les jours de la semaine sauf le lundi.

La galerie du portefeuille est une heureuse création destinée à compléter, sur une vaste échelle et avec des frais relativement minimes, la collection de machines. Les ingénieurs et les constructeurs peuvent y aller étudier des dessins cotés à l'échelle, et par suite leur fournissant les renseignements nécessaires pour l'exécution, représentant les machines les plus remarquables qui apparaissent chaque jour.

Les archives du Conservatoire renferment plusieurs pièces d'un grand intérêt, telles qu'un grand nombre d'épures de Vaucanson, et la lettre par laquelle Fulton offrait au gouvernement français de lui céder son invention de la navigation à vapeur.

D'après la loi, les pièces relatives aux brevets d'invention expirés sont déposées au Conservatoire. L'idée parfaitement juste qui a fait envoyer à cet établissement les brevets expirés doit conduire un jour à y établir toute l'administration des brevets, bien mal placée dans les bureaux du ministère du commerce, à y constituer un *Patent-Office* analogue à ceux de Londres et de Washington, dont les recettes seraient suffisantes pour donner à l'établissement central de la science industrielle tous les développements nécessaires pour le tenir sans cesse au niveau du progrès de l'industrie. Ils ne sont nulle part plus complétement révélés que par les patentes pour les inventions nouvelles, et la délivrance, la publication de celles-ci est le plus puissant moyen de constater et de faire connaître l'état le plus avancé des diverses industries.

Enseignement oral. — L'idée des fondateurs du Conservatoire était essentiellement limitée à l'organisation de collections qui leur paraissaient fournir le meilleur moyen d'instruire les ouvriers. « *Il faut leur faire voir plus qu'il ne faut leur parler,* » disait Alquier dans son rapport au Conseil des Anciens, du 27 nivôse an VI, qui eut une grande influence sur l'organisation définitive du Conservatoire. L'enseignement oral s'y réduisait à la création de trois démonstrateurs chargés de faire comprendre aux visiteurs le jeu des machines composant les collections. Ce système n'a jamais pu fonctionner. Il est impossible de demander à un savant de mérite de répéter indéfiniment des analyses de machines devant des curieux, des promeneurs n'ayant le plus souvent aucune des connaissances nécessaires pour les comprendre.

Une ordonnance du 25 novembre 1819, rendue sur un rapport du duc Decazes, ouvrit une voie nouvelle. Elle eut pour but, y est-il dit, de créer une haute école d'application des connaissances scientifiques au commerce et à l'industrie, au moyen d'un enseignement public et gratuit. A cet effet, elle institua trois chaires annexées au Conservatoire : l'une de mécanique, l'autre de chimie et la dernière d'économie industrielle, appliquées aux arts. La première fut confiée à M. C. Dupin, la seconde à M. Clément Désormes et la troisième à J.-B. Say. Nous ne parlerons pas de l'enseignement du célèbre économiste, qui eut bien moins de retentissement que ses livres, dont il était, dit-on, l'exacte reproduction. Le cours de M. Clément Désormes fut recherché surtout à cause du soin avec lequel ce professeur traitait la question de l'emploi des combustibles, de la production industrielle de la chaleur, question si importante, qui a fait le sujet du bel enseignement que M. Péclet a créé à l'Ecole centrale des arts et manufactures, et qui manque aujourd'hui au Conservatoire. Mais le véritable, le grand succès fut celui de M. Charles Dupin. Doué d'une grande facilité d'élocution, connaissant les grands chantiers de construction de France et d'Angleterre, passant en revue dans ses cours des questions de géométrie, de mécanique, d'économie industrielle, grand promoteur des caisses d'épargne, son cours eut tout l'éclat des conférences que nous voyons réussir de nos jours : cette comparaison fait même bien comprendre le caractère de l'enseignement dont nous parlons, et, comme de nos jours, plusieurs grandes villes créérent à leur tour des cours publics à l'usage des ouvriers, à l'imitation des cours du Conservatoire. Parmi ceux-ci, on doit citer les cours de Metz, où Poncelet créa l'enseignement modèle de la mécanique industrielle, imité depuis dans toutes les écoles.

Le succès des cours du Conservatoire des arts et métiers devait en amener la multiplication ; aussi en 1839 le nombre en fut-il porté à 10. Il est aujourd'hui de 14. Ils sont toujours faits le soir et le dimanche ; nous indiquerons ici les matières qui y sont traitées :

Géométrie appliquée aux arts.
Géométrie descriptive.
Constructions.
Mécanique appliquée aux arts.
Filature et tissage.
Physique appliquée aux arts.
Chimie appliquée aux arts.
Chimie industrielle.
Teinture et impressions.
Chimie agricole.
Agriculture.
Génie rural.
Economie industrielle.
Statistique industrielle.

L'ensemble de ces cours suffit-il pour constituer, suivant une expression du général Morin, une *Sorbonne industrielle* ? Evidemment ils sont bien loin de comprendre la totalité des connaissances qu'utilisent les travaux de l'industrie. Grâce à la généralité des titres, il peut paraître qu'on n'est pas trop éloigné du but, mais il faut, pour bien s'en rendre compte, apprécier la quantité de questions qu'un professeur peut traiter dans une ou deux années. Certes un enseignement industriel ne serait pas complet si un seul professeur était chargé d'enseigner toutes les sciences appliquées à l'industrie, et cependant le titre du cours ne laisserait rien à désirer. Bien que moins insuffisant que s'il en était ainsi, le nombre actuel de professeurs devrait nécessairement être augmenté au Conservatoire. Je le prouverai par un exemple.

Le professeur de mécanique, successeur du général Morin, doit naturellement enseigner, comme lui, les principes fondamentaux de la mécanique appliqués aux machines, les lois de l'hydraulique et les conditions d'établissement des moteurs hydrauliques; la théorie de la machine à vapeur et sa construction; en un mot, tout ce qui se rapporte aux récepteurs qui servent à utiliser les forces naturelles. C'est là un très-utile et très-beau cours qui prend, croyons-nous, trois années, et le professeur ne peut s'en écarter beaucoup sans que l'enseignement ne se trouve trop longtemps privé de la discussion de questions capitales.

Cependant le Conservatoire étant surtout un Musée de machines, comment peut-on ne pas y voir figurer au premier rang un cours de Cinématique, c'est-à-dire de la science qui a pour objet la théorie des organes des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

machines, de leur tracé géométrique, science si heureusement créée de nos jours? Comment n'y voit-on pas figurer un cours de résistance des matériaux, un cours de construction de machines?

Évidemment il y a là une lacune importante, et certes trois ou quatre professeurs de mécanique ne seraient pas de trop pour donner à cet enseignement toute l'extension qu'il devrait avoir au Conservatoire.

Mais sans vouloir indiquer ici bien des lacunes diverses, comme celle de l'enseignement de la théorie mécanique de la chaleur, qui devrait figurer au premier rang, car elle constitue à la fois un grand progrès théorique et pratique, prenons la question dans son ensemble. Quel doit être l'enseignement des sciences appliquées aux arts, au Conservatoire des Arts et Métiers de Paris? La réponse à cette question me semble forcée. Il doit être tel que tout industriel, tout travailleur ayant une opération à effectuer puisse y aller apprendre la théorie de cette opération, acquérir toute l'expérience résultant des essais déjà faits.

Certes le cadre est tellement vaste qu'il est impossible de le remplir entièrement, mais on peut en approcher par deux moyens : l'accroissement du nombre des professeurs titulaires et l'établissement de cours libres.

L'accroissement du nombre des professeurs titulaires doit être assez grand pour que toute théorie scientifique, fournissant les règles à d'importantes industries y soit enseignée par des savants distingués. Combien leurs recherches, en contribuant aux progrès d'importantes fabrications, et leurs cours, en vulgarisant de saines théories, feront naître des richesses supérieures au chiffre de leur traitement!

Quant aux professeurs libres, c'est à eux que doit incomber la mission d'imprimer une ardeur toute particulière à l'enseignement industriel, de faire des cours complémentaires qui ne sauraient jamais être trop multipliés. Il serait évidemment très-désirable que tout jeune ingénieur, animé du feu de la jeunesse et qui a sa carrière à faire, vint analyser en quelques leçons une industrie intéressante qu'il s'est trouvé à même de bien étudier.

Ainsi constitué, l'enseignement oral du Conservatoire nous semble devoir être utile à un nombre très-grand d'industriels, en même temps qu'il vulgariserait avec grand profit les recherches si nombreuses et souvent si savantes qui se font dans les ateliers, comme les tours de main qui méritent d'être signalés et conservés.

Le Conservatoire des Arts et Métiers dans l'avenir. Malgré tous les développements du Conservatoire dans ces dernières années, le mouvement de l'industrie a été si rapide depuis quarante ans, qu'ils ont été insuffisants pour qu'il ait pu contribuer, aussi puissamment qu'il eût été souhaitable, aux progrès qu'elle fait chaque jour. Aussi n'avons-nous pas hésité à indiquer la nécessité d'augmenter les collections, de compléter l'enseignement des sciences appliquées aux arts. Nous indiquerons encore deux directions nouvelles, dans lesquelles tout est à créer, pour augmenter beaucoup l'utilité de ce bel établissement.

1° *Ateliers modèles.* Dans son intéressant article de ce *Dictionnaire*, M. Paulin Désormeaux, le plus habile praticien que nous ayons connu, l'homme qui a le mieux analysé les conditions de la bonne exécution dans le travail manuel, se rendant l'organe des ouvriers, demande une modification, ou plutôt une création complémentaire du Conservatoire. Son argumentation peut se résumer à peu près ainsi : les cours des professeurs, les collections de machines relatives à d'anciennes et même à de nouvelles inventions, peuvent être d'une grande utilité pour les inventeurs qui poursuivent une combinaison nouvelle, sont très-intéressants pour les fabricants et pour les jeunes gens qui se proposent de le devenir; mais pour les ouvriers, dont l'œuvre est avant tout d'exécuter dans la perfection une pièce de forme voulue, ces genres d'enseignements ne leur présentent pas d'utilité réelle, ils n'y trouvent guère de renseignements utiles pour l'exercice de leur profession. Et cependant c'est pour leur perfectionnement que le Conservatoire a été créé!

Il en serait tout autrement avec des ateliers modèles.

Il n'est pas besoin, il nous semble, de longs développements, tels que ceux dans lesquels entre l'auteur du projet, pour reconnaître tous les services que rendrait véritablement aux ouvriers une semblable organisation; combien en profiteraient les artisans professionnels si nombreux, qui faisaient tous autrefois le tour de France pour apprendre quelques méthodes perfectionnées de travail!

Il est bien curieux de voir le vieux praticien se rencontrer, dans ce projet, avec le plus grand génie philosophique de notre pays. Le premier, en effet, Descartes a montré l'utilité d'un Conservatoire, fondé à peu près sur les bases qui viennent d'être indiquées. Son plan consistait à faire bâtir de grandes salles pour chaque corps de métier, à annexer à chacune de ces salles un cabinet où se trouveraient rassemblés les instruments mécaniques nécessaires ou utiles aux arts qu'on devait y enseigner, et à attacher à chacun de ces cabinets un professeur habile, capable de répondre à toutes les questions des artisans, et qui pût les mettre à même de se rendre raison des procédés qu'ils étaient appelés journellement à mettre en pratique.

Le grand philosophe a donné la formule complète du véritable enseignement professionnel, qui, toutefois, sera souvent insuffisant, tant que le cabinet du professeur ne sera pas une petite fabrique, possédant un exemplaire de chacune des machines employées dans les usines. Au reste, ce ne serait pas là une innovation aussi grande que l'on pourrait croire; car pour faire connaître les procédés de la filature du coton, pour vulgariser les machines anglaises, Chaptal fonda avec succès, au Conservatoire, en 1810, une école de filature qui rendit de très-grands services, et cet exemple pourrait, sans aucun doute, être utilement imité dans bien des cas.

2° *Musée d'Art industriel.* Jusqu'à l'Exposition universelle de 1851, il ne semblait pas qu'il y eût autre chose de possible, pour faire grandir l'industrie à l'aide de l'enseignement, que de marcher dans la voie indiquée ci-dessus, de vulgariser les sciences qui comprennent les théories dont les procédés de l'industrie sont des applications. Mais lorsque, à ce premier et si beau concours international, les produits d'une industrie aussi avancée que celle de l'Angleterre se trouvèrent en face de ceux de la France, il fut reconnu qu'incontestablement les nôtres étaient supérieurs, non par la perfection de la fabrication, mais par leur élégance. Un goût plus pur avait présidé à leur fabrication.

Or l'élégance, le goût, n'ont aucun rapport avec la mécanique ni avec la chimie; ce sont les qualités qui font le mérite des produits des Beaux-Arts; c'est l'application de ceux-ci à l'industrie, ou au moins l'emploi des facultés que leur culture développe, qui fait le prix des œuvres de l'art industriel. Or il n'y a guère pour les faire naître, pour les répandre, de cas à faire sur de simples cours; c'est l'étude des maîtres qui peut seule conduire l'artiste à saisir les conditions de la beauté. Par suite, de même que nos musées de peinture et de sculpture sont du plus puissant secours pour former des peintres et des sculpteurs, de même un riche musée renfermant des chefs-d'œuvre de l'art industriel est la fondation la plus nécessaire pour assurer la prééminence du goût dans les produits de l'industrie. C'est ce qu'ont bien compris les Anglais, qui, aussitôt après la leçon de 1851, fondèrent le Musée industriel de Kensington et le Cristal-Palace de Sydenham.

D'après cela, peut-on considérer comme approchant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'être complet un musée industriel dans lequel les produits d'art industriel ne figurent pas, où ne se trouvent que des machines et des appareils de physique et de chimie ? Tel est, malheureusement, le cas du Conservatoire des arts et métiers de Paris, et il faudrait qu'il fût en quelque sorte doublé par un musée d'objets remarquables par leur élégance, la beauté de leur décoration, pour former le véritable musée industriel, la digne représentation de l'industrie française actuelle, et constituer le plus puissant moyen d'assurer ses succès dans l'avenir. C'est le goût qui vaut chaque jour à notre industrie ses plus nombreux triomphes sur nos rivaux, et il importe de ne pas négliger le plus sûr moyen de conserver cette supériorité, de réaliser une création efficace pour multiplier le nombre et augmenter les connaissances et le talent de nos artistes industriels.

CORAIL. Le corail se trouve sur presque toutes les côtes de la Méditerranée. On le pêche aussi en Amérique et en Océanie. Il est, suivant sa nuance, de qualités très-différentes de valeur. Le corail rouge ordinaire se vend en moyenne 50 francs le kilogramme; celui qui a de belles nuances roses atteint le prix de 2 à 300 francs le kilogramme. Le corail pousse sur les roches du fond de la mer; il forme des arbrisseaux dont les branches se croisent capricieusement. Rien n'est plus intéressant à voir qu'une souche de corail vivant sur une roche, au fond de la Méditerranée. Les eaux sont presque toujours transparentes, d'une douce teinte bleuâtre; le corail, d'un rouge vif, se détache vigoureusement sur le fond sombre du rocher. La lumière, éclatante à la surface de la mer, s'affaiblit et produit un demi-jour aux teintes azurées d'un effet féerique. L'imagination des plongeurs conserve longtemps le souvenir de la magie de ces paysages sous-marins.

Production du corail. La pêche et le commerce du corail sont presque exclusivement entre les mains des Italiens. La vente du corail brut atteint en moyenne 5 à 6 millions par an. Les pêcheurs italiens couvrent une longue croix de bois, lestée en plomb, avec des filets d'étoupe ou en fils de chanvre entrelacés; ils attachent la corde qui tient la croix à l'arrière de leur bateau, et ils traînent cet engin au fond de la mer. La croix brise les branches du corail, qui s'accrochent dans le filet. On relève ce dernier de temps en temps. Il suffit de décrire ce procédé pour indiquer les inconvénients qu'il présente.

On a essayé de pêcher le corail et les éponges au scaphandre, et on a obtenu d'assez bons résultats sur quelques points de la Méditerranée. Les pêcheurs espagnols de la côte de Catalogne ont ainsi fait de très-beaux bénéfices.

Mais le corail se trouve toujours à une assez grande profondeur. On le trouve ordinairement à partir de 25 mètres. La beauté et la quantité croissent avec la profondeur. La pression énorme de la colonne d'eau vient arrêter le plongeur; beaucoup d'accidents sont survenus et ont enrayé l'essor de cette industrie.

CORSETS TISSÉS. L'exécution des vêtements tout d'une pièce, au moyen du tissage, a été, jusqu'à présent, presque exclusivement limitée aux divers tricots et aux étoffes à mailles en général. Ces étoffes, engendrées par la révolution d'un fil non tendu dans un plan quelconque pour produire des mailles dont le nombre peut varier à chaque course du fil, sont éminemment propres aux tissus à formes, lorsqu'ils ne sont destinés qu'à recouvrir exactement des contours; mais leur élasticité toute particulière les rend insuffisantes quand il s'agit de vêtements qui doivent aussi maintenir certaines parties du corps, comme on l'exige des corsets. Les éléments ordinaires des étoffes à chaînes et à trames serrées, tendues et entrelacées dans un même plan, sont moins propres encore à réaliser des vêtements de ce genre, parce qu'ils ne présentent que des surfaces planes d'une résistance uniforme dont l'emploi dans la fabrication des corsets en pièces amènerait une compression trop forte aux endroits qui exigent une certaine liberté, si l'on n'y combinait une coupe présentant les fils de biais. Il y a donc nécessité de modifier ces éléments dans l'exécution des tissus à formes en général et des corsets en particulier.

Grégoire, artiste d'une habileté hors ligne, qui a laissé des étoffes, ou, pour mieux dire, des tableaux aussi remarquables au point de vue de l'art proprement dit qu'au point de vue mécanique, est, à notre connaissance, l'un des premiers qui se soit appliqué à la solution du problème, dès 1805.

M. Verly, mécanicien à Bar-le-Duc, s'en est occupé depuis pour l'exécution spéciale des corsets d'une seule pièce. Les dispositions adoptées par tous deux reposent sur des modifications de formes et de montage du cylindre-ensouple de l'étoffe.

Le premier se sert d'une ensouple à courbure variable déterminée à l'avance et disposée d'une manière particulière. L'ensouple du second est formée d'une espèce de chaîne sans fin qui permet aux fils de prendre des inflexions et de décrire certaines courbures pendant le travail. Ces moyens, assez compliqués, exigent beaucoup d'habileté dans leur mise en œuvre.

Les procédés imaginés par M. Fontaine, au contraire, ne présentent pas plus de difficultés que le tissage d'un article broché ordinaire. Il assimile les élargis, ou pièces cambrées du dos, de la poitrine et des hanches, à des figures quelconques; il les développe à la mise en carte et les lie par les moyens en usage. Quant aux pièces droites et aux gaînes pour les baleines exécutées par un entrelacement spécial des fils, une petite machine supplémentaire, analogue à celle dont on se sert pour la fabrication des châles, en est chargée. Enfin, comme l'embuvage ou la quantité de fils par unité de surface varie dans ce tissu, la chaîne est divisée sur les roquetins d'une cantre, disposition connue et appliquée, dans la rubanerie, à la passementerie, à la moquette anglaise, etc.

On voit que, jusqu'ici, il a suffi à M. Fontaine d'être familiarisé avec toutes les ressources du tissage pour en obtenir des résultats nouveaux. Ces ressources sont cependant insuffisantes pour réaliser la dernière partie du problème mécanique en question, l'enroulement d'une étoffe qui se présente dans des conditions spéciales. Au lieu d'une surface plane, unie et régulière, c'est une surface sinueuse, irrégulière, qui gode sur le métier et dont il faut se débarrasser à des instants donnés, afin que la trame soit chassée dans la direction voulue. A cet effet, M. Fontaine substitue à l'ensouple cylindrique ordinaire une pièce transversale demi-courbe garnie de pointes à sa courbure; cette pièce a la faculté de s'approcher et de s'éloigner du battant et du peigne par une espèce de chariot. Il suffit d'approcher la barre à pointes du battant rendu immobile, d'en décrocher l'étoffe, pour que les fils de la chaîne, sollicités par l'action de la tension, se redressent naturellement. Le tissu est fixé de nouveau sur les pointes de la barre ramenée à sa position primitive; la partie tissée, qui se trouvait précédemment comprise entre l'ouvrier et le peigne, flotte en arrière de la pièce à pointes, et le travail peut être repris après avoir rendu la mobilité au battant.

Les résultats remarquables obtenus par ces diverses combinaisons démontrent que toutes les applications du métier à la Jacquart sont loin d'être épuisées.

COTON. Aux renseignements donnés à l'article COTON du *Dictionnaire*, nous joindrons les chiffres ci-après, qui montrent comment après la perturbation causée par la guerre civile d'Amérique, qui a forcé de s'adresser à diverses contrées pour la production du coton, s'est réparti le travail qui fournit à l'approvisionnement de l'Europe, qui appartenait autrefois presque exclusivement aux Etat-Unis C'est ce que montre le tableau suivant:

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Origines et quantités de coton consommé en Europe en 1866.

États-Unis d'Amérique. . .	310,000,000	kilogrammes.
Indes anglaises	270,000,000	—
Égypte.	100,000,000	—
Brésil.	36,000,000	—
Contrées méditerranéennes, Alep, Smyrne et Italie. .	35,000,000	—
Chine, Japon et Cochinchine.	8,000,000	—
Colonies françaises	600,000	—
Algérie.	900,000	—
États de l'Équateur	10,000,000	—
Diverses autres contrées. . .	10,000,000	—
	780,000,000	kilogrammes.

Ces chiffres doivent peut-être être doublés si l'on veut tenir compte de la consommation si considérable des étoffes de coton par les populations de l'Asie qui les emploient presque exclusivement, par 150,000,000 d'Indous, par 450,000,000 de Chinois, Siamois, etc., etc.

COTON-POUDRE. Voy. PYROXYLE.

COURROIES. Nous avons traité à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE des principes de cet excellent mode de transmission du travail mécanique, nous dirons seulement ici un mot des moyens employés pour réunir les extrémités des courroies et de la forme des poulies.

Les moyens de réunion les plus simples pour les courroies en cuir, toujours les plus employées, sont ceux qui consistent dans une couture faite avec du fil ou des vis. Leur inconvénient est de ne pouvoir se prêter facilement à une diminution de longueur de la courroie si celle-ci s'allonge par le travail (fig. 1, 2 et 3). C'est pour

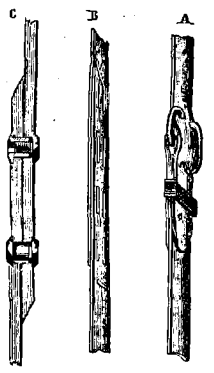


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

cela qu'on préfère les boucles, et qu'on a proposé un procédé qui consiste à introduire les extrémités des courroies dans la fente d'un tube métallique; ces systèmes produisant une épaisseur sur une face ne peuvent servir quand on emploie les courroies croisées, puisque les faces opposées de la courroie sont successivement en contact avec l'un des tambours.

Forme des poulies. Une pression exercée sur la courroie, parallèlement à l'axe des poulies, la déplace avec une grande facilité, non en la faisant glisser transversalement, ce qui exigerait une force considérable pour être effectué instantanément et ne serait pas pratiquement réalisable, mais parce que le point d'enroulement de la courroie sur la poulie se déplace latéralement peu à peu. C'est un des grands avantages de ce système que la courroie puisse ainsi se transporter avec un petit effort, qui conduit au système si usité formé par des

poulies folles, tournant librement sur l'axe, qu'on place à côté des poulies fixes, et qui permettent d'obtenir à volonté le repos ou le mouvement de l'axe par le déplacement de la courroie.

Si une courroie passe sur une poulie conique, comme le cercle décrit sur le cône par le bord gauche de la courroie *ab* est de rayon moindre que celui décrit par le bord droit *cd* (fig. 4), il en résulte une traction,

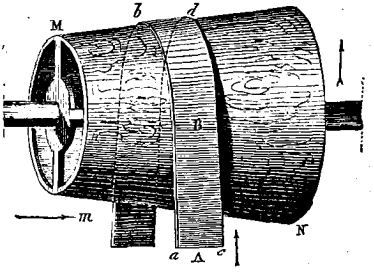


Fig. 4.

une composante dans le sens de la largeur de la courroie qui tend à la faire avancer dans le sens de la flèche *m*.

On voit donc que si l'on donne à la poulie la forme de deux troncs de cône adossés par la grande base, la courroie sera sollicitée dans deux sens opposés, par suite se maintiendra parfaitement sur l'arête la plus élevée. La forme bombée usitée dans les ateliers de construction (fig. 5) est équivalente à celle-ci.

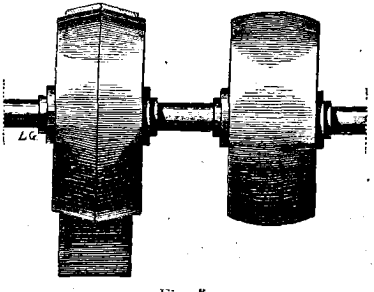


Fig. 5.

Largeur des courroies. La largeur des courroies doit être, pour une même substance et un même enroulement, en raison de la puissance et en raison inverse des vitesses avec lesquelles elles se meuvent, pour transmettre une même quantité de travail. Dans la pratique, surtout depuis les améliorations apportées aux systèmes de graissage des axes, c'est surtout en augmentant la vitesse qu'on accroit la quantité de travail transmis par une courroie, mais quand les limites pratiques de diminution du rayon d'une des poulies sont atteintes et insuffisantes, c'est la largeur et jamais l'épaisseur qu'on doit augmenter, puisqu'en diminuant la flexibilité on augmente le travail résistant.

Pour une largeur donnée, lors de la transmission régulière d'une quantité de travail déterminée, il est évident que chaque unité de largeur de la courroie transmet une même partie de l'effort, et que les frottements qui correspondent à la somme des tractions sont supérieurs aux efforts transmis en chaque instant, puisqu'il n'y a pas glissement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si, tout étant ainsi disposé, on diminue la largeur de la courroie sur la poulie, on arrivera bientôt à une limite où le frottement étant moindre que l'effort à transmettre, il se produira un glissement pour une limite déterminée de travail résistant, disposition qui pourra être utile passagèrement, dans quelques cas particuliers de la pratique.

On emploie assez fréquemment aujourd'hui, pour les larges courroies surtout, des courroies formées d'étoffes tissées avec un fil très-solide et superposées, collées ensemble au moyen de caoutchouc. On trouve l'avantage de pouvoir fabriquer ainsi des courroies sans fin, dont la flexibilité est très-grande.

COURROIES MÉTALLIQUES. *Transmission à de grandes distances à l'aide de ces courroies.* — Nous donnons ici la note publiée par M. Hirn, l'inventeur de cette heureuse disposition qui s'applique avec succès dans une foule de circonstances.

« Cette application, qui résout complétement un des problèmes les plus difficiles de la mécanique, remonte à l'année 1850.

« Un ancien bâtiment, très-vaste, de l'établissement de MM. Haussmann, au Logelbach, près Colmar, pouvait être utilisé comme un bel atelier de tissage mécanique, mais la force motrice disponible devait être cherchée à 85 mètres de distance. Les ingénieurs de la maison, conseillés par la routine (et je suis obligé de me mettre de ce nombre), proposaient une transmission par arbres de couche, soit enfouis dans un canal souterrain, soit supportés par des colonnes, afin que le passage restât libre aux voitures. Le moindre devis dépassait 6,000 francs, et l'on ne pouvait compter guère moins de cinq chevaux perdus en frottement. Mon frère vint proposer, à son tour, l'emploi de l'antique courroie, modifiée seulement par la substitution d'un ruban de fer ou d'acier à la lanière de cuir. Au premier moment une telle solution ne manqua pas d'exciter les plaisanteries; cependant, comme la réalisation de ce projet pouvait se faire sans grande dépense et qu'elle simplifiait visiblement la question, on se décida à tenter l'expérience.

« MM. Peugeot d'Audincourt nous fournirent des lames d'acier de $0^m.06$ de largeur, de $0^m.001$ d'épaisseur et de 40 à 50 mètres de longueur, admirablement exécutées, et qu'il a suffi de réunir par des rivets pour obtenir la longueur voulue de $85^m \times 2$. Deux poulies en bois de 2 mètres de diamètre, à gorge plate et à axes parallèles, reçurent cette courroie d'un genre tout nouveau, qui, dès l'abord, fonctionna d'une manière satisfaisante et pouvait, à la rigueur, être employée. Elle avait cependant deux graves inconvénients. En raison de sa surface et du peu de poids relatif, le moindre vent la poussait en dehors de la direction voulue, et la faisait frotter contre les joues des poulies; il était donc indispensable de la guider à l'aide de galets. — Mais ces galets, quelque bien faits qu'ils fussent, déchiraient quelquefois la courroie aux assemblages rivés, et finissaient eux-mêmes par être coupés ou entaillés. — C'est dans ces circonstances qu'un ingénieur anglais de nos amis, frappé de l'utilité qu'il y aurait à rendre bien pratique un moyen aussi simple de transmettre la force à distance, nous conseilla d'examiner, à Londres, les câbles que MM. Newall et Cie exécutent pour divers usages, ne doutant pas, nous disait-il, que nous n'eussions lieu d'être satisfaits d'un essai de ce genre. — MM. Newall n'avaient encore employé leurs câbles que pour lever des fardeaux dans les mines, ou comme cordages de navires, etc.; mais il pouvait bien se faire qu'ils satisfissent aux nouvelles exigences auxquelles nous voulions les soumettre : nous n'hésitâmes donc pas à leur commander une corde métallique et à la mettre à l'épreuve.

« Après quelques modifications apportées aux gorges des poulies, après quelques tâtonnements, quelques ennuis même, la corde en fer, substituée à la courroie d'acier, fonctionna et fonctionne encore à notre entière satisfaction. — Elle est en œuvre depuis six ans.

« Voici, en résumé, au double point de vue critique et technique, l'ensemble des observations qu'une longue expérience nous a permis de faire :

« 1° Les poulies conductrices et conduites peuvent toujours être en bois (chêne ou tout autre bois dur). Elles doivent être à gorge profonde et légèrement arrondie Une profondeur de 4 à 5 centimètres et une largeur de 3 à 4 centimètres sont les conditions que nous avons jugées les meilleures. — Au fond de la gorge se place une courroie en cuir ou en gutta-percha de 1 centimètre d'épaisseur. — Cette courroie n'est point clouée, mais elle est fortement tendue et ramenée, par ses deux bouts, dans un trou pratiqué au fond de la gorge. On fixe les deux bouts à l'aide d'un coin, et, pour plus de solidité, on les consolide par quelques clous. — La corde métallique qui travaillerait sur le bois le couperait en peu de temps. Le cuir, la gutta-percha surtout, durent fort longtemps et ne fatiguent nullement le métal.

« Les poulies, comme on le prévoit, doivent avoir la plus grande vitesse de rotation disponible et un fort diamètre. Nous pensons que le *minimum du diamètre* à employer est de 1 mètre.

« Pour garantir les câbles de la rouille, et en même temps pour augmenter leur adhérence contre la circonférence des poulies, on les enduit, une ou deux fois par mois, mais très-légèrement, d'un mélange de goudron et d'huile.

« 2° La *plus courte distance* qu'on puisse admettre entre les deux poulies est environ de 40 à 50 mètres; au-dessous de cette limite, il faudrait substituer une tension artificielle à la tension naturelle et régulière produite par le poids même du câble, et il en résulterait non-seulement des tensions variables, selon l'état de la température, ou suivant d'autres causes, mais encore de fréquents glissements. Enfin le câble, à mesure que sa longueur diminue, court des chances d'usure et de rupture de plus en plus grandes. — En résumé, pour des distances de 20 mètres, par exemple, et au-dessous, il est évident que les arbres de couche sont préférables. — Bien moins encore peut-il être question de substituer les câbles ou les rubans d'acier aux courroies qui servent dans l'intérieur des ateliers.

« 3° Au contraire, et c'est ici que l'emploi des câbles métalliques devient une découverte importante, il n'y a, pour ainsi dire, aucune limite à la longueur des distances qui séparent les poulies conductrices de celles qui reçoivent le mouvement. — Aujourd'hui nous n'hésiterions plus un instant à envoyer une force motrice, même très-considérable, à 3 ou 4 kilomètres, si le cas se présentait, et nous serions sûr, à l'avance, de la réussite. Après le succès obtenu avec notre premier câble, nous fîmes, en 1855, une application déjà beaucoup plus hardie que la première, sous tous les rapports. — Une force de 38 chevaux, ou $38 \times 75 = 2{,}850$ kilogrammètres, fut utilisée, à l'aide d'une de ces nouvelles transmissions, à 240 *mètres de distance*, pour mener un atelier de tissage et toutes ses dépendances. Cette transmission, la seule possible pour une telle longueur, remplace aujourd'hui un moteur hydraulique, dont l'installation n'avait pas coûté moins de 40,000 francs. L'utilité des câbles, sur cette échelle, ne peut être aisément évaluée à l'avance. Il suffit, par exemple, de faire remarquer que le long des cours d'eau, principalement dans les vallées, et dans mille cas analogues, il peut être avantageux de n'être pas contraint de réunir en quelque sorte, dans le même local, le moteur et les machines à mettre en mouvement. — La nouvelle transmission se prête merveilleusement à toutes les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exigences, et c'est ainsi qu'en Suisse, dans le canton de Glaris, la maison Egly Wagner a transmis une force motrice assez considérable, du fond d'un vallon, à un bâtiment (ancien couvent) situé sur une élévation voisine, et disposé pour un tissage mécanique. — Quelques accessoires, néanmoins, sont nécessaires, selon les localités ou selon les distances à franchir; je vais en dire quelques mots.

« 4° La flèche de l'arc que forme la corde, et la tension croissant avec la longueur, il arrive un moment où l'on peut être obligé d'élever les poulies outre mesure, pour éviter que le milieu du câble ne touche au sol; en même temps l'effort sur les collets des arbres peut devenir trop considérable. Il faut donc soutenir le câble de 100 en 100 mètres environ, à l'aide de poulies intermédiaires; or ce sont ces poulies qui ont exigé le plus de tâtonnements. — Elles doivent avoir au moins 1 mètre de diamètre et être construites le plus légèrement possible (couronne en bois dur, rayons en fer cylindrique forgé, de 0m,015 d'épaisseur, axe en fer avec croisillon en fonte, le tout parfaitement centré). La gorge doit être semblable à celle des poulies motrices, mais garnie au fond d'une lanière *en caoutchouc vulcanisé*, au lieu de cuir ou de gutta-percha.

« D'après diverses applications qui ont déjà été faites suivant mes conseils, ces poulies intermédiaires, convenablement inclinées, peuvent avantageusement servir à changer la direction du câble et à établir des rapports de mouvement entre des arbres non parallèles; autrement dit, ces poulies peuvent servir à faire décrire à la transmission un vrai polygone, soit en projection horizontale, soit en projection verticale.

« 5° Un reproche, ou du moins une objection que l'on serait tenté de faire à ce mode de transmission, et qui pourrait même en retarder l'application, consiste dans la perte de force que l'on supposerait causée par le frottement des axes des poulies contre leurs collets, par suite de la grande traction du câble; mais cette objection tombe devant le calcul qui vient prouver que cette perte est peu sensible, et qu'on peut la considérer comme nulle lorsqu'on la met en regard de celle qui résulte de l'emploi des arbres de couche. — En effet, si, à l'aide des données expérimentales et numériques que nous avons pu recueillir jusqu'ici, nous venons à comparer la force réellement consommée par notre câble de 240 mètres, et celle que consommerait une transmission ordinaire par arbres de couche, nous acquérons promptement la certitude que la première de ces forces est à la seconde comme 1 : 15.

« Pour une longueur de 80 mètres, mesurée horizontalement à partir de la poulie motrice, la flèche de la courbe de notre câble est, à l'état de repos, de 0m,85. Le câble pesant 1 kilogr. pour 2m,73 de longueur, on trouve, à l'aide de l'équation de la chaînette, que la tension est de 331 kilogr. environ au point d'enroulement sur la poulie conductrice. Cette tension étant la même pour les deux brins, exerce une pression de 662 kilogr. sur les collets de l'arbre moteur. On sait que la somme des tensions des deux brins d'une courroie est la même à l'état de mouvement qu'à l'état de repos; la tension du brin conduit diminue autant que celle du brin conducteur augmente. La force transmise étant de $38 \times 75 = 2{,}850$ kilogrammèt. et la vitesse de 13m,5 environ, on a $\frac{2{,}850}{13{,}5} = 211$ kilogr. pour l'effort dû au travail. La tension du brin conducteur est donc de 542 kil., et celle du brin conduit 120 kilogr. Le collet sur lequel s'exerce la pression totale de 662 kilogr. à 0m,07 de diamètre : avec 92 tours par minute, la vitesse à la circonférence est donc de 0m,33 par seconde. En admettant que le frottement soit de 1/10 de la pression (ce qui, d'après mes recherches sur le frottement, est le chiffre le plus défavorable possible), on a $\frac{662}{10} \times 0^m,33 = 21^{km},8$ pour le travail en kilogrammètres, absorbé par les collets. Cette valeur est à doubler, puisque le même travail est consommé par les frottements de la poulie conduite (soit 43km,6).

« Pour construire une transmission équivalente avec un arbre de couche, il faudrait donner à celui-ci 0m,1 de diamètre. Sur 240 mètres, on a donc un poids de 13,000 kilogr. La vitesse à la circonférence est ici de $\frac{92 \times 0{,}1 \times 3{,}1416}{60} = 0^m,48$ par seconde. En admettant aussi 1/10 de 13,000 kilogr. pour la valeur du frottement, on a donc $0{,}48 \times 13{,}00 = 644$ kilogrammètres pour la force consommée, au lieu de 43k,6 que nous avons pour notre câble. — Il serait facile de prouver que ce rapport $\frac{644}{43{,}6}$ est un minimum dans la pratique.

« Remarquons, en passant, que le prix d'un tel arbre, à lui seul, serait d'environ 25,000 francs, y compris les supports, les coussinets, la pose, etc.; tandis qu'un câble, avec ses deux grandes poulies et ses deux petites poulies de support, n'atteindra jamais le 1/10 de cette somme.

« Encore faut-il remarquer que le parallèle que je viens d'établir entre les deux systèmes donnerait de bien autres résultats si l'on augmentait considérablement les distances; car il arriverait un moment où l'arbre de couche, en raison de sa trop grande longueur, ne serait plus même assez fort pour se mouvoir, *lui seul*, sans se rompre, tandis que le câble soutenu, de distance en distance, par des poulies de support, pourrait être conduit indéfiniment loin, sans que le frottement devînt un obstacle sérieux à son emploi. — En effet, du moment où, en raison de la distance, on est obligé de recourir aux poulies-supports, ce ne sont plus *qu'elles seules* qui peuvent absorber de la force; or, à simple vue, on se convaincra que les axes de ces poulies et leurs collets qui sont d'un diamètre très-réduit, et qui d'ailleurs n'ont pas une charge bien grande à supporter, ne peuvent consommer qu'un travail relativement insignifiant.

« Cette merveilleuse faculté *de franchir l'espace sans perte notable de force* n'appartient donc qu'aux transmissions par câbles métalliques. — Basée sur le principe élémentaire de mécanique, en vertu duquel on arrive aux grandes quantités de travail, avec de petites forces et de grandes vitesses, et *vice versâ*, et sur l'expérience pratique de l'inaltérabilité du métal plié et replié sans cesse sur des arcs de grand rayon, cette solution du problème fournira un nombre infini d'applications nouvelles. Son extrême facilité d'exécution, le peu de dépense qu'elle entraîne vulgariseront rapidement une découverte qui, nous devons le faire remarquer, n'est protégée par aucun brevet, et sur les applications de laquelle nous avons toujours libéralement donné tous les renseignements pour lesquels on a eu recours à nous. »

AD. HIRN.

COUVERTURES. La bonne exécution des couvertures exerce dans nos climats une influence majeure sur la conservation des édifices. On doit rechercher pour cet usage des matériaux légers, inaltérables à l'air, incombustibles, résistants et faciles à travailler, d'un aspect agréable, enfin économiques; on doit les mettre en œuvre, de manière à réduire autant que possible les frais de l'entretien, et à le rendre facile et sans danger pour les ouvriers, en tout temps. Le problème a été plus ou moins complétement résolu de manières très-diverses; nous étudierons les principales solutions qu'on lui a données.

COUVERTURES EN TERRE CUITE.

Les couvertures en terre cuite ont l'avantage d'être durables, économiques, d'une belle couleur qui s'associe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bien avec la verdure, et plus isolantes que toute autre. Il y en a une infinité de variétés; elles sont en général assez lourdes.

1° *Tuiles plates.*

Les types les plus employés à Paris sont les suivants; ils sont connus sous le nom de tuiles de Bourgogne :

Grand moule : dimensions, 0,300 × 0,250 × 0,015; poids, 2k,400; pureau, 0,11.

Petit moule : dimensions, 0,24 × 0,195 × 0,015; poids, 1k,320; pureau, 0,08.

Ces tuiles s'attachent par un crochet, qu'elles portent en dessous, sur des lattes en cœur de chêne ou de châtaignier, ou sur des tringles en sapin. On appelle *pureau* la partie de la surface de la tuile qui est apparente à l'extérieur. La tuile se pose ordinairement au tiers de pureau, c'est-à-dire que dans toute l'étendue de la couverture il y a une triple épaisseur de tuiles. Les bons couvreurs profitent des imperfections de forme dues à la cuisson pour corriger celles qui existent dans la pose du lattis et utiliser toutes les matières premières mises à leur disposition.

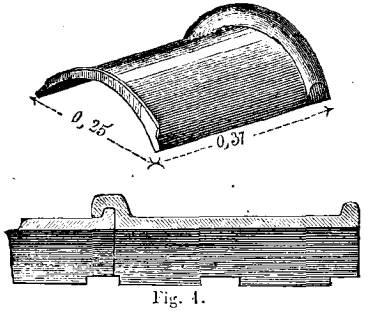


Fig. 1.

Les faîtages et les arêtes se font soit avec des filets ou solins en plâtre, ce qui est peu solide, soit avec des tuiles creuses, dites faîtières, posées sur une embarrure en plâtre; on emploie avec avantage des tuiles faîtières à bourrelet, qui évitent les dégradations des crêtes en plâtre.

Les *égouts* se font de différentes manières. L'*égout simple* ne s'emploie guère qu'avec un chéneau (fig. 2).

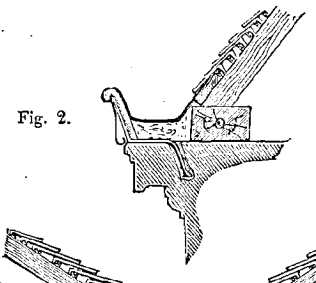


Fig. 2.

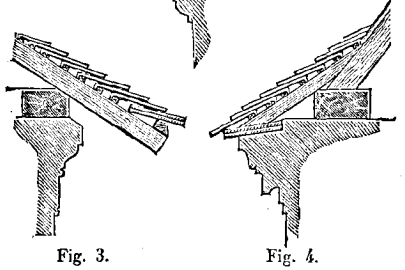


Fig. 3.

Fig. 4.

L'*égout retroussé* comporte l'emploi d'un petit coyau cloué d'un bout sur l'extrémité du chevron, et posé de l'autre sur un double rang de tuiles scellées sur le dessus de la corniche (fig. 3).

L'*égout pendant* s'emploie quand les chevrons dépassent le parement du mur; leurs extrémités sont reliées par une petite chanlatte sur laquelle s'appuient les deux rangs de tuiles formant l'égout (fig. 4).

Les tuiles plates comportent des pentes de 40 à 60°.

2° *Tuiles creuses.*

Tuiles italiennes. — On fait encore usage en Italie d'un système de couverture qui paraît avoir beaucoup d'analogie avec celui qu'employaient les anciens. Les chevrons, espacés de 0m,32 d'axe en axe, servent de soutien à une aire en carreaux maçonnés de 0m,020 d'épaisseur; les tuiles sont de deux sortes : les unes plates en forme de trapèze, avec rebords latéraux saillants en dessus : on les nomme *tegole;* elles se posent par rangs parallèles espacés de 0m,03 au minimum, et se recouvrent de 0m,08; les autres, de forme tronc conique, s'appellent *canali;* elles recouvrent les intervalles des premières. Ces couvertures sont très-lourdes, mais excellentes et durent indéfiniment.

Quelquefois les canali sont supprimés et remplacés par des tegole retournées.

Tuiles creuses françaises. — On se sert beaucoup, dans une grande partie de la France, de tuiles analogues aux *canali,* posées par rangs parallèles qui présentent alternativement au dehors leur concavité et leur convexité. Les tuiles sont calées avec des pierres ou des débris, et ne sont maintenues sur la volige que par le frottement.

Ces couvertures sont économiques; mais elles demandent à être remaniées souvent. Elles ne comportent qu'une faible inclinaison, de 15 à 27°, ce qui les expose à être dérangées par le vent.

Les tuiles de faîtage et d'arêtiers sont plus grandes, et ordinairement consolidées, ainsi que celles des bords avec du mortier.

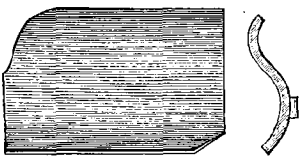


Fig. 5.

Tuiles flamandes ou pannes.

Leur coupe transversale présente la forme d'un S; elles ont peu de recouvrement et sont ordinairement maçonnées sur les joints. Ces tuiles se prêtent à des inclinaisons très-variées, et chargent moins les combles que les précédentes; mais elles sont souvent gauches et inégales, et donnent lieu à des fuites (fig. 5).

Tuiles modernes.

Depuis quelques années, on a introduit de nombreux perfectionnements dans la fabrication des tuiles; on a cherché à diminuer la surface perdue par les recouvrements et en même temps le poids par mètre superficiel, à augmenter les facilités d'écoulement des eaux de pluie, à éviter les fuites dues à l'action du vent et de la capillarité; on a découvert des procédés d'assemblages très-ingénieux; on a rendu solidaires toutes les tuiles et amélioré leur attache aux lattis. Parmi les industriels auxquels sont dues les améliorations les plus remarquables, on cite MM. Gilardoni et Muller, Courtois, Dumont, etc.

Tous ceux qui se sont occupés de cette question n'ont pas évité une certaine complication de formes peu compatible avec les exigences de la pratique. Quand les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tuiles perfectionnées ne sont pas parfaitement régulières, elles présentent de sérieux défauts; malheureusement on se trouve placé, dans cette fabrication, entre deux écueils : déformation des tuiles par excès de cuisson, ou mauvaise qualité de la matière par insuffisance de chauffe; on ne peut les éviter que par une attention très-soutenue dans la conduite des fours, et par l'emploi de matières premières d'excellente qualité.

Tuiles rectangulaires Gilardoni.

Le type le plus répandu de ce genre de tuiles est dû à MM. Gilardoni, d'Altkirch (Haut-Rhin); ils ont produit successivement trois modèles dérivant du reste de principes communs; on a représenté ci-contre (fig. 6).

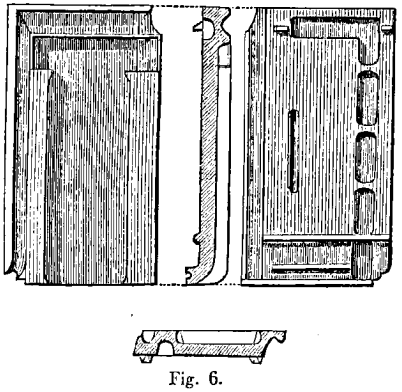


Fig. 6.

le dernier qui offre les perfectionnements les plus récents dus à ces habiles fabricants, et notamment une simplification très-appréciée des formes primitives. La tuile est accompagnée sur son périmètre de rainures qui présentent leur concavité en dessus, sur les côtés supérieur et de gauche; en dessous, sur les côtés inférieur et de droite. Chaque tuile se trouve ainsi très-convenablement liée avec les tuiles voisines; de plus, ces rainures sont accompagnées de rebords saillants, dont l'ensemble forme sur le toit des compartiments ou rainures bien accentués, dirigés suivant la ligne de plus grande pente, et propres à donner aux eaux un facile et rapide écoulement. La petite quantité de liquide qui

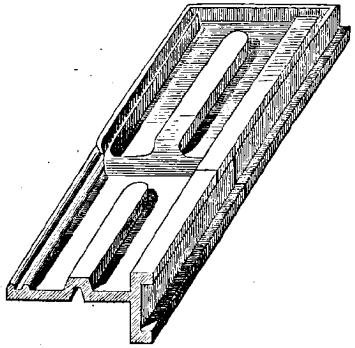


Fig. 7.

peut s'introduire par les joints verticaux s'échappe dans la rainure correspondante, et est rejetée sur le dessus de la tuile immédiatement inférieure. Le rebord du bas

est accompagné d'un larmier et d'un coupe-larme qui s'opposent efficacement à l'introduction des eaux ou des neiges chassées par un vent violent qui tendrait à leur faire remonter la pente du toit. Tous ces détails minutieux sont étudiés avec le plus grand soin et très-habilement disposés.

Le modèle n° 2 différait du précédent par la forme des rainures et par l'addition, au milieu de la tuile, d'une nervure qui nuisait à son aspect sans ajouter beaucoup à sa force. La fig. 7 montre des tuiles de rive établies d'après ce type. La fig. 8 représente une double tuile pour passage d'un tuyau de cheminée.

Les tuiles du modèle n° 1 offraient des joints discontinus; on était obligé d'avoir des demi-tuiles pour les rives, et l'apparence générale des couvertures était moins simple et moins agréable.

M. Muller fabrique à Ivry (Seine), en même temps que les tuiles courantes décrites ci-dessus, un grand nombre de modèles spéciaux pour rives, faîtages, arê-

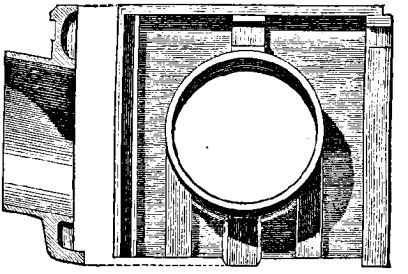


Fig. 8.

tiers, chéneaux, etc., dont le détail serait trop long à donner ici, et qui constituent des toitures solides, durables et très-élégantes d'aspect dans toutes leurs parties.

Les tuiles Gilardoni, ou des modèles qui en diffèrent très-peu, se fabriquent maintenant dans beaucoup de localités.

Tuiles rectangulaires à colonne.

Ces tuiles paraissent dériver des formes de la tuile flamande, combinées avec les perfectionnements introduits par MM. Gilardoni; nous en indiquons ci-contre deux exemples (figures 9 et 10) : le premier est dû à M. Girard; le second est fabriqué par par MM. Royaux et Beghin, à Leforest (Pas-de-Calais). Ces tuiles ont l'avantage d'offrir des formes très-simples, faciles à fabriquer et à poser; le contact des joints est plus libre et moins exposé à se remplir de poussières, à s'engorger et à donner passage aux infiltrations dues à l'action de la capillarité; le rebord extérieur, à gauche du canal de fuite du joint longitudinal, est un peu plus élevé que le rebord intérieur, ce qui offre encore un obstacle à l'introduction des eaux qui passent dans ce canal; la forme cylindrique ou conique de l'emboîtement longitudinal, d'où vient le nom de ce système de tuile, donne moins de prise au vent que la forme prismatique.

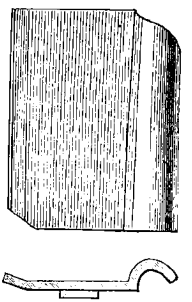


Fig. 9.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MM. Dumont et Pizet fabriquent à Acheux (Somme)

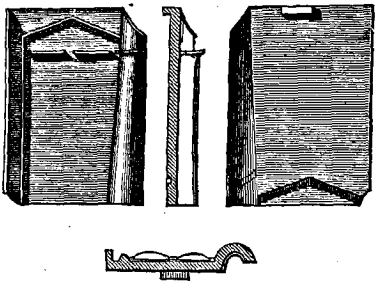


Fig. 10.

et à Roanne (Loire) des tuiles de ce système, d'un excellent usage, et très-légères.

M. Coypel, à Alençon (Orne), a présenté à l'Exposition universelle de 1867 des tuiles à colonne à joints verticaux discontinus, dont les dispositions sont très-bonnes.

Tuiles en lozange.

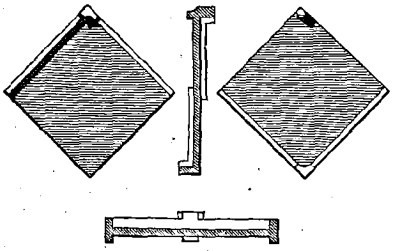


Fig. 11.

Ces tuiles sont dues à M. Courtois, fabricant à Paris;

elles sont carrées et se posent de manière que l'une des diagonales soit horizontale. Les deux côtés supérieurs sont munis de rebords saillants en dessus et recouverts par les tuiles adjacentes; les deux côtés inférieurs portent des rebords saillants en dessous qui recouvrent et accrochent les tuiles voisines. Le sommet du haut est muni par-dessous d'un crochet d'attache sur le lattis, et d'un autre crochet saillant en dessus, offrant prise à la tuile immédiatement supérieure; le sommet du bas offre un crochet saillant en dessous qui maintient la tuile immédiatement inférieure. Chaque tuile est ainsi en contact et solidaire avec six autres.

Tuiles ogivales ou en écaille.

Ce système dérive immédiatement de la forme précédente et n'a d'autre avantage que d'introduire dans les toitures un élément décoratif dont on peut varier les dispositions de manières très-diverses.

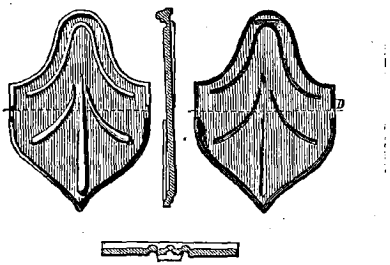


Fig. 12.

Nous extrayons des excellentes études que M. C. Détain, ingénieur civil, a publiées dans la *Revue de l'architecture et des travaux publics*, de M. César Daly, le tableau suivant où sont résumées les données les plus importantes relatives aux couvertures en tuiles.

DÉSIGNATION des TUILES.	DIMENSIONS. Surface totale. Hauteur.	Largeur.	Surface découverte. Hauteur.	Largeur.	POIDS d'une tuile. Sèche.	Mouillée 1/4 d'heure.	FUREAU.	NOMBRE par mètre. de lattes.	de tuiles.	POIDS par mètre carré compris lattes. tuiles sèches.	tuiles mouillées.	PENTE minimum.	PRIX à l'usine du millier.	MAIN-D'ŒUVRE (2 hommes) par mètre carré.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	kil.	kil.				kil.	kil.		fr.	minut.
T. plates Bourgogne														
Grand moule	0.30	0.25	0.11	0.25	2.41	2.62	0.11	9.10	36.40	88	96	0.75	95	30
Petit moule	0.24	0.195	0.08	0.24	1.32	1.42	0.08	12.50	64.10	86	92	1.00	60[1]	40
Creuses Bourgogne	0.37	0.19 à 0.16	0.25 à 0.28	0.105	2.66	2.89	0.25 à 0.28	volige	34 à 38	98 à 100	98 à 110	0.50	160[1]	40
T. flamandes. Mosselman	0.33	0.22	0.25	0.18	1.53	1.64	0.25	4	22.22	34	38	0.75	90	30
T. Girard	0.34	0.26	0.22	0.19	2.26	2.43	0.22	4.55	23.80	54	58	0.75	60	30
T. Royaux et Beghin	0.30	0.22	0.22	0.19	1.37	1.50	0.22	4.55	23.80	33	36	0.75	70[3]	30
Dumont					2				20			0.45	150	
Coypel									21	34				
Gilardoni n° 1[2]	0.38	0.23	0.33	0.20	2.55	2.97	0.33	3.05	15.15	39	45	0.50	125	25
n° 2	0.38	0.23	0.33	0.20	2.73	3.14	0.33	3.05	15.15	42	48	0.50	125	25
n° 3	0.42	0.23	0.33	0.20	2.52	2.89	0.33	3.05	15.15	45	48	0.40	125	25
Muller	0.38	0.23	0.33	0.20	2.95	3.14	0.33	3.05	16.40	43	51	0.50	200[1]	25
Courtois	0.36	0.36	0.30	0.30	2.35	2.45	0.15	6.67	18.52	44	46	0.75	125[1]	25
Josson. Grand moule	0.40	0.28	0.32	0.28	2.29	2.49	0.16	6.25	22.32	51	56	0.60	125[1]	30
Petit moule	0.28	0.19	0.22	0.19	0.79	0.87	0.11	9.09	47.87	38	42	0.75	120[1]	35

1. A Paris. — 2. 112 fr., à Paris. — 3. Joint vertical discontinu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COUVERTURES EN ARDOISES.

Deux articles insérés, l'un dans le *Dictionnaire*, l'autre dans son *Supplément*, ont déjà donné des indications générales au sujet de l'ardoise et de ses divers emplois; nous devons donc nous restreindre exclusivement à ce qui concerne l'art du couvreur. Chaque exploitation d'ardoises emploie des dénominations spéciales dont la nomenclature complète serait trop longue. Nous nous contenterons de rappeler ici les dimensions et les désignations les plus usitées à Angers et dans les Ardennes.

DÉSIGNATION des ARDOISES.	DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. Hauteur.	Largeur.	ÉPAISSEUR. min.	max.	POIDS de 1040 ardoises.	PUREAU.	NOMBRE d'ardoises dans 1 mètre.	PRIX de 1040 ARDOISES à Angers.	à Paris.	OBSERVATIONS. USAGES.
ANGERS.					kil.	m.	m. c.			
Ardoises ordinaires.										
1re carrée, grand modèle	324	222	2.5	3.5	500	0.11	42	36	52	Ces trois premières espèces ordinaires sont seules expédiées à de grandes distances. La 1re carrée demi-forte est la plus employée. Durée 25 ans.
— demi-forte	297	216	2.1	3	420	0.10	47	32	48	
— forte	297	216	2.5	4	560	0.10	47	33	51	
2e carrée	297	195	2.1	3.5	410	0.10	52	27		
Grande moyenne forte	297	180	2.1	3.5	400	0.10	55	25		
Petite moyenne forte	297	162	2.1	3.5	360	0.10	62	23		
3e carrée flamande	270	162	2.1	3.5	340	0.00	69	17		
— ordinaire	243	180	2.1	3.5	310	0.09	72	16		
4e carrée ou carrelette n° 1	216	162	2.1	3.5	260	0.07	88	13	28	Combles courbes à l'impériale, etc.
— n° 2	216	122	2.1	4	210	0.07	114	8		
— n° 3	216	95	2.1	4	155	0.07	146	5.50		
Ardoises non échantillonnées. Poil taché	297	168	2.1	4	450	0.10	60	2.50		Au moins.
Poil roux	270	141	2	4	310	0.09	78	12.50		Lourde, facile à décomposer.
Héridelle	380	108	2	4	430	varie.	varie.	11		Surface.
Ardoises taillées à la mécanique. Grande écaille.	296	198	2.5	2.5	520	0.10	50	38	54	Dômes sphériques.
Petite écaille	230	132	2.5	2.5	240	0.08	94	18	33	Couvertures d'ornement.
A. découpée	300	170	2.5	2.5	300	0.10	60	40	55	
Modèles anglais n° 1	640	360	4.5	6	3.100	0.28	9.92	205	300	A Paris, 250 francs.
— n° 2	608	360	4.5	6	2.900	0.265	10.48	194	280	Types introduits en 1851 par M. Larivière. Ces types sont complétement rectangulaires; ils sont susceptibles pour la taille en ogive d'une augmentation de 15 francs (n° 1 à 5), de 10 fr. (n° 6 à 10). Le n° 3 est le plus employé.
— n° 3	608	304	4.5	6	2.450	0.265	12.40	164	220	
— n° 4	558	279	4.5	6	2.020	0.240	14.92	136	180	
— n° 5	508	254	3.5	5	1.510	0.215	18.31	111	150	
— n° 6	458	254	3.5	5	1.330	0.190	20.70	98	130	
— n° 7	406	203	3.5	5	920	0.165	29.85	68	100	
— n° 8	355	203	3.5	5	710	0.140	35.21	58	80	
— n° 9	355	177	3.5	5	630	0.140	40.32	50	70	
— n° 10	305	165	3.5	5	470	0.115	52.63	38	52.50	
ARDENNES.										
Grande carrée	300	220	2	3	410	0.115	45	25	31.10	Sur bateaux ou wagons. S'expédient seules.
Grand St-Louis (coupe Angers)	300	190	2	3	350	0.115	55	23	27.10	
— ordinaire	300	190	2	3	350	0.115	55	23		Restent dans le pays.
Grand Baras	320	190	2	3	450	0.115	55	23		
Fort Baras	300	190	3	4	425	0.115	50	23		
Grande démêlée	280	160	3	3	340	0.115	71	18		
Petite démêlée	265	150	3	3	270	0.115	90	18		

L'ardoise est plus légère, plus facile à travailler, d'une surface plus unie, plus brillante que la tuile; elle est généralement moins durable, elle éclate au feu et elle ne présente pas assez de solidité pour que les ouvriers employés aux réparations puissent marcher sur les toits sans la briser.

Le vent a plus d'action sur elle que sur la tuile; la pluie remonte plus facilement par l'effet de la capillarité dans ses joints serrés; le contact prolongé de l'humidité lui est plus nuisible.

Ces considérations conduisent à donner aux ardoises des pentes rapides, au moins 45°, à éviter celles qui sont trop minces, sans compacité, gélives et hygrométriques, et à user de tous les moyens propres pour les fixer invariablement en place.

Les couvertures en ardoises sont d'un aspect très-agréable, surtout quand elles sont encadrées de bordures en plomb; on peut les décorer et les enrichir de dessins variés, soit en donnant aux extrémités des ardoises des formes diverses, ogive, quart de rond, chanfrein, etc., soit en employant des ardoises de provenances et de couleurs différentes. Les principaux gisements sont caractérisés par les colorations suivantes :

Gris bleuâtre. — Angers (Maine-et-Loire).
» plus clair. — Chattemoue (Mayenne).
» plus foncé. — Renazé (Mayenne).
» » — Port-Launay (Finistère).
Gris verdâtre clair. — Rimogne, Deville et Monthermé (Ardennes).
Bleu foncé. — Fumay (Sainte-Barbe); Haybes, Rimogne (Ardennes).
Violet. — Fumay (Sainte-Barbe); Haybes ou Moulin-Sainte-Anne (Ardennes).

Les ardoises sont ordinairement posées sur des voliges en peuplier ou en sapin, de 0m,14 de largeur, 0m,15 d'épaisseur et 2 mètres de longueur, espacées de 0m,04; on les range à la manière des tuiles de Bourgogne, avec un tiers de pureau. Elles sont fixées sur la volige par deux clous, en cuivre ou en fer galvanisé, placés le plus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bas possible, et de manière à ne pas pénétrer les ardoises du rang inférieur. On procède par rangées horizontales de la base au faîte. L'ouvrier met de côté les

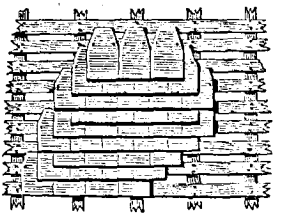


Fig. 13.

ardoises fortes pour le bas du toit, les fines pour le haut, les coffines et pendantes pour les utiliser au besoin suivant les irrégularités de la surface du voligeage.

joints obliques, on interpose entre l'*arêtier* et la première ardoise courante deux autres ardoises, dites *approche* et *contre-approche*, dont les joints sont de plus en plus rapprochés de la ligne de plus grande pente. Cette disposition entraîne beaucoup de main-d'œuvre et de déchet.

2° *La bavette* est une bande de zinc ou de plomb posée sur une légère couche de plâtre et recouvrant les ardoises; elle est fixée soit au moyen de *pattes*, soit au moyen de *mouches*, ou gros clous de bateau, qui ont l'inconvénient de laisser pénétrer la pluie par le trou de passage à travers la feuille métallique. Telle est la bavette simple.

La bavette composée est préférable; elle se compose de deux bavettes en plomb, cloutées sur un tasseau en bois et maintennes de distance en distance sur la couverture en ardoises par des pattes; un couvre-joint en zinc ou plomb est fixé sur ce tasseau. On peut donner à ce couvre-joint des formes plus accentuées et plus décoratives, et accompagner les bavettes d'ourlets qui les

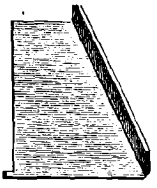


Fig. 14.

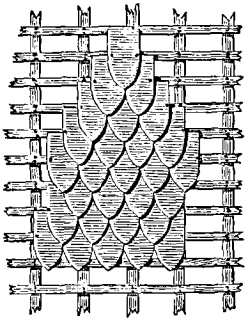


Fig. 15.

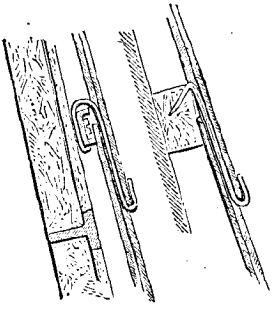


Fig. 16.

Fig. 17.

Les ardoises des modèles anglais se posent sur des voliges beaucoup plus écartées que les précédentes, plus minces et légèrement chanfreinées pour diminuer les surfaces de contact et mieux ménager l'accès de l'air. La figure 15 donne une idée de cette disposition appliquée à des ardoises en ogive. Cette forme décorative a l'avantage de donner moins de prise au vent, et de favoriser l'assèchement du schiste.

MM. Mauduit et Béchet ont introduit récemment un nouveau mode d'emploi des ardoises, qui paraît réaliser un progrès remarquable, destiné à augmenter beaucoup la solidité et les chances de durée de cette espèce de couverture. Il consiste à fixer chaque ardoise non plus avec deux clous et en dessus, mais avec un crochet en fil de cuivre la soutenant par sa tranche inférieure (fig. 16). Les ardoises sont ainsi beaucoup mieux assurées contre l'action du vent, et plus faciles à remplacer quand elles ont été brisées. Cette nouvelle disposition s'appliquerait aussi bien avec un lattis en fer, comme on le remarque sur la figure 17.

Raccords. — Les arêtiers peuvent être montés de trois manières différentes : 1° *en tranchis biais apparent*, c'est-à-dire au moyen d'ardoises limitées à l'arête de la toiture, en ayant soin que celles d'un côté de l'arête recouvrent complétement l'épaisseur de celles placées sur l'autre côté, soit d'une manière continue, soit par assises alternatives. On est conduit par suite de l'insuffisance de dimensions des ardoises ordinaires à débiter celles qui forment l'arêtier entre deux joints obliques dont l'un forme l'arête; pour établir une transition agréable à l'œil entre cette ardoise d'arêtier et les ardoises courantes, et assurer en même temps l'étanchéité des consolident et les accusent plus nettement aux regards.

3° Les *noquets* (fig. 14) sont des feuilles de zinc découpées en forme d'ardoises d'arêtier; elles s'assemblent sur l'arête soit au moyen d'agrafes, soit sur couvre-joint à tasseau.

Les noquets sont encore employés pour raccords sur rives droites, raccords de crochets, de noues, etc.

Les faîtages s'exécutent comme les arêtiers.

Les ardoises sont trop faibles pour qu'on puisse y marcher quand les pans ont un grand développement. On ménage des chemins d'accès pour les ouvriers chargés des réparations, et notamment pour les fumistes : les chéneaux, les noues, les faîtages, sont souvent utilisés pour cela; on pratique aussi des escaliers de distance en distance; enfin on place des crochets pour appliquer des échelles et soutenir des échafaudages. Ces crochets doivent être faits en bon fer nerveux et fixés sur les chevrons avec des boulons. On ne doit pas perdre de vue que la vie des ouvriers dépend de la bonne exécution de ces menus détails.

COUVERTURES EN ZINC.

L'histoire du zinc a été faite dans l'article du *Dictionnaire* consacré à ce métal; pour l'emploi spécial qui nous occupe ici, le zinc est livré au commerce en feuilles, distinguées par des numéros correspondant à leur épaisseur, et dont les dimensions, les poids et les usages principaux sont indiqués dans le tableau suivant.

Le zinc a coûté, dans ces dernières années, de 60 à 70 fr. les 100 kilog.

L'application du zinc aux toitures a donné lieu à un très-grand nombre de brevets; on l'a employé sous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NUMÉROS	ÉPAISSEUR des feuilles.	DIMENSIONS et poids des feuilles. Longueur 2 mètres. Largeur de : 0.50	0.65	0.80	POIDS du mètre carré.	OBSERVATIONS, USAGES.
	millim.	kg.	kg.	kg.	kg.	
1 à 10						Exceptionnels, employés pour cribles, stores, et la fabrication d'objets très-divers, dits articles de Paris; le zinc pour ces divers usages s'est presque entièrement substitué au fer-blanc.
11	0.60	4.05	5.30	6.50	4.05	Lampes, lanternes, ferblanterie, ornements pour clochetons, girouettes.
12	0.69	4.65	6.10	7.50	4.65	Couvertures de constructions provisoires, tuyaux de descente; recouvrement de saillies, corniches, etc.; objets de ménage, sceaux, arrosoirs, bains de pied, etc.
13	0.78	5.30	6.90	8.50	5.30	
14	0.87	5.95	7.70	9.50	5.95	Couvertures ordinaires.
15	0.96	6.55	8.55	10.50	6.55	Couvertures des monuments publics, petits arrosoirs.
16	1.10	7.50	9.75	12	7.50	
17 à 26						Pompes, réservoirs, etc.
26	2.66	18.80	24.40	31	18.80	

forme de tuiles, de feuilles soudées de grandes dimensions, de feuilles assemblées par simple agrafure (fig. 20), par coulisseau (fig. 19), par recouvrement avec pattes

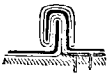


Fig. 18.



Fig. 19.



Fig. 20.

(fig. 18), etc. L'expérience a prononcé sur la plupart de ces combinaisons et le système des couvertures à tasseaux est à peu près seul en usage aujourd'hui. Nous nous attacherons principalement à le décrire, mais nous devons d'abord rappeler les propriétés essentielles de ce métal, qu'il importe de ne jamais perdre de vue dans son emploi.

Sa densité est d'environ 7.2, un peu moindre que celle du fer.

Il se dilate beaucoup quand la température s'élève; pour une variation de 50°, sa dilatation linéaire irait jusqu'à 0,015: elle serait un peu moins grande dans le sens perpendiculaire au laminage: de là des difficultés particulières pour la pose et l'assemblage des feuilles.

Le zinc à froid est peu malléable; il le devient beaucoup entre 120 et 150°; on profite de cette propriété pour le laminer, le marteler, l'estamper et lui donner les formes les plus diverses; mais si le métal a été travaillé en dehors de ces limites assez rapprochées de température, les molécules sont dans un état d'équilibre instable, le zinc est aigre, cassant, tend à se gondoler et à se déchirer.

Le zinc est bon conducteur de la chaleur; c'est-dire qu'il est insuffisant par lui-même pour mettre l'intérieur des édifices à l'abri des variations de la température extérieure; il ne protège que contre la pluie: il donne lieu à des condensations intérieures de l'humidité atmosphérique ou buées souvent très-gênantes.

Exposé à l'air, il se recouvre d'une patine d'oxyde de zinc qui le préserve contre toute altération ultérieure due au contact de l'atmosphère, mais qui ne suffit pas pour l'empêcher d'être attaqué et détruit au contact des eaux ménagères, du fer, du plâtre frais, du chêne humide et surtout non flotté. Dans ces deux dernières circonstances, il doit être isolé par une couche de papier bitumé, de feutre ou de peinture.

Il paraît établi par plusieurs exemples, que les eaux recueillies sur les toitures en zinc tiennent en dissolution des sels vénéneux et ne doivent pas être employées pour les usages domestiques.

Les feuilles de zinc peuvent être soudées entre elles par le moyen suivant: La soudure est un alliage de 40 parties d'étain fin et de 60 de plomb; les fers à souder sont en cuivre rouge. Les feuilles à réunir sont placées de manière à se recouvrir de quelques millimètres (*joint à recouvrement*), ou *bout à bout*, c'est-à-dire juxtaposées avec une bandelette de métal sous le joint. Les surfaces à souder sont préalablement imbibées au pinceau d'esprit de sel, qui n'est autre chose qu'une dissolution dans l'eau commune de gaz acide chlorhydrique. Son application a pour objet de décaper la surface métallique, d'enlever la couche d'oxyde qui s'opposerait à l'adhésion de la soudure; le chlore se combine avec le zinc et forme un chlorure volatil; l'hydrogène s'empare de l'oxygène de l'oxyde métallique. Quand le zinc est bien décapé, l'ouvrier applique sur le bord de l'une des feuilles une targette de soudure et la met en contact avec le fer préalablement chauffé; l'alliage en fusion, guidé par la pointe de l'outil, pénètre entre les deux feuilles et les unit en se refroidissant.

De ces propriétés dérivent les principes de l'art du couvreur en zinc; emploi du métal en feuilles de petite largeur, pour éviter le gondolement dû aux dilatations inégales, mais de grande longueur, afin de diminuer le nombre des joints horizontaux, les plus difficiles à rendre bien étanches; assemblages à dilatation libre, sans clous autant que possible; usage de pattes d'attache nombreuses, s'opposant efficacement à l'action du vent, sans gêner en rien les mouvements dus aux variations de température.

Ces principes sont appliqués avec beaucoup d'intel-



Fig. 21.



Fig. 22.



Fig. 23.

ligence dans le système de *couverture à tasseaux* que nous allons décrire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On commence par poser sur les chevrons du comble un voligeage en peuplier ou en sapin, fait de voliges de $0^m,12$ à $0^m,15$ de largeur, sur $0^m,05$ d'épaisseur. Elles sont clouées horizontalement sur les chevrons avec des joints d'un centimètre de large, au moyen de

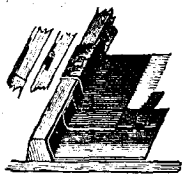


Fig. 24.

pointes, dont les têtes sont noyées dans le bois, de manière à éviter leur contact avec le zinc. Dans les combles apparents, comme ceux des gares de chemin de fer, le voligeage de couverture repose sur un plafond en bois, dont les joints sont ordinairement dirigés obliquement pour croiser ceux du dessus.

Sur ce voligeage on place parallèlement à la pente du toit, à la distance convenable, des tasseaux, dont la section présente la forme d'un trapèze, et dont les dimensions sont d'autant plus grandes que les feuilles sont plus larges et la couverture moins inclinée.

Les bords longitudinaux des feuilles sont pliés et relevés sur une hauteur de 3 à 4 centimètres, de manière à s'appliquer librement sur les faces chanfreinées des tasseaux, entre lesquels elles sont comprises. Elles sont maintenues dans ce sens au moyen de pattes en zinc passant sur le tasseau et se repliant sur l'arête de la feuille, sans gêner sa dilatation.

Les joints horizontaux sont formés par une agrafure qui n'oppose non plus aucun obstacle aux mouvements dus aux différences de température : deux pattes clouées sur la volige et insérées dans le joint de l'agrafure empêchent le glissement de la feuille inférieure.

Il reste à couvrir l'intervalle correspondant aux tasseaux ; cela se fait avec des couvre-joints, dont les bords sont légèrement repliés intérieurement, de manière à éviter tout contact pouvant donner lieu à des infiltrations capillaires. Ces couvre-joints peuvent être fixés sur les tasseaux de différentes manières :

1° Au moyen de vis garnies d'un collier de plomb et serrées fortement, de manière à éviter à la fois l'introduction de l'eau et le contact du fer avec le zinc ;

2° Au moyen de clous recouverts de calotins soudés et assez bombés pour éviter le contact du fer : cette disposition est très-usitée ;

3° Au moyen de pattes à gaine soudées dans le fond du couvre-joint et passant sous une traverse en zinc clouée sous le dessus du tasseau.

Les couvre-joints ont 2 mètres de longueur, comme les feuilles : ils sont cloués en tête et portent ordinairement une patte à gaine au milieu et une autre au pied.

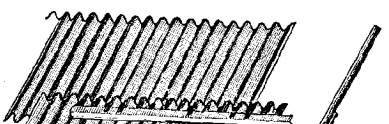


Fig. 25.

On fabrique aussi des couvertures en zinc cannelé, dont les feuilles acquièrent par cette forme assez de rigidité pour dispenser du voligeage. Elles sont simplement posées sur des pannes en bois ou en fer, sans aucune agrafure, au moyen de pattes d'équerre, dont une branche est scellée sous la feuille et dont l'autre est fixée sur la panne. La figure 25 suffit pour montrer quelle est leur disposition. Ces feuilles ont $2^m,35$ de long, sur $0^m,80$ de large ; elles sont en n° 14 et pèsent 7 kilog. le mètre carré.

Le zinc sert encore à la fabrication des bavettes, bandes de rive, chéneaux, gouttières et raccords de toute espèce ; les formes et les procédés sont analogues à ceux de travail du plomb, auquel on le substitue par économie. La figure 26, par exemple, indique comment

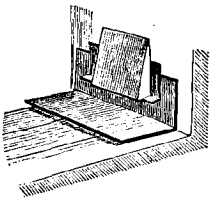


Fig. 26.

on disposerait l'extrémité d'une couverture en zinc adjacente à un mur vertical pour empêcher les eaux de pluie de pénétrer par le joint. La feuille de couverture serait relevée de quelques centimètres contre le mur et recouverte d'une bande de métal clouée sur la maçonnerie ; un petit solin en plâtre s'opposerait à toute introduction de l'eau entre les clous. Quand cela est possible, on passe cette bande dans un joint ou dans une rainure pratiquée exprès sur le parement de la pierre.

COUVERTURES EN PLOMB.

Nous renvoyons encore à l'article PLOMB du *Dictionnaire* pour l'étude des propriétés générales et de la préparation de ce métal. Le plomb destiné aux couvertures est livré par le commerce en feuilles, qui ont ordinairement 2 mètres de large sur 7 à 8 mètres de long, quand elles sont coulées, et 2 mètres ou $2^m,50$ sur 12 mètres, quand elles sont laminées : ces feuilles ont suivant leur épaisseur des poids divers indiqués dans le tableau suivant.

Durant ces derniers temps, le plomb s'est vendu de 59 à 66 fr. les 100 kilog. Le vieux plomb est ordinairement repris par les fournisseurs, moyennant un déchet de 4 p. 100 sur son poids brut, et une diminution de 10 fr. par 100 kilog. sur le prix du plomb neuf, pour tenir compte des frais de refonte.

Les plombs laminés sont les plus souples, les plus réguliers, les plus ductiles.

Nous rappelons les propriétés du plomb indispensables à connaître pour son emploi dans les couvertures.

Le plomb se dilate de 0,0014 pour 50°, c'est-à-dire presque autant que le zinc.

Sa densité est 11,35, une fois et demie celle du zinc, mais il est plus mou, plus ductile, plus susceptible de se plisser et se déchirer sur son voligeage, quand la température agit sur lui : il est quatre fois moins tenace ; il faut donc l'employer en feuilles plus épaisses pour obtenir une résistance analogue à celle du zinc ; ainsi les feuilles de 3 millimètres seraient à peu près équivalentes comme force au n° 14, elles pèseraient cinq fois plus : il est vrai qu'en raison même de leur poids, les couvertures en plomb sont moins susceptibles d'être enlevées par le vent ; d'un autre côté le plomb est beaucoup moins conducteur de la chaleur ; grâce à la facilité avec laquelle il se découpe et se martelle, il est applicable aux parties des toitures, dont les formes sont les plus tourmentées et notamment aux sur-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉPAISSEURS EN		POIDS du mètre carré plomb.		OBSERVATIONS, USAGES.
millimètres.	quarts de ligne (ancienne mesure)	laminés.	coulés.	
0.56	1	6.50		
1.00		11.35		Bavettes pendantes de petite largeur faîtages, membrons, arêtiers, châssis dans les constructions économiques.
1.12	2	13		
1.50		17		
1.68	3	19	23	
2.00		22.70	24	
2.25	4	25	26	Couvertures, terrasses, chéneaux économiques.
2.50		28.40	28.40	
2.82	5	30.50	32	Couverture nouvelle de Notre-Dame de Paris.
3.00		34.05	34	
3.38	6	38	40	Couverture nouvelle du dôme des Invalides.
3.94	7	43	45	
4.00		45.40		
4.50	8	50	52	
5.00		56.76		
6.00		68.10		

faces courbes, aux raccords, chéneaux, ornements; son aspect est incomparablement plus agréable que celui du zinc, ce qui lui assure la préférence dans les constructions monumentales. On y marche plus sûrement et on l'emploie presque exclusivement pour les terrasses; enfin le plomb en vieillissant s'altère peu et conserve une grande valeur, tandis que le zinc perd plus de la moitié de la sienne.

Exposé à l'air, le plomb se couvre d'une patine préservatrice moins adhérente que celle du zinc, mais suffisante pour le garantir de toute altération ultérieure; on doit aussi éviter de le mettre en contact avec le plâtre frais, le chêne humide non flotté, les métaux moins oxydables. Les eaux recueillies sur les toitures en plomb sont vénéneuses au plus haut degré. Les eaux ménagères peuvent couler sur le plomb sans l'altérer sensiblement. Il peut être rongé par certains insectes.

Le plomb peut se souder sur lui-même : on fait plus souvent usage d'une soudure composée de 2 de plomb et de 1 d'étain qu'on pose sur le métal gratté et mis à vif par les procédés ordinaires.

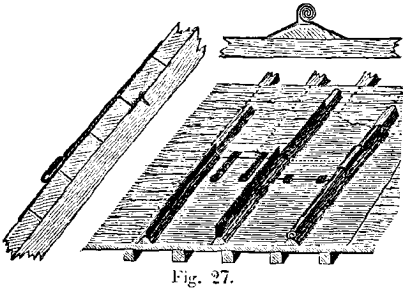


Fig. 27.

Pour établir les couvertures en plomb, on commence par construire un plancher ou voligeage en bois de sapin; on pose ensuite les feuilles, le petit côté étant ordinairement dirigé dans le sens de la pente; elles sont retenues par le bas au moyen de crochets en cuivre rouge étamé, cloués sur la volige; après les avoir bien dressées avec une batte plane en bois, on cloue le bord supérieur au droit de chaque chevron avec une forte pointe de $0^m,07$ de long. Les joints verticaux se font par agrafure en ayant soin de laisser le jeu nécessaire pour la dilatation. A la cathédrale de Paris, on a fait ces agrafures sur des tasseaux à chanfreins très-inclinés, ce qui assure encore mieux leur étanchéité (fig. 27). Quand un rang de feuilles est posé, on procède de la même manière pour le rang supérieur, en ayant soin qu'il recouvre le premier de $0^m,08$ à $0^m,20$, suivant la pente du toit. On continue ainsi jusqu'au sommet du comble qui se garnit d'un enfaîtement. Cette pièce est ordinairement maintenue par des pattes pour éviter qu'elle soit enlevée par le vent.

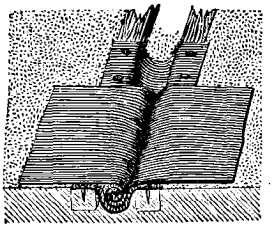


Fig. 28.

Pour les terrasses, les feuilles ont leur longueur dirigée dans le sens de la pente, et sont agrafées dans ce sens; on ménage de petits gradins au droit des joints horizontaux. Depuis quelque temps, on place quelquefois les joints sur les terrasses et balcons, dans des rainures où se dissimule l'agrafe, et qui sont revêtues d'une bande de plomb formant cuvette pour déverser les eaux au dehors. On évite ainsi toute saillie gênante pour la circulation.

Raccords, etc. — Le plomb est le métal le plus propre

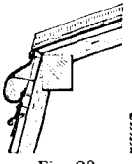


Fig. 29.



Fig. 30.

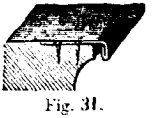


Fig. 31.

à exécuter les raccords, chéneaux, arêtiers, faîtages, noues, solives, dérivures, etc., et parties délicates des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

couvertures; on lui substitue souvent à tort le zinc, quand on vise à l'économie. Nous avons déjà cité, à l'occasion des ardoises, diverses applications du plomb; nous ajouterons encore ici quelques indications importantes.

Les croquis ci-contre (fig. 29, 30 et 31) suffisent pour indiquer comment on dispose les bandes de zinc ou de plomb, membrons, etc.

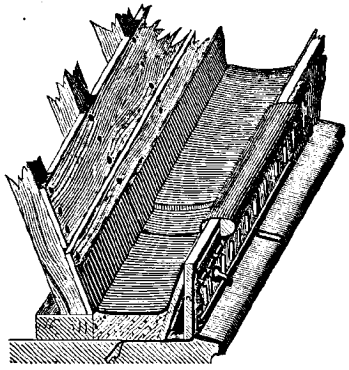


Fig. 32.

Chéneaux. — Les chéneaux sont des canaux à ciel ouvert placés au bas des couvertures pour recueillir et conduire au dehors les eaux de la pluie, qui sont ensuite évacuées soit au moyen de gargouilles, soit au moyen de tuyaux de descente verticaux. Ils sont placés sur les corniches et doivent être exécutés avec le plus grand soin pour éviter les infiltrations. Ils doivent avoir une pente suffisante pour donner à l'eau la vitesse convenable, soit au moins $0^m,01$ par mètre, et pour éviter les engorgements.

Le chéneau est ordinairement limité d'un côté par la sablière et le bas du voligeage, de l'autre par une planche de $0^m,034$ d'épaisseur, inclinée en dehors pour éviter les relèvements et plis à angle droit qui fatiguent le métal et tendent à produire des fissures. Cette planche est maintenue par des équerres en fer scellées dans le dessus de la corniche. La face extérieure peut être décorée de feuilles de métal estampé.

La pente est faite en plâtre et plâtras; la feuille de plomb est ensuite posée en évitant les angles vifs; on la retourne et on la borde d'un ourlet du côté extérieur; on a soin de maintenir de ce côté son arête plus basse qu'à l'intérieur, afin qu'en cas d'engorgement les eaux se déversent au dehors. On recouvre aussi souvent le bord du chéneau avec une bande distincte, comme le montre la figure 32.

Les feuilles du chéneau se raccordent par gradins pour éviter les infiltrations sans gêner la dilatation; ils ont au moins $0^m,03$ de hauteur.

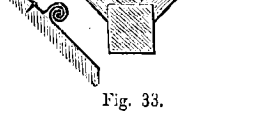


Fig. 33.

Noues. — Les noues peuvent se disposer de diverses manières, suivant leurs dimensions; nous indiquons la plus simple dans la figure 33. Elles ont ordinairement beaucoup plus de pente que les chéneaux, et il suffit d'assembler les feuilles par recouvrements de $0^m,10$ à $0^m,15$, suivant l'inclinaison. Les tables sont clouées en tête; on ne leur donne pas plus de 2 à 3 mètres de longueur, et on les maintient latéralement par des pattes en cuivre.

COUVERTURES EN CUIVRE.

Les couvertures en cuivre, ou plutôt en bronze, ont été fort employées par les anciens sous forme de tuiles ou de lames souvent dorées; elles ont partout disparu non par l'effet de la vétusté, mais par celui du vandalisme et de la cupidité. Le système employé aujourd'hui est différent et repose sur l'application du cuivre laminé. Les feuilles de cuivre se distinguent dans le commerce par des numéros correspondant à leur poids. On a fait usage des numéros suivants :

N^os 9 à 10. Ces feuilles sont trop minces et doivent être étamées; autrement elles présentent des fissures qui laissent passer l'eau; il n'y a aucun avantage à employer un métal aussi mince (couverture du Panthéon).

N° 20. Pesant $7^k,625$ par mètre carré (couverture de la Chambre des députés et de la Bourse de Paris).

Le cuivre laminé s'est vendu, dans ces dernières années, à environ 270 fr. les 100 kilogrammes.

Les feuilles de cuivre se placent du reste ordinairement comme les feuilles de plomb, avec cette seule différence qu'on fixe leur bord supérieur avec des vis au lieu de clous. Les bords longitudinaux sont réunis par agrafures sur plis ou avec des coulisseaux.

Le métal a une rigidité suffisante pour se passer de voligeage quand on l'applique sur un comble en fer.

COUVERTURES EN FER.

Dans le nord de l'Europe, on fait un grand usage de couvertures en tôle, qu'on entretient avec de la peinture fréquemment renouvelée. Ce système ne paraît pas convenir à nos climats trop variables : la tôle s'oxyde rapidement chez nous, et elle n'est employée avec succès qu'à la condition d'être recouverte d'un étamage ou galvanisée. On a cependant fait dans les bâtiments de chemins de fer, dans ces dernières années, un assez fréquent usage de tôle ondulée, analogue à celle que nous avons décrite en parlant du zinc.

COUVERTURES EN CHAUME.

Les règlements de police en proscrivent presque partout l'emploi, à cause de leur excessive combustibilité.

COUVERTURES EN BARDEAUX.

Les bardeaux sont des plaques en bois refendu, en chêne, châtaignier, ou sapin, ordinairement longues de $0^m,22$, et larges de $0^m,08$. S'attachant à la manière des ardoises, par un seul clou à la tête. On en fait des couvertures très-légères, suffisamment incombustibles quand les bardeaux ont été préalablement trempés dans une dissolution d'alun et susceptibles de prendre un aspect assez agréable; mais la rareté du bon bois nécessaire pour l'exécution des bardeaux rejette désormais ce système de couverture dans le domaine de l'archéologie.

COUVERTURES EN TOILES, CARTONS, CARTONS CUIRS ET PAPIERS BITUMÉS.

Un très-grand nombre de systèmes de ce genre ont été présentés; en général leur durée est assez éphémère dans nos climats, et c'est seulement dans les constructions provisoires qu'ils trouvent un emploi convenable.

Résumé. On est en général déterminé, dans le choix d'un système de couverture, par des considération d'économie plus ou moins bien entendue, par les habitudes locales, ou par la nécessité d'attribuer tel ou tel caractère aux édifices. Nous avons essayé de résumer les pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

priétés des divers systèmes étudiés ci-dessus dans le tableau suivant, dont les données sont empruntées à divers auteurs, et où l'on pourra trouver d'utiles indications sur le parti à prendre, quand des raisons bien décisives ne militeront pas en faveur de l'un des systèmes de préférence à tous les autres.

La colonne n° 3 donne le poids du mètre carré effectif de couverture, c'est-à-dire la somme des poids de la couverture proprement dite et de son voligeage. Ces poids varient considérablement d'une localité à une autre, et sur ce point, comme pour les suivants, on ne peut prétendre à indiquer qu'une moyenne propre à servir de point de départ pour un avant-projet, ou pour un calcul de résistance.

La colonne n° 5 donne le poids total du mètre carré de comble, comprenant la couverture, la charpente supposée en sapin, une couche de neige pesant 25 kilogr., et la pression du vent animé d'une vitesse de 6 à 7 mètres par seconde.

DÉSIGNATION des systèmes de couverture.	PENTE.	POIDS du mètre carré effectif.	QUANTITÉS de bois par mètre carré.	POIDS total du mètre carré de comble.
1	2	3	4	5
	degrés.	k.	mil.	kg.
Tuiles, plates à crochet (Bourgogne).....	45 à 33	90	0.063	125
Tuiles creuses à sec...	27 à 21	100	0.058	200
— maçonnerie.	31 à 27	130	0.068	
Tuiles modernes.....	24 à 40	50		
Ardoises.....	45 à 33	38	0.056	100
Cuivre laminé.....	21 à 18	14	0.042	
Plomb.....	21 à 18			
Zinc n° 14.....	21 à 18	8.50	0.042	64
Tôle galvanisée.....	21 à 18	8.50	0.042	

Si nous essayons une comparaison, au point de vue de l'économie et la durée entre les trois systèmes de couverture les plus usuels, tuiles, ardoises et zinc, on peut dire que le prix de premier établissement de la couverture en zinc est environ le double des deux autres: sous ce rapport, à Paris, le choix est à peu près indifférent entre la tuile et l'ardoise; ailleurs, il dépend de la distance des carrières d'Angers ou autres. S'il y a beaucoup de raccords, l'égalité tend à s'établir entre les trois systèmes.

Le zinc bien établi se passe de réparations plus longtemps que la tuile, et surtout que l'ardoise : les trois systèmes se présentent dans l'ordre inverse, comme fréquence et comme importance des frais à supporter. La bonne exécution du voligeage ou du lattis exerce sur la conservation des couvertures une influence prédominante; aussi voit-on beaucoup de constructeurs substituer aujourd'hui des lattis en fer aux procédés ordinaires : une autre cause de dépenses d'entretien considérables, c'est la réfection des solives, filets, souches, etc., exécutés en plâtre, qui a lieu à peu près tous les dix ans, et qui occasionne de nombreux dégâts; c'est un motif de plus pour organiser soigneusement les moyens d'accès et de circulation sur les toits. La bonne tuile supporte bien le passage des ouvriers; elle durerait indéfiniment si l'on n'était pas obligé de remanier le lattis tous les vingt-cinq ans environ. L'ardoise ne supporte pas cette opération ; mais le remaniement d'une couverture en tuiles est plus coûteux que le renouvellement complet d'une couverture en ardoises.

Les vieux matériaux de couverture perdent 2/3 de leur valeur pour le zinc, moitié pour la tuile et tout pour l'ardoise.

Aux époques où l'architecture a brillé de son plus grand éclat, les artistes ont compris toute l'importance des couvertures non-seulement pour la conservation des monuments, mais aussi au point de vue esthétique; c'est la couverture qui détermine la partie la plus accentuée de la silhouette d'un édifice, le profile sur le ciel, et frappe de plus loin tous les regards; ce n'est pas un accessoire de la construction, c'est un élément essentiel. Les exemples des beaux temps de la Grèce, de l'Italie, du moyen âge, témoignent que l'on appréciait justement tout le parti à tirer des combles bien proportionnés, bien disposés et convenablement ornés. Un heureux changement se produit à cet égard dans nos habitudes actuelles; on ne se croit plus permis de considérer les toitures comme un appendice indigne de l'attention des artistes, et abandonné aux soins des ouvriers couvreurs et fumistes. Des industries importantes se sont fondées pour répondre à ces besoins, et elles sont chaque jour encouragées par de nouveaux succès; telles sont diverses branches de la fabrication des terres cuites, de la plomberie et du zinc, dans les établissements de MM. Muller, Garnaud, Dumont, Mauduit et Béchet, Grados, Michelet, etc.

Bibliographie. — On trouve sur les divers systèmes de couverture des renseignements détaillés dans les traités généraux et ouvrages de MM. Rondelet, Demanet, Léonce Reynaud, Émy, Viollet-Leduc; dans les ouvrages spéciaux dus à MM. Blavier (*Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*), Gardissar (*Manuel du zingueur*), etc. Enfin un exposé très-complet de toutes les branches de l'art du couvreur est en cours de publication dans la *Revue d'architecture* de M. César Daly, par les soins de M. C. Détain, ingénieur; nous lui avons fait de nombreux emprunts. E. BAUDE.

D

DÉCORATION CÉRAMIQUE. La décoration des poteries prise dans son ensemble constitue maintenant un art à part et mérite d'être traité autrement que comme un accessoire de la fabrication des poteries; quelquefois réuni comme accessoire nécessaire à la production elle-même, quelquefois distinct et formant en quelque sorte une seconde industrie. Nous présenterons dans cet article une étude sérieuse et complète des moyens variés, ingénieux, logiques, à l'aide desquels on peut décorer les poteries. Nous pourrons offrir ainsi d'une manière synoptique l'esquisse d'une science qui possède, comme tous les corps de doctrine, ses lois, ses règles et ses méthodes.

Le sentiment de la couleur est tellement inné chez l'homme, que toutes les industries, même à leur naissance, ont produit des objets à l'élégance, à la richesse, à la valeur desquels le producteur ajoutait une ornementation souvent originale par l'application de principes colorés. A défaut même de substances colorées spéciales, on trouvait, dans la forme et dans le relief de certaines parties, le moyen de faire naître, par des décompositions ou des réflexions de la lumière blanche des clairs et des obscurs qui équivalaient en quelque sorte à de la peinture ; et s'il est une industrie qui sous le rapport de la décoration, mérite l'attention

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est assurément l'art de fabriquer les poteries, à cause des conditions toutes particulières auxquelles la décoration céramique doit satisfaire. Il est vrai de dire que les poteries, comme toutes les autres matières, peuvent recevoir toute espèce de couleurs fixées par les mordants quels qu'ils soient, comme les vernis, les huiles, les gommes, la chaux, etc. Mais nous ajouterons ici que nous ne considérons, dans ce chapitre réservé par nous à la poterie, comme peinture et décorations céramiques, que celles qui sont fixées sur la poterie par l'intermédiaire du feu; c'est dire que nous ne nous occuperons que de celles qu'on obtient au moyen des couleurs connues sous le nom de couleurs vitrifiables, et qu'il serait préférable de dénommer *couleurs vitrifiées*.

Le caractère principal et caractéristique des décorations céramiques, caractère qui résulte de la condition essentielle de l'application de la chaleur pour les fixer, est une certaine résistance, une certaine inaltérabilité. Cette même condition limite le nombre de celles de ces substances qui peuvent être employées avantageusement.

A titre général, ces matières doivent être inaltérables sous l'influence de la chaleur, adhérer fortement à la poterie, résister par conséquent aux agents atmosphériques, à l'eau, etc. Les autres qualités que doivent présenter les matières propres à la décoration des poteries dépendent :

1° De la nature de la poterie;

2° De la position de la matière sur l'objet à décorer;

3° De l'effet que le fabricant attend de l'emploi de la matière en question.

C'est ainsi, par exemple, que pour les décorations qu'il faut introduire dans les pâtes des diverses poteries, on ne doit s'inquiéter ni de la dureté, ni de la dilatabilité de la matière colorante, il suffit de tenir compte du prix auquel la matière colorante peut être obtenue, de la facilité de sa préparation, de la fusibilité qui lui est propre ou qu'elle peut acquérir par son mélange avec les autres éléments des pâtes; enfin de l'altération plus ou moins prompte et considérable qu'elle doit subir de la part de l'atmosphère particulière du four dans lequel la poterie est cuite.

C'est ainsi qu'il faut savoir estimer si la glaçure de la poterie pourra réagir ou non sur la matière décorative, lorsque la couleur est appliquée sur cette glaçure.

C'est ainsi qu'il faut encore ne demander aucune fusibilité propre à la matière décorative, lorsqu'elle doit être placée sur la pâte et sous glaçure.

Mais la matière décorative devra posséder par elle-même une fusibilité suffisante, lorsqu'on la destine à la peinture d'objets tels que les porcelaines composées dures ou tendres; elle sera plus considérable dans un cas que dans l'autre.

Cette fusibilité qui conduit à l'éclat vitreux serait nuisible lorsqu'on veut produire l'aspect des métaux précieux, qui n'ont de valeur qu'autant qu'ils conservent leur éclat métallique.

Enfin, quelques genres de peintures offrent un cachet d'originalité par l'absence de tout aspect vitreux.

Nous avons donc à distinguer, suivant l'objet qu'on fabrique :

1° Les oxydes métalliques;	4° Les couleurs;
2° Les engobes;	5° Les métaux;
3° Les émaux;	6° Les lustres métalliques.

Oxydes métalliques. — En général, ces matières employées à la décoration des poteries sont empruntées au règne minéral; elles ont plus particulièrement comme destination la décoration des pâtes par la répartition uniforme des matières colorantes au sein de la masse elle-même : ce sont des oxydes tantôt purs, tantôt engagés dans des combinaisons salines ou formées préalablement, ou qui prennent naissance aux dépens des éléments constitutifs des pâtes ou des glaçures. Dans le premier cas, on obtient les poteries simples comme les poteries à pâte rouge, brune, jaunâtre; elles sont colorées par des oxydes de fer naturellement déposés dans les argiles qui fournissent aux pâtes l'élément plastique ou mêlés au sable qui forme l'élément antiplastique. Les pâtes de grès colorées en vert ou vert d'eau, qui reçoivent cette coloration de leur mélange avec l'oxyde de chrome, sont encore dans le même cas; l'oxyde de chrome est l'élément colorant. Mais lorsque ces mêmes grès sont colorés en bleu par l'oxyde de cobalt, ce n'est plus l'oxyde de cobalt pur qui est la cause de la coloration, c'est le silicate de protoxyde de cobalt qui colore. On peut l'introduire directement sous cette forme, comme il est permis aussi de le mêler à l'état d'oxyde ou de carbonate. Le silicate de la pâte forme, à la température de la cuisson, du silicate de cobalt.

Engobes. — L'emploi des engobes est plus particulièrement réservé pour la décoration des poteries dont la pâte est naturellement colorée; tantôt les engobes sont naturels, c'est-à-dire qu'ils sont formés de matières terreuses contenant un mélange intime et naturel d'oxydes colorants et n'ayant subi d'autre préparation mécanique qu'un délayage pour extraire les parties sableuses étrangères; les ocres sont dans ce cas; tantôt, au contraire, les engobes se préparent artificiellement, en ajoutant à des terres incolores ou peu colorées des oxydes préparés artificiellement eux-mêmes au moyen de procédés chimiques plus ou moins parfaits.

On donne par extension le nom d'engobe aux pâtes blanches qu'on applique sur des poteries naturellement colorées, pour en masquer entièrement la couleur sale ou pour économiser la quantité d'étain contenue dans la glaçure des faïences communes, en faisant disparaître, par parties seulement, quelquefois en totalité, la coloration de la terre sous une couche légère d'un engobe incolore.

Les engobes peuvent recevoir la glaçure ou rester sans glaçure. La poterie présente alors l'aspect brillant. On peut évidemment décorer par l'application de plusieurs engobes placés simultanément sur une même pièce.

Émaux. — Les émaux diffèrent des engobes en ce qu'ils possèdent une apparence vitreuse qui peut même atteindre la limpidité complète. Ces matières colorantes se rapprocheraient évidemment des oxydes et des sels que nous avons distingués en premier ordre, si leur usage n'était pas précis et nettement déterminé.

Nous appellerons émaux les matières vitreuses, c'est-à-dire les silicates, borosilicates ou phosphosilicates généralement multiples, colorés par des oxydes *maintenus en dissolution* dans le flux vitreux.

La limpidité de ces émaux varie naturellement avec la nature du flux vitreux et la température plus ou moins élevée qu'ils doivent subir pour leur cuisson. Nous trouverons des différences considérables sous ce rapport.

Les émaux ombrants de Rubelles cuisent à de basses températures; les fonds par immersion de porcelaine dure, le céladon des Chinois cuisent, au contraire, à des températures très-élevées. Dans ces derniers émaux, la transparence n'est pas toujours complète. Les émaux appliqués à la décoration des poteries se posent quelquefois sur le biscuit, comme les émaux de Rubelles, quelquefois sur la poterie composée, comme les fonds turquoise ou rose sur la porcelaine tendre.

Ils cuisent alors à des températures peu différentes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de celles auxquelles on doit cuire le vernis de la poterie composée ; dans d'autres circonstances, les émaux s'appliquent sur la poterie composée, se cuisent à des températures de beaucoup inférieures à celles nécessaires pour fondre la glaçure, et par conséquent incapables de ramollir cette glaçure. C'est le cas de la plupart des couleurs employées en Chine à la décoration des porcelaines peintes et dorées.

Couleurs. — Les couleurs diffèrent des émaux en ce qu'elles sont composées d'un mélange de flux vitreux et de principe colorant. Le flux vitreux a généralement pour double but de faire adhérer la couleur sur la poterie peinte, et de remplir, après la cuisson, l'office du vernis dans la peinture à l'huile, c'est-à-dire d'aviver la couleur appliquée sur la poterie.

Dans certains cas cependant, on n'ajoute, avec intention, qu'une faible quantité de flux vitreux, seulement ce qu'il en faut pour faire adhérer la peinture sur la pièce décorée ; c'est lorsqu'on veut obtenir des peintures mates.

Les couleurs s'appliquent généralement sur les poteries composées ; cependant on en fait quelquefois l'application sur les poteries simples, principalement dans le cas des peintures mates. Elles cuisent à des températures variables avec la nature des poteries qu'on décore. Nous verrons plus loin qu'il faut alors les composer en conséquence.

Métaux.—On a tiré, dans la décoration des poteries, le parti le plus avantageux de la richesse et de l'inaltérabilité des métaux précieux ; l'or, le platine et l'argent, placés isolément et quelquefois alliés, donnent des décorations variées et d'un très-bel effet : il est évident que les qualités particulières de ces matières ne peuvent être les mêmes que celles qu'on exige des substances que nous venons d'étudier.

Il n'est nullement nécessaire que les métaux prennent l'apparence vitreuse, mais il est indispensable qu'ils réunissent un grand éclat, dans les circonstances atmosphériques ordinaires, à la plus grande inaltérabilité. On en fait usage tantôt à l'état mat, tantôt à l'état brillant ; pour les obtenir dans ces dernières conditions, on les frotte avec un corps dur, l'agate ou la sanguine employées sous forme de brunissoirs. Mais ils sont alors toujours, sous une certaine épaisseur, appliqués sous forme de poussière ou de poudre insoluble préparée par des moyens chimiques ou mécaniques.

Quelquefois, lorsqu'on veut décorer avec économie ou bien obtenir des effets particuliers d'irisation ou de dichroïsme, on n'applique ces métaux que sous une épaisseur très-faible, et ce résultat est obtenu facilement pour quelques-uns, plus difficilement pour d'autres ; il paraît plus avantageux dans ce cas de n'opérer qu'avec des dissolutions huileuses de ces mêmes métaux. Cette considération intéressante sur laquelle nous aurons à revenir un peu plus loin, motive, du reste, la distinction admise entre les métaux et les lustres.

Lustres. — Nous réservons, en effet, le nom de lustres aux métaux appliqués sur les glaçures sous une assez faible épaisseur pour recevoir directement du feu le brillant que les métaux employés sous une épaisseur plus considérable ne tiennent que de l'action du brunissoir : les lustres ne sont pas nécessairement transparents. Les lustres de platine ne le sont aucunement.

Nous entrerons maintenant dans quelques détails sur chacune de ces matières employées à la décoration des poteries. Nous donnerons avec plus d'étendue que nous n'avons pu le faire, en considérant ces substances dans leur ensemble, les qualités que chaque groupe doit posséder, les défauts auxquels il est sujet, et nous terminerons par quelques exemples de dosages usités dans la pratique relative à chacun des genres de poteries que le commerce présente. Nous insisterons surtout sur les différents modes de préparation et d'emploi de ces matières. Nous compléterons ainsi l'article POTERIES que contient la deuxième édition de ce Dictionnaire.

OXYDES MÉTALLIQUES.

Nous avons déjà dit quel est le but des oxydes dans la décoration ; nous avons vu que ce but est de colorer les pâtes ou de permettre sous la glaçure l'application de dessins colorés, qui puissent prendre, après la cuisson des glaçures elles-mêmes, l'aspect d'une peinture en couleurs vitrifiées, c'est-à-dire inaltérabilité complète et brillant uniforme.

Ces oxydes et les quelques sels qu'on peut employer concurremment, doivent présenter certaines qualités qui les rendent d'un emploi général. Leur prix sera de la première condition, car, destinés à faire partie de la masse, il faut qu'ils soient avant tout d'un prix abordable.

Lorsque la terre elle-même ne contient pas l'oxyde colorant, naturellement déposé dans la masse de la formation argileuse ou sableuse, on l'introduit après l'avoir fabriqué de toutes pièces, et le prix de cet oxyde doit augmenter alors notablement le prix de la pâte.

Lorsque la poterie qu'on veut décorer reçoit cette décoration sous couverte et qu'elle peut acquérir par elle-même une grande valeur, ou bien encore lorsque l'oxyde colorant possède une grande puissance tinctoriale, on peut négliger, en partie du moins, l'importance du prix de revient de la matière colorante.

Les oxydes, ainsi que nous le savons, sont des combinaisons d'oxygène avec différents métaux. Quelques-uns éprouvent, de la part des corps réducteurs, des modifications dont il faut savoir tenir compte, car la réduction des oxydes peut modifier la couleur dont on espère le développement. Quelques nuances, au contraire, n'apparaissent qu'avec une influence réductrice. On peut donc recourir aux oxydes d'un même métal pour créer des colorations variées, mais à la condition de les cuire dans des atmosphères différentes ; c'est avec des précautions semblables que l'oxyde de chrome, ajouté dans la proportion de 0,005 à la pâte de porcelaine, donne du vert jaunâtre dans un courant d'air, et du vert bleu dans une atmosphère enfumée. C'est ainsi que l'oxyde d'urane donne, sous une faible proportion, des pâtes jaunes dans une atmosphère oxydante ou des pâtes brunes et même rougeâtres dans une atmosphère réductrice.

Les oxydes employés jusqu'à ce jour pour colorer les pâtes sont :

1° Les oxydes de fer, qui donnent, suivant la température de la cuisson, du jaune, du rouge, du brun ;

2° Les oxydes de manganèse, qui donnent du violet ou du brun ;

3° Les oxydes de chrome, qui donnent du vert jaune ou du vert bleu ;

4° Les oxydes de cobalt, qui donnent du bleu ;

5° Les oxydes d'urane, qui donnent du jaune ou du brun ;

6° Les oxydes d'or, qui donnent du rose ou du gris violacé ;

7° Les oxydes de platine, qui donnent du gris ;

8° Les oxydes d'iridium, qui donnent du gris ou du noir.

Les oxydes de fer, souvent intimement mêlés aux argiles, sont la cause de la coloration des principales poteries de terre ou de grès : on faisait disparaître dans les faïences l'inconvénient de cette coloration par l'application d'une glaçure opaque. Nous ferons remarquer que, dans les faïences fines, une partie de l'oxyde de fer visible sur la surface des pièces disparaît en se dissolvant dans la glaçure boracique en contact avec cette surface.

Les oxydes de manganèse n'entrent qu'en très-faible proportion dans les pâtes, et c'est en mélange

EFERUS - Recherche & Classification numérique

accidentel avec l'oxyde de fer qu'on les rencontre; ils ajoutent ordinairement à la teinte brunâtre que ces poteries tiennent de ce dernier oxyde. On pourrait profiter de la couleur violette qu'ils communiquent aux frittes alcalines pour colorer en rose les pâtes de porcelaine tendre.

Les oxydes de chrome sont mêlés aux pâtes de porcelaine tendre, de porcelaine dure et de grès fins pour colorer les biscuits en vert plus ou moins intense, suivant la proportion qu'on en ajoute. Ici nous devons faire remarquer que l'oxyde de chrome est insoluble dans les silicates alumineux, et qu'il enlève de la transparence même aux terres qui sont les plus translucides. Les porcelaines perdent par son addition leur caractère distinctif pour prendre les qualités des grès cérames.

Les oxydes de cobalt ajoutés à des pâtes naturellement ferrugineuses les colorent en brun; l'oxyde de chrome et l'oxyde de fer forment de même des fers chromés qui colorent en brun rougeâtre; mais si la pâte est incolore, l'oxyde de cobalt ne donne qu'une couleur bleue plus ou moins intense, suivant la quantité d'oxyde qu'on ajoute. Les grès du vieux Wedgwood, colorés en bleu et rehaussés de charmantes compositions en pâte blanche, sont obtenus de cette manière.

On a fait encore en Angleterre des poteries de la nature des porcelaines tendres, colorées par de l'oxyde de cobalt, dans lesquelles on maintient la couleur du bleu d'outremer, en corrigeant la teinte violacée propre au silicate de cobalt au moyen d'une addition d'oxyde de zinc; il est indispensable, dans ce cas, de faire fritter préalablement le mélange de feldspath, d'oxyde de cobalt et d'oxyde de zinc qui donne la couleur outremer. Une condition indispensable à remplir pour réussir ces couleurs, qui s'adapteraient également bien à la décoration des porcelaines artificielles françaises, est une atmosphère oxydante, tant à cause de la nécessité de maintenir l'oxyde de zinc à l'état d'oxyde pour éviter sa volatilisation, que pour s'opposer à la réduction de l'oxyde de cobalt, qui ne donne, à l'état de métal, que du gris ou du noir.

L'oxyde de cobalt vaut aujourd'hui de 47 à 50 francs le kilogramme.

Le prix de l'oxyde d'urane s'oppose à ce qu'on en fasse usage pour les poteries autres que celles qui, comme les porcelaines et les grès fins, ont par elles-mêmes une valeur assez considérable. Il est encore aujourd'hui de 57 fr. 50 le kilogramme. Lorsqu'on mélange à de la pâte de porcelaine blanche 2 pour 100 d'oxyde d'urane, on obtient, si l'on cuit dans un courant d'air, une pâte qui prend une coloration jaune clair assez agréable; la même pâte, cuite dans le charbon ou dans une atmosphère enfumée, comme celle des fours marchant à la houille, donne une pâte brune.

Cette dernière coloration s'obtient facilement lorsqu'on augmente la dose d'urane, même dans une atmosphère à courant d'air, parce qu'il n'y a pas assez d'alcalis pour maintenir l'oxyde d'urane à l'état d'acide uranique. Les pâtes brunes passent au rougeâtre quand l'oxyde est en forte proportion et qu'on les cuit dans le charbon; mais on les obtient avec une grande économie lorsqu'on fait usage de pechblende choisie au lieu d'oxyde d'urane préparé par les moyens chimiques. On peut, en augmentant la dose d'oxyde d'urane, préparer des pâtes complétement noires.

Un inconvénient assez grave de l'emploi de l'oxyde d'urane préparé par précipitation est la solubilité de ce sel dans l'eau. La coloration de la pâte varie à chaque instant; de plus, il est difficile de s'opposer à sa diffusion par capillarité dans toute la masse. On ne peut donc, lorsqu'on le conserve humide, l'appliquer comme engobage: car il teinte les parties blanches voisines de celles sur lesquelles on l'a posé.

J'ai fait quelques essais pour colorer par l'or les pâtes blanches de porcelaines dures et tendres. On arrive à des colorations variées en faisant usage du chlorure d'or. Le précipité pourpre de Cassius conduit de même à des résultats pratiques; mais il faut, par une dessiccation préalable, lui faire perdre son état gélatineux qui modifie la plasticité de la pâte à laquelle on le mêle, et lui donne une certaine tendance à se fendre à la dessiccation.

On parvient, au moyen de l'addition de 0,005 ou 0,010 d'or à l'état de pourpre de Cassius, à colorer la pâte en rose agréable. Il faut moins de métal pour obtenir une même teinte avec les pâtes tendres; car elles cuisent à des températures notablement inférieures. Il convient de cuire dans une atmosphère oxydante, par exemple au milieu d'un courant d'air, afin d'éviter le ton violâtre sale qui peut provenir de la réduction de l'oxyde stannique résultant de la décomposition du pourpre sous l'influence de la chaleur.

Les hauts prix du platine et sa forte densité s'opposent à son emploi général dans les arts céramiques, surtout pour colorer les pâtes. Cependant il fournit avec les pâtes de porcelaine dures et tendres des gris fins et agréables, qu'on obtient facilement en arrosant de chlorure de platine le sable qui doit entrer dans la pâte. On fait fritter, puis on broie de nouveau. On évite, par ce tour de main bien simple, la séparation de la poudre de platine du sein du liquide qui maintient la pâte à l'état de barbotine, surtout lorsqu'on veut façonner les pièces au moyen du procédé de coulage.

La même observation s'applique évidemment aux oxydes d'iridium, et la même marche détournée pour l'incorporer aux pâtes peut être employée souvent avec avantage. C'est cette même voie qu'il faudrait adopter toutes les fois qu'on aurait à tirer parti de substances minérales brutes, telles que les wolfram, les pechblendes, le rutile, etc., dont la densité se trouve être très-considérable.

Nous avons dit que les oxydes s'employaient principalement dans les pâtes à l'état de mélange. Cependant ceux dont la valeur est importante se posent sur la pâte elle-même, tantôt crue, tantôt cuite; on les emploie quelquefois à l'état de pureté, surtout lorsqu'ils peuvent se fixer avec la pâte au moment de la cuisson particulière qui précède le feu de vernis; on les applique encore en mélange avec une petite quantité de flux vitreux pour agglutiner la couleur et la rendre adhérente avec les surfaces sur lesquelles elles sont apposées; l'immersion dans l'eau chargée de glaçure ne les déplace pas. Il résulte de ces deux différentes positions des modes divers d'emploi des oxydes.

Lorsque les oxydes sont incorporés dans la pâte, s'ils sont, comme les oxydes de fer, de manganèse, etc., naturellement mêlés aux éléments qui composent ces pâtes, on opère un broyage et le mélange convenable dans les appareils employés à la préparation des pâtes, et ces opérations se font avec un soin directement en rapport avec la nature du produit qu'on établit.

Si ces oxydes ne sont pas mêlés aux matériaux qui composent les pâtes, on les prépare à part; on les amène, par un broyage très-soigné, s'exerçant soit sur les oxydes purs, soit sur les oxydes frittés ou fondus avec un des éléments antiplastiques, à l'état de poussière impalpable qu'on ajoute alors aux autres éléments dans des tournants ou cuvelles appropriées.

Dans les fabriques qui font des colorations très-variées, il convient, comme on l'a fait en Angleterre, dans les fabriques de grès fins, d'avoir un nombre suffisant de moulins, pour affecter toujours le même au broyage d'une couleur donnée. On ajoute dans ce moulin la partie incolore par portions successives, en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

broyant toujours pour obtenir un mélange intime, jusqu'à ce que la pâte soit composée. On évite ainsi des taches qui résultent du broyage imparfait; et, pour mieux atteindre cette homogénéité complète, il est bon de décanter la matière avant son introduction dans les tournants. Les pâtes colorées, raffermies et pétries, sont façonnées par les mêmes procédés que ceux qu'on applique au façonnage des pâtes blanches ou communes naturellement colorées et pour l'étude desquels je renvoie le lecteur à mes *Leçons de Céramique* professées à l'École centrale des arts et manufactures.

Ce mode de coloration est surtout en vigueur, d'une part, en Angleterre, pour faire les grès fins colorés de Wedgwood, d'autre part, à Sèvres, pour faire des pâtes de couleur, entre autres les pâtes céladon; on y a fait aussi quelques essais de pâte tendre colorée par des additions de frittes cuivreuses, ou chargée d'or et d'oxyde de chrome. Il est évident que cette méthode ne peut convenir pour obtenir les décorations résultant de linéaments ou de figures appliquées par places sur des poteries, en général pour les décors différents de ceux qui résultent de la coloration de la pâte.

J'ai fait quelques essais pour obtenir, par voie en quelque sorte de teinture, les oxydes à l'intérieur des pâtes; toutes les fois qu'on peut, au moyen d'un acide volatil, amener à l'état soluble les matières colorantes, on plonge l'objet façonné dans une eau chargée de sel colorant, on laisse sécher, puis on dégourdit de nouveau; le sel se décompose, l'acide volatil se dégage, et l'oxyde reste disséminé. Il n'y a d'autre inconvénient à redouter qu'une inégale répartition du sel dans l'intérieur de la pâte et son accumulation sur ceux des points qui sont exposés à l'évaporation spontanée; les sels viennent s'y réunir en plus grande abondance.

Ces mêmes phénomènes de teinture réussissent assez bien sur la pâte à l'état de mollesse et plastique, lorsqu'on opère la dissolution de l'oxyde dans un acide faible comme l'acide acétique.

La décomposition du sel se fait spontanément; elle peut être activée d'ailleurs par l'addition de quantités convenables de carbonates alcalins ou d'ammoniaque, lorsque l'ammoniaque ne jouit pas de la propriété de redissoudre l'oxyde précipité. Il est évident encore qu'on peut faire agir ces réactifs pour opérer par voie de double décomposition sur la poterie dégourdie complétement imbibée de la dissolution saline qui doit introduire l'oxyde colorant.

Lorsque la peinture se fait sur poterie et sous glaçure, les oxydes ou matières colorantes sont appliqués soit sur la poterie cuite, soit sur la poterie crue; et par des feux convenables comme intensité, l'adhérence de la couleur et son brillant se développent avec l'addition d'un fondant ou de la glaçure. Les dessins peuvent être placés sur la pâte crue avant toute espèce de cuisson, même celle qui a pour but de consolider assez la pièce pour faciliter la mise en couverte; on délaye alors avec de l'eau la couleur composée d'une manière convenable: comme on ne fait de la sorte que des dessins grossiers, il importe peu que ces couleurs aient à l'emploi le ton qu'elles auront après la cuisson.

La couleur et la poterie cuisent au même feu; elles prennent assez d'adhérence pour que la mise en glaçure n'exige pas de précautions particulières.

Les dessins peuvent être faits avec les oxydes appliqués sur la poterie déjà cuite, soit à l'état de dégourdi, soit à l'état de biscuit, si la poterie doit recevoir une glaçure qui n'exige pas pour cuire une température égale à celle que doit recevoir le corps de pâte. L'application des oxydes, dans le premier cas, sur une surface poreuse et absorbante, conduit à des précautions particulières sur l'emploi desquelles nous insisterons plus loin au sujet des peintures sous couverte sur la porcelaine de Sèvres.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Lorsque la pâte est cuite et qu'elle a perdu toute porosité, la coloration, soit par fonds de couleurs, soit par linéaments, devient bien plus facile. On broie l'oxyde à l'essence, comme nous le dirons plus loin, pour l'appliquer suivant les contours qu'on veut obtenir. Il est cependant préférable de broyer à l'eau la matière colorante.

Il faut remarquer ici que l'oxyde doit être mêlé d'une certaine quantité de flux vitreux pour rendre adhérent à la pâte l'oxyde qui, s'il restait pulvérulent, se détremperait après qu'on a brûlé les essences, lorsqu'on vient à poser le vernis soit par arrosement, soit par immersion. La préparation des oxydes et le choix qu'on en doit faire sont liés d'une manière intime avec la température à laquelle on cuit la poterie ou sa glaçure. Il est certain que les oxydes qui se dissolvent dans les glaçures en se décolorant ne peuvent être choisis, et qu'il ne faut pas perdre de vue la nature de la poterie qu'on veut décorer.

L'antimoniate de plomb, par exemple, ne laisserait aucune trace sur les porcelaines cuites au grand feu; l'oxyde de cobalt, au contraire, permettra de décorer toute espèce de poterie, puisqu'il résiste à l'action de toute espèce de matière vitreuse, même aux températures les plus élevées que les arts industriels puissent produire. Dans ce genre de décoration, il donne cependant des dessins d'autant plus nets qu'ils sont cuits à des feux moins violents.

La coloration appliquée, comme nous venons de le dire, tant sur les pâtes dégourdies que sur les pâtes cuites à l'état de biscuit, se fait généralement à la main; mais elle peut se faire aussi par les méthodes rapides de l'impression. Ce procédé, qui déjà vers 1751 donnait des résultats acceptables dans la manufacture de Worcester, reçut en France, depuis 1806, des perfectionnements très-considérables.

On l'applique exclusivement en Angleterre pour la décoration des faïences fines sous couverte, et cette méthode s'est étendue chez nous depuis longtemps à la décoration des poteries similaires qui se font sur une très-grande échelle à Creil, Sarreguemines, Bordeaux, Montereau. Sur une planche en acier, en cuivre, en laiton, on dessine, soit par gravure au burin, soit à l'eau-forte, un sujet qu'on transporte sur une feuille de papier. L'épreuve faite avec une couleur grasse abandonne le papier lorsqu'on met celui-ci par l'envers en contact avec un liquide aqueux. En comprimant avec une roulette l'épreuve et la pièce à décorer, le dessin reste sur la pâte; on brûle l'essence dans le moufle avant de mettre en vernis. Le moufle se compose ordinairement d'un étui en terre, quelquefois en fonte (nous rappelons ici que nous avons fait connaître la disposition d'un moufle dans le genre allemand dans la deuxième édition de cet ouvrage); il est placé sur un foyer au-dessus d'un cendrier; la grille est à barreaux plus ou moins espacés suivant la hauteur du moufle. Une cheminée donne issue aux produits qui résultent de la combustion des essences; une voûte percée d'ouvertures divise la flamme et régularise le tirage. Ce moufle est porté par des arceaux au nombre de trois ou quatre et placé sur une plaque de couche qui protége le fond. On cuit rapidement en laissant l'air pénétrer dans le moufle par une douille réservée dans la porte. On mure, avant de cuire, l'espace qui donne libre accès lors de l'emmouflement.

Nous pouvons nous borner à dire que c'est par cette même méthode qu'on applique les dessins bleus, bruns, noirs et roses qui décorent toutes les faïences fines et tous les cailloutages.

Nous ne saurions indiquer ici les principes de préparation des divers oxydes qui concourent à donner ces nuances. Nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux sur cette matière; nous nous bornerons à faire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

connaître les procédés au moyen desquels on prépare le pinck-colour des Anglais, composé singulier dans lequel la coloration rouge ou rose a pour principe le chrome oxydé, et qui fournit sous glaçure un rose assez agréable. Nous indiquerons aussi la méthode qu'on suit à Sèvres pour peindre en bleu sous couverte.

Le pinck-colour est insoluble, infusible; soumis à l'analyse par M. Malaguti, pendant son séjour à Sèvres, il a été décomposé de la manière suivante :

Acide stannique	78,31
Chaux	14,91
Silice	3,96
Alumine	0,95
Eau	0,61
Oxyde de chrome	0,52
Chromate de potasse	0,26
Potasse et perte	0,42
	100,00

On reproduit cette matière en fondant :

Acide stannique	100
Craie	34
Chromate de potasse	3 à 4
Silice	5
Alumine	1

On fait un mélange intime qu'on chauffe au rouge clair pendant quelques heures; la masse est d'un rose sale; elle vient d'un ton agréable lorsqu'on la lave, après porphyrisation, avec de l'eau chargée d'un peu d'acide chlorhydrique. On doit à M. Malaguti l'analyse et la synthèse de cette couleur, dont l'application réussirait certainement sur porcelaine tendre; elle conduit à des résultats véritablement pratiques sur les cailloutages anglais.

Un grand nombre de pièces de porcelaine de la Chine ont un caractère d'originalité très-grande qu'elles doivent au mode d'ornements bleus sous émail dont elles sont chargées. On a tout récemment appliqué sur la porcelaine de Sèvres ce genre de décoration, et la dernière Exposition, à Paris, des manufactures nationales, celles des mêmes établissements à Hyde-Park, à Londres, en 1851, ont offert des pièces remarquables d'un effet tout nouveau et d'une grande harmonie.

La peinture en bleu sous couverte est faite à la Chine sur pâte non crue avec un oxyde de manganèse impur cobaltifère. On ne peut conserver aucun doute à cet égard, ni d'après la lettre du père Ly, ni d'après les échantillons qui l'accompagnaient, ni d'après les essais et l'examen chimique que nous avons faits, M. Ebelmen et moi, du thsing-hoa-liao. Quant à l'état dans lequel se trouve la pâte au moment de la décoration, il est évident que la porcelaine est crue, puisqu'on retrouve l'ornementation, filets et ornements, sous des collages opérés avec la barbotine (anses et becs de théières, etc.). A Sèvres, les peintures de ce genre exécutées jusqu'à ce jour l'ont été sur la porcelaine dégourdie, c'est-à-dire poreuse et absorbante. Pour obvier à la porosité, pour en détruire les effets, on applique au pinceau, sur la partie qu'on veut décorer, une couche mince de vernis et l'on fait sécher.

Il faut que le vernis soit très-mince pour que sa destruction par le feu n'entraîne pas le levage de la peinture, soit avant, soit pendant la mise en couverte. On peint sur cette couche de vernis avec assez de facilité pour faire les peintures les plus délicates et les plus soignées. On se sert comme matière colorante bleue d'un mélange à parties égales d'oxyde de cobalt anglais et de sable quartzeux. On le broie finement sur une glace pour l'employer comme les autres couleurs. Quand la peinture est finie, on la laisse sécher, puis on la passe au moufle pour détruire le vernis qui empêcherait la couverte de prendre également sur toute la pièce. Nous avons fait connaître en quelques mots l'espèce de fourneau dans lequel se fait cette calcination. La pièce doit être cuite dans le four au grand feu, bien encastée dans de bonnes cazettes avec toutes les porcelaines à cuire. Dans ces conditions particulières, la peinture, qui était noire entre les mains de l'artiste, sort du four d'un bleu très-agréable, uniformément glacé.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Comparés aux bleus de même sorte appliqués sur les porcelaines de la Chine, nos bleus sont plus pâles et moins nets, plus nuageux. On peut attribuer cet effet tant à la cuisson moins développée qu'exige pour être cuite la porcelaine de la Chine qu'à la nature particulière de la matière cobaltifère; cette combinaison du minerai de cobalt, dans laquelle est engagé l'oxyde, se nomme en Chine thsing-hoa-liao.

Des spécimens intéressants de la fabrication de M. Haidinger d'Elbogen, exposés à Londres en 1851, ont démontré qu'il était possible de tirer un parti très-avantageux de la décoration en bleu sous couverte et d'obtenir des effets plus nouveaux. Le Musée céramique de Sèvres a fait l'acquisition de plusieurs pièces de cette fabrique, bien réussies, présentant des dessins bleus, avivés çà et là par de la dorure et des couleurs de moufle.

Des faïences en très-grand nombre, d'origine ancienne, persane ou arabe, sont décorées sous couverte par des méthodes analogues qui consistent à déposer sous la glaçure des traits ou des aplats colorés au moyen d'oxydes de cobalt, de cuivre, de chrome ou de fer chromé, du jaune d'antimoine, etc.: par la fusion de la glaçure, ces oxydes se fondent et donnent à la pièce une certaine harmonie qui peut être parfaitement imitée. Il suffit d'ajouter aux oxydes ou sels en question, préparés à l'état de pureté par les méthodes connues des chimistes, leur poids ou la moitié de leur poids d'un fondant contenant :

Borax	50
Sable	100
Minium	200

Nous terminerons les détails relatifs aux oxydes par quelques dosages propres à la fabrication de plusieurs des poteries colorées dans la masse que le commerce offre au consommateur. Sans vouloir entrer dans le détail des fabrications grossières qui se préparent avec des terres naturellement colorées, nous indiquerons quelques compositions propres à la décoration :

1° Des grès;
2° Des porcelaines tendres;
3° Des porcelaines dures.

Grès. — On colore la pâte des grès en bleu, en vert, en gris, en noir avec les dosages qui suivent :

Grès bleu vif	0,050	oxyde de cobalt.
Grès bleu pâle	0,005	oxyde de cobalt.
Grès vert foncé	0,010	oxyde de chrome.
Grès vert pâle	0,005	oxyde de chrome.
Grès vert bleuâtre	0,003	oxyde de cobalt.
	0,003	oxyde de chrome.
Grès noir	0,060	oxyde de manganèse.
	0,060	oxyde de fer.

Pâtes de porcelaine tendre française. — La porcelaine tendre peut être colorée par divers oxydes en bleu, en vert, etc.

1° Pâte turquoise. Cette pâte doit cuire au feu d'oxydation. On fait fritter :

Protoxyde de cuivre	5
Carbonate de soude	18
Sable blanc	77

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On prend ensuite :

Fritte bleue turquoise.	60
Fritte blanche.	15
Marne lavée	10
Craie	15
	100

2° Pâte d'un vert clair :

Pâte blanche	95
Chromate de baryte.	5
	100

3° Pâte bleue :

Fritte blanche.	70
Marne	17
Craie	8
Oxyde de cobalt.	5
	100

4° Pâte violette. On fait fritter :

Carbonate de manganèse. . . .	5
Carbonate de soude	15
Azotate de potasse.	5
Sable blanc.	75
	100

On ajoute à la fritte :

Fritte.	76
Marne lavée	12
Craie	12
	100

Porcelaine dure. — Nous indiquerons encore quelques dosages de pâtes de porcelaine dure; on rapporte le poids des oxydes à 100 parties de pâte blanche :

Pâte bleu foncé. . . .	2g,500	oxyde de cobalt.
Pâte bleu pâle	0g,050	oxyde de cobalt.
(atmosphère oxydante)		
Pâte vert céladon . . .	0g,100	oxyde de chrome.
(feu réducteur)	0g,003	oxyde de cobalt.
Pâte bronze foncé. . . .	0g,500	oxyde de nickel.
(atmosphère oxydante)		
Pâte vert-olive.	1g,000	oxyde de nickel.
(atmosphère oxydante)	0g,200	oxyde de cobalt.
Pâte brune.	0g,150	oxyde de fer rouge.
Pâte jaune	0g,200	oxyde d'urane.
(atmosphère oxydante)		
Pâte brun noir.	1g,550	chromate de fer.
	1g,550	oxyde de cobalt.
(feu réducteur)	1g,550	oxyde de manganèse.
	1g,520	oxyde d'urane.
Pâte rose.	1g,100	or à l'état de pourpre.
(feu quelconque)		

Il est indispensable, dans la confection de ces pâtes, de tenir compte de l'augmentation de fusibilité que communiquent certains de ces oxydes aux compositions normales; il faut obvier à ces inconvénients par l'addition d'une plus grande proportion de l'élément plastique; si la pâte est d'un prix élevé, l'addition de l'alumine calcinée devient possible et très-utile.

ENGOBES.

Nous avons fait connaître, en commençant cet article, la nature et le but des engobes; il eût été plus simple peut-être de ne pas établir de distinction entre ces matières et les pâtes de couleur que nous avons étudiées plus haut. Cependant j'ai cru qu'il devait être fait une distinction importante entre ces deux sortes de matières colorantes, à cause des méthodes différentes au moyen desquelles on les applique sur les poteries; d'ailleurs, considérés au point de vue chimique, les engobes doivent satisfaire à des conditions nouvelles, qu'on ne doit pas exiger des pâtes simplement colorées dans toute la masse.

La pâte de couleur, en effet, donnera toujours de bons résultats, pourvu qu'elle ait été façonnée, avec tout le soin possible, par l'une des méthodes que nous avons indiquées, et qu'elle soit cuite dans des conditions, je ne dis pas seulement de soins et de précautions sur lesquels il convient d'insister, mais dans une atmosphère de composition déterminée. Il faut de plus, pour que des engobes réussissent, qu'ils aient tous une composition telle, qu'appliqués sur la même pièce, ils cuisent au même feu, présentent la même fusibilité, la même dilatabilité, et prennent avec la pâte une adhérence convenable; ils doivent, en outre, jouir des mêmes propriétés relativement à la glaçure, lorsqu'il s'agit de faire une poterie composée.

Il est inutile de répéter qu'au point de vue de la résistance aux agents extérieurs, à l'influence de l'atmosphère du four, à celle de la glaçure, ils doivent se comporter comme les pâtes colorées, par lesquelles nous avons commencé l'étude des méthodes propres à la décoration des poteries.

La position des engobes est très-généralement la même que celle des oxydes. On les applique presque toujours sur la pâte pour les recouvrir de glaçure. Cependant les poteries italo-grecques nous donnent un exemple remarquable d'engobes blancs ou rouges appliqués comme rehauts sur des lustres noirs. Le lustre en fondant a déterminé l'adhérence de la matière terreuse, et la terre se détachant en mat forme un contraste agréable qui, certainement, ajoute à l'intérêt que présente cette fabrication, très-avancée d'ailleurs pour l'époque à laquelle elle a pris naissance.

Les procédés au moyen desquels on applique les engobes sur les poteries peuvent être très-différents. On les applique tantôt sur la pièce crue, tantôt sur la pièce cuite en dégourdi. Quelquefois l'engobe extérieur est placé le premier, tantôt, au contraire, on ne le place qu'en dernier lieu. Lorsqu'on fait usage du procédé de moulage pour apposer les engobes qui décorent une pièce de forme donnée, que le moulage ait lieu sur pâte molle ou sur pâte liquide, on commence par placer l'engobe dans le moule, sur les parties qui doivent recevoir par cet engobe une couleur différente de celle du fond; on remplit ensuite le moule, soit de pâte molle, qu'on applique par le moulage à la balle ou à la croûte, même encore à la housse, soit au moyen de barbotine, si l'on opère par coulage. Les pièces ébauchées de la sorte sont mises en glaçure par l'un quelconque des procédés qu'on emploie dans la fabrication des poteries.

Lorsque la pièce est ébauchée, l'engobe peut se mettre, comme dans le cas d'une véritable glaçure, par l'un de ces mêmes procédés. Il n'y a d'autre précaution à observer que celle de régler convenablement l'épaisseur de l'engobe, toutefois en supposant la couleur bien composée.

Lorsqu'on opère par arrosement sur poterie crue, comme on le fait en Suisse, pour l'établissement de ces sortes de pâtes faïencées, qui ont encore, dans certaines localités, un très-grand succès, les barbotines sont placées dans une espèce de réservoir dont la forme rappellerait celle d'une théière aplatie. Une ouverture permet d'introduire la matière; une anse sert à prendre le vase pour déverser le liquide. Le bec est terminé par un tuyau d'un orifice très-petit, qui permet de tracer avec les barbotines colorées des linéaments irréguliers qui se parfondent sous la glaçure, en présentant des sortes d'arborisations très-singulières. Lorsqu'on croit avoir mis l'engobe sous une épaisseur trop considérable, on enlève l'excédant en tournassant les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pièces; ce tournassage s'exécute ordinairement sur le tour en l'air.

On trouve dans les engobes la possibilité d'obtenir des colorations brillantes et d'un aspect varié; mais ceux dont on peut faire usage sur une poterie donnée sont d'autant moins nombreux que l'on cuit à des températures beaucoup plus élevées, lorsqu'on applique l'engobe sur le cru; ils sont encore d'autant moins nombreux que la glaçure est plus réfractaire lorsque la poterie composée doit subir deux feux distincts : l'un pour la pâte, l'autre pour la glaçure; dans ce cas, il vaut mieux réserver l'engobe pour le cuire avec la glaçure, sur la pâte préalablement cuite en grand feu.

ÉMAUX.

Posons ici, comme principe, que nous nommons *émail* toute matière vitreuse, transparente ou non, colorée par des oxydes maintenus à l'état de dissolution. On donne généralement dans l'industrie le nom d'émail à toute matière vitreuse qui perd sa transparence par l'addition d'une certaine quantité d'oxyde d'étain, d'antimoine ou d'acide arsénique. Mais comme on a donné ce nom même aux peintures transparentes exécutées sur plaques métalliques émaillées, même aux couleurs transparentes qui servent à peindre sur paillons, etc., nous conservons à ce mot sa plus grande généralité. Je proposerai toutefois de distinguer les émaux en *opémaux*, c'est-à-dire émaux opaques, et *transémaux*, c'est-à-dire émaux transparents. Je suppose que ces deux dénominations seront facilement acceptées.

Les opémaux dériveront toujours des transémaux par l'addition simple et facile d'opémail incolore. On voit que l'emploi de l'émail comme matière colorante applicable à la décoration des poteries se confond avec celui des glaçures colorées opaques ou transparentes, et que beaucoup des conditions que l'on exige pour les glaçures ordinaires sont encore nécessaires. C'est ainsi que les glaçures colorées doivent être fusibles à des températures déterminées, assez dures pour résister aux frottements au moins dans les conditions d'usage auxquelles elles seront soumises, assez inaltérables par l'air et l'eau pour ne pas perdre promptement l'éclat qu'elles tiennent de leur nature vitrifiable.

La fusibilité des émaux opaques ou transparents appliqués comme glaçures sur les diverses poteries est nécessairement variable; la glaçure, dans ce cas, doit cuire à des températures qui diffèrent nécessairement avec la nature de la poterie elle-même, soit qu'on fasse une poterie exigeant une seule cuisson, soit qu'on établisse un produit nécessitant deux cuissons successives. Nous ferons remarquer ici que l'on peut à volonté préparer la glaçure en faisant fondre simultanément la glaçure incolore ou les éléments qui la composent avec les matières colorantes, ou simplement en mélangeant ces dernières aux glaçures ordinaires; ce procédé s'emploie surtout pour les poteries qui cuisent à des températures élevées. La dissolution de l'oxyde dans le flux vitreux s'opère en même temps que la vitrification de la glaçure; il ne peut y avoir d'autre obstacle à l'emploi de cette méthode que celui qui résulterait de l'usage d'oxydes d'une densité très-considérable. Cette difficulté serait d'ailleurs à peu près nulle, lors même qu'on aurait des oxydes très-denses, si l'on appliquait la glaçure au pinceau ou par saupoudration au moyen d'un tamis convenablement choisi. Nous comprendrons immédiatement qu'il est d'autant plus facile d'avoir des émaux variés, qu'on cuira la poterie composée à des températures plus basses. Aussi, si les faïences et les porcelaines tendres présentent des colorations assez nombreuses, remarque-t-on que les porcelaines dures ne peuvent présenter, en ce genre, que des décorations très-limitées.

Nous distinguerons :

1° Des émaux fusibles pour fonds;
2° Des émaux durs pour fonds;
3° Des émaux fusibles pour peindre.

A. La température de fusion des émaux est très-variable; elle est faible dans les émaux qu'on applique sur le biscuit, parce qu'ils contiennent de l'oxyde de plomb en très-forte proportion. Le cristal devient la base des émaux colorés dont on enduit le biscuit, pour lui donner le brillant et le glacé que les porcelaines ordinaires tiennent de leur couverte; on le mélange à cet effet pour le colorer, par une fusion préalable, avec des oxydes variés dont le nombre est très-réduit, et qui sont à peu près ceux dont le verrier fait usage pour faire les cristaux colorés dans la masse.

Le vert est fourni par l'oxyde de cuivre; l'oxyde de manganèse seul donne du violet; en mélange avec de l'oxyde de fer, il colore en brun; l'oxyde de cobalt est la base du bleu; l'antimoine à l'état d'antimoniate de potasse communique au vert, par l'oxyde de cuivre, une nuance jaunâtre douée d'une opacité souvent nécessaire; enfin les vigueurs et les noirs sont obtenus au moyen de l'oxyde de manganèse sans mélange, tantôt placé directement sur le biscuit pour être recouvert par les émaux, soit brun, soit vert, soit bleu; tantôt mis en mélange avec ces mêmes émaux, suivant le ton qu'on désire obtenir. Ce mélange est fait sans le secours de la balance, à simple vue, sur la palette, avec une assurance remarquable.

Les émaux sont broyés à l'eau, puis appliqués à l'essence de térébenthine maigre, sous une forte épaisseur; il faut cependant éviter de mettre une couche trop épaisse qui noierait et détruirait les détails de la sculpture. Les couleurs sont couchées à plat; elles offrent néanmoins des ombres et des clairs, les ombres étant données par l'épaisseur de la couche qui se réunit dans les parties déclives; elles agissent dès lors à la manière des émaux ombrants.

On cuit les pièces décorées, quand elles ont été séchées, dans les moufles communément employés pour cuire la porcelaine peinte, sans autre précaution que celle de bien isoler les pièces les unes des autres et de les faire porter par le plus petit nombre de points de contact. On établit divers étages de planchers au moyen de barres de fer coupées de longueurs convenables.

Le feu nécessaire pour cuire ces émaux est à peu près celui des peintures en premier feu d'ébauche. Évaluée en degrés centigrades, la température correspondante est comprise entre 850 et 900 degrés.

Les produits de cette fabrication, qui rappellent les *Rustiques de Palissy*, ne pourraient être d'un emploi convenable dans les usages journaliers; on réserve ce genre de décoration pour des pièces d'étagères, de dressoirs, etc., c'est-à-dire pour des objets plutôt d'ornementation et d'art que pour des vases propres à la consommation ménagère. Dans cette dernière destination, ces glaçures ne sauraient être que très-inférieures à la couverte résistante et dure de la porcelaine même la plus commune.

J'ai donné (voyez ACIDE BORIQUE) la composition d'un vernis incolore pouvant servir à mettre en glaçure les porcelaines dures cuites en biscuit ou les poteries de faïence fine cuite presque en grès. J'ai dit que ce fondant pouvait être coloré par quelques oxydes. Voici la série de tons que comprend mon service de la manufacture de Sèvres (émaux Bernard Palissy pour terre cuite) :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

N° 1. Fondant.	N° 9. Vert jaune.
N° 2. Blanc opaque.	N° 10. Jaune.
N° 3. Gris.	N° 11. Ivoire.
N° 4. Noir.	N° 12. Brun jaune (ocre).
N° 5. Bleu clair.	N° 13. Brun violâtre.
N° 6. Bleu foncé.	N° 14. Brun foncé.
N° 7. Vert bleu.	N° 15. Rose isabelle.
N° 8. Vert foncé.	N° 16. Violet.

Je donne ici les recettes encore inédites à l'aide desquelles on peut préparer ces divers émaux colorés. Je suivrai l'ordre et la nomenclature adoptés jusqu'à ce jour.

Fondant (n° 1). On mélange et on fond :

Sable	1000
Minium	2000
Borate de chaux	500

Ce dernier élément doit être choisi, sans oxyde de fer et sans terre ; il provient de l'épluchage des nodules naturels.

Blanc opaque (n° 2).

Fondant n° 1	150
Blanc d'émail de Gineston	700
Fondant aux gris (p. 140)	150

On triture sans fondre.

Gris.	Gris (n° 3).	Noir (n° 4).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de cobalt	2	60
Oxyde de cuivre noir	12	100
Oxyde de fer rouge	12	120
Carbonate de manganèse	24	120

Bleus.	Clair (n° 5).	Foncé (n° 6).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de cobalt noir	40	125

Verts.	Bleu (n° 7).	Foncé (n° 8).	Jaune (n° 9).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Oxyde de cuivre	125	500	50
Chrom. de potasse	»	»	12

Jaunes.	Jaune (n° 10).	Ivoire (n° 11).	Ocre (n° 12).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Chrom. de potasse	25	»	»
Antimoine diaphorétique	»	35	»
Oxyde de fer hydraté	»	70	200
Fleurs de zinc	»	35	»

Bruns.	Violâtre (n° 13).	Foncé (n° 14).
Sable	1000	1000
Minium	2000	2000
Borate de chaux	500	500
Oxyde de fer rouge	250	250
Carbonate de manganèse	125	125
Oxyde de cobalt	»	60

Rose isabelle	(n° 15).	(15 *a*).	(15 *b*).
Fondant incolore	1000	1000	1000
Cristal rubis p^r l'or	100	200	300

Violet.	Clair (n° 16).	(16 *a*).	(16 *b*).
Sable	1000	1000	1000
Minium	2000	2000	2000
Borate de chaux	500	500	500
Carbonate de manganèse	125	125	125
Oxyde de cobalt	»	3	6

On fond et l'on coule ces divers mélanges, sauf le blanc opaque et les roses isabelles. On les pile et on les applique sans intermédiaire sur le biscuit de porcelaine ; employés sur porcelaine dure, ces émaux doivent être mis à un seul feu sous une faible épaisseur ; sous une épaisseur exagérée, ils se fendillent et font l'effet du craquelé des Chinois. On ne peut les retoucher qu'en appliquant la retouche à l'eau ; l'essence qui pénètre dans les fentes ne peut s'y brûler complétement ; elle abandonne du charbon qui macule la surface du vernis. Lorsqu'on applique une couche incolore sur le biscuit, il est indispensable encore de chauffer le moufle avec lenteur pour donner à tout le charbon provenant de l'essence le temps de se brûler ; sans cette précaution, le vernis, surtout dans les épaisseurs, est teinté d'une coloration rose dont la cause m'est encore inconnue.

Sur terre cuite, ces émaux se conduisent sans tressailler, et peuvent être appliqués comme toute autre glaçure. Ils peuvent concourir à la fabrication des émaux ombrants.

L'émail ombrant n'est qu'une modification de l'invention nommée lithophanie, due à M. Bourgoing. M. du Tremblay, autrefois propriétaire de la fabrique de Rubelles, près Melun (Seine-et-Marne), en a tiré le parti le plus avantageux en créant une fabrication nouvelle qui n'a malheureusement pas obtenu tout le succès auquel elle devait être appelée. L'effet produit par l'émail ombrant est complétement indépendant de la nature de la pâte qui reçoit l'émail, et il est indépendant encore de la composition de l'émail lui-même ; une seule condition théorique est à remplir : il faut que l'émail qui s'étend sur la base, à reliefs plus ou moins saillants, soit légèrement coloré dans sa masse ; on peut donc obtenir ce genre de décoration sur toute espèce de poterie. Si les effets que ce mode d'ornementation peut présenter n'ont été, dans ces derniers temps, appliqués d'une façon spéciale qu'à la faïence, il n'en est pas moins vrai que d'autres fabrications en ont offert des exemples, et, pour n'en citer qu'une, je rappellerai que plusieurs pièces de porcelaine de la Chine, recouvertes d'un fond céladon, offrent des dessins très-variés ; ils sont obtenus simplement en remplissant d'une couverte légèrement colorée des cavités réservées avec intention.

M. Trélat, professeur au Conservatoire des arts et métiers, directeur, en 1843, de la fabrique de Rubelles, a fait connaître dans une note insérée dans le *Bulletin* de la Société d'encouragement, 42^e^ année, page 469, les principales difficultés que présente l'application de l'émail ombrant à la faïence ordinaire. La plus grave est la tressaillure qui résulte de la grande épaisseur du vernis accumulé dans les cavités. Les autres défectuosités que peut présenter l'émail ombrant, quelle que soit la matière de la pâte, quelle que soit la nature de la glaçure (vernis ou couverte), sont les gouttes de gondolement, le manque d'horizontalité pendant la cuisson et la réduction au four des oxydes colorants.

Les gouttes de gondolement, qui altèrent la pureté des dessins en déplaçant les lumières et les ombres, résultent d'un gauchissement de la pâte pendant la dessiccation. On les évite par une exposition convenablement ménagée dans des séchoirs bien disposés. Lorsque les reliefs du biscuit déterminent entre eux des creux qui ne sont pas trop larges, le niveau d'émail s'établit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-difficilement pendant la cuisson, à cause de la capillarité qui tend à faire remonter le corps en fusion aux parties les plus élevées du dessin. Les remèdes à ces défauts doivent être apportés dans les modèles plutôt que dans les moyens d'exécution. On évite, avec de l'adresse et du soin, le désordre que produirait le manque d'horizontalité dans le four. Enfin, lorsque le four est établi dans de bonnes conditions, la réduction des oxydes colorants n'a lieu que dans des circonstances exceptionnelles. La pureté du feu devient l'une des premières causes du succès de cette fabrication.

B. Occupons-nous actuellement des émaux durs pour fonds. Il convient de rapporter à ces sortes de composés un grand nombre de couleurs de grand feu, et nous ne serons pas embarrassés de choisir nos exemples; nous citerons seulement les couleurs de Chine et le bleu de Sèvres.

Rouge flammé de Chine. — C'est ici le lieu de faire connaître le résultat de quelques expériences que j'ai faites à Sèvres pour reproduire le rouge au grand feu des Chinois. L'analyse m'avait donné, pour deux échantillons de rouge, l'un uni, l'autre flammé rouge et bleu, les compositions suivantes :

	Uni (goutte bleue).	Flammé (bleu et rouge).
Silice	73,90	69,04
Alumine	6,00	4,00
Oxyde de fer	2,10	3,04
Chaux	7,30	12,00
Magnésie	traces	traces
Oxyde de cuivre	4,60	0,24
Oxyde de cobalt	0,00	1,50
Oxyde de plomb	traces	0,70
Oxyde de manganèse	traces	2,00
Potasse	3,00	0,60
Soude	3,10	9,10
	100,00	

Les émaux rouges et bleus analysés ont été soumis à quelques essais. La couverte bleue a conservé sa coloration au chalumeau dans la flamme oxydante comme dans la flamme réductive.

Pour l'émail rouge,

1° Un fragment de vase à couverte rouge a subi la température du grand feu des fours de Sèvres. L'émail rouge a présenté diverses altérations en rapport avec sa composition; il a coulé; il s'est réuni dans les parties déclives en gouttes tressaillées; il a perdu sa couleur rouge, totalement à la surface, qui est devenue légèrement verdâtre et opaline, en partie seulement dans l'épaisseur qui est restée çà et là rosée dans tous les points que l'épaisseur de la couche avait préservés de l'oxydation pendant la cuisson.

La pâte, qui était parfaitement blanche, a pris dans toute la surface exposée pendant la cuisson à l'influence de l'atmosphère du four, une teinte brunâtre très-prononcée due au fer qu'elle contient. Les parties intérieures, mises à nu par une nouvelle cassure, avaient conservé leur blancheur primitive.

2° Un fragment du même vase a été cuit au moufle et porté au rouge; après le démoufflement, il avait encore toute sa coloration. Les arêtes s'étaient conservées bien vives; il n'y avait pas eu de ramollissement au feu de peinture.

3° L'essai fut répété sur le même tesson, mais cuit à la température de l'or mat. Cette température fut suffisante alors pour ramollir un peu l'émail, émousser les bords de la cassure, mais insuffisante toutefois, pour faire adhérer à la couverte le sable dans lequel le fragment avait été placé pendant la cuisson. La porcelaine dure de Sèvres, dans les mêmes conditions, ne subit aucune modification, aucun ramollissement.

On doit donc admettre, d'après l'analyse et les essais qui précèdent, que la coloration de l'émail en rouge dépend de la présence de l'oxydule de cuivre répandu dans la couverte; que cette couverte cuit à une température très-élevée, quoique cependant inférieure à celle du grand feu de Sèvres, peut-être égale à celle du grand feu des fours chinois; que la fusibilité de cette couverte est augmentée par la proportion de la chaux dont la quantité varie et dont nous avons constaté l'existence, M. Ebelmen et moi, dans toutes les couvertes des porcelaines de la Chine. Les tentatives que j'ai faites jusqu'à ce jour pour obtenir cette couleur ont d'ailleurs confirmé les données qui précèdent. J'ai reproduit cette couleur en faisant un mélange de :

Feldspath	50,00
Craie	12,00
Oxyde de cuivre	6,00
Sable d'Aumont	38,00
	106,00

Ce qui correspond à :

Silice	76,00
Alumine et oxyde de fer	7,75
Chaux et magnésie	6,08
Potasse et soude	3,72
Oxyde de cuivre	6,00

On est forcé, dans ce dosage, d'exagérer la quantité d'oxyde de cuivre à cause de sa volatilité dans une atmosphère réductive. Cet émail est aussi plus dur que la couverte de Chine; mais cette condition est indispensable pour ne pas s'exposer aux tressaillures; on doit même, pour éviter plus facilement ce défaut, composer différemment la pâte en la rendant plus fusible, c'est-à-dire en rapprochant sa composition de celle des porcelaines de la Chine. La pâte qui suit donne de bons résultats :

Pâte de service définie	80
Feldspath pour couverte	20
	100

La pâte de service définie ne peut convenir pour les pièces à couverte rouge; les conditions d'enfumage pour développer et maintenir la coloration du cuivre à l'état d'oxydule, s'opposent au tirage du four, et la pâte ordinaire ne cuit que difficilement. Si l'on cherche à la rendre transparente, il faut perdre la couleur rouge et, par l'excès du feu, la couverte même durcie comme celle que j'ai donnée, coule et se déplace.

J'ai pu, en rétrécissant simplement la cheminée d'un petit four, obtenir des pièces rouges faites avec la pâte attendrie; la couverte ne tressaille pas, ce qui est rare même sur des pièces de la fabrication chinoise.

Bleu pour porcelaine dure.—Le bleu de Sèvres est encore un véritable émail qui exige plus de chaleur que les couleurs que nous venons d'examiner. L'oxyde de cobalt est dissous.

Voici du reste le procédé le plus simple pour l'obtenir, c'est celui dont je fais usage dans mon service de Sèvres. Depuis 1846, j'ai constamment fait cette coloration avec l'oxyde de cobalt venant de Birmingham; en raison de la pureté de cet oxyde et de sa puissance colorante, il a fallu modifier le dosage anciennement accepté. Je prends actuellement :

Oxyde de cobalt	14
Couverte ou pegmatite	86
	100

Le bleu, préparé comme il est dit plus haut, est très-fleuri, bien vitreux et n'a donné que très-rarement ces espèces de taches géodiques cristallisées et rosâtres que présentaient assez fréquemment les bleus provenant des oxydes de cobalt préparés au laboratoire de Sè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vres. On n'a pas remarqué que ces fonds aient, plus que les autres, tendance à grésiller.

Il convient, quand on fritte le mélange de pegmatite et d'oxyde de cobalt, de ne pas fondre à une chaleur trop intense; le bleu devient alors court et d'un emploi difficile.

Nous donnerons ici, comme nous l'avons fait pour les autres matières colorantes, quelques compositions, en les distinguant naturellement par espèces de poteries. Nous commencerons par les faïences communes, pour finir par les faïences fines et les porcelaines dures.

Faïences communes. — Nous avons vu comment on préparait les émaux blancs pour faïence, on trouve dans le commerce quelques pièces de faïence colorées en jaune, en vert, en brun, en bleu. Nous indiquons ici les dosages au moyen desquels on obtient ces colorations.

1° Émail jaune. On fait usage d'émail blanc, on ajoute soit de l'oxyde d'antimoine, soit du jaune de Naples. On peut fondre d'une seule pièce les éléments suivants, qui donnent une composition suffisamment fusible.

Minium	125
Sable	50
Borax	25
Antimoniate de potasse	10
Oxyde de fer rouge	2

2° Émail bleu. On mélange :

Émail blanc	95
Oxyde de cobalt azur	5

En augmentant la dose de bleu d'azur, on obtient un bleu plus intense.

3° Émail vert. On mélange encore :

Émail blanc	95
Oxyde de cuivre	5

4° Émail vert-pistache. On triture ensemble :

Émail blanc	94
Protoxyde de cuivre	4
Jaune de Naples	2

5° Émail violet. On mélange :

Émail banc	94
Carbonate de manganèse pur	6

Tous ces émaux peuvent se faire, comme l'émail blanc, en mélangeant les oxydes à la composition qui doit donner le blanc et fondant de la même manière que s'il s'agissait de fondre de la glaçure ordinaire. Dans quelques cas, on se contente d'ajouter l'oxyde colorant aux émaux blancs finement broyés.

Il faut éviter pendant la cuisson de placer à côté des pièces blanches celles qui sont vertes ou bleues, car il y aurait coloration par volatilisation.

Poteries colorées. — Les poteries communes reçoivent des colorations très-variées du fait de l'addition à leur glaçure de principes colorants. Les poteries jaunes, par exemple, sont obtenues au moyen de l'addition d'une certaine quantité de minium dans la glaçure.

1° Poterie jaune. On prend :

Minium	70
Argile de Vanvres	16
Sable de Belleville	14

2° Poterie brune. On triture ensemble :

Minium	70
Argile de Vanvres	13
Sable de Belleville	13
Oxyde de manganèse	14

3° Poterie verte. On mélange :

Minium	66
Argile de Vanvres	15
Sable de Belleville	15
Oxyde de cuivre	4

Ces matières sont mêlées ensemble, puis broyées dans des meules en grès mues à bras à l'aide d'un manche vertical attaché sur un point de la circonférence.

On fait usage, dans les fabriques importantes, de tournants qu'on affecte au broyage d'une même couleur.

Porcelaine tendre française. — On prépare un flux de très-bonne qualité pour les fonds de porcelaine tendre employés comme vernis coloré ou comme fond de couleur applicable sur la poterie déjà mise en glaçure, en fondant :

Sable	825 grammes.
Minium	500 —
Carbonate de soude	200 —

Ce flux est coloré de la manière suivante, en ajoutant avant la fonte :

Savoir :		
En turquoise bleue	oxyde de cuivre	100
En turquoise verte	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	2
En vert-pomme	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	10
En jaune verdâtre	oxyde de cuivre	100
	oxyde de chrome	15
En bleu foncé	oxyde de cobalt	16
En bleu moyen	oxyde de cobalt	6
En bleu pâle	oxyde de cobalt	1,5
En lilas clair	oxyde de manganèse	40
En violet clair	oxyde de manganèse	60
	oxyde de cobalt	3
En ivoire	oxyde de fer rouge	80
En rose foncé	or à l'état de pourpre	0,64
En rose clair	or à l'état de pourpre	0,32

Ces exemples suffisent pour donner l'indication de la marche à suivre; on mélange les éléments du fondant, on ajoute les oxydes colorants, puis on fond; je fais ces fontes dans un petit fourneau métallurgique. Un avantage de ces fonds, c'est qu'ils peuvent être appliqués sur des pâtes ou des engobes colorés, et donner par superposition des colorations qu'il ne serait pas possible d'obtenir autrement.

Les Chinois font un assez grand usage de superpositions, et l'emploi de ce moyen ajoute à leur fabrication un caractère très-grand d'originalité.

On donne aux fonds colorés, dans la glaçure dont on recouvre les porcelaines, le nom de fonds par immersion. Cette désignation vient de ce que ces glaçures colorées sont appliquées comme les autres glaçures, et par les méthodes expéditives de l'immersion. Cependant, exceptionnellement, on se sert de l'arrosement pour poser les fonds des faïences communes; et c'est par saupoudration ou tamisage qu'on a placé jusqu'à ce jour les fonds dont on fait un grand emploi sur la porcelaine tendre.

C. Examinons les émaux pour peindre. Les couleurs qui composent les assortiments, employées en Chine et que différents voyageurs ont apportées en France, sont, les unes brutes, et les autres préparées.

La différence qui les sépare n'existe seulement, quelquefois, que dans la préparation mécanique qu'on fait subir à la couleur brute pour la rendre susceptible d'être appliquée, au pinceau, sur la pièce à décorer; d'autres fois, en même temps qu'on broie la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

couleur brute, on y ajoute, ou de la céruse, si l'on veut la rendre plus fusible, ou du sable, si on la trouve trop tendre.

Dans le premier cas, la couleur brute doit présenter, avec la couleur préparée, une identité complète de composition. Nous avons, M. Ebelmen et moi, autant que nous l'avons pu, analysé simultanément les deux espèces de couleurs. Je ne puis donner ici les résultats de ce travail; j'indique, pour y recourir au besoin, le *Recueil des travaux scientifiques* d'Ebelmen, t. I, p. 377.

Quelle que soit leur origine, les couleurs qui servent à la Chine dans la décoration des porcelaines présentent toutes, en même temps qu'une grande simplicité, un caractère de généralité qui ne peut échapper; le fondant qui n'est pas distinct dans la couleur est toujours composé de silice, d'oxyde de plomb dans des proportions peu variables et d'une quantité plus ou moins grande d'alcalis (soude et potasse). Ce fondant maintient en dissolution à l'état de silicates quelques centièmes seulement d'oxydes colorants dont le nombre est excessivement restreint. Les matières colorantes sont : l'oxyde de cuivre pour les verts et verts bleuâtres, l'or pour les rouges, l'oxyde de cobalt pour les bleus, l'oxyde d'antimoine pour les jaunes, l'acide arsénique et l'acide stannique pour les blancs, quelquefois le phosphate de chaux.

L'oxyde de fer et les oxydes de manganèse impur, qui donnent, l'un du rouge, l'autre du noir, font seuls exception, et c'est sans doute parce qu'il est impossible d'obtenir ces couleurs, par voie de dissolution, avec ces derniers oxydes; ces matières rentrent alors dans la classe des couleurs proprement dites.

Cette composition spéciale des couleurs de la Chine entraîne des aspects particuliers dans les décorations qu'elles servent à produire, et c'est d'elle que les peintures chinoises et japonaises tirent leur caractère distinctif.

Quelques couleurs s'appliquent directement, telles que le commerce les fournit; d'autres, au contraire, exigent, avant de pouvoir être employées, une addition variable fixée par l'expérience, préalablement sans doute; on les ramène de la sorte à se développer toutes à une température déterminée. L'assortiment rapporté de Canton, enlevé sur la table d'un peintre chinois, nous donne l'exemple d'une palette toute préparée. Les additions avaient dû être faites, et nous avons pu constater que la céruse ajoutée l'a été pour la plupart en petite quantité, si même celle que l'analyse nous a fait découvrir ne provient pas d'un commencement d'altération de la couleur pendant le broyage.

En Europe, les couleurs pour peindre la porcelaine dure sont formées par un mélange de certains oxydes et de certains fondants; nous venons de dire que les couleurs de la Chine diffèrent complétement, et pour la nature des éléments du fondant, et pour les proportions de l'oxyde colorant. On ne trouve pas des différences moins tranchées quand on envisage l'état dans lequel se trouve la matière colorante dans ces deux sortes de couleurs. Et les deux assortiments ne peuvent plus être comparés quand on vient à établir le parallèle entre les substances employées, dans les deux cas, comme principes colorants.

On vient de voir que les oxydes dans la palette des Chinois étaient bornés à l'oxyde de cuivre, à l'or, à l'antimoine, à l'arsenic, à l'étain et à l'oxyde de cobalt impur, qui donne tantôt du bleu, tantôt du noir; enfin à l'oxyde de fer, qui fournit une nuance de rouge. Nous verrons que dans les couleurs d'Europe, pour lesquelles on fait usage des divers oxydes que nous venons de citer, on tire, en outre, un très-grand parti de substances inconnues des Chinois. On modifie

la nuance de l'oxyde de cobalt pur en le combinant à l'oxyde de zinc ou à l'alumine, quelquefois à l'alumine et à l'oxyde de chrome; l'oxyde de fer pur fournit une dizaine de rouges nuancés du rouge orangé au violet de fer très-foncé; on obtient des ocres pâles ou foncés, jaunes ou bruns, en combinant diverses proportions d'oxyde de fer, d'oxyde de zinc et d'oxyde de cobalt ou de nickel : les bruns se préparent en augmentant la dose de l'oxyde de cobalt contenu dans la composition qui fournit les ocres; les noirs, par la suppression de l'oxyde de zinc dans les mêmes préparations. Nous varions les nuances de nos jaunes par des additions soit d'oxyde de zinc ou d'étain pour les éclaircir, soit d'oxyde de fer pour les rendre plus foncés. L'oxyde de chrome pur ou combiné, soit à l'oxyde de cobalt, soit aux oxydes de cobalt et de zinc, donne des verts jaunes et des verts bleuâtres qui peuvent varier du vert pur au bleu presque pur.

L'or métallique nous fournit le pourpre de Cassius, que nous transformons ensuite, à volonté, en violet, en pourpre ou en carmin. Nous citerons encore l'oxyde d'urane, les chromates de fer, de baryte, de cadmium, qui donnent d'utiles couleurs, et nous terminerons en indiquant l'application toute récente des métaux inoxydables au feu, dont la découverte et la préparation exigent des connaissances en chimie que les Chinois sont loin de posséder.

Tous ces différents principes colorants se trouvent dans les couleurs européennes à l'état de simple mélange; dans les couleurs des Chinois, les oxydes sont, au contraire, dissous, et cette circonstance nous permet de les rapprocher d'une autre sorte de produits qui, répandus à la Chine, se présentent aussi fréquemment dans l'industrie d'Europe. Ce rapprochement nous permet de classer ces matières colorantes parmi les émaux proprement dits; et, en effet, nous avons trouvé dans les composés vitreux, qui sont désignés en France sous le nom d'émaux, non-seulement la même coloration obtenue par les mêmes oxydes, mais une composition de fondant analogue et quelquefois identique. Les émaux transparents ne sont-ils pas, comme on sait, des composés vitreux, dont la composition est variable en vertu de la fusibilité qu'ils doivent offrir, et colorés par quelques centièmes d'oxydes. Les bleus sont fournis par de l'oxyde de cobalt, les verts par du deutoxyde de cuivre, les rouges par de l'or; les émaux opaques, jaunes ou blancs, doivent leur coloration, leur opacité, soit à l'antimoine, soit à l'acide arsénique ou à l'acide stannique, quelquefois au phosphate de chaux.

Voici, du reste, les analyses que nous avons faites de différents émaux pris dans le commerce et destinés à la fabrication des bijoux émaillés sur cuivre, sur or ou sur argent :

	Bleu.	Rubis.	Vert.
Perte au feu	1,00	0,06	0,10
Silice	51,00	47,70	53,68
Oxyde de plomb	31,57	31,19	25,30
Oxyde de cobalt	1,00	0,10	0,00
Oxyde de fer	traces.	0,40	0,46
Oxyde de manganèse	0,00	1,20	0,20
Alumine	traces.	0,26	0,60
Chaux	2,00	1,80	1,26
Magnésie	traces.	traces.	traces.
Oxyde de cuivre	traces.	traces.	0,60
Or métallique	0,00	0,46	0,00
Potasse et soude	10,34	13,23	17,80
Oxyde d'étain	»	3,60	0,00
	100,00	100,00	100,00

Les fondants qui servent pour l'émaillage soit de l'or, soit de l'argent, soit du cuivre, celui qu'on applique sur la peinture dite sous fondant, peuvent encore être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comparés avec les couleurs dont les Chinois se servent pour décorer leurs porcelaines; on trouve que ces composés sont semblables. Il n'y a de différence entre eux que sous le rapport de la fusibilité, qui est un peu plus grande pour les émaux chinois.

	Fondants pour		
	Argent.	Or.	Peinture.
Perte au feu.	0,30	0,10	0,10
Silice	48,10	53,60	44,82
Oxyde de plomb. . . .	38,25	31,16	41,59
Oxyde de cuivre. . . .	0,32	traces.	traces.
Oxyde de fer.	0,25	0,10	0,31
Oxyde de manganèse. .	0,00	0,60	0,15
Alumine.	0,14	0,54	0,46
Chaux.	0,60	0,26	0,82
Magnésie.	traces.	traces.	0,05
Alcalis.	12,04	12,31	11,70
	100,00	100,00	100,00

Nous avons complété ces recherches en faisant l'essai des assortiments que nous avons examinés, M. Ebelmen et moi, sur des porcelaines de Chine et sur des porcelaines d'Europe. Sur porcelaine de Chine, les couleurs se sont développées à une température inférieure à la température du feu de retouche des peintures de fleurs à la manufacture de Sèvres; elles n'ont pas écaillé. Mais, sur la porcelaine de Sèvres, bien qu'elles fussent développées, elles se sont toutes détachées par écailles. On savait depuis longtemps, par suite d'expériences directes, que les émaux ne pouvaient servir que difficilement à la décoration des porcelaines d'Europe, précisément à cause du grave défaut que je viens de signaler. Quelle que soit la cause qui détermine sur les porcelaines européennes le défaut d'adhérence des émaux, nous pensons qu'elle réside dans la différence de nature de la couverte des deux porcelaines.

Nous avons vu plus haut que la pâte plus fusible des porcelaines de Chine devait être recouverte d'une glaçure plus fusible que celle dont on se sert en Europe, et c'est l'introduction de la chaux dans la couverte qui, diminuant l'infusibilité de cette glaçure, modifiant peut-être sa dilatabilité, en rapproche les propriétés physiques des propriétés des émaux. Si l'aspect des porcelaines des Chinois est différent de celui de nos productions, si l'harmonie des décorations de ces peuples paraît plus complète, c'est, suivant nous, le résultat forcé de leurs méthodes. Toutes les couleurs dont ils se servent sont peu colorées; elles n'ont de valeur que sous une certaine épaisseur qui donne à leurs peintures un relief impossible à obtenir par d'autres moyens; l'harmonie de leurs peintures est la conséquence de la nature et de la composition de leurs émaux.

COULEURS.

Nous avons donné le nom de couleurs aux matières vitrifiables, employées dans la décoration céramique lorsqu'elles sont composées de telle sorte qu'elles portent en mélange la quantité de matière fondante capable de faire adhérer la peinture à la glaçure (vernis, émail ou couverte), et capable en même temps de lui communiquer après la cuisson un glacé semblable au moins à celui de la peinture à l'huile passée sous le vernis. Ce que nous avons dit déjà des oxydes, des engobes et des émaux s'applique parfaitement aux qualités que posséderont les couleurs pour être de bonne qualité. Nous n'aurons donc ici qu'à rappeler brièvement la plupart de ces qualités.

Toutes les couleurs doivent réunir plusieurs conditions indispensables à leur usage :

1° Fondre toujours à des températures déterminées et ne pas s'altérer à ces températures; l'emploi de toute couleur volatile ou d'origine organique est donc exclu d'une manière absolue;

2° Adhérer fortement au corps sur lequel on les applique; il faut en connaître la nature chimique pour apprécier son influence sur la couleur;

3° Conserver en général un aspect vitreux après la cuisson; je dis en général, car on a fait à diverses époques des peintures mates, mais c'est l'exception;

4° Être inattaquables par l'eau, par l'air humide ou sec et par les gaz répandus dans l'atmosphère;

5° Enfin, être en rapport de dilatabilité avec les surfaces qu'elles recouvrent.

Les couleurs doivent en outre, pour être d'un bon usage, posséder plusieurs qualités spéciales, comme une fusibilité toujours plus grande que celle de l'excipient sur lequel on les applique. Quelquefois la différence entre la fusibilité de la glaçure et celle de la couleur est considérable, comme pour la porcelaine dure; dans d'autres cas, cette différence est presque nulle; c'est ce qui arrive pour les couleurs de porcelaine tendre et de faïence. C'est un avantage réel, car la couleur pénètre la glaçure et s'identifie pour ainsi dire avec elle sans courir aucun risque de se détacher en écailles.

La dureté des couleurs varie avec leur composition. On doit toujours leur donner le degré de dureté nécessaire pour qu'elles résistent suffisamment au frottement des corps durs avec lesquels elles peuvent être en contact. Quant à leur résistance à l'action chimique des corps, elles ne doivent éprouver aucune altération de la part des substances auxquelles elles sont exposées dans les conditions ordinaires, telles que les acides végétaux, les graisses chaudes et le gaz sulfhydrique que dégagent les œufs en cuisant ou qui peut être répandu dans l'atmosphère.

La dilatabilité des couleurs comparée à celle du corps qui les reçoit paraît être l'une des conditions les plus importantes auxquelles les couleurs soient assujetties.

On peut grouper les couleurs sous différents points de vue. Celui qui fera remarquer entre elles les différences les plus réelles nous semble le meilleur. Or ce sont les températures auxquelles elles se développent bien sans s'altérer, c'est-à-dire les températures qu'elles doivent ou peuvent éprouver pour être cuites, qui nous paraissent offrir ce point de vue capital. Nous les diviserons donc en couleurs de moufle ordinaire ou couleurs tendres, en couleurs de demi-grand feu ou couleurs dures, enfin en couleurs de grand feu. Les deux premiers groupes s'appliquent sur les glaçures; le troisième groupe cuit avec la glaçure et doit donc être soumis au même degré de chaleur que celle-ci sans être altéré.

La plupart des décorations au grand feu sont des émaux; il n'y a que très-peu de couleurs proprement dites. Les couleurs des deux premiers groupes diffèrent peu dans leur composition; celles du troisième groupe en exigent une plus spéciale.

Avant d'entrer dans la description des couleurs de ces trois groupes et de leur application aux diverses poteries, il faut faire connaître la préparation des éléments qui entrent dans leur composition : ce sont les oxydes métalliques et les fondants. Le succès qu'on peut obtenir constamment dans la préparation des couleurs dépend de la pureté des oxydes et de l'identité des fondants.

Il faut arriver au point d'être sûr qu'en prenant dans les bocaux les oxydes et les fondants préparés dans des circonstances convenables, on prend un corps qui est toujours le même, non-seulement dans sa composition chimique, mais dans son état moléculaire, ce dernier ayant une grande influence sur la nuance de la matière colorante après la cuisson.

Une étude attentive et raisonnée des matières employées à la décoration des poteries, considérées sous le double point de vue des oxydes et des fondants, est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seule capable de garantir d'une foule d'erreurs qu'on ne peut éviter ordinairement que par des tâtonnements pénibles; seule encore elle permettra d'obtenir, toutefois avec des formules convenables, des couleurs de composition parfaitement définie.

Pour faciliter l'étude des couleurs envisagées de cette manière, nous conserverons donc ici la distinction qu'ont établie MM. Dumas et Brongniart entre les oxydes et les fondants : c'est sur cette même distinction que repose la différence que nous avons admise nous-même entre les couleurs et les émaux.

Sous le nom de couleurs vitrifiables, on confondait généralement autrefois la couleur elle-même et son fondant; on considérait ces deux substances comme capables de s'unir chimiquement par la fusion et comme formant après celle-ci un tout homogène. J'ai fait voir depuis longtemps que dans quelques cas seulement il en est ainsi : l'oxyde de cobalt, les oxydes de cuivre ne donnent, en effet, de coloration qu'à l'état de silicates ou de sels; mais pour toutes les autres couleurs, au contraire, l'oxyde de chrome et l'oxyde de fer en offrent un exemple remarquable, le fondant n'est qu'un véhicule qui enveloppe le principe coloré et le fixe sur l'excipient sur lequel on l'applique. Cette distinction une fois admise, il est permis de considérer isolément, l'une après l'autre, la couleur proprement dite et son fondant; on peut étudier séparément la préparation chimique des éléments colorants, les oxydes et la fabrication des principes fusibles qui doivent les faire adhérer ou glacer à la surface des corps sur lesquels on les pose. Les conditions indispensables auxquelles les matières colorantes doivent satisfaire, limitent notablement le nombre des substances susceptibles de servir à la fabrication des couleurs vitrifiables. Nous les avons fait connaître; ces considérations nombreuses ne sont cependant pas les seules dont il faille tenir compte. Dans la peinture sur porcelaine, et c'est là surtout qu'il importe d'atteindre la perfection, quand les couleurs doivent être mélangées pour produire des nuances variées à l'infini, on comprend la nécessité de proscrire l'emploi de toutes les substances qui, à la température de la cuisson, pourraient réagir les unes sur les autres de manière à changer de ton; cette nouvelle considération limite encore considérablement le nombre des principes colorants d'un emploi certain.

Jusqu'à présent les matières employées sont, parmi les oxydes simples :

L'oxyde de chrome;	L'oxyde de cobalt;
L'oxyde de fer;	L'oxyde d'antimoine;
L'oxyde d'urane;	L'oxyde de cuivre;
L'oxyde de manganèse;	L'oxyde d'étain;
L'oxyde de zinc;	L'oxyde d'iridium.

Parmi les sels purs ou mêlés de matières terreuses :

Le chromate de fer;	Le pourpre de Cassius;
Le chromate de baryte;	La terre d'Ombre;
Le chromate de plomb;	La terre de Sienne;
Le chlorure d'argent;	Les ocres rouges et jaunes.

Nous ne saurions faire connaître ici, sous peine de donner à cet article une étendue beaucoup trop considérable, les diverses méthodes auxquelles on doit recourir pour la préparation de ces différentes matières, en vue surtout des couleurs dans la composition desquelles elles entrent; nous nous bornerons, après avoir renvoyé le lecteur à nos *Leçons de céramique*, t. I et II, à présenter quelques dosages qui se rapportent à la fabrication des couleurs proprement dites.

Cet exposé sera précédé de l'indication des principaux fondants.

Si l'on fixe son attention sur la nature chimique des différentes glaçures sur lesquelles on peut appliquer les couleurs vitrifiables; si l'on considère que les unes fondent à une température voisine de celle à laquelle les couleurs se fixent; que les autres, plus dures, ne s'y ramollissent pas, et qu'alors toute la fusion doit provenir du fondant, on admettra sans peine que la température à laquelle les couleurs se cuisent est variable avec la nature du produit que l'on veut décorer, et que l'action des divers agents fusibles doit être différente pour à peu près tous les genres de poterie.

On conçoit donc qu'il y a des différences tranchées entre tous les fondants. Elles tiennent à la composition des matières fusibles qu'on emploie dans leur préparation et aux proportions dans lesquelles on les mélange. Nous prendrons comme exemple les couleurs tendres de porcelaine dure, et parce que ce sont les plus nombreuses, et parce qu'elles peuvent servir de point de départ facile et simple pour les couleurs applicables à la décoration des autres poteries. Nous en déduirons quelques composés propres à décorer la faïence stannifère.

Les matières qui entrent dans la composition des fondants sont :

Le sable ou quartz;	Le nitre;
Le feldspath;	Le carbonate de potasse;
L'acide borique;	Le carbonate de soude;
Le borax;	Le minium et la litharge;
Le borate de chaux;	L'oxyde de bismuth.

Nous connaissons déjà toutes ces substances qui entrent, comme parties fusibles, soit dans les pâtes céramiques, soit dans les glaçures de ces pâtes. Nous ajouterons que, quelque variées que puissent être les proportions dans lesquelles on pourrait combiner ces substances pour obtenir des composés plus ou moins fusibles, les conditions qui limitent le nombre des couleurs vitrifiables limitent sensiblement aussi le nombre de ces fondants; et l'on comprend les motifs qui ont fait réduire au plus petit possible le nombre de ces fondants. Les couleurs qui servent à décorer le même excipient doivent se mêler ensemble, et cette condition est surtout indispensable pour la peinture sur porcelaine. Mélangées en toutes proportions pour produire les tons variés à l'infini dont l'artiste a besoin, ces couleurs doivent porter chacune la nuance qui lui est propre; il faut donc écarter les matières fusibles qui modifieraient les oxydes, et ne faire usage que de fondants qui présentent une certaine analogie dans leur composition.

L'étude des fondants se réduit à celle de six composés, tous employés comme principes fusibles dans la préparation des couleurs de porcelaine dure, et pouvant entrer comme fondants, avec quelques légères modifications, dans les couleurs de porcelaine tendre, des faïences fines et communes, etc. Ces fondants principaux ont dans l'industrie des couleurs vitrifiables des noms particuliers. Nous leur donnerons des numéros d'ordre pour les faire figurer d'une manière très-brève dans les dosages que nous nous proposons de donner; ce sont :

Le fondant aux rouges, n° 1;	Le fondant de pourpre, n° 4;
Le fondant aux gris, n° 2;	Le fondant de violet, n° 5;
Le fondant de carmin, n° 3;	Le fondant de bleu, n° 6.

Fondant n° 1. — On fond :

Sable.	200
Minium.	600
Borax fondu.	400

On coule quand tout est fondu et l'on pile dans un mortier de porcelaine.

Les observations qui suivent sur cette préparation ont leur importance : on mêle bien les trois éléments qui composent le fondant, on fait fondre dans un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fourneau qui donne un bon coup de feu; la masse se trouve convertie en un verre jaune verdâtre, si le minium ou la litharge dont on s'est servi ne contient que très-peu de cuivre. C'est un borosilicate de protoxyde de plomb et de soude.

Quelques fabricants fondent le mélange de sable de minium et de borax dans un creuset qu'ils exposent, pendant toute la durée de la cuisson, à la température du dégourdi des fours à porcelaine. Après le défournement, ils cassent le creuset pour en retirer le fondant; c'est une mauvaise méthode. Exposé longtemps à la chaleur, sous l'influence des vapeurs humides ou réductives, le fondant perd de l'oxyde de plomb et devient plus dur; il subit, en outre, l'action du creuset, qui lui cède de l'alumine et de la silice, ce qui le durcit encore. Je préfère lui conserver sa composition et sa fusibilité intactes en le fondant rapidement. On le coule sur une plaque de métal aussitôt après fusion complète.

Fondant n° 2. — On fond comme précédemment le même mélange, mais on triture dans un mortier de fer. On fond ces mélanges dans un creuset de terre, dans un bon fourneau; on coule.

Les observations que nous avons faites au sujet du fondant n° 1 s'appliquent encore à celui-ci.

Fondant n° 3. — Il sert pour les carmins. On fond le mélange suivant :

Borax.	500
Sable.	300
Minium.	100

On ne coule pas; on retire avec les pinces : la matière fondue est blanchâtre et opaline.

Fondant n° 4. — Pour les pourpres. On fond et on retire avec les pinces, comme plus haut, le mélange suivant :

Borax.	600
Sable.	400
Minium.	100

Fondant n° 5. — Pour les violets. On fait fondre après trituration :

Sable.	100
Minium.	400
Acide borique cristallisé.	400

Le verre qui résulte de cette fonte est très-fusible.

Fondant n° 6. — Pour les rouges et les bleus. On fond :

Minium.	600
Acide borique cristallisé.	300
Sable.	100

Ce fondant est assez fusible.

Quelques praticiens recommandent de couler dans l'eau ces différents fondants; c'est une précaution qui ne peut être que nuisible; elle enlève certainement du borax au fondant et ne peut l'améliorer sous aucun rapport.

Nous avons dit que les oxydes ne supportaient pas tous également bien une température élevée. De là des distinctions essentielles entre les couleurs vitrifiables. Nous avons vu que celles qui peuvent résister sans altération à la température nécessaire pour cuire les vernis, émaux ou couvertes de poteries, s'appellent couleurs au grand feu.

Elles sont d'autant moins nombreuses que les glaçures doivent cuire à une température plus élevée. Nous ne devons pas oublier qu'un grand nombre de celles applicables sur les porcelaines dures, comme le bleu de cobalt, le verre de chrome, les bruns de fer, de manganèse et de chromate de fer; les jaunes obtenus avec l'oxyde de titane, les noirs d'urane, sont plutôt des émaux ou des oxydes que des couleurs proprement dites.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Nous rappellerons aussi que, d'une part, les colorations de grand feu, mais de seconde température, cuites sur porcelaines tendres, que les violets, les rouges et les bruns de manganèse, de cuivre et de fer, qui décorent quelques porcelaines de la Chine, ne sont encore que des émaux; il en est de même pour les faïences fines et communes, des jaunes d'antimoine, des bruns de manganèse, des verts de cuivre et des bleus de cobalt.

Nous voyons qu'en réalité les couleurs de grand feu, en tant qu'on ne considère que les couleurs proprement dites, sont très-peu nombreuses. Ces dernières sont, au contraire, fréquentes parmi les matières colorantes qui ne peuvent supporter une très-haute température sans éprouver de grandes altérations, et qui, pour cela, doivent être fondues à une température de beaucoup inférieure; le maximum n'atteint pas le degré de fusion de l'argent fin; elles portent le nom de couleurs de moufle pour les porcelaines et les faïences fines, et de couleurs de réverbère pour la faïence émaillée. On conçoit, dans cette dernière série, la possibilité d'en avoir de toutes les nuances, pour toutes les sortes de peintures et de glaçures.

Les couleurs au grand feu, prises dans leur ensemble, émaux et couleurs proprement dites, ont sur les couleurs de moufle un grand avantage, c'est celui de pouvoir recevoir, sans se ramollir, la dorure dont on veut les rehausser. Cette considération a dirigé des essais dont le succès a été complet, et qui fournissent aux décorateurs une série plus complète que la palette au grand feu; on les a nommées couleurs de demi-grand feu ou couleurs de moufle dures. Ces couleurs se glacent au moufle, mais à une température bien plus élevée que les couleurs à peindre, qu'on désigne sous le nom de couleurs de moufle tendres. Ces couleurs une fois cuites peuvent recevoir d'autres couleurs, la dorure brunie, le platinage, etc., sans qu'on soit obligé, comme pour les couleurs tendres, d'enlever au grattoir la couleur qui fait le fond; ce qui était très-long, et rendait très-difficiles et très-coûteuses les dorures ou ornements sur fond de couleur tendre.

Lorsque, par les procédés que nous avons détaillés, on s'est procuré, d'une part, les oxydes, de l'autre, les fondants, il faut composer la couleur et la rendre propre à l'emploi. On la prépare par le mélange, en proportions déterminées, des oxydes ou principes colorants, avec le fondant qui doit les faire adhérer. Quelquefois, mais en apparence seulement, on opère différemment; alors les procédés dont on se sert sont économiques en temps et en dépenses, ils permettent d'accomplir simultanément deux opérations distinctes qu'il est facile de séparer par la pensée : d'abord la préparation du principe colorant, puis le mélange de ce principe avec la composition fusible qui doit le fixer et le faire glacer. Ainsi lorsqu'on met dans un creuset du minium, du sable, du borax et de l'antimoniate de potasse, on fait en même temps du jaune de Naples et du fondant. On les fait ensemble; on pourrait les faire isolément, puis les mêler, et la couleur n'en serait ni moins belle, ni moins bonne. Le premier procédé est économique et court; le second serait plus dispendieux et plus long.

Considérées sous le rapport des procédés mis en usage pour les fabriquer, les couleurs pourraient être divisées en trois groupes :

1° Les couleurs qui se fondent;

2° Les couleurs qui ne se fondent pas;

3° Les couleurs qui se frittent.

A. Les couleurs qui ne se fondent pas sont celles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui, comme les couleurs fournies par l'oxyde de fer et l'oxyde de chrome, ont de suite à l'emploi le ton qu'elles doivent avoir, ou qui, comme les couleurs tirées de l'or, ne supporteraient pas cette fusion préalable sans s'altérer; les oxydes se mêlent seulement aux fondants.

B. Les couleurs qui se fondent sont celles dans la composition desquelles entrent des oxydes qui seuls n'ont pas de couleur et qui ne sont colorés qu'à l'état de sels, c'est-à-dire en combinaison, soit avec la silice, comme le cobalt et le cuivre, soit avec le plomb, comme l'antimoine. Les verts de cuivre, les bleus de cobalt et les jaunes d'antimoine sont dans ce cas; on mêle les oxydes avec les fondants, et on fond à une température variable pour chaque couleur, afin de déterminer la combinaison colorée.

C. Les couleurs qui se frittent seulement sont celles qui n'ont pas le ton à l'emploi; l'oxyde, comme dans le cas qui précède, n'a pas le ton qu'il doit conserver, mais la température de la fusion serait trop élevée; l'oxyde et le fondant sont mêlés, et la température, graduellement élevée, sert seulement à ramollir la surface. Ces couleurs sont les plus délicates.

Toute couleur doit, à l'usage, être considérée sous deux points de vue très-importants :

1° Le ton, la nuance même qu'elle doit présenter après la cuisson, et dont il faut la rapprocher, autant que possible, avant d'être cuite;

2° La propriété de pouvoir former, avec d'autres couleurs appropriées, des mélanges qui conservent ou prennent au feu les tons qu'on veut avoir. Cette dernière qualité, sans laquelle il serait impossible de faire de la peinture d'art, dépend uniquement de la pureté des corps qui entrent dans la composition. Une fois que des couleurs, par leur association en proportions sensiblement les mêmes, auront donné au feu, dans certaines limites de température, un ton ou une nuance voulue, elles donneront constamment la même; c'est donc à remplir ces conditions de pureté, de proportions bien déterminées, que doivent tendre les recherches et la science du chimiste chargé de les préparer.

Outre ces deux premières conditions, il faut que les couleurs possèdent une troisième qualité non moins importante, celle d'être glacées et de ne point écailler lorsque, mises à une épaisseur convenable, elles seront cuites à la température qui leur convient.

Les couleurs qui se frittent peuvent souvent offrir des teintes assez éloignées les unes des autres dans deux préparations différentes; c'est la température seule qui leur donne leur ton, et nous savons qu'il est très-difficile de la régler. Quand une couleur de cette nature n'a pas la nuance voulue, il est possible de la corriger, soit par des additions de couleurs qui, par leur mélange, la ramènent au ton désiré, soit par des additions de couleurs faites avec la même recette, mais péchant par le défaut contraire; le premier moyen doit être rejeté toutes les fois qu'il s'agira d'une couleur à mêler : il est bon tout au plus pour des couleurs de fond. La couleur ainsi corrigée perd sa composition, et c'est d'elle que dépendent ses bonnes qualités dans les peintures. Elle ne peut plus servir qu'employée sans mélange, comme couleur pour fond. Quant à la seconde méthode, elle ne saurait modifier les propriétés des couleurs; la composition reste constante, identique, et la couleur conserve ses propriétés fondamentales.

Nous allons donner maintenant, à titre d'exemple, les procédés à l'aide desquels on fabrique chaque couleur pour la porcelaine dure. Ils sont journellement employés à la manufacture de Sèvres. Mais comme il ne nous est pas possible de donner ici toute la série des couleurs préparées pour cet établissement, nos recettes seront en quelque sorte réduites à leur plus simple expression. Il sera facile d'en déduire la composition des couleurs de porcelaine tendre et de faïence fine; en effet, les bleus et les jaunes vont également bien sur la plupart des poteries, et pour les autres couleurs il suffit de mettre un peu moins de fondant lorsque les glaçures sont plus fusibles et ramollissables.

Couleurs pour porcelaine dure. — Nous commencerons par les blancs.

Blancs. — Les blancs ont pour base l'oxyde d'étain, l'acide arsénieux ou le phosphate des os; on modifie le blanc d'émail ou de faïence commune par une addition de nitre ou de minium.

Gris. — Les gris sont généralement des mélanges de couleurs variées; on distingue des gris clairs et des gris foncés :

Gris n° 1. — On mélange au mortier de porcelaine :

Noir n° 2	100
Gris n° 2	100
Bleu n° 4	200

Si le ton n'est pas tout à fait assez bleu, on ajoute un peu de bleu n° 4 après essais.

Gris n° 2. — On fait fondre :

Fondant n° 6	88
Carbonate de cobalt	8
Oxyde de fer jaune	4

On fond à une faible chaleur; on retire avec les pinces.

Gris n° 3. — On mélange sur la glace :

Jaune n° 4	600
Rouge n° 6	100
Rouge n° 7	100
Fondant n° 2	660
Jaune n° 2	10
Bleu n° 2	150

Gris n° 4. — On mélange les proportions indiquées ci-dessus pour le gris n° 1, avec la précaution de remplacer le rouge n° 6 par le rouge n° 1.

Gris n° 5. — On mélange les quatre substances qui suivent :

Jaune n° 4	100
Fondant n° 6	700
Gris n° 2	700
Bleu n° 2	300

Il faut ajouter aux recettes indiquées, comme pouvant fournir du gris, le platine métallique. J'ai appelé depuis quelques années l'attention des chimistes sur l'emploi de ce corps, que son infusibilité, son inaltérabilité sous l'influence de la plupart des agents chimiques, même à une température élevée, aurait dû déjà recommander. Lorsque l'on mélange au platine en poudre 4 fois son poids de fondant n° 2, on obtient un gris d'un ton fin, des meilleures qualités pour la peinture sur porcelaine, et dont il est facile de comprendre la supériorité sur les autres gris employés jusqu'à ce jour.

Toutes les fois que des oxydes de fer et de cobalt, ou de cobalt, de fer, de manganèse ou de cuivre, se trouvent en présence, en quantité notable, en contact avec une matière siliceuse capable de se fondre à la température à laquelle on l'expose, la couleur du composé multiple qui résulte de la fusion est noire, que l'oxyde de cobalt soit à l'état bleu ou non, que le fer soit rouge ou brun dans le mélange primitif. Cette proposition est vraie, même pour les températures élevées des fours à cristaux, comme pour celles plus élevées encore des fours de verrerie.

C'est sur ces réactions, connues de tous les chimistes,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'est fondée la préparation des gris et des noirs généralement employés pour peindre les porcelaines dures et tendres, les cristaux, les verres, etc. On en varie la nuance et l'intensité en variant les proportions respectives des oxydes de cobalt, de fer, de zinc, et en augmentant la proportion du fondant dit au gris dont j'ai donné la composition plus haut, pour atténuer le ton et la couleur, pour obtenir des gris de plus en plus clairs.

Or, les bleus se font avec des oxydes de cobalt et de zinc, et ces couleurs sont d'autant plus vives, que les oxydes employés renferment moins d'oxyde de fer ou de manganèse.

Les rouges sont fournis par l'oxyde de fer, les ocres par l'oxyde de fer et l'oxyde de zinc, et ces nuances sont d'autant plus pures, que les oxydes de fer et de zinc sont eux-mêmes plus dépouillés d'oxydes étrangers, comme ceux de cuivre et de manganèse.

Il est donc bien évident que lorsque l'artiste veut rompre du bleu, du rouge ou de l'ocre, et qu'il y mêle le gris ou le noir que met à sa disposition la palette actuelle, il fait un mélange, dans des proportions qu'il ignore, d'oxyde de fer, de cobalt et de zinc, dont la couleur est noire, et dont il ne peut prévoir ni l'intensité ni la nuance qu'avec une très-grande habitude; et d'ailleurs, comme le ton après la cuisson n'est nullement celui qu'il applique sur sa peinture, puisque le ton bleuâtre et le ton rouge sont altérés et peuvent même disparaître entièrement, il ne peut donner à sa peinture crue l'aspect qu'elle prendra quand le vernis sera développé par le feu. Il faut que le peintre travaille au jugé, qu'il mette son œuvre en harmonie en voyant sa peinture, non comme elle est réellement, mais telle que la cuisson doit la faire apparaître.

C'est là un inconvénient, un inconvénient fort grave, surtout dans la peinture des figures, dans la reproduction sur porcelaine des tableaux des grands maîtres, où il importe d'arriver à la perfection.

Le gris de platine n'offre aucun de ces inconvénients; comme il ne renferme pas d'oxyde de cobalt, il peut très-bien servir à rompre les rouges et les ocres sans qu'on ait à craindre qu'il communique aux ombres, par l'effet de la cuisson, une trop grande vigueur. Comme il ne contient pas d'oxyde de fer, on ne doit pas craindre qu'en le mélangeant avec les bleus, il les fasse noircir au delà de ce qu'on veut obtenir; il n'entre dans le mélange que pour le ton qui lui est propre, et qu'il conserve avant comme après la cuisson.

Considérée sous le rapport de sa fabrication, cette couleur est facile à faire et à reproduire toujours identique comme nuance et comme composition. On prépare facilement le platine en poudre; il suffit de précipiter une solution de chlorure de platine par du sel ammoniac en excès, et de chauffer jusqu'à évaporation complète de ce dernier sel : on obtient ainsi le platine sous forme d'une poudre grise, qu'on peut mêler immédiatement au fondant dans la proportion indiquée plus haut, et qui se laisse facilement broyer.

Le platine n'est pas le seul métal qui, employé dans ce sens, fournirait une couleur utile.

Tous les métaux qui l'accompagnent ordinairement dans sa mine pourraient, comme lui, réduits en mousse, servir au même usage et avec la même supériorité sur les gris composés de cobalt et de fer.

J'ai, dans ce but, essayé le palladium et le ruthénium. Le palladium donne un gris pâle; le ruthénium, un gris plus roux que celui de platine.

Depuis longtemps déjà, M. Frick avait indiqué l'usage du sesquioxyde d'iridium comme pouvant fournir un noir supérieur à tous les noirs connus. M. Malaguti, à la manufacture impériale de Sèvres, a vérifié les données de M. Frick. M. L. Robert en fit plus tard une petite quantité, et moi-même, en 1845, j'avais livré pour le service de Sèvres une centaine de grammes de gris d'iridium, dont les qualités purent être mises en relief par un usage journalier.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Le gris de platine est appelé à remplacer avantageusement ce dernier. Son prix est moins élevé, sa nuance plus agréable et sa préparation moins difficile.

Il est aussi beaucoup plus répandu, et, depuis dix ans environ qu'on s'en sert, l'expérience a pu faire prononcer sur sa véritable valeur. Aussi est-il entré définitivement dans la palette de la manufacture de Sèvres.

Noirs.— On les obtient par le mélange des oxydes de fer de cobalt, seuls ou combinés, aux oxydes de manganèse, de zinc ou de cuivre.

Noir n° 1. — On mélange les dissolutions provenant de l'attaque par l'acide chlorhydrique de 400 grammes fer et 400 grammes cobalt oxydé. On précipite par le carbonate de soude, on lave longtemps; quand tout a bruni, on fait sécher, on pulvérise, puis on calcine dans un têt à rôtir avec deux fois son poids de sel. On lave à l'eau bouillante et on sèche; on calcine à un fort feu, on prend l'oxyde noir ainsi préparé, on y ajoute :

Fondant n° 6.	400
Fondant n° 2.	400
Oxyde à noir.	250
Bleu n° 2.	50

Noir n° 2. — On mélange un oxyde fait comme plus haut en prenant 400 grammes fer métallique et 200 grammes oxyde de cobalt, savoir :

Fondant n° 6.	500
Oxyde à noir.	100

Bleus. — Pour faire les bleus, je fais d'abord une fonte, dans laquelle je développe la teinte de l'oxyde de cobalt. Pour les bleus rappelant la teinte de l'indigo, le silicate de cobalt est avivé par l'oxyde de manganèse; pour les autres bleus, sa nuance est azurée par l'oxyde de zinc.

Bleu n° 1. — On fait une fonte que nous appellerons A :

Sable.	50
Minium.	50
Carbonate de soude sec.	12
Carbonate de potasse sec.	15
Oxyde noir de cobalt.	6
Carbonate de manganèse.	4
Nitrate de potasse.	6

On fond tant qu'il y a bouillonnement, on coule et on mêle :

Fonte A.	100
Bleu n° 2.	500

On mélange au mortier sans refondre.

Bleu n° 2. — On mélange et on fond :

Fleurs de zinc.	40
Carbonate de cobalt.	20
Fondant n° 1.	100

Nous appellerons cette fonte B.

On fait le mélange suivant :

Fonte B.	200
Fondant n° 1.	100

On triture sans fondre.

Bleu n° 3. — On mélange au mortier :

Fonte B.	200
Fondant n° 1.	200

On triture sans fondre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Bleu n° 4. — On mélange au mortier :

Fonte B.	100
Fondant n° 1.	600

On triture sans fondre.

Bleu n° 5. — On mélange sans fondre :

Fonte B.	100
Fondant n° 1.	1000

On triture sans fondre.

Jaunes. — On se sert, pour les jaunes, d'oxyde d'antimoine, qu'on allie aux oxydes de fer ou de zinc. On fait un jaune très-foncé par l'oxyde d'urane.

Jaune n° 1.

Oxyde jaune d'urane.	100
Fondant n° 6.	300

On triture sans fondre.

Jaune n° 2. — On fond à un feu modéré :

Minium.	400
Acide borique cristallisé	90
Sable.	120
Antimoine diaphorétique.	120
Oxyde rouge de fer.	30

Jaune n° 3. — On mélange et on fait fondre :

Minium.	420
Acide borique cristallisé.	90
Sable.	120
Antimoine diaphorétique.	120
Fleurs de zinc.	30

On fond légèrement et l'on retire avec les pinces comme pour le jaune n° 2.

Jaune n° 4. — On fond à l'état de verre bouteille l'un des deux mélanges suivants :

	a	*b*
Fondant n° 2.	880	840
Fleurs de zinc.	35	40
Oxyde de fer hydraté jaune. . .	70	80
Antimoine diaphorétique. . . .	15	40

On pile après avoir coulé le verre bien liquide. Ces jaunes se mêlent aux rouges.

Couleurs d'or. — Ces couleurs sont obtenues par le pourpre de Cassius ; on connaît le carmin, le pourpre et le violet

Carmin n° 1. — Il faut, pour faire cette couleur, broyer sur une glace du pourpre de Cassius humide, un peu de chlorure d'argent et des fondants, environ trois fois le volume du précipité d'or. On fait l'essai du mélange qu'on corrige par tâtonnements. Quelques nouvelles expériences m'ont démontré qu'on approchait très-près d'une bonne composition en pesant :

Or à l'état de pourpre	5,00
Argent à l'état de chlorure	1,70
Fondant de carmin	250,00

Carmin n° 2. — Cette couleur est le carmin tendre anglais ; on l'obtient avec le pourpre de Cassius et le fondant de carmin modifié, contenant :

Sable.	40
Borax.	30
Minium.	30

On ajoute 400 grammes de fondant pour les quantités d'or et d'argent indiquées ci-dessus.

Pourpre n° 1. — On mélange au mortier parties égales de carmin n° 1 et de pourpre n° 2, savoir :

Carmin n° 1.	100
Pourpre n° 2.	100

On triture sans fondre.

Pourpre n° 2. — On suit les indications précises données plus haut pour faire le carmin, mais on se sert du fondant indiqué sous le n° 4. Il faut un peu de chlorure d'argent. Pour éviter les tâtonnements, on prend :

Or à l'état de pourpre.	5,00
Argent à l'état de chlorure. . . .	1,25
Fondant de pourpre.	200,00

Violet n° 1. — On fait encore un mélange sur la glace de pourpre de Cassius et de fondant environ volumes égaux. En opérant avec des poids déterminés d'or et de fondant, on triture sur la glace :

Or à l'état de pourpre	5,00
Fondant de violet	150,00

On remplace le fondant de pourpre par celui donné sous le n° 5 dans la série des fondants. On n'ajoute ni bleu ni chlorure d'argent. On essaye la couleur humide.

Outremer. — L'alumine donne avec l'oxyde de cobalt un bleu semblable au bleu Thénard, qui devient la base de ces belles couleurs.

Outremer n° 1. — On prépare un oxyde outremer en faisant dissoudre dans l'acide azotique :

Hydrate d'alumine.	30
Carbonate d'oxyde de cobalt.	10

On évapore à sec, on triture, puis on calcine.

La trituration ne doit pas amener à l'état de poudre le mélange d'alumine et d'oxyde de cobalt desséché : il doit rester granulé. Le couleur de l'oxyde doit être d'un beau bleu bien vif, sans trace de gris verdâtre.

On mélange au mortier :

Oxyde outremer.	100
Fondant n° 6.	250

On triture sans fondre.

Outremer n° 2. — On mélange sans fondre :

Oxyde outremer	100
Fondant n° 6.	350

Ocres. — Les ocres conservent leur ton particulier par suite de la présence de l'oxyde de zinc, qui semble remplacer l'eau de combinaison dans l'hydrate de peroxyde de fer.

Pour préparer les ocres, quel que soit leur ton, on prépare d'abord des oxydes en suivant exactement la marche que j'ai indiquée plus haut pour la préparation des oxydes propres à faire les noirs n°s 1 et 2. J'abrége d'autant cette description en renvoyant aux détails déjà donnés.

J'indique seulement ici, pour chacun de ces ocres, les oxydes et métaux qu'on mélange pour obtenir l'oxyde colorant qui doit être rougi et passé au sel, puis lavé et séché ; j'indique ensuite les proportions dans lesquelles il faut mêler l'oxyde à son fondant.

Ocre n° 1. — On prépare l'oxyde en faisant dissoudre dans l'acide chlorhydrique :

Fer métallique.	300
Zinc métallique.	300
Oxyde de nickel	20

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On prend ensuite :

Oxyde à ocre n° 1.	100
Fondant n° 2	300

Ocre n° 2. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique.	300
Zinc métallique.	300
Oxyde de nickel.	10

On prend ensuite :

Oxyde à ocre n° 2.	100
Fondant n° 2.	300

Ocre n° 3. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique.	300
Zinc métallique	300

On prend ensuite l'oxyde et le fondant n° 2.

Oxyde à ocre n° 3.	100
Fondant n° 2.	300

On triture sans fondre.

Ocre n° 4. — On triture sans fondre :

Oxyde à ocre n° 2	100
Fondant n° 2.	400

Ocre n° 5. — On prépare l'oxyde avec :

Fer métallique.	200
Zinc métallique.	300

On prend ensuite pour les triturer sans fondre :

Oxyde à ocre n° 5.	100
Fondant n° 2.	400

Ocre n° 6. — On triture sans fondre :

Oxyde à ocre n° 5	100
Fondant n° 2.	600

Rouges. — L'oxyde de fer qui sert à faire les rouges, quel que soit leur ton, provient de la couperose qu'on fait sécher et qu'on calcine à des feux d'autant plus élevés, qu'on veut préparer des rouges violacés. Les nitrates de peroxyde de fer conduisent de même à des nuances fort brillantes.

Les couleurs rouges, tirées du fer, ont principalement attiré mon attention, et j'ai cherché, par l'analyse, à déterminer leur composition : j'ai constaté que le rouge orangé est rendu plus fixe et plus vif par une addition à l'oxyde de fer ou d'oxyde de zinc ou d'alumine, et que les violets de fer doivent leur intensité et leur nuance bleuâtre à l'introduction d'une petite quantité d'oxyde de manganèse. J'ai cherché pourquoi deux rouges différaient d'éclat, la pureté chimique étant la même. Je crois qu'on acceptera l'explication telle que je l'ai proposée : elle s'applique de même aux autres couleurs.

La différence de nuance qu'acquiert l'oxyde de fer pur dépend de la température à laquelle on l'a porté. Toutes les nuances ne se maintiennent pas à la même hauteur; plus la température est élevée, plus le ton est vigoureux; on sait que toutes les couleurs que prend l'oxyde de fer varient de l'orangé au violet, c'est-à-dire qu'elles peuvent se décomposer en jaune rouge et bleu, couleurs simples qui donnent du gris plus ou moins foncé, suivant l'intensité des trois couleurs élémentaires. Plus la température est basse, plus il reste de jaune; plus elle est élevée, plus il s'ajoute de bleu.

Il me paraît évident, d'après cela, que la couleur sera d'autant plus pure que l'oxyde qui la produit sera

formé de molécules identiques par la modification qu'elles auront reçue d'une même température. La nuance sera donc d'une pureté parfaite si toutes les molécules ont reçu la température nécessaire pour la développer, si aucune n'a reçu un coup de feu capable de la modifier, ou trop faible, qui laisserait du jaune, ou trop violent, qui augmenterait la dose du bleu.

Le tour de main doit donc consister à ne composer la couleur que de particules d'oxyde ayant subi la même température. On parvient à ce résultat en n'opérant à la fois que sur de petites quantités et en agitant constamment la masse. On arrête le feu quand la température a été maintenue pendant un temps suffisant; on essaye toutes les préparations successives, et on ne réunit que celles qui, au point de vue de la nuance, offrent un résultat identique, celles qui affectent la vue de la même manière; et c'est ici qu'un œil bien exercé, bien sensible, est de première nécessité; c'est ici que des études artistiques, même sérieuses, deviennent le complément indispensable de la science du chimiste.

Pour faire les rouges, on opère comme on vient de le dire. La nuance varie, en raison du coup de feu que l'oxyde a reçu, du rouge capucine au rouge violâtre.

On obtient ainsi des rouges nos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8, en les mélangeant dans les proportions suivantes :

On triture sans fondre :

Oxyde de fer, de nuance voulue. . . .	100
Fondant n° 2.	100
Fondant n° 6.	300

Pour faire les rouges tendres, on triture encore sans fondre :

Oxyde de fer, de nuance voulue. . .	100
Fondant n° 1.	100
Fondant n° 6.	800

On distingue ainsi des rouges orangé, sanguin, chair, carminé, laqueux, violâtre, violâtre-foncé, durs ou tendres, suivant la dose de fondant qu'on ajoute à l'oxyde.

Bruns. — Les bruns, comme les ocres, sont formés par le mélange d'un fondant et d'un oxyde; cet oxyde se prépare comme les oxydes noirs et comme les oxydes pour les ocres. Je crois pouvoir me borner à donner les dosages qu'il faut employer.

Brun n° 1. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique.	100
Zinc métallique.	100
Oxyde de cobalt.	100

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 1.	100
Fondant n° 2.	300

Brun n° 2. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique.	100
Zinc métallique.	100
Oxyde de cobalt.	100

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 2.	100
Fondant n° 2.	300

Brun n° 3. — On fait dissoudre, précipiter, etc. :

Fer métallique.	100
Zinc métallique.	100
Oxyde de cobalt	50

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 3.	100
Fondant n° 2.	300

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Brun n° 4. — On prépare un oxyde très-convenable en faisant dissoudre et précipitant :

Fer métallique	400
Zinc métallique	400
Oxyde de cobalt	25

On triture ensuite sans fondre :

Oxyde à brun n° 4	100
Fondant n° 2	300

Verts. — On fait les verts en mélangeant à du fondant des oxydes verts de diverses nuances qui ont pour base l'oxyde de chrome modifié dans sa teinte par sa combinaison avec d'autres oxydes métalliques.

Je donnerai d'abord pour les verts la préparation de l'oxyde. L'oxyde fait est ensuite mêlé, soit aux fondants, soit aux autres couleurs qui doivent en modifier la teinte. On suppose dans tout ce qui va suivre que l'oxyde de chrome a été préparé préalablement par la déflagration du bichromate de potasse avec la moitié de son poids de fleur de soufre.

Vert n° 1. — On prépare l'oxyde à vert n° 1 en triturant longtemps à l'eau sur une glace, savoir :

Oxyde de chrome vert	200
Oxyde de cobalt carbonaté	100
Alumine hydratée	200

On fait calciner à un fort feu, puis on lave ; on fait sécher et on ajoute à l'oxyde ainsi préparé les fondants dans les proportions suivantes :

Oxyde à vert n° 1	100
Fondant n° 4	150
Fondant n° 6	150

Vert n° 2. — On mélange ensemble du vert n° 1 et du jaune n° 3, savoir :

Vert n° 1	600
Jaune n° 3	400

On peut varier ces doses suivant le ton plus ou moins jaune qu'on désire obtenir :

Vert n° 3. — On fait un oxyde composé de :

Oxyde de chrome	200
Oxyde de cobalt carbonaté	100

On le calcine fortement ; on le lave et on le fait sécher. On fond ensuite le mélange suivant qu'on retire du creuset avec les pinces :

Oxyde à vert n° 3	75
Jaune n° 2 tout fait	100
Fondant n° 6	300
Fondant rocaille	50

Vert n° 4. — On fait d'abord un oxyde vert foncé en calcinant à un fort feu, lavant et séchant le mélange fait sur la glace :

Oxyde de chrome vert	240
Hydrate d'alumine	80
Oxyde de cobalt noir	20
Oxyde de fer jaune	10

On mêle la substance verte ainsi obtenue :

Oxyde à vert n° 4	100
Fondant n° 6	300

Vert n° 5. — On fait, comme plus haut, un oxyde à vert composé de :

Oxyde de chrome vert	300
Alumine hydratée	100

On calcine, après avoir broyé sur la glace, à un fort feu, on mêle alors avec soin le mélange suivant :

Oxyde à vert n° 5	100
Fondant n° 6	300
Jaune n° 3	50

On triture, mais on ne fond pas.

Vert n° 6. — On mélange au mortier les proportions suivantes :

Vert n° 4	100
Jaune n° 2	50
Brun n° 3	100
Vert n° 1	50

On ne fond pas.

Vert n° 7. — On prépare d'abord un oxyde vert foncé en mélangeant et broyant sur la glace :

Oxyde de cobalt noir	100
Oxyde de chrome	100

calcinant à un fort feu et lavant.

On mêle ensuite cet oxyde, dans les proportions suivantes, avec le fondant :

Oxyde à vert n° 7	100
Fondant n° 6	300

On ne fond pas.

Vert n° 8. — On prépare, comme pour les autres verts, un oxyde en calcinant un mélange intime de :

Oxyde de chrome	200
Oxyde de cobalt noir	100
Oxyde de fer jaune	50

On lave après calcination, puis on mêle :

Oxyde à vert n° 8	100
Fondant n° 6	300

Ces divers exemples font comprendre toute l'économie de la fabrication.

Pour les couleurs de porcelaine tendre, les jaunes et certains verts sont appropriés et donneraient de suite de bons résultats. Les bleus sont également convenables ; mais les rouges et les bruns doivent être rendus beaucoup moins fusibles, encore les rouges ne résistent-ils, même considérablement durcis, qu'à la condition d'être cuits à des températures très-basses.

La peinture sur faïence, telle qu'elle était pratiquée dans les premiers temps, exige des couleurs de composition toute spéciale. On en comprendra facilement la raison, si l'on se rappelle que ces peintures étaient appliquées sur l'émail cru. L'influence de la haute température à laquelle les couleurs étaient exposées, et les réactions qui se passaient, en présence des produits de la combustion, entre l'élément vitreux et l'oxyde, ont conduit à des dosages particuliers sur lesquels nous croyons utile d'insister ici.

Fondant n° 1 :

Le fondant est un simple verre imparfait obtenu par la fusion de sable et de soude ; on prend :

Carbonate de soude	100
Sable d'Étampes	200

Blancs n° 2. — On fait fritter :

Minium	80
Calcine à 3 d'étain pour 9 de plomb	35
Silice (sable de Fontainebleau)	100
Chlorure de sodium	35
Fondant n° 1	70

Noir n° 3. — On fait fondre :

Fondant n° 1	160
Oxyde de fer	200
Oxyde de cobalt	100
Oxyde de manganèse	100

Bleus n° 4 :	Clair.	Foncé.
Fondant	100	»
Oxyde de cobalt	20	30
Oxyde de zinc	20	»
Émail blanc n° 2	»	160

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Verts n° 5. — On mélange :

Oxyde de cuivre.	80
Blanc n° 2.	100

Jaunes n° 6. — Les jaunes se font en composant des bases jaunes *a*, *b*, *c*, analogues aux jaunes de Naples qu'on mêle ensuite avec les fondants transparents ou opaques.

	Jaune clair. *a*	Jaune. *b*	Jaune d'or. *c*
Antimoniate de potasse.	60	60	60
Minium.	90	60	90
Carbonate de soude. . .	10	15	»
Oxyde de fer hydraté. .	»	12	56

On mélange ensuite pour avoir :

	Jaune pâle.	Jaune.	Jaune foncé.
Fondant n° 1.	»	100	100
Émail n° 2.	100	»	»
Jaune *a*	100	»	»
Jaune *b*	»	100	»
Jaune *c*	»	»	125

Bruns n° 7. — On ombre les couleurs qui précèdent en composant sur la palette des mélanges de jaune de Naples *b* et de bleu foncé, savoir : dans les proportions variables de 1, 2, 3, 4 parties de jaune pour 1 de bleu. On fait encore de bons bruns par la même méthode en broyant sur la glace des mélanges de 1, 2, 3 parties de jaune *b* pour 1 partie de noir n° 3.

Lorsque la couleur est préparée, qu'elle a été reconnue de bonne qualité par deux ou trois essais faits dans des moufles isolés et dans différentes conditions d'épaisseur, de durée de feu, d'intensité de chaleur, il faut la mettre en état d'être employée. On commence par la broyer, qu'elle soit pour porcelaine dure, ou pour porcelaine tendre, ou pour faïence.

Trituration des couleurs. — La couleur ne peut être appliquée qu'à l'état de poudre impalpable. On commence par la diviser dans des mortiers en biscuit de porcelaine, qu'il est convenable de tenir très-propres et de réserver toujours, autant que possible, pour la même couleur. On concasse la matière avec un pilon qu'on recouvre d'une toile pour arrêter les éclats qui se trouveraient disséminés et perdus. On passe au tamis les poussières qu'on met de côté. On reprend les parties qui sont restées sur le tamis, et qu'on nomme mouchettes par corruption de mouchetures.

Les mortiers pourraient être faits soit en cristal, soit en verre ; mais ils sont trop peu résistants ; cependant ils offrent l'avantage de ne pas beaucoup altérer la couleur.

Les diverses parties qui composent ces moulins sont équivalentes à celles des *tournants*, au moyen desquels on broie les éléments des pâtes. Une cuvette reçoit la matière à broyer en même temps qu'elle forme le fond sur lequel la matière devra s'écraser, par suite du frottement de la meule. Le fond de la cuvette est relevé vers le centre, de telle sorte qu'il forme une rigole annulaire dans laquelle s'accumule la matière à broyer et qui reçoit la meule elle-même également annulaire ou plutôt de la forme d'un cylindre creux renflé par le bas. Une double échancrure opère une sorte de remou qui force toutes les molécules à se présenter successivement sous l'action de la meule.

La partie supérieure porte deux trous dans lesquels s'engagent les tenons d'un plateau de bois qu'on peut surcharger de plomb et qui porte un bouton de manivelle par lequel on peut faire tourner la meule intérieure. Quelque durs que soient ces moulins, ils s'usent toujours ; aussi a-t-on pris une disposition particulière qui permet de retourner la meule lorsqu'elle est usée et d'en doubler la durée. Il suffit de retourner la meule pour remplacer la partie hors de service.

Les moulins peuvent être montés sur une table isolément ou réunis par douzaine sur un même palier. Or les fait alors mouvoir mécaniquement en remplaçant la manivelle par des pignons engrenant avec des roues qui reçoivent leur mouvement d'un mécanisme commun. On broie de la sorte actuellement à Sèvres toutes les couleurs employées dans le service des terres cuites vernissées. Quelque soin qu'on mette à broyer les couleurs au moulin, on ne peut, par ce moyen, lorsqu'elles sont destinées aux peintures sur porcelaine dure ou tendre, arriver au broyage parfait, indispensable pour faire un travail soigné. On termine le broyage sur une glace au moyen de la molette.

Les glaces dont on se sert doivent satisfaire aux mêmes conditions que les moulins eux-mêmes. On les choisit en verre à glace ; elles sont bien dressées, ordinairement carrées et d'assez grande épaisseur ; il faut les choisir dépourvues de bulles, et apporter le plus grand soin à leur nettoyage ; on les met en état de servir au broyage d'une couleur nouvelle en les employant au broyage de sable ou de feldspath déjà très-pulvérisé.

On se sert, pour pulvériser sur la glace, de molettes en verre dur ou en porcelaine ; les plus dures sont évidemment les meilleures. On rejette les molettes de cristal qui s'usent trop facilement ; il est certain, par exemple, que le carmin est altéré par le broyage lorsqu'on pratique cette opération avec les molettes en cristal plombifère. On se sert de couteaux pour relever sur la glace la couleur broyée, soit afin de la ramener au centre de la glace pour continuer le broyage, soit afin de la mettre en réserve, lorsque la porphyrisation est complète. Ces couteaux sont en corne, en acier, en ivoire ; ils ont leurs inconvénients et leurs avantages. Il faut en général être très-sobre de leur emploi et n'en faire usage que lorsqu'on ne peut agir autrement. On ramène au centre de la glace la couleur à broyer au moyen de la molette elle-même. Les couteaux d'acier s'usent assez promptement ; ils introduisent du fer dans les couleurs qui n'en doivent pas contenir ; les couteaux de corne et d'ivoire doivent alors être préférés ; cependant on trouve aux couteaux de corne et d'ivoire des inconvénients ; ils laissent un résidu de phosphate de chaux qui, s'il est en quantité sensible, s'oppose au brillant de la peinture.

Lorsque les couleurs ont été broyées à l'eau d'abord, à l'essence ensuite, on les applique au moyen de pinceaux, quelquefois aussi sur glaçure au moyen des méthodes rapides de l'impression indiquées déjà pour le décor sous glaçure (couverte ou vernis).

Les différentes couleurs doivent être appliquées au moyen de véhicules qui disparaissent pendant la cuisson. L'eau, dont l'usage est impossible lorsque la matière est naturellement huileuse comme dans le cas des lustres, serait évidemment le véhicule le plus convenable, car elle disparaît par une simple exposition à l'air ; mais les couleurs ne sont pas suffisamment fixées pour que les retouches soient faciles ; on se sert de préférence d'essence de térébenthine ou d'essence de lavande. Comme ces essences sont elles-mêmes très-volatiles, on les rend visqueuses en les additionnant des essences graissées par une exposition prolongée au contact de l'air.

On pose les fonds avec les essences de lavande qui restent plus fluides et s'évaporent moins promptement. On peint avec la térébenthine ; on peut enlever des parties peintes et faire des réserves, soit en grattant, soit en délayant la couleur déjà posée.

Le grattage est une opération mécanique ; le délayage est une opération chimique. On peut faire usage d'une dissolution alcaline, et mieux encore d'huile de lin qui détrempe les résines par lesquelles la couleur est fixée. On colore généralement cette huile par de la cochenille ou du carmin. Les réserves peuvent encore se faire en appliquant le fond sur des matières gommées, carbo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nate ou sulfate de baryte, placées au putois ou bien au pinceau, sur la partie qu'il faut réserver, et qui tombent d'elles-mêmes par une cuisson convenable. Ces divers moyens sont plus expéditifs que le grattage ordinaire.

On vient de faire récemment une application très-heureuse de la chromolithographie au décor de la porcelaine. Nous ne craignons pas de donner inutilement à cet article une longueur démesurée par l'indication des procédés spéciaux qui ont rendu possible sur poterie l'application de l'impression en couleur. Ces procédés sont à la veille de prendre une extension remarquable. Nous les donnons avec leurs derniers perfectionnements, d'après les brevets de MM. Darte, Chanou, Macé, Mangin, etc.

On choisit un papier collé assez résistant pour ne pas s'étendre inégalement pendant le travail, ce qui rendrait impossible toute exactitude dans les reports. On étend sur ce papier, au moyen d'une éponge, un mucilage composé de jus d'ail cuit dans l'eau auquel on ajoute son poids de tapioka, d'amidon ou de fécule de pomme de terre. Ce mucilage dont on a fait une bouillie claire est passé dans un linge et conservé dans des bouteilles : il communique au papier la propriété de pouvoir se conserver convenablement pour l'impression pendant plusieurs années. Les feuilles de papier sont séchées complétement par l'exposition à la chaleur de l'atelier, suspendues sur des ficelles. Lorsque le papier est sec, on le fait satiner pour resserrer le grain et rendre l'impression plus nette.

L'impression se fait au moyen de pierres lithographiques, combinées de telle sorte qu'elles rapportent successivement sur la même feuille, au moyen de repères, une couleur juxtaposée ou superposée à celle ou celles déjà placées de façon à imiter le travail à la main, qui procède toujours par juxtaposition ou superposition.

L'encrage de la pierre se fait au moyen du rouleau de l'imprimeur lithographe. Chaque imprimeur a son vernis particulier, et le travail est imité de l'impression ordinaire en papier. On se sert de mélanges de vernis fort lithographique, de vernis copal et de suif de mouton, le tout parfaitement mélangé. On peut se servir simplement d'essence grasse de térébenthine.

Lorsque les épreuves ont été tirées au vernis, on procède au saupoudrage de l'épreuve. Cette opération se fait sur le papier, et cette innovation est très-importante ; elle a permis de supprimer le contact de la couleur avec la pierre, par conséquent d'en augmenter la durée ; elle a permis en outre l'application de l'impression polychrome, qui n'était pas possible lorsqu'on saupoudrait la pièce ou lorsqu'on tirait directement sur papier, en reportant sur la pièce à surfaces courbes chaque tirage successif.

Pour saupoudrer, on étend sur le papier imprimé, mais encore frais, la couleur en poudre sèche, soit avec la main, soit avec un blaireau, soit avec un morceau de ouate.

Cette même marche est suivie autant de fois qu'on a de pierres qui doivent concourir à la reproduction du sujet ; mais avant de procéder au tirage suivant, on doit laisser l'épreuve se sécher ; on la passe sous le râteau de la presse pour faire contracter une adhérence suffisante à l'épreuve déjà fixée ; le temps de la dessiccation est variable avec la nature de l'encrage dont on a fait usage.

Que les couleurs apportées par chaque pierre soient superposées ou juxtaposées, le rapport doit en être fait avec soin, exactitude, habileté. Le saupoudrage de la couleur sur le papier, c'est-à-dire sur l'épreuve elle-même, surface unie, régulière, a rendu possible sur poterie la reproduction chromolithographique. Pour l'obtenir, on procède de diverses manières équivalentes, soit

en piquant le papier avec une aiguille sans pointe et repérant l'épreuve avec de petits trous réservés dans la pierre, soit en découpant des échancrures qu'on rapporte sur des traits en croix tracés sur la pierre.

On pratique ce travail aujourd'hui d'une manière courante, industrielle, pour la reproduction de sujets peints qui n'exigent pas moins de douze tirages successifs. Le nombre des pierres qui forment un dessin donné est variable avec la couleur du sujet et le degré de perfection qu'on veut atteindre ; quatre ou cinq planches suffiraient pour des fleurs détachées. Trois conduiraient à des ornements dans le genre de Pompéi. Deux planches permettraient de reproduire des sujets étrusques.

On conçoit que, pour terminer le travail, il faille transporter l'épreuve du papier sur la poterie ; il est évident qu'un seul transport suffit. L'avantage de la préparation du papier telle que nous l'avons donnée réside dans la propriété qu'acquièrent les épreuves tirées économiquement de pouvoir être conservées longtemps et transportées plus tard suivant les besoins. Là se trouve tout l'avenir de la chromolithographie sur porcelaine. Les lithographes ordinaires pourront vendre les épreuves tirées, sur papiers préparés, en couleurs vitrifiables, et les décorateurs de porcelaine achèteront ces épreuves pour les transporter, affranchis de l'embarras de la presse, qu'ils ne peuvent employer avec autant d'économie que les imprimeurs eux-mêmes.

Quoi qu'il en advienne, ce transport ne peut être fait qu'autant qu'une substance adhésive existe sur la pièce ou le dessin. On a donné, dès l'origine de l'application des moyens mécaniques à la décoration des poteries, le nom de mixtionnage ou mixtion à ces compositions adhésives qu'on appliquait d'abord sur la pièce et qu'on adapte avec avantage sur l'épreuve elle-même. On peut mixtionner à la fois la pièce et l'épreuve.

L'application de la mixtion se fait, soit à l'aide du pinceau qu'on nomme *queue de morue ;* quand on la pratique sur l'épreuve, il y a tout avantage à l'obtenir au moyen même de l'impression, et c'est alors qu'on fait usage d'une pierre dite de *silhouette*. On nomme ainsi dans les ateliers une pierre qui permet de coucher sur toute la surface du dessin un aplat uniforme, en réservant toutes les parties qui ne font pas partie du sujet. La supériorité de ce mode d'appliquer la mixtion résulte de ce qu'elle n'est appliquée que sur les points qui doivent adhérer à la poterie, c'est-à-dire sur l'épreuve proprement dite, tandis qu'au moyen de la queue de morue la mixtion est couchée même sur des parties qu'il faudrait réserver et qui prennent, au moment du décalcage des maculatures qu'on n'enlève avant la cuisson qu'avec beaucoup de soins et de temps.

La nature du mixtionnage est variable : tantôt on se sert d'essence grasse de térébenthine, tantôt on emploie le mélange à parties égales de poix de Bourgogne ou blanche et de térébenthine de Venise, dissoute dans de l'essence de térébenthine ordinaire, à consistance claire ; tantôt enfin, le vernis copal étendu d'essence de térébenthine maigre sert de mixtion.

On peut, lorsqu'on fait usage de la pierre de silhouette, pour coucher le mixtionnage, ajouter à la mixtion une certaine quantité de fondant, en assez faible proportion toutefois pour ne pas enlever au mélange sa propriété d'être poissant. Ce fondant, en contact immédiat avec la porcelaine, ajoute à la fusibilité des couleurs qui lui sont superposées par le fait du décalcage.

Lorsque le mixtionnage est terminé, soit sur la pièce, soit sur l'épreuve, soit sur les deux objets, l'épreuve est appliquée sur la poterie. A cet effet, elle est mise en contact avec une étoffe humide qui détrempe légèrement le papier sur l'envers de l'impression, puis elle est comprimée par le frottement de la roulette ou la paume de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la main sur les points qu'on veut faire adhérer. Il suffit, pour faire partir le papier, de plonger les pièces dans l'eau. L'épreuve parfaitement décalquée apparaît sur la porcelaine. On lave à grande eau, sans trop frotter; on égoutte, on sèche, et on cuit dans les moufles comme à l'ordinaire.

Les pièces décorées, chargées de peintures sont portées dans des fourneaux de forme particulière, nommés *moufles;* c'est là que, soumises à la température convenable, les couleurs se fondent et prennent de l'adhérence avec les poteries sur la surface desquelles elles ont été déposées. Ces moufles sont analogues aux fourneaux que nous avons décrits plus haut et qui servent à la combustion des huiles employées dans l'impression sous glaçure des poteries de faïence façon anglaise. Un tuyau d'appel réservé dans le milieu de la voûte du moufle donne issue pendant la cuisson aux produits de la combustion des essences grasses et maigres qui ont servi de véhicules et de matières fixatives; il est important de les brûler facilement. La porte du moufle, porte une douille qui permet de quitter le feu; elle s'ajuste, lorsque l'emmouflement est complet, dans une feuillure réservée pour cet usage. Il est convenable, pour éviter les accidents de casse, de chauffer le moufle avant l'emmouflement. On évite les courants d'air froid, qui pourraient briser les pièces, en mettant à l'extrémité de la douille un tuyau de tôle dans lequel s'ajuste une petite trappe glissant dans une coulisse; des échancrures réservées dans la partie antérieure du tuyau laissent toute liberté pour placer la tringle à laquelle est attachée la montre.

Les moufles que nous venons de décrire sont généralement accolés, c'est la disposition des moufles en France; on les réunit sur la même ligne disposés sous la même cheminée, et les murs sont maintenus par les mêmes ferrements.

En Allemagne, cette disposition n'est pas adoptée partout, et souvent les foyers sont latéraux.

On nomme montres, à Sèvres, de petites plaques de porcelaine, sur lesquelles on a couché de l'or et du carmin; l'or indiquera, s'il commence à prendre de l'adhérence, que l'on approche de la température à laquelle la peinture serait trop cuite, et le carmin donne une échelle thermométrique assez exacte pour faire apprécier les diverses températures qu'il convient d'atteindre : de petites encoches servent à maintenir solidement les montres sur les tringles au moyen desquelles on les fait pénétrer dans les moufles.

Lorsque les pièces sont placées dans le moufle, on chauffe modérément d'abord pour éviter la casse des objets à cuire, s'ils sont épais; on élève ensuite la température progressivement, et l'on finit par un feu pur et vif. Mais il faut être prêt à l'arrêter court pour qu'il ne dépasse pas le degré voulu par la nature des produits : cette considération a la plus grande importance lorsqu'il s'agit de peintures sur porcelaine. Pour maîtriser le feu dans le cas où la température monterait trop rapidement, on se réserve la facilité de retirer deux ou trois briques qui composent la porte; elles ont une poignée et s'engagent dans des ouvreaux carrés. Le feu dure un temps variable avec la dimension du moufle, comme encore avec l'épaisseur et le volume des pièces qu'il s'agit de cuire; on laisse le refroidissement s'opérer lentement; on abat le mur, on enlève la porte, mais on ne doit retirer les pièces que lorsqu'on peut y mettre la main sans éprouver une trop vive impression de chaleur; on évite ainsi l'écaillage des couleurs. On n'a pas ce danger à redouter lorsqu'il s'agit de la cuisson des dorures; lorsque les pièces démouflées doivent être terminées par l'application des dorures, on les brunit comme nous allons le voir, et, s'il faut ajouter des peintures, on les porte dans les ateliers spéciaux dans lesquels elles reçoivent la décoration qu'il faut cuire comme feu d'ébauche, et retoucher ensuite pour les cuire de nouveau une ou deux fois, suivant les circonstances et le nombre de retouches qu'on leur applique. Ces feux de retouche sont ordinairement de plus en plus faibles.

On distingue, à Sèvres, la série suivante, disposée du plus fort au plus faible :

1° Le feu d'or mat dépassant la fusion de l'argent	1000
2° Le feu de couleurs dures	950
3° Le feu de filets d'or	900
4° Le premier feu de peinture ou feu d'ébauche	800
5° Le feu de première retouche	700
6° Le feu de seconde retouche	600
7° Le feu d'or en coquille sur fonds de moufle	560

Le carmin varie de nuances avec ces mêmes feux : brun rouge sale au premier degré, il se développe petit à petit en passant par le rouge brique, le rouge pourpre, le rose violâtre, pour arriver au ton presque entièrement violacé : ces différences sont surtout perceptibles dans les minces.

MÉTAUX.

Nous avons dit quelles étaient les conditions générales auxquelles les métaux devaient satisfaire dans la décoration des poteries : ces conditions limitent à l'or, au platine, à l'argent les métaux qu'il est possible d'employer aujourd'hui. Nous rappellerons qu'ils doivent être malléables, brillants, inaltérables sous les actions simultanées de l'air et du feu.

Il faut, pour que ces métaux soient applicables, qu'on sache les amener à l'état de poudres impalpables, afin qu'on puisse les déposer sous formes de lignes ténues, représentant les objets variés que le décorateur veut apposer sur la pièce qu'il décore. Il est urgent aussi que la poudre soit d'un emploi facile, qui permette de la coucher sous forme de lame mince, lorsqu'on veut faire un fond métallique ou de larges filets.

C'est au moyen des précipités obtenus par voie chimique qu'on réussit à préparer ces métaux en poudre. Les ouvrages de chimie font connaître les principes à l'aide desquels on prépare les poudres d'argent, d'or et de platine; il suffit de les broyer ensuite pour obtenir des poussières parfaitement ténues, propres à la décoration des poteries et principalement des porcelaines; mais comme, en général, les dosages employés à la précipitation ont une certaine influence sur les propriétés physiques que présentent ces poudres, nous croyons devoir entrer, au moins pour l'or dont l'usage est de beaucoup le plus important, dans des détails plus circonstanciés.

Or métallique. — On sait qu'il y a deux méthodes pour précipiter l'or à l'état de poudre de sa dissolution dans l'eau régale : le sulfate de protoxyde de fer et le nitrate de mercure; nous renverrons le lecteur à l'article DORURE SUR PORCELAINE, publié par M. Barral, dans le 1er volume du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*. Avant d'être employé, l'or doit être broyé finement avec son fondant; il faut en ajouter pour la dorure sur toute sorte de poterie qui ne se ramollit pas au feu. C'est du nitrate de bismuth précipité par l'eau de sa dissolution dans l'acide azotique; il est blanc, légèrement jaunâtre : il faut avoir le soin d'éviter l'addition du carbonate de potasse qu'on ajoute quelquefois, et qui précipiterait les oxydes de nickel et de cuivre dont est souvent souillé le bismuth métallique; la présence de quelques millièmes de cuivre empêcherait l'or de donner un beau mat. On ajoute à l'oxyde de bismuth $\frac{1}{12}$ de borax fondu, et on mêle, suivant certaines circonstances, $\frac{1}{12}$ ou $\frac{1}{13}$ de fondant pour 1 partie d'or.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Pour dorer la porcelaine dure, c'est ce fondant qu'on emploie ; pour dorer la porcelaine tendre, on ajoute du borate de plomb préparé par voie de précipitation.

On a remarqué que l'or ne s'employait avec facilité que lorsqu'il avait séjourné quelque temps sur la glace en mélange avec les essences qui doivent en faciliter l'application ; il coule mieux et donne alors un mat beaucoup plus brillant que lorsqu'on l'applique immédiatement après le broyage. Il ne faut pas le broyer avec trop d'essence grasse, qui donne un or trop mince et comme lavé.

Pour obtenir l'or avec économie, mais en même temps avec solidité, plusieurs procédés ont été proposés ; ils rendent la dorure plus durable sans en augmenter beaucoup le prix.

M. Rousseau pose une première couche de platine mêlé de fondant qu'il recouvre d'une couche très-mince d'or métallique. Ce procédé donne une dorure solide, mais qui, à l'usage, ne conserve pas une belle teinte, la couleur de l'or étant modifiée par celle du platine que l'usure fait apparaître.

Le procédé de M. Grenon consiste dans l'application successive de deux couches d'or chacune avec un fondant particulier et dans des proportions différentes. La première couche est cuite à une température élevée ; on la polit avec du grès, puis on applique par-dessus une couche mince d'or au mercure, préparée et cuite comme à l'ordinaire. Cette dorure se brunit avec facilité et prend un bel éclat. Des expériences faites à Sèvres ont permis de constater qu'elle résistait à des frottements par des corps durs qui altèrent profondément la dorure ordinaire.

La dorure de M. Grenon emploie 0^{g},445 d'or pour une douzaine d'assiettes à filet d'une ligne de largeur ; le prix des assiettes en est augmenté de 6 fr. par douzaine.

La dorure de Paris emploie seulement 0^{gr},212 par douzaine d'assiettes ; elle est faite par l'or au mercure et se paye 4 francs. L'élévation du prix de la dorure de M. Grenon est justifiée par la grande quantité d'or employée et par les doubles frais de posage et de cuisson.

Lorsqu'on veut obtenir de l'or beau mat, il faut avoir recours au procédé sur lequel nous reviendrons plus loin, et qui donne sur la porcelaine mise en couverte, c'est-à-dire à glaçure brillante et polie, l'or brillant au sortir du moufle.

On peut encore faire usage de ce que l'on nomme l'or en coquille. Cet or n'est autre, ainsi qu'on le sait, que l'or battu, très-pur, aussi pur qu'il est possible de l'avoir, et déchiré sur une glace au moyen d'une substance soluble à l'eau bouillante, telle que le sucre, le sel ou le miel ; de là le nom d'or au miel qu'on a donné pendant longtemps à cette préparation. Le nom d'or en coquille lui vient de ce que l'usage s'est établi de le vendre dans des coquilles de moule. Le broyeur le plus exercé ne peut guère broyer plus de 60 grammes dans une journée de travail ; appliqué sur porcelaine dure, cet or doit se cuire avec la plus grande précaution, généralement beaucoup au-dessous du feu de dorure ordinaire.

On a fait un très-grand usage de l'or en coquille pour la dorure de la porcelaine tendre ancienne de Sèvres. Lorsque l'or dont on se sert ne contient aucun alliage ou lorsqu'il ne renferme que quelques millièmes d'argent, on a de la dorure riche et très-éclatante.

Le délayant de l'or en coquille est souvent de l'eau miellée ou de la gomme ; le miel a deux inconvénients assez graves : il attire les mouches qui, avec leurs pattes, l'étendent partout, enlèvent la finesse des détails et font disparaître l'assurance de touche du doreur. En second lieu, il est fermentescible et les gaz qui se développent dans l'acte de fermentation soulèvent l'or et s'opposent à son adhérence avec la porcelaine.

DÉCORATION CÉRAMIQUE.

La gomme a moins d'inconvénient, mais elle doit être employée très-fluide avec circonspection. Dans tous les cas, qu'on fasse usage de gomme ou de miel, il faut n'appliquer la dorure que sur des parties entièrement dépouillées de corps gras. L'or se lèverait par écailles et ne tiendrait nullement.

Il est préférable pour délayer l'or de faire usage du mordant du Frère Hippolyte, additionné d'un peu de gomme arabique dissoute ; on le nomme mucilage pour l'or. Voici les dosages qu'il convient de prendre ; on pèse :

Oignons épluchés.	430 gr.
Ail épluché	430

on les fait bouillir avec 3 litres de vinaigre qu'on ajoute litre par litre ; on fait réduire à petit feu jusqu'à ce que la matière devienne poisseuse ; on met infuser alors dans le mélange 250 grammes de gomme arabique ; on passe à travers un linge ; on exprime pour recueillir tout le jus ; on filtre sur du papier en étendant avec assez d'eau pour que le liquide puisse s'écouler facilement ; on concentre enfin les liqueurs jusqu'à consistance sirupeuse.

Pour faire la dorure des imitations du vieux Sèvres, on prépare de l'or en coquille avec un métal allié par une fonte préalable d'un millième de cuivre. L'or, pendant le laminage et le broyage, conserve le cuivre qui, sous l'influence du feu, s'oxyde et communique à la dorure un aspect terne que les amateurs attribuent à la vétusté de la pièce.

Argent. — Il existe maintenant dans le commerce, surtout dans le commerce de Paris, des pièces de porcelaine dure dont la principale décoration consiste dans des ornements et des fonds comme guillochés d'argent mat. Ce mat métallique, d'un beau blanc, relevé par des ornements en bleu ou en toute autre couleur éclatante qui l'accompagne ou l'entoure, produit sur l'œil un effet très-agréable et offre à la première vue comme un éclat de nacre pâle, c'est-à-dire qui ne projette aucune couleur irisée. Cet argent, préparé par M. Rousseau, de Paris, peut fournir un bruni dit à l'effet très-distinct et très-riche, jouissant de l'avantage précieux de résister à l'action de l'acide sulfhydrique contenu dans l'air.

La résistance à l'action délétère des émanations hydrosulfurées les plus fortes tient à la superposition d'une légère couche d'or, ainsi que M. Brongniart l'a fait connaître. On étend au pinceau une couche très-mince d'or sur l'argent dont la pièce est recouverte avant de passer au feu de moufle ; puis, on fait fondre à l'aide de l'action d'une chaleur d'un rouge cerise le peu de fondant qui fixe ces deux métaux sur la porcelaine.

Le succès complet de cette argenture dépend de l'habileté pratique de l'artiste et de plusieurs précautions empiriques dont voici les principales : l'argent doit être dissous dans un acide étendu de beaucoup d'eau, précipité lentement par le cuivre et complétement lavé ; il faut que cet argent, mis sur le blanc de la porcelaine ou sur un fond de couleur dure ne contenant aucune couleur tirée de l'or, soit placé épais et visqueux ; qu'on le laisse pendant vingt-quatre heures dans cet état avant d'y mettre la légère couche d'or dissous dont on doit la couvrir, enfin que le tout soit cuit modérément.

Les métaux sont délayés dans des essences et appliqués soit à la main, soit par impression sur la poterie qu'ils doivent décorer. On fait un grand usage de l'or à l'état de filets. Ces filets se font rapidement au moyen de la tournette. Un plateau reçoit la pièce parfaitement centrée ; il tourne sur un axe qu'on peut élever à volonté par le moyen d'une vis placée dans un renflement convenablement placé. La doucine qui limite in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

féricurement le plateau sert à faire tourner le plateau pendant que d'une main le fileur fait son décor.

La cuisson des métaux s'exécute dans les moufles comme celle des couleurs.

L'or et les autres métaux appliqués sur la poterie n'ont généralement pas l'éclat métallique après la cuisson.

Si l'on veut obtenir des effets variés, on dessine sur cet or en surface avec des pointes très-dures des ornements plus ou moins compliqués : c'est brunir à l'effet; si l'on veut, au contraire, avoir de grandes surfaces brillantes, on brunit à plat en le frottant fortement et avec adresse, pour ne déterminer aucune rayure. Il faut surtout une grande habileté pour brunir les fonds d'or.

On se sert, pour brunir, des outils qu'on nomme brunissoirs et qu'on emploie dans un grand nombre d'ateliers. Les uns sont en hématite brune, qu'on désigne alors sous le nom de sanguine, les autres sont en agate; ils sont très-variables de forme et de grosseur, et pour faire un bon brunissage il faut se tenir assorti de brunissoirs de formes très-différentes. Les brunissoirs se nettoient par le frottement sur un cuir chargé de potée d'étain. On commence par dégrossir avec du sablon et de la craie qui donnent une sorte de poli; on finit avec la sanguine. Cette sorte de travail est confié presque partout à de jeunes filles ou à des femmes nommées *brunisseuses*.

Les brunissoirs sont adaptés au moyen de viroles en cuivre ou de fer aux manches par lesquels on les tient.

LUSTRES MÉTALLIQUES.

Nous ne rappellerons pas ici les propriétés qui caractérisent les lustres métalliques, nous les avons indiquées en parlant des matières employées à la décoration des produits céramiques; on distingue :

Le lustre burgos ;	Les lustres de cuivre ;
Le lustre d'or ;	Les lustres de litharge ;
Les lustres de platine;	Le lustre de bismuth ;
Les lustres d'argent;	Les lustres nacrés.

Les lustres d'or et de platine sont de beaucoup les plus importants.

Lustre burgos. — Le burgos, qui tire son nom de celui d'une sorte de coquille qu'on appelle *burgau* et qu'on écrit *burgos* par corruption orthographique, peut-être en rapprochant les désignations géographiques de Valence et de Burgos en Espagne, ne me paraît être autre chose que l'un ou l'autre des produits qui vont suivre, mais très-peu chargé d'or. L'examen attentif des pièces chargées de dorure brillante, au sortir du moufle sans brunissage, le démontre clairement; toutes les parties très-minces, celles qui proviennent du dépôt des maculatures apposées par les doigts, sont irisées et perdent l'opacité du métal en prenant la transparence du burgos.

On a donné beaucoup de recettes, en Angleterre surtout, pour préparer le burgos. Nous citerons celles décrites dans les brevets d'invention par M. Boudon de Saint-Amans. On fait dissoudre à chaud avec précaution le mélange suivant :

Eau régale	288 gr.
Or pur	48

L'eau régale se compose de 60 grammes acide azotique, 90 grammes acide chlorhydrique. On ajoute graduellement 4 grammes d'étain, qu'on projette par petites portions.

On verse d'abord une petite quantité de cette dissolution dans 20 grammes de baume de soufre. On délaye dans 10 grammes de térébenthine ; on mêle tous ces ingrédients avant de verser le reste de la dissolution d'or, qu'on arrête pour laisser fermenter un peu, et on remue jusqu'à ce que tout s'épaississe. On ajoute, en dernier lieu, 30 grammes de térébenthine. Le lustre d'or est le magma qu'on ne peut employer qu'après l'avoir séparé de l'eau des acides liquides employés.

Lustres d'or. — On distingue, suivant l'éclat de l'or et son épaisseur, la dorure de Meissen et le lustre d'or.

Le lustre d'or est le burgos dont nous venons de nous occuper, présentant un aspect plus brillant et plus doré ; lorsque la quantité d'or ne passe pas entièrement ou à peu près dans les liquides gras avec lesquels on mêle le chlorure d'or, on obtient une dorure plus faible et cependant plus riche que le burgos ; ce dernier résulte de l'application d'une liqueur ne contenant pour ainsi dire que quelques traces d'or.

M. de Saint-Amans a fait connaître le procédé suivant pour préparer le lustre d'or ou le *purple gold-luster*, comme on le nommait en Angleterre.

On prend une quantité convenable d'eau régale pour faire dissoudre 25 grammes d'or ; on ajoute 6g,5 d'étain par petites portions, jusqu'à ce que tout soit dissous ; on verse ensuite dans une partie de cette dissolution 50 grammes de baume de soufre mêlé de 20 grammes d'esprit de goudron. Quand ce premier mélange est fait, on verse le reste de la dissolution d'or et d'étain, on ajoute ensuite 50 grammes d'essence de térébenthine ; on mêle le tout jusqu'à ce que la matière prenne la consistance d'une bouillie épaisse. Il faut évidemment, pour employer cette matière, laisser se dissiper les liquides aqueux avec lesquels la masse huileuse est en mélange.

On a pu faire ce même lustre au moyen de l'or fulminant, et c'est la méthode la plus certaine pour le bien réussir. On le broie pendant qu'il est encore humide avec de l'essence de lavande ; le broyage, difficile d'abord, devient plus facile lorsque, par suite de l'exposition à l'air libre, l'humidité s'est entièrement dissipée.

On a proposé de faire encore ce même lustre en engageant l'or dans des dissolutions de sulfures alcalins.

La dorure de Meissen possède l'éclat métallique de l'or et la couleur de ce métal, lorsqu'elle est bien préparée ; le brillant ne résulte pas, comme pour les métaux ordinaires, du frottement avec le brunissoir. On l'obtient par différents procédés. Les procédés suivis à la manufacture de Meissen sont encore secrets. On fait cette dorure en France aujourd'hui ; M. Dutertre a fait breveter un premier procédé, MM. Carré sont également brevetés pour un procédé différent. Nous allons donner ici l'exposé des méthodes telles que ces décorateurs les ont décrites. Voici le procédé de M. Dutertre.

On met dans un vase qu'on chauffe légèrement :

Or pur	32 gr.
Acide azotique	128
Acide chlorhydrique	128

Lorsque les métaux sont dissous, on ajoute :

Étain métallique	16,2
Beurre d'antimoine	16,2

Quand la dissolution est complète, on verse :

Eau	500 gr.

D'autre part, on met dans un second vase :

Soufre	16
Térébenthine de Venise	16
Essence de térébenthine	80

On fait chauffer jusqu'à ce que tout soit intimement combiné, après quoi l'on ajoute 50 grammes d'essence de lavande. On fait de la sorte un véritable baume de soufre térébenthiné. En refroidissant, il ne doit pas laisser déposer de soufre.

Après ces préparatifs, on verse la dissolution d'or sur la seconde ; on met chauffer, puis on bat jusqu'à ce que l'or ait passé dans les huiles ; on enlève l'eau chargée des acides séparés de l'or ; on lave avec de l'eau chaude, et lorsque les dernières traces d'humidité sont éloi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gnées, on ajoute 65 grammes d'essence de lavande et 100 grammes de térébenthine ordinaire; on fait chauffer jusqu'à complet mélange. On laisse reposer un peu la partie claire dans un vase à part sur 5 grammes de fondant de bismuth; on fait chauffer pour que le liquide soit d'un emploi convenable.

La liqueur chargée d'or se présente alors sous forme d'un liquide visqueux à reflet très-légèrement verdâtre; l'or y est à l'état soluble, lorsqu'un repos a permis à toutes les parties non dissoutes, qui se sont précipitées sous forme cristalline, de se réunir au fond du vase et qu'on les a séparées par la décantation. La térébenthine de Venise donne à la liqueur la propriété siccative qu'elle doit posséder pour que les décors sèchent promptement. Les résines aurifères se décomposent par la chaleur en donnant, à basse température, sans se fondre, un dépôt de charbon chargé d'or qui conserve l'apparence d'une feuille d'or laminée d'une excessive minceur. La beauté de la dorure résulte entre autres faits de l'absence de toute fusion dans la matière résineuse. Une étude attentive des antériorités conduit à reconnaître de nombreux perfectionnements qui font de ce procédé pour l'obtention des lustres d'or une méthode particulière.

Les points nouveaux et véritablement importants des procédés de MM. Dutertre sont, comme l'a récemment consacré le jugement de la 8e chambre du tribunal de la Seine :

1° L'addition à la solution d'or de l'eau qui modère l'action trop énergique qu'exerce cette solution sur le baume de soufre, et permet que la combinaison se fasse d'une manière plus régulière.

2° La substitution au baume de soufre huileux d'un baume de soufre spécial obtenu à l'aide d'un mélange d'essence de lavande et de térébenthine, dont le but est de rendre le produit aurifère soluble et apte à se réduire sans se boursoufler, quand on l'expose à l'action de la chaleur.

3° L'addition au baume de soufre dont nous venons de parler, de la térébenthine de Venise qui doit, d'une part, augmenter la consistance de ce baume, l'empêcher de couler, de s'étendre au delà des parties qu'on veut décorer, et d'exalter, d'autre part, les propriétés adhésives du baume lorsqu'il est appliqué.

4° Le lavage du produit aurifère, qui a pour but de soustraire ce produit à l'action ultérieure des acides, et de le mettre dans les meilleures conditions de conservation.

5° Enfin l'addition au produit aurifère obtenu des essences de lavande et de térébenthine qui dissolvent ce produit, ce qui permet de séparer par le repos les matières indissoutes, et d'obtenir un liquide homogène dans toutes ses parties.

En négligeant l'emploi de ces divers perfectionnements, ou bien on prépare un liquide trop peu chargé d'or, ou bien une matière huileuse non siccative d'un emploi difficile, bouillonnant à la première impression de la chaleur et ne donnant qu'une dorure inégale.

MM. Carré décrivent leur procédé de la manière suivante : dans un matras on fait dissoudre 10 grammes d'or au moyen de 100 grammes d'eau régale, on étend la dissolution dans 150 grammes d'eau. Ensuite on ajoute 100 grammes d'éther rectifié; on agite, afin que l'éther s'empare de l'or. On verse le tout dans un entonnoir de verre; on laisse déposer un instant; l'éther chargé d'or reste dessus, puis on laisse écouler l'acide tout doucement jusqu'à ce qu'il ne reste plus que l'éther qui est devenu jaune. On le remet dans le matras.

Dans un autre matras, on fait une dissolution de 20 grammes de sulfure de potassium qu'on décompose avec 200 grammes d'acide azotique; on lave le précipité jusqu'à ce que l'eau de lavage soit pure; on fait sécher le précipité lavé, puis on le remet dans le matras avec 5 grammes d'huile de noix et 25 grammes d'essence de térébenthine ordinaire; on fait dissoudre au bain de sable. On obtient de la sorte un baume de soufre, dans lequel on mêle 25 grammes d'essence de lavande. On verse cette dissolution dans la dissolution d'éther; on agite pendant quelques minutes, puis on décante dans un bol de porcelaine; on concentre jusqu'à consistance sirupeuse; on ajoute :

Sous-nitrate de bismuth. . 15 décigrammes.
Borate de plomb. . . . . 15 —

La quantité de fondant varie, du reste, avec la nature de la poterie sur laquelle on applique ce produit; pour l'employer, on le met mince, en le délayant dans un mélange fait à volumes égaux d'essence de térébenthine et d'essence de lavande. On voit que, dans ce procédé, ni l'étain, ni le beurre d'antimoine ne sont mentionnés.

Lustre de platine. — On obtient avec la plus grande facilité le lustre de platine en broyant le chlorure de platine anhydre avec de l'essence de lavande ou toute autre huile essentielle, avec du baume de soufre térébenthiné, et toute matière résineuse et siccative. On applique la liqueur huileuse au pinceau de la même manière que les mélanges qui précèdent. On pourrait, sans doute, substituer avantageusement le chlorure double d'ammoniaque et de platine au chlorure simple de platine qui s'empare avec une très-grande facilité de l'humidité de l'atmosphère.

Le platine reste après la cuisson avec un éclat aussi pur que s'il l'eût reçu du brunissage le plus soigné.

Lustre d'argent. — Quelques pièces de poterie appartenant aux faïences communes de fabrication ancienne offrent une coloration brillante métallique à reflets jaunâtres.

Je crois qu'il est possible de reproduire ce lustre au moyen de l'argent, en le dissolvant dans l'acide azotique et en cherchant à l'incorporer dans des liquides huileux, comme nous avons vu qu'on le faisait pour l'or. On sait que le chlorure d'argent appliqué sur certains verres se décompose en donnant un silicate d'argent qui colore en jaune plus ou moins foncé, par une sorte de cémentation, la surface sur laquelle il est appliqué. Le chlorure d'argent pourrait donc être de même appliqué sur porcelaine pour donner un lustre ayant un certain éclat métallique, sans qu'il soit nécessaire de le brunir.

Il est seulement indispensable de cuire la pièce recouverte de ce lustre dans une atmosphère réductrice. Le chlorure d'argent est fondu préalablement avec un cristal plus ou moins fusible et plombifère. Le mélange broyé se pose au pinceau sur la poterie qu'on veut décorer. On cuit, et lorsque la pièce est encore rouge, on la fait passer dans une enceinte dans laquelle on dégage une fumée plus ou moins abondante.

Le lustre, qu'on nomme cantharide, parce qu'il rappelle les brillantes couleurs des cantharides, est obtenu par la composition qui donne le lustre jaune; il n'y a de différence qu'en ce que ce lustre, au lieu d'être apposé sur une poterie blanche, l'est sur une poterie colorée en bleu. La superposition du jaune sur le bleu forme une teinte verdâtre qui n'est pas sans agrément; on comprend facilement la grande variété de fonds que ce lustre pourrait donner s'il était appliqué sur des glaçures déjà variées de coloration.

Lustre de cuivre. — Le lustre de cuivre offre le même aspect et le même chatoiement rosâtre et jaunâtre que le lustre burgos.

On en trouve l'application fréquente sur les faïences communes d'Espagne et sur les spécimens les plus recherchés des majoliques de l'époque de Giorgio. On ne peut conserver aucun doute sur la nature de ce vernis; le cuivre est la matière colorante; la couche colorante

EFERUS - Recherche & Classification numérique

très-mince est peut-être formée d'un silicate d'oxydule de cuivre.

Le lustre de cuivre n'est pas encore devenu l'objet d'une fabrication courante. Quelques recherches ont été faites pour retrouver les anciens procédés qui étaient assez certains pour permettre d'appliquer, sur une faïence à glaçure stannifère, des traits et des linéaments très-déliés et d'un rouge rubis du plus brillant effet. J'ai fait quelques essais qui m'ont prouvé que s'il était possible de faire passer dans le moufle, pendant la cuisson de dessins composés d'azotate de cuivre, de l'hydrogène ou de l'oxyde de carbone, on obtiendrait du rouge brillant comme le rouge majolique. En enflammant simplement, dans un moufle chargé de tessons de faïence à glaçure stannifère, du papier contenant de l'oxyde de cuivre, on détermine une volatilisation suffisante de cet oxyde pour déposer sur les parties émaillées une sorte de lustre cuivreux aussi brillant que celui des poteries de Manassès, près Valence.

Lustre de plomb. — On donne le nom de lustre de litharge ou de lustre de plomb à la coloration brillante irisée que présentent certaines poteries à glaçure plombifère : ces poteries ont dû recevoir pendant leur cuisson l'influence réductrice de quelques vapeurs, qui ont en même temps fait réaction sur l'oxyde de fer que ces glaçures peuvent contenir. Nous compléterons cette préparation en parlant des lustres nacrés.

Je n'ai jamais remarqué que les glaçures de porcelaine tendre, par exemple, qui sont complétement exemptes de fer, présentassent l'apparence du lustre de litharge, lorsqu'on les cuit dans des conditions prononcées de réduction. Il se développe souvent une coloration noire due à du plomb métallique réduit; peut-être les résultats seraient-ils différents en présence d'un grand excès de litharge.

Lustres de bismuth. — Le commerce de la porcelaine décorée vient de s'enrichir d'un produit appelé, je le pense, à jouir d'une grande vogue, lorsque les premières difficultés, conséquence de la nouveauté, disparaîtront devant une pratique journalière.

M. Brianchon a modifié fort heureusement les conditions dans lesquelles on prépare les chatoyants ordinaires en les rendant susceptibles de communiquer aux objets céramiques sur lesquels on les apposе, les couleurs de l'or, de la nacre blanche et colorée, les reflets irisés et changeants des coquilles naturelles. Ces produits jouissent d'un brillant tel qu'on pourrait croire que les couleurs sont passées sous émail; on peut, à volonté, les employer en fonds ou comme décors déliés et délicats. C'est le bismuth qui donne cet éclat particulier.

Le procédé par le moyen duquel on obtient ces résultats se divise en deux temps :

1° La préparation des fondants ;

2° La préparation des colorants.

Ces derniers une fois obtenus s'ajoutent dans des proportions variables aux fondants et déterminent par leur mélange les teintes les plus variées, que nous nommons *lustres nacrés*.

Les fondants qui servent à faire glacer les sels et les oxydes métalliques sont les sels de bismuth et de plomb. Les premiers sont préférables; ils supportent beaucoup mieux, et sans altération, de hautes températures; leur préparation comme fondants est, du reste, exactement la même.

On prend 10 parties en poids de nitrate de bismuth, 30 parties de résine arcanson ou colophane, 75 parties d'essence de lavande ou toute autre essence ne fournissant pas de précipité dans le mélange.

On procède ainsi : dans une capsule qui repose sur un bain de sable, chauffée graduellement, on met les 30 parties de résine, et à mesure qu'elle fond, on verse petit à petit les 10 parties de nitrate de bismuth, tout en remuant, pour bien incorporer les deux substances; dès qu'elles commencent à brunir, on verse au fur et à mesure 40 parties d'essence de lavande et on continue d'agiter le tout afin de produire le mélange intime et la dissolution des substances ; après quoi la capsule est retirée de son bain de sable et refroidie graduellement; c'est alors qu'on ajoute les 35 parties restantes de l'essence de lavande, puis on laisse refroidir quelques heures, autrement l'emploi en serait difficile et inégal.

Lustres nacrés. — Ces lustres résultent du mélange du lustre de bismuth et des colorants que nous allons décrire. Les sels ou oxydes métalliques qui concourent à leur formation sont empruntés au règne inorganique comme les sels de platine, d'argent, de palladium, de rhodium, d'iridium, d'antimoine, d'étain, d'uranium, de zinc, de cobalt, de chrome, de cuivre, de fer, de nickel, de manganèse, etc., quelquefois même d'or, pour produire, dans ce dernier cas, ou les riches teintes des coquillages ou les reflets du prisme.

Pour les obtenir, on opère de la manière suivante :

1° Couleur jaune. Dans une capsule chauffée par un bain de sable, on fait dissoudre 30 parties de résine arcanson à laquelle on ajoute, lorsqu'elle est sur le point d'être fondue, 10 parties de nitrate d'uranium et, pour faciliter le mélange, 35 à 40 parties d'essence de lavande. Lorsque la matière liquide a été convenablement rendue homogène par l'agitation, on retire la capsule du feu et on ajoute de nouveau 30 à 35 parties d'essence de lavande ; le colorant mélangé par parties égales au fondant de bismuth et appliqué au pinceau sur l'objet fournit une préparation qui, après cuisson, donne un ton jaune brillant.

2° Colorant rouge-orange. On l'obtient en faisant fondre 15 parties de résine d'arcanson ; après fusion, on y verse en même temps 15 parties de nitrate de fer et 18 parties d'essence de lavande. Les additions se font petit à petit et en ayant soin d'agiter le mélange convenablement homogène; on retire du feu, et lorsqu'il est un peu refroidi, on y ajoute 20 parties d'essence de lavande ; le colorant mélangé avec 2/5 ou 1/3, ou des proportions intermédiaires de son poids de fondant, fournit une préparation qui, après cuisson, donne une couleur rouge-orange ou nankin et tous les tons intermédiaires suivant la proportion de fondant employé.

3° Colorant imitation d'or. Il se fait par le mélange des deux préparations ci-dessus indiquées, en faisant entrer deux ou trois parties de la préparation d'uranium pour une de celle de fer ; c'est par le mélange des deux préparations qu'on produit après cuisson une coloration métallique imitant les différents tons de l'or poli.

4° Couleurs irisées du prisme. On prend ou l'ammoniure ou le cyanure d'or et de mercure, ou l'iodure d'or, ou la teinture d'or ; ces composés aurifères sont broyés avec de l'essence de térébenthine sur une palette de façon à former une pâte qu'on laisse sécher pour la rebroyer à nouveau avec l'essence de lavande; ceci fait, on ajoute à une partie du produit aurifère 1, 2, 3 et jusqu'à 10 parties de fondant préparé au bismuth, en l'étendant au pinceau sur les pâtes décorées et cuites et les recouvrant de la dissolution d'urane, on obtient des tons plus ou moins foncés, plus ou moins variés.

Toutes ces préparations se mélangent parfaitement entre elles, elles se superposent même, et appliquées au pinceau sur les objets, elles fournissent toujours après cuisson des teintes et des tons glacés.

Quant à la couleur pure de la nacre blanche, elle s'obtient par le fondant de bismuth qu'on mélange à celui de plomb, et quelquefois on y ajoute du chlorure d'antimoine mélangé dans la résine. L'essence de lavande employée dans toutes les préparations pourrait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

être remplacée par toute autre essence ne précipitant pas les substances avec lesquelles elle est mélangée, de même que la résine d'arcanson peut être remplacée par la colophane ou autre résine. Lorsqu'on fait l'application de ces préparations au pinceau, on doit éviter de mettre des couches trop minces ou trop épaisses qui produiraient des teintes trop pâles ou trop foncées; on doit surtout éviter le dépôt des poussières sur les objets enduits.

Les indications techniques que nous avons présentées au sujet de l'or de Meissen s'appliquent ici et nous dispensent de donner l'explication théorique des phénomènes qui se passent dans cette opération, qui ajoute par des moyens très-simples aux ressources du décorateur de porcelaine.

Position des lustres. — La définition des lustres, telle que nous l'avons donnée plus haut, limite singulièrement la position de ces produits sur les poteries qu'ils décorent. Ils doivent toujours être sur la glaçure, et la condition la plus importante à remplir pour qu'ils soient réussis, c'est que la glaçure soit parfaitement brillante.

Les diverses méthodes à l'aide desquelles on applique les lustres se confondent avec celles employées pour l'application des couleurs et des métaux : on les applique délayés dans des essences et des corps gras pour faire adhérer la matière pendant le travail; on fait usage de putois, de pinceaux de diverses grosseurs et de diverses formes, suivant la nature des produits qu'on veut décorer et suivant le genre de travail dont on désire faire l'application.

Ici se bornent les notions que je crois devoir présenter sur l'art de décorer les poteries. Mon but était de réunir les principes généraux qui doivent faciliter la lecture et l'étude des traités spéciaux écrits sur la matière. J'ai dû me dispenser de retracer un grand nombre de détails qu'on trouvera dans les ouvrages plus étendus, comme le *Traité des arts céramiques*, de M. Brongniart, auquel je renvoie ceux qui désireraient s'initier aux pratiques de cet art. SALVÉTAT.

DENSITÉ. Nous rapportons, d'après Poncelet, le poids du mètre cube des substances que l'on rencontre dans les constructions, dont on a besoin fort souvent pour déterminer les dimensions des voûtes, des planchers, etc.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POIDS du mètre cube.
	kil.
Pierre à plâtre ordinaire	2168
Gypse ou plâtre fin	2264
Pierre meulière	2484
Marbre noir et blanc	2717
Briques les plus cuites	2200
Briques les moins cuites	1500
Tuiles ordinaires	2000
Sable pur	1900
Sable terreux	1700
Terre végétale légère	1400
Terre argileuse	1600
Terre anglaise	1900
Maçonnerie de moellons ordinaires, de 1700 kil. à	2300
Chêne le plus pesant, le cœur	1170
Chêne le plus léger, sec	850

DENTELLE. C'est en Flandre, puis en Italie, à Venise et à Gênes, que furent fabriquées les premières dentelles. Jusqu'au dix-septième siècle, la France fut tributaire de l'étranger, dont les produits étaient de beaucoup supérieurs à ses premiers essais. Mais, sous l'administration de Colbert, la fabrication de la dentelle fut si bien encouragée, et ses progrès furent si rapides, qu'elle ne tarda pas à soutenir honorablement la concurrence de l'industrie étrangère. Aujourd'hui, malgré la supériorité considérable, sous le rapport de la quantité, de la production belge, la France n'a pas dégénéré. Le point d'Alençon témoigne encore du rang que ses produits ont conquis par les soins du ministre de Louis XIV; la valenciennes et la dentelle de Lille, quoique fabriquées en grande partie à Ypres, à Bruxelles et à Courtray, portent des noms qui rappellent leur origine. Cette dernière, d'ailleurs, n'a pas complétement émigré, et ce sont encore nos manufactures qui produisent les ouvrages les plus remarquables dans cette catégorie.

La fabrication moderne est restée dans la voie où elle est entrée au dix-septième siècle, c'est-à-dire qu'elle a continué à chercher, surtout dans ses produits, la finesse, la souplesse et la légèreté. Au commencement de cette industrie, la bissette, la gueuse et la campane étaient des tissus en fil plus solides qu'élégants. La guipure, qui vint ensuite, ressemblait assez, quant au dessin, à la guipure moderne; mais la soie, l'argent et l'or étaient les matières dont elle était formée. Le point de Venise et le point de Gênes lui succédèrent pour se voir, à leur tour, remplacés par les produits d'Anvers et de Bruxelles.

Il y a maintenant cinq catégories principales de dentelles en fil fabriquées à la main. C'est un de ces cas rares où l'industrie échappe à la mécanique.

Ces cinq catégories sont :

Le point d'Alençon; c'est le point de France, c'est la dentelle que nous devons à Colbert. Elle se fait à l'aiguille.

Le point d'Angleterre, qu'on appelle encore, moins souvent, mais plus justement, point de Bruxelles. A l'instar de la France, l'Angleterre eut un moment l'intention d'encourager la fabrication de la dentelle et d'en faire une industrie anglaise. Pour y parvenir, elle voulut attirer chez elle les ouvrières de la Flandre. Elle n'y réussit pas; mais, à la même époque, une quantité considérable de marchandises fut achetée à l'étranger par ses agents, importée et revendue sous le nom de point d'Angleterre. Telle est l'origine de cette dénomination trompeuse, car le produit qu'elle désigne n'a jamais été fabriqué que sur le continent. Le point d'Angleterre est l'œuvre de deux classes d'ouvrières; les premières brodent l'ornement, les autres tissent le fond; on applique ensuite l'un sur l'autre. Lorsque le fond est fait à la mécanique, la dentelle prend le nom d'application d'Angleterre.

La dentelle de Malines ou broderie de Malines. Ce deuxième nom lui vient de ce que les fleurs sont entourées et en quelque sorte mises en relief par un fil qui est comme le trait apparent du dessin. Elle est fabriquée au fuseau, fond et fleurs ensemble.

La valenciennes, également faite au fuseau et d'un seul coup.

Enfin la dentelle de Lille, dont la fabrication est semblable à la précédente, mais sans atteindre la même solidité.

Tels sont les produits supérieurs de cette industrie. Il en est beaucoup d'autres qui, de même, tirent leurs noms des localités où on les fabrique; mais il est inutile d'insister.

Si remarquables et véritablement artistiques que fussent les tissus connus sous le nom de guipure, de point de Gênes et de point de Venise, il faut le reconnaître, le jour où la dentelle sut allier la souplesse à la solidité du réseau, elle entra de plain-pied dans le caractère qui lui convient avant tout. Néanmoins on peut regretter que la fabrication moderne ait aussi complétement détrôné ses devancières. Je ne crois pas, en effet, qu'il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

y eût de comparaison possible, partant de rivalité nécessaire entre elles. D'un côté l'ampleur, la grande tournure, le style; de l'autre, la grâce, la légèreté, l'élégance; cela semble indiquer pour chacune la possibilité d'un emploi particulier. Mais autant par l'influence de la mode que par leurs qualités réelles, les produits d'Anvers et de Bruxelles l'ont emporté; et ces premières dentelles souples et légères sont demeurées les types auprès desquels s'inspire encore la fabrication moderne.

Le caractère du dessin seul est susceptible de modifications dans cette industrie, et c'est par les formes que ces produits prennent une valeur artistique. La guipure, au moyen de nervures bien apparentes, reproduisit des enchevêtrements de lignes assez semblables à certaines décorations en usage lorsqu'elle parut, soit sur les monuments, soit sur les pièces d'orfévrerie. La dentelle légère eut d'autres formes, mais en général analogues aux ornements employés dans les arts; ceci toutefois non sans restriction, car on ne peut nier qu'il existe une très-grande diversité de composition dans tous ces objets.

FABRICATION MÉCANIQUE. Les progrès de la solution du difficile problème de fabriquer des dentelles à la mécanique sont sensibles. Déjà les blondes se fabriquent constamment ainsi et on commence à imiter très-bien divers genres de dentelles.

Les dentelles dites *de Chantilly*, à la mécanique, se font sur divers métiers; elles sont parvenues à offrir une grande analogie avec la vraie dentelle de Chantilly, qui est le modèle qu'elles cherchent à copier.

Une autre sorte de dentelle à la mécanique, celle du châle et autres grands morceaux en poil de chèvre (*mohair*) a pris également, dans ces dernières années, une importance sérieuse.

Enfin un nouveau métier, dont les produits ont été exposés à Londres, en 1862, par MM. Planche, Lafon et Sylval, exécute de véritables dentelles aux fuseaux; il est impossible de trouver une différence.

DÉPLACEMENT. La méthode de déplacement ou de lessivage méthodique, dont l'industrie fait aujourd'hui un si fréquent emploi, est due à Lavoisier, ou au moins ce grand esprit sut dégager de pratiques empiriques l'esprit, la formule de cette méthode. C'est à propos du lessivage des plâtres salpétrés (exemple rapporté à l'article DÉPLACEMENT du Dictionnaire) que Lavoisier a défini ce moyen *d'obtenir le maximum d'effet utile avec le minimum de l'élément destiné à le produire.*

Les appareils appliqués dans diverses industries, dont il a été parlé aux articles SOUDE, SUCRE, etc., ont toujours laissé à désirer au point de vue de la simplicité des opérations et de l'économie de la main-d'œuvre, et de nombreuses inventions ont eu pour but de les améliorer. La perfection paraît bien près d'être atteinte par l'appareil de M. Havrez dont nous reproduirons ici la description. Il est parvenu à opérer dans un espace très-restreint, à réduire la manœuvre, indépendamment du chargement et du déchargement des matières, à la rotation d'un simple robinet.

Un progrès important dans l'application de la méthode de déplacement, dit l'inventeur, a été réalisé dans les dernières années : on a laissé le solide immobile, tandis que le plus souvent on le déplaçait plusieurs fois, mais on a changé continuellement les points d'arrivée et de sortie du liquide, en approchant chaque fois son entrée de la partie devenue la plus épuisée, et sa sortie du point le plus chargé.

Dans cette disposition les cuves, posées au même niveau, sont reliées entre elles de manière à communiquer méthodiquement; à cet effet elles sont munies chacune de quatre tuyaux obstruables : le premier amène au haut de chaque cuve le liquide déjà chargé venu du bas de la cuve précédente où est une substance relativement épuisée; le deuxième tuyau prend au bas de chaque cuve le liquide le plus lourd, le plus chargé, pour le conduire au haut de la cuve suivante qui contient une substance relativement riche; le troisième tuyau est destiné à déverser le liquide pur dans la cuve, lorsque après le passage des liquides de moins en moins chargés, la substance s'y trouve presque épuisée et doit être d'abord traversée par le liquide en circulation (ces trois tuyaux sont obstrués quand on décharge et remplace la substance épuisée). Le quatrième tuyau est un syphon de vidange qui soutire de la cuve le liquide chargé et propre à l'emploi, lorsque cette cuve, venant d'être chargée de substance riche, est la dernière traversée par le liquide à saturer. Ainsi pour 12 cuves de lavage il faut le nombre élevé de 48 bouts de tuyaux, munis de 36 obturateurs. Cette complication est coûteuse d'installation et presque irréalisable pour le cas d'un appareil de petites dimensions; elle exige la présence d'ouvriers intelligents.

L'emploi d'un seul robinet distributeur au lieu de 36 *obturateurs et des* 48 *bouts de tuyaux* devait amener une foule d'avantages (économies de main-d'œuvre et de frais d'établissement, sécurité et simplicité de l'installation et du service, faculté d'employer ce lessivage dans les industries chimiques où il est aujourd'hui peu praticable).

Aussi nous avons cherché avec persévérance à surmonter les obstacles que présentait la constitution d'un tel robinet; les qualités suivantes qu'il devait posséder, étaient multipliées et difficiles à réaliser : il devait ne faire communiquer méthodiquement qu'une série de cuves, tout en isolant successivement celle en déchargement, et cela *quelles que fussent les hauteurs pressantes des liquides* contenus dans les cuves voisines, il fallait qu'il les mît l'une après l'autre en relation avec l'entrée du liquide pur, ou avec la sortie du liquide saturé; il ne devait pas s'opposer à la marche des liquides par des rétrécissements ou des coudes brusques, il devait s'appliquer à un nombre quelconque de cuves, être facilement enlevé et visité, être manié sans erreur même par un ouvrier peu intelligent.

Le robinet que nous avons imaginé a été adapté au centre de 12 bacs formant un ensemble circulaire de 3 mètres de diamètre et de 1 mètre de haut.

Dans l'appareil représenté en coupe et en plan dans le dessin, s'offrent les trois pièces principales qui suivent :

1° Un bac AA en tôle de 3 mètres de diamètre et de 1 mètre de haut, divisé en douze compartiments égaux par douze cloisons rayonnantes et dont le fond est percé au centre d'une ouverture de 33 centimètres de diamètre.

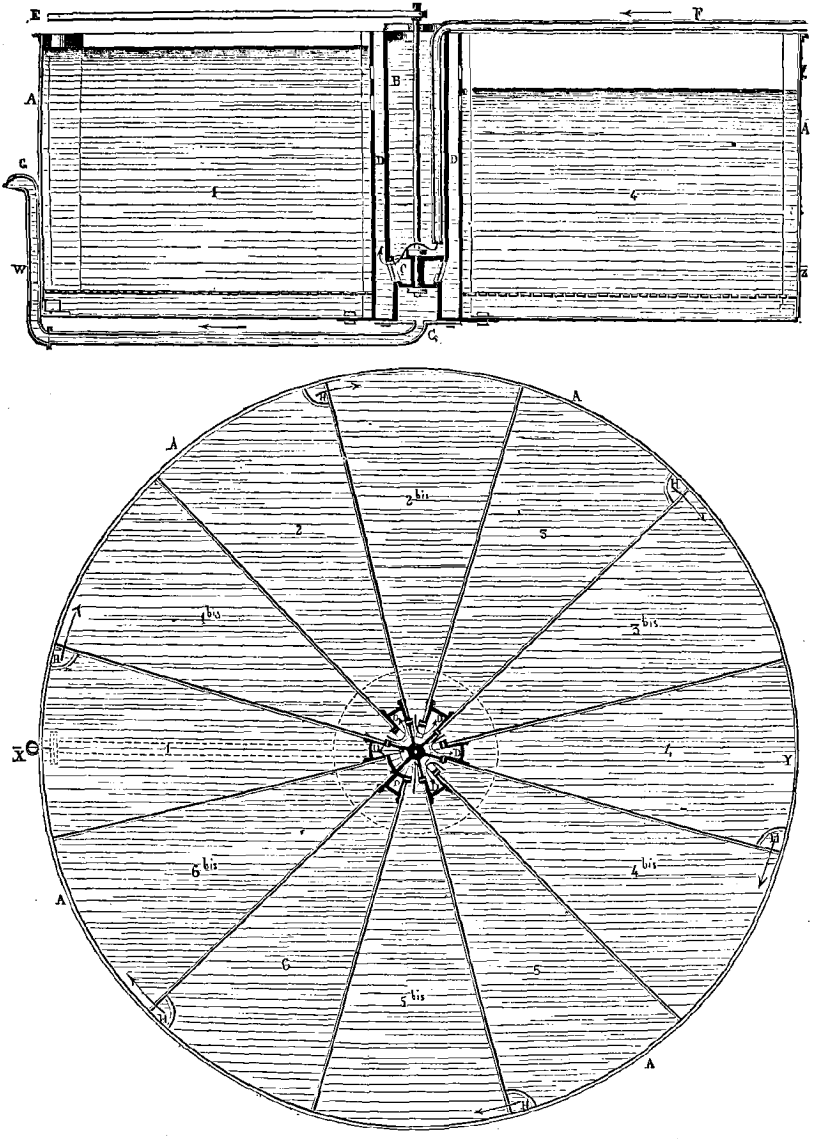
2° Un cylindre B en fonte qu'on enfile au centre du bac. Il est percé vers le bas de 12 ouvertures et forme en ce point la boîte conique du robinet. Il porte à son arête inférieur un rebord circulaire boulonné sur le fond de la cuve, et sur sa surface externe des rebords saillants sur lesquels viennent s'assembler les cloisons.

3° Un gros robinet conique en fonte C divisé par les six plaques rayonnantes en six loges égales et munies chacune de deux ouvertures. La première loge où entre le liquide pur, a une ouverture vers le haut, une au pourtour; les quatre loges suivantes ont les deux ouvertures au pourtour, elles font communiquer deux cuves entre elles (les deux ouvertures peuvent être réunies. La sixième loge qui sert pour la sortie du liquide, a une ouverture au pourtour et une dans la plaque de dessous pour communiquer avec le tuyau de sortie boulonné sous la boîte du robinet.

Suivons la marche de l'eau à travers les pièces. (Des flèches indiquent cette circulation. Dans le cylindre central B et au-dessus du robinet arrive l'eau pure amenée par le tuyau F.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Par l'ouverture supérieure, cette eau pénètre dans la première loge du robinet, elle en sort au pourtour, traverse le trou fixe, monte dans le tube carré D, et par le trou h de ce tube pénètre dans la première cuve 1 remplie de la substance la plus lessivée. — L'eau parcourt cette cuve de haut en bas et en s'éloignant du centre; elle en sort près de la paroi extérieure par un tuyau H (il peut la prendre au bas dans une sorte de double fond), il l'amène au haut du bac 1' qu'elle traverse aussi de haut en bas en se rapprochant du centre. De là, elle rentre dans la deuxième loge du robinet, en sort pour remonter dans le tuyau suivant, entre dans le bac 2, et parcourt ainsi successivement chaque bac de haut en bas; elle traverse finalement le bac 5' plein de matière récemment chargée et enfin par l'ouverture (sixième) du robinet, par le trou percé en dessous, qui n'offre aucune ouverture pour laisser remonter le liquide dans le bac 6, la solution tombe dans le tuyau W.



Après quelque temps la case isolée 6 ayant été remplie de substance riche, le robinet est tourné de manière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'orifice de sortie soit posé vis-à-vis de l'ouverture de cette cuve, alors la plus récemment chargée, en même temps les compartiments 1, 1', rendus isolés, deviennent aptes à être déchargés; le liquide qui s'y trouve est déversé par un seau dans la cuve 2, 2', alors la première traversée par le liquide pur.

Ainsi le robinet, par une simple succession de sixièmes de tours :

1° Introduit successivement le liquide pur au haut de la série 1, 2, 3, etc., alternative des cuves à mesure qu'elles contiennent une matière presque épuisée.

2° Il reprend méthodiquement au bas de chaque cuve intermédiaire 1', 2', 3', les liquides chargés.

3° Il les reporte au haut des compartiments suivants remplis d'une matière plus riche.

4° Il isole successivement chaque double cuve pendant qu'on y remplace la matière épuisée.

5° Il relie chaque cuve au tuyau W de sortie lorsqu'elle contient la matière nouvellement chargée et qu'elle laisse sortir le liquide le plus enrichi.

Tous les bons effets de la substitution d'un seul robinet à 36 obturateurs sont donc obtenus.

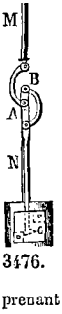
DÉTENTE (SOUPAPE A). MM. Lemonnier et Vallée ont inventé une disposition qui résout ce problème intéressant, de faire parcourir à un point une longueur déterminée, presque instantanément, aussitôt qu'il est arrivé à une position déterminée.

Ce système a été combiné en vue des soupapes de sûreté des locomotives, afin de livrer un grand passage à la vapeur aussitôt que celle-ci les a soulevées d'une certaine quantité, mais il peut trouver d'autres applications.

Il consiste (fig. 3476) en deux barres M, N terminées en demi-cercle, et réunies par une barre AB et deux boulons A et B. La barre M étant celle par l'intermédiaire de laquelle la traction s'exerce, et la résistance s'exerçant en A, la figure du système sera invariable tant que la tige qui se voit bien sur la fig. 3476, parallèle à N (fig. 3477), sera prise entre des guides et une plaque de recouvrement C. Mais après un mouvement égal à la longueur qui pénètre dans ces guides, qui empêchent tout mouvement oblique sur la direction MN, la barre guidée échappe, et aussitôt la traction de M entraînant le point A, une rotation a lieu autour du point B, la tige M s'élève de 2 AB, le système prenant la disposition représentée figure 3477.



3477.



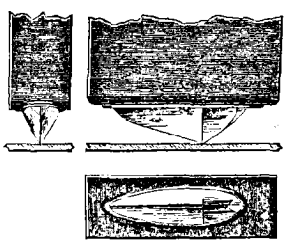
3476.

DIAMANT. Wollaston a fait d'intéressantes recherches pour analyser la curieuse propriété du diamant de couper le verre. Il a remarqué que le diamant taillé par le lapidaire, a des arêtes qui sont des lignes droites puisque les faces sont des plans, tandis que les faces des diamants naturels sont courbes et que par suite l'arête est également une ligne courbe. Il a reconnu que, pour que la section du verre se fasse bien, il faut que le diamant soit appliqué bien perpendiculairement sur la surface; les parties pressées par une ligne sans épaisseur forment coin et séparent les molécules du verre au delà de leur limite d'élasticité.

En taillant dans les conditions ci-dessus indiquées des rubis, des saphirs, des spinelles, le docteur Wollaston est parvenu à couper le verre aussi parfaitement qu'avec le diamant, seulement cette propriété était moins durable à cause de l'usure de ces pierres bien moins dures que le diamant. La surface des diamants est toujours plus dure que celle des plans de clivage intérieurs.

Les figures 3478, 3479 et 3480 montrent la manière de monter le diamant du vitrier, de l'enchâsser dans

3478. 3479.



3480.

une tige dressée après cette opération, pour qu'on puisse facilement le faire agir dans les conditions les plus favorables.

DIAMANT NOIR. Le travail du granit a toujours été fort pénible à cause de la dureté de cette substance et de la rapidité avec laquelle s'use l'acier qui sert à le travailler. L'exécution de cylindres de granit bien réguliers, employés aujourd'hui fréquemment pour le broyage des couleurs et du chocolat, était surtout difficile et coûteuse. Ce travail a été récemment simplifié de la manière la plus heureuse par l'emploi d'une substance qui est assez dure pour entamer le granit, pour le travailler sur le tour sans s'user. Cette substance est le diamant noir qui se trouve assez abondamment et en beaux morceaux dans les mines de diamant du Brésil, et qui, repoussé par la bijouterie, n'a pas de valeur.

Le travail du porphyre, des pierres dures exécuté à l'aide du diamant noir, avec un burin d'une extrême dureté, fournit à un prix modéré, des vases, des vasques de fontaine du plus beau travail.

DILATATION DES LIQUIDES. L'accroissement de volume des liquides, lors de leur échauffement, a été étudié avec soin dans ces dernières années, principalement par M. Isidore Pierre, et il a été reconnu qu'il s'en fallait beaucoup qu'il fût proportionnel à la température. Ces nouvelles constatations de phénomènes, que l'ancienne manière d'analyser les effets de la chaleur était loin de faire prévoir, sont précieuses en ce qu'elles montrent la nécessité de compléter une théorie si insuffisante à tant d'égards. Malheureusement on n'est pas parvenu à formuler la loi du phénomène, on a seulement pu indiquer que la dilatation variait à peu près comme la compressibilité. M. I. Pierre a cherché à la représenter par une formule à coefficients variables, dont il a réuni dans une table les valeurs successives, ce qui permet de représenter les faits avec exactitude, mais sans possibilité d'employer les résultats acquis à accomplir de nouveaux progrès, à rien prévoir, à constituer une science enfin.

C'est en suivant sur des thermomètres semblables, faits avec des liquides différents, dont un à mercure, les accroissements du volume primitif marqués pour chacun d'eux aux diverses températures, que se font ces expériences. J'en donnerai les résultats pour quelques liquides principaux.

La formule d'interpolation en seule fonction de la température adoptée par M. I. Pierre donne pour la température T le volume $V = 1 + aT + bT^2 + cT^3$, le tableau ci-après renferme les valeurs des coefficients a, b, c, et les limites de température entre lesquelles ils sont applicables.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

NOM du liquide.	VALEURS extrêmes de T.	*a.*	*b.*	*c.*
Acide acétique.	0 à 138	0,001050370	0,0000018389	0,00000000079
Alcool anhydre.	—34 à 78	0,001048630	0,0000017510	0,00000000134
Brôme.	— 7 à 63	0,001038186	0,0000017114	0,00000000545
Bi-chlorure d'étain. . .	—20 à 115	0,001132801	0,0000009117	0,00000000758
Eau.	0 à 25	—0,000061040	0,0000077183	—0,00000003734
	25 à 50	—0,000065410	0,0000077587	—0,00000003541
	50 à 75	+0,000059160	0,0000031849	0,00000000728
	75 à 100	0,000086450	0,0000031892	0,00000000245
Essence de térébenthine.	0 à 150	0,000847400	0,0000012480	0,00000000000
Éther	—15 à 36	0,001513245	0,0000023592	0,00000004005
Mercure.	0 à 350	0,000179007	0,0000000252	0,00000000000
Sulfure de carbone. . .	—35 à 60	0,001139804	0,0000013706	0,00000001912

Les dilatations représentées par ces chiffres diffèrent beaucoup de la proportionnalité admise *à priori*.

Il paraît assez naturel de chercher la loi de ces variations dans l'accroissement de la pression de la vapeur que forme le liquide à chaque température, peut-être dans la vapeur intermoléculaire qui tend à se former entre les molécules, et, dans ce cas, la formule qui représente la dilatation doit avoir un rapport intime avec celle qui représente les variations de pression de la vapeur aux températures correspondantes. Nous avons, pour faire ces comparaisons pour la vapeur d'eau, les expériences de M. Regnault. Ainsi, si nous comparons les accroissements totaux de volumes de l'eau et les pressions de la vapeur, à quatre points également espacés de 0 à 100°, nous aurons :

LIMITES DE TEMPÉRATURES.	0° à 25°	à 50°	à 75°	à 100°
Les accroissements de volumes, s'ils étaient proportionnels, seraient, en dix-millièmes :	0 27	54	81	108
Ceux fournis par l'expérience sont :	0 27	54	88	120
Les pressions sont. . .	4mm,6 23	91	288	760

Les pressions croissent bien comme les volumes, mais bien plus rapidement toutefois, et cela surtout dans le voisinage du point d'ébullition, ce qui paraît s'expliquer assez naturellement pour l'expansion de la vapeur qui se dégage, qui cesse d'être seulement intermoléculaire, se forme par masses sensibles d'autant plus qu'on se rapproche de ce point et constitue un état intermédiaire voisin de l'ébullition.

Gaz liquéfiés. — Cette manière de voir trouve sa confirmation dans une série de phénomènes étudiés récemment, dans la dilatation très-considérable des liquides provenant de la liquéfaction des gaz.

M. Thilorier avait trouvé, pour le coefficient de l'acide carbonique liquide, entre 0° et 30°, le chiffre 0,0142, c'est-à-dire un chiffre quatre fois plus fort que celui de la dilatation des gaz, qui est considérable.

M. Drion a repris ces expériences et a trouvé de même qu'à des températures voisines de celles où les liquides se transforment en vapeurs dans des espaces très-restreints, ces liquides ont un coefficient de dilatation très-considérable, supérieur à celui des gaz à la pression atmosphérique.

Le liquide à étudier étant renfermé dans un appareil analogue aux thermomètres *à maxima*, on peut suivre sa dilatation en le chauffant dans un bain liquide à une température déterminée, et la mesurer, en ayant déterminé à l'avance le rapport qui existe entre la capacité du réservoir et celle d'une division de la tige. Voici les résultats qu'il a obtenus pour deux corps de composition très-différente :

Éther chlorhydrique.

A 0°, dilatation moyenne	0,00157
Entre 121 et 128°	0,00360
Entre 128 et 134°	0,00424
Entre 144,5 et 149°,25.	0,00553

Acide sulfureux.

Entre 0 et 18°, dilatation moyenne.	0,00193
Entre 91 et 99°,5	0,00463
Entre 108 et 115°,5	0,00463
Entre 116 et 122°.	0,00532
Entre 122 et 127°	0,00600

On voit avec quelle rapidité la dilatation augmente, et l'on serait sûrement arrivé à un chiffre aussi élevé que celui trouvé par Thilorier, si, à son exemple, on avait employé des vases résistants au lieu de simples tubes de verre incapables de résister aux pressions considérables qui se produisent.

Ces faits semblent bien indiquer que, malgré leur apparence, ces liquides sont, en réalité, comme mélangés de gaz, en lequel ils se résolvent instantanément, sans ébullition aucune, lorsqu'on atteint un certain degré d'échauffement. Ce qui existe alors a nécessairement lieu, dans une tout autre proportion, bien entendu, pour les liquides ordinaires, et fournit l'explication satisfaisante d'un fait qui paraît assez étrange à première vue.

DISTILLATION. On comprend aujourd'hui sous le nom de *Distillation* des opérations de nature différente : la vaporisation de l'alcool et substances analogues pour les séparer de l'eau (l'évaporation pour enlever l'eau qui dissout des substances solides est un cas particulier de la distillation) et la distillation sèche, la décomposition des substances par le feu pour séparer les produits volatils des parties solides, qui est en réalité une carbonisation.

Nous avons déjà consacré l'article ALAMBIC à l'étude des appareils et des conditions physiques de la distillation ordinaire. Nous la compléterons ici par quelques chiffres, et d'abord nous emprunterons à Chaptal, qui avait assisté à l'invention d'Édouard Adam et avait connu toutes les luttes qu'il eut à supporter, le récit de cette découverte et l'indication des principes de son appareil. L'historique d'un progrès industriel est quelquefois (et nous croyons que c'est ici le cas) le meilleur moyen de graver dans l'esprit un important progrès. Celui qu'a accompli Édouard Adam a révolutionné toute l'industrie qui traite des matières volatilisables par la chaleur et a permis de les obtenir à peu de frais, d'une manière continue, avec le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

degré de pureté et de concentration voulue. C'est là ce que réalisent aujourd'hui les appareils employés dans les distilleries et ceux employés dans bien des fabrications de produits chimiques. (Voy. AMMONIAQUE.)

Voici comment l'illustre Chaptal s'exprime au sujet de cet appareil, dans son remarquable *Traité de chimie appliquée à l'agriculture* :

« Un appareil chimique, par le moyen duquel on fait passer des vapeurs ou des gaz à travers des liquides pour les en saturer, a donné à Édouard Adam la première idée de son appareil de distillation.

« La connaissance du fait que les vapeurs aqueuses se condensent à un degré de chaleur qui ne peut pas opérer la condensation des vapeurs alcooliques, lui a fourni le moyen de compléter son appareil. L'appareil chimique lui a suggéré l'idée de conduire, à l'aide d'un tube de cuivre, les vapeurs qui s'élèvent d'une chaudière de vin placée au foyer du fourneau dans une nouvelle chaudière remplie de vin, pour y déposer leur chaleur et porter le liquide à l'ébullition ; les vapeurs qui s'élèvent de celle-ci peuvent être portées dans une troisième, où le vin ne tarde pas à se mettre en ébullition ; de sorte qu'il suffit d'entretenir le feu sous une chaudière et de transmettre la vapeur alcoolique dans le vin contenu dans deux et trois autres chaudières bien closes, pour opérer la distillation dans toutes. Cette manière de transmettre la chaleur est aujourd'hui pratiquée dans plusieurs ateliers étrangers à la distillation, et c'est ce qu'on appelle *chauffer à la vapeur*.

« Par ce moyen, Édouard Adam obtenait déjà une grande économie de combustible, et il était sûr d'avoir des vapeurs alcooliques qui ne pouvaient en aucun temps sentir le brûlé. Il gagnait encore sur le temps et sur la main-d'œuvre, attendu qu'un ouvrier qui ne soignait qu'un fourneau produisait de plus grands résultats que s'il n'eût fait qu'évaporer dans une chaudière.

« C'était déjà beaucoup, sans doute, mais ce n'était pas encore assez : il fallait trouver le moyen de séparer les vapeurs aqueuses des vapeurs alcooliques, pour avoir les dernières dans leur plus grand degré de pureté possible, et c'est ce qu'il a fait en appliquant à son appareil le second principe que nous avons déjà posé.

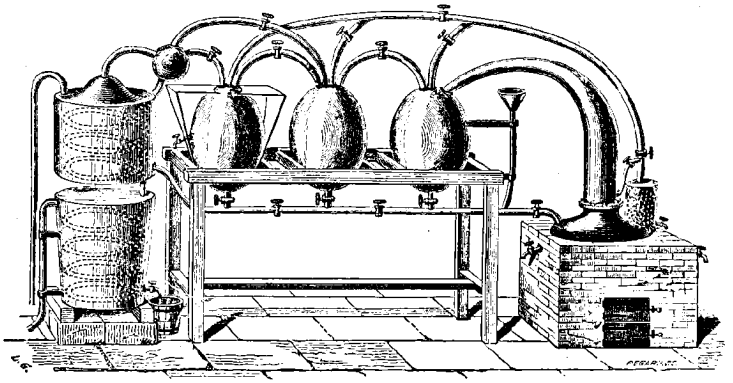
« Faisons passer, s'est-il dit, les vapeurs alcooliques qui sortent de la dernière chaudière, dans des vases qui soient immergés dans un bain d'eau froide, la vapeur aqueuse s'y condensera, et je pourrai la ramener dans les chaudières pour y être redistillée, tandis que la vapeur alcoolique sortira de ces vases sans s'y condenser, et ira jusqu'au serpentin, où elle subira sa condensation.

« En partant de ce raisonnement, établi sur des faits positifs, il a adapté un tube à la partie supérieure de la dernière chaudière. Ce tube conduit les vapeurs dans un premier condensateur sphérique, baigné par l'eau ; là, une partie des vapeurs aqueuses se résout en liquide, et ce liquide est porté par un tuyau dans le vin de la première chaudière, pour y être redistillé et dépouillé d'une légère portion d'alcool qui y est dissoute ; les vapeurs qui ne peuvent pas se condenser dans ce premier vase passent dans un second, où il s'opère une condensation nouvelle, attendu que la température y est moins élevée ; de ce second elles passent dans un troisième et dans un quatrième, et ce qui se condense se rend, comme nous venons de le dire, dans la chaudière, pour qu'une nouvelle distillation enlève tout ce qui y reste de spiritueux.

« La vapeur, en traversant les condensateurs, perd peu à peu sa chaleur ; l'eau se précipite ; l'alcool se purifie ; il se dépouille de presque toute l'eau qui s'était élevée avec lui par l'évaporation, et lorsqu'il arrive au serpentin, il se condense et marque le plus haut degré de spirituosité.

« On voit, par ce qui précède, que, d'après ce procédé ingénieux, on peut obtenir à volonté, et par une seule opération, tous les degrés de spirituosité alcoolique du commerce. Chaque condensateur donne un degré différent, et en retirant successivement le produit de chacun, on a des degrés qui varient depuis l'eau-de-vie jusqu'à l'alcool le plus pur. On peut encore diriger les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer par l'intermédiaire des condensateurs, et alors on obtient le degré qui forme la bonne eau-de-vie du commerce.

« Tels sont les principes qui constituent éminemment le procédé d'Édouard Adam ; mais, indépendamment de l'application de ces principes, il a ajouté des améliorations qui rendent son appareil représenté figure 3481 plus parfait.



3481.

« 1° A l'aide de robinets et de tuyaux, il dirige à volonté la vapeur dans un petit serpentin d'essai, pour y opérer la condensation et juger du degré de spirituosité toutes les fois qu'il le trouve convenable ;

« 2° Il a interposé un serpentin entre les condensateurs et le serpentin à eau ; il fait baigner dans le vin le serpentin supérieur, et, par ce moyen, le vin y prend un degré de chaleur qui hâte son ébullition lorsqu'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en remplit les chaudières. Le premier serpentin condense la vapeur alcoolique de manière que l'alcool coule liquide dans le second serpentin, et échauffe peu le bain d'eau dans lequel ce second serpentin est plongé.

« Il résulte de ces dispositions trois principaux avantages : le premier, de chauffer sans aucune dépense le vin qu'on va distiller; le second, de n'être pas obligé de renouveler l'eau du serpentin; le troisième, d'obtenir constamment de l'alcool froid, et d'éviter toute déperdition ou évaporation.

« M. Édouard Adam forma de suite plusieurs grands établissements d'après ces principes, à Cette, à Toulon, à Perpignan, etc., et s'assura d'un brevet d'invention pour jouir en sûreté du fruit de sa découverte.

« Mais ces succès éveillèrent bientôt l'attention des autres distillateurs; ses résultats étaient tels, que ces derniers ne pouvaient plus concourir avec lui : dès lors on fit des essais partout, ou pour imiter ou pour varier ce procédé.

« C'est surtout en partant de l'idée fondamentale, que le degré de température auquel se condensaient les vapeurs aqueuses était insuffisant pour condenser les vapeurs alcooliques, qu'on fit le plus de tentatives. Les appareils construits par Édouard Adam étaient immenses et très-coûteux ; on chercha à en réduire les dimensions et à les mettre à la portée du plus grand nombre.

« Isaac Bérard, du Grand-Gallargues (département du Gard), produisit peu de temps après un appareil plus simple, qui obtint la préférence sur celui d'Adam. Au lieu de coiffer la chaudière d'un chapiteau, comme on le pratiquait anciennement, il la surmonta d'un cylindre, dont l'intérieur est divisé en compartiments qui communiquent entre eux par de petites ouvertures; les vapeurs qui s'élèvent du vin en ébullition sont transmises dans ces *chambres*, où elles se dépouillent d'une portion aqueuse, qui se rend dans la chaudière par le moyen de conduits, et les vapeurs alcooliques passent dans un condensateur cylindrique qui plonge dans un bain d'eau; ce condensateur est divisé intérieurement par des diaphragmes en lames de cuivre, qui en font quatre à cinq *chambres* communiquant entre elles par des ouvertures; de sorte qu'on peut à volonté les laisser parcourir toutes par la vapeur avant qu'elle arrive au serpentin, ou la renvoyer au serpentin après qu'elle a passé par deux ou trois. Les vapeurs se déphlegment de plus en plus en traversant les chambres, de sorte que lorsqu'elles se sont ensuite condensées dans le serpentin, l'alcool marque 36 à 38°; tandis que si l'on dirige les vapeurs dans le serpentin sans les faire passer dans les chambres du condensateur, l'alcool marque de 20 à 25°, ceux intermédiaires s'obtenant en faisant parcourir aux vapeurs plus ou moins de chambres.

« L'appareil de Bérard parut si simple et si avantageux qu'il fut généralement adopté : Édouard Adam en attaqua l'auteur comme contrefacteur; des procès dispendieux, qu'il fut forcé de soutenir contre Bérard et beaucoup d'autres, le détournèrent de ses occupations ; et cet homme, à qui on doit presque l'art de la distillation, est mort de chagrin et dans un état voisin de la misère. »

Pour compléter l'étude physique de la distillation, nous emprunterons à M. Claudel (*Formules, etc.*) les principes de la méthode à employer pour calculer les éléments de l'application de la chaleur aux alambics ; les dimensions des fourneaux, chaudières, etc.; la dépense de combustible nécessaire pour distiller un certain poids d'un liquide donné, dans l'unité de temps.

Les dimensions des chaudières dépendent de la quantité de vapeur à former dans un temps donné, de la température d'ébullition du liquide, de sa chaleur latente de vaporisation, et de sa chaleur spécifique, ainsi que de celle du résidu. La quantité de combustible à brûler, déduite de ces éléments, entraîne les dimensions convenables de la cheminée et de la grille.

1er *exemple.* — Soit à vaporiser, en une heure, 150 kilog. d'alcool pur, à la température primitive de 0°.

La température d'ébullition de l'alcool, sous la pression atmosphérique 0m,76 étant 78°,40, sa capacité spécifique 0,622 et sa chaleur latente de vaporisation 207, la quantité de chaleur, pour en vaporiser 1 kilog., est :

$$78{,}40 \times 0{,}622 + 207 = 256 \text{ calories},$$

c'est-à-dire les $\frac{1}{10}$ environ de celle nécessaire pour vaporiser 1 kilog. d'eau, 1 kilog. de houille vaporisant, dans la pratique, 6 kilog. d'eau, vaporisera donc au moins (à une plus basse température) $6 \times \frac{10}{4} = 15$ kilog. d'alcool.

Un mètre carré de surface de chauffe suffisant pour vaporiser 15 à 20 kilog. d'eau, il suffira donc pour $15 \times \frac{10}{4} = 38$ à $20 \times \frac{10}{4} = 50$ kilog. d'alcool. En admettant 38 kilog., les 150 kilog. d'alcool exigeront donc $\frac{150}{38} = 4^{mc},95$ de surface de chauffe, et la quantité de houille brûlée sera $\frac{150}{15} = 10$ kilog.

On suppose ici que l'alcool n'est chauffé que par l'action directe de la combustion, tandis que dans les alambics la liqueur à distiller est amenée à une température très-peu inférieure à son point d'ébullition par la condensation des vapeurs, c'est-à-dire que la quantité $78{,}40 \times 0{,}622 = 49$ calories, n'exige aucune dépense de combustible. Dans la pratique donc, les chiffres ci-dessus doivent être modifiés dans le rapport de $\frac{49}{256} = 0{,}19$, c'est-à-dire qu'un kilog. de houille vaporisera 17k,85 d'alcool, qu'une surface de chauffe de 4 mètres carrés sera suffisante pour évaporer en une heure 150 kilog. d'alcool en brûlant 8k,01 de houille.

2e *exemple.* — Soit à distiller en une heure 500 litres de vin dans lequel les quantités d'alcool et d'eau sont dans le rapport de 1 à 22,80. L'expérience prouve que, pour obtenir presque tout l'alcool, il faut vaporiser les 0,22 de la masse totale, ce qui donne 110 litres d'une liqueur composée de 21 litres d'alcool et 89 litres d'eau.

La quantité de houille à brûler est alors :

0,792 étant la densité de l'alcool ; pour vaporiser $0{,}792 \times 21 = 16{,}63$ kilog. d'alcool :

Dépense de la houille. . . .	$\frac{16{,}63}{15} =$	1k,11
Pour vaporiser les 89 k. d'eau.	$\frac{89}{6} =$	14k,83
Pour élever à 100° les 390 kil. de résidu (1 kil. de houille produisant 6 kil. de vapeur ou 650×6).	$\frac{100 \times 390}{650 \times 6} =$	10k,00
Total.		25k,94

Nous avons vu plus haut, en parlant de l'alcool pur, que la condensation des vapeurs par le liquide frais procurait une économie de 0,19 ; il est facile de reconnaître par le second exemple que l'économie devient bien plus considérable quand on opère sur des substances moins pures devant laisser un grand résidu. Il est évident qu'en faisant marcher le liquide en sens inverse des vapeurs pour les condenser, comme dans l'appareil d'Adam et dans celui de Cellier-Brumenthal décrit à l'article ALAMBIC, on économisera la chaleur nécessaire pour chauffer le résidu, soit, dans l'exemple ci-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dessus, 10 kilog., plus la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer jusque vers 90 degrés l'eau vaporisée, soit 1/7 de 650 degrés, soit 92k,10 ; l'économie sera donc de 142k,10, soit près de 50 p. 100 de la chaleur qu'il faudrait dépenser si on opérait la condensation par l'eau qui serait rejetée au dehors, comme on le faisait autrefois.

Condensation des vapeurs. — On peut admettre 1° que pour une même vapeur, la quantité condensée par une même surface est proportionnelle à la différence entre la température de la vapeur et celle de l'air ou de l'eau qui sert de réfrigérant ; c'est sur cette loi que repose la méthode de déplacement de la chaleur, l'avantage que l'on trouve à faire marcher en sens inverse le corps refroidissant et la vapeur ; 2° que pour des vapeurs différentes, les quantités condensées, pour une même surface et pour un même excès de température, sont en raison inverse des quantités de chaleur contenues dans un même poids de vapeurs.

Tableau de la quantité de vapeur d'eau condensée en une heure par un mètre carré de surface de quelques matières en contact avec l'air à 15 degrés, et l'eau à 20 ou 25 degrés.

NATURE DES SURFACES.	VAPEUR D'EAU CONDENSÉE PAR l'air à 15°.	l'eau à 20 ou 25°.
Fonte de 5 à 6 millimètres d'épaisseur	4k,80	
Cuivre de 2 à 3 millimètres d'épaisseur	4k,40	4k,07
Fer-blanc	4k,07	
Tôle.	4k,82	
Verre	4k,76	

A l'aide de ces tableaux et des deux lois qui précèdent, on déterminera facilement la quantité d'une vapeur quelconque qui sera condensée par des surfaces métalliques, pour un excès de température donné.

DISTILLATION, ALCOOL DE BETTERAVE, etc. Matthieu de Dombasle, dès 1834, avait prévu que la betterave, traitée par macération, deviendrait un jour la plante par excellence pour la production de l'alcool dans les exploitations rurales. La maladie de la vigne et les prix élevés de l'alcool qui en ont été la conséquence naturelle, ont réalisé cette prédiction déjà ancienne. Les guerres de l'empire avaient doté la France de la fabrication du sucre indigène ; une autre calamité, la maladie de la vigne, aura doté notre pays d'une industrie agricole d'une haute importance, la fabrication de l'alcool de betterave, naturalisée désormais dans un grand nombre de fermes.

Le développement rapide de cette industrie nouvelle nous oblige à revenir sur les procédés particuliers qui lui sont propres, bien que les principes généraux de l'alcoolisation aient été développés aux mots ALAMBIC, ALCOOL, DISTILLATION, FERMENTATION.

« On croit en général, à l'étranger, dit M. Liebig dans ses *Lettres sur la chimie*, que les agriculteurs allemands distillent les pommes de terre dans l'unique but de produire de l'alcool, mais c'est là une erreur ; ils ne distillent qu'en vue d'engraisser leurs bestiaux avec plus d'économie. »

Cette remarque si juste de M. Liebig convient aux betteraves aussi bien qu'aux pommes de terre ; elle s'applique à la France aussi bien qu'à l'Allemagne. Le haut prix momentané des alcools a déterminé la création de nos distilleries de betteraves ; mais l'emploi de leur résidu à la nourriture du bétail sera la cause de leur conservation et de leur développement progressif dans les fermes. C'est à ce point de vue surtout qu'elles offrent un intérêt sérieux et durable, et qu'elles méritent particulièrement un examen attentif.

On sait que l'amidon, les fécules, le sucre cristallisable et plusieurs autres substances se transforment facilement en sucre incristallisable ou en glucose, et que ces dernières substances, par la fermentation, donnent naissance à de l'acide carbonique, qui se dégage, et à de l'alcool qui reste dans la liqueur, dont il est facile de le séparer ensuite par la distillation. Il est inutile de revenir sur le détail de ces opérations, on rappellera seulement qu'un équivalent de sucre cristallisable $C^{12}H^{11}O^{11}$, tel qu'il existe dans la betterave, se transforme en alcool absolu $C^4H^6O^2$ et acide carbonique CO^2, en vertu de la réaction suivante :

$$C^{12}H^{11}O^{11} + HO = 4\,CO^2 + 2\,C^4H^6O^2$$

ou en nombres :

$$\underset{\text{sucre}}{12\times6+11\times1+11\times8} + \underset{\text{eau}}{1+8} = \underset{\text{acide carbon.}}{4\,(6+2\times8)} + \underset{\text{alcool absolu}}{2\,(4\times6+6\times1+2\times8)}$$

ou encore

Sucre cristallisable.	171	donnent	Alcool absolu. .	92
Eau	9		Acide carboniq.	88
	180			180

Ainsi, 171 parties de sucre cristallisable fournissent théoriquement 92 parties d'alcool absolu. Par conséquent 100 kilogr. de sucre donnent :

	En poids.	En volume à la température de 15°. litres.
Alcool absolu . .	53k,80	67,67
Alcool à 90° cent.	62k,78	75,19
— 80°	73k,17	84,59
— 60°	103k,49	112,78
— 50°	126k,69	135,34
— 40°	161k,22	169,17
— 30°	217k,89	225,56

Cette table serait facile à compléter pour tous les degrés de l'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac. Ses différents termes s'obtiennent en repassant, par le calcul, de la densité correspondante à chaque degré de l'alcoomètre, à la composition en poids du mélange, précaution que l'on néglige souvent à tort dans les calculs de cette espèce. Il est donc très-facile de déterminer la proportion d'alcool à un degré donné que peuvent fournir des betteraves dont la richesse en sucre a été mesurée à l'aide de l'un des moyens indiqués à la fin de l'article SUCRE. En comparant le rendement pratique au rendement théorique ainsi calculé, on se rend facilement compte de la marche de la fabrication et du plus ou moins grand degré de perfection du procédé que l'on emploie.

Les méthodes proposées et employées pour transformer en alcool le sucre que renferme la betterave sont extrêmement nombreuses. On ne saurait ici les énumérer toutes ; il suffira d'étudier d'abord, avec certains détails, le procédé dont l'usage est aujourd'hui de beaucoup le plus répandu dans les fermes, et de donner ensuite quelques indications rapides sur d'autres procédés, faciles à comprendre après cette première étude.

Les procédés d'alcoolisation appelés à se répandre dans les fermes doivent toujours être d'une application facile, n'exiger qu'un matériel relativement peu considérable, ne nécessiter que le degré d'attention que l'on peut demander à des ouvriers ruraux, et surtout laisser des résidus très-convenables pour la nourriture du bétail.

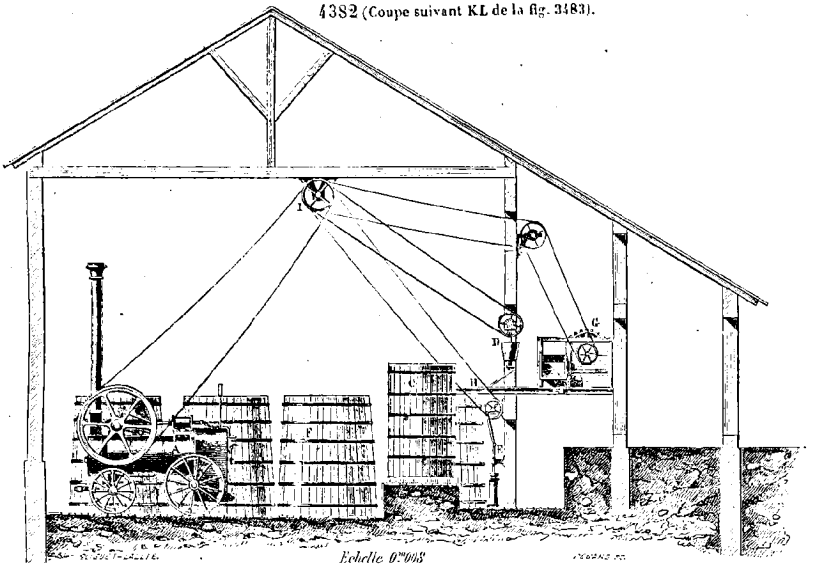
Le procédé de M. Champonnois réalise ces diverses conditions d'une manière remarquable. Il comporte quatre opérations principales : 1° le nettoyage et le coupage des betteraves ; 2° la macération de la betterave coupée dans la vinasse, ou résidu d'une distillation précédente ; 3° la fermentation du liquide sucré obtenu par la seconde opération ; 4° la distillation du liquide fermenté.

On va décrire ces opérations en prenant pour exemple la disposition d'une distillerie d'importance moyenne montée à la ferme de la Gaudinière, par M. Decauville de Petit-Bourg.

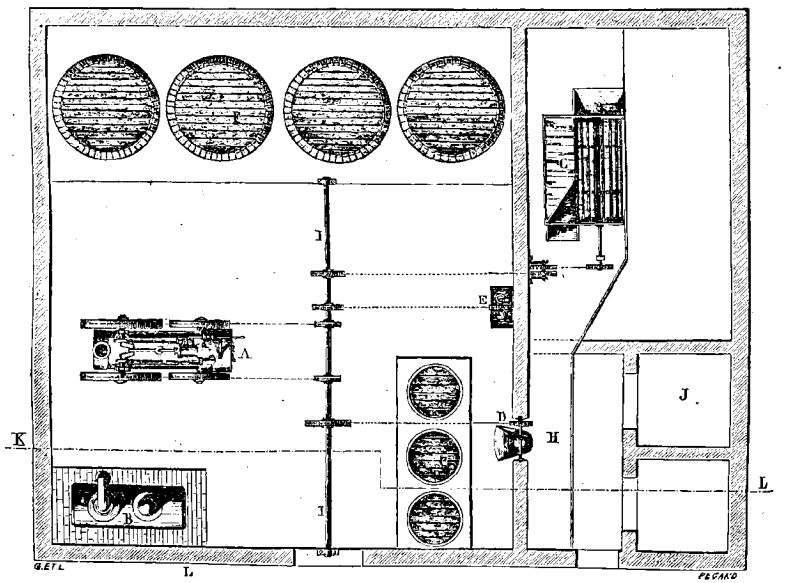
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lavage. — La betterave, apportée des silos ou des magasins où on la conserve, est jetée dans le laveur que l'on voit en G (fig. 3482 et 3483). Cet appareil, bien connu d'ailleurs, se compose d'un cylindre formé

4382 (Coupe suivant KL de la fig. 3483).



3483 (Plan).



A Locomobile. — B Appareil de distillation, composé d'une chaudière cylindrique à foyer tubulaire intérieur, surmontée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

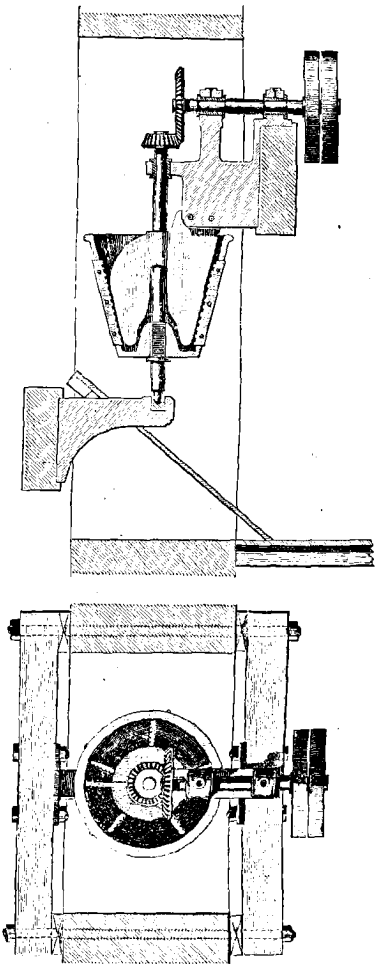
d'une colonne de rectification et du système ordinaire de serpentins et de chauffe-vin. — C, C Cuves de macération. — D Coupe-racines. — H Plancher de service du coupe-racines, où s'accumulent les betteraves lavées; au-dessous, fosse à mélanger les pulpes. — E Pompes servant à élever les vinasses dans les cuviers macérateurs, à les faire passer d'un cuvier dans le suivant, et enfin à les envoyer après la macération dans les cuves de fermentation. — F Cuves de fermentation. — G Laveur. — I Arbre de couche recevant le mouvement de la locomobile A et le transmettant au laveur G, au coupe-racines D, aux pompes E, à la machine à battre M (fig. 3483) et aux autres machines de grange de la ferme situées dans un bâtiment voisin. — J Dépôt des mélanges de pulpes pour la nourriture du bétail.

de tringles en bois ou en fer, tournant autour d'un axe légèrement incliné, et plongeant à moitié dans une caisse en bois remplie d'eau que l'on renouvelle de temps en temps. Ce cylindre a $0^m,60$ à $0^m,80$ de diamètre et $2^m,50$ à $3^m,50$ de longueur. Les tringles fixées sur des tambours montés sur l'arbre en fer, laissent entre elles des intervalles de $0^m,04$ à $0^m,02$ de largeur. Le cylindre fait environ 20 tours par minute. Les betteraves, versées dans la trémie située à la partie supérieure du cylindre, le parcourent dans toute sa longueur, en se frottant les unes contre les autres, et en se nettoyant ainsi de la terre adhérente à leur surface. A l'extrémité inférieure du cylindre, une surface héliçoïdale montée sur le même arbre élève les betteraves et les rejette au dehors sur le plancher placé près du coupe-racines D.

Découpage. — On employait dans les anciennes distilleries le coupe-racines à disque ordinaire pour découper les betteraves en cossettes. Cet instrument présentait plusieurs inconvénients. Le disque était toujours plus ou moins gauche, son centrage n'était point parfait, de sorte que certains couteaux agissant trop et d'autres pas assez, les fragments de betteraves étaient plus ou moins inégaux. D'un autre côté, la poussée contre le disque des betteraves jetées sur le plan incliné déterminait des frottements inutiles, qui absorbaient une assez grande quantité de force et hâtaient la détérioration de l'appareil.

De très-grands perfectionnements ont été apportés à cette machine. La figure 3484 indique la forme du coupe-racines employé maintenant dans toutes les distilleries et dont l'usage ne laisse rien à désirer. Cet instrument se compose essentiellement d'un vase en fonte, en forme de tronc de cône, monté sur un arbre vertical en fer auquel on peut imprimer une vitesse de 200 à 400 tours par minute. Ce vase en fonte, qui forme le corps du coupe-racines, porte huit ouvertures étroites, en forme de lumière de rabot, dirigées suivant les arêtes du tronc de cône. Chacune de ces ouvertures est garnie intérieurement d'un couteau à dents, comme ceux des anciens coupe-racines à disques. Une plaque de forte tôle, fixée au support, descend dans la capacité du tronc de cône, en laissant entre ses bords et la surface décrite par les couteaux un jeu de 4 à 5 millim. Les betteraves jetées dans le coupe-racines s'appuient sur les deux faces de cette plaque de tôle et sont soumises à l'action des couteaux qui les partagent en cossettes de $0^m,005$ à $0^m,010$ de largeur et de $0^m,003$ à $0^m,004$ d'épaisseur. Les cossettes sortent par les ouvertures en lumière de rabot et tombent sur le plan incliné placé au-dessous, qui les conduit sur le plancher des cuves de macération.

Les cossettes, en sortant du coupe-racines, seraient projetées par la force centrifuge à une assez grande distance de la machine; pour éviter cet inconvénient, on enveloppe l'appareil d'une cage sans fond en tôle ou en bois, dont la surface est placée à $0^m,15$ ou $0^m,20$ de l'instrument. Cette enveloppe a été supprimée dans la figure pour laisser voir plus complétement les organes essentiels du mécanisme principal. Il est clair que ce coupe-racines peut être monté sur un bâtis isolé en bois ou en métal. Mais il est généralement préférable de l'installer, comme l'indique la figure, dans une baie pratiquée dans le mur qui sépare la salle de la distillerie proprement dite de la pièce servant de dépôt et où se fait le lavage. Inutile d'ajouter d'ailleurs que la transmission du mouvement à l'arbre vertical, qui a lieu dans la figure à l'aide d'une roue d'angle, peut



3485.

être disposée de toute autre manière mieux appropriée, dans chaque cas particulier, à la disposition du local et du moteur.

Le coupe-racines que représente la figure peut couper environ 900 kilog. de betteraves par heure; il exige une force de 2 chevaux tout au plus.

Macération. — Dans les premières distilleries montées par M. Champonnois, les cuviers où s'effectuait la ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cération des cossettes de betteraves par la vinasse étaient de petite dimension; on était obligé de les vider souvent, d'employer de la vinasse très-chaude, qu'il fallait même réchauffer pendant la durée du lavage systématique que l'on était obligé d'employer pour arriver à un épuisement complet de la masse sucrée. M. Champonnois a reconnu depuis qu'il était beaucoup plus simple d'augmenter la capacité des cuviers, d'accroître, par conséquent, la durée du contact du liquide avec la betterave. On arrive ainsi à simplifier la main-d'œuvre et à réaliser des économies de combustible, en évitant des pertes de chaleur. Il serait inutile d'indiquer, par conséquent, l'ancien système de macération avec les petits cuviers; on se bornera à décrire les procédés les plus récents et les plus perfectionnés.

La vinasse, sortant à 100° de l'appareil distillatoire, traverse un appareil où sa température s'abaisse à 75° environ : la chaleur ainsi abandonnée sert à commencer l'échauffement des liquides à distiller. En sortant de cet appareil, la vinasse est conduite à la surface d'un des cuviers de macération rempli des cossettes de betteraves, trempant depuis 3, 4 ou 6 heures, selon la marche adoptée, dans le liquide d'une opération précédente. Ce liquide déplace, pour 100 parties de cossettes, 125 à 150 parties de jus qui est conduit à la cuve à fermentation.

On soutire par un robinet de fond la vinasse dont on vient de parler, et on la remonte, à l'aide d'une pompe, dans un des autres cuviers que l'on vient de remplir de cossettes fraîches. La macération s'effectue dans cette seconde cuve, d'où on extrait, quelques heures plus tard, comme on vient de le dire, le jus qui est conduit à la cuve à fermentation.

Au commencement de la campagne, alors qu'on n'a pas encore de vinasse, on effectue les premières macérations avec de l'eau chaude jusqu'à ce qu'on ait rempli une cuve de fermentation; le roulement s'établit alors régulièrement et continue comme on vient de l'expliquer.

Lorsque la vinasse a été écoulée d'une cuve à macération dans la cuve à fermentation, on ouvre un large trou d'homme, ménagé dans le bas de la cuve à macération, et on en extrait immédiatement la pulpe, pour la mélanger avec les menues pailles ou autres matières fourragères qu'il convient d'y ajouter, comme on l'expliquera plus loin.

Le volume de vinasse à employer et la température à laquelle on l'introduit dépendent de la température de l'atelier et de celle des betteraves; il faut s'arranger pour que le jus arrive à la cuve à fermentation entre 16 et 17° centigrades.

L'addition de l'acide sulfurique aux cossettes de betteraves a lieu au moment du remplissage de la cuve à macération, en les arrosant couche par couche avec de l'eau contenant 1/10 ou 1/20 de son poids d'acide sulfurique. Quelquefois cet arrosage se fait sur le plancher même du coupe-racines avec une pomme d'arrosoir fixée à l'extrémité d'un tube flexible communiquant avec un réservoir d'eau acidulée. La proportion d'acide sulfurique à employer par 100 kilogr. de betteraves dépend de la qualité des racines et de différentes autres circonstances. On la détermine par expérience. Elle varie de 0,002 à 0,006 du poids des cossettes.

Fermentation. — Le jus sortant des cuviers macérateurs est conduit, comme on l'a dit, aux cuves de fermentation C. La continuité de cette opération était indispensable à obtenir pour la rendre régulière et facile à conduire. Ces conditions, longtemps difficiles à réaliser, s'obtiennent aujourd'hui avec une remarquable facilité. Voici comment on procède. On détermine la fermentation dans la première cuve de jus sucré obtenu au commencement de la campagne à l'aide de la levûre de bière. Quand la fermentation est bien établie, on fait couler la moitié du liquide contenu dans la première cuve dans la deuxième, puis on fait arriver en filet continu, dans chacune des cuves, les jus sucrés obtenus des macérations successives. La fermentation s'entretient ainsi dans les deux cuves jusqu'à ce qu'elles soient remplies. On laisse alors refroidir la première pendant douze ou vingt-quatre heures pour distiller la liqueur alcoolique qu'elle contient, puis on fait écouler la moitié du contenu de la deuxième cuve dans la troisième et on fait arriver régulièrement le jus sucré dans ces deux cuves jusqu'à ce qu'elles soient remplies. On laisse refroidir la deuxième cuve et on partage en deux le contenu de la troisième, et on continue ainsi indéfiniment.

La température des cuves en fermentation se maintient entre 22 et 26°, le dégagement de l'acide carbonique est parfaitement régulier.

On trouve au fond de chaque cuve, quand on la vide, un dépôt boueux, riche en principes azotés, que l'on verse dans la chaudière de l'alambic, et dont les éléments se retrouvent, par conséquent, dans les vinasses qui servent à la macération et par suite dans la pulpe elle-même qui doit servir d'aliment au bétail.

On abat la mousse qui s'élève quelquefois sur les cuves avec trop d'abondance en agitant avec un balai un peu de dégras à la surface; si la fermentation n'est pas régulière, on ajoute un peu d'acide sulfurique.

Distillation. — Le liquide vineux, contenant 3 à 5 pour 100 d'alcool, que renferme chaque cuve fermentée, est élevé, à l'aide d'une pompe, dans le réservoir de l'appareil de distillation. Cette dernière opération ne présente aucune particularité; on trouvera tous les renseignements relatifs à sa conduite et aux appareils nécessaires à l'article ALAMBIC. On remarquera seulement que l'on peut employer des appareils de distillation chauffés directement ou par la vapeur d'une chaudière spéciale, servant en même temps à l'alimentation de la machine motrice. Cette dernière disposition est généralement adoptée dans les établissements importants. Dans les petites distilleries de ferme, dont le moteur est un manége ou une locomobile, on adopte plus habituellement la première disposition.

On peut organiser le travail d'une distillerie d'une manière continue, en ayant deux postes d'ouvriers, ou en travaillant le jour seulement. Dans tous les cas, les dimensions de l'alambic règlent celles des cuves de fermentation, et celles-ci le volume des cuviers de macération. Avec le matériel de l'usine représenté par les figures 3482 et 3483 on peut traiter 10,000 à 12,000 kilog. de betteraves par vingt-quatre heures de travail.

Les renseignements qui précèdent suffiraient à la rigueur pour établir le compte de la fabrication de l'alcool de betterave dans une ferme. Cependant, pour fixer les idées, nous reproduisons dans le tableau ci-après le compte de la distillerie de Trappes, publié d'une manière si complète par M. Dailly, dans son remarquable rapport à la Société centrale d'agriculture sur les distilleries de betteraves.

L'alcool a été fabriqué et vendu à l'état de flegmes marquant, en moyenne, 48°,50. Les dépenses de main-d'œuvre, pour chaque opération, étaient les suivantes :

Transport des betteraves des silos au laveur, 1 ouvrier à 1 fr. 50 c.	1 fr.	50 c.
Lavage, 1 enfant, à 1 fr. 25 c.	1	25
Découpage et aide au macérateur, 1 ouvr.	2	»
Macérations et soins aux fermentations, 1 ouvr. à 2 fr. 50 c.	2	50
Distillation, 1 ouvrier à 3 fr..	3	»
Nettoyages et travaux divers	0	57
Total pour 3,840 kil. de betteraves.	10 fr.	82 c.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉPENSES DE LA DISTILLERIE DE TRAPPES. — EXERCICE 1854-1855. Traitement de 484,600 kil. de betteraves ayant donné lieu à 126 opérations.	TOTAL.	Par opération.	Par 1,000 kil. de betteraves
	fr.		
Achat de betteraves { Total . . . . . 484,600 k. / Par opération. 3,846 k. } à 24 fr. les 1,000 k.	11,630 40	92 30	24 »
Mise en silos	260 »	2 06	0 53
Main-d'œuvre : pour transport des silos au laveur, lavage, découpage, macération, fermentation, distillation, nettoyages	1,364 15	10 82	2 82
Combustible { Distillation { Total . . . . . 18,200k, » / Par opération . . . 144k, » } Macération { Par 1,000 k. better. 37k,55 } à 40 fr. les 1,000 kil.	728	5 77	1 50
Acide sulfurique { Total . . . . . 620k, » / Par opération. . . . 4k,92 / Par 1,000 k. better. 1k,21 } à 20 fr. les 100 kil.	124 »	0 98	0 25
Savon noir, 132 kil. à 0 fr. 70 c. l'un	92 40	0 73	0 19
Levûre, 30 kil. à 1 fr. 20 c. l'un	36 »	0 28	0 07
Fûts pour transport des flegmes	226 »	1 79	0 47
Force motrice	422 »	3 34	0 87
Machines, usure	313 60	2 48	0 64
Bâtiments	50 50	0 40	0 10
Transport des flegmes	116 80	0 92	0 24
Éclairage	180 »	1 42	0 37
Direction	290 »	2 30	0 60
Loyer	125 »	0 99	0 25
Assurance	64 »	0 51	0 13
Patente et impôts directs	100 »	0 79	0 20
Impôts indirects	8 60	0 07	0 01
Frais généraux	80 80	0 64	0 16
Contributions à dépenses ferme	200 »	1 58	0 41
Amende pour un manquant de 58 litres d'alcool	58 10	0 46	0 12
Total	16,470 35	130 63	33 93
Amortissement et bénéfices	6,585 90	52 35	13 63
Total général	23,056 25	182 98	47 56
Le produit a été :			
Alcool absolu { Total . . . . . 17,911l,97 / Par opération . . . . 142l,45 / Par 1,000 k. de better. 36l,90 } à 105f,02 l'hectol.	18,811 85	149 30	38 81
Pulpes { Total . . . . . 353,700k, » / Par opération . . . . 2,807k, » / Par 1,000 k. de better. 729k,80 } à 12 fr. les 1,000 kil.	4,244 40	33 68	8 75
Total général	23,056 25	82 98	47 56

La distillerie de M. Dailly a coûté d'établissement :

Appropriation des bâtiments	1,886 50
Fourniture et pose de l'appareil (n° 2)	11,145 80
Brevet de M. Champonnois	3,000 00
	16,032 30

Les perfectionnements apportés aux procédés, depuis l'époque où ce compte a été dressé, ont permis de réduire la main-d'œuvre et les frais de combustible d'une manière sensible, comme on peut en juger par le compte suivant de la distillerie de la ferme de Villacoublay, récemment publié par M. Rabourdin, dont tous les agriculteurs connaissent la belle exploitation.

Le matériel de la distillerie de Villacoublay est le même que celui de l'usine représentée par les figures 3182 et 3483, seulement la locomobile est remplacée par un manége. Pendant la campagne 1858-1859, qui vient de finir, on traitait par 24 heures 10,800 kil. de betteraves. Les cuviers macérateurs, au nombre de quatre, peuvent contenir chacun 900 kilog. de cossettes. Il faut environ une heure pour vider la pulpe d'un macérateur et le remplir de cossettes fraîches, de sorte que chaque macération dure de 6 à 7 heures et que l'on doit remplir un nouveau cuvier de 2 heures en 2 heures.

Les dépenses réunies des 12 heures de travail de jour et des 12 heures de travail de nuit se partagent de la manière suivante :

1 contre-maître distillateur	5f00
1 distillateur en second	3,00
4 ouvriers à 2 f. 50 c. et 2 à 2 fr.	14,00
4 chevaux pour le manége	12,00
400 kilog. de charbon	16,00
24 litr. d'acide sulfurique	8,40
Levûre	0,60
Éclairage et graissage	3,00
Amortissement, intérêt et entretien	32,00
Total	94,00

Le produit a été de

594 litr. d'alcool à 46 fr. 95 c. l'hectolit., déduction faite des frais de futailles et de transport à l'usine de rectification, ci	278f88
7,775 k. de pulpe à 10 fr. les 1000 k.	77,75
Total	356,63
Déduisant les frais	94,00
Il reste	262,63

Ce qui porte le prix de vente de la betterave à la distillerie à 24 f. 30 les 1,000 kilog. environ. Le poids des betteraves récoltées à Villacoublay, en 1858, a été

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de 35,000 kil. par hectare, ce qui donne un revenu brut de 850 fr. 80 c. pour cette surface, et un bénéfice de 181 fr., d'après le calcul de M. Rabourdin. Le produit, en 1857, avait été de 40,000 kil. de betteraves par hectare, mais on n'en avait retiré que 4 litres d'alcool pour 100 kilog. de betteraves au lieu de 5l,5 obtenus en 1858-1859. Aussi le résultat financier avait-il été moins avantageux.

On peut, par ces exemples, en tenant compte du prix de revient de la betterave, du prix de l'alcool et de la valeur de la pulpe, calculer à l'avance les chances de succès d'une distillerie. Les pulpes figurent pour une somme considérable dans le produit de la fabrication. Leur valeur s'accroît beaucoup quand les fourrages sont chers, et l'on voit alors, comme cela a lieu en ce moment, les distilleries établies dans les fermes continuer à travailler avec bénéfices, malgré le bas prix des alcools, tandis que les distilleries industrielles, achetant les betteraves et n'utilisant pas elles-mêmes les pulpes, ne pourraient réaliser que des pertes. La distillation de la betterave est donc une industrie véritablement agricole, et c'est à ce point de vue qu'elle est appelée à rendre de très-grands services.

La valeur de la pulpe, comme aliment pour le bétail, a été l'objet d'assez longues discussions. On reconnaît aujourd'hui que mélangée avec des menues pailles, de la paille hachée, des siliques ou même des tiges de colza coupées, elle forme une excellente nourriture que les animaux recherchent avec empressement et dont ils se trouvent fort bien. On fait le mélange de la pulpe et des matières sèches qu'on lui ajoute à la sortie des cuviers de macération, et on le laisse en tas pendant un ou deux jours. L'humidité de la pulpe imprègne les pailles, une légère fermentation s'établit dans la masse dont la température s'élève à 30 ou 40°.

On ne saurait entrer ici dans de longs détails sur l'emploi de la pulpe comme aliment. On dira seulement que l'expérience a appris que la pulpe du procédé Champonnois possède, à égalité de poids, à peu près la même puissance nutritive que la betterave d'où elle provient, mais que cette matière, en partie cuite par la macération, légèrement fermentée et donnée tiède au bétail, paraît lui être beaucoup plus favorable que la betterave à l'état naturel.

L'analyse d'un mélange de pulpe, de siliques et de paille de colza employé, à Villacoublay, par M. Rabourdin, m'a donné :

Eau	85,60
Matière organique, non compris l'azote.	11,50
Azote	0,33
Cendres	2,57
	100,00

D'après cette composition, 348 kilog. de ce mélange équivaudraient à 100 kilog. de foin normal dosant 1,15 kilog. d'azote, résultat que la pratique confirme d'une manière complète. Plusieurs essais analogues me portent à penser que la valeur, comme aliment, de mélanges de pulpes et de fourrages secs, peut s'obtenir, avec assez d'exactitude, par la détermination de leur richesse en azote.

Le procédé que l'on vient d'indiquer n'est pas le seul employé à la fabrication de l'alcool de betterave. Quelques mots suffiront pour indiquer le principe de deux autres méthodes d'un emploi moins général que la première, mais cependant dignes d'intérêt.

Lorsque le prix des alcools s'éleva si brusquement il y a quelques années, les fabricants de sucre de betterave durent songer à abandonner la fabrication du sucre pour celle de l'alcool. Pour eux, le problème à résoudre était d'effectuer la transformation de leurs usines aux moindres frais possibles. M. Dubrunfaut s'occupa spécialement de cette question et la résolut d'une manière fort satisfaisante. Dans les distilleries où l'on opère par ce procédé, la betterave est râpée et pressée comme s'il s'agissait de faire du sucre; mais le jus obtenu, au lieu d'être défléqué, filtré, etc., est conduit directement, après une addition convenable d'acide sulfurique, dans de grandes cuves où s'opère la fermentation. Le vin obtenu est ensuite distillé par les procédés ordinaires. Une dépense de 25 à 30,000 francs suffit pour transformer en distillerie une sucrerie pouvant traiter 80 à 100,000 kilog. de betteraves par jour.

La pulpe obtenue dans ces conditions est beaucoup moins bonne pour le bétail que les cossettes du procédé Champonnois, puisqu'elle se trouve dépouillée de la plus grande partie des sels et des matières solubles que le jus entraîne et qui restent dans les vinasses.

Un dernier procédé fort ingénieux pour l'extraction de l'alcool de betterave est dû à un fabricant bien connu, M. Leplay. Il consiste à couper les betteraves en cossettes, comme dans le procédé Champonnois, à les arroser de 3 à 4 pour 1,000 d'acide sulfurique et à plonger les cossettes elles-mêmes, renfermées dans une enveloppe convenable, dans une cuve en fermentation. La fermentation se propage dans toute la masse, et le sucre se transforme en alcool dans l'intérieur même des cellules de la betterave. Quand cette transformation est opérée, on retire les cossettes de la cuve et on les remplace par des cossettes fraîches qui éprouvent les mêmes phénomènes de fermentation, de sorte qu'un même pied de cuve fait fermenter un volume pour ainsi dire indéfini de cossettes.

Pour extraire l'alcool renfermé dans les cossettes après la fermentation, M. Leplay emploie un appareil très-simple, également de son invention. C'est un cylindre vertical assez élevé, partagé par des diaphragmes percés de trous sur lesquels on dispose les cossettes. En chauffant cette colonne de cossettes par de la vapeur introduite dans la partie inférieure de l'appareil, on sépare l'alcool, comme on le fait dans les colonnes ordinaires des appareils de rectification.

Plusieurs autres procédés beaucoup moins avantageux que les précédents ont été proposés pour l'extraction de l'alcool de betterave. Il est inutile de les mentionner ici, puisque la pratique ne les a point acceptés. Mais il convient de signaler quelques plantes propres à la fabrication de l'alcool et employées à cet usage dans ces dernières années.

Le topinambour se prête avec avantage à la fabrication de l'alcool. On opère comme pour la betterave ou la pomme de terre.

La racine d'asphodèle peut servir à faire de très-bon alcool, mais c'est une industrie nécessairement très-bornée. Cette plante croît lentement et ne mérite pas les soins de la culture. On l'arrache dans les terres incultes où on la rencontre, mais les frais de transport ne permettraient pas de la réunir à bas prix et en grande quantité sur un point déterminé. Quoi qu'il en soit, voici comment on opère dans les fabriques qui se sont organisées sur quelques points de l'Algérie. La racine débarrassée de la terre est écrasée par son passage entre des cylindres cannelés en fonte. La pulpe est soumise à l'action de presses à vis pour en extraire le jus. Celui-ci, abandonné à lui-même dans de grandes cuves en bois, à la température de 25 à 30°, entre en fermentation et donne un jus d'où on extrait l'alcool avec un appareil ordinaire de distillation. La racine donne de 50 à 70 pour 100 de jus, suivant son état de dessiccation. Ce jus fournit de 5 à 9 pour 100 d'alcool à 90°, ou une quantité correspondante de flegmes.

La fabrication de l'alcool de sorgho est extrêmement facile. Il suffit d'écraser la canne entre deux cylindres pour en extraire le jus. Celui-ci, soumis à la fermentation, donne un vin dont la distillation extrait immédia-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tement un alcool de très-bonne qualité et d'un goût fort agréable.

On peut extraire de 3 litr. à 4 litr. 5 d'alcool de 100 kil. de canne du sorgho à sucre. Ce qui répondrait à peu près à un produit de 12 à 15 hectol. d'alcool par hectare. Cette fabrication a pris quelque développement dans ces dernières années, mais il est probable que longtemps encore il sera plus avantageux de recueillir le sorgho comme fourrage vert que pour la production de l'alcool. HERVÉ MANGON.

DISTILLATION SÈCHE. *Action de la chaleur sur les substances qui se décomposent par la chaleur.* — Les corps qui se décomposent par la chaleur, de manière à dégager des produits volatils, des gaz ou des vapeurs, sont traités par des procédés analogues à ceux de la distillation des liquides dont nous avons parlé. La différence importante est que la décomposition qui précède la distillation exige une température en général bien plus élevée ; la distillation de la houille pour la production du gaz d'éclairage est le type de ce genre d'opérations. La carbonisation du bois est une distillation dans laquelle on sacrifie en général tous les produits condensables, mais il est palpable que cette fabrication, admissible lorsqu'elle s'effectue au milieu des forêts privées de routes, pour réduire à un poids minime la majeure partie de la valeur du bois comme combustible, est brutale et destructive de valeurs dans d'autres conditions. C'est ainsi que la carbonisation en vases clos permet de produire abondamment l'acide acétique, par la condensation des produits de la distillation.

Jusque dans ces dernières années toutefois, la distillation sèche était effectuée sous l'influence d'un principe vicieux, c'était le chauffage à feu nu qui, par l'effet de la température très-élevée des parties voisines de la flamme, entraîne nécessairement la décomposition des corps en leurs derniers éléments. On sait, en effet, que les produits pyrogénés, qui prennent naissance sous l'influence du feu, se rapprochent de plus en plus par l'action de la chaleur de la composition chimique la plus simple et la plus stable. C'est ainsi que des substances végétales donneraient surtout de l'acide carbonique, de l'hydrogène carboné et des goudrons ; ce n'est que des parties moins chauffées que pourra se dégager de l'acide acétique, des traces d'esprit de bois et d'alcool. Cette méthode est donc tout au plus convenable lorsqu'il s'agit, comme pour l'éclairage au gaz, d'obtenir des gaz simples. Dans tous les autres cas, elle est évidemment tout à fait insuffisante, et c'est une idée juste et féconde que celle qui a dirigé plusieurs inventeurs à la recherche des moyens propres à éviter cet inconvénient, ces destructions de substances utiles, ces mélanges d'une séparation et d'une rectification difficile.

Ces procédés ne sont que des moyens différents d'obtenir une température constante. Il est bien évident que si cette température est inférieure à celle où la décomposition de la substance qu'il importe d'obtenir a lieu, on en recueillera le maximum possible et on évitera, autant qu'il est possible, la production de substances nuisibles.

Le premier procédé est celui de la vapeur surchauffée dont nous parlons à l'article VAPEUR. M. Violette l'a appliqué à la carbonisation du bois pour les poudreries, à la température de 300°, convenable pour produire régulièrement le charbon le plus convenable pour les poudres superfines.

La vapeur est fournie par un générateur ordinaire, elle passe dans un serpentin contourné en hélice pour y prendre la température voulue. Elle enveloppe un cylindre horizontal qui renferme le bois, pénètre dans ce cylindre, échauffe le bois, opère la carbonisation complète et sort enfin du cylindre chargée des produits de la distillation.

M. Violette a opéré la cuisson du pain et du biscuit de mer, à l'aide d'un courant de vapeur d'eau chauffée à 200°.

Pour la distillation des schistes, la préparation de l'HUILE DE SCHISTE, on a employé avec avantage la vapeur d'eau surchauffée qui évite la formation de goudrons, d'essences lourdes d'une rectification très-difficile.

Le second procédé, dû à un des ingénieurs de notre temps qui connaissent le mieux les ressources de la chimie industrielle, M. Knab, repose sur l'emploi du bain de plomb (pur ou allié d'antimoine) pour obtenir une température constante de 350 à 400°. En employant l'étain, l'échelle des températures disponibles varierait de 230 à 400°. Si ce bain est d'une longueur suffisante et que la chaleur ne soit appliquée qu'à une partie, il sera facile de gouverner le feu de telle sorte que quelques parties de métal solide subsistent toujours à une extrémité, et que par suite la température du bain corresponde toujours au point de fusion de l'alliage.

Cette ingénieuse disposition a déjà reçu d'utiles applications. Nous citerons celle faite à la distillation des acides gras pour bougies en évitant les décompositions ; au goudron de la houille pour en extraire les huiles légères qui se dégagent à 400°, ce qui s'obtient en faisant couler le goudron dans l'intérieur d'une cloche placée sur le bain de plomb, cloche qui laisse dégager les vapeurs par un tube placé à la partie supérieure.

Enfin, une très-belle application a été faite à la préparation du gaz d'éclairage avec du charbon très-riche tel que le boghed d'Écosse ; on produit ainsi un gaz d'un éclat magnifique n'étant pas mélangé comme le gaz d'éclairage ordinaire, des gaz non éclairants produits à une température élevée, provenant de la décomposition de carbures très-fixes par une distillation très-prolongée à haute température.

La distillation du bois a produit de très-beaux résultats. Des quantités considérables d'alcool, d'esprit de bois ont été recueillies par ce système, qui se prête évidemment mieux que tout autre au traitement des matières végétales toujours décomposées, carbonisées vers 300°.

DISTILLATION SANS FEU. D'après les principes nouvellement admis dans la science et fréquemment rappelés dans cet ouvrage, où nous avons tenté pour la première fois de les formuler d'une manière complète et d'en montrer les conséquences utiles, de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, on doit toujours pouvoir, en s'y prenant convenablement, obtenir à l'aide de l'un l'effet obtenu habituellement avec l'autre. Ainsi la distillation étant effectuée ordinairement à l'aide de la chaleur doit pouvoir être produite à l'aide d'un travail mécanique. Nous avons déjà vu à l'article ÉVAPORATION, qui n'est évidemment qu'un cas particulier de la distillation, que l'on combinait quelquefois ensemble les deux puissances, le travail mécanique étant employé à chasser de l'air échauffé à travers le liquide à évaporer.

Il est facile de voir que cet air fournit un moyen d'enlever de l'eau à l'état de vapeur, en produisant un refroidissement correspondant qui peut rigoureusement fonctionner sans chaleur additionnelle produite artificiellement. Prenons pour exemple un cas où la chaleur manque toujours, tandis que le travail mécanique abonde, et où la solution du problème proposé peut être une question de vie ou de mort.

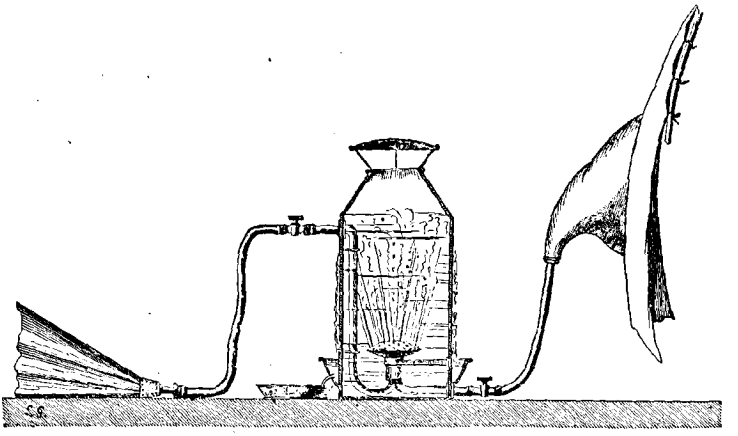
DISTILLATION DE L'EAU DE MER. — L'eau de mer, chargée de chlorures et de sels de tout genre, ne peut servir de boisson, et on ne sait que par de trop nombreux exemples que les équipages privés d'eau douce meurent de soif au milieu de l'Océan. Pour éviter de semblables malheurs, on embarque souvent aujourd'hui, outre des provisions très-suffisantes d'eau douce,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des appareils distillatoires. Ces appareils n'ayant de valeur que si on emporte des provisions de combustible, ne pouvant donner d'eau distillée qu'en proportion du combustible consommé, la diminution de poids qui en résulte, dont il faut déduire le poids de l'appareil, n'est pas très-considérable. Mais ce système a surtout l'inconvénient que le combustible peut manquer aussi bien que l'eau. Il n'en serait pas de même d'un système qui produirait de l'eau douce par travail mécanique. Posons quelques chiffres pour analyser un semblable système.

Supposons qu'à une température de 10°, on chasse à travers de l'eau à l'état de bulles, pour multiplier les surfaces, un mètre cube d'air : saturé, il renfermerait 9k,70 d'eau. Si donc on suppose l'air parfaitement sec, le travail mécanique qui pourra chasser cet air à travers une couche liquide d'épaisseur suffisante pour qu'il se sature parfaitement, entraînera la vaporisation de 9k70 d'eau, ou un refroidissement de $0{,}636 \times 9{,}70 = 6^c{,}19$ calories, ou enfin, si on opère sur 25 kilog. d'eau, $\frac{6}{50} = 0{,}24$ de degré. A la mer, l'air étant toujours chargé d'eau, le refroidissement sera moins rapide que nous ne supposons ci-dessus, la quantité d'eau évaporée sera moindre par mètre cube, mais, par suite, un autre effet viendra se produire, qui permettra de recueillir une quantité d'eau égale à celle enlevée à l'état de vapeur. En effet, le refroidissement fera bientôt atteindre le point de rosée, le point où la vapeur d'eau contenue dans l'air se précipitera en gouttelettes sur les parois du vase métallique, dans lequel se fera l'opération précédemment décrite, et en quantité précisément égale à la chaleur consommée pour la vaporisation de l'eau qui sature l'air.

L'appareil à l'aide duquel on peut réaliser le système que nous venons de décrire, est donc bien facile à combiner, mais ne donnerait que des résultats bien insignifiants. En effet, le kilogramme d'eau renfermant à l'état de vapeur 636 calories, le refroidissement produit par le travail d'un homme employé à chasser de l'air ne correspondrait qu'à 2 kilog. d'eau par jour. Mais si l'on fait intervenir le travail gratuit du vent qui pousse le navire, si l'on prend sur le centre d'une voile le point de départ du conduit de l'air en mouvement qui exerce en général une pression plus que suffisante pour pouvoir traverser une épaisseur de quelques centimètres d'eau, alors des appareils plus grands et fonctionnant gratuitement pourront fournir, la nuit, des quantités suffisantes pour la consommation des équipages très nombreux des navires à voiles du commerce.



3486.

Nous figurons donc en croquis (fig. 3486) la disposition approchée d'un semblable appareil, et nous espérons que quelque constructeur de nos ports fera l'essai d'un semblable système, recommandant d'employer de grandes surfaces métalliques, du côté du vent, inclinées de manière à être toujours en contact avec les bulles d'air qui sortent de l'eau.

La partie mue à main, le soufflet représenté dans la figure doit servir à mettre en train, à atteindre le point de rosée; la manche réunie à la voile par un tuyau de caoutchouc, à entretenir l'opération par l'effet d'une soupape à lèvres en caoutchouc qui termine le tuyau, pour empêcher la rentrée de l'eau, et d'une espèce de pomme d'arrosoir percée de trous très-fins, pour faire sortir l'air à l'état de bulles.

DURETÉ. Le moyen employé en minéralogie pour apprécier la dureté des pierres, en les classant entre celles qu'elles rayent et celles par lesquelles elles sont rayées, est évidemment insuffisant de tout point. Il n'y entre pas l'élément mesure qui peut seul donner une précision, utile, à l'appréciation du caractère de la dureté qui est souvent très-important, notamment lorsqu'il s'agit de la résistance à des frottements répétés, qui est bien plus en raison de la dureté que de la ténacité.

Un premier essai a été fait en Angleterre par MM. Crace-Calvert et Richard Johnson, dans une voie logique où il reste beaucoup à faire.

Ils emploient une pointe d'acier de 7 millim. de longueur, $1^m{,}15$ de largeur au sommet et 5 à la base, et la chargent lentement jusqu'à ce que la pénétration atteigne 3 millim. ou que le corps se rompe. Le nombre de kilogrammes employé est pris pour mesure de la dureté du métal employé. L'enfoncement est évidemment trop grand pour que la ténacité du corps expérimenté ne vienne pas influer beaucoup sur les résultats ainsi obtenus ; c'est plutôt la résistance à la pénétration que la dureté que l'on a ainsi, ce que prouve la similitude des chiffres trouvés pour l'acier et le fer forgé.

Nous reproduirons ici les chiffres déterminés pour les métaux et les alliages; c'est surtout pour ces derniers composés que ce genre de recherches est important.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	Poids employés.	Dureté rapportée à celle de la fonte représentée par 1000.
	Kilog.	
Fonte grise du Strafford-shire (à l'air froid). . .	2176,32	1000
Acier	2085,64	958
Fer forgé	2062,97	948
Platine	816,12	375
Cuivre.	655,16	301
Alumine.	589,42	271
Argent	453,40	208
Zinc.	398,99	183
Or.	362,72	167
Cadmium	235,77	108
Bismuth.	113,35	52
Étain	58,94	27
Plomb.	34,00	16

ALLIAGES.

Nous ferons suivre, pour les alliages, les duretés trouvées de celles calculées d'après la composition de l'alliage et les duretés des métaux constituant déterminées par la série d'expériences rapportées dans le premier tableau ci-dessus.

ALLIAGES DE ZINC ET DE CUIVRE.

FORMULES des alliages	PROPORTIONS pour 100. Cuivre.	Zinc.	POIDS employés.	DURETÉ obtenue. La fonte = 1000.	DURETÉ calculée. La fonte = 1000.
			kil.	kil.	kil.
Zn Cu^5	82,95	17,05	929,47	427,08	280,83
Zn Cu^4	79,56	20,44	1020,15	468,75	276,82
Zn Cu^3	74,48	25,52	1020,15	468,75	276,82
Zn Cu^2	66,06	33,94	1029,22	472,92	264,04
Zn Cu	49,32	50,68	1313,96	604,17	243,33
Cu Zn^2	32,74	67,26	Rupture à 680 k. Pointe pas entrée.		
Cu Zn	24,64	75,36	Rupture à 680 k. Pointe entrée de 0^m,0005.		
Cu Zn^4	19,57	80,43	Rupture à 906^k,80. Pointe entrée un peu plus.		
Cu Zn^5	16,30	83,70	Rupture à 770^k,80. Pointe entrée de 0^m,002.		

CUIVRES JAUNES DU COMMERCE.

DÉSIGNATION d'alliages du commerce et proportions.			POIDS.	DURETÉ. Celle de la fonte = 1000.
			kil.	
Gros coussinet.	Cuivre.	82,05	1224,18	562
	Étain..	12,82		
	Zinc. .	5,13		
Robinet. . . .	Cuivre.	80,00	1632,24	750
	Étain..	10,00		
	Zinc	10,00		
Laiton.	Cuivre.	64,00	1133,50	520
	Zinc. .	36,00		
Tuyau.	Cuivre.	80,00	748,10	343
	Étain. .	5		
	Zinc. .	7,50		
	Plomb.	7,50		

ALLIAGES DE CUIVRE ET D'ÉTAIN.

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Cuivre.	Étain.	POIDS employés.	DURETÉ obtenue. La fonte = 1000.	DURETÉ calculée. La fonte = 1000.
Cu Sn^5	9,73	90,27	181,36	88,33	54,67
Cu Sn^4	11,86	88,14	208,56	95,81	59,56
Cu Sn^3	15,21	84,75	226,70	104,17	68,75
Cu Sn^2	21,21	78,79	294,90	135,42	84,79
Cu Sn	34,98	65,02	Rupture à 317^k,38. Pointe entrée à moitié.		
Sn Cu^2	48,17	51,83	Rupture à 362^k,72. Pas de pénétration.		
Sn Cu^3	61,79	38,21	Rupture à 362^k,72 en petits morceaux.		
Sn Cu^4	68,27	31,73	Rupture à 589^k,42. Pénétration de moins de 0^m,001.		
Sn Cu^5	72,90	27,10	L'alliage s'est comporté comme le précédent.		
Sn Cu^{10}	84,32	15,68	1994,96	916,66	257,08
Sn Cu^{15}	88,97	11,03	1682,10	772,92	270,83
Sn Cu^{20}	91,49	8,51	1391,93	639,58	277,70
Sn Cu^{28}	93,17	6,83	1310,30	602,08	279,16

ALLIAGES DE ZINC ET D'ÉTAIN.

Les alliages de zinc et d'étain se comportent, dans les expériences faites par les auteurs, comme de simples mélanges, c'est-à-dire que la dureté réelle est la même que leur dureté calculée. Ce résultat paraît extraordinaire après les résultats trouvés par M. Koeklin pour la résistance de l'alliage à parties égales de zinc et d'étain notamment, dont la grande résistance, bien supérieure à la moyenne déduite de celle des métaux composants, n'est pas douteuse. Il est à présumer qu'il faut des conditions de chauffage et de refroidissement particulières pour produire la combinaison ou éviter la séparation des deux métaux, qui n'ont pas été remplies par les expérimentateurs.

ALLIAGES DE PLOMB ET D'ANTIMOINE.

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Plomb.	Antimoine	POIDS employés	OBSERVATIONS.
			kil.	
Pb Sb^3	24,31	75,69		Rupture à 362^k,7. Pénétration 0^m,0025.
Pb Sb^4	28,64	71,36		Rupture à 408 k. Pénétration de 0^m,0027 sous la charge de 362^k,72.
Pb Sb^5	34,86	65,14	396,72	
Pb Sb^2	44,53	55,47		Rupture à 272 k. Pénétration de 0^m,0027 sous la charge de 226^k,70.
Pb Sb	61,61	38,39	226,70	
Sb Pb^2	76,32	23,68	171,55	
Sb Pb^3	82,80	17,20	140,55	
Sb Pb^4	86,52	13,48	136,02	
Sb Pb^5	88,92	11,08	133,75	

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FORMULES des alliages.	PROPORTIONS pour 100. Plomb.	Étain.	POIDS employés.	DURETÉ obtenue.	DURETÉ calculée.
				La dureté de la fonte de fer = 1000.	
			kil.		
Pb Sn^5	26.03	73.97	90.68	41.67	23.96
Pb Sn^4	35.57	69.13	87.60	40.62	23.58
Pb Sn^3	36.99	63.01	72.54	32.33	22.83
Pb Sn^2	46.82	53.18	56.67	26.01	20.09
Pb Sn	63.78	36.22	45.34	20.83	17.77
Sn Pb^2	77.89	22.11	56.67	26.04	18.12
Sn Pb^3	84.09	15.91	61.21	28.12	17.23
Sn Pb^4	87.57	12.43	56.67	26.04	17.08
Sn Pb^5	89.80	10.20	59.87	22.92	16.77

Ces derniers alliages ont assez d'intérêt, étant employés dans des circonstances où l'usure est en raison de la dureté, pour les type d'imprimerie, par exemple, qui s'usent par frottement. Il en a été parlé aux articles FONDERIE EN CARACTÈRES et ALLIAGES, et il y a été dit combien la dureté augmentait avec l'addition d'alliages de métaux durs en minime quantité.

RECHERCHES DE M. HUGUENY. M. Hugueny, professeur de physique au lycée de Strasbourg, a fait postérieurement une série de recherches sur la dureté des corps, en limitant l'enfoncement de la pointe à 0,1 millimètre seulement, quantité déjà grande pour les corps non malléables, la notion de dureté étant souvent confondue avec celle de limite d'élasticité, ou celle du point de rupture du corps étudié.

L'enfoncement doit être limité au point où la limite d'élasticité serait atteinte. On doit mesurer, comme dans les expériences d'élasticité de traction, le rapport de la pression à l'enfoncement et voir comment il varie, en partant du point qui répond à la limite d'élasticité c'est-à-dire du point où un corps anguleux est appliqué sur la surface qu'il déprime avec une force suffisante pour ne plus être ramené à sa position primitive quand la pression vient à cesser.

Les résultats qu'a obtenus M. Hugueny dans son intéressante série de recherches, étendues à un trop petit nombre de corps, diffèrent assez sensiblement de ceux de M. Calvaert, et il est visible que c'est surtout le moindre enfoncement de la pointe pressée par le levier qui en est cause. (Nous rendrons la comparaison facile en multipliant le nombre qu'il a obtenus par 301, nombre qui répond à la dureté du cuivre.)

MÉTAUX.	CALVAERT.	HUGUENY.	
Fonte grise du Straffordshire	1000	2.32	696
Acier	958	2.37	671
Fer forgé	948	1.93	579
Platine	375	1.50	450
Cuivre	301	1	301
Aluminium	271	0.53	159
Argent	208	0.61	183
Zinc	183	0.83	249
Or	167	0.57	171
Cadmium	108	0.21	163
Bismuth	52	0.22	66
Étain	27	0.14	42
Plomb	16	0.095	28

Malgré les efforts des physiciens, on voit par les variations considérables des nombres trouvés par les divers observateurs, que les déterminations relatives à la dureté des corps obtenues jusqu'ici n'ont qu'une médiocre valeur et n'ont pas pris place dans la science sérieuse. C'est qu'en effet telle qu'elle est le plus souvent déterminée, par des procédés différents, la dureté ne constitue pas un caractère complet, pouvant être considéré seul pour définir un corps; elle n'est qu'un des éléments permettant de faire connaître la nature de celui-ci, d'autant plus qu'elle est variable, dans certaines limites, en raison des traitements auxquels un même corps aura été soumis, ou en raison de la place qu'occupait dans le corps la face soumise à l'expérience.

On doit distinguer deux cas principaux se rapportant à deux natures de corps très-différents : les corps élastiques, fibreux ou plastiques et les corps cristallisés.

Si nous prenons le fer pour type du premier genre de corps, il est clair que le martelage, le laminage modifieront la dureté de la surface. Par exemple, cette dernière opération faisant naître des fibres dans la longueur de la pièce, une rayure perpendiculaire aux fibres offrira une autre résistance que si elle était parallèle à celles-ci.

Pour type du second type prenons le diamant; on sait que son arête tranchante constitue le tranchant le plus dur que l'on connaisse, et cependant pour le tailler on détache des faces suivant les plans du clivage par le choc d'un tranchant d'acier, qui refoulerait sûrement sur l'arête. La dureté est donc différente en divers points de ce corps.

Enfin, la trempe de l'acier nous montre une modification très-grande de la dureté d'un même corps; il est vrai que si les éléments du corps ne sont pas modifiés, leur groupement n'est pas nécessairement le même, et, comme nous l'avons dit à l'article TREMPE, c'est par le passage d'un état moléculaire d'une des classes établies ci-dessus en l'autre, de cristallin en non cristallin ou inversement, que s'expliquent les divers effets de la trempe.

DU MODE D'EXPÉRIMENTATION. Si on cherche à entrevoir comment on pourrait arriver à des résultats plus précis, comment une étude patiente pourrait peut-être conduire dans la voie suivie par les expérimentateurs dont nous avons rapporté plus haut les travaux, à des lois générales, nous pensons qu'on ne devrait comparer que les poids répondant à des rayures d'égale mais de très-minime profondeur. Dès que celle-ci devient un peu notable, il y a à tenir compte des effets de refoulement latéraux, complexes et difficiles à évaluer.

Une rayure élémentaire, en quelque sorte, semble répondre à la séparation de deux files de molécules, des petits cristaux élémentaires qui constituent celles-ci.

Sans doute, quelque fine que soit la rayure, elle sera toujours trop grande dès qu'elle sera mesurable par des procédés mécaniques dont la délicatesse est ici insuffisante; toutefois il ne semble pas impossible d'arriver à des moyens d'expérience assez délicats, pour que la loi du phénomène apparaisse, pour qu'on arrive ainsi à la mesure de la dureté des corps, ou mieux encore, à la résistance qu'opposent à la séparation, les éléments des corps, dont il y aurait à établir la relation avec le corps entier.

Ceci fait comprendre la part de vérité que comprend la proposition de M. Bottioni, rapportée à l'article DURETÉ, où l'on a indiqué que la dureté des corps pour les principaux minéraux, est proportionnelle au quotient de la densité par l'équivalent chimique.

La molécule élémentaire est l'équivalent chimique ou un multiple simple de celui-ci; la densité, pour des molécules de même poids, est en rapport avec l'éloignement du point de fusion, le retrait étant d'autant plus grand que cet éloignement est plus considérable. La dureté suit donc une loi de même sens que la grandeur de la densité et inverse de celle de l'équivalent, du nombre de molécules juxtaposées qui entrent dans l'unité de surface.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DYNAMITE. On donne le nom de Dynamite aux mélanges de NITROGLYCÉRINE et d'une matière absorbante quelconque, mélange qui faisant perdre à ce corps explosif l'état de masse liquide, rend seul son emploi pratique. Ce n'est en effet que grâce à cette transformation que les propriétés explosives de la glycérine ont reçu des applications importantes.

Il a déjà été parlé, à l'article GLYCÉRINE, de la nitroglycérine, combinaison d'acide nitrique et de glycérine. On peut la définir: l'éther nitrique de la glycérine, ou mieux encore le trinitrate de glycérine.

Elle constitue une huile incolore, lorsqu'elle provient d'une glycérine bien blanche, plus ou moins colorée suivant la teinte même de la glycérine. Sa densité est de 1,6. Sa saveur est d'abord sucrée, puis légèrement brûlante.

La nitroglycérine a été découverte en 1847, par M. Sobrero, dans le laboratoire de Pelouze, lors des premières expériences sur le fulmi-coton. Mais l'attention du public n'a été appelée sérieusement sur ce produit que depuis les intéressants travaux de M. Nobel, ingénieur des mines suédois.

La nitroglycérine s'obtient par l'action de l'acide nitrique concentré, ou d'un mélange d'acide nitrique à 40° et d'acide sulfurique à 66° sur la glycérine. Elle se forme comme le pyroxyle; la réaction peut être représentée de la manière suivante :

$$\underset{\text{Glycérine.}}{C^6H^8O^6} + 3\,\underset{\text{Acide azotique.}}{Az\,O^5.HO} = \underset{\text{Nitroglycérine.}}{C^6H^5O^3.3\,Az\,O^5} + \underset{\text{Eau.}}{6\,HO}$$

L'acide sulfurique, que l'on mélange avec l'acide nitrique, ne concourt à la réaction qu'en absorbant l'eau devenue libre au fur et à mesure que l'acide nitrique agit sur la glycérine, et empêchant par suite ce dernier acide de s'étendre outre mesure. C'est dans les mêmes conditions que se forme le pyroxyle; toutefois il y a ici quelque chose de plus: c'est que la nitroglycérine étant soluble dans l'acide nitrique concentré et insoluble, au contraire, dans le mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, la présence de l'acide sulfurique tend à la précipiter du mélange où elle se forme.

La nitroglycérine est jaune, liquide, ressemblant à de l'huile d'olives, inodore, d'une saveur douce, aromatique et légèrement piquante. Absorbée par l'estomac ou par une muqueuse quelconque, même par la peau des mains, elle est très-vénéneuse, propriété dont il faut tenir grand compte dans le maniement de cette substance. Ses vapeurs provoquent des maux de tête extrêmement violents. Elle débilite singulièrement le système nerveux.

Sa densité est de 1,06.

Elle est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'éther.

On peut la chauffer jusqu'à 100° sans décomposition aucune; mais, vers 180°, elle détone avec violence. Elle s'enflamme difficilement, et ne brûle qu'au contact des corps en ignition.

Elle cristallise en longues aiguilles blanches, susceptibles de détoner au moindre frottement.

Elle gèle à la température de +8°; c'est dire qu'elle est souvent gelée à la température de nos climats. La nécessité de la dégeler est alors une des conditions fâcheuses de son emploi.

Lorsqu'on répand de la nitroglycérine sur une surface dure, et que l'on frappe avec un marteau, l'explosion est limitée au point où s'est faite la percussion, le reste n'est pas altéré.

La nitroglycérine bien pure paraît à l'abri de toute décomposition spontanée. Si elle est impure et acide, elle se transforme en acide oxalique et glycérine, et peut faire explosion.

Les alcalis caustiques la décomposent en nitrates alcalins et glycérine, et avec les corps réducteurs, la glycérine est remise en liberté.

PRÉPARATION. — La préparation industrielle de la nitroglycérine, d'après M. E. Kopp, les précautions à prendre pour éviter un échauffement dangereux, ont été décrites à l'article GLYCÉRINE.

A la poudrerie de Vonges, où des quantités considérables de nitroglycérine ont été fabriquées par les ingénieurs des poudres et salpêtres pour le compte de l'État, on a employé un procédé de fabrication présentant l'avantage d'une sécurité relative exceptionnelle, dont le principe a été divulgué par l'ouverture d'un paquet cacheté en date du 6 août 1872 qui a été faite à la séance de l'Académie des sciences du 23 août 1876.

Ce procédé consiste essentiellement à préparer d'avance, avec quelques précautions spéciales, les mélanges binaires ci-dessous:

1° Mélange sulfoglycérique.

Glycérine.	100
Acide sulfurique.	320

2° Mélange sulfonitrique.

Acide sulfurique.	280
Acide nitrique.	280

On réunit ensuite ces deux mélanges, ce qui donne finalement:

Glycérine.	100
Acide sulfurique.	600
Acide nitrique.	280

Dans ces conditions il n'y a pas nécessité d'employer les moyens de réfrigération compliqués et souvent inefficaces qu'exigent tous les autres procédés. La nitroglycérine se produit et se sépare de la masse acide en douze heures environ, sans que l'élévation de la température dépasse jamais 15 degrés.

La nitroglycérine est volatile. Lorsqu'elle est renfermée dans des récipients clos, les vapeurs dégagées pressent sur le liquide, et le mettent dans un état de tension tel, que tout choc extérieur est ressenti dans toute la masse et donne lieu à une commotion suffisante pour entraîner une décomposition générale.

C'est par la chûte de bonbonnes que s'expliquent les explosions les plus meurtrières causées par le transport de la nitroglycérine liquide sur des charrettes, lors du chargement de navires, etc. Ce transport, par suite, a été interdit dans plusieurs États.

Cependant la constatation des effets remarquables de dislocation des roches par l'explosion instantanée de la nitroglycérine, qui la rendent précieuse pour le percement des tunnels, pour le travail dans les terrains aquifères notamment, l'eau n'ayant pas d'action sur elle, faisait naturellement souhaiter que l'on trouvât moyen de faire disparaître les dangers inhérents à son emploi.

Un exemple bien connu pouvait faire penser à la voie à suivre pour obtenir la solution de ce problème: les poudres fulminantes, les fulminates d'argent et de mercure qui détonent si facilement par le choc, deviennent tout à fait inoffensives dans l'emploi, depuis qu'on a appris à les disposer par petites quantités au fond des capsules en cuivre.

C'est à M. Nobel que revient l'honneur de s'être posé cet intéressant problème et d'en avoir fourni une solution satisfaisante, lorsque les conditions de bonne exécution sont observées.

Profitant de la nature liquide de la nitroglycérine, il a compris qu'il ferait disparaître les dangers d'explosion, s'il immobilisait en quelque sorte ses molécules, en les répartissant à la surface d'une éponge, d'un corps solide poreux, offrant une surface très-étendue et que ce liquide pourrait mouiller. Le logement des molécules dans les cellules de la substance inerte, empêche la propagation des chocs, lesquels cessent de déterminer, dans la masse, un ébranlement suivi d'explosion.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DYNAMITE.

Les diverses dynamites qui ont été fabriquées peuvent être divisées, d'après la nature même de la substance absorbante, en deux classes distinctes:

1° Dynamites à base inerte;
2° Dynamites à base active.

Dans la première classe, la matière absorbante ne concourt en rien à la déflagration de la dynamite et reste, après cette déflagration, comme résidu plus ou moins modifié. Dans la seconde classe, au contraire, la matière absorbante a, par elle-même, des propriétés explosives, et sa déflagration s'ajoute à celle de la nitroglycérine.

Dynamites à base inerte. — La substance qui a le mieux réussi à M. Nobel, et qui est supérieure à celles par lesquelles on a tenté de la remplacer, est un sable siliceux, dit Kieselguhr, qui se rencontre à Oberlohe, près d'Unterlass, en Hanovre. C'est une silice soluble, farineuse et blanche, composée d'une quantité innombrable d'enveloppes siliceuses infiniment petites, possédant à la fois une très-grande solidité et un énorme pouvoir d'absorption pour les liquides, vu l'étendue des surfaces de contact. On peut, avec cette substance, fabriquer une dynamite renfermant 75 pour 100 de nitroglycérine.

La grande étendue des surfaces est indispensable pour que la nitroglycérine soit complétement incorporée avec les substances solides qu'on mélange avec elle; autrement elle reprend l'état liquide par l'effet des secousses, et les dangers si grands d'explosions terribles reparaissent par suite.

Parmi les diverses substances employées, outre le kieselguhr qui se rencontre en France, dans le Puy-de-Dôme, et auquel les naturalistes français ont donné le nom de Randanite, nous citerons les cendres de boghead blanches et noires qui peuvent absorber jusqu'à 62 pour 100.

Il est facile de se renseigner sur la puissance absorbante d'une substance quelconque pour la nitroglycérine. Il suffit de pulvériser cette matière, d'en mettre un poids déterminé dans une capsule de porcelaine, et d'y incorporer avec une spatule de bois de la nitroglycérine versée goutte à goutte, en s'arrêtant au moment où la matière prend un aspect huileux et où la surface de la capsule se graisse. Au delà de cette limite, une partie de la nitroglycérine exsude, abandonne les matières solides et on se retrouve dans les conditions dangereuses signalées pour la substance explosive à l'état liquide.

On peut faire bien des dynamites à base inerte, qui ne diffèrent dans leurs effets qu'en raison de leur teneur en nitroglycérine. Je citerai, pour exemples, celles fabriquées à la poudrerie de Vonges, sous la direction de M. L. Faucher.

N° 1.	Nitroglycérine.. 75	24	Randanite.
	Absorbant. . . . 25	1	Sous-carbonate de magnésie.
	100		
N° 2.	Nitroglycérine.. 50	48	Silice de Vierzon.
	Absorbant. . . . 50	1,5	Craie de Meudon.
		0,5	Ocre rouge.
	100		
N° 3.	Nitroglycérine.. 30	60	Silice de Launois.
		4	Laitier de haut fourneau.
	Absorbant. . . . 70	1	Carbonate de chaux.
		5	Ocre jaune.
	100		

Dynamites à base active. — Une certaine quantité d'oxygène se trouvant mise en liberté lors de la décomposition de la nitroglycérine, il semble logique d'introduire dans la composition de l'absorbant une certaine quantité de matière combustible, destinée à brûler au moment de la déflagration, de manière que la tension des gaz ainsi produits vienne augmenter l'effet utile de la dynamite. Si on emploie comme absorbant une poudre simple ou composée, cette augmentation peut devenir assez notable.

La difficulté c'est que les poudres qui peuvent servir à la préparation des dynamites ont généralement un faible pouvoir absorbant pour la nitroglycérine, en sorte qu'elles ne peuvent servir à faire des dynamites riches. Le supplément de force explosive qu'elles apportent ne compense généralement pas la diminution de cette même force provenant de la réduction de la teneur en nitroglycérine. Finalement, à l'exception de la dynamite au coton-poudre, les dynamites à base active restent toujours inférieures en force à la dynamite à 75 pour 100 obtenues avec la randanite et ne sont que des poudres spéciales unissant à des degrés divers les avantages et les inconvénients de la nitroglycérine et des autres explosifs qui les composent.

Nous ne citerons que les compositions suivantes :

Le *lithofacteur* a l'apparence d'une pâte gris-noirâtre qui se prend facilement en masse sous l'action d'une faible compression. Il est fabriqué par la maison Krebs, de Cologne, qui fait un mystère de sa composition, mais l'analyse montre qu'elle consiste en un mélange de poudre de mine grossière et de dynamite. Elle donne en effet :

52	parties	de nitroglycérine.
30	—	sable fin.
12	—	charbon de terre.
4	—	azotate de potasse.
2	—	soufre.

Le lithofacteur donne lieu à des effets de détente et de projection que la dynamite à la randanite ne peut produire, mais il est bien loin, par contre, d'égaler ses effets brisants.

La *dualine* a été imaginée par le lieutenant autrichien Dittmar, en prenant pour absorbant de la sciure de bois pyroxylée par l'action de l'acide nitrique. Sa composition est : Sciure de bois (ou coton) 30. — Azotate de potasse 20. — Nitroglycérine 50.

La *dynamite au coton-poudre*, comprenant 75 pour 100 de nitro-glycérine et 25 pour 100 de coton-poudre en pâte est adoptée dans le service du génie autrichien, pour la confection des cartouches-amorces. On la prépare comme il suit:

On prend du coton-poudre à l'état très-divisé, tel qu'il sort d'une pile de papeterie et on le fait sécher à l'air. D'autre part, on fait dissoudre la nitroglycérine dans 40 pour 100 d'éther et on la mélange dans une sébile de bois avec la pâte préalablement humectée de 40 pour 100 d'éther. Pour rendre le mélange aussi intime que possible, on fait passer la pâte à la main à travers un crible et l'on étend le produit sur des châssis de dessication. Cette dynamite a une grande puissance.

Inflammation de la dynamite. — La nitroglycérine, et comme elle, la dynamite peut être enflammée et brûler sans donner lieu à aucune explosion; il faut, pour déterminer celle-ci, la percussion d'une capsule fulminante. MM. Roux et Sarrau sont arrivés sur ce sujet à des résultats très-importants que nous allons résumer.

La dynamite enflammée par la détonation d'une forte capsule fulminante fait explosion, même à l'air libre, et produit, si elle est confinée, un effet brisant tel que 1 de nitroglycérine correspond au moins à 10 de poudre ordinaire. Enflammée par tout autre moyen, sans percussion, ou avec une percussion insuffisante, elle fuse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

simplement à l'air libre. Si elle est confinée, elle peut encore faire explosion, mais dans des conditions autres que dans le premier cas. Au lieu d'une explosion de premier ordre ou détonation, ce n'est plus qu'une explosion de second ordre, dont l'effet est tel que 1 de nitroglycérine correspond à environ 2 de poudre.

Ces résultats ont été obtenus en recherchant les charges de rupture avec lesquelles on produit l'éclatement de bombes d'épreuve en fonte, présentant toujours sensiblement la même résistance.

L'inflammation convenable de la dynamite est donc d'une grande importance et est une opération qui réclame beaucoup de soins. Nous avons vu que la détonation n'est obtenue avec certitude que par celle d'une capsule au fulminate de mercure. Voici comment il faut opérer.

On trouve dans le commerce des capsules pour la dynamite consistant en cylindres en cuivre rouge de longueur variable, qui contiennent des poids variables de fulminate. Les capsules dites à trois charges contiennent environ 3 décigrammes de fulminate; celles de quatre charges contiennent 4 décigrammes, celles à six charges en contiennent 6 décigrammes.

Les capsules à trois charges et même les capsules ordinaires suffisent pour faire partir la dynamite à 75 pour 100, mais pour les usages militaires il convient d'employer les capsules à six charges pour éviter toutes chances de raté. Pour mettre le feu à la capsule, on fait usage de la mèche de sûreté des mineurs, sorte de cordeau en fil tressé dont l'âme est formée par un filet continu de pulvérin.

On fait entrer la mèche dans la capsule jusqu'à ce qu'elle touche le fulminate; on serre ensuite fortement le cuivre sur la mèche avec une pince à mâchoires arrondies, de manière à en faire un tout. On entre la capsule ainsi préparée dans la dynamite, sans l'y plonger complétement. On replie enfin le papier de la cartouche sur la mèche, et l'on fait une bonne ligature avec de la ficelle.

Lorsque la détonation doit être produite à une distance notable ou à un moment précis, on fait usage de l'électricité.

Bréguet a construit pour cette application un appareil simple et d'un effet sûr, l'exploseur magnéto-électrique, dit coup de poing Bréguet.

Cet appareil est fondé sur la production de courants d'induction par des aimants. Il se compose d'un aimant fixé sur une tablette en bois, sur laquelle sont fixés deux cylindres de fer doux traversant deux bobines de fil de cuivre isolé. Contre ces cylindres vient s'appuyer une armature assemblée à angle droit avec une poignée, armature mobile autour d'un axe horizontal parallèle aux extrémités de l'aimant. Si on frappe sur la poignée de façon à séparer l'armature des cylindres, les pôles de l'aimant se rapprochent de l'extrémité desdits cylindres en donnant lieu à un courant qui peut être transmis au loin pour produire une étincelle en un point donné, à l'extrémité des fils conducteurs.

Pour utiliser cette étincelle, il faut employer des amorces très-inflammables, analogues à celles d'Abel, qui paraissent composées ainsi qu'il suit :

14	parties	sous-posphure de cuivre.
21	—	chlorate de potasse.
60	—	sous-sulfure de cuivre.
5	—	phosphore amorphe.

On fixe dans la capsule au fulminate, à la place de la mèche de sûreté, une amorce Abel au moyen d'un peu de cire ou de gutta-percha ramollie. On réunit à cette amorce un fil isolé communiquant avec l'appareil Bréguet. Le courant produit par cet appareil fait partir l'amorce Abel, puis l'amorce au fulminate, puis finalement la dynamite.

Revenons sur la question d'inflammation des pyroxyles qui, au point de vue théorique, offre beaucoup d'intérêt.

Les matières explosives doivent être considérées comme renfermant une quantité de travail moléculaire accumulé, ou ce qui est la même chose, de chaleur, pouvant être dégagée ou restituée dans un temps très-court, sous une influence perturbatrice, par l'effet d'une excitation initiale d'une intensité suffisante.

Or, la nature de cette excitation initiale n'est pas indifférente. Ainsi l'explosion du fulminate de mercure détermine facilement l'explosion du coton-poudre, tandis que le chlorure d'azote ou la nitroglycérine à des doses plus fortes, ne peuvent le faire partir. M. Abel, qui a étudié cette question avec soin, a été conduit à prononcer le mot de vibrations synchrones et à admettre que certaines explosions engendrent des vibrations assez puissantes pour troubler l'équilibre chimique de certains corps, en déterminent instantanément la désagrégation moléculaire, tandis que d'autres explosions, tout en développant, en un temps différent, un travail mécanique au moins égal, et même supérieur, ne produisent aucun résultat.

MM. Champion et Pellet ont fait cette curieuse expérience. Ayant placé de l'iodure d'azote sur les cordes d'une contre-basse, l'y maintenant avec un fragment de baudruche, et faisant vibrer les cordes successivement, ils ont observé les faits suivants: les cordes basses n'ont aucune influence sur l'iodure d'azote, tandis que la corde la plus élevée le fait immédiatement détoner. Par tâtonnement, on arrive même à reconnaître que la limite inférieure du nombre de vibrations pour faire détoner l'iodure est de 60.

Puissance de la nitroglycérine. — Nous avons dit à l'article AIR CHAUD, en parlant des machines à poudre à canon, de l'artillerie, que c'était dans la mesure des quantités de chaleur dégagées qu'on trouvait l'indication du travail théorique. M. Berthelot a pensé compléter cette idée en adoptant, au moins pour mesure de comparaison de la puissance des divers corps explosifs, le produit de la chaleur dégagée par kilogramme et du volume des gaz produits par l'explosion. Il parvient ainsi aux résultats renfermés dans le tableau suivant :

NATURE de la substance explosive.	QUANTITÉ de chaleur dégagée par kil.	VOLUME des gaz formés.	PRODUIT de ces deux nombres.
	cal.	m.c.	
Poudre de chasse.	641,000	0.216	139,000
Poudre de guerre.	608,000	0,225	137,000
Poudre de mine..	510,000	0,173	88,000
Nitroglycérine....	1,320,000	0,710	939,000
Coton-poudre....	590,000	0,801	472,000

Inutile de faire observer que ce classement des substances explosives n'a aucun rapport avec la valeur de ces substances au point de vue de leur emploi, dans les armes à feu notamment ; qu'il y a alors à tenir compte de la durée des explosions, l'instantanéité correspondant à des facultés brisantes, qui rendent leur emploi impossible dans ces armes qu'elles détruisent.

Dans le cas du percement des roches dures, lorsque la dislocation paraît, au contraire, en rapport avec cette instantanéité, la nitro-glycérine paraît devoir être classée au premier rang.

Dans les applications où l'on se propose surtout de produire des ruptures, la nitroglycérine donnera donc, à poids égal, plus de sept fois autant d'effet brisant que la poudre de guerre.

Mais, comme les substances explosives sont, dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plupart des cas de la pratique, confinées dans un espace justement égal à leur volume, la comparaison de leur action à volume égal a plus d'intérêt encore que la comparaison de leurs effets à égalité de poids.

Or la poudre de guerre a une densité d'environ 0k,9, tandis que le poids d'un litre de nitroglycérine est de 1k,6. Les chaleurs d'explosion sont donc dans le rapport de $\frac{1321 \times 1,6}{641 \times 0,9} = \frac{2113,6}{576,9}$ à volume égal.

C'est, à peu de chose près, le rapport de 4 à 1, tandis qu'il est seulement de 2 à 1 pour un même poids. L'effet à volume égal est donc bien plus grand qu'à poids égal.

Usages de la dynamite à la guerre. — M. Barbe a résumé ainsi qu'il suit la question des applications militaires dans un mémoire spécial, dont nous reproduisons ci-dessous un extrait:

« Pour ouvrir une brèche dans un mur de clôture, il suffit de déposer au pied de ce mur, sur le sol, de 3 à 5 kilogrammes de dynamite par mètre courant. La poudre peut être contenue dans des tuyaux en métal, ou dans des boudins en toile préparés à l'avance; la charge peut être composée de cartouches simplement déposées à terre. L'explosion est produite par une capsule et une mèche de mine; il est plus prudent de placer deux amorces au lieu d'une. On peut rester à une vingtaine de mètres du mur du côté de la charge. L'explosion abat le mur sur toute sa hauteur, et sur une longueur plus grande que celle de la traînée de poudre. La masse des matériaux reste sur place, mais il y a des projections qui blessent les défenseurs jusqu'à une quinzaine de mètres en avant.

« Lorsqu'on est paré, il suffit de trois minutes après le signal donné pour ouvrir un large passage à une colonne à travers une muraille de solidité ordinaire. Si le mur n'est pas défendu, ou si l'on opère la nuit par surprise, il n'y a aucune difficulté. Si le mur est défendu par des tirailleurs tirant par-dessus la crête, par des créneaux ou par des redans, il faut des hommes audacieux pour porter à sa place la charge de dynamite.

« On peut, d'un seul coup et en peu de temps, abattre un mur sur des centaines de mètres de longueur, non plus pour y pratiquer une brèche, mais pour le démolir entièrement, soit qu'il s'agisse de favoriser l'action de l'artillerie, soit qu'en abandonnant la position on veuille retirer à l'ennemi l'avantage défensif de ce mur. Dans la prise d'un village ou dans la guerre des rues, pour s'emparer d'une barricade ou pour ouvrir des communications d'une maison à la maison voisine à l'aide de la dynamite, on emploiera le même procédé; ou, si le mur est mince et qu'on veuille ouvrir une simple porte, on suspendra à deux clous plantés à 1m,50 de hauteur et écartés de 1 mètre environ une guirlande de cartouches ficelées l'une au bout de l'autre: on ouvre ainsi une ouverture facile à agrandir avec quelques coups de pic, et le dégât est réduit au minimum, ainsi que les inconvénients du coup de mine pour les assaillants.

« Les mêmes moyens sont commodes pour démasquer une batterie établie à l'abri d'un mur ou d'un ouvrage de maçonnerie: au moment d'ouvrir le feu, on abat l'obstacle juste à la hauteur voulue pour conserver un parapet.

« Pour détruire un pont, s'il s'agit d'une opération prévue et préparée de longue date, on fera des chambres dans les piles et les culées; elles seront beaucoup moins volumineuses que celles qu'exige l'emploi de la poudre, de sorte que l'ouvrage ne s'en trouvera pas détérioré s'il ne devient pas nécessaire de le démolir. Si le temps manque, il suffit de mettre à nu une partie du ciel des voûtes, ou au milieu des arcs, et d'y déposer une charge proportionnée de dynamite, soit en une caisse, soit en un monceau. On mettra le feu par une mèche ou par l'électricité.

« On peut de même obstruer un tunnel en appliquant contre la maçonnerie une forte charge de dynamite; et ces divers moyens de destruction des chemins de fer sont tellement sûrs, que nous ne craignons pas d'affirmer qu'avec leur aide il sera toujours possible de ne livrer à l'ennemi, en cas de retraite, qu'un chemin de fer hors de service, ou même, s'il s'en est emparé, de lui en rendre l'usage très-dangereux ou impossible.

« On brise la glace qui recouvre une rivière ou un fossé de fortification, en faisant d'abord un trou dans la couche à l'aide d'un premier pétard de dynamite simplement posé à la surface, puis en introduisant par cette ouverture une charge plus forte qui, en détonant sous l'eau soulève la glace sur une grande surface.

« Pour abattre un grand arbre, il suffit de l'entourer d'un saucisson en toile rempli de dynamite, et de donner le feu par une courte mèche: l'arbre oscille et tombe sans qu'on ait besoin de s'éloigner de plus d'une vingtaine de mètres.

« On est quelquefois obligé d'ouvrir des tranchées dans la terre durcie par la gelée. On a pensé à utiliser la dynamite pour hâter le travail. Il faut faire des trous avec une barre à mine ou une tarière, et déposer deux ou trois cartouches à 40 ou 50 centimètres de profondeur.

Ce procédé paraît devoir être appliqué dans l'agriculture pour défoncer profondément un terrain inculte, pour préparer par exemple la plantation d'un verger. Une série de cartouches déposées dans des trous foncés par une barre, reçoivent des cartouches réunies à un fil. L'explosion ameublit la terre profondément sans produire de projection.

Voici encore les conclusions que M. Fritsch a tirées d'un nombre considérable d'expériences et de faits de guerre dont il a pu se procurer les comptes rendus:

« Les propriétés caractéristiques de la dynamite consistent surtout dans sa force explosive, plus grande que celle de la poudre et dans la faculté qu'elle possède d'agir indépendamment de tout bourrage. C'est à la première de ces propriétés que l'industrie fait surtout appel, car elle a généralement toutes les facilités désirables pour préparer ses explosions. Dans les ruptures militaires, non-seulement on tirera parti de l'intensité de cette force explosive en diminuant le poids des charges, mais on profitera surtout de l'économie de temps qui résulte de la possibilité de supprimer le travail de bourrage et même celui de forage. Il est inutile d'insister sur l'avantage que cette économie de travail et de temps procure à la guerre, qu'il s'agisse de rompre un mur pour ouvrir le passage à une colonne ou de détruire très-rapidement du matériel d'artillerie. Il n'est pas moins avantageux de pouvoir produire les mêmes effets avec des charges de poids moindres: car si l'on conserve le même poids au matériel emmené, on porte avec soi une quantité de force plus grande, et une compagnie du génie d'avant ou d'arrière-garde peut avoir avec elle les moyens de rompre de grands ouvrages d'art en très-peu de temps et presque sans travail. Un escadron de cavalerie envoyé en reconnaissance, ou des éclaireurs faisant une pointe, peuvent porter dans leur giberne tout ce qu'il faut pour détruire des rails et même un ponceau de chemin de fer, et pour entraver pendant un certain temps les communications de l'ennemi bien loin de la base sur laquelle on opère.

« Ce qu'il importe surtout de ne jamais perdre de vue, c'est qu'en raison de ses propriétés brisantes, la dynamite n'exerce de grands effets que dans le voisinage immédiat du point d'explosion. Il est donc essentiel que la charge soit établie sur toute la ligne de rup-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture que l'on désire obtenir, et essentiel aussi que le contact entre la charge de dynamite et la pièce à rompre soit le plus intime possible. Si l'on s'éloigne, la rupture ne se produit plus, à moins que l'on augmente considérablement la charge.

« Il serait par suite utile de munir le mineur chargé de placer la dynamite de chevilles de bois ou de pointes de fer, de manière qu'il puisse assujettir la charge dans une position convenable avant de donner le feu à l'amorce. Tous ces préparatifs sont difficiles à faire sous le feu de l'ennemi, et le placement des charges est une opération d'autant plus délicate et plus dangereuse, que le choc d'une balle de fusil sur la dynamite peut suffire pour produire son explosion.

« C'est en général le même homme qui place la charge et qui, avec un bout de mèche, allume le cordeau de la fusée d'amorce. Cela fait, il se retire aussitôt à trente pas en arrière et sur le côté : on a constaté, en effet, à peu près dans toutes les expériences, qu'il n'y a jamais de projections sur le côté et même que les débris sont presque toujours projetés en avant de la charge.

« Les colonnes d'assaut ou de travailleurs, ou bien les têtes de colonnes de troupes qui couvrent le travail des mineurs, peuvent être tenues sans danger à quatre-vingts pas de distance de l'explosion. Dans un fossé, on pourrait même réduire cette distance à cinquante pas. »

Travaux dans les mines. — D'après tout ce qu'on sait sur l'emploi de la dynamite, sur les avantages qu'on en retire lorsqu'on la compare à la poudre ordinaire, sur son action dans les travaux publics, les tunnels, les tranchées, et dans les travaux de mines, on est amené à considérer cette substance comme une matière explosive appelée à rendre de grands services à l'industrie et à être un puissant auxiliaire de la poudre actuelle.

Un de ses grands avantages consiste à accélérer le travail sans offrir plus de danger que les poudres dont on s'est servi jusqu'à présent; son emploi tend à contre-balancer et même à diminuer les effets onéreux de l'élévation du prix de main-d'œuvre, et, dans certains travaux aquifères, tels que les fonçements de puits, etc., elle est devenue d'un usage pour ainsi dire indispensable.

A l'aide de ce nouvel agent, dit M. Caillaux, nous pourrons voir les travaux publics se développer plus encore qu'ils ne le sont aujourd'hui, plus rapidement et plus économiquement exécutés

Si le prix de la dynamite n'est pas trop élevé, on pourra prétendre à reprendre un grand nombre des mines métalliques anciennes abandonnées en France depuis des siècles.

Sous l'influence de son action, unie à celle d'autres puissants agents, l'air comprimé notamment, action qui deviendra de plus en plus grande à mesure que son emploi se généralisera, de nouveaux centres industriels pourront être créés dans des lieux déserts aujourd'hui et où régnait jadis une grande activité, et enfin la France, tout en ouvrant ainsi une nouvelle source de travail, puisera dans le sein de son sol tout ou partie des substances métalliques qu'elle achète chaque année sur les marchés étrangers.

Par des expériences nombreuses dans des mines métalliques, par les travaux déjà exécutés sur les roches, nous savons que l'emploi de la dynamite au prix moyen de 4 fr. 50 le kilogramme, comparé à celui de la poudre au prix de 2 fr. 25, donne lieu à une économie de 20, 25, 30 et 40 pour 100, et que, dans tous les cas, si on n'obtient pas une économie immédiate d'argent, on double au moins le travail dans le même temps.

(Voir à l'article PYROXYLE la comparaison du coton-poudre et de la dynamite).

DYNAMOMÈTRE POUR MESURER LA RÉSISTANCE DES FILS ET DES TISSUS. — L'utilité d'appareils pour vérifier les qualités de la fabrication des fils et des tissus, leur résistance à la traction, est bien évidente. La plupart des instruments employés jusqu'ici pour essayer la solidité des tissus, composés essentiellement de moyens de traction et d'un peson à ressort pour mesurer celle-ci, présentent des défauts graves qui en rendent la pratique presque nulle. Les causes suivantes contribuent à fausser leurs indications:

L'aiguille, qui devrait accuser exactement la force nécessaire à la rupture et rester invariable lorsque cette rupture a lieu, prend, au contraire, un mouvement oscillatoire très-prononcé dû à la rapidité avec laquelle le ressort dynanométrique reprend sa position initiale.

La surface du cadran est en général insuffisante; le rapprochement des degrés rend les erreurs faciles. Le mode d'attache des échantillons à expérimenter est si défectueux qu'il devient une cause de rupture.

Enfin la forme même de ces instruments les rend incommodes et susceptible de fréquents dérangements.

(Un petit appareil analogue à celui indiqué à l'article RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX pour essayer des fils, indique les pressions par une colonne de manomètre, et est d'un emploi assez commode.)

L'appareil dynamométrique que représentent les figures 3491 et 3492 est à l'abri de ces reproches; il est d'un service facile et sûr. Le mode d'attache n'a aucune

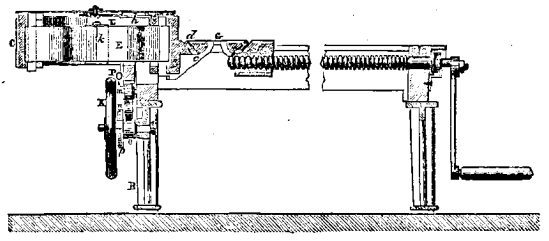


Fig. 3491.

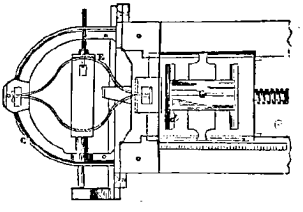


Fig. 3492.

influence sur la rupture; l'échantillon soumis à l'épreuve enveloppe, à chaque extrémité, une petite réglette en métal qui s'engage dans des mortaises obliques, dont l'une est pratiquée dans une pièce fixe reliée au ressort dynamométrique, et l'autre dans une pièce mobile au moyen d'un écrou et d'une vis; l'inclinaison de ces mortaises leur fait jouer le rôle de coins, et la solidité des attaches est proportionnelle à l'effort auquel on soumet l'étoffe. La disposition et le développement du cadran

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont tels que les moindres variations intéressantes à constater peuvent être parfaitement saisies. Quelque brusque et considérable que soit l'action sous laquelle la rupture a lieu, l'aiguille s'arrête instantanément et garantit de cette manière l'exactitude de ses indications.

Ce résultat important, qui distingue la machine de M. Perreaux et qui en fait le mérite fondamental, est obtenu par une disposition des plus ingénieuses que la figure de l'instrument fait comprendre; il repose sur l'emploi d'un volant qui se meut rapidement, poussé par un cliquet, lorsque la rupture se produit, et qui remplit parfaitement le rôle de modérateur.

Enfin, comme l'élasticité des tissus est un des éléments constitutifs de leur valeur, l'inventeur a eu soin de munir l'appareil d'une règle en cuivre graduée, destinée à indiquer l'élasticité proprement dite et l'extensibilité de l'étoffe.

Le dynamomètre de M. Perreaux, exécuté avec soin, a été apprécié par la plupart de nos grandes administrations. On comprend aussi l'utilité que les industriels pourront également en tirer; ils pourront s'assurer que les réductions en usage, c'est-à-dire les rapports entre la quantité de chaîne et de trame, par unité de surface, ne répondent pas toujours aux résultats attendus.

Les étoffes, qui devraient présenter la même résistance et la même élasticité dans tous les sens, se comportent rarement de la même manière dans la direction de la chaîne et dans celle de la trame; tantôt c'est l'influence de l'une, tantôt celle de l'autre qui prédomine dans la même espèce d'étoffe. Ces résultats une fois constatés, il sera facile au fabricant intelligent de modifier, avec une précision mathématique, ses dispositions au tissage, de façon à obtenir une résistance égale dans tous les sens.

E

EAUX (Aménagement des). Le Français qui vit dans les grandes villes, et surtout à Paris, au milieu des travaux de tout genre accumulés par les générations successives, des édifices, des ponts, des machines, des routes, etc., construits à grands frais, se considère, grâce à bien des dépenses faites par les générations successives qui constituent comme la partie matérielle et durable de la civilisation, à une grande distance des nations nouvelles, des peuples qui semblent sortir à peine de l'état sauvage. Mais si on sort des villes, si on parcourt la majeure partie des campagnes, le centre de la France par exemple, le spectacle change complétement, et on ne voit guère ce que les siècles ont fait au profit de ceux qui les habitent de nos jours. Ce n'est que bien rarement (sauf les chemins de fer qui s'achèvent et les routes qui ne sont pas en bon état depuis bien des années), que l'on aperçoit un travail durable, modifiant quelque peu l'œuvre du créateur. Et cependant ce sont les champs qui produisent les richesses les plus considérables dans notre pays, et l'accroissement de leur fertilité est la base du progrès le plus assuré de la nation. Les améliorations faites sur un fonds de terre, dit J.-B. Say, sont les capitaux les plus solidement acquis à une nation. Un négociant peut facilement transporter son capital à l'étranger; mais un défrichement, un desséchement, sont une valeur qui reste.

Les travaux qui sont du ressort de l'initiative des particuliers se sont multipliés à l'infini sur la surface du pays; mais leur effet est nécessairement limité à l'accomplissement d'œuvres peu durables, à ce que chaque propriétaire peut faire dans son champ, sur la parcelle de minime étendue le plus souvent qui lui appartient. Défoncer le sol, creuser des fossés, placer quelquefois des tuyaux de drainage, c'est à peu près à cela que se réduisent ses travaux, en outre de l'apport des fumiers et des travaux annuels propres à la culture de chaque plante. Dans les contrées naturellement fertiles, on obtient ainsi le maximum de produits que le sol doit fournir; quelquefois même, il n'y a qu'à laisser faire la nature pour atteindre ce but. C'est ainsi que quelques prairies, les herbages du bord de la mer, en Normandie, par exemple, fournissent à l'engraissement d'un nombre incroyable de bestiaux. Mais dans la plupart des contrées moins favorisées, les efforts du cultivateur s'épuisent à tirer du sol de maigres récoltes qui valent à peine les frais faits pour les obtenir.

Ces conditions de fertilité naturelle qui appartiennent à certains sols privilégiés sont-elles comme l'air, la chaleur du soleil, des éléments de la création qui échappent au pouvoir de l'homme devant se contenter du lot départi à la localité qu'il habite, ou s'expatrier pour chercher un sol plus favorisé? La réponse à cette question est facile, et on peut dire qu'il dépend presque toujours du travail humain de produire facilement la fertilité, en faisant naître les conditions du maximum de production de richesses, par l'imitation des éléments réunis naturellement dans quelques pays favorisés.

L'élément capital, essentiel, sur lequel peut agir le travail humain, consiste dans l'aménagement des eaux, et même en laissant de côté ici les questions de desséchement des contrées marécageuses, qui s'impose dans des cas particuliers par son évidence même, l'aménagement des eaux destinées aux irrigations. C'est une vérité si évidente qu'il est presque inutile de chercher à la démontrer; il n'est cependant pas inutile d'insister un peu pour faire apprécier l'extrême importance de la question.

L'eau est l'élément nécessaire de la végétation; elle est aussi indispensable que l'air au développement des végétaux; mais tandis que l'état gazeux de ce dernier le fait parvenir constamment en tout lieu, la liquidité de l'eau la fait s'éloigner de la place où la pluie l'a déposée, en suivant les lignes de plus grande pente du sol.

Si l'on étudie les diverses contrées les plus renommées pour leur richesse agricole, on reconnaîtra facilement que leur fertilité paraît proportionnelle à la quantité d'eau qui les arrose, au moins jusqu'à une certaine limite où cette quantité dépasse beaucoup les besoins de la végétation. Il en est tout à fait ainsi pour les pays chauds, où la chaleur du soleil de l'été fait naître le désert partout où l'eau ne vient pas modérer son action, où la présence de l'eau est question de vie. C'est ce que montre le Sahara, avec ses oasis de verdure et de palmiers entourant chaque source et rompant seules la monotonie d'une mer de sable. La fertilité éternelle de l'Égypte, arrosée par les crues du Nil, est le plus frappant exemple du résultat obtenu par une irrigation naturelle. Au reste cet effet est tellement évident que les peuples orientaux, si peu initiés aux recherches scientifiques, ont multiplié cependant les travaux d'irrigation. Outre les norias et appareils analogues employés partout pour la culture maraîchère, des canaux de très-grande étendue ont enrichi, depuis des époques très-reculées, des pays où on comptait peu les rencon-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trer, l'Inde notamment. Mais ce sont surtout les Arabes qui, en Espagne, ont laissé des modèles admirables, et la richesse de la Huerta de Valence est citée avec raison comme un type des résultats de ce genre de travaux. La transformation de terres arides en jardins d'une fertilité incroyable, fournissant des quantités énormes de produits par une succession incessante de récoltes, tel est le but atteint, et on cite, dans le midi de la France, des hectares de terre qui, sans irrigation, seraient à peu près sans valeur, et qui sont affermées au prix de 10,000 francs l'hectare!

Sans atteindre souvent cette limite, on peut reconnaître que les quelques canaux d'irrigation créés dans le Midi ont fait naître les parties du sol de notre pays les plus justement célèbres par leur fertilité. Nous indiquerons ici les deux principales séries de travaux de cet ordre qui se rapportent aux deux grandes chaînes de montagnes qui bordent la France, ceux de la région des Pyrénées et ceux de la région des Alpes.

Région des Pyrénées. Les plus remarquables de ces canaux, dont plusieurs remontent aux Visigoths et aux Arabes, sont : Le *canal d'Alaric*, dérivé de la rive droite de l'Adour, près Bagnères-de-Bigorre, longueur 40 kilomètres, 3 mètres cubes à l'étiage, arrose 2200 hectares. *Le canal de la Gespe*, 12 kilomètres, dérivé de la rive gauche de l'Adour, à Hys, 2 mètres cubes en moyenne, 1400 hectares. *Les canaux de Tarbes.*

Ruisseau de las Canals ou de Perpignan, dérivé de la Tet, 30 kilomètres, 2 mèt. cub. 60, 1800 hectares régulièrement arrosés. Ponts-aqueducs de 25 et 70 mètres de longueur, souterrain de 374 mètres.

Robine de Narbonne. 32 kilomètres, dérivé de l'Aude et servant à la navigation en même temps qu'aux arrosages et surtout au colmatage. 10 à 11 mètres cubes en moyenne; 5000 hectares.

Région des Alpes. *Canal de Vaucluse*, dérivé de la célèbre fontaine de Vaucluse, source de la Sorgue, qui sort de l'intérieur de la terre comme par un canal souterrain, et qui, produisant la richesse de toute une contrée, semble un modèle de travail à imiter. 80 kilomètres en plusieurs branches, 9 à 10 mètres cubes à l'étiage; 2000 hectares.

Canal de Crillon, 14 kilomètres, dérivé de la rive droite de la Durance, 2 mètres cubes à l'étiage, 1800 hect.

Canal de Craponne, 130 kilomètres en deux branches, dérivé de la Durance, construit dans le milieu du seizième siècle par Adam de Craponne; 10 mètres cubes en moyenne. Aqueduc de 117 arches, 1103 mètres de longueur, 12,000 hectares, dont 2000 irrégulièrement arrosés.

Canal des Alpines, 160 kilomètres en plusieurs branches, dérivé de la Durance à Malmort, 12 mètres cubes en moyenne. L'ouvrage le plus important est le percé d'Orgon, souterrain de 7 mètres de largeur sur 8 mètres de hauteur et 400 mètres de longueur, 19,000 hectares. *Canal de Marseille* (voy. Eaux).

En reproduisant ce tableau, j'ai voulu montrer combien les principaux canaux exécutés en France répondaient à une petite fraction de la surface qu'il y aurait à fertiliser par de semblables travaux, et en second lieu prouver qu'ils sont parfaitement susceptibles de rémunérer des travaux d'art coûteux, comme aqueducs, souterrains, etc.

La richesse produite au Midi par des canaux d'irrigation déjà existants est une preuve évidente de leur grande utilité; mais peut-être les jugera-t-on peu utiles au Nord, où cependant la richesse agricole est généralement en raison de l'étendue des prairies, c'est-à-dire de l'humidité du sol, du développement des ruisseaux dont elles couvrent les bords. Ce serait une erreur bien démontrée par les travaux de M. Hervé Mangon (voy. Agriculture, la théorie et les exemples d'irrigation qui y sont cités); au reste, la vue des contrées naturellement humides comme la Hollande, et mieux encore la richesse des prairies irriguées des Vosges, de la Suisse, ou plutôt de tous les pays, montre clairement que les bonnes prairies, et par suite l'abondante production de la viande et des engrais ne pouvant être obtenues qu'avec de l'eau, c'est à son aménagement sur la surface de la France que de grands capitaux doivent être consacrés aujourd'hui, si l'on veut produire la multiplication des produits agricoles, l'enrichissement certain de la France.

C'est aujourd'hui la préoccupation de tous les bons esprits de trouver un moyen d'accroître la prospérité générale, de sortir d'un état de langueur dans lequel semble plongée la nation, en lui offrant une *occasion de travail*, une quantité presque indéfinie d'entreprises sûrement avantageuses dans lesquelles elle puisse s'engager avec la furie française, pour augmenter rapidement la richesse universelle, comme on l'a vu à l'époque de la construction des grandes lignes de chemins de fer.

Les amis de l'agriculture, sentant en partie la vérité, réclament à grands cris l'achèvement et l'amélioration des canaux de navigation. Mais n'est-il pas évident, pour quiconque connaît les voies de communication de la France depuis l'achèvement des chemins de fer, que les grands résultats qu'ils espèrent ne pourraient être ainsi obtenus que pour bien peu de régions, ayant un excédant de production quelque peu notable dont elles ne puissent tirer un excellent parti. Ce sont bien des canaux qu'il faut à l'agriculture, mais des canaux d'irrigation et non des canaux de navigation servant uniquement aux transports, occupant le plus souvent la partie la plus basse des vallées; il s'agit moins de transporter les excédants de récolte que de les faire naître. On ne sait pas assez combien dans une grande partie de la France, dans le centre notamment, ces excédants sont rares; combien de villages produisent seulement ce qui est nécessaire pour la consommation bien mesquine de leurs habitants et rien de plus. C'est là un écueil sur lequel sombre souvent la petite propriété, et qui ne dépend pas seulement du manque de capitaux, mais de l'impossibilité de faire mieux dans les conditions naturelles de la contrée.

Tout cours d'eau torrentiel (et les nombreuses montagnes qui sillonnent la surface de la France, les Alpes, les Cévennes, les montagnes d'Auvergne, etc., donnent naissance à de semblables cours d'eau), est, par sa nature, destructeur de valeurs qu'il est facile d'emmagasiner. La destruction résulte de la chute rapide de l'eau d'un point élevé à un niveau inférieur; mais par le fait même de la vitesse qui en résulte, le remède se trouve à côté du mal. Le mouvement rapide des eaux a nécessairement considérablement creusé à la longue le sol fortement incliné; de telle sorte, comme on l'a vu pour le barrage du Furens (voy. Barrage), que des digues transversales dans les parties élevées, où le sol n'a pas de valeur, suffisent pour créer de grands réservoirs, auxquels la forme du sol permet souvent de donner d'immenses proportions, avec une dépense modérée, les gorges étroites s'offrant fréquemment pour l'emplacement du barrage. Quand on parcourt les montagnes, on voit souvent des lacs engendrés par des éboulements, comme les corrosions de barrages ont, plus souvent encore, détruit des lacs ainsi produits antérieurement.

La première série de travaux à faire est donc d'exécuter des barrages qui maintiennent les eaux à un niveau élevé, dans de vastes réservoirs. Et non-seulement on aura, par ce genre de travaux, des ressources presque inépuisables à la disposition de l'agriculture, indépendantes des variations des saisons, en permettant de dépenser les réserves pendant les sécheresses, mais encore on remédiera au fléau des inondations, qui causent périodiquement des dégâts qui se comptent par sommes très-considérables. Disons aussi que des puissances mécani-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ques indéfinies peuvent ainsi être rendues utilisables, au grand profit de l'industrie.

Nous croyons être dans la vérité en disant que moitié au moins des eaux de nos grands cours d'eau peuvent être ainsi maintenues à des niveaux assez élevés pour qu'on puisse les employer en irrigations enrichissantes avant de les laisser rejoindre leurs lits actuels. Il nous suffira, pour le prouver, de donner ici les nombres qui représentent la hauteur, au-dessus du niveau de la mer, de divers points des cours de quelques rivières et fleuves principaux.

Loire.

A sa source.	1373 mètres.
A Peyredryn	549
A Confolens.	457
A Roanne	267
A Nevers.	178
A Briare.	123
A Tours.	48

Allier.

A sa source sur la Lozère.	1423 mètres.
A Langogne.	896
A Vichy.	245

Seine.

A sa source	471 mètres.
A Troyes	101
A Paris	30

Garonne.

A Viella.	881 mètres.
A Saint-Martory	275
A Toulouse	132

Ardèche.

A sa source.	1257 mètres.
A Joyeuse.	150
A Vallon	75
A son embouchure	33

Durance.

Au pont de Briançon. . . .	1259 mètres.
A Saint-Clément	911
A Mont-Dauphin.	860
A Embrun.	790
A Sisteron.	466
A la prise d'eau de Craponne.	152
A son embouchure.	13

Les barrages qui maintiennent les eaux à un niveau élevé ne constituent que le premier élément de la solution du problème que nous étudions; le second, le plus important et le plus coûteux, consiste dans l'établissement de longs canaux suivant les crêtes des collines secondaires des derniers contre-forts que projettent au loin les montagnes, pour amener l'eau là où elle peut être utile, pour faire remonter les prairies sur les pentes où la sécheresse détruit la végétation.

Si, pour amener dans un pays stérile un cours d'eau qui vint le parcourir et le fertiliser, il suffisait de créer son lit dans un sol plat, on pourrait avec avantage certain aller le chercher bien loin, comme on en voit plus d'un exemple; la création de richesse qui résulterait de la fertilisation de la contrée suffirait pour payer de grandes longueurs d'un canal d'une construction peu coûteuse. La valeur de chaque hectare de terre infertile, converti en prairie irriguée, augmente au moins de 3 ou 4000 francs, c'est-à-dire pourrait payer de 8 ou 10 mètres de canal, de telle sorte qu'une région agricole de 2 ou 3000 hectares pourrait aller chercher l'eau à 200 ou 300 kilomètres. L'entreprise serait dans ces conditions rémunératrices, très-avantageuse pour ceux qui y participeraient à un titre quelconque, entrepreneurs, actionnaires, abonnés, etc. Mais il n'en est pas ainsi dans le cas général, les dépenses augmentent rapidement quand on cesse d'être en terrain plat et que de dispendieux travaux d'art, que des souterrains et des aqueducs deviennent nécessaires.

Nous remarquerons d'abord que ces travaux peuvent diminuer en nombre et en importance, relativement à des voies ordinaires de communication, parce que la longueur n'important pas beaucoup ici, il y aura souvent possibilité de contourner une vallée ou un contre-fort au lieu de le traverser. Ensuite nous ferons remarquer que l'art de l'ingénieur a fait, de nos jours, des progrès qui diminuent ces dépenses. Le plus notable est celui de conduites forcées, de l'emploi de tuyaux en fonte de grande dimension, qui permettent de supprimer les aqueducs les plus coûteux, qui font disparaître en quelque sorte les dépressions de terrain, l'eau reprenant son niveau dans le réservoir qu'on a soin de placer à la suite de la seconde branche du syphon. C'est le système que M. Belgrand a appliqué avec grand succès à l'approvisionnement des eaux de Paris.

Admettons qu'en moyenne la plupart des régions agricoles qui peuvent avec grand profit utiliser les eaux amenées par un canal d'irrigation, puissent établir avec avantage un canal de 80 kilomètres, amenant 8 ou 10 mètres cubes par seconde, que faudrait-il pour que le pays fût sillonné de semblables canaux partout où ils peuvent être utiles? Que l'eau fût amenée des réservoirs de la montagne à la tête de semblables canaux. N'est-ce pas là un travail qui mériterait, au plus haut degré, l'intervention de l'État, une garantie d'intérêt que l'impôt restituerait bientôt, pour le moins, en raison de l'accroissement certain de la richesse agricole?

Convertir un pays deshérité en une contrée favorisée du ciel, donner à la France, grâce surtout à l'élévation de son plateau central et du sol de ses frontières de l'Est et du Sud-Ouest, la fertilité des bords du Nil, est une chose non-seulement possible, mais relativement facile, et cela en faisant naître une immense quantité de travail dans la nation. C'est l'œuvre à accomplir aujourd'hui. Des milliards ainsi dépensés se multiplieraient, et incorporés au sol, ils ne cesseraient jamais de faire partie de la richesse nationale.

Il n'y a peut-être rien de bien nouveau dans le système que nous formulons ici (et qu'il ne serait possible de préciser davantage que par des études de détail faits dans chaque cas particulier, pour un cours d'eau et un bassin déterminé); plusieurs ingénieurs sont déjà arrivés à formuler les mêmes principes. Nous sommes heureux de rapporter ici le passage ci-après, que nous avons trouvé dans le *Traité des irrigations*, de M. Nadault de Buffon.

« D'après les prix usuels de l'irrigation opérée à l'aide des canaux, à chaque mètre cube d'eau par seconde ainsi employée correspond une redevance annuelle de 36 francs, ou de 50 francs au maximum, ce qui, à raison de 4 1/2 p. 100, donnera un capital de 800 à 1100 francs.....

« On peut, d'après une évaluation très-modérée, admettre, comme moyenne générale du produit net créé par l'arrosage, le chiffre de 50 francs par hectare, qui correspond à un produit brut d'au moins 100 francs.

« Cela représente, à 4 1/2, la création d'un capital de 1250 francs, résultat fort important quand on pense qu'il peut s'appliquer à des millions d'hectares. La France seule réclame unanimement la création d'au moins cinq millions d'hectares de prairies, pour mettre cette culture si précieuse dans le rapport de 1 à 2 avec les terres cultivées à la charrue. On voit que l'on obtiendrait, d'après ces bases si modérées, un accroissement définitif de la richesse territoriale équivalent à plus de six milliards, et correspondant à un revenu assuré de plus de 300 millions. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tant de travaux si productifs à faire immédiatement pour occuper utilement l'activité des travailleurs et placer à gros intérêts et sûrement les économies de la nation, c'est là une entreprise à tenter de grands administrateurs et de véritables amis de leur pays.

ÉBULLITION. — Longtemps on a regardé le point d'ébullition d'un liquide, celui où il se transforme en vapeur, en formant des bulles sous la pression de l'atmosphère gazeuse à laquelle il est soumis, comme parfaitement fixe, et caractérisant nettement la nature du liquide.

Les recherches modernes des physiciens ont montré qu'il y avait à rabattre de ce que cette opinion avait de trop absolu, et que diverses causes pouvaient faire varier la température d'ébullition.

De même qu'on peut abaisser la température de l'eau au-dessous de zéro sans qu'elle se congèle, on peut la chauffer au-dessus du point d'ébullition sans qu'elle change d'état, en ayant soin qu'elle ne renferme plus d'air en dissolution, qui, en se dégageant, est une cause d'agitation de la masse. Deluc, qui a remarqué le premier ce fait, a pu porter à 112° de l'eau bien purgée d'air, et renfermée dans un matras à long col, sans qu'elle entrât en ébullition.

M. Donny ayant préparé une espèce de marteau d'eau, un tube garni de boules à l'extrémité vide, rempli en partie d'eau et fermé après qu'on en a fait sortir l'air, porta une extrémité à plus de 130° dans l'eau salée sans qu'il y eût ébullition, bien que l'autre extrémité du tube fût froide. Vers 138°, il se produisit une vaporisation brusque, et l'eau fut lancée violemment dans les boules; le plus souvent l'explosion brisait l'appareil.

M. Donny concluait de ces effets que la cohésion de l'eau équilibrait un effort de 3 atmosphères, tension de la vapeur d'eau à 135°, c'est-à-dire une colonne d'eau de 21 mètres de hauteur.

Une analyse plus satisfaisante de ces effets peut être déduite des expériences de M. Dufour (de Lausanne), faites également en évitant toute cause d'agitation, toute intervention des parois.

C'est en disposant, à l'imitation des expériences de M. Plateau, un liquide à l'état globulaire dans un liquide fixe d'une densité convenable, que ce physicien a fait ses curieuses expériences, dans des conditions où l'influence du vase qui renferme le liquide, et qui souvent est très-grande, disparaît entièrement. Il a pu chauffer de l'eau fort au delà de 100° sans la voir bouillir, compléter les anciennes expériences sur l'eau et les étendre à d'autres liquides. Nous donnerons ici un extrait sur l'intéressant mémoire de M. Dufour.

« Le soufre et le chloroforme présentent également un retard considérable d'ébullition lorsqu'ils flottent à l'état de sphères, en équilibre dans une dissolution convenablement dense de chlorure de zinc. Il est malheureusement fort difficile d'appliquer à la plupart des liquides la méthode qui réussit si bien pour l'eau et le chloroforme. Il faudrait en effet pouvoir chauffer chaque liquide dans un milieu d'une densité égale à la sienne et avec lequel il ne formât pas de mélange; il faudrait en outre que ce milieu ne changeât pas d'état entre des limites assez étendues.

« Lorsqu'on fond du soufre dans de l'huile, ou, mieux encore, dans de l'acide stéarique, on obtient deux couches parfaitement distinctes et inégalement denses. Une petite quantité d'une dissolution saline aqueuse peut être introduite dans l'huile; elle vient alors flotter sur le soufre fluide et forme un globule plus ou moins aplati qui s'y enfonce en partie. Dans ces circonstances, la température de ces dissolutions peut dépasser beaucoup celle de leur ébullition normale sans que la vaporisation ait lieu. Des globules de 6 à 8 millimètres de diamètre de dissolution de chlorure de sodium à 15 p. 100, de sulfate de cuivre à 10 p. 100, de nitrate de potasse à 10 p. 100, et de chlorure de potassium à 10 p. 100, ont pu être amenés à 125 et 130° avant que le changement d'état intervienne. Le contact d'un corps solide, d'une baguette de verre, de bois, de métal, provoque brusquement, au sein des dissolutions surchauffées, une violente ébullition.

« La densité de l'acide sulfureux liquide est 1,49 à 20° (Is. Pierre). On peut préparer un mélange d'acide sulfurique et d'eau qui ait cette densité-là et le refroidir bien au-dessous de — 10°, sans qu'il éprouve de modifications. Lorsque, dans un mélange pareil, refroidi à — 15° par exemple, on introduit, avec des précautions convenables, de l'acide sulfureux liquide, on voit ce dernier corps se réunir en sphères isolées parfaitement limpides et flotter au sein du mélange. L'acide sulfurique retient son eau avec assez de force pour ne pas la céder à l'acide sulfureux; les deux corps n'exercent aucune réaction l'un sur l'autre, et, après avoir installé un thermomètre dont la cuvette plonge dans le mélange, on peut suivre la marche ascensionnelle de la température. Or, dans ces circonstances, l'acide sulfureux traverse toujours 10° sans changer d'état. De volumineux globules se conservent calmes jusqu'à 0°; j'en ai vu encore de parfaitement limpides à + 8°. La vaporisation intervient parfois spontanément. Elle se produit toujours avec une grande instantanéité lorsqu'on touche les globules avec un corps solide, et, sous ce rapport, le phénomène est absolument semblable à celui que présentent l'eau, le chloroforme. Cette conservation de l'état liquide est assurément remarquable, et il serait du plus haut intérêt de chercher à appliquer la même méthode à d'autres gaz liquides. Le choix du milieu ambiant présente sans doute des difficultés; mais avec les ressources dont dispose la chimie, il ne serait point impossible qu'on arrivât à posséder, à l'état liquide, aux pressions et aux températures ordinaires, quelques-uns des corps habituellement gazeux.

« Si l'on rapproche ces expériences de celles qui se rapportent au retard de congélation de l'eau flottant dans un mélange de chloroforme et d'huile, du soufre flottant dans une dissolution de chlorure de zinc, etc., on ne peut pas méconnaître que, dans le phénomène du changement d'état, une part importante doit être attribuée à des circonstances autres que la température. Ces faits, étudiés dans leurs détails, montrent que les influences moléculaires provenant de causes extérieures aux liquides eux-mêmes jouent un grand rôle dans la solidification et dans la vaporisation. Pour ce qui concerne spécialement l'ébullition, ces expériences apprennent que les retards et les anomalies qu'elle présente ne peuvent point être attribués, comme ils le sont généralement, à une adhésion des liquides pour les solides. Des retards considérables en effet se produisent normalement et régulièrement lorsque les liquides flottent dans des fluides de même densité et éloignés des solides. Le contact des solides, dans ces circonstances, provoque brusquement la vaporisation. Un dégagement gazeux à travers le liquide surchauffé entraîne aussi sa transformation en vapeur; c'est l'action qui se produit constamment dans la pratique par l'effet des gaz dissous.

« En réalité, le changement d'état ne se produit pas nécessairement lorsque la température est capable de donner à la vapeur du liquide une force élastique égale à la pression extérieure. Le changement d'état est possible dès cette température-là, qui est une sorte de minimum pour l'ébullition à une pression déterminée; mais il a lieu, en fait, à des points de l'échelle thermométrique plus ou moins élevés suivant les conditions moléculaires de contact auxquelles le liquide est soumis. L'ébullition renferme un double fait : un dégagement de vapeur dans toute la masse du liquide, qui doit vaincre la pression extérieure, et un changement d'état. Ce dernier intéresse, d'une façon qui nous est malheureusement trop peu con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nue, la constitution moléculaire intime du corps, et il est étroitement lié aussi aux influences moléculaires que le corps subit. La loi qui indique la température d'ébullition de chaque liquide comme constante et comme égale à celle où sa vapeur peut faire équilibre à la pression extérieure tient compte du premier de ces faits, mais néglige le second. Cette loi ne se vérifie que lorsqu'on chauffe les liquides dans certains vases solides, parce que là les influences moléculaires de contact sont précisément celles qui provoquent l'ébullition au minimum de température possible. Cette loi présente des écarts déjà notables pour l'eau, l'alcool, l'acide sulfurique, etc., chauffés dans les vases en verre et en porcelaine (expériences de MM. Donny, Marcet, Magnus), et enfin elle rencontre des exceptions considérables et régulières lorsque les liquides sont chauffés en dehors du contact des solides. Énoncé sous sa forme ordinaire, le principe de physique relatif à la constance de la température d'ébullition, dans chaque liquide, rencontre des anomalies si nombreuses et si importantes, que sa valeur en est nécessairement amoindrie. On exprimerait mieux la réalité en disant: *L'ébullition d'un liquide à une pression déterminée peut se produire à des températures différentes, suivant les conditions physiques dans lesquelles il est placé; ces températures sont égales ou supérieures à celles où la force élastique du liquide fait équilibre à la pression extérieure.*

« Quoi qu'il en soit de ces considérations plus ou moins théoriques, il n'en demeure pas moins intéressant de remarquer combien les limites de température entre lesquelles certains liquides peuvent subsister sont variables suivant les conditions physiques dans lesquelles ils sont placés. Ainsi 0 et 100°, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, sont les limites entre lesquelles l'eau apparaît comme liquide lorsqu'elle est renfermée dans des vases solides et non purgée d'air. Si on la débarrasse le plus possible de l'air en dissolution, si on la chauffe dans des vases en verre (expériences de M. Marcet), ces limites peuvent s'étendre de 12 à 15°; si enfin on la place entièrement à l'abri du contact des corps solides, immergée dans un fluide de même densité (mélange de chloroforme et d'huile, mélange d'essence de girofle et d'huile), ces limites s'éloignent beaucoup et l'eau dépasse habituellement, normalement 0° d'une part et 100° d'une autre, sans changer d'état. Dans ces conditions spéciales, j'ai vu ce corps encore liquide à — 20° et à 178°, c'est-à-dire durant 198° du thermomètre, sans changement dans la pression. »

Après avoir montré l'insuffisance des explications qu'on a voulu faire reposer sur la cohésion des liquides, complétement infirmée par les expériences sur la solidification, puisque les corps solides ont sûrement une cohésion plus grande que les liquides qui leur donnent naissance et par suite qu'il est impossible d'expliquer ainsi les retards de solidification, il termine ainsi:

« Je crois donc que les liaisons moléculaires qui jouent un rôle important dans les changements d'état ne doivent pas être confondues avec la cohésion des liquides telle qu'elle apparaît dans diverses expériences. Mais s'il m'a paru nécessaire de les distinguer de la cohésion, il me paraît beaucoup plus difficile de les définir et de les préciser. Ici, comme dans l'étude de tant d'autres phénomènes physiques, on aboutit à ces importantes questions de mécanique moléculaire, où il y a beaucoup à apprendre et où la solution d'une foule de problèmes demeure enveloppée d'une regrettable obscurité. » (Voy. LIQUIDES.)

Le savant physicien est conduit par les résultats si probants de l'expérience, à constater la lacune qu'a laissée jusqu'ici, dans la science physique, une notion satisfaisante de la constitution des corps, et l'insuffisance de la constitution *statique* admise jusqu'à ce jour. La constitution dynamique que j'ai cherché à formuler à l'article LIQUIDES, l'existence des mouvements orbitaires des molécules liquides explique bien les curieux phénomènes constatés, qui en sont comme une démonstration expérimentale.

De semblables mouvements peuvent seuls bien rendre compte de la propriété de l'état liquide d'empiéter à la fois sur l'état solide et l'état gazeux, les mouvements orbitaires pouvant se maintenir, convenant pour emmagasiner des quantités variables de forces vives, sans que le changement d'état se produise nécessairement à une limite déterminée, qui apparaît lorsqu'une cause accidentelle vient le provoquer.

ÉCHAFAUDAGES. Nous traiterons sous ce titre de cette branche de l'art du charpentier, qui a pour objet les constructions provisoires destinées à élever les ouvriers à la hauteur des travaux qu'ils exécutent, à entreposer les matériaux, à soutenir les constructions menaçant ruine, à lever et transporter les grandes masses; ce sujet intéresse non-seulement les constructeurs, mais toutes les industries qui ont à manœuvrer de lourds fardeaux, comme la marine, les chemins de fer, l'artillerie, la métallurgie, etc.

Les constructions de cette nature n'ont d'ordinaire qu'une durée éphémère; c'est à tort cependant qu'on se croirait dispensé de veiller attentivement à leur bonne exécution, et autorisé à s'en rapporter à des agents inférieurs. La vie des ouvriers dépend du soin apporté à ces détails, qui semblent secondaires; la jurisprudence rend l'entrepreneur responsable des accidents dus à l'imperfection des échafaudages. Dans un grand ouvrage, la dépense des bois qu'ils occasionnent est considérable; des dispositions intelligentes peuvent amener des économies notables non-seulement sur le cube de la matière première employée, mais encore sur la main-d'œuvre, en rendant plus accessibles toutes les parties du chantier, et plus faciles toutes les manœuvres. C'est par là que commence toute œuvre de construction; c'est d'après ce premier échantillon de son savoir-faire que les agents et les ouvriers conçoivent de leur chef cette première impression, qui en toutes choses a une grande importance, et aplanit pour l'avenir bien des difficultés, si elle est favorable.

Échelles. — De tous les échafaudages, les plus simples et les plus usuels sont les échelles; elles sont trop connues pour que nous ayons de longs développements

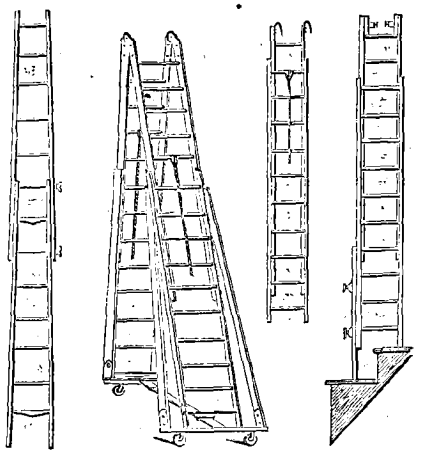


Fig. 1.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à donner à ce sujet. Nous signalerons seulement quelques perfectionnements apportés à l'installation de ces appareils, si répandus et si utiles.

M. Bomblin a introduit diverses améliorations dans la construction des échelles ordinaires, qui les rendent d'un usage plus commode et plus sûr; des additions fort simples, montants à coulisses, poulies fixées sur un échelon avec corde de manœuvre, boulons formant échelons, etc., permettent de les allonger ou de les raccourcir à volonté, et de les adapter aux dispositions de points d'appui les plus variées. Nous indiquons ci-contre (fig. 1) quelques-uns des modèles qu'il emploie.

M. Masbon construit des échelles en fer, consolidées par des tendeurs, très-légères et très-maniables; il a inventé plusieurs combinaisons ingénieuses qui permettent de les employer dans les conditions et aux usages les plus divers.

Chevalets. — Les chevalets sont de petits appareils très-simples, avec lesquels on peut installer rapidement des échafaudages considérables, pourvu qu'on en ait un nombre suffisant à sa disposition. Tels sont les ponts de chevalets, qui servent au passage des armées, sur les cours d'eau de moyenne profondeur.

Ces appareils suffisent aux maçons, plâtriers et plafonneurs, dans les habitations ordinaires, pour atteindre toutes les parties des salles.

Ils emploient aussi des montants à patins percés de mortaises ou munis de taquets pour supporter leurs planchers provisoires.

On peut établir des échafaudages très-élevés au moyen des chevalets, à la condition de les consolider avec des cales, des liens de corde et des entre-toises; autrement ils manquent de stabilité.

Échafaudages ordinaires. — Les échafaudages ordinaires des maçons s'exécutent avec de grandes perches de 5 à 6 mètres de longueur, 0,15 à 0,25 de diamètre, appelées échasses ou *écoperches;* placées verticalement à 1m,50 de distance des murs, elles sont reliées entre elles et avec ceux-ci par d'autres perches horizontales nommées *boulins;* ces pièces sont réunies les unes avec les autres, au moyen de *cordages* ou *troussières;* elles passent dans des trous réservés dans les murs; des planches de bateaux, posées de l'une à l'autre, servent au passage des ouvriers.

M. Harnist a exposé, en 1867, des liens en fer plus faciles à placer que les cordes, et qui paraissent offrir de plus grandes garanties de solidité.

Dans les constructions en pierres de taille, on ne peut pas faire de trous de boulins; on fait passer les échafaudages par les baies de portes et croisées.

Grands échafaudages fixes. — Quand les échafauds doivent supporter de lourdes charges, il faut recourir à des bois de plus fort équarrissage. Les grands échafaudages fixes sont composés, comme tous les ouvrages de charpente, de pans ou fermes placés dans des plans parallèles. Chaque ferme est formée de montants, d'entretoises horizontales moisées, qui portent ordinairement des planchers, quelquefois des chemins de fer, et de croix de Saint-André, contre-fiches et liens, destinés à rendre invariable la figure de la ferme. Les fermes sont reliées transversalement par des pièces analogues.

La dimension des bois et l'espacement des fermes dépendent du poids des matériaux employés, de la hauteur de l'édifice et de la durée qu'on se propose d'attribuer à sa construction.

Cintres. — Les voûtes s'établissent sur des constructions provisoires en charpente qu'on nomme *cintres.* Nous renvoyons aux articles PONTS, TUNNELS et VOUTES pour la description de ces appareils. Nous mentionnerons seulement quelques perfectionnements apportés à cette partie du matériel des entrepreneurs. Tels sont les cintres en fer appliqués aux voûtes du canal Saint-Martin, sous le boulevard Richard-Lenoir, à Paris. Ces voûtes ont environ un kilomètre de longueur. La courbe d'intrados est une ellipse surbaissée au quart, et de 19m,50 d'ouverture. Les cintres étaient composés de fermes en fer espacées de 2 mètres; on construisait la voûte par portions de 50 mètres; après le décintrement d'une portion, les fermes, groupées par trois, étaient transportées, parallèlement à elles-mêmes, jusqu'au nouveau chantier, en roulant sur un chemin de fer. Leur déplacement était rendu aussi simple que possible.

M. Rziha a fait usage en Allemagne, pour construire plusieurs tunnels de chemins de fer, de cintres en fonte, qui présentaient des avantages analogues à ceux du système précédent.

On cite encore, parmi les dispositions de cintres mobiles et faciles à déplacer les plus ingénieuses, celles du viaduc de Roquefavour.

Échafauds volants ou suspendus. — Nous désignons sous ce titre les échafauds légers non adhérents au sol, qui se fixent sur diverses parties des constructions, et sont particulièrement applicables aux travaux d'achèvement, ragréement, décorations et restaurations partielles. Tels sont encore les échafauds qui servent quelquefois à la construction des clochers et des dômes. On trouve plusieurs exemples remarquables d'ouvrages de ce genre dans le livre intitulé : *Ponti e castelli di Nicolò Zabaglia, con alcune ingegnose pratiche, e con la descrizione del trasporto dell' obelisco Vaticano e di altri del Domenico Fontana* (Rome, 1743). Zabaglia, simple charpentier, complétement illettré, a conçu et exécuté les échafaudages employés à l'achèvement des voûtes de la célèbre basilique de Saint-Pierre de Rome; les plus intéressantes ont été reproduites dans le *Traité de charpente* du colonel Émy.

Nous présentons comme un spécimen d'échafaudage volant très-bien entendu, celui qui a servi à l'érection de la nouvelle statue de Napoléon Ier, sur la colonne de la place Vendôme, à Paris; il est dû à M. Duprez, et il a été publié par les *Nouvelles Annales de la Construction.* Cet échafaudage se compose de deux parties : l'une fixe, l'autre mobile; la première est destinée à soutenir un plancher de manœuvre, et ses dispositions seront facilement comprises à l'examen de la figure 2. La seconde est une chèvre à chariot, munie de treuils pour le levage de la statue. Le câble, après s'être enroulé sur le treuil à manivelle, passait sur un rouleau et se déroulait librement en arrière de l'appareil : un treuil de sûreté, placé en avant du précédent, se manœuvrait avec des leviers. Comme la corde était très-longue, quand elle couvrait trois fois la surface du treuil, on arrêtait la manœuvre pour le dérouler; pendant ce temps elle était arrêtée par les deux leviers obliques, agissant comme freins, que l'on remarque sur la grue. Quand la statue a été levée à la hauteur de son piédestal, on a fait glisser la chèvre jusqu'à l'axe de la colonne, et l'opération s'est achevée avec la plus grande facilité.

De grandes constructions peuvent et doivent quelquefois s'élever avec des échafaudages extrêmement simples; tels sont les cheminées des usines, les phares.

M. Viollet-Leduc cite comme ayant été construite par des procédés très-simples la grande tour de Coucy, qui a 60 mètres de haut et 32 mètres de diamètre. Les trous de boulins, espacés de 4 mètres en 4 mètres, suivant une hélice encore apparente sur les parements de la tour, montrent que les matériaux ont été montés par un chemin incliné, appuyé sur des fermes volantes, qui étaient fixées au flanc de l'édifice et suivaient la courbe indiquée.

On peut faire entrer dans cette classe les échafauds que les maçons établissent souvent pour ne pas embarrasser la voie publique sur de simples boulins, passant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par-dessus les appuis des fenêtres, et calés intérieurement avec une aiguille appuyée sur les plafonds.

ÉCHAFAUDAGE.

geonneurs et des fumistes, est le plus rudimentaire des échafauds volants.

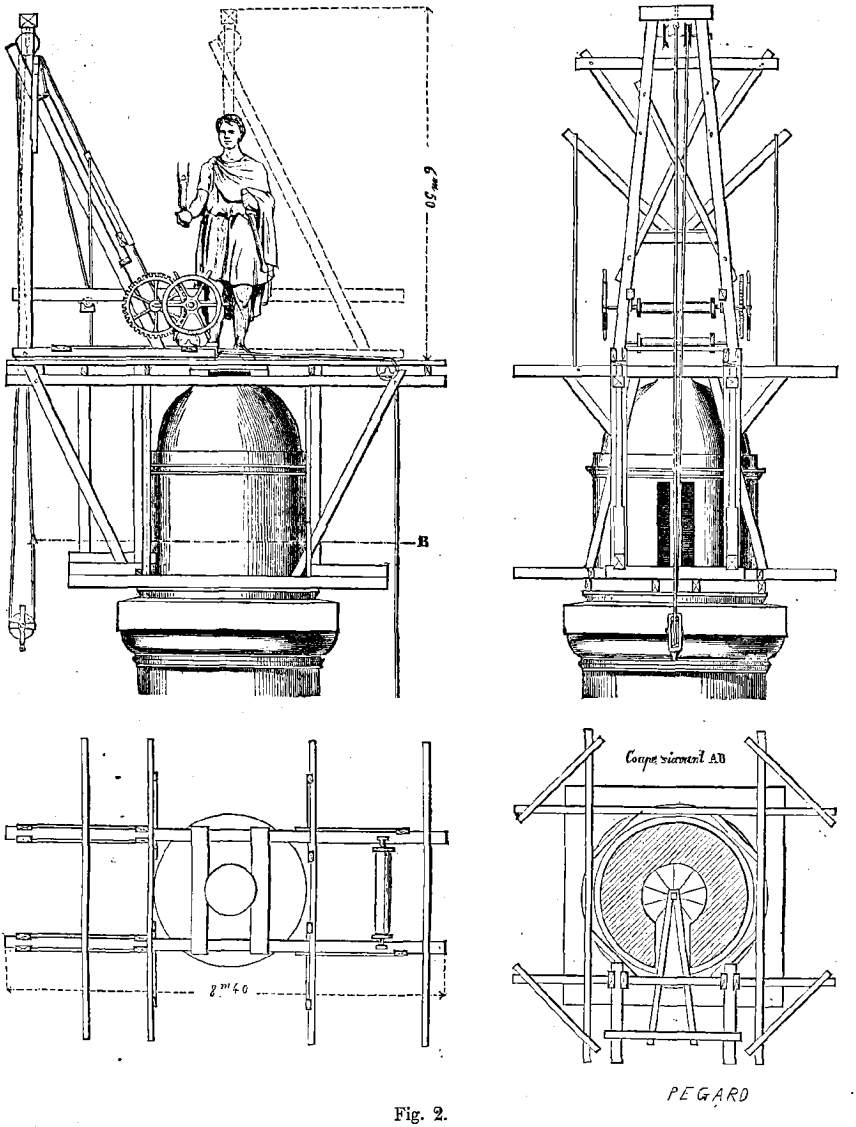


Fig. 2.

On emploie encore fréquemment, pour les ragréements, peintures et nettoyages, etc., des passerelles volantes que l'on peut faire avec une simple échelle placée horizontalement, portant une planche sur ses échelons, et suspendue à ses deux extrémités par des palans qui servent à l'élever à la hauteur voulue et à la déplacer suivant les besoins du travail.

La corde à nœud avec la sellette, à l'usage des badigeonneurs et des fumistes, est le plus rudimentaire des échafauds volants.

Échafauds mobiles. — *Échafauds roulants et tournants.* — Ces échafauds sont destinés aux mêmes usages que les précédents; mais ils sont beaucoup plus faciles à déplacer; on les monte sur des roues à galets, et ils peuvent se transporter soit parallèlement à eux-mêmes en glissant sur des rails, soit en tournant autour d'un axe vertical, soit dans tous les sens indifféremment.

Les peintres sculpteurs et décorateurs ont souvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

recours à ces appareils; tel est celui représenté par la figure 3, construit par M. Bomblin.

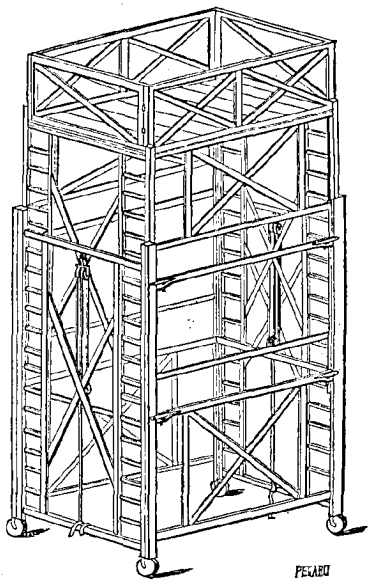


Fig. 3.

Le colonel Émy cite, dans la première catégorie, plusieurs échafauds remarquables, ceux:

De Saint-Pierre de Rome, par Zabaglia, cité plus haut,
De l'orangerie de Versailles,
De la chapelle royale de Turin,
De Saint-Sulpice,
De M. Mandar,
De la cathédrale de Milan.

1° Échafaudages employés par M. Visconti, au tombeau de Napoléon Ier, aux Invalides.

2° Machines employées par M. Tony Fontenay au viaduc de l'Indre, pour le ragréement des parapets et des plintes (fig. 4).

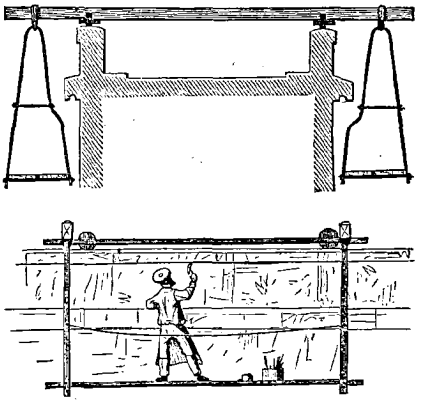


Fig. 4.

3° Échafaudages employés à la construction des bâtiments en fer de l'Exposition universelle de 1867, à Paris.

Ces bâtiments présentaient deux principaux types de fermes: les arcs de 33 mètres d'ouverture de la galerie des machines et les fermes Polonceau des galeries intérieures. Divers systèmes ont été appliqués aux levages des différentes parties. Pour la grande galerie, MM. Cail et Ce ont employé un grand échafaudage de 22m.35 de long sur 27 mètres de large et autant de hauteur, mobile longitudinalement sur quatre paires de rails (fig. 5). A la partie supérieure se trouvait un plancher cylindrique formant cintre pour la pose des arcs.

On commençait par lever les montants, en leur faisant décrire un quart de révolution autour de l'arête extérieure de leur base, au moyen des treuils placés à la partie inférieure de l'échafaudage: on montait ensuite l'arc par éléments; enfin on présentait et on posait les pannes, faîtages et sablières, en se servant de deux grandes grues placées au devant et à la partie supérieure de l'appareil.

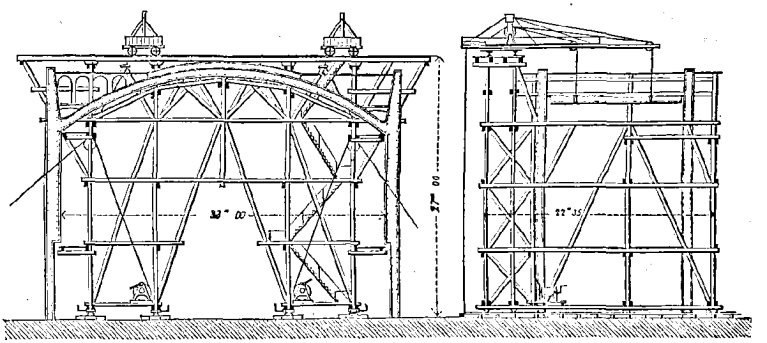


Fig. 5.

Dans la seconde:

Ceux de la coupole du Panthéon romain.

A ces exemples, nous pourrions en ajouter bien d'autres plus modernes; nous nous contenterons de citer les suivants.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quand l'ossature d'une travée était complète, on faisait avancer tout le système mobile sur les rails au moyen de seize galets mus par des leviers à rochet

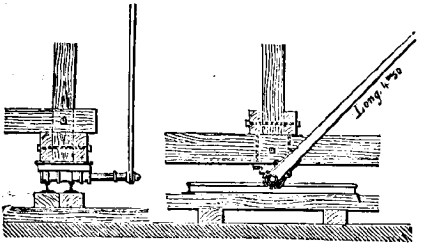


Fig. 6.

(fig. 6). Pour parcourir les 15 mètres qui formaient la longueur de la travée, il fallait 6 heures et 60 hommes.

ÉCHAFAUDAGE.

visoire régnant sur deux travées et composé de trois poutres en treillis fixées un peu au-dessous de la naissance des arcs et de solives portées par ces poutres. Ce plancher supportait cinq échafaudages pour le montage de l'arc. On y accédait au moyen d'escaliers de service placés dans les échafaudages inférieurs qui servaient en même temps au levage du plancher.

Les pannes et autres pièces étaient montées à hauteur du plancher par de grandes chèvres, telles que celle représentée à gauche de la seconde partie de la figure 8.

Les fermes du système Polonceau avaient 23 mètres de portée; elles ont aussi été levées par deux systèmes :

Pour les unes, on a suivi le procédé ordinaire, c'est-à-dire qu'après avoir assemblé les fermes par terre on les a soulevées avec deux chèvres et posées sur leurs appuis; pour les autres, on a employé un grand échafaudage roulant, portant un plancher et deux bouts de voie parallèles. Deux grues mobiles sur ces voies montaient toutes les pièces et permettaient de les assembler rapidement: elles sont représentées figure 9. On a aussi indiqué les dispositions de l'échafaudage roulant

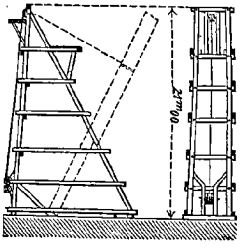


Fig. 7.

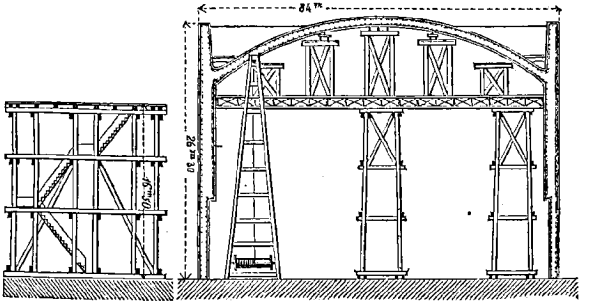


Fig. 8.

On procédait au levage de la travée suivante en se conformant aux indications précédentes.

MM. Gouin et Ce, entrepreneurs d'une autre portion de la grande galerie, ont procédé différemment. Sur leurs chantiers, chaque montant a été levé en décrivant comme ci-dessus un quart de révolution, mais au moyen d'un échafaudage spécial représenté par les figures 7 et 8. Les montants une fois en place étaient immédiatement reliés par les sablières hautes et basmoins important, qui servait à lever les pièces des galeries intermédiaires, et celles des deux grues placées sur l'échafaudage, fig. 10. Une disposition pareille n'est applicable que sur un chantier très-important, où la multiplicité des opérations permet d'amortir les frais de premier établissement d'un ensemble d'appareils provisoires très-coûteux.

Ces indications sont extraites des *Nouvelles Annales de la Construction*, de M. Opperman.

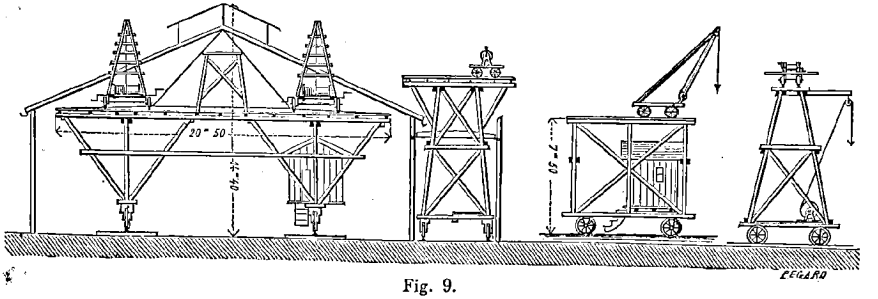


Fig. 9.

ses, soulevées par des poulies frappées sur le haut des montants.

Pour lever les arcs, on construisait un plancher pro-

ÉTAYEMENT. — Il est essentiel, pour étayer avec sûreté, promptitude et économie une construction menaçant ruine, ou destinée à être reprise en sous-œuvre, de se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rendre exactement et rapidement compte de la manière dont elle a été établie, de l'intensité et de la direction des efforts à équilibrer, de distinguer les parties encore

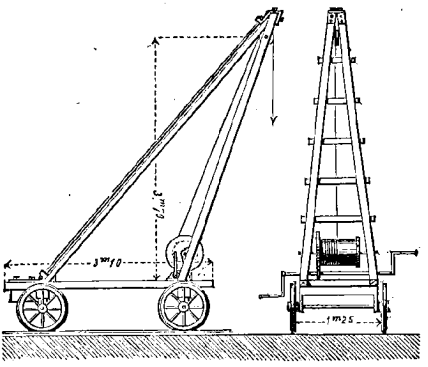


Fig. 10.

saines des parties écrasées ou disloquées, de choisir convenablement ses points d'appui, et de faire en sorte que les pressions s'y trouvent convenablement réparties en raison de la résistance qu'ils peuvent offrir par unité de surface. On doit aussi ménager l'espace nécessaire pour le travail des ouvriers et la manœuvre des matériaux, et disposer les pièces de façon qu'une fois le travail achevé on puisse les enlever facilement et dans l'ordre convenable. C'est à quoi l'on n'arrive qu'avec l'expérience développée par une longue pratique. Les circonstances où l'on fait des étayements varient à l'infini; on ne peut ici que mentionner quelques principes généraux.

Étayement des déblais. — On est très-souvent obligé, dans les travaux de terrassement, quand on fouille des terrains peu consistants, pour établir des égouts ou des fondations, de se défendre contre les éboulements par des constructions provisoires en charpente; elles consistent d'ordinaire en revêtements de madriers couvrant les parois de la fouille, et plus ou moins rapprochés suivant le degré de cohésion des terres. Ces madriers s'appuient sur des montants extérieurs, et ceux-ci sont maintenus à un écartement constant contre la poussée du sol, au moyen d'*étrésillons*. Les étrésillons sont des pièces de bois dont les abouts sont taillés en biseau, et qu'on chasse à coups de masse entre les montants, de manière à les serrer avec énergie. Quand les fouilles sont trop larges pour établir des étrésillons, on emploie des étais comme ceux qui seront décrits plus loin.

Dans le creusement des galeries souterraines et pour la construction des puits, on est obligé de recourir à des moyens de consolidation analogues; il en a été question aux articles MINE et TUNNEL.

Étayement des maçonneries. — Pour soutenir des bâtiments menaçant ruine, on se sert d'*arcs-boutants* ou d'*étais*, pièces de bois longues, posées sous une inclinaison de 1 de base pour 5 de hauteur environ, appuyées d'une part sur le mur à soulager, soit directement, soit par l'intermédiaire de cales et de madriers destinés à répartir la réaction sur une plus large surface; d'autre part, sur le sol. L'about de l'étai s'établit sur un patin horizontal, portant lui-même sur des madriers ou des solives transversales. L'étai doit être convenablement serré contre la maçonnerie : pour cela, son pied est taillé en biseau, et on le fait avancer à la pince jusqu'au moment où l'on juge que sa pression est suffisante; il ne faut pas dépasser une certaine limite, au delà de laquelle le mur serait renversé à l'intérieur. Quand on est arrivé au degré convenable, on place une cale sous le pied de l'étai, et on la fixe avec des broches.

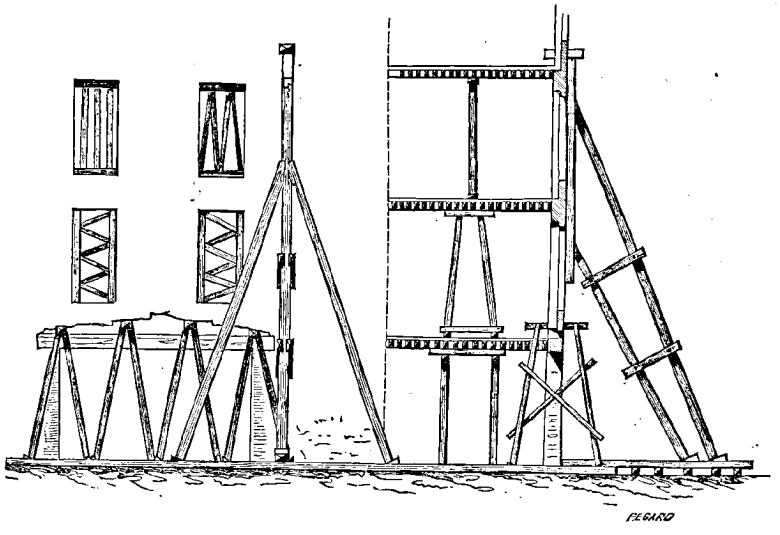


Fig. 11.

Si un seul étai ne suffit pas, on y ajoute un contre-étai, qu'on rend solidaire du premier au moyen d'entretoises moisées (fig. 11).

Si une plus grande résistance est encore nécessaire, la pièce principale est consolidée par des étais latéraux placés obliquement, ou mieux encore, on établit des *bat-*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

teries d'étais, c'est-à-dire plusieurs formes analogues à

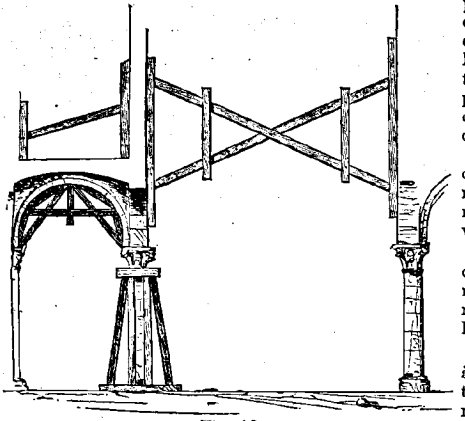


Fig. 12.

la précédente, réunies entre elles par des moises hori-

ÉCHAFAUDAGE.

Les *étrésillons* sont des pièces de bois destinées à empêcher le rapprochement des murs et à résister à des efforts horizontaux; on *étrésillonne* les fouilles de déblai des fondations, comme nous l'avons vu; on étrésillonne les fenêtres d'un bâtiment repris en sous-œuvre, et si le tableau est épais, on y place deux pans d'étrésillons disposés: l'un comme ceux du premier étage dans la figure ci-contre, et l'autre comme il est indiqué aux fenêtres du deuxième étage.

Les étrésillons acquièrent quelquefois beaucoup plus d'importance, ainsi qu'on le voit sur la figure 12, qui montre en même temps les dispositions à suivre pour reprendre en sous-œuvre un pilier supportant des voûtes.

Les *chevalements* sont des étais offrant la forme des chevalets, et employés pour soutenir les maçonneries reprises en sous-œuvre. Par exemple, la figure 11 montre la disposition des chevalements, appliqués à l'établissement d'un poitrail en sous-œuvre.

Les *pointaux* sont des chandelles verticales destinées à consolider momentanément les planchers pendant des travaux du même genre; ils se posent de la même manière que les étais.

Pour soutenir les voûtes dans des circonstances analogues, on se sert de cintres semblables à ceux qui ont servi à les construire.

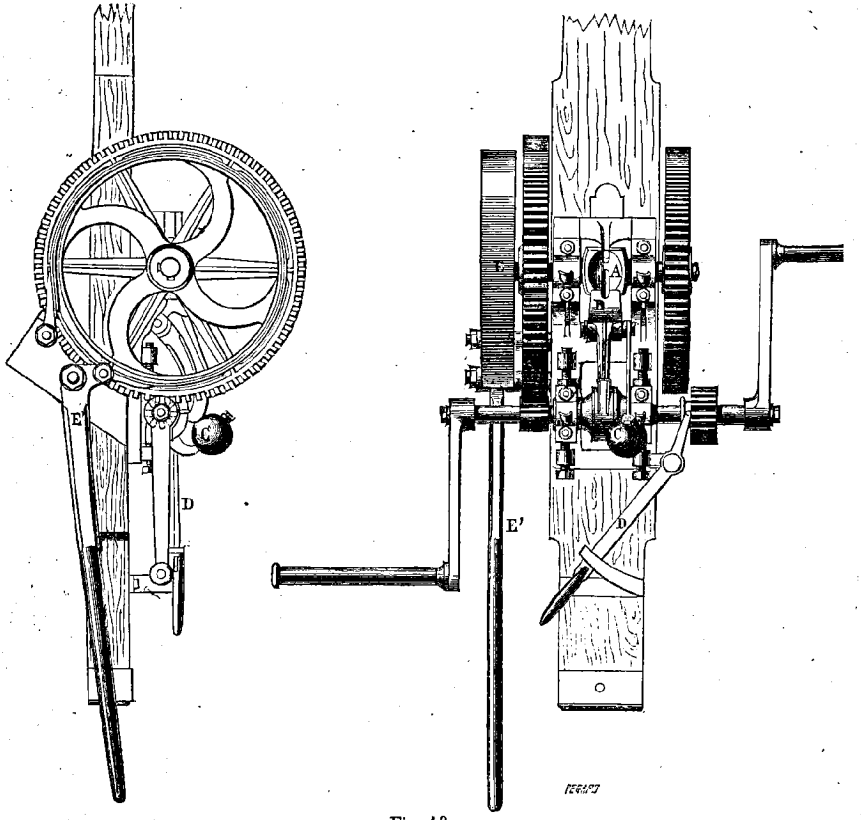


Fig. 13.

zontales et disposées en éventail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCHAFAUDAGE.

QUEMENT. — Dans l'examen de la branche de l'art des constructions que nous étudions ici, on ne saurait se dispenser de faire entrer les appareils qui servent à transporter les grandes masses de pierre et à les élever en place; un grand nombre de ces appareils ont été étudiés ailleurs, nous ne ferons que nommer ceux qui sont dans ce cas; mais il nous paraît nécessaire de procéder au moins à une énumération rapide.

Machines opératrices et organes divers. — Sous ce titre, nous comprenons :

1° La *poulie*, avec ses variétés et modes d'emploi multiples : poulie de retour, de renvoi, palans, mouffles; poulie différentielle.

2° Le *treuil* et ses différentes espèces, cabestan, guindeau. La construction des treuils de chantier a été bien perfectionnée depuis quelques années.

3° L'*appareil George*.

Un tambour cylindrique est mis en mouvement au moyen de roues à rochet, montées aux extrémités de l'axe et commandées par des leviers animés d'un mouvement alternatif par les bras des ouvriers.

4° L'*appareil à noix triangulaire* (fig. 13).

C'est un treuil dont le tambour cylindrique est remplacé par une noix A, en forme de prisme triangulaire en fonte, dont les faces portent l'empreinte des maillons de la chaîne de levage; ces maillons viennent se loger dans les vides des faces, qui leur offrent un point d'appui solide. L'inconvénient est de produire une articulation très-prononcée des maillons, et par suite un frottement et une usure rapides.

M. Neustadt a substitué aux diverses dispositions de treuils à tambour ou *à noix*, employées jusqu'ici, un pignon à chaîne Galles, qui présente de nombreux avantages. On reproche aux chaînes ordinaires leur défaut de sécurité, les ruptures dues à des vices ou défauts de soudure difficiles à constater dans les réceptions et développés par le service : notamment par le tirage biais des chaînes qu'amène leur enroulement sur le tambour, par le choc des maillons au passage des poulies et au contact du tambour, par leur cintrage et leur usure, surtout quand le tambour est cannelé, ce qui est indispensable pour régler l'enroulement de la chaîne sans double tour (fig. 14).

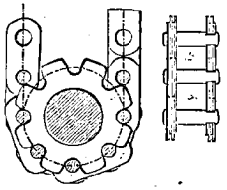


Fig. 14.

La chaîne Galle n'offre pas de soudure; sa section transversale comprend de nombreux maillons en fer de petit échantillon, et par conséquent présentant de plus grandes garanties de solidité que le fer des chaînes ordinaires : elles ne cassent pas brusquement; les maillons se brisent successivement.

Le pignon à chaîne est placé dans l'axe de l'appareil : il évite le tirage biais; les poulies sont dentées et ajustées de manière à supprimer le choc au passage de la chaîne, qui les emboîte parfaitement. Le diamètre de ce pignon est réduit au minimum, c'est-à-dire en moyenne au tiers du diamètre du tambour ordinaire; c'est une diminution d'autant du bras de levier de la résistance, d'où résulte une simplification considérable des engrenages et bâtis.

Ces simplifications s'appliquent à tous les mécanismes où le treuil joue un rôle; M. Neustadt en a produit de nombreux spécimens dans les appareils de levage usités par l'industrie, la marine et les chemins de fer.

Moteurs. — En général les appareils précédents sont disposés de manière à être mis indifféremment en mouvement, à bras ou mécaniquement. Les bras de l'homme sont encore le moteur le plus usuel dans les opérations de levage, qui, partout ailleurs que sur de grands chantiers, sont intermittentes. Cependant, depuis quelques années, à Paris et dans les grandes villes, on fait usage de moteurs mécaniques, qui économisent beaucoup de temps.

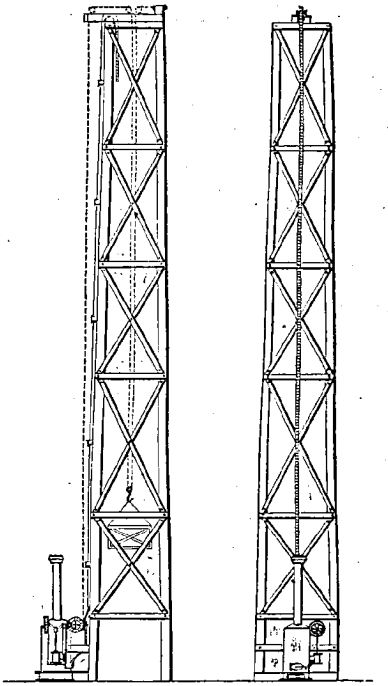


Fig. 15.

1° *Machines à vapeur.* — Les locomobiles ont trouvé dans ce genre de travaux une de leurs applications les plus fréquentes. Il faut qu'elles soient à détente variable, pourvues d'un régulateur, et disposées de manière à mettre le mécanisme, autant que possible, à l'abri de la poussière. On cherche des combinaisons qui permettent de commander à la fois plusieurs sapines; une machine de dix à douze chevaux peut conduire jusqu'à huit ou neuf grues.

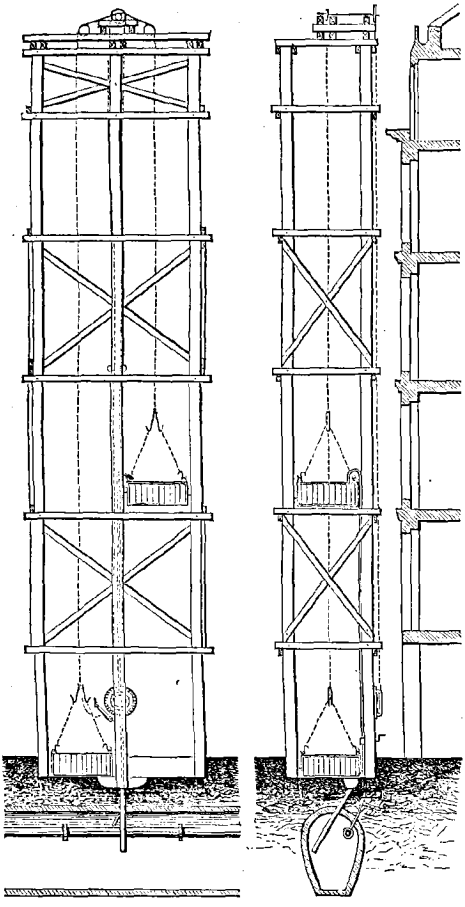
2° *Moteurs à gaz* (système Lenoir).

3° *Moteurs hydrauliques.* — On s'est quelquefois servi de l'eau en mouvement pour les travaux de construction. Perronet employait des roues hydrauliques aux épuisements du pont de Neuilly : M. Leblanc, à La-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉCHAFAUDAGE.

val, appliquait au même usage le bélier de son invention. M. Tony Fontenay a élevé, avec des roues hydrauliques, les matériaux du viaduc de l'Indre. Dans plusieurs villes, les eaux municipales sont concédées



PEGARD

Fig. 16.

comme force motrice; on en cite des exemples à Boston (États-unis), à Lyon et à Paris. Elles peuvent être appliquées au levage des matériaux.

Depuis quelques années, M. Edoux emploie avec succès aux travaux de construction de la capitale, l'appareil qui porte son nom (fig, 16). Cet appareil se compose de deux tours jumelles dépassant de quelques mètres la hauteur du bâtiment à construire. Six montants servent de guides à deux bâches en tôle étanche, dont le fond est garni d'un plancher pour recevoir les matériaux. Ces bâches sont elles-mêmes suspendues à deux chaînes en fer qui passent sur deux poulies placées à la partie supérieure des tours. Elles se remplissent alternativement d'eau et de matériaux: le poids de l'une entraîne les autres. Les eaux sont prises aux tuyaux de distribution de la ville; on vide les bâches après les avoir arrêtées avec un verrou, par un robinet placé au fond, quand les matériaux sont à destination.

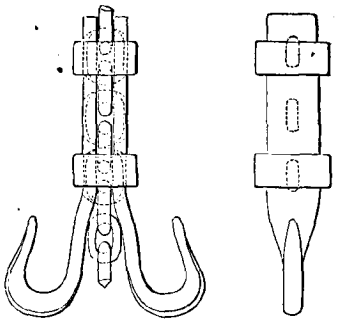


Fig. 17.

Un frein se manœuvrant d'en bas (fig. 18) permet de régler à volonté la vitesse, et d'arrêter la bâche ascendante à la hauteur voulue. A cet appareil se trouve annexé un pignon, qui permet au besoin de le manœuvrer à bras et de placer exactement la charge à la hauteur convenable, si l'action du frein ne s'est pas fait sentir assez à temps.

Les matériaux devant être montés à des hauteurs diverses, au fur et à mesure que la construction s'élève, il faut un moyen d'attache des bâches à la chaîne présentant à la fois une sécurité complète et la plus grande facilité de déplacement sur la chaîne. Ces résultats sont obtenus au moyen du système représenté par la figure 17 : il se compose de deux crochets munis de pattes portant les empreintes des maillons et de deux anneaux embrassant ces crochets et les forçant à s'appliquer sur la chaîne au point désigné.

M. Edoux a fait fonctionner à l'Exposition universelle de 1869 un dispositif présentant une forme extérieure analogue au précédent et destiné à élever les curieux sur le toit de la grande galerie des machines. Le fonctionnement de cet appareil appelé, suivant son auteur, à remplacer les escaliers dans les grands hôtels et palais, était fondé sur l'emploi de la pression hydraulique agissant sur un piston placé au-dessous de la plate-forme mobile et susceptible de s'enfoncer dant un tube artésien établi dans le sol à une profondeur égale à la hauteur à franchir.

Échafauds. Bigues. — C'est le plus simple de tous les appareils de levage; il est d'un usage constant dans les ports. Il se compose de deux pièces de bois enfoncées dans le sol par leurs pieds, et reliées à leur tête par un amarrage, dit portugaise. Les bigues sont maintenues légèrement inclinées par des haubans; un palan frappé sur la portugaise sert à soulever les fardeaux.

Chèvre. — La chèvre est une bigue perfectionnée, plus solide, munie d'assemblages et d'appareils auxiliaires permanents (voir l'article CHÈVRE). Les machines à mâter de la marine sont des chèvres d'une grande puissance; elles servent aussi à embarquer les chaudières à vapeur : celle que l'on vient de construire à Toulon a 40 mètres de hauteur et peut soulever des poids de 50 tonnes.

La figure 19 ci-contre indique l'installation d'une batterie de chèvres employées au levage des fermes métalliques de l'église de la Trinité, à Paris.

Grues. — Il existe une infinité de systèmes de grues; nous ne devons mentionner ici que celles employées dans les constructions (voir l'article GRUE).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° *Sapine.* — C'est une première variété de grue; elle a été décrite à l'article CHÈVRE du *Dictionnaire.*

et employés seulement à l'élévation verticale des matériaux.

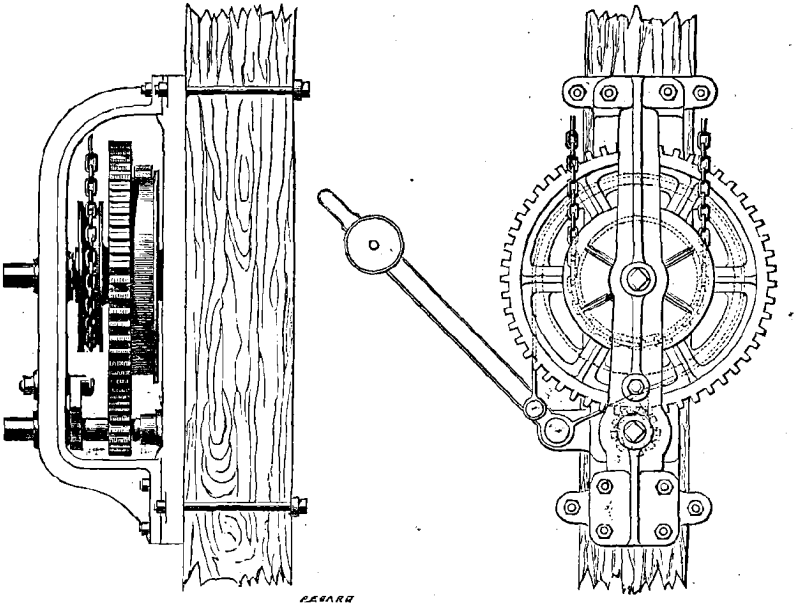


Fig. 18.

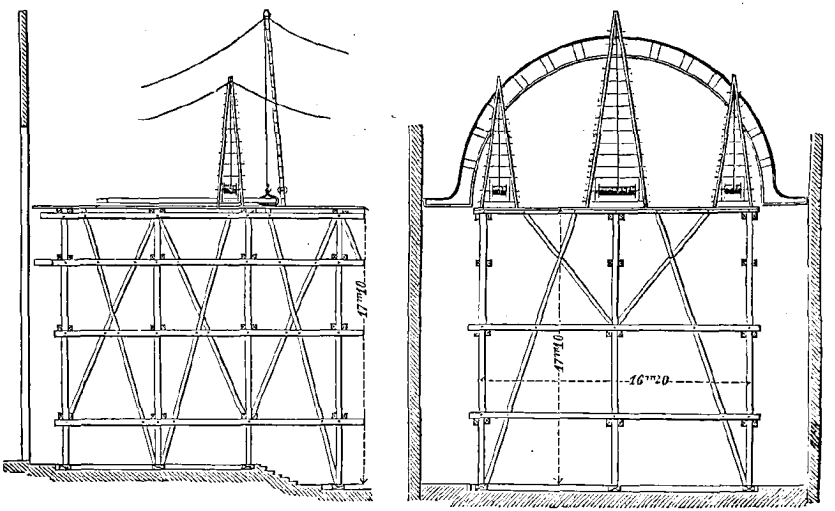


Fig. 19.

On désigne aussi sous ce nom les tours ou échafaudages carrés, tels que ceux représentés par les figures 15 et 16, pourvus de mécanismes plus ou moins puissants

2° *Petite grue du viaduc de l'Indre.* — Ce monument a été élevé sans autre échafaudage que cette petite machine (fig. 20); elle était fixée sur les piles et se déplaçait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec la plus grande facilité à mesure que la maçonnerie

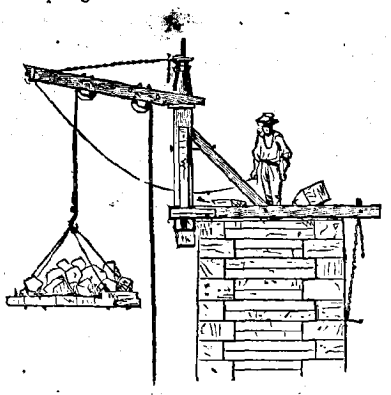


Fig. 20.

s'exhaussait. Des chevaux attelés sur la corde opéraient l'ascension des matériaux.

3° *Grues à volée variable.* — Cet appareil a été décrit à l'article TREUIL HYDRAULIQUE. Il est très-employé aux États-Unis.

4° *Grues à chariot.* — Telles sont celles du port d'Orsay, à Paris, les grues à diligence des chemins de fer, celles des carrières de Poulic-al-Lor, employées pour le chargement des blocs destinés à la construction du port de Brest, etc.

Grues roulantes à chariot. — La plupart des appareils qui viennent d'être décrits ont un inconvénient commun. Les matériaux sont élevés sur un point de la construction, et de là il faut les transporter au lieu d'emploi, en les faisant rouler sur les assises fraîchement posées, ce qui est pénible, cher et quelquefois dangereux. On a cherché des moyens d'atteindre mécaniquement tous les points d'un grand chantier (fig. 21).

Telles sont les machines à barder des ponts; la charge peut être animée d'un mouvement rectiligne dans trois sens différents et de directions perpendiculaires entre elles; par conséquent, on peut la transporter en un point quelconque du champ d'action de la machine. Celle-ci se compose d'un grand chariot mobile sur des rails posés sur le pont de service; ce chariot porte lui-même un chemin de fer sur lequel se meut, au moyen de roues, le treuil qui soulève les pierres et les descend à leur place. Cet appareil a été quelquefois employé dans l'architecture civile; mais la grande largeur et la hauteur des bâtiments sont en général des obstacles à son application.

La question a été résolue autrement; on a monté une véritable grue, composée d'un échafaudage atteignant au delà de la hauteur de l'édifice à construire, sur une plate-forme mobile elle-même sur un chemin de fer. A la partie supérieure se trouve un petit chariot qui peut être animé d'un mouvement transversal. Sur la plate-forme, une machine à vapeur commande à la fois le mouvement longitudinal de translation de la grue, l'ascension de la pierre, son mouvement transversal de transport à l'aplomb du mur à élever, et sa descente à pied-d'œuvre; cette machine sert en même temps de contre-poids à tout le système.

La grue roulante représentée figure 22 a été employée, par M. Cousté, à la construction de la nouvelle gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris. Des appareils analogues ont servi à l'édification des nouvelles églises; on a même proposé, pour ce cas particulier, des grues à double volée, propres à construire à la fois les deux murs d'une nef, et dispensant de tout échafaudage permanent.

M. Castor a fait usage d'un procédé analogue pour la construction du viaduc de Foix, près de Rouen, dont la hauteur est de 38m,50; on a bâti un pont de service de 9 mètres de haut, sur lequel circulaient trois grandes grues à vapeur de 27 mètres de hauteur; chacune d'elles, dans un espace de 120 jours, a élevé 3000 mètres cubes de pierre à une hauteur moyenne de 10 mètres, et au prix moyen de 1f,68.

GRANDES MANŒUVRES. — Ce serait ici le lieu de décrire quelques-unes des grandes manœuvres exécutées pour le transport et l'érection de monuments célèbres. Un pareil dessein nous entraînerait fort au delà des bornes de cet ouvrage; nous devons nous contenter d'indiquer à quelles sources on pourrait puiser pour trouver des exemples et les renseignements nécessaires.

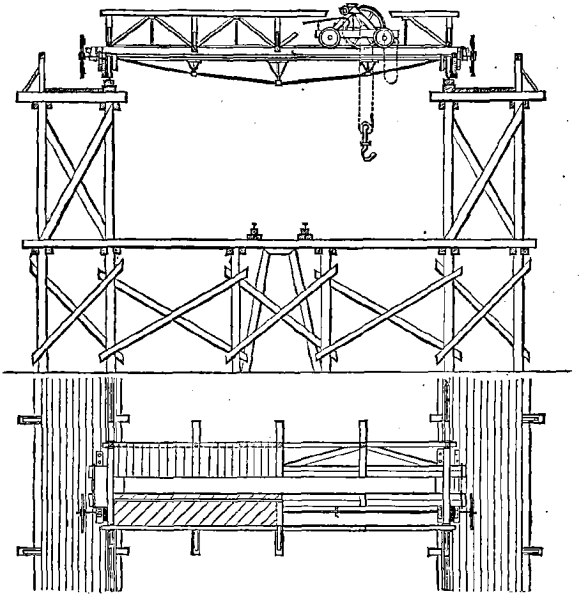


Fig. 21.

Les monuments de l'Égypte, de la Grèce et de l'Italie témoignent que les anciens étaient arrivés à un degré d'habileté extraordinaire dans le maniement sûr et précis des grandes masses.

Les architraves de la salle hypostyle de Karnac, en Égypte, sont formées de pierres de 9m,20 de long, 1m,30 d'épaisseur, et 2m,60 au moins de largeur; ces mesures représentent un cube de 31 mètres et un poids de 65 ton-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nes pour chacune de ces pierres. Elles sont placées sur des colonnes de 21m,11 de haut.

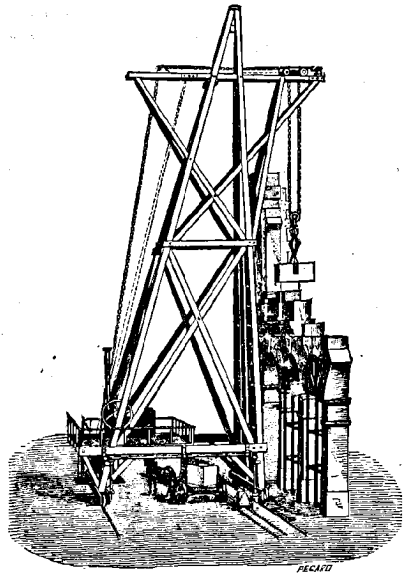


Fig. 22.

Suivant Hérodote, le temple monolithique de Saïs, dont le poids est évalué à 200 tonnes, aurait été transporté de l'île d'Éléphantine dans cette ville, à une distance de 20 journées de navigation, par 2000 hommes, employés continuellement à ce travail pendant trois ans.

Les obélisques donnaient certainement lieu aux manœuvres les plus hardies et les plus délicates. Nous savons très-peu de chose des procédés employés dans l'antiquité à cette occasion. Parmi les grandes opérations dont ils ont été l'objet à des époques plus rapprochées de nous, on cite l'érection de l'obélisque du Vatican, 1586; celle de Saint-Jean-de-Latran, vers la même époque, et due au même auteur, l'architecte Domenico Fontana : ce monument était renversé dans un marais, et brisé en trois morceaux; le plus grand pesait 274 tonnes; l'ensemble pesait 469 tonnes; celle de l'obélisque d'Arles, pesant 100 tonnes, en 1676; enfin celle de l'obélisque de Louqsor, à Paris, par M. Lebas, en 1833 : ce monolithe pèse 230 tonnes, et son volume est de 85 mètres cubes. Un ouvrage spécial a été publié sur cette opération.

Vitruve décrit plusieurs engins et manœuvres, employés de son temps pour le transport des grands fardeaux.

Claude Perrault, dans sa traduction de cet auteur, ajoute quelques explications qui lui sont personnelles, et entre autres celle des apparaux au moyen desquels il a transporté de Meudon à Paris et mis en place les pierres du fronton du Louvre; elles ont 16m,89 de long, 2m,60 de large, et 0m,49 d'épaisseur.

Le rocher qui forme le piédestal de la statue de Pierre le Grand, à Saint-Pétersbourg, pèse 1500 tonnes (13 mètres de long, 8 mètres de large, 7 mètres de haut). Nous renvoyons à l'ouvrage spécial publié à cette occasion.

Le colonel Émy cite dans son traité plusieurs édifices tout entiers déplacés avec beaucoup de hardiesse et de succès.

En 1705, à Rome, la colonne Antonine a été transportée toute entière.

Domenico Fontana transporta tout d'une pièce, à une distance de 18m,54, et à un niveau inférieur de 2m,27 la chapelle du Presepio, de la basilique de Sainte-Marie-Majeure; quoique construite en mauvais matériaux, et percée d'une porte et d'une fenêtre, cette construction arriva sans avarie à sa nouvelle destination.

En 1776, le clocher de Crescentino (Piémont), de 22m,50 de haut, a été déplacé de 3 mètres par le maître maçon Serra.

Il y a une trentaine d'années, le sieur Nicolle, maître charpentier à Courson, a exécuté un tour de force plus extraordinaire : il a déplacé, de 21m,20, le clocher de charpente de l'église de Saint-Julien de Maissac (Calvados). Ce clocher avait 24m,36 de hauteur, au-dessus des murs de l'église, élevés eux-mêmes de 8m,12 au-dessus du sol. L'opération a été payée 250 francs; elle a duré dix-huit heures, pendant lesquelles les cloches ne cessèrent pas de sonner.

Aux États-Unis, on a eu plusieurs fois à transporter des maisons entières; à l'Exposition universelle de 1867, on avait présenté le dessin d'une de ces opérations.

A Paris, nous avons vu transporter, à une distance de plusieurs mètres de son emplacement primitif, et à un niveau plus élevé de 6 mètres, la fontaine de la place du Châtelet.

De nos jours, des manœuvres extrêmement hardies et ingénieuses s'exécutent très-fréquemment pour l'établissement des grands ouvrages métalliques; l'on est arrivé à simplifier considérablement les échafaudages, et même dans certains cas à s'en dispenser tout à fait. Nous ne pouvons entrer ici dans les détails, mais nous devons au moins mentionner :

1° Les divers systèmes de levage des poutres droites des grands viaducs de chemin de fer (ponts de Menai, de Saltash, des chemins de fer russes, de Kehl, d'Argenteuil, etc.), et surtout les procédés si remarquables appliqués d'abord au viaduc de Fribourg, puis à ceux de la Cère et de Busseau d'Ahun, etc.;

2° Le montage de l'arc en fonte construit sur le Rummel, à Constantine, par M. George Martin, au moyen de chaînes-câbles;

3° Le montage d'arcs en tôle, sans cintres, du pont de Westminster, à Londres; celui du pont d'El-Cinca (Espagne, 70 mètres d'ouverture);

4° Le montage si simple des arcs articulés de plus de 40 mètres, construits par M. Darcel, sur le canal Saint-Denis et aux buttes Chaumont.

Les travaux des ports maritimes offrent encore de nombreux modèles de hardies manœuvres, exécutées par des moyens très-simples; la mise en place des grandes portes d'écluses, le transport et la pose des blocs artificiels, enfin le lançage et l'armement des navires en sont les principales occasions. Les chantiers de Cherbourg, de Marseille, d'Alger, de Livourne, etc., sont justement, et depuis longtemps, renommés par les exemples instructifs qu'ils fournissent aux constructeurs. Au nouveau port de Brest, on est arrivé à poser et à manœuvrer des blocs de 90 tonnes, qui forment les fondations des quais, avec tant de facilité, qu'on a pu reprendre et remanier les blocs de soubassements, qui avaient subi quelques tassements.

ÉCLAIRAGE. Nous allons passer en revue quelques inventions à signaler dans l'industrie de l'éclairage, indiquer quelques résultats dus à d'ingénieuses recherches.

Lampe Jobard. — La petite lampe, inventée par M. Jobard, est à noter, bien qu'elle n'ait pas eu de succès dans la pratique. Ce n'est guères qu'une veilleuse, mais la combustion s'y faisant dans de bonnes conditions,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle donne une quantité étonnante de lumière, eu égard à sa dépense minime, à la faible consommation d'huile.

Elle confirme pratiquement un résultat d'expérience; c'est que la plus grande intensité de lumière est produite par un excès d'air qui donne une flamme blanche, et que le maximum de lumière pour une même consommation est obtenu au moyen d'une moindre quantité et aussi à l'aide de l'échauffement préalable de cet air, partie de la chaleur produite n'étant plus employée à le chauffer. Dans ces conditions, la flamme est longue, rouge jaunâtre, les molécules charbonneuses restent longtemps incandescentes.

Nous donnons le dessin de la petite lampe de M. Jobard (fig. 3518). On voit qu'elle est formée d'un verre à pied, dont le fond reçoit l'huile et la mèche qui fonctionne par sa seule capillarité. Il est recouvert d'une plaque de cuivre qui est percée à son centre pour laisser échapper les produits de la combustion, et près des bords de trous qui laissent descendre l'air froid, qui s'échauffe dans son parcours et vient brûler l'huile déposée dans la mèche. Cette combustion s'effectue avec la régularité la plus parfaite, sans la moindre oscillation de la lumière.



Fig. 3518.

Cette lampe ne brûle que 7 grammes d'huile, soit 1/2 centime par heure, et donne assez de clarté pour qu'on puisse écrire et travailler à sa lumière.

Bien que n'ayant pas très-bien réussi dans la pratique, succès qui répond à une foule de questions de quantité de lumière, de facile nettoyage, difficiles à prévoir, ce petit appareil est fort curieux. Les résultats qu'il donne au point de vue, notamment de sa faible consommation, sont très-intéressants.

Becs pour la combustion du gaz. — La bonne disposition des becs qui servent à la combustion du gaz est d'une grande importance. En produisant le maximum de lumière pour une même consommation de gaz, ils peuvent être la source d'importantes économies. Ce résultat sera surtout obtenu par les becs donnant une flamme très-régulière, pas trop allongée, afin d'agir comme un point lumineux, en permettant au besoin l'action d'un réflecteur (voy. ÉCLAIRAGE).

C'est surtout, comme il a été prouvé par les expériences rapportées audit article, au moyen de faibles pressions que s'obtient l'économie dans l'emploi du gaz d'éclairage. Pour l'intensité, quelquefois exigée, on est obligé de s'écarter sensiblement de cette limite.

Bec Chaussenot. — Nous donnerons la description du bec Chaussenot, inventé depuis plusieurs années, et nous emprunterons au *Traité de l'éclairage au gaz* de M. Pelouze une étude intéressante faite sur ce bec:

« La Société d'encouragement avait offert un prix de deux mille francs pour les moyens les plus efficaces d'augmenter le pouvoir illuminant des flammes produites par la combustion des gaz d'éclairage. Ce prix a été adjugé en 1836 à M. Chaussenot.

« Le programme de la Société, au surplus, rappelait dans son ensemble des principes assez certains et que nous croyons devoir reproduire ici:

« 1° Que la quantité de lumière est proportionnée à la température plus ou moins élevée des particules charbonneuses et au nombre d'entre elles existant à la fois à l'état d'incandescence depuis le moment de leur précipitation jusqu'à leur transformation en un gaz invisible.

« 2° Que les courants d'air rapides, qui rendent les flammes plus brillantes, plus blanches et moins volumineuses, diminuent la quantité totale de la lumière émise par un bec;

« 3° Que les courants, quand ils sont trop faibles, en donnant à la flamme moins d'éclat, une coloration plus rouge, un volume plus grand, à cause d'une combustion moins rapide, faisaient diminuer l'intensité lumineuse d'une égale section de la flamme, tout en accroissant en somme la quantité de lumière produite;

« 4° Enfin, que le maximum d'intensité lumineuse totale avait lieu au moment où des particules solides charbonneuses étaient tout près d'échapper à la combustion, tant la proportion d'air ambiant s'approchait de la limite strictement utile. On conçoit d'ailleurs la nécessité où l'on est toujours de s'écartor d'une telle limite, dans la crainte de la dépasser et d'occasionner une déperdition de gaz et une production de fumée.

L'appareil de M. Chaussenot se compose d'une double enveloppe de verre, disposée de telle sorte que l'air extérieur s'échauffe beaucoup avant d'arriver à la flamme dont il doit entretenir la combustion. Cette circonstance permet à la fois de mieux utiliser l'oxygène de l'air, d'employer moins d'excès de ce dernier pour obtenir la précipitation du carbone et sa combustion; enfin, par cette raison même et par l'élévation de la température de l'air, de moins refroidir le gaz qui brûle, et par conséquent de lui conserver davantage de pouvoir illuminant.

« Les commissaires de la Société d'encouragement annoncent qu'avec l'appareil de M. Chaussenot, ils ont varié et répété les expériences, et toujours avec un égal succès; enfin, ils concluent, ce qui semble un résultat bien élevé, que l'augmentation totale de lumière, des quantités égales de gaz étant brûlées, est sensiblement de 0,33, si on la compare à celle produite dans les becs ordinaires. Les commissaires font d'ailleurs remarquer que la moindre afflux d'air dans le bec Chaussenot doit nécessairement donner une plus grande stabilité à la flamme, l'empêcher d'être vacillante, la rendre moins fatigante pour les yeux, moins influencée par les courants inconstants de l'air extérieur; ils affirment que ce dernier fait a été dûment constaté. »

C'est, nous pensons, le défaut de simplicité qui a empêché cet appareil de réussir. Les verres sont toujours dans la pratique des corps qui éteignent en partie la lumière et un double verre devait offrir des inconvénients sérieux.

On a cherché par des dispositions plus simples à obtenir partie des avantages du bec Chaussenot. Nous avons déjà parlé (art. ÉCLAIRAGE) de l'emploi des toiles métalliques ou des fentes multiples, pour éviter les brusques variations du courant d'air; nous citerons encore la disposition suivante, très-propre à assurer la régularité de la lumière.

Bec Parisot. — Le bec Parisot est formé de pièces qui s'emboîtent de manière à laisser une fente circulaire pour la sortie du gaz, et de plus formée à la partie inférieure du bec un petit réservoir qui forme régulateur et empêche la flamme de rien ressentir des remous produits dans les conduites. Avec ce bec et une toile métallique sur le passage de l'air, la flamme du gaz courant est d'une parfaite stabilité, condition nécessaire pour bien des travaux.

Gaz de tourbe. — Le gaz extrait de la tourbe jouit de propriétés éclairantes remarquables. Bien qu'on ne puisse, à notre avis, fonder sur l'exploitation de la tourbe l'alimentation de vastes usines à gaz comme celles qui servent à l'éclairage des grandes villes, et qui reposent sur la richesse immense des mines de houille, cependant les résultats d'expériences que nous allons rapporter peuvent conduire, dans des circonstances particulières, à des applications intéressantes, et ont beaucoup d'intérêt en faisant connaître des faits curieux.

Lorsque la tourbe est introduite dans une cornue de fonte chauffée au rouge sombre, elle donne immédiatement un mélange de gaz permanent et de vapeurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

susceptibles de se condenser en un liquide oléagineux. Ces deux produits se séparent bientôt en vertu de la différence des états physiques qu'ils affectent à la température ordinaire : aussitôt refroidie, l'huile de tourbe est rassemblée dans un vase spécial, tandis que le fluide permanent, continuant son trajet, va se rendre dans un gazomètre.

Cet hydrogène carboné gazeux, l'un des produits immédiats de la distillation de la tourbe, est par lui-même tout à fait impropre à l'éclairage : il donne une flamme très-petite, comparable pour l'éclat à une flamme de punch, et qui, par conséquent, ne répand sur les objets environnants que fort peu de lumière. L'huile de tourbe est un liquide visqueux, noirâtre, fortement odorant et assurément très-complexe, qui, soumis à une nouvelle distillation, se résout tout entier en gaz permanent, en hydrogène très-richement carboné. Le mélange gazeux, que j'appellerai gaz d'huile, contraste singulièrement par ses propriétés avec le gaz obtenu dans la première opération. En brûlant, il donne une flamme six ou huit fois plus étendue et douée du plus vif éclat. On mêle alors ces deux gaz ensemble, le riche et le pauvre, et l'on obtient un gaz moyen, propre à la consommation. Quand l'opération est bien conduite, une fournée de tourbe, traitée comme il vient d'être dit, donne successivement un gaz pauvre et un gaz riche qui, versés dans la même cloche, forment un mélange capable de produire une belle flamme, et que j'appellerai mélange naturel. On reconnaît aisément, à la vue simple, que ce dernier mélange possède un pouvoir éclairant plus considérable que le gaz courant fourni par la distillation de la houille. Cette supériorité est assez évidente pour que le gaz de tourbe paraisse pouvoir devenir l'objet d'une exploitation sérieuse.

C'est ce que prouvera bien un des tableaux photométriques que nous emprunterons encore à une intéressante brochure de M. Foucault que nous mettrons encore à contribution à l'article PHOTOMÉTRIE, où sera expliquée la méthode employée dans ces expériences par ce physicien :

Comparaison des gaz avec un faisceau de sept bougies. Évaluation des intensités au moyen du photomètre à compartiments. Becs n° 2, pressions égales de 22mm.

		CARRÉS.	RAPP.
Bougies.	1,	10000	2,93
Tourbe	1,712	29344	
Bougies.	0,988	9761	3,51
Tourbe	1,85	34225	
Bougies.	1,085	11772	3,31
Tourbe	1,973	38927	
Bougies, ...	1,156	13363	3,33
Tourbe	2,11	44521	
Bougies.	1,196	14304	3,54
Tourbe	2,25	50625	
Moyenne.			3,32
Bougies.	1,44	20736	0,97
Gaz de la ville.	1,42	20161	
Bougies.	1,59	25231	0,98
Ville	1,573	24743	
Bougies.	1,455	21170	0,97
Ville	1,435	20592	
Bougies.	1,69	28561	0,94
Ville	1,64	26896	
Bougies.	1,555	24180	0,99
Ville	1,547	23932	
Moyenne.			0,97

Comparaison des deux gaz.

Gaz de la ville.	1,238	15326	3,38
Tourbe	2,276	51802	
Ville	1,315	17292	3,27
Tourbe	2,377	56501	
Ville	1,36	18496	3,27
Tourbe	2,46	60516	
Moyenne.			3,31

Interversion des gaz dans les becs.

Gaz de la ville.	1,375	18909	3,11
Tourbe	2,425	58806	
Ville	1,25	15625	3,49
Tourbe	2,334	54476	
Ville	1,207	14568	3,30
Tourbe	2,194	48136	
Moyenne.			3,30

Moyenne générale : 3.30.

On voit que le gaz de tourbe, le mélange des deux gaz dont nous avons parlé, a une très-grande supériorité de pouvoir éclairant sur le gaz de houille fourni pour l'éclairage de Paris. Le pouvoir éclairant de celui-ci étant exprimé par 100, celui du gaz de tourbe s'est maintenu dans des limites comprises entre 150 et 300.

Carburation du gaz. — Des essais curieux pour accroître dans une forte proportion le pouvoir éclairant du gaz, ont été faits par plusieurs inventeurs, en faisant passer le gaz à travers des hydro-carbures. Le système le plus apprécié, le carburateur Lacarrière, consiste en un appareil à niveau constant, qui fournit le liquide que le gaz vient traverser. Avec de la benzine, le pouvoir éclairant du gaz courant de Paris a augmenté de 30 p. 100 pour une dépense correspondant au quart de ce qu'eût coûté le gaz qui eût donné cette lumière. Malgré cela, la pratique n'a pas encore consacré l'emploi d'un système qui complique quelque peu l'usage du gaz, dont l'extrême simplicité est surtout appréciée du consommateur.

Emploi d'un corps incandescent dans la flamme. — La quantité de lumière que fournit la combustion du gaz d'éclairage dépend à la fois de la quantité de chaleur dégagée par la combustion et de la persistance des molécules solides de carbone à l'état de vive incandescence. Ces deux élements varient en quelque sorte inversement l'un de l'autre, et quand on cherche, comme dans le brûleur de Bunsen (voy. CHAUFFAGE AU GAZ), à obtenir le maximum de chaleur, toute lumière disparaît.

C'est de cette observation que l'on déduit, ce que confirme l'expérience, que dans les conditions ordinaires, à la pression ordinaire de l'atmosphère, on obtient le maximum de lumière par la combustion du gaz à faible pression. Il était curieux de voir ce que donnait de lumière le gaz brûlé de manière à fournir le maximum de chaleur, celle-ci étant employée à porter au blanc un corps métallique placé au point où se fait la combustion, une spirale de platine, par exemple, comme l'avait fait M. Gillard, pour utiliser à l'éclairage la combustion de l'hydrogène pur, qui, par elle-même, dégage fort peu de lumière.

C'est ce qu'a tenté M. Bourbouze, préparateur de physique à la Sorbonne, en employant l'air comprimé. Ses premières expériences ont été faites avec le chalumeau de M. Schlœsing, dont l'embouchure, évasée du diamètre d'une pièce de deux francs, est recouverte d'un tissu ou réseau en fil de platine convenablement serré.

Le chalumeau à deux tubes concentriques est en communication, par un tube, avec la pompe à air; par l'autre, avec la source de gaz d'éclairage. On comprime

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'air en pompant jusqu'à ce que la pression soit de 18 centimètres de mercure, et l'on enflamme à travers le réseau de platine le mélange d'air comprimé et de gaz. Au bout de quelques instants, la chaleur rend le platine incandescent ; on règle les robinets de manière que, la combustion devenant parfaite, toute flamme disparaît, et l'on obtient un disque lumineux absolument fixe, dont l'éclat augmente quand on porte la pression de 18 à 30 centimètres, limite qu'il ne faut pas dépasser, parce qu'on risquerait de fondre le platine. La lumière, remarquable par sa blancheur et son éclat, a été trouvée moins chère, déduction faite de la dépense de la compression de l'air, de 20 p.100 que celle obtenue avec les becs ordinaires.

La limite de ce procédé est fixée par la fusibilité du platine, qui ne permet pas de tirer parti de la température plus élevée que l'on pourrait obtenir en augmentant la pression de l'air (et pour des pressions élevées en comprimant également le gaz d'éclairage). Elle ne résulte pas, on le voit, du mélange de la grande quantité d'azote dans l'air atmosphérique, qu'il faut inutilement porter à une température très-élevée, perte qu'il serait possible d'éviter, en partie au moins, en employant la chaleur perdue à chauffer l'air qui vient alimenter la combustion.

Pour avancer dans cette voie, il faudrait remplacer le corps métallique par un corps infusible, disposer les appareils comme on le fait pour la lumière Drummond, c'est-à-dire en employant le pouvoir réflecteur de la chaux et de la magnésie à de hautes températures qui exaltent seulement l'éclat de ces corps infusibles. Il y aurait à maintenir la pression convenable du gaz, au point où la combustion a lieu, problème si élégamment résolu dans la disposition indiquée ci-dessus, par l'emploi d'un réseau métallique.

L'application industrielle de la lumière Drummond a été tentée, ainsi que nous allons le dire, dans des conditions voisines de celles de l'invention primitive, c'est-à-dire en employant du gaz oxygène pur.

Éclairage par l'emploi du gaz oxygène pur. — On sait avec quel éclat s'effectue, dans l'oxygène, la combustion de tout corps solide combustible. Ce gaz représente non-seulement, au point de vue de la richesse du principe comburant, de l'air comprimé à 5 atmosphères, mais encore cet air débarrassé de la présence de l'azote, dont l'échauffement consomme inutilement partie de la chaleur produite. Son emploi ne serait pas d'une grande importance, s'il servait à alimenter un bec de gaz ordinaire, si on n'utilisait la grande quantité de chaleur dégagée par cette combustion à obtenir un puissant foyer lumineux, à rendre incandescent un corps infusible à la haute température ainsi produite, à engendrer la lumière si éclatante connue sous le nom de lumière Drummond. Nous allons décrire ce système, en laissant de côté la production industrielle de l'oxygène, à laquelle nous consacrerons un article spécial (voy. OXYGÈNE).

C'est un officier de la marine anglaise nommé Drummond qui eut l'heureuse idée de projeter sur un bâton de craie ou de chaux, un jet enflammé de gaz oxygène et hydrogène mélangés dans la proportion d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène. Il obtint ainsi la lumière très-vive qui porte son nom, et qui vient au troisième rang, après la lumière solaire et la lumière électrique. Elle a été surtout employée pour projeter les images de la lanterne magique et du microscope.

Le crayon de chaux résistait peu de temps, cassait souvent par le refroidissement, et M. Calvarès, professeur de chimie à Turin, l'a remplacé avec succès par des lamelles de chlorure de magnésium et de magnésie, qui deviennent poreuses et transparentes lorsque le premier de ces corps a été décomposé par la chaleur.

M. Caron, qui a guidé MM. Tessié du Motay et Maréchal (de Metz) lorsqu'ils entreprirent, conduits par les résultats de leurs travaux sur la préparation économique de l'oxygène, l'application de la lumière Drummond à l'éclairage public, adopta l'emploi d'un cylindre de magnésie, substance la plus convenable par suite de son infusibilité, qui permet d'atteindre les plus hautes températures. Toutefois les cassures qui se produisent lors du refroidissement sont un inconvénient assez grave. En poursuivant ses recherches, il a trouvé dans la Zircone une substance qui lui paraît bien préférable. Elle est encore fort chère aujourd'hui, mais la découverte de quelque gisement peut, au premier jour, en réduire beaucoup le prix.

Le bec adopté par M. Tessié du Motay se compose de trois ou quatre petits jets d'un mélange d'oxygène et de gaz d'éclairage, tendant vers le centre occupé par le petit cylindre de magnésie. Les robinets étant ouverts et les becs allumés, le cylindre de magnésie devient incandescent et rayonne une quantité de lumière bien plus grande que celle fournie dans les conditions ordinaires, par la quantité de gaz consommée.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — Nous avons traité, à l'article ÉCLAIRAGE du *Dictionnaire*, de l'éclairage électrique et des régulateurs qui en ont rendu l'application possible; nous n'avons pas à revenir ici sur une question si bien traitée dans cet article, que nous avons dû à l'amitié de leur inventeur, physicien si justement célèbre L. Foucault.

On trouvera plus loin, à l'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ, la description des machines qui permettent de convertir du travail mécanique en électricité, et par suite en chaleur et en lumière. Ici nous voulons traiter des progrès accomplis dans la voie de la vulgarisation de la lumière électrique, qui, déjà appliquée aux phares, dans les fêtes publiques, viendra sûrement bientôt éclairer les spectacles, les assemblées, etc., et dont on verra se multiplier les applications à mesure que son maniement deviendra plus facile et plus exempt d'inconvénients.

Divisibilité de la lumière électrique. — L'ignorance des moyens de diviser la lumière fournie par l'électricité rend son emploi impossible dans une foule de circonstances. L'arc électrique n'apparaissant qu'avec une production considérable d'électricité à une tension élevée, donne un foyer de lumière extrêmement intense, dont l'effet éclairant, diminuant en raison du carré des distances, ne saurait remplacer, pour nombre d'emplois, une somme égale de lumière répartie en de petits foyers convenablement espacés. C'est ce qui a lieu, par exemple, pour l'éclairage des voies publiques.

Il était naturel de chercher à envoyer successivement la lumière électrique dans des appareils différents, au moyen d'un manipulateur dont les intervalles fussent moindres que ceux de la persistance de la sensation lumineuse qui, on le sait, a une durée notable d'au moins un dixième de seconde.

Restait à savoir si, en opérant ainsi, l'arc jaillirait instantanément entre les charbons restés lumineux, lorsque cesserait l'interruption. Or M. Leroux a reconnu que l'arc voltaïque, interrompu pendant un temps très-court, inférieur à un vingtième de seconde, se rétablissait spontanément. Il a pu ainsi diviser la lumière, en lançant, au moyen d'une roue distributive qui tourne rapidement, le courant d'une pile de Bunsen, alternativement dans deux régulateurs, de manière à ce qu'il passe dans chacun d'eux pendant le même nombre de fractions de seconde, $\frac{50}{100}$ par exemple. Dans ces conditions, les deux lumières sont et restent parfaitement égales.

Pour que l'expérience réussisse aussi bien que possible, il est utile que les charbons soient plus petits que lorsque le courant doit y passer d'une manière continue; s'ils sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à section carrée, leur côté ne doit pas dépasser 4 millimètres. On doit admettre que l'intervalle entre les deux charbons renferme des traces de vapeur de carbone pendant l'interruption très-courte du courant, et que c'est à la présence de cette atmosphère qu'est dû le rétablissement instantané du courant. On est porté à admettre cette explication quand on voit l'arc électrique, examiné au spectroscope, présenter constamment les raies caractéristique du carbone.

Production et emploi facile de la lumière électrique. — Les machines magnéto-électriques produisent la lumière électrique à bon marché, mais dans des conditions qui ne permettent guère de l'utiliser qu'à l'éclairage extérieur à l'air libre; elle est accompagnée d'un bruit qui résulte des inversions perpétuelles du courant, des vibrations engendrées par la vitesse du mouvement, etc.

La pile de Bunsen, habituellement employée à cause de l'énergie des actions qui s'y produisent, dégage des quantités considérables de vapeurs nitreuses, qui en rendent l'emploi désagréable et nuisible.

M. Carré, l'ingénieux inventeur des appareils servant à fabriquer de la glace, en améliorant et construisant sur de grandes dimensions l'élément de la pile de Daniel au sulfate de cuivre, si inoffensive, a fait faire un pas important à la question de la vulgarisation de l'éclairage électrique. Sa principale modification est d'avoir remplacé le vase poreux par un cylindre de papier parcheminé, attaché à un pied en porcelaine. L'endosmose, si facile à travers cette substance de peu d'épaisseur, rend les effets incomparablement plus grands.

L'elément de cette pile est formé par un vase de $0^m,12$ de diamètre et de $0^m,60$ de hauteur dans lequel est un zinc, haut de $0^m,55$, porté sur un croisillon et isolé par lui de la boue métallique qui tombe au fond. Le diaphragme qui sépare les deux liquides est formé de papier parcheminé, ou, à défaut, d'un papier qui a été imprégné d'albumine, et ensuite porté à la température de 230°. Ce papier est collé sur lui-même et réuni à un godet qui lui sert de pied et qui repose sur le croisillon placé au fond du vase. Sur la hauteur du diaphragme, on place une carcasse cylindrique de même hauteur, formée de baguettes de bois, espacées de 3 à 4 millimètres, assemblées par le bas sur un fond de même matière et, au sommet, sur un cercle de cuivre, qui les réunit et qui reçoit le fil polaire extérieur. Un fil de cuivre, de 3/4 de millimètre, est tendu alternativement entre le cercle polaire collecteur, denté pour le recevoir, et les saillies du fond en bois. Ce fil entoure ainsi la carcasse d'un réseau présentant un développement considérable et sur lequel le dépôt de cuivre s'opère d'une manière régulière. A l'intérieur de la carcasse et sur toute la hauteur du diaphragme, on met des cristaux de sulfate de cuivre, qui forment une colonne divisée, que le liquide baigne sur une large surface.

Le meilleur liquide extérieur est une solution de sulfate de zinc à 10 degrés, acidulée à $\frac{1}{500}$, qui fournit un courant à peu près constant d'électricité, tant que la densité est au-dessous de 40 degrés. Si on y ajoute un dixième d'une solution de sel ammoniac, le courant électrique devient plus intense.

Cet élément a une tension moindre que celui de Bunsen, mais il a plus de régularité; dans les dimensions indiquées, il donne plus d'électricité qu'un élément de Bunsen de dimension moyenne, et peut fonctionner en donnant un courant constant jusqu'à usure complète du zinc c'est-à-dire pendant 200 heures de travail effectif. Il consomme environ $0^k,009$ à $0^k,010$ de zinc par heure. Son emploi est donc peu dispendieux, surtout quand on se rappelle que, dans un grand atelier, on pourrait reconstituer le sulfate de cuivre en reprenant les dépôts de cuivre et les attaquant par de l'acide sulfurique au contact de l'air.

Avec 55 éléments, et même avec 40, on obtient une belle lumière; celle-ci apparaît encore avec une intensité bien moindre naturellement, avec 22 éléments.

La simplicité du régulateur est une question importante de succès que M. Carré a attaquée. Son régulateur, en rapport avec la faible tension de sa pile, est assez sensible pour fonctionner sans extinction avec 18 éléments Bunsen et 22 de ceux qu'on vient de décrire. Le principal organe est un nouveau genre d'armature de l'électro-aimant, antagoniste d'un ressort, d'après les principes établis par Foucault. Entre les deux pôles de celui-ci pivote une traverse de fer doux, munie, à ses deux extrémités, de deux segments elliptiques développés sur deux arcs de 90 degrés. L'attraction s'exerçant sur ces segments produit une résultante exempte des effets fâcheux de la loi d'attraction inverse du carré des distances, de telle sorte qu'il est facile de déterminer à l'avance, par l'inclinaison donnée à la courbe elliptique, la puissance convenable pour un besoin donné sur les 90 degrés de rotation de l'armature, pour rapprocher ou écarter les charbons. Cette armature symétrique et équilibrée permet d'obtenir, en outre, des régulateurs qui fonctionnent indépendamment des secousses, et qu'il devient facile d'installer à bord des navires et sur les locomotives.

L'arc voltaïque produit presque constamment un bruit strident très-désagréable. M. Carré a constaté qu'en imprégnant les charbons de divers sels par une ébullition prolongée dans leurs solutions concentrées, ils donnent un arc complétement muet. Moyennant ces charbons et un globe stannique, on obtient une lumière aussi placide et aussi inoffensive que celle qui eût été produite par quelques centaines de bougies, moins une énorme quantité de chaleur et de résidus méphitiques de combustion. Un grand nombre de sels donnent ce résultat, et particulièrement ceux de potasse et de soude.

On modifie la couleur de l'arc en introduisant dans les charbons, toujours par voie de dissolutions salines, des substances qui ont la propriété de colorer les flammes; ainsi l'azotate de strontiane a donné un reflet pourpre, et les sels de cuivre un reflet vert.

ÉCONOMIE AGRICOLE. Jusqu'au milieu du siècle dernier, dans la plus grande partie du monde civilisé, partout on peut dire, à l'exception de quelques contrées jouissant d'avantages naturels tout particuliers, la culture de la terre ne se dirigeait guère que par les principes du vieux Caton, et nous doutons que l'on pût établir qu'elle possédât une supériorité positive sur l'agriculture romaine. Aider faiblement, autant que cela était absolument nécessaire, et avec les ressources les plus limitées, par l'emploi des résidus dont on ne pouvait tirer nul autre parti, le travail naturel du sol et de la végétation, dépenser le moins possible pour la terre comme pour celui qui la cultivait, telle était à peu près toute la science économique du cultivateur, et, il faut le dire, ce n'est que grâce à de nombreuses expériences, à des succès indiscutables, que nos paysans commencent à ne plus se moquer de la création d'exploitations créées à grands frais, dirigées dans des voies toutes différentes de celles qu'ils étaient habitués à parcourir.

C'est surtout l'habitude de l'industrie manufacturière qui, en Angleterre d'abord et ensuite en France, a changé les idées relativement à l'agriculture, et a fait comprendre que ce n'était pas une industrie différente des autres, en ce sens que c'était en raisonnant de la même manière qu'on devait parvenir aux mêmes succès. Ce n'est peut-être qu'en Allemagne que l'agriculture, objet de la passion de populations intelligentes et laborieuses, s'est développée avant l'industrie ou concurremment avec elle, et son expérience a été mise à profit par les autres nations pour réaliser les progrès qui ont amené les agriculteurs avancés de toute l'Eu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rope à peu près au même niveau, comme il arrive aujourd'hui pour la plupart des fabricants.

L'exemple de l'industrie, avons-nous dit, a été favorable à l'agriculture sous bien des rapports, mais notamment en habituant les esprits à rechercher le produit net le plus élevé possible en agriculture, c'est-à-dire non pas celui qui résulte du minimum absolu de dépenses, comme on le croyait autrefois, mais celui que procurent les dépenses les plus profitables. On voit de suite que cette agriculture, qui réclame un large emploi du capital, est l'agriculture des pays riches, mais doit rendre beaucoup plus à égalité de dépenses, et l'on comprend ce qu'est un progrès qui augmente dans une proportion notable les produits d'une industrie qui montent dans l'état actuel des choses à environ 6 milliards de francs par an, en France.

Nous passerons rapidement en revue les principales pratiques agricoles, au point de vue économique, en les classant sous trois divisions :

1° Moyens d'accroître la fertilité ;
2° —d'obtenir les produits les plus avantageux ;
3° —de diminuer les dépenses.

Enfin nous terminerons par quelques mots sur la petite culture.

I. *Moyens d'accroître la fertilité.* — Certains sols jouissent d'une réputation méritée de fécondité ; les éléments les plus convenables pour la végétation s'y trouvent dans les meilleures proportions. A la rigueur il ne paraît pas impossible de modifier artificiellement la plupart des sols de qualités inférieures, de manière au moins à les rendre tout à fait propres à certaines cultures, par l'addition des éléments minéraux qui leur manquent, et que, par quelques fouilles, on peut presque toujours trouver dans le voisinage. Quelques provinces doivent leur richesse et leur fertilité à ce mode d'opérer ; c'est ainsi qu'à l'aide de la marne on a transformé des pays sablonneux en pays riches et fertiles. La chaux, employée en quantités considérables, est devenue le point de départ de plus d'une agriculture prospère, et si on doit surtout la considérer comme un excitant, cependant, dans la proportion dans laquelle elle est employée fréquemment, il n'est pas douteux qu'elle n'agisse en transformant, en quelques années, la nature même de la surface du sol arable. L'emploi des phosphates fossiles va servir à accroître le rendement des céréales.

L'abondance d'engrais est la condition capitale de l'abondance de la production, que l'on peut considérer, dans des limites assez étendues, comme proportionnelles à la quantité d'engrais employés ; la végétion étant surtout une réaction chimique produite sous l'influence des forces vitales, qui ne peut prendre naissance qu'autant que les éléments convenables sont en présence. Les progrès des procédés de fabrication des engrais, indépendamment de celui produit dans la ferme, base de la culture, dont nous parlons plus loin, l'utilisation de tous les déchets, de toutes les matières animales, et notamment la conversion des vidanges en engrais complets, sont tout à fait capitaux pour l'agriculture et fourniront le point de départ d'un grand accroissement de richesse agricole.

C'est surtout par l'aménagement des eaux, base fondamentale de toute végétation, que l'agriculture est arrivée à de magnifiques résultats, qui la transforment radicalement, par des travaux qui, une fois faits, accroissent d'une manière permanente la fertilité, la quantité annuelle de la production.

Deux séries de travaux conduisent à ce résultat, le drainage et l'irrigation.

Le *drainage*, pratique par excellence des pays du Nord, des climats humides, a pour objet de débarrasser le sol d'un excès d'humidité toujours nuisible, d'aérer les racines par l'infiltration de l'air qui accompagn l'eau. C'est grâce à cette pratique que l'agriculteu anglais n'a pas craint de continuer le payement de sc fermages, lorsque Robert Peel supprima un énorm droit d'entrée qui pesait sur les céréales qui venaier de l'étranger, et y arriva par une opération qui aug mentait dans une proportion plus considérable le ren dement des récoltes.

L'*irrigation* est la méthode par excellence des pay chauds ; non pas qu'au Nord elle ne soit d'une extrêm utilité pour créer des prairies, pour faire naître des vé gétaux au milieu des sables et les fertiliser, mais au Midi, avec un soleil brûlant, la végétation est en quel que sorte exclusivement proportionnelle à la quantité d'eau, et les irrigations répandent la vie et la fertilité La Lombardie, la province de Valence en Espagn peuvent être citées, entre autres contrées, comme de pays qui doivent à des travaux d'irrigation une admi rable fertilité ; aucun travail plus profitable, plus rémunérateur ne peut être tenté aujourd'hui dans plus d pays.

En se plaçant à un point de vue plus élevé que celu de l'irrigation par la conduite de l'eau sur le sol, en considérant les contrées qui reçoivent de l'eau abondamment par une cause quelconque, brouillards fréquents dans la montagne comme en Suisse, infiltrations d'eau plus élevées que le sol comme en Hollande, cours d'eau descendant abondamment de la montagn et des glaciers, on comprend comment ces pays se trouvent par ce seul fait naturellement couverts de prairies toujours vertes, qui, sans travail humain, fournissent la nourriture à de nombreux troupeaux, dont la viande, le lait, la laine, etc., procurent naturellement en quelque sorte d'abondantes richesses.

Étendre ou limiter par des travaux bien entendus la sphère d'action des eaux, est donc un des plus puissants moyens, en convertissant des pays pauvres en pays prospères, de multiplier la production spontanée des richesses agricoles, le produit net.

II. *Moyens d'obtenir les produits les plus avantageux.* — C'est surtout en se portant vers la production des récoltes les plus avantageuses, en cherchant à créer les produits qui se vendent au plus haut prix, que les agriculteurs modernes ont imité les industriels; car malgré l'immensité du débouché des produits agricoles qui en rend toujours la vente facile, c'est souvent sur un bon choix des cultures qui se vendent à un prix très-avantageux, que repose le succès agricole.

Les principaux produits de l'agriculture sont nécessairement les céréales et le bétail, le pain et la viande, bases de l'alimentation humaine. Tant que ces productions sont restées presque complétement séparées, que certaines contrées paraissaient posséder seules le privilége d'élever du bétail, et que d'autres, au contraire, semblaient ne pouvoir sortir de la culture exclusive des céréales, l'agriculture en masse ne pouvait accomplir de grands progrès. Comment accroître la production des céréales, lorsque l'engrais ne leur était fourni que par quelques animaux nécessaires pour les labours et au plus par quelques vaches à l'étable? Combien ces ressources étaient insuffisantes pour compenser la perte d'éléments essentiels de la production du blé emportés chaque jour avec les récoltes! Aussi, ce qui doit le plus surprendre, à notre avis, c'est qu'avec une telle manière d'opérer, une fertilité relative aussi grande ait pu persévérer dans les pays à blé, et ce fait montre bien combien nos efforts pour obtenir des productions végétales ne sont qu'une aide donnée aux grands phénomènes météorologiques et vitaux, et qu'il ne s'agit plus ici, comme dans l'industrie manufacturière, d'une production dont nous manions à volonté tous les éléments. Il ne faut jamais l'oublier : quand il s'agit d'a-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

griculture, ni que des progrès très-réels nous fassent trop exagérer notre pouvoir.

Cependant, tous les bons agriculteurs avaient reconnu, et des savants allemands tels que Thaër avaient formulé, en principe, la nécessité d'accroître le plus possible le bétail des fermes, indépendamment de la valeur propre du bétail, pour obtenir de belles récoltes de céréales. C'est alors que les prairies artificielles vinrent si heureusement transformer l'agriculture, et en faisant jouir tous les sols, en quelque sorte, de la même fertilité que les pays irrigués, permirent à tout cultivateur d'élever la quantité de bétail la plus convenable pour son exploitation.

De ce jour fut créée l'industrie agricole moderne, qui osa se poser tous les problèmes et les résoudre de manière à obtenir le maximum de produit. C'est à ce moment que correspond l'enseignement agricole d'un des hommes qui furent le plus utiles à la France (qui, bien entendu, n'a su le récompenser que par une statue après sa mort), M. Mathieu de Dombasle, qui démontra à satiété tous les avantages des nouvelles méthodes et entrevit clairement le dernier progrès dont il nous reste à parler, qui fournit, ce nous semble, la solution complète de la question économique.

Tandis que l'on préconisait en Angleterre la culture des plantes sarclées, du turneps notamment, comme moyen de nettoyer parfaitement le sol, en récoltant des quantités de fourrage très-considérables, on avait reconnu en Allemagne que le bétail se trouvait fort bien des résidus de distilleries. Autrement dit, la distillation des pommes de terre, par exemple, laisse aux herbivores une pulpe qui les nourrit autant que la pomme de terre, même avant qu'on n'ait retiré l'alcool. D'où cet immense résultat que la production du bétail, obtenue dans des fermes avec des prairies artificielles d'une manière plus coûteuse que dans les pays de prairies naturelles, ce qui limite la production ou, si l'on aime mieux, rend la culture des céréales plus coûteuse, reprend la supériorité, si l'on emploie une racine qui, avant de nourrir le bétail, a donné un produit industriel. C'est ainsi que la betterave employée à fabriquer le sucre a créé dans nos départements du nord une incroyable richesse agricole, un accroissement de bétail dont nous donnerons idée en citant l'arrondissement de Valenciennes, qui a aujourd'hui cent fois le nombre de bêtes à cornes qu'il possédait auparavant. La distillation de l'alcool, qui se monte aujourd'hui dans les fermes où la betterave passe à la fermentation avant d'aller à l'étable, va être la généralisation de cette prospérité. (Voy. DISTILLATION.)

Ainsi, au point de vue des produits, une exploitation agricole produira aujourd'hui : céréales, produits industriels, tels qu'alcool, colza, bétail et ses produits, tels que laine, lait, etc. On voit comment l'agriculture peut créer, l'abondance de l'engrais étant la cause de l'accroissement de la production végétale et inversement, des produits propres à assurer des rentrées considérables.

III. *Moyens de diminuer les dépenses.* — Nous venons de voir comment l'agriculture produisait des valeurs considérables ; le moyen d'obtenir le produit net maximum consiste donc à faire concorder cette abondance de produits recherchés avec un minimum de dépenses journalières. Les efforts dirigés dans cette voie sont très-grands, et les résultats étaient d'autant plus assurés que la question était tout à fait industrielle, qu'il s'agissait de travaux mécaniques que l'industrie sait exécuter à bon marché par l'invention des machines. C'est ce qu'a parfaitement senti M. Barral, rapporteur à l'Exposition de 1855, qui s'exprime ainsi à propos de la machine à moissonner, une des nouvelles inventions d'outils d'agriculture qui attirait à juste titre l'attention publique.

ÉCONOMIE AGRICOLE.

« Le progrès dans la construction des machines agricoles a pour résultat, non-seulement de mieux faire faire les différents travaux auxquels ces machines sont destinées, mais encore de les faire exécuter à meilleur marché et en économisant la main-d'œuvre. Substituer aux bras de l'homme la force des animaux, et mieux encore celle des moteurs inanimés, eau, vent ou vapeur; demander à l'homme l'intelligence et l'adresse, et multiplier par les machines la puissance de son action sur le sol et sur les produits de la terre, c'est le problème que résout notre époque. Les peuples neufs entrent avec une ardeur victorieuse dans cette voie qu'ont ouverte leurs devanciers. Ainsi, l'Amérique rend tout d'un coup pratique la machine à moissonner qu'avaient rêvée les Romains, que s'étaient ingéniés à ébaucher les cultivateurs de presque toutes les parties du vieux continent. Les livres d'agriculture de toutes les époques donnaient des descriptions d'engins imparfaits imaginés dans le but de dépouiller le sol de ses riches récoltes assez vite pour que les intempéries ne pussent pas toujours menacer de destruction les fruits de la terre au moment où le cultivateur se dispose à les recueillir. Mais, il y a quelques mois encore, on regardait comme chimérique l'espoir de pouvoir obtenir une machine qui laisserait la faux inactive. Un des principaux résultats de l'Exposition universelle de Paris aura été de montrer des machines à moissonner et à faucher qui font mieux le travail de la coupe du blé ou du foin, que beaucoup de charrues ne labourent nos champs. L'Exposition universelle de Londres avait fait croire que les agriculteurs américains trouvaient plus avantageux de couper imparfaitement tous les blés dorant leurs vastes plaines, d'en abandonner une partie, que de s'efforcer de bien moissonner le reste à bras d'hommes. On disait : c'est une affaire de rareté de main-d'œuvre ; en Europe, où l'on a encore des bras pour faire la moisson, les machines à moissonner ne sauraient servir. On croyait d'autant plus que l'on était dans le vrai en raisonnant ainsi, que les essais de la machine écossaise de Bell, qui, disait-on, était identique aux machines américaines, ne donnaient que des résultats très-peu satisfaisants. L'Exposition universelle de Paris a fait voir que les agriculteurs américains, certainement poussés par les intérêts de leurs conditions économiques, avaient assez bien résolu le problème du moissonnage par les machines, pour pouvoir doter le monde entier de leurs puissants appareils. Les mêmes circonstances qui ont conduit à perfectionner les moissonneuses ont dû aussi engendrer les perfectionnements à l'aide desquels les machines à battre sont devenues si énergiques, si rapides, entre les mains des Américains. Récolter vite les gerbes de blé et en obtenir aussitôt du grain prêt à être vendu, c'est bien là la solution du problème des subsistances pour des populations essentiellement commerçantes.

« La vue simple des machines à moissonner dans la galerie de l'Exposition universelle ne pouvait donner une juste idée de leur valeur. Lorsque leurs organes multiples, qui exécutent tant de mouvements différents empruntés à un seul principe d'activité, sont à l'état de repos, on est tenté de regarder ces engins comme les produits d'une imagination en délire. Si ces machines, qu'on nous passe l'expression, restent muettes, on est disposé à nier la possibilité de les employer dans la pratique. Mais la scène change, si de vigoureux chevaux leur sont attelés ; alors on est emerveillé de l'exactitude et de la rapidité des mouvements parfaitement appropriés au travail qu'on leur demande ; les tiges de blé tombent en gerbes pressées et complétement disposées à être liées, avec une telle vitesse que l'ouvrier moissonneur jette sa faux comme désormais inutile. »

Nous avons cité ce passage *in extenso*, non pour ce qui a rapport à une intéressante machine (voyez

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INSTRUMENTS D'AGRICULTURE), mais parce qu'il rend parfaitement compte de ce qui se produit lors de toute nouvelle invention de machine agricole. Leur construction, parvenue aujourd'hui à un haut degré de perfection, et qui tend à s'améliorer chaque jour, a diminué les travaux agricoles dans des limites qui semblent bien se rapprocher de celles du possible. Tous les travaux de grange sont enlevés au travail humain par les machines à battre, les tarares mus par la vapeur ou un manége, etc., et les travaux sur le sol, sont ou singulièrement réduits par la perfection des machines, charrues et autres, qui opèrent parfaitement avec un minimum de tirage, ou remplacés en grande partie par le travail des chevaux, comme la moissonneuse dont nous parlons plus haut, par l'extension du système de culture économique qui a fait substituer la charrue à la bêche.

Il est toute une partie des travaux agricoles que l'on s'applique actuellement à réduire à une faible dépense annuelle par d'importants travaux antérieurs ; nous voulons parler de la distribution et de l'enfouissement des engrais que l'on a cherché à remplacer par des engrais liquides. Comme c'est surtout par les parties solubles qu'ils renferment que les engrais sont utiles, il en résulte que si l'on place des conduites souterraines en fonte à partir du réservoir placé au centre de l'exploitation jusque vers les extrémités, on pourra, en assemblant un tuyau flexible à une des tubulures saillant de loin en loin, arroser les champs soit avec des engrais plus ou moins étendus d'eau, soit avec de l'eau pure partant du réservoir. C'est, on le voit, réaliser avec peu de main-d'œuvre les conditions de la culture maraîchère, c'est-à-dire obtenir le maximum des produits, la multiplication des récoltes annuelles sur une même surface. Cette pratique, qui se propage dans les comtés de l'Angleterre où l'agriculture est le plus avancée, peut trouver des applications partielles pour les parties consacrées aux cultures les plus précieuses d'exploitations très-avancées, surtout pour certaines cultures fourragères, qui donnent, ainsi conduites, des résultats considérables. L'absence d'humus assimilable dans ces engrais liquides doit faire craindre que ce système prolongé sans interruption, et employé seul, n'épuise la terre.

IV. *De la petite culture.* — Tout ce que nous venons de dire s'applique à l'industrie agricole exercée sur une assez grande étendue de terre, aux procédés propres à assurer le produit net le plus élevé. La question ne doit pas être posée de même pour la petite culture pour laquelle le produit brut doit seul être considéré. Qu'importe que le journalier, propriétaire d'un petit champ, cultive plus chèrement à la bêche qu'à la charrue s'il fait produire par sa culture, à ce champ, le nécessaire pour sa subsistance et celle de sa famille ? L'homme n'est pas une machine qui donne tant d'unités de travail par tant de grammes de sueur coûtant une somme déterminée. Les mobiles qui font mouvoir ses bras sont aussi de l'ordre moral, et l'indépendance peut bien s'acheter par un peu plus de travail qui, par une culture maraîchère, fait rendre à une faible étendue de terrain parfaitement défoncé à la bêche, sarclé, soigné de toutes manières, un produit brut considérable.

Si la culture maraîchère, c'est-à-dire la production des légumes et des fruits, est au Nord la ressource de la petite propriété ; en s'approchant du Midi, on rencontre deux petites cultures qui donnent des produits nets très-considérables. L'une est la culture de la vigne, qui est de l'horticulture, qui demande des soins multiples de taille, d'émondage, etc., qui sont vraiment du ressort de la petite propriété et qui, dans les années prospères, récompense grandement le vigneron de ses efforts. L'autre est la soie, impossible à produire sur une échelle gigantesque et qui réclame au plus haut point pour réussir l'œil du maître, le dévouement de la ménagère.

Félicitons-nous de voir que dans notre pays autant d'éléments existent pour faire le succès de la petite propriété, puisque, par son heureuse rivalité avec la grande dont les produits deviennent si considérables, l'enrichissement général pourra se développer rapidement pour le plus grand bonheur de tous les citoyens.

ÉGOUTS (ASSAINISSEMENT, VOIRIE). On a indiqué (page 172) les conditions à réaliser et les moyens à employer pour assurer aux populations des villes les bienfaits d'une abondante distribution d eau de bonne qualité. Mais il ne suffit pas d'amener de l'eau pure dans une ville pour assurer son assainissement ; une seconde condition de salubrité, non moins importante que la première, consiste à assurer un écoulement facile et régulier aux eaux salies par le lavage des rues et des maisons, et aux immondices de toute sorte qui se produisent chaque jour dans les grands centres de population.

Fournir des eaux pures à une ville, la débarrasser des eaux souillées par ses déjections, tels sont les deux termes de l'important problème de l'assainissement général d'une cité populeuse.

Les égouts forment, dans les villes convenablement assainies, un système de canalisation souterraine destiné à remplir ce dernier office. On essayera dans cet article de faire comprendre la nature de ces constructions et l'importance des services, ignorée de tant de personnes, qu'elles sont appelées à rendre aux populations urbaines.

Rome antique n'était pas moins remarquable par la grandeur et l'importance de ses égouts que par la perfection de son système de distribution d'eaux pures. Tarquin l'Ancien commença la construction de ce vaste système d'égouts que ses successeurs développèrent avec le temps, et dont la célèbre *cloaca maxima* formait l'artère principale.

Le premier égout proprement dit, construit à Paris, est dû à Hugues Aubriot, prévôt des marchands, qui fit voûter, vers 1374, la rigole découverte qui conduisait les eaux du quartier Montmartre vers le ruisseau de Ménilmontant.

Sous Louis XIV, en 1663, la longueur des égouts voûtés de Paris n'était encore que de 1,207 toises. En 1806, leur développement était de 23,530 mètres. En 1854, de 163,000 mètres, et aujourd'hui, de 170,000 mètres environ. Si considérable que soit ce chiffre, il est loin de satisfaire encore à tous les besoins ; la longueur des voies publiques, qui est de 428,000 mètre, excède encore de beaucoup, en effet, celle des égouts. On estime qu'il reste à construire à Paris 56,400 mètres d'égouts de grande et de moyenne section et 233,000 mètres d'égouts de petite section, non compris 80,000 mètres de petits égouts, qui seront sans doute rendus nécessaires par des constructions et des besoins nouveaux.

On indiquera un peu plus loin, d'une manière générale, les règles à suivre dans le tracé d'un système d'égouts. Mais il convient de faire connaître d'abord, par quelques exemples empruntés à Paris et à Londres, les diverses parties de ce genre de construction.

Un égout proprement dit est, comme on sait, une longue galerie construite en maçonnerie, présentant une certaine pente en longueur et servant à l'écoulement des eaux qu'elle reçoit. Les premiers profils adoptés se composaient d'un radier horizontal ou légèrement concave et de deux pieds-droits verticaux réunis par une voûte cylindrique. Ce profil a été adopté à Paris jusqu'en 1831, mais il a reçu depuis lors de nombreuses modifications.

Quand les égouts ont une forte pente et qu'ils sont régulièrement lavés par un volume d'eau considérable, il est inutile de les faire parcourir par des ouvriers, et toutes les formes de section deviennent admissibles.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pourvu que leur débouché soit suffisant. Au contraire, quand les égouts ont peu de pente et qu'il devient nécessaire de les faire nettoyer à bras, il faut adopter un profil dans lequel un ouvrier puisse se mouvoir sans gêne. La hauteur sous clef doit alors être de 1m,75 au moins et autant que possible de 2 mètres. La largeur du radier peut varier de 0m,30 à 0m,70 ; mais à la hauteur des épaules d'un homme, la galerie doit présenter une largeur de 0m,90 au moins. On a donc été conduit à remplacer les pieds-droits verticaux par des pieds-droits inclinés intérieurement, comme on le voit encore dans presque tous les anciens égouts de Paris (figure 3521).

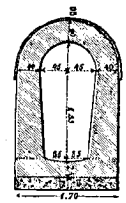


Fig. 3521. — Ancien égout moyen de Paris (échelle de 0,01).

Dans les égouts que l'on construit aujourd'hui les pieds-droits sont cintrés et se raccordent avec la voûte et le radier, de manière que la section totale de la galerie présente la forme ovoïde (fig. 3522) que les ingénieurs anglais avaient adoptée depuis longtemps. Cette disposition permet de réaliser une grande économie de matériaux, et remplit d'ailleurs très-bien le but à atteindre.

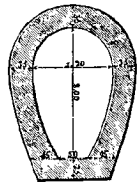


Fig. 3522. — Égout actuel moyen de Paris (échelle de 0,01).

Quelques anciens égouts de Paris ont été construits en pierres de taille, mais ces matériaux sont trop chers et d'ailleurs d'un emploi difficile. En général, on emploie la meulière grossièrement taillée et posée avec de très-bon mortier hydraulique ou plus généralement avec du mortier de ciment de Portland, de Pouilly, de Vassy ou autres produits analogues.

Dans ces derniers temps, on a fait de petits branchements en maçonnerie de ciment et de pierres cassées moulées sur place, qui ont très-bien réussi et ont permis de réduire l'épaisseur à 0m,15 pour une hauteur de 1m,20, en conservant la forme générale indiquée par la figure précédente. Les parois des galeries d'égout, quels que soient les matériaux qui les composent, doivent toujours être revêtues d'un enduit de ciment fin et parfaitement lissé, pour s'opposer à l'adhérence des matières étrangères et permettre un nettoyage complet et facile.

Le prix des galeries d'égout, de forme ovoïde, est de 80 à 90 fr. à Paris, non compris la fouille, et de 110 fr. quand la largeur du radier est portée à 0m,70.

Les profils d'égout dont on vient de parler seraient insuffisants pour les artères principales de la canalisation d'une grande ville. L'égout de Rivoli à Paris, par exemple, qui sert d'égout collecteur à une partie de la rive droite, offre les dispositions indiquées fig. 3523. Il présente, outre la cuvette dans laquelle couleront habituellement les eaux, deux trottoirs de 0m,40 de largeur, dont les angles sont garnis de bandes de fer destinées à recevoir les roues des wagons employés au transport des immondices ou aux nettoyages.

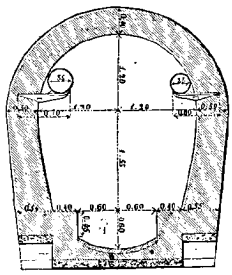


Fig. 3523. — Égout de Rivoli, à Paris (échelle de 0,01).

Des consoles en fonte, scellées dans les murs des égouts, servent à porter les conduites d'eau, et, plus tard, il faut l'espérer, les conduites de gaz, afin que la voie publique soit débarrassée des bouleversements continuels que nécessite l'entretien de ces deux classes de tuyaux.

Pour pénétrer dans les égouts et les aérer, on construit jusqu'à présent, de distance en distance, des puits ou regards qui montent jusqu'au niveau de la chaussée et qui sont recouverts d'une plaque en fonte. Ces puits ont une section rectangulaire, les parois latérales sont formées parallèlement à l'axe de l'égout par le prolongement des pieds-droits, les deux autres murs reposent sur la voûte qu'ils coupent suivant des plans verticaux. Des échelles en fer sont habituellement fixées à l'intérieur de ces puits.

L'eau qui coule à la surface du sol des rues est introduite dans les égouts par d'autres puits ouverts en dehors de l'axe de la galerie, afin que cette eau ne tombe pas sur les ouvriers qui les parcourent ; un petit branchement à forte pente réunit ces puits au radier de la galerie principale. Quand il n'y a pas de trottoirs, les entrées d'eau se terminent par une forte grille en fonte, mais en général, à Paris, les bouches sont ouvertes sous les trottoirs. Il est inutile de décrire en détail ces ouvrages très-simples que l'on voit dans toutes les rues.

Les parties essentielles des égouts de Paris, les galeries, les entrées d'eau, les bouches, les grilles, etc., se retrouvent nécessairement dans les égouts de Londres, mais avec des formes plus ou moins modifiées, en raison du rôle un peu différent qu'ils ont à remplir.

A Paris, comme on l'a dit précédemment, le curage des égouts se fait en grande partie à la main ; d'un autre côté, les fosses d'aisances jusqu'à présent ne communiquent pas avec les égouts et les eaux ménagères n'y arrivent point directement. A Londres, au contraire, les immondices de toutes sortes sont versées directement des maisons dans les galeries d'égouts, et l'on cherche, autant que possible, à réduire le curage à la main, que l'on regarde comme une exception fâcheuse, en facilitant de toutes les manières l'entraînement des corps solides par l'écoulement des eaux.

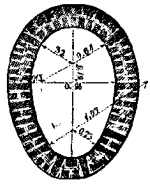


Fig. 3524. — Égout du quartier de Westminster, à Londres (échelle de 0,01).

Les galeries d'égouts, construites à Londres et dans les principales villes d'Angleterre, depuis quelques années, présentent une section ovoïde. La figure 3524 donne le profil exact de la classe moyenne des galeries principales adoptées en général dans la division de Westminster et d'une partie de Middlesex. Ces galeries sont en briques maçonnées au ciment, dans la partie couverte de doubles hachures, et seulement au mortier de chaux hydraulique dans les autres parties.

Quelques-uns des anciens et des plus importants égouts de Londres ont un profil analogue à celui des vieux égouts de Paris, et atteignent des dimensions énormes. L'égout Fleet, par exemple, qui assainit une surface de 1,798 hectares environ et s'étend de Highgate jusqu'à la Cité, a 3m,71 de large sur 3m,52 dans la traversée de la Cité, et 5m,61 de hauteur, sur 3m,64 de largeur, à son embouchure dans la Tamise. Malgré cette grande section, le débouché de cet égout est souvent insuffisant. On estime qu'il reçoit par an 75,457 mètres cubes de matières solides, formant à peu près $\frac{1}{100}$ du volume liquide qu'il verse chaque année dans la Tamise.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les formes des galeries d'égouts varient en Angleterre d'une ville à l'autre, et laissent beaucoup à désirer dans quelques-unes d'entre elles. A Lancastre, les égouts sont formés d'une large dalle sur laquelle on élève deux murs verticaux, formant pieds-droits, et que l'on recouvre d'une seconde pierre plate. Les canaux principaux ont $0^m,76$ de hauteur, sur $0^m,42$ de largeur. Ils coûtent environ 8 fr. le mètre courant. Les branchements principaux sont rectangulaires et ont $0^m,42$ de côté; ils coûtent 6 fr. le mètre; enfin les conduits qui pénètrent dans les maisons n'ont que $0^m,15$ ou $0^m,20$ de côté et coûtent 2 fr. 70 c. seulement.

Tous ces canaux sont, on le conçoit, tout à fait insuffisants. Il en est de même à Nottingham, à Bristol et dans plusieurs autres villes que l'on pourrait citer.

On n'insistera pas davantage sur le mode de construction des égouts en Angleterre, mais il ne sera pas inutile d'indiquer les moyens adoptés chez nos voisins pour mettre les maisons en communication avec les égouts.

Les canaux anciennement établis pour mettre en communication les maisons avec les égouts laissent en général beaucoup à désirer. Ils sont souvent formés de quelques briques grossièrement assemblées. Les commissaires des égouts de Londres, frappés des inconvénients graves qui résultaient, pour la salubrité publique, d'un état de choses aussi défectueux, ont fait de la question une étude spéciale, il y a quelques années, et sont arrivés à un mode de construction dont on attend de bons résultats.

Tout système complet d'assainissement des maisons particulières, tel que le conçoivent les ingénieurs des égouts de Londres, doit satisfaire à la condition que les canaux de communication puissent entraîner, sans produire ni gêne ni odeur, toutes les matières à rejeter dans les galeries principales d'écoulement. L'eau devant d'ailleurs être le seul instrument de curage, il faut évidemment qu'elle puisse entraîner les matières solides introduites dans les conduites, mais que les entrées de ces conduites soient défendues par des grilles assez

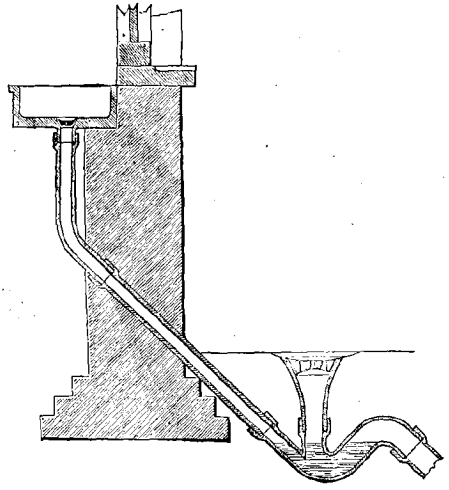


Fig. 3525. — Evier et entrée d'eau branchés sur un siphon en grès verni anglais.

serrées pour s'opposer à l'introduction des corps de nature à produire des obstructions inévitables.

Les commissaires des égouts pensent pouvoir atteindre complétement le but proposé, en établissant les communications avec les égouts au moyen de tuyaux en poterie de très-bonne qualité. Pour assurer le succès complet de ce mode d'assainissement, on évite de faire communiquer directement chaque maison avec l'égout principal, mais on divise chaque quartier en groupes de maisons communiquant chacune avec un *maître tuyau* qui débouche à son tour dans l'égout. De cette façon, ce maître tuyau constamment traversé par un volume d'eau considérable est parfaitement curé, et d'un autre côté, en réduisant le nombre des tuyaux qui débouchent dans l'égout, on diminue les chances de dérangement du système d'assainissement et les causes d'obstruction des galeries principales elles-mêmes.

Les tuyaux en grès verni ont semblé à MM. les membres de la commission des égouts de Londres préférables à tous les autres genres de conduits. Chaque tuyau est terminé à l'une de ses extrémités par un évasement dans lequel s'engage l'extrémité du tuyau précédent. On garnit le joint en bon mortier de ciment. Les coudes, les tuyaux de branchement, etc., sont établis de la même manière.

Les tuyaux en terre dont on vient de parler se raccordent sans difficulté avec la galerie d'égout. A Londres, lorsqu'un particulier veut faire arriver un conduit dans un égout public, il doit en demander l'autorisation aux commissaires. Lorsque cette autorisation est accordée, le demandeur fait ouvrir les tranchées nécessaires et prévient les commissaires de leur achèvement. Ceux-ci envoient un ouvrier spécial chargé d'exécuter, conformément à leurs instructions, le raccordement et une amorce de 3 pieds de longueur pour le conduit projeté. Ce travail s'exécute moyennant un prix fixé d'avance à 13 fr. 25 c. pour l'ouverture du mur de l'égout, la pose de l'embouchure et la reconstruction des parties environnantes. La pente de ces conduits, près de leur arrivée à l'égout, ne doit pas être inférieure à 1/48.

Dans une expérience officielle, il a été constaté qu'un tuyau en grès verni de $0^m,30$ de diamètre et de 170 mètres de longueur a pu donner passage à toutes les matières provenant d'une étendue de $17^h,77$. Un tuyau de grès verni de $0^m,075$ de diamètre suffit à l'écoulement de toutes les déjections de 30 ou 40 maisons de Londres d'importance moyenne.

Pour intercepter la communication entre les égouts et l'intérieur des maisons, on emploie différents dispositifs. L'embouchure du tuyau dans la galerie d'égout est ordinairement garnie d'un clapet en fonte ou en tôle galvanisée. Mais ce mode de fermeture n'est jamais assez parfait pour empêcher les gaz odorants de pénétrer dans les intérieurs; de tous les moyens employés, les *siphons* paraissent encore aujourd'hui le moins défectueux. Le grès verni se prête parfaitement à la fabrication des appareils de cette espèce. Dans l'impossibilité d'entrer ici dans les détails minutieux que comporterait ce sujet, on se bornera à renvoyer à la figure 3525 qui indique les formes d'un siphon en grès isolé adapté à un évier et à une grille placée dans une cour.

Le service des égouts de Londres constitue une administration dont on fera comprendre toute l'importance en rappelant seulement qu'il a été construit dans cette ville de 1833 à 1843, plus de 193,117 mètres de galeries d'égout.

Après ces indications sur le mode de construction des parties essentielles des égouts, il reste à faire connaître les conditions à remplir dans le tracé d'un système général de canalisation souterraine, et à signaler quelques conditions auxquelles on doit satisfaire dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les ouvrages de cette espèce et dont il n'a pas encore été fait mention.

Chaque voie publique, dans un état de choses normal, doit être pourvue d'une galerie d'égout sur laquelle chaque propriété riveraine puisse greffer directement son égout particulier. Il doit exister des bouches aux points les plus bas des ruisseaux qui entourent chaque îlot de maisons et une borne-fontaine aux points les plus hauts.

Les dimensions données aux égouts pour rendre possible leur visite fréquente par les ouvriers sont plus que suffisantes pour assurer l'écoulement des eaux distribuées dans la ville la plus favorisée. Mais elles ne suffisent plus pour l'écoulement des eaux d'orage dans les égouts collecteurs chargés de l'assainissement d'une surface un peu étendue. M. Belgrand, dans ses projets d'égouts pour Paris, estime qu'il faut donner aux égouts de faibles pentes de 2 à 3 mètres carrés de section par 100 hectares à desservir. Dans les villes, on peut admettre que l'écoulement de l'eau d'un orage dure deux ou trois fois autant que l'orage lui-même, et l'on peut prendre dans le climat de Paris 45 à 50 millimètres d'eau tombée par heure pour l'orage maximum moyen.

Le tracé des égouts dans une grande ville comme Paris et l'utilisation des travaux antérieurs exécutés sans aucune vue d'ensemble, est un des problèmes les plus compliqués que puisse présenter ce genre de construction. Le projet dont les ingénieurs du service municipal poursuivent aujourd'hui l'exécution est des plus remarquables, et peut donner pour l'avenir satisfaction à tous les intérêts. Sans entrer ici dans de minutieux détails de tracé, il suffira de dire que l'on a voulu débarrasser la Seine, dans la traversée de Paris, des immondices que les égouts y versent encore, et en même temps abaisser assez le niveau du débouché du collecteur général, pour que les crues ordinaires du fleuve ne puissent plus suspendre le fonctionnement des galeries des quartiers bas, comme elles le font aujourd'hui.

A cet effet, l'égout de Rivoli, dont on a parlé, a été disposé comme égout de ceinture pour recevoir presque tous les égouts de la rive droite. Il se déverse à son tour, ainsi que toutes les autres eaux qu'il n'a pu recueillir, dans un immense égout souterrain qui débouche à Asnières, après le long circuit que fait la Seine en sortant de Paris.

Les égouts de la rive gauche doivent aussi se réunir, d'après les projets, dans un égout de ceinture qui franchira la Seine, par un siphon renversé, pour aller également rejoindre l'égout d'Asnières.

L'égout d'Asnières est le plus grand ouvrage de ce genre qui existe. Il a $5^m,6$ de largeur et $4^m,40$ de hauteur.

Les eaux d'orage, à l'aide de déversoirs et de galeries, s'écouleront encore à la Seine lorsqu'elles atteindront dans les égouts une certaine hauteur.

Aux termes du décret du 26 mars 1852 : « Toute « construction nouvelle dans une rue pourvue d'égouts « doit être disposée de manière à y conduire les eaux « pluviales et ménagères. » La même disposition est applicable à toute maison ancienne, en cas de grosses réparations, et, en tout cas, dans un délai qui expirera en 1862.

Ce décret assure l'assainissement de Paris le jour où il aura reçu une application générale. Il donne à l'administration, par simples mesures réglementaires, le moyen de réaliser complétement les améliorations les plus utiles. Les galeries de communication dont il s'agit, que l'on établit maintenant et dont il a déjà été construit 13 ou 1,400, à Paris, ont $2^m,30$ de hauteur et $1^m,30$ de largeur.

L'entrée de ces galeries porte dans l'égout le même numéro que celui de la maison dans la rue correspondante; elle est fermée par une grille en fer à deux clefs dissemblables, dont l'une restera entre les mains des agents de l'administration, et l'autre entre celles du propriétaire, pour que la porte ne puisse s'ouvrir que d'un commun accord.

Quel que soit le parti que l'on adoptera pour le régime des fosses d'aisances, la vidange pourra se faire souterrainement, et la ville se trouvera affranchie des opérations qui rendent aujourd'hui véritablement odieux le parcours des rues de Paris pendant la nuit.

Le système des vidanges des villes est donc intimement lié à celui des égouts, et nous devons dire quelques mots des divers systèmes proposés à cet égard. En supposant que l'on conserve le système actuel des fosses, on vient de voir que la vidange pourra s'en faire avec beaucoup moins d'inconvénient qu'aujourd'hui. Mais le système des fosses est condamné par tout le monde. En ce moment l'administration municipale de Paris paraît disposée à admettre un système de fosses séparant les produits solides des produits liquides, et jetant ceux-ci ou directement dans l'égout, ou dans des conduits spéciaux, qui ont même été ménagés dans quelques égouts, pour les recueillir séparément et les utiliser ensuite en agriculture. Cette dernière solution nous paraît excellente. Quant au coulage des liquides à l'égout, nous le regardons comme détestable, on infectera l'égout, la Seine, et on perdra une valeur considérable. Les matières employées pour désinfecter les liquides des fosses et fixer leurs principes fertilisants, sont loin de donner les résultats qu'on en attend, et seront, toujours, en pratique, d'un emploi difficile et fort incertain.

Il nous reste à examiner quelle est la valeur comme engrais agricole des produits des égouts et des vidanges dont nous demandons que l'ou assure la facile utilisation en agriculture.

Les nombreux auteurs français et étrangers qui ont écrit sur l'utilisation comme engrais des déjections des grandes villes, sont bien loin de s'accorder sur la valeur agricole de ces produits. Leurs calculs reposent en général sur des appréciations extrêmement vagues, ou sur des données physiologiques résultant d'observations individuelles, qu'il serait impossible d'appliquer sans erreur grossière aux grands centres de population.

Il m'a semblé que le premier élément de tout projet sérieux d'assainissement des villes devait être la connaissance des produits recueillis d'une manière pratique, et pouvant être mis réellement à la disposition de l'agriculture. C'est le but d'une série d'analyses exécutées en 1854 au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, et dont je vais indiquer les principaux résultats.

Au lieu d'obtenir le résultat cherché, ainsi qu'on l'avait fait jusqu'à présent, en multipliant, par la population de Paris, le chiffre obtenu par des observations faites sur quelques individus seulement, j'ai fait porter les analyses sur le produit moyen de la ville entière. C'est en divisant les totaux ainsi obtenus par le nombre des habitants que l'on peut arriver à une moyenne applicable avec exactitude aux grandes villes placées dans des conditions analogues à celles de Paris.

Les produits de la voirie d'une grande ville sont : 1° les boues et immondices recueillies sur la voie publique; 2° les matières extraites des fosses d'aisances; 3° les eaux d'égout.

La première classe de produits est utilisée depuis longtemps par les cultivateurs des environs de Paris et de toutes les villes de quelque importance. Leur valeur et leur emploi sont parfaitement connus. Éminemment encombrants, ces produits, dont la ville doit à tout prix se débarrasser chaque matin, ne sauraient être transportés à de grandes distances. Ils sont forcément consommés dans une zone fort étroite, où ils font

EFERUS - Recherche & Classification numérique

concurrence, par leur bas prix, à tous les autres engrais que l'on essayerait de leur substituer. Le perfectionnement des procédés d'assainissement de Paris aura d'ailleurs pour effet naturel de diminuer, au profit des deux autres natures de produits, la masse et la richesse comme engrais de ces matières. Aussi n'a-t-il pas semblé nécessaire d'étudier ici cette première classe de matières fertilisantes. On se bornera à l'examen des deux autres classes de produits.

L'analyse de tous les échantillons examinés a été conduite de la même manière. On introduisait dans un ballon de verre pesé avec une balance à analyse, un litre ou un demi-litre du produit; ce ballon était placé dans un bain-marie d'eau salée bouillant à 108°. Un bouchon adapté au col du ballon et garni de tubes de verre convenablement disposés, permettait de recueillir les produits de la distillation dans un volume connu d'acide sulfurique titré, et de faire passer un courant d'air sec sur le résidu solide pour en compléter la dessiccation. Lorsque le poids du ballon ne variait plus, on le pesait avec soin, et en retranchant du poids obtenu celui du ballon vide, on obtenait le poids du résidu solide séché à 108° contenu dans le volume liquide sur lequel on avait opéré. L'ammoniaque recueillie dans l'acide sulfurique titré était dosée avec les précautions ordinaires, après avoir chassé l'acide carbonique et l'acide sulfhydrique condensés dans le liquide.

On brisait ensuite le ballon pour détacher le produit solide et déterminer la proportion d'azote qu'il renfermait. Cette détermination a toujours été faite par la chaux sodée et par l'oxyde de cuivre. Les deux méthodes ont constamment donné des chiffres très-rapprochés, dont les différences n'ont point paru excéder les limites que comportent des recherches exécutées sur des produits aussi complexes et aussi peu homogènes.

Les opérations n'ont point porté sur les produits d'une ou de plusieurs fosses, prises isolément, qui auraient plus ou moins différé de la moyenne, mais sur le mélange de tous ces produits tel qu'il sort de la conduite en fonte établie entre le dépotoir de la Villette et les bassins de la voirie de Bondy. La composition de ces mélanges varie sans doute un peu d'un jour à l'autre, et, pour arriver à une exactitude mathématique, il aurait fallu pouvoir multiplier les essais beaucoup plus que les circonstances ne permettaient de le faire. Cependant les précautions prises dans les expériences dont il s'agit permettent d'assurer que les chiffres obtenus sont très-voisins de la vérité, et qu'ils offrent un degré d'exactitude parfaitement suffisant pour les besoins de la pratique.

Il serait inutile de reproduire ici les détails des différentes analyses; il suffira de dire que les liquides troubles chassés dans la conduite de Bondy renferment en moyenne par litre :

	Grammes.	
1° *Azote combiné.*		
Azote de l'ammoniaque extrait par distillation	3,0694	
Azote du produit solide	0,9470	0,9470
Azote total	4,0164	
2° *Matières organiques, non compris l'azote :*		
Carbone	9,5723	
Hydrogène	1,5895	
Oxygène	3,4580	14,6198
3° *Matières minérales :*		
Acide sulfurique	0,6161	
Acide chlorhydrique	2,4471	
Acide phosphorique	1,2212	
A reporter		15,5668

Report		15,566
Soude et potasse	2,0814	
Chaux	1,0431	
Magnésie	0,0782	
Alumine et peroxyde de fer	1,0931	
Silice et argile insolubles dans les acides	1,5967	
Acide carbonique et matières non dosées	1,3771	11,554
Total du résidu solide par litre		27,120

Il est maintenant facile d'évaluer la masse totale de matières fertilisantes des produits des vidanges d Paris.

On admettra, pour fixer les idées, que le produit d la voirie de Paris s'élève maintenant, par an, i 354,000 mètres cubes de substances d'une compositio moyenne analogue à celle des matières soumises i l'analyse.

Cela posé, il suffira de multiplier par 354,000,00(les différents chiffres donnés dans l'analyse ci-dessus pour reconnaître que le produit annuel des vidanges d Paris, pour une population d'un million d'habitant environ, renferme :

	Kilog.	Kilog.
Azote combiné		
Azote de l'ammoniaque des liquides	1,086,567.60	1,421,805.60
Azote des produits solides	335,238,00	
Matière organique non compris l'azote		
Carbone	3,388,488.00	
Hydrogène	562,506.00	5,175,126.00
Oxygène	1,224,132.00	
Produits minéraux :		
Acide sulfurique	218,099.40	
Acide chlorhydrique	866,273.40	
Acide phosphorique	432,304.80	
Soude et potasse	736,845.60	4,090,116.00
Autres produits minéraux	1,836,622.80	
Total général		10,687,047.60

ou plus simplement :

Azote de l'ammoniaque	1,086,567	1,421,805
Azote des matières solides	335,238	
Matières organiques, non compris l'azote	5,175,126	
Matières minérales	4,090,116	

Les chiffres précédents permettent de calculer, par une simple proportion, la composition du produit des vidanges dans presque toutes les villes de France, qui, sous le rapport de ce service, sont à peu près dans les mêmes conditions que Paris.

La quantité d'azote des vidanges de Paris est égale à celle que contiendraient 355,451,250 kilogrammes de fumier normal (dosant 0.4 pour 100 d'azote). En admettant que la fumure annuelle d'un hectare soit de 20,000 kilogrammes de fumier, on trouverait que la quantité d'azote des vidanges suffirait pour fumer 17,772 hectares par an. Mais on sait que les engrais de cette nature sont beaucoup plus actifs que le fumier ordinaire et qu'ils renferment beaucoup plus de sels minéraux utiles. Pour établir une comparaison plus rigoureuse, il convient de s'adresser à la pratique des cultivateurs des environs de Lille, qui emploient les engrais dont il s'agit. Or, chez les meilleurs fermiers de ce pays, on emploie environ, pour une forte fumure, 18 mètres cubes d'engrais flamand contenant 48k.6 d'azote, d'après les analyses faites en même temps que celles qui font l'objet de cet article. D'après cela, les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

produits des fosses de Paris pourraient servir à la fumure de 29,250 hectares par an, soit en nombre rond de 30,000 hectares. La valeur réelle de ces produits est donc de 1,500,000 francs à 2 millions.

On sait d'ailleurs que cet engrais ne saurait être exclusivement employé, que son action doit être nécessairement alternée avec celle des engrais plus riches en carbone et moins riches en sels minéraux. Si l'on voulait employer en agriculture la totalité des vidanges de Paris, il faudrait les mettre à la disposition d'une étendue de sol arable au moins *triple* de celle qu'elles pourraient féconder annuellement, soit en nombre rond de 90,000 à 100,000 hectares.

Quand on cherche à se rendre compte du prix de transport de ces matières dans des vases hermétiquement clos, soit par chemins de fer, soit par voies navigables, on reconnaît bien vite qu'elles ont trop peu de valeur pour supporter des frais de transports aussi longs que ceux qui seraient nécessaires pour dépasser la zone où s'emploient les boues de ville, et atteindre les pays situés plus loin, qui pourraient seuls les utiliser avec économie.

Pour effectuer ces transports si utiles à l'assainissement de la ville et à l'agriculture, on ne peut donc recourir qu'à l'emploi de tuyaux de conduites et de pompes foulantes à vapeur, comme l'a fait pour la première fois et avec tant de succès M. l'inspecteur général Mary pour l'établissement du dépotoir. Dans ces conditions, les transports peuvent s'effectuer à des prix tout à fait en rapport avec la valeur des produits dont il s'agit.

On pourrait craindre que dans les premières années l'emploi de ces engrais ne fût pas accepté avec assez d'empressement dans les campagnes et qu'il n'en résultât quelques mécomptes. Mais l'exemple des avantages obtenus convertirait promptement les incrédules, et d'ailleurs il suffirait, comme l'a indiqué M. Boussingault, d'autoriser la culture du tabac, plante si avide de ces engrais, dans les départements traversés par la conduite, pour assurer la consommation rapide de tous les liquides qui seraient envoyés.

Les renseignements si précis et si intéressants donnés par M. Husson dans son ouvrage sur les *Consommations de la ville de Paris*, m'ont fourni récemment une vérification indirecte de ces résultats analytiques déjà anciens.

J'ai calculé la quantité d'azote et de matières minérales contenue dans la quantité de chaque aliment consommé annuellement à Paris, et j'ai pu ainsi comparer le poids de ces matières entrées à Paris, d'après les chiffres de M. Husson (page 140), à ceux des mêmes matières sorties, déduits de mes analyses. Sans reproduire ces longs tableaux de chiffres qui occuperaient trois ou quatre pages, je me bornerai aux observations suivantes :

On retrouve dans les vidanges transportées à Bondy de la moitié aux deux tiers seulement des sels minéraux introduits par les aliments consommés. Pour l'azote, la perte est plus considérable encore. La vidange ne renferme pas plus du tiers de la quantité de ce corps introduit par les aliments.

Ces résultats s'expliquent facilement et confirment les chiffres de l'analyse.

Une partie des fosses de Paris, malgré les règlements de police, ne sont point étanches ; dans beaucoup de quartiers, certaines fosses n'ont jamais été vidées. D'un autre côté, une grande partie des urines sont répandues sur la voie publique ; on comprend donc qu'une très-notable partie des produits qui devraient être recueillis à Bondy se perdent de différentes manières. Quant à la déperdition d'azote, beaucoup plus forte relativement que celle des autres produits, elle s'explique trop facilement par les exhalaisons infectes que l'on observe dans les rues et les maisons de Paris.

Les chiffres qui précèdent ne justifient que trop les plaintes générales que soulève le système vicieux qui régit les fosses et les vidanges de la capitale. Plus de 3 millions et demi de kilogrammes d'azote sont perdus chaque année à Paris pour l'agriculture, et sur ce chiffre 2 millions de kilogrammes au moins sont entraînés à l'état de miasmes infects, qui corrompent l'atmosphère, et concourent pour une large part à l'insalubrité de la ville, dont l'air se rapproche ainsi, par sa composition, de celui de la surface d'un immense tas de fumier.

La composition des eaux des égouts, dont on va parler, est beaucoup plus variable d'un jour à l'autre et d'un point à l'autre que celle des produits de la voirie. Pour arriver à une évaluation à peu près exacte de la valeur de ces liquides, il faudrait en faire puiser, d'heure en heure, dans les divers égouts de Paris, faire un mélange de ces différents échantillons, en quantités proportionnelles au débit correspondant, et analyser les mélanges ainsi formés chaque jour pendant une assez longue période de temps. On ne pourrait entreprendre une pareille étude sans le concours actif de l'administration municipale. Dès lors, j'ai dû réduire mes analyses au petit nombre d'échantillons que je pouvais obtenir, sans abuser de l'obligeance de MM. les ingénieurs du service des égouts. Du reste, ces échantillons ont été recueillis dans des conditions se rapprochant autant que possible de la moyenne, de sorte que les chiffres obtenus, qui concordent assez bien avec ceux résultant d'un autre ordre de considérations, ne doivent pas s'éloigner beaucoup de la réalité.

Voici quelques-uns des résultats obtenus.

1. *Eau du grand égout.* — Cette eau a laissé par litre 9s,187 de résidu solide, contenant :

	Grammes.
Azote	0,137
Matières organiques, non compris l'azote	2,849
Cendres	6,201
Total	9,187

Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0s,03115 d'azote.

Cette eau renferme donc par litre 0s,168 d'azote combiné.

Il n'a pas semblé utile de pousser plus loin l'analyse du résidu solide, trop peu homogène pour fournir un renseignement intéressant.

2. *Eau de l'égout de Rivoli.* — Cette eau a laissé par litre 2s,138 de résidu solide, contenant :

	Grammes.
Azote	0,00213
Matières organiques, non compris l'azote	0,62987
Cendres	1,50600
Total	2,13800

Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0s,04367 d'azote.

Cette eau renferme donc par litre 0s,0458 d'azote combiné.

Un autre échantillon d'eau puisée deux ans plus tard dans le même égout contenait par litre :

	Grams.
Matières dissoutes	1,242
Matières solides en suspension	0,484
Total	1,726

Ce résidu solide renfermait 0s,0193 d'azote. Pendant la distillation, il se dégage une quantité d'ammoniaque répondant à 0s,0389 d'azote, de sorte que ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

liquide renfermait par litre 0ᵏ,0582 d'azote combiné.

On voit que l'eau de l'égout de Rivoli est beaucoup moins riche que celle du grand égout. Mais la différence est due surtout aux produits solides. L'ammoniaque dégagée pendant la distillation des trois liquides répond en effet à des proportions d'azote assez peu différentes les unes des autres, savoir :

0ᵏ,0344 ; 0,0436 ; 0ᵏ,0389.

La composition des liquides de l'égout de Rivoli se rapproche beaucoup plus de ce qui aura lieu plus tard dans tous les égouts de Paris que l'échantillon ci-dessus de l'eau du grand égout. Dans les recherches qui nous occupent, il convient d'ailleurs de s'attacher plutôt aux minima qu'aux maxima. Dans les calculs qui vont suivre, nous n'adopterons donc pas, pour la composition des eaux d'égout, la moyenne, les résultats fournis par les trois échantillons dont on vient de parler, qui donneraient 0ᵏ,09 d'azote combiné par litre de liquide trouble. Nous écarterons également le premier échantillon de l'égout de Rivoli, évidemment trop peu chargé par suite du petit nombre de maisons qui y versaient à l'époque de la prise. A défaut de renseignements plus complets, nous adopterons, pour la richesse en azote des eaux d'égout de Paris, le chiffre de 0ᵏ,0582 par litre. Cette donnée est très-probablement au-dessous de la vérité, et nous ne risquons pas d'exagérer en l'adoptant.

Quant au poids des matières dissoutes ou en suspension, on peut l'évaluer en moyenne à 2 grammes par litre à peu près.

Pour évaluer la quantité de matières fertilisantes entraînées et perdues par les eaux d'égout, il faudrait connaître leur volume et leur composition moyenne. Il existe sur ces deux points une très-grande incertitude. Je n'ai adopté que sous toute réserve les chiffres ci-dessus. Quant au volume débité, ou plutôt au volume d'un liquide au même degré de concentration que celui qui a servi à l'essai, on peut, je crois, l'évaluer par an à 21,900,000 mètres cubes environ.

D'après ces hypothèses, les eaux des égouts de Paris contiendraient :

	Kilog	
Azote de l'ammoniaque.	851,910	1,272,390
Azote des matières solides. . . .	420,480	
Matières organiques non compris l'azote.		12,899,100
Matières minérales.		30,879,000
Total.		45,050,490

Ces derniers nombres doivent être plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. Dans des recherches de cette nature, si on commet des erreurs, il convient qu'elles soient dans ce sens, puisqu'il faut toujours être bien certain de ne pas attribuer aux produits que l'on examine une valeur supérieure à celle qui répond à leur richesse réelle. Cependant ils me laissaient, je le répète, beaucoup d'incertitude, et j'ai dû chercher à les contrôler.

L'ouvrage déjà cité de M. Husson sur les consommations de Paris m'a encore donné une vérification remarquable de ce travail analytique déjà ancien.

Les matières perdues par les égouts se composent principalement des déjections des animaux, des eaux ménagères et des urines répandues sur la voie publique. On ne parle pas des produits des fosses coulées aux égouts ; ces matières sont comptées parmi les produits de la voirie, et n'ont pas influé sur les analyses d'eaux puisées pendant le jour.

Il est impossible de baser sur des données tant soit peu précises l'estimation de la valeur comme engrais des eaux ménagères. Quant aux chevaux qui circulent dans les rues, le compte peut en être fait avec exactitude. D'après M. Husson (page 71), il circule tous les jours à Paris 46,000 chevaux, dont 22,400 sont logés

dans l'intérieur de la ville ; les autres passent la nuit d la banlieue. Or, un cheval fournit par jour envi 100 grammes d'azote combiné à l'état de matières f tilisantes. L'azote des engrais versés aux égouts cette voie seulement peut donc se calculer de la n nière suivante :

	Kilo
22,400 chev. logés à Paris.	0ᵏ.100×365j×22,400=817,6
23,600 chev. logés dans la banlieue et ne passant à Paris que la moitié du temps, environ. .	0ᵏ.050×365j×23,600=430,7
Azote total.	1,248,3

En ajoutant à ce chiffre celui des chevaux qui a portent à Paris une partie des denrées, les matériau de construction, etc., qui ne sont pas compris dans l chiffres précédents, les produits des autres animau domestiques, et enfin les produits des eaux ménagèr et celui des urinoirs publics, on reconnaîtra que chiffre de la richesse en azote des eaux d'égout dédu de l'évaluation de leur volume et des analyses, e inférieur à celui résultant des données synthétiqu qui précèdent, et d'ailleurs parfaitement en rappo avec elles. On peut donc l'adopter comme suffisamme exact pour les recherches qui nous occupent.

En résumé, les eaux d'égout entraînent chaque anné à la Seine au moins 1,200,000 kilogrammes d'azot Mais leur énorme volume et leur état de dilution n permettraient pas de les utiliser en totalité, avec éco nomie et d'une manière directe en agriculture. L meilleur moyen de les employer serait d'en consacre une partie à des arrosages de prairies, comme on l fait à Édimbourg, à Milan, etc., et d'extraire de l partie non utilisée de cette façon les éléments fertili sants, par une application convenable des méthodes d précipitation par la chaux, appliquées pour la premièr fois par M. Wicksteed, à Leicester. Voici en quoi con siste cette opération.

Le volume des eaux des égouts de toute la ville d Leicester, qui compte 65,000 âmes, s'élève environ par an, à 5 millions de mètres cubes, d'où l'on extrai à peu près 4,500,000 kilogrammes de matières fertili santes à l'état solide.

L'établissement où s'opère la manipulation de cett masse énorme de produits est situé sur le bord de l rivière Soar, à une petite distance au-dessous de l ville. Il est impossible, quelque prévenu que l'on puiss être, d'y constater l'odeur la plus légère. La plus exacte propreté règne dans toutes les parties de l'usine ; les machines à vapeur, et quelques ouvriers pour les diriger, effectuent tous les travaux avec une précision dont il est impossible de donner l'idée.

L'eau des égouts est amenée, par une conduite souterraine, dans un vaste puits creusé sous l'établissement, à une profondeur assez grande, déterminée par la nécessité de donner aux égouts, et à la conduite d'amenée, une pente suffisante dans l'intérieur de la ville.

Une machine à vapeur, système de Cornouailles, de 20 chevaux, fait manœuvrer une pompe, qui élève cette eau pour l'amener au niveau du sol. Une autre petite pompe, mise en mouvement par la même machine, communique avec une citerne munie d'un agitateur et que l'on entretient constamment remplie de lait de chaux. A chaque coup de piston de la machine, cette petite pompe introduit dans le tuyau de conduite des eaux élevées par la grosse pompe une certaine quantité de lait de chaux, dont la proportion est réglée à l'aide de robinets, suivant la nature des eaux et le degré de concentration du lait de chaux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'eau d'égout, ainsi mélangée de lait de chaux, arrive dans une caisse étroite et longue, dans laquelle tournent des agitateurs à palettes à axes verticaux; le mélange intime des matières s'effectue dans cette caisse, et le liquide s'écoule lentement, à travers des ouvertures horizontales, dans un réservoir en maçonnerie de ciment, ayant environ 60 mètres de longueur, 13m,50 de largeur et 1m,50 de profondeur. Ce réservoir est partagé en deux parties par une série de châssis verticaux en toile métallique placés à 18 mètres environ de l'origine, et que l'on peut mettre et ôter à volonté. Ces toiles métalliques portent 7 à 8 fils par centimètre : elles sont destinées à retenir les corps flottants légers, et à régulariser le mouvement de l'eau dans le réservoir. A l'aval du réservoir sont établies de petites vannes, par lesquelles le liquide purifié s'écoule dans la rivière par déversement, et en lames minces horizontales.

Le fond du réservoir, depuis les toiles métalliques jusqu'aux vannes de décharge, présente une légère contre-pente; au contraire, dans le premier tiers du réservoir, le fond présente deux pentes vers le milieu, réunies par une rigole profonde à fond demi-cylindrique. La vitesse de l'eau dans ce réservoir est de 7 à 8 millimètres par seconde; le produit floconnneux formé par la chaux s'y dépose comme dans une eau tranquille.

Une vis d'Archimède placée dans l'espèce de gouttière ménagée au fond du réservoir, ramène lentement le dépôt boueux dans un puisard, situé derrière.

La précipitation et l'enlèvement des matières solides précipitées s'effectue ainsi d'une manière continue dans un seul réservoir qui reçoit, à l'une de ses extrémités, l'eau d'égout et toutes ses impuretés, et verse dans la rivière, à son autre extrémité, un liquide clair, inodore et sans saveur.

Le dépôt boueux ramené par la vis sans fin, à l'état de boue liquide dans le puisard situé derrière le réservoir, est repris par une chaîne à godets et élevé dans un petit réservoir à quelques mètres au-dessus du sol. Des tuyaux conduisent cette boue liquide dans des machines à essorer à force centrifuge, qui la réduisent à l'état de pâte de consistance de terre à briques.

Il y a, à Leicester, douze toupies de séchage constamment en action. La toile métallique qui les garnit porte 20 à 24 fils par centimètre. Les machines font 1,000 tours par minute. Chacune d'elles reçoit environ 160 kilogrammes de matière demi-fluide. On fait tourner l'appareil pendant 10 à 15 minutes. La substance perd environ les deux tiers de son poids d'eau; on l'extrait de l'essoreuse, et on la porte aux ouvriers briquetiers qui peuvent la mouler, soit immédiatement, soit après une courte exposition à l'air.

En résumé, l'eau d'égout mélangée de chaux est introduite dans un réservoir où se fait le dépôt du précipité formé. Ce dépôt à l'état de boue liquide, continuellement extrait par le mouvement de la vis d'Archimède, est soumis à l'action de machines à dessécher à force centrifuge et transformé en pâte assez ferme pour être immédiatement moulée en briques, dont la dessiccation s'opère à l'air libre sans aucune difficulté.

L'application du système de M. Wicksteed et la construction d'un système complet d'égouts qui en a été la conséquence, a été pour la salubrité de la ville de Leicester un bienfait inappréciable : la mortalité s'élevait, depuis plusieurs années, de 420 à 450 décès par trimestre; depuis l'établissement des travaux, en mai 1855, le nombre des décès est tombé à 340 et même à 324 par trimestre.

Le produit solide ainsi obtenu renferme :

	PRODUIT à l'état naturel.	PRODUIT supposé sec.
Eau perdue à 110°.	12,00	»
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique faible	13,25	15,05
Alumine, phosphate et peroxyde de fer	8,25	9,37
Chaux	45,75	51,97
Magnésie faible : traces.	»	»
Azote, non compris celui des sels ammoniacaux. 0,558000	1,10	1,25
Azotate des sels ammoniacaux. 0,544666		
Produits volatils au rouge, non compris l'azote, acide carbonique et autres matières non dosées . .	19,65	22,36
	100,00	100,00

Pour savoir si les eaux d'égouts de Paris se comporteraient avec la chaux comme celles de Leicester, j'ai fait prendre de l'eau dans l'égout de la rue de Rivoli. Elle contenait par litre :

Matières dissoutes	1g,242
Matières solides en suspension	0g,484
Total.	1g,726

L'ammoniaque libre de l'eau d'égout dans son état naturel a été dosée en recueillant avec les précautions ordinaires, dans de l'acide sulfurique titré, le produit de la distillation. L'azote du produit de l'évaporation à sec du liquide a été dosé par les procédés ordinaires. On a trouvé ainsi que 1 litre de l'eau examinée renferme :

Azote de l'ammoniaque libre	0,0389
Azote du produit solide.	0,0192
	0,0581

Telle est la constitution, au point de vue dont il s'agit, du liquide de l'égout de Rivoli, sur lequel ont été faites les expériences que l'on va rapporter.

On a versé un litre d'eau d'égout dans un certain nombre de flacons d'une capacité de 1 litre et demi environ. On a ajouté à ces liquides troubles des quantités variables de chaux pesée, parfaitement sèche, puis éteinte dans un peu d'eau distillée. La précipitation s'est faite de la manière la plus rapide et la plus satisfaisante, et en présentant le même aspect que celui des liquides de Leicester dans les mélanges renfermant 0g,4 et 0g,5 de chaux pure par litre d'eau d'égout. Ces deux liquides renfermaient la même proportion d'ammoniaque libre, savoir 0g.037 par litre.

Le résidu de l'évaporation de la liqueur clarifiée à l'aide de 0g,4 de chaux pesait 0g,994 par litre, et celui de la liqueur clarifiée avec 0g,5 de chaux pesait 0g,962 : ce dernier avait été un peu trop chauffé, de sorte que les poids de ces résidus peuvent être regardés comme très-voisins; le poids de la matière restée en dissolution après l'action de la chaux était de 0g,978.

Le liquide employé renfermait, comme on l'a vu, 1g,726 de matières solides par litre, dont 1g,242 en dissolution. La chaux a donc déterminé la précipitation rapide de 0g,748 par litre de matières solides formées de :

Produits solides en suspension.	0g,484
Produits solides dissous.	0g,264
Total égal.	0g,748

Ainsi, la chaux détermine la précipitation de près du quart des matières dissoutes. L'eau, après la préci-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pitation, était d'ailleurs parfaitement limpide, incolore et inodore. Le résidu de l'évaporation du liquide précipité par la chaux, puis filtré, contenait 0g,837 p. 100 d'azote, ce qui répond à 0g,00818586 d'azote par litre de liquide clarifié.

Le précipité formé sur la chaux, recueilli sur un filtre, puis séché au soleil, contenait pour 100 :

	PRODUIT.	
	séché au soleil.	supposé sec.
Eau perdue à 110 degrés.	2,20	»
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique faible	8,25	8,43
Alumine, phosphate et peroxyde de fer.	7,25	7,41
Chaux	33,75	34,51
Magnésie : traces.	»	»
Azote non compris celui des sels ammoniacaux 0,837	1,17	1,20
Azote des sels ammoniacaux. 0,336		
Produits volatils au rouge, non compris l'azote, acide carbonique et autres matières non dosées. . .	47,38	48,45
	100,00	100,00

Or, on obtient par litre, y compris les 0g,4 de chaux et l'acide carbonique absorbé par une partie de cette base, 1g,52 environ de ce précipité. Ce qui donne 0g,01824 d'azote par litre d'eau clarifiée.

En réunissant les nombres précédents, on voit que l'azote renfermé dans un litre d'eau d'égout, après la clarification par la chaux, se répartit de la manière suivante :

Azote des matières solides restées en dissolution.	0,0082
Azote de l'ammoniaque libre dans le liquide clarifié	0,0306
Azote du précipité produit par la chaux. . . .	0,0182
Total.	0,0570

chiffre aussi rapproché que le comportent des recherches de cette nature, de la quantité totale d'azote, 0g,058, trouvé dans un litre d'eau naturelle.

Ainsi, la chaux précipite près de 30 pour 100 de l'azote contenu dans les eaux d'égouts. Mais elle ne paraît pas agir sensiblement sur l'ammoniaque libre que renferment ces eaux.

On conçoit que d'importantes améliorations pourraient être réalisées à cet égard. Il est très-probable que l'addition d'un peu de phosphate acide de chaux et d'une chaux magnésienne permettrait de recueillir beaucoup plus d'azote.

Le produit dont on vient de parler serait très-bon pour faire des nitrières artificielles. HERVÉ MANGON.

ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES (MOTEURS). — Voy. ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ.

ÉMAILLAGE. Les recherches exposées dans cet article remontent à plusieurs années ; elles ont été motivées par la création d'un atelier d'émaillage à la manufacture de porcelaine de Sèvres. Lorsqu'en 1846, à la veille de l'exposition des manufactures nationales, on fut obligé, pour produire, d'avoir recours à l'industrie privée qui préparait les matériaux nécessaires à ce genre de décoration, une longue série d'études toutes nouvelles me fut demandée dans le but d'ajouter à mon service la fabrication des émaux ; c'est le résultat de ces essais qui va trouver place ici.

L'émaillage, ou l'art de recouvrir les métaux de couleurs ou de peintures rendues brillantes et inaltérables par l'action de la chaleur, qui les fait adhérer, procède par diverses méthodes conduisant à des effet variés, par suite de l'emploi de matières variées aussi d'usage et de composition différentes.

Tantôt, le métal est simplement recouvert d'un couche d'un cristal transparent, incolore ou coloré, a travers duquel le métal apparaît soit avec son éclat e sa couleur propre, soit avec des tons modifiés par l couleur de la couche superposée.

Tantôt, le métal disparaît complétement sous un couche d'un cristal opaque, blanc ou coloré.

Souvent on applique par places sur le métal déjà re couvert d'un émail opaque, une feuille ou des ornement en métal éclatant, qu'on recouvre à leur tour de crista transparent, incolore ou coloré, de manière à obtenir sur une même pièce, des effets mixtes produits par le deux modes distincts de décoration que je viens d'in diquer.

Tantôt, sur un fond blanc opaque qui peut faire par tie d'une pièce décorée par l'un ou l'autre, quelquefoi par les deux procédés qui précèdent, on applique de peintures dont on rend le glacé complet en les recouvrant d'une couche d'un cristal transparent et d'une composition particulière, auquel on donne le nom de fondant : ce genre de peinture s'appelle *peinture sous fondant*.

Tantôt enfin, on applique sur un fond blanc d'une nature spéciale qu'on nomme *pâte*, des peintures souvent très-fines, exécutées avec une palette spéciale dont les couleurs glacent suffisamment par elles-mêmes pour qu'on n'ait plus besoin d'avoir recours à la superposition du fondant : on nomme ces peintures *peintures sur pâte*.

On comprend que toutes les matières employées pour obtenir les effets que je viens d'énumérer soient variées, les unes plus, les autres moins fusibles.

Nous aurons à les étudier dans deux groupes distincts. La composition des matières teintes dans la masse trouvera sa place dans une première partie. Nous réserverons pour une seconde la composition des couleurs proprement dites dont on fait usage pour peindre sur pâte ou sous fondant.

L'étude des fondants colorés, ou non opaques ou transparents, qui s'appliquent pour obtenir l'émaillage du cuivre, de l'or, de l'argent, se présentera naturellement à côté de celle des mêmes matériaux employables sur fer et sur fonte, et nous insisterons sur ces derniers en raison de la nouveauté des produits qu'on en peut obtenir.

Je réunirai dans une troisième partie ce qu'il est permis de regarder comme descriptif, je veux parler des procédés mécaniques usités dans l'art de l'émailleur pour mener à bonne fin une pièce commencée. C'est dans cette partie que nous chercherons à rendre compte de certaines précautions que la pratique seule a pu conseiller et que l'usage a consacrées. Cette étude est le complément nécessaire des notions chimiques que nous aurons développées dans les deux parties précédentes, mais il nous a paru nécessaire, afin de fixer les idées, de placer en tête de cet article, sous le titre de *Notions préliminaires*, une définition nette et précise des termes que nous aurons à choisir, de leur valeur et de leur portée.

Nous commencerons donc par donner en quelques mots l'explication des mots dont nous ferons usage.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

On entend généralement par émail, un cristal plus ou moins fusible, généralement plombeux, car ce n'est pas une nécessité, opaque, souvent blanc, quelquefois coloré.

Cependant, on a étendu ce nom à toute espèce de matière vitreuse, transparente ou opaque applicable sur métaux; on a même confondu sous cette même dé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nomination les couleurs dont on se sert pour décorer les poteries les plus parfaites comme les porcelaines, et certaines poteries grossières comme les faïences communes. C'est encore de ce nom qu'on appelle les substances vitreuses, opaques ou transparentes qui servent de glaçures aux poteries que nous venons de citer. Enfin, on a été jusqu'à l'appliquer à toute pièce métallique recouverte d'émaux.

Il est résulté de ces extensions successives données à la signification primitive du mot émail, qu'il n'a plus de sens précis dans le langage technologique.

Pour nous, nous réserverons d'une manière exclusive le mot émail à toute matière vitreuse plus ou moins fusible, blanche ou colorée par des matières colorantes maintenues en dissolution dans la masse.

Par opposition au mot émail, je nommerai *parémail* (de *para,* contre) toute substance vitrifiable plus ou moins fusible, chimiquement non homogène, formée d'un mélange de matière colorante infusible ou d'une fusibilité insuffisante, intimement mêlée à une matière vitreuse ou fondant.

Nous nommerons :

1° Métal émaillé (fer, fonte, or, argent ou cuivre), tout métal recouvert d'une couche de cristal ou verre, incolore ou coloré.

2° Paillons, les métaux émaillés de façon à présenter, sur leur surface vitreuse, des parties métalliques brillantes, or ou argent, recouvertes de verre ou de cristal.

3° Pointure sur émail sous fondant, les décorations peintes sur métal émaillé mais recouvertes de fondant.

4° Enfin peinture sur émail, sans fondant, les métaux émaillés chargés de peintures obtenues par des parémaux.

Je distinguerai les émaux en *transémaux* ou émaux transparents et incolores ou colorés, quelle que soit leur coloration, et *opémaux* ou émaux opaques, blancs ou colorés, quelle que soit la nature de l'élément qui les colore, quel que soit le principe de leur opacité.

Dans les émaux, la matière colorante sera toujours une partie minime du poids de la masse vitreuse : il y aura dissolution, combinaison chimique; leur caractère distinctif sera l'homogénéité.

Dans les parémaux, au contraire, le principe colorant pourra s'élever à une proportion très-forte, sans qu'il y ait combinaison entre l'élément colorant et le principe fusible; il n'y a qu'un simple mélange duquel résulte l'hétérogénéité de la masse.

Toutes les couleurs employées dans la décoration des porcelaines européennes, le blanc excepté, sont des parémaux; encore pour le blanc, je ne crois pas qu'il soit possible d'admettre que l'oxyde d'étain soit dissous. Les couleurs au contraire dont les Chinois se servent pour décorer leurs produits similaires, sont de véritables émaux pour la plupart; c'est même à cette différence de moyens qu'il faut attribuer la différence des effets produits par les deux espèces de porcelaines. (Voy. DÉCORATION CÉRAMIQUE.)

Dans tous les cas, quelle que soit la nature du métal émaillé qu'on veut produire, le métal se trouve recouvert d'une couche de matière vitreuse qui le préserve de l'oxydation et qu'il convient d'appliquer sur les deux faces, en dessus comme en dessous, afin d'éviter le gondolement du métal et la fente de l'émail supérieur. On donne à la couche étendue sous l'objet, lorsqu'il est placé à l'intérieur, lorsqu'il épouse la forme concave, le nom de *contre-émail.*

Lorsqu'on veut obtenir un métal émaillé chargé de peintures sous fondant ou de paillons, on recouvre la matière vitreuse d'une couche de blanc. Cette matière offre une composition uniforme et constante; mais il n'en est pas de même de celle de la première couche immédiate mise en contact avec le métal; sa composition est appropriée naturellement au métal qu'il s'agit d'émailler, et nous avons analysé des substances employées à cet usage par les principaux émailleurs de Paris.

Voici les moyennes obtenues pour les fondants convenables pour l'émaillage de l'argent et de l'or :

Perte au feu.	0,30	0,10
Silice.	48,10	53,60
Oxyde de plomb	38,25	31,16
Oxyde de cuivre.	0,32	traces
Oxyde de fer	0,25	0,40
Oxyde de manganèse . . .	0,00	0,60
Alumine	0,14	0,54
Chaux.	0,60	0,26
Magnésie	traces	traces
Alcalis	12,04	12,31

On comprend que la soude et la potasse conduisent à des cristaux de propriétés différentes relativement à la manière dont ils se comportent avec les métaux. L'expérience n'a pas encore fait connaître les choix qu'il convient de faire, et les dosages employés par les praticiens sont encore tenus secrets.

Nous prendrons pour exemple dans cet article, afin de préciser les divers points qu'on pourra naturellement étendre à l'émaillage sur cuivre et sur or, l'émaillage de la tôle ou de la fonte pour obtenir des peintures sous fondant.

Lorsqu'on prépare des peintures sur pâte, la pâte est appliquée sur fondant et bien étendue par les moyens que nous indiquerons plus loin. Cette pâte ne se fabrique qu'à Venise avec toutes les qualités voulues. Elle n'est pas complétement blanche; elle possède au contraire une légère nuance ocreuse faiblement verdâtre sur laquelle le blanc marque et se détache convenablement, en simulant un rehaut.

ÉMAILLAGE SUR FER. — PEINTURE SOUS FONDANT.

L'émaillage sur fer ne date, à la manufacture de Sèvres, que de quelques années; les premiers essais remontent à la fin de 1849; ils ne sont donc venus que longtemps après l'émaillage sur cuivre dont on s'occupait depuis 1846. La première idée de ce genre de produit fut suggérée pendant l'exposition des produits de l'industrie française en 1849, par l'apparition dans le commerce de plaques de tôle émaillée préparées par MM. Jacquemin frères, dans l'usine de Morey (Jura).

M. Ebelmen pensa qu'il devait être facile d'obtenir sur le fer émaillé des plaques d'une plus grande dimension que celles que pouvait donner le cuivre si sujet à se déformer, et qu'on devait poursuivre avec plus de chances de succès la décoration monumentale. C'était là le but vers lequel tous les efforts étaient dirigés.

Les premiers essais faits sur des plaques de petite dimension donnèrent des résultats assez satisfaisants pour faire espérer une prompte solution du problème. Une tête de Cérès fit concevoir tout espoir, et l'on se mit de suite à l'œuvre pour décorer des plaques de plus grande dimension. Comme premier ouvrage sérieux, nous devons citer une tête de Raphaël encadrée dans des bordures ornemanisées, sur une tôle de $0^m,32$ de largeur et de $0^m,40$ de hauteur. Nous allons indiquer les moyens employés dans cette circonstance.

On a fait sur la plaque fournie par M. Jacquemin émaillée en blanc, ayant par conséquent déjà supporté plusieurs feux, peut-être quatre, savoir deux de fondant et deux de blanc, une première application de noir à deux couches, puis on a peint une grisaille, enfin on a coloré la grisaille. Pour résumer, on a donc eu la série successive des feux que je réunis méthodiquement en généralisant pour servir d'exemple.

A. — *Préparation de la plaque.*

1re Couche de noir	1er feu.
2e Couche de noir	2e feu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

B. — *Préparation de la grisaille.*

Sur le noir on fait le trait, puis on empâte avec du blanc pour obtenir les lumières; cette grisaille est faite à 3 feux :

1re couche de blanc.	3e feu.
2e couche de blanc.	4e feu.
3e couche de blanc.	5e feu.

C. — *Émaillage proprement dit.*

1re couche d'émaux de couleur. . .	6e feu.
2e couche d'émaux de couleur. . .	7e feu.

D. — *Peinture proprement dite.*

On termine la plaque par l'application de l'or et la coloration de la grisaille avec les couleurs de Genève.

1er feu de peinture.	8e feu.

En ajoutant à ces feux les quatre feux présumés nécessaires pour la préparation de la plaque blanche, cette plaque exige, pour être terminée, douze feux successifs.

Les matières employées doivent être choisies pour le noir, le blanc et les émaux colorés: nous y reviendrons plus loin.

Ce nombre de feux est considérable; on doit du reste varier un peu la série des opérations suivant les circonstances, et placer l'or à des époques différentes suivant l'effet qu'on veut produire. Ainsi, en supposant la plaque préalablement préparée par deux couches de fondant et deux couches de blanc, on distinguera :

A. — *La préparation de la plaque.*

On dessine directement sur le blanc sans mettre de noir, on étend donc :

1er couche de blanc.	1er feu.
2e couche de blanc.	2e feu.

On profite du 1er feu de blanc pour étendre l'or qui doit faire paillon et qu'on recouvrira de fondant.

On passe à la deuxième opération, en se servant de couleurs qui doivent être recouvertes de fondant.

B. — *Peinture proprement dite.*

1re couche de peinture (ébauche). .	3e feu.
2e couche de peinture (retouche). .	4e feu.

C. — *Passage du fondant sur l'or.*

On réserve ce qui n'est pas dorure et on pose deux couches.

1re couche de fondant	5e feu.
2e couche de fondant	6e feu;

mais on profite de ces deux feux pour terminer la coloration par l'application des transémaux qui rehaussent les draperies.

D. — *Peinture de retouche en noir sur fond d'or.*

On fixe par ce dernier feu les ornements qui peuvent s'enlever sur les fonds d'or. . . . . 7e feu.

C'est encore treize feux pour compléter une pièce.

Tous les accidents qui peuvent résulter de ces cuissons répétées paraissent tenir plutôt à la mauvaise nature du verre formant la couche intermédiaire entre le métal et la surface peinte qu'à toute autre cause, et

le plus grand inconvénient de cette fabrication est l'usage immédiat de plaques préparées dans le commerce.

Il convient donc de s'affranchir de cette cause de déchets en préparant directement les tôles dont on peut avoir besoin; il y a d'ailleurs un intérêt considérable à ne pas rester tributaire d'un étranger qui peut par une négligence ou tout autre motif, entraver une production déjà coûteuse par elle-même.

Je place ici le résultat des expériences que j'ai faites pour étudier la meilleure composition à donner aux fondants qu'il faut choisir pour les mettre en contact immédiat avec les tôles. J'ai fait un assez grand nombre d'analyses et de synthèses pour les contrôler. Les fondants faits à Sèvres l'ont été dans un petit fourneau d'essai permettant de fondre à la fois 1,500 grammes de matière. Cette indication n'est pas sans importance. En opérant sur une petite quantité, le verrier trouve toute sécurité pour maintenir à son produit une composition normale. La fusion s'opère rapidement.

Les analyses ont été faites d'une manière comparable; on les a dirigées de manière à doser tous les éléments d'une manière directe, sauf l'acide borique.

Dans une première attaque au carbonate de soude, on a dosé la silice, l'oxyde de plomb, l'oxyde de fer; dans une deuxième attaque, on a déterminé l'oxyde de plomb, la chaux, la magnésie et les alcalis.

C'est par différence qu'on a déterminé l'acide borique. Cette méthode suffit; elle force un peu la quantité de l'acide borique en l'augmentant de la perte de manipulation; or pour reconstituer par synthèse le composé dont l'analyse a révélé la nature, ce n'est pas un inconvénient d'exagérer un peu le dosage de l'acide borique dont une partie s'échappe toujours par volatilisation.

Les différents fondants soumis à l'analyse étaient :

N° 1. Fondant enlevé aux plaques émaillées de M. Jacquemin.

N° 2. Fondant pour fer, préparé par M. Pâris, également de bonne qualité.

N° 3. Fondant pour fer (Pâris).

N° 4. Fondant pour fer (Pâris), employé à l'émaillage des plaques de tôle de la plus grande dimension pour les figures au pied de M. Jalabert. Ce fondant livré en gros fragments laissait apercevoir, emprisonnées dans sa masse, de grosses grenailles de plomb métallique.

N° 5. Fondant pour fer incolore enlevé aux premiers ustensiles de fer émaillé, envoyés à M. Ébelmen par M. Japy.

N° 6. Fondant pour fer incolore, enlevé aux ustensiles faisant partie du deuxième envoi de M. Japy.

N° 7. Fondant pour fer, bleu, provenant d'une espèce de plateau de l'envoi de M. Japy. Il faut ajouter aux éléments consignés dans l'analyse de ce fondant 1,03 pour 100 d'oxyde de cobalt.

Quelques-uns de ces fondants avaient conduit à des écailles dont j'ai voulu connaître la cause. Voici les résultats analytiques de ces différents fondants :

Tableau A.	N° 1. Jacquemin.	N° 2. Pâris.	N° 3. Pâris.	N° 4. Pâris.	N° 5. Japy.	N° 6. Japy.	N° 7. Japy.
Acide silicique.	49,00	47,70	44,04	40,05	47,50	51,00	49,00
Acide borique.	4,04	5,49	3,66	3,36	4,36	3,12	4,62
Oxyde de plomb.	27,52	28,10	36,05	39,04	31,40	22,44	25,00
Oxyde de fer et de manganèse. .	2,50	1,00	0,65	1,00	2,52	4,20	2,70
Chaux.	0,84	0,50	traces.	0,20	1,50	2,20	1,00
Magnésie.	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.	0,00	traces.
Alcalis	16,14	17,21	14,94	16,05	12,72	17,04	16,65
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,97

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TABLEAU B.	N° 4.	N° 3.	N° 5.	N° 2.	N° 1.	N° 7.	N° 6.
Adhérence.	médiocre.	moyenne.	moyenne.	complète.	complète.	moyenne.	moyenne.
Aspect après fusion.	bien glacé.	bien glacé.	glacé.	assez glacé.	glacé.	coque d'œuf.	coque d'œuf.
Résistance.	bonne.	bonne.	bonne.	bonne.	bonne.	bonne.	bonne.
Oxyde de plomb. .	39,04	36,05	31,40	28,10	27,51	25,00	22,14
Acide borique . . .	3,66	4,65	4,35	5,49	41,04	4,62	3,12
Alcalis.	16,05	14,94	12,72	17,21	16,14	16,65	17,04

Il résulte de ces tableaux que, quelle que soit la provenance de ces divers fondants, ils sont tous formés des mêmes éléments : silice, acide borique, oxyde de plomb, alcalis, potasse et soude. Les nombres qui précèdent font voir que les fondants de M. Pâris n'ont pas offert de régularité dans leur composition; que l'oxyde de plomb y a varié de 28 à 39 centièmes; que la silice a varié de 47 à 40 centièmes, le fondant qui a donné les résultats les moins avantageux étant celui dans lequel le plomb était en plus forte proportion. (On a choisi pour faire l'analyse des fragments bien exempts de grenaille métallique.)

Les émaux pour fer envoyés par M. Japy sont beaucoup moins plombeux que ceux livrés à la manufacture de Sèvres par M. Pâris. Le dernier fondant, du reste, se rapproche, sous le rapport de sa composition, du premier fondant livré par M. Pâris, celui-ci semblant identique avec l'émail provenant des plaques de M. Jacquemin. L'acide borique varie d'un produit à l'autre. En représentant par 100 le nombre le plus élevé, qui indique la dose de cet acide, le poids du plus faible devient 66. L'acide borique varie donc dans les proportions de 3 à 2.

Pour l'oxyde de plomb, en faisant une transformation analogue, le chiffre le plus élevé étant 100, le plus faible devient 57,5.

L'alcali varie dans des limites un peu moindres; car 100 étant la proportion la plus élevée de la potasse et de la soude réunies, la quantité la plus faible de ces bases ne descend pas au-dessous de 74. Les proportions de chaux ne m'ont pas paru devoir exercer une influence notable sur les propriétés de ces fondants. Je les ai considérées comme accidentelles; j'ai de même, dans les synthèses, négligé d'introduire les oxydes de fer et de manganèse qu'on ne peut considérer que comme accessoires et dont la proportion, du reste, n'est devenue notable que dans les échantillons arrachés à la tôle émaillée et cuite; dans ce cas, le fondant enlève toujours au fer une portion d'oxyde qui le colore en noir et le métal dénudé paraît parfaitement décapé, brillant d'un vif éclat.

Ces données sur la composition des divers fondants ont servi de base pour les reproduire par synthèse, afin d'abord de vérifier expérimentalement l'analyse et pour étudier d'une manière comparative et raisonnée leur résistance au choc et leur adhérence au métal. Les fondants préparés suivant les indications de l'analyse ont tous présenté les caractères des émaux de M. Pâris, avant comme après la cuisson.

Appliqués à une épaisseur très-faible, ils prennent sur le fer, comme ces derniers, un aspect noirâtre qui pourrait faire croire que ce métal a été recouvert d'une couche de noir. Sous une épaisseur plus considérable, ils prennent un aspect opalin qui masque complétement la nature du métal et qu'on pourrait attribuer à la présence dans la matière vitreuse, soit du phosphate de chaux, comme dans l'opale, soit du sulfate de potasse, comme dans le verre dit *pâte de riz*. Cette demi-opacité n'est due, comme l'analyse et la synthèse l'ont confirmé, qu'à de petites bulles emprisonnées dans l'intérieur du cristal, assez nombreuses quand la couche est épaisse pour détruire complétement la limpidité de l'enduit fondu; ces bulles sont d'ailleurs parfaitement visibles dans les éclats qu'on peut détacher à coups de marteau des plaques de tôle émaillée. La partie même qui reste, dans certains cas, adhérente au métal, présente alors l'aspect et la coloration de ce fondant appliqué en couche mince.

J'ai réuni dans le tableau marqué B les résultats des diverses expériences à l'aide desquelles j'ai tenté d'apprécier la valeur industrielle des fondants analysés plus haut et reconstitués par synthèse; c'est de l'examen de la cassure et de l'étendue de la surface métallique mise à nu que j'ai cru pouvoir déduire les qualités comparatives de ces fondants.

Lorsqu'on frappe à coups de marteau sur une petite plaque recouverte de fondant, ce fondant s'étoile d'abord, puis s'élève tantôt en mettant à nu le métal, tantôt en se séparant en couches distinctes, l'une qui se détache, l'autre qui reste adhérente au fer. Dans le premier cas évidemment, l'adhérence est moindre que dans le second cas. C'est ce dernier que j'ai désigné dans le tableau qui précède par le terme adhérence complète. Le mot *adhérence médiocre* ne s'applique qu'aux fondants qui s'enlèvent en entier et facilement sous le choc du marteau; *adhérence nulle* veut dire que par le refroidissement seul le fondant se sépare sous forme d'éclats. Enfin j'ai réservé le mot *adhérence moyenne* pour les fondants qui jouiront de propriétés intermédiaires; il qualifie des fondants n'ayant pris qu'une adhérence irrégulière, c'est-à-dire complète sur divers points, médiocre sur d'autres. Il est évident que le mot adhérence complète ne peut être pris dans un sens absolu; car il n'y a pas de fondant qui résisterait à l'exfoliation par des chocs répétés dont l'action se rapprocherait de celle d'une lime ou d'un égrugeoir.

Pour éviter une dénomination difficile, explicative des divers points de fusion comparée de ces différents fondants, on a jugé plus simple de les classer par ordre de fusibilité en commençant par le plus fusible. Cette fusibilité, quoique très-peu variable, d'un émail à un autre, est évidemment liée néanmoins à la proportion de l'oxyde de plomb que l'analyse a décelée. Les variations présentées par les alcalis et l'acide borique paraissent perdre leur influence vis-à-vis de celles de l'oxyde de plomb. Il serait, du reste, difficile de se pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

noncer *à priori* sur la fusibilité comparative de composés aussi complexes, et surtout si la potasse et la soude se trouvent simultanément employées ; d'ailleurs ces composés contiennent de l'acide borique et l'étude des borosilicates multiples considérés à ce point de vue est encore à faire.

On a noté dans le tableau B, outre l'adhérence et la quantité de l'oxyde de plomb qui augmente à mesure qu'on voit croître la fusibilité, l'aspect après la fusion, puis les quantités centésimales, soit de l'oxyde alcalin, soit de l'acide borique.

Les essais d'adhérence ont été répétés sur plusieurs plaques différentes. Ils ont permis d'accepter avec certitude, comme conformes à la vérité, les résultats qu'ils présentaient et les conséquences qu'on est tenté d'en tirer.

Il est hors de doute, d'après l'étude du tableau qui précède, que la composition qui remplit les meilleures conditions d'adhérence et, par conséquent, les chances de plus grande durée, correspond aux analyses des fondants marqués n° 1 et n° 2. C'est ce produit qui devait me servir de point de départ pour la fabrication des fondants destinés aux essais en grand tentés dans l'atelier d'émaillage.

Toutefois, avant d'en faire une quantité considérable, avant aussi de donner cette recette comme celle qui conduit aux résultats les plus pratiques, j'ai jugé prudent de m'assurer, par des fontes répétées et des essais successifs, de la constance des bonnes qualités de ce fondant, tout en cherchant le moyen de le produire au meilleur compte possible et d'une composition chimique invariable.

Dans une première opération, on a fait fondre pendant six heures, dans le fourneau à vent du laboratoire, le mélange suivant :

Sables d'Étampes	48
Minium	30
Borax fondu	8
Carbonate de pot. contenant 28 p. 100 d'eau.	28
	114

Ces nombres correspondent aux proportions suivantes :

Silice	48,00
Oxyde de plomb	29,00
Potasse du carbonate	15,25
Soude du borax	2,48
Acide borique	5,52
	100,25

Ce fondant, appliqué par quatre couches successives sur une plaque de fer à des feux répétés dix fois, n'a présenté ni craquelure, ni bouillon; il nous a donc paru donner les garanties d'une suffisante résistance.

Dans une deuxième opération, on a remplacé le carbonate de potasse par une quantité de carbonate de soude telle que le poids de l'alcali ne variât pas : on a obtenu une masse plus verte, mais qui, appliquée sur le fer, s'est comportée de la même manière que le produit de la première fonte.

On peut donc, sans inconvénient, remplacer la potasse par la soude, dont le prix est moins élevé. En supposant que, dans le premier dosage, 5,25 de potasse aient pu provenir d'une quantité proportionnelle de nitre, on peut représenter encore le produit fondu par les nombres qui suivent :

		Cristal.
Silice	48,00	55,18
Oxyde de plomb	29,00	33,33
Potasse et soude	10,00	11,49
Potasse du nitre	5,25	
Borax	8,00	
	100,25	100,00

On voit alors que les proportions de silice, d'oxyde de plomb et des alcalis qui restent, sont celles dans lesquelles, en moyenne, on combine ces substances pour composer le cristal. D'après les nombreuses analyses des cristaux que j'ai eu l'occasion de faire à diverses époques, ces éléments oscillent autour des nombres de la 2e colonne, en sorte que le fondant en question pourrait encore être fabriqué avec assez d'avantages en refondant du groisil de cristal avec du nitre et du borax. On l'obtiendrait encore plus économiquement en fondant du cristal avec du borax ou de l'acide borique, auquel on ajouterait une quantité convenable de carbonate de soude pour introduire l'alcali fourni par le nitre et le borax, dont les prix sont assez élevés.

M. Pâris a fait connaître, dans le bulletin de la Société d'encouragement (février 1850, p. 78), le procédé qu'il emploie pour faire son fondant pour fer. Il prend :

Flint-glass	130,0
Carbonate de soude	20,5
Acide borique	12,0

En supposant au flint-glass la composition moyenne de deux cristaux anglais analysés par M. Berthier, savoir : le cristal de Newcastle et celui de Londres :

	De Newcastle.	De Londres.	Moyenne.
Silice	51,4	59,2	55,3
Oxyde de plomb.	27,4	28,2	32,8
Potasse	9,4	9,0	9,2

on s'accorde assez bien avec l'analyse donnée pour les fondants cités plus haut.

L'acide borique indiqué se trouve aussi d'accord avec le nombre fourni par expérience.

L'usage, comme matière première, du groisil de cristal a l'inconvénient d'introduire un élément d'une composition inexactement connue et très-variable. Il suffirait seul pour expliquer les différences que nous avons constatées dans la composition des émaux fournis à diverses époques par M. Pâris. Les expériences dont les résultats sont consignés plus haut, relatives à l'adhérence au métal des composés vitreux que j'ai préparés, et les accidents qui ont suivi la confection de plusieurs des plaques émaillées et peintes, révèlent suffisamment, je pense, le danger qu'il y aurait à rechercher l'économie par l'emploi des groisils. L'oxyde de plomb, qu'on doit craindre d'ajouter en trop grande quantité, doit cependant faire partie du composé, car nous avons fait des verres de composition variée, mais sans pouvoir obtenir la moindre adhérence. A l'inconvénient d'être trop peu fusibles, ces fondants joignaient celui de voler en éclats sans aucun choc, par l'effet seul du refroidissement. Le dosage le plus avantageux nous a paru devoir être celui dont j'ai fait usage.

En présence de ces faits je me suis trouvé conduit à conseiller de composer toujours de toutes pièces le fondant pour fer dont on se sert aujourd'hui dans l'atelier d'émaillage, en ne faisant usage que de substances chimiquement définies, identiques et de la plus grande pureté.

Je remplace par l'acide borique cristallisé le borate de soude, en augmentant la dose du carbonate de soude d'une quantité convenable pour retrouver l'alcali qu'on introduisait d'abord à l'état de borax. Voici les proportions employées maintenant :

Sable	48,0	contenant silice	47,90
Minium	30,0	— oxyde de plomb	28,89
Carbonate de soude.	30,0	— soude	17,57
Acide borique	10,0	— acide borique.	5,64
	118,0		100,00

Cette composition est la base de la fabrication actuelle.

Puisque nous parlons ici de l'économie qu'on pourrait apporter dans cette fabrication, nous rappellerons l'usage qu'on peut certainement faire du borate de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaux natif, sur lequel nous avons fixé l'attention à l'article ACIDE BORIQUE. Nous n'avons pas essayé cette substitution dans les fondants pour fer; mais comme elle réussit très-bien pour les émaux préparés pour terre cuite, il y a tout lieu de penser qu'elle est possible et qu'elle serait avantageuse pour le cas qui nous occupe. (Voy. p. 134, ÉMAUX pour terre cuite.)

J'ai cherché, par l'introduction de quelques matières céramiques, à modifier l'adhérence et les rapports de dilatabilité du fondant et du métal.

On a successivement étudié sous ce rapport, tant pour diminuer la richesse en oxyde de plomb de la couche en contact avec le fer métallique, que pour isoler ces deux matières :

1° Le biscuit de porcelaine dure.	3° La terre de Dreux.
	4° Le kaolin.
2° Le biscuit de porcelaine tendre.	5° Le talc.
	6° L'ocre jaune.

Pour chacune de ces matières, on a fait deux essais en partant, comme élément invariable, du fondant dont la composition vient d'être donnée.

a. Après avoir mis à un premier feu une couche de fondant, on a mis une couche de la matière en essai; enfin le tout a été recouvert d'une deuxième couche de fondant cuit à un troisième feu.

b. On a mis à un premier feu une couche de fondant; par-dessus une couche d'un mélange à parties égales de fondant et de la matière en essai; enfin à un troisième feu pour recouvrir le tout, une deuxième couche de fondant pur.

Biscuit de porcelaine dure.

a. La masse vitreuse ainsi formée n'a pas pris d'adhérence.

b. Le vernis est sorti du feu sans glaçure et fendillé. Le même essai répété sur la porcelaine, à l'état de dégourdi, a donné le même résultat.

Kaolin argileux de Saint-Yrieix.

a. L'émail éclate tout seul après la cuisson.

b. L'émail se lève facilement par éclats.

Terre de Dreux, argile réfractaire.

a. L'émail cuit ne prend aucune adhérence.

b. Dans les conditions de cet essai, l'émail ne tient pas.

Talc.

a. L'émail ne glace pas.

b. Il y a de nombreux bouillons.

Ocre.

a. L'émail n'offre aucun glacé.

b. Dans les conditions de cet essai, il y a bouillonnement considérable.

Dans ces diverses expériences, on a remarqué que les fondants paraissaient faire éclater la substance intermédiaire lorsque cette matière ne prend pas avec le vernis plombeux une adhérence suffisante. En partant de ce fait connu, que les pâtes de faïence fine dure comme celles de porcelaine tendre artificielle, soit française, soit anglaise pouvaient être facilement recouvertes d'une glaçure plombifère bien unie, sans tressaillures ni bouillons, j'ai fait, dans les doubles conditions relatées plus haut, l'essai des pâtes de terre de pipe et de porcelaine tendre artificielle.

1° Le biscuit de la faïence fine dure de Creil.

2° Le biscuit de la porcelaine tendre de Sèvres.

Biscuit de faïence fine de Creil (porcelaine opaque).

a. Formé d'une couche de pâte emprisonnée par deux couches de fondant, le vernis, dont le fer est couvert, ne présente pas de solidité; la pâte qui reste sans cohésion permet l'exfoliation de la triple couche dans son épaisseur.

b. En employant un mélange à parties égales de pâte et de fondant, on obtient toute l'adhérence désirable.

Biscuit de porcelaine tendre de Sèvres.

a et *b*. Les essais faits avec la pâte de porcelaine tendre nouvelle de Sèvres ont fourni les mêmes résultats que ceux obtenus avec les pâtes de faïence fine. Il en résulte que toutes les fois qu'on pourra se procurer des débris de porcelaine tendre, on pourra s'en servir pour opacifier le fondant dont on couvre les tôles ou les fontes de fer.

Cette composition figure actuellement dans le service de la manufacture de Sèvres, sous le nom de *pâte céramique pour fer*.

Le *fondant pour fer n° 1*, dont j'ai donné la composition plus haut et qui sert de glaçure à la pâte céramique dont je viens de parler, peut devenir la base de fondants colorés qui pourront, par la suite, être utilement employés pour établir des peintures dans lesquelles un ton quelconque dominera. La plaque de fer, en effet, facilement préparée par du fondant du ton dominant, reçoit le ton local qu'on choisit, et ce tour de main permet de supprimer les deux premiers feux de fondant. J'ai tenté quelques colorations.

La première couleur dont nous devons nous occuper est le noir, d'un usage indispensable pour la préparation des grisailles. Je l'obtiens sans peine en ajoutant aux matériaux qui donnent le fondant une quantité convenable de peroxyde de manganèse. Voici les doses que j'ai adoptées pour la préparation des noirs que j'ai préparés jusqu'à ce jour.

Sable	720
Minium	450
Carbonate de soude	450
Acide borique	450
Peroxyde de manganèse	450

On fond le tout; on coule en galettes, mais seulement lorsque l'affinage est parfait; un seul feu suffit. Il est inutile de colorer le fondant déjà fait et de refondre à un second feu.

Avec de l'oxyde de cobalt, on colore le fondant en bleu; avec de l'oxyde de cuivre, on le colore en bleu turquoise; avec de l'oxyde d'urane, on obtient un fondant jaune. On met pour les proportions de silice, d'oxyde de plomb, de soude et d'acide borique relatées plus haut :

Pour le bleu, bleu au grand feu (Voy. DÉCORATION CÉRAMIQUE), 30 gr. oxyde de cobalt.

Pour le turquoise, oxyde de cuivre, 20 gr.;

Pour le jaune, oxyde d'urane, 45 gr.

On peut essayer l'effet produit par d'autres oxydes, comme l'oxyde de chrome, l'oxyde de manganèse à petite dose, l'oxyde d'étain, etc.

Les fondants bleus, jaunes et turquoise, d'après les épreuves auxquelles on les a soumis dans l'atelier d'émaillage, peuvent être appliqués directement sur le fer ou sur le fondant préalablement cuit; ils paraissent conserver, dans tous les cas, les qualités que nous avons constatées dans le fondant incolore.

Afin de comparer la valeur de ce genre de peintures, deux pièces exécutées sur fer ont été faites par des moyens différents pour être exposées aux conditions les plus désavantageuses. L'une a été peinte sur la pâte céramique, recouverte d'une couche de fondant; l'autre a été faite sur deux couches de fondant sans addition de matière étrangère.

Il serait prématuré de conclure d'une manière positive de ces premières expériences que le problème est entièrement résolu; cependant il semble possible de supposer que la composition, à laquelle nous nous sommes arrêtés, n'est pas mauvaise. Il est indispensable de satisfaire aux conditions d'un refroidissement lent pour opérer une sorte de recuit de la peinture.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On obtiendra certainement ce résultat en faisant passer la pièce, après la cuisson, dans une sorte d'appareil qui rappelle l'arche des verriers. Dans tous les cas, il est évident que l'étendue seule de la surface émaillée doit avoir tendance à rompre l'adhérence du fondant au métal.

Lorsque la peinture qu'on veut produire est une grisaille, on a tous les éléments pour obtenir le travail complet. Après avoir couché le fondant noir à deux fois pour obtenir une surface unie et régulière, on modèle le dessin avec du blanc parfaitement broyé qu'on emploie à l'eau à la spatule, en l'étendant avec une pointe d'aiguille. Ce travail très-pénible est aride ; on ajoute du blanc sur les lumières, et les plus grandes épaisseurs correspondent aux points les plus lumineux. Elles font saillie. Les pénombres sont fournies par le blanc qui, mis très-mince, n'a pas assez d'opacité pour couvrir complétement le fond noir.

Le blanc qu'on préfère pour ce genre de peinture est le blanc qu'on rencontre à Paris sous le nom de *Blanc Gineston*, du nom du fabricant. M. Gineston fut pendant longtemps aide de travail à Sèvres, chez M. Lambert, auquel on a dû pendant longtemps la reproduction des émaux à l'instar de Venise. La fabrication de Lambert fut continuée par Gineston, qui s'est acquis, dans cette industrie, une fortune considérable.

Lorsque la peinture doit être variée comme couleur et qu'elle doit être appliquée sur un fond blanc, deux méthodes s'offrent à l'artiste : après qu'il a couché sur le fondant deux aplats de blanc et qu'il a fait cuire, ou bien on achève la décoration au moyen d'émaux transparents et colorés qu'on étend en dégradant l'épaisseur pour obtenir un certain modelé, ou bien on peint avec des couleurs très-fermes et solides, résistantes, qu'on fixe par un feu convenable et qu'on recouvre postérieurement d'une couche de fondant. Il est évident qu'on peut, en dirigeant le travail d'une manière raisonnée, faire usage sur une même pièce des deux méthodes que nous avons énoncées. De plus encore, s'il y a quelques retouches jugées nécessaires, ou sur les émaux colorés, ou sur la peinture passée sous fondant, de dernières retouches sont possibles à la condition de les faire avec des couleurs fusibles et glaçant par elles-mêmes, couleurs que nous étudierons en parlant des *peintures sur pâte*.

Composition des émaux transparents.

Nous ne pensons pas devoir donner ici tous les dosages qui conduisent aux nuances en usage dans l'art de l'émaillage. Il nous suffira d'en choisir au hasard quelques-unes qui mettront sur la voie pour obtenir la grande variété que le commerce fournit à la consommation. Nous donnerons quelques exemples de bleu, de vert, de jaune et de rubis.

On fait fondre de l'oxyde de plomb, du sable et de la potasse avec du cobalt, ou du cobalt et du manganèse, pour obtenir des bleus violacés, savoir :

	Bleu clair.	Bleu violet.	Bleu foncé.
Sable	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100 de potasse.	400	400	400
Oxyde de cobalt	1,5	1,5	3
Oxyde de manganèse.	»	3	3

Aux mêmes éléments ajoute-t-on du cuivre à la place du cobalt et du manganèse, on obtient des tons verts qu'on modifie en jaune par du chromate de potasse ou de l'oxyde de chrome. Ainsi on obtient :

	Vert bleu.	Vert bleuâtre.	Vert jaune
Sable	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100	400	400	400
Oxyde de cuivre	80	60	15
Oxyde de chrome	»	8	15

L'or à l'état de pourpre, suivant la proportion qu'on ajoute, conduit à des tons très-vifs et plus ou moins rosés, savoir :

	Rubis clair.	Rubis foncé.	Groseille
Sable	825	825	825
Minium	500	500	500
Carbonate de potasse à 50 p. 100	400	400	400
Or à l'état de pourpre	0,5	0,7	1

On broie sur la glace le pourpre de Cassius avec le sable qui doit faire partie du fondant, puis on mélange les autres éléments ; on place le tout dans un creuset de terre, et l'on fond.

Composition des couleurs sous fondant.

Ces couleurs ont surtout pour objet de faire les ombres des émaux transparents qui précèdent.

Pour obtenir un bon assortiment, il suffira d'établir ce qui est très-logique, savoir :

1° Que la couleur prise entre deux couches de matières vitreuses, l'une inférieure, l'autre supérieure doit être plus facilement altérée que dans le cas de la peinture sur pâte, où l'on peut choisir le fondant le plus convenable à la couleur qu'on étend. Pour la couleur sous fondant, le même fondant doit nécessairement recouvrir toute la peinture et conséquemment chacune des couleurs.

2° Que dans de telles conditions plusieurs oxydes employables dans d'autres circonstances doivent être rejetés. L'expérience seule les a fait connaître. Les couleurs sous fondant doivent donc être plus limitées que celles sur pâte.

3° Qu'il faut une connexité convenable entre le fondant de la couleur et celui dont la peinture est recouverte, afin que le dernier mouille facilement l'objet peint, malgré la présence de la substance colorante.

Chercher à augmenter la persistance du principe colorant ; je dis du principe colorant, qu'il soit oxyde simple, oxyde composé, sel indécomposable ; rapprocher la composition du fondant de celle du composé vitreux qui doit recouvrir et envelopper la peinture, tels sont donc les deux problèmes à résoudre.

Deux méthodes se présentent pour approcher du premier but.

La première consiste à préparer les oxydes dont l'emploi reste possible avec la plus grande inaltérabilité, et, dans ce cas, autant qu'il se peut, on agit sur des matières cristallisées qui jouissent d'une grande résistance, par suite de l'état d'agrégation qu'elles possèdent. Beaucoup d'oxydes composés, préparés par la méthode de M. Ebelmen (cristallisation à haute température par voie de dissolution dans l'acide borique et volatilisation subséquente des dissolvants sous l'influence d'une chaleur prolongée) m'ont donné des résultats très-avantageux. L'emploi de ces oxydes n'a que l'inconvénient d'être beaucoup trop coûteux, et n'est applicable que dans certaines limites.

La deuxième méthode porte sur le poids du fondant ; elle consiste à diminuer la quantité du fondant relativement à celle de l'oxyde employé. Le mieux serait de n'en pas mettre du tout en se fondant sur la fusibilité du blanc ou du fondant sur lequel on applique la couleur, si cette fusibilité pouvait être telle que la matière colorante pût suffisamment adhérer. Mais comme le fondant ne s'applique qu'avec la spatule sur la pein-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture déjà cuite, il faut que cette dernière présente une résistance assez considérable déjà. Un autre motif qui s'oppose encore à ce qu'on soit par trop avare de la matière vitrifiable est le mode d'application des couches successives après cuisson. On sait que les couleurs broyées finement sur une glace sont délayées dans de l'essence de térébenthine. Or, avec ce liquide, qui est très-fluide, on ne saurait peindre facilement sur une surface poreuse absorbante, capable en conséquence d'absorber la retouche que le peintre voudrait étendre.

On a dû, dans la préparation des couleurs qui vont suivre, tenir compte du parti qu'on pouvait tirer de l'emploi des deux moyens d'éviter la fugacité des oxydes. On a pu de la sorte se garantir avec assez de bonheur des deux écueils que j'ai signalés : trop de fondant qui agirait avec trop d'intensité sur le principe colorant ; trop peu de fondant qui rendrait la peinture difficilement exécutable ou facilement altérable pendant l'application des deux couches de fondant.

La composition dont il convient de rapprocher le fondant à mêler aux couleurs, pour qu'elles reçoivent de la part du fondant superposé le glacé si flatteur de la peinture sous fondant, résulte incontestablement de la composition de ce dernier fondant lui-même qui n'est et ne peut être qu'un cristal attendri.

Ceci posé, voici les dosages auxquels on peut s'arrêter. On obtient par les méthodes suivantes les oxydes qu'on mêle avec ce qu'il faut de fondant pour faire adhérer.

Noir solide. — On fait calciner au rouge blanc :

Oxyde de chrome.	200
Oxyde de fer rouge.	150
Oxyde de cobalt.	100

On mêle avec son poids de fondant que nous nommerons fondant n° 1, et qui contient :

Sable.	300
Minium.	600
Borax fondu	100

Brun de bois. — On prend le précipité qu'on obtient en traitant par le chromate de potasse, le protosulfate de fer, on le mélange au fondant n° 1 et à l'oxyde à brun qu'on prépare en faisant dissoudre et précipitant par le carbonate de soude :

Zinc métallique.	200
Fer métallique	200
Oxyde de cobalt.	40

On lave et on sèche quand le précipité perd sa couleur verte.

Le mélange se fait dans les doses suivantes :

Chromite de fer.	250
Oxyde à brun de bois. . . .	250
Fondant n° 1.	125

Carmin. — Au pourpre de porcelaine, que nous avons déjà décrit page 411, on ajoute du rubis dont la préparation précède, savoir :

Rubis clair.	300
Pourpre de porcelaine dure.	150

On triture sans fondre.

Pourpre. — Au pourpre de porcelaine on ajoute une moins forte proportion de rubis ; cette couleur s'emploie comme la précédente. On dose :

Rubis foncé.	150
Pourpre de porcelaine dure .	150

On pourra s'inspirer des dosages que nous donnerons plus loin pour préparer des nuances différentes. L'oxyde de fer rouge auquel on ajoute le dixième de son poids de fondant n° 1 conduit à du brun rouge de bonne qualité : cette couleur offre néanmoins le défaut de se fendiller sous le fondant ; on la rend plus solide en l'additionnant de jaune foncé dont nous donnerons plus loin la composition.

Fondant pour peintures.

Les couleurs qui précèdent ne glacent pas par elles-mêmes, ainsi que nous l'avons dit ; elles ne prennent le glacé qu'on recherche dans la peinture émaillée que lorsqu'elles ont été passées sous fondant. Ce fondant doit donc être très-limpide après sa fusion, bien étendu et bien égal, sans fissures ni bouillons ; il doit respecter les couleurs et les aviver plutôt que les détruire. Il est convenable de le tenir un peu plus fusible que les émaux. Je le prépare en faisant fondre dans un creuset de terre :

Sable	825
Minium	500
Carbonate de potasse à 50 pour 100 d'eau	425

On le pile après l'avoir parfaitement affiné, on le lave à l'eau bouillante et on l'étend à deux couches pour l'obtenir parfaitement uni.

PEINTURE SUR PATE.

Occupons-nous maintenant de la peinture que nous avons nommée peinture sur pâte, du nom de la substance qui sert d'excipient et de la position qu'occupent les couleurs par rapport à l'excipient ; il n'y a plus de superposition de fondant ; les couleurs ont par elles-mêmes la fusibilité voulue pour se parfondre complétement au feu de peinture.

La peinture sur pâte peut présenter deux aspects complétement différents, suivant qu'on l'aura faite à l'instar ou de l'aquarelle ou de la gouache : dans l'aquarelle, le peintre procède méthodiquement en réservant la lumière donnée dès lors par le blanc de l'excipient ; il finit son travail par les vigueurs. Dans la gouache, au contraire, comme dans la peinture à l'huile, les vigueurs et les demi-teintes étant en place, l'artiste étale les lumières, qui sont en quelque sorte empâtées et comme en relief. Le peintre en émail ne doit pas être exclusif ; il doit, selon les besoins de son ouvrage, adopter tel mode qui lui semble le plus convenable, et souvent, dans une même pièce sur un même sujet, faire usage des deux méthodes ; c'est donc, à mon avis, ajouter aux connaissances des peintres en émail que de les mettre à même de faire usage à leur gré de deux palettes au lieu d'une seule.

La peinture par empâtement était très-anciennement employée ; c'est elle qui jouissait aussi de la plus grande vogue sur la porcelaine tendre de Sèvres.

Pour peindre par empâtement, il suffit de choisir parmi les couleurs qu'on pourrait employer celles qui sont opaques, afin de les faire entrer comme base dans toutes les autres couleurs ; de ce nombre sont les jaunes clairs ou foncés qu'on peut colorer et modifier par d'autres couleurs transparantes, et les blancs qui peuvent aussi recevoir en mélange tous les autres tons de la palette. Les mélanges ainsi formés conservent l'opacité nécessaire pour boucher complétement les fonds sur lesquels on les applique. Nous n'aurons donc à nous occuper ici que des couleurs propres à la peinture dans le genre de l'aquarelle.

Les procédés que je vais décrire, bien compris et mis à profit, permettront, je l'espère, de faire entrer dans le domaine de la peinture sur émail, comme dans celui de la peinture sur porcelaine tendre, les ressources auxquelles ont conduit les progrès de la chimie pendant ces vingt dernières années. Le secret dont se sont entourés jusqu'à ce jour les peintres d'émail d'une part, et de l'autre les fabricants de couleurs vitrifiables, l'isolement dans lequel ils ont tous travaillé, enfin certains préjugés, comme aussi peut-être quelques difficultés inhérentes à la nature et à la composition même des ex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cipients qui devaient au feu recevoir la peinture, tout a contribué pendant longtemps à proscrire l'emploi d'un grand nombre de matières colorantes parfaitement utilisables; tout a fait ajourner, sinon rejeter des améliorations qui certainement auraient dû prendre rang depuis longues années. Tout enfin ramenait fatalement aux seules substances usitées au commencement du siècle. Il est vrai que la perfection des peintures antérieurement obtenues, démontrant d'une manière évidente qu'un petit nombre de matières pouvait suffire, donnait gain de cause à la routine. Mais, en présence des difficultés à vaincre, des chances à courir pour atteindre à cette perfection, j'ai pensé que c'était rendre à l'art et à l'industrie un véritable service que d'augmenter le nombre des matières utilisables, d'en introduire de nouvelles et de diminuer les tâtonnements coûteux toujours inséparables de toute peinture en couleurs vitrifiables. Au reste, l'expérience a prononcé; des essais de peinture empâtée et de peinture aquarellée ont été faits avec un assortiment que j'ai composé pour introduire dans l'émaillage toutes les ressources de la palette actuelle propre à décorer la porcelaine dure; l'aquarelle seule devait déjà présenter, uniquement, à cause de l'uniformité du glacé et de l'harmonie qui en résulte, une grande supériorité sur la peinture sur porcelaine dure. MM. Abel Schilt et Cabau, de la manufacture de Sèvres, ont été chargés du soin d'exécuter les peintures en question, et j'ose espérer que les deux peintures qu'ils ont faites, déposées dans les collections du musée céramique, offrant l'exemple de l'emploi simultané des anciens moyens et des méthodes en usage dans la peinture sur porcelaine dure, viendront à l'appui de l'opinion que je viens d'émettre. J'aborde l'exposé des recettes à l'aide desquelles il devient possible de reproduire cette palette.

J'admets avec M. A. Brongniart qu'il n'y a pas de combinaison entre l'oxyde colorant et le fondant qui le fait adhérer, qu'il n'y a que simple mélange. S'il y a combinaison, elle n'est que partielle et ne peut généralement qu'altérer la nuance qu'on cherche à obtenir. La peinture sur porcelaine, comme celle sur pâte, en tant que nous considérons celle-ci comme obtenue par les moyens de l'aquarelle, est donc le résultat tout simple de l'apposition d'oxydes colorants simples ou composés sur un excipient, apposition rendue permanente par la fusion du fondant qui, se trouvant en outre en quantité suffisante, englobe et noie toutes les molécules colorantes, de manière à les aviver dans leur nuance et à rendre leur surface parfaitement glacée. Ce double but est atteint dans la peinture à l'huile par les huiles et le vernis qui jouent un rôle des plus complexes. Le délayant, dans la peinture vitrifiable, n'a qu'un objet momentané : celui de rendre la couleur facilement employable et les retouches possibles; l'application de la chaleur le doit faire complétement disparaître. Les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les couleurs pour pâte sont celles que doivent remplir les couleurs pour porcelaine dure. Je crois pouvoir me borner à les énumérer : ces couleurs doivent être fusibles, suffisamment dures et inaltérables, indestructibles par une chaleur modérée, déterminée préalablement. Je ne m'occuperai d'une manière spéciale que de la fusibilité, la dureté et l'inaltérabilité se trouvant, du reste, liées naturellement à la composition chimique qu'il a fallu mettre d'accord avec la température nécessaire pour cuire, puis ensuite avec une inaltérabilité suffisante.

La fusibilité de ces couleurs doit non-seulement amener, par l'application de la chaleur, l'adhérence de la couleur sur la pâte, mais encore communiquer à la matière colorante un glacé convenable et uniforme. Les couleurs pour porcelaine dure présentent sous le rapport de l'uniformité du glacé des difficultés qui donnent une grande supériorité à la peinture sur émail et à la peinture sur porcelaine tendre.

La fusibilité propre de la pâte, son analogie de composition, avec les couleurs qui doivent la recouvrir, simplifient beaucoup la préparation des *parémaux* qui nous occupent. Si quelques couleurs, comme les pourpres et les carmins, subissent, de la part de la glaçure, quelques modifications qui tendent à les altérer, ces mêmes couleurs ne sont pas sans offrir de grandes difficultés dans leur fabrication appropriée à la porcelaine dure.

Dans la peinture sur porcelaine dure, on dégrade un ton, non en le mêlant à du blanc, comme dans la peinture à l'huile, mais en mettant la couleur sous une faible épaisseur; le blanc de l'excipient, qui transparaît, l'appauvrit et le dégrade convenablement au gré de l'artiste. On obtient, au contraire, des tons vigoureux en augmentant l'épaisseur de la couleur; il en résulte qu'on n'arrive que difficilement à obtenir une couleur qui glace suffisamment dans le mince ou qui n'écaille pas dans les épaisseurs, si elle peut produire des lumières ayant tout le brillant désirable. Dans les couleurs pour émail sur pâte, la fusibilité de l'excipient, la facilité avec laquelle la matière colorante peut pénétrer dans la pâte rendent presque impossible de ne pas obtenir des lumières parfaitement glacées. L'analogie de composition et de plus un point de ramollissement sensiblement égal pour la pâte, comme pour les couleurs, éloignent toute crainte d'écaillage. A cet égard même, les couleurs préparées pour porcelaine pourraient parfaitement convenir pour être appliquées sur pâte; mais la fusibilité de l'excipient, qu'on n'obtient que par la présence de l'oxyde de plomb et qui est d'un grand avantage sous le rapport du glacé, devient un inconvénient fort grave sous le rapport de la permanence de la coloration; il devient indispensable, surtout pour certains oxydes, de diminuer la fusibilité de la couleur; ce qui entraîne à de grandes précautions pour les vigueurs qui peuvent rester sèches et comme plombées, si elles sont obtenues avec une couleur même d'une composition normale, mais mise un peu trop épaisse. On se trouve donc encore placé entre deux écueils : trop de fugacité dans les colorations et une trop grande infusibilité de la couleur; de même que dans la peinture sur porcelaine dure on doit redouter, dans les couleurs, une fusibilité trop grande qui ferait écailler, ou trop faible qui donnerait des lumières ressuyées et sèches.

Dans un mémoire justement célèbre, publié vers 1800 dans les Annales des mines, M. Brongniart, qui devait plus tard établir, dans la manufacture de Sèvres, un atelier d'émaillage, comme il avait obtenu déjà l'établissement de la peinture sur verre, faisait ressortir, d'une manière remarquable, l'action singulière de l'oxyde de plomb sur certains oxydes et en particulier sur l'oxyde de fer. Je crois inutile d'insister davantage sur ce phénomène; j'aurai d'ailleurs l'occasion d'y revenir tout naturellement, en parlant des rouges de fer. J'entre immédiatement dans la description des procédés employés à la préparation des couleurs que je propose. Plusieurs systèmes d'exposition sont également possibles pour donner de suite, par série de couleurs, les moyens de faire la couleur composée de son fondant et de l'oxyde qui la colore après la cuisson, ou bien étudier séparément les fondants d'abord, puis les oxydes colorants. J'ai préféré suivre cette dernière méthode, qui permettra de simplifier la préparation des oxydes, en même temps qu'elle me paraît de nature à faire ressortir certains faits qui transforment en corps de doctrine la préparation des couleurs vitrifiables. La fabrication de la couleur proprement dite, c'est-à-dire prête à être em-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ployée, qui terminera cet article, fait saisir la simplicité de nos formules qui acquièrent aussi la plus grande précision.

Fondants.

On sait que tous les oxydes qui peuvent être employés à la décoration des porcelaines ne peuvent être fixés par un même fondant: on n'ignore pas qu'il faut les choisir d'une composition telle qu'ils soient sous action décomposante sur les différentes matières colorantes ; on pouvait penser qu'il en serait exactement de même pour les couleurs de pâte. Cependant, des essais répétés ont démontré d'abord :

Que la permanence du feu pendant l'élévation graduée de la température, comme pendant le refroidissement lent des peintures, permet une action destructrice à laquelle l'oxyde simple ou composé est en partie soustrait quand on chauffe et refroidit brusquement, comme dans la cuisson des peintures sur pâte ;

Que la composition de l'excipient de la porcelaine dure, c'est-à-dire la composition de la couverte, peut-être la présence de l'alumine, entraîne certaines altérations qui ne se manifestent point sur d'autres excipients, par exemple dans la peinture sur verre. Les considérations qui précèdent, basées sur des faits que l'expérience a nettement révélés et que la théorie ne pouvait en quelque sorte prévoir, m'ont permis de réduire, d'une manière notable, le nombre des fondants propres à la peinture sur pâte. J'ai pu produire les analogues de tous les tons de la palette de Sèvres pour la porcelaine dure, en ne faisant usage que de deux fondants que je désignerai sous les noms de *fondant n° 1* et *fondant n° 2*.

Voici leur composition :

Fondant n° 1. Ce fondant renferme :

Sable.	200
Minium	500
Borax fondu.	75

On fond et on coule comme s'il s'agissait de fondant aux gris de porcelaine dure. Il est moins important ici de n'opérer que sur de petites quantités, parce qu'on n'a pas à redouter l'écaillage. Ce fondant n'est autre chose que du fondant aux gris modifié, dans lequel on a diminué la proportion du borax et de l'oxyde de plomb ; on l'emploie pour la préparation des gris, des noirs, des bleus et des verts, des jaunes, des rouges, des bruns et des violets de fer, enfin pour le violet d'or ; c'est, comme on voit, un fondant général. Il n'y a d'exception que pour les pourpres et le carmin qui exigent un fondant beaucoup moins plombeux.

Fondant n° 2. Le fondant n° 2, qui convient aux pourpres et au carmin, se compose de :

Sable	400
Minium orange	300
Borax.	600

On pile, on mélange, et on fond ; on retire avec les pinces ; ce fondant est beaucoup plus pâteux que le précédent. En le comparant au fondant de pourpre des porcelaines dures, il est facile de voir qu'il n'en diffère que par un peu plus de plomb et un peu moins de borax.

Matières colorantes.

Les matières colorantes employées dans la peinture vitrifiable ne peuvent être que des oxydes métalliques simples ou composés, ou des sels indécomposables à la haute température à laquelle ces couleurs doivent se fixer. Les oxydes simples et les composés d'oxydes sont assez nombreux. Les sels employables ne figurent que pour un petit nombre. Les conditions auxquelles ces matières doivent satisfaire sont trop connues pour qu'on ait à s'y arrêter ici.

Je rappelle qu'on peut regarder comme évident, au moins pour la plupart des cas, que dans la couleur faite et cuite, il n'y a qu'un simple mélange entre l'oxyde et le fondant. Si, pour quelques-uns, le contraire peut être soutenu, la raison peut en être trouvée dans la coloration différente de la couleur et de l'oxyde pur qui sert à la former, et il faut admettre, dans ce cas, que la couleur doit sa nuance à un sel, ordinairement à du silicate ou du borate de l'oxyde ; c'est ce qui arrive pour les oxydes de cuivre et de cobalt.

Les silicates, une fois formés, peuvent être directement unis au fondant pour constituer la couleur.

Je dirai maintenant quelques mots de la nature des oxydes composés qui, dans ces dernières années, ont permis d'enrichir la palette du peintre en couleurs vitrifiables de nuances très-vives et très-pures en offrant grand nombre de ressources jusqu'alors inconnues. Je crois pouvoir admettre qu'il y a combinaison entre les divers oxydes constituants, et que toutes les raisons qu'on a fait valoir pour prouver que les alliages ou les différents verres sont des combinaisons *définies*, ont autant d'autorité dans leur application au fait en question. Ce qui, dans le cas présent, semblerait donner gain de cause à l'hypothèse d'une combinaison réelle et non d'un mélange, c'est évidemment le changement dans la nuance de l'oxyde obtenue tantôt par voie sèche, tantôt par voie humide, changement souvent notable quand on le compare à la teinte des oxydes simples mis en présence. La coloration de l'oxyde formé peut, du reste, être reproduite avec une très-grande constance. On peut, il est vrai, combattre cette même hypothèse par les variations dans les proportions que présente souvent le composé, ce qui éloigne le caractère d'une composition parfaitement définie ; mais n'est-il pas possible d'admettre que les composés de cette nature jouissent comme les verres et les alliages de la propriété de dissoudre en quelque sorte, sans altération apparente dans les propriétés physiques, une quantité variable qui peut être souvent assez considérable des éléments plus simples dont ils sont formés.

Considérés à ce point de vue, les oxydes conduisent à des remarques assez intéressantes qui rapprocheront assurément ceux formés par voie ignée des pierres précieuses artificielles cristallisées, obtenues par M. Ébelmen, et ceux produits par voie de précipitation au sein de liquides, du ferrite de chaux décrit par M. Pelouze. Si ce n'est pas ici le lieu de discuter, à ce point de vue entièrement nouveau, la nature des composés dont on peut faire usage en peinture vitrifiable, je crois devoir me borner à donner une description très-rapide de la préparation des oxydes simples ou composés dont j'ai fait usage dans l'assortiment pour pâte qui fait l'objet de cet article. Je suivrai l'ordre fixé par les numéros sous lesquels les couleurs d'émail pour pâte sont enregistrées, savoir :

1° Gris et noirs.	6° Violets de fer.
2° Verts.	7° Bruns.
3° Jaunes (clair et foncé).	8° Couleur d'or (violet, pourpre et carmin).
4° Ocre.	
5° Rouges (carminé, laqueux).	9° Bleus.
	10° Blancs.

Noirs et gris. — Le même oxyde sert pour faire les noirs et les gris : dans les noirs on met plus d'oxyde, dans les gris on met plus de fondant; l'oxyde à noir se fait de la manière suivante.

On prend :

Oxyde de cobalt	50 gr.
Fer métallique	50

On fait dissoudre séparément l'oxyde de cobalt à chaud, le fer métallique à froid, l'un et l'autre dans l'acide hydrochlorique ; les deux solutions sont étendues d'eau, filtrées et réunies ; on précipite le mélange par le carbonate de soude ; on lave à grande eau jusqu'à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce que tout l'oxyde de fer ait passé à l'état de peroxyde hydraté entièrement jaunâtre; on dessèche et on triture le tout avec deux fois son poids de chlorure de sodium décrépité. On calcine dans un têt à rôtir à une chaleur rouge sombre; on lave à l'eau bouillante et on fait sécher. Enfin quand l'eau de lavage n'enlève plus rien, on calcine de nouveau dans un creuset à une chaleur très-intense.

VERTS. — L'oxyde de chrome est la base des verts.

Vert clair. — L'oxyde à verts clairs n'est autre chose que l'oxyde de chrome pur; le moyen le plus simple et le plus économique de le faire est le suivant. On pèse :

Bichromate de potasse.	200
Soufre en fleurs	100

On place ce mélange bien trituré dans un têt à rôtir; on fait au centre une petite cavité qu'on remplit de soufre pur et qu'on enflamme; le produit de la combustion au contact de l'air est de l'oxyde de chrome qu'on lave à l'eau bouillante; il n'est point nécessaire d'agiter pour renouveler les surfaces du mélange incandescent; la combustion se propage d'elle-même. L'oxyde de chrome ainsi préparé est lavé, puis séché; on le calcine de nouveau pour enlever un peu de soufre qui n'a pas été brûlé; il est alors d'un très-beau vert.

Vert foncé. — On calcine à un fort feu dans un creuset de terre un mélange broyé et porphyrisé sur une glace :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Oxyde de cobalt.	50
Carbonate de zinc	50

On lave à l'eau bouillante pour extraire le chromate de potasse soluble qui s'est formé par le fait d'un peu d'alcali retenu par l'oxyde de cobalt, ou conservé d'abord opiniâtrément par l'oxyde de chrome que les eaux de lavage même bouillantes n'en débarrassent pas complétement; il y a là quelque chose d'analogue à ce que M. Chevreul a désigné sous le nom général de *phénomènes de teinture*.

Vert bleuâtre n° 1. — On traite, comme il vient d'être dit, le mélange suivant :

Oxyde de chrome	100
Carbonate de cobalt	30

On lave après une forte calcination à un feu vif; l'oxyde ainsi préparé est d'un beau ton vert bleuâtre bien pur.

Vert bleuâtre n° 2. — Même préparation que la précédente. Les doses seules sont changées; on prend :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Carbonate de cobalt.	50

On lave à l'eau chaude pour enlever toute trace de chromate de potasse.

Vert noir n° 1. — On broie sur la glace, jusqu'à porphyrisation complète, un mélange d'oxyde de chrome par le soufre et d'oxyde de cobalt tel que les Anglais nous le livrent. La calcination ne peut combiner qu'une partie de l'oxyde de cobalt; le chrome n'étant pas en excès, la coloration est noircie par l'oxyde de cobalt hors combinaison. On prend :

Oxyde de chrome par le soufre. .	100
Sesqui-oxyde de cobalt	100

On triture, puis on lave à l'eau bouillante et on fait sécher.

L'oxyde, ainsi préparé, est vert noirâtre, présentant une teinte de vert bleuâtre. Cette teinte se maintient bien après le mélange avec le fondant; la cuisson ne l'altère pas.

Vert noirâtre n° 2. On broie sur une glace le mélange suivant :

Oxyde de chrome.	20
Oxyde de cobalt anglais brut. . .	10
Hydrate de peroxyde de fer. . . .	15

On calcine à un fort feu. L'hydrate d'oxyde de fer, dont il est ici question, est de l'oxyde de fer qui se précipite spontanément d'une dissolution de protosulfate de fer très-étendue d'eau; cet hydrate est brun jaune vif; il contient à peu près 25 p. 100 d'eau.

Le produit de la calcination est repris par l'eau bouillante, puis séché; cet oxyde, qui est vert noirâtre, ne présente plus qu'une teinte brunâtre. La teinte bleuâtre du précédent a disparu; la couleur cuite conserve son ton.

JAUNES. — Les jaunes sont obtenus par l'antimoniate de potasse et de plomb.

Jaune clair. Ce jaune conviendrait pour la porcelaine dure; il s'appliquerait également bien sur émail et sur porcelaine tendre.

On fond ensemble :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate acide de potasse. . .	40
Carbonate de zinc hydraté. . . .	30

On mêle au mortier de porcelaine, puis on fond jusqu'à ce que tout bouillonnement ait cessé.

Jaune moyen. On fond ensemble :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate acide de potasse. . .	40
Carbonate de zinc hydraté. . . .	20
Oxyde de fer jaune par l'eau. . .	20

On mêle, puis on fond jusqu'à ce que tout bouillonnement ait cessé.

Jaune foncé. On mêle :

Mine orange.	120
Sable d'Étampes.	40
Borax fondu.	40
Antimoniate de potasse.	40
Oxyde de fer (colcothar).	20

On fond à un fort feu pour bien dissoudre tout l'oxyde de fer. Ce jaune, comme le jaune qui précède, peut être tout aussi bien employé sur la porcelaine dure que sur l'émail et sur la porcelaine tendre.

Ocre. — On fait dissoudre dans l'acide chlorhydrique séparément :

Zinc métallique.	100
Fer métallique.	100

Les deux dissolutions sont filtrées, puis réunies et précipitées par le carbonate de soude. On lave à grande eau jusqu'à ce que tout le fer précipité sous forme de protoxyde se soit peroxydé. On fait sécher le précipité et on le calcine après l'avoir additionné de deux fois son poids de selmarin décrépité. L'oxyde, après la calcination, qui ne doit pas dépasser le rouge sombre, est lavé à l'eau chaude, puis séché de nouveau; il est alors prêt pour l'emploi. C'est une poudre d'un ton ocreux très-riche et très-puissant.

ROUGES. — Les rouges et les violets de fer s'obtiennent tous par la calcination du sulfate de protoxyde de fer à des températures de plus en plus élevées. C'est du colcothar à divers degrés de calcination. La méthode la plus simple qui m'a réussi le mieux consiste à choisir de la couperose très-pure, qu'on dessèche en la faisant fondre d'abord dans son eau de cristallisation et en la maintenant sur le feu tant qu'elle perd de l'eau; à l'état de dessiccation complète, c'est une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

poudre blanchâtre anhydre qui peut être immédiatement employée pour la préparation de toutes les couleurs dites rouges de fer, qu'elle qu'en soit du reste la nuance. A cet effet, on dispose le sulfate anhydre sur des capsules de porcelaine dure, sous une faible épaisseur, et on remplit le moufle de capsules ainsi chargées, maintenues les unes au-dessus des autres. On met la porte en place et on chauffe doucement d'abord, puis à un degré convenu suivant le ton auquel on désire arriver. Quand le feu a été jugé prolongé suffisamment en temps et en intensité, on laisse refroidir et on lave à l'eau bouillante la poudre de colcothar qui occupe le fond de chaque capsule. La poudre bien lavée présente alors, suivant le coup de feu qu'elle a reçu, la coloration suivante dégradée en série en commençant par le plus rouge correspondant au coup de feu le plus faible.

Rouge orangé ou capucine.	Rouge laqueux.
Rouge sanguin.	Rouge violâtre pâle.
Rouge de chair.	Rouge violâtre.
Rouge carminé.	Rouge violâtre foncé.

Ces trois dernières teintes correspondent aux tons auxquels on a donné dans le commerce le nom générique de *violets de fer*.

Ces oxydes mêlés au même fondant conservent le ton qu'ils ont reçu de la calcination et donnent des nuances qu'on ne pourrait obtenir autrement. Elles sont très-pures, si l'on n'a pas mélangé des oxydes ayant reçu des coups de feu trop différents en intensité.

Bruns différents. — Ces oxydes sont des mélanges variables.

Brun rouge. On fait dissoudre du perchlorure de fer ou mieux la partie chargée encore du sulfate de peroxyde de fer provenant de la calcination du sulfate de fer pour rouge orangé, puis on la précipite par de l'ammoniaque. Le résidu lavé est additionné de deux fois son poids de sel marin décrépité et chauffé au rouge sombre dans un têt à rôtir. On le lave de nouveau, puis on le fait sécher. Ce rouge est brun-rouge vif.

Brun rougeâtre. On fait dissoudre séparément dans l'acide chlorhydrique, pour les réunir ensuite après filtration, les dissolutions suivantes :

Fer métallique.	200
Zinc métallique..	200
Oxyde de cobalt anglais.	10

On traite exactement comme il a été dit plus haut, pour le noir et pour l'ocre. L'oxyde lavé et séché est une poudre d'un beau brun roussâtre.

Brun de bois. Même méthode de préparation, mais les dosages sont changés. On prendra :

Fer métallique.	200
Zinc métallique	200
Oxyde de cobalt anglais	40

On traite comme il a été dit plus haut. L'oxyde ainsi préparé est d'un beau ton brun assez foncé.

Brun sépia. — Même méthode de préparation ; mais les doses sont encore changées. L'oxyde de cobalt est encore augmenté. On prend :

Fer métallique.	200
Zinc métallique	200
Oxyde de cobalt.	60

On précipite et on lave comme il a été dit plus haut. Le précipité passé au sel et relavé offre l'aspect d'une poudre d'un brun sépia très-prononcé.

Brun mordoré. — Le brun mordoré est une couleur très-riche qu'on prépare facilement en utilisant le précipité qu'on obtient en traitant à froid une dissolution de chromate neutre de potasse par une dissolution limpide de protosulfate de fer. On verse la deuxième dissolution dans la première ; on lave le précipité à l'eau bouillante ; puis on le fait sécher, et on le calcine à une température modérée (feu de peinture forte dans un moufle à porcelaine dure).

Brun noirâtre. — On précipite simultanément par le carbonate de potasse les dissolutions dans l'acide chlorhydrique, de parties égales en poids de fer métallique, de zinc métallique et d'oxyde de cobalt brut. On lave, on calcine enfin à une température très-élevée dans un creuset qu'on fait fortement rougir. On triture, et on obtient une poudre noirâtre avec une teinte de roux qui persiste malgré l'addition du fondant et l'influence de l'excipient. L'oxyde de zinc, dans ces circonstances, fait toujours passer au roux les oxydes composés d'oxyde de fer et d'oxyde de cobalt.

Couleurs d'or. — Le précipité pourpre de Cassius sert à obtenir, tout comme dans la fabrication des couleurs de porcelaine dure, les trois nuances tirées de l'or, le pourpre, le carmin et le violet.

Le procédé qui suit conduit à des résultats certains.

Je fais une eau régale composée de 144 grammes acide hydrochlorique et 72 grammes acide nitrique du commerce. Je fais 8 pesées de 2 grammes d'étain, 8 pesées de 0,32 d'or pur ; on met chacune de ces pesées dans une petite fiole, et je verse sur l'or 15gr,5 d'acide (eau régale, ci-dessus), pour l'étain 11gr,5 de la même eau régale ; on ajoute à chaque fiole qui renferme l'étain 2 grammes d'eau distillée, puis on agite ; l'étain qui est en feuilles très-minces se met par petites portions dans la fiole entourée d'eau fraîche ; la température ne s'élève pas trop, c'est une condition indispensable pour que la dissolution stannique contienne simultanément les deux chlorures d'étain. L'or est mis tout à la fois dans l'eau régale ; quand la dissolution de l'étain est complète, on verse le chlorure d'or dans 14 litres d'eau claire, et on ajoute goutte à goutte les dissolutions de l'étain, jusqu'à ce que l'addition d'une nouvelle affusion de sel d'étain donne un nuage blanchâtre ; alors on arrête.

L'addition de l'étain se fait tout en agitant avec une baguette de verre ; on lave à l'eau bouillante, et on conserve humide le pourpre de Cassius pour s'en servir au besoin ; à cet effet, on le réunit d'abord sur un filtre ; puis, lorsqu'il est suffisamment ressuyé, on étend le filtre sur une glace, et on relève le pourpre pour le conserver sous l'eau dans un bocal bien bouché.

Dans cet état, le pourpre de Cassius est prêt à donner du pourpre, du carmin ou du violet, suivant le fondant avec lequel on le mélange et suivant la dose de chlorure d'argent qu'on y incorpore.

Il faut seulement avoir soin de réserver pour du violet les précipités qui présentent à l'œil un aspect violacé ; on met de côté, pour faire le pourpre ou le carmin, ceux qui font de la couleur dite pelure d'oignon.

Bleus. — L'oxyde de cobalt ne développe de coloration bleue que lorsqu'il est en dissolution dans un flux vitreux ou lorsqu'il est en combinaison avec l'alumine ; lorsqu'il est à l'état de silicate ou de borosilicate de cobalt, il devient bleu, et la nuance est d'autant plus intense qu'il y a plus d'oxyde ; quelques millièmes suffisent pour colorer en bleu sensible les verres à base de chaux, dont la densité n'est cependant pas considérable. Le silicate de cobalt que je prépare pour faire les bleus dits *bleus d'azur* contient de l'oxyde de zinc qui empêche l'oxyde de cobalt de donner du noir. Je fonds à un fort feu :

Fleurs de zinc.	8
Oxyde de cobalt brut	4
Fondant aux gris	20

La masse pilée est d'un bleu noirâtre, mat quand il a

EFERUS - Recherche & Classification numérique

été refroidi brusquement, mais qu'une addition de fondant peut développer en un bleu riche et pur. Cette matière est, de même, la base de tous les bleus que je fais pour la porcelaine dure, et qui sont suivant leur intensité, c'est-à-dire suivant la proportion de la fonte précédente, bleu demi grand feu, bleu d'azur, bleu turquoise de Sèvres et bleu de ciel dur ou tendre.

Le fondant aux gris dont il est question n'est autre chose que le fondant dit *rocaille* fondu pour la deuxième fois avec du borax; je le compose, comme pour les couleurs de porcelaine dure, de :

Minium	600
Sable	200
Borax fondu	100

On fond et on coule.

BLANCS. — Le blanc est fourni par du cristal opacifié par de l'oxyde d'étain. Les préparations qui présentent l'étain dans l'état le plus convenable pour faire de l'émail blanc, reçoivent le nom de *calcines*. On en prépare de deux sortes différentes : l'une d'une grande infusibilité, l'autre au contraire assez fusible.

Je prends :	N° 1.	N° 2.
Plomb métallique	100	100
Étain métallique	20	100

On met les deux métaux dans un têt à rôtir, puis on fond ; la surface se couvre d'abord d'un oxyde noir qui s'enflamme et se transforme en brûlant de proche en proche en une poudre jaunâtre d'autant plus blanche qu'il y a plus d'oxyde d'étain ; on arrête la calcination seulement quand toute étincelle a disparu ; il est bon, pour éviter la présence de toute particule métallique, de triturer la calcine et de la soumettre une seconde fois à la chaleur rouge.

Ces deux calcines sont employées pour faire les blancs pour peindre sur émail sur pâte.

Tels sont les procédés à l'aide desquels on peut facilement faire les couleurs qui m'ont donné de bons résultats dans mon service de Sèvres pour la peinture sur émail.

Une fois qu'on a préparé et conservé d'une part les fondants, d'autre part les oxydes, rien n'est plus simple que la préparation des couleurs elles-mêmes. On a réuni dans les formules qui suivent le dosage du fondant et de l'oxyde.

Couleurs terminées.

Je suivrai, pour énumérer les couleurs qui composent la palette actuelle, l'ordre dans lequel la préparation des différents oxydes employés comme matières colorantes a été présentée dans l'exposé qui précède. J'accompagnerai la désignation des couleurs du numéro d'ordre sous lequel elles sont enregistrées à la manufacture de Sèvres. La description qu'on va lire représente donc d'une manière exacte et complète l'état de nos connaissances chimiques sur la peinture sur émail.

Tous les dosages seront rapportés à 250 grammes à peu près ; de cette façon nous pourrons trouver des points de comparaison. On verra de suite l'uniformité de la majeure partie des compositions dont la palette est formée.

N° 1. *Gris.* — On pèse et on triture :

Oxyde à noir	40
Fondant n° 1	220

N° 2. *Noir.* — On pèse et on triture :

Oxyde à noir	80
Fondant n° 1	170

N° 3. *Vert clair.* — On pèse et on triture :

Oxyde de chrome pur	85
Fondant n° 1	170

N° 4. *Vert foncé.* — On pèse et on triture :

Oxyde à vert foncé	85
Fondant n° 1	170

N° 5. *Vert bleuâtre* A. — On pèse et on triture :

Oxyde de vert bleuâtre n° 1	85
Fondant n° 1	170

On ne fond pas.

N° 6. *Vert bleuâtre* B. — On pèse :

Oxyde à vert bleuâtre n° 2	85
Fondant n° 1	170

N° 7. *Vert noirâtre* A. — On broie :

Oxyde à vert noirâtre n° 1	85
Fondant n° 1	170

N° 8. *Vert noirâtre* B. — On pèse et on triture :

Oxyde à vert noirâtre n° 2	85
Fondant n° 1	170

N° 9. *Jaune clair.* — On fond le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable d'Étampes	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Carbonate de zinc hydraté	30

On coule et on pile. Ce jaune est le jaune donné à l'article des oxydes. On l'a répété ici, ainsi que ceux qui suivent, afin de ne pas séparer les recettes qui nous ont paru devoir être présentées entièrement complètes.

N° 10. *Jaune moyen.* — Le jaune qui précède se mélange très-bien avec les couleurs d'or pour faire les rouges si solides et si recherchés des carnations de l'émail. Le rouge, qui est désigné sous le nom de jaune moyen, se mélange moins bien, à cause de l'oxyde de fer qu'il renferme et qui lui donne un ton plus foncé que celui préparé par le jaune clair. On fond le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Carbonate de zinc hydraté	20
Oxyde de fer	20

On coule et on pile.

N° 11. *Jaune foncé.* — On fond et on coule le mélange suivant :

Mine orange	120
Sable	40
Borax fondu	40
Antimoniate acide de potasse	40
Oxyde de fer rouge	20

N° 12. *Ocre.* — On pèse et on triture :

Oxyde à ocre jaune	85
Fondant n° 1	170

N° 13. *Rouge orange.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge orange	85
Fondant n° 1	170

N° 14. *Rouge sanguin.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge sanguin	85
Fondant n° 1	170

N° 15. *Rouge de chair.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge de chair	85
Fondant n° 1	170

N° 16. *Rouge carminé.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge carminé	85
Fondant n° 1	170

EFERUS - Recherche & Classification numérique

N° 17. *Rouge laqueux.* — On pèse et on triture.

Oxyde à rouge laqueux	85
Fondant n° 1	170

N° 18. *Rouge brun.* — On pèse et on triture :

Oxyde à rouge brun	85
Fondant n° 1	170

N° 19. *Rouge violâtre clair.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer calciné au point de devenir violâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 20. *Rouge violâtre.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer violâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 21. — *Rouge violâtre foncé.* — On pèse et on triture :

Oxyde de fer violâtre foncé	85
Fondant n° 1	170

N° 22. *Brun roussâtre.* — On pèse :

Oxyde à brun roussâtre	85
Fondant n° 1	170

et on triture.

N° 23. *Brun de bois.* — On pèse :

Oxyde à brun de bois	85
Fondant n° 1	170

et on triture.

N° 24. *Brun mordoré.* — On pèse et on triture :

Chromite de fer	85
Fondant n° 1	170

N° 25. *Brun sépia.* — On pèse et on triture :

Oxyde à brun sépia	85
Fondant n° 1	170

On ne fond pas plus cette couleur qu'on fond les rouges et les bruns qui précèdent.

N° 26. *Brun noirâtre.* — On pèse et on triture :

Oxyde à brun noirâtre	85
Fondant n° 1	170

N° 27. *Carmin tendre.* — On prend pour faire cette couleur du précipité pourpre de Cassius, préparé comme il a été dit plus haut, et conservé humide ; on le broie sur une glace avec du chlorure d'argent et du fondant n° 2. Il ne faut que très-peu de chlorure d'argent. On fait un mélange bien intime des trois ingrédients, et on essaye. C'est une série d'expériences ainsi répétées qui indiquent s'il faut ajouter du précipité pourpre ou du chlorure, ou du fondant, pour arriver au ton demandé.

N° 28. *Carmin dur.* — Le carmin dur se compose comme le carmin tendre. On le prépare de même ; il n'y a de différence que dans les proportions relatives de fondant et de pourpre de Cassius.

N° 29. *Pourpre.* — La même observation est applicable à la fabrication du pourpre. Le fondant, le précipité pourpre et le chlorure d'argent se composent de même ; il n'y a encore de distinction que dans les proportions du précipité pourpre, qu'on met en plus grande proportion.

N° 30. *Pourpre brun.* — Le pourpre brun est un mélange à parties égales de brun mordoré, dont la composition a été donnée plus haut n° 24, et du pourpre qui précède n° 29. On prend :

Pourpre n° 29	127
Brun mordoré	128

On triture sans fondre

N° 31. *Violet d'or.* — Le violet d'or se fait encore avec le précipité pourpre de Cassius, préparé comme on l'a dit déjà plus haut; seulement on peut, mais ce n'est pas une nécessité, opérer avec du précipité complétement desséché à l'air. On mêle le précipité sur une glace avec du fondant n° 1, et on se rend compte, par des essais et des cuissons répétées, si la proportion de l'oxyde d'or est suffisante pour donner un ton riche suffisamment glacé. J'ai commencé pour ces couleurs la même étude que celle que j'ai donnée dans le dosage des couleurs de porcelaine; mais je n'ai pas encore de dosages assez certains pour fixer les poids de fondant de pourpre et de chlorure d'argent qu'il convient d'introduire dans les carmins, les pourpres et les violets, avec espoir de préparer un produit irréprochable.

N° 32. *Bleu d'azur.* — Le bleu d'azur se fait en partant de la base que j'ai donnée à l'article des oxydes; on triture la fonte avec la moitié de son poids de fondant n° 1. On a de la sorte un bleu très-riche et d'un emploi facile.

N° 33. *Blancs.* — On fait de beaux blancs en fondant avec du sable du plomb oxydé (minium) et du nitre, les deux calcines dont j'ai présenté la composition dans la description des procédés à l'aide desquels j'obtiens les oxydes. On peut obtenir des blancs plus ou moins fusibles, suivant qu'on met de l'une ou de l'autre calcine en plus ou moins grande quantité; il faut fondre à un fort feu. Voici la composition de trois blancs de fusibilités différentes qui ont chacun leur utilité. Le plus tendre sert pour empâter sans mélange, à la manière des blancs fixes dans la porcelaine dure. Les autres sont très-bons comme blancs à mêler.

N° 1.	Calcine n° 1	100
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	200
	Nitre	40
	Minium	100

On fond à un très-fort feu.

N° 2.	Calcine n° 1	150
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	100
	Nitre	40
	Minium	40

On fond à une chaleur très-intense :

N° 3.	Calcine n° 1	200
	Calcine n° 2	200
	Sable d'Étampes	100
	Nitre	60
	Minium	40

On fond encore comme pour les autres blancs ; on tire avec des pinces la matière fondue dans cette préparation; pendant la fonte, il faut avoir soin que les produits de la combustion ne réagissent pas sur le composé pour le réduire. La masse fondue serait veinée de traits noirs qui saliraient la nuance.

Tels sont les procédés à l'aide desquels on peut se faire un assortiment satisfaisant de couleurs pour émail sur pâte. Passons actuellement à l'exposé des méthodes pratiques à l'aide desquelles on fait l'emploi le plus convenable des éléments dont nous venons de donner une étude chimique. Mais avant de nous occuper de cette partie essentiellement technique et descriptive, fixons l'attention sur la température à laquelle il convient de cuire l'émaillage suivant qu'on peint par empâtement ou par la méthode de l'aquarelle.

Nous avons dit plus haut que l'oxyde de fer disparaissait quand on l'étend sur une surface chargée d'oxyde de plomb. Nous rappellerons que cet effet est d'autant plus sensible, que la température à laquelle on cuit la pièce est plus élevée. Or, les couleurs que nous avons

EFERUS - Recherche & Classification numérique

énumérées contiennent souvent de l'oxyde de fer, tantôt libre, comme les rouges, tantôt en combinaison, comme les bruns, les ocres et les noirs.

Lorsqu'on fait usage de blanc pour empâter la peinture, comme le blanc est en général une couleur dure, c'est-à-dire difficile à fondre, il faut cuire fortement la pièce pour faire glacer la couleur et lui faire prendre un glacé complet. Dans ce genre de peinture, il faudra donc ne se servir que de bruns composés obtenus par les mélanges de pourpre et de jaune foncés et violet d'or ; les rouges devront être obtenus par le mélange des pourpres et des jaunes mêlés ou par superposition. La palette devra donc être simplifiée, et nous n'aurons à faire qu'un emploi très-restreint des couleurs de fer, bruns, ocres, rouges et gris. Faute de se conformer à cette recommandation, on court le risque de perdre la majeure partie de sa peine. Si certains points exigent l'application de ces deux derniers tons, il faut les réserver pour la dernière retouche et cuire en quelque sorte exprès, c'est-à-dire à la température la plus basse possible.

Lorsqu'on fait une peinture aquarellée, la même précaution n'est plus de rigueur ; on peut faire usage de toutes les couleurs dont la préparation précède, parce que le feu qui doit les parfondre n'est pas aussi vif ; il faut toutefois ne pas perdre de vue que les couleurs ne possèdent pas par elles-mêmes assez de fondant pour glacer sous une épaisseur telle que l'influence de la pâte ne se ferait plus sentir sur la surface supérieure de la peinture. Il faut donc être très-sobre des épaisseurs exagérées pour avoir le glacé qui séduit sur les porcelaines tendres et les émaux.

MÉTHODES PRATIQUES DE L'ÉMAILLAGE.

Les procédés employés pour faire l'application sur l'émail ou sur la pâte des divers composés que nous venons d'apprendre à composer sont nécessairement variables avec les composés vitrifiables eux-mêmes. Les couleurs, que nous avons nommées parémaux, sont finement broyées, appliquées au pinceau, rendues adhésives par des huiles fixes ou des essences grasses, et sous le rapport de leur application, nous ne saurions mieux faire que de renvoyer à l'article DÉCORATION DE LA PORCELAINE.

Quant aux émaux proprement dits, opémaux ou transémaux, qu'il faut coucher sous une épaisseur considérable pour obtenir le ton, l'éclat et le glacé désiré, on ne saurait les employer par ces méthodes, qui s'éloignent de l'industrie pour constituer l'art abstrait. On a recours à des voies et moyens beaucoup plus expéditifs que nous allons examiner succinctement.

Les émaux, opaques ou transparents, sont broyés sous l'eau, en poussière qui ne doit pas être trop fine. On a remarqué que les poussières trop fines ne fournissaient que des émaux louches, sans transparence. L'air dont cette poussière est mouillée ne se dégagerait-il pas aussi facilement que lorsqu'il peut s'échapper librement. Quoi qu'il en soit, le broyage des émaux qu'on applique sur les métaux autrement qu'au pinceau mérite une grande attention. On l'exécute dans un mortier d'agate, à l'état humide, en frappant sur le pilon avec un maillet de bois pour briser et non pour écraser. La poussière trop fine est lavée par l'acide nitrique, puis à l'eau pour éliminer toute impureté. Les émailleurs prétendent que s'ils négligeaient le lavage acide, les émaux perdraient toute leur limpidité ; ce lavage est d'ailleurs répété chaque fois que l'émail est resté abandonné longtemps sous l'eau. Il serait possible qu'il ait pour effet de détruire les carbonates de plomb et d'alcalis qui se forment par suite de l'altération du verre sous l'influence de l'air et de l'humidité. S'il en était ainsi, on comprendrait qu'en négligeant cette précaution, ces carbonates, à la température de la cuisson, puissent dégager l'acide carbonique sous l'influence de silicates non altérés, et que cet acide carbonique restant interposé dans la masse vitreuse communique l'opacité, les nébulosités dont on cherche à se garantir.

Lorsque la pièce qu'on veut émailler est coupée suivant les contours qu'elle doit avoir, on la décape en la faisant bouillir avec du carbonate de potasse et en la frottant avec des cendres chaudes, puis on la lave avec de l'acide sulfurique étendu d'abord, et ensuite avec de l'eau pure. On l'essuie promptement en évitant de la toucher avec les mains. On la dessèche promptement en la plongeant dans de la sciure de bois.

Pour étendre l'émail, lorsqu'il est broyé, on le couche au moyen d'une petite spatule sur les points qui doivent être recouverts. L'eau, dont l'émail est imbibé, facilite une extension égale ; on ressuie l'ouvrage en le mettant en contact par un point avec une étoffe de toile peu serrée qui, par capillarité, s'imbibe et sèche la pièce émaillée ; on régularise ensuite la surface émaillée en promenant la partie plane de la spatule. On laisse sécher à l'air libre et on porte à cuire dans le moufle.

Ce premier travail ne peut donner qu'un émail incomplet, les grains de la matière vitreuse laissent des vides et des épaisseurs qu'il faut égaliser. On le fait par l'application d'une seconde couche d'émail placée de la même manière.

La seconde couche régularise la surface ; elle fait apparaître des bulles, des grains. Une pièce bien établie ne doit présenter aucun défaut, ni fentes ni bouillons ; il faut faire disparaître les défectuosités apparentes et prévenir celles qui peuvent se développer dans la suite du travail.

A cet effet l'émailleur est toujours muni de râpes, de limes, de burins, de poinçons en acier très-dur. Il crève les bouillons, fait sauter les grains, use et polit les exubérances, fouille les crevasses et rebouche toutes les cavités au moyen de l'émail en poudre, qu'il s'agit de cuire à nouveau pour obtenir une soudure complète avec les parties voisines.

Lorsque la pièce à mettre en émail doit présenter une grande surface unie, on préfère poser les couches successives de l'émail par saupoudration au tamis, quelquefois sans intermédiaire, ce qui vaut mieux, quelquefois après application d'une liqueur légèrement agglutinative. Il faut alors que cet intermédiaire (sorte de mordant) reçoive l'impression de la chaleur sans fondre ni bouillonner, et qu'il disparaisse en totalité par le fait de son passage dans le moufle.

Quand l'émail a été couché sur les parties qui doivent être émaillées, on s'assure si toute la pièce est parfaitement sèche avant de la porter au moufle. Nous ne décrirons pas cet appareil que tout le monde connaît. Nous nous bornerons à dire que le moufle ne reçoit de variations dans sa forme que lorsqu'il doit être employé pour l'établissement de grandes pièces. Il a dans ce cas l'aspect d'un demi-cylindre couché, librement ouvert par les deux extrémités ; des portes, placées en avant et en arrière du cylindre, se manœuvrent au moyen de leviers et de contre-poids pour être ouvertes et fermées suivant les besoins. Cette disposition permet à la plaque d'entrer par une ouverture, l'antérieure, par exemple, pour sortir par l'autre, la postérieure. Le maniement des plaques est facilité par des chaînes qui maintiennent, suspendues au plafond, les tenailles dont l'émailleur fait usage, et la plaque elle-même est d'ailleurs dirigée dans son mouvement de progression par un chariot qui glisse dans des rainures ou sur des saillies analogues aux voies ferrées. Ce chariot est aussi dirigé par une table à roulettes glissant sur des rails à demeure sur le sol de l'atelier. La hauteur de cette table est exactement celle du fond du moufle. Une table identique, disposée sur la face postérieure du moufle, attend le chariot à sa sortie du feu. Les trappes qui fonctionnent comme portes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sont baissées pendant que la pièce reçoit le coup de feu voulu. La température est de la sorte régularisée dans toute la capacité du moule.

Il faut, pour cuire de grandes plaques, des outils parfaitement aménagés, et, de la part de l'émailleur, un coup d'œil exercé. C'est au jugé qu'il quitte le feu. Le travail est rendu facile, lorsque les émaux sont composés de façon à glacer tous en même temps. L'indécision du cuiseur est grande lorsque quelques points glacent avant les autres : il hésite dans la crainte de brûler les portions déjà fondues, en attendant la fonte de celles qui paraissent rebelles.

C'est à cause de ces considérations, très-importantes pour les pièces de grandes dimensions, que l'émailleur devrait savoir composer lui-même tous les matériaux qu'il met en œuvre; il s'affranchirait ainsi de bien des embarras et d'une infinité de causes de déchets, en régularisant sa fabrication. A ce titre, les documents contenus dans cet article peuvent avoir leur valeur.

SALVÉTAT.

ÉMERAUDE. Nous avons donné sous ce titre un aperçu de la valeur des pierres précieuses connues sous le nom d'émeraudes dans le commerce de joaillerie (voyez ÉMERAUDE, 3e édition de ce Dictionnaire). nous allons le compléter par un exposé sommaire d'un travail important publié par M. B. Lewy, dans les *Annales de physique et de chimie*, t. III, p. 55. Après avoir confirmé la composition de l'émeraude, M. Lewy trouve la preuve dans ses analyses que ce minerai est formé par la réunion d'équivalents égaux de bisilicate d'alumine et de bisilicate de glucine, comme Klaproth et Berzélius l'avaient observé déjà ; le titane et l'oxyde de chrome sont au nombre des éléments accidentels. Le point le plus remarquable du travail de M. Lewy est la constatation de l'eau et d'une matière organique à laquelle il pense qu'on doit attribuer la coloration de l'émeraude.

Lorsqu'on calcine une émeraude, tantôt en présence d'un courant d'azote, tantôt en présence d'un courant d'oxygène, on constate dans le premier cas un dégagement d'eau, et dans le second la formation simultanée d'acide carbonique et d'eau. En présence de la petite quantité d'oxyde de chrome que l'analyse a fait reconnaître dans cette matière, on se demande s'il doit être la cause de la coloration. M. Lewy ne le croit pas; il préfère l'attribuer à la matière organique volatile. Quoi qu'il en soit, il ne faut pas oublier que l'oxyde de chrome a, dans certaines circonstances, un pouvoir colorant très-considérable, surtout quand il entre en combinaison.

Le travail que nous venons de citer doit avoir pour conséquence de fixer l'opinion des géologues sur l'origine de ces matières qu'on regardait comme de nature ignée; la présence des matières organiques assignerait, au contraire, une origine aqueuse aux émeraudes cristallisées.

ÉMERAUDE (Vert d'émeraude). — Le commerce des couleurs pour peinture fine fournit, sous le nom de *vert émeraude*, une magnifique couleur d'un vert très-solide ; c'est de l'hydrate d'oxyde de chrome, dont la découverte remonte à l'année 1832, mais dont on n'avait publié avant 1858 aucun mode de préparation. M. Pannetier, qui l'avait découvert, avait donné son secret à M. Binet, son aide de laboratoire, qui longtemps en tira des bénéfices, étant seul à le préparer. Connaissant l'inventeur et le fabricant, je n'ai pas cru devoir faire connaître le procédé que j'ai trouvé par hasard en préparant des matières vitreuses boraciques pour un tout autre objet.

Je ne dirai rien des propriétés de cet hydrate de sesquioxyde de chrome, nettement définies dans le traité des couleurs de M. Lefort. Cet oxyde se décompose facilement en perdant son eau, lorsqu'on le chauffe, il perd son éclat et devient brun.

Lorsqu'on calcine à une chaleur d'environ 500°, un mélange d'acide borique et de bichromate de potasse, il y a dégagement d'eau, d'oxygène et formation d'un borate double de sesquioxyde de chrome et de potasse.

$$8(BoO^3, 3\,HO) + 2(CrO^3)\,KO = 6(BoO^3)\,Cr^2\,O^3 + 2(BoO^3)\,KO + 24\,HO + O^3.$$

Ce borate double en contact avec l'eau se détruit, il se dissout de l'acide borique, du borate de potasse, et le sesquioxyde de chrome se combine avec l'eau pour former un hydrate qui a pour formule :

$$Cr^2\,O^3\,2(HO).$$

La décomposition par l'eau se manifeste par un changement dans la teinte du mélange calciné, et par un gonflement considérable du produit obtenu. On varie la nuance de ce vert en ajoutant au mélange, avant calcination, du nitrate ou du chlorhydrate d'alumine.

M. Guignet, répétiteur à l'École polytechnique, a fait breveter, en 1858 et avant toute publication (ce qui réserve entièrement tous ses droits que je me plais à reconnaître le premier), cette même méthode, qui lui permet de préparer en grand, pour les besoins de l'industrie, le magnifique vert de chrome hydraté dont l'usage est actuellement répandu sur les tissus d'Alsace par les importantes maisons de Kœchlin frères, Steinbach Kœchlin, Dolfus-Mieg, etc. Quelques essais ont été faits sur papier, par la maison bien connue Zuber de Rixheim.

Les procédés de M. Guignet ont été mis en exploitation dans l'usine de M. Kestner à Thann, où la fabrication, régulièrement installée, fournit aux besoins de l'industrie des toiles peintes.

On opère en grand dans un four à réverbère; la calcination du mélange, mis en bouillie épaisse par la quantité d'eau voulue, s'effectue avec un boursouflement sensible, en prenant une teinte foncée d'un très-beau vert d'herbe : on la retire avec un ringard pour la plonger dans l'eau pendant qu'elle est encore rouge; elle s'y désagrége; on épuise par l'eau bouillante avant de pulvériser dans un appareil à gobilles. Les eaux de lavage sont évaporées et décomposées par l'acide chlorhydrique qui régénère l'acide borique, dont la majeure partie rentre ainsi dans la fabrication, et qui n'agit en quelque sorte que comme agent provocateur de la réaction.

L'oxyde de chrome de M. Guignet est livré maintenant à la consommation soit comme couleur à l'huile, soit comme pâte pour les imprimeurs d'indiennes. Dans le premier cas, on le fait sécher, puis on le réduit en poudre; dans le second, on introduit la pâte directement dans les appareils à broyer. Ainsi préparé, ce vert est propre à l'impression de toutes sortes de tissus par les procédés dont l'emploi repose, pour fixer les couleurs minérales insolubles, sur la coagulation de l'albumine par la chaleur.

A la date du 11 mai 1859, MM. Kestner, de Thann, avaient déjà produit près de 2,000 kilogrammes d'oxyde de chrome hydraté. Cette couleur, qui avait encore, jusqu'en 1858, conservé le prix de 140 francs le kilogramme à l'état sec, se vend en pâte au prix de 10 fr. le kilogramme, contenant 37,50 p. 100 d'oxyde de chrome hydraté, ou 30 p. 100 d'oxyde de chrome anhydre. On régénère 65 p. 100 de l'acide borique employé, la vapeur d'eau qui se dégage dans la réaction en entraînant une grande partie.

Cette couleur éminemment solide, d'un vif éclat qu'elle conserve à la lumière artificielle, peut former, avec les jaunes d'application, des mélanges dont la pureté primitive n'est nullement altérée. Sortie du laboratoire du chimiste, elle est entrée dans le domaine de la pratique; elle est appelée, nous n'en doutons pas, à rendre service aux imprimeurs sur étoffes.

L'industrie des papiers peints exige un prix plus abordable; mais au nom de l'hygiène ne doit-on pas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

proscrire de la décoration de nos appartements toutes les couleurs à base d'arsenic ou de cuivre, dont les poussières sont constamment en contact avec les organes respiratoires? Des règlements en prohibent l'usage à Paris pour la coloration des tissus.

La Société industrielle de Mulhouse avait fait précisément appel aux fabricants de couleurs, et demandait pour les toiles peintes par les méthodes plastiques un vert foncé métallique. Le programme rappelait l'intensité qui manque aux composés de cuivre, d'urane, de cobalt, intensité qui se définit assez bien par la teinte foncée du vert de vessie; elle faisait remarquer que les jaunes et les bleus perdent dans leur mélange le caractère de vivacité de leurs nuances propres. Le produit de M. Guignet a comblé cette lacune. L'auteur n'eût-il d'autre mérite que celui d'avoir fait connaître un moyen de préparer l'oxyde de chrome hydraté, dont la préparation était un secret, se serait montré fort utile à la science. Il ne s'est pas contenté d'une observation purement scientifique, il a doté l'Alsace d'un produit dont l'usage, jusqu'alors, lui restait interdit.

Les observations de M. Guignet ont appelé de suite l'attention des chimistes sur l'oxyde de chrome hydraté; M. Arnaudon a modifié la méthode que nous venons d'indiquer de la manière suivante :

On prend à peu près parties égales des deux sels suivants, ce qui représente sensiblement leurs équivalents, soit 128 parties de phosphate neutre d'ammoniaque et 149 parties de bichromate: on les mélange intimement au moyen de la pulvérisation, ou plutôt en les dissolvant dans le moins d'eau possible à l'ébullition et évaporant jusqu'à consistance de bouillie peu épaisse, de manière à ce que le liquide se prenne en masse solide par le refroidissement : cette masse concassée en petits morceaux est introduite dans un vase à fond plat et chauffé au bain d'huile ou de cire jusqu'à 180°.

Lorsque cette température est atteinte, le mélange se ramollit ; bientôt la masse redevenue pâteuse se boursoufle beaucoup, change de couleur avec dégagement d'eau et d'un peu d'ammoniaque, on continue à soutenir la température pendant une demi-heure environ, ayant soin de n'aller pas au delà de 200°; si l'on dépasse ce point, par exemple si l'on chauffe à la température à laquelle le vert d'émeraude se détruit, l'opération est perdue, la couleur verte disparaît et fait place à une couleur brune foncée de bioxyde de chrome; si l'on chauffait davantage le mélange, si on le portait au rouge, la couleur brune passerait à son tour à une couleur bleuâtre, stable en présence de l'eau. En s'arrêtant au point convenable, lorsque la masse est devenue verte, et lavant à l'eau chaude pour emporter les sels solubles, on finit par avoir l'oxyde de chrome en poudre presque impalpable. Sa couleur s'approche de celles des feuilles naissantes, et par l'éclat ne le cède qu'au vert de Schweinfurt; elle se rapporte au vert du premier cercle de M. Chevreul. Le vert obtenu par ce procédé, débarrassé de toute trace de phosphate soluble, dégage de l'eau lorsqu'on le chauffe au rouge et devient brun, puis gris, redevient vert par refroidissement; mais sa teinte est alors grisâtre comme celle du sesquioxyde obtenu par la calcination du bichromate.

On peut admettre, quant à la nature de ce composé, que l'acide phosphorique y reste à l'état de combinaison. D'après une expérience de M. Camille Kœchlin, cette matière bouillie pendant plusieurs heures avec de l'acide arsénieux et de l'acide acétique faible, prend une nuance plus vive qui se rapproche de celle de l'oxyde qu'on obtient au moyen des dosages de M. Guignet, lorsque des lavages suffisamment prolongés ont éliminé tout l'acide borique. Il y a plus d'énergie dans l'acide phosphorique que dans l'acide borique; il n'est donc pas surprenant que, sous l'influence de l'eau bouillante, l'acide borique disparaisse, tandis que l'acide phosphorique résiste plus longtemps: Pour arriver à la constitution chimique du produit tel que nous l'avons formulé, c'est-à-dire de l'oxyde de chrome hydraté, on passe sans doute graduellement par l'intermédiaire de borates de plus en plus basiques, mais le terme final semble devoir n'être autre chose que l'oxyde de chrome hydraté. Dans tous les cas, l'acide chlorhydrique élimine d'une manière complète l'acide borique, et sans doute éliminerait l'acide phosphorique lui-même.

La méthode générale indiquée dans le brevet de M. Guignet comprend, comme cas particulier, la substitution à l'acide borique du phosphate d'ammoniaque. J'ai préparé des sulfates d'oxyde de chrome qui sont persistants et qui permettent de comprendre les phénomènes qui se passent au contact de l'eau chaude et des borates, phosphates et sulfates d'oxyde de chrome.

La même méthode doit nécessairement conduire à la préparation de quelques oxydes hydratés isomorphes avec l'alumine. J'ai depuis longtemps préparé l'hydrate de peroxyde de fer. Mais comme la nuance est loin de présenter la richesse et la valeur que prend l'oxyde de chrome dans ces conditions expérimentales, ces observations n'ont pas le même but d'utilité que lorsqu'elles portent sur l'oxyde de chrome. SALVÉTAT.

ENCLIQUETAGE DE DOBO. — Parmi les systèmes propres à remédier aux inconvénients qu'offrent les encliquetages ordinaires (voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE), surtout que l'action du cliquet se produit toujours par un choc, ce qui les rend souvent inadmissibles dans certains mécanismes, il faut citer comme excellent le dispositif auquel on a conservé le nom de son auteur, Dobo.

La roue *a a* (fig. 3526), qui reçoit le mouvement et doit le transmettre à l'arbre *o*, est libre et à frottement doux sur cet arbre. Celui-ci porte quatre ailes ou leviers *bbbb*, articulés près du centre et mobiles autour des articulations *cccc*. Ces leviers sont terminés du côté de la circonférence intérieure de la roue dans laquelle ils sont placés par une courbe inscrite dans sa circonférence quand les ailes *b* tournent autour des articulations *c* en pressant les ressorts *d* fixés à l'armature des centres *cc*.

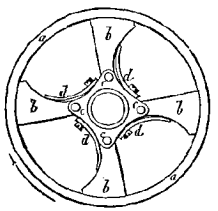


Fig. 3526.

Ces ressorts obligent les ailes *b* à tourner autour de leurs centres *c*, de façon que l'extrémité de leur courbe extérieure touche toujours la circonférence de la roue.

Ceci posé, il est facile de comprendre le jeu de l'appareil. Quand la roue tourne dans le sens de la flèche, sa circonférence intérieure frotte contre la courbe extérieure des leviers, oblige les ressorts à fléchir, et n'entraîne pas l'arbre dans son mouvement, puisque chaque aile cède et fléchit sous l'action du frottement de la roue.

Quand la roue tourne en sens inverse, elle force les leviers à tourner autour de leurs axes, l'angle qui les termine s'éloigne du centre de rotation, et comme la longueur de la ligne menée de cet arbre à l'arbre est telle que cette extrémité peut s'en éloigner à une distance plus grande que le rayon extérieur de la roue, il se produit un arc-boutement de ces leviers contre l'intérieur de la roue, ce qui les rend, ainsi que l'arbre, solidaires avec elle; l'arbre est donc alors obligé de tourner avec la roue.

Les ressorts *d* ayant pour effet d'appliquer toujours l'angle extérieur des ailes contre la surface intérieure de la roue, l'action de cet encliquetage se produit dès

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que le mouvement de la roue a lieu en sens contraire de la flèche.

La transmission intermittente du mouvement a donc lieu, par cette disposition, sans choc et sans temps perdu ainsi que nous l'avons dit en commençant.

La forme de coin, donnée à la tranche des ailes et de rainure à la roue, permet d'exécuter cet encliquetage entièrement en métal, tandis que dans la forme de la figure on exécute partie en bois (les ailes) pour avoir un frottement et une élasticité convenables.

ENGRENAGES. Nous avons donné à l'article MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE les principes généraux du tracé des engrenages, tels qu'on les expose habituellement dans l'enseignement industriel. J'y renverrai le lecteur, et quant à celui désireux de connaître cette théorie dans tout son développement, ils le trouveront dans mon *Traité de Cinématique.*

Je me propose ici de reproduire, d'après cet ouvrage, la méthode si parfaite que le savant R. Willis a introduite dans les ateliers anglais, et qui, fondée sur des principes scientifiques d'un ordre élevé, est néanmoins d'une application simple et facile.

Je reprendrai d'abord la question de la forme théorique la plus convenable de deux dents qui engrènent ensemble.

Engrenages épicycloïdaux. — Les engrenages à flancs rectilignes (voy. MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE) sont ceux que la pratique a jusqu'ici généralement adoptés; leur emploi offre cependant un inconvénient très-grave : le cercle décrivant de l'arc épicycloïdal des dents devant avoir pour diamètre le rayon du cercle primitif de la roue avec laquelle ces dents engrènent, il en résulte qu'une roue d'un pas et d'un nombre de dents donnés, 40 par exemple, tracée pour marcher convenablement avec une autre roue de 50 dents, engrènera fort mal avec une autre roue d'un tout autre nombre de dents, tel que 100. Il est évident, en effet, que le diamètre du cercle décrivant étant 1 dans le premier cas, devrait être double dans le second, et engendrer par suite des arcs épicycloïdaux différents des premiers. Cette objection intéresse au plus haut degré la pratique moderne qui fait un emploi constant d'engrenages métalliques fabriqués à l'avance. Elle oblige, en effet, le fondeur à exécuter pour un pas donné autant de modèles différents qu'il veut faire engrener de roues différentes avec une seule et même roue; ce qui exige un nombre presque indéfini de modèles.

En outre, dans une foule de combinaisons mécaniques, il arrive qu'une roue principale doit conduire à la fois et directement deux, trois, quatre roues de différents diamètres.

C'est donc un grand progrès que d'adopter un tracé des dents tel, que deux roues quelconques d'un pas déterminé engrènent convenablement.

Pour satisfaire à cette condition, il suffit de choisir, pour tout un système de roues de même pas, un *cercle décrivant* convenable mais *constant*, de le faire rouler extérieurement sur chacune des circonférences primitives pour décrire les parties des dents extérieures à ces circonférences, puis de le faire rouler intérieurement à chacune d'elles pour lui faire décrire les épicycloïdes internes qui forment les dents intérieures à ces circonférences primitives.

La figure 1 montre l'application de ce principe.

A et B sont les centres de rotation. $TdD = TgG$ est le cercle décrivant constant, qui, en roulant, savoir : extérieurement sur Ff, trace les faces rq; intérieurement à Ff, les flancs rs; de même relativement à Ee, les faces mn, les flancs mp.

Ainsi qu'on l'a vu, les courbes décrites par le roulement d'un même cercle sur les deux circonférences, extérieurement sur l'une, intérieurement sur l'autre, seront enveloppes et enveloppées; le contact aura donc toujours

lieu sur cette circonférence, dont un même point engendre les deux courbes. Une partie du cercle générateur GgT sera le lieu de contact avant la ligne des

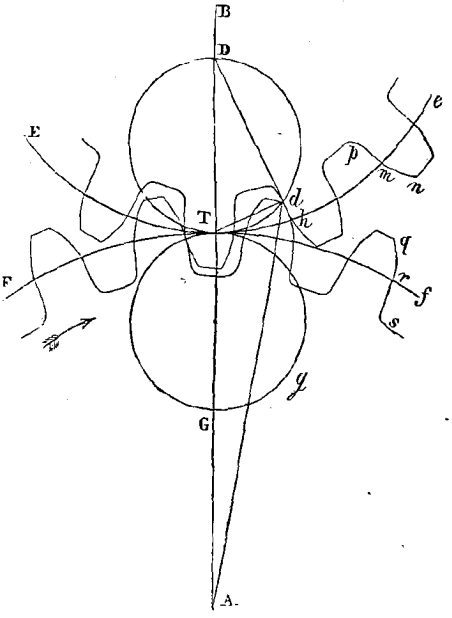


Fig. 1.

centres, une partie du cercle égal TdD sera le lieu de contact après le passage de cette ligne. Ce passage s'éloigne de plus en plus du centre de rotation de la roue qui mène, en se rapprochant du centre de la roue conduite. Il commencera avant la ligne des centres, entre la pointe n de la roue conduite et la racine s de la dent qui la conduit, remontera de n vers m sur la première et descendra de s vers r sur la seconde, jusqu'au passage de la ligne des centres sur laquelle le contact aura lieu entre les points r et m. Il s'avancera après le passage de cette ligne de r vers q et de m vers p pour cesser à la *pointe* de la dent qui mène, et à la racine de la dent menée, de telle sorte que le contact a lieu avant la ligne des centres au dedans de la circonférence primitive de la roue qui mène, et au dedans de la roue primitive de la roue menée, après le passage de cette ligne. Les dents étant symétriques, chacune des roues peut d'ailleurs indifféremment conduire ou être conduite.

Diamètre du cercle décrivant. — En aucun cas le diamètre du cercle décrivant ne doit être *plus grand* que le rayon primitif de l'une quelconque des roues du système. S'il en était autrement, les dents auraient à la racine une épaisseur beaucoup moindre que sur la circonférence primitive, défaut évident que partagent, quoique à un degré moindre, les engrenages à flancs. Lorsque, au contraire, le diamètre du cercle décrivant est plus petit que le rayon du cercle primitif, les dents s'épanouissent vers la base et acquièrent ainsi une forme qui favorise leur résistance à la rupture. Il ne faudrait pas toutefois réduire ce diamètre à l'excès; car alors les faces épicycloïdales prenant trop de courbure, les dents deviendraient trop courtes; il semble que la meilleure règle à suivre consiste à prendre pour diamètre du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cercle décrivant le rayon de la plus petite de toutes les roues du système.

Tracé de l'enveloppe d'une courbe. — Le tracé donné à MÉCANIQUE GÉOMÉTRIQUE, d'après Poncelet, au moyen des normales qui deviennent communes au point de contact, est insuffisant théoriquement. Il faudrait, pour qu'il en fût autrement, que les arcs de cercle, à l'aide desquels on détermine la courbe qui doit venir en contact avec une courbe donnée, eussent pour centres non-seulement des points de la normale, mais les centres de courbure de l'enveloppe, qui sont bien situés sur ces normales, mais en des points différents de ceux où ils rencontrent les circonférences primitives. Cette détermination peut être obtenue par un tracé graphique assez simple, dont on démontre l'exactitude à l'aide de l'expression du rayon de courbure, à laquelle on parvient au moyen d'une équation qui en donne directement la valeur, et qui est due à Savary (voy. notre *Cinématique*). Nous allons le donner.

Tracé de l'enveloppe à l'aide de ses rayons de courbure. — Si le centre de courbure C' d'une courbe est connu (fig. 2), pour obtenir le centre C de la courbe en contact avec la première, on élève la perpendiculaire αD sur

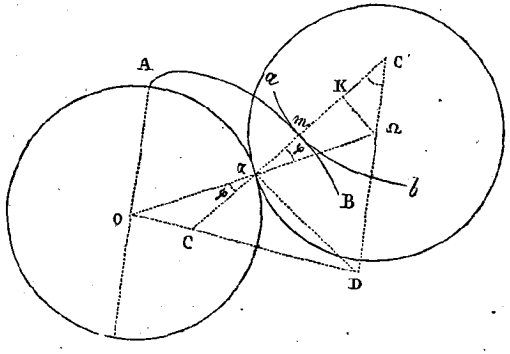


Fig. 2.

la normale commune au point de contact des circonférences primitives, on mène la droite $C'\Omega D$, Ω étant le centre de la circonférence primitive, et le point D étant ainsi déterminé, on mènera la droite OCD qui rencontrera la normale $C\alpha mC'$ au centre de courbure C cherché; l'arc de cercle décrit avec un rayon égal à Cm sera, par suite, dans une petite étendue, celui qui s'écartera le moins de l'enveloppe AmB. Autrement dit, les lignes $C'\Omega$, CO, se rencontrent en un point D, tel que αD fait un angle droit avec CC'.

Si l'enveloppée amb est définie par ses propriétés, le centre de courbure C' au point m sera connu, aussi bien que la direction de la normale $C\alpha mC'$; lorsque cette courbe est seulement tracée, on a vu comment la direction de la normale pouvait s'obtenir graphiquement. Si on cherche de quel centre, sur cette normale, peut être décrit l'arc de cercle le plus approchant de la courbe AmB, on l'obtiendra au moyen de la construction qui précède, qui fera connaître le centre C et une partie de l'enveloppe AmB avec le même degré de précision que, dans une amplitude comparable, l'arc décrit de C' comme centre représente l'enveloppée.

Ainsi A et B étant les centres de rotation de deux circonférences qui se touchent en T (fig. 3), par ce point menons une droite quelconque PTQ, et soit pris arbitrairement sur cette droite un point P pour centre d'un cercle de rayon PT, l'enveloppe de ce cercle aura

un centre de courbure pour le point de contact T, qu'il sera facile de déterminer. En effet, ce centre sera sur la ligne PQ, qui est la normale passant au point T, commune à l'enveloppée; si donc on élève la perpendiculaire KT sur PQ, cette ligne rencontrera AP passant par le premier centre de courbure P, en un point K; tirant BK, cette ligne rencontrera PTQ en un point Q, qui sera le centre de courbure cherché.

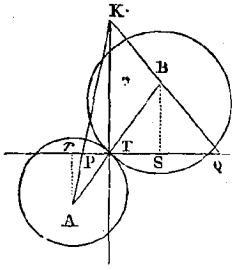


Fig. 3.

Tracé pratique des dents. — La portion de courbe qui forme le contour d'une dent a toujours un développement assez faible pour qu'on puisse lui substituer un ou deux arcs de cercle au plus, sans erreur sensible; c'est ce qui a toujours lieu dans la pratique. Toute la difficulté consiste à déterminer les centres et les rayons de ces arcs.

Tracé de la dent par un seul arc de cercle. — Si nous nous reportons à la construction de Savary donnée plus haut, nous y trouvons une méthode pour le tracé qui nous occupe. Menons par le point de contact T (fig. 3) une droite PTQ de direction qui peut être quelconque, mais qu'il est mieux de faire telle que $PTA = 75°$ pour avoir des dents de forme convenable. Abaissons Ar perpendiculairement à cette ligne, et prenons le point r pour le centre des dents d'une des roues; le centre de courbure de l'enveloppe sera le point S obtenu en menant BS parallèle à Ar, puisque le point K est alors à l'infini.

Pour tracer rapidement les dents de la roue, il convient, du centre A, de décrire la circonférence du rayon Ar, qui devient le lieu des centres de courbure des dents de la roue; puis d'une ouverture de compas égale à rT, et en prenant pour centres les divisions tracées sur le cercle primitif en raison du nombre de dents, on trace les contours de celles-ci.

Les dents ainsi tracées se rapprochent beaucoup des dents en développantes, il suffirait que le centre r se déplaçât quelque peu pendant le tracé des dents pour qu'elles eussent cette forme. Elles participent des avantages et des inconvénients de ce genre de dents; toutefois, comme elles sont tracées à l'aide d'un seul arc de cercle, il n'y a qu'une position pour laquelle le rapport des vitesses angulaires reste rigoureusement constant, c'est celle qui répond à la position du point de contact sur la ligne des centres.

Tracé des dents par deux arcs de cercle. — On obtiendra un degré d'exactitude bien plus grand, et qui satisfera amplement à tous les besoins de la pratique, en traçant le flanc et la face de chaque dent, chacun par un arc de cercle, ayant chacun une tangente commune, avec la condition que le point d'action exact de l'un soit situé un peu en deçà de la ligne des centres, et celui de l'autre un peu au delà de cette ligne et à la même distance, égale à la moitié du pas, par exemple.

La figure 4 montre l'application de cette méthode, qui n'est qu'une extension de la précédente; c'est celle qui a été introduite par M. Willis dans les ateliers anglais, et que les constructeurs français auraient dû adopter depuis longtemps.

A est le centre de rotation de la première roue, B

EFERUS - Recherche & Classification numérique

celui de la seconde roue avec laquelle la première engrène.

T est le point de contact de leurs circonférences primitives; par ce point T, menez une droite Q Tq, faisant, avec la ligne des centres, un angle P T A = B Tq, qui peut être quelconque; celui de 75° est très-bon pour que les dents aient une forme convenable.

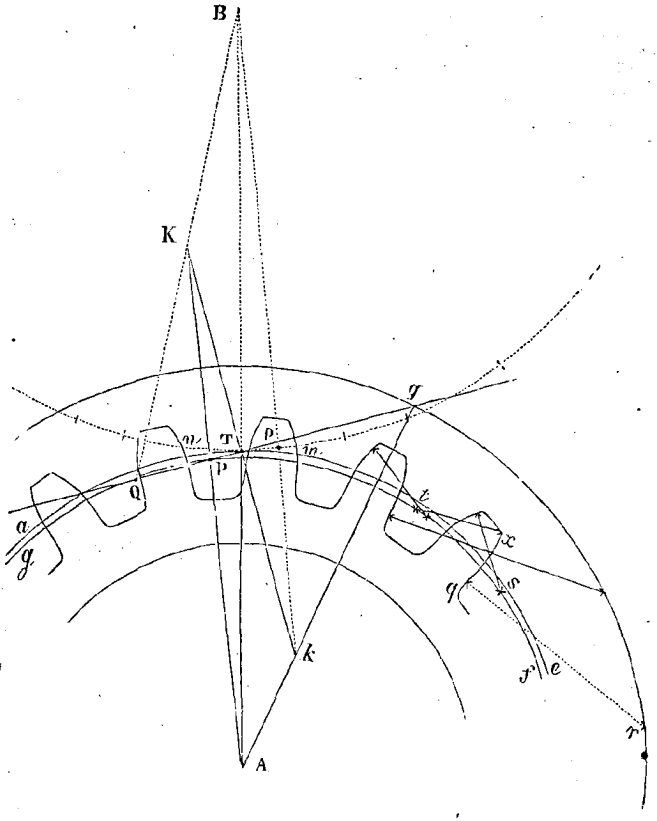


Fig. 4.

Menez à cette droite Q Tq et par le point T une perpendiculaire indéfinie, et marquez sur cette perpendiculaire deux distances égales T K, Tk, qui peuvent être quelconques, mais plus petites toutefois que le plus petit rayon primitif du système de roues dentées. Par l'extrémité K de cette perpendiculaire et par le centre B, menez B K, que vous prolongerez jusqu'à sa rencontre Q avec Q Tq. Joignez K au centre de la roue A, cette droite coupera Q Tq en un point P.

P est le centre des courbures des *faces* de la roue A, et Q est le centre de courbure des *flancs* de la roue B contre lesquels agissent ces faces.

Pour avoir les rayons de courbure, prenez sur la circonférence primitive de la roue A un point m, situé à une distance de T égale à la moitié du pas, de l'autre côté de la ligne des centres par rapport à P et à Q. Pm sera le rayon de courbure des faces de la roue A, et Qm le rayon de courbure des flancs de la roue B; les premières seront donc convexes et en saillie sur la circonférence A, les secondes seront concaves et à l'intérieur de la circonférence B. En opérant sur la roue B, comme nous l'avons fait pour la roue A, en traçant les lignes Ak et Bk, on aura les centres p et q, et les rayons de courbure qn des flancs de la roue A et pn des faces de la roue B.

Pour achever le tracé de l'engrenage, on décrira du centre A et du rayon Aq une circonférence qui sera le lieu des centres de courbure des flancs de la roue A, dont les rayons de courbure = qn. Une autre circonférence de rayon A P contiendra les centres de courbure des faces = Pm.

Il importe de remarquer que les dents de la roue A, par exemple, ne changeraient pas de forme, quand bien même la roue B, avec laquelle elle engrène, aurait un rayon différent de B T, pourvu toutefois que les distances K T = Tk = C demeurassent constantes. Quelle que puisse être, en effet, la position de B sur la ligne des centres, cette position n'affecterait que la position des centres de courbure Q et p des dents de cette même roue B T, sans rien changer à la situation des centres de courbure P et q de la roue A T.

Il en résulte que, quel que soit le nombre de roues d'un système pour lequel les lignes Qq et Kk conserveront les mêmes positions angulaires par rapport à la ligne des centres, et les droites K T = Tk la même valeur absolue C, deux quelconques de ces roues marcheront ensemble convenablement.

On peut d'ailleurs déterminer la distance K T dans un tel système en remarquant que si A se rapproche de T, Aq qui tend d'abord à devenir parallèle à Tq, dépasse ensuite cette disposition; le point q, dans le cas du parallélisme, est rejeté à l'infini, et le flanc de la roue A devient une ligne droite perpendiculaire à P Tq. Lorsque la position de A qui rend Tq parallèle à P Mq est dépassée, le centre de courbure q, des flancs de A, se trouve situé de l'autre côté de T, et ces flancs deviennent alors convexes, ce qui donne aux dents une forme bizarre, inadmissible à cause des arcs-boutements.

Il est donc rationnel de donner à K T, pour valeur maximum, celle qui, combinée avec le plus petit rayon du système, rendrait Aq parallèle à Tq. r étant alors le rayon de la plus petite roue d'un système d'engrenages, on a : K T = r sin. Q T A ou C = r sin. θ, en appelant θ l'angle de la droite P Tq et de la ligne des centres.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On peut soit déterminer graphiquement les rayons, soit calculer pour une roue quelconque la distance *d* du point de contingence T au centre P de courbure des faces, et celle D au même point T du centre de courbure *q* des flancs, on les aura facilement en des quantités connues. Nous renverrons, pour ce calcul (dont nous donnons plus loin les résultats), à notre *Cinématique*.

Odontographe. — M. Willis a fait établir, pour l'usage de sa méthode, une espèce de petit rapporteur en corne, qu'il appelle *odontographe*, qui permet de tracer rapidement les courbes des dents en indiquant les centres, ainsi qu'il vient d'être dit, et par suite les rayons, à l'aide d'une table préalablement dressée.

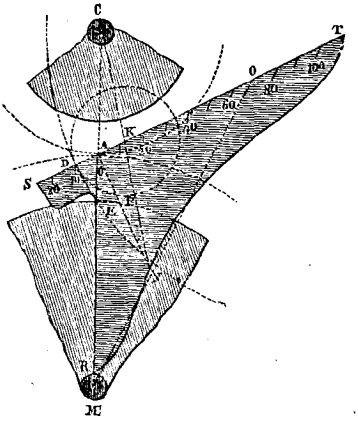


Fig. 5.

La fig. 5 représente cet instrument, espèce de fausse équerre, dont la face fait un angle de 75°. Prolongée dans les deux sens, elle est divisée en millimètres, à droite et à gauche du zéro placé au sommet de la fausse équerre. En appliquant le côté non divisé sur le rayon du cercle primitif dont on veut tracer les dents, et en faisant coïncider le zéro de l'équerre avec l'un des points de division de ce cercle, le côté divisé prend la direction de la ligne d'action (de la normale commune aux deux surfaces), une direction symétrique par rapport à la ligne des centres.

Si donc l'on connaît d'avance, pour les différents cas, la grandeur des rayons des faces et des flancs, l'opération se bornera à marquer sur le dessin les centres, puis à décrire les circonférences directrices qui servent à appuyer la pointe fixe du compas pendant que l'autre extrémité trace soit le flanc, soit la face de chaque dent successivement.

Tandis que, dans la déplorable pratique de la plupart des ateliers français, on se contente de tracer la face de la dent en plaçant la pointe du compas au point de division qui répond à la dent contiguë, ce qui donne une forme ne satisfaisant à aucune condition théorique, le petit instrument de M. Willis donne immédiatement les centres qui permettent de tracer les faces et les flancs dans les conditions excellentes qui ont été analyées.

Reste à dresser les tables nécessaires à l'emploi de l'odontographe en mesures françaises, ce qui n'offre aucune difficulté. C'est ce qu'ont fait MM. Bour et Laussedat, d'après M. Willis. Nous reproduisons ici ces tables.

Tableau pour les centres des flancs (en millimètres).

NOMBRE des DENTS.	PAS EN CENTIMÈTRES.									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
13	64	96	129	161	193	257	321	386	450	514
14	35	52	69	87	104	138	173	208	242	277
15	25	38	49	62	74	99	124	148	173	199
16	20	30	40	50	59	79	99	119	138	158
17	17	25	34	42	50	67	84	101	118	134
18	15	22	30	37	45	59	74	89	104	119
20	12	19	25	31	37	49	62	74	87	99
22	11	16	22	27	33	44	54	65	76	87
24	10	15	20	25	30	40	49	59	69	79
26	9	14	18	23	28	37	46	55	64	73
30	8	12	17	21	25	33	41	49	58	66
40	7	11	14	18	21	28	35	42	49	57
60	6	9	12	15	19	25	31	37	43	49
80	6	9	12	15	17	23	29	35	41	47
100	6	8	11	14	17	23	28	34	39	45
150	5	8	11	13	16	22	27	32	38	43
Crémaillère.	5	7	10	12	15	20	25	30	35	40

Tableau pour obtenir les centres des faces.

NOMBRE des DENTS.	PAS EN CENTIMÈTRES.									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
12	2.5	3.5	5	6	7	10	12	15	17	20
15	2.5	4	5.5	7	7	11	14	17	19	22
20	3	4.5	6	7.5	8	12	15	18	22	25
30	3.5	5	7	9	10.5	14	18	21	25	28
40	4	5.5	7.5	9.5	11	15	19	23	27	30
60	4	6	8	10	12	16	21	25	29	33
80	4.5	6.5	8.5	11	13	17	22	26	30	34
100	4.5	6.5	9	11	13.5	18	22	27	31	35
150	4.5	7	9.5	11.5	14	18	23	28	32	37
Crémaillère.	5	7.5	10	12	15	20	25	30	35	40

Dimensions des dents en fonction du pas (p).

Nous terminerons en donnant les dimensions admises par la pratique, pour les quantités de travail habituellement transmises par les engrenages.

Longueur de la dent en dehors du cercle primitif $= \frac{3}{10} p$.

Longueur de la partie qui opère, flanc et face. . $= \frac{6}{10} p$.

Longueur totale. . . . . $= \frac{7}{10} p$.

Largeur de la dent comptée sur le cercle primitif $= \frac{5}{11} p$,

Largeur du vide. . . . . $= \frac{6}{11} p$.

On donne donc $\frac{1}{10}$ du pas en profondeur et $\frac{1}{11}$ du pas en longueur pour le jeu.

ENGRENAGES A COIN. Les propriétés des engrenages à coin reposent sur celles du coin pour accroître l'adhérence sans faire croître les pressions dans la même proportion, propriété précieuse trop peu appréciée dans l'industrie avant l'ingénieuse découverte dont nous allons parler.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi, si l'on veut conduire deux axes parallèles par le contact immédiat de deux poulies montées sur ces axes, on sait qu'il faudra, pour éviter les glissements, les presser fortement pour peu qu'il s'agisse de transmettre des forces quelque peu notables, et par suite, faire naître des frottements considérables sur les axes. Il n'en sera plus de même si, comme l'a proposé M. Minotto, l'on creuse dans la couronne extérieure de l'une des poulies une gorge tronconique dont la section soit un trapèze, et si on tourne la couronne de l'autre en forme conique (fig. 3526), de manière qu'elle puisse s'engager en partie seulement dans la gorge de la première.

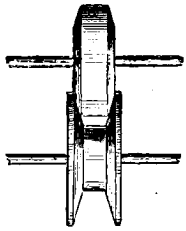


Fig. 3526.

Toutes les propriétés du coin reparaissent ici; c'est-à-dire qu'en raison de l'acuité plus ou moins grande de l'angle commun au vide et au plein des deux roues, une pression médiocre sur les axes pourra faire naître une très-grande pression au contact, et par suite, une adhérence ou engrènement par pression, en vertu duquel une roue pourra entraîner l'autre et surmonter la résistance qui s'opposera à son mouvement.

Le principe du système étant établi, cherchons à nous rendre compte des avantages ou des inconvénients de son emploi.

Du glissement. — Le caractère le plus remarquable de ce système d'engrenage, c'est que, par suite d'une variation dans les forces, un glissement peut avoir lieu. Cette propriété, qui le rend impropre à remplacer les roues dentées dans les systèmes où celles-ci ont surtout pour objet d'assurer des rotations d'angles voulus, comme dans les appareils d'horlogerie, le rend, au contraire, extrêmement précieux pour les applications dans lesquelles la force résistante peut éprouver des variations considérables, cause perpétuelle de rupture avec les roues dentées. Cette similitude avec les systèmes d'embrayage, connus sous le nom de *cônes de friction*, doit être soigneusement observée et constitue une propriété importante du nouveau système.

Du frottement. — Il semble que le frottement de glissement qui s'exerce sur les faces en contact, surtout au delà des circonférences primitives, doit être une cause d'infériorité pour ce système; mais il est à remarquer que, dans le pivotement instantané des surfaces de contact autour du point moyen qui définit les circonférences primitives, les parties les plus éloignées de ce point s'usent beaucoup plus vite que celles qui roulent seulement, et par suite la face du coin tend à prendre une forme convexe qui tend à réduire beaucoup la valeur du travail du frottement (fig. 3527). D'après le calcul, le nouveau système offrirait une supériorité notable sur l'engrenage à dents, quand l'angle au sommet du coin demeure au-dessous de 26 degrés sexagésimaux.

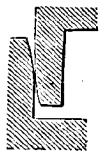


Fig. 3527.

De plus, l'auteur, M. Minotto, a observé que le graissage, qui diminue beaucoup le frottement, n'a que peu d'influence sur l'adhérence au contact, ce qui s'explique par l'expulsion presque complète de l'enduit interposé au point où s'exerce la plus grande pression.

De l'usure. — La rapidité de l'usure dans ce système d'engrenage, et la nécessité du rapprochement graduel des axes pour proportionner toujours la pression et l'adhérence à la résistance à surmonter, paraissent les obstacles les plus notables à l'adoption de ce système pour les grandes machines. Cette condition de rapprochement est parfois facile à remplir. Quant à l'usure, bien que l'auteur ait fait des expériences qui lui fassent admettre qu'elle est peu rapide, elle nous paraît la partie faible du système toutes les fois qu'il n'est pas possible de multiplier le nombre des roues placées sur les deux axes, ce que le tour permet d'exécuter avec facilité. De la sorte, la pression en chaque point de contact pouvant être toujours très-inférieure à celle pour laquelle la dégradation du métal est rapide, on peut employer pendant longtemps ce système, pourvu que l'on puisse rapprocher les axes et que la gorge tronconique soit assez profonde pour correspondre à une usure considérable.

Au reste, M. Minotto, l'inventeur de ce système, a proposé, pour remédier à l'usure, l'emploi de disques constituant des roues par leur réunion à l'aide de boulons et entre lesquels on interpose une rondelle dont il est facile de varier l'épaisseur.

Toutefois, puisque la pression exercée au contact de deux roues d'engrenages à coin doit changer en raison des forces à transmettre par les roues, la distance des axes varie quelque peu en raison de ces pressions comme de l'usure du coin par le travail; or, en général, la position des axes d'un mécanisme doit être invariable, car chacun a le plus souvent à conduire diverses autres pièces. Cette condition limitait donc beaucoup la possibilité d'employer les engrenages à coin. M. Minotto y a remédié radicalement à l'aide de roues intermédiaires, par une disposition analogue à celle des rouleaux de tension usités dans les transmissions de mouvement par courroies.

Roues intermédiaires. — En munissant les deux axes, celui qui est conduit et celui qui conduit, chacun d'une roue à gorge, une roue à coin intermédiaire suffit pour effectuer la transmission de mouvement. Cette roue étant mobile dans le coulisseau qui la guide seulement de manière à ce qu'elle reste dans le plan des deux premières roues, elle pourra se déplacer au besoin, s'il se produit quelque usure, de manière à ce que le mouvement soit toujours transmis.

Mais c'est surtout dans l'analyse des positions les plus convenables que doit occuper la roue intermédiaire et de la faible charge qu'il suffit de lui faire supporter lorsqu'elle occupe ces positions, que M. Minotto a fait preuve d'une grande finesse d'observation, qu'il a montré un esprit exercé à lutter avec les problèmes les plus délicats de la cinématique. Supposons que la ligne des centres des roues soit horizontale et que la roue conductrice tourne de gauche à droite et soit située à gauche de la roue conduite, on voit facilement qu'une roue intermédiaire, placée en dessous de la ligne des centres ou sur cette ligne, n'agira qu'en raison de la pression exercée directement sur son axe par un poids ou un ressort pour presser le coin dont son contour est formé dans les couronnes des deux roues, et que, par suite, ce poids sera considérable, s'il s'agit de grandes résistances à surmonter. Mais si le centre de la roue intermédiaire est placé au-dessus de la ligne des centres, il n'en est plus ainsi. La roue conductrice, entraînant la roue intermédiaire, tendra à l'appliquer sur la roue conduite; il se produira un arc-boutement tendant à diminuer la longueur de la ligne qui joint les points de contact de la roue conique avec les deux roues à gorge, pour peu que son axe, comme on a le soin de le faire, puisse prendre du jeu, et la roue à conduire sera bientôt entraînée, bien que le poids dont l'axe de la roue intermédiaire est chargé soit peu considérable. Si l'on considère le triangle formé par les lignes qui joignent les deux points de contact de la roue intermédiaire entre eux et avec le centre de cette roue, et aussi la perpendiculaire abaissée de ce centre sur la ligne qui réunit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les deux points de contact; si on appelle α l'angle près du contact, P la pression exercée sur la roue conique pour l'appliquer sur les autres roues, R son rayon, que l'on représente par R sin α, par la longueur de la perpendiculaire, la pression P, les deux rayons R représenteront les composantes qui exerceront, à l'aide de la roue formant coin entre les deux autres, les pressions donnant la résultante P. Le rapport de ces forces sera donc celui de $\frac{1}{2}$ R à R sin α; d'où $\frac{R}{P} = \frac{1}{2 \sin \alpha}$.

On voit comment une faible pression peut suffire pour transmettre des efforts considérables, en faisant diminuer l'angle α, la valeur de $\frac{1}{2 \sin \alpha}$ devenant alors très-grande. On voit que la roue intermédiaire agit en quelque sorte doublement comme coin entre les deux roues à gorge.

Ce système n'est pas toujours à retour; le sens du mouvement de la roue conductrice venant à changer, l'arc-boutement de la roue intermédiaire contre la roue à conduire peut ne plus être produit. M. Minotto propose de placer symétriquement deux roues intermédiaires, l'une en dessus, l'autre en dessous de la ligne des centres. Celle qui sert peu pour l'autre sens du mouvement que celui produit occasionne peu de résistance, la pression qui l'applique sur les roues étant peu considérable, et le frottement est en raison de l'effet qu'elle produit pour aider au mouvement.

Mais, en principe, si la roue intermédiaire est de petit diamètre et logée en quelque sorte dans l'angle formé par les circonférences des deux roues qui se touchent presque; autrement dit, si l'angle formé par les rayons de la roue intermédiaire qui passe par le point de contact est petit, il se produit un arc-boutement suffisant pour transmettre les forces les plus considérables auxquelles puissent résister les pièces du système, et cela même quand est minime le poids dont elles sont chargées.

Les dispositions que décrit l'inventeur, pour maintenir dans le plan convenable les roues intermédiaires et les laisser libres de se déplacer latéralement et verticalement, nous semblent laisser quelque chose à désirer, et nous croyons que l'auteur ferait bien d'imiter les dispositions des rouleaux de tension qui se meuvent dans un plan bien fixe, en tournant autour d'un axe, et auxquels on donne facilement la pression voulue en faisant glisser le poids régulateur sur le levier qui le porte, levier qui devrait être recourbé pour la roue supérieure, droit comme un fléau de balance pour la roue intermédiaire placée à la partie inférieure.

Applications. — Les applications des engrenages à coin ont été tentées dans plusieurs cas, et quelquefois avec succès, surtout en Angleterre, où une compagnie s'occupe de leur exploitation.

Je citerai la machine à PERCER (voir ce mot) de Shanks, dont nous avons donné la description; un cabestan, mû par la vapeur; des ventilateurs, scies circulaires à grande vitesse, etc. Pour des mécanismes légers en général, ce système mérite l'attention de nos constructeurs. Dans la machinerie agricole notamment comme les moissonneuses, où il importe qu'un arrêt brusque ne cause pas de rupture, ce genre d'engrenage peut rencontrer d'utiles applications.

La disposition du coin convient d'une manière particulière pour des dispositions de frein, pour des assemblages momentanés, des encliquetages. Nous donnerons à PARACHUTE la description d'une application de ce genre, où le glissement initial est heureusement utilisé. Comme frein, nous citerons celui du plan incliné de la Croix-Rousse, disposé pour ne fonctionner qu'en cas de rupture du câble de traction, et alors venant serrer sur le rail et arrêtant le convoi plus efficacement qu'on ne peut l'obtenir par un frottement de glissement entre surfaces plates.

A l'Exposition de Londres, des encliquetages de scierie, dont la dent était remplacée par un secteur en coin entrant dans une gorge creuse, fonctionnaient fort bien. On pourrait établir ainsi un ENCLIQUETAGE Dobo, préférable au système ordinaire qui fonctionne par simple pression, les propriétés du coin permettant au système de fonctionner avec une moindre force motrice, pour une résistance déterminée. CH. LABOULAYE.

ÉPICYCLOIDES, COURBES ÉPICYCLOIDALES. Famille de courbes qui mérite beaucoup d'intérêt au point de vue industriel, à cause de la variété indéfinie de leurs formes, toujours inscrites dans une même circonférence, qui les rendent très-convenables pour la gravure mécanique, dans le but de décorer la surface d'objets divers, des bijoux, des montres, par exemple, et qui sont produites avec facilité par tous systèmes de rouages ne comprenant que des rotations autour d'axes, telle que la plume épicloïdale (voy. DIFFÉRENTIEL, fig. 10) ou mieux les tours excentriques (voy. TOURS COMPOSÉS), sans l'intervention d'aucune rosette spéciale ayant une relation avec la courbe à obtenir, à déterminer par suite dans chaque cas.

Tracé des courbes épicycloïdales. — Les mouvements obtenus dans le système différentiel ne sont pas seulement curieux quant aux vitesses dont nous nous sommes surtout préoccupés dans une première étude, mais encore quant aux courbes qu'ils permettent de tracer. Bien que ne comportant que des guides du mouvement circulaire, et par suite facilement exécutables, ces systèmes fournissent des courbes transcendantes, des figures très-variées.

Bien qu'il soit difficile de prévoir par une discussion préliminaire dans chaque cas le genre, les formes de ces courbes aussi complétement que si elles étaient représentées par des équations d'un degré peu élevé, néanmoins on peut déduire les principaux caractères de leurs formes de l'étude des vitesses exposée à l'article DIFFÉRENTIEL : le nombre des points de rebroussement ou des boucles, la direction des concavités ou convexités, etc.

Complétons d'abord la description des systèmes propres à tracer les courbes épicycloïdales.

Les figures 6 et 7 de l'article DIFFÉRENTIEL représentent d'une manière générale les systèmes propres à donner toutes les courbes concaves ou convexes par rapport au centre du mouvement. Supposons le système formé de deux roues A, E, et de deux pignons b, B. Nous avons vu qu'on avait, dans le système de la fig. 6, pour le rapport des vitesses, n étant la vitesse angulaire de la roue extrême, a celle du rayon porte-roue, ε étant le rapport des vitesses de rotation :

$$n = n(1 - \varepsilon)\, a = \left(1 - \frac{A\,E}{b\,B}\right) a.$$

Si, au lieu de tourner dans un sens inverse du mouvement du levier, la dernière roue tournait dans le même sens, comme dans une disposition analogue à celle de la figure 7, ε serait de signe différent que dans le cas précédent, et on aurait :

$$n = (1 + \varepsilon)\, a = \left(1 + \frac{A\,E}{b\,B}\right) a.$$

Ces systèmes, comprenant dans l'équation de leurs vitesses des rapports quelconques pour les deux sens du mouvement, seront donc propres à fournir toutes les indications sur les courbes que nous avons à étudier ici; les équations sont tout à fait générales.

La première répond à un roulement sur l'extérieur d'un cercle avec un mouvement *inverse;* la seconde à un mouvement *direct*, à un roulement dans l'intérieur, par suite en changeant le sens de la convexité de la courbe par rapport au centre du mouvement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ceci posé, il est bien évident que l'on ne pourra obtenir de courbes fermées qu'autant que ε sera exprimé par une fraction dont les termes seront entiers; le point décrivant ne repassera jamais par le point de départ si un des nombres est incommensurable. Dans le cas contraire, comme on le voit aisément en considérant les révolutions relativement au levier, révolutions que ne change pas, au point de vue dont il s'agit, le mouvement d'entraînement général du système qui cause la rotation des roues dentées, en supposant le système fixe et la première roue conductrice, le point décrivant passera toujours par la position initiale; la courbe sera donc fermée.

I. Considérons d'abord le cas plus simple où il n'y a pas de pignon intermédiaire ou $b = E$, de telle sorte que $\varepsilon = \frac{A}{B}$ se réduit au rapport des rayons du cercle fixe et de l'épicycle. On aura l'épicycloïde simple, habituellement considérée, si le cercle décrivant est en contact avec le cercle fixe, et dans le cas général, une ou plusieurs roues intermédiaires étant interposées entre eux, des courbes ayant les mêmes rayons vecteurs que ces épicycloïdes, n'en différant que d'une quantité constante pour des angles plus grands ou plus petits en raison du sens de la rotation.

Examinons d'abord les courbes obtenues lorsque le numérateur de la fraction ε est l'unité.

Pour le premier cas, la forme $n = (1 - \varepsilon)\,a$ donne toujours pour le numérateur de la fraction définitive une unité de moins que le dénominateur de la fraction de la forme $\frac{1}{\alpha}$ que nous supposons être ici la forme de la valeur de ε.

Ainsi, si $\varepsilon = \frac{1}{3}$, $n = \frac{2}{3}a$.

En effet, la barre qui entraîne la roue mobile autour de la roue fixe fait un tour avant que le point traçant revienne à sa position primitive, ce qui répond à trois tours de la roue extrême pour un de la roue fixe, si on faisait mouvoir celle-ci; mais comme dans l'entraînement général une rotation inverse est en outre produite par celle de la barre, il ne s'effectue que deux tours, on ne trouve que deux points plus rapprochés du centre de rotation que ceux tracés pendant le reste du mouvement.

Donc toutes les courbes dont il s'agit ont un nombre de points de rebroussement moindre d'une unité que le dénominateur de la fraction qui exprime le rapport des rayons. Il est d'ailleurs évident que ces courbes épicycloïdales tournent leur concavité vers le centre du mouvement.

La vérification de ceci se trouve dans les figures 1 à 6 des courbes tracées par l'emploi d'un appareil mécanique, qui est une réalisation matérielle de la disposition de la figure.

1 : 1 1 : 2

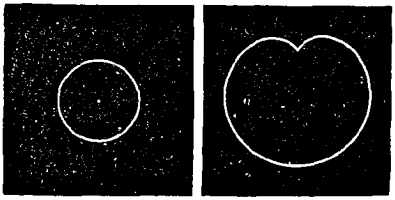


Fig. 1. Fig. 2.

Pour le rapport $\frac{1}{1}$ (fig. 1), $n = a$, c'est le cas du paradoxe de Fergusson (voir notre *Cinématique*); l'épicycle étant immobile par rapport au levier, tournant exactement comme le levier par rapport au cercle fixe, tous ses points décrivent également des cercles autour du centre du mouvement.

Pour $\frac{1}{2}$, $\frac{n}{a} = \frac{1}{2}$, en un tour le point décrivant sera revenu à sa position initiale, et un des tours indiqué pour la relation $B = 2A$ étant détruit par l'entraînement du levier, n'existant pas relativement, il n'y aura qu'un point de rebroussement.

1 : 3 1 : 4

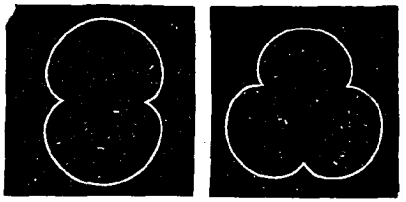


Fig. 3. Fig. 4.

Pour le rapport $\frac{1}{4}$, $\frac{n}{a} = \frac{3}{4}$, 3 est le nombre de rotations relatives au levier; la rotation absolue étant diminuée de celle d'entraînement, il y aura trois points de rebroussement, et ainsi de suite.

Pour des valeurs plus grandes du dénominateur, les arcs épicycloïdaux égaux se multiplient, et l'apparence de ces courbes se trouve facilement déterminée.

1 : 5 1 : 6

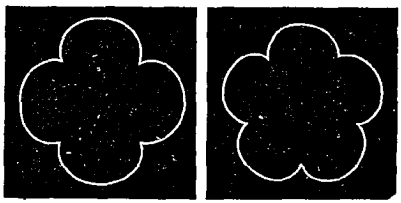


Fig. 5. Fig. 6.

Passons au deuxième cas, le rapport $\frac{n}{a}$ des vitesses étant donné par $1 + \varepsilon$, on voit, en raisonnant comme ci-dessus, que le nombre des points de rebroussement

1 : 1 1 : 2

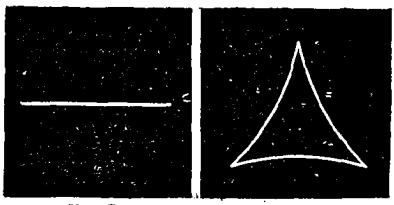


Fig. 7. Fig. 8.

des courbes produites est plus grand d'une unité que le dénominateur de la fraction; l'entraînement du levier s'ajoutant à la rotation de la roue. Il est d'ailleurs facile de reconnaître que ces courbes tournent leur convexité vers le centre du mouvement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les figures 7 et 8 indiquent des courbes du genre de celles dont nous parlons.

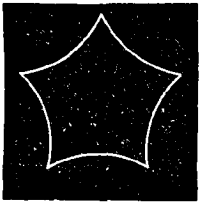
Le rapport $\frac{1}{1}$ ou $A = B$ et $n = 2a$, donne une ligne droite, le mouvement étant celui d'un point de la circonférence d'un cercle roulant dans l'intérieur d'un autre cercle de rayon double. Un autre point de la surface du cercle mobile décrit des ellipses d'après les propriétés de ce mouvement.

Le rapport $1 : 2$ donne $n = 3a$ et trois points de rebroussement, et ainsi de suite; le genre de ces courbes est encore parfaitement défini.

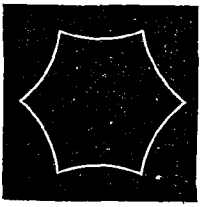
1 : 3



1 : 4



1 : 5



1 : 6

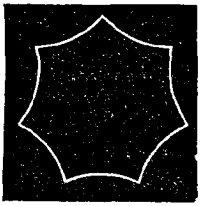


Fig. 9. Fig. 10.

Examinons maintenant ce qui arrive quand la valeur de ε n'est plus donnée par des fractions ayant le numérateur égal à 1, mais par des fractions formées de nombres entiers débarrassés de tous les facteurs communs. Dans le premier cas, les courbes toujours concaves vers le centre du mouvement, ayant leurs points de rebroussement symétriquement disposés autour de ce centre et à l'intérieur de la courbe, posséderont un nombre de points de rebroussement égal à la différence des deux termes de la fraction et un nombre d'involutions égal au numérateur (une droite rencontrera la courbe de chaque côté du centre en un nombre de points égal au numérateur). Cela résulte bien évidemment de ce que l'on doit retrancher la rotation absolue de la roue de celle du levier, de la forme de l'expression :

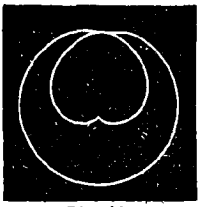
$$n = (1 - \varepsilon)a.$$

Soit $\varepsilon = \frac{2}{7}, n = \left(\frac{7}{7} - \frac{2}{7}\right)a = \frac{7-2}{7}a = \frac{5}{7}a,$

comme $\frac{A}{B} = \frac{2}{7}$, B devrait faire sept tours pendant que A en ferait deux s'il s'agissait d'un mouvement ordinaire de roues dentées; mais par l'entraînement du levier qui produit en outre deux tours de B en sens inverse par deux révolutions, la rotation absolue de la roue entraînée B sera $7 - 2 = 5$ tours. Il existera par suite cinq points de rebroussement (fig. 14) et une droite partant du centre (répondant à une position périodique du levier) ne pourra pas rencontrer la courbe tracée en plus de deux points, puisque c'est toujours après deux tours de la roue mobile (l'entraînement ne

modifiant pas, sous ce rapport, les périodes de la courbe) que la courbe tracée sera fermée.

2 : 3



3 : 5

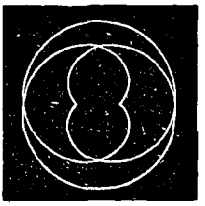
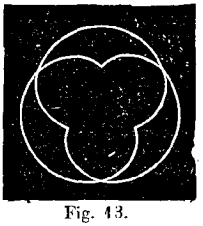


Fig. 11. Fig. 12.

On voit que les courbes les plus complexes, qui pourront le mieux convenir au guillochage, à l'ornementation des surfaces par gravure mécanique, seront surtout

2 : 5



2 : 7

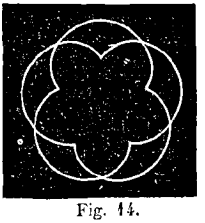
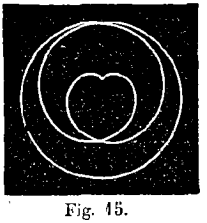


Fig. 13. Fig. 14.

celles pour lesquelles le dénominateur sera assez grand, et par suite aussi le nombre des points de rebroussement symétriquement disposés autour du cercle.

Nous donnons (fig. 11 à 16) les dessins de quelques-unes de ces courbes.

3 : 4



9 : 17

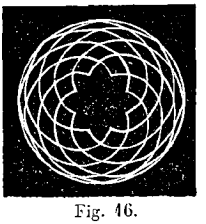


Fig. 15. Fig. 16.

Dans le second cas, l'expression de la valeur de n donne un nombre de points de rebroussement égal à la

2 : 3



2 : 5

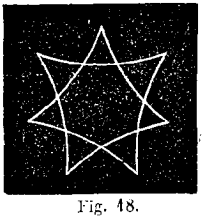


Fig. 17. Fig. 18.

somme des deux termes de la fraction, réduite en nombres premiers entr'eux, et ces points symétriquement dis-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

posés sont situés extérieurement. On peut encore le reconnaître directement, en distinguant les vitesses absolues, des mouvements des roues entraînées par le levier qui tracent les courbes que nous considérons, vitesses obtenues en ajoutant le mouvement du levier au mouvement relatif. Ces propriétés se déduisent immédiatement de la forme de l'expression $n = (1 + \varepsilon)a$, dont nous parlons toujours. Le nombre des involutions des points de rencontre d'une droite passant par le centre est toujour donné par le numérateur de la fraction qui représente ε.

3 : 4

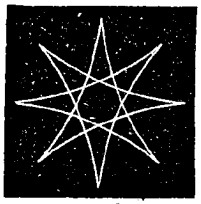


Fig. 19.

3 : 5



Fig. 20.

Nous donnons (fig. 17 à 22), quelques-unes de ces courbes.

4 . 5

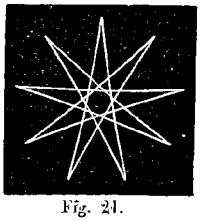


Fig. 21.

3 . 7

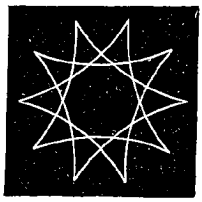


Fig. 22.

II. *Effet des pignons intermédiaires.* — Considérons maintenant le cas général où le rapport $\frac{E}{b}$ de la formule générale n'est pas égal à 1, où on n'emploie pas seulement les roues ordinaires, où l'on fait intervenir des pignons. Les principaux caractères des courbes alors engendrées se déduiront comme dans le cas précédent des formules générales, en remarquant que le rayon plus ou moins grand du cercle traçant change la nature des points de rebroussement, les remplace par une boucle ou par une petite ligne, et ainsi modifie en quelque sorte l'allure de la courbe. Les courbes que l'on obtient sont toujours des courbes épicycloïdales, mais des épicycloïdes ordinaires doublement transformées, non-seulement en raison du rayon qui porte l'axe du cercle mobile, mais encore du rayon de celui-ci pour un même rapport de vitesse. C'est ce qui va être rendu clair par quelques exemples.

1 : 4

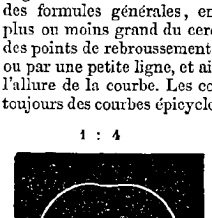


Fig. 23.

$9^2 : 17^2$ ou 81 à 289

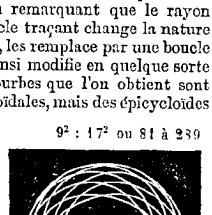


Fig. 24.

Citons d'abord le cas où $\frac{E}{b} = \frac{A}{B}$, le rapport ε des cas précédents sera remplacé par ε^2 pour les exemples correspondants.

Les figures similaires sont assez curieuses à étudier, et les caractères généraux des secondes dérivent de celles du cas correspondant au rapport simple, en aplatissant en quelque sorte tous les angles. On en juge aisément par les figures 23 et 24, se rapportant au mouvement inverse, et 25 et 26 au mouvement direct.

1 : 4

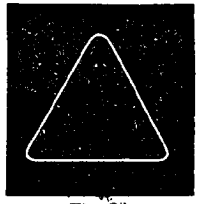


Fig. 25.

4 : 9



Fig. 26.

On pourrait encore étudier les puissances supérieures; mais il vaut mieux passer à un autre mode de classement général de toutes ces courbes dont nous allons parler.

Considérons toujours les résultats que l'on obtient en donnant au rapport $\frac{E}{b}$ du système intermédiaire diverses valeurs numériques. Comme dans l'étude précédente, nous avons compris tous les rapports possibles de vitesses, les relations indiquées subsistent toujours, les caractères généraux des courbes sont donc les mêmes pour une même valeur ε et les modifications qui résultent de l'intervention des pignons, en quelque sorte secondaires.

Cela revient à classer les courbes épicycloïdales comme le propose M. Perigal, auteur anglais, qui a tracé un grand nombre de ces courbes à l'aide de moyens mécaniques, non plus d'après le rapport des rayons, mais d'après la valeur totale de ε, ce qui range sous la même division toutes les courbes qui ont le même nombre de points de rebroussement, de boucles.

Soit à mouvement inverse $\varepsilon = \frac{1}{2}$; si $\frac{A}{B} = \frac{1}{2}$, nous retrouvons $b = E$, le cas déjà traité (fig. 2), un seul point de rebroussement.

Si $\frac{A}{B} = \frac{1}{4}$, $\frac{E}{b} = 2$, on revient au cas $\frac{1}{2^2}$. Le point de rebroussement disparaît presque.

$\frac{A}{B} = \frac{1}{1}$, $\frac{E}{b} = \frac{1}{2}$, c'est une courbe à une boucle (fig. 27) comme toutes les courbes de cette série. La boucle s'agrandit à

1 : 1

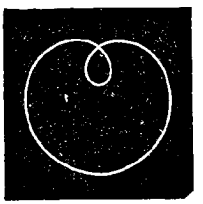


Fig. 27.

1 : 16

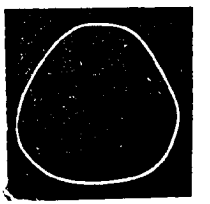


Fig. 28.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mesure que le premier facteur augmente, et le second diminue.

Les figures 28 à 30 représentent, de même que quelques courbes, pour la valeur de $\varepsilon = \frac{1}{4}$ et divers rapports des rayons des roues A et B.

1 : 4

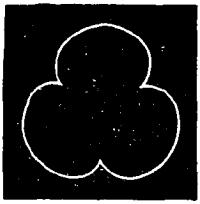


Fig. 29.

1 : 3

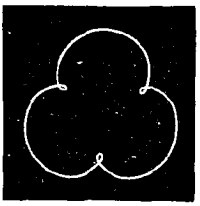


Fig. 30.

Les courbes correspondant aux épicycloïdes intérieures, produisant un mouvement direct, offrent des combinaisons analogues, faciles à analyser en partant de la formule $n = (1 + \varepsilon)a$.

Soit $\varepsilon = \frac{1}{2}$, en donnant à $\frac{A}{B}$ les valeurs $\frac{1}{2}$, 1, on a pour $\frac{E}{b}$ les valeurs 1, $\frac{1}{2}$, et on obtient les courbes à 3 boucles.

1 : 1

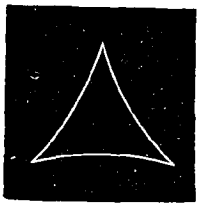


Fig. 31.

1 : 2

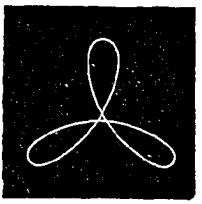


Fig. 32.

De même $\varepsilon = \frac{1}{3}$ donnera les courbes à 4 saillies ou 4 boucles

1 : 3

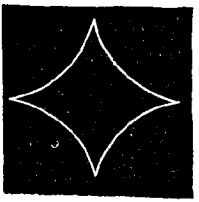


Fig. 33.

1 : 2

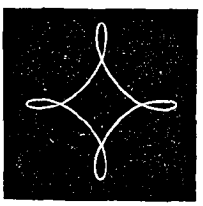


Fig. 34.

Soit encore $\varepsilon = \frac{5}{11}$, $\frac{A}{B} = \frac{5}{11}$, $E = b$, courbe à 6 points de rebroussement.

$\frac{A}{B} = \frac{1}{2}$, $\frac{E}{b} = \frac{5}{11}$, courbe à 6 nœuds (fig. 35), comme toutes celles de la série.

Soit encore :

$\varepsilon = \frac{2}{7}$, $\frac{A}{B} = \frac{3}{2}$, $\frac{E}{b} = \frac{4}{21}$, courbe à 5 boucles, les 5 boucles se recourbent au delà du centre (fig. 36).

1 : 1

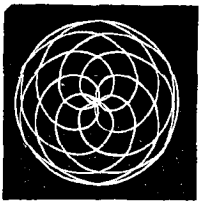


Fig. 35.

3 : 2

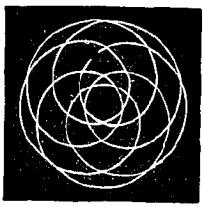


Fig. 36.

Le classement ainsi effectué entre les courbes de formes variées à l'infini, pouvant être ainsi engendrées par l'emploi de simples pièces à rotation circulaire, est d'un grand intérêt au point de vue des applications possibles.

Il est bien évident que l'on pourrait obtenir, par des dispositions analogues, des tracés de courbes cycloïdales en faisant glisser un système de roues sur une crémaillère fixe ou mobile, et obtenir ainsi des courbes en boucle se reproduisant les unes à la suite des autres, ces courbes étant semblables, et les mêmes points de chaque courbe étant situés sur une droite parallèle à l'axe de la crémaillère.

Cette étude des courbes variées limite bien l'étendue de celles que l'on peut obtenir sans *rosette* spéciale.

Sans doute, suivant l'ingénieuse remarque de Bernouilly, d'une manière générale, les épicycloïdes produites par le roulement d'une courbe plane continue et quelconque sur une autre courbe, peuvent être des courbes continues et planes quelconques, et par suite on peut toujours reproduire le mouvement quelconque d'un point dans un plan par le roulement réciproque de deux courbes déterminables graphiquement, dont l'une est liée à ce plan qu'elle entraîne autour de l'autre censé fixe. Mais cette théorie, dans sa généralité même, qui fait de toute courbe une épicycloïde, prouve qu'il faut dans chaque cas une courbe directrice spéciale; ce n'est que dans le cas particulier des épicycloïdes circulaires que le guide-tour des coussinets suffit, comme nous l'avons vu à MACHINE A CALCULER. On ne peut obtenir ainsi, et c'est ce qui a été démontré, que des épicycloïdes circulaires et des courbes qui en dérivent simplement; mais la variété de courbes semblables, d'ordre aussi élevé que l'on veut, fournit des ressources importantes à l'art de graver des surfaces par procédé mécanique, procédé dont la pratique de l'industrie peut tirer un grand profit.

Les tours composés servent à tracer les courbes ci-dessus indiquées. Tous ces éléments se rencontrent dans la machine que nous allons décrire.

MACHINE A GRAVER DE M. BARRÈRE. — La machine à graver de M. Barrère, amélioration de systèmes analogues très-appréciés en Allemagne il y a quelques années, paraît fixer la limite des combinaisons possibles par l'emploi de courbes épicycloïdales, fournir mécaniquement une multitude d'ornementations par les enroulements de boucles de tout genre, formant un ensemble circulaire, elliptique ou sinusoïdal Elle consiste essentiellement en séries de roues dentées, montées sur trois axes verticaux, que l'on met en communication à volonté, et qui ont des mouvements de rotation et de révolution suivant une multitude de rapports. Mais de plus le traçoir est porté par une tringle mûe par une manivelle montée sur la dernière roue et dont le bras

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est de longueur variable au moyen d'une vis, de telle sorte que les courbes épicycloïdales sont raccourcies ou allongées à volonté. Les courbes viennent se recouper et leurs boucles entrelacées donnent des contours variés à l'infini. En faisant marcher la pierre posée sur un chariot, avec une vitesse en rapport avec celle du mouvement circulaire, on forme des fonds, on dispose ces ornements à volonté rectangulairement, elliptiquement. Sans doute la multitude de courbes qu'on peut ainsi obtenir ne peut remplacer le travail du dessinateur en général, et ces ornements ont tous un même air de famille, qui ne permet de les employer que dans un certain nombre de circonstances; mais il n'en est pas moins bien curieux qu'on puisse autant multiplier les résultats décoratifs obtenus avec des tours circulaires seulement. La machine de M. Barrère nous paraît fixer la limite de ce qu'il est possible d'obtenir dans cette voie de l'emploi de courbes provenant de la famille des courbes épicycloïdales.

ÉPONGES. — Les éponges viennent presque toutes de l'Archipel grec. On en pêche cependant quelques-unes dans l'Adriatique.

Il y a trois classes principales d'éponges : 1° les fines ou blanches; 2° les fines dures employées pour le polissage; 3° les éponges dites de Venise, ou grosses éponges à lavage.

De la qualité très-commune à celle très-fine, le prix varie en Grèce de 20 à 300 francs l'ocque (l'ocque vaut 1,280 grammes).

L'éponge ayant une valeur commerciale ne se trouve guère avant 15 mètres de profondeur; elle augmente en qualité jusqu'à 50 mètres.

En général, les éponges fines se rencontrent à des profondeurs moins grandes que les éponges communes. Les premières se fixent de préférence sur les calcaires légers; les secondes sur les roches dures.

L'éponge est généralement d'autant plus belle qu'elle se trouve dans des eaux bien exposées aux rayons du soleil; dans les grottes, au contraire, le tissu en est tout à fait mou et relâché.

Le commerce des éponges va toujours en augmentant; il a produit, en 1865, une vente de 13 millions de piastres, environ 3 millions de francs (le franc vaut 4 piastres 35).

Ces éponges sont achetées moitié par la France, un tiers par l'Angleterre et le reste par l'Autriche, l'Italie, la Turquie.

Les bateaux pêcheurs sont montés par six ou sept plongeurs associés qui vont au fond de la mer à tour de rôle. Le pêcheur descend nu, attaché à une pierre plate ou ovoïde, en marbre, qui l'entraîne rapidement. Arrivé au fond, il tourne autour de la pierre avec laquelle il se tient en communication constante; il arrache les éponges et les place dans un filet qu'il a pendu au cou. On le rehisse au bout d'une minute et demie.

Lorsqu'ils plongent aux grandes profondeurs de 30 à 40 mètres, les plus exercés ne peuvent plonger que sept ou huit fois par jour. Le sang leur sort par le nez et les oreilles, par suite de ces brusques compressions et décompressions.

ÉPONGES MÉTALLIQUES. Les éponges métalliques, imitation de l'éponge de platine qui joue un grand rôle dans l'élaboration de ce métal, ont été créées industriellement par M. Chenot. On ne peut dire qu'il soit arrivé à un succès complet, car l'adoption de ses procédés eût complétement révolutionné l'industrie métallurgique, mais il est parvenu à des résultats extrêmement importants.

Étudions le cas le plus complexe auquel s'applique cette méthode, celui de la fabrication de l'acier fondu. Le traitement comprend quatre opérations principales : la réduction du minerai à l'état d'*éponge*, la *cémentation* de l'éponge, sa *compression* et sa *fusion*.

1° La réduction s'opère sur le minerai grillé et convenablement concassé, dans un fourneau prismatique de 13 mètres de hauteur, muni de chauffes extérieures placées à 7 mètres du gueulard; sur cette hauteur de 7 mètres, le minerai soumis à une chaleur graduellement croissante subit une réduction exactement dans les mêmes conditions que dans la *cuve* d'un haut-fourneau. Arrivé devant les chauffes, il est à peine au rouge cerise; le fer est entièrement réduit, mais la chaleur est insuffisante pour le fondre, ou même pour le fritter. Il forme une masse poreuse ou éponge métallique assez semblable à l'éponge de platine.

En continuant de descendre, l'éponge se refroidit lentement, et au défournement elle doit être à peu près à la température ordinaire, sans quoi elle se réoxyderait immédiatement, à cause de sa nature éminemment pyrophorique. Le défournement se fait à certains intervalles, au moyen de dispositions ingénieuses ayant pour but d'empêcher l'établissement d'un courant d'air à travers le fourneau.

2° L'éponge obtenue passe à la cémentation. A cet effet, on la plonge dans un bain de résine, de goudron, ou d'une matière grasse quelconque, en opérant à chaud, si cela est nécessaire, pour obtenir un bain fluide, qui imbibe bien complétement l'éponge. On calcine à la chaleur seulement suffisante pour chasser l'excès de matière carburante introduite; on recueille accessoirement les produits liquides enlevés par cette calcination, et on a une masse, dans laquelle il s'est fixé et répandu très-uniformément une certaine quantité de carbone. On fait une seconde *cémentation*, s'il y a lieu, pour arriver à la dose convenable, ce qui offre quelque difficulté pour obtenir des produits réguliers.

3° L'éponge est alors broyée, puis comprimée très-fortement dans des moules sous diverses formes. Cette compression est indispensable pour ne pas avoir à opérer sur une matière trop encombrante et trop oxydable.

4° Enfin la matière comprimée, concassée par petits fragments, est mise dans des creusets et traitée comme à l'ordinaire. La seule différence est qu'à la coulée on a une certaine quantité de scories provenant des matières terreuses associées au fer dans le minerai, et que les opérations antérieures n'ont pas chassées. Ce laitier très-fluide surnage sur le bain, on le coagule en le refroidissant par l'addition d'un peu de sable graveleux et d'argile, et on l'enlève aisément avec la cuiller.

Si l'on compare le procédé nouveau à la méthode ordinaire, on y reconnaît les différences caractéristiques suivantes, qui constituent, selon nous, autant d'avantages.

Le fer réduit dans l'étage supérieur du fourneau n'est point amené à l'état de fonte, comme il l'est en descendant du ventre au creuset d'un haut fourneau, transformation qui entraîne une grande dépense de combustible, des frais de machine soufflante, et surtout charge ce fer de matières nuisibles. Ces matières doivent ensuite être séparées dans l'affinage, lequel consomme encore beaucoup de combustible, et, procédant par oxydation, entraîne nécessairement un déchet considérable sur le fer lui-même. Enfin le fer en barres doit d'abord subir la cémentation, puis la fusion, opérations longues et dispendieuses et qui ne peuvent se faire dans les mêmes conditions d'homogénéité que lorsqu'on opère sur l'*éponge*.

Revenant à cette *éponge*, à la sortie du fourneau de réduction nous ferons remarquer qu'elle peut être assimilée à la loupe que l'on forme dans l'affinage ordinaire, ou, plus exactement, à celle que l'on forme dans les foyers à la catalane : c'est du fer avec la gangue du minerai interposée. Qu'après l'avoir comprimée sans la cémenter, on la chauffe et on la martelle, on aura du fer métallique; qu'après l'avoir cémentée et comprimée,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on la chauffe et on la martelle, on aura de l'acier ordinaire, qui correspondra à l'acier poule, mais avec plus d'homogénéité. Ce sera pour ainsi dire de l'acier poule *plusieurs fois raffiné.*

Tels sont les traits principaux des procédés métallurgiques de M. Chenot.

Les produits obtenus sont très-bons.

Nous devons encore citer les dispositions ingénieuses à l'aide desquelles M. Chenot parvient: 1° à recueillir par son *trieur électro-magnétique* toutes les parties d'éponge métallique qui se mêlent au menu charbon à la sortie des charges par le bas du fourneau;

2° A opérer la compression de ses éponges, et au besoin de toute espèce de copeaux métalliques préparés pour le traitement ou pour des alliages;

3° A réaliser un avantage considérable dans beaucoup de cas, notamment pour la *fusion de l'acier*, en donnant à la cendre des cokes employés un degré de fusibilité tel, que les grilles soient toujours propres et dégagées de ces mâchefers visqueux qui, trop souvent, les encrassent, les corrodent et obstruent le tirage.

ÉQUIVALENTS CHIMIQUES. *Équivalents des corps simples.* — M. Dumas a repris, avec des soins tout particuliers, la détermination des équivalents chimiques des corps simples, en partie pour vérifier l'hypothèse de Proust, qu'ils devaient être des multiples exacts de l'hydrogène.

Parmi les corps qu'il a étudiés, vingt-deux ont des équivalents qui sont des multiples de l'hydrogène par un nombre entier:

Oxygène	8	Iode	127
Soufre	16	Carbone	6
Sélénium	40	Silicum	14
Tellure	64	Molybdène	48
Azote	14	Tungstène	92
Phosphore	31	Lithium	7
Arsenic	75	Sodium	23
Antimoine	122	Calcium	20
Bismuth	214	Fer	28
Fluor	19	Cadmium	56
Brôme	80	Étain	59

Sept ont des équivalents qui sont des multiples de la moitié de l'équivalent de l'hydrogène:

Chlore	35,5	Nickel	29,5
Magnésium	12,5	Cobalt	29,5
Manganèse	27,5	Plomb	103,5
Baryum	68,5		

Trois ont des équivalents qui sont des multiples du quart de l'équivalent de l'hydrogène:

Aluminium	13,75
Strontium	43,75
Zinc	32,75

Parmi les comparaisons que ces résultats permettent de faire, on remarquera la suivante:

Azote	14	Arsenic	75
Fluor	19	Brôme	80
Phosphore	31	Antimoine	122
Chlore	35,5	Iode	127

On voit qu'en ajoutant 108 à l'azote on obtient l'équivalent de l'antimoine, de même qu'en ajoutant 108 au fluor on obtient l'équivalent de l'iode;

Qu'en ajoutant 64 à l'équivalent de l'azote on obtient celui de l'arsenic, de même qu'en ajoutant 64 à celui du fluor on obtient celui du brôme;

On comprendra que ces résultats donnent lieu, pour la classification des métaux, à les ranger dans une table à deux entrées par séries assujetties à un double parallélisme, ce qui donne satisfaction d'ailleurs aux diverses analogies qui les unissent entre eux.

En effet, tout en les rangeant par familles naturelles, chacun d'eux se trouve placé à proximité de deux corps appartenant à deux familles voisines et rangés sur les deux droites les plus rapprochées de celle sur laquelle se trouve le métal pris pour terme de comparaison.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR. Pour appliquer la théorie mécanique de la chaleur, il faut connaître le rapport entre les unités de chaleur et de travail mécanique. Si la chaleur dans les corps est une force vive mécanique, l'unité de chaleur, la calorie, est une certaine quantité de forces vives pouvant être exprimées en kilogrammètres; c'est ce nombre de kilogrammètres qui est l'*équivalent mécanique de la chaleur.* Cette expression, qui est le résumé des principes de la théorie mécanique de la chaleur, a été introduite pour la première fois dans la science par le docteur R. Mayer d'Heilbronn, en 1842, dans un mémoire curieux inséré dans les *Annales de Liebig*, dans lequel il affirmait l'équivalence de la chaleur et du travail mécanique.

C'est surtout en partant des phénomènes bien constatés de la production de la chaleur par le frottement qu'il établissait cette vérité, en sous-entendant la permanence du travail mécanique dans la nature, aussi certaine que l'indestructibilité de la matière affirmée par Lavoisier, pour laquelle il est également exact de dire : *Rien ne se perd, rien ne se crée.* Or puisque le frottement anéantit le travail mécanique et fait apparaître de la chaleur, il faut bien qu'il y ait *transformation* de l'un en l'autre; autrement il y aurait effet sans cause, et cause sans effet. En cherchant à déterminer la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur au moyen des nombres alors admis dans la science, il obtint le nombre 365 pour valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur, nombre qui, grâce à une heureuse compensation d'erreurs, se trouve très-voisin du nombre exact.

C'est à l'habile physicien anglais, M. Joule, que sont dues les déterminations de la valeur de l'équivalent mécanique généralement admises aujourd'hui, et qui oscillent autour de $\frac{1}{A} = 424$ kilogrammètres, c'est-à-dire qu'un travail de 424 kilogrammètres, entièrement converti en chaleur, engendre une calorie, ou inversement qu'une calorie entièrement transformée en travail engendre 424 kilogrammètres.

Nous allons faire voir que ce nombre, si important pour toutes les applications dynamiques de la chaleur, pour la théorie des machines à feu notamment, est trop fort, et, pour arriver à la valeur exacte, nous passerons en revue les meilleures expériences connues pour en discuter la précision, et décrirons celles que nous avons faites au Conservatoire des Arts et Métiers, avec le savant M. Tresca, dans les conditions qui nous paraissent les meilleures.

Pour chercher le rapport $\frac{1}{A}$ du travail T à la chaleur C en laquelle il se transforme pour obtenir la valeur de $\frac{1}{A} = \frac{T}{C}$, la voie la plus directe paraît consister à étudier les phénomènes calorifiques engendrés par un travail mécanique, à mesurer la chaleur.

Passons en revue les travaux accomplis.

Des conditions convenables pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. — C'est à l'aide du frottement dont les effets calorifiques avaient été mis en pleine lumière par les expériences de Rumford, qui avait démontré la production indéfinie de chaleur par un travail mécanique, qu'il semble naturel de chercher à obtenir la valeur de l'équivalent de la chaleur. Quelques expérimentateurs ont, en effet, suivi cette voie; mais il faut faire en sorte que l'action qui produit le frottement n'altère pas la constitution du corps sur lequel on opère; car souvent les actions mécaniques exer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cées sur les corps ne produisent pas d'effets calorifiques, sont consommés à détruire un travail intérieur, ou ne produisent que des effets *partiellement* calorifiques, qui ne répondent qu'à une fraction du travail des forces mécaniques qui agissent.

Dans les solides, les molécules étant réunies par les forces de cohésion, l'action de la chaleur qui les écarte produit une dilatation, vient donc en partie s'annuler par l'effet du travail résistant des forces de cohésion; l'inverse a lieu si le corps se refroidit. On ne saurait donc analyser les effets calorifiques qui apparaissent dans un corps solide, sans tenir compte d'efforts intérieurs d'une évaluation difficile, impossible même, tant qu'on ne connaît pas la valeur exacte de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Dans les liquides, dans lesquels les forces de cohésion intermoléculaire ne sont pas nulles, dont la variation est inconnue, le même effet se produit.

Dans les gaz parfaits, au contraire, les effets *intérieurs* de la chaleur sont nuls, l'attraction intermoléculaire ne paraissant pas agir aux distances qui séparent les molécules, et en même temps les effets *extérieurs* de dilatation sous pression sont considérables, et, par conséquent, faciles à observer avec grande précision.

De ceci résulte :

Que les déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur sont possibles en observant les effets calorifiques du frottement, mais avec bien des chances d'erreur.

Qu'elles sont à peu près impossibles s'il se produit dans les corps sur lesquels on opère des effets intérieurs, comme ceux qui accompagnent, en général, une action mécanique exercée sur un corps solide.

Qu'elles peuvent, au contraire, être faites avec grande précision, en observant les effets calorifiques et mécaniques apparaissant simultanément sur un gaz parfait.

Nous passerons successivement en revue les recherches faites en observant les effets de frottement, les effets d'actions mécaniques exercées sur les liquides ou les solides, enfin sur les gaz, c'est-à-dire la quantité de chaleur engendrée par une quantité de travail déterminé, d'où se déduit l'équivalent mécanique de la chaleur. Comme on peut, ainsi qu'il a été dit, observer les faits inverses de ceux-ci, mesurer le travail engendré par une quantité de chaleur connue, nous dirons aussi quelques mots de ce genre de détermination.

I. TRAVAIL MÉCANIQUE ENGENDRANT DE LA CHALEUR.

1° *Frottement des solides.* — Les meilleures expériences que nous connaissions sur le frottement des solides sont celles de M. Hirn. Elles ont été exécutées avec un grand soin et répétées à l'infini, enfin ont conduit à des résultats invariables.

C'est en faisant une étude fort intéressante sur les huiles et les corps lubrifiants dans des conditions où aucune altération des surfaces n'était à craindre, où des vibrations ne pouvaient se propager au loin, que M. Hirn a cherché à mesurer les phénomènes calorifiques qui se produisaient. Il en est résulté un mode de détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, puisqu'elles permettaient de mesurer la chaleur produite par l'emploi d'un travail mécanique faisant naître un frottement très-régulier, ne pouvant jamais devenir un mouvement de masses, par suite de l'interposition entre les surfaces des molécules d'un fluide.

C'est dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* (nos 128 et 129, 1865) que se trouvent rapportées ces curieuses expériences. Comme elles sont peu connues, nous en extrairons ici ce qui a trait à la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. (Nous y reviendrons à un autre point de vue, à l'article GRAISSAGE.)

L'appareil adopté par M. Hirn, qu'il appelle balance de frottement, et qu'il a imaginé, comme nous l'avons dit, pour expérimenter la valeur des différentes huiles du commerce, au point de vue de leur emploi dans le graissage, est représenté figure 1.

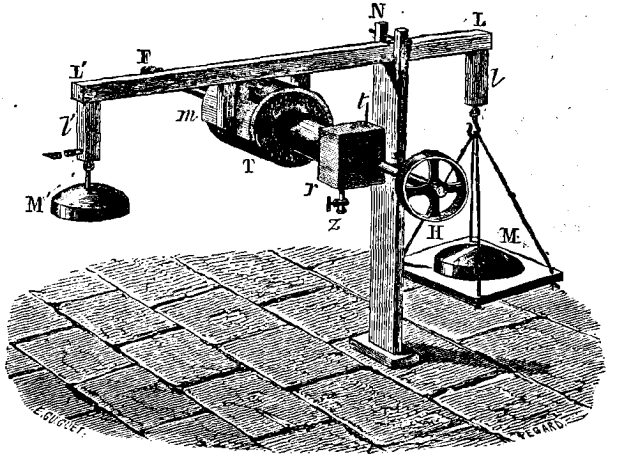


Fig. 1.

TT est un tambour creux en fonte, parfaitement cylindrique et poli extérieurement, calé sur l'arbre FF. Le diamètre extérieur de ce tambour est de 0m,23, sa longueur de 0,22; il est fermé, à l'une de ses extrémités, par un fond en fer-blanc, formé d'une partie plane annulaire et d'une partie centrale en tronc de cône ouvert, de manière à laisser libre un espace annulaire entre sa circonférence et l'arbre FF, à l'autre extrémité, par un fond formé, comme le premier, d'une partie annulaire et d'une partie centrale en tube cylindrique.

E coussinet en bronze (alliage de huit parties de cuivre et une d'étain), parfaitement poli et ajusté sur le tambour T, dont il embrasse la demi-circonférence; dans son épaisseur est pratiquée une cavité où se loge exactement le réservoir d'un thermomètre.

LL' est un levier en chêne de 0m,08 d'équarrissage, appuyant sur les brides du coussinet par deux petits supports *m*, *m'*, vissés à leur partie inférieure sur ces brides ou rebords.

Aux deux extrémités de ce levier sont solidement fixés des appendices *l*, *l'*, en équerre, munis chacun d'un crochet à la partie inférieure. A l'un de ces appendices est suspendu un contre-poids en plomb M' fixé à une tige longue et légère, dont le plan supérieur passe par l'axe du tambour. Un repère indique quand le levier LL' est horizontal. A l'autre appendice est suspendu un plateau, sur lequel est posée une masse de plomb M, faisant équilibre à M'. Cette disposition a pour effet

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'amener le centre de gravité du système en dessous de l'axe du tambour, de façon que la balance ne soit pas folle.

Le coussinet, le levier et tous les accessoires, y compris les masses M, M', pèsent ensemble 50 kilogrammes. La distance horizontale de l'axe du tambour à la verticale passant par le point de suspension du plateau, lorsque le levier est horizontal, est de 0m,562.

N est un pied fixé au sol et ouvert en pince, de manière à limiter les écarts du levier LL' de la position horizontale.

Le mouvement du tambour est accéléré ou ralenti au moyen de deux cônes parallèles liés par une courroie, et dont l'un reçoit son mouvement du moteur et l'autre le communique à la poulie H calée sur l'arbre FF.

Au moyen d'un petit tuyau introduit par l'espace annulaire de la face antérieure du tambour, on peut faire passer dans celui-ci un courant d'eau froide ou chaude, qui vient tomber dans la petite caisse en bois *r*, où se trouve un thermomètre *t*, et qui est munie d'un robinet *z*. Deux ouvertures sont ménagées dans les parois verticales de la caisse, et sont juste assez grandes pour laisser passer la partie tubulaire et l'arbre en fer FF.

On voit que par cette disposition, qui rappelle le frein de Prony, M. Hirn enregistre, par le simple examen des poids qu'il faut ajouter, pour l'équilibre, au poids M, lors du mouvement de tambour, le travail consommé par le frottement.

Reconnaissant dans ses expériences sur le graissage la production de quantités de chaleur notables, il a été conduit à chercher s'il existait un rapport constant ou variable entre le travail résistant du frottement mesuré au moyen de la balance et la chaleur développée par le frottement qu'il pouvait mesurer par l'échauffement de l'eau qu'il faisait passer dans le tambour. Rechercher la valeur de ce rapport constant ou variable, c'est bien déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur.

Ces expériences fort délicates ont conduit l'auteur à la conclusion suivante :

« La quantité absolue de chaleur développée par le frottement médiat est directement et uniquement proportionnelle au travail mécanique du frottement. Le rapport entre cette quantité de chaleur exprimée en *calories*, et le travail mécanique du frottement exprimé en kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur, est à peu près égal à 0,0027, quelles que soient la vitesse et la température des corps frottants et la substance lubrifiante. En d'autres termes, le frottement donne lieu, dans tous les cas, à un dégagement de chaleur capable d'élever d'un degré centigrade la température d'autant de kilogrammes d'eau liquide que le travail mécanique de ce frottement, mesuré à la balance, contient de fois 371 kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur verticale. »

J'ignore pourquoi M. Hirn a renoncé à se servir des résultats de ces expériences dans son second ouvrage, dans lequel il rapporte seulement quelques expériences nouvelles faites avec le même appareil, qui lui ont fourni une valeur orthodoxe, une valeur de l'équivalent mécanique voisine de 424; mais ils me paraissent acquis à la science, à cause de la multitude des expériences et de la constance des résultats, cachet caractéristique d'une bonne série d'expériences.

Nous avons dit en quels termes affirmatifs il résume ces recherches dans son ouvrage de 1858. Je compléterai cette citation par le passage suivant de ce même travail.

« Les plus grands écarts de notre nombre sont 0,00262 et 0,00278, ce qui donne (pour la valeur de $\frac{1}{A}$, en divisant l'unité par ce rapport), 381,2 et 359,7 pour l'équivalent, dont, en ce qui concerne les frottements médiats, la valeur moyenne est 371,6. S'il m'était permis de présenter une opinion personnelle, fondée sur des détails trop longs à mentionner, et sur le sens général des défectuosités de mon expérimentation, je dirais que le nombre 371,6 pèche plutôt en plus qu'en moins; et que la moyenne réelle de mes résultats est plutôt au-dessous qu'au-dessus. Je discuterai, dans le résumé général, les résultats des expériences précédentes, et ceux de quelques expériences isolées que j'ai faites sur les frottements immédiats. Je ne mentionne pas encore ces derniers, parce que je ne suis pas aussi satisfait de leur exactitude, tandis que les premiers, *répétés sous toutes les formes imaginables*, me paraissent dignes de confiance. »

Les séries d'expériences sur les frottements immédiats dont parle ici M. Hirn, l'ont conduit à des chiffres très-variables et différents de celui, qu'au moyen d'expériences très-variées, il retrouvait constamment pour les frottements médiats.

Frottement des liquides et des solides. — Expériences de M. Joule. — (Nous traduisons ici le mémoire de M. Joule, 1849.) « La première mention que je connaisse d'expériences dans lesquelles la production de la chaleur par le frottement de fluides soit affirmée, se rapporte à celles du docteur Mayer (*Annales* de Wœhler et Liebig, mai 1842), dans lesquelles il établit qu'il a élevé la température de l'eau de 12° à 13° C., en l'agitant, mais sans indiquer les quantités de travail consommées à cet effet, ni les précautions prises pour assurer l'exactitude du résultat. En 1843, j'ai annoncé ce fait « que de la chaleur est dégagée par le passage de l'eau à travers des tubes étroits » et que, pour produire chaque degré Farh. de chaleur de l'eau ainsi engendrée, il y a consommation d'un travail mécanique de 770 livres-pieds. Enfin, en 1845 et 1847, j'ai employé une roue à palettes pour produire un frottement de fluides, et j'ai obtenu les équivalents 781,5, 782,1 et 787,6, par l'agitation de l'eau, de l'huile et du mercure. Ces résultats, concordant parfaitement entre eux et avec ceux précédemment déduits d'expériences sur les fluides élastiques et la machine électro-magnétique, ne laissent aucun doute dans mon esprit sur la relation d'équivalence entre la chaleur et le travail; je sentis la très-grande importance d'obtenir la détermination de ce rapport avec un très-grand soin. Tel est l'objet du présent mémoire.

« *Description des appareils.* — Les thermomètres employés ont leurs tubes calibrés et gradués d'après la méthode de M. Regnault. Deux d'entre eux, que j'appellerai A et B, ont été construits par M. Dancer, de Manchester; le troisième C, par M. Fastré, de Paris. La graduation de ces instruments est très-correcte, et leurs indications coïncident à moins de 1/100 de degré Fahr. près.

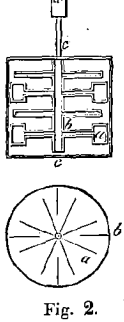


Fig. 2.

« La figure 2 représente une section verticale de l'appareil employé pour produire le frottement de l'eau, consistant en palettes de laiton garnissant huit leviers tournants, palettes qui tournent entre quatre vannes fixes pareillement en laiton. L'axe de rotation en laiton se meut librement, sans vibration, dans ses coussinets *c c*, et est interrompu en *d* par une pièce de bois qui ne permet pas à la chaleur dégagée de se perdre par conductibilité.

« La figure 2 représente aussi le vase de cuivre dans lequel l'appareil de rotation est solidement fixé; il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a un couvercle de cuivre dont le bord, garni d'une bande de cuir imprégnée de blanc de plomb, peut être hermétiquement assemblé avec lui. Dans ce couvercle sont percés deux trous : le premier pour l'axe qui tourne sans le toucher, le second pour le passage du thermomètre.

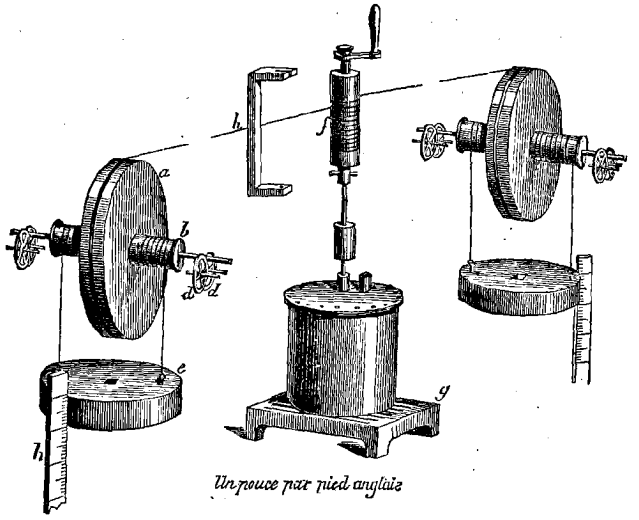


Fig. 3.

« J'ai employé un appareil semblable pour étudier le frottement du mercure. Il diffère de l'appareil qui vient d'être décrit par la grandeur et le nombre de palettes, qui sont au nombre de six et en fer ; le vase est en fonte.

« Étant désireux d'étendre mes expériences au frottement des solides, j'ai aussi établi l'appareil représenté figure 4, dans lequel l'axe *a a* entraîne dans son mouvement une roue en fonte *b*, taillée en biseau sur ses bords. Par le moyen du levier *c*, que l'axe traverse, et de deux

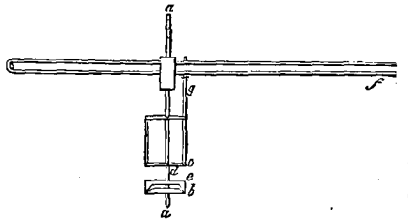


Fig. 4.

courts leviers *d*, la roue à biseau *e* peut être appliquée sur la roue tournante. La pression est réglée à la main, à l'aide du levier de bois *f*, attaché à la verge de fer perpendiculaire *g*.

« La figure 3 montre en perspective le mécanisme employé pour mettre en mouvement l'appareil servant à étudier les effets calorifiques du frottement. *a*, *a*, sont des poulies de bois de 1 pied de diamètre et 2 pouces d'épaisseur, portant des rouleaux de bois *b b* de 2 pouces de diamètre et des axes d'acier *c c*, d'un quart de pouce de diamètre. Les poulies tournaient bien rond et étaient égales. Leurs axes étaient supportés par les roues de laiton *d d*, dont les axes d'acier reposaient dans des trous percés dans des plaques de laiton attachées à une solide charpente fixée aux murailles de la salle. (Celle-ci était une vaste cave, ayant l'avantage de posséder toujours une température uniforme.)

« Les poids de plomb *e e* qui, dans quelques expériences, pesaient 29 livres et dans d'autres 10 livres sont suspendus par une corde aux rouleaux *b b*, et une ficelle attachée aux poulies *a a* les réunit avec le rouleau *f*, lequel, par le moyen d'une clavette, peut facilement être attaché ou séparé de l'appareil à frottement.

« Le support de bois *g*, sur lequel pose l'appareil, est creusé d'un grand nombre de rainures transversales, de telle sorte qu'un petit nombre de points du bois sont en contact avec le métal, et que l'air le touche par presque tous les points. De cette manière, on évite la communication de la chaleur au support.

« Un large écran (non représenté sur la figure 3) empêchait complétement l'action de la chaleur rayonnante du corps de l'expérimentateur sur l'appareil.

« La méthode d'expérimenter était la suivante. — La température de l'appareil à frottement était bien déterminée, et les poids étant remontés, le rouleau était assemblé avec l'axe à l'aide d'une broche, et la hauteur exacte des poids au-dessus du sol était mesurée exactement au moyen des règles en bois *h*. Le rouleau était remis en liberté et permettait de relever les poids après qu'ils avaient atteint le plancher du laboratoire, lorsqu'ils avaient accompli une chute d'environ 63 pouces (1m,60). Puis, le rouleau étant arrêté, les poids remontés, le frottement recommençait. Cette opération était répétée vingt fois, et on observait alors la température de l'appareil. La température moyenne du laboratoire était déterminée par des observations faites au commencement, au milieu et à la fin de chaque expérience.

« Avant ou immédiatement après chaque expérience, on déterminait l'effet de rayonnement et de conductibilité pour la chaleur, de l'atmosphère ambiante, pour diminuer ou augmenter la température de l'appareil à frottement. A cet effet, on suivait, pendant un temps égal à la durée de l'expérience, la marche du thermomètre plongé dans l'eau, l'appareil restant immobile; on appréciait ainsi l'effet du rayonnement. La disposition de l'appareil, la quantité d'eau qu'il renfermait, la durée, la méthode d'observation des thermomètres, la position de l'expérimentateur, ont été les mêmes dans toutes les expériences dans lesquelles l'effet du frottement a été observé. »

1re série d'expériences. — FROTTEMENT DE L'EAU. — Les poids de plomb pesaient 13,158 gr. 27 chacun (l'appareil était de dimensions extrêmement minimes), l'accroissement de température moyenne, de 0°,575, plus 0,0129, dissipés par rayonnement, ce qui conduit à une valeur de $\frac{1}{A} = 430$ kilogrammes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le remplacement de l'eau par le mercure a conduit à la même valeur sensiblement.

En faisant les mêmes expériences sur de la fonte, M. Joule a encore retrouvé des nombres peu différents.

« Il est bien probable, dit-il, que l'équivalent pour la fonte de fer est quelque peu accru par l'arrachement de particules de métal par le frottement, ce qui ne peut avoir lieu sans l'absorption d'une certaine quantité de travail pour surmonter l'attraction qui produit la cohésion. Mais comme cette quantité de matière arrachée est trop minime pour pouvoir être pesée, l'erreur provenant de cette source ne peut être de grande importance. Je considère 430, l'équivalent déduit du frottement de l'eau, comme le plus correct, tant à cause du grand nombre d'expériences effectuées, que de la grande capacité de l'appareil pour la chaleur. Cependant comme, même dans le frottement des fluides, il est impossible d'éviter entièrement une vibration et la production d'un faible bruit, il est probable que ce nombre est un peu trop fort. »

Ces expériences sont-elles décisives, conduisent-elles à une détermination méritant toute confiance, exacte à 1 ou 2 centièmes près? Évidemment non. Le travail dont on détermine l'effet calorifique en plongeant dans l'eau un thermomètre, c'est-à-dire un instrument mauvais conducteur de la chaleur, d'une masse notable, pour évaluer un demi-degré Farenheit, guère plus d'un quart de degré centigrade, est minime et répond à moins d'une calorie. Les erreurs d'observation peuvent facilement atteindre 15 p. 100; d'autant plus, comme le remarque M. Joule, qu'il ne tient pas compte des forces vives mécaniques communiquées au liquide, des mouvements orbitaires de masse qui emmagasinent si facilement, dans les liquides, des quantités considérables de force vive. Ces considérations nous paraissent devoir faire écarter absolument toutes les observations faites avec des appareils aussi parfaits que celui de M. Joule, mais dans lesquels l'agitation d'un liquide a été à tort considérée comme produisant un effet en totalité calorifique, ce qui n'est pas vrai.

Pour ce qui est des expériences du frottement de métal sur métal, avec usure des surfaces en contact, production de vibrations qui indiquent une propagation de mouvement dans la masse des supports du système, les résultats obtenus sont encore moins probants.

II. *Écrasement du plomb.* — J'avais pensé rencontrer un cas dans lequel un travail appliqué à la déformation d'un corps solide pouvait donner des résultats satisfaisants, je veux parler de l'écrasement du plomb, dont la densité ne change pas par l'effet d'actions mécaniques. J'en concluais, ce qui aurait besoin d'être démontré, qu'il n'y a aucun travail intérieur consommé, non restitué par l'écrasement, que l'effet calorifique des ruptures était compensé par celui engendré par de nouvelles cohésions. Je rapporterai les expériences imparfaites que j'ai tentées, et qui m'ont conduit à quelques observations qui ne manquent pas d'intérêt.

Travail mécanique. — Le moyen par excellence pour obtenir un travail mécanique facilement mesurable consiste à employer la chute d'un corps. Comme le principal moyen d'éviter les erreurs, dans une nature d'expériences où la quantité de chaleur dégagée est peu considérable, consiste à grandir un peu l'échelle sur laquelle on opère, j'ai cherché à disposer de poids et de chutes notables. J'ai employé une sonnette à battre les pieux, et disposé d'un mouton du poids de 440 kilog. tombant, au besoin, d'une hauteur de plusieurs mètres. Cet appareil était malheureusement grossier pour des expériences de précision.

Il fallait que l'écrasement du plomb fût effectué sans vibrations, pouvant se communiquer aux supports, par un amortissement presque complet des forces vives, et par suite, sans que la partie inférieure de la pièce écrasée fût déformée (on verra plus loin que cela est doublement nécessaire). C'est à quoi je suis parvenu par une forme convenable du morceau de plomb fondu.

J'ai trouvé un grand avantage à remplacer dans ces expériences les formes symétriques à la partie supérieure et inférieure, du corps soumis à l'écrasement, celles de cubes, de cylindres, qui seules avaient été employées jusqu'ici dans les rares expériences faites sur les phénomènes d'écrasement, et qui se déformaient en même temps à la partie inférieure et à la partie supérieure, par des formes qui offrent à la partie supérieure une résistance bien moindre qu'à la partie inférieure.

Avec cette précaution et pour une chute convenable du mouton, l'écrasement étant limité aux parties supérieures, la base n'étant nullement déformée, l'amortissement du choc est complet, une vibration insignifiante est communiquée à l'enclume placée sur le sol, et le travail dû à la chute du mouton est employé, à bien peu près, en totalité en écrasement, en actions moléculaires intérieures.

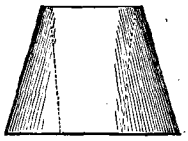


Fig. 5.

J'ai adopté la forme d'un cône droit (fig. 5), pénétré par un cône renversé, forme qu'il est facile d'obtenir par fusion et de multiplier par moulage de manière à agir sur des pièces identiques; ce qui permet de vérifier les déformations, d'étudier les variations d'effet que produit la variation du travail.

Ces morceaux de plomb, dans nos expériences, avaient 16 centimètres de hauteur; rayon à la base, 6 centimètres; en haut, 5; épaisseur à la base, 12 millimètres; au sommet, 2 millimètres; poids, 5k,90 en plomb du commerce, pas très-pur.

Je dirai incidemment que les effets d'écrasement de ces pièces m'ont fourni des résultats curieux sur le mode de répartition des pressions; ce qui m'a suggéré une explication très-satisfaisante (ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici à ma connaissance) de la formation des pyramides ou de cônes, lors de l'écrasement de pierres cubiques ou cylindriques. (Voir RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.)

Mesure de l'accroissement de température. — Pour mesurer l'accroissement de température résultant de l'écrasement du métal, je le place dans un calorimètre en cuivre de 22 centimètres de diamètre et 20 de hauteur, que j'entoure de ouate de coton sur une forte épaisseur. J'y verse de l'eau, et place dans cette eau deux thermomètres qui passent au dehors de la cuve. Pour pouvoir faire agir le mouton sur le plomb sans briser les thermomètres, j'emploie un faux pieu, une pièce de bois placée sur lui, avec interposition d'une plaque en fer pour éviter que le bois ne se brise par le choc, en ne rencontrant de résistance que sur une partie de sa surface.

Tel est l'appareil qui m'a servi et qui avait un grave défaut, à savoir le peu de conductibilité de l'eau, qui doit se mettre en équilibre de température avec le plomb.

Cet effet est si notable, que les indications du thermomètre n'avaient aucune valeur lorsqu'on n'agitait pas l'eau du calorimètre; condition tout à fait essentielle et à laquelle il n'était pas très-facile de satisfaire ici, puisqu'il fallait agiter le liquide immédiatement après le choc.

J'y suis parvenu en mettant en communication avec l'eau une poire de caoutchouc (fig. 6), terminée par un tube de même substance qui vient coiffer une tubulure placée au bas du calorimètre; de manière qu'en comprimant cette poire, puis la laissant se gonfler, alternativement je lançais l'eau sur le plomb pour le laver

EFERUS - Recherche & Classification numérique

puis j'aspirais cette eau, enfin je mélangeais intimement toutes les couches liquides.

Le lavage extérieur du plomb était relativement facile; mais celui à l'intérieur du cône offrait des difficultés, d'autant plus qu'il ne fallait pas seulement agiter l'eau à l'intérieur, mais encore reverser cette eau à l'extérieur, de manière à ce qu'elle pût agir sur le thermomètre.

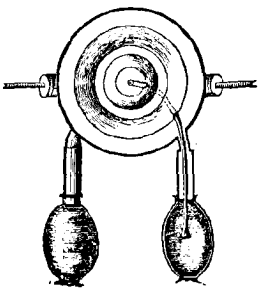


Fig. 6.

A cet effet, j'employais une deuxième poire épaisse en caoutchouc vulcanisé, disposée comme la précédente, également adaptée à l'aide d'un tube de caoutchouc à un deuxième ajutage soudé à la partie inférieure du calorimètre. Dans l'intérieur de cette poire, je faisais entrer un tube de caoutchouc de petit diamètre, moitié environ de celui de l'ajutage; il était retenu dans la poire par une petite broche qui le traversait. Ce petit tube pénétrait à l'intérieur du plomb, en passant par une encoche pratiquée dans son pied, qui, nous l'avons vu, n'est jamais écrasé. A l'aide de ce petit tube, il y avait aspiration et envoi de l'eau à l'intérieur du cône en plomb, et comme cette eau se mélange dans la poire avec l'eau aspirée et renvoyée à l'extérieur du cône, le mélange était bientôt intime.

Une expérience à blanc montra que la chaleur produite par ce mouvement de l'eau, correspondant à un travail mécanique insignifiant, était de nulle importance, sûrement bien inférieure aux pertes de chaleur de l'appareil, que l'équilibre de température était obtenu en une ou deux minutes au plus.

La figure 7 montre la disposition générale d'une expérience.

Les résultats des expériences me firent conclure que $\frac{1}{A}$ avait une valeur inférieure à 300^{km}, mais l'impossibilité de tenir compte des résistances intérieures du système, du frottement des guides du mouton notamment, rendait ce mode d'opérer insuffisant.

Pour faire cette expérience avec précision, et en admettant qu'il n'y ait pas de différence physique entre le plomb fondu et le plomb martelé de même densité, il eût fallu employer un système dans lequel cet inconvénient eût été évité; par exemple, en écrasant le plomb entre deux corps pendulaires. C'est ce qu'a fait M. Hirn, mais alors il ne peut mesurer la chaleur dégagée qu'en versant de l'eau dans une cavité réservée au centre du plomb écrasé et y plongeant un thermomètre. Or, il ne me semble pas douteux, surtout après les observations de lavage du plomb dont je parle plus haut, qu'on ne peut observer ainsi qu'une partie de l'effet calorifique produit, et que par conséquent la valeur $\frac{1}{A} = 430$, trouvée ainsi par M. Hirn, est sûrement trop forte.

III. *Compression des gaz. — Expériences de M. Joule.* — Nous citerons encore ici un passage du mémoire original du savant physicien anglais.

« La pompe de compression, est formée d'un cylindre de bronze et d'un piston ajusté avec une garniture de cuir huilé, qui se meut facilement et légèrement pendant sa course de 8 pouces. Le cylindre a 10 1/2 pouces de longueur (27 centim.), 1 3/8 pouces de diamètre intérieur (35 millim.), et 1/4 de pouce d'épaisseur de métal. Le tuyau A, pour l'admission de l'air, est fixé à la partie inférieure du cylindre; au bas de ce tuyau il y a une soupape conique, construite en corne, s'ouvrant de haut en bas. Le réservoir du cuivre R, qui a 12 pouces de long, 4 1/2 pouces de diamètre extérieur, 1/4 de pouce d'épaisseur, et une capacité de 136 1/2 pouces cubes (2236^{cm} cubes), peut être vissé sur la pompe. Le réservoir est muni d'une soupape conique s'ouvrant de haut en bas, et reçoit à son extrémité une pièce de laiton B, dans laquelle est pratiqué un canal de 1/8 de pouce de diamètre; il est fermé par un robinet (fig. 8).

« Prévoyant que les changements de température de la grande quantité d'eau nécessaire pour entourer le réservoir et la pompe devaient être très-faibles, j'ai mis mes soins à m'assurer d'un thermomètre d'une grande sensibilité et d'une grande précision. . . . .

« Il est important d'employer, pour renfermer l'eau, un récipient aussi imperméable à la chaleur qu'il est possible. Dans ce but, ayant pris deux vases de fer étamé dont l'un est de toutes parts moindre que l'autre, le plus petit a été placé dans le plus grand, et l'intervalle entre les deux clos hermétiquement. Par ce moyen une couche d'air, sensiblement à la même température que l'eau, est maintenue en contact avec le fond et le contour du vase intérieur.

« Ma première expérience fut conduite de la manière suivante : la pompe et le réservoir de cuivre furent plongés dans 45 livres 3 onces d'eau, dans laquelle plongeait le thermomètre très-sensible décrit ci-dessus; deux autres thermomètres servaient à indiquer la température de la salle et celle de l'eau contenue dans le vase. Ayant bien remué l'eau, sa température fut con-

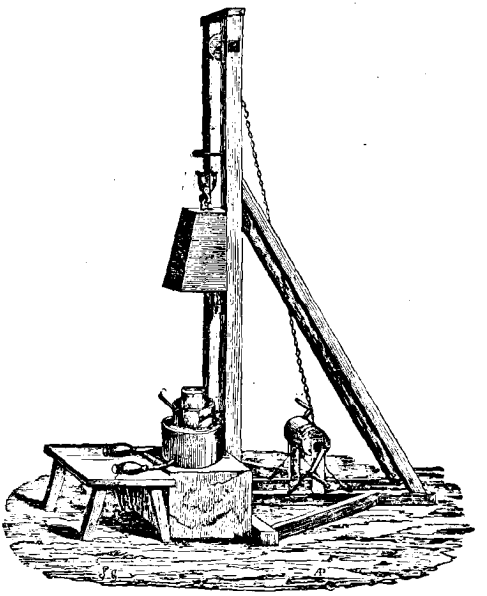


Fig. 7.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

statée avec soin. La pompe fut mise en jeu avec une vitesse modérée, pour comprimer jusqu'à 22 atmosphères environ, dans le réservoir en cuivre, l'air desséché par son passage à travers des morceaux de chlorure de calcium. Après cette opération (qui durait de 15 à 20 minutes), l'eau était agitée pendant 5 minutes, afin que la chaleur se répartît bien dans toute la masse: on lisait alors la température.

« L'accroissement de température qui était observé provenait en partie de la compression de l'air, et en partie du frottement de la pompe et du mouvement imprimé à l'eau. Pour apprécier ces dernières sources de chaleur, le tuyau d'arrivée de l'air était fermé, et la pompe mise en jeu avec la même vitesse et pendant le même temps que précédemment; l'eau était de même

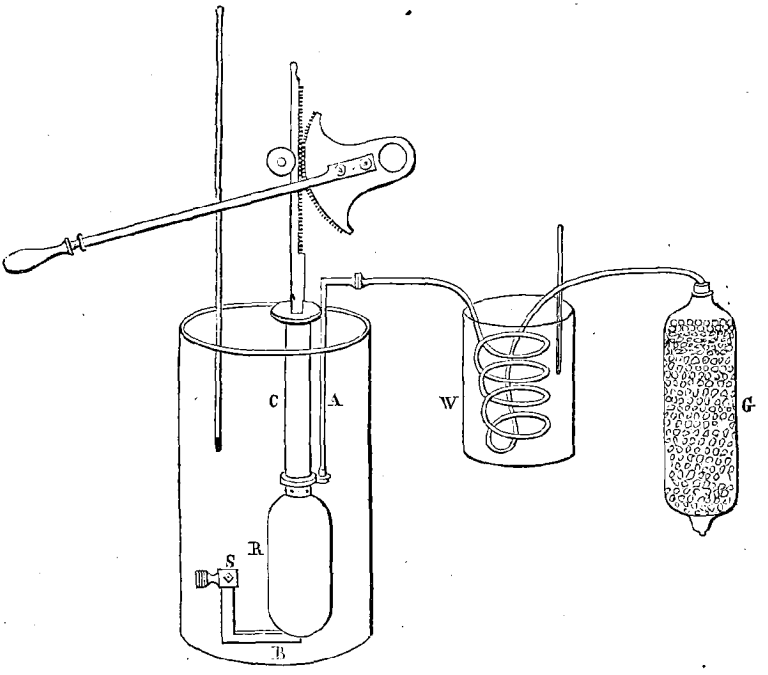


Fig. 8.

agitée. On avait ainsi l'accroissement de température dû au frottement, etc.

« Écartant alors le vase, et le réservoir étant immergé dans une cuve pneumatique, la quantité d'air comprimé qu'il renfermait a été mesurée par la méthode ordinaire, et corrigée de la tension de la vapeur, etc. Le résultat, augmenté de 136,5 pouces cubes, quantité d'air que le réservoir renfermait à l'origine donnait la quantité totale d'air comprimé.

« Le résultat qu'on en déduit est la différence entre les effets de condensation et de frottement seulement, corrigés de l'influence du réchauffement dû à l'atmosphère: il faut maintenant procéder à une autre correction, par suite de cette circonstance que le frottement du piston est considérablement plus grand pendant la compression que lors des expériences faites pour déterminer l'effet du frottement. Dans ce dernier cas, le piston travaille en faisant le vide sous lui, tandis que, dans le premier, le cuir est pressé contre le corps de pompe par la pression de l'air comprimé, c'est-à-dire d'environ 32 livres par pouce carré. Je me suis efforcé d'évaluer la différence entre le frottement dans les deux cas, en enlevant la soupape du réservoir, et faisant mouvoir le piston contre une pression d'environ 32 livres par pouce carré. Ces expériences alternées avec d'autres, dans lesquelles le vide se produisait sous le piston, ont montré que la chaleur dans les deux cas était très-approximativement dans le rapport de six à cinq. Quand la correction est ainsi calculée et le résultat soustrait de 0°,643, résultat brut, on obtient 0°,285 pour l'effet de la compression de 2956 pouces d'air sec à la pression de 30,2 pouces de mercure dans un espace de 136,5 pouces cubes.

« Cette chaleur est communiquée à 45 livres 3 onces d'eau, 20 1/2 livres de laiton et de cuivre, et 6 livres de fer étamé, ce qui revient à 13°,628 pour une livre avoir-du-poids d'eau.

« Le travail consommé pour produire la condensation peut être facilement calculé par la loi de Boyle et Mariotte, dont les Académiciens français ont reconnu l'exactitude jusqu'à la pression de 25 atmosphères. Soit un cylindre fermé par une extrémité, dont la longueur soit de 21,654 pieds et la section de 14,376 pouces carrés. Un pied de ce cylindre a exactement la même capacité que le réservoir en cuivre employé dans les expériences, et sa capacité totale est de 2956 pouces cubes.

« Il est évident par suite que la force employée à pomper (considérée indépendamment de la pression), est exactement égale à celle nécessaire pour pousser le piston *p*, depuis une course d'un pied jusqu'au fond du cylindre. Laissant de côté la pression de l'atmosphère, la force dans le piston quand il s'élève dans le cylindre est, après un pied, de 168,5 livres, poids d'une colonne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de mercure de 30,2 pouces de hauteur, et de 11,376 pouces carrés de section; et au fond elle sera 21,654 fois plus grande ou 3648,7 livres. Une aire hyperbolique *abcd* peut, par suite, représenter la force employée dans la condensation, en y comprenant la pression atmosphérique. Appliquant la formule propre à la mesure des espaces hyperboliques, on a :

$$S = 3648{,}7 \times 2{,}302585 \times \log. 21{,}654 = 11220{,}2.$$

« Le travail dépensé pour la compression est donc équivalent à celui nécessaire pour élever verticalement, à une hauteur d'un pied, un poids de 11220,2 livres.

« Comparant ce résultat avec la quantité de chaleur dégagée, on a :

$$\frac{11220{,}2}{13{,}682} = \frac{833}{1} (452 \text{ kil. mèt.}).$$

On voit encore que les effets mesurés sont peu considérables. La masse d'air est trop petite, et les effets du frottement du piston trop grands, trop difficiles à calculer exactement, pour qu'on puisse admettre le nombre 452 qu'on en déduit, plutôt que le nombre 420, déterminé d'après le frottement des liquides. Ce n'est encore qu'une approximation insuffisante.

IV. *Détente d'un gaz comprimé dans un réservoir. — Expériences de MM. Tresca et Ch. Laboulaye.* (Expériences faites au Conservatoire des Arts et métiers, en 1863.) — L'emploi des gaz permanents, entre les molécules desquels les actions intérieures sont nulles, nous offrait à n'en pas douter les conditions les plus favorables pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, surtout si on pouvait s'affranchir de résistances passives; mais il résulte de la faible densité de ces fluides, que les observations relatives aux effets mécaniques et calorifiques sont difficiles, lorsqu'on opère avec les appareils de petites dimensions des cabinets de physique; qu'elles conduisent alors presque toujours à des résultats plus ou moins inexacts, suivant le mode d'opérer, comme M. Regnault l'a montré pour l'expérience de Clément Desormes.

Il n'en est pas de même avec le réservoir de 3208 litres en forte tôle rivée que le Conservatoire des Arts et Métiers possède dans sa galerie des machines. Déjà, en se servant de cet appareil, l'un de nous a pu observer en 1859, dans des expériences qui avaient un tout autre but, des abaissements de température atteignant parfois jusqu'à 60 degrés au-dessous de zéro, en employant l'action de l'air comprimé jusqu'à 12 ou 15 atmosphères, et celle de sa détente dans un petit cylindre de machine à vapeur.

La difficulté qui devait surtout nous préoccuper étant celle de la détermination exacte de la température de toute la masse gazeuse sur laquelle nous aurions à agir, nous avons cherché à remplacer la mesure de ces températures par celle des pressions, en convertissant en thermomètre à air notre réservoir tout entier, dont la capacité est de 3 mètres cubes.

En principe général, nous nous sommes imposé la règle de puiser tous les éléments de nos déterminations dans les observations que nous pourrons faire sur les variations de pression de la masse gazeuse dans le réservoir même.

Disons comment nous avons opéré :

De l'air comprimé étant introduit dans notre réservoir, nous avons attendu jusqu'au lendemain pour qu'il ait repris la température ambiante, ainsi que le réservoir lui-même, dont tous les joints étaient fréquemment visités et rendus étanches toutes les fois que les observations nous avertissaient de l'existence de quelques fuites.

Au moment de l'ouverture d'un gros robinet, une partie de cet air s'échappait dans l'atmosphère. L'air qui se détendait dans l'appareil sans en sortir, en développant ainsi un certain travail, devait, dans l'hypothèse de l'exactitude de la théorie mécanique de la chaleur, s'être refroidi proportionnellement au travail produit.

Pour obtenir la mesure exacte de ce refroidissement, il nous a suffi, après la fermeture du même robinet, d'attendre que la température de la masse gazeuse se fût remise en équilibre avec la température ambiante. A partir du moment de cette fermeture, notre appareil fonctionnait donc comme un thermo-manomètre d'un grand volume.

Ce procédé nous offrait l'avantage d'évaluer dans leur ensemble les variations survenues, et, en n'étudiant que les phénomènes produits dans l'intérieur même du réservoir, nous n'avions à nous préoccuper en aucune façon de la complication des circonstances de l'écoulement soit à l'embouchure de l'appareil, soit dans le jet gazeux après sa sortie. La section du robinet était d'ailleurs assez petite pour que le gaz ne pût être soumis, dans l'intérieur de l'appareil, qu'à des déplacements relativement lents.

Les physiciens qui cherchent en général à observer les phénomènes à l'état *statique*, avec les avantages de la stabilité qui appartient à cet état, reconnaîtront que si elle ne peut appartenir à la mesure d'un travail mécanique, nous avons réduit, par les dispositions adoptées, les causes d'erreur. Nous reviendrons sur les avantages de la facilité que nous donne la disposition adoptée de faire les expériences par séries.

Le but de nos observations était constamment, d'une part, de déterminer la différence des températures, et par suite la dépense correspondante de la chaleur; d'autre part, de demander aux conditions de l'expérience même et au calcul que permet la connaissance des pressions et des températures de l'air, la mesure du travail développé; par suite d'obtenir ainsi le rapport du travail à la quantité de chaleur qui l'a engendré, ou l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

La description sommaire des appareils suppléera à l'insuffisance de ces premières explications.

Description des appareils.

Le réservoir destiné à contenir le gaz comprimé se compose d'une grande chaudière cylindrique en forte tôle, terminée par deux calottes hémisphériques. C'est au centre de l'une de ces calottes, et par conséquent suivant le grand axe de la chaudière, que le robinet d'écoulement R est placé (fig. 9).

Un petit orifice latéral sert à mettre le gaz en communication avec le manomètre à air libre, dans les deux branches duquel on peut observer la hauteur de la colonne du mercure.

Au milieu du corps cylindrique se trouve installée une très-bonne pompe à air comprimé B, dont le piston D peut être mis en mouvement par la transmission générale MM de la salle des expériences de mécanique du Conservatoire. Lorsque la compression est terminée, on retire la bielle motrice et l'on coiffe le cylindre de la pompe d'un couvercle en fonte C avec garniture de caoutchouc, dans le but d'éviter toute déperdition ultérieure par les clapets.

Cette installation et la machine à vapeur qui la dessert, permettent de comprimer l'air, dans le réservoir, jusqu'à 15 atmosphères; mais dans les expériences dont il s'agit ici, nous n'avons encore utilisé la détente du gaz qu'à partir d'une pression initiale de 3 atmosphères, ce maximum correspondant à la limite de notre manomètre. Nous opérons donc sur près de 10 kilog. d'air en commençant.

Lors des premiers essais, l'air introduit par la pompe était puisé dans l'atmosphère même; mais dans les expériences définitives, cet air a toujours, avant son introduction dans le réservoir, circulé lentement dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une grande cuve rectangulaire en bois, doublée de zinc, et dans deux futailles et réservoir G à la suite. Ces vases accessoires sont garnis à l'intérieur de clayonnages couverts de chaux vive, avec laquelle l'air est pendant longtemps en contact. Ils communiquent entre

Pour plus de précision, deux cathétomètres étaient en outre placés de manière à faire connaître la différence de niveau des deux colonnes du manomètre, au commencement et à la fin de chaque expérience.

On va voir que ces moyens d'observation suffisent

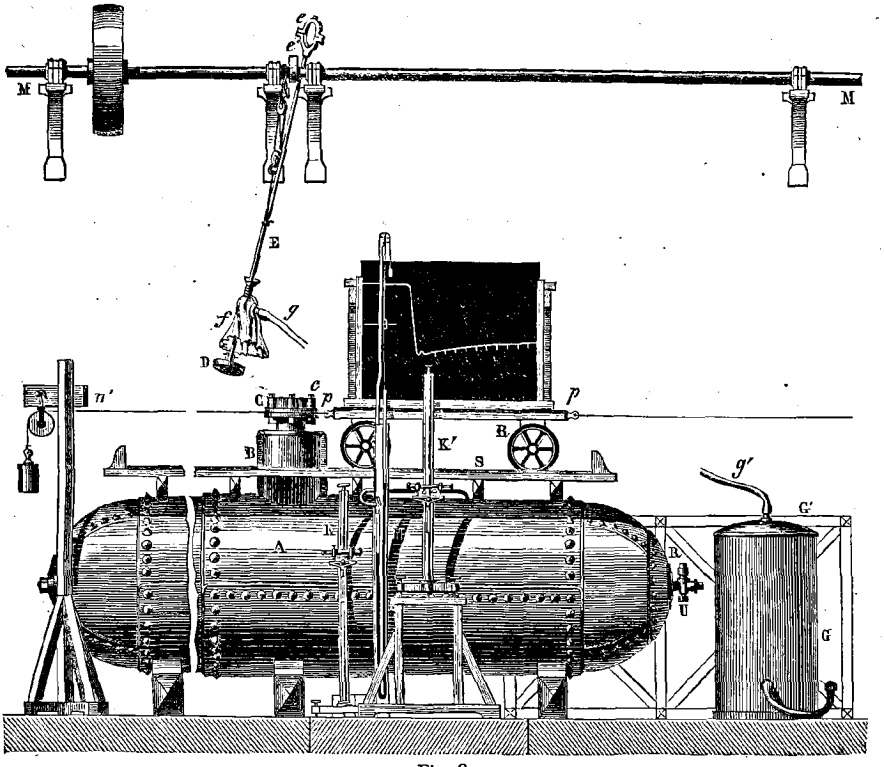


Fig. 9.

eux et avec la pompe au moyen de gros tubes en caoutchouc, et afin d'éviter toute rentrée d'air par les joints et de n'opérer absolument que sur de l'air sec, le fonctionnement même de la pompe entraîne celui d'un petit ventilateur placé en amont de la première cuve, et au moyen duquel on entretient toujours, dans les vases sécheurs, un petit excès de pression par rapport à la pression extérieure.

Pour compléter la description de l'appareil, nous ajouterons qu'un flotteur, équilibré par un contre-poids, était disposé de manière à obéir à toutes les variations de la colonne de mercure du manomètre, et qu'en faisant passer, à l'aide d'un moteur chronométrique et d'un chariot mobile, une plaque de verre enduite de noir de fumée devant une aiguille horizontale que portait le fil de ce flotteur, nous avons pu tracer, pendant les périodes d'écoulement et de réchauffement, un très-grand nombre de diagrammes. Cette aiguille est aimantée afin qu'en cherchant à obéir à l'action magnétique, elle la presse constamment contre le verre sans déterminer un frottement notable; dans nos expériences, il a été nécessaire d'aider à cette action au moyen d'un barreau énergique agissant sur l'aiguille dans le plan horizontal de sa rotation.

non-seulement pour donner la connaissance des chiffres qui doivent servir dans les calculs, mais encore pour fournir une représentation graphique de la marche des phénomènes et de l'amplitude des variations de température et de pression.

Description d'une expérience.

L'air est comprimé dans le réservoir depuis la veille; il a maintenant la température t_0 ambiante.

Les deux cathétomètres visent respectivement les deux ménisques des colonnes manométriques; les lectures faites sur les verniers indiquent, par différence, l'excès de la pression intérieure dans le réservoir, sur la pression atmosphérique H donnée par un baromètre.

Le moteur chronométrique est mis en mouvement. Le verre noirci passe devant l'aiguille du flotteur, qui y trace l'amorce d'une ligne horizontale correspondant à la pression initiale P_0 dans le réservoir.

On ouvre alors le robinet, pendant un temps très-court, l'aiguille trace sur le verre une courbe descendante, dont les abscisses sont proportionnelles aux durées de l'écoulement et dont les ordonnées représentent, à une même échelle, les pressions successives de l'air contenu dans le réservoir.

On ferme le robinet d'écoulement; le verre continue

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à se mouvoir, et l'aiguille trace une nouvelle courbe, dont le relèvement très-notable, même pour de très-petites durées d'écoulement, indique, à chaque instant, l'augmentation de la pression intérieure, résultant de la restitution de chaleur faite à la masse gazeuse par la paroi métallique, que l'on peut considérer par rapport à elle comme un réservoir indéfini de chaleur.

Au bout de six à huit minutes le réchauffement est complet, et l'aiguille trace une nouvelle horizontale à la pression finale P_2 du réservoir.

On observe de nouveau, à l'aide des cathétomètres, les niveaux du mercure au moment où les colonnes deviennent stationnaires et tout est prêt pour recommencer une nouvelle expérience dans laquelle la nouvelle pression initiale sera précisément la pression finale P_2 de l'expérience précédente, à la fin du réchauffement.

Il arrive quelquefois que l'inertie du mercure fausse un peu le tracé au commencement de la période de relèvement, mais ces anomalies cessent presque aussitôt et le tracé est ensuite d'une netteté parfaite dans toute son étendue.

On le complète d'ailleurs en marquant, de minute en minute, les abscisses correspondantes, par un léger trait fait à la main, au-dessous de l'aiguille, pendant que le verre se déplace.

Il nous est arrivé de faire ainsi jusqu'à dix expériences successives avec ce qui restait, à chaque fois, de la masse d'air primitive dans le réservoir. Ce sont ces séries d'expériences successives auxquelles nous attachons le plus de prix, parce qu'elles permettent d'éliminer les expériences défectueuses par quelque cause accidentelle, ne fournissant pas des résultats formant une série régulière. On évite ainsi de prendre des moyennes entre des nombres très-différents, sans pouvoir reconnaître ceux qui sont erronés.

Lorsque les expériences sont terminées, le verre est posé sur une table; on le recouvre d'une feuille de papier bien imprégnée, au pinceau, d'un vernis léger de gomme-laque, qui se tamise dans les pores de la feuille et qui doit à peine mouiller la face opposée destinée à recevoir l'empreinte du diagramme. Un coup de brosse rapidement donné suffit pour rendre tout le noir de fumée de verre adhérent au papier, en conservant aux lignes enlevées par l'aiguille leurs formes parfaitement exactes. On réunit jusqu'à dix courbes dans un même tableau, qui n'ont pas moins de $1^m,10$ de longueur.

Ces courbes présentent cet intérêt particulier qu'elles appartiennent à dix expériences successives, avec écoulement et réchauffement séparés les uns des autres par dix minutes d'intervalle.

Il nous a semblé qu'aucune autre indication ne pourrait mieux démontrer la réalité, et fournir la mesure du phénomène. Dans toute question où la foi scientifique est encore incertaine, on ne saurait en effet trop s'attacher à faire écrire par les faits eux-mêmes les résultats les plus frappants; après les difficultés vaincues, l'observateur est plus satisfait et il est plus sûr de lui, quand il peut conserver la preuve matérielle des faits observés. Les faits mis ainsi hors de doute peuvent en outre servir de base à une discussion plus sérieuse et plus sûre.

CALCUL DES EXPÉRIENCES.

Lois de Mariotte et de Gay-Lussac. — L'emploi de ces lois est un élément essentiel du calcul. En ne considérant que le gaz qui est resté dans l'appareil, à la fin de chaque écoulement, son volume V_1 était celui du réservoir, sa pression P_1 était indiquée par le manomètre; et cette pression devenant P_2, après complet réchauffement jusqu'à la température initiale t_0, tandis qu'elle était P_0 à la même température avant l'écoulement, on avait toujours entre les diverses quantités que nous venons d'indiquer, la relation

$$\frac{V_0 P_0}{1+\alpha t_0} = \frac{V_1 P_1}{1+\alpha t_1} = \frac{V_1 P_2}{1+\alpha t_0}, \qquad (1)$$

α étant le coefficient de dilatation. A l'aide de cette rotation, il nous est facile de déterminer le volume initial V_0 de la masse restante et sa température intermédiaire t_1 au moment où l'écoulement cesse.

Les pressions successives P_0, P_1, P_2, sont indiquées par un manomètre. La température t_0 est observée sur un thermomètre extérieur à l'appareil. La connaissance du volume V_1 résulte d'un mesurage direct.

L'évaluation des abaissements de température est dans ces expériences fort simple, puisque, d'après les formules ci-dessus, on est conduit à la relation

$$\frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t_1} = \frac{P_2}{P_1},$$

d'où l'on tire facilement et avec toute l'exactitude nécessaire:

$$t_0 - t_1 = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right), \qquad (2)$$

ce qui permet d'évaluer, sans aucune hypothèse, l'abaissement de température qui se produit pendant l'écoulement.

Voici quelques résultats calculés, à ce point de vue, pour les deux séries bien complètes, celles des 5 et 12 février:

Tableau des abaissements de température observés.

NUMÉROS des expériences dans chaque série.	VALEURS de $P_2 : P_1$	VALEURS de $t_0 - t_1$	VALEURS de $P_2 : P_1$	VALEURS de $t_0 - t_1$
	5 février.		12 février.	
1	1.03468	9°49	1.03459	9°41
2	1.05082	13.82	1.04338	11.80
3	1.05511	14.99	1.04206	11.44
4	1.04448	12.09	1.04350	11.83
5	1.04314	11.73	1.05784	10.28
6	1.05104	13.88	1.04729	14.26
7	1.04390	11.94	1.04080	11.10
8	1.02897	7.83	1.03162	8.60
9	1.02258	6.14	1.02805	7.63
10	1.01549	4.21	1.02142	5.83
	TOTAL...	105.86	TOTAL...	102.18

Il résulte des chiffres du tableau ci-joint que, dans la première de ces deux séries, la température du même air s'est, par suite des détentes successives, abaissée de 105°,86; dans la seconde, de 102°,18; et la différence entre ces deux nombres, si minime en présence de la grandeur de l'effet total, s'explique encore d'elle-même si l'on se reporte aux conditions de pression dans les deux expériences mises en regard.

Le 5 février la pression de départ était, en millimètres de mercure, de $2^m,232131$; la pression finale de $0^m,78410$.

Les chiffres correspondant pour le 12 sont: pression de départ: $2^m,27551$; pression finale: $0^m,82390$.

La détente a été plus grande dans la première série que dans la seconde, et cette différence est nettement accusée par un abaissement de température plus grand.

Détermination de la valeur de l'équivalent mécanique. — Dans chacune des nombreuses expériences qui ont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

été faites comme il vient d'être dit, il y a tout à la fois *travail produit* et *chaleur consommée* par la détente.

S'il est vrai que l'une de ces quantités soit l'équivalent de l'autre, et que l'on puisse évaluer celle-ci par celle-là en les reliant par un rapport constant $\frac{1}{A}$ que l'on appelle l'équivalent mécanique de la chaleur, on pourra former l'égalité

$$dT = \frac{1}{A} dY,$$

dans laquelle dT et dY représentent respectivement les variations élémentaires du travail en kilogrammètres et de la dépense de chaleur exprimée en calories.

Mais sans avoir à calculer directement le travail, on arrive, pour les éléments de chacune de nos expériences, à la formule:

$$\frac{1}{A} = \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\left(1 + \frac{\log. P_0 : P_2}{\log. P_2 : P_1}\right). \qquad (3)$$

Dans cette valeur de $\frac{1}{A}$ de l'équivalent mécanique de la chaleur, α est le coefficient de 0,00367 de dilatation du gaz; D est le poids du mètre cube de ce fluide à la pression de 1 atmosphère et à 0°; pour l'air atmosphérique, on sait, d'après les expériences de M. Regnault, que D = 1,293; enfin, c représente la capacité du gaz pour la chaleur à pression constante.

Démonstration de la formule. — Nous avons démontré à l'article AIR CHAUD (MACHINE A) l'exactitude de la formule de Poisson pv^γ = constante, γ étant le rapport $\frac{c}{c_1}$ des deux capacités, d'où l'on tire pour deux pressions p et p' correspondant à des volumes v et v', $\log\frac{p'}{p} = \gamma \log\frac{v}{v'}$.

Si l'on que remarque que $\frac{c}{c_1}$ est précisément égal à $\frac{c}{c - \frac{10330\,A\alpha}{D}}$, en introduisant cette valeur de γ dans l'expression ci-dessus, il vient:

$$\log\frac{p'}{p} = \frac{c\,D}{c\,D - 10330\,A\alpha}\log\frac{v}{v'}.$$

D'où l'on tire

$$\frac{1}{A} = \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\,\frac{\log\frac{p'}{p}}{\log\frac{p'}{p} - \log\frac{v}{v'}} = \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\,\frac{\log\frac{p'}{p}}{\log\frac{p'v'}{pv}},$$

ou d'après (1) $= \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\left(\frac{\log\frac{v}{v'}\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}}{\log\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}}\right)$

$$= \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\left(1 + \frac{\log\frac{v'}{v}}{\log\frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}}\right).$$

Or, pour remplacer v et t par les pressions, il suffit de se rappeler qu'en appelant P_2 la pression observée après le réchauffement, on a:

$$\frac{P_0 V_0}{1+\alpha t_0} = \frac{P_1 V_1}{1+\alpha t_1} = \frac{P_2 V_1}{1+\alpha t_0}.$$

D'où l'on tire

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{P_0}{P_2} \qquad \frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t_1} = \frac{P_2}{P_1}.$$

Et, en substituant, on arrive à la formule (3)

$$\frac{1}{A} = \frac{10330\,\alpha}{c\,D}\left(1 + \frac{\log\frac{P_0}{P_2}}{\log\frac{P_2}{P_1}}\right)$$

Résultat des expériences. — Au moyen de la formule qui précède et qui suppose l'exactitude de la loi qu'il s'agit de démontrer, on ne saurait arriver à établir celle-ci, que si, en faisant varier les différentes quantités résultant de l'observation dans de grandes limites, on trouvait, dans tous les cas, pour $\frac{1}{A}$ une valeur constante.

En fait, les différences entre les valeurs ainsi trouvées pour $\frac{1}{A}$ sont peu considérables, pour des limites de détente comprises entre une et trois atmosphères.

Les observations du 12 février donnent pour moyenne

$$\frac{1}{A} = 476.66,$$

en prenant pour c la valeur $c = 0.237$ déterminée par M. Regnault pour l'air atmosphérique.

Les deux séries antérieures conduisent respectivement aux nombres

487.49 et 482.85.

La concordance de ces chiffres est certainement très-intéressante en ce qu'elle démontre que le principe de l'équivalent mécanique de la chaleur se trouve ainsi confirmé par des faits qui apparaissent à volonté, dans des conditions déjà très-variées.

Correction. — Toutefois la valeur dont nous venons de parler pour l'équivalent mécanique de la chaleur est certainement trop grande.

Il est clair que pendant la détente l'air renfermé dans l'appareil reçoit, par radiation et par contact, une certaine quantité de chaleur du réservoir, comme dans la période proprement dite d'échauffement. Cette chaleur concourt avec celle enlevée au gaz au développement du travail de détente.

Si nous comparons sous ce rapport les deux phases principales de chaque expérience, et si nous remarquons qu'en six minutes l'échauffement produit par le réservoir rétablit l'équilibre de température, on acquerra la certitude qu'il importe de faire, ainsi que nous l'avons dit déjà, des expériences de courte durée.

Dans l'écoulement du 18 février, par exemple, qui a été prolongé sans interruption pendant vingt-cinq secondes, la quantité de chaleur que l'on a négligé d'introduire dans la formule (causant la diminution de P_2 par suite de l'excédant de gaz sorti, et l'accroissement de P_1, par la diminution du refroidissement pendant l'écoulement), est assez grande pour que la valeur de $\frac{1}{A}$ qui est déduite de notre formule générale s'élève à

$$\frac{1}{A} = 675,$$

c'est-à-dire à un nombre beaucoup plus grand que le chiffre normal. Nous laissons de côté cette valeur et quelques autres qui sont analogues et qui proviennent uniquement de déterminations faites dans le but d'étudier l'influence d'un écoulement de trop longue durée.

Mais, même dans les meilleures expériences, la cha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR.

leur introduite par le réservoir, pendant l'écoulement, doit donner lieu à une correction, qui sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus petite que la différence finale de la température, dans chaque expérience individuelle sera moindre.

Nous indiquerons d'abord comment nous avons effectué cette correction dans notre mémoire.

Remarquons d'abord que si nous désignons par T un travail quelconque résultant d'une certaine dépense de chaleur trouvée d'abord égale à Y' et que nous en ayons déduit par la relation

$$T = \frac{1}{A'} Y',$$

une première évaluation $1/A'$ de l'équivalent mécanique de la chaleur, pour un travail déterminé exactement et une évaluation trop faible de la chaleur, il suffirait de connaître avec plus d'exactitude la véritable quantité de chaleur Y à substituer à Y' pour en déduire la valeur exacte de $\frac{1}{A}$. On aurait en effet :

$$\frac{1}{A'} Y' = \frac{1}{A} Y,$$

et par suite

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A'} \times \frac{Y'}{Y}. \qquad (4)$$

La question se réduit donc à chercher dans quelle proportion la quantité de chaleur précédemment introduite dans le calcul doit être augmentée pour tenir compte de l'échauffement pendant la détente.

Or, dans nos expériences, on doit remarquer que la chaleur transmise par le réservoir, pendant cette période, peut se déduire de l'examen de la période de réchauffement.

Dans les deux phases de l'opération la même paroi, maintenue à température constante, agit sur le gaz emprisonné, dont la température varie d'abord de t_0 à t_1, puis de t_1 à t_0. Les différences de température sont ainsi comprises, dans les deux cas, entre les mêmes limites, d'ailleurs très-rapprochées l'une de l'autre.

Toutefois il n'est pas possible d'assimiler complétement les durées de ces variations, parce que le réchauffement s'opère avec une lenteur croissante à mesure que l'excès de température diminue, que la durée devient très-grande lorsque cet excès est presque nul, tandis que, lors de l'écoulement, l'intervalle de temps correspondant a été très-petit.

Pour tenir compte de cet effet, et comme les premiers moments du réchauffement sont identiques avec les derniers de la détente, nous avons cherché, d'après la courbe de relèvement, le temps n' qui correspond à la moitié de la différence $\left(\frac{t_0 - t_1}{2}\right)$ des températures, et nous avons admis que pendant les n secondes qui forment la durée de l'écoulement, le réchauffement par la paroi a lieu dans des conditions semblables à celles de cette première période.

Comme $Y' = mc'(t_0 - t_1)$, la chaleur répondant à la correction cherchée est égale à ce réchauffement réduit dans le rapport des temps, c'est-à-dire à

$$mc'(t_0 - t_1)\frac{n}{2n'}.$$

Nous écrirons donc

$$Y = Y'\left(1 + \frac{n}{2n'}\right)$$

et par suite

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A'} : \left(1 + \frac{n}{2n'}\right).$$

D'après les relevés minutieusement faits de dix courbes du 12 février on trouve $\frac{n}{n'} = 0{,}10$, ce qui conduirait à la valeur corrigée

$$\frac{1}{A} = \frac{476{,}66}{1{,}05} = 453.$$

Application de la loi de Newton. — Je n'ai jamais été satisfait de ce mode de correction dans lequel on fait une assimilation inexacte des deux périodes de réchauffement, arbitrairement déterminées, ce qui le rend peu admissible. Il est bien plus exact, à mon avis, d'appliquer la loi de Newton, de partir du petit excès de température du réservoir sur la température moyenne du gaz, pendant l'écoulement indiqué par la courbe de réchauffement, pour une *durée égale* à celle de l'écoulement. Nous donnerons le calcul de cette correction pour une série complète d'expériences faites avec écoulements minimes de deux et trois secondes seulement, les plus courtes et qui nous paraissent les meilleures que nous ayons faites.

Établissons d'abord le calcul de cette correction, qui, nécessairement très-petite dans les conditions de nos meilleures expériences (écoulement de deux secondes seulement), permet de considérer les nombres définitifs comme très-approchés de la valeur cherchée.

L'écoulement ayant lieu pendant n secondes, prenons un même intervalle de temps pour le réchauffement, mesurons sur l'abcisse de la courbe que fait tracer celui-ci, une longueur égale à celle de l'abcisse de la courbe de détente ; l'ordonnée correspondante indique une température $t_1 + \theta$. Les excès moyens de température des deux périodes, qui ont eu un instant une température commune t_1, finale pour l'un, initiale pour l'autre, sont donc, t_0 étant la température ambiante, celle du réservoir ; pour l'écoulement

$$t_0 - \frac{t_0 + t_1}{2} = \frac{t_0 - t_1}{2},$$

et pour le réchauffement pendant le même temps

$$t_0 - \frac{t_1 + t_1 + \theta}{2} = t_0 - \frac{2t_1 + \theta}{2} = \frac{2(t_0 - t_1) - \theta}{2}.$$

On peut considérer, pour de petites différences, comme celles dont il s'agit ici, la variation de température, ou ce qui est la même chose pour l'air, les quantités de chaleur communiquées au gaz dans un même temps, comme proportionnelles aux excès de température, et par suite poser, θ étant le réchauffement observé, x le réchauffement cherché

$$x : \theta :: t_0 - t_1 : 2(t_0 - t_1) - \theta ;$$

ou en mettant x sous la même forme que précédemment

$$\frac{Y - Y'}{Y'} = \theta\left(\frac{t_0 - t_1}{2(t_0 - t_1) - \theta}\right) = \theta\left(\frac{1}{2 - \frac{\theta}{t_0 - t_1}}\right) = M$$

et

$$Y = (1 + M)Y'$$

ou

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A'} : (1 + M).$$

La valeur moyenne de θ, que nous fournissent les expériences ci-après, est moindre que $\theta = 0{,}01$ pour $t_0 - t_1 = 7°$, ce qui conduit à $M = 0{,}005$, c'est-à-dire $1/10$ de la correction indiquée plus haut, pour une expérience d'une durée d'écoulement un peu plus grande. La valeur de M est très-rapprochée de $1/2\,\theta$, θ étant petit relativement à $t_0 - t_1$, et la correction est d'autant plus exacte que $t_0 - t_1$ est plus petit, que la durée de l'écoulement est moindre.

Deux séries d'expériences. — Donnons maintenant les résultats de séries d'expériences que nous considérons comme les meilleures :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SÉRIES D'EXPÉRIENCES faites sur une même masse d'air, à des intervalles suffisants pour le réchauffement complet.

Expériences du 26 février 1864.

Ecoulement 3". — Correction moyenne, 4 unités. (Les expériences ci-après montreront qu'elle est plutôt faible que forte.)

EXPÉRIENCES.	P_0	P_2	P_1	$t_0\ t_1$	RAPPORT des LOGARITHMES.	$\frac{1}{A'}$	$\frac{1}{A}$
1	2418.15	2222.75	2164.84	7.27	3.190	520.5	516.5
2	2222.75	2055.65	2004.94	6.48	3.129	512	508
3	2055.65	1886.65	1835.34	7.60	3.105	509	505
4	1886.65	1739.25	1693.50	7.33	3.055	493	489
5	1739.35	1602.95	1557.69	7.38	3.050	492.2	488.2
6	1602.95	1462.45	1412.46	9.62	2.638	451	447
7	1462.45	1349.25	1312.22	7.68	2.894	482.3	478.3
8	1349.25	1251.95	1221.29	6.82	3.020	498.4	494.4
9	1251.95	1159.55	1128.02	7.60	2.790	470	466
10	1159.55	1078.25	1049.79	7.37	2.717	461	457
11	1078.25	1009.25	984.60	6.84	2.675	455	451
12	1009.25	949.85	927.85	6.45	2.587	446.7	442.7
13	949.85	892.35	872.19	6 29	2.732	462.5	458.5
14	892.35	843.45	828.08	5.05	3.065	503.4	499.4
15	843.45	806.25	791.95	4.98	2.486	431.5	426.5
16	806.25	779.45	771.41	2.88	3.261	528.4	524.4
17	779.45	763.05	757.78	1.90	3.256	527	523
					Valeur moyenne de $\frac{1}{A}$		480.9

Expériences du 11 mars 1864.

Température extérieure, 12°. — Pression barométrique, 757mm. — Durée de l'écoulement, 2".

EXPÉRIENCES.	P_0	P_2	P_1	$t_0 - t_1$	RAPPORT des LOGARITHMES.	$\frac{1}{A'}$	CORRECTION	$\frac{1}{A}$
1	2295.87	2155.57	2119.82	4.62	3.19	591	(1)	
2	2155.57	2022.51	1981.87	5.58	3.139	513	$\theta = 0.0076$	511 (2)
3	2022.51	1903.67	1862.10	5.98	2.679	456	$\theta = 0.006$	454.60
4	1903.67	1798.07	1762.71	5.70	2.799	471.07	$\theta = 0.011$	468.5
5	1798.07	1703.07	1672.83	4.90	3.03	489.72	$\theta = 0.0094$	485.3
6	1703.07	1601.11	1570.29	5.33	3.175	517	$\theta = 0.0095$	514.5
7	1601.11	1509.03	1478.34	5.63	2.883	481.49	$\theta = 0.0036$	480.5
8	1509.03	1416.13	1384.24	6.87	2.79	470	$\theta = 0.0099$	467.4
			Valeur moyenne des sept dernières. . . .			485.47		483
			ÉCOULEMENT DE 3″ POUR LES FAIBLES PRESSIONS.					
9	1420.85	1312.79	1276.77	7.62	2.843	476.16	$\theta = 0.013$	473.30
10	1312.79	1219.85	1188.41	7.18	2.811	472.46	$\theta = 0.015$	469.10
11	1219.85	1126.47	1094.43	7.97	2.761	466.36	$\theta = 0.016$	462.60
12	1126.47	1050.69	1023.99	7.26	2.706	459.54	$\theta = 0.013$	456.30
13	1050.69	980.29	955.33	7.10	2.514	435.73	$\theta = 0.013$	432.90
14	980.29	914.15	890.73	7.15	2.692	457.80	$\theta = 0.0076$	455.50
15	914.15	863.29	845.42	5.84	2.737	463.38	$\theta = 0.008$	461.10
					Valeur moyenne.	461.63		458.7

1. Courbe de la première expérience défectueuse au début du réchauffement.

2. Les valeurs de θ sont fournies par les ordonnées de la courbe de réchauffement indiquant l'accroissement de pression et la correction calculée au moyen de la formule donnée ci-dessus. Ainsi, pour la deuxième expérience, l'accroissement d'ordonnée après deux secondes est 0mm.55, d'où $\theta = 273 \left(\frac{2022.51}{2023.04} - 1 \right) = 0.0073$, et par suite $M = 0.0073 \times 0.5003 = 0.0037$. L'irrégularité du commencement de la courbe de réchauffement, par suite de l'inertie du mercure du manomètre, empêche une détermination très-précise de θ, ce qui n'a qu'un faible inconvénient à cause de sa petitesse — Nous prenons pour les dernières expériences $M = \frac{1}{2}\theta$, ce qui ne fait pas de différence appréciable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces deux séries d'expériences, les secondes surtout faites avec des écoulements très-courts et pour lesquelles j'ai relevé avec soin sur les courbes les valeurs de θ, sont suffisantes pour montrer la valeur d'un mode d'expérimentation qui me semble excellent.

Les résultats les plus certains nous conduisent à

$$\frac{1}{A} = 483,$$

comme à un nombre sûrement plutôt faible que fort, car on néglige le mouvement vibratoire mécanique qui se produit dans la masse gazeuse et que montre bien le puissant ronflement que le gaz fait en sortant. Il est bien évident, d'après le mode d'expérimentation, que l'observation ne peut que tendre à constater la pression réelle sans pouvoir jamais l'atteindre, et que par suite le nombre trouvé est nécessairement un peu petit.

Et cependant, celles de M. Joule, qui conduisent au nombre 424, ne peuvent donner qu'un nombre plutôt trop fort que trop faible, puisque la quantité de travail employée pour agiter de l'eau, par exemple, était toujours bien connue, formait le point de départ de ses expériences, tandis que la quantité de chaleur était difficilement observée, que les nombres obtenus par l'observation ne pouvaient être que plus faibles que les nombres réels; par suite le nombre 424 résultant du rapport du travail mécanique à la chaleur ne saurait être trop petit; il est plutôt nécessairement trop grand.

On doit conclure sans aucune hésitation que le nombre 483 est inadmissible, et cependant il résulte d'une série d'expériences faites dans les meilleures conditions que la science indique. Ce ne peut être que dans l'interprétation des nombres observés qu'il y a une erreur, dans la formule qui conduit à la valeur de $\frac{1}{A}$. Or, dans cette formule tout paraît indiscutable, sauf la valeur de c, de la chaleur spécifique du gaz à pression constante, trouvée par M. Regnault, égale à 0,237 pour l'air. Or, comme je l'ai déjà dit à CHALEURS SPÉCIFIQUES (et c'est l'attentive considération de la difficulté que je viens d'indiquer qui m'a conduit à faire une distinction fort délicate), le nombre 0,237, déterminé par M. Regnault, n'est pas la valeur de la chaleur spécifique à pression, mais celle de c_1, de la *chaleur spécifique à volume constant*. C'est donc en partant de celle-ci qu'il faut faire le calcul, en établissant une formule un peu différente de celle donnée plus haut.

En conservant les mêmes notations, P_0 étant la pression initiale, P_1 la pression finale, P_2 la pression après le réchauffement; V_0 le volume initial de la masse d'air, qui devient V_1 après l'écoulement, de telle sorte que $P_0 V_0 = P_2 V_1$ d'après la loi de Mariotte, on a d'après la formule de Poisson:

$$P_1 = P_0 \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{c}{c_1}}, \qquad (5)$$

ou en prenant les logarithmes et d'après la relation ci-dessus:

$$\log \frac{P_1}{P_0} = \frac{c}{c_1} \log \frac{P_2}{P_0}. \qquad (6)$$

Nous avons vu à chaleurs spécifiques que

$$c = c_1 + \frac{10330\,A\alpha}{D}$$

faisant disparaître c de la formule (6), elle devient

$$\log \frac{P_1}{P_0} = \left(1 + \frac{10330\,A\alpha}{c_1 D}\right) \log \frac{P_2}{P_0},$$

d'où enfin

$$\frac{1}{A} = \frac{10330\,\alpha}{c_1 D} \left(\frac{\log \frac{P_2}{P_0}}{\log \frac{P_1}{P_0} - \log \frac{P_2}{P_0}} \right). \qquad (7)$$

Appliquons cette formule aux sept expériences du 7 mars, faites avec des écoulements de 2" seulement, évidemment les plus satisfaisantes.

Expériences du 11 mars (de 2 à 8).

EXPÉRIENCES.	P_0	P_2	P_1	$\log P_2 - \log P_0$	$\log \frac{P_1}{P_0} - \log \frac{P_2}{P_0}$	RAPPORT.	VALEUR DE $\frac{1}{A}$
2	2155	2022	1981	— 0.02767	— 0.00098	3.11	385.64
3	2022	1903	1862	— 0.02634	— 0.00946	2.784	345.21
4	1903	1798	1762	— 0.02865	— 0.00912	2.52	312.50
5	1798	1703	1672	— 0.02358	— 0.00797	2.957	366.67
6	1703	1601	1570	— 0.02682	— 0.00849	3.18	390.32
7	1601	1509	1478	— 0.02570	— 0.00902	2.787	345.58
8	1509	1416	1384	— 0.02763	— 0.00992	2.787	345.58
					Valeur moyenne de $\frac{1}{A}$.....		356

Le nombre 356, ou avec les corrections trouvées 354, est donc celui qui résulte des expériences, qui, comme je l'ai dit, ne peuvent donner que des nombres un peu inférieurs au nombre réel, et ne peuvent avoir que le degré d'exactitude que l'on peut avoir avec des phénomènes étudiés à l'état *dynamique*, qui ne peut être celle d'expériences faites à l'état *statique*. Une moyenne générale est difficilement exacte à plus de la différence de moins de 5/100 qui sépare le résultat obtenu du nombre 370 trouvé par une autre voie (voy. CHALEURS SPÉCIFIQUES), nombre atteint dans plusieurs expériences.

On ne doit pas, il nous paraît, hésiter à considérer ces expériences comme confirmant ce nombre, aussi bien que l'exactitude des considérations exposées ci-dessus sur la véritable interprétation des expériences de M. Regnault, sur les chaleurs spécifiques des gaz.

Nous concluons donc que le nombre 370 est la *valeur véritable* de l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

2e *Système de détermination de la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur.*

Dans les expériences qui précèdent, on cherche, en général, à déterminer la quantité de chaleur qu'engendre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une quantité de travail connu; nous dirons quelques mots du procédé inverse qui consiste à chercher le travail engendré par une quantité de chaleur connue, et cela plutôt pour compléter cette étude que pour atteindre un résultat qui nous semble établi par ce qui précède.

Action de la chaleur pour engendrer un travail mécanique.

1° *Sur les gaz permanents.*

L'action de la chaleur sur les gaz permanents produit deux effets, l'échauffement de leurs molécules qui constitue leur chaleur spécifique à volume constant, et un travail mécanique mesuré par la dilatation sous une pression déterminée qui consomme une quantité de chaleur équivalente, obtenue en divisant l'expression de ce travail par l'équivalent mécanique de la chaleur et qui est égale à la différence des deux capacités.

La connaissance d'une des capacités et d'une relation entre ces deux capacités permettant d'en déduire leur différence, fournit donc un moyen de déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. C'est un semblable calcul qu'a fait R. Mayer, le fondateur de la théorie de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur, et, chose remarquable, en admettant pour l'air une valeur erronée de $\frac{c}{c_1} = 1{,}421$ déduite par Dulong d'expériences sur les tuyaux d'orgues, et une valeur également erronée de $c = 0{,}2630$ déterminée par Delaroche et Bérard, il est arrivé à une valeur de $\frac{1}{A} = 367$ très-approchée, par une heureuse compensation d'erreurs.

C'est en persévérant dans une voie analogue que M. Regnault a dirigé ses recherches, en se proposant de déduire $\frac{c}{c_1}$ d'expériences sur la vitesse du son, parce que ce facteur entre dans une formule donnée par Laplace sur la vitesse du son dans l'air. Or, il n'est vraiment pas admissible de déduire ainsi, par voie indirecte, un des nombres fondamentaux de la physique, en se servant d'une formule mathématique qui n'explique probablement pas complétement le phénomène complexe de la transmission du son.

2° *Sur les solides et les liquides.*

La séparation de la chaleur de dilatation et de la chaleur d'échauffement dans les solides et les liquides, l'évaluation des efforts surmontés pendant la dilatation est encore trop imparfaite pour qu'on puisse déduire la valeur de l'équivalent mécanique de la connaissance de l'action de la chaleur sur les solides et les liquides. C'est au contraire la connaissance de l'équivalent qui peut permettre aujourd'hui d'avancer quelque peu dans la voie de l'analyse des phénomènes qui s'y accomplissent.

3° *Sur les vapeurs.*

Une curieuse série d'expériences a été faite sur les vapeurs, qui mérite toute l'attention des ingénieurs, non au point de vue de la détermination de l'équivalent mécanique, mais parce qu'elle permet l'analyse des phénomènes qui se passent dans la machine à vapeur. Elle est due à M. Hirn et part d'une expérience qui vient confirmer de tout point le mode de raisonnement employé à l'article MACHINE A VAPEUR, démontrer expérimentalement un principe qui nous paraissait indispensable pour l'explication des faits. Elle est tout à fait capitale et nous devons la consigner ici.

Il a vu (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*), que si l'on fait passer de la vapeur dans un tube A (fig. 10), garni à ses deux extrémités de deux verres *l* qui se correspondent, la vapeur est parfaitement transparente tant qu'elle passe à travers le tube, et aussi lorsqu'on ferme les robinets de sortie, puis d'entrée. Si, alors, on vient à ouvrir brusquement le robinet de la sortie de la vapeur dans l'air, il se produit instantanément un brouillard très-épais. D'où cette conséquence que, par la détente, de l'eau se précipite, que la vapeur qui se détend reste toujours saturée. Les chiffres de M. Regnault, qui indiquent que la vapeur contient d'autant plus de chaleur qu'elle est à une pression plus élevée, ne prouvent pas, comme on l'avait conclu à tort dans la manière de raisonner qui était admise jusqu'ici, que dans la détente la vapeur demeure surchauffée. La détente entraîne une consommation de chaleur telle qu'il se produit non-seulement une diminution de température, de pression, comme pour les gaz, mais, de plus, précipitation d'eau; expérience qui, soit dit en passant, montre toute l'importance du rôle des enveloppes, qui ont pour fonction essentielle de vaporiser l'eau précipitée.

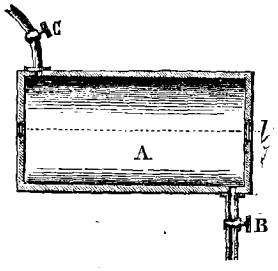


Fig. 10.

Expériences directes avec la machine à vapeur.

La machine à vapeur, comme toute machine à feu, doit fournir le moyen d'obtenir expérimentalement, et par l'utilisation des données physiques connues convenablement appliquées, une valeur des éléments du travail dû à la chaleur, et de plus fournir la confirmation directe des conceptions théoriques, de l'exactitude de la notion d'équivalent mécanique de la chaleur. En effet, en suivant le travail d'une machine à feu, d'une machine à vapeur, on pourrait mesurer la chaleur qui en sort par le condenseur, et celle dispersée extérieurement par le refroidissement, la comparer avec la quantité fournie par le foyer, et mesurer en même temps le travail produit par la machine. Si la quantité de chaleur qui disparaît dans la machine diminue proportionnellement au travail produit, le rapport de ces deux quantités sera la valeur même de l'équivalent mécanique de la chaleur, en même temps que le phénomène même prouvera l'exactitude de la nouvelle théorie, la réalité de la transformation de la chaleur en travail.

Ces expériences peuvent être faites de deux manières.

La première consisterait à employer une machine de petites dimensions, pour laquelle tous les éléments de calcul s'évalueraient avec grande facilité. Le chauffage au gaz de la chaudière, l'évaluation des résistances passives à l'aide de la manivelle dynamométrique (la machine étant assez petite pour qu'on puisse la faire marcher à bras, sans vapeur), et enfin l'emploi du travail produit pour faire surmonter à la machine une résistance constante, consistant, par exemple, à élever à une certaine hauteur l'eau du condenseur : tels sont les éléments qui faciliteraient l'étude des phénomènes qui se passeraient dans une petite machine pouvant permettre des détentes de 15 à 20 fois le volume primitif. Toutefois, le faible poids de la vapeur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

employée, et par suite l'influence du refroidissement extérieur, dont l'effet serait comparable à la quantité de chaleur à mesurer, rendrait ces observations peut-être inférieures à celles dont il va être parlé. Elles auraient toutefois une véritable importance à cause de la possibilité de calculer exactement la chaleur produite dans le foyer, ce qui force à se contenter de l'évaluation de la quantité de vapeur saturée, plus ou moins chargée d'eau, produisant par action directe la majeure partie du travail total, d'où autant de difficultés pour parvenir à des résultats précis.

La seconde manière d'opérer consiste à suivre pendant longtemps les circonstances du travail de puissantes machines. La grandeur des machines, et surtout la longue durée des observations amoindrissent les variations qui peuvent se produire et permettent à un habile observateur d'obtenir des résultats un peu exacts, parce que les chiffres sur lesquels on opère sont assez grands. En tout cas, nous n'avons à ce jour d'observations que dans cette voie. Elles prouvent parfaitement la disparition d'un nombre considérable de calories par la détente, et par suite la réalité de la loi physique due aux recherches des savants.

Les expériences dues à M. Hirn ont été faites avec : une machine de Watt, à un cylindre ; une machine de Wolf, à deux cylindres ; avec la vapeur saturée ; avec la vapeur surchauffée jusque vers 340°.

La difficulté des observations de phénomènes aussi complexes est facile à apprécier, et on comprend aisément tous les soins nécessaires pour arriver à quelque précision. Nous renverrons pour leur exposition détaillée à l'ouvrage du savant ingénieur et dirons seulement que M. Hirn a constaté des disparitions de 30 à 40 calories par coup de piston, et qu'il est arrivé à des valeurs de l'équivalent mécanique variant de 296 à 337^{km}, qui ne peuvent, obtenues dans des conditions complexes, être considérées comme d'une grande précision.

Conclusion.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces expériences et terminerons en répétant que la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur nous semble devoir être fixée, avec une grande précision, à 370^{km}. C'est ce nombre que nous employons toujours dans cet ouvrage.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ. — L'électricité produisant de la chaleur et la chaleur de l'électricité, les deux phénomènes se convertissant l'un dans l'autre, l'équivalence de l'électricité avec la chaleur (et par suite avec le travail mécanique) doit résulter d'expériences dans lesquelles se réalise le genre de transformation dont nous venons de parler. Sans que la question soit entièrement résolue, on peut dire que les résultats déjà obtenus ne laissent plus aucun doute sur la vérification expérimentale de cette importante loi naturelle. Nous rappellerons ici deux principales séries de travaux sur ce sujet.

Le premier est celui de M. Pouillet qui, après avoir cherché à définir l'unité de quantité d'électricité en mesurant, à l'aide de la boussole des sinus, l'intensité du courant qui parcourt pendant l'unité de temps l'unité de section d'un fil qui a l'unité de longueur, a trouvé cette vérification : que la quantité d'eau décomposée par le courant était constante pour un même produit de l'intensité, mesurée comme il est dit ci-dessus, par le temps pendant lequel agit le courant.

On pourra déduire de ce résultat l'équivalent de l'électricité et du calorique, car il existe une relation intime entre la quantité d'électricité et la quantité de chaleur produite par la combustion de l'hydrogène et de l'oxygène rendus libres. (Voy. PRODUCTION DE LA CHALEUR.)

Au lieu de prendre la quantité d'eau décomposée en un temps donné par un courant comme mesure de la quantité d'électricité, et d'en conclure la correspondance avec la chaleur, on peut employer directement l'électricité à produire de la chaleur et connaître ainsi la quantité de cette dernière produite par la quantité d'électricité dégagée par une action chimique déterminée, l'oxydation d'un gramme de zinc par exemple.

M. de la Rive avait annoncé que la somme des quantités de chaleur dégagées dans l'intérieur de la pile et dans le circuit fermé, pour une même action, formaient toujours une quantité constante. M. Favre, en vérifiant et prouvant la vérité de cette loi à l'aide du calorimètre qui lui avait servi pour ses expériences avec M. Silbermann, a donné des chiffres qui permettent d'établir numériquement cette correspondance. Il a trouvé que pour 1 gramme d'hydrogène dégagé, correspondant à 33 grammes de zinc oxydé, la chaleur totale produite était toujours de 18^{cal},640. Il y a donc constance à la fois dans l'électricité qui répond à une même décomposition chimique et dans la quantité de chaleur produite par la neutralisation de cette électricité.

On voit, en résumé, que les effets calorifiques et les effets électriques se substituent les uns aux autres, suivant une loi manifeste d'équivalence. Voyons comment on est parvenu à traduire pratiquement ce résultat théorique.

PRODUCTION DE TRAVAIL PAR L'ÉLECTRICITÉ

Moteurs électro-magnétiques.

Nous avons exposé dans l'introduction et à l'art. TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE le véritable point de vue auquel on doit se placer pour étudier ces moteurs ; comment, très-précieux comme moyens instantanés de communication de mouvement et pouvant de ce chef fournir de curieuses et intéressantes applications, les forces électro-magnétiques ne sauraient être mises en parallèle avec la chaleur, au point de vue de l'économie. M. Tresca a fait, lors de l'exposition de 1855, des expériences sur les machines exposées. Nous rapporterons les résultats obtenus sur les deux meilleures et les comparerons à la machine à vapeur à l'aide de la relation indiquée ci-dessus.

La machine de M. Larmenjeat est disposée ainsi : des électro-aimants circulaires mobiles restent constamment en contact avec des armatures en fer doux en forme de galets : les électro-aimants et les galets roulent les uns sur les autres.

La machine de M. Roux est à aimants circulaires fixes et armatures en fer doux oscillantes.

On a d'abord reconnu que la machine de M. Larmenjeat, qui fonctionne avec les armatures en contact, a produit plus d'effet utile que les autres, à égalité de couples employés et lorsque la surface de ces couples n'a pas dépassé 3^{d},40 carrés. Néanmoins, dans ces conditions, elle a exigé la consommation de 60 grammes de zinc par kilogrammètre et par heure, soit 4^{k},5 par cheval de force. C'est donc en négligeant le prix des acides (le zinc à 70 c. le kilog.), 3^{f},15 par cheval et par heure

La machine de M. Roux, qui avait donné 6^{k},640 de zinc consommé par cheval et par heure avec les mêmes couples, a présenté de meilleurs résultats en employant des éléments dans lesquels la surface totale de zinc immergé dans la pile était de 21 décimètres carrés ; alors elle a consommé seulement 2^{k},200 de zinc par cheval et par heure, c'est-à-dire à peu près 1 fr. 50 c. pour cette force pendant ce temps. Ces expériences prouvent qu'on aurait avantage, pour abaisser le prix de revient de la force donnée par les électro-moteurs, à faire usage de couples voltaïques de plus grandes dimensions que ceux employés jusqu'ici et en moins grand nombre, tout en augmentant le diamètre des fils qui entourent les électro-aimants.

La notion d'équivalence de l'électricité avec la cha-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur, et par suite le travail, permet d'analyser la valeur de ces diverses machines. On voit combien le travail produit est coûteux, combien on est loin du prix de 2 ou 3 kilog. du charbon que coûte, à l'aide de la machine à vapeur, la force du cheval-vapeur, qui est, en prenant le prix moyen de 30 fr. les 1,000 kilog., soit 0,03 le kilog., de 6 cent.

Nous décrirons, avec quelques détails, la machine de M. Roux, remarquable par la simplicité de ses dispositions.

E est un électro-aimant trifurqué (dans lequel le fil conducteur donne au centre un pôle de signe contraire de ceux des deux pôles extrêmes). Au-dessus est suspen-

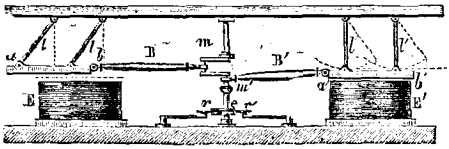


Fig. 1.

due, par des leviers articulés *l l'* (fig. 1), une large plaque de fer doux *a b*, qui, s'abaissant quand elle est attirée, s'avance en même temps horizontalement. Elle agit, par l'intermédiaire de la bielle B, sur la manivelle *m*, adaptée à l'arbre d'un volant. Quand elle est complétement abaissée, une autre plaque semblable *a' b'*, sur laquelle agit un autre électro-aimant E', est disposée comme *a b*, se trouve soulevée et repoussée vers la droite, par l'action de la manivelle *m'* et de la bielle B'. En cet instant, le courant est supprimé en E et dirigé en E', la plaque *a' b'* s'abaisse, et la plaque *a b* est soulevée et repoussée, et ainsi de suite. Pour faire passer le courant alternativement dans les électro-aimants E et E', l'arbre porte un excentrique métallique *e*, qui communique avec l'un des électrodes de la pile, et va presser alternativement des galets *r*, *r'*, montés sur des ressorts qui communiquent avec le fil des électro-aimants. Les centres polaires développés dans les plaques *a b*, *a' b'* changeant de place pendant leur mouvement, on voit qu'il faut que ces plaques soient faites en fer bien doux.

Il a été dit dans l'INTRODUCTION quelle énorme infériorité, au point de vue de l'économie, offraient les machines électro-magnétiques qui consomment du zinc et des acides, relativement à la machine à vapeur qui est alimentée avec de la houille.

La véritable question à étudier aujourd'hui et qui permettrait, même avec les machines existantes, d'abaisser le prix de revient de l'effet utile, c'est celle qui a trait à la production économique de l'électricité, voie dans laquelle on progresse chaque jour. Ce n'est que lorsque les recherches y auront conduit par l'analyse complète et la mesure de tous les phénomènes qui se rattachent à la pile, et surtout qu'on pourra amener de loin l'électricité produite à bon marché par des moteurs naturels (voy. TRANSMISSION), qu'il sera raisonnable de s'occuper de machines électro-motrices dont le travail soit constamment applicable dans certains cas déterminés, non à cause du bon marché, mais à cause de la facilité de leur emploi, de la délicatesse intelligente, en quelque sorte, de leur action. Jusque-là, il y a peu à s'intéresser à des dispositions de mécanismes que l'on peut varier à l'infini, sans utilité réelle.

PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR TRAVAIL MÉCANIQUE.

Machines Dynamo-électriques.

Les machines les plus intéressantes à étudier aujourd'hui, celles qui paraissent les plus propres notamment à conduire à la véritable valeur de l'équivalent mécanique de l'électricité, sont celles qui permettent de convertir le travail mécanique en électricité. Nous passerons en revue les nombreuses machines qui ont vivement excité l'attention publique à l'Exposition de 1867, après avoir décrit la première machine réussie de cette nature, celle de l'Alliance, qui a conduit à la solution du problème de l'éclairage des phares par l'électricité dans d'admirables conditions, comme il a été dit à l'article ÉCLAIRAGE.

Machines de l'Alliance. — Nous avons résumé dans l'introduction les grandes découvertes du dix-neuvième siècle sur l'action des courants électriques sur l'aiguille aimantée et les phénomènes d'INDUCTION, d'où Faraday déduisit la production d'un courant par le mouvement d'un corps conducteur entre les pôles d'un aimant, phénomène capital faisant intervenir le mouvement dans la production de l'électricité, qui donna naissance à des machines où ce phénomène fut produit d'une manière commode, aux machines de Pixii et de Clarke qui vinrent prendre place dans les cabinets de physique.

La première tentative de construction d'une machine magnéto-électrique, destinée à la production industrielle de l'électricité, paraît remonter vers l'année 1849. Dès cette époque, M. Nollet, professeur de physique à l'École militaire de Bruxelles, se proposa de construire la machine de Clarke sur une grande échelle et en multipliant les éléments qui la constituent. Une compagnie anglo-française fut formée pour préparer de l'hydrogène par la décomposition de l'eau et s'en servir pour l'éclairage, pour lequel il eût mieux valu distiller la houille servant à alimenter la machine motrice. Malgré la mort de M. Nollet, la compagnie formée, dite l'*Alliance*, poursuivit ses travaux, secondée par l'habileté du contre-maître collaborateur de M. Nollet, M. Joseph Van Malderen, et se proposa d'exploiter la lumière électrique produite directement par l'arc voltaïque, dont l'application aux phares permettait d'espérer un emploi rémunérateur.

La machine de l'Alliance, représentée fig. 2, est

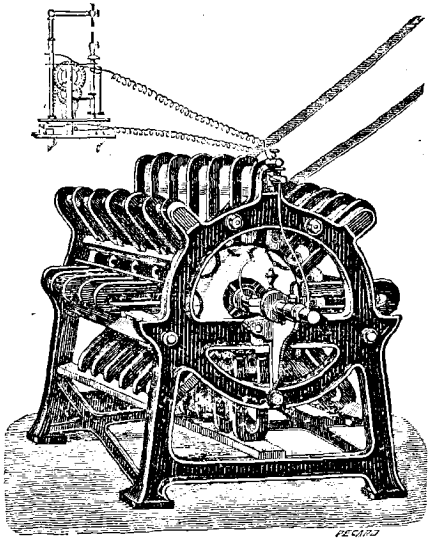


Fig. 2.

disposée de manière à permettre de multiplier les bobines et les aimants de la façon la moins encombrante pos-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sible. Les bobines sont rangées régulièrement, au nombre de seize, sur une roue en bronze, et y sont maintenues solidement par de forts colliers. Ce disque tourne entre deux rangées d'aimants en fer à cheval, supportés parallèlement au plan du disque par un bâti spécial, qui ne présente que du bois au voisinage des aimants. Chaque rangée d'aimants en compte huit, présentant seize pôles régulièrement espacés; il y a donc autant de pôles que de bobines, et, quand l'une d'elles se trouve en face d'un pôle, les quinze autres doivent se trouver dans la même position.

On peut multiplier dans une même machine le nombre des disques en les montant sur un même arbre, ainsi que le nombre des rangées d'aimants en les montant sur le même bâti; on ne dépasse pas généralement le nombre de six disques; les machines deviennent trop longues et des flexions empêchent de remplir la condition essentielle de faire passer les bobines aussi près que possible des pôles des aimants, mais sans les toucher.

Les extrémités des fils des bobines viennent se fixer à des plateaux de bois assujettis sur la roue en bronze, et là on les assemble soit en tension, soit en quantité, comme les conducteurs d'une pile. L'un des pôles du courant total aboutit à l'arbre qui se trouve en communication avec le bâti par l'intermédiaire des coussinets; l'autre pôle aboutit à un manchon concentrique à l'arbre, isolé de lui par du bois ou du caoutchouc durci; ce manchon, entraîné par l'arbre, roule dans un coussinet qui lui-même est isolé électriquement du bâti; le courant se recueille donc, d'une part, sur ce coussinet, de l'autre sur un point quelconque de la portion métallique du bâti.

Nous avons vu à ÉCLAIRAGE quelle abondance de lumière était obtenue avec cette machine, qui semble indiquer qu'elle opère la conversion parfaite du travail en électricité. M. Leroux a fait avec elle une expérience curieuse, qui lui a donné une calorie dégagée dans les fils (mesurée au calorimètre) pour 458 kilogrammètres de travail moteur, c'est-à-dire que le rendement réel ne serait inférieur que de 1/5 à peine au rendement théorique. Nous avons vu combien la conversion inverse était au contraire imparfaite, et que, comme l'a fort bien dit M. Dumas, il est aussi peu logique, dans l'état actuel de la science, de chercher à convertir l'électricité en force mécanique, qu'il le serait de convertir le diamant en charbon. Mieux vaut faire l'inverse.

Machines de Wilde et de Ladd. — On est parvenu d'une manière encore plus merveilleuse à transformer le travail mécanique en électricité, en agissant plus directement en quelque sorte, en se passant des aimants, ou ne les employant qu'accessoirement. Un physicien anglais, M. Wilde, a fait dans cette direction une découverte d'une grande valeur. Il s'est dit que les courants obtenus par la rotation de la machine pouvaient être employés à produire un électro-aimant, si on les lançait dans une bobine enroulée autour d'un morceau de fer doux et créer ainsi un électro-aimant plus puissant que l'aimant permanent qui donne naissance à ces courants. L'expérience confirme cette prévision. Avec quatre petits aimants pesant chacun une livre et pouvant porter ensemble un poids de 20 kilog., l'habile physicien obtint un électro-aimant qui portait 500 kilogrammes. Cette augmentation de pouvoir attractif peut être poussée beaucoup plus loin par un choix convenable des dimensions relatives de toutes les parties de la machine, puisque ce magnétisme est produit par le travail mécanique dont on peut faire croître la quantité indéfiniment.

Il était naturel de chercher si le gros électro-aimant obtenu par ce procédé ne pourrait pas servir à son tour à la production d'un courant très-intense dans une armature que l'on ferait tourner entre ses pôles. Cette expérience a réussi aussi bien que la première. L'électro-aimant, avec son armature, forme une seconde machine semblable à la première, mais de dimensions beaucoup plus grandes. On pose la petite sur la grande, de manière qu'elles forment ensemble deux étages, l'étage supérieur étant le diminutif de l'étage inférieur. L'aimant d'en haut (ou plutôt la rangée d'aimants parallèles, réunis en faisceau, que M. Wilde emploie pour la machine supérieure) porterait environ 160 kilogrammes; l'électro-aimant du dessous, qui puise cependant sa force dans les courants engendrés par l'aimant supérieur, en porte 5,000. Les courants qu'il engendre à son tour sont d'une intensité proportionnelle à son pouvoir portant. La même machine à vapeur, d'une force de trois chevaux, fait tourner les armatures des deux étages avec une vitesse de trente tours par seconde. Toute cette machine tient dans un mètre carré et ne pèse guère plus de 1,500 kilogrammes. Le modèle dont nous parlons est celui qui a été adopté par la Commission des phares de l'Écosse et qui doit servir à l'éclairage électrique. M. Wilde en a construit d'autres à trois étages. Dans ces appareils, l'électricité, élevée à la troisième puissance, fait fondre sur une longueur de près de 40 centimètres une baguette de fer forgé de 6 millimètres d'épaisseur, et sur une longueur de 2 mètres un fil de 1 millimètre. Dans ce formidable torrent de chaleur, les métaux les plus réfractaires fondent en un clin d'œil.

Le pouvoir éclairant de la machine Wilde n'est pas moins extraordinaire. Dans une expérience on plaça sur un toit élevé une lampe électrique garnie de deux crayons de charbon de 12 millimètres de côté, et on la mit en rapport avec une machine à triple effet. Bientôt on en vit jaillir une lumière qui projetait sur les murs les ombres des becs de gaz dans un rayon de six à sept cent pas. Jamais lumière artificielle n'avait eu cet éclat. Une feuille de papier photographique, exposée à ces puissants rayons, fut noircie en si peu de temps que, d'après un calcul fort simple, cette lumière devait produire à un mètre de distance tout autant d'effet que le soleil de midi au mois de mars.

Dans la machine de Wilde, la source première de tous les phénomènes est donc encore le magnétisme d'un aimant permanent. M. Wheastone et M. Siemens ont eu simultanément l'idée lumineuse de supprimer l'aimant, de le remplacer par un simple morceau de fer doux qui devient électro-aimant par la vertu des courants qu'il engendre lui-même dans son armature, lorsqu'elle est mise en rotation. Cela semble paradoxal; mais l'expérience n'en a pas moins bien réussi : il est vrai qu'il faut encore ici *amorcer* la machine. On prend donc un noyau de fer doux entouré d'un fil en hélice et qui simule un électro-aimant. Entre les deux pôles, on fait tourner une armature semblable à celle de la machine de Wilde. Pour le moment aucun effet électrique ne se produit encore; mais qu'on mette le fil du fer doux en rapport avec une petite pile, aussitôt ce fer s'aimante, et l'armature devient le siége de courants d'induction. Alors on supprime la pile; on constate qu'il y a encore dans le fer doux une petite quantité de magnétisme rémanent qui suffit à entretenir quelques instants les courants induits; on en profite pour lancer ces derniers dans le fil qui entoure le fer doux. Aussitôt ce dernier reprend ses forces, il donne naissance à de nouveaux courants qui reviennent toujours alimenter l'électro-aimant qui les produit, et ce jeu se continue aussi longtemps qu'on fait tourner l'armature. Une machine de ce genre produit des effets d'une intensité vraiment extraordinaire.

M. Ladd, constructeur d'instruments de physique, a exposé, en 1867, une autre machine qui repose sur le même principe. Au lieu d'un électro-aimant à deux pôles, il en emploie un à quatre pôles, formé de deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lames parallèles. Entre les premiers pôles tourne l'armature qui alimente l'électro-aimant, entre les pôles opposés, une armature indépendante dont le courant est utilisé pour produire des effets quelconques.

Dans ces diverses machines on voit un travail mécanique (la résistance est très-notable comme le montre l'expérience du disque tournant de Foucault) engendrer indéfiniment des quantités d'électricité, lorsqu'une fois pour toutes on a détruit l'équilibre des polarités opposées dans un corps qui peut s'aimanter ou s'électriser. C'est ainsi, dit M. Radau auquel nous empruntons cette description, qu'une horloge à poids toute montée ne commence à marcher que si on pousse le balancier; ensuite la pesanteur se charge et du balancier et des aiguilles.

Le seul inconvénient qu'offrent encore ces machines, c'est qu'aux grandes vitesses auxquelles il faut les faire marcher et avec la masse de chaleur produite, les coussinets s'échauffent et forcent à arrêter de temps en temps la machine, ce qui n'arrive plus avec la machine à gros aimants telle qu'elle est construite aujourd'hui.

ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE. Si l'on peut obtenir l'équivalent mécanique de l'électricité, il est naturel d'espérer qu'on pourra en déduire celui de la lumière en laquelle l'électricité se transforme si facilement quand elle est à un certain degré d'intensité. Il faudra pour y parvenir bien définir l'unité de lumière, préciser l'intensité de lumière par un éclairage déterminé, agissant pendant l'unité de temps, ou mieux évaluer l'action réductrice de la lumière sur une substance impressionnable, comme celles qu'utilise la photographie.

Il y a dans cette voie une série de recherches à faire du plus grand intérêt, et qui pourront trouver d'importantes applications dans l'analyse des phénomènes de la vie organique.

En effet, la chaleur de combustion de beaucoup de carbures d'hydrogène, du sucre notamment, formés dans les végétaux sous l'influence de la lumière solaire, est plus grande que celle des éléments qui les constituent. C'est évidemment une force vive, correspondant à la lumière absorbée dans l'acte d'assimilation du carbone, dans la nutrition végétale, qui peut rendre compte du phénomène.

La détermination de l'équivalent de la lumière fournira donc un élément précieux de l'analyse de la vie des végétaux. M. Dubrunfaut, en appliquant à la genèse agricole, dans les conditions d'approximation grossière seules possibles aujourd'hui, les notions d'équivalence des forces, est parvenu à ce résultat: que dans la culture ordinaire, qui fait produire à un hectare de terre 14 ou 15 hectolitres de froment ou 25 à 30,000 kilogrammes de betteraves, le travail mécanique fourni par les agents naturels est mille fois plus grand que le travail mécanique dépensé par l'agriculteur.

ESCALIERS. — La première question à résoudre quand on veut établir un escalier est celle de la proportion des marches. Leur longueur ou emmarchement dépend de l'activité de la circulation à desservir. Leur hauteur et leur largeur sont réglées d'après l'amplitude moyenne du pas de l'homme. On se sert souvent pour les déterminer de la formule empirique:

$$G + 2H = 0^m,64$$

dans laquelle G représente la largeur du giron ou dessus de la marche, et H sa hauteur. H est ordinairement compris entre $0^m,11$ et $0^m,19$, G entre $0^m,42$ et $0^m,26$; les proportions les plus usuelles sont: $H = 0^m,16$; $G = 0^m,32$, soit une pente de 2 de base pour 1 de hauteur. On choisit des pentes d'autant plus douces, que la hauteur à franchir est plus considérable.

Dans les escaliers à plan curviligne, la largeur des marches n'est pas uniforme; on applique les proportions précédentes sur la ligne la plus commode à parcourir, qu'on appelle *ligne de foulée*: elle est choisie soit au milieu de l'escalier, soit à $0^m,60$ de la main courante.

Il ne convient pas de placer de suite plus de 21 marches, sans les séparer par un palier ou repos.

Le départ de l'escalier se place, de préférence, à gauche de la cage, de manière qu'en montant on puisse s'appuyer sur la main courante à droite.

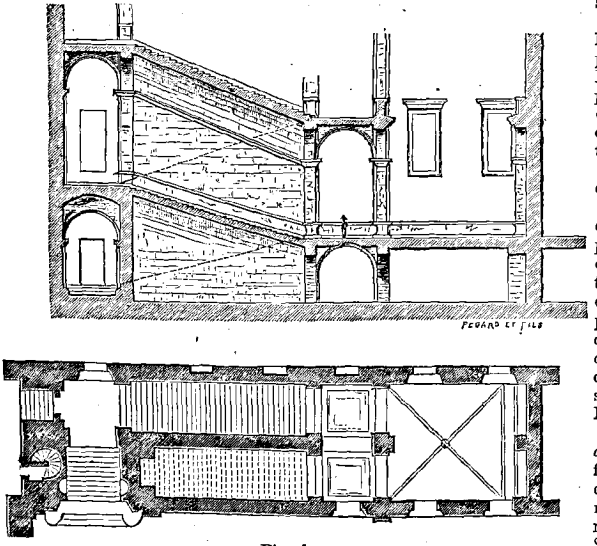


Fig. 1.

De la hauteur à franchir, on déduit le nombre des marches et le développement horizontal de l'escalier: on règle la forme à donner en plan à ce développement, d'après l'espace dont on dispose, et l'on en conclut la forme de la *cage* ou enceinte dans laquelle l'escalier se trouve enfermé.

Cette cage doit être abondamment éclairée.

Les rampes ou volées successives, qui composent un escalier, peuvent être disposées de manières très-diverses: tantôt droites, tantôt courbes, ou en quartier tournant; nous en verrons de nombreux exemples. Les grands escaliers ne comportent que des rampes droites, à cause de la divergence des marches dans les quartiers tournants. On doit se préoccuper de laisser une distance verticale suffisante entre les révolutions des volées superposées.

ESCALIERS EN PIERRE. — 1° *Escaliers droits. — Perrons.* Les marches sont formées d'une seule pierre scellée par ses extrémités dans deux murs parallèles nommés *murs d'échiffre* et se recouvrent mutuellement de quelques centimètres. Si la largeur de l'escalier est grande, on fait chaque marche de plusieurs morceaux de pierre; on dispose des murs d'appui intermédiaires, mais le dessous ne peut plus être utilisé, à moins d'avoir recours à la disposition suivante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° *Escaliers sur berceaux en descente.* C'est la disposition usitée dans les théâtres et amphithéâtres antiques, la plus ordinaire dans les palais italiens. Ces escaliers manquent de lumière et de gaieté. (Escaliers de Henri II, au Louvre; palais Farnèse, etc.) (Fig. 1.)

3° *Escaliers sur berceaux rampants.* La voûte repose sur des colonnes ou piliers aux extrémités de chaque rampe (nouvel escalier du Théâtre-Français).

4° *Escaliers sur voûtes d'arêtes rampantes* ou sur voûtes rampantes sphérico-cylindriques, dont la surface d'intrados est analogue à celle de l'arrière voussure de Saint-Antoine (palais de Gênes, palais Braschi, à Rome).

Dans toutes les dispositions précédentes, la vue et l'accès de la lumière sont gênés par des supports plus ou moins volumineux; les architectes français du dix-septième et du dix-huitième siècles ont trouvé des dispositions beaucoup plus hardies, dont il reste encore de nombreux exemples.

5° *Escaliers à voussures rampantes et à repos.* Les volées sont soutenues par des voussures ou demi-voûtes, appuyées contre les murs de la cage; les paliers sont supportés par des trompes coniques ou par des voûtes en arc de cloître. Ces dernières voûtes ont pour directrice une ellipse, d'où il résulte que la directrice de la voussure rampante est une parabole. Si les joints de lit normaux à l'extrémité de cette parabole font avec l'horizon des angles plus grands que celui du frottement, ou que 30°, ce qui a lieu presque toujours, on est obligé d'employer divers artifices de construction pour maintenir les assises supérieures: armatures métalliques, pierres taillées en crossettes, tenons ou queues d'aronde; assises rampantes appareillées en plates-bandes ou remplacées par des trompes cylindriques rampantes. Souvent aussi on a substitué

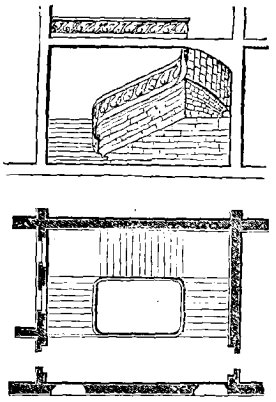


Fig. 2.

à l'intrados cylindrique, des surfaces dites cylindrico-sphéroïdes, qui présentent un bombement vers le milieu de la volée et se raccordent par transition insensible avec le parement vertical de la cage: on peut facilement imaginer divers modes de génération de ces surfaces. Ces escaliers s'arrêtent ordinairement, dans les grands hôtels du dix-huitième siècle, à la hauteur du premier étage et se divisent en trois volées, dont la première au moins est soutenue par un mur d'échiffre; le palier de repos est soutenu par une trompe; le palier d'arrivée règne sur toute la largeur de la cage, et ses extrémités sont supportées par des voûtes en quart d'arcs de cloître.

Les paliers ou repos sont quelquefois supprimés, quand la hauteur à franchir n'est pas grande et quand on ne dispose pas d'un espace suffisant en plan; alors on a dans les angles des quartiers tournants à marches balancées, qu'il faut soutenir par des trompes ou des arcs de cloître rampants.

Les voussures de ces escaliers chargent beaucoup les murs, surtout quand ils comportent plusieurs étages, et il faut se préoccuper des poussées qu'elles exercent.

Escaliers tournants. Ces escaliers tiennent moins de place que les précédents et peuvent donner accès sur un point quelconque de leur circonférence, aussi sont-ils employés de préférence dans les tours, piliers, clochers, phares, etc.

6° *Vis Saint-Gilles.* Ce système était connu des anciens. La disposition qui se présente la première à l'esprit quand on cherche le moyen de soutenir les marches d'un escalier tournant, est celle de la voûte annulaire rampante, connue sous le nom de *vis Saint-Gilles.*

Dans les grandes vis le noyau est évidé et forme une cage intérieure, dont le mur est souvent remplacé par des colonnes ou des arcades (escalier ovale du palais Barberini, à Rome).

Quelquefois on a enfermé dans une même cage deux vis, qui ont des points de départ et d'arrivée opposés.

7° *Vis à noyau plein.* Dans les plus petits escaliers, la voûte annulaire est supprimée. Chaque marche se compose de trois parties: une portion de noyau cylindrique, l'emmarchement et le scellement dans le mur de cage. La largeur du passage est quelquefois réduite à 0^{m},50. La distance verticale des révolutions est faible et la saillie de la marche en dessous serait gênante pour la circulation: on abat cette arête, et le dessous ou coquille de la marche est une surface gauche, engendrée par une génératrice rectiligne, assujettie à rester toujours horizontale et à s'appuyer constamment, d'une part, sur le cylindre du noyau, d'autre part sur une hélice tracée sur le parement intérieur de la cage, et de

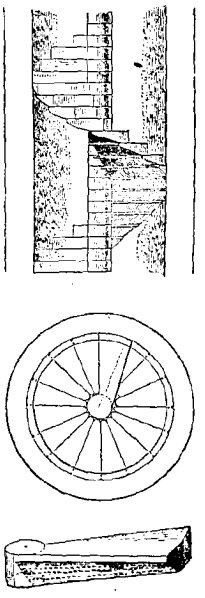


Fig. 3.

même pas que celle à laquelle appartiennent les arêtes supérieures des marches.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La grande vis du Louvre, construite sous Charles V et détruite en 1600, était établie dans ce système.

8° *Vis à noyau creux.*

Les arêtes supérieures des marches rencontrent le parement du noyau en des points régulièrement espacés,



Fig. 4.

qui appartiennent à une hélice. Supposons que dans le plan d'une marche on dessine un contour ou profil quelconque, en forme de main courante, entourant le point extrême de l'arête qui est une droite horizontale passant par l'axe du noyau; cette droite, en s'élevant, toujours horizontale, sans cesser de s'appuyer sur l'hélice des arêtes et entraînant avec elle le contour qui lui est fixé, décrira une surface continue, limitant un solide ou limon qu'on pourra débiter en morceaux correspondant à chacune des marches par le prolongement des plans de giron et de coquille. Si ces morceaux de limon font corps avec les marches, en superposant celles-ci et supprimant le cylindre du noyau, on aura

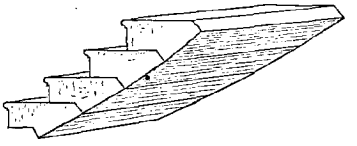


Fig. 5.

la vis à noyau creux, qui offre plus d'élégance et de facilité pour le passage que la précédente.

crossettes, et sont maintenues en équilibre, à la fois, par leur scellement, par leur recouvrement et par la pression mutuelle qui s'exerce normalement à la coupe inclinée. (Fig. 4.)

A Paris, les escaliers ainsi disposés s'exécutent avec la pierre de liais; les scellements ont $0^m,20$; la coupe inclinée a un tiers de la hauteur de la marche et le scellement deux tiers.

Quand l'emmarchement est grand, le système est consolidé par un limon, tantôt indépendant des marches, tantôt formé par les extrémités de chacune d'elles, comme dans les vis à noyau. (Fig. 6.)

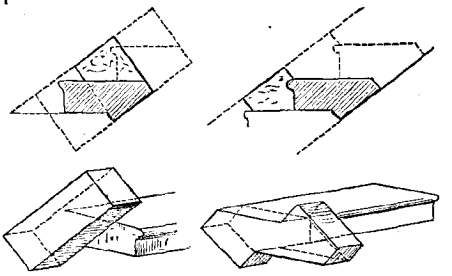


Fig. 6.

10° *Escaliers droits, avec quartier tournant, escaliers en courbe rampante.* Cette disposition est une sorte de compromis entre le système des escaliers droits et des escaliers tournants, qu'on emploie pour éviter les paliers ou repos intermédiaires des premiers qui font perdre de l'espace. La première difficulté qu'elle présente provient de la nécessité de ménager une transition entre les marches de la partie droite, qui sont d'égale largeur sur toute leur étendue, et celles de la

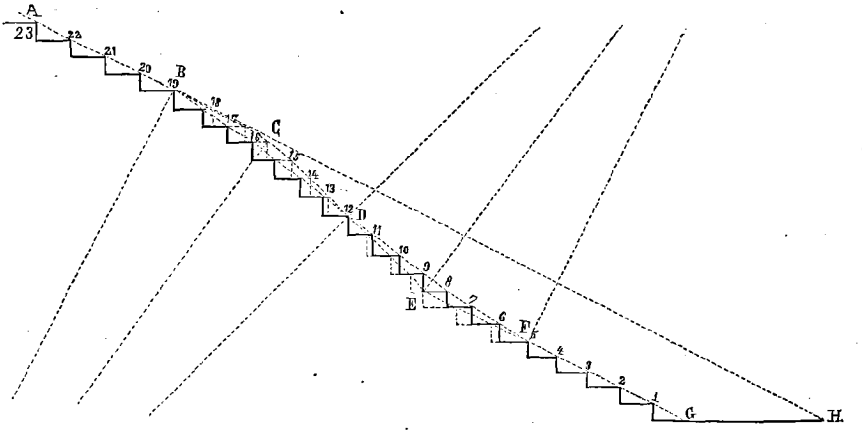


Fig. 7.

9° *Vis à jour.* Le système précédent n'est admissible qu'à la condition d'offrir un vide très-petit; dès que le jour s'agrandit, il faut placer une balustrade rampante à l'extrémité des marches: de plus l'emmarchement augmente d'ordinaire, en même temps que le jour de l'escalier; dans ce cas, il ne suffit pas de sceller les marches dans le mur et de les superposer, elles reposent les unes sur les autres, à la manière des voussoirs à

partie courbe, qui sont très-larges vers la cage et très-étroites vers le jour. L'opération qui a pour objet de répartir progressivement la diminution des marches, en y faisant participer un certain nombre de celles de la partie droite, s'appelle le *balancement*. Elle peut s'exécuter de différentes manières: la suivante est très-simple.

On fait le développement sur un plan vertical de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'intersection du cylindre du jour, avec les plans des girons et des contre-marches. Dans cette figure, les traces des arêtes des marches se trouvent sur trois lignes droites AC, CE, EG; on mène deux arcs de cercle BD, DF, tangents à ces trois lignes et ayant en D un point commun; on prolonge les traces horizontales des girons jusqu'à ces arcs; les points d'intersection seront, dans le développement, les traces des nouvelles arêtes; il sera facile de trouver leur position sur la courbe de jour primitive; on fera passer des droites par ces points et par les points de division correspondants de la ligne de foulée, et l'on aura les projections horizontales des arêtes des marches balancées.

Limons. — Les limons servent à soutenir les balustrades des escaliers, et, dans les systèmes suspendus, pour les escaliers de grande dimension, ils sont très-utiles pour offrir aux extrémités des marches opposées aux murs de cage un point d'appui solide.

Nous avons vu au sujet des vis à noyau creux comment un limon peut être décrit géométriquement; plus souvent le limon s'obtient en considérant deux surfaces cylindriques équidistantes, dont l'une est celle du jour, et deux surfaces gauches parallèles à celles qui sont décrites par les arêtes des marches, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de ces arêtes : le limon est formé par le volume compris entre ces quatre surfaces.

La disposition des limons est très-simple dans les escaliers droits : elle offre cependant vers les paliers, quand les volées sont en retour, une petite difficulté, qui a été très-heureusement résolue par les architectes français. Dans ces escaliers, les surfaces gauches deviennent planes. L'intersection des plans de deux limons successifs serait une droite; elle donnerait lieu à deux ressauts dont l'aspect ne serait pas agréable et qu'on a quelquefois dissimulé dans un dé massif; il est plus simple de raccorder les deux limons par une partie courbe, terminée par deux surfaces hélicoïdales tangentes aux plans inclinés qui limitent les limons; dans ce cas, les arêtes des marches extrêmes des deux volées successives finissent par des arcs de cercle tangents aux droites primitives de ces arêtes d'une part, et normales à la face intérieure du limon d'autre part. Les murs d'échiffre en retour sont raccordés par un quart de cylindre.

Les limons se terminent au bas de l'escalier par une volute, qu'on peut décrire de diverses manières. Les arêtes de cette volute peuvent avoir la forme de la spirale logarithmique, de la spirale d'Archimède ou de la développante de cercle; on préfère ordinairement une construction qui s'obtient par la règle et le compas, comme la suivante indiquée par le colonel Emy et par Rondelet.

Cette construction a pour objet d'imiter la forme de la développante du cercle : elle est analogue à celle de la volute du chapiteau ionique. Soit AIKL l'extrémité du limon; on se propose de décrire la volute de manière que la courbe extérieure ABCDEFG se raccorde tangentiellement avec la courbe intérieure HI; pour cela, il faut que les rayons extrêmes des deux courbes aient un centre commun et que la différence de leurs longueurs soit égale à l'épaisseur AI du limon. On choisira pour centres successifs des arcs de la volute les sommets d'un hexagone régulier que l'on placera arbitrairement en dehors du limon, de manière que deux côtés soient parallèles aux projections horizontales des arêtes des marches. La volute sera composée de sept arcs de cercle de 60° d'ouverture. Le premier AB sera décrit avec le rayon AM du point M comme centre. Ce point M est la rencontre du côté 1,2 de l'hexagone avec la perpendiculaire AN aux arêtes rectilignes du limon menée à la naissance de la volute. Les rayons successifs des arcs suivants devront diminuer de manière à se raccorder tangentiellement en H avec l'arc IH décrit du même centre M. Pour obtenir ce résultat, on choisit le côté de

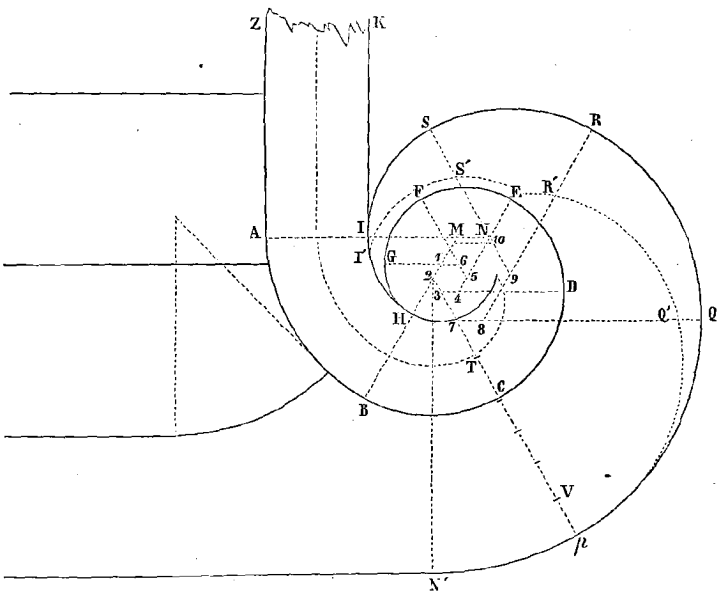


Fig. 8.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'hexagone égal au sixième de l'épaisseur AI du limon. Cela posé, on décrit le second arc BC du point 2 comme centre avec un rayon 2B; on décrit le troisième arc CD du point 3 comme centre avec un rayon 3C, et ainsi de suite jusqu'au dernier arc GH, décrit du point 1 comme centre.

La première marche est ordinairement terminée en forme de socle de la volute du limon par une courbe analogue à la précédente et qui peut être décrite de diverses manières; par exemple, on peut s'imposer la condition de raccorder son arête tangentiellement en I avec la projection de celle du limon. Pour cela, on décrit d'abord un premier arc NP du point 2 comme centre avec un rayon 2N' égal à la longueur de la perpendiculaire abaissée du point 2 sur l'arête de cette marche. Sur la ligne 2P on porte une longueur 2S égale à MI, et on divise la distance TP en cinq parties égales. On prend une de ces divisions pour côté d'un hexagone 2, 7, 8, 9, dont deux côtés coïncident en 1,2 et 2,3 avec le premier. Le deuxième arc PQ est décrit du point 7 comme centre avec un rayon égal à 7P; le troisième arc QR est décrit du point 8 avec un rayon égal à 8Q; le quatrième RS est décrit du point 9 avec le rayon 9R; enfin le cinquième est décrit avec le rayon NS du point N comme centre pris à la rencontre du côté prolongé 9,10 de l'hexagone avec AI prolongé.

On peut adopter aussi un tracé tel que N,P'Q'R'S'M qui occupe moins d'espace.

ESCALIERS EN BOIS. — Les plus simples des escaliers en bois sont les échelles ordinaires et les échelles de meunier : viennent ensuite les catégories ci-après.

1° *Escaliers droits.* — Tels sont les escaliers extérieurs employés dans beaucoup de constructions rurales et qui ne sont le plus souvent que des échelles de meunier.

2° *Escaliers en limaçon et à noyau plein.* — Ils ressemblent aux vis à noyau plein en pierre, seulement le noyau est le plus souvent ici formé par une pièce de bois verticale, montant de fond en comble, sur laquelle s'assemblent les bouts des marches qui de l'autre côté sont scellées dans les murs, ou assemblées dans les entailles des pièces montantes des pans de bois.

Plusieurs petits escaliers en bois de cette espèce sont tout à fait analogues aux escaliers en pierre des tourelles, c'est-à-dire que chaque marche porte la portion de noyau correspondante, prise dans la même pièce de bois ; un grand boulon vertical, dirigé suivant l'axe du cylindre de la cage relie fortement toutes les marches entre elles par leurs extrémités intérieures.

3° *Escaliers à plusieurs noyaux.* — D'anciens escaliers appartenant à cette catégorie suivant la place dont on a disposé, ont deux ou quatre noyaux montant de fond

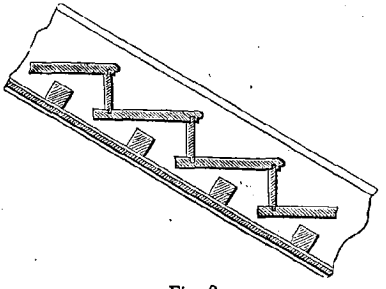


Fig. 9.

en comble ; on en voit encore beaucoup dans les anciennes maisons de Paris à deux noyaux, reliés par des

limons droits inclinés ; les marches sont formées par des pièces de bois rectangulaires dont les vides sont remplis par des gravats recouverts en carreaux de terre cuite : le dessous est plafonné. Les escaliers à deux noyaux avec quartier tournant sont incommodes et disgracieux : ceux à quatre noyaux, avec piliers, sont beaucoup plus satisfaisants sous tous les rapports.

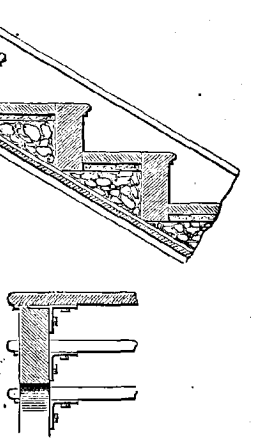


Fig. 10.

4° *Escaliers avec noyau à jour.* — Le noyau est formé d'un seul tronc d'arbre évidé en cœur et présentant l'apparence de la vis à noyau creux en pierre : cette disposition très-dispendieuse n'est plus guère employée.

5° *Escaliers à limon continu sans noyau en courbe rampante.* — Les marches portent d'une part sur le mur de cage, d'autre part sur le limon, dont les dimensions doivent être calculées comme celles d'une pièce courbe et inclinée, chargée de poids uniformément répartis. La forme du limon est déterminée ainsi que celle de ses assemblages par les procédés ordinaires de la stéréotomie. L'assemblage le plus convenable est l'enture à mi-bois avec abouts carrés et tenons ; il doit être consolidé par des boulons et des plate-bandes en fer.

Le bas du limon est consolidé par un patin reposant sur un petit mur d'échiffre. Les deux ou trois premières marches sont en pierre pour isoler le bois de l'humidité du sol.

Ces escaliers comprennent diverses variétés, à grand palier, à demi-palier, dont les dispositions sont très-faciles à combiner quand on a une fois bien saisi le tracé de l'épure du limon en stéréotomie.

6° *Escalier avec limon à crémaillère.* — Cette disposition est très-usitée à Paris pour les escaliers ordinaires des habitations; elle présente un aspect plus hardi et plus dégagé que la précédente. La face supérieure du limon, au lieu d'être formée par une surface gauche continue, présente une série de gradins sur lesquels se fixent les marches et les contre-marches en planches au moyen d'équerres en fer. Le rebord transversal des marches est orné d'une astragale qui dépasse ordinairement la face extérieure du limon, et accusant nettement aux yeux le système de la construction, produit à peu de frais une décoration rationnelle et parfaitement motivée.

Dans les escaliers de Paris la marche est souvent faite d'une dalle de pierre de liais, plus solide et plus facile à entretenir qu'une simple planche de bois peint.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La contre-marche et le limon sont peints en blanc ; le tout présente une apparence très-satisfaisante et une solidité suffisante.

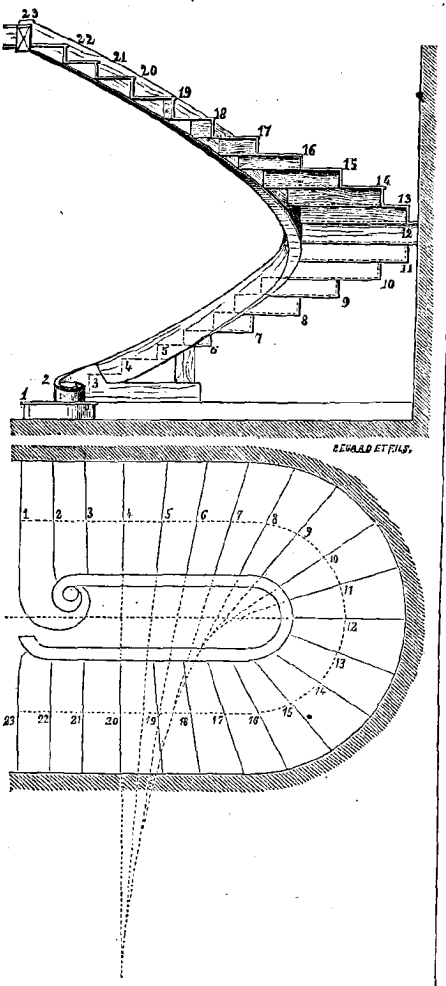
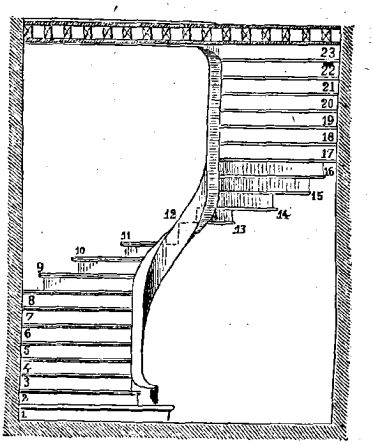


Fig. 11.

7° *Escaliers sans limons.* — On a fait aussi des escaliers dont les marches sont formées de pièces de bois pleines, suivant une disposition analogue à celle des escaliers en pierre, dits vis à jour ; mais les bois étant sujets à jouer par l'effet des variations hygrométriques de l'atmosphère, ces escaliers ne présenteraient pas une rigidité suffisante, si l'on n'avait pas la précaution de lier les marches deux à deux ou trois à trois par de forts boulons qui font du tout un ensemble indissoluble.

Cette disposition de marches pleines peut aussi être appliquée aux escaliers avec limons destinés à supporter une grande fréquentation, comme ceux des casernes.

8° *Dispositions diverses.* — L'esprit des constructeurs et des habiles ouvriers s'est ingénié à découvrir pour les escaliers une quantité de combinaisons, souvent remar-



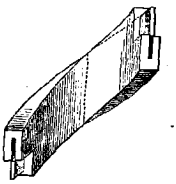


Fig. 12.

quables, mais peu usitées, parmi lesquelles on peut citer :

Les escaliers circulaires sur poteaux plus ou moins multipliés, remplaçant les noyaux ou les cages, comme ceux qu'on plaçait au moyen âge dans les angles des grandes pièces, et qui étaient souvent des meubles richement décorés de sculptures.

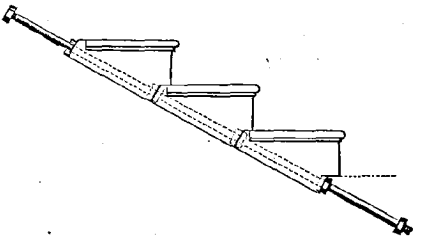


Fig. 13.

Les escaliers en limaçon, pivotant sur leurs noyaux ; escaliers secrets, établis dans une cage cylindrique en menuiserie dans une tour ronde et dont on dissimulait à volonté l'existence en les faisant tourner de quelques degrés sur leur axe.

Les escaliers doubles, dans des cages circulaires le plus souvent, dont les abouts de marches décrivent sur les parois de la cage deux hélices de même pas et pourtant équidistantes, de manière à desservir des points de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

départ et d'arrivée diamétralement opposés aux divers étages.

Les escaliers suspendus dont la largeur diminue d'étage en étage pour donner du jour au bas, quand on ne dispose pas d'autre moyen d'éclairage qu'un châssis vitré dans le haut.

Les escaliers à deux jours, en forme de 8 en plan, peu solides et peu usités, mais permettant de faire gagner rapidement une grande hauteur dans un petit espace.

Les escaliers à répétition, dont la largeur est divisée en deux rampes dont les marches sont égales en largeur, mais elles ont le double de la hauteur des marches ordinaires et elles sont disposées de manière que l'arête de chaque marche d'une rampe correspond au milieu de la hauteur de chaque marche de l'autre rampe : de cette manière il y a une rampe pour chacun des pieds de celui qui monte ou qui descend. Cette disposition est fondée sur l'observation qu'en général chaque pied passe d'une marche à l'autre sans s'arrêter à celle sur laquelle l'autre pied est posé. Elle permet d'établir des escaliers ayant très-peu de développement en plan.

ESCALIERS EN FER. — Les escaliers présentent une des applications les plus importantes du fer aux constructions; cette partie des édifices est ordinairement la première détruite dans les incendies, parce que la cage forme comme une haute cheminée, où les flammes sont de suite attirées et trouvent un aliment tout prêt dans le bois des marches et des limons. L'escalier est cependant la seule voie de salut pour les habitants des étages supérieurs, qui se trouvent isolés et exposés aux plus grands dangers, et ne peuvent être arrachés aux flammes que par des moyens de sauvetage très-périlleux. L'emploi du fer devrait être prescrit dans les théâtres et autres lieux de réunion publique, surtout quand on ne peut offrir à la foule qu'un petit nombre d'issues étroites et facilement encombrées.

Les limons en bois présentent un mode d'assemblage assez vicieux, principalement dans les parties courbes, et une rigidité souvent insuffisante. Il est très-facile, avec une feuille de tôle courbée et découpée convenablement, d'obtenir un limon extrêmement solide, occupant très-peu de place, et dont les assemblages ne laissent rien à désirer. Les abouts des marches se fixent sur cette feuille au moyen de bouts de cornière rivés et de vis avec la plus grande simplicité. Les constructions du nouvel Opéra offrent plusieurs exemples de bonnes dispositions d'escaliers en fer, qui très-probablement seront adoptées universellement avant peu.

Les marches des escaliers à limons et bâtis en fer peuvent être exécutées soit en pierre, soit en bois, soit en fonte.

On fait aussi des escaliers tout en fonte : les uns sont analogues aux petits escaliers de tourelle en vis à noyau plein; chaque marche comprend deux parties, dont l'une est un élément du noyau. Celles-ci forment en fin de compte, par leur réunion, un tuyau, dans l'intérieur duquel on passe un boulon, qui rend toutes les parties solidaires.

Une autre disposition est celle de la vis à jour, dont toutes les marches sont boulonnées ensemble, suivant les faces de joint ménagées exprès.

Enfin, dans les petits escaliers des phares en échelle de meunier, qui doivent occuper très-peu de place, chaque marche porte deux éléments de limon et se fixe à ses voisines au moyen de boulons.

Monte-charges. — Dans les grands hôtels modernes, on a établi pour monter les personnes et les bagages aux étages supérieurs, des monte-charges, qui dispensent de la fatigue de s'élever par les escaliers; mais ce perfectionnement est en dehors du sujet de cet article, et il faut se contenter de le signaler ici.

ESSENCES ARTIFICIELLES. L'étude de la chimie organique, et principalement des éthers de la série amylique, a produit, dans ces dernières années, un résultat sérieux, et que l'on ne peut envisager sans étonnement, dit M. Girard, dans une intéressante notice insérée dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, à laquelle nous empruntons ce qui suit.

On a vu des corps, qui le plus souvent trouvaient leur origine dans des matières d'une odeur infecte, donner naissance à des composés nouveaux doués des odeurs les plus suaves, et rappelant, sans aucune différence, les parfums les plus délicats employés jusqu'ici dans l'industrie. De là une source toute nouvelle d'applications. Frappés de l'odeur de fruit qu'exhalent certains éthers, les chimistes ont cherché non-seulement à démontrer l'identité de ces derniers avec les essences de fruits, mais encore ils se sont efforcés de les faire pénétrer dans l'industrie du parfumeur et du distillateur, et ils y sont parvenus. C'est ainsi que nous voyons employer journellement les essences artificielles d'ananas, de poires, de cognac, etc. La plupart de celles-ci figuraient déjà à l'exposition de Londres, où elles ont été avantageusement remarquées.

L'emploi de ces essences présente, au point de vue industriel, un grand intérêt; aussi allons-nous étudier successivement les modes de préparation de ceux de ces produits qui présentent le plus d'importance.

Essence d'ananas. — L'essence d'ananas est une solution alcoolique d'éther butyrique ; on l'obtient aisément en distillant un mélange d'acide butyrique, d'alcool fort et d'acide sulfurique concentré.

L'acide butyrique que l'on doit employer se prépare aisément en grande quantité, en soumettant le sucre à la fermentation en présence de matières azotées. Ce procédé, dû à MM. Pelouze et Gelis, est très-simple ; c'est celui que tout le monde suit aujourd'hui. On fait une dissolution de sucre (la mélasse est très-bonne pour cette préparation), qu'on amène à peser 10° au pèse-sirop; on mélange avec cette solution une certaine quantité de fromage blanc, environ 100 grammes par kilogramme de sucre, et, lorsque la matière est bien délayée, on ajoute une quantité de craie correspondant à 300 grammes par kilogramme de sucre. Lorsque la masse est parfaitement mélangée, on l'abandonne à une température constante de 25 à 30° centigrades. La fermentation s'établit doucement dans l'intérieur, et lorsque, au bout de six semaines environ, tout dégagement de gaz a cessé, elle est terminée : le lactate de chaux formé d'abord a été entièrement décomposé. On opère alors l'extraction de l'acide butyrique. Pour cela, on emploie le procédé suivant proposé par M. Beutch. On ajoute au liquide son volume d'eau froide, plus une solution de carbonate de soude cristallisé, contenant de ce dernier une quantité égale à une fois et un tiers de poids du sucre. On filtre alors pour séparer le carbonate de chaux formé ; on évapore la liqueur filtrée au sixième de son volume, et on y ajoute peu à peu de l'acide sulfurique étendu de son poids d'eau. (Il faut 5 parties 1/2 d'acide sulfurique pour 8 de carbonate de soude.)

L'addition de l'acide sulfurique détermine la séparation de l'acide butyrique : il monte à la surface du liquide sous la forme d'une huile ; on l'enlève au moyen d'un siphon ; mais, comme la liqueur en contient encore une certaine quantité, on la distille jusqu'à ce qu'un quart environ ait passé à la distillation. En ajoutant à la liqueur distillée du chlorure de calcium fondu, on obtient une nouvelle quantité d'acide butyrique, qu'on joint à la première. Ces deux quantités réunies sont saturées par du carbonate de soude ; on décompose encore par l'acide sulfurique, et l'acide butyrique ainsi obtenu, après avoir été mis en contact avec du chlorure de calcium, est soumis à la distillation. Six parties de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sucre donnent de 1 1/2 à 2 parties d'acide butyrique pur.

Pour préparer avec ce corps l'éther butyrique ou essence d'ananas, on mélange parties égales d'alcool absolu et d'acide butyrique, auxquelles on ajoute une petite quantité d'acide sulfurique. On peut opérer sur 500 grammes d'alcool, 500 grammes d'acide butyrique et 15 grammes d'acide sulfurique. Le mélange est chauffé pendant quelques minutes, et l'on voit l'éther butyrique venir former une couche à la surface du liquide. On ajoute alors un volume égal d'eau, on enlève la couche supérieure, on distille la liqueur restante, ce qui fournit une nouvelle quantité d'éther, que l'on joint à la première. L'éther butyrique est alors agité avec une solution alcaline étendue, pour enlever l'acide libre. Il faut être réservé dans les lavages, parce que l'éther est sensiblement soluble dans l'eau.

L'essence d'ananas commerciale se prépare en dissolvant 1 litre d'éther butyrique dans 8 à 10 litres d'esprit-de-vin pur ; quelquefois aussi, on le dissout dans de l'eau-de-vie ordinaire.

Cette essence ainsi préparée a des usages assez variés ; on l'emploie dans la parfumerie, dans la confiserie ; elle sert à aromatiser le rhum de mauvaise qualité. Les Anglais se servent de l'essence d'ananas pour préparer une limonade agréable, qu'ils désignent sous le nom de *pine-apple-ale*. Vingt à vingt-cinq gouttes suffisent pour donner une forte odeur d'ananas à une solution de 500 grammes de sucre additionnée d'acide tartrique.

Essence de poires. — Cette essence s'obtient en dissolvant dans l'alcool l'acétate d'amylène (éther acétique de l'huile de pommes de terre).

L'huile de pommes de terre brute n'est pas propre à la préparation de cet éther ; il faut la purifier : pour cela, on l'agite avec une solution alcaline étendue, et, après l'avoir séparée, on la distille au thermomètre ; on recueille les portions qui passent entre 100 et 112°.

Lorsqu'on veut préparer l'éther acétique, on prend 1 partie d'huile de pommes de terre, 1 1/2 d'acétate de soude fondu, et 1 à 1 1/2 d'acide sulfurique. Le tout, bien mélangé, est maintenu à une douce chaleur pendant quelques heures. En ajoutant de l'eau, l'éther acétique se sépare ; on le recueille, on distille la liqueur restante, ce qui fournit une nouvelle quantité d'éther ; puis on agite avec de l'eau et une solution de soude.

Si l'on mêle 15 parties d'éther acétique de l'huile de pommes de terre, 1 1/2 d'éther acétique de l'alcool et 100 à 120 parties d'esprit-de-vin, on obtient une essence parfaite, qui donne aux substances auxquelles on la mélange le parfum de la poire de bergamote.

Essence de pommes. — Sous le nom d'essence de pommes, on désigne une solution alcoolique d'éther valérianique de l'huile de pommes de terre. On l'obtient, comme produit secondaire, lorsqu'on prépare l'acide valérianique, en distillant l'huile de pommes de terre avec l'acide sulfurique et le bichromate de potasse ; mais, pour en préparer une quantité notable, il est nécessaire d'éthérifier l'acide valérianique.

Pour préparer l'acide valérianique, 1 partie d'huile de pommes de terre est mélangée avec 3 parties d'acide sulfurique, avec précaution et petit à petit ; on ajoute ensuite 2 parties d'eau. On chauffe en même temps, dans une cornue tubulée, une solution de 2 parties 1/4 de bichromate de potasse dans 4 1/2 d'eau ; on introduit alors, tout doucement et par petites portions, le premier liquide, de manière à maintenir une douce ébullition dans la cornue. Le liquide distillé est saturé avec du carbonate de soude, et évaporé à siccité pour obtenir du valérianate de soude. Il suffirait, pour obtenir l'acide valérianique, de décomposer ce sel par l'acide sulfurique ; mais on peut employer directement le valérianate de soude pour la préparation de l'éther.

En effet, on prend 1 partie en poids d'huile de pommes de terre, qu'on mélange avec précaution avec une quantité égale d'acide sulfurique ; on ajoute 1 partie 1/2 de valérianate de soude bien sec, et l'on maintient quelque temps la liqueur au bain-marie. En ajoutant de l'eau, l'éther se sépare ; on le purifie, comme on a fait pour les composés précédents. Il faut éviter avec soin de chauffer trop fort.

Lorsqu'on étend cet éther de cinq à six fois son volume d'alcool, on obtient un produit qui prend une odeur de pomme très-agréable.

Essences de cognac, essence de raisin. — La composition de ces essences n'est pas aussi bien déterminée que celles des précédentes. M. Hoffmann pense qu'elles constituent un éther ou un mélange d'éthers de la série amylique. Le rapport du jury de l'exposition de Londres, dont M. Hoffmann faisait partie, en parle en ces termes : « Un examen superficiel de ces huiles a démontré, d'une façon indubitable, que c'étaient des composés amyliques dissous dans une grande quantité d'alcool, et il est curieux de voir une substance (l'huile des pommes de terre) qu'on élimine avec le plus grand soin dans la fabrication de l'eau-de-vie, à cause de sa détestable odeur, venir, sous une autre forme et en minimes quantités, fournir le parfum même de l'eau-de-vie à celles qui en manquent. »

Ces essences sont, en effet, employées, en Allemagne surtout, à donner l'arome de l'eau-de-vie de Cognac aux eaux-de-vie de mauvaise qualité.

M. Hoffmann, qui a bien étudié la question de ces essences artificielles, pense que bien d'autres éthers pourront donner des résultats semblables ; il signale surtout l'éther caprylacétique découvert par M. Bouis. D'un autre côté, *The american annual of discovery* assure que l'on peut, au moyen de certains éthers, produire presque tous les parfums : l'essence de géranium, l'extrait de mille-fleurs, etc. ; mais il n'indique pas quels sont les corps que l'on peut employer dans ce but.

Huile artificielle d'amandes amères ou essence de mirbane. — Cette essence n'appartient plus à la série des éthers, c'est un composé d'un tout autre ordre. Elle provient de l'action de l'acide nitrique sur la benzine, et les chimistes la désignent sous le nom de *nitro-benzine*, MM. Hoffmann et Mansfield ont, les premiers, signalé la présence de grande quantité de benzine dans le goudron produit lors de la distillation de la houille ; c'est de ce moment (1849) que date la fabrication sérieuse de l'huile artificielle d'amandes amères.

La méthode employée en Angleterre pour sa préparation a été établie par M. Mansfield, et est très-simple. Son appareil consiste en un large tube de verre ayant la forme d'un serpentin ; à sa partie supérieure, il se bifurque, et chacune des deux branches porte un entonnoir. Un filet d'acide nitrique concentré coule lentement par l'un des entonnoirs ; l'autre fournit la benzine. Les deux liquides se rencontrent à la bifurcation, et l'attaque s'opère avec dégagement de chaleur. En suivant le serpentin, le nouveau composé se refroidit ; on le recueille à l'extrémité inférieure. La nitro-benzine, ou essence de mirbane, ainsi obtenue, a besoin d'être purifiée ; pour cela, on la lave à l'eau, puis avec une solution alcaline.

La nitro-benzine ainsi préparée ressemble beaucoup, par ses caractères physiques, à l'essence d'amandes amères ; elle est employée, dans l'industrie, pour parfumer les savons, et il est probable qu'elle est susceptible d'autres applications.

ÉVAPORATION. Nous avons décrit en détail, à l'article SUCRE, l'appareil Degrand, qui emploie la vapeur d'eau comme moyen de chauffage, par son passage à travers les liquides, et sa condensation par le contact des nouveaux jus avec les tubes dans lesquels circule la vapeur produite par l'ébullition des jus sucrés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cet appareil satisfait aux conditions de bon travail et d'économie, ce qui en a fait le succès ; toutefois, postérieurement, un appareil combiné par un Français, M. Rillieux, et adopté dans les sucreries de la Louisiane, est venu lui disputer la palme, et avec le même soin apporté dans la construction, en proportionnant convenablement les diverses parties qui le composent, doit donner une plus grande économie de combustible, d'après les principes sur lesquels repose son fonctionnement. Pour analyser les différences qui existent entre ces deux appareils, nous emprunterons à M. Claudel (*Formules*, etc.) un exemple d'évaporation de jus sucrés par la vapeur, sans supposer aucun appareil spécial.

Soit à concentrer en une heure 5,000 kilog. de clairce, c'est-à-dire de sirop avant la cuisson. Ce sirop, composé ordinairement, dans les raffineries, de 30 parties d'eau pour 70 parties de sucre, pour être amené à 47° de l'aréomètre, degré ordinaire de concentration, perd à peu près 15 p. 100 d'eau, ce qui fait 750 kilog. pour 5,000 kilog. de sirop. La température d'ébullition de la clairce étant de de 110°, et sa chaleur spécifique moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 5,000 kilog., de 20° à 100°, est $\frac{5,000 \times 80}{2} = 225,000$ unités, ce qui correspond à la chaleur dégagée par la condensation de $\frac{225,000}{550} = 409^k,1$ de vapeur d'eau. La quantité totale de vapeur à fournir pour élever la température de la clairce de 20° à 110°, et lui faire perdre 15 p. 100 d'eau, est donc $750 + 409,1 = 1159,1$ kilog.

Cet exemple montre tout l'avantage des dispositions de l'appareil Degrand, imitées de celles qui avaient si bien réussi dans les appareils de distillation. On voit que, théoriquement, en employant des étendues de surface de condensation suffisantes, on pourra économiser cédent, économiser 412,500 unités de chaleur, l'équivalent de 750 kilog. de vapeur, si ce résultat pouvait être obtenu en échauffant seulement la clairce à cuire.

Telle est l'économie que l'appareil de Degrand peut procurer *en théorie*. Toutefois il ne semble pas impossible de diminuer encore la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer la cuite de la clairce. Le progrès possible repose sur l'emploi de l'évaporation à de basses températures, dans le vide. Plus limitée dans la pratique pour les raffineries, l'économie possible est très-considérable lorsqu'il s'agit de jus sucré ne renfermant que 10 p. 100 de sucre. C'est, en effet, dans les sucreries de la Louisiane plutôt que dans les raffineries, que l'application de ces idées a été faite par M. Rillieux. Son appareil a parfaitement réussi, et on voit que, dans le cas d'extraction du sucre pour les proportions indiquées, ce serait environ 4,000 kilog. à vaporiser et non plus 750 kilog., étant d'ailleurs à remarquer que l'abaissement du point d'ébullition croit rapidement avec la diminution de la richesse saccharine de la liqueur. C'est par une espèce de rotation de la vapeur, rendue utile par l'interposition des surfaces métalliques, et rendue possible par l'abaissement du point d'ébullition, par la diminution de pression, qu'opèrent l'appareil Rillieux et un autre appareil fonctionnant d'après les mêmes principes qu'avait construit, peu de temps avant sa mort, l'habile M. Pecqueur.

Soient cinq chaudières renfermant toutes 1,000 kil. de clairce, et disposées de telle sorte que la première soit chauffée par la vapeur sortant d'une chaudière à vapeur, recevant la cinquième partie de la vapeur calculée dans l'exemple ci-dessus ; que la vapeur produite par l'évaporation serve à échauffer la seconde chaudière et à y produire l'évaporation, et ainsi de suite jusqu'à la dernière, dont la vapeur se rend dans un condenseur. Il est clair que si la cuite s'opérait comme nous le supposons ici, elle serait obtenue par un peu

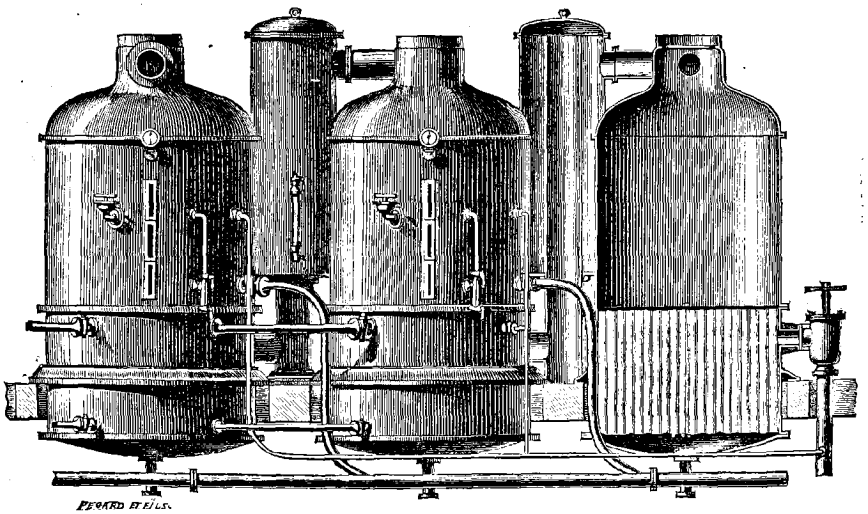


Fig. 1.

partie de la chaleur nécessaire pour échauffer la clairce, employer pour cela la chaleur latente de la vapeur dégagée par la cuisson, c'est-à-dire, dans l'exemple pré- plus du cinquième de la chaleur qui serait nécessaire avec des appareils à feu nu, puisque toute la chaleur employée à évaporer aura successivement servi à cuire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les quatre autres cinquièmes de la liqueur sucrée. Il importe de remarquer qu'une quantité de chaleur supplémentaire pour chaque chaudière, ou, ce qui est la même chose, une quantité de travail employé à mou-

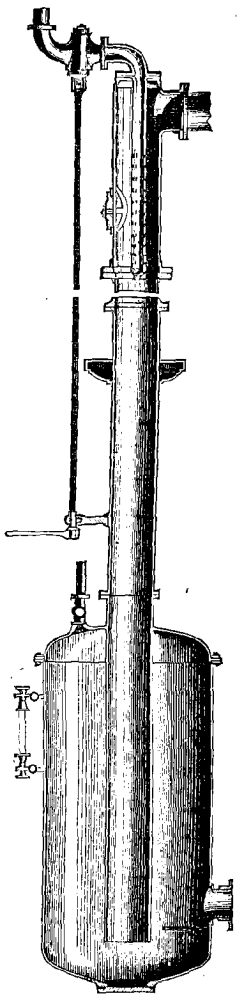


Fig. 2.

voir les pompes à air, est nécessaire pour que, dans la pratique, les choses se passent ainsi que nous l'avons supposé; autrement l'opération ne peut s'effectuer qu'avec une extrême lenteur, car la seule cause du passage de la chaleur, par condensation de la vapeur, de la chaudière qui précède celle que l'on considère, n'a lieu qu'à cause du degré moins élevé qu'exige l'évaporation de chacune d'elles à mesure qu'on se rapproche de la dernière, qui cuit dans le vide, ce qui ne correspond qu'à une assez faible différence de température, par suite à une condensation très-lente.

M. Cail, l'habile constructeur, n'admet guère qu'un nombre de chaudières supérieur à trois soit avantageux dans la pratique; et encore en augmentant considérablement les surfaces de chauffe, et surtout celle de la dernière chaudière, pour compenser la petitesse de la différence du degré d'évaporation de chaque chaudière, enfin en partant d'une pression élevée et en faisant faire un grand travail aux pompes à air. C'est cet appareil que représente la figure 1, la troisième chaudière étant figurée en coupe dans le dessin pour en montrer les dispositions intérieures.

La première ayant une surface de chauffe égale à 1, la deuxième a une surface égale à 5, et le vide est de 70 centimètres; la troisième a une surface égale à 20, et le vide de 60 centimètres, tant par l'action d'un condenseur à eau que d'une puissante pompe à air.

Nous avons insisté sur ces considérations, parce que les avantages de cette disposition ne sont pas très-faciles à apercevoir, que cet emploi multiple de la même chaleur paraît *a priori* avoir quelque chose d'analogue avec le mouvement perpétuel; mais, en réalité, on voit qu'on ne fait qu'utiliser la chaleur dégagée par la vapeur chassée de la dissolution sucrée, qu'employer la conductibilité de la chaleur à travers les solutions, à l'aide de l'interposition la plus convenable de séparations métalliques. Théoriquement, la consommation de chaleur due à la vaporisation ne répond qu'au travail mécanique produit par le volume de vapeur surmontant la pression à laquelle le liquide est soumis (à 100° et à l'air libre, c'est, par kilog., $\frac{4{,}70 \times 10333}{370}$, environ 48 calories, quantité qui varie peu avec la pression et ne répond qu'au dixième de la chaleur totale de vaporisation), et celle qui n'est pas consommée peut évidemment servir à effectuer des évaporations sous des pressions décroissantes. Pratiquement, il faut se tenir au-dessus de cette limite pour obtenir une rapidité de travail avantageuse; mais les résultats sont encore considérables, puisque MM. Cail annoncent des économies de 40 à 60 p. 100 pour des appareils à triple et quadruple effet, comparés aux appareils généralement adoptés.

La figure 2 représente le condenseur final adopté avec succès par M. Cail, en utilisant le vide résultant d'une longue colonne.

EXPOSITION DES PRODUITS DE L'INDUSTRIE. L'idée d'expositions publiques des produits de l'industrie est une idée française, naturelle à notre nature demi-méridionale, qui nous rend avides de spectacles. Les premières solennités industrielles de ce genre sont nées au commencement du siècle, alors que la guerre tenait une si grande place dans la vie de la nation et mettait tant d'obstacles aux progrès de l'industrie. Aussi le ministre de l'intérieur, François de Neufchâteau, écrivait-il, après la première exposition (en 1798), qui avait réuni 110 exposants : « L'exposition n'a pas été très-nombreuse, mais c'est une première campagne, et cette campagne est désastreuse pour l'industrie anglaise. » On le voit, l'exposition était encore une machine de guerre, et déjà on débutait dans cette illusion, que l'Angleterre ne pouvait vivre sans la permission de la France; on ne savait pas se rendre compte de la vitalité de son industrie, qui se développait si rapidement, grâce aux grands travaux de Watt, d'Arkrwigth, etc.

Nous donnerons quelque idée de l'importance des Expositions des produits de l'industrie française faites à Paris, en rapportant le nombre des exposants, dont les produits ont figuré à chacune d'elles :

1re	Exposition. Année	1798	110	Exposants.
2e	— —	1801	220	—
3e	— —	1802	540	—
4e	— —	1806	1422	—

EFERUS - Recherche & Classification numérique

5e	Exposition.	Année	1819	1662 Exposants.
6e	—	—	1823	1648 —
7e	—	—	1827	1795 —
8e	—	—	1834	2447 —
9e	—	—	1839	3381 —
10e	—	—	1844	3963 —
11e	—	—	1849	4532 —

L'exposition de 1827, faite dans la cour du Louvre, la plus remarquable de celles faites sous la Restauration, eut un grand éclat et rendit tout à fait populaire cette nature de fêtes. Contemporaine d'un mouvement intellectuel et artistique, qui fit de cette époque un des plus beaux moments de la vie de la nation française, elle traduisit avec un grand éclat les efforts des industriels.

Le mouvement de progrès de l'industrie s'accéléra sous le règne de Louis-Philippe, grâce au maintien de la paix. Les expositions faites aux Champs-Élysées, celle de 1844 surtout, répondaient à ses accroissements incessants; celle de 1849, enfin, faite pendant des temps de crise, mais répondant à des travaux accomplis dans des temps plus prospères, excita une telle admiration, que l'idée d'Exposition industrielle conquit l'Europe, ou plutôt le monde entier, et que la cause des expositions universelles fut gagnée. C'est de celles-ci que nous parlerons un peu plus longuement.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1851. — L'exposition faite à Londres en 1851, grâce à l'initiative éclairée du prince Albert, fut la première de ces véritables fêtes olympiques de nos Sociétés modernes, et 15,000 exposants, appartenant à toutes les nations du monde, apportèrent les résultats de leurs travaux dans l'admirable Palais de Cristal, dû au génie de sir J. Paxton.

Le spectacle de l'exposition de Londres en 1851 a été un des plus beaux que l'humanité ait jamais vus. Ce n'était pas seulement la splendeur des merveilles exposées dans le Palais de Cristal, merveilleux lui-même (voy. fig. 1 et ART INDUSTRIEL), qui attirait le plus l'attention publique, c'était surtout la satisfaction généralement éprouvée par cette splendide manifestation du triomphe d'un sentiment de concorde, de bienveillance universelle qui venait réagir contre les dangers de conflagration dont l'Europe se sentait menacée; c'était de voir l'Angleterre, dont l'égoïsme politique était proverbial, convier toutes les nations à la fête de la fraternité.

Ce sentiment est excellemment indiqué dans un beau discours du prince Albert, principal promoteur de cette grande exposition, discours qui mérite de ne pas être oublié et que nous reproduisons ici:

« C'est une grande satisfaction pour moi, dit le prince Albert au banquet qui lui avait été donné, en l'honneur de l'entreprise, par la Société des arts, c'est une grande satisfaction pour moi qu'une idée que j'avais suggérée, parce qu'elle me semblait convenir à notre temps, ait obtenu une adhésion générale et le concours de tous les efforts; car c'est la preuve que le sentiment que j'ai du caractère particulier et des nécessités du siècle est sanctionné par la conscience du pays... Quiconque a observé les traits distinctifs de notre époque ne peut mettre en doute que nous ne soyons au milieu d'une transition merveilleuse qui nous mène rapidement à la grande destination vers laquelle tous les événements de l'histoire ont acheminé nos pères et nous, l'unité de la race humaine; non pas une unité où toutes les barrières soient abaissées, où toutes les nuances soient confondues dans l'uniformité d'une teinte monotone, mais bien une unité qui soit l'harmonie de toutes les dissemblances, l'accord de tous les attributs en apparence opposés.

« Les distances qui séparaient les peuples et les contrées de la terre s'évanouissent chaque jour devant la puissance de l'esprit d'invention. Les idiomes de toutes les nations sont connus et analysés, et il est facile à

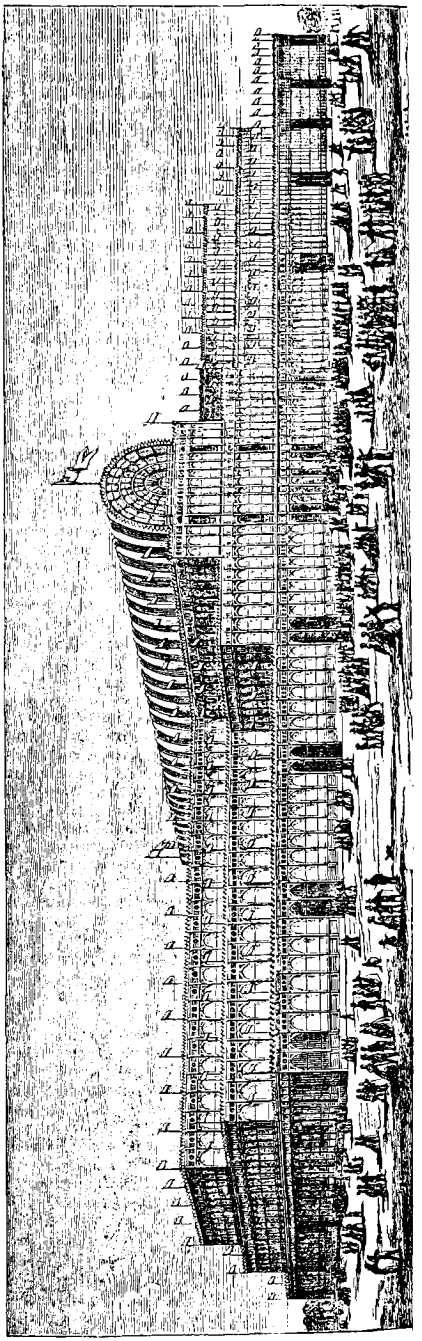


Fig. 1.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tout le monde d'en acquérir la possession. La pensée se communique d'un lieu à un autre avec la rapidité de l'éclair, et au moyen de la force qui se manifeste par l'éclair même.

« Le grand principe de la division du travail, que je ne crains pas d'appeler la force motrice de la civilisation, s'étend à toutes les branches de la science, de l'industrie et de l'art. Jadis les esprits très-bien doués pouvaient viser à l'universalité des connaissances; aujourd'hui c'est un champ qui se sous-divise sans cesse, et où chacun concentre son activité sur un espace limité, en consacrant sa vie à l'étude ou à la pratique d'une spécialité de plus en plus définie. Mais ce domaine de plus en plus vaste, tout en se sous-divisant sans cesse pour la commodité et le succès de la culture, devient de plus en plus, dans les fruits qu'il donne, le patrimoine commun de tous les hommes. Autrefois les découvertes de la science et des arts s'enveloppaient d'un profond mystère; aujourd'hui, à peine une idée ou une invention est-elle au pouvoir d'un homme, que déjà on la perfectionne et on la surpasse à côté de lui ou au loin, et les produits de tous les quartiers du globe terrestre viennent se placer sous la main de l'homme civilisé.

« L'homme ainsi remplit de plus en plus la mission sacrée par laquelle Dieu le plaça sur la terre, et que je rappelais tout à l'heure. Son âme étant à l'image de Dieu, il lui est donné, par les facultés de son esprit, de découvrir les lois auxquelles Dieu a soumis la création, et, en s'appropriant ces lois, de ployer la nature à son usage à lui, instrument de la sagesse divine. Après que, par la science, il est parvenu à connaître les lois qui président à l'équilibre, au mouvement et à la transformation de tout ce qui est, par l'industrie il applique ces lois aux substances que la terre nous rend, et qui ne deviennent utiles qu'en raison de ce que notre intelligence s'y infuse, et puis, par l'art, il a les règles du beau et de l'harmonie, et il en imprime le cachet à ses productions.

« L'exposition de 1851 nous offrira la mesure exacte et l'indication vivante du point où l'humanité est arrivée dans l'accomplissement de cette grande tâche que lui a assignée ici-bas le Créateur, et elle marquera le point de départ des efforts qui resteront à faire au genre humain pour achever l'œuvre. J'ai la confiance que le premier sentiment que cette vaste collection inspirera au spectateur sera celui d'une profonde reconnaissance envers le Tout-Puissant pour les biens qu'il a déjà répandus sur nous, et que le second sera la conviction que nous ne jouirons du patrimoine qu'il nous a donné qu'en proportion de l'assistance que nous nous prêterons les uns aux autres sous les auspices de la paix et d'une charité active et efficace, non-seulement d'individu à individu, mais de nation à nation. »

Le sentiment qui est noblement exprimé dans le discours du prince Albert s'est reproduit dans vingt autres discours auxquels l'Exposition universelle donna lieu, parce qu'il était dans tous les cœurs. Ce n'était point un fruit éphémère de la mode, non plus qu'une phraséologie inventée pour le besoin de la circonstance. C'est une pensée dont le germe est vieux comme la religion chrétienne, car celle-ci a toujours enseigné que tous les hommes sont frères; mais le germe est devenu un arbre magnifique dont les fruits sont de nos jours arrivés à maturité.

L'Exposition universelle de Londres se rattachait entièrement au système du libre échange récemment inauguré par sir Robert Peel, qui repose sur la bonne entente des nations. Contrairement à l'esprit de la civilisation chrétienne, l'ancien système commercial, qui était en honneur parmi les Anglais comme dans le reste de l'Europe, était fondé sur des sentiments d'hostilité de nation à nation. Il était admis en principe qu'en matière commerciale *le profit de l'un fait le dommage de l'autre*, comme le disait Montaigne, notion matériellement fausse, et qui cède chaque jour la place à des principes plus généreux.

Exposition de 1855. — L'Exposition universelle, faite à Paris en 1855, aux Champs-Élysées, compta 20,000 exposants, et la France y brilla avec les avantages que donne toujours la proximité du pays qui l'organise. Il fallut 115,000 mètres pour installer les produits qui

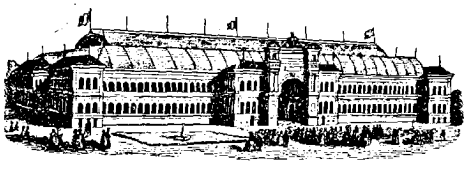


Fig. 2.

n'avaient exigé que 87,000 mètres en 1851. Nous ne parlerons pas en détail du bâtiment qui l'a abritée, malheureux mélange de verre et de pierre que la plupart de nos lecteurs connaissent (fig. 2), possédant une belle façade, mais inhabitable quand il fait froid.

Si l'on cherche l'enseignement qui s'est dégagé de l'Exposition de 1855, on peut dire que, après les étonnements de l'Exposition de 1851, qui avaient montré à chaque nation sa partie faible, à l'Angleterre notamment son infériorité au point de vue du goût relativement à la France, et après les efforts faits par chacun pour rejoindre ses rivaux, on vit clairement que les principales nations industrielles s'étaient singulièrement rapprochées par le rapide progrès de celles qui étaient entrées le plus tard dans la carrière. On peut dire aujourd'hui que, malgré la puissance incontestable de causes de supériorité dans certaines industries depuis longtemps prospères, chaque nation (nous parlons de celles qui sont livrées au travail de l'industrie moderne, parmi lesquelles les sciences sont florissantes, la France, l'Angleterre, l'Allemagne, les États-Unis, etc.) est parvenue à réunir assez sensiblement au même degré les éléments nécessaires pour créer tout genre de fabrication, pour que la supériorité d'un établissement, d'une nature de produits, résulte presque immédiatement de la supériorité personnelle du producteur. Il dispose assez aisément de toutes les ressources accumulées avant lui, pour que son génie, n'ayant plus à s'efforcer de combler une lacune considérable qui le séparait de ses rivaux, puisse se manifester aussitôt par un progrès dû aux efforts d'un travailleur éminent. Le caractère des Expositions universelles se modifie dès lors, et, de plus en plus au lieu d'indiquer une supériorité par nations, elles donnent bien plutôt la mesure des aptitudes scientifiques et du goût de chaque producteur.

Exposition universelle de 1862, a Londres. — Conçue dans les mêmes idées que la précédente, ne donnant pas satisfaction à des aspirations nouvelles, établie dans un bâtiment bien inférieur à celui de 1851 (fig. 3), n'excitant pas comme celui-ci l'admiration, ne laissant pas passer une abondante lumière, son succès a été moindre que celui des deux précédentes. Les œuvres exposées par plus de 20,000 exposants n'étaient pas moins remarquables cependant, et il était facile de reconnaître une multitude de progrès accomplis dans toutes les directions, de constater les résultats des efforts faits dans toutes les industries, par de nombreux esprits distingués, pendant six ou sept années.

Nous n'indiquerons pas ici, pour ces diverses expo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sitions, les œuvres les plus remarquables et les plus remarquées, puisque c'est leur étude qui nous a fait remanier et compléter à trois reprises différentes cet ouvrage, et que par suite des articles spéciaux ont été consacrés à chacun de ces progrès.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867, A PARIS. — Nous arrivons à l'Exposition de 1867, conçue sur une échelle gigantesque, et qui cependant n'a pu donner satisfaction aux 40,000 industriels qui y ont pris part, que grâce aux constructions provisoires qui sont venues se grouper autour du bâtiment central, dans toute l'étendue du Champ de Mars converti en un parc de 50 hectares. Les 11 hectares couverts par le bâtiment central de forme circulaire, divisé en galeries concentriques, ont reçu les produits les plus variés, disposés dans un ordre très-favorable pour l'étude, les produits du même ordre venant, pour tous les pays, se réunir dans les mêmes galeries.

Ce progrès important a été fort apprécié; il est seulement fâcheux qu'il ait été acheté par le mauvais effet des lignes fuyantes engendrées par les formes circulaires, qui n'étaient nullement nécessaires, car la concentricité des galeries eût pû être obtenue avec des formes rectangulaires, et la juxtaposition de constructions rappelant le Palais de Cristal de Londres eût donné un tout autre effet. Nous ne pouvons donner qu'une vue d'ensemble (fig. 4) de l'ensemble gigantesque de ces constructions.

L'immensité de l'Exposition de 1867 a fait conclure par bien des personnes, un peu vieilles et blasées par la répétition de semblables spectacles, que c'était la dernière des expositions universelles. Nous doutons que les générations nouvelles partagent cette manière de voir, et dans quelques années nous entendrons parler d'une semblable fête du travail. Si elle se réalise plus difficilement, on le devra sans doute à la faiblesse morale d'une exposition si brillante matériellement. La curiosité, l'ardeur du plaisir, avaient remplacé les idées de fraternité qui avaient jeté tant d'éclat à l'Exposition de 1851 ; elles ont été en quelque sorte symbolisées toutes deux par leurs bâtiments, la dernière était plus colossale, mais elle n'éveillait pas des sentiments aussi élevés que la première. Aussi les craintes de guerre, les armements coûteux, une crise industrielle d'une rare intensité, ont-ils succédé à un spectacle qui semblait devoir inaugurer une période d'entente universelle et de prospérité.

Quoi qu'il en soit, quoi qu'il y ait à dire en se plaçant à ces points de vue étrangers à notre spécialité, l'Exposition de 1867 a été un admirable spectacle par l'immense quantité de produits de l'industrie du monde entier, par la multiplicité des machines en mouvement, montrant en action le puissant outillage de l'industrie moderne. Jamais plus belle occasion d'études technologiques n'avait été offerte dans des conditions plus convenables pour en faire apprécier l'importance.

Disons toutefois, d'une manière générale, que les expositions faisant connaître bien des produits nouveaux, tout en semant beaucoup d'idées vraies, laissent cependant dans les esprits un sentiment erroné contre lequel je chercherai à réagir ici. Au milieu de l'accumulation de produits venus de tous les points de la terre, de l'œuvre de l'humanité entière, qui rappelle quelque peu la tour de Babel, la part de l'industriel tend à disparaître. On entend expliquer les progrès par la race, le climat, etc., trop rarement par le mérite de l'inventeur. C'est là une erreur grossière, et, comme dans toutes les œuvres humaines, c'est au travail de l'individu qu'il faut surtout rendre hommage. Toute la différence que l'on peut constater, c'est que les efforts sont plus énergiques, que le profit de ce travail est bien plus grand pour tous dans les pays libres, où le citoyen livré aux travaux utiles est un rouage actif de la société, que dans ceux où il est seulement un contribuable pressuré pour défrayer les fastueuses fantaisies d'un gouvernement. Pour le prouver, il suffit d'étudier l'histoire d'une industrie créée, transformée par quelques hommes dont les noms sont connus le plus souvent, et

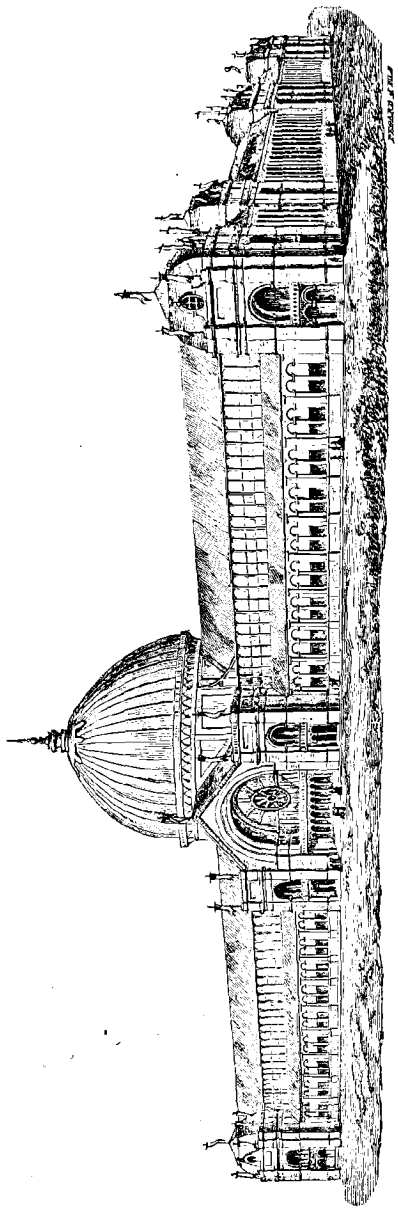


Fig. 3.

qui n'appartiennent nécessairement à aucune contrée déterminée. Citons quelques noms.

Hargraves, Crampton, Arkrwight sont les créateurs de la filature mécanique du coton, à laquelle Heilmann a apporté de nos jours son dernier degré de perfec-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tionnement; Vaucanson, Jacquart sont parmi les plus justement célèbres des inventeurs qui ont amené l'industrie des soieries à un aussi haut degré de perfection ; Watt a créé la machine à vapeur; Stephenson, la locomotive, et par suite les chemins de fer.

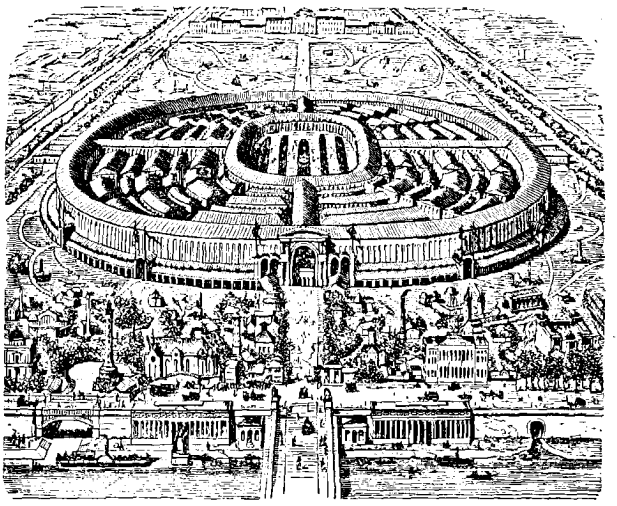


Fig. 4.

De nos jours, Krupp, Bessemer ont transformé l'industrie de l'acier; Whitworth a agrandi singulièrement la sphère d'action des machines-outils; E. Howe, en Amérique, a rendu pratique la machine à coudre; M. Perrin, à Paris, la scie à rubans; Foucault a posé les principes du régulateur qui a rendu utilisable la lumière électrique; Arago, Ampère, Morse ont créé la télégraphie électrique; Jacobi et Spencer, la galvanoplastie ; Niepce et Daguerre, la photographie, etc.

On pourrait multiplier à l'infini les exemples de progrès dus aux labeurs de l'inventeur isolé, du véritable créateur d'industrie ; en réalité, ils naissent toujours de la sorte. Ce n'est jamais de commande, sur les injonctions de la science officielle, que les grandes découvertes prennent naissance; celle-ci les déclare impossibles, jusqu'au jour où la vérité luit aux yeux d'un inventeur qui est en avance de son siècle, et que personne, par suite, ne pouvait guider.

Efforçons-nous donc de voir clair dans la voie industrielle, comme il serait si désirable que la lumière se fît dans toutes les directions, dans la politique notamment. La société n'existe pas par elle-même, n'a pas tous les pouvoirs, toutes les lumières, toutes les vertus, et le malheureux commis qui la représente dans chaque cas de la pratique n'est nullement un être d'une espèce supérieure au reste de l'humanité. Elle n'est que l'association des individus pour un but déterminé, et elle vaut par l'énergie, l'intelligence de chacun d'eux, facultés qui doivent avoir leur plein essor pour créer une grande société chrétienne digne de notre époque, et non une mauvaise société asiatique, ayant un faux éclat de grandeur par l'opposition du luxe des chefs avec la misère des multitudes.

F

FER. Les progrès de la métallurgie de fer, depuis le commencement du siècle, ont presque exclusivement consisté à organiser sa production à l'aide du combustible minéral. Ce grand progrès de la civilisation moderne, qui a permis d'abaisser considérablement le prix du fer, et d'appliquer les bois à d'autres usages qu'à faire du charbon, ne devait pas faire renoncer à la fabrication à l'aide du combustible végétal dans quelques contrées où il ne saurait avoir d'autre emploi profitable, et où la qualité des minerais permet d'obtenir des fers d'une qualité supérieure. Certains pays même, où la diminution du prix du fer menaçait une ancienne industrie, ont pu, grâce à d'heureux progrès dans la fabrication et l'organisation des usines, retrouver une prospérité que rend assurée l'adoption de procédés propres à la conversion rapide de ces excellents fers en acier.

On comprend tout l'intérêt de cette question si l'on réfléchit qu'aujourd'hui encore, dans la plus grande partie de la France et dans tout l'ouest de l'Europe, en Russie, en Suède, etc., la fabrication du fer se fait au moyen du charbon de bois, c'est-à-dire que la fonte obtenue dans un haut-fourneau à charbon de bois est affinée dans un foyer à tuyère avec le même combustible. Ce mode d'affinage, dans lequel on opère sur de petites masses, exclut presque forcément l'emploi des grandes machines à cingler et à laminer, et entraîne celui du marteau. L'opération métallurgique d'abord, puis l'élaboration mécanique, absorbent ainsi une quantité considérable de main-d'œuvre, triple environ de celle que demandent les élaborations analogues dans les usines dites à l'anglaise; la consommation de combustible est en outre fort considérable.

Par un progrès économique important, depuis une trentaine d'années, il s'est établi dans le centre et le nord de l'Europe (en Autriche, en Suède et en Russie) de grandes usines où le travail est organisé, au moyen du bois, sur les mêmes bases adoptées dans les forges à houille de l'Occident, c'est-à-dire au moyen des fours à réverbère et des laminoirs. Ce système, applicable pour toutes les usines qui peuvent recevoir, par flottage ou par quelque autre mode économique de transport, de grands approvisionnements de bois, a eu pour conséquence immédiate une grande réduction de main-d'œuvre, fort appréciée dans les pays où la population fait souvent défaut au milieu d'immenses ressources en matières premières. Toutefois, il restait encore beaucoup à faire. L'emploi du bois à son état ordinaire, pour des opérations demandant des températures très-élevées, donnait lieu à des consommations considérables et à des produits irréguliers et de qualité inférieure. Ces imperfections ont été évitées dans les établissements de M. le comte Egger, que l'on peut prendre comme type, et cela au moyen des dispositions suivantes :

1° Remplacement du bois ordinaire par du *ligneur*, ou bois débarrassé, au moyen d'une dessiccation artificielle faite à l'usine même, des 30 ou 40 p 100 d'eau hygrométrique qu'il contient habituellement. Cette dessiccation préalable permet de réaliser, d'une ma-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nière bien plus simple et bien plus économique, les effets caloriques nécessaires.

2° Emploi de fours à reverbère spéciaux dits *gazofen* ou *fours à gaz*, pour le puddlage et le réchauffage au moyen du ligneux.

Les caractères distinctifs de ces fours sont la grande dimension du foyer dans le sens vertical, et l'emploi d'un courant d'air forcé qui se subdivise en deux courants partiels : l'un, amené sous le foyer en quantité proportionnelle à la quantité du ligneux que l'on veut brûler ; l'autre qui, après avoir été chauffé préalablement, débouche par une large tuyère à l'entrée même du laboratoire du fourneau, au-dessus du pont.

Il résulte de ces dispositions que le foyer, chargé toujours d'une grande quantité de ligneux en excès, fournit, à l'entrée du rampant, des gaz combustibles exempts de toute trace d'oxygène libre.

Pour fonctionner dans les meilleures conditions, les registres qui sont à la disposition de l'ouvrier doivent être manœuvrés de manière que la tuyère fournisse à chaque instant, en air chaud, la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion complète de ce gaz.

On voit que le principe sur lequel se fait la combustion dans ces fours n'est pas nouveau : il est celui qui a été proposé par Ébelmen pour brûler de menus combustibles dans de bonnes conditions (Voir COMBUSTION). C'est exactement celui que nous avons vu appliquer, il y a déjà longtemps, par les métallurgistes américains, lesquels puddlent et réchauffent le fer au moyen des anthracites de la Pensylvanie, anthracites qui ne contiennent presque aucun élément volatil, et qu'on parvient cependant à faire brûler avec une très-longue flamme. Toutefois, M. le comte Egger n'en a pas moins le mérite d'avoir fait le premier l'application de ce principe au combustible végétal sur une grande échelle, et dans des conditions vraiment manufacturières. De là, le procédé nouveau s'est répandu dans un grand nombre d'autres usines et a été bientôt étendu au lignite et à la tourbe.

C'est dans la réunion du progrès économique réalisé par l'organisation de grandes forges pour le travail au bois, et du progrès technique résultant de l'emploi du combustible à l'état gazeux, c'est-à-dire de la manière la plus avantageuse, tellement avantageuse qu'elle annule dans quelques cas la différence de prix du combustible, qu'est le salut des usines qui peuvent continuer le travail au bois. Il s'agit évidemment de celles qui peuvent se procurer ce combustible en masses considérables à un prix modéré, et disposent d'un travail moteur presque gratuit, ce qui répond en général à des moyens de flottage et à de puissantes forces hydrauliques.

FIBRES VÉGÉTALES TEXTILES. La possibilité d'employer des fibres de nouveaux végétaux pour la fabrication des tissus, a été étudiée avec beaucoup d'ardeur en Angleterre, et beaucoup d'échantillons intéressants figuraient aux dernières expositions.

« Il est un groupe de végétaux, dit le rapporteur de la classe du jury de l'Exposition de 1855, où l'on peut s'attendre à trouver particulièrement des fibres textiles, c'est la famille des urticées. Aussi dans les catalogues de collections publiés en 1851 par les jurys de Londres, on trouve plus d'une espèce de cette famille. En tête de toutes les autres semble se placer l'*Urtica utilis*, ou ramieh, originaire de l'archipel indien, Java, les Moluques, etc., etc. L'un de nous, M. Decaisne, s'est particulièrement attaché dans quelques-uns de ses nombreux travaux à faire connaître et estimer les qualités des fils de ramieh, qui paraissent avoir plus de ténacité que ceux du chanvre, et une force d'extension bien supérieure à celle du lin. On s'occupe activement d'introduire en Europe la culture de l'*Urtica utilis* dans des conditions suffisamment économiques. A côté de cette espèce si précieuse, l'Exposition nous a montré le chinagrass des Anglais, *Boehmaria nivea* de la Chine, qui sans contredit est une matière textile très-estimable ; le *B. tenacissima*, dont on peut espérer des tissus souples et résistants, le *Maoutia Puya*, qui paraît avoir les mêmes qualités, puis encore le *Sarcochlamys pulcherrima*, etc. D'ailleurs, la plupart de ces plantes sont cultivées dans leur pays natal pour les fibres qu'on en extrait.

« L'Inde anglaise avait exposé de beaux chanvres, provenant du *Cannabis indica*, qui n'est sans doute qu'une variété du *sativa*. Parmi les liliacées, on paraît devoir remarquer surtout les fibres de *Corchorus olitorius, Triumfetta lobata* et *semitriloba, Grewia occidentalis* ; puis nous avons vu un grand nombre de fibres de malvacées. M. le docteur Royle et plusieurs colons de l'Inde avaient exposé une série fort intéressante de papiers fabriqués avec le jute ou *Corchorus olitorius*, le bandekai ou *Hibiscus esculentus*, le *Daphne cannabina*, le *Pandanus odoratissimus*, le *Bambusa arundinacea*, l'*Agave americana*, etc. A Ceylan, M. Thwaites nous signalait le *Gnidia eriocephala* comme particulièrement propre à la fabrication des papiers.

« En un mot, après avoir étudié toutes ces expositions, on a pu se convaincre que si nos nations de l'Occident ont à demander à la science de nouvelles ressources en matières textiles, celle-ci pourra choisir au milieu d'un grand nombre de plantes filamenteuses celles vers lesquelles il faudrait diriger les tentatives du commerce. Ce fonds de richesses, on réserve pour nos besoins, s'augmente encore si nous jetons spécialement les yeux sur les monocotylédonées filamenteuses.

« Beaucoup de ces fibres, et particulièrement celles des musacées, des yucca, des agaves, etc., si abondantes dans la plupart des pays chauds, et qui, outre leur production spontanée, semblent, par leur culture facile, promettre des tissus à très-bon marché, se sont malheureusement montrées jusqu'ici d'une extraction pénible, et n'ont pu, d'ailleurs, être employées à autre chose qu'à la corderie ou la fabrication des papiers. Enroidies et agrégées par une gomme abondante et très-difficile à séparer, elles n'ont pu jusqu'ici se prêter à la filature et au tissage. Quant à leur extraction, elle offre des difficultés sérieuses et a souvent des inconvénients graves pour les ouvriers qui la pratiquent. On doit regretter tant d'obstacles quand on songe à la réputation que sa ténacité a value, dans la marine, au chanvre de Manille, *Musa textilis* ; quand on considère les fibres brillantes des sansiviera, des yucca, des agave. »

FONDATIONS TUBULAIRES. On emploie de temps immémorial dans les Indes des puits en briques pour les fondations quand il existe un sous-sol de sable ou d'argile. Le terrain est si mouvant dans certains endroits, que des pilotages seraient sans efficacité ; une sonnette eût d'ailleurs été une machine beaucoup trop compliquée pour les Indous, et, dans certaines provinces, on n'eût pu se procurer des pilotis qu'à grands frais. Le procédé fort ingénieux qui a été adopté est tout à fait approprié à la nature du terrain et au genre de matériaux dont on dispose. Ajoutons qu'une religion qui déifie les grandes rivières, qui favorise la construction de temples sur leurs bords, et dont les cérémonies s'accomplissent, en partie, dans le lit même des fleuves, met ses sectateurs dans la nécessité de trouver un moyen de fonder dans les terrains mouvants.

La méthode indoue de fondation par puits consiste à creuser le sol jusqu'à ce qu'on rencontre l'eau, à placer alors une couronne de bois, à construire au-dessus un tube en maçonnerie de briques, et à le faire descendre par dragage intérieur et charge de poids.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le diamètre d'un puits est généralement de 7 pieds 6 pouces (2m,29) à l'extérieur et de 3 pieds 6 pouces (1m,10) à l'intérieur. On enlève la terre d'abord avec un outil qui ressemble à une houe. Quand la profondeur de l'eau est de 4 à 5 pieds (1m,23 à 1m,54), on emploie le *jham* : c'est une drague à manche très-court, fixée à l'extrémité d'une corde qui passe sur une poulie placée au-dessus du puits. Un ouvrier plonge avec cet outil et creuse la terre ; quand le jham est chargé, on le hisse par la corde.

Les puisatiers travaillent ainsi sous l'eau, revenant à chaque instant à la surface pour prendre haleine ; ils excavent d'abord au centre du puits, ensuite près du mur et quelquefois sous la couronne, de manière à maintenir le mouvement bien vertical ; ils se relayent d'heure en heure, sans interruption, pour que les maçonneries descendent d'une manière continue, et qu'elles ne puissent pas adhérer fortement aux terres.

Les Anglais ont conservé ce procédé, en remplaçant la poulie par un treuil ; cependant, quand il faut creuser à plus de 20 pieds (6m,10) sous l'eau, ils préfèrent généralement se servir de machines à draguer. Le jham a été employé quelquefois jusqu'à des profondeurs de 40 et 50 pieds (12m,19 et 15m,24), mais avec des fatigues inouïes.

Aux fondations du pont-aqueduc de Roorkee, sir Proby Cautley s'est servi de jhams, que l'on manœuvrait sans plonger, à l'aide d'un long bâton formant repoussoir et d'un treuil élévateur.

On établit généralement les puits par files, avec des intervalles d'un pied (0m,30). Quand ils sont parvenus au terrain solide, on les remplit de béton et on les couvre séparément de voûtes.

Ce mode de fondation est employé pour les ouvrages en lit de rivière. Si la profondeur de l'eau est un peu grande au moment où l'on commence le travail, on établit un batardeau.

Les puits cylindriques laissent forcément un espace assez considérable entre eux. Lorsqu'il est nécessaire d'avoir un massif de fondation, les Indiens emploient des puits carrés qu'ils appellent *kothis*. Leurs assises sont généralement formées de pierres plates réunies par des queues d'aronde en bois.

Des ouvrages importants ont été fondés sur des khotis ; nous pouvons citer comme exemple le pont construit à Nobatpûr, sur le Caramnassa, pour la route de Calcutta à Bénarès. Il fut commencé à la fin du dix-huitième siècle par Nana Farnaviz, ministre de l'État de Pounah. Sa mort arrêta les travaux avant l'achèvement des fondations.

En 1829, Patni Mal, riche habitant de Bénarès, célèbre dans les Indes pour les temples et les ghats qu'il a fait construire, entreprit de compléter à ses frais l'œuvre de Nana Farnaviz ; il fit enlever les sables de la rivière, qui recouvraient les anciens ouvrages. On trouva un massif général de fondation de 60 pieds (18m,29) de largeur, allant d'une berge à l'autre ; il était formé de kothis de 15 pieds (4m,47) de côté, descendus à travers le sable jusqu'à un banc d'argile, à une profondeur de 20 pieds (6m,10). On dragua les sables qui se trouvaient dans les puits, et on rencontra à diverses hauteurs des massifs de remplissage en maçonnerie. On les compléta par du béton. L'édifice fut ensuite construit sans difficulté, d'après un projet de M. James Princep : 3 arches en plein cintre, de 53 pieds (16m,85) d'ouverture ; piles de 13 pieds (3m,69) d'épaisseur ; largeur de la voie, 25 pieds (7m,62).

Dans les localités où le bois est à bas prix, les Indous emploient des kothis en madriers. Enfin, dans quelques circonstances, ils se servent seulement de caisses sans fond, qu'ils appellent *sundooks*.

Les puits ne peuvent pas être jointifs, ce qui est un grand inconvénient dans certains ouvrages. Le colonel Colvin, ayant à construire un barrage sur le Somoé, afin de faire une prise d'eau pour le canal de Delhi, imagina de réunir deux puits sur le même neemchuck ; c'est ainsi qu'on appelle la plate-forme inférieure en charpente qui, pour les simples tubes, a la forme d'une couronne. Il établit deux lignes contiguës de ces massifs doubles, en ayant soin de croiser les joints. Le travail a été facile, et le succès du barrage complet.

Cette disposition a été imitée. On a multiplié les massifs ayant plusieurs puits sur un même neemchuck ; c'est ce qui constitue la méthode colvinienne, que l'on appelle aussi méthode des blocs. Elle doit à sir Proby Cautley de grands développements. Au canal de Delhi on a descendu d'une seule pièce des fondations de culée avec leurs murs en aile. Au canal du Gange, on a employé des blocs qui présentent en plan un carré de 32 pieds (9m,75) de côté. Les massifs colviniens sont plus faciles à conduire que les puits isolés, mais il ne faut pas que les vides soient trop écartés ; une distance de 3 pieds (0m,91) de l'un à l'autre est considérée comme un maximum.

Au pont-aqueduc de Roorkee, une pile est fondée sur huit massifs, contenant chacun quatre puits octogonaux. Le diamètre du cylindre inscrit est de 5 pieds 6 pouces (1m,67). Les puits sont à 8 pieds 6 pouces (2m,59) d'axe en axe. Les blocs sont espacés de 3 pieds (0m,91) ; ils présentent en plan un carré de 20 pieds (6m,10) de côté. Un massif à deux puits est placé en prolongement pour chaque arrière-bec ou avant-bec. Les blocs de culée ont 26 pieds (7m,92) de côté. Enfin, pour empêcher les affouillements, deux lignes de massifs à deux puits, aussi rapprochés que possible, comprennent entre elles les empierrements du radier.

Tous les massifs, au nombre de 288, ont été descendus à 20 pieds (6m,10) de profondeur sous le lit de la rivière. Pour faciliter l'abaissement, on reconvrait chacun d'eux d'une plate-forme à contre-fiches, que l'on chargeait de sable.

Le neemchuck de l'un des blocs à quatre puits se compose de six forts racinaux croisés par sept traverses. Des madriers placés entre elles, sur les racinaux, composent le plancher.

La descente des maçonneries n'est pas un mode de construction nouveau en Europe pour les puits de village. Nous tenons de M. Le Masson, inspecteur général des ponts et chaussées, que cette méthode est suivie depuis longtemps en Alsace ; on l'emploie aussi dans le nord de la France, et probablement ailleurs. Les travaux sont faits dans les sécheresses à l'aide de petits épuisements.

En 1825, Brunel, pour établir à Rotherhite le puits qui donne accès au tunnel sous la Tamise, descendit en terre une tour de 42 pieds de hauteur et de 50 pieds de diamètre (12m,80 et 15m,24), portant une machine à vapeur. Tout le monde connaît les détails de cette belle construction ; nous rappellerons seulement que la maçonnerie était fortement serrée par des boulons entre deux précintes, l'une supérieure, l'autre inférieure, et qu'au-dessous de cette dernière était une couronne en fonte armée d'un tranchant. Plus tard, Brunel descendit jusqu'à 80 pieds (24m,38) de profondeur les maçonneries du puits du tunnel sur la rive gauche de la Tamise à Wapping. (Voir le Mémoire de M. Henry Law, *Quarterly papers of engineering*, 1845.)

Depuis les travaux de Brunel, on a employé des puits en maçonnerie pour diverses constructions ; plus tard, on s'est servi de tubes métalliques.

L'embarcadère de Milton-on-Thames est le premier ouvrage que l'on cite comme ayant été fondé au moyen de tubes en métal employés comme batardeaux. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDATIONS TUBULAIRES.

fondations du pont de Chepstow sont l'une des plus belles applications de ce système.

Le docteur Potts a proposé d'enfoncer les tubes en y faisant le vide. Son brevet est daté de décembre 1843, et la spécification, de juin 1844. L'eau qui afflue dans le tube sous l'aspiration produite y soulève le sable ou la vase, et la pression atmosphérique agissant à sa partie supérieure le fait graduellement descendre. De temps en temps il faut enlever la calotte du tube, et draguer les parties soulevées du sol.

Quand le terrain est compacte et qu'à une certaine profondeur l'aspiration reste sans effet, Potts propose d'employer de larges tubes ouverts par le haut, dans lesquels on entretiendrait de l'eau. On y descendrait un tuyau d'aspiration ou trompe (*an elephant*). Dans le brevet qu'il a pris en France, Potts parle de faire des dragages dans les rivières par des trompes.

L'emploi du vide dans les tubes a donné des résultats. On a souvent cité cette méthode avec éloge ; cependant le succès n'a jamais été complet. Nous ne croyons pas que l'on ait employé des trompes. Les procédés de Potts paraissent abandonnés aujourd'hui. Nous devons remarquer que, quand on emploie des tubes avec épuisement, l'eau désagrége le sol en le traversant, comme dans la méthode de Potts.

M. Triger a fait connaître à l'Académie des sciences de Paris, dès 1841, les résultats avantageux qu'il avait obtenus de l'emploi de l'air comprimé pour ouvrir un puits de mine dans un terrain où pénétraient les eaux de la Loire. Il avait employé un tube en tôle, et l'avait fait descendre à coups de mouton. En juin 1845, rendant compte à l'Académie de nouveaux travaux de ce genre, M. Triger proposa l'emploi de tubes avec air comprimé, pour fonder des piles de pont.

Le procédé de M. Triger a été employé plusieurs fois dans les mines. Nous citerons les travaux de Strépy-Bracquegnies, où M. de la Roche épuisait en partie les eaux, et les refoulait en partie par la compression de l'air à 3,70 atmosphères.

En 1851, MM. Fox et Henderson essayèrent d'établir, par la méthode de Potts, les fondations du pont de Rochester dont ils avaient l'entreprise. Ils trouvèrent, sous les vases de la rivière, de fortes pièces de charpente que l'on suppose être les débris d'un ancien pont. Le vide ne pouvait être d'aucun avantage ; il fallait repousser l'eau des tubes pour couper les bois. M. Hughes, qui dirigeait les travaux, proposa de recourir au système de M. Triger : on le fit avec un plein succès. Chaque pile a été fondée sur 14 pieux en fonte de 6 pieds 6 pouces (1m,98) de diamètre. La seule difficulté fut dans la sous-pression, qui ne put être vaincue que par des poids considérables, dont l'application donna quelque embarras.

Les travaux du pont de Rochester ont eu un grand retentissement, et la méthode tubulaire avec pression pneumatique est maintenant tout à fait entrée dans la pratique. Sa plus belle application est la fondation de la pile centrale du pont de Royal-Albert.

A l'endroit où elle est construite, la profondeur de l'eau à mer haute dépasse 70 pieds (21m,34). Le fond est une couche de vase de 13 pieds (3m,96) d'épaisseur, au-dessous de laquelle on trouve le rocher.

M. Brunel employa un tube de 35 pieds (10m,67) de diamètre, avec pression pneumatique ; mais, pour diminuer la sous-pression, il a placé un deuxième tube de 27 pieds (8m,23) de diamètre dans l'intérieur du premier, et il ne comprime l'air que dans la *jaquette* : c'est le nom que les ouvriers donnent à l'espace annulaire compris entre les tubes. On a construit ainsi un puits en maçonnerie parfaitement enraciné dans le rocher ; on épuise à la manière ordinaire dans le cylindre intérieur, et on y drague la vase.

M. Brunel a augmenté le diamètre du grand tube de 2 pieds (0m,61), à une hauteur de 40 pieds (12m,19) environ, afin qu'on pût désassembler ses différentes parties de l'intérieur, après l'achèvement des maçonneries, et pour qu'une petite déviation dans la verticalité ne gênât pas la construction de la pile.

Nous ajouterons quelques mots à cette intéressante notice sur les ponts tubulaires, que nous empruntons à M. de la Gournerie, savant ingénieur des ponts et chaussées.

Le système du pont de Rochester a été employé avec succès dans plusieurs travaux récemment exécutés en France, au pont de la Mulatière à Lyon, aux fondations des piles du viaduc de Nogent, sur la ligne de l'Est. En principe, un tube en tôle est un admirable moyen de former un batardeau, et il suffit, par l'effet de la pression de l'air, de luter en quelque sorte le bas de l'enveloppe en tôle, pour pouvoir faire avec une grande rapidité des travaux du genre le plus difficile qui se rencontrent dans l'art des constructions. On peut dire que c'est aujourd'hui le moyen par excellence d'effectuer les fondations des ponts de premier ordre. On l'emploie pour construire les piles du pont de traversée des grands fleuves à l'imitation des travaux, si admirablement combinés, et exécutés avec autant d'intelligence que d'énergie, faits pour la traversée du Rhin à Strasbourg pour réunir les chemins de fer de France et d'Allemagne.

M. Perdonnet, administrateur du chemin de fer de l'Est, en parle ainsi dans son livre intitulé : *Notions générales sur les chemins de fer.*

Lorsqu'il s'agit de fonder les piles du pont du Rhin, à construire vis-à-vis de Kehl, dans un fond de gravier d'une profondeur indéfinie, on songea à employer le système adopté pour le pont de Rochester, mais il fut jugé long et coûteux. L'extraction des déblais, surtout au travers des écluses d'air, est très-lente et fort dispendieuse. M. Fleur Saint-Denis, ingénieur des ponts et chaussées, modifia ainsi le système.

Au lieu de cylindres en fonte, il a employé d'énormes caissons rectangulaires en tôle, longs de 7 mètres et larges de 3m,80, fermés dans le haut et ouverts dans le bas comme les cylindres en fonte. Le caisson étant moins haut que le cylindre, est, une fois posé sur le sol, entièrement plongé dans l'eau ; dans la paroi supérieure formant couvercle sont percés trois trous cylindriques : deux trous latéraux, chacun de 1 mètre de diamètre, et un trou central de 1m,30. Deux tuyaux ou cheminées cylindriques en tôle sont fixées au bord des trous latéraux et s'élèvent jusqu'au-dessus de l'eau. Elles sont surmontées chacune d'une chambre à air. Le trou du milieu donne passage à un troisième tuyau ou cheminée centrale qui est ouverte aux deux bouts et descend à travers le caisson jusqu'au fond de la rivière.

Lorsqu'on vient à refouler de l'air comprimé dans les deux cheminées latérales, l'eau se retire de celles-ci et du caisson, mais non du tube du milieu. Les ouvriers sont introduits dans le caisson ou en sortent par les cheminées latérales et au moyen des écluses d'air. Quant aux déblais, ils sont extraits au moyen d'une noria logée dans la cheminée centrale en traversant une colonne liquide. Les godets se chargent à la partie inférieure du gravier que les ouvriers enlèvent avec leurs outils tout autour de la caisse et repoussent en bas de la cheminée centrale, et se vident à la partie supérieure sur un plan incliné qui conduit le gravier dans un bateau où on le recueille.

Sur les parois latérales du caisson en tôle s'élèvent au-dessus de l'eau les parois d'une caisse en bois dont les joints sont calfatés et qui est recouverte d'une enveloppe de tôle. Cette caisse imperméable sert en même temps à contenir l'eau et le sable au-dessus de la caisse en tôle. Des ouvriers placés à l'intérieur sur la caisse coulent du béton, qui sert en même temps à charger la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

caisse et à former le corps de la pile autour des cheminées. Les caisses en tôle sont suspendues à des treuils au moyen desquels on en modère et règle la descente.

Le caisson étant arrivé à la profondeur voulue, on le remplit de béton et de maçonnerie. On achève également de combler l'espace entre les cheminées et les parois du caisson en bois, et on peut même enlever les cheminées en remplissant le vide qu'elles occupaient.

Nous avons donné à AIR COMPRIMÉ les dessins de ce beau travail qui restera à jamais célèbre dans l'histoire de l'art de l'ingénieur, et qui a rendu facilement applicable une des plus heureuses inventions de notre époque. (Voir aussi à PONTS la description de la construction du pont de Bordeaux.)

FONDERIE. M. Karmarsch, technologue allemand justement estimé, a donné une table utile que nous croyons devoir reproduire. Elle permet de calculer approximativement le poids qu'aura une pièce fondue quand on connaît celui de son modèle. Les chiffres portés dans les colonnes expriment les coefficients par lesquels il faut multiplier ce dernier poids.

MATIÈRE du MODÈLE.	MATIÈRE DE LA PIÈCE FONDUE.					
	Fonte.	Laiton.	Cuivre rouge.	Bronze.	Métal de cloche ou de canon.	Zinc.
Pin ou sapin	14	15,8	16,7	16,3	17,1	13,5
Chêne . . .	9,0	10,1	10,4	10,3	10,9	8,6
Hêtre. . . .	9,7	10,9	11,4	11,3	11,9	9,1
Tilleul. . .	13,4	15,1	15,7	15,5	16,3	12,9
Poirier. . .	10,2	11,5	11,9	11,8	12,4	9,8
Bouleau . .	10,6	11,9	12,3	12,2	12,9	10,2
Aune. . . .	12,8	14,3	14.9	14,7	15,5	12,2
Acajou. . .	14,7	13,2	13,7	13,5	14,2	11,2
Laiton . . .	0,84	0,95	0,99	0,98	1,00	0,81
Étain avec 1/4 ou 1/3 de plomb. .	0,89	1,00	1,03	1,03	1,12	0,85
Plomb . . .	0,64	0,72	0,74	0,74	0,78	0,61

Il va sans dire que ce tableau ne peut servir lorsque le modèle contient des pièces qui ne doivent pas être reproduites dans l'objet fondu, ainsi que cela arrive souvent dans les ouvrages creux.

FONDERIE EN CARACTÈRES. La transformation générale de cette industrie que nous faisions pressentir à la fin de notre article FONDERIE, est aujourd'hui accomplie dans plusieurs pays et le sera bientôt partout, par l'adoption de la machine américaine à fondre les caractères, au moyen de systèmes qui sont des variations et modifications diverses de la machine à pompe d'injection. Quoique nous ayons déjà donné des développements peut-être exagérés à la description de cette industrie curieuse, mais peu importante au point de vue du chiffre de sa production, puisqu'elle crée seulement les outils de l'imprimerie et que ces outils sont de longue durée, nous devons la compléter par la description de cette curieuse machine et relater en quelque sorte l'histoire de l'invention première, avant que ses nombreuses modifications causent bientôt, comme il arrive d'habitude, une confusion sur l'origine de l'invention qui la fasse réclamer par plusieurs pays.

Vers 1815, M. Didot-Saint-Léger, l'inventeur, pour une bonne part au moins, de la machine à papier continu, vint expérimenter chez ses parents, MM. Firmin Didot, la première machine qui ait été tentée pour imiter le travail de l'ouvrier fondeur en caractères. On doit considérer cette machine comme la première dans laquelle on se soit posé le problème dont on voit aujourd'hui la solution se compléter. En effet, au milieu de la complication de cette machine dont on peut juger par un petit modèle qui se voit au Conservatoire des Arts et Métiers, où il a été déposé par l'inventeur, on reconnaît les organes essentiels de ce genre de machines. Le principal et le plus difficile à imaginer, la pompe plongée dans la matière, s'y trouve pour la première fois; mais comme elle n'était pas réglée de manière à pouvoir lancer une quantité de métal proportionnelle à la lettre à fondre, que les leviers portant les pièces du moule étaient très-longs et replaçaient mal le moule à la place convenable, cette machine ne put fonctionner, et projetait de tous côtés le métal fondu. On se contenta en France de la condamner comme impropre à un bon service, et on n'en parla plus.

En Amérique, au contraire, M. White, de Boston, attaqua le même problème, et, après bien des modifications à la machine primitive, en transformant, diminuant la grandeur des pièces, réglant par un ressort et un arrêt à vis le mouvement de la pompe à clapet métallique mieux établie, arriva à construire une machine à fondre qui lui donna de bons résultats vers 1835 ou 1836.

Exploitée en secret et sur une grande échelle, cette invention procura de grands bénéfices à l'inventeur, et elle était tellement peu connue qu'en Europe, lorsque les premières machines à fondre, plus ou moins analogues, furent importées d'Amérique, personne ne pensa qu'il s'agît d'une invention ancienne et expérimentée, et l'on crut n'avoir à juger que des essais dont le succès était douteux. D'ailleurs, les modèles importés n'étaient pas celui perfectionné par M. White, mais des appareils construits par des imitateurs qui avaient eu plus ou moins connaissance de l'invention première et qui avaient, soit par ignorance des moyens employés, soit pour faire des machines différentes de celle brevetée, changé les dispositions des pièces et les communications de mouvement.

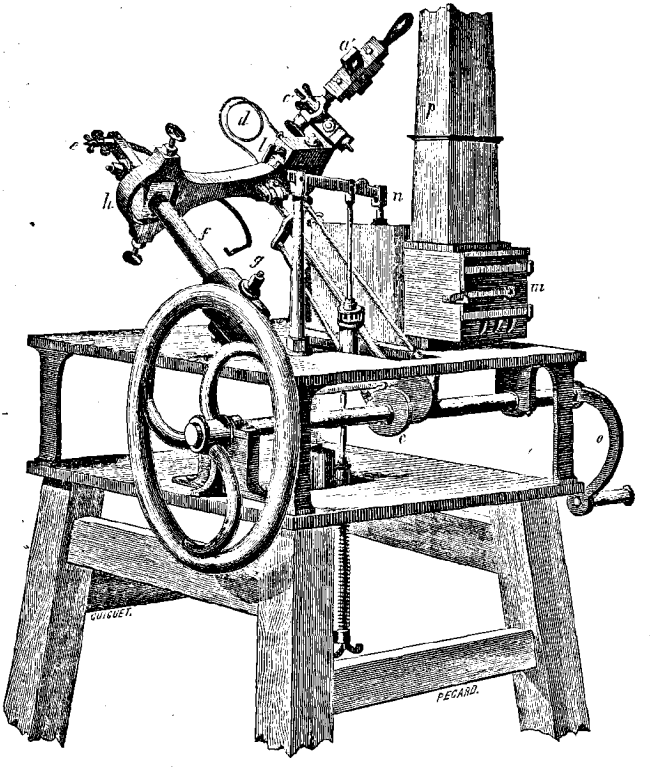
La première machine qui arriva en Europe fut celle de M. Brandt, qui importa de Philadelphie la machine qui a été adoptée et construite un très-grand nombre de fois en Allemagne. Son fonctionnement simple en fit le succès, malgré la qualité assez médiocre des produits fabriqués; le métal, obligé de remonter un assez long conduit incliné à 45°, sort en pluie et donne, pour peu que le métal soit peu fusible, renferme peu d'étain, des caractères poreux, à cavités intérieures, globulaires et peu résistants.

En France, une autre machine importée par M. Stewart, qui avait eu une communication plus incomplète de la machine de White, fonctionnait avec un moule placé horizontalement, et la matière, arrivant en ligne droite et parcourant peu de chemin, conservait sa qualité en arrivant dans le moule; malheureusement, le fonctionnement était peu assuré, les causes d'arrêt nombreuses, par l'effet des grains de métal qui s'interposaient entre le moule et l'extrémité du conduit, et qui ne pouvait plus être essuyé après la fonte de chaque lettre, comme dans le cas précédent, ce qui faisait naître des crachements fréquents. Aussi, acquéreur de ce brevet, lorsque j'exerçais la profession de fondeur en caractères, je reconnus bientôt la nécessité de placer obliquement le moule, employant une disposition prévue par le breveté (par connaissance incomplète des autres inventions), ce qui conduisait à construire la machine allemande. Aussi l'introduction en France, faite à cette époque, de la machine allemande nous sembla-t-elle impossible en présence du brevet dont nous étions acquéreur; néanmoins nous succombâmes dans une action en contrefaçon que nous dûmes intenter pour la conserva-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion de nos droits. Nous ne nous permettrons pas d'attaquer ce jugement, auquel nous sommes redevables d'avoir appris comment se traitent les affaires de brevet devant les tribunaux civils, connaissance qu'il serait bien profitable à la plupart des inventeurs d'acquérir.

Nous donnerons seulement ici une description sommaire de la machine de Brandt perfectionnée telle qu'elle se construit en Allemagne, et dont nous donnons ci-contre le dessin (fig. 3533).



3533.

m est le fourneau dans lequel se fait le feu, *p* la cheminée, *n* la capacité qui contient le métal fondu et la pompe cylindrique, qui se meut dans un corps de pompe alésé dans la fonte du fourneau. Cette pompe, sans cesse tirée de haut en bas par un ressort en hélice placé à la partie inférieure, que l'on bande à l'aide d'un écrou placé sur la barre de fer rond qu entoure le ressort, et repoussée à l'aide d'une tige assemblée avec le levier qui passe dans la tête de la pompe, tige mue à l'aide d'un galet qui repose sur un excentrique monté sur l'axe *o* que l'on fait tourner à l'aide d'une manivelle, et qui est calé, est de forme telle, qu'une cylindrée soit lancée par la pompe au moment convenable pour former la lettre fondue par chaque tour. Le métal sort par un conduit partant du fond de la chaudière et débouchant au milieu du bord supérieur de l'avant du fourneau. Le moule est porté sur un bras en fonte *b*, oscillant autour de la barre *f* sur laquelle il est assemblé par deux pivots à vis qui permettent d'en faire varier la position ; cette barre elle-même est ronde et assemblée par un collier de serrage à vis *g* dans une partie cylindrique du bâti, ce qui permet de la faire tourner et de faire varier sa longueur, et donne le moyen d'assurer l'inclinaison convenable du moule pour qu'il s'applique parfaitement sur l'orifice de sortie de la matière. Le bras fait une oscillation pour chaque tour de l'axe *o*, par l'effet d'un excentrique circulaire monté sur cet axe, et portant un collier portant des branches qui viennent s'assembler avec lui, avec l'intermédiaire d'un ressort à boudin pour assurer la pression.

La pièce du dessous du moule est montée sur l'extrémité de ce bras, à l'aide de deux vis ; la pièce du dessus est assemblée de même à une pièce montée à charnière sur ce bras. Cette pièce peut se mouvoir par un rappel *c'* pour varier les approches, et porte un talon saillant *a* qui reçoit l'extrémité de la tringle *e* recourbée en équerre. Le point d'assemblage par un écrou, ou plutôt le point où un écrou l'empêche d'abandonner le montant *f*, étant situé au-dessus de celui où le bras est assemblé, on voit que celui-ci ne pourra s'abaisser sans que les deux pièces du moule s'approchent, ce qui permet d'assurer le serrage au point voulu, et inversement fait ouvrir le moule lorsque le bras s'écarte du fourneau dans l'autre partie de la course de l'excentrique, par l'effet d'un arrêt placé sur la tringle *e* en avant du montant *f*. Enfin le mouvement de la matrice, toujours maintenue en place par un archet *d*, dans le système du moule américain décrit précédemment, est soulevée par une bascule fixée sur le dessus du bras qui agit par une extrémité munie d'une vis sur la matrice, et dont l'autre extrémité munie d'un rouleau est soulevée par un plan incliné glissant sur la face du bras et mû par une tringle disposée comme la tringle *e*, à l'extrémité de laquelle il est assemblé.

On voit que toutes les opérations nécessaires pour la fonte d'une lettre par tour de roue sont exécutées par cette machine. En effet, nous avons vu que la fonte d'une lettre à l'aide du moule à main comprenait les opérations suivantes :

1° Puiser le métal ; 2° le verser dans le moule ; 3° donner au moule une secousse convenable pour que le métal vienne bien se mouler dans la matrice ; 4° ôter l'archet qui presse la matrice ; 5° déchausser, faire sortir de la matrice l'œil de la lettre fondue ; 6° ouvrir le moule ; 7° faire tomber la lettre ; 8° refermer le moule ; 9° remettre l'archet.

Les opérations 1, 2 et 3, sont exécutées parfaitement par le coup du piston de la pompe qui chasse le métal fondu avec un excès de pression suffisant pour mouler les lettres les plus délicates plus sûrement que ne peut le faire la main de l'ouvrier le plus habile ; on ne pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FONDERIE EN CARACTÈRES.

duit jamais de lettres imparfaites. Nous avons dit comment étaient produites les opérations 4 et 5, en imitant la solution du moule à main américain. Par l'écartement du bras en fonte qui porte le moule, du fourneau, la tringle écartant la pièce *a* ouvre le moule et fait tomber la lettre fondue. Cet effet est produit par l'ouverture même du moule à l'aide d'un petit artifice qui consiste à placer dans le blanc de la pièce de dessus une petite saillie (obtenue en passant dans un petit trou une petite broche, du diamètre d'une aiguille à coudre), qui n'altère en rien la lettre et qui la force à adhérer à la pièce du dessus. Il s'ensuit que lorsque le moule s'ouvre en décrivant un arc de cercle par l'effet de la charnière qui le réunit au bras en fonte, un crochet en tôle d'acier adapté à la pièce du dessous accroche la lettre, pousse le côté de l'œil formé dans la matrice et la détachant la fait tomber. Les opérations 6 et 7 sont donc ainsi effectuées simultanément. Enfin les opérations 8 et 9 sont produites simultanément par la continuation de la rotation de la manivelle qui replace tout dans l'état initial.

Cette machine simple, légère à manier, débarrassée des chances de crachement de matières, parce que l'écartement du moule de l'orifice de sortie de la matière permet à l'ouvrier d'essuyer celui-ci chaque fois avec un bâton entouré d'un linge huilé qu'il tient de la main droite, et cela sans ralentir le mouvement de rotation produit à l'aide de la main gauche, est une solution complète du problème de la fonte des caractères à la mécanique. Elle permet de faire, avec une économie de 75 p. 100 sur la main-d'œuvre, 20,000 bonnes lettres par jour au moins, à l'aide d'un seul ouvrier, et en Allemagne seulement on compte aujourd'hui une centaine au moins de machines semblables.

De ce que nous disons que le problème est résolu, on aurait tort de conclure que nous prétendons que cette machine est parfaite, sans aucun défaut ; nous voulons dire seulement que des perfectionnements seulement sont encore à obtenir pour que le mode de fabrication se modifie complétement, qu'ils rendront seulement la révolution plus rapide et plus complète. Voyons ce qui a déjà été fait dans cette voie.

Les défauts de cette fabrication sont : 1° que les lettres sont creuses, les tiges sans grande résistance ; 2° que la régularité des pentes et de l'alignement des lettres fondues est inférieure à celle de la bonne fabrication à la main.

1° Pour ce qui est du premier inconvénient, la pratique indique bientôt que les produits tout à fait défectueux résultent surtout de l'irrégularité du chauffage. Si le feu tombe, la section du long conduit qui amène la matière dans le moule se réduit par le métal qui se solidifie le long des parois, et la petite quantité qui passe sort froide et en pluie ; elle se fige donc en laissant des vides nombreux. Le remède partiel se trouve dans le soin de l'ouvrier à régulariser son feu ; le remède radical, c'est le chauffage au gaz avec insufflation d'air au milieu du bec pour produire un chalumeau qui, agissant sur la pompe et le conduit, assure le bon passage du métal, sans échauffer le moule, c'est-à-dire dans des conditions excellentes pour un bon travail. Toutefois la longueur du conduit et l'ascension de la matière empêchent d'obtenir d'aussi parfaits résultats qu'avec un conduit horizontal de peu de longueur. Mais avec un bon chauffage et une addition de 8 à 10 p. 100 d'étain au métal ordinaire, ce qui le rend plus fusible, lui donne un grain fin, on obtient de très-bons produits. L'accroissement du prix du kilogramme de caractère qui résulte de la cherté de l'étain et de sa faible densité est un inconvénient pour le fondeur en caractères, insensible pour l'imprimeur qui fond ses types lui-même et emploie le métal de ceux qui sont hors de service pour en fabriquer de nouveaux.

2° Les irrégularités de la fonte proviennent principalement du système employé pour maintenir la matrice. Un ressort très-fort pour résister convenablement à la chasse du métal, un choc brusque pour soulever la matrice, les efforts considérables mis en jeu pour fermer le moule, toutes ces causes amènent des torsions, des placements défectueux de la matrice, et ne répondent pas bien aux conditions de régularité si bien réalisées sur le moule à main. Aussi faut-il beaucoup de soins pour obtenir de bons produits. Sur des machines différentes de celle que nous venons de décrire on a cherché à diminuer ces inconvénients.

Ces machines, dont nous voulons dire quelques mots, ont été disposées pour remédier à ces défauts et de plus à un autre inhérent évidemment aux machines allemandes, nous voulons parler de l'action destructive du choc qui résulte de leur disposition, qui en limite la vitesse et est pour le moule une cause de dérangements très-nuisibles à la perfection de la production. Les diverses pièces qui le composent finissent bientôt par se déplacer sous l'influence de ces chocs répétés entre des corps métalliques.

Un inventeur anglais, M. Johnson, a combiné une machine qui supprime la plupart de toutes ces imperfections par une disposition toute nouvelle. Le moule est fixe et consiste en une simple fente dans une pièce métallique, dont les deux faces intérieures sont distantes exactement de la grandeur de la force de corps du caractère à fondre. Dans cette entaille glisse une plaque d'acier qui la fermerait exactement si elle n'était arrêtée en arrière, de manière à laisser entre son champ et la surface supérieure de la grosse pièce métallique une épaisseur égale à celle de la lettre à fondre. Le jet étant fait par le prolongement de la même pièce glissante, on voit que si le métal fondu est lancé par une pompe dans un petit conduit horizontal, dont l'orifice débouche au milieu du jet, une lettre sera formée par chaque coup de piston, une matrice étant placée à l'extrémité du vide rectangulaire, et se reculant après la fonte, le porte-matrice ayant un mouvement rectiligne, étant guidé dans des coulisses.

Dans ce système, l'espèce de moule où se forme la lettre n'a pas à s'éloigner du fourneau, parce que l'inventeur se contente de couper le jet et d'enlever la lettre par le mouvement de la plaque glissante sur laquelle la lettre s'est formée. Celle-ci est trop bien soutenue sur toute sa longueur pour qu'elle puisse en souffrir, et elle devient libre sans être faussée comme cela arrive trop souvent avec le système employé pour faire tomber la lettre dans la précédente ; enfin, à cause de la chaleur de l'orifice, le métal ne peut avoir de résistance près de l'extrémité du jet.

Cette ingénieuse machine peut fonctionner avec grande vitesse et donner de très-bons produits ; seulement l'échauffement devient bientôt trop considérable et il faut laisser refroidir le moule, et pour cela reculer le fourneau qui est disposé à cet effet. Cet inconvénient est moindre avec un chauffage au gaz, dispose pour chauffer par un dard la partie du fourneau où est placée la pompe, et si l'on fond du petit caractère qui ne dégage qu'une quantité de chaleur modérée par sa solidification. Mais rien ne remédie au plus grave inconvénient de ce système, l'usure de la plaque glissante, qui ne peut se réparer facilement, et qui bientôt, la chaleur aidant, laisse passer de petites feuilles de métal qui empêchent le mouvement de se produire avec la précision voulue.

Aussi les recherches nouvelles ont-elles porté sur le moyen de modifier la partie de la machine où se forme la lettre, en conservant l'ensemble des dispositions de la machine. On y est assez bien arrivé en reconstruisant à peu près les deux pièces du moule ordinaire, celle du dessous ayant un blanc mobile qui pousse la lettre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fondue après que celle du dessus a été enlevée. Pour la fabrication des corps un peu forts, ce genre de machines offre un avantage considérable. La fig. 3534 montre cette machine telle qu'elle se construit aujourd'hui à Paris.

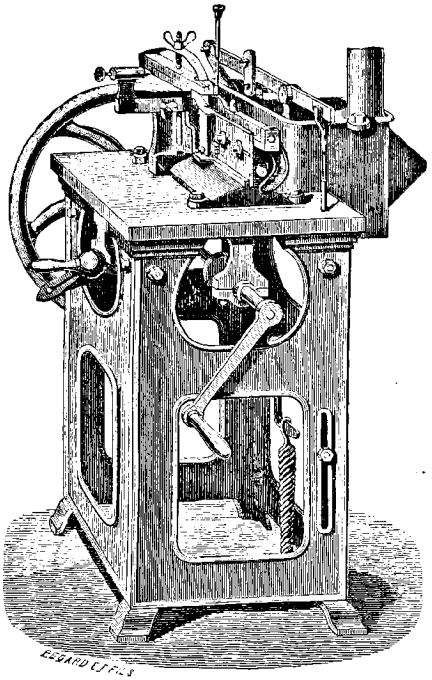


Fig. 3534.

Nous ne parlerons pas des additions de quelques inventeurs consistant à rompre, frotter et couper les lettres, en les soumettant à l'action de pièces qui peuvent facilement agir sur des lettres disposées toujours du même sens et arrivant à la même place. C'est compliquer une machine qui produit à 25 ou 30 centimes le mille la fonte qui à la main vaut 1f,20, pour faire imparfaitement des façons qui valent 10 centimes le mille. La romperie est seule admissible, parce qu'on peut la produire très-simplement, mais non les autres façons. La frotterie exige des soins assez grands pour être bien exécutée, et ce n'est pas trop de machines spéciales pour y parvenir. Nous avons tenté nous-même une machine, qui fonctionnait bien à l'aide de couteaux pouvant être réparés facilement, mais qui coûtait trop cher et ne produisait pas assez pour faire une façon d'aussi peu de valeur.

C'était en agissant sur une lettre individuellement, en s'inspirant par suite du mode d'opérer habituel, que la solution du problème avait été cherchée, et dans cette voie on ne pouvait espérer de résultats économiques. C'est ce qu'a compris un inventeur américain, M. Patrick Welch, de New-York, qui a cherché à opérer sur une ligne à la fois et a réalisé le plus grand progrès fait en fonderie depuis l'invention des machines à fondre.

Les caractères étant rangés sur la galée de droite, disposés en lignes, séparés par des interlignes, et placés de manière que la frotterie s'appuie sur la face antérieure (il est facile de voir que l'apprêt ou la coupe pouvaient être obtenus par une disposition analogue, s'il était nécessaire pour certains types de débuter par ces opérations, pour lesquels le coupoir actuel agit mieux et aussi vite que cette machine), la ligne antérieure est poussée par un poussoir entre trois paires de couteaux convenablement ajustés, qui enlèvent le talus excédant, grattent et enlèvent tout excédant de métal sur la frotterie, rétablissent au besoin le parallélisme, lorsqu'ils sont bien affûtés et disposés bien parallèlement, et qu'ils opèrent successivement de manière à ne pas enlever une trop grande quantité de métal à la fois. La ligne de types (fig. 3535) passe ainsi de la galée de

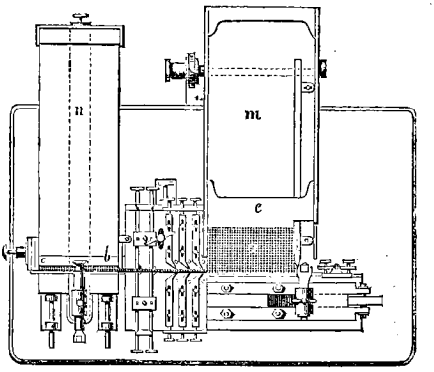


Fig. 3535.

droite à la galée de gauche, un jeu de cliquets mû par le poussoir faisant avancer les types composés sur l'une des galées et les faisant reculer sur l'autre, pour faire place à la nouvelle ligne.

Tous les détails de cette élégante machine sont très-bien entendus et font grand honneur à son inventeur. Les progrès des Américains, dans tout ce qui se rapporte à la fabrication des livres et surtout des journaux, presses mécaniques, machines à papier, machines à fondre, etc., ont suivi l'énorme débouché que leur offre une nation composée de citoyens, qui tous lisent et consomment ces produits, et où l'instruction n'est pas l'apanage d'une fraction souvent minime de la société. La machine de M. Welch figure dignement dans ce bel ensemble d'inventions, qui ont permis aux Américains, qui recevaient encore au commencement du siècle leurs types et leurs presses d'Angleterre, de se placer au premier rang dans cette industrie capitale et de rivaliser dignement avec l'Europe.

FONTE EN ZINC. — Sous le nom de *composition*, la fonte du zinc, pour remplacer le bronze par des produits à bon marché, a pris un grand développement, pour fournir des produits toujours un peu inférieurs, à cause de l'impossibilité de ciseler un métal dur et cassant, d'améliorer le travail de la fonte par celui du CISELEUR. Ce qui a surtout aidé à ce développement, c'est l'emploi de la galvanoplastie, qui a permis de déposer facilement des couches minces d'un métal précieux, et notamment en recouvrant le zinc d'une couche mince de cuivre, de lui donner l'apparence du bronze.

L'amélioration du moulage, autant que son bon marché, ont rendu l'usage du zinc admissible pour nombre d'articles du mobilier, tandis qu'à l'origine de cette industrie, il n'était vraiment admissible que pour la décoration monumentale, pour les pièces vues à grande distance.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est surtout par la régularité de la température qu'on est parvenu à améliorer cette fonte, le zinc ayant un point maximum de liquidité parfaitement caractérisé. Le chauffage au gaz a été très-précieux à cet effet, d'autant plus que le creuset ainsi chauffé se trouve alors enveloppé d'une atmosphère réductive très-propre à empêcher l'oxydation du zinc, oxydation très-rapide et très-funeste, la dissolution de l'oxyde dans la masse métallique altérant rapidement la liquidité.

Un procédé très-utilement employé pour produire à très-bas prix des objets courants, des chandeliers, de petites statuettes, etc., consiste à supprimer la grande dépense de chaque moulage, la fabrication du moule, qui, quand il est fait en sable, comme cela avait toujours lieu autrefois, ne peut évidemment servir qu'une fois, en employant un moule en cuivre. Un progrès important a été obtenu en remplaçant les creux en cuivre par des creux en zinc bien moins coûteux. Voici comment nous l'avons vu procéder à la fonte chez M. Miroy, fabricant à Paris, pour la fonte d'une petite statuette.

Le moule, le creux est fait de morceaux de zinc fondu, dressés et ajustés pour pouvoir former par leur réunion un moule complet, et tel que la dépouille soit possible. Ces pièces se plaçent dans un porte-moule qui les réunit et est porté sur deux tourillons. Au moment de fondre, on le dresse le jet en haut et on coule rapidement le zinc; puis après quelques instants on le renverse et on fait couler dans la chaudière la majeure partie du zinc encore liquide. En opérant ainsi, le moulage d'une substance dans un moule de même substance, qui paraît à peine possible, s'effectue très-bien; la légère couche d'oxyde qui garnit la surface du moule, empêche le métal fondu de s'y attacher, et le moule ne reste pas en contact assez prolongé avec celui-ci pour se fondre. La chaleur latente de la couche figée correspondant à l'échauffement de la masse assez notable du moule sans qu'il atteigne le point de fusion, répond à une épaisseur suffisante pour la solidité, mais assez faible pour que les objets ainsi fabriqués représentent une valeur minime.

J'ai parlé d'un moule en zinc parce que ce cas est le plus curieux; mais il est clair qu'en le fondant en cuivre, ce qui se fait le plus souvent, on a les mêmes résultats sans aucun danger d'altérer le moule par le travail, mais avec une dépense plus grande. En remplaçant par un moule métallique le moule en sable, en arrivant aux procédés de la fonderie typographique, on obtient une grande économie dans la production d'objets qui doivent être reproduits un grand nombre de fois.

Il y aurait encore un progrès à faire dans cette industrie, à l'imitation de ce qui a été fait dans les fonderies en caractères, c'est-à-dire à mouler sous pression et non en coulant simplement le métal. Ce serait le seul moyen d'avoir des arêtes vives, et par suite d'utiliser pour avoir des produits beaux et à bas prix, les avantages d'un moule en métal, indestructible, permettant par suite, sans frais, une reproduction indéfinie

FONTE MALLÉABLE. La facilité de donner à la fonte de fer une forme déterminée, à l'aide des procédés de moulage, la fait employer de préférence au fer, toutes les fois que l'application en est possible, et cela avec une économie considérable, puisque les frais de fabrication sont bien moindres.

Dans l'impossibilité de fondre le fer, il y avait à chercher si on ne pourrait pas, par une décémentation, convertir la fonte en fer malléable, après lui avoir donné la forme voulue dans son premier état. C'est ce qu'essaya Réaumur, à la suite de ses recherches sur l'art de convertir le fer forgé en acier, et il publia six mémoires successifs, sous le titre de : « *L'art d'adoucir le fer fondu.* » Il fit chauffer les objets en fonte dans des vases remplis de diverses substances, et s'arrêta à un mélange de craie ou de chaux d'os avec du charbon.

Samuel Lucas de Sheffield proposa d'employer des oxydes métalliques en poudre, capables de brûler le carbone de la fonte, et de sa patente, 1804, data l'industrie de la fonte malléable, en Angleterre, où elle a reçu une assez grande extension. Décrivons le mode d'opérer.

Les pièces sont moulées, fondues par les procédés ordinaires, en employant les simplifications indiquées pour le moulage de pièces de petites dimensions pour lesquelles il s'agit d'éviter le travail compliqué de la forge, et qui auront assez de résistance si leur surface se rapproche de la nature du fer. On emploie des fontes le plus souvent blanches, lamelleuses, à propension aciéreuse. Elles sont fondues dans des creusets pouvant contenir environ 30 kil., et coulées à une haute température pour pouvoir obtenir des parties de peu d'épaisseur, pour bien faire venir les parties les plus délicates des moules.

On démoule, on détache et on ébarbe les pièces coulées, qui sont, à cet état, d'une fragilité extraordinaire, à cassure blanche rayonnante, et absolument inattaquables par la lime.

Décarburation ou recuit. — Dans une communication intéressante à la Société des Ingénieurs civils, M. Brüll a donné des détails précis sur cette opération que nous reproduisons ici.

La décarburation s'obtient en mettant les objets dans des creusets en fonte avec des lits alternés de mine de fer (d'hématite rouge), et en faisant chauffer ces creusets empilés sur plusieurs rangées et lutés avec de la terre à four dans des fourneaux ayant la forme de chambres rectangulaires fermées. La température est élevée peu à peu et atteint le rouge vif au bout de vingt-quatre heures; on continue à chauffer pendant trois, quatre ou cinq jours, suivant la grosseur des pièces et le degré de malléabilité qu'on veut obtenir; on laisse ensuite tomber le feu, et on défourne dès que le four est refroidi. Les pièces épaisses, et celles qui doivent être forées suivant leur axe, sont soumises à un second recuit, qui s'opère comme le premier.

Nature du métal. — L'effet de décémentation ne peut être bien sensible que vers la surface; aussi pour peu que la pièce ait plus de huit à dix millimètres d'épaisseur, la cassure présente une zone extérieure de fer, tandis que l'intérieur présente une fonte grise très-douce. C'est la nature essentielle de ce produit comme le fait reconnaître l'expérimentation mécanique; aussi elle se soude mal à la forge, et il faut braser les pièces à réunir.

A la lime, la fonte malléable prend à peu près l'apparence du fer; elle se polit mieux que lui, aussi bien que l'acier. Elle n'est pas en général très-dure, les outils l'entament aisément, et elle s'use assez vite par le frottement. Elle est beaucoup plus sonore que le fer, et cette propriété permet quelquefois de la distinguer de ce métal.

Voici les résultats d'expériences faites par M. Tresca au Conservatoire, qui font bien apprécier ce qu'on peut attendre de la fonte malléable.

On commença par traiter des pièces fabriquées comme si elles eussent été en fer, et on trouva que le métal pris sur des barres de faible section était en tout comparable à du fer de bonne qualité. On put le forger, et après l'avoir cémenté à la manière ordinaire, le tremper comme de l'acier et lui faire acquérir ainsi une dureté très-grande.

Les expériences, ayant pour but de déterminer le coefficient d'élasticité, ont conduit à un chiffre intermédiaire entre celui du fer et celui de la fonte, et on se rapprochait d'autant plus du premier que les parties de la surface décarburée entraient pour une part plus notable dans l'épaisseur totale du barreau.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le rabotage a indiqué nettement, par la nature des copeaux, qu'on ne doit pas compter que la conversion de la fonte de fer dépasse 5 millimètres, épaisseur au-dessous de laquelle on retrouve de la fonte sans altération sensible dans ses propriétés primitives. On procéda ensuite à des expériences demandées par le ministre de la guerre, pour comparer des étriers et des mors en fonte malléable à des pièces semblables en fer.

Trois étriers, deux en fer et un en fonte, ont été soumis à l'épreuve. Les deux premiers se sont rompus au bas du tirant, sous une charge de 1000 kilog.; celui en fonte s'est rompu au milieu de la grille, sous une charge de 1354 kilog. On a dû conclure que, pour une pièce dont la forge est aussi difficile que celle d'un étrier, où des soudures imparfaites subsistent fréquemment, la fonte malléable était préférable au fer.

Pour les mors, plus faciles à forger, on n'est pas arrivé au même résultat, Des allongements de 14 et de 11 millimètres, produits sur des mors en fer, pour des charges de 205 et 265 kilog., ont été produits sur des mors en fonte par des charges de 130 et 120 kilog. La résistance des courbures des branches est donc considérablement amoindrie par la substitution de la fonte malléable au fer.

Dans des échantillons de section croissante, et en opérant sur les parties de la surface et sur les parties centrales, M. Tresca a vu l'élasticité varier de 18 à 14, celle du fer étant 20.

On peut conclure de cet ensemble de recherches que la fonte malléable peut remplacer, dans nombre de cas, le fer ; mais elle serait de beaucoup inférieure aux fers, même moyens, pour résister à des chocs un peu notables.

Importance de cette industrie. — Il y a à Paris quatre fonderies de fonte malléable, et en province une douzaine d'usines moins importantes; il s'en fabrique par jour de 4 à 500 kilog., dont le prix de vente moyen, pour pièces ordinaires, oscille entre 1 fr. 30 à 2 francs. On en fabrique beaucoup en Angleterre, et le prix des objets courants ne dépasse pas 0f,80 à 1 franc le kilogramme; à cause de cette différence, il s'importe en France divers articles de commerce, et entre autres des clous de chaussures à tête durcie. Mais, dans la plupart des emplois, les questions de commodité s'opposent à une large importation. On fabrique aussi de la fonte décarburée en Allemagne, en Suisse, en Belgique, en Amérique. C'est une industrie assez répandue aujourd'hui dans tous les pays civilisés.

On ne peut exécuter en fonte malléable que les objets suffisamment minces, pour peu du moins qu'il s'agisse d'obtenir quelque solidité. D'ailleurs, les objets épais ayant généralement un poids assez élevé, le forgeage n'en est pas assez coûteux pour qu'il ne soit pas avantageux de conserver le fer pour leur fabrication. Cependant, pour certaines pièces compliquées, les difficultés du forgeage, l'énorme déchet et la main-d'œuvre laborieuse qu'il laisse après lui, peuvent quelquefois conduire à admettre la fonte malléable, surtout si les soudures sont nombreuses.

C'est pour les pièces minces et légères que la fonte malléable est surtout avantageuse. Les clefs de serrure, de pendule et de lampe, les détails de balancerie, coûtent en fonte moins de moitié que les mêmes objets forgés. Les revolvers qui se fabriquent à des prix très-bas (25 fr. environ) n'ont pas une seule pièce ni en fer ni en acier. Les boutons de courroie, bagues de tringles, de rampes, vis à clef de violon, porte-mousqueton, boucles diverses, viroles coniques, pièces de coutellerie, couvercles de graisseurs, détails de lampisterie, viroles, fourchettes à découper, ne coûtent, en fonte malléable, que 2 fr. ou 2 fr. 50 le kilog., tandis qu'en fer ils dépassent souvent 8 ou 10 fr.

Dans quelques cas spéciaux, l'emploi de la fonte malléable donne, en dehors de l'économie, des avantages de qualité. Telles sont les pièces renfermant des soudures difficiles, comme l'étrier sur lequel M. Tresca a opéré.

La fabrication de la fonte malléable s'appliquant à la plupart des pièces de quincaillerie, comme celles-ci se répètent un grand nombre de fois, on a pu créer certains procédés spéciaux pour obtenir une fabrication à bon marché et quelque régularité dans la nature du métal.

L'une des applications les plus intéressantes est celle des clous de souliers qui se fabriquent en Angleterre, et dont l'importation en France remonte à un petit nombre d'années.

Cette industrie rentre dans celle de la fonte malléable par le mode de fabrication; les clous sont fondus et soumis à la décarburation; mais ce procédé n'est pas appliqué intégralement, on arrête plus tôt la décarburation, en sorte que les clous se rapprochent moins du fer que la fonte malléable ordinaire. Le métal qui les compose est un intermédiaire entre la fonte et le fer, il présente la dureté de l'acier : c'est un très-grand avantage dans ce cas particulier, puisqu'il s'agit de pièces qui s'usent par frottement.

FORETS DE LA FRANCE. L'administration des Forêts a publié pour l'Exposition de 1867 une carte forestière, qu'elle a accompagnée d'une notice que nous reproduisons ici, car elle renferme des renseignements très-intéressants sur la culture forestière de la surface de la France en général ; il y est relaté des faits très-différents de ce qui paraît probable et de ce qui se dit le plus communément.

Les forêts de la France sont les débris d'immenses massifs qui, autrefois, s'étendaient uniformément sur la majeure partie du pays. Il a paru intéressant d'en montrer la distribution actuelle et de rechercher les causes qui l'ont déterminée.

Parmi elles figurent certainement la constitution géologique et minéralogique, dont le relief, l'altitude, la composition et la valeur du sol végétal, sont les conséquences.

M. Elie de Beaumont, dans la remarquable introduction placée en tête de sa description géologique de la France, a éloquemment signalé l'influence qu'exerce la structure géologique du sol sur la richesse, la culture, l'industrie d'une contrée, sur le développement des populations, jusque sur leurs qualités intellectuelles. Mettant en regard deux types extrêmes (voy. GÉOLOGIE), Paris, placé au centre d'un vaste bassin secondaire et tertiaire, et le Cantal, qui domine toute la région granitique et primaire du plateau central, il les a ingénieusement comparés aux deux pôles d'un aimant de propriétés contraires. L'un, en creux, est attractif ; l'agriculture, l'industrie, y sont florissantes, les populations nombreuses, agglomérées ; l'autre, en relief, est répulsif ; il est pauvre, peu peuplé, sans agriculture, sans industrie.

Évidemment une influence aussi générale a dû s'exercer sur les forêts. En quel sens ?

Il semble naturel d'admettre, au premier abord, que les régions accidentées ou montagneuses, et tout particulièrement celles qui se trouvent formées de roches éruptives ou de dépôts sédimentaires anciens, n'ayant pu, avec un sol maigre, généralement superficiel, devenir agricoles, ont dû, par compensation, rester forestières.

Les forêts sont si peu exigeantes, elles protégent et améliorent si efficacement par elles-mêmes leur propre sol, que les contrées répulsives semblent leur avoir été affectées par destination.

La carte forestière démontre immédiatement le peu de fondement de ces prévisions et prouve tout le contraire.

Les contrées riches, agricoles, industrielles, sont en même temps restées forestières ; telle est la contrée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

attractive par excellence : le bassin de Paris, des Vosges aux collines du Bocage, du Morvan à l'Ardenne ; telle est l'Alsace ; tel est le bassin de Bordeaux, quoique à un moindre degré.

Les contrées pauvres, sans agriculture, sans industrie, ont exercé leur action répulsive jusque sur leurs anciennes forêts ; elles sont les plus déboisées de la France. Le plateau occidental, le plateau central surtout, tous les deux essentiellement granitiques ou primaires, en sont la démonstration évidente.

En l'état actuel, la carte forestière exprime aussi bien que la meilleure statistique le degré de prospérité de chaque région : contrée boisée, contrée prospère ; contrée déboisée, contrée pauvre. Il est peu d'exceptions à cette règle.

En y réfléchissant, ce résultat était inévitable.

La culture forestière n'est point l'ennemie de la culture agricole ; loin de là, elle en est la compagne obligée ; outre l'action météorologique bienfaisante qu'elle peut exercer, elle lui fournit des produits indispensables.

Le principe économique de l'équilibre entre l'offre et la demande s'est ici réalisé. Les pays riches, agricoles, industriels, consommant beaucoup de matière ligneuse et la payant bien, sont restés boisés, parce que les propriétaires de forêts y trouvaient le placement facile, avantageux de leurs produits. Par la cause inverse, les pays pauvres, où le bois restait sans valeur, se sont peu à peu dénudés et les forêts ont disparu devant l'insouciance des propriétaires ou par le pâturage immodéré des chèvres et des moutons.

La matière ligneuse est par sa nature encombrante et d'un transport onéreux, et il ne faut pas s'étonner que la production se soit toujours maintenue à portée des lieux de consommation. Une viabilité perfectionnée peut sans doute modifier cette loi, mais elle ne lui portera certainement pas une atteinte profonde.

Pour la généralité de la France, ce sont donc bien plutôt les considérations économiques de l'intérêt local ou privé qui ont dessiné les grands traits de la carte forestière, que les indications de la géologie. Mais si de l'ensemble on reporte les regards sur les diverses régions naturelles en lesquelles il se décompose, on ne tarde pas à s'assurer que les caractères géologiques, négligés dans la distribution générale des richesses forestières, ont repris dans chacune d'elles toute leur valeur. A peu près seuls ils y ont déterminé la répartition des forêts, et les ont fait conserver pour la plupart sur les sols qui, sans leur concours, seraient condamnés à la stérilité.

Il peut n'être pas sans intérêt de parcourir rapidement ces diverses régions naturelles de la France.

On distingue parmi elles :

1° Les régions accidentées ou montagneuses, telles que l'Ardenne, le plateau occidental, les Vosges, le plateau central et le petit massif des Maures et de l'Estérel, dont le soulèvement a précédé l'époque secondaire et dont les terrains ne peuvent être conséquemment qu'éruptifs ou primaires ; le Jura, soulevé au milieu de la période secondaire ; les Pyrénées, au commencement de la période tertiaire ; les Alpes enfin, ébauchées depuis longtemps, mais dont la dernière façon coïncide avec la fin de cette même période.

2° Les bassins, dont les terrains, de nature sédimentaire, n'ont point été violemment disloqués et forment des régions de plaines ou de coteaux. Il en est deux principaux : le bassin de Paris et celui de Bordeaux. On y peut joindre l'Alsace, lambeau d'un bassin plus étendu prolongé au delà des frontières de la France.

Ardenne. — L'Ardenne est totalement formée de terrains schisteux, primaires ; le climat en est rude, le sol impropre à la culture. Elle est restée boisée en raison de la facilité d'en déverser les produits vers le bassin de Paris qui s'étend à ses pieds.

Les forêts y sont traitées en taillis, auxquels on applique généralement la méthode du sartage ; les écorces à tan qu'elles produisent sont très-renommées. Elles ne sont peuplées que d'essences feuillues : chêne rouvre, chêne pédonculé, hêtre, charme et bois blancs.

Plateau occidental. — Le plateau occidental ou le Bocage, comprenant partie de la Normandie, la Bretagne et la Vendée, est composé de granites et de terrains schisteux primaires.

C'est l'une des contrées les plus déboisées de la France, et néanmoins l'influence géologique est bien apparente sur la distribution de quelques forêts qui s'y remarquent encore. Celles-ci sont généralement distribuées en bandes étroites et longues, le plus souvent alignées dans la direction de l'est à l'ouest, comme le sont la plupart des rides montagneuses qu'elles couronnent. (Montagnes noires, monts d'Arrez, de Domfront.)

Les faciles et économiques arrivages de bois du Nord, la possibilité d'obtenir de beaux herbages, grâce à la douceur et à l'uniformité du climat, à la multitude des petits cours d'eau qui permettent l'irrigation abondante du sol, à l'humidité de l'atmosphère, sont la cause essentielle de la destruction des forêts. Bien des landes les remplacent néanmoins sans aucun profit.

Les essences forestières du plateau occidental sont : le chêne pédonculé, le chêne rouvre, le chêne tauzin en faible proportion, le hêtre, le charme, et, vers le sud, le pin maritime, dont la culture a pris une notable extension.

Bassin de Paris. — Le bassin de Paris offre avec le plateau occidental le contraste le plus éclatant ; s'il renferme les départements les plus riches, et l'on peut ajouter aussi les plus éclairés, c'est en même temps l'une des régions forestières par excellence, l'une de celles où les forêts à contours nettement délimités forment des massifs d'une grande continuité, bien différents de ces broussailles éparpillées ou entremêlées de landes qui couvrent certaines parties du plateau central.

Il est impossible, en examinant la carte géologique et forestière, de ne pas être frappé des relations étroites et parfaitement rationnelles qui existent entre la nature des sols et la distribution des forêts. Ces relations sont surtout apparentes vers l'est.

Les terrains du trias, grès bigarré, muschelkalk et keuper, qui forment à l'est cette longue bande dirigée du sud au nord, de la Moselle à la Haute-Saône, et dont le relief est vague, tuberculeux, suivant l'heureuse expression de M. Élie de Beaumont, y sont couverts de forêts éparses, principalement distribuées sur les bancs les plus sablonneux du grès bigarré, sur les couches purement calcaires du muschelkalk.

Le terrain jurassique, qui succède au trias dans l'ordre de superposition, est, comme on le sait, formé de puissantes assises argileuses (lias, argiles d'Oxford, argiles de Kimmeridge), que séparent ou surmontent des assises non moins puissantes de calcaire, généralement très-fissuré, conséquemment très-filtrant (oolithe inférieure, oolithe moyenne, oolithe supérieure).

Le relief en est très-caractéristique. Les calcaires y forment de longues chaînes de collines à pentes assez roides, surmontées de plateaux étendus, sensiblement horizontaux, dont le sol est toujours pierreux, sec et chaud. Les argiles y constituent des dépressions qui s'étendent entre les collines calcaires ; le sol en est frais ou même humide, fertile.

Les forêts occupent les plateaux et les versants calcaires ; l'agriculture domine dans les dépressions et les plaines argileuses.

Si les terrains jurassiques forment par leur continuité l'un des traits saillants de la constitution géologique de la France, c'est surtout dans le bassin de Paris que leur influence est bien prononcée. Ils l'entourent d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ceinture circulaire, partagée vers l'Est en une triple ligne de collines calcaires, qui, de Vervins au pied de l'Ardenne, se dirige au sud à travers toute la Lorraine, puis gagne la Bourgogne, embrasse le Morvan, de Beaune à Nevers, d'un vaste demi-cercle, pour se prolonger vers l'ouest jusqu'à Poitiers, et, en s'infléchissant brusquement au nord, aboutir aux rochers du Calvados, sur la Manche.

Or, la carte géologique n'existerait pas, que, pour les terrains jurassiques et surtout pour ceux du bord oriental du bassin, la carte forestière permettrait de la construire, tant est étroite et l'on peut ajouter logique, la relation entre les collines calcaires et les forêts. Rien n'est mieux accusé que ces zones forestières que l'œil discerne aisément de Mézières à Poitiers, en suivant toutes les inflexions de la ceinture jurassique qui sépare le centre du bassin de Paris du trias de la Lorraine vers l'est, et qui au sud vient le plus souvent s'appuyer sur les premiers contre-forts du plateau central.

On peut remarquer que cette union entre les sols jurassiques et les forêts se poursuit en dehors du bassin de Paris. Une bande des premiers se détache du plateau de Langres, et, se dirigeant vers le sud, longe le pied oriental du Morvan et du Charolais, pour se terminer aux environs de Mâcon. La carte forestière reproduit fidèlement cette disposition géologique ; une région bien boisée coïncide exactement avec elle.

Les terrains crétacés inférieurs se rapprochent, par la composition et le relief, des terrains jurassiques, dont ils suivent en outre à l'intérieur tous les contours ; l'influence qu'ils ont exercée sur la distribution des forêts est la même et les crêtes en sont également boisées.

Ce sont eux qui forment la zone forestière la plus interne bordant les terrains tertiaires du bassin de Paris, et qui, du cours supérieur de l'Aisne, se dirige par l'Argonne vers Saint-Dizier et l'est de Troyes pour aboutir à Auxerre.

Les terrains crétacés supérieurs, en totalité formés de craie blanche, sans mélange ni interposition d'argile, sont aussi improductifs au point de vue forestier [1] qu'au point de vue agricole ; ils forment cette large lacune sans forêts, très-apparente sur la carte, qui de Troyes remonte par Arcis, Châlon-sur-Marne et Rethel vers Vervins, pour se recourber en s'atténuant du côté de l'ouest et du sud et se terminer à Beauvais. Au sud de Troyes, sur la rive gauche de la Seine, cette même coïncidence est également très-prononcée, et l'on peut y voir les terrains crétacés supérieurs contraster fortement, par la nudité de leur surface, avec les crétacés inférieurs et les molasses qui les circonscrivent de toutes parts et sont couvertes de belles forêts.

Les terrains tertiaires, plus fertiles encore que les terrains secondaires, sont aussi plus complétement agricoles ; cependant des bancs de sables ou de grès, des meulières s'y rencontrent assez fréquemment, et les sols qui en résultent ne peuvent être productifs qu'avec le concours de l'abri et de l'engrais des forêts. Aussi, en ces parties, sont-ils restés boisés. Distribués sans ordre superficiel apparent, ces terrains siliceux déterminent une répartition vague des forêts, toute différente de celle qui caractérise les terrains jurassiques.

Les terrains tertiaires de la rive droite de la Seine, qui appartiennent presque tous à l'étage inférieur ou parisien, se raccordent, par une série circulaire de collines à pentes assez prononcées, avec les plaines crétacées de la Champagne. La surface argileuse ou plus souvent calcaire en est aussi çà et là sablonneuse (sables inférieurs, sables et grès moyens); quelques lambeaux sablonneux de molasse la recouvrent sur différents points.

La distribution des forêts est en harmonie avec cette structure.

Une zone forestière assez bien tracée, qui de Montereau remonte la rive droite de la Seine et se dirige par Sezanne, Épernay et la montagne de Reims pour se terminer au delà de Laon, concorde très-exactement avec les rampes qui vers l'est bordent cette région. Quant aux forêts éparses sur la surface des terrains tertiaires, elles présentent une coïncidence frappante avec les couches sablonneuses qui s'y trouvent disséminées, principalement avec celles de la molasse.

Sur la rive gauche de la Seine, les terrains parisiens sont à peine représentés; mais la molasse, qui là repose directement sur les terrains crétacés inférieurs, y occupe une très-grande étendue superficielle. Elle contient des sables et des grès (sables et grès supérieurs) qui déterminent des régions boisées, telles que celle du Gâtinais, entre Melun et Sens; celle de la forêt d'Othe, qui, par les moindres détails de son périmètre, concorde exactement avec cette sorte d'enclave de molasse que l'on aperçoit au milieu de la craie blanche entre l'Yonne et la Seine, de Joigny aux environs de Troyes.

Les essences principales du bassin de Paris sont le chêne pédonculé, le chêne rouvre, le hêtre et le charme; les bois résineux ne s'y rencontrent pas à l'état spontané, si ce n'est peut-être sur la limite extrême orientale, aux confins des basses Vosges, où çà et là apparaissent le pin sylvestre et le sapin.

Vosges. — La région des Vosges sépare le bassin géologique de Paris de l'Alsace; elle se compose, vers le sud, de roches éruptives, essentiellement granitiques (hautes Vosges), et, vers le nord, de terrain permien, nouveau grès rouge et surtout grès vosgien (basses Vosges). Elle forme une chaîne simple, dont les deux versants, se raccordant avec les plaines de la Lorraine et de l'Alsace, y déversent facilement les produits ligneux, au moyen des vallées qui les entaillent perpendiculairement à la ligne de faîte.

Cette heureuse disposition a préservé les Vosges contre le déboisement; elles sont restées la région forestière par excellence de la France. Les basses Vosges, absolument impropres à l'agriculture par la nature de leur sol purement siliceux, de leur sous-sol filtrant, sont surtout remarquables par la continuité de l'immense forêt qui en recouvre la totalité.

Les essences vosgiennes sont, en les citant dans l'ordre d'altitude: le chêne rouvre, le chêne pédonculé aux bords des eaux, le pin sylvestre, le hêtre, le sapin, l'épicéa, enfin le pin à crochets, que l'on trouve à peu près uniquement dans les tourbières des lieux élevés et qui y présente tous les caractères d'une espèce en retraite.

Alsace. — Cette belle région est essentiellement formée de grès bigarré, muschelkalk, keuper, terrain jurassique inférieur, constituant les collines sous-vosgiennes; de terrains tertiaires, de diluvium et d'alluvions étendus dans la plaine rhénane. Douée d'un sol très-fertile en général, elle est restée forestière, tout en développant son agriculture et son industrie.

Les forêts y sont parfaitement à leur place et occupent les parties les moins productives, les collines de grès bigarré entre autres, les terrains sablonneux du diluvien vosgien (forêt de Haguenau) ou les alluvions caillouteuses du Rhin (forêt de la Hardt près de Mulhouse et bords immédiats du fleuve).

Quelques forêts néanmoins sont placées dans de meilleures conditions et croissent sur des sols très-fertiles (forêts de Schélestadt, de Colmar, etc.); elles y justifient amplement leur existence par les magnifiques chênes pédonculés qui y croissent et qui fournissent pour les

1. Cette situation s'est modifiée depuis quelques années ; des semis ou plantations de pin sylvestre y ont été effectués sur une grande échelle ; mais les bois y entrent rapidement en décroissance. Il y a tout lieu d'attendre de meilleurs résultats de l'introduction du pin laricio, race d'Autriche.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

FORÊTS.

constructions maritimes des pièces de dimensions exceptionnelles.

Les essences principales indigènes en Alsace (Vosges alsaciennes non comprises) sont : le chêne pédonculé, pour les sols humides et fertiles de la plaine; le chêne rouvre, pour les sols frais des collines sous-vosgiennes particulièrement, le pin sylvestre sur les sables; le hêtre; le charme; les frêne, orme champêtre, orme diffus, aune commun, peuplier blanc, peuplier noir et peuplier tremble; les saules, d'espèces nombreuses aux bords immédiats du Rhin.

Les eaux du fleuve ont peuplé les rives d'un grand nombre de végétaux alpestres: aune blanc; hippophaé; saule drapé, à feuilles de laurier, à cinq étamines, noircissant, etc.

Plateau central. — On désigne sous ce nom la haute et large ampoule qui s'élève au centre de la France entre la vallée de la Saône et du Rhône, le bassin de Paris et celui de Bordeaux; de nombreuses chaînes de montagnes se dressent à sa surface; le granit en est la roche dominante; les terrains volcaniques, basaltes, trachytes et laves, puis les terrains primaires y sont aussi largement représentés.

A l'exception de quelques grandes vallées privilégiées et particulièrement de celle de la Limagne, toute couverte de terrain tertiaire (molasse), l'agriculture n'a et ne peut avoir grande extension dans le plateau central. La culture forestière y est moins bien représentée encore, moins surtout que la carte ne le ferait croire, si l'on attribuait de l'importance à ces nombreuses broussailles qui y sont éparses.

Les vraies forêts ont presque toutes disparu du plateau central; celles des bassins qui l'environnent s'arrêtent sur les bords et en dessinent nettement les contours; mais elles ne les franchissent pas en général, comme si elles étaient repoussées par ces contrées qui sembleraient au premier abord leur convenir le mieux.

Il faut faire quelques exceptions cependant.

Cette pointe septentrionale du plateau, qui, sous le nom de Morvan, pénètre dans le bassin de Paris, est restée boisée, grâce à cette situation et à l'Yonne, qui en écoulait et en écoule encore les produits jusqu'à Paris même. Les versants des grandes vallées de l'Allier, de la Loire, de la Saône, ceux des Cévennes ont aussi conservé quelques lambeaux de leurs anciennes forêts, en raison de la facilité ou de la brièveté des transports jusqu'aux lieux de consommation.

Le châtaignier est l'arbre du plateau central; mais là, pas plus qu'ailleurs en France, il ne paraît être indigène; il n'y forme point de forêts et s'y trouve à l'état d'arbres épars, plantés, le plus souvent greffés. Les vraies essences forestières sont : les chênes rouvre et pédonculé; le charme, surtout vers le nord; le pin sylvestre, commun dans le Cantal, le Puy-de-Dôme, l'Ardèche, etc., où il est représenté par des races à part; le hêtre; le sapin, qui s'avance jusqu'à la pointe la plus méridionale, dans la montagne Noire de l'Aude. Le pin à crochets y paraît disséminé, sans constituer des massifs importants.

Jura. — La région du Jura s'étend, dans la direction du nord au sud, depuis le pied méridional des Vosges et de la Forêt-Noire jusqu'à la hauteur de Chambéry; si l'on y joint la grande plaine de la Bresse, qui borde le cours de la Saône jusqu'à Lyon, elle va, de l'ouest à l'est, du plateau de Langres et du pied du plateau central jusqu'à la grande vallée de la Suisse, au delà des frontières.

En grande partie montagneuse, mais sans accidents très-brusques, cette contrée est totalement formée de terrains jurassiques et crétacés inférieurs, alternativement calcaires et argileux; la Bresse seule fait exception et repose sur un sol argilo-caillouteux, de formation récente, subapennine.

Dans ces conditions, l'agriculture est possible et s'y pratique avec succès; la culture pastorale, qui n'est pas l'unique ressource des habitants, s'y exerce avec mesure; les forêts, dont les produits sont recherchés, s'y conservent et s'y trouvent réparties conformément à l'état géologique et minéralogique du sol. Les versants rapides, les crêtes qui ne s'élèvent pas trop haut, les sols plus exclusivement calcaires, leur sont réservés. Éparses et morcelées dans la plaine bressane, elles ont une forme étroite, allongée, dans le Jura proprement dit; et par leur parallélisme, leur direction, elles expriment parfaitement la structure orographique de ces montagnes, composées de plusieurs lignes de faîte parallèles, que séparent de profondes vallées longitudinales dont l'orientation générale est N.-N.-E. à S.-S.-O.

La végétation forestière est très-remarquable dans le Jura et par la vigueur et par la beauté des produits. Les essences qui la représentent sont : les chênes pédonculé et rouvre; le charme; le hêtre; le sapin; l'épicéa. Le pin à crochet, peuple quelques lieux tourbeux.

Bassin de Bordeaux. — Limité par l'Océan, le plateau central et le pied des Pyrénées, le bassin de Bordeaux a la forme d'un triangle dont le bord oriental est formé de quelques lambeaux de trias, auxquels succède une large bande de terrains jurassiques et crétacés inférieurs s'étendant de la Sèvre à l'Aveyron. Tout le reste est composé de terrains tertiaires, principalement de mollasse et de sables marins des landes; un bourrelet de dunes borde tout le littoral.

Ce bassin est en grande partie agricole; il est, conséquemment aussi, resté forestier; il tend à le devenir tous les jours davantage.

L'influence géologique et minéralogique du sol est presque aussi prononcée sur la distribution des forêts que dans le bassin de Paris. Une zone forestière bien prononcée, dirigée du nord-ouest au sud-est, se poursuit, quoique interrompue, des environs de Niort à ceux de Montauban et coïncide avec la bande jurassique de semblable direction. Les forêts sont également assez nombreuses sur les terrains crétacés inférieurs, de Rochefort au Lot, dans les environs de Cahors.

Mais le trait principal de cette région est évidemment ce large espace triangulaire dont la base va de l'embouchure de la Gironde à celle de l'Adour, et dont le sommet aboutit vers Nérac, sur la Garonne. Ce sont là les landes, ces terres siliceuses à sous-sol d'alios imperméable, arides et brûlantes en été, marécageuses en hiver, que la culture forestière a transformées, enrichies par ses développements extraordinaires. Les forêts de pins maritimes, si productives par les produits résineux du gemmage, s'y sont rapidement multipliées et couvrent une grande partie de la contrée.

Enfin, il faut mentionner cette ligne de forêts qui, à l'aide des étangs, complète la barrière opposée aux dunes et en fixe les sables.

L'altitude du plateau central, qui s'avance jusque vers Carcassonne sous une des latitudes les plus méridionales de la France, y détermine un climat froid et donne à la végétation forestière qui le recouvre un cachet septentrional. Il n'en est pas de même du bassin de Bordeaux : les essences en sont variées et plusieurs d'entre elles sont spéciales aux contrées chaudes.

Les plus importantes d'entre elles sont : le chêne rouvre; le chêne pédonculé, qui, sur les rives souvent inondées de l'Adour, a une végétation d'une rapidité surprenante, une qualité et des dimensions qui le rendent très-précieux pour les constructions maritimes; le chêne tauzin, qui s'écarte peu du littoral; le chêne yeuse et le chêne occidental, au sud-ouest; ce dernier encore confondu avec le chêne-liége et dont les produits sont similaires; le pin maritime, cette précieuse espèce qui résiste si bien aux mutilations que lui fait subir le gemmage et qui, après avoir fourni pendant de longues

EFERUS - Recherche & Classification numérique

années des produits résineux abondants et très-productifs, offre à la consommation un bois de qualité remarquablement améliorée pour une foule d'emplois. Le pin pinier s'y rencontre à l'état de dissémination, le pin d'Alep y apparaît du côté méditerranéen.

Pyrénées. — Les Pyrénées sont à l'égard du bassin de Bordeaux ce que sont les Vosges à l'égard de celui de Paris; elles forment une chaîne simple dont le versant français se raccorde avec les plaines du Languedoc et de la Gascogne et dont les produits forestiers trouvent un débouché par les grandes et profondes vallées qui s'y frayent passage. L'analogie cependant n'est point complète; les Pyrénées sont plus élevées, plus épaisses, plus âpres que les Vosges et l'écoulement des bois y offre plus de difficultés.

Cette circonstance amoindrit sur place la valeur de la matière ligneuse, et, quoique les forêts soient encore assez nombreuses et assez étendues dans les Pyrénées pour en désigner parfaitement l'emplacement sur la carte forestière, elles n'y ont été ni conservées ni entretenues avec les mêmes soins que dans les Vosges. Trop d'extension donné au pâturage leur a fait et leur fait encore subir tous les jours bien des atteintes.

Puisque le soulèvement définitif des Pyrénées ne remonte qu'au commencement de la période tertiaire, les terrains qui s'y rencontrent peuvent être et sont en effet très-variés. Ils sont représentés, outre les roches éruptives, par tous les termes de la série primaire et de la série secondaire. Cependant les terrains crétacés supérieurs y font défaut et l'on est d'accord pour rattacher les dépôts nummulitiques aux terrains tertiaires inférieurs. Les terrains granitiques, de transition ou primaires, triasiques, jurassiques, crétacés inférieurs et nummulitiques en sont en résumé les éléments constitutifs.

Il faut reconnaître ici que l'influence de la nature géologique ou minéralogique du sol sur la distribution des forêts dans la région pyrénéenne reste fort obscure et qu'aucune relation bien saisissable ne peut être aperçue sur la carte. Cependant il est impossible de ne pas signaler cette zone, plus forestière que tout le reste, qui, dans les départements de la Haute-Garonne et de l'Ariége, s'étend de l'est à l'ouest de Saint-Girons à Bagnères-de-Bigorre ; on remarque qu'elle correspond presque en totalité à la seule région de calcaire jurassique qui se trouve sur le versant français des Pyrénées: nouvelle preuve de l'appropriation de ce terrain à la culture forestière.

Les essences de la chaîne appartiennent à plusieurs zones successives de végétation, depuis la méditerranéenne jusqu'à l'alpine. Les plus importantes d'entre elles sont: le chêne occidental pour le versant océanique, le chêne-liége pour le méditerranéen ; le chêne yeuse; le chêne tauzin; le pin maritime; le chêne rouvre; le pin sylvestre; le sapin, et, sur les points les plus élevés, le pin à crochets en massifs étendus et importants. Le pin des Pyrénées (*Pinus pyrenaïca*, Lap.), qui n'est très-probablement qu'une race du pin laricio, s'y rencontre çà et là; l'épicéa y est rare, à l'état de dissémination; le mélèze et le pin cembro ne s'y rencontrent pas et sont l'apanage exclusif des Alpes.

Alpes. — Le massif de la Grande-Chartreuse montre tout ce que peut produire le travail intelligent; les forêts dues au labeur des trappistes peuvent compter parmi les plus belles de la France, et prouvent qu'on peut obtenir d'admirables résultats dans bien des parties des Alpes dénudées aujourd'hui.

Résumé et conclusions. — De ce rapide voyage se dégagent nettement quelques points principaux qu'il importe maintenant de rassembler pour en tirer les conclusions qui sont le but de cette étude.

Le déboisement s'est très-inégalement étendu sur les diverses régions naturelles de la France, étudiée dans son ensemble. Contrairement aux prévisions fondées sur l'état géologique et minéralogique, sur l'aptitude bien connue des forêts à croître encore là où l'agriculture n'est plus possible avec profit, on constate que les bassins y ont le mieux résisté, eux et les montagnes qui les bordent immédiatement et les alimentent; que les grands massifs accidentés, plateaux ou groupes montagneux, sont, au contraire, presque totalement dénudés, surtout dans les parties les plus répulsives, les parties centrales.

Les besoins de la consommation, la nature encombrante de la matière ligneuse, la difficulté et le prix élevé des transports, ont en grande partie déterminé ce premier résultat.

Mais on remarque, d'autre part, que, dans chaque bassin considéré isolément, la répartition de la production agricole et forestière y est parfaitement logique, parfaitement subordonnée à la structure géologique, à la composition minéralogique du sol. On y voit qu'à peu d'exceptions près l'agriculture est en possession de toutes les terres fertiles, que la sylviculture n'occupe plus que celles qui, sans son concours, resteraient vouées à la stérilité : les grès et les sables siliceux, les calcaires, puis les crêtes des collines, les versants rapides.

Satisfaisante dans les groupes secondaires, la répartition des forêts ne l'est donc pas dès qu'on envisage la surface entière de la France. On y regrette le déboisement, sans compensation, des grands massifs montagneux, et l'on peut entrevoir le moment où, grâce aux développements rapides de la viabilité, il sera possible de remettre toutes choses à leur place, de faire cesser l'anomalie constatée.

Reboiser les contrées élevées et pauvres dans une juste mesure, en se conformant aux indications de la géologie, est sans contredit un bienfait; pour elles-mêmes d'abord, puis pour les bassins qu'elles dominent et qu'elles doivent fertiliser de leurs eaux, loin d'être pour eux une cause toujours menaçante de dévastations. C'est l'unique moyen d'y développer un peu d'agriculture, d'y affermir l'industrie pastorale; c'est rendre le sol à sa production naturelle et créer pour l'avenir d'importantes ressources d'intérêt général; c'est enfin fixer les populations, qui ne sont jamais tentées d'abandonner les régions forestières où le travail leur est assuré pendant la mauvaise saison (Ardennes, Vosges, Jura), mais qui émigrent de celles qu'un déboisement exagéré a atteintes et réduites à une chétive exploitation pastorale, les laissant inactives et sans ressources en hiver (Cantal, Savoie).

Mais le reboisement des montagnes n'entraîne nullement, comme corollaire, la destruction des forêts qui restent dans les bassins.

Dans ceux-ci, toute l'œuvre utile du déboisement est consommée; le pousser au delà serait nuisible, la carte forestière l'atteste. Les sols restés boisés soit par le relief, soit par la composition minérale, ne comporteraient généralement pas la culture agricole, et si quelques-uns d'entre eux, en bien petite proportion, font exception à cet égard, qui pourrait s'en plaindre en voyant les magnifiques chênes qui y croissent, ne peuvent croître que là, et sont d'un besoin de premier ordre pour la grande industrie et les constructions maritimes?

Qu'on le remarque bien d'ailleurs, la végétation forestière des bassins n'a aucune analogie avec celle des montagnes; les chênes des plaines et des grandes vallées ne seront jamais remplacés par les sapins et les épicéas des régions montagneuses, pas plus qu'ils ne remplaceront ces derniers; les uns et les autres sont nécessaires et s'appliquent à des usages différents. Et quand même cette considération serait écartée, quand même le succès des reboisements, soumis à tant de vicissitudes, serait assuré, ne sait-on pas combien est long le terme au bout duquel les produits principaux des forêts à recréer de toutes pièces sous l'âpre climat

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des montagnes deviennent réalisables? Que l'on étudie les échantillons qui représentent plus spécialement la végétation des lieux élevés, et l'on verra ce que sont les arbres de cent vingt à cent cinquante ans; on s'y convaincra qu'il ne faut y espérer de produits utiles qu'au bout d'un temps fort reculé, d'autant plus reculé que l'altitude des lieux à reboiser est plus considérable. Jusqu'à ce moment, et dans l'hypothèse impossible où les produits des montagnes pourraient suppléer ceux des plaines, le maintien des forêts des bassins ne saurait faire élever le moindre doute.

La crainte d'une surabondance de produits ligneux est la dernière objection possible, objection peu sérieuse si l'on rappelle le prix des bois de travail et de constructions, croissant au delà de toute proportion avec celui des autres matières premières de consommation; la rareté de plus en plus grande de certaines essences, et particulièrement du chêne; le chiffre toujours plus élevé des importations forestières.

La conservation de ce qui reste des forêts des bassins, le reboisement des plateaux et des montagnes, tel est le dernier mot de l'étude de la carte forestière et géologique de la France, l'un des moyens les plus certains de maintenir, de développer la prospérité de notre pays.

FREIN. On appelle frein tout système permettant de consommer par un travail résistant, produit à volonté, la somme de forces vives emmagasinée dans un corps en mouvement afin de l'arrêter.

Nous dirons d'abord un mot des systèmes employés en dehors de l'industrie des chemins de fer, où ils ont rencontré une application de chaque instant : tel est le système représenté figure 3536, qui permet à l'aide d'un levier d'exercer une pression considérable sur la circonférence d'une poulie montée sur l'arbre de rotation.

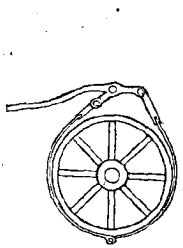


Fig. 3536.

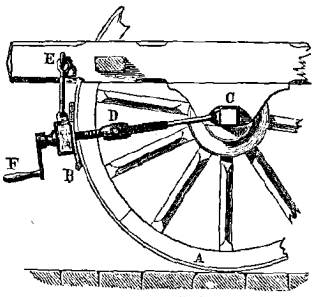


Fig. 3537.

La figure 3537 représente le frein employé sur les voitures pour modérer la vitesse aux descentes; la partie frottante est serrée sur la jante de la roue au moyen d'une vis.

Le système représenté dans la figure, appliqué par M. Molard aux diligences, mû par le conducteur de son siége au moyen d'une vis et de tringles formant mouvements de sonnette, a été un grand progrès, et a fourni la forme primitive de frein pour chemins de fer. M. Baude a donné à l'article CHEMINS DE FER une étude complète des freins agissant par frottement, par usure d'un sabot en bois, nous n'y reviendrons pas ici. Nous parlerons seulement des systèmes conduisant par une nouvelle voie à la solution du problème, et d'abord nous dirons quelques mots des conditions auxquelles il s'agit de satisfaire.

Prétendre arrêter et clouer, pour ainsi dire sur place, un train lancé qui doit à sa vitesse acquise une énorme accumulation de travail mécanique, c'est vouloir arrêter dans leur course plusieurs boulets de canon à la fois, dit avec raison un compte rendu de l'Exposition. Admettons que ce soit possible, et qu'à la vue d'un danger les wagons puissent, par un frein puissant, suspendre tout à coup leur marche : les voyageurs, eux aussi, tendent à continuer leur mouvement en vertu de la loi d'inertie, et le même effet qui pulvérise à terre l'imprudent qui descend d'un wagon en marche les projettera l'un contre l'autre avec une effroyable violence. C'est effectivement là ce qui se passe dans les accidents sur les chemins de fer. Ce frein instantané que cherchent des inventeurs, il existe dans cet obstacle que heurte le train, dans cette locomotive ou ce véhicule déraillé contre lequel culbutent les wagons et auquel les voyageurs doivent leur secousse peut-être mortelle, les wagons eussent-ils résisté au brisement.

La condition essentielle, comme le dit M. Combes, pour la sûreté de la circulation sur les chemins de fer, consiste dans la puissance des moyens mis à la disposition du mécanicien pour détruire, à la vue d'un signal ou d'un obstacle qu'il aperçoit sur la voie, la vitesse du train, de façon qu'il soit arrêté, après avoir parcouru une distance aussi petite que possible, sans que toutefois l'arrêt soit assez brusque pour exposer les voyageurs à des chocs dangereux ou incommodes, ou le matériel à des pressions capables de l'endommager. Les moyens d'arrêt dont le mécanicien dispose sont la suppression, et, en cas d'urgence seulement, le *renversement* de la vapeur, outre le serrage du frein du tender. Il avertit en même temps, par un ou plusieurs coups de sifflet, les conducteurs garde-freins des voitures placées en queue et dans la longueur du train, de serrer les freins dont la manœuvre leur est confiée. Le frein du tender est aujourd'hui le seul sur lequel le mécanicien ou le chauffeur, son assistant, puissent agir directement. L'accroissement de dépense que nécessiterait l'augmentation du personnel des conducteurs garde-freins n'est pas la seule ni même la principale raison qui empêche les Compagnies de chemins de fer de placer dans les trains un plus grand nombre de voitures munies de freins qu'elles ne le font généralement. Le nombre de ces voitures, tel qu'il est aujourd'hui fixé par l'usage de chaque Compagnie et par les règlements, suffit aux besoins du service, sauf les cas extraordinaires, purement accidentels et fort rares par conséquent, dans un service d'ailleurs bien organisé. Si on augmentait le nombre des conducteurs garde-freins, on peut prévoir que ces hommes, qui, dans la plupart des cas, pourraient, sans inconvénient, se dispenser d'agir, deviendraient moins attentifs à leur service, de sorte que leur concours simultané pourrait bien manquer précisément lorsqu'il deviendrait nécessaire. Tout le monde comprend donc que, s'il importe de multiplier les moyens d'arrêt, le nombre des freins pour la sûreté des trains en marche, il importe encore plus de les mettre à la disposition directe du mécanicien qui, prévenu de l'existence d'un obstacle sur la voie, ayant en face de lui le danger, dont il apprécie l'imminence et dont il serait la première victime, agira aussitôt lui-même avec une énergie et une promptitude proportionnées à cette imminence, sans avoir de signal à transmettre à personne. Aussi la construction de freins appliqués à toutes les voitures d'un train, liés les uns aux autres ou avec celui du tender par des mécanismes tels que le serrage de celui-ci, opéré par le mécanicien ou son chauffeur, mette tous les autres en action, a-t-elle été, depuis l'origine des chemins de fer, l'objet des recherches d'un grand nombre d'ingénieurs et de mécaniciens.

La question présentait un problème de mécanique difficile à résoudre. Les mécaniques qui lient les freins entre eux doivent être fort simples et n'ajouter aucune

EFERUS - Recherche & Classification numérique

difficulté nouvelle à la composition des trains, qui doit être opérée avec une extrême promptitude. Les freins doivent agir d'une manière certaine, mais graduée, en obéissant à la manœuvre du mécanicien; en même temps il est indispensable qu'ils ne puissent être mis en jeu par les seules réactions mutuelles des voitures, dans la marche ordinaire du train, dans le mouvement de recul, dans les manœuvres de gare. Il faut qu'ils cessent d'agir dès qu'ils ont produit l'effet voulu, c'est-à-dire dès que le train est arrêté, et que le mécanicien puisse repartir aussitôt qu'il aura desserré lui-même le frein du tender.

Ces conditions sont pour la plupart remplies par le frein Guérin (voy. CHEMINS DE FER), un peu abandonné depuis qu'on emploie plus souvent des locomotives en queue pour gravir les fortes rampes, et mieux encore par le frein Achard, qui fait agir les roues sur les freins dès que le conducteur du train met en mouvement un courant électrique qui détermine le placement de cliquets qui rendent alors cette action possible pour chaque paire de roues. Cette élégante solution d'un difficile problème exige quelques soins lors de l'attelage des voitures, pour la transmission du courant électrique, d'un emploi peu délicat, qui exige quelques simplifications que fournira sans doute la pratique.

Un progrès que nous voulons signaler ici, et qui nous semble dans la véritable voie de l'avenir, est celui de l'emploi de la contre-vapeur.

Contre-vapeur. — On donne ce nom à un emploi de la vapeur comme force résistante.

Habituellement pour arrêter un train, on ferme le régulateur de la machine, et on serre les freins, c'est-à-dire qu'on consomme inutilement, par le travail des résistances passives, la force vive du train. Le piston, entraîné par la roue motrice, marche alors à vide.

Pour augmenter cet effet, il était naturel d'employer la vapeur comme force résistante, de la faire agir sur l'autre face du piston; mais alors le mouvement de celui-ci produit l'aspiration des gaz de la combustion qui sont renvoyés dans la chaudière. Il s'ensuit que la pression s'élevant aussitôt dans celui-ci, les soupapes perdent, et le cylindre peut s'altérer par l'effet des gaz chauds, dont la compression élève encore la température.

L'envoi de l'air dans une capacité close, ne le laissant sortir que par un très-petit orifice, capacité dans laquelle la pression, et par suite la résistance, croît avec chaque coup de piston, est une solution bien préférable, et a donné naissance au frein de De Bergue, qui offre d'assez grands avantages; mais outre le défaut de produire un échauffement nuisible pour les tiroirs surtout, il a l'inconvénient d'entraîner la consommation de la force vive du train.

Il n'en est pas de même du système de contre-vapeur dans lequel on emploie cette force vive à comprimer, et par suite à échauffer la vapeur de la chaudière elle-même, dans des conditions qui n'occasionnent pas des accroissements brusques de pression entraînant des pertes par les soupapes. Cette heureuse combinaison, expérimentée d'abord sur les chemins à fortes pentes du nord de l'Espagne, est due à MM. Lechatelier et Ricour.

La locomotive est munie d'un *tube d'inversion* que l'on adapte à l'un des robinets réchauffeurs, et qui, après s'être bifurqué sous la boîte à fumée, se termine de part et d'autre aux conduits de l'échappement. On fait aboutir dans ce tuyau un autre tube, celui qui sert à purger le niveau d'eau. Pour marcher à contre-vapeur, le mécanicien ouvre les deux robinets du tube d'inversion, qui se remplit d'un mélange de vapeur et d'eau; puis il renverse la marche des tiroirs; le mouvement des roues continuant en vertu de la vitesse acquise, les pistons puisent dans les conduits d'échappement le mélange d'eau et de vapeur que le tube d'inversion y amène, et le refoulent dans la chaudière. La compression de ce mélange n'entraîne pas d'élévation de température trop grande à cause de la grandeur de la chaleur latente de l'eau, si la quantité de celle-ci est suffisante; la chaleur produite est entièrement employée à convertir la partie de celle-ci en vapeur et est ainsi restituée à la machine.

Par cette ingénieuse invention, la descente d'une pente est utilisée pour la transformation en chaleur d'une portion du travail moteur produit par la gravité, de sorte que la locomotive accumule en descendant une pente un excès de puissance dont elle dispose ensuite pour gravir la rampe qui la suit; mais surtout la force vive possédée par un train est convertie en chaleur quand il s'agit d'arrêter celui-ci, et bientôt cette chaleur, convertie en travail, viendra mettre le train en mouvement et lui rendre sa vitesse. Ce système est donc tout à fait remarquable et comme ingénieux système de frein, et comme application très-heureuse de la théorie mécanique de la chaleur, de l'équivalence de celle-ci et de travail mécanique.

FUMÉE. La question de la fumivorité des fourneaux a acquis beaucoup d'intérêt dans ces dernières années, parce que les administrations municipales de Londres et de Paris, dans des vues d'assainissement et de propreté de ces grandes capitales, ont assujetti les établissements industriels à brûler leur fumée, à ne plus jeter dans l'air les flots de fumée noire qui sortaient de leurs cheminées. Les résultats consignés dans le savant article FUMÉE de M. Debette ont été utilisés, c'est-à-dire que les systèmes décrits ont été employés, sans qu'aucun ait été jugé tout à fait satisfaisant pour tous les cas.

Plusieurs autres moyens permettent d'atteindre le but. Le premier, d'une application malheureusement un peu compliquée, est celui de la conversion des combustibles en gaz combustibles, que nous avons donné à l'art. COMBUSTIBLES; la chaudière Beaufumé rend ce système pratique pour le chauffage des chaudières à vapeur.

Un second système à la réalisation pratique duquel un ingénieur distingué, M. Dumery, s'est appliqué, repose sur une modification de la grille, partie du fourneau mal étudiée jusqu'ici, et qui règle la température de la combustion, comme la section de la cheminée et des conduits de fumée la quantité de combustible qui peut être brûlé dans l'unité de temps. Ce système consiste à ne pas laisser la fumée se produire, à ne permettre aux produits de la distillation préalable du combustible de prendre naissance que dans des conditions favorables à leur combustion immédiate. Bien que son prix un peu élevé, le trop grand nombre de pièces métalliques dressées, au contact du foyer, en aient empêché le succès, il mérite d'être conservé dans un ouvrage de la nature de celui-ci, car il était fondé sur une étude excellente de la question.

Nous empruntons à des notices de M. Dumery l'exposition des principes sur lesquels repose son appareil, qui se résument en disant qu'au lieu de chercher à brûler la fumée, ce qui est presque impossible, il l'empêche de prendre naissance.

Il établit d'abord que la fumée est un corps incombustible utilement, profitablement, et qu'une fois formée, elle est incapable d'aucun effet utile.

Le système actuel, même avec le meilleur mode de chargement, ne permet pas aux gaz, une fois surtout qu'ils ont dépassé le combustible placé sur la grille, de brûler assez bien pour qu'il n'y ait pas de fumée.

Le système de combustion à flamme renversée donne une combustion complète, parce que le charbon frais se place là sur le charbon incandescent, se distille rapidement, et le tirage de la cheminée forçant les gaz combustibles à traverser une couche de houille embrasée, la combustion est entière, mais le rayonnement est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

perdu, et le faible rendement utile des combustibles par ce système y a fait renoncer.

Pour réunir les avantages de ce système à ceux du foyer ordinaire, M. Dumery a supprimé en partie la grille horizontale du foyer et n'a conservé que les deux barreaux du centre.

A chacun des deux rectangles formés par les barreaux restants et la paroi de brique du cendrier, il a fait aboutir deux cornets circulaires de section croissante à mesure qu'ils avancent vers le foyer et ayant une de leurs ouvertures à l'intérieur du foyer et l'autre à l'extérieur de la maçonnerie.

On introduit le combustible par la petite section de l'extérieur, et c'est dans la plus grande, vers le foyer, que tout brûle. La partie intérieure du cornet est percée de fentes qui permettent l'arrivée de l'air atmosphérique ; deux *pistons presseurs courbes*, placés des deux côtés du foyer et conduits par une manivelle et des engrenages, s'engagent dans la partie extérieure des courbes et poussent le combustible à mesure que la combustion l'exige. Un fort bâti en fonte relie tout le système d'une manière invariable, et permet de le placer sous un générateur quelconque.

Pour allumer le foyer on remplit les courbes de combustible jusqu'à la naissance des fentes. On place par-dessus un lit de coke éteint à la fin du service de la veille et des bûchettes en bois qu'on allume par le haut. Le coke embrasé échauffe et enflamme la houille; l'hydrogène carboné qu'elle dégage, prenant naissance en un lieu porté à la plus haute température et trouvant de l'air pur, se brûle complétement.

Le combustible est introduit sans peine de l'extérieur par l'action des pistons, sans interrompre le travail du feu, même pour les nettoyages, puisque les scories fondues se retirent à la partie supérieure du foyer.

Pour éteindre le feu, on enlève séparément, au moyen des portes, la houille fraîche et le coke incandescent que l'on étouffe pour servir à l'allumage du lendemain.

Ainsi la houille en contact avec la chaleur par une de ses surfaces ne se distille que d'un côté. L'air frais qui avoisine la grille où repose le charbon froid s'infiltre dans le foyer par l'action du tirage.

Le mélange d'air pur en abondance et de gaz combustibles naissants s'enflamme au contact de la couche incandescente qu'il traverse, et le développement de la flamme s'opère au-dessus d'une couche de combustible en ignition. Enfin, aucun charbon frais ne peut intercepter le rayonnement du combustible vers la chaudière.

La combustion se règle à volonté en couches minces ou épaisses, et la porte du foyer ne s'ouvre plus pour des chargements réitérés, mais seulement toutes les trois ou quatre heures pour enlever les scories.

Les chauffeurs ne souffrent plus du rayonnement du foyer par la porte; les nettoyages du foyer sont très-faciles et les barreaux de grille durent plus longtemps; la puissance des générateurs est considérablement augmentée par cet appareil, la quantité de houille brûlée par heure pouvant varier de 1 à 6.

Enfin on obtient une combustion complète de la fumée.

Ce système, dont nous donnons une coupe (fig. 3538), a été appliqué à un certain nombre de foyers industriels. A la gare de l'Est, on l'a soumis à des expériences comparatives, avec un foyer ordinaire, en employant deux chaudières toutes semblables, pour arriver à constater le rendement des deux systèmes en vapeur.

Le foyer Dumery a brûlé par heure 60, 80, 100 et

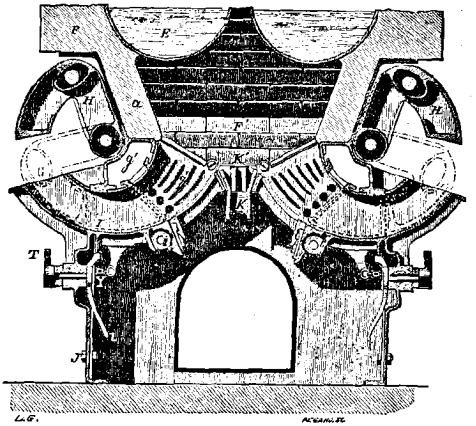


Fig. 3538.

120 kilog. de houille de Sarrebruck, *en tout-venant*, sans une trace de fumée ; au-dessus de 120 kilogr., la combustion languissait; mais avec des *gaillettes*, on l'a portée à 150 kilogr., sans une trace de fumée. Le foyer ordinaire, à surface égale, a brûlé jusqu'à 98 kilogr. de *tout-venant* et 103 de gaillettes.

Ces deux foyers étaient établis pour 40 kilogr. à l'heure ; le foyer ordinaire n'a donc pas pu dépasser deux fois et demie sa consommation de règle; le foyer Dumery est allé à près de quatre fois.

Et, chose remarquable, le rendement en vapeur a augmenté avec la quantité brûlée à l'heure.

Avec 80 kilog. brûlés à l'heure, le rendement de vapeur a été de.	5,35
Avec 100 kilogrammes.	5,80
Avec 120 kilogrammes.	6,11

Quant au produit du mètre carré de chaudière en vapeur, qui est de 6kil.2 par mètre carré de chaudières de Cornouailles, nos meilleurs constructeurs de machines fixes vont de 6 à 10. Les auteurs estimés donnent de 15 à 20 kilogr. comme une bonne proportion. M. Nozo, ingénieur au chemin du Nord, a fait produire 27kil.5 à une locomotive; les chaudières tubulaires de M. Molinos avec une double insufflation d'air rendent 31 kilogr. par mètre carré. Le foyer Dumery atteint 41kil.6 avec du tout-venant et 51kil.75 avec de la gaillette, et l'économie réalisée enfin par le foyer est de 22 p. 100, à produit égal de vapeur.

Enfin, ajoutons qu'avec de la houille de Sarrebruck et le foyer ordinaire consommant de 60 kilogr. par heure, la fumée a duré 0.67 du temps total de la combustion. Avec 112 kilogr., au maximum, elle a duré 0.87 du temps.

Les foyers de M. Dumery, au contraire, brûlent complétement la fumée, même des houilles les plus grasses. Ce sont les seuls à notre connaissance qui réalisent complétement ce résultat.

La faculté de pouvoir augmenter beaucoup la consommation de houille d'un foyer sans nuire à la production de vapeur est d'une grande importance. Il est probable que cette faculté est due à ce que la combustion de la houille grasse s'opérant de la manière la plus complète à une très-haute température et par conséquent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sans le grand dégagement de flamme allongée que donnent toujours les foyers ordinaires, cette combustion s'opère ici dans les mêmes conditions que celle du coke des locomotives, et la presque totalité de la production de vapeur a lieu à la surface directement exposée au rayonnement des foyers.

La facilité du passage de l'air à travers les cornets, qui remplacent une partie de la grille ordinaire souvent encrassée par le mâchefer, permet d'accumuler le combustible et d'obtenir, sans possibilité de production de fumée, ni d'oxyde de carbone, la couche de combustible n'étant jamais épaisse, une modération de la quantité d'air qui traverse le fourneau relativement à la quantité de houille brûlée. Or, les expériences de M. Burnat tendent à modifier toutes les idées reçues jusqu'ici, et qui, en effet, n'étaient fondées sur aucune donnée positive. Il a constaté, en mesurant pour la première fois la quantité d'air passant par le cendrier des fourneaux à vapeur, que le maximum de rendement, pour une qualité moyenne de houille, correspond à 8 ou 9 mètres cubes, à zéro de température et 0,76 du baromètre, par kilogramme de houille. Ce chiffre est peu éloigné du chiffre théorique indiqué par la théorie comme nécessaire à la combustion, en admettant qu'il n'échappe pas d'oxygène et, au contraire, très-différent du chiffre de 15 ou 18 mètres cubes habituellement indiqué comme nécessaire pour la combustion complète.

La combustion la plus avantageuse répondant à une production abondante de fumée dans les fourneaux ordinaires, l'utilité de systèmes fumivores fonctionnant sans air additionnel est par cela même démontrée, lorsqu'on est astreint à satisfaire aux conditions de salubrité exigées aujourd'hui presque partout.

Four à la houille pour cuire la porcelaine. — L'emploi de la houille en remplacement du bois, en évitant la fumée qui avait fait juger que la houille ne pouvait jamais être employée, est un progrès réalisé aujourd'hui pour la cuisson de la porcelaine. Un fourneau construit par M. Vital Roux a été adopté à la manufacture de Sèvres pour la porcelaine blanche, c'est-à-dire par la fabrique qui recherche par-dessus tout la perfection des produits, et bientôt imité par l'industrie.

L'intérieur de ce four est le même que celui des fours au bois, seulement le nombre des alandiers est plus considérable; ainsi un four marchant au bois avec 6 alandiers à dix foyers a la houille. Au-dessous de ces foyers sont des cendriers très-profonds, qui reçoivent l'air de l'extérieur par un conduit souterrain.

Voici le résultat d'expériences faites en 1847 par Ébelmen, sur ce système qui a reçu les développements consignés à l'article POTERIE.

Chacun des dix foyers a été chargé tous les quarts d'heure pendant les trois premières heures; puis on a diminué les intervalles compris entre deux charges consécutives.

Après une cuisson de 44 heures, ayant consommé 214 hectolitres de houille, on a défourné; les résultats étaient très-satisfaisants.

La porcelaine était généralement belle et d'une bonne teinte, ne renfermant pas une seule pièce vraiment jaune.

Les cazettes ne sont pas vitrifiées à l'extérieur, ainsi que cela arrive pour les fours chauffés au bois, à cause de la nature alcaline des cendres entraînées par le courant d'air, ce qui est une cause de plus grande durée pour les cazettes.

Le même four qui consomme en moyenne 220 hectolitres de houille qui, à raison de 1 fr. 80 c., valent 396 francs, consommait par fournée 120 stères de bois à 7 fr., soit 840 fr. L'économie est donc de 444 fr. ou 53 p. 100. L'économie définitive sur le prix de revient de la porcelaine courante est évaluée par M. Ébelmen à 16 p. 100 environ; elle est donc considérable.

Ce qui a surtout contribué au succès de ce four, c'est son mode de chargement simultané qui, tout en laissant subsister une atmosphère réductrice, y fait pénétrer un excès d'air qui entrant dans le four par toutes les portes des foyers à la fois, au moment du chargement de la grille, expulse une grande quantité de fumée noire. Il en est de même de la cuisson au bois, pendant la durée de ce qu'on appelle *le poste*. On sait que, pendant cette partie de la cuisson, les ouvriers font tomber à courts intervalles, dans l'alandier, tout le bois qui le recouvre. La bouche supérieure de l'alandier se trouve découverte, un grand volume d'air pénètre dans le four et en chasse une fumée noire et abondante (voy. POTERIES).

Les fabricants sont unanimes pour affirmer que, sans cette opération, la porcelaine serait généralement jaune et enfumée; pendant les dernières heures de cuisson, on cesse d'agiter le bois et de découvrir l'alandier; une fois, en effet, que l'émail a commencé à fondre, la pâte de porcelaine ne peut plus s'imprégner de fumée.

Ébelmen remarquait avec raison que la conséquence probable de cette découverte sera de forcer le déplacement des fabriques de porcelaine, qui seront bien mieux placées près de houillères que près des gisements de kaolin où elles se trouvent en général aujourd'hui. Il faut en effet 7 ou 8 parties de houille pour cuire une partie de porcelaine; on conçoit d'après cela qu'il sera beaucoup plus économique de transporter les pâtes préparées vers les mines de houille, que d'amener la houille près des carrières de kaolin. Aussi depuis l'époque où il énonçait cette conséquence économique, les usines du Berry, Vierzon et autres, ont-elles considérablement augmenté leur fabrication, et ont pris un développement que n'ont pas suivi celles du Limousin.

Il paraîtrait possible de faire un nouveau progrès dans cette fabrication, en employant le chauffage au moyen des gaz combustibles, ce qui permettrait sûrement de diminuer beaucoup les dépenses de chauffage, et rendrait facile la cuisson au milieu d'atmosphères réductives ou oxydantes, ayant défaut ou excès d'oxygène, dont on peut tirer grand parti pour des fonds colorés grand feu, en raison de leur action sur les oxydes métalliques qui servent à produire ces colorations.

G

GALVANOPLASTIE. Une des plus belles découvertes de notre siècle, qui a illustré à bien juste titre les noms de Jacobi et de Spencer, est celle de la galvanoplastie. Pouvoir déposer, mouler à froid un métal sur une surface donnée, obtenir ainsi un moule résistant à la chaleur, aux frottements, etc., c'est sans contredit fournir à la plastique, à toutes les industries basées sur la reproduction de formes-modèles, le plus puissant moyen d'action qu'on pût espérer découvrir.

Les applications se multiplient chaque jour et nous pouvons compléter l'article déjà consacré à ce procédé par l'indication de divers perfectionnements que la pra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tique a fait reconnaître, d'heureuses combinaisons qui ont permis de faire d'excellentes applications des produits galvanoplastiques.

Reproduction en cuivre des gravures sur bois. — C'est dans la reproduction des surfaces plates finement gravées, comme celles qui servent à l'illustration du Dictionnaire, que nous suivrons les progrès d'une fabrication qui nous est spécialement connue, progrès qui se sont répétés dans la plupart des autres applications.

Le moule se fait toujours en gutta-percha, substance admirable pour cet emploi. Malaxée dans l'eau chaude, elle devient parfaitement plastique, sans s'écraser trop facilement, de telle sorte qu'elle prend parfaitement les empreintes les plus fines. Par un trop long usage, elle perd de sa plasticité, et se rapproche de la cire à cacheter, mais le mélange avec un quart de gutta-percha neuve lui rend des propriétés plastiques convenables, forme même un mélange préférable à la matière qui n'a pas servi.

Dans les cas de rondes-bosses très-tourmentées ou surtout d'empreintes à prendre sur des matières peu résistantes, on emploie la gélatine mélangée à la mélasse (matière plastique des rouleaux d'imprimerie) ou à la glycérine à la place de la gutta-percha.

La métallisation des moules s'obtient toujours à l'aide de la plombagine, et le tour de main capital pour avoir de magnifiques produits consiste à faire adhérer au relief la plombagine, avant d'appliquer la gutta-percha. Celle-ci se trouve plombaginée et brillante à l'intérieur, comme le sera plus tard le cuivre déposé.

Les piles simples sont toujours les meilleures de toutes, les seules qui ne donnent pas des dépôts de dureté variable, en raison du plus ou moins d'intensité du courant, qui n'exigent pas des frais d'entretien considérables. Seulement il faut avoir soin de veiller à ce que le bain de sulfate de cuivre ne devienne pas trop acide, ce à quoi on parvient en ajoutant un peu de craie qui précipite l'excès d'acide sulfurique à l'état de sulfate de chaux.

M. Bouilhet a fait la curieuse observation que la qualité du cuivre est parfaite quand on ajoute au bain une quantité infinitésimale de gélatine.

Creux en cuivre. — L'emploi de la galvanoplastie pour obtenir des matrices d'objets gravés en relief, afin de les reproduire par les procédés de la fonderie en caractères, est devenu général. Malheureusement le progrès qui en est résulté a un immense inconvénient, je veux parler de la facilité qu'y a trouvée la contrefaçon. Du moment qu'on a pu à l'aide d'un plomb obtenir une matrice en cuivre, on ne s'est pas fait faute de conquérir à peu de frais les richesses de ses confrères, et on cite en Allemagne des fonderies qui possèdent la presque totalité des produits précieux des autres fonderies de l'Europe. Il faut dire que ces produits sont souvent défectueux, à cause des petites imperfections du modèle et du surmoulage qui s'ajoutent les unes aux autres; mais dans beaucoup de cas et avec des soins suffisants, ils sont bien assez parfaits pour que le créateur du type original soit entièrement dépouillé de sa propriété. C'est là un déni de justice regrettable non-seulement au point de vue moral, mais encore au point de vue industriel, en ce qu'un graveur ne peut plus accumuler sur un produit une grande quantité de travail et de soins, lorsque le surmoulage doit venir le priver des bénéfices de l'exploitation, l'empêcher de retrouver la rémunération de son travail. Il faut espérer que les traités internationaux qui s'appliquent à la piraterie artistique, comme à la contrefaçon littéraire, permettront d'arrêter les progrès d'une aussi déplorable industrie.

Une observation importante à faire au point de vue technique, c'est qu'il est erroné de croire, comme cela paraît généralement reçu, que la galvanoplastie permet de graver sur les substances les moins résistantes les objets qu'il s'agit de reproduire en cuivre. La reproduction peut sans doute avoir toujours lieu, mais non la gravure en relief, dont les finesses sont nécessairement en raison de la résistance que le corps travaillé offre à l'action du burin. C'est pour cela que les emplois d'un savon dur de résine au lieu de bois, de bois au lieu d'acier, n'ont pas réussi au grand étonnement d'inventeurs qui, préoccupés de la reproduction, avaient tout à fait négligé les conditions nécessaires pour la création, avec un degré de perfection convenable, du type primitif.

Planches plates. — On a tenté de nombreuses applications de la galvanoplastie aux planches plates qui sont employées pour l'impression en taille-douce, surtout pour reproduire et multiplier ces planches qui sont mises hors de service par le tirage d'un nombre d'exemplaires très-limité, qui n'atteint pas en général 3,000, nombre bien insuffisant quand les planches font partie d'une publication de librairie, et doivent faire recourir souvent à la gravure sur planche d'acier qui est plus coûteuse.

La difficulté de cette reproduction consiste dans l'adhérence que contracte le dépôt sur la planche de cuivre. Elle est telle que l'on en a fait la base d'un procédé pour corriger les planches, en faisant déposer un peu de cuivre sur une partie soigneusement décapée.

Le procédé qui a le mieux réussi pour obvier à cette adhérence consiste à ioder et à exposer ensuite à la lumière la planche à reproduire. L'exposition à la lumière est si utile, qu'en l'absence du soleil, l'exposition à l'air ne suffit pas, tandis qu'après l'action solaire, l'adhérence ne se produit jamais.

Au lieu de reproduire la planche-type, on a trouvé le moyen bien préférable de lui donner à peu près la résistance au tirage de la planche d'acier. Ce moyen, inventé par MM. Salmon et Garnier, consiste à la couvrir d'un vernis de fer, d'un dépôt très-fin et très-adhérent de ce métal, à l'aide d'un bain de chlorure de fer dissous dans l'ammoniaque. Les finesses des traits ne sont nullement altérées, et le long service de ce vernis métallique, qui peut être renouvelé au besoin, assure le tirage indéfini des planches. Aussi ce système est-il universellement pratiqué aujourd'hui, même pour les planches de la plus grande valeur.

Galvanoplastie du fer. — La galvanoplastie du fer a déjà été l'objet de plusieurs essais. Elle est employée d'une manière habituelle pour l'aciérage en lame très-mince des planches de cuivre, par le procédé de MM. Salmon et Garnier dont nous venons de parler. Mais si on voulait augmenter l'épaisseur de la lame, le fer serait friable et facile à réduire en poudre. M. Collas s'est servi de cette propriété négative pour obtenir du fer chimiquement pur, qu'on pulvérise sans peine dans un mortier.

En 1846, MM. Boch-Buschmann et Liet, de Sept-Fontaines, près Saarbruck, présentèrent à la Société d'encouragement un cliché galvanique d'une gravure, en fer cohérent obtenu dans une dissolution de sulfate de fer aussi neutre que possible. En 1847, M. Ruttger indiquait l'emploi du sel double du protoxyde de fer et d'ammoniaque pour obtenir un dépôt de fer cohérent et d'un brillant métallique. Enfin en 1862 et en 1867, M. Feuquières a exposé, à Londres et à Paris, des reproductions d'objets divers (médailles, etc.) en fer galvanique, échantillons qu'il a présentés à la Société d'encouragement.

Ce fer a des propriétés particulières : il est pur, plus dur et moins dense que le fer doux; il est peut-être forgé à froid après avoir été recuit plusieurs fois; il est susceptible d'être aimanté comme l'acier faiblement trempé; il paraît être *passif*, comme le fer traité par l'acide nitrique bouillant.

Ces propriétés et celle de pouvoir prendre les formes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les plus dures rendront ce fer précieux pour la reproduction des gravures des clichés d'imprimerie, des fers pour les relieurs ou les fleuristes, pour la copie d'antiquités et d'objets d'art, et pour une foule d'autres usages.

Le procédé de M. Klein, qui n'est autre que celui de M. Feuquières, consiste à associer un sel ammoniaque à un sel de protoxyde de fer; le dépôt qu'on obtient alors est très-dur, a quelques-unes des qualités de l'acier trempé, est passif et paraît contenir de l'azote.

Ces faits sont du plus grand intérêt et auront les résultats les plus importants pour l'industrie. Tels qu'ils sont, dès à présent, ils font naître des vues nouvelles sur la théorie de l'acier.

GAZ (Constitution des). L'analyse de la constitution des corps gazeux à laquelle conduit la théorie mécanique de la chaleur, et que nous allons nous efforcer d'établir avec quelque précision, conception qui s'est introduite peu à peu et sans bruit dans la science, doit être considérée comme le point de départ d'un progrès important dans la science qui éclairera nombre de points obscurs. Non-seulement elle est plus vraie que celle admise jusqu'à présent, mais elle est plus satisfaisante pour l'esprit. Bientôt on ne comprendra pas comment on a pu supposer un état statique impossible à imaginer, un système de propriétés des molécules gazeuses, qui avait l'apparence d'une explication et qui n'était en réalité qu'une autre manière d'énoncer les faits constatés par l'expérimentation.

Caractères généraux des gaz. — Les faits constatés par expérience conduisent à établir que les forces d'attraction ne s'exercent pas d'une manière sensible entre les molécules des gaz; qu'elles sont à des distances trop grandes pour que cette action nettement manifestée par la constitution des liquides et surtout par celle des solides puisse être observée; enfin que ces molécules sont dans des conditions telles qu'elles tendent vers une expansion indéfinie, effet que l'on voit se produire toutes les fois qu'un obstacle ne vient pas l'empêcher.

Les gaz proprement dits, soumis aux actions mécaniques de compression, se comportent tous de la même manière, suivant la loi de Mariotte; échauffés, ils se dilatent tous également, d'une même fraction de leur volume à zéro : c'est la loi de Gay-Lussac, et cela bien que les masses des molécules de ces gaz soient très-différentes. Il faut donc que les actions réciproques de ces molécules soient insensibles, autrement de semblables lois générales ne sauraient exister. C'est ce qu'on voit bien clairement, quand on étudie les gaz imparfaits dans le voisinage de leur point de liquéfaction; alors les actions de masse doivent intervenir. Aussi les lois générales des gaz cessent de s'appliquer exactement.

La loi du mélange des gaz semble donner à la conception dont nous parlons un caractère de nécessité absolue. Si dans les gaz les forces moléculaires pouvaient s'exercer, avaient une valeur sensible, cette valeur ne saurait être la même pour les actions qui s'exercent entre deux molécules de même nature et de masse différente. Les lois que devrait suivre un mélange de deux gaz devraient être autres que celles auxquels est soumis un gaz simple. Or, il n'en est nullement ainsi, et, par exemple, entre l'oxygène et l'air atmosphérique, il n'y a, au point de vue mécanique, d'autre différence que celle de la densité.

A première vue, les gaz se présentent à nous comme formés de molécules possédant une très-grande mobilité; c'est la première remarque que nous suggère la facilité avec laquelle nous accomplissons nos mouvements dans l'air. Aussitôt que nous passons à une étude plus attentive, que nous apprenons à les renfermer dans des enveloppes extensibles, nous reconnaissons que cette mobilité est tout autre que celle due à la facile divisibilité des liquides, puisque, tandis que ceux-ci sont sensiblement incompressibles, les gaz sont essentiellement compressibles. C'est là leur caractère distinctif, dont on fait naturellement découler l'analyse de leur constitution moléculaire.

Celle admise jusqu'ici, bien que fictive, paraissait assez satisfaisante, tant qu'on n'a pensé à considérer les phénomènes qu'on étudie en physique qu'à l'état statique et jamais à l'état dynamique. Elle consistait à considérer les molécules gazeuses comme possédant une force répulsive, appartenant essentiellement à leurs molécules par suite de leur combinaison avec le calorique auquel Lavoisier donnait toutes les propriétés essentielles des corps gazeux, car il l'imaginait surtout pour les expliquer, qu'il définissait un fluide impondérable d'une élasticité parfaite. Cette constitution des gaz, que l'on enseigne encore trop souvent, dont on part pour l'analyse des phénomènes, n'est plus acceptable lorsqu'on n'admet pas l'existence du calorique, quand on reconnaît la vérité de la théorie mécanique de la chaleur démontrée par nombre d'expériences qui infirment d'une manière absolue la théorie du calorique.

Proposons-nous d'analyser la constitution moléculaire des gaz, en partant de leurs réactions, lorsqu'ils sont soumis aux actions mécaniques qui sont celles que nous connaissons le mieux.

Élasticité des gaz. — Loi de Mariotte. — L'élasticité des gaz se manifeste dès qu'ils sont soumis à des compressions, et la mesure des pressions et des volumes correspondants mène à une des lois les plus considérables de la physique, à la loi de Mariotte, qui a conduit à considérer les gaz comme formés de molécules équidistantes. En effet, pour un volume moitié du volume primitif, ou pour un nombre de molécules double sous un volume égal, la loi de Mariotte indique une pression double, c'est-à-dire que les volumes sont en raison inverse des pressions, et que, en général, V, V' étant deux volumes d'un gaz, P, P' les pressions correspondantes, on a toujours :

$$PV = P'V'.$$

Cette loi qui se vérifie facilement par des observations directes, comme en enfonçant dans le mercure un tube fermé renfermant du gaz à la partie supérieure, est-elle absolument exacte? Cela ne semblait pas douteux, il y a peu d'années encore, bien que les expériences qui avaient servi à établir la loi de Mariotte fussent d'une médiocre précision. Nous avons rapporté à compressibilité les variations qu'a trouvées M. Regnault et vu combien elles sont minimes pour les gaz parfaitement stables.

Mouvements des molécules gazeuses. — Si le calorique n'existe pas en tant que fluide élastique impondérable se combinant avec les molécules pondérables, il n'en est pas moins évident que c'est l'action de la chaleur sur celles-ci qui est la cause des propriétés de l'état gazeux. Non-seulement la chaleur donne naissance aux gaz par le phénomène de la vaporisation des liquides, mais encore il est évident que, sans les effets qui lui sont dus, les molécules séparées et sans action les unes sur les autres ne produiraient aucune pression extérieure; cet amas de molécules inertes ne ressemblerait en rien à un corps gazeux. Mais si on suppose ces molécules en mouvement, ce qui est une conséquence nécessaire de leur formation par la chaleur définie dynamiquement, si la température indique la vitesse de leur vibration, aussitôt apparaissent toutes les propriétés de ces corps que l'expérience a fait reconnaître. Ce mode de constitution fournit des moyens d'analyser des faits de la plus haute importance, dont l'ancienne théorie ne rendait pas compte.

La conséquence nécessaire du mouvement dans toutes les directions possibles de molécules indépendantes les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

unes des autres, séparées par de très-grands intervalles qu'indique l'accroissement considérable de volume produit lors de la gazéifaction du liquide qui leur donne naissance, c'est que ce mouvement tend à se poursuivre indéfiniment, sans être modifié dans ses effets en tant que consommation de quantité de travail, par les actions mutuelles d'attraction qui peuvent se produire entre les molécules; il peut tout au plus en résulter des modifications de la forme des trajectoires, par des actions qui ne peuvent durer qu'un instant très-court, puis les molécules s'écartent de rechef les unes des autres, et rentrent dans les conditions générales du système. Si on admettait qu'elles se rencontrent et se choquent, comme les masses des molécules sont égales aussi bien que les vitesses, celles-ci ne feraient que changer de direction sans changer de grandeur; l'action exercée par un pareil système sur les parois qui le limitent peut donc être considérée comme identique à celle d'un système dont toutes les molécules cheminaient sans cesse en ligne droite, sans jamais se rencontrer.

Cette conclusion est encore forcée, si au lieu de considérer les mouvements de molécules indépendantes, on les considère comme liées avec celui de l'éther, ce qui est plus que probable. Alors les mouvements moléculaires dont il y a à tenir compte ne sont plus des mouvements indéfinis de translation, mais des mouvements vibratoires en tous sens, un mouvement dans une direction entraînant nécessairement un autre mouvement transversal, vibrations de sens alternativement opposés, s'accomplissant suivant de petits éléments linéaires à légères inflexions.

Les molécules gazeuses en mouvement venant à rencontrer les parois immobiles du vase qui les renferme, rebondissent en sens contraire, ce qui change la direction de leur mouvement mais non leur vitesse; de telle sorte que l'état du système reste invariable, ces effets se produisant deux à deux en sens contraire. Ce fait fondamental que rend nécessaire le principe de la conservation des forces vives et l'immobilité absolue des parois que choquent des molécules dont la masse est extrêmement petite, quelle que soit la cause qui fait que les choses se passent de la sorte, suffit pour déterminer, d'une manière parfaitement satisfaisante, la pression des parois d'un vase qui renferme un gaz, en partant de la force vive dont sont animées les molécules gazeuses.

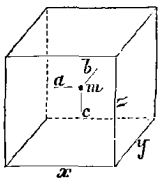


Fig. 3539.

Donnons le calcul d'après MM. Waterson et Krœnig.

Soit un vase de forme parallélipipédique, fig. 3539, divisons-le en $\frac{n}{3}$ petits cubes élémentaires (n étant le nombre des molécules), contenant chacun trois atomes gazeux placés à des distances moyennes égales, le système étant à l'état stationnaire, animées d'une vitesse constante u, et soient x, y, z les grandeurs des trois côtés du vase. Chaque atome vibre nécessairement parallèlement à l'une des faces du parallélipipède, c'est un résultat forcé de la symétrie du système et du mouvement en tous sens des molécules.

Cherchons la pression p exercée sur l'une des parois. Cette pression résulte du nombre de chocs des atomes gazeux et de leur intensité. Si un seul atome rencontrait la paroi, la pression serait proportionnelle à a, a désignant le nombre des rencontres avec la face pendant l'unité de temps. D'ailleurs u étant la vitesse de la molécule gazeuse, et m sa masse, mu sera la pression qu'elle exercera lorsqu'elle sera sur la paroi; la pression sera donc mua. Si l'on désigne par z l'arête du parallélipipède perpendiculaire à la paroi pour laquelle on cherche la pression, il est facile de voir que chaque atome qui se meut parallèlement à cette dimension doit rencontrer la paroi considérée toutes les fois qu'il a parcouru le chemin correspondant à l'aller et au retour, c'est-à-dire $2z$; d'où il suit que l'on a : $a = \frac{u}{2z}$. La pression totale p produite par chaque atome sera donc $\frac{mu^2}{2z}$, et en multipliant pour une face du cube entier par le nombre des atomes se mouvant parallèlement à une face ou à $\frac{n}{3}$, et divisant par l'étendue $x\,y$ de la paroi considérée, on aura la pression rapportée à l'unité de surface, ou

$$p = mu\,\frac{u}{2z}\,\frac{n}{3}\,\frac{1}{xy} = \frac{1}{6}\,\frac{nmu^2}{v},$$

puisque le volume $v = xyz$, ou $pv = \frac{n}{6}\,mu^2$.

Ce mode de calcul revient à ramener tous les mouvements moléculaires élémentaires à trois axes rectangulaires, ce que permet la nature du mouvement tendant à l'expansion en tous sens.

Conséquences de la formule obtenue. — La formule ci-dessus offre beaucoup d'intérêt par les conséquences curieuses qu'on peut en tirer.

1° Elle établit sur une base bien compréhensible la loi de Mariotte, assez obscure dans l'ancienne théorie; c'était quelque chose d'insolite, dans les phénomènes naturels, que cette action répulsive variant proportionnellement à l'écartement des molécules. Au contraire, ici la constance de pv est le résultat nécessaire de la constance du nombre de molécules, u^2 étant également constant.

Les variations de compressibilité des divers gaz, relativement à la loi de Mariotte, ne sont pas contraires à ce mode de constitution de corps gazeux. L'accroissement de compressibilité s'explique d'une manière satisfaisante par l'attraction qui, à mesure que la pression est plus voisine de celle qui répond au point de liquéfaction, vient concourir de plus en plus à produire le même effet de réduction de volume que la compression. La force d'attraction et la densité, le poids atomique, quand on compare des corps différents, ont une influence dont il importe de tenir compte dans chaque cas particulier. Si, pour les gaz parfaits, elle est à peu près nulle, toutefois un corps réel ne saurait jamais être réduit, si ce n'est pour l'étude générale et préliminaire, à une abstraction mathématique. Les lois ainsi obtenues ne peuvent jamais, sans introduire dans les formules les éléments propres à chaque cas, s'appliquer à un corps déterminé, et il doit y avoir, dans les gaz et les vapeurs, des variations considérables depuis le point où l'attraction agit entre les molécules presque comme dans un liquide, où il est une vapeur saturée, jusqu'au point où cette attraction était presque nulle, l'écart moléculaire est très-grand et la densité minime.

Dans le premier cas, comme je l'ai déjà dit, la diminution de la distance moyenne des molécules et l'accroissement de la force d'attraction qui en résulte rendent bien compte de l'accroissement de compressibilité; dans le second, dont nous avons un exemple dans l'hydrogène, gaz qui doit être rangé dans une classe à part, à cause de sa faible densité, et de la grande vitesse tout exceptionnelle du mouvement de ses atomes dont le poids est très-faible, pour les compressions considérées, on peut admettre que, bien avant le point où l'attraction intervient par suite d'une diminution notable de l'écartement moléculaire, un bien moindre rapprochement des molécules matérielles et de l'éther, plus dense que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'éther ambiant qui les entoure, fait naître une résistance supplémentaire qui explique pourquoi la diminution de volume n'est pas proportionnelle à la force de compression, comment peut diminuer la compressibilité.

2° Elle montre qu'un accroissement ou une diminution de la vitesse moléculaire doit accompagner, nécessairement une augmentation ou une diminution du volume v, p restant constant, c'est-à-dire une production, une consommation de travail extérieur. On entrevoit comment, d'après cela, la chaleur engendre du travail mécanique et inversement. On en déduit le principe de l'explication de ce genre de phénomènes, qui me paraît une excellente vérification des principes précédents.

C'est, en effet, un résultat capital de la nouvelle conception de la constitution des gaz considérés comme formés de molécules en mouvement, que d'expliquer parfaitement comment prennent naissance les phénomènes calorifiques et mécaniques qui apparaissent lors de la compression ou de la dilatation des gaz et des vapeurs, et la lumière qu'elle apporte dans l'analyse, impossible auparavant, de phénomènes d'une importance tout à fait majeure.

La conséquence nécessaire de cette constitution est évidemment que lorsqu'un gaz se détend, lorsque, par exemple dans une machine à vapeur, le piston s'avance par l'effet de la pression de la vapeur, les molécules gazeuses venant choquer une paroi qui se meut dans le même sens qu'elles, ne peuvent retourner en arrière qu'en vertu de la différence des deux vitesses, c'est-à-dire avec une vitesse moindre que celle initiale. Le gaz se refroidit donc, et la diminution des forces vives des molécules gazeuses, qui est la variation de la chaleur, est précisément égale au travail que transmet la tige du piston.

Un effet exactement inverse répond à la compression, et on comprend facilement de même, comment le travail consommé engendre un échauffement, un accroissement de forces vives calorifiques précisément égal à ce travail.

Il est bien curieux de voir que le mode de constitution des corps gazeux auquel parvient la science moderne a été formulé plus d'un demi-siècle avant que Lavoisier eût imaginé l'hypothèse du calorique, qui nous paraît plus simple uniquement parce qu'on nous l'a professée dès les premières leçons de physique que nous avons pu entendre. Il est certes moins aisé de concevoir un fluide impondérable produisant les effets de la chaleur quand il entre dans un corps, quand il se combine avec ses molécules, que de considérer celles-ci comme animées d'un mouvement. La logique comme l'ancienneté militent en faveur de la constitution des corps gazeux, formulée en effet dès 1738 par D. Bernouilli, et retrouvée de nos jours par Waterson, Hérapath, Krœnig et Clausius.

Nous reproduirons ici le passage le plus remarquable de l'ouvrage de D. Bernouilli :

HYDRODYNAMIQUE. — Chap. X. — *Des propriétés et des mouvements des fluides élastiques et principalement de l'air.*

« Supposons donc un vase cylindrique posé verticalement, dans lequel peut se mouvoir un piston mobile EF chargé d'un poids P, et que la capacité ECDF renferme de petites particules agitées de mouvements rapides en tous sens. Alors ces particules, pendant qu'elles choquent le piston EF et le soutiennent par leurs chocs continuellement répétés, constituent un fluide élastique qui augmentera de volume si on enlève ou diminue le poids P, qui diminuera de volume si on l'augmente; enfin qui ne pèsera pas autrement sur le fond CD, que s'il n'était doué d'aucune élasticité; car soit que les particules soient en repos, soit qu'elles se meuvent, la gravité n'est pas changée, aussi le fond supporte-t-il à la fois le poids et la pression élastique du fluide.

« Tel est par suite le fluide possédant les mêmes propriétés fondamentales que les fluides élastiques que nous substituerons à l'air, et nous pourrons ainsi expliquer par suite non-seulement les propriétés déjà reconnues à l'air, mais encore d'autres qui n'ont pas encore été suffisamment analysées. »

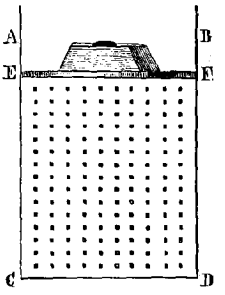


Fig. 3539 *bis*.

Ces conséquences, conformes à l'expérience, à l'emploi de la chaleur pour produire un travail mécanique, rendent ces phénomènes de production ou mieux de communication de forces vives, de vibrations moléculaires parfaitement nets. Ils remplacent avec grand avantage une obscure correspondance entre des quantités hétérogènes, travail mécanique et chaleur, qui, dans l'ancienne physique, n'offrait rien de satisfaisant à l'esprit, que la certitude du fait forçait seule d'accepter malgré ce qu'elle présentait d'illogique.

3° On peut enfin de l'équation fondamentale déduire la valeur de u, de la vitesse rectiligne moyenne du mouvement de la molécule gazeuse. On a ainsi pour 1 mètre cube et la pression atmosphérique par mètre carré égale à 10330, $p = 10330 = \frac{1}{6} n m u^2 = \frac{1}{6} \frac{\pi}{g} u^2$, π étant le poids du mètre cube.

	Poids du mètre cube.	Vitesse par seconde.
Air.	1 k,299	623m
Hydrogène.	0 ,088	2,396
Oxygène.	1 ,433	593
Azote	1 ,268	624
Chlore.	4 ,209	347
Protoxyde d'azote.	1 ,977	504
Oxyde de carbone.	1 ,243	620
Acide carbonique.	1 ,981	500
Acide sulfureux. .	2 ,849	320
Ammoniaque . . .	0 ,766	811

Ces vitesses de vibration sont sans doute énormes et étonnent à première vue quand il s'agit de molécules qu'on était habitué à considérer comme en repos; mais il faut, quand la science entre dans des voies nouvelles, savoir ne pas se trop préoccuper de ce que l'on a autrefois admis par habitude. Il faut se rappeler d'ailleurs que les vibrations des molécules ne nous sont pas perceptibles sous forme de mouvement, mais seulement sous celle de chaleur, non-seulement à cause de leur extrême ténuité, mais à cause de la nature alternative de leur mouvement. Il est d'ailleurs des faits inexplicables dans l'ancienne manière de raisonner, et qui sont en rapport avec des vitesses aussi grandes. Telles sont les ruptures des vases les plus résistants produites par une gazéification instantanée, comme on le voit dans des cas inexplicables d'explosions de chaudières à vapeur et dans l'emploi de certaines poudres brisantes. Elles sont d'ailleurs petites (et d'autant moindres que la masse de l'atome est plus grande, l'unité de volume renfermant le même nombre de molécules gazeuses, d'après la loi de Gay-Lussac sur les combinaisons des corps gazeux en rapport simple de volumes), relativement à celle de l'éther qui leur imprime sans aucun doute les vitesses déterminées ci-dessus.

4° Enfin elle permet de déterminer la somme totale de forces vives que possède l'unité de poids d'un gaz, à un état déterminé, nombre qui paraît devoir représenter mieux que tout autre le corps même, donner le moyen

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de prévoir la manière dont il se comportera dans un cas déterminé.

L'équation fondamentale étant mise sous la forme

$$3pv = \frac{nmu^2}{2},$$

puisque nm est la masse pour le volume v, la valeur $\frac{nmu^2}{2}$ est la force vive des molécules gazeuses pour le volume v ; on en déduit :

Que, pour des volumes égaux à même pression, les gaz parfaits ont tous la même force vive moléculaire ; par suite les dilatations seront égales, comme le montre l'expérience, puisqu'on aura

$$6pv = nmu^2,\ 6pv(1+\alpha t) = nm(u+\Delta u)^2,$$

et que, pour tous les gaz $m(u+\Delta u)^2$ sera constant comme mu^2.

De là se déduit aussi l'égalité des chaleurs spécifiques des gaz simples pour un même volume, ce qui permet de calculer facilement les chaleurs spécifiques des divers gaz pour l'unité de poids.

Pour l'unité de poids, connaissant la densité D, le poids du mètre cube sous la pression atmosphérique, pour lequel $vD = 1$, ou $v = \frac{1}{D}$, il viendra :

$$\frac{3 \times 10330}{D} = \frac{nmG^2}{2},$$

c'est-à-dire que la somme des forces vives de l'unité de poids est en raison inverse de la densité.

On trouve ainsi pour les principaux gaz, pour 1 kilogramme, à zéro :

	Densités.			En chaleur
	0,088	Hydrogène.	352160k	951,7
	1,433	Oxygène.	21784	58,8
	1,268	Azote.	24447	65,2
	1,243	Oxyde de carbone. .	24955	66,2
Gaz liquéfiables.	1,989	Acide carbonique . .	15650	41,7
	1,977	Protoxyde d'azote. .	15685	41,8
	0,766	Ammoniaque.	40468	107,9
	2,849	Acide sulfureux. . .	10880	29,0

Pour l'unité de volume, ou $v = 1$, on a pour tous les gaz $nm\frac{G^2}{2}$ = Constante = 30990 par mètre cube, et en chaleur $\frac{30990}{370} = 83{,}7$, et par litre 0,0837. Cette égalité, qui résulte du mode de raisonnement ci-dessus, est d'accord avec l'égalité des chaleurs spécifiques des gaz simples, rapportées à un même volume.

Démonstrations expérimentales.

Écoulement des gaz à travers un corps poreux. — Le savant chimiste anglais Graham a fait des expériences qui démontrent directement la vérité du mode de constitution des gaz que nous venons de résumer. Nous empruntons ce qui suit au mémoire dans lequel il décrit ses recherches.

Ayant fait passer des gaz différents à travers un tube capillaire extrêmement fin, il avait trouvé, pour le passage de volumes égaux d'hydrogène, d'oxygène et d'acide carbonique, les temps suivants :

Oxygène	1,00
Acide carbonique.	0,72
Hydrogène.	0,44

En remplaçant le verre par du biscuit de porcelaine, et mieux encore du graphique, corps poreux, mais dont les pores sont bien plus petits que les orifices capillaires artificiels, alors un filet de gaz ne peut plus passer, ce sont les molécules qui, individuellement, traversent les intervalles inter-moléculaires du graphite, et les lois du mouvement diffèrent de celles des mouvements de masse. En effet, le passage des mêmes gaz sous la pression d'une colonne de mercure de 100 millimètres de hauteur, ayant été observé en faisant usage d'une plaque de graphite artificiel de 1/2 millimètre d'épaisseur, donne les résultats suivants.

Temps employé pour le passage moléculaire.

		Racine carrée de la densité.
Oxygène.	1,00	1,00
Acide carbonique .	1,1886	1,1760
Hydrogène.	0,2472	0,2502

C'est-à-dire que l'expérience montre la proportionnalité du temps de l'écoulement à la racine carrée de la densité, vérification précieuse de la conception dynamique des gaz. En effet, l'écoulement d'un volume de gaz à travers des orifices ω, pendant un temps t, est toujours, pour une vitesse u, $V = \omega ut$; or si la vitesse est celle de vibration, comme on a pour deux gaz $V = ut = u't'$, et $nm = \frac{D}{g}$, D étant le poids du mètre cube,

$$u = \sqrt{\frac{6pvg}{D}},\ u' = \sqrt{\frac{6pvg}{D'}};\quad \text{donc :}$$

$\frac{K}{\sqrt{D}}t = \frac{K}{\sqrt{D'}}t'$, ou $\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{D'}}$, c'est-à-dire exactement le résultat observé pour la diffusion des gaz.

ENDOSMOSE DES GAZ. — *Action de l'hydrogène.* — La notion de la constitution dynamique des gaz a déjà conduit à l'explication de divers faits mal compris auparavant. C'est surtout l'hydrogène qui, grâce à la force vive si grande de ses atomes, répondant à sa densité minime, fournit les résultats les plus surprenants.

Expérience de M. H. Deville et Troost. — MM. Deville et Troost ont pris un tube en fer d'une épaisseur de 3 à 4 millimètres, aux extrémités duquel ils ont soudé à l'argent deux tubes en cuivre d'un plus plus petit diamètre. Le tube de fer, ayant été entouré d'un tube de porcelaine, fut chauffé dans un fourneau où l'on pouvait alimenter la combustion avec le vent d'un soufflet. Un courant d'hydrogène circulait dans le tube et se dégageait par un long tube abducteur plongeant dans le mercure ; on a arrêté le dégagement d'hydrogène en fermant à la lampe le tube qui l'entraînait ; le mercure est alors remonté dans le tube vertical jusqu'à une hauteur de $0^m{,}74$, peu différente de la hauteur barométrique. Les parois du fer font donc l'effet d'une pompe parfaite qui aspirerait l'hydrogène dans le tube pour l'amener au contact de l'atmosphère.

On peut varier cette expérience ainsi qu'il suit : On entoure un tube de terre d'un tube de verre plus large ; on fait arriver de l'acide carbonique dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, et de l'hydrogène dans le tube de terre. Les gaz sortent par deux tubes abducteurs communiquant directement l'un avec l'espace annulaire, l'autre avec le tube poreux ; et l'on constate que le tube qui communique avec l'espace annulaire laisse dégager un gaz inflammable, tandis que l'autre laisse dégager principalement de l'acide carbonique : les deux gaz changent presque instantanément d'enveloppe en traversant les pores du tube, l'hydrogène se diffusant de manière à faire place à l'acide carbonique.

Cherche-fuite. — *Appareil à grisou de M. Ancel.* — Ces propriétés remarquables ont été utilisées de plusieurs manières : ainsi M. Ancel les a mises à profit pour construire un petit appareil destiné à faire reconnaître les fuites de gaz d'éclairage. Ce *cherche-fuite*, représenté en élévation fig. 3540 et en coupe fig. 3540 *bis*, se compose essentiellement d'un vase rempli d'air atmosphérique et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fermé par une paroi poreuse. Ce vase est en communication avec l'une des branches d'un tube en U contenant

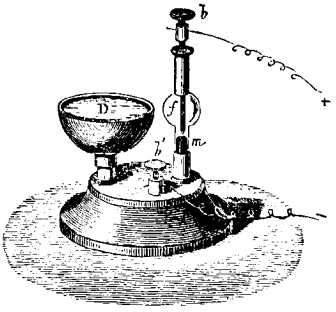


Fig. 3540.

du mercure. Les deux surfaces de ce liquide sont de niveau dans l'état ordinaire; mais, quand la pression

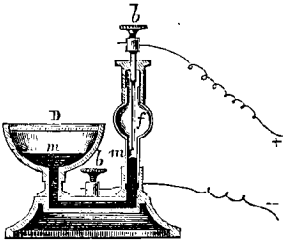


Fig. 3540 *bis*.

augmente dans le vase, la dénivellation du mercure amène la surface de la deuxième branche à être en contact avec une pointe métallique, et ce contact ferme le circuit d'un courant électrique qui met en mouvement un carillon. Cet effet se produit lorsque l'atmosphère dans laquelle cet instrument est plongé contient de l'hydrogène ou du gaz d'éclairage, ces gaz sont absorbés par la paroi poreuse qui les condense dans le vase fermé; la pression opère la dénivellation du mercure, et le carillon est mis en mouvement.

On ne comprendrait comment les divers faits que nous venons de rapporter pourraient être expliqués par une manière de concevoir les gaz autrement que comme formés de molécules animées d'une force vive considérable, telle que celle que nous avons tenté de formuler ci-dessus, et qui constitue un mode de conception en rapport avec les lois de la mécanique.

GAZ (MÉTHODE POUR LES RECUEILLIR). — L'air nous est connu par une foule de phénomènes qui nous impressionnent. Aristote en fit un des quatre éléments de l'univers : l'air, la terre, le feu et l'eau. La connaissance de l'état aériforme nous est donc en quelque sorte naturelle, mais il s'est passé bien des siècles avant que la notion d'*airs* différents de l'air atmosphérique, de diverses espèces d'*airs* entrât dans les esprits.

C'est lorsque l'étude des réactions chimiques a mis les expérimentateurs en présence de fréquents dégagements d'airs, qu'on put commencer à constater des propriétés spéciales, et l'air inflammable, l'air nitreux et autres prirent place dans la science. Scheele fit dans cette voie de très-beaux travaux.

Mais cette étude n'atteignit une précision complète que lorsque Priestley eut trouvé le moyen de recueillir et par suite de manier facilement les *airs*, auxquels Lavoisier donna le nom de gaz.

Le principe des appareils propres à recueillir les gaz consiste à faire que ceux-ci se dégagent dans une capacité pleine de liquide, d'eau pour tous ceux qui ne sont pas très-solubles dans l'eau. En vertu de leur légèreté spécifique, les gaz s'élèvent à la partie supérieure et sont ainsi conservés. Si le récipient est une éprouvette, un large tube fermé à la partie supérieure, ou un flacon retourné sur l'eau après en avoir été rempli et par suite étant restée en cet état par l'effet de la pression atmosphérique jusqu'à ce que le gaz y soit arrivé, on peut manier les gaz, y faire passer des réactifs liquides ou solides, les envoyer dans une éprouvette graduée pour les mesurer, les mélanger en les réunissant dans une même éprouvette, etc. On peut en un mot procéder à leur étude, les soumettre à diverses actions physiques et chimiques.

La fig. 4 montre un appareil disposé pour recueillir et laver le gaz avant de l'envoyer dans un flacon, genre d'appareil dont le montage avec un tube recourbé et des bouchons percés pour lui donner passage est la première opération de l'apprentissage du chimiste.

Lorsqu'on agit sur des quantités de gaz un peu considérables, la cloche devient un petit gazomètre, et l'on voit, en grandissant les appareils, que le système principal des appareils d'éclairage au gaz n'est, en réalité, que l'exécution sur une grande échelle du système employé dans les laboratoires.

En réalité, ce système est fondé sur deux principes : celui d'une fermeture parfaite et obtenue facilement; la fermeture hydraulique est évidemment supérieure à toute autre sous ces deux points de vue; le second, c'est l'absence de tout air dans le gaz préparé, ce qui exige que l'on parte d'un vide absolu, impossible à obtenir directement, aisé au contraire à réaliser par le

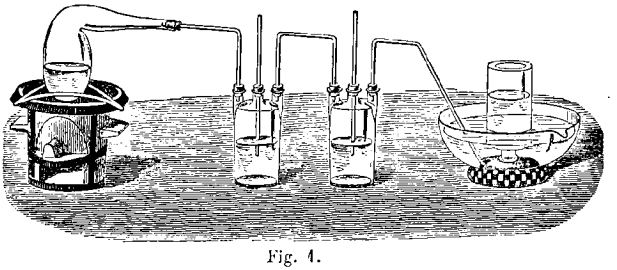


Fig. 4.

déplacement du liquide ou de la cloche devant le gaz à mesure qu'il se dégage.

Bien qu'usuelle et parfaitement connue de quiconque a passé quelques heures dans un laboratoire de chimie, il n'était pas sans intérêt de s'arrêter un peu sur une méthode qui a été, en réalité, un des plus puissants éléments du progrès de la chimie, et de faire comprendre qu'elle est fondée sur une application ingénieuse de principes de physique, qui font qu'elle est aussi sûre que simple et élégante.

GÉOLOGIE DE LA FRANCE. — Nous ajouterons ici quelques mots au court mais si remarquable extrait du grand travail de MM. Élie de Beaumont et Dufrenoy, sur le caractère essentiel de la géologie de la France, donné à l'article GÉOLOGIE, en suivant l'ordre des formations, afin d'en bien fixer les grandes lignes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Terrains primitifs. — Le granit constitue les protubérances montagneuses dont les lignes culminantes encaissent les bassins plus circonscrits, où se sont effectués les dépôts d'un âge plus récent. On voit apparaître ces terrains anciens, dont les arêtes élevées déterminent les tracés les plus généraux des bassins hydrographiques dans cinq régions distinctes : 1° Dans cet ensemble montagneux du centre de la France comprenant les monts du Vivarais, du Forez, du Limousin, de l'Auvergne et des Cévennes ; 2° dans les Vosges, sous forme d'un noyau allongé faisant face au massif de la Forêt-Noire et formant avec lui le défilé qui détermine le cours du Rhin, depuis Bâle jusqu'à Strasbourg ; 3° dans le massif surélevé des Alpes, dont la ligne de faîte constitue notre frontière du côté de la Suisse et de l'Italie ; 4° sur notre frontière du côté de l'Espagne, affectant la forme d'îlots tantôt raccordés entre eux, tantôt isolés les uns des autres, depuis Bayonne jusqu'au cap Creux ; 5° enfin, dans la presqu'île de Bretagne et le département de la Vendée.

Terrains de transition. — Les terrains de transition proprement dits apparaissent constamment adossés aux flancs des massifs couronnés par le granit et les roches schisteuses qui lui sont associées ; c'est dans la presqu'île de Bretagne qu'il présente un développement complet. Le terrain silurien y forme deux bassins : l'un vers le Sud et l'autre au Nord. C'est au milieu de roches arénacées et schisteuses que se trouvent les ardoises, à Angers, Saint-Sauveur et Vitré, vers la Bretagne ; à Monthermé, à Fumay, dans les Ardennes. Le terrain dévonien apparaît sur une large échelle en Vendée. On le rencontre sous la forme d'un noyau oblong dans le bas Boulonnais, où il doit être considéré comme le prolongement du puissant dépôt dévonien de la Belgique.

Dans les Pyrénées, les terrains de transition les plus étendus de la chaîne en forment la partie centrale et s'étendent d'un bout à l'autre sans interruption.

Terrain houiller. — Le terrain houiller occupe en France une surface de 400,000 hectares environ. On en partage les bassins en cinq groupes ; 1° Groupe du Nord, comprenant les exploitations du Nord et du Pas-de-Calais, prolongement du bassin belge ; 2° le groupe de l'Est, l'exploitation de Ronchamps, dont les couches se prolongent probablement au-dessous des terrains secondaires de la Moselle pour se raccorder avec les couches de Sarrebruck ; 3° le groupe de l'Ouest : houillères de la basse Loire et de la Vendée ; 4° le groupe du centre, embrassant les houillères de Blanzy, du Creusot, de Saint-Étienne et tous les centres d'exploitation situés entre ces points et l'Auvergne ; 5° le groupe du Midi : houillères de l'Aveyron du Gard et du Tarn.

Terrain permien. — Peu développé en France. Ce n'est que dans la partie des Vosges se reliant à l'Allemagne, où il est beaucoup plus étendu, qu'il a été rencontré sur des surfaces un peu notables. Il consiste en grès rougeâtres, recouverts de calcaires dolomitiques, ou même sans interposition de calcaires, surmontés d'un autre étage arénacé désigné sous le nom de grès vosgien.

Terrain triasique. — La formation du trias est encore représentée en Allemagne sur des surfaces beaucoup plus étendues qu'en France. On la rencontre cependant dans l'Est et dans quelques bassins méridionaux. Le grès bigarré apparaît dans la Moselle, les Vosges, l'Aveyron, et s'exploite pour pierres de taille ; le calcaire conchylien dans les environs de Lunéville et dans l'Alsace ; les marnes irisées, avec leurs puissants dépôts de sel gemme et leurs lits accidentels de gypse et d'anhydrite, dans le département de la Meurthe.

Terrain jurassique. — A la formation jurassique appartiennent de vastes dépôts, dont l'ensemble met très-nettement en lumière la distribution géographique des massifs anciens qui les encaissent. On les voit contourner le plateau central, de manière à tracer une courbe fermée, puis projeter deux rameaux latéraux, l'un adossé aux Vosges, l'autre au massif de la Bretagne et de la Normandie.

Terrain crétacé. — Les dépôts crétacés suivent complétement le tracé précédent. Ils apparaissent adossés aux couches jurassiques, se moulant sur leurs contours, de manière à dessiner au nord du plateau central une portion de courbe elliptique, jalonnée par le Havre, Mortagne, le Mans, Châtellerault, Sancerre, Auxerre, et Vervins ; elle prend en Champagne un développement considérable ; un second bassin côtoie la lisière occidentale du même plateau, depuis l'île d'Oléron jusqu'au sud du Gourdon ; un troisième, la lisière orientale, et s'étend depuis Montpellier jusqu'au nord d'Annecy, conservant cette même direction d'alignement jusqu'au-delà de Schweiz et de Glaris, en Suisse. Enfin, une autre bande s'étend d'une manière presque continue en suivant les Pyrénées, depuis Saint-Jean-de-Luz jusqu'à Narbonne.

Terrains tertiaires. — Les terrains tertiaires se partagent avec les terrains d'alluvion les surfaces non recouvertes par les dépôts précédents. Ils apparaissent dans toute cette contrée peu élevée, limitée au nord par les collines de Picardie, au midi et latéralement par ces deux rameaux montagneux issus des Cévennes, au point de jonction de cette chaîne avec la Côte-d'Or, l'un se dirigeant vers Alençon, par le Nivernais, l'Orléanais et le Perche ; l'autre, tourné d'abord vers les Vosges, puis vers les Ardennes. On retrouve encore au sud-ouest les terrains tertiaires joints aux dépôts d'alluvions anciennes, dans cette vaste plaine représentant à peu près l'ancien royaume d'Aquitaine, comprise entre les Pyrénées, l'Océan et une ligne sinueuse tracée de Carcassonne à l'embouchure de la Gironde, en passant par Alby, Cahors et Bergerac. Les sédiments ameublis, dus aux alluvions anciennes, se retrouvent pareillement sous forme d'une bande allongée, d'une largeur à peu près uniforme de 40 kilomètres, se dirigeant du nord au sud, depuis Gray jusqu'à Saint-Marcellin.

Terrains d'alluvion. — Les alluvions modernes apparaissent dans toutes les grandes vallées, sous forme de sédiments, présentant toute la suite des débris des couches superficielles traversées par les cours d'eau qui y circulent, mais à des hauteurs incompatibles avec le régime actuel des eaux.

GLYCÉRINE. La glycérine ($C^6H^8O^6$), appelée autrefois *principe doux des huiles*, a été découverte par Scheele. Elle se rencontre dans la saponification des huiles et des graisses (Voyez SAVON, BOUGIE) ; le développement de cette industrie a fait de la glycérine une substance abondante et d'un prix peu élevé ; on a par suite cherché avec ardeur les applications possibles d'une substance douée de propriétés particulières.

Concentrée dans le vide à la température de 100°, la glycérine est liquide, inodore, incolore, d'une saveur très-sucrée, sans arrière-goût désagréable.

GLYCÉROCOLLE. — M. Mandet de Tarare a utilisé la glycérine pour fabriquer une substance propre à l'encollage des étoffes, qui ne durcit pas comme la colle d'amidon par la sécheresse, et par suite n'exige pas que les métiers à tisser soient placés dans des locaux humides, au grand détriment de la santé des tisserands.

Pour préparer la glycérocolle on prend : dextrine blanche soluble, très-adhésive, 500 grammes ; glycérine blonde à 28°, 1 kil. 200 ; sulfate d'alumine, 100 ; eau de rivière, trois litres : la dextrine est ajoutée peu à peu à l'eau bouillante ; après quelques minutes d'ébullition on retire du feu, on fait dissoudre le sulfate d'alumine, on mélange la glycérine, puis on met en bouteilles et on conserve pour l'usage. Avec l'emploi de la glycérocolle les fils deviennent élastiques, souples, glissants ; ils cassent moins et ne déposent pas de duvet ; les tissus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fabriqués acquièrent la douceur de maniement et la fermeté que réclame la vente en écru.

NITROGLYCÉRINE. — Parmi les combinaisons des carbures d'hydrogène avec l'acide nitrique qui donnent des produits fulminants si curieux (voyez POUDRE), celle obtenue au moyen de la glycérine est particulièrement remarquable par ses effets, à l'intensité desquels contribue, sans aucun doute, l'état liquide du produit.

Propriétés de la nitroglycérine. — La nitroglycérine constitue une huile jaune ou brunâtre, plus lourde que l'eau, dans laquelle elle est insoluble, soluble dans l'alcool, l'éther, etc. Exposée à un froid même peu intense, mais prolongé, elle cristallise en aiguilles allongées. Un choc très-violent constitue le meilleur moyen pour la faire détoner. Son maniement est du reste très-facile et peu dangereux, lorsqu'elle vient d'être préparée. Répandue à terre, elle n'est que très-difficilement inflammable par un corps en combustion et ne brûle que partiellement; on peut briser sur des pierres un flacon renfermant de la nitroglycérine sans que cette dernière détone; elle peut être volatilisée sans décomposition par une chaleur ménagée; mais si l'ébullition devient vive, la détonation est imminente.

Une goutte de nitroglycérine tombant sur une plaque en fonte moyennement chaude, se volatilise tranquillement; si la plaque est rouge, la goutte s'enflamme immédiatement et brûle comme un grain de poudre, sans bruit; mais si la plaque sans être rouge est assez chaude pour que la nitroglycérine entre immédiatement en ébullition, la goutte se décompose brusquement avec une violente détonation.

La nitroglycérine, surtout lorsqu'elle est impure et acide, peut se décomposer spontanément au bout d'un certain temps, avec dégagement de gaz et production d'acide oxalique et glycérique.

Il est probable que c'est à une pareille cause que sont dues les explosions spontanées de la nitroglycérine dont les journaux nous ont fait connaître les effets désastreux. La nitroglycérine étant renfermée dans des bouteilles bien bouchées, les gaz produits par sa décomposition spontanée ne pouvaient se dégager; ils exerçaient donc une très-forte pression sur la nitroglycérine, et dans ces conditions, le moindre choc et le plus léger ébranlement pouvaient déterminer l'explosion.

La nitroglycérine possède une saveur à la fois sucrée, piquante et aromatique; c'est une substance toxique; en très-petites doses, elle provoque de forts maux de tête. Sa vapeur produit des effets analogues, et cette circonstance pourrait bien être un obstacle à l'emploi de la nitroglycérine dans les galeries profondes des mines, où la vapeur ne peut se dissiper aussi aisément que dans les carrières à ciel ouvert.

M. Kopp, qui a suivi des essais faits dans les carrières d'Alsace pour l'emploi de la nitroglycérine, a publié une note à laquelle nous empruntons ce qui suit, relativement aux conditions de son emploi et à sa préparation sur place, car le transport de ce corps expose à de grands dangers.

1° *Préparation de la nitroglycérine.* — On commence par mélanger dans une tourie de grès, placée dans de l'eau froide, de l'acide nitrique fumant à 49 ou 50 degrés Baumé, avec le double de son poids d'acide sulfurique le plus concentré possible. D'un autre côté on évapore dans une marmite de la glycérine du commerce, mais qui doit être exempte de chaux et de plomb, jusqu'à ce qu'elle marque 30 à 31 degrés Beaumé. Cette glycérine concentrée doit être sirupeuse après complet refroidissement.

L'ouvrier verse ensuite 3300 grammes du mélange d'acides sulfurique et nitrique bien refroidis dans un ballon de verre (on peut aussi employer un pot de grès ou une capsule de porcelaine ou de grès) placé dans un baquet d'eau froide, et il y fait couler lentement, et en remuant constamment, 500 grammes de glycérine. Le point important est d'éviter un échauffement sensible du mélange qui déterminerait une oxydation tumultueuse de la glycérine avec production d'acide oxalique. C'est pour cette raison que le vase où s'opère la transformation de la glycérine en nitroglycérine doit être constamment refroidi extérieurement par de l'eau froide.

Le mélange étant opéré bien intimement, on abandonne le tout pendant 5 à 10 minutes, puis on verse le mélange dans cinq à six fois son volume d'eau froide, à laquelle on a préalablement imprimé un mouvement de rotation. La nitroglycérine se précipite très-rapidement sous forme d'une huile lourde, qu'on recueille par décantation dans un vase plus haut que large; on l'y lave une fois avec un peu d'eau, qu'on décante à son tour, puis on verse la nitroglycérine dans des bouteilles, et elle est prête à servir.

Dans cet état, la nitroglycérine est encore un peu acide et aqueuse; mais cela est sans inconvénient, puisqu'elle est employée peu de temps après sa préparation et que ces impuretés ne l'empêchent nullement de détoner.

2° *Mode d'emploi de la nitroglycérine.* — Supposons que l'on veuille détacher une assise de roches. A 2m.50 ou 3 mètres de distance du rebord extérieur, on fonce un trou de mine d'environ 5 à 6 centimètres de diamètre, et de 2 à 3 mètres de profondeur. Après avoir débarrassé ce trou *grosso modo*, de boue, d'eau et de sable, on y verse, au moyen d'un entonnoir, de 1,500 à 2,000 grammes de nitroglycérine.

On y fait ensuite descendre un petit cylindre en bois, en carton ou en fer-blanc d'environ 4 centimètres de diamètre et 5 à 6 centimètres de hauteur, rempli de poudre ordinaire. Ce cylindre est fixé à une fusée de mine qui y pénètre à une certaine profondeur pour assurer l'inflammation de la poudre. C'est au moyen de la mèche ou fusée qu'on fait descendre le cylindre, et le tact permet de saisir facilement le moment où le cylindre arrive à la surface de la nitroglycérine.

A ce moment, on maintient la mèche immobile, et l'on fait couler du sable fin dans le trou de mine jusqu'à ce qu'il soit entièrement rempli. Inutile de comprimer ou de tamponner le sable. On coupe la mèche à quelques centimètres de l'orifice du trou et l'on y met le feu. Au bout de huit à dix minutes, la combustion de la mèche étant arrivée au cylindre, la poudre s'enflamme. Il en résulte un choc violent, qui fait détoner instantanément la nitroglycérine. L'explosion est si subite, que le sable n'a jamais le temps d'être projeté. On voit toute la masse du rocher se soulever, se déplacer, puis se rasseoir tranquillement sans aucune projection; on entend une détonation sourde. Ce n'est qu'en arrivant sur les lieux qu'on peut se rendre compte de la puissance de la force que l'explosion a développée. Des masses formidables de roc se trouvent légèrement déplacées et fissurées dans tous les sens et prêtes à être débitées mécaniquement. Le principal avantage réside dans le fait que la pierre n'est que peu broyée et qu'il n'y a que peu de déchet. Avec les charges de nitroglycérine indiquées, on peut détacher ainsi de 40 à 80 mètres cubes de roc assez résistant.

GOUVERNAIL. Le gouvernail est l'appareil qui sert à déterminer la marche d'un navire et à le faire tourner. L'amplitude du cercle décrit pendant cette évolution, doit être réduit le plus possible, sans qu'il en résulte cependant une trop grande résistance à la marche; c'est l'expérience qui a fixé les proportions convenables des gouvernails, et il en est résulté que le rapport de leur surface à celle du plan diamétral longitudinal, ou plan de dérive, est une quantité constante. Lorsque l'on cherche à se rendre compte par le calcul, dit M. Fréminville (*Guide du Marin*), des résultats probables de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette règle, on est conduit à conclure que la durée des virements de bord doit être en raison inverse de la longueur des bâtiments, et que les rayons des cercles décrits seront proportionnels à cette même longueur; ce résultat se trouve d'ailleurs confirmé par l'expérience, et il est reconnu que les grands navires sont beaucoup plus lents à virer et décrivent des cercles beaucoup plus étendus que les petits.

Nous donnons ci-contre un tableau dans lequel sont relatées les surfaces des gouvernails des bâtiments de différents rangs, ainsi que leur rapport au point diamétral : on reconnaît qu'en écartant quelques anomalies, ce rapport reste compris entre 45 et 50. Bien que notre tableau ne comprenne que des bâtiments à voiles et des bateaux à vapeur à roues, les proportions des gouvernails qui en résultent seront également applicables aux navires à hélice.

DÉSIGNATION.	SURFACE du gouvernail.	SURFACE du plan diamétral.	RAPPORT.
	m²	m²	
Vaisseaux de 1er rang.....	10.65	498.00	46.80
— de 2e rang.....	10.19	477.50	46.80
— de 3e rang.....	9.65	447.70	48.40
— de 4e rang.....	8.95	377.74	42.20
Frégates de 1er rang.....	7.06	344.89	48.70
— de 2e rang.....	6.54	331.75	51.00
— de 3e rang.....	4.82	250.17	51.00
Corvettes de 32 canons.....	3.80	199.98	52.00
— de 24 —	3.42	168.87	49.00
Bricks de 20 canons.....	3.03	138.52	45.70
Bateaux à vapeur de 450 chevaux.	6.90	356.73	51.61
— de 320 —	5.05	247.94	48.00
— de 220 —	3.63	221.35	60.00
— de 160 —	2.67	166.50	62.00

Installation et charpente des gouvernails. — La charpente du gouvernail se compose : de la mèche *abc* (fig. 1, A), dirigée parallèlement à l'étambot; du safran *d d*, qui le limite à l'arrière, et de remplissages intermédiaires *ee*. Le safran et la mèche sont en chêne, les remplissages sont en sapin. La mèche pénètre à l'intérieur du bâtiment par la *jaumière;* son extrémité supérieure ou tête reçoit la barre, qui sert à lui imprimer le mouvement. Les gonds ou ferrures qui fixent le gouvernail à l'étambot sont en bronze; les ferrures mâles ou aiguillots *m n* sont adaptées au gouvernail, au moyen de deux branches latérales qui contribuent puissamment à sa consolidation; les ferrures femelles, ou femelots *p*, sont fixées à l'étambot, et présentent deux branches prolongées sur la carène de la quantité nécessaire pour assurer leur solidité. Les ferrures sont écartées les unes des autres de 1m.50 à 1m.60 environ; la dernière doit être placée le plus haut possible, c'est-à-dire à la naissance de la jaumière. Il est nécessaire que les aiguillots et femelots soient alignés avec le plus grand soin suivant l'axe de rotation du gouvernail, sans quoi il se produirait des frottements et des résistances qui pourraient déterminer la rupture de quelque aiguillot mal centré, ou qui, dans tous les cas, ne pourraient manquer d'avoir de mauvais effets; ces pièces doivent en outre être tournées et alésées. Il convient, en un mot, de ne négliger aucune précaution pour rendre leur fonctionnement doux et régulier, et pour prévenir l'usure des parties en contact.

La barre qui s'ajuste dans la mortaise *r* de la mèche est un levier en bois, auquel on donne le plus de longueur possible; elle est placée dans la batterie basse des vaisseaux, et dans le faux-pont des frégates; en tout cas, son excursion s'accomplit immédiatement au-dessous des baux du pont supérieur. En outre de la barre ordinaire, il en est toujours disposé une deuxième, destinée à servir dans le cas d'avarie survenue à la première; elle s'ajuste dans une mortaise *s*, pratiquée sur le prolongement de la tête du gouvernail, et placée dans la deuxième batterie des vaisseaux et dans la batterie unique des frégates. Cette barre dite de combat est en fer; elle est habituellement démontée et n'est mise en place que pendant un combat, ou, comme nous le disions tout à l'heure, dans le cas de quelque avarie survenue à la barre ordinaire.

Les mèches de gouvernail droites, telles que nous venons de les décrire, nécessitent des jaumières très-largement ouvertes ce qui conduit à des arrières à voûte saillante d'une construction difficile; on les a remplacées par des mèches dites dévoyées (fig. 1, C), dont l'axe de figure coïncide avec l'axe de rotation du gouvernail, ce qui permet de réduire la section de la jaumière à un cercle, dont le diamètre est égal à l'épaisseur de la mèche.

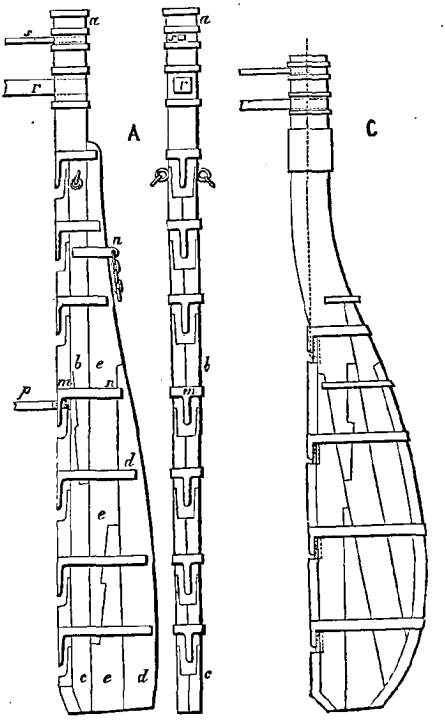


Fig. 1.

Les mèches dévoyées sont d'un très-bon usage, à condition que leur contour soit étudié de façon à éviter les courbures trop prononcées; on arrive à ce résultat en abandonnant, pour la partie inférieure de la mèche, la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

direction parallèle à l'etambot, et en l'écartant avec l'une des pièces de remplissage, ainsi que l'indique la figure. Avec une mèche de cette espèce travaillée avec

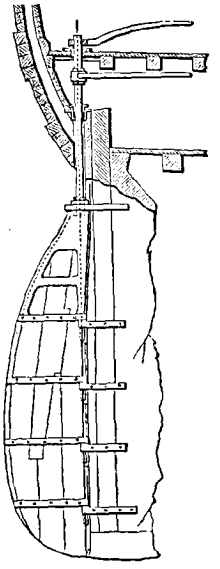


Fig. 2.

soin, l'on peut supprimer la braie, et la remplacer par un véritable presse-étoupe adapté à son passage à travers la muraille. Il convient seulement, dans ce cas, de la recouvrir d'un manchon en bronze dans toute la partie exposée au contact des garnitures, afin que les frottements s'exercent sur des surfaces régulières et polies.

Depuis quelque temps, on a pris le parti d'exécuter les mèches de gouvernail en fer, ce qui réduit la jaumière à des dimensions tout à fait minimes, et supprime en même temps les difficultés de construction qu'elle pouvait occasionner. A la partie inférieure, la charpente du gouvernail reste alors disposée comme à l'ordinaire, mais à son sommet elle est terminée par une armature en bronze dans laquelle s'ajuste la mèche; ce système, représenté figure 2, est actuellement en usage sur tous les grands bâtiments de guerre de la flotte à hélice.

Lorsque les bâtiments sont animés d'une certaine vitesse, il arrive presque toujours que le gouvernail éprouve de fortes trépidations qui fatiguent les ferrures et produisent un bruit insupportable. Ces vibrations sont la conséquence du jeu indispensable conservé entre les aiguillots et les femelots; on peut les atténuer en apportant un soin tout particulier à l'établissement de ces ferrures; mais, malgré les précautions les plus minutieuses, elles ne tardent pas à se produire au bout de quelque temps de service. Pour arriver au moyen de supprimer les trépidations, il faut remonter à la cause qui les produit : lorsque le bâtiment est animé d'une vitesse assez considérable, la face arrière du gouvernail coupé carrément se comporte à la manière d'un plan traîné dans la masse liquide, c'est-à-dire que, par suite de la difficulté que les filets liquides éprouvent à abandonner leur direction rectiligne, il se forme à l'arrière de cette surface un véritable vide qui appelle le gouvernail vers l'arrière; ce vide est d'ailleurs très-variable d'intensité suivant la nature des remous formés par les filets liquides; par suite les forces qui sollicitent le gouvernail le sont également, et il n'est pas douteux que les variations de ces forces n'occasionnent ses trépidations. Elles pourraient être annulées de deux manières : 1° en rendant constant ou à peu près le vide formé à l'arrière du gouvernail; 2° en supprimant complétement ce vide. Le premier de ces deux moyens a en effet été mis en usage, et l'on est arrivé au résultat voulu, en clouant sur la face arrière du safran et de chaque côté deux tringles en sapin de 3 centimètres d'épaisseur environ (fig. 3, A), laissant entre elles une cannelure dans laquelle les filets liquides n'accèdent que très-difficilement; le vide formé à l'arrière subsiste alors constamment, au moins dans cette partie, et suffit pour maintenir les aiguillots appliqués par leur face arrière. Ce procédé paraît avoir réussi; mais il présente l'inconvénient d'accroître la résistance opposée à la marche du navire. Lorsque l'on se propose de faire disparaître le vide produit à l'arrière du gouvernail, il suffit de lui donner des sections effilées, permettant aux filets liquides de se rejoindre à l'arrière sans éprouver de déviations brusques (fig 3, B). Ce procédé est évidemment bien

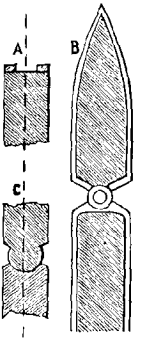


Fig. 3.

supérieur au premier, puisqu'il conduit au même résultat, tout en atténuant la résistance propre du navire; c'est le mode de construction adopté actuellement sur tous les nouveaux bâtiments de la flotte.

Barres et drosses de gouvernail. — Dans le but de diminuer l'effort nécessaire pour faire mouvoir le gouvernail, on est conduit à donner à la barre le plus de longueur possible, et, en effet, dans les anciens vaisseaux, elle était prolongée jusqu'au mât d'artimon : lorsque la barre atteignait des proportions aussi considérables, elle ne pouvait rester simplement suspendue dans la mortaise de la mèche, et son extrémité avant devait être soutenue à l'aide d'un taquet reposant sur un secteur circulaire adapté sous les baux, et nommé la tamisaille. Dans le système le plus simple employé pour manœuvrer la barre, la drosse, fixée à son extrémité *a*

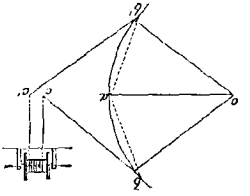


Fig. 4.

(fig. 4), fait retour en un point *b* placé sur le cercle décrit par le point *a*, vient passer sur une poulie *c* si-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tuée dans le plan diamétral, pour remonter verticalement et s'enrouler sur un treuil horizontal nommé la roue de gouvernail (pour rendre visible cette partie du parcours de la drosse, nous l'avons rabattue sur le plan de la figure); après avoir décrit plusieurs révolutions sur la roue, la drosse redescend verticalement, fait retour sur les poulies c' et b', et vient se fixer de nouveau au point a, après avoir décrit du bord opposé le circuit $c'\,b'\,a$ égal au circuit $c\,b\,a$. Si l'on imprime à la roue un mouvement de rotation quelconque, l'un des cordons s'enroule d'une certaine quantité en entraînant la barre, tandis que l'autre se déroule d'une quantité égale. La tension de la drosse est égale à l'effort qu'il est nécessaire de produire à l'extrémité de la barre; mais, en proportionnant convenablement les leviers sur lesquels les hommes agissent pour manœuvrer la roue, on peut réduire dans une certaine proportion l'effort qu'ils ont à exercer; nous disons dans une certaine proportion seulement, parce que, d'une part, les leviers de la roue ne doivent pas recevoir des dimensions exagérées qui les rendraient trop encombrants, et que, de l'autre, le cylindre du treuil ne doit pas avoir un diamètre trop petit, ce qui entraînerait une prompte usure des drosses. D'après les anciens usages, le diamètre du treuil, ou, suivant l'expression consacrée, du marbre du gouvernail, est déterminé par la condition que cinq tours de roues suffisent pour faire exécuter à la barre une évolution complète de tribord à bâbord. D'après cette règle, si on désigne par :

R, la longueur de la barre;
α, l'angle décrit par la barre;
r, le rayon du treuil;
i, l'angle décrit par le treuil, correspondant à α,

on aura la relation suivante :

$$R\alpha = ri, \qquad \frac{R}{r} = \frac{i}{\alpha}.$$

Si l'excursion de la barre est de 35° de chaque côté du plan diamétral, soit 70° en tout, si d'un autre côté, l'angle correspondant décrit par la roue est de 5 fois 360°, on aura l'égalité :

$$\frac{R}{r} = \frac{1800}{70} = 25.70.$$

En d'autres termes, le rayon du treuil devrait être environ 1/25 de la longueur de la barre : c'est, en effet, la proportion que l'on adoptait autrefois ; mais dans la pratique, au lieu de prendre le rapport des rayons on prenait celui des arcs décrits par la barre et par la roue, en opérant de la manière suivante : on mesurait avec un fil la longueur exacte de l'arc de cercle décrit par le bout de la barre, et le cinquième de cette longueur donnait la circonférence du marbre.

Pour que le fonctionnement du gouvernail fût entièrement satisfaisant, il faudrait que les deux portions de drosses $a\,b$, $a\,b'$ fussent toujours également tendues, ce qui ne saurait avoir lieu qu'à la condition que la somme des cordons $a\,b + a\,b'$ soit une constante ; or, cette condition n'est remplie que si la courbe décrite par le point a est une ellipse ayant pour foyers les points $b\,b'$; mais comme l'extrémité de la barre décrit simplement un arc de cercle, elle ne sera pas satisfaite; le cordon qui appelle la barre sera tendu, tandis que le cordon opposé présentera un excédant de longueur, ou une certaine quantité de *mou*, que l'on devra embraquer, avant que l'action de la roue ne se fasse sentir sur la barre, dans la direction opposée à celle qu'elle avait primitivement. L'existence du mou dans les drosses est considérée comme un grave défaut ; il expose le gouvernail à des secousses qui peuvent rompre les drosses ou blesser les hommes employés à la manœuvre.

La réduction de l'effort à produire pour mouvoir le gouvernail et la suppression du mou dans les drosses sont donc les deux points importants de son installation. Pour réduire l'effort à produire, on a employé primitivement des barres de grande longueur, et l'on est parvenu de la sorte à établir entre les bras de leviers, de l'effort résistant appliqué au centre de gravité du gouvernail, et de l'effort moteur appliqué à l'extrémité de la barre, un rapport d'environ 1 à 10 ; bientôt cependant on a renoncé aux barres de grande longueur, qui sont encombrantes et d'une installation difficile, et on les a réduites de moitié, mais en même temps on a modifié l'installation des drosses, en prenant leur dormant sur la muraille et leur faisant faire retour sur le bout de la barre, de manière à constituer un palan à deux cordons ; d'ailleurs, en agissant de la sorte, rien n'a été changé ni dans le rapport de la puissance à la résistance, ni dans les dimensions relatives de la roue, ni dans la quantité de mou. On est souvent conduit à faire usage de barres plus courtes encore ; il n'est pas possible de donner de règle précise à cet égard, et l'on peut dire que la longueur de la barre est limitée par l'étendue des espaces disponibles, qui, surtout dans les navires à hélice, sont souvent très-restreints ; dans chaque cas particulier, on devra avoir soin de constituer avec la drosse des palans dont le nombre de brins soit tel, que le rapport de la résistance à l'effort moteur soit toujours de 1 à 10 comme dans le cas primitif. Si l'on désigne par P la résistance opposée par le gouvernail, par p le bras de levier de cette résistance, par P' l'effort exercé sur le dernier cordon de la drosse, par n le nombre de ces cordons, et par p' la longueur de la barre, on aura :

$$P\,p = n\,P'\,p', \qquad \text{d'où } n\,p' = p\,\frac{P}{P'};$$

et si le rapport $\frac{P}{P'}$ est donné, comme nous le supposons, on déduira de cette relation soit n, soit p', suivant que la longueur de la barre ou le nombre des cordons seront imposés *à priori*.

Pour supprimer le mou, il a été imaginé un grand nombre de dispositions fort ingénieuses, remplissant toutes plus ou moins leur but; mais c'est celle des barres à chariot qui l'emporte par sa simplicité et en même

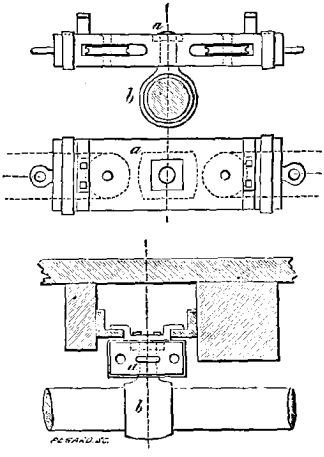


Fig. 5.

temps par ses bons résultats. Dans ce système (fig. 5), les drosses, au lieu d'être adaptées immédiatement sur la barre, agissent sur un chariot a, maintenu entre des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

coulisses rectilignes, perpendiculaires au plan diamétral, qui forment une *tamisaille droite;* ce chariot entraîne la barre au moyen d'un collier à lunette *b*, susceptible de tourner autour d'un axe vertical de manière à suivre ses directions variables. Il est évident que dans ce système la suppression du mou est complète ; mais il présente une autre particularité, c'est que le moment de la force transmise à la barre est constant, tandis que celui de la résistance croît avec les obliquités ; il serait préférable que le moment de la force motrice augmentât avec l'intensité de la résistance, ainsi que cela se présente dans l'installation ordinaire, mais ce n'est là qu'un inconvénient se ondaire qui ne saurait faire une objection sérieuse à l'emploi des barres à chariot.

GRAISSAGE. La propriété des corps gras de diminuer les frottements, par l'interposition de leurs molécules entre deux surfaces auxquelles elles adhèrent par leur viscosité, est utilisée dans toute machine; elle est la base du moyen le plus important d'empêcher le travail moteur de se perdre en résistances passives pour donner un travail utile, un résultat industriel maximum. Nous avons déjà donné les compositions les plus convenables pour voitures, pour surfaces entre lesquelles il s'exerce des pressions considérables ; nous voulons ici parler surtout des applications où les pressions sont petites et les vitesses très-grandes, comme dans la filature, et qui ont été étudiées par M. Dollfus et M. Hirn (*Bulletin de la Société de Mulhouse*).

La question d'un graissage convenable, c'est-à-dire de l'emploi d'appareils bien disposés, mais surtout de substances lubrifiantes de bonne qualité, est d'une extrême importance dans ce cas, et des variations de 25 p. 100 dans le travail moteur consommé ne sont pas rares, en raison de la qualité des huiles.

Recherches de M. G. Dollfus. — M. G. Dollfus a fait ses recherches sur les qualités lubrifiantes des huiles, à l'aide d'un appareil employé en Angleterre et connu sous le nom d'*éprouvette* de Mac-Naught, qui permet de mesurer des quantités proportionnelles aux frottements et par suite de comparer les huiles entre elles.

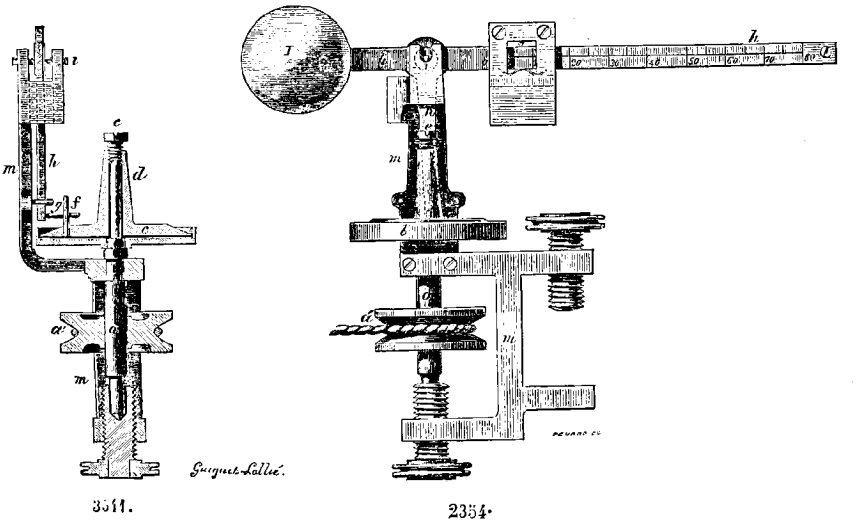
Il se compose essentiellement (fig. 3541 et 3542) d'une broche maintenue par un collet et une crapaudine. Cette broche *a* porte, en *b*, un plateau en cuivre, tournant avec elle. Ce plateau a les bords relevés et forme ainsi une capacité qu'on remplit de l'huile à essayer. Sur ce plateau ou disque vient s'en appliquer un second parfaitement rôdé sur le premier ; son centre porte un canon *d*, au bout duquel se place une petite vis *e*, venant reposer sur l'extrémité de la broche et servant de pivot au disque. Cette vis sert à régler l'écartement des deux plateaux, lequel doit être ménagé de manière à ce que leur distance soit la plus petite possible, sans qu'ils se touchent. Ce sont alors des surfaces parfaitement graissées qui se trouvent en contact. Le disque *c* porte une goupille *f* placée excentriquement, et qui vient heurter contre une autre goupille *g* fixée dans l'une des branches du levier coudé *h*. Ce levier peut osciller autour du tourillon *i* et porte en *k* un poids mobile le long d'une tige graduée. Un second poids *l* fixe équilibre le système du levier, le poids *k* étant sur la division *o*. Le support ou bâti *mm* sert à fixer l'appareil contre une table ou un établi au moyen de la vis *n*. La vis inférieure sert de crapaudine à l'arbre *a*.

L'appareil est construit de telle sorte que le levier, appuyant sur la goupille en vertu du poids *h*, forme une force résistante, appliquée en un point tel, que le moment de cette force égale le moment du frottement produit par le mouvement du disque *k*, c'est-à-dire que la goupille ou point d'application de la force résistante se trouve aux deux tiers du rayon du disque.

Si *a* et *b* sont les deux longueurs de branches du levier coudé, P le poids mobile, *n* le nombre de tours de l'appareil, le travail sera donc exprimé par :

$$Tf = P\frac{a}{b} \times \frac{4}{3}\pi n.$$

En supposant le nombre de tours constant, ainsi que



3541. 2354.

les autres quantités, et *a* seul variable, on aura $\frac{Tf}{Tf'} = \frac{a}{a'}$, c'est-à-dire que le travail du frottement pour différentes huiles, sera proportionnel aux longueurs de la branche graduée, ou au nombre de divisions indiquées par le curseur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons, dans le tableau suivant, les résultats d'essais de diverses huiles obtenues par l'éprouvette de Mac-Naught, à la même température et après dix minutes de marche.

Huiles.	Nombre proportionnel au frottement.	Valeur comparative du frottement.
Spermaceti (1re qualité) . . .	18 à 19	1,00
Spermaceti impur.	30	1.66
Huile de pieds de bœuf. . . .	34	1,89
— pavots	34	1,89
— olive lampante . . .	38	2,11
— colza pelé de Strasbourg.	39 à 40	2,22
— lentisque	42	2,34
— graisse (lard oil) . .	45	2,50
— coco	46 à 47	2,61
— colza épurée.	55	3,05

Par une marche prolongée, les huiles s'épaississent, s'acidifient à l'air, et les frottements augmentent. C'est un élément important dont il faut tenir compte dans la pratique. M. Dollfus a trouvé les variations suivantes :

En 8 jours. — Spermaceti. . . .	29	p. 100
En 5 jours. — Huile d'olive lampante.	22 1/2	—
En 4 jours. — Huile de lentisque.	38	—
En 3 jours. — Huile de graisse. .	23	—
En 7 jours. — Huile de coco. . .	40,07	—
En 4 jours. — Huile de colza épurée.	25,50	—

En comparant le frottement et la densité d'une huile, on trouve :

	Densité.	Frottement.	Rapport.
Spermaceti.	8840	19	46,60
Huile animale	9380	45	20,80
— de colza	9147	40	22,80
— d'olive.	9170	38	24,00

Le rapport entre les densités et le frottement n'étant pas constant, on ne peut donc se servir d'un aréomètre pour déterminer la propriété lubrifiante d'une huile.

Tous les essais d'huile doivent être faits sensiblement à la température où elles doivent être employées, car on sait qu'une diminution apparente du frottement se produit par l'élévation des températures. Nous revenons plus loin sur cette question spécialement étudiée par M. Hirn, mais nous pouvons toujours de ce fait incontestable tirer cette conséquence que pour les coussinets qui chauffent, il ne faut pas employer de l'huile trop fluide. La chaleur rend ces huiles d'une fluidité telle, qu'elles ne lubrifient plus, qu'elles sont chassées. Il convient, dans ce cas, d'employer une huile de graisse, ou un mélange d'huile et de saindoux.

Expériences de M. Hirn. — Nous avons déjà vu (ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR) l'appareil dit *balance de frottement* que M. Hirn a combiné pour ces expériences, en rapportant les résultats qu'il a obtenus relativement au dégagement de la chaleur produite par le frottement.

Il est aisé de voir que le tambour de cet appareil avec son coussinet constitue un véritable frein de Prony, avec cette seule différence que la pression variable des mâchoires du frein y est remplacée par la pression constante du coussinet sur le tambour due au poids du coussinet et de ses agrès (ce poids était de 50 kilog.). Si donc nous nommons L la longueur EL du levier, N le nombre total de tours du tambour, P le poids mis sur le plateau, on aura $2\pi NPL = T$ pour la valeur du travail total dû au frottement.

M. Hirn, après avoir établi l'impossibilité d'apprécier avec un seul appareil d'épreuve, de petite dimension, tel que l'éprouvette de Mac-Naught ou la balance de frottement, toutes les qualités mécaniques d'une huile, donne les préceptes suivants :

I. On trempera l'index d'une main dans l'huile qu'on veut éprouver, et l'index de l'autre main dans l'huile qu'on prend pour type de comparaison : des deux côtés et de la même manière, on frictionnera l'index contre le pouce. Si l'huile essayée est plus mauvaise que l'huile type, on éprouvera d'abord autour de l'index qu'elle mouille un plus fort sentiment de chaleur, et au frottement elle sera plus *onctueuse*. Si elle est meilleure, le sentiment de chaleur sera moindre qu'avec l'huile type, et au frottement l'huile paraîtra plus *rude*.

Une huile est d'autant plus mauvaise qu'elle paraît, à cette épreuve, *plus grasse*, *plus onctueuse*. Une très-bonne huile est nécessairement *très-rude* au frottement. Une huile rude, au contraire, n'est pas nécessairement bonne ; c'est-à-dire que ce seul caractère est loin de suffire pour nous permettre d'affirmer sa supériorité. Le caractère opposé est, au contraire, suffisant pour nous permettre d'affirmer l'infériorité de l'huile. Au moyen de quelques exercices comparatifs, on arrive ainsi promptement à un tact qui ne trompe plus en ce sens ; cette épreuve est donc un premier jalon fort utile.

II. En versant successivement un même poids de différentes huiles dans un vase convenable, percé d'un petit trou à sa partie inférieure, et comparant, à l'aide d'une montre à secondes, le temps qu'il faut à chacune pour s'écouler, on aura le rapport de leur fluidité relative. Cela posé :

La meilleure huile sera toujours la plus fluide, et la plus mauvaise sera la moins fluide ; mais ici encore, il n'y a que la seconde affirmation qui soit décisive. De ce qu'une huile est très-fluide, il ne s'ensuit pas nécessairement qu'elle soit très-bonne ; cependant ce caractère devient décisif, lorsqu'on opère sur des huiles d'une même et bonne espèce : ainsi, de deux huiles d'olive ou de deux huiles de spermaceti, la plus fluide sera à coup sûr la meilleure au métier dynamomètre. (Je n'ai pas besoin d'insister sur ce point : l'expérience au *fluidosomètre* doit être faite à des températures rigoureusement constantes.)

III. Après ces deux épreuves préalables, qui nous permettent déjà de rejeter une huile inférieure à l'huile type, on opérera sur la balance de frottement, sur l'éprouvette de Mac-Naught (ou sur tout autre appareil équivalent).

On graissera une fois pour toutes l'appareil au commencement de l'expérience ; on aura soin que, pour toutes les huiles, il marche à la même vitesse et reçoive au début la même dose de lubrifiant ; on aura soin aussi que l'appartement ait toujours, du moins à 2 ou 3 degrés près, la même température, si l'on veut s'éviter la peine de mesurer la température même de l'appareil. Au bout d'un certain temps plus ou moins long (selon l'espèce d'huile selon la vitesse, selon la pression, etc.), l'instrument atteint sa température maxima, et la charge étant devenue constante, on prend note. Si toutes les précautions indiquées ont été observées, les charges minima qu'on obtient ainsi pour différentes huiles donnent déjà une idée juste de leurs qualités mécaniques relatives ; mais, comme je l'ai dit, cette comparaison ne répond pas encore assez exactement aux exigences de la pratique. En laissant l'appareil continuer de marcher dans les mêmes conditions, on acquiert ensuite une connaissance précieuse sur la persistance du pouvoir lubrifiant de l'huile essayée ; il est bien clair, en effet, que la charge minima se maintiendra d'autant plus longtemps que l'huile sera d'une nature moins siccative, moins résineuse, etc., etc.

Une remarque importante est nécessaire ici cependant, et, faute de s'y arrêter, on courrait risque de porter souvent un jugement défavorable fort injuste contre une huile (c'est ce qui m'est arrivé fréquemment au début). Dans nos usines, la plupart des pièces sont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

graissées par intermittences assez rapprochées (soit à la main, soit mécaniquement); pourvu donc que le pouvoir lubrifiant se soutienne d'un intervalle à l'autre, notre but est atteint : d'obtenir un frottement minimum pendant tout cet intervalle. Il suffit donc que l'huile soit d'assez bonne qualité (au point de vue chimique), pour que chaque nouveau graissage enlève le peu de cambouis produit, et que celui-ci ne s'accumule pas. En un mot, une huile peut être bien moins persistante qu'une autre sur la balance de frottement, et mériter cependant la préférence : c'est ici à la méthode directe à décider. Pour donner cependant ici une indication pratique, je dirai que, lorsque la charge minima ne persistait pas au moins deux ou trois heures sur la balance de frottement, je pouvais, de confiance, rejeter l'huile comme impropre au service. Il suffira à chaque observateur d'étudier son instrument pour arriver aussi à une mesure semblable assez fidèle.

IV. A côté de l'épreuve à la balance peut se ranger un procédé fort pratique, que j'ai vu employer chez MM. Gros, Odier et Roman, à Wesserling. Quoique je ne l'aie pas essayé moi-même, je me permets de le citer, parce qu'il me semble à la fois commode et passablement concluant. Ayant graissé les tourillons d'un tambour de carde avec l'huile qu'on veut éprouver, on laisse marcher pendant une, deux, trois..... heures; puis, à un moment donné, on abat la courroie de commande, et l'on compte le nombre de tours que fait le tambour pour arriver au repos [1]. Comme c'est uniquement la résistance de l'air et le frottement des tourillons qui annihilent peu à peu l'impulsion primitive, et que c'est le frottement qui est ici la *force accélératrice négative* dominante, on conçoit aisément que le nombre de tours du tambour donne une idée très-approximative du pouvoir lubrifiant de l'huile.

Il est évident que beaucoup de pièces de nos machines pourraient être employées de la même manière que ce tambour de carde. Les résultats seront d'autant plus exacts que le moment d'inertie de ces pièces sera plus grand, et que cette espèce de volant improvisé offrira moins de prise à l'air.

V. Pour les pièces lourdes qui tournent très-lentement (tels sont les tourillons des roues hydrauliques, etc.), une huile très-fluide est certainement à méconseiller.

Pour les pièces qui marchent avec une vitesse moyenne ou grande, avec des pressions moyennes ou faibles, c'est à l'huile de la meilleure qualité mécanique qu'on devra s'arrêter.

Le même conseil peut encore être donné quant aux transmissions de fortes dimensions, du moins lorsqu'on y use de la méthode ordinaire de graissage, qui est à la fois logique et sensée. On sait que l'habitude générale est de placer un morceau de suif (ou autre graisse concrète) dans le chapeau des coussinets, et puis d'alimenter, en outre, ceux-ci d'huile, par intermittences rapprochées, ou d'une manière continue. L'huile ici ne peut pécher par un excès de bonne qualité (et par suite de fluidité), car, tant qu'elle lubrifie convenablement, les pièces changent peu de température et il se consomme peu de suif; qu'au contraire, par une raison ou une autre, l'huile soit momentanément expulsée d'entre les surfaces en regard, à l'instant les pièces vont s'échauffer davantage et il y affluera plus de suif en raison de sa plus grande viscosité, il séparera davantage les surfaces, et le frottement diminuera. Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaîtra aisément que l'espèce d'équilibre qui s'établit ainsi, par suite du mélange spontané de deux graisses, l'une très-fluide, l'autre concrète, est précisément tel qu'on obtient un minimum de frottement. Nous profitons par suite encore ici des bonnes qualités de l'huile employée.

M. Hirn a cherché à formuler les résultats de ses expériences sur les frottements entre surfaces abondamment lubrifiées et pour de grandes vitesses. Ils sont très-différents des lois classiques du frottement, déterminées, il est vrai, dans des conditions différentes, et doivent par suite éveiller l'attention sur cette importante question.

1° Au point de vue de la température, il a trouvé que, pour toutes les huiles, si A est le poids qui fait équilibre au frottement à la température zéro, on aura le poids p faisant équilibre au frottement à la température t par l'équation

$$p = \frac{A}{1{,}0492^t}$$

et B étant le poids qui correspond à $t°$

$$p = \frac{B}{1{,}0492^{(t°)}}$$

2° Au point de vue des vitesses, le frottement est proportionnel à la vitesse quand les surfaces sont abondamment lubrifiées; mais lorsqu'il n'en est pas ainsi, les charges faisant équilibre au frottement sont proportionnelles aux vitesses élevées à une certaine puissance inférieure à l'unité et s'approchant d'autant plus de la racine carrée des vitesses, que la quantité d'huile interposée entre les surfaces de contact a plus diminué.

3° Enfin, par rapport à l'étendue des surfaces, M. Hirn dit avoir été conduit à cette conclusion avec une exactitude suffisante pour la pratique, que la valeur du frottement médiat (avec interposition de corps lubrifiant entre les surfaces de contact) est sensiblement proportionnelle à la racine carrée des surfaces et à celle des pressions, selon que l'on fait varier à la fois l'un ou l'autre de ces éléments, ou tous les deux à la fois.

Des systèmes de graisseurs.

Les systèmes de graisseurs peuvent se diviser en deux espèces :

Les premiers sont des applications du siphon ou des robinets; ils graissent d'une manière continue, que l'arbre marche ou soit en repos. Le graissage qui s'effectue dans ce dernier cas est en pure perte. Les mèches (que nous avons décrites à graissage) sont des graisseurs de la première espèce. Elles ont comme les autres l'inconvénient de graisser pendant les heures de chômage aussi bien que pendant la marche; de plus c'est un graissage d'une surveillance difficile et très-irrégulier.

Les robinets fixes dont on peut modifier l'ouverture se prêtent à l'emploi de différentes qualités d'huile; ces graisseurs ont les défauts des mèches, c'est-à-dire de graisser d'une manière continue. On pourrait les fermer pendant les heures de repos; mais cette manœuvre devient impossible lorsqu'ils sont employés en grand nombre.

La deuxième espèce de graisseurs est celle où le graissage dépend du mouvement de l'arbre. Cette espèce, préférable à la première, comprend les robinets à capacité variable et à pente mobile, et les graisseurs à chapelet diversement modifiés.

Les robinets à capacité variable dont il s'agit ici, qui prennent de l'huile en raison du vide que l'on fait varier en général à l'aide d'une vis, sont mus par les arbres de la transmission et cessent par suite de fonctionner quand l'usine est au repos. Ces systèmes sont bons, mais un peu compliqués.

Les chapelets sont d'une surveillance difficile; l'expérience les a fait abandonner par nombre d'établissements. Un mode de graissage analogue, mais bien préférable, est celui de M. Decoster, qui lubrifie les arbres

[1] Il est bien évident que pour cette opération le tambour doit être dépouillé de coton.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de transmission au moyen de disques qui tournent dans l'huile, par l'emploi d'un bourrelet saillant ménagé autour de l'arbre à graisser, dans le milieu du coussinet. La partie inférieure de ce bourrelet, plongeant toujours dans l'huile, entraîne avec lui une portion suffisante de ce liquide pour lubrifier d'une manière continue les surfaces. On voit que l'huile n'est déplacée que pendant le mouvement de l'arbre, c'est-à-dire seulement quand ce déplacement est nécessaire. Les paliers graisseurs de M. Decoster permettent seuls de marcher à grande vitesse avec des surfaces de frottement peu considérables; aussi ce constructeur les a-t-il appliqués au système d'arbres légers à grande vitesse, dont il est le principal promoteur. (Voy. GRAISSAGE, *Dictionnaire.*)

L'ingénieux Froment, en construisant pour M. Girard ses turbines à rotation extrêmement rapide, a reconnu que pour des axes verticaux faisant 12 à 15,000 tours par minute, la circulation régulière de l'huile pouvait seule empêcher l'adhérence de l'axe et du palier, le grippement qui entraîne bientôt la rupture de l'axe. L'huile chassée par la force centrifuge, au contact de l'axe, cesse bientôt de lubrifier à de semblables vitesses. Il y est arrivé d'une manière parfaite, en employant la force centrifuge elle-même pour renouveler l'huile sur les surfaces. L'arbre étant percé en son centre d'un petit canal cylindrique, avec lequel communiquent, au-dessous du niveau de l'huile, un petit canal horizontal et une petite entaille dans le palier, l'huile prendra un mouvement dans ce canal, et la lubrification sera parfaite pour peu que les forces centrifuges aux deux extrémités des entailles soient différentes, ce qui nécessite, aux vitesses dont il s'agit, une minime différence entre les deux rayons de l'arbre qui correspondent aux deux canaux horizontaux. C'est une solution excellente d'un problème qui offrait de très-grandes difficultés dans la pratique.

GRAPHIQUES (REPRÉSENTATIONS) *d'un phénomène mécanique.* — L'étude des phénomènes mécaniques se fait souvent aujourd'hui à l'aide d'un moyen d'observation extrêmement précieux dont nous avons indiqué de nombreux exemples; nous voulons parler des tracés graphiques produits par le mouvement même. Mais comme on peut, dans les applications spéciales, ne pas toujours distinguer la méthode générale qui y est appliquée, la valeur d'un moyen d'observation qui peut être utilisé avec avantage dans nombre de cas, il est toujours bon de fixer l'attention sur le procédé d'expérimentation en lui-même, afin d'en faire bien apprécier les avantages et d'apprendre à l'appliquer dans tous les cas qui peuvent se présenter.

Un corps étant en mouvement, un quelconque de ses points décrira une certaine ligne, qui, par une disposition convenable, pourra produire un tracé permanent sur une surface.

Cette ligne produite (à l'aide d'un crayon ou d'un style) indiquera la forme géométrique du chemin parcouru, résultant des forces et des liaisons du système. On sait d'ailleurs qu'une ligne équivaut à une équation entre ses deux coordonnées, depuis l'admirable conception du génie de Descartes, sur laquelle repose la géométrie analytique. Celle-ci fournit le moyen de simplifier et de compléter l'étude des courbes par celle de l'équation entre leurs coordonnées qui résulte de leur nature; par suite elle permet réciproquement d'apprécier une relation qui existe entre deux quantités (l'espace et le temps, par exemple) par l'inspection de la courbe qui la représente, si on prend ces quantités pour valeur des coordonnées.

Pour l'étude des phénomènes naturels, pour l'expérimentation qui fournit les moyens d'arriver à en déterminer les lois, la forme géométrique, plus facile en général à obtenir, est souvent préférable à la forme algébrique qu'elle peut souvent révéler de suite et remplacer lorsque celle-ci est très-complexe ou même impossible à formuler; elle procure à simple vue une idée nette des rapports qui existent entre deux quantités qui dépendent l'une de l'autre, et manifeste toutes les propriétés de la relation cherchée.

I. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE D'UNE FONCTION. — Avant de traiter des moyens d'obtenir une représentation graphique des relations entre des quantités qui varient simultanément lors d'un phénomène, quelque compliquée qu'elle soit, lors même qu'elle dépasse les ressources de l'analyse mathématique, nous étudierons d'abord la représentation graphique des fonctions algébriques, et notamment des plus simples (en nous aidant d'un excellent travail de M. Carl de Ott de Prague), ce qui montrera bien les ressources du procédé, et fera connaître *a priori* les courbes que l'on doit rencontrer dans les cas les plus fréquents.

Méthode graphique. — Pour se rendre compte du sens des fonctions $y = f(x)$, on donne à x diverses valeurs $x_1\ x_2\ x_3\ldots$ qui, mises dans l'équation, donneront les valeurs correspondantes de $y\ y_1\ y_2\ y_3\ldots$ Il en résulte un tableau qui nous donne une première notion; mais une construction graphique nous fournit une idée bien plus nette de la variation de la fonction correspondante à l'augmentation ou à la diminution continue de x.

A cet effet, considérons les valeurs $x_1\ x_2\ x_3\ldots\ y_1\ y_2\ y_3\ldots$ (fig. 1) comme celles de coordonnées rectangulaires; portons ensuite les valeurs de x sur XX' à partir de l'axe des abscisses, les positives dans un sens et les négatives dans le sens opposé des abscisses; élevons aux extrémités des abscisses $x_1\ x_2\ x_3\ldots$ des perpendiculaires et portons-y les valeurs correspondantes de $y\ y_1\ y_2\ y_3\ldots$ en dirigeant au-dessus de l'axe les valeurs positives de y et au-dessous les valeurs négatives. Nous aurons ainsi une suite de points aussi rapprochés et aussi multipliés qu'on le voudra, qui, joints par un trait continu, ce que permet la continuité de variation des valeurs, détermineront une ligne qui sera la représentation de $y = f(x)$ et montrera clairement, fera voir d'un seul coup d'œil, toutes les variations de la fonction, ce qu'elle offre de particulièrement remarquable.

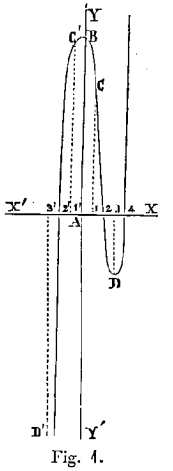


Fig. 1.

Ce que nous disons pour une courbe $y = f(x)$ serait vrai pour une surface $z = f(x, y)$ pour une fonction à trois variables; de semblables représentations géométriques cessent d'être possibles, même théoriquement, quand le nombre des variables est supérieur à trois.

Fonctions algébriques. — Les fonctions algébriques les plus simples sont celles dans lesquelles la variable x est seule soumise à des opérations algébriques, ou d'une manière générale est de la forme $y = a\,x^n$.

I. Soit d'abord $n = 1$, $y = ax$ est l'équation d'une droite, passant par l'origine des coordonnées (à une distance $\pm b$ si l'équation était $y = a\,x \pm b$), a est la tangente trigonométrique de l'angle α, que cette droite fait avec l'axe des x.

Soit $n = -1$ $y = \dfrac{a}{x}$ ou $x\,y = a$.

Pour $x = 0$ $y = \infty$ et pour $x = \infty$ $y = 0$, les deux axes sont des asymptotes et la courbe, une hyperbole

EFERUS - Recherche & Classification numérique

équilatère facile à tracer par points, toute valeur de x donnant la valeur correspondante de $y = \frac{a}{x}$. On pro-

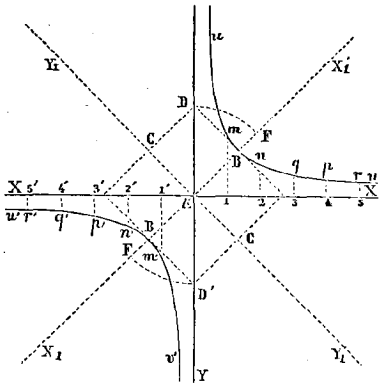


Fig. 2.

cède en général en donnant successivement à x les valeurs $0, \pm 1, \pm 2$...., comme nous le faisons explicitement dans les exemples ci-après :

II. Passons à la construction de la fonction $y = x^n$, lorsque n n'est pas égal à l'unité. Son caractère dépend d'abord de la nature de l'exposant n, pour lequel nous distinguons quatre cas.

1° Si n est un nombre entier et positif, il faut d'abord savoir si n est un nombre pair ou impair

(α) Si n est pair, par exemple $n = 2$, nous avons $y = x^2$, et pour chaque valeur positive ou négative de x nous trouvons une ordonnée positive, en sorte que la courbe des abcisses, symétriquement des deux côtés de l'axe des ordonnés.

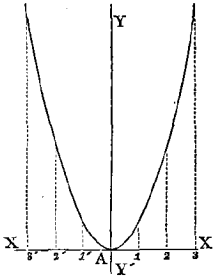


Fig. 3.

Nous avons (fig. 3) pour

$x = 0$	$y = 0$
$x = \pm 1$	$y = (\pm 1)^2 = +1$
$x = \pm 2$	$y = (\pm 2)^2 = +4$
$x = \pm 3$	$y = (\pm 3)^2 = +9$
$x = \pm \frac{1}{2}$	$y = \left(\pm \frac{1}{2}\right)^2 = +\frac{1}{4}$
$x = \pm \frac{1}{3}$	$y = \left(\pm \frac{1}{3}\right)^2 = +\frac{1}{9}$, etc.

Cette courbe est une parabole, dont l'axe coïncide avec l'axe des ordonnées.

(β) Si n est impair, par exemple $n = 3$, on a $y = x^3$ et (fig. 4) pour

$x = 0$	$y = 0$
$x = \pm 1$	$y = (\pm 1)^3 = \pm 1$
$x = \pm 2$	$y = (\pm 2)^3 = \pm 8$
$x = \pm 3$	$y = (\pm 3)^3 = \pm 27$, etc

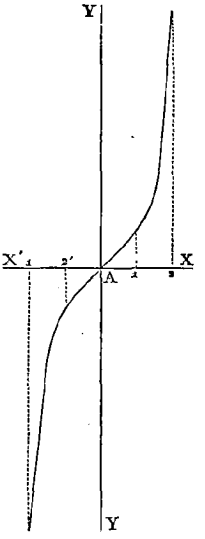


Fig. 4.

Ainsi, à chaque valeur positive ou négative de x correspond une valeur également positive ou négative de y, et la courbe s'étend dans le premier et le troisième angle des axes de coordonnées.

2° Si n est positif, mais plus petit que 1.

Si $n = \frac{1}{m}$ $y = x^{\frac{1}{m}}$, ce qui revient à $y^m = x$; les courbes sont donc les mêmes que les précédentes, sauf qu'elles sont placées relativement à l'axe des x, comme celles-ci l'étaient par rapport à l'axe des y. On le voit en donnant à y les valeurs successives, d'où l'on déduit les valeurs de n, précisément les mêmes que celles trouvées pour y. Ainsi, la fig. 5 représentera $y = \sqrt[3]{x}$, et

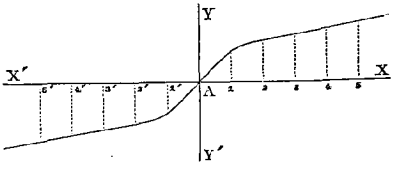


Fig. 5.

on voit son rapport avec la fig. 4, qui répond à $y = x^3$.

Si $x^{\frac{1}{q}}$, écrivons $y = \left(x^{m^{\frac{1}{q}}}\right) = z^p$ et nous pourrons construire la courbe d'après ce qui précède, les valeurs de y pour une valeur de x résultant de deux équations $x^{\frac{1}{q}} = z$ et $z^p = y$.

Soit, par exemple, $n = \frac{2}{3}$ $y = x^{\frac{2}{3}} = \left(\sqrt[3]{x}\right)^2$, des valeurs positives et négatives de x donnent toujours

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des valeurs positives de y, et la courbe est située au-dessus de l'axe des abscisses et symétrique par rapport à celui des ordonnées.

3° Si n est négatif, on a $y = x^{-n} = \frac{1}{x^n}$.

(α) Si n est un nombre pair, par exemple 2, nous tirons de $y = \frac{1}{x^2}$, pour

$x = 0 \quad y = \infty$

$x = \pm 1 \quad y = +1 \qquad x = \pm\frac{1}{2} \quad y = +4$

$x = \pm 2 \quad y = +\frac{1}{4} \qquad x = \pm\frac{1}{3} \quad y = +9$

$x = \pm 3 \quad y = +\frac{1}{9} \qquad x = \pm\frac{1}{4} \quad y = +16$

$x = \infty \quad y = 0$

La courbe a deux branches séparées (*fig.* 6) dans le premier et le deuxième angle des axes des coordonnées, ces axes en étant d'ailleurs des asymptotes.

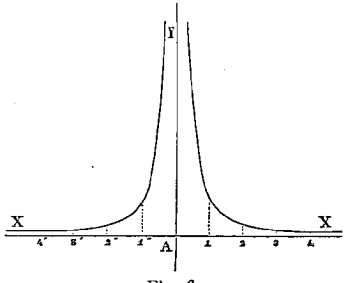


Fig. 6.

(β) Si n est un nombre impair, par exemple $n = 3$, il résulte de $y = \frac{1}{x^3}$, pour

$x = 0 \quad y = \infty$

$x = \pm 1 \quad y = \pm 1 \qquad x = \pm\frac{1}{2} \quad y = \pm 8$

$x = \pm 2 \quad y = \pm\frac{1}{8} \qquad x = \pm\frac{1}{3} \quad y = \pm 27$

$x = \pm 3 \quad y = \pm\frac{1}{27} \qquad x = \pm\frac{1}{4} \quad y = \pm 64$

$x = \infty \quad y = 0$

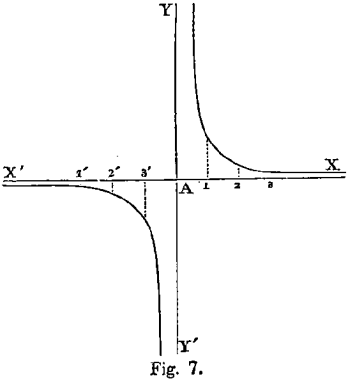


Fig. 7.

La courbe (fig. 7) se trouve dans le premier et le troisième angle des axes, et ceux-ci en sont encore les asymptotes. Elle appartient à la famille des hyperboles, dont la courbe $y = \frac{1}{x^1}$ est un cas particulier, 1 étant impair.

4° Soit x négatif et plus petit que 1, $x = \frac{1}{m}$.

La question revient à la précédente, ainsi que cela a eu lieu dans le cas précédent, car au lieu de

$$y = \frac{1}{\sqrt[m]{x}},$$

on peut, en élevant les deux termes à la puissance m, écrire $x = \frac{1}{y^m}$, comme ci-dessus.

Le système des courbes de la fonction $x = y^{\pm\frac{1}{n}}$ ne diffère de celles de la fonction $y = x^{\pm\frac{1}{n}}$ que par la position par rapport aux axes des coordonnées.

Équations. — Ce qui précède montre bien la manière de construire la courbe représentative des valeurs d'une équation $f(x) = z$, $f(x)$ étant un polynome algébrique.

Ainsi la *fig.* 1, donnée au début, répond à l'équation

$$y = x^3 - 4x^2 - 4x + 16$$

qui donne pour $x = 0 \quad y = 16 = AB$

$x = 1 = A1 \quad y = 9 = 1C$

$x = 2 = A2 \quad y = 0$

$x = 3 = A3 \quad y = -5 = 3D$

$x = 4 = A4 \quad y = 0$

$x = -1 = A1' \quad y = 15 = 1'C'$

$x = -2 = A2' \quad y = 0$

$x = -3 = A3' \quad y = -35 = 3'D'$, etc., etc.

On voit que $y = 0$ pour $x = 2$, $x = 4$ et $x = -2$. Ces trois nombres sont donc les racines de l'équation

$$x^3 - 4x^2 - 4x + 16 = 0.$$

La construction de la courbe est donc un moyen de trouver les racines d'une équation, comme de démontrer d'importants théorèmes de la théorie générale des équations, comme il a été dit dans l'INTRODUCTION.

Fonctions transcendantes. — La représentation par des courbes de fonctions transcendantes, dont on sait déterminer les valeurs pour une valeur donnée de la variable, s'obtient aussi facilement que celle des fonctions algébriques. Nous passerons en revue les principales fonctions transcendantes.

Logarithmiques et exponentielles. — Les fonctions logarithmiques sont $y = e^x$ et $y = a^x$ où $e = 2{,}718...$, base des logarithmes naturels, et $a = 10$, base des logarithmes ordinaires. Dans les deux cas $x = 0$ donne $y = e^0 = a^0 = 1$; ainsi les deux courbes passent par le même point B de l'axe des ordonnées (fig. 8).

Pour $x = 1$, $y = e^1 = 2{,}718$ et $y = a^1 = 10$

$x = 2$, $y = e^2 = 7{,}389 \quad y = a^2 = 100$

$x = 3$, $y = e^3 = 20{,}085 \quad y = a^3 = 1000$

Pour $x = -1$, $y = e^{-1} = \frac{1}{e} = 0{,}368$, $y = a^{-1} = 0{,}1$

$x = -2$, $y = e^{-2} = 0{,}135$, $y = a^{-2} = 0{,}01$

$x = -3$, $y = e^{-3} = 0{,}049$, $y = a^{-3} = 0{,}001$

Pour $x = -\infty$, on a dans les deux cas:

$$y = \frac{1}{e^\infty} = \frac{1}{a^\infty} = 0.$$

Ainsi, pour les valeurs positives de x, celles de y croissent rapidement; pour les valeurs négatives de x, celles de y diminuent pendant que celles de x augmentent, les courbes se rapprochent de plus en plus de l'axe AX', qui devient asymptote commune à toutes deux.

Comme $y = e^x$ donne $x =$ log. nat. de y et $y = a^x$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$x = \log. y$, la courbe $y = e^x$ donne la série des logarithmes naturels, et celle $y = a^x$ la série des logarithmes

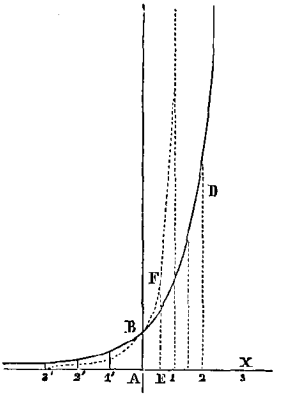


Fig. 8.

ordinaires; les abscisses sont les logarithmes des ordonnées correspondantes.

Fonctions circulaires. — La fonction $y = \sin x$ (le sinus étant calculé pour le rayon 1) donne:

Pour $x = 0$, $y = 0$

$x = \frac{\pi}{2} = 1{,}5708$, $y = 1$

$x = \frac{3\pi}{2}$, $y = -1$

Pour $x = \frac{\pi}{4} = 0{,}7854$ $y = 0{,}707$

$x = \pi = 3{,}1416$ $y = 0$,

$x = 2\pi$ $y = 0$ etc.

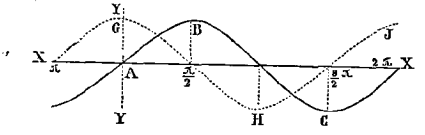


Fig. 9.

En portant (fig. 9) les longueurs des arcs x comme abscisses et les valeurs correspondantes de $y = \sin x$ comme ordonnées, on obtient une courbe continue à ondulations A B C D..., dite sinusoïde, qui s'étend à l'infini des deux côtés de l'axe des abscisses.

La cosinusoïde ou la courbe représentant la fonction $y = \cos x$ ou $y = \sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right)$ sera identique à la précédente, en arrière seulement de celle-ci sur l'axe des x, d'une longueur égale à $\frac{1}{2}\pi = 1{,}5708...$

De la même manière on tracera la courbe de la fonction $y = \text{tang}. x$ (fig. 10).

On a pour $x = 0$ $y = 0$ $x = \frac{\pi}{4}$, $y = 1$

$x = \frac{\pi}{2}$ $y = \infty$ $x = \frac{3}{4}\pi$, $y = -1$

$x = \pi$ $y = 0$;

puis pour

$x = \frac{5}{4}\pi$, $y = 1$ $x = \frac{3}{2}\pi$, $y = -\infty$, etc.

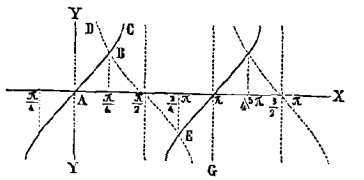


Fig. 10.

En continuant à donner des valeurs croissantes ou décroissantes à x, les valeurs de y se répètent toujours, et on obtient une suite de courbes égales à ABC..., qui, dans la direction de l'axe des x, sont distantes l'une de l'autre de la quantité $\pi = 3{,}1410$, et qui ont pour asymptotes les ordonnées passant par les points

$$\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}.$$

L'équation $y = \cot x = \text{tang}\left(\frac{\pi}{2} - x\right)$, conduit à des courbes identiques avec les premières, ayant avec elles un point commun, répondant à $\frac{\pi}{4}$, et inversement placées.

II. LOIS NATURELLES. — Le mode de représentation de toute loi exprimée par une relation entre deux quantités que nous venons d'étudier, montre clairement que la loi de tout phénomène naturel dans lequel deux quantités x et y varient simultanément, sont fonction l'une de l'autre, pourra être représentée par une courbe, quelle que soit la loi connue ou inconnue de cette fonction. La connaissance d'un nombre suffisant de valeurs simultanées de x et de y suffit pour tracer la courbe de la fonction qui réunit ces deux quantités, quelle que soit la nature de celle-ci, algébrique ou transcendante, qu'elle soit exprimable ou non par de semblables formules.

Or, dans les phénomènes mécaniques, c'est le rapport entre l'espace parcouru et le temps, la fonction $f(e, t) = 0$, qu'il s'agit de déterminer; le problème sera donc résolu par une courbe, dont les ordonnées représenteraient les valeurs successives de e, et les abscisses celles de t; cette courbe sera la représentation géométrique, l'équivalent de $f(e, t) = 0$, de la fonction cherchée.

De l'aire des courbes. — Du triangle de Galilée. — La représentation par une courbe de la relation qui existe entre x et y, ne donne pas seulement une représentation de cette relation, un moyen d'obtenir par interpolation des valeurs intermédiaires entre celles déterminées directement, et enfin un moyen de reconnaître la fonction qui répond à la forme trouvée. Elle permet encore de calculer directement l'aire de cette courbe, qui donne le produit des variables, la valeur $\int y\,dx$, c'est-à-dire une quadrature par une simple mesure graphique, quelle que soit la forme de la fonction connue ou inconnue, c'est-à-dire même quand celle-ci ne peut être exprimée par une formule. C'est là une propriété très-précieuse, dont l'expérimentation mécanique tire un bien utile parti, et, comme méthode logique, il est curieux de remarquer qu'elle est antérieure à l'invention du calcul infinitésimal qui résout le même problème. Elle a son point de départ dans le triangle de Galilée, dans la méthode qu'il sut imaginer pour démontrer les lois du mouvement de la chute des corps. Nous la rappellerons ici, pour montrer qu'elle conduit directement, par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la seule interprétation d'une figure géométrique, à l'établissement des lois fondamentales du mouvement.

En prenant comme abscisses les temps écoulés (t) et comme ordonnées les vitesses correspondantes (v), le mouvement uniforme sera représenté par une droite parallèle à l'axe des x, puisque pour tous les temps les vitesses sont égales.

Le chemin parcouru est $s = v\,t$, c'est-à-dire est représenté par la surface d'un rectangle, construit en cherchant à représenter graphiquement le mouvement uniforme, dont la base est le temps écoulé t, et la hauteur la vitesse v.

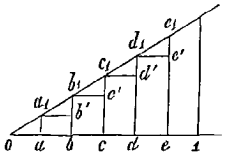


Fig. 11.

Le mouvement uniformément accéléré, dans lequel la vitesse croît proportionnellement au temps, est représenté graphiquement par une droite $oa_1\,b_1$... (fig. 11) inclinée sur l'axe des abscisses. On voit aisément, par les triangles semblables, que les ordonnées ou les vitesses sont proportionnelles aux abscisses ou aux temps. En effet, en représentant par g la vitesse après l'unité de temps, on a par les triangles semblables (pour la vitesse v après le temps t) $v : t :: g : 1$, ou $v = g\,t$.

Quant au chemin parcouru après le temps t, il est égal à l'aire du triangle qui a v pour base et t pour hauteur, ou

$$s = v \times \frac{1}{2}\,t = g\,t \times \frac{1}{2}\,t = \frac{g\,t^2}{2}.$$

En effet, on peut supposer que, pendant un élément de temps infiniment petit bc, le mouvement ait lieu uniformément avec la vitesse $b\,b_1$, en sorte que l'élément parcouru dans cet élément de temps soit représenté par le produit $bc \times b\,b_1$, ou par la surface du trapèze $b\,b_1\,c\,c_1$ considéré comme un rectangle (en prenant pour valeur de la vitesse l'ordonnée moyenne). Si l'on imagine ensuite le triangle entier, décomposé par les ordonnées successives en un nombre infini de tranches infiniment étroites, leurs surfaces seront les éléments du chemin parcouru dans les éléments de temps successifs et la somme de tous ces éléments de surface, c'est-à-dire la surface du triangle entier, indiquera la somme de tous les éléments du chemin, ou le chemin total s parcouru pendant le temps t. D'où la formule établie ci-dessus.

Cette méthode due à Galilée s'applique évidemment à toute espèce de courbe et fournit le produit de deux facteurs, ou l'intégrale $\int y\,dx$, quelle que soit la relation des quantités x et y.

III. Des tracés produits par les corps en mouvement. — *Méthodes expérimentales.* — Dans nombre de circonstances, un corps en mouvement laisse une trace, par suite de frottement surtout, sur un corps fixe. Tel est, par exemple, le cas d'un point d'une roue qui rencontre un plan fixe et y marque un arc de cycloïde. Mais ce n'est que depuis un assez petit nombre d'années qu'on a compris quel parti il y avait à tirer de ces courbes, et qu'on a cherché à les faire naître dans les divers cas pour déduire de leur interprétation les lois des phénomènes. Le célèbre Thomas Young a le premier formulé le principe de ce genre d'expérimentation, et c'est probablement à ses écrits que l'on doit les premiers emplois pratiques que nous connaissions, ceux faits par Eytelwein et par Watt.

Pinceau ou crayon adapté au corps en mouvement. — Cette disposition est celle imaginée par Eytelwein, en 1804. — Ce physicien, se proposant d'étudier le mouvement de la soupape d'un bélier hydraulique, fixa sur la soupape un petit pinceau imbibé d'encre de Chine, dans une direction perpendiculaire au mouvement, et, pour avoir autre chose qu'une verticale tracée par la superposition des positions successives de la soupape, fit mouvoir le papier qui recevait le tracé du pinceau dans un plan perpendiculaire.

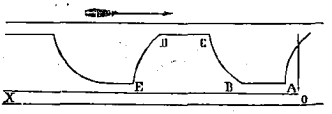


Fig. 12.

Soit ABCDE... la courbe tracée. Rapportons cette courbe à deux arcs rectangulaires OX, OY, dont le premier soit parallèle et de sens contraire avec le mouvement du papier. Les ordonnées seront proportionnelles à l'élévation de la soupape, et si la vitesse du papier est constante, comme on cherche à l'obtenir pour ce genre d'observation, les abscisses seront proportionnelles aux temps écoulés depuis l'instant où le pinceau se trouvait sur l'axe des y. On aura par la tangente trigonométrique de l'angle que la tangente à la courbe fait avec l'axe des x, $\left(\frac{de}{dt}\right)$, la vitesse de la soupape. S'il est une partie rectiligne dans la courbe tracée, c'est que pendant le temps correspondant la vitesse de la soupape a été nulle, ce qui a lieu dans l'exemple choisi lors des intervalles de repos qui séparent les coups de bélier.

L'analyse du mouvement est donc parfaite avec ce mode d'expérimentation; il a pourtant été peu compris et peu utilisé en France, jusqu'à l'époque où Poncelet en fit apprécier toute la valeur dans son beau cours de Metz, moins toutefois pour analyser les lois d'un mouvement que pour l'appliquer à la mesure du travail, ainsi que l'avait déjà fait Watt, l'inventeur par excellence, qui n'a presque jamais étudié un problème sans en trouver la plus satisfaisante, la plus complète solution. Nous reviendrons plus loin sur cette importante extension de l'emploi des courbes.

Je donnerai encore l'exemple de l'emploi d'un mouvement pour représenter le temps, combiné avec un mouvement vertical d'un corps, pour démontrer les lois de la chute des corps pesants, en décrivant l'appareil qui a été disposé à cet effet par M. Morin.

Pour plus de commodité le plan qui se meut horizontalement étant enroulé sur un cylindre qui tourne uniformément (le tracé sur le cylindre étant le même en chaque instant que sur son plan tangent au point où se fait le tracé), on place en regard de ce plan un poids cylindro-conique, qui porte un crayon dont la pointe s'appuie sur le papier et qui porte des oreilles glissant sur des fils verticaux. En appuyant sur un levier, on fera ouvrir une pince et partir le poids à un moment donné. On attend pour cela que le mouvement de rotation du cylindre régularisé par un volant à ailettes soit devenu uniforme.

Il suit de cette disposition que si on a bien réglé la position du crayon, il tracera une ligne qui, sur une feuille de papier déroulée sur le plan, aura la forme indiquée par la figure 13.

Menons par l'origine de la courbe une droite horizontale, prenons sur cette droite des longueurs égales, et par leurs extrémités traçons des perpendiculaires jusqu'à la rencontre de la courbe; il est clair, puisque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le mouvement du plan est uniforme, que la longueur de chaque verticale est l'espace parcouru par le corps, après un certain intervalle de temps représenté par l'écartement de ligne horizontale. Or, on reconnaît par

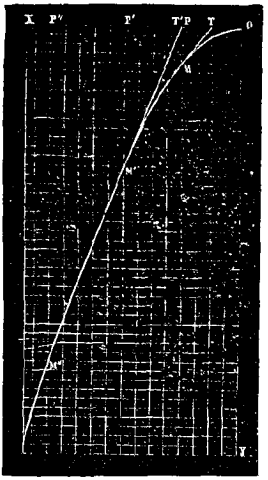


Fig. 13.

la mesure directe que pour une abscisse double de la première, la verticale est égale à 4 fois la première, pour une triple égale à 9 fois... : donc, les *espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir*. On peut multiplier ainsi les vérifications. Pour rendre plus rapides les mesures des lignes verticales et horizontales, on peut employer du papier quadrillé, tracer par avance sur une feuille de papier ordinaire des traits verticaux et horizontaux équidistants.

La courbe dans laquelle les carrés des ordonnées sont proportionnels aux abscisses, dont l'équation est $y^2 = 2px$, est une parabole. La question est donc de vérifier, si on le préfère, si la courbe tracée est une parabole, et le caractère le plus commode à cet effet est la constance de la sous-normale.

Inutile d'insister sur la perfection d'un mode d'expérimentation, qui permet de trouver ainsi la loi d'un phénomène mécanique à l'aide d'une courbe nettement tracée. C'est le mode par excellence, de l'expérimentation mécanique précise.

Noir de fumée déposé sur la surface qui reçoit le tracé. — Emploi du diapason. — Un pinceau et surtout un crayon consomme un certain travail pour produire un tracé, et la méthode qui vient d'être décrite ne pourrait s'appliquer à l'enregistrement des mouvements de corps très-légers. Mais si on fait déposer sur une surface du noir de fumée, en l'exposant à la flamme d'une bougie, une petite tige flexible, un crin fort, ou une petite aiguille aimantée (en dehors du méridien magnétique), dans certains cas, suffiront pour tracer des mouvements extrêmement rapides. C'est ainsi que M Duhamel a, le

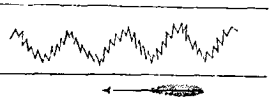


Fig. 14.

premier, enregistré les vibrations d'une corde sonore, sur la surface d'un cylindre métallique tournant (fig. 14).

L'interprétation du tracé d'un très-grand nombre

de vibrations dans l'unité de temps eût été fort difficile s'il avait fallu la déduire à cet effet de la vitesse de rotation du cylindre. Wertheim y parvint au contraire avec une grande facilité et créa un mode de mesure du temps d'une grande précision, en faisant tracer en même temps que le mouvement à étudier, les mouvements vibratoires d'un diapason rendant un son déterminé et par suite produisant par seconde un nombre de vibrations bien connu, 8 ou 900 par exemple. D'où l'on voit qu'une petite fraction de seconde, le millième, si l'on veut, correspondra à une partie de courbe comprise entre deux sommets, qui pourra être assez grande avec une vitesse convenable du cylindre, et que par suite il est aisé de disposer l'appareil de telle sorte que le dix-millième de seconde y soit d'une facile observation. Nous avons vu à CHRONOSCOPES comment on avait appliqué cette méthode à l'étude expérimentale des phénomènes presque instantanés produits par l'explosion de la poudre.

Pour certaines applications, ce procédé avait un défaut grave sur lequel nous devons nous arrêter; les vibrations du diapason s'arrêtent bientôt et les observations ne peuvent se faire par suite que pendant peu de temps.

M. Lissajous réussit le premier, dès l'année 1857, à prolonger indéfiniment les vibrations du diapason, au moyen de deux électro-aimants agissant chacun sur une des branches; un courant électrique étant envoyé périodiquement dans ces électro-aimants par un trembleur réglé à l'unisson, à l'octave ou à la double octave du diapason, il en résulte des attractions périodiques des branches, et le mouvement vibratoire ainsi entretenu peut durer indéfiniment.

M. Helmholtz a substitué à la lame ordinaire du trembleur un diapason réglé à l'unisson du premier, de cette façon la persistance de l'accord entre les deux parties de l'appareil et le fonctionnement de l'ensemble sont facilités et assurés.

M. Niaudet-Bréguet a eu l'heureuse idée d'employer les ressources ordinaires de l'horlogerie pour prolonger les vibrations du diapason; ce qui fournit les deux curieux résultats d'enregistrer le nombre des vibrations et de construire un nouveau genre d'horloges dans lequel les vibrations isochrones du diapason remplacent les oscillations isochrones du pendule ordinaire.

L'appareil qu'il a construit se compose, comme une horloge ordinaire, d'un rouage et d'un diapason, mis en rapport par l'intermédiaire d'un échappement. Le diapason règle le débit de rouage; le rouage donne au diapason, à chaque vibration, une petite impulsion nécessaire pour prolonger son mouvement oscillatoire. Le mouvement des aiguilles portées par les axes du rouage permet de compter le nombre des vibrations du diapason.

Ce système n'a guère pu être appliqué qu'à des diapasons ne faisant pas plus de deux cents vibrations par seconde, ce qui peut souvent suffire, la méthode optique si précise imaginée par M. Lissajous permettant de comparer facilement des sons à l'octave et à la double octave.

La délicatesse de l'emploi du diapason pour l'expérimentation des phénomènes vibratoires est bien évidente, mais elle est encore plus admirable par son application à la division exacte d'intervalles de temps infiniment plus courts que ceux qu'on tentait auparavant d'observer expérimentalement.

Mesure du travail. — Au lieu de laisser arbitraire le mouvement du plan sur lequel s'effectue le tracé pour obtenir seulement des traces d'un mouvement à étudier, ou mieux de le rendre régulier par l'emploi d'un moteur chronométrique pour lui faire représenter le temps, il est des cas où, en rattachant ce second mouvement au mécanisme qui produit le premier, on peut obtenir l'indica-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion du chemin parcouru et en même temps la variation des efforts au jeu, par suite résoudre le problème capital de toute question de mécanique appliquée, obtenir la mesure du travail mécanique consommé pour le produire. Tel est le principe sur lequel Watt avait fait reposer la construction de son indicateur, et qui, mis en pleine lumière par Poncelet, a été appliqué par ce dernier et par M. Morin à la construction de nombreux dynamomètres traceurs, permettant aux machines de tracer elles-mêmes les diagrammes qui servent à la mesure de leurs effets.

Ainsi, si on interpose un ressort entre le corps qui doit être mis en mouvement et le point d'application de la puissance, un pinceau attaché à ce ressort tracera, sur une feuille de papier mue dans une direction perpendiculaire à celle de l'effort, une courbe. Les ordonnées de cette courbe représenteront les tensions du ressort, et par suite seront proportionnelles aux efforts; tandis que si on fait mouvoir le papier par le corps en mouvement, de manière à ce qu'il parcoure un chemin (fig. 15) qui

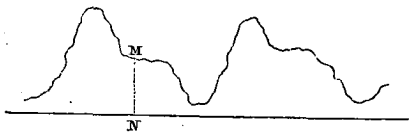


Fig. 15.

soit dans un rapport constant avec celui que ce corps parcourt, les abscisses seront proportionnelles en chaque instant au chemin parcouru par le corps en mouvement. L'aire de la courbe représentera donc le travail à une certaine échelle facile à déterminer dans chaque cas. (Voir DYNAMOMÈTRE.)

Les tracés graphiques, si utiles comme moyen de constater et mesurer un mouvement, sont encore plus utiles pour l'étude du travail; ils fournissent de la sorte l'évaluation du phénomène complet, ce qu'il importe surtout de connaître dans l'usage industriel.

L'utilité du mode d'observation dont nous parlons a fait que, dans ces dernières années, on a cherché à étendre les applications des procédés d'enregistrement automatique des phénomènes, et qu'on a combiné à cet effet des moyens d'une grande délicatesse. Nous décrirons ici les plus curieux, qui constituent des modes d'expérimentation très-délicats. Nous reviendrons ailleurs sur l'excellent emploi fait par les météorologistes de la méthode graphique. Ils emploient pour leurs observations des appareils variés, enregistrant sans cesse : la force et la direction du vent, la température et la pression barométrique ainsi que leurs variations diurnes, la quantité d'eau tombée dans un temps donné, etc. Ces appareils réalisent chaque jour le travail aride et fastidieux qu'on ne pourrait obtenir du personnel restreint auquel la plupart des observatoires sont réduits; ils fournissent des documents authentiques et infiniment plus complets que ceux dont se servaient autrefois les météorologistes observateurs.

IV. MOUVEMENTS INTÉRIEURS DES CORPS VIVANTS. — Nous allons étudier ici les curieux appareils enregistreurs dont disposent aujourd'hui les physiologistes. Leur science s'était exercée depuis longtemps à interpréter les phénomènes qui se manifestent à nos sens; il fallait, pour réaliser de nouveaux progrès, rendre perceptible et mesurable ce qui échappait à nos moyens d'observation. Les mouvements très-lents ou très-rapides, très-faibles ou très-compliqués, ne sauraient être étudiés qu'au moyen d'appareils enregistreurs, car ils échappent à nos sens beaucoup trop imparfaits pour les saisir.

Chronographie physiologique. — Helmholtz a réussi à déterminer la vitesse avec laquelle l'*agent nerveux* circule dans l'organisme. Il employa d'abord la méthode de Pouillet, dite chronoscopie électrique. Plus tard il enregistra sur un cylindre qui tournait avec une vitesse connue deux signaux, dont l'un correspondait au moment où l'on excitait le nerf d'un animal, tandis que l'autre signal résultait du mouvement produit par l'animal lui-même et indiquait le moment où l'agent nerveux était arrivé au muscle.

Dans l'expérience de Helmholtz la vitesse de rotation du cylindre n'était pas connue avec une exactitude suffisante. M. Marey modifia l'expérience en combinant avec les procédés de Helmholtz l'emploi de la *chronographie*, telle que M. Duhamel et Wertheim l'avaient introduite en physique. Un diapason d'une tonalité bien déterminée trace sur le cylindre tournant les vibrations dont chacune correspond à une fraction connue de seconde. Le nombre des vibrations enregistrées dans l'intervalle qui sépare les deux signaux exprime exactement le temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf et la réaction du muscle.

En Hollande, Donders a employé la même méthode pour mesurer le temps nécessaire pour la perception des impressions visuelles ou auditives, ainsi que la durée de certaines opérations intellectuelles.

Les astronomes ont aussi recours à la chronographie pour déterminer la valeur de l'*erreur personnelle* dans les observations astronomiques. M. Wolf, de l'Observatoire de Paris, a institué sur ce sujet des expériences très-importantes au double point de vue de l'astronomie et de la physiologie.

Appareils enregistreurs des pressions. — Au siècle dernier, un physiologiste anglais, Stales, imagina d'appliquer un manomètre aux artères d'un animal vivant. Il obtint ainsi la première mesure exacte de la pression sous laquelle le sang circule dans les artères; il vit que cette pression varie sans cesse, s'abaissant pendant l'intervalle des contractions du cœur et se relevant à chacune d'elles. Ludwig, aujourd'hui professeur de physiologie à Leipzig, imagina d'enregistrer les variations du niveau du manomètre appliqué aux artères. Un flotteur entraîné par les mouvements de la colonne de mercure portait un pinceau et traçait sur un cylindre tournant chacune des oscillations du manomètre. Cet appareil, le premier enregistreur qui ait été construit

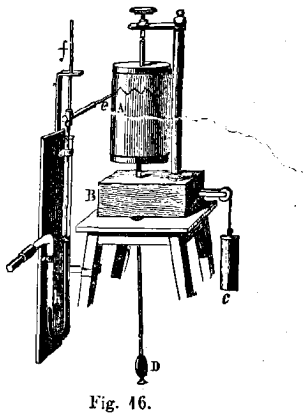


Fig. 16.

pour les besoins de la physiologie, est représenté fig. 16; il a rendu de grands services et est encore d'un usage très-répandu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sphygmographes. — Le professeur Vierardt, de Tubingen, eut le premier l'idée d'enregistrer les battements du pouls et construisit un *sphygmographe;* mais son appareil équilibré et oscillant à la façon d'un pendule, n'était en réalité qu'un compteur du pouls. M. Marey a construit un enregistreur du pouls qui donne avec une grande précision les caractères de ce mouvement délicat. La fig. 17 représente le sphygmographe de M. Marey. Nous allons donner quelques détails sur la construction de cet appareil; les principes sur lesquels ce sphygmographe est établi, ont permis à son auteur de construire un grand nombre d'autres appareils pour étudier les différents mouvements qui accompagnent les fonctions de la vie.

Dans la plupart des appareils enregistreurs, le mouvement, dont on voulait avoir le graphique, se communiquait à des pièces plus ou moins lourdes qui devaient le transmettre à la pointe écrivante. Mais une masse animée de vitesse n'obéit pas fidèlement à l'impulsion qui lui a été communiquée ; elle tend par sa *vitesse acquise* à continuer le mouvement commencé et à déformer ainsi le graphique en exagérant son amplitude et même en altérant sa forme.

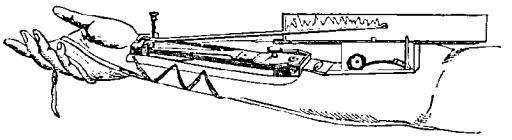


Fig. 17.

D'autre part, il faut qu'une certaine pression soit exercée sur le vaisseau dont on explore le pouls. Ce pouls, en effet, n'est autre que la manifestation extérieure de la pression du sang dans l'artère explorée. C'est un changement dans la dureté du vaisseau qui tantôt se laisse écraser par une pression extérieure, tantôt réagit contre le corps comprimant et le repousse. Pour presser sur le vaisseau, M. Marey, au lieu de se servir d'un poids, employa un ressort qui, au moyen d'une vis de réglage, était amené au degré de pression voulue et qui, n'ayant qu'une masse insignifiante, recevait et suivait fidèlement les mouvements qui lui étaient communiqués par le pouls artériel. Ces mouvements devaient être amplifiés; pour cela, M. Marey les communiqua à un levier de bois très-léger, qui recevait l'impulsion du ressort très-près de son centre de mouvement, et qui, par son extrémité libre munie d'une plume, exécutait et enregistrait sur une feuille de papier glacé des mouvements cent ou deux cents fois plus grands que ceux que le ressort recevait de l'artère. La légèreté extrême du levier amplificateur et l'union de ce levier au ressort dont il suit forcément les mouvements, sont les conditions nécessaires pour obtenir un bon graphique.

Le sphygmographe de M. Marey révèle dans les caractères du pouls artériel des nuances délicates, que le toucher le plus exercé ne saurait percevoir et qui fournissent des renseignements importants sur l'état de la circulation. Voici quelques-uns de ces tracés (fig. 18, pouls de malade, et 19, pouls normal) :



Fig. 18.

Cardiographe. — Il y avait, dans ces dernières années, parmi les physiologistes, des discussions sur la nature et la succession réelle des mouvements du cœur.

A chaque seconde, à peu près, les oreillettes et les ventricules entrent en mouvement pour chasser dans l'aorte et l'artère pulmonaire une ondée sanguine. Chacune de ces impulsions du sang s'accompagne d'un bat-



Fig. 19.

tement du cœur contre les parois de la poitrine; l'oreille appliquée contre ces parois entend deux bruits que l'on attribuait avec raison au claquement des *valvules* ou soupapes du cœur. La complexité des mouvements qui s'accomplissent dans un court intervalle de temps, rendait impossible l'analyse exacte de ce que l'on appelle une *révolution du cœur.* M. Marey et M. Chauveau, professeur à l'école vétérinaire de Lyon, entreprirent de résoudre ces difficultés en recourant à la méthode graphique. Mais il fallait enregistrer des mouvements qui se passent, les uns dans l'intérieur des cavités du cœur, et les autres à l'extérieur de cet organe. Un appareil de transmission devait aller chercher chacun de ces mouvements et les amener chacun sous le levier d'un sphygmographe chargé de les traduire par une courbe. Voici comment cette difficulté fut résolue au moyen d'un appareil d'observation très-délicat et qui peut trouver des applications dans l'étude de nombreux phénomènes de variation de pression.

Soit fig. A et B deux ampoules de caoutchouc gonflées d'air et réunies par un tube flexible (fig. 20). Si l'on com-

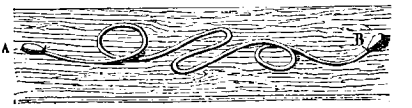


Fig. 20.

prime l'ampoule A, une partie de l'air qu'elle contient s'en ira par le tube gonfler l'ampoule B. Si un levier de sphygmographe repose sur cette seconde ampoule, il sera soulevé et traduira par son soulèvement la pression exercée sur l'ampoule A. Le tracé que ce levier écrirait sur un papier animé d'une translation uniforme exprimerait la forme du mouvement par lequel l'ampoule A aurait été comprimée, il en indiquerait la brusquerie ou la lenteur, la force ou la faiblesse, la brièveté ou la du-

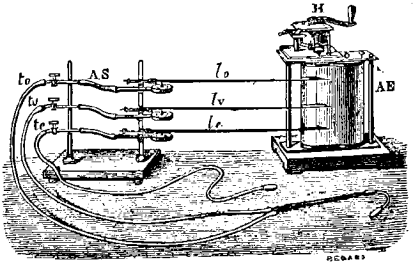


Fig. 21.

rée. Or, dans le *cardiographe* trois systèmes d'ampoules conjuguées sont employés. Les ampoules exploratrices

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(celles qui reçoivent le mouvement) sont introduites, l'une dans l'oreillette, l'autre dans le ventricule, la troisième en dedans de la poitrine, entre les parois thoraciques et le cœur. Les veines du cou présentent une voie assez facile pour le passage des deux premières ampoules, la troisième est introduite par une plaie pratiquée entre deux côtes. Les ampoules extérieures ou indicatrices sont posées de façon que le gonflement de chacune d'elles soulève un levier particulier. Les trois leviers qui écrivent simultanément sont de même longueur, leurs plumes sont placées dans un même plan et sur une même verticale, elles écrivent sur une large bande de papier. La disposition générale de l'appareil est représentée fig. 21.

Quand l'appareil est appliqué sur un grand animal, un cheval, par exemple, on peut constater que la présence des ampoules dans les cavités du cœur et dans la poitrine ne change rien à la fonction circulatoire, et que le cœur continue sensiblement à battre avec son système normal. On obtient un graphique dont la fig. 22

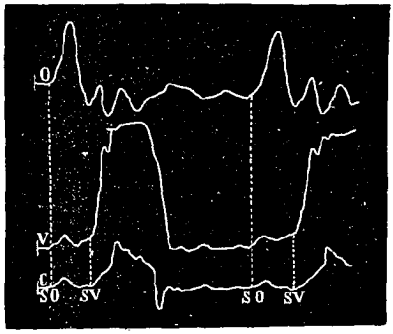


Fig. 22.

représente un spécimen, et de l'analyse duquel on peut tirer une foule d'indications sur la succession, la durée, la force et la *forme* des mouvements divers qui constituent une révolution du cœur. Dans ce graphique, la ligne supérieure correspond aux battements de l'oreillette droite, la seconde à ceux du ventricule droit, l'inférieure au choc du cœur contre les parois de la poitrine.

MM. Marey et Chauveau ont varié de différentes manières leurs expériences de cardiographie, et déterminant ainsi la succession des mouvements des cavités droites et gauches du cœur, de ceux-ci avec le pouls de l'aorte et des différentes artères, ils ont fixé la science sur ce qu'on appelle la *théorie des mouvements du cœur*, point de départ indispensable aux autres études de physiologie et de médecine.

Cardiographie humaine. — M. Marey a cherché à obtenir sans mutilation le graphique du choc du cœur. Pour cela, il fallait appliquer sur la poitrine d'un homme un appareil assez analogue au ressort du sphygmographe, et transmettre les mouvements de ce ressort à l'aide d'un tube à un levier semblable à celui de l'appareil ci-dessus décrit. La construction spéciale porte tout entière sur l'appareil *explorateur* du mouvement. La fig. 23 représente une coupe de ce petit appareil.

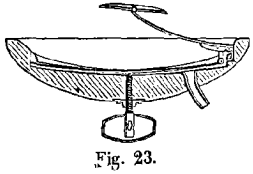


Fig. 23.

C'est une capsule de bois encavée légèrement et de forme elliptique, du fond de laquelle s'élève un ressort que l'on peut tendre plus ou moins à volonté. Ce ressort est muni d'une plaque d'ivoire qui presse sur la région du cœur au point où le doigt sent le battement de cet organe. Pendant l'application de l'instrument, il se produit des mouvements incessants de la peau de la poitrine, qui tantôt s'avance et pousse le ressort lorsque le ventricule fait sentir son battement, et tantôt n'étant plus soutenu par le cœur, rétrograde en cédant à la pression du ressort. Or, comme la peau de la poitrine s'applique exactement aux bords de la capsule, il en résulte un mouvement continuel imprimé à l'air de cette cavité. Ce mouvement se transmet par un tube au levier du cardiographe.

L'appareil enregistreur lui-même diffère peu du cardiographe déjà décrit; il est seulement plus portatif et déroule, à la manière du télégraphe Morse, une longue bande de papier au devant de la plume du levier. La fig. 24 représente le cardiographe tel que M. Marey

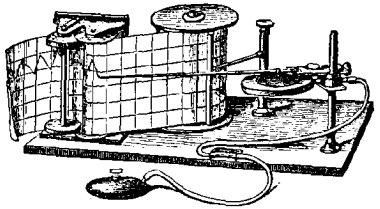


Fig. 24.

l'emploie pour les études de physiologie humaine et de clinique.

Le tracé fourni par cet instrument, et dont la fig. 25

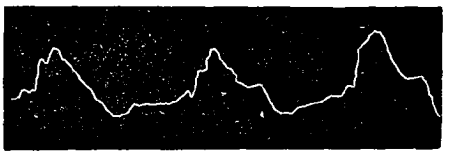


Fig. 25.

montre un spécimen, présente les mêmes détails que celui qui, dans la fig. 22, correspond au choc du cœur chez les grands mammifères. Ces analogies permettent de conclure que chez l'homme les mêmes éléments de la courbe sont dus aux mêmes causes que chez le cheval, par exemple, et l'on peut d'après les caractères du tracé pris à l'extérieur juger de l'état de la circulation dans le cœur, et porter avec sûreté le diagnostic de certaines maladies.

Pneumographe. — M. Marey a également appliqué la méthode graphique à l'étude des mouvements respiratoires. Le pneumographe ne diffère du cardiographe que par l'appareil explorateur. Celui-ci consiste en un ressort boudin revêtu de caoutchouc et formant un cylindre creux, extensible, dont les deux bouts sont fermés. Un tube latéral met l'intérieur de cet appareil en communication avec l'appareil enregistreur. Toute traction ou compression, exercée suivant la direction de l'axe de ce cylindre élastique, produit un mouvement de soufflet qui réagit sur le levier enregistreur. Or, le cylindre élastique est placé sur le trajet d'un lac inex-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tensible qui entoure la poitrine comme une ceinture. L'appareil est donc soumis à l'extension pendant que la poitrine se dilate et revient à sa brièveté normale quand la poitrine se resserre. Les graphiques obtenus avec cet appareil varient avec le rhythme de la respiration; celui-ci à son tour varie avec les obstacles plus ou moins grands que l'air rencontre dans les voies respiratoires; on peut donc, ainsi que M. Marey l'a démontré, tirer de la forme des mouvements de la poitrine des renseignements importants sur l'état de la fonction respiratoire. La fig. 26 montre la forme du mouvement respiratoire normal.

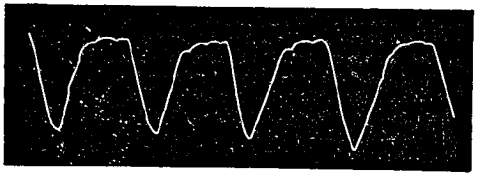


Fig. 26.

Myographie. — Helmholtz, le premier, construisit un appareil enregistreur du mouvement musculaire. Un muscle de grenouille, fixé à l'une de ses extrémités à un point immobile, était attaché par son tendon à une sorte de bascule dont les mouvements se traçaient sur un cylindre tournant. M. Marey a ramené le *myographe* à l'emploi d'un levier léger, et a remplacé les poids dont on chargeait le muscle par l'élasticité d'un ressort. Alors seulement il a été possible d'avoir l'expression fidèle des mouvements musculaires, car ces mouvements, souvent très-énergiques et durant à peine six ou huit centièmes de seconde dans certains cas, communiquaient aux appareils munis de poids des vitesses acquises qui déformaient entièrement leurs indications.

Avec le myographe de Marey on peut étudier les caractères des mouvements provoqués dans un muscle par les différentes sortes d'excitations électriques et les modifications que ces mouvements éprouvent sous l'influence des poisons ou des agents physiques appliqués au muscle.

Les appareils ci-dessus décrits enregistrent des mouvements véritables. M. Marey a cherché à montrer que la méthode graphique peut s'étendre au delà des limites de l'étude du mouvement proprement dit. Certains artifices permettent de transformer en mouvement d'un levier enregistreur des phénomènes de natures variées. Ainsi, ce physiologiste a enregistré, au moyen de son *thermographe*, les différentes phases des changements de température chez un animal. Avec un autre appareil il a pu obtenir la courbe d'absorption des gaz sous l'influence de la respiration. Mais ces études, encore à leur début, montrent seulement que le champ de la méthode graphique en physiologie pourra s'étendre encore beaucoup.

GRAPHITE. — Le graphite ou mine de plomb est du carbone presque pur, dans un état d'agrégation particulier. Il sert à fabriquer les crayons, et la meilleure qualité se tirait autrefois de la mine de Brokldale, en Angleterre, aujourd'hui épuisée. M. Alibert en a trouvé un magnifique gisement en Sibérie. Le graphite paraît dû à la précipitation du charbon lors de la décomposition de l'hydrogène carboné; c'est ainsi qu'il se forme dans les cornues à gaz.

H

HÉLICE. Les grands avantages qu'a présentés l'emploi de l'hélice dans la navigation à vapeur, de cet opérateur entièrement plongé dans le fluide, ont fait de l'étude des formes les plus convenables à donner à l'hélice une des plus intéressantes questions qu'on puisse se proposer. Ajoutons que c'est une des plus difficiles par suite du petit nombre de données dont on dispose, par l'ignorance où nous sommes de la manière dont l'eau se comporte sur les palettes de l'hélice ; comment se produit l'entraînement croissant avec la vitesse, comment l'eau arrive par le centre du propulseur et s'écoule, eau déjà animée de vitesses variables en raison de son cheminement le long des façons arrière du navire.

Les résultats d'expériences tentées en modifiant les formes et dimensions de l'hélice sous l'influence des notions fondamentales admises généralement sur la résistance des fluides, en cherchant, par exemple, à faciliter l'entrée et à diriger la sortie de l'eau, ont toutefois fourni des éléments importants qui, s'ils ne permettent pas de fixer, pour chaque cas, la forme, les dimensions et les vitesses les plus convenables, permettent cependant d'en approcher et d'arriver dans la pratique à des résultats satisfaisants.

L'hélice, dans sa donnée première, est une vis à un ou plusieurs filets, qui, mue dans l'eau avec rapidité, trouve dans l'inertie de celle-ci une résistance analogue à celle qu'elle trouverait dans un écrou métallique; d'où résulte la progression, le mouvement en avant du navire qui la porte. La condition essentielle de l'emploi de l'hélice est donc une vitesse assez grande pour que l'eau résiste, malgré l'extrême mobilité de ses molécules; et comme d'ailleurs elle communique nécessairement une vitesse aux molécules liquides qui choquées ne peuvent rester immobiles, il est bien clair que toute la vitesse imprimée dans le plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice correspond à un travail consommé inutilement pour la propulsion, tandis que toute celle parallèle au mouvement du navire est utilisée, en ce sens qu'elle est la réaction qui correspond à l'impulsion communiquée au corps flottant.

Comme c'est évidemment par suite de l'inclinaison de son plan autour de l'axe que l'hélice opère, que la régularité de cette inclinaison, tout à fait logique quand il s'agit d'une vis dont les filets doivent se succéder dans le même chemin, n'a plus de raison d'être lorsque l'action doit se produire à diverses distances de l'axe sur de l'eau animée de vitesses différentes, on en est venu à adopter des surfaces hélicoïdales diversement inclinées, et à remplacer l'hélice par des palettes hélicoïdales séparées, laissant par suite une entrée plus facile à l'eau qu'un filet continu.

Passons en revue les éléments de l'hélice et les résultats de l'emploi des principaux systèmes, savoir : le nombre des bras, le diamètre et la longueur, la surface agissante des palettes, le pas, le recul et la force motrice utilisée. Nous mettrons à profit, pour l'évaluation de l'influence de ces divers éléments, d'intéressantes expériences dont M. Taurines, l'ingénieux in-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

venteur d'un dynamomètre, vient de publier les résultats. Ce sont les seules, à notre connaissance, qui soient faites dans des conditions scientifiques, à savoir avec l'interposition de deux dynamomètres donnant l'un la mesure du travail réellement transmis à l'hélice, et l'autre la mesure de la poussée de l'hélice, c'est-à-dire de la résistance du bateau, qui, multipliée par le chemin parcouru, donne exactement le travail utile. Le rapport entre ces deux quantités de travail donnait exactement la valeur mécanique du propulseur.

Il est sans doute fort regrettable que ces expériences n'aient porté que sur des hélices de petite dimension, mais les résultats qu'elles fournissent sont encore très-précieux, et ne sont en contradiction avec aucun des résultats de la pratique.

1° *Nombre de bras.* — Depuis l'invention de l'hélice, deux principes sont en présence : celui d'après lequel l'hélice reste toujours à son poste, et celui d'après lequel, lorsque le bâtiment veut naviguer à la voile seulement, elle est remontée au-dessus de la surface de l'eau par un puits disposé à cet effet. Le premier système est applicable aux bâtiments où la vitesse est la première nécessité du service qu'ils ont à accomplir ; dans ce cas, lorsque cependant ils veulent se servir des voiles seules, l'hélice est affolée, et quand la vitesse donnée par le vent est suffisante, elle tourne par l'effet seul du sillage du bâtiment ; toutefois, lorsque ce sillage est au-dessous de trois à quatre nœuds, il n'est généralement plus assez puissant pour vaincre l'inertie de l'hélice, pour la mettre en mouvement, et elle oppose alors, dans son immobilité, une résistance qui réduit considérablement la vitesse.

Dans le second système, on est réduit à employer des hélices à deux branches seulement, afin de n'être pas forcé de donner au puits par où elles doivent remonter une dimension exagérée, nuisible à la solidité que réclame l'arrière du bâtiment, surtout lorsque, comme à bord des bâtiments de guerre, cette partie doit porter de l'artillerie. Cette hélice, généralement adoptée en Angleterre, produit beaucoup de secousses, son action étant interrompue périodiquement à chaque tour, lorsqu'elle vient se cacher derrière l'étambot.

Dans les expériences dont nous avons parlé, tandis que les hélices à deux branches donnaient, pour le rapport du travail utilisé au travail dépensé, 0,57, celles à quatre ailes donnaient 0,62.

Hélice Sollier. — Comme les hélices à quatre branches sont celles qui jusqu'à présent ont semblé donner les vitesses les plus avantageuses, M. Sollier a essayé de vaincre la difficulté, en imaginant une hélice qui réunit l'avantage d'être à quatre branches à celui de pouvoir être remontée par un puits de dimension ordinaire. Son système se compose de deux hélices à deux branches qui, au moyen d'un mécanisme qui se meut à l'intérieur du bâtiment, peuvent à volonté, ou se disposer en croix et faire l'effet d'une hélice à quatre branches, ou bien se placer l'une sur l'autre, et ne former qu'une hélice à deux branches, qui peut alors se remonter par le puits.

Ce système d'hélice a fonctionné d'une manière satisfaisante à bord du vaisseau de cent canons *l'Austerlitz* ; mais on ne peut se dissimuler que ce système, s'il est ingénieux, n'en est pas moins compliqué. Tous les mouvements qui se passent dans l'eau, là où il est difficile d'atteindre, doivent être simples, et nous craignons que l'hélice de M. Sollier n'ait pas tout à fait cet avantage.

Hélice Mangin. — Celle proposée par M. Mangin, ingénieur de la marine, consiste dans la réunion de deux hélices ordinaires à deux ailes. Ces deux hélices, coulées d'une seule pièce, sont placées à 50 centimètres environ l'une en avant de l'autre, de manière à n'avoir qu'une seule et même projection, sur le plan vertical latitudinal du bâtiment. Il résulte de cette dernière disposition que la largeur nécessaire du puits de remontage de cette hélice est moindre que celle nécessaire au puits ordinaire d'une hélice à deux ailes, puisqu'alors chaque aile n'a plus besoin d'avoir un si grand développement. Cette circonstance est fort importante sur les vaisseaux de ligne, dont les sabords de retraite doivent être tenus aussi dégagés que possible. Les résultats présentés par l'hélice nouvelle ont été assez favorables pour que la commission chargée de les constater ait reconnu que l'hélice Mangin donnait, à la traction au point fixe, des chiffres un peu supérieurs à ceux de l'hélice ordinaire ; qu'en marche, pour un même nombre de tours des machines, elle donnait des avances par tour, des reculs et des vitesses identiques, et que, pour obtenir ces résultats identiques, elle dépensait une quantité de travail un peu plus forte que l'hélice ordinaire.

Un fait remarquable et inattendu a été constaté, savoir : cette hélice a fait disparaître à peu près complétement les trépidations à l'arrière du bâtiment.

Dans le cours de la navigation du *Phlégéthon*, de 400 chevaux, les avantages de l'hélice Mangin n'ont pas tardé à se manifester. Les ailes de cette hélice ne dépassent que de $0^m,13$ les étambots, lorsqu'elle est placée verticalement au repos ; le bâtiment peut ainsi naviguer et manœuvrer à la voile sans perte de temps, sans avoir à rentrer son hélice, et être toujours prêt à remettre en marche à la vapeur.

Le puits se trouve alors réduit à des proportions restreintes, qui n'ôtent plus rien à la solidité des façons arrière du bâtiment.

En escadre, en croisière, dans toutes les circonstances qui demandent l'économie du combustible et la rapidité des mouvements, l'hélice Mangin permet ainsi de passer instantanément de la vapeur à la voile et de la voile à la vapeur, sans avoir absolument besoin de remonter ou d'affoler l'hélice, en conservant au bâtiment toutes ses qualités.

L'hélice Mangin semble ainsi d'une application appropriée aux bâtiments de guerre, en ce qu'elle permet de concilier le puits avec la solidité de construction, et la voile avec la vapeur, sans rien ôter aux qualités essentielles du bâtiment dans ces deux conditions.

2° *Diamètre de l'hélice.* — Cette dimension est déterminée par le tirant d'eau du navire, l'hélice devant être noyée sous une épaisseur d'eau de $0^m,50$ au moins. On admet assez généralement que l'on doit donner à l'hélice toute la grandeur possible, d'après le travail moteur des machines, afin de la faire agir sur une masse d'eau considérable, qui ne prenne pas facilement un mouvement giratoire qui annule l'action du propulseur. Dans les expériences de M. Taurines, le diamètre variant de 0,47 à 0,64, le coefficient d'utilisation a varié de 0,55 à 0,73.

3° *Aire de l'hélice.* — Dans les expériences nombreuses faites sur des hélices variées, et, par suite, on peut dire, pour tous les cas sensiblement, les expériences relatives à l'aire de l'hélice ont donné des résultats très-nets, qui indiquent bien la nécessité de laisser l'eau arriver facilement sur l'hélice et l'abandonner de même, avec un minimum de perte de travail. D'après J. Bourne, si on compare le disque entier de l'hélice, la surface du cercle décrit par l'extrémité de ses ailes, à la surface résistante du navire, le rapport doit être de 1 à 3, et la surface projetée des ailes ne doit occuper que $\frac{1}{5}$ de la surface totale du disque, quel que soit leur nombre, les intervalles entre les ailes correspondant aux $\frac{4}{5}$. Cette dernière conséquence a été mise en lumière par les expériences de M. Cavé, qui a vu les vitesses croître avec une même hélice, lorsqu'on diminuait la surface

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des ailes jusqu'à ce qu'on eût atteint cette proportion, tandis que la vitesse diminuait lorsqu'elle était dépassée. Toutefois, cette limite paraît répondre à une vitesse de rotation très-grande ; dans le plus grand nombre de cas, la surface de l'hélice doit dépasser cette limite.

4° *Pas de l'hélice et recul.* — Le pas de l'hélice ou la distance de deux points situés sur une même génératrice du cylindre de deux spires consécutives (en supposant continu le filet de vis auquel appartient la palette de l'hélice) est la mesure de l'inclinaison de l'hélice sur l'axe, puisqu'on a $2\pi r$ tang. $\alpha = p$ (r rayon, α inclinaison, p le pas) dans tout plan incliné.

Le rapport correspondant à un angle de 45° est souvent employé en Angleterre par la majeure partie des constructeurs. En France et en Amérique le rapport employé correspond à une inclinaison de 30°, d'après M. Gaudry. On ne peut guère déduire de là aucune règle générale, car il est impossible de rien conclure de la forme de l'hélice, si l'on ne tient pas compte en même temps de la vitesse avec laquelle elle est mue, et qui est, comme nous allons le voir, très-différente dans les divers cas. Il faut aussi remarquer que la variation d'inclinaison des parties diverses des palettes les fait appartenir à plusieurs spires héliçoïdales, dont la valeur moyenne est assez difficile à estimer.

Le pas de l'hélice devrait être la mesure de l'avancement du bateau pour chaque tour ; ainsi, si une hélice a 5 mètres de pas et si elle fait deux tours par seconde, le bateau devrait filer $5 \times 2 = 10$ mètres par seconde, si l'hélice fonctionnait comme dans un corps solide. Mais à cause de la mobilité des molécules liquides, la progression du bateau est moindre que celle déterminée théoriquement ; la différence est ce qu'on appelle le recul de la vis.

Calcul des effets de l'hélice. — Ce n'est que pour expliquer les effets de l'hélice dans l'eau qu'on suppose qu'elle agit comme une vis qui s'avance dans le bois. Si la vitesse était pour ainsi dire infinie et non pas seulement de 7 ou 8 mètres par seconde, la transmission du mouvement de l'hélice à l'eau n'aurait pas le temps de s'effectuer ; mais ce qui serait vrai d'une vitesse de 200 à 300 mètres par seconde, comme celle de la balle de fusil qui traverse une porte sans la faire remuer, n'est pas applicable à la vitesse si inférieure de l'hélice. On peut, par suite, établir les calculs de l'hélice, en admettant qu'elle agite l'eau et commmunique sa propre vitesse aux couches qui viennent en contact avec elle, de la même manière que cet effet se produit par une surface plane qui se meut en ligne droite, c'est-à-dire en tenant compte de l'inflexion des filets fluides qui s'écartent des bords.

Le recul, qui est le mode habituel d'estimer la perfection de l'hélice, se rapporte seulement à l'action exercée sur l'eau et indique pour un même rapport de travail moteur et de travail résistant que le déplacement de l'eau se fait d'autant plus facilement, occasionne d'autant moins de résistance que ce recul augmente. La grandeur de celui-ci ne prouve pas absolument que le travail moteur soit mal employé ; c'est le travail utile obtenu pour un même travail moteur, la grandeur de la vitesse imprimée à un même bateau par une même consommation, qui est le vrai moyen de comparaison, bien qu'il soit vrai, en général, que la meilleure utilisation correspond à un moindre recul.

La meilleure hélice est évidemment celle qui imprime à la moindre quantité de liquide un mouvement giratoire, complétement inutile pour la propulsion ; qui produit peu de tourbillonnements, de communication du mouvement circulaire résultant surtout d'un écoulement difficile de l'eau ; qui imprime à une masse d'eau mue en ligne droite, dans une direction opposée à celle du navire, un minimum de forces vives.

L'équation complète de l'hélice, c'est-à-dire la formule qui permettrait d'obtenir l'expression du travail utile que peut fournir une hélice (variable avec le navire qui la porte, dont la résistance variable pour chaque vitesse détermine le nombre de tours par minute), ne saurait être obtenue dans l'état actuel de la science, à cause de la loi inconnue, suivant laquelle les filets liquides s'infléchissent sur une surface qui agit sur elle. L'équation du travail absorbé par le fluide peut, au contraire, être obtenue facilement et fournit un guide précieux pour discuter les résultats de l'expérience. Cherchons comment il est possible de l'établir, remarquant que l'impulsion qui meut le navire est égale à la réaction qui donne à l'eau un mouvement de direction opposée. Le mouvement giratoire de l'eau est presque le seul produit lorsque la surface de l'hélice ou plutôt son action est très-petite relativement à la résistance du bateau.

Soit V la vitesse du bateau, M le maître-couple immergé, K le coefficient de résistance correspondant aux formes du navire ; la résistance qu'il oppose au mouvement est KMV^2 et le travail résistant par seconde KMV^3.

Soit v la vitesse de l'hélice supposée constante, telle que pour un point situé à une distance r de l'axe $v = r\omega$, ω étant une vitesse angulaire constante.

L'hélice étant formée par l'enroulement autour du cylindre d'une ligne droite faisant un angle α avec la perpendiculaire aux génératrices, par l'action de rotation du cylindre dans l'eau, pour un tour, toutes les molécules d'eau rencontrées par le plan incliné élémentaire sont déplacées suivant la ligne du mouvement d'une quantité égale au pas. Mais l'hélice tout entière étant entraînée par le bateau, il faut en déduire la vitesse de celui-ci, c'est-à-dire que l'action sera nulle pour le point donnant v tang. $\alpha = V$, et que l'eau parcourra un chemin en ligne droite, en raison de la valeur de v tang. $\alpha - V$ ou $r\omega$ tang. $\alpha - V$.

Soit ρ le rayon du centre d'impulsion de l'hélice, le point par lequel passe la résultante de toutes les pressions sur l'eau parallèles à l'axe du navire, R le rayon extérieur de l'hélice, πR^2 sera le cercle d'action de l'hélice, la base du cylindre d'eau qui sera mise en mouvement par la surface héliçoïdale, cylindre dont la hauteur sera la vitesse V du navire, car il est clair que si cette vitesse était nulle, ce serait toujours la même tranche qui serait agitée (s'il ne se produisait une aspiration par le centre, duc au second élément dont nous parlons ci-après), et que la majeure partie recevra l'action de cette surface héliçoïdale, puisqu'elle se meut plus rapidement que le bateau. Nous multiplierons l'expression de ce volume par un coefficient K' pour tenir compte de l'eau non agitée, et $K'\pi R^2V$ deviendra l'expression du volume d'eau soumis directement à l'action de l'hélice.

La force vive du liquide qui sera mis en mouvement parallèlement au mouvement du bateau sera donnée par la formule

$$T_u = K' \frac{\pi R^2 V}{2g} (\rho\omega \text{ tang. } \alpha - V)^2.$$

La valeur de K', qui entre dans cette expression, pourrait être déterminée expérimentalement, puisqu'on peut connaître la poussée de l'hélice égale à la réaction du liquide.

Outre cet effet, d'après le mode d'action de l'hélice, une partie du liquide doit prendre un mouvement giratoire, en glissant le long des ailes sous l'influence de la force centrifuge. Sous l'action de l'hélice l'eau prend à la fois les deux vitesses, comme le montre la forme conique de l'eau qui est chassée par l'hélice en mouvement. Elle possède, quand elle quitte l'hélice, au moins en grande partie la vitesse de celle-ci, et si

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous appelons $\rho'\omega$ la vitesse moyenne de la masse, nous aurons pour la force vive correspondant au mouvement giratoire :

$$T' = K'' \frac{\pi R^2 V}{2g} \rho'^2 \omega^2,$$ et enfin le travail moteur total engendré par les machines et consommé par le liquide sera :

$$T = \frac{\pi R^2 V}{2g} \left[K' (\rho\omega \text{ tang. } \alpha - V)^2 + K'' \rho'^2 \omega^2 \right]$$

le premier terme du second nombre étant égal à KMV^2 au travail correspondant à la progression du bateau.

C'est à accroître $K' \frac{\pi R^2 V}{2g} (\rho\omega \text{ tang. } \alpha - V)$ et par suite la valeur du premier terme de l'équation, seul utile, en diminuant celle du dernier, pour un même travail moteur, que les constructeurs doivent s'appliquer ; nous allons indiquer les travaux faits dans le but d'atteindre ce résultat, en discutant les divers éléments qui entrent dans les formules.

Je ferai d'abord remarquer que lorsque l'hélice se meut rapidement sans que le bateau change de place, il se produit un mouvement giratoire de l'eau autour de l'hélice, par l'effet de la force centrifuge, qui entraîne, sans production de travail utile, une consommation considérable de travail moteur. Cet effet, qui n'est pas représenté explicitement dans les formules, qui répond à des valeurs particulières que prennent alors les coefficients K' et K'', est un des plus importants à considérer dans l'emploi de l'hélice. Tandis que les roues se meuvent lentement lors de la mise en marche d'un bateau muni de ce propulseur, au contraire, sur un navire à hélice, la machine tend à s'emporter au départ, à projeter l'eau en cascade. Cet effet ne serait que de peu d'importance, s'il ne se produisait qu'au départ ; mais il tend à se manifester d'autant plus que le navire a plus de peine à marcher, qu'un vent debout s'oppose à son mouvement, que V est nécessairement très-petit. Dans ces cas, une grande partie du travail de la machine est consommée pour produire un mouvement giratoire de l'eau parfaitement inutile. Ceci montre la nécessité de naviguer quelquefois avec l'hélice comme avec la voile, c'est-à-dire de louvoyer par vent contraire, sans pouvoir marcher vent debout comme le fait le bateau à roues. Ce défaut, devenu moins sensible avec l'amélioration des formes des hélices, n'existe pas pour le bateau à roues, ce qui le fait préférer encore quelquefois pour le service postal sur des mers calmes et fait songer à la réunion sur un même navire des deux moyens de propulsion (Voy. BATEAU A VAPEUR).

Coefficient K'. — Pour que le coefficient K' soit le plus grand possible, il faut que l'eau arrive facilement sur l'hélice et qu'elle l'abandonne facilement dans la direction du mouvement ; autrement elle est entraînée dans le mouvement giratoire. Cet effet est obtenu en laissant entre les ailes de l'hélice un espace suffisant en raison de leur inclinaison ; d'après les résultats d'expérience, il ne faut pas que la projection de la totalité des surfaces héliçoïdales sur le cercle de base du cylindre d'eau dépasse le tiers de la surface de ce cercle, comme nous l'avons dit.

Cette prescription répond à l'arrivée sur l'hélice d'une grande quantité de liquide pour prendre un des deux mouvements considérés. Pour faire que ce soit surtout le mouvement de même direction que celui du navire qui lui soit imprimé, il est d'autres éléments à considérer dont nous allons parler.

Valeur de R. — La valeur de R ou le diamètre de l'hélice est en général le plus grand qu'il est possible, de manière à ce que l'hélice reste complétement immergée. En effet, plus l'hélice descend dans le fluide, plus elle rencontre des pressions hydrostatiques considérables qui lui fournissent un meilleur point d'appui. C'est pour ce motif entre autres que l'hélice donne de bien meilleurs résultats avec les navires à fort tirant d'eau (quand le travail moteur est assez grand pour leur imprimer une vitesse notable) que pour les navires légers, et qu'on augmente le tirant d'eau à l'arrière des navires à hélice.

Valeur de ρ. — L'accroissement de la valeur de ρ, les dispositions qui rapprochent le centre d'action de la circonférence extérieure de l'hélice sont les plus importants pour obtenir les formes les plus avantageuses. Le pas ne doit pas être trop allongé, ce qui tend à diminuer la valeur de ρ, et surtout les ailes doivent autant que le permet l'emplacement de l'hélice près du gouvernail, avoir beaucoup plus de largeur vers l'extrémité que vers le centre, cette dernière partie étant réduite aux dimensions nécessaires pour la solidité. En effet, en ces points, la valeur ρ tang. $\alpha - V$ est négative, la réaction du liquide est remplacée par une résistance. C'est à cause de l'inutilité de la partie centrale qu'on a pu avantageusement, selon plusieurs ingénieurs, remplacer cette partie par une sphère dont partent les ailes de l'hélice. Un cône un peu allongé conviendrait sans doute mieux.

Valeur de ω *tang.* α. — L'inclinaison de l'hélice doit varier avec la vitesse. Si on veut faire celle-ci petite, ce qui peut être nécessaire pour de très-grandes machines à action directe, dans lesquelles de grandes masses sont en mouvement, il faut augmenter l'angle de l'hélice ; cela n'est pas nécessaire, lorsque les machines sont divisées en plusieurs cylindres, et l'expérience montre que les résultats sont à peu près équivalents lorsque le produit ω *tang.* α est constant, lorsque la vitesse angulaire augmente en même temps que l'inclinaison de l'hélice diminue. Des résultats bien peu différents entre eux ont été fournis par des hélices dont les inclinaisons variaient de 25 à 45°, les nombres de bras variant. Il se produit probablement ici des phénomènes de proue liquide qui accompagne l'hélice.

Coefficient K'' *et valeur de* ρ'. — Pour que les valeurs de ces termes, dont dépend la grandeur des mouvements giratoires de l'eau, soient minimes, il faut que l'hélice ait une forme courbe prononcée perpendiculairement à l'axe. L'eau quitte alors la surface avant d'avoir pu prendre le mouvement giratoire, tandis que, se succédant toujours sur la palette allongée dans le sens de l'axe, elle prend une vitesse parallèle au sillage. C'est ainsi qu'on peut se rendre compte des excellents effets de l'hélice en queue de poisson de Cavé, dont le développement était de près d'une demi-circonférence pour chaque aile. Malheureusement ces hélices se prêtent mal à occuper la place qui leur est destinée sur les navires, elles ont trop de largeur, et il semble difficile d'utiliser leurs propriétés, à moins d'en loger deux latéralement sur les flancs arrière du bateau. On a appliqué cette disposition aux bateaux de rivière ; plus rarement sur des steamers.

On aurait, nous pensons, partie de ces avantages avec des hélices dont les surfaces seraient disposées en marches d'escalier, parallèlement à l'axe de rotation, et en augmentant ainsi, autant que possible, le chemin à parcourir par l'eau pour prendre le mouvement giratoire, lui donnant une vitesse inverse dans son parcours de celle nuisible qu'elle tend à prendre. L'hélice serait formée de fragments de surface héliçoïdale.

Cette disposition nous paraîtrait bien préférable à celle qui avait été proposée par M. Holm, et dont on avait annoncé d'excellents résultats que la pratique n'a pas justifiés. Il pensait que par l'évidement en forme de cuiller qu'il proposait de pratiquer à l'extrémité des hélices, il détruirait en partie le mouvement giratoire perpendiculaire à l'axe, et le convertirait en un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

autre parallèle à l'axe. Ce résultat ne pouvait être obtenu par les dispositions qu'il a proposées.

Les rebords ou cannelures saillantes, dont on avait un moment annoncé d'excellents résultats, paraissent dissimuler, répartir dans une masse d'eau plus considérable le mouvement giratoire de l'eau, bien plutôt que diminuer la déperdition du travail moteur qui en provient.

Nous terminerons par quelques données sur l'hélice du *Napoléon*, le premier navire qui ait donné une excellente utilisation de la puissance motrice. Son pas était variable; la surface hélicoïdale de propulsion se composait de surfaces ayant trois pas différents:

Le pas d'entrée de ces spirales était de. . . $7^m,30$
Le pas du milieu. . . . . $8^m,50$
Le pas de sortie. . . . . $9^m,40$

Dans les voyages qui ont donné les vitesses les plus grandes, le *Napoléon* a avancé de $8^m,60$ par tour d'hélice (Ch. Dupin, *Rapport sur l'Exposition de* 1851), c'est-à-dire que le recul avait pour ainsi dire disparu, ce que l'on doit expliquer par la grande puissance appliquée à un propulseur de grande dimension et par la perfection des formes du navire.

Les expériences de MM. Moll et Bourgois, qui ont servi à la détermination des hélices des principales constructions de la flotte, leur ont permis de tracer le tableau suivant qui résume les résultats obtenus:

Table des proportions convenables des hélices propulsives.

CLASSE DES NAVIRES.	CATÉGORIES par résistances relatives.	HÉLICES A 2 AILES.		HÉLICES A 4 AILES.	
		Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.	Rapport du pas au diamètre.	Fraction du pas.
Vaisseaux mixtes (force motrice faible)..	4.0	1.205	0.378	1.607	0.378
Frégates mixtes	3.5	1.279	0.355	1.705	0.355
Vaisseaux à grde vitesse.....	3.0	1.357	0.334	1.810	0.334
Frégates à grde vitesse.....	2.50	1.450	0.313	1.933	0.313
Corvettes à grde vitesse.....	2.0	1.560	0.294	2.080	0.294
Avisos à grande vitesse.. ...	1.50	1.682	0.275	2.243	0.275

Dans la pratique, c'est surtout par la grande vitesse des hélices que l'on a obtenu un bon fonctionnement; il se produit sans doute un effet analogue à la proue liquide observée par Dubuat pour des formes qui, théoriquement imparfaites, donnent cependant d'assez bons résultats.

Emploi de deux hélices. — L'emploi de deux hélices offre des avantages notables : celui d'évoluer dans de petits espaces, en arrêtant une des hélices, et celui d'être mus simplement par deux roues engrenant avec une roue centrale mise en mouvement par la machine motrice. Un constructeur anglais, M. Dudgeon, s'est fait, un moment, une spécialité de ce genre de constructions. C'est à lui que furent dus les *blokade runner* destinés lors de la guerre d'Amérique à forcer le blocus des fleuves des États du Sud de l'Amérique. Il fallait des bateaux à faible tirant d'eau, et, dans ces conditions, les hélices doubles donnèrent d'excellents résultats. Il semble que c'est dans ce genre de constructions que se rencontre leur véritable emploi. Elles ne paraissent pas, en effet, avoir offert d'avantages pour les grands navires sur les hélices simples mues par des machines à action directe, tandis qu'elles sont appliquées avec succès dans la navigation fluviale. Nous citerons, pour exemple, leur emploi dans les élégants petits navires, construits par M. Cochot, qui naviguent directement entre Paris et Londres.

HOUILLE. — La nécessité de développer la production de la houille, dont l'industrie consomme chaque jour de plus grandes quantités, a fait améliorer les moyens de production, l'échelle de l'exploitation de toutes les mines. Nous allons passer en revue les progrès les plus importants accomplis dans cette voie.

Progrès de l'exploitation. — A mesure que les moyens de transport intérieur dans les mines se sont améliorés, soit par l'emploi des chevaux, soit par l'usage de plus en plus général des chemins de fer, le champ d'exploitation de chaque puits a pu prendre une étendue plus considérable, et les puits ont pu être d'autant moins multipliés; cela constitue un avantage très-important dans les cas fréquents où l'établissement de ces puits est très-difficile, et forme la majeure partie de la dépense à faire pour la mise en valeur d'une exploitation. Toutefois, il a fallu en même temps accroître les moyens de production de chaque puits, pour continuer à tirer d'un périmètre donné la même production, et pour la développer même au fur et à mesure de l'accroissement de la consommation. Il y a, d'ailleurs, au point de vue purement technique, des avantages nombreux et évidents à faire en sorte qu'un champ d'exploitation donné soit exploité le plus promptement possible. Tous ces motifs réunis ont amené ce résultat, que la production journalière des puits a été constamment en croissant. Des puits donnant 500 ou 600 hectolitres ne sont plus aujourd'hui justifiables que dans des circonstances toutes spéciales. La plupart du temps on tire au moins 1,000 à 1,200 hectolitres avec les moyens les moins perfectionnés. Il est peu de mines, installées d'une manière convenable, dans lesquelles on ne cherche pas à obtenir au moins 1,800 à 2,500, ou même 3,000 hectolitres. Il en est enfin dans lesquelles on tire 5,000, 6,000 et jusqu'à 10,000 hectolitres par jour. Une pareille production suppose naturellement des couches d'une richesse appropriée et surtout d'une allure bien régulière, et des moyens puissants d'extraction. Quant à la profondeur, c'est en réalité un des éléments les moins importants; il arrive même souvent que ces puits à production exceptionnelle sont en même temps au nombre des plus profonds, et cela s'explique par cette profondeur même, qui, forçant à en restreindre beaucoup le nombre, conduit à outiller chacun d'eux de manière à lui faire rendre le plus possible.

La première condition d'un semblable outillage est un moteur d'une force suffisante. Au lieu de ces anciennes machines de 10 à 15 chevaux, quelquefois 30 à 40 au plus, on monte aujourd'hui des machines de 60, 80, 100, 150 chevaux et au delà. Aux tonneaux ou cuffats si lourds et si encombrants, que l'on remplissait aux accrochages et que l'on vidait à la recette supérieure en les faisant basculer, on substitue des cages guidées, lesquelles reçoivent et amènent au jour les wagons ou bennes à roulettes qui vont chercher le charbon à la taille, et le conduisent sans aucun transbordement jusqu'au magasin ou au point de chargement. Cette disposition, toute simple qu'elle puisse paraître à imaginer, n'en doit pas moins être regardée comme un immense progrès au point de vue de la célérité du service, de l'économie de main-d'œuvre et de la conservation du matériel, comme à celui de la réduction des déchets sur le gros charbon et de la facilité du contrôle sur le travail des ouvriers mineurs.

En résumé, un bon outillage de puits d'extraction comprend aujourd'hui :

En premier lieu, une machine à vapeur dont la force est calculée très-largement, de manière à suffire à toutes les éventualités du service le plus actif que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

puisse comporter la richesse des couches à exploiter. Cette machine sera généralement à deux cylindres accouplés, ce qui, en évitant les points morts et dispensant d'un volant, permet de faire avec une grande facilité toutes les manœuvres de changement de marche nécessaires.

Les cylindres pourront d'ailleurs être fixes ou oscillants, verticaux ou horizontaux; mais les cylindres fixes et horizontaux, faciles à établir dans d'excellentes conditions de stabilité, obtiendront souvent la préférence, surtout quand les machines ne devront pas être très-puissantes.

La manœuvre de changement de marche se fera très convenablement au moyen de la coulisse Stephenson.

Dans les très-grandes machines, on pourra avoir un petit cheval pour le jeu de cette coulisse.

Les deux bielles attaqueront directement l'arbre des tambours ou bobines, ce qui, en supprimant des engrenages, simplifie tout le système et évite des chances d'accident.

Les tambours, ou bien un volant léger placé sur le même arbre, recevront un frein puissant qui fonctionnera par la pression même de la vapeur, admise au moyen d'un robinet placé à la portée du machiniste. Enfin, ces tambours seront disposés pour des câbles plats de préférence à des câbles ronds, qui, à résistance égale, sont moins flexibles et ont moins de durée.

Ces câbles, pour des puits profonds, pourront être à section décroissante, depuis le point d'attache sur la bobine jusqu'à l'autre extrémité, afin d'obtenir une résistance proportionnée à la charge dans les différents points, avec le moins de poids et de matière possible.

En second lieu, on établira un système de cages convenablement guidées pour recevoir les wagons venant des tailles. On peut dire d'une manière générale que ce système devra être employé à l'exclusion des tonnes sur tous les puits où une circonstance particulière, telle qu'une section insuffisante du puits, ne le rendra pas absolument impossible; enfin, comme complément utile dans tous les cas, et principalement lorsque les cages doivent servir à l'entrée et à la sortie des ouvriers, on emploiera des dispositions propres à arrêter les cages dans le puits si le câble vient à se rompre. (Voy. PARACHUTE.)

HUILE DE SCHISTE. L'industrie des huiles de schiste n'est pas nouvelle : dès 1823, M. Bergounioux, de Clermont-Ferrand, avait pensé à obtenir divers produits par la calcination, en vases clos, des schistes bitumineux dont un gisement assez considérable existe aux mines de Menat, dans le même département : il en retirait un charbon décolorant, des liquides ammoniacaux, des corps gras; mais son attention s'était surtout arrêtée sur les deux premières substances; il ne pressentait pas encore comment on pourrait tirer parti des produits huileux.

En 1824, MM. Chervau frères, de Dijon, ont pris un brevet d'invention pour un procédé propre à extraire, par la *distillation des roches qui en contiennent*, un liquide propre aux arts, et spécialement à l'éclairage, à la composition du vernis et à la production du gaz hydrogène.

MM. Chervau avaient principalement pour but, dans leur description, le traitement des schistes bitumineux de Saône-et-Loire, et, tout en indiquant la possibilité de l'emploi direct de ces huiles à l'éclairage, ils ne donnent aucune notion sur les moyens de les préparer, de manière à ce qu'on puisse en obtenir une combustion convenable.

Les travaux de leur usine n'avaient cependant rien de stable, et ce ne fut qu'en 1827 que le petit bourg d'Igornay, aux environs d'Autun, vit établir la première usine dans laquelle on procédât régulièrement à l'extraction de l'huile de schiste.

En 1832, MM. Blum et Moneuse, dans cet établissement, commencèrent à opérer la séparation des divers produits oléagineux qu'ils obtenaient, à l'état de mélange, par une première distillation à laquelle ils soumettaient la matière brute; leurs procédés d'épuration, consignés dans leur brevet du 17 novembre de cette même année, tout imparfaits qu'ils soient, ont néanmoins servi de base à la plupart des procédés employés depuis cette époque, à laquelle on peut faire remonter la pensée de faire servir les liquides extraits à l'éclairage direct.

Leurs essais industriels sont loin d'avoir été couronnés d'un succès immédiat, et M. Selligue, qui devint plus tard possesseur des usines de MM. Blum et Moneuse, dans les environs d'Autun, ne parvint pas de suite à faire brûler ces huiles dans des lampes.

Autun est encore le siége principal de cette industrie, et, avant de jeter un coup d'œil sur les moyens qu'elle met en œuvre, il ne sera pas inutile de nous arrêter un instant sur la matière première elle-même.

La pierre de laquelle on retire l'huile, à Autun, est un schiste presque noir, assez pesant, dont la plupart des échantillons se réduisent assez facilement en plaques minces, surtout lorsqu'ils ont été exposés pendant quelque temps aux influences atmosphériques.

Cette pierre ressemblerait à l'ardoise, si elle était moins noire et plus légère; mais elle est d'une formation géologique beaucoup plus récente; elle accompagne, ou plutôt elle se trouve superposée aux houilles de qualité souvent médiocre que renferme cette localité.

L'abondance en est très-grande à Autun, et il n'est pas un des nombreux cours d'eau qui s'échappent des montagnes voisines qui n'en rencontre quelque gisement sur son passage, et qui n'en charrie les débris à de grandes distances; leur inaltérabilité est telle que, même dans l'eau, les parcelles les plus minimes se conservent intactes pendant de longues années. Les gisements jusqu'ici reconnus et exploités sont superficiels, souvent d'une grande puissance en profondeur, et jusqu'à vingt ou trente mètres.

Le délit de cette roche est parfaitement marqué, et comme elle résiste plus facilement que les roches environnantes, c'est chose assez curieuse que de voir de grands espaces presque entièrement dallés avec cette pierre noire en grandes plaques, présentant souvent une inclinaison assez faible.

Cette matière si inaltérable malgré son peu de dureté, et cette inaltérabilité qui, sans doute, est due aux matières bitumineuses qui entrent dans sa composition, est encore très-remarquable à d'autres titres; elle renferme peu d'empreintes végétales, alors que les schistes houillers proprement dits en sont pour ainsi dire remplis, et offre au contraire une multitude d'empreintes de poissons la plupart du temps représentés par des écailles disséminées; mais souvent aussi et dans quelques gisements surtout ces poissons sont entiers, avec leur queue et leurs nageoires; rien n'est déformé, si ce n'est la tête dont les éléments sont, la plupart du temps, méconnaissables.

Dans un chemin creux, voisin d'Igornay, à Mure, on ne trouve, pour ainsi dire, que du schiste, et l'on n'en saurait briser un morceau sans y rencontrer une empreinte animale.

On ne peut douter cependant que cette formation schisteuse ne soit presque contemporaine de la formation houillère, car des schistes semblables existent, en petite quantité il est vrai, au toit de l'une des couches de la houillère d'Épinac, et, dans la houille comme dans le schiste, on retrouve ce fer carbonaté en rognons, dit minerai de fer des houillères qui est si rare

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en France, et auquel l'Angleterre doit une partie de sa prospérité.

Autun est situé dans un immense entonnoir, formé de toutes parts par les montagnes du Morvan, qui ne laissent absolument passage qu'à la rivière de l'Arroux qui reçoit, en définitive, toutes les eaux, quelquefois fort abondantes, qui tombent au milieu de cette ceinture de montagnes : le tiers au moins de cet espace est formé de terrain qui recèle des schistes bitumineux, bien que d'une manière discontinue et en amas isolés, qui ne forment qu'une minime partie de la superficie totale.

C'est presque, en France, le seul gisement important de cette matière, et encore bien que beaucoup d'autres localités renferment de puissantes mines de schistes bitumineux d'une formation beaucoup plus moderne, ces schistes n'ont pu jusqu'ici être employés à la fabrication d'huiles propres à l'éclairage.

Et ce qu'il y a de très-remarquable à cet égard, c'est que cette matière, si abondante à Autun, soit déjà très-rare et presque exceptionnelle dans le bassin houiller de Blanzy, qui n'est séparé de celui d'Autun que par quelques montagnes de granit. On n'y trouve presque partout que le schiste houiller ordinaire, qui y affecte cependant un caractère un peu différent. A cette fameuse mine de Saint-Bérain, par exemple, si célèbre par certaines infortunes que tout le monde se rappelle, la texture du schiste est littéralement formée de débris de roseaux, tout aussi rapprochés que le sont les tiges végétales dans une botte de foin.

Dans une autre localité, aux environs de Montet-aux-Moines, dans l'Allier, des schistes bitumineux moins abondants, mais plus riches en bitume, présentent sur une assez grande surface un caractère un peu différent de ceux d'Autun, avec lesquels ils contribuent déjà depuis plusieurs années à fournir des huiles propres à l'éclairage. Là, les schistes sont de véritables dalles, et, sous le nom d'olivandes, sont depuis longtemps employés à divers usages. Taillés en plaques minces, et de toutes dimensions, qui s'élèvent quelquefois jusqu'à 8 ou 10 mètres carrés pour une seule dalle, ils sont fort recherchés pour cet usage, et les débris de la taille sont employés au chauffage des habitants pauvres de la localité; car, par la grande proportion de bitume qu'ils renferment, ces débris sont jusqu'à un certain point propres à entretenir le feu, surtout si on les mélange avec la mauvaise houille des environs.

Telle est cette matière qui ne se trouve réellement dans cet état que dans les deux localités que nous venons de désigner, ou, si on la rencontre ailleurs en petite quantité, toujours est-il qu'aujourd'hui encore elle n'y est point exploitée.

Dans la description de son brevet du 14 novembre 1838, M. Selligue indique les procédés d'épuration qui lui paraissent les plus convenables, et classe ainsi les matières utiles qu'il était parvenu à isoler les unes des autres :

1° Huile brute, propre à la fabrication du gaz;

2° Huile rectifiée, propre à la combustion dans des lampes;

3° Goudrons susceptibles des mêmes applications que les goudrons végétaux;

4° Graisse minérale dont l'emploi n'est pas encore bien défini.

Jusqu'alors le produit le plus important consistait en cette huile brute que M. Selligue employait à carburer le gaz hydrogène qu'il produisait par la décomposition de l'eau dans son usine des Batignolles, et une partie servait également à l'usine à gaz de Dijon.

Ce fut seulement à l'exposition de 1839 que les produits de M. Selligue se présentèrent avec quelque importance, et l'on y remarquait déjà, quoique en petite quantité, quelques échantillons de parafine, substance grasse d'un blanc parfait, plus transparente que le blanc de baleine, qu'il obtenait, comme les précédentes, du traitement des huiles brutes obtenues par la distillation en vases clos des schistes bitumineux.

Mais M. Selligue recherchait peut-être trop ces produits accessoires de faible importance, parmi lesquels nous pourrions encore citer une matière colorante assez riche, et son esprit aventureux ne se bornait pas volontiers à la seule fabrication des produits réellement industriels : l'huile d'éclairage est encore le seul de ces produits qui soit franchement entré dans la consommation.

La matière première, le schiste, n'est exploitée jusqu'ici qu'à ciel découvert, et la résistance de cette matière, dans toute autre direction que celle du délit, ne permettra peut-être jamais de songer à un autre mode d'exploitation. A l'aide de coins et de leviers, on la débite généralement en plaques de cinq à dix centimètres d'épaisseur, et de toutes dimensions dans les autres sens. Cette dimension est assez indifférente, puisque les plaques sont destinées à être cassées en fragments plus petits encore que ceux qui servent à l'entretien de nos routes; ce cassage s'opère comme à l'ordinaire à l'aide de petites masses, et il importe qu'il soit effectué à couvert; l'excès d'humidité pourrait nuire au rendement dans les opérations suivantes, et notamment dans la première de toutes, la distillation en vases clos.

Cette opération consiste en une véritable distillation dans des cornues de fonte d'un grand volume, qui s'élève quelquefois jusqu'à un mètre cube pour chacune.

Un grand nombre de dispositions ont été proposées; mais celle qui paraît jusqu'ici préférable avec le chauffage à feu nu, et c'est la seule qui ait donné de bons résultats en pratique, est celle-ci : Six cornues semblables sont placées verticalement dans un même fourneau carré, portant à ses quatre angles quatre foyers différents, alimentés avec de la houille en général d'assez médiocre qualité, parce qu'il se trouve que c'est celle-là que l'on rencontre aux environs des schistières : les produits des quatre foyers qui agissent simultanément se rendent dans une cheminée unique, et des carneaux sont convenablement disposés pour que la flamme circule autour de toutes les cornues et y maintienne une température uniforme.

Les cornues, de forme cylindrique, sont placées verticalement et portent, haut et bas, de larges ouvertures par lesquelles s'opèrent le chargement et le déchargement; des appendices métalliques, sous forme de cloisons, partent des parois métalliques extérieures, et sont destinées à porter la même température jusqu'au centre de la masse, malgré le peu de conductibilité pour le calorique de tous les petits fragments de schiste qui composent le chargement, et un tuyau central maintenu libre sert à recueillir les produits gazeux et les vapeurs huileuses qui se forment pendant la distillation. Ce sont ces vapeurs qui, conduites dans des barillets convenablement placés et suffisamment refroidis, s'y condensent sous la forme liquide, et constituent, avec les produits ammoniacaux qui les accompagnent, les éléments véritablement utiles de la fabrication.

Malheureusement le rendement est assez peu considérable sur les meilleurs schistes, qui, en Saône-et-Loire surtout, varient beaucoup d'un lieu à un autre, souvent aussi suivant les couches dont ils proviennent. Telle couche est même si pauvre qu'il faut renoncer à l'employer.

Lorsque les feux sont bien actifs, douze heures suffisent pour effectuer une opération à laquelle succède, sans interruption, une opération nouvelle.

C'est déjà une difficulté que d'obtenir, à une température élevée, une obturation complète pour de grandes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ouvertures, de manière à éviter toute déperdition de gaz : on y est arrivé cependant en employant pour chacune de ces ouvertures deux couvercles superposés entre lesquels on dispose une couche de terre glaise, d'un retrait aussi faible que possible, et en pressant ces couvercles l'un sur l'autre au moyen de brides et de vis de pression, comme dans les cornues à gaz ordinaire. On peut ajouter encore à la sécurité que présentent ces clôtures, en rendant un peu conique à l'intérieur la tubulure qui reçoit les couvercles, de sorte qu'à mesure que la terre se dessèche et que la plaque qu'elle forme se rétrécit, les vis de pression la font parvenir à des largeurs d'ouvertures successivement plus petites. Ce mode de clôture, étant parfaitement efficace, pourra recevoir plus d'une application, et l'on va comprendre comme il se prête à la facilité du renouvellement des opérations.

Quand la distillation est terminée, ce que l'on reconnaît à la petite quantité de liquide qui vient se condenser dans les barillets, on enlève les couvercles inférieurs qui sont en dehors de la maçonnerie et qui sont placés sur des tubulures qui débouchent toutes sous une petite voûte qui traverse le fourneau au-dessous des cornues : une petite voiture en tôle reçoit les résidus solides de la distillation qui tombent par l'ouverture, et s'il arrive que, par suite du tassement, il en reste dans la cornue, on les fait tomber facilement avec un ringard.

Aussitôt qu'une cornue est déchargée, la voiture part, et l'ouvrier qui a suivi cette opération la referme comme précédemment, en replaçant les couvercles, la terre, ainsi que la bride et la vis qui servent à presser tout ce système de clôture.

Un signal convenu avertit les ouvriers placés sur le fourneau que tout est remis en place : ils enlèvent alors les couvercles supérieurs en desserrant la vis et en les ébranlant ; s'il arrive que de légers chocs ne suffisent pas, on les mouille un peu avec de l'eau froide, ils se contractent par le froid et se détachent aussitôt. Des manœuvres sont là tout prêts à engouffrer, dans la cornue ouverte, le schiste cassé nécessaire pour la remplir dans ses différents compartiments ; ce remplissage se fait en un instant, et, les couvercles étant remis en place, cette cornue travaille de nouveau, la double opération du chargement et du déchargement n'ayant pas duré plus de dix minutes.

Comme les tuyaux d'amenée des vapeurs dans les barillets plongent toujours dans le liquide que ces barillets contiennent, les autres cornues continuent à distiller pendant que l'on procède au rechargement de l'autre : on effectue successivement la même opération pour chaque cornue, et bientôt chacune d'elles envoyant son contingent dans les barillets dont le trop-plein se vide à l'extérieur, on voit par la grosseur du jet si l'opération marche bien ou mal, si le feu est conduit convenablement.

Quant aux gaz non condensables, une sortie leur est ménagée après qu'ils ont barboté dans le liquide des barillets, et ils vont se perdre par un conduit incliné qui traverse, pour plus de sûreté, un réservoir d'eau froide, le réservoir même qui renouvelle constamment l'eau froide dans lequel les barillets sont plongés.

Trois produits différents sont donc obtenus : 1° les résidus solides de la distillation ; 2° les produits liquides qui, à cause de la différence des densités, se séparent d'eux-mêmes en deux couches, l'une inférieure, uniquement formée d'eau ammoniacale ; l'autre qui surnage est l'huile brute.

Cette huile brute est grasse au toucher, d'un vert olive lorsqu'on la voit par réflexion, d'un brun assez foncé au contraire lorsqu'on la place entre l'œil et la lumière ; peu de corps, dans leur état naturel, présentent ce phénomène de double couleur d'une manière aussi marquée. Cette huile, c'est un mélange de plusieurs substances contenant toutes beaucoup d'hydrogène et de carbone, qui la constituent en presque totalité ; ce sont, pour employer le langage chimique, de véritables hydrocarbures, comme la plupart des essences, comme le gaz d'éclairage lui-même lorsqu'il est dans un très-grand état de pureté.

Parmi ces hydrocarbures, les uns, s'ils étaient isolés, seraient solides à la température ordinaire, comme cette parafine dont nous avons déjà dit un mot en passant ; d'autres auraient la consistance du goudron, d'autres celle de la graisse ; d'autres enfin, et ce sont ceux-là surtout qu'il faut isoler sans déperdition, sont de véritables essences d'une limpidité parfaite ; il n'est aucun liquide usuel qu'on puisse leur comparer sous ce rapport ; mais malheureusement aussi, comme les essences, ils ont une odeur souvent insupportable et qu'il faut autant que possible éviter.

La séparation de ces produits divers, qui, sous l'action de la chaleur, se transforment en d'autres produits analogues avec la plus grande facilité, ne laisse pas que d'être une opération délicate que l'action de l'air sur certains d'entre eux vient encore compliquer ; et cependant c'est par des distillations successives, après quelques réactions préparatoires, que cette séparation a lieu, non pas sans doute d'une façon aussi économique qu'on pourrait le désirer, et non sans éprouver en partie quelques-unes de ces faciles transformations, mais enfin d'une manière assez satisfaisante pour obtenir de 30 à 40 pour 100 de ce liquide dont la flamme est si belle et qui a d'abord appelé notre attention. Un peu d'acide sulfurique concentré, agité avec le liquide brut, se précipite ensuite avec le goudron et décolore beaucoup toute la masse, dont un lavage alcalin diminue encore la coloration. Sans ces précautions indispensables, la rectification s'opérerait mal ; les premières portions qui sortiraient de l'alambic seraient encore d'une assez belle nuance ; mais une certaine quantité de goudron ou d'huile résinifiable qui aurait été distillée en même temps ne tarderait pas à se colorer sous l'action de l'air, et ce liquide, parfaitement blanc aujourd'hui, reprendrait de lui-même en peu de temps une teinte qui pourrait aller jusqu'à celle d'un vin peu coloré. Quand, au contraire, les opérations préliminaires ont été faites avec soin et rapidité ; quand surtout on a pris la précaution de ne pas pousser les distillations trop loin, deux de ces distillations suffisent pour obtenir un liquide parfait, et ces rectifications peuvent s'opérer à très-peu de frais dans un alambic ordinaire, dont le service n'exige pas même une grande quantité d'eau froide autour du serpentin, parce que ces vapeurs d'essence, en se condensant à l'état liquide, échauffent assez peu les appareils, beaucoup moins, par exemple, que s'il s'agissait d'une égale quantité de vapeur d'eau.

A chaque distillation il reste un résidu plus ou moins visqueux que nous retrouverons dans les produits accessoires : on donne le nom d'huile légère à celle qui est destinée à l'éclairage dans les lampes.

Cette huile, en effet, ne doit pas peser plus de 800 à 830 grammes par litre pour être d'un bon usage ; si la distillation a été poussée plus loin, le produit contient toujours une portion d'huile résinifiable qui se résinifie au contact de l'air, soit dans les vases qui le contiennent, soit même pendant la combustion ; et la résine ainsi formée, quoiqu'en proportion très-minime, ne pouvant se volatiser comme l'huile légère, imprègne la mèche, la durcit et lui fait bientôt perdre sa capillarité, en même temps que son extrémité se carbonise, tandis qu'avec des huiles convenables ce dernier effet est très-peu marqué, et qu'une mèche pourrait servir plusieurs jours sans être rafraîchie.

L'huile, telle qu'elle se trouve aujourd'hui dans le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

commerce, a encore une odeur empyreumatique assez désagréable, beaucoup moins cependant que les hydrocarbures de la houille, qui entrent à l'état de mélange avec l'alcool et l'essence de térébenthine dans ce liquide connu sous le nom d'hydrogène liquide, dont l'emploi n'est pas sans danger; l'huile de schiste ne présente pas les mêmes dangers d'inflammation, et l'on ne saurait même parvenir à l'allumer par l'approche d'un corps en ignition, si elle n'était disséminée comme dans la mèche d'une lampe.

Nous ne saurions attacher une grande importance aux procédés par lesquels on prétend enlever complétement l'odeur de l'huile de schiste; ceux dont nous avons pu examiner les résultats consistent plutôt en des moyens de déguiser cette odeur qu'en opérations dont la véritable industrie puisse tirer un parti utile. Distinguons toutefois : il n'arrive que trop souvent que les huiles provenant d'un premier traitement mal conduit, et obtenues à une température trop élevée, sont chargées d'une odeur étrangère assez analogue à l'odeur de la créosote, et qui n'est pas leur odeur *essentielle* propre (voy. HYDROCARBURES). Cette odeur étrangère, il faut attacher le plus grand prix à ne pas la produire, et l'on conçoit qu'il soit même possible de s'en débarrasser; quant à l'odeur propre de l'huile de schiste, on ne saurait l'enlever qu'en dénaturant l'huile elle-même, qu'en la transformant en un autre hydrocarbure moins odorant; mais ces produits sont si fugaces, ils se transforment si facilement en d'autres produits du même genre, qu'il vaut mieux, quant à présent du moins, ne pas s'exposer à des déceptions pour réaliser une amélioration importante sans doute, mais en l'absence de laquelle l'huile n'en est pas moins assez recherchée pour que tous les produits soient facilement vendus aussitôt qu'ils sont fabriqués.

On ne pourra compter sur des améliorations sérieuses à cet égard que quand les procédés d'extraction seront assurés d'une température parfaitement régulière dans toute la masse soumise à la distillation; c'est en effet cette constance de température qui est par-dessus tout désirable, car c'est là l'élément dominant pour extraire tel ou tel hydrocarbure, et si la température était parfaitement égale, on pourrait peut-être obtenir exclusivement celui d'entre eux qui aurait le moins d'odeur; l'emploi de la vapeur d'eau surchauffée réalisera sans doute à ce point de vue une amélioration considérable, car elle est le moyen le plus assuré de régler parfaitement la température de production qui, dans les foyers ordinaires, est variable suivant le plus ou moins d'activité du feu, et qui ne saurait jamais se communiquer suffisamment jusqu'au centre, pour que toute la masse soit également chaude. La fabrication par la vapeur surchauffée a été, en effet, montée avec succès à Autun.

Les essences, comme on sait, se prêtent difficilement à une combustion complète : leur richesse en carbone fait qu'elles fument facilement, et elles seraient, sous ce rapport, essentiellement propres à fabriquer du noir de fumée; aussi faut-il prendre quelques précautions de plus qu'avec le colza; pour que chaque lampe n'en soit pas une petite usine, il faut, de toute nécessité, faire arriver l'air plus régulièrement et en plus grande abondance autour de la flamme.

Aussi les dispositifs de tous les constructeurs de lampes ont-ils eu pour but de satisfaire à cette condition. Il va sans dire que la lampe à double courant d'air, la lampe d'Argant, a dû être le point de départ commun de tous ces dispositifs; car, dans cette lampe, l'air arrivant à l'extérieur de la flamme, et aussi à son centre par un conduit spécial que la mèche entoure, la flamme se trouve en quelque sorte emprisonnée entre deux lames d'air, dont l'oxygène agit sur toutes les parties volatiles qui se sont dégagées dans la première action d'une haute température sur le liquide, qui arrive incessamment à la mèche; la cheminée en verre, dont la flamme est coiffée, a pour objet tout à la fois de maintenir ce contact en empêchant les produits de la combustion de s'éparpiller, et d'activer le courant d'air, de telle sorte que l'oxygène soit toujours en excès.

Dans les lampes destinées à brûler l'huile de schiste, ces précautions ne sont pas encore suffisantes; il faut que le courant d'air soit plus abondant; il faut que le mélange de l'oxygène ou de l'air atmosphérique avec les produits gazeux soit plus intime. A cet effet, on a proposé diverses dispositions : ici c'est le verre qui est plus rétréci au-dessus de la flamme pour que le courant d'air soit plus rapide, condition qui ne peut être réalisée, toutefois, sans augmenter assez notablement la consommation des verres qui se brisent; là c'est la cheminée qui n'est rétrécie brusquement qu'un peu au-dessus de la flamme pour revenir ensuite à des dimensions ordinaires; mais c'est un grand inconvénient que d'être obligé d'avoir des verres spéciaux qu'il n'est pas possible de se procurer partout, et que cette espèce d'étranglement ne contribue pas, du reste, à faire durer davantage. Tels sont les principaux moyens qui ont plus particulièrement une action directe sur l'air extérieur à la flamme : lorsqu'on veut rendre plus efficace celui qui arrive par le tuyau central, on garnit cette ouverture d'un petit disque métallique maintenu au milieu de la flamme (voy. ÉCLAIRAGE). L'air affluent le rencontre, est obligé de le contourner, et se mêle, par conséquent, d'une manière parfaite avec les produits de la combustion. Ce moyen est le plus pratique, il n'exige pas de verres spéciaux.

Si, dans les dispositions du bec, les lampes à huile de schiste exigent quelques précautions spéciales, elles sont, d'un autre côté, bien favorisées sous le rapport de l'alimentation. Ces huiles s'élèvent avec une très-grande facilité dans la mèche, que l'on choisit, du reste, assez épaisse, par l'effet de la capillarité, et cette action est parfaitement suffisante pour fournir, pendant toute la combustion, une alimentation régulière, sans mécanisme, et sans l'emploi de ces ingénieuses dispositions qui ont été mises à profit dans les lampes à niveau constant. Une différence de niveau de 10 centimètres, dans le réservoir, n'est pas appréciable au point de vue de la flamme, en telle sorte que rien n'empêche de se servir d'un réservoir inférieur, et par conséquent d'employer des lampes dont la forme extérieure est tout à fait semblable à celles des lampes Carcel, mais elles sont privées de tout mécanisme : leur simplité est extrême, et jamais le liquide qu'elles sont destinées à brûler ne saurait contribuer, comme les huiles ordinaires, à les salir.

Le seul inconvénient que ces lampes présentent, c'est l'odeur même du liquide, qui n'est pas appréciable pendant la combustion, mais qui ne laisse pas que d'être très-grande lorsque la lampe ne brûle pas, et surtout lorsque l'on doit renouveler le liquide ou la mèche.

Le premier de ces inconvénients, tout futile qu'il paraisse, est peut-être le plus important; dans la plupart des petits ménages la lampe est un objet d'ornement, et combien de gens se refuseront à payer une lampe assez cher si, pendant la journée, ils n'en peuvent faire parade!

Quant au service du nettoyage de chaque jour, il n'a pas, à nos yeux, la même importance; l'huile de colza, telle qu'on la trouve dans le commerce, ayant aussi une odeur plus désagréable peut-être et plus persistante. Il est vrai que cette odeur ne lui est pas propre, et qu'elle provient de son mélange avec de l'huile de baleine, quelquefois, suivant les prix relatifs de ces deux substances, dans la proportion de 70 pour 100. D'ailleurs les dérangements de mécanisme, la nécessité fréquente d'un nettoyage à la potasse par le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lampiste, sont aussi dans l'éclairage ordinaire des inconvénients qui ont bien leur prix.

Sans doute la lumière d'une bonne lampe mécanique, d'une lampe Carcel, est extrêmement intense et fort agréable, mais cette lumière est d'un prix élevé, et combien la lumière de l'huile de schiste est plus vive et plus pure!

Des expériences directes qui nous sont propres nous permettent d'établir l'économie qui résulte de l'emploi de l'huile de schiste à égalité de lumière produite.

D'après les expériences de M. Péclet, sur la consommation des différentes lampes qu'il a examinées au nombre de douze, une seule, la lampe Thilorier n° 4, a donné un résultat plus favorable sous le rapport de la consommation que la lampe Carcel, et pour cette raison, il nous a paru convenable de prendre la lampe Carcel pour point de comparaison; c'est, du reste, la lumière fournie par cette lampe qui sert de base dans tous les contrats d'éclairage. Nous avons toutefois comparé la lumière produite par le bec à huile de schiste de 11 millimètres de diamètre à celle d'une lampe Carcel alimentée avec de l'huile de colza dont le bec était un peu plus grand, 13 millimètres.

La lampe Carcel, dans ces circonstances, éclairait davantage dans la proportion de 100 à 105; les consommations respectives ont été par heure de 33 et 20 grammes, en telle sorte que, pour la même quantité de lumière, les consommations respectives seraient 157 grammes d'huile de colza pour 100 grammes d'huile de schiste.

Ce chiffre ayant été le plus favorable à la lampe Carcel parmi les différents chiffres que nous avons obtenus, nous pouvons, en toute conscience, nous en servir pour calculer l'économie relative du nouveau mode d'éclairage.

Un kilogramme d'huile de colza dans la vente en détail ne vaut guère moins de 1 fr. 50 c., pour peu que l'on prétende qu'elle est pure; le kilogramme d'huile de schiste vaut encore 2 fr. 20 c., et il serait possible de la vendre à un prix beaucoup moindre. Les prix respectifs de 100 grammes d'huile de schiste et de 157 grammes d'huile de colza sont donc 22 et 24 c., ce qui établit un avantage d'un douzième en faveur de l'huile de schiste : cet avantage serait bien autrement grand avec des appareils moins parfaits que la lampe Carcel, et il ne peut manquer de s'accroître par la diminution du prix du nouveau liquide.

Mais il est un fait très-remarquable dont l'appréciation précédente ne saurait tenir compte. Tout le monde sait que les nuances vertes et bleues ne peuvent se distinguer l'une de l'autre lorsqu'on les examine le soir sous l'action d'une lumière artificielle : le bleu paraît vert; il serait de même impossible de distinguer le rose du jaune, même avec la lumière si brillante du gaz. Ces impossibilités disparaissent complétement avec la plus petite lampe à huile de schiste; la lumière est si blanche et si pure, que les couleurs de tous les objets extérieurs n'en sont nullement affectées, le bleu se distingue du vert, et le rose du jaune, absolument comme en plein jour, à la clarté du soleil.

Une comparaison semblable a été faite par nous entre un bec de gaz de houille alimenté par les conduits de la compagnie Manby Wilson et Cie, et deux lampes à huile de schiste différentes.

Le bec de gaz était un bec rond, à double courant d'air, percé de vingt trous du diamètre d'un tiers de millimètre, disposés sur une circonférence de 9 millimètres de rayon; la consommation du gaz, estimée directement sur un compteur, après un temps considérable, était de 125 litres par heure.

La première des deux lampes, d'un diamètre de 15 millimètres, consommant 40 grammes à l'heure, éclairait plus que le gaz dans la proportion de 100 à 88; la deuxième, d'un diamètre de 11 millimètres seulement, consommant 24 grammes à l'heure, éclairait moins que le gaz dans la proportion de 100 à 138, d'où il résulte que, pour produire une lumière égale à celle de notre bec de gaz brûlant 125 litres par heure, la première lampe consommerait 35 grammes, la deuxième 33 grammes, soit en moyenne 34 grammes, en observant toutefois que l'avantage de l'huile de schiste est plus considérable avec les petits becs qu'avec les gros; ce qui peut encore s'exprimer en disant qu'une consommation d'un mètre cube de gaz équivaut à une consommation de 272 grammes d'huile de schiste.

Le bec de gaz ordinaire brûlant 120 litres par heure coûte en moyenne à l'éclairage privé 6 centimes par heure et par bec, soit 50 centimes par mètre cube (le prix actuel à Paris est de 49 centimes par mètre cube pour l'éclairage au compteur [1]). Le mètre cube équivalant à 272 grammes d'huile de schiste, ce qui porterait la valeur du kilogramme d'huile de schiste à 1 fr. 80 c. environ, pour produire la même quantité de lumière au même prix que le gaz ordinaire; ce serait à peu près le prix auquel la vente en gros pourrait s'effectuer à Paris, et l'huile de schiste ne nécessiterait pas ces dispositions nombreuses que le gaz exige.

On le voit donc, l'huile de schiste est appelée à jouer dans l'éclairage un rôle important. Les lieux voisins de la production la préfèrent à tout autre liquide, et l'éclairage public de la ville de Beaune s'effectue de cette façon; nous passerons cependant sous silence, dans cette notice, la comparaison que nous avions également établie au point de vue de l'éclairage public, et nous nous bornerons à indiquer que tout ce qui arrive à Paris se vend avec une facilité qui serait bien plus grande encore si l'irrégularité de la production n'avait dégoûté un grand nombre de consommateurs. Mais les entrepreneurs d'éclairage, qui s'occupent plus particulièrement de ce système, n'ont pour ainsi dire en vue que l'éclairage des salons; ils suivent là une route fâcheuse. Tant que l'odeur n'aura pas été évitée, et nous croyons difficilement à ce progrès, l'huile de schiste ne sera employée qu'exceptionnellement dans les salons. Sa place est dans ces modestes ateliers où l'éclairage est pour l'ouvrier une lourde charge, et où cependant la routine maintient l'usage de la chandelle, le plus cher et le plus insupportable des éclairages. Sa place est au grand air, dans les magasins où le gaz ne peut arriver facilement et où quelquefois il serait dangereux par les dégâts qu'il peut causer, dans les gares de chemins de fer, etc.; c'est dans tous ces cas que la consommation doit être immense.

C'est bien déjà quelque chose que d'avoir utilisé une matière minérale, improductive jusqu'ici, et d'en avoir tiré un produit nouveau qui remplace une production correspondante en colza, et par conséquent ramène à la culture des céréales une partie du sol consacré à la culture de cette plante cléagineuse.

A l'intéressante étude sur l'extraction de l'huile de schiste qui précède et que nous empruntons à une publication industrielle qu'a fait paraître trop peu de temps M. Tresca, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, nous ajouterons quelques mots :

Le procédé de distillation à feu nu a le défaut, comme il a été expliqué, de fournir plus d'huiles lourdes que n'en donnerait un chauffage qui ne pourrait dépasser la limite de température qui est celle de la vaporisation des produits les plus convenables, à la-

[1] La réduction du prix du gaz à Paris, à 30 centimes le mètre cube, rend la consommation de l'huile de schiste désavantageuse, aux prix indiqués, dans le cas où celle du gaz peut lui être substituée et si le prix de l'huile de schiste ne peut être abaissé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelle ne se décomposent pas les huiles légères qui ont le plus de valeur. C'est assez dire qu'il faut savoir faire un emploi intelligent des meilleurs procédés de distillation; c'est ce qui a été fait sur une grande échelle, et les plus importantes fabriques d'huile de schiste emploient aujourd'hui la vapeur d'eau surchauffée dont M. Tresca a indiqué clairement la nécessité.

Il est curieux de voir les produits condensables de la distillation devenir assez importants dans une industrie qui rappelle tout à fait la fabrication de l'éclairage au gaz, pour qu'elle puisse se soutenir en perdant le gaz dégagé. Ce ne peut être évidemment qu'en évitant avec soin la décomposition des produits qui peuvent subsister à l'état liquide. C'est un problème qui a été encore résolu d'une manière avantageuse dans la pratique, en employant le chauffage à température assez élevée et fixe, à l'aide du bain de plomb, système déjà décrit, et qui permet de distiller le riche boghead d'Écosse, pour tirer surtout parti des produits liquides.

Les progrès de ces intéressantes industries ne sont qu'affaire de science et d'amélioration de procédés tant de combustion que d'extraction des produits, combinés avec ceux de l'exploitation des mines de schiste et surtout des espèces de houille très-riches en hydrocarbures. La récolte journalière qu'on peut en faire dans les mines doit conduire à des produits nécessairement bien moins coûteux que ceux que donne la récolte annuelle des plantes oléagineuses, mais qui rencontrent dans le pétrole extrait, à moins de frais encore, de ses gisements naturels, un dangereux rival.

I

IMPRIMERIE. — Composition. — Les inventions successives de machines à composer ont prouvé, par l'ingéniosité même de leur combinaison, toute la difficulté, nous dirons volontiers l'impossibilité pratique de réussir dans la voie tentée jusqu'ici, à savoir de faire mouvoir les lettres successivement poussées hors de leurs réservoirs pour fournir de longues lignes de composition. Les causes d'accident, de dérangement dans cette multitude de types en mouvement, sont si grandes, que les résultats pratiques deviennent tout différents de ceux que ferait présumer un essai de courte durée.

Compositeur Flamm. — Une tentative curieuse, dans une voie toute nouvelle, s'est manifestée, à l'Exposition de 1867, par deux ingénieuses machines dues, l'une à M. Flamm, l'autre à un Américain, M. Sweet; toutes deux reposant sur la production de clichés à l'aide de moules en matière plastique formés par l'enfoncement successif des types.

Je décrirai ici la machine de M. Flamm. La partie supérieure de cette petite machine est formée d'une roue sur laquelle sont gravées les diverses lettres, rappelant par son aspect le télégraphe électrique à cadran. Plus près du centre, et tournant autour du même axe, se trouvent disposés des types d'imprimerie, maintenus entre une double couronne en cuivre, de manière à pouvoir glisser seulement d'une petite quantité suivant leur longueur, et placés de telle sorte que chaque type se trouve celui de la lettre gravée sur la jante de la grande roue, sur le prolongement du rayon passant par ce type.

Il résulte clairement de cette disposition, que si on amène la jante de la roue portant, par exemple, la lettre A, en face d'un index placé à la face antérieure de la machine, le type A se trouvera sur le même rayon, et il suffira de faire mouvoir de la main gauche un axe transversal, portant un petit excentrique, pour le faire descendre et l'imprimer par pression sur une substance placée en dessous.

On imprimera ainsi une lettre quelconque, et avec d'autant plus de rapidité que les lettres qui sont employées le plus fréquemment étant peu écartées sur la roue, il y aura peu de mouvements à faire pour les faire arriver successivement devant l'index, la roue marchant d'ailleurs indifféremment dans tous les sens.

Mais il ne suffit pas d'imprimer des lettres les unes à la suite des autres, il faut que leur écart soit d'une grande régularité, et que les lignes qu'elles forment soient également espacées. M. Flamm y parvient d'une manière très-heureuse.

La substance sur laquelle une pression doit être exercée est placée sur un support à chariot, à mouvements rectangulaires, d'où résulte immédiatement la plus grande facilité d'espacer également les lignes, par le mouvement d'une vis, sur la tête de laquelle est monté un disque divisé que l'on fait mouvoir à la main quand on veut passer d'une ligne à une autre, et aussi d'espacer convenablement les lettres entre elles. A cet effet, le mouvement de progression dans le sens des mots est communiqué au chariot par un cliquet agissant sur un cylindre à denture très-fine, cliquet dont le mouvement est limité par celui d'une partie en équerre qui vient s'appliquer dans une entaille du grand cadran correspondant à la lettre considérée. Cette disposition remplit bien le but proposé, tant parce que le bec de l'équerre en pénétrant dans une entaille amène le cadran exactement à la position voulue, que parce que sa course étant limitée par une vis, l'espacement pourra être varié en raison de l'épaisseur de chaque lettre, dans les limites toutefois de la finesse de la denture du cylindre-écrou qui donne le mouvement transversal.

M. Flamm a attaqué aussi le difficile problème de la justification des lignes et l'a *approximativement* résolu d'une manière ingénieuse. Les épaisseurs successives des lettres viennent s'ajouter et s'indiquer sur un cadran divisé parcouru par une aiguille mise en rapport avec le cylindre du rochet. Lorsque l'ouvrier approche de la fin de la ligne, ce dont il est prévenu par un timbre, il débraye le poinçon imprimeur et continue la composition comme si les types fonctionnaient. Arrivé à la fin de la ligne, ou il tombera juste, ou il trouvera quelques points en plus ou en moins, dont il tiendra compte pour répartir cette différence entre les blancs des mots à composer (comme le fait le compositeur, sauf qu'il ne dispose ici que des blancs des derniers mots). Engrenant alors le poinçon imprimeur, il intervertit, en touchant un bouton, la marche du chariot, et compose à rebours, en commençant par la fin, les mots qui doivent entrer dans la ligne à achever.

Ces détails montrent bien comment les types successifs sont rapidement appelés et pressés, mais n'indiquent pas comment il en résulte quelque chose d'analogue à ce qu'on appelle une composition; c'est ce qu'il nous reste à dire pour les deux genres d'impression auxquelles l'inventeur applique son procédé, la lithographie et la typographie.

Dans le premier cas, on place sous les types un papier de report recouvert d'une feuille de papier très-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mince enduite d'une couche légère d'encre grasse. Par la pression l'œil de chaque type s'imprime en noir avec une grande netteté, et on obtient ainsi des lignes une composition parfaitement disposée pour être reportée sur pierre ou sur zinc, puis imprimée par les procédés ordinaires de la lithographie.

Grâce à cet appareil d'un prix modéré, les lithographes pourront ainsi obtenir rapidement des compositions et surtout mélanger les caractères typographiques à leurs travaux habituels sur pierre, ressource considérable qui nous paraît devoir étendre le cercle de leurs travaux d'une manière très-avantageuse pour le public comme pour eux.

Pour la typographie, il faut mettre sous les types soit de la pâte de papier, soit une pâte plastique dans laquelle ils se moulent bien en s'y enfonçant, sans produire d'entraînement latéral sensible. On obtient ainsi, lettre à lettre, le moule en creux d'une page entière, qui, après avoir été séché, sert à couler un cliché identique à celui que l'on obtient aujourd'hui à l'aide d'une composition en caractères mobiles. C'est, on le voit, la facilité du clichage au papier, procédé que l'on a appris à manier avec tant de facilité, qui a fourni le moyen d'entrer dans une voie toute nouvelle.

C'est la même route qu'a suivie l'inventeur de la machine américaine, M. Sweet, machine qui, par ses dispositions, rappelle le télégraphe imprimeur à clavier de M. Hughes.

Malgré l'ingéniosité de ces procédés, un examen attentif conduit à reconnaître qu'ils ne donnent pas, en admettant levées bien des difficultés de détail pour atteindre une bonne exécution, la solution du problème de la composition mécanique pour les travaux importants de la typographie. En effet, fournissant un cliché dès le premier travail du compositeur, ils ne permettent aucun remaniement de lignes, aucune correction importante; c'est là, comme le sait quiconque a fait imprimer, une objection capitale, le travail de l'auteur devenant en quelque sorte impossible. On ne saurait donc admettre que ce procédé soit le point de départ d'une révolution dans les procédés du travail du compositeur de typographie.

Impression. — Les presses mécaniques peuvent se diviser en trois types principaux : les presses en blanc, les presses à retiration et les presses à journaux.

Presses en blanc. — Les presses en blanc, simples, d'une conduite facile, s'appliquent aux tirages de luxe, ce que permet surtout le développement que l'on peut donner à l'encrage, que l'on peut même rendre double en disposant un encrier et un jeu de rouleaux à chaque extrémité de la presse, et en donnant une course suffisante au marbre qui porte la forme pour que celle-ci puisse passer sous les rouleaux des deux côtés.

Deux habiles constructeurs, M. Dutartre, de Paris, et MM. Kœnig et Bauër, d'Augsbourg, avaient mis à l'Exposition de 1867 des presses à deux couleurs, dans lesquelles l'encrage de deux formes placées sur le marbre est obtenu au moyen des deux encriers de la presse, et qui produisait, au moyen de deux tours du cylindre imprimeur, l'impression successive de deux couleurs sur la même feuille avec une grande perfection de repérage. C'est là une machine précieuse pour l'impression de la musique, des éditions rouge et noir, des gravures à fonds teinté, etc.

Machines à retiration. — Les machines à deux cylindres de petit diamètre, répondant au seul développement de la forme, se soulevant pour la laisser passer quand elles ne l'impriment pas (système Rousselet-Normand), remplacent tout à fait la presse de Cooper à gros cylindres, si lourde et qu'on ne saurait faire marcher avec la même vitesse. Avec le perfectionnement apporté par M. Normand au joint de cardan, avec de bonnes dimensions du genou, des pièces formant l'articulation qui se redresse pour amener le cylindre à la position du foulage, avec le passage de feuilles de décharge, cette presse est un excellent outil, donnant 1000 à 1200 feuilles à l'heure bien imprimées des deux côtés.

Machines à journaux. — La facilité d'exécuter des clichés au papier, a fait songer à exécuter à bon marché une presse presque équivalente à la machine continue de Hoë, que nous avons décrite.

Les premiers essais datent presque de l'invention du clichage au papier, qui permettait de reproduire l'idée de l'impression continue de Nicholson. La tentative la plus sérieuse, qui a bien failli être un succès, fut faite vers 1840 par M. Worms. On se proposait alors de proportionner autant que possible le diamètre du cylindre au développement du format, pour obtenir le maximum de vitesse, la continuité absolue de l'impression avec un seul cylindre presseur; mais malgré le concours de plusieurs ingénieurs distingués et celui du fondateur du journal *la Presse*, on ne put arriver à un bon résultat, moins à cause de la difficulté d'obtenir rapidement un cliché cylindrique d'un petit rayon, qui ne laissait pas que d'être assez grande, que, parce que, quelle que fût l'habileté des margeurs, la réception de la feuille avec un seul receveur ne permettait pas de profiter de la vitesse qu'on aurait pu obtenir par la réduction minimum du diamètre des cylindres. De nouveaux progrès ont fourni le moyen de lever cette difficulté.

MM. Marinoni et J. Derriey avaient mis à l'Exposition de 1867 deux presses circulaires avec un seul cylindre de pression; celles du premier constructeur, à 4 et 6 margeurs, ont été appliquées avec succès au tirage considérable du *Petit Journal*. Le cylindre en est beaucoup plus gros que celui employé dans l'essai décrit plus haut (en abandonnant la continuité absolue), mais porte deux clichés (moins cintrés et par suite d'une fabrication plus facile). On est parvenu à multiplier les margeurs comme à recevoir les feuilles au moyen de deux ou quatre receveurs de feuilles, des raquettes de l'invention de M. Hoë, en faisant agir successivement par leur déplacement alternatif le jeu de cordons qui conduisent les feuilles.

Numéroteurs. — Une nouvelle typographie, en quelque sorte, est née dans ces dernières années du perfectionnement des numéroteurs, l'impression avec nombres croissant d'une unité par exemplaire imprimé.

Nous donnerons d'abord la description du système de Bramah pour numéroter, qui est, croyons-nous, la plus ancienne invention de ce genre. Il fut combiné et appliqué par lui, sous la forme représentée figure 1, à

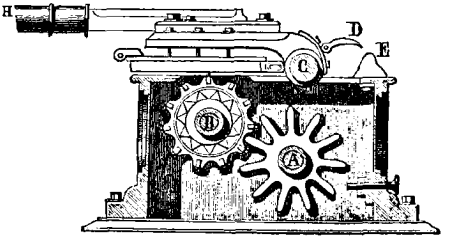


Fig. 1.

la presse servant à l'impression des billets de la banque d'Angleterre. Le numéro de chaque billet est imprimé vers le haut, et un nombre étant ainsi imprimé par un coup de presse, la figure de la dernière unité change, lorsqu'on change la feuille de papier à imprimer, et est remplacée par celle de la suivante, et ainsi jusqu'au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

complément de la dizaine; les dizaines fonctionnent de même jusqu'à la centaine, et ainsi de suite.

Cette machine, réduite à sa plus grande simplicité, se compose d'un bâti supportant trois axes transversaux A, B, C; au dernier est attaché le manche H, lequel est élevé, puis abaissé pour chaque opération, et qui porte le tympan de la presse. Quand le manche est levé verticalement, la planche est découverte, et peut être placée dans une position convenable à l'aide de deux guides; puis le papier étant placé et la plaque étant recouverte, les types des nombres passent à travers des trous qui y sont pratiqués, pour venir en contact avec le papier. Sur l'axe B sont placés cinq cercles de cuivre semblables à celui que montre la figure; chacun porte onze dents, sur chacune desquelles sont percées des cases recevant des types gravés : 0, 1, 2.....9, et une qui reste inoccupée. Une roue montée sur l'axe A a aussi onze dents, de manière que le mouvement d'une de ses dents fera également tourner d'une dent la roue B, avec laquelle elle engrène. Sur le même axe est montée une seconde roue semblable à la première, et enfin une troisième par laquelle le mouvement est communiqué. Quand le manche revient de la position verticale à la position horizontale, le cliquet D passe sur la partie supérieure d'une roue A, en s'infléchissant sans exercer de pression; mais lorsque le manche est redressé, le cliquet résistant dans cette direction rencontre la dent supérieure et la force à s'avancer de l'intervalle d'une dent, et par suite fait tourner la roue B d'une dent; conséquemment, le chiffre supérieur augmente d'une unité, 0 est remplacé par 1, 1 par 2, etc., les chiffres étant disposés sur le contour de la roue suivant un ordre croissant.

Des cinq cercles montés sur l'axe B, si l'on suppose que les quatre à droite ont l'espace vide placé en haut, et que la première roue marque le n° 1, l'impression 1 sera obtenue par un coup de la presse. Le manche étant relevé, le billet est enlevé, un autre est introduit, le cliquet D rencontre et pousse la roue A, et par suite la roue B, de manière à amener le chiffre 2 à la partie supérieure pour le coup suivant. L'impression a lieu de même; puis, par la répétition de semblable opération, on imprime les numéros 3, 4..... jusqu'à 9.

Ayant fait le nombre de mouvements nécessaires pour faire parcourir dix places au n° 1, la seconde roue montée sur l'axe A est alors poussée par un taquet en coin, correspondant à la case vide, et, par suite de cette action, elle glisse un instant sur son axe, contre l'action d'un ressort qui la ramène à sa place l'instant suivant, après qu'elle a été en prise pour un coup avec le cercle de laiton voisin qui avait avant le vide en haut; le chiffre 1 de la seconde roue étant ainsi amené à la partie supérieure, la rotation suivante qui amènera le 0 à la roue des unités produira le nombre 10, les coups suivants donneront 11, 12, 13... 19. La deuxième roue est alors poussée jusqu'à ce que 2 soit le chiffre supérieur, et on aura, comme ci-dessus, 21, 22, etc. En opérant ainsi, on arrivera jusqu'à 99.

La troisième roue représentant des centaines, comme la seconde des dizaines et la troisième des unités, par une action sur la seconde roue de A de la roue des dizaines, semblable à celle de la roue des unités, que nous venons d'expliquer, on aura de même 100, 101, etc., 110, 111, etc. Enfin, on arrivera ainsi jusqu'au chiffre 99,999, qui est le plus élevé qui puisse être obtenu avec cinq chiffres.

Longtemps limitée à son application faite à la Banque d'Angleterre, l'espèce de compteur imprimeur de Bramah a été simplifiée par des combinaisons ingénieuses qui se sont multipliées dans ces dernières années, et qui ont rencontré de nombreuses applications dans la fabrication des titres si multipliés qui se fabriquent chaque jour.

IMPRIMERIE.

Numéroteurs Lecocq. — Le système de numéroteurs exploité par M. Lecocq, le plus certain et le plus résistant de tous, consiste essentiellement en un système de griffes, dont les pointes forment cliquets pour entraîner des plaques dentées assemblées avec les rondelles portant les figures des dix chiffres gravées sur leur circonférence. L'entaille placée après le 9, étant plus creuse que les autres, laisse descendre la griffe davantage, et le second bec, jusque-là inutile, vient engrener dans le rochet des dizaines et les fait tourner d'une unité. Il en est de même des centaines, des mille, etc., dans les limites que permet le diamètre des rondelles entaillées à des profondeurs décroissantes, en partant des unités.

C'est avec ces compteurs, excellents pour le timbrage à la main, que se construisent les petites machines à imprimer les billets pour les chemins de fer, avec une rapidité et une facilité de surveillance, résultat du numérotage de chacun d'eux, qui en ont fait le succès. Le mécanisme consiste en un axe de rotation fournissant les cartes-billets par une espèce de main-poseur, donnant un mouvement de va-et-vient vertical à un axe portant la composition et le numéroteur, enfin un mouvement transversal au rouleau encreur qui chemine de la table à encre au numéroteur et inversement. Ces mécanismes peuvent être variés, mais ils équivalent tous à la réunion de dispositions qui vient d'être indiquée.

Numéroteurs Trouillet. — M. Trouillet exploite un système de numéroteurs qui peut être construit, pour ainsi dire, sans pièces apparentes. Il est représenté, fig. 2, tel qu'il est habituellement employé pour le

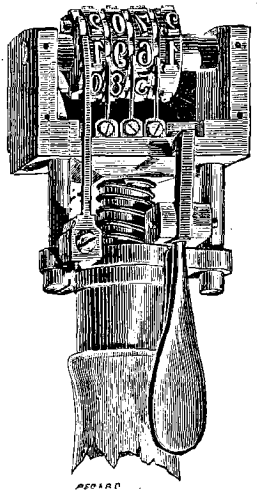


Fig. 2.

numérotage à la main. Il consiste en une petite chape glissant à frottement sur un arbre vertical où elle est commandée par un ressort à boudin. Deux guides d'acier lui servent de guides dans son mouvement de va-et-vient. La tige de droite, fixée après la boîte, glisse dans un coussinet adapté au manche, tandis que celle de gauche est assemblée au manche et pénètre dans la boîte; elle est terminée par un chanfrein.

Dans l'intérieur de l'appareil il existe un arbre fixe et horizontal en acier portant des molettes mobiles. La molette est un corps circulaire, ressemblant à peu près

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à une pièce de monnaie et portant sur sa tranche les dix chiffres. Chaque molette a sur sa surface gauche une garniture en cuivre, munie à la hauteur et en dessous du chiffre 1 d'une goupille, commandée par un ressort à boudin; la molette des unités porte seule une roue à dents calée à l'arrière par un crochet à cliquet et engrenée à l'avant par le crochet d'un ressort fixé en face la tige de gauche.

Lorsque, pour timbrer, on saisit le numéroteur de la main droite, alors que le ressort à boudin, monté sur l'arbre vertical, est détendu, on frappe l'outil sur le tampon convenablement encré; par la secousse, le ressort, se trouvant comprimé, laisse un crochet d'acier pénétrer dans la chape de cuivre au moyen d'une ouverture garnie d'une petite platine d'acier. Le nombre encré peut alors être imprimé.

Mais ce mouvement de recul n'a pas eu ce seul résultat, car le grand ressort, engrenant dans la roue des unités, a avancé d'une dent, et lorsqu'on laissera le ressort vertical se détendre en appuyant sur la pédale, qui, oscillant autour de son axe, dégagera l'arrêt de dedans la chape, il appellera la roue dentée à lui et la fera avancer d'une unité, et tout est disposé pour l'impression d'un nombre plus grand d'une unité, en opérant comme précédemment.

Tout ira ainsi jusqu'à ce que le chiffre 9 ait imprimé : mais alors la goupille vient talonner sur le chanfrein de la tige, rentre dans l'intérieur de la molette en comprimant son ressort, et va s'engager dans la garniture à jour de la molette suivante, qui se trouve alors entraînée dans le mouvement rotatoire.

Le chanfrein de la tige de gauche, une fois évité, les goupilles reprennent leur état normal, les molettes deviennent indépendantes les unes des autres, et la molette des unités travaille seule. Lorsque 99 se présente, la goupille des dizaines la fait pénétrer dans la garniture de la molette des centaines, qui se trouve entraînée, et ainsi de suite autant de fois qu'il y a de molettes dans le compteur.

Châssis-numéroteur. — La petite dimension du numéroteur qui vient d'être décrit, la possibilité de réduire son mécanisme extérieur à l'action de va-et-vient d'un cliquet, ont permis de l'appliquer à la confection d'un châssis permettant d'imprimer, en même temps que des caractères, tous les numéros des coupons d'une action ou obligation couvrant une feuille, et même en employant une presse Dutartre à deux couleurs, sans retirer la feuille de la presse, et cela avec une perfection qui défie la contrefaçon, perfection que ne pouvait atteindre le numérotage à la main.

A ce châssis est adaptée une poignée ou un taquet (fig. 3) qui reçoit un mouvement de va-et-vient par chaque ouverture ou fermeture de la presse, d'où résulte l'impulsion nécessaire pour que la première roue de chaque cylindre tourne par l'action d'un cliquet agissant sur un rochet monté sur le même axe, d'une unité à chaque fois. De plus, chaque couronne de chiffres fait avancer la suivante d'une unité pour chaque tour, par la rencontre de la goupille qu'elle porte et qui est refoulée lors de son passage près du bras qui porte le cliquet, comme il a été expliqué ci-dessus. Le départ étant 000,000, par exemple, on aura successivement 000,001, 000,002..., puis 000,010, 000,011 etc., la pénétration de la goupille à travers la molette la faisant agir une seule fois par tour complet de la première molette sur la seconde. Cet effet s'étend, par la rencontre des goupilles, à la troisième, à la quatrième, et, en général, à deux roues consécutives pour chaque rotation complète de la roue des unités de l'ordre le moins élevé. On arrivera ainsi à 999,999, c'est-à-dire 1 million avec 6 couronnes.

La réalisation de ce système a été longtemps arrêtée par l'impossibilité de graver un aussi grand nombre de molettes, ayant exactement la hauteur des types, avec assez de précision pour que l'impression eût la netteté

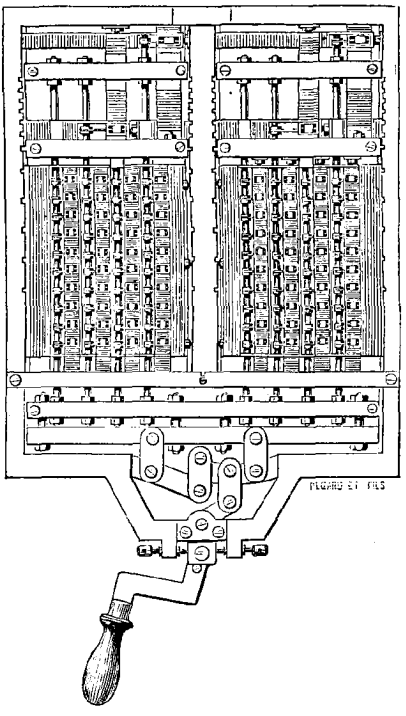


Fig. 3.

voulue. Le problème était évidemment du ressort de la fonderie en caractères; c'est ce qu'a reconnu M. C. Derriey, l'esprit le plus inventif aussi bien que l'artiste le plus distingué de cette industrie; il a résolu le problème, en fondant ces molettes à l'aide d'un moule à pompe, les matrices des dix signes étant disposées pour former un cylindre dont le rayon s'agrandit pour laisser sortir les chiffres formés dans chacune d'elles par une très-heureuse application du principe de la virole brisée.

Le système ainsi complété est destiné à faire disparaître les numérotages après l'impression, qui ne peuvent donner la perfection de l'impression à la presse et exigent en tout cas une double impression et par suite une double dépense.

Machines pour billets de banque. — M. Derriey, revenant au problème résolu par Bramah, a construit pour la Banque de France une remarquable machine pour numéroter les billets de banque en des endroits voulus, progressant par unités et par numéros de série, avec la netteté et la perfection de l'impression typographique. Les billets placés dans une boîte à l'extrémité droite de cette machine sont enlevés, un par un, par une plaque mobile percée de trous en communication avec une pompe aspirante, apportés au milieu de l'appareil où ils reçoivent l'impression de cinq compteurs, encrés par le mouvement alternatif horizontal de rouleaux encreurs et portés par un cadre placé à l'extrémité d'une tige guidée qui reçoit un mouvement vertical alternatif. Ces compteurs impriment des nombres

EFERUS - Recherche & Classification numérique

variant d'une unité à chaque coup, sauf un qui ne varie que de 10 en 10, qui donne le numéro de la série. Après l'impression, le billet est enlevé par la plaque qui l'encadre et déposé dans une boîte à la gauche de la machine; puis l'opération recommence.

L'impression excellente et produite par l'action d'une machine à vapeur aux endroits voulus, avec toute la netteté d'une bonne impression typographique, augmente dans une proportion notable les difficultés de la contrefaçon, en même temps que l'action automatique des compteurs facilite la surveillance dans les ateliers de fabrication. L'adoption de la machine de M. Derriey, par la Banque de France, a montré toute la valeur de cette élégante invention.

IMPRIMERIE MÉCANIQUE EN TAILLE DOUCE. — Le problème de l'impression mécanique de la taille douce qui paraissait inabordable, l'essuyage à la main de la planche encrée ne paraissant pouvoir ressortir que du travail soigneux de l'ouvrier, a été attaqué et résolu pour certaines applications spéciales.

Impression cylindrique. — La solution la plus remarquable est celle qu'a montrée M. Godchaux à l'Exposition de 1867 pour l'exécution des cahiers d'école, au moyen des procédés de l'impression sur étoffe convenablement modifiés, c'est-à-dire par l'emploi du rouleau et de la râcle.

Jusqu'ici, au bas prix auquel il faut établir ces cahiers, en général 10 centimes pièce, ce n'était qu'à l'aide de la typographie que l'on pouvait, au moyen des procédés connus, exécuter la réglure et l'impression du modèle d'écriture qui doit se trouver en tête de chaque page; mais ce n'était que bien imparfaitement qu'il était possible d'y parvenir, dans des conditions bien inférieures à ce que pouvait produire la taille douce, la gravure en creux sur planche de cuivre appliquée à la production de modèles de ce genre. Le problème était donc de produire des impressions de gravures en creux, dans les mêmes conditions d'économie que celles des types en relief.

C'est en imitant l'impression des étoffes au moyen du rouleau, que M. Godchaux a pu atteindre la solution qu'il cherchait. Il a modifié la machine pour l'appliquer au cas particulier et difficile de l'impression sur papier, et surtout le mode de gravure du cylindre, de manière à produire des finesses bien supérieures à celles qui avaient été jamais obtenues dans la fabrication du papier peint. Le papier pris en rouleau d'une grande longueur, comme il est fourni par la machine à papier, vient s'imprimer d'une manière continue des deux côtés, ses deux faces passant successivement, le premier côté imprimé s'étant séché dans son parcours, à l'aide de petits jets de gaz qui l'ont chauffé sous deux cylindres gravés. Il vient ensuite se faire couper en feuilles, par l'action d'un couteau hélicoïdal.

La possibilité d'employer de l'encre plus ou moins analogue à l'encre à écrire, et non de l'encre grasse qu'une râcle n'enlèverait pas complétement sur le rouleau, a dû faciliter à l'inventeur la réussite de ses premiers essais, et bientôt, maître de son procédé, il est parvenu à composer une encre indélébile qui s'imprime parfaitement, et rappelle plus l'encre d'écriture que l'encre grasse de la typographie, pendant que la réglure pointillée est d'une grande finesse.

Impression avec la planche plate. — Nous donnerons, comme renseignement intéressant, un extrait du rapport de l'Exposition de 1855 sur un système d'impression mécanique de la taille douce, à l'encre grasse, par la reproduction mécanique du mode de travail de l'ouvrier, système évidemment inacceptable pour des œuvres d'art, mais qui paraît avoir trouvé son application dans l'impression des timbres-poste en taille douce, fabrication pour laquelle le système Godchaux conviendrait bien mieux, en encre délébile, ou pour laquelle on pourrait employer un cylindre gravé en relief à la molette (comme on en a vu à l'Exposition de 1867), imprimé en typographie, si l'encre grasse était nécessaire, ce qui nous paraît fort douteux.

« La machine exposée par M. Robert Neale, pour imprimer en taille douce d'une manière continue par la vapeur, est une chose nouvelle dans l'art de l'imprimerie. Cette machine a été brevetée en Angleterre en janvier 1853. Elle consiste en deux chaînes sans fin, auxquelles sont attachées une ou deux tables-impression. Les chaînes sont mises en mouvement par deux rouleaux placés aux deux extrémités de la machine; entre ces deux rouleaux s'en trouvent d'autres intermédiaires pour supporter la table-impression à l'endroit où l'impression se fait. Quand les chaînes sont mises en mouvement, leur partie supérieure met la plaque gravée en contact avec un rouleau d'impression, tandis que la partie inférieure met la même plaque en contact avec des appareils à encrer, nettoyer et polir la plaque gravée. Ces dernières dispositions sont les plus importantes de la machine; nous allons les examiner :

« 1° L'encrage consiste en une boîte et rouleau encreur ordinaire avec un rouleau preneur, qui étend l'encre non-seulement sur les parties gravées de la plaque, mais encore sur la plaque entière. Il s'agit alors d'enlever l'encre qui se trouve sur la plaque en y laissant toutefois celle qui est sur la partie gravée. Cette opération se fait par un blanchet sans fin en cuir, qu'un rouleau met en contact avec la plaque, et qui a une vitesse supérieure à celle de la plaque gravée, d'où il résulte que ce blanchet prend l'encre qui se trouve sur ladite plaque à l'exception de la partie creuse. Il y a, en outre, un râteau en fer qui enlève l'encre posée sur le blanchet, de façon que ce dernier est toujours propre pour recevoir l'encre de la plaque gravée, le râteau étant combiné avec une boîte ou réservoir à encre, afin que l'encre superflue ne soit pas perdue; 2° le polissage de la plaque gravée consiste en deux rouleaux en cuir mis en contact avec la plaque gravée, et ayant à leur circonférence une vitesse supérieure à celle de cette dernière. Pour tenir la surface de ces rouleaux propre, ils sont, dans leur partie inférieure, mis en contact avec un long blanchet sans fin, en laine, animé d'un mouvement continu; pour maintenir ce blanchet dans un bon état, il y a un rouleau dans une boîte contenant de la craie pilée qu'une brosse met sur le blanchet, reprenant ensuite ce qu'il y a de superflu pour le rejeter dans la boîte.

« Le papier à imprimer est placé sur une table, et, au moyen des marges, au moment où la plaque gravée arrive par l'entraînement des chaînes, la feuille est posée sur la plaque et passée entre elle et le cylindre pour recevoir l'impression.

« Si, dans certains cas, on juge convenable de chauffer les plaques gravées, comme on le fait quelquefois, ce que l'expérience a démontré ne pas être nécessaire avec ce système, il existe dans la table-impression une disposition qui permet d'introduire des fers chauds dans une partie creuse de cette table, et de la maintenir ainsi au degré de chaleur que réclame ce cas particulier.

« Plusieurs de ces machines fonctionnent en Angleterre pour l'impression des timbres-poste. Cette machine produit 2,000 impressions par jour, y compris le temps perdu, c'est-à-dire environ 300 par heure. »

PRESSION HYDRAULIQUE. — M. J. Silbermann a combiné une application nouvelle de la pression des liquides pour obtenir la pression considérable nécessaire pour l'impression en taille douce. La surface supérieure de la presse est formée d'une partie élastique remplie d'eau et recouverte de laine. L'eau communique par un petit tuyau avec un réservoir supérieur. On peut donc, en tournant un robinet, exercer immédiatement une pression très-considérable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une très-élégante application de ce système peut être faite à l'impression des surfaces de toute forme, ce qu'on ne sait pas faire autrement. Ainsi, une sphère creuse pourrait recevoir une pression à l'intérieur, à l'aide d'une boule de caoutchouc mise en communication avec le réservoir. C'est à peu près le résultat obtenu, par un procédé analogue, pour obtenir, par pression, l'apprêt de surfaces courbes, décrit à l'article APPRÊT.

INCOMBUSTIBILITÉ. La propriété des corps appartenant au règne minéral, sauf le charbon et le soufre, de ne pas dégager par l'action de la chaleur de gaz combustibles, ce qui fait qu'ils ne peuvent brûler par eux-mêmes, ni allumer d'autres corps, fait qu'ils sont essentiellement propres à mettre à l'abri des dangers d'incendie, à préserver des dangers auxquels le feu peut donner naissance. C'est ainsi qu'avec de la pierre, de la brique et du fer, on élève des constructions à l'épreuve du feu; qu'avec de l'amiante, on a fait des tissus incombustibles, mais ne jouissant pas d'autres propriétés, les fibres minérales de l'amiante douées de peu d'élasticité, fort rares d'ailleurs, ne remplissent pas les conditions voulues pour produire des tissus ayant la souplesse, l'élasticité qu'exige leur emploi.

Les substances végétales, et surtout les tissus légers, sont essentiellement inflammables, et par suite jouent un grand rôle dans tous les accidents funestes auxquels donne lieu l'action du feu. On a naturellement cherché les moyens de faire disparaître ou au moins de beaucoup diminuer ce genre de dangers, et si on ne peut dire que le problème soit complétement résolu, la chimie a fourni plusieurs solutions intéressantes, dont la pratique ne tire pas autant parti qu'il y aurait utilité à le faire.

Les essais de moyens propres à préserver de l'incendie les bois et les tissus remontent à l'antiquité. Aulu-Gelle rapporte que lorsque Sylla assiégea le Pirée, il ne put mettre le feu à une tour de bois qu'avait construite Archélaüs, parce qu'elle était recouverte d'alun. En 1740, J. Faygot présentait à l'Académie des sciences de Stockholm, un moyen de préserver les bois de la pourriture et de l'action du feu; pour cela il l'imprégnait d'une dissolution d'alun et de sulfate de fer. En 1786, Arfird indiqua au duc Frédéric de Brunswick, un procédé pour rendre incombustibles les bois et les tissus; le procédé consistait à immerger ces corps dans une dissolution de phosphate d'ammoniaque. Ce moyen n'est guère praticable, ainsi que nous le disons plus loin, outre que le phosphate d'ammoniaque altère les couleurs et les tissus, et dans un incendie violent, l'acide phosphorique pourrait se décomposer par le charbon et donner du phospore propre à propager l'incendie.

Le verre soluble ou silicate de potasse a été préconisé par Fuchs en 1820, et les résultats considérables qu'il a fourni, ont ramené l'attention sur la question de l'incombustibilité. Il est certain qu'une dissolution suffisamment concentrée de ce corps étant appliquée sur le bois, les étoffes et même le papier, leur enlève la faculté de s'enflammer en les recouvrant d'un enduit qui se vitrifie par la chaleur. On a fait usage de ce moyen au théâtre de Munich, notamment pour les décors si facilement inflammables, ce que permet la parfaite transparence du verre soluble. Mais on n'a pas réussi à employer cette préparation pour les robes des danseuses, parce qu'elles rend les tissus raides, durs et cassants.

Dumas, dans son *Traité de chimie*, a analysé en détail la question de l'emploi du verre soluble, dont la préparation a été donnée à l'article VERRE. Nous lui emprunterons ce qui suit:

Le verre soluble forme une dissolution visqueuse qui concentrée est un peu trouble ou opale. Il a une réaction et un goût alcalin. La dissolution se mêle avec l'eau dans toutes les proportions. Quand la densité de la dissolution est de 1,25, elle contient presque 28 p. 100 de verre; quand on la concentre davantage, elle devient très-visqueuse et peut se tirer en fils comme le verre fondu. A la fin, la liqueur se prend en une masse vitreuse cassante, dont la cassure est conchoïde: elle ressemble beaucoup au verre ordinaire, mais n'a point autant de dureté. Quand la dissolution a été appliquée sur d'autres corps, elle sèche rapidement à la température de l'air et forme un enduit analogue à un vernis.

L'alcool précipite le verre soluble, sans l'altérer, de sa dissolution dans l'eau. Quand la dissolution est très-concentrée, il faut peu d'alcool pour le précipiter, et c'est là un moyen commode de purification.

Le verre soluble contient, quand il a été exposé à l'air:

Silice.	62
Potasse.	26
Eau.	12
	100

Venons à l'emploi de cette substance. Les matières végétales, les bois, les étoffes de coton, de chanvre, le papier, etc., sont très-combustibles; mais pour brûler ces matières ont besoin de deux conditions, une température élevée et le contact de l'air qui fournit l'oxygène nécessaire. Privées du contact de celui-ci et chauffées au rouge, elles fourniraient des produits volatils inflammables, il est vrai, mais le charbon qu'elles laissent pour résidu ne brûlerait point, et dès lors la combustion s'arrêterait d'elle-même. Tel est le rôle que jouent tous les sels fixes, fusibles et formés d'ailleurs de substances incapables de céder leur oxygène au rouge cerise, tant au carbone qu'à l'hydrogène. Ces sels fondent quand la matière végétale se trouve échauffée; ils lui forment un enduit impénétrable à l'air et préviennent ou limitent son inflammation. Le phosphate, le borate d'ammoniaque sont dans ce cas, mais leur grande solubilité à froid offre des inconvénients qui ne se rencontrent pas dans l'emploi du verre soluble.

Celui-ci forme un enduit solide et très-durable, qui n'éprouve pas d'altération par l'air, qui n'occasionne pas de grands frais, et est d'une application facile. Toutefois il faut apporter un soin particulier dans son application et son emploi. Il faut employer le verre soluble pur, parce que sans cela l'enduit serait efflorescent et se détacherait après un certain temps. Pour le bois il ne faut pas, au commencement, employer une dissolution trop concentrée. Il faut déposer 5 ou 6 couches successives, appliquées à 24 heures d'intervalles. Enfin avec des couches trop épaisses, l'enduit se fendille et n'adhère pas bien. Cet effet paraît moins sensible pour le verre à base de soude que pour celui à base de potasse.

Le verre soluble remplit mieux son but, quand au lieu de l'employer pur, on le mélange avec un autre corps incombustible en poudre. Dans le mélange le verre sert principalement comme corps liant. L'enduit a plus de corps, il devient plus solide et plus durable, et se coagule par l'action du feu en une croûte très-adhérente quand le corps additionnel a été convenablement choisi. L'argile, la craie, les os calcinés paraissent les matières les plus convenables pour cet objet.

En 1821 Gay-Lussac proposa d'imprégner les substances combustibles d'une dissolution de borax mélangée à des sels ammoniacaux; mais, outre l'inconvénient signalé plus haut, le borax rend le tissu dur et étant efflorescent, s'en va en poussière.

Le tungstate de soude, proposé en 1859 paraît donner de bons résultats, mais son prix est trop élevé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INCOMBUSTIBILITÉ.

On voit qu'il y a encore des recherches à faire pour arriver à des résultats tout à fait satisfaisants et pour cela il faut bien préciser la théorie de l'incombustibilité, et on arrivera, sans doute, par des moyens plus simples que ceux indiqués ci-dessus, à empêcher les corps combustibles de brûler avec flamme.

Nous reproduirons à ce sujet une remarquable étude sur la combustibilité du tabac due à M. Schlœsing, qui, en même temps qu'elle complétera le travail consacré à une grande industrie, est une analyse parfaite des conditions de combustibilité, et par suite inversement d'incombustibilité des matières organiques.

COMBUSTIBILITÉ DU TABAC. — C'est la première qualité d'un tabac à fumer. Il faut qu'entre deux aspirations normalement espacées du fumeur, la pipe ou le cigare demeure allumé: telle est la définition de la combustibilité. Le temps est sa mesure: la combustibilité est, en effet, proportionnelle au temps pendant lequel le tabac peut conserver l'ignition sans l'intervention du fumeur. Un tabac qui, roulé en cigare, garde le feu pendant trois minutes, est très-combustible; s'il le garde pendant deux minutes, une, une demi-minute, il est combustible, peu, très-peu combustible: au-dessous de la demi-minute, il est réputé incombustible; personne, en effet, ne consentirait à précipiter ses aspirations au point de ne pas se donner une demi-minute de repos.

La combustibilité est parfaitement indépendante de la variété de tabac, de l'épaisseur du parenchyme, des caractères physiques, de la force, de l'arome, du climat. Elle est uniquement en relation avec la proportion de sels organiques à base de potasse contenus dans la feuille, et par conséquent, avec la richesse en potasse du sol qui a porté le tabac. Cela fait comprendre comment on trouve des tabacs combustibles et incombustibles parmi les produits de tous les pays.

Quand on lave à l'eau froide les cendres d'un tabac combustible, on trouve toujours dans la dissolution du carbonate de potasse. On n'en trouve point quand le tabac est incombustible: la potasse dissoute est alors tout entière à l'état de sulfate et de chlorure. Il y a donc une relation entre la combustibilité et la présence du carbonate potassique dans les cendres (le tabac ne contient pas de soude).

Or le carbonate est un produit, un effet de la combustion: la relation signalée doit donc remonter aux composés dont le carbonate dérive, c'est-à-dire aux nitrates et aux sels organiques de potasse. Le nitrate peut être laissé de suite de côté; en effet, des tabacs qui en contiennent beaucoup, comme certains en Algérie, sont incombustibles; d'autres qui n'en renferment point brûlent parfaitement. Restent les sels organiques: leur efficacité peut être démontrée directement.

Lorsque dans un tabac incombustible, on incorpore une certaine proportion de malate, citrate, oxalate, tartrate de potasse, suffisante pour que les cendres contiennent du carbonate alcalin, le tabac devient combustible.

Lorsque, dans un tabac combustible, on incorpore une certaine proportion de sulfate, de chlorure de calcium, de magnésium, en sorte que les cendres ne contiennent plus de carbonate de potasse, le tabac devient incombustible: dans ce cas, la majeure partie des sels organiques à base de potasse a été convertie, par double échange, en sels organiques de chaux ou de magnésie.

Essayons, dit M. Schlœsing, de rendre compte de ces faits.

Dans la pipe ou le cigare, la combustion est incomplète, comme le témoigne assez la fumée; les parties voisines du feu subissent toujours une distillation et une carbonisation partielles avant d'entrer à leur tour en ignition. Ce n'est donc pas le tabac, à l'état naturel, qui brûle: c'est le produit de sa calcination préalable, c'est le charbon qui se forme incessamment et propage la combustion. Que faut-il pour que ce charbon se maintienne en ignition? Il faut qu'il conserve la température à laquelle il prend feu, malgré la consommation de chaleur par le rayonnement, le contact de l'air, la conductibilité, la distillation du tabac, et pour que cette condition soit remplie, il est nécessaire qu'il se produise, dans l'unité de temps, une quantité de chaleur suffisante, c'est-à-dire que la combustion ait une certaine activité.

Or la porosité du charbon favorise singulièrement cette activité. Tout le monde sait qu'un morceau de charbon de bois compacte s'éteint quand il est isolé; le même charbon brûle entièrement quand il est réduit en poudre fine réunie en tas: dans le premier cas, il brûle seulement à la surface et ne produit pas assez de chaleur; dans le second, il brûle sur une certaine épaisseur, par plusieurs surfaces en quelque sorte; la chaleur engendrée suffit à la réparation des pertes et au maintien de la température d'ignition. Ainsi, pour tout expliquer, il reste à montrer que le charbon d'un cigare combustible est poreux, que celui d'un gaz combustible est trop compacte. Cela est facile.

Quand on chauffe dans une capsule du malate, de l'oxalate, du pectate, etc., de potasse, on constate que le sel fond avant ou pendant sa décomposition, et que les gaz engendrés, demeurant en partie emprisonnés dans la matière, provoquent un boursouflement considérable; finalement on obtient un charbon-poreux et volumineux. Au contraire, les malate oxalate, pectate de chaux, soumis à la même épreuve, donnent un charbon compacte. Qu'ils soient déposés dans la capsule du chimiste ou renfermés dans des cellules végétales, ces sels doivent présenter les mêmes phénomènes; en se boursouflant dans ces cellules, les sels organiques de potasse brisent et désorganisent le tissu du parenchyme; ils sont d'ailleurs mêlés avec des matières dont le charbon serait peut-être très-compacte si elles brûlaient isolément, mais qui est divisé par le mélange et le boursoufflement des sels potassiques. La conséquence est une porosité convenable du résidu charbonneux. Au contraire, si la chaux remplace la potasse, le boursouflement n'a plus lieu, et le parenchyme carbonisé demeure compacte.

En résumé, il est certain que le signe de la combustibilité est la présence du carbonate de potasse dans les cendres; que son absence est le signe de l'incombustibilité. Cela suffit pour guider le cultivateur. Il sait que sa terre doit fournir une quantité de potasse voulue pour la combustibilité, et qu'il faut lui en fournir s'il lui en manque. Mais sous quelle forme et combien?

Ces questions ont été résolues par des essais directs dans un champ presque dépourvu de potasse. Il a été reconnu:

1° Que le chlorure de potassium doit être rejeté; le chlore passe avec la potasse dans le tabac, et l'alcali, ainsi neutalisé, ne concourt pas à la formation des sels à acides organiques;

2° Que le sulfate convient parfaitement; la potasse est assimilée à l'exclusion de l'acide, fait analogue à celui que Boussingault a observé dans ses recherches sur l'emploi du plâtre en agriculture.

Le nitrate, le carbonate, conviennent également, mais leur prix est trop élevé. Celui du sulfate est au contraire très-abordable aujourd'hui.

Quant aux quantités à employer, elles sont évidemment variables avec la provision antérieure du sol, avec son pouvoir absorbant pour les alcalis, etc. Les essais directs doivent seuls guider le cultivateur en pareille matière. La potasse ne se perd pas en terre; donc, quand un sol aura acquis la quantité d'alcali qu'il doit posséder pour donner des tabacs combustibles, il suffira de l'entretenir dans cet état par une restitution calculée d'après le prélèvement des récoltes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INDICATEUR DE NIVEAU D'EAU. Quand un phénomène se passe à l'intérieur d'une capacité renfermant du gaz comprimé ou de la vapeur, on ne peut l'utiliser qu'autant que l'on parvient à en communiquer les effets à l'extérieur, à l'aide d'appareils qui permettent cette transmission sans établir de communication libre avec l'air extérieur. C'est dans ce but que sont combinés les stuffing-box, ou boites à étoupes des machines à vapeur. Il est bien évident que de semblables systèmes ne peuvent fonctionner que par l'effet d'une pression qui empêche la rentrée de l'air, et par suite en faisant naître un travail résistant de frottement.

Cet inconvénient serait absolument évité si l'on disposait d'une force d'attraction qui pût s'exercer à travers les parois de la capacité, de telle sorte que la pièce qui glisse dans son intérieur pût entraîner une pièce extérieure.

Ce problème est insoluble aujourd'hui quand il s'agit de forces considérables; mais, pour des résistances minimes et de petites vitesses, lorsqu'il s'agit d'appareils indicateurs et non d'opérateurs, on a, dans le magnétisme, une force qui remplit toutes les conditions voulues. L'appareil que nous allons décrire, servant à indiquer les changements de position d'un flotteur placé une chaudière à vapeur, est le premier où l'on ait rendu pratique une semblable disposition qui présentera des avantages précieux dans tous les cas où les ouvertures à une capacité offrent de grands inconvénients.

Avant de passer à cette description, nous citerons la disposition employée depuis cette invention par M. Chaudré, mécanicien à Paris, pour tourner la difficulté et résoudre le problème par de simples dispositions mécaniques. A cet effet il dispose le flotteur de manière à infléchir une tige mince sortant de la chaudière, et dont la flexion fournit facilement l'indication voulue en agissant sur une rainure héliçoïdale, ou à la tordre et la faisant agir sur une petite chaîne enroulée sur un axe, les indications amplifiées par une aiguille devant être observées par un cadran. Pour éviter un stuffing-box, il entoure cette tige d'un tube mince, d'un diamètre assez grand, soudé d'une part à la chaudière et de l'autre extrémité à la tige. Ce tube se tord avec la tige et par suite les indications se produisent en dehors de la capacité fermée.

Le flotteur-indicateur de niveau d'eau, inventé par M. Lethuillier-Pinel, de Rouen, se compose d'un flotteur creux (fig. 3611, 3612, 3613), suspendu à une tige dont la partie supérieure se meut dans une boite rectangulaire en cuivre fixée au dôme de la chaudière, et est munie d'un barreau d'acier fortement aimanté. Extérieurement, et contre l'une des faces de la boite, se trouve une petite aiguille en fer isolée de tout support et maintenue contre la boite par l'attraction seule de l'aimant. Ce dernier monte et descend avec le flotteur, et entraîne avec lui l'aiguille qui parcourt les divisions d'une échelle dont le zéro correspond au niveau normal de l'eau dans la chaudière.

Le tout est habituellement recouvert d'une glace qui protége l'aiguille et maintient l'échelle constamment propre. Pour surcroît de précaution, M. Lethuillier-Pinel a soin de dorer toute la face de la boite, afin qu'elle reste constamment brillante et que les divisions y soient bien apparentes.

Dans l'indicateur complet, tel qu'il est figuré sur le dessin, le dessus de la boite porte une tubulure fermée par une soupape qui s'ouvre de haut en bas et est maintenue en place par un petit ressort à boudin. Lorsqu'elle est ouverte, elle dirige un jet de vapeur sur le sifflet d'alarme qui est établi à peu près comme dans les appareils ordinaires. Un système de leviers ouvre cette soupape, soit lorsque le barreau aimanté descend à 0m.05 au-dessous de son niveau normal, soit lorsqu'il s'élève à 0m.12 au-dessus.

INDICATEUR DE NIVEAU D'EAU.

Cet appareil présente plusieurs avantages sur les flotteurs ordinaires. Ceux-ci, en effet, sont loin, en général, de donner des résultats satisfaisants. Suspendus habituellement à un fil de cuivre qui traverse le dessus de la chaudière dans une petite boite à étoupes, ils ne laissent presque jamais que le choix entre deux inconvénients, ou de trop serrer la garniture, ce qui rend l'appareil peu sensible ou même inutile, ou de ne pas la serrer suffisamment, ce qui occasionne presque toujours une fuite de vapeur. En outre, ce fil de cuivre est assez rapidement détruit, et, quand le chauffeur le remplace, on est exposé à ce que le fil nouveau n'ait pas toujours exactement la longueur convenable, de sorte qu'après ce remplacement les indications de l'appareil peuvent être entachées d'inexactitude. Au contraire, le flotteur de M. Lethuillier-Pinel est muni d'une tige solide de longueur invariable et réglée selon le diamètre de la chaudière. Cette tige a un autre avantage, c'est qu'on la démonte en faisant sauter une simple clavette; ce qui permet d'enlever le flotteur avec la plus grande facilité, lorsque le chauffeur entre dans la chaudière pour la nettoyer. Enfin, M. Lethuillier-Pinel, en réunissant sur une même tubulure le flotteur ordinaire, le sifflet d'alarme et, quand on le veut, une soupape de sûreté, évite de pratiquer un aussi grand nombre d'ouvertures sur le dessus de la chaudière, ce qui n'est pas sans quelque intérêt lorsque celle-ci est de petite dimension.

Fig. 3612.

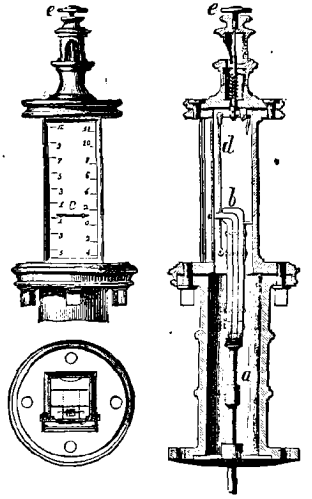


Fig. 3613. Fig. 3611.

Quelques personnes pourraient craindre peut-être que l'influence prolongée d'une température souvent supérieure à 150° ne finit par produire le même effet qu'un recuit à une température plus élevée, c'est-à-dire ne fît disparaître l'aimantation du barreau d'acier; mais il paraît qu'il n'en est rien, et que des appareils en service depuis plusieurs années fonctionnent toujours parfaitement.

Le seul inconvénient de ce système est que l'aiguille peut échapper par une action trop brusque, facile à éviter, mais qui est toutefois fâcheuse lorsqu'elle vient à se produire.

La petite aiguille indicatrice se meut par petits

EFERUS - Recherche & Classification numérique

soubresauts, comme cela a toujours lieu dans les indications de mouvements de cette nature; la force d'attraction magnétique ne pouvant agir pour mouvoir l'aiguille que sous une certaine obliquité, après avoir appliqué l'aiguille sur le tableau, et l'inertie du corps en mouvement lui faisant dépasser quelque peu le point correspondant à la plus petite distance. Il n'en résulte, au reste, aucun inconvénient dans la pratique.

INDUCTION (COURANTS D'). Les courants électriques dits d'induction jouissent de propriétés remarquables, faciles à constater à l'aide d'un ingénieux appareil construit par M. Ruhmkorff, qui permet de les produire facilement. Nous en donnons ici la description d'après M. E. Becquerel.

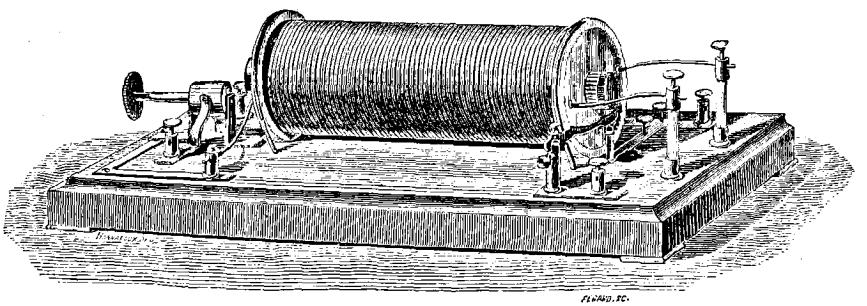
On sait que, lorsqu'on aimante un barreau de fer doux, il se manifeste, dans un fil conducteur enroulé autour de lui, un courant induit instantané et dirigé en sens inverse des courants que l'on suppose devoir circuler dans l'aimant d'après la théorie d'Ampère; lors de la désaimantation de ce barreau, il se produit dans le même fil un courant induit, également instantané, mais en sens inverse du précédent, c'est-à-dire dans le même sens que ceux que la théorie indique comme parcourant le fer aimanté, et que nous nommerons courant direct. Si, maintenant, l'on provoque une succession rapide d'aimantations et de désaimantations dans le fer, par un moyen quelconque, il se produira simultanément, dans le fil conducteur voisin, des courants induits dans les deux sens; mais l'expérience a prouvé que l'état électrique du circuit, au lieu d'être nul, est semblable à celui qui serait donné par une succession de courants directs, c'est-à-dire produits lors des différentes désaimantations du barreau de fer doux. Les courants induits directs sont donc prédominants et par leur excès de tension masquent l'effet des courants inverses que donnent les diverses aimantations.

MM. Masson et Bréguet ont observé, les premiers, que les courants d'induction avaient une tension assez grande; ils parvinrent ainsi à charger un condensateur et à produire des effets lumineux dans le vide, mais n'obtinrent pas l'étincelle à distance dans l'air. Ce résultat a pu être réalisé par M. Ruhmkorff à l'aide de l'appareil d'induction à la construction duquel il a apporté toutes les connaissances d'une personne versée dans l'étude de l'électricité et tous les soins d'un constructeur habile.

Cet appareil (fig. 3614) consiste en une longue bobine en carton mince avec rebords en verre ou en bois, recouverte d'un premier circuit formé par un fil de cuivre isolé gros et court, lequel doit donner passage au courant électrique inducteur destiné à provoquer l'aimantation de la masse centrale en fer doux. Sur ce premier circuit se trouve enroulé un fil de cuivre entouré de soie, mais d'un très-petit diamètre et dont la longueur varie entre 8 et 10 kilomètres; car la longueur du fil, par la résistance qu'il oppose à la transmission de l'électricité, est la première condition pour que celle-ci acquière une grande tension. Ce second fil est, en outre, isolé avec le plus grand soin par un vernis à la gomme laque, et ses extrémités aboutissent à deux colonnes isolantes en verre. Dans l'axe de la bobine se trouve un faisceau de fils de fer dont la surface oxydée ne permet pas de communication d'un fil à l'autre de manière à éviter que des courants d'induction circulant autour de la masse de fer ne diminuent la rapidité de transmission des courants induits dans le circuit intérieur.

On voit donc que le principe de l'appareil consiste à faire passer, à des intervalles très-rapprochés, une succession de courants électriques dans le premier circuit ou dans le gros fil inducteur; le faisceau central en fer doux, en s'aimantant et se désaimantant, réagira, par induction, sur le circuit de fil fin, et produira une série de courants induits donnant lieu aux étincelles et aux effets d'inflammation dont on parlera plus loin.

Pour produire cette succession rapide de courants dans le fil inducteur, M. Ruhmkorff a employé le système d'interrupteur, utilisé par MM. Neef et Delarive : il est disposé de façon à être mis en jeu par le courant électrique qui anime l'appareil. Pour atteindre ce but, le faisceau central de fils de fer est terminé par une rondelle de fer doux qui fait saillie hors de la bobine et qui est destinée à attirer une petite masse de fer doux toutes les fois que l'aimantation a lieu; cette petite masse de fer doux, attachée à un bras de levier très-mobile, est terminée, à sa partie inférieure, par une lame en platine qui repose, dans les conditions ordinaires, sur un morceau de cuivre également couvert de platine. Or comme la masse de fer doux communique à une des extrémités du fil inducteur et que le morceau de cuivre touche à l'un des pôles du couple ou de la pile qui produit le courant, il en résulte que le circuit sera fermé toutes les fois que les deux masses métalliques seront en contact; mais, quand cela aura lieu, les fils de fer s'aimanteront, le morceau de fer doux sera attiré et le circuit sera rompu; aussitôt le courant cessant de passer, le fer doux retombera, touchera de nouveau le cuivre, d'où résultera un nouveau passage de l'électricité; de là nouvelle attraction, nouvelle rupture du circuit, et ainsi de suite. On comprend dès lors qu'il se produira une succession très-rapide de passages du courant attestée par des étincelles éclatant entre le marteau de fer et le morceau de cuivre; mais



3614.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme ces masses métalliques sont recouvertes de platine, il ne se produit pas d'oxyde entre les surfaces de contact, et l'action peut se continuer ainsi pendant plusieurs heures.

Quand l'appareil fonctionne de cette manière, on peut, en faisant usage d'un ou deux couples de Bunsen comme source électrique, avoir un courant induit capable de donner, entre les deux extrémités du fil fin, des étincelles de plusieurs millimètres. Quand la pile est plus puissante, les effets statiques augmentent d'intensité. On doit remarquer que l'extrémité du fil par laquelle l'excès de tension est donné quand on en approche un corps conducteur est celle qui forme les derniers tours de spire, c'est-à-dire l'extrémité extérieure du fil fin; l'autre extrémité, ou l'extrémité intérieure ne produit aucun effet de ce genre.

M. Ruhmkorff a adapté à son appareil d'induction un condensateur dont on met les deux faces en rapport avec les deux extrémités du fil inducteur; ce condensateur, en réagissant sur l'extra-courant qui passe dans ce fil, ainsi que l'a montré M. Fizeau, augmente la longueur des étincelles éclatant dans l'air entre les bouts du fil induit. Cet effet provient d'un excès de tension plus considérable de l'électricité induite, qui acquiert alors plus de facilité à vaincre les résistances. Ce condensateur est formé d'une bande de taffetas gommé de 3 mètres environ de longueur, sur les deux faces de laquelle sont fixées des lames d'étain; le tout est replié et mis dans le support de l'appareil.

Enfin M. Foucault, en montrant le moyen de faire agir simultanément plusieurs appareils, en a accru singulièrement les effets.

Un grand nombre de physiciens ont déjà fait, au moyen de cet appareil d'induction, des recherches fort intéressantes. C'est ainsi qu'on a pu étudier la lumière électrique dans le vide, les apparences lumineuses et les différences des actions calorifiques aux deux pôles.

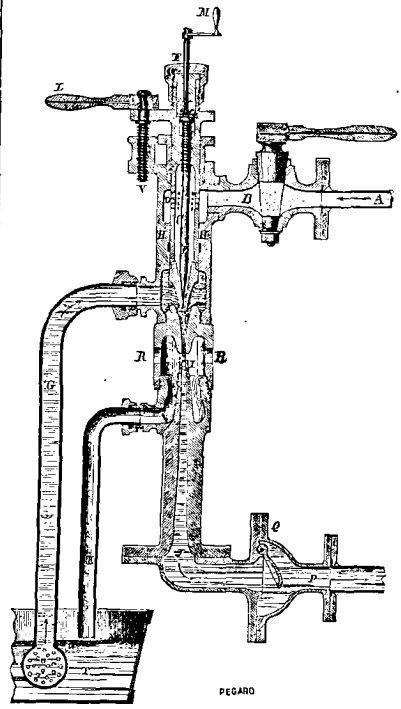
L'appareil dont il s'agit n'offre pas seulement un intérêt purement spéculatif, si l'on considère les services qu'il a déjà rendus et ceux qu'il peut rendre à l'art des mines. Les procédés employés jusqu'à ce jour pour enflammer la poudre dans les mines sont impraticables dans certains cas, et le plus souvent insuffisants et dangereux. L'incandescence d'un fil métallique interposé dans un circuit voltaïque avait déjà permis de provoquer une explosion à distance à un moment donné; mais quelques imperfections de cette méthode et l'embarras de la disposition des couples, dont le nombre dépend de la longueur du circuit à parcourir, étaient tels, que l'on n'a pas utilisé la puissance calorique de l'électricité voltaïque. L'appareil de M. Ruhmkorff n'offre plus les mêmes embarras de manipulation; au lieu d'une pile de plusieurs éléments, il n'en exige qu'un seul, et encore pourrait-il être remplacé par une machine magnéto-électrique toujours prête à fonctionner. Quand on veut opérer, on place, là où l'explosion doit avoir lieu, une fusée de Stateham; puis le circuit est formé à l'aide de deux fils enduits de gutta-percha, ou même d'un seul fil et de la terre, qui joignent les deux extrémités du fil de l'appareil d'induction avec les deux fils qui terminent la fusée. Un grand nombre d'essais ont été faits par MM. Ruhmkorff et Verdu, par M. Savart, et l'on a expérimenté successivement sur une longueur de fil variable de 400 mètres à 26 kilomètres, et le succès a toujours été complet. M. du Moncel, qui s'est également occupé de ce sujet, a pu, par une ingénieuse disposition, produire simultanément l'inflammation de plusieurs fourneaux de mines très-considérables faites pour les travaux de la rade de Cherbourg. Ainsi à la sécurité et à la facilité que présente l'emploi de cet appareil pour provoquer l'explosion de la poudre vient se joindre l'avantage de pouvoir opérer simultanément l'inflammation en des points différents.

INJECTEUR POUR L'ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR. Inventé par M. H. Giffard. — Cette curieuse invention, déjà passée d'une manière sérieuse dans la pratique industrielle, malgré sa nouveauté, mérite autant d'intérêt au point de vue théorique qu'au point de vue pratique; car, comme nous essayerons de le montrer, il est presque impossible de ne pas conclure qu'elle conduit au mouvement perpétuel, si on n'applique pas convenablement la théorie dynamique de la chaleur que je m'efforce de formuler dans cet ouvrage.

Décrivons d'abord cet appareil et indiquons son importance industrielle.

Un appareil simple, économique et sûr, pouvant remplacer les pompes alimentaires et les retours d'eau, fonctionnant seul, une fois réglé, était bien désirable pour la pratique industrielle. C'est le rôle que remplit l'injecteur de M. Giffard.

La vapeur sort de la chaudière par le tuyau AB (fig. 3615) muni d'un robinet d'arrêt; elle pénètre dans



3615.

un second tube C, perpendiculaire au premier, par de petits trous : ce second tuyau est terminé en cône du côté de la chaudière.

L'extrémité du tube C est conique en dedans et en dehors, et elle peut être rapprochée ou écartée de la pièce H, qui est conique intérieurement, par le jeu du levier L; celui-ci agit sur une vis à pas rapide, et fait marcher le tuyau C, avec tout son système.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Une autre tige à vis E, terminée d'un bout par un cône, et de l'autre par une manivelle M, en reçoit le mouvement, et sert à régler ou même à intercepter entièrement le passage de la vapeur qui vient de la chaudière.

Un tuyau d'aspiration G plonge dans la bâche, et conduit l'eau aspirée par l'injecteur à l'extérieur du tuyau C.

JJ est un ajutage divergent qui reçoit l'eau amenée par le tuyau d'aspiration, et à laquelle la vapeur de la chaudière, en s'échappant par le bout conique du tube C, imprime une grande partie de sa vitesse en se condensant. Cet ajutage va en augmentant de diamètre du côté de la chaudière, et il est muni d'un clapet de retenue qui empêche l'eau de sortir du générateur quand l'appareil ne fonctionne pas. Un bouchon à vis Q permet de visiter à volonté le clapet. P est un tuyau qui conduit ensuite l'eau d'alimentation dans la chaudière.

Il y a enfin un tuyau de trop-plein ou de purge K, par lequel s'écoule l'excès d'eau que l'appareil peut aspirer.

La marche du système est facile à comprendre. La distance entre la bague H et l'extrémité conique du tuyau C, doit être réglée en raison du volume d'eau à introduire dans la chaudière en un temps donné ; elle ne doit jamais être moindre d'un centimètre. Le levier L et sa vis permettent ce règlement. L'eau ne doit jamais sortir par le tuyau de purge K quand l'alimentation fonctionne.

Lorsque l'appareil ne fonctionne pas, la tige à vis EE est à fond dans le cône et intercepte entièrement la vapeur. Dès qu'on fait faire un tour à la manivelle et que la vapeur, à la pression de la chaudière, s'échappe avec une très-grande vitesse par l'ouverture conique du tube C, elle fait le vide dans l'espace annulaire resté au milieu de la bague H ; l'eau de la bâche monte, appelée à une hauteur de 3 ou 4 mètres : le jet de vapeur qu'elle rencontre là se condense immédiatement, et en même temps cette vapeur imprime au volume d'eau appelé une vitesse et une force vive telles, que celle-ci soulève le clapet et pénètre dans le générateur. La vitesse de la colonne d'eau introduite est même telle que l'on est obligé de prendre des précautions pour ne pas produire des désordres à l'intérieur des chaudières.

Manœuvre de l'appareil. — La section annulaire qui sert de passage à l'eau étant réglée à un centimètre par exemple, qui est la section minima, et la tige à vis et à cône étant serrée à fond, à l'aide de la manivelle, pour intercepter le passage de la vapeur :

On ouvre le robinet B de la chaudière ; puis on fait faire un tour à la manivelle pour donner passage à la vapeur qui s'échappe avec vitesse et qui entraîne l'air contenu dans le système. Le vide se fait dans le tuyau d'aspiration, et l'eau qui monte remplit l'espace annulaire et condense la vapeur en s'échauffant.

Aussitôt que l'eau est arrivée et coule par le tuyau de trop-plein, on fait faire plusieurs tours à la manivelle, de manière à ouvrir entièrement le passage de vapeur.

L'eau qui sortait par le tuyau de trop-plein entre alors dans la chaudière, en vertu de la force vive et de la vitesse que lui a imprimées la vapeur.

On reconnaît que l'eau pénètre dans la chaudière à un sifflement particulier facile à reconnaître.

On doit régler le volume introduit en manœuvrant le levier L et ouvrant ou fermant plus ou moins le passage de l'eau, de manière que rien ne sorte par le tuyau de purge ; un regard R, qui est à l'origine du tuyau divergent, permet de voir le courant alimentaire injecté dans la chaudière.

Applications de l'appareil.—M. L. Bougère, ingénieur à Angers, a publié, en 1859, un mémoire sur l'injecteur de M. Giffard dans lequel la question des applications est traitée d'une manière complète.

Il fait remarquer que *les jets de vapeur* n'ont été utilisés jusqu'à ce jour dans les générateurs que comme sifflets d'alarme et comme moyens de tirage pour les locomotives ; l'injecteur en est une nouvelle et importante application.

M. Bougère signale quatre applications d'une grande utilité :

1° A la navigation à vapeur ;
2° Aux locomotives ;
3° Aux machines fixes des usines ;
4° A des usages divers.

Alimentation des bateaux à vapeur. — Les pompes qui alimentent les chaudières sur les bateaux à vapeur ont le défaut de ne plus fonctionner quand le bateau est arrêté, à des escales ou autrement ; ce qui force à jeter inutilement dans l'air la vapeur produite en excès, par suite de l'arrêt des machines.

L'injecteur remplacera très-avantageusement les pompes alimentaires pour les petits bateaux, et permettra d'utiliser à l'alimentation la vapeur en excès développée au moment des stoppages. Sur les grands steamers, on remplacera par un appareil simple et peu coûteux le petit cheval de 12 à 15 chevaux de puissance qui sert à alimenter les générateurs de mer, petit cheval qui occupe beaucoup de place et coûte très-cher d'entretien comme de graissage.

L'*injecteur* servira aussi, au besoin, de pompe de cale, et, pendant les combats, il enlèvera très-rapidement toute l'eau qui pourrait entrer à bord par une grande voie d'eau due à un boulet. Il servira aussi de pompe à incendie, et aucun incendie naissant ne pourra résister à son énergie.

Alimentation des locomotives. — L'utilité de l'injecteur est encore plus grande ici. Les pompes alimentaires des locomotives ne peuvent fonctionner et alimenter le générateur que quand la locomotive marche. Il faut donc pour alimenter, quand un convoi est arrêté, faire courir la locomotive seule sur la voie, ou s'exposer à des dangers. Plusieurs explosions produites après un repos eussent été sûrement évitées par l'emploi de cet appareil.

L'injecteur, au contraire, alimente sans moteur, sans que la locomotive se déplace, en utilisant l'excès de vapeur qui se produit lors des arrêts ; de plus, les pompes alimentaires ordinaires marchant à la vitesse des locomotives, c'est-à-dire à deux cents tours au moins par minute, sont dans de mauvaises conditions de service et d'effet utile, les clapets se dérangeant très-fréquemment à cette vitesse et s'usant très-vite.

Dans les machines à cylindres extérieurs, les pompes installées en dehors gênent beaucoup, et seront très-heureusement remplacées par l'injecteur. L'emploi sur les machines du chemin de l'Est de l'injecteur Giffard a tout à fait réussi ; pendant les froids intenses notamment, on a bien apprécié sa supériorité sur les pompes alimentaires dont les gelées empêchent le bon fonctionnement.

Alimentation des machines fixes des manufactures. — Avec l'injecteur, on alimentera à bon marché ; on supprimera alors les pompes alimentaires, qui sont toujours un outil sujet à dérangement. Dans beaucoup d'ateliers, on se sert de chaudières à vapeur sans machines à rotation, comme pour les marteaux-pilons, les raffineries de sucre, etc. ; l'injecteur rendra les plus grands services. Il remplacera avec grand avantage des *retours d'eau* très-compliqués et chers de construction et de service.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Théorie de l'injecteur.—La théorie de l'injecteur Giffard a été donnée dans le Bulletin de la Société d'Encouragement par M. Combes (de l'Institut), et elle permet de préciser le mode d'action de cet appareil. Nous rapporterons ici cet intéressant travail.

Un mètre cube de vapeur d'eau saturant l'espace à la température de 152 degrés et sous la pression correspondante de 5 atmosphères ou $5^k,165$ par centimètre carré pèse, en calculant son poids conformément aux lois de Mariotte et de Gay-Lussac, $2^k,5962$. Si l'on admet que la vapeur à cette densité et sous cette pression maintenues constantes s'écoule du vase qui la renferme dans l'atmosphère par un orifice qu'elle franchit en conservant toute sa densité, comme le ferait un liquide, sa vitesse de sortie serait, abstraction faite des résistances occasionnées par la forme de l'orifice, égale à $\sqrt{2g\frac{P-p}{q}}$, expression où g désigne la gravité, P et p les pressions respectives de la vapeur et de l'atmosphère sur l'unité superficielle et q le poids spécifique de la vapeur. Dans les conditions indiquées précédemment, $\frac{P-p}{q}=\frac{51650-10330}{2,5962}=15916$. D'ailleurs, $g=9,8088$. La vitesse de sortie de la vapeur serait donc, dans l'hypothèse admise, de $558^m,79$ par seconde, et la hauteur génératrice de vitesse $\frac{P-p}{q}$ de 15916 mètres.

Si l'on admet que, par suite de la forme du vase, de l'orifice, du tuyau qui y amène la vapeur, ou de toutes autres circonstances, la vapeur se dilate en avant de l'orifice, de manière à le franchir sous la densité correspondante à la pression atmosphérique même, sa température ayant été entretenue constante par une source de chaleur, pendant la dilatation qui a lieu à l'intérieur du vase, la vitesse de sortie sera, dans ce cas, donnée par l'expression $\sqrt{2g\frac{p}{q}\log.\text{hyp.}\frac{P}{p}}$,

où q exprime le poids spécifique de la vapeur sous la pression atmosphérique et à la température de 152 degrés, P, p et g ayant la même signification que précédemment. Le poids q est donné par l'équation :

$$q=0,622\times 1,299\times\frac{1}{1+0,00366\times 152}=0^k,519,$$

le rapport $\frac{P}{p}=5$; $\frac{p}{q}=\frac{10330}{0,519}$. En introduisant ces données numériques dans la formule (*a*), on trouve pour la vitesse d'écoulement de la vapeur sortant sous la pression atmosphérique, $792^m,82$ par seconde. La hauteur génératrice de cette vitesse :

$$\frac{p}{q}\log.\text{hyp.}\frac{P}{p}=32044\text{ mètres}^1.$$

Ceci signifie que la vapeur est animée, à sa sortie, d'une vitesse en vertu de laquelle ses particules considérées comme isolées et sans action les unes sur les autres remonteraient à une hauteur de 15916 mètres dans un espace vide de toute matière. En d'autres termes, la force vive dont la vapeur est animée à sa sortie correspond à un travail moteur égal au poids de cette vapeur élevé à une hauteur de 15916 mètres.

Ceci posé, la vapeur rencontre, immédiatement avant de passer dans l'atmosphère, de l'eau qui en opère brusquement la condensation et forme avec elle un jet entièrement liquide. La vitesse de l'eau qui vient condenser la vapeur est négligeable par rapport à la vitesse de celle-ci. Les réactions intérieures qui déterminent la condensation ne peuvent modifier la quantité de mouvement. Si donc on désigne par m la masse de vapeur qui s'écoule dans l'unité de temps, par M la masse de l'eau qui se mêle à cette vapeur condensée, pour former le jet liquide, par v la vitesse d'écoulement de la vapeur, par u la vitesse du jet après la condensation, on a la relation :

$$(m+\text{M})\,u=mv,\quad\text{d'où : }u=v\times\frac{m}{m+\text{M}}$$

La masse d'eau M doit être suffisante pour opérer la liquéfaction complète de la vapeur.

Soit la température de l'eau égale à 15 degrés. Nous pouvons, pour un calcul approximatif, admettre que la vapeur abandonne, en se condensant, 550 unités de chaleur. Si l'on veut que le jet liquide soit à la température de 60 degrés, le rapport de M à m sera déterminé par l'équation :

$$\text{M}\times 15+m\times 650=(m+\text{M})\,60,\text{ d'où :}$$
$$\text{M}=\frac{590}{45}\times m=13,11\times m.$$

Il faudra donc que le poids de l'eau soit, dans les conditions fixées ci-dessus, 13 fois environ le poids de la vapeur.

En admettant que le poids de l'eau soit 15 fois celui de la vapeur, on trouvera que la température du jet liquide serait de 57 à 58 degrés, l'eau étant toujours prise à la température de 15 degrés. Soit donc $\text{M}=15m$; la vitesse u du jet sera $\frac{1}{16}$ de la vitesse de la vapeur, et la hauteur à laquelle il remonterait en vertu de cette vitesse serait par conséquent $\frac{1}{16^2}\frac{v^2}{2g}$, tandis que les particules de vapeur isolées seraient remontées à la hauteur $\frac{v^2}{2g}$. Mais le poids du jet liquide étant égal à 16 fois celui de la vapeur, on voit que sa force vive est égale à $\frac{1}{16}$ de celle de la vapeur, avant sa condensation.

La vitesse du jet liquide étant toujours $\frac{1}{16}$ de celle de la vapeur sera $\frac{558^m,79}{16}=34^m,92$ par seconde. Si elle est supérieure à celle avec laquelle l'eau à la température du jet jaillirait de la chaudière dans l'atmosphère sous la pression intérieure de 5 atmosphères, on comprend fort bien que le jet liquide, étant lancé dans un ajutage de forme appropriée communiquant à l'intérieur de la chaudière, entrera dans celle-ci en refoulant l'eau qui tendrait à en sortir. Or si, faisant abstraction de l'influence et de la dilatation de l'eau de 15 degrés à 57 ou 58 degrés, nous prenons 1 kilogr. pour le poids du litre d'eau composant le jet liquide, nous aurons, pour la vitesse avec laquelle l'eau à cette température tendrait à passer de la chaudière dans l'atmosphère, $\sqrt{2g\times 41^m,32}$, $41^m,32$ étant la hauteur d'une colonne d'eau qui fait équilibre à une pression de 4 atmosphères, $\sqrt{2g\times 41,32}=28^m,37$, vitesse assez au-dessous de la valeur trouvée de la vitesse du jet liquide, pour que l'on puisse regarder comme certaine la possibilité de faire entrer dans la chaudière, avec la vapeur condensée qui en émane, un poids d'eau égal à 15 fois celui de cette vapeur. L'eau entrante sera à la température d'environ 57 degrés.

On voit que le jet liquide ne pourrait plus entrer dans la chaudière, si sa vitesse tombait jusqu'à $28^m,37$

[1] Nous ne suivrons pas l'auteur dans l'application de cette seconde manière de faire le calcul de la vitesse ; on doit la considérer comme bien plus éloignée de la vérité que la première depuis que Poncelet a établi, en discutant les expériences de Pecqueur, que les formules d'écoulement des liquides s'appliquaient à l'air comprimé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par seconde. Or, c'est ce qui arriverait pour un poids d'eau égal à $\frac{558,79}{28,37} - 1 = 18,7$ fois le poids de vapeur. Ainsi, la quantité d'eau qu'il est possible d'introduire dans la chaudière, au moyen de l'appareil injecteur, serait au plus 18 fois le poids de la vapeur qui alimente l'appareil.

Le volume d'eau alimentaire qu'il est possible de faire entrer dans une chaudière, au moyen de l'injecteur de M. Giffard, va en augmentant à mesure que la pression effective, c'est-à-dire l'excès de la vapeur sur celle de l'atmosphère extérieure, diminue. Ainsi, par exemple, si la pression effective n'est que d'une demi-atmosphère, le poids du mètre cube de vapeur, sous cette pression et à la température correspondante de 111°, sera de 0k.8349.

La formule $V = \sqrt{2g\frac{P-p}{q}}$ donne, dans ce cas, pour la vitesse de la vapeur jaillissant dans l'atmosphère,

$$V = \sqrt{2 \times 9,8088 \times \frac{4710}{0,8349}} = 332 \text{ mètres par seconde.}$$

La vitesse avec laquelle l'eau liquide jaillirait, sous la pression de 5m.165 d'eau, hauteur équivalente à une demi-atmosphère, serait seulement de 10 mètres par seconde en nombre entier; d'où il suit que la vapeur pourrait entraîner plus de 30 fois son poids d'eau, le jet liquide conservant encore une vitesse suffisante pour pénétrer dans la chaudière. La limite déterminée ainsi grossièrement est sans doute trop élevée, parce que, d'une part, la vitesse de la vapeur est diminuée par les résistances des tuyaux et de l'embouchure, et que, d'autre part, la densité du jet liquide est diminuée par l'élévation de température, par la vapeur imparfaitement condensée peut-être et l'air entraîné. Mais il n'en est pas moins certain que l'alimentation sera d'autant mieux assurée et pourra être d'autant plus abondante que la pression effective sera moindre dans la chaudière.

Il n'en résulte pas cependant, comme la pratique l'a montré sur les locomotives, que l'appareil réglé pour une pression élevée le soit pour une pression moindre. Ainsi, si l'appareil est monté pour alimenter en utilisant la totalité du jet liquide une chaudière dans laquelle la pression soit de 7 atmosphères, par exemple; si la pression vient à s'abaisser à deux atmosphères, le poids de vapeur pour une même ouverture diminuant rapidement pendant l'unité de temps, en raison composée des décroissements de vitesse et de densité, la quantité d'eau mêlée à la vapeur devient trop grande et sort par l'orifice d'évacuation. Il faut enfoncer le cône pour diminuer le passage de l'eau, car la quantité injectée pour un même passage de vapeur doit décroître avec la pression intérieure, bien que le rapport du poids de l'eau à celui de la vapeur aille en augmentant.

Considéré comme appareil d'alimentation des chaudières à vapeur, l'injecteur de M. Giffard est, sans contredit, le meilleur de tous ceux que l'on ait employés ou même que l'on puisse employer, comme il en est le plus ingénieux et le plus simple. Si l'on suppose, en effet, que, conformément aux notions anciennement admises, la quantité de chaleur contenue dans les corps se conserve intégralement à travers les changements de volume et d'état qu'ils subissent, indépendamment des quantités de travail moteur ou résistant qui sont les conséquences de ces changements, il est clair que le jeu de l'appareil de M. Giffard ne donnera lieu à aucune autre perte de chaleur qu'à celle qui aura lieu par radiation ou contact de la chaudière et de ses appendices avec le milieu ambiant. L'alimentation aurait lieu gratuitement.

Si, conformément aux principes plus rationnels de la nouvelle théorie dynamique de la chaleur, on admet que la chaleur se transforme en travail moteur et réciproquement, de sorte que tout travail moteur ou résistant, toute force vive développée ou détruite dans les changements de volume ou d'état des corps, soient accompagnés d'une disparition ou d'une production de chaleur équivalente, la quantité de chaleur dépensée, dans le jeu de l'appareil Giffard, sera précisément, abstraction faite des pertes par radiation ou contact avec le milieu ambiant, équivalente au travail moteur qui correspond à l'élévation de la quantité d'eau alimentaire du réservoir où elle est située et à son refoulement dans la chaudière sous la pression qui y existe. Nous sommes donc fondé à dire que l'appareil de M. Giffard est un appareil d'alimentation théoriquement parfait pour les chaudières à vapeur. L'auteur a prouvé que les dimensions peuvent en être combinées de manière qu'il fonctionne dans des conditions matérielles qui approchent beaucoup de cette perfection théorique.

Mais les machines qui seraient construites sur les mêmes principes que l'appareil de M. Giffard, pour être appliquées à l'élévation de l'eau, ou plus généralement à la mise en mouvement de masses liquides ou gazeuses, la chaleur contenue dans le jet formé du mélange de la vapeur et des liquides ou gaz entraînés par elle étant inutile au résultat final, seraient de très-mauvaises machines au point de vue de l'économie du travail moteur. Ainsi, nous avons vu que, si la vapeur entraîne n fois son poids d'eau ou de tout autre fluide, la force vive du jet est réduite à la fraction $\frac{1}{1+n}$ de la force vive dont la vapeur était primitivement animée, de telle sorte que la force vive perdue est la fraction $\frac{n}{n+1}$ de la force vive primitive. Cette perte augmente énormément avec le rapport du poids entraîné au poids de la vapeur, et ce rapport serait en général très-grand.

Un jet de vapeur sortant avec la vitesse due à une pression de 5 atmosphères peut entraîner 50 fois son poids d'eau et l'élever à une hauteur qui sera à peu près égale à $\frac{1}{2g} \times \left(\frac{558,79}{51}\right)^2 = 6$ mètres en nombre rond. La perte de travail moteur sera, dans cette hypothèse, les $\frac{50}{51}$ du travail total qu'aurait pu développer la vapeur agissant à pleine pression, sans détente et sans condensation, contre la pression atmosphérique extérieure.

Si un jet de vapeur, animé de la même vitesse que précédemment, entraîne 10 fois son poids d'air atmosphérique, jouant ainsi le rôle de machine soufflante, quelque bien disposé que l'on suppose l'appareil, la force vive dont sera animé le jet d'air humide ne pourra dépasser $\frac{1}{11}$ de la force vive de la vapeur, c'est-à-dire du travail théorique que la vapeur, agissant contre la pression atmosphérique et sans condensation, aurait pu développer.

Les appareils de ce genre, dont on fait et dont on pourrait à l'avenir faire usage, peuvent être sans doute d'un emploi avantageux, dans des circonstances spéciales, en raison de leur extrême simplicité; mais ils n'en restent pas moins de très-mauvaises machines, au point de vue de l'économie de la force motrice. C'est ce dont M. Giffard s'est très-bien rendu compte. Le mérite de son ingénieuse invention consiste donc dans l'application aux chaudières à vapeur et dans l'exécution d'un appareil qui fonctionne avec une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

facilité et une régularité parfaites ; qui, par exemple, à la manufacture impériale des tabacs, suffit pour alimenter des chaudières de 200 chevaux de force, où il injecte par heure, suivant ce qui nous a été dit, jusqu'à 4 mètres cubes d'eau.

Quelques personnes ont élevé des prétentions à l'antériorité de l'invention de M. Giffard. Si elles n'ont pas utilisé le jet de vapeur d'une chaudière pour l'alimentation de cette chaudière elle-même, ou réalisé d'autres applications où la chaleur contenue dans le jet entraîné par la vapeur joue le rôle principal, elles n'ont fait, à notre avis, que de mauvaises machines, fondées sur le fait bien connu et appliqué depuis longtemps dans les trompes, les tuyères des locomotives, etc., de l'entraînement des liquides ou des gaz par communication latérale.

Observations. — La savante analyse de M. Combes me paraît insuffisante en un point qu'il importe de compléter. Il admet comme conséquence de la théorie dynamique de la chaleur qu'il disparaît une quantité de chaleur correspondant exactement à l'élévation et au refoulement de l'eau dans la chaudière, et il en conclut que l'appareil est théoriquement parfait. Or, il est facile de voir que les choses ne se passent pas tout à fait ainsi. La force vive de la masse liquide qui est en mouvement pour pénétrer dans la chaudière, ne suit pas d'autres lois que les lois de la mécanique ; il n'y a là qu'un fait mécanique ordinaire, et le travail correspondant à cette force vive ne se convertit nullement en chaleur. La soupape est repoussée par l'eau en mouvement, et celle-ci pénètre dans la masse de l'eau de la chaudière où sa vitesse s'amortit par des tourbillonnements, absolument comme si elle était lancée par une pompe foulante.

Toute la chaleur contenue dans la vapeur se retrouvant d'ailleurs dans l'échauffement de l'eau qui la condense, le calcul de la chaleur ou du travail dépensé dans l'injecteur Giffard se réduit à celui de la force vive imprimée à la vapeur par la pression intérieure de la chaudière ; c'est l'action directe de la vapeur qui fait alors mouvoir une espèce de pompe exempte de toutes *résistances nuisibles*. Cet avantage, aussi bien que la simplicité de l'appareil, doivent en assurer la supériorité sur tout système de pompes ; mais au point de vue exclusif de l'économie du travail moteur, il peut exister des cas où une pompe conduite par une machine à vapeur à longue détente, utilisant très-complétement le pouvoir moteur de la vapeur et injectant l'eau avec une très-petite vitesse, serait plus économique que l'injecteur Giffard. Ainsi, prenant les chiffres de M. Combes, qui admet, avec raison, que la vitesse d'entrée doit être bien plus grande que celle virtuelle de sortie de l'eau, et comparant la force vive $\frac{mv^2}{2}$ pour $V = 35^m$, et pour 1 kilog. dans le cas d'une pression de 5 atmosphères, le travail consommé par l'alimentation ou celui de la force vive qui se détruit dans la chaudière est de 68 kil. mèt., et le travail PV d'une pompe alimentaire (en négligeant les frottements intérieurs et supposant nulle la vitesse de l'eau injectée, qui peut seulement être très-petite) est pour 1 kilog. peu supérieur à $10330 \times 5 \times 0{,}001 = 51$.

A cela, il importe d'ajouter que l'injection élevant la température de l'eau d'injection, on ne peut utiliser toute la chaleur de l'eau qui sort du condenseur à une température de 40°. En effet, l'eau est alors portée à 80° ; à cette température, la condensation ne se fait plus convenablement, et l'injecteur crache, comme l'a constaté expérimentalement M. Dollfus, de Mulhouse.

Il est intéressant d'examiner comment se produit la consommation de chaleur qui correspond au travail d'alimentation, d'après la nouvelle théorie, car pour l'ancienne, son inexactitude est évidente par le jeu de l'appareil dont nous parlons, puisqu'un effet sans cause serait produit, si on l'admettait, toute la chaleur communiquée à la chaleur passant dans l'eau d'alimentation.

Il faut remarquer que le travail de la vapeur, lorsqu'elle arrive dans le cylindre d'une machine à vapeur, qu'elle travaille à pleine pression, ne coûte en apparence aucune chaleur ; on retrouve dans le condenseur toute la chaleur que la vapeur a dû apporter dans le cylindre, et M. Hirn a démontré surabondamment que ce n'est que lorsque la détente a lieu qu'il y a consommation de chaleur. Il y aurait donc là un effet sans cause, et c'est une erreur dans laquelle sont tombés plusieurs savants du premier ordre, en traitant de la machine à vapeur. Elle résulte de ce qu'on ne considère que le cylindre à vapeur, tandis qu'on doit considérer la totalité de la vapeur qui travaille, c'est à-dire celle qui est renfermée dans la chaudière qui, lors de l'action directe, travaille aussi bien que celle du cylindre, vapeur dont le volume est très-grand relativement à celle qui est déjà parvenue dans le cylindre. C'est dans cette chaudière que se produit la consommation de chaleur qui correspond à l'action directe, à la force vive de la vapeur qui sort de la chaudière.

Il est facile, d'après cela, de calculer le travail consommé par l'injecteur Giffard. Ayant déterminé le volume V de vapeur qu'il consomme, ce qui est facile, connaissant l'orifice de sortie et la pression P de la vapeur, PV sera le travail en kilogrammètres qui correspondra à la force vive de la vapeur. Cette dépense, d'après les calculs de M. Combes, correspond au travail direct d'environ $\frac{1}{16}$ du poids de l'eau ou de la vapeur utilisée dans la machine et qui y a en quelque sorte un double emploi. On en tiendra compte dans le calcul du travail utile de la machine à vapeur, relativement à la consommation du combustible, en prenant $\frac{1}{16}$ du travail de l'action directe de la vapeur, si on ne le calcule directement. Cette fraction de force vive, d'après l'analyse précédente, sera consommée pour l'alimentation à l'aide de l'injecteur Giffard, et fournira (divisée par l'équivalent mécanique de la chaleur) la mesure de la quantité de chaleur qui aura été consommée dans la chaudière par la détente de la masse de vapeur qui y est contenue, pour lancer la petite quantité qui produit l'alimentation.

INJECTION, CONSERVATION DES BOIS. Tandis que les besoins en bois de toute nature augmentent dans une proportion d'autant plus grande que les chemins de fer s'étendent ou renouvellent leur matériel en traverses, les forêts s'éclaircissent et disparaissent. Aussi les esprits se sont-ils tournés, dans ces derniers temps surtout, vers la recherche des moyens de préserver le bois en œuvre d'une destruction certaine ou tout au moins rapide. Déjà, à l'époque où le bois abondait, on s'était occupé de prolonger sa durée. Mais, outre que les essais faits à ce sujet, dans les temps les plus reculés, sont tombés dans l'oubli, ils n'avaient pas cette valeur industrielle qu'on exige de nos jours des applications scientifiques. Il est évident que, dès les temps les plus reculés, on a dû être frappé des propriétés conservatrices des résines, comme aussi du changement qu'opéraient la silice ou les bicarbonates de chaux dans les diverses espèces de bois pétrifiés.

Nous avons vu nous-même des blocs de châtaignier imprégnés de sulfate de baryte parfaitement conservés dans des terrains très-anciens.

On trouve dans beaucoup de mines des madriers qui ne pourrissent pas. Ce phénomène est surtout remarqué dans les exploitations de sel gemme.

Mais ce qui peut paraître extraordinaire au premier abord, c'est la conservation du bois dans un petit lac

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'eau limpide et pure, le lac de l'Agoraia, situé sur les escarpements des Apennins. Les eaux de ce lac sont fraîches et se maintiennent toujours, été comme hiver, à la même température. Il existe dans ce lac un véritable amas de sapins échafaudés les uns sur les autres et dans un état parfait de conservation.

Depuis quand ces arbres sont-ils enfouis dans ces eaux? Personne ne le sait ; mais la date de leur immersion dans le lac est certainement très-reculée, puisque tout à l'entour il n'existe plus, à dix lieues à la ronde, aucun arbre de la même essence. Tous les sommets qui dominent et embrassent aujourd'hui la gorge de l'Agoraia sont exclusivement occupés par du hêtre.

Il faut bien en conclure que l'eau ayant lavé les matières albuminenses du tissu ligneux, les sapins du lac de l'Agoraia toujours maintenus dans un même milieu et à une température constante se trouvent placés dans des conditions de conservation indéfinie.

Nous devons ajouter que nous n'avons pu découvrir aucun être vivant dans cet estuaire ; mais à peine l'eau s'en est-elle échappée en formant un petit ruisseau, que la vie animale apparaît tout aussitôt par la présence de la salamandre et d'une multitude d'insectes aquatiques.

Nous ne doutons pas que si les sapins du lac de l'Agoraia étaient enlevés aux conditions normales dans lesquelles ils se trouvent, pour être exposés à des alternatives de sécheresse et d'humidité, ou soumis à des absorptions de substances azotées, à l'abri desquelles ils paraissent être aujourd'hui, ils n'éprouvassent en peu de temps une altération rapide, comme la plupart des bois employés à l'état ordinaire par l'industrie et l'architecture.

Il faut reconnaître que le choix des substances pour injecter le bois en vue de sa conservation constitue un problème d'une solution difficile, qui doit peut-être différer selon les circonstances auxquelles la matière doit servir. Ainsi le sulfate de cuivre, qui est accepté en France comme un des meilleurs préservatifs, ne résiste pas dans des terrains imprégnés de déjections ammoniacales. Le bois préparé avec cette substance ne jouit pas dans cette circonstance de plus de durée que le bois naturel. C'est ce qui explique, aux approches des villages, la destruction facile des poteaux de télégraphe et des traverses de chemin de fer, injectés au sulfate de cuivre. On sait que le cuivre est dissous par l'ammoniaque.

Il est probable que, par la même raison, le sulfate de cuivre, à part même l'atteinte des chlorures, ne tiendrait pas davantage dans les eaux d'un port de mer exposé à recevoir les égouts et les immondices de la ville.

De même, les madriers qui ont une durée indéfinie dans les mines de sel gemme subiraient une destruction certaine, s'ils étaient placés dans des circonstances autres que celles où ils se trouvent, comme, par exemple, à un lavage continu d'une eau mouvante.

Le sulfate de baryte, une des substances les plus insolubles que l'on connaisse, qui résiste aux décompositions ammoniacales comme à l'action des chlorures, et possédant d'ailleurs des qualités antiseptiques suffisantes, nous paraît la matière la plus convenable qu'on puisse adopter pour l'injection des bois.

Ces qualités spéciales du sulfate de baryte n'avaient pas échappé à Payn, et l'Angleterre a longtemps exploité le procédé de cet inventeur. C'est par la double décomposition, dans le corps du bois, du sulfate de fer et du sulfure de barium, deux sels solubles, que l'injection avait lieu.

En France, un brevet a été pris par M. Lemonnier pour une opération semblable, en faisant usage du sulfure de strontium, au lieu d'un sel de baryte.

Le reproche que l'on adresse au sulfate de baryte, comme au sulfate de strontiane, c'est leur trop grande inertie. Mais ce défaut, si défaut il y a, est facile à corriger par l'addition simultanée d'un sel à réaction plus active. Toutefois, nous devons faire observer ici que la double décomposition entre le sel de fer et le sel de baryte ou de strontiane, présente dans le tissu ligneux des difficultés qui en rendent le succès incertain et incomplet. L'albumine d'abord empêche par sa présence l'opération de s'effectuer. Ensuite l'injection du sulfate de fer n'étant pas simultanée avec l'injection de l'autre sel, il arrive que l'un des liquides dans les tubes capillaires du bois chasse l'autre, sans que le mélange, et, par conséquent, la double décomposition aient lieu.

Nous dirons plus tard comment l'injection au sulfate de baryte doit être faite pour donner un résultat assuré. Quoi qu'il en soit, le sulfate de baryte, dans les conditions où on l'employait, et, avec lui, le système d'injection du bois par double décomposition, durent être abandonnés pour d'autres substances et pour le procédé de simple injection.

Il est certain que, sans parler des époques qui ne sont pas de notre ère, l'injection simple ou directe est de plus vieille date que la double décomposition. Dès 1813, M. Champy introduisit du suif dans des bois destinés à servir de revêtements aux murs intérieurs d'une poudrerie, afin de la préserver contre l'humidité. L'opération fut faite par immersion dans un bain de suif fondu.

Kyan fit usage, pour une serre du duc de Devonshire, du bichlorure de mercure.

Mohl préconisa le premier la créosote et l'injecta dans le bois en exposant celui-ci à la vapeur de cet agent.

M. Bréant (1834) essaya diverses substances; mais celle à laquelle il semble, avec raison, avoir donné la préférence est un mélange de résine et d'huile de lin lithargirée. On ne peut reprocher qu'un prix trop élevé à cette préparation.

M. Boucherie, dès 1837, appela l'attention des savants sur le sulfate de cuivre surtout.

L'amirauté anglaise a, de son côté, longtemps protégé l'emploi du chlorure de zinc.

L'acide arsénieux, le pyrolignite de fer, les chlorures de barium, divers sels de chaux et plusieurs autres substances antiseptiques ont été tour à tour essayées et abandonnées.

M. Costin indiqua, contre les termites, l'arsénite de potasse en mélange avec le savon demi-liquide.

M. Gay-Lussac proposa l'usage des phosphates et des borates d'ammoniaque, et M. Fuchs du silicate soluble de potasse, mais dans le but spécial de préserver le bois contre l'inflammabilité. M. Carteron paraît aujourd'hui avoir repris cette question en la développant et en l'appliquant à divers usages.

Nous ne parlerons pas de l'injection des bois comme moyen de coloration, cette question ayant déjà été traitée dans ce dictionnaire au mot : COLORATION DES BOIS.

Aujourd'hui les deux substances le plus souvent employées pour la conservation du bois sont : le sulfate de cuivre et la créosote, ou mieux les goudrons liquides provenant de la distillation de la houille dans la fabrication du gaz et qui sont riches en créosote. En France, on fait principalement usage de la première de ces substances, et en Angleterre, de la seconde.

Nous avons dit les défauts du sulfate de cuivre, nous exposerons à leur tour les inconvénients de la créosote. On lui reproche d'être d'un prix trop élevé en France, d'exhaler une odeur forte et désagréable, qui limite l'emploi des bois qui en sont injectés, et d'ajouter à leur inflammabilité. Nous laissons à nos lecteurs le soin d'apprécier à quel degré et dans quels cas ces reproches doivent être acceptés. Mais un fait qui a quelque importance pour les chemins de fer, c'est que les chevilles qui rivent les coussinets aux traverses éprouvent à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur surface, noyée dans la traverse, un commencement de décomposition, si la substance injectée a été du sulfate de cuivre. Cela se comprend aisément. Il en résulte que ces chevilles prennent si fortement racine dans les traverses qu'il n'y a pas d'autre remède que de les briser dans un remaniement de la voie ferrée, quand il s'agit d'un changement de coussinets. Il n'en est pas ainsi pour la créosote ni pour le sulfate de baryte.

Après avoir énuméré la plupart des substances préservatrices qui ont été essayées par l'industrie dans l'injection des bois, il convient de jeter un coup d'œil sur les moyens qui servent à opérer l'introduction de ces substances dans le tissu ligneux.

Le bois semble être formé d'une suite de cellules à paroi ligneuse, placées l'une au bout de l'autre, de manière à former, du pied de l'arbre à la cime, comme un faisceau de conduits capillaires. C'est par ces conduits que la plante distribue la séve des racines jusqu'à l'extrémité des feuilles. C'est par ces conduits aussi que l'industrie arrive à introduire ses réactifs dans le corps du bois et qu'elle va atteindre l'albumine végétale, soit pour la chasser, soit pour la modifier.

L'albumine, en effet, de concert avec les autres principes azotés que la séve transporte, est considérée comme la cause principale de l'altération que les végétaux éprouvent, aussitôt que, par une cause quelconque, ils se trouvent soustraits aux conditions de leur existence. C'est par l'albumine que la fermentation se transmet et se développe dans les bois coupés. Elle sert, en outre, d'aliment ou d'engrais aux végétations cryptogamiques, d'amorce et de nourriture aux vers et aux insectes, qui concourent tous à la destruction anticipée de la plante.

On comprend donc l'importance qu'il y a d'enlever au bois les principes azotés qu'il retient dans les cellules de son tissu. Les arbres plongés dans le lac de l'Agorala démontrent surabondamment cette vérité. C'est au simple lavage de l'albumine par les eaux pures du lac que ces arbres doivent leur état de conservation.

Mais si la simple soustraction de l'albumine suffit déjà pour donner au bois, dans des positions spéciales, une durée indéfinie, il convient, en outre, de préserver le tissu ligneux de nouvelles absorptions, capables de l'altérer, en le mettant à l'abri par des préparations chimiques possédant tout à la fois la propriété de transformer l'albumine qui n'aurait pas été éliminée et celle de résister elles-mêmes à l'action des milieux où le bois doit être employé.

Il était utile de bien caractériser ce double mouvement d'endosmose et d'exosmose, d'absorption et d'expulsion auquel on peut soumettre le tissu ligneux et qui a lieu dans le sens de la longueur de la plante, jamais ou rarement du moins d'une couche annulaire à l'autre, pour bien faire comprendre les moyens et les appareils imaginés pour l'injection.

Le moyen le plus simple qui a dû se présenter à l'esprit pour imbiber le bois d'une substance préservatrice a été l'immersion dans un bain de cette substance, comme le prouvent les expériences du baron de Champy, qui fit digérer ses bois dans un bain de suif fondu, maintenu à 130° de température.

La plus grande portion de l'eau engagée dans le tissu ligneux fut chassée par la chaleur du bain ; et les pièces soumises à l'expérience purent absorber en suif jusqu'au cinquième de leur poids.

L'immersion a été employée par M. Knab pour injecter au sulfate de cuivre, soit à froid, soit à chaud, les traverses déjà débitées des chemins de fer.

Un des appareils dont M. Knab a fait usage mérite d'être signalé par son originalité : c'était dans un bassin en caoutchouc qu'il disposait son bain. Cela lui permettait de transporter facilement son chantier d'injection sur tous les points d'une voie ferrée en construction et de l'établir là où il y avait des traverses à opérer. Il lui suffisait, pour changer de place, de plier son bassin et de le charger sur un simple chariot.

D'ailleurs, le caoutchouc avait l'avantage sur les vases de fer de ne pas introduire le sulfate de fer dans le bois. On sait, comme M. Bréant l'a fait connaître, que ce sel à l'état de protosulfate surtout conserve une réaction acide, qui par son action prolongée sur le tissu ligneux finit par y déterminer des effets de désagrégation.

Aussi, quand on fait usage, comme substance d'injection, du sulfate de cuivre, doit-on tenir la dissolution dans des récipients de cuivre même, comme l'ont très bien compris MM. Legé et Fleury-Pironnet dans leur appareil perfectionné.

Quelques injecteurs, en présence du prix trop élevé de ce métal, se sont contentés de revêtir de bois la tôle de fer dont ils font usage, afin d'empêcher le contact immédiat de la dissolution cuivreuse avec le fer. Mais nous doutons que ce moyen soit d'une efficacité irréprochable, surtout dans le cas d'injection à vase clos et par pression.

L'injection par pression et à vase clos semble avoir été employée pour la première fois par M. Bréant, dans le but d'obtenir une pénétration plus profonde et plus parfaite du tissu ligneux par les substances préservatrices.

La pression peut être exercée par la différence de niveau du liquide injectant, ou par l'entremise d'une pompe foulante.

Il est évident que si on ajoute au vase d'injection un tube plein de la dissolution voulue, la pression qu'on exercera dans l'intérieur de ce vase sera proportionnelle à la hauteur du tube au-dessus du bain. Mais les élévations nécessaires pour obtenir une pression supérieure à une atmosphère sont trop considérables pour que le système soit, en fait, d'une application facile. Avec la pompe foulante, on peut arriver jusqu'à 10 et 12 atmosphères.

M. Bréant ne tarda pas, dans ses expériences, à s'apercevoir que lorsque les vaisseaux capillaires du bois étaient engorgés naturellement, ils présentaient une résistance souvent invincible à l'injection ; il pensa donc à leur enlever avant tout les gaz et les liquides qu'ils pouvaient recéler. Pour cela faire, il commença par opérer le vide au moyen d'une pompe aspirante, dans le vase clos où il enfermait ses bois ; puis le vide opéré, il ouvrait le robinet de communication avec le récipient du liquide injectant. Le vase clos en était bientôt rempli. Il fermait alors cette communication pour soumettre son appareil à la pression voulue.

C'est par ce moyen qu'il parvint même à faire pénétrer dans le bois l'alliage fusible de Darcet.

Toutefois, les appareils de M. Bréant étaient exécutés sur une échelle trop modeste pour être parfaitement industriels. MM. Rethel et Payn, en Angleterre, construisirent sur de grandes dimensions un cylindre d'injection, où le vide s'obtenait par un jet de vapeur qu'on soumettait ensuite au refroidissement et même à l'absorption d'une pompe aspirante, afin que le résultat en fût plus parfait. Mais ce refroidissement, en contractant les pores du bois, ne nuisait-il pas à l'opération?

Nous ne décrirons pas cet appareil, parce que, ayant été encore perfectionné dans ces derniers temps en France par MM. Legé et Fleury-Pironnet, il est inutile que, décrivant celui de ces derniers inventeurs, nous fassions une description qui se trouve nécessairement comprise dans l'autre.

L'appareil de MM. Legé et Fleury-Pironnet consiste dans un cylindre horizontal de 12 mètres de long sur $1^{m},60$ de diamètre, en cuivre laminé, puisque ces deux inventeurs emploient le sulfate de cuivre comme liquide injectant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le cylindre est formé sur un de ses bouts par une cloison semi-sphérique fixe et sur l'autre par une porte en calotte, qui s'ouvre autour d'une charnière glissante.

Les parois de ce vaste récipient ont dix millimètres d'épaisseur, afin qu'elles puissent résister à la pression extérieure quand on fait le vide dans l'intérieur, et tout à la fois à la pression intérieure quand on y exerce un refoulement de 10 à 12 atmosphères.

Un chemin de fer, qui peut être mis, au moyen d'un truck, en communication avec des chemins de fer extérieurs, est pratiqué dans le corps du cylindre.

Les bois à injecter sont placés sur de petits chariots, dont les garnitures métalliques et les roues sont en cuivre. Trois de ces chariots, chargés chacun de 40 traverses, peuvent être introduits en file dans l'appareil (fig. 3616).

La porte de celui-ci étant ouverte, on chasse facilement le convoi sur le chemin de fer intérieur. Une fois entré, on ferme la porte derrière les wagons, et, pour plus de précaution, on la boulonne au cylindre sur un rebord ou couronne disposé à cet effet.

Ces précautions prises, on commence tout aussitôt les opérations d'injection.

Première opération. — Toutes les communications du cylindre sont fermées, excepté celle qui mène au générateur à vapeur.

Ce générateur est celui d'une machine locomobile de la force de 12 chevaux, placée sur un des côtés du cylindre et qui est destinée à faire mouvoir les divers corps de pompe annexés à l'appareil et dont on verra plus tard l'usage.

Au moment où l'introduction de la vapeur dans le corps du cylindre a lieu, on ouvre un robinet percé en contre-bas de ce cylindre du côté opposé à celui de l'arrivée de la vapeur.

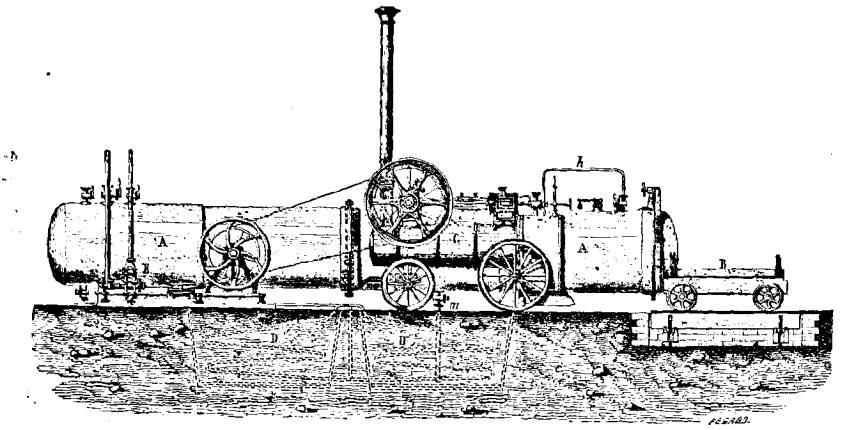
La vapeur chasse l'air du cylindre, chauffe les pièces de bois et les dilate; elle lave les matières solubles que ces pièces renferment et qui sont plus ou moins abondantes, suivant l'âge d'abatage des plantes; puis, s'échappant par le robinet ouvert, elle traverse tout un système de serpentins ménagés dans les cuves où la dissolution cuivreuse se trouve emmagasinée. Cette dissolution est portée à 45° de température environ par ce passage de la vapeur.

Cette première opération est d'une durée variable, suivant l'essence, les dimensions, l'âge d'existence de bois soumis à l'expérience et même leur âge d'abatage. Toutefois on peut calculer qu'elle exige en moyenne 20 minutes de temps.

Deuxième opération. — Après avoir fermé le robinet d'introduction de la vapeur et celui de sortie *m*, on opère le vide, par la condensation de la vapeur accumulée dans le cylindre et tout à la fois par l'absorption de cette vapeur et des gaz du bois, au moyen d'une pompe aspirante.

MM. Béthel et Payn opéraient la condensation dans le cylindre lui-même, en y faisant arriver un jet d'eau froide. L'action de la pompe aspirante suivait ensuite. Mais le refroidissement, qui était la conséquence de ces opérations, devait contrarier l'injection en resserrant les pores du bois.

MM. Legé et Fleury font usage d'un condenseur E séparé du corps de cylindre.



3616.

Quand l'opération du vide commence, que les robinets d'entrée et de sortie de la vapeur dans le cylindre sont fermés, la pompe à air agit dans ce système à l'intérieur de ce cylindre à travers du condenseur, qui reçoit seul le jet d'eau froide. La pompe à air absorbe à la fois la vapeur condensée et les gaz libres, pour les refouler dans une bâche disposée à cet effet.

Cette opération dure 14 minutes environ. On pousse le vide jusqu'à faire descendre la tension intérieure du cylindre à $0^m,06$ de mercure.

Troisième opération. — Le vide effectué, on passe à l'injection. On ferme le robinet du condenseur, pour ouvrir celui *m* qui est en communication avec la dissolution cuivreuse, placée dans des cuves au-dessous de l'appareil.

Cette dissolution a été chauffée, comme nous l'avons dit, par la vapeur de la première opération.

La dissolution s'élève dans le vide du cylindre, et quand l'équilibre est rétabli, on referme le robinet *m*, pour ouvrir les robinets *c* et *a*, qui mettent l'intérieur du cylindre en relation avec les cuves à dissolution, à travers une pompe aspirante et foulante *p*, qui absorbe le liquide des cuves et le refoule dans le cylindre. On obtient ainsi un refoulement à 12 atmosphères, qu'on soutient au même degré, à mesure que le bois se pénètre de liquide injectant.

Cette opération dure plus de 53 minutes.

Quatrième opération. — On ferme les robinets *a* et *c*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et l'on arrête le mouvement de la pompe p'. On ouvre le robinet ou soupirail d'air v du cylindre et le robinet de cuve m. Le liquide qui a servi à l'injection s'écoule aussitôt du cylindre et retourne dans les réservoirs.

Il faut 40 minutes pour que cet écoulement ait lieu.

L'injection est terminée. Il ne reste plus qu'à ouvrir la porte de fermeture du cylindre pour en sortir les chariots chargés des pièces injectées.

La durée totale de l'opération est donc de 101 minutes, qui, jointes à 19 minutes environ qu'il faut pour introduire les chariots déjà tout chargés dans le cylindre et pour les en sortir, font 120 minutes ou 2 heures. En comptant donc six injections en 12 heures de travail, on aura, à 120 traverses par fois, 720 traverses par jour.

Il est presque inutile de faire observer qu'avec l'appareil de MM. Legé et Fleury, les opérations qu'on peut exécuter sur le bois sont indépendantes les unes des autres. Ainsi, on peut très-bien faire l'injection par simple pression sans vide, en ne se servant que de la pompe foulante et aspirante p', tant pour charger le cylindre de liquide que pour faire éprouver à celui-ci le degré de refoulement voulu dans l'appareil.

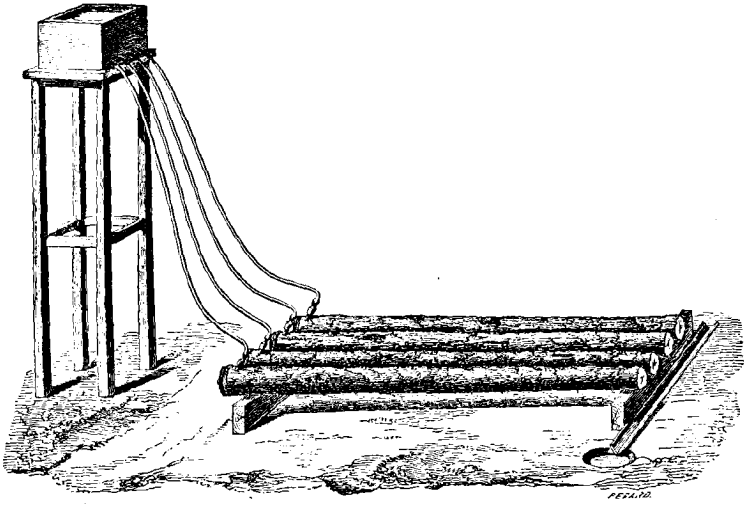
Le système d'injection des bois par la pression et le vide n'avait guère été appliqué dans l'industrie qu'à la créosote jusqu'à MM. Legé et Fleury-Pironnet. L'injection au sulfate de cuivre s'obtenait par le procédé de M. Boucherie, qui cependant diffère essentiellement.

Procédé Boucherie. — M. le docteur Boucherie, à peu près à la même époque où M. Bréant faisait ses recherches sur l'injection du bois à vase clos, tentait une autre voie pour résoudre le problème. Frappé du mouvement ascensionnel de la sève dans les arbres, il pensa qu'il pourrait aussi les imbiber de dissolutions salines par l'intermédiaire de cette force naturelle. Il commença donc par exécuter, au moyen d'une forte scie, une section partielle au tronc de l'arbre soumis à l'essai et qui restait sur pied. Il couvrait la circonférence de cette section par une toile imperméable, et, au moyen d'un tube, il faisait pénétrer dans la section même le liquide injectant. Ce liquide suivait en effet le mouvement de la sève, s'élevait dans le tronc de l'arbre et passait de là dans les branches et les rameaux, pour injecter toutes les parties de l'arbre qui correspondaient à la surface coupée.

Mais, à l'usage, ce procédé, tout ingénieux qu'il était, ne fut pas trouvé assez industriel. Peut-être même que l'excès de sève retenue par l'arbre nuisait, sous le rapport de la conservation des bois, à l'excellence de l'opération.

On fut amené à modifier le système. On abattit l'arbre, et, après l'avoir dépouillé de ses branches inutiles, on le coucha à terre en le tenant un peu incliné. On plaça une calotte, qui formait récipient sur la surface de la section de coupe (fig. 3617). Un tube fut mis en communication de ce récipient avec les cuves de la dissolution saline, auxquelles on donna une élévation plus ou moins grande au-dessus du niveau de l'arbre, de manière que le liquide exerçât une certaine pression sur les conduits capillaires du tissu ligneux.

La sève chassée par le liquide injectant et une partie du liquide injectant lui-même s'échappaient bientôt



3617.

à l'autre extrémité de l'arbre et s'écoulaient dans un bassin de réception.

Aujourd'hui, on a encore simplifié le système, surtout pour l'injection des billes destinées à devenir des traverses de chemins de fer.

On laisse aux billes (fig. 3618) le double de la longueur voulue pour les traverses, et tout juste sur leur milieu on fait avec une scie une section perpendiculaire à la longueur, comme si on voulait couper chaque bille en deux parties égales; mais on s'arrête à une profondeur suffisante pour que les deux parties ne se détachent pas l'une de l'autre. On introduit ensuite dans le vide de la section, et à la manière des calfats, un bourrelet en corde pour fermer la circonférence de cette section.

On place alors, dans une position à peu près horizontale, la pièce de bois ainsi traitée en la faisant poser sur ses deux extrémités, le point d'attache de la section en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bas, de sorte que les deux parois de cette section tendent à se rapprocher et pincent fortement, comme entre les deux mâchoires d'un étau, la corde qui en forme la circonférence ; ce qui rend parfaitement étanche l'intérieur de la section.

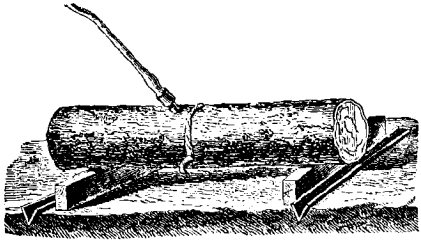
De plus, on perce avec une tarière dans une des deux parties de chaque bille et vers le sommet, mais à 6 centimètres environ de distance de la section, un trou incliné qui va rejoindre à son centre l'intérieur de cette section.

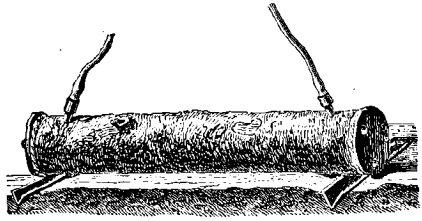
On introduit dans ce trou un bec de tube, qui reçoit lui-même le tuyau de caoutchouc par lequel le liquide injectant, le sulfate de cuivre, doit arriver.

Ce liquide est placé dans des cuves à 10 ou 15 mètres au-dessus du sol.

A peine la communication est-elle établie entre les cuves et la section que la filtration commence à la fois dans les deux côtés de la bille, et qu'au bout de quelques minutes, surtout si le bois est fraîchement coupé

3618.





3619.

et d'un tissu lâche, on voit sur les deux faces suinter la séve que chasse le liquide filtrant, puis le liquide lui-même. On laisse cette filtration se faire pendant deux jours de suite.

Le bois retient une partie du sulfate dissous, car la liqueur qui sort des billes, après l'expulsion de la séve, perd bientôt de son degré de saturation. On regarde l'injection comme terminée quand la dissolution s'échappe de nouveau au même titre que celui des cuves.

Quant aux pièces qui ne peuvent pas être injectées au moyen d'une section, comme les billes pour traverses, on y arrive au moyen d'un plateau de bois qu'on visse sur la surface de base des pièces à injecter, et qui presse entre lui et cette surface la corde de fermeture.

Alors rien ne s'oppose plus à l'opération d'injection, en mettant en communication avec les cuves, au moyen du bec de tube et du tuyau de caoutchouc, le petit intervalle laissé entre le plateau et la surface de base de la plante.

Nous avons vu que dans le système Legé et Fleury, grâce à leur appareil de 12 mètres, on pouvait injecter

170 traverses par jour. Avec le procédé Boucherie, et moyennant un chantier de 50 billes, ce qui est le nombre ordinaire, on injecte 200 traverses en deux jours, soient 100 traverses par jour.

Avec le système de filtration Boucherie, on ne peut opérer que sur les bois en grume, nouvellement coupés.

Avec le système Legé et Fleury-Pironnet, on opère tout aussi bien sur les bois équarris et d'un âge de coupe plus ou moins avancé. Toutefois, il semblerait résulter des expériences faites par ces deux inventeurs que l'époque où les bois paraissent le mieux disposés à recevoir l'injection serait trois mois après leur abatage. La séve fraîche des plantes semble donc nuire à l'injection. Nous pensons qu'en faisant un lavage à l'eau chaude et distillée et que même en prolongeant seulement la durée du passage de la vapeur dans l'appareil d'injection, on remédierait à cet inconvénient.

Tandis que la séve qui a subi un commencement de dessiccation dans les pièces coupées depuis longtemps n'oppose, après l'action de la vapeur, de la dilatation et du vide, aucune résistance à l'injection dans l'appareil Legé et Fleury, elle nuirait au contraire à l'opération dans le procédé Boucherie, si, au moment de mettre les pièces en œuvre, on n'avait soin de scier à nouveau leurs extrémités, afin d'en détacher les parties où la coagulation des matières albumineuses se trouve naturellement plus avancée. On est donc obligé de donner aux billes qu'on veut injecter par la méthode de M. Boucherie une longueur plus grande qu'elles ne doivent réellement avoir.

Les essences qui s'injectent le mieux par le système de l'infiltration sont le hêtre, le charme, le bouleau, le platane, l'orme, le pin sylvestre et le pin maritime; mais le chêne se refuse à l'injection, non-seulement dans son cœur, mais souvent même dans l'aubier.

Toutefois, comme le chêne présente déjà par lui-même une puissance de durée suffisante, la question d'injection n'est pas aussi importante à son égard que pour les espèces repoussées d'un grand nombre de services, à cause de leur peu de résistance naturelle.

L'injection semble être plus uniforme avec le système de MM. Legé et Fleury, et plus profonde qu'avec le procédé Boucherie. Voici le tableau des moyennes de sel de cuivre absorbé par mètre cube de diverses essences, que nous extrayons d'un rapport de M. Versignié, ingénieur de la marine.

	Quantité absorbée.	Observations.
Chêne sec	2k,834	Le cœur n'a pas été pénétré.
Chêne frais. . . .	0 ,643	Le cœur intact, et l'aubier à peine pénétré.
Orme sec	9 ,484	Pénétration d'une uniformité suffisante.
Orme frais. . . .	4 ,816	dito dito.
Hêtre sec	8 ,489	Pénétration complète.
Hêtre frais. . . .	3 ,794	
Peuplier sec . . .	8 ,030	Pénétration parfaite.
Peuplier frais. . .	4 ,357	
Frêne sec	2 ,347	Comme le chêne.
Acacia sec. . . .	1 ,044	Résiste à l'injection.
Charme sec . . .	4 ,709	Comme le hêtre.
Bouleau sec . . .	4 ,007	Variable dans le résultat.
Pin sylvestre sec.	13 ,474	L'aubier seul est pénétré.
Pin maritime. . .	4 ,297	dito dito.
Pin du Nord sec. .	2 ,207	dito dito.
Châtaignier frais.	0 ,936	Résiste à l'injection.

Il ne faut pas attacher trop d'importance à ces chiffres, car il a été constaté par de récentes expériences que les bois injectés, placés verticalement, laissaient descendre au pied la majeure partie de la substance conservatrice.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Après avoir décrit les deux moyens d'injection qui semblent prédominer aujourd'hui, il nous reste à dire quelques mots sur les systèmes mixtes, dont on a trop méconnu l'importance, selon nous.

Nous avons vu, par l'expérience du baron Champy, que la pénétration de l'huile dans le bois avait été profonde par simple immersion.

Il est évident que la pénétration plus ou moins facile du bois dépend non-seulement de la nature de son tissu ligneux, mais encore des qualités du liquide injectant : ainsi l'infiltration du sulfate de fer est plus rapide que celle du sulfate de cuivre ; les acides s'injectent plus aisément que les sels ; la soude et la potasse sont facilement absorbées.

Si donc le procédé d'infiltration, d'une part, et celui d'injection par la pression à vase clos, de l'autre, peuvent être nécessaires pour certaines substances et pour certaines qualités de bois, il n'en est pas de même pour d'autres, pour lesquelles on peut employer d'autres moyens.

D'ailleurs on arrive très-bien à injecter au sulfate de cuivre le hêtre, par exemple, si, en plaçant les pièces debout dans le bain et la tête dehors, on ajoute l'action de la chaleur à la pression du liquide, qui, à part même le secours de l'absorption capillaire du tissu ligneux, tend à prendre son niveau dans les conduits verticaux des sujets soumis à l'expérience.

Quelques personnes ont ajouté à l'injection par infiltration le vide à l'extrémité opposée à celle par laquelle le liquide est introduit dans une plante, que ce vide fût fait à l'abri d'une ligature imperméable et bien étanche, au moyen d'une pompe aspirante, ou plus simplement par la combustion des matières légères et flambantes en vase clos. Pendant la combustion, on laisse ouvert un robinet, que l'on ferme dès que l'air du récipient est raréfié.

Mais ce dernier procédé, excellent d'ailleurs, exige qu'on opère sur chaque pièce séparément, et demande, par conséquent, un grand nombre d'appareils simultanés, et beaucoup de bras ou beaucoup de temps.

Pour opérer l'injection des bois par double décomposition, dont nous avons exposé les avantages au début de cet article, il n'est pas de système préférable à celui de l'immersion mixte, pratiquée d'après les règles que nous allons indiquer, et qui constitue avec les substances qu'on y emploie un procédé tout nouveau, proposé par nous.

On a une première cuve en tôle, plaquée de plomb à l'intérieur, pour recevoir un bain contenant 1 pour 100 d'acide sulfurique, auquel on ajoute 1/2 pour 100 d'un agent variable suivant les qualités spéciales que l'on veut donner au bois, et pris dans la série des sulfates et des aluns.

Cette cuve est munie à sa partie inférieure d'un fourneau, accompagné de sa cheminée verticale comme une locomotive. Le tout, d'ailleurs, peut être monté sur des roues et former chariot.

Une autre cuve de même modèle, mais de simple tôle, est destinée à recevoir un bain de chlorure de barium.

La grandeur de ces appareils est variable. Toutefois, on peut en fixer la hauteur intérieure à la longueur d'une traverse, 2m,60 ; la largeur, à 1m,60, et la longueur, à 5,30.

On place les traverses à injecter debout, dans des paniers quadrangulaires en fort treillis de fer, et qui sont faits de manière à s'adapter au vide de la cuve. La hauteur de ces paniers est égale à celle de la caisse ; ils sont larges à peu près comme elle, 1m,55, et pour l'autre dimension ils ont 1m,25.

On les enlève au moyen d'un truck suspendu pour les plonger, l'un à la suite de l'autre, dans le bain d'acide sulfurique, dont le niveau, d'abord peu élevé, se déplace par suite de cette immersion. Des barres d'arrêt, mises transversalement dans l'intérieur de la cuve, à 10 centimètres environ au-dessus du fond, empêchent les paniers de descendre plus bas.

INJECTION.

Le bain est déjà chaud au moment de l'immersion. On peut ensuite pousser la température jusqu'à 100°.

On maintient d'ailleurs la hauteur du bain dans la cuve jusqu'au bord, en y faisant arriver la dose convenable de nouvelle dissolution à mesure que le niveau baisse par suite de l'absorption du liquide de la part des traverses.

Il faut peu de temps pour que cette première injection ait lieu. Aussitôt qu'on reconnaît sur les têtes des traverses qui surmontent le bain que le liquide injectant y est parvenu, on retire les paniers, nous allions dire les quatre paniers, pour les immerger dans la seconde cuve, placée latéralement à côté de la première, et qui contient la dissolution de chlorure de barium.

L'immersion dans cette seconde cuve peut avoir lieu de deux manières : avec les pièces mises toujours debout, comme dans la première opération, ou avec les pièces couchées et noyées dans le liquide.

Si on place les pièces debout, comme il est important que la pression du nouveau liquide dans les tubes capillaires du bois ne chasse pas le premier liquide sans réagir sur lui, il faut qu'au moment de l'immersion le bain de chlorure ait son niveau très-bas et à la hauteur, tout au plus, des barres transversales. Puis, on ne le remplit que lentement pour le faire monter jusqu'au bord du bassin.

Si on préfère coucher et noyer les traverses dans le bain, on commence par renverser les paniers sur un pont établi à cet effet entre les deux cuves ; on les saisit ensuite avec les crochets du treuil du truck par des anneaux disposés dans ce but sur les milieux latéraux des paniers, et l'on descend ensuite ceux-ci dans la cuve au chlorure de barium, où on les laisse séjourner le temps voulu, en maintenant le bain à une température de 60 à 100°.

S'il faut trois heures pour faire la première injection à l'acide, il en faut bien six pour la seconde au chlorure.

Chaque cuvée, avec les dimensions données ci-dessus aux récipients, pouvant représenter un mouvement de 100 traverses à la fois, nous aurions donc 200 traverses d'injectées en douze heures de temps, plus, une nouvelle cuvée en train, qui, dans la succession des opérations, peut être évaluée, pour la vérité des appréciations, à 50 traverses au moins ; ce qui donne, en tout, 250 traverses pour douze heures de travail.

D'ailleurs, les divers procédés d'injection en usage peuvent s'appliquer au système de double décomposition.

On peut infiltrer l'acide sulfurique par le procédé Boucherie, comme on peut se servir, pour l'introduction de cette substance dans le bois, des appareils de MM. Legé et Fleury. Seulement, dans l'un et dans l'autre cas, on doit faire éprouver une modification à la seconde opération de la double décomposition, c'est-à-dire à l'injection du chlorure de barium. On doit se contenter, pour cette dernière, de l'immersion avec ou sans pression. Nous avons déjà vu que l'on peut supprimer à volonté dans l'appareil Legé et Fleury l'opération du vide, pour obtenir l'injection par immersion avec pression.

Un moyen très-simple pour effectuer la double décomposition, et qui est emprunté au système d'infiltration, consiste à injecter d'abord l'acide sulfurique par le procédé Boucherie, comme nous venons de le dire, en faisant usage du plateau de fermeture sur l'une des extrémités de la pièce. On laisse couler par l'autre extrémité le liquide séreux que l'injection chasse, et, quand l'acide commence à apparaître seul, on couvre cette autre extrémité par un second plateau de ferme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture (fig. 3619), et l'on fait arriver le chlorure de barium dans ce nouvel appareil, en tenant le niveau du réservoir de cet agent un peu plus élevé que celui de l'acide sulfurique.

Le rôle d'un diaphragme placé entre deux liquides de nature diverse, et qui finissent par se mélanger à travers ce diaphragme, vient ici à la pensée pour expliquer comment les deux liqueurs injectantes doivent se rencontrer en traversant les pièces soumises à l'injection.

Aussitôt qu'on aperçoit les deux extrémités de ces pièces blanchir sous l'effet de la rencontre des deux dissolutions, on peut considérer l'opération comme terminée.

On pourrait peut-être penser que la formation du sulfate de baryte dans le tissu du bois déterminerait une obstruction à l'entrée des liquides injectants, et que, par conséquent, l'opération ne fût que partielle ; mais il n'en est pas ainsi. Outre que le dépôt n'est pas gélatineux, il a lieu au moyen de liquides d'un degré de saturation si faible que la double décomposition atteint dans toute leur longueur les pièces soumises à l'injection.

Il ne nous reste plus, pour compléter cet article, qu'à donner les prix de revient d'injection par les différents systèmes.

Prix de revient du procédé Boucherie.

Main-d'œuvre pour mise en préparation. . .	4 fr.
Sulfate de cuivre, y compris la perte, 6 kilog., dont le prix varie, mais dont la moyenne est de 100 fr.	6
Construction et entretien du chantier. — Amortissement en dix ans à 5 p. 100 de la valeur du chantier. — Location de terrain. . . .	1 50
Frais généraux.	1
Prix de revient d'injection pour 1 mètre cube de bois	12 50

Procédé de MM. Legé et Fleury-Pironnet.

12 hommes à la charge et à la décharge injectant 700 traverses, à 2 fr. 50 l'un.			30 fr.
Un chauffeur.			5
Un conducteur de chantier.			6
Chauffage de la machine.			20
Entretien et graissage.			5
Sulfate de cuivre, 385 k. à 100 fr., à raison de 5 k. 5 par mètre cube.			385
Amortissement en dix ans à 5 p. 100 d'une somme de 61,000 fr. représentant la valeur des appareils. Par jour de travail, à raison de 300 jours par an.			27 50
			478 50

700 traverses représentent 70 mètres cubes de bois environ, le prix de revient par mètre cube se réduit par conséquent à 6 fr. 93 environ, soit 7 fr.

L'injection à la créosote revient, dit-on, à 15 fr. Nous voyons ce prix exagéré.

Procédé de double décomposition par l'acide sulfurique et le chlorure de barium.

5 manœuvres à 2 fr. 50 pour 250 traverses. .					17 50
Un conducteur de chantier à 5 fr.					5
Chauffage des bains à la tourbe, à 3 fr. l'un.					9
Entretien et graissage.					2
Acide sulfurique,	65 k.	50 à 25 f.	16	375	
Chlorure de barium,	34	50 15	5	175	
Agent intermédiaire,	37	50 30	10	250	
				31 800	31 80
Amortissement en dix années à 10 p. 100 par an du matériel de la valeur de 20,000 fr. sur 200 jours de travail seulement.					10
					75 30

Ce qui met à un peu plus de 3 fr le prix de revient d'injection par mètre cube de notre système.

Cte A. D'ADHÉMAR.

INSALUBRES (ÉTABLISSEMENTS ET OPÉRATIONS). Les établissements industriels gênent presque toujours leur voisinage, dans des limites plus ou moins grandes, par leurs émanations ou leur fumée. Pendant longtemps aucune mesure générale n'a été prise à leur égard ; on statuait en raison des plaintes et du mal causé ; une ordonnance du préfet de police du 12 février 1806 défendit d'établir dans Paris aucun atelier, aucune manufacture ou laboratoire qui pourraient compromettre la santé publique ou causer un incendie, sans avoir déclaré à la préfecture de police la nature des matières à employer et du travail à faire.

Des visites de lieux et des enquêtes *de commodo et incommodo* devaient suivre ces déclarations.

Ces utiles prescriptions n'ayant pas été observées, le ministre de l'intérieur consulta l'Institut sur les mesures dont l'industrie manufacturière pouvait être l'objet dans l'intérêt de la salubrité publique.

Le rapport de Guyton de Morveau, de Chaptal et de Cuvier servit de base au décret du 15 octobre 1810 et à l'ordonnance du 14 janvier 1815.

D'après cette législation, les établissements insalubres ou incommodes sont divisés en trois classes, en commençant par ceux dont l'insalubrité est la plus grave ; une autorisation préalable, accordée sur l'avis du conseil de salubrité, et des formalités déterminées sont prescrites.

Les établissements de *première classe* (voy. ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES) sont ceux qui doivent être éloignés des habitations particulières ; ils peuvent cependant s'établir dans l'enceinte des villes, mais dans de certaines positions et à de certaines conditions dont l'administration est juge.

La demande d'autorisation est adressée au préfet du département et à Paris au préfet de police, avec deux plans, celui du terrain choisi par rapport aux propriétés voisines, et celui de la distribution intérieure de l'usine. La demande est affichée un mois dans toutes les communes dans un rayon de 5 kilomètres, où des enquêtes *de commodo et incommodo* sont faites par les maires. Le maire de la commune où doit se faire l'établissement doit visiter lui-même les voisins et recevoir leurs déclarations sur la question. Les pièces sont transmises au préfet, qui les soumet au conseil de salubrité ou de préfecture s'il y a lieu, et qui envoie le tout au ministre avec son avis motivé.

L'avis du conseil d'État est demandé, et le chef de l'État prend un arrêté qui autorise ou qui refuse.

Le préfet est chargé de l'exécution.

Les établissements de *seconde classe* sont ceux dont l'éloignement des habitations n'est pas rigoureusement exigé, mais dont le travail doit être assez perfectionné pour ne pas nuire aux voisins.

Les autorisations sont ici accordées par les préfets, sur l'avis des conseils de salubrité.

Les établissements de *troisième classe* sont ceux qui peuvent fonctionner sans inconvénient près des habitations, sous la surveillance de la police ; l'autorisation est accordée dans les sous-préfectures par les sous-préfets, par les préfets dans les arrondissements de leurs chefs-lieux, et par le préfet de police à Paris.

Ces dispositions n'ont aucun effet rétroactif, tant que les établissements formés avant le décret de 1810 ne changent pas d'emplacement et ne modifient rien à leurs conditions d'installation ; ils ne sont soumis à aucune mesure, même après vente.

Les établissements non classés peuvent être suspendus provisoirement par le préfet.

L'ordonnance du 22 mai 1843, sur les appareils à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vapeur, les met tous dans la *deuxième classe*, quelle que soit leur pression.

Dans le travail qui suit, nous avons usé presque partout des cartons et des travaux de Darcet notre oncle, qui a tant fait, pendant toute sa vie, pour les questions de salubrité, en y joignant tout ce qu'une longue expérience nous a appris personnellement. Nous avons aussi puisé souvent dans l'excellent *Dictionnaire d'hygiène* du docteur Tardieu.

Dans les articles CHAUFFAGE et VENTILATION de ce dictionnaire, on trouvera d'ailleurs toutes les questions relatives à l'assainissement des ateliers par la ventilation, et ce qui regarde les chaudières à vapeur et leur législation, dans le *Guide du chauffeur* (4e édition [1]).

Nous avons, de plus, suivi l'ordre des trois classes du décret de 1810, complété comme il l'est aujourd'hui pour les industries insalubres ou incommodes, de l'assainissement desquelles nous avons parlé, et dans chaque classe nous avons adopté l'ordre alphabétique, comme le décret. Toutes les industries dont nous avons traité sont indiquées dans la table qui suit cet article.

On verra facilement par ce qui suit que les moyens de détruire l'insalubrité se rapportent en général aux trois méthodes suivantes :

1° Ventilation, moyen par excellence, toujours suffisant pour les ouvriers employés aux opérations insalubres, pour les industriels et souvent pour le voisinage, lorsque les gaz et les poussières peu délétères sont mélangés avec de grandes masses d'air et versés dans l'atmosphère à une grande hauteur.

2° Décomposition des gaz par la chaleur et la combustion.

3° Actions chimiques détruisant ou transformant en produits utiles les substances insalubres. Dilution de ces substances dans de grandes masses d'eau

N° 1. DES RAPPORTS DE DISTANCE QU'IL EST UTILE DE MAINTENIR ENTRE LES FABRIQUES INSALUBRES ET LES HABITATIONS QUI LES ENTOURENT.

Si tous les vents soufflaient pendant des temps égaux, il est évident qu'il faudrait placer chaque fabrique à émanations insalubres au centre d'un cercle dont la circonférence servirait de limite aux habitations du voisinage, et auquel il faudrait donner un rayon d'autant plus grand que les émanations de la fabrique seraient plus intenses, plus nuisibles : c'est d'après ce principe qu'à l'origine du développement de notre industrie manufacturière, l'administration voulut déterminer l'emplacement que devait occuper chaque fabrique insalubre ou incommode; mais on s'aperçut promptement qu'agir ainsi était une erreur, et on laissa depuis au libre arbitre des conseils de salubrité, ou, à défaut, à MM. les architectes-voyers, le soin de fixer la distance des habitations environnantes, à laquelle une fabrique peut être légalement établie.

Le Code forestier (art. 151) exige que les fours à chaux soient soumis à une autorisation quand on veut les construire à moins de 1 kilomètre des forêts. Il en est de même pour l'établissement des tuileries, des briqueteries et des dépôts de boues et d'immondices.

Membre du conseil de salubrité du département de la Seine, Darcet y rencontra beaucoup de difficultés pour accorder, dans chaque cas particulier, les intérêts de la propriété avec ceux de l'industrie. Il a donc pensé à former le tableau de l'influence des vents, qui fait le sujet de la présente note. Cette figure lui a été très-utile ; aussi avons-nous pour but, en la publiant avec les explications nécessaires, d'en bien faire comprendre la disposition et l'usage, et d'engager chacun des nombreux conseils de salubrité qui existent maintenant, tant en France qu'à l'étranger, à composer une figure analogue pour leur localité, et à s'en servir pour donner à leurs rapports la rectitude qui, entraînant la conviction, peut seule faire taire l'intérêt particulier, froissé par suite de son opposition avec l'intérêt public.

Ayant à représenter graphiquement la sphère d'action des principaux vents autour d'une fabrique insalubre, et manquant d'observations directes et de données positives à ce sujet, Darcet a pris, pour mesure de sa *nuisance*, les nombres indiquant combien de jours par an chacun des principaux vents passe sur cette fabrique, avant d'arriver aux habitations du voisinage.

La figure ici donnée a été construite d'après le relevé des observations météorologiques faites à l'Observatoire de Paris, depuis le 1er juillet 1835 jusqu'au 1er juillet 1843, c'est-à-dire chaque jour, pendant huit années consécutives. Voici le tableau de ces observations :

Termes moyens des observations météorologiques faites pendant huit années consécutives.

(Les nombres composant la seconde colonne de ce tableau indiquent combien de jours chacun des vents a soufflé par année.)

Désignation des principaux vents.	Nombres de jours par année moyenne et pour chaque vent.
Nord	20
Nord-nord-est	14
Nord-est	31
Est-nord est	17
Est	15
Est-sud-est	10
Sud-est	17
Sud-sud-est	15
Sud	31
Sud-sud-ouest	26
Sud-ouest	41
Ouest-sud-ouest	32
Ouest	37
Ouest-nord-ouest	22
Nord-ouest	25
Nord-nord-ouest	13

Les observations météorologiques dont il s'agit ont été faites, chaque jour, à l'heure de midi, circonstance tout à fait favorable à l'usage que l'on doit en faire, puisque le voisinage n'a pas à souffrir des fabriques insalubres pendant la nuit, et que l'on peut, sans grande erreur, considérer les observations faites à midi comme donnant la direction moyenne des vents pendant les autres heures de la journée.

Observations. — Il y a eu, pendant les 8 années, 5 jours de calme.

Un vent, ne se chargeant des émanations d'une fabrique insalubre qu'en passant sur elle, et ne nuisant au voisinage que du côté de la fabrique opposé à celui d'où il vient, Darcet a porté les nombres relatifs à chaque vent, non du côté d'où ils soufflent, mais bien du côté opposé où ils arrivent après avoir passé sur la fabrique, et s'y être chargés d'émanations insalubres : c'est ainsi qu'ont été tracés les seize rayons dont les extrémités extérieures ont déterminé le contour du polygone qui, pour le département de la Seine, donne la surface spéciale exposée à l'influence nuisible d'une fabrique insalubre.

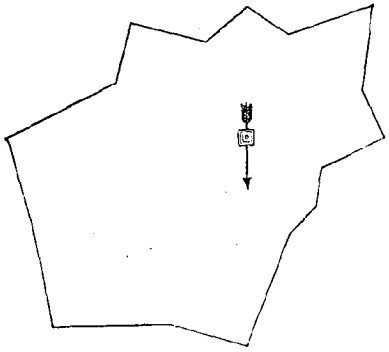
Ce qui suit fera mieux comprendre la question. Représentons une fabrique insalubre par le massif ombré (fig. 3620), et supposons cette fabrique orientée comme l'indique la flèche qui est sa méridienne.

En plaçant la figure le nord en haut, et en comparant les cotes du tableau imprimé ci-dessus avec celles du polygone, on remarquera que le vent d'est, par exemple, qui ne souffle, terme moyen de 8 années, que 15 jours par an, ne commençant à nuire qu'après avoir

1. *Guide du Chauffeur*, par M. Grouvelle, librairie du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

passé sur la fabrique, a sa sphère de *nuisance* au delà de la fabrique du côté de l'ouest, et c'est ce qui a été indiqué dans la figure en y plaçant la cote de ce vent d'est, non du côté d'où il souffle, mais bien du côté de l'ouest (fig. 3620).



3620.

C'est en inversant ainsi toutes les cotes du tableau qu'a été construite cette figure, qui, en résumé, fait voir que le vent du nord nuit au voisinage de la fabrique 20 jours par an, tandis que le vent du sud lui nuit annuellement pendant 31 jours; que les inconvénients occasionnés par le vent est-sud-est ne se font sentir du côté de l'ouest-nord-ouest que pendant 10 jours chaque année, tandis que les habitations qui sont au nord-est de la fabrique ont à souffrir de ses émanations pendant 41 jours par an, sous l'influence du vent du sud-ouest, qui, comme l'indique la figure, est le vent régnant pour le département de la Seine; il n'est pas nécessaire de prolonger davantage cette explication, pour faire comprendre le système de construction de cette figure.

Lorsqu'il s'agit d'établir une fabrique insalubre, incommode ou désagréable, on doit commencer par l'orienter dans le centre de cette localité, au moyen d'une boussole; on pose sur le terrain le polygone (fig. 3620), et on place la boussole sur cette figure en l'y centrant, et de manière à faire coïncider, ou à rendre parallèles les méridiennes de la boussole et du plan; on n'a plus alors qu'à examiner : 1° la disposition générale du terrain et des habitations du voisinage; 2° si la distance de la fabrique aux maisons les plus voisines, du côté opposé aux vents de l'ouest et du sud-ouest, qui sont *pour nous* les vents régnants, est assez grande, pour que ce côté du voisinage ne puisse pas avoir à souffrir des émanations de la fabrique projetée; 3° s'il est possible de faire construire la fabrique demandée sur le terrain choisi, de telle manière qu'en se trouvant placée sur ce terrain, comme le massif l'est sur la figure 3620, les habitations qui l'entourent soient réparties autour d'elle, comme le sont les angles et les côtés du polygone autour du centre de cette figure.

On conçoit qu'en joignant les données générales ainsi acquises aux autres renseignements puisés sur les lieux, aux niveaux relatifs à la fréquence des pluies qui condensent certains gaz acides, etc., enfin à ceux qui résultent de l'étude des pièces du dossier de chaque affaire, on peut prononcer avec sécurité et conviction entière sur les demandes en érection de fabriques.

S'il était établi, pour chaque grand centre d'habitations, des figures analogues à celle que Darcet a tracée, ces figures rendant, pour ainsi dire, palpable l'influence des principaux vents sur les pays, seraient très-utiles aux agriculteurs, qui y trouveraient sa peine tout ce qu'ils peuvent avoir à désirer sous rapport de la fréquence des vents. Les propriétair sauraient toujours quel est le côté de leur voisina qu'ils doivent le plus surveiller, et les architect auraient là un moyen facile de bien placer, relativ ment aux habitations environnantes, les nouvelles ma sons qu'ils ont à construire : quant aux conseils d salubrité et aux architectes-voyers, cette notice le facilitera les travaux importants qui leur sont confiés.

Il est évident que la surface du polygone reconnu n cessaire pour l'établissement d'une fabrique devra êt d'autant plus grande que les opérations faites dans cett fabrique seront plus insalubres, et que les émanation en seront plus fréquentes et plus expansibles; mais il e certain aussi qu'à mesure que l'on assainira les fabri ques, on pourra les établir au centre de polygone de plus en plus petits, en les maintenant toujour symétriques entre eux : on arrive ainsi à ce rapproche ment, c'est que la fixation des rapports de distances rendue palpable par la figure qui fait le sujet de cett note, en posant clairement la question, pourra hâte l'assainissement de nos manufactures, et agir ainsi dan le même sens que l'a fait, depuis 1810, la grande me sure de la classification des établissements industriels

Première Classe.

N° 2. ABATTOIRS ET FONDOIRS DE SUIF.

Les abattoirs sont des établissements publics destinés à l'abatage de tous les animaux employés dans la boucherie, la charcuterie et la préparation des nombreux produits que l'on en tire. On sent combien la réunion, dans un seul local construit exprès, de tous les travaux de ce genre est une condition nécessaire de salubrité et rend facile la surveillance de l'administration.

Un abattoir complet se compose de quatre parties principales :

1° Celles où sont renfermés les animaux;

2° L'abattoir proprement dit;

3° Les lieux où l'on prépare les viandes des animaux abattus;

4° Les lieux où l'on travaille les graisses et le suif.

Les bouveries et les porcheries doivent être spacieuses, aérées, lavées tous les jours.

Les conditions principales imposées dans tous les abattoirs de Paris et de la Seine rendront très-claires les conditions d'assainissement d'un abattoir et celles de la boucherie et de la charcuterie.

Les ordonnances de police qui règlent ces questions sont divisées en plusieurs sections.

1° Ouverture de l'abattoir et classement des bouchers par voie de tirage au sort. Chaque échaudoir recevant deux bouchers au moins.

2° Abatage des bestiaux et des porcs. Les bouchers peuvent abattre le jour et la nuit.

Pour les échaudoirs et les brûloirs, jamais on ne travaille dans les cours. Les portes doivent être toujours fermées au moment de l'abatage.

Les bœufs, vaches et taureaux, solidement attachés à des anneaux scellés dans le sol.

Les bœufs et taureaux d'espèces dangereuses seront amenés à l'abattoir, entravés ou accouplés.

Les veaux et les moutons seront saignés dans des baquets et des tinettes clos.

Les échaudoirs doivent être lavés après chaque abatage et leurs murs grattés.

Des réservoirs considérables et une large quantité d'eau seront affectés au service des abattoirs. Cent mille litres au moins par jour à chaque abattoir de Paris.

Des moyens très-faciles seront préparés pour l'écou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lement des eaux, jamais sur le sol des rues, mais dans des égouts à grande pente et avec des cuvettes hydrauliques, pour éviter toute émanation putride. Les *issues* et *graisses* ne restent jamais dans les échaudoirs, et les vidanges sont enlevées tous les jours. Le sang ne devra être recueilli que dans des futailles closes, enlevées chaque jour. Le mobilier des échaudoirs fourni par les cessionnaires est tenu très-propre. Les viandes et issues trouvées corrompues sont enterrées, et celles avancées portées au Jardin des Plantes.

Les *eaux rousses* des abattoirs et des tueries particulières coulent presque partout dans les rues et le long des routes, où elles sont une grave cause d'insalubrité, parce qu'elles se décomposent rapidement.

Dans les villes qui ont des abattoirs, on s'en débarrasse en les envoyant dans les égouts, avec les précautions que nous avons indiquées.

On peut assainir les tueries et les charcuteries particulières :

1° En réunissant les eaux rousses de chaque établissement dans des vases ou des citernes étanches ;

2° En ne les coulant dans la rue, qu'après les avoir filtrées et mêlées à une matière qui en empêche la putréfaction ou à des matières qui les désinfectent, et la nuit.

FONTE DU SUIF. — Depuis l'établissement des abattoirs publics, la fonte du suif ne peut être faite que dans les ateliers de la ville. Cette industrie donnant lieu à des vapeurs très-incommodes pour les voisins, Darcet a rédigé une instruction et disposé des fourneaux qui brûlent les produits gazeux du travail des suifs et le rendent tout à fait salubre.

La graisse des animaux est renfermée dans les alvéoles des tissus cellulaires. Pour les extraire, il faut crever ces alvéoles et les séparer ensuite des membranes qui y sont mélangées.

Plusieurs procédés sont employés.

1er *Procédé*. Le plus ancien et le plus usité encore consiste à crever les sacs adipeux en élevant le suif en branches, coupé en morceaux, à la température nécessaire pour crisper les membranes, en faire sortir le suif fondu et séparer ensuite le plus de suif possible par la presse, qui laisse encore beaucoup de graisse dans les pains de cretons. La graisse surchauffée se colore en dissolvant des membranes, et ce système présente de grands dangers de feu.

2e *Procédé* Quelquefois le suif est fondu sur de l'eau ou sur une dissolution saline. Moins de dangers ici, et du suif plus beau ; mais il faut le recuire à une température très-élevée pour en séparer l'eau qu'il retient.

3e *Procédé*. La fonte a lieu par la vapeur, soit directe, soit dans un serpentin ; une seconde fusion est encore ici nécessaire.

4e *Procédé*. Ici, le suif est fondu dans moitié de son poids d'eau, avec 2 p. 100 d'acide sulfurique à 66°. On chauffe l'eau par la vapeur. On lave et on refond le suif à 110°. 100 de suif en branches donnent ainsi 92 de suif pur.

Ce procédé est certainement le plus parfait et presque sans inconvénient comme salubrité, en faisant couler de suite les eaux acides et celles de lavage, qui se corrompent très-rapidement. Le premier procédé est le seul qui exige des dispositions spéciales de fourneaux pour être assaini, résultat que Darcet a obtenu en fondant le suif en branches dans une chaudière en cuivre, dont nous donnons le tracé. Un couvercle en tôle, tout en permettant un service facile aux ouvriers, empêche les vapeurs dégagées dans le travail de se répandre au dehors et les force à se brûler sur la grille même du fourneau.

Mégisseries. — Suif d'os. — Cuisson des têtes de mouton. — Les autorisations pour ces établissements n'ont été accordées, sur le rapport de Darcet, que sous condition :

1° Que les fourneaux de fusion soient établis d'après les principes de l'instruction qui précède ;

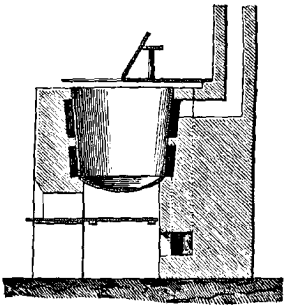
2° Que les cuves de macération des têtes de mouton soient placées sous un hangar pavé, avec pente convenable ;

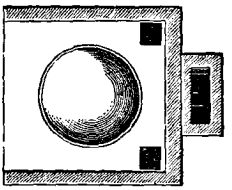
3° Que les peaux, les laines et bourres ne soient lavées que dans l'établissement et non dans une rivière industrielle, où les eaux ne doivent pas être salies de graisse, de chaux et de savon de chaux ;

4° Qu'un grand puisard absorbant reçoive les eaux qu'y conduira un ruisseau bien pavé.

Fourneau pour la fonte du suif. — Les fig. 3621 et

3621.





3621 *bis*.

3621 *bis* représentent le fourneau construit par Darcet, dans lequel les vapeurs provenant de la fonte du suif en branches passent à travers le foyer, pour le brûler avant d'arriver à la cheminée.

L'air ainsi chargé de ces vapeurs descend par deux carneaux verticaux dans le cendrier du fourneau, et comme ce cendrier est fermé par une porte, les vapeurs et les gaz dont l'air est chargé sont brûlés sur le foyer avant de se rendre dans la cheminée de l'usine.

La chaudière de cuivre est fermée par un couvercle en tôle, porté sur des tasseaux en brique et muni d'une porte à charnière qui s'ouvre et permet de décharger la chaudière et de travailler les matières.

Une ceinture circulaire qui entoure la chaudière à moitié de sa hauteur, et qui sépare le carneau en deux parties égales, est percée d'ouvertures de grandeurs décroissantes à partir du devant du fourneau, pour égaliser le passage de la flamme autour de la chaudière.

Les carneaux doivent avoir une section égale partout et le double de la section que présente l'entrée de l'air sur la chaudière, le couvercle étant baissé.

L'expérience a fait reconnaître l'utilité de l'interposition dans la flamme de briques creuses chauffées au rouge, pour mélanger entièrement les gaz plus ou

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moins combustibles avec l'air en les échauffant par l'action des parois rougies, de manière à assurer la combustion des gaz.

Adipocire — provenant des chairs des chantiers d'équarrissage traitées par la vapeur dans des caisses de fonte. Cette fabrication n'est autorisée que sur des bateaux placés en travers de la rivière.

Les débris d'animaux doivent toujours être recouverts d'eau, et aucune émanation ne peut s'échapper des matières par-dessus lesquelles coulent toujours des eaux rapides.

N° 3. Savon.

Appareil pour empêcher les savonniers de tomber dans les chaudières de cuite.

Les ouvriers savonniers sont exposés à tomber et à périr dans les chaudières de cuite, quand ils travaillent pour liquéfier ou pour marbrer le savon, travail qui se fait avec un bouloir, et pour lequel on marche sur un madrier étroit placé au-dessus de la chaudière, et rendu glissant par le savon et la vapeur que dégage la chaudière.

Darcet a fait disparaître ce danger à l'aide d'un système très-simple. L'ouvrier, pendant ce travail, porte une ceinture avec un anneau sur le derrière, comme les ceintures des pompiers; il passe dans cet anneau un crochet fixé au bout d'une corde, dont l'autre extrémité est attachée à une chape de poulie, qui court sur une pièce de bois fixée par ses deux bouts au plafond, et au-dessus du madrier qui traverse la chaudière à marbrer.

Attaché à cette poulie, qui court dans toute la largeur de la chaudière, l'ouvrier, libre de ses mains et de son corps, fait son travail avec toute sécurité, car si le pied lui glisse sur le madrier savonné, la corde l'empêche de tomber dans une chaudière de savon bouillant et d'y périr à l'instant.

N° 4. Acides sulfurique et chlorhydrique, sel ammoniac et produits chimiques.

Avant 1830, presque toutes les fabriques d'acide sulfurique perdaient une proportion considérable de l'acide produit; les chambres de plomb se dérangeaient à tout moment. Il était alors souvent très-difficile de leur assurer un travail normal, et le rendement de 100 de soufre ne dépassait pas 150 ou 200 en acide; toutes les fabriques d'acide sulfurique jetaient donc, sur les terrains qui les entouraient, des masses de gaz sulfureux et nitreux, et des vapeurs d'acide sulfurique qui détruisaient tout, arbres et récoltes, à une très-grande distance.

Le procédé de M. Holker, employé pour la première fois à la fabrique de la Folie, près de Nanterre, avec sa combustion régulière de soufre et la constance de son système d'alimentation d'acide nitreux, ses chambres multiples et la marche rationnelle de la production et de la condensation de l'acide, porta cette industrie d'un seul coup à une production d'acide de 340 p. 100 de soufre, c'est-à-dire à la perfection de la théorie.

Ce système, appliqué partout de 1830 à 1840, tripla, à cube égale des chambres, la production de l'acide en Europe et en fit tant baisser les prix de vente, qu'il fallut chercher partout de grands et nouveaux emplois à une grande partie de l'acide produit; la bougie stéarique, le sulfate d'alumine, etc., concoururent, avec l'augmentation de la consommation de la soude, à remplir ce résultat.

Comme résultat hygiénique, le nouveau procédé a opéré une révolution dans cette industrie, en supprimant le travail intermittent, en rendant très-rares les dérangements des chambres de plomb, et en n'évacuant dans l'atmosphère qu'un courant léger d'acide nitreux; cependant une quantité triple d'acide fabriquée dans chaque chambre a augmenté le volume de gaz acides jetés dans l'air, et les dérangements des chambres, quoique très-rares, n'ont pas disparu entièrement.

M. Kuhlmann a annulé le dégagement d'acide sulfureux, en même temps que celui d'acide nitreux, en interposant entre les chambres de plomb et le tuyau de dégagement du gaz une série de *trente bonbonnes* reliées entre elles par de larges coudes en grès. Les dix premières bonbonnes, celles qui viennent immédiatement après la dernière chambre de plomb, contiennent un peu d'eau et ne servent que comme moyen de condensation, sans action chimique; les dix suivantes sont remplies presqu'à moitié d'une solution concentrée d'*azotate de baryte*; les dix dernières contiennent de l'eau et de la *withérite* concassée (la withérite est du carbonate de baryte naturel, qui se trouve en Écosse surtout). La deuxième série de bonbonnes sert à la condensation de tout l'acide sulfureux et d'une partie des vapeurs nitreuses. L'acide sulfureux passe à l'état de sulfate insoluble de baryte, les vapeurs nitreuses à l'état d'acide azotique qui s'ajoute à celui qui devient libre par la décomposition de l'azotate de baryte. Pour opérer la transformation de l'acide sulfureux en sulfate de baryte et celle des vapeurs nitreuses en azotate de baryte, on introduit dans la première bonbonne un faible jet de vapeur d'eau, en même temps qu'on y laisse entrer un peu d'air. Le jet de vapeur, tout en appelant l'air extérieur, favorise le tirage provoqué par la cheminée de sortie qui termine le système des chambres de plomb. Mais en même temps que la vapeur d'eau opère ce phénomène physique, l'oxygène de l'air entraîné ramène les vapeurs nitreuses à l'état d'acide azotique; une partie de cet acide transforme l'acide sulfureux en acide sulfurique qui passe à l'état de sulfate de baryte; une autre partie se dissout dans l'acide où le sulfate de baryte s'est produit, la majeure partie est entraînée par le courant gazeux et va attaquer la withérite pour se fixer à l'état d'azotate de baryte.

Ajoutons, pour faire apprécier tout le mérite de ce moyen d'absorption, que le sulfate de baryte produit en définitive, préparé ainsi chimiquement et par suite à un haut degré de finesse, a une grande valeur dans la peinture en bâtiment, pour être mêlé à la céruse et même la remplacer.

Une production utile vient donc payer les frais de l'assainissement pour ainsi dire absolu qu'a obtenu M. Kuhlmann. Aussi allons-nous voir un système analogue adopté dans ses usines pour l'absorption de l'acide chlorhydrique, le conduisant, avec ce qu'il a appelé avec grande raison, à la constitution de l'*industrie de la baryte*.

Acide chlorhydrique. — On rencontre de grandes difficultés dans la pratique à faire disparaître complétement tout dégagement d'acide chlorhydrique.

Le bas prix de cet acide, et les énormes quantités que produisent les fabriques de soude, font qu'on ne peut pas faire beaucoup de frais pour le condenser; ensuite, cette condensation est beaucoup plus difficile à opérer en grand que celle de l'acide sulfurique.

A Marseille, d'après les conseils de Péclet, on emploie de longues galeries souterraines, creusées dans la *pierre calcaire*, toujours humectées d'eau, et communiquant à une haute cheminée. Darcet a jeté longtemps, près de Paris, les vapeurs perdues d'acide chlorhydrique dans des carrières de pierre calcaire abandonnées.

Des galeries dans la craie ne pouvant pas se faire partout, voici le procédé simple et sûr que M. Kuhlmann leur a substitué.

Le système de condensation se compose d'une série de *soixante-deux bonbonnes en grès d'une capacité de 175 litres chacune*; ces bonbonnes sont à trois tubulures, dont deux grandes sur le côté et une petite au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

centre; ces bonbonnes sont sur *un même plan horizontal*. Elles sont reliées entre elles à l'aide de larges tubes courbés en grès qui viennent s'adapter sur la tubulure du côté de chaque bonbonne. Une couche de mastic, qui conserve toujours ses propriétés plastiques, et formé de *goudron de houille*, de *résine*, d'*argile* et de *sable fin*, est appliquée sur les jointures, de manière à empêcher, soit la sortie du gaz qui traverse le système, soit l'introduction de l'air extérieur dans les appareils.

Les cinquante-quatre bonbonnes contiennent de l'acide de plus en plus faible, puis, à mesure qu'on s'éloigne du four, de l'eau pure, et cela à peu près à moitié de leur capacité; elles servent à condenser la majeure partie du gaz acide et à produire l'*acide chlorhydrique marchand*.

Les six suivantes renferment également de l'eau, ainsi que de la *withérite* concassée en morceaux, qui les remplissent presqu'en entier. Celle-ci est très-rapidement attaquée par l'acide. Il se produit du chlorure de barium *fixe et soluble* dans l'eau.

Les gaz non absorbés passent par les deux dernières bonbonnes contenant de l'eau pure; elles servent de *témoins* pour accuser la marche des appareils.

M. Stass, dans un rapport intéressant, compris dans une publication belge intitulée : *Fabriques de produits chimiques, Rapport à M. le ministre de l'intérieur par la commission d'enquête instituée par arrêté royal du 5 septembre 1855* (excellente et consciencieuse publication à laquelle nous empruntons ces détails), apprécie ainsi, après examen attentif, le système que nous venons de décrire : Le système de bonbonnes sur un plan horizontal, combiné avec l'emploi de la withérite, irréprochable en lui-même comme moyen de condensation de l'acide chlorhydrique qui le traverse, lorsque le système est dans son état d'intégrité, laisse à désirer en ce sens qu'il exige un siphonnage, opération dans laquelle une partie de l'appareil se vide sans remplacement immédiat, et qui entraîne fatalement avec elle un dégagément d'acide chlorhydrique dans l'air.

M. Kuhlmann a cherché à transformer son système horizontal et à récolte intermittente en un autre à cascade et à récolte continue, exempt de cet inconvénient.

Le sulfate de soude étant produit partie sur une *cuvette* en plomb placée à la suite du four principal, chauffée par les gaz de la combustion, et partie dans ce four même, où le produit de la réaction de l'acide sulfurique et du sel marin est chauffé au rouge (et le gaz chlorhydrique mélangé d'un grand volume de gaz étrangers, si ce n'est dans les nouveaux fours à moufle [1]), il faut un double système de condensation. A Loos, où M. Kuhlmann a établi son premier appareil à cascade, le double système est disposé ainsi :

Il consiste dans une série de cent vingt-quatre bonbonnes divisées en deux parties, l'une mise en communication avec les gaz de la *cuvette*, l'autre en communication avec les gaz de la *calcine*. Voici comment chacune est disposée : on a établi, à environ 1 mètre de l'ouverture par laquelle l'acide chlorhydrique sort du four, un massif en maçonnerie en forme d'escalier; et afin de ménager l'espace, on l'a replié trois fois sur lui-même. On a placé sur chacun des replis seize bonbonnes de 175 litres environ. Les quarante-huit bonbonnes qui sont ainsi rangées sont reliées entre elles par des raccords bien mastiqués, de manière à forcer le gaz acide qui entre par la première bonbonne d'en bas à monter successivement au travers de toutes les bonbonnes et à sortir par le raccord de la dernière, appelé qu'il est vers un second système de condensation, par la grande cheminée. Les bonbonnes qui se trouvent ainsi placées sur cette espèce d'escalier sont mises en communication entre elles par des tubulures qu'on y a pratiquées sur les côtés, vers les deux tiers supérieurs. Dans l'intérieur d'une tubulure de chaque bonbonne se trouve soudé un tube en grès arqué, qui se dirige dans l'intérieur de la bonbonne, à peu près jusqu'au fond. Cette tubulure étant mastiquée avec celle de la première bonbonne, le liquide qui pénètre dans la seconde se déverse dans la première du moment qu'il s'est élevé à un niveau suffisant. Le liquide déversé vient du fond du second vase, et, par suite, est le plus dense qu'il est possible, puisque le tube arqué par lequel il doit s'écouler descend jusqu'au fond. La même disposition existe entre toutes les bonbonnes successives, d'où il résulte que le liquide qui pénètre dans la quarante-huitième bonbonne doit s'écouler par la première, après avoir traversé successivement la quarante-septième, la quarante-sixième... la troisième, la deuxième, la première. Comme d'ailleurs les gaz entrent par la première bonbonne et s'échappent par la dernière, on a une application bien complète de la méthode de déplacement par ce cheminement en sens inverse des gaz et du liquide de moins en moins acide, et, par suite, de plus en plus apte à les dissoudre.

On conçoit qu'en réglant convenablement l'écoulement de l'eau dans la quarante-huitième bonbonne, la première doit déverser constamment de l'acide chlorhydrique à un degré de saturation constant. On doit comprendre aussi que si l'on multipliait considérablement le nombre des bonbonnes disposées ainsi en *cascade*, on arriverait à absorber presque la totalité du gaz acide dégagé par le four, sans avoir à recourir à d'autres moyens de condensation. Mais un système de ce genre exigerait un emplacement très-considérable, serait très-coûteux et ne produirait pas, à beaucoup près, ce qu'il exigerait en frais d'installation et d'entretien. M. Kuhlmann a donc ajouté à ce système une serie de douze bonbonnes, renfermant de l'eau et de la withérite, et deux bonbonnes à moitié remplies d'eau pure; celles-ci devant servir de témoins. Les bonbonnes à la withérite et les deux témoins sont mis en communication entre eux et avec le système des bonbonnes en cascade, par des raccords ordinaires. Tout l'appareil de condensation est mis en rapport avec la cheminée d'appel, qui est chargée de déterminer le courant gazeux et la combustion dans le foyer du four.

Cet appareil est, on peut dire, parfait; il fournit un écoulement continu d'acide, qui est reçu en vases clos. On pourrait toutefois reprocher un peu de roideur au système et la difficulté de changer une bonbonne en cas d'accident. L'emploi du caoutchouc vulcanisé, qui résiste très-bien à l'action des acides, pour mettre en rapport les tubulures latérales, fait heureusement disparaître cet inconvénient.

Nous avons cru devoir donner en détail ce système complet, qui peut être répété assez de fois pour donner telle section que l'on voudrait pour le passage de gaz non condensables, qui fonctionne dans des conditions de perfection absolue, sans grande cheminée dont l'appel répond toujours à une diffusion assez considérable au dehors de gaz nuisibles. Dans des cas où la préparation de produits baritiques serait impossible, le passage des gaz acides à travers des tours de 4 à 5 mètres de hauteur remplies de gros coke, servant à diviser l'eau qui arrive à la partie supérieure, peut être suffisant et plus simple dans la pratique. En multipliant suffisamment de semblables appareils, et avec une dissolution de chaux dans les derniers, on peut toujours faire disparaître les inconvénients qui ont été trop longtemps considérés, à tort, comme inhérents à la fabrication de la soude.

[1] La commission belge a proposé l'interdiction des fours dans lesquels les gaz du fourneau sont mélangés aux gaz acides, considérant que le grand volume des premiers rend à peu près impossible, dans la pratique, la parfaite condensation des seconds.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Noir animal, sel ammoniac. — D'après Darcet, les fabriques de noir animal et celles de sel ammoniac ne sont autorisées que sous condition.

1° De placer leurs fourneaux au centre d'une propriété de grande étendue, et de ne jamais les adosser à des maisons ou à des propriétés voisines.

2° De n'employer que des fourneaux fumivores et qui brûlent même les vapeurs produites par la distillation des os, en les faisant passer sur un foyer d'appel.

Quelques soins que l'on prenne, la fabrication du sel ammoniac est accompagnée de quelques vapeurs ammoniacales et empyreumatiques qui se font sentir assez loin, mais qui n'ont rien de dangereux pour la santé des hommes, ni pour les cultures ou les arbres.

Ces fabriques sont ordinairement éloignées des villes ainsi que des villages, et maintenues isolées.

N° 5. Assainissement des ateliers d'affinage d'or et d'argent.

L'assainissement des ateliers d'affinage, l'une des industries les plus dangereuses pour les industriels qui l'exercent, pour les ouvriers et pour les voisins, est dû tout entier à Darcet, qui a aussi rédigé des instructions officielles sur cet assainissement.

Le bel et vaste atelier de MM. Poisat, Saint-André et Cᵉ, est le premier où ces procédés complets d'assainissement aient été appliqués, et il est impossible aux voisins de s'apercevoir qu'ils sont auprès d'un atelier où des masses énormes de matières sont affinées chaque jour.

L'affinage est l'art de traiter les matières d'or et d'argent, pour les séparer les unes des autres et des métaux auxquels elles sont mélangées. Il consiste à former un alliage dans lequel entre une certaine proportion d'argent et de cuivre, proportion la plus favorable à la complète séparation de l'or et de l'argent. Ensuite on grenaille cet alliage que l'on a fondu, en le coulant rouge dans l'eau froide, pour le diviser et le rendre très-attaquable aux acides. On place cette grenaille dans des chaudières de platine closes et munies d'un chapiteau et d'un tuyau pour la sortie des vapeurs. On y jette de l'acide sulfurique à 66°, que l'on a porté à un degré supérieur de concentration par une ébullition nouvelle. Cet acide dissout l'argent et le cuivre que l'alliage contient, et dégage de l'acide sulfureux provenant de la décomposition de l'acide sulfurique par l'argent et le cuivre, et des vapeurs chargées d'acide sulfurique. Tout l'argent et le cuivre sont dissous, et l'or que peut contenir l'alliage reste non dissous dans la chaudière, où on le traite une seconde fois par de l'acide nouveau.

Les chaudières de platine sont placées sous une hotte ventilée par la cheminée générale de l'établissement, pour que les gaz et les vapeurs dégagés en ouvrant les cornues ne s'échappent pas dans l'atelier. Puis on lave l'or à l'eau, et on le met en masses compactes en le comprimant à la presse hydraulique; on le fond enfin dans des creusets réfractaires.

L'argent est séparé de la dissolution acide par du cuivre métallique; on le lave, on le comprime à la presse hydraulique, et on le fond dans des creusets en fer forgé ou en terre réfractaire.

Ainsi les vapeurs incommodes et dangereuses que cette industrie émet, et qui nuisaient gravement aux propriétés voisines, sont de l'acide sulfureux chargé d'une grande quantité de vapeurs sulfuriques.

Le système créé par Darcet pour assainir le travail de l'affinage consiste à condenser les vapeurs acides en faisant passer les produits sortant des cornues en platine dans de gros tuyaux en plomb, entourés d'eau, et dans cinq ou six grands tambours en charpente garnis intérieurement en plomb, remplis à la partie inférieure d'eau froide, qui passe d'un tambour à l'autre, en descendant et en sens contraire des gaz produits par la distillation.

Les gaz entrent dans chaque tambour par le haut et en sortent par le bas, à l'angle opposé, de manière à contrarier les courants et à forcer les vapeurs, qui sont toujours très-lourdes, à se condenser en passant sur l'eau. Cette eau, chargée d'acide sulfurique, arrive à un degré de concentration assez fort dans les premiers tambours, et on l'emploie dans d'autres industries, comme la fabrication du sulfate de fer artificiel, le travail des peaux, etc., etc.

L'acide sulfureux provenant de la décomposition de l'acide sulfurique par les métaux dissous est ensuite absorbé par de l'hydrate de chaux placé dans une caisse mue mécaniquement sur son axe, ou dans une caisse munie de plusieurs grillages superposés recouverts tous de chaux, comme les épurateurs à gaz.

Une cheminée de 55 mètres jette très-haut dans l'atmosphère les vapeurs, les gaz et la fumée du combustible brûlé.

Dans l'atelier de MM. Poisat et Cᵉ, il y a trois ou quatre tambours en plomb placés à la suite l'un de l'autre dans la cave qui est au-dessous de l'atelier. Là l'acide sulfureux, débarrassé de vapeurs acides, dans les tambours, vient se condenser sur l'hydrate de chaux; ce qui n'est pas condensé est conduit à une certaine hauteur, dans la cheminée générale de l'atelier, qui le verse à 60 mètres de hauteur dans l'atmosphère, avec la fumée des fourneaux et les vapeurs acides échappées aux chaudières de platine, pendant qu'on les remplit ou qu'on lave l'or qui y reste.

Au-dessus du fourneau des chaudières de platine est établie une hotte qui recouvre les chaudières et la table sur laquelle se fait leur charge et leur vidange, le lavage et le décantage de l'or qui y reste. Cette hotte est fermée en avant par trois tabliers mobiles en tôle, manœuvrés par des poulies et des contrepoids. Ces tabliers permettent de faire tout ce travail sans qu'aucune vapeur se répande au dehors, en rétrécissant à volonté l'ouverture antérieure de la hotte, pour en activer le tirage.

La hotte est mise en communication avec la grande cheminée par un canal souterrain qui passe sous le sol de l'atelier.

Le tirage déjà puissant d'une cheminée de 55 mètres de hauteur est encore activé par les chaudières d'évaporation du sulfate de cuivre, montées au pied de la cheminée, et qui, avec tous les foyers si nombreux de l'usine, produit jusqu'au point le plus éloigné de l'appareil d'assainissement un appel si énergique, que jamais aucune vapeur ne peut être versée dans l'atelier.

Pour manœuvrer l'appareil, on met en place les chaudières de platine avec leur charge de métal; on réunit le col du chapiteau au tuyau général de plomb. On abaisse presque entièrement les trappes en tôle, et on allume les fourneaux.

Un appel très-puissant est ainsi déterminé dans la hotte, et la dissolution des matières par l'acide a lieu sans que rien se dégage au dehors.

Quant à la décomposition du sulfate d'argent et à l'évaporation du sulfate de cuivre, pour que ces opérations se fassent sans inconvénients, il suffit de ne pas traiter ces dissolutions à une trop haute température, avant de les avoir amenées à l'état neutre, ce que l'on fait sans peine avec du carbonate ou de l'oxyde de cuivre.

L'atelier de MM. Guichard et Legendre, où Darcet neveu, créateur de l'affinage par l'acide sulfurique, réalisa avec avantage les nouveaux procédés trouvés par lui en 1802, avait donné lieu à des plaintes de la part des voisins.

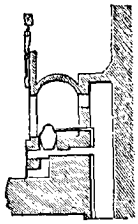
J.-P. Darcet y établit un système d'appareils d'as-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sainissement complet, que les lieux le forcèrent de développer au même niveau. Il y avait là huit chaudières de platine avec leurs fourneaux.

Un cylindre en plomb de 0,30 de diamètre, avec pente de droite à gauche, servit à condenser les premières vapeurs chargées d'acide, et reçut les vapeurs et les gaz des huit chaudières.

3622.

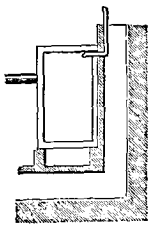


Un entonnoir en plomb est fermé par un tampon de bois, à l'aide duquel on introduit de l'eau dans le cylindre pour laver et emporter le sulfate d'argent qu'y jette quelquefois l'acide boursouflé des chaudières.

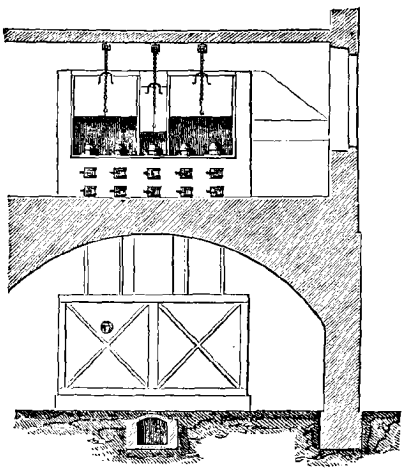
Une cloison transversale en plomb, de 7 ou 8 centimètres de hauteur, arrête, au bas du cylindre, les eaux de condensation ou de lavage, qui s'écoulent dans le réservoir par un tuyau de 0,37.

Un réservoir en plomb reçoit les condensations et les lavages du grand cylindre.

A la suite est un tambour de condensation en plomb. Les vapeurs non condensées dans le cylindre sortent du premier tambour par un tuyau en plomb, et pénètrent dans le bas du deuxième tambour, pareil au premier.



3623.



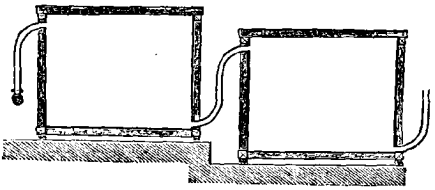
3624.

Enfin il y a deux caisses tournantes, en plomb (fig. 3626), que l'on charge d'hydrate de chaux, destiné à absorber les parties d'acide non encore condensées, et l'acide sulfureux.

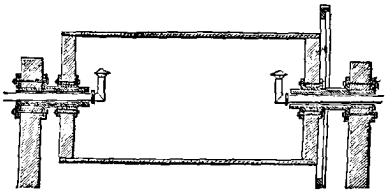
On voit que ces boîtes tournent sur des moyeux fixes, en fonte, dans lesquels passe le tuyau en plomb qui amène les vapeurs du premier tambour, et celui qui les emmène au dehors.

Des engrenages et des manivelles permettent de faire tourner les caisses, sans gêner le passage des gaz. En sortant des deux caisses mobiles, les gaz non-condensés, mais désinfectés, sont conduits dans la grande cheminée de l'usine, où un tirage très-puissante les porte au dehors et à une grande hauteur.

Il ne passe dans ces boîtes tournantes que de l'acide



3625.



3626.

sulfureux, dont l'hydrate de chaux, toujours agité, s'empare facilement, et il n'arrive dans la grande cheminée que la petite portion d'air qui a pénétré dans l'appareil, soit à travers ses joints, soit par les tubulures des chaudières, qu'on ouvre pendant le travail. En ménageant convenablement le feu sous les chaudières, et en faisant suffisamment tourner la caisse mobile, on peut facilement faire le travail dont il s'agit, sans laisser répandre aucune vapeur insalubre au dehors de l'atelier.

Il faut aussi laisser refroidir les chaudières de platine avant de les enlever de dessus leurs fourneaux, ou, si en les enlevant elles produisent encore quelques vapeurs acides, on les porte sous une petite hotte construite pour cet usage, et que l'on peut faire communiquer par un tube de plomb, soit avec la grande cheminée, soit avec les cendriers des fourneaux, en ayant soin d'en fermer exactement les portes. Quant aux chaudières de plomb dans lesquelles on décompose le sulfate d'argent, nous pensons que comme elles ne donnent que de la buée peu gênante, il suffira, ou de laisser sortir cette buée de l'atelier par un toit à claire-voie, ou, si l'on veut mieux faire, de la conduire, par des hottes convenablement disposées, dans la grande cheminée.

Dans un établissement des environs de Paris, l'auteur de cet article a organisé tout récemment un excellent système de condensation avec un long tuyau en plomb, et un grand nombre de tambours successifs de grandes dimensions.

N° 6. Engrais.

Les substances qui concourent au développement des plantes, en rendant à la terre ce que celles-ci lui enlèvent, sont ou minérales ou végétales, et surtout animales. Les premières ne donnent lieu à aucune observation pour la question de salubrité, sauf les cendres des fonderies de plomb ou de zinc, et autres cendres métalliques, qui, jetées sur des trèfles, ont empoisonné plusieurs vaches. Les autres engrais, composés de substances végétales et surtout de substances animales, ont besoin de fermenter ensemble pour atteindre leurs qualités les plus parfaites, et de rester longtemps entassés pour attendre, soit cette fermenta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion, soit leur emploi. (Voir *Guide de la fabrication des engrais*, par M. Rohart, pour les conditions à remplir relativement à la salubrité de la fabrication industrielle des engrais, pour l'absorption immédiate à l'aide de substances convenables, telles que le plâtre et le sulfate de fer, des gaz dégagés par la fermentation.) Les boues des villes et les fumiers des campagnes, formés de paille employée comme litière et de déjections animales, sont dans ce cas, et leurs amas sont très-insalubres et très-incommodes pour le voisinage.

Les fumiers des campagnes sont, dans presque toute la France, amassés devant les portes, dans les cours et souvent dans les rues, où ils reçoivent les pluies d'automne et du printemps, qui les lavent et emportent la plus grande partie des sels ammoniacaux et des substances solubles, les plus précieuses matières à conserver, outre leur danger pour la salubrité des maisons et des communes.

Les administrations communales et les conseils d'hygiène agissent donc en même temps dans le véritable intérêt des cultivateurs, et dans un intérêt bien entendu de salubrité municipale, en prenant tous les moyens propres à faire disparaître les fumiers des rues ou des petites cours, et à les faire entasser à l'abri des grandes pluies, là où ils ne peuvent nuire à personne par les vapeurs qu'ils dégagent.

Les dépôts des boues de Paris sont rejetés à 2,000 mètres du mur d'enceinte, disséminés sur un grand nombre de points différents, et ne peuvent pas être établis sans une autorisation. Les chevaux morts ou abattus sont aussi trop souvent abandonnés au milieu des champs, au lieu de servir d'un précieux engrais, comme ils le sont réellement.

Les parties non utilisées dans l'industrie des animaux tués dans les abattoirs publics, la chair musculaire, le sang, les poumons, sont préparés avec de la terre végétale calcinée, et forment un engrais appelé *noir animalisé*, dont on expédie de grandes masses pour les champs de cannes des colonies; on y expédie aussi beaucoup de poudrette préparée, et on amène par contre, du Pérou en France, des quantités considérables de guano, produit des déjections des oiseaux de mer, accumulés depuis bien des siècles.

Les transports de ces matières ne sont pas sans danger, surtout quand elles peuvent prendre de l'humidité, et donner lieu à une fermentation très-active, surtout avec la chaleur des tropiques. On cite des navires qui ont ainsi perdu une partie de leur équipage.

Les produits des déjections de l'homme servent, dans la Flandre et ailleurs, à arroser directement les terres. Il est difficile de croire que les odeurs qu'ils dégagent et la consommation, par les bestiaux, des plantes qui en sont couvertes, n'aient pas quelque danger.

Les chantiers d'équarrissage des chevaux sont rangés dans la première classe des établissements insalubres; cependant, il résulte d'un très-beau travail de Parent-Duchâtelet que leurs émanations infectes n'ont pas de danger pour les enfants ni pour les ouvriers qui vivent au milieu de ces chantiers.

Il est facile du reste de les organiser de manière qu'aucune partie des chevaux abattus ne soit perdue, et que les parties mêmes que nous avons désignées plus haut comme sans usage servent à faire des engrais. (Voy. ABATTOIR.)

Deuxième Classe.

N° 7. APPAREIL SALUBRE A ÉTEINDRE LE COKE DANS LES USINES A GAZ.

Tous les hommes qui ont monté ou dirigé des usines à gaz savent quelle masse de vapeur d'eau chargée d'ammoniaque, d'hydrogène sulfuré et d'autres vapeurs dangereuses se dégage d'un tas de coke embrasé, au moment où on l'arrose rapidement d'eau pour l'éteindre au sortir des cornues. Pour que le coke conserve un bel aspect métallique, il faut que cet arrosage soit rapide et qu'il atteigne toutes les parties du coke brûlant.

Dans les grandes usines, surtout dans les usines placées au milieu des villes, le travail et la masse de vapeurs que l'on produit ainsi sont dangereux pour les ouvriers de l'usine, et surtout incommodes pour tout le voisinage.

L'usine à gaz Lacarrière, à Paris, dont le travail avait pris un développement trop considérable pour les bâtiments où elle était limitée, en était venue à répandre dans les quartiers qui l'entourent des masses de vapeur infecte dont nous parlons.

Les chefs de cette grande usine demandèrent à Darcet de leur trouver et de faire construire un appareil d'extinction du coke qui satisfît à toutes les conditions de salubrité, sans nuire à la bonté du travail.

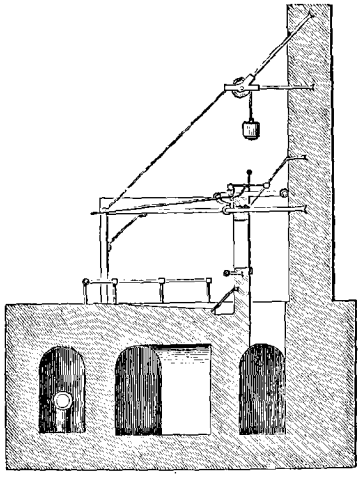
L'appareil que nous donnons ici, construit sous la direction de Darcet à l'usine de la rue de la Tour, remplit toutes ces conditions. Nous l'avons vu marcher de la manière la plus parfaite, et les administrateurs de la compagnie, qui nous en ont donné les plans, s'en félicitaient beaucoup.

Le principe est l'extinction du coke dans trois cases en brique, fermées de trois côtés, où le coke est porté sur des chariots en fer, en sortant des cornues; des trémies plates en tôle, percées de trous sont descendues ensuite sur le coke et de l'eau est jetée rapidement sur la trémie, par des tuyaux et des robinets d'un gros diamètre. Ces plateaux percés de trous répartissent très-également l'eau sur toute la surface du coke et l'éteignent rapidement, en lui conservant toutes ses qualités.

La vapeur fétide dégagée l'abandonne dans cet instant, et, mêlée à l'air de l'atelier qui arrive par le devant de la case, elle est emportée à travers de larges ouvertures, pratiquées au mur du fond des cases, et qui communiquent par-dessous terre à de vastes carneaux souterrains qui amènent la vapeur à une certaine hauteur dans la grande cheminée de l'usine (fig. 3628).

A l'usine Lacarrière, trois cases de 2 mètres de côté suffirent pour l'extinction de tout le coke produit.

Voici la description de l'appareil :



3627.

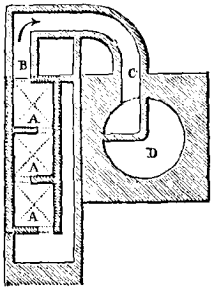
La figure 3627 est une coupe verticale par une des cases, sur le plateau percé de trous, les moufles qui le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

manœuvrent, et les tuyaux et robinets à eau. On voit aussi l'ouverture réservée dans le fond de la case, et les carneaux souterrains par lesquels l'air et les vapeurs infectes sont emportés dans la cheminée.

Dans toutes nos figures, les flèches indiquent la marche des courants d'air et de vapeur.

A, A (fig. 3628) sont trois cases de 2 mètres de côté, entourées de murs en briques sur trois côtés et servant à éteindre le coke.



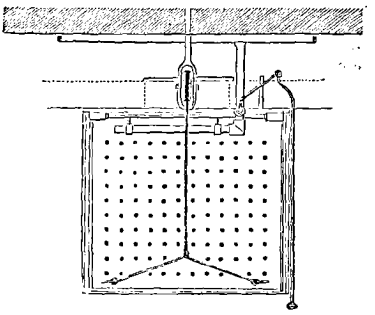
3628.

BB, ouvertures pratiquées dans le mur de face des cases, et qui emportent les vapeurs sous l'appel de la grande cheminée.

C. Carneaux souterrains par lesquels les vapeurs se rendent des cases d'extinction à la cheminée.

D. Partie de la cheminée limitée par une cloison qui monte à 10 mètres de hauteur, et qui reçoit l'air et les vapeurs d'extinction du coke, sous l'appel des fours à gaz; l'autre partie de la cheminée reçoit la fumée des fours à gaz de l'usine.

J. Trémies en tôle percée de trous (fig. 3629), ser-



3629.

vant à éteindre le coke, dans les trois cases, et manœuvrées par des contre-poids. A la partie supérieure sont les tuyaux et robinets d'eau, pour l'extinction du coke.

Cet appareil n'a jamais été publié nulle part.

N° 8. Colle animale et gélatine.

On prépare surtout ces colles avec des membranes, des peaux, des aponévroses, des tendons, des cartilages et surtout des os. La gélatine qui sert à faire les colles fortes se prépare avec des os que l'on traite par la vapeur ou au bain-marie, après les avoir fait macérer plusieurs jours dans un lait de chaux, pour en enlever la graisse.

On extrait aussi la gélatine des os en les traitant par de l'acide chlorhydrique étendu d'eau, industries qui ont été créées par Darcet.

Tous ces établissements donnent des odeurs incommodes aux voisins; tous ceux où l'on traite des *matières membraneuses*, où l'on emploie la *carnasse*, sont placés dans la première classe, tandis que ceux où l'on se sert des os pour préparer les colles font partie de la troisième classe.

Les eaux de ces fabriques sont chargées de matières animales infectes et très-faciles à putréfier, ou elles sont chargées d'acide, quand on en emploie; on doit alors les envoyer avec précaution dans un égout, en les écoulant chaque jour et en les saturant d'abord avec de la craie.

N° 9. Buanderies et lavoirs.

Ce qu'il y a de dangereux pour la santé publique dans les buanderies, ce sont les grandes masses d'eaux chargées de *substances savonneuses*; ces eaux contenant presque toujours des *sulfates*, donnent, par leur mélange avec le savon, un grand dégagement d'acide hydrosulfurique. Celui-ci porte, en effet, son infection à une grande distance; les puisards sont à tout moment bouchés par les savons calcaires, formés par les matières grasses; un facile et sûr écoulement de ces eaux est donc la première condition imposée à une buanderie. Aussi les buanderies sont de la deuxième classe, quand elles n'ont pas d'écoulement pour leurs eaux, ou qu'elles doivent les transporter au loin; elles sont de la troisième classe quand elles ont un écoulement direct.

Enfin, celles qui sont sur des bateaux, ayant le moyen le plus parfait d'évacuation des eaux, ne sont plus soumises qu'à des règlements de police locale et aux règlements de la navigation; il est toutefois défendu à Paris d'étendre le linge sur les berges; on ne peut pas non plus laver dans la Seine ailleurs que sur les bateaux. Deux procédés ont été indiqués par Darcet pour extraire les matières grasses des eaux de savon : l'un par l'acide sulfurique qui isole les acides gras, que l'on recueille; l'autre par le plâtre en poudre ou les vieux plâtras. Il se fait là une double décomposition, et il se produit du sulfate de soude.

N° 10. Fonderies de plomb.

Les foyers des fourneaux de fusion du plomb sont toujours fumivores, par suite de la haute température du plomb dans la chaudière; on peut donc brûler de la houille en nature, dans cette industrie, sauf à allumer avec du bois, jusqu'à ce que le fourneau soit bien chaud.

Le traitement des cendres de plombier ne doit se faire dans une ville qu'avec des procédés perfectionnés, qui ne laissent dégager à l'extérieur aucun produit plombifère. Des chambres et des galeries de circulation d'une dimension suffisante doivent permettre le dépôt de toutes les poussières; autrement, on devrait renvoyer hors des villes le traitement de ces cendres.

N° 11. Travail du caoutchouc pour faire des sondes, des fils et des étoffes imperméables.

Le caoutchouc destiné à ces fabrications n'est pas mis en dissolution, mais seulement ramolli, en le chauffant à vases clos, dans de l'éther contenant quelques centièmes d'huile pyrogénée de caoutchouc.

La préparation de cette liqueur se fait aussi à vases clos; le danger d'incendie est donc l'objet qu'on doit prévoir ici.

Ces fabriques sont autorisées sous condition :

1° Que le magasinage de l'*éther*, les préparations du *dissolvant*, et la conservation de ce liquide aient lieu dans un bâtiment construit *ad hoc*, avec planchers en fer, et isolé des maisons et des fabriques.

2° Que l'atelier où l'on ramollit le caoutchouc soit ventilé convenablement, ainsi que celui où l'on emploie le caoutchouc pour la fabrication des sondes, des fils et des étoffes imperméables.

Quant aux grands ateliers où l'on prépare et où l'on vulcanise le caoutchouc, ce sont des établissements

EFERUS - Recherche & Classification numérique

assez grands et assez isolés des constructions voisines pour ne pas être un danger d'incendie ou une source d'odeurs désagréables pour les voisins; les ateliers de travail du caoutchouc, et les étuves où l'on chauffe à une haute température les produits préparés avec le caoutchouc, vulcanisé ou non, sont avec raison toujours isolés des murs d'enceinte, par conséquent des propriétés qui les entourent.

N° 12. Fulminate de mercure.

Cette fabrication est très-dangereuse. Le conseil de salubrité de la Seine interdit le transport du fulminate hors de la fabrique où on le produit, avant qu'il ne soit converti en *amorces fulminantes*, quoique quelques fabricants affirment qu'humide, il ne peut faire explosion ni par le choc, ni par le contact d'un corps enflammé. Les fabriques doivent être aussi isolées de toute habitation. (Voy. Capsules.)

N° 13. Cuirs, toiles et cartons vernis; fanons de baleine.

Les inconvénients des premières fabriques sont des incendies fréquents et des odeurs désagréables, dont le voisinage souffre beaucoup.

Quant aux dernières : 1° les eaux de macération des *fanons*, qui se putréfient très-promptement, ne doivent pas avoir d'écoulement dans les ruisseaux de la rue, mais directement dans un égout;

2° Des précautions doivent être prises pour jeter la buée de la chaudière de macération dans une cheminée plus haute de 3 ou 4 mètres que les toits voisins.

3° On ne doit jamais non plus brûler sous cette chaudière les résidus de la division et de la préparation des fanons.

4° Les fourneaux doivent être disposés comme ceux de la fonte de suif, pour être parfaitement fumivores.

5° Les eaux de macération doivent être entièrement désinfectées avant d'être jetées dans les égouts, ou portées à la rivière dans un tonneau clos.

Les industries principales qui travaillent la baleine, sont :

1° Les aplatisseurs : les fanons sont le plus souvent aplatis et refendus dans le travail de macération;

2° Les fabricants de peignes;

3° Les ateliers de cuisson de fanons de baleine;

D'après Darcet, l'eau de macération des fanons de baleine est alcaline et contient de l'*ammoniaque*. Par le repos, il s'y fait un dépôt noir.

Le plâtre cru enlève son odeur et la clarifie en en précipitant le noir; le *plâtre cuit* développe au contraire son odeur; le chlorure de chaux filtré la désinfecte, mais employé à petite dose.

Cette industrie est rangée dans la troisième classe. (Ordonnance du 27 mai 1838.)

N°. 14. Galvanisation du fer.

Cette industrie, qui est encore récente, a déjà fait des progrès depuis sa création, par M. Sorel.

Il est toujours très-facile d'assainir complétement ce travail de la galvanisation, en y appliquant le système trouvé par Darcet pour les fabriques de fer-blanc, que nous donnons plus loin. Cette industrie sera un jour placée dans la troisième classe, mais comme la galvanisation est encore nouvelle et recevra évidemment des perfectionnements importants, elle a été mise d'abord dans la deuxième classe des établissements insalubres, pour lui laisser le temps de se développer et de se constituer complétement.

N° 15. Fabrication du tabac.

Des véritables influences que le tabac peut avoir sur la santé des ouvriers occupés aux différentes préparations qu'on lui fait subir. — Fourneau fumivore pour brûler les côtes de tabac.

Un travail très-complet et très-remarquable a été fait sur cette grave question, par Darcet et Parent-Duchâtelet, en voici le résumé et les conclusions :

En récapitulant tout ce que les auteurs du mémoire ont vu dans la fabrique de Paris et ce que rappellent des observations semblables, faites dans les huit autres manufactures de France, c'est-à-dire sur un nombre de 4,518 ouvriers, on voit :

1° Que dans la plupart des fabriques il est sans exemple qu'un individu ait été dans l'impossibilité de s'accoutumer aux émanations du tabac; qu'il n'y a guère que la démolition des masses qui ait été nuisible à quelques-uns, et qu'en général ceux qui sont exposés à toutes les émanations de cette substance, pendant un, deux ou trois mois, n'en sont pas incommodés;

2° Que si le travail du tabac laisse ceux qui le font exposés à toutes les infirmités humaines, ce qu'ils ont de commun avec les autres classes de la société, livrées à des occupations qui n'ont aucune analogie avec celle-ci, c'est à tort qu'on la regarde comme la cause d'une multitude de maux dont on trouve l'énumération dans les ouvrages de plusieurs auteurs qui ont écrit sur l'influence des professions.

Tout ce qu'on a publié sur la fréquence des nausées, des vomissements, des diarrhées, des coliques, des hémorragies chez les *râpeurs de tabac*, peut être considéré comme une pure supposition; il en est de même des céphalalgies, des sternutations, de la perte d'appétit, de la fétidité de l'haleine, des affections aiguës et chroniques de la poitrine, des cancers et autres maladies semblables; ce que disent les mêmes auteurs sur la décoloration de la peau des ouvriers employés au tabac, sur la teinte jaunâtre de leur faciès, sur leur maigreur et leur émaciation, prouve qu'ils n'ont pas observé par eux-mêmes, ou, du moins, qu'ils n'ont vu que les exceptions à la règle générale; ils n'ont pas non plus mis cette classe de la population en parallèle avec d'autres ouvriers de la même ville, occupés à des travaux tout différents. Les auteurs de ces remarques se sont longuement étendus sur ce point important d'hygiène publique, et ont multiplié les preuves; la fabrique de Paris leur en a fourni beaucoup.

Nous engageons donc ceux qui seraient curieux de s'instruire par eux-mêmes à visiter les ateliers de la manufacture du Gros-Caillou, pour se procurer en peu de temps une conviction parfaite.

3° Loin de déterminer chez ceux qui le préparent la mort et le narcotisme, comme le disent quelques auteurs, et comme le croient encore beaucoup de personnes, le travail du tabac n'a aucune influence sur leur système nerveux, et les vertiges, les syncopes, les tremblements musculaires et autres maux semblables qu'on lui a reprochés n'ont jamais existé dans les manufactures, où au moins ne peuvent pas leur être attribués.

Tout prouve donc que les accidents observés par Percy sur des soldats qui manœuvraient au Champ de Mars, et dont il attribue la cause à du tabac contenu dans leurs shakos, n'ont pas pu être déterminés par cette substance. Les faits que nous avons rapportés le démontrent jusqu'à l'évidence. Une chaleur très-intense n'est-elle pas capable, à elle seule, de produire la syncope, surtout lorsqu'on reste exposé à un soleil ardent, pendant tout le temps que durent des manœuvres longues et fatigantes? Les exemples de syncopes, et même de morts subites, arrivées en pareilles circonstances, sont trop nombreux pour que nous les rapportions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Percy ayant visité, après l'accident, tous les shakos du régiment, trouva que la plupart contenaient du tabac à fumer et à mâcher. Pourquoi, lorsque presque tous les hommes portaient du tabac dans leurs shakos, quelques-uns seulement furent-ils indisposés? Pourquoi ces soldats, qui avaient habituellement du tabac au-dessus de leur tête, n'en ont-ils été incommodés que pendant une manœuvre? L'opinion de Percy porte donc avec elle sa réfutation.

4° Non-seulement le travail du tabac n'altère pas la santé d'une manière visible, dans les premières années consacrées à sa manipulation, mais il ne lui apporte pas même le moindre préjudice dans un âge plus avancé. S'il en était autrement, les ouvriers deviendraient impropres au travail, et il faudrait les réformer : or, il n'arrive rien de semblable.

5° Il existe des professions qui, sans nuire d'une manière évidente à la santé, abrégent cependant la vie, et empêchent tous ceux qui l'exercent de dépasser un certain âge; le travail de Darcet et de Parent-Duchâtelet, démontre que celle dont nous nous occupons n'est pas dans cette catégorie, puisqu'elle permet à un grand nombre d'ouvriers d'atteindre, et même de dépasser de beaucoup, la limite ordinaire de la vie humaine, et les fabriques de tabac peuvent être autorisées au milieu des villes.

Fourneau fumivore à brûler les côtes de tabac. — L'incinération des côtes du tabac, résidu considérable de cette fabrication, qu'il importe de faire disparaître, en utilisant sa richesse notable en sels de potasse, a été assez longtemps une des opérations les plus nuisibles pour le voisinage des fabriques de tabac. Darcet a fait disparaître ces inconvénients par l'emploi d'un fourneau rendu fumivore en faisant passer les produits de la combustion au milieu de ceux d'un second fourneau placé à la suite du premier.

Le premier fourneau fumivore, dans lequel le combustible peut brûler à flamme renversée, est suivi d'une voûte qui vient déboucher dans un second foyer à double grille, l'une supérieure, l'autre inférieure au premier conduit de fumée; les cendriers sont placés latéralement du même côté. Voici les précautions à prendre pour brûler les côtes de tabac sans incommoder le voisinage de la manufacture :

On allume du bois sec et fendu dans les trois foyers; lorsque la voûte du foyer et les passages voûtés sont portés au rouge, on peut brûler des côtes de tabac sur la grille. Pour cela, on en charge peu à peu cette grille, en ayant soin de ne placer les côtes humides que sur le devant; on pousse successivement vers le fond du foyer celles qui sont allumées, avant d'en faire une nouvelle charge, et on continue à conduire ainsi le travail, tant que l'on a des côtes à brûler, ou jusqu'à ce qu'il devienne nécessaire de nettoyer le fourneau.

On facilite la chute des côtes incinérées, ou seulement enflammées, dans le cendrier, au moyen d'un ringard qui se manœuvre par un ouvreau. Le cendrier doit être fermé par une porte en tôle; on peut y mettre, lorsqu'il est assez échauffé et qu'il contient déjà des cendres rouges, des côtes de tabac humides, qui y brûlent très-bien.

L'air nécessaire à cette double combustion pénètre dans le cendrier et dans le foyer, à travers l'ouverture, ménagée en avant du fourneau, non-seulement pour produire convenablement cet effet, mais encore pour s'opposer à l'échauffement de l'air sur le devant du fourneau, où se trouve placé l'ouvrier qui alimente le foyer de côtes de tabac. La fumée sortant du cendrier et du foyer se mêle à la quantité convenable d'air nouveau introduit par les ouvertures; le tout passe dans le carneau voûté, s'y brûle, et en sort presque sans odeur et sans fumée.

On peut se contenter, en fabrique, des résultats qui précèdent. Si cependant on voulait y brûler complétement la fumée, il faudrait allumer du bois sec et fendu sur la grille du premier fourneau fumivore; ce combustible y brûlerait à flamme renversée, comme dans les alandiers des fours à porcelaine.

La flamme se jetterait en contre-bas, se mélangerait à de l'air nouveau, entrant par les ouvertures latérales, et pénétrerait dans le carneau voûté, dont elle occuperait le haut. La fumée venant du foyer serait alors obligée de se mélanger avec cette flamme, qui contient un excès convenable d'oxygène, et de traverser avec elle le carneau voûté dans toute sa longueur, d'où elle ne sortirait qu'après y avoir été complétement brûlée.

Ce n'est donc que par excès de précaution que Darcet a fait construire le second foyer fumivore, qui agirait comme il suit, si l'on s'en servait.

La flamme du bois sec et fendu que l'on brûlerait sur la grille de ce fourneau, obéissant à l'appel de la cheminée générale, prendrait une direction horizontale, se mélangerait à de l'air nouveau entrant par les ouvreaux, occuperait la partie inférieure du carneau, et la fumée arrivant du foyer, en grande partie brûlée pendant son passage à travers le carneau rouge, serait en outre obligée de traverser le carneau dans toute sa longueur, entre deux courants horizontaux de gaz enflammés, et contenant un excès d'oxygène, ce qui en brûlerait infailliblement les moindres fuliginosités.

Ce n'est que pour indiquer la perfection à laquelle on peut arriver en ce genre que Darcet, inventeur de ce fourneau, a réuni dans le même appareil tous les moyens d'atteindre le but proposé. Néanmoins, si l'on voulait s'en servir, il a cherché à utiliser la chaleur que produirait la combustion des côtes de tabac et celle que donnerait le bois dans les deux foyers : il a donc fait établir au-dessus de la voûte et à la suite un calorifère, qui pourrait échauffer un volume d'air considérable à employer très-utilement au chauffage de la manufacture. Ajoutons enfin que l'on peut remplacer ce calorifère par une chaudière servant à faire chauffer l'eau employée pour le lessivage des cendres de tabac, ou bien à faire évaporer les lessives provenant de cette dernière opération.

Troisième Classe.

N° 16. AMPHITHÉATRES DE DISSECTION.

En admettant que les salles de dissection ne soient pas, à proprement parler, nuisibles à la santé des jeunes gens qui y passent une grande partie de leur temps, il est au moins certain que la présence de nombreux cadavres en dissection, la vue des débris qui en proviennent et l'odeur qui se dégage de ces substances animales, souvent dans un état avancé de putréfaction, rendent le séjour de ces amphithéâtres fort désagréable, surtout pour les élèves qui ont à y commencer leurs études anatomiques : il n'est donc pas sans utilité d'aviser aux moyens d'assainir les salles de dissection. C'est dans ce but rempli d'intérêt que nous proposons l'établissement des appareils dont nous allons donner la description.

Du Dépôt des cadavres et de leur conservation.

Les cadavres envoyés aux salles de dissection proviennent, presque toujours, de sujets morts récemment et ne donnent ordinairement lieu à aucune odeur désagréable, surtout si on a employé les procédés de conservation des cadavres destinés à la dissection, dus au docteur Sucquet, et qui paraissent remplir très-bien leur objet.

Les cadavres destinés à la dissection qui, à Paris, ne peut se faire que dans les amphithéâtres créés par l'administration des hôpitaux, proviennent des hôpi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

taux, et doivent être apportés, la nuit, dans des voitures couvertes.

Peu après leur arrivée, on les injecte de sulfite de soude, à raison de 4 litres environ par cadavre : les corps entiers sont injectés par la carotide; ceux qui sont ouverts, par les artères sous-clavières, iliaques et carotides. Le liquide transsudant à travers les pores des vaisseaux ne tarde pas à imbiber tous les tissus, et après quelques heures, on peut injecter au suif le système artériel des sujets destinés à l'étude de l'angéiologie. Les tissus ainsi préparés se trouvent fermes quand on les découvre, et dans l'état normal du cadavre. Les sujets disséqués s'altèrent cependant promptement au contact de l'air ; tous les matins on imprègne de chlorure de zinc, avec une éponge, les préparations qui vont se putréfier, les tissus ramollis perdent à l'instant toute odeur.

Avec ce système, les cadavres se conservent de quinze à trente jours au moins ; on les dissèque sans en éprouver la moindre incommodité.

Pour que le sulfite de soude à 22° de l'aréomètre n'altère pas les instruments dont on se sert, on les laisse séjourner deux jours sur du zinc, ce qui ajoute à la solution un peu de sulfite de zinc.

Ce système doit être employé partout où l'on dissèque, et là surtout où il n'y a pas d'amphithéâtre organisé par une administration.

Une excessive et constante propreté est imposée, avec raison, aux amphithéâtres de dissection par l'ordonnance de police du 25 novembre 1831, qui règle ceux de Paris.

Voici les plans et coupes d'un amphithéâtre de dissection, avec table ventilée disposée par Darcet.

De la Dissection des cadavres.

L'aérage, les lavages à l'eau et l'emploi du chlore et des chlorures d'oxydes ont été jusqu'ici les seuls moyens employés pour désinfecter les salles de dissection : mais l'on sait que ces procédés ne conduisent que très-imparfaitement au but. Darcet a proposé d'y ajouter l'emploi de la ventilation forcée, et il a fait établir sur ce plan, à la Pitié et dans le cabinet de M. Serres, médecin en chef, la table de dissection que nous allons décrire :

La table de dissection dont il a proposé l'usage peut être construite en fonte ou en bois; elle doit être creuse dans toutes ses parties ; son couvercle doit être percé de trous nombreux, et il faut que son intérieur soit mis en communication avec un canal souterrain allant aboutir à une cheminée dans laquelle le tirage convenable doit être bien établi. Le service de la salle de dissection exigeant qu'on y place un poêle, une étuve et une chaudière, c'est de ces appareils qu'il faut se servir comme de fourneaux d'appel; c'est dans ce but qu'ils ont été tous trois réunis et placés au pied de la grande cheminée. Les figures 3630 et 3631 indiquent la disposition générale dont il s'agit.

En allumant du feu dans le fourneau de la chaudière, dans le poêle ou sous l'étuve, on établit un courant ascensionnel dans la grande cheminée, ce qui attire l'air contenu dans le canal souterrain et dans l'intérieur de la table de dissection, d'où il suit que l'air de la salle est entraîné vers le cadavre placé sur la table, et que cet air, après avoir entouré le corps, passe par les trous du couvercle de cette table, pour aller, à travers son pied et le canal souterrain, satisfaire à l'appel de la cheminée. Le dessus de la table de dissection et le cadavre qui y est placé sont ainsi continuellement ventilés par un courant descendant, qui se charge des émanations du corps et les entraîne vers le fourneau d'appel, dans la cheminée et en dehors de la salle de dissection.

On voit donc qu'avec ce système de construction il ne peut plus y avoir dégagement d'odeurs désagréables dans la salle, et que l'on pourrait même y disséquer des cadavres en putréfaction, sans que l'odorat pût y indiquer la présence de ce foyer d'infection.

Le système de construction étant conçu, il reste d'autres conditions à remplir :

Description des tables de dissection ventilées, en fonte.

Les eaux provenant du lavage du cadavre posé sur la table de dissection et celles qui s'en échappent coulent dans une caisse étamée, plus profonde d'un bout et qui les envoie dans un seau placé au-dessous; des trous égaux en somme à la section du canal souterrain sont percés tout autour de la caisse, pour égaliser la ventilation sur le cadavre.

On voit en S la grille en cuivre qui reçoit le corps. Un pied creux, portant le dessous de la table, reçoit l'eau qui a balayé le cadavre, sous l'appel de la cheminée, par des foyers d'appel et qui débouche dans un conduit souterrain d'appel, allant de la table au bas de la cheminée. O est le fourneau d'appel de l'amphithéâtre de dissection.

Terminons ce chapitre en indiquant ce que l'anatomiste doit faire pour tirer le meilleur parti possible de l'appareil.

Supposons que c'est en hiver que l'on a à se servir de cette table de dissection : on doit commencer par allumer le feu dans le poêle à courant d'air, on établit ainsi facilement l'appel dont on a besoin dans la cheminée générale, et l'on peut en outre donner à l'air de la salle la température jugée la plus avantageuse pour le travail que l'on a à y faire.

Nous ferons observer que si la ventilation établie autour du cadavre était trop forte, il en pourrait résulter un refroidissement gênant et une trop grande évaporation de la transpiration cutanée à la surface des mains et du visage de l'opérateur, ce qui ne laisserait pas que d'être un grave inconvénient. Il est donc important de réduire la ventilation justement au point convenable; or, les clefs ou soupapes placées sur le canal c et sur ses embranchements donnent facilement le moyen d'arriver à ce but : il suffira donc de s'en bien servir pour se placer, sous le double rapport de la ventilation et de la chaleur, dans les conditions où l'on désirera se trouver.

De la Macération des pièces anatomiques.

Le procédé par lequel on désorganise les tissus animaux, en les tenant, pendant un temps convenable, en macération dans l'eau froide, est certainement, de toutes les opérations qui se pratiquent dans les salles de dissection, celle qui donne lieu aux émanations les plus repoussantes et aux plaintes les plus graves. Nous croyons qu'à l'avenir il suffira, pour arriver à ce résultat sans aucune odeur, d'y établir l'appareil ventilateur que l'on voit sur la fig. 3630 et 3631, placé après la salle de dissection, et dont nous avons déjà parlé plus haut.

Cet appareil se compose :

1° D'un vasistas placé, autant que possible, du côté du nord et au haut d'une fenêtre ou de la porte de la pièce.

2° D'une hotte générale, occupant tout le côté de la pièce où se trouve placée la cheminée, et communiquant avec cette cheminée, dans toute sa largeur, par une large ouverture.

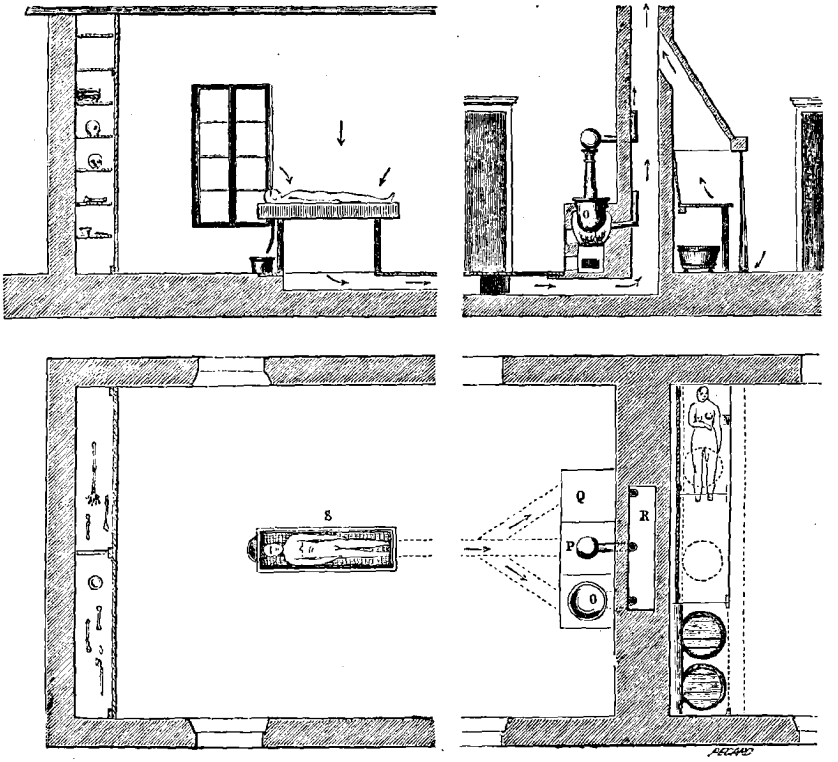
3° D'une série de tables montées à charnières sur la pièce de bois qui règne dans toute la longueur de la hotte, et qui se trouve isolée du mur près duquel elle est placée parallèlement par un espace vide, ayant 1 décimètre de large. Ces tables, relevées le long du mur de fond, donnent la facilité de bien conduire les macérations dans les baquets . étant abaissées et po-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sées sur les poteaux montants, elles servent, comme des tables ordinaires, soit à y poser les cadavres que l'on conserve pour la dissection, soit à y achever la préparation des pièces anatomiques, après qu'elles ont été soumises à la macération dans les baquets placés au-dessous de ces tables.

4° De rideaux en toile d'un tissu serré descendent presque jusqu'au sol et sont garnis, à leur partie inférieure, de balles de plomb destinées à leur faire conserver la position verticale, malgré l'action du courant d'air auquel ils doivent être continuellement exposés.

3630.

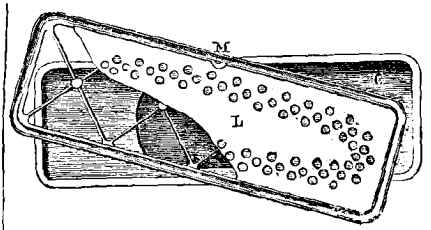


3631.

Tables de dissection ventilées en fonte.

Par suite du succès obtenu dans la construction qui vient d'être décrite, deux tables de dissection en fonte ont été établies à l'Hôtel-Dieu, pour le service de la salle d'autopsie. Quelques modifications de détail ont été faites à leurs premières dispositions ; quelques autres, dont l'utilité a été reconnue, seront introduites dans les tables que l'on construira, sans doute, pour d'autres établissements semblables. Ces diverses modifications, indiquées par l'expérience, sont effectuées dans la description que nous donnons des tables de dissection ventilées, proposées pour ces nouveaux établissements.

Les tables de dissection en fonte, construites par l'auteur de cet article (fig. 3632), sont composées de deux pièces ajustées ensemble ; d'un pied cylindrique creux, fixé dans une pierre de taille, sur le caniveau,



3632.

qui communique au cendrier du fourneau d'appel, et d'une table creuse, alésée de manière à entrer à frottement gai sur le pied.

Les moulures du pivot de la table et celles du pied, qui se raccordent, portent chacune à l'intérieur une rainure demi-cylindrique, qui reçoit de petites sphè-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

res de fer ou d'acier, servant de galets, pour faciliter le mouvement de la table autour de son pied ; une clef F, ajustée dans ce pied, sert à régler le tirage.

La construction de ces tables en fonte a permis de supprimer la cuvette de cuivre qu'il avait été nécessaire d'adopter dans les tables en bois de la Pitié. En effet, sur les tables destinées dans les hôpitaux aux seules autopsies cadavériques, on prodigue l'eau, ce qui, quand on peut l'éviter, n'a pas lieu sur les tables de dissection, où l'on a à craindre l'infiltration des cadavres. Cette eau aurait pu passer dans le pied de la table, et rendre son mouvement difficile, en couvrant de rouille les galets et le pivot.

Avec la disposition ici adoptée, l'eau tombe dans la table de fonte, sous laquelle se trouve un robinet, qui retient ou laisse à volonté écouler cette eau. A l'intérieur, autour de l'ouverture d'appel du pied, est un rebord, coulé avec la table même, et qui retient les eaux tombées à travers le grillage ; sur ce rebord se trouve ajusté un chapeau de cuivre, par lequel sont couverts et aussi garantis de la chute des eaux, le pied et le caniveau.

On a remarqué dans les tables de l'Hôtel-Dieu que la section des ouvertures du plateau à grillage et l'espace ventilé sont trop larges, de sorte que la vitesse de l'air s'y trouve trop petite, et le courant d'air trop peu concentré sur le cadavre ; qu'ensuite, les ouvertures carrées du grillage sont difficiles à nettoyer, et qu'une portion de ce plateau réservée sans ouvertures serait fort avantageuse au service pour y déposer les instruments et les organes à examiner ; d'après ces deux motifs, nous avons définitivement adopté la construction ici tracée.

Le plateau, ainsi qu'on le voit, fig. 3632, au lieu de s'enlever en une ou plusieurs parties, avec des poignées, est fixé à la table par un seul boulon en acier autour duquel il tourne, comme sur un pivot.

Il en résulte que, sans enlever le cadavre en dissection, on peut avec peu d'efforts ouvrir la table, et en retirer un instrument.

Ce plateau est formé d'un châssis, avec rebords et croisillons en fonte ou en cuivre, couvert d'une feuille de cuivre percée de trous ronds en quinconce, suivant un losange très-allongé, donnant à peu près la forme générale du cadavre. A l'essai de la table, on élargira ces trous par tâtonnement, suivant les besoins. Ces trous doivent être inégaux entre eux; de telle sorte qu'au centre de la table, où est plus vive l'action du tirage, qui s'opère par le pied placé directement au-dessous, se trouvent les plus petits trous, et qu'ils deviennent de plus en plus grands, en s'approchant des deux extrémités.

On parviendra ainsi sans peine à régulariser complétement le tirage sur toute la longueur de la table.

Le châssis du plateau de la table qui porte la feuille de cuivre doit être assez fort pour ne pas se briser sous le poids du cadavre, lorsqu'étant ouvert il se trouve à moitié en porte-à-faux, et retenu seulement par le boulon qui lui sert de pivot, ou quand on y brise des os à coups de marteau.

La clef du robinet sert de crochet pour attacher le seau qui reçoit les eaux réunies dans la table.

Le fourneau d'appel, qui sert en même temps de poêle et de foyer d'appel, a été destiné spécialement au service de la salle d'autopsie de l'Hôtel-Dieu, qui, placée dans ses caves, est humide et froide, où les autopsies se font pendant toute l'année, et où le chauffage d'un poêle n'est pas inutile, souvent même en été. Dans toute autre salle de dissection, on doit craindre, en l'échauffant, de hâter la corruption des cadavres, et alors, le fourneau est le seul à employer.

N° 17. Exhumations.

Les exhumations particulières ont lieu à tout mo ment dans les cimetières des grandes villes; les ex humations juridiques, pratiquées pour reconnaître u crime, sont aussi très-fréquentes, depuis les travau d'Orfila qui a, par la certitude de ses recherches sur le poisons, créé la médecine légale.

Des précautions doivent être prises pour opérer le exhumations, qui sont beaucoup moins dangereuse qu'on ne le croyait; 15 ou 20,000 cadavres, à tous le degrés de putréfaction, ont été extraits, en 1785 et 1786 en six mois de temps, du cimetière et de l'église des Innocents, sans qu'aucun accident en soit résulté, soit parmi les ouvriers qui faisaient le travail, soit dans le voisinage. Il n'y a de véritable danger que quelques jours après l'inhumation, quand la putréfaction est dans toute sa force; il s'échappe alors du cadavre une liqueur et des gaz fétides et très-dangereux.

S'il s'agit d'extraire un cadavre d'une fosse particulière, il faut le faire le matin, de bonne heure, avec un nombre suffisant d'ouvriers, pour que l'opération marche vite, et arroser la fosse et le cercueil de chlorure de chaux, en prenant garde d'en arroser le cadavre, dont on hâterait ainsi la décomposition.

Quand on fait une exhumation juridique, il est important de faire immédiatement les recherches qui doivent avoir lieu, l'expérience ayant prouvé qu'un cadavre qui a été exposé à l'air entre bien plus vite en décomposition. Les exhumations qui ont pour objet l'évacuation d'un cimetière exigent beaucoup plus de précautions.

On choisit la saison la plus froide, et on ne doit jamais continuer par le *vent du sud;* on emploie un nombre assez grand d'ouvriers pour que le travail ait lieu rapidement, et on remplace les ouvriers qui sont indisposés. On aura soin de bien aérer tous les jours les vêtements des ouvriers et de ne se servir que d'outils à long manche. Quand on est obligé de pénétrer dans des caveaux, ce ne doit être qu'après les avoir parfaitement aérés, soit par un fourneau d'appel, soit par une injection d'air, et lorsqu'une bougie descendue dans le caveau y brûle parfaitement.

Il faut que les premiers ouvriers qui y entrent soient attachés sous les aisselles et aient au nez et à la bouche du linge trempé dans du vinaigre. Quand un caveau est rempli d'eau, on le vide avec une pompe.

Exhumation des victimes de Juillet. — Les victimes de Juillet, qui avaient été enterrées sur plusieurs points de Paris, ont été exhumées pour être déposées sous la colonne de la place de la Bastille, le 28 juillet 1840. Darcet, comme membre du conseil de salubrité, fut chargé de présider à l'exhumation des corps qui avaient été enterrés devant la colonnade du Louvre.

Un procès-verbal a été rédigé par lui. La fosse avait été creusée d'avance jusqu'au niveau du sol, où l'on apercevait les ossements. On commença à extraire les ossements de la fosse ; on les trouva tout à fait mis à nu, sans vestiges notables de chair ni même d'habillement; ces ossements étaient séparés de la terre, et ils étaient ensuite mis dans les cercueils de plomb destinés à être portés dans les caveaux de la colonne. La recherche et l'enlèvement de tous les ossements furent faits sans difficulté. En 1830, on avait inhumé les corps dans une fosse maçonnée partout et où il y avait eu de la chaux, ce qui avait hâté la dessiccation des ossements.

Cette opération s'est faite, du reste, en une heure de temps et sans que la moindre odeur ait été sentie.

N° 18. — Brochage de livres.

Le grand défaut de cette industrie est le danger constant d'incendie; les exemples de graves incendies

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ce genre sont très-fréquents, comme celui qui a détruit les ateliers de la rue du Pot-de-Fer.

Les conditions de sûreté à imposer sont :

1° D'exiger une déclaration préalable pour les grands établissements qui se forment;

2° De construire les bâtiments en moellon et roche, avec planchers en fer et tout à fait isolés;

3° Les séchoirs seront bien plafonnés et sans communication directe avec le reste des bâtiments. Les poêles et les tuyaux qui traversent les ateliers doivent être entourés de grillage en fil de fer de 1 centimètre de maille, et il ne faut pas déposer de papiers en tas près des fenêtres des séchoirs, parce que c'est toujours là que se porte la flamme au premier moment, à cause des courants d'air.

4° L'instruction doit conseiller aux grands établissements la substitution du chauffage à vapeur ou au moins de calorifères à air chaud aux simples poêles, et l'emploi des cordes trempées dans l'alun, ce qui leur ôte leur inflammabilité; on ne doit se servir la nuit que des lampes à cheminée de verre; enfin il faut nettoyer souvent les tuyaux de poêle et n'y brûler que de la houille, dont la suie n'est pas facilement combustible.

N° 19. — Art du doreur.

La dorure sur bronze ou sur cuivre se fait par trois procédés différents : à l'aide d'un amalgame d'or, au trempé, ou par les procédés galvaniques.

Pour exécuter la *dorure au mercure*, la pièce de bronze ou de cuivre est d'abord recuite et dégagée de toute graisse, de tout oxyde, en la chauffant au rouge cerise sur la forge, bien entourée de charbon de bois ou de mottes à brûler, puis on la laisse refroidir lentement. Au plus fort du tirage de la forge, cette opération dégage des oxydes de zinc et de cuivre en vapeur et des gaz délétères.

Les pièces sont ensuite soumises au *dérochage* ou *décapage:* pour enlever à la pièce recuite l'oxyde formé à sa surface, on la trempe dans un baquet rempli d'acide azotique, nitrique ou sulfurique très-étendu d'eau, on la frotte avec une brosse rude, on lave à l'eau et on sèche; on trempe ensuite la pièce dans un bain d'acide nitrique à 36 degrés, puis du même acide mêlé de suie et de sel marin; on lave et on sèche à la sciure de bois.

L'acide sulfurique, qui ne dégage aucune vapeur nitreuse, est très-bon pour commencer le décapage.

L'amalgame d'or, mis dans un plat de terre sans couvercle, s'applique en trempant une grosse brosse à fils de cuivre dans une dissolution de nitrate de mercure, en prenant de l'amalgame et en frottant la pièce, jusqu'à ce qu'elle en ait assez.

Cette opération est très-dangereuse pour les ouvriers, qui doivent toujours porter là des gants de vessie ou de taffetas ciré et ne travailler que sur une forge couverte d'une hotte et à grand tirage; un quinquet placé sur la forge augmenterait au besoin le tirage.

La pièce couverte d'amalgame est chauffée sur des charbons ardents, placée sur un gant épais et frappée avec une brosse pour répartir l'amalgame, puis remise au feu jusqu'à complète évaporation du mercure; on lave à l'eau acide, à l'eau de vinaigre, avec la brosse, puis à l'eau, et on sèche à la sciure de bois.

Cette opération est la plus dangereuse de l'art du doreur; un mauvais tirage ou des courants descendants tiennent les ouvriers dans l'acide carbonique, l'azote et l'oxyde de mercure, les vapeurs de mercure, d'acide nitrique et nitreux.

Pour assainir ce travail, il faut que les gants soient doublés de vessie ou de taffetas ciré, afin que le mercure ne pénètre pas jusqu'à la main de l'ouvrier et ne lui donne pas un tremblement mercuriel.

Il faut passer les pièces sous le manteau de la hotte avec un très-bon tirage, sans jamais les sortir, prendre toutes les précautions pour que rien ne s'échappe de la cheminée dans l'atelier, qu'on ne quittera jamais sans se laver les mains et la figure, et où on ne mangera jamais.

Les pièces dorées sont alors, ou brunies à l'hématite, ou passées au mat, en les chauffant avec un mélange de sel marin, de nitre, et d'alun fondu dans l'eau.

Cette opération, qui dégage des vapeurs de sublimé corrosif, mêlées de vapeurs de mercure et d'acide azotique, est très-dangereuse, et ne doit être pratiquée que sous le manteau de la hotte où l'on a mis le poêlon au mat et son foyer, le petit four ou moufle où l'on chauffe la pièce, et le baquet où on la trempe.

L'or moulu et la couleur d'or rouge s'obtiennent par des opérations moins dangereuses que la précédente, mais qu'on ne doit cependant pratiquer que sur une forge à bon tirage, et avec les précautions que nous avons indiquées.

Des Moyens de salubrité trouvés par Darcet, pour la dorure au mercure.

Voici les principes qui servent de base à la construction d'un atelier salubre de dorure, et la manière de les appliquer à chaque cas particulier.

Le doreur qui veut monter un atelier doit choisir un local assez grand, exposé au nord ou au levant, bien aéré et bien éclairé. La cheminée de l'atelier doit être large, et avoir au moins 5 ou 6m de hauteur; elle doit dépasser de 2 ou 3m les toits voisins, à une assez grande distance; elle ne doit recevoir aucun tuyau de poêle ni aucune cheminée dans sa hauteur, et ne servir qu'à la forge seule. Si la cheminée est obstruée de mitres et de tuyaux, on les enlève, pour les remplacer par un chapeau horizontal en tôle.

Le tirage n'est que l'effet produit par l'action de la pression de l'air dans la cheminée. Pour l'obtenir et qu'il soit puissant, il faut échauffer l'air dans le tuyau, et laisser affluer l'air du dehors pour remplacer celui qui est toujours entraîné vers le haut du bâtiment; l'air introduit dans une chambre qui fume, par l'ouverture des portes et des croisées, est trop abondant, et forme surtout des courants rapides, qui s'opposent souvent à l'effet à produire.

Il vaut mieux installer en haut de chaque fenêtre un bon vasistas à soufflet, s'ouvrant en dedans, et avec lequel on règle à volonté l'air extérieur, qui se mélange à l'air le plus chaud de la pièce sans abaisser la température de l'atelier; les fenêtres et les portes sont ainsi toutes fermées, sans nuire au tirage de la cheminée ni à la santé des ouvriers. Si on peut tirer l'air frais d'une cave, c'est une très-bonne chose en ayant soin d'en introduire une quantité égale à l'autre bout de la cave.

Ces précautions étant prises pour l'introduction de l'air nécessaire au tirage, et une hotte étant construite assez large et assez longue pour recevoir tous les appareils nécessaires, il ne s'agit plus que de construire sous la forge un petit foyer d'appel, pour échauffer à volonté l'air de la cheminée.

Le foyer d'appel sert à gouverner tout l'appareil; on doit l'allumer tous les jours et utiliser sa chaleur, soit à échauffer le poêlon au mat, soit à tout autre service utile à l'atelier. La cheminée du foyer d'appel doit être en brique, assez haute et assez épaisse pour porter la chaleur à plusieurs mètres de hauteur; elle est amenée au centre de la grande cheminée par un tuyau en tôle de 12 ou 13 centimètres de diamètre, pour diminuer le moins possible la section de la cheminée.

Le foyer d'appel brûlera de la houille, chauffage le plus économique.

Le poêle de l'atelier, s'il est assez grand et muni de bonnes et larges bouches de chaleur, peut remplacer, en hiver, le vasistas et le foyer d'appel, en versant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'air dans l'atelier, et donnant un bon tirage dans la cheminée, avec son tuyau de fumée, qui montera verticalement de 2m, au moins, et qui aura un coude.

Pour que le tirage soit très-rapide sous le manteau de la forge, l'ouverture antérieure de celle-ci, où l'ouvrier travaille, doit être rétrécie par une cloison en plâtre, ou par des châssis vitrés, s'ouvrant verticalement, avec des contre-poids et des rideaux qui servent à régler le tirage suivant le besoin, et à faire avec sécurité et commodément les opérations les plus dangereuses de la dorure sur bronze.

Nous donnons ici trois figures, tirées de la forge de Lenoir-Ravrio [1], et qui représentent d'une manière claire les dispositions d'une forge de doreur complète et parfaitement salubre.

On y voit les châssis vitrés, les contre-poids et les rideaux de toile, le foyer d'appel avec ses détails, portant le poêlon au mat, la forge où est allumé le charbon de bois, le baquet à dérocher, et celui à tremper les objets au mat. Une forge complète doit avoir au moins six divisions, séparées par des cloisons verticales, mais soumises au même appel de la cheminée générale et du foyer d'appel.

Le combustible placé sur la grille du foyer d'appel brûle à flamme renversée. Nous n'entrerons pas dans le détail de la marche que doit suivre l'ouvrier dans son travail; on doit laisser toujours refroidir les pièces sous le manteau ventilé, et ne passer à une autre opération que quand les pièces sont parfaitement refroidies, sous la hotte à ventiler.

Toutes les opérations accessoires auxquelles sont soumises ces pièces dorées sont faites avec les mêmes précautions de salubrité que celles dont nous avons parlé. On a pensé qu'en supprimant le mercure du travail de la dorure, on rendrait cette industrie salubre : c'est une erreur, car les causes d'insalubrité de ce travail, sont, en grande partie, indépendantes du mercure. D'ailleurs, tous les efforts faits pour dorer à chaud sans mercure ont été tout à fait infructueux.

On doit insister beaucoup sur la nécessité, pour les ouvriers, de se laver avec soin en finissant leur travail, et de ne jamais manger dans l'atelier; avec ces soins, l'industrie de la dorure au mercure sera parfaitement salubre. Les eaux acides du dérochage détruiraient bien vite les égouts et la voie publique, on doit les saturer avec de la craie, avant de le laisser couler au dehors.

La dorure au trempage, employée pour les bijoux de cuivre, se fait en les plongeant parfaitement décapés, dérochés et avivés, dans une dissolution bouillante de chlorure d'or, dans un carbonate alcalin; au bout d'une demi-minute, ils ont pris ce qu'ils peuvent prendre d'or.

Les mesures prescrites par le conseil de salubrité de Paris, sur le rapport de Darcet, sont :

1° De rétrécir le plus possible l'ouverture de chaque foyer, sans gêner le travail.

2° De donner à la cheminée 2m, au moins, au-dessus du faîtage des maisons voisines.

3° De faire établir un bon foyer d'appel dans chaque forge, et un bon vasistas à soufflet dans l'atelier.

4° D'avoir dans l'atelier un flacon d'ammoniaque, en cas d'accident causé par des vapeurs nitreuses et du carbonate de chaux, pour saturer de suite les eaux acides. Les établissements des doreurs sur métaux sont rangés dans la troisième classe.

Assainissement de la dorure par la voie humide et par le procédé galvanique. — Ces procédés ont donné des produits de dorure si économiques et si abondants, qu'ils ont envahi en partie l'ancien travail au mercure, mais sans le remplacer entièrement.

[1] *Mémoires* de Darcet, tome 1er, chez Lacroix et Baudry, libraire-éditeur.

On avait espéré que la dorure, par la voie humide, rendrait cette industrie tout à fait salubre.

Les vapeurs nitreuses dégagées dans le dérochage des pièces, au milieu d'une fabrication excessivement active, ont été plus dangereuses encore que celles du mercure.

Dans un rapport fait au préfet de police, en 1842, sur l'assainissement des ateliers de dorure par la voie humide, et en particulier celui de M. Elambert, Darcet constate que les anciens ateliers de dorure au mercure étaient rendus bien plus insalubres par les vapeurs acides provenant, soit du dérochage, soit de l'application de l'amalgame sur le bronze, soit de la mise au mat, que par le contact du mercure et de vapeurs mercurielles avec les organes des ouvriers.

Dans le procédé par la voie humide, l'ouvrier a non-seulement à recuire et à dérocher les pièces plus fortement encore que quand il met au mat, il doit opérer tout à fait en grand avec l'eau régale, l'acide nitrique et l'acide sulfurique, pour dissoudre l'or, le platine et l'argent.

Les ateliers de dorure par la voie humide sont donc bien plus insalubres que ceux au mercure, et l'altération rapide de la santé, la mort même, résultat nécessaire de la respiration des vapeurs acides dans un petit atelier où se fait une immense fabrication, sont bien plus graves qu'un accident par le mercure, toujours guéri promptement. Les beaux services rendus par Ravrio aux ouvriers doreurs conservent donc toute leur actualité, car tout ce qui a été fait pour assainir les ateliers de dorure au mercure doit être fait, à plus forte raison, pour ceux par la voie humide; mais les dispositions, si utiles pour les premiers, suffiront largement pour rendre les autres ateliers parfaitement salubres, et pour préserver entièrement les voisins des dangers et des incommodités d'un pareil atelier.

En conséquence, sur la proposition de Darcet, il a été arrêté, par le conseil de salubrité de Paris, que toutes les dispositions d'assainissement prescrites pour les ateliers de doreur au mercure seraient exigées aussi pour les ateliers par la voie humide.

Forge salubre. — Les figures 3633, 3634 et 3635 représentent la forge assainie de Lenoir Ravrio.

Fig. 3633. Elévation générale de la forge de doreur vue de face.

A. Forge à recuire.

B. Baquet à dérocher.

C. Forge à passer; on y volatilise tout le mercure qui a servi à dorer.

D. Forge où l'on met au mat les pièces dorées; en enlevant la plaque de fonte qui sépare ces deux dernières forges, on a le moyen de pouvoir dorer sans danger de très-grandes pièces.

E. Tonneau dans lequel se trempent les objets mis au mat.

H. Forge où l'on fait sécher les pièces de bronze dorées, lorsqu'elles sont achevées et lavées avec soin.

G. Cases réservées sous la forge à dorer pour y mettre en magasin du charbon de bois, ou tout autre objet.

Des rideaux servent à fermer, en tout ou en partie l'ouverture de la forge à recuire, la niche où se trouve placé le tonneau au mat, et la forge à sécher. Des châssis vitrés sont destinés à rétrécir, par le haut, l'ouverture de la forge et la forge à sécher; les rideaux servent à couvrir le reste de l'ouverture de ces foyers.

La figure 3635 représente une coupe verticale du fourneau d'appel placé au milieu. On voit que le charbon placé en A brûle à flamme renversée, comme dans les alandiers des fours à porcelaine, tandis que le bois, le coke ou le charbon de terre, se brûlent sur les grilles par le procédé ordinaire. Les gaz produits par la combustion de ces deux grilles se réunissent dans le passage voûté et se rendent dans la cheminée du fourneau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

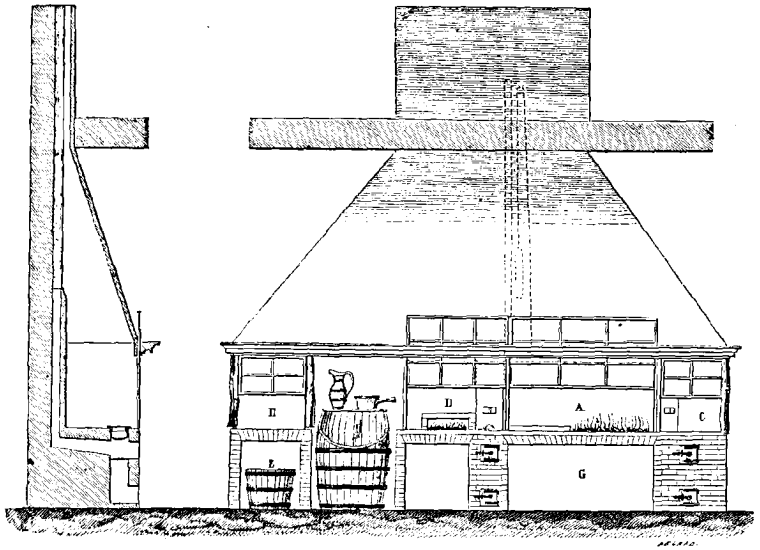
d'appel, d'où ils passent dans la cheminée générale de la forge ; de là ils vont, fig. 3634, porter de la chaleur et déterminer le tirage qui rend tout l'appareil salubre.

Des bouches de tôle ferment une ouverture réservée dans le bas du fourneau d'appel. Cette ouverture sert à introduire le col du matras dans lequel on prépare la dissolution mercurielle, nommée *gaz*, employée pour dorer. On prépare aussi au-dessous de cette fente l'amalgame d'or et de mercure, et on évite ainsi les vapeurs délétères qui se dégagent pendant le cours de ces deux opérations. Ces vapeurs sont rapidement entraînées au dehors, par suite de la grande aspiration qui s'établit dans la cheminée du fourneau d'appel.

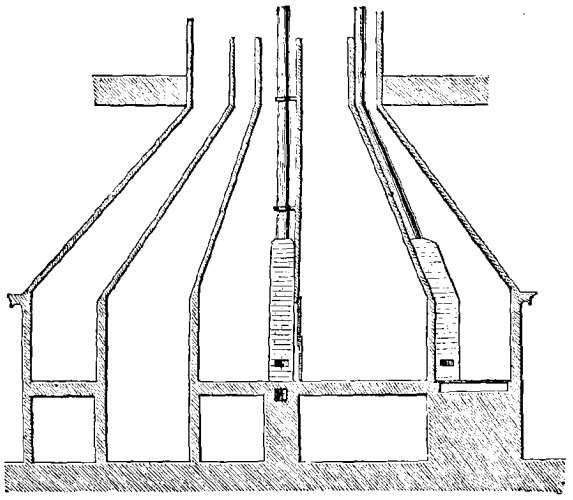
Les grands châssis mobiles, verticalement tenus en équilibre par les contre-poids, ferment plus ou moins et même tout à fait les ouvertures des forges. On a ainsi le moyen d'y accélérer autant qu'on le désire le courant d'air, et, en abaissant entièrement les châssis, on peut rendre extrêmement rapide le passage de l'air à travers les autres forges, ce qui est utile lorsqu'on pratique des opérations dangereuses.

On voit, fig. 3635, que les cinq forges sont séparées les unes des autres par des languettes qui s'élèvent au-dessus du plafond de l'atelier ; on y voit aussi que les tuyaux H, H, des fourneaux d'appel montent un peu plus haut que ces languettes, et qu'ils commandent ainsi le tirage des forges lorsqu'ils portent dans la cheminée de la chaleur, qui, en dilatant l'air, établit le courant ascendant dont on a besoin.

En résumé, les conditions imposées pour assainir une forge de doreur insalubre, sont :



3634. 3633.



3635.

1° De surhausser et de dégager la cheminée, si elle n'est pas assez haute et assez libre.

2° D'établir un bon fourneau d'appel sous la forge pour assurer un fort tirage, et y mettre la forge à passer et celle au mat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3° De rétrécir le plus possible l'ouverture antérieure de la forge.

4° De placer de bons vasistas à soufflet aux fenêtres qui sont en face de la forge et au nord ou à l'est, quand on le peut.

5° De saturer avec de la craie les eaux de dérochage et les autres eaux avant de les laisser écouler sur la voie publique.

Ramonage des cheminées de doreur. — Le ramonage des cheminées du doreur est lié à son industrie; des conditions prescrites d'avance doivent présider à leur ramonage, qui, sans cela, serait très-dangereux pour les ramoneurs; c'est là que s'amasse le mercure volatilisé et toutes les vapeurs acides qui proviennent des dernières opérations.

La suie contient, en effet, plusieurs métaux, du mercure et de l'or surtout; elle est d'autant plus lourde qu'elle est ramassée plus bas. La quantité de mercure est considérable, et un ramonage fait sans précautions dans de pareilles conditions causerait une grave maladie à l'enfant qui le ferait.

Le ramoneur, choisi bien portant, doit mettre des gants et un serre-tête de cuir ou de toile cirée; on doit lui envelopper le visage de deux serviettes bien lâches et lui faire mettre ses habits à part. Après le travail, il se lave à fond, boit du lait, remet ses habits, et l'opération ainsi conduite est sans inconvénient.

Pour l'*exploitation des eaux mercurielles et des cendres de doreur*, le traitement des eaux chargées de mercure provenant des ateliers de doreur et celles des cendres de doreur, pratiqué par les procédés perfectionnés et simples qu'on emploie aujourd'hui, sont deux industries autorisées dans les villes et qui ne nuisent pas à leurs voisins.

Elles sont de la troisième classe.

N° 20. — Féculeries.

Les conditions à imposer à ces établissements sont :

La suppression de brasiers très-dangereux pour sécher les fécules, leur remplacement par un calorifère à air chaud placé à l'étage au-dessous, et l'emploi des planchers en fer au lieu de planchers en bois.

Ils doivent jeter les eaux de lavage des pommes de terre et de la féculerie, qui se corrompent si vite et qui sont très-abondantes, dans un égout et non pas dans la rue; et si la féculerie est dans un village, ils ne doivent les jeter que dans un ruisseau pavé.

N° 21. — Assainissement des fabriques de fer-blanc.

L'assainissement de tous ces ateliers, par la ventilation forcée repose sur des principes si simples qu'il est inutile d'y revenir; mais il n'en est pas de même pour les applications à chaque industrie spéciale, où l'ingénieur est obligé de varier ses moyens d'action pour satisfaire à tous les cas particuliers.

La fabrication du fer-blanc se divise en deux opérations distinctes : le décapage parfait des feuilles de tôle et l'étamage des tôles bien dérochées. Le décapage des feuilles de tôle se pratique en les mettant tremper dans de l'acide sulfurique ou de l'acide hydrochlorique faible; les feuilles, retirées de ce bain, sont ployées en deux, par le milieu et en travers de leur longueur, en leur donnant la forme d'un toit, et portées toutes mouillées d'acide dans un four assez échauffé pour vaporiser promptement l'eau, faire réagir l'acide sur le fer, détacher et faire tomber les écailles d'oxyde de fer formées sur les surfaces de la tôle. Les feuilles sont remises aussitôt dans un bain d'eau acidulée, et le décapage est achevé par des moyens purement mécaniques. Les tôles, bien décapées, sont enfin étamées en les plongeant successivement dans divers bains composés de suif seul, d'étain couvert de suif et d'étain pur, t chauffés presque jusqu'au degré de chaleur où le s peut s'enflammer.

Il ne peut donc y avoir d'insalubrité dans la fal cation du fer-blanc que par la production du gaz l drogène qui se dégage sous l'action des acides faib sur les tôles, et surtout par des vapeurs infectes et ins lubres que donne le suif rance, continuellement en co tact avec des oxydes métalliques, et le fer chauffé point de le vaporiser et de l'enflammer.

Pour assainir le décapage des tôles avec des acid faibles, il suffit de le pratiquer sous une hotte dont l'o verture antérieure soit très-étroite et communiqu avec une cheminée de 10 ou 12 mètres de hauteur dont la section soit égale au dixième de l'ouverture d la hotte. On donnera au courant ventilateur une vitess convenable au moyen d'un fourneau d'appel spécial o de tout autre moyen d'échauffer la colonne d'air, au dessous de la hotte, disposition semblable à celle qu nous donnons plus loin pour l'étamage des tôles déca pées.

La partie du décapage des tôles qui se fait dan un fourneau à réverbère donne aussi lieu au dégage ment de gaz et de vapeurs insalubres; mais comme il se mélangent aussitôt à la fumée, ils sont portés avec elle, à une grande hauteur. Le four à réverbère, bien fumivore, doit seulement être chauffé avec du coke, et, dans les deux cas, la cheminée aura assez de hauteur pour que le voisinage n'en souffre pas. L'étamage des tôles dérochées est sans contredit l'opération la plus insalubre de cette industrie. Donnons donc la description détaillée de l'appareil ventilateur que M. L. Mertian a fait établir dans sa fabrique de Montataire, sous la direction de Darcet[1].

Cet appareil se compose d'un grand fourneau, adossé à l'un des gros murs de l'atelier et couvert, à une hauteur convenable, par une hotte conduisant au dehors, et à une élévation suffisante au-dessus du toit, la fumée des fourneaux, la graisse vaporisée, et les produits gazeux pyrogénés auxquels le travail de l'étamage donne lieu. Voici la description des différentes élévations et coupes de cet appareil.

[1] La lettre suivante de M. L. Mertian à Darcet sera utile pour compléter cette note :

« Monsieur,

« J'ai l'honneur de vous remettre le plan que vous me demandez, de l'étamerie de Montataire. Elle a été construite conformément aux indications que vous avez bien voulu me donner dans le temps, et elle ne laisse rien à désirer sous le rapport de la salubrité. Sans aucun appareil spécial de ventilation, le tirage est déterminé naturellement par l'appel que produisent les foyers des creusets qui contiennent l'étain et la graisse. Pour obtenir un tirage qui entraîne toutes les vapeurs sans incommoder les étameurs par un courant d'air trop vif, il a fallu tâtonner la distance entre l'âtre et le manteau de la cheminée. On a adopté celle de 0m,80, qui remplit ces deux conditions. L'ancienne étamerie avait l'inconvénient de manquer de tirage. Les vapeurs des creusets se répandaient dans l'atelier et occasionnaient aux étameurs des malaises et des nausées qui allaient quelquefois jusqu'aux vomissements.

« Depuis la reconstruction, non-seulement ces inconvénients ont cessé; mais il n'y a plus même la moindre odeur dans l'atelier.

« Ce changement n'a eu aucune influence sur les consommations en combustible, graisse et étain.

« L'atelier du dérochage a été organisé d'une manière tout à fait analogue à celle de l'étamerie.

« Je joins à cette lettre un flacon contenant un échantillon de graisse pris sur un bain d'étain.

« Agréez, monsieur, la nouvelle assurance de ma haute considération.

« Signé : Mertian. »

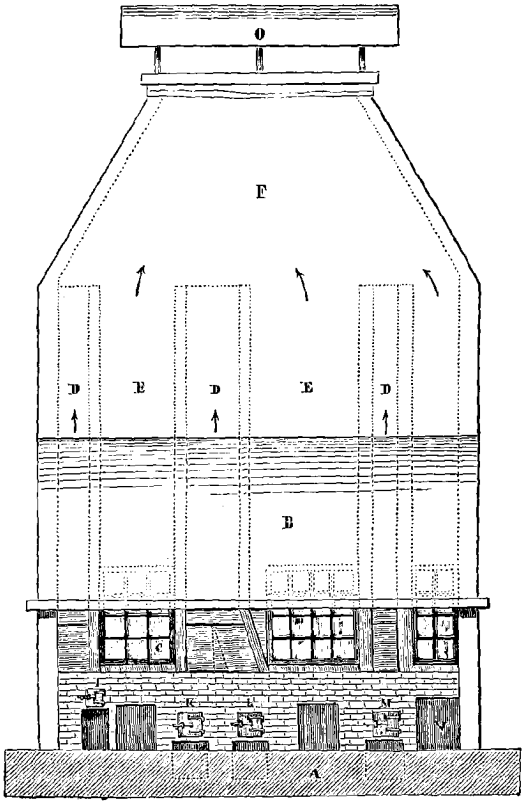
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les figures 3636 et 3637 représentent le fourneau insalubre pour fabriquer le fer-blanc.

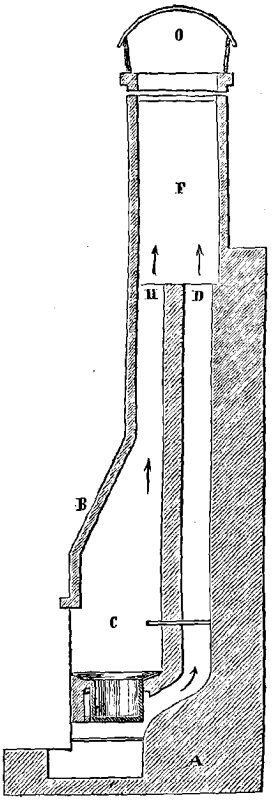
A. Massif qui porte le système.

I K L M. Portes des quatre fourneaux nécessaires au travail complet.

B. Grande hotte qui recouvre les fourneaux, les creuts et le travail.



3636.



3637.

C. Ouverture de 0,807 de hauteur, que laisse la hotte au-dessus des fourneaux.

D D' D'' D'''. Cheminées qui desservent les quatre fourneaux, et qui viennent déboucher sous la hotte dans la cheminée générale F.

F. Cheminée générale qui monte assez haut sur le toit pour porter au loin les vapeurs dégagées dans le travail du fer-blanc.

O. Chapeau en tôle qui recouvre la cheminée générale.

H. Vide réservé devant les cheminées D pour la communication de la hotte avec la cheminée générale; cette ouverture est munie de trappes pour régler le tirage qui, s'il était trop fort, gênerait les ouvriers.

N. Les six creusets servant à la fabrication du fer-blanc sont couverts par la grande hotte de ventilation; quatre seulement par des foyers spéciaux, les deux autres par la chaleur du fourneau.

L'ouvrier étameur met les feuilles de tôle étamée dans une première caisse remplie d'étain ordinaire et par paquets, le brosseur les en retire pour les brosser une à une et les plonge ensuite dans le deuxième compartiment rempli d'étain plus pur; il les en retire et les pose de champ dans un grillage plongé dans la caisse, qui ne contient que de la graisse.

Enfin, après avoir été brossées, l'ouvrier les porte à la dernière caisse en fonte; elle est chauffée par un foyer, et ne contient que peu d'étain par fondu. C'est dans cette caisse que l'on plonge la partie inférieure des feuilles de fer-blanc, pour en enlever l'excès d'étain qui s'est accumulé en bourrelet vers le bas des feuilles, par suite de leur refroidissement dans la position verticale, lors de leur placement dans la caisse à égoutter. Ce bourrelet d'étain formant, comme on le dit, *lisière*, étant ainsi fondu, est enlevé, en donnant brusquement à chaque feuille un léger coup au moyen d'une baguette; il ne reste plus alors qu'à dégraisser et nettoyer les feuilles de fer-blanc, ce qui se fait en les frottant convenablement avec du son bien sec, etc., etc.

D'après la description qui précède, on voit :

1° La relation qui existe entre la partie inférieure de la grande hotte et la devanture du fourneau dont la paillasse est élevée de 1m au-dessus du sol de l'atelier.

2° Les dispositions intérieures de la première caisse en fonte, de son foyer et de son cendrier.

3° Comment la cheminée qui sert aux quatre four-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

neaux donne lieu à un puissant appel dans la cheminée générale.

Un chapeau en tôle est sur la cheminée, pour s'opposer à la chute de la pluie et aux effets du vent.

On verra, maintenant, comment la ventilation s'opère sous la grande hotte, et produit l'assainissement complet de l'atelier où s'étament les tôles.

Pour faire comprendre le jeu de l'appareil ici décrit, il suffira de résumer ce qui a été dit plus haut. L'établissement de la ventilation forcée, dans l'intérieur de l'appareil, a lieu dès qu'on allume du feu dans l'un des quatre fourneaux, ou plutôt dès que la fumée sortant de la petite cheminée dans la grande, le courant ascensionnel augmente aussi de vitesse dans la cheminée générale, avec le nombre de fourneaux allumés, ou avec l'intensité du feu. L'échauffement du massif dans lequel les quatre foyers sont établis, ainsi que les surfaces très-échauffées des six caisses, dilatent aussi l'air sous la grande hotte C, y augmentent le tirage, et, en outre, y entretiennent la ventilation forcée pendant les heures de repos. Même pendant les jours de repos, l'appel opéré dans la cheminée générale par le service de la petite cheminée fait entrer l'air de l'atelier sous la hotte, entraîne les vapeurs infectes et les gaz délétères produits à la surface des creusets, les conduit dans le haut de la cheminée générale, et de là dans l'atmosphère, ce qui produit l'assainissement complet de l'atelier.

Ajoutons qu'en outre, la même cause empêche l'échauffement de l'air en avant de la hotte, y maintient les ouvriers dans un léger courant d'air pur et continuellement renouvelé, ce qui facilite ainsi doublement le travail pénible qu'ils font pour convertir les tôles noires en fer-blanc.

L'appareil Darcet, fonctionnant indépendamment de la volonté des ouvriers, satisfait à toutes les exigences de la question, et dans toutes les fabriques de fer-blanc qui établiront convenablement cet appareil, on aura, sans peine et sans dépense, le grand avantage de conserver la santé des ouvriers employés à la fabrication du fer-blanc, tout en rendant leurs travaux moins pénibles, et, par conséquent, plus productifs.

N° 22. Laiterie, conservation du lait, surveillance du lait a Paris.

Une ordonnance de police du 27 février 1838 régit aujourd'hui les laiteries de Paris.

Les conditions imposées sont le rejet des laiteries entre les murs d'enceinte et plusieurs grandes lignes, qui ne leur permettent pas de s'établir au centre de Paris.

L'enlèvement des fumiers, l'isolement des magasins à fourrage, de grandes conditions de propreté, sont les dispositions principales de l'ordonnance.

Darcet a fait, le 21 septembre 1841, un rapport au conseil de salubrité sur une eau vendue dans le commerce, et employée à conserver plus longtemps le lait. Cette eau marquait 5 degrés à l'aréomètre, et contenait par 100, 2s,70 d'acide carbonique, et 55 grammes par litre de carbonate de soude. Elle avait dû être préparée en faisant dissoudre du *carbonate de soude* cristallisé, et y ajoutant de l'acide carbonique, ou en dissolvant du bicarbonate de soude dans de l'eau bouillante.

Il montre ensuite que l'on peut conserver longtemps du lait en l'alcalisant convenablement.

Dans une visite faite en 1826, à la belle ferme de Wewelghem, en Belgique, Darcet et Gay-Lussac reconnurent que la moyenne du lait de cet établissement était fortement alcaline.

A Vichy, on ajoute de l'eau minérale contenant du bicarbonate de soude au lait pur, pour les malades qui ne peuvent le digérer.

Partant de là, Darcet pensa à alcaliser le lait, p le rendre conservable et transportable plus longtem

Ce procédé est employé, depuis 1829, à la fer Sainte-Anne, près Paris, où il a donné les meille résultats. On doit régler à 1 ou 2 décigrammes do carbonate de soude par litre de lait le dosage alcal et ce dosage n'a jamais été trouvé trop fort, c' celui que nous conseillons d'adopter.

N° 23. Vernis noir pour les ferrures di harnachements et éperonniers.

Ce travail, qui se fait en chauffant les objets harnachement en fer, au-dessus d'un tas de fumier : lumé, et en plein air, et en les chauffant une secon fois, après les avoir frottés d'huile de lin, est é demment incommode pour le voisinage, et ne pe être autorisé qu'en faisant l'opération dans des fou neaux disposés de manière à être salubres.

Quant aux éperonniers ou fabricants de *mors et d' perons en fer étamé*, cette industrie, qui n'était pas e core classée, a été l'objet d'un rapport de Darcet.

Il a fait remarquer que ce sont de petites fabriqu de *fer-blanc*, et qu'on devrait les mettre dans la tro sième classe, mais que comme l'industrie du fer-blan en grand est aujourd'hui parfaitement assainie ave les dispositions données par lui, il vaut mieux ne pa augmenter le nombre des ateliers classés. Les va peurs et les gaz produits par l'étamage des mors et épe rons, a-t-il ajouté, qui peuvent se répandre au dehors proviennent de l'emploi de l'acide chlorhydrique pour l dérochage du fer, et du grand degré de chaleur donn à la couche de suif qui recouvre le bain d'étain. Ce son là les inconvénients des fabriques de fer-blanc ma montées; par conséquent, l'assainissement des atelier d'éperonniers est très-facile :

1° En donnant à la hotte et à la cheminée des proportions suffisamment larges et en rétrécissant l'entrée.

2° En y établissant un foyer d'appel et un vasistas à soufflet, pour avoir un bon tirage.

N° 24. Clarification des eaux de rivière, emploi de l'alun.

Pendant longtemps, de nombreux porteurs d'eau de Paris clarifiaient chez eux l'eau de Seine destinée à leurs pratiques au moyen de l'alun, qui est converti alors en alun insoluble, par le carbonate de chaux entraîné en suspension dans les eaux de rivière, et aussi par l'acide carbonique qu'elles ont dissous.

L'alun ainsi précipité en flocons insolubles et volumineux enveloppe les substances hétérogènes et solides que l'eau contient, et les entraîne complétement et rapidement avec lui.

Darcet, dans un rapport très-complet sur cette question, a prouvé que ce système de clarification ne donnait que de bons résultats, et que l'alun employé ainsi à la dose de 1 gramme par 8 litres d'eau de Seine était entièrement précipité; que, de plus, il restait encore dans l'eau une quantité de *carbonate de chaux suffisante* pour précipiter plusieurs fois cette dose d'alun; qu'enfin, l'eau ainsi filtrée conservait la saveur la plus pure et la plus franche.

Il a ajouté que ce procédé était loin d'être nouveau; qu'il était employé dans de sages proportions à l'usine de clarification du quai des Célestins.

En Égypte, on clarifie les eaux en frottant les jarres de dépôt avec des pains de tourteaux d'huile.

Les filtres Fonvielle sont très bons, comme moyen de clarification; mais le filtrage y est beaucoup trop cher, par suite de leurs trop petites dimensions.

Le filtrage à travers les sables des bords des rivières, arrangés en filtres artificiels, comme à Toulouse, a le grand défaut de diminuer tous les jours de puissance de filtration (Voy. FILTRATION).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le procédé de filtrage le plus parfait et le plus économique est certainement celui monté par M. Jégoux, ingénieur en chef des ponts et chaussées pour les eaux de la ville de Nantes, dans les réservoirs mêmes de la ville et avec une première filtration, sur la rivière même.

Ce système est bien connu de l'auteur de cet article, qui a monté là, avec MM. Windsor, de Rouen, et Granger, les machines, les pompes et le système d'élévation d'eau de cette ville.

N° 25. Assainissement et séchage des maisons et des ateliers humides.

Asphyxies lentes causées par l'insalubrité des logements.

Darcet a eu l'occasion d'observer des cas très-graves d'asphyxie, causés par l'insalubrité des logements. La gravité de la question nous engage à donner ces faits; nous y ajoutons ce qui a été fait jusqu'à présent pour sécher les murs des bâtiments nouvellement construits, et ce qui, à notre avis, doit être fait pour obtenir sûrement des résultats complets et rapides.

Première observation d'asphyxie lente. — Un menuisier de Nancy, bien constitué et âgé de 35 ans, occupait, avec sa femme et trois enfants, une maison achetée depuis peu; lui et sa famille éprouvaient les mêmes symptômes : douleurs de tête, lassitude, dégoûts, nausées, coliques continuelles, dévoiement, enflure et engourdissement des jambes, symptômes qui avaient beaucoup de rapport avec ceux d'un empoisonnement. Ses ouvriers travaillant et mangeant avec lui, mais ne couchant pas dans la même maison, n'avaient rien éprouvé, les voisins non plus.

Quelle était donc la cause évidemment générale qui agissait sur cette malheureuse famille? Le pain était de bonne qualité. L'eau d'un puits commun avec la maison voisine, habitée par un fabricant de papiers peints, qui employait une grande quantité de substances minérales en partie vénéneuses, fut analysée par M. Braconnot, qui la trouva de bonne qualité et sans aucune substance vénéneuse ou minérale.

Une visite des lieux, faite par MM. de Haldat et Braconnot, à la demande de Darcet, apprit que dans la fabrique de papiers peints, on employait des quantités énormes d'arsenic et d'oxyde de cuivre pour la préparation du vert de Schweinfurt.

Le menuisier habitait, au premier, un logement propre, bien exposé et sur le devant.

Dans la boutique à rez-de-chaussée, sur l'indication de Darcet, les professeurs de Nancy reconnurent une large tache humide qui s'étendait fort au delà du plafond et qui correspondait à une cour obscure, au-dessus de laquelle était un premier étage appartenant à la fabrique de papiers peints.

Cette cour, visitée avec une lanterne, ne recevait le jour que par un châssis vitré de 1 mètre carré, placé dans la toiture.

Elle était restée sans usage depuis plus d'un demi-siècle, et on y jetait tous les débris de la fabrique par une croisée obscure. Un puits abandonné existait là, près de celui du menuisier et sous sa chambre à coucher. Une bougie allumée continuait à brûler dans ce puits, mais il se dégageait de l'intérieur de l'eau des bulles rendues très-abondantes par le jet d'une pierre, qui troublait la vase. Ce gaz analysé se trouva être du gaz *hydrogène des marais*, provenant de la décomposition des matières organiques contenues dans ce puits.

On ne connaît pas la véritable cause des maladies engendrées par le gaz des marais, mais ce sont des maladies d'une nature putride, dites aussi *fièvres d'automne*, comme la maladie observée chez le menuisier, qui était beaucoup plus intense au mois de novembre, et présentait des symptômes analogues.

INSALUBRES.

MM. de Haldat et Braconnot conseillèrent de combler le puits et d'aérer la cour. On se rappela alors qu'un homme d'une taille et d'une force athlétiques était déjà mort dans la même maison, avec sa femme et ses trois enfants, d'une maladie semblable; il paraissait aussi certain que les causes mortifères étaient devenues beaucoup plus intenses depuis quelques années. Deux femmes y ont aussi successivement trouvé la mort, chacune avec des enfants.

D'après Darcet, voici la cause de la maladie en question. A l'entrée de l'hiver, au mois de novembre, on faisait du feu dans le logement du menuisier. L'air extérieur pénétrait dans la cour par l'ouverture du toit, s'infectait et était attiré dans l'appartement par l'appel des cheminées, en passant à travers le mur par les joints et les fentes des maçonneries. Pour remédier à ce dangereux état de choses, il fallait :

1° Ventiler abondamment la cour, en y amenant de l'air pris en bas et l'évacuant par le haut;

2° Supprimer toute communication entre la cour et la maison, mettre des enduits hydrofuges sur le mur;

3° Introduire enfin dans la maison de l'air pur et pris à l'extérieur, pour suffire au tirage des cheminées.

Deuxième observation. — Trois garçons de bureau jeunes et vigoureux étaient morts successivement dans un logement de $2^m,35$ de hauteur, composé d'une chambre à coucher avec cheminée et d'une antichambre non ventilée. Un tuyau de descente des lieux passait dans l'angle de l'alcôve et avait légèrement infiltré le mur, mais sans odeur sensible. Darcet attribua cette mortalité à l'action lente des émanations du tuyau de chute, qui, surtout pendant la nuit, étaient attirées autour de la tête du lit par l'appel de la cheminée.

Troisième observation. — Une mère, ne voulant pas laisser sortir sa fille de sa chambre pendant la nuit, la faisait coucher avec elle dans un cabinet de 5 mètres de long, étroit, et n'ayant que deux portes à l'extrémité opposée au lit, et où l'air se renouvelait mal. La jeune fille dépérit, et mourut d'une maladie du poumon, bien qu'il n'y eût jamais eu de phthisique dans la famille.

Quatrième observation. — Un employé du Mont-de-Piété dépérissait dans son appartement, où Darcet reconnut bien vite la présence de l'acide carbonique, appelé par la cheminée de la chambre à coucher, toujours chauffée en hiver par du feu, et, en été, par l'élévation forcée de température d'une petite chambre où l'on couche. Le soir, ce gaz descendait par la cheminée du salon, que l'on ne chauffait presque jamais, et qui était commune à une cuisine de l'étage supérieur. Une bonne cheminée à courant d'air, prenant l'air à l'extérieur et placée dans la chambre à coucher, une trappe à la cheminée du salon, et des bourrelets à la porte, entre le salon et la chambre, arrêtèrent le mal.

Cinquième observation. — Une famille était attaquée d'une salivation, due au mercure d'un baromètre cassé, que l'on avait versé sur une assiette oubliée sur une armoire. C'était une petite cause qui aurait produit à la longue de funestes effets.

Sixième observation. — Deux dames ont été asphyxiées, une nuit, par l'acide carbonique, entré dans leur chambre à coucher par le poêle de la salle à manger, où l'on n'avait pas fait de feu depuis longtemps. L'acide était appelé à travers le salon par le feu fait dans la chambre. La cheminée où donnait le tuyau de poêle dépendait d'un appartement placé au-dessous, et où l'on avait, la nuit précédente, cuit, avec du charbon de bois, une grande quantité de dents artificielles, cause évidente de la mort de ces dames.

Septième observation. — Les vapeurs mercurielles sortant d'un atelier de doreur ont rendu malade une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

famille qui occupait un logement où se trouvait un poêle, communiquant par son tuyau avec la cheminée du doreur. C'est encore ici l'action de la cheminée des malades, qui appelait, par le tuyau de poêle, dans tout l'appartement le mercure en vapeur.

En résumé, Darcet a montré que pour des assainissements de ce genre, il faut bien choisir l'endroit où l'on prend l'air pur destiné à alimenter les cheminées d'appartement. Car si l'on ne fournit pas à ces cheminées de l'air pur en quantité suffisante, elles en prennent dans des lieux infects, comme des tuyaux de descente des lieux, des cours malsaines, des cheminées voisines, ou bien elles fumeront. La moindre ventilation, qu'elle s'opère soit par en haut soit par en bas, suffit pour assainir un appartement. On a assaini ainsi une loge d'acteur, en la faisant communiquer par un tuyau de fer-blanc de 4 cent. avec l'appel du lustre de la salle. Un calorifère placé dans la cave amenait dans la loge, de l'air chaud en hiver et frais en été.

Huitième observation. — Un ouvrier en casquettes, sa femme, son enfant et une jeune ouvrière étaient tous quatre malades, avec les gencives et les lèvres fortement enflées ; la lèvre supérieure touchait au nez et la tête de la femme était enflée aussi. L'enfant était le plus malade.

Le médecin, qui crut trouver là les effets des émanations mercurielles, reconnut qu'à l'étage inférieur travaillait un doreur sur métaux qui employait beaucoup de mercure dans son travail. Darcet, le lendemain, visita les malades avec le médecin. L'enfant avait déjà perdu quatre dents. Le logement se composait d'une chambre avec fenêtre ouvrant sur une cour ; au milieu un poêle, dont le tuyau donnait dans un coffre de cheminée. L'air de la chambre était lourd et infecté par les peaux employées au travail des casquettes.

L'atelier du doreur avait des fourneaux bien faits, avec un excellent tirage. Le conduit de cheminée était celui même où donnait le tuyau de poêle. La cause de la maladie était évidente, le doreur mettait sur ses fourneaux des marchandises combinées avec le mercure. Le mercure volatilisé se condensait dans le coffre, tombait dans le tuyau de poêle, et, volatilisé de nouveau par le feu, se répandait dans la chambre, où il causait ces dangereux effets. Un morceau d'or fin frotté contre les parois du poêle s'est blanchi de suite, par la présence du mercure.

On fit démonter le poêle et boucher le trou donnant dans la cheminée du doreur.

Neuvième observation. — Un doreur sur cuivre pour broderies habitait depuis quatre ans une maison très-peuplée, avec sa femme, deux enfants, une bonne et un ouvrier ; une petite cuisine lui servait d'atelier, mais le tirage de ses fourneaux, bien construits, emportait au dehors toutes les vapeurs dangereuses. Personne n'avait été malade chez lui ni dans les étages inférieurs et supérieurs. Le logement au-dessus avait changé plusieurs fois de locataires, sans plaintes. La cheminée de l'atelier était accolée aux cheminées de la maison et perdue dans les murs. En novembre, une famille de quatre personnes occupa le logement vide, et au bout de huit jours tous étaient gravement malades.

Abondante salivation, gonflement affreux des gencives et de la bouche, l'enfant perdit plusieurs dents. Ces symptômes indiquaient l'action des vapeurs mercurielles. Mais par où arrivaient-elles dans le logement sans atteindre personne chez le doreur ? Des crevasses qui venaient de se produire laissaient passer les vapeurs mercurielles du coffre de la cheminée du doreur dans le logement, sous l'appel de la cheminée de la chambre où l'on faisait du feu à l'entrée de l'hiver.

La fermeture hermétique de ces crevasses supprima tout le mal.

Dixième observation. — *Navire infecté par le mercure.* L'exemple le plus remarquable des dangereux effets des vapeurs mercurielles est dans les accidents arrivés à l'équipage du vaisseau de ligne britannique *le Triomphe*. A la suite d'un orage qui, en 1810, avait jeté à la côte un bâtiment espagnol chargé de mercure pour les colonies, le *Triomphe* reçut à bord 130 tonneaux de mercure. La plupart des boîtes qui le contenaient furent mises dans la soute au pain, où le mercure se versa, ce qui occasionna de graves maladies à un grand nombre d'hommes de l'équipage, à des munitionnaires et à des officiers. Ulcères à la bouche, paralysie partielle du corps. Deux cents personnes furent atteintes en trois semaines. On fit promptement décharger du *Triomphe* le mercure et les munitions, même le lest, et on lava avec soin partout.

Malgré ces soins, un grand nombre d'hommes furent attaqués de nouveau de maladies, dans le retour à Cadix et en Angleterre.

Le navire ayant marché quelque temps vent en poupe, on laissait les sabords ouverts, et l'équipage se tint le plus possible sur le pont, ce qui diminua beaucoup le nombre des malades. Quelques hommes devinrent phthisiques. Un autre mourut de salivation et d'ulcères gangrenés à la bouche.

La cause de ces graves accidents est la vapeur du mercure, qui avait pénétré dans les bois, malgré les lavages répétés.

Séchage des bâtiments et des murs. — L'humidité des bâtiments neufs, ou établis dans de mauvaises conditions de salubrité, de sécheresse, ou sans caves, est une question très-importante pour la santé des personnes qui les habitent, et pour la conservation des boiseries, des peintures et des papiers de tenture. Dans des constructions faites sans que l'on ait pris des précautions suffisantes contre l'invasion de l'humidité, venant d'un sol trop humide ou pénétré de sources, ou dans des constructions occupées trop tôt, outre la destruction des papiers et peintures, la santé des habitants est rapidement compromise ; ils sont perclus de douleurs rhumatismales ou de rhumatismes aigus.

Dans les constructions publiques, pour s'assurer contre toute invasion de l'humidité venant du sol, les architectes habiles étendent, sous toute la construction, une nappe non interrompue de matière imperméable à l'eau.

C'est ainsi que M. Gilbert aîné, de l'Institut, a mis à la maison Mazas, sous toutes les parties intérieures aux murs, une couche continue de bitume de 3 centimètres, et sous les murs, une feuille de plomb reliée avec soin au bitume. Le bitume aurait été écrasé par la charge des murs.

Un bon bétonnage et l'exhaussement de la construction au-dessus du sol donnent aussi de très-bons résultats.

Darcet a trouvé un enduit hydrofuge, que nous avons donné dans le Ier volume de ses *Mémoires*, et qui est composé de :

1 partie de cire [1] ;

3 parties huile cuite avec $\frac{1}{10}$ de son poids de litharge.

Cet enduit, appliqué à plusieurs couches et à chaud, sur les murs, les protége de la manière la plus complète contre toute pénétration de l'eau ou de l'humidité extérieure, sous condition que les murs seront séchés à fond d'avance. C'est avec cet enduit que Darcet et Thénard ont fait préparer et enduire la coupole du Panthéon pour recevoir les peintures de Gros. Jamais trace de pluie ou d'humidité n'est venue altérer depuis ces magnifiques peintures.

Drainage des ateliers. — Nous avons fait employer

[1] *Mémoires de Darcet*, 1 vol. Lacroix et Baudry.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le drainage pour assainir un grand atelier dont le sol devenait très-humide à chaque pluie.

Des fossés autour de la filature, communiquant à un puits, et un système de tuyaux de drainage, ont asséché entièrement le sol. Il vaut toujours mieux prévenir l'invasion de l'humidité pendant la construction, comme nous l'avons dit, que d'avoir à la combattre ensuite. Il ne faut pas, surtout, enfermer l'humidité sous des boiseries ou des peintures mises sur des murs neufs, et qui n'ont pas eu le temps de sécher. Les peintures et les papiers sont bien vite moisis et perdus, et exigent un remplacement complet après le premier été.

Il ne faut pas surtout habiter des maisons trop nouvellement construites, sous peine des graves dangers que nous avons signalés plus haut. Il est toujours utile, nécessaire même, de faire sécher artificiellement et profondément les murs des maisons nouvelles ou des appartements récemment distribués.

Ce séchage des murs, pour s'opérer dans des conditions rapides et économiques, doit se faire avec des dispositions et des appareils tout différents de ceux que l'on a employés jusqu'à ce jour.

Les foyers extérieurs et le ventilateur à palettes, essayés seuls jusqu'à présent par plusieurs compagnies, prennent trop de force et sèchent trop lentement, pour que cette entreprise ait pu donner de bons résultats industriels. L'auteur de cet article a combiné, avec MM. Bouillon et Muller, ingénieurs à Paris, des appareils de séchage, à foyer clos, où le ventilateur employé est le ventilateur à ailettes ou à hélice du général Sabloukoff. Ce ventilateur, qui coûte peu d'établissement, débite, avec une faible puissance mécanique, un volume considérable d'air. Il rend ainsi possible, industriellement et en pratique, le séchage des murs et des appartements, en réunissant la rapidité, la puissance et l'économie du travail.

Un appareil est préparé chez MM. Bouillon et Muller [1], à la disposition des architectes et des propriétaires qui voudront sécher et assainir rapidement, et avec toute certitude, leurs maisons ou leurs logements. Des appareils doivent aussi être expédiés aux personnes qui en demanderaient.

N° 26. Extinction des feux de cheminée.

Un rapport de Darcet sur la poudre anti-incendiaire de M. Barrau rend compte d'expériences faites pour éteindre des feux de cheminée, expériences qui ont très-bien réussi avec des feux encore peu intenses.

Darcet reconnut que cette poudre était composée, pour la majeure partie, de soufre, dont l'emploi, pour éteindre les incendies, est connu depuis 1786. Son avis fut donc que l'emploi de cette poudre ne peut pas être autorisé à Paris, ni dans les villes où les secours sont bien organisés, parce qu'il y a toujours du danger à laisser les particuliers essayer d'éteindre eux-mêmes les incendies; mais, dans les campagnes et les fermes, cette poudre doit être très-utile.

N° 27. Accidents causés par des vases culinaires en maillechort.

De la sauce hollandaise pour turbot, composée de beurre fondu, de jus de citron, de sel et de poivre, restée près d'une heure dans un vase en maillechort, avait incommodé fortement les personnes qui en avaient mangé.

Darcet, chargé d'étudier cette grave question, fit faire cinq vases :

N° 1. Un d'argent au 1er titre ou à 950 millièmes.
N° 2. Un d'argent au 2e titre ou à 800 millièmes.
N° 3. Vase en maillechort.
N° 4. Vase en cuivre rouge.
N° 5. Vase en cuivre jaune.

Une portion de sauce hollandaise fut répartie dans les cinq vases.

Après six heures d'expérience, la sauce commençait à se colorer en vert dans le vase en maillechort. La coloration était moins prononcée dans le vase d'argent au 2e titre, et n'était pas appréciable dans celui au 1er titre, ni dans le cuivre rouge et le jaune.

Après douze heures de séjour, l'argent au 2e titre était plus coloré que le maillechort, et le cuivre rouge commençait à se charger de sels cuivreux; l'argent à 950 n'était pas attaqué; le cuivre jaune commençait à peine à l'être.

Après vingt-quatre heures, voici l'ordre des colorations :

Argent au 2e titre, beau vert.
Maillechort, vert-brun terne.
Cuivre rouge, vert-brun.
Cuivre jaune, vert-brun léger.
Argent au 1er titre, parfaitement blanc.
Après trente-six heures :
Cuivre rouge, vert-brun terne.
Maillechort, vert noirâtre terne.
Argent à 800 millièmes, beau vert.
Cuivre jaune, vert moins terne que le maillechort.
Argent à 950, rien.

De ces expériences, il résulte que :

1° Le maillechort n'a pas été plus fortement attaqué par la sauce hollandaise que l'argent au second titre, dont l'emploi est autorisé partout; que, de plus, le maillechort n'a été attaqué qu'après un assez long séjour, et que la teinte noirâtre qu'il prend dans ces conditions a l'avantage de prévenir de la présence des sels cuivreux et des dangers que peut présenter l'usage de la sauce à moitié altérée.

N° 28. Accidents causés par les cornichons.

De nombreux accidents sont arrivés après avoir mangé des cornichons qui *ont un beau vert*. Les analyses de ces substances alimentaires prouvent qu'ils contiennent alors de l'*acétate de cuivre* et du *tartrate double de cuivre et de potasse*, en quantité suffisante pour occasionner des indispositions, des coliques et des vomissements. Darcet a aussi étudié cette question.

On reconnaît facilement la présence du cuivre dans les cornichons en écurant bien une lame de couteau avec du sable et de la cendre, et l'engageant profondément dans le cornichon à essayer; on trempe ensuite le cornichon et le couteau dans un verre contenant du vinaigre où étaient les cornichons. Après une demi-heure on retire le couteau, on lave bien la lame.

Si cette lame a pris la couleur rouge du cuivre, les cornichons sont vénéneux et on doit les rejeter; mais si la lame est restée brillante ou a pris seulement une couleur brune, les cornichons peuvent être employés sans aucun danger. Pour être à l'abri de tout danger, on ne doit employer que des cornichons préparés à *froid* ou avec du vinaigre qui n'a pas séjourné dans un vase de cuivre, ces cornichons n'ont pas la belle *couleur verte* des premiers et sont jaunâtres; mais leur goût est bien meilleur et ils ne sont jamais dangereux.

N° 29. Emploi des balances de cuivre.

Les bouchers et les charcutiers emploient presque toujours des balances de cuivre sur lesquelles ils mettent des rondelles de cuir verni qui s'imprègnent de graisse, pour préserver leur marchandise de l'action du cuivre, d'où résultent de la malpropreté ou des fraudes de poids; on peut autoriser ces rondelles, sous condition de les changer dès qu'elles sont sales, et de les équilibrer par un poids ajouté à l'autre plateau.

Il est bon aussi d'obliger les bouchers et les charcu-

[1] Rue de Chabrol, 33, à Paris.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tiers à n'employer que des balances en cuivre étamé; cette mesure doit être appliquée à toutes les denrées dont la salubrité peut être altérée par le contact du cuivre. Quant aux fraudes de poids, c'est évidemment aux acheteurs à s'en défendre, ce qui est toujours facile.

N° 38. Curage des égouts

En avril 1842, cinq ouvriers périrent asphyxiés lors du curage de l'égout de la Villette. Cette opération dangereuse ayant dû être reprise et complétée par les égoutiers de Paris, Darcet et Labarraque furent chargés par le conseil de salubrité de suivre ce travail. Les mesures de précaution qui furent indiquées d'avance par eux, étaient: 1° de ne faire cette opération qu'en hiver et la nuit, au lieu de la faire pendant les chaleurs de l'été;

2° D'installer sur place et sous une tente un pharmacien muni de tout ce qui pourrait être utile en cas d'accidents;

3° Le lavage et la désinfection la plus complète possible de l'égout, qui doivent toujours aussi précéder un curage dangereux, aujourd'hui surtout que les matières désinfectantes sont si abondantes et à si bon marché.

L'emploi de l'appareil Galibert (Voy. Plongeur) peut être fait avec grand avantage pour de semblables opérations.

PH. GROUVELLE.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE. — Tous les instruments d'optique, à fort peu d'exception près, sont composés de verres de courbures diverses, qui sont, en nombre variable, disposés de différentes façons, selon le but qu'ils sont appelés à remplir. Ces verres sont reliés entre eux par des tubes métalliques qui les maintiennent dans une position déterminée, les uns relativement aux autres, et qui, en écartant la lumière étrangère, permettent à l'œil d'être seul avec le sujet de son observation, et, conséquemment, de n'être pas distrait par les objets environnants.

Il arrive souvent que les instruments d'optique sont pourvus de certains mécanismes dont le but est de leur permettre d'être dirigés dans une direction choisie; quelquefois aussi ils portent avec eux des appareils micrométriques servant à déterminer, soit la distance angulaire de deux points, soit les dimensions d'un objet.

Quelle que soit la complication d'un instrument, ou, autrement, quel que soit le nombre des pièces qui le constituent, la partie essentielle, et toute spéciale, est la partie *purement optique*, c'est-à-dire les différents verres qui entrent dans l'instrument. En effet, s'ils ne sont pas établis dans les conditions convenables, ce dernier ne signifie plus rien et n'a plus du tout raison d'être. Aussi, les constructeurs apportent-ils d'abord tous leurs soins, non-seulement à la confection des verres, mais encore au choix de la matière qui les compose.

Nous allons donc, avant de passer en revue tous les instruments d'optique, commencer par exposer le procédé usité pour tailler les verres et leur donner la courbure assignée d'avance par la théorie. Nous trouvons, à ce sujet, dans le livre de M. Arthur Chevalier, intitulé *Hygiène de la vue*, des renseignements précieux qui vont nous permettre, en partie, d'initier le lecteur à l'art de l'opticien, art généralement si peu connu.

Mais, avant d'aborder la taille des verres, nous croyons utile de renvoyer le lecteur à l'article Verre ou mieux encore au Guide du verrier de M. Bontemps, afin qu'il sache d'abord quelle est la composition des verres que l'on emploie dans l'optique ainsi que leur mode de fabrication.

Taille des verres d'optique. — On commence d'abord par examiner très-attentivement avec une loupe les différents morceaux de verre dont on compte se servir, dans le but de s'assurer qu'ils ne contiennent aucune bulle d'air ni stries. Les bons verres sont mis de côté; quant à ceux contenant des défauts, on les jette au rebut.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

On sait que les verres d'instruments d'optique affectent des formes diverses qui les ont fait classer en deux groupes. Cette classification est fondée sur la considération des effets optiques qu'ils exercent. Le premier groupe comprend ceux qui ont la propriété de provoquer la convergence des rayons lumineux : on les appelle *lentilles convergentes*. Le second groupe réunit les lentilles qui au contraire font diverger les rayons : ce sont les *lentilles divergentes*. Ces deux groupes sont figurés ci-dessous, fig. 1 et 2.



Fig. 1.



Fig. 2.

Quelle que soit la courbure que l'on veuille donner à une lentille, le procédé qui la fait obtenir est toujours le même. Ainsi, tout ce que nous allons dire est applicable aussi bien aux lentilles convergentes qu'à celles divergentes.

Pour donner au verre la forme lenticulaire, on l'use avec de l'émeri mouillé sur des calottes ou dans des bassins en cuivre, selon que l'on désire se procurer des lentilles divergentes ou convergentes. L'outil représenté fig. 3 se nomme *balle*; celui fig. 4, *bassin*; le premier

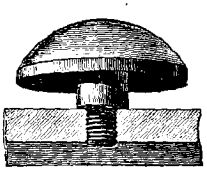


Fig. 3.

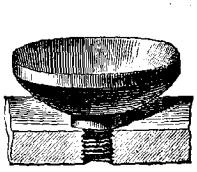


Fig. 4.

sert à la confection des lentilles concaves, le second à celle des lentilles convexes. Dans les ateliers on a un grand nombre de ces outils, ayant tous des courbures diverses, classées et numérotées. Pour les construire, on fait d'abord un *calibre*, en traçant sur une planche de cuivre une courbe d'une courbure déterminée; puis on découpe la planche en suivant la courbure. On obtient ainsi deux calibres, l'un convexe, l'autre concave, qui servent à fabriquer la balle et le bassin. Il importe de remarquer que les outils marchent par paires, c'est-à-dire qu'à un bassin correspond une balle de même courbure.

Pour le travail, l'outil, qui est monté sur une tige à vis, se place sur le *tour* de l'opticien, soit dans un écrou fixe, soit sur un arbre vertical susceptible de recevoir un mouvement de rotation.

Examinons maintenant les opérations successives que l'on exécute dans les ateliers d'optique pour amener le verre à la forme voulue.

On commence d'abord par donner au verre la forme d'un disque, à moins qu'il n'ait déjà cette forme en sortant de la verrerie. Pour cela on emploie une pince avec laquelle on casse tout ce qui est en excès, c'est-à-dire tout ce qui est compris au delà de la circonférence devant former le pourtour de la lentille. Le disque obtenu, on le *déborde* (dans le cas des surfaces convexes), ou autrement on enlève, à l'aide d'une meule, sur ses faces et vers les bords, de la matière, de telle sorte qu'il soit biseauté et qu'il ait ainsi une première forme *grossière* de lentille.

C'est alors que l'on *dégrossit* le verre, c'est-à-dire qu'on lui donne une première courbure, se rapprochant de celle qu'il doit avoir, en l'usant sur une balle ou dans un bassin en fonte de fer avec du grès tamisé et mouillé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le dégrossissage obtenu, on *apprête* le verre : on le passe dans un outil en fer dont la courbure se rapproche davantage de la courbure définitive. Cette opération se fait sur le tour en employant comme corps usant de l'émeri 1 et 2.

L'émeri est une espèce particulière de corindon pulvérisé. On le désigne dans le commerce par le nombre de minutes qui en opèrent la séparation quand on le trnite par lévigation dans l'eau.

Lorsque l'on a opéré le dégrossissage et l'apprêtage, on procède à la taille proprement dite, ou autrement, on passe le verre dans l'outil précis en cuivre, avec l'émeri 5.

L'outil, ainsi que nous l'avons dit, peut être fixe ou mobile. Dans le second cas, on lui imprime son mouvement circulaire au moyen d'une manivelle placée sur le tour, à la gauche de l'ouvrier. La manivelle est adaptée sur un arbre vertical pourvu d'un volant qu'une corde réunit à une poulie fixée sur l'arbre qui porte l'outil. Si donc la main gauche saisit la manivelle et met le volant en mouvement, ce mouvement se communiquera à l'outil sur lequel la main droite maintiendra le verre. Pour maintenir le verre, on se sert d'une *molette*, espèce de petit manche en liége que l'on fait adhérer au verre à l'aide d'un mastic de poix et de cendre ramolli par la chaleur.

Quand l'outil est fixe, l'ouvrier doit avec la main imprimer au verre un mouvement circulaire et varié, de façon à distribuer également l'action dans tous les sens.

Après l'émeri 5, on en emploie d'autres de plus en plus fins, jusqu'à celui 30 ou 60 lequel est destiné à donner au verre son *douci*.

Avant l'application de ce dernier émeri, on *réunit* l'outil, c'est-à-dire qu'on prend la balle et le bassin correspondants, et qu'on les rode l'un sur l'autre de manière à éviter les déformations résultant des opérations antérieures. Ce rodage effectué, on dispose une petite quantité d'émeri sur la partie utile (balle ou bassin), puis on y verse quelques gouttes d'eau, après quoi on étale à l'aide d'un morceau de glace ordinaire, mis à la courbure de l'outil et appelé *verre* d'épreuve. C'est grâce au verre d'épreuve que l'on s'assure que l'émeri ne contient aucun corps étranger susceptible d'altérer la surface de la lentille.

Le douci est une opération excessivement délicate, attendu que le moindre grain de poussière forme une raie et que tout le travail fait, l'est en pure perte. Ainsi il arrive souvent que l'on est obligé de repasser le verre avec l'émeri n° 10. C'est pourquoi l'on apporte le plus grand soin à effectuer le douci.

Après le douci vient le *polissage* qui est destiné à donner au verre un poli vif et éclatant. Voici comment il s'opère : L'outil étant parfaitement nettoyé, on y colle à l'empois une feuille de papier mince dont la trame paraisse aussi égale que possible ; au moyen d'une sorte de ménisque en verre appelé *colloir*, on chasse l'excès d'empois vers les bords, le papier est ainsi intimement appliqué sur l'outil ; puis on frotte légèrement ce papier avec une éponge humide pour en détacher des parcelles, on *dégarnit* ce papier de façon à soulever une pluche qui, une fois séchée, retient utilement les poudres à polir. Il faut encore passer la pierre ponce et brosser ensuite pour l'enlever, après quoi on étend, avec un chiffon de papier froissé, du tripoli ou du rouge d'Angleterre, selon l'usage auquel est destinée la lentille que l'on taille. Le polissoir est alors prêt et le verre douci est mis en contact avec lui. On frotte pendant quelques heures, puis enfin on détache le verre de la molette et on le lave à l'alcool. Les très-petits verres se polissent sur des polissoirs en poix collée sur l'outil, et à l'aide de potée d'étain mouillée. Le spath d'Irlande se polit sur de la soie avec de la potée d'étain.

Dans le cours des opérations que nous venons de détailler, on a soin que le verre soit toujours bien centré, c'est-à-dire que les centres de courbure de chacune de ses deux faces doivent toujours être situés sur l'axe du cylindre formant le pourtour de la lentille. Ce pourtour est obtenu à l'aide d'instruments spéciaux nommés *barrettes*.

Dans les verres achromatiques, on réunit ensemble le crown et le flint au moyen du baume du Canada que l'on emploie à chaud. C'est une résine transparente que l'on extrait de l'*abies balsamea*.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, tous les verres d'optique se taillent de la même manière. Cependant, pour les verres destinés aux besicles à bon marché, à des instruments de peu de valeur, ou bien à des instruments auxquels on ne tient pas à donner une exactitude optique parfaite, tels que certaines jumelles de théâtre, on procède différemment. Les verres sont taillés *au bloc*, ou en masse, c'est-à-dire que pour les faire on colle, à l'aide d'un mastic compacte, cinquante ou cent morceaux de verre sur le bassin ou sur la balle, après quoi et avant que le mastic ne soit refroidi, on place par-dessus l'outil inverse ; on n'a plus alors qu'à prendre l'outil armé de verres, et à le frotter avec le corps usant sur l'outil opposé. Quant au poli, il s'obtient sur du drap épais enduit de rouge d'Angleterre. Nous ferons remarquer que cette méthode est vicieuse, attendu que pour les verres placés près de la circonférence, la courbure n'est pas régulière et que le poli est ondulé. Il est vrai que c'est la machine à vapeur qui fait mouvoir les outils ; mais quoi qu'il en puisse être, la taille au bloc ne vaut rien, attendu que tous les verres ainsi obtenus sont défectueux ; peut-être ceux placés au centre de l'outil sont-ils moins mauvais, mais encore ne réunissent-ils pas les qualités d'un verre taillé isolément.

Nous croyons utile et surtout intéressant de dire ici quelques mots de la taille des miroirs en verre des télescopes. La méthode employée à cet effet nous a été laissée par Foucault, ce physicien si profond dans ses conceptions, qu'une maladie nous a ravi il y a quelque temps d'une manière si prématurée.

Tout d'abord, Foucault s'était demandé s'il n'existe pas des caractères auxquels on reconnaît qu'une surface réalise sensiblement la figure qui convient aux circonstances où elle doit fonctionner. Après examen il a conclu par l'affirmative. Et voici les trois méthodes qu'il employait pour vérifier la surface réfléchissante d'un miroir sphérique concave. Toutes trois sont basées sur la propriété que possède un pareil miroir de renvoyer au centre de courbure et sans aberration aucune tous les rayons émanés de ce même centre. De plus, elles s'appuient sur ce que, autour de ce point et à très-petite distance, sont repartis dans l'espace une infinité de foyers conjugués jouissant semblablement de la même immunité.

Dans la première méthode, Foucault plaçait un point lumineux à côté et tout près du centre de courbure, puis, avec un microscope faible, il observait l'image qui se formait de l'autre côté.

Si cette image était nette, entourée des anneaux de la diffraction, et si les altérations qu'elle subissait en deçà et au delà du foyer, par la variation de la mise au point, étaient symétriques, il en concluait que la surface était parfaite.

Si, au contraire, l'image manquait de netteté, mais cependant était ronde avec un maximum de condensation de lumière au centre, il était averti que la surface du miroir, sans être exactement sphérique, était du moins de révolution autour de son axe principal. Et, pour voir dans quel sens se produisait la variation du rayon de courbure, il portait son microscope au-devant des rayons réfléchis pour observer l'état du faisceau avant son point de convergence. S'il remarquait une condensation prématurée de lumière, cela lui prouvait

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'une des zones concentriques du miroir avait un foyer plus court; dans le cas contraire il concluait que le foyer était plus long.

Si enfin l'image cessait d'être ronde et se déformait en se partageant en concamérations d'intensités inégales, la surface à étudier cessait pour lui d'être de révolution.

Dans la seconde méthode, Foucault plaçait dans une région voisine du centre de courbure un réseau régulier à mailles carrées se détachant, vu du miroir, sur un fond éclairé, et il observait à l'œil nu l'image qui s'en formait au foyer conjugué. Si l'image était comme dans la fig. 5, c'est que la surface était parfaite; si elle était

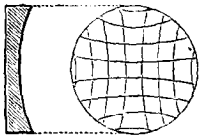


Fig. 6.

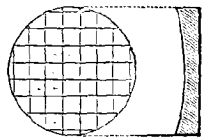


Fig. 5.

comme dans la fig. 6, c'est que la surface, exactement sphérique dans sa partie centrale, s'évasait vers les bords par un allongement progressif du rayon de courbure; si l'image était comme dans la fig. 7, c'est que la surface était déformée dans le sens inverse : les bords se relevaient trop rapidement; si enfin l'image était

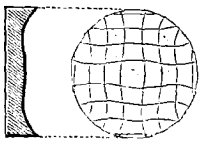


Fig. 8.

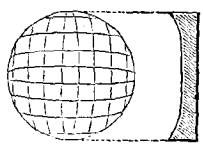


Fig. 7.

comme dans la fig. 8, c'est que les bords du miroir étaient abaissés au-dessous du niveau sphérique et que la partie centrale présentait une éminence. Telles sont, avait remarqué Foucault, les quatre seules formes qu'affecte l'image dans un miroir taillé avec soin.

Dans la troisième méthode, Foucault plaçait un point lumineux auprès du centre de courbure, puis il plaçait son œil dans le cône divergent formé par les rayons réfléchis, pour ensuite le porter au-devant du foyer jusqu'à ce que la surface lui parût entièrement illuminée. Alors, au moyen d'un écran à bord rectiligne, il interceptait l'image au point de la faire disparaître entièrement. Si, par une marche progressive de l'écran, il remarquait une extinction successive et continue de l'éclat du miroir, et si cet éclat, tout en diminuant de valeur, conservait jusqu'au dernier moment, dans toute l'étendue de sa surface, une intensité uniforme, il en concluait que le miroir était parfait. Si, au contraire, l'extinction n'avait pas lieu simultanément sur tous les points, c'est que la surface était imparfaite et qu'il existait des proéminences et des dépressions qui, pour l'observateur, sont perçues avec un sentiment de relief exagéré. La fig. 9 nous montre comment on doit interpréter les parties qui paraissent lumineuses et celles qui paraissent obscures. L'écran marchant dans le sens de la flèche, on voit que les rayons, tels que AB, réfléchis par un versant incliné du côté de l'écran, sont d'abord cachés et que, conséquemment, ce versant sera dans l'ombre, tandis que les autres paraîtront encore lumineux. Il est donc facile, avec une attention soutenue, de se rendre un compte exact de l'état de la surface. Cette troisième méthode est la plus sensible.

Tels sont les trois artifices qui, en se contrôlant mutuellement, fournissaient à Foucault tous les renseignements désirables sur la configuration des miroirs sphériques. Les ayant en sa possession, Foucault s'est a dit : « Nous ne sommes donc plus assujettis à obse un miroir en son centre de courbure, et puisque le

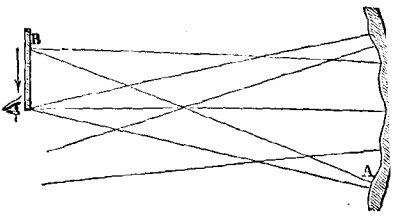


Fig. 9.

proposé est de construire des télescopes pour obser des objets situés à l'infini, nous allons prendre le mir concave tel qu'il sort des mains de l'artiste et le co duire, par une série de transformations, à la figure qu convient de lui donner pour le faire fonctionner util ment sur les corps célestes. »

En effet, ayant rapproché du miroir le point lum neux, Foucault transforma par des retouches ce miro de façon que les rayons réfléchis se coupassent enco en un point unique. Il obtint ainsi un ellipsoïde. Ayan encore rapproché le point lumineux, il put construi un nouvel ellipsoïde plus allongé que le premier. E procédant ainsi, il arriva de proche en proche à la su face limite, c'est-à-dire à la surface paraboloïde.

Voici maintenant comment Foucault taillait ses m roirs. Il commençait d'abord par se procurer deux dis ques de verre épais, bien recuits et terminés chacun pa un revers convexe. Il les faisait amener, par un premie travail de dégrossissage mécanique, à la courbure vou lue, et les faisait ensuite déborder circulairement en lais sant un excès de diamètre à celui qui devait jouer l rôle de balle (car pour les grands miroirs on frotte verr contre verre). Ensuite, sur le pourtour de chacun d'eux il faisait creuser une gorge destinée à recevoir des cordages devant faciliter les manœuvres. C'est alors qu'on commençait la taille, de la manière que nous avons décrite pour les lentilles. Le miroir était suspendu à un ressort à hélice fixé au plafond de l'atelier, au moyen des cordages qui l'entouraient.

Le miroir taillé et poli, il le soumettait aux trois épreuves et le faisait passer par la série d'ellipsoïdes, grâce aux retouches locales qu'il exécutait avec des polissoirs en verre ayant la forme de lentilles sphériques. Ces polissoirs, de diamètres différents, étaient préalablement construits, en frottant deux disques de verre l'un contre l'autre.

Foucault exécutait ses opérations dans un atelier obscur d'une longueur égale à cinq fois la longueur focale du miroir. Le miroir était observé à l'un des bouts. Il effectuait la dernière retouche, pour obtenir la surface parabolique, en intervertissant l'image et le point lumineux. Il montait son miroir en télescope newtonien, et observait un objet extérieur situé à une grande distance. L'image devait alors se montrer au foyer exempte d'aberration, et présenter des traces de diffraction aux contours de l'objet (1).

Il nous a été permis d'assister, dans l'atelier même dont se servait Foucault chez M. Secrétan, à la suite des opérations que nous venons de détailler, et nous avons pu constater par nous-même le degré de perfec-

(1) Smith, professeur à l'université de Cambridge au siècle dernier, expose, dans son *Traité d'optique* traduit et édité à Brest en 1767, une méthode pour juger de la perfection de la sphéricité d'un miroir. Foucault l'ignorait probablement, puisqu'il n'en parle pas dans le Mémoire qu'il a publié (*Annales de l'Observatoire*) sur la taille des miroirs de télescopes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tionnement auquel Foucault arrivait. L'observatoire de Marseille possède un télescope dont le miroir, de 0m.80, a été taillé par Foucault, et il n'a qu'à se louer tous les jours de cette acquisition. Grâce à cet instrument d'une puissance énorme et d'une justesse parfaite, les planètes se trouvent rapprochées d'une quantité beaucoup plus grande qu'elles ne l'avaient jamais été. Un champ nouveau est donc ouvert aux observations physiques; nous formons le vœu qu'elles en tirent tout le parti désirable.

Une fois terminés, Foucault argentait ses miroirs par le procédé Drayton (Voy. VERRE), moyen dans lequel l'argent est déposé sur le verre par l'action de la lumière sur un mélange de sel d'argent, de résines et d'essences. Ce procédé est d'un usage excessivement délicat; aussi M. Adolphe Martin lui a-t-il substitué la réduction des sels d'argent par une dissolution de sucre interverti. Cette seconde méthode est d'une application beaucoup plus facile.

Foucault ne s'est pas borné à la vérification des surfaces réfléchissantes, il s'est aussi occupé de la vérification des lentilles. Malheureusement il n'a jamais rien publié à ce sujet, et nous avons le vif regret de ne pouvoir donner aucun détail sur la méthode qu'il employait à cet effet. Cependant quelques vagues renseignements qui nous ont été fournis nous permettent de dire par quel procédé il rendait observables les rayons lumineux émanant d'une source, après qu'ils ont traversé la lentille à vérifier.

La lentille étant posée verticalement dans un support, il plaçait un point lumineux à côté et tout près de son foyer O. Un miroir *parfaitement plan* AB, perpendiculaire à l'axe OC, interceptait les rayons après leur sortie de la lentille et les réfléchissait.

On sait que si l'on place un point lumineux au foyer d'une lentille, les rayons qu'il émet, et qui d'abord sont divergents, deviennent parallèles après avoir traversé la lentille. En sorte que si l'on met un miroir dans la

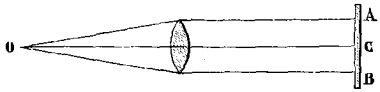


Fig. 10.

position que nous venons d'indiquer, ils seront réfléchis et iront, après avoir traversé de nouveau la lentille, converger en un point qui sera précisément le foyer conjugué du point lumineux. Foucault plaçait un microscope faible en ce point, et observait le faisceau réfléchi. Comment maintenant interprétait-il les défectuosités de ce faisceau? C'est ce que nous ignorons complétement. Aussi sommes-nous obligés de nous arrêter, et de prier le lecteur d'attendre la publication des œuvres de Foucault, que le gouvernement est en train de faire imprimer en ce moment; il y trouvera les renseignements que nous ne pouvons lui donner ici.

Nous allons maintenant aborder une question non moins intéressante que celle de la taille des lentilles et des miroirs, c'est celle relative à la confection des anneaux catadioptriques et des lentilles à échelons des phares (pour la description, voir l'article PHARE). Une visite faite par nous dans les magnifiques ateliers de MM. Sauter et Cie, avenue de Suffren, et les explications que nous devons à l'amabilité de M. Sauter lui-même, vont nous permettre de donner quelques détails à ce sujet.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'obtenir un anneau catadioptrique. On commence par l'établir solidement, au moyen d'un mastic consistant, sur une disque de fer qui se trouve placé sur un plateau circulaire, auquel un mécanisme spécial imprime un mouvement de rotation. Tandis donc que l'anneau tourne sur lui-même, des polissoirs P et P', en contact avec ses deux faces extérieures (cas de notre figure), se meuvent autour des points M et M', dans des plans passant par l'axe de rotation du plateau. Le mouvement de ce plateau se combine dès lors avec celui des polissoirs, et

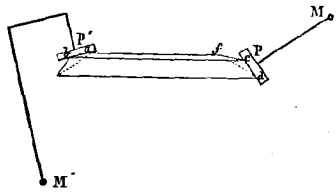


Fig. 11.

l'anneau se trouve ainsi poli dans tous les sens. Nous ferons remarquer que, à cause du mouvement circulaire des polissoirs autour de leurs points d'attache, la face *a b* sera convexe, tandis que la face *c d* sera concave; mais on s'arrange en sorte, en allongeant ou raccourcissant d'une manière convenable les tiges des polissoirs, que les courbures de ces deux faces soient complémentaires l'une de l'autre, c'est-à-dire qu'une fois terminé et mis en place, l'anneau devra se comporter *absolument* comme si le triangle *f c d*, formant la section méridienne, avait ses côtés *c d* et *d f* rectilignes. Une fois les deux faces, dont nous venons de parler (faces dioptriques), taillées, on retourne l'anneau sens dessus dessous et l'on procède au polissage de la face réfléchissante *d f*. C'est au moyen d'un polissoir coudé, tel que P', que se fait le polissage de cette face, qui, conséquemment, a une courbure convexe. D'un anneau à l'autre le rayon de cette courbure varie, et cela en raison de la position qu'occupe l'anneau dans le phare, relativement à la source lumineuse: on donne donc à la tige du polissoir une longueur égale à celle du rayon de courbure de cette face de l'anneau que l'on considère.

Les poudres usantes et à polir que l'on emploie sont les mêmes que pour les lentilles et les miroirs, et l'on s'en sert dans le même ordre.

Quant aux anneaux des lentilles à échelons, ils s'exécutent exactement de la même manière que les anneaux catadioptriques.

La question relative à la fabrication des verres d'optique étant épuisée, nous allons passer en revue les principaux instruments d'optique. Et, pour cela, nous les diviserons en deux catégories: 1° Instruments catoptriques; 2° instruments dioptriques.

1° INSTRUMENTS CATOPTRIQUES.

Miroir magique. — Cet instrument (fig. 12) est le résultat de la combinaison de deux miroirs *m* et *m'*, qui

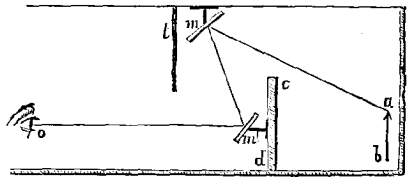


Fig. 12.

sont inclinés de telle façon qu'un observateur placé en *o* peut voir un objet *ab* situé derrière une cloison *cd*. Autrefois les astrologues employaient cet artifice pour prédire l'avenir: une scène quelconque, préparée à l'avance, se passait dans la pièce voisine, et le spectateur croyait voir dans le miroir *m'* les événements futurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de son existence. Une tenture *t*, artistement drapée, cachait le miroir *m*.

Sextant. — Le sextant est un instrument qui sert aux marins pour déterminer la distance angulaire de deux étoiles. Il est basé sur le principe suivant : Si un rayon lumineux *r m* (fig. 13) se réfléchit sur deux mi-

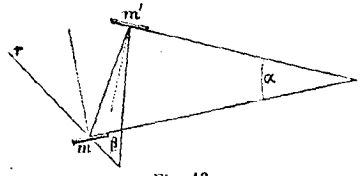


Fig. 13.

roirs *m* et *m'*, formant entre eux un angle α, et si le plan d'incidence est perpendiculaire à la ligne d'intersection des deux miroirs, l'angle β, formé par le rayon d'incidence et le second rayon réfléchi, est égal au double de l'angle des deux miroirs. Nous ne donnons pas la démonstration, qui est très-simple à trouver.

Le sextant (fig. 14) se compose d'un limbe gradué AA',

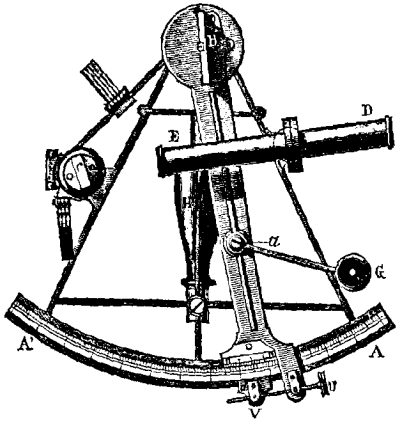


Fig. 14.

qui forme la sixième partie d'un cercle entier. Deux miroirs plans B, C lui sont adaptés perpendiculairement à sa surface. Une lunette DE est montée sur le bord de l'instrument dans la direction du miroir C, qui est fixe. Quant au miroir B, il peut tourner autour du centre du limbe, en entraînant dans son mouvement une alidade F, avec laquelle il fait corps. Cette alidade porte à son extrémité un index et un vernier, qui permettent de lire sur le limbe la quantité dont le miroir A a tourné. Une vis V sert à fixer l'alidade dans une position déterminée; une autre vis *v*, tournant à frottement dans un écrou *d*, a pour but d'imprimer à l'alidade de très-petits mouvements. Un microscope G est adapté à l'alidade F; il est mobile autour du point *a*, de manière à pouvoir être amené au-dessus des divisions du vernier.

Les deux miroirs sont faits avec deux petits morceaux de glace à faces bien planes et parallèles ; ils sont étamés sur leur face postérieure. Le miroir C n'est cependant pas étamé dans toute sa hauteur: une moitié seulement l'est, jusqu'à la ligne *m n* (fig. 15), en sorte que toute la partie située au-dessus de cette ligne est transparente.

Voici maintenant comment on se sert de cet instrument. On le prend par la poignée H, qui est fixée derrière, et on le place devant l'œil, en l'inclinant de façon à l'amener dans le plan de l'angle que l'on veut déterminer. On le dirige ensuite, dans ce plan, de telle sorte que l'on puisse voir avec la lunette l'une des deux étoiles, au travers de la partie non étamée du miroir C et *tout près* de la ligne *m n*; puis on fait tourner le miroir B jusqu'à ce que l'on aperçoive la seconde étoile sur la partie étamée du miroir C et *tout près* de la ligne *m n*. On fixe l'alidade et l'on fait la lecture qui correspond à la distance angulaire des deux étoiles, grâce à la graduation double que porte le limbe (1).

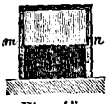


Fig. 15.

Il est très-essentiel que l'étoile vue directement et que celle vue par réflexion soient le plus près possible de la ligne *m n*. Les choses doivent se passer de façon que les deux points lumineux n'en forment qu'un seul.

Kaléidoscope. — (Voir l'article KALÉIDOSCOPE.)

Goniomètre. — C'est un instrument que les minéralogistes emploient pour la détermination des angles formés par les différentes faces d'un cristal. Il existe des goniomètres de diverses sortes ; le plus usité est celui de Wollaston.

Le goniomètre de Wollaston (fig. 16) se compose d'un limbe gradué vertical LL', dont l'axe horizontal est

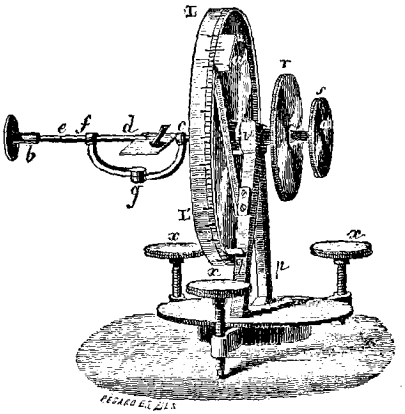


Fig. 16.

monté sur un support *p q v*. On fait tourner ce limbe au moyen de la virole *r*. Un vernier fixe *u u*, sert à noter l'angle dont le limbe a tourné. L'axe portant le limbe est creux ; il est traversé par une tige munie d'un bouton *s*. Cette tige peut tourner sur elle-même indépendamment du cercle gradué. A l'extrémité *c* de l'arbre *a c* est fixée une pièce articulée en *g*. Une tige *b* traverse à frottement le cylindre *f e*, et porte par son extrémité *d*, terminée en forme de pince, un petit plateau, sur lequel on fixe le cristal.

Pour mesurer l'angle de deux faces d'un cristal, voici comment on opère. On dispose l'instrument en face d'un mur ou d'une maison présentant plusieurs lignes horizontales bien tranchées, dont deux sont choisies pour mires. On le rend vertical au moyen des vis

1. On n'a pas perdu de vue le principe sur lequel est basé le sextant. L'angle que l'on mesure étant double de l'angle des deux miroirs, la graduation qui est sur le limbe est faite de telle sorte qu'un demi-degré est compté comme un degré.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

calantes x, x, x, en même temps que l'on dirige le plan du limbe perpendiculairement à la maison. On fixe ensuite le cristal sur son support, avec de la cire molle, de façon que l'arête de l'angle à mesurer soit perpendiculaire au plan du limbe, et par contre parallèle aux deux mires. Pour rendre cette perpendicularité rigoureuse, on place l'œil très-près du cristal, dans une position qui permette de voir la mire inférieure dans sa direction; puis au moyen de s, et l'œil ne bougeant pas, on fait tourner le cristal jusqu'à ce que l'on voie, par réflexion, sur l'une des faces de l'angle à mesurer, la mire supérieure, dont l'image devra être parallèle à la mire inférieure, vue directement; si ce parallélisme n'a pas lieu, on l'obtient à l'aide de l'articulation g et de la tige b. On dirige enfin par le même procédé la seconde face de l'angle à mesurer, de telle sorte que le même parallélisme ait lieu, l'œil conservant toujours la même position. Dès lors l'arête de l'angle est perpendiculaire au limbe. Il faut quelques tâtonnements pour arriver à ce résultat.

Les choses étant dans cet état, on fixe le limbe au zéro du vernier; on amène ensuite l'une des deux faces dans une position telle que l'image de la mire supérieure et la mire inférieure se confondent sensiblement; puis, au moyen de la virole v, on fait tourner le cristal jusqu'à ce que la seconde face soit dans une position qui produise le même résultat que pour la première. On lit alors sur le limbe la quantité dont il a tourné. La lecture correspond, non à l'angle du cristal, mais au supplément de cet angle; il est facile de voir pourquoi.

Nous insisterons sur ce point, que dans le cours de la détermination d'un angle, l'œil doit rester rigoureusement dans la même position, sans quoi la lecture serait fausse.

Télescope. — Ainsi que l'indique son étymologie (τῆλε, loin; σκοπέω, observer), télescope se dit de tout instrument, soit à réflexion, soit à réfraction, qui sert à observer les objets éloignés, tant sur la terre que dans le ciel. Dans ce sens, la lunette de Galilée et la lunette astronomique sont des télescopes. Toutefois, lorsque les astronomes parlent de télescopes, ils n'entendent parler que des instruments d'optique qui servent à observer et à rapprocher les objets éloignés, mais où les images de ces objets sont perçus par réflexion.

Il a été fait des télescopes de plusieurs genres. Ils diffèrent les uns des autres, non par la partie essentielle qui est un miroir concave, mais par la manière d'observer l'image renvoyée par ce miroir.

Newton est le premier qui découvrit la différence de réfrangibilité des divers rayons colorés qui constituent un rayon de lumière blanche. C'est cette différence de réfrangibilité qui produit les iris que l'on remarque autour des objets, lorsqu'on les regarde avec une lunette non achromatique. Newton, avec tout son génie, ne vit point de remède à apporter au défaut de l'image ainsi irisée : il n'entrevit pas l'achromatisme; mais comme il était toujours fécond en ressources, il trouva le moyen de se passer de la réfraction, tout en produisant les mêmes effets, c'est-à-dire multiplication des rayons de lumière et agrandissement des objets. Il inventa le télescope. Il prit donc un tuyau, dont il ferma l'une des extrémités, sur laquelle il appliqua intérieurement un miroir sphérique, où venaient se peindre les objets, grâce à l'autre extrémité restée ouverte; puis, au moyen d'une loupe, il considéra, en la grossissant, l'image qui vient se former au foyer du miroir. Mais comme il est peu commode d'appliquer l'œil au foyer, et comme, d'ailleurs, dans cette position de l'œil, la tête de l'observateur intercepte dans leur trajet une assez grande partie des rayons émanant de l'objet examiné, Newton imagina et établit un peu avant ce foyer un miroir plan et incliné (fig. 17), qui reçoit cette image et la réfléchit vers un trou pratiqué dans les parois du tube; les rayons sortent par cette ouverture, et c'est là qu'il plaça la loupe ou l'oculaire pour saisir ces rayons et grossir l'objet.

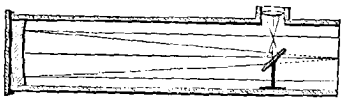


Fig. 17.

Newton n'est cependant pas le premier qui inventa le télescope; la date de son invention est vers 1666. Jacques Grégori, géomètre habile, avait devancé Newton de trois ans. Dans le télescope de Grégori, un miroir concave est établi au fond du tube. Le miroir ainsi que le tube sont percés en leur centre d'un orifice circulaire, auquel est adapté l'oculaire. Les rayons incidents, après s'être réfléchis sur ce miroir, vont un peu

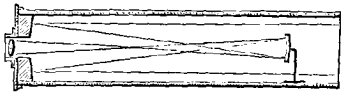


Fig. 18.

au delà du foyer (fig. 18) se réfléchir sur un second miroir concave dans la direction de l'oculaire.

Dans le télescope de Newton l'image est renversée, tandis qu'elle ne l'est pas dans celui de Grégori.

Récemment Foucault attira fortement l'attention sur les télescopes, en substituant aux miroirs métalliques employés jusqu'à lui, des miroirs de verre argentés. Il leur donnait une forme parabolique, ainsi que nous l'avons dit plus haut, et les montait en télescope newtonien. Seulement, au lieu du petit miroir qui renvoie dans la direction de l'oculaire les rayons déjà réfléchis par le grand, il employait un prisme à réflexion totale; et, à la place de l'oculaire ordinaire, il adaptait un microscope composé de manière à ne pas introduire de nouvelle aberration dans une image qui en est complétement dépourvue. Ces miroirs argentés donnent une netteté et une clarté surprenantes que nous avons pu constater nous-même avec le télescope à miroir de $0^m,80$ de diamètre, que Foucault a fait construire chez M. Secrétan pour l'observatoire de Marseille. Nous reviendrons plus loin sur cet instrument, en parlant de l'équatorial.

2° Instruments dioptriques.

Chambre noire. — Voir l'article PHOTOGRAPHIE où elle est décrite.

Mégascope. — Cet instrument, qui est une application

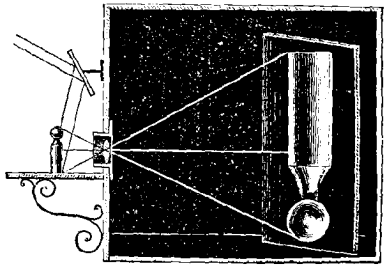


Fig. 19.

de la chambre noire, sert, ainsi que l'indique son étymologie (μέγας, grand; σκοπέω, regarder), à faire la copie au-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plifiée de dessins, statuettes, tableaux, gravures. Il se compose d'un écran (fig. 19), d'une lentille grossissante, d'un porte-objet et d'un miroir. Voici comment on dispose l'opération : l'objet est placé sur le porte-objet à une distance de la lentille telle que l'image renversée qui se forme sur l'écran soit de la grandeur que l'on désire. L'image étant amplifiée, elle aura moins d'éclat que l'objet, puisque les rayons partant de celui-ci seront répartis sur une grande surface. C'est pour éviter cet inconvénient que l'on emploie un miroir, lequel renvoie les rayons solaires sur les parties de l'objet tournées du côté de la lentille. Quant au dessinateur, il se place derrière l'écran, et suit avec un style les contours de l'image.

Microscope solaire (μικρός, petit ; σκοπέω, regarder). — Le microscope solaire (fig. 20) fut inventé, vers 1743, par

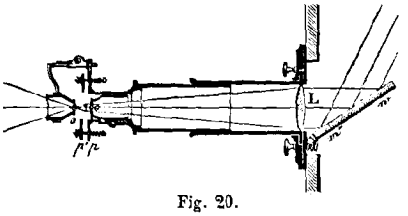


Fig. 20.

Leiberkuyn. Il est fondé sur les mêmes principes que le mégascope, et sert à faire voir, au moyen d'images considérablement grossies, des objets tellement petits, qu'il n'est pas possible de les distinguer à l'œil nu. De même que dans le mégascope, on est obligé de concentrer sur l'objet une certaine quantité de lumière; mais cette quantité doit être beaucoup plus grande, attendu que le rapport de la dimension de l'image à celle de l'objet est aussi beaucoup plus grand. C'est ce à quoi l'on arrive, au moyen d'un miroir *m m'*, qui renvoie les rayons solaires sur l'objet après leur avoir fait traverser deux lentilles L et *c*, dont le but est de les rassembler en un foyer : les rayons solaires se trouvent ainsi concentrés en un point qui est l'image très-petite et très-éclatante du soleil. La lentille *c* est mobile, grâce à une crémaillère et un pignon denté, ce qui permet d'amener exactement l'image du soleil sur l'objet qui est fixé sur une lame de verre, laquelle est maintenue entre deux plaques trouées *p*, *p'*. Les rayons lancés par l'objet vont, après avoir traversé une lentille à court foyer *o*, former à grande distance une image qui est d'autant plus grande que l'objet est plus près du foyer de la lentille. La lentille *o* est mobile et peut conséquemment être mise dans une position telle que l'image amplifiée de l'objet se fasse exactement sur un écran, placé de manière qu'un certain nombre de personnes puissent à la fois suivre l'expérience.

Parmi les faits que le microscope solaire met en évidence, et qui jusqu'à son invention n'avaient pu être observés, nous citerons la cristallisation des sels. Une goutte de la dissolution d'un certain sel est mise sur la lame de verre; bientôt l'évaporation se fait, activée par la chaleur qui règne au foyer, et l'on voit sur l'écran les cristaux qui se forment en se croisant et s'enchevêtrant, de manière à produire une image qui souvent présente des effets très-curieux et très-bizarres.

Nous ferons remarquer que souvent on est obligé de se servir de verres colorés en vert pour amortir la chaleur accumulée au foyer. On emploie préférablement une dissolution d'alun que l'on introduit dans une auge très-étroite, pouvant être placée entre l'objet et la lentille *c*.

Quand les objets sont par trop petits, on en fait d'abord sur une lame de verre une photographie modérément grossie, que l'on porte ensuite dans le microscope solaire, qui en donne un grossissement qui, par rapport à l'objet, est égal au produit des deux grossissements successifs.

Foucault et M. Donné ont imaginé, pour éclairer l'objet, d'employer la lumière excessivement vive de l'arc voltaïque.

Phares. — Voir l'article PHARE.

Stéréoscope. — Voir l'article STÉRÉOSCOPE. (*Complément.*)

Microscope. — Voir l'article MICROSCOPE.

Lunette. — Frascator, philosophe né à Vérone en 1483, est le premier qui a dit que si l'on pose deux verres l'un sur l'autre, on verra les objets plus grands que par un seul. Il a donc presque touché à la théorie des lunettes; mais un siècle devait encore s'écouler avant que cette théorie fût connue; il était réservé au hasard de mettre Galilée en possession du premier instrument qui ait diminué la distance de l'œil aux objets qu'il considère. Effectivement, les enfants d'un lunetier de Middelbourg, Zacharie Jans, jouant un jour avec des verres dans la boutique de leur père, tombèrent sur la combinaison qui grossit les objets.

La renommée porta la nouvelle de cette découverte à Galilée. Il ne lui en fallut pas davantage; cette étincelle embrasa son génie. Il eut bientôt épuisé toutes les combinaison des verres et des distances. La disposition qu'il adopta fut celle de deux lentilles : une convergente pour objectif et une divergente pour oculaire. Cette disposition offre deux avantages : d'abord elle ne renverse pas les objets, ainsi qu'on peut s'en rendre compte facilement; ensuite, avec un même objectif, elle a moins de longueur que la lunette ordinaire, dont l'oculaire est convergent. Ces deux avantages, qui, pour les observations astronomiques, ont une mince valeur, ont fait conserver la disposition de Galilée pour la construction des lorgnettes de spectacle.

Le plus fort grossissement dont s'est servi Galilée, dans ses observations astronomiques, est de 32. Peu de temps après, Huyghens et Cassini poussèrent ce grossissement jusqu'à 100; mais ils furent obligés de donner à leur lunette une longueur de 8 mètres. Plus tard, Auzout construisit un objectif qui permettait d'obtenir un grossissement de 600; mais sa distance focale était de 98 mètres. Une telle longueur contraignit Auzout à se passer du tube qui relie l'objectif à l'oculaire. Il imagina alors de placer l'objectif sur le sommet d'une tour en bois, disposée à cet effet dans les jardins de l'Observatoire de Paris, tandis que l'oculaire était tenu à la main par l'observateur, qui devait nécessairement se placer près du lieu où se formait l'image de l'astre vers lequel était tourné l'objectif, qui à cette seule fin était mobile.

Ce fut Kepler, contemporain de Galilée, qui le premier imagina de remplacer par une lentille convexe la lentille concave qui sert d'oculaire dans la lunette de Galilée; mais cette invention resta enfouie pendant trente ans dans son optique, c'est-à-dire jusqu'au moment où elle fut renouvelée par le père de Rheita qui en a fait jouir le monde savant.

Malgré cette dernière découverte, les lunettes n'auraient rendu que des services assez restreints, si Dollon, en 1758, n'eût trouvé le moyen de faire disparaître les franges irisées qui bordent les images dans la lunette de Galilée et dans celle du père de Rheita. Il imagina pour cela les objectifs achromatiques, lesquels sont formés par la juxtaposition de deux lentilles, dont l'une est convergente et l'autre divergente : la première est en crown-glass et la deuxième en flint-glass. Dans ces objectifs (fig. 21), la lentille convexe fait converger le faisceau lumineux en même temps qu'elle en disperse la lumière; quant à la lentille concave, comme elle agit en



Fig. 21.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sens contraire, elle détruit la dispersion qui a lieu, et diminue la convergence sans cependant l'annuler. Ces deux lentilles, en fonctionnant simultanément, produisent donc l'effet d'une lentille convergente qui ne disperserait pas la lumière. C'est grâce à cette invention que l'on a pu porter les grossissements jusqu'à 3,000 et plus, sans pour cela cesser de donner aux lunettes des dimensions qui permettent de les manœuvrer facilement.

Cependant, comme au fur et à mesure que le grossissement augmente, on est obligé de donner à l'objectif un diamètre plus considérable afin que la clarté des images ne soit pas trop affaiblie, il en résulte qu'on est encore limité dans l'accroissement du grossissement, à cause de la difficulté d'obtenir des grandes masses de verre assez homogènes pour servir à la construction des objectifs.

Jusqu'ici nous avons supposé que l'oculaire était formé d'une seule lentille faisant fonction de loupe. En réalité il est formé de plusieurs lentilles dont la disposition a pour but de fournir plusieurs avantages qu'une lentille unique ne peut donner. Ces avantages, de natures différentes, selon la disposition des lentilles, entraînent la distinction des lunettes en lunettes astronomiques et en lunettes terrestres.

Lunette astronomique. — Si l'on veut un grossissement considérable, on sacrifie quelque chose de la netteté de l'image et l'on emploie un oculaire simple. Si, au contraire, l'on tient à conserver à l'image toute sa netteté, on se sert d'un oculaire achromatique. On pourrait construire cet oculaire achromatique en superposant deux lentilles; mais le grossissement serait alors trop faible. On préfère employer une autre disposition qui porte le nom d'oculaire positif ou de Ramsden. Cet oculaire se compose de deux lentilles plan-convexes, de même substance, situées au delà de l'image focale fournie par l'objectif, et dont les surfaces convexes sont tournées l'une vers l'autre. L'achromatisme d'un tel oculaire s'obtient en compensant l'une par l'autre l'aberration de réfrangibilité et l'aberration de sphéricité qui, du reste, ne sont sensibles que pour les rayons qui traversent les lentilles à une certaine distance de l'axe.

Nous allons maintenant donner la disposition des pieds sur lesquels on place les lunettes astronomiques, pieds qui ont pour but de permettre aux lunettes qu'ils supportent d'être dirigées vers la région du ciel que l'on a choisie pour être observée.

Deux cadres C et D (fig. 22) sont reliés entre eux par une charnière; le cadre D peut glisser le long de la face inclinée *Pp* du bâti A. Ce glissement, en s'effectuant, permet, grâce aux charnières, au cadre C de s'incliner plus ou moins sur l'horizon. Deux chaînes sans fin *q*, *q*, sont disposées de chaque côté du bâti A, et sont attachées chacune à une des extrémités du côté inférieur *oo* du cadre D. Un axe *r*, terminé par deux manivelles *s*, *s*, engrène par un pignon avec une roue dentée montée sur un second axe *t*, lequel est muni à chacune de ses extrémités d'un pignon dont les dents s'engagent dans les anneaux de l'une des chaînes sans fin. On comprend facilement qu'en faisant tourner l'axe *r* au moyen des manivelles, le cadre D et partant le cadre C entreront en mouvement ainsi que la lunette que ce dernier supporte. Quant à celle-ci, elle est installée et maintenue par des courroies dans une espèce de rigole posée sur le cadre C et susceptible de tourner autour d'un boulon situé vers l'extrémité *n* de ce cadre. Cette rigole est munie à son autre extrémité d'un bouton *v* portant un pignon qui engrène avec le bord denté du cadre C. Si donc on fait tourner le bouton *v* sur lui-même, on fait mouvoir la lunette dans le plan du cadre C autour du boulon qui se trouve vers l'extrémité *n* de ce cadre.

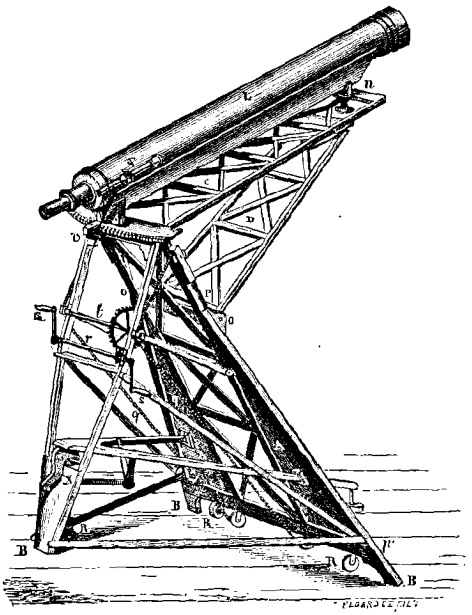


Fig. 22.

Il est bien évident que le pied tout entier doit d'abord être placée de telle sorte que la lunette soit à peu près dirigée vers le point du ciel que l'on veut observer. Pour cela, on se sert des roulettes R. Ces roulettes sont adaptées à un système qui, grâce à un levier x, permet à tout l'appareil de reposer soit sur les roulettes lorsqu'on veut faire mouvoir l'instrument, soit sur les trois pieds B, B, B, lorsqu'on veut que le bâti reste dans une position déterminée.

Une petite lunette *z*, dite *chercheur*, est adaptée au tuyau de la lunette astronomique. Son axe est maintenu parallèle à celui de la lunette astronomique au moyen des deux vis que l'on voit sur la figure. Ce chercheur, dont le champ est beaucoup plus vaste que celui de la grande lunette, est destiné à faciliter l'opération qui consiste à diriger la lunette L vers l'astre à observer. On commence donc par regarder le ciel avec le chercheur et l'on fait mouvoir l'appareil jusqu'à ce que l'astre se trouve au point de croisement de deux fils rectangulaires entre eux qui se trouvent sur l'axe du chercheur.

La lunette astronomique est destinée à faire des observations physiques.

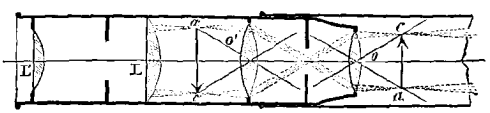


Fig. 23.

Lunette terrestre. — Elle diffère de la lunette astronomique en ce que les images ne sont pas renversées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est Kepler qui, le premier, proposa de redresser les images, et c'est le père de Rheita qui inventa la lunette terrestre ou longue-vue, telle qu'on l'exécute encore aujourd'hui. La fig. 23 représente le porte-oculaire de cet instrument; *a c* est l'image réelle renversée fournie par l'objectif. Une première lentille *o* est placée à une distance de cette image égale à la distance focale principale. Il en résulte que les rayons partis d'un point de l'image sortent tous de cette lentille parallèlement à l'axe optique qui leur correspond, ainsi qu'on le voit sur la figure pour les points *a* et *c*. Une seconde lentille *o'* située au delà du point de croisement, fait converger les rayons de chaque faisceau parallèle sur l'axe secondaire correspondant à ce faisceau : on obtient ainsi une image *a' c'* renversée par rapport à *a c*, et conséquemment droite relativement à l'objet. L'image *a' c'* est ensuite vue à travers le système oculaire LL', comme dans la lunette astronomique.

Dans la lunette terrestre, la clarté est un peu diminuée par les réflexions aux surfaces des verres. On y remédie en donnant à l'objectif une plus grande ouverture. C'est ce que l'on fait surtout pour les lunettes de nuit, afin que l'objet, malgré son peu d'éclat, donne une image distincte.

Instruments de nivellement. — Voir l'article NIVELLEMENT.

Cercle répétiteur. — Cet instrument (fig. 24) consiste en

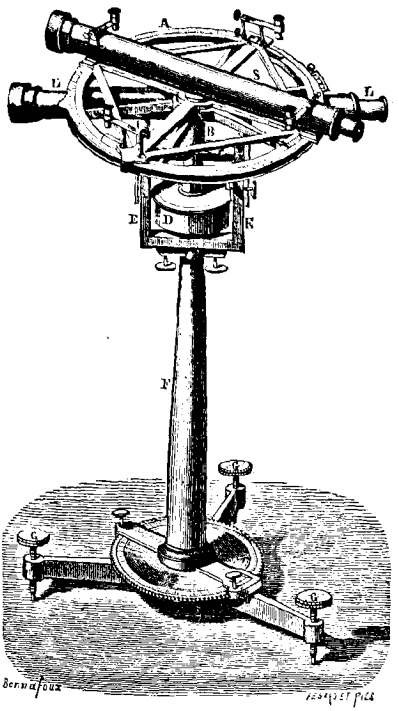


Fig. 24.

un cercle A muni d'un limbe gradué. Ce cercle, auquel sont adaptées deux lunettes à réticule, est porté par un pied qui permet de lui donner toutes les directions possibles. Le cercle peut tourner dans son plan autour d'un axe qui lui est implanté perpendiculairement et en son centre. Cet axe traverse une douille B, laquelle est fixée sur un axe horizontal C et est terminée au delà de cet axe par une pièce métallique D destinée à faire contre-poids à l'ensemble du cercle et des lunettes, lorsqu'on imprime un mouvement de rotation au système autour de l'axe C. Les extrémités de l'axe C sont supportées par les montants E, E d'une fourchette qui surmonte la colonne F et peuvent tourner librement dans les ouvertures circulaires pratiquées dans ces montants. Enfin la colonne F peut elle-même tourner, avec tout ce qu'elle porte, autour d'un axe qui pénètre à son intérieur dans une partie de sa hauteur et qui est fixé au pied de l'instrument. On conçoit aisément que, grâce aux mouvements combinés du cercle autour de l'axe C et de tout l'instrument autour de l'axe de la colonne, on peut amener le plan du cercle à avoir telle direction que l'on voudra, et que, par suite, les lunettes qui sont ainsi mobiles peuvent également coïncider avec les côtés de l'angle que l'on se propose de mesurer.

Une lunette S est installée sur la face supérieure du cercle, suivant un diamètre, et peut tourner autour de son centre indépendamment du cercle. Une autre lunette LL est adaptée sur la face inférieure du cercle, non plus suivant un diamètre, à cause de l'axe du cercle, mais dans une position excentrique. Cette seconde lunette peut également tourner autour de l'axe du cercle.

Nous ferons remarquer que cette position excentrique n'entraîne aucune erreur appréciable dans l'observation des objets éloignés, attendu que la grandeur de la distance à laquelle se trouve le point visé fait que l'on peut regarder l'axe optique comme étant parallèle à la direction qu'il aurait s'il rencontrait le centre.

Lorsque le plan du limbe a été amené dans le plan passant par les deux points à observer et par le poste d'observation, on le fixe au moyen de vis de pression disposées à cet effet. Dès lors le cercle ne peut plus se mouvoir que dans son plan en entraînant les deux lunettes qui, ainsi que nous l'avons dit, peuvent se mouvoir indépendamment du cercle. Chacun de ces trois mouvements du cercle avec les lunettes, et de l'une ou l'autre des lunettes indépendamment du cercle, s'effectue en deux fois : en donnant d'abord avec la main, soit au cercle, soit aux lunettes, une position approchant de très-près celle qu'on veut leur faire prendre; et précisant ensuite cette position approchée au moyen d'une vis de rappel.

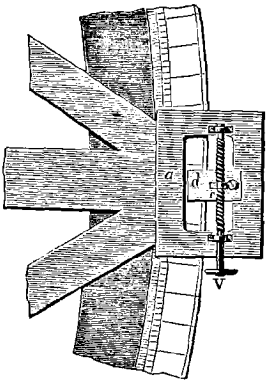


Fig. 25.

Voici comment fonctionne la vis de rappel adaptée à chacune des lunettes. Une pièce *a* (fig. 25), faisant corps

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec la lunette, porte deux collets dans lesquels une vis V peut tourner librement. Cette vis traverse un écrou *c* adapté à une pince *d* dont les deux mâchoires embrassent le bord aminci du cercle. On comprend dès lors comment, la lunette étant mise dans la position approchée, et le bord du limbe étant serré par les deux mâchoires au moyen de la vis *v*, il est possible d'imprimer à cette lunette un mouvement excessivement faible, en tournant la vis V.

Voyons maintenant comment fonctionne la vis de rappel destinée à imprimer au cercle lui-même un mouvement faible. L'axe du cercle, après avoir traversé la douille B ainsi que le contre-poids D, se prolonge d'une petite quantité au delà et porte une roue dentée de même diamètre que ce contre-poids. Une vis sans fin V (fig. 26), portée par des collets fixés au contre-poids, en-

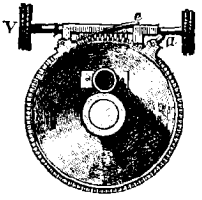


Fig. 26.

grène avec cette roue. Une petite pièce *a*, en se redressant, sert à éloigner la vis de la roue lorsque l'on veut que celle-ci tourne librement; un ressort *e* est destiné à rapprocher la vis de la roue lorsque la pièce *a* est baissée, ainsi que dans notre figure.

Nous allons actuellement donner la théorie du cercle répétiteur, laquelle est basée sur le principe de la répétition des angles. Soient A et B deux points éloignés, vers lesquels sont dirigés les côtés de l'angle à mesurer. Après avoir fixé la lunette supérieure au cercle, de telle sorte que son index coïncide avec le zéro du limbe, on amène le plan du cercle dans le plan passant par A et B et par le poste d'observation; puis on fait tourner le cercle dans ce plan, jusqu'à ce que la lunette supérieure soit dirigée vers le point A; ensuite on fait mouvoir la lunette inférieure seule, jusqu'à ce qu'elle soit dans la direction de B. Les choses étant ainsi, on fait tourner le cercle avec les deux lunettes, de manière que la lunette inférieure regarde le point A, après quoi l'on fixe le cercle pour en détacher ensuite la lunette supérieure et l'amener dans la direction de B. Il est bien clair qu'après ces différentes opérations, l'index de la lunette supérieure se trouve sur une division du limbe correspondant au double de l'angle à mesurer. En divisant donc la lecture par 2, on a l'angle lui-même. Si maintenant, au lieu de faire la lecture, on dirige de nouveau la lunette supérieure vers A, après l'avoir serrée sur le limbe, et si l'on recommence ensuite la série d'opérations que l'on a effectuées lorsque cette lunette, déjà braquée sur A, correspondait au zéro du limbe, il est facile de voir que la lecture que l'on fera correspondra au quadruple de l'angle à mesurer et que la valeur de l'angle correspondra à cette lecture divisée par 4.

Pour peu que l'on réfléchisse au procédé de mesure que nous venons d'indiquer, on voit que l'erreur de lecture est diminuée d'une manière d'autant plus notable que l'on a répété davantage l'angle, puisque cette lecture étant divisée par 2, 4, 6..., l'erreur se trouve par cela même divisée aussi par 2, 4, 6... Quant aux pointés successifs, il n'en est pas de même, il y a une compensation d'erreurs, attendu que l'erreur commise dans chacun d'eux se trouve l'être tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre.

On remarquera qu'avant d'être divisée par 2, 4, 6..., l'erreur est du même ordre que celle que l'on commettrait dans la mesure directe de l'angle cherché.

Donc : système de compensation entre les erreurs de pointés et atténuation de l'erreur de lecture, tels sont les avantages du cercle répétiteur. Il en est un troisième qui permet de diminuer encore l'erreur de lecture. Voici en quoi il consiste : quatre verniers sont adaptés au châssis qui porte la lunette, répartis régulièrement sur le contour du cercle; chacun d'eux porte un microscope, servant à observer facilement ses divisions. Un seul des index qui accompagnent ces verniers sert à déterminer le nombre entier de divisions, dont la lunette a tourné en totalité; tandis que les quatre verniers donnent chacun la fraction de division que l'on doit ajouter à ce nombre entier, et c'est la moyenne de leurs indications que l'on prend comme valeur exacte de cette fraction de division.

Il arrive souvent que l'on emploie le cercle répétiteur pour déterminer la distance zénithale d'un point. (Angle formé par la verticale du lieu de l'observation, avec le rayon visuel aboutissant au point à observer.) Pour cela, on commence par rendre la colonne F parfaitement verticale, ce à quoi l'on arrive au moyen des vis calantes G que porte l'instrument, et d'un niveau à bulle d'air adapté à la lunette inférieure. Voici comment on procède pour obtenir cette verticalité : on fait tourner le cercle autour de l'axe CC, de manière à rendre son plan à peu près vertical, après quoi on amène ce plan à être sensiblement parallèle à la ligne, que nous appellerons α, passant par deux des vis calantes; on donne ensuite à la lunette une direction horizontale, en se servant du niveau qu'elle porte, et l'on fait tourner tout l'instrument autour de l'axe de la colonne d'une quantité égale à un demi-tour. Si après cette demi-rotation la bulle a cessé d'occuper le milieu du niveau, c'est que la colonne n'est pas verticale dans le sens de la ligne α, ce que l'on rectifie au moyen des vis calantes, situées aux extrémités de cette ligne. Ceci fait, on amène le plan du cercle à être sensiblement parallèle à la ligne, que nous appellerons β, passant par la troisième vis calante et perpendiculaire à α. On vérifie alors la verticalité de la colonne dans le sens de β, de la même manière que dans le sens de α. Quant à la verticalité du plan du cercle, elle s'obtient au moyen d'un fil à plomb.

L'instrument installé, on pince la lunette supérieure sur le zéro du limbe, après quoi on l'amène dans la direction du point à observer, que nous désignerons par X. On fait ensuite faire à l'instrument un demi-tour autour de l'axe de la colonne, et l'on ramène la lunette, sans que le cercle bouge, dans la direction de X. Il est clair alors que la lecture que l'on fera correspondra au double de la distance zénithale à déterminer, et que la moitié de cette lecture sera cette distance zénithale elle-même.

Si, au lieu du double de cet angle, on veut déterminer la valeur d'un multiple plus grand, on fait de nouveau tourner l'instrument d'un demi-tour autour de l'axe de la colonne; puis on fait tourner le cercle dans son plan, jusqu'à ce que la lunette, qui lui est restée fixée, passe par X. L'instrument se trouve ainsi dans une position identique avec celle qu'il occupait tout d'abord, sauf que l'index de la lunette, au lieu d'être sur le zéro du limbe, se trouve sur une division correspondant au double de l'angle à mesurer. On exécute alors une opération semblable à celle que nous venons de décrire, et l'on obtient une lecture égale à quatre fois la distance zénithale cherchée; ainsi de suite.

Nous parlerons plus loin du petit cercle gradué, que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'on voit au bas de la colonne qui supporte l'instrument, ainsi que du rôle qu'il remplit.

Théodolite. (θεάομαι, je vois; δόλος, stratagème?) — Cet instrument est employé à deux fins, soit en géodésie, pour mesurer l'angle compris entre les deux plans verticaux passant par chacun des deux points à observer et par le poste d'observation, soit en astronomie, pour déterminer les azimuts et les hauteurs des astres.

On appelle azimut d'un astre l'angle compris entre les deux plans verticaux, passant par le poste d'observation et passant en outre, l'un par l'astre, et l'autre par un point pris à volonté sur la voûte céleste. La hauteur est l'angle compris entre le rayon visuel aboutissant à l'astre et sa projection sur le plan de l'horizon du poste d'observation. L'azimut et la hauteur d'un astre varient lorsque le poste d'observation change.

Le théodolite (fig. 27) se compose de deux cercles gradués A et B, dont l'un est vertical et l'autre horizontal. Le cercle A est adapté à l'extrémité d'un axe horizontal C, autour duquel il peut tourner. L'axe C est traversé par un autre petit axe *c*, avec lequel il fait corps et qui s'engage, ainsi qu'on le voit, dans les montants d'une fourchette, laquelle fourchette est adaptée à l'extrémité supérieure d'un arbre vertical D. Un contre-poids E sert à équilibrer le cercle et la lunette qu'il porte. Le tout est mobile autour de l'axe D. Le cercle B a son centre sur l'axe D et peut tourner autour de cet axe. Une lunette L est adaptée au cercle A, au moyen d'un autre cercle auquel elle est fixée et qui, étant comme incrustée dans le cercle A, se meut à son intérieur sans cesser de le toucher dans tout son contour. Il en est de même de toute la partie de l'instrument, qui se trouve située au-dessus du cercle B, c'est-à-dire que cette partie fait corps avec un cercle qui se meut à l'intérieur du cercle B, en se raccordant avec lui de toutes parts. Une pince *a*, avec vis de pression et vis de rappel, sert à fixer le cercle B au pied de l'instrument, ou bien à lui donner un mouvement lent autour de l'axe D. Une seconde pince *b* sert à fixer tout le haut de l'instrument au cercle E. Une troisième pince *c* sert à fixer le limbe A, de telle sorte qu'il ne puisse plus tourner autour de son centre. Une quatrième pince, invisible sur la figure, sert à fixer la lunette L sur le cercle A. Une seconde lunette L' est adaptée au pied de l'instrument; elle ne peut recevoir que de faibles mouvements dans différentes directions.

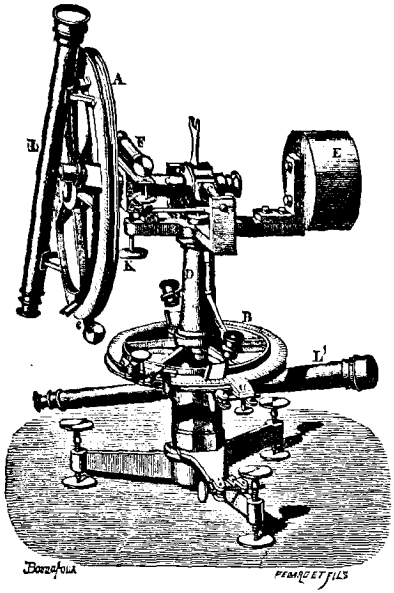


Fig. 7.

Nous allons maintenant examiner le moyen que l'on emploie pour installer l'instrument dans la position qui lui est convenable pour servir aux observations. On commence d'abord par rendre l'axe D parfaitement vertical. A cet effet, le pied de l'instrument est pourvu de trois vis calantes. De plus, un niveau F, placé près de la face intérieure du cercle vertical A, sert à obtenir cette verticalité, en opérant comme nous l'avons dit pour le cercle répétiteur. Ce niveau est indépendant de l'axe C et ne peut, par conséquent, tourner avec lui: une petite vis *c*, située à l'une de ses extrémités, permet d'élever ou d'abaisser cette extrémité en le faisant tourner autour d'un petit axe adapté à son autre extrémité. Grâce à ce mouvement, il est possible d'amener la bulle exactement au milieu du tube du niveau, lorsque l'axe C est vertical.

La verticalité de l'axe D une fois obtenue, il importe de rendre le plan du cercle A parfaitement vertical. Pour cela, on emploie un niveau représenté fig. 28, que l'on pose sur l'axe C. Si la bulle n'est pas au milieu, on l'y amène, en imprimant au cercle A un léger mouvement de rotation autour de l'axe K, au moyen de la vis *c*, après quoi on enlève le niveau pour le reposer de nouveau en le retournant. On examine alors si la bulle se replace dans la même position. S'il en est ainsi, c'est que l'axe C est horizontal et que, par suite, le cercle A, qui est perpendiculaire à cet axe, est bien vertical. Si au contraire la bulle occupe une autre position, on donne à l'axe C de légers mouvements, dans le sens convenable, jusqu'à ce qu'elle se mette bien au milieu du niveau. Il importe de remarquer que cette bulle doit occuper la même position dans chacun des sens où l'on pose le niveau.



Fig. 28.

Pour mesurer avec le théodolite l'angle compris entre les deux plans verticaux passant par deux points, voici comment on procède. On fait d'abord tourner la partie supérieure de l'instrument, indépendamment du limbe B, jusqu'à ce que l'index du cercle qui se meut à l'intérieur de ce limbe coïncide avec le zéro de la graduation; puis on fixe ce cercle au limbe B, avec la pince *b*; on fait ensuite tourner le limbe B avec la partie supérieure, qui lui est fixée, jusqu'à ce que l'axe optique de la lunette L, que l'on a en même temps fait mouvoir autour de l'axe C, passe par le premier point à observer. On desserre alors la pince *b*, on serre celle *a* pour fixer le limbe B dans cette position, et l'on fait tourner la partie supérieure de l'instrument jusqu'à ce que l'axe optique de la lunette L passe par le second point à observer. L'index du cercle qui se meut à l'intérieur du limbe B correspond, après ces opérations, à une division de ce limbe, qui indique précisément la quantité dont il a tourné, et qui par suite donne la valeur de l'angle cherché.

On peut aussi, avec le théodolite, employer le principe de la répétition des angles. Nous n'expliquerons pas comment on fait pour cela, pensant que le lecteur le verra facilement, surtout après avoir lu ce qui est relatif au cercle répétiteur.

Nous avons dit, en commençant, que le théodolite sert en astronomie à déterminer l'azimut et la hauteur d'un astre. L'azimut, étant un angle compris entre deux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

plans verticaux, se mesure comme nous venons de l'expliquer. Quant à la hauteur, on l'obtient au moyen du cercle A. Voici comment : on fixe la lunette L sur le limbe A, de manière que le zéro du limbe corresponde à l'index du cercle, sur lequel est adaptée la lunette et qui tourne à l'intérieur de ce limbe; une pince invisible sur la figure sert à cet effet. Ensuite on fait tourner le limbe avec la lunette qui lui est fixée, jusqu'à ce que celle-ci soit horizontale, ce dont on s'assure au moyen d'un niveau que l'on pose sur elle. On maintient alors le limbe dans cette position au moyen de la pince *e*; on desserre l'autre, et on fait tourner la lunette L, indépendamment du limbe, jusqu'à ce que son axe optique passe par l'astre. L'index correspond ainsi à une direction du limbe, qui donne la valeur de la hauteur.

On remarque au pied de la colonne du cercle répétiteur (fig. 24) un petit cercle qui peut servir à mesurer les azimuts d'une manière peu exacte.

Lunette méridienne. — La lunette méridienne est un instrument qui sert à mesurer les ascensions droites des astres.

On appelle ascension droite d'un astre l'angle compris entre le méridien céleste passant par cet astre et le méridien passant par le point vernal. Le point vernal ou équinoxe du printemps est le point qui, situé à l'infini, appartient à la droite d'intersection du plan de l'équateur céleste avec le plan de l'écliptique.

La sphère céleste mettant vingt-quatre heures (temps sidéral) à effectuer une rotation complète, il en résulte que si l'on prend pour origine des heures le moment où le point vernal passe au méridien du poste d'observation, et que si l'on fait marquer 0 heure, au moment de ce passage, à une pendule dont le cadran est divisé en vingt-quatre parties égales, l'ascension droite demandé pourra être considérée comme étant l'heure marquée par la pendule au moment du passage de cet astre au méridien, attendu qu'il sera toujours facile, par un calcul simple, de convertir, si l'on veut, ce temps en arc (en multipliant l'heure par 15, puisque 360° est égal à 15 fois 24). On a coutume, dans les observatoires, de faire les observations des ascensions droites en temps, et de les publier ainsi.

La lunette méridienne est donc, en définitive, un instrument destiné à faire connaître l'heure *exacte* du passage d'un astre au méridien. On l'appelle aussi, pour cette raison, *instrument des passages*.

La lunette méridienne se compose essentiellement d'une lunette astronomique LL, susceptible de se mouvoir dans le plan du méridien, de telle sorte que son axe optique puisse prendre toutes les positions possibles dans ce plan sans jamais en sortir. A cet effet, la lunette (fig. 29) est enchâssée entre deux troncs de cône *cc'*, identiques et *ayant même axe*. L'axe optique de la lunette doit être perpendiculaire à l'axe des troncs de cône, lequel à son tour doit être perpendiculaire au plan du méridien. Ces troncs de cône, sorte d'essieu solide, sont terminés chacun par un tourillon, ayant même axe que l'essieu. Les deux tourillons, qui sont parfaitement égaux, reposent dans des coussinets, en forme de V, portés par de forts piliers en maçonnerie, qui ont leurs fondations propres, afin d'être entièrement indépendants du bâtiment dans lequel se trouve l'instrument. Les tourillons peuvent se mouvoir librement à l'intérieur des deux coussinets; en sorte que la lunette peut tourner librement aussi avec son essieu, et prendre une infinité de directions différentes dans le plan du méridien.

Afin d'éviter la trop grande usure qui résulterait du frottement des tourillons sur les faces inclinées des coussinets, on fait équilibre à une grande partie du poids de la lunette, au moyen de deux contre-poids PP'. Chacun de ces contre-poids est suspendu à l'extrémité d'un levier horizontal qui, pouvant tourner autour de son point d'appui, exerce une force de traction, de bas en haut, sur une tringle verticale accrochée à son autre extrémité. Cette tringle porte inférieurement un collier

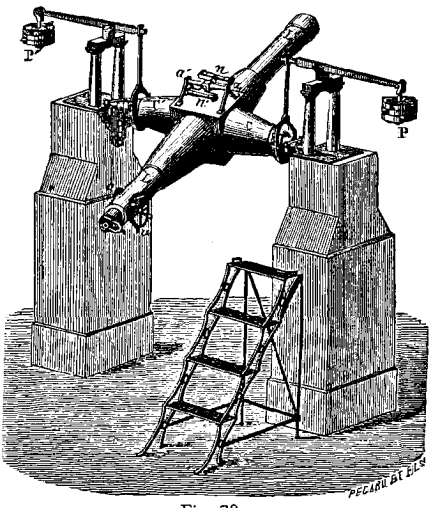


Fig. 29.

à galets, qui entoure l'essieu de la lunette, et dans lequel cet essieu tourne en roulant sur les galets. Une partie du poids étant ainsi équilibrée, les tourillons sont soulagés d'autant, et ils ne supportent plus que la partie de poids total de la lunette qui n'est pas équilibrée : l'usure est donc considérablement atténuée.

Pour déterminer d'une manière précise l'instant du passage d'un astre au méridien, la lunette porte au foyer de son objectif un réticule composé généralement de cinq fils verticaux (fig. 30) et bien parallèles, dont celui du milieu doit être dans le plan du méridien. Il y a en outre deux fils horizontaux, dont le but est d'atténuer l'erreur qui pourrait provenir du défaut de parallélisme des fils verticaux : c'est dans la portion des fils verticaux, comprise entre ces deux fils horizontaux, que doit s'effectuer la coïncidence de l'astre avec les fils, lorsqu'il traverse le champ de la lunette. Nous verrons un peu plus loin quel rôle joue le réticule dans les observations.

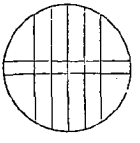


Fig. 30.

Dans le jour, les fils du réticule se détachent bien sur le ciel qui est éclairé; mais dans la nuit, il ne pourrait en être ainsi, si l'on n'avait imaginé un artifice qui permet d'éclairer ces fils et qui, par suite, les laisse se détacher sur le fond obscur du ciel. Voici la disposition qui a été introduite dans l'instrument pour éclairer ainsi les fils pendant la nuit. L'un des troncs de cône qui forment l'essieu est creux, ainsi que le tourillon qui le termine. Une lampe à réflecteur, placée en face de l'ouverture de ce tourillon, envoie de la lumière dans la direction de l'axe; cette lumière arrive jusqu'au corps de la lunette, où elle rencontre un miroir incliné qui la réfléchit et la renvoie au réticule.

Il arrive souvent que l'astre que l'on observe n'est pas visible à l'œil nu, bien que l'on en connaisse la position. On se sert alors d'un petit cercle gradué *a* que porte la lunette, aux environs de l'oculaire. Une alidade

EFERUS - Recherche & Classification numérique

portant un niveau est adaptée à ce cercle et peut se mouvoir autour de son centre. Les choses sont disposées de telle sorte que lorsque, la lunette étant braquée vers l'horizon, l'alidade est rendue horizontale, elle passe par le zéro de la graduation du limbe du petit cercle. Il est donc facile de faire marquer au vernier de l'alidade la hauteur, connue d'avance, de l'astre à observer; de fixer ensuite, au moyen d'une vis, l'alidade dans cette position et de faire mouvoir la lunette jusqu'à ce que la bulle du niveau que porte cette alidade soit dans ses repères. Dès lors, on est certain que l'astre, en passant au méridien, le fera dans le champ de la lunette. Il n'y aura plus alors qu'à imprimer à la lunette un très-petit mouvement, au moment où l'astre entre dans le champ, pour qu'il effectue son passage entre les deux fils horizontaux du réticule.

Nous avons dit plus haut que chaque seconde de temps sidérale correspond à un arc de 15 secondes. Il faut donc, dans les observations, ne pas se contenter d'avoir le temps du passage d'un astre au méridien à une seconde près, sans quoi le degré d'approximation serait loin d'être suffisant. Il est important, dès lors, que l'instrument satisfasse bien aux conditions d'installation que nous avons énoncées. De plus, comme il peut arriver que des accidents amènent dans l'instrument des dérangements capables de fausser les résultats d'observation, l'astronome doit avoir par devers lui des moyens qui lui permettent de s'assurer, aussi souvent qu'il le juge convenable, si les conditions d'installation ne cessent pas d'être remplies. Ce sont ces moyens de vérification que nous allons donner, en même temps que les procédés d'atténuer les erreurs d'installation qu'ils mettent en évidence.

Les conditions d'installation sont au nombre de quatre:

1° L'axe de rotation doit être horizontal;

2° L'axe optique de la lunette doit être perpendiculaire à l'axe de rotation;

3° L'axe optique de la lunette doit être dans le plan du méridien;

4 Les fils du réticule, ou fils horaires, doivent être verticaux.

A chaque condition d'installation correspond un moyen de vérification:

1° Pour vérifier l'horizontalité de l'axe de rotation, on se sert d'un niveau à bulle d'air, représenté fig. 30 *bis*.

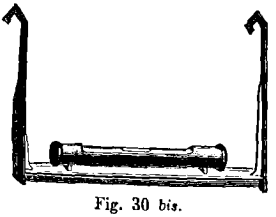


Fig. 30 *bis*.

Ainsi qu'on le voit, ce niveau est posé sur une règle plate, aux extrémités de laquelle sont deux crochets. Ces deux crochets sont distants l'un de l'autre, de telle sorte qu'ils puissent se placer sur les tourillons de la lunette, dans la portion de ces tourillons qui se trouve comprise entre chaque coussinet et la partie conique correspondante de l'essieu de la lunette.

On accroche ce niveau aux tourillons et l'on observe les points où s'arrêtent les deux extrémités de la bulle d'air, ensuite on retourne le niveau en mettant sur le tourillon de gauche le crochet qui était sur celui de droite et *vice versa*, puis on regarde si, dans cette seconde position du niveau, les extrémités de la bulle s'arrêtent bien aux mêmes points. S'il en est ainsi, c'est que l'axe de rotation est horizontal. Si, au contraire, la bulle ne s'arrête pas au même endroit du niveau, dans les deux positions où l'on met ce niveau, l'axe n'est pas horizontal.

Lorsque l'axe n'est pas horizontal, on le rend tel, en élevant ou abaissant, selon le sens de l'inclinaison, l'un des coussinets, lequel est susceptible, à cet effet, de se mouvoir dans le sens vertical.

Pour pouvoir constater à chaque instant l'horizontalité de l'axe de rotation, sans avoir recours chaque fois au niveau à crochets que nous venons de décrire, on adapte quelquefois aux lunettes portatives deux petits niveaux à bulle d'air n, n', que l'on fait porter par un axe $a\,a'$, faisant corps avec la monture de la lunette. Cet axe, qui est *bien parallèle* à l'axe de rotation, est éloigné du corps de la lunette d'une manière suffisante, pour que les niveaux n, n' puissent tourner librement autour de lui et être amenés verticalement l'un au-dessus de l'autre, quelle que soit la direction que l'on donne à la lunette. Nous ajouterons que les deux niveaux n, n' sont exactement parallèles à l'axe $a\,a'$.

2° Si l'on veut être certain que l'axe optique de la lunette est perpendiculaire à l'axe de rotation, on place sur le terrain, à une grande distance, une mire pouvant être aperçue avec la lunette, et l'on pointe la lunette sur cette mire. On note le point qui se trouve caché par le fil méridien, puis on enlève la lunette de ses coussinets, au moyen d'un appareil à ce destiné, pour la retourner et placer le tourillon, qui était dans le coussinet de droite, dans celui de gauche et réciproquement. On vise de nouveau la mire, et si c'est le même point qui est caché par le fil méridien, on en conclut que l'axe optique de la lunette est bien perpendiculaire à l'axe de rotation. S'il en est autrement, on déplace latéralement le réticule, à l'aide de deux vis dont il est armé, de manière à amener le fil méridien dans la position où cela a lieu.

Nous dirons en passant que l'on appelle *position directe*, la position de la lunette dans laquelle le tourillon creux est à l'est; au contraire, on appelle *position inverse*, la position dans laquelle le tourillon creux est à l'ouest.

3° Dès qu'on est assuré que l'axe optique est perpendiculaire à l'axe de rotation, on vérifie si cet axe optique est bien dans le plan du méridien. Pour cela on vise, lors de ses deux passages au méridien, une étoile circumpolaire, c'est-à-dire une étoile qui, étant située près du pôle, reste toujours au-dessus de l'horizon. Si le temps qui s'écoule entre un passage supérieur et le passage inférieur suivant est égal au temps qui s'écoule entre ce passage inférieur et le passage supérieur qui vient après, c'est que l'axe optique est dans le plan du méridien. S'il en est autrement, il faut alors ramener l'axe optique dans le plan du méridien. Pour cela, on fait mouvoir horizontalement le second coussinet, qui, à cet effet, est susceptible de recevoir un mouvement de translation parallèle au plan du méridien.

4° Enfin, pour s'assurer que les fils horaires sont bien verticaux, on vise une mire placée à grande distance, et l'on examine si, en faisant mouvoir la lunette autour de son axe de rotation, les fils couvrent toujours les mêmes points de la mire. Si cela n'a pas lieu, on tourne le réticule dans son plan, de manière à lui faire remplir cette condition qui en même temps prouve que les fils sont tous parallèles entre eux.

Pour voir si, dans une suite d'observations, la lunette ne se dérange pas, il suffit de vérifier si le fil méridien couvre toujours un trait tracé sur une mire placée à grande distance et à poste fixe. Ce trait est indiqué une fois pour toutes à la suite d'une vérification rigoureuse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Maintenant que nous connaissons la lunette méridienne et que nous avons en notre possession les différents moyens de l'amener à fonctionner utilement sur la voûte céleste, voyons quelle est la manière de s'en servir pour déterminer les ascensions droites ou mieux les moments des passages.

Tout naturellement la lunette doit être accompagnée d'une horloge d'une grande précision, destinée à indiquer le temps correspondant à chaque observation. Cette horloge, dont le moteur est un poids et le régulateur un pendule, est disposée de manière à marquer le temps sidéral. En conséquence, elle est pourvue de deux cadrans dont l'un, divisé en 24 parties égales, est parcouru par une aiguille dans l'espace d'un jour sidéral, et dont l'autre, divisé en 60 parties égales, est parcouru par deux aiguilles : l'une de ces aiguilles fait un tour entier en une heure sidérale, tandis que l'autre le fait en une minute sidérale. De plus, chaque oscillation du pendule s'effectuant en une seconde de temps sidéral, le commencement des secondes successives est accusé par le bruit que fait l'échappement de l'horloge à chaque oscillation du pendule. L'observateur peut donc, grâce à ce bruit et s'il a regardé, avant de mettre l'œil à la lunette, la position qu'occupaient les aiguilles, compter les secondes successives et connaître à chaque instant l'heure marquée par l'horloge, sans pour cela se distraire de son observation.

On comprend dès maintenant comment on peut déterminer, à une seconde près, l'heure du passage d'un astre au méridien. Mais nous avons dit plus haut que ce degré d'approximation n'est pas suffisant : l'heure doit être notée à un dixième de seconde. Pour évaluer les fractions de seconde, les astronomes emploient un procédé particulier qui consiste à conserver mentalement la trace des positions successives qu'occupe, à chaque battement du pendule, l'image de l'astre dans le déplacement qu'elle éprouve dans le plan du réticule, et à évaluer, en dixièmes et pour chacun des fils du réticule, les distances qui séparent le fil des deux positions qu'occupait l'image avant et après son passage derrière ce fil lors de deux battements consécutifs. La position de l'image, après son passage derrière le fil, est perceptible à l'œil au moment de l'estimation, mais celle qu'elle occupait avant ne l'est plus : c'est celle-là dont on doit conserver mentalement la trace.

Les instants des passages de l'astre derrière chacun des fils étant connus, on en prend la moyenne : on a ainsi l'heure du passage derrière le fil moyen. L'erreur que l'on commet en observant aux cinq fils est moindre que celle que l'on commettrait en observant au fil méridien seulement, puisque, d'après la théorie des probabilités (*Méthode des moindres carrés*), l'erreur que l'on commet en prenant le milieu entre plusieurs résultats ou observations est inversement proportionnelle à la racine carrée du nombre des observations.

Lorsque l'astre à observer se trouve être le soleil, la lune ou une des planètes supérieures, c'est-à-dire, si cet astre a un diamètre sensible, c'est l'heure du passage du centre de l'astre qu'il faut alors obtenir. Mais comme il n'est pas possible de voir quand cet instant a exactement lieu, on note les heures de la pendule au moment du contact des bords occidental et oriental du disque avec chacun des fils du réticule, puis on prend la moyenne de ces heures : c'est cette moyenne qui donne l'heure du passage du centre de l'astre au fil méridien.

Quelle que soit l'habileté d'un observateur et quelle que soit l'attention qu'il mette à faire son observation, il ne fournira jamais un résultat rigoureusement exact, attendu qu'il commettra toujours une erreur indépendante de sa volonté, qui lui est *personnelle* et qui prend sa source dans la *façon* dont il apprécie l'époque des passages derrière les fils du réticule. Cette erreur qui varie d'un observateur à l'autre, mais qui reste constante pour un même observateur, du moins pendant un temps assez long, porte le nom d'*équation personnelle*. On a coutume dans les observatoires de la déterminer exactement pour chaque observateur, par un procédé spécial que nous ne décrirons pas, et d'en corriger les observations.

Puisque les observations des passages se font au moyen d'une pendule, il est nécessaire que cette pendule ait une marche régulière et qu'elle donne l'heure exactement. Mais comme il est impossible de réaliser une pendule théorique, on est obligé de se contenter d'une pendule *aussi bonne que possible* et d'en étudier alors la marche, ainsi que la façon dont cette marche varie. Voici comment on fait pour cela. On choisit, une fois pour toutes, parmi les plus belles étoiles, un certain nombre d'entre elles, reparties à peu près uniformément sur toute la voûte céleste. On calcule chaque année et pour toute l'année, de dix en dix jours, la position exacte de ces étoiles que l'on appelle *fondamentales*. Ces étoiles étant donc parfaitement connues, on fait en sorte, dans une série d'observations consécutives, qu'il y en ait quelques-unes d'observées; on compare leurs positions observées avec leurs positions théoriques et on en déduit, en procédant par différence, la correction qu'il faut apporter à la pendule pour qu'elle marque l'heure exacte. L'état de la pendule étant ainsi déterminé, il est facile de corriger les observations des autres astres, de l'erreur provenant de l'inexactitude de l'heure indiquée.

Nous allons maintenant donner le moyen que l'on emploie dans les observatoires pour avoir l'heure exacte en temps moyen, de façon à pouvoir régler les horloges publiques. Mais avant, nous croyons utile de dire ce que l'on entend par temps vrai et temps moyen.

On appelle *temps solaire vrai*, le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du soleil au méridien. Si l'on considère attentivement ce temps, on remarquera bientôt qu'il varie d'un jour à l'autre. Cherchons quelle est la cause de cette variation (1). Soient pour

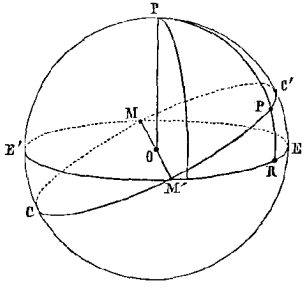


Fig. 31.

cela EE' (fig. 31) le plan de l'équateur, P le pôle et CC' le plan de l'écliptique. On sait d'abord que, le soleil parcourant son orbite conformément à la loi des aires (2e loi de Kepler), son mouvement angulaire autour de la terre est plus ou moins rapide, selon qu'il est plus ou moins rapproché d'elle : cette circonstance seule donne déjà lieu à des variations dans la vitesse avec laquelle l'ascension droite de l'astre augmente. D'autre part, l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur fait que, lors même que le soleil parcourrait l'écliptique d'une manière uniforme, son ascension droite ne varierait pas égalo-

(1) Dans tout ce que nous allons dire, nous supposerons que la terre soit fixe, et que ce soit le soleil qui tourne autour de la terre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment dans des temps égaux. Ainsi l'excentricité de l'orbite du soleil, qui lui fait parcourir cette orbite avec une vitesse variable, et l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur, sont les deux causes de l'inégalité de durée des jours solaires. Cela posé, imaginons qu'un premier soleil fictif S parcourt l'écliptique CC' d'un mouvement uniforme et dans le même temps que le soleil vrai Sv. Supposons que les deux soleils partent du périgée au même instant, il est clair qu'ils passeront à l'apogée aussi au même instant. Imaginons maintenant qu'un second soleil fictif S*m*, se mouvant uniformément sur l'équateur EE' avec la vitesse dont le premier soleil fictif est animé, parte de l'équinoxe M', au moment où le soleil réel y passe. A tous les instants les deux soleils fictifs S, S*m* seront dans des positions telles que les arcs M'P, M'R seront égaux; de plus, ces deux soleils, partis ensemble de l'équinoxe du printemps M', passeront ensemble aussi à l'équinoxe d'automne et reviendront au même moment à l'équinoxe du printemps. C'est le second soleil fictif S*m* qui, par ses passages successifs au méridien, détermine la succession des *jours moyens;* et c'est ce temps moyen que l'on fait marquer aux horloges publiques depuis 1806, grâce à l'astronome Lalande.

On appelle *équation du temps*, l'intervalle de temps compris entre le passage du soleil moyen et celui du soleil vrai. La connaissance des temps donne chaque année une table contenant les valeurs de l'équation du temps pour tous les jours de l'année. On peut, au moyen de cette table, et en observant l'heure du passage du soleil, déterminer l'*heure moyenne* qu'il faut faire marquer aux horloges.

Dans les observatoires, on a coutume de chercher l'heure moyenne exacte, sans pour cela observer le soleil. On y arrive de la manière suivante: on commence d'abord par regarder simultanément les deux pendules de temps sidéral et de temps moyen, qui pour cela sont à proximité l'une de l'autre, puis on attend l'instant où le bruit produit par l'échappement de chacune d'elles se fait entendre en même temps; on note ensuite l'heure indiquée par chaque pendule à cet instant, après avoir toutefois corrigé l'heure de la pendule sidérale, de la quantité fournie par des observations d'étoiles fondamentales: on a ainsi, au même instant, l'heure sidérale exacte et l'heure marquée par la pendule de temps moyen. Il s'agit alors de savoir si l'heure accusée par la pendule de temps moyen est exacte. Pour cela on cherche dans la connaissance des temps, et sur une table qui donne le temps sidéral à midi moyen pour tous les jours de l'année, l'heure sidérale qu'il est au midi moyen qui précède la vérification qui nous occupe. On établit la différence entre l'heure sidérale exacte de la pendule et l'heure sidérale à midi moyen, et on convertit cette différence en temps moyen, en se servant de tables spéciales. Le temps converti donne précisément l'heure moyenne exacte au moment où l'on a observé les deux pendules, et permet de corriger l'heure fournie par la pendule de temps moyen.

La lunette méridienne que nous venons de décrire est celle que l'on emploie dans les opérations géodésiques. Dans les observatoires, où la lunette méridienne est à poste fixe, on l'installe dans des coussinets non mobiles. On est obligé alors non plus de rectifier la position de la lunette lorsqu'elle est défectueuse, mais de constater la valeur exacte de cette défectuosité et d'en corriger les observations, ce qui évidemment revient au même.

Cercle mural.—Le cercle mural (fig. 32) est un instrument destiné à mesurer les distances polaires des astres. Il se compose essentiellement d'un grand cercle A A', divisé sur sa tranche, et portant une lunette BB. La lunette est fixée au cercle suivant un de ses diamètres, et peut tourner avec lui autour d'un axe passant par son centre et perpendiculaire à son plan. Le plan du cercle doit coïncider exactement avec celui du méridien. L'axe de rotation se compose d'une sorte d'essieu analogue à l'une des moitiés de celui qui supporte la lunette méri-

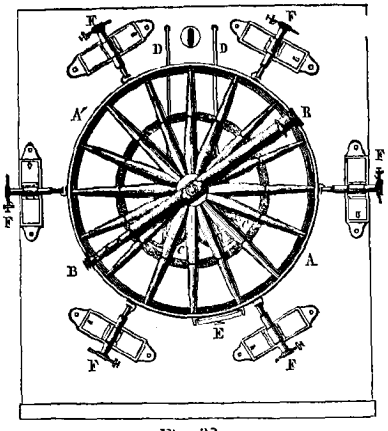


Fig. 32.

dienne. Cet essieu traverse un mur très-solidement établi, et tourne dans des coussinets fixés au mur. Le cercle et la lunette qu'il porte sont adaptés à cet essieu, à une petite distance du mur. De même que, dans la lunette méridienne, une partie du poids du cercle et de la lunette est supportée par un système de galets c, c suspendus à des tringles D, D, tirées de bas en haut par des contre-poids qui se trouvent derrière le mur. Une pince E, avec vis de pression et vis de rappel, analogue à celle que nous avons décrite à l'occasion du cercle répétiteur, est fixée au mur. Elle est destinée à amener l'axe optique de la lunette à être exactement dirigé vers l'astre que l'on veut observer, après qu'on lui a donné approximativement la direction voulue, en faisant tourner tout l'instrument avec la main.

Six micromètres F, F,..... sont repartis régulièrement sur tout le contour du cercle et servent à faciliter la lecture des angles dont on fait tourner ce dernier. Ces six micromètres sont formés chacun d'une sorte de pe-

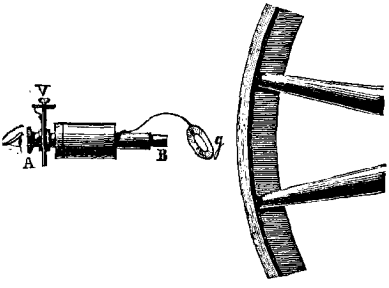


Fig. 33.

tite lunette A B (fig. 33), munie d'un réticule, et fixée invariablement en regard des divisions du limbe. Le réticule se compose de deux fils en croix, lesquels peuvent prendre un mouvement de translation perpendiculaire à l'axe de la lunette, à l'aide de la vis à tête graduée V. Un miroir concave *g* est adapté au micro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mètre de telle sorte qu'il puisse renvoyer sur les divisions du limbe qui se trouvent en face du micromètre la lumière d'une lampe; ce miroir, situé entre le limbe et l'objectif du micromètre, est percé en son milieu d'un trou circulaire qui permet à l'observateur de voir les divisions du limbe. Lorsque les fils du réticule sont amenés au commencement de la course que la vis V peut leur faire décrire, l'axe optique du micromètre occupe une position parfaitement déterminée qui constitue, en réalité, l'index destiné à faire connaître sur le limbe l'extrémité de l'arc décrit par ce limbe, lorsqu'il est passé d'une position à une autre. Supposons que le cercle, en tournant, parte d'une position connue, pour s'arrêter ensuite dans une position telle que le point de croisement des fils, amenés au commencement de leur course, coïncide exactement avec une des divisions du limbe, l'arc décrit par le limbe sera alors facile à déterminer, puisqu'il suffira de connaître le numéro de ce trait de division. Le plus souvent il n'en est pas ainsi: le point de croisement des fils se trouve placé entre deux traits consécutifs du limbe, ainsi qu'on le voit

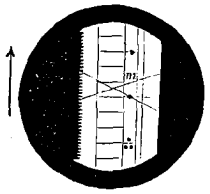


Fig. 34.

sur la fig. 34. Il s'agit dans ce cas d'évaluer la distance qui sépare ce point de croisement, du trait *m* qui, dans le mouvement du limbe, a dépassé le dernier le point de croisement, et d'ajouter cette distance à la valeur qu'aurait l'arc décrit, s'il se terminait au trait *m*. (Nous supposons que les traits du limbe, vus avec le micromètre, ont marché dans le sens de la flèche.) A cet effet, on fait mouvoir le réticule à l'aide de la vis V, jusqu'à ce que le point de croisement de ses fils vienne se placer sur le trait *m*. Supposons que les traits du limbe soient distants de cinq minutes, que la vis du micromètre soit obligée de faire dix tours pour que le point de croisement des fils avance d'une division à la division suivante, et que la tête de la vis soit divisée en 60 parties égales : dès lors chaque tour de la vis fera marcher le réticule d'une quantité égale à un arc de 30" pris sur le limbe, et chaque division de la tête de la vis d'une quantité égale à 0",5. Il est donc facile, grâce à cette disposition, de déterminer d'une manière assez exacte l'angle que décrit le cercle, en passant d'une position à une autre.

Nous avons dit que, dans le cercle mural, les micromètres sont au nombre de six. L'un d'eux sert d'index et doit conséquemment indiquer le nombre entier de divisions dont l'instrument a tourné. Quant à la fraction qui doit être ajoutée à ce nombre entier, elle est fournie par la moyenne des indications que donnent les six microscopes.

L'oculaire de la lunette que porte le cercle est muni d'un réticule formé de deux fils horizontaux et de trois fils horaires. Le tube de cette lunette est pourvu intérieurement d'un réflecteur métallique qui renvoie sur le réticule la lumière d'une lampe qui pénètre dans la lunette par une ouverture circulaire *o*, faite dans le tube et fermée par un verre dépoli. Cette lampe est la même qui sert à éclairer le limbe au moyen des réflecteurs que portent les micromètres.

Le cercle mural doit remplir trois conditions :

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

1° L'axe optique de la lunette doit être parallèle au plan de l'instrument.

2° Le plan du cercle doit être perpendiculaire à l'axe de rotation.

3° Le plan que décrit l'axe optique de la lunette, en tournant avec le cercle, doit coïncider avec le plan du méridien.

La première de ces conditions se vérifie au moyen



Fig. 35.

d'une *lunette d'épreuve*. Cette lunette (fig. 35), munie d'un réticule, est montée par ses deux extrémités dans deux espèces de collets saillants à contour carré et égaux entre eux. Le réticule est placé de telle sorte que l'axe optique soit parallèle aux arêtes du prisme carré dont les collets seraient les bases. Pour vérifier le parallélisme du plan du cercle mural et de l'axe optique de la lunette qu'il porte, il suffit de poser la lunette d'épreuve sur le cercle, en l'appuyant par ses deux collets, et de voir si son axe optique et celui de la lunette adaptée au cercle peuvent être dirigés vers un même objet très-éloigné. Si cela n'a pas lieu, on déplace alors transversalement le réticule de la lunette murale, jusqu'à ce que le parallélisme soit obtenu.

La seconde condition doit être remplie par l'artiste qui a construit l'instrument. On est averti qu'elle ne l'est pas, lorsqu'une fois installé, l'instrument produit, en tournant dans les coussinets, des frottements irréguliers.

Enfin, la troisième condition d'installation se vérifie en comparant le cercle mural à la lunette méridienne, à côté de laquelle il est toujours installé dans les observatoires : dès qu'on s'est assuré, par les procédés que nous avons décrits, que la lunette méridienne remplit bien toutes les conditions qui doivent présider à son installation, on la dirige vers une étoile, et l'on fait en sorte que, quelle que soit cette étoile, l'axe optique de la lunette du cercle puisse se diriger au même instant vers cette étoile. Lorsque ce résultat a lieu, on est certain que la troisième condition est remplie.

Voyons maintenant comment le cercle mural peut servir à la détermination des distances polaires.

Il est nécessaire tout d'abord de bien connaître la direction exacte de l'axe du monde. Pour la déterminer, voici comment on procède : on observe une étoile circumpolaire lors de ses passages supérieur et inférieur au méridien; la moyenne des deux nombres de degrés, minutes et secondes de la graduation du cercle que fournit le micromètre principal, pour ces deux observations, donne le nombre qu'indiquerait ce micromètre principal, si l'on visait directement le pôle. Dès lors on comprend aisément comment, la lecture au pôle étant connue, il est possible de déterminer la distance polaire d'un astre.

Il est une correction importante que l'on doit faire subir aux distances polaires observées, correction provenant de la déviation (réfraction) que subissent les rayons lumineux émanant des astres en traversant notre atmosphère. Cette déviation varie proportionnellement à la distance zénithale : pour une distance zénithale de 80° elle atteint 5',20".

Pour faire cette correction, on détermine la lecture au zénith, par un procédé particulier, ce qui permet de déduire de la distance polaire observée la distance zénithale. Il est vrai que cette distance zénithale n'est qu'approchée, mais cela est suffisant pour le calcul de la réfraction. La réfraction étant connue, il n'y a plus qu'à la retrancher de la distance polaire observée ou à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

l'y ajouter, selon que l'astre est au nord ou au sud du zénith. Pour les passages inférieurs des circumpolaires on devra toujours ajouter, bien que l'astre soit au nord du zénith. Il est bien entendu que le cercle est gradué de telle sorte que les graduations vont en augmentant du sud vers le nord, en passant par le zénith.

Il existe bien encore d'autres corrections à introduire; mais le cadre de notre ouvrage nous contraint de nous taire à ce sujet. Nous renvoyons les personnes qui désireraient les connaître au mémoire de M. Yvon Villarceau (*Annales de l'Observatoire de Paris*).

Cercle méridien. — On a donné ce nom à un instrument que l'Observatoire de Paris possède depuis quelques années et qui a été construit dans les ateliers de M. Secrétan, sous la direction de M. Eichens. Dans cet instrument se trouvent réunis la lunette méridienne et le cercle mural.

Il se compose d'une lunette méridienne ordinaire dont l'un des tourillons dépasse le coussinet sur lequel il porte. A l'extrémité de ce tourillon est fixé un cercle gradué jouant le rôle de cercle mural.

Le cercle méridien ainsi que le cercle mural et la lunette méridienne sont installés dans l'intérieur d'une même salle qui présente pour chacun d'eux une ouverture longue et peu large, pratiquée dans le toit et dans les murs du sud et du nord, suivant le plan méridien, absolument comme si l'on avait fait passer un large trait de scie à travers le bâtiment. Ces ouvertures qui permettent aux instruments d'être dirigés vers tous les points du ciel situés dans le méridien du lieu où ils sont établis, n'ont pas besoin d'ailleurs de rester toujours entièrement béantes : des trappes, indépendantes les unes des autres, servent à en fermer les diverses parties et peuvent chacune être ouvertes séparément par des mécanismes spéciaux mis à la portée de l'observateur.

Équatorial. — Il arrive souvent que l'on a besoin d'observer un astre au-dehors du méridien, soit parce qu'il est nouveau et que l'on en veut connaître immédiatement la position, soit parce qu'il n'apparaît que rarement et qu'il est nécessaire alors de profiter de toutes les circonstances qui permettent de déterminer la place qu'il occupe sur la voûte céleste. On est obligé dans ce cas de se servir d'un instrument qui puisse prendre toutes les directions possibles et qui, pour cette raison, porte le nom de lunette parallactique (du grec παραλλασσω, varier alternativement). On l'appelle aussi équatorial.

L'équatorial se compose essentiellement d'un axe AA dirigé suivant l'axe du monde et autour duquel peut tourner tout l'instrument. Cet axe est pourvu d'un cercle gradué BB pouvant tourner dans son plan et autour de son centre. Une lunette astronomique LL est adaptée au cercle BB et participe à son mouvement. Un second cercle gradué CC est fixé en son centre à l'axe AA, de telle sorte qu'il tourne en même temps que tout l'instrument autour de cet axe; il a en outre son plan parallèle au plan de l'équateur céleste.

On voit que, grâce à la disposition que nous venons de décrire, l'axe optique de la lunette peut recevoir toutes les directions possibles sur le ciel : en tournant autour de l'axe AA, la lunette coïncidera successivement avec tous les méridiens; et, en tournant avec le cercle BB autour de ce dernier, elle passera par toutes les positions dans le plan d'un même méridien.

Des micromètres G G servent à lire les divisions du cercle BB. Des pinces PP, avec vis de pression et vis de rappel, sont fixées à des pièces FF faisant corps avec l'axe AA, et servent à arrêter la lunette dans une position déterminée. D'autres micromètres M permettent de lire les graduations du cercle D. Enfin un mécanisme K peut à volonté établir la communication de l'instrument avec un mouvement d'horlogerie ayant pour but de faire tourner le cercle DD et par suite tout l'instrument autour de l'axe AA en un jour sidéral. Il est donc possible, lorsque cette communication est établie, et la lunette étant dirigée sur un astre

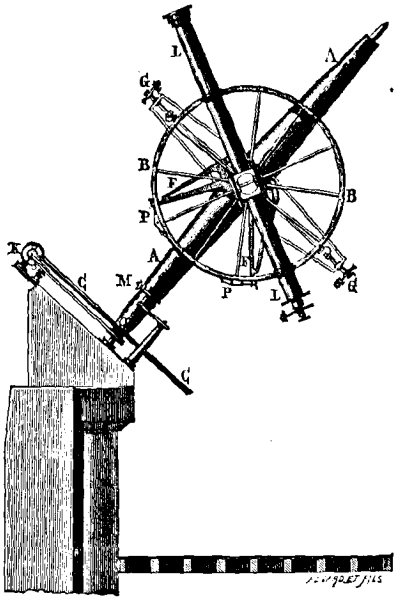


Fig. 36.

choisi, de suivre cet astre dans son mouvement pendant un temps durable, et par suite d'en étudier la constitution physique.

L'équatorial pourrait servir à la détermination des ascensions droites et des distances polaires si son axe AA pouvait être dirigé exactement et invariablement suivant l'axe du monde. Mais, comme cette condition est très-difficile à réaliser, et comme d'ailleurs les moyens employés pour vérifier si elle a lieu sont *très-longs* et *très-pénibles*, on ne s'en sert que pour trouver les différences d'ascensions droites et de déclinaisons qui existent entre l'astre qu'on étudie et un astre qui lui est voisin. Nous pensons que le lecteur se rendra aisément compte du procédé usité pour déterminer ces différences : aussi n'entrons-nous dans aucun détail à ce sujet.

Dans les observatoires, on installe l'équatorial sur la partie supérieure de l'édifice et dans l'intérieur d'une salle recouverte d'un toit hémisphérique. Ce toit présente une ouverture longue et peu large, dirigée suivant un plan vertical et pouvant être fermée au moyen de trappes susceptibles de glisser latéralement dans des coulisses; il peut en outre tourner autour de la verticale passant par son centre de manière à amener l'ouverture à être dirigée vers telle région du ciel que l'on désire. On comprend dès lors comment il est possible de braquer l'instrument sur tous les points de la voûte céleste situés au-dessus de l'horizon.

Le grand télescope à miroir de $0^m,80$ que Foucault a fait construire pour l'observatoire de Marseille et sur lequel nous avons promis de revenir est, ainsi qu'on le voit sur la figure que nous en donnons (fig. 37), monté équatorialement. On peut donc le diriger de telle sorte qu'il soit possible de suivre un astre pendant toute la durée de son séjour au-dessus de l'horizon. Un mouve-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment d'horlogerie que l'on aperçoit sur le devant sert, une fois en communication avec l'instrument, à maintenir continuellement le tube du téléscope dans la direction de l'astre que l'on observe.

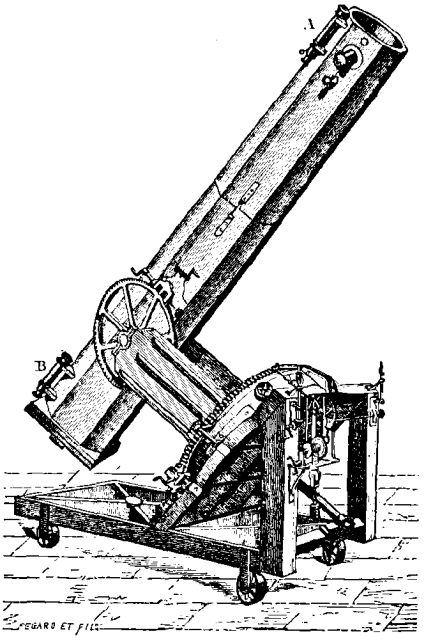


Fig. 37.

Héliomètre. — Nous ne terminerons pas cet article sans dire quelques mots de l'un des instruments les plus ingénieux que nous possédons, que nous devons à l'esprit inventif de Bouguer et qui a été perfectionné par Dollond. Cet instrument, appelé héliomètre (de ἥλιος, soleil, et μέτρον, mesure), sert, ainsi que l'indique son nom, à mesurer le diamètre du soleil. Il est basé sur ce qu'il n'est pas nécessaire qu'une lentille soit entière pour que l'image d'un objet éloigné se forme en son foyer.



Fig. 38.

L'héliomètre est une lunette dont l'objectif est formé des deux moitiés d'une lentille partagée en deux parties égales; l'une de ces moitiés est fixe tandis que l'autre est mobile. Lorsqu'elles sont juxtaposées, comme dans la fig. 38, l'œil ne perçoit qu'une seule image; au contraire, si l'on fait glisser la moitié A sur la moitié B (fig. 39), l'image se dédouble pour en former deux moins éclairées il est vrai que celle que l'on voyait avant d'opérer le glissement, mais qui lui sont identiques. Une vis micrométrique sert à faire mouvoir l'une des moitiés sur l'autre (1).

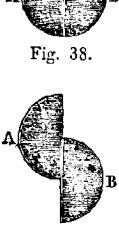


Fig. 39.

(1) Lorsque les deux moitiés sont juxtaposées, l'image unique qui se produit est formée par la superposition des deux images fournies par chacune des deux moitiés, lesquelles images, ainsi que nous venons de le dire, sont identiques.

On conçoit que, par ce mouvement de glissement, il se produira nécessairement un instant où les deux moitiés seront dans une position telle que l'image mobile du soleil sera tangente à l'image fixe, et cela en un seul point. Il est clair alors que, à partir du moment où les deux images coïncidaient, la première s'est déplacée d'une quantité précisément égale au diamètre de la seconde image, qui est parallèle au plan de séparation des deux moitiés de l'objectif. La vis micrométrique sert à déterminer cette quantité (en angle).

L'héliomètre sert en outre à constater que le soleil est parfaitement circulaire, c'est-à-dire que tous les diamètres sont égaux. Voici comment : dès que la tangence des deux images est obtenue, on fait tourner ensemble les deux moitiés de l'objectif autour de l'axe de la lunette, au moyen d'un mécanisme spécial, sans les déranger l'une relativement à l'autre. On s'aperçoit alors qu'à chaque instant de cette rotation la tangence ne cesse pas d'avoir lieu; d'où l'on conclut que le soleil est circulaire.

L'héliomètre sert aussi à mesurer le diamètre apparent des planètes. Il est monté sur un pied parallactique et est pourvu d'un mouvement d'horlogerie.

Électro-chronographes. — Nous terminerons cet article par la description des procédés que l'on emploie dans les observatoires d'Amérique et d'Angleterre pour recueillir sur du papier les résultats de toutes les observations. Les instruments que l'on emploie à cet effet portent le nom d'*électro-chronographes.*

L'électro-chronographe est un instrument qui, au moyen d'un électro-aimant, trace sur une feuille de papier certains signes également espacés correspondant aux divisions du temps. Il enregistre aussi par un signe l'instant de l'apparition d'un phénomène. En sorte que la position relative qu'occupe le signe de l'apparition du phénomène, entre deux des signes correspondant aux secondes consécutives, indique d'une manière précise l'instant auquel s'est produit le phénomène.

Dans tous les chronographes l'enregistrement s'effectue sur une feuille de papier que l'on fixe sur un cylindre. Une horloge mise en communication avec le cylindre par une série d'engrenages lui fait faire un tour par minute. Ce cylindre ayant pour axe de rotation une vis fixe dont le pas est égal à $0^m,002$, se comporte comme un écrou, c'est-à-dire qu'il se transporte parallèlement à son axe en même temps qu'il tourne sur lui-même : en d'autres termes, il est animé d'un *mouvement hélicoïdal.* Si donc un crayon fixe est mis en contact continu avec le papier pendant le mouvement du cylindre, il tracera sur ce papier un trait qui sera une hélice dont le pas aura $0^m,002$.

Si maintenant, au lieu d'être uniformément continu, le trait présente certains signes particuliers correspondant aux battements successifs de l'horloge, on voit que chaque portion de ce trait correspondant à un tour du cylindre sera divisé en 60 parties égales, puisque ce cylindre tourne sur lui-même en une minute d'une façon régulière. On comprend donc comment certains signaux étant intercallés sur le trait entre deux signes consécutifs de secondes et à une certaine distance de chacun de ces deux signes, il est possible d'apprécier les instants exacts auxquels se sont produits les phénomènes représentés par ces signaux.

Au lieu d'un crayon, on emploie habituellement une plume, et c'est un électro-aimant qui force cette plume à être en contact avec le papier du cylindre.

Quant aux moyens d'obtenir sur le trait des signes exprimant les secondes, on y arrive soit en se servant d'un courant que l'on interrompt à chaque battement du pendule de l'horloge, soit au contraire en établissant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

simplement un courant lors de chaque battement du pendule. Dans le premier cas, les secondes sont accusées par les interruptions que présente le trait (fig. 40), et dans le second cas, par de simples points

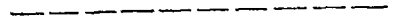


Fig. 40.

allongés (fig. 41). Habituellement on préfère un trait

Fig. 41.

continu sur lequel sont marqués des petits signes

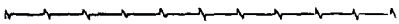


Fig. 42.

(fig. 42) que l'on obtient en faisant mouvoir latéralement la plume au moyen d'un certain mécanisme.

Dans chacun des trois systèmes de notation que nous venons d'indiquer, les phénomènes sont constatés par des signes identiques à ceux qui représentent les se-

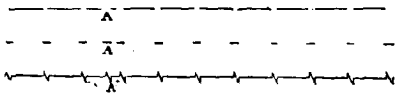


Fig. 43.

condes. La figure 43 fait voir d'une manière comparative les trois systèmes ayant été employés pour enregistrer le même phénomène A.

Lorsque l'on veut que les secondes soient accusées par les interruptions d'un trait uniformément discontinu, on se sert, avons-nous dit déjà, d'un courant électrique dont on ouvre le circuit à chaque battement du pendule d'une horloge. On obtient ces interruptions dans la propagation du courant, en employant un procédé excessivement simple que M. Saxton du Coast Survey a imaginé, et que nous allons décrire.

Une petite pièce en fil de platine AB (fig. 44) est montée sur un pivot C. La portion CA de cette pièce est légèrement plus lourde que la portion CB, en sorte que tant que la pièce est abandonnée à elle-même, l'extrémité A repose sur une plaque métallique E. Le tout est disposé de telle manière que le sommet B de l'angle obtus qui termine la branche CB se trouve exactement situé sur la verticale passant par le point de suspension du pendule et au-dessous de ce point. Un petit appendice N que porte la tige du pendule vient à chaque oscillation faire descendre l'extrémité B et conséquemment relever l'extrémité A. Deux fils métalliques F et G sont adaptés aux pièces métalliques D et

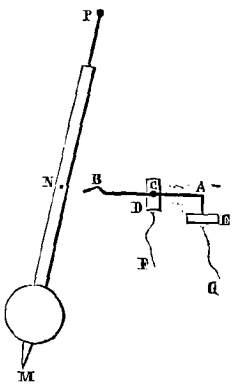


Fig. 44.

E : le premier F est en communication immédiate avec l'un des pôles d'une pile, le second G communique avec le second pôle de la pile après avoir rencontré l'électro-aimant qui agit sur la plume qui trace les indications. Lorsque la pièce AB est au repos, le circuit est fermé, le courant passe et l'électro-aimant établit le contact entre la plume et le papier. Quand l'appendice N passe sur B, l'extrémité A se relève, le circuit est interrompu, le courant cesse de passer, et l'électro-aimant suspendant son action sur la plume, celle-ci se relève et produit une discontinuité dans le trait.

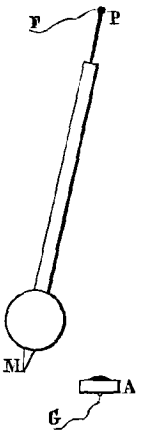


Fig. 45.

Si au lieu d'un trait uniformément interrompu, on préfère une série de points allongés et équidistants, on a recours, comme nous l'avons dit, à un courant qui ne dure que le temps suffisant pour marquer les points allongés. Voici dans ce cas l'artifice que l'on emploie : Un premier fil métallique F (fig. 45), fixé au point de suspension du pendule de l'horloge aboutit à l'un des pôles de la pile. Un second fil G est adapté à une pièce métallique A terminée en coupelle à sa partie supérieure, et aboutit au second pôle de la pile. Dans cette coupelle se trouve une petite quantité de mercure qui, ainsi qu'on le voit sur la figure, forme un ménisque convexe dépassant le plan des bords de la coupelle. Une aiguille M qui termine le pendule vient, à chaque oscillation de celui-ci, effleurer ce ménisque et fermer conséquemment le circuit des fils F et G. Dès lors le courant passe et la plume fonctionne ; mais comme le temps durant lequel le circuit est fermé est très-court, la plume ne marque que des points allongés. De même que dans le cas précédent, l'action de la plume est sollicitée par un électro-aimant que le fil G traverse.

Nous connaissons donc maintenant les moyens d'enregistrer le temps sur du papier ; voyons actuellement par quel procédé un observateur pourra enregistrer les moments des phénomènes auxquels il assiste. Une petite pièce de bois MN (fig. 46), dans laquelle est enchâssée une

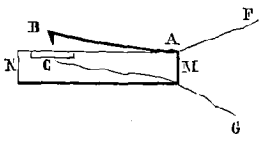


Fig. 46.

plaque métallique C, est mise à sa portée pendant qu'il observe. Les fils F et G formant le circuit dans lequel passe le courant (quel que soit le système de notations) aboutissent à cette pièce en A et C. Un petit ressort très-faible AB, terminé par un petit marteau B, est fixé en A et est en contact avec le fil F. Si donc, en appuyant avec le doigt sur le marteau B, on met ce marteau en contact avec la plaque C, le circuit sera fermé et le courant passera. On comprend dès lors comment l'observateur, maître d'ouvrir ou fermer le circuit à volonté, pourra enregistrer tel phénomène qu'il jugera convenable.

Il importe, en terminant, de faire une remarque très-essentielle. Quand la plume est arrangée de telle sorte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'elle presse sur le papier par la traction qu'exerce l'électro-aimant sur son armature, une certaine petite fraction de temps s'écoule après l'ouverture du circuit (par l'horloge ou l'observateur) avant que la plume commence son trait sur le papier : ce temps est appelé *temps d'armature*. S'il y avait constance dans la valeur de ce temps d'armature, il n'aurait aucune influence sur les résultats. Mais ce temps varie *probablement* avec la force variable de la batterie et la longueur du fil à travers lequel le courant passe. Il en résulterait dès lors une erreur variable dans les indications. Cette erreur est évitée ou du moins beaucoup atténuée en employant comme notation le trait à interruptions partielles de la fig. 40 ; car l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'interruption du circuit et la cessation de l'action de l'aimant est *probablement* plus petit et plus constant que celui entre le rétablissement du circuit et le commencement de l'action du courant.

Nous dirons d'ailleurs que l'on prend pour moment du signal (soit des secondes, soit d'un phénomène) le commencement de l'interruption dans le cas de la fig. 40, le commencement du point allongé dans le cas de la fig. 41, et le commencement du crochet dans le cas de la fig. 42.

Em. Lejeune.

J

JAUGEAGE. Nous compléterons ce que nous avons dit à l'article **HYDRAULIQUE**, par une analyse des petits appareils utiles pour les distributions d'eau à domicile.

Combiner un compteur à eau qui puisse se placer partout comme le compteur à gaz, qui soit propre à contrôler les consommations grandes et petites, et cela presque sans entretien, malgré la rouille et les incrustations, est un problème difficile à résoudre et qui cependant fournit seul le moyen de faire justement la répartition de l'eau fournie par l'établissement de grandes distributions d'eau dans les principales villes de France, que réclament les besoins de la salubrité.

C'est tantôt par des poches jaugées, tantôt par la rotation d'une hélice immergée, que fonctionnent les compteurs. Celui de MM. Loup et Koch consiste en une turbine légère, plongée dans le tuyau, munie d'un indicateur magnétique pour enregistrer le nombre de tours, après avoir préalablement diminué une vitesse trop grande pour l'action magnétique. C'est le seul moyen de supprimer les ajustements susceptibles de laisser passer l'eau au dehors, c'est-à-dire en faisant disparaître la cause principale d'altération et de résistances variables.

Nous en empruntons la description à une publication des inventeurs (fig. 3638).

L'appareil se compose, comme pièce essentielle, d'une turbine K, ou roue à ailettes, mise, par le passage de l'eau, en mouvement d'autant plus rapide que la quantité d'eau est plus grande, quelle que soit, du reste, la pression, puisque l'eau est incompressible.

Une roue à directrice fixe est placée au-dessus de celle mobile ; ses ailes sont disposées à peu près perpendiculairement à celles de la première roue, dans le but d'augmenter l'action de l'eau sur cette turbine.

Grâce à la simplicité de cet appareil, la perte de charge qu'il occasionne dans les tuyaux est très-petite, beaucoup moindre que dans les autres compteurs imaginés jusqu'à ce jour; elle a été reconnue inférieure à 2 mètres sur 40 de pression.

Pour que l'instrument tienne compte d'écoulements d'eau presque nuls, on a disposé à l'orifice d'arrivée H une soupape *t*, qu'on a chargée de plomb et qui ne s'ouvre que sous l'effort d'une quantité d'eau assez notable ; sur le tuyau qui porte cette soupape est soudé un petit tube de cuivre *u*, qui descend entre les directrices supérieures jusqu'aux ailettes de la turbine, et par lequel l'eau s'écoule quand elle ne suffit pas à ouvrir la soupape ; dans ces conditions, cette petite quantité d'eau n'agissant que sur une seule directrice de la turbine, lui communique un mouvement sensible. Grâce à cette disposition, un écoulement d'un litre par minute est apprécié, mais compté d'une manière exagérée ; elle a été imaginée pour empêcher la fraude que pourraient commettre les abonnés en produisant un écoulement constant, trop faible pour mettre l'appareil en mouvement. De cette manière,

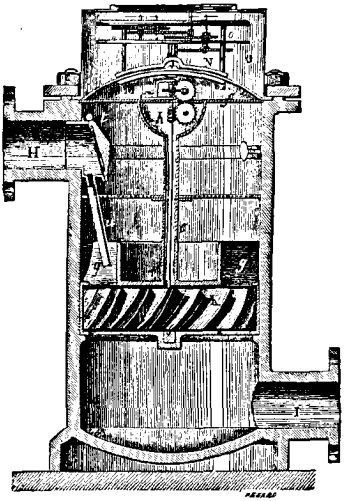


Fig. 3638.

l'abonné, qui peut toujours ouvrir son robinet assez pour que le mesurage se fasse exactement, n'est jamais frustré, et la compagnie est garantie contre la mauvaise foi des particuliers par une espèce de compensation, qui serait à son profit entre les écoulements faibles trop comptés, et ceux qui ne le seraient pas.

Il reste à expliquer comment se mesure le nombre des tours de la turbine que nous venons de décrire. Le compteur proprement dit est placé dans une chambre supérieure O, qui ne communique par aucune ouverture à la chambre inférieure, de telle façon qu'il n'y a aucun danger que l'eau vienne rouiller les rouages du compteur et en empêcher les fonctions. Le mouvement de la turbine est transmis par l'intermédiaire de deux vis sans fin et de deux roues, à un aimant M (argenté pour éviter la rouille), qui tourne autour de l'axe de l'instrument, au-dessous de la cloison *f* de cuivre, qui sépare les deux chambres du compteur. Un second aimant N, placé juste au-dessus du premier, mais dans la chambre supérieure, est en-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traîné par son mouvement, et le communique aux rouages du compteur, qui portent quatre aiguilles marquant sur leurs cadrans respectifs des unités, dizaines, centaines et mille.

On comprend qu'un appareil de ce genre a besoin d'être étalonné ; cependant, l'unité mesurée pour un instrument, se trouve très-sensiblement la même pour tous ceux de même dimension fabriqués en même temps.

Des expériences faites à la pompe à feu de Chaillot, sous les yeux de M. Baude, inspecteur général des ponts et chaussés, ont donné les résultats suivants, que nous extrayons de son rapport à la Société d'encouragement.

Sous une certaine pression, un écoulement de 278 litres a produit 13 unités du compteur, soit 21 litres 385 par unité ; il passait environ 5 litres 36 par seconde; sous une pression différente, 280 litres ont donné 13 unités, soit 21 livres 237 par unité ; il passait 0l,809 par seconde.

La compagnie générale des eaux a installé un nombre assez grand de ces appareils pour le service de Lyon, et les résultats qu'ils ont donnés ont satisfait pleinement. Il a été construit, jusqu'ici, deux modèles. Le premier a un orifice de sortie de 20 millimètres de diamètre ; il débite, sous quatre atmosphères de pression, environ 100 litres par minute ; le second a un orifice de 40 millimètres de diamètre ; il débite 400 litres par minute, sous la pression de 4 atmosphères.

L

LIÉGE. On a remarqué, à l'Exposition de 1855, la fabrication des bouchons à la mécanique, établie à Marseille par M. Duprat. Cette fabrication s'accomplit à l'aide de trois machines : une *coupeuse*, une *perceuse* et une *tourneuse*.

La première, simple couteau circulaire, ne sert qu'à diviser les planches de liége en bandes de largeur égale à la longueur des bouchons à fabriquer. Au lieu de diviser encore ces bandes en petits parallélipipèdes de base à peu près carrée, ainsi que cela se faisait dans le travail à la main, M. Duprat évite les déchets inévitables de ce procédé, en découpant la bande en bouchons cylindriques au moyen de sa machine *perceuse*. Celle-ci consiste en un châssis vertical portant une série de huit emporte-pièces cylindriques de diamètres différents, et animés d'un mouvement rapide de rotation; l'épaisseur de la bande de liége, variant d'une manière irrégulière d'un point à l'autre de sa longueur, l'ouvrier peut ainsi choisir, pour chaque bouchon qu'il va couper, un emporte-pièce de grandeur convenable.

La troisième machine, la *tourneuse*, enlève sur toute la surface courbe du bouchon une pellicule d'épaisseur décroissante d'un bout à l'autre, et lui donne la figure conique tout en rendant sa surface plus unie et comme glacée. Cette machine est alimentée par une chaîne sans fin, sur laquelle les cylindres de liége sont posés à la main ; chaque bouchon est ainsi conduit entre deux griffes qui le saisissent par ses deux bases et l'entraînent dans leur mouvement de rotation, tandis qu'un couteau à tranchant horizontal glisse en coupant le bouchon suivant une direction inclinée à son axe. A cette opération, que l'on nomme la *tourne*, en succède une dernière qui ne s'exécute cependant que pour les bouchons qui présentent des défauts sur quelques points de leur surface : cette opération, la *retouche*, consiste à enlever une petite couche de liége dans le seul endroit défectueux ; elle s'exécute par la même machine *tourneuse* en plaçant le bouchon de manière qu'il se trouve saisi excentriquement entre les griffes. Les opérations de la tourne et de la retouche pour les petits bouchons, dits *topettes*, s'exécutent sur une machine spéciale, qui diffère à quelques égards de celle employée pour les gros bouchons.

LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES. Nous donnerons ici une table des longueurs des principales lignes trigonométriques, c'est-à-dire des sinus et des tangentes (et des cosinus et cotangentes des angles complémentaires) dont on peut avoir souvent besoin. Le rayon de la table est 10000000.

Degrés.	SINUS.	TANGENTES.	Degrés	SINUS.	TANGENTES.
0	0	0	90	10000000	infinie.
1	174524	174551	89	9998477	572899620
2	348995	349208	88	9993908	286362530
3	523360	524078	87	9986295	190814370
4	697565	699268	86	9975640	143006660
5	871557	874887	85	9961947	114300520
6	1045285	1051042	84	9945218	95143645
7	1218693	1227846	83	9925462	81443464
8	1391731	1405408	82	9902680	71153697
9	1564345	1583844	81	9876883	63137515
10	1736482	1763270	80	9848077	56712818
11	1908090	1943803	79	9816271	51445540
12	2079117	2125565	78	9781476	47046301
13	2249511	2308682	77	9743701	43314759
14	2419219	2493280	76	9702957	40107809
15	2588190	2679492	75	9659258	37320508
16	2756374	2867454	74	9612617	34874144
17	2923717	3057307	73	9563048	32708526
18	3090170	3249197	72	9510565	30776835
19	3255682	3443276	71	9455185	29042109
20	3420202	3639702	70	9396926	27474774
21	3583679	3838640	69	9335804	26050891
22	3746066	4040262	68	9271839	24750869
23	3907311	4244749	67	9205049	23558524
24	4067366	4452287	66	9135454	22460368
25	4226183	4663077	65	9063078	21445069
26	4383712	4877326	64	8987940	20503038
27	4539905	5095254	63	8910065	19626105
28	4694716	5317094	62	8829476	18807265
29	4848096	5543090	61	8746197	18040478
30	5000000	5773503	60	8660254	17320508
31	5150381	6008606	59	8571673	16642795
32	5299193	6248694	58	8480481	16003345
33	5446390	6494076	57	8386706	15398650
34	5591929	6745085	56	8290376	14825610
35	5735764	7002075	55	8181521	14281480
36	5877853	7265426	54	8090170	13763819
37	6018150	7535540	53	7986355	13270448
38	6156615	7812856	52	7880107	12799416
39	6293204	8097840	51	7771460	12348972
40	6427878	8390996	50	7660444	11917536
41	6560590	8692868	49	7547096	11503684
42	6691306	9004041	48	7431448	11106125
43	6819984	9325151	47	7313537	10723687
44	6946584	9656888	46	7193398	10355303
45	7071068	10000000	45	7071068	10000000

EFERUS - Recherche & Classification numérique

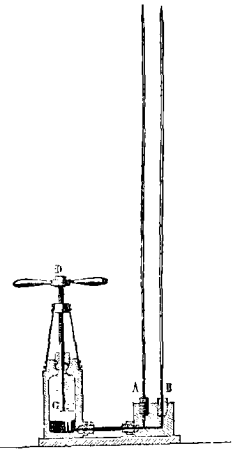
LIQUÉFACTION ET SOLIDIFICATION DES GAZ. L'étude de la liquéfaction des gaz, la connaissance de la possibilité de convertir un gaz donné en un liquide, est intéressante au point de vue théorique comme au point de vue pratique. Connaître la puissance des ressorts moléculaires formés par les molécules gazeuses qui s'opposent aux actions de compressibilité, mesurer le travail total nécessaire pour produire la liquéfaction, c'est déterminer la valeur mécanique d'un gaz; c'est obtenir un chiffre qui a la même valeur que le coefficient d'élasticité d'un corps solide. La mesure de ces éléments est malheureusement très-difficile dans la plupart des cas, et les quelques expériences que l'on possède sont en général trop imparfaites, quant à la précision des observations, pour qu'on en déduise les conséquences théoriques importantes qu'on en pourrait retirer.

Au point de vue pratique, le changement d'état des gaz a surtout fourni le moyen de produire des froids très-intenses, comme nous le verrons en expliquant le moyen d'appliquer ces froids à la liquéfaction d'autres gaz. Nul doute que d'autres intéressantes applications ne se rencontrent quelque jour, la réduction d'un gaz à l'état liquide ou solide pouvant être considérée comme un emmagasinement de travail, facilement utilisable, sous un faible volume.

Procédé mécanique. — L'emploi de pompes de compression pour liquéfier les gaz, comme pour les réduire à un moindre volume sans causer de changement d'état, est le procédé qui vient le premier à l'esprit; son application présente, toutefois, beaucoup de difficultés quand les pressions s'élèvent, la quantité de gaz qui demeure dans les espaces nuisibles devenant suffisante pour empêcher le jeu des soupapes. On remédie à cette difficulté, dans les expériences de physique, en employant le mercure comme intermédiaire pour la compression, et le refoulant au lieu de gaz.

Nous donnons ici la disposition employée par M. Pouillet (fig. 3639).

Il renferme dans un tube cylindrique le gaz à comprimer, et dans un autre, voisin, l'air destiné à donner la mesure de la pression. Le bas de ces tubes est assemblé à vis, dans une caisse pleine de mercure, communiquant avec une autre caisse pleine du même liquide, dans lequel se trouve un piston plongeur. La partie supérieure de ce piston est une vis qui passe dans la partie supérieure de la caisse, taillée en écrou; de la sorte, il est facile de faire descendre le plongeur, et de produire à la main des pressions très-considérables.



3639.

Voici les résultats obtenus par ce savant.

La compression, poussée jusqu'à 400 atmosphères, n'a eu aucun effet sur l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. Ils se sont comprimés à peu près comme l'air atmosphérique. Les gaz hydrogène protocarboné et bicarboné ne se sont pas liquéfiés non plus; ils sont sensiblement plus compressibles que l'acide carbonique. Nous verrons plus loin que M. Faraday est parvenu à liquéfier le second par le froid.

2° L'acide carbonique s'est liquéfié à 45 atmosphères, la température étant de 10°; le protoxyde d'azote s'est liquéfié à 43 atmosphères, la température étant de 11°; l'ammoniaque s'est liquéfiée sous une pression de 5 atmosphères à 10°, et le gaz sulfureux à 8° sous une pression de 25 atmosphères. Ces gaz sont notablement plus compressibles que l'air dès que leur volume est réduit au tiers ou au quart, et cet effet va en croissant à mesure qu'on se rapproche du point de liquéfaction.

Calcul du travail. — On peut se demander de calculer le travail nécessaire pour produire la liquéfaction d'un gaz, et ce calcul serait assez simple si sa compression suivait la loi de Mariotte. Nous le donnerons ici ainsi fait, comme approximation assez grande pour le moins.

Soit P la pression d'un gaz en un instant quelconque, V son volume, le travail qui sera nécessaire depuis la pression atmosphérique P_0 et le volume V_0 jusqu'à la pression P_1 et au volume V_1, correspondant au point où les forces élastiques sont annulées, où la liquéfaction commence, sera donné, en admettant comme approximation très-grande la loi de Mariotte, par l'intégrale $\int_{v_0}^{v_1} P\,dv$, dans laquelle on peut remplacer P la pression en chaque instant, qui correspond à l'accroissement élémentaire de volume dv pendant lequel elle peut être considérée comme constante (ce qui donne la différentielle $P\,dv$ du travail) par la valeur $P = \frac{P_0 V_0}{V}$, d'où $P_0 V_0 \int_{v_0}^{v_1} \frac{dv}{V} = P_0 V_0 \text{ Log. hyp. } \frac{V_0}{V_1}$ pour le travail.

A ce travail il faut ajouter

1° Celui nécessaire pour achever la liquéfaction du gaz, qui reste toujours à la pression P, pendant qu'il continue de se transformer en liquide. Le volume du liquide produit étant très-petit par rapport à celui du gaz, ce travail sera très-voisin de $P_1 V_1 = P_0 V_0$. Plus exactement on devrait remplacer V_1, D étant la densité du liquide formé, d celui du gaz qui commence à se liquéfier, par $V_1 \left(1 - \frac{d}{D}\right)$, $\frac{d}{D}$ étant, en général, petit, mais pas toujours négligeable. Le travail total de la liquéfaction de 1 litre de gaz sera donc donné par la formule $10330 \times \frac{1}{1000} \left(1 + \text{Log. hyp. } \frac{V_1}{V_0}\right)$, à partir de la pression atmosphérique jusqu'au point de liquéfaction.

2° Le travail de compression du gaz dû à la pression atmosphérique, déjà effectué avant toute autre compression, qui correspond à la consommation d'une quantité de travail intérieur, nécessaire pour le soulèvement de la colonne atmosphérique, par exemple, à une quantité de chaleur équivalente lorsque la gazéification se produit par l'échauffement à l'aide d'une quantité égale à la chaleur latente, communiquée au liquide. Ce travail est égal pour 1 lit. à 10,33 kilog. mèt. qui devra être ajouté aux nombres trouvés en appliquant la formule ci-dessus.

Voici les chiffres trouvés par un semblable calcul pour un litre des principaux gaz dont le point de liquéfaction est connu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

	Km.
Gaz oléfiant	58,88
Acide carbonique	57,33
Protoxyde d'azote	55,83
Acide chlorhydrique	53,33
Gaz sulfhydrique	44,00
Hydrogène arseniqué	42,73
Ammoniaque	37,15
Acide sulfureux	33,78

Nous donnons plus loin les chiffres déterminés expérimentalement des valeurs $\frac{V_1}{V}$ ou $\frac{P}{P_1}$ correspondant aux points de liquéfaction des divers gaz qui ont servi à obtenir les nombres ci-dessus.

Compression et refroidissement par procédé chimique.— On doit à M. Faraday un procédé de liquéfaction du gaz, différent de celui entièrement mécanique décrit plus haut.

Il consiste à renfermer dans un tube de verre épais, formé à la lampe, des substances qui, par leurs réactions chimiques dégagent abondamment le gaz sur lequel on veut expérimenter. C'est le gaz qui se comprime lui-même à mesure qu'il se dégage, et l'on peut aisément produire ainsi des pressions de 40 à 50 atmosphères (sauf les cas où la réaction chimique s'arrête sous une pression moindre ; ainsi on sait que le dégagement de l'hydrogène préparé par le zinc et l'acide sulfurique s'arrête sous une pression de 25 à 30 atmosphères). De plus, on peut refroidir l'extrémité du tube en la plongeant dans un mélange réfrigérant.

M. Faraday a obtenu ainsi, dans une première série d'expériences déjà anciennes, les chiffres suivants, qui ne peuvent être considérés que comme de premières approximations.

Tableau de liquéfaction du gaz.

Gaz liquéfiés.	Température en degrés centgr.	Tension des liquides en atmosphères.
Acide sulfureux	+ 7	2
Cyanogène	+ 7	3,6
Chlore	+ 15,5	4
Ammoniaque	0	5
Idem	+ 10	6,5
Hydrogène sulfuré	— 16	14
Idem	+ 10	17
Acide muriatique	— 16	20
Idem	— 4	25
Idem	+ 10	40
Acide carbonique	— 11	20
Idem	0	36
Oxyde nitreux	0	44
Idem	+ 7	51

Le procédé Faraday frappa vivement un ingénieux inventeur, M. Thilorier, qui avait, sans grands résultats pratiques, presque épuisé les combinaisons possibles des pompes de compression. Disposer l'appareil de manière à pouvoir agir sur des quantités de gaz un peu considérables et accumuler le liquide obtenu par des opérations successives, tel est le but qu'il s'était proposé d'atteindre. Les résultats obtenus ont dépassé toutes ses espérances, et, appliqué à l'acide carbonique, son appareil fournit si facilement de grandes quantités d'acide liquide et même solide, qu'on peut aujourd'hui considérer ce puissant agent comme acquis pour de nouveaux progrès de la science et de l'industrie.

J'emprunterai la description de son appareil et de la manière de conduire l'expérience à l'excellent *Traité de chimie* de M. Regnault.

L'appareil se compose de deux parties :

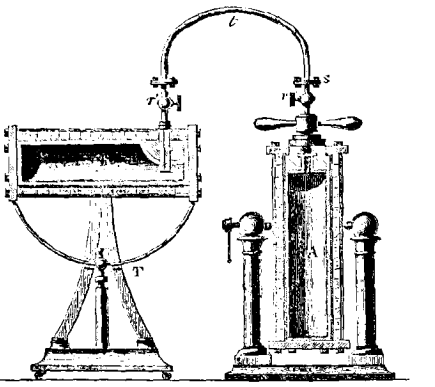
1° Le *générateur*, dans lequel on produit l'acide carbonique liquide ;

2° Le *récipient*, dans lequel on fait passer l'acide carbonique par voie de distillation, de manière à le séparer des autres produits de la réaction, et dans lequel on accumule ainsi les produits de plusieurs opérations successives.

L'acide carbonique liquide s'obtient en décomposant le bicarbonate de soude par l'acide sulfurique dans le générateur, qui est un vase hermétiquement fermé. Les premières parties d'acide carbonique dégagées prennent l'état gazeux, mais bientôt la pression devient assez considérable pour que l'acide carbonique se liquéfie.

Le générateur de Thilorier consistait en un cylindre de fonte de fer très-épais. Mais la fonte est un métal dangereux à employer pour les pièces qui ont besoin d'une grande résistance : un accident terrible, produit par l'explosion d'un de ces cylindres, en a fait proscrire l'emploi.

Le générateur, tel qu'on le construit actuellement, est une chaudière cylindrique en plomb (fig. 3640),



3640.

couverte de cuivre rouge et renforcée par des cercles et par des barres de fer forgé. La capacité de cette chaudière est de 6 à 7 litres. Le cylindre de cuivre qui enveloppe le vase en plomb lui est exactement appliqué dans toutes ses parties. Les deux fonds sont renforcés par des plaques de fer reliées entre elles par des barres de ce métal.

Le générateur est suspendu entre les deux pointes d'un support en fonte.

La construction du récipient est semblable à celle du générateur.

L'ouverture du générateur A est fermée par un bouchon à vis, percé suivant son axe et muni d'un robinet *r*. On manœuvre ce bouchon à l'aide d'un double manche. Un anneau de plomb se trouve comprimé dans une double gorge qui existe sur le générateur et sur le bouchon, et rend la fermeture hermétique.

Le récipient B porte de même une ouverture sur son arête supérieure ; on engage dans cette ouverture un tube de cuivre qui descend presque jusqu'au fond du récipient, et qui porte au dehors un robinet *r'*.

On peut établir la communication entre le récipient et le générateur au moyen d'un tube de cuivre *st* qui se fixe à l'aide de deux brides et d'un joint au minium sous les tubulures *s* et *x*.

Pour faire une préparation d'acide carbonique liquide, on enlève le bouchon et l'on introduit dans le générateur 1800 grammes de bicarbonate de soude,

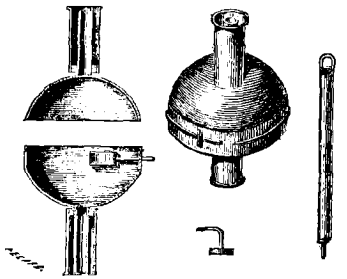
EFERUS - Recherche & Classification numérique

LIQUÉFACTION DES GAZ.

à demi-litres d'eau à 35 ou 40° et un vase cylindrique (fig. 3641) en cuivre contenant 1000 grammes d'acide sulfurique concentré. Ce cylindre vient se placer dans l'axe du générateur, et tant qu'il reste vertical, l'acide sulfurique n'arrive pas en contact avec le bicarbonate de soude.

On remet le bouchon en place, le robinet *r* étant fermé En inclinant le générateur jusqu'à lui faire dépasser l'horizontale, on fait couler l'acide sulfurique renfermé dans le tube de cuivre, la réaction commence aussitôt. On fait osciller un certain nombre de fois le générateur autour de son axe pour mélanger les matières.

Au bout de dix minutes, on peut faire passer l'acide carbonique dans le récipient. Pour cela, on établit la communication entre le générateur et le récipient, au moyen du tube en cuivre *s t*, on ouvre les robinets *r* et *r'*, l'acide carbonique du générateur distille immédiatement, et vient se condenser de nouveau à l'état liquide dans le récipient. Cette distillation a lieu, en vertu de la différence de température qui existe entre le générateur et le récipient. La température du générateur n'est pas inférieure à 30°; ainsi la tension de l'acide carbonique y est d'environ 75 atmosphères. Si le récipient présente la température de 15°, que je supposerai être celle du laboratoire, la tension maximum de l'acide carbonique n'étant pour cette température que de 50 atmosphères, la distillation devra avoir lieu en raison de la différence de pression 75—50=25 atmosphères, c'est-à-dire qu'elle sera extrêmement rapide. Il suffit, en effet, de moins d'une minute pour faire passer l'acide carbonique du générateur dans le récipient.



3642. 3641.

On procède alors à une nouvelle préparation d'acide carbonique, et l'on fait passer cette seconde portion dans le récipient. On recommence ces opérations cinq ou six fois, de façon à accumuler dans le récipient environ 2 litres d'acide carbonique liquide. Il est alors rempli, aux deux tiers, d'acide carbonique liquide, qui se trouve surmonté d'une atmosphère gazeuse, exerçant une pression de 50 atmosphères, si la température du laboratoire est de 15°. Il est clair que si l'on ouvre le robinet *r'* du récipient, l'acide carbonique liquide sera projeté avec force hors du vase. Mais si ce liquide est lancé dans l'air extérieur, il prendra immédiatement l'état gazeux, en produisant un nuage blanc sur son passage. Il régnera nécessairement, dans ce courant gazeux, un froid considérable. Si l'on dirige le jet d'acide carbonique liquide dans une boîte métallique très-mince, ou mieux dans deux coquilles pouvant se réunir momentanément (fig. 3642), une grande partie de l'acide carbonique se volatilise, en prenant la chaleur nécessaire pour le changement d'état aux parois du vase et à la partie d'acide carbonique restée liquide; la température s'abaisse alors au-dessous de 70°; l'acide carbonique devient solide et se condense sous la forme d'une neige blanche cotonneuse. L'acide carbonique peut être conservé sous cette forme beaucoup plus longtemps qu'à l'état liquide. L'évaporation de cet acide neigeux est très-lente, à cause de la mauvaise conductibilité de la matière. Un flocon d'acide carbonique neigeux peut être placé sur la main, sans que l'on éprouve une sensation de froid très-considérable, parce que l'acide solide est constamment isolé de la main par un courant gazeux, qui se dégage continuellement et empêche le contact; mais, si l'on vient à comprimer le flocon entre ses doigts, on éprouve une sensation douloureuse, semblable à celle que produit un corps chaud, et la peau est désorganisée, comme elle le serait par une brûlure.

Si l'on verse sur l'acide carbonique un liquide qui ne se combine pas chimiquement avec cet acide, et qui ne se congèle pas à une très-basse température, l'évaporation de l'acide carbonique devient beaucoup plus rapide, parce que le liquide interposé augmente considérablement la conductibilité, et on obtient un mélange réfrigérant extrêmement énergique.

C'est l'emploi d'une pâte d'éther et d'acide carbonique solide, qui a permis à M. Faraday de reprendre avec un plus puissant moyen d'action ses expériences de liquéfaction et de solidification des gaz. Il a d'abord déterminé les températures qu'il obtenait à l'aide de cette pâte placée sous la cloche d'une bonne machine pneumatique, de manière à activer l'évaporation, en faisant fonctionner la machine. Il a obtenu, pour des pressions sous la cloche, en centimètres de mercure de

72,1 49,3 23,9 18,8 13,7 8,6 6,1 3,5 3,0

les températures de

—77°,—80,—85,—87°,—91,—95,—99,—107,—110

En refroidissant le gaz comprimé, au besoin, à l'aide d'une pompe de compression, dans des tubes de verre plongés dans ce mélange réfrigérant, il est parvenu à une température de — 80°, et sous une pression inférieure à une atmosphère, à obtenir, à l'état liquide ou solide, les gaz ci-après :

Chlore, cyanogène, ammoniaque, acide sulfhydrique, hydrogène arseniqué, acide iodhydrique, acide bromhydrique, acide carbonique.

Pour les gaz qui ont pu être solidifiés, M. Faraday a déterminé les points de fusion des solides formés, qui sont :

Cyanogène	—25°	Acide sulfureux . .	— 76°
Acide iodhydrique. .	—51°	Acide sulfhydrique.	— 86°
Acide carbonique . .	—54°	Acide bromhydriq.	— 88°
Oxyde de chlore. . .	—60°	Protoxyde d'azote. .	—100°
Ammoniaque	—75°		

Les six gaz suivants n'ont pu être solidifiés, même à —140° :

Gaz oléfiant, acide fluosilicique, hydrogène protophosphoré, acide fluoborique, acide chlorhydrique, hydrogène arseniqué.

Les cinq gaz ci-après n'ont donné aucun signe de liquéfaction, même en les maintenant à la température de 140°, et à la pression de 27 atmosphères pour les deux premiers, de 40 pour le troisième, de 50 pour les deux derniers:

Hydrogène, oxygène, oxyde de carbone, azote, bioxyde d'azote.

Enfin, on a résumé, dans le tableau suivant, la marche des températures et des pressions en atmosphères pour les principaux gaz liquéfiés, avec une approximation assez minime, la pression étant mesurée par un petit manomètre renfermé dans le tube en verre dans lequel se faisait la liquéfaction du gaz.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Températures.	GAZ oléfiant.	ACIDE carbonique.	PROTOXYDE d'azote	GAZ chlorhydrique.	GAZ sulfhydrique.	HYDROGÈNE arsénié.
— 87°,2	»	»	1,0	»	»	»
78°,9	»	1,2	1,4	»	»	»
73°,3	0,3	1,8	1,8	1,8	1,0	»
59°,4	»	4,6	3,6	»	»	0,9
51°,1	13,9	7,1	5,4	5,1	1,9	1,4
40°,0	17,7	11,1	8,7	7,7	2,9	2,3
28°,9	21,2	16,3	13,3	10,9	4,2	3,5
17°,8	27,2	22,2	19,3	15,0	6,1	5,2
6°,7	36,8	30,7	26,8	21,1	8,1	7,4
+ 1°,1	42,5	37,2	31,1	25,3	9,9	8,7
+ 2°,1	»	»	»	30,7	11,8	10,0

Ce tableau peut permettre de ramener approximativement à zéro le travail de compression déterminé ci-dessus, en donnant, par interpolation, la pression qui répond à cette température.

Cela est toujours possible fictivement; mais non pas réellement dans tous les cas. C'est là une observation intéressante qu'il importe de faire pour ne pas tirer des conclusions erronées des résultats négatifs obtenus par M. Faraday, pour quelques gaz simples, tels que l'hydrogène, qu'il avait espéré liquéfier.

On sait que M. Cagniard-Latour a montré qu'à une certaine température, et à une pression suffisante, un liquide se changeait en un gaz transparent, sans changer de volume. C'est, par exemple, ce qui arrive pour l'éther à une pression de 38 atmosphères, pour l'eau qui remplit un tube fermé, à peu près à la température de la fusion du zinc. A cette température et pour une pression correspondante de 115 à 120 atmosphères, il n'y a, pour ainsi dire, plus de différence entre le gaz et le liquide : il n'est pas vraisemblable qu'aucune augmentation de pression, à moins qu'elle ne soit énorme, puisse liquéfier le gaz.

Si donc la température de —140° est, pour l'hydrogène, supérieure à celle de ce point de transformation, il ne résulte nullement de ce qu'on n'a pu le liquéfier, qu'il eût fallu, pour cela, un travail très-considérable; il faudrait seulement, pour lui faire quitter l'état gazeux, un froid encore plus intense que celui qu'on a pu produire jusqu'ici.

Il est infiniment probable que les gaz qui résistent à une pression de 27 à 50 atmosphères, à une température de — 140°, ne peuvent être liquéfiés par pression seulement, ne peuvent perdre leur état gazeux à la température ordinaire.

LIQUIDES (Constitution des). L'état liquide est un état de la matière parfaitement défini comme les deux autres, l'état gazeux et l'état solide, avec cette particularité toutefois qu'il est compris entre eux et s'en rapproche dans le voisinage des points de changement d'état, car on ne peut chauffer un liquide sans le convertir en gaz, on ne peut lui soustraire de la chaleur, le refroidir sans le faire passer à l'état solide.

On peut donc établir *a priori*, que l'expression dynamique des liquides doit se composer de deux termes qui répondent aux deux autres états, et que la prédominance de l'un de ces termes répond à l'état gazeux ou à l'état solide; que leur constitution doit être déterminée à la fois par des forces analogues à celles qui produisent l'union des molécules des solides, et par des forces vives résultant des vibrations dont l'effet est cause que les molécules gazeuses tendent à se répandre et à s'éloigner indéfiniment les unes des autres. Mais, avant de chercher à appliquer ces éléments à l'analyse de la constitution des liquides, commençons par résumer la manière dont ils résistent aux actions mécaniques exercées sur eux, ce qui peut le mieux faire comprendre leur constitution.

Divisibilité. — Ce qui caractérise essentiellement les liquides, c'est l'absence de résistance à la séparation de leurs diverses parties. Cette séparation, cette division a lieu aussitôt qu'ils sont libres d'obéir à l'action des forces qui agissent sur eux, par exemple à la pesanteur. C'est ainsi qu'ils s'écoulent par un orifice lorsque les parois des vases qui les renferment viennent à disparaître en quelque point. Les liquides nous apparaissent donc comme formés de molécules extrêmement mobiles, qui ne forment pas une chaîne continue, comme celles des solides; mais, tandis que leur séparation se produit avec la plus grande facilité, il est loin d'en être ainsi, même comparativement aux solides, de leur rapprochement. Tout au contraire, les liquides sont incompressibles ou presque incompressibles par l'action des forces les plus énergiques.

Résistance des liquides à la compression. — Les académiciens de Florence avaient conclu de leurs expériences l'incompressibilité absolue des liquides, et si les expériences des physiciens modernes ont constaté une diminution de volume proportionnelle à la pression, cette diminution est tellement minime, qu'il est permis de partir de l'incompressibilité pour analyser la constitution des liquides.

On reconnaît une propriété semblable dans les sables, souvent employés dans la pratique à cause de leur incompressibilité, dans les limites des pressions qui ne détruisent pas les petits corps élémentaires dont ils sont formés. Cet effet résulte évidemment de ce que ceux-ci reposent directement les uns sur les autres, de ce que les sables sont formés d'une multitude de petits corps distincts entre lesquels la pression se répartit; et l'analogie doit faire penser que la constitution des liquides a quelque analogie avec celle-ci, qu'ils doivent être formés de systèmes indépendants en nombre infiniment grand, entre lesquels se partage la pression, exercée en un point de leur surface, qui se répartit dans toute la masse.

Je rapporterai ici les coefficients de compressibilité qui ont été déterminés avec le plus de soin. Voici les fractions de volume dont se compriment quelques liquides pour une pression de 1 atmosphère ou un poids de 10,330 kilog. par mètre carré.

Mercure.	0,00000295
Eau.	0,0000503
Alcool	0,0000828
Éther	0,00012

On voit que la compressibilité des liquides est bien minime, qu'elle est à peine appréciable, si ce n'est pour ceux facilement vaporisables, dont la constitution est sur la limite en quelque sorte de l'état liquide et de l'état gazeux.

Hydrostatique. — Toute la statique des liquides peut se déduire de leur incompressibilité. Ainsi le principe de l'égalité des pressions, duquel Pascal a tiré la théorie de la presse hydraulique, en résulte nécessairement.

Si un liquide renfermé dans un vase inextensible est pressé en un point par un piston mobile de surface A, avec une pression égale à P, toute partie de la surface égale à A sera soumise à la pression P, puisque, si elle devenait mobile, elle se mouvrait évidemment par l'effet de cette pression, le fluide incompressible ne pouvant rien détruire du travail moteur par action intérieure, mais seulement le transmettre. Ce qui est vrai pour une surface A l'est pour toute la surface du vase, et spécialement pour une surface d'étendue nA comme le grand

EFERUS - Recherche & Classification numérique

piston de la presse hydraulique qui donne une pression n fois plus grande que celle du petit, bien entendu avec une course n fois plus petite, puisqu'il n'y a que transmission et non création de travail.

La répartition des pressions, le principe d'Archimède, etc., sont des conséquences directes du principe d'incompressibilité, et nous n'avons pas à nous y arrêter, ne voulant ici que bien définir la nature des liquides, pour arriver à l'analyse de leur constitution intime.

Hydrodynamique. — La mobilité extrême des liquides, combinée avec l'absence de toute consommation de travail par action intérieure, résultat de leur incompressibilité, est de même la base de l'hydrodynamique.

La facilité avec laquelle les molécules s'écartent devant tout corps étranger, et notamment devant des parties du liquide même qui tombent, donne le principe de la théorie de l'écoulement des liquides pesants qui sortent par le fond d'un vase avec la vitesse même qu'ils auraient s'ils tombaient de la hauteur qui sépare la surface du liquide du fond du vase. C'est le célèbre théorème de Torricelli, principe fondamental de toute cette théorie vérifiée par de nombreuses expériences.

La quantité de liquide d'une densité D, sortant d'un vase où son niveau est à une hauteur h, est pour un orifice de section ω, $D\omega V = D\omega\sqrt{2gh}$.

Mouvements orbitaires. — Je rappellerai ici une autre conséquence de la mobilité des fluides, dans un cas où elle n'est pas seule en jeu. Lorsqu'on jette une pierre dans l'eau, il se forme ce qu'on appelle un tourbillon, une circonférence d'eau en mouvement qui va en s'agrandissant de moins en moins rapidement; car, d'après les observations de Léonard de Vinci, la vitesse des différentes couches des tourbillons croît en raison inverse de la longueur du rayon correspondant. C'est le contraire de ce qui se passe dans une roue, dans laquelle les vitesses croissent proportionnellement à la distance au centre.

Lorsque après un moment la surface de l'eau est devenue tranquille, il ne faut pas croire que le liquide soit rentré en repos. D'où serait venue la consommation du travail qui avait engendré son mouvement? Celui-ci, bien que n'étant plus aussi apparent, persiste dans la masse. Les molécules agitées rencontrant d'autres molécules, il en résulte une infinité de petits tourbillons, de mouvements orbitaires analogues à ceux plus apparents qui se manifestent toutes les fois que de l'eau tombe d'une certaine hauteur ou qu'un cours d'eau rencontre un obstacle déposé dans un courant. La production des mouvements orbitaires qui s'engendrent si naturellement dans les liquides est le mode de dissimulation de la force vive dans les changements brusques des vitesses des fluides, comme les mouvements vibratoires constituent celui de sa dissémination dans les solides. Ces tourbillons, entraînés comme des corps étrangers par le fluide en mouvement, constituent un mode spécial d'emmagasinement de force vive. Ce grand fait de l'état dynamique des liquides, causé à la fois par leur mobilité et par une certaine adhérence mutuelle, nous paraît devoir conduire à l'analyse de leur constitution, comme la facile production des vibrations à celle des solides. Bien qu'observés dans des masses sensibles, ce n'est qu'à cause de la nature intime des corps que ces mouvements se produisent sous une forme qui doit se reproduire d'une manière analogue dans ceux des éléments moléculaires dont les forces vives sont calorifiques.

Conséquence de la mobilité et de l'attraction moléculaire. — La mobilité extrême des molécules liquides, qui doit faire conclure leur mouvement incessant, entourées qu'elles sont d'éther en vibration, ne suffit pas à elle seule pour expliquer les propriétés des liquides, qui n'appartiendraient nullement à un amas de molécules sans action les unes sur les autres. Il est aisé de voir quel autre élément intervient. La seule communication d'une impulsion suffit pour rendre compte de l'état gazeux, l'attraction ne jouant alors qu'un rôle secondaire; mais quand par la compression le corps gazeux devient liquide, quand la distance des molécules diminue, c'est la force d'attraction (quelle qu'en soit la cause), dont les corps solides nous prouvent si manifestement les effets, qui vient s'exercer entre des molécules plus rapprochées. L'expérience permet de bien constater l'existence de cette force, qui entraîne, avec la mobilité, la nécessité des mouvements orbitaires, des trajectoires elliptiques plus ou moins étendues, des molécules des liquides les unes par rapport aux autres. C'est le résultat nécessaire d'un certain rapport entre la vitesse d'impulsion, la force d'attraction et l'écartement moléculaire, que la formation d'une infinité de petits systèmes planétaires.

Attraction des molécules des liquides. — Capillarité. — L'attraction mutuelle des molécules des liquides, les unes pour les autres, se constate par des expériences directes; elle joue un rôle important dans nombre de phénomènes. Il n'en est pas de plus probant, à cet égard, que ceux de capillarité.

Ce point de vue avait vivement frappé Newton, qui, parlant des phénomènes capillaires dans la question XXXI, jointe à son Optique, les considère comme dérivant d'attractions qui s'étendent à si petites distances, qu'elles ont échappé jusqu'ici à nos observations.

« Si deux plaques de verre planes et polies, dit-il (supposons deux fragments d'un miroir bien poli), sont jointes ensemble, leurs côtés parallèles et à une très-petite distance l'une de l'autre; et que, par leurs extrémités inférieures, on les enfonce un peu dans un vase plein d'eau, l'eau montera entre les deux verres Et à mesure que les deux plaques seront moins éloignées, l'eau s'élèvera à une plus grande hauteur. Si leur distance est environ la centième partie d'un pouce, l'eau montera à une hauteur d'environ un pouce; et si la distance est plus grande ou plus petite, en quelque proportion que ce soit, la hauteur sera à peu près réciproque de la distance. Car la force attractive des verres est la même, soit que la distance qu'il y a entre eux soit plus grande ou plus petite; et le poids de l'eau attiré en haut est le même si la hauteur de l'eau est en proportion réciproque à la distance des verres. C'est encore ainsi que l'eau monte entre deux plaques de marbre poli lorsque leurs côtés polis sont parallèles et à une fort petite distance l'un de l'autre. Et si l'on trempe dans l'eau le bout d'un tuyau de verre fort mince, l'eau montera dans le tuyau à une hauteur réciproque à la cavité du tuyau, et égale à la hauteur à laquelle elle monte entre deux plaques de verre, si le demi-diamètre de la cavité du tuyau est égal à la distance entre les plaques ou environ. Du reste, toutes ces expériences réussissent tout aussi bien dans le vide ou en plein air, et, par conséquent, elles ne dépendent en aucune manière du poids ou de la pression de l'atmosphère. »

On voit que Newton appréciait parfaitement tout l'intérêt qu'offraient les phénomènes capillaires comme démonstratifs de l'attraction moléculaire à petite distance des molécules des solides sur les molécules des liquides, et par suite de l'attraction de celles-ci, en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction, mais n'a pas tenu assez compte de l'attraction mutuelle de ces dernières, qui seule peut faire comprendre comment, quand le liquide est du mercure, il y a dépression au lieu d'élévation dans les tubes de verre capillaires.

Sans reprendre en détail la théorie des phénomènes capillaires exposée dans tous les traités de physique, je donnerai seulement ici l'analyse du cas principal pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

montrer le mode de raisonnement que l'on emploie pour arriver à une théorie que vérifie l'expérience.

Soit un liquide s'élevant dans un tube capillaire jusqu'au niveau moyen AB, fig. 1, les parties du tube placées au-dessus de ce niveau concourront à l'action qui le soulèvera. Il en résultera une force verticale dont l'intensité sera évidemment proportionnelle au périmètre p de la section du tube ; elle pourra généralement se représenter par $p\alpha$. Les parties du tube comprises entre AB et CD attireront le liquide qu'elles contiennent ; mais, à cause de la symétrie, elles ne l'élèveront ni ne l'abaisseront. Enfin les molécules du tube placées au-dessus de CD agiront sur les parties du liquide placées au-dessous, dans le prolongement du canal, et les soulèveront avec une force qui sera encore $p\alpha$. Le tube sollicitera donc le liquide avec une force totale $2p\alpha$. Mais, d'un autre côté, on peut se figurer un tube liquide CDMN prolongeant le tube de verre, et les molécules de l'épaisseur de ce tube attireront celles qui renferment les parties supérieures du canal, avec une force $p\alpha'$. En définitive, $p(2\alpha - \alpha')$ sera l'expression de la force qui soulèvera le liquide, et suivant que $2\alpha - \alpha'$ sera positif, nul ou négatif, il y aura élévation (fig. 2), niveau égal ou dépression (fig. 3).

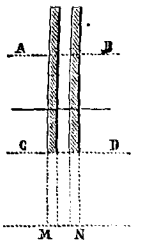
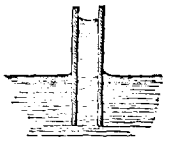
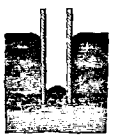


Fig. 1,


Fig. 2.


Fig. 3.

Cette force est équilibrée par la colonne liquide soulevée ou abaissée, dont le poids est égal au produit de la section s du tube par la hauteur h et la densité d du liquide, et l'on aura :

$$p(2\alpha - \alpha') = shd, \text{ ou } h = \frac{p}{s}\frac{(2\alpha - \alpha')}{d} = \pm\frac{p}{s}\alpha^2,$$

en désignant par α^2 une constante spécifique.

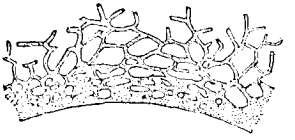
C'est cette formule que l'on vérifie par expérience et qui s'applique fort bien aux divers cas qui peuvent se présenter.

Nous avons rapporté à CAPILLARITÉ les si curieuses expériences de M. Plateau, qui montrent clairement les effets de l'attraction mutuelle des molécules liquides, lorsqu'elles sont entièrement libres, lorsque le liquide considéré est libre d'obéir à ses seules forces intérieures, comme on le voit déjà pour le mercure, qui, placé sur une plaque de verre qu'il ne mouille pas, prend la forme d'une gouttelette arrondie, au lieu de s'y étaler en couche mince sous l'action de la gravité.

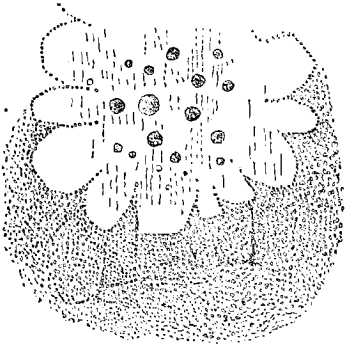
Nous ferons observer, en passant, que la capillarité offre un moyen d'évaluer l'attraction mutuelle des molécules des liquides par rapport à celles d'un liquide pris pour unité, l'eau par exemple. L'action α' du liquide sera en raison inverse des hauteurs h auxquelles s'élèveront les divers liquides dans un même tube pris pour unité, ayant par exemple 1 mill. de diamètre. L'action du tube sera toujours la même, celle du liquide seule variera.

Figures de cohésion des liquides. — M. Tomlinson a fait de curieuses expériences sur les figures que prend une goutte d'un liquide déposé sur la surface d'un autre liquide, figures qui ne sont souvent que des apparences fugitives à cause de la rapidité avec laquelle la goutte déposée se dissout dans le liquide qui la supporte. La variation considérable de ces apparences ne peut se comprendre que par des résistances spéciales, des groupements atomiques rappelant quelque peu les formes cristallines des solides. Le meilleur moyen d'examiner ces figures consiste à déposer avec précaution, sur la surface d'une eau pure, une goutte d'un liquide qui n'y soit que peu soluble, de la créosote ou une huile essentielle par exemple ; le vase doit être en verre, et parfaitement net de matière grasse. L'adhésion de cette goutte pour l'eau la détermine d'abord à s'étaler en forme de membrane, forme contre laquelle réagit la cohésion intermoléculaire ; si c'est une goutte d'huile de lavande, la membrane s'ouvre en une multitude de points comme une étoffe rongée par les vers.

Les figures ci-contre, très-stables pour les huiles


Fig. 4.

fixes, comme celle de l'huile d'olive (fig. 4) ou l'huile de


Fig. 5.

noix (fig. 5) montrent que chaque liquide donne un


Fig. 6.

dessin spécial, une figure particulière qui peut servir

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à le distinguer de tous les autres. Ces figures sont plus ou moins permanentes, selon que le liquide expérimenté est plus ou moins soluble dans l'eau. Plus le liquide est soluble, moins la figure a de durée. Celle de l'essence de lavande (fig. 6) dure moins que celles ci-dessus. La figure de la créosote (fig. 7) dure cinq minutes; celles de l'éther ou de l'alcool seulement une fraction de seconde.

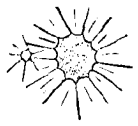


Fig. 7.

M. Tomlinson pense que l'on peut reconnaître par ce genre d'observations un mélange de deux huiles.

Diffusion des liquides. — Si les faits que nous venons de rappeler démontrent l'attraction mutuelle des molécules des liquides, il est d'autres faits qui démontrent directement leur mouvement, la permanence dans leurs molécules de partie au moins de la force vive moléculaire, qui leur appartient à l'état gazeux. C'est Graham qui a su démontrer le premier fait par ses expériences de la diffusion des gaz, qui a réuni en une série intéressante les faits de diffusion des liquides, qui prouvent, il nous semble, manifestement le second.

Si on laisse arriver dans un même vase deux liquides susceptibles de former un mélange permanent, mais de densités différentes, ils se pénètrent et se mélangent peu à peu. Ainsi, si on remplit une éprouvette d'une infusion bleue de tournesol, et qu'au moyen d'une pipette à long bec on introduise à la partie inférieure un peu d'acide sulfurique, on constatera après deux ou trois jours que l'acide s'est diffusé dans le liquide, qui a pris en conséquence une teinte rouge. On peut, dans l'intervalle, observer les progrès du mélange, et le changement graduel de couleur, qui s'opère de bas en haut. C'est le phénomène de la diffusion.

Graham a employé dans ses recherches un appareil très-simple. Il se servait d'un certain nombre de fioles de 114 centimètres cubes de capacité et dont les cols avaient tous un même diamètre, d'environ 31 millimètres. Ces fioles étant d'abord presque entièrement remplies de la dissolution saline, on achevait de les remplir d'eau. On les recouvrait d'une plaque de verre, et dans cet état on les plaçait au fond d'un vase cylindrique contenant 0,567 litres d'eau distillée, de telle sorte que le col se trouvât à moins de 25 millimètres au-

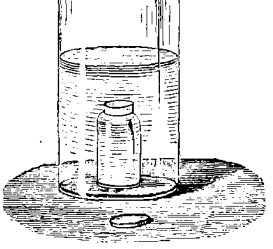


Fig. 8.

dessous de la surface de l'eau dans le vase (fig. 8). La fiole introduite de cette manière, on enlevait la plaque de verre, et l'appareil était ensuite laissé en repos pendant plusieurs jours, à une température constante. Au bout du temps convenable, on remettait sur le col la plaque de verre et l'on retirait la fiole. On vaporisait l'eau du vase, et en pesant la quantité de sel qui formait le résidu, on avait la mesure de la diffusion.

Pour un même sel, les quantités diffusées croissent avec la concentration de la solution, sont à peu près proportionnelles à la quantité de substance dissoute. Pour des corps différents, de densité assez peu différente, les diffusibilités varient dans des limites très-étendues. C'est ce que montre le tableau suivant :

SUBSTANCES EMPLOYÉES.	POIDS spécifique de la substance à 16° C.	POIDS en grains de la substance diffusée.
Chlorure de sodium. . . .	1.1265	58.68
Sulfate de magnésie. . . .	1.185	27.42
Nitrate de soude.	1.120	51.56
Acide sulfurique.	1.108	69.32
Sucre candi.	1.070	26.74
Mélasse de sucre de canne.	1.069	32.55
Gomme arabique.	1.060	13.24
Albumine.	1.053	3.08

Les dernières substances, pâteuses, à peine liquides, ont été appelées par Graham colloïdes, par opposition à celles susceptibles de cristalliser, qu'il a appelées cristalloïdes, et qui possèdent un pouvoir de diffusion bien plus considérable. On a trouvé que les substances salines peuvent se classer en groupes d'égale diffusibilité, qui coïncident dans beaucoup de cas avec des groupes d'isomorphisme. Les groupes les plus importants sont les suivants : le premier groupe comprend les acides chlorhydrique, iodhydrique, bromhydrique, peut-être l'acide nitrique. Ces acides sont les substances les plus diffusibles. Le second se compose de l'hydrate de potasse et probablement de l'ammoniaque. Le troisième comprend les nitrates de potasse et d'ammoniaque, le chlorure, le bromure et l'iodure de potassium, le chlorure d'ammoniaque et le nitrate de potasse. Le quatrième, le nitrate de soude, le chlorure, le bromure et l'iodure de sodium, etc.

La diffusibilité dépend évidemment à la fois de l'affinité des corps dissous pour l'eau, et de la force vive du liquide formé par la solution. Ce qui montre bien l'influence de ce dernier élément, c'est la rapidité avec laquelle la diffusion augmente quand la température s'élève. Ainsi on a trouvé pour l'acide chlorhydrique les résultats suivants :

Diffusion à.	15°,5	= 1
—	27°	= 1,3545
—	38°	= 1,7732
—	49°	= 2,1812

Le mélange de liquides s'effectue encore à travers les corps poreux et constitue le phénomène de l'endosmose qui est rendu sensible à l'aide d'une expérience fort simple. On place de l'alcool dans une vessie ou tout autre sac membraneux, sans la remplir complétement, on lie l'ouverture assez fortement pour qu'aucune particule liquide ne puisse s'échapper; on jette ce sac fermé dans un bassin plein d'eau; après quelques heures on le trouve gonflé. Si l'action se prolonge, si les liquides ont été convenablement choisis et dosés, l'extension pourra aller jusqu'à la rupture de l'enveloppe elle-même. Il ne s'est pas produit un courant unique et dans un seul sens, comme le gonflement du sac a dû le faire croire, mais bien deux courants en sens inverse; et si le sac s'est gonflé, c'est que le courant de liquide sortant avait moins d'énergie que le courant entrant (voy. OSMOSE).

CONSTITUTION DES LIQUIDES. — L'analyse des faits qui permettent le mieux d'apprécier la constitution des liquides nous conduit donc à les considérer comme formés de molécules essentiellement mobiles, bien qu'exer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

çant les unes sur les autres des attractions. Que peut-il résulter de là, si ce n'est une infinité de mouvements moléculaires à orbites fermés, seuls compatibles avec la facile division des liquides et leur non-expansion spontanée?

Lorsqu'un liquide vient à se former par la fusion d'un corps solide, chaque molécule qui devient libre tend à se mouvoir sous l'action des forces diverses qui agissent sur elle; elle ne se sépare pas d'une molécule voisine à laquelle elle adhérait plus particulièrement dans le solide, mais se meut autour d'elle; emportées ensemble, toutes deux tendent à constituer un tourbillon élémentaire semblable à ceux plus considérables que nous voyons se former dans les liquides en mouvement. Le travail, la force vive emmagasinée dans ces molécules ne saurait s'éteindre par communication au vase inextensible et immobile dans lequel le liquide est renfermé.

Un liquide doit donc être considéré comme formé par une réunion de molécules décrivant les unes autour des autres, sans se séparer, de petites trajectoires courbes, effectuant, par l'influence des vibrations de l'éther ambiant et de l'attraction, des mouvements orbitaires formant des systèmes groupés d'une manière propre à chaque liquide; c'est sous cette forme que s'emmagasine dans les liquides la force vive calorifique. L'attraction, sans déterminer la réunion des molécules comme dans les solides, n'y est pas négligeable comme dans les gaz; elle courbe les trajectoires et fait que les mouvements se produisent dans des courbes fermées et sont assimilables aux mouvements planétaires. Pris en masse, rapportés à la moyenne d'une infinité de molécules se mouvant simultanément en tous sens, ceux-ci peuvent être considérés comme circulaires.

On doit observer que tous ces orbites fermés en nombre infini, tous ces petits tourbillons élémentaires roulant les uns sur les autres, constituent autant de petits systèmes résistant à la compression et nullement à la division, sauf en raison de leurs faibles attractions mutuelles qui donnent naissance à ce qu'on nomme la *viscosité* des liquides. L'incompressibilité des liquides résulte du nombre infini de ces systèmes indépendants, la pression se communiquant des uns aux autres en se divisant également à l'infini, en devenant presque nulle pour chacun d'eux, au lieu de se propager de proche en proche comme dans les solides, à cause de l'adhérence de leurs molécules.

Déjà Huyghens, l'immortel auteur de la théorie des ondulations, attribuait au mouvement vibratoire la propriété qu'ont les liquides, quand on les verse dans un vase, que leur surface devienne de suite horizontale. Un amas de grains change ses talus inclinés pour une surface horizontale, lorsqu'on lui donne de légères secousses. La chaleur, d'après Huyghens, imprimerait de même aux molécules liquides de petits mouvements analogues à des secousses qui produiraient le même effet final.

On doit pouvoir trouver quelque rapport entre les mouvements des molécules des liquides et les ondulations de l'éther qui adhère avec elles, et qui leur communique l'impulsion calorifique lors de la propagation de la chaleur par rayonnement. Peu de recherches ont encore été faites sur la question obscure des dimensions des orbites ou des rayons d'action de l'attraction moléculaire. M. Jamin a reconnu que les espèces d'atmosphères éthérées qui entourent chaque molécule des liquides se comportent comme si elles étaient en contact. En effet, il a constaté que des franges apparaissent lorsqu'on fait interférer deux rayons lumineux partant d'une même source lumineuse et ayant traversé deux tubes pleins d'eau, lorsqu'on vient à exercer sur l'un d'eux la pression minime mesurée par un millimètre de mercure, c'est-à-dire que la moindre pression modifie la densité de l'éther.

Confirmation. — On entrevoit une confirmation de la vérité du mode de constitution des liquides, que je viens d'indiquer, dans les intéressantes expériences de M. Dufour (Voy. ÉBULLITION). On sait que ce physicien a trouvé que les points de solidification et d'ébullition des liquides n'étaient pas absolument fixes; que des liquides soustraits à des influences extérieures, nageant sous forme de globules dans un milieu de densité convenable, résistent, en quelque sorte au changement d'état. Il a pu ainsi, par exemple, maintenir du soufre liquide à 110° au-dessous du point de fusion du soufre solide. Il faut nécessairement que la constitution des liquides ait quelque chose de particulier, pour que la somme des forces vives moléculaires puisse y varier dans des limites aussi étendues; c'est ce qui se comprend bien pour les mouvements orbitaires, les tourbillons moléculaires que nous avons cherché à définir. Il ne saurait en être de même pour l'état solide ou l'état gazeux, et l'expérience semble bien indiquer qu'il ne se produit pas, en effet, lors de leurs changements d'état, de phénomènes semblables.

Formule de l'état dynamique des liquides.—Placées au milieu de l'éther en vibration, à une certaine vitesse pour une température déterminée, les molécules liquides essentiellement mobiles prennent une certaine vitesse vibratoire qui répond pour chaque molécule à une force vive $\frac{mL^2}{2}$ et pour toutes celles de l'unité de poids à $\Sigma\frac{mL^2}{2}$.

Les forces d'attraction mutuelle entre les molécules que nombre de phénomènes, ceux de capillarité notamment, démontrent exister chez les liquides, ne permettraient leur séparation qu'autant qu'on consommerait une quantité de travail (ou de la chaleur équivalente dégagée lors de la formation du liquide, lors de la condensation de la vapeur), que nous représenterons par A' pour l'unité de poids. L'état dynamique d'un liquide sera donc représenté par :

$$-AA' + \Sigma\frac{mL^2}{2};$$

ce sera l'expression de la quantité de travail qui lui appartient en raison de sa nature propre. La valeur de A' qui entre dans cette expression (que nous ramenons à de la chaleur, parce que c'est sous cette forme que nous supposons évaluée la force vive moléculaire et que nous avons montré la possibilité de déterminer) (voy. CHALEURS LATENTES), peut servir à comparer les liquides différents, comme le coefficient d'élasticité, avec lequel elle a beaucoup d'analogie, permet de comparer les solides entre eux.

LISAGE. Le tissage mécanique des étoffes brochées, l'emploi du métier à la Jacquart et de ses cartons, suppose préalablement exécutée l'opération du lisage, c'est-à-dire du percement des cartons en raison de la nature du dessin, chaque trou correspondant au passage d'un fil coloré de la trame sur un fil de la chaîne. Ce lisage est fait à la main, soit à l'aide de poinçons, soit mieux à l'aide de machines à touches, à l'aide desquelles on peut lire le dessin tracé sur papier quadrillé, chaque touche mettant en mouvement le poinçon qui perce le carton. Cette opération assez délicate semble pouvoir être rendue automatique à l'aide de l'électricité. Ce n'est pas précisément sous cette forme que se présente l'invention que j'ai en vue, c'est sous celle, évidemment équivalente, de la suppression du lisage dans la modification du métier Jacquart, connu sous le nom de métier électrique, de l'invention de M. Bonelli.

Le dessin étant rapporté sur une feuille d'étain,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reproduit, à l'aide d'un vernis non conducteur, il suffit de tracer une ligne avec un traçoir métallique mis en communication par de bons conducteurs avec les systèmes qui servent à mouvoir successivement les poinçons qui correspondent à la place que doit occuper chaque fil, pour qu'à chaque interruption du courant, c'est-à-dire pour chaque point du dessin, un trou soit percé, et que sans mise en carte préalable, les cartons soient percés et propres à être employés dans une Jacquart ordinaire. Dans le métier dont nous parlons, chaque interruption faisait livrer un fil par l'effet de poids que combattaient habituellement les électro-aimants qui maintenaient chaque fil.

Cet emploi si curieux de l'action presque intelligente de l'électricité pour produire le tissage des façonnés avait séduit l'habile constructeur Froment, qui avait espéré, à l'aide d'appareils malheureusement trop coûteux, le rendre pratique.

LOCH. L'appareil usité vulgairement pour mesurer le sillage d'un navire se compose de trois parties principales: le bateau de loch, la ligne de loch et le tour de loch.

Le bateau de loch est un secteur en bois dont le rayon a seulement quelques pouces et dont l'arc est plombé, en sorte que dans l'eau il prend, si on l'abandonne à lui-même, une position verticale.

Si maintenant on imagine chacun des angles traversé, de part en part, par un brin de fil ou une ficelle de 1 mètre environ de longueur, et qu'on se figure tenir à la main les extrémités réunies de ce fil, on aura l'image exacte du bateau de loch, au moment où le timonier va le lancer par-dessus le bord.

On appelle ligne, en termes de marine, un petit cordage attaché par un de ses bouts aux extrémités réunies des trois fils dont nous parlions tout à l'heure; elle est fixée par l'autre bout à une sorte de dévidoir fort simple, sur lequel elle s'enroule comme un peloton de soie sur sa bobine. C'est ce dévidoir qui se nomme *tour de loch*.

Deux choses sont à remarquer sur la ligne: la houache et les nœuds.

La houache est un morceau d'étamine habituellement rouge; il est attaché sur la ligne à une distance du bateau de loch égale à la longueur du navire.

Les nœuds sont d'ordinaire de petites lanières de cuir de 5 centimètres ou un peu plus, épissées sur la ligne; elles marquent ses divisions. D'un nœud à l'autre, — le premier est à la houache, — il y a, en théorie, la 120e partie d'un mille marin, c'est-à-dire 15 mètres 42 centimètres; mais, en fait, on ne met entre les nœuds que 15m,40, ou même 14m,77: cela, d'un côté, parce qu'à l'usage, la ligne s'allonge toujours très-sensiblement, et d'un autre côté, parce qu'il est moins dangereux, quand on mesure sa course, surtout à l'approche d'un atterrisssage ou d'un récif, de se croire en avant qu'en arrière.

Ces dispositions données, décrivons l'opération de *jeter le loch* ou de mesurer le sillage: nous supposerons que le navire fait prompte route.

Au commandement: *Au loch!* — ce commandement se répète, règle générale, de demi-heure en demi-heure; — un timonier et deux matelots désignés d'avance passent à l'arrière, sur la dunette. De ces trois hommes, l'un, le timonier, prend d'une main le bateau de loch, de l'autre main un long bout de la ligne roulé; le second, un vigoureux matelot, saisit le tour par les deux bouts de l'axe sur lequel il tourne et l'élève au-dessus de sa tête; le troisième, enfin, s'empare d'un sablier-horloge, — deux ampoulettes de verre, comme on sait, qui, au centre de trois légers montants en bois, se touchent par le sommet et versent l'une dans l'autre le sable qu'elles contiennent par un petit trou pratiqué à cette fin dans la plaque de métal qui les sépare. Il y a à bord des sabliers ou ampoulettes de différentes durées: les plus communes se vident en une demi-minute, c'est-à-dire dans la 120e partie d'une heure.

En jetant le bateau de loch par-dessus la rampe de la dunette, le timonier commande: *Attention! — Attention!* répète le matelot au sablier. On laisse courir le navire, perdant la ligne de loch, jusqu'à ce que la houache, lambeau très-visible, passe précisément sur la rampe. A cet instant: *Tourne!* dit le timonier, et le matelot répète *Tourne!* renversant en effet son ampoulette, le côté plein sur le côté vide. Il la maintient ainsi, il la surveille jusqu'à l'instant où le dernier grain de sable passe de l'ampoulette supérieure à l'ampoulette inférieure. *Stop!* crie-t-il alors, et brusquement le timonier arrête la ligne de loch. Le matelot, qui roidissait avec effort ses bras contre les secousses violentes et saccadées imprimées au tour par la ligne dans son mouvement de fuite, abaisse le tour, et tous trois constatent combien de nœuds de la ligne ont passé sur la rampe de la dunette depuis la houache. Supposons qu'il y en a dix: le navire file dix nœuds; c'est-à-dire qu'en une demi-minute, durée du sablier, il parcourt, approximativement, dix fois la 120e partie d'un mille marin de 1852 mètres; qu'en une heure, par conséquent, il parcourt dix fois le mille marin tout entier, ou 18,5 kilomètres.

Notre excellent et si regrettable ami, Vincendon-Dumoulin, le compagnon de Dumont-d'Urville, et l'un des hommes qui ont donné la plus heureuse impulsion aux travaux hydrographiques et à la science nautique dans ces dernières années, a fait observer, dans l'article NAVIGATION, dont il a enrichi cet ouvrage, les avantages que l'on trouverait à employer des instruments plus précis que le loch ordinaire, qui ne fournit qu'une approximation grossière, et en quoi consistaient les meilleurs systèmes adoptés. Toutefois, comme l'extrême simplicité et le bon marché de l'ancien loch le fera toujours conserver dans le plus grand nombre de cas, on doit accueillir avec intérêt les perfectionnements qu'on pourra lui apporter.

Tel est l'instrument proposé par M. Pecoul, qui est disposé pour donner des résultats très-précieux dans certaines circonstances de navigation.

Ce loch, dit loch-sondeur, consiste en une petite bouée en cuivre, capable de snpporter un plomb de 3 kilogrammes. Cette bouée a la forme d'une pyramide triangulaire, qui a pour base un triangle équilatéral, et dont les faces latérales sont des triangles isocèles. Au sommet de la pyramide est adaptée une poulie où passe la ligne de loch, ayant un plomb à son extrémité. Un ressort est adapté à cette poulie et presse sur la ligne. Celle-ci glisse sans difficulté, tant qu'elle est sollicitée par le poids du plomb, et est arrêtée par le ressort, aussitôt que le plomb ayant touché le fond, la bouée s'incline sur l'eau.

On voit, d'après cette description, qu'en fixant la ligne à la poulie, on a un loch qui, maintenu par un poids plongé assez profondément, doit être moins impressionnable par les courants que le loch actuel, et, par suite, fournit des indications moins défectueuses. On voit encore comment, en laissant filer la ligne, on peut sonder en marchant rapidement, sans carguer les voiles, opération qui ne saurait être répétée souvent, et qui cependant, dans l'état actuel, est nécessaire pour connaître la profondeur de l'eau et éviter les échouements dans des mers difficiles, surtout lorsqu'on ne connait pas bien la position où l'on se trouve, lorsque des courants ont changé la route que le navigateur croit suivre.

Plusieurs commissions ont vérifié l'exactitude des indications fournies par le loch-sondeur, et l'on ne peut que faire des vœux pour la propagation, malheureusement trop lente, de cet utile instrument.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M

MACHINES A VAPEUR ROTATIVES. La recherche de la combinaison la plus convenable pour la construction d'une machine à vapeur produisant immédiatement un mouvement circulaire continu si commode pour les applications industrielles, comme le fournissent les roues hydrauliques, est une de celles qui ont fait le plus de victimes dans le monde des inventeurs. La plupart, ignorant le véritable mode d'action de la bielle et de la manivelle, sont constamment partis de ce principe, que dans le mouvement rectiligne alternatif de la machine à piston, il y avait une destruction de travail par l'effet du changement de sens du mouvement.

Le mouvement rectiligne de va-et-vient du piston poussé par la vapeur semble, en effet, *a priori*, ne pas pouvoir imprimer une vitesse de rotation régulière au volant, sans une destruction de travail lors du changement de sens du mouvement du piston. C'est précisément à cette difficulté que répond le système bielle et manivelle, lorsque, comme dans la machine à vapeur ordinaire dont cet organe est devenu une partie tout à fait essentielle, le balancier ou la tige du piston guidée, fait une double oscillation pour un tour complet de la manivelle. Comme il est montré à l'article BIELLE, la vitesse de la manivelle, projetée sur la position moyenne de la bielle, passe par zéro en deux points opposés correspondant au changement de sens du mouvement, elle va en décroissant jusqu'à devenir nulle, pour reprendre dans les mêmes conditions en sens contraire.

Ce sont bien là évidemment les conditions de maximum, c'est-à-dire que le travail est intégralement transmis, qu'aucune quantité n'est détruite lors du changement de sens, bien entendu lorsque la bielle est de longueur assez grande pour qu'on puisse la considérer comme demeurant toujours parallèle à elle-même, car pour des bielles trop courtes il se produit des phénomènes particuliers dus à l'imperfection de la construction, sur lesquels nous n'avons pas à insister ici.

Ceci étant établi, le principe dont partent presque tous les inventeurs de machines rotatives étant reconnu erroné, il faut en conclure, malgré toutes les espérances que leur suggère leur imagination, qu'il n'y a pas grande importance à attacher, aux essais de machines fondées sur le système tour et non sur le système plan comme la machine ordinaire, produisant immédiatement le mouvement circulaire.

Il semble donc qu'il n'y a guère lieu de s'occuper de ces inventions; toutefois la simplicité possible de ces machines, le faible poids qu'elles pourraient avoir, leur application directe pour divers usages, ne laissent pas que de donner quelque intérêt à ces recherches, lorsqu'il s'agit de les appliquer à de petites forces et d'obtenir non une machine avantageuse comme économie de combustible, mais comme bon marché et légèreté.

Deux voies peuvent être suivies pour résoudre le problème dont s'agit. L'une consistant à utiliser la pression de la vapeur dans une capacité extensible, agissant sur un piston mû d'un mouvement circulaire; c'est celle que nous allons d'abord examiner. L'autre reprenant la tradition des anciens, partant de l'éolypile, conduit à chercher à utiliser la force vive de la vapeur en mouvement ou sa réaction. Nous en traitons plus loin, mais évidemment la grande vitesse de l'écoulement de la vapeur à une pression élevée, si supérieure à celle que l'on peut donner pratiquement à des organes pesants, rend très-douteux le succès de ce genre de machines.

Le grand Watt avait fixé un instant son attention sur la question des machines rotatives, sur le moyen de faire mouvoir un piston circulairement, et avait aussitôt imaginé le type d'où sont nées bien des pompes rotatives, et dont la plupart des machines inventées depuis n'ont été et ne pouvaient être que des variations. Elle consistait (fig. 1) en un piston à section rectangulaire tournant autour de l'axe horizontal d'un cylindre, et pressé d'un côté par la vapeur, tandis que l'autre face était en communication avec l'air ou le condenseur. Ces deux zones différentes ne peuvent exister utilement et la vapeur prendre de point d'appui pour pousser le piston, que par l'effet d'un plan s'appuyant sur l'arbre et fermant le cylindre, plan qui dans cette machine rentre dans une cavité disposée à cet effet quand le piston le rencontre, en tournant autour d'un axe placé entre le tuyau d'arrivée, et le tuyau de sortie de la vapeur.

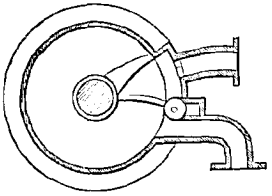


Fig. 1.

Watt reconnut bien vite l'impossibilité d'appliquer son système (voir MACHINES A VAPEUR) à de grandes forces, la difficulté d'empêcher les passages de la vapeur, le long de toutes les lignes de contact du piston tournant et du clapet oscillant, et cessa de s'occuper d'une machine si inférieure à la machine à piston cylindrique, si bien disposée pour obtenir de bonnes garnitures de piston, utiliser la détente, etc. Il est aisé d'établir qu'indépendamment de leur forme qui est un obstacle presque insurmontable, la différence des chemins parcourus par les divers points du piston diamétral et par suite la différence d'usure, ne peut permettre évidemment d'obtenir des garnitures comparables à celles du piston de la pompe cylindrique.

En effet, pour le piston ordinaire, se mouvant dans des conditions toujours identiques, le long des génératrices rectilignes d'un cylindre, une pression élastique sur le contour, suffisante en un point pour empêcher le passage de la vapeur, suffit pour toutes les positions successives qu'il pourra occuper; l'usure est la même en tous les points du contour circulaire et par suite minime.

Pour un piston tournant, les divers points d'un même rayon parcourent des chemins proportionnels à leur distance au centre. Si, par suite, on était parvenu à établir à l'origine une garniture fonctionnant d'une manière satisfaisante, l'usure différente dans les divers points, donnera bientôt lieu à des fuites. Encore ici ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parlons-nous que de surfaces régulièrement en contact; les difficultés seront encore bien plus grandes, et souvent insurmontables, lorsque les garnitures doivent servir successivement sur des surfaces différentes, doivent passer à travers des rainures, comme cela doit avoir lieu pour beaucoup de dispositions proposées, ainsi que nous allons le voir en passant en revue les principaux types de machines rotatives.

M. Reuleaux a fait beaucoup d'efforts pour classer le nombre si considérable des machines rotatives, en s'applaudissant de rattacher leurs mécanismes à ceux des manivelles, des roues dentées, etc., autrement dit, il a rencontré, ce qu'il était facile de prévoir *à proiri*, tous les moyens que fournit la cinématique pour fournir, par un mouvement alternatif le plus souvent, des cloisons permettant de diviser en deux parties la capacité où fonctionne la vapeur, et aussi des organes du système tour donnant des formes de piston procurant des obturations simples. Nous emprunterons quelques divisions à cette classification qui permet de mettre un peu d'ordre dans la revue d'une multitude d'inventions.

1° *Machines à manivelles.* — Ces machines, dans lesquelles on a en général conservé le cylindre à vapeur, ne sont pas, à proprement parler des machines rotatives du genre de celles dont nous voulons parler, mais des machines ordinaires où le mouvement rectiligne alternatif est converti en mouvement de rotation dans des conditions particulières. Nous renverrons pour la description de plusieurs types à l'article MACHINES A VAPEUR, où nous avons décrit notamment la machine Broterhood, tout à fait remarquable par la grande vitesse qu'on peut lui donner.

2° *Machines à tambour excentrique et à coulisse rotative.* — Ces machines tout à fait semblables aux pompes rotatives, car il s'agit de deux problèmes analogues, ont été inventées sous bien des formes. Nous donnerons seulement une disposition due à Cochrane (fig. 2) et qui

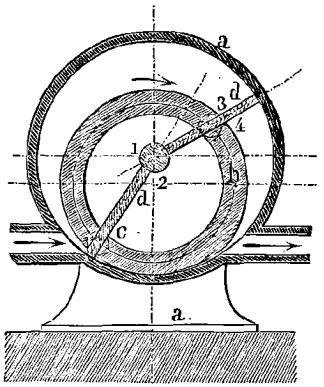


Fig. 2.

a été répétée par Hick, le constructeur anglais. C'est une combinaison d'excentrique circulaire et de rayons en sortant plus ou moins qui forment piston moteur. Inutile d'observer combien le frottement de glissement des palettes, à travers des rainures, sous des inclinaisons variables est défectueux, malgré des essais de stuffing-box sphériques d'une exécution presque impossible.

3° *Machines à double rotation.* — Une autre machine de Cochrane (fig. 3) agit par la double rotation d'un cylindre et de secteurs portés par ce cylindre, qui reçoivent seuls l'action de la vapeur sur la partie de leur

surface qui dépasse le contour du cylindre. Chaque secteur reçoit l'impulsion de la vapeur, en s'ouvrant sous l'action d'un ressort, par suite dans des conditions inacceptables pour une puissante machine.

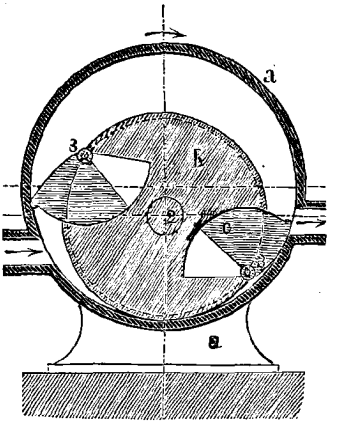


Fig. 3.

4° *Machines à excentrique.* — Le mouvement d'un excentrique fournit un moyen simple de placer et déplacer rapidement une cloison fournissant un point d'appui à la vapeur. C'est le point de départ de la machine Pecqueur, que nous décrivons plus loin.

5° *Machines à roues d'engrenage.* — La figure 4

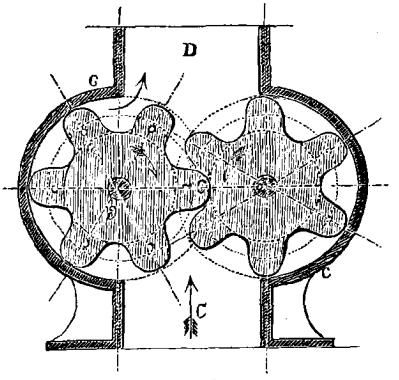


Fig. 4.

montre un système de deux roues dentées, depuis longtemps connu et souvent repris par la construction de pompes rotatives. C'est, il me semble, la disposition la plus simple possible de machines rotatives. Le ventilateur Fabry décrit à l'article VENTILATION est une excellente application de cette donnée pour l'enlèvement de grands volumes d'air.

Un très grand nombre de dents n'est évidemment pas nécessaire pour empêcher le passage de la vapeur entre les deux roues dentées, et plusieurs inventeurs se sont appliqués à le réduire. Une des dispositions les plus remarquables de ce genre est celle de la machine Behrens que nous étudions ci-après.

6° *Machines à rotation différentielle.* — Nous range-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rons dans cette classe la machine Thompson que nous allons décrire et qui originairement procédait de la pompe à mouvement alternatif de Bramah, formée par un secteur oscillant dans un demi-cylindre.

7° *Machine système levier.* — C'est le type auquel appartient la machine dite *disc-engine*, que nous décrivons ci-après, et dans laquelle le mouvement de l'axe qui est un mouvement conique, a lieu autour d'un seul point.

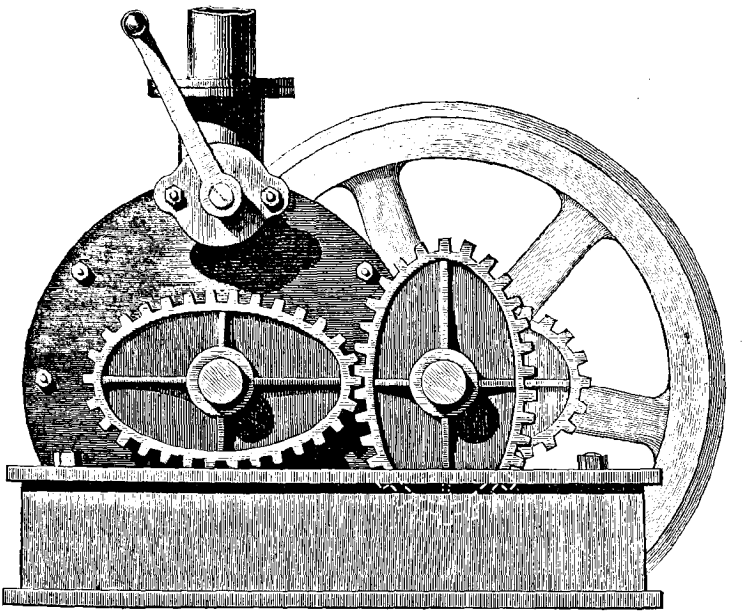
Parmi ce grand nombre de systèmes plus ou moins ingénieux, nous décrirons en détail ceux qui nous paraissent les moins imparfaits, ceux qui nous semblent offrir le plus grand intérêt : notamment, la machine française de l'ingénieux Pecqueur et la machine à disque, le *disc-engine*, de Bishop et Rennie que ce dernier constructeur a employée avec quelque succès,

MACHINES A VAPEUR.

L'arbre qui porte le volant-poulie est muni de deux ellipses dentées égales aux premières et calées à angle droit l'une avec l'autre, engrenant respectivement avec ces premières.

La vapeur s'introduit entre les pistons A et B (fig. 3645) et s'en échappe par quatre lumières deux à deux, diamétralement opposées. Le tuyau d'admission et le tuyau d'émission sont placés l'un à côté de l'autre et ouverts ou fermés par un seul robinet, dont la clef est percée de deux trous rectangulaires placés à angle droit, l'un pour le tuyau d'admission, l'autre pour celui de décharge. Donc le robinet est placé dans la position qu'il occupe dans la figure, lorsque la machine est au repos. Il suffit de le faire tourner d'un petit angle vers la droite pour que les

Fig. 3644.



pour faire mouvoir l'hélice d'un bateau à vapeur de 80 chevaux de force.

Avant de parler des deux systèmes qui ont eu le plus de succès, nous donnerons les plus intéressants qui aient figuré à l'Exposition de 1867, et qui doivent être surtout considérés comme curieux, comme fournissant des solutions originales d'un problème tenté par bien des esprits.

Machine de Thomson. — Cette curieuse machine rotative est à deux pistons, dont les mouvements relatifs dépendent des propriétés des engrenages elliptiques. Elle est vraiment intéressante au point de vue cinématique.

La vapeur agit à la fois sur deux pistons composés chacun de deux secteurs pleins, diamétralement opposés et fixés tous deux à des arbres, dont l'axe coïncide avec celui du cylindre. L'arbre du piston A porte une roue d'engrenage elliptique ; le rapport des axes de l'ellipse primitive est de 1:2. Le piston B se termine de l'autre côté du cylindre par un arbre qui porte aussi une roue dentée elliptique égale à la première, mais calée à angle droit avec celle-ci.

lumières L_1 et L_2 mettent le cylindre en communication avec la chaudière, et les lumières L_3 et L_4 en communication avec la décharge. Au contraire, une petite rotation vers la gauche ferait des lumières L_3 et L_4 les lumières d'admission, et de L_1 et L_2 celles d'émission, et la rotation de la machine serait de sens opposé à celui qu'elle prendrait dans le premier cas, indiqué par des flèches sur la figure. On voit par là combien il est facile de renverser la marche.

Lorsque la vapeur est introduite entre les pistons A et B, elle les pousse également dans des sens opposés; mais par suite de la liaison entre les axes du piston et l'arbre du volant et de l'engrènement de roues elliptiques, c'est-à-dire à rayon variable, le piston B marche plus rapidement que le piston A pendant un certain temps, après lequel sa vitesse diminue et celle du piston A augmente, chaque période durant un quart de révolution de l'arbre du volant.

Au départ, ω étant la vitesse angulaire constante du volant, a le grand axe de l'ellipse primitive, b le petit axe, la vitesse du secteur A est $\omega \frac{b}{a}$, celle du sec-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

teur B, $\omega \frac{a}{b}$, et le rapport des deux vitesses est $\frac{b^2}{a^2}$, ou dans les conditions supposées ici $\frac{1}{4}$. C'est en raison de cette différence de vitesse, de la différence des mouvements des deux pistons que s'engendre le travail utile de la vapeur.

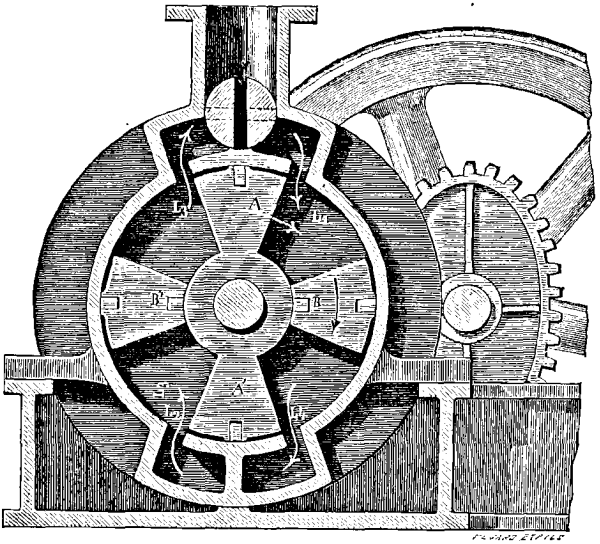


Fig. 3645.

Le piston A marche d'abord lentement, puis plus vite, pour atteindre quand son axe est parvenu à 45°, la même vitesse que le secteur B; sa vitesse augmente ensuite rapidement, si bien que les deux pistons ont décrit dans le même temps un angle de 90°. A cet instant la position est inverse de celle du départ. Le mouvement va donc recommencer dans les mêmes conditions que ci-devant; seulement le rôle des pistons est interverti. (Voir notre *Traité de cinématique* pour la théorie des roues elliptiques.)

Pour réduire l'espace mort à son minimum, il faut donner aux secteurs une dimension telle qu'ils se touchent au moment où la vitesse de B va devenir supérieure à celle de A dès que, par suite, celui-ci pourra utiliser le travail de la vapeur; mais il faut que la sortie de la vapeur ait lieu avant que l'accroissement de la vitesse de A ne rende son travail résistant considérable.

Cette machine, où la détente ne peut être appliquée et dans laquelle les garnitures ne sauraient avoir la précision de celles des pistons des machines ordinaires, ne saurait lutter avec celles-ci. Mais il existe un assez grand nombre de cas où il est nécessaire d'avoir une assez grande force avec une machine peu volumineuse, présentant de grandes facilités de renversement de marche; telles sont celles employées pour les grues, les cabestans, etc.

Sa construction est difficile à cause de l'emploi des roues elliptiques et les chocs des dents, par suite de l'alternance des parties qui conduisent, engendrent les vibrations des pièces animées d'un mouvement rapide. Elle ne paraît donc pas pouvoir être admise pour de grandes vitesses et ne vaudrait pas alors la simple machine rotative, composée de deux roues d'engrenage, à longues dents, renfermées dans une boîte cylindrique; système le plus simple de tous, souvent essayé et que nous avons encore vu exposé en 1867, par Pilliner et Hill, constructeurs anglais. Ils annonçaient que cette machine avait fonctionné dans une corderie, à commettre directement les torons, sans avaries, pendant quatorze mois, avec une vitesse de 550 révolutions par minute.

Machine de Behrens. — La machine rotative de Behrens peut être considérée comme un perfectionnement du dernier système dont nous venons de parler, chaque roue étant réduite à une dent de grande dimension, les deux axes tournant en sens contraire par l'effet des roues dentées extérieures. Il en résulte, pour les contacts qui ont lieu sur une grande partie de la circonférence, que les fuites sont considérablement réduites, et en marchant à grande vitesse, les résultats sont assez passables.

Ils deviennent bien meilleurs, en appliquant à cette machine qui, tournant très-vite et toujours appliquée à des petites forces, est d'un petit volume, le principe de Woolf, c'est-à-dire en montant sur le même arbre une seconde machine semblable à la première, de dimension double, par exemple, dans laquelle la vapeur prend un volume quadruple en venant de la première, ce qui fait qu'elle est mieux utilisée et que les fuites toujours notables, malgré les bons ajustements que peut permettre l'exécution à l'aide du tour, sont bien moins nuisibles.

Si enfin, comme l'a fait M. Petau, constructeur à Paris, cessionnaire du brevet pour la France, on monte sur le même axe une troisième petite machine employée comme pompe rotative pour élever de l'eau, alimenter une chaudière, etc., on aura un système d'une grande simplicité, sans perte de travail notable par

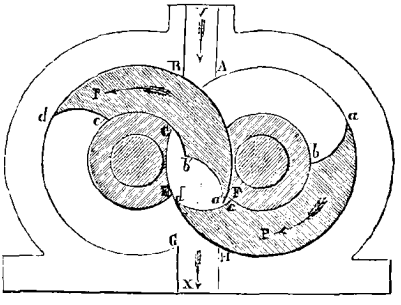


Fig. 3646.

les frottements, qui pourra être avantageux, bien que les espaces nuisibles y soient assez grands, et surtout sera d'un prix d'achat relativement minime.

Les figures 3646 et 3647 représentent deux positions

EFERUS - Recherche & Classification numérique

presque opposées des secteurs : la première, lorsque la vapeur agit sur le secteur de droite ; la seconde,

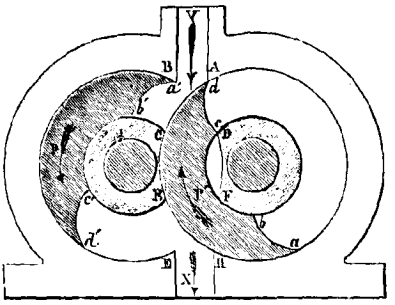


Fig. 3647.

lorsque la vapeur, qui agissait sur celui de droite, cesse d'agir et que c'est celui de gauche qui va fonctionner à son tour. Elles suffisent pour faire comprendre le mode de fonctionnement des deux pistons secteurs ayant près d'une demi-circonférence et terminés par des arcs de cercle voisins de la courbe théorique facile à tracer, mais qui ne peut être adoptée, parce qu'elle ferait naître un vide en arrière du contact. On voit facilement que cette machine a des espaces morts assez grands, l'un près de l'extrémité du piston, au moment où elle arrive devant le tuyau d'entrée, l'autre compris entre le creux de la douille et la face extérieure du piston.

Machine Pecqueur. — La machine rotative de Pecqueur dont nous donnons une coupe horizontale (fig. 3648), peut être considérée comme réalisant assez bien les conditions de bon travail de la machine rotative par l'emploi de dispositions excellentes pour de petites machines. C'est en effet dans les ateliers de passementerie, de fabrication d'articles de Paris, qu'elle a trouvé et devait trouver ses meilleurs débouchés.

L'idée qui paraît avoir présidé à la forme qu'on a donnée à son piston (celle d'un double cœur très-élargi) semble avoir été d'éviter les angles dans lesquels il est difficile d'obtenir une obturation complète. Le piston a donc la forme d'un cœur très-évasé, dont la pointe est coupée, et qui est fixé, par cette section, sur un arbre creux dans la partie comprise entre deux pièces nommées *bouchons*, parce qu'en effet ils servent à fermer la machine ; mais ils ont une autre fonction. L'un d'eux est en même temps un véritable prolongement de la boîte à vapeur, avec laquelle il communique ; un autre est constamment en communication avec l'échappement, et cela dans les conditions convenables, par l'effet du jeu d'un tiroir semblable aux tiroirs ordinaires, dont nous parlons plus loin. La partie de l'arbre qui tourne dans ces bouchons est percée de deux ouvertures, dont l'une, celle de l'admission, va communiquer derrière le piston, et dont l'autre, celle de l'échappement, va communiquer devant le piston. C'est par le vide pratiqué dans l'arbre que cette communication a lieu ; un diaphragme, placé dans ce vide, sépare la vapeur qui arrive de la vapeur qui s'échappe. Quant à la boîte à vapeur, elle est percée de trois lumières, dont une est constamment en communication avec l'échappement par le tiroir, et dont l'autre n'est momentanément fermée par le recouvrement que pour produire la détente, car si l'on veut marcher sans détente, le dessous du piston reste constamment en communication avec la chaudière. Si l'on déplace le tiroir de manière que la lumière que nous venons de supposer être celle d'admission soit mise en communication avec l'échappement, il en résulte tout naturellement un changement de marche instantané.

Les autres pièces essentielles de cette machine sont deux palettes horizontales, et placées dans le même plan, qui pénètrent dans la boîte où se meut le piston de manière à pouvoir séparer cette boîte en deux parties égales. Au moyen d'un système de cadres, ces palettes sont mises en mouvement par un excentrique qui, pendant une demi-révolution, n'agit que sur l'une d'elles et laisse l'autre fixe. Le mouvement imprimé à celle qui se meut est un mouvement de retraite du dedans en dehors, mouvement calculé de telle sorte qu'au moment où le piston va passer, la palette est au point le plus éloigné de sa course, et qu'aussitôt que ce passage a lieu, un ressort la ramène brusquement, de manière à produire une obturation complète. A cet instant, mais à cet instant seulement, les deux palettes sont fermées ; car aussitôt l'excentrique agit sur la palette qui précédemment était fixe, et lui imprime le mouvement de dedans en dehors qui la fait s'éloigner successivement de l'arbre.

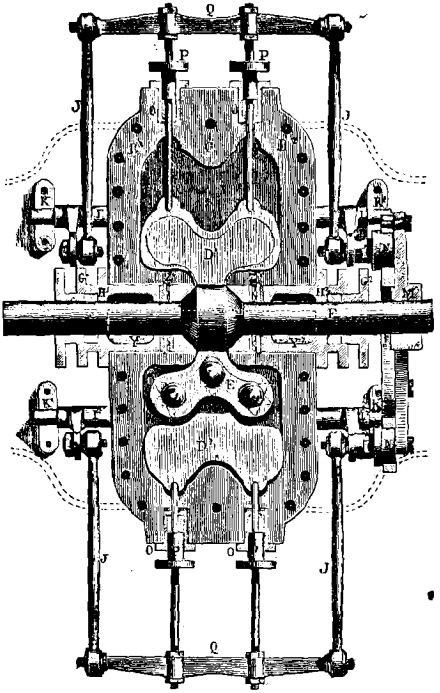


Fig. 3648.

Le jeu de la machine est maintenant facile à comprendre. Aussitôt que le piston a dépassé la palette arrivée à son maximum d'éloignement, celle-ci se rapproche brusquement et vient servir d'appui, de fond de cylindre, si l'on veut, à la vapeur qui se dégage incessamment derrière le piston pour le pousser. Comme l'autre palette a, au même instant, par le mouvement qu'elle reçoit de l'excentrique, commencé à s'éloigner de l'arbre, tout l'espace autre que celui compris entre la palette maintenant fixe et le piston est en communication avec l'échappement. Quand la demi-révolution est terminée, il se passe exactement la même chose ; seulement le rôle des deux palettes est inter-

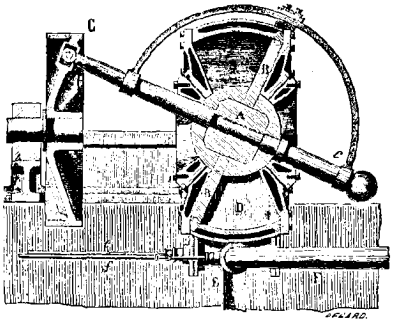
EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES A VAPEUR.

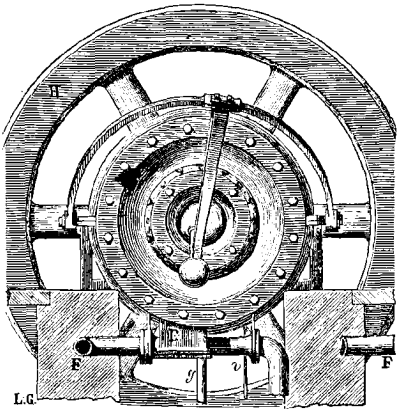
vert, de là un mouvement de rotation continu et une action continue de la vapeur, avec ou sans détente, selon la manière dont on a réglé le tiroir, ou plutôt l'excentrique qui commande ce tiroir.

M. Moret annonce qu'avec la machine non perfectionnée, des expériences au frein ont indiqué une consommation de 3 kilog. par heure et par force de cheval, et il espère qu'en marchant avec détente et condensation, il lui sera possible de descendre à 1 et demi ou 2 kilogrammes. Le perfectionnement réel apporté à la machine Pecqueur par M. Moret, par l'addition des seconds bouchons métalliques extérieurs en métal doux augmente sa valeur qui réside surtout dans son peu de volume et de poids (800 kilog. pour six chevaux, volant compris).

Machine à disque. — Depuis 1842, l'emploi de la machine à disque a pris quelque extension en Angleterre, et sa composition curieuse mérite l'attention. Elle consiste essentiellement dans une enveloppe fixe, formée intérieurement d'une zone sphérique et de deux surfaces coniques, ou plutôt deux nappes d'une même surface conique ayant même centre que la zone sphérique (fig. 3644 et 3645). Les deux surfaces coniques sont

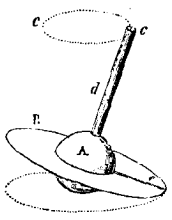


3644.



3645.

interrompues près de leur sommet commun, et remplacées par une sphère mobile à laquelle sont invariablement fixés un disque circulaire de même diamètre que la zone sphérique et un bras implanté perpendiculairement au plan du disque. L'angle au centre des nappes coniques étant supérieur à 90 degrés, lorsque le disque touche ces deux nappes suivant deux génératrices placées sur le prolongement l'une de l'autre, le bras est contenu dans l'intérieur de l'une des nappes, et quand le disque se meut en restant toujours tangent aux nappes coniques, ce bras décrit dans l'espace un cône dont le demi-angle au centre est égal au complément du demi-angle au centre des nappes coniques, et son extrémité décrit une circonférence de cercle dont le centre est situé sur l'axe de ces nappes (fig. 3646). Dans l'espace annulaire limité par la zone sphérique, par les deux portions de nappes coniques et par la sphère centrale à laquelle sont fixés le disque et le bras mobile, est une cloison plane fixée à l'enveloppe, qui se prolonge jusqu'à la sphère centrale et dont la forme est celle d'un secteur circulaire. Le disque mobile est fendu suivant un de ses rayons, pour laisser



3646.

passer la cloison fixe, des deux côtés de laquelle sont situés les orifices pour l'admission et la sortie de la vapeur. Il résulte de ces dispositions que la vapeur motrice remplit, dans l'enveloppe, au-dessous du disque, un espace limité par la cloison fixe, et par la génératrice de contact de la face inférieure du disque avec l'une des nappes coniques, au-dessus du disque, un espace limité par la cloison fixe et par la génératrice de contact de la face supérieure du disque avec l'autre nappe conique, génératrice qui est le prolongement de la première et en est, par conséquent, écartée d'un angle de 180 degrés dans le plan du disque.

Supposons le disque amené contre l'orifice de la vapeur et que celle-ci soit admise, elle pressera d'un côté sur le diaphragme et de l'autre elle cherchera à passer le point de contact du disque et du cône; mais comme elle ne peut le faire, elle le poussera comme un coin, en changeant constamment le point de contact, le faisant reculer et augmentant l'espace qu'elle occupe. Quand cet espace est assez grand, le courant de vapeur s'arrête et il y a détente, jusqu'à ce que l'autre côté du diaphragme devienne libre. Un mouvement oscillatoire et de rotation est ainsi communiqué à la manivelle et le mouvement circulaire directement engendré, le disque se mouvant en restant constamment tangent aux deux nappes coniques, il entraîne avec lui la sphère centrale et le bras fixé à cette sphère, qui transmet un mouvement de rotation continu à un arbre de couche extérieur.

Machines rotatives du deuxième genre. — Dans ce qui précède, nous avons eu en vue les machines rotatives dans lesquelles la vapeur agit sensiblement de la même manière que dans les machines ordinaires à faible vitesse de piston, et nous avons vu que les recherches dans cette direction étaient dépourvues d'avenir. Nous ne saurions être aussi explicites pour l'espèce de machines qui nous reste à examiner et dans lesquelles la vapeur se meut avec une grande vitesse. Bien que jusqu'ici ce genre de machines n'ait donné aucun résultat avantageux, et quoiqu'il soit fort douteux que l'on possède des moyens convenables de transmettre à un récepteur la force vive de la vapeur, toutefois la théorie indique qu'il y a espoir d'arriver dans cette voie à des résultats importants. Cette catégorie correspond, comparée aux moteurs hydrauliques, à ceux qui emploient l'eau en mouvement, comme les turbines, les roues à aubes courbes, tandis que la machine à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

piston à petite vitesse correspond aux machines hydrauliques dans lesquelles l'eau agit dans son poids, comme les roues à augets, les machines à colonne d'eau, etc.

La vitesse du mouvement du fluide est, dans de semblables machines, l'élément important à considérer, celui qui entre comme élément principal dans l'expression du travail possible. En effet, ce qui caractérise essentiellement la vapeur en mouvement s'échappant d'une chaudière où elle s'est formée, c'est que la vitesse est très-grande et la masse très-petite. C'est de là que résultent les principales difficultés qui se rencontrent quand on cherche à utiliser le travail de la vapeur en mouvement.

Soit P la pression initiale de la vapeur, p la pression finale, π sa densité ; sa vitesse de sortie du réservoir est donnée par la formule $U = \sqrt{2 \frac{P-p}{\pi}}$.

En calculant les vitesses d'après les volumes de la vapeur, déterminés comme on le fait habituellement dans la théorie de la machine à vapeur ; en combinant la loi de Mariotte avec celle de Gay-Lussac, on arrive à des résultats possédant le seul degré d'approximation qu'on puisse obtenir, jusqu'à ce que des expériences directes aient permis de déterminer directement la densité de la vapeur saturée aux diverses pressions. Il est au reste suffisant pour la question qui nous occupe. On dresse ainsi le tableau suivant :

Poids et vitesses de la vapeur s'échappant dans l'atmosphère à diverses pressions.

Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.	Pression absolue de la vapeur qui s'écoule.	Poids du mètre cube.	Vitesse d'écoulement par seconde.
5.00	2.568	562	4.60	0.900	368	4.09	0.630	170
4.75	2.457	554	4.50	0.854	343	4.08	0.626	161
4.50	2.334	549	4.45	0.830	331	4.07	0.622	154
4.35	2.247	546	4.40	0.800	318	4.06	0.619	140
4.00	2.096	537	4.35	0,778	302	4.05	0.610	129
3.75	1.972	530	4.30	0.750	285	4.04	0.607	116
3.50	1.855	520	4.25	0.722	265	4.03	0.604	101
3.25	1.734	512	4.22	0.705	252	4,02	0.598	83
3.00	1.614	502	4.20	0.693	242	4.01	0.595	58
2.75	1.487	488	4.18	0.684	232	4.00	0.590	44
2.50	1.363	472	4.16	0.670	220	1.00	0.588	0
2.25	1.238	451	4.14	0.658	213	»	»	»
2.00	1.111	427	4.12	0.647	191	»	»	»
1.75	0.984	394	4.10	0.636	178			

On voit par ce tableau combien les vitesses de la vapeur sont considérables, puisque celles qu'il s'agirait d'utiliser dans les machines dont nous avons à parler dépassent 500 mètres par seconde, la vitesse du boulet sortant de la bouche à feu !

Passons à la description des machines qui ont été tentées ou plutôt projetées.

Nous remarquerons, d'abord, qu'il est un cas simple dans lequel, depuis l'antiquité, on utilise l'action de la vapeur en mouvement, c'est lorsqu'il s'agit de souffler l'air. Les éolipyles employés à cet effet, décrits par Vitruve, agissent évidemment par les mêmes principes que les parties de la locomotive qui servent à conduire la vapeur dans la cheminée de manière à produire le tirage et l'insufflation de l'air. Seulement la vue de celle-ci montre bien comment la vapeur ne produit dans de semblables conditions qu'une partie du travail qu'elle pourrait produire, sa vitesse étant amortie aussitôt qu'elle rencontre l'air dans lequel elle s'écarte en tous sens, et qu'elle se refroidit à une température peu élevée, qu'elle se condense. Nul besoin d'insister sur ce cas, qui ne tire son avantage que d'une application toute spéciale, ni, à cause des mêmes inconvénients, du système de Branca, qui proposait de souffler de la vapeur sur les ailes d'une roue à palettes.

Nous avons déjà parlé, à l'article MACHINE A VAPEUR, des machines à réaction de Héron d'Alexandrie, qu'il ne faut considérer que comme un moyen de démontrer un intéressant principe de physique, mais non un moyen d'application acceptable. On revient aujourd'hui à la recherche des moyens de réaliser des machines rotatives de cette nature, et les grands succès obtenus dans ces dernières années avec les turbines hydrauliques ont fait reprendre par plusieurs inventeurs et savants distingués l'idée de turbines à vapeur.

Il importe de bien remarquer à cet égard que l'analogie des deux cas n'est que très-éloignée ; que les vitesses en jeu dans les turbines hydrauliques ne sont jamais en général égales à $\frac{1}{60}$e de celles dont nous venons de parler, mais surtout que de la vapeur ou un fluide élastique se comporte tout autrement que de l'eau. Au lieu de presser comme l'eau, constamment dans le sens de la résultante des forces qui agissent sur lui, il rebondit par son élasticité, forme des remous qui changent le sens du courant ; il ne suit nullement la voie indiquée et fournit des résultats tout autres que ceux qui étaient attendus. Aussi le travail obtenu s'est-il toujours trouvé dans les systèmes imaginés jusqu'ici insuffisant pour permettre de les mettre en comparaison avec les machines à cylindre et à piston.

Ce que nous disons là est vrai de machines formées de tuyaux recourbés à angle droit avec leurs extrémités, qui avaient été importées d'Amérique il y a quelques années, et aussi, bien qu'à un moindre degré, de celle de M. Isoard, dans laquelle la vapeur circule avec une vitesse de 500 tours par minute, dans une spirale en fer forgé, du centre vers l'extrémité, condition excellente pour forcer la vapeur à prendre une vitesse de translation de sens opposé à celui de l'émission.

Les vitesses de ces machines étant insuffisantes, il fallait un nouveau principe ; car dans la pratique, pour des pièces d'un certain poids, des vitesses de plus de 10 à 20 tours par seconde sont difficilement admissibles, et elles ne le sont même que pour des pièces légères. Ce nouveau principe a été formulé dans des conditions conformes à ce que la théorie indique par M. Tournaire, ingénieur des mines, qui a réuni ses efforts à M. Burdin, lequel, après avoir été le créateur des turbines hydrauliques, s'est appliqué avec ardeur à l'étude des questions qui se rapportent à l'emploi de l'air échauffé à l'aide des machines à réaction. M. Tournaire a fait connaître les résultats de ses recherches sur les turbines multiples et à réactions successives, propres à utiliser le travail moteur que développe la chaleur dans les fluides élastiques, par une note envoyée à l'Académie des sciences, que nous allons citer, et qui est une étude théorique de la question.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Les fluides élastiques, dit-il, acquièrent d'énormes vitesses sous l'influence de pressions même assez faibles. Pour utiliser convenablement ces vitesses sur de simples roues analogues aux turbines à eau, il faudrait admettre un mouvement de rotation extraordinairement rapide, et rendre extrêmement petite la somme des orifices, même pour une grande dépense de fluide. On éludera ces difficultés en faisant perdre à la vapeur ou au gaz sa pression, soit d'une manière continue et graduelle, soit par fractions successives, et en la faisant plusieurs fois réagir sur les aubes de turbines convenablement disposées. »

L'auteur rapporte l'origine des recherches auxquelles il s'est livré sur ce sujet à des communications que M. *Burdin* lui a faites en 1847. Cet ingénieur, qui s'occupait alors d'une machine à air chaud, voulait projeter successivement le fluide comprimé et échauffé sur une série de turbines fixées sur un même axe. Chacune d'elles, renfermée dans un espace hermétiquement clos, devait recevoir l'air lancé par des orifices injecteurs et le déverser avec une très-faible vitesse. L'auteur songeait aussi à comprimer l'air froid au moyen d'une série de ventilateurs disposés d'une manière analogue. L'idée d'employer des turbines successives afin d'user en plusieurs fois la tension du fluide est simple et vraie; elle peut seule fournir le moyen d'appliquer aux machines à vapeur ou à air le principe de la réaction.

Dès que les différences de tension sont considérables, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, on reconnaît qu'il est nécessaire d'avoir un grand nombre de turbines pour amortir suffisamment la vitesse du jet fluide. La légèreté et les dimensions très-faibles des pièces mises en mouvement permettent, d'ailleurs, d'admettre des vitesses de rotation très-grandes par rapport à celles des machines usuelles. Il faut que, malgré la multiplicité des organes, les appareils soient simples dans leur agencement; qu'ils soient susceptibles d'une grande précision; que les vérifications et réparations en soient rendues faciles. Ces conditions essentielles sont remplies au moyen des dispositions suivantes :

Une machine se composera de plusieurs axes moteurs, indépendants les uns des autres et agissant, par l'intermédiaire de pignons, sur une même roue chargée de transmettre le mouvement. Chacun des axes portera plusieurs turbines; celles-ci recevront et verseront le fluide à une même distance de l'axe. Entre deux turbines sera placée une couronne fixe d'aubes directrices. Les directrices recevront le jet sortant d'une roue à réaction et lui imprimeront la direction et la vitesse le plus convenables pour que ce jet exerce son action sur la roue suivante. Chacun de ces systèmes d'organes mobiles et d'organes fixes sera renfermé dans une boîte cylindrique. Les aubes directrices feront partie de bagues ou pièces annulaires qui se logeront dans le cylindre fixe et qui devront s'adapter exactement les unes au-dessus des autres. Les turbines auront aussi la forme de bagues et viendront s'enfiler sur un manchon dépendant de l'axe. Les directrices supérieures, qui feront simplement office de canaux injecteurs, pourront appartenir à une pièce pleine dans laquelle se logera la fusée ou le tourillon de l'axe, et qui servira à fixer celui-ci. Un appareil ainsi composé sera facile à monter et à démonter. Pour la transmission du mouvement, il faudra que l'axe traverse le fond de la boîte cylindrique dans une douille offrant une fermeture hermétique; une seule fermeture suffira pour chaque série de roues à réaction.

Après avoir agi sur les turbines dépendant du premier axe et avoir ainsi perdu une plus ou moins grande partie de son ressort, le fluide exercera son action sur les turbines du second axe, et ainsi de suite. A cet effet, de larges canaux mettront en communication le fond de chaque boîte cylindrique avec la partie antérieure de celle qui la suit. L'ensemble des boîtes et de ces canaux pourra faire partie d'une même pièce en fonte. Comme la vapeur ou le gaz se détendra au fur et à mesure qu'il parcourra les aubes des roues et des directrices, il faudra que ces aubes offrent des passages de plus en plus larges, et les derniers appareils auront des dimensions plus grandes que les premiers.

Plusieurs causes tendront à diminuer l'effet utile de ces appareils et à le rendre inférieur à l'effet théorique.

Une partie du fluide s'échappant par les intervalles de jeu qu'il est nécessaire de laisser entre les pièces mobiles et les pièces fixes n'aura point d'action sur les turbines, et ne sera point guidée par les directrices; il se produira des chocs et des tourbillonnements à l'entrée et à la sortie des aubes. Les frottements, que l'exiguité des canaux rendra considérables, pourront absorber une assez notable partie du travail théorique.

Tous ces effets nuisibles se produisent dans les turbines hydrauliques, les uns avec une intensité qui semble devoir être à peu près égale, les autres, tels que les frottements, à un degré moindre. Ces roues à réaction sont pourtant d'excellentes machines. Pour que les appareils à vapeur ou à air chaud de nature analogue pussent les égaler sous le rapport de l'effet moteur utilisé, il faudrait une construction très-parfaite, qu'il sera peut-être difficile d'atteindre complétement à cause de la petitesse des organes. Mais, en considérant les résultats obtenus avec les machines à piston mues par la vapeur, on verra qu'on pourra faire une large part aux pertes de forces vives sans que les nouvelles turbines cessent de fonctionner dans des conditions relativement bonnes. Plusieurs causes de pertes inhérentes à l'emploi des cylindres et des pistons seront évitées. Ainsi le refroidissement provenant du rayonnement des parois extérieures et de leur contact avec le milieu ambiant sera négligeable, puisque les boîtes cylindriques ne présenteront qu'une masse et un volume très-faibles parcourus par un très-grand flux de calorique.

L'avantage principal des appareils moteurs proposés est la légèreté et le peu de volume qu'ils présentent. Appliquées aux machines à vapeur, l'auteur pense que ces turbines multiples permettraient de réduire les dimensions des réservoirs ou magasins de fluide; car la consommation et la production de l'agent moteur se feraient très-régulièrement dans la chaudière, et l'on aurait moins à craindre l'entraînement d'une forte proportion d'eau.

Cet appareil n'a pas été exécuté, et, par les causes que l'inventeur explique, les pertes de travail moteur y seraient très-grandes. Les remous et résistances au passage de la vapeur dans tous les canaux fixes et immobiles laissent peu de chances au succès pratique d'une disposition qui n'est pas sans valeur théorique.

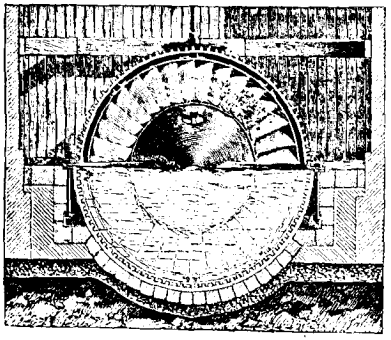
Quant à l'idée d'employer l'air échauffé, comme l'avait proposé M. Reich, au moment de l'enthousiasme pour les machines à air chaud d'Ericson, si, en effet, des turbines à air chaud peuvent séduire en permettant d'envoyer directement dans l'appareil moteur les produits mêmes de la combustion, sans aucune perte de chaleur (le foyer étant fermé), il faut toujours remarquer que l'alimentation de semblables machines exige, non plus, comme dans le cas de l'eau, une pompe alimentaire surmontant un travail résistant correspondant à un volume d'eau minime relativement à celui de la vapeur produite, mais un moyen d'envoyer dans l'appareil un volume d'air égal à plus de moitié de celui qui travaille. La machine rencontre là, par sa nature même, un énorme travail résistant qui rend impossible une semblable combinaison.

Roue-hélice de M. Girard. — Un des ingénieurs les

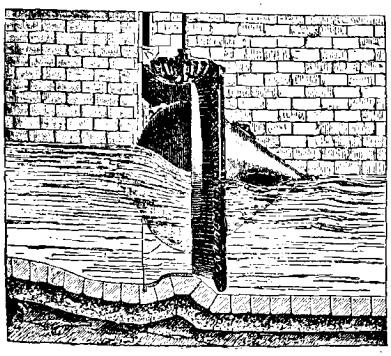
EFERUS - Recherche & Classification numérique

plus hardis et les plus novateurs de notre époque, M. Girard, dont nous avons décrit l'écluse, les procédés d'hydropneumatisation, etc., a entrepris la solution du problème qui nous occupe, et, avec l'aide de l'habile M. Froment, a essayé d'appliquer à la vapeur le système de roues-hélices, de turbines sans directrice, qu'il a imaginé et construit avec succès pour utiliser le travail moteur d'une rivière à niveau variable, et qu'il a établi sur la Marne, à Noisiel, dans l'usine de M. Ménier. Nous emprunterons la description de l'une et l'autre machine à M. Léon Foucault, grand admirateur du génie inventif de M. Girard.

« Pour donner une première idée, dit-il, de la roue-hélice employée comme moteur hydraulique, que l'on se représente, dans un cours d'eau, une cloison percée verticale qui sépare les eaux d'amont et d'aval, puis le moteur installé dans l'orifice de communication, de telle sorte que la roue se présente transversalement au courant, pendant que son axe demeure horizontalement placé suivant la direction du cours d'eau. L'orifice de communication qui permet au fluide de passer d'amont en aval est encore réduit, par un obstacle central, à une forme annulaire (fig. 3647 et 3648). Sur le bord extérieur



3647



3648.

de cet orifice s'appuie une paroi qui s'évase vers l'amont en un vaste entonnoir ; sur le bord intérieur s'appuie une autre paroi circulaire qui, s'effaçant en sens inverse, se termine bientôt en pointe dans les eaux d'amont. Toutes ces parties sont fixes ; elles ont pour objet d'accélérer graduellement la vitesse du fluide qui se présente, jusqu'au moment où il s'échappe par l'orifice annulaire. Passons donc en aval de la cloison, et si l'orifice est découvert, nous verrons les eaux sortir avec la vitesse acquise après s'être moulées en un cylindre creux ou en fraction de cylindre suivant la hauteur du niveau d'amont. Lorsque les eaux sont hautes et que l'orifice est masqué, la figure des eaux mouvantes n'est plus visible, mais elle n'en existe pas moins ; c'est ce cylindre d'eaux courantes qu'il s'agit maintenant de faire travailler.

« Les choses étant là, tout le monde aura l'idée de placer une couronne de palettes obliques en regard de cette ouverture, qui vomit un cylindre d'eaux vives. Mais voici l'embarras : si vous mettez des aubes planes, il y aura des chocs, des tourbillonnements et perte inévitable de force vive ; si vous mettez des aubes courbes, le fluide, graduellement retardé, obstruera les interstices, et l'évacuation du fluide n'aura plus lieu librement. Il suffit du plus simple tracé pour s'assurer au premier coup d'œil que les aubes, en se courbant, se rapprochent les unes des autres de manière à rétrécir le canal formé par leurs parois ; et si d'ailleurs ces aubes conservent suivant l'usage la même hauteur depuis leur origine jusqu'à leur terminaison, il est clair que la section de tous les canaux curvilignes, considérée dans le sens de la marche du liquide, va en diminuant progressivement depuis l'orifice d'admission jusqu'à l'orifice d'évacuation. Ce rétrécissement de la section transversale occasionne un engorgement fâcheux auquel on n'avait su obvier jusqu'ici que par l'emploi des directrices, sortes d'aubes fixes qui pincent la veine et la réduisent à des dimensions inférieures à celles de la section minimum du canal à franchir.

« Mais comme nous l'avons annoncé, M. Girard supprime les directrices ; il fallait donc imaginer quelque nouvel artifice pour rétablir la libre circulation du liquide dans les canaux interstiels des aubes. Puisque, par le fait de leur courbure, la section des canaux interposés diminue en largeur, établissons une compensation, s'est dit M. Girard, en augmentant la hauteur, et si les variations inverses de ces deux dimensions sont convenablement combinées, la section du canal, tout en changeant de forme, conservera la même étendue, et, par suite, le fluide circulera sans obstacle depuis son entrée dans les aubes jusqu'à sa sortie. Cette considération a conduit M. Girard à accroître la hauteur des aubes à mesure qu'elles se courbent et à insérer leurs bords adhérents sur des parois évasées dont la disposition est analogue à celle des parois fixes établies en amont de la cloison pour produire l'accélération des eaux. Abstraction faite des aubes, ces parois concentriques et mobiles interceptent un espace annulaire disposé symétriquement en aval de la cloison avec celui qui existe en amont.

« Le même genre de symétrie affecte les eaux dans leur marche : en effet, engagées dans la partie évasée de l'infundibulum d'amont, elles gagnent en s'accélérant la partie la plus étroite. Ayant ainsi acquis leur maximum de vitesse, elles franchissent le détroit annulaire, qui les dirige dans la couronne des aubes ; mais à ce niveau l'espace s'élargit de nouveau, et le ralentissement que le fluide éprouve correspond admirablement au travail absorbé par le moteur. De quelque manière qu'on envisage la question, cet évasement des parois de la roue apparaît comme la solution vraie, unique et nécessaire du problème des turbines sans directrices, car s'il inflige au liquide un ralentissement dans sa vitesse absolue, il conserve à ce liquide toute sa vitesse relative par rapport aux aubes. En

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même temps que ces deux conditions sont satisfaites, l'espace est occupé par le fluide travailleur en long, en large et en travers; il n'y a pas un centimètre de perdu; c'est, en un mot, qu'on nous passe l'expression, c'est une heureuse exploitation de la troisième dimension.

« La roue-hélice ne donne toute sa puissance que lorsqu'elle plonge entièrement sous l'eau et que la chute conserve une hauteur convenable, car alors toutes ses aubes travaillent à la fois. Quand elle émerge, ce qui est le cas ordinaire, la partie active se réduit d'autant; mais comme en général la hauteur de chute augmente à mesure que le niveau baisse, il en résulte dans l'énergie du moteur une sorte de compensation qui, sans être rigoureusement exacte, est cependant fort avantageuse dans la pratique. Depuis que M. Menier est en possession du nouveau moteur, le niveau a déjà varié maintes et maintes fois, la gelée même a sévi rigoureusement sans que jamais l'usine ait suspendu ni ralenti ses travaux.

« Le nouveau principe d'évacuation des fluides par évasement transversal des aubes présente, quand on l'applique aux moteurs hydrauliques, un grand nombre d'avantages qui seront de plus en plus appréciés dans les applications qu'on en fera par la suite. Les turbines, débarrassées de leurs directrices, deviennent plus simples et plus faciles à construire; elles sont pour ainsi dire à l'abri des désordres occasionnés par l'introduction des corps étrangers, elles débitent beaucoup d'eau, elles sont susceptibles de tourner très-vite, et par suite elles constituent, sous un volume donné, de très-puissants moteurs; enfin elles sont construites pour marcher noyées, ce qui les fait échapper aux embarras résultant de la crue des eaux.

« Mais quand il s'agit d'utiliser la vitesse d'écoulement d'un gaz, la possibilité de supprimer les directrices ouvre aussitôt une bien plus vaste carrière. Tous les essais qu'on avait faits jusqu'à présent pour réaliser la turbine à air ou à vapeur avaient échoué devant l'impossibilité de faire tourner ces machines assez vite pour récolter une proportion avantageuse de l'effet utile. La machine tournant toujours trop lentement, par rapport à la vitesse d'écoulement d'un fluide très-léger, il arrivait que celui-ci se réfléchissait sur les aubes presque instantanément, en conservant la plus grande partie de sa vitesse, et s'échappait, emportant avec lui presque toute sa force vive. Il en résultait une perte évidente qui a suggéré la pensée de faire agir le fluide par cascades. Au sortir d'une première couronne d'aubes, le fluide était repris par une seconde rangée de directrices qui le faisait agir sur de nouvelles aubes; il traversait ainsi successivement dix, vingt, trente systèmes, et il finissait par s'échapper avec une vitesse expirante, après avoir cédé en détail la majeure partie de sa force motrice.

« Théoriquement, cette disposition paraissait très-satisfaisante, mais à l'exécution une pareille machine a présenté des difficultés qu'on n'a jamais pu surmonter. Les parties fixes et les parties mobiles, alternant les unes avec les autres, formaient un ensemble compliqué difficile à construire, et qui laissait échapper le fluide moteur par autant de points qu'il y avait de cascades. M. Girard, en supprimant les directrices, rend le tout solidaire, il fait disparaître tous les joints, il bénéficie du principe des cascades sans en subir les inconvénients. Dans la machine qu'il a imaginée, le fluide moteur, gaz ou vapeur, arrivant par le centre, agit sur une première couronne d'aubes courbes, évasées suivant le nouveau système; de là le fluide se répand dans une rigole circulaire sans aubes; plus loin se trouve une nouvelle couronne d'aubes, puis une nouvelle rigole, et ainsi de suite, autant qu'il en faut pour éteindre la totalité de la force vive. Tous ces espaces, alternativement pourvus et dépourvus d'aubes, sont disposés concentriquement les uns aux autres, et leurs hauteurs, considérées dans le sens où le fluide progresse, varient périodiquement de manière à croître dans les zones garnies d'aubes et à décroître dans celles qui en sont dépourvues. Leur ensemble est compris entre deux plateaux qui tournent tout d'une pièce avec les couronnes d'aubes sous l'impulsion du fluide moteur. La machine, agissant par cascades, n'est pas obligée, pour fonctionner utilement, de prendre des vitesses impossibles; néanmoins elle tourne avec une grande rapidité; mais dès que cette vitesse cesse d'être menaçante, dès qu'elle rentre dans les limites accessibles à la pratique, elle devient précieuse et elle assure au moteur une puissance extraordinaire. M. Girard a calculé qu'une turbine à vapeur de cinquante centimètres de diamètre, marchant sous une pression de quatre ou cinq atmosphères à raison de cent tours par seconde, ne rendra pas moins de deux cents chevaux de force.

MACHINES A VAPEUR.

« L'emploi de ce nouveau moteur n'exclut pas l'adjonction du condenseur, complément ordinaire des machines à vapeur; mais si le service s'en fait comme de coutume, par la pompe à air, on trouve que l'accessoire l'emporte de beaucoup sur le principal en poids ou en dimension; aussi M. Girard a-t-il songé à opérer l'épuisement des eaux de condensation au moyen d'un appareil analogue, pour les proportions et pour la manière d'agir, au moteur lui-même. Appliquant le principe des cascades au ventilateur à force centrifuge, il arrive à former un aspirateur qui, mis en mouvement par la turbine, épuise le condenseur d'une manière continue. L'agencement des parties forme alors un système tellement réduit, que la machine de vingt chevaux est représentée en grandeur naturelle sur une feuille de papier à écolier. L'exécution en revient de droit au constructeur d'instruments de précision, et l'inventeur prétend l'emporter sous son bras. Il va sans dire que la réduction de prix sera du même ordre que la réduction de volume. »

Malgré les espérances de succès contenues dans l'intéressant article que nous venons de citer, la roue-hélice de M. Girard, qui avait si bien réussi comme moteur hydraulique, n'a pas donné encore de résultats publics comme appareil à vapeur. Il y a sur la manière d'agir de la vapeur dans cet appareil une observation importante à faire. L'accroissement de volume qui se produit en passant d'une série de palettes à la série suivante produit une diminution subite de pression de la vapeur, qui n'est pas utilisée, et par suite une perte notable si le nombre des turbines n'est pas très-grand, ce qui n'est pas possible pratiquement, puisque leur dimension allant en croissant, il faudrait donner aux plus grandes une vitesse bien moindre que celle que l'on peut donner aux plus petites. Or, c'est dans la possibilité de donner une énorme vitesse par un parfait équilibrement des poids, une excellente lubrification du pivot que réside la chance de succès de cet appareil toujours un peu délicat pour la pratique industrielle, presque autant que de la bonne circulation de la vapeur.

De ce qui précède, nous conclurons que l'on peut admettre avec quelque probabilité que, sans faire concurrence aux puissantes machines à vapeur pour produire de très-grandes quantités de travail, un système fondé sur des principes analogues à ceux exposés au sujet des turbines à vapeur pourra donner des résultats dynamiques assez passables pour que son emploi puisse faire dans l'industrie, dans quelques cas exceptionnels où les opérateurs doivent être animés de vitesses extrêmement considérables. On pourra obtenir ainsi des machines extrêmement légères et très-curieuses, sinon économiques.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINE A VAPEUR (THÉORIE). L'ancienne théorie des effets de la vapeur dans les machines à vapeur consistait essentiellement à appliquer à la vapeur saturée les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, qui ne sont exactes que pour les gaz parfaits. Cette assimilation n'est pas admissible, et il est temps de formuler une théorie complétement satisfaisante. C'est ce que doivent permettre de faire les progrès de la théorie mécanique de la chaleur, et c'est, en quelque sorte, une dette qu'elle a à acquitter envers la machine à vapeur, qui, grâce à une pratique plus avancée que la théorie, ayant fait passer dans l'usage journalier de l'industrie le grand fait de la production du travail mécanique à l'aide de la chaleur, a conduit presque forcément à comprendre la nature intime de ce phénomène.

Les recherches faites dans ces dernières années, notamment les grands travaux de M. Regnault, avaient surtout pour but de corriger l'ancienne théorie de Navier et Poncelet; or, cela était impossible. En effet, si la connaissance, pour les gaz, de la formule théorique qui lie en chaque instant les pressions et les volumes ($pv^{\gamma} = \text{Const.}$), lorsque leur température varie par suite de la production de travail par leur détente, permet d'établir en chaque instant l'équation différentielle du travail élémentaire engendré dans les machines à air chaud, et par suite d'arriver aisément au calcul de leurs effets; cela devient plus difficile quand il s'agit de gaz qui ne suivent pas très-exactement les lois de Mariotte et d'égale dilatation sur lesquelles repose la formule fondamentale, mais est tout à fait impossible lorsque ces lois ne s'appliquent plus aucunement. Tel est précisément le cas de la détente des vapeurs saturées, comparée à celle des gaz chauffés; dans l'intérieur des premières se passent des phénomènes spéciaux, qui n'existent pas pour les gaz; c'est ce qui fait qu'une correction de l'ancienne théorie est tout à fait insuffisante, et qu'on ne peut espérer de résultats satisfaisants que d'une théorie complétement nouvelle, utilisant les nombreux résultats obtenus par les expériences précises faites sur les vapeurs.

Méthode. — La méthode que nous pouvons appeler *analytique*, adoptée pour l'étude des machines à air chaud, consiste à utiliser la connaissance des variations de pression et de volume d'un gaz chauffé qui engendre un travail mécanique, pour calculer le travail qui se produit successivement. Or, grâce à l'équivalence du travail et de la chaleur, la connaissance du travail conduit immédiatement à celle de la quantité de chaleur consommée pour le produire, et par suite à celle que le gaz a perdu entre son état initial et son état final.

C'est à cette détermination de la somme des forces vives moléculaires transformées en travail mécanique que l'on peut ramener le mode de calcul adopté; il serait indifférent d'obtenir celle-ci, ou le travail déterminé au moyen de l'analyse des effets successifs, puisqu'on repasse immédiatement de la différence entre la chaleur initiale et celle que conserve le gaz à l'état final, au travail équivalent à cette quantité de chaleur utilisée. Ce mode d'opérer constitue une méthode *synthétique*, n'exigeant pas la connaissance des variations relatives des éléments du travail.

Telle est la méthode que je propose d'appliquer au calcul des effets de la vapeur dans la machine à vapeur, qui dispense de la détermination d'éléments qu'il est difficile de faire entrer dans le calcul, et conduit, comme dans la plupart des applications de la mécanique aux machines, à la mesure de l'effet utile par la variation des forces vives; leur manifestation tantôt sous forme de quantité de travail, tantôt sous forme calorifique, n'en changeant pas la nature intime.

Nous diviserons donc en deux chapitres cette étude, savoir : 1° CHALEUR DE LA VAPEUR; 2° MACHINE A VAPEUR.

MACHINES A VAPEUR.

1° CHALEUR DE LA VAPEUR. — Les expériences de Regnault ont donné très-exactement la quantité de chaleur de condensation de l'unité de poids de vapeur saturée, ce qui doit permettre de déterminer exactement la chaleur constitutive apparente de la vapeur, que l'on peut diviser en ses éléments pour mieux analyser les phénomènes.

La chaleur totale de la vapeur, au moment de la condensation, peut être divisée en trois parties (voy. CHALEUR LATENTE), et l'on peut poser :

$$\text{Ch. totale} = U_1 + AA + Apv \qquad (1)$$

U_1 est la force vive qui appartient aux molécules de la vapeur qu'elles possèdent à l'état gazeux et conservent à l'état liquide; A est le travail mécanique qui sera effectué par l'attraction mutuelle des molécules, lorsqu'elles se réuniront pour passer à l'état liquide lors de la condensation, le travail qu'il faudrait alors consommer pour les séparer; AA est la quantité de chaleur équivalente; pv est le travail consommé par la vapeur, lorsque le liquide prend la forme gazeuse sous le volume v, en engendrant un travail sous la pression p; il n'existe pas dans la vapeur formée dans un vase clos, à parois inextensibles. Ce travail extérieur coûte une quantité de chaleur Apv, qui est restituée lors de la condensation du volume v, sous la pression p. La somme de ces trois quantités comprend toute la chaleur qui appartient à la vapeur et celle qui apparaît lors de sa condensation.

Passons en revue les divers résultats obtenus pour la détermination de ces diverses quantités, pour les diverses pressions et températures.

Valeur de U_1. — La vapeur étant un gaz, sa force vive totale doit se calculer comme pour les gaz, c'est-à-dire que l'on a $3pv = \frac{1}{2} nmu^2$.

On peut craindre que le raisonnement qui sert à établir cette formule ne soit pas applicable aux vapeurs saturées, parce que les actions moléculaires, qui font que la loi de Mariotte ne s'y applique plus, y peuvent facilement apparaître; mais comme cela n'a lieu que lors d'un changement de pression ou de température, tant que ces effets ne se produisent pas, à l'état de vapeur permanente, l'état gazeux persistant sans altération la formule est exacte. On doit donc poser

$$U_1 = 3Apv$$

pour la somme totale des forces vives calorifiques de la vapeur saturée à la température t, sous la pression p et dont le volume est v. Cette quantité sera donc facilement calculable toutes les fois que p et v seront déterminés. Ainsi, pour 1 atmosphère à 100° $U_1 = 141^c$ par kil.; à $2^{at},25$ et 123°,64 $U_1 = 144^c$. (Voir plus loin.)

Valeur de p. — Tensions de la vapeur d'eau saturée aux diverses températures. — La tension d'une vapeur saturée ne dépend que de sa température, c'est-à-dire que l'on a $p = f(t)$, mais on ne connaît pas la forme de la fonction. Comme la pression croît rapidement avec la température, ce sont des fonctions exponentielles qui conviennent pour représenter les résultats d'expériences, et cela d'autant mieux qu'on les compose d'un plus grand nombre de termes, dont les coefficients arbitraires font rentrer exactement dans la formule un plus grand nombre de résultats d'expériences.

La formule simple qui convient le mieux est celle de M. Roche, que M. Regnault emploie sous la forme

$$p = \frac{t + 20}{a\,\alpha^{1 + m(t + 20)}}$$

et dans laquelle

$m = 0{,}004788$, $\log a = \bar{4}{,}9590414$, $\log \alpha = 0{,}03833818$.

C'est en mettant l'eau en ébullition dans des atmo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sphères d'air comprimé sous des pressions croissantes, que les pressions de la vapeur saturée ont été déterminées avec une grande précision par M. Regnault. Nous donnons ci-après les résultats obtenus, dans les limites qui intéressent dans l'étude de la machine à vapeur. et les renfermons dans un tableau où nous avons réuni les divers nombres qui peuvent être utilisés dans le même but.

Valeur de v. — La valeur du volume de la vapeur saturée aux diverses pressions est d'une détermination difficile, parce que le point exact de saturation est d'une observation très-délicate. Il faut obtenir un volume de vapeur, à une température bien uniforme, dont aucune partie ne soit surchauffée, dans l'intérieur de laquelle il n'y ait pas de précipitation d'eau sur les parois. On n'a pas de méthode qui permette d'éviter sûrement ces inconvénients, le premier se présentant fréquemment pour les températures élevées et le second pour celles peu élevées.

Il semble que l'on devrait conclure de la constance de la valeur de l'action directe de Apv pour les vapeurs des divers liquides, que nous avons indiquée à l'article GAZ LIQUÉFIÉS (MACHINES A) et à CHALEURS LATENTES, que cette même constance a lieu pour la vapeur d'eau aux diverses pressions. Il en serait nécessairement ainsi, si cette loi était une loi rigoureuse, ce qui n'est pas démontré, mais on peut l'admettre comme loi approchée suffisante pour des applications analogues à celle du calcul des effets de la machine à vapeur.

Ainsi 1 kil. de vapeur à 100° ayant un volume de 1,689 sous la pression atmosphérique, de 10330 kil. par mètre carré,

$$pv = 1{,}689 \times 10330 = 17447 \text{ kilom.},$$

le volume à 5 atmosphères serait, si la constance de pv était certaine, $\frac{1{,}689}{5} = 0{,}363$. M. Hirn a trouvé 0,355 par expérience.

MM. Fairbairn et Tate, qui ont fait aussi une série de recherches, ont représenté les nombres trouvés par une relation de la forme

$$v - a = \frac{b}{p + c},$$

dans laquelle a et c sont petits, c'est-à-dire les résultats d'expérience très-voisins de $pv =$ Const. (voy. VAPEUR).

Nous donnons dans les tableaux ci-après les volumes calculés par interpolation par M. Zeuner, d'après les résultats de ces diverses expériences.

Valeur de Apv. — La valeur de Apv ressort de la détermination des valeurs de p et de v. On voit que si elle n'est pas constante, elle varie peu, et de 1 atmosphère à 10 atmosphères la variation, en admettant les chiffres insérés au tableau ci-après, est de 47 à 52,751. Elle est facile à déterminer dans chaque cas (avec une précision assez limitée, à cause de la faible précision des expériences relatives aux volumes de la vapeur saturée), et nous prendrons pour les approximations la valeur 48 pour moyenne, celle qui correspond à 2at,25. A 100°,

$$Apv = \frac{1}{370} \times 10332 \times 1{,}689 = 47.$$

Valeurs de L (Chaleur latente proprement dite). — M. Regnault, dans son beau travail sur les chaleurs latentes de la vapeur d'eau, a montré que les résultats d'expérience étaient représentés pour la quantité de chaleur dégagée lors de la condensation de la vapeur, mesurée à partir de zéro, par la formule

$$606{,}5 + 0{,}305\,t \qquad (2)$$

0,305 étant une espèce de chaleur spécifique de la vapeur d'eau, la quantité de chaleur qu'il faut lui ajouter pour que sa température de formation s'élève à 1°, toujours à l'état de saturation.

Cette quantité considérable de chaleur appartient presque tout entière au changement d'état; on peut facilement en séparer celle qui appartient aux molécules de l'eau à la température t, avant que la vaporisation n'ait lieu. C'est une séparation théorique, une division en deux parties des éléments d'un phénomène physique.

La chaleur spécifique moyenne de l'eau de 0 à 200° est 1,013, par suite

$$L = 606{,}5 + 0{,}305\,t - 1{,}013\,t = 606{,}5 - 0{,}708\,t.$$

La valeur de la chaleur totale de M. Regnault n'est pas identique avec celle de AA, mais égale à $AA + Apv$; elle comprend la chaleur due au travail de compression pendant la condensation.

Valeur de AA. — Nous avons vu à CHALEURS LATENTES comment on pouvait déduire la valeur de A' de l'équation (1), à l'aide de l'observation faite ci-dessus.

Cette valeur de A peut être vérifiée au moyen de résultats d'expériences.

En assimilant ce qui est permis pour une très-petite compression, la valeur trouvée pour A' (CHALEUR LATENTE), $488{,}33 \times 370 = 180867$ par kilogr., à un coefficient d'élasticité, puisque ce sont, dans les deux cas, des forces moléculaires qui sont en jeu, en posant $P : x :: E : 1$

$$x = \frac{P}{E} = \frac{10333}{1808670000},$$

pour 1 atmosphère et 1 mètre cube, on trouve

$$x = 0{,}000057.$$

La compressibilité trouvée pour l'eau est à zéro

$$0{,}0000503,$$

c'est-à-dire bien peu différente.

Si on avait la chaleur latente du mercure, congelé facilement par l'acide carbonique solide, on pourrait faire le même calcul pour ce corps.

Chaleur réelle de la vapeur. — En résumé, la chaleur propre de la vapeur contenue dans le corps de pompe, à l'origine du mouvement du piston, plus celle de condensation, est

$$606{,}5 + 0{,}305\,t + 2Apv, \qquad (3)$$

et en prenant pour Apv la valeur moyenne 48 établie ci-dessus :

$$\text{Chaleur initiale} = 702{,}5 - 0{,}305\,t,$$

Je dis $2Apv$ et non $3Apv$, parce que la quantité Apv est déjà comprise une fois dans la valeur de L et que celle qui appartient au troisième terme de (1) n'est pas, comme nous le verrons, produite par la condensation de la vapeur, mais par l'effet de la pression sous laquelle celle-ci peut avoir lieu.

Nous reviendrons plus loin sur ce point; donnons d'abord le tableau des divers éléments examinés, aux diverses températures.

De l'état de la vapeur à la fin de la course. — Il semble à première vue, et c'est ainsi que l'on a raisonné jusque dans ces dernières années, que l'on doit raisonner de la même manière pour la vapeur d'eau qui s'introduit dans le cylindre au commencement du mouvement du piston et pour celle qui s'y trouve à la fin de la course. Les poids étant les mêmes aux pressions p et p', par suite aux températures t et t', les quantités de chaleur dégagées par la condensation seraient par kilog.

$$606{,}5 + 0{,}305\,t \text{ et } 606{,}5 + 0{,}305\,t'.$$

Et la seule quantité de chaleur convertie en travail ne paraît répondre qu'à la différence de ces quantités ou

$$AT = 0{,}305(t - t').$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRESSION en atmosphères.	PRESSION en millimètres de mercure.	PRESSION en kilogrammes par mètre carré. p	Température (centigrade) t	Volume de 1 kil. de vapeur, en mètres cubes.	Densité. Poids d'un mètre cube en kilogr.	Chaleur totale r d'après Regnault.	Valeur de A p v.	Valeur de ρ (r — A p v.)
0.1	76	1033.4	46.21	14.5044	0.069	620.59	40.48	580.11
0.2	152	2066.8	60.45	7.5256	0.133	621.90	41.87	583.03
0.4	304	4133.6	76.25	3.9079	0.256	629.70	43.56	586.14
0.6	456	6200.4	86.32	2.6648	0.375	631.40	44.57	586.83
0.8	608	8267.2	93.88	2.0311	0.492	634.90	45.33	589.60
1.0	760	10333.0	100.00	1.6200	0.620	637.00	45.40	591.80
1.1	836	11367.4	102.68	1.5046	0.665	637.81	46.20	591.60
1.2	912	12400.8	105.17	1.3861	0.722	638.52	46.45	592.07
1.3	988	13434.2	107.50	1.2855	0.778	639.27	46.65	592.62
1.4	1064	14467.6	109.68	1.1988	0.834	639.95	46.86	593.10
1.5	1140	15501.0	111.74	1.1235	0.890	640.58	47.06	593.52
1.6	1216	16534.4	113.69	1.0575	0.946	641.17	47.20	593.97
1.7	1292	17567.8	115.54	0.9986	1.001	641.74	47.30	594.44
1.8	1368	18601.2	117.30	0.9463	1.057	642.27	47.55	594.72
1.9	1444	19634.6	118.99	0.8994	1.112	642.79	47.70	595.90
2.0	1520	20668.0	120.60	0.8571	1.167	643.28	47.90	595.00
2.1	1596	21701.4	122.15	0.8186	1.222	643.60	48.01	595.54
2.2	1672	22734.8	123.64	0.7836	1.276	644.01	48.11	595.90
2.3	1748	23768.2	125.07	0.7515	1.331	644.63	48.20	596.43
2.4	1824	24801.6	126.46	0.7221	1.385	645.00	48.27	596.23
2.5	1900	25835.0	127.80	0.6949	1.439	645.47	48.50	596.70
2.6	1976	26868.4	129.10	0.6698	1.493	645.85	48.30	597.55
2.7	2052	27901.8	130.35	0.6464	1.547	646.15	48.56	597 60
2.8	2128	28935.2	131.57	0.6247	1.601	646.50	48.90	597.70
2.9	2204	29968.6	132.76	0.6045	1.654	646.86	48.92	597.90
3.0	2280	31002.0	133.91	0.5856	1.708	647.30	49.02	598.10
3.1	2356	32035.4	135.03	0.5678	1.761	647.70	49.09	598.60
3.2	2432	33068.8	136.12	0.5511	1.814	648.00	49.24	598.75
3.3	2508	34102.2	137.19	0.5355	1.867	648.22	49.30	598.90
3.4	2584	35135.6	138.23	0.5207	1.920	648.60	49.37	599.23
3.5	2660	36169.0	139.24	0.5067	1.973	648.90	49.40	599.40
3.6	2736	37202.4	140.23	0.4935	2.026	649.20	49.50	599.70
3.7	2812	38235.8	141.21	0.4810	2.079	649.56	49.70	599.84
3.8	2888	39269.2	142.15	0.4691	2.133	649.85	49.77	600.12
3.9	2964	40302.6	143.08	0.4578	2.184	650.16	49.89	600.27
4.0	3040	41336.0	144.00	0.4471	2.237	650.40	49.97	600.43
4.1	3116	42369.4	144.89	0.4368	2.289	650.69	50.04	600.65
4.2	3192	43102.8	145.76	0.4271	2.341	650.95	50.07	600.88
4.3	3268	44436.2	146.61	0.4178	2.393	651.26	50.09	601.17
4.4	3344	45469.6	147.46	0.4089	2.446	651.47	50.12	601.35
4.5	3420	46503.0	148.29	0.4003	2.498	651.70	50.27	601.60
4.6	3496	47536.4	149.10	0.3922	2.550	651.97	50.30	601.67
4.7	3572	48569.8	149.90	0.3844	2.602	652.22	50.40	601.82
4.8	3648	49603.2	150.69	0.3769	2.653	652.46	50.45	602.00
4.9	3724	50636.6	151.46	0.3697	2.705	652.70	50.49	602.20
5.0	3800	51670.0	152.22	0.3627	2 757	652.90	50.52	602.40
5.2	3952	53736.8	153.70	0.3497	2.859	653.37	50 82	602.45
5.5	4180	56837.0	155.85	0.3318	3.011	654.00	50.90	603.10
5.7	4332	58903.8	157.22	0.3209	3.116	654.41	51.10	603.34
6.0	4560	62004.0	159.22	0.3058	3.270	655.00	51.24	603.80
6.2	4712	64070.8	160.50	0.2966	3.371	655.45	51.30	604.15
6.5	4940	67171.0	162.37	0.2838	3.523	656.00	51.50	604.50
6.7	5092	69237.8	163.58	0.2759	3.624	656.40	51.60	604.80
7.00	5320	72338.0	165.34	0.2618	3.776	656.00	51.70	605.20
7.25	5510	74921.5	166.77	0.2563	3.902	657.34	51.74	605.60
7.50	5700	77505.0	168.15	0.2483	4.027	657.75	51.85	605.90
7.75	5890	80088.5	169.50	0.2408	4.152	658.00	51.91	606.25
8.00	6080	82672.0	170.81	0.2338	4.277	658.60	52 01	606.58
8.25	6270	85255.5	172.10	0.2271	4.403	658.99	52.20	606.79
8.50	6460	87839.0	173.35	0.2209	4.527	659.37	52.22	607.15
8.75	6650	90422.5	174.57	0.2150	4.651	659.74	52.45	607.30
9.00	6840	93006.0	175.72	0.2094	4.775	660.10	52.50	607.60
9.25	7030	95589.5	176.94	0.2042	4.897	660.46	52.70	607.80
9.50	7220	98173.0	178.08	0.1991	5.023	660.79	52.80	608.00
9.75	7410	100756.5	179.21	0.1944	5.144	661.65	52.90	608.25
10.00	7600	103340.0	180.31	0.1899	5.266	661.49	53.00	608.45
11.00	8360	113674.0	184.50	0.1737	5.757	663.00	53.36	609.64
12.00	9120	124008.0	188.41	0.1602	6.242	663.90	53.37	610.50
13.00	9880	134342.0	192.08	0.1487	6.725	665.00	53.70	611.30
14.00	10640	144676.0	195.53	0.1388	7.205	666.10	51.27	611.90

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Prenons un exemple. Soit de la vapeur à 6 atmosphères à 159°, qui passe dans un cylindre à vapeur à la pression d'une atmosphère (100°)

$$(t - t') = 59 \text{ et } 0{,}305 \times 59 = 18^c,$$

qui seraient seules utilisées sur les

$$605{,}5 + 0{,}305 \times 159 = 657^c$$

communiqués à la vapeur, c'est-à-dire moins de 3 p. 100 de la chaleur totale.

Ces résultats indiqués par divers savants (voy. Regnault, *Préface des expériences sur la vapeur d'eau*) ont fait conclure à plusieurs d'entre eux que pour arriver à des moteurs économiques, il fallait abandonner la machine à vapeur et s'occuper des machines à air chaud.

La conclusion serait fondée si le calcul était exact, mais il n'en est rien : non que la quantité de chaleur, contenue dans l'unité de poids de vapeur qui entre dans le corps de pompe ne doive donner en se condensant la quantité de chaleur ainsi évaluée, et qu'on ne puisse appliquer à l'état final de la vapeur les mêmes formules d'évaluation de la chaleur que pour l'état initial ; mais il n'est pas exact d'admettre que la quantité de vapeur finale, c'est-à-dire après l'action, après avoir agi sur le piston, et la production du travail, soit la même que celle initiale. Là est l'élément essentiel de la théorie vraie de la machine à vapeur, sans lequel il était impossible de rien formuler de satisfaisant. Nous en montrerons plus loin, en traitant de la détente, toute la solidité.

Nous aurons égard à ce nouveau principe, en étudiant les divers états de la vapeur dans le cylindre de la machine à vapeur lorsqu'elle y engendre du travail, afin d'arriver à établir sa quantité à la fin de la course du piston et la comparer à la quantité initiale, ce qui nous permettra de calculer la chaleur consommée et par suite le travail engendré.

II. Machine a vapeur. — La machine à vapeur, dont nous n'avons pas ici à donner la description, doit être considérée, dans sa forme la plus générale, comme disposée de telle sorte que la vapeur puisse y passer par des pressions décroissantes.

La vapeur engendrée dans la chaudière, capacité fermée qui renferme un volume considérable d'eau et de vapeur formée par la chaleur du foyer, vient de là passer dans le cylindre à vapeur, lors de l'ouverture d'un robinet ou du glissement d'un tiroir, et pousse le piston mobile dans le cylindre. Tant que la communication entre la chaudière et le cylindre persiste, le travail mécanique est engendré par l'*action directe* de la vapeur, par l'effet sensiblement constant de la pression de la vapeur dans la chaudière.

Lorsque la communication entre la chaudière et le cylindre est interceptée, le piston continuant à se mouvoir est poussé par la vapeur renfermée dans le cylindre, dont les pressions vont en décroissant. Cette vapeur agit par *détente*.

Enfin, quand le piston est parvenu à l'extrémité de sa course, la vapeur est, dans les machines les plus économiques, mise en communication avec le *condenseur*, capacité fermée dans laquelle de l'eau est projetée en pluie, de manière à réduire rapidement la vapeur en eau et à annuler presque subitement sa pression.

Les trois principales parties en lesquelles se partage l'étude de la machine sont donc : *L'action directe.* — *La condensation.* — *La détente.* Nous allons chercher à analyser les phénomènes, à calculer les effets produits.

1° *Action directe.* — Le calcul du travail engendré par l'action directe de la vapeur est d'une grande facilité. La pression P de la vapeur, fournie en quantité relativement indéfinie au cylindre, par la chaudière de grandes dimensions dont la masse et le réservoir de vapeur forment régulateur de pression, est constante. S étant la surface du piston, L la longueur de la course pendant qu'il est en communication avec la chaudière, PSL ou PV sera le travail engendré, puisque $SL = V$ le volume engendré par le piston mobile, et enfin APV sera la chaleur équivalente.

Nous nous rendons aisément compte de la manière dont se produit ce travail, en examinant ce qui se passe dans la chaudière pendant l'action directe, pendant que la chaudière et le cylindre à vapeur sont en communication. Le piston se déplaçant, la quantité de vapeur en contact avec lui qui pénètre dans le cylindre perd une partie de sa force vive en rebondissant sur le piston qui fuit devant elle, mais reçoit une quantité égale, au moins, de l'impulsion de celle qui arrive avec une grande vitesse de la chaudière. Elle peut être considérée comme formant une sorte de bouchon élastique poussé par la détente de la vapeur de la chaudière, qui se refroidirait et diminuerait de pression, si l'action du foyer et des masses chauffées n'agissait pas sur la vapeur renfermée dans la chaudière.

L'action de la vapeur peut être considérée ici comme celle d'un intermédiaire entre la chaudière et le piston, de telle sorte que si la pression est la même dans le cylindre à vapeur et dans la chaudière, ce qui a sensiblement lieu pour des passages de vapeur suffisamment grands et une vitesse modérée du piston, la pression P est précisément la tension normale de la vapeur, et la quantité APV est identique à celle Apv dont nous avons parlé en traitant de la chaleur totale de la vapeur déduite des expériences de M. Regnault. La quantité de travail pv ne peut se produire dans la chaudière à parois inextensibles, et la vapeur qui y est formée n'a absorbé pour sa vaporisation qu'une quantité de chaleur déduite de ces expériences, diminuée de Apv; celle-ci apparaît et est consommée, elle est empruntée à celle de la masse de la chaudière aussitôt que le travail extérieur peut être produit.

De la chaleur totale de la vapeur déterminée par les expériences, la quantité Apv qui n'atteint pas $\frac{1}{10}$ de la chaleur totale de la vapeur est donc la seule qui puisse être utilisée par l'action directe, et la machine à vapeur fondée sur cette utilisation, ne peut donner que des résultats bien éloignés de l'utilisation de la totalité de la chaleur communiquée à la vapeur.

Si, comme il arrive souvent, la pression est moindre dans le cylindre que dans la chaudière, par suite, par exemple, de la grande vitesse du piston, la vapeur entrera dans le cylindre avec la vitesse due à la différence de pression qui y existe avec celle de la chaudière ; la vapeur emmagasinera sous forme de tourbillonnements, une certaine quantité de force vive ; elle choquera inutilement les parois du cylindre (et, pour une faible part, utilement le piston) ; la quantité utilisée ne répondra plus à la totalité de Apv, et on aura pour l'unité de poids

$$APV + \frac{U^2}{2g} = Apv.$$

Ainsi : la vapeur qui agit par action directe sur le piston d'une machine à vapeur consomme, en plus de celle nécessaire pour sa formation dans la chaudière, une quantité de chaleur égale à Apv, pv étant le travail maximum produit quand la vitesse du piston n'est pas très-grande, que sa résistance est sensiblement égale à celle qui répond à la pression de la vapeur dans la chaudière, ce que tendent à établir la grandeur des orifices, la conduite du feu, etc.

2° *Condensation de la vapeur.* — Le condenseur séparé, tel qu'il a été disposé par Watt, est une capacité fermée, refroidie à l'aide d'un jet d'eau froide, de telle sorte que la vapeur d'eau mise en communication avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lui s'y condense instantanément. Le condenseur a donc pour objet de faire disparaître toute pression sur une des faces du piston, pendant que l'autre face reçoit l'action de la vapeur de la chaudière. Pour analyser plus facilement l'effet du condenseur, on peut supposer qu'il possède une perfection théorique, qu'il produit le vide absolu, tandis que, dans la pratique, la quantité limitée d'eau que l'on doit employer pour la condensation et l'air qui se dégage de cette eau, font que la température de l'eau d'injection s'élève à environ 40° et la pression à 20 centimètres de mercure.

Le travail Apv que nous avons vu résulter de l'action directe de la vapeur formée à la pression p est bien celui qui est produit, mais nullement le travail habituellement utilisé. Si p est la pression atmosphérique et si le piston se ment librement dans l'atmosphère, le travail utile est nul. C'est le cas des machines atmosphériques, qui ne produisent aucun travail utile lors du soulèvement du piston; le travail utile n'étant produit que par l'effet de la pression atmosphérique, à la descente, lorsque le vide est produit par la condensation de la vapeur reçue par le cylindre. L'action du condenseur résulte clairement de ce fait; il permet de transporter aux organes de la machine, de rendre utile le travail produit par toute la pression de la vapeur qui dépasse la pression minime du condenseur. C'est le résultat du changement de la vapeur en eau, sans modification de la quantité de chaleur, ou plus exactement la chaleur empruntée à la chaudière étant :

$$U_1 + A\alpha + Apv,$$

celle retrouvée dans le condenseur sera égale à $U_1 + A\alpha$ seulement, si la pression dans le condenseur était absolument nulle, et :

$$U_1 + A\alpha + Ap'v',$$

p' étant la faible pression du condenseur, v' le volume du condenseur et de la partie du cylindre en communication avec lui. La chaleur utilisée sera donc égale à $A(pv - p'v')$. L'expérience devra donc faire trouver, même pour l'action directe seule, une diminution dans les quantités de chaleur, mais la différence égale à $A(pv - p'v')$ pourra être cachée au milieu de quantités 12 ou 15 fois plus grandes et surtout par des différences notables de pression entre la chaudière et le cylindre, génératrices de force vive qui se convertit en chaleur.

Le grand avantage du condenseur n'est pas seulement d'utiliser l'action directe de la vapeur sous des pressions peu élevées et par suite dans des conditions pratiques excellentes, mais encore de permettre de tirer parti de l'action de la vapeur jusqu'à une pression très-minime, de multiplier les doublements de volume sans partir de pressions et de températures très-élevées, et sans que le volume final soit très-grand, ce qui produirait dans la pratique de nombreux et graves inconvénients. C'est ce que va nous faire bien apprécier l'étude des phénomènes de détente.

3° *Détente de la vapeur saturée.* — L'action directe de la vapeur agissant à pleine pression sur le piston d'une machine à vapeur, munie du condenseur le plus parfait, ne peut pas permettre d'utiliser plus d'une fraction (Apv) de la quantité de chaleur dépensée, qui ne s'élève pas à plus de 1/10e de celle-ci et n'augmente pas sensiblement aux pressions élevées. (Résultat assez curieux, remarquons-le en passant, qui explique la préférence souvent critiquée de Watt et des constructeurs anglais fidèles à sa tradition, pour les très-basses pressions, dans les machines sans détente.)

Est-ce là la limite théorique de l'utilisation possible de la chaleur au moyen de la machine à vapeur? Chacun sait qu'il n'en est rien, et que l'on produit de grands effets dans la plupart des machines à vapeur modernes au moyen de la détente, qui permet théoriquement de convertir en travail le reste de la chaleur de la vapeur. La détente se produit lorsque la communication entre la chaudière et le cylindre à vapeur venant à être interceptée, le piston continue sa course poussé par la vapeur qui remplit le cylindre, en raison de son excès de pression, sur celle qui agit sur l'autre face du piston, qui est celle du condenseur, ou, dans d'autres cas, la pression de l'atmosphère dans laquelle on rejette la vapeur.

Nous n'avons pas à insister sur la production du travail par la détente, déjà analysée pour le cas le plus simple, en traitant des machines à air; et comme nous l'avons expliqué, puisque c'est en choquant contre la face du piston que les molécules de la vapeur produisent du travail, en perdant une partie de leur force vive moléculaire, de leur chaleur, tout travail engendré par le piston entraîne la consommation d'une quantité équivalente de chaleur dans la vapeur en contact avec lui et par suite entraîne la condensation d'une fraction de la vapeur saturée. Nous avons seulement à analyser les phénomènes calorifiques spéciaux qui accompagnent la détente de la vapeur et qui font des machines à vapeur des appareils très-supérieurs aux machines à air chaud, à l'opposé de ce qui a été trop souvent répétée dans ces dernières années. Il importe de bien établir cette vérité et montrer la cause d'une supériorité qui n'avait pas jusqu'ici été clairement formulée.

Quand un piston est poussé par une action de détente d'un corps à l'état gazeux, le travail élémentaire, en chaque instant, est pdv pour la pression variable p et la quantité de chaleur consommée est $A\int pdv$, l'intégrale étant prise entre les éléments du volume final et initial.

Le phénomène essentiel qui résulte de cette consommation de chaleur, de sa transformation en travail mécanique, c'est que lorsque la détente se produit, les phénomènes ne sont plus ceux d'un simple refroidissement comme pour les gaz; il se forme en effet un brouillard dans la masse, une condensation, une liquéfaction d'une fraction de cette vapeur saturée. C'est ce que M. Hirn a établi par une expérience directe que nous avons rapportée à ÉQUIVALENT DE LA CHALEUR, et qui montre bien que, par l'effet de la détente, il se reforme de l'eau, que la vapeur subsistante est toujours saturée.

Les nombres trouvés par M. Regnault pour la valeur croissante des chaleurs latentes de la vapeur d'eau à des pressions croissantes sont bien loin de prouver, comme on l'avait conclu à tort, qu'elle était surchauffée après une détente (engendrant un travail mécanique), comme on devait le faire quand on n'établissait pas de rapport entre le travail produit et la quantité de chaleur de la vapeur; il est facile de voir qu'ils conduisent à prouver qu'il se produit une condensation de partie de la vapeur. Je le montrerai par un exemple.

Soit de la vapeur saturée à deux atmosphères et 120°,60; elle renferme $606,5 + 0,305(120,6) = 643,28$ calories, tandis que celle à une atmosphère 100° n'en renferme que 637, différence de 6 calories (en négligeant les variations des valeurs de Apv très-peu différentes dans les deux cas). Le volume de l'unité de poids de la vapeur à deux atmosphères est 0,857; posons $6 = APAV$ comme pour $P = 2 \times 10333$, $AP = 55,85$, $APV = 47,86$; il suffirait donc que l'accroissement du volume V fût de 1/8e du volume primitif (en négligeant la diminution successive de pression pour cette approximation) pour que le travail produit eût consommé la quantité de chaleur de la vapeur à deux at-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mosphères qui excède celle de la vapeur à une atmosphère. On ne devrait donc trouver dans le cylindre que la pression d'une atmosphère pour un accroissement de 1/8e du volume; or, comme on sait très-bien qu'il n'en est rien, que les pressions de la vapeur se rapprochent assez dans la pratique des machines de celles indiquées par la loi de Mariotte, il faut en conclure que la vapeur qui remplit le cylindre n'est pas de la vapeur à 100° et 1 atmosphère, mais de la vapeur saturée sensiblement à 1 atm. 8/10e, à plus de 117°, dont le poids est moindre que celui de la vapeur primitive d'une fraction égale à $k = 1/100$ ou 1/100 à peu près, qui a fourni $(642 - 117)\ k = 525\ k$ calories.

C'est sur l'évaluation exacte de ces effets que nous allons revenir pour apprendre à calculer le travail de la détente; mais nous avions d'abord à analyser un mode d'action, qui nous montre tout l'avantage que nous offre la vapeur pour la construction des machines à feu. C'est en effet parce qu'il s'agit de vapeur, que la quantité de chaleur que nous avons représentée par AA, engendrée par l'action réciproque des molécules les unes sur les autres, lorsqu'un corps passe de l'état gazeux à l'état liquide, et qui répond à la plus grande partie de la quantité de chaleur de la condensation de la vapeur, apparaît dans tous les points de celle-ci, qui se refroidit, par suite, lentement par la détente. Cette chaleur se trouve ainsi dégagée dans des conditions très-favorables pour sa parfaite utilisation, et fait jouir les vapeurs d'une propriété très-précieuse pour leur emploi dans les machines à feu, qui manque tout à fait aux gaz qui ne peuvent fournir un travail un peu notable par détente, sans que de suite la pression devienne trop faible pour être pratiquement utilisable. Il n'en est pas ainsi pour la vapeur; la diminution de pression se produit surtout lors de la détente de la vapeur par la diminution de la quantité de celle-ci. Elle peut théoriquement conduire à l'utilisation totale de la chaleur, et le calcul ci-après nous permettra de déterminer la limite de la détente possible dans chaque cas, bien avant la limite indiquée par la pression dans le condenseur; car il faut qu'une machine produise un travail bien supérieur à celui consommé par ses résistances passives pour que son emploi soit profitable dans la pratique.

Calcul du travail de la détente. — C'est à l'évaluation de la variation de la quantité de vapeur qui agit dans le cylindre, et au calcul de la quantité de chaleur de la vapeur qui se condense, et qui est égale à AT, T étant le travail cherché, que se ramène donc le calcul du travail de la détente.

M étant la quantité de vapeur qui agit par action directe, supposée sèche (il y aurait à tenir compte de l'eau mélangée, si on reconnaissait un entraînement d'eau, et à en mesurer la proportion, ce qui est facile en opérant comme il suit, en tenant compte du refroidissement de cette eau), $M = m + m'$ à la fin de la détente, m étant la vapeur qui persiste, m' le poids de la vapeur liquéfiée.

La quantité de chaleur dégagée par la condensation de la vapeur, qui possède au commencement de la détente la chaleur ρ_0, comme à la fin la quantité de vapeur condensée est de l'eau à la fin la température t_1 est donc $m'(\rho_0 - t_1)$, la chaleur spécifique de l'eau étant égale à l'unité.

La vapeur restante m est passée de la température t_0 à la température t_1 inférieure, sa chaleur spécifique à saturation étant $c = 0{,}305$, elle a perdu de sa chaleur intime la quantité $mc(t_0 - t_1)$.

La quantité de chaleur convertie en travail mécanique par la détente est donc :

$$Q = m'(\rho_0 - t_1) + mc(t_0 - t_1).$$

Il est bon d'observer que m' grandit et m diminue à mesure que $t_0 - t_1$ augmente, que t_1 diminue; qu'à la limite m s'évanouit et la chaleur totale de la vapeur est convertie en travail mécanique; ce qui démontre encore une fois que l'emploi de la vapeur n'est la cause d'aucune perte nécessaire, que la machine à vapeur n'a pas de vice théorique qui la rende inférieure aux machines à air chaud.

La formule ci-dessus donne la valeur de $T = \frac{Q}{A}$ du travail produit par la détente au moyen de déterminations expérimentales faites pour chaque machine, en plus grand nombre que celles qui étaient nécessaires avec la théorie de Poncelet, qui avait l'avantage d'exiger un petit nombre de déterminations simples, mais dont l'inexactitude appelait des corrections par des coefficients d'expérience de 0,50 ou 0,60. Il suffisait de déterminer la pression initiale, puis admettant la loi de Mariotte (assez bien vérifiée pour des détentes médiocres et des enveloppes réchauffant bien la vapeur), la seule détermination du volume initial et du volume final de la vapeur donnait la tension finale et, par suite, le travail produit.

On pourrait difficilement déduire des résultats contenus dans les tableaux ci-dessus une formule empirique pouvant être employée comme la loi de Mariotte, donnant les pressions de vapeur saturée répondant à des volumes déterminés, en tenant compte de la précipitation de vapeur qui répond au travail produit. Au contraire, avec leur aide et avec une observation de la pression finale, assez facile à obtenir et qui, prise sur la machine étudiée, permet de tenir compte des conditions particulières de sa construction plus exactement qu'avec une évaluation des volumes, on peut déduire des nombres renfermés dans le tableau précédent tous les éléments nécessaires pour calculer le travail engendré par la détente, et notamment m et m'.

En effet, la pression finale étant connue, et la vapeur renfermée dans le cylindre étant toujours de la vapeur saturée, cette pression indique immédiatement quelle est la température et la densité de cette vapeur, et par suite quel est le poids m contenu dans le volume connu. Comme on connaît déjà le poids M de la vapeur ayant agi directement, $M - m = m'$ sera le poids condensé.

Faisons le calcul avec des nombres quelconques pour montrer le mode d'opérer.

Soit $M = 1$ kil. et $P = 3$ atm., on voit sur les tables que $t_0 = 133°$ et le volume $V = 0{,}585$ par kilogramme. Soit la détente égale à trois fois le volume primitif, soit $4V = 2.340$. La pression finale observée, au lieu d'être $1/4 = 0.75$, sera trouvée par exemple égale à 0,6 atm. On devra en conclure que la vapeur contenue dans le cylindre à la fin de la détente est de la vapeur saturée pouvant se former à 90° (nombre lu sur le tableau en face de 0.6). Le kilogramme de cette vapeur occupe à cette pression un volume de $2^{mc}.66$ (voir le tableau); or, la vapeur existante n'en occupe que $2^{mc}.340$, donc

$$m = 1^k \cdot \frac{2.34}{2.66} = 0.88 \quad \text{et} \quad m' = 0^k,12$$

est la quantité de vapeur condensée.

On a dès lors dans les tableaux donnant les résultats des meilleures expériences tous les nombres qui sont nécessaires pour calculer le travail engendré par la détente d'après la formule indiquée plus haut.

Si, au lieu de la pression finale, on déterminait la température finale t_1, on verrait sur le tableau la nature, la pression de la vapeur saturée qui est contenue dans le cylindre à la fin de la détente et par suite le calcul précédent serait possible. Or, cette détermination est très-possible, mais un peu moins simple que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MACHINES A VAPEUR.

celle des pressions par le système que nous avons indiqué. En effet, on pourrait loger la boule d'un thermomètre sensible, d'un pyromètre à air à parois métalliques, vers le point de sortie de la vapeur, lorsqu'elle passe du cylindre au condenseur. Il atteindrait rapidement la température t_1, que le froid du condenseur lui ferait bientôt abandonner.

CALCUL DU TRAVAIL TOTAL. — Après avoir déterminé les quantités équivalentes de chaleur et de travail pour chaque période, il suffit de les ajouter algébriquement pour obtenir la mesure cherchée du travail engendré. On aura ainsi :

En chaleur :

$$Q = APv + m'(\rho_0 - t_1) + mc(t_0 - t_1) - Ap'V,$$

et en travail comme $Q = AT$:

$$T = Pv + m'\left(\frac{\rho_0 - t_1}{A}\right) + mc\,\frac{(t_0 - t_1)}{A} - p'V. \quad (4)$$

$$m + m' = M.$$

P est la pression initiale de la vapeur, v le volume de l'action directe, M le poids de vapeur initial, m' la partie qui se liquéfie dans le cylindre, m la vapeur qui subsiste à la fin de la course, V le volume total engendré par le piston, p' la tension du condenseur.

L'indicateur de Watt, dont nous disons un mot ci-après, donne la mesure des pressions pour les diverses positions du piston et permet par suite de déterminer P, v, p'. Les observations à la chaudière, contrôlées par la valeur de P dans le cylindre, donnent à l'aide des tableaux renfermant les résultats des expériences de M. Régnault, t_0, ρ_0 et M. Reste à obtenir t_1 et m, puisque $m' = M - m$, qui se déduisent comme nous l'avons dit de la pression finale à la fin de la détente donnée par la même expérimentation.

Dans le cas où la pression dans le cylindre est bien la même que celle de la chaudière, on peut se dispenser de calculer directement APv, et, partant des expériences de M. Regnault, poser

$$Q = m'(606{,}5 - 0{,}708\,t_1) + 0{,}305\,m(t_0 - t_1) - Ap'V.$$

Indicateur de Watt. — La nécessité de régler convenablement la marche des tiroirs des machines, les moments d'entrée et de sortie de la vapeur, a fait adopter par les constructeurs l'indicateur de Watt, qui fournit par ses diagrammes une évaluation du travail de la vapeur agissant sur le piston. (Voy. DYNAMOMÈTRES.) Il opère en traçant une courbe dont l'aire est proportionnelle au travail engendré et donne le produit du chemin parcouru par les pressions successives pour les diverses positions du piston, par suite, pour les divers volumes de la vapeur, c'est-à-dire fournit tous les éléments convenables pour l'application de la nouvelle théorie que nous venons d'exposer.

Il semble que pratiquement nous n'arrivons à rien d'utile, puisque les formules doivent ramener au travail indiqué par les tracés de l'indicateur, mais il faut observer que par les formules nous entrons dans la connaissance directe des phénomènes qui se passent dans le cylindre, nous obtenons la quantité de chaleur consommée et par suite son rapport avec celle disponible, le coefficient réel d'effet utile de la machine, connaissance qui peut seule conduire à de réels perfectionnements en montrant comment les divers changements que l'on peut tenter rapprochent de la limite de maximum théorique. C'est dans cette voie seule que peuvent se rencontrer de grands progrès.

L'observation du combustible consommé, est, il n'est pas besoin de le dire, sans valeur scientifique, si elle est capitale au point de vue des applications industrielles, puisqu'elle confond ensemble l'utilisation de la chaudière et celle de la machine; questions d'ordre différent qui doivent être étudiées séparément.

APPLICATIONS DE LA NOUVELLE THÉORIE. — La nouvelle théorie de la machine à vapeur, dont nous avons indiqué les bases, permet d'analyser, beaucoup mieux qu'on ne le faisait avec l'ancienne, divers phénomènes qui se produisent dans le fonctionnement de ces machines, et conduit à divers perfectionnements importants qui tendent à s'introduire dans leur construction et qui doivent conduire à une notable réduction dans la dépense du combustible.

Entraînement d'eau. — L'entraînement de l'eau par la vapeur, qui se produit dans presque toutes les machines et qui est quelquefois très-grand avec des chaudières qui ont des réservoirs de vapeur de trop faibles dimensions, était considéré comme un fait de très-grande importance. En négligeant de tenir un compte suffisant de cet élément, en comptant comme poids de vapeur produite toute diminution du poids de l'eau renfermée dans la chaudière, on est souvent arrivé à des résultats tout à fait inexacts, propres à induire en erreur, à faire considérer comme excellents des appareils de vaporisation fort défectueux. Mais s'il importe beaucoup, au point de vue de la comparaison de la valeur des appareils de vaporisation, de tenir grand compte du fait de l'entraînement de l'eau, celui-ci paraît de peu d'importance au point de vue théorique de la machine à vapeur. Ainsi μ étant la quantité d'eau entraînée et qui devrait être ajoutée à la masse M déduite du volume de la vapeur, l'équation du travail reste celle ci-dessus en y ajoutant un terme $\mu.(t_0 - t_1)$ très-petit, μ n'étant pas grand par rapport à M.

Nous montrerons comment cet entraînement expose aux plus graves erreurs quand on cherche à évaluer la quantité d'eau vaporisée dans une chaudière. M. Hirn, dans ses additions au livre de M. Zeuner, indique un curieux résultat.

« Dans le concours de chaudières à vapeur provoqué si utilement en 1859 par la Société industrielle de Mulhouse, on a observé un phénomène fort extraordinaire à première vue.

« Les chaudières soumises au concours servaient alternativement à fournir de la vapeur à une machine à détente variable, à un cylindre sans enveloppe à vapeur, qui avait à donner un travail externe presque constant. Or, il est arrivé que tandis qu'il existait des différences apparentes très-notables entre les poids de vapeur produits pour 1 kilog. de houille avec ces diverses chaudières, tandis que les unes allaient à 8 kilog. de vapeur pour 1 kilog. de houille et les autres vaporisaient seulement à 6k,50, la quantité de combustible nécessaire pour la marche de la machine a, au contraire, peu varié. »

Cette bizarrerie apparente devait nécessairement dépendre de la quantité d'eau variable qu'entraînait la vapeur des diverses chaudières essayées, et qui, dans les expériences, était dosée comme vapeur produite. C'est ce qu'un calcul bien simple permet d'établir facilement.

La vapeur étant fournie à 5 atm., à 152°, une chaudière A, produisant de la vapeur sèche, consommait pour la production d'un kilog. de vapeur

$$\left\{606{,}5 + 0{,}305 \times 152\right\} = 652{,}92 \text{ calories.}$$

Une chaudière B produisant de la vapeur qui entraînait 0,2 d'eau, consommait, pour effectuer un même travail, pour fournir un kilog. de vapeur saturée à la même pression, la quantité ci-dessus plus

$0{,}2 \times 152 = 30{,}20$ ou $652{,}92 + 30{,}20 = 683{,}12$ cal.

La différence de production des deux chaudières est en eau enlevée à la chaudière de 20 °/₀, et la différence de consommation de combustible n'est que $\frac{30.2}{652.9} = 4.6$ °/₀.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire une quantité qu'il est déjà difficile de constater dans de semblables expériences.

Des Enveloppes. — L'utilité des enveloppes de vapeur, qui dans l'ancienne théorie de la chaleur paraissait fort douteuse, puisqu'on ne pouvait guère comprendre leur effet que comme empêchant le refroidissement du cylindre à vapeur, ce qui les a fait successivement adopter et rejeter, est aujourd'hui parfaitement analysée, grâce à la nouvelle théorie de la chaleur. Leur adoption générale et leur meilleure disposition constituent peut-être le progrès le plus important qu'ait reçu la machine à vapeur à longue détente.

Ce sont MM. Wicksted en Angleterre, et Combes en France, qui ont signalé les premiers et démontré expérimentalement les avantages des enveloppes, mais c'est surtout à M. Hirn que l'on doit d'avoir établi comment se passent les phénomènes sous l'influence de la source de réchauffement que constitue la vapeur renfermée dans l'enveloppe arrivant de la chaudière.

L'enveloppe doit être considérée comme fournissant un moyen de chauffage de la vapeur pendant la détente, c'est-à-dire lorsqu'elle se refroidit et se condense par suite du travail qu'elle produit, effet doublement profitable non-seulement en ce qu'elle permet de produire une plus grande quantité de chaleur avec un appareil donné, mais encore parce que la chaleur ainsi communiquée est complétement convertie en travail mécanique, sans augmenter aucunement les pertes que subit celle incorporée, dès la chaudière, dans la vapeur agissant dans la machine. C'est ce que nous allons montrer en suivant la série d'expériences faites par M. Hirn sur une machine à vapeur par Wolf, à deux cylindres, qui est très-propre à faire apprécier les divers éléments dont il faut tenir compte quand on calcule les effets d'une machine réelle et non pas purement théorique.

Dans cette machine, dont les deux cylindres avaient une chemise de vapeur commune, la vapeur agissait à pression pleine sur le petit piston pendant toute sa course et se détendait dans le grand cylindre.

Le volume occupé par la vapeur à la fin de la course des pistons était, dans le petit cylindre de $0^{mc},17098$ plus $0^{mc},01136$ d'espace nuisible; soit $0^{mc},18234$ pour volume total. Lorsque la communication avec le grand cylindre s'établissait, ce volume devenait brusquement $0^{mc},21634$, en admettant que l'espace nuisible qui était de $0^{mc},034$ et qui ne contenait que de la vapeur à la faible tension du condenseur, fût complètement vide; puis, jusqu'à la fin de la course, il se détendait dans le grand cylindre jusqu'à occuper un volume de $0^{mc},7885$. En d'autres termes, la détente se faisait jusqu'à $\frac{0,7885}{0,18234} = 4,3243$ fois le volume à pression pleine.

La machine marchait sous la pression de 3 atm. 75 dans le petit cylindre et était à condensation.

En faisant marcher la machine, l'enveloppe recevant la vapeur, à la vitesse de 47 coups de pistons par minute, sous la pression de $3^{atm},75$ dans la petit cylindre et le robinet d'admission tout ouvert, le travail mesuré a été de 7800 kilogrammètres par seconde ou 104 chevaux vapeur.

Lorsqu'on faisait arriver la vapeur dans le petit cylindre sans traverser l'enveloppe, le travail diminuait de 1838 kilogrammètres ou 24,5 chevaux vapeur, quoique tout fût semblable dans les conditions du fonctionnement.

La quantité de vapeur consommée par coup de piston était de $0^{k},4125$ lorsque l'enveloppe fonctionnait, et elle s'élevait à $0^{k},4355$ lorsque la vapeur arrivait directement au cylindre. La condensation se faisait beaucoup mieux dans le premier cas que dans le second; la tension était abaissée dans l'un à $0^{m},07$ ou 0,075 de mercure, et dans l'autre à $0^{m},095$ ou $0^{m},100$.

Pendant la durée des expériences, des indicateurs de Watt placés sur les cylindres indiquaient les pressions suivantes :

Sans vapeur dans l'enveloppe.		Avec vapeur dans l'enveloppe
$3^{atm},75$	Tension dans le petit cylindre avant l'ouverture du tiroir de communication.	$3^{atm},75$.
$1^{atm},62$	Tension dans le grand cylindre à l'instant de l'ouverture de ce tiroir..	$2^{atm},20$.
$0^{atm},685$	Tension dans le grand cylindre à la fin de la course	$0^{atm},81$.

En passant de 0,18234 à 0,21634 le volume de vapeur aurait dû, si elle avait suivi la loi de Mariotte, être à la pression de $3^{atm},16$ et à la fin de la course à 0,86.

L'accroissement de travail étant de 24,5 chevaux par l'effet de l'enveloppe, c'est-à-dire passant de $104 - 24,5 = 79,5$ à 104, est donc de $\frac{24,5}{104} = 0,235$ ou 23,5 pour 100 du travail total de la machine. Quant à l'économie de combustible, il semble que fournissant le même nombre de courses à la seconde, avec ou sans enveloppe, et consommant alors $0^{k},4125$ de vapeur dans le premier cas, et $0^{k},4355$ dans le second, le bénéfice en combustible semblerait devoir être

$$23,5 \times \frac{0,4355}{0,4125} = 24,8\ \%;$$

mais il est réellement un peu moindre, à cause de la quantité de chaleur de réchauffement empruntée à la vapeur de l'enveloppe. Pour l'évaluer, M. Hirn a recueilli avec soin la quantité d'eau qui se condensait dans l'enveloppe par chaque coup de piston et s'attache par une action toute spéciale aux parois, le long desquelles elle s'écoule, par suite des refroidissements internes et externes. Il l'a trouvée de 0,0443, quantité qui comprend l'eau entraînée de la chaudière et qui se dépose dans l'enveloppe et qui a été trouvée dans les conditions de l'expérience égale à 1,5 %. Cette eau pèse

$$0,015 \times 0,4125 = 0^{k},0062;$$

la vapeur condensée à la température de 142°, qui dégage par suite

$$645,8 - 142 = 603,8 \text{ calories},$$

ne pesait donc que $0,0443 - 0,0062 = 0^{k},0381$ dégageant $603,8 \times 0,0381 = 23$ calories. —

Influence des parois. — La vapeur, au moment où elle passe dans le grand cylindre, éprouve brusquement un grand abaissement de pression pour un très-faible accroissement de volume produit subitement; ainsi, dans des expériences de M. Hirn, elle devenait $2^{atm},2$ avec enveloppe de vapeur, et seulement $1^{atm},62$ sans vapeur dans l'enveloppe. Il se produit évidemment à l'entrée de la vapeur dans le grand cylindre qui est en communication avec le condenseur, et par la même raison dans les machines à un cylindre, une condensation d'une fraction de la vapeur au contact des parties froides, qui, dans le mode de calculer ci-dessus, ne devra pas être comptée comme engendrant de travail. L'effet de l'enveloppe est de diminuer cette condensation, et, en fournissant de la chaleur, de permettre la vaporisation de l'eau condensée, lorsque la pression diminue, de telle sorte que le travail relatif soit réellement accru de tout celui que peut produire la chaleur transmise par l'enveloppe.

Deux faits constatés expérimentalement par M. Hirn prouvent bien que les choses se passent comme il est indiqué ici.

1° Lorsque l'enveloppe a fonctionné pendant quel-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que temps et que l'on cesse brusquement d'y envoyer la vapeur dirigée directement dans le petit cylindre, la machine continue à marcher quelque temps comme si rien n'était changé, et les premières courbes de pressions, relevées à l'aide de l'indicateur, ne varient pas. Ce n'est qu'au bout de 10 ou 20 minutes qu'elles sont progressivement ramenées au point où la diminution du travail devient régulièrement moindre de 23,5 p. 100, lorsque toute la provision de chaleur, mise en magasin par la masse de fonte et empruntée à la vapeur de l'enveloppe, est épuisée.

2° L'enveloppe augmente bien positivement la température de la vapeur pendant la détente; car, tandis qu'elle fonctionne, la vapeur qui arrive dans le condenseur, où la tension n'est plus que de $0^{atm},075$, possède encore une température de 64°; et quand elle cesse de fonctionner, cette vapeur, qui arrive dans le condenseur, où la tension est de $0^{atm},095$, ne possède qu'une température de 58°.

Emploi de la fumée. — Une preuve que l'enveloppe pleine de vapeur agit bien comme moyen de réchauffement, c'est l'inanité des tentatives faites, pour lui substituer l'emploi des produits de la combustion, qui, malgré leur température élevée, ne produisent qu'un effet insignifiant, parce que les gaz ne se condensent pas, ne dégagent pas les quantités de chaleur considérables que la vapeur saturée fournit pour un abaissement même fort limité de température.

Réchauffement direct de la vapeur. — L'analyse des résultats avantageux procurés par les enveloppes et surtout les progrès de la théorie mécanique de la chaleur appliquée à l'étude des phénomènes qui se passent dans la machine à vapeur, conduisant à reconnaître que l'effet de la détente est de faire précipiter de l'eau à l'état vésiculaire, menaient à un ordre de combinaisons nouvelles propres à réchauffer efficacement la vapeur pendant la détente. C'est en faisant passer la vapeur, après qu'elle s'est détendue en partie, dans un appareil propre à la chauffer, que l'on a obtenu d'excellents résultats.

Le premier essai de cette nature que nous connaissions, est dû à M. Normand fils (du Hâvre), qui a transformé les deux cylindres indépendants d'une machine oscillante de Penn, montée sur un petit bateau à vapeur (*le Furet*), en deux cylindres d'une machine de Woolf, c'est-à-dire en alimentant le second cylindre avec la vapeur sortant du premier. Les résultats ont été excellents, et le bateau marchait aussi bien qu'auparavant, c'est-à-dire avec une consommation de vapeur sensiblement moitié moindre. Il faisait circuler la vapeur après qu'elle avait agi dans le premier cylindre, avec une détente assez étendue, dans un conduit placé dans le réservoir de vapeur de la chaudière, où elle reprenait la température primitive, et où l'eau condensée par suite de la détente se vaporisait de nouveau. De là résultait un accroissement de pression, une utilisation excellente des calories communiquées par le réchauffement.

Les constructeurs anglais ont apprécié les heureux effets que l'on pouvait obtenir dans cette voie, et je citerai ici les machines de May et Cie et de Wendham qui figuraient à l'Exposition de 1862, dont la description a été donnée à l'article MACHINES A VAPEUR.

Toutefois, la nécessité de faire passer la vapeur à travers un réchauffeur, dont la pression augmente pendant l'intervalle des émissions, fait naître une cause de résistance qui réduit beaucoup les avantages de ce système, relativement au simple système de Wolf à deux cylindres.

Vapeur surchauffée. — Une vapeur surchauffée, c'est-à-dire portée à une température plus élevée que celle de l'ébullition du liquide qui lui a donné naissance à l'état de saturation, peut être considérée comme un corps gazeux à un état voisin de celui de gaz permanent. Les lois des gaz, inexactes pour les vapeurs saturées sont d'autant plus applicables aux vapeurs surchauffées que celles-ci sont à une température plus élevée, qu'elles deviennent de véritables gaz.

Une conséquence nécessaire des lois des vapeurs saturées, est que toute vapeur saturée, mais sèche, qui se précipite d'un réservoir où elle est soumise à une pression constante, dans un autre où elle est soumise à une pression moindre, *se surchauffe spontanément*. En effet, du passage de la vapeur d'un réservoir dans un autre, il ne résulte pas nécessairement une consommation de chaleur, si les parois des réservoirs sont inextensibles; c'est ce que prouve l'expérience de Joule sur les gaz. Or, si on remarque que les quantités de chaleur constitutives de la vapeur, qui répondent aux pressions les plus élevées, sont les plus considérables, le principe énoncé s'en déduit forcément. Ainsi, par exemple, de la vapeur saturée à 5 atmosphères, à la température de 152°,2 a reçu une chaleur totale par kilog., à partir de zéro, de

$$606 + 0{,}305 \times 152{,}2 = 652{,}9 \text{ calories.}$$

Si elle passe à une pression de 1 atm. sans consommation de chaleur, comme la chaleur totale de la vapeur saturée à cette pression est égale à 637 calories, il y a donc un excédent de $652{,}9 - 637 = 15{,}9$ calories qui surchauffent la vapeur d'un nombre de degrés égal à $\frac{15{,}9}{c} = \frac{15{,}9}{0{,}47} = 33°$. La vapeur à 1 atm. est donc à la température de 133° pour renfermer la même quantité de chaleur que la vapeur saturée à 5 atm. De là cette conséquence remarquable que toute vapeur surchauffée peut être considérée comme due à une vapeur saturée dont le volume aurait été subitement accru, et on passera facilement de l'une à l'autre, en refaisant, à l'inverse, le calcul précédent. On repassera par exemple de la vapeur à 133° à un atmosphère possédant une chaleur totale égale à 652,9, à la vapeur saturée à 5 atmosphères qui possède cette quantité à saturation.

C'est en partant de cette considération, que M. Hirn s'est efforcé de constituer une théorie analytique des effets de la vapeur surchauffée. Il nous paraît suffisant de tirer de l'observation des consommations de chaleur qu'entraîne la production de travail mécanique, cette conséquence:

1° Une machine à vapeur alimentée avec de la vapeur surchauffée est absolument une machine à gaz, et les effets sont ceux étudiés précédemment, jusqu'au point où le refroidissement de la vapeur l'amène à l'état de vapeur saturée. $mc(t - t_1)$ est le travail correspondant à l'utilisation de la chaleur de surchauffe, jusqu'à la température t_1 où elle est saturée.

2° A partir de ce point, le calcul doit se poursuivre comme pour une machine à vapeur ordinaire.

En réalité ce n'est pas pour convertir la machine à vapeur en machine à gaz, ce qui n'offrirait pas d'avantages, que la surchauffe a été utilement employée, c'est pour combattre le refroidissement des parois produit lors de la mise en communication du cylindre à vapeur et du condenseur, cause de diminution nuisible de pression à l'entrée de la vapeur dans le cylindre à vapeur, que Wethered en Amérique et M. Hirn en France ont prouvé l'utilité de son adoption.

Expériences Hirn et Hallauer. — M. Hallauer a décrit dans un excellent Mémoire les détails de la méthode d'expérimentation de M. Hirn, amenée à son plus haut degré de perfection. Elle comprend les mesures suivantes: évaluation des poids de vapeur consommée et d'eau rejetée du condenseur, celle des températures, et enfin le relevé des différentes circonstances du travail, en employant l'indicateur de Watt, pour obtenir les pressions et la densité de la vapeur;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

enfin, la consommation de combustible, le nombre de tours, etc.

Résumé. — Si nous cherchons à résumer les résultats des études sur la machine à vapeur, nous affirmerons que grâce à l'emploi des longues détentes et des grandes vitesses du piston, la production du travail mécanique par la chaleur est devenue beaucoup plus économique et que la machine à vapeur a été amenée à un degré de perfection qui la place bien au-dessus de toutes les autres machines calorifiques qui ont été essayées. Mais toutefois on ne doit pas conclure de là qu'il n'y ait plus de grands progrès à accomplir ; la quantité de chaleur que la machine à vapeur permet de convertir en travail mécanique n'est qu'une fraction du travail maximum qu'il serait possible d'utiliser, si toutefois on trouvait une voie nouvelle de perfectionnement, car on semble avoir réalisé aujourd'hui à peu près tous les progrès qui nous paraissent possibles.

Les expériences répétées de MM. Hirn et Hallauer conduisent aux résultats suivants : dans les limites pratiques de 250° pour la vapeur même surchauffée, pour que les graisses servant à lubrifier ne soient pas détruites, et de 20° au condenseur, tandis que M. Hirn établit que théoriquement les principes de la thermodynamique indiquent un rendement de 249 chevaux-vapeur pour une dépense de 100 calories, le meilleur des essais, avec vapeur surchauffée, donne 135ch,77 pour 172c,79, soit 78ch,5 pour 100 calories ; c'est donc pour ce moteur un rendement de 78,5 : 249 = 31,5 % seulement. Ce chiffre pratique de 30 pour 100 doit être admis pour les machines à vapeur actuelles les plus perfectionnées.

MANOMÈTRE DESBORDES. Dans ce manomètre, la pression de la vapeur s'exerce sur la tête d'un petit piston, par l'intermédiaire d'une membrane de caoutchouc vulcanisé qui est destinée à isoler la vapeur des pièces du mécanisme, comme dans les manomètres de M. Galy-Cazalat (fig. 3651 et 3652). Ce piston agit par

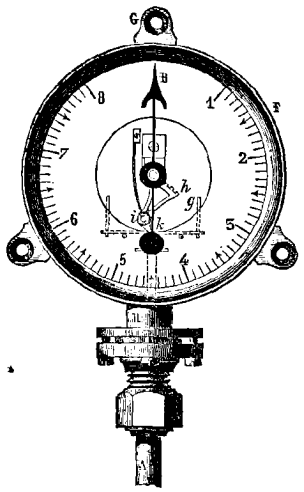


Fig. 3651.

son extrémité opposée sur le milieu d'une petite lame d'acier trempé, dont les oscillations correspondent, par leur amplitude plus ou moins grande, à l'intensité de la pression de la vapeur. Pour rendre ces variations plus sensibles, la flexion de la lame est transmise à une aiguille qui se meut circulairement sur un cadran divisé, et dont les mouvements sont multipliés dans un rapport suffisamment grand. Quand la pression a cessé, l'aiguille est ramenée à son point de départ par une petite lame faisant ressort.

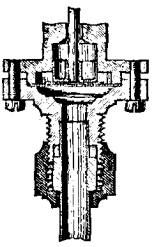


Fig. 3652.

Cet appareil ne peut évidemment être d'une grande precision, mais il est fort simple, et n'est sujet en marche à aucun dérangement. Il échappe, par sa construction même, à l'influence perturbatrice exercée par les vibrations et les secousses, quand il est appliqué à des machines en mouvement, ce qui l'a fait adopter fréquemment pour les locomotives. Après une longue durée de fonctionnement, ce manomètre a besoin d'être retouché, en raison de l'usure qui peut se produire sur le petit levier en laiton qui reçoit l'action de la lame d'acier. Son peu de complication fait qu'il peut être livré au commerce à très-bon marché, puisqu'on peut l'obtenir au prix de 25 francs et même au-dessous ; aussi est-il maintenant très-répandu, tant dans les ateliers industriels que dans les compagnies de chemins de fer.

MANOMÈTRE BRÉGUET. L'inertie d'un long tube élastique entièrement libre rend les observations assez difficiles avec le manomètre Bourdon, qui, à la mer, et sur les locomotives surtout est dans une agitation perpétuelle. Le manomètre Desbordes est peu sûr, et tout à fait insuffisant pour donner les indications de petite fraction

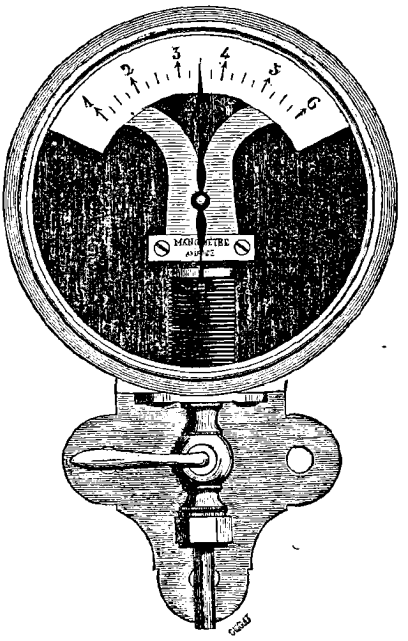


Fig. 3653.

d'atmosphère. Cet inconvénient est évité par les manomètres inventés par M. Vidi, l'ingénieux inventeur des baromètres anéroïdes, qui sont si habilement construits aujourd'hui par M. Bréguet. La fig. 3653 repré-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sente cet instrument qui consiste essentiellement en un tube plissé qui s'allonge ou se raccourcit en raison de la pression que le gaz exerce sur son fond, et cela proportionnellement à cette pression, tant qu'on ne dépasse pas les limites de l'élasticité du métal. Comme on peut faire varier le nombre des spires et l'épaisseur du métal, il est toujours *theoriquement* possible de construire un instrument qui donne un résultat exact dans tous les cas possibles, et *pratiquement* on y parvient très-bien dans tous les cas où les pressions ne sont pas énormes, où l'opération du plissement du métal aurait besoin d'être produit sur un métal trop épais, pour que son élasticité ne fût pas altérée par un travail qui ne serait plus un simple repoussé.

MARCHE. Les questions de mécanique animale n'ont pas encore été étudiées avec tout le soin qu'elles méritent, je ne dis pas au point de vue physiologique, mais au point de vue mécanique. Lorsqu'on voit dans le mécanisme de la patte de homard le joint universel le mieux caractérisé, et qu'on pense que l'invention de cet organe de machine n'a eu lieu qu'au dix-septième siècle, il semble qu'indépendamment de son intérêt propre, l'étude des organes des animaux, des insectes notamment, souvent organisés d'une manière si curieuse, pourrait fournir des résultats applicables à l'industrie. Sans doute on ne trouverait rien qui se rapportât au mouvement circulaire continu, mouvement capital dans les machines et impossible dans les corps organisés (si ce n'est peut-être des moyens de diminuer les frottements des axes de rotation rendus si minime dans les corps vivants), mais pour ce qui est des leviers et combinaisons de leviers articulés les uns aux autres, on y trouve des modèles variés à l'infini. Nous en indiquerons un cas particulier en analysant la marche chez l'homme.

La fig. 3661, représentant la position de l'homme au départ : m étant le centre de gravité, m' le fémur, m'' le tibia; ces os, comme ceux du pied, sont articulés autour des centres de rotation O, P, Q.

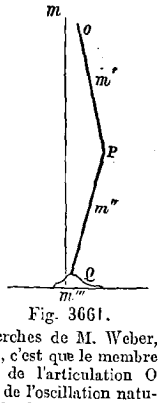


Fig. 3661.

Le mouvement de ces leviers est produit par la traction des muscles qui leur sont attachés. En se redressant, ils élèvent le centre de gravité, et cela assez lentement dans le cas de la marche. Le corps, étant reporté sur la jambe gauche, par exemple, par l'action du pied droit, la jambe droite devient libre et se porte en avant. La même action est répétée sur l'autre pied, et la progression se produit.

Un curieux résultat des recherches de M. Weber, physicien allemand fort distingué, c'est que le membre inférieur tend à osciller autour de l'articulation O comme un pendule, que la durée de l'oscillation naturelle peut se déterminer d'après la loi du pendule pesant, et que par suite le pas de marche, qui cause le moins de fatigue, bien moins qu'une vitesse inférieure à celle qui correspond à ce seul mouvement pendulaire, est uniquement en raison de la longueur et du poids de ces membres.

Il en résulte que pour des hommes ne différant que par la grandeur des dimensions respectives de leur corps, tout étant égal d'ailleurs, le pas du plus grand embrassera une étendue plus grande, mais le chemin parcouru ne sera pas pour cela plus considérable, car en même temps la durée de chaque oscillation sera plus grande ; par suite, le nombre des pas dans un temps donné sera moindre.

Ce qui précède fait bien comprendre le peu de travail que consomme la marche en terrain horizontal ; il se réduit presque aux frottements des articulations si parfaites, le centre de gravité du corps ne se déplaçant pas sensiblement, n'éprouvant que des balancements insensibles, et qui ne consomment pas de travail à cause de l'élasticité des supports. Nous supposons, bien entendu, qu'il s'agit d'un terrain incompressible, car il y aurait à ajouter sur un terrain mou, sur la neige, tout celui employé à la compression du sol.

Nous avons supposé que l'action moléculaire qui produit le redressement des leviers se faisait assez lentement dans la marche pour ne pas imprimer au corps une vitesse sensible. S'il en est autrement, si l'effet est brusque et est aidé par le mouvement articulaire du pied qui s'appuie sur le sol, on a le saut. La vitesse acquise par le haut du corps entraînera la séparation momentanée du sol et du corps ; la partie supérieure en mouvement rappelant à elle les extrémités inférieures.

Chez les quadrupèdes, ce sont les jambes postérieures toujours bien plus longues, si on les suppose allongées en ligne droite, que les membres antérieurs, qui projettent en avant la masse du corps pour le saut ou la marche. La disproportion devient considérable dans les races exercées à la marche rapide ou au saut, comme celle des chevaux de course. Les membres postérieurs subsistent presque seuls avec un développement considérable chez les animaux sauteurs tels que le kangourou.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION. Les matériaux employés dans les constructions sont de trois sortes : les pierres et diverses substances minérales naturelles ou obtenues artificiellement, les bois et les métaux. Nous renvoyons pour les deux dernières catégories aux articles du dictionnaire BOIS, CHARPENTE, MENUISERIE, FER, etc. Nous ne parlerons ici que des matériaux employés dans les travaux de maçonnerie.

Les pierres sont, de toutes les substances appliquées à l'art de bâtir, les plus répandues et celles dont les propriétés physiques se prêtent le mieux à former des édifices sains, économiques, solides, incombustibles et d'un caractère monumental.

Les qualités que l'on recherche dans les pierres à bâtir sont la finesse et l'homogénéité du grain, la compacité de la texture, la facilité du travail, l'adhérence au mortier, la résistance à l'écrasement, au choc, à la rupture, à l'usure par frottement, la dureté, l'inaltérabilité sous l'action des agents atmosphériques.

On tient compte, suivant l'usage auquel on les destine, de leur densité, de leur structure, de leurs dimensions.

On évite les défauts désignés sous les noms suivants:

Les fils, solutions de continuité suivant des surfaces plus ou moins irrégulières (pierres filandreuses, terrasseuses);

Les moyes, parties terreuses (pierres moyées);

Le bousin, parties tendres, adjacentes au lit de carrière; les pierres doivent être ébousinées à vif;

Les trous;

Les pierres fières résistent mal au choc, sont dures, cassantes, difficiles à travailler;

Les pierres moulinées, pouffes, graveleuses, s'égrènent à l'humidité.

Les pierres hygrométriques absorbent par capillarité l'humidité du sol et de l'air ambiant, et rendent les habitations humides et malsaines.

Les pierres gélives conservent l'eau des carrières dans leurs pores, et par les grands froids la dilatation de cette eau congelée les fait éclater. M. Brard a donné un moyen de reconnaître les pierres gélives, en les faisant sécher après avoir bouilli dans une dissolution saturée de sulfate de soude, dont la force d'expansion, due à la cristallisation, remplace celle de la congélation.

Quand on doit choisir la pierre destinée à une construction, il faut étudier, indépendamment des observations précédentes, l'usage auquel elle est le plus propre, en raison de ses qualités physiques, de sa cou-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

leur, de sa valeur vénale, les procédés de travail les plus convenables pour en tirer bon parti, le caractère architectonique qu'elle comporte.

On est ordinairement guidé par l'examen des constructions existantes; si l'on est obligé d'ouvrir de nouvelles carrières, on trouve des indications précieuses dans les cartes géologiques; mais on n'est pas dispensé de faire des essais sur la résistance, la gélivité, etc. Ces épreuves préliminaires peuvent être confiées, soit au laboratoire de l'École impériale des ponts et chaussées, soit au service spécial des recherches statistiques sur les matériaux de construction, dirigé par M. l'ingénieur en chef Michelot.

Sous le rapport de leur emploi, on distingue encore les pierres par diverses désignations :

Pierres de haut et de bas appareil, suivant l'épaisseur des bancs des carrières;

Pierres de taille, débitées en formes plus ou moins régulières;

Libages, pierres grossièrement taillées, employées dans les fondations;

Moellons, pierres plus petites, qu'un homme seul peut manier, dits *piqués*, quand ils sont taillés avec soin, comme de petites pierres de taille; *smillés*, quand ils sont plus grossièrement travaillés; *têtués*, quand les faces de lits et de joints sont seules taillées; *bruts*, quand ils sont employés sans aucun travail préliminaire.

MATÉRIAUX NATURELS.

PIERRES SILICEUSES ET FELDSPATHIQUES.

Granits. — Les granits sont principalement formés du mélange de trois substances minérales en quantités variables : 1° le quartz ou silice en grains; 2° le mica, noir, vert ou argentin, cristallisé; 3° le feldspath, dont la structure est très-variable ainsi que la couleur, rose, blanche ou gris-bleuâtre, rarement verte.

Leur densité varie de 2,30 à 2,60.

On compte parmi les variétés de granit les plus connues :

Les *gneiss*, granits rubannés ou schisteux, dont la structure est due à la disposition parallèle des lames de mica; ils sont ordinairement très-inférieurs comme matériaux de construction aux granits proprement dits;

Les *pegmatites* ou granits graphiques; ils contiennent peu de mica; le quartz s'y trouve en cristaux incomplets orientés parallèlement, qui donnent au minéral une apparence particulière qu'on a comparée à celle des caractères hébraïques;

Les *protogynes* ou granits talqueux dans lesquels le mica est remplacé par le tale (Mont-Blanc);

Les *syénites*, granit rouge oriental (Égypte) contenant une proportion considérable d'amphibole;

Les *granits porphyroïdes*.

Les granits de bonne qualité sont très-durs, résistants, difficiles à travailler, prennent bien le poli, et comptent parmi les matériaux les plus durables. Cependant ils peuvent offrir certains défauts, glaces et solutions de continuité, bavures de peroxyde de fer, etc., contre lesquels il faut se tenir en garde; certaines variétés sont susceptibles de se dégrader à l'air.

La dureté et la durée de ces matériaux les font rechercher pour les constructions exposées aux causes de destruction les plus redoutables ou pour les monuments destinés à passer à la postérité la plus reculée, d'autant plus qu'ils ne sont guère susceptibles d'être détournés de leur destination primitive pour être employés à d'autres usages. Le granit s'applique très-bien à la construction des socles, soubassements, bordures de trottoirs, pavés, dallages, marches d'escalier, meules, quais, digues, travaux maritimes.

Les principaux gisements de granits exploités en France sont ceux de l'Ouest (Vire, Saint-Brieuc, Sainte-Honorine (Orne), Saint-Sever (Calvados), Flamanville (Manche), etc.,) très-recherchés à Paris, où ils coûtent 160 à 200 fr. le mètre cube; ceux de Bourgogne, des Vosges, des Alpes, des Pyrénées, de la Corse.

On consomme aussi à Paris du granit de Belgique. Les autres gisements célèbres sont ceux de Suède, d'Écosse et de Cornouailles, de Baveno (Milanais), d'Égypte, etc.

Porphyres. — Les porphyres sont des roches d'origine ignée, composés de cristaux de feldspath noyés dans une pâte feldspathique, rougeâtre quand le feldspath est seul, et verdâtre quand il est mêlé d'amphibole.

Les principales variétés sont :

Les porphyres quartzifères à grains de quartz;

Les feldspaths glanduleux à nœuds cristallins;

Les feldspaths compactes, sans cristaux, pétrosilex;

Les felpspaths résinites, pierres de poix;

Les porphyres verts des Vosges.

A cause de leur extrême dureté, les porphyres ne sont guère employés que comme moellons, pavés (Lessines, Quenast (Belgique) usités à Paris), ou comme pierres de grand luxe.

Serpentines. — Les serpentines sont des hydrosilicates de magnésie, formant des masses puissantes, intercalées dans les terrains de transition; elles sont généralement vertes, veinées de blanc, quelquefois brun-marron ou rouge vif.

Leur dureté est celle du marbre : elles se taillent et se polissent facilement; mais elles ont peu de cohésion, résistent mal aux chocs; il est rare d'en trouver de gros blocs sans fissures.

Ce sont de belles pierres d'ornements, plus recherchées pour la marqueterie que pour construire : les principaux gisements de France sont à Saint-Véran, Maurins (Hautes-Alpes), Éloye (Vosges), en Corse, dans le Lot, l'Auvergne, etc. Les serpentines du cap Lizard (Angleterre) sont fort belles; celles d'Italie, connues sous les noms de verts de Suze, de Gênes, de Prato sont célèbres de tout temps.

Pierres volcaniques. — Les plus communes sont les suivantes :

Les *basaltes*, très-durs, très-résistants, très-difficiles à travailler (moellons, pavages);

Les *trachytes*, parmi lesquels on compte l'obsidienne, la pierre-ponce;

Les *laves*, tantôt compactes, tantôt bulleuses et très légères.

PIERRES SILICEUSES.

Leurs variétés sont très-nombreuses; on peut citer :

Le *quartz hyalin* ou cristal de roche, qui ne constitue pas à lui seul des roches, mais qui entre dans la composition de beaucoup d'entre elles.

Le *quartz améthyste, agate;* en forme de géode, globuleux.

Le *jaspe*, quartz compact, opaque, fortement coloré (Arménie, Égypte, Sibérie, Bohême, Espagne, environs de Saint-Gervais (Haute-Savoie), colonnes de l'Opéra).

Le *quartz compacte* (Alpes, Mont-Cenis).

Les *quartzites*, roches passant au grès des terrains de transition (Normandie, Bretagne, Pyrénées).

Les *silex*, ordinairement en rognons ou géodes dans la craie ou le calcaire jurassique; pierre à feu : peu propre aux constructions, en petits fragments, elle adhère mal au mortier.

Les *galets* ou *cailloux*, débris de roches siliceuses, sont dans le même cas; on en fait encore, dans beaucoup de localités, des pavés extrêmement désagréables.

Les *poudingues*, conglomérats de galets unis par une gangue très-compacte.

Les *meulières*, excellentes pierres à bâtir, résistantes, adhérant très-bien au mortier, légères; hourdées en mortier de ciment, elles forment des massifs presque immé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

diatement incompressibles; elles sont presque exclusivement employées pour les fondations des grands édifices et les travaux hydrauliques à Paris.

Les *caillasses*, espèce de meulières à cassure lisse, adhérant mal au mortier, mais très-bonnes pour les chaussées d'empierrement.

Les *grès*, roches arénacées formées de fragments anguleux ou arrondis par le frottement, cimentés par une pâte de composition différente et généralement de formation postérieure; parmi les matériaux se rapprochant plus ou moins de ce mode de contexture et pouvant passer au grès par transitions insensibles, on distingue :

Les *brèches*, formées de fragments anguleux;

Les *poudingues*, composés de fragments arrondis;

Les *grès* proprement dits, dont les principales variétés sont les suivantes :

Les *grauwackes*, des terrains de transition, fragments de roches anciennes, avec ciment argileux, ordinairement grisâtres, quelquefois rouges (*old red sand stone* des Anglais).

Les *grès houillers*, à galets siliceux et ciment argileux, micacé, grain grossier, pierres de grande dimension, mais d'un aspect triste;

Les *grès rouges*, ciment argileux et sablonneux coloré par l'oxyde de fer (Vosges, Forêt-Noire);

Les *grès bigarrés*, à grains fins, ciment sablonneux et ferrugineux, alternant du rouge au gris verdâtre (Phalsbourg);

Les *grès verts*, qui se trouvent à la partie inférieure des formations crétacées;

Les *grès de Fontainebleau*, à ciment calcaire et siliceux, qui se rencontrent à la séparation des terrains tertiaires inférieurs et moyens;

Les *mollasses*, formés de grains et débris divers agglomérés par un ciment calcaire et argileux.

Les grès à ciment siliceux sont ordinairement ceux qui résistent le mieux à l'action de l'atmosphère. Les grès compactes, fortement cimentés, sont durs, supportent bien l'épreuve du choc et font de bons pavages (Paris, Caen, Toulon, Marseille, Erquy, Florence).

Les grès de bonne qualité ont servi à édifier des villes importantes et de grands monuments (cathédrales de Bâle, Strasbourg, Mayence, Trèves; Florence, Carcassonne, Brives, Bayonne, etc.).

PIERRES CALCAIRES CARBONATÉES.

Les caractères généraux des pierres calcaires sont les suivants : elles ne font pas feu au briquet; la chaleur les décompose en acide carbonique et en chaux; elles font effervescence avec les acides.

On distingue parmi leurs principales variétés :

Les *calcaires saccharoïdes*, dont les marbres de Paros et de Carrare sont les types les plus connus;

Les *calcaires compactes*, renfermant souvent dans leur masse du sable disséminé, de l'argile, du fer, du bitume (calcaire de transition, calcaires oolithiques (Jura), calcaires coquilliers, lumachelles, calcaires à polipiers);

Les *calcaires crayeux*, entièrement composés de lits de mollusques microscopiques (terrains secondaires supérieurs);

Les *calcaires siliceux*, ordinairement compactes, blancs, à cassure conchoïde, renfermant des coquilles d'eau douce (terrains tertiaires);

Les *calcaires marneux*, mêlés d'argile : quand la proportion de celle-ci s'accroît, ils passent aux *marnes*, se délitent à l'air et sont impropres aux constructions;

Les *calcaires bitumineux*, exploités pour en tirer le bitume et l'asphalte;

Les *calcaires concrétionnés*, formés à la manière des stalactites des grottes modernes;

Les *calcaires lithographiques*, compactes, à grains très-fins;

Les *calcaires magnésiens*, formés de carbonate de chaux et de magnésie (variétés saccharoïdes (Saint-Gothard), variétés compactes et terreuses).

Au point de vue des constructions on distingue les marbres, les calcaires durs et les calcaires tendres.

Marbres. — On appelle marbres les pierres calcaires susceptibles de prendre le poli. Les marbres sont le plus souvent formés par des calcaires métamorphosés par l'action de roches ignées, arrivées au jour postérieurement à leur dépôt. La nomenclature des marbres varie à l'infini, suivant la couleur, le ton, l'apparence des veines et des taches, la provenance; il est très-difficile d'établir parmi eux une classification rationnelle. On admet cependant quelques dénominations qui s'appliquent à des groupes plus ou moins nombreux.

Les *marbres antiques*, employés par les anciens et exploités dans les ruines de leurs monuments. Beaucoup de leurs carrières sont épuisées ou perdues. Favorisés par la richesse minéralogique du sol de l'Italie, les Romains ont employé le marbre avec profusion; ils ont mis à contribution tout l'univers connu de leur temps, et leurs marbres sont ordinairement des qualités les plus belles et les plus précieuses.

Les *marbres statuaires*, blancs, saccharoïdes, homogènes, à grain fin et brillant;

Les *lumachelles*, composées d'une multitude de fragments de coquilles;

Les *brocatelles*, formées de petits fragments de tons variés;

Les *griottes*, ordinairement d'un rouge brun avec taches blanches, rouges et noires;

Les *marbres fleuris*;

Les *granits*, ainsi nommés à cause de leur ressemblance avec les pierres siliceuses du même nom;

Les *marbres cipolins*, à grandes veines blanches et bleu-verdâtre ou tirant sur le gris;

Les *bleus turquins*, d'un ton gris-bleuâtre uni ou veiné;

Les *portors* à fond noir avec veines blanches et d'un beau jaune;

Les *brèches*, composés d'une multitude de fragments de couleurs variées;

Les *albâtres*, calcaires concrétionnés translucides, veinés de blanc et de jaune.

La France est un des pays du monde les plus riches en beaux marbres; ils ont été exploités par les Romains, presque entièrement abandonnés au moyen âge et remis en vogue par François I, Henri IV et Louis XIV. Ce dernier prince a donné une impulsion extraordinaire à l'exploitation des carrières françaises pour les travaux des Tuileries, du Louvre, de Versailles, etc. Les dépôts de marbres formés par lui ont suffi aux règnes suivants jusqu'à Napoléon I. Les colonnes de rouge incarnat de l'arc de triomphe du Carrousel provenaient encore des magasins de Louis XIV.

Jusqu'au commencement de ce siècle, l'exploitation des marbres avait lieu sous la direction de l'État; les marbriers achetaient au garde-meuble. Des capitaux considérables sont nécessaires pour ouvrir les carrières de marbre, extraire, scier, polir, transporter les blocs; le long espace de temps pendant lequel ces capitaux sont exposés à rester improductifs, l'insuffisance de la main-d'œuvre et des moyens de communication, les changements de modes, les révolutions, sont autant de causes qui expliquent comment l'industrie privée a longtemps hésité à entrer dans cette voie et comment les marbres les plus beaux, qui ne sont pas toujours ceux dont l'exploitation est la plus lucrative, ne sont pas non plus les plus recherchés par elle. Cependant l'ouverture des chemins de fer et le développement des travaux de Paris ont donné une nouvelle activité à l'industrie des marbres. Les travaux du nouvel Opéra marqueront dans l'histoire des marbres français.

Quelques chiffres significatifs, empruntés au rapport

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de M. Delesse, ingénieur en chef des mines, sur l'Exposition de 1867, montreront les progrès réalisés dans ces dernières années. L'exportation des marbres, qui était de 350,405 fr. en 1855, a suivi depuis une progression croissante et s'est élevée en 1866 à 1,140,279 fr.; elle porte surtout sur les marbres sculptés et ouvrés; cependant les marbres en blocs et en tranches, provenant des carrières françaises, sont de plus en plus appréciés au dehors.

L'importation, qui a surtout pour objet les marbres bruts, s'est élevée de 1,038,271 fr. en 1855 à 2,357,115 fr. en 1866. Dans cette somme le marbre blanc statuaire entre pour environ 100,000 fr.

Les marbres en tranches tendent de plus en plus à se substituer aux stucs; les plaques de $0^m,02$ reviennent en moyenne à Paris, pour les marbres ordinaires des Pyrénées, à 21 fr. 35, savoir:

Prix de la tranche brute sur carrière. . .	12 fr.	00
Polissage	3	50
Transport (850 kilomètres; 70 kilog. à 83 fr. 60 la tonne).	5	85
Total.	21	35

chiffre qui pourrait être abaissé à 12 fr., si les frais généraux se répartissaient sur une plus grande masse de produits. Les stucs reviennent à 12 fr. pour imitation de marbre uni, 15 à 18 fr. pour les brèches, 18 à 20 fr. pour les jaspes ou cipolins; ils ne peuvent lutter ni comme aspect, ni comme durée avec les matériaux naturels. C'est d'ailleurs un mode de décoration peu recommandable que celui qui consiste à imiter avec des substances de peu de valeur des matières plus précieuses; il est donc permis d'entrevoir pour l'industrie des marbres une ère de prospérité dont notre architecture tirera un ample profit.

Les principales régions où s'exploitent les marbres français sont les suivantes:

1° Les Pyrénées, où les variétés les plus connues sont les marbres de Sarrancolin, les Campans, verts et rouges de moulins, griottes, portors; les blancs statuaires de Saint-Béat; les incarnats de Caune aux magnifiques couleurs. Les usines de Bagnères de Bigorre travaillent les marbres des Pyrénées sur une grande échelle.

2° Les Alpes, où l'on rencontre les noirs antiques de Saint-Crépin, les portors de Chorges, les noirs de Sainte-Luce; des usines importantes sont occupées à scier les marbres à Gap, la Mure, etc.

3° Les Vosges, où l'on cite les marbres blancs de Chippal, de Lavcline, les marbres Napoléon;

4° Le Nord, qui fournit un marbre gris ou noir, analogue aux marbres belges très-communs à Paris (Sainte-Anne, petit granit, rouge royal, marbre Napoléon de Boulogne-sur-Mer).

5° L'Ouest, qui offre les variétés grises, jaunâtres et brunes de la Mayenne et de la Sarthe, qui commencent à se répandre à Paris.

6° La Corse, région très-riche, mais d'une exploitation difficile (bleu turquin de Corse, marbres cipolins, mosaïques de Moltifao, etc.).

7° L'Algérie, qui offre des gîtes abondants, voisins de la mer et d'une grande beauté, parmi lesquels il faut citer:

Les marbres onyx d'Aïn Techbalet (province d'Oran), dont la couche de 6 à 10 mètres d'épaisseur est explorée sur une superficie de 100 hectares; les brèches de la pointe Pescade, du Fondouk, du cap Matifou, les marbres du Chenouah, du Filfila (blanc saccharoïde), de l'Oued el Aneb, du Fort génois. La plupart de ces marbres ont été exploités par les Romains.

Parmi les autres pays producteurs de marbres il faut citer en première ligne l'Italie, dont la France est encore tributaire pour le blanc statuaire de Carrare, le bleu turquin, le portor de Spezzia, le jaune de Sienne, etc.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

La Belgique exporte une grande quantité de marbres communs.

A la dernière Exposition universelle on a beaucoup remarqué les collections des marbres de l'Espagne, de la Prusse (Silésie, Westphalie, Nassau), du Portugal, de l'Autriche, de la Grèce.

Les calcaires proprement dits se divisent en deux classes:

Les calcaires durs, qui se débitent à la scie sans dents;

Les calcaires tendres qui se débitent à la scie dentée.

Dans la première classe on distingue à Paris les liais, cliquards, roches, bancs francs, bancs royals; dans la seconde les vergelés et lambourdes, les Saint-Leu et pierres grasses.

Les carrières des environs de Paris ne suffisent plus aux besoins de cette capitale, et son rayon d'approvisionnement s'étend aujourd'hui, grâce aux chemins de fer, jusqu'aux Alpes et aux Pyrénées.

Pierres argileuses. — Les pierres argileuses sont en général des matériaux d'assez mauvaise qualité: il faut faire exception pour quelques schistes du terrain de transition. Voyez ARDOISES.

Pierres gypseuses. — Voyez PLATRE.

MATÉRIAUX ARTIFICIELS.

Nous ne pouvons que renvoyer pour ce sujet à l'article PLATRE et à la notice très-complète insérée par M. H. Mangon dans le dictionnaire, au mot MORTIER. Nous n'avons à signaler comme fait nouveau survenu depuis l'impression de cet article que l'extension de plus en plus grande de l'emploi des ciments et surtout des ciments Portland.

Pierres artificielles. — Il est étonnant que, dans un pays aussi riche que la France en matériaux naturels excellents, tant d'inventeurs se soient occupés de fabriquer des pierres artificielles: ce sont en général des mélanges plus ou moins soignés, analogues aux mortiers et bétons. Nous citerons parmi les principaux:

Les ouvrages moulés en ciments de Vassy, Grenoble, Moissac, etc. (dalles, carreaux, corniches, marches, tuyaux, etc.).

Les ouvrages moulés en mortier ou béton de ciment (réservoirs de la rue Racine, de l'Estrapade, à Paris, de la Croix-Rousse, à Lyon).

Les blocs artificiels en béton, employés pour la première fois par M. Poirel au port d'Alger, et depuis sur la plus grande échelle, à Marseille, Cette, Livourne, Cherbourg, Brest, etc.; l'une des plus importantes innovations introduites dans l'art des constructions maritimes.

Les constructions en béton de M. Lebrun, architecte à Montauban (ponts, habitations).

Les moellons en mortier de trass et gros sable des environs d'Andernach et de Coblentz.

Les marbres artificiels et compositions diverses, fabriqués depuis longtemps par les Italiens avec une grande habileté, pour dallages et revêtements, connus sous les noms de terrazzi, lastrico, scagliola.

Le pisé (voir ce mot dans le DICTIONNAIRE) excellent pour les constructions rurales, quand il est bien fait.

Les produits, dits bétons agglomérés, fabriqués par M. F. Coigniet, qui ne sont autre chose que des mortiers maigres, préparés avec très-peu d'eau, malaxés avec grand soin, battus et pilonnés dans des moules par couches minces. On a déjà construit avec ces substances plusieurs kilomètres d'égouts, à Paris, des maisons, des massifs de machine.

La pierre artificielle de Ransome (Angleterre); on la fabrique en mêlant du sable, de la craie et au besoin d'autres substances minérales avec de l'hydrosilicate de soude. Ce mélange, après avoir été moulé suivant les formes convenues, est plongé dans une dissolution de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chlorure de calcium, ce qui donne lieu à une double décomposition: il se produit de l'hydrosilicate de chaux, qui à l'instant même cimente fortement le sable ainsi que les autres substances minérales, tandis que le chlorure de sodium qui s'est formé peut être éliminé par des lavages.

Les pierres artificielles de M. Oudry, formées simplement d'un mortier de chaux et de ciment comprimé dans des moules.

La pierre artificielle de Broklyn (New-York), en sable quartzeux mêlé à de la résine et à une matière grasse;

Les bétons de coaltar ou de bitume proposés par divers inventeurs, mais généralement trop coûteux.

Les laitiers cristallins des hauts fourneaux de Vezin Aulnoye, près Maubeuge (Nord) et de Novéant (Moselle), avec lesquels on a fait des pavés très-denses. Si ce procédé parvenait à entrer dans la pratique, ce serait un grand service rendu aux forges qui sont encombrées de scories inutiles.

Les similipierres, similimarbres, similibronzes de MM. Lippmann et Schnekenburger, composés de ciment ou de chaux, mêlés au sable, au marbre ou à la brique pilée, avec addition de matières filamenteuses hachées, telles que le chanvre ou le crin végétal, d'eau sulfatée et d'huile. On peut fabriquer avec ce produit des bas-reliefs et même des statues. Il est léger, il peut se laver, et offre une résistance à l'écrasement comparable à celle des bonnes pierres du bassin de Paris.

Les stucs (voyez PLATRE).

Le ciment d'oxychlorure de magnésium de M. Sorel, obtenu en gâchant de la magnésie avec du chlorure de magnésium. Ce ciment peut être mêlé à des matières colorantes diverses dans une forte proportion, et former des mosaïques et des dessins d'un bel effet décoratif, ou des imitations de marbre.

Le ciment ferrugineux de M. Alfred Chenot.

Les composés bitumineux de M. Sébille, formés de débris d'ardoise, mêlés au brai des usines à gaz (dallages, pavages blindés, tuyaux, etc.).

TERRES CUITES. Voyez les articles ARGILES, BRIQUES, POTERIE, du *Dictionnaire*, BRIQUES CREUSES, du *Complément*. Nous n'avons pas à revenir sur les détails donnés dans ces diverses notices.

Les travaux de MM. Botta, Flandin et Place, sur l'architecture assyrienne, ont appelé dans ces derniers temps l'attention sur l'emploi vraiment extraordinaire et très-habile que les anciens habitants des bords du Tigre et de l'Euphrate ont fait de l'argile crue dans leurs constructions; non-seulement les massifs de leurs palais et de leurs remparts étaient formés de briques crues simplement recouvertes d'un léger enduit; mais encore il paraît certain que les voûtes de leurs édifices, qui avaient jusqu'à 7 à 8 mètres de portée, étaient aussi entièrement faites en argile crue et recouvertes de terrasses de même matière.

Les résistances à l'écrasement des pierres, mortiers briques, etc., ont été données à l'article RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

Bibliographie. — Parmi les ouvrages où l'on trouve les renseignements les plus complets sur les matériaux de construction, il faut citer les traités généraux de MM. *Rondelet*, *Sganzin*, *Reynaud*, *Demanet*; les rapports de M. *Delesse*, ingénieur en chef des mines, membre des jurys des Expositions universelles de 1855, 1862 et 1867; la publication de M. *Prisse d'Avennes* sur les marbres de France et d'Algérie; les *Annales des ponts et chaussées*, où l'on trouve beaucoup de renseignements sur les chaux, mortiers, ciments, pouzzolanes, matériaux de pavage et d'empierrement des routes, et les résultats des recherches de M. l'ingénieur en chef Michelot sur la résistance à l'écrasement d'un très-grand nombre de pierres; les rapports inédits de cet ingénieur; la pratique de l'art de construire de MM. *Claudel et Laroque*. E. BAUDE.

MÉGISSERIE. Les peaux destinées à la ganterie et à quelques autres menus ouvrages ne doivent point avoir cette solidité si nécessaire pour les cuirs, mais elles doivent être préparées par un procédé qui les blanchisse et leur conserve le moelleux et la souplesse qu'elles avaient étant fraîches. C'est cette préparation qui constitue la mégisserie ou l'art du mégissier. Nous emprunterons la description du mode d'opérer à un praticien expérimenté. Il a beaucoup d'analogie avec celui du chamoiseur; comme lui, il a pour objet la saponification et l'extraction des parties fermentescibles et du mucus remplissant les interstices du tissu cellulaire que l'on remplace par un corps onctueux, qui pour le chamoiseur est une substance grasse, et pour le mégissier une pâte dont nous ferons bientôt connaître la composition.

Le mégissier choisit la peau des animaux les plus jeunes et les plus faibles, tels que le chevreau, l'agneau; ce sont celles que l'on emploie ordinairement; cependant on passe quelquefois en mégie les peaux de veaux, de chèvre, de lapin, etc. Le Dauphiné, l'Auvergne, le Gatinais, le Poitou et certaines parties de la Bourgogne fournissent les meilleures peaux de chevreau.

Les premières opérations de la mégisserie se confondent avec celles du chamoiseur. L'épilage des peaux se fait en les barbouillant avec une bouillie de chaux et d'arsenic (orpiment); au bout de vingt-quatre heures, le poil se détache avec la plus grande facilité. Ensuite on trempe les peaux à l'eau douce, on les met en chaux ou dans les *plains* pour les gonfler, on les rince, on les pèle, on les écharne, on les foule et on les soumet au travail de rivière ou façons, comme celles destinées au chamoisage.

Le mégissier prépare quelquefois des peaux sans les dépouiller de leur laine ou poil. A cet effet, au lieu de les faire séjourner dans les plains, il les enduit avec une espèce de pinceau, et du côté chair seulement, de lait de chaux; ou bien, lorsque ce sont de petites peaux, il se contente de les tremper, de les écharner à fond et de les laver à grande eau, puis de les placer dans un bain d'eau alcaline, une dissolution de soude ou de potasse, ou de la vieille urine; après vingt-quatre heures d'immersion en temps ordinaire, elles sont rincées à l'eau claire, puis on leur donne une façon du côté chair.

Les peaux, après le travail de rivière, sont mises dans un confit d'eau de son de blé, composé de huit kilogrammes pour un mille de peaux, mêlés avec la quantité d'eau nécessaire pour que les peaux puissent y être remuées facilement, ce que l'on a soin de faire de temps en temps. Le confit étant abandonné à lui-même dans un local dont la température est supérieure à 10 degrés, la fermentation commence bientôt et les peaux qui y sont immergées prennent un mouvement d'ascension et surnagent. On a soin alors de les fouler dans le fond du baquet; il s'en dégage du gaz inflammable auquel les ouvriers ont l'habitude de mettre le feu. Lorsque les peaux sont arrivées au point de se boursoufler, ce qui s'annonce ordinairement par une odeur fétide analogue à celle de la levure du pain en putréfaction, il est temps de les retirer du confit; il y aurait inconvénient grave à les y laisser plus longtemps, un plus long séjour leur serait nuisible. On les foule alors pendant une grande heure dans des baquets avec une pâte nommée nourriture, dont voici le dosage pour un mille de peaux:

Farine de froment, 50 kilogrammes.
Jaunes d'œufs frais, en nombre, 500.
Alun, 14 kilogrammes.
Sel marin, 6 kilogrammes.

On fait fondre l'alun et le sel dans 10 litres d'eau chaude, on refroidit cette dissolution en l'étendant d'eau fraîche, on bat les œufs avec la farine, et on y ajoute par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gradation la dissolution saline de manière à former une bouillie liquide.

Cette pâte pénètre dans les pores de la peau et remplace les parties grasses et muqueuses qui ont été détruites par les premières opérations : dans cet état, les peaux peuvent rester plusieurs jours sans être séchées; aussi, lorsqu'il ne fait pas assez chaud, la conservation de la blancheur exigeant qu'elles sèchent promptement, on attend un temps favorable pour les étendre, en évitant de les tordre et de leur faire éprouver la plus légère pression afin de ne pas déplacer la nourriture. Les peaux bien séchées sont mises en magasin, où il est bon de les laisser séjourner au moins deux mois, afin que la nourriture ait le temps de bien s'y incorporer.

Pour les peaux préparées en poil, la nourriture se compose de 45 kilogrammes de farine, 7 d'alun, 4 de sel, et 200 jaunes d'œufs. La pâte doit être tenue plus liquide. Une fois en nourriture, on les place à l'étendage, la chair en l'air, pour être séchées.

Lorsqu'on veut employer ces peaux mégissées, il faut leur faire subir une dernière opération, l'*ouverture*. On se sert pour cela d'un instrument nommé palisson : c'est une lame de fer demi-circulaire, tranchante à sa partie convexe, fixée verticalement sur un pied ayant environ 80 centimètres de hauteur. On commence par les humecter légèrement, puis on les foule avec les pieds chaussés de sabots, afin de les ramollir; alors on les prend une à une, et on les étire en tous sens sur le fer du palisson du côté chair. Lorsqu'elles sont bien séchées de nouveau, on les foule une seconde fois et on les repasse au palisson; elles peuvent être alors livrées au commerce ou envoyées à la teinture.

Quant aux peaux passées en poil, une fois ouvertes, elles doivent être enduites du côté de la laine d'une légère pâte de terre calcaire ou de blanc d'Espagne que l'on détache lorsqu'elle est sèche. Souvent, surtout lorsqu'elles sont destinées à la teinture, il faut qu'elles soient *parées*, c'est-à-dire que les parties les plus épaisses soient enlevées avec un outil rond et tranchant nommé *lunette*, et passées à la pierre ponce.

MENUISERIE. La menuiserie a pour objet principal le travail des bois de petite dimension, destinés à produire les parquets, cloisons, portes, croisées, meubles, en usage dans nos habitations.

L'art de l'ébéniste, du tablettier, du caissier-emballeur, du tonnelier, etc., sont des branches détachées de la menuiserie : on ne se propose ici que d'indiquer les applications relatives à l'industrie du bâtiment, et surtout les progrès résultant de l'emploi des machines-outils. On y distingue deux sortes d'ouvrage : la menuiserie dormante et la menuiserie mobile.

On recherche pour ces ouvrages les bois sains, bien secs, dépourvus de vices ou maladies, avec plus de soin encore peut-être que pour la charpente; on préfère les bois gras qui ont moins de force, mais qui présentent plus de régularité, et se prêtent plus facilement au travail des outils et à la décoration.

Le commerce fournit à la menuiserie des bois dont les dimensions sont constantes; il importe de les connaître, et quand on projette des ouvrages de ce genre, d'en disposer tous les éléments de manière à utiliser les bois du commerce avec le moindre déchet possible. Le tableau suivant indique les désignations et les dimensions en usage à Paris.

DÉSIGNATIONS DES BOIS.	DÉSIGNATIONS COMMERCIALES.	LONGUEUR.	LARGEUR.	ÉPAISSEUR.	OBSERVATIONS.
		m.	m.	m.	
Chêne de bateau	De rebut	»	»	0.027	Remplissages. Longueurs et largeurs variables.
	Cloisons de cave	»	»	0.027 à 0.041	
	Feuillet	2.00	0.230	0.013	Le chêne de Champagne à Paris est généralement flotté.
	Panneau	2.00	0.230	0.020	
	Entrevoux	2.00	0.230	0.027	
	Planche	2.00	0.330	0.034	
	Id.	2.00	0.220	0.041	
Chêne de Champagne	Id.	2.00	0.200	0.047	
	Doublette	2.00	0.320	0.054	
	Petit battant	2.00	0.234	0.075	
	Membrure	2.00	0.16	0.080	
	Battant de porte-cochère	2.00	0.320	0 110	
	Chevrons	2.00	0.080	0.080	
Sapin de bateau	De rebut	»	»	0.027	Remplissages; ouvrages provisoires.
	Marchand	1.95 à 5.85	0.220	0.027	
	D'échafaudage	»	»	0.034 à 0.041	
	Plats-bords	17 à 22.75	0.33 à 0.36	0.054 à 0.055	
	Roannais	16.00	0.320	0.08	
	Feuillet	3.57	0.320	0.013	Menuiserie commune.
	Planche	3.57	0.320	0.027	
Sapin de Lorraine	Id.	3.90	0.320	0.034	
	Id.	3.90	0.250	0.041	
	Madrier	3.90	0.220	0.054 à 0.065	
	Feuillet	2.00	0.220	0.013	Non flotté.
	Panneau	2.00	0.220	0.020	
	Planche	2.00	0.220	0.027	
Sapin du Nord	Id.	2.00	0.220	0.034	
	Madrier	2.00	0.220	0.080	
	Chevrons	2.00	0.080	0.080	
	Bastingage	2.00	0.160	0.04 à 0.065	
Peuplier	Volige	»	»	»	Couvertures.

La difficulté principale de la composition des ouvrages en menuiserie résulte de ce que par leur destination et par la forme des éléments qui les composent, ils sont exposés à varier de dimensions sous l'influence de l'humidité. Des expériences ont montré dans quelles limites des planches exposées alternativement à un air humide et à un air sec étaient susceptibles de varier. Voici les résultats cités par M. L. Reynaud :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉSIGNATION DES BOIS.	CONTRACTIONS.		
	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
Chêne	0,0180	0,0026	0,0090
Sapin de France. .	0,0184	0,0064	0,0110
Sapin du Nord. . . .	0,0184	0,0026	0,0103

Ces contractions ont lieu perpendiculairement aux fibres; dans le sens de la longueur des fibres elles sont insensibles.

Les variations sont d'autant plus dangereuses et la durée des ouvrages est d'autant moins assurée que le bois est moins parfaitement purgé de sève; aussi recommande-t-on comme un principe essentiel de laisser séjourner dans l'eau courante deux ou trois mois les bois destinés à la menuiserie, pour que la sève ait le temps d'être complétement entraînée, et de ne les mettre en œuvre qu'après avoir été conservés quatre ou cinq ans en magasin dans de bonnes conditions d'aération.

Ce procédé immobilise des capitaux considérables, et l'on a cherché des moyens de hâter l'expulsion de la sève et la dessiccation des bois par l'emploi de la vapeur, de la fumée, d'étuves, etc; aucun de ces procédés n'a réussi à se généraliser. Quand on a de grands travaux à diriger il est prudent, dès le début, de faire provision de bois de menuiserie, dût-on ne les employer que de longues années après.

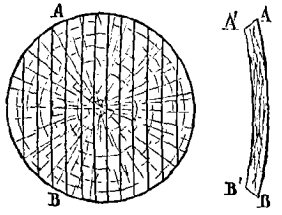


Fig. 1.

Une autre circonstance est de nature à exercer une influence considérable sur la conservation des ouvrages de menuiserie : c'est la manière dont les bois ont été débités. En effet, toutes les parties du bois ne sont pas également hygrométriques; dans le chêne, par exemple, les mailles, ces taches luisantes produites par la section oblique des prolongements médullaires qui vont de la moelle à l'écorce, sont beaucoup plus susceptibles d'absorber l'humidité que les parties foncées du tissu ligneux. Si l'on considère une bille de bois débitée en planches par des traits de scie parallèles, et si l'on prend à part la planche AB, les mailles seront plus rapprochées sur la face AB de cette planche que sur la face opposée A'B'. Dans le cas où elle serait exposée à l'humidité, cette première face s'allongera plus que la seconde; il faudra donc que la planche se voile ou se gauchisse; l'effet inverse se produira si le bois est au contraire exposé à la sécheresse. La planche prise au milieu, c'est-à-dire dans la direction d'un diamètre serait seule exempte de cet inconvénient. On a cherché à se rapprocher de cette condition en débitant le bois non plus par traits de scie parallèles dans toute sa section transversale, mais comme il est indiqué dans les figures ci-contre. Pendant longtemps on a employé, à Paris, sous le nom de chêne de Hollande des bois de Champagne et de Lorraine, qui allaient subir cette main-d'œuvre en Hollande et nous étaient ensuite rapportés à grands frais. Le procédé hollandais est aujourd'hui employé partout. L'excès de main-d'œuvre et le déchet qu'il occasionne sont amplement rachetés par la meilleure qualité du bois.

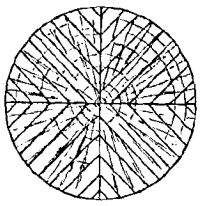


Fig. 2.

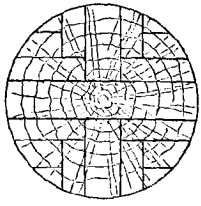


Fig. 3.

Ainsi le problème posé au menuisier consiste en général à faire des constructions de dimensions invariables avec des matériaux dont le volume change sans cesse, suivant l'état hygrométrique de l'air. Il a été résolu par un des procédés les plus ingénieux et les plus simples qu'ait produit l'art de construire, l'assemblage à embrèvement longitudinal. Ce procédé consiste à former des cadres ou châssis de pièces assemblées entre elles, à tenon et mortaises, et dans leurs faces intérieures à pratiquer des rainures où viennent se loger les bords des planches qui forment les panneaux de remplissage, en laissant le jeu nécessaire pour que les contractions et les dilatations du bois puissent se produire librement : elles cessent alors d'être apparentes au regard. Cet assemblage est susceptible de recevoir des dispositions très-diverses; ordinairement les arêtes de la planche la plus épaisse sont abattues et ornées de moulures qui arrêtent l'œil et contribuent à dissimuler la déformation du panneau. Les lambris, dont il sera question plus loin, nous offrent l'application la plus complète et la plus fréquente de cette disposition.

Les rainures doivent être d'autant plus profondes que les planches ou panneaux embrevés sont plus larges; pour les planches de $0^m,22$ de large, on leur donne $0^m,008$ de profondeur; pour les panneaux $0^m,015$ à $0^m,018$.

Les menuisiers emploient, du reste, la plupart des assemblages désignés à l'article CHARPENTE et notamment les assemblages à tenon et mortaise, à rainure et languette, à onglet, à bois de fil, etc.

OUTILLAGE.

Les outils employés par les menuisiers sont à peu de chose près les mêmes que ceux désignés à l'article CHARPENTE. Il serait superflu de répéter la nomenclature donnée à cette occasion, et les détails contenus dans plusieurs articles spéciaux : RABOT, SCIE, TARIÈRE, TOUR, OUTILS. Les menuisiers font un fréquent usage de la colle, sur laquelle toutefois on ne doit compter que comme auxiliaire utile, qui ne dispense pas d'exécuter les joints et assemblages avec toute la précision possible et de les consolider au besoin par des armatures métalliques; de là quelques appareils spéciaux, serre-joints, etc., qui servent à maintenir les pièces au contact jusqu'à ce que la colle soit bien durcie.

Depuis quelques années le travail des bois pour la menuiserie est entré dans une voie toute nouvelle et très-rationnelle. En effet, dans l'industrie du bâtiment les ouvrages de menuiserie, parquets, lambris, portes, croisées, etc., se composent de pièces identiques se répétant un très-grand nombre de fois; il en est de même dans la plupart des industries qui procèdent de l'emploi du bois comme matière première; l'application

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des machines-outils à ces travaux était naturellement indiquée pour y apporter l'économie, la régularité et la rapidité nécessaires.

Parmi les plus intéressantes tentatives faites dans ce but on peut citer la fabrication des poulies installée par M. Brunel père, à l'arsenal de Portsmouth, modèle déjà ancien de l'organisation complète d'une industrie de cette nature rendue entièrement mécanique; l'atelier de tonnellerie de l'arsenal de Woolwich; plusieurs ateliers de carrosserie, soit pour l'artillerie, les voitures de luxe et de service, les omnibus ou les chemins de fer; dans ces dernières années, la fabrication des roues de voiture à la mécanique a été organisée très-parfaitement par M. Philippe, dont on a décrit précédemment les scieries. C'est, en effet, le perfectionnement de ce mode si rapide de travailler le bois qui a permis surtout de rendre ces diverses fabrications presque entièrement automatiques; c'est surtout l'emploi de la scie circulaire de Brunel, si facilement conduite et guidée sur un chariot, qui a permis de pratiquer avec rapidité des sillons parallèles. On a donné à l'article SCIE les derniers perfectionnements de la scie, l'invention de la scie continue, qui, n'ayant qu'une largeur minime, et mue avec une grande vitesse, est parfaitement propre à obtenir à très-bon marché une foule de formes à génératrice rectiligne que réclame l'ébénisterie. Aujourd'hui, à Paris, les travaux de cette industrie se réduisent presque au montage et à l'assemblage des bois; le reste s'exécute, à prix fait, dans une dizaine d'ateliers montés mécaniquement, établis dans le faubourg Saint-Antoine d'après les types primitivement organisés par M. Perrin. La dernière Exposition universelle a montré que l'action mécanique tend de plus en plus à se substituer, ici comme ailleurs, à la main de l'homme.

On doit s'assurer avant de soumettre les bois à l'action des machines qu'ils sont bien exempts de pointes, clous ou tous autres corps durs qui pourraient briser les outils et amener des accidents.

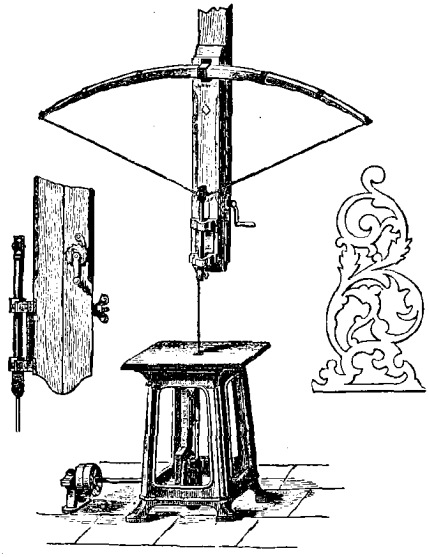


Fig. 4.

Les machines-outils pour la préparation des bois se classent en diverses catégories suivant leur objet, savoir :

1° Les *scies*, dont on distingue trois espèces principales : les scies à lames verticales et mouvement alternatif, les scies circulaires, les scies en rubans sans fin, à lames verticales et mouvement continu. Ce sujet a été traité complétement par M. H. Mangon, à l'article SCIERIE MÉCANIQUE du Dictionnaire; nous ne pouvons mieux faire que d'y renvoyer le lecteur.

Nous appellerons cependant l'attention sur la scie à découper à mouvement alternatif, dont l'usage s'est considérablement répandu depuis quelques années; c'est avec cette machine que l'on exécute les ouvrages en bois découpé qui décorent les chalets et autres constructions légères aujourd'hui si employées. La scie est fixée par des vis de pression entre deux coulisseaux et actionnée par un petit volant logé entre les pieds de la table. Le degré de tension convenable lui est donné par le moyen de la petite manivelle figurée à droite du dessin. Les lignes à découper sont tracées sur la face du bois qui peut glisser dans tous les sens sur la table de fonte en tordant légèrement la lame de scie pour suivre tous les contours du trait dessiné. Pour les découpures intérieures on introduit la lame dans un trou préalablement percé dans la masse à enlever. On a pu admirer à l'Exposition universelle de 1867, parmi les produits présentés par M. Perin, l'un des industriels qui ont fait faire les plus grands progrès au travail mécanique du bois, l'extrême variété et l'extrême délicatesse des ouvrages obtenus au moyen de cette machine.

M. Perin construit aussi des scies à lames sans fin à quatre poulies, pour charpentiers, qui sont très-commodes pour fabriquer les tenons : ces machines se composent essentiellement de deux scies à rubans très-rapprochées se mouvant dans des plans verticaux perpendiculaires entre eux, et desservant un même établi; la pièce de bois, présentée d'abord à l'un de ces outils, peut y recevoir deux traits de scie parallèles correspondant aux joues du tenon; en la déplaçant de quelques centimètres seulement, elle se trouve présentée pour recevoir deux autres traits de scie dans un sens perpendiculaire aux premiers et correspondant à l'about de la pièce; le tenon se trouve fait en quelques instants.

2° Les *tours*, voir ce mot au Dictionnaire. Signalons toutefois en passant la machine américaine à tourner les bâtons de chaise, baguettes et pièces analogues, qui a été remarquée à la dernière Exposition.

Dans cet appareil, contrairement au principe ordinaire du tour à bois, l'objet est fixe et le couteau est mobile.

On connaît la variété presque infinie de machines-outils qui dérivent du principe du tour : parmi les plus remarquables applications qui en aient été faites au travail des bois, il faut au moins rappeler les machines à faire les formes de cordonnier, les bois de fusil, etc.

3° Les *outils à corroyer, raboter, blanchir ou planer* le bois, remplaçant l'herminette, la varlope ou le rabot de l'artisan; on a imité directement dans ce genre d'outils le travail de l'homme en animant d'un mouvement alternatif, au moyen d'une bielle actionnée par un moteur quelconque, un outil semblable à la varlope du menuisier et convenablement guidé (Varlope mécanique).

On s'est aussi servi d'outils composés d'une seule lame tranchante, glissant parallèlement à la surface du bois et enlevant d'un seul coup tout ce qui dépasse le niveau du plan que l'on veut obtenir. Ces outils sont analogues à ceux que l'on emploie pour débiter les bois de placage, dont les figures 5 et 6 offrent une coupe et un plan. La pièce de bois à débiter en plaques minces est fixée sur une table en fonte que l'on peut élever au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyen de quatre vis à mesure que le travail avance. L'outil proprement dit, qui, par le fait, n'est qu'un couteau ou fer de rabot de grande largeur, est fixé vers ses deux extrémités à des crémaillères, qui sont poussées

D'autres machines à débiter les feuilles de placage permettent de les obtenir de grande largeur et de longueur presque indéfinie ; mais elles ne sont applicables qu'à des bois compacts, homogènes et flexibles. Dans

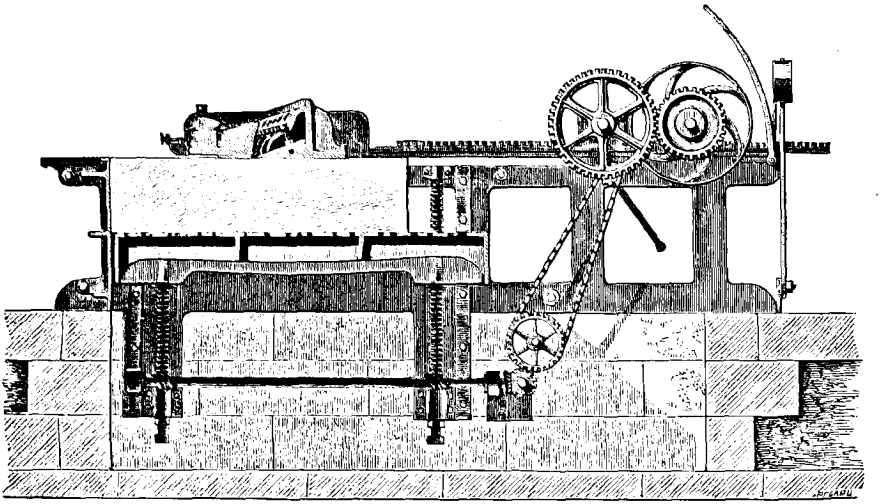


Fig. 5.

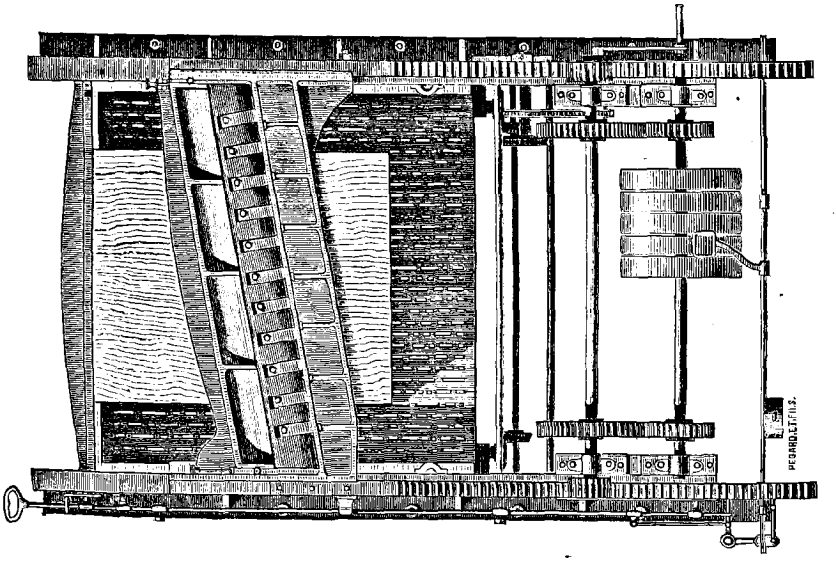


Fig. 6.

en avant par une série de pignons et d'engrenages, commandés eux-mêmes par une poulie motrice.

Dans d'autres cas, c'est le fer qui est fixe, c'est le bois qui vient à sa rencontre ; ces machines exigent une grande puissance motrice.

ces appareils, analogues au tour, la pièce de bois est fixée par les extrémités de son axe sur deux poupées; elle est animée d'un mouvement de rotation lent : dans ce mouvement elle rencontre l'arête d'une lame tranchante, parallèle à son axe, qui détache son enveloppe,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et se rapprochant de plus en plus de l'axe ne s'arrête que quand le diamètre de la pièce est réduit au minimum indiqué par la pratique.

Nous reproduisons du reste la description des ces machines donnée dans la précédente édition du Dictionnaire.

Machine à débiter le bois de placage de M. Garand. « Couper les bois en plaques minces par procédés mécaniques est une chose fort anciennement connue, surtout pour la boisselleric. L'application au placage en avait également été faite par M. Picot, à une date ancienne, mais ces essais avaient présenté des inconvénients tels que l'ébénisterie en avait toujours repoussé les produits, fabriqués d'ailleurs en petites dimensions et pour des usages assez restreints.

« On comprend l'importance qu'il y a, lorsqu'on emploie des bois d'un prix élevé, à ne pas faire de perte comme dans le débitage à la scie, dans lequel l'épaisseur du trait, c'est-à-dire de la perte, se rapproche de celle du bois utilisé.

« C'était donc un problème fort curieux à résoudre s'il était possible, que de remplacer la scie par un couteau qui ne laissât pas de déchet. Voici comment était disposée la machine mise à l'Exposition de 1855, par M. Garand.

« Le bois, passé à la vapeur, est placé sur une table horizontale qui s'élève à volonté. Deux crémaillères poussent horizontalement un bâti armé d'une lame de 1m,40 de longueur; cette lame est placée obliquement par rapport au mouvement qu'elle reçoit; à chaque course, elle détache une feuille de bois.

« Dans la machine construite antérieurement à la précédente, et sur laquelle nous allons donner quelques détails, le même inventeur s'était proposé de découper les feuilles circulairement, et, à cet effet, il donne au couteau un mouvement de translation, pendant que le bois reçoit un mouvement de rotation.

« La grande difficulté était d'avoir un couteau très-mince de tranchant, n'éclatant pas des bois très-difficiles à couper, et cependant présentant une rigidité complète pour ne pas s'engager ou être repoussé. M. Garand l'a bien résolue. Les feuilles sont d'une épaisseur très-égale et fort bien coupées; de plus, le bois n'est pas brisé, ce qui était un point indispensable pour la vente des produits. Il y a donc là un service important rendu à une industrie fort étendue et évitant une perte de matière première d'un prix élevé. Il semble que cette machine offre le seul moyen d'employer en placage certains bois précieux, qui ne se trouvent pas en grandes dimensions et qui par suite ne peuvent être obtenus ainsi que par le déroulement spiral de la feuille. C'est en effet ce résultat qui a fait le succès de cette machine; car le bois gardant, relativement à celui débité à la scie, une certaine élasticité, des fibres longues, exige au placage une meilleure colle et plus de soins au polissage.

« Ce n'est guère, dit M. Poncelet, avant les années 1849 à 1851 que les machines construites par cet artiste, avec une remarquable précision, purent fonctionner couramment et d'une manière vraiment profitable au point de vue commercial; ce qui jusqu'alors n'avait point eu lieu pour les petites machines à dérouler le bois de Pape ou de Faveryer, et ce qu'elles doivent principalement à la disposition ingénieuse du couteau, imitée toujours de celle de la varlope, mais où l'on aperçoit de plus, comme dans la scierie de M. Frentz, l'emploi de deux règles biseautées en fer, serrant fortement entre elles la lame effilée et amincie jusqu'auprès du tranchant, tout en l'empêchant de mordre dans la bille de bois au delà de l'épaisseur jugée dans chaque cas nécessaire. Cette épaisseur est ici d'ailleurs réglée par l'avance continue d'un large chariot horizontal en fonte, à patins et coulisses à grains d'orge, conduit parallèlement par une vis centrale, et portant l'outil soutenu, épaulé de distance en distance par de forts étriers postérieurs à vis de serrage, cette fois disposé presque verticalement et tangentiellement à la bille de bois, de manière à agir non plus au sommet, mais latéralement à cette bille, qui, en tournant lentement au-dessus d'une bassine à eau chaude, où elle baigne légèrement, est simplement montée, aux deux bouts, sur de fortes pointes de tour pyramidales et munies de croisillons variables de forme, de dimension, avec le diamètre de cette même bille, à laquelle, selon la couleur, la contexture ou l'essence, l'application de l'eau chaude et le déroulage qui tend à ouvrir intérieurement les fibres lors du redressement permanent des feuilles destinées au placage, ne laissent pas que de faire subir certaines modifications plus ou moins favorables, et qui probablement se reproduisent, mais avec moins d'intensité ou de persistance, dans le tranchage à plat des bois.

« Quant aux arbres moteurs du tour, ils étaient, dans ces premières machines de M. Garand, mis en rotation de part et d'autre de la bille au moyen de rouages dentés solidaires et symétriquement situés, soutenus par des poupées verticales, l'une entièrement fixe, l'autre, à suspension supérieure, susceptible d'être déplacée latéralement ou horizontalement d'après la longueur de la pièce à dérouler, mais dont l'arbre central, fileté à vis, pouvait lui-même glisser, recevoir un déplacement relatif longitudinal dans l'intérieur du moyeu de la grande roue motrice, enveloppant extérieurement les filets de vis, auxquels il était simplement uni par un tenon glissant dans une feuillure rectiligne pratiquée au travers de la partie carrée et saillante de ces mêmes filets. Il est sans doute peu nécessaire d'ajouter que, dans cette ingénieuse machine, l'avance de la vis horizontale, conductrice du chariot porte-outil le long de ses coulisses, est subordonnée à la rotation même de la bille, au moyen d'engrenages, de poulies à cordons sans fin, dont il est toujours facile de faire varier les rapports de vitesse proportionnellement à l'épaisseur qu'il s'agit de donner aux feuilles de placage à dérouler; mais il importe beaucoup, au contraire, de faire remarquer qu'ici la marche de l'outil à inclinaison transversale légèrement variable au moyen de vis de rappel, pour régler la profondeur du mordant ou de la prise, ne serait point suffisamment assurée si, à l'imitation de ce qui avait lieu dans la machine primitive de M. Pape, la partie extérieure ou détachée des feuilles n'était soutenue, au point même où s'opère le déroulement de la bille, à l'aide d'un butoir à talon arrondi dont la position, par rapport au tranchant de l'outil, toujours réglée au moyen de vis de rappel, détermine en réalité l'invariabilité de l'épaisseur des feuilles.

« Malgré la complication apparente de la machine à dérouler de M. Garand et sa cherté relative, conséquence inévitable de tout système de construction en fer et en fonte, elle paraît destinée à rendre d'utiles services à l'industrie du placage, du moins si l'on en juge d'après les résultats qu'en obtient depuis plusieurs années M. L. Maréchal dans ses ateliers de la rue de Charonne, à Paris, où une puissance de six chevaux-vapeur, appliquée à une machine de cette espèce, produit journellement, et sans déchet appréciable, des feuilles de plus de 2 mètres de largeur sur 100 mètres de longueur, tirées de billes d'essences diverses, à raison de trente au pouce, vendues aux ébénistes du faubourg Saint-Antoine et de l'étranger même, sous la forme de rouleaux découpés en volutes ou spirales, et toutes prêtes à recouvrir par le collage des surfaces d'une étendue pour ainsi dire quelconque. Un atelier de pareilles machines, dont le couteau et la bille marchent avec une vitesse relative d'environ 8 mètres par minute, serait capable de livrer la majeure partie des feuilles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de placage nécessaires à la consommation d'une ville telle que Paris, si la demande ou la vogue s'en mêlait, et si l'affûtage trop fréquent d'aussi longs outils, pour lequel M. Garand a imaginé une ingénieuse et simple machine où la lame, serrée entre deux mâchoires verticales, passe et repasse horizontalement devant des meules à rotation rapide, n'entraînait des chômages qui ralentissent considérablement la production, quand on vise à obtenir des feuilles nettement tranchées et d'une épaisseur uniforme dans toute leur étendue; ce qui suppose des ouvriers aussi intelligents qu'attentifs, outre un biseau d'acier très-aigu, non-cassant et néanmoins assez fortement épaulé pour résister dans toute sa longueur à l'inégalité d'action des fibres du bois.

« Dans le fait, le système par déroulement, malgré l'avantage de la rapidité, ne paraît pas destiné à remplacer complétement, pour certains bois, le débit par sections véritablement planes, lequel donne lieu à des effets très-différents, souvent préférables et dépendant essentiellement de la disposition des nœuds ou des veines dans les diverses essences; mais, comme l'emploi des scies dentées entraîne forcément des déchets très-appréciables, on est revenu dans ces derniers temps, avec une nouvelle ardeur, aux machines à trancher à plat, particulièrement favorables aux bois ronceux. »

Il faut convenir toutefois que l'avantage si apprécié de diminuer le déchet du bois, qui résulte de l'emploi de ces machines, peut être compensé pour certaines essences par la perte de matière colorante due à l'immersion dans l'eau chaude et par la diminution de force du tissu ligneux. Le noyer paraît être de tous les bois celui dont l'aspect serait le moins altéré.

Revenons maintenant aux machines à raboter les plus usuelles.

L'outil à planer les bois le plus répandu, le moins volumineux, le plus léger, le plus facile à mouvoir et à entretenir imite le travail de l'herminette et non celui du rabot. Il se compose d'un massif en fonte, calé sur l'arbre moteur et portant des lames plus ou moins espacées, et diversement disposées suivant la nature du bois à travailler. Ces lames sont fixées sur le porte-outil au moyen de vis, et sont faciles à changer quand elles ont besoin d'être affutées : on y a souvent ajouté des contre-lames, comme dans le rabot ordinaire, soit pour consolider le tranchant, soit pour éviter les éclats du bois. L'inconvénient de ce système est de donner lieu à des chocs répétés absorbant beaucoup de travail et produisant des trépidations nuisibles. Pour l'atténuer, tantôt on a réparti les lames sur le porte-outil,

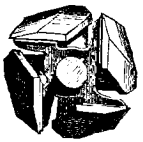


Fig. 7.



Fig. 8.

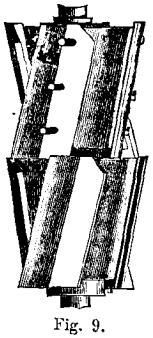


Fig. 9.

de manière que chacune ne frappe qu'une fraction de la largeur de la planche; tantôt on les a inclinées sur l'axe de l'arbre moteur, de façon que leur tranchant est dirigé suivant des portions d'hélice; tantôt on a combiné ces deux arrangements.

Les figures 7, 8 et 9 donnent un exemple d'une disposition d'outils analogue à celle dont nous venons de parler et qui a été employée par M. Dietz dans la machine à planer les bois de ce constructeur. Deux outils semblables, tournant autour d'axes verticaux, et entre lesquels passe la planche de champ, la rabotent dans la perfection : deux autres outils plus petits la travaillent sur les bords et elle sort de la machine blanchie sur les quatre faces.

M. Fréret de Fécamp donne à ses porte-outils la forme de cylindres ne présentant que les évidements nécessaires pour le passage des lames : cette disposition a surtout pour objet de diminuer la résistance de l'air; elle permet d'augmenter la vitesse de l'outil.

M. Mareschal a résolu directement le problème, en adoptant des lames hélicoïdales ayant toute la longueur

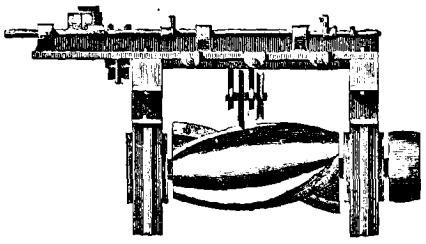


Fig. 10.

du porte-outil (fig. 10). Ces lames seraient d'un affûtage difficile si le constructeur n'y avait pourvu par une combinaison automatique très-ingénieuse. L'expérience seule pourra prononcer si l'économie de force motrice, due à l'absence de chocs que présente cet appareil, n'est pas compensée par la complication de quelques-unes de ses parties.

Parmi les autres organes importants des machines à raboter les bois, on compte ceux qui sont destinés à faire progresser la planche, à la guider et à l'empêcher de se soulever et de se déplacer sous l'action des outils. On emploie pour le premier de ces objets soit un chariot, alors on ne peut dresser le bois que sur une seule face à la fois; soit des cylindres cannelés dont la vitesse de rotation est obtenue et réglée par un système d'engrenages ou de courroies actionnées par l'arbre moteur de tout le système; cette disposition est la plus ordinaire; soit une chaîne sans fin garnie de talons mobiles. Pour empêcher la planche de se soulever et de se déplacer on la maintient au moyen d'autres cylindres non cannelés appuyant aussi fortement sur elle qu'on peut le désirer, par l'effet de poids ou de ressorts à boudin faciles à régler.

L'axe de rotation de l'outil peut être déplacé parallèlement à lui-même, suivant l'épaisseur des planches à dresser, grâce à son assemblage à grain d'orge sur le bâti (fig. 13).

Dans certaines machines la planche rabotée rencontre à sa sortie une lame fixe de rabot montée sur le bâti qui achève de dresser parfaitement sa surface.

La vitesse de rotation du porte-outil est ordinairement par minute d'environ 2,000 tours, et la vitesse de progression du bois de $2^{m},50$.

4° Les *outils à faire les rainures, languettes et moulures* de toute forme remplaçant le guillaume, le bouvet, etc. On distingue deux classes principales d'outils à faire les moulures : les premiers sont disposés comme ceux que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nous venons de décrire ; seulement les fers au lieu d'avoir le tranchant rectiligne présentent la contre-partie du profil demandé pour la moulure, comme les fers des bouvets et guillaumes du menuisier.

Fig. 11.

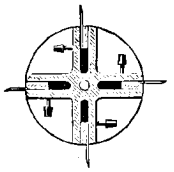


Fig. 12.

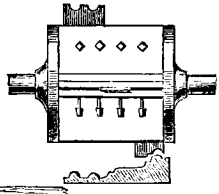


Fig. 13.

Une de ces machines est représentée suffisamment en élévation par la fig. 13 pour que l'on puisse en comprendre le jeu; les fig. 11 et 12 offrent la coupe et l'élévation de l'outil disposé pour fabriquer une planche moulurée de chambranle de porte ou de croisée. Cette machine ne peut faire que des moulures droites.

Les outils à moulurer de la seconde classe sont beaucoup plus simples et nous offrent l'une des innovations les plus fécondes introduites dans le travail mécanique

Fig. 14.

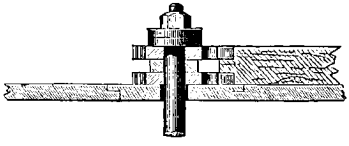




Fig. 15.

des bois : nous voulons parler ici de la *toupie*. Cet outil, propre à l'exécution de toutes les moulures, feuillures, rainures, languettes, etc., droites ou cintrées, est fondé sur le même principe que les précédents, mais il en diffère en ce que son axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la largeur de la planche à travailler, comme dans les fig. 14 et 15, au lieu d'être parallèle à la largeur de la planche et horizontal.

Dans beaucoup de cas plusieurs des outils précédents sont réunis sur un même bâti ; la pièce de bois en avançant sur la table ou sur le chariot qui la porte, les rencontre successivement et ne quitte la machine qu'après avoir reçu le profil demandé sur toute sa longueur et sur tout son contour.

Telles sont les machines à fabriquer les frises des parquets, qui peuvent travailler les bois sur trois faces à la fois. Nous donnons ici (fig. 16 et 17) la coupe et le plan d'une de ces machines, construite par MM. Arbey et Cie. La fig. 18 représente la projection transversale sur un plan vertical de la partie supérieure de la machine. On y distingue les parties principales suivantes :

a planche en préparation;
b établi;
c poulie motrice et mécanisme pour faire progresser la planche;
d rouleaux avec paliers à ressort pour maintenir et fixer la planche au droit des outils, tout en tenant compte des irrégularités de sa surface;
e raboteuse et sa poulie motrice;
f outil à faire les languettes;
g outil à faire les rainures.

MM. Fréret et Cie emploient dans leurs usines de Fécamp des machines à dresser les bois sur les quatre faces, dont la disposition diffère des précédentes : le bois y est travaillé de champ; les raboteuses ont leur axe

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vertical; elles font 3500 tours par minute et portent trois fers; le bois reçoit plus de 10 coups d'outil par centimètre linéaire. La machine débite 10 mètres de longueur de planche par minute, soit environ 4000 mètres, par journée de 10 heures en tenant compte des arrêts. Cette machine se prête à toute espèce de travaux; en donnant aux fers des outils des formes convenables, elle peut servir à établir les grands cadres de lambris,

Fig. 16.

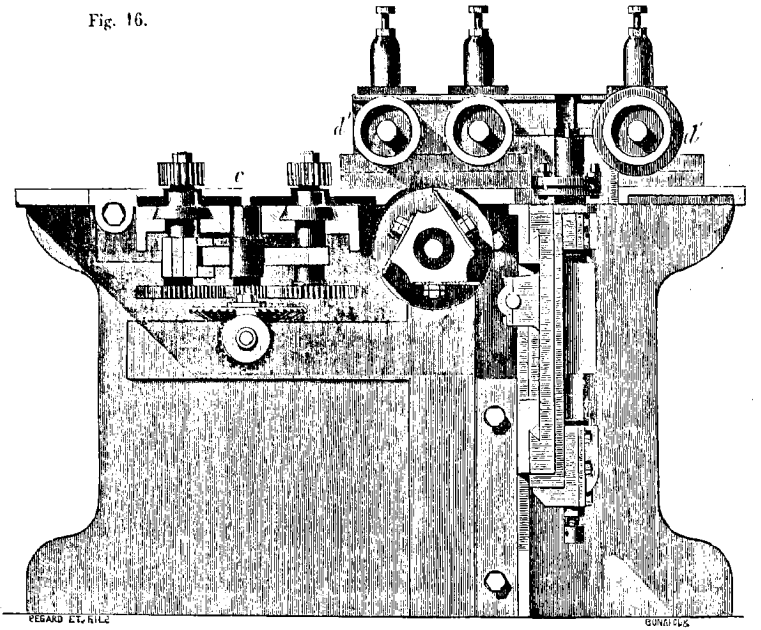
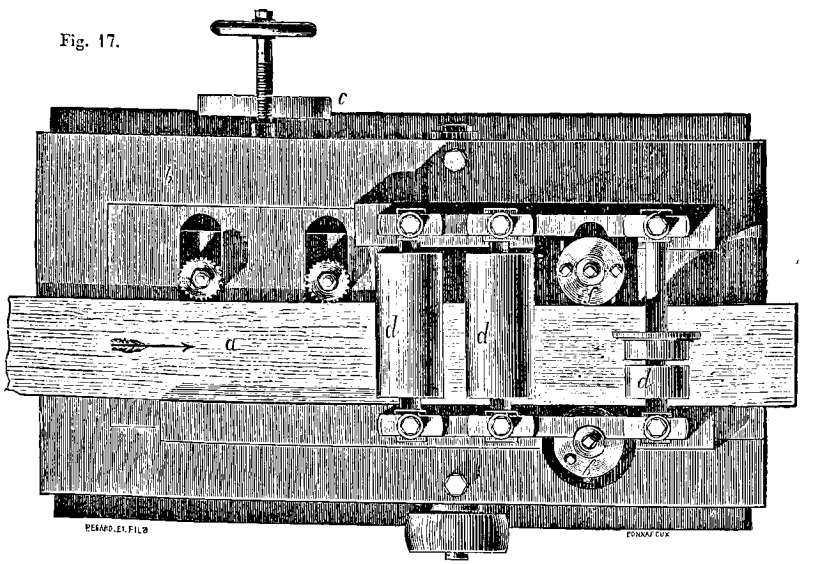


Fig. 17.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

MENUISERIE.

battants et dormants de portes et croisées, jets d'eau, pièces d'appui, plinthes, chambranles, etc., sans qu'il soit nécessaire d'y faire aucune retouche.

5° Les *outils tranchants par percussion* remplacent l'action du ciseau, du bédane, de la bisaiguë; tels sont ceux des machines à faire les tenons; ils sont encore

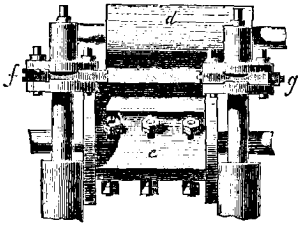


Fig. 18.

fondés sur le même principe, la substitution d'un mouvement circulaire continu au mouvement rectiligne alternatif donné par la main de l'homme. La forme du fer est modifiée pour résister aux chocs violents auxquels il est exposé.

Nous empruntons encore aux albums de MM. Arbey et Cie les croquis ci-contre d'une machine à faire les tenons et doubles tenons, droits ou obliques, dont la

lents, et l'on semble aujourd'hui incliner vers des formes qui se rapprochent davantage de celles indiquées dans

Fig. 20.

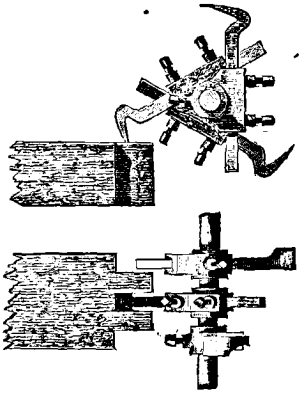


Fig. 21.

le paragraphe précédent pour les outils à raboter. Rappelons que l'on peut aussi faire les tenons avec la scie

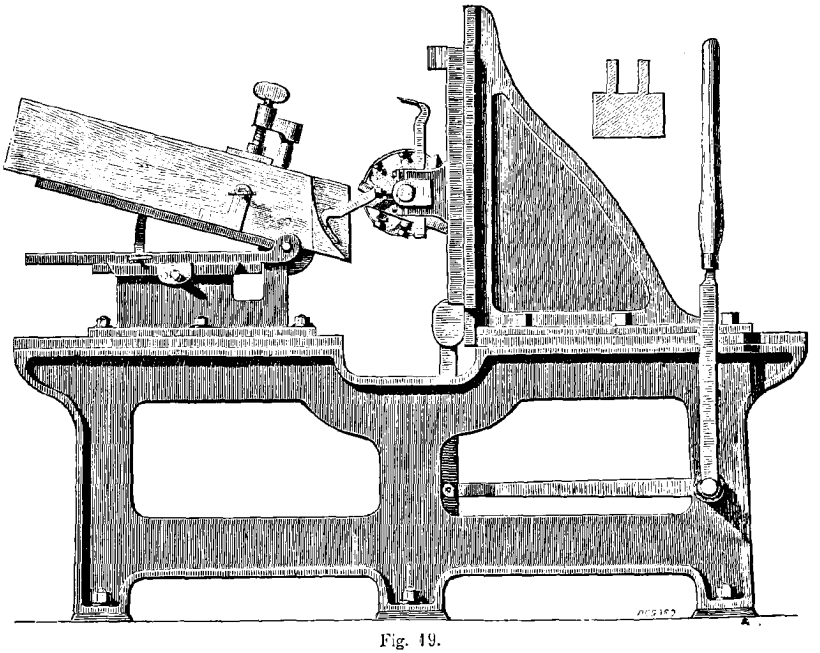


Fig. 19.

disposition et le mode d'action sont faciles à saisir (fig 19, 20 et 21). La pièce à travailler porte sur un plateau dont l'inclinaison peut varier à volonté.

Ces outils donnent lieu à des chocs multipliés et vio-

circulaire et avec la scie à rubans.

6° Les *outils perforateurs*, remplacent l'action de la tarière et souvent celle de plusieurs des instruments rappelés ci-dessus, comme dans les machines à mor-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

taiser le bois (telle est la machine à percer horizontalement représentée par la fig. 22). Dans cette catégorie nous ferons entrer les outils des machines à percer proprement dites, qui se composent d'une tarière animée à la fois d'un mouvement de rotation et d'un mouvement rectiligne pour pénétrer dans le bois, et les ou-

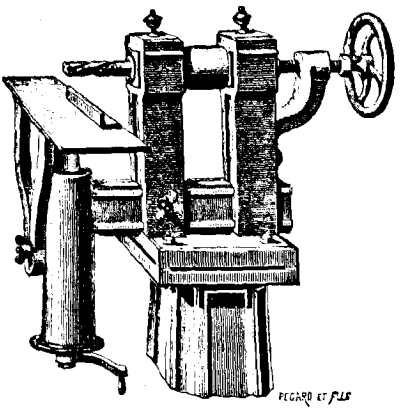


Fig. 22.

tils des machines à mortaiser. Dans celles-ci trois dispositions principales ont été usitées jusqu'à ce jour :

MENUISERIE.

3° La mèche pénètre du premier coup au fond de la mortaise, et en une seule course horizontale elle atteint l'extrémité de celle-ci. (Mèches à filets hélicoïdaux de MM. Hanelle et Guillict, fig. 24).

Les mèches tournent avec une vitesse d'environ 2,500 tours par minute.

La mèche hélicoïdale exige une disposition spéciale de meule pour être affutée convenablement; on a représenté par la fig. 25 le petit appareil qui est destiné à cet usage.



Fig. 25.

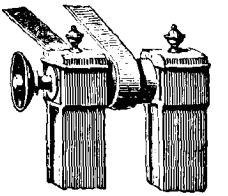


Fig. 26.

Les meules sont des accessoires très-importants des machines-outils : la fabrication des meules artificielles formées soit d'émeri et de caoutchouc vulcanisé, soit d'émeri et de gomme laque, montées à l'extrémité de leviers articulés, susceptibles de recevoir toutes les inclinaisons et toutes les formes, d'affûter les outils les plus divers, a marqué un progrès très-notable dans la mécanique pratique.

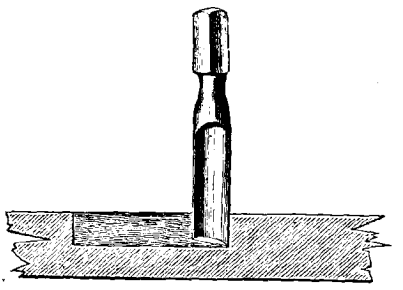


Fig. 23.

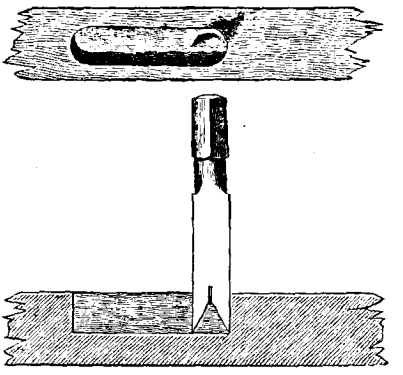


Fig. 24.

1° Un trou ayant été préalablement percé au milieu de la mortaise, un bédane animé d'un mouvement alternatif rectiligne fait la première moitié de l'excavation et se retourne ensuite pour achever la seconde.

2° Une mèche animée mécaniquement d'un mouvement de rotation pénètre verticalement de quelques millimètres dans le bois; puis elle se déplace horizontalement jusqu'à la largeur déterminée pour la mortaise, en enlevant une certaine épaisseur de bois; elle revient ensuite sur elle-même, après être descendue de la même quantité que dans son premier mouvement, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elle soit parvenue à la profondeur voulue. Un outil spécial en forme de V ou double bédane termine les deux extrémités et leur donne la forme plane à vives arêtes (fig. 23 et 24).

La fig. 27 offre le type entier d'une machine pouvant servir soit à percer verticalement, soit à pratiquer les mortaises. M. Perin construit des machines qui servent à la fois à mortaiser les bois de charpente et à les enlacer, c'est-à-dire, à percer les trous des chevilles qui traversent les tenons et les pièces mortaisées.

On voit encore dans les ateliers de MM. Fréret et Cie des machines à tenons et à mortaises réunissant plusieurs outils, et combinées de manière à produire les pièces de menuiserie à multiples assemblages avec beaucoup de régularité et de rapidité.

La machine à tenons en fait deux à la fois, ce qui permet d'obtenir des arasements parfaitement justes : l'ouvrier n'a qu'à placer les traverses sur une chaine sans fin qui les entraîne sous des pinces se serrant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'elles-mêmes et les fait passer entre les deux outils. A mesure qu'une traverse se présente aux outils, une autre terminée tombe de l'autre côté de la machine.

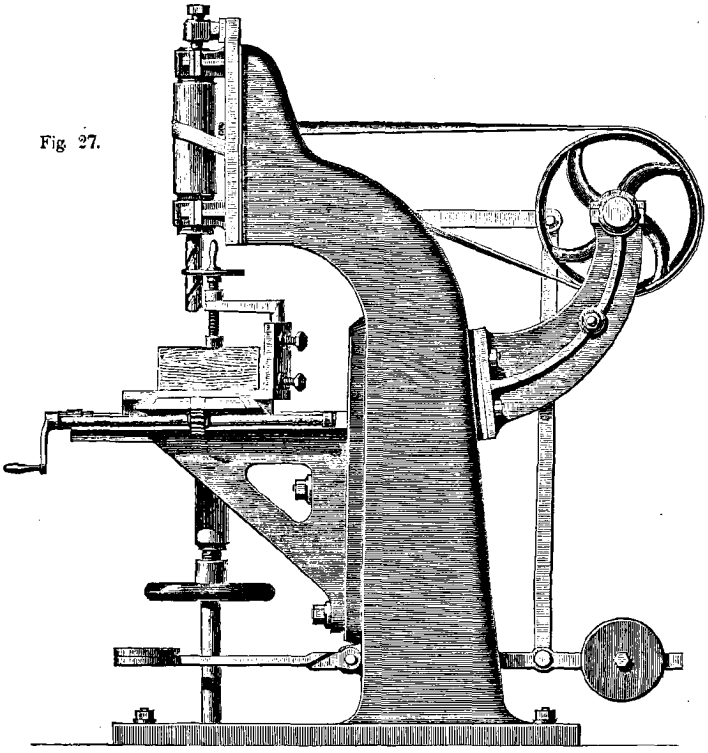
La machine à mortaises en fait cinq à la fois. La pièce à mortaiser est maintenue sur une table horizontale; un simple mouvement de la main suffit pour la faire avancer contre cinq forets, tournant avec une vitesse de 3000 tours par minute, et en même temps doués d'un mouvement de va et vient réglé suivant la largeur de la mortaise; quand les outils sont à fond, la table s'arrête d'elle-même et la pièce terminée est remplacée par une autre.

Le bel établissement dirigé par M. Fréret, à Fécamp, comprend encore plusieurs autres machines très-intéressantes, telles que les appareils à pratiquer les coupes d'onglets, à entailler les battants de persienne, etc.: il n'est pas moins remarquable par la bonne direction de son ensemble que par l'ingénieuse disposition de ses parties

Tels sont les principaux types de machines-outils employés aujourd'hui au travail du bois : dans cette rapide énumération nous avons dû omettre beaucoup de détails très-intéressants, nous avons dû passer sous silence bien des tentatives ingénieuses dont la description nous aurait entraîné au delà des limites qui conviennent à cette publication. Le lecteur préoccupé de recherches plus approfondies trouvera des renseignements plus complets dans les albums des fabricants, MM. Perin, Bernier, Arbey et Compagnie, Girard, etc., dans l'album de l'usine de Graffenstaden, dans la publication industrielle de M. Armengaud, dans les études de MM. Raux et Vigreux sur l'Exposition universelle de 1867, etc.

Nous avons maintenant à étudier les principales applications des ouvrages de menuiserie.

Fig. 27.



TRAVAUX DE MENUISERIE. LAMBRIS.

Les lambris nous offrent le type le plus complet et le plus général du travail du menuisier; utilisant entre autres propriétés du bois sa faculté de mal conduire la chaleur, ils sont ordinairement destinés à former des cloisons ou des revêtements; on en distingue plusieurs sortes :

1° Les lambris d'appui qui règnent autour des salles à hauteur d'appui.

2° Les lambris de hauteur qui s'élèvent beaucoup plus haut et même couvrent complétement les murs.

3° Les lambris formés de planches de toute leur largeur assemblées dans des montants et traverses, plus étroits, mais plus épais. On fait aussi des lambris de ce genre avec des planches toutes égales assemblées à joints couverts. Aujourd'hui que les bois bien secs sont très-rares on tend avec raison à préférer ces systèmes simples aux panneaux d'assemblage, qui sont d'autant plus exposés à jouer qu'ils sont plus larges.

4° Les lambris à petits cadres, formés de panneaux composés chacun de plusieurs planches de même épaisseur assemblées entre elles à rainure et languette, et réunies dans un même châssis: on peut obtenir avec les lambris à petits cadres des effets décoratifs très-variés, en employant des panneaux de formes et de largeurs diverses, des tables saillantes, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La figure 29 offre les dispositions d'ensemble d'un lambris à petits cadres; la figure 28 montre une coupe horizontale sur un montant du bâtis, attenant à une

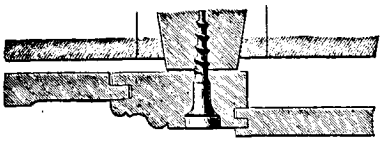


Fig. 28.

planche saillante, avec des détails d'assemblage de ce montant et du panneau, dans le système de l'embrèvement longitudinal; la figure 30 montre l'assemblage du

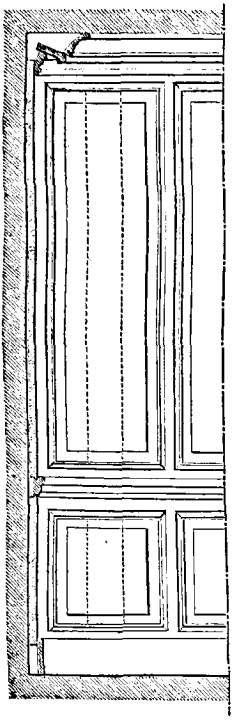


Fig. 29.

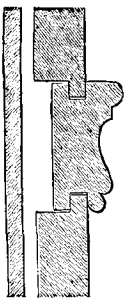


Fig. 30.

lambris d'appui avec le lambris de hauteur, au moyen d'une pièce horizontale intermédiaire nommée cymaise.

5° Les lambris à grands cadres diffèrent des précédents, en ce que des cadres saillants sont interposés entre les panneaux et les bâtis.

La figure 31 indique le mode d'assemblage qui caractérise le système des lambris à grands cadres.

6° Les lambris à grands cadres avec plusieurs panneaux assemblés dans un même cadre.

7° Lambris à glace.

8° Lambris arasés.

On ajoute encore aux lambris, à la base, des socles ou

plinthes qui règnent au niveau du sol tout autour des salles; à hauteur d'appui, des cymaises qui séparent le lambris d'appui du lambris de hauteur; au sommet, des corniches en bois volantes, c'est-à-dire composées de plusieurs planches assemblées à rainure et languette, ou simplement cloutées.

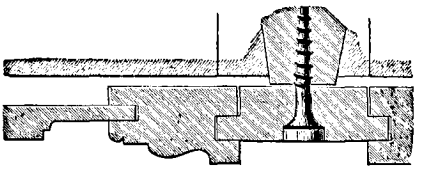


Fig. 31.

Les panneaux sont en planches de 0m,013 à 0m,034 d'épaisseur, assemblées à rainure et languette et collées; consolidées par derrière, si les panneaux sont grands, par des traverses engagées à queue d'aronde dans la face postérieure des planches, ou par une forte toile collée sur toute la surface.

Les montants et traverses des bâtis sont en bois de 0m,027 à 0m,054 d'épaisseur, assemblés entre eux à tenon et mortaise, et d'onglet.

Les cadres sont en bois de 0m,044 à 0m,080 d'épaisseur.

Les lambris de cloisons isolées sont dits à double parement.

Les bois doivent être maintenus à quelque distance du mur pour que l'air circule librement autour d'eux; ils sont fixés au moyen de vis sur des tampons enfoncés dans la maçonnerie. On a soin par derrière de les blanchir et même d'y passer une couche de peinture grossière.

PORTES.

Les espèces de portes les plus usuelles sont les suivantes:

1° Portes sur barres composées d'un panneau de planches jointives ou assemblées à rainures et languettes verticalement et cloutées sur des barres horizontales plus ou moins espacées.

2° Portes pleines, formées de planches assemblées entre elles à rainure et languette, emboîtées haut et bas dans des traverses en chêne.

3° Portes sur châssis, portes charretières, composées de planches assemblées entre elles à rainure et languette comme les précédentes, emboîtées dans un châssis qu'elles affleurent extérieurement; en arrière, elles sont consolidées par des traverses, des bracons ou des croix de Saint-André.

4° Portes lambrissées ou à panneaux, à petits cadres ou à grands cadres; elles sont construites absolument comme les lambris. On y emploie ordinairement pour les bâtis des bois des épaisseurs suivantes:

Portes de 3 mètres de hauteur. .		0m,032 à	0m,040
—	4	*id.*	0 ,040 à 0 ,050
—	4 à 5	*id.*	0 ,052 à 0 ,058

Ces portes sont accompagnées d'un bâti dormant fixé dans les feuillures du tableau. On y ajoute au besoin des embrasures lambrissées, avec chambranle et contre-chambranle en menuiserie.

5° Portes cochères.

6° Portes bourgeoises ou bâtardes, portes d'entrée à un seul battant.

7° Portes roulantes.

8° Guichets, petites portes pratiquées dans les grandes dont la construction n'offre rien de bien particulier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHASSIS VITRÉS ET CROISÉES.

Les châssis vitrés dormants se composent d'un bâti dans lequel viennent s'assembler les *petits bois* profilés avec la forme et la solidité suffisantes pour recevoir les

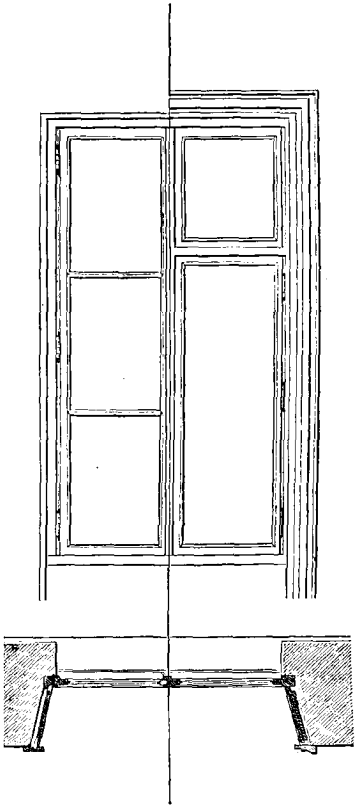


Fig. 32.

vitres, tout en interceptant le moins de jour possible. Ces châssis sont fixés sur les feuillures du tableau au moyen de pattes en fer scellées dans la maçonnerie.

Les croisées sont des châssis vitrés mobiles qui comprennent les éléments suivants:

Partie dormante.

	Largeur.		Épaisseur.	
Deux montants ou battants. .	0,06 à 0,08		0,054 à 0,07	
Une traverse de haut. . . .	0,06	0,08	0,070	0,09
Une pièce d'appui.			0,08	0,11

Partie mobile. — Chaque vantail.

	Largeur.		Épaisseur.	
Un battant de noix. . . .	0m,06 à	0m,08	0,07 à	0,09
Un battant de gauche.			0,054	0,08
meneau, de droite. .			0,09	0,12
Une traverse du haut. .			0,07	0,10
Un jet d'eau.	0m,10	0m,14	0,08	0,11
Petits bois.			0,034	0,054

Quand la fenêtre est très-haute, on ajoute un imposte qui peut être ouvrant ou dormant, comme l'indique la partie à droite de la figure.

MENUISERIE.

Les figures ci-contre représentent la forme des principales coupes usitées dans la construction des croisées ordinaires:

Fig. 33. Coupe d'un petit bois, pièce à double feuillure pour loger les vitres;

Fig. 33.

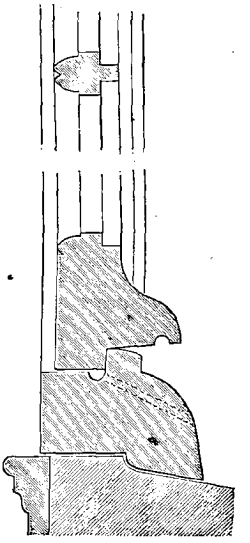


Fig. 34.

Fig. 34. Coupe de la pièce d'appui et du jet d'eau;

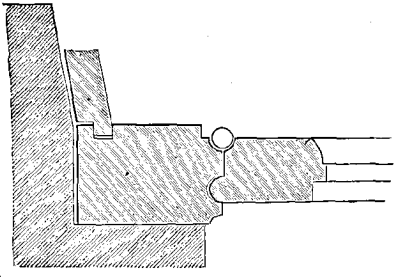


Fig. 35.

Fig. 35. Coupe d'un montant dormant et du battant de noix adjacent;

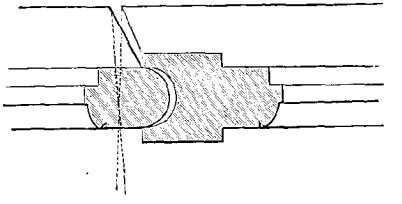


Fig. 36.

Fig. 36. Coupe des battants meneaux à noix et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

gueule de loup, système de fermeture le plus en usage; il oblige à ouvrir les deux vantaux à la fois;

Fig. 37. Coupe des traverses du haut et assemblage avec l'imposte.

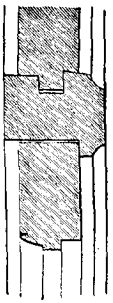


Fig. 37.

Il arrive souvent que la pluie chassée par les vents violents s'introduit par les joints des battants; pour éviter qu'elle pénètre dans les appartements on pratique dans l'arrête de la feuillure de la pièce d'appui une petite rigole que l'on aperçoit dans la figure 34; elle rejette les eaux vers le dehors par un canal percé à la vrille, qu'il faut avoir soin d'entretenir libre en le dégageant de temps en temps de la poussière et des dépouilles d'insectes qui s'y accumulent.

Fig. 38. Coupe de la fermeture à doucine employée pour les portes et fenêtres, quand on veut n'ouvrir qu'un seul battant à la fois.

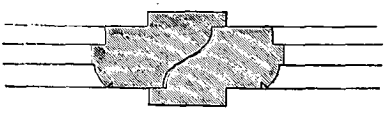


Fig. 38.

Indépendamment des fenêtres à deux ouvrants, les plus ordinaires, que nous venons de décrire, on construit encore des châssis vitrés mobiles, connus sous les designations suivantes :

Fenêtres basculantes ou vasistas mobiles autour d'un axe horizontal placé soit vers le milieu de la fenêtre, un peu au-dessus du centre de gravité, soit en bas, soit en haut; on les manœuvre à distance avec une corde et une poulie de retour; il n'est pas toujours facile de les fermer bien hermétiquement,

Fenêtres ou châssis en tabatières; elles sont posées sur les toits et servent à éclairer les combles; elles rentrent dans la catégorie précédente; on doit prendre les plus grands soins pour éviter qu'elles donnent lieu à des infiltrations;

Fenêtres pivotantes, dont le châssis tourne autour d'un axe vertical, rarement employées;

Fenêtres roulantes ou glissantes, employées quand on veut éviter l'encombrement produit à l'intérieur par les saillies des battants;

Fenêtres à guillotine, dont la partie haute est fixe et la partie inférieure mobile; celle-ci peut avoir tout au plus une hauteur égale à la précédente; elle se relève à la hauteur convenable en glissant dans des rainures ou guides verticaux ménagés dans le dormant : quand le châssis mobile est grand et lourd on lui fait équilibre au moyen de contre-poids suspendus aux angles supérieurs du bâti au moyen de cordes et de poulies et dissimulés dans des cheminées en menuiserie ménagées dans les embrasements : ces fenêtres sont les plus employées en Angleterre; elles peuvent donner lieu à des accidents très-graves, si elles ne sont pas établies et entretenues avec beaucoup de soin.

Dans les constructions soignées, les embrasements des portes et croisées sont ordinairement lambrissés et accompagnés d'un encadrement ou chambranle à profil plus ou moins accentué.

VOLETS, PERSIENNES.

Les volets s'établissent de diverses manières, comme les portes, mais plus légèrement, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur. Dans le premier cas, on fait usage de volets brisés qui se logent dans les embrasements.

Les persiennes ne diffèrent des volets à panneaux que par la substitution de lames inclinées à 45 degrés aux panneaux de ceux-ci : ces lames peuvent être ou fixes ou mobiles.

PARQUETS.

Les parquets doivent présenter une surface unie pour la circulation; on a dû tourner la difficulté qui avait été résolue directement par l'assemblage à embrèvement longitudinal, dans la construction des lambris : on n'y emploie que des frises ou lames de bois de faible largeur, 0m.11 environ, assemblées entre elles, à rainures et languettes, et cloués isolément sur des pièces nommées *lambourdes*; les frises sont d'une largeur si faible que leurs déformations sont peu à craindre. Les clous sont posés dans la rainure, de manière que le bois venant à s'user par le frottement ils ne présentent pas de saillies incommodes. On distingue, suivant leur disposition, les planchers par les noms suivants :

Planchers à l'anglaise, formés de frises toutes posées parallèlement;

Planchers à point de Hongrie ou en feuilles de fougère;

Planchers à compartiments.

Le menuisier a ordinairement recours à l'aide du serrurier pour consolider ses ouvrages, les assembler entre eux et les mettre en état de fonctionner; tel est l'objet des équerres d'assemblage, pattes de scellement, pentures, fiches, paumelles, gonds, charnières, etc., sans parler des clous, vis à bois, boulons, etc., et autres accessoires dont il a été question dans d'autres parties du Dictionnaire auxquelles nous renvoyons le lecteur. On doit avoir grand soin entre autres détails que les vis à bois soient bien vissées et non enfoncées à coups de marteau, comme des clous, ainsi que cela n'arrive que trop souvent.

Bibliographie. Les traités généraux sur l'art de construire, que nous avons déjà cités ailleurs de *MM. Rondelet*, *Reynaud*, *Demanet*, le *Dictionnaire de l'architecture française* de *M. Viollet-le-Duc*, le *Manuel de M. Nosban*, de la collection Roret, le *Traité de l'évaluation de la menuiserie*, par *A. Boileau* et *F. Bellot* (Paris, 1847), etc., donnent sur la menuiserie des détails plus complets que nous n'avons pu le faire ici; quand on veut en approfondir toutes les ressources c'est encore à l'ouvrage de *Roubo*, l'*Art du menuisier*, publié en 1769, qu'il faut recourir, bien que cet ouvrage se ressente du goût de l'époque pour des compositions compliquées, où l'on a souvent perdu de vue les propriétés naturelles des matériaux et les conditions économiques et rationnelles de leur emploi : enfin le *Journal de menuiserie* tient les praticiens au courant des travaux contemporains.

E. BAUDE.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MÉTÉOROGRAPHES. La météorologie a pour objet l'étude des phénomènes qui se passent dans l'atmosphère.

Dans la plupart des sciences physiques et naturelles le savant peut faire varier les circonstances au milieu desquelles les phénomènes qu'il étudie se manifestent. Ainsi, le chimiste et le physicien sont libres de fixer les conditions dans lesquelles ils veulent expérimenter; le naturaliste, s'il ne peut toujours commander aux faits qu'il veut approfondir, peut du moins transporter dans tel lieu qui lui convient le sujet qu'il observe et tirer à loisir ses conséquences. Le météorologiste, au contraire, est esclave de la nature; il est forcé d'être là où le phénomène se produit. De plus, comme tout s'enchaîne dans l'atmosphère, et comme les causes des changements qu'elle subit n'existent pas seulement aux endroits où ces changements sont constatés, il ne peut embrasser dans son ensemble les causes du phénomène dont il est le témoin, ni déterminer les circonstances qui devront présider à son retour.

La météorologie doit donc avoir pour champ d'études le monde entier : plus les postes d'observations dont elle pourra disposer seront nombreux, plus il sera facile de relier et de discuter les observations dans un travail d'ensemble.

En outre, les observateurs doivent être continuellement en vigie: s'ils perdent un seul instant, ils courent le risque de laisser échapper, sans pouvoir l'étudier, un phénomène qui peut-être ne se reproduira pas de sitôt. Mais, indépendamment de la fatigue inhérente à un travail aussi pénible, il est bien peu facile de n'être jamais distrait et d'être certain de ne rien oublier dans la constatation des causes qui concourent à l'apparition d'un météore.

Aussi s'est-on appliqué depuis quelques années à trouver des procédés d'observations qui, en même temps qu'ils donnent des résultats sur lesquels on peut compter, allègent le travail du météorologiste en ne le forçant plus d'être toujours aux aguets. On a inventé des appareils qui enregistrent automatiquement et d'une *façon continue* les diverses variations que subit l'atmosphère. C'est la description de ces appareils, dont l'usage se répand chaque jour de plus en plus, qui va faire l'objet de notre article.

BAROMÉTROGRAPHES.

Baromètrographe de M. Bréguet. — Cet instrument, que l'on a pu voir à l'Exposition de 1867, se compose de trois parties principales : 1° une boîte barométrique; 2° une pendule ordinaire à balancier; 3° un cylindre enregistreur.

La boîte barométrique B (*fig. 1*) est formée par la réunion de quatre boîtes métalliques, dont les faces supérieures et inférieures sont ondulées comme dans le baromètre anéroïde ordinaire. Cette réunion a pour but de rendre quatre fois plus grand, pour une même variation dans la pression atmosphérique, le mouvement qu'aurait une boîte seule. Au-dessus de la boîte B est fixé un ressort fort R en acier, qui, en agissant en sens contraire de la pression atmosphérique, favorise pour l'enregistration le jeu des boîtes. A l'extrémité libre de ce ressort est adaptée une tige T qui, se trouvant attachée à la petite branche d'un levier LL, produit à l'extrémité de la grande branche une multiplication considérable du mouvement que subit la boîte B par suite des variations de pression.

MÉTÉOROGRAPHES.

La pendule est destinée à communiquer un mouvement régulier au cylindre sur lequel doit s'effectuer l'enregistration. Ce mouvement est obtenu à l'aide d'un pignon faisant partie de la pendule et engrènant avec

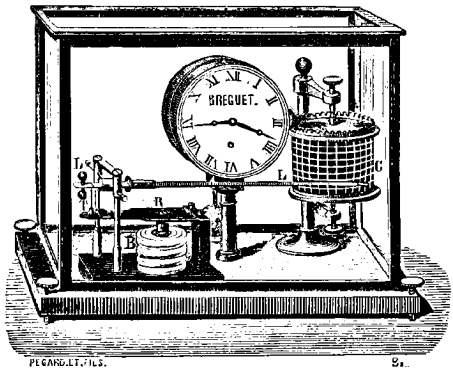


Fig. 1.

une couronne dentée qui surmonte le cylindre enregistreur.

Le cylindre enregistreur C, grâce au mouvement qu'il reçoit de la pendule, fait un tour entier en une semaine. Il porte à sa surface une feuille de papier glacé sur laquelle on a déposé préalablement une couche de noir de fumée en l'exposant au-dessus de la flamme d'une chandelle. Sur cette feuille sont tracées des lignes horizontales et verticales (*fig. 2*) : les premières servent à indiquer les hauteurs barométriques; aux secondes correspondent les divisions du temps. L'intervalle de deux traits verticaux représente une durée de six heures, en sorte que le jour se trouve divisé en quatre parties.

L'extrémité de la grande branche du levier LL porte un ressort très-mince, terminé en pointe, qui vient appuyer sur le cylindre et y tracer, tandis que celui-ci tourne, une ligne blanche sur le fond noir. Cette ligne est la courbe barométrique.

Il est facile, au moyen d'une règle divisée, de déterminer l'heure exacte des maxima et des minima, ou bien encore la pression à une certaine heure. A la fin de chaque semaine, la feuille est enlevée de dessus le cylindre et trempée dans un vernis qui fixe le noir de fumée; une fois enlevée, on la remplace par une autre.

On voit que les lignes verticales de la fig. 2 qui représente une feuille ayant servi aux observations d'une semaine, sont légèrement courbes. On les trace ainsi, afin qu'elles soient parallèles au déplacement qu'éprouve la pointe du levier lorsque les pressions

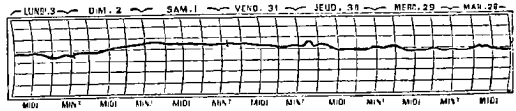


Fig. 2.

changent, déplacement qui s'effectue circulairement autour de l'axe sur lequel est monté ce levier.

Nous ferons remarquer que, pour que ce baromètrographe fonctionne avec exactitude, il est nécessaire qu'il soit à l'abri des trépidations du sol, sans quoi le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

levier LL, à cause de son excessive mobilité, s'agiterait, et l'on ne pourrait plus compter sur l'exactitude de la courbe qu'il trace.

Baromètrographe de M. Hipp. de Neufchâtel. — Il se trouve représenté théoriquement dans la fig. 3. K est

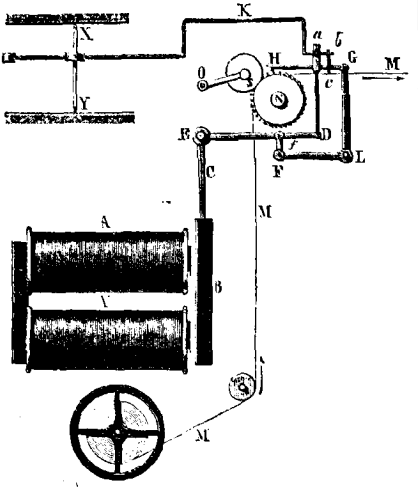


Fig. 3.

une aiguille montée sur un axe XY, autour duquel elle peut tourner. Cette aiguille est reliée par un mécanisme spécial au baromètre anéroïde dont elle doit donner les indications. MM est une bande de papier qui se déroule dans le sens de la flèche et qui passe sur le cylindre N. Un électro-aimant AA', dans lequel circule toutes les dix minutes un courant, attire toutes les dix minutes également une pièce en fer doux B. Cette pièce fait corps avec un système coudé en E ainsi qu'en D, qui est susceptible de tourner autour du point E qui est fixe. Tandis donc que B est attirée par l'électro-aimant, l'extrémité D s'abaisse en entraînant avec elle l'aiguille K qu'un étrier *a* entoure; une pointe *bc* qui termine l'aiguille fait alors un petit trou dans la bande de papier M. Mais pendant que la branche ED s'incline, elle appuie en *f* sur une pièce *f*FLGH pouvant tourner autour du point L qui est fixe, et avec laquelle elle est articulée. La partie *f*F descendant, la portion GH, qui est articulée en G, s'avance de la droite vers la gauche en s'appuyant continuellement, par l'ancre H qui la termine, sur l'une des dents d'un plateau fixé à l'une des extrémités du cylindre N. La quantité dont s'avance GH est précisément suffisante pour que l'ancre H, après avoir glissé tout le long de cette dent, vienne tomber dans le creux qui existe entre elle et la dent suivante. L'électro-aimant cesse alors son action et toutes les pièces reprennent leurs positions primitives : l'aiguille K se relève, et l'ancre H revient sur elle-même de gauche à droite en faisant tourner d'une dent le cylindre N.

Une fourchette O, susceptible de tourner autour de son point d'attache O, porte un second cylindre S en drap qui s'appuie de la totalité de son poids sur le cylindre N. Dès lors, la bande de papier MM, étant pressée entre les deux cylindres N et S, pourra s'avancer dans le sens de la flèche lorsque l'ancre H fera tourner le cylindre N, et se tenir prête à recevoir l'indication suivante de l'aiguille K.

Sur la bande de papier et dans le sens de sa longueur

sont tracées des lignes qui correspondent aux pressions. Quant aux heures convenant à ces pressions, elles sont enregistrées par le fait même que l'intervalle compris entre deux trous faits dans la bande de papier correspond à dix minutes.

Nous ferons remarquer que l'étrier *a* porte une petite pointe qui fait un trou dans la bande de papier en même temps que la pointe *bc*. La suite de ces trous forme l'axe de la bande et correspond à la pression moyenne du lieu d'observation.

Baromètrographe de M. Gros-Claude de Genève. — Cet instrument, qui figurait à l'Exposition de 1867, se compose de deux parties bien distinctes: 1° un baromètre à siphon; 2° un appareil enregistreur.

1° Le baromètre est en tout semblable à ceux que l'on emploie pour les baromètres à cadran. L'aiguille indicatrice est montée sur un pivot *a* (fig. 4), qui porte une

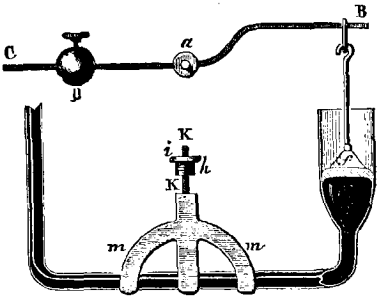


Fig. 4.

pièce métallique BC comparable à un fléau de balance; à l'extrémité B de ce fléau est accrochée, au moyen d'un couteau, la tige qui supporte le flotteur, lequel repose sur la surface du mercure contenu dans la petite branche du baromètre. Ce flotteur, d'un diamètre sensiblement égal à celui de la petite branche, a sa face inférieure concave, de façon à bien coïncider avec la surface libre du mercure qui, comme on le sait, forme un ménisque convexe. Sur la branche *a*C du fléau est adapté un poids Q qui peut glisser le long de cette branche, et qui, équilibrant par la position qu'il occupe une plus ou moins grande partie du poids du flotteur, diminue ou augmente la pression de ce flotteur sur le mercure. Le couteau de suspension du flotteur peut également glisser le long de la branche sur laquelle il pose, et faire décrire ainsi à l'aiguille indicatrice des arcs plus ou moins grands.

La tige qui supporte le flotteur est composée de deux métaux, dans des proportions telles que les variations de longueur qu'elle subit avec les variations de température compensent assez bien la dilatation ou la contraction qu'éprouve le mercure dans les mêmes conditions. Cette disposition a pour effet d'annuler l'influence de la température sur les indications de l'aiguille.

Le baromètre est en outre suspendu à une griffe *m m*, à laquelle est fixée une tige K qui traverse librement la pièce *h*, et qui se visse dans le bouton *i*. On peut ainsi monter ou descendre le baromètre et donner conséquemment à l'aiguille indicatrice une direction telle, qu'elle se trouve toujours au-dessus de l'enregistreur, malgré les plus grandes variations de pressions.

2° L'appareil enregistreur se trouve représenté (fig. 5) en plan et en élévation. EE est l'aiguille indicatrice, qui se termine par une pointe *x* sur laquelle vient frapper à des intervalles égaux, tous les quarts d'heure par exemple, un marteau MM'M" à tête circulaire *a a'*. La tête

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est circulaire, afin de toujours rencontrer la pointe que porte l'aiguille, quelle que soit la position que celle-ci occupe au-dessus de la carte, lorsque le marteau s'a-

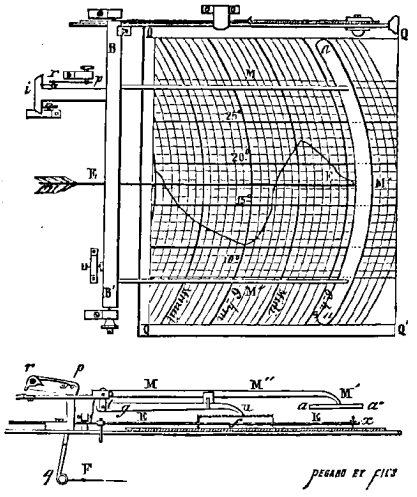


Fig. 5.

baisse. Ce marteau, qui est monté sur un axe BB', est soulevé par l'intermédiaire d'un levier coudé *qpr*, dont l'extrémité *q* est en communication par un fil de laiton avec le mécanisme de sonnerie d'un *coucou* de la Forêt-Noire. Ce mécanisme a reçu une légère modification qui lui permet de tirer le fil au moment voulu (tous les quarts d'heure).

Sur l'axe du marteau est adaptée un pièce *t* qui supporte un cliquet *g*, dont la pointe recourbée *u* repose continuellement sur un râteau *f* composé de 96 dents de rochet. Quand le marteau se soulève, le cliquet *g* avance, et son extrémité *u*, qui est engagée entre deux dents du râteau, force ce dernier à avancer également; lorsque, au contraire, le marteau retombe, le cliquet revient sur lui-même en sautant par-dessus une dent, tandis que le râteau reste à l'endroit où il a été poussé. Ce râteau est solidaire d'un cadre QQ', dans lequel est engagée la carte qui doit recevoir les indications, et l'entraîne dans son mouvement.

Le marteau se soulevant tous les quarts d'heure, c'est-à-dire 96 fois en 24 heures, et le râteau ayant 96 dents, la carte reçoit 96 indications en 24 heures, nombre suffisant pour tracer la courbe barométrique. La carte est remplacée par une autre toutes les 24 heures.

Nous ferons la même remarque, au sujet des lignes courbes qui sont tracées sur la carte, que celle que nous avons faite en parlant du barométrographe de M. Bréguet.

Barométrographe du R. P. Secchi. — Le R. P. Secchi, directeur de l'Observatoire du Collége romain, a exposé au Champ de Mars, en 1867, un météorographe qui lui a valu un grand prix. Cet instrument enregistre les principaux phénomènes météorologiques : pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, pluie, humidité et température de l'air.

Le baromètre qui, dans cet appareil, sert à fournir les indications de pression, est le baromètre à balance, inventé à la fin du dix-septième siècle par Morland. Il se compose d'un tube en fer forgé B (fig. 6) ayant 2 centimètres de diamètre et suspendu à l'une des extrémités d'un fléau de balance *ll*. Un poids (invisible sur la figure), fixé à l'autre extrémité du fléau, fait équilibre à une partie

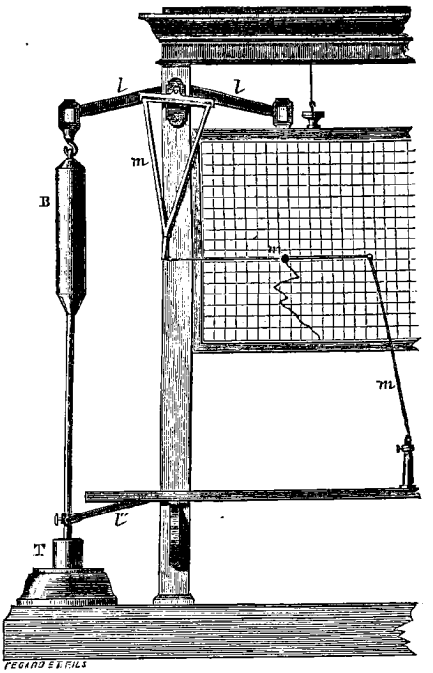


Fig. 6.

du poids du tube, tandis que l'autre partie est équilibrée par la poussée du mercure que ce tube déplace dans la cuvette où il plonge. A son extrémité supérieure, le tube se termine par une chambre cylindrique de 0m,06 de diamètre, et à son extrémité inférieure par un manchon en bois T d'un peu moins de 0m,06, qui plonge dans la cuvette remplie de mercure.

Si la pression croît, le mercure s'élève dans le tube qui conséquemment augmente de poids : l'équilibre est alors rompu, et le baromètre s'enfonce dans la cuvette en entraînant avec lui le bras du fléau auquel il est suspendu, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli par suite du relèvement de l'autre bras du fléau. Si la pression décroît, le contraire se produit. Afin de maintenir le tube toujours parfaitement vertical, quand il s'élève ou s'abaisse, on l'engage dans une pince qui termine une tige *l''*, laquelle étant articulée en son point d'attache, se trouve constamment parallèle au bras du fléau qui supporte le tube, quelle que soit la direction que prenne ce fléau.

Quant à l'enregistration, elle s'effectue sur une carte qu'une horloge fait mouvoir de haut en bas, au moyen d'un crayon que porte un petit ressort fixé à un système articulé *m m m* mis en mouvement par la rotation de l'axe du fléau sur lequel il est monté.

C'est sur la même carte, et au moyen de mécanismes indépendants de celui du baromètre, que le R. P. Secchi enregistre les autres phénomènes atmosphériques.

Baromètre à index automobile. — Cet instrument, imaginé par M. de Vésian, ingénieur des ponts et chaussées, enregistre à chaque instant la tendance qu'a le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

baromètre à monter ou à descendre. Il se compose d'un baromètre métallique ordinaire qui, au lieu de posséder une aiguille mobile à la main, est muni d'un index automobile que l'aiguille même du baromètre entraîne dans son mouvement.

Tant que le baromètre est descendant, l'aiguille entraîne l'index en se superposant à la branche gauche B (fig. 7). Au contraire, tant que le baromètre est montant, l'aiguille entraîne l'index en se superposant à la branche droite M. Cet entraînement de l'index est produit par la pression de l'aiguille sur l'une des deux petites pointes *m* et *b* que présente le contre-poids de l'index.

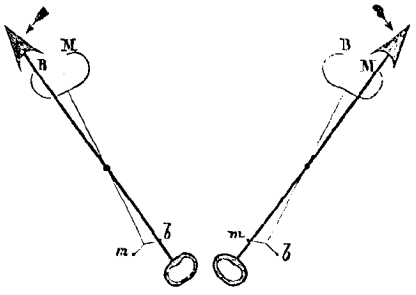


Fig. 7.

Au point de vue de la prévision du temps pour le jour même et pour le lendemain, cet instrument offre un avantage. Dans les baromètres métalliques ordinaires, on se sert en effet pour cela d'un index avec lequel on repère à la main la position de l'aiguille barométrique, ou bien l'on frappe légèrement et à plusieurs reprises sur la boîte jusqu'à ce que l'aiguille ait réalisé son mouvement virtuel; mais ces deux procédés ne peuvent plus être employés, du moment que plusieurs personnes doivent venir successivement consulter l'instrument. L'index automobile, au contraire, accuse à tout instant la tendance du baromètre à monter ou à descendre, sans qu'on soit obligé d'y porter la main.

Thermométrographes.

Thermométrographe de M. Wild. — M. Wild, directeur de l'Observatoire de Berne, a fait construire à MM. Hasler et Escher un météorographe qui enregistre les variations barométriques, les variations thermométriques, la vitesse et la direction du vent, ainsi que les hauteurs d'eau tombée. Nous allons donner la description du thermomètre qui fait partie de cet instrument.

Il se compose de deux branches, l'une en laiton durci et l'autre en acier, soudées ensemble et enroulées en spirale. L'extrémité intérieure de cette spirale B (fig. 8) est solidement fixée au moyen de pointes à la partie pleine C de la colonne CD. L'appareil est soutenu en l'air par l'intermédiaire de la pièce GHF qui se compose de deux tubes, dont l'un HG est attaché à la cage contenant l'enregistreur, et dont l'autre F s'emboîte dans la colonne CD, qu'un collier à vis E peut serrer contre. L'extrémité libre de la spirale porte une tige en laiton *t* dont la partie supérieure *i* s'engage entre les deux branches d'une fourchette *f* à manche courbe F*h*. Ce manche pénètre dans l'intérieur de la cage et vient se fixer en *h* sur un axe en acier terminé par deux pointes *o o'*, fixes et très-dures, qui peuvent tourner entre deux vis également en acier. Cet axe porte la tige de marquation TT', laquelle porte à son tour à sa partie supérieure un contre-poids T' destiné à équilibrer le style *b* dans toutes les positions qu'il prend, lorsque la spirale en se resserrant ou se desserrant (par les variations de température) fait tourner l'axe *o o'*.

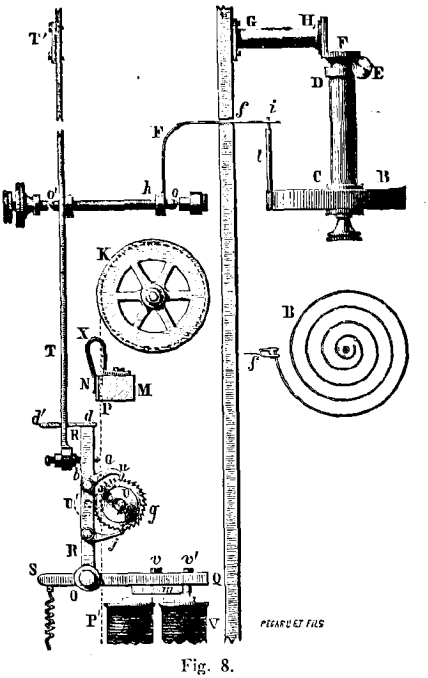


Fig. 8.

Quant à l'enregistration, elle s'effectue sur une bande de papier PP qui, au fur et à mesure qu'elle se déroule de dessus un cylindre K, passe d'abord dans un conducteur MN. Ce conducteur est formé de deux parties, l'une fixe M, et l'autre N, de même largeur que la bande de papier, que deux ressorts X, placés à chaque extrémité, viennent presser contre la partie fixe : cette pression a pour but de toujours maintenir bien tendue la bande de papier. En sortant du conducteur, la bande passe entre deux cylindres U U' tangents l'un à l'autre.

Aux deux extrémités de l'appareil se trouvent deux électro-aimants V qui, lorsqu'un courant passe dans leur circuit, attirent une barre en fer doux *m* qu'une vis *v* maintient fixée à la branche horizontale Q S d'une pièce S O R'. Une vis *v'* empêche la barre de fer doux, en limitant sa course, de se mettre en contact avec le pôle de l'électro-aimant, lorsque le courant passe. Les branches verticales R R' des pièces S O R' supportent une règle *d d'* dans laquelle est pratiquée une fente égale en longueur à la largeur de la bande de papier: cette fente livre passage à la tige de marquation. Les branches R R' portent en outre, chacune, un crochet *u* qui s'engage successivement dans les 60 dents d'une roue *g* fixée au cylindre U.

Une horloge ferme toutes les dix minutes le circuit électrique. Dès lors la branche horizontale O Q s'abaisse, tandis que la branche verticale R R' s'incline de gauche à droite en entraînant avec elle la règle *d d'* et la tige de marquation T; cette dernière se trouvant alors pressée contre la bande de papier y fait un trou avec la pointe *a*. Pendant ce mouvement de la branche R R' vers la droite, le crochet *u* avance d'une dent sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

roue dentée. Dès que le circuit est rouvert, un ressort fait relever la branche horizontale OQ; la branche verticale revient sur elle-même en faisant tourner le cylindre U de la valeur d'une dent, et la règle *d d'* sépare la tige T du papier. Le cylindre U tangent au cylindre U' l'entraîne dans son mouvement, et la bande de papier qui est pressée entre eux deux avance d'une petite quantité.

Un contre-crochet *j* est fixé à l'appareil de manière à empêcher que la roue avance de plus d'une dent lors du retrait rapide de la branche qui porte la barre de fer doux.

Pendant que la bande se déroule, une petite poulie à bords déliés trace sur le papier une rainure que M. Wild nomme *ligne médiane* : c'est cette ligne qui sert de point de départ aux évaluations de température. Il importe de remarquer que la pointe *a* de la tige de marquation doit être sur cette ligne lorsque la température se trouve être la température moyenne du lieu d'observation.

Afin de pouvoir déduire les températures des positions des piqûres sur la bande, on soumet d'abord le thermomètre à des essais préalables ayant pour but de déterminer la température de la spirale dans l'air extérieur, lorsque la pointe de marquation est exactement sur la ligne médiane, ainsi que le nombre de degrés correspondant à un écart de la pointe à gauche ou à droite de cette ligne médiane.

Thermométrographe de M. Gros Claude de Genève. — Il se compose d'un ressort bi-métallique *d d'* (fig. 9) formé

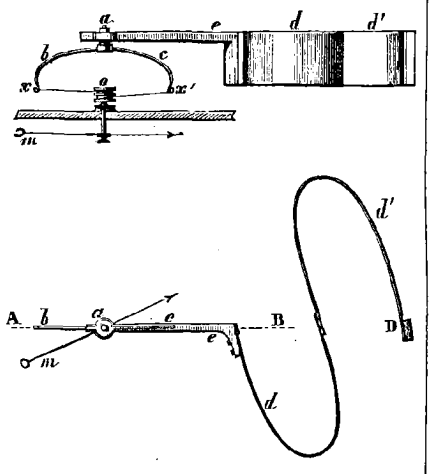


Fig. 9.

de deux fers à cheval réunis l'un à l'autre. L'une des extrémités D de ce ressort est fixe, tandis que l'autre peut se mouvoir suivant une ligne droite A B, lorsque la température varie. L'extrémité libre est fixée à une pièce *a* qui supporte un arc *b c* dont les deux bras sont reliés par un fil de soie qui s'enroule sur une poulie *o*, laquelle est montée sur le même axe que l'aiguille indicatrice *m*.

On voit que l'arc *b c* fonctionne comme un archet à percer sur lequel agit l'extrémité libre du thermomètre. Si donc la température varie, l'archet entre en mouvement, et l'aiguille tourne d'une certaine quantité, dans un sens ou dans l'autre, selon que la température augmente ou diminue.

M. Gros-Claude a adopté pour système d'enregistration le même que pour son baromètrographe que nous avons décrit plus haut.

Thermométrographe de M. Hipp de Neuchâtel. — M. Hipp se sert d'un thermomètre métallique de Bréguet, acier et laiton, dont les variations sont transmises à une aiguille et enregistrées sur une bande de papier au moyen d'un mécanisme entièrement semblable à celui de son baromètrographe que nous avons d'éjà décrit.

Anémométrographes.

Anémométrographe de l'Ecole des Ponts et Chaussées. — Cet appareil se compose de deux parties parfaitement distinctes : 1° l'anémomètre proprement dit; 2° l'enregistreur.

1° L'anémomètre que l'on a adopté est celui imaginé par M. le Dr Robinson, de l'observatoire d'Armagh (Irlande). Il se compose d'un axe verticale dont la partie inférieure est creuse et conique, ce qui permet d'établir l'appareil à l'extrémité d'un mât plus ou moins élevé. L'extrémité supérieure porte quatre tiges horizontales, rectangulaires entre elles, et terminées chacune par une demi-sphère creuse en métal, très-légère et soudée de telle manière que la partie concave de l'une quelconque d'entre elles regarde la partie convexe de la suivante.

Lorsque le moulinet formé par ces quatre demi-sphères se trouve exposé à l'action d'un courant aérien le vent frappe toujours sur une des demi-sphères au moins, suivant sa face concave, tandis qu'il glisse sur la face convexe des trois autres. Sous l'influence de cette action, le moulinet prend un mouvement de rotation autour de son axe. M. Robinson a démontré que le nombre des tours de ce moulinet est toujours proportionnel à la vitesse du vent. Il a trouvé que le nombre 3 représente assez exactement le rapport qui existe entre le chemin parcouru par le vent et celui parcouru par les ailes. Ainsi, un anémomètre, dont la circonférence passant par les centres des quatre ailes aurait 1m,67, donnerait pour chaque tour des ailes 5m,01, comme devant correspondre au chemin parcouru par le vent.

Au dessous du moulinet se trouve un compteur qui, au moyen de fils électriques, transmet à l'enregistreur les indications de vitesse.

Plus bas encore, et sur un arbre horizontal, sont fixées deux grandes roues dont les rayons sont formés de petites palettes inclinées, et tournant sous l'influence du moindre courant d'air.

Voyons maintenant comment fonctionne le compteur : Les tiges du moulinet sont réunies sur un moyeu en cuivre que porte un axe verticale *c c* (fig. 10). Cet axe, par sa partie inférieure qui est terminée en pointe, repose dans une crapaudine dont le fond est en pierre dure. Une vis taraudée sur l'axe commande une roue dentée *d d*, de 200 dents, laquelle porte, fixées aux extrémités d'un même diamètre, deux chevilles métalliques qui viennent successivement toucher un ressort *e e*. Un fil métallique *g* part de ce ressort et va aboutir à une borne *i* dans laquelle on le fixe.

La tige qui supporte le moulinet, ainsi que le compteur, est creuse, afin de livrer passage au fil électrique *g*. Elle est en outre réunie à la partie supérieure de l'anémomètre par un taraudage *f*. On voit sur la figure un chapeau J, dont le but est de protéger l'axe de rotation du moulinet contre la pluie et la poussière.

Nous avons dit plus haut qu'au dessous du moulinet et de son compteur, et sur un arbre horizontal, sont fixées deux grandes roues RR' dont les rayons sont formés de petites palettes inclinées (1). L'arbre horizontal, au moyen des roues et pignons *v v'* (voir le plan fig. 11), ainsi que du pignon *p*, engrène avec une couronne dentée

1. Cette partie de l'instrument est basée sur le principe de l'anémoscope d'Œsler.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

fixe *c c*, faisant corps avec le bâti X Y Z qui supporte tout l'instrument. Grâce à cette disposition, lorsque les roues se mettent à tourner sous l'influence du vent, le pignon *p* tourne aussi ; mais, en vertu de la ré-

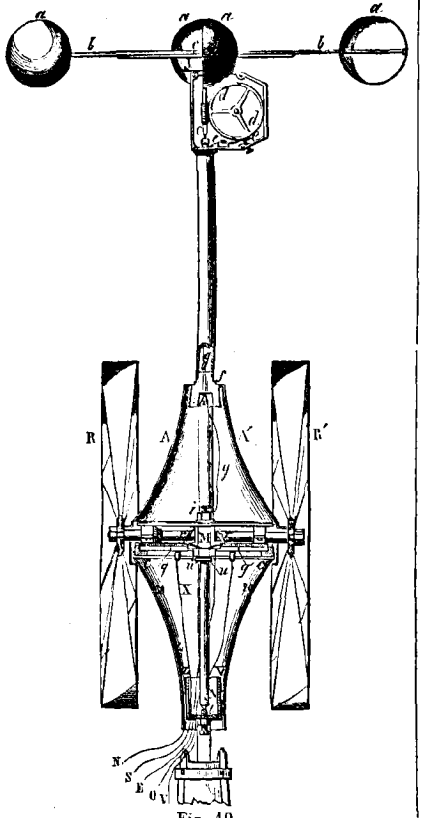


Fig. 10.

action qu'il reçoit des dents de la couronne fixe *c c*, il se déplace, et les roues prennent alors un mouvement

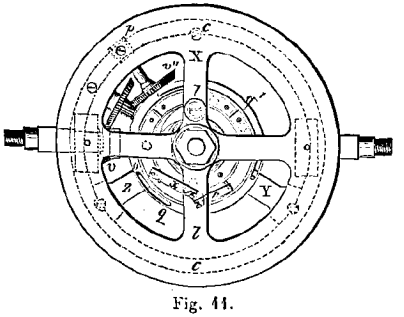
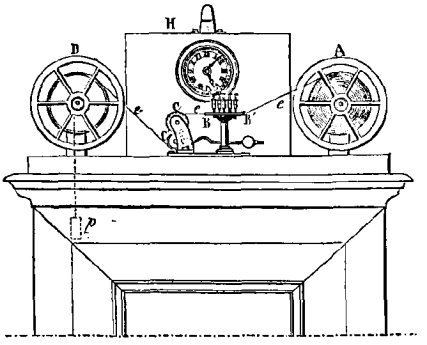


Fig. 11.

de translation autour de l'axe vertical M N (fig. 10), jusqu'à ce que le plan de leurs ailes soit devenu parallèle à la direction du vent. Quant à l'axe M N, il repose dans une crapaudine *t*, de plus, une bague en laiton *u*, fixée par la vis *u'*, l'empêche de sortir de la crapaudine, en même temps qu'elle s'oppose à la séparation de la partie mobile et de la partie fixe de l'instrument.

Une traverse *l l* (fig. 11), faisant corps avec la partie mobile, porte deux ressorts *x r*, qui, entraînés dans le mouvement de translation, frottent successivement sur quatre secteurs métalliques, séparés les uns des autres et incrustés dans un disque isolant *q q'*. De ces secteurs, qui correspondent aux quatre points cardinaux, partent quatre fils N, S, E, O. La borne *i* communique à un autre ressort qui frotte dans toutes les positions sur une couronne métallique également incrustée dans le disque isolant. Les contacts métalliques des ressorts sur les secteurs ou sur la couronne suffisent pour établir les communications électriques.

2° L'enregistration s'effectue sur une bande de papier *e e* (fig. 12) qui se déroule d'une bobine A et qui, après



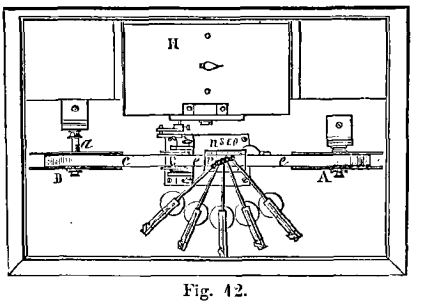


Fig. 12.

avoir passé sur l'enclume B B', enveloppe en partie le cylindre guilloché C', pour aller en suite s'enrouler sur le moyeu en bois d'une poulie D. L'axe de cette poulie porte un petit tambour sur lequel s'enroule un fil de soie soutenant un poids *p*, lequel a pour but de faire tourner la poulie D et d'enrouler dessus la bande de papier *e e*. Le cylindre C' est commandé par un mouvement d'horlogerie comtoise renfermé dans la boîte H, ce qui permet à la bande de papier de se mouvoir d'une manière uniforme. L'inscription des phénomènes sur cette bande a lieu au moyen de cinq pointes d'acier *v, n, s, e, o*, mises en mouvement par le passage du courant électrique dans l'électro-aimant correspondant à chaque pointe. Ces cinq électro-aimants sont absolument identiques aux trembleurs des sonneries électri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ques. C'est M. Hervé Mangon, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, qui a eu l'heureuse idée de substituer des trembleurs aux électro-aimants ordinaires. Grâce à cette substitution, la variation d'intensité du courant n'a plus aucune influence sur l'enregistration.

Voici comment sont disposés ces cinq appareils. L'un des pôles de la pile communique avec l'extrémité *a* (fig. 13) du fil enroulé sur la bobine A. L'autre extrémité du fil de cette bobine est fixée par la vis *b*

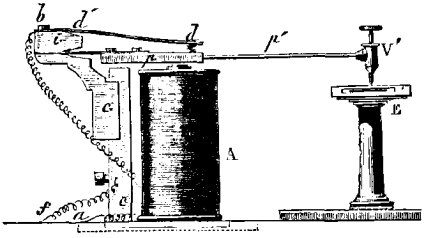


Fig. 13.

au ressort d'acier *d'd*. Le second pôle de la pile communique par le fil *f* à la pièce métallique *cc*, qui supporte par un ressort d'acier la palette en fer doux *p*, la tige *p'* et la pointe traçante V. Un isoloir *i* sépare le ressort *b d' d* de la pièce *cc*. On voit dès lors que le courant entrant en *a* traverse le fil de la bobine, arrive en *b d' d*, passe par le contact *d* dans la palette *p*, rejoint la pièce *cc* et sort par le fil *f*. Aussitôt donc que l'on établit un courant dans ce circuit, la pièce de fer doux qui forme l'axe de la bobine s'aimante et attire la palette *p*; la pointe V s'abaisse et vient frapper le papier placé au-dessous d'elle sur l'enclume E. Mais dans cette nouvelle position, il n'y a plus de contact en *d* entre le ressort *d' d* et la palette *p* : conséquemment le courant entrant en *a* ne passe plus dans le fil de la bobine, et la palette *p*, obéissant au ressort qui la soutient, se relève rapidement pour reprendre sa position première. Le contact se rétablit en *d*, et les phénomènes précédents se reproduisent. La pointe V est donc animée d'un mouvement vibratoire rapide dans un plan vertical, tout le temps que le courant est maintenu.

Cela posé, et en se reportant à la figure 10, on comprend que la pointe *v* frappera toutes les fois que le courant sera fermé par le contact de la goupille de la roue *d d* et des ressort *e e*, c'est-à-dire toutes les fois que le moulinet des vitesses aura fait cent tours.

Quant à la direction, on se rappelle que les ressorts frotteurs sont toujours en contact avec un ou au plus deux des quatre secteurs répondant aux quatres aires de vent. Il en résulte que le courant passera seulement par un ou par deux au plus des électro-aimants N, S, E, O. Les traces laissées sur la bande de papier indiqueront donc les directions successives du vent. Si les deux ressorts sont en contact simultanément avec deux secteurs, les deux électro-aimants correspondant à ces deux secteurs fonctionneront simultanément aussi, et l'on sera averti par là que la direction du vent est comprise entre les deux points cardinaux auxquels répondent les deux secteurs.

Si le courant passait d'une manière continue, les piles et les électro-aimants se fatigueraient assez vite. Pour obvier à cet inconvénient, les quatre fils N, S, E, O, après avoir traversé les quatre électro-aimants, viennent aboutir sur l'axe d'une des roues de l'horloge. Cette roue porte plusieurs chevilles qui viennent successivement (de 10 en 10 minutes) rencontrer un petit ressort métallique auquel aboutit le fil qui va de la pile à l'anémoscope.

MÉTÉOROGRAPHES.

Les piles, au nombre de deux, se composent chacune de deux éléments au sulfate de cuivre. De l'un des pôles de la première pile, part un fil qui se réunit au fil partant du pôle de même nom de la seconde pile. Le fil unique, résultant de cette réunion, se rend alors à l'anémométrographe, qui est entièrement métallique, pour s'y fixer en un endroit quelconque. Du second pôle de la première pile, part une autre fil qui va s'attacher en un endroit quelconque de la couronne métallique incrustée dans le disque isolant. Quant au second rhéophore de la seconde pile, il va se fixer sur le ressort rencontré par la roue de l'horloge dont l'axe reçoit les quatre fils N, S, E, O. On voit par la disposition des fils qu'il n'y a qu'un seule et même courant servant à la fois aux enregistrations de direction et de vitesse. Seulement ce courant peut être simple, double ou triple. Il est simple dans le cas où le contact du ressort *e e* avec l'une des chevilles de la roue *d d* s'établit entre deux contacts de la roue de l'horloge avec le ressort qui lui correspond ; il est également simple lorsque les deux ressorts *r* et *x*, étant sur un même secteur, le contact de la roue de l'horloge avec le ressort qui lui correspond s'établit entre deux contacts du ressorts *e e* avec les chevilles de la roue *d d*. Il est double si les deux ressorts *r* et *x*, reposant chacun sur un secteur, le contact de la roue de l'horloge et du ressort qui lui correspond a seul lieu; il est également double dans le cas où les deux contacts ont lieu en même temps, les ressorts *r* et *x* étant sur un même secteur. Enfin, il est triple lorsque les deux contacts s'opèrent simultanément, les ressorts *r* et *x* s'appuyant chacun sur un secteur. Suivant l'un ou l'autre de ces cas, l'un des trembleurs V, N, S, E, O fonctionnera seul, ou bien deux d'entre eux fonctionneront ensemble, ou bien enfin le trembleur V fonctionnera en même temps que deux des trembleurs N, S, E, O.

Nous ferons remarquer que, bien que le courant puisse être double ou triple, il n'en forme pas moins toujours un courant unique.

Anémométrographe du R. P Secchi. — Il se compose de deux appareils essentiellement distincts l'un de l'autre : l'un pour la direction du vent, l'autre pour la vitesse.

Direction. — L'appareil qui sert pour la direction, et qui rappelle beaucoup celui de M. du Moncel, comprend une girouette G (fig. 14) de forme angulaire, fixée à l'extré-

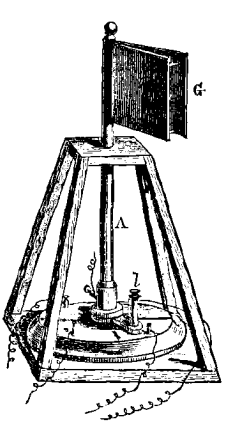


Fig. 14.

mité d'un arbre plus ou moins élevé A. Dans son mouvement de rotation, cet arbre entraîne avec lui une languette *l* qui, de même que dans l'anémoscope d'Œsler,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se meut au-dessus de quatre secteurs circulaires en métal et garnis de platine, isolés les uns des autres et correspondant aux quatre points cardinaux. Les fils sont disposés exactement comme nous l'avons dit pour l'instrument que nous venons de citer.

On comprend dès lors facilement comment s'enregistrent les vents N, S, E, O. Quant aux vents intermédiaires, ils sont enregistrés par le seul fait que le vent ne possède jamais pendant un long temps une direction constante et que la languette *l* passe, en oscillant entre eux, de l'un à l'autre des deux secteurs qui comprennent le vent intermédiaire. Autrement, on sera averti, en regardant la feuille d'enregistration, qu'un vent intermédiaire a soufflé, N O par exemple, lorsque cette feuille présentera dans chacune des colonnes N et O des traits presque en regard les uns des autres et offrant une simultanéité assez sensible.

L'enregistration s'effectue sur une feuille de papier contenue dans un cadre vertical animé d'un mouvement régulier de descente (1). Quatre crayons sont fixés aux extrémités de quatre tiges verticales jouant le rôle d'armatures de quatre électro-aimants trembleurs. Lorsqu'un vent souffle, le trembleur correspondant fonctionne, et le crayon qui se trouve à l'extrémité de son armature trace sur le papier une série de petits traits horizontaux assez peu espacés, eu égard au mouvement assez rapide du trembleur et au mouvement assez lent de la feuille.

Vitesse. — Quant à l'appareil qui sert à fournir les indications de vitesses, il se compose d'un moulinet du Robinson semblable à celui que nous avons décrit en parlant de l'anémométrographe de l'Ecole des ponts-et-chaussées. L'axe A (fig. 15) sur lequel est monté ce moulinet

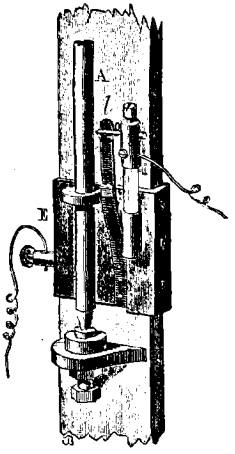


Fig. 15.

repose dans une crapaudine, et porte un disque E qui lui est adapté *excentriquement*. Ce disque, en participant au mouvement de rotation de l'arbre, vient rencontrer une lame flexible et métallique *l*, qui, lorsqu'elle repose sur la tige *o*, ferme le circuit formé par les deux fils d'une pile, qui aboutissent, l'un à la tige *o* et l'autre à un bouton fixé sur le côté de la pièce métallique E qui supporte la lame *l*. Lorsque, au contraire, l'excentrique, en tournant, éloigne la lame de la tige, le courant est interrompu.

1. Se reporter à ce que nous avons dit à la fin de la description du barométrographe Secchi.

L'appareil est mis en communication avec un compteur qui est en relation constante avec le courant. A chaque tour du moulinet, et pour une certaine position de l'excentrique qui est toujours la même, le courant se trouve fermé, et la roue à échappement du compteur avance d'une dent sous l'influence de ce courant.

Si chaque tour du moulinet correspond à une vitesse de vent égale à 10 mètres par exemple, et si la roue du compteur possède cent dents, chaque fois que la roue aura effectué un tour entier, ce tour correspondra à un chemin parcouru par le vent égal à 1000 mètres. La roue porte une aiguille qui se meut sur un cadran ; elle est en outre en relation, par un système de roues et de pignons, avec une autre roue dentée qui avance d'une dent lorsqu'elle a fait un tour entier, et qui conséquemment enregistre les kilomètres, grâce à une aiguille qu'elle porte et qui se meut sur un second cadran.

Cet appareil, ainsi qu'on le voit, donne le chemin parcouru par le vent dans un certain laps de temps ; mais il ne fournit pas d'indications relatives à la vitesse pour chaque instant de la journée, ce qui, selon nous, est un inconvénient ; car il peut très-bien se faire que le chemin constaté, au bout de trois heures par exemple, ait été parcouru en une demi-heure, et que tout le reste du temps l'air ait été complétement calme.

Le R. P. Secchi a cherché à enregistrer en même temps sur la carte la vitesse. Le mécanisme qu'il emploie à cet effet nous paraît peu susceptible de fournir des indications sûres : aussi nous ne le décrirons pas.

PLUVIOMÉTROGRAPHES.

Pluviométrographe de M. Salleron. — M. Salleron a construit pour l'Ecole de Grignon un météorographe dans lequel la quantité d'eau tombée est enregistrée de la manière suivante :

L'udomètre destiné à recevoir la pluie se compose, ainsi que tous les udomètres, d'un entonnoir E (fig. 16),

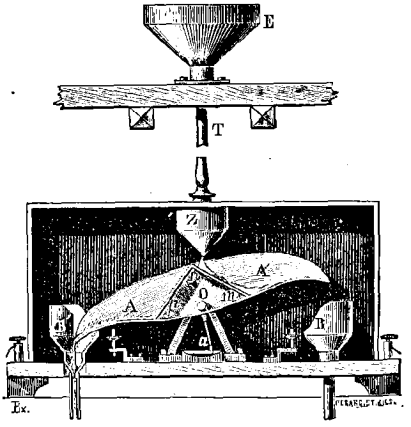


Fig. 16.

ayant 4 décimètres carrés d'ouverture libre et fixé à une certaine hauteur au-dessus du sol. Cet entonnoir se termine par un tube T qui, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc, conduit l'eau dans un appareil placé à couvert dans le voisinage de l'enregistreur. Cet appareil se compose d'une espèce de corbeille en cuivre argenté, partagée en deux compartiments A et A' par les deux plans inclinés *mn* et *np*. Cette corbeille peut tourner autour d'un axe horizontal O qui est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

situé à sa partie médiane et vers le bas. Il résulte de cette disposition qu'il n'y a d'équilibre stable qu'autant que l'un des compartiments étant relevé, l'autre se trouve abaissé et appuyé sur l'un des entonnoirs B, B'. Le compartiment le plus élevé reçoit l'eau et tend, au fur et à mesure que la charge augmente, à faire basculer la corbeille autour de l'axe de suspension. Quand la charge est suffisante, la rotation s'opère, et le compartiment rempli d'eau vient, en s'abaissant, se vider dans l'entonnoir qui lui correspond. Mais dans ce mouvement l'autre compartiment s'est relevé pour recevoir à son tour l'eau qui tombe du tube de l'entonnoir.

La corbeille porte à sa partie inférieure une aiguille *a*, qui, à chaque oscillation, vient plonger dans le mercure contenu par une petite auge métallique située au-dessous. L'un des pôles d'une pile est mis en communication avec cette auge, tandis que l'autre communique avec la corbeille. Donc, à chaque oscillation, et lorsque l'aiguille plonge dans le mercure, le courant est fermé momentanément, et un électro-aimant trembleur, par lequel passe le courant, exerce une attraction sur son

qui marque plusieurs petits points très-rapprochés n'en formant en quelque sorte qu'un seul.

La feuille de papier, sur laquelle s'effectue l'enregistration, est recouverte d'une couche de blanc de zinc et est fixée sur un cylindre qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner régulièrement en 24 heures. Le nombre de points tracés sur la feuille de papier en 24 heures correspond donc au nombre d'oscillations de la corbeille; mais, comme chaque oscillation correspond à son tour à 1 millimètre d'eau tombée, le nombre de points indique en millimètres la quantité de pluie. De plus, comme sur la feuille d'enregistration sont tracées des lignes équidistantes et parallèles à l'axe de rotation du cylindre, la position des points, relativement à ces lignes, fait connaître le moment de la journée auquel la pluie est tombée.

Au lieu de s'écouler directement de l'entonnoir dans les compartiments, l'eau arrive d'abord dans un petit récipient Z terminé inférieurement par un orifice capillaire par lequel l'eau tombe goutte à goutte dans l'un des compartiments A ou A'. Cette disposition a pour

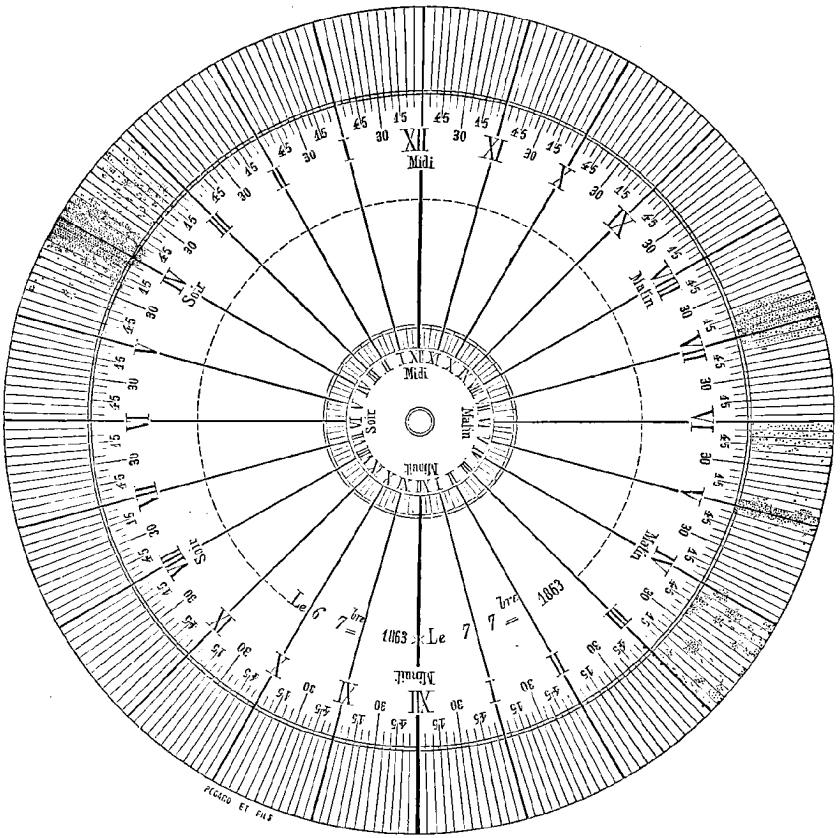


Fig 17.

contact. Cette attraction, en ayant lieu, fait frapper deux ou trois fois de suite sur le papier une pointe de cuivre qui se trouve à l'extrémité libre du contact et

effet d'empêcher que le liquide, en tombant abondamment, fasse basculer l'appareil avant qu'il ait reçu sa charge, et que, au moment du mouvement de bascule, il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

continue à tomber quelques instants encore dans le compartiment qui a reçu son contingent de pluie.

Pluvioscope à cadran de M. Hervé Mangon. Cet instrument se compose essentiellement d'un plateau circulaire monté sur un pivot auquel un mouvement d'horlogerie communique un mouvement de rotation qui s'effectue complétement en 24 heures. Sur ce plateau on établit une feuille de papier de forme également circulaire (fig. 17) ayant $0^m,45$ de diamètre, et divisée au moyen de rayons en 24 parties égales, correspondant aux 24 heures de la journée. Chacune de ces divisions est à son tour divisée en douze parties égales, dont chacune aussi correspond à un laps de temps de 5 minutes. Cette feuille est préalablement trempée dans une dissolution au dixième de sultate de fer, puis séchée et frottée avec de la noix de galle réduite en poudre extrêmement fine. Ainsi préparée, cette feuille jouit de la propriété de devenir d'un gris foncé au contact de l'eau.

L'horloge et le plateau muni de sa feuille sont établis dans une boîte que l'on installe à l'air libre. Dans le couvercle de cette boîte est pratiquée une fente convergeant vers le centre du plateau, dont la largeur est égale précisément à une division de 5 minutes, et dont la longueur est égale à la différence qui existe entre le rayon de la feuille entière et le rayon de la circonférence double qui se trouve tracée auprès des chiffres de division. Si maintenant le plateau entre en mouvement, la feuille participera à ce mouvement et chacune de ses divisions viendra se placer successivement au-dessous de la fente: d'où il résulte qu'une pluie venant à tomber, des gouttes entreront par la fente, mouilleront un certain nombre de divisions, selon la durée de la pluie, et noirciront conséquemment la feuille aux endroits mouillés.

Chaque jour, à midi, on renouvelle la feuille, ce qui fait qu'une même feuille sert pour la seconde moitié d'un jour et pour la première moitié du jour suivant. La fig. 17 est la reproduction exacte d'une feuille qui, en 1863 (6 et 7 septembre), a été employée dans un pluvioscope à cadran. C'est M. Hervé Mangon lui-même qui a bien voulu nous la communiquer. On voit par les taches que présente cette figure que le 6 septembre, de 3^h45 à 4^h15 du soir, il est tombé une pluie très-abondante, et que le 7 il est tombé, de minuit à midi, plusieurs ondées, savoir: quelques gouttes seulement entre 3^h et 4^h; fort peu de chose à 4^h15, puisque la feuille ne présente qu'une seule tache; une pluie assez forte de 4^h55 à 5^h5; une pluie fine de 5^h40 à 6^h, et une pluie fine, mais fournie, de 6^h45 à 7^h20. Cet instrument, excessivement ingénieux, offre l'avantage d'enregistrer immédiatement l'heure des chutes aqueuses sans le secours d'aucun agent, soit mécanique, soit électrique. De plus, en fonctionnant à côté d'un pluviomètre, il complète les indications fournies par ce dernier en faisant connaître la nature des pluies, pluie fine, pluie d'orage, etc.

Nous ne terminerons pas cet article sans dire que nous avons puisé de très-utiles renseignements dans des notices que M. Pouriau, professeur à l'Ecole de Grignon, a publiées sur les appareils de météorologie qui se trouvaient à l'Exposition universelle de 1867.

EM. LEJEUNE.

MORTIER. CIMENT A PRISE LENTE, *dit de Portland.* — A l'époque où l'article MORTIER a été publié on connaissait à peine les ciments à prise lente. Les incertitudes qui existaient encore sur leurs avantages ou leurs inconvénients ne permettaient pas de les mentionner dans le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, où ne doivent prendre place que les faits complétement acquis à la science ou à la pratique industrielle.

Depuis lors, les *ciments à prise lente*, dits *de Portland*, ont conquis une place des plus importantes dans l'art des constructions; ils permettent d'exécuter avec économie et facilité les travaux les plus difficiles. On en fabrique des quantités énormes, et tout porte à penser qu'ils remplaceront avec le temps, d'une manière générale, tous les autres composés calcaires employés jusqu'à présent dans la confection des mortiers, ainsi que le plâtre pour les enduits et moulures d'ornement.

Les mortiers fabriqués avec les ciments à prise lente, dits de Portland, présentent des qualités toutes spéciales qui leur donnent une incontestable supériorité sur tous les produits anciennement connus. Leur maniement est presque aussi facile que celui des mortiers ordinaires, leur adhérence et leur dureté dépassent de beaucoup celle des meilleurs *ciments à prise rapide*, dits *ciments romains* (voir MORTIER). Enfin, ils résistent à l'action de l'eau de mer et aux causes habituelles de destruction des autres mortiers.

La fabrication du ciment de Portland est encore ignorée de la plupart des chaufourniers malgré son intérêt, et beaucoup de personnes ne soupçonnent même pas les ressources que peut fournir aux constructions ce précieux produit. Il convient donc de faire connaître d'abord avec détails la *fabrication* de ce ciment et d'indiquer ensuite quelques-unes de ses *applications*.

Fabrication. L'étude de la fabrication du ciment de Portland comprend : le choix et la préparation des matériaux, leur cuisson, la pulvérisation du produit et, enfin, l'indication d'essais généralement imposés par l'acheteur, et que tout fabricant soigneux doit régulièrement exécuter dans son usine avant de livrer ses produits au commerce.

§ I. *Choix et préparation des matériaux.* Le choix parfait des matières premières de la fabrication est la condition essentielle du succès pour les fabricants de ciment de Portland. Les soins ultérieurs les plus minutieux deviennent inutiles si la matière soumise à la cuisson n'a pas exactement la composition et les propriétés requises.

Le ciment de Portland n'est autre chose que le produit désigné par Vicat sous le nom de calcaire à *chaux limite*, cuit jusqu'à un commencement de vitrification. Il suffit donc, pour obtenir du ciment à prise lente, de cuire, jusqu'à ce qu'il commence à se ramollir, un composé contenant de 21 à 23 p. 100 d'argile et de 77 à 79 p. 100 de carbonate de chaux, mélangés à quelques autres matières, dont on parlera dans un instant, et qui, sans être essentielles, jouent cependant un rôle important dans la fabrication, et ne laissent pas d'exercer une influence marquée sur les propriétés des produits fabriqués.

Le tableau, page suivante, donne la composition d'un certain nombre d'échantillons de ciment dit de Portland, de bonne qualité, choisis parmi le grand nombre de ceux dont j'ai eu l'occasion de faire l'analyse.

Si on recherche, par le calcul, la composition des calcaires qui ont donné par la calcination les différents ciments dont on vient d'indiquer la composition, on reconnaît, que le rapport de l'argile au carbonate de chaux s'éloigne assez peu, soit en plus, soit en moins, du rapport 22/78 précédemment indiqué.

Quand un calcaire s'écarte de cette composition, il devient impropre à la fabrication du ciment à prise lente. Que l'argile ou la silice augmente seulement de 4 ou 5 p. 100, et le produit devient une sorte de Pouzzolane qui ne fait plus prise avec l'eau; que la proportion du carbonate de chaux tombe à 70 p. 100, et on ne peut obtenir que des ciments à prise très-rapide de mauvaise qualité et facilement altérables par les agents extérieurs.

On rencontre quelquefois dans le commerce des matières vendues sous le nom de ciment à prise lente ou de Portland, qui s'écartent notablement de la composition normale que nous venons d'indiquer. Ces produits

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MORTIER.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
Silice	24,45	25,10	24,50	24,45	24,10	23,30	26,15
Alumine	10,95	8,60	9,20	8,70	4,35	7,75	10,35
Peroxyde de fer		4,30	2,30		8,65	3,00	
Chaux	59,30	63,45	60,35	65,60	57,75	62,75	60,20
Magnésie	0,80	0,95	traces.	traces.	traces.	0,85	0,85
Acide sulfurique	1,75	0,90	0,70	0,45	1,45	2,35	1,05
Alcalis	2,75		0,45	0,80	1,20		1,40
Eau, acide carbonique et matières non dosées			2,50		8,50		
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

a Ciment anglais.
b Ciment de Boulogne.
c Ciment de Boulogne de fabrication ancienne.
d Très-bon ciment pesant 1500 kil. le mètre cube, employé à Boulogne.
e Ciment de fabrique anglaise.
f Ciment sturge.
g Ciment anglais des environs de Londres.

sont des mélanges de matières inertes avec du véritable ciment à prise lente de composition normale, ou bien, ce qui est plus grave, des mélanges de ciment à prise rapide avec des chaux hydrauliques, du plâtre, des oxisulfures de calcium, etc., mélanges qui simulent jusqu'à un certain point, au moment de l'emploi, le ciment à prise lente, mais qui ne tardent pas à s'altérer. On ne saurait assez se mettre en garde contre ces falsifications.

Pour en revenir au véritable ciment à prise lente, nous devons indiquer l'influence des matières qui s'y rencontrent habituellement en petite quantité et sur lesquelles cependant doit se porter l'attention du fabricant et du consommateur. Le fer existe toujours dans le ciment. A l'état de peroxyde, il ne paraît agir qu'à la manière d'un corps inerte, sans importance, à cause de sa faible proportion. Mais à l'état de silicate de protoxyde, son rôle ne doit pas être indifférent. Tout porte à penser qu'il concourre utilement à la solidification de la masse. L'influence de la magnésie n'est pas bien connue. Je n'ai jamais rencontré ce corps qu'en très-faible proportion dans les bons ciments; je l'ai au contraire trouvé à la dose de 4 à 5 p. 100 dans des ciments médiocres, mais je ne saurais affirmer qu'on dût lui attribuer la mauvaise qualité des produits. L'acide sulfurique et les sulfures nuisent incontestablement aux qualités des ciments à prise lente, surtout pour les ouvrages à la mer. Les alcalis paraissent sinon absolument indispensables, au moins excessivement utiles à la bonne fabrication des ciments à prise lente. Quand les matériaux dont on dispose n'en renferment pas naturellement, il faut ajouter à la pâte de 1/2 à 1 p. 100 de carbonate de soude ou de potasse, ou, plus simplement, de chlorure de sodium. J'ai indiqué, dès 1852, l'utilité de cette addition à laquelle plusieurs fabriques de l'intérieur des terres ont dû leurs succès.

De nombreux essais, que je n'ai malheureusement pas eu le temps de faire en grand, me portent à penser que la baryte pourrait jouer dans les ciments un rôle analogue à celui des alcalis et plus énergique encore. L'abaissement du prix de cette base permettrait sans doute de l'utiliser industriellement, en l'ajoutant à la dose de 1 à 5 p. 100 dans la pâte des ciments avant cuisson. Des essais dirigés dans ce sens méritent d'être entrepris.

Le fabricant de ciment à prise lente doit par conséquent savoir analyser avec précision les matières qu'il emploie, pour varier les dosages en raison des changements de composition que présentent souvent, d'un point à un autre, certains bancs marneux. Les connaissances chimiques ne lui sont pas moins utiles qu'au métallurgiste lui-même.

Les procédés pratiques de ces analyses (1) ne diffèrent pas de ceux employés pour les analyses des chaux et des calcaires ordinaires, mais on peut abréger beaucoup les opérations dans les fabriques de ciment par l'emploi de liqueurs titrées appropriées dont j'ai depuis longtemps fait connaître l'usage.

Il est également utile de faire des essais de cuisson en petit. Le four d'épreuve dont le dessin est donné dans l'article MORTIER est très-convenable pour ces opérations. On peut le chauffer à la houille, ou, plus simplement aujourd'hui, avec des huiles minérales lourdes, à l'aide de l'appareil de combustion si simple et si ingénieusement imaginé par M. P. Audouin, ingénieur de la Compagnie du gaz parisien.

Le ciment à prise lente peut s'obtenir en cuisant à un degré convenable, soit un mélange de chaux grasse ou de calcaire friable et pur et d'argile, soit un mélange d'argile ou de calcaire pur et de marne, soit, enfin, un calcaire argileux naturel présentant la composition indiquée ci-dessus.

Il est rare de rencontrer des bancs d'une composition convenable, étendus et assez homogènes pour alimenter longtemps une fabrication un peu considérable. Quelques fabriques ont eu cependant cette bonne fortune, et se bornent à faire cuire la roche naturelle réduite par le cassage en fragments pouvant passer dans un anneau circulaire de 0m,06 à 0m,08 de diamètre. Mais ces conditions sont très-rares, et nous devons indiquer comment s'effectuent en général le mélange et la préparation des matériaux.

Les fabriques de ciment, dit de Portland, établies aux environs de Londres, qui produisent par an de 200,000 à 300,000 tonnes, emploient la craie pure qui forme plusieurs collines peu éloignées de la ville, et l'argile des dépôts d'alluvion plus ou moins récents de la Tamise. La formation crétacée et les dépôts argileux sont très-homogènes, ce qui rend les dosages très-réguliers et n'a pas peu contribué à la réputation des ciments des environs de Londres.

Des conditions analogues se rencontrent près de Paris, au bas Meudon, où la craie la plus pure et l'argile

1. On analyse d'ailleurs *gratuitement* au laboratoire des ponts et chaussées, les échantillons de chaux, de ciments, de calcaires, d'argile et autres matières intéressant l'art des constructions ou l'agriculture, qui sont adressés *franco* à M. le Directeur de l'École des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères, à Paris.

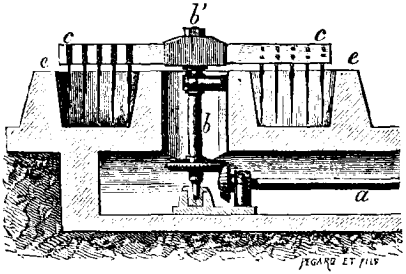
EFERUS - Recherche & Classification numérique

la plus fine se trouvent réunies. Il serait vivement à désirer qu'une très-grande usine à ciment s'établit dans cette localité; elle aurait à bas prix, relativement, le coke des usines à gaz, le meilleur des combustibles pour la fabrication du ciment à prise lente, et pourrait fournir avec économie des produits excellents, dont la consommation locale serait considérable, et dont l'expédition, à grande distance, serait facile par la Seine, les canaux et les chemins de fer.

Dans d'autres parties de l'Angleterre, en Allemagne et en France, on emploie pour fabriquer le ciment Portland des marnes calcaires de compositions différentes, mêlées ensemble ou additionnées de craie pure ou d'argile, de manière à obtenir un mélange présentant exactement à l'état sec la composition nécessaire, c'est-à-dire environ 78 p. 100 de carbonate de chaux, et 22 p. 100 d'argile et quelques centièmes d'oxyde de fer et d'alcalis. Ces mélanges sont toujours faciles à former quand on connaît la composition d'une matière trop riche en argile et d'une autre trop riche en calcaire. Le calcul le plus simple permet de déterminer leur proportion relative.

Quels que soient les matériaux employés, s'ils doivent être mélangés pour présenter la composition voulue, il faut qu'ils se délaient facilement dans l'eau, et qu'ils se réduisent sans difficulté en poussière impal-

Fig. 1. — Mélangeur (coupe).



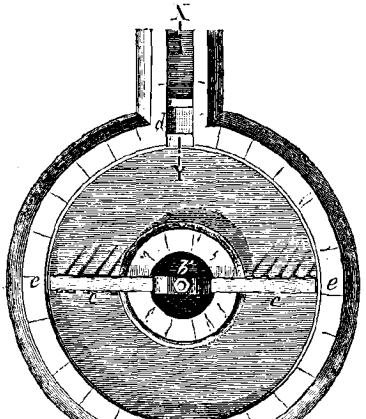


Fig. 2. — Mélangeur (plan).

pable, condition essentielle de la bonne préparation du mélange.

Le *mélange intime*, en proportion convenable, des matières à employer est la première opération de la fabrication des ciments à prise lente. Ce travail s'exécute ordinairement dans un bassin annulaire *ee* (fig. 1 et 2) pavé avec de grandes pierres très-dures. Deux grands râteaux à dents en fer dont les pointes sont aciérées *cc*, excessivement solides, tournent dans cette auge et agitent violemment dans l'eau qui la remplit les matières calcaires et argileuses. Ce mouvement et le frottement qui en résulte réduit assez vite le mélange en une bouillie très-claire, ou plutôt en un lait argilo-calcaire parfaitement homogène. Les râteaux font habituellement 12 tours par minute dans une fosse annulaire dont le diamètre est de six mètres environ.

On attache quelquefois avec des chaînes aux bras mobiles qui portent les râteaux de lourdes herses en fer qui traînent au fond de l'auge et ajoutent leur action à celle des râteaux. Dans certaines fabriques on supprime même complétement les râteaux, et deux herses pesant chacune 3 à 400 kilog., entraînées au fond de l'auge par les bras horizontaux indiqués par la figure, exécutent parfaitement le mélange et la trituration des matériaux employés.

Pour une petite fabrication, on pourrait même exécuter le mélange avec l'auge à roue, décrite à l'article MORTIER.

L'auge circulaire, où se meuvent les râteaux, ou les herses en fer dont on vient de parler, est alimentée d'eau par un fort tuyau garni d'un robinet pour régulariser l'écoulement. Elle présente sur un de ses bords extérieurs une échancrure de 0m,50 à 0m,60 de largeur, formant déversoir. La surface de ce déversoir est arasée au niveau occupé par l'eau en repos dans le bassin (fig. 3). Une

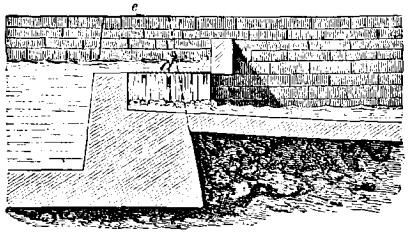


Fig. 3. — Coupe suivant XY de la figure 2, du déversoir d'écoulement et de sa toile métallique.

toile métallique très-fine *d* prolonge horizontalement le bord du déversoir et s'étend sur une longueur de 0m,80 à 1 mètre au-dessus du canal d'écoulement du liquide boueux argilo-calcaire. Lorsque l'appareil fonctionne, le passage des râteaux ou des herses produit une sorte de vague qui s'élève au-dessus du niveau du liquide en repos, et qui dépasse par conséquent le déversoir et tombe dans le canal d'écoulement à travers la toile métallique *d* destinée à retenir les corps flottants d'un certain volume qui pourraient se trouver accidentellement contenus dans le liquide.

Les sables, graviers ou noyaux résistants qui pourraient se trouver dans les matières employées ne sont jamais soulevés par la vague liquide qui franchit le déversoir, et restent nécessairement au fond de l'auge circulaire, d'où on les extrait à l'aide d'une vanne de fond spéciale, ou simplement à la pelle lors des interruptions du travail.

La mise en marche de l'appareil mélangeur que l'on vient de décrire, exige une force de 6 à 10 chevaux-vapeur. On peut traiter par journée de travail de 35 à 45 tonnes de matière selon que le produit est plus ou moins facile à pulvériser et à mélanger. La machine est servie par 3 ou 4 ouvriers, dont un surveillant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les matières calcaires ou argileuses sont versées régulièrement à la brouette, ou autrement, dans l'auge circulaire, et sans interruption pendant le mouvement de rotation de la machine ; l'eau y est amenée par le tuyau d'alimentation, et le lait calcaire s'écoule régulièrement par le canal d'échappement. Le travail est ainsi parfaitement continu. Le chargement de l'auge en argile et en calcaire, ou autres matériaux équivalents, exige une attention continuelle : le succès de toute la suite de la fabrication dépend de ce point de départ. Ainsi qu'on l'a déjà dit, la composition chimique des ciments à prise lente ne peut varier que dans des limites excessivement étroites, et, par conséquent, la proportion relative des matériaux employés est exactement déterminée. Si on employait des matières parfaitement sèches, il suffirait donc de les peser pour faire un mélange bien défini, mais en pratique l'humidité des marnes et des argiles varie d'un instant à l'autre. On ne peut donc pas procéder par pesage et on opère par mesurage en volumes, méthode qui ne comporte, dans ce cas, quelque exactitude qu'autant qu'elle est suivie avec une attention soutenue.

Dans les fabriques importantes et bien dirigées, l'ouvrier qui surveille l'appareil à mélanger, prélève tous les quarts d'heure deux litres du liquide sortant de la machine. On réunit 4 ou 8 puisages successifs, et on analyse sommairement la matière solide contenue dans ce liquide, ou bien on en forme une briquette que l'on cuit dans un four spécial et dont on examine la qualité. Le fabricant parvient ainsi à suivre exactement sa fabrication et peut corriger en temps utile les erreurs de dosage qui tendraient à se produire.

La bouillie très-claire qui sort du mélangeur est conduite par une rigole convenable (fig. 2 et 3) dans une série de bassins placés les uns à côté des autres et construits en briques ou en maçonnerie ordinaire. Ces bassins ont ordinairement de 0m,90 à 1 mètre de profondeur, 30 mètres de longueur et 20 mètres de largeur. Chacun d'eux est muni d'une petite vanne servant à écouler l'eau claire lorsque les matières solides se sont déposées au fond par l'effet du repos. On amène de nouveau liquide trouble qui dépose une seconde couche de matière solide sur la première, et on continue ainsi jusqu'à ce que le bassin soit rempli.

Le nombre de ces bassins de dépôt varie avec l'importance de la fabrication. Il faut qu'ils puissent recevoir le produit de 55 à 65 journées de travail.

Lorsque le mélange a acquis la consistance d'une pâte molle, on le brasse énergiquement à l'aide de griffes en fer, pour assurer l'homogénéité du produit que le dépôt par ordre de densité de certaines substances aurait pu modifier, aussi bien que les erreurs de dosage. L'évaporation et l'infiltration enlèvent l'eau en excès, et peu à peu le mélange argilo-calcaire prend assez de consistance pour que l'on puisse avec une bêche ou un louchet le diviser en briquettes, dont la dessiccation se termine en plein air si le climat le permet ou sous des hangars.

Quand le combustible est à bon marché, on accélère l'évaporation en faisant passer au fond des fosses des tuyaux de fumée et d'air chaud, et la dessiccation s'obtient en plaçant le mélange, aussitôt qu'il peut s'enlever à la bêche, sur des plaques en métal chauffées par des foyers spéciaux ou par la chaleur perdue par les fours à coke, si l'usine fait elle-même son coke, ou enfin par la chaleur perdue des fours à cuire le ciment.

L'emploi de la chaleur artificielle pour sécher le mélange argilo-calcaire permet de gagner beaucoup de temps, de travailler même en hiver et de diminuer considérablement l'étendue des bassins de repos et des hangards de séchage. Certains fabricants pensent que le chauffage à 80 ou 100° des matières pâteuses, améliore leur qualité, rend la cuisson plus facile et plus régulière. Je ne saurais citer à cet égard d'expériences absolues, mais de nombreux essais et l'observation attentive de certains faits me portent à partager cette opinion, tout au moins en ce qui concerne les mélanges de craie et d'argile pure.

Les procédés que l'on vient de décrire pour préparer les matières destinées à produire par la cuisson le ciment à prise lente sont employés en France et en Angleterre d'une manière générale. M. Lipowitz, dans son *Traité allemand de la fabrication des ciments*, indique une autre méthode utile à faire connaître en peu de mots.

Les marnes ou autres matériaux choisis pour la fabrication sont d'abord complétement desséchés dans un four. On les réduit alors en poudre fine en les faisant passer d'abord dans un casse pierre, d'une forme spéciale, puis sous deux lourdes meules verticales, et enfin dans un moulin à farine à meules horizontales.

La poudre très-fine ainsi obtenue est arrosée avec une faible dissolution alcaline et versée dans un tonneau à mortier, avec une très-petite quantité d'eau, et sort, à la base de ce tonneau, sous forme de briquettes en pâte ferme. Ces briquettes sont dessséchées et soumises à la cuisson.

La méthode de M. Lipowitz présente sur celles que nous avons décrites avec détails, plusieurs avantages. En opérant sur des matières sèches le dosage peut être fait avec une grande exactitude; elle supprime les bassins de dépôt et les pertes de temps et d'espace qu'ils entraînent; elle fournit la matière en fragments plus réguliers qui doivent donner un ciment d'une cuisson plus uniforme. Mais, d'un autre côté, les procédés de M. Lipowitz exigent beaucoup plus de force mécanique pour la mise en marche des appareils de broyage que la méthode par voie humide, et, pour certaines marnes, il est difficile d'admettre que le broyage mécanique puisse atteindre l'extrême finesse que procure, presque sans dépense, le délayage et l'agitation à grande eau. Quoiqu'il en soit, on conçoit que la fabrication par voie sèche puisse être utilement appliquée dans certaines circonstances déterminées : par exemple, quand le temps et l'espace font défaut et que la saison est mauvaise; il convenait par conséquent de la signaler.

§ II. *Cuisson.* La cuisson du ciment exerce sur sa qualité la plus grande influence; elle peut, jusqu'à un certain point, corriger une certaine erreur sur la composition chimique normale du composé, et c'est à elle, dans tous les cas, qu'il doit la densité considérable que présentent les produits de bonne qualité.

La cuisson du ciment à prise lente n'a pas seulement pour objet de chasser l'acide carbonique du calcaire, elle doit encore déterminer entre ses éléments une combinaison intime et produire un commencement de vitrification à la surface des fragments. Cette opération exige de la part des ouvriers cuiseurs une grande expérience et une extrême attention.

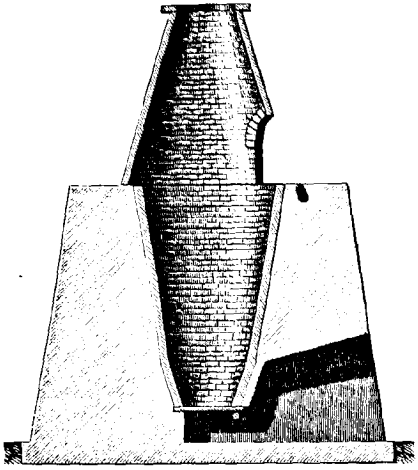
Les fours les plus habituellement employés en France et en Angleterre ont la forme d'un tronc de cone, ou sont formés par la réunion de plusieurs troncs placés les uns à la suite des autres (fig. 4 et 5). Le gueulard est surmonté d'une coupole ou d'une partie conique destinée à régulariser le tirage. Si l'on doit utiliser la chaleur perdue du four, il est entièrement fermé à sa partie supérieure, et communique avec la cheminée d'appel par des rampants sur lesquels on effectue, comme on l'a déjà dit, la dessiccation de la matière pâteuse avant de la réduire en fragments.

La cuisson du ciment dans ces fours a lieu à feu intermittent. On dispose sur la grille quelques fagots, puis une certaine épaisseur de gros fragments de coke pour faciliter l'allumage, et au-dessus, jusqu'à la partie supérieure du four, des couches alternatives de coke et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de matière à calciner réduite en fragments n'excédant pas la grosseur du poing.

Fig. 4. — Coupe verticale d'un four à ciment.



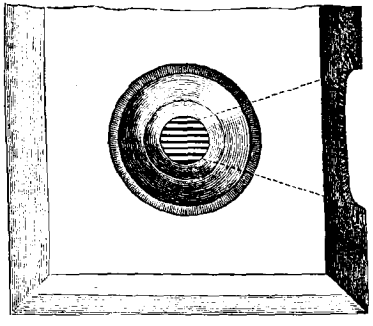


Fig. 5. — Plan du four à ciment fig. 4.

Quand la cuisson est terminée on laisse refroidir la masse, et on défourne en enlevant les barreaux de fer, de 0m,05 d'épaisseur, qui forment la grille.

La dimension des fours varie avec l'importance de la fabrication et aussi avec les habitudes locales; on en construit qui renferment jusqu'à 60 tonnes de ciment cuit, et d'autres qui n'en fournissent que 6 à 7 tonnes à chaque opération. Les fours contenant de 20 à 25 tonnes de ciment cuit sont les plus généralement adoptés. La cuisson d'un four de cette capacité dure de 24 à 50 heures, quand tout va bien. Le refroidissement exige deux à trois jours.

On peut cuire le ciment à la houille, mais le coke est de beaucoup le meilleur combustible pour ce genre de fabrication. La proportion de combustible à employer varie selon la qualité, la nature de la matière employée et son degré de sécheresse au moment de l'enfournement: en moyenne, on admet qu'il faut brûler dans le four de 200 à 350 kilog. de coke par tonne de ciment cuit obtenu. Mais, on le répète, l'expérience de l'ouvrier cuiseur peut seule lui apprendre la meilleure proportion de coke à employer dans chaque cas particulier, pour obtenir la cuisson la plus uniforme dans toutes les parties du four et le moindre déchet.

On doit rechercher des combustibles bien privés de sulfures, dont l'influence sur le ciment est très-mauvaise. La température de cuisson du ciment est beaucoup plus élevée que celle qui est nécessaire à la cuisson de la chaux.

Les fours à ciment doivent être solidement établis. Le massif extérieur doit être fortement contreventé, et au besoin entouré de ceintures en fer. — La chemise intérieure est formée de briques réfractaires. Pour les conserver plus longtemps et éviter leur adhérence avec la masse de ciment, on les enduit de temps en temps d'un badigeon de la matière même qui sert à la fabrication du ciment. Les fours sont ordinairement réunis en plus ou moins grand nombre dans un même massif. Ce massif a été interrompu dans la fig. 5 par une ligne d'arrachement.

La proportion de chaleur perdue par les fours intermittents que l'on vient de décrire est très-considérable, et, comme la cuisson est un des éléments principaux de la dépense de la fabrication des ciments à prise lente, il serait très-désirable que l'on perfectionnât la construction des fours. Les essais de cuisson à feu continu, dans des fours coulants, n'ont réussi que très-médiocrement; le retrait considérable de la matière pendant la cuisson et le commencement de fusion qu'elle éprouve rendent en effet le problème difficile à résoudre. Il est probable que la solution de la cuisson économique du ciment à prise lente s'obtiendra par l'application à ce travail particulier des fours Siemens. Dans son ouvrage, déjà cité, M. Lipowitz parle avec beaucoup d'éloges du four sans fin qu'il a fait construire en perfectionnant les dispositions employées par Hoffman et Licht. (Voy. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.) Les fours de cette espèce se composent, comme on sait, d'une série de compartiments que l'on chauffe à tour de rôle, chacun d'eux pouvant à volonté communiquer avec une cheminée ou un ventilateur aspirant, ou avec les compartiments précédents. L'air arrive au compartiment en feu après avoir traversé les compartiments qui viennent de servir à une cuisson; il s'échauffe et utilise ainsi la chaleur du refroidissement, tandis que les produits de la combustion du compartiment en feu commencent à échauffer, en se dégageant, les matériaux des compartiments suivants préalablement remplis de la matière qui doit être soumise à la cuisson.

§ III. *Défournement et broyage.* Quelle que soit la disposition du four, on procède au défournement aussitôt que le ciment est à peu près refroidi. Les fragments sont soumis à un premier triage pendant le défournement; on rejette avec le plus grand soin tous les fragments mal cuits ou de mauvaise qualité, faciles à reconnaître à leur couleur, à l'aspect de leur surface, ou à leur défaut de densité.

Les fragments de bonne qualité sont transportés à l'atelier de broyage.

Les machines employées pour arriver à pulvériser le ciment sont de deux sortes : les premières sont chargées de réduire les morceaux sortant du four en petits fragments; les secondes réduisent en poudre fine le produit de cette première opération.

Le premier concassage du ciment peut être obtenu de différentes manières. Un simple moulin à noix conique peu aiguë, de très-solide construction, peut suffire dans une petite fabrique, mais cet appareil très-simple, il est vrai, est sujet à s'engorger ou à se briser, et nous n'en recommandons pas l'usage, malgré son bas prix d'achat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans beaucoup de fabriques, on concasse le ciment brut en le faisant passer dans un double jeu de cylindres broyeurs analogues à ceux employés pour écraser les os. Les cylindres de ces lamnoirs sont formés d'une série de rondelles dentées en fer aciéré ou en fonte dure, montées sur un même arbre carré de forte dimension. L'isolement des rondelles rend facile leur remplacement en cas d'usure ou même de rupture de dents. Cet appareil donne de bons résultats et n'a d'autre inconvénient que les fréquentes réparations d'entretien qu'il exige.

Un moulin à meules, à roues verticales très-pesantes, en fonte ou en granit, constitue également un excellent instrument de concassage.

Dans les très-grandes usines on emploie une véritable machine à briser les pierres pour commencer le concassage, et on le termine avec le moulin à meules verticales.

Cette dernière disposition est très-convenable et assure au travail la régularité la plus satisfaisante.

Quels que soient les appareils employés au concassage, le produit doit passer sur un crible qui retient les fragments trop volumineux que l'on soumet à un second passage dans les concasseurs.

La matière réduite ainsi en fragments suffisamment petits est portée à la machine qui doit la réduire en poussière impalpable. Le meilleur instrument, et à peu près le seul employé pour cette deuxième opération, est un moulin à meules horizontales disposées comme les meules d'un moulin à farine ordinaire.

La poussière en sortant des meules passe dans un bluteau ordinaire, qui fournit enfin le ciment prêt à ensacher ou à mettre en baril pour la vente.

Le ciment trop gros pour passer à travers le bluteau est naturellement reporté à la trémie des meules pour subir un second broyage.

Les meules des moulins à ciment ont de $1^m,20$ à $1^m,50$ de diamètre, leur vitesse doit être de 100 à 120 tours par minute. On les construit en bonnes pierres meulières de la Ferté-sous-Jouarre ou autres pierres analogues. Ces meules ont besoin de fréquents rhabillages, et il faut compter qu'il y a presque toujours un beffroi en réparation sur trois en mouvement.

Chaque paire de meules absorbe 6 à 8 chevaux-vapeur et peut pulvériser 12 à 15 tonnes de ciment en douze heures de travail.

Propriétés, essais et emploi des ciments. — L'analyse chimique des ciments ou des matériaux employés à leur fabrication s'exécute, comme on l'a déjà dit, par des méthodes semblables à celles indiquées à l'article MORTIER, et sur lesquelles il est inutile de revenir ici. On se bornera donc à indiquer les caractères que doivent présenter les bons ciments, et les moyens employés pour les constater et vérifier la résistance du produit.

Les ciments bien préparés sont d'un gris plus ou moins foncé, légèrement verdâtre, en poudre la plus fine possible. On doit rejeter tout ciment laissant une quantité appréciable de résidu sur un tamis en toile métallique n° 2 de 185 largeurs de maille au moins au décimètre.

La densité d'un ciment est un des indices les plus sûrs de sa bonne qualité. On ne doit jamais acheter ce produit qu'au poids; et les ingénieurs devraient toujours, dans les devis, indiquer la composition des mortiers de ciment en poids, et non pas en volume, pour ne pas exciter les entrepreneurs à employer des ciments légers. L'hectolitre ras et non tassé pèse de 14 à 1600 kil. pour des ciments de très bonne qualité destinés aux travaux de sujétion, et de 1300 à 1400 kil. pour les travaux ordinaires. On doit refuser tout ciment pesant moins de 1200 kil.

Des mortiers formés de 2 de sable pour 1 de ciment ont donné les résultats suivants :

	RÉSISTANCE A L'ARRACHEMENT APRÈS			
	5 jours.	15 jours.	1 mois.	3 mois
Mortier de ciment pesant 1200 kil. le m. c.	51k	76k	90k	130k
Mortier de ciment pesant 1500 kil. le m. c.	78	130	150	196

L'analyse que j'ai faite de ces deux ciments, vendus comme ciments à prise lente, m'a donné :

	CIMENT PESANT	
	1200	1500
Silice	26.30	24.45
Alumine et peroxyde de fer.	8.75	8.70
Chaux	62.35	65.60
Acide sulfurique	0.35	0.45
Alcalis et perte	2.25	0.80
	100.00	100.00

Ces analyses démontrent nettement que le deuxième échantillon se rapproche seul du vrai type Portland; le premier échantillon est beaucoup plus voisin de la composition des ciments à prise rapide, analogues aux ciments dits romains de Pouilly, de Vassy, etc. J'ai ensuite délayé deux grammes de chacun de ces ciments dans un demi-litre d'eau contenant 10 grammes de nitrate d'ammoniaque. Après 24 heures de contact, le ciment léger avait abandonné 0,825 de chaux, et le ciment lourd $0^g,565$ seulement : ainsi l'attaque était d'autant moindre que la qualité était meilleure et la densité plus considérable.

De ces expériences, et de beaucoup d'autres, on peut conclure avec certitude que, dans l'état actuel de la fabrication des ciments, il est impossible de réunir à coup sûr, dans un même produit, la légèreté et les précieuses qualités du véritable ciment de Portland. On doit donc proscrire des chantiers les ciments légers.

Tout ciment qui ne présente pas une ténuité suffisante et une pesanteur assez forte est de mauvaise qualité, mais ces deux propriétés ne suffiraient pas seules pour garantir que la poudre examinée jouit de toutes les propriétés du bon ciment. Il faut faire un essai direct en faisant du mortier de ciment, et s'assurer qu'il prend avec le temps une résistance suffisante.

A cet effet, on moule le mortier sous forme de briquettes ayant la forme indiquée fig. 6. On laisse durcir



Fig. 6. — Briquette d'essai de mortier de ciment.

ces briquettes dans le sable humide ou dans l'eau. Après un nombre de jours déterminé, on place la bri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quette dans un étrier fixe, fig 7. On suspend au-dessous un plateau que l'on charge de poids jusqu'à ce que la rupture ait lieu.



Fig. 7. — Briquette placée dans les étriers pour l'essai de sa résistance à l'arrachement.

On se borne quelquefois à essayer la résistance du ciment, en collant des briques à plat les unes à la suite des autres avec le produit à examiner, fig. 8.

Avec de bon ciment pur, on peut, après une huitaine de jours, laisser la poutre en porte à faux, fig. 8, sur une longueur de $2^m,64$ et la charger en outre à son extrémité d'un poids de 6 à 8 kil. Avec du mortier fait avec le même ciment mêlé à son volume de sable, la longueur de la poutre placée en porte à faux se réduit à $2^m,07$. Le poids placé à l'extrémité étant encore, comme dans la première expérience, de 7 à 8 kil. (fig. 3).

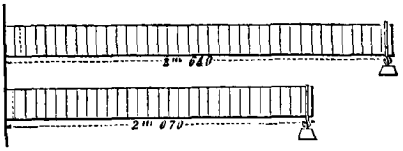


Fig. 8. — Briques collées avec du ciment.

Dans les fabriques de ciment, dans les laboratoires de recherches et sur les chantiers importants, on évite d'avoir à charger un plateau de poids, opération toujours délicate et fatigante, en le remplaçant par un vase jaugé où l'on fait arriver de l'eau. On se sert avec plus d'avantage encore d'un fléau de romaine, disposé spécialement pour cet usage, fig. 9.

La briquette à essayer B est saisie par un étrier supérieur porté par le petit bras du fléau de romaine et par un étrier inférieur retenu par un crochet que l'on amène à la longueur nécessaire à l'aide de l'écrou D. On place dans le plateau des poids A en quantité insuffisante pour déterminer la rupture, puis on fait avancer le poids P sur le levier jusqu'à ce que la briquette se brise. Ce mouvement du poids P s'obtient à l'aide d'une fourchette entraînée par une vis à pas allongé, mise en mouvement par la manivelle C'. Après la rupture, on ramène le poids par un mouvement rapide imprimé à la manivelle C, et l'on peut recommencer l'expérience.

Le mortier formé d'une partie de ciment et de deux parties de sable ne doit pas faire prise en moins de 6 à 10 heures, et la briquette d'essai ayant $0^m,04$ de côté dans sa partie la plus étroite, ou 16 centimètres

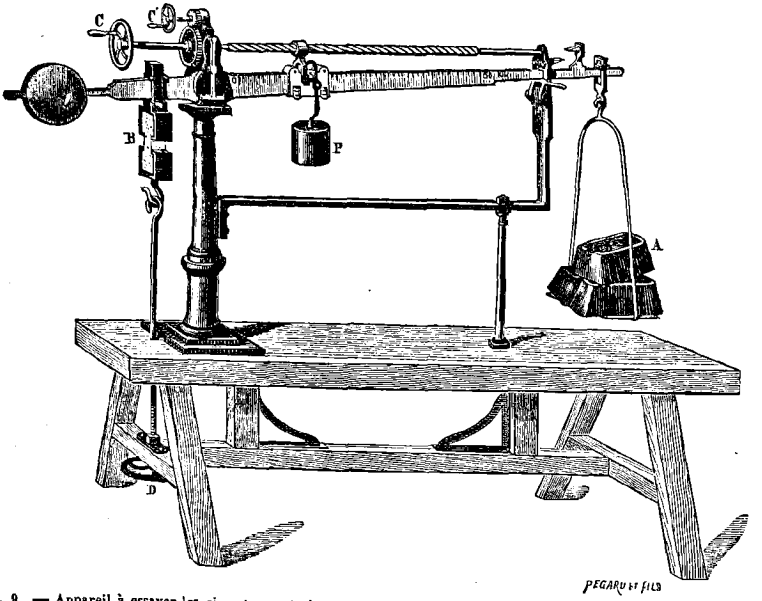


Fig. 9. — Appareil à essayer les ciments construit par M. Sue, pour le laboratoire de l'École des ponts et chaussées, sur les indications de M. Mangon.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

carrés de section, doit supporter après cinq jours de fabrication au moins 70 kilos sans se rompre.

Les applications du ciment de Portland sont extrêmement multipliées. Le mortier de ciment est à peu près aussi facile à employer que le mortier de chaux hydraulique. Les maçonneries en ciment de Portland sont d'une solidité à toute épreuve et résistent même à l'action de l'eau de mer. C'est avec le ciment que l'on exécute ces voûtes si légères et si hardies qui font aujourd'hui l'étonnement des constructeurs. Il sert à maçonner et à enduire les grands réservoirs d'eau des villes, il donne des enduits aussi fins et des moulures aussi délicates que le plâtre, et d'une inaltérabilité absolue; il sert à exécuter des dallages d'une dureté comparable à celle des pierres les plus résistantes, et d'un prix des plus modiques. Enfin, il entre dans la composition des *bétons agglomérés* de M. Coignet, employés en si grande quantité dans les travaux de Paris, et en particulier dans l'établissement du grand aqueduc de dérivation des eaux de la Vanne. H. MANGON.

MOUCHE. Nous avons vu, à l'article ASTICOTS, comment la chair des animaux morts, au lieu de se transformer en produits putrides, pouvait servir au développement d'une multitude de larves, qui, parvenues à un état de grosseur suffisante, se transforment en mouches. Munies d'ailes, elles paraissent destinées à remplir le même rôle qu'en venant au monde, c'est-à-dire qu'elles vont faire leur nourriture de tous les produits animaux en putréfaction, et d'après une double application de la loi de Malthus, grâce à la facilité de leur multiplication et à celle de leur nourriture, leur nombre se multiplie en raison des substances animales qu'il importe de faire disparaître; c'est ce que l'on reconnaît facilement exister, au moins dans les conditions normales, dans celles des contrées salubres où subsistent les proportions d'eau et de chaleur convenables pour l'entretien de la végétation.

Les mouches, après une courte existence, arrêtée le plus souvent par les toiles des araignées qui couvrent les cultures, viennent apporter sur les terres les principes azotés des substances animales qui ont contribué à leur existence. Elles remplissent donc, on le voit, un rôle souvent utile, qui échappe facilement à l'observation, à cause de la petitesse de ces insectes, mais qui n'en est pas moins réel, vu leur multitude.

MOULINS A MARÉE. Le mouvement périodique d'élévation des eaux de l'Océan est un immense réservoir de travail moteur dont l'utilisation industrielle a été à peu près nulle jusqu'ici. L'élévation des eaux n'ayant lieu que toutes les douze heures, et variant avec la position de la lune, on n'a pas là une source de travail qui convienne à la régularité des travaux de l'industrie moderne. Toutefois la gratuité de cette source de travail (qui ne peut néanmoins être utilisée qu'avec des dépenses d'établissement et d'entretien fort notables) l'a fait utiliser dans quelques circonstances spécialement favorables, pour la mouture des grains.

La question mérite quelque attention, malgré sa minime importance actuelle, parce qu'il n'est pas douteux que le jour où l'on découvrira un moyen d'accumuler du travail (un des *desiderata* de l'industrie), de manière à le rendre transportable, comme de la houille, on pourra songer à exploiter sur une grande échelle cette source indéfinie de travail.

C'est sur les côtes granitiques, comme celle de la Bretagne, où les ensablements ne sont pas à craindre, que l'on a établi des moulins à marées. Ils consistent essentiellement dans un canal communiquant avec la mer servant à remplir un réservoir à la marée haute, dont l'eau se vide à la marée basse par un canal où elle met en mouvement la roue d'un moulin.

MUSÉE D'ART INDUSTRIEL. *De l'importance de l'art industriel.* — Il y a à peine quelques années, lorsqu'on se proposait de développer l'industrie française, de seconder les efforts de nos producteurs pour rivaliser avec ceux des nations les plus avancées et de les dépasser, s'il était possible, les mesures que l'on proposait et que l'on adoptait, se rapportaient exclusivement à la vulgarisation des moyens de fabrication les plus parfaits, à l'amélioration de l'enseignement des sciences industrielles. C'était par des missions de nos ingénieurs à l'étranger, par l'introduction de machines et d'appareils perfectionnés, par la création de cours de mécanique, de physique et de chimie que l'on tendait vers le but indiqué. L'expérience a prouvé que ces efforts avaient été utiles, et les progrès si merveilleux de nos industries mécaniques et chimiques ont amplement justifié l'utilité du concours qui a pu leur être prêté par le genre de mesures dont nous parlons.

Étaient-elles les seules qu'il fût possible d'adopter pour favoriser les progrès de l'industrie? On eût sans hésitation répondu affirmativement il y a quelques années, et on eût été fort étonné d'entendre quelqu'un soutenir qu'il y eût une autre œuvre possible que la vulgarisation des connaissances scientifiques qui forment la théorie des procédés industriels; de la mécanique qui fournit la théorie des machines et donne les règles de leur construction; de la chimie qui apprend les lois qui président à la transformation des corps, à leurs réactions mutuelles. Cependant aujourd'hui la réponse serait tout autre, et il est parfaitement démontré que si la vulgarisation des sciences est une condition essentielle d'un grand développement industriel chez une nation, elle n'est pas la seule; il en est une seconde d'égale importance, c'est la diffusion du sentiment du beau, c'est l'état prospère des beaux-arts.

Sans entrer ici dans l'étude d'une question analysée en détail dans l'Essai sur l'art industriel qui termine ce volume, nous rappellerons seulement une vérité universellement admise en disant que : si en France la notion de l'importance de l'intervention de l'art dans l'industrie est restée longtemps latente en quelque sorte, c'est qu'elle paraissait toute naturelle. Le talent de nos nombreux artistes formés dans des écoles justement célèbres, la splendeur des musées de la capitale, fréquentés les jours de fêtes par la classe laborieuse, l'éclat du luxe des classes riches dans une société où le goût de briller est dominant, ont rendu vulgaire une certaine connaissance des questions d'art, ont élevé assez haut le niveau des diverses fabrications artistiques pour que la France y ait conquis une véritable supériorité. Aussi, lorsque à l'Exposition universelle de Londres en 1851, les produits de l'industrie des diverses nations furent mis en présence, ceux de notre pays se distinguèrent-ils d'une manière toute spéciale et furent-ils proclamés les plus élégants, ceux du goût le plus pur.

L'industrie anglaise n'avait cependant en rien déchu: c'était toujours l'industrie des grandes machines, des puissantes fabrications, et si la supériorité lui échappait pour certains produits, c'était bien certainement parce que, dans ces cas, elle ne résultait pas des progrès de la mécanique ou de la puissante organisation des ateliers, car ils n'avaient pas cessé d'être dignes d'admiration dans ce pays tout industriel. C'était, en effet, d'art qu'il s'agissait, et, sous le bénéfice d'exceptions importantes, l'élégance des poteries de Wedgwood, par exemple, le goût tenait une moindre place que la mécanique dans l'industrie anglaise.

Aussi sans s'aveugler par un sot amour-propre, les Anglais se proposèrent de mettre à profit l'enseignement qui ressortait clairement de la comparaison des produits de l'industrie des diverses nations à l'Exposition de 1851, et avec leurs grandes facultés d'organisation pratique songèrent à développer dans la nation anglaise les fa-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cultés artistiques qui lui faisaient défaut. Les mêmes mesures qui peuvent les conduire à ce résultat ne doivent pas nous être moins utiles pour accroître celles que les Français peuvent posséder; nous avons donc le plus grand intérêt à les étudier, à en apprécier la valeur pour les imiter s'il y a lieu.

Elles peuvent en réalité se réduire à des fondations de deux genres principaux: l'organisation de nombreuses écoles de dessin, dont l'utilité est bien connue et qui doivent être assez multipliées pour que, dans toutes nos villes industrielles, l'enfant s'initie à la langue universelle pour tout ce qui se rapporte au goût; et la fondation des musées d'art industriel de Kensington et du Cristal Palace de Sydenham, musées tout différents de ceux que nous possédons et que représentent ceux du British-Museum ou de la National Gallery de Londres. C'est sur ce nouveau genre de musée, fondé en Angleterre à côté d'autres semblables aux nôtres, qui paraissent donc ne pas s'exclure les uns les autres, que nous voulons attirer l'attention. Sans prétendre que par de semblables mesures une nation, plus remarquable en général par le bon sens et l'esprit pratique que par l'imagination, va être transformée en un peuple d'artistes; elle doit en retirer d'excellents effets. Il est déjà certain que l'industrie anglaise a fait des progrès très-remarquables depuis que les questions d'art sont à l'ordre du jour, et le voyageur qui voit aujourd'hui Londres et la société anglaise ne peut manquer de reconnaître que toutes les créations récentes, les nouvelles constructions, le mobilier, les toilettes des dames notamment, y sont d'aussi bon goût, en général, que dans aucune autre capitale de l'Europe.

C'est autour d'un véritable musée d'art industriel, l'œuvre capitale pour la vulgarisation des connaissances que doit posséder l'artiste industriel, pour l'épuration du goût du public qui doit juger ses œuvres, que viennent naturellement se grouper les fondations propres à assurer un puissant enseignement des arts du dessin, ainsi que l'ont fait les Anglais à Kensington. Il faut créer un milieu où les vocations réelles viennent se développer et l'éducation des véritables artistes se compléter. C'est ce que fait déjà si heureusement l'École des beaux-arts, au grand profit des progrès et de l'avenir des beaux-arts en France. Si on ne comprend pas l'enseignement de la première des industries artistiques, de l'architecture, sans un musée, une école, des prix, etc., pourquoi l'orfévrerie, la sculpture sur bois, la gravure industrielle, etc., ne seraient-elles pas développées par les mêmes moyens?

De l'utilité d'un musée industriel. — J'insisterai sur l'utilité de la création d'un Musée d'art industriel, et à cet effet je demanderai la permission au lecteur de le ramener encore un instant au point de vue auquel je me suis placé au début, à la considération des institutions diverses propres à aider aux progrès de l'industrie. Si nous cherchons d'abord à analyser les moyens employés pour répandre les connaissances scientifiques, nous trouvons des cours nombreux, appuyés de magnifiques collections de machines comme celles qui font la richesse du notre Conservatoire des arts et métiers. A quelles sciences se rapporte cet ensemble? A des sciences positives, mathématiques, dont toutes les théories découlent d'un petit nombre de propositions d'un ordre supérieur; à des sciences qui permettent par de simples déductions logiques de calculer d'une manière certaine tous les éléments des applications, par exemple toutes les dimensions des pièces qui entrent dans l'exécution d'une construction voulue. Sans entrer dans des détails plus précis, et d'ailleurs bien connus, ce que je tiens à établir, c'est que même pour cet ordre de connaissances, pour l'acquisition desquelles des livres paraîtraient pouvoir suffire, on a jugé nécessaire de créer un musée considérable de modèles. En contestera-t-on l'utilité? nous ne le pensons pas. Il n'est pas une personne élevée à Paris qui ne se rappelle l'admiration qu'a excitée en elle la vue de toutes ces ingénieuses machines, lorsque enfant elle les a visitées pour la première fois; les utiles leçons qu'elle a été y chercher, si, ayant eu quelque jour une velléité d'inventer quelque chose, si, désirant un éclaircissement sur une question relative à quelque question de machines, elle est retournée parcourir ces riches collections. Je me rappelle qu'à mon arrivée à l'École polytechnique, lorsque nous causions entre camarades de la carrière que nous avions déjà parcourue, je fus étonné de voir combien était grand le nombre de ceux qui, comme moi, avaient souvent parcouru les galeries du Conservatoire, et y avaient trouvé les étincelles du feu sacré qui les avait animés et leur avait donné le courage de travailler énergiquement. C'est là, je crois, un des plus grands avantages que l'on doit reconnaître aux collections publiques, que de déterminer et de seconder chez les jeunes intelligences le développement d'une féconde énergie, de faire éclore les vocations chez des enfants qui deviennent les citoyens qui sont, plus tard, l'honneur et la richesse d'un pays.

Si nous passons maintenant aux connaissances sur lesquelles repose encore la prospérité industrielle d'un pays, à celles qu'utilise dans leur développement complet le talent des grands artistes, nous ne trouvons rien de comparable aux ressources que présentent les sciences d'ordre mathématique. Il n'y a plus possibilité de déduire, d'une manière rigoureuse, toutes les règles d'un premier principe; on est dans la région du sentiment, et non plus dans celle du raisonnement logique. C'est assez dire que les livres, les cours n'ont plus la même importance pour faire sentir le beau que pour faire comprendre la vérité. En est-il de même des musées, des collections? Evidemment non, et ceux-ci deviennent mille fois plus utiles que dans le premier cas. Si la beauté ne peut se définir, se mesurer, si on peut seulement la sentir, comment peut-on mieux développer la faculté qui nous permet de l'apprécier, le goût qui nous met à même de juger, qu'en rassasiant la vue des chefs-d'œuvre de l'art, qu'en les étudiant sans cesse?

Lorsqu'il s'agit des beaux-arts proprement dits, la question ne peut être douteuse pour personne; chacun sait que c'est en s'exerçant dans nos musées à copier les tableaux des maîtres que nos jeunes artistes parviennent à se former, à dérober à ces maîtres quelque chose de leur faire, à force de les pratiquer. Or, il est facile d'établir que cette utilité est plus grande peut-être encore pour l'art industriel que pour les beaux-arts proprement dits, et cela à cause de la nécessité pour l'artiste industriel d'acquérir une connaissance complète des styles des diverses époques.

En effet, suivant que la marche de l'humanité a fait prévaloir des idées, des mœurs particulières dans les divers pays, l'architecture, les vêtements, les meubles, les bijoux, etc., tous les produits du travail, en un mot, se sont imprégnés des idées régnantes, et en sont devenus des manifestations. Il suffit de citer les noms de quelques styles: grec, renaissance, Louis XIV, mauresque, etc., pour définir des formes, des ornementations complétement distinctes, et la plus grande faute que puisse faire un artiste industriel, c'est de mélanger des éléments appartenant à ces styles différents; la première connaissance qu'il ait à acquérir, c'est d'être assez maître de chacun d'eux pour pouvoir exécuter une œuvre sans sortir du style adopté.

De là résulte la nécessité, pour un musée d'art industriel vraiment digne d'une grande nation et d'une grande industrie, d'être riche en monuments anciens et étrangers. Des œuvres purement modernes n'apprendraient que pour le présent, mais n'enseigneraient rien pour l'avenir, lorsque la marche des idées viendra rapprocher en quelque point l'époque actuelle d'une époque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

antérieure, et que le style ancien qui y correspond deviendra presque nécessairement le point de départ des œuvres d'art modernes.

L'utilité, la nécessité des musées d'art industriel, comme moyen capital d'assurer le développement d'intéressantes industries, en contribuant puissamment à l'éducation des artistes qui en assurent la supériorité, en leur fournissant de nombreux éléments de création, des thèmes excellents dont les variations élégantes séduisent le public, nous paraît si incontestable, qu'il nous semble inutile d'insister plus longtemps sur ce point. Nous passerons donc à la seconde partie de notre thèse, qui pourra peut-être quelque peu contribuer, sinon dans le présent, au moins dans l'avenir, lorsque les idées que nous venons d'exposer seront devenues tout à fait vulgaires, à faire penser à l'organisation d'un musée d'art industriel en France, digne de la splendeur des beaux-arts et de l'état avancé des industries artistiques dans notre pays.

Que doit être un musée industriel? — Pour arriver à établir d'une manière précise ce que doit être un musée d'art industriel, il faut d'abord arriver à bien déterminer le champ de cet art. On doit comprendre, sous la dénomination d'art industriel, tout emploi du goût, toute élégance apportée à la création d'un produit utile, ce qui revient en réalité à autant d'applications des beaux-arts proprement dits à la fabrication des objets qui servent à la satisfaction de nos besoins ou de nos plaisirs. Chaque partie des beaux-arts vient y coopérer d'une manière essentielle, et les maîtres qui par leurs travaux font la gloire d'une époque et fixent le goût, ont à coopérer utilement aux progrès de l'art industriel aussi bien qu'à ceux de l'art pur.

Les architectes n'ont pas seulement à élever de grands monuments propres à symboliser les aspirations d'une époque et à construire des édifices pour la postérité; bien plus souvent ils ont à édifier des maisons d'habitation, à en indiquer la décoration extérieure et intérieure, à diriger la fabrication des cheminées, des meubles, à demander à l'industrie qui profite de leurs conseils, les tapisseries, les papiers peints, etc., qui devront recouvrir les murs.

Les sculpteurs ne doivent pas seulement se livrer à la poursuite de la beauté manifestée par le corps humain, chercher à faire comprendre l'idéal par cette représentation matérielle, ils ont à se mêler aux travaux, à inspirer les nombreux artistes industriels qui se livrent à la production des produits usuels qui valent surtout par l'élégance des formes. Les orfévres, les bijoutiers, les fabricants de bronzes, de poteries et nombre d'autres rentrent dans ce cas. On sait qu'en Grèce, comme en Italie lors de la Renaissance, les sculpteurs étaient souvent aussi orfèvres, potiers, etc.; que Benvenuto Cellini n'est pas moins célèbre par ses bijoux, ses coupes, que par sa statue de Persée; et enfin, de nos jours, pour ne citer qu'un exemple entre beaucoup d'autres, nous avons vu notre célèbre sculpteur Pradier donner les modèles de délicieux bronzes pour ameublement, qui n'ont certes pas nui à sa juste renommée, et ont eu la meilleure influence sur les progrès d'une de nos plus brillantes industries.

Les peintres sont peut-être les artistes dont l'influence est la moins directe sur les produits de l'industrie, quand on se place au point de vue si élevé qu'ils ont à poursuivre, la représentation des sentiments. Sans doute dans quelques cas, la décoration consiste en de véritables tableaux, c'est le cas de certaines porcelaines de grand luxe; mais c'est là la réunion d'un objet d'art et d'un produit industriel, ce n'est pas de la décoration proprement dite. C'est surtout dans l'emploi de couleurs franches que celle-ci consiste, mais toutefois elle exige dans le tracé des contours, dans le mélange des tons, de véritables qualités de dessinateur et de coloriste. Il suffit de citer nos habiles dessinateurs industriels pour papiers peints, pour tapisseries et étoffes, pour châles cachemires, pour montrer combien l'industrie a encore là l'emploi de grands talents artistiques.

De ce rapide aperçu résulte nettement, qu'un musée d'art industriel doit être principalement sculptural. Les industries qui relèvent de la sculpture, la poterie, l'orfévrerie et les bijoux notamment, sont d'une grande importance à toutes les époques, et parfaitement suffisantes pour donner une notion complète des styles aux diverses époques. L'architecture ne peut guère être représentée dans un musée que par sa partie sculpturale. On peut y donner quelque idée de la cathédrale de Strasbourg par la représentation d'une porte et des sculptures qui la décorent; nul autre moyen de rappeler par quelque chose de praticable l'immense monument. C'est à cette conséquence que sont arrivés, par expérience, les architectes qui ont dirigé les constructions du palais de Sydenham, créé dans le but de propager la connaissance des grandes créations architecturales, dans lesquelles les styles sont le plus complétement matérialisés, et d'aider ainsi puissamment aux progrès de l'art industriel en Angleterre. En réalité, sauf la ravissante reproduction de l'Alhambra, que les petites dimensions de cet édifice rendaient possible, on peut dire qu'il n'y a eu de réussite dans la voie susindiquée, que quelques façades, quelques fragments de galerie sculptée; succès accru surtout par celui incontestable de la juxtaposition des statues célèbres de la même époque, obtenues par un surmoulage exact qui en a reproduit le mérite artistique.

Quant à la peinture, elle ne doit, ce nous semble, être nécessairement représentée que par des décorations, des tentures, des étoffes. Une galerie de tableaux donnant quelque idée des écoles diverses de peinture qui se sont succédé et de leur manière de faire, peut y être utilement annexée, mais ne paraît pas indispensable. Ce sont les musées d'art pur où ces collections seront toujours plus complètes, qui doivent fournir la base de cette partie de l'enseignement artistique; pour les dessinateurs industriels l'étude n'a pas besoin d'avoir la même étendue, ni d'être dirigée de la même manière.

Un musée d'art industriel doit donc, à notre avis, comprendre pour chaque époque quelques statues encadrées dans des constructions de style correspondant, dont on peut donner comme excellent exemple la Glyptothèque de Munich. Dans ce petit temple grec, à colonnes doriques, les statues grecques, toujours un peu petites, ont infiniment plus de charme que dans les rez-de-chaussée du Louvre de Louis XIV. A un choix de statues doivent se joindre les poteries, les verres, les bijoux, l'orfévrerie, les meubles, etc., tout ce qui tire son charme de la forme, de l'élégance des contours, et cela pour tous les styles, pour toutes les grandes époques de la vie de l'humanité. Ces objets ne peuvent être séparés de leur décoration par des couleurs, par émaux, peintures, etc., et la collection doit être complétée à ce point de vue par des étoffes, tapisseries, etc.

Des musées de Sydenham et de Kensington en Angleterre. — Si nous étudions ce qui a été fait en Angleterre dans la voie du genre de musée dont nous venons de parler, nous trouvons d'abord le palais de Sydenham, dont nous venons de parler, qui n'est pas même un musée dans l'acception que nous donnons à ce mot, mais plutôt une collection d'études et de surmoulages propres à donner une notion exacte des styles d'architecture. L'utilité manifeste de ce genre d'enseignement, la haute idée que tous les voyageurs rapportent de cette belle création, indépendamment de l'effet ressenti par une création splendide de jardins qui rappellent Versailles, dus à sir John Paxton, montrent surabondamment qu'il y a là quelque chose d'utile à imiter. On y sent la création réussie d'un cadre pour un véritable musée, le moyen

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de constituer le milieu harmonieux propre à faire valoir les éléments de tout genre que l'on peut posséder, les pièces authentiques des époques les plus reculées, les modèles les plus précieux, susceptibles d'inspirer le sentiment de l'art à cause de leur beauté et de leur antiquité.

Le second, le véritable musée d'art industriel qui a été créé en Angleterre après l'Exposition de 1851, et commencé à l'aide de dons de la reine et de riches citoyens, est le musée de Kensington. Il m'est impossible de décrire ce musée tel qu'il est ordinairement; je ne puis me le rappeler que bien plus beau, tel que je l'ai vu enfin dans une circonstance toute particulière. Le 6 juin 1862, le duc de Cambridge et la famille royale, assistés de la commission royale présidée par lord Granville, voulant faire honneur aux jurés des diverses nations de l'Exposition universelle, les invitèrent à une grande soirée qui fut donnée en leur honneur au musée de Kensington. Inutile de parler des conditions de toute fête, qui furent admirablement remplies: éclairage splendide à la mode anglaise, par un nombre infini de becs de gaz placés à la partie supérieure de vastes salles, musique excellente, nombreuse compagnie de dames en élégantes toilettes de soirée, rafraîchissements à foison dans les galeries de peinture placées au premier étage, tout cela n'était qu'une conséquence nécessaire de la position élevée des personnages qui offraient la fête. Mais ce qu'elle présentait de tout particulier, c'était que les vitrines renfermant les curiosités de l'art en forme de trophées, demeurées à leur place ordinaire, brillaient d'un éclat extrême, et qu'autour de chacune d'elles une nombreuse société demeurait sans cesse. On le comprendra facilement quand on saura que les possesseurs des plus belles collections d'œuvres remarquables, plusieurs lords possesseurs de galeries justement célèbres, avaient mis leurs collections à la disposition de la commission royale pour rehausser et compléter les richesses du musée. Aussi pouvait-on admirer des collections d'émaux, de verres de Venise, comme on ne peut en voir nulle part, des pièces d'orfévrerie admirables (plusieurs, le grand bouclier de Wechte notamment, avaient été empruntées à l'Exposition), des faïences extrêmement remarquables de la grande époque italienne, en un mot, une multitude d'œuvres merveilleuses, dues dans chaque genre à de véritables artistes, ayant vraiment fait œuvre de génie en les créant, en levant des difficultés d'exécution incroyables.

Nous ne pensons pas qu'un seul des spectateurs présents ait pu hésiter un instant, à la vue de ce beau spectacle, à proclamer quelle admirable chose ce peut être qu'un musée d'art industriel qui possède des richesses suffisantes en produits anciens, même quand il ne s'y mêle absolument aucun produit des beaux-arts proprement dits. Pour les nombreux spectateurs de cette belle fête, pour les jurés français notamment, il a dû en résulter nécessairement le désir de voir leur pays doté d'une création de ce genre, si évidemment utile pour élever les aspirations des fabricants français, épurer leur goût et fournir d'admirables modèles pour une étude fructueuse.

D'un musée d'art industriel en France. — Le Musée du Louvre à Paris est bien connu par ses richesses en chefs-d'œuvre des beaux-arts; nous n'avons pas à rappeler ici toutes les admirables statues, toutes les toiles des grands maîtres qui en font un des principaux centres artistiques du monde.

A côté du musée des Beaux-Arts se trouvent des collections d'un grand intérêt, des émaux, des bijoux égyptiens surtout, des vases étrusques, en un mot une foule de magnifiques produits d'art. Et cependant, tout cela, classé uniquement au point de vue de l'élégance, de la valeur artistique, de la curiosité qui s'attache à leur ancienneté, ne constitue en rien un musée d'art industriel. Ceci résulte nécessairement du but qu'on a dû chercher à atteindre, qui est de mettre en lumière des pièces hors ligne, sans avoir à prendre aucun souci des procédés de fabrication, et surtout de ce que l'exposition de ces produits au milieu d'œuvres d'art pur du premier ordre, les amoindrit en quelque sorte, et leur ôte singulièrement de leur valeur et de leur éclat. Ils se trouvent effacés par le voisinage d'œuvres d'un ordre supérieur.

Le seul musée qui réponde à l'idée d'un musée d'art industriel est celui qui a été si étonnamment créé par la persévérance et le goût de M. Dussommerard, je veux parler du musée de Cluny. Le grand nombre de pièces remarquables qu'il renferme, et qui à peu près toutes appartiennent à l'époque de la Renaissance, en font une école excellente pour certaines études, et lorsqu'un de nos habiles fabricants de meubles ou de bronzes veut faire une création dans le style de la Renaissance, il a soin d'aller étudier les collections du musée de Cluny pour s'inspirer ou vérifier par la comparaison le produit de ses inspirations. Mais où s'adressera un orfévre qui voudra s'inspirer des œuvres de Goutière, un ébéniste qui voudra imiter les diverses créations de Boule, pensera à des types étrangers, orientaux, etc.?

Malgré toute sa valeur, le mouvement artistique de la Renaissance n'occupe qu'une place limitée dans l'histoire de l'art, et il faudrait plusieurs musées de l'importance de celui dont nous venons de parler pour constituer un ensemble suffisant pour assurer l'avenir de nos industries artistiques.

D'une manière sommaire, on doit distinguer comme styles principaux : le style grec et romain, le byzantin et le gothique, les styles de la Renaissance, de Louis XIV et de Louis XV. (Voy. ART INDUSTRIEL.)

Laissant de côté la Renaissance, qui nous paraît trouver une représentation convenable dans le musée de Cluny, et aussi le style de Louis XIV qui, tant qu'on admettra la séparation de semblables musées, ne devra être reproduit qu'à Versailles, où se trouvent déjà bien des éléments, et surtout le premier de tous, la demeure même du grand roi consacrée déjà à un musée, on voit que, au moins pour combler la plus importante lacune, la formation d'un musée d'art industriel en France devrait surtout représenter convenablement les styles grec et romain, si importants, qui ont été produits par une civilisation remarquable à tant d'égards, par un mouvement primitif de l'art d'autant plus nécessaire à étudier qu'il est le plus ancien, et qu'il a constitué la tradition à laquelle l'humanité s'est toujours reportée, lorsqu'après les époques de barbarie ou de sommeil, elle a voulu reprendre les routes de l'art. Or, il s'est trouvé, par une circonstance vraiment heureuse, que cette lacune considérable dans les richesses artistiques de la France a été comblée d'une manière extraordinaire par l'achat d'une collection d'une richesse vraiment incomparable après tout ce qui avait déjà été extrait du sol de l'Italie, si souvent fouillé. Je veux parler de la collection Campana.

On ne s'est peut-être pas assez rendu compte de la richesse étonnante de cette collection, si ce n'est peut-être comme mérite de nombre de pièces intéressantes qu'elle renferme, des bijoux étrusques notamment que l'on ne se lasse pas d'admirer, car beaucoup sont merveilleux; mais on a trouvé qu'elle possédait une bien grande quantité de vases assez médiocrement remarquables, et il est certain que s'il fallait les placer dans un musée d'art pur, où l'on recherche nécessairement toujours le maximum de beauté, d'éclat, on se laisserait nécessairement entraîner à entasser nombre de ces produits dans des endroits peu abordables, dans des armoires plaquées contre les murs, proscrites en Angleterre comme ne permettant pas de voir, de dessiner les objets. On ne mettrait en pleine lumière que les plus remar-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quables par leur forme et leur décoration. Pour un musée d'art industriel au contraire, dans la multiplicité et la variété de ces vases se trouve l'enseignement manifeste de la succession des diverses formes, des divers ornements d'un même style. La leçon qu'y puisera une jeune intelligence à la vue d'un ensemble aussi considérable, surtout après que le dessin de quelque vase en aura bien fixé les contours dans la mémoire, bien fait apprécier les formes caractéristiques, sera mille fois plus profonde, plus définitive lorsqu'elle aura été puisée dans l'étude qu'on a pu en faire au Palais de l'Industrie, lorsque ces produits s'y trouvaient largement espacés, où des pièces inférieures, si l'on veut, donnaient le courage de rivaliser, quand les chefs-d'œuvre effrayent le débutant par leur beauté même, que dans quelques salles d'un musée d'art pur où ils sont plus resserrés, disposés au seul point de vue de l'art, pour exciter l'admiration plutôt que pour l'instruction, et toujours et par-dessus tout écrasés par le voisinage des œuvres d'art, par les plus belles productions des grands artistes de tous les pays et de tous les temps. Je reviendrai encore, et m'arrêterai un instant sur ce point, beaucoup plus important que l'on ne pourrait penser.

Les musées, tels que celui du Louvre, sont nés de la réunion des œuvres remarquables acquises par les souverains des diverses époques pour embellir leurs demeures. Sans doute, par un mouvement des esprits qui montre notre estime des œuvres d'art, les collections ont été peu à peu considérées plus au point de vue des œuvres des grands artistes qui s'y rencontrent qu'au point de vue de l'embellissement de palais souvent complétement envahis par leur grand nombre. Toujours est-il, toutefois, que les idées qui ont présidé à leur création persistent toujours, et tant par ce motif que par suite de l'éclat projeté par les œuvres magistrales, on éprouve un sentiment de dédain, en se promenant dans ces galeries, pour toute œuvre qui n'est pas absolument de premier ordre. Combien de produits qui, par ce motif, ont été remplir les réserves!

Ce que je dis là est bien manifeste dès qu'il s'agit d'objets d'industrie. Prenez pour exemple le musée Charles X, décoré avec tant d'éclat à cette belle époque de notre histoire à laquelle on peut rendre justice aujourd'hui, à la fin de la Restauration, lorsque la littérature et les arts jetaient un si vif éclat, quand la vie intellectuelle était si remarquable, et que les aspirations généreuses de la jeunesse parlaient plus haut qu'à aucun autre moment de notre siècle. Qu'y trouve-t-on, à première vue, de remarquable? D'admirables plafonds, parmi lesquels l'*Homère* de Ingres, une décoration splendide, des armoires magnifiques séduisent le public qui peut bien encore conserver quelque peu d'admiration pour les beaux bijoux égyptiens qui garnissent les vitrines du centre, mais n'en a plus guère pour les caisses à momies, les vases pour l'usage usuel qui garnissent le bas des armoires. Il y a pourtant là tous les éléments du style si curieux propre à cette ancienne civilisation, et si on est parvenu à faire un musée splendide pour le visiteur, des galeries magnifiques dont les riches décorations modernes tirent un éclat tout particulier de leur opposition avec les curieux produits, extraits, après tant de siècles, des sables de l'Egypte où ils étaient enfouis, la disposition générale est évidemment tout autre que celle qui conviendrait à un musée d'art industriel, à l'étude et à la compréhension facile et complète du style égyptien.

Il nous est permis de conclure que ce n'est pas en accumulant des richesses nouvelles dans le musée du Louvre, sous l'empire des idées qui dominent et doivent y dominer dans leur classement et leur disposition, qu'on réalisera jamais en France un véritable musée d'art industriel, supérieur à celui de Kensington pour la fécondité et la facilité de l'enseignement que sa vue doit procurer. Sous ce rapport, nous regrettons beaucoup la fusion dans les collections au Louvre du musée Campana, qui a fait avorter tout espoir de voir former immédiatement un musée d'art industriel grec et romain, dont le succès eût entraîné bien probablement la création d'un musée complet, immense création qui trouverait certainement dans les parties obscures des salles du Louvre et dans les réserves, bien des éléments pour être réalisée avec un grand éclat. C'est de là qu'on pourrait tirer les éléments d'un musée d'art industriel complétant celui de Cluny et celui qui pourra si facilement être établi à Versailles.

Ce qui presse surtout, c'est l'organisation d'un musée consacré à l'Art grec renfermant les moulages des plus belles statues grecques, des marbres du Parthénon et autres œuvres célèbres. Une salle romaine placée à la suite devra renfermer de même quelques beaux moulages, celui du Faune Barberini, par exemple. Une salle renfermant des essais du style byzantin, par exemple quelques détails de Sainte-Sophie, cette œuvre si grandiose sur laquelle une étude si complète et si exacte a été publiée en Allemagne; enrichie des curieuses couronnes des rois visigoths, qui sont si étonnées de se trouver parmi les œuvres de la Renaissance du musée de Cluny.

Avec le concours de la direction des musées, en lui empruntant toutes les richesses dont elle ne tire pas bon parti, les pièces qu'elle cache plus qu'elle ne montre, ne les trouvant pas d'une assez grande beauté, il est certain qu'un tel musée serait bientôt égal au musée de Kensington. Le meilleur moyen d'y parvenir, si jamais on reconnaît que la chose est désirable et possible, c'est de profiter des occasions bien rares, je dirai presque providentielles, quand elles se présentent, pour en réaliser des fragments. Ce fut une idée on ne peut plus heureuse que celle qui fit acheter, il y a vingt ou vingt-cinq ans, le musée Dusommerard pour fonder le musée de Cluny, c'est-à-dire une collection poursuivie après les années de la révolution, lorsque le pillage des châteaux en avait fait sortir toutes les œuvres curieuses qui les ornaient. Il est douteux qu'un ensemble analogue pût être constitué aujourd'hui, à n'importe quel prix.

De même la collection Campana, poursuivie à Rome par un homme habile à acheter tout ce qui pouvait être distrait des collections privées, enrichie de tout ce qu'ont produit des fouilles dirigées d'après de nouveaux indices reconnus propres à faire découvrir les quelques sépultures étrusques qui ont pu encore échapper à vingt-cinq siècles de recherches, peut former un magnifique point de départ d'un riche musée d'art industriel pour l'époque grecque et romaine. Espérons qu'on entrera bientôt dans une voie qui peut conduire à d'importants résultats avec de la volonté et de la persévérance. Ce qui importe c'est de se mettre en route; ce qui est préjudiciable au plus haut degré à notre industrie, c'est l'inertie.

C'est surtout pour la fabrication de Paris, vouée à la production d'objets de luxe, due à plus de quatre cent mille ouvriers, et qui fournit du travail à plus d'un million d'ouvriers habitant la province, que cette création importe ; car elle ne peut soutenir la concurrence étrangère que par la supériorité du goût. Plus que toute autre, elle est menacée; plus que toute autre, elle doit sentir la nécessité de se dérober à la tutelle des ateliers de dessins industriels, qui la maintiennent dans une ornière étroite s'ils ne se multiplient considérablement.

Il est très-désirable que Paris possède bientôt une institution rivale de celle de Kensington, institution féconde, vraiment nationale, et de nature à immortaliser les noms de ses fondateurs.

Réponses aux objections. — Lorsqu'il s'agit de créer un musée d'art industriel, comme couronnement de tous les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyens propres à développer le goût des ouvriers et des fabricants, on rencontre deux natures d'objections complétement opposées, partant les unes des praticiens, les autres des artistes. Nous essayerons de répondre en quelques mots aux uns et aux autres.

Au nom des praticiens, qui pour la plupart savent parfaitement combien sont utiles les études propres à sortir de la voie de la routine, on dit : A quoi bon de semblables fondations? est-ce que nos apprentis n'apprennent pas bien leur métier dans les ateliers? n'y deviennent-ils pas d'habiles ouvriers qui sauront bien, une habileté suffisante étant acquise, exécuter des œuvres remarquables?

Il n'y a pas à insister beaucoup sur cette nature d'objections qui ne rencontre aujourd'hui que peu de défenseurs. Il est trop évident, en effet, que des institutions propres à aider l'acquisition du savoir qui peut lentement être acquis dans les ateliers (en supposant possible d'y puiser la connaissance de ce qui ne s'y fait pas à une certaine époque), ne gênant nullement l'action de ceux-ci, ne peuvent qu'être utiles. On ne prouvera jamais qu'un mode quelconque d'enseignement, ajouté à ceux existants, ne soit nécessairement profitable; que l'installation d'une galerie de bons tableaux dans une ville puisse ne pas être utile aux personnes qui apprennent à peindre. On ne doit jamais oublier que l'homme n'est pas une machine, qu'il va loin s'il est soutenu par une volonté, une inspiration, un désir de rivalité. Rien de plus propre qu'un musée pour décider, chez les jeunes gens surtout, ces vocations qui font les artistes, qui donnent à la volonté l'énergie qui permet de surmonter les difficultés.

L'autre objection est faite par des artistes qui n'admettent ni l'art industriel, ni les moyens de le développer. Il n'y a pas deux espèces d'art, disent-ils avec raison, mais ils ont tort d'ajouter d'une manière trop exclusive : Faites des sculpteurs et des peintres, et ne vous occupez de rien autre. Si l'on doit admettre que les commencements des études de tous les artistes doivent être les mêmes, il n'en résulte nullement que les routes ne puissent être de bonne heure différentes. L'artiste en bijoux ne pourra pas passer sa vie à faire des statues, il devra bientôt s'exercer dans sa voie spéciale; et cependant le statuaire aurait tort de dédaigner des œuvres qui peuvent être de tout point remarquables. Il y a de la part de quelques artistes, en bien petit nombre, quelque peu de vanité mal placée; ce n'est pas le genre du travail, mais la dépense de talent et de génie qu'il faut seulement considérer. Non-seulement un objet d'utilité peut être un objet d'art, mais dans tout pays où les objets d'un usage journalier ne sont pas beaux, on ne peut espérer un grand développement de l'art national. De même qu'il ne faut pas chercher à posséder, pour la prospérité de l'industrie, seulement des savants voués à la recherche de la vérité pure, mais encore des ingénieurs instruits capables d'appliquer à la pratique les progrès de la science, de même il faut, outre les artistes qui se consacrent à l'art pur, à la poursuite de l'idéal, des dessinateurs et des artistes industriels, qui ont leur œuvre bien déterminée. Je trouve au reste sur ce point et sur la mission de l'artiste industriel une note excellente d'un artiste fort distingué, J. Klagmann, par laquelle je termine :

« Depuis bien des années, et dans ces derniers temps surtout, la science a largement contribué au développement de l'industrie; elle n'a pas cru déroger en quittant la sphère des théories pour se mêler aux labeurs de la pratique. La science n'a rien perdu pour cela dans l'estime du monde, elle n'en paraît que plus grande. Il n'en a pas été de même de l'art, qui cependant ne déroge pas plus que la science quand il travaille à introduire l'élégance, la pureté des formes, le bon goût des dessins et des couleurs dans les choses de la vie publique et privée.

« Nous croyons que cette pensée d'étendre l'art à toutes choses ne peut nuire à son développement et à sa grandeur, parce que nous croyons que le sentiment si précieux de l'art a été accordé par Dieu à la plus parfaite de ses créatures pour la compléter, élever et ennoblir sans cesse l'usage de ses sens, jusqu'à ce qu'elle arrive à concevoir la perfection idéale, jusqu'à ce que ses œuvres dominent de haut la matière... L'industrie française doit sa supériorité sur tous les marchés du monde au bon goût, à l'imagination, à l'art en un mot, qui président à ses produits; et ses qualités qui lui assurent le succès et lui ouvrent sans cesse de nouveaux débouchés, lui viennent des artistes qui se sont voués à cette carrière... Les écoles de haut enseignement de l'art n'enseignent rien que les artistes de l'industrie ne soient obligés d'étudier et de savoir. Ils doivent posséder des connaissances étendues en histoire et en archéologie, pour satisfaire aux variations du goût public qui se plaît à s'entourer, dans les choses de la vie, tantôt des images d'une époque, tantôt de celles d'une autre époque; en outre, ils sont tenus de connaître les procédés d'un grand nombre d'industries, afin de se maîtriser eux-mêmes dans la lutte qui s'établit naturellement entre l'imagination et le possible... Il ne faut pas se faire trop d'illusions sur les récents triomphes de l'industrie française. Ces succès peuvent être le prélude de succès plus grands encore, mais à la condition qu'on se préoccupera de la position de l'art qui les fait naître, à la condition de lui accorder la possibilité de se développer sans entraves.

« Les artistes peintres et statuaires, disait encore en 1846 Léon Feuchères, un des plus brillants artistes industriels que la France ait possédés (dans un écrit qui avait pour objet, entre autres choses, de réclamer la fondation d'un musée d'art industriel), n'accordent généralement pas toute l'importance qu'ils méritent aux arts industriels; ils oublient trop que chez les peuples de l'antiquité, qui ont porté le plus haut leur civilisation, ces arts ont reçu leur impulsion des hommes les plus éminents par leur génie.

« Les Indiens, les Égyptiens, les Étrusques, les Grecs et les Romains nous ont laissé dans leurs meubles, leurs vases, leurs bronzes, leurs bijoux, etc, des types d'une inimitable perfection dus au génie de leurs artistes les plus remarquables; aux quatorzième, quinzième et seizième siècles, l'Italie, l'Allemagne et la France eurent tout un peuple d'artistes qui ne dédaignèrent pas de devoir une partie de leur célébrité aux arts industriels. Tels furent Maso Finiguerra, Lucca della Robia, Benvenuto Cellini, Martin Schengaur, Albert Durer, Aldegraf, Bernard de Palissy, le père de la géologie et de la céramique en France, Jean Cousin, Léonard de Limoges, les frères Pinagrier, Boule, et tant d'autres, dont quelques-uns ne nous ont laissé que des chefs-d'œuvre en oubliant de nous laisser leurs noms.

« Forts de ces illustres exemples, nous demandons sérieusement s'il est possible que l'enseignement industriel puisse avoir une direction trop intelligente et trop élevée. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

N

NACRE DE PERLES. L'illustre physicien David Brewster a le premier expliqué les effets d'irisation de la nacre, en montrant qu'ils sont dus à des réseaux formés de raies très-fines. On ne peut les distinguer à l'œil, car elles sont si déliées qu'il en entre plus de trois mille dans un pouce anglais. La démonstration de ce fait résulte bien clairement de la possibilité d'obtenir les mêmes effets sur d'autres surfaces, en reproduisant ce mode de texture; cette propriété a même été le point de départ de plusieurs curieuses fabrications. On peut, par exemple, avec de la gomme arabique ou de la colle de poisson solidifiées, déposées sur de la nacre, obtenir une impression très-parfaite de sa surface, qui donne de belles couleurs quand la lumière est reçue soit par réflexion, soit par transmission. Une plaque de colle de poisson comprimée entre deux surfaces de nacre jouit de cette propriété au plus haut degré.

NAVIRES (CONSTRUCTION DE). A l'article CONSTRUCTION DE NAVIRES, nous avons donné quelques détails sur les principes qui guident pour la détermination des formes des navires. Nous les compléterons par quelques indications sur le progrès accompli dans la navigation à voiles par un changement notable des formes qui a conduit aux navires à grande vitesse, dits *clippers*.

Les clippers ont franchi tout d'un coup les limites de vitesse jusqu'alors réalisées à l'aide de la voile seule. En comparant, pour de longs parcours, leurs moyennes de traversée avec celles d'un navire à vapeur ordinaire, il se trouve qu'elles sont comme 5 est à 7. Qu'est cette différence, en présence de la différence du prix de construction et du prix de navigation? Longs, peu larges, très-creux, excessivement aigus aux extrémités, leur forme se rapproche de celle que l'on donne aux navires à vapeur. En effet, la résistance directe étant plus puissante contre l'avant d'un navire large et court comme les navires à voiles ordinaires, que contre un navire fin de l'avant comme un bâtiment à vapeur, une partie de la force de propulsion donnée par le vent est tout d'abord perdue pour vaincre cettre première résistance; on n'a donc pas hésité, dans la construction des clippers, à sacrifier un ancien principe, celui d'un avant renflé.

En donnant à ces bâtiments un avant au contraire très-effilé, il pouvait advenir que cet avant, sous le poids de la cargaison, tendit à plonger trop profondément dans la lame. On a remédié à cet inconvénient en transportant le maître couple du bâtiment, c'est-à-dire sa plus grande largeur, sur l'arrière du milieu; le centre de gravité de la carène et celui de la charge se trouvent ainsi sur l'arrière du navire; c'est cette portion du bâtiment qui tend constamment à immerger, et en même temps, par conséquent, à faire relever l'avant du navire, malgré sa finesse.

C'est dans l'Inde anglaise que les clippers ont pris naissance. Ils servaient depuis longtemps à introduire l'opium en Chine. Les Américains du Nord n'ont pas tardé à les adopter, et les résultats considérables de vitesse qu'ils réalisent, les défis excentriques qui ont suivi leurs premiers succès, sont des faits dont le retentissement a été très-grand dans le monde maritime.

Bien qu'aux États-Unis, dans un pays où les capitaux confiants dans la marine, ne lui font pas défaut, les clippers soient d'un prix très-élevé, ils se sont cependant multipliés; les autres nations n'ont pas hésité à entreprendre d'introduire la forme du clipper dans un certain nombre de leurs constructions. Toutes ont saisi de suite l'avenir du navire à grande vitesse à la voile, et le progrès commercial considérable qui doit en résulter.

Comme bâtiment de mer, le clipper n'offre pas sans doute les conditions de sécurité qu'offre le navire construit selon les anciens errements. C'est ce que l'on peut appeler un bâtiment de beau temps. Sa grande longueur le rend difficile à gouverner; on croit même qu'un clipper engagé ne pourrait pas arriver. Ce sont là de graves inconvénients; mais, même dans leur état actuel, les clippers sont appelés à rendre d'utiles services, et, jusqu'à ce que la navigation à vapeur soit moins dispendieuse, ils sont destinés à envahir les ports de commerce, à mesure surtout que l'expérience apprendra à remédier aux inconvénients que nous avons signalés.

Toutefois, il importe de ne pas exagérer la longueur des navires. Dans les clippers, on semble vouloir la limiter à cinq fois la largeur. Celle des vapeurs est très-variable et atteint dans les transatlantiques à grande vitesse jusqu'à 7 fois la largeur.

Sans doute ces immenses longueurs ont de grands avantages, commercialement parlant; mais, au milieu des vagues de l'Océan, ces constructions, que l'on peut encore appeler anormales, présentent des dangers sérieux, surtout si la machine, par une cause quelconque, ne pouvait pas fonctionner. Il deviendrait excessivement difficile de gouverner, et, en fait, on peut dire que, à la mer, le salut de navires d'une si grande longueur dépend exclusivement de l'efficacité de la machine. On peut inférer de ces considérations que si la tendance à accroître la longueur des navires reprenait faveur, on finirait, sans doute, par y adapter une petite hélice mobile agissant dans le sens de la largeur du bâtiment, et destinée à le faire évoluer.

NEIGE. *Moyens de débarrasser les chemins de fer des neiges qui arrêtent les convois.* — La grande quantité de neige qui tombe souvent l'hiver dans le nord de l'Europe a révélé dans l'exploitation des chemins de fer un inconvénient grave, qui avait été peu prévu à l'origine. Nous voulons parler des arrêts qui résultent de l'accumulation des neiges et qui suspendent d'une manière absolue le seul mode de communication qui subsiste souvent entre deux villes.

Lorsqu'un convoi se meut sur un chemin de fer couvert de neige, sans que l'épaisseur de celle-ci soit considérable, il n'y a à tenir compte que de celle qui recouvre les rails. Pour les en débarrasser on se contente de garnir le chasse-pierres d'un balai qui nettoie la surface du rail, et dont l'action est suffisante si la couche est sans épaisseur. Mais quand il n'en est pas ainsi, le chasse-pierres refoule la neige qui va en s'accumulant en avant; à mesure que la quantité ainsi accumulée devient plus grande, il est de plus en plus noyé dans une espèce de boule de neige, et celle-ci repasse en arrière du balai, dont l'action est pour le moins nulle. Les roues de devant et bientôt les roues motrices tournant sur la neige se mettent à patiner, l'action de la locomotive pour déterminer le mouvement de progression

EFERUS - Recherche & Classification numérique

diminue, et bientôt un plan peu incliné, qu'en temps ordinaire la locomotive franchit facilement, ne peut plus être gravi; le train est arrêté.

L'action du chasse-pierres et du balai qu'on peut y adapter devient donc insuffisante lorsque la quantité de neige est assez grande pour qu'elle s'accumule en avant au lieu de se séparer par les côtés. Le remède consiste précisément à produire cet effet, et c'est ce qu'on obtiendra en imitant une opération bien connue, celle du labourage à la charrue. Dans cette opération, la terre est retournée à côté de la charrue, de manière à permettre le mouvement en avant, par une pièce courbe appelée *versoir*. C'est un versoir qu'on devrait adapter à chaque extrémité antérieure du châssis, et qui, passant à 1 centimètre environ du rail, renverserait de côté toute la neige excédant la quantité que le balai chassera ensuite facilement.

Pour une quantité assez notable ce système pourra être employé avec avantage, mais il serait évidemment insuffisant dans les cas où les quantités de neige accumulées dans les tranchées sont assez grandes pour les faire presque disparaître, niveler en quelque sorte le terrain. Cela n'est jamais dû, dans nos contrées, à de la neige tombée directement, mais à l'effet du vent qui entraîne la neige horizontalement et vient ainsi l'accumuler dans les tranchées. Le seul remède efficace est dans l'établissement d'abris convenables pour éviter cet effet, et il n'en est pas de plus simple et de plus durable que celui obtenu par des plantations. Nous emprunterons un exemple de la manière d'opérer, des dépenses et des résultats obtenus, à une excellente étude parue dans les *Annales des ponts et chaussées*.

L'effet dont nous venons de parler se produisait avec une intensité remarquable, avant 1849, sur la route impériale n° 82 de Roanne au Rhône, entre Saint-Étienne et Bourg-Argental, sur le plateau dit *de la République*, et au grand tournant, près le village de Ruthiange. Dans cette partie de son parcours, la route s'élève de 540 mètres au-dessus du niveau de la mer à 1,140 mètres, pour franchir la chaîne du Pila au col du Grand-Bois; à partir de ce col, elle descend vers Bourg-Argental, en suivant la rive gauche du ruisseau d'Argental, et en se développant sur les versants des ravins secondaires qui se jettent dans ce cours d'eau. Il règne dans ces régions élevées des tourmentes d'une violence inouïe; la neige, soulevée par le vent, se transporte rapidement à des distances considérables et se dépose dans les bas-fonds à des hauteurs de plusieurs mètres; la route disparaissait alors complétement dans la neige, et les voyageurs n'avaient pour se diriger que des pyramides en pierre, construites de distance en distances le long de la route; l'interruption de la circulation avait des inconvénients d'autant plus graves que la malle-poste de Paris à Marseille passait à cette époque par Sainte-Etienne, et franchissait le Pila en suivant la route de Roanne au Rhône; l'enlèvement des neiges nécessitait chaque année des dépenses dont le chiffre dépassait souvent 5,000 fr., non compris les crédits spéciaux affectés à ce service par l'administration des postes.

La route était plus particulièrement interceptée sur les plateaux découverts ou sur les versants très-inclinés que rien n'abritait contre les vents du nord; mais au milieu des bois la circulation n'était jamais interrompue; quelle que fût la rigueur du temps, il suffisait d'ouvrir une tranchée dans la neige et le passage se maintenait pendant tout l'hiver. Dans les parties où la route était à découvert, les tranchées se comblaient à mesure qu'elles étaient exécutées, et il fallait souvent travailler nuit et jour pour maintenir la circulation. La malle-poste ne passait qu'après des efforts incroyables et attelée de dix paires de bœufs ou de dix à quinze chevaux; les habitants du pays et leurs attelages étaient souvent mis en réquisition, et quelquefois inutilement.

L'idée d'abriter la route par des plantations se présenta naturellement. Un projet fut étudié dans ce but en 1847, et mis à exécution quelques années plus tard. Les parties de route où la circulation était toujours interrompue pendant la mauvaise saison ont été défendues par quatre massifs d'arbres verts, d'autant plus épais que le terrain avait une déclivité plus grande. L'épaisseur des massifs varie de 24 à 46 mètres; deux de ces massifs ont été plantés sur le plateau de la République : le premier a 283m,60 de longueur et 24m,70 de largeur, le second a 1,113m,80 de longueur et 27m,68 de largeur. Les deux autres ont été plantés le long du Grand-Tournant, sur un terrain fortement incliné : l'un a 328 mètres de longueur et 44m,88 de largeur, l'autre 213 mèt. de longueur et 46m,25 de largeur.

Les plantations, commencées en mars 1849, se sont continuées jusqu'à la fin d'avril 1851. Les arbres qui ont été plantés sont des arbres verts de toutes les variétés, tels que épicéas, sapins blancs d'Europe et d'Amérique, pins laricio, mélèzes, etc.; ils sont espacés de 1 mètre les uns des autres; leur hauteur à l'époque où ils ont été plantés variait de 0m,50 à 1m,50. Les plus petits forment la première file du côté de la route, et les plus grands en sont les plus éloignés. Tous ont été plantés avec leur motte et livrés à l'administration le lendemain du jour où ils étaient retirés des pépinières.

La surface plantée est égale à 6 hectares 10 ares; la dépense faite s'est élevée à 37,174 fr. 46, soit 6,064 fr. par hectare. Cette dépense se décompose de la manière suivante :

Acquisition de terrain.			14,381f	83
1,171m,50 de déblai pour plantation, à.	1,144	1,239 12	22,792	63
42,380 arbres. . . .	0,455	19,282 90		
1,767 arbres cassés par la neige. . . .	0,455	303 985		
32,227 tuteurs, à. . .	0,0455	1,466 328		
Total.			37,174	46

Ces plantations étaient à peines terminées que le résultat dépassait les espérances : dès la première année, la neige, retenue par les jeunes sapins, n'encombrait plus les parties de route qui avaient été protégées. Depuis lors, la circulation n'a plus été interceptée, et avec des dépenses peu élevées il est facile d'ouvrir partout un passage aux voitures, et de le maintenir pendant toute la mauvaise saison.

Il eût été possible de procéder à la plantation de chaque massif au moyen d'arbres plus jeunes; la dépense eût été beaucoup moindre; mais l'effet produit n'aurait pas été immédiat, et l'expérience faite n'aurait pas été aussi concluante. On peut affirmer aujourd'hui qu'il n'y a pas de localités où il ne soit possible de prévenir les amoncellements des neiges sur les routes au moyen de plantations convenablement disposées, dont la dépense dépassera rarement 20 fr. par mètre courant.

Si néanmoins il fallait protéger une grande longueur de route, il serait avantageux de procéder plus économiquement en plantant des arbres plus jeunes; c'est-à-dire les pins et les mélèzes à deux ans, les sapins et les épicéas à trois ans. L'effet se ferait attendre quelques années de plus, mais le succès n'en serait pas moins assuré; dans ce cas, le prix de revient de la plantation ne dépasserait pas 150 fr. par hectare, réparti ainsi qu'il suit :

10,000 arbres, à 0f,01.	100 fr.
Plantation de 10,000 arbres à 0f,005 l'un. .	50
Total.	150 fr.

Il faudrait ajouter à cette évaluation le prix du terrain, variable suivant les pays.

Le succès des travaux de cette nature dépend surtout

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du choix des essences résineuses qu'il convient de planter dans chaque localité, et des soins apportés à la plantation des jeunes arbres; il ne sera peut-être pas inutile d'entrer à cet égard dans quelques détails.

Les arbres résineux conviennent particulièrement aux montagnes élevées, froides et pentueuses; les pins silvestres aux terrains de toute nature, les pins laricio aux pentes exposées à l'ouest et au midi, les pins maritimes aux sables et aux terrains d'alluvion peu elevés, les pins de lord Weymouth aux terres franches, profondes et abritées du sud-ouest.

Les sapins croissent sur les plus hautes montagnes, dans les terrains frais, profonds, et sur les pentes exposées au nord et à l'ouest. L'épicéa est le plus facile à planter; ses racines multipliées et chevelues facilitent sa reprise depuis la hauteur de $0^m,15$ jusqu'à celles de 3 mètres. Le mélèze doit être planté dans des terrains légèrement frais et assez profonds, loin des arbres d'essence différente et au midi. Quant aux cèdres, peu de terrains leur conviennent; les pentes exposées à l'est et abritées du nord doivent être préférées, ainsi que les terrains profonds et plutôt secs que frais; ils sont difficiles à la reprise, eu égard à la nature de leurs racines qui sont longues, cassantes et peu ramifiées.

Les méthodes de plantation varient suivant la dimension des arbres : pour ceux dont la hauteur dépasse $0^m,50$, les trous doivent avoir $0^m,30$ carrés et $0^m,40$ de profondeur; la terre végétale extraite du trou doit être placée d'un seul côté, l'arbre planté avec sa motte et entouré jusqu'au collet de terre ameublie, bien divisée, et le gazon provenant de chaque trou retourné et placé au pied de l'arbre, afin de maintenir une certaine fraîcheur autour des racines; si le gazon manque, on peut recourir à des pierres qui remplissent le même objet.

Les arbres de trois à cinq ans se plantent assez économiquement par deux bons ouvriers travaillant ensemble : l'un fait les trous avec une pioche carrée, et les approfondit avec un outil plus pointu; l'autre plante immédiatement, afin que la terre ne se dessèche pas. Il porte les arbres dans un panier couvert, pour les mettre à l'abri de l'action de l'air ou du soleil; il emploie pour la plantation une bêche à manche court, au moyen de laquelle il évide le trou; il y jette d'abord un peu de terre, et y place le plant après avoir écarté les racines dans toutes les directions, en ayant le plus grand soin de n'en retrancher aucune; il les recouvre ensuite de terre fraîche et meuble et termine l'opération en appuyant avec précaution la terre contre l'arbre, soit avec le pied, soit avec le manche de la pioche. Deux ouvriers bien exercés peuvent planter ensemble de 500 à 1,000 arbres par jour.

Les arbres résineux, quelle que soit leur essence, doivent être plantés serrés, à 1 mètre au plus de distance les uns des autres, afin de se protéger mutuellement; il est facile, quand ils ont atteint les dimensions convenables, d'élaguer les moins vigoureux, afin de faciliter la croissance de ceux qui restent.

En résumé, les plantations d'arbres résineux faites avec discernement préviendront les amoncellements de neige et les dépenses considérables que nécessite leur enlèvement sur les routes où la circulation est interceptée pendant la mauvaise saison. Le succès ne saurait être douteux, si l'on choisit convenablement l'essence qui convient le mieux au terrain à reboiser, à sa nature, à sa profondeur et à son exposition. L'expérience faite depuis quelques années le long de la route impériale n° 82, à des hauteurs qui varient de 900 mètres à 1,120 mètres au-dessus du niveau de la mer, ne laisse aucun doute à cet égard, et a donné dès la première année les résultats les plus satisfaisants.

On peut en conclure que les plantations auront également leur utilité sur les chemins de fer, et remplaceront avec avantage les écrans mobiles que l'on dispose en hiver le long des tranchées profondes et des parties habituellement encombrées par les neiges.

NICOL ou PRISME DE NICOL. Cet appareil fait partie de presque tous les systèmes optiques à l'aide desquels on utilise les phénomènes de double réfraction. Il permet de faire disparaître le rayon ordinaire pour ne conserver que le rayon extraordinaire que l'on veut étudier, résultat obtenu avec une grande simplicité.

Il se construit de la manière suivante : on prend un long parallélipipède de chaux carbonatée, on le coupe en deux par un plan perpendiculaire au plan des grandes diagonales des bases, et passant par les sommets obtus les plus rapprochés; puis on rejoint les deux moitiés, dans le même ordre, avec du baume de Canada. La lumière qui entre par l'une ou l'autre des bases tombe très-obliquement sur le baume de Canada; or, son indice de réfraction est plus petit que l'indice ordinaire de la chaux carbonatée, mais plus grand que l'indice extraordinaire; il en résulte que le rayon ordinaire éprouve la réflexion totale, tandis que le rayon extraordinaire passe pour sortir par l'autre base.

Le *prisme de Nicol* ne laisse donc passer que l'image extraordinaire des objets que l'on regarde. Il devient ainsi un moyen de distinguer l'image ordinaire de l'image extraordinaire produite par le cristal; il suffit de mettre dans un même plan la section principale du cristal et d'un prisme de Nicol; l'image unique qui passe est l'image extraordinaire.

Comme il faut que le plan coupant le cristal d'angle en angle forme avec les bases un angle de près de 90 degrés, pour que les bases restent entières, il faut que le parallélipipède obtenu par clivage ait des proportions telles que les arêtes longitudinales dépassent en longueur trois fois celle du côté des bases.

M. Foucault est arrivé à peu près au même résultat en coupant le solide de clivage par un plan moins incliné sur l'axe de figure, en remplaçant le baume de Canada par un milieu moins réfringent.

Il incline la coupe à 59 degrés sur le plan de l'une et de l'autre base, le solide strictement nécessaire se réduit alors au tiers de la longueur qu'il comporte dans le prisme de Nicol, et après avoir poli les nouvelles faces, il remet les morceaux en place, en ménageant entre eux l'épaisseur d'une lame d'air. Ce système fonctionne comme le prisme de Nicol et constitue un polariseur capable d'exercer une action complète sur un faisceau de lumière dont la divergence n'excède pas un angle de 6 à 8 degrés.

O

OSMOSE. Les phénomènes de diffusion dont il a été parlé à l'article LIQUIDES et ceux d'endosmose évidemment du même ordre, fournissant des résultats variables en raison de la nature des corps dissous, ont été fort ingénieusement utilisés par M. Dubrunfaut pour le traitement des mélasses.

On sait que la cuite des jus sucrés donne, par le refroidissement, des cristaux de sucre et des sirops qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

renferment tous les sels, obstacle principal à la cristallisation du sucre qui se trouve dissous. La séparation des sels devait permettre et a permis en effet d'obtenir une cristallisation abondante; mais il était difficile d'arriver à un appareil industriel, de fabriquer en grand avec des systèmes utilisant les propriétés de surfaces poreuses, peu résistantes. C'est en multipliant en quelque sorte, en juxta-posant une série d'appareils que M. Dubrunfaut a atteint, autant qu'il paraît possible, le but qu'il poursuivait.

L'osmogène (fig. 1) est formé de la répétition d'élé-

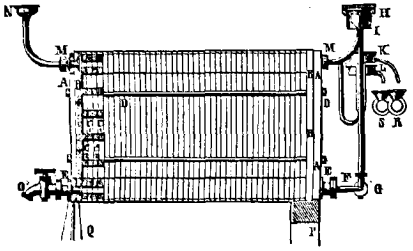


Fig. 1.

ments qui consistent essentiellement en un cadre d'une épaisseur de 1 à 2 cent., et dont la surface a plus de 1 mètre carré, portant une cloison membraneuse en papier parchemin. Il résulte de la réunion de semblables cadres des cases séparées par une membrane; dans une des séries on fait passer un courant de mélasse à la température de 75 degrés entrant par un orifice placé à la partie inférieure du cadre, et dans la deuxième un courant d'eau pure à la température de 85 degrés.

On juxtapose 25 ou 30 éléments semblables et on ouvre dans l'épaisseur des cadres des conduits qui font passer la mélasse d'un couple à l'autre, sans qu'elle pénètre directement dans les espaces où circule l'eau destinée à dissoudre les sels.

On fait passer dans un appareil de ce genre 1,800 à 2,000 kilog. de mélasse par jour. Elle entre à 40 degrés de l'aréomètre et sort à 20 degrés; l'énergie de l'action d'endosmose est telle, que si la liqueur sucrée contient quatre parties de sucre et une de sel, l'eau évacuée renferme quatre parties de sel pour une de sucre. Ces sels sont surtout du nitrate de potasse et du chlorure de potassium.

On arrête le travail tous les deux jours pour laver l'intérieur des appareils, premièrement avec de l'eau acidulée à l'acide chlorhydrique, puis avec un jet de vapeur; cette opération prend environ quatre à cinq heures. Le succès de l'osmogène n'a été assuré et complet qu'à partir du jour où l'on a suivi scrupuleusement ces prescriptions; les irrégularités qui ont pu décourager les industriels lors des premiers essais provenaient uniquement de l'absence de lavage et du défaut de propreté. Un homme et un enfant suffisent à la marche d'un groupe d'appareils, quel qu'en soit le nombre; cela va tout seul, en réglant l'arrivée des liquides à l'aide de robinets. La dépense en main-d'œuvre, charbon, papier-parchemin, noir animal, façon pour monter et démonter les appareils quand on change les papiers, est à peu près de 2 fr. par hectolitre, ou 1 fr. 40 cent. par 100 kilogrammes.

Ces 100 kilog. donnent au moins 25 kilog. de sucre n° 15, entraînant une dépense de 5 fr. 58 c. par sac, ce qui est bien peu de chose quand on songe que le produit vaut 56 à 57 fr. le sac, au cours de 54 fr. le n° 12, prix très-peu élevé.

Ce procédé pourrait recevoir un emploi plus avantageux, en ne perdant pas les eaux d'exosmose. Ces eaux, qui ont servi à épurer les sirops en leur enlevant une partie de leurs sels, ne peuvent accomplir cette fonction sans emporter en même temps une certaine quantité de sucre. Ainsi, le plus souvent on est obligé de perdre des eaux qui contiennent plus d'une partie de sucre pour une partie de sels.

On en tirerait facilement parti en soumettant ces eaux à la fermentation alcoolique, puis à la distillation. L'osmose gagnerait beaucoup, comme système épurateur, par l'adoption de cette méthode.

OUTILS COUPANTS. L'histoire des perfectionnements lents et successifs des instruments et machines à outils tranchants, perforants, etc., se lie, dit Poncelet, auteur de cette belle étude, aux progrès mêmes de la civilisation chez les différents peuples, et cette histoire, considérée au point de vue philosophique, critique et descriptif, serait, comme celle des machines à moudre et de quelques autres non moins essentielles, du plus haut intérêt pour l'avancement, le progrès futur des arts mécaniques; car il n'est aucun organe dans la classe des opérateurs qui offre des combinaisons aussi ingénieuses, aussi originales et aussi variées, sous le rapport de la forme et des effets physiques, j'ajouterai même, aussi parfaites et qui approchent autant des œuvres du Créateur, dans les instruments naturels de travail ou de conservation répartis aux divers animaux, instruments dont l'homme fut en quelque sorte entièrement dépourvu, et auxquels il dut suppléer par son intelligence, en les prenant parfois pour modèles et pour types d'imitation. Depuis l'origine des sociétés, en effet, où, à l'état sauvage, il s'est créé, avec le silex et les débris solides des animaux et des végétaux, des armes pour la pêche, la chasse, la guerre, etc., jusqu'à nos jours, où l'on a tant perfectionné, multiplié l'emploi du fer et de l'acier dans une foule d'opérations réclamées par l'état avancé des industries humanitaires ou civilisatrices, les outils coupants ou perforants ont subi les plus étonnantes et les plus admirables transformations, qui toutes ont eu pour point de départ essentiel l'expérience et l'observation, mais où le raisonnement et une sorte de théorie instinctive chez les plus habiles artistes ont exercé une influence non moindre et toujours active.

Qu'y a-t-il, notamment, de plus ingénieux que les ciseaux, les gouges à couteaux courbes, les varlopes, les bouvets servant à creuser, dresser le bois pour y pratiquer des rainures, des languettes et des moulures diverses; que les vrilles, les tarières, les vilebrequins à lames courbes en cuiller, en hélices ou tire-bouchons dégorgeoirs, déjà connus de Vaucanson, perfectionnés depuis en Amérique, et en Angleterre par M. Church, de Birmingham; que les grandes et puissantes mèches dites *anglaises*, à pivot central, à couteaux rectilignes, symétriquement appariés et agissant dans des sens diamétralement contraires pour détacher, du fond plat du trou à forer, des lames en couronnes circulaires ou cylindriques, qui s'élèvent ensuite verticalement sous la forme de nappes hélicoïdes, autour de la tige centrale de l'instrument; mèches qui comportent, en outre, aux extrémités extérieures de leurs couteaux de fond, d'autres petits tranchants perpendiculaires aux précédents, parallèles à la tige centrale, et dont les biseaux aigus détachent incessamment la matière solide des parois latérales du trou cylindrique, par une action qui rappelle celle du coutre avancé de la charrue? Qu'y a-t-il de plus ingénieux encore que ce dernier instrument, réduit à la simplicité d'une mère chez les anciens, et où l'on remarque aujourd'hui non-seulement ce même coutre, véritable couteau en talus, qui ouvre, fend la terre latéralement et verticalement, mais aussi le soc à sabot triangulaire et appointé qui la tranche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

horizontalement au fond plan du sillon; le sep en bois qui en maintient postérieurement la direction rectiligne, par son glissement contre les faces horizontale et verticale déjà formées dans ce même sillon; enfin le versoir latéral en surface gauche, qui, placé en arrière du coutre et du soc, sert à retourner progressivement la motte de terre déjà détachée en dessous et sur l'un des côtés, de manière à la faire, en quelque sorte, pivoter par glissement et déchirement simultanés, sur le côté opposé encore adhérent au sol?

Quant à l'âge ou longue tige en bois, inclinée et directrice, qui surmonte l'ensemble de ce merveilleux instrument, sans inventeur connu et dont le perfectionnement est le fruit accumulé de l'expérience des siècles, on sait assez qu'il a pour but de régler et d'assurer la marche et le piquage du soc et du coutre, en prenant appui, tantôt sur le joug des bœufs comme chez les anciens, tantôt sur l'avant-train comme chez les modernes, ou restant tout à fait libre comme dans l'araire flamand, dont l'âge est simplement maintenu par de longs mancherons postérieurs, que dirigent les puissantes mains du laboureur, de manière que la résultante des forces actives de tirage, etc., vienne se confondre sans cesse avec celle des résistances du coutre, du soc et du versoir, dans la direction rectiligne même du sillon à ouvrir, grâce à la réglementation préalable de la hauteur du point d'attache des chaînes de tirage dans les meilleures charrues. L'agriculture, nommée avec raison la *mère nourricière des hommes*, la coutellerie et la chirurgie instrumentale, tant perfectionnées par les Sir-Henry, les Charrière, en France, par les Savigny, les Philp et les Coxeter, en Angleterre, pour la satisfaction de besoins également impérieux, nous offriraient d'autres exemples d'outils coupants, mécaniques ou composés, non moins dignes d'intérêt que la charrue, si ingénieuse dans son apparente simplicité, mais en réalité si savante dans ses principales dispositions et combinaisons.

Quoi de plus remarquable encore que l'ensemble des outils à perforer le sol, aujourd'hui employés dans l'art du fontainier sondeur, et qui, décrits avec tant de soin dans l'ouvrage de notre savant compatriote l'ingénieur Garnier, ont été si heureusement modifiés, perfectionnés et agrandis en puissance ou en dimension par les Mulot, les Degousée et les Kind, que, à leur aide, on parvient aujourd'hui, par des procédés en quelque sorte automatiques, à percer la terre à des profondeurs de six cents à sept cents mètres, pour y découvrir des sources jaillissantes ou d'autres richesses minérales indispensables à l'existence des sociétés modernes?

Enfin la scie droite elle-même, la scie à main, connue des Égyptiens et d'apparence si simple, si primitive, constitue en réalité un instrument beaucoup plus complexe et plus savant qu'on ne le suppose ordinairement, en raison de la forme triangulaire et prismatique de ses dents à évidements alternatifs pour loger la sciure, à taillants inférieurs obliques et dirigés vers le dehors pour trancher latéralement les fibres du bois, tandis que leurs biseaux inclinés antérieurs et leurs sommets pyramidaux avancés s'y enfoncent de droite ou de gauche et alternativement, à la manière des clous, des poinçons, pour mordre, déchirer le fond du sillon, en outre élargi au moyen d'une légère inflexion donnée à la pointe de ces mêmes dents, de part et d'autre de l'axe ou du dedans au dehors, ce qui constitue la voie et supprime le frottement, le pincement latéral et postérieur de la lame de scie, et, par suite, son trop grand échauffement. A ces ingénieuses dispositions il faudrait en joindre d'autres non moins essentielles et relatives, soit à la meilleure inclinaison à donner à ces biseaux dirigés de manière, tantôt à agir, tantôt à glisser sur le bois, sans l'entamer pendant le retour de la scie; soit à la forme même des dents de cette scie, susceptible de varier avec la dureté, l'épaisseur de la pièce à débiter, avec la direction des fibres à trancher, avec la possibilité d'opérer dans chacun de ces cas, à simple ou à double effet, en allant et en venant; différences qui s'aperçoivent très-bien dans les scies à crochets courbes et évidés des scieurs de long, dans les scies à dents isocèles et symétriques des menuisiers, dans le passe-partout à dents doubles ou à cornes dont se servent les charpentiers pour le sciage en travers, etc.

Ces dispositions si variées, si intelligentes, et les moyens mécaniques non moins ingénieux adoptés pour le bandage des lames dans leurs châssis rectangulaires, dans leur monture en arc de ressort métallique, en double T servant d'appui intérieur aux membrures extrêmes contre l'action de la vis ou de la corde de tension, ces dispositions originales et simples sont également dignes d'admiration, et elles supposent, de la part des inventeurs méconnus ou ignorés et des ouvriers qui dirigent le travail de tels outils et en soignent l'entretien ou l'affûtage, une étude non moins délicate qu'attentive et réfléchie.

D'ailleurs leurs combinaisons multiples, en y comprenant même celles qui concernent les instruments employés au travail du fer, du marbre, etc., ne sont pas aussi étrangères les unes aux autres qu'on pourrait le croire au premier abord. Leurs progrès, comme le perfectionnement même des diverses branches d'industrie, sont solidaires, et c'est, à coup sûr, une chose fort regrettable en soi et pour ses conséquences probables, que les auteurs aient autant négligé l'étude de leurs propriétés physiques et mécaniques, surtout en ce qui se réfère proprement à la classe des outils coupants, tranchants et perforants; car, on le sait par maints exemples, la vitesse, la masse, les formes et les proportions géométriques de ces outils jouent, en raison de l'inertie, du frottement et de la résistance de la matière à la pénétration, un rôle bien défini et non moins essentiel que leur élasticité et leur dureté relatives, ou que le degré du poli et le mode de graissage. C'est à tel point, en effet, qu'un simple changement dans l'ouverture, l'inclinaison d'un tranchant, l'altération du poli ou le manque de graissage, peuvent occasionner une déperdition, en travail moteur, variant du simple au quadruple, sans compter les déchets en matière première et les malfaçons, qui viennent justifier le proverbe : *On reconnaît l'ouvrier à l'outil.*

On sait, par exemple, qu'il est tel scieur de bois de chauffage, qui, par la manière d'affûter, de graisser et conduire sa scie, gagne, avec moins de fatigue journalière, trois ou quatre fois autant que tel autre peu intelligent ou inhabile. Ici, il est vrai, l'ouvrier est incessamment averti par sa fatigue même, tandis que, dans les machines conduites automatiquement, rien, pour ainsi dire, ne le guide, s'il n'est pas doué d'un esprit naturel d'observation, de bon vouloir comme surveillant et d'une expérience antérieurement acquise; faute de quoi la machine, malgré la bonté de son installation première, fonctionne mal et dans des conditions très-onéreuses. Or, cela prouve, en général, non pas simplement que l'on doit s'imposer un sacrifice pécuniaire, comparativement très-faible, pour s'approprier un excellent conducteur de machines, ce qui paraît assez évident en soi; mais cela démontre surtout l'importance que pourraient avoir des règles théoriques et expérimentales sur la forme, les proportions, la vitesse, etc., les plus avantageuses à donner, dans chaque cas, aux outils coupants; règles que des expériences en bloc sur l'ensemble d'une machine, telles qu'on en entreprend quelquefois en agriculture ou ailleurs, ne sauraient que bien rarement suppléer et contribuer à établir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces règles, en effet, dont on possède quelques-unes pour les outils à choc ou à compression, à roulement et glissement directs, n'auraient pas moins d'utilité pratique que celles qui se rapportent aux récepteurs ou moteurs inanimés dont les Bernouilli, les Euler, les Parent, les Deparcieux, les Smeaton se sont tant préoccupés à partir de la première moitié du dernier siècle ; car, par une instruction anticipée, elles serviraient tout au moins à abréger la durée de l'apprentissage des ouvriers, des contre-maîtres et des mécaniciens, sinon à préparer les meilleures bases et conditions d'établissement des machines en projet.

A la vérité, on a depuis longtemps fait la remarque capitale que tous les outils tranchants, perforants, etc., participent plus ou moins des propriétés et de la forme du coin ; mais, malheureusement, la théorie de cette machine simple est exposée dans les traités de statique à un point de vue purement abstrait, c'est-à-dire sans égard aux qualités physiques de la matière ou des parties en contact, notamment à l'adhérence et au frottement, qui croissent très-rapidement à mesure que l'angle au sommet du coin diminue, tandis que l'inverse a lieu par rapport à la résistance que l'élasticité et la cohésion de la matière opposent à la séparation des parties le long de ses côtés. Or, la considération des mêmes forces inséparables des effets physiques du coin conduit, dans chaque cas d'application, à d'intéressantes études théoriques et pratiques, relatives au minimum de dépense ou de travail mécanique nécessaire pour atteindre un but déterminé ; problème qui se reproduit pour tous les outils tranchants composés, et forme le pendant de celui qui concerne le maximum même d'effet utile des récepteurs dans les machines, mais dont les éléments de calcul ou d'appréciation manquent presque entièrement pour la classe d'opérateurs qui nous occupent : l'établissement mécanique en est effectivement demeuré aujourd'hui même, et pour beaucoup de cas, une affaire d'expériences incertaines, de tâtonnements empiriques et onéreux dans les ateliers qui prétendent sortir des voies de la routine ou d'une simple et servile imitation.

Ces dernières réflexions s'appliquent essentiellement aux machines à découper, hacher, déchirer, pulvériser plus ou moins grossièrement les matières végétales et animales, fibreuses, granuleuses, etc., réduites, amenées, pour certaines d'entre elles, à un état de siccité convenable, au moyen d'appareils à torréfier dont on a vu seulement quelques modèles à l'Exposition universelle de Londres, beaucoup plus riche en machines à scier, à tailler, à travailler diversement les bois, les métaux, les pierres et autres corps durs, à l'aide d'outils parvenus à un degré de perfection fort avancé, parce que, appartenant à des industries déjà anciennes, le besoin s'en est fait aussi plus vivement sentir en raison de la puissance des moyens à employer, de l'excessive fatigue qu'ils occasionnent et de la cherté relative des mains-d'œuvre.

L'expérience a depuis longtemps appris, par exemple, que, dans le travail des métaux et des corps les plus durs, l'angle des taillants doit, à cause de la solidité, être très-voisin de 90° ; que, pour les bois, cet angle se rapproche plus ou moins de 30° [1], et qu'il doit décroître ou le biseau s'effiler progressivement à mesure que la substance animale, végétale ou minérale est plus molle, plus mince, plus flexible ou plus déliée. En outre, pour ces dernières substances, et à moins que, agglomérées, elles ne soient très-fortement comprimées les unes sur les autres, cas auquel elles se comportent à peu près comme les solides d'une nature analogue, la vitesse, et, jusqu'à un certain point, la masse même de l'outil convenablement acéré, doivent croître avec la flexibilité, de manière à mettre à profit la résistance due à l'inertie, en joignant, dans tous les cas, à l'action normale ou directe du coin celle du glissement longitudinal du tranchant au travers de la matière à couper, c'est-à-dire de manière à opérer à la façon des scies véritables, dont, comme on sait, les dents sont, même pour les lames de rasoirs, remplacées par une série de crans imperceptibles, donnant lieu à de véritables arrachements et sans lesquels ils ne couperaient que bien difficilement. Ces dentelures microscopiques, comme l'expérience l'apprend encore, ne doivent pas être confondues avec ce qu'on nomme ordinairement le *morfil*, dont les barbes ou aspérités métalliques, irrégulières et extérieures au véritable tranchant, proviennent d'un premier repassage sur des pierres trop vives, et disparaissent par un second repassage des deux faces sur des matières plus fines, plus onctueuses, mais assez grenues néanmoins pour produire, dans des directions anguleuses et convergentes d'une face à l'autre, bien que parallèles sur chacune d'elles, les dentelures microscopiques dont il vient d'être parlé et qui constituent le véritable mordant de la lame. Enfin, on sait que l'inclinaison du tranchant par rapport à la direction naturelle des fibres de certaines substances et sa courbure même peuvent, dans quelques cas, exercer une très-grande influence pour empêcher la matière d'être attaquée sur trop de points à la fois, ou de glisser, d'échapper à l'action, à la pression directe, exercée par l'arête aiguë de ce tranchant. C'est ce qui arrive notamment dans les ciseaux à double branche des jardiniers et des ferblantiers, dans certaines cisailles à couper le fer, la paille, etc., où les biseaux doivent se rencontrer sous des angles dont le maximum dépend essentiellement de celui du frottement des substances en contact, et qui doivent, selon les cas, demeurer constants ou varier seulement entre des limites déterminées.

[1] Voir à l'article Outils le principe posé d'après Nasmyth, observant toutefois que le minimum de l'angle de l'outil n'est pas toujours admissible avec de puissantes machines-outils, et que si la petitesse de l'angle de l'outil rend moindre la force nécessaire pour son usage, elle limite aussi l'effort qu'il est possible de lui appliquer.

OUTREMER. Quoique la préparation de l'outremer date déjà de plus d'un quart de siècle, ce n'est guère que depuis cinq années que la fabrication en grand a acquis un certain degré de régularité et de perfection.

Nous croyons être utile, dit M. Stass (*Rapport du Jury de 1855*, auquel nous faisons cet emprunt) à la production en général en faisant connaître le procédé qui est actuellement employé dans les fabriques bien organisées, et qui n'a pas l'inconvénient d'exposer les ouvriers à des émanations sulfureuses. Ce procédé a pris naissance en Allemagne.

Matières premières. — Les matières employées sont le kaolin ou china-clay à l'état de division extrême, le sulfate de soude, le carbonate de soude, le soufre et le charbon de bois. Ce sont là les éléments de l'outremer pur bleu. Pour obtenir de l'outremer violet ou des violets rosés résistant à l'action de l'alun, il est nécessaire de faire intervenir le silex réduit en poussière impalpable.

Les rapports des matières premières varient suivant les qualités et les nuances que l'on veut obtenir. Désire-t-on produire de l'outremer pur bleu ; on doit forcer considérablement la dose du sulfate de soude dans le mélange ; veut-on produire de l'outremer destiné à l'azurage, on doit forcer la dose de carbonate de soude : on peut même supprimer presque entièrement le sulfate, mais alors il est indispensable d'ajouter à l'argile du silex porphyrisé, de manière à ce que le mélange renferme, sur 100 parties de matière argileuse supposée anhydre, 65 parties d'acide silicique et 35 d'alumine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Voici les rapports qui nous ont été fournis pour la préparation de l'outremer pur bleu :

Argile blanche réduite en poudre impalpable.	37
Sulfate de soude anhydre.	15
Carbonate de soude	22
Soufre pur. , ...	18
Charbon de bois.	8
	100

Suivant les nuances, on augmente plus ou moins le sulfate ou le carbonate, mais en diminuant proportionnellement l'un ou l'autre, suivant l'addition faite. Le bleu est d'autant plus riche et colorant qu'on est parvenu à y fixer une plus grande quantité de soufre à l'état de sulfure sodique. Les plus beaux bleus Guimet renferment de 8 à 10 p. 100 de soufre. Par l'emploi du sulfate de soude, on arrive à ce résultat. Certains outremers violets rosés ne contiennent que 4 à 5. p. 100 de soufre ; aussi résistent-ils mieux à l'action de l'alun.

Pour procéder à la fabrication de l'outremer, on commence par réduire toutes les matières premières en poudre. Elles sont ensuite mêlées. Le mélange tamisé est introduit dans des creusets pouvant contenir chacun de 12 à 15 kilogrammes. Ces creusets, au nombre de 150 à 200, sont placés dans un four et empilés les uns sur les autres, de manière à ce que le fond de l'un serve de couvercle à l'autre. Quand le four en est complétement rempli, ils sont portés *très-lentement au rouge sombre et maintenus à cette température pendant deux fois vingt-quatre heures*. Le règlement de la température est d'une importance extrême, d'elle dépend le résultat de l'opération : si elle est trop basse, la réduction du sulfate en bisulfure ne se produit pas, et l'outremer ne prend pas naissance ; si elle est trop élevée, l'outremer produit se détruit et la masse fond. Pendant la réaction, il se dégage de l'acide carbonique et de la vapeur de soufre qui se transforme en acide sulfureux.

Au bout de quarante-huit à cinquante heures environ, on laisse refroidir le four. Si l'air n'a pas pénétré dans les creusets pendant la calcination et pendant le refroidissement, il s'est produit de l'*outremer vert*, mêlé de bisulfure de sodium ; dans le cas contraire, une partie de l'outremer vert et du sulfure sodique est passée, sous l'influence de l'oxygène de l'air, à l'état d'outremer bleu et de sulfate de soude. Dans l'un et l'autre cas, si l'opération a été bien conduite, le mélange se présente sous la forme d'une masse à peine agglutinée, très-friable. On extrait ensuite cette masse des creusets, on la lave à l'eau pour enlever toutes les matières solubles. Après dessiccation, la poudre verte obtenue est introduite soit dans de grands cylindres de fer ou de grès, soit dans des fours qui ont la forme des fours des boulangers, et soumise là à une température qui ne doit pas dépasser le rouge le plus sombre. Sous l'influence de la chaleur, il se fait une absorption d'oxygène, une certaine quantité de soufre se brûle, et se transforme en acide sulfureux qui devient libre. Malgré ce dégagement, l'*outremer vert*, en se transformant en *outremer bleu*, augmente très-notablement de poids. Quand on opère cette transformation dans des cylindres, il est indispensable de remuer constamment la masse pour renouveler les surfaces, afin de mettre successivement tout l'outremer déjà chauffé au contact de l'air. Lorsqu'on se sert d'un four, on peut se dispenser de renouveler les surfaces, à cause de la moindre épaisseur de la couche ; l'air, dans ce cas, pénètre suffisamment toute la masse. On laisse l'outremer ainsi exposé jusqu'à ce que l'on ait obtenu le maximum de coloration. Ce terme s'atteint quelquefois en quelques heures ; d'autres fois, il faut une demi-journée de *torréfaction*. L'outremer, pendant qu'il est chaud, paraît le plus souvent terne ; il acquiert un plus grand éclat pendant le refroidissement.

Sous l'influence de la chaleur et de l'air, une certaine quantité du sulfure sodique combiné s'est oxydé et s'est transformé en sulfate ou en hyposulfite, mais le plus souvent en hyposulfite. Il arrive aussi souvent que du sulfure de sodium et de la soude deviennent libres. L'outremer obtenu doit donc être soumis à un nouveau lavage, qui doit être excessivement soigné, car la présence des hyposulfites et du sulfure sodique lui communique des défauts très-considérables, au point de vue de tous ses usages. L'enlèvement complet de tous ces sels, même par l'eau chaude, est parfois excessivement difficile à obtenir manufacturièrement. Aussi trouve-t-on souvent dans le commerce que les outremers les plus beaux exhalent une odeur d'acide sulfhydrique, ou que, mis en contact avec un sel métallique, ils communiquent à celui-ci une teinte grisâtre ou ardoisée, défaut énorme quand il s'agit de leur emploi dans l'impression sur tissus mordancés à l'aide de sels métalliques. On observe également que quelques outremers d'une grande richesse en matière colorante exhalent de l'acide sulfhydrique lorsqu'on les mêle à de l'huile de lin. Ce dégagement est quelquefois assez grand pour incommoder le peintre qui se sert de cette matière colorante. Nous devons ajouter que presque tous les outremers bleu pur exposés, et nous dirons *même les plus beaux*, présentent à un degré plus ou moins prononcé ce défaut. Quelques-uns, enfermés dans des bocaux, exhalent spontanément une odeur d'acide sulfhydrique ; d'autres perdent leur couleur pure, qui devient ainsi légèrement ardoisée quand on les mêle à du blanc de plomb et de l'huile de lin. Il n'y en a même que trois qui aient conservé dans cet essai la pureté de leur teinte. D'autres enfin ont produit une véritable effervescence d'acide sulfhydrique lorsqu'on les a incorporés à de l'huile de lin siccative.

En attribuant à un lavage insuffisant les défauts que nous venons de signaler, nous sommes bien loin de prétendre que certains outremers, les mieux lavés, ne les offrent pas à la longue. Nous sommes même disposés à admettre ce fait, mais il ne se présentera qu'autant que, dans la préparation de l'outremer, on aura employé *trop de sulfate* et *pas assez de carbonate* de soude, afin d'obtenir des nuances d'un bleu très-pur ou d'un bleu très-légèrement teinté de vert et excessivement éclatant.

L'eau dont on se sert pour opérer le lavage doit contenir le moins possible de matières étrangères, et notamment de sels de chaux, qui ont le défaut de se déposer sur l'outremer et de lui enlever une partie de son éclat. Quelques-uns des outremers exposés renfermaient ainsi du carbonate calcaire, au point de produire une effervescence d'acide carbonique par leur contact avec une solution d'alun.

L'outremer tel qu'il résulte du lavage est très-grossier, quoiqu'il ait été préparé avec les matières les plus divisées, mais il jouit d'un éclat très-vif et d'une intensité de couleur extraordinairement grande.

Pour le rendre propre aux différents emplois, il est indispensable de le porphyriser. Généralement, on exécute cette opération en le broyant sous des meules horizontales de silex. Le broyage terminé, il est convenable de le soumettre à un nouveau lavage, qui souvent enlève des matières solubles qui ont échappé en premier lieu ou qui se sont produites par l'opération du broyage. Il ne reste plus alors qu'à abandonner l'outremer à la dessiccation de l'étuve.

De toutes les matières colorantes, il n'y en a aucune dont la consommation soit aujourd'hui aussi considérable que celle de l'outremer artificiel. L'inaltérabilité de l'outremer bleu pur, sous l'influence de l'air, de l'eau, de la lumière, des matières grasses, la richesse de sa couleur, la beauté de sa nuance, l'ont fait employer, dès l'origine de sa découverte, pour la peinture

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à l'huile, à la miniature, à l'aquarelle. Quand son prix a été abaissé, ces mêmes qualités l'ont fait rechercher pour les impressions sur tissus, pour les impressions typographiques et lithographiques, pour la fabrication du papier de tenture, pour la peinture murale. La propriété que possèdent les outremers violacés, et surtout les outremers à reflet rosé, de résister plus ou moins à l'action de l'alun, a permis de les utiliser pour l'azurage des papiers dans le collage desquels entre l'alun. La faculté dont jouit l'outremer, quand il est d'une très-grande finesse, de se tenir en suspension dans l'eau plus longtemps que ne le font la plupart des autres matières minérales bleues, l'avantage qu'il a sur le bleu de Prusse de résister à l'action des alcalis, le font employer exclusivement aujourd'hui pour l'azurage des tissus, des fils, du linge, etc. L'inaltérabilité de l'outremer vert, par les alcalis et par les vapeurs ammoniacales, le fait rechercher pour la fabrication du papier vert de tenture, pour les impressions sur papiers et sur tissus, pour la peinture murale et pour le badigeonnage en vert.

Tous ces usages réunis portent sa consommation actuelle à 2,500,000 kilogrammes, représentant une valeur moyenne de 5,000,000 de francs, car l'outremer de première qualité qui, dans l'origine de sa découverte, se payait 600 francs le kilogramme, se vend aujourd'hui de 2 fr. 20 cent. à 3 fr. D'après des indications fournies par M. Guimet, il existerait aujourd'hui en Europe environ quatre-vingts fabriques d'outremer, dont la plupart se trouvent en Allemagne, où la vulgarisation de la chimie pratique a engendré de nombreux et excellents coopérateurs pour les industries chimiques un peu délicates, qu'ils font prospérer plus rapidement aujourd'hui que dans aucun autre pays.

La production de l'outremer artificiel est incontestablement une des applications les plus belles et les plus fécondes de l'analyse chimique. Elle a donné naissance à une industrie considérable, répondant à un besoin réel de la société; elle a ouvert ainsi une voie nouvelle à l'activité humaine; elle a créé de plus une source de richesse et de jouissances. L'initiative de la fabrication de l'outremer artificiel appartient, sans contestation aucune, à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale de France; elle en a été réellement la promotrice, en proposant un prix pour cette découverte et excitant les recherches de M. Guimet, qui l'a remporté.

OUVRIER. L'ouvrier est le principal rouage du grand mécanisme que nous appelons l'industrie; ce n'est qu'en proportion de son énergie, de son intelligence, de son goût, qu'elle peut grandir et se développer. Les peuples sans énergie n'ont pas d'industrie, le travail leur paraît un fardeau, et ils aiment mieux végéter dans la misère que de s'efforcer d'en sortir.

L'intelligence de l'ouvrier, développée par la pratique et l'observation, peut l'élever au rang d'un savant; il faut qu'il connaisse admirablement les propriétés des substances sur lesquelles il opère pour proportionner exactement l'effort qu'il exerce au but à atteindre. Son goût est en jeu chaque fois que l'élégance du produit importe, et il arrive à pouvoir être confondu avec un artiste dans bien des cas.

La vulgarisation des principes des sciences, la vue des chefs-d'œuvre de l'art forment les plus puissants moyens de développer des facultés qui se traduisent, pour une nation tout entière, en accroissements de richesse et de bien-être qui élèvent le niveau général.

Toutes les institutions, toutes les libertés qui augmentent la valeur morale de l'ouvrier et le poussent à multiplier ses efforts, sont autant de causes de richesses pour tous, car les bras de l'homme n'agissent qu'autant qu'ils sont incités au travail par l'esprit, et c'est l'agrandissement des esprits, on le comprend bien aujourd'hui, qui fait les grandes nations, formées de citoyens sachant accomplir courageusement et intelligemment tous les devoirs qui leur incombent, comme producteurs, comme pères de famille, comme membres actifs et utiles d'une grande association.

Nous sortirions trop de notre cadre, si nous voulions traiter ici de toutes les questions qui se rapportent à l'éducation de l'ouvrier, à l'instruction professionnelle, à l'apprentissage, etc.; nous les passons en revue en parlant de l'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE : mais nous pouvons dire que cet ouvrage tout entier est consacré à fournir aux producteurs de tout genre l'ensemble des renseignements, des connaissances de toute nature qui peuvent leur être utiles dans toute industrie, et que rien ne nous a plus soutenu, dans le cours de longs travaux, que la conscience que nos efforts viendraient aider aux succès et mieux encore aux progrès de nombre d'entre eux,

OXALIQUE. La fabrication de l'acide oxalique avait été jusqu'à ces derniers temps exécutée par le procédé de Bergmann, en oxydant l'amidon et non le sucre, dont Bergmann faisait usage, par l'acide nitrique dont il avait lui-même fait l'emploi.

Cependant Vauquelin avait transformé l'acide pectique en acide oxalique par la potasse, et Gay-Lussac, en agissant avec l'hydrate de potasse sur la sciure de bois, avait montré comment, elle aussi, pouvait donner de l'acide oxalique par une action oxydante de l'eau, que la chimie pure a utilisée plus tard d'une manière heureuse. Mais la chimie industrielle n'en avait pu encore tirer parti, malgré les tentatives de M. Persoz, qui, en montrant qu'un mélange de soude et de potasse fonctionnait mieux que chacun de ces alcalis isolément, avait fait faire un nouveau pas à une question intéressante; les travaux de M. Dale, à Manchester, l'ont résolue complétement. Nous donnerons ici la description de cette fabrication, d'après le savant M. Balard.

M. Dale, utilisant les dernières expériences que j'ai rappelées, opère avec un mélange de deux équivalents de soude pour un de potasse : la liqueur alcaline, complétement caustifiée, est amenée par la concentration à la densité de 1,35; on la mêle dans cet état avec la sciure de bois, de manière à faire une pâte qui, placée sur des plaques de fer établies en plein air et chauffées par-dessous, est constamment retournée avec des ringards. Elle se dessèche d'abord, et la température s'élevant ensuite, il se dégage de l'hydrogène et des carbures d'hydrogène; il se manifeste en même temps une odeur aromatique particulière. Après que le mélange a été maintenu pendant une ou deux heures à la température d'environ 200 degrés centigrades, cette première phase de l'opération peut être considérée comme terminée; le bois est transformé en produit ulmique entièrement soluble dans l'eau. La masse contient déjà de 1 à 4 p. 100 d'acide oxalique, un peu d'acide formique, mais point d'acide acétique, comme on aurait pu le soupçonner. On continue l'action de la chaleur en retournant la matière avec le plus grand soin, pour éviter que la température trop élevée ne vienne détruire l'acide oxalique formé aux dépens de la matière brune qui s'était produite d'abord. L'action de la chaleur est continuée jusqu'à ce que cet acide fasse de 28 à 30 p. 100 du poids de la matière sèche. On transporte alors cette matière pulvérulente, de couleur foncée, dans une chaudière en tôle, où on la traite par une petite quantité d'eau à 30 degrés environ. Tout se dissout, excepté de l'oxalate de soude, sel peu soluble, qui se réunit au fond du vase. Ainsi, quoique la potasse ait contribué à l'action, c'est, conformément aux lois de Berthollet, sous la forme d'oxalate de soude que l'on obtient l'acide oxalique. La liqueur qui surnage cet oxalate et qui n'en renferme que très-peu en dissolution, est évaporée à siccité; le résidu placé dans un four à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

révèrbère régénère, par suite de la destruction de la matière organique, un mélange de carbonates alcalins qui, caustifiés de nouveau, peuvent servir à une autre opération, pourvu, bien entendu, qu'on leur ajoute une quantité de soude égale à celle qui est restée sous la forme d'oxalate. Il est nécessaire, en effet, que les proportions des deux alcalis soient celles que nous avons indiquées, et avant de faire usage d'une lessive, il convient de titrer ce qu'elle renferme.

L'oxalate de soude ainsi obtenu est lavé et décomposé à l'ébullition par l'hydrate de chaux. Il se produit de la soude caustique, qui rentre dans le roulement général des opérations, et de l'oxalate de chaux, qu'on recueille, qu'on lave et qu'on égoutte rapidement. Pour cela on le place sur une toile étendue elle-même sur une couche de gros sable siliceux; celui-ci est placé sur le double fond d'une chaudière qui communique par sa partie inférieure avec un appareil où on fait le vide.

L'oxalate de chaux, ainsi bien lavé, est traité par l'acide sulfurique faible, mais employé en grand excès, car on ajoute trois équivalents d'acide sulfurique pour un d'oxalate; la liqueur, séparée par décantation du sulfate de chaux qui s'est produit, est évaporée dans des chaudières de plomb, et refroidie dans des cristallisoirs de ce métal; elle donne des cristaux d'acide oxalique, colorés en brun par un peu de matière organique, mais qu'une nouvelle cristallisation rend tout à fait purs. La sciure de bois, ainsi traitée, fournit la moitié de son poids d'acide oxalique, produit qui n'a consommé en définitive que des matières d'un bas prix, de l'eau, de la chaux, de l'acide sulfurique et du combustible; car les alcalis, plus coûteux, rentrent dans l'opération, et n'éprouvent que cette perte insignifiante qui accompagne nécessairement le maniement d'un produit quelconque. Aussi le prix de l'acide oxalique a-t-il baissé presque de moitié, depuis que la fabrication que nous décrivons est montée sur une grande échelle.

Comme elle est pratiquée en ce moment, elle exige un emploi de combustible tel qu'il paraît peu probable qu'on pût l'exécuter d'une manière fructueuse dans d'autres localités que dans le voisinage des houillères. Une tonne d'acide oxalique consomme pour sa production 40 tonnes de houille : aussi M. Dale et ses associés, profitant de leur expérience et des facilités que leur donne pour cette production la contrée si riche en charbon dans laquelle ils sont placés, sont en mesure de fabriquer 15 tonnes d'acide oxalique par semaine, quantité énorme qui suffirait maintenant à la consommation totale des manufactures des différents pays.

OXYCHLORURES. M. Sorel, bien connu par son invention du zincage ou galvanisation du fer, a montré le parti qu'on pouvait tirer de l'oxychlorure de zinc comme matière plastique, durcissant lentement et acquérant une grande dureté. L'analogie du zinc et du magnésium est telle, qu'on devait compter, par avance, retrouver des propriétés analogues à l'oxychlorure de magnésium. L'expérience a réalisé ces prévisions; le nouveau composé s'applique, avec le plus grand succès, à tout ce à quoi l'oxychlorure de zinc était employé. Les produits obtenus sont durs, élastiques, à surface lisse et brillante. Il a, de plus, l'avantage d'être à très-bas prix, au point de pouvoir lutter, sous ce rapport, avec les ciments usuels. Il a une cohésion remarquable et peut servir à agglomérer, avec une cohésion suffisante, vingt et même trente-quatre fois son volume de matières inertes. Il peut aussi être allié au sulfate de baryte et former des bas-reliefs qui ont le poids et toutes les qualités extérieures du plus beau marbre blanc. Enfin, employé en peinture, il recouvre les corps friables d'une surface très-adhérente et dont la dureté est très-grande.

Toutes ces propriétés doivent être utilisées tôt ou tard par diverses industries. Par exemple, les oxychlorures résolvent une difficulté pratique d'un certain intérêt, celle de faire des peintures décoratives à l'intérieur d'un appartement sans incommoder les personnes qui l'habitent, comme le font les peintures à l'huile.

OXYGÈNE. L'industrie de l'oxygène, le moyen de préparer à bon marché le gaz qui produit la combustion, a reçu plusieurs solutions qui vont la constituer bientôt à l'état pratique.

Nous laisserons de côté la préparation bien connue à l'aide du peroxyde de manganèse usitée dans tous les laboratoires de chimie, et qui ne peut guère convenir pour la production sur une grande échelle.

L'expérience fondamentale de Lavoisier consistant à oxyder le mercure avec l'oxygène de l'air, puis à décomposer par la chaleur l'oxyde rouge formé par la première opération, peut être considérée comme le modèle de tous les systèmes propres à préparer l'oxygène industriellement; car naturellement ils se réduisent à l'extraire du réservoir indéfini que nous offre l'atmosphère, formé d'un mélange d'oxygène et d'azote, par une série d'opérations continues, d'oxydations et de désoxydations successives.

M. Boussingault avait pensé rencontrer dans la baryte une substance propre à effectuer les opérations précédentes dans des conditions convenables pour la pratique industrielle. Au rouge sombre, la baryte caustique traversée par un courant d'air se transforme en deutoxide (ou sesquioxide) de barium, et celui-ci se décompose au rouge vif, en donnant de l'oxygène et de la baryte. Il semble donc qu'en répétant l'opération, on a un moyen de préparation satisfaisant, et en effet il arrive assez souvent qu'il paraît en être ainsi. Mais, généralement, la production de l'oxygène va en diminuant avec le nombre des chauffages sans doute par un effet de vitrification, de diminution de porosité de la baryte, difficile à éviter dans la pratique industrielle, en opérant sur de grandes masses.

La route était bien tracée par M. Boussingault, et la question se réduisait à trouver une substance qu'il ne fût pas nécessaire de chauffer à une température élevée pour dégager l'oxygène. C'est dans ce but que MM. Tessier du Motay et Maréchal ont eu recours aux manganates alcalins pour préparer l'oxygène destiné à l'éclairage, pour faire passer dans la pratique courante la lumière Drummond.

Lorsqu'on chauffe dans une cornue en fonte, et à une température de 450 degrés environ du manganate de soude, en y faisant passer un courant de vapeur d'eau, ce sel se décompose en oxyde de manganèse et en soude hydratée. Le courant de vapeur entraîne avec lui l'oxygène qui provient de cette réduction; et si on force cette vapeur à traverser un réfrigérant, elle s'y condense, tandis que l'oxygène s'accumule dans un gazomètre disposé à cet effet. Le mélange qui reste dans la cornue peut reconstituer le manganate employé; il suffit de remplacer le courant de vapeur par un courant d'air et de chauffer seulement au rouge sombre.

Cette manœuvre peut être répétée un très-grand nombre de fois, sans que l'oxyde de manganèse, en présence de la soude, perde de sa propriété absorbante. Dans le cours de ses expériences, M. Tessier du Motay a constaté que 50 kilogrammes de manganate de soude fournissaient encore 400 à 450 litres d'oxygène par heure, après quatre-vingts réactions successives.

Nous pensons qu'il est nécessaire, si l'on désire que la succession des opérations puisse être indéfinie, de purger l'air atmosphérique employé de toute trace d'acide carbonique, en lui faisant traverser, avant son entrée dans la cornue, une dissolution alcaline ou des couches de chaux vive, comme on le fait pour la purification du gaz d'éclairage. Sans cette précaution, les faibles quantités d'acide carbonique contenues dans l'air,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'accumulant à la longue sur la soude, détruiraient sa causticité; or celle-ci est indispensable pour déterminer la transformation du sesquioxyde de manganèse en acide manganique.

Ce procédé fournit, selon les inventeurs, l'oxygène à 72 centimes le mètre cube, à Paris, et à 50 centimes au plus, dans les contrées où la houille est à meilleur marché qu'à Paris.

M. Mallet a proposé pour la préparation industrielle du gaz oxygène, l'emploi du protochlorure de cuivre qui a la propriété de se transformer au contact de l'air froid en oxychlorure de cuivre, et de céder par la simple action de la chaleur à 400 degrés, l'oxygène qu'il a absorbé pour revenir à l'état de protochlorure. M. Mallet annonce qu'il obtient de 100 kilogrammes de protochlorure de cuivre, mélangé à une substance inerte, du sable ou du kaolin, qui le défende de la fusion ignée, de 15 à 18 mètres cubes de gaz oxygène, au prix de 50 à 60 centimes. Un avantage de ce mode de préparation est la facilité de faire succéder la production de l'oxygène à celle du chlore, en faisant passer sur le protochlorure revivifié, l'acide chlorhydrique gazeux des fours à soude, qui le transforme en bichlorure de cuivre, qu'on peut ramener par la chaleur à l'état de protochlorure. Le chlore dégagé servirait à la préparation directe du chlorure de chaux ou autre dans des conditions de nature à fixer l'attention des industriels. Lente à la température ordinaire, l'absorption de l'air ou du chlore de l'acide chlorhydrique par le protochlorure de cuivre est presque instantanée, quand l'air est à la fois humide et chaud; à 100 et 200 degrés, il se précipite sur le sel comme dans le vide.

P

PAPIER MACHÉ. Une foule d'articles, tels que coffrets, guéridons, écrans, etc., sont le produit d'une industrie assez considérable en Angleterre, dont le centre est à Volverhampton et à Birmingham; ils sont dits en papier mâché et devraient être dits en papier collé. Les procédés de cette fabrication sont peu connus, et nous en avons trouvé pour la première fois la description dans l'ouvrage de M. Jobard sur l'Exposition universelle de 1855. Nous la reproduisons ici.

Commençons par la matière première, qui est un papier gris-bleu, sans colle, fort doux, dont la pâte est très-fine. Les feuilles peuvent être comparées au papier lithographique d'Annonay, sauf la blancheur dont on ne s'occupe pas; le coton en fait la base.

Ces feuilles sont collées les unes sur les autres, à grands flots de dextrine ou d'amidon, appliqué à la spatule d'acier. Quand on en a l'épaisseur désirée, depuis une ligne jusqu'à un pied, on porte cette masse sous une presse hydraulique, agissant dans un séchoir à haute température. Sous cette pression énergique il se forme une planche solide et dure comme du bois de buis ou d'ébène, d'une planimétrie parfaite ou de la forme du moule chauffé dans lequel on a comprimé cette matière première, si ductile pendant qu'elle est humide, et si solide quand elle est sèche, sous forme de socles, pieds de guéridon, bras de fauteuil, feuilles d'acanthe, rosaces ou moulures quelconques, car elle se prête à tout.

Cette espèce de bois sans pores, sans sève, sans fibres, sans nœuds, se laisse parfaitement travailler à la scie, à la gouge, à la râpe et au tour; elle se laisse polir au besoin, bien que cette dernière opération soit réservée pour le vernis noir, dur et épais, dont on la charge à plusieurs reprises, après l'avoir laissé passer une nuit dans les séchoirs à air chaud, extrêmement chaud, d'où il sort très-dur, sans bouillons et sans gerçures.

Nous croyons que ce beau vernis du Japon, ces beaux laques de Chine, sur lesquels on nous a fait tant de contes bleus, en nous disant qu'ils provenaient d'un arbuste particulier au pays (*verniz japonica*), ne sont autre chose qu'un mélange de gomme copal, de bitume, de goudron, de résine, d'arcanson et autres hydrocarbures imprégnés de noir de fumée et de couleurs, dans certaines proportions.

Le point de cuisson est le point important : trop cuit, le vernis s'écaille et se gerce; trop peu, il poisse. Il ne faut donc pas dépasser certaine température toujours supérieure à 100 degrés.

Nous avons dit que ce prétendu papier mâché se laisse tourner avec grande facilité et qu'on en fait des boules et des grains de chapelet incassables et légers, qu'on le creuse en encriers, en écrins, en cylindres.

C'est avec cette matière qu'on fabrique tous ces bracelets à gros grains noirs semés de diamants faux d'Écosse, tous ces colliers, ces épingles, ces fermoirs, ces bijoux de toutes sortes que l'on prend pour du jayet ou quelque bois précieux antédiluvien.

Ces charmants bracelets, composés de globules semi-lucides et opalins qui semblent taillés dans une roche formée de couches concentriques, comme certaines pierres précieuses, ne sont encore que du papier mâché collé au vernis blanc et recouvert de même.

Ces beaux plateaux, coffrets, guéridons et écrans nacrés, peints et dorés, connus sous le nom d'ouvrages du Japon, ne sont aussi que du papier mâché; mais les Japonais ne connaissent qu'une seule espèce de dorure, et nous en avons deux : le doré mat et brillant. Nous avons aussi la nacre liquide, tirée des ablettes, qui fait si bien les grains de groseilles blanches et certaines baies transparentes. La nacre est incrustée solidement avec la presse hydraulique. Enfin la surface est poncée pour obtenir un plan parfait, et recouverte d'un vernis incolore de première qualité.

PARACHUTE. On donne aujourd'hui le nom de parachute à des appareils employés surtout dans les mines pour empêcher la chute d'une tonne, lors de la rupture d'un câble.

Ces appareils, comme les roues à déclic et à rochet, d'un usage si ancien, les butoirs à ressort d'encliquetage, si ingénieusement disposés par M. Dobo, etc., constituent, comme le fait remarquer le savant M. Poncelet, autant de moyens de s'opposer au mouvement de recul, par une action spontanée du mécanisme, résultant de l'arc-boutement énergique des tasseaux, lequel donne lieu, comme le montre la théorie du frottement, à une résistance bien autrement absolue que n'en comportent des freins modérateurs, dont le dispositif, empruntés aux anciens moulins à vent, présente aussi, en raison de l'étendue, de la continuité des surfaces d'appui, de la sûreté et de la facilité de la manœuvre en l'un ou l'autre sens, de bien grands avantages. D'autre part, ajoute M. Poncelet, je ne dois pas laisser échapper l'occasion de faire remarquer que, déjà en 1821, Claude Perrault proposait, en termes assez obscurs, il est vrai, sous le nom de *main mécanique*, d'*analemme*, un système de tasseaux-butoirs qui, en s'arc-boutant de part et d'autre sur une corde verticale en charge, l'empêchent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de rétrograder d'une manière absolue, tout en lui laissant la liberté de cheminer en sens contraire : le seul cas où la corde devient complétement libre correspondant à celui où l'homme de service, appliqué à une tiraude verticale, oblige les tasseaux à s'ouvrir, contre l'action de ressorts, d'un angle que limitent d'ailleurs des brides transversales unissant, avec jeu, les têtes ou sommets butants de ces tasseaux.

Revenons à l'objet spécial de cet article :

La descente et l'ascension journalières par des échelles dans les puits de mines profonds occasionnent aux ouvriers mineurs des fatigues qu'ils deviennent incapables de supporter à un âge peu avancé, et qui, dans la période active de leur vie, absorbent une partie du travail musculaire qu'ils sont susceptibles de fournir. Aussi préfèrent-ils descendre et remonter dans les tonnes mises en mouvement par les machines qui servent à l'extraction des minerais. Cette pratique donne lieu à des accidents nombreux causés par les ruptures de câbles, les chocs de tonnes l'une contre l'autre ou contre les parois des puits. On en a éloigné le retour en s'assurant fréquemment du bon état des câbles, et surtout en guidant les tonnes au moyen de longuerines en bois ou de tiges en fer établies dans toute la hauteur des puits. On a aussi remplacé les tonnes dans plusieurs mines de premier ordre par de grands appareils à mouvement alternatif, destinés à l'ascension et à la descente des ouvriers. Ce mode d'introduction et de sortie des ouvriers n'est pourtant pas tout à fait exempt de dangers; d'ailleurs l'appareil occupe un puits tout entier ou au moins une grande partie d'un puits; il exige une machine spéciale; il coûte, en conséquence, assez cher et ne peut être appliqué qu'à des mines d'une très-grande importance.

M. Machecourt a publié, en 1845, la description d'un parachute qu'il avait appliqué aux tonnes dans un puits de mine de houille de Decize (Nièvre). Cet appareil, interposé entre la tonne et le câble auquel elle est suspendue, est formé de deux barres de fer qui se croisent et tournent, à peu près comme les deux branches des ciseaux de tailleur, autour d'un même boulon horizontal. Lorsque le câble de suspension est tendu par le poids de la tonne, les deux barres se croisent sous un angle peu ouvert, et les extrémités de leurs branches inférieures sont maintenues à une petite distance des longuerines en bois qui guident la tonne. Des ressorts tendent à augmenter l'ouverture de cet angle; mais cet effet est empêché par des chaînes qui rattachent les extrémités supérieures des barres à un point du câble de suspension situé plus haut. Le câble vient-il à se rompre, sa tension cesse, les ressorts deviennent libres d'agir; les extrémités inférieures des barres du parachute viennent s'appuyer contre les longuerines en bois dans lesquelles elles pénètrent par une arête tranchante, et la tonne reste suspendue au parachute, qui est ainsi accroché aux longuerines-guides. L'usage de cet appareil ne s'est pas répandu, malgré la publicité qui lui avait été donnée.

En 1849, M. Fontaine, chef d'atelier aux mines d'Anzin (Nord), a installé dans un puits, dit *Fosse Tinchon*, un parachute fondé sur le même principe que celui de M. Machecourt, mais dont la construction est mieux entendue. Dans le parachute Fontaine (fig. 3662), les deux barres de fer terminées par des griffes, qui doivent au besoin pénétrer dans le bois des longuerines-guides, tournent autour de deux boulons horizontaux parallèles, portés par une sorte de chape invariablement fixée sur une tige verticale en fer qui est accrochée au câble de suspension. Lorsque la tonne est portée par le câble tendu, les bras du parachute forment entre eux un angle dont l'ouverture est limitée, de manière que les griffes ne touchent pas les longuerines. Le câble vient-il à se rompre, l'action du ressort à boudin tire vers le bas la tige et tout l'appareil parachute. Il en résulte infailliblement un plus grand écartement des bras en fer, dont les griffes viennent s'enfoncer dans les longuerines. Un chapeau en tôle, heureusement ajouté par M. Fontaine à son appareil, couvre la cage, et reçoit la partie du câble inférieur à la section de rupture, qui, sans cela, tomberait sur la tête des ouvriers et pourrait les tuer ou les blesser grièvement.

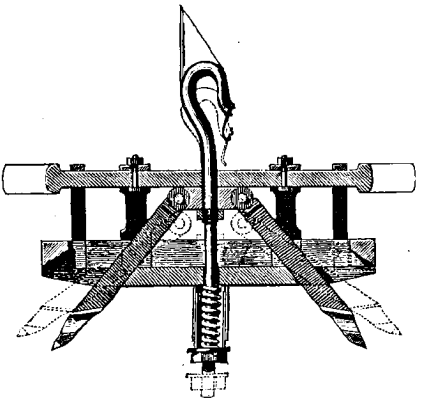


Fig. 3662.

Le parachute Fontaine avait déjà, en 1854, sauvé la vie à seize ouvriers; l'appareil avait toujours très-bien fonctionné.

Parachute à friction. — Le défaut de tous les parachutes, c'est l'intensité effrayante du choc qui peut se produire au moment de la rupture de la corde, et engendrer des effets quelquefois aussi funestes que ceux que l'on a cherché à éviter. M. Nyst s'est proposé de produire l'arrêt par un frottement assez grand pour retenir le poids de la cage chargée, mais trop faible pour vaincre instantanément la force vive dans le cas de grands chocs : le problème se réduit alors à trouver un frein capable de retenir un poids déterminé et d'absorber en un peu de temps une grande force vive.

Il a eu recours à cet effet aux propriétés du coin surtout précieuses pour obtenir des freins très-puissants. Ainsi, pour faire glisser horizontalement une pièce de fer de 500 kil. à surface plane sur une autre pièce de fer plane, il faut un effort de $500 \times 0{,}138 = 69$ kilog.; mais si, au lieu d'être planes, ces pièces s'emboîtent en forme de coin, ayant à la tranche un angle de 10°, il faudra, pour faire glisser la pièce de 500 kilog., un effort de $500 \times 0{,}138 \times 11{,}45 = 790$ kilog.

Le multiplicateur 11,45 est le rapport de la hauteur à la demi-base du triangle isocèle formant le coin, et ce multiplicateur est d'autant plus grand que l'angle de la tranche est plus petit. Or, on peut rendre l'angle à la tranche aussi petit que l'on veut, parce que les faces latérales seules donnant le résultat précité, on peut tronquer le coin sans changer ce résultat. On trouve donc dans l'emploi du coin un frottement assez grand pour produire l'arrêt de très-grandes charges avec une faible pression; de là l'idée de donner aux guides la section d'un coin tronqué, et de faire prendre sur ces guides, par un mécanisme convenable, des griffes également cunéiformes.

La figure 3662 *bis* représente la cage munie de l'appareil fondé sur les principes qui viennent d'être rappelés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Deux longerons en bois ou en fer AA ayant la section d'un coin tronqué servent de guides à la cage, qui porte à cet effet deux patins BB à la partie supérieure et deux autres B'B' à la partie inférieure.

Sous le toit de la cage, les deux côtés latéraux de celle-ci sont reliés par deux traverses CC qui portent les centres d'oscillation DD de deux leviers EE. Le bras le plus court de ces leviers se termine en fourche cunéiforme, l'autre est légèrement plié de côté. Par cette disposition les deux grands bras de levier peuvent se juxtaposer alors que les deux petits bras de levier se projettent horizontalement sur une même droite avec les guides. Les deux grands bras de levier sont saisis par une chape F qui glisse entre deux guides G G et qui se termine par une tige à laquelle est attachée la corde. Les deux leviers étant ainsi solidaires l'un de l'autre, il ne pourra pas arriver, comme cela a eu lieu pour le parachute Fontaine, que l'une des griffes fasse prise quand l'autre ne le fait pas. Enfin, entre la chape et le toit de la cage se trouve un ressort qui tend constamment à abaisser la chape et par conséquent à ramener les leviers dans l'horizontalité.

Si donc la corde soulève la cage, le poids de celle-ci comprime le ressort et les leviers sont inclinés. Cette inclinaison et une faible excentricité résultant de ce que les centres d'oscillation des leviers se trouvent plus élevés que les centres de figure, font que les griffes se rapprochent l'une de l'autre et ont un écart moindre que celui des guides. Mais aussitôt que la corde ne retient plus la chape, le ressort exerce sur celle-ci son effet, elle s'abaisse et entraîne avec elle les deux leviers. Les deux fourches se relèvent donc, s'écartent et viennent bientôt s'appuyer sur les guides. Comme les griffes se présentent aux guides sous un angle, elles serrent avec énergie, et serrent nécessairement de plus en plus par l'effet d'arc-boutement qui se produit. Pendant ce serrage, il y a amortissement de la chute et lorsque les leviers sont devenus perpendiculaires aux guides, c'est-à-dire lorsque l'écart des griffes est maximum, ils trouvent un arrêt infranchissable dans la chape qui les maintient. Si à ce moment le choc n'est pas entièrement amorti ou si la chute du câble sur le toit de la cage en produit un second considérable, les griffes glisseront sur les guides ; mais dès que les chocs seront amortis, la cage trouvera un frein insurmontable dans le frottement.

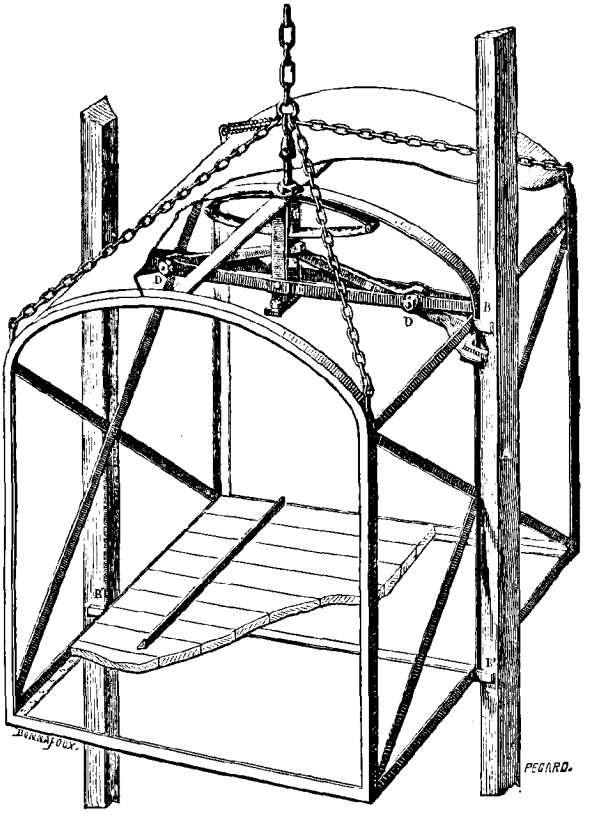


Fig. 3662 *bis*.

PARFUM. M. Milon a fait, en Algérie, d'intéressantes recherches sur les procédés d'extraction des parfums des fleurs, qui ont été résumées dans une curieuse communication à l'Académie des sciences, que nous reproduisons ici :

« Déjà plusieurs de nos colons africains ont réussi dans la production des essences, et leurs échantillons ont été appréciés ; mais, pour tirer un bon parti des fleurs, on doit incorporer leur parfum à l'huile ou à l'axonge, et cette opération très-compliquée exige des huiles et des graisses d'une grande finesse, en même temps qu'elle nécessite des installations dispendieuses.

D'autre part, comme on n'emploie pour la fabrication des parfums de première qualité que des fleurs parfaitement fraîches, il faut que la production de celles-ci se groupe et se concentre, en quelle sorte, sur le point même où l'exploitation fonctionne. Or ces conditions que nous voyons réunies à Grasse, sont difficiles à réaliser en Algérie, où cependant les fleurs précieuses, telles que la cassie, le jasmin, la rose, la tubéreuse, croissent parfaitement.

« M. Milon a cherché à modifier les procédés actuels de l'exploitation des fleurs, et à les rendre d'une pratique facile pour l'Algérie ; il y est parvenu en extrayant tout le parfum des fleurs à l'aide de divers dissolvants volatils et surtout de l'éther. Il réduit ainsi la partie aromatique de la plante à un très-petit volume, de telle sorte que 1 gramme d'extrait, provenant de 1 kilogramme de fleurs, aromatise au même degré les corps gras, et, sous un poids mille fois moindre, produit les mêmes effets. Ce n'est pas encore le parfum pur et isolé de toute autre substance ; mais cette limite suffit à l'art de la parfumerie, et, à la faveur des nouveaux produits, on remplace des manipulations laborieuses par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

un simple mélange ou par une dissolution que l'on peut faire en tout lieu et au moment que l'on juge le plus convenable.

« Comme cette méthode d'extraction conserve le parfum avec fidélité, on peut substituer la préparation et l'arome même de la fleur à ces mélanges d'essences avec lesquels on imite très-imparfaitement les parfums naturels. Ces dernières compositions, la plupart assez grossières, sont souvent la cause du peu de succès que la parfumerie obtient près des consommateurs délicats.

« Les recherches de M. Milon lui ont fourni l'occasion de faire une étude nouvelle des parfums, substances très-distinctes de la plupart des essences, et qui se caractérisent surtout par leur inaltérabilité à l'air. Ainsi, des couches minces de parfum, étalées au fond de tubes ouverts, se conservent pendant plusieurs années sans déperdition sensible. La proportion de parfum contenue dans les fleurs est tellement faible, que si l'on cherchait à l'isoler complétement et à le purifier, son prix surpasserait celui de toutes les matières connues : pour certaines fleurs, 1 gramme de parfum coûterait plusieurs milliers de francs. Les Orientaux consentent déjà à payer l'essence de jasmin, malgré son odeur empyreumatique, jusqu'à 750 et 800 francs l'once. »

PÊCHE MARITIME. Un des spectacles les plus intéressants que l'on puisse admirer est celui que présentent les bords de l'Océan. On y assiste en quelque sorte au commencement de la vie. Aux rochers viennent s'attacher des mousses, des fragments de fucus, de varechs, qui se développant viennent faire partie de ces champs étendus, de ces vastes communaux exploités par les populations du littoral pour engraisser les terres et alimenter l'industrie du varech qui fournit l'iode et des sels de potasse, en attendant que les efforts de nombreux chercheurs apprennent à en tirer un meilleur parti qu'en partant de l'incinération.

En même temps apparaissent des corps vivants, ou plutôt des corps intermédiaires entre le règne végétal et le règne animal, dont quelques-uns se distinguent à peine de simples mucosités; puis des vers, des coquillages et surtout les moules qui viennent recouvrir les rochers de bancs épais. La vie prend alors une incroyable activité : les crabes, les crevettes sans nombre, les soles, plies et poissons plats vivant dans le sable, les poissons de tout genre, les congres ou chiens de mer, ces brochets du littoral, se multiplient à l'infini, grâce à une fécondité inouïe (un hareng a un million d'œufs), et se développent avec une grande rapidité, se dévorant les uns les autres. Aussi en résulte-t-il une richesse incroyable.

Sur toute l'étendue des côtes une population nombreuse (plus de 50,000 marins vendant 35 ou 40 millions de fr. de poissons) vit exclusivement des produits de la pêche, et malgré l'ardeur avec laquelle ils s'y livrent, malgré la puissance des filets et engins qui permet de porter à l'intérieur des quantités de poisson de mer très-considérables, qui constituent une partie notable de l'alimentation générale, la fertilité de ces champs d'une espèce particulière ne varie pas sensiblement.

On ne peut comprendre ces faits qu'en se rendant compte des conditions d'existence de ces animaux, en faisant une application de la loi de Malthus qui n'a pas encore, croyons-nous, été faite.

L'eau salée chargée des sels les plus solubles des résidus des lavages des terrains que parcourent les eaux qui se rendent à la mer (et que l'évaporation n'enlève pas) ne peut, pas plus que l'eau douce, servir directement à l'alimentation de ses habitants. Dans les deux cas, ce n'est que grâce à des substances organiques (ayant dans quelques cas fait naître d'abord des végétaux) que ceux-ci peuvent exister. Or ces substances ne peuvent se rencontrer en proportion notable au milieu de mers profondes et de grande étendue, au fond desquelles la végétation ne saurait se produire, à moins que des courants rapides n'y amènent des eaux de la provenance dont nous allons parler. C'est sur les côtes, près des estuaires des grands fleuves surtout, que les substances organiques entraînées en masses considérables par les cours d'eau (dont la fermentation destructive s'arrête dans l'eau salée) viennent apporter des quantités énormes de substances pouvant servir à l'alimentation d'animaux qui font passer à travers leurs ouïes des quantités d'eau très-grandes, en conservant ce qui leur est bon.

Chacun sait que tandis que les poissons se trouvent en abondance près des côtes, ils ne se rencontrent pas en pleine mer, sauf quelques espèces voyageuses qui montrent seules quelques rares représentants à des distances un peu grandes, lorsqu'il n'y a pas de courants alimenteurs en quelque sorte. Disons un mot de ces courants.

Lorsqu'une masse d'eau considérable, lorsque les eaux de grands fleuves traversent l'Océan sur de grandes longueurs, il est évident qu'elle constitue un milieu analogue à celui qui existe le long des côtes, et par suite peut être peuplée de diverses espèces de poissons. La rencontre de ceux-ci pourrait, dans certains cas, être utile pour constater les courants, et des observations de ce genre, faites par des navigateurs, pourraient être plus utiles qu'on ne serait tenté de le croire à première vue.

C'est ainsi que le Gulf-Stream, le courant le plus considérable et le mieux constaté qui, partant du golfe du Mexique vient passer au nord de l'Écosse, puis réchauffer les côtes de la Norvége est, sans aucun doute, une des causes de la richesse de la production des poissons qui se trouve en cet endroit, de la pêche incroyable qui se fait depuis si longtemps, de harengs et de morues, dans ces contrées et autour des îles Lofoden, si élevées au Nord.

Nous avons insisté sur un point, un peu étranger à nos études, parce que nous avons été très-frappé de voir comment se complétait, par la pêche, le circulus des produits organiques qui semblait en défaut pour la quantité considérable de substances de cette nature charriées par les eaux. Ce sont les moissons à récolter dans les champs formés dans la mer (les varechs forment l'engrais des cultures maraîchères du littoral rafraîchi par les brises de mer), mais c'est surtout la capture des animaux qui la peuplent, qui vient combler tout déficit, absolument comme si ces produits organiques avaient été employés directement à amender des champs, à nourrir du bétail de ferme.

Instruments de pêche. — Les instruments de pêche se divisent en deux classes, ceux qui se réduisent à l'emploi des hameçons, des lignes et les filets.

Lignes et hameçons. — C'est en comptant sur l'extrême voracité du poisson, que l'on parvient avec des hameçons et des appâts convenables à obtenir des pêches suffisantes pour défrayer, même sur les côtes des pays civilisés, où les salaires sont élevés, le pêcheur de ses peines.

Les vers du sable de mer, les intestins de la sèche, la rogue, etc., sont les principaux appâts dont les pêcheurs garnissent les hameçons des nombreuses lignes qu'ils laissent pendre autour de leurs barques.

Filets. — Les filets, de forme quelconque, peuvent servir à prendre les poissons plus gros que ceux qui peuvent traverser leurs mailles. Chacun connaît les filets d'assez petite dimension pour qu'on puisse les pousser à bras et qui, à petite maille, servent surtout à la pêche des crevettes, en les poussant à l'extrémité du flot de la marée descendante.

Le grand outil pour la pêche en mer est le *chalut*,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

grand filet reposant par une pièce de bois sur le fond de la mer, et que traîne une barque pontée, ayant assez de voilure pour lui donner avec un peu de vent, une assez grande vitesse. La grande masse d'eau ainsi parcourue, dans laquelle il rencontre le poisson toujours en mouvement à la recherche de sa nourriture, laisse des produits abondants aux pêcheurs, tellement qu'on les oblige à donner aux mailles du filet d'assez grandes dimensions pour empêcher la destruction du petit poisson. Il y en aurait toujours assez de très-petit, mais le moyen et surtout le gros deviendraient rares.

PÊCHES DE LA NORVÉGE. — Nous donnerons comme exemple des grandes pêches celle qui a lieu sur les côtes de Norvége. Les habitants des côtes de la Norvége, depuis la frontière de la Russie jusqu'au cap Lindesnæs, sont presque tous pêcheurs. La pêche de la morue, en particulier, et la pêche du hareng ont, dans ce pays, une très-grande importance.

Pêche de la morue. — Vers le milieu du mois de janvier, on voit arriver des masses considérables de morues (*Gadus marrhua* Linné), qui, venant du grand Océan, pénètrent dans le Vestfjord, à l'entrée de l'archipel de Lofoden, où elles déposent leur frai sur les bancs dont cet archipel est entouré. En même temps arrivent, montés sur 5,000 bateaux, vingt mille pêcheurs habitants des côtes du Finmark. Bergen, Christiansand, etc., envoient 900 à 1,000 bateaux de 50 à 80 tonneaux pour acheter le poisson des pêcheurs et le préparer.

La pêche se fait soit à l'aide de filets, soit à l'aide de lignes.

Chaque bateau porte ordinairement soixante filets de 120 pieds de longueur sur 20 pieds de profondeur. Ceux qui pêchent avec les lignes portent chacun vingt pièces ; chaque pièce est armée de 200 hameçons.

On met dehors à la fois 25 à 30 filets noués les uns aux autres. Sur le hallin ou haussière, et à 6 pieds l'une de l'autre, sont fixées des pierres qui tiennent les filets en place. En outre, des boucs formées de sphères en verre, en liége ou en bois, maintiennent la partie supérieure des filets à une distance déterminée de la surface de la mer. A chaque bout se trouve un petit baril portant le nom du propriétaire.

Les lignes sont tendues par 10 ou 12 à la fois. On se sert pour appât de harengs salés, et quand ils manquent on emploie les rogues de morues ou de petits morceaux de poisson même. La pêche se fait à une distance de deux lieues norvégiennes (15 au degré) de la terre, dans une profondeur de 300 à 500 pieds. Les filets sont mis à la mer le soir et n'en sont retirés que le matin; avec les lignes on pêche le jour et la nuit.

Dès que les pêcheurs sont revenus à terre avec leur poisson, ils en ôtent le foie, la rogue (les œufs), la tête et les entrailles, et ils suspendent le corps pour le sécher et en faire du stockfisch, ou ils se contentent de le vendre aux fabricants de klipfisch. Les rogues sont salées dans des barils qu'on perce de trous pour laisser écouler la saumure. Le froid ne permettant pas aux foies de se liquéfier, on les garde dans des barils de chêne jusqu'à l'arrière-saison. La tête et les entrailles se sèchent et se vendent plus tard à la grande fabrique de guano de poisson établie à Lofoden.

Le stockfisch, une fois suspendu, est abandonné à l'action des vents très-secs qui règnent au printemps dans cette contrée.

Les fabricants de klipfisch fendent la morue, enlèvent presque toute l'arête, la salent, la lavent, la mettent en presse pour en extraire les liquides qu'elle contient, puis la sèchent au soleil, sur les rochers de Nordland, ce que la disposition des lieux ne permet pas de faire à Lofoden.

Cette pêche dure ordinairement jusqu'à la mi-avril, et l'on évalue son produit à 20 millions de poissons.

Mais ce n'est pas seulement en Nordland et dans le Finmark que la morue abonde. Chaque année, dans les mois de février, mars et avril, entre le cap de Stat et l'embouchure méridionale du Trondhjmsfjord, on prend encore quatre à cinq millions de ces poisssons.

Enfin, pendant tout l'été et l'automne, on pêche encore, le long de la côte de Bergen, de grandes quantités de différentes espèces de morues, dont 4 à 5 millions de kilogrammes sont livrés au commerce.

Pêche du hareng. — C'est vers les premiers jours de janvier qu'arrive l'avant-garde des grands harengs d'hiver, à la côte méridionale et occidentale de l'île de Karnsa, près de la ville de Stavanger. Ces premiers harengs sont bientôt suivis de masses plus ou moins nombreuses qu'accompagnent toujours des centaines de cétacés, qui, suivant l'opinion des pêcheurs, les poussent vers la côte où ils doivent frayer. Un autre ennemi plus redoutable pour le hareng, c'est le sei (*Gadus virens*), qui se jette souvent en grand nombre entre les masses et les disperse, au grand préjudice des pêcheurs. Dès le commencement de l'année, ceux-ci se trouvent réunis dans les mêmes parages, au nombre d'environ 15,000, montés sur 3,000 bateaux, accourus de toute la côte méridionale de la Norvége.

La pêche se fait ordinairement avec des filets de 80 à 100 pieds de longueur sur 20 à 24 pieds de largeur, tout près de la côte ou à l'entrée des baies nombreuses qu'on trouve dans ces parages. Chaque bateau embarque à son bord 40 à 60 filets de ce genre, mais il n'en met en mer que 10 ou 20, suivant les localités

Lorsque le hareng pénètre dans l'intérieur des baies, on le barre avec de grands filets (*net*) de 800 à 900 pieds de longueur, sur une largeur de 100 à 120 pieds ; on se sert ensuite de filets plus petits pour l'amener à terre.

La mi-janvier passée, d'autres masses de harengs se jettent tous les ans sur les côtes de Bremanger, de Batalden et de Kinn, à environ dix à douze lieues au nord de Bergen, où les attendent 15,000 pêcheurs montés sur environ 2,800 bateaux. Ici la pêche se fait presque exclusivement à l'aide de filets ordinaires, les localités se prêtant moins au barrage des harengs que les parages au sud de Bergen. A mesure que la saison avance, les masses de harengs se dirigent un peu vers le sud-est, et après avoir frayé vers le milieu de mars, elles quittent la côte.

Le produit de la pêche qui se fait au nord de Bergen se sale sur les lieux mêmes ; on l'évalue à 500,000 ou 600,000 barils (le baril contient de 450 à 500 poissons). Ce sont les harengs d'hiver.

Cette pêche finie, on commence à apercevoir dans les environs de Bergen les avant-coureurs des harengs d'été. Ceux-ci sont d'abord petits et maigres; mais à mesure que la saison avance, on les voit grossir et devenir de meilleure qualité.

C'est vers le mois de juillet que la pêche commence à se faire en grand dans les environs de Bergen et de Christiansand. En août et septembre, elle se fait sur toute la côte jusqu'à Tromsa et même Haimmerfest.

En été, la mer est pleine de crustacés et de salpes dont le hareng se nourrit. Si à cette époque le hareng était pêché immédiatement après l'opération du barrage et salé sur-le-champ, il s'altérerait vite. Il importe que la nourriture qu'il a prise au moment du barrage soit digérée avant de le retirer de l'eau. A cet effet, on le laisse séjourner dans la barre pendant quatre jours, après lesquels on le pêche et on le prépare.

Le produit de la pêche du hareng d'été est au moins de 400,000 barils.

PEIGNEUSE HEILMANN. Les plus grandes difficultés que présente la filature des substances filamenteuses, dit le rapport du jury de l'Exposition de 1855, proviennent de l'inégalité de longueur des filaments et des boutons qui y sont adhérents; ces difficultés ont,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pendant de longues années, fait le désespoir des industriels qui se livraient à la filature du coton, à celle de la laine peignée, et elles étaient d'autant plus sensibles que l'on cherchait à produire un fil d'un numéro plus élevé. On avait beau faire éplucher à la main à grands frais, passer aux cardes une nappe extrêmement fine, on ne se débarrassait que d'une partie des boutons, on ne se débarrassait d'aucune partie des filaments courts; les boutons se retrouvaient dans le fil et ensuite dans le tissu; les filaments courts, échappant à l'action des cylindres étireurs, nuisaient à la régularité du fil, et, pour nous servir d'expressions familières aux filateurs, produisaient des grosseurs et des coupures.

Si, il y a dix ans, on avait dit à l'industrie, tout avancée qu'elle était alors, qu'une machine allait être découverte qui, dans la laine, dans le coton, dans l'étoupe de lin, dans la bourre de soie, séparerait les filaments courts des filaments longs, choisissant les derniers avec plus de discernement qu'il ne serait possible de le faire à l'aide des meilleurs instruments d'optique, et mettant à part les premiers, jetant en même temps dans ces filaments courts toutes les impuretés, tous les boutons, de manière que les filaments longs resteraient seuls parfaitement purs, propres à produire un fil uni et par suite un tissu brillant et d'une régularité irréprochable; si, disons-nous, on avait annoncé qu'une pareille machine allait être inventée, il n'est personne qui n'eût répondu qu'une semblable invention serait un prodige, mais que ce prodige n'était point réalisable, et cependant un an après il était réalisé.

En 1846, Josué Heilmann découvre la peigneuse qui porte son nom, machine admirable, dont le principe, aussi nouveau qu'ingénieux, a pu s'appliquer avec le même succès à toutes les substances filamenteuses, en modifiant seulement les dimensions de la machine. La peigneuse Heilmann pour la laine, celle pour le coton, sont aujourd'hui répandues en France, en Angleterre, sur tout le continent. La peigneuse pour étoupes de lin conquit son rang à côté de ses sœurs aînées; celle pour la bourre de soie ne paraît pas destinée à un moins brillant avenir. Cette machine si compliquée, mais dont tous les organes fonctionnent avec un accord si parfait, est aujourd'hui en usage dans les établissements de filature, comme la carde, le banc à broches et le métier à filer; elle a permis d'employer pour les numéros fins des matières qui, à cause de l'inégalité de leurs filaments ou de l'énorme quantité de boutons qu'elles renfermaient, y paraissaient tout à fait impropres; elle a permis de produire, soit en laine, soit en coton, des fils d'une propreté, d'une régularité extraordinaires; elle constitue, en un mot, le plus grand progrès fait en Europe dans la filature des substances filamenteuses, depuis la découverte faite, en 1810, par Philippe de Girard, de la filature du lin.

La peigneuse Heilmann est une combinaison d'un appareil alimentaire avec un appareil peigneur et avec un appareil à la fois arracheur et réunisseur.

L'appareil alimentaire est fait de manière à délivrer successivement et à intervalles égaux de petites quantités des filaments à peigner préalablement réunis en ruban à chaque alimentation; le bout du ruban est saisi par une pince à double mâchoire qui s'ouvre et se ferme, et il est présenté à l'action de l'appareil peigneur, composé d'une série de peignes travailleurs montés sur un cylindre tournant autour de son axe. Ces peignes travailleurs séparent les filaments courts et les boutons, les entraînent; une brosse et un cylindre garni de cardes les retirent ensuite de ces peignes sous forme de nappes. Le bout du ruban alimentaire ainsi peigné est alors saisi par l'appareil arracheur

composé de deux cylindres; ces deux cylindres détachent du ruban alimentaire les filaments saisis par un bout, en arrachant l'entrebout à travers un peigne appelé *peigne fixe*. Ce peigne fixe pénètre dans l'extrémité peignée des filaments au moment où l'arrachage doit se faire et où la pince s'ouvre et lâche l'autre extrémité. Par cet arrachage à travers le peigne fixe, cette autre extrémité des filaments, déjà peignés à l'autre bout, se trouve être peignée aussi, de manière que les filaments détachés du ruban alimentaire sont peignés par les deux bouts et prêts à être rattachés à ceux précédemment détachés, et ainsi de suite. Cette soudure des mèches successivement peignées s'obtient au moyen d'un mouvement en sens inverse des cylindres arracheurs : les extrémités des mèches sont superposées de manière qu'il en résulte un ruban continu que la machine délivre régulièrement.

Dans cette courte description nous avons tâché de résumer les principes fondamentaux de la peigneuse Heilmann; ces principes se retrouvent dans la peigneuse pour coton, dans celle pour laine, dans celle pour étoupes de lin et pour la bourre de soie; il n'existe entre ces diverses machines d'autres différences que celles résultant de la longueur des filaments qu'il s'agit de travailler. Ces modifications sont infinies, de manière qu'étant donnée une certaine longueur de filaments, on peut immédiatement, en suivant les règles posées par Heilmann, créer une machine convenable pour les peigner. On change à volonté la finesse des peignes suivant la nature des filaments et aussi suivant le degré plus ou moins avancé de peignage qu'on désire obtenir.

L'ensemble mécanique, inventé par Heilmann pour traduire son invention en une machine que l'industrie pût employer comme les autres machines de filature, est un chef-d'œuvre presque aussi admirable que l'idée éminemment originale de l'inventeur.

Josué Heilmann, l'auteur de cette magnifique invention, est mort avant d'avoir pu jouir du succès merveilleux de sa machine, de son triomphe en Angleterre, sur la terre classique de la filature; mais aujourd'hui l'expérience a proclamé son succès de la manière la plus éclatante : il n'y a plus qu'une voix dans toute l'Europe industrielle pour dire que c'est la plus belle invention faite depuis quarante ans dans l'industrie de la filature.

Il s'agit ici d'une ces découvertes exceptionnelles qui ne se présentent dans l'industrie qu'à de longs intervalles.

On trouvera dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, qui a donné à la belle invention de M. Heilmann son prix de 12,000 francs, les dessins bien complets des diverses peigneuses propres au travail des divers filaments. Je donnerai seulement ici, pour bien faire comprendre les principes essentiellement nouveaux résumés plus haut, sur lesquels repose le fonctionnement de cette machine, la coupe de la peigneuse propre au travail du coton, à l'aide de laquelle on parvient, comme il vient d'être dit, non-seulement à débarrasser le coton de toute impureté, mais encore à faire disparaître les fibres trop courtes pour permettre la fabrication d'un fil irréprochable, et en disposant les fibres parallèlement avec une exactitude parfaite sans qu'aucune puisse demeurer repliée; en un mot, on réalise toutes les conditions qui peuvent conduire à la perfection de la filature.

A est un rouleau garni d'une nappe de coton sortant des cardes; il est porté par deux tambours en bois B, C qui guident le déroulement de la nappe en se mouvant comme les rouleaux alimentaires *a* et *b*.

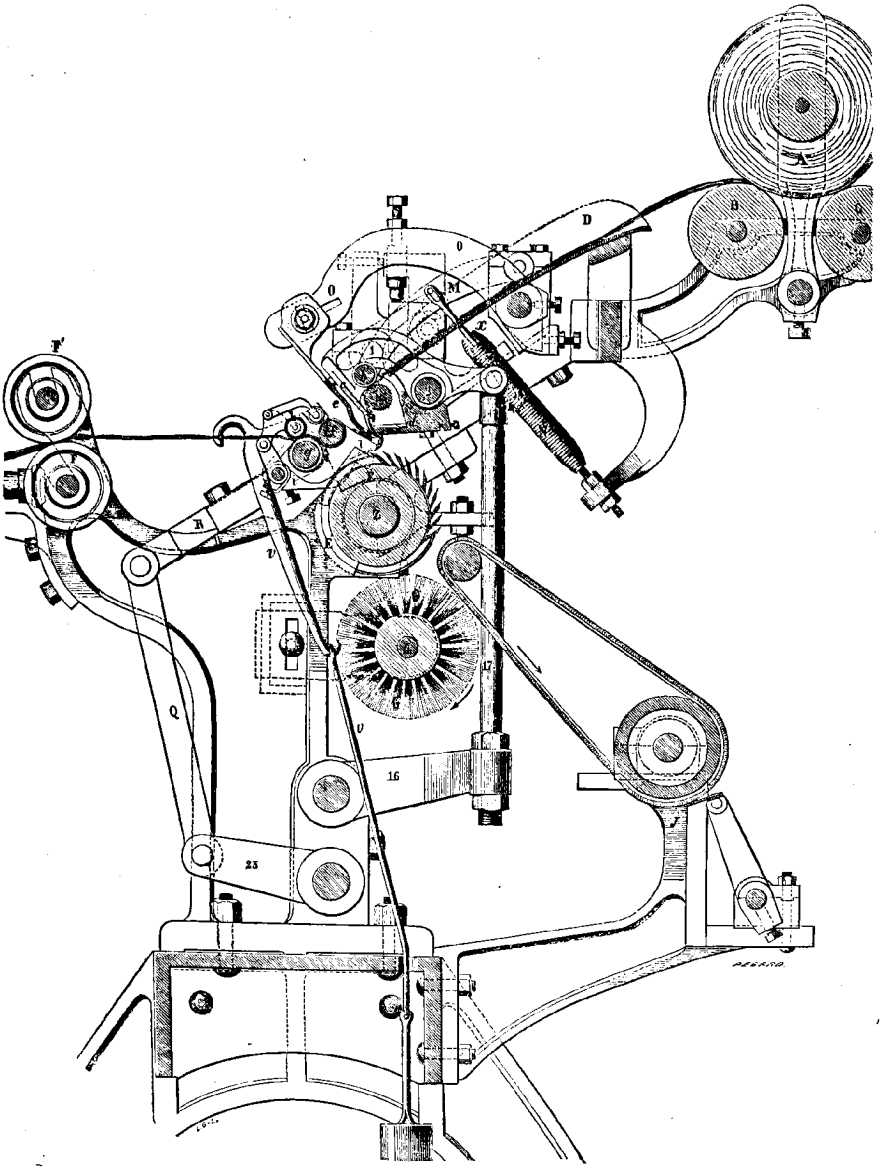
D est un guide qui conduit la nappe entre les rouleaux alimentaires *a* et *b*, le premier cannelé, en acier, le second couvert de cuir. Ils reçoivent un mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PEIGNEUSE.

intermittent d'une roue à étoiles qui leur fait faire un dixième de tour par chaque révolution du cylindre peigneur E, dont nous allons parler (fig. 3663).

supérieure métallique *c*, l'inférieure *d* garnie de cuir; cette dernière, par l'action d'un ressort, tend toujours à s'appuyer contre la première. La mâchoire supérieure



3663.

A sa sortie des cylindres alimentaires, la nappe arrive dans la pince formée de deux mâchoires, l'une

reçoit un mouvement d'oscillation autour du centre 1, et la mâchoire *d* autour du centre 2, mouvement im-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

primé à l'aide d'une canne qui meut le levier 18, la verge 17, le levier 17 et enfin l'axe 15. Le mouvement étant produit de bas en haut, la mâchoire supérieure s'élève, et celle inférieure la suit jusqu'à la rencontre des points fixes du bâti contre lesquels elle vient buter; alors la mâchoire *c* continue de s'élever seule, et par conséquent la pince s'ouvre.

C'est à ce moment que les cylindres *a* et *b* font avancer la nappe dont la tête vient s'engager dans la pince, en la dépassant d'une quantité déterminée par le réglage de l'alimentation, en raison de la longueur des fibres élémentaires.

Aussitôt ce mouvement accompli, la mâchoire *c* redescend, vient s'appuyer contre la mâchoire *d*, en serrant la nappe, et toute la pince, entraînée par l'oscillation de la mâchoire supérieure, tourne autour du centre 1 et vient présenter la tête de la nappe aux peignes parallèles qui garnissent une partie de la surface du tambour peigneur E. La surface du tambour peigneur E est divisée en quatre parties inégales par les peignes parallèles assemblés sur partie de sa surface, d'un côté, et un segment cannelé E' de l'autre, les intervalles entre ces parties étant unis.

Les peignes sont faits avec des aiguilles d'acier réunies dans du plomb (comme on le fait pour celles du métier à bas) : les premières sont les plus grosses, font la majeure partie du travail; les dernières très-fines, ayant 40 dents au centimètre, le rendent parfait.

Une brosse circulaire G, montée sur l'arbre 4, tourne dans le même sens que le tambour peigneur, mais avec une vitesse plus grande. Cette brosse, à chaque révolution du tambour, débarrasse les peignes des matières étrangères, des boutons et des brins très-courts dont ils sont chargés. Un ruban de carde H, monté en toile sans fin, nettoie les brosses G, et un peigne à mouvement alternatif fait tomber dans une caisse destinée à cet effet tous les déchets qu'il détache des dents de la carde.

Quand les peignes du tambour peigneur ont accompli leur fonction, la pince remonte en s'ouvrant, et le peigne fixe *e*, placé en avant, s'introduit vers la limite de la portion déjà épurée de la nappe.

Au même moment, un cylindre garni de cuir 5, oscillant autour d'un cylindre cannelé *g*, vient s'appuyer vivement contre la partie cannelée E' du tambour peigneur, et par suite comprimer les fibres peignées qui demeurent appliquées sur le tambour. Cet abaissement est produit au moyen d'une came qui met en mouvement au moment voulu l'axe 22, et par suite le système 23, Q, R. Les deux surfaces en contact continuant à tourner retirent du peigne fixe *e* la queue des filaments, et par conséquent la détachent complétement du reste de la nappe. Ils passent ensuite entre le rouleau *g* et un autre rouleau *h* qui opère après le rouleau *f*.

Voici maintenant comment se soudent en un ruban parfaitement continu les différentes mèches successivement arrachées. Après l'arrachage, les cylindres arracheurs *f* et *g*, entre lesquels la mèche est engagée, opèrent un léger mouvement de recul de manière à dégager une portion de la queue arrachée; il en résulte que la tête de la mèche suivante vient se placer sur cette portion de queue précédente, se soudera avec elle sous l'action des cylindres *f*, *g*, *h*, et il en résultera un ruban continu dont la longueur sera nécessairement égale à la somme des mouvements d'avance ou d'arrachage, diminuée de la somme de leurs mouvements de recul.

Ainsi soudé, le ruban est saisi par les rouleaux d'appel qui le dirigent hors de la machine.

Une seule machine peut avoir six têtes semblables, agir sur six nappes à la fois, chacune d'elles ayant 20 à 25 centimètres de largeur. Les peignes donnent en général un coup par seconde, 60 par minute.

PERFORATEUR. L'opération de percer des trous de mine, à l'aide d'aiguilles frappées à coup de masse, travail qui permet d'appliquer la puissance de la poudre à l'excavation des galeries à travers les roches dures, est une des grandes dépenses de l'exploitation des mines et une de celles qu'il semblait le plus impossible de réduire. C'est cependant ce qui a été heureusement réussi, au mont Cenis d'abord, en même temps qu'on a résolu le problème d'appliquer l'air comprimé à la mise en action des perforateurs que déjà M. Cavé d'abord, puis plusieurs inventeurs et surtout Bartlett avaient montré pouvoir être mus mécaniquement, c'est-à-dire, être formés d'aiguilles mises en mouvement sans la main de l'ouvrier. Ce grand travail a montré que l'air comprimé offrait pour les mines la merveilleuse propriété, non-seulement d'être un excellent moyen de transmission de travail à de grandes distances, mais encore de servir à la ventilation des galeries dans des conditions où aucune autre disposition que l'insufflation directe ne serait possible. Dans les cas où l'eau employée à mettre en mouvement le perforateur peut être facilement évacuée, celle-ci forme encore un excellent moyen de transmission de travail, pouvant dans beaucoup de cas agir avec des pressions élevées et, par suite, avec des machines de petites dimensions.

Le premier genre de perforateur consiste en un fleuret actionné directement par la tige d'un piston, mû dans un cylindre tout à fait semblable à celui d'une machine à vapeur. Tout le système repose sur un chariot que l'on rend fixe. Pour faire tourner le foret et le faire avancer à chaque coup, on emploie diverses dispositions qui se réduisent à des communications du mouvement de la tige du piston. Une des plus simples est d'obtenir ces effets à l'aide de petits cylindres à air comprimé, comme le cylindre qui est destiné à produire la percussion. La possibilité de juxta-poser plusieurs appareils semblables, disposés sur un même bâti, d'attaquer tout le front de la galerie, comme au mont Cenis, ont fait de ce système le plus puissant instrument de percement de galeries dont ait disposé jusqu'ici l'art de l'ingénieur.

Un appareil fondé sur un autre principe est celui de M. Leschot. Son organe principal est un tube de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, et un peu plus long que son diamètre. Sur l'une de ses tranches sont incrustés des diamants noirs, à une distance de 7 à 8 millimètres les uns des autres, et présentant une saillie de $0^m,0005$ au maximum. L'autre extrémité présente un emmanchement à baïonnette. Sur la moitié de la longueur correspondante, l'épaisseur est diminuée et offre un épaulement intérieur contre lequel vient s'appuyer un tube assez long, au bout duquel s'emmanche l'outil.

Si l'on vient presser avec cette couronne contre une surface de dureté moindre (ce qui a lieu pour toutes les pierres), et si on lui imprime un mouvement de rotation, l'outil agira à la façon d'une fraise circulaire pour rôder la pierre ou la roche, et découper un cylindre qui ne tiendra que par sa base et qu'on pourra facilement détacher une fois l'opération terminée. La surface attaquée n'est que le tiers environ de celle que présente la section du trou percé.

Le bâti de la machine se compose de deux flasques ou montants en fer à nervures, réunis entre eux par deux entretoises, dont l'une est armée de pointes et sert de semelle, et l'autre est traversée par une vis dont l'écrou s'appuie sur l'entretoise.

Cette colonne peut être facilement installée dans une galerie; il suffit de faire reposer l'entretoise inférieure sur le mur par l'intermédiaire d'une semelle et de presser contre le toit au moyen de la vis, dont la tête s'appuie également sur une autre semelle en bois.

Ainsi disposé, le bâti présente une rigidité et une adhérence considérables.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chacune des flasques est percée d'une rainure longitudinale, et parallèlement à celle-ci est fixée sur leur face extérieure une crémaillère avec laquelle engrène, de chaque côté, un pignon qui sert à faire glisser sur le bâti le chariot portant le mécanisme de l'outil. Des cliquets maintiennent ce chariot à la position convenable.

Tout le système du tube perforateur et de son mécanisme peut osciller autour d'un boulon et prendre toutes les inclinaisons au-dessus et au-dessous du plan horizontal passant par l'axe. On pourra donc percer suivant toutes les inclinaisons.

Une fois la direction du trou à percer établie, on fixe le système au moyen de deux vis placées à l'avant, et dont les têtes armées de pointes pressent la paroi que l'on perfore. Le système devient ainsi complétement rigide, et l'on peut mettre l'appareil en marche.

L'outil étant en marche produit un rôdage sur la roche, et y produit une rainure circulaire considérable.

Quand on veut procéder à l'éclatement à la poudre, on fait rentrer tout le mécanisme entre les montants. L'appareil se transforme alors en un véritable chariot qu'un homme s'attelant à une traverse peut rouler loin du front d'abattage.

En mettant le foret en mouvement par une petite machine à colonne d'eau, comme l'a fait M. de la Roche-Tolay, on a constaté qu'une dépense de 75 litres d'eau à 8 atmosphères produit 100 tours de foret qui réalisent les avancements suivants :

Quartz du mont Cenis,	14 millimètres ;
Calcaire dolomitique très-dur,	20 millimètres.

Des machines proposées ou essayées jusqu'à ce jour. M. Fellot, dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, donne une énumération fort complète des machines proposées pour percer les tunnels et galeries, que nous reproduirons ici. Elles peuvent se diviser en trois classes :

1° Machines procédant par le percement de trous de mine nombreux, disposés les uns pour recevoir, les autres pour limiter l'effet de la poudre.

Les appareils de cette classe, dont nous venons de parler, peuvent se diviser en deux catégories : ceux agissant par percussion à l'aide d'un fleuret, et ceux agissant par rotation au moyen d'une tarière ou d'une bague armée de saillies suffisamment dures.

2° Machines supprimant l'action de la poudre et procédant par la division des masses au moyen de sillons étroits qui y sont creusés, soit par un outil à mouvement alternatif armé de couteaux, c'est la haveuse à pression d'eau de MM. Carrett, Marshall et Cie; soit par un pic oscillant, c'est la machine à découper la houille de MM. Jones et Lewick, marchant à l'air comprimé; soit au moyen de disques tournants armés de ciseaux ou de dents de scie. Ces dernières ne peuvent s'appliquer qu'aux pierres tendres susceptibles de se tailler au couteau ou au pic; les deux premières sont spéciales à l'exploitation des mines de houille.

3° Machine mixte étendant son action à toute la section de la galerie en perforant un trou cylindrique de $1^m,80$, et réunissant à l'action d'un fleuret percusseur chargé de percer au centre un trou de mine, celle de ciseaux découpant en même temps un sillon d'égale profondeur sur le contour de la galerie dans le but de limiter l'effet de la mine centrale aux parties qu'il est utile de faire sauter. Tel est le perforateur des capitaines Beaumont et Locock, mis à l'Exposition de 1867 par M. Donkin, de Londres, qui constitue une machine puissante mue par l'air comprimé, mais qui remplissant toute la galerie, doit être retirée au loin, lorsqu'il faut faire agir la poudre, pour enlever l'anneau massif qui, en raison de son volume et du défaut d'homogénéité si fréquent dans les roches, ne saurait toujours se détacher complétement et régulièrement.

On voit, en résumé, que toutes les machines dont il vient d'être parlé, propres à attaquer les roches dures, sont basées sur l'emploi du puissant magasin de travail mécanique que constitue la poudre de mine pour avancer rapidement.

Inconvénients qui résultent de l'emploi de la poudre. Ces inconvénients sont les suivants : interruption du travail causée par la nécessité de retirer les machines perforatrices à l'arrière pour le bourrage des mines, leur explosion et l'enlèvement des débris après l'explosion (période qu'on n'a pas pu réduire au mont Cenis au-dessous de 4 à 5 heures); dans beaucoup de cas, ébranlement des couches au-delà des parois de la galerie, nécessitant quelquefois un boisement provisoire; difficulté d'enlèvement de débris inégaux, plus ou moins volumineux, dans une galerie étroite et réduite encore par la présence des machines; production de gaz délétères dont l'action nuisible ne peut être diminuée qu'au prix d'une ventilation énergique; irrégularité et insuffisance de cette action dans les roches fissurées; enfin, dépense d'achat de la poudre qui devient un élément important du prix de revient.

Une conséquence forcée du percement de trous isolés dans la masse est la nécessité de réduire en poussière tout le volume correspondant à l'action de l'outil, sans pouvoir mettre à profit la propriété que présentent en général les roches dures de se diviser en éclats plus ou moins volumineux sous l'action du choc.

Perforateur du capitaine Penrice. Ce système se distingue des précédents par les caractères suivants : 1° il supprime entièrement l'emploi de la poudre; 2° il opère sur toute la section de la galerie au moyen de couteaux taillés en biseau et disposés de manière à désagréger la roche par éclats; ces couteaux frappent rapidement, en même temps qu'ils tournent d'un mouvement lent autour de l'axe de percussion; 3° les débris résultant de cette action sont de petite dimension et rejetés mécaniquement à l'arrière de la machine; 4° son travail est continu; les seules interruptions inévitables sont celles qui se rapportent au remplacement des couteaux.

Le principe de cette machine est évidemment de reproduire, dans un plan horizontal, l'action verticale du trépan des appareils de sondage. Il était naturel, après avoir reconnu, par tant de beaux travaux, la puissance avec laquelle on peut faire agir le trépan, pour percer des puits de grande section au moyen d'un moteur à vapeur, de reproduire ce système pour le percement de galeries de mines.

Les difficultés spéciales que l'on rencontre alors, et que l'invention dont il s'agit a pour objet de lever, résultent de ce que la puissance de la gravité n'agissant plus dans une direction constante pour mouvoir le trépan, il faut appliquer sur sa tête un piston mû par la vapeur ou l'air comprimé. Il faut de plus, et c'est peut-être là dans la pratique le plus grand obstacle au succès, que le bâti, mobile à volonté, de la machine soit assez bien fixé pour fournir un point d'appui à la vapeur, résister à toutes les réactions plus ou moins variables qui résultent de la différence de résistance des roches.

Déjà la machine dont nous parlons a produit dans une carrière $0^m,305$ de galerie par heure, avec une puissance d'un peu plus de 40 chevaux-vapeur. Il nous paraît certain qu'il y a, dans la voie qu'elle a ouverte, grande chance d'arriver à l'exécution de travaux impossibles à exécuter autrement, qui pourront augmenter la richesse des exploitations métallurgiques, et améliorer singulièrement les chemins de fer, pour le tracé desquels on a admis des rampes qui en rendent l'exploitation coûteuse, par crainte de dépenser des sommes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exagérées pour le percement des tunnels qui permettraient de les éviter.

PÈSE-MONNAIE. Nous donnerons ici la description de l'ingénieux appareil inventé par M. Seguier.

Chaque pièce arrive par un plan incliné près duquel tourne un tambour à axe horizontal, garni de pointes, qui repoussent les pièces pour les faire passer une à une. Arrivées au bas du plan incliné, les pièces sont placées sur la balance par un *poseur*. La balance est multiple, et chaque plateau est suspendu à une extrémité du fléau par une tige verticale dont une partie est enveloppée par un très-petit cône. Cette tige enfile librement un petit anneau porté par un bras implanté dans la pièce qui soutient le couteau central et qui sert à soulever le fléau. Le petit anneau, dont le poids est précisément égal au poids de tolérance, se trouve, dans l'état de repos, à une très-petite distance au-dessus du sommet du cône.

Supposons que l'étalon ou le poids *droit* soit placé sur un plateau et la pièce sur l'autre : 1° Si la pièce a le poids de l'étalon ou à peu près, le fléau reste horizontal; une pièce amenée par le poseur pousse celle qui est sur le plateau et la fait descendre par un canal du milieu dans la case des bonnes pièces. 2° Si la pièce est plus lourde que l'étalon, le fléau tend à s'élever du côté de l'étalon, la tige monte avec son cône qui pénètre dans le petit poids annulaire, s'en charge, et alors du côté de l'étalon on a un poids fort égal au poids droit augmenté de la tolérance. Si l'oscillation du fléau est arrêtée, la pièce est dans les limites de la tolérance et se rend dans la case des bonnes pièces. Mais quand ce poids annulaire est insuffisant pour arrêter l'oscillation, la balance trébuche et la pièce est poussée dans un canal latéral qui la conduit dans la case des pièces trop fortes. 3° Enfin, si la pièce est plus légère que l'étalon, le fléau monte du côté de la pièce, le cône monte aussi et se charge de son poids annulaire. Si ce poids ajouté à la pièce arrête l'oscillation, la pièce s'en va par le canal du milieu; mais, s'il n'arrête pas l'oscillation, la pièce se rend par un autre canal latéral dans la case des pièces faibles. La séparation, le triage des pièces, s'opère au moyen d'une aiguille placée au-dessus du fléau et dirigée verticalement entre deux touches dans l'état d'équilibre. Quand une pièce est dans les limites de la tolérance, l'aiguille, qui n'a que de petites oscillations, ne heurte pas les touches, et la voie du milieu reste ouverte pour conduire la pièce au récipient des pièces acceptées. Mais quand une pièce est trop légère ou trop lourde, l'aiguille vient heurter une des touches qui commandent l'extrémité des conduits latéraux, et la pièce prend l'une ou l'autre des deux voies latérales conduisant au récipient des pièces rejetées comme trop faibles ou trop fortes.

Avec chaque balance on peut peser 50 pièces par minute; et par suite, en les multipliant, obtenir un appareil vérifiant rapidement un grand nombre de pièces.

Un système analogue, dû au colonel Cotton, est employé avec grand succès à Londres. De nombreuses machines de ce genre fonctionnent d'une manière continue à la banque d'Angleterre.

PIERRES PRÉCIEUSES ARTIFICIELLES. La recherche des moyens propres à produire artificiellement des pierres précieuses, qui avait accompli un si important progrès par les travaux du savant Ebelmen, progrès si malheureusement arrêté par la mort de son auteur, a été reprise avec quelque succès.

Nous devons d'abord citer M. de Sénarmont, qui a obtenu des cristaux d'alumine et de silice en exposant des tubes en verre scellés (contenant de l'eau et des hydrates d'alumine et de silice) à une température de 180 degrés. Sous l'influence de la chaleur ces terres abandonnent leur eau de combinaison et se transformait en cristaux microscopiques anhydres isolés, d'une rare perfection.

M. Gaudin, qui avait essayé il y a longtemps de fabriquer le rubis à l'aide du chalumeau oxyhydrogène a produit, par un autre procédé, des cristaux plus gros avec une extrême facilité. C'est à l'aide d'un creuset brasqué que l'auteur opère; mais, au lieu de charbon ordinaire, contenant généralement de la silice, il met à l'intérieur du creuset du noir de fumée, qui est du charbon pur. Préalablement il calcine au rouge un mélange, à parties égales, d'alun et de sulfate de potasse, qu'il réduit ensuite en poudre. Après avoir rempli à moitié avec cette poudre la cavité du creuset brasqué, il achève avec du noir de fumée bien tassé, sur lequel il pose le couvercle, qu'il lute soigneusement avec de la terre réfractaire.

Le creuset ainsi préparé et séché est soumis à un feu de forge violent, qui doit atteindre le blanc éblouissant et durer un quart d'heure, pour les creusets ne dépassant pas 4 centimètres de diamètre. M. Gaudin fait usage, comme combustible, de graphite des cornues à gaz, de coke, de goudron et de houille. Si le feu a été suffisant, en cassant le creuset on trouve dans la cavité de sa brasque une petite concrétion noire, hérissée de points brillants : cette concrétion se compose de sulfure de potassium empâtant des cristaux d'alumine. En la plaçant dans une capsule, sur un feu doux, avec de l'eau régale étendue d'eau, le sulfure se dissout avec effervescence, et laisse au fond de la capsule des saphirs blancs qui ressemblent assez à du sable fin, avec un certain éclat adamantin qui les ferait confondre, à première vue, avec la poudre de diamant. Au microscope chaque grain apparaît comme un cristal parfait, d'une limpidité merveilleuse. Malgré les corps colorants introduits, les saphirs sont toujours incolores. Cependant, vers la fin de l'opération, il se produit de petites pierres de couleur qui se posent sur les cristaux incolores.

On a trouvé que la dureté de ces pierres était notablement supérieure à celle des rubis naturels qu'on emploie pour les trous à pivots, et déjà les saphirs de M. Gaudin sont assez gros pour servir dans les petites montres. Il a fallu vingt minutes pour en percer un avec un foret d'un dixième de millimètre de diamètre, garni de poudre de diamant, qui exécutait cent tours par seconde. Ce saphir percé, qui avait un tiers de millimètre d'épaisseur, a été présenté à l'Académie à l'appui de ce que l'auteur avançait. Si ces pierres peuvent déjà servir dans l'horlogerie, on peut croire qu'avec des moyens de fabrication sur une certaine échelle, on arrivera à les faire assez grosses pour servir dans les chronomètres et les pendules.

Mais l'auteur espère mieux encore : il pense obtenir les pierres de cette taille à l'état de rubis. Ceux-ci seraient naturellement préférés, à cause de leur riche couleur, à ceux employés jusqu'à ce jour, et qui sont de couleur pâle, et toujours à un bon marché incomparable, relativement aux pierres naturelles, qui ne se trouvent qu'avec des frais de recherche très-considérables.

MM. Sainte-Claire Deville et Caron ont proposé un autre procédé qui repose sur la réaction mutuelle des fluorures métalliques volatils sur des composés oxygénés fixes ou volatils à de hautes températures; il peut être appliqué dans un grand nombre de cas, par la raison que les fluorures métalliques ne sont presque jamais doués d'une fixité absolue.

1° *Corindon.* On le prépare aisément et en remarquables cristaux en introduisant du fluorure d'aluminium dans un creuset en charbon, au-dessus duquel on assujettit une petite coupelle de charbon remplie d'acide borique. Le tout est muni d'un bon couvercle, et chauffé au blanc pendant une heure environ. La vapeur de fluorure d'aluminium rencontre celle d'acide borique,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et leur action mutuelle donne naissance à du fluorure de bore et à du corindon; on obtient ce minéral à l'état de cristaux très-larges, ayant souvent un centimètre de long, mais en général peu épais. Ces cristaux sont des rhomboèdres avec les faces du prisme hexagonal régulier; ils n'ont qu'un axe, sont négatifs, et présentent la dureté du corindon naturel et toutes ses propriétés physiques et chimiques.

2° Le *Rubis* s'obtient de la même façon; on ajoute au fluorure d'aluminium un peu de fluorure de chrome et l'on opère dans des creusets d'alumine, en ayant soin de placer l'acide borique dans une coupelle en platine. La teinte de ces rubis, qui est due au sesquioxyde de chrome, est exactement celle du rubis naturel.

3° Le *Saphir* bleu se produit dans des circonstances semblables aux précédentes; la coloration est également obtenue avec l'oxyde de chrome; il y a seulement une différence dans les proportions de matière colorante et peut-être dans l'état d'oxydation du chrome; mais la quantité de matière colorante est si petite dans ces composés, que l'analyse ne peut rien indiquer de précis à cet égard.

4° *Corindon vert.* Quand on augmente la dose d'oxyde de chrome, les cristaux sont d'un beau vert, semblable à celui que présente l'*ouvarowite* que M. Damour a analysée, et où il a rencontré 25 p. 100 d'oxyde de chrome.

5° *Fer oxydulé.* La réaction du sesquifluorure de fer sur l'acide borique fournit de longues aiguilles composées d'un chapelet d'octaèdres réguliers de fer oxydulé; ce qui indique une réduction partielle du sesquioxyde de fer par une température très-élevée.

6° *Zircone.* La zircone produite par ce procédé est en cristaux réguliers groupés sous forme d'arborisations d'un très-bel effet; elle est insoluble dans les acides minéraux, même concentrés, elle est inattaquable par la potasse fondue; mais le bisulfate de potasse la dissout en laissant le sulfate double insoluble caractéristique de la zircone.

7° *Staurotide* et silicates divers. Si l'on remplace l'acide borique par la silice, on peut obtenir, avec les fluorures volatils, des silicates en cristaux, petits, mais très-nets; c'est ainsi qu'on prépare la staurotide, qui se présente alors avec l'aspect et la composition de la staurotide naturelle; c'est un silicate basique dont la formule est $SiAl^2$. Cette substance s'obtient aussi avec facilité en chauffant de l'alumine dans un courant de fluorure de silicium gazeux. L'alumine se change en cristaux entrelacés qui ont la composition de la staurotide. Ces deux méthodes sont applicables aux silicates dont les bases donnent des fluorures volatils, tels que la glucine et l'oxyde de zinc.

Ces expériences viennent à l'appui de l'opinion émise par certains géologues que le fluor est intervenu dans la production des minéraux des filons.

PILE ÉLECTRIQUE. Une nouvelle disposition de la pile électrique, due à M. Marié Davy, professeur de physique, offre des avantages particuliers qui la font essayer avec grand soin pour la télégraphie électrique. Elle n'a pas les inconvénients des dégagements de vapeurs nitreuses si incommodes de la pile de Bunsen, et, relativement à la pile de Daniell, si simple et si commode du reste, elle offre l'avantage d'éviter l'incrustation des vases poreux par le métal réduit, grâce à l'emploi d'un métal liquide, avantage compensé en partie par la moindre solubilité du sel métallique. C'est en remplaçant le sulfate de cuivre par du sulfate de mercure, et le cuivre par un cylindre de charbon, que s'obtient la nouvelle pile. Les choses s'y passent avec le sulfate de mercure comme elles se passaient avec le sulfate de cuivre, si ce n'est que la réduction du sel, au lieu de donner un produit galvanoplastique, fournit du mercure coulant qui se détache à mesure et laisse intacte la surface du charbon.

Le sulfate de mercure se dissout en partie dans l'eau qui l'imprègne; puis, à mesure que la partie dissoute est réduite par l'électrolisation, elle est remplacée par d'autres jusqu'à ce que finalement tout le sel disparaisse. Et ce qui prouve que réellement la dissolution a lieu, c'est qu'à travers le vase poreux il en passe assez d'une cellule dans l'autre pour maintenir le zinc constamment amalgamé. Cette particularité est pour la nouvelle pile un avantage qui sera vivement apprécié par tous ceux qui ont manié l'appareil voltaïque, et qui ont reconnu par expérience l'importance de l'amalgamation du zinc et la difficulté de la maintenir. Dans la pile de Daniell, la transsudation du sulfate de cuivre à travers le vase poreux a non-seulement l'inconvénient d'occasionner sur le zinc des actions locales qui s'exercent en pure perte; mais en outre elle donne naissance à des dépôts floconneux de cuivre réduit, qui se prolongent jusque dans l'épaisseur du vase poreux et déterminent la formation d'incrustations métalliques qui, se développant, oblitèrent les pores de la terre dégourdie, et mettent bientôt le vase hors de service. Rien de pareil n'arrive avec le sulfate de mercure.

A l'administration des télégraphes, 38 couples de la nouvelle pile ont été mis à l'essai côte à côte avec 60 couples de Daniell pour faire le service permanent de jour et de nuit; du 28 juin au 25 décembre, autrement dit pendant près de six mois, sans aucun entretien, ils ont fait fonctionner les appareils. Pendant toute la durée d'une aussi longue épreuve, la surface des zincs est restée aussi nette que le premier jour, et les nécessités de l'entretien se sont exactement bornées à l'obligation de réparer une fois par mois environ les pertes que l'évaporation faisait subir à l'eau du vase poreux.

Au moment où la pile n'a plus été assez forte pour faire le travail de la ligne, les vases poreux contenaient un fort culot de mercure métallique pur et une boue noirâtre dans la partie supérieure. Ces produits, traités par l'acide sulfurique, procurent de nouveau sulfate.

La préparation et l'emploi de la pâte de sulfate de mercure ne présentent aucune difficulté. On délaye dans de l'eau le sel que l'on a préalablement bien pulvérisé; on laisse reposer, on décante, et il reste une masse pâteuse légèrement jaunie par du sous-sulfate. On prend ensuite les charbons que l'on tient à la main bien au milieu du vase poreux, et on remplit complétement les vides avec la pâte de sulfate, en s'aidant d'une spatule en bois; on distribue ensuite dans les divers vases la liqueur acide qui a été décantée, et on achève de remplir avec de l'eau pure.

PILOTIS, PIEUX A VIS. Le battage des pieux est une des opérations les plus fréquentes des travaux de fondation des ouvrages hydrauliques. Soit qu'il s'agisse de fonder avec caissons ou grillage sur pilotis, de construire une enceinte en charpente en lit de rivière, d'installer un pont de service, etc., on se trouve conduit à enfoncer dans le sol naturel des pièces de bois plus ou moins fortes, destinées à fournir des points d'appui suffisamment résistants.

La lenteur, le prix élevé et souvent la difficulté même du battage des pieux, ont conduit les ingénieurs depuis un certain nombre d'années à remplacer par des appareils mus par la vapeur les anciennes machines à bras employées au battage des pieux et à réduire d'ailleurs, autant que possible, l'emploi des pilotis en bois, en remplaçant cet ancien mode de fondation par des procédés plus puissants et plus en rapport avec les progrès récents de l'emploi des machines et des métaux dans les constructions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On décrira, dans ce qui va suivre, quelques moyens nouveaux d'enfoncer les pieux, en renvoyant d'ailleurs à l'article FONDATIONS TUBULAIRES, page 257, pour les procédés d'établissement de certains grands ponts.

On sait que le battage des pieux s'exécute à l'aide d'une masse d'un poids assez considérable, que l'on soulève à une certaine hauteur pour la laisser retomber ensuite sur la tête du pieu à enfoncer. L'élévation de cette masse pesante, que l'on nomme mouton, a lieu à l'aide d'un appareil appelé sonnette, que tout le monde connaît.

On a imaginé un grand nombre de dispositions pour appliquer aux sonnettes ordinaires l'action d'un moteur mécanique. Parmi les nombreuses solutions de ce problème, il suffira de citer les deux suivantes :

La sonnette que l'on décrira d'abord a été imaginée par M. J. Bower, et brevetée en Angleterre le 3 février 1853. Sa disposition générale ne présente rien de particulier, mais le mouton est soulevé par des taquets fixés sur une chaîne sans fin, qui s'enroule sur une roue ou un treuil animé d'un mouvement continu de rotation.

Les figures 3673, 3674 et 3675 feront facilement comprendre la disposition générale et les détails de cet appareil simple et ingénieux.

En arrière du bâti B de la sonnette (fig. 3673) est

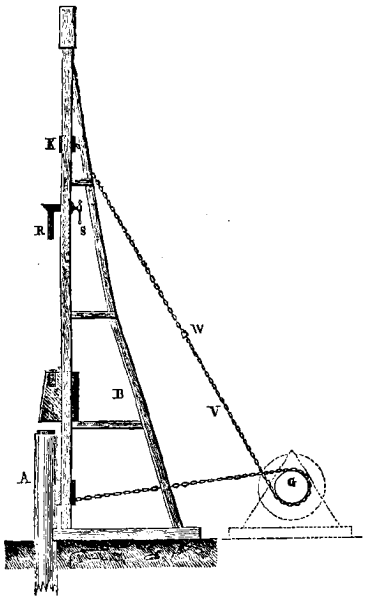


Fig. 3673. — Élévation latérale de la sonnette.

placé un treuil G sur lequel s'enroule une corde ou une chaîne sans fin V.

Des taquets W, fixés sur cette chaîne, s'engagent successivement dans une pince placée sur la tête du mouton P et le soulèvent jusqu'à ce que la pince soit ouverte par le décliqueteur fixe R. Le mouton dégagé tombe et vient frapper la tête du pieu en fiche A. La chaîne sans fin V continue son mouvement. Un second taquet vient immédiatement s'engager dans la pince ; le mouton s'élève de nouveau jusqu'en R pour retomber sur le pieu. Ces chocs successifs se reproduisent aussi longtemps que le treuil G continue à tourner.

Le décliqueteur R se fixe à la hauteur convenable entre les montants de la sonnette à l'aide de la vis de pression S.

La distance des taquets sur la chaîne sans fin est réglée en raison de sa vitesse et de la hauteur de chute, de manière à ce qu'il y ait le moins de temps perdu possible entre chaque chute du mouton et l'élévation suivante.

La fig. 3674 fait voir, sur une plus grande échelle, la disposition du taquet W sur la chaîne sans fin V.

Fig. 3674. — Taquet de la chaîne.

Enfin la figure 3675 montre clairement en perspective la forme de la pince à déclic fixée sur la tête du mouton. Le taquet est plus gros que la petite branche quand elle est fermée, et entraîne, par conséquent, le mouton dans son mouvement ascensionnel.

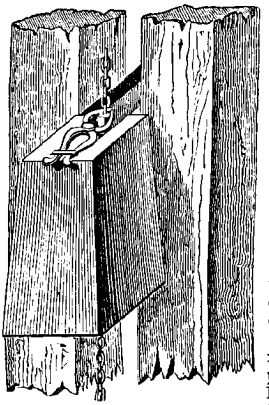


Fig. 3675. — Vue du mouton et de son déclic.

Le décliqueteur R en forme de coin (fig. 3673) s'introduit entre les longues branches (fig. 3675) de cette pince, les écarte et fait ouvrir l'autre extrémité, qui laisse alors passer le taquet W : ce qui détermine la chute du mouton.

La chaîne sans fin VV (fig. 3673) passe sur deux poulies de renvoi A et K, placées entre les montants du bâti de la sonnette. Ces poulies servent à régler la tension de la chaîne sans fin, quand la longueur se modifie, ou bien quand on change la position relative du treuil et de la sonnette.

La poulie inférieure est tirée de haut en bas par le ressort à boudin fixé au patin de la machine.

La position de la poulie supérieure K est réglée à l'aide d'une vis, qui traverse un écrou fixe placé entre les montants.

Une disposition plus simple encore et qui a reçu la sanction de nombreuses applications a été imaginée par M. Janvier, ingénieur des ponts et chaussées, attaché au service du port de Toulon (*Annales des ponts et chaussées*, 1856, t. I, p. 6).

Les figures feront facilement comprendre cette application remarquable par la simplicité de la machine locomobile aux travaux des chantiers de construction.

La locomobile est montée sur la plate-forme d'une grande sonnette ordinaire (fig. 3676), installée sur un ponton, ou roulant sur des rails parallèles à la ligne de pieux à enfoncer, comme l'indique la figure. L'arbre moteur des treuils de mise en fiche et de battage communique par un enclanchement avec l'arbre A (fig. 3677)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui porte la poulie où s'enroule la courroie de la locomobile. Un levier F permet d'embrayer l'arbre A et

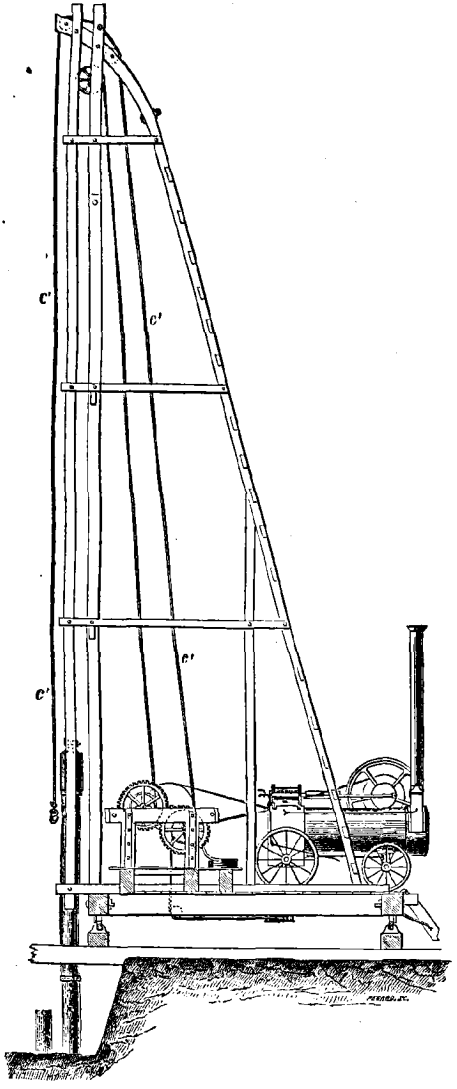


Fig. 3676. — Elévation latérale d'une sonnette à vapeur. (Echelle de 0,01.)

celui des treuils. Un autre levier semblable, que l'on voit à droite, sert à engrener, selon le besoin, le treuil de mise en fiche ou le treuil du mouton avec l'arbre moteur.

Cela posé, le battage d'un pieu s'exécute comme on va l'indiquer.

La sonnette étant amenée au-dessus de l'emplacement du pieu à enfoncer, on arrête le mouton à la hauteur d'une des moises en arrêtant le tambour du treuil par un taquet, et, de plus, pour éviter tout accident, en le supportant sur une barre placée

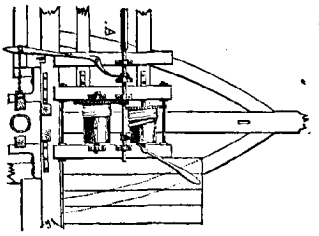


Fig. 3677. — Plan des treuils de la sonnette à vapeur. (Echelle de 0,01.)

transversalement sur les moises. Un manœuvre est à la fourchette de débrayage F, un second à l'autre fourchette. Le mécanicien, attentif au commandement, a la main sur le levier de mise en marche de la machine. Il faut d'abord mettre en fiche. Un gabier accroche le pilot avec la corde *c'*, le manœuvre de la fourchette *f* engrène le tambour de mise en fiche, et le manœuvre de la fourchette F enclanche l'arbre moteur avec l'arbre du pignon. Le gabier commande : *En avant !* la machine à vapeur tourne et soulève le pilot. Quand il est assez élevé, au commandement de *stop*, la machine s'arrête, on engage le pieu dans les coulisses de la sonnette. Au commandement : *En arrière !* la machine tourne en sens contraire et laisse descendre le pieu. Il s'enfonce un peu dans le sol par son poids, on le cale et on l'assujettit. On détache alors la corde de mise en fiche, on déclanche le tambour de mise en fiche, et on engrène le treuil du mouton. Au commandement : *Un tour en avant !* la machine soulève le mouton d'une petite quantité, qui permet d'enlever la barre et le taquet d'arrêt. *En arrière, doucement !* et le mouton vient se poser sur la tête du pieu et achève, par son poids, de le mettre en fiche.

Le battage proprement dit peut alors commencer. Le gabier commande : *En avant !* le mouton s'élève rapidement, la tenaille vient s'engager dans la cheminée, le poids de celle-ci la fait ouvrir et le mouton tombe ; la tenaille, débarrassée du mouton, continuant à monter, la cheminée est soulevée. Dans ce mouvement, elle tire une chaînette attachée à la fourchette F, et, par suite, prévient le manœuvre qu'il faut déclancher l'arbre A. Dès lors le tambour du mouton se trouvant libre, la corde du mouton se déroule. La cheminée s'arrête sur ses boulons de retenue, et la pince, continuant son chemin, vient accrocher le mouton. On enclanche aussitôt l'arbre moteur, et le mouton s'élève de nouveau pour continuer la même série d'opérations jusqu'à ce que le pilot soit battu au refus.

La mise en place d'un faux pieu se comprend sans difficulté d'après ce qui précède. Le déplacement de la sonnette s'effectue à l'aide de leviers, quand il s'agit de mouvements peu considérables. La machine à vapeur sert au contraire à effectuer les déplacements de quelque importance. A cet effet, une corde attachée à un point fixe situé dans la direction à parcourir vient passer sur des poulies de renvoi placées sous la plate-forme de la sonnette, et s'enroule

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur le treuil de mise en fiche, qui sert ainsi à remorquer tout l'appareil.

La même installation de sonnette peut avoir lieu sur un ponton pour battre dans l'eau ; tous les mouvements de l'appareil se font alors avec la plus grande facilité.

Le mouton de la sonnette dont il s'agit pèse 800 kilogrammes, et la tenaille 50. La locomobile donnant de 80 à 90 coups par minute, le mouton frappe 100 à 110 coups en moyenne par heure. La même sonnette, manœuvrée à bras par deux gabiers et six manœuvres, ne donne que 16 à 18 coups. Tandis que l'on bat 1 pilot à bras, on en bat 3,37 à la vapeur.

La journée de la sonnette conduite à bras coûte 21 francs ; savoir :

Deux gabiers à 3 francs	6f,00
Six manœuvres à 2f50	15,00
	21 ,00

La journée de la même sonnette conduite à la vapeur revient à 27 francs ; savoir :

Un mécanicien.	3,50
Un chauffeur.	2,50
Deux gabiers.	6,00
Deux manœuvres	5,00
Quart de journée de porteur d'eau .	0,50
Bois à brûler, déchets de pilotage. . .	6,50
Huile, graisse, chiffons.	0,50
Intérêt et amortissement de la machine (5,000 fr.).	2,50
Amortissement du châssis.	0,50
	27,50

Dans ces conditions, le battage à bras d'un pilot revenait à 11f,05, et celui du battage à vapeur, à 4,25 seulement.

Dans les travaux de battage très-considérables où le terrain présente des difficultés exceptionnelles, et où l'on est pressé de gagner du temps, on emploie une machine spéciale connue sous le nom de pilon à vapeur de Nasmyth.

On décrira ici la machine de cette espèce qui a été employée au viaduc de Tarascon, sur le Rhône, où elle a produit des résultats excellents et impossibles à réaliser avec les sonnettes à déclic les plus puissantes.

La nature du terrain rendait très-difficile l'enfoncement des pieux. D'après la manière dont le battage avait marché, on pensa qu'un certain nombre de pieux avaient dû se briser dans le sol. Une circonstance imprévue est venue éclaircir cette question de manière à ne laisser aucun doute. Une palée du pont de service, que l'on n'avait pas eu le temps d'enrocher, ayant été affouillée par une crue subite, est restée suspendue au pont de service par l'intermédiaire de la haute palée, de sorte que tous ces pieux, flottant comme des bois amarrés, ont pu être démontés, examinés et mesurés. Aucun pieu n'avait conservé son sabot, et tous les bois étaient cassés dans le sol et sur des hauteurs variables atteignant 4 mètres. Après une telle expérience, il était impossible de ne pas considérer le battage au déclic comme tout à fait insuffisant pour les enceintes, surtout pour les piles à établir sur les parties peu profondes du Rhône, enceintes que l'on devait draguer à 8 ou 9 mètres sous l'étiage ; c'est pourquoi on a jugé nécessaire d'essayer le battage à la vapeur d'après le système Nasmyth. Un pilon à vapeur acheté en Angleterre au prix de 39,380 fr. 27 c., transport et droits de douane compris, a été essayé et a donné, après d'assez longs tâtonnements et des modifications importantes, des résultats tellement satisfaisants, qu'il a été employé exclusivement, sur les points difficiles, au battage de 682 pieux. L'emploi du déclic n'a plus été admis que pour les palées.

L'appareil du pilon à vapeur posé sur la tête du pieu pesait 4,000 kilogr. ; son mouton, du poids de 1,500 kilogr., battait de 80 à 100 coups par minute, avec une chute de 0m,98 ; le pieu se trouvait ainsi continuellement ébranlé et pénétrait de 8 à 10 mètres dans un terrain où les sonnettes à déclic les plus puissantes ne pouvaient pas lui donner plus de 5 mètres de fiche. Dans ces circonstances, le battage d'un pieu s'exécutait en une dizaine de minutes, c'est-à-dire en trois ou quatre fois moins de temps que n'en exigeait la mise en fiche. Où le battage au déclic coûtait 35 à 40 francs par pieu, le battage à la vapeur est revenu de 15 à 17 francs, y compris les réparations de l'appareil.

La machine (fig. 3676) est portée sur une plate-forme mobile sur deux rails parallèles à la ligne de pieux à battre. Ces rails sont posés sur un échafaudage ou sur un bateau.

Les parties principales de l'appareil sont les suivantes :

1° Une petite machine à vapeur destinée à faire fonctionner successivement, selon les besoins, ou le treuil sur lequel s'enroule la chaîne qui supporte le pilon à vapeur, ou un tambour sur lequel s'enroule la chaîne servant à soutenir le pieu à mettre en fiche, ou enfin à faire avancer sur ses rails, dans un sens ou dans l'autre, l'ensemble du mécanisme.

2° Le pilon à vapeur proprement dit, suspendu à l'aide d'une chaîne passant sur la poulie placée au haut de la bigue, et assujetti à glisser le long de cette bigue par quatre brides à crochets fixées sur la boîte en tôle où se meut le mouton, et embrassant les bords de fortes bandes de tôle boulonnées sur cette pièce de bois.

Cette petite machine auxiliaire et le pilon sont alimentés par une même chaudière à vapeur. On va décrire successivement ces deux parties du mécanisme.

Machine auxiliaire. — L'échelle de la figure ne permet pas de suivre tous les détails du mécanisme, mais elle suffit pour bien indiquer sa disposition générale. On aperçoit nettement la roue d'angle qui transmet le mouvement à l'essieu des galets qui portent toute la plate-forme. L'arbre de cette roue d'angle porte le tambour sur lequel s'enroule la petite chaîne de manœuvre du pieu à mettre en fiche. Un autre tambour, placé plus à gauche, reçoit la grosse chaîne qui sert à remonter l'appareil du pilon à vapeur. Des embrayages convenablement disposés permettent de ne faire fonctionner que les parties du mécanisme nécessaires pour chaque manœuvre.

La bâche et la pompe d'alimentation sont à droite de la plate-forme, en dehors de la ligne de rails.

Voici les principales dimensions de la machine à vapeur auxiliaire :

Diamètre du cylindre de la machine à vapeur.			0m,145
Course du piston.			0m,272
Lumières du cylindre.	Arrivée de la vapeur.	Longueur.	0m,022
		Largeur. .	0m,078
	Échappement. . . .	Longueur.	0m,034
		Largeur. .	0m,078
Diamètre du plongeur de la pompe alimentaire.			0m,090
Course.			0m,108

Pilon à vapeur. — La vapeur est introduite dans le cylindre du pilon par un tuyau en fonte de 0m,06 de diamètre intérieur, articulé à l'aide de genouillères, de manière à suivre, en se développant plus ou moins, le cylindre dans toutes ses positions depuis le sommet jusqu'au bas de la bigue.

La tige du piston est liée au mouton comme l'indi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quent les lignes ponctuées de la fig. 3679. Des rondelles un peu élastiques empêchent les chocs de se transmettre au piston avec toute leur violence.

Dans la première machine, le mouton frappait directement sur la tête du pieu, et ne tardait pas à l'écraser. On était obligé de le receper et de remettre une frette, ce qui entraînait une perte de temps considérable. L'emploi d'un faux pieu, disposé comme l'indique la partie inférieure de la fig. 3679, a fait disparaître cet inconvénient. Le faux pieu en bois de frêne transmettait parfaitement les chocs et s'usait fort peu, car on a pu battre quatre-vingts pieux sans le remplacer.

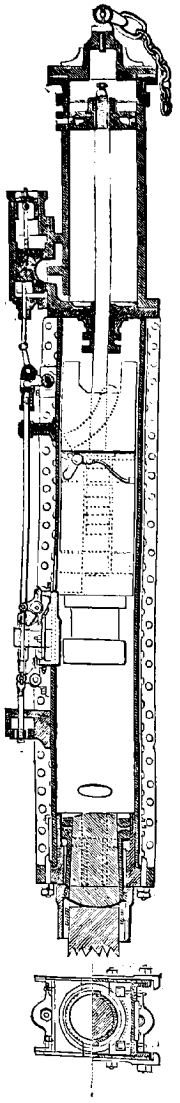


Fig. 3678. — Coupe du piston à vapeur, la boîte du mouton. (Echelle de 0,03.)

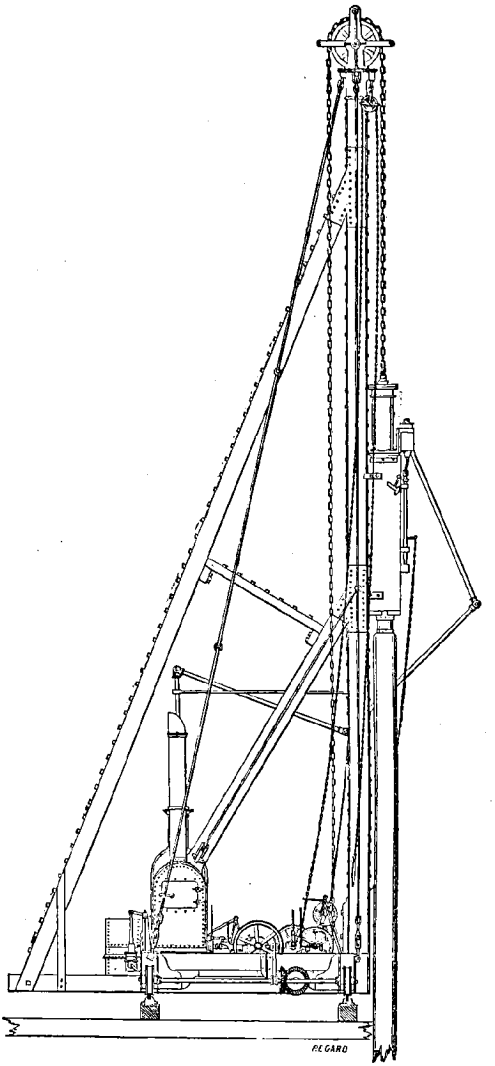


Fig. 3679. — Elévation latérale du marteau-pilon de Nasmyth. (Echelle de 0,008.)

Ainsi que le montre la disposition du tiroir et du cylindre, la vapeur ne peut être introduite que sous le piston ; elle sert à soulever le mouton qui redescend par son propre poids, en entraînant le piston, aussitôt

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que l'échappement de la vapeur peut avoir lieu dans l'air extérieur.

Les ouvertures pratiquées à la partie supérieure du cylindre (fig. 3679) servent à laisser sortir l'air lorsque le piston remonte, et à le laisser rentrer lorsqu'il descend. La capacité formée de toutes parts, ménagée au-dessus de ces ouvertures, forme un matelas d'air qui empêche le piston de venir, en vertu de sa vitesse acquise, frapper le fond supérieur du cylindre.

Le tiroir et le mécanisme de distribution appliqués à ce genre de machine à vapeur présentent des dispositions spéciales utiles à signaler.

Le tiroir (fig. 3679) est fixé, d'une part, à sa tige de mouvement, qui traverse la boîte à étoupes de la partie inférieure de la chambre de distribution, et, d'autre part, à la tige d'une espèce de piston plongeur glissant dans la boîte à étoupes placée à la partie supérieure de cette même chambre de distribution.

La pression de la vapeur, en agissant sur ce piston, tend constamment à le soulever et à ramener le tiroir dans la position opposée à celle que représente la figure, c'est-à-dire dans la position où le tiroir fait communiquer le cylindre avec la chaudière, et non pas avec le tuyau d'échappement.

Le tiroir est donc ainsi constamment sollicité de bas en haut, comme il le serait par un ressort puissant; le mécanisme de distribution n'a d'autre fonction que de faire agir ou de supprimer l'action de cette force en temps opportun; à cet effet, le corps du mouton en remontant, avant d'arriver à la limite supérieure de sa course, rencontre le levier coudé dont la grande branche est figurée en lignes ponctuées dans le haut de la boîte en tôle (fig. 3679), et dont la petite branche s'engage dans l'œil de la tige directrice du tiroir. La grande branche de ce levier, ainsi poussée de bas en haut, produit naturellement sur l'extrémité de la petite branche un mouvement de haut en bas qui amène le tiroir dans la position indiquée par la figure. Pendant ce mouvement, un doigt porté par le mécanisme que l'on voit au bas de la boîte en tôle, près de la tête du mouton, et constamment poussé par un ressort qui le presse contre la tige directrice du tiroir, vient s'appuyer contre un talon venu de forge sur cette tige. Ce doigt ou taquet s'oppose au relèvement de la tige du tiroir et du tiroir lui-même; de sorte que l'échappement de la vapeur a lieu aussi longtemps qu'un nouvel effort ne vient pas enlever le doigt de la position qu'il a prise au moment de l'abaissement du tiroir par l'action du premier levier dont on a parlé.

Mais aussitôt que la communication du cylindre avec l'ouverture d'échappement a été établie comme on vient de le dire, le mouton retombe par son propre poids en entraînant le piston avec lui. Dans sa chute, il presse, par un levier logé dans l'intérieur de sa masse, sur le grand côté d'une espèce de parallélogramme faisant saillie dans l'intérieur de la caisse en tôle, et qui porte le doigt qui retenait la tige directrice du tiroir dont on a déjà parlé. Cette pression, ou plutôt ce choc, produit l'échappement du doigt ou taquet de retenue; le tiroir se trouve libre alors d'obéir à la pression de la vapeur qui tend à le relever, la lumière d'échappement de vapeur se trouve fermée et celle d'introduction ouverte de nouveau. Le piston remonte en soutenant le mouton, et la succession de mouvements que l'on vient de décrire peut se produire de nouveau.

Si, par une cause accidentelle, le mécanisme de déclanchement du doigt d'arrêt ne fonctionne pas au moment de la chute du tiroir, il suffit, pour produire le même effet, de tirer une corde ou une chaîne attachée au levier de ce mécanisme.

L'extrémité inférieure de la tige directrice du tiroir porte un piston engagé dans une capacité alésée, dont l'air fait matelas pour amortir les chocs qui résulteraient dans le mécanisme du mouvement rapide d'ascension du tiroir, lorsque la vapeur agit tout à coup pour le faire remonter.

Voici les dimensions principales du mouton à vapeur et de la chaudière qui met en jeu toutes les parties du mécanisme :

Longueur du foyer	$0^{m},685$
Largeur du foyer	$0^{m},835$
Hauteur de la boîte à feu au milieu du dôme	$1^{m},060$
Hauteur de la boîte à feu sur les côtés	$0^{m},900$
Nombre des tubes	45
Diamètre intérieur des tubes	$0^{m},040$
Diamètre extérieur des tubes	$0^{m},048$
Surface intérieure des 45 tubes	$15^{mq},7691$
Surface de chauffe directe	$3^{mq},6538$
Surface de chauffe réduite	$8^{mq},9402$
Surface de chauffe totale	$19^{mq},4229$
Surface de la grille	$0^{mq},572$
Longueur des tubes	$2^{m},790$
Diamètre intérieur de la partie cylindrique de la chaudière	$0^{m},700$
Diamètre extérieur de la partie cylindrique de la chaudière	$0^{m},726$
Diamètre intérieur de la cheminée	$0^{m},32$
Hauteur de la cheminée au-dessus de la boîte à fumée	$2^{m},90$
Hauteur de la cheminée au-dessus de la grille	$4^{m},35$
Capacité de la chaudière, espace occupé par l'eau et la vapeur	$2^{mc},220$
Capacité de la bâche	$0^{mc},710$
Section de la lumière du cylindre du pilon	$0^{m},150 \times 0^{m},032$
Diamètre du piston	$0^{m},354$
Course du piston ou volée du mouton	$0^{m},82$
Poids du mouton seul	1,150 kil.
Poids du piston et de sa tige	350 kil.
Poids de la caisse du mouton, du cylindre et de toutes les pièces qui composent le pilon proprement dit	4,000 kil.
Tension de la vapeur employée	3 atm. et demi.

Il est maintenant facile de comprendre la manœuvre du battage d'un pieu à l'aide du pilon à vapeur placé sur un bateau ou ponton flottant.

Après avoir amarré le bateau à l'emplacement du battage, au moyen de cordes enroulées sur deux treuils et sur un cabestan, on relève jusqu'au sommet de la bigue la caisse en tôle qui renferme le pilon en faisant fonctionner le treuil de la grande chaîne. On procède alors à la mise en place du pieu à battre en le hissant au moyen de la petite chaîne et du treuil correspondant, et en le maintenant verticalement le long de la bigue à l'aide de cordes, comme on le ferait pour une sonnette ordinaire. Lorsque le pieu est en place et que sa pointe repose sur le sol, on laisse descendre sur sa tête le pilon à vapeur. Ce mouvement décharge le bateau du côté du pilon; pour rétablir l'équilibre, on rapproche du bord opposé deux waggons chargés de lest disposés à cet effet. On donne alors, avec précaution, quelques coups de mouton pour faire prendre fiche au pieu, et aussitôt qu'il présente une stabilité suffisante, on le dégage des amarres qui le maintenaient vertical et on bat jusqu'au refus le plus activement possible.

En moyenne, la mise en fiche a exigé une heure; un enfoncement de 9 mètres exigeait trente volées de cinquante coups, ou quinze cents coups de mouton. La durée d'une volée est de 1',2",5, soit 1",25 par coup. Le refus était fixé à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$.

Les pieux battus au pilon ont traversé en moyenne une couche de gravier plus épaisse de 3 mètres au moins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les pieux battus au déclic, et on a vu que ceux-ci étaient presque toujours brisés, tandis que ceux battus au mouton n'ont éprouvé que de rares accidents. A ces avantages s'ajoute une grande économie.

La dépense quotidienne d'une sonnette, au pont de Tarascon, était en effet, en moyenne, la suivante :

Un marin.	4f,00
Un charpentier enrimeur, chef d'atelier . .	5 00
Huit manœuvres de choix.	24 00
Faux frais, cordages, graisse	2 00
Dépense quotidienne. .	35f,00

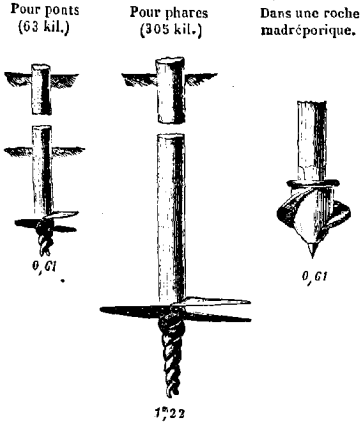
Le battage des pieux à la sonnette a été payé de 40 à 45 francs. A cette somme il faut ajouter 10 francs pour détérioration des appareils, ce qui porte la dépense d'un pieu battu au déclic de 50 à 55 francs.

La dépense du battage d'un pieu à la vapeur s'établit, au contraire, de la manière suivante, en moyenne :

Un mécanicien	5f,00
Un chauffeur	3 00
Un charpentier enrimeur	4 50
Deux marins	8 00
Deux aides-marins.	6 50
Quatre manœuvres ordinaires	10 00
Salaires.	37f,00
Combustible de mise en train, extinction et temps perdu pendant une journée de dix heures, 450 kil. à 3 fr..	13 50
0f,60 par volée de 50 coups, soit par huit pieux ou 240 volées, moins de 150 kil.	4 50
Réparations, 6f,18 par pieu, soit pour huit pieux.	49 44
Faux frais, huile, etc.	4 00
Dépense quotidienne. . . .	108f,44
Soit par pieu.	13 50
On peut tenir compte de la moins-value de l'appareil, qui a été vendu 25,000 fr., en ajoutant par pieu.	21 52
Dépense totale.	35f,02

Un dernier mode d'enfoncement des pieux de fondation dont l'usage se répand beaucoup, et qui permet d'exécuter des travaux impossibles à entreprendre au-

Fig. 3680. — Pieux en fer forgé.



trement, doit encore être signalé. Nous voulons parler des pieux à vis imaginés par M. A. Mitchell de Belfast. Les pieux de cette espèce présentent une très-grande résistance à l'arrachement ou à la compression, et permettent d'établir des constructions solides sur des sols et dans des conditions extrêmement difficiles.

La forme des vis Mitchell varie nécessairement beaucoup avec la nature du terrain et le but à atteindre. Comme le montrent les figures, la vis est large et la



Fig. 3681.—Vis et sabot en fonte réunis par une tige en fer, pour porter un pieu de bois (457 kil.)



Fig. 3682.—Vis en fonte pour terrain résistant (190 kil.)

filet fait peu de tours pour les terrains peu résistants; au contraire, dans les terrains très-durs et dans le rocher, on le réduit à une espèce de tarière de forme conique, à filets peu saillants et faisant plusieurs tours.

L'enfoncement de ces vis est extrêmement simple. On place sur la tête du pieu des barres de cabestan, auxquelles on imprime un mouvement de rotation. La vis s'enfonce ainsi jusqu'à ce qu'on rencontre un terrain suffisamment résistant pour l'effort à supporter.

Les vis Mitchell s'appliquent aussi bien aux constructions les plus considérables qu'aux usages les plus ordinaires. Elles conviennent très-bien, par exemple, pour poser rapidement et solidement, avec peu de main-d'œuvre, des montants de grilles, de barrières, des poteaux télégraphiques, des palées de ponts de service, etc. Ce mode de fixation des pieux est appelé à rendre de grands services à l'art des constructions.

HERVÉ MANGON.

PISCICULTURE. Les recherches qui se sont multipliées depuis que l'on a cherché à développer les moyens directs de production des poissons, de fécondation des œufs, ont bien souvent échoué, et l'expérience a ramené sur un terrain plus pratique que celui sur lequel on s'était d'abord placé. Je donnerai une connaissance très-satisfaisante des résultats obtenus en rapportant ici les règles pratiques fixées par un homme très-expérimenté, M. Millet, inspecteur des forêts, qui depuis longtemps s'occupe de pisciculture. Il a fait à la Société d'encouragement, dans la séance du 9 juillet 1856, une communication verbale dans laquelle il a exposé les modifications et les perfectionnements qu'il a apportés dans la récolte, la fécondation, le transport et l'éclosion des œufs, dans l'établissement des frayères artificielles, et dans la dissémination et l'élevage des jeunes poissons; il a, en outre, décrit divers appareils servant à l'éclosion des œufs, à la conservation et au transport des poissons vivants.

Voici, à ce sujet, les différentes instructions données par M. Millet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1° La pêche des poissons destinés aux opérations de fécondation artificielle doit être faite de telle sorte que les œufs et la laitance soient arrivés à un état convenable de maturité et se présentent dans un état parfaitement sain. A cet effet, il recommande de faire la pêche, autant que possible, sur les frayères mêmes ou à proximité de ces frayères. Il indique qu'on doit éviter avec soin de tenir le poisson en captivité, parce que plusieurs espèces (l'ombre notamment) ne sauraient supporter cet état, dans lequel les œufs et la laitance tendent toujours à s'altérer.

2° Pour plusieurs de nos meilleures espèces, continue l'auteur, telles que saumon, truite, ombre, etc., la ponte est successive et s'opère souvent à plusieurs jours d'intervalle ; aussi doit-on tenir compte de cette circonstance pour ne prendre les œufs et la laitance que lorsqu'ils sont complétement mûrs, ou bien lorsqu'ils s'écoulent soit naturellement, soit sous une faible pression.

3° La vitalité des spermatozoïdes, et, par conséquent, l'action fécondante de la laitance sont de très-courte durée, notamment chez les salmonoïdes (saumon, truite, ombre, etc.) ; cette durée n'étant souvent que de quelques secondes, les œufs doivent donc être mis en contact avec les particules de la laitance à mesure qu'elles tombent dans l'eau. En conséquence, on doit opérer simultanément d'une part avec une femelle, et d'autre part avec un mâle, en ayant soin de ne pas diluer la laitance dans l'eau.

4° Toute eau contenant en dissolution, comme l'eau de mer, du chlorure de sodium, fût-ce même en faible proportion, agit d'une manière très-énergique sur les œufs et la laitance des poissons d'eau douce ; elle paralyse ou annihile les mouvements des spermatozoïdes et leur fait perdre leur pouvoir fécondant : elle cause, en outre, dans l'œuf, une perturbation telle, que tout genre d'organisation y est promptement détruit ; cependant cette action ne s'exerce que dans la première période de l'incubation.

5° Le développement de l'embryon peut s'effectuer en dehors de l'eau, pourvu qu'il ait lieu dans un milieu humide et aéré et sous des conditions de température appropriées à chaque espèce. Cette propriété permet de transporter, à de grandes distances, des œufs fécondés. Pour cela, on les place par couches dans des caisses en bois, en ayant soin de les disposer de telle sorte que chaque couche soit comprise entre deux linges humides. Grâce à ces soins, des œufs de saumon, de truite et d'ombre ont pu, sans souffrir la moindre altération, supporter des transports d'une durée de trente-cinq à quarante jours.

6° L'incubation s'effectue dans d'excellentes conditions lorsque les œufs reposent sur des claies tenues en suspension dans l'eau, ou mieux encore lorsqu'ils sont disposés au milieu des eaux naturelles dans des appareils flottants.

7° Dans la nature, le saumon, la truite, etc., enterrent en quelque sorte leurs œufs entre des pierres pour que l'éclosion puisse avoir lieu à l'ombre ; aussi doit-on éviter d'exposer les œufs des salmonoïdes à l'action d'une vive lumière ou à celle des rayons solaires, si on ne veut les voir promptement périr. Selon M. Millet, c'est à ce manque de précaution que doit être attribué l'insuccès de grand nombre de pisciculteurs qui ont exposé leurs œufs à l'action des rayons solaires, et n'ont fait que rendre cette influence plus nuisible encore en les plaçant sur des claies formées de baguettes de verre.

8° Pendant la première période de l'incubation, on doit s'abstenir de remuer et de nettoyer les œufs. Tout déplacement ou nettoyage, soit à l'aide d'une plume, soit avec une brosse ou un pinceau, a pour effet de nuire au développement de l'embryon et de détruire une grande quantité d'œufs.

9° Au lieu d'élever et de nourrir les jeunes poissons dans des espaces circonscrits, il est préférable de les abandonner à eux-mêmes dans les eaux naturelles, en ayant soin, toutefois, de les protéger contre leurs ennemis.

10° En résumé, la pisciculture consiste moins dans la fécondation artificielle que dans l'art de favoriser la fécondation naturelle. Ainsi la fécondation artificielle ne peut être utilisée que pour un certain nombre d'espèces, et encore pour ces espèces ne donne-t-elle souvent que des résultats inférieurs à ceux que fournit la fécondation naturelle favorisée avec soin. De là l'utilité des frayères artificielles.

Frayères artificielles. — Les frayères artificielles ont pour but de venir en aide à la nature. M. Millet les organise de deux manières différentes, suivant le mode de ponte des diverses espèces de poissons :

Pour les poissons dont les œufs sont libres ou s'attachent aux pierres (saumon, truite, ombre, barbeau, etc.), il dispose le gravier ou les cailloux en tas ;

Pour ceux, au contraire, dont les œufs se fixent aux plantes aquatiques (carpe, tanche, brème, perche, etc.), il établit, sur les eaux, des claies garnies de brindilles ou de rameaux, et les munit de flotteurs qui leur permettent de suivre tous les mouvements de hausse ou de baisse du niveau, tout en conservant aux œufs l'humidité nécessaire.

Transport des poissons vivants. — Le transport des poissons vivants offre un grand intérêt, tant sous le rapport de l'approvisionnement des marchés qu'au point de vue des diverses opérations de pisciculture.

Quand il s'agit d'un long trajet et que le récipient est de petite dimension, le transport présente de grandes difficultés. Pour satisfaire aux exigences de la respiration des poissons, on est obligé d'agiter l'eau, de la fouetter pour l'alimenter d'air, et souvent même de la renouveler quand il s'agit d'espèces à respiration très-active.

Il a été récemment inventé, dans les Vosges, un appareil de transport à l'aide duquel on obtient l'agitation nécessaire de l'eau par la rotation continue d'une chaîne à godets ; mais, suivant M. Millet, cet appareil ne semble pas devoir réunir de bonnes conditions, surtout au point de vue de la simplicité et de la dépense. L'auteur cite alors le mode de transport qu'il a imaginé, et qui a servi à amener les poissons vivants qui ont figuré à l'Exposition de l'industrie et au Concours universel agricole. En étudiant le mode de respiration des poissons et les conditions d'absorption de l'air par l'eau, il a été conduit à injecter ou même à insuffler de l'air dans le liquide. Son appareil consiste en un soufflet ordinaire muni d'un tube qui plonge au fond du récipient, et l'on comprend la facilité avec laquelle on peut injecter de l'air suivant le besoin des diverses espèces à transporter. Lorsqu'il s'agit de faire voyager une grande quantité de poissons, ce qui nécessite l'emploi de plusieurs bâches ou cuves, on met tous ces récipients en communication, soit par des tuyaux adaptés à leur partie inférieure, soit au moyen de siphons, et à l'aide d'une petite pompe on prend l'eau dans la dernière cuve pour la rejeter dans la première par une pompe d'arrosoir. De cette manière, il s'établit un courant continu qui permet à l'eau d'absorber toute la quantité d'air nécessaire.

Des moyens d'alimentation. — On doit conclure des recherches sur la pisciculture, que sauf les cas d'acclimatation d'espèces nouvelles, l'alevin est toujours assez abondant, que l'assistance de frayères artificielles, tout au plus, est bien suffisant pour le rendre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

excessif. Mais ce qui manque le plus souvent, ce sont les moyens d'alimentation; c'est la loi de Malthus qu'il faut appliquer ici avant tout; ce ne sont pas les germes, il s'en faut de beaucoup, c'est la subsistance qui limite la population.

Ce qu'il importe donc de multiplier d'abord, ce sont les espèces herbivores, comme Remy l'avait voulu faire pour multiplier les poissons des rivières, et pour les espèces marines, ce sont les champs de varechs, le long des côtes, les bancs de moules et les bancs d'huîtres qui, les premiers surtout, accompagnent les premières formations de matière animale qui vient fournir la nourriture de tous les poissons, qui se dévorent les uns les autres. L'étude des moyens d'alimentation doit accompagner celle de la production des espèces, comme le savent les propriétaires d'étangs, qui ont soin d'établir une proportion convenable entre les brochets et les carpes. Peut-être peut-on obtenir dans cette direction des résultats supérieurs à ceux que donne la fécondation artificielle des œufs pour activer la production de poissons, qui sont détruits presque aussitôt que créés, lorsqu'on les place dans des conditions où l'existence d'une quantité supérieure à celle qui y subsiste déjà est impossible.

PLASTIQUES (CORPS). La plasticité est la propriété d'un corps de prendre par pression une forme voulue et de la conserver quand la pression a cessé. L'argile et la cire sont les corps plastiques par excellence, et beaucoup de leurs emplois résultent de cette propriété, notamment celui qu'en font les sculpteurs pour créer leur œuvre originale, le premier type réalisant leur conception, que la sculpture et surtout la fonte reproduisent ensuite.

De la plasticité de l'argile résultent des modes particuliers de la travailler : le travail sur le tour du potier, d'abord, moyen général de production de la grande industrie céramique; puis le passage par pression à travers des filières de section convenable, dont nous avons montré l'application à la fabrication des tuyaux de drainage, des briques creuses, etc.

Ce mode de travail par compression s'applique à d'autres substances, notamment aux pâtes alimentaires pour la fabrication du vermicelle, du macaroni; mais, chose qui a paru plus extraordinaire à l'origine, à la fabrication des tuyaux de plomb (Voy. TUYAUX, *Complément*) à l'aide de la presse hydraulique. Dans cette curieuse invention, pour laquelle, comme dans tant de cas, l'industriel a précédé le savant, il y avait l'application d'un principe nouveau à dégager, que j'énoncerai en disant : que *la plasticité d'un corps n'est que sa malléabilité, lorsqu'il est soumis à une pression suffisante pour faire glisser ses molécules les unes sur les autres.*

En effet, si nous reconnaissons que l'argile est plastique, c'est parce que nous lui donnons avec nos doigts toutes les formes que nous voulons; sa facile transformation dépend donc de deux éléments : de sa nature et de l'intensité des forces que nous développons facilement avec la main. N'est-il pas évident que ce second élément ne se rapporte nullement au corps, et que celui-ci pourra être parfaitement plastique, c'est-à-dire susceptible de changer de forme par pression, sans déchirures, bien que nous ne puissions le transformer à la main, que la pression que nous pouvons ainsi exercer soit tout à fait insuffisante pour cela?

Il est naturel de conclure de là que tous les corps malléables, comme les métaux, c'est-à-dire la plupart des corps, à l'exclusion seulement des corps cristallins ou terreux, essentiellement dénués de malléabilité, qui tombent en poussière lorsqu'ils sont soumis à des pressions suffisamment grandes, sont susceptibles de plasticité, lorsqu'ils sont soumis à des pressions considérables, eu égard à leur nature propre.

C'est ce que vérifient les expériences de M. Tresca sur l'*écoulement* des *solides* (voy. RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX), qui, ayant soumis à une forte pression des rondelles superposées de divers métaux, dans un cylindre résistant portant un piston actionné par une presse hydraulique, et ayant un orifice dans son fond, a pu faire sortir par celui-ci des cylindres de divers métaux, absolument comme une pâte molle. Et ce n'est pas seulement pour le plomb qu'il a pu faire une expérience qui rappelle tout à fait la fabrication des tuyaux de plomb, mais encore pour l'étain qui nécessite des pressions à peu près doubles de celles nécessaires pour le plomb. Avec l'argent et le cuivre il a pu obtenir les mêmes résultats, avec des pressions très-grandes et en recuisant fréquemment le métal, dont la malléabilité paraît notablement diminuée par l'écrouissage. Il est facile de constater les mêmes phénomènes dans les pièces de fer travaillées à chaud, dans les effets produits par le marteau ou le laminoir.

Les expériences dont nous parlons donnent des résultats qui peuvent s'énoncer en disant : Qu'à une pression suffisamment grande un métal paraît se comporter comme un liquide. C'est bien aussi la définition qu'on pourrait donner de la plasticité absolue; il est clair qu'à la limite où il obéit aux pressions qui le forcent à s'écouler par un orifice de petite dimension, un corps semblable transmettrait les pressions comme un liquide.

Au point de vue industriel, ce qui nous paraît un résultat acquis particulièrement intéressant, c'est la plasticité parfaite du plomb. Non-seulement on peut fonder sur cette propriété la fabrication des objets en plomb par pression, comme celle des tuyaux de plomb; non-seulement il est infiniment précieux pour assurer des joints étanches, des contacts parfaits, comme dans des jonctions de tuyaux à rebords, ou entre des pierres, s'écrasant plus dans les parties où la pression est la plus grande que dans celles où elle est moindre, mais surtout il peut être employé très-utilement pour opérer à volonté de véritables fermetures hydrauliques. Ceci existe pour des assemblages à demeure de tuyaux mâle et femelle, dans l'intervalle desquels on mate du plomb, qui empêche le passage de l'eau et même du gaz. Mais cet effet peut s'obtenir instantanément, par écrasement du plomb, ce qui peut fournir la solution de problèmes industriels très-intéressants, insolubles autrement.

Je citerai comme exemple les capsules à percussion centrale de M. Chaudun. Dans ces capsules, la poudre fulminante est placée dans une petite masse en plomb qui remplit la petite calotte de cuivre qui se place dans une cavité pratiquée dans le culot solide de la cartouche d'une arme se chargeant par la culasse. La percussion de cette capsule, s'il n'y avait pas de plomb, donnerait à l'arrière un insupportable dégagement de gaz provenant tant de la capsule que de la cartouche percée. Mais grâce au plomb, écrasé et soutenu par le chien qui l'a percuté, tout dégagement extérieur de gaz est évité, l'occlusion produite par le plomb dilaté, refoulé dans la cavité qui le reçoit, étant parfaite. Nous ne connaissons pas de solution aussi élégante et aussi satisfaisante d'un problème difficile.

Nous ne doutons pas qu'on ne rencontre d'assez nombreuses applications plus ou moins analogues d'un métal qui doit déjà beaucoup de ses emplois industriels à sa plasticité, sous des pressions facilement produites dans les arts; c'est un caractère tout particulier qu'il était bon de mettre en lumière pour faire penser à en tirer parti à l'occasion.

Corps plastiques avec retour à la forme primitive. — J'ai défini la plasticité par la manière dont l'argile et la cire obéissent à la pression. Ce sont en effet des types de plasticité, des corps qui ont toujours été connus

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme tels. Aujourd'hui nous en connaissons d'autres dont le caoutchouc est le type, qui reviennent à leur forme primitive dès que la pression a cessé, et qui, pratiquement, sont tout autres que les corps élastiques ordinaires, c'est-à-dire tous les corps entre certaines limites, à cause précisément de l'étendue considérable et toute particulière que peuvent recevoir ces déformations.

A cause de ces propriétés le caoutchouc reçoit dans l'industrie moderne une foule d'applications qui le rendent infiniment précieux, et que nous rencontrons en décrivant ses applications diverses. Pour en donner idée, nous citerons ses emplois, comme rondelles interposées entre les tuyaux des conduites d'air comprimé; pour transmettre la pression des liquides (voy. APPRETS); à l'état de poches recevant du gaz, ce qui constitue un régulateur pour de faibles pressions en raison de l'élasticité du sac distendu qui tend à revenir à sa dimension primitive; enfin comme pipette ou tâte-vin pour aspirer les liquides, etc.

PLATINE. La famille des métaux du platine a un caractère particulier qui l'isole complétement des autres familles plus ou moins naturelles que l'on a formées avec les autres métaux. A part le palladium, que l'on ne rencontre d'ailleurs que très-rarement seul, ces métaux ne se trouvent pas séparés les uns des autres. Plus ou moins altérables sous l'influence du chlore et de l'oxygène, ils sont tous remarquables par la facilité avec laquelle ils cèdent aux réducteurs les éléments auxquels ils sont combinés. Ils possèdent tous la faculté curieuse de déterminer des actions chimiques par simple contact (action catalytique); cette propriété ne tient pas à l'état de porosité de ces métaux, car le platine fondu et travaillé la possède au même degré que la mousse.

Les différences essentielles que présentent les propriétés physiques et chimiques de ces métaux ne sont pas moins importantes à connaître que leurs analogies. Un coup d'œil jeté sur le tableau suivant permettra de s'en convaincre :

PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DES MÉTAUX DU PLATINE.

1 *Osmium.* Considéré comme un métalloïde, en raison surtout de sa faculté de changer complétement de propriétés physiques et chimiques, suivant la manière dont il a été préparé.

a). *Osmium ordinaire* préparé par les procédés de Berzélius. Masse spongieuse, semi-métallique, exhalant une odeur très-sensible d'acide osmique. Densité = 7.

b). Obtenu en réduisant un mélange de vapeur d'acide osmique et d'hydrogène. Métallique. Densité = 10.

c). *Osmium pulvérulent.* Obtenu par MM. Deville et Debray en réduisant le sulfure d'osmium par la chaleur, métal brillant d'un bleu un peu plus clair que le zinc. Densité variant entre 21,5 et 21,4, supérieure à celle du platine. Cet osmium est sans odeur; il peut être chauffé jusqu'à la température de fusion du zinc sans s'oxyder.

d). *Osmium cristallisé.* Obtenu par MM. Deville et Debray, en dissolvant dans l'acide muriatique un alliage d'osmium et d'étain convenablement préparé. Cristaux très-petits, brillants, blanc bleuâtre. L'osmium fond à la température de fusion du ruthénium; il se volatilise alors très-sensiblement.

2. *Ruthénium.* Après l'osmium, c'est le métal le plus réfractaire que l'on connaisse. Sa densité est caractéristique; elle est de 11 à 11,4. Le ruthénium roche comme le platine et le rhodium; il est dur et cassant comme l'iridium.

3. *Palladium.* Le plus fusible de tous les métaux du platine. A la température de fusion de l'iridium, le palladium disparaît en tournant et en répandant des vapeurs vertes qui se condensent en une poussière d'une couleur bistre, mélange de métal et d'oxyde. Le palladium roche comme l'argent au moment de sa solidification. Le palladium, très-voisin de l'argent, est plus oxydable que lui à basse température. La densité du palladium pur, fondu et non écroui, est de 11,4 à la température de 22°,5.

4. *Rhodium.* Le rhodium fond moins facilement que le platine. Le même feu qui liquéfie 300 grammes de platine ne peut fondre que 40 à 50 grammes de rhodium dans le même temps. Le rhodium n'est pas volatil. Il s'oxyde très-superficiellement comme le palladium et roche de la même manière que lui. Il a à peu près le même ton de couleur que l'aluminium. A l'état d'une grande pureté, il est ductile et malléable. Fondu et pur, il a pour densité 12,1.

5. *Platine.* Après le palladium, le platine est le métal le plus fusible du groupe. Une fois fondu, si l'on élève la température, ce métal se volatilise sensiblement. En se solidifiant, il présente le phénomène du rochage qui, jusqu'à MM. Deville et Debray, n'avait été observé que pour l'argent. Quand on laisse refroidir lentement le platine, il ne roche pas. Le platine fondu et affiné est un métal aussi doux que le cuivre. Il est dépourvu de la porosité du platine ordinaire et peut être employé pour la fabrication du doublé. Le platine fondu possède la propriété de condenser les gaz à sa surface et de produire les phénomènes de la lampe sans flamme. Sa densité est égale à 21,15.

6. *Iridium.* Un lingot d'iridium est d'un blanc pur, ressemblant un peu à l'acier dont il a l'éclat. Il est cassant. Sa densité est la même que celle du platine fondu, c'est-à-dire 21,15.

Les métaux du platine peuvent se diviser en deux catégories distinctes :

Équivalent=53	Densité.	Equivalent=98,5	Densité.
Ruthénium. . . .	11,3	Osmium	21,4
Rhodium.	12,1	Iridium	21,15
Palladium	11,8	Platine.	21,15

Chacun de ces métaux, dans sa catégorie, est rangé, suivant l'ordre inverse de la fusibilité, le métal lourd étant toujours plus réfractaire que le métal léger qui lui correspond, de telle sorte que l'ordre inverse des fusibilités est celui-ci :

Osmium.
Ruthénium.
Iridium.
Rhodium.
Platine.
Palladium.

Les métaux du platine font donc une série régulière et complète, dont il ne paraît pas manquer de terme.

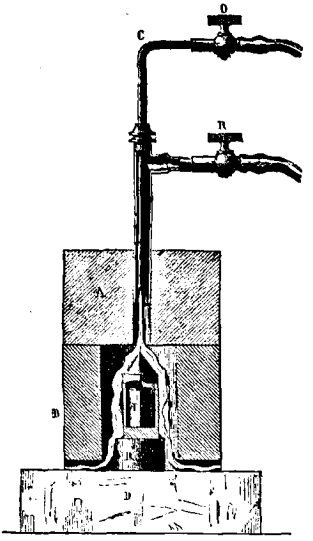
Alliages. — MM. Deville et Debray ont obtenu un certain nombre d'alliages cristallisés de ces métaux, qui méritent d'être rapprochés à cause de leur composition et de leur résistance singulière aux acides; en voici la liste :

L'osmium ne forme aucun alliage à proportions définies.

Rhodium et étain.	Rh. Sn.
Ruthénium et étain.	Ru. Sn^2, cubique
Iridium et étain.	Ir. Sn^2, cubique.
Rhodium et zinc	Rh. Zn^2.
Iridium et zinc.	$Ir.^2$ Zn^2.
Platine et étain	$Pt.^2$ Sn^3, cubique.
Platine et zinc.	$Pt.^2$ Zn^3.
Palladium et étain.	$Pd.^3$ Zn^2.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Avant de parler de la composition des minerais de platine, nous allons décrire l'appareil à l'aide duquel MM. Deville et Debray ont cherché à opérer la fusion de l'osmium. La figure 3683 représente la disposition de l'expérience. La description du chalumeau et la manière dont on doit diriger l'opération nous ont semblé importantes à connaître.



3683.

Cet appareil se compose d'un chalumeau CC', d'un foyer ABD et d'un creuset I, où on met l'osmium.

Le chalumeau est composé d'un cylindre E en cuivre, de 12 millimètres de diamètre, terminé à sa partie inférieure par un ajutage légèrement conique et de 40 millimètres de longueur, et qui est en platine. Un tube de cuivre C, de 3 à 4 millimètres de diamètre intérieur et terminé par un *bout* de platine C' qui s'y ajuste à vis, pénètre dans le premier cylindre par sa partie supérieure et y est maintenu par une vis de pression P, qui permet, quand elle est desserrée, de donner au bout C' la hauteur que l'on veut par rapport à l'extrémité inférieure.

Un robinet R de *grande section* est appliqué latéralement avec un ajutage très-large aussi au cylindre E. Un robinet O termine l'extrémité coudée du tube C. C'est par le robinet R que l'on fera arriver, au moyen d'un tube de caoutchouc, l'hydrogène ou le gaz de l'éclairage servant de combustible, c'est par le robinet C que sera introduit l'oxygène destiné à le brûler. Le *bout* C' est percé d'un trou dont le diamètre varie de 2 à 3 millimètres, suivant les dimensions de l'appareil que l'on veut construire.

Le four ABD est composé de trois pièces qui sont toutes les trois en chaux vive bien cuite, légèrement hydraulique et juste assez compacte pour résister au travail du tour. On n'a aucun avantage à se servir de chaux très-dure, sur laquelle l'outil ne *mord* pas avec une extrême facilité. L'espèce de chaux dont se servent MM. Deville et Debray est très-commune à Paris et provient de la calcination du calcaire grossier du terrain tertiaire de Paris. Un premier cylindre AA est

percé d'un trou un peu conique qui laisse pénétrer à frottement, dans l'extrémité inférieure du chalumeau, jusqu'à la moitié environ de son épaisseur, le *bout* CC' n'arrivant lui-même qu'à une distance de 2 à 3 centimètres de l'ouverture inférieure de ce trou. Un second cylindre de chaux BB est percé d'un trou cylindrique beaucoup plus large que le premier, et dont la dimension est telle, qu'il doit laisser entre ses parois et le creuset H une distance de 3 à 4 millimètres au plus. Sa hauteur est un peu plus grande que la hauteur du creuset. Un troisième cylindre D, sur lequel le second repose, est sillonné sur sa base supérieure par quatre rainures KK, profondes et rectangulaires entre elles, qui donnent passage au gaz de la combustion. Au centre de cette base supérieure et tenant à la substance même du cylindre on ménage un petit support D', sur lequel repose le creuset.

Le creuset lui-même est ainsi construit : Une pièce cylindrique HII en chaux, creusée dans la plus grande partie de son épaisseur pour recevoir un creuset I plus petit en charbon de cornue, muni de son couvercle, et dans lequel on introduit la matière à chauffer.

Le creuset de chaux est surmonté d'un cône circulaire, dont le sommet doit être situé verticalement au-dessous du *bout* de platine C', à une distance de 2 à 3 centimètres, variant d'ailleurs avec la rapidité du courant de gaz. Ce cône est ainsi fait afin de forcer la flamme qui vient du chalumeau à se répartir également autour du creuset H, pour sortir ensuite par les ouvertures inférieures.

Toutes les pièces cylindriques A, B, D doivent être fortement cerclées avec des fils de fer très-doux et placés à petite distance les uns des autres, pour maintenir la chaux, qui se fissure toujours un peu pendant le chauffage.

Pour se servir de l'appareil, on ajuste d'abord les creusets (l'osmium ayant été introduit dans le petit creuset de charbon) sur la base D, puis on soulève la pièce A avec le chalumeau, dont on a ouvert le robinet R qui amène le gaz de l'éclairage ou l'hydrogène. On enflamme le gaz en C', puis on donne peu à peu l'oxygène en ouvrant le robinet O, de manière cependant à laisser dominer beaucoup le gaz combustible, puis, *introduisant* la flamme dans l'appareil, on met tout en place comme c'est indiqué dans la figure. Au moyen de la vis de pression horizontale P qu'on desserre, on donne à C' la position convenable, et on l'y maintient indéfiniment en serrant fortement la vis. On augmente alors peu à peu la vitesse du courant d'oxygène et du courant d'hydrogène, jusqu'à ce qu'on ait la température maximum. On en juge directement en regardant par les fissures de l'appareil, puis en se réglant sur le bruit que produit le chalumeau. Ce bruit doit être aussi faible que possible lorsque les volumes de gaz sont en proportion convenable. Quand tout est bien réglé, au bout de huit minutes le creuset est porté jusqu'à son centre, à la température de fusion du rhodium.

COMPOSITION DES MINERAIS DE PLATINE.

Les minerais de platine contiennent les éléments suivants :

1° Sable. C'est le reste d'un lavage qui ne peut jamais être complet. Ce sable contient du quartz, du zircon, du fer chromé, et, dans les minerais russes, beaucoup de fer titané.

2° *Osmiure d'iridium*. — L'osmium s'observe dans tous les minerais de platine, avec les différents aspects que Berzélins a déterminés depuis longtemps dans le platine de Russie et de Colombie : en plaques brillantes, très-rarement munies de facettes cristallines ; en petites pépites munies d'aspérités que l'eau régale

EFERUS - Recherche & Classification numérique

semble avoir creusées quand on les examine dans les résidus; enfin en petites lamelles graphitoïdes qu'on sépare très-bien par le tamis, parce qu'elles sont en même temps de très-petite dimension.

3° Du platine, de l'iridium, du rhodium et du palladium, qui sont sans doute à l'état d'alliage intime, sans qu'on puisse admettre une quantité sensible d'osmium : car la plupart des minerais perdent fort peu d'acide osmique pendant l'attaque à l'eau régale, quoique l'odeur de cette matière se décèle facilement dans les gaz nitreux qui s'échappent du vase où l'on fait l'attaque.

4° Du cuivre, du fer, qui sont à l'état métallique dans le minerai; car le fer, qui se rencontre en outre dans le sable, ne s'y trouve pas à l'état soluble dans les acides.

5° De l'or et, peut-être plus souvent qu'on ne le croit, un peu d'argent. Le chlorure d'argent se dissout très-notablement dans l'eau régale d'attaque et dans le sel ammoniac. Ce ne serait pas dans le résidu insoluble qu'il faudrait le chercher pas plus que dans le platine, mais bien avec le palladium, avec lequel on le précipite toujours à l'état de cyanure d'argent. Il est très-rare de se procurer du palladium bien exempt d'argent et même de cuivre, quand on prépare ce métal par les procédés usités jusqu'ici.

Nous ne pouvons entrer ici dans les détails des procédés analytiques entièrement nouveaux qu'ont suivis MM. Deville et Debray dans l'étude de la composition des minerais de platine. Il importait à ces savants de connaître exactement la composition des minerais qu'ils voulaient soumettre au traitement métallurgique. Nous donnons, sous forme de tableau, les résultats des analyses de quatorze sortes de minerais de platine. Les douze premières appartiennent à MM. H. Deville et Debray, les deux dernières à M. Claus et à M. Bleckerode.

MATIÈRES.	COLOMBIE.			CALIFORNIE.			ORÉGON.	ESPAGNE.	AUSTRALIE.		RUSSIE.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Platine. . .	86,20	80,00	76,82	85,50	79,85	76,50	51,45	45,70	59,80	64,40	77,50	76,40
Iridium . .	0,85	1,55	1,18	1,05	1,20	0,85	0,40	0,95	2,20	1,10	1,45	1,30
Rhodium. .	1,40	2,50	1,22	1,00	0,65	1,95	0,65	2,65	1,50	1,85	2,80	0,30
Palladium.	0,50	1,00	1,14	0,60	1,95	1,30	0,15	0,85	1,50	1,80	0,85	1,40
Or.	1,00	1,50	1,22	0,80	0,55	1,20	0,85	3,15	2,40	1,20	(1)	0,40
Cuivre. . .	0,60	0,65	0,88	1,40	0,75	1,25	2,15	1,05	1,10	1,10	2,15	1,10
Fer	7,80	7,20	7,43	6,75	4,45	6,10	4,30	6,80	4,30	4,55	9,60	11,70
Osmiure d'iridium . .	0,95	1,40	7,98	1,10	4,95	7,55	37,30	2,85	25,00	26,00	2,35	0,50
Sable . . .	0,95	4,35	2,41	2,95	2,60	1,50	3,00	35,95	1,20	1,20	1,00	1,40
Plomb? . .						0,55						
Osmium et perte. . .					0,05	1,25		0,05	0,80		2,30	
	100,25	100,15	100,28	101,15	100,00	100,00	100,25	100,00	100,00	100,20	100,00	100,50

(1) Or (s'il y en a), compté avec la perte.

MATIÈRES.	GORO-BLAGODAT.	MATIÈRES.	BORNÉO.
	13		14
Platine.	85,97	. . . . .	70,21
Iridium.	0,54	. . . . .	6,13
Rhodium.	0,96	. . . . .	0,50
Palladium.	0,75	. . . . .	1,41
Osmium	0,54	. . . . .	1,15
Fer.	6,54	. . . . .	5,80
Cuivre	0,86	. . . . .	0,34
Chaux	0,50	Or.	3,97
Portion insoluble dans l'eau régale	1,60	Oxyde de fer	1,13
Perte.	1,30	Oxyde de cuivre	0,50
		Osmiure et sable	8,86
	100,00		100,00

Essais des minerais. — La seule matière absolument dénuée de valeur dans les minerais de platine est le sable; il est donc très-important de connaître la quantité qu'en contient un minerai. Le procédé de dosage du sable indiqué par MM. Deville et H. Debray est très-simple et s'exécute avec rapidité.

1° *Sable.*

Pour doser le sable, on prend 2 grammes de minerai choisi de telle manière qu'il représente la composition moyenne du lot que l'on examine aussi bien que possible, et pesé avec une grande exactitude. On a préparé à l'avance un petit creuset de terre semblable à ceux qui servent à calciner les cornets d'or à la Monnaie, ou bien un petit creuset ordinaire à parois lisses; on y fond un peu de borax, de manière à bien vernir ses parois, et on y met de 7 à 10 grammes d'argent pur et grenaillé, par-dessus le minerai de platine une dizaine de grammes de borax fondu, et enfin un ou deux petits fragments de charbon de bois. On fond l'argent, en ayant soin de le maintenir quelque temps à une température un peu supérieure à son point de fusion, pour que le borax soit bien liquide et puisse dissoudre les matières vitreuses qui accompagnent le platine et qui constituent le sable. On peut

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'ailleurs agiter le borax avec un tuyau de pipe. On laisse refroidir, on détache le culot d'argent qui contient l'osmium et le platine avec toutes les matières métalliques qui l'accompagnent, et au besoin, pour enlever les dernières portions de borax, on le fait digérer avec un peu d'acide fluorique faible. Enfin on le sèche, on le fait rougir faiblement et on le pèse. En retranchant le poids du culot de la somme des poids du minerai et de l'argent employé, on obtient la quantité de sable que contient le minerai.

2° *Or.*

On enlève l'or avec du mercure bouillant en petite quantité, par lequel on traite le minerai pendant quelques heures. On lave avec du mercure chaud et pur, on réunit le mercure qu'on distille dans une petite cornue en verre. Le résidu chauffé au rouge et pesé donne l'or ou presque tout l'or du minerai. On peut également traiter le minerai par de l'eau régale faible, évaporer la liqueur dans un creuset de porcelaine taré, calciner et peser. Le premier procédé donne un minimum, le second un maximum; mais le premier nombre se rapproche plus souvent du chiffre exact de la teneur en or que le second. Cependant ils sont toujours suffisamment exacts. On opère sur 10 grammes : les minerais américains donnent ordinairement de 60 à 110 milligrammes d'or, ce qui fait en moyenne 1 pour 100. Mais par le mercure on en perd toujours une petite quantité dans les lavages et pendant la distillation, si on n'opère avec un grande prudence. C'est cependant ce mode de dosage que recommandent MM. Deville et Debray.

3° *Platine.*

On prend 50 grammes de minerai choisi de telle manière qu'il représente la composition moyenne du lot; on le fait fondre dans un creuset ordinaire avec 75 grammes de plomb pauvre et 50 grammes de galène pure bien cristallisée. On met 10 à 15 grammes de borax, et l'on pousse le feu jusqu'au rouge de la fusion de l'argent; on agite de temps en temps avec un tuyau de pipe, et l'on ne cesse de chauffer que lorsque tous les grains de platine ont disparu dissous dans le plomb et qu'ils cessent de se présenter sous le tuyau de pipe. On ajoute alors une cinquantaine de grammes de litharge, en poussant toujours la température et ne mettant que peu à peu la litharge, au fur et à mesure de sa réduction et jusqu'à ce qu'elle soit en excès, ce dont on s'aperçoit à la nature de la scorie qui attaque le tuyau de pipe et à la cessation du dégagement d'acide sulfureux. On laisse refroidir lentement; on casse le creuset; on détache la scorie, qui doit être plombeuse et chargée de fer, et on nettoie bien le culot, qui doit peser environ 200 grammes. Le fer et le cuivre se sulfurent et passent dans la scorie, et l'osmiure d'iridium, insoluble dans le plomb, mais susceptible d'être mouillé par lui, va au fond et reste dans le culot. En ajoutant de la litharge, on détruit la galène et le sulfure de fer : il se forme du plomb et des oxydes, qui sont absorbés par le borax.

Quand le culot est bien nettoyé, on le pèse, puis on scie la partie inférieure, qui doit faire à peu près le dixième du poids du culot que l'on pèse. On recueille la sciure; on broie la partie supérieure du culot cristallisée et très-cassante; on y ajoute la sciure de plomb platinifère; on mélange bien : on pèse encore. On prend alors de la poudre de plomb platinifère, en quantité telle qu'elle représente le neuvième du poids total du culot, on coupelle cette matière par les procédés que nous allons décrire, et on pèse le platine après l'avoir fondu.

Coupellation du platine.

Pour obtenir la séparation complète du plomb et doser le platine par la voie sèche, on peut employer deux méthodes.

Premier procédé. Coupellation par l'intermédiaire de l'argent. — On ajoute à l'alliage cinq à six fois environ autant d'argent qu'on suppose de platine dans l'alliage. On remet au besoin du plomb; on coupelle et on pèse le bouton. L'excès de poids du bouton sur l'argent ajouté donne le poids du platine.

Ces coupellations se font de préférence dans un fourneau dont les mouffles, chauffés par la flamme d'un four à réverbère, peuvent être amenés à une température extrêmement élevée, sans que les parois du mouffle soient détruites par les cendres de la houille, ce qui arrive très-promptement quand on veut pousser au delà d'une certaine limite la température dans les fourneaux à coke.

Deuxième procédé. Coupellation simple. — On introduit le plomb platinifère dans des coupelles ordinaires de grande dimension. Dans le mouffle bien chauffé d'un fourneau de coupelle ordinaire, on arrive facilement à amener l'alliage à l'état solide, et le platine encore plombifère se montre sous la forme d'une masse étalée en forme de chou-fleur, qui se détache avec assez de facilité du fond de la coupelle, quand on a mouillé celle-ci pendant qu'elle est encore rouge.

Mais il ne faut pas en général détacher cette masse coupellée : pendant qu'elle est rouge, on la soumet à l'action du chalumeau représenté dans la fig. 3683, en ayant soin de donner peu d'hydrogène et beaucoup d'oxygène en excès. De cette manière, on ne chauffe pas la masse d'une manière excessive, mais on la fond partiellement et surtout on l'oxyde avec une grande rapidité.

Quand on a enlevé ainsi la plus grande partie du plomb de l'alliage de platine, on le détache de la coupelle d'os et on le transporte sur une autre coupelle de même forme taillée grossièrement dans un morceau de chaux. On chauffe alors peu à peu la masse, qui fume très-fortement; enfin on fond le platine dans un feu oxydant, on le rassemble en un seul globule en faisant tourner la coupelle, et on le laisse refroidir. Il faut éviter avec soin les projections qui arriveraient au commencement de l'opération si l'on chauffait trop vite et si on brûlait trop rapidement les dernières traces de plomb. On sépare le culot de platine, on le nettoie dans l'acide muriatique bouillant, et on le pèse.

RÉSIDUS DE PLATINE.

Ils sont de deux sortes : 1° les résidus insolubles, 2° les résidus précipités. Les premiers, comme le montre le tableau suivant, contiennent tous les métaux du platine, mais en particulier de l'osmiure d'iridium et du sable en quantité très-variable.

Deux échantillons de résidus précipités ont été analysés par MM. Deville et Debray, et leur ont donné les résultats suivants :

1° Résidu provenant de la Monnaie de Russie :

Palladium	0,8
Platine	0,8
Rhodium	2,4
Rhodium, iridium et osmiure d'iridium	21,8
Métaux communs, etc.	74,2
	100,0

2° Résidu remis par M. Mathey, de Londres :

Osmiure d'iridium	2,2
Palladium	1,2
Platine	0,5
Iridium	23,3
Rhodium	6,4
Métaux communs, etc.	66,4
	100,0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

COMPOSITION DE RÉSIDUS INSOLUBLES.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osmiure d'irid.	12,35	34,00	29,15	92,50	96,10	94,20	26,60	83,60	60,10
Palladium . . .	0,18	0,00	0,003	0,02	0,12	0,02	0,70	0,00	0,37
Platine et traces d'iridium. . .	0,53	0,00	0,90	0,78	0,18	0,86	7,00	0,00	2,14
Rhodium. . . .	0,15	0,00	0,13	0,10	0,20	0,88	0,20	0,00	1,36
Sable.	86,79	66,00	69,82	6,60	3,50	4,04	65,50	16,40	36,03 [1]
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

[1] Avec des métaux communs et en particulier de l'argent.

Nous renverrons au mémoire de MM. Deville et Debray (*Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVI) pour les détails des procédés d'analyse employés par eux. Le défaut d'espace nous oblige aussi à renvoyer au même travail pour l'analyse des osmiures d'iridium, dont nous présenterons seulement ici les résultats numériques.

COMPOSITION DE QUELQUES OSMIURES D'IRIDIUM.

MATIÈRES.	COLOMBIE.		CALIFORNIE.	AUSTRALIE.	BORNÉO.	RUSSIE.				
	1	2 [1]	3	4	5	6	7	8	9	10
Iridium	70,40	57,80	53,50	58,13	58,27	77,20	43,28	64,50	43,94	70,36
Rhodium.	12,30	0,63	2,60	3,04	2,64	0,50	5,72	7,50	1,65	4,72
Platine.	0,10	»	»	»	0,15	1,10	0,62	2,80	0,14	0,41
Ruthénium.	0,00	6,37	0,50	5,22	»	0,20	8,49	»	4,68	»
Osmium	17,20	35,10	43,40	33,46	38,94	21,00	40,11	22,90	48,85	23,04
Cuivre.	»	0,06	»	0,15	»	traces.	0,78	0,90	0,14	0,21
Fer.	»	0,10	»	»	»	»	0,99	1,40	0,63	1,29
	100,00	100,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

[1] Dans cette analyse, l'osmium a été dosé directement.

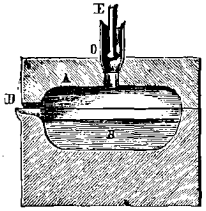
MÉTALLURGIE DU PLATINE.

Nous allons exposer maintenant les procédés de voie sèche par lesquels MM. Deville et Debray sont arrivés : 1° à révivifier par fusion le platine qui a servi ; 2° à préparer du platine pur industriellement ; 3° à préparer un alliage contenant, en outre des métaux qui accompagnent le platine dans son minerai, ceux que renferme l'osmiure d'iridium lui-même ; 4° à préparer un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium présentant des qualités convenables.

RÉVIVIFICATION DU PLATINE.

Pour utiliser de nouveau les débris du platine du commerce, il faut le mettre en lingots, après l'avoir dépouillé de toutes les matières étrangères qu'il contient. Voici la méthode par fusion employée dans ce but par MM. Deville et Debray. Le combustible employé est un mélange de gaz d'éclairage, ou d'hydrogène pur et d'oxygène préparé avec le bioxyde de manganèse d'Allemagne, qui marque 75° et coûte 26 fr. les 100 kilog. Les résidus sont achetés par les verriers à raison de 10 fr. les 100 kil. On se sert du chalumeau représenté dans la figure 3683.

Le four (voyez fig. 3684) où se fait la combustion est en chaux cerclée avec des fils de fer. Il se compose de deux parties : 1° la voûte AA prise dans un morceau de chaux cylindrique, légèrement cintrée à sa partie inférieure et percée en Q d'un trou conique par où pénètre le chalumeau CE ; 2° d'une sole B creusée dans un autre morceau de chaux également cylindrique. On doit lui donner une profondeur telle, que le platine fondu y occupe une épaisseur de 3 à 4 millimètres au plus. A la partie antérieure D, qui doit faire une légère saillie, on pratique avec une râpe une rainure, légèrement inclinée en dedans, qui doit en même temps servir de trou de coulée et d'issue pour la flamme. Pour faire une fusion, on ajuste les diverses pièces en chaux de cet appareil de manière à leur donner la disposition figurée dans notre dessin, puis, tenant à la main le chalumeau, on ouvre le robinet H (fig. 3683) ; on donne un assez faible courant de gaz combustible, et, en tournant le robinet O, l'oxygène nécessaire pour le brûler. On plonge aussi la flamme dans l'appareil par le trou Q (fig. 3684), de manière à éviter une petite explosion qui pourrait projeter la chaux de l'appareil. On chauffe lentement les parois du four en augmentant peu à peu la vitesse des gaz, jusqu'à ce qu'on ait atteint le maximum de tempéra-



3684.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture. Avec une lame de platine qu'on introduit par le rampant D, et que l'on met sur le jet de gaz, on voit où est fixé le maximum de température, c'est-à-dire le point où la fusion se fait le plus vite; on l'abaisse ou on le relève au besoin en desserrant la vis P (fig. 3683), et abaissant ou élevant l'orifice du *bout* de platine qui amène l'oxygène. On assujettit la vis et on introduit peu à peu le platine par l'ouverture D. Si ce platine est en lames minces de moins d'un millimètre d'épaisseur, on a à peine le temps de les introduire. On les voit disparaître et fondre presque au moment où elles entrent dans le four. L'oxygène doit arriver avec une certaine pression, de 4 à 5 centimètres de mercure environ, et doit agiter le platine d'un mouvement giratoire, ce qui régularise la température dans toute sa masse.

Quand on ne veut pas couler le platine, la fusion étant complète, l'affinage terminé, ce que l'on voit lorsqu'il ne se forme plus de matière vitreuse à la surface du platine, on diminue peu à peu la vitesse des deux gaz, laissant toujours dominer le gaz réducteur, mais en très-léger excès. Ce gaz détermine une production d'eau ou d'acide carbonique très-rapide aux dépens du gaz combustible et de l'oxygène dissous dans le platine; il se manifeste alors une ébullition très-sensible dans la masse métallique. Peu à peu la solidification s'opère jusqu'au centre, et l'on éteint entièrement le foyer. Il y a toujours projection de platine à la voûte du four; on le recueille après l'opération avec la plus grande facilité.

Quand on veut couler le platine, on prépare une lingotière, soit en fonte épaisse et bien frottée avec de la plombagine, soit en charbon de cornues, ou en chaux. Ces dernières se fabriquent avec la plus grande facilité avec des plaques de la matière, sciées et maintenues par du fil de fer. On enlève la voûte, on saisit le foyer avec des pinces, et on coule le platine sans se presser, comme on le ferait pour un métal ordinaire. La seule difficulté, que l'habitude apprend à surmonter, c'est de pouvoir en même temps distinguer la surface éblouissante du platine et l'ouverture béante de la lingotière, afin de verser à coup sûr.

Les principes sur lesquels MM. Deville et Debray se sont appuyés pour construire leurs appareils sont les suivants :

1° La chaux est peut-être le corps le plus mauvais conducteur que l'on connaisse, si bien qu'à travers une épaisseur de 2 centimètres au plus, l'appareil étant plein de platine fondu, l'extérieur est à peine à 150 degrés.

2° La chaux est le corps qui rayonne la chaleur et la lumière avec le plus de perfection; c'est à cause de cela qu'on l'a choisi pour obtenir la lumière Drummond. Ce sont donc les meilleures parois que l'on puisse donner à un four à réverbère de cette espèce.

3° La chaux agit sur toutes les impuretés dont on a intérêt à débarrasser le platine, fer, cuivre, silicium, etc., et les transforme en combinaisons fusibles qui pénètrent sa substance si poreuse. Elle agit comme une coupelle dont la matière purifierait le métal qu'on y fond.

Aucun métal étranger, excepté l'iridium et le rhodium, ne peuvent exister dans le platine après qu'il a été fondu et affiné par les procédés que nous avons décrits. Toutes les matières qui attaquent le plus facilement le platine : le soufre, le phosphore, l'arsenic, l'or avec lequel on le soude, le fer, le cuivre, le palladium, l'osmium, s'en séparent soit par l'oxydation et l'absorption par la chaux, soit par la volatilisation. Le platine contenant de l'or, du palladium, laisse échapper ces métaux à l'état de vapeur, et on peut les recueillir avec facilité en faisant entrer la flamme qui sort du four dans un tuyau de terre, où elle dépose toutes les matières étrangères volatiles, sauf l'acide osmique, qui se condense lui-même, si l'on met un vase plein d'ammoniaque dans le trajet des vapeurs. D'ailleurs une partie de l'osmium se dépose dans le tube à l'état métallique, soit qu'il se volatilise dans le courant gazeux de la flamme, soit que l'acide osmique produit dans le foyer se réduise plus loin dans le tube de condensation.

La révivification d'un kilogramme de platine exige au plus 60 litres d'oxygène, ce qui correspond à 0f,24c par kilogramme.

PRÉPARATION DU PLATINE PUR INDUSTRIELLEMENT.

Nous allons maintenant décrire les procédés de préparation industrielle du platine pur.

Le plomb et les métaux du platine s'allient avec une grande facilité; mais le fer qui est uni au platine soustrait les grains de minerai à l'action du plomb avec une très-grande énergie : cependant la dissolution peut à la longue devenir complète. Le plomb n'exerce aucune action sur l'osmiure d'iridium, et si on fond ensemble du plomb et du minerai de platine, on retrouve tout l'osmiure sans la moindre altération à la partie inférieure du culot de plomb platinifère.

Pour faire la séparation de l'osmiure et du platine, il suffit donc de les fondre avec du plomb, en employant toutefois un artifice pour hâter la dissolution du platine. Pour cela, il faut se servir non pas de plomb, mais de galène ou sulfure de plomb qui est décomposé par le fer, comme on le sait, en produisant du plomb, lequel s'allie au platine. Le plomb a de plus cet avantage, qu'il forme des sous-sulfures ou mattes plombeuses très-riches en métal et très-propres à cette opération.

Traitement en petit.

Dans un creuset on met quelques kilogrammes de minerai de platine qu'on fond avec leur poids de galène et un peu de verre, ou mieux d'un mélange de verre et de borax. On chauffe au rouge vif de la fusion de l'argent, et on agite de temps en temps avec un barreau de fonte jusqu'à ce que tout le minerai ait disparu et qu'on ne sente plus sous la pression du ringard que quelques grains d'osmiure. Dans cette opération, la galène, au contact du fer contenu dans le minerai et du ringard lui-même, fournit le plomb pour dissoudre le platine. On augmente alors la chaleur et on verse sur la matière de la litharge, jusqu'à ce que tout dégagement d'acide sulfureux cesse et jusqu'à ce que la scorie devienne manifestement plombeuse et oxydée. Pour favoriser la réaction entre la litharge et la galène, on agite de temps en temps avec un ringard en fonte. L'opération doit être conduite de telle façon qu'à la fin le plomb soit entièrement privé de soufre; le poids de l'alliage est environ le quadruple du poids du platine employé.

On laisse refroidir lentement le creuset, et lorsque le plomb est entièrement solidifié, on détache le culot; on enlève à la scie le dixième inférieur qui contient l'osmiure d'iridium et qu'on conserve pour l'ajouter à l'opération suivante. On coupelle alors, et en prolongeant la coupellation à haute température et dans un vif courant d'air, on finit par enlever presque tout le plomb, et il ne reste plus qu'à introduire ce platine plombeux dans un four en chaux, à le fondre et à l'affiner par les procédés déjà décrits. Dans les premiers moments de la fusion, il se dégage des fumées de plomb qu'on dirige dans une cheminée d'appel. Pendant l'affinage, l'odeur de l'osmium est à peu près insensible.

Traitement en grand.

On modifie facilement ce procédé pour l'appliquer en grand.

1° *Fusion avec la galène.* — Cette fusion peut s'opé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rer dans un petit four à réverbère dont la sole en marne ou en brique doit être hémisphérique, de manière à ressembler entièrement à la sole d'un fourneau de coupelle. Pour traiter à la fois 100 kilogrammes de minerai, il suffit que cette sole ait une capacité de 50 litres environ. Dans le cas qui nous occupe, il vaudrait mieux employer pour la sole la forme d'une calotte empruntée à un ellipsoïde de révolution. Un petit four ayant une longueur de sole d'environ 1 mètre, de 1 décimètre $\frac{1}{2}$ environ de profondeur moyenne et une largeur de 50 centimètres, suffirait amplement au traitement de 100 kilogrammes de minerai. En donnant au foyer la même largeur que la sole, c'est-à-dire 50 centimètres sur 35 à 40 centimètres dans l'autre dimension horizontale, on aurait une chaleur suffisante. Mais il faudrait opérer avec une épaisseur de combustible de 30 centimètres au moins pour avoir constamment une flamme réductrice et ne pas précipiter par trop l'oxydation de la galène, et par suite la production du plomb.

Une fois le four chauffé, on jette le mélange de galène et de minerai à poids égaux, on fond en brassant constamment jusqu'à ce qu'on ait produit une matte plombeuse et l'alliage de platine et de plomb. Alors en jetant un peu de verre fusible sur la matière, poussant la chaleur, on introduit peu à peu les 200 kilogrammes de litharge qui sont à peu près nécessaires pour terminer l'opération et chasser le soufre. Lorsque la réaction est terminée, on laisse le bain métallique dans le repos le plus complet pour que l'osmiure se précipite au fond, et après avoir fait couler la scorie plombeuse, on décante le platine plombifère au moyen d'une cuiller de fonte et on le coule dans des lingotières. La partie inférieure du bain contenant l'osmiure d'iridium est ajoutée à la fonte suivante, jusqu'à ce qu'il soit devenu très-riche en osmiure.

La sole du four à réverbère devra être, autant que possible, garnie dans toutes ses parties inférieures et latérales, même du côté de l'autel, au moyen d'une caisse de fonte sur laquelle reposeront les briques, de manière que du plomb platinifère très-fusible ne puisse pénétrer bien profondément entre les briques, et exiger, pour le retrouver, la démolition des pièces du four les plus importantes et le plus solidement reliées entre elles. L'autel devra, pour la même raison, être creux et refroidi par un courant d'air intérieurement.

Coupellation. — Cette opération se fait de la même manière que la coupellation de l'argent et dans mêmes appareils. Seulement à la fin de l'opération, quoiqu'on pousse le feu, l'alliage très-riche en platine se solidifie, et on peut l'enlever après avoir refroidi brusquement sa surface avec de l'eau. La plus grande partie du plomb peut être brûlée dans un appareil analogue aux fours destinés à la liquation du cuivre argentifère. Seulement ici les pains de platine plombifère, soumis à l'action d'une flamme oxydante et dont la température est très-élevée, laissent transsuder des gouttelettes de litharge et se transforment enfin en un gâteau en forme de chou-fleur qu'on n'a plus qu'à fondre après l'avoir mis en fragments.

Fusion du platine. — La fusion et l'affinage du platine devront se faire dans des fours contenant 15 à 20 kilogrammes de platine. En versant dans le même moule la matière fondue dans trois ou quatre de ces fours, on pourra obtenir des lingots de 60 à 80 kilog., plus pesants par conséquent que les plus grosses pièces que l'on ait jamais eu à faire en platine. D'ailleurs, rien n'empêchera d'augmenter les dimensions de ces fours à fusion, qui, évidemment à cause des principes de leur construction, peuvent recevoir des dimensions illimitées en largeur. Il suffira de déterminer par l'expérience la profondeur qu'on devra donner aux bains de platine et peut-être aussi le nombre des tuyères à oxygène qu'il conviendra d'y placer.

Extraction du platine par simple fusion. — Rien n'est plus simple que de préparer, avec un minerai de platine convenablement choisi, un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium, ayant toutes les qualités du platine, avec l'avantage de présenter un peu plus de roideur et une résistance sensiblement plus grande à l'action des réactifs et de la chaleur.

Il est évident que si on enlève au minerai de platine toutes les matières oxydables ou volatiles qu'il contient, on aura un alliage de platine, d'iridium et de rhodium. L'or, dont on peut priver le minerai avant son traitement, le palladium, sont volatils, et si on les laisse dans la matière avant de la fondre, on les trouvera dans les fumées condensables. L'osmium se volatilisera à l'état d'acide osmique. Le cuivre, le fer s'oxyderont, et si on les met en contact avec la chaux, le dernier formera un ferrite de chaux fusible. La plus grande partie du cuivre passera dans les flammes.

Le tableau qui suit donne la composition des alliages que fournissent ces minerais, quand on en a expulsé les parties oxydables et volatiles qui se rapportent aux minerais les plus importants.

MATIÈRES.	COLOMBIE.			CALIFORNIE.		RUSSIE.	
	1	2	3	4	6	11	12
Platine	96,10	94,09	90,70	96,80	90,50	93,00	94,00
Iridium	2,40	2,98	7,90	2,10	7,20	3,70	5,70
Rhodium	1,50	2,93	1,40	1,10	2,30	3,30	0.30
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

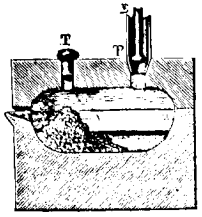
Fondant. — Il suffira pour obtenir ces alliages de fondre le minerai dans de la chaux, il se dégagera de l'acide osmique, qu'on pourra recueillir au besoin au moyen d'un tube engagé dans une cheminée à fort tirage et dans lequel on dirigera la flamme contenant l'osmium (un bassin plein d'ammoniaque dont les gaz seront obligés de lécher la surface permettra d'y recueillir l'acide osmique, si on ne préfère le perdre). Mais, pour éviter d'attaquer la chaux du four lui-même, il est bon d'ajouter au minerai un fondant qui s'empare de l'oxyde de fer pour le transformer en une matière fusible, laquelle s'imprégnera dans la chaux du four comme dans une coupelle. Ce fondant sera la chaux elle-même, et il conviendra d'en employer une quantité égale à la proportion de fer qui existe dans le minerai.

En effet, la chaux a le même équivalent que le fer, de sorte que pour obtenir la combinaison Fe^2O^3CaO, spinelle ferrico-calcaire, il suffit de la moitié seulement de la chaux introduite comme fondant; le reste se com-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

bine avec la silice, l'alumine, le fer, la zircone et les autres matières contenues dans le sable des minerais.

Appareil. — Après avoir mêlé le minerai avec son fondant, on l'introduira dans le four à réverbère de la fig. 3685, qui est construit d'après les mêmes principes que ceux que nous avons déjà décrits. Seulement on a ménagé un peu en avant du chalumeau EC un trou T muni d'un bouchon en chaux par où on introduira le minerai. On remarquera que le chalumeau EC est placé un peu vers le fond de l'appareil, de manière que le minerai tombe sur un point de la sole où la chaleur est maximum, et qui sera situé un peu en avant du centre de la sole. On introduira le minerai peu à peu de manière à fondre presque tout un lot avant d'en introduire un autre, et on ne s'arrêtera que lorsque la sole sera tout à fait détruite par les scories, ce qui arrive au bout d'un certain temps, variable avec la nature des minerais. On coule le platine fondu et on nettoie le four avec le plus grand soin en mettant les fragments, où l'on suppose quelques grains de platine, en digestion avec l'acide muriatique et lavant à grande eau. La silice gélatineuse qui reste avec les grains très-fins de platine est entraînée par l'eau, et le platine reste. On refond le platine dans un autre four, et on ne peut le considérer comme pur que lorsqu'il ne répand plus l'odeur d'osmium dans la flamme oxydante et qu'il n'attaque plus la chaux. Quelquefois une troisième fusion avec affinage par les procédés déjà décrits pour le platine est une opération indispensable.



3685.

Préparation d'alliages en proportions variées.

La méthode que nous venons d'indiquer nous permettra de produire des alliages ternaires dans des proportions à peu près quelconques, soit en mélangeant convenablement des minerais de compositions diverses, soit en mélangeant à des minerais connus des osmiures d'iridium ou des résidus dont la composition a été déjà donnée. La fusion s'opère de la même manière : elle est cependant un peu plus longue, à cause de la quantité d'osmium plus considérable qu'il faut oxyder et de la fusibilité un peu moindre de l'alliage. Il faut également un affinage plus parfait que pour le platine pur quand on veut avoir des matières en même temps très-riches en iridium et suffisamment malléables.

Un certain nombre de médailles de différents modules ont été frappées à la Monnaie de Paris, avec des alliages de platine et d'iridium fondus au laboratoire de l'École normale par les procédés de MM. H. Deville et Debray. Elles avaient la composition suivante :

I.		II.		III.	
Platine. .	80	Platine. .	90	Platine. .	95
Iridium. .	20	Iridium. .	10	Iridium. .	5
	100		100		100

Elles ont été laminées à froid et sans recuit avec une extrême facilité, présentant les qualités des métaux les plus ductibles. Elles ont pris sous le balancier un poli aussi parfait que le poli des coins, accusant, par des alliages riches en iridium, une dureté un peu plus grande que celle de l'or à 0,916. Cette dureté est proportionnelle à la quantité d'iridium qui s'y trouve, tout aussi bien que la résistance de l'alliage à l'action de l'eau régale, laquelle devient presque complète à partir du titre de 20 pour °/₀ d'iridium.

Le minerai fondu directement par les mêmes procédés a donné un alliage composé de

Platine.	92,6
Iridium.	7,0
Rhodium.	0,4
	100,0

Cette matière s'est laminée avec une perfection aussi grande que les alliages fabriqués directement ; elle a résisté à une épreuve des plus concluantes, en permettant la fabrication d'une médaille dont le relief dépasse 5 millimètres, ce qui n'avait jamais été fait, même avec le platine pur. La matière, quoique devenue très-dure par un écrouissage très-énergique, s'est relevée avec une grande uniformité, pour fournir à la saillie de la figure la substance métallique provenant des parties latérales. Il arrive souvent que les médailles d'or à 0,916 se brisent sous le coin dans les mêmes circonstances.

Les usages du platine, fort restreints aujourd'hui, tendront à se généraliser quand le prix de ce métal aura diminué notablement. Ce résultat peut être obtenu par l'exploitation régulière et suffisante des gisements connus, soit dans l'Oural, soit dans les pays aurifères. Il sera nécessaire alors d'avoir un mode de traitement plus expéditif et plus pratique que le mode de traitement adopté aujourd'hui.

Nous sommes convaincu que les procédés entièrement nouveaux consignés dans le beau travail de MM. Deville et Debray ne tarderont pas à être appliqués partout à l'exclusion du procédé ancien, dû en grande partie, comme on le sait, à Wollaston. Une grande économie dans la révivification et dans l'extraction du platine et des métaux utilisables qui l'accompagnent en rendront l'usage beaucoup plus répandu ; nous espérons, avec les savants chimistes auxquels sont dues toutes les méthodes que nous venons de décrire, que les savants pourront avoir dans leurs laboratoires des vases en platine de grande dimension qui leur seraient si précieux. Peut-être même le platine pourra-t-il alors entrer dans les usages de la vie partout où sa densité considérable et sa couleur un peu terne ne seront pas un obstacle, partout où son inaltérabilité absolue aura une certaine importance.

L. GRANDEAU.

PLONGEUR (CLOCHE DE) *et appareils pour travailler sous l'eau.* — M. de la Gournerie a publié dans le rapport du jury de l'Exposition de 1855 des renseignements historiques sur les inventions qui se sont fait successivement jour. Nous reproduirons ici une grande partie de cette intéressante étude.

En 1665, un mécanicien dont le nom n'a pas été conservé retira trois canons de l'un des vaisseaux de *l'Armada*, qui était coulé, depuis soixante-dix-sept ans, dans un port de l'île de Mull, voisine des côtes occidentales de l'Écosse. Il se servit d'un appareil à plonger composé d'un escabeau sur lequel il se tenait debout, et d'une cloche qui couvrait la partie supérieure de son corps.

Saint-Clair fit connaître ce travail avec quelques détails (*Georgii Sinclari Ars nova et magna gravitatis et levitatis;* Roterodami, 1669, lib. II, dial. v). Son récit fit une grande sensation. Sturm présenta la cloche à plonger comme une des plus grandes découvertes du dix-septième siècle ; il en composa un dessin d'après la description de Saint-Clair (*Collegium experimentale* ; Norimbergæ, 1676).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cependant Sturm, ayant étudié la question avec plus de soin, reconnut que l'on s'était déjà servi de cloches pour plonger; il le prouva par des textes de Bacon, de Taisnier et d'Aristote. (*Tentam. Collegii curiosi quæd. Append.*).

François Bacon avait en effet parlé, en 1620, de cuves en métal que l'on descendait renversées au fond de l'eau. Elles étaient soutenues par trois pieds d'une longueur un peu moindre que la hauteur d'un homme. Les plongeurs, au lieu de remonter à chaque instant à la surface de l'eau, allaient y reprendre haleine, et recommençaient leurs opérations. (*Nov. Organ.*, lib. II, aphor. L.)

Taisnier dit avoir vu, en 1538, deux Grecs plonger à Tolède, dans les eaux rapides du Tage, en présence de Charles-Quint et de près de dix mille spectateurs, sans se mouiller et sans éteindre un feu qu'ils portaient. Ils s'étaient servis d'un vaste chaudron (*cacabus*) renversé, suspendu à des cordes, et portant un plancher dans son intérieur. (*Opusc. perpetua memoria dignissimum.... de Motu celerrimo;* Coloniæ, 1562.)

Enfin, du temps d'Aristote, on employait des cloches pour porter de l'air aux hommes qui travaillaient sous l'eau à la récolte des éponges.

Le *Journal des Savants* reproduisit le dessin de Sturm et résuma sa dissertation (numéro du 31 janvier 1678). Dès que son article eut paru, Panthot, médecin à Lyon, écrivit au rédacteur qu'il avait vu une cloche fonctionner avec succès dans le port de Cadaques, en Catalogne, pour retirer des piastres de navires coulés. Elle était de bois avec cercles de fer; de gros boulets suspendus à son bord formaient le lest nécessaire à l'immersion. Deux Maures s'en servaient alternativement. Un dessin accompagne la lettre de Panthot, que l'on trouve dans le numéro du journal du 4 avril 1678.

Presque tous les savants qui se sont occupés de philosophie naturelle à la fin du dix-septième siècle et au commencement du dix-huitième ont parlé de la cloche à plonger; plusieurs la représentent comme un appareil assez fréquemment employé, mais on ne trouve aucun fait nouveau dans leurs livres; il faut toujours revenir aux Grecs de Tolède, aux Maures de Cadaques et au mécanicien de l'île de Mull. Robert Boyle dit cependant que deux personnes s'étaient servi de cloches pour des explorations, l'une sur les côtes de l'Afrique, l'autre dans les régions du Nord. (*Relations about the bottom of the sea*, section II.)

L'air n'était pas renouvelé dans ces appareils, et, par suite, il fallait les remonter souvent. Halley proposa de les alimenter par des seaux renversés dont on aurait composé des norias à air. Il indique, pour permettre au plongeur de travailler hors de la cloche, une espèce de scaphandre communiquant avec elle par un tube flexible. (*Phil. Trans.*, vol. XXIX, p. 492, et vol. XXXI, p. 177.) Nous ne nous arrêterons pas aux dispositions proposées par Halley, parce que nous croyons qu'elles ont été peu employées.

En 1788, Smeaton employa à Ramsgate une cloche en fonte pour enlever des pierres couvertes de 9 à 10 pieds (de 2m,74 à 3m,04) d'eau. Elle avait 4 pieds 6 pouces (1m,37) de longueur et de hauteur, et 3 pieds (91 cent.) de largeur. Son poids était suffisant pour déterminer l'immersion. Une pompe placée dans un bateau lui envoyait un courant d'air. C'est la première fois que nous trouvons cette disposition, qui a été si fréquemment employée depuis cette époque.

Rennie se servit d'une cloche analogue à celle de Smeaton pour la fondation des quais de Sheerness à 7 et 8 mètres sous l'eau, et de la jetée de Howth à 30 pieds.

La manœuvre a été perfectionnée, mais les cloches elles-mêmes n'ont reçu, depuis Smeaton, que peu de modifications. On a continué de les faire en fonte; cependant celles de bois n'ont jamais été abandonnées entièrement. M. Rendel en a employé une de ce genre, il y a quelques années, pour les fondations du pont de Lary, près Plymouth.

Les cloches ont rendu de grands services pour les travaux; mais elles ne peuvent contenir qu'un petit nombre d'ouvriers, quatre au plus, et leur manœuvre, toujours difficile, devient dangereuse quand le courant est un peu rapide.

Bateau à air. — Dès 1778, Coulomb avait proposé, pour les petites profondeurs, un bateau dont la partie centrale eût été disposée en forme de cloche : on l'aurait échoué sur le lieu du travail. Un *bateau à air* (c'est ainsi que Coulomb a nommé cet appareil) a été construit en 1845 pour des déblais de rocher dans la passe d'entrée du port du Croisic; il portait une machine à vapeur, et des pompes pour la compression de l'air.

On obtenait le lest nécessaire pour déterminer l'échouage et résister à la sous-pression, en laissant l'eau entrer dans une caisse qui formait la partie inférieure du bateau autour de la cloche. Pour la mise à flot, on refoulait la plus grande partie de l'eau en faisant agir sur elle l'air comprimé : la machine à vapeur achevait l'épuisement. On échouait le bateau au jusant, on le relevait au flot; les manœuvres étaient faites très-rapidement. Cet appareil a donné de bons résultats pour des travaux à 2m,25 sous l'eau dans un courant très-rapide. Dans les années 1848 et 1849, M. Cavé a fait, pour le Nil et pour la Seine, des bateaux à air qui restent à flot pendant le travail. Un tube télescopique prolonge la cloche jusqu'à une profondeur de 4m,75; il est relié à elle par une nappe en cuir qui se déroule suivant son abaissement et arrête le passage de l'air. La sous-pression est détruite par une simple diminution du déplacement. Une chambre intermédiaire, qui fonctionne comme un sas, permet de communiquer avec la cloche sans interrompre le travail : cette disposition avait été indiquée par Coulomb et a été réalisée par M. Triger dans ses travaux remarquables.

Les bateaux à air sont de bons appareils pour les petites profondeurs; ils permettent de descendre sous l'eau un atelier un peu nombreux : la chambre de travail des bateaux du Nil a une section de 40 mètres carrés. Dans les rivières, il paraît préférable de les tenir à flot; mais, à la mer, il est bon de les échouer pour les assujettir fortement contre les courants des marées et l'agitation de l'eau.

Nous empruntons la description du bateau de M. Cavé à M. Mongel qui l'a fait construire pour les grands travaux du barrage du Nil.

L'appareil se compose :

1° D'un bateau en tôle de 5 millimètres d'épaisseur, ayant 33 mètres de longueur sur 10m,30 de largeur.

Il a dans son milieu une ouverture de 8 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, un peu arrondie dans les angles. Cette ouverture, servant de fourreau à la cloche, est revêtue de montants en bois très-rapprochés, qui sont comme des guides, pour empêcher la cloche de se déverser dans le sens du courant du fleuve.

2° D'une grande chambre en tôle de 15 mètres de longueur et 5m,40 de hauteur, dite *chambre à air*, et d'une antichambre, également en tôle, qu'on peut appeler *écluse à air*, car elle sert à passer de la pression extérieure à la pression intérieure, au moyen de deux robinets communiquant l'un avec l'intérieur et l'autre avec l'extérieur. La chambre à air est consolidée par des montants en bois, des tirants et des boulons en fer; elle a une galerie supérieure sur laquelle sont fixés deux forts treuils pour monter ou descendre la cloche, qui n'est autre chose qu'une caisse en tôle de 5 millimètres, ouverte par le bas et par le haut.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Vis-à-vis de ces deux treuils il y'en a deux autres plus petits pour mouvoir des matériaux.

L'intérieur de la chambre à air est éclairé par une série de lentilles placées tant sur le toit que contre les parois verticales.

Pour empêcher les fuites d'air entre la cloche et son fourreau, une chemise en cuir gras est fixée d'une part au fourreau et de l'autre à la cloche.

3° D'une machine à vapeur de la force de dix chevaux, donnant le mouvement à une pompe à air aspirante et foulante qui communique par un tuyau avec la chambre. Il y a également deux pompes à eau aspirantes et foulantes, dont on fixe les tiges au balancier quand on veut employer le bateau aux épuisements.

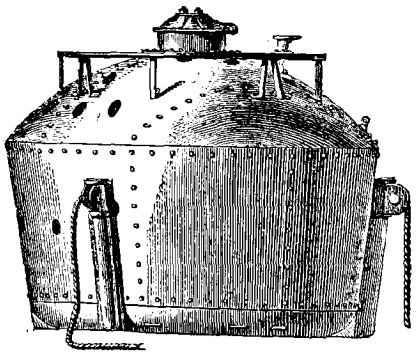
Il y a, en outre, deux cadres indicateurs qui, dans leur mouvement rotatif, agitent une sonnette; ils sont destinés à communiquer, l'un avec le machiniste, l'autre avec le chef de manœuvre. Enfin, quand on veut cesser le travail, il y a un disque circulaire qui s'ouvre au moyen d'un levier et laisse échapper l'air comprimé.

On n'a pu dépasser, avec ce bateau, une profondeur de $4^m,75$; au delà, les parois de ce bateau commencent à fléchir, et par l'effet de la pression il se faisait de telles pertes d'air par les ceintures des boulons et des cornières qu'on ne gagnait plus rien. Pour lui donner une résistance suffisante à l'action de l'air comprimé, il a fallu lui donner un fort lest, ce qui a été fait en plaçant 280 tonneaux de gueuses, de manière à lui faire caler $1^m,10$ d'eau.

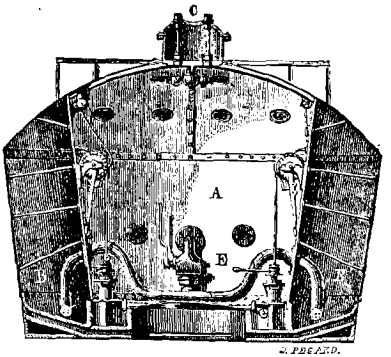
Quant aux avantages de ce système pour les travaux en lit de rivière, ils sont évidents :

On peut faire travailler à la fois 40 ouvriers à l'aise à de petites profondeurs, et par suite exécuter rapidement des travaux considérables. Le bateau forme bâtardeau pour fonder facilement des piles de pont, dans des cas où la nature sablonneuse du sol rendrait très-difficile ou même impossible l'exécution de bâtardeaux à demeure, toujours plus coûteux.

Nautilus. — L'emploi de l'air comprimé, non-seulement pour empêcher l'eau de pénétrer dans un espace, mais encore comme moyen d'immersion ou d'émersion, comme force motrice communiquée à distance, a été



3686.



3687.

fait fort heureusement pour améliorer la cloche à plongeur par des inventeurs américains, MM. Hallett et Williamson. Leur appareil, auquel ils ont donné le nom de *nautilus*, paraît susceptible d'applications précieuses pour les constructions hydrauliques à de grandes profondeurs.

Cet appareil est représenté en élévation fig. 3686, et en coupe fig. 3687.

Le nautilus se compose essentiellement d'une capacité plus ou moins grande, dans laquelle se placent les ouvriers, entourée d'autres capacités plus petites dans lesquelles on peut, à volonté, faire pénétrer de l'eau ou de l'air. On comprend dès lors que cet appareil peut flotter à la surface de l'eau ou descendre à la profondeur nécessaire, selon que ce volume d'air est plus ou moins considérable.

Un tuyau flexible solidement construit met l'appareil en communication avec un vaste réservoir d'air comprimé, placé à bord d'un ponton ordinaire. Une machine à vapeur de six chevaux, installée sur le même ponton, met en jeu la pompe foulante qui alimente ce réservoir d'air comprimé.

Le mouvement de la machine est extrêmement simple. Un grand trou d'homme placé à sa partie supérieure permet d'y pénétrer facilement, comme dans la cale d'un navire ordinaire, lorsqu'elle flotte à la surface de l'eau. On ferme cette ouverture aussitôt que les hommes, les matériaux et les outils sont entrés dans la machine. A l'aide de robinets dont la disposition est facile à concevoir, le conducteur du nautilus, placé à l'intérieur, fait aussitôt pénétrer assez d'eau dans les chambres à air pour que la machine s'immerge. La marche du manomètre lui indique à chaque instant la profondeur à laquelle il se trouve, et lui permet de régler la vitesse de la descente en augmentant ou en diminuant le volume d'eau des chambres à air.

Lorsque l'appareil est arrivé au fond de l'eau, on fait pénétrer, dans la chambre de travail, de l'air à une pression précisément égale à celle qui répond à la profondeur à laquelle on se trouve, ce qu'un second manomètre permet facilement de reconnaître. On peut alors, sans craindre de voir l'eau pénétrer dans la cloche, enlever la partie mobile du plancher qui forme le fond de l'appareil, et travailler sur le sol comme on le ferait à la surface de la terre.

Le nautilus n'est point suspendu à son ponton, comme les cloches à plongeur ordinaires; il ne communique avec lui que par le tuyau flexible, tenu toujours très-long, pour laisser à la cloche toute liberté de mouvement. La rupture de ce tuyau flexible ne compromettrait en rien, d'ailleurs, la sûreté des tra

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vailleurs. En enlevant avec une petite pompe à main une partie de l'eau formant lest, l'appareil reviendrait de lui-même flotter à la surface.

Le nautilus est retenu par trois ou quatre cordes fixées à de petites ancres, ou à d'autres points fixes. Ces cordes traversent des boîtes à étoupes d'une forme spéciale et viennent s'enrouler sur des petits treuils placés dans la chambre de travail, de sorte que les ouvriers peuvent eux-mêmes se transporter dans toutes les directions nécessaires.

Une des propriétés les plus utiles du nautilus est la possibilité de l'employer comme *grue* pour transporter des fardeaux au fond de l'eau. Cette manœuvre est extrêmement facile; on attache l'objet à une forte chaîne réunie à l'appareil; puis on fait sortir des chambres à air un volume d'eau suffisant pour faire flotter l'ensemble du système.

Quand il suffit de soulever la cloche de quelques centimètres, les ouvriers marchent sur le sol et poussent facilement l'appareil dans la direction voulue. Si l'on se maintenait à une certaine hauteur au-dessus du fond, on se halerait de l'intérieur de la chambre de travail à l'aide des cordes d'amarre. La machine actuelle peut soulever ainsi un poids de 6 tonnes 1/2, mais rien ne serait plus simple que de lui donner plus de puissance. A l'aide de cette machine, on peut donc exécuter à toute profondeur sous l'eau les travaux d'appareillage de maçonnerie les plus délicats. Rien ne serait plus facile, par exemple, que de faire des jetées à la mer, en blocs artificiels jointifs, maçonnés et rejointoyés entre eux, qui exigeraient un cube bien moins fort que nos jetées à blocs perdus, et seraient beaucoup moins altérables qu'eux par l'action de l'eau salée.

Un grand nombre de dispositions très-ingénieuses sont réunies dans le même appareil pour lui permettre d'exécuter les différents travaux que réclame l'art de l'ingénieur. Nous n'en citerons ici qu'une seule. C'est une petite machine à piston et à cylindre, fonctionnant à l'intérieur de la chambre de travail par l'air comprimé. Ce moteur peut être employé à tous les travaux de force à exécuter sous l'eau, et, en particulier, à forer les trous de mines qu'elle creuse avec une grande facilité. Le moteur du ponton, sans autre transmission de mouvement qu'un tuyau flexible, envoie ainsi, presque sans perte, une partie de sa force au fond de l'eau, comme on le ferait à terre avec la courroie d'une locomobile.

Scaphandres. — Les cloches et les bateaux à air ont le grave inconvénient de ne pouvoir servir que quand les ouvriers doivent travailler sous leurs pieds.

Les scaphandres ont résolu le problème pour tous les genres de travaux.

Ces appareils sont fort anciens, dit M. La Gournerie, que nous allons encore citer. Dans un de ses célèbres manuscrits écrits à rebours, celui qui est coté B, Léonard de Vinci représente un scaphandre plongeur fait pour envelopper la tête et une petite partie de la poitrine, semblable, dit-il, à un appareil usité dans l'Inde pour la pêche des perles. Un tube flexible fait communiquer l'air extérieur avec l'atmosphère; son extrémité est soutenue au-dessus de l'eau par un flotteur.

Cet appareil ne peut servir que pour de très-petites profondeurs, car le plongeur y respire de l'air à la pression atmosphérique. Coriolis pensait que la différence de pression entre l'air extérieur et celui de la poitrine ne peut guère dépasser celle qui correspond à une colonne d'eau de 0m,60.

Dans le croquis de Léonard de Vinci, le flotteur est représenté à une hauteur de quatre hauteurs de tête environ au-dessus de la bouche. Venturi parle de cet appareil, mais le dessin qu'il en donne diffère beaucoup de l'original.

On trouve dans le recueil de Gerli deux dessins de scaphandres plongeurs, extraits de celui des cahiers de Léonard de Vinci qui est coté N, et qui appartient à la bibliothèque Ambrosienne. Le premier de ces appareils se compose d'un tube flexible ayant l'une de ses extrémités soutenue hors de l'eau par un flotteur, tandis que l'autre s'élargit et enveloppe la bouche du plongeur. Pour se servir de cet appareil, il faudrait faire les inspirations par la bouche et les expirations dans l'eau par le nez; on aurait alors de l'air toujours pur, avantage que ne donne pas le scaphandre indien.

Le second appareil consiste en une outre (probablement cerclée) disposée comme ces larges cravates que l'on appelle cache-nez. La bouche s'ouvre dans son intérieur. Un aussi petit réservoir d'air ne peut être d'aucune utilité, car un homme exhale par minute près d'un quart de litre d'acide carbonique.

Saint-Clair dit, en parlant du plongeur de l'île de Mull, qu'un tuyau en cuir ne lui amenait pas, à travers l'eau, l'air nécessaire à sa respiration, mais qu'il en entraînait, à chaque descente, une quantité suffisante pour une heure presque entière. Ce passage pourrait faire supposer que Saint-Clair connaissait le scaphandre de la mer des Indes.

Du temps d'Halley, on se servait quelquefois pour plonger d'un vêtement imperméable, composé, en partie, d'une armure, dont les joints étaient rendus étanches par du cuir. Deux tuyaux établissaient la communication avec l'atmosphère, et remplissaient, pour l'air, le rôle d'artère et de veine; on établissait le courant par des soufflets placés à l'extrémité de l'un d'eux. Cet appareil était trouvé convenable pour les petites profondeurs jusqu'à 12 et 16 pieds (3m,66 et 4m,88); mais au delà, la pression de l'eau arrêtait la circulation du sang dans les membres.

On voit que l'on était arrêté, pour les scaphandres, par la difficulté de donner à l'air inspiré une pression assez grande; tandis que, dans les cloches, comme le remarque Saint-Clair, l'équilibre s'établit spontanément entre les pressions qui agissent à l'intérieur et à l'extérieur.

Lorsque Smeaton eut employé des pompes pour refouler de l'air dans des cloches, l'idée aurait dû venir naturellement de s'en servir pour les scaphandres; cependant, on a pensé d'abord à un réservoir d'air comprimé (*Mechanic's Magazine*; 25 june 1825). Les scaphandres avec courant d'air continu paraissent avoir été employés pour la première fois en Amérique, d'où ils ont été introduits en Angleterre vers 1830. Ce n'étaient alors que de simples casques. MM. Dean et Siebe ajoutèrent, en 1837, un vêtement imperméable analogue à celui dont parle Halley. Les scaphandres ont pris alors une grande importance. Maintenant la quantité d'air qui enveloppe le corps du plongeur est assez grande pour que sa vie ne coure aucun danger, si le jeu des pompes est interrompu pendant quelques instants, et tout son corps est à la même température; de graves accidents arrivaient quand la tête était entourée d'un air échauffé par la compression, et qu'une grande partie du corps était dans une eau plus ou moins froide.

Des perfectionnements ont été apportés aux oculaires, aux soupapes, à la composition du vêtement et aux pompes.

Ces appareils sont d'une manœuvre assez facile pour qu'on les regarde comme donnant à l'ingénieur un nouveau procédé de fondation. On s'en est servi avec succès au nouveau môle d'Aurigny, pour commencer les maçonneries sous l'eau.

Dans les travaux du pont de Tarascon, les plongeurs

EFERUS - Recherche & Classification numérique

travaillaient par relais de cinq heures. Deux d'entre eux étaient alimentés d'air par la même pompe, et faisaient la moitié du travail que l'on eût obtenu de l'un d'eux hors de l'eau.

Le scaphandre se compose :

1° D'une pompe à air contenue dans une caisse de 0m,60 à 0,80 de côté, dont le poids est de 125 kilog. environ ;

2° D'une autre caisse contenant des souliers plombés, des plaques de plomb et des vêtements de laine ;

3° D'un vêtement imperméable en caoutchouc d'une seule pièce, qui part du milieu du dos et couvre tout le corps en formant un pantalon à pieds;

4° D'une épaulière en métal, dont le collet circulaire porte un pas de vis, et la partie inférieure un système de bandelettes en cuivre qui sert à fixer le haut du vêtement imperméable;

5° D'un casque en métal, de forme ovoïde, dont la hauteur est de 0m,35 et la largeur 0m,27. La partie inférieure du casque, à la hauteur du col, est ouverte circulairement, et porte un écrou en métal qui s'adapte au pas de vis de l'épaulière et permet la réunion complète du casque au vêtement imperméable. La face du casque est munie à hauteur des yeux de deux carreaux fixes en verre fort épais de 0m,13 de diamètre; à la hauteur de la bouche existe aussi un carreau mobile de même diamètre, qui est placé dans un châssis en métal formant le pas d'une vis dont l'ouverture du casque forme l'écrou ; ou bien un simple robinet, ce qui permet au plongeur de respirer librement sitôt sa sortie de l'eau. Ces carreaux sont préservés des chocs par de petites grilles en métal.

Le conduit d'aspiration d'air pur et celui de décharge de l'air vicié sont formés à l'intérieur du casque par de petits canaux placés autour des carreaux ; l'air pur arrive par le dessus ; le casque est muni à cet effet d'un pas de vis qui reçoit l'écrou d'un tuyau en caoutchouc de 0m,035 de diamètre, au moyen duquel la pompe envoie l'air pur; l'air vicié sort par une petite soupape dont la fermeture s'opère sans permettre à l'eau de rentrer.

Dans les scaphandres de M. Heinke, la soupape de sortie de l'air est entourée d'un étui qui l'ouvre ou la ferme hermétiquement à la volonté du plongeur. Le vêtement, quand la soupape est fermée, se gonfle de tout l'air qui arrive, et bientôt le plongeur, rendu ainsi plus léger que l'eau, monte à la surface. S'il est en danger au fond, si ses signaux sont mal compris, il dépend toujours de lui de reparaître à la surface. Il a encore la possibilité de descendre dans l'eau aussi lentement qu'il le désire, tandis qu'avec les autres appareils, entraîné par les poids énormes à l'aide desquels on assure une immersion durable, il est maintenu au fond jusqu'à ce qu'on le soulage à l'aide de la corde attachée autour de son corps.

Nous avons vu que pendant plus de deux siècles les scaphandres n'avaient pu être utilement employés, parce qu'on ne savait pas donner une tension assez grande à l'air intérieur. Maintenant que cette difficulté est vaincue, quelques personnes cherchent à faire respirer aux plongeurs de l'air suffisamment renouvelé, mais maintenu à la pression atmosphérique, et des brevets d'invention ont été pris pour des dispositions que l'on dit propres à atteindre ce but. Il n'est donc pas hors de propos de rappeler les travaux qui ont été faits sur les corps immergés.

Comment se fait-il qu'un homme qui plonge à de grandes profondeurs ne soit pas écrasé par la pression? Cette question, moins simple qu'il ne semble au premier abord, a été examinée au dix-septième siècle. Stévin s'en occupe dans son *Art pondéraire;* Descartes dans une lettre au P. Mersenne, et ce père dans ses *Phénomènes hydrauliques*. Pascal l'étudie dans le *Traité de l'équilibre des liqueurs*. Il propose de jeter une mouche dans de l'eau tiède que l'on comprimerait fortement : l'insecte ne devrait éprouver aucune lésion. Boyle, ayant tenté l'expérience sur des têtards, les vit se mouvoir librement dans de l'eau, sous des pressions correspondantes à des profondeurs de 200 et de 300 pieds (60m,96 et 91m,44); leur volume paraissait seulement un peu diminué. (*Hydrost. Parad.*, Appen. II.)

Ces expériences et ces études montrèrent qu'un plongeur ne recevait aucune lésion, parce que les charges se faisaient équilibre sur son corps; mais il faut pour cela que l'air contenu dans les cavités intérieures puisse être amené, par la diminution du volume, à une pression égale à celle du milieu. Il est facile de reconnaître que les organes se prêtent parfaitement au resserrement nécessaire, pour les profondeurs auxquelles il est constaté que des hommes sont parvenus sans appareil.

On ne peut estimer à moins de 132 pouces cubes (2163 cent. cub.) le volume d'air que contient la poitrine d'un homme lorsqu'il se lance à l'eau après une inspiration. (Voir la *Physiologie de Muller*, traduction de M. Jourdan, vol. I, p. 217.) La contractilité des organes est telle que ce volume peut être réduit, sans lésion et sans douleur, à 35 pouces cubes (573 centimètres cubes), ou environ au quart. La pression de l'air inspiré peut donc être portée à quatre atmosphères par la compression, et la chaleur des poumons vient encore l'augmenter.

Nous n'avons eu égard qu'au volume de la cage thoracique, mais celui des cavités contiguës (trachée, larynx, etc.) peut aussi être diminué, surtout si le plongeur admet une certaine quantité d'eau dans sa bouche. On voit donc que lorsqu'un homme plonge sans appareil, la pression de l'air contenu dans sa poitrine peut faire parfaitement équilibre à celle de l'eau, jusqu'à 30 mètres et plus au-dessous de sa surface.

Le fait bien constaté que des hommes peuvent descendre à de grandes profondeurs en eau libre ne prouve donc pas que la pression dans la poitrine puisse être très-inférieure à celle du milieu. On dit que certains appareils permettent aux plongeurs de respirer impunément de l'air à la tension atmosphérique, sous 30 mètres d'eau. Nous supposons qu'il y a quelque malentendu. Si le fait est certain, il faudra chercher comment, dans le corps d'un homme, les parois des cavités peuvent supporter des pressions de trois atmosphères, et quelle force permet aux membranes délicates des capillaires des cellules du poumon de résister dans le conflit de l'air à la pression atmosphérique et du sang, qui, circulant dans des organes comprimés, doit être à une tension élevée.

Appareil Rouquayrol-Denayrouze. Dans la pratique l'emploi du scaphandre offre plus d'un inconvénient, surtout pour l'emploi de chaque instant que peut avoir besoin d'en faire le navire à hélice, pour dégager celle-ci, visiter la carène, etc. Les plongeurs pouvant résister à la mer sont en petit nombre, et leur travail est peu considérable, même dans les meilleures conditions de travail, quand les ouvriers manœuvrant les pompes sont soigneux et exercés. Sans qu'on s'en rendit, en effet, parfaitement compte, c'étaient surtout les variations de pression produites par les accoups de la pompe et la chaleur de l'air comprimé, qui augmentaient beaucoup la fatigue et le malaise du plongeur. Un grand progrès a été accompli par l'invention dont nous parlons et qui repose essentiellement sur l'emploi d'un régulateur à gaz semblable à celui décrit à l'article RÉGULATEUR. Le réservoir de l'appareil de MM. Rouquayrol et Denayrouze (fig. 3688) est en métal, capable

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de résister à une très-forte pression. Il est surmonté d'une chambre qui régularise l'air. Le réservoir-régulateur se porte sur le dos.

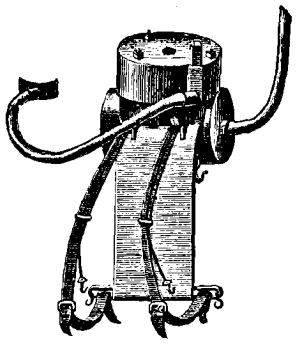


Fig. 3688.

Un tuyau de respiration part de cette chambre et se termine par un ferme-bouche fait d'une simple feuille de caoutchouc qui s'applique entre les lèvres et les dents du plongeur.

Le tuyau de respiration est muni, sur un point quelconque de sa longueur, d'une soupape qui se prête à l'expulsion, mais s'oppose à la rentrée de l'air.

La chambre à air est située au-dessus du réservoir d'air; elle est fermée au-dessus par un plateau d'un diamètre moindre que le diamètre intérieur de la chambre et recouvert d'une feuille de caoutchouc qui, d'une surface plus grande que celle du plateau, le relie hermétiquement aux parois centrales de la chambre.

On voit donc qu'il est susceptible de céder à une pression soit intérieure, soit extérieure, et de s'élever dans le premier cas et de s'abaisser dans le second.

Entre le réservoir et la chambre à air, la communication s'établit par un orifice d'un faible diamètre, fermé par une soupape conique qui s'ouvre de haut en bas. Enfin le plateau de la chambre à air supporte une tige dont l'axe se confond avec celui de la soupape.

Qu'une pression soit exercée sur le plateau, cette pression se transmettra par la tige à la soupape, et celle-ci dégageant l'orifice de communication, tout à l'heure fermé, une partie de l'air comprimé contenu dans le réservoir pénétrera dans la chambre à air. Voyons l'appareil (fig. 3689) en fonctions :

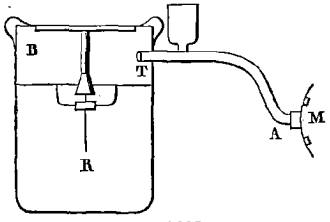


Fig. 3689.

Le réservoir R contient de l'air comprimé, l'ouvrier fait une aspiration, c'est-à-dire qu'il prend à la chambre à air une partie du contenu de celle-ci. Aussitôt la pression extérieure agit sur le plateau et avec celui-ci fait descendre la tige qu'il porte, la soupape s'ouvre, l'air du réservoir pénètre dans la chambre à air, rétablit l'équilibre entre l'intérieur de celle-ci et le milieu ambiant, fait remonter le plateau, et la soupape conique, revenant à sa position primitive, intercepte de nouveau la communication entre le réservoir et la chambre à air, jusqu'à ce qu'une aspiration nouvelle renouvelle le jeu qui vient d'être décrit.

On voit que cet appareil donne exactement la quantité d'air nécessaire à la respiration, qu'il le donne à la pression à laquelle est le plongeur et sans exiger aucun effort de la part de l'ouvrier.

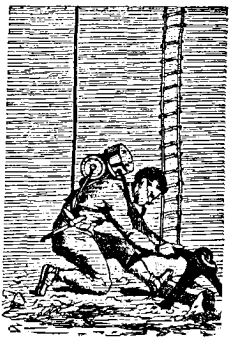


Fig. 3689 *bis*.

Dès que le plongeur respire, la soupape qui se trouve sur le tuyau s'ouvre et laisse échapper dans l'eau l'air qui sort de la poitrine.

La fig. 3689 *bis* représente le plongeur travaillant au fond de la mer, portant un vêtement en caoutchouc souple et bien plus libre dans ses mouvements qu'emprisonné dans le scaphandre.

Bateaux plongeurs. — Bacon parle de ces appareils. Boyle raconte les merveilleux essais de navigation sous-marine de Cornelius Drebell, qui plongeait dans la Tamise avec un bateau contenant douze rameurs et des passagers. Quand leur respiration commençait à altérer l'air confiné, Drebell le révivifiait par les émanations d'une liqueur dont il n'a révélé à personne la composition. (*New Experiments physico-mechanical.*)

Le P. Mersenne a proposé pour naviguer sous l'eau un appareil qui n'a jamais été exécuté (*Ars navigandi super et sub aquis*). Le P. Schott nous apprend que de son temps on disait d'un projet étudié avec quelque science, mais qui cependant n'aurait pu être réalisé, que c'était le bateau de Mersenne. (*Technica curiosa.*)

Les tentatives récentes, les plus remarquables dans cette voie, sont celles de M. Payerne.

Le premier appareil qu'il construisit, et qu'il nomma bateau-plongeur ou bateau sous-marin, avait 9 mètres de long et 4 mètres de large; il était construit en fer chaudronné à rivets, ayant supporté par voie d'écartement une pression de plus de 8 atmosphères; sa forme était ovoïde; la partie supérieure portait le trou d'homme pouvant se fermer hermétiquement avec des vis, et des verres lenticulaires très-épais destinés à donner de la lumière. Il déplaçait 37 mètres cubes d'eau, soit 37,000 kilogr., et il pouvait descendre à une grande profondeur; mais ayant éprouvé quelques avaries, il ne fut pas jugé prudent de dépasser habituellement celle de 8 mètres.

En 1847, il fut employé avec succès à l'extraction d'une roche dure, de 58 mètres cubes, qui se trouvait dans le port de Brest, en avant de la cale où était alors en construction le vaisseau de premier rang *le Valmy;* il fallut pour ce travail descendre jusqu'à 12 mètres de profondeur.

En 1849, le même bateau-plongeur fut occupé dans la Seine à l'enlèvement de l'ancien Pont-au-Double. Enfin, en 1852, il fut envoyé à Cherbourg, pour travailler à l'approfondissement du port Chantereine.

En 1853, ce même bateau, qui ne pouvait contenir que quatre travailleurs, fut coupé en deux pour être agrandi par l'intercalation d'une chambre de travail pouvant renfermer douze hommes. Il eut alors 15 mètres de long, et c'est ainsi qu'il enleva à Cherbourg, avec des contremaîtres et des ouvriers peu dressés à ce genre de travail, 1 mètre cube de roche granitique par jour.

Avant l'immersion, on comprime de l'air dans les compartiments extrêmes, et les plongeurs s'enferment dans la chambre du milieu. Cela fait, on foule de l'eau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

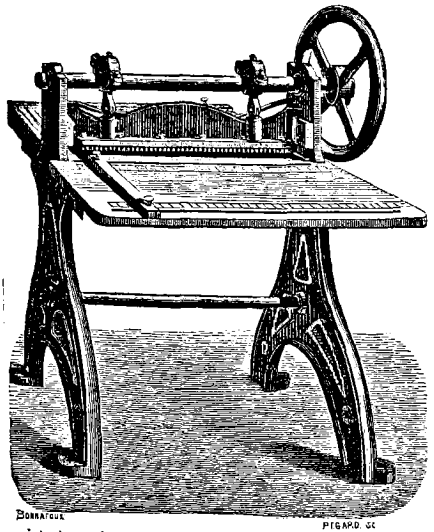
dans les compartiments extrêmes, dont l'air se rend dans la chambre intermédiaire supérieure, et, par suite de l'augmentation de poids due à cette eau, l'appareil s'immerge progressivement. Arrivé sur le fond, on ouvre la porte de la cloison horizontale, l'air comprimé refoule l'eau de la chambre inférieure, et les ouvriers y descendent pour travailler. On maintient l'air de l'appareil à l'état respirable en le faisant passer, à l'aide d'un fort soufflet, dans une dissolution alcaline. La tuyère de ce soufflet est munie d'une pompe d'arrosoir, laquelle, divisant l'air en petits filets, le met en contact intime avec la dissolution. C'est le seul système avec lequel on puisse rester plusieurs heures, sans communication avec l'air extérieur, et cela sans inconvénient.

M. le docteur Payerne voulait aller plus loin ; il prétendait construire un nouveau bateau-plongeur à hélice, mû par la vapeur.

Dans le foyer hermétiquement clos, il proposait de faire brûler le combustible dont il voulait faire usage, en le mêlant avec un corps oxygéné, tel que l'azotate de soude ou de potasse, pour suppléer à la suppression complète du courant d'air. Un entonnoir, garni d'un robinet à dé, transmettrait au foyer les boules du combustible dosé d'azotate, sans donner issue à la flamme. Les gaz de combustion s'échapperaient en soulevant par leur propre tension la soupape, qui se refermerait aussitôt par la pesanteur de la colonne atmosphérique. La vapeur d'eau serait engendrée dans une chaudière tubulaire ainsi chauffée. Ce système soulèverait bien des difficultés dans la pratique, mais qui ne paraissent pas absolument insurmontables.

On a construit, comme essai de machine de guerre, un bateau ne devant être qu'accidentellement immergé, et employant de l'air préalablement comprimé dans un réservoir, pour mettre à volonté une hélice en mouvement. Il est bien difficile d'enmagasiner ainsi une quantité de travail moteur assez grande pour que la navigation du bateau sous l'eau soit suffisamment longue pour devenir redoutable.

POINÇONNEUSE. Un moyen élégant de préparer la déchirure du papier suivant une ligne voulue et qui a été appliqué universellement aux timbres-poste, consiste à pratiquer une file de trous séparés par de petits intervalles, par l'enfoncement d'une file de petits poinçons d'acier. Le mode d'opérer de ces petites machines se comprendra facilement par la figure, dans laquelle on voit ce système d'une série de poinçons mus par un axe portant deux excentriques, qui est souvent combiné avec un chariot pouvant marcher dans des directions rectangulaires. De semblables machines, plus puissantes, servent pour perçer les tôles.



POLISSAGE DU MARBRE ET DES GLACES. Le dressage des pierres pour les grandes constructions monumentales des Romains, dit Poncelet, s'opérait probablement, comme aujourd'hui chez certains de nos marbriers et fabricants de miroirs, en faisant osciller, mouvoir en tous sens, rectilignement et circulairement, avec interposition d'eau et de sable ou de poudre usante quelconque, à divers degrés de finesse, une pierre, une dalle de même nature, mais de moindre échantillon, nommée *moellon*, à la surface supérieure horizontale de la pièce principale, mise en place ou calée, scellée au besoin avec du plâtre, sur une table, une plate-forme d'appui solide, dont la surface doit être elle-même parfaitement dressée, quand on la destine à recevoir une ou plusieurs dalles minces et jointives, telles que des glaces de miroir, par exemple.

Dans la marbrerie ordinaire, comme on sait, mais surtout quand le sciage mécanique ou à bras a été bien exécuté, on se contente aujourd'hui encore de dresser, doucir ainsi, sans beaucoup de frais, la surface supérieure des pierres par le frottage d'un petit moellon dont la rotation sur lui-même est indispensable pour éviter le creusement mutuel des surfaces qui, dans le simple glissement rectiligne, amène le milieu plus fréquemment en contact que les extrémités. Mais, quand il s'agit d'obtenir des surfaces parfaitement planes, ces moyens deviennent insuffisants, et c'est ce qui a lieu notamment pour le dressage des pierres lithographiques, où l'on se sert d'un petit moellon à châssis en fonte, percé à jour pour recevoir, à la surface supérieure, le mélange d'eau et de poudre de grès versé de loin en loin par l'ouvrier, qui en même temps promène et fait pirouetter le châssis-moellon en agissant sur la manette excentrique dont il est surmonté verticalement. Toutefois, le résultat de ce long et pénible travail serait imparfait encore si l'on ne faisait frotter l'une sur l'autre, dans des conditions pareilles et avec des poudres usantes extra-fines, etc., deux pierres lithographiques déjà préparées isolément à l'aide de cet ingénieux procédé.

Sauf l'état plus avancé de dégrossissement préalable des surfaces et les moyens de vérification, de repérage par la coloration et l'application de règles parfaitement vérifiées, c'est aussi, si je ne me trompe, le procédé employé aujourd'hui même pour le finissage, le moirage ou le polissage de surfaces métalliques obtenues à l'aide des planeuses à outil fixe et chariot porte-pièce mobile dans le genre de celles exposées à Londres par M. Whitworth, notamment quand il s'agit de *marbres*, de platines à dresser les formes d'imprimerie, etc. Mais les procédés, facilement applicables aux surfaces épaisses et résistantes de la fonte, ne sauraient évidemment convenir au dressage de très-grandes plaques minces et fragiles.

Pour les grandes glaces en particulier, le moellon ou traîneau à doucir, autrefois composé d'un châssis mobile en charpente, convenablement chargé et muni en dessous de sa petite glace, etc., se trouvait lié à une large jante circulaire par des rais en bois léger, constituant la *table à roue*, que deux hommes vigoureux promenaient et faisaient tourner sur elle-même le long de la grande table-support ou banc fixe, dont les rebords, parfaitement dressés dans un même plan, servaient à diriger par glissement les rais et les jantes de la roue. Cette manœuvre, en apparence grossière quand elle n'est point accompagnée, lors du retournement de la glace, de moyens de vérification et de repérage indispensables pour assurer le parallélisme, le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parfait dégauchissement des deux faces, cette manœuvre était employée, longtemps après 1809, au faubourg Saint-Antoine, à Paris, dans un établissement appartenant à la manufacture des glaces de Saint-Gobain, bien qu'on se servît déjà à Saint-Ildéfonse, en Espagne, et sans doute ailleurs encore, de diverses machines à moteurs hydrauliques, dont le principal caractère consistait à procurer à un traîneau unique ou à une série de petits moellons, surmontés de manettes excentriques, rangés en ligne droite, à côté ou au-dessus les uns des autres, un mouvement de glissement et de rotation simultanés le long des tables ou bancs à dresser, au moyen d'équipages de tringles, de tirants ou bielles à manivelle, compris dans des plans verticaux distincts et dont le va-et-vient était transmis à l'axe du traîneau ou aux manettes des moellons, tantôt par d'autres tringles transversales, tantôt par des cordons croisés sur un tambour central, tantôt enfin par un rochet à *dent de loup*, de manière à obtenir automatiquement une série de passes et repasses successives. Les résultats de celles-ci, vérifiés de loin en loin et en différents sens, par des procédés suffisants peut-être pour des glaces d'une petite étendue, ne l'étaient pas à beaucoup près pour de plus grandes, surtout à l'égard du gauchissement général ou du manque de parallélisme des faces, dont les fâcheux reflets, joints à ceux que produisaient de nombreuses stries ou ondulations, n'accusaient que trop les imperfections du dressage aux yeux les moins exercés.

M. Dartigues, l'ancien membre du bureau consultatif des arts et manufactures, fondateur des cristalleries de Vonèche et de Baccarat, paraît être le premier en France qui se soit préoccupé, au point de vue mécanique, d'améliorer cet état de choses, dans un brevet d'invention du 13 mai 1820, rédigé d'une manière incomplète et obscure, mais dans lequel on aperçoit cependant l'intention de procurer au traîneau ou rodoir le mouvement épicycloïdal indispensable, en le surmontant d'un petit pignon placé entre deux crémaillères parallèles, établies transversalement sur les bords supérieurs et opposés du banc-support, l'une momentanément fixe, l'autre mobile par va-et-vient longitudinal, toutes deux susceptibles de glisser parallèlement sur des guides ou règles de soutien en fer fixées sur les longs côtés du banc, à une hauteur exactement repérée au moyen d'une vis à cadran, et correspondant à l'épaisseur qu'il s'agit de donner successivement et définitivement à la glace doucie ou polie.

C'est aussi vers cette époque que la manufacture de Saint-Gobain, dirigée par les conseils de feu Clément Désormes, le célèbre professeur de chimie industrielle au Conservatoire des arts et métiers de Paris, munit ses ateliers de machines à dresser construites en Angleterre par le mécanicien Hall de Dartford, d'après un système plus ou moins analogue à ceux dont il vient d'être parlé, mais qu'il me serait impossible de préciser, grâce au mystère dont ce profitable monopole aime aujourd'hui encore à s'envelopper.

Dans un projet ou brevet en date de mars 1826, M. Hoyau, ingénieur mécanicien et graveur, plus particulièrement connu pour son ingénieuse petite machine à fabriquer les agrafes en fer étamé, s'est proposé d'obtenir un dressage plus parfait des grandes glaces au moyen d'une machine dont l'idée principale, applicable même au dressage des surfaces métalliques et à la taille des verres d'optique de forme sphérique, conique ou cylindrique, consiste dans la rotation rapide d'un outil rodant quelconque, et, plus spécialement, d'un moellon ou disque frottant, mobile autour d'un axe emporté lui-même circulairement autour d'un axe parallèle ou convergent, fixe ou lié à un dernier système d'axes pareil, tandis que la pièce à raboter ou à dresser, placée sur un chariot-support à rotation excentrique par rapport au système précédent, présente successivement tous ses points à l'action de l'outil. C'est, comme on voit, la généralisation du principe du tour figuré appliquée au dressage mathématique des plus grandes surfaces solides.

Dans le cas spécialement réalisé par l'auteur, des glaces de miroir ou dalles de marbre brutes sont placées sur un disque circulaire horizontal en fonte, tournant à l'extrémité supérieure d'un arbre conique ou support vertical à pivot fixe, tandis que le moellon, pareillement horizontal, mais surmonté d'une trémie alimentaire d'eau et de sable, est animé, au-dessus de ce disque, d'un double mouvement rotatoire, l'un autour d'un arbre vertical situé à l'extrémité extérieure d'un volet ou châssis trapézoïde mobile sur charnières ou colliers, l'autre autour de l'arbre en fer vertical et fixe qui, servant d'axe inébranlable à ces colliers, est situé au-dessus et extérieurement par rapport au plateau-support de la pièce à dresser. L'arbre mobile du moellon-rodoir demeurant d'ailleurs à une distance invariable de l'arbre excentrique et parallèle du vantail tournant, on conçoit comment il devient possible de communiquer simultanément à ce rodoir et au disque-support, et cela pour toutes les positions arbitrairement données au vantail, le mouvement rotatoire continu, tiré de celui d'un arbre moteur vertical et également extérieur au disque-support, par le moyen de roues dentées horizontales, de poulies à courroies sans fin, partant de ces arbres respectifs.

Toutefois, la disposition par laquelle l'arbre du rodoir et son équipage sont susceptibles d'être élevés, soutenus, à différentes hauteurs au-dessus du disque-support, par le moyen d'une romaine à contre-poids de décharge et d'un appareil à vis micrométrique en relation avec un cadran dont les divisions correspondent aux épaisseurs de la glace à dresser; cette disposition, il faut le dire, présentait, quant à la solidité, à la précision des ajustements, de sérieuses difficultés ou imperfections auxquelles devaient se joindre d'autres inconvénients relatifs à la mobilité, à l'instabilité du plateau ou chariot-support. Ces inconvénients expliquent la cause probable de l'abandon du système, malgré l'accueil qu'il a reçu en 1838 de notre Société d'encouragement; accueil fondé, sans doute, sur le mérite des idées théoriques de l'auteur et les résultats de quelques expériences favorables, exécutées, les unes sur des dalles granitiques destinées au péristyle du Panthéon, les autres sur des pierres lithographiques de grande dimension présentées par M. Chevalier à l'Exposition française de 1834, enfin, les dernières sur divers morceaux de glaces de rebut, d'inégales épaisseurs, et qui, juxtaposées et scellées sur la plate-forme ou table tournante de la machine, furent promptement redressées, dégrossies par le moellon-rodoir.

Quant à appliquer un mécanisme aussi compliqué, aussi lourd et aussi colossal en hauteur et en largeur, au rabotage des grandes pièces de fonte et au douci des grandes et fragiles glaces de miroir, cela devait offrir plus d'un genre de difficultés, qui n'ont pourtant pas empêché, si mes informations sont exactes, le mécanicien Ranvez d'en faire une application plus ou moins étendue au dressage des glaces de Cirey (Meurthe).

Ces difficultés expliquent, d'un autre côté, comment M. Carillion, l'ancien et très-estimable garde du génie à la brigade topographique, devenu, après 1815, le collaborateur des Dartigues et des Clément Desormes, aujourd'hui ingénieur constructeur très-distingué à Paris, a été conduit, plusieurs années avant 1848, à composer, pour les manufactures de glaces, en France et en Belgique, une machine à doucir qui réunit les avantages des anciennes planeuses à raboter la fonte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de fer à ceux des rodoirs ordinairement employés au dressage des glaces; je veux dire des moellons tournant sur eux-mêmes pendant la translation qu'ils éprouvent longitudinalement ou transversalement à la pièce à dresser, dont les dimensions, souvent portées à trois mètres de largeur sur 6 et 7 mètres de longueur, devaient exclure toute idée de mettre en œuvre les planeuses anglaises à chariot porte-pièce, rectiligne et mobile, pour y substituer le système à table ou banc fixe, d'après le principe déjà appliqué par MM. de Lamorinière et Mariotte, au dressage des longues tables de fonte employées au coulage même des glaces dans la manufacture de Saint-Gobain. Ce banc, en effet, est ici composé d'un lit horizontal de pierres de taille jointives, dressées à leur superficie avec tout le soin possible, au moyen de la machine elle-même, pour y recevoir les glaces sur le côté uni, par lequel elles reposaient primitivement sur la sole plane de la table à couler, et être dégrossies ensuite parallèlement sur la face opposée, venue du coulage, plissée, ondulée irrégulièrement, malgré l'espèce de laminage qu'elle a primitivement subi, sur cette même table, au moyen de lourds cylindres en fonte.

Le banc en pierre dont il s'agit, porté sur des supports à châssis-consoles en fonte, reliés par des entretoises pareilles, est entouré d'escarpements, de rigoles également en fonte, où le résidu de l'eau et de la poudre usante va se rendre de toutes parts, en s'échappant de dessous du rodoir; ses longs côtés sont accompagnés extérieurement, et à une petite distance, de rails ou règles triangulaires placées debout et servant à guider, à soutenir des patins à coulisses que surmontent les flasques verticales en fonte et à entretoises solides de l'équipage à chariot, mobile longitudinalement, qui porte à la fois les rouages et le système, mobile transversalement, du rodoir horizontal à trémie alimentaire et anget oscillant, susceptible, au moyen d'une romaine ou bascule à contre-poids curseur, d'être maintenu dans une sorte d'équilibre à la hauteur minimum réclamée par l'épaisseur de la glace ou l'avancement du rodage aux divers instants du travail de la machine; hauteur réglée d'ailleurs par le moyen de dentures et de vis micrométriques à cadran qui permettent d'atteindre jusqu'aux fractions de quinze centièmes de millimètre. D'autre part, à l'aide d'un solide et ingénieux dispositif de support à plaque verticale et coulisses horizontales en fonte régnant dans tout l'intervalle compris entre les flasques de l'équipage à chariot, le porte-rodoir lui-même, la roue d'angle qui en surmonte l'arbre vertical, leurs chaises ou porte-coussinets, ceux mêmes de la romaine ou bascule de décharge et du pignon engrené dans cette roue, dont le manchon, la boîte glisse, à rainure et languette, le long de l'arbre horizontal supérieur qui reçoit, spontanément ou automatiquement, le mouvement rotatoire du mécanisme à embrayage de friction de la machine; tout cet ensemble, dis-je, reçoit d'une crémaillère horizontale à fuseaux et pignon oscillant, qui rappelle celle des presses à calandres et d'imprimerie automatique, un mouvement parallèle transversal très-lent, dépendant du mouvement translatoire même du chariot le long de son banc à coulisses, et s'étendant à l'intervalle entier compris entre l'un et l'autre de ses flasques ou supports, c'est-à-dire de manière que le rodoir puisse atteindre successivement, comme l'outil des planeuses ordinaires, toutes les parties ou bandes rectilignes parallèles dans lesquelles on peut concevoir la glace décomposée dans le sens de la longueur du banc.

Quant au mécanisme qui imprime le mouvement à l'équipage et aux divers organes du chariot, il consiste dans un courant de lanières ou cordons sans fin passant sur une paire de poulies verticales fixes, l'une motrice, l'autre de renvoi, placées en dehors et aux deux extrémités du banc ou de la course du chariot, et venant embrasser, extérieurement et intérieurement, deux autres poulies verticales sans gorge, dont les arbres horizontaux, montés sur ce chariot parallèlement à ses entretoises et cheminant avec lui le long des rails ou du banc, impriment le mouvement rotatif, d'un côté, au manchon d'embrayage de l'arbre moteur horizontal du rodoir, de l'autre, à un équipage de roues dentées ou à courroies motrices, dont les arbres, parallèles aux précédents, donnent le va-et-vient, soit intérieurement à la crémaillère à chevilles du porte-rodoir glissant sur ses coulisses horizontales, soit extérieurement aux flasques à patins du chariot, par des roues d'angle qui mettent en action de petits pignons à arbres verticaux engrenant le long de crémaillères dentées horizontales, fixées latéralement ou extérieurement aux chapeaux des consoles de soutien du banc à dresser, et par lesquelles la marche, progressive ou rétrograde, mais très-lente, est imprimée au chariot, tandis que ses alternatives d'aller et de retour sont réglées par les basculements d'un anget à boule roulante, que des cliquets à cames fixes ou *locs*, placés aux extrémités de sa course, viennent alternativement pousser.

Il serait nécessaire de compléter cette rapide description par celle de plusieurs autres ingénieuses dispositions de détail qui, ne se rencontrant pas dans les anciennes planeuses anglaises ou françaises, offraient toutes de très-grandes difficultés à vaincre dans la nouvelle combinaison des pièces; mais cette description, tout imparfaite qu'elle soit, doit suffire, sans autre démonstration, pour convaincre que ce genre de machines, d'une puissance et d'une précision très-remarquables, a atteint une supériorité incontestable entre les mains habiles et savantes de M. Carillion, jugé digne de la médaille d'or à l'Exposition française de 1849, pour l'ensemble de ses travaux, et qui, successeur en quelque sorte de l'honorable M. Pihet, le vétéran de nos grands constructeurs de machines, a rendu de particuliers services aux manufactures de glaces, en les dotant d'utiles appareils pour le laminage, le transport, le retournement de ces glaces, sources, jusque-là, de tant de fatigues et de dangers pour les ouvriers.

Quoique beaucoup d'établissements, en France ou à l'étranger, soient tentés de n'accorder qu'un assez faible intérêt ou mérite industriel à des perfectionnements de cette espèce, parce qu'ils apportent, comme la machine même ci-dessus, plutôt des moyens de sûreté et de précision mathématique qu'une forte et appréciable réduction de prix dans les travaux et les produits des manufactures; néanmoins on doit espérer que le sentiment public et le goût de plus en plus sévère et épuré des consommateurs ne tarderont pas à répandre, à consacrer les belles et utiles conceptions mécaniques de l'ingénieur Carillion.

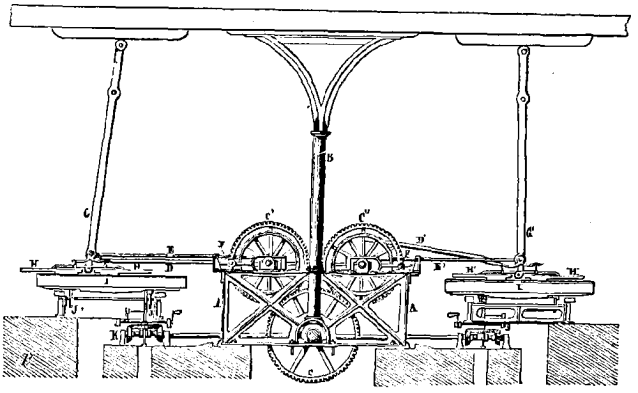
Dans la machine à polir les glaces que M. Carillion a mise à l'Exposition de 1855, le mouvement de va-et-vient des polissoirs doit être donné par une machine à vapeur horizontale de la force de six chevaux; l'amplitude de ce mouvement doit être de 80 centimètres; la translation de la pierre a lieu au moyen d'une série d'engrenages et d'une crémaillère; la pierre est transportée de 5 millimètres pour deux mouvements de polissoirs.

L'ouvrier qui conduit la machine est complétement le maître de ce mouvement; il peut rendre la pierre immobile, si cela est nécessaire, et faire mouvoir les polissoirs, soit à droite, soit à gauche, à sa volonté.

De temps en temps, c'est-à-dire environ toutes les quatre heures, il faut remettre les polissoirs en état, en les imprégnant de nouveau rouge (peroxyde de fer); il faut enlever les mains qui les font mouvoir pour les retirer, et ces mains reposent alors sur un support qui les empêche de toucher à la glace.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le mouvement du moteur est transmis aux polissoirs par l'intermédiaire de leviers assez longs pour que les ouvriers qui servent cette machine puissent passer sous les bielles qui les font mouvoir, et ces leviers sont fixés sur la plaque de fondation. Ce système n'est pas celui adopté ordinairement; dans la plupart des machines à polir, les leviers sont fixés au plafond du local dans lequel elles fonctionnent, ce qui oblige à construire un bâtiment spécial, très-élevé et très-solide, et comme ce bâtiment doit être large, il y a nécessairement sous le toit un espace qu'il serait convenable d'occuper, mais qui est inhabitable à cause du mouvement que lui donnent ces leviers.



Machine à polir les glaces, construite à Seraing (Belgique).

Cet inconvénient n'est pas le seul. Le tremblement donné au plafond détermine sur la glace la chute de corps étrangers qui, s'ils sont durs, la rayent, et, pour enlever ces rayures, on fait toujours des bassins, ce qui détruit la régularité de la réflexion, qualité très-précieuse d'une glace.

Ces inconvénients ont provoqué la nouvelle disposition donnée aux leviers.

Les pierres ont $2^m,65$ de côté, et sont tarées; sur ces pierres on scelle des glaces de dimensions diverses et assorties pour couvrir toute la surface, qui est de 7 mètres carrés; toutes ces glaces ainsi réunies sur une pierre se nomment levée.

Pour sceller ces glaces, il y a un appareil spécial qui oblige toutes les glaces d'une levée à être sur le même plan, du côté où les polissoirs doivent frotter.

Sur une levée on place 8 polissoirs doubles; la surface d'un polissoir double est de $0^m,1080$; la surface des 8 polissoirs est donc de $8 \times 0,1080 = 0^m,8640$.

Le poids d'un polissoir double est de 24 kilogrammes, donc le poids des $8 = 24 \times 8 = 192$ kilogrammes. Il y a donc sur chaque mètre carré de la levée une surface de polissoirs de $0^m,1234$, dont le poids est de $27^k,4$.

La machine qui fait mouvoir ces polissoirs donne 40 coups de piston par minute, et la course du piston est de 80 centimètres, donc le chemin parcouru est de $40 \times 80 = 3200$ centimètres, et par seconde de $\frac{3200}{60} = 53,3$.

Les polissoirs font le même chemin.

Il faut pour polir une levée 28 heures, donc il faut pour polir 1 mètre carré $\frac{28}{7} = 4$ heures. Nous voyons donc que, pour polir 1 mètre carré de glace, il faut une surface de polissoir de $0^m,12$, chargée d'un poids de 27 kilogrammes, et se promenant 4 heures, avec une vitesse de 53 centimètres par seconde; et, comme la machine est double, 4 heures suffisent pour polir une glace de 1 mètre carré des deux côtés.

Nous donnerons ici un croquis de ce genre de machines, telle qu'elle a été établie dans un des premiers ateliers de la Belgique.

Légende.

A bâtis.
B colonne.
C roue d'engrenage motrice.
C' C'' roue de transmission du mouvement des polissoirs.
D D' bielles.
E E' guides des polissoirs.
F F embrayages des roues C' et C'' servant à arrêter le mouvement de l'une des tables.
G G' balanciers des polissoirs.
H H' polissoirs en bois.
I I tables de pierres supportées par un cadre en fonte et douées d'un mouvement perpendiculaire à celui des polissoirs.
J' galets en fonte sur lesquels glisse la table.
K engrenages armés d'un manchon d'embrayage, mis en mouvement par un levier manœuvré à la main et donnant le mouvement de translation à la table. L'engrenage reçoit le sien de la roue motrice C.

PORTE-AMARRES. Les sinistres les plus fréquents à la mer ont lieu près des côtes, lorsqu'une fausse direction fait faire trop tard les manœuvres qui eussent pu faire éviter un écueil, ou qu'une tempête pousse un navire avec une puissance très-grande, danger auquel, quand il ne dispose que de ses voiles, il n'a, pour ainsi dire, rien à opposer. Dans ces circonstances, le salut de l'équipage dépend de la possibilité d'attacher à la côte un câble partant du navire, qui permet d'assurer les communications, d'établir un va-et-vient. Comment parvenir à ce résultat, lorsque la mer est si grosse qu'un canot est immédiatement retourné, que le meilleur nageur ne peut se tenir sur les vagues? L'industrie humaine est-elle impuissante au point de laisser toujours périr près de la côte des navires auxquels on ne peut porter secours?

Toute la question, avons-nous dit, consiste à porter, soit du navire à la côte, soit inversement, l'extrémité d'un cordage, à une distance de quelques centaines de mètres. L'idée qui se présentait naturellement à l'esprit, surtout pour les navires de guerre, c'était de lancer à l'aide d'un canon un projectile pesant attaché à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'extrémité d'un cordage. Proposé plusieurs fois, ce système fut, en Angleterre, l'objet de nombreuses expériences du capitaine Manby. Le projectile était un boulet armé d'un grappin ; la corde était lovée sur le sol en rond ou en zigzag dans une caisse. Il est bien clair que ce système rencontre un obstacle très-grand dans l'inertie de la corde, qui doit se rompre pour peu que la vitesse du boulet, qui doit lui être communiquée immédiatement, est considérable D'un autre côté, si cette vitesse est faible, elle est amortie presque aussitôt par la communication de mouvement à la corde et la résistance de l'air. Aussi, malgré quelques succès dans les expériences, le système Manby était oublié quand M. Delvigne, l'ingénieux inventeur de la carabine Delvigne, fit connaître son porte-amarres dont nous emprunterons la description au Rapport du jury de 1855. Il se compose d'une enveloppe très-légère et de la corde servant à établir le va-et-vient, laquelle, roulée en bobine dans cette enveloppe, constitue le projectile et lui donne, à cause de sa forme allongée, un poids supérieur à celui d'une bombe ou d'un obus de même diamètre. Ce projectile se lance avec toute pièce d'artillerie dont on dispose. On le fait d'un calibre en rapport avec celui de la pièce que l'on veut employer ; il se lance comme les projectiles ordinaires, en fixant seulement près de la pièce l'extrémité de la corde, qui se dévide de la bobine renfermée dans l'enveloppe pendant sa course.

Aussi, dans son mouvement de translation, ce projectile n'éprouve-t-il, au lieu de la grande résistance due à l'entraînement de la corde, que celle qui résulte du dévidement intérieur, résistance qui est presque nulle.

En outre, à mesure que diminue la force d'impulsion qui lui a été communiquée par l'explosion de la charge de poudre, la corde se dévide, et diminue graduellement le poids du projectile, jusqu'à ce que, complétement vidé, il ne reste plus que l'enveloppe, qui, faite de bois et fermée à sa partie supérieure par un fort bouchon en liége, flotte et forme une petite bouée que l'on peut facilement saisir, et qui, si elle tombe sur terre ou sur un navire, ne peut occasionner aucun accident, à cause de sa légèreté.

Quant aux applications, elles sont aussi simples que nombreuses ; car, en outre du cas de naufrage, le porte-amarres Delvigne peut simplifier des manœuvres longues et souvent difficiles, soit pour transmettre des dépêches entre deux navires, lorsque la mer est grosse et qu'il devient dangereux de hasarder une embarcation, soit pour prendre une remorque, soit pour porter secours à un homme tombé à la mer, en envoyant dans sa direction ce projectile flottant, qui peut le soutenir et lui donner une amarre pour le faire ramener à bord.

En outre de ces avantages, le prix de revient du porte-amarres est très-minime, et sa construction assez facile pour permettre de l'employer et de le confectionner partout.

C'est là surtout son avantage, et M. Delvigne a ainsi rendu un service éminent à la navigation. Nous ne nous dissimulons pas cependant, d'une part, que la corde lancée par son appareil est très-mince : elle est de 7 à 8 millimètres de diamètre ; et en second lieu, que la bobine qui sert de projectile ne peut rester fixée sur le sol, là où elle tombe. Il faut quelqu'un pour la saisir. En outre, la corde qu'elle a entraînée, qui est très-faible, ne peut servir que pour amener à terre une autre corde plus forte, destinée à devenir le va-et-vient qui doit sauver les naufragés.

Un autre système de porte-amarres figurait aussi à l'Exposition, celui de M. Tremblay, capitaine d'artillerie de marine. Son appareil est plus puissant que celui de M. Delvigne. Il consiste en un grappin en fer, dont la verge est enveloppée d'un bourrelet en bois, et à l'organeau duquel est fixée une chaîne de quelques mètres, au bout de laquelle s'attache la corde, qui est l'amarre que l'on veut lancer. Cette corde est roulée dans une caisse, d'où elle se dévide à l'appel du grappin projectile. C'est une fusée de guerre qui lance ce grappin ; les premiers essais ont été faits avec une fusée de 9 centimètres, de la marine ; les derniers, avec une fusée de 12 centimètres, de la guerre.

Une série d'expériences a démontré que le grappin atteignait des distances de 3 à 400 mètres ; c'est une distance égale à celle qu'atteint le projectile de M. Delvigne. Mais, contrairement au système de ce dernier, la corde que lance M. Tremblay n'a pas moins de 13 millimètres de diamètre ; elle peut donc servir elle-même tout d'abord de va-et-vient, et en outre le grappin qui l'entraîne se fixe dans le sol où il tombe, et on peut exercer sur lui tout l'effort nécessaire au sauvetage que l'on veut opérer.

L'appareil Tremblay est incontestablement plus puissant et plus efficace que l'appareil Delvigne ; mais la nécessité de l'emploi d'une fusée de guerre fait qu'il n'est à la portée que des bâtiments de l'État, et à terre dans des stations d'une certaine importance, par conséquent d'un usage restreint.

Il est arrivé que dans une expérience faite par M. Tremblay, en présence de l'Empereur, la corde s'est rompue. On ne doit pas en inférer l'inefficacité de l'instrument. On connaît en kilogrammes la force de projection de chaque fusée, on peut régler la force de la corde en proportion. C'est une sorte de dosage que M. Tremblay sait faire aujourd'hui. Il n'est plus à craindre que la corde casse.

Quoi qu'il en soit, MM. Delvigne et Tremblay ont inventé des appareils qui ne manquent pas de valeur pratique. Il faut espérer que les navires, aussi bien que des stations à terre, ne tarderont pas à être pourvus de l'un ou de l'autre. Nous aurons moins souvent la douleur d'apprendre que des hommes ont péri en vue de terre, quelquefois presque à toucher la terre, faute d'avoir pu établir un va-et-vient entre leur navire prêt à sombrer et le rivage.

Voici donc deux moyens de résoudre le problème, l'un qui consiste à supprimer l'inertie de la corde, en en faisant le projectile même et par suite le déroulant pendant le mouvement ; l'autre faisant naître successivement la force motrice qui entraîne la corde. L'un et l'autre ont surmonté la difficulté capitale de l'emploi de la poudre à canon pour envoyer une corde à terre ; la précision du tir n'est pas très-grande, mais lorsqu'il s'agit de viser au rivage, cela n'a qu'une médiocre importance.

Le système Tremblay, disposé de telle sorte que le navire en danger puisse se suffire, qui peut le mieux obtenir des portées étendues (celles des expériences du Champ de Mars n'ont pas dépassé 400 mètres) en employant des fusées de fort calibre, en nombre suffisant (M. Tremblay en emploie souvent trois), nous paraît surtout appelé à rendre de véritables services, si on peut l'établir à un prix peu élevé et de manière qu'il se trouve en état au moment du danger. En évitant le cercle vicieux de ne pouvoir lancer à grande distance une grosse corde par une explosion instantanée, parce que le poids et l'inertie croissant, la puissance instantanément développée fait rompre la corde ; en faisant développer successivement le travail, il a fait faire un grand pas à la question ; et il faut espérer que l'on verra prochainement passer dans la pratique ce moyen de diminuer les malheurs qu'entraînent les échouages près des côtes.

POTERIES. Nous avons déjà fait connaître, à l'article POTERIE de la 2e édition de ce *Dictionnaire*, les différents procédés à l'aide desquels l'homme transforme des terres ou limons sans valeur, en ustensiles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de première nécessité, en matériaux d'une très-grande importance industrielle, puisqu'ils sont les auxiliaires indispensables de plusieurs grandes fabrications, en objets d'un prix souvent considérable par suite du concours de l'art le plus pur et le plus élevé. Nous chercherons, sans revenir sur ce qui reste vrai, même dans cette période de progrès, à préciser les divers points qui font de la fabrication des poteries un art complet, un corps de doctrine, à présenter aussi succinctement que possible la théorie des diverses opérations qui par leur réunion composent l'ensemble des connaissances qu'on nomme aujourd'hui l'art céramique. Quelques considérations générales nous mettront à même de comprendre l'avenir de l'une des plus anciennes industries auxquelles l'homme ait demandé sur terre, tout à la fois, le bien être matériel et toutes les jouissances intellectuelles.

Les produits céramiques, en effet, considérés dans leurs applications les plus étendues, ne doivent-ils pas être classés au rang des plus variés et des plus importants? Des rapprochements historiques d'une puissante valeur ne les rattachent-ils pas à l'histoire des peuples, à celle des diverses phases de la civilisation, à celle enfin du progrès des arts? Leur emploi fréquent dans les usages de la vie, soit comme objet d'ornementation, soit comme ustensile de ménage, n'en rend-elle pas la production d'un intérêt général? Enfin presque toutes les industries n'ont-elles pas avec les arts céramiques des rapports plus ou moins directs? ignore-t-on que, par une réciprocité bien naturelle, l'art céramique se développe et prospère à son tour sous l'influence des progrès réalisés par le mécanicien, le chimiste, le physicien?

C'est grâce à la mécanique, à la chimie, à la physique, que le potier de terre réalise les conditions essentielles de fabrication rapide, économique et régulière qui peuvent lui assurer un bénéfice considérable; c'est par l'application des beaux-arts à l'industrie qu'il obtient des formes commodes, élégantes, et bien appropriées aux usages que le consommateur, de plus en plus difficile, recherche et réclame.

§ I. DES POTERIES

Considérées dans leur passé, leur présent et leur avenir.

Placées sur les bords des grands fleuves, les premières sociétés trouvaient dans les limons déposés par les eaux une matière ductile, facile à travailler, prenant et conservant sans peine une forme convenable pour contenir les grains, et acquérant assez de solidité pour pouvoir être transportée sans rupture à quelque distance du lieu de production. A cette première période appartiennent des poteries déjà remarquables par la forme et l'ornementation, poteries échappées pour la plupart à la destruction par une destination, je n'ose dire religieuse, qui les faisait enfouir avec la dépouille de ceux qui les avaient possédées.

Un premier progrès fut réalisé lorsqu'on découvrit qu'en soumettant les vases de terre à l'action d'une chaleur intense, on leur enlevait, avec leur fragilité, l'inconvénient de se délayer dans l'eau; il faut rapporter à cette seconde époque toute la plastique des anciens, et les poteries attribuées à l'art italo-grec ou romain.

Mais les vases qui ne sont pas cuits à des températures très-élevées, ou qui n'ont pas reçu d'une composition particulière la propriété d'être imperméables, restent poreux et absorbants; un grand et nouveau progrès a donc été réalisé le jour où l'on a su recouvrir les terres poreuses d'une couche vitreuse imperméable, c'est-à-dire d'une glaçure; c'est alors et seulement alors, que les poteries ont présenté les deux éléments des poteries modernes, le corps du vase ou la pâte, et la glaçure, c'est-à-dire le vernis, l'émail ou la couverte.

Les premières glaçures qui furent employées paraissent avoir été les glaçures silico-alcalines; le vernis de plomb ne fut découvert que longtemps après, mais il prit alors le caractère d'une véritable fabrication: on le fait remonter, en dehors des spécimens exceptionnels qu'on peut citer, à l'année 1283. Cette découverte est attribuée par les historiens à la ville de Schelestadt; mais Passeri réclame en faveur de Pesaro, fabrique de Toscane, l'application du vernis plombifère, d'abord sur pâte, en l'année 1100, et deux siècles plus tard sur engobe, en 1300. Depuis ces époques, le vernis plombeux s'est enraciné dans les usages des classes peu fortunées, contrairement aux sages principes de l'hygiène; il résistera malheureusement longtemps encore aux tentatives faites pour le remplacer.

On ne connaissait alors que des argiles donnant au feu des pâtes plus ou moins colorées; les vernis plombeux, transparents et minces, étaient incapables de dissimuler la couleur de la terre; l'introduction de l'oxyde d'étain dans la glaçure la rendit blanche, opaque, et donna toute facilité pour cacher, sous une couche plus ou moins épaisse d'un véritable émail, le ton plus ou moins rougeâtre de l'argile cuite: la faïence émaillée, née chez les Arabes et les Maures d'Espagne, peut-être chez les Persans, se répandit en Italie, qu'elle illustra pendant les quinzième et seizième siècles. A peu près à la même époque, la faïence émaillée s'étendait en Allemagne à Nuremberg, qui devint célèbre; en France, un homme estimé de tous, Bernard Palissy, créait par les seules ressources de son génie des poteries émaillées d'un genre tout nouveau, et des faïences bien voisines par leurs qualités des véritables terres de pipe.

Lorsque les porcelaines de la Chine et du Japon, fabriquées dans ces contrées depuis bien des siècles, furent importées en Europe, d'abord par les Portugais, puis par les Hollandais, l'industrie des produits d'art en reçut une vive atteinte. A mesure que les porcelaines devenaient plus communes et moins chères, la faïence abandonnée par les riches ne trouva plus que des consommateurs ou trop pauvres ou trop indifférents pour que la fabrication pût se maintenir à la hauteur qu'elle avait atteinte pendant le seizième siècle. Bien déchue maintenant de son ancienne splendeur, elle lutte à peine aujourd'hui contre les faïences fines qui lui retirent la consommation populaire, comme les porcelaines autrefois l'ont dépouillée de sa clientèle opulente; on peut prédire sa ruine complète avant la fin du siècle. La supériorité, comme poterie d'usage et de luxe, des porcelaines de la Chine et du Japon ne fut pas la seule cause de l'abaissement dans lequel tomba la faïence émaillée; l'émulation qu'excita la vue de ces admirables produits de l'Orient conduisit à la découverte des deux porcelaines, l'une dure, l'autre tendre. C'est en Saxe que Boëtger obtint pour la première fois en Europe de la véritable porcelaine dure. Cette découverte se répandit de 1709 à 1765 dans différentes contrées de l'Europe, malgré tous les efforts de l'Electeur de Saxe pour en conserver le monopole.

Plusieurs années avant qu'on découvrît en Saxe le kaolin et le secret de la fabrication de la porcelaine dure, on fabriquait une poterie très-remarquable à laquelle Sèvres doit en grande partie sa première célébrité. La fabrication de ces deux poteries a certainement été cause de l'abandon dans lequel sont tombées les faïences émaillées.

Pendant que le continent s'occupait de la fabrication de la porcelaine dure, l'Angleterre perfectionnait celle de la terre de pipe. L'introduction vers 1725 par Astbury du silex broyé dans les pâtes formées autrefois uniquement d'argile plastique, puis les travaux de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POTERIES.

Wedgwood, avaient amené vers la fin du dix-huitième siècle les poteries anglaises à un degré de perfection fort avancé. Wedgwood créait encore, vers la même époque, ses grès fins aux formes imitées de l'antique, aux sculptures pleines d'élégance et de délicatesse dans l'exécution. La fabrication de la porcelaine, de son côté, réalisait de nouveaux progrès ; on découvrait les kaolins et les pegmatites altérées de Cornwall. Les grandes guerres de la Révolution n'avaient pas arrêté l'essor industriel du Royaume-Uni ; celles du premier Empire n'avaient pu gêner le développement de ses ateliers, ni ralentir ses exportations. Maîtresse des mers, l'Angleterre avait vu ses débouchés s'accroître de tous ceux qu'elle avait enlevés au commerce des nations rivales.

A la paix générale de 1816, l'Angleterre possédait une fabrication très-développée de ces terres de pipe perfectionnées que nous nommons cailloutage, de grès cérame, de porcelaine tendre. En variant la composition des pâtes et des vernis, Wedgwood et ses imitateurs avaient créé plusieurs sortes de poteries généralement d'un bon usage, et bien supérieures par l'aspect ou la solidité aux terres de pipe et aux faïences émaillées, c'est-à-dire à glaçures stannifères, qu'on fabriquait alors sur le continent. La bonne fabrication de ces produits et leur forme commode leur auraient conquis tous les marchés de l'Europe, si les gouvernements n'avaient cru devoir protéger les industries similaires par des tarifs de douane très-élevés, ou même maintenu, comme en France, une prohibition complète des produits anglais. La loi du 15 mars 1791, autorisant l'importation en France de la poterie commune et de la porcelaine, avait été rapportée par le décret du 1er mars 1793, qui interdisait toute relation commerciale avec les nations coalisées contre la France, et rangeait les poteries des deux dernières espèces parmi celles dont le commerce était expressément défendu. La loi du 10 brumaire an V confirma cette prohibition, et si les lois de douane postérieures n'ont pas modifié cet état de choses, elles ont changé tacitement du moins cette mesure de guerre en un moyen de protection.

Si l'Exposition universelle de Londres avait eu lieu trente ans plus tôt, elle aurait permis de constater certainement en faveur de l'Angleterre, en dépit des efforts de toutes les autres nations, une immense supériorité dans la fabrication des poteries à l'usage des classes moyennes ; mais l'exemple donné chez nos voisins et l'expérience qu'ils avaient acquise n'ont pas été sans porter leur fruit, surtout chez nous, et les progrès que l'art céramique a faits en France depuis le commencement de ce siècle sont de la plus grande importance. Bien plus, la fabrication des cailloutages serait capable, au point de vue de la qualité, de lutter aujourd'hui contre ces produits similaires anglais, si des considérations d'un tout autre ordre, la question économique, qui domine de si haut ce sujet, n'engageait encore à présent à n'admettre qu'avec la plus grande réserve, en concurrence sur nos marchés avec les produits français, les productions des fabriques étrangères.

Les expositions de Londres et de Paris ont mis en présence l'industrie céramique anglaise et celle de toute l'Europe manufacturière ; on a pu constater, dans ces deux circonstances, combien est générale, supérieure et variée la céramique moderne ; l'ensemble de toutes ces fabrications, qui forment un faisceau des plus complets et des plus instructifs, met en lumière les causes de ces améliorations, évidemment liées avec le développement et la diffusion des sciences qui prêtent ou des matériaux ou leur concours efficace aux arts céramiques. L'Exposition de Londres n'a guère précédé que de cinq années celle de Paris, et personne n'a manqué d'observer l'amélioration générale que les produits anglais, au point de vue de la forme, doivent à la vue des produits sortis de la manufacture de Sèvres. A peine hors du Palais de l'industrie, la fabrication de Limoges, comprenant qu'il ne fallait pas laisser à l'Angleterre seule le droit de nous copier, a fait des sacrifices considérables pour modifier ses formes et la perfection de son travail. Tous ceux qui ont eu le bonheur de voir l'Exposition de la France centrale en 1858 ont été surpris du développement réalisé par les manufactures limousines, depuis longtemps endormies sur leur vieille réputation. Les expositions régionales que le gouvernement semble prendre à tâche de protéger offrent une arène nouvelle aux nouveaux venus qui, trop jeunes pour se présenter en concurrence avec des réputations justement classées, aiment à se tenir à l'écart lors des expositions universelles, et préfèrent le silence à des classements incertains. Les concours régionaux nous paraissent appelés maintenant à rendre les services qu'on attendait autrefois des expositions nationales ; elles stimulent au même degré l'industrie locale, source des progrès généraux. Cette manière de voir est parfaitement d'accord avec l'opinion du public, et l'empressement avec lequel il a visité cette année les expositions de Rouen et de Bordeaux. Quant à l'industrie nationale, il faut plus aujourd'hui : c'est avec le monde entier qu'elle doit compter, et des expositions universelles séparées par des intervalles d'une dizaine d'années peuvent seules lui profiter. Qu'on me permette d'émettre ici un vœu, celui de voir accepter en principe la mise hors concours de tous les vainqueurs des expositions précédentes, lorsqu'ils ont progressé. Cette mise hors concours, avec citation honorable, ajouterait un degré de plus aux récompenses que le jury décerne. Dans cette situation, dans une direction donnée, les seconds auraient chance de devenir premiers ; à cette seule condition l'émulation serait stimulée, les abstentions impossibles.

Pour en revenir aux poteries, les expositions qui ont eu lieu depuis le commencement de ce siècle permettent d'établir des faits incontestables qui donnent à l'historien impartial le moyen de s'y reconnaître dans l'exposé de tous les perfectionnements dont le consommateur constate la succession rapide.

Cherche-t-on à se faire une idée réelle des progrès réalisés pendant ces cinquante dernières années dans la fabrication des poteries ; veut-on connaître ce qu'étaient, au commencement de ce siècle, les différentes industries qui s'y rattachent et ce qu'elles sont aujourd'hui ; nous remarquerons que toute l'action utile pour améliorer ces produits doit être partagée pendant cette période entre trois puissances : l'Angleterre, la France et les pays allemands. Nous croyons qu'on nous accordera que nulle part la transformation des produits et leur amélioration n'a été plus profonde qu'en France. Cette circonstance nous paraît tenir, non pas à ce que nous avons pu suivre avec plus de facilité chez nous que partout ailleurs la marche des progrès céramiques, mais à ce que notre fabrication était restée dans le plus grand état de médiocrité. Nos terres de pipe, la seule poterie à la portée de la majeure partie des consommateurs, était restée stationnaire, tandis qu'en Angleterre, depuis les travaux de Wedgwood, cette fabrication s'était transformée d'une manière complète en des cailloutages de qualité très-remarquable. Quant à l'Allemagne proprement dite, la fabrication de la porcelaine dure était beaucoup plus répandue, même à l'usage des masses, que dans tout autre pays, et l'on s'y était à peine préoccupé de la fabrication des faïences fines, qui devaient bientôt prendre un très-grand développement dans les provinces rhénanes.

Les améliorations dont les faïences fines ont été l'objet tirent presque toutes leur origine de l'Angleterre. Établie ensuite sur les bords du Rhin, cette fabrication avait pénétré chez nous. Les terres de pipe françaises,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

faites pour la première fois par Potter vers l'époque de la paix d'Amérique, sortirent d'assez bonne qualité d'abord des fabriques de Montereau, dirigées par un Anglais du nom de Hall; les fabriques de Choisy-le-Roi, de Creil, de Paris, de Chantilly, négligèrent leurs produits, la pâte devint de moins en moins cuite, et la glaçure de plus en plus tendre pour épargner le combustible. Ces éléments défectueux ne constituèrent bientôt qu'une poterie honteusement médiocre, sale et d'un mauvais usage; une seule manufacture, celle de Sarreguemines, conserva la bonne qualité de ses produits et par conséquent sa réputation. Dans ces circonstances, vers 1824, se placent les publications de M. Saint-Amand, sur les produits anglais recueillis et examinés par lui pendant plusieurs voyages en Angleterre; d'après M. Brongniart, les premiers essais datent d'une manière authentique de 1824, 1827 et 1830. A cette époque, les établissements de Creil, de Montereau, de Choisy-le-Roi, de Toulouse, d'Arboras et de Bordeaux, ou n'existaient pas ou n'avaient rien produit d'analogue à ce que le commerce nomme actuellement porcelaine opaque. C'est donc aux idées répandues par M. Saint-Amand, et aux premières notions publiées par lui, quelque incomplètes qu'elles aient été, qu'il est juste d'attribuer l'élan que prit dans notre pays la fabrication de ces poteries; nous pouvons dans nos expositions en suivre le développement pour ainsi dire pas à pas, et les voir si mauvaises en 1829, si médiocres encore en 1834, meilleures en 1839, devenir dès 1844 presque irréprochables sous le rapport des qualités intérieures et extérieures.

Mais si l'idée, pour ainsi dire théorique, appartient à M. de Saint-Amand, c'est à la fabrique de Montereau, puis bientôt après à celle de Creil qu'on doit la réalisation pratique de l'idée, c'est-à-dire la véritable introduction de la poterie dite en France *porcelaine opaque*.

En ce qui concerne plus particulièrement les faïences fines, l'Exposition de 1855 a permis de constater que les poteries à pâte fine et sonore, celles du Staffordshire, de Creil, de Montereau, de Mettlach, de Bordeaux, de Kéramis, réunissent un ensemble de qualités qui en font une poterie bien précieuse pour les usages domestiques: la dureté de la glaçure, la blancheur de la pâte, la variété des formes, l'éclat de l'ornementation, obtenue sous glaçures par une seule cuisson, au moyen des méthodes rapides de l'impression, font des cailloutages une poterie bien voisine des porcelaines dures, et permettront à ces produits d'occuper longtemps encore leur place sur la table des classes moyennes, servie, il y a près d'un siècle, par la faïence commune à glaçure stannifère.

Cette fabrication a toujours été mise en pratique en France dans des établissements considérables, et c'est à cette circonstance que sont dues la rapidité des progrès et la persévérance avec laquelle le succès a été poursuivi. La difficulté des transports, le bas prix des produits ont forcé le producteur à se placer dans des centres de consommation, de manière à livrer ses produits sans avoir à redouter une concurrence ruineuse ou par trop menaçante. Grâce à ces précautions, la plupart de nos fabriques de cailloutage, assurées du placement de leurs produits, montées avec des capitaux suffisants, débarrassées d'une rivalité qui n'aurait d'autre effet que d'amener sans nécessité des baisses de prix malencontreuses, sont dans un état assez prospère. Toutefois, il ne faut pas se dissimuler que la concurrence créée par le réseau de chemins de fer qui traversent la France rendra prochainement possible une lutte sérieuse entre nos différentes manufactures, et que plusieurs pourront succomber. Les plus faibles ont d'ailleurs le droit de compter sur l'augmentation de la consommation.

La véritable source de gain dans ces usines sera bientôt la substitution des procédés mécaniques aux opérations manuelles regardées, il y a quelques années, comme les seules applicables à la confection des poteries.

Les conditions d'existence des manufactures de porcelaine dure en France sont bien différentes. La fabrication de cette poterie n'a reposé jusqu'à ce jour que sur de petits capitaux, disséminés dans plus de quarante fabriques, qui pour la plupart n'ont eu qu'une existence éphémère, et qui passent de main en main. La cuisson de la porcelaine au moyen da la houille, lorsque toutes les conditions de réussite auront été bien étudiées, doit permettre un jour ou l'autre, et ce jour n'est peut-être pas très-éloigné, de grouper autour des mines de houille les manufactures de porcelaine. Le déplacement progressif des fabriques, et la concentration inévitable de la fabrication dans de grands établissements changeront radicalement sans doute la situation des manufactures, alors surtout qu'on reconnaît comme possible actuellement l'introduction des moyens mécaniques même dans le façonnage des pièces; et vraisemblablement à ce moment, des recherches plus suivies, des directions de plus en plus intelligentes, ajouteront encore aux mérites déjà si grands de la fabrication de la porcelaine française.

Dans tout ce qui précède, nous n'avons rien dit de la poterie de terre grossière, de la poterie commune à glaçure stannifère, des grès communs vernissés ou non. Ces produits qui se font à peu près partout, et qui s'adressent principalement aux consommateurs malaisés se consomment généralement sur place; ils doivent être livrés, peut-être la faïence exceptée, à des prix tellement bas qu'il n'y a guère possibilité de les grever de frais de transport. Ces poteries, objet d'une fabrication journalière et considérable, se fabriquent en nombre immense, et la quantité va toujours en augmentant, au moins en ce qui concerne la fabrication française. Ce développement est remarquable, même en présence de la concurrence que font aux poteries de terre la fonte, la tôle émaillée et le fer-blanc qui, depuis quelques années, satisfont sous forme d'ustensiles de ménage aux besoins les plus pressants des classes les plus nécessiteuses, et sont appliqués chaque jour à des emplois nouveaux.

La faïence commune, très-répandue il y a cent ans, abandonnée par le riche, lutte à peine maintenant avec les faïences fines, qui lui enlèvent la consommation populaire comme autrefois la porcelaine l'a privée de la clientèle opulente. Toutefois, elle voit s'ouvrir devant elle un nouvel avenir; elle cherche à pénétrer dans le domaine de l'art et à reconquérir la position élevée dont elle eût pu ne jamais déchoir. Quoi qu'il en soit, il est certain que cette faïence a disparu en grande partie déjà devant les terres de pipe, et celles-ci devant les cailloutages anglais. Que deviendra cette fabrication? Nous croyons probable que dans un avenir prochain, ceux-ci, à leur tour, perdront de leur importance devant les porcelaines dures, la poterie par excellence pour les objets de service.

Mais en France, ainsi que nous l'avons dit à l'article acide borique, l'existence des manufactures de faïence fine pourrait être menacée par toute crise commerciale entravant l'entrée de l'acide borique. L'introduction de cet acide et celle du borax dans les glaçures des faïences furent l'une des causes principales de l'amélioration de ces poteries; et si d'une part on n'arrivait pas à se créer d'autres sources capables de fournir cette matière et de suppléer à celles de la Toscane, l'intérêt des consommateurs serait en droit de demander au gouvernement telles mesure qui conduirait à leur ruine plusieurs de nos fabriques aujourd'hui florissantes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quoi qu'il doive advenir, nous engageons les fabricants qui nous consultent à diriger tous leurs efforts vers l'amélioration de la porcelaine dure; la pureté des formes nous donne l'avantage sur les autres pays. Mais il ne faut pas oublier que l'Angleterre possède à la fois de grandes richesses en combustibles minéraux et tous les matériaux propres à la confection de la porcelaine dure. Quant à l'économie de la main-d'œuvre, quant à l'achat des matières premières, les événements qui se préparent en Chine et que j'avais prévus dès 1851 sont peut-être de nature à donner aux porcelaines leur plus grande extension, en rendant complétement ouvert un pays qui, convenablement exploité, doit conquérir et conserver le monopole de la fabrication. En Europe, d'ailleurs, de nouveaux gîtes de kaolins sont exploités et quantité d'argiles blanches ou légèrement ferrugineuses, associées à des roches granitiques suffisamment fondantes, peuvent servir à faire à bas prix des porcelaines communes bien supérieures à toutes les autres poteries opaques.

Dans les circonstances présentes, la fabrication de la poterie donne lieu presque partout à des transactions considérables. D'après M. Schmetz, les arts céramiques y compris la fabrication des tuiles, des carreaux et des briques, créeraient une valeur de 94 millions de francs. L'exportation anglaise, relevée par l'administration, porte sur des objets qui représentent 25 millions en 1850; le chiffre s'élève à 32 millions pour 1854. L'organisation céramique anglaise diffère considérablement de celle que nous avons signalée pour la France; il peut être utile de la faire connaître ici. Loin d'être éparse sur toute la surface du territoire, elle se trouve à peu près circonscrite dans la même localité qu'on nomme pour cette raison les Potteries; c'est une partie du Staffordshire. On comptait dans cet arrondissement à l'époque à laquelle j'y suis allé, pendant l'été de 1851, sur une étendue d'environ 1 myriamètre, 144 fabriques de cailloutages, grès cérames, porcelaines tendres, occupant plus de 60,000 ouvriers de tout sexe et de tout âge; ce chiffre représente en moyenne 417 individus par établissement.

Plusieurs cours d'eau, le canal du grand Tronc, le canal de Newcastle, traversent ce canton et mènent au pied même des fabriques, les bateaux dans lesquels on charge les produits fabriqués en échange des matières premières; une circulation par voie ferrée relie encore aux principaux points du littoral ce centre d'une fabrication colossale. De tels éléments de succès doivent assurer pour longtemps un avenir prospère; ils autorisent à redouter pour les produits des manufactures françaises dans une époque assez rapprochée de nous une lutte sérieuse que nous n'aurions pas à craindre avec les autres nations.

En effet la Suède, la Norvége et le Danemark reçoivent des quantités considérables de produits anglais; l'Italie que l'Angleterre approvisionne aussi de poteries, cherche à fabriquer par elle-même, mais de longtemps elle ne peut songer à l'exportation. En Espagne, plusieurs fabriques cherchent à perfectionner leurs poteries, mais dans le cas même où toutes atteindraient le développement de celle de Séville, la consommation intérieure enlèverait tout, avant que les produits ne soient arrivés sur les marchés français. En Portugal, les établissements de Coïmbre et de Vista Alegre ne sauraient encore réserver pour l'exportation une partie de leurs faïences et de leurs porcelaines.

L'organisation céramique de la Belgique se rapproche beaucoup plus de celle de la France que celle de l'Angleterre; la porcelaine dure, la faïence fine et les grès y sont fabriqués sur une grande échelle, et les conditions avantageuses qu'entraînent la présence simultanée d'un combustible de bonne qualité et de prix modéré, d'excellentes terres et des communications promptes et faciles permettront peut être un jour sur nos marchés une concurrence sérieuse, au moins pour les grès et les faïences fines.

La Belgique est reliée par le Luxembourg et les provinces rhénanes à nos manufactures de l'Est, mais en dehors de notre frontière; toutes les manufactures étrangères qui de ce côté pourraient approvisionner notre marché se trouvent placées à peu près dans les mêmes conditions que la production belge, c'est-à-dire quelles jouissent des mêmes avantages pour le transport, la houille, les terres et le choix des matières premières. Les fabriques de Mettlach, Vaudrevange, Septfontaine et Kerunis, sont admirablement placées pour écouler à la fois, sur les deux côtés du Rhin, aussitôt qu'il leur sera permis de le faire, les divers produits qu'elles établissent. Quant aux pays allemands, la Prusse, l'Autriche, la Bohême, la Saxe, leur production céramique principale est la porcelaine dure; la faïence et les grès que le consommateur réclame proviennent surtout des provinces rhénanes dont les produits circulent au loin faute d'une concurrence sérieuse. On ne compte en dehors de Mettlach et Vaudrevange que quelques petites manufactures qui fassent des faïences.

Il ne saurait entrer dans le cadre de cet article de faire une histoire plus complète du passé, du présent et de l'avenir des arts céramiques. Nous renverrons le lecteur que ce sujet intéresserait à l'ouvrage important publié par M. Brongniart, sous le titre de *Traité des arts céramiques*, et aux *Leçons de céramique* dans lesquelles nous avons réuni tous les faits et les considérations qui sont tout à la fois du domaine de l'histoire et de la technologie. Nous nous bornerons à présenter ici une esquisse qui pourra servir d'introduction à l'article qui a déjà paru dans ce Dictionnaire; les diverses phases par lesquelles passent les poteries pendant leur fabrication seront étudiées et classées avec méthode et considérées théoriquement. Toutefois, comme depuis dix ans la science s'est enrichie de nouvelles méthodes et de nouveaux produits, nous en parlerons en temps voulu, tout aussi longuement que le sujet le comportera.

§ II. DES POTERIES

Considérées sous le rapport des procédés qui servent à les produire.

Nous commencerons par introduire dans ce travail un élément de division qui n'a jusqu'à ce jour été proposé par personne, et qui rend facile l'étude pratique de tous les produits céramiques: lorsqu'on examine attentivement toutes les poteries, quelle que soit leur nature, quelles que soient les qualités qu'elles possèdent, on est frappé du caractère de généralité que ces sortes de produits présentent et qui permet de les séparer en deux grandes classes: les *poteries simples* et les *poteries composées*, c'est-à-dire les poteries mates et les poteries à glaçures.

J'appellerai poteries simples, celles qui sont homogènes dans toute leur texture, qui présentent partout, à l'intérieur comme à l'extérieur, c'est-à-dire sur leur surface, les mêmes matières terreuses ou vitreuses, plastiques ou non plastiques, associées de la même manière. Les poteries simples peuvent être formées de divers matériaux mélangés en diverses proportions, pourvu qu'ils soient toujours réunis partout de la même manière. Les poteries que j'appelle composées sont formées au contraire de matières de compositions différentes, non réparties uniformément dans la masse. Dans presque toutes les poteries composées, le corps de la pièce est une poterie simple, recouverte sur toute la surface ou sur une partie seulement de sa surface d'une couche vitreuse généralement très-mince, qui reçoit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

suivant la composition chimique qui lui est propre, les noms de *vernis*, *émail*, *couverte*, et que je nommerai *glaçure*. L'enduit peut être terreux ; ce sera l'engobe de certaines poteries, dont nous avons déjà parlé dans l'article DÉCORATION CÉRAMIQUE.

Dans tous les cas, la fabrication des poteries exige l'intervention du feu : une température plus ou moins élevée devient nécessaire pour donner au corps de pâte une dureté, une solidité, une imperméabilité suffisantes ; on peut prendre une idée de l'influence du feu sur le développement de ces propriétés en comparant une assiette de porcelaine crue, une assiette dégourdie et une même pièce cuite au grand feu des fours à porcelaine.

La glaçure exige aussi l'emploi d'une température élevée. C'est un verre appliqué par couche mince sur la surface de la poterie, et l'on sait que les matières pulvérulentes destinées à donner des verres ont besoin, pour prendre l'aspect vitreux, d'une température au moins égale à la chaleur rouge.

Ainsi, que les poteries soient simples ou composées, leur fabrication implique la connaissance la plus complète des terres et des verres, celle des agents de combustion et des combustibles : nous n'avons qu'à rappeler ici de quel secours sont ces notions pour la décoration de ces mêmes produits. On peut dire avec raison que la céramique est l'étude spéciale des composés que la chimie désigne sous les noms de silicates, borates, phosphates, etc., alcalins terreux et métalliques simples ou multiples.

Le potier de terre devrait être familiarisé non-seulement avec le langage chimique, mais avec les notions les plus étendues de cette science, car si quelques-uns des silicates qu'il emploie sont directement fournis par la nature, beaucoup de ces corps doivent être préparés par lui, suivant ses besoins et dans des conditions voulues de pureté ; le fabricant doit savoir reconnaître les substances qu'il met en œuvre, vérifier la composition par les propriétés, passer des formules aux poids au moyen des calculs convenables, et s'assurer par lui-même de l'état de pureté dans lequel on lui livre les matériaux qu'il doit transformer, et qu'il n'a pas économie à faire préparer sous ses yeux.

Les réactions qui se passent sous l'influence de la chaleur au contact des divers éléments que le potier met en jeu sont essentiellement du domaine de la chimie : l'aspect particulier que présente le composé, formé quant à la fusibilité, devient un sujet intéressant de recherches, et personne ne niera que l'étude de la fusibilité des silicates, des borates et des phosphates ne résume toutes les connaissances du fabricant de poteries. Tous ses efforts doivent en effet se diriger vers ces différents buts :

Diminuer la fusibilité pour établir des pâtes qui puissent résister à la déformation, acquérir de la résistance sans fragilité, etc.

Augmenter la fusibilité, pour obtenir des vernis (glaçure, lustre, émaux, couvertes).

Mettre en rapport la fusibilité de la glaçure avec la composition de la pâte, afin d'éviter le coulage, le ressui, le truitage.

S'opposer aux réactions qui peuvent intervenir entre les éléments des glaçures et ceux des pâtes, lorsque ces réactions ont pour effet de faire naître des précipitations d'oxydes ou de sels basiques qui, ne se dissolvant plus, donneraient à la surface un aspect rugueux.

Corriger ces défauts quand, accidentellement, ils se sont produits. Dans tous les actes de la fabrication des poteries, ces notions sont indispensables, ainsi que nous allons l'établir.

Tout produit céramique doit être examiné sous quatre points de vue très-différents : la composition, le façonnage, la cuisson et la décoration. Nous ne dirons rien de ce dernier objet, que nous avons suffisamment étudié à l'article DÉCORATION.

A la composition se rattache la connaissance de tous les matériaux des pâtes céramiques, leur histoire, leur origine, leur position dans la nature.

Au façonnage appartient l'histoire des machines et des procédés, soit mécaniques, soit chimiques, au moyen desquels on prépare, on mélange, on combine ces matières pour en faire des poteries. A la fabrication se rattache encore le dosage des divers matériaux destinés à la confection des différents objets que le commerce réclame.

La cuisson comporte l'étude des combustibles, celle des appareils dans lesquels la poterie acquiert la dureté nécessaire aux diverses usages pour lesquels elle est créée, celle enfin des moyens à l'aide desquels on protége dans le four les objets fabriqués contre l'action de la flamme, des cendres, de la fumée. Il convient encore d'y rattacher les méthodes de conduire et de juger le feu. Nous insisterons surtout sur la nature de l'atmosphère au sein de laquelle a lieu la cuisson : cette dernière notion, introduite récemment dans l'art de fabriquer la porcelaine est appelée sans contredit à régulariser le travail, en assurant le succès de l'opération. Non-seulement la force du feu, c'est-à-dire l'intensité de la chaleur, exerce sur la qualité des produits une influence considérable, mais la nature des gaz qui remplissent le four est en rapport avec la coloration que ces produits peuvent présenter.

La composition, le façonnage et la cuisson des pâtes d'une nature déterminée présentent d'ailleurs certains rapports essentiels dont l'existence complique la question et qu'il faut savoir apprécier. La composition de la pâte limite les procédés de façonnage, car si presque toutes les pâtes sont plastiques, quelques-unes n'ont aucune plasticité ; on leur en donne une artificielle au moyen de mucilages et de savons ; les diverses poteries offrent à cet égard des intermédiaires nombreux. La cuisson fait apparaître plusieurs défauts inhérents aux procédés de façonnage. Les méthodes d'application de glaçure sont variées avec l'état dans lequel sont les pièces au moment de la pose de la glaçure. Quant aux relations que la composition présente avec les phénomènes qui se rattachent à la cuisson, ils sont tellement évidents qu'il suffit de rappeler que toutes les poteries, même la plupart des grès cérames, se déformeraient et fondraient souvent en prenant l'aspect vitreux ou cristallisé, si nous les soumettions avec ou sans glaçure aux températures qu'exige la porcelaine dure pour acquérir la translucidité qui la caractérise.

Pour moi, j'attache une telle importance à la connaissance des modifications que la chaleur engendre dans les terres ou les mélanges terreux et métalliques, colorés ou non, que je regarde, dans une fabrication quelconque, la température à laquelle on doit cuire le corps de pâte et la glaçure comme le premier point à fixer. Ce point d'abord établi sert à faire déterminer la forme des appareils de cuisson qui, dans leurs dispositions et dans leurs dimensions, peuvent offrir des différences considérables. Ce n'est qu'après être fixé complétement à cet égard qu'on peut passer à la composition des pâtes et des glaçures. Les qualités de la poterie résultent de la nature et des propriétés des silicates qui la forment, qualités qu'il est possible d'apprécier *à priori*. Il ne restera plus à chercher parmi les matériaux que le potier peut mettre en œuvre que ceux qui le conduiront, avec le plus d'économie, avec les meilleures chances de succès, à la poterie possédant les qualités qu'il désire.

Nous ne saurions, sans trop de longueur pour cet article, donner tous les caractères des silicates, borates et phosphates simples ou composés, considérés au point de vue de leur fusibilité ; on les trouvera détaillés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une manière très-circonstanciée dans les *Leçons de céramique* que nous avons déjà citées, et que je signale de nouveau à l'attention du lecteur qui voudrait lire avec fruit les ouvrages qui traitent de la céramique. Nous nous bornerons à faire apprécier ici le rôle que chaque élément peut remplir dans la constitution des pâtes.

Constitution des pâtes.

Si l'on examine toutes les pâtes céramiques cuites, quelle que soit l'espèce à laquelle on les rapporte, on les voit formées de silice, quelquefois de silice presque exclusivement, mais c'est l'exception; quelquefois aussi de silice en combinaison avec l'alumine, et c'est le cas le plus général; quelquefois enfin, le silicate d'alumine est en mélange avec des silicates étrangers alcalins ou terreux, de l'introduction desquels il résulte pour la pâte des inconvénients ou des qualités. Dans certaines pâtes, le silicate d'alumine peut être remplacé, en tout ou en partie, par des silicates de magnésie, mais ce cas se présente assez rarement. En général donc, les pâtes céramiques sont formées de silice en combinaison ou en mélange avec divers principes, accessoires utiles ou nuisibles. Quels sont ces principes? Quel rôle peuvent-ils jouer? Nommons-les d'abord, pour étudier une question dont la solution donne la clef de bien des réactions qui se passent dans la fabrication des poteries; ce sont, comme l'analyse chimique les décèle : l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse, la chaux, la baryte, la magnésie, la potasse et la soude. On y rencontre aussi parfois les acides carbonique, sulfurique et phosphorique.

Alumine. — Les poteries qui renferment le plus d'alumine sont celles qui cuisent à la plus haute température, lorsqu'elles ne renferment que peu d'éléments étrangers; le maximum correspond aux porcelaines dures de Sèvres, le minimum correspond aux pâtes de porcelaine tendre françaises.

Les silicates doubles qui se trouvent souvent en mélange intime avec le silicate d'alumine introduisent dans les pâtes céramiques des principes différents, tels que l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse, la chaux et la magnésie, la potasse et la soude, qui varient entre certaines limites, et qui, sans nul doute, exercent l'influence la plus considérable sur la température à laquelle ces poteries peuvent être soumises sans se déformer, et sur la qualité que ces poteries peuvent acquérir par le fait d'une cuisson produite dans les meilleures condition de fabrication (température et atmosphère).

Oxyde de fer. — Les nombreuses analyses qui sont connues maintenant démontrent que les proportions de l'oxyde de fer varient, dans les pâtes céramiques, dans des limites étendues. L'oxyde de fer ne peut exister dans les pâtes de porcelaine dure ou tendre qu'en proportions très-minimes : on sait que ces pâtes tirent leur caractère principal de leur blancheur complète. Cette condition n'est plus impérative dans la fabrication des grès fins, blancs ou communs, ou dans la terre de pipe; une quantité d'oxyde de fer surpassant 0,10 conduit à des compositions qui ne peuvent supporter des températures élevées sans se déformer. Il est urgent alors de ne les cuire que dans des conditions d'atmosphère parfaitement étudiées, en arrêtant au point convenable la température nécessaire à la cuisson.

Je ferai remarquer ici que la coloration que présente une poterie cuite, même en biscuit, n'est pas toujours en rapport avec la quantité d'oxyde de fer qu'elle donne à l'analyse. Cette coloration, liée tout d'abord à la nature comme à la quantité des matières introduites dans la pâte, telles que le charbon dans les poteries à pâte noire, dépend considérablement et de l'état d'oxydation et de l'état de combinaison de l'oxyde de fer; elle tient en général, moins de la composition centésimale du composé que de l'atmosphère dans laquelle la pièce a cuit ou s'est refroidie.

Des expériences précises empruntées à des fabrications variées ont fait voir :

1° Que plusieurs briques faites avec une même terre, renfermant par conséquent la même quantité d'oxyde de fer, suivant la place qu'elles occupent dans le four, sont tantôt incolores, tantôt roses ou rouges, tantot enfin complétement brunes.

2° Que les biscuits de faïence commune, quoique très-chargés d'oxyde de fer, sont tantôt d'un jaune presque clair, tantôt d'un rouge pâle, tantôt d'un rouge brun, tantôt d'un jaune légèrement verdâtre : ces teintes si diverses sont souvent offertes par les différentes parties d'une même pièce. Il importe au fabricant de faïence de produire un biscuit peu coloré, car on cherche à masquer sous une couche d'émail opaque le ton rougeâtre de la pâte : plus la coloration de la pâte est foncée, plus il faut d'opacité dans l'émail; cette opacité coûte cher; on évite la coloration en cuisant dans une atmosphère réductrice.

3° Que certaines pâtes de terre de pipe, en général peu colorées, cuisent avec une teinte jaunâtre, lorsque l'atmosphère dans laquelle elles cuisent n'est pas enfumée.

4° Que les mêmes pâtes de porcelaine, souvent très-colorées en rouge au dégourdi, ne le sont plus lorsqu'elles ont été transformées, dans le grand feu de porcelaine, en porcelaine transparente, l'oxyde de fer passant alors à l'état de silicate de protoxyde de fer.

5° Que la même pâte de porcelaine cuit tantôt blanche et translucide, tantôt opaque et jaune; blanche si l'oxyde de fer est maintenu, surtout pendant la période à laquelle la glaçure commence à fondre, à l'état de silicate de protoxyde, ce qui a toujours lieu dans une atmosphère réductive; jaune, au contraire, lorsque l'oxyde de fer peut se séparer à l'état de peroxyde de fer, ce qui se présente au sein d'une atmosphère oxydante; la coloration jaune se fait moins sentir, toutes choses égales d'ailleurs, dans les pâtes très-chargées de silice.

6° Les poteries cuites avec glaçure offrent des colorations plus ou moins intenses que la même poterie simple, suivant la nature de la glaçure et suivant la quantité de fer que le corps de pâte contient. Les cailloutages anglais dont le biscuit n'est pas entièrement blanc acquièrent une grande blancheur par le fait de l'application de la glaçure, dans la composition de laquelle on fait entrer du borax ou de l'acide borique; l'oxyde de fer qui colore l'épiderme de la pâte en contact avec la glaçure est dissous par le borax; si l'on considère en effet la cassure fraîche d'une pièce en faïence fine, on observe une coloration jaunâtre marquée, dissimulée sous la glaçure. On ne peut attribuer cet effet à l'espèce d'opacité que présente la glaçure, puisqu'elle laisse parfaitement apercevoir les impressions bleues, noires, vertes, roses, appliquées sur biscuit sous glaçure.

Oxyde de manganèse. — L'oxyde de manganèse ne se rencontre qu'accidentellement dans les pâtes céramiques; il accompagne d'ailleurs presque toujours l'oxyde de fer dans les terres qui contiennent cet oxyde.

Chaux. — Personne n'ignore que la chaux introduite dans les pâtes ajoute à leur fusibilité, lorsque cet élément n'arrive pas à des proportions par trop considérables. En effet, la chaux diminue la valeur des argiles comme produits réfractaires; sa présence dans les pâtes céramiques facilite leur déformation par affaissement ou ramollissement, aussitôt qu'on les cuit à des températures élevées.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les poteries composées avec des argiles plastiques, avec ou sans addition de sable, ne contiennent que fort peu de chaux; elles peuvent subir sans se déformer des températures souvent fort élevées; les grès cérames fins et grossiers sont dans ce cas, et ce n'est sans doute qu'à la présence des faibles parties d'oxyde de fer, de chaux et d'alcalis, qui souillent ordinairement toutes les argiles plastiques, qu'est due l'apparence vitreuse présentée par la cassure fraîche de ces sortes de poteries.

Les poteries à pâte tendre, même d'une fabrication soignée, renferment une proportion de chaux plus forte que la pâte des grès cérames. La chaux qu'on a mise à l'état de marne reste à l'état calcaire, lorsque la température n'a pas dépassé celle à laquelle le carbonate de chaux abandonne son acide carbonique. Si la température est plus élevée, la chaux existe dans la pâte à l'état de silicate de chaux; elle ne fait plus effervescence. C'est sous cette forme que le carbonate de chaux persiste dans les pâtes des porcelaines dures et des porcelaines tendres françaises. Dans ces deux poteries, il forme une partie notable des silicates fusibles qui communiquent à ces pâtes, avec les silicates alcalins, leur transparence caractéristique.

A côté de ce rôle chimique que joue la chaux dans les pâtes céramiques, il en existe un autre très-important et physique mis en lumière par l'étude des faïences communes. Les bonnes qualités de la faïence dépendent de la manière dont elles prennent et conservent l'émail qui les recouvre. L'expérience a démontré la nécessité de la présence de la chaux dans les pâtes que le fabricant veut enduire de glaçure opacifiée par l'oxyde d'étain. La chaux contenue dans de bonnes faïences communes peut s'élever jusqu'à 0,15.

Baryte. — Quelques poteries de grès, principalement les grès de fabrication anglaise, admettent dans leur composition du sulfate de baryte; l'acide silicique réagissant à la température de la cuisson a dû chasser l'acide sulfurique; on n'en retrouverait la présence que dans les poteries cuites à de basses températures. Lorsqu'on fait usage de ce sel, il faut cuire dans une atmosphère oxydante, pour éviter la formation du sulfure de baryum.

Magnésie — La magnésie peut remplacer, en tout ou partie, l'alumine des argiles; mais on n'a pas remarqué des qualités spéciales résultant de l'emploi de cet auxiliaire, qui n'existe généralement qu'à l'état de principes étrangers, au même titre que les traces de chaux et d'oxyde de fer contenus dans les argiles de la meilleure qualité.

Alcalis (potasse et soude). — A ce même titre, la potasse et la soude font toujours partie des pâtes céramiques. Cuites à la chaleur des fours à porcelaine, beaucoup de pâtes prennent une cassure brillante, une texture serrée que l'oxyde de fer seul ne donnerait pas toujours. A des températures peu élevées, l'influence de ces éléments est nulle; car ils ne peuvent agir que comme fondants, et provenant de poussières feldspathiques ou micacées, ils ne sauraient fondre tant qu'on n'atteint pas leur point de fusion, très-élevé d'ailleurs.

Si les alcalis qu'on introduit avec les argiles dans les pâtes des terres cuites, des briques et des faïences communes, sont en proportion minime et sans importance, la présence de ces mêmes éléments dans les pâtes de porcelaine produit, au contraire, un résultat tout spécial; les alcalis doivent communiquer à la pâte sa transparence caractéristique, aidée souvent par l'addition de la chaux. Les pâtes de porcelaine dure de Limoges, de Saxe, de Berlin et de Chine, ne contiennent en effet que la chaux introduite accidentellement par les matériaux mis en œuvre; les alcalis (potasse et soude) s'élèvent de 0,12 à 0,06. C'est aussi ce dernier chiffre que contenaient les anciennes pâtes de Sèvres, connues sous le nom de pâtes artificielles (*vieux Sèvres*).

Acide carbonique. — Nous avons dit que si la chaleur de la cuisson n'a pas été suffisamment élevée pour décomposer tout le carbonate de chaux, une partie de ce sel se retrouve à l'état de calcaire; une autre partie existe à l'état de silicate. Lorsqu'on traite par l'eau pure la pâte de ces poteries, on enlève encore de la chaux, qui se trouve hors de combinaison et qui ne saurait exister qu'à l'état de chaux caustique. Sous l'influence de l'air, cette chaux reprend son acide carbonique pour se transformer en carbonate de chaux avec augmentation de volume; cette circonstance doit ajouter aux autres causes de détérioration du produit sous l'influence de la gelée; il faut donc, par une cuisson convenable, engager la chaux décomposée dans une combinaison plus stable avec l'aide silicique. Ces inconvénients, joints à ceux qui résultent déjà de la porosité, doivent se présenter dans les briques marneuses dont la cuisson n'aurait pas été suffisamment développée.

Acide sulfurique. — Cet acide ne peut se rencontrer que dans les poteries cuites à basse température, et dans une atmosphère oxydante; il peut provenir du sulfate de chaux ou du sulfate de baryte. Nos expériences nous ont démontré qu'il n'en reste pas dans les pâtes de porcelaine dure, dont la composition comporte quelquefois d'assez fortes proportions de gypse.

Acide phosphorique. — Quant à l'acide phosphorique, on le rencontre en forte proportion dans les pâtes de porcelaine tendre anglaise; il provient du phosphate de chaux, qui fait la base de ces sortes de produits. On peut le rencontrer aussi dans les pâtes de boutons phosphatiques préparées avec le dosage de M. Baptesrosse. Il ajoute à la fusibilité et quelquefois à l'opacité du produit, qui prend une sorte d'opalescence.

Ces considérations sur les effets produits par l'introduction de ces divers éléments dans les pâtes de porcelaine et des poteries moins perfectionnées nous forcent à modifier l'opinion de M. Brongniart, qui séparait à titre général les éléments qui composent les poteries en principes essentiels et en principes accessoires. Il nous semble qu'en considérant seulement comme essentielles l'alumine et la silice, on se ferait une idée fausse de la fabrication des produits qui, comme les porcelaines dures ou tendres, par exemple, doivent à d'autres éléments, chaux, potasse, soude, leur transparence, c'est-à-dire leur caractère principal. On ne pourrait comprendre la fabrication des faïences communes, qui ne possèdent leurs propriétés fondamentales, application d'un émail opacifié par l'oxyde d'étain, qu'à la condition de présenter à la glaçure un excipient calcarifère.

Les pâtes cuites contiennent, en plus des éléments que nous venons d'énumérer, un principe à peu près essentiel qui joue dans la fabrication un rôle important, tant au point de vue de l'économie du façonnage qu'à celui de la réussite des pièces : je parle ici de l'eau.

L'eau que la chaleur chasse de sa combinaison avec le silicate d'alumine n'existe plus dans la pâte cuite, si toutefois la cuisson s'est faite au-dessus de 150 degrés. Quelques poteries en retiennent encore environ 10 p. 100, mais ces poteries sont à peine cuites, et rien ne prouve qu'elles n'aient été simplement soumises à la chaleur solaire.

L'eau développe la plasticité dans les argiles; il est essentiel par conséquent d'imbiber la pâte; mais comme, à la cuisson, cette eau ne se dégage pas sans effort, il est convenable de prendre, au moment de la dessicca-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion et de la cuisson, certaines précautions. Toutefois, nous devons dire que si la plasticité, qui rend économique la fabrication de la grande généralité des poteries, est indispensable dans certains cas, elle ne l'est que lorsqu'on fait usage de quelques méthodes déterminées ; dans d'autres conditions, elle n'est pas absolument nécessaire, comme, par exemple, lorsqu'on opère au moyen du coulage ou par moulage mécanique effectué sur des pâtes pulvérulentes. L'eau n'est pas au surplus le seul agent qui donne la plasticité voulue. On obtient une plasticité tout artificielle, en ajoutant aux pâtes qui n'en ont aucune des matières mucilagineuses telles que le lait, l'huile, la colle de peau, le savon vert. Dans certaines limites, l'eau combinée dans les pâtes crues n'est donc pas elle-même un élément indispensable.

PRÉPARATION DES PATES.

Sous quelle forme convient-il d'introduire, dans la fabrication que nous étudions, les éléments dont nous venons de reconnaître et d'apprécier le rôle? Quels sont les matériaux auxquels on les emprunte?

En général, les uns sont pris dans la nature, et c'est le plus grand nombre; les autres proviennent d'une préparation spéciale, ce sont des produits d'art. On peut classer ces différents matériaux soit sous le point de vue de leur nature, soit sous le point de vue du rôle qu'ils jouent dans la fabrication. Cette méthode serait la plus naturelle, s'il ne s'agissait point de produits pour lesquels il faut tenir compte des différentes températures de cuisson. Or, dans telles circonstances données, une même substance a des effets tout opposés. C'est ainsi que la chaux qui ne fond pas devient un élément très-actif pour faciliter la fusion, quand elle est unie à des proportions convenables d'argile et que le mélange subit à la fois une température suffisamment élevée.

Néanmoins, en regardant comme essentielle la plasticité de la pâte, on est autorisé dans le plus grand nombre des cas à distinguer parmi les matériaux employés dans l'art céramique ceux qui sont plastiques et ceux qui ne le sont pas; ces deux sortes de matériaux ont, en effet, leur utilité, leur rôle dans l'industrie.

Si, d'une part, la plasticité de la pâte permet un façonnage rapide, une ébauche facile, une trop grande plasticité, d'autre part, s'opposerait à la rapidité du tournage, et principalement à la dessiccation uniforme de la pièce fabriquée : il existe donc pour le fabricant un intérêt réel à diminuer la plasticité lorsqu'elle est trop développée dans les matériaux plastiques qui composent la pâte dont il fait usage. On donne le nom de matières dégraissantes aux substances qui remplissent ce double but, d'enlever une trop grande plasticité et de faciliter le départ de l'eau d'imbibition ou de combinaison soit à la dessiccation, soit au four. M. Malaguti se sert du mot *antiplastique* pour désigner la qualité de ces matières ; nous croyons l'expression heureuse ; car elle peint parfaitement le but qu'on veut atteindre.

Les matières plastiques sont :

1° Les *argiles plastiques*, employées plus spécialement dans la fabrication des faïences fines et des terres cuites on grès.

2° Les *argiles figulines* qui sont la base des terres cuites, desquelles on n'exige pas les qualités réfractaires.

3° Les *argiles marneuses*, auxquelles les faïences communes doivent leur propriété de recevoir une glaçure stannifère.

4° Les *marnes argileuses*, dont l'usage est le même que celui des précédentes, mais auxquelles on ajoute des argiles plastiques ou figulines.

5° Nous classerons encore dans ce groupe les collyrites, les cymolites, les talcs, qui n'ont été jusqu'à ce jour employés que dans des circonstances très-rares.

6° Les marnes calcaires et limoneuses sont encore employées ; mais leur plasticité très-faible les ferait classer aussi bien parmi les matériaux antiplastiques.

7° Les éléments les plus importants de cette classe, si l'on tient compte de la valeur vénale, sont les kaolins, espèces d'argiles dont nous avons donné les qualités et l'histoire détaillée dans notre article ARGILE de ce Complément. Ces matériaux sont la base des porcelaines dures.

Les matières dégraissantes sont beaucoup plus nombreuses et plus répandues sur la surface du globe ou plus faciles à produire dans les ateliers industriels. On distingue :

1° Le quartz (sable ou silex);
2° Les feldspaths, l'orthose, l'albite et la pegmatite;
3° Le ciment et les escarbilles ;
4° La craie, le sulfate de chaux, le sulfate de baryte;
5° Le phosphate de chaux ;
6° Les frittes vitreuses ;

Les matériaux que nous venons de nommer n'entrent dans la fabrication qu'après avoir été lavés et broyés. Nous ne voulons ni ne devons répéter ici les divers moyens usités pour obtenir ces résultats. On procède généralement par écrasage, délayage et décantage. Le broyage comporte le cassage, le pilage et la porphyrisation.

Ces opérations sont rendues plus économiques et plus rapides quand on les fait précéder de la *calcination*, qui, sans apporter de modifications dans la composition chimique des matériaux à broyer, fait naître un grand nombre de fissures qui les rendent fragmentables. La calcination offre encore cet autre avantage de rendre plus facile un épluchage soigné ; elle détermine des différences de coloration qui rendent possible l'élimination des parties ferrugineuses, point important lorsqu'on se propose de fabriquer des poteries comme les porcelaines, pour lesquelles la plus grande blancheur est de rigueur.

La description des divers appareils au moyen desquels on obtient le concassage et la porphyrisation proprement dite ferait double emploi, sans avantage aucun, avec l'article précédemment cité. Nous devons donc nous borner à renvoyer le lecteur au *Dictionnaire*, t. II, en rappelant qu'il faut, avant de mettre les matières en fabrication, vérifier si le broyage est suffisant. A cet effet, on compare les matières à des poussières prises pour *étalon* : on choisit donc un bocal cylindrique pouvant contenir 500 grammes environ, divisé dans sa hauteur en parties égales. Si l'on délaye 250 grammes de matière broyée dans 500 grammes d'eau, et qu'on observe le temps que cette matière mettra pour se déposer et prendre un niveau déterminé, on aura tous les éléments nécessaires pour faire la comparaison, en admettant toutefois que toute matière de même nature, amenée par le broyage au même état de ténuité, doive se comporter de la même manière. Si le temps mis par la poudre pour atteindre le niveau marqué sur le vase est moins court que dans l'expérience *normale*, il faudrait nécessairement ajouter au broyage. Ces méthodes, auxquelles il faut joindre le craquement sous la dent ou même entre les ongles des deux pouces, suffisent, quoique purement empiriques, dans la pratique des arts céramiques.

Certains liquides augmentent la viscosité de l'eau, comme d'autres, au contraire, hâtent la précipitation des matières que ce liquide peut tenir en suspension. Le vinaigre, une solution faible de gomme arabique, ont une influence très-marquée sur la lenteur avec laquelle s'effectue le dépôt. La température à laquelle l'expérience se fait agit sur les résultats. Il est donc indispensable, comme le fait remarquer M. Brongniart, d'opérer toujours dans les mêmes circonstances.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsque les matériaux ont été broyés et lavés par décantation, on procède au dosage des matières, tantôt par des pesées directes, tantôt en employant des volumes déterminés. Le mélange intime s'obtient à l'état liquide dans des gâchoirs, ou dans des tines à malaxer, à l'état de bouillies plus ou moins pâteuses. On a pratiqué sur une très-grande échelle ce dernier système, pour les pâtes de faïence fine dans la fabrication anglaise. On a remplacé de la sorte le travail à la main, le battage, ou la marche de la pâte, par des moyens mécaniques d'une grande puissance et de beaucoup plus économiques.

Quelques fabrications grossières peuvent employer la pâte telle qu'elle sort des tines à malaxer; il n'en est plus de même pour les pâtes fines dont les éléments sont fournis par des matériaux qu'on a mélangés à l'état de bouillies claires, amenées à des densités déterminées et contrôlées par des trébuchets chargés d'un poids faisant équilibre à un volume déterminé de la bouillie. Ces pâtes se déposeraient par ordre de densité, si l'on n'avait le soin de les ramener à l'état pâteux : c'est à cette opération qu'on donne le nom de ressuage ou de raffermissement des pâtes.

En cherchant à dénommer les différentes méthodes employées dans ce but, d'après les principes qui leur servent de base, on voit qu'on enlève à la pâte l'eau qu'elle contient en excès : 1° par évaporation spontanée; 2° par évaporation aidée du concours de la chaleur, à l'ébullition ou à des températures inférieures; 3° par évaporation aidée du concours des matières absorbantes et poreuses; 4° par filtration avec ou sans pression; 5° par filtration au moyen de la compression.

On sait, d'après les expériences qu'ont faites différentes manufactures, qu'à composition identique, la pâte pressée acquiert plus de plasticité que les pâtes raffermies par ébullition; mais cette méthode est dispendieuse à cause des sacs dont le renouvellement est fréquent. On a proposé pour les conserver de les faire bouillir dans un bain d'huile qui protége la fibre ligneuse contre l'action énervante et dissolvante de l'eau, agissant même à la température ordinaire.

La pâte, amenée par les différents moyens que nous venons d'indiquer au degré de consistance désirée pour être travaillée, doit encore être pétrie, battue, maniée, pour acquérir l'homogénéité voulue, seule capable de donner une masse se travaillant avec succès, c'est-à-dire sans chances de rebuts, gauchissements fentes, trous, etc. Cette homogénéité des masses qu'on cherche à produire par tous les engins propres à battre, à malaxer, à rebattre encore les pâtes raffermies, est surtout atteinte pour les pâtes de porcelaine dans l'opération de l'ébauchage sur le tour qui consiste à façonner des cylindres grossiers qu'on appelle *mandrins*, pleins ou creux, qu'on réduit ensuite en copeaux auxquels on donne le nom de *tournassures;* le mélange de ces tournassures avec des pâtes neuves constitue des pâtes qui présentent toutes les meilleures qualités comme facilité de travail, régularité de cuisson, etc.

On ajoute encore aux qualités de ces pâtes par un moyen détourné. Les fabricants admettent généralement que les pâtes anciennes se travaillent mieux que les pâtes nouvelles, qu'elles se gauchissent et se fendent beaucoup moins, soit en séchant, soit en cuisant.

On s'accorde à reconnaître que les argiles et les marnes lavées gagnent pour faire les faïences communes à l'exposition aux intempéries des saisons, la gelée, le froid. Les Chinois conservent, dit-on, leurs pâtes pendant plus de cent ans avant de les employer. On accepte en France, en Angleterre, en Allemagne l'influence de la conservation des pâtes pendant plusieurs années sur l'économie de la fabrication; mais il serait, il faut l'avouer, difficile de citer à l'appui de cette opinion des expériences précises faites avec assez de soin et répétées un assez grand nombre de fois pour la faire considérer comme entièrement exacte.

Tous les résultats obtenus dans le but de constater l'influence que l'âge d'une pâte exerce sur ses qualités sont modifiés par des circonstances qui ont une action efficace, et dont on ne s'est pas préservé. C'est ainsi qu'on laissait la pâte se pourrir en même temps que vieillir; c'est ainsi qu'on la mélangeait, avant de l'employer, avec des tournassures qui représentent en définitive de la pâte maniée, pétrie et remaniée, c'est-à-dire de la pâte dans les conditions les plus avantageuses d'une grande facilité de travail, offrant les chances d'un succès presque certain.

On a remarqué que les pâtes, quelle que soit leur nature, abreuvées d'humidité, réunies en masses assez volumineuses pour que l'action de l'air ne s'étende pas jusque vers leur centre, prennent une couleur d'abord grisâtre, puis ensuite entièrement noirâtre; elles répandent une odeur prononcée d'hydrogène sulfuré; elles conservent ces deux propriétés tant qu'elles contiennent de l'eau, tant qu'elles sont abritées du contact de l'air par une écorce assez épaisse. Cette coloration de la pâte est d'autant plus prompte et d'autant plus prononcée que les eaux dont elle est abreuvée se trouvent être moins pures. Mais la coloration noire disparaît à l'air, il se dégage de l'acide carbonique, et la liqueur que l'on obtient renferme de l'oxyde de fer à l'état soluble.

Or la retraite des pâtes pourries étant moins grande que celle des pâtes neuves, les défauts que présentent ces dernières diminuent dans les pâtes qui ont subi la putréfaction : on a cherché les moyens d'accélérer la pourriture dans les pâtes nouvellement composées. Les eaux marécageuses, les eaux de fumier la développent en raison de l'espèce de fermentation qui s'y établit; les garnisseurs font pourrir la barbotine qui leur sert à faire les collages. M. Brongniart expliquait l'influence de la pourriture sur les pâtes neuves par le mouvement moléculaire auquel donnait lieu la fermentation putride, pendant laquelle il devait se produire des particules gazeuses.

Les causes qui déterminent l'amélioration résultant pour les pâtes céramiques de la pourriture et de l'ancienneté sont encore tellement obscures, qu'on n'a présenté jusqu'à ce jour, pour en expliquer l'influence, que des hypothèses; une pareille étude est difficile, et pour être traitée convenablement et par l'expérience, elle exige un temps qui manque généralement aux manufacturiers; l'interprétation que je propose, si l'analyse venait me donner raison, me semble de nature à jeter un grand jour sur cette question; elle est purement hypothétique quant à présent; mais elle est si simple, elle rend si bien compte de tous les faits observés, qu'elle me paraît excessivement probable.

L'eau pure n'est nullement apte à communiquer aux pâtes céramiques les bonnes qualités qu'elles tiennent de la pourriture; mais l'eau chargée de matières en putréfaction peut, au contraire, dans certaines conditions toutefois mal définies, les développer d'une manière notable. On s'accorde à reconnaître que dans l'acte de la pourriture utile, il se développe une quantité très-sensible d'hydrogène sulfuré. Ce gaz prend naissance très-vraisemblablement par suite de la transformation du sulfate de chaux en sulfure de calcium sous l'influence de certaines matières organiques, et se dégage quand ce sulfure se trouve en contact avec l'acide carbonique de l'air. La coloration de la pâte en noir, son blanchiment à l'air libre, s'expliquent par la formation du sulfure de fer noir brûlant à l'air libre, et s'échappant, avec les eaux de lavage, à l'état de sulfate de fer à réaction acide, qui dégage une certaine partie de l'acide carbonique abandonné par le calcaire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

introduit à dessein dans les pâtes de porcelaine de Sèvres.

Or, on sait que dans certaines localités cette réaction du sulfate de chaux sur les matières organiques, qui donne naissance à des dégagements considérables d'hydrogène sulfuré, se trouve accompagnée de la formation d'une substance particulière glaireuse. Ne peut-on pas supposer que cette matière devient la cause de la plus grande plasticité que prend la pâte dans les circonstances de la pourriture? On n'ignore pas d'ailleurs qu'on donne à la pâte une certaine plasticité par des mélanges appropriés.

Quant à l'ancienneté, nous avons avancé, M. Ebelmen et moi, dans notre travail sur les matières employées, en Chine, à la fabrication de la porcelaine dure, qu'un long séjour des pâtes sous l'eau pouvait bien déterminer la décomposition d'une partie de l'élément feldspathique qu'elles renferment. Nous avons trouvé, en effet, par des analyses précises que les pâtes de la Chine paraissent être composées de 1 partie de kaolin pour 1 de pétro-silex, tandis que les documents synthétiques les plus dignes de foi s'accordent à donner 2 de pétro-silex pour 1 de kaolin. L'altération de felspath suivie de la dissolution d'une certaine quantité de potasse fournit une nouvelle proportion de l'élément plastique; cette décomposition peut être, du reste, facilement admise; car pendant la végétation, les roches granitiques fournissent aux plantes, assez rapidement encore, les alcalis nécessaires à leur développement. La transformation kaolinique doit être, en outre, sollicitée par le jeu des décompositions particulières dans lesquelles la pourriture prend son origine, et nous avons déjà dit que l'action prolongée de l'eau sur les silicates alcalins devait avoir pour résultat forcé la formation d'un silicate d'alumine privé de silicates alcalins (voyez ARGILE).

Une dernière observation que nous ferons sur ce sujet porte sur les améliorations que la pâte doit subir sous le rapport de sa pureté, lorsqu'on s'occupe de la porcelaine. L'oxyde de fer est le plus grand obstacle à la blancheur; il est évident que la pourriture des pâtes tend à l'éliminer à l'état de sulfate soluble; l'expérience prouve, en effet, que des pâtes primitivement colorées en jaune, parce qu'elles avaient admis dans leur composition des kaolins ferrugineux, ont fini par donner des pâtes presque irréprochables sous le rapport de la blancheur, lorsqu'on les avait laissées suffisamment pourrir.

Façonnage des pâtes. — Les pâtes pétries, malaxées, et pourries, lorsqu'on juge que cette dernière opération devient utile, nécessaire même à l'économie de la fabrication, sont amenées dans des ateliers spéciaux dans lesquels on leur donne la forme que le consommateur réclame.

On peut diviser en deux classes les procédés de façonnage. Les uns ont pour but d'ébaucher les pièces, les autres ont pour objet de les terminer. Il est certaines fabrications grossières qui ne comporteraient pas les dépenses qu'on ajouterait à l'ébauche; il est aussi des moyens d'ébauche assez parfaits pour donner presque immédiatement et de premier jet, en quelque sorte, des pièces terminées.

Parmi les procédés d'ébauchage qu'on trouvera décrits à l'article POTERIES du Dictionnaire, on distingue :

1° L'ébauchage à la main, au colombin ou à la balle;

2° L'ébauchage au ballon et sur le tour;

3° Le moulage comprenant le calibrage, le coulage et le tréfilage, ou moulage à la presse.

On nomme achevage l'ensemble des procédés variés qui ont pour but de terminer les pièces Il comprend diverses opérations distinctes, savoir :

1° Le tournassage, comprenant le guillochage et le gaudronnage;

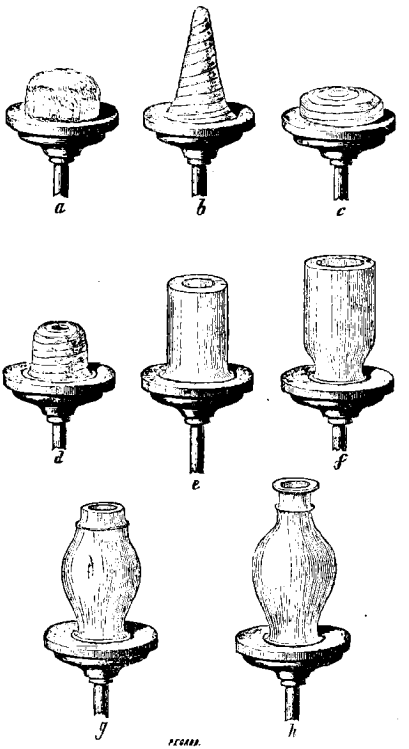
2° Le réparage, comprenant l'évidage et le sculptage;

3° Le molletage et l'estampage;

4° L'applicage et le collage.

Chacune de ces dénominations rappelle l'opération qu'elle représente. Nous n'aurons donc pas à revenir sur ces diverses opérations avec plus de détails que nous n'en avons donné dans le premier paragraphe. Cependant certaines méthodes ont conduit dans ces derniers temps à des résultats tellement parfaits, lorsqu'on les employait dans certains cas spéciaux, qu'il nous est impossible de les passer ici sous silence. Nous profiterons de cette occasion pour expliquer quelques pratiques générales dont ne s'écartent jamais les ouvriers, même dans les opérations les plus connues de l'ébauchage sur le tour.

On avait cru pendant longtemps qu'il n'était pas possible de faire usage de tours mus à la vapeur. On sait aujourd'hui que la combinaison du tournage et du moulage conduit, même dans les fabriques de porcelaine dure, à des résultats pratiques de la plus haute importance, et qu'il est très-avantageux de faire mou-



3690.

voir simultanément tous les tours d'un même atelier; il faut toutefois ménager à chaque tourneur la possibilité de ralentir ou d'accélérer, d'arrêter même le mouvement de son tour sans gêner en rien le mouvement

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de son voisin. On y arrive au moyen de freins qui sont placés à proximité de chaque tour, et qui permettent de régler le mouvement des arbres indépendamment les uns des autres. J'ai vu, dans l'une de nos plus importantes fabriques, des tours ainsi montés sur lesquels, au moyen de surface de frictions mobiles et de pédales, on pouvait ébaucher par moulage et tournage. Ce résultat résout de la manière la plus heureuse le difficile problème de l'ébauchage mécanique sur le tour.

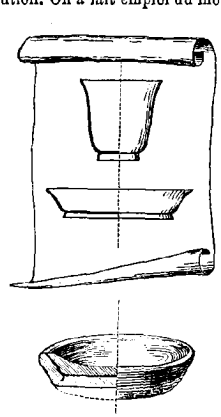
L'opération de l'ébauche sur le tour prend alors une grande régularité; personne n'ignore que la fabrication sur le tour est l'une des plus délicates de l'industrie de la porcelaine; la porcelaine dure elle-même peut être faite mécaniquement; on évite alors un grand nombre de défauts, entre autres celui du vissage; on économise ensuite un temps considérable, puisque le moulage supprime les lenteurs du tournassage. On n'a plus à se préoccuper de l'épaisseur considérable à laquelle on devait ébaucher, puisque la pâte n'a reçu, dans toutes ses parties, qu'une pression identique, ce qui ne se présente pas dans l'opération du tournage ordinaire. Comment donc s'effectue l'ébauchage sur le tour sans le secours du moulage? Quelles précautions cette opération exige-t-elle? Répondre à ces questions c'est exposer la théorie des opérations du tournage. Nous allons entrer dans quelques détails.

Nous avons dit que toute pâte céramique doit, pour pouvoir entrer dans une fabrication régulière, présenter une homogénéité des parties et des masses. C'est en raison de cette circonstance que les tourneurs élèvent puis abaissent, relèvent, pour abaisser encore, la masse informe qui doit devenir une tasse, une coupe, un vase. On peut voir dans la figure 3690 d'autre part la série des formes par lesquelles doit passer, par exemple, un ballon de pâte pour devenir une bouteille à conserver l'encre.

Je pense que pour conduire à des produits fabriqués dans des conditions normales, chaque ballon de pâte doit joindre aux sortes d'homogénéité que nous avons rappelées l'homogénéité de tendance. Il est évident que la pièce ébauchée peut être considérée comme formée par une lame de pâte hélicoïdale qui s'appliquerait sur une surface de révolution occupant le milieu de l'épaisseur de la pièce. C'est en sens inverse du mouvement qui a développé cette bande de pâte, c'est-à-dire en sens inverse du mouvement rotatoire du tour, que la retraite a lieu pendant la cuisson. Or, il faut, pour qu'il n'y ait ni déchirures ni fentes, que toutes les particules qui composent la pièce, celles du haut, celles du bas, celles de l'intérieur de la pâte, aient, lors de la retraite, la même direction avec la même vitesse. Elles ne suivront cette direction que lorsqu'elles auront toutes et tour à tour reçu l'impression de la main du tourneur, élevant et aplatissant la masse lenticulaire sous laquelle se présente tout d'abord le ballon qui doit fournir l'ébauche. Cet usage, qui ne souffre pas d'exception, n'aurait ainsi d'autre but que d'entraîner toutes les molécules d'une pièce dans une direction unique.

La pâte de porcelaine plus que toute autre pâte, en raison de sa fusibilité propre, est ébauchée sous une épaisseur considérable; cette pratique a moins pour effet de s'opposer à la fente ou à la déformation, que d'éloigner le plus possible de la pièce réelle les surfaces interne et externe de l'ébauche terminée. Ces surfaces ont reçu toutes les pressions successives qui ont amené la transformation de la masse lenticulaire, et dont l'influence n'est plus sensible à une certaine distance. On a donc d'autant plus de chances d'éviter les vissages, qu'on ira chercher plus au loin dans le bloc de l'ébauche la pièce qu'on veut fabriquer. La fig. 3691, qui représente une coupe de l'ébauche d'une soucoupe conforme au dessin donné, fait bien voir la place occupée dans l'ébauche par la pièce elle-même.

Le tournage ne peut donner que les pièces de révolution. On a fait emploi du moulage, qu'on peut diviser en moulage à la presse, s'exerçant sur pâte sèche ou simplement mélangée d'une substance très-agglutinative, et moulage en pâte molle, à la balle, à la croûte, à la housse, s'exerçant sur la terre réduite à la consistance pâteuse, molle et plastique.



3691.

On a fait, dans ces derniers temps, l'application la plus heureuse du mode de façonnage par l'emploi de la presse à la fabrication des briques creuses et des tuyaux de drainage. C'est encore à l'aide de la presse qu'on fabrique les énormes tuyaux pour conduite d'eau ou pour cheminées que le commerce rencontre aujourd'hui. Nous indiquons dans la figure qui suit une disposition en usage en Angleterre pour faire les gros tuyaux de drainage.

Un fort cylindre en fonte, fixe d'une manière invariable dans une position bien verticale, après avoir été rempli de pâte dans l'état voulu pour un travail rapide, se vide par l'effet du piston qui monte et descend alternativement au moyen d'une crémaillère (fig. 3692).

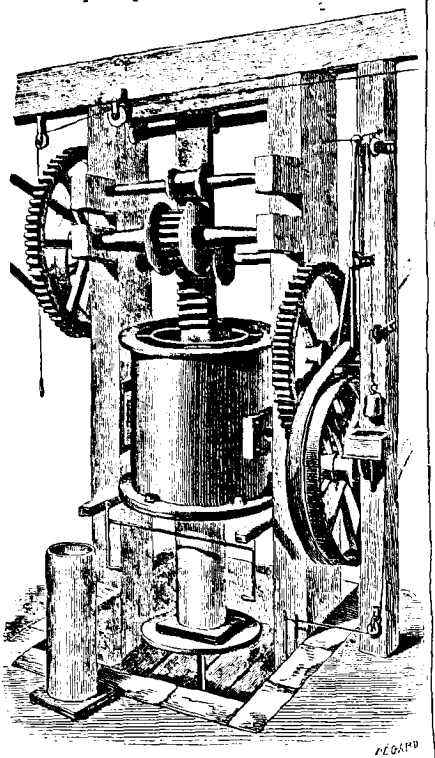
La pâte comprimée dans le cylindre ne peut s'échapper que par une ouverture annulaire qui se trouve dans le fond du cylindre. A l'intérieur, on voit par la coupe (fig. 3693), une sorte de noyau suspendu, solidement fixé sur des traverses métalliques, dont le but est d'arrêter la descente du piston; elles sont élevées à l'intérieur pour que la fissure qu'elles forment ait le temps de se ressouder sur elle-même; le noyau forme avec la couronne qui sert de base au cylindre un espace annulaire qui détermine la section du tuyau de drainage. Il est reçu à sa sortie du cylindre sur une tournette qui descend avec lui, puis coupé de longueur voulue.

J'ai vu dans plusieurs établissements en France une disposition semblable employée pour la confection des tuyaux de cheminées dans le système Gourlier, avec cette seule modification qu'il y a deux cylindres au lieu d'un seul. Ils sont fixés sur un chariot qui glisse sur des rails, et se place de telle sorte que lorsque l'un des cylindres est en travail, l'autre est en charge à droite ou à gauche en dehors de l'action du piston; il n'y a pas de temps perdu, comme dans la première disposition que nous avons décrite.

Le moulage se pratique encore sur les pâtes liquides; on a donné le nom de *coulage* à ce procédé spécial. Nous entrerons ici dans quelques détails au sujet de ce dernier mode de façonnage, surtout à cause de l'extension considérable qu'il a reçue dans la manufacture de Sèvres depuis ces dix dernières années : on s'en est servi dans plusieurs circonstances pour obtenir soit des pièces si minces, qu'il eût été difficile de les obtenir par les procédés du tournage ordinaire, soit des pièces d'une dimension et d'une épaisseur telles, qu'il eût été de toute impossibilité de les mouler ou de les ébaucher au tour. C'est ainsi que des tasses minces comme des coquilles d'œuf et de grandes jattes chinoises ont été faites avec une rare perfection par le procédé du coulage.

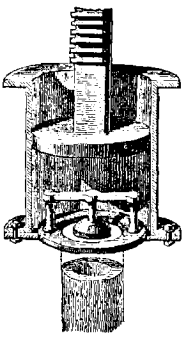
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Un moule en plâtre *a*, fig. 3695, donne intérieurement la forme que la pièce doit avoir; une ligne tracée sur



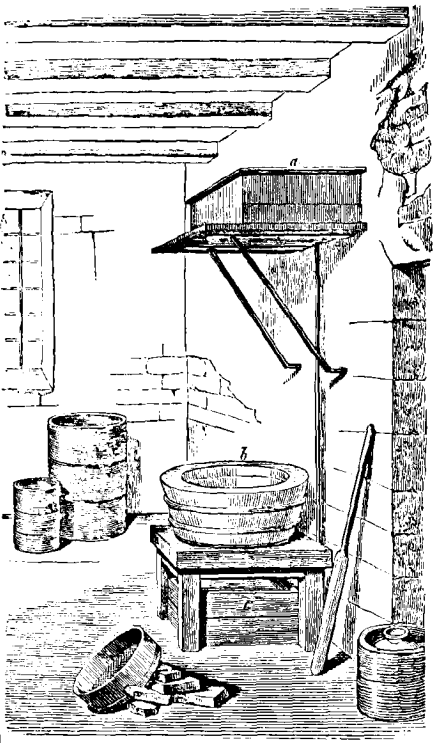
3692

la partie supérieure donne la hauteur. On l'emplit de barbotine, on verse, après quelques minutes, l'excédant de pâte, puis on la laisse adhérente au moule se ressuyer un peu; on met sur le tour le moule, on le centre, et, avec une lame, on détache sans effort le bord supérieur de la pièce moulée; la dépouille se fait tout naturellement, et pour éviter la déformation, on place sur un renversoir *b* la tasse tirée du moule; la dessiccation s'opère spontanément. Le pied de la tasse se rapporte quand la pièce est faite; on le prend dans un mandrin de pâte ébauché sur le tour, on le colle comme à l'ordinaire, et l'on finit l'ouverture de la tasse en coupant à la hauteur voulue l'excédant indiqué par le trait que donne directement le moule.



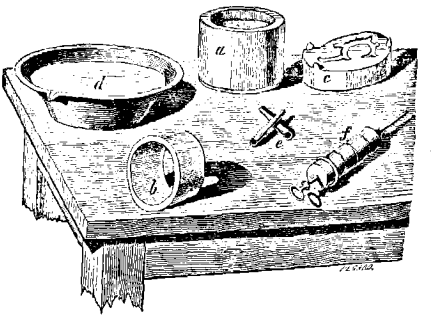
3693.

Les anses sont creuses; on les fait par coulage dans des moules en plâtre *c*; mais comme la barbotine qu'on



3694.

verserait dans ces moules ne tarderait pas à boucher l'entrée du creux en s'y fixant, on injecte le liquide à l'aide d'une petite pompe aspirante et foulante *f*. On ajuste à cet effet, sur l'ouverture d'entrée et sur le trou de sortie, deux tubes minces en cuivre *e*, et par l'un de



3695.

ces tubes on chasse avec la pompe assez de barbotine prise dans le vase *d*, pour qu'elle s'élève au niveau su-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

périeur du second tube. Si l'anse doit avoir une certaine épaisseur, on répète l'injection, mais en prenant pour orifice d'entrée celle qui servait d'orifice de sortie dans l'expérience précédente; on opère de la même manière. Si la largeur du canal évidé de l'anse est considérable, on doit avoir le soin de retourner le moule de façon que la face supérieure devienne l'inférieure, afin que toutes les parties aient, autant que possible, la même épaisseur. On évite ainsi, le liquide séjournant les deux fois dans les mêmes parties inférieures, que le fond prenne plus d'épaisseur que les points donnés par la coquille supérieure.

Les soucoupes de tasses minces sont aussi préparées par le coulage; il faut éviter que le flot de barbotine, en arrivant dans le moule, n'éclabousse, et n'occasionne un frémissement qui se traduit sur la pièce cuite par des ondulations. Dans ce but, on dispose sur le moule un faux bord incliné, métallique, sur lequel le jet de barbotine s'aplatissant déverse sans secousse le flot dans l'intérieur du plâtre.

On a pu voir aux Expositions de Londres et de Paris de grandes jattes de forme chinoise de $0^m,83$ de diamètre. On peut se faire une idée de la manière dont on procède par l'inspection de la fig. 3694.

a représente la bâche qui fournit la barbotine, et *b* le moule percé d'un trou par la partie inférieure : un tuyau qui s'ajuste dans ce trou introduit par le bas la pâte liquide, qui monte graduellement sans bulles ni secousses. Une cuve *c*, placée sous la table qui supporte le moule, reçoit l'excédant de barbotine qu'on soutire au moyen d'un robinet.

S'il n'est pas déjà sans difficulté de couler une pièce de cette dimension, les difficultés s'accroissent encore par la nécessité de boucher le trou qui transperce le fond de la pièce. On s'y prend de la manière suivante: Après avoir nettoyé le moule, c'est-à-dire après avoir enlevé avec une lame compacte la partie de pâte qui s'est épanchée sur la surface horizontale qui le termine, et coupé les bavures de l'ouverture pratiquée dans le fond et qu'il s'agit de boucher, on laisse tomber dans le fond du moule, par cette ouverture, un bouchon de plâtre parfaitement sec et bien ajusté, pour qu'il complète la calotte sphérique que présente la partie inférieure du moule. On verse alors de la barbotine très-épaisse qu'on mélange légèrement avec les parties un peu raffermies qui limitent l'ouverture à boucher et qui vient s'y souder d'une manière intime. On donne au fond formé de la sorte une assez grande consistance, et on le finit par un tournassage qui le ramène à une épaisseur convenable. Le pied de la jatte est coulé d'autre part, et sert de support à la pièce pendant la cuisson au grand feu : il reste indépendant; on le réunit par des liens métalliques après toute cuisson. On a remarqué que toutes les fois qu'on voulait coller le pied soit en pâte, soit au moyen de la glaçure, les différences de retraite, occasionnées par la distance des deux centres de contraction de la jatte et du pied nécessairement coulés séparément, entraînaient ou le décollage, si le collage était mal fait, ou la casse lorsque le collage était bien fait.

On a modifié le procédé de coulage d'une manière heureuse pour en obtenir sûrement les plateaux qui complètent les cabarets minces. Au lieu de remplir le moule de pâte liquide, on fait glisser légèrement ce moule dans un bain de barbotine. Le moule se recouvre extérieurement et intérieurement de pâte raffermie d'une épaisseur en rapport avec le temps de l'immersion, l'épaisseur du moule et la viscosité du bain. On nettoie le moule au dehors; on enlève avec un couteau la pâte adhérente sur la face horizontale, en même temps qu'avec une pointe on détache légèrement, pour faciliter la dépouille, le faux bord du plateau. On examine attentivement s'il ne se fait pas quelques fissures pendant la dessiccation et la retraite qui l'accompagne, et on arrête par un trait de pointe et en travers toutes celles qui se déclarent tant qu'elles restent sur le champ du faux bord. Ce plateau n'a pas de pied

On combine souvent les deux méthodes du moulage et du tournage pour obtenir dans une même opération des ébauches plus fines et de meilleure réussite.

Dans le *moulage à la housse*, on fait une ébauche sur le tour sans secours d'appui ou de moule; on la termine par le moulage. Tantôt, suivant le cas, on place la *housse* sur le moule, qui a la forme d'un noyau et qui peut donner directement des dessins à l'intérieur. Le moule est placé sur un tour. Le tourneur comprime avec une éponge la housse contre le moule; tantôt on la met à l'intérieur du moule, dont la forme est creuse, et qui peut donner alors directement les reliefs dont la surface extérieure est ornée.

La housse peut être simplement une balle, lorsque le moule est creux; c'est ainsi que pour mouler mécaniquement un grand nombre de pièces dites de petit creux, on se borne à placer dans le moule, animé d'un mouvement circulaire qu'il tient du tour, une balle de pâte qu'on fait monter en la perçant avec les doigts le long des parois du moule. On modifie cette méthode en faisant descendre dans le creux une sorte de noyau qui remplace les doigts. Cette méthode est appelée sans contredit à modifier notablement le prix de revient des pièces de porcelaine.

On donne le nom de *calibrage* au procédé mixte résultant de la combinaison du moulage et du tournage dans lequel le moule donnant la forme intérieure ou extérieure de la pièce, la surface extérieure ou intérieure est donnée par le tournage avec l'aide d'un profil fixé d'une manière invariable. On obtient, au moyen du calibrage, des pièces d'une régularité, d'une minceur, et partant, d'une légèreté remarquables; on ne fait pas autrement à Sèvres les assiettes de toute dimension, unies ou à reliefs.

Pour ces derniers objets, il convient d'apporter le plus grand soin à la confection des moules. À ce titre, nous relaterons ici le procédé proposé par M. Hubert Moreau de Melun, pour obtenir des mères d'une exécution irréprochable, seules capables de reproduire les moules dont on a besoin pour la fabrication des assiettes. Le travail de l'auteur a reçu de la Société d'encouragement l'accueil le plus favorable, et le rapport que j'ai fait peut trouver ici, en substance au moins, une place convenable. Les considérations suivantes nous paraissent de nature à faire comprendre les avantages de ce système, tant au point de vue de l'économie, qu'à celui de la régularité, de la perfection et de la rapidité du travail.

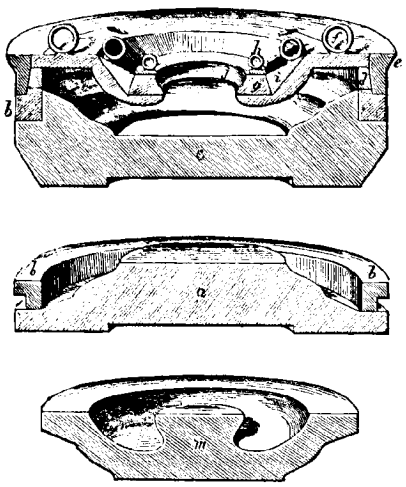
La fabrication de l'assiette nécessite l'établissement du modèle; qu'on enduit d'une couche d'huile siccative; il donne l'intérieur de l'assiette; sur ce modèle on coule un plâtre qui prend le nom de *mère;* on le durcit aussi par l'huile siccative; c'est sur cette mère qu'on coule ensuite les moules en plâtre sur lesquels on moule les ébauches. Ces procédés sont ceux qu'on pratique généralement et depuis longtemps dans toutes les manufactures de porcelaine. Ils entraînent certains inconvénients qui ne peuvent être évités par la plus scrupuleuse attention, car ils sont inhérents au plâtre. On sait, en effet, que pendant qu'il fait prise, le plâtre augmente de volume; or, l'expérience a démontré que, après vingt tirages dérivés l'un de l'autre, la dernière épreuve d'un modèle de 25 centimètres en présente 27.

Indépendamment de cet inconvénient qui conduit à l'altération du volume des objets, et quelquefois aussi de leur forme, on est exposé, par le gauche que peuvent prendre les moules, à fabriquer des assiettes plus défectueuses encore que le moule lui-même. Enfin la nécessité de faire par le tournassage la poignée des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moules fait perdre, sous forme de copeaux inutiles, une quantité considérable de plâtre.

Dans la disposition du moule proposé par M. Hubert Moreau et représenté par la fig. 3696, le gonflement gra-



3696.

duel du plâtre, qui dénature les dimensions de l'objet moulé, n'est possible en aucune façon; le diamètre des assiettes, par exemple, ne peut plus augmenter; la durée des mères est prolongée dans une proportion notable. On évite le gauche des moules, et comme le moulage de ceux-ci s'obtient immédiatement et d'une seule opération, on n'a plus à faire disparaître par le tournassage ni l'extérieur du moule pour le dresser, ni l'intérieur pour former la poignée.

Supposons qu'on ait une mère en plâtre durci par de l'huile grasse *c*, et donnant la forme intérieure de l'assiette: on la surmonte d'une couronne en zinc d'une seule pièce *b*, dont l'usage est de faire obstacle au gonflement du plâtre à l'instant de la coulée; ce cercle est adhérent; on le surmonte d'une nouvelle couronne en trois pièces *d*, qui servent à régler la hauteur et le diamètre du moule. Ces trois parties sont réunies dans une chape *e*, qui s'emboîte dans le cercle adhérent à la mère; les autres parties du moule, la base, la poignée, l'évidement que forme celle-ci sont données par des pièces en zinc et leur chape *f,g,h,i*, qu'il est facile de séparer pour opérer le démoulage. Le maniement de ces diverses pièces est facilité par des anneaux métalliques. Une ouverture centrale *j* permet l'introduction du plâtre liquide.

Pour opérer le moulage, on enlève les parties supérieures qui mettent à jour le fond du moule; on les a graissées, et avec un pinceau on imbibe le tout d'une couche de plâtre liquide pour former l'épiderme du moule; on rapporte ensuite l'espèce de couvercle sur lequel doit se mouler la face supérieure, et on verse le plâtre liquide pour remplir le moule; l'air se dégage par quatre trous, et l'expulsion du gaz se fait entièrement lorsqu'on a soin d'agiter le moule aussitôt qu'on l'a rempli.

Lorsqu'on a dégagé les parties du moule extérieur, on enlève la partie moulée; pour la terminer, on détruit, sur le tour, les coutures qu'ont laissées les joints correspondants aux diverses parties du moule métallique. Ce travail s'exécute facilement au moyen du tournassin. La pièce isolée se voit en *m*, débarrassée de son moule. Ce que nous avons dit suppose la confection de la mère. Pour l'obtenir, après avoir graissé le modèle *a* comme à l'ordinaire, on le garnit d'un cercle *b* qu'on dresse au moyen du tour; on entoure le diamètre extérieur d'une bande de plomb, puis on verse du plâtre. Quand il est assez dur, on le tournasse.

Ce procédé doit s'appliquer aux pièces plates avec plus d'avantage qu'aux pièces creuses; néanmoins, dans tous les cas, il doit donner une économie notable aux manufacturiers qui font un grand usage de moules de plâtre et qui sont éloignés de gisements de gypse.

J'ai vu pratiquer ce moyen dans l'usine de Mehun, chez M. Pilliwuyt. A Bordeaux, si le même moyen n'est pas employé, celui dont on se sert en donnerait bien une idée, même à première vue.

Que les pièces soient moulées ou tournées, qu'elles soient ébauchées par l'une ou l'autre des méthodes mixtes que nous venons d'étudier, il faut les finir. Le tournassage ne s'applique guère qu'à certaines fabrications soignées; en un mot, il consiste dans un tournassage qui rappelle, quant au principe, le travail du tourneur en bois, en métaux, etc. On enlève l'excédant de pâte présenté par l'ébauche, qu'il ne faut dès lors considérer que comme un bloc dans lequel on va chercher la pièce qu'on veut obtenir. Le tour a tantôt l'axe vertical, comme dans la fabrication de la porcelaine, tantôt l'axe horizontal, comme dans les fabriques de faïences fines. Contrairement à ce qu'on avait supposé pendant trop longtemps, le tour en l'air peut également convenir pour le tournassage des porcelaines dures, et j'ai vu dans beaucoup d'usines du centre le tour français remplacé par le tour anglais pour le rachevage des pièces de petits creux en pâte de porcelaine; on gagne de la sorte en temps et en régularité.

Le fait le plus considérable qui s'est produit dans ces dernières années, relativement au rachevage en ce qui concerne la porcelaine dure, est l'usage qu'on a fait du tour à guillocher; nous ne saurions, sous peine de donner trop de longueur à cet article, en faire ici la description; nous renverrons le lecteur à la définition que j'en expose dans mes *Leçons de céramique*, t. II, p. 130 et suivantes.

Le réparage des pièces comprend des opérations qui se définissent nettement par le nom qu'on leur donne: ce sont le *grattage*, pour enlever par ablation toutes les coutures, toutes les saillies nécessaires à l'ébauchage; le *remplissage*, pour boucher les trous, les cloques accidentelles mises à nu par le démoulage ou par le grattage. Le *sculptage*, qui ne diffère du grattage que par les différents résultats obtenus, participe à la fois des méthodes de grattage et de remplissage; nous en trouvons un exemple remarquable dans ce que l'on appelle à Sèvres *sculpture en pâte, cru sur cru*. On a fait, à l'aide de cette méthode, des pièces de dimensions très-variées. Elle donne des objets d'une valeur artistique réelle et d'une grande importance industrielle, si celui qui la met en usage joint au talent du sculpteur l'habileté du praticien.

La première idée de ce genre de décoration se trouve très-nettement dévoilée dans quelques poteries fines de l'époque romaine; les Chinois en ont certainement tiré le parti le plus avantageux, et le musée céramique offre des exemples fort remarquables fournis par les peuples qui ont créé cette sorte de poterie.

On établit par l'un quelconque des procédés décrits précédemment la pièce que l'on veut décorer d'ornements en relief. On maintient la pâte humide pour appliquer en relief au pinceau avec précaution et par couches successives, en évitant les bouillons et les trous, la pâte qu'on peut modeler ensuite par incision

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et grattage, comme s'il s'agissait d'une ébauche moulée; on obtient de la sorte des saillies assez vives, très-nettes, si le réparage est fait avec tout le soin nécessaire. Cette méthode permet de conserver religieusement la touche du sculpteur, si souvent altérée par les opérations du moulage. Elle ajoute encore à la valeur artistique de la pièce faite par ce moyen le mérite de constituer en quelque sorte un objet unique, puisqu'il n'a pas été confectionné dans le but de multiplier les épreuves. Le même motif, encadré différemment, ajusté dans d'autres données, peut présenter, sans frais de composition la plus grande variété d'aspects. Par le moulage, au contraire, pratiqué comme on est dans l'usage de le faire, on n'obtient qu'une reproduction fâcheuse pour des objets d'art.

Lorsqu'on fait usage de pâtes de diverses couleurs, on peut produire les effets les plus heureux, et les plus belles productions en ce genre qu'ait offertes la manufacture de Sèvres sont les vases dits en céladon, rehaussés de sculptures en pâte blanche. Au lieu des pâtes vert d'eau, on peut faire un fond de toute autre nuance, et créer de la sorte des poteries très-variées et du meilleur goût. L'industrie privée n'aurait assurément qu'à gagner en entrant dans cette voie nouvelle ouverte par la manufacture impériale. Les pâtes colorées par la pechblende, l'oxyde d'urane et d'autres oxydes conduiraient infailliblement à des pièces recherchées. L'oxyde de chrome sous le poids de 3 à 4 pour 100 donne avec la pâte de service une couleur olivâtre avec une nuance de rose qui acquiert à la lumière artificielle une couleur rose du plus vif éclat.

Nous n'aurons pas l'occasion de revenir plus tard sur ce sujet. Pour l'épuiser, nous signalerons ici quelques accidents que peuvent présenter les pâtes céladon, et les moyens d'y obvier. Quelque soin qu'on ait pris pour enlever le sel soluble de chrome que l'oxyde mêlé dans la pâte blanche emporte avec lui, lorsque, pour une cause ou pour une autre, le four se charge pendant la cuisson d'une grande quantité d'humidité, il se développe et se répand, sur les reliefs blancs ou sur certaines parties de la pièce, un sel soluble de chrome qui dépose plus tard de l'oxyde vert ou brun. La pâte céladon cuit généralement avec un ton plus agréable dans une atmosphère réductrice que dans une atmosphère oxydante; on vient de voir que, dans tous les cas, pour obtenir des nuances unies, il est indispensable de cuire dans une atmosphère dépouillée d'humidité.

L'*évidage*, qui consiste à faire des jours dans les parois des pièces suivant des traits indiqués par le moule, l'estampage et le moletage, le collage et l'applicage, qui consistent dans la réunion des garnitures ou des différentes parties d'une même pièce, complètent la série des opérations au moyen desquelles les poteries sont mises en état de supporter l'action du feu qui doit leur donner consistance et dureté, imperméabilité ou brillant. Il n'y a plus, pour ne pas perdre le bénéfice des mains-d'œuvre déjà faites, qu'à conserver à la pièce sa forme intacte, sans fente ni déformation, par une dessiccation très-lente. A cet effet, les poteries, qu'elles soient simples ou composées, doivent être placées dans des séchoirs convenablement aménagés, sur des planches superposées, exposées à des températures progressives.

L'établissement de ces séchoirs laisse encore beaucoup à désirer dans un grand nombre d'usines. On profite souvent des jours de soleil pour exposer au dehors les marchandises prêtes à porter au four. Il faut veiller au temps, et s'il vient à pleuvoir subitement, la rentrée brusque de toutes les pièces, rentrée qui ne peut être exécutée que par le plus grand nombre de bras, met la perturbation dans tous les ateliers. Ce système d'ailleurs ne dispense pas, pendant l'hiver, de séchoirs artificiels; et c'est peut-être cette partie de la fabrication qui devrait devenir le sujet des plus sérieuses études.

Le chauffage des ateliers, dans lesquels on place les moules et marchandises terminées pour les sécher, a lieu presque partout au moyen de poêles disposés au centre de la pièce, et dont les longs tuyaux servent de surface de chauffe. Mais il ne suffit pas d'élever la température, il faut chasser, au moyen d'une ventilation bien réglée, la vapeur d'eau qui se répand dans l'atmosphère. Ordinairement le chauffage est intérieur, et la présence dans l'atelier d'appareils à feu répandant des poussières n'est pas sans inconvénients pour les poteries, d'ailleurs irrégulièrement échauffées.

Toute disposition qui permettrait d'employer au séchage des pièces fabriquées la chaleur perdue des fours de cuisson remédierait à beaucoup d'embarras, et deviendrait économique au point de vue du combustible, tout aussi bien qu'à celui de la perfection du travail.

Je donne ici celle que les manufacturiers anglais emploient aujourd'hui. La description peut être suffisamment comprise, sans qu'on ait besoin de recourir à des dessins représentant les appareils.

Deux fours accolés sont placés près d'une cheminée commune; les fours, dont le laboratoire forme un cône surmonté d'une calotte sphérique, sont séparés par une galerie qui donne accès, d'une face à l'autre, à deux chambres où se tiennent les cuiseurs; les alandiers, au nombre de six par chaque four, trois de chaque côté, sont placés immédiatement au-dessous du volume des marchandises à cuire. Les produits de la combustion s'élèvent au travers d'arcadons dont la surface supérieure forme le sol du four; ils traversent les matériaux qu'ils doivent porter à la température rouge, et s'échappent ensuite par une ouverture qui existe dans la calotte sphérique limitant le laboratoire dans sa partie supérieure. Les fours n'ont donc pas de cheminée comme les fours ordinaires. Un canal horizontal, qui se recourbe pour passer dans les ateliers dits séchoirs, conduit ces gaz chargés de fumées épaisses, et portant encore une température élevée dans des tuyaux circulant dans l'atelier, de manière à maintenir l'atmosphère à 30 ou 40 degrés centigrades. La vapeur d'eau produite par la dessiccation des matériaux encore humides est conduite, au moyen d'ouvertures communiquant avec le canal qui dirige les fumées et les gaz chauds, dans la cheminée d'appel.

En sortant des séchoirs qu'ils ont échauffés sans dépense nouvelle, les gaz et les fumées reviennent dans la partie inférieure du four, se partageant en deux courants qui circulent entre les trois rangées de fourneaux; là, rencontrant les plaques de fonte portées au rouge, qui forment les parois latérales du foyer, ils se brûlent en dégageant une chaleur assez intense pour déterminer un tirage très-violent dans la cheminée verticale dont la hauteur règle l'appel de l'air froid sur les grilles des alandiers chargés de charbon de terre.

Avec deux systèmes de fours accolés, placés chacun à l'extrémité des séchoirs, on pourrait chauffer d'une manière continue; car on peut toujours avoir un four en feu, pendant qu'on en emplit un ou qu'on vide les deux autres; on a de la sorte toute facilité pour cuire un four tous les trois jours. Différentes espèces de registres permettent d'interrompre à volonté la communication des conduits d'un four avec la cheminée d'appel, pour qu'il y ait isolement d'un appareil pendant qu'il ne fonctionne pas, c'est-à-dire pendant qu'on l'emplit ou pendant qu'on le vide.

On voit que cette méthode peut s'appliquer facilement, et qu'un des grands avantages qu'elle présente est de pouvoir s'adapter, sans de grandes dépenses, à des fours déjà construits. Du reste, le procédé de l'au-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

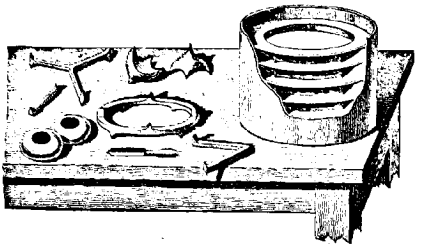
tour s'applique à toute espèce de fours en usage dans les fabrications céramiques.

M. Bonnet a fait breveter, en 1845, un four pour les mêmes usages, dans lequel on remarque les dispositions employées en Angleterre. On voit, d'après la faveur avec laquelle les procédés de M. Hand ont été suivis, que cet intéressant problème de la combustion complète de la fumée et du chauffage économique des séchoirs a reçu de l'autre côté du détroit une solution pratique.

CUISSON DES POTERIES.

Quand les poteries, quelles qu'elles soient, ont été séchées convenablement, on les porte au four, pour les cuire lorsque ce sont des poteries simples, pour les préparer à recevoir les glaçures lorsqu'elles sont composées.

Nous n'avons rien à dire, dans cet article, des procédés dont on se sert pour enfourner et encaster les pièces, soit pour les cuire en biscuit ou dégourdi, soit pour les cuire en vernis, que ces vernis soient ou des *émaux*, ou des *vernis* proprement dits, ou des *couvertes*. Nous n'avons même pas à rappeler les méthodes au moyen desquelles on prépare, on broie, on applique ces

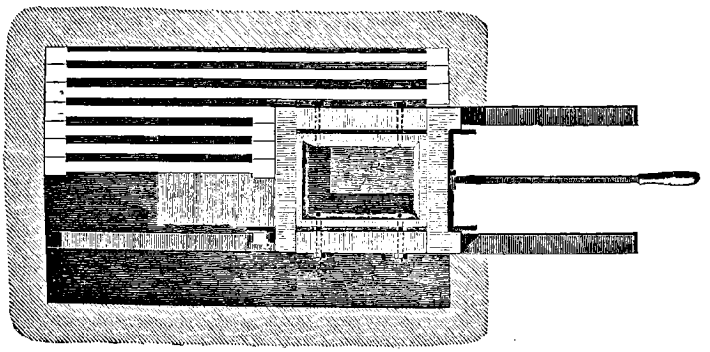


3697.

glaçures. Mais avant de nous occuper des combustibles dont on fait usage dans la cuisson, nous dirons qu'en Angleterre on trouve des établissements qui ne font autre chose que de préparer les pernettes, pattes de coq ou colifichets, dont on fait usage pour isoler les pièces dans le four, et les empêcher de se coller entre elles ou sur les pièces qui les supportent dans les étuis. Ces pernettes, de forme toute particulière, s'obtiennent par moulage et sans la moindre difficulté. La figure ci-dessus représente leurs principales dispositions. Le moule est en métal, cuivre ou bronze; il est en deux coquilles; il donne plusieurs exemplaires disposés symétriquement et de telle façon, que les points supérieurs soient donnés par la coquille supérieure du moule, les points inférieurs par la coquille inférieure. On obtient la pression sur la croûte, qu'on a mise entre les deux coquilles, au moyen d'une presse à vis. On chauffe le métal pour obtenir la dépouille nécessaire au démoulage. On prépare ainsi tous les modèles dont on a besoin et que représente la fig. 3697.

On sait qu'on fait emploi de bois et de charbon de terre pour cuire la poterie de terre, la faïence commune et la faïence fine; la cuisson de la porcelaine dure au moyen du combustible végétal était seule regardée comme possible par un grand nombre d'industriels: aussi les expériences qui ont eu pour but la cuisson de la porcelaine dure au moyen de la houille ont-elles fixé très-vivement l'attention générale. On a déjà vu la notice de M. Ebelmen et son savant rapport sur le four de Noirlac à l'article HOUILLE. Nous compléterons ces renseignements intéressants par l'extrait d'un travail consciencieux de M. Redon sur les tentatives suivies de succès exécutées à Limoges pendant l'année 1857. Ces expériences ont été dirigées par la chambre consultative, demandant à s'éclairer sur un fait industriel qui, bien que déjà traité dans d'autres contrées manufacturières, n'en avait pas moins pour le Limousin un grand intérêt de nouveauté d'abord, et un intérêt plus grand encore au point de vue de la production économique et du développement de l'industrie de la porcelaine. Depuis longtemps, la cherté toujours croissante des bois et la crainte de leur insuffisance inquiétaient non-seulement les fabricants, mais encore la population ouvrière, dont l'existence et le bien-être dépendent en grande partie de la prospérité des manufactures de porcelaine.

On doit à M. Marquet, de Limoges, d'avoir été le premier instigateur de la cuisson à la houille par des méthodes perfectionnées que nous allons décrire. Il a fait ses essais d'abord avec le système Bordone, qui consiste dans l'application des grilles à gradins, puis avec celui de M. Mourot, au sujet duquel nous allons entrer dans quelques détails et qui conduit à des données pratiques.



3698.

Les premiers essais de ce dernier système furent faits dans un four de 2 mètres de diamètre cubant de 7 à 8 mètres cubes; la réussite presque complète encouragea les inventeurs, désormais assurés que l'application de leurs appareils aux fours de plus grande dimension se ferait avec plein succès. On les disposa de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

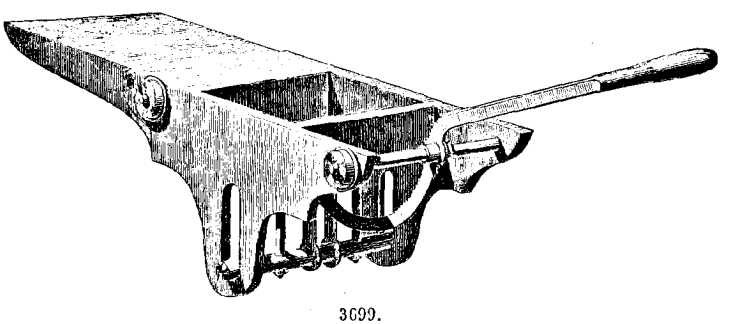
suite pour cuire un four de 5m,33 de diamètre. Deux fournées ont été suivies comme expériences pour étudier la marche du four après sa modification. Nous donnons en détail les circonstances dans lesquelles on s'est placé. C'est le meilleur moyen de faire connaître les conditions dans lesquelles on obtiendra de bons résultats. Les procès-verbaux qui suivent pourront ainsi servir d'enseignement utile. Nous commencerons par inscrire la dépense et l'allure du même four avant l'addition de l'appareil pour cuire à la houille.

Le four, précédemment au bois, cubant 92m,250, était muni de six alandiers; la durée moyenne de sa cuisson était de quarante-cinq heures, et sa consommation de 101 stères 47 centistères de bois valant, rendu dans la cage du four, environ 1320 francs.

Par suite de sa transformation, rien n'a été changé dans les profils et la dimension intérieure de ce four; les foyers ou alandiers ont été portés au nombre de dix; les orifices d'entrée de la flamme dans le four, dits bouches à feu, ont été conservés dans les mêmes dimensions qu'au bois; la cheminée de même, et les carneaux de pourtour augmentés de quatre, en tout dix.

L'appareil à combustion, dont la disposition constitue toute la nouveauté, se compose d'une grille horizontale formée de barreaux ordinaires en fonte, espacés de 0,0015. Sa longueur est de 0m,90, et sa largeur de 0m,75, donnant une surface de 0m,6750. Cette grille est munie en son milieu d'une boîte rectangulaire formant trémie, dont le but est d'alimenter la grille par la partie intérieure (fig. 3698).

L'alimentation se fait à l'aide d'un chariot en fonte, ou en forte tôle rivée, contenant environ 3 kilog. de houille, et qui, glissant sur les deux guides en fer, visibles en plan dans la figure ci-dessus, vient se placer directement sous la trémie dans laquelle il est élevé en pesant sur un levier; le combustible, d'abord soutenu au moyen d'une petite grille mobile placée au fond du chariot, qui s'accrochait sous la trémie au moment où l'ascension était accomplie, est, d'après le nouveau système, maintenu par le fond qui monte ou descend à l'aide de la disposition que représente la figure 3699. Dans sa position normale, le chariot en dehors du foyer présente la caisse ouverte et pleine de combustible; la queue de l'appareil fait le fond de la trémie et retient le combustible; pour charger, on pousse le chariot, on appuie sur le levier pour faire monter le fond guidé dans son mouvement ascensionnel par les glissières qui forment les joues latérales de l'appareil, et on ramène le chariot en avant; on ne relève le levier pour faire descendre le fond que lorsque la boîte à combustible est complétement en dehors du foyer. Dans le premier système, à chaque chargement la petite grille devait être retirée.



3699.

Aussitôt que le chariot est engagé sous la trémie, le combustible du foyer se renouvelle par la nouvelle charge qui, s'élevant, soulève constamment devant elle les couches de houille déjà en ignition. L'introduction du combustible se fait ainsi sans ouverture de porte, et, par conséquent, sans admission d'air froid sur le foyer.

Le four ainsi préparé, l'enfournement fait dans les mêmes conditions qu'au bois, on procède à l'allumage. Les grilles sont chargées de 85 kilogrammes de houille; à l'aide d'une ouverture ménagée dans le mur de face du foyer, on introduit du menu bois auquel on met le feu avec un peu de paille. Cela fait, l'orifice d'allumage est bouché et bien luté; le feu gagne rapidement la houille, et, un quart d'heure après, la première charge est élevée dans chaque grille; pendant les deux premières heures, les charges ne sont faites que de douze en douze minutes, et augmentées progressivement jusqu'à douze heures de feu. A cet instant, on commence le grand feu, en chargeant toutes les trois minutes au plus, et en ajoutant à la houille trois bûchettes de bois. La flamme commence alors à se dépouiller de sa fumée, et au bout de six heures de grand feu, c'est-à-dire après dix-huit heures de chauffe, le globe est parfaitement purgé, et la flamme s'élève en gerbes très-pures des carneaux et de la cheminée; à partir de cet instant jusqu'à la fin de l'opération, l'élévation des charges ne donne plus la moindre production de fumée.

Après vingt-deux heures de feu, les montres peuvent être retirées; la glaçure doit être brillante, et généralement après vingt-neuf à trente heures la porcelaine est cuite.

Lorsqu'on a jugé la cuisson suffisante, la dernière charge de houille est remplacée dans le chariot de chaque alandier par deux briques qui achèvent d'élever sur la grille le combustible contenu dans la trémie. Après la cessation des charges, les appareils, contenant alors une couche de houille de 30 à 40 centimètres, ont pu fournir encore de la flamme pendant près de deux heures.

Dans ces fournées, la consommation est ordinairement pour le four des dimensions indiquées :

Houille de Commentry ordinaire . .	7,935	kilog.
Houille de Charleroy	3,965	—
	11,900	kilog.

Bois en bûchettes, 2 stères 1/2.

Dépense évaluée comme suit :

7,935	kil.	houille de Commentry, à 40 fr. 75 c. la tonne	323,35
3,965	—	houille de Charleroy, à 64 fr. 75 c.	256,45
2,5	st.	bois à 13 fr.	32,50
		Total.	612,30

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fournée au bois coûtant 1319,11
il y a pour la fournée au charbon de terre une économie de 706 fr. 81 c.

Si nous prenons le rapport de la capacité du four au combustible brûlé, on trouve 129 kilog. par mètre cube. Ces chiffres donnent la mesure de l'économie qui résulte de l'emploi du système Mourot. En s'en rapportant aux documents recueillis sur le terrain de l'expérience, le Berry brûle en moyenne dans des fours de 100 mètres cubes 210 à 220 hectolitres de houille de Commentry, c'est-à-dire de 180 à 190 kilog. par mètre cube.

Quant à la marche et à la conduite des appareils dans le nouveau système, l'élévation des charges se fait avec rapidité, le travail du chauffeur est commode et peu fatigant ; il était cependant quelque peu gêné par la chute des escarbilles qui dérangeaient le jeu des organes du petit mécanisme au moyen duquel on soutenait la grille mobile dans l'appareil primitif ; la chaleur rayonnée se trouve être si faible qu'elle n'élève pas sensiblement la température de la cage du four. Les grilles restent, après les feux, dans un parfait état de conservation.

Depuis que M. Marquet a donné le mouvement dans Limoges, le système Mourot a reçu de nouvelles applications : il devait en être ainsi ; car il représente un perfectionnement notable sur les premières méthodes dans lesquelles on s'était contenté de remplacer l'alandier au bois par une grille pour recevoir le combustible minéral. On compte aujourd'hui plus de dix fabricants qui l'ont adopté dans leurs manufactures. Je tiens ces renseignements de M. Marquet, qui a bien voulu m'admettre dans l'usine, et chez lequel j'ai vu pratiquer cette méthode dont les avantages ne sont plus douteux.

On sait que la manufacture de Bordeaux fait aujourd'hui des quantités considérables de porcelaine dure ; cette fabrication n'y eût pas été possible, si M. Vieillard n'avait appliqué l'un des premiers la cuisson à la houille dans une localité complétement privée de combustible végétal.

J'ai visité plusieurs fois cette belle manufacture, et ce n'est pas sans étonnement qu'on y voit des fours d'une dimension si considérable cuits avec un combustible auquel on reprochait tout d'abord de ne pas donner de flamme.

Une dimension plus grande encore des fours ne serait pas un obstacle à la régularité de la chauffe : M. Gosse a fait breveter une disposition qui, par un foyer spécial, déverse au centre du four les quantités de chaleur qui n'y arriveraient pas par les seuls foyers de la circonférence.

Le système fonctionne économiquement dans l'usine de Bayeux, où je l'ai vu mettre en pratique. Si les renseignements qui me sont parvenus sont exacts, il est probable que plusieurs fabriques d'Allemagne l'ont également adopté.

FABRICATIONS SPÉCIALES.

Nous terminerons cet article, qui comble quelques lacunes présentées par celui du Dictionnaire, en décrivant trois produits céramiques nouveaux dont l'immense succès à leur apparition n'est que parfaitement mérité. Je veux parler de la confection du parian, de celle des boutons en pâte feldspathique par les procédés ingénieux de M. Bapterosses et des carreaux incrustés que M. Minton a fabriqués en Angleterre sous le nom d'*encaustics tiles*.

Les Expositions de Londres et de Paris ont de suite classé ces produits parmi les plus intéressants.

Parian ou Paros.

Le parian ou porcelaine imitant le paros est d'origine anglaise ; il paraît avoir été fait pour la première fois par M. Copeland vers 1848 ; quelques auteurs en attribuent la découverte à M. Battam, d'autres à M. Minton : des discussions ouvertes à ce sujet, il nous a paru que M. Copeland était le fabricant qui l'avait préparé le premier. On en a tiré dès le principe un parti très-avantageux pour les objets de sculpture. Plusieurs fabricants anglais et français le font maintenant avec succès.

L'idée d'une pâte céramique imitant le paros n'est pas nouvelle ; il existe, parmi les produits de M. Kühn de Meïssen, des médaillons d'une composition particulière se rapprochant assez du ton des calcaires exploités comme marbre dans l'antiquité. On trouve de même, parmi les figurines fabriquées à Nymphembourg, de petites statuettes présentant avec le marbre statuaire beaucoup d'analogie ; ces productions tiennent, par leur composition, de la porcelaine dure. Le parian présente des avantages réels sur le biscuit de cette porcelaine ; la teinte est plus jaunâtre, moins froide, plus analogue à celle du marbre des antiques. Elle est aussi plus fusible, et prend par l'action du feu, sans secours d'aucun vernis, un glacé bien plus flatteur que celui des biscuits de porcelaine. Cette qualité rend cette pâte propre surtout à la reproduction des objets d'art.

La composition de cette pâte est assez variable ; la coloration s'obtient sans addition de matières colorantes ; elle est simplement due à la quantité de l'oxyde de fer accidentellement et naturellement contenu dans les matériaux que fournissent les éléments ; elle tient aussi, soit à la température qui n'est pas assez forte pour réduire tout le fer à l'état de silicate de protoxyde, soit à la séparation du peroxyde pendant le refroidissement. Dans tous les cas, les fours à faïence fine paraissent satisfaire à toutes les conditions convenables au développement de cette teinte et comme température et comme composition d'atmosphère gazeuse.

La pâte est peu plastique ; elle se rapproche par sa nature de la pâte de porcelaine tendre anglaise ; elle prend 30 p. 100 de retraite, et ne se façonne avec facilité que par le procédé de coulage. Cependant elle peut être moulée ; le façonnage au moyen du tour ne lui serait appliqué qu'avec les plus grandes difficultés. Elle cuit en une seule fois dans le four à faïence fine, mais elle peut recevoir une glaçure plombifère dure et brillante, et s'appliquer de la sorte aux articles de consommation ménagère. Dans le Staffordshire, on cuit à plusieurs feux de biscuit, jusqu'à ce que le ton ait acquis la nuance jaunâtre qui plaît au consommateur.

L'Exposition de Londres, en mettant sous les yeux des fabricants français les produits remarquables de la fabrication si variée de M. Minton, a stimulé le zèle de plusieurs manufacturiers ; Creil, Bordeaux, Sarreguemines et Choisy-le-Roi font aujourd'hui cette poterie d'une manière remarquable.

J'ai fait une pâte qui donne de bons résultats, et je la donne ici comme exemple autour duquel peuvent osciller les compositions de ces diverses fabriques :

Feldspath cristallisé de Bayonne . . .	100
Kaolin lavé.	40
Argile de Dreux	10

On fait cuire au feu de porcelaine tendre. L'argile de Dreux et le feldspath de Bayonne peuvent être remplacés par des matériaux analogues. La proportion de kaolin peut être diminuée si le ton n'est pas assez jaunâtre et si la fusibilité n'est pas assez considérable ; on augmente, pour obtenir la coloration, le dosage de l'argile, qui doit être plastique.

Boutons en pâte feldspathique.

S'il est une fabrication qui puisse donner une idée de l'avantage des procédés mécaniques appliqués à la cé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ramique, c'est assurément celle des boutons en pâte feldspathique ; il est vrai que la petite dimension des objets fabriqués se prêtait à merveille à leur façonnage par la voie des machines.

La fabrication des boutons en pâte céramique se rapprocherait de l'art de la vitrification si les procédés de leur façonnage avaient le moindre rapport avec ceux employés par le verrier. La nature de la masse fondue est plutôt vitreuse, et la composition de la pâte ne renferme aucun élément plastique soit à froid, soit à chaud. Mais les procédés employés pour façonner ces boutons, l'introduction du phosphate de chaux dans la préparation, les méthodes de cuisson appliquées à leur cuite soit en blanc, soit en couleur, ont tant d'analogie avec les moyens correspondants employés par le potier de terre, que ces boutons ont reçu dans le commerce le nom de boutons en pâte céramique. Créée en Angleterre par Potter, cette fabrication a été reprise, il y a vingt ans, par M. Prosser, qui substitua la pâte de porcelaine tendre à celle de porcelaine dure, et qui modifia complétement les procédés de fabrication. Les brevets furent exploités simultanément par deux manufactures, celle de M. Minton et celle de M. Chamberlain, de Worcester.

En France, la fabrication des boutons est pratiquée sur une très-grande échelle ; dans la manufacture de Creil, on suit à peu près les méthodes anglaises. A Briare, où M. Bapterosses a transporté son établissement de la rue de la Muette, on travaille suivant le procédé dont il est l'inventeur et que nous avons décrit à l'article BOUTONS de ce Dictionnaire, t. I. Nous indiquerons ici seulement quelques données numériques qui complètent notre premier travail.

Pour préparer la pâte dite agate, on ajoute à 2,000 kilogrammes de pâte feldspathique légèrement humide, puisqu'à la dernière dessiccation ils se réduisent à 1,930 kilogrammes, 125 kilogrammes de phosphate de chaux. On emploie, pour débarrasser cette quantité de feldspath de l'oxyde de fer qu'elle contient, 140 kilogrammes d'acide sulfurique. Ce passage à l'acide est nécessaire pour obtenir une pâte qui cuise blanc ; nous avons vu qu'il fallait attribuer à l'oxyde de fer la cause de la coloration des pâtes de porcelaine quand elles cuisent dans une atmosphère oxydante ; c'est ici le cas d'enlever jusqu'aux dernières traces d'oxyde de fer.

Une petite quantité de lait est introduite dans la pâte, quelle que soit sa nature, pour la rendre facile à mouler. On ajoute pour la quantité de pâte indiquée plus haut 45 litres de lait. Dans la manufacture de Creil, on se sert d'huile de lin au lieu de lait. Ce mélange empêche la rouille des machines ; le fer et le cuivre peuvent être employés dans la confection des presses.

Une presse marche souvent deux heures sans réparation des picots, poinçons, etc. Dans l'origine, chaque presse donnait 350 boutons n° 1 : c'étaient les plus petits ; on en faisait 3,520 avec chaque kilogramme de pâte ; les frappeurs étaient payés à la journée, à raison de 3f,25 par journée de dix heures.

En sortant de la presse, les boutons viennent se ranger d'eux-mêmes sur une feuille de papier maintenue dans un fer rectangulaire, d'où, par un tour de main très-simple, ils se trouvent placés sur la plaque de terre qui doit les supporter dans le four.

La cuisson se paye aux ouvriers chargés de ce travail à raison du poids de boutons cuits : dans le principe, lorsque l'établissement était à Paris, rue de la Muette, on payait 36 francs les 100 kilog. de boutons strass ou transparents, et 32 francs les 100 kilog. de boutons agate.

Si l'on n'avait la précaution d'enlever par des lavages acides l'oxyde de fer contenu dans la pâte, les boutons cuiraient jaune ou rougeâtre ; ils sont d'un blanc parfait quand on enlève les dernières traces de cet oxyde.

Un même ouvrier chargé de la surveillance d'une même rangée de moufles travaille pendant douze heures consécutives.

La manœuvre des plaques est facilitée par la *tournette* : c'est une plaque métallique à deux rebords verticaux de la largeur des plaques de terre qu'elle doit recevoir, fixée horizontalement sur un axe vertical qui peut recevoir un mouvement de rotation.

Les boutons cuits sont reçus dans des espèces de caisses à claire-voie, disposées par juxtaposition, de manière à tourner autour d'un axe vertical, ce qui leur permet de se présenter tour à tour devant l'ouvrier se préparant à vider sa plaque de terre incandescente et chargée de boutons cuits.

Une plate-forme fixe est solidement rivée sur la caisse commune qui doit réunir après leur refroidissement les boutons provenant d'une série de cuissons successives ; chacune des caisses à claire-voie a son fond mobile autour d'une arête qui fait charnière. Il suffit d'appuyer sur de petites tiges attachées à ce fond pour le faire descendre ; les boutons tombent dans la caisse commune, et lorsque la pression ne s'exerce plus, des ressorts à boudin ramènent le fond dans sa position primitive et ferment les caisses. Le refroidissement a lieu pendant que les caisses font leur circonvolution autour de l'axe. On les vide quand elles se présentent devant la plate-forme fixe sur laquelle on place la plaque incandescente.

En introduisant dans la pâte des boutons différents oxydes métalliques, on obtient des boutons teints dans la masse ; ces pâtes colorées se cuisent exactement comme si les boutons étaient en pâte blanche.

Les boutons blancs ou colorés dans la masse sont triés et livrés à l'encartage, mais ils peuvent être dorés ou peints des couleurs très-variées que fournit la palette du peintre en porcelaine. La dorure et la peinture se font au moyen de l'impression. Des cylindres d'acier gravés permettent d'obtenir le transport de la couleur sur un papier sans fin. L'impression s'exécute par des moyens très-économiques sur des boutons collés préalablement sur une feuille de papier, et la cuisson s'opère dans des fours analogues à ceux qui servent à cuire les boutons blancs, c'est-à-dire à feu continu, à simple vue et très-rapidement.

La dorure appliquée par ces moyens deviendrait dispendieuse ; on l'emploie volontiers pour faire des filets sur le bouton. Il doit alors recevoir du brunissage un éclat qui le complète. Les boutons à brunir sont placés circulairement sur une plate-forme qui est mobile sur son axe et les présente tour à tour devant l'outil brunisseur. Indépendamment de ce mouvement, chaque bouton est porté par un pivot qui le fait tourner sur lui-même pour en présenter tous les points à l'action du brunissoir.

L'encartage se fait sur des cartes piquées à la machine ; l'encartage proprement dit est la seule opération qui ne se fasse pas mécaniquement ; aussi coûtait-il d'abord 48 à 50 centimes par masse, c'est-à-dire en moyenne les 0,30 du prix de la masse des boutons blancs. Cette façon ne coûte plus que 10 ou 15 centimes par masse.

Les moyens perfectionnés par M. Bapterosses, et la concurrence qui se maintient entre ses produits et ceux des manufactures où les procédés anglais sont en usage, ont amené sur les prix de vente une baisse considérable. L'accroissement de la consommation a dû s'en ressentir. Les prix se sont abaissés de 8 francs, la masse encartée (prix de 1848) à 1 fr. 75 c. et même 1 fr. 25 c. La fabrication de M. Bapterosses atteint aujourd'hui de 800 à 1,000 masses par jour, y compris 150 masses de boutons imprimés, ces derniers au prix moyen de 4 francs la masse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On fera remarquer ici ce résultat des plus honorables pour l'industrie française : la fabrication des boutons a cessé complètement aujourd'hui dans la Grande-Bretagne, et les cessionnaires du brevet Prosser achètent maintenant en France les boutons qu'ils vendent en Angleterre.

En présence de ces faits, plusieurs fabriques spéciales ont tenté de s'établir à Paris et dans quelques contrées voisines ; à Paris les tentatives ont échoué ; elles n'ont pas réussi davantage en Espagne ; mais il paraît que l'Allemagne et le duché de Bade possèdent des manufactures de ce genre en état de grande prospérité.

Carreaux incrustés.

Il n'y a guère qu'une centaine d'années que l'attention s'est portée sur ces anciens carreaux incrustés qu'on retrouve employés au pavage des vieilles églises. On y remarque de nombreuses inscriptions qui se composent d'armoiries, de devises, de monogrammes. Il résulte de découvertes faites en Angleterre que la terre argileuse qui servait à faire ces carreaux était



3700.

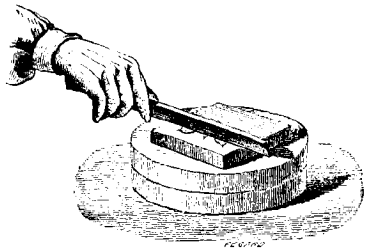
moulée et séchée au soleil assez fortement pour conserver l'empreinte du moule en relief à l'aide duquel on imprimait un dessin quelconque à sa surface. Sur ce dessin en creux, on appliquait une terre d'une couleur différente, ordinairement de la terre de pipe blanche ou colorée. Puis on enfournait. Une fois les carreaux dans le four, on les saupoudrait d'une couche mince de minerai de plomb en poudre et de sable blanc bien fin ; on obtenait ainsi par l'action du feu un vernis vitreux qui, ajoutant à leur éclat tout en les empêchant de s'altérer, donnait à l'argile blanche une légère teinte jaunâtre. On nomme *encaustiques (encaustic tiles)* ces divers produits.

Un M. Wright, des poteries du Staffordshire, fit de nombreux essais pour faire revivre ces procédés anciens ; mais ce fut M. Herbert Minton, propriétaire du brevet de Wright, qui triompha de tous les obstacles, et parvint à fabriquer des produits bien supérieurs et plus variés que ceux d'autrefois. A la série restreinte des couleurs obtenues par les potiers du moyen âge, il ajouta celles du café au lait, du gris, du noir, du fauve, obtenues dans toute la masse, et celles du bleu, du vert, du lilas et du pourpre placées par engobes minces sur la surface et par voie d'incrustation.

Les terres rouges et jaunes, qui font à Stoke-upon-Trent la base de la fabrication, sont extraites du sol même de l'usine. On emploie pour les autres couleurs des oxydes métalliques, de ceux que nous avons indiqués à l'article DÉCORATION pour préparer les engobes. On compense les retraits que prennent les diverses matières premières pendant la cuisson par des additions de pegmatite ou de kaolin de Cornwall, ou de silex de Kent ; les dosages ont une très-grande importance.

Après que les pâtes ont été broyées et ressuyées au point d'être à l'état de barbotine, on les tamise, surtout pour celles qui sont destinées à donner les parties incrustées. La pâte est ensuite raffermie ; on l'amène à consistance pâteuse. Un plâtre préparé d'avance et donnant le relief du dessin qu'offrira le carreau est disposé dans un moule métallique, dont les dimensions sont calculées en vue du retrait qui se produira pendant la fabrication. Ce moule, pour une surface carrée de 38 centimètres doit en avoir une de 42.

On fait avec de l'argile de première qualité la surface du carreau, on lui donne une épaisseur d'un peu plus de 6 millimètres, et on la presse sur le plâtre qui laisse en creux une empreinte du dessin. On surcharge cette première couche d'une seconde plus commune, puis d'une troisième, jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'épaisseur qu'on veut obtenir. On alterne les qualités de terre de telle sorte qu'on diminuant la dépense on évite les irrégularités de retraite. Quand on a placé la dernière couche, on donne un fort coup de presse, afin d'obtenir une compacité suffisante ; après quoi l'on coule dans les creux du dessin les couleurs convenables à l'état de pâtes liquides, de telle sorte que la surface du carreau soit entièrement recouverte. On attend deux ou trois jours, puis on racle la surface du carreau pour enlever toutes les inégalités ; cette opération fait apparaître le dessin, qui ne reçoit sa couleur propre que pendant la cuisson. On a représenté fig. 3700 et 3701 ces deux temps de la fabrication.



3701.

Les carreaux ainsi préparés vont au séchoir ; ils y restent dix ou quinze jours pour ne pas gercer. La cuisson dure soixante heures. La combinaison des oxydes se fait avec les pâtes, et les couleurs apparaissent avec les nuances qui leur sont propres. Si le carreau doit recevoir une glaçure, on le trempe dans un vernis spécial, puis on le fait cuire de nouveau dans un four convenablement disposé.

Les dessins bleus et verts sont obtenus par l'addition à la pâte de porcelaine des oxydes de chrome et de cobalt, auxquels on ajoute une certaine quantité d'oxyde de zinc. Ces couleurs sont coûteuses.

L'application des couleurs aux carreaux devient fort chère encore, à cause de la nécessité dans laquelle on se trouve d'affecter aux produits à cuire un laboratoire d'une grande étendue, chaque carreau devant être protégé sur sa face ornée par une brique commune et sans aucune valeur.

Il se fait pendant la cuisson un transport par volatilisation des oxydes les uns sur les autres. Lorsqu'on ne veut avoir sur les carreaux qu'une glaçure très-mince, les parois internes des gazettes sont recouvertes de vernis volatils, d'abord pour éviter le ressui du carreau, puis pour remplir l'étui d'une vapeur saline, qui se transporte sur l'objet à cuire et lui communique un glacé suffisant.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En Angleterre, les argiles du Staffordshire et de Broseley sont réputées les seules propres à fournir une belle couleur rouge, qui se conserve même sous la glaçure; elles sont employées presque exclusivement pour les carreaux encaustiques; M. Minton, en mettant en lumière cette précieuse qualité des terres du Staffordshire, s'est assuré pour longtemps une grande supériorité dans ce genre de fabrication, et ses concurrents ont jugé convenable de s'établir sur les carrières mêmes de Broseley. MM. Maw et C° sont aujourd'hui des concurrents sérieux. Quoi qu'il en soit, M. Herbert Minton a le mérite incontestable, je dis plus, incontesté, d'avoir fait revivre les carreaux encaustiques et d'en avoir porté la fabrication à son plus haut degré de perfection. Les difficultés qu'il a vaincues ont été nombreuses, mais aussi les succès qu'ont obtenus ses produits ont été en raison même de l'importance des obstacles à surmonter. Les carreaux de Stoke-upon-Trent sont aujourd'hui répandus dans les églises, les chapelles, les hôtels, les habitations particulières et les établissements publics; on cite comme étant des plus remarquables les pavages des parlements d'Osborne, de Washington, du palais de Saint-Georges et de l'hôtel de ville de Liverpool, des cathédrales d'Ely, Salisbury et Gloucester. Une fabrication similaire manque complétement en France.

§ III. DES POTERIES

Considérées dans leurs rapports avec les beaux-arts.

Il n'est à ma connaissance que bien peu d'industries qui puissent offrir avec les beaux-arts autant de rapports que celle qui nous occupe en ce moment. A l'exception des bronzes et de l'ameublement, qui nécessitent l'application immédiate et générale des arts du dessin, la sculpture et la peinture, je ne vois aucun fabricant qui ait plus que le potier à se préoccuper de l'application des beaux-arts à son industrie. Et cette situation n'est nullement moderne. Nous trouvons dans la céramique antique des types très-recherchés au double point de vue de la forme et du dessin, et les spécimens les plus authentiques de l'art chez les peuples civilisés de l'ancien comme du nouveau monde nous sont fournis par les poteries que certains usages ont fait parvenir jusqu'à nous beaucoup mieux conservées que les bronzes et les édifices.

Sans vouloir présenter ici les principes de ce qu'on peut appeler le *beau dans les arts*, il nous suffira de constater la grande variété qu'on rencontre dans les pièces d'usage ou d'ornement, tant vases et ustensiles divers que figures, groupes et sculptures que les potiers des différentes époques ont produits tour à tour. On a pu voir par une étude attentive du musée céramique de Sèvres, en suivant l'ordre chronologique des productions de la Manufacture impériale, l'histoire la plus évidente de l'art céramique dans ses transformations ou ses rapports avec le goût du jour. Cet établissement, qui a généralement pris la tête du mouvement, fait voir par conséquent toutes les variations de ce que, suivant des époques peu séparées les unes des autres, les gens de l'art réputés hommes d'un goût exquis ont regardé comme beau.

Nous devons dire à la gloire de notre pays que depuis le commencement du siècle, il marche le premier dans la voie de l'application des beaux-arts à l'industrie; il est inutile de rappeler ici la supériorité qu'ont mise en lumière les Expositions universelles de Londres et de Paris pour tout ce qui touche aux objets de goût. Nos voisins eux-mêmes se sont émus de cette tendance, qui contribue dans une large proportion à maintenir la prépondérance des produits de fabrication française sur les marchés étrangers; ils ont bien compris leur infériorité sous ce rapport dès la première exposition universelle, et c'est sur une grande échelle, avec des ressources immenses, qu'ils ont cherché de suite à répandre chez le peuple la vue des objets de bon goût, à faire sans fatigue l'éducation artistique de leurs ouvriers. On les a vus créer Marlborough-house, et pour ce qui regarde particulièrement la poterie, instituer dans leur centre de fabrication des écoles gratuites de dessin, de sculpture et de peinture. On a remarqué en France l'influence salutaire de ces établissements, presqu'au début de leur installation, à l'époque de l'Exposition de Paris, et personne n'a, je le pense, oublié l'effet produit sur le public par l'exhibition de M. Minton. Les meilleurs modèles de la manufacture de Sèvres avaient été reproduits à ce point, que l'administration jugea prudent, pour conserver son rang et ses droits, de faire placer dans son exposition les plâtres, avec leur date, des objets reproduits et exposés par les fabricants anglais.

On commence en France à profiter de l'influence de la manufacture de Sèvres. Il faut qu'on sache que toutes les richesses accumulées dans le musée céramique y sont déposées tout autant pour servir au développement de l'industrie que pour conserver les bonnes traditions et condamner les formes d'un style équivoque. Depuis vingt ans surtout, les collections ont pris un accroissement considérable. Et si, dès l'origine, on acceptait de préférence un vase grec, romain, étrusque ou mexicain, avec des défauts qui font connaître les principes de sa fabrication, à un vase grec, romain ou mexicain qui représenterait le sujet le plus instructif pour l'histoire de ces peuples, on a quelque peu modifié cette loi; le côté que je nomme artistique a conquis sa place, et fort heureusement aujourd'hui le musée céramique présente un égal intérêt à ceux qui s'occupent de technologie comme à ceux qui suivent la fabrication des poteries dans ses rapports avec les beaux-arts. Il devait en être ainsi. Le musée reçoit, en effet, de trois sources ses éléments de formation et d'accroissement: ce sont celles où puisent ordinairement toutes les collections, les achats, les échanges et les dons volontaires. La première a été peu employée, mais la dernière a été la plus féconde; elle a fourni plus des sept huitièmes des pièces que le musée possède. Or, une très-grande partie des dons a suivi les expositions et portent sur des objets artistiques créés à grands frais en vue des concours nationaux ou universels.

Il suffit de dire ici les avantages que le musée céramique de Sèvres peut procurer aux fabricants français pour empêcher que cette institution ne soit utile qu'aux étrangers, et la faire servir, conformément aux intentions libérales de l'administration supérieure, aux progrès de l'une des plus remarquables industries du pays.

Nous ne sommes sans doute pas éloignés non plus de l'époque où le Conservatoire des arts et métiers (archives naturelles de l'industrie française) sera doté d'une chaire de céramique, bien utile, au sens de tous les fabricants, pour répandre les notions indispensables à leur succès et compléter une œuvre violemment interrompue par la mort d'un savant dont le concours avait été le plus précieux à la rédaction de ce Dictionnaire. Nous avons nommé M. Ebelmen, l'habile administrateur de la Manufacture impériale de Sèvres.

C'est surtout, comme il a été dit à l'article MUSÉE D'ART INDUSTRIEL, par des fondations comme celle du musée céramique de Sèvres et de celui plus récemment créé à Limoges que l'on peut agir puissamment sur le goût des producteurs. Au reste, ces questions sont traitées en détail dans les études sur l'ART INDUSTRIEL, qui terminent ce volume, et nous ne voulons pas nous y arrêter ici. La partie de ce travail consacrée à la céramique y est assez développée pour en faire apprécier toutes les ressources qu'elle fournit pour créer des produits élégants et inaltérables.

SALVÉTAT.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

POUDRE. Pendant de très-longues années à partir du huitième siècle, époque à laquelle le mélange de salpêtre, soufre et charbon, connu plus tard sous le nom de poudre à tirer ou poudre à canon, fut introduit en Europe par les Arabes, dans les nombreuses compositions de feu grégeois, il ne se fit que de très-lents perfectionnements dans le mode d'emploi de ce mélange.

Peu à peu, on arriva à découvrir en quelque sorte par hasard les propriétés balistiques de la poudre, et à reconnaître qu'elles étaient d'une utilité bien supérieure dans l'art de la guerre aux propriétés incendiaires. Mais ce n'est guère qu'au quatorzième siècle que l'on arriva à utiliser généralement ces propriétés balistiques.

Il fallut fort longtemps encore pour reconnaître l'avantage que présentait la poudre grenée sur le simple pulvérin, et ce n'est que vers le milieu du seizième siècle que ce dernier fut définitivement abandonné. A partir de cette époque, et par suite du perfectionnement successif des bouches à feu et des armes portatives employées à la guerre et à la chasse, ainsi que des besoins nouveaux créés par le développement de l'industrie, les propriétés de la poudre durent être modifiées successivement, ce qui conduisit aux fabrications diverses dont le détail a été donné à l'article POUDRE DE GUERRE du Dictionnaire.

Depuis le commencement du siècle, l'influence des progrès des sciences appliquées se fit sentir sur la question de la poudre, et un grand nombre d'inventions nouvelles surgirent. Malheureusement, dans le plus grand nombre des cas, les inventeurs ne se rendaient pas un compte suffisamment exact des données du problème, en sorte que leurs inventions ont été impuissantes à révolutionner la fabrication de la poudre. Mais si quelques-unes de ces inventions ont dû être immédiatement rejetées dès qu'elles ont été soumises à des expériences précises faites dans les véritables conditions de la pratique, il en est d'autres sur lesquelles la science appliquée ne s'est pas encore définitivement prononcée, et auxquelles l'avenir appartient peut-être.

Quoi qu'il en soit, il y a dans les divers travaux faits en vue de modifier la composition et les propriétés de la poudre, une somme considérable d'intelligence et de science accumulée; à ce titre, il est donc intéressant de les passer en revue en se bornant bien entendu aux plus importants.

Pour introduire quelque ordre dans cette étude, nous envisagerons successivement : 1° les modifications portant sur les propriétés physiques seules de la poudre ; 2° les modifications portant sur sa composition chimique.

I. MODIFICATIONS PHYSIQUES DE LA POUDRE.

Nous nous arrêtons ici sur trois inventions différentes : 1° les charges comprimées, qui ont pour but de supprimer les enveloppes nécessaires dans l'emploi de la poudre en grain; 2° les poudres prismatiques à canaux, qui dérivent des poudres comprimées; 3° les mélanges destinés à rendre la poudre inexplosible à l'air.

POUDRES COMPRIMÉES. — L'idée des poudres comprimées nous vient de l'Amérique du Nord. Elle date du commencement de la guerre de sécession, et des préparatifs de guerre faits par le gouvernement de Washington. La nécessité de fabriquer dans un très-bref délai les munitions de toute nature qui manquaient dans les arsenaux, avait conduit à supprimer le grenage et le lissage de la poudre. Au sortir des pilons et des meules, les matières pulvérulentes étaient comprimées sous une pression considérable dans des tubes, de manière à former des solides de dimensions appropriées aux calibres des diverses pièces en usage.

D'Amérique, cette idée s'est propagée successivement dans les divers pays d'Europe. En France, les essais sur les poudres comprimées datent de l'année 1861 ; ils ont été entamés par l'Administration des poudres et salpêtres à la poudrerie du Bouchet.

Procédé du sieur Brown. — Le 15 juin 1860, le sieur Brown avait pris un brevet en France pour des perfectionnements dans l'emploi de la poudre. Le but de son invention était de préparer la poudre en morceaux ou charges compactes, s'adaptant aux divers calibres des canons, carabines, mousquets et autres armes à feu, sans détruire les granulations de la poudre ni diminuer sa force explosive, de façon que les charges puissent rester en magasin sans se détériorer, et qu'on puisse placer la charge sans la renfermer dans du papier ou autre matière étrangère, et cependant sans qu'aucun grain détaché risque de se loger dans les rainures.

L'Empereur ayant eu connaissance de l'invention du sieur Brown et des essais heureux qui en avaient été faits en Angleterre pour les charges du canon Whitworth, se chargeant par la culasse, fit inaugurer de semblables essais à la poudrerie du Bouchet.

La description du procédé du sieur Brown indiquait deux opérations :

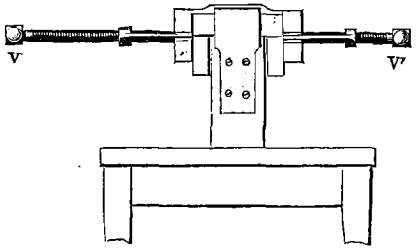
1° Couvrir uniformément les grains de poudre d'une couche de mucilage gommeux, en les étendant sur une table préalablement enduite de cette substance;

2° Placer la poudre gommée dans un cylindre creux où elle est fortement comprimée et d'où elle sort à l'état compact.

La composition du mucilage gommeux était indiquée de la manière suivante. Une livre de gomme arabique est dissoute dans deux livres d'eau froide, puis un quart de livre de salpêtre dans cinq fois son poids d'eau. Le mélange est ensuite additionné d'alcool et trituré jusqu'à formation d'un fluide opaque. Mais les conditions de la compression n'étaient définies par aucune indication suffisante : il était dit seulement que la pression nécessaire pour faire les charges était considérable et qu'elle devait être appliquée avec un pressoir à vis (fly-press.) Les proportions de mucilage employé n'étaient pas précisées non plus.

Des essais nombreux furent faits par M. d'Hubert, alors directeur de la poudrerie du Bouchet, pour déterminer toutes ces conditions, et pour fabriquer des charges appropriées aux différentes pièces en usage dans l'artillerie.

Fig. 1.



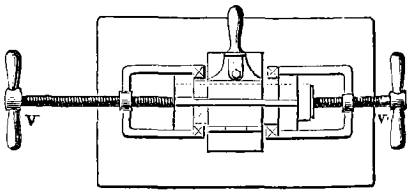


Fig. 2.

L'appareil employé dans ces essais est représenté dans les deux figures ci-dessus (1 et 2).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le tube de compression est en bronze très-résistant pour éviter toute déformation. Il est ouvert à ses deux extrémités et muni de deux fortes rondelles glissant à frottement dans l'intérieur du tube et jouant le rôle de pistons compresseurs. Les pressions sont exercées à l'aide de deux vis dont le pas est de 2 millimètres. Les écrous de ces vis s'adaptent à deux couronnes en fer, fixées aux deux extrémités du tube. On a donné à une de ces vis une longueur plus considérable afin de la faire servir à pousser la charge hors du tube après la compression.

Le tube est établi horizontalement dans un manchon à charnières, solidement fixé sur un support massif, faisant corps avec une table.

On opère alors de la manière suivante :

On commence par étendre sur une table de marbre la quantité de mucilage à employer en une couche aussi régulière que possible, puis on y verse la poudre, en l'étendant aussi d'une manière très-régulière. Les grains enduits de mucilage sont ramassés et versés dans le tube à compression, que l'on met ensuite en position, les deux rondelles portant exactement sur la masse.

En amenant alors les vis au contact des rondelles, et repérant leurs positions, on mesure la longueur primitive de la charge, et par la connaissance du pas des vis on en déduit le nombre de tours à faire pour obtenir une compression déterminée. Cette compression se fait en agissant alternativement par quantités égales sur les deux vis. Lorsqu'elle est terminée, on retire en arrière la vis la plus courte V' et l'on fait marcher la vis la plus longue V jusqu'à ce que la charge avec ses deux rondelles soit sortie du tube à compression.

M. d'Hubert trouva par tâtonnements que la proportion de mucilage devait être un peu inférieure à 1 p. 100.

Malgré la multiplicité des essais entrepris, on dut renoncer à préparer de cette manière des charges pour le fusil. Quant aux charges pour le canon, il fut également impossible d'arriver à une solidité convenable, sans détériorer assez notablement les grains, et former une certaine quantité de pulvérin, ce qui altérait la puissance balistique de la poudre; on en vint alors à envelopper les charges dans une feuille d'étain, ce qui ne répondait plus à l'idée du sieur Brown. On pensa que cet insuccès tenait à ce que la poudre française, beaucoup moins fortement lissée que la poudre anglaise, ne pouvait se prêter à la compression; mais bientôt on sut qu'en Angleterre même l'emploi de la feuille d'étain avait été reconnu nécessaire.

Il restait toutefois aux charges comprimées cet avantage, sur lequel nous devons insister comme pouvant supprimer une cause de danger dans les usages de l'artillerie, de ne brûler à l'air libre qu'avec une certaine lenteur. En plein air en effet, les gaz produits par la combustion ayant leur libre échappement dans l'atmosphère ne peuvent entamer la masse de la charge, laquelle brûle par couches concentriques allant presque régulièrement de l'extérieur à l'intérieur. Dans les armes, au contraire, l'inertie du projectile s'opposant, pendant les premiers instants de la déflagration, à l'expansion des gaz produits, la charge est complétement rompue et transformée en un mélange de grains plus ou moins irréguliers que les gaz peuvent traverser dans tous les sens, ce qui ramène la charge comprimée aux conditions ordinaires de la charge en grains. Outre cet avantage, dont l'importance ne peut échapper, il restait encore aux charges comprimées celui d'un maniement facile et d'une grande régularité d'effet.

Mais à l'apparition du procédé Dorémus, celui du sieur Brown fut complétement abandonné.

Procédé du sieur Dorémus. — Le sieur Dorémus avait imaginé un procédé de fabrication des charges comprimées qui ne différait de celui du sieur Brown que par la suppression du mucilage gommeux. Ce procédé ayant été appliqué en grand en Amérique, le sieur Dorémus vint en France dans le courant de 1862 pour en offrir la cession au Gouvernement français. Avant d'entrer en arrangement avec lui, M. le ministre de la guerre demanda à ce que des expériences préalables fussent faites sur les poudres françaises.

Dès le mois de mai 1862, les essais commencèrent à la poudrerie du Bouchet; ils furent poussés très-activement, et l'on reconnut bientôt que la compression à sec et à froid, qui constituait le procédé Dorémus, tout en laissant aux charges une force balistique suffisante, permettait de les réduire à un volume moindre que celui des charges Brown.

On conçut tout d'abord de grandes espérances sur les applications des charges comprimées dans l'Artillerie, et le Ministre de la guerre fit au prix de 100,000 fr. l'acquisition du brevet Dorémus. Voulant donner une grande impulsion à ces études, le ministre de la guerre, par ordre du 4 novembre 1862, forma une commission spéciale dite des charges comprimées, sous la présidence d'un général de division d'artillerie. M. d'Hubert, le directeur de la poudrerie du Bouchet, faisait partie de cette commission, et ce fut au Bouchet que l'on fit tout d'abord et successivement des charges pour les différentes armes. Nous ne nous arrêtons pas dans ce moment sur le procédé employé, à cause de son analogie avec celui que nous décrirons plus loin en détail pour les charges comprimées de mine.

Charges comprimées pour armes de guerre. — Les essais nombreux poursuivis en 1862, 1863 et 1864 donnèrent tout d'abord des résultats très-favorables. La compression n'altérait en rien la puissance balistique de la poudre : au contraire, elle diminuait le volume des approvisionnements, elle rendait le maniement des charges plus facile, et supprimait la formation du poussier. Vers la fin de 1864, la période d'essais paraissant terminée pour toutes les charges comprimées à employer dans les bouches à feu, l'École de pyrotechnie fut chargée d'entreprendre une fabrication régulière pour approvisionner les diverses Écoles d'artillerie.

Pendant le même temps, la commission de tir de Gavre poursuivait une série d'essais pour l'application des charges comprimées aux canons de la marine, et faisait au Bouchet un très-grand nombre de charges avec des compressions variables et des poudres de qualités diverses.

Les armes portatives n'étaient pas non plus oubliées, et dès le mois d'août 1862, la poudrerie du Bouchet eut à fabriquer des cartouches pour le fusil modèle 1842, que l'on envoya au Mexique pour être expérimentées. Les diverses armes faites à la suite du programme de l'Empereur, telles que le fusil Chassepot, la carabine à aiguille Delvigne et son fusil modèle 1842 transformé, ainsi que la carabine du commandant Maldan, trouvèrent un aide fort utile dans l'emploi des cartouches comprimées qui leur furent faites également au Bouchet.

Mais bientôt on reconnut dans le tir des polygones que les charges comprimées détérioraient très-rapidement les bouches à feu. La poudre comprimée, toutes choses égales d'ailleurs, brûle plus lentement dans les armes que la poudre en grains. Mais par suite de la réduction notable du volume primitif de la charge, qui entraîne, à inertie égale du projectile, une diminution de l'espace initial dans lequel se développent les gaz, il peut arriver que la tension des gaz, dans les premiers instants, soit très-supérieure avec les charges comprimées à ce qu'elle est avec la poudre en grains. En somme, il peut se faire et généralement on observe que la poudre comprimée est plus brisante que la poudre en grains.

Au point de vue de l'artillerie, cet inconvénient est très-grave. Le matériel existant a été établi pour une puissance balistique déterminée de la poudre. Comme

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ce matériel coûte des sommes considérables, on ne peut songer à le modifier qu'en vue d'un perfectionnement très-important que ne réalisait pas en somme l'emploi des charges comprimées.

Plusieurs éclatements de bouches à feu, survenus à Gavre et dans d'autres polygones, vinrent bientôt démontrer le danger des qualités brisantes des charges comprimées. D'autre part, les cartouches envoyées au Mexique ne donnèrent que des résultats très-médiocres, en raison de leur peu de solidité. Peu à peu on en vint à réduire l'emploi des charges comprimées à l'éclatement des projectiles creux, et bientôt même les grandes espérances conçues à l'origine furent complétement oubliées.

Du reste, il en a été de même pour les différents pays où les charges comprimées ont été successivement expérimentées. En Amérique même on n'a pas tardé à les abandonner, et dès 1864, un colonel de l'artillerie française, M. de Chanal, envoyé pour étudier leur emploi dans les armées du Nord, n'en trouvait aucune trace.

Charges comprimées pour la chasse et les mines. — En même temps qu'il poursuivait au Bouchet les divers essais relatés ci-dessus sur les charges comprimées à employer dans les bouches à feu et armes portatives de guerre, M. d'Hubert avait essayé d'appliquer la compression à la poudre de chasse et à la poudre de mine.

Disons tout de suite que les cartouches de chasse n'ont pas fourni des résultats très-avantageux, la compression n'ayant pu leur donner une solidité suffisante pour résister aux divers accidents de la chasse. Toutefois la question mériterait certainement d'être reprise, surtout pour les fusils qui se chargent par la bouche.

Quant aux cartouches de mine, il n'est pas sans intérêt de s'y arrêter.

Les premiers essais de fabrication de charges comprimées de mine furent entrepris à la demande même du sieur Dorémus, en vue de rechercher ultérieurement si l'emploi de la poudre de mine en charges comprimées permettrait de substituer le nitrate de soude au salpêtre dans la composition de cette dernière. La compression des charges devant remédier à l'hygrométricité du nitrate de soude, l'emploi de ce sel permettrait de réaliser une économie notable dans la fabrication des poudres de mine. Cette idée ne fut pas poursuivie, et, du reste, l'abaissement actuel du prix du salpêtre rend la substitution du nitrate de soude sans intérêt.

Quoi qu'il en soit, dans le courant de novembre 1862, le Directeur du service des poudres donna l'ordre à M. d'Hubert de faire l'étude d'un appareil propre à fabriquer des charges comprimées de poudre de mine. La machine installée dès lors était en état de faire environ 300 charges par jour.

Des envois furent d'abord faits, à titre d'échantillons et pour permettre des expériences spéciales, à Marseille, et sur les lignes en construction du Dauphiné.

En juillet 1864, les travaux considérables poursuivis par les ingénieurs de l'État dans la tranchée de Guerbastion (commune de Plouarec), sur le chemin de fer de Saint-Brieuc à Brest, dans des roches granitiques très-compactes, fournirent une nouvelle occasion d'expériences. M. d'Hubert fut envoyé sur les travaux pour juger des conditions dans lesquelles les expériences allaient être faites et les diriger d'une manière fructueuse. Il put rapporter des résultats favorables aux charges comprimées dont l'emploi devait, suivant les chefs de chantier, amener une régularité inconnue jusqu'alors et en outre supprimer tout coulage.

Une note de M. Pugnet, ingénieur des ponts et chaussées, portant la date du 12 octobre 1864, précisait par les chiffres suivants l'avantage des charges comprimées :

1° Avec la poudre de mine ordinaire (469 coups de mine) on avait dépensé 70^{k},990 de poudre pour extraire 87^{mc},750 de roc, soit 0^{k},809 par mètre cube.

2° Avec la poudre granulée comprimée (241 coups de mine) on avait dépensé 42^{k},500 de poudre pour extraire 53^{mc},380, soit 0^{k},780 par mètre cube.

3° Avec le pulvérin de mine comprimé (20 coups de mine) on avait dépensé 29^{k},250 pour extraire 40^{mc},750, soit 0^{k},718 par mètre cube.

Ainsi, en résumé, pour un mètre cube de roc extrait, les consommations en poudre étaient :

0^{k},809 avec la poudre granulée ordinaire;
0^{k},780 avec la poudre granulée comprimée;
0^{k},718 avec le pulvérin comprimé.

Ces résultats donnaient ainsi un avantage marqué à la poudre comprimée sur la poudre ordinaire et, chose curieuse à noter, dans les charges comprimées même au pulvérin sur la poudre granulée. Ils faisaient entrevoir la possibilité de supprimer toute la main-d'œuvre du grenage de la poudre de mine.

Les coups de mine cités ci-dessus avaient été tirés dans la cunette inférieure de la tranchée, il parut utile de recommencer les essais en abattage. De nouveaux envois de charges diverses furent faits à Plouarec, et les essais entrepris alors furent, au dire de M. Pugnet, plus favorables encore que les premiers à la poudre comprimée. Malheureusement, ils furent interrompus par la mort subite de M. Pugnet, et l'on ne put trouver, dans les papiers de ce dernier, aucune trace des résultats obtenus.

Vers la même époque, par suite d'un accord fait entre M. d'Hubert et l'ingénieur des travaux hydrauliques de Brest, des charges comprimées de mine furent envoyées à Brest pour être expérimentées dans les travaux du nouveau port à Saloon. Les essais ne purent être faits dans des conditions favorables, le bref délai assigné à l'entrepreneur pour l'achèvement des travaux l'ayant forcé à multiplier les attaques sans chercher les moyens d'économiser la poudre. En somme, soit en raison de la presse des travaux, soit par esprit d'opposition à une nouveauté dérangeant leurs habitudes, les agents de l'entrepreneur parurent peu satisfaits de l'emploi de la poudre comprimée.

A la fin de 1864, par lettre du 22 septembre, MM. Bianchi et Davey, le premier, constructeur d'appareils de physique, le second, fabricant de mèches de sûreté, s'offrirent au Directeur du service des poudres comme propagateurs de la poudre comprimée dans son application aux mines et à la chasse. L'État fabriquant les charges comprimées sous les formes les plus convenables en raison de leur emploi, MM. Bianchi et Davey se chargeaient d'en faire le placement, demandant pour leurs soins, essais et frais de déplacement, la somme de 2 centimes par cartouche de mine et un demi-centime par cartouche de chasse.

Cette proposition n'était évidemment pas acceptable, l'État ne pouvant admettre pour l'exploitation du monopole de la poudre l'emploi à quelque titre que ce soit de simples particuliers. Elle était d'ailleurs sans utilité, car avec son personnel d'ingénieurs et d'employés, l'État pouvait propager aussi rapidement que qui que ce soit cette invention nouvelle.

C'est ainsi que dans le courant d'octobre 1864, le Directeur du service des poudres obtint du Directeur général des contributions indirectes le concours des Entreposeurs. Les nouvelles charges comprimées devaient être livrées, au prix de la poudre ordinaire, à tout entrepreneur ou directeur de mines et de carrières qui en ferait la demande, à la seule condition de fournir des détails sur les résultats obtenus.

Une nouvelle impulsion fut donnée alors à la fabrication des charges comprimées de mine. Cette impulsion s'accrut encore lorsque le Ministre des travaux publics eut prescrit aux Ingénieurs des mines et des ponts et chaussées de pousser les divers industriels qui se trouvaient dans leurs arrondissements à faire l'essa

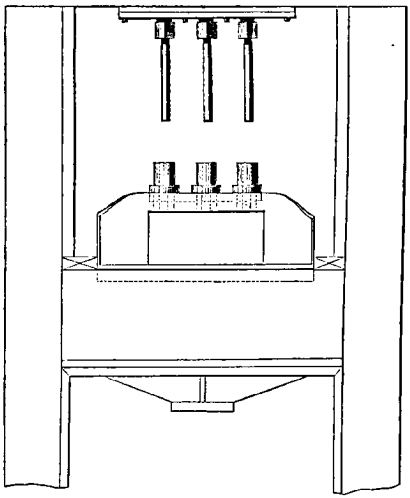
EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ces charges. La poudrerie du Bouchet fut autorisée alors par le Ministre de la guerre à fabriquer sur la commande directe des Ingénieurs.

La machine primitivement installée par M. d'Hubert devint insuffisante. Une nouvelle machine fut installée par lui et M. L. Faucher sur le même principe; mais par suite du triplement des tubes à compression, elle pouvait donner environ 4 000 charges par jour.

Les figures 3 et 4 ci-jointes représentent cette machine en plan et élévation.

Fig. 3.



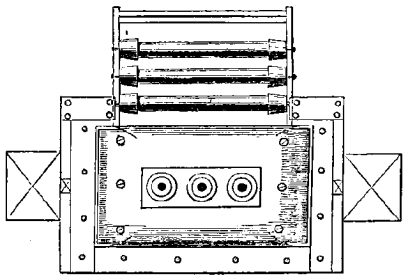


Fig. 4.

Sur le plateau d'une presse hydraulique, dont le mouvement vertical est dirigé par des guides en fer, est fixé une sorte de billot en bois qui porte les trois tubes à compression. En dessous des tubes dans le billot en bois est pratiquée une ouverture alternativement fermée et ouverte par un tiroir mobile, dont la course est limitée en avant et en arrière par des arrêts fixes.

Sur le sommier de la presse sont fixées des règles en fer, formant rainures et supportant la tête des mandrins à compression, lesquels peuvent être déplacés de manière à ce que leur axe coïncide avec celui des tubes à compression.

Ceci posé, entrons dans le détail des opérations.

A l'origine, le tiroir est repoussé sur les rouleaux de bois installés en arrière du billot; on passe alors dans les tubes un linge légèrement imbibé d'huile. Ce graissage est destiné à diminuer l'adhérence de la poudre contre les parois du tube pendant la compression; il est indispensable pour que les charges présentent dans toute leur longueur le même degré de compression. Disons tout de suite, au reste, que ce résultat n'est jamais obtenu dans la pratique, la compression étant toujours plus forte à la partie supérieure de la charge.

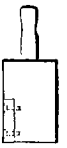


Fig. 5.

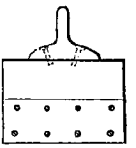


Fig. 6.

Après le graissage, on met le tiroir (fig. 5 et 6) en place en l'attirant en avant jusqu'à ce qu'il bute contre l'arrêt fixe. On introduit alors dans chaque tube un tampon en bronze qui, en reposant sur la plaque supérieure du tiroir, ferme le tube. Ce tampon est taillé à sa partie supérieure suivant la forme à donner à la charge; le plus souvent, c'est une surface plane.

On verse ensuite dans chaque tube la charge de poudre pesée à l'avance, laquelle doit conserver 0,75 à 1 p. 100 d'humidité. Puis on place par-dessus de nouveaux tampons en bronze.

On pompe alors, le plateau de la presse s'élève, les mandrins entrent dans les tubes et portent sur les tampons en bronze. Dès lors, la compression commence. Par tâtonnements on a déterminé à l'avance la longueur à donner aux charges en raison de la compression adoptée. Par suite, il faut enfoncer les mandrins dans les tubes d'une hauteur déterminée.

Dans le cas où le plateau de la presse hydraulique ne se déplace pas horizontalement, il faudrait pour chaque mandrin des enfoncements différents. Pour remédier à cet inconvénient, les mandrins sont formés de deux parties distinctes : la tête terminée par une vis s'enfonce dans le corps faisant écrou. Dès lors, la longueur de chaque mandrin peut être réglée à volonté.

La compression terminée, on rend un peu d'eau pour desserrer le tiroir que l'on repousse en arrière et l'on continue à pomper. Les mandrins poussent alors les tampons et la charge devant eux, et l'on reçoit successivement le tout sur une planchette légère.

Les charges ainsi obtenues, pesant 50 grammes chaque, étaient cylindriques, au diamètre de 32 millimètres et d'une hauteur de 45 millimètres, ce qui correspondait presque à une compression de moitié en volume.

Quant à leur mode d'emploi, le trou de mine doit se faire comme d'ordinaire. Seulement ses dimensions doivent être très-voisines du diamètre de 32 millimètres, afin d'éviter les matelas d'air qui absorberaient en pure perte une portion notable de la force de la poudre; d'autre part, elles doivent être telles que la charge puisse bien descendre à fond, pour que la mine ne puisse débourrer. En somme, la tête du fleuret doit avoir de 33 à 34 millimètres.

Le mode de chargement est d'ailleurs le même qu'avec la poudre ordinaire. Si l'on veut faire usage pour la mise en feu de mèches de sûreté, il suffit de pratiquer avec un couteau sur le côté de la charge une sorte de rainure, où l'on loge la mèche que l'on assujettit par une bague en caoutchouc ou simplement par un tour de ficelle.

La machine que nous venons de décrire n'était pas à l'abri de toute critique. La plus grave, c'est que l'opé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ration est divisée en deux temps : 1° compression ; 2° extraction de la charge, ce qui en prolonge inutilement la durée. Mais il y a, soit dans l'emploi proposé par M. E. Faucher, directeur de la raffinerie de Marseille, de l'eau comprimée, soit dans l'emploi proposé par M. L. Faucher d'un mode de compression calqué sur celui de la presse monétaire, de quoi remédier à ces inconvénients.

Quoi qu'il en soit, dans le courant de 1865, une certaine quantité de charges, que l'on peut évaluer à 4 000 ou 5 000 kilogrammes, furent envoyées par la poudrerie du Bouchet, principalement dans les districts métallurgiques et houillers du nord, à Anzin, à Douzy, à Aniche, etc. Une livraison de 1000 charges fut également faite à l'Ingénieur en chef du chemin de fer du Midi.

A partir de 1866, la poudrerie du Bouchet ayant cessé de fabriquer les poudres destinées au commerce, la machine à comprimer fut envoyée à la poudrerie d'Angoulême. Mais aucune commande n'a été faite, et il résulte des rapports des ingénieurs des mines et des ponts et chaussées que le peu d'empressement du public tient à ce que les résultats obtenus avec les charges comprimées sont loin d'être concluants.

La fixité du diamètre des charges présente en particulier un inconvénient assez grave dans la pratique en raison du diamètre variable des trous de mine. Pour obtenir des charges de diamètres différents, il faudrait un outillage varié dont la dépense ne pourrait être faite par l'État que s'il se présentait des commandes suffisamment nombreuses des particuliers.

En somme, l'idée de la compression de la poudre, accueillie d'abord avec une si grande faveur, finit par rencontrer l'indifférence générale. Pour ce qui est des applications militaires, l'inconvénient des qualités brisantes est si grave qu'il rend l'emploi des charges comprimées impossible. Mais, quant aux usages industriels, l'avantage que présentent les charges comprimées d'être d'un maniement facile et de mettre obstacle au coulage inévitable dans les grands chantiers, est certainement très-précieux. Dans le cas surtout où les trous sont percés avec des perforateurs mécaniques, l'emploi des charges comprimées de mine pourrait présenter de grands avantages. Il y a donc lieu de souhaiter, dans l'intérêt des exploitations des mines et carrières, que cette question soit un jour remise à l'ordre du jour.

POUDRES PRISMATIQUES A CANAUX. — L'idée des poudres prismatiques à canaux est originaire d'Amérique; comme celle de la compression, elle appartient au major Rodmann.

Voici quels raisonnements théoriques lui ont donné naissance.

Pour fatiguer les bouches à feu aussi peu que possible, tout en donnant aux projectiles une vitesse maximum, il faudrait que la tension des gaz de la poudre atteignit son maximum au moment où le projectile est sur le point de sortir de l'âme. Autrement dit, il faurait que les quantités de gaz produites fussent de plus en plus grandes, à mesure que le projectile s'avance dans l'âme.

Avec la poudre ordinaire en grains, il se produit presque un effet contraire. La tension des gaz croît très-rapidement et atteint son maximum dès les premiers instants du déplacement du projectile. Par suite, les bouches à feu doivent présenter dans le voisinage de la chambre à poudre une résistance correspondante au maximum de tension des gaz, tandis que les effets du projectile ne sont déterminés que par la pression moyenne, laquelle est très-inférieure au maximum.

Le major Rodmann eut l'idée de former la charge de grains prismatiques en poudre comprimée se raccordant exactement par leurs surfaces extérieures, et présentant une série de canaux cylindriques intérieurs.

Dans ces conditions, si l'on admet que la combustion se fasse uniquement par la surface des canaux intérieurs, comme cette surface va en croissant, le volume des gaz produits ira également en croissant. Si même les éléments présentent une solidité suffisante pour conserver leur forme malgré la déflagration, cette permanence de la forme conduira à une production régulièrement progressive des gaz.

Théoriquement cette idée est bonne. Mais dans l'intérieur des bouches à feu, la déflagration de la poudre ne se produit pas avec cette régularité et cette simplicité toute théorique. Dès l'origine, la masse entière de la charge est brisée, les poudres prismatiques à canaux se présentent alors dans les mêmes conditions que les charges comprimées, avec cette différence seule que leur volume primitif est sensiblement le même que celui des poudres en grains, ce qui en écarte les qualités brisantes.

En somme, les essais faits en Amérique, sur la proposition du major Rodmann, ont été infructueux, l'amélioration du tir ne compensant nullement les difficultés de fabrication des charges.

De l'Amérique, l'idée des poudres prismatiques à canaux s'est propagée en Russie. Bien que les essais y aient été également infructueux, nous décrirons ces poudres russes, parce qu'il en a été fabriqué également une certaine quantité en France, à la poudrerie du Bouchet.

Les charges sont formées par des grains prismatiques réunis dans un sachet en serge ordinaire et rangés par couches régulières. Chaque grain a la forme d'un prisme, ayant pour hauteur 25.2 millimètres, et pour base un hexagone circonscrit à un cercle de 35.2 millimètres de diamètre. Ce prisme est percé de sept trous de forme tronconique, dont les deux diamètres sont, l'un de 5.1 millimètres, et l'autre de 4.8 millimètres; l'un des trous est au centre de l'hexagone, et les six autres se trouvent sur les rayons qui aboutissent aux six sommets de l'hexagone, les centres étant à 11 millimètres du centre de l'hexagone (fig. 7).

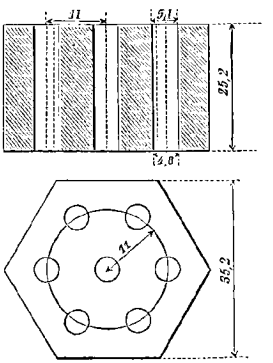


Fig. 7.

Chacun de ces grains fait l'objet d'une fabrication spéciale. On prend 37 grammes de matière ternaire de poudre à canon ordinaire que l'on comprime dans un moule en fonte, ayant les dimensions extérieures du prisme, avec un piston qui porte sept broches ayant les dimensions des trous à réserver dans la masse. La densité finale de la poudre ainsi comprimée est de 1,64.

En Russie et en France, la fabrication de ces poudres n'a pas été continuée.

En Prusse, une fabrication de poudre prismatique, semblable à la poudre russe, a été installée à la poudrerie d'Essen. Quelques essais ont été faits, particulièrement avec les canons en acier Krupp, et il semble que l'on tend à adopter cette poudre pour les canons de gros

ÉFERUS - Recherche & Classification numérique

calibre employés dans la marine; mais il n'y a rien de définitif et de concluant.

En résumé, l'idée des poudres prismatiques à canaux du major Rodmann n'est qu'une conception élégante, sans utilité dans la pratique.

MÉLANGES INEXPLOSIFS DE POUDRE. — Quelles que soient les précautions prises pour la conservation des poudres, les magasins à poudre et poudrières ne sont pas à l'abri des chances d'accidents tenant à l'imprudence et à la maladresse, ainsi qu'aux cas fortuits d'incendie ou de feu du ciel. Comme ces magasins renferment généralement des quantités considérables de poudre, et sont souvent situés dans l'enceinte même des villes, les accidents de cette nature présentent même une gravité exceptionnelle. Depuis longtemps déjà, on s'est proposé pour but de diminuer les dangers d'explosion tenant à la conservation de la poudre en magasin, en diminuant sa vitesse d'inflammation par des mélanges convenables.

M. Piobert a poursuivi, dans le courant de 1835, une série d'expériences dont les résultats ont été communiqués à l'Académie des sciences, dans la séance du 24 février 1840, et qui sont résumés dans son *Traité d'artillerie* (2e volume, pages 213 à 221). Ces expériences, faites sur des mélanges de poudre avec charbon, salpêtre, soufre ou pulverin, ont montré que quand la poudre en grains est mélangée avec environ le tiers en poids d'une autre matière pulvérisée, la vitesse d'inflammation est considérablement réduite; avec du salpêtre, la combustion peut même être limitée aux couches superficielles. M. Piobert a proposé dès lors, pour diminuer les dangers des explosions, de ne mettre la poudre en magasin que mêlée avec un poids égal de poussier, de charbon, de soufre ou de salpêtre trituré. Au moment de l'emploi, il suffisait de tamiser la poudre avec un tamis convenable pour lui rendre ses propriétés balistiques. Il insistait surtout sur ce point, que les approvisionnements de salpêtre que l'on est obligé d'avoir en réserve dans les poudreries de l'État, pour écarter toute crainte de disette en cas de guerres maritimes, seraient ainsi utilisés, en sorte que la conservation de la poudre par le salpêtre n'entrainerait aucune dépense nouvelle.

Il faut remarquer toutefois que l'énorme accroissement de volume du mélange de la poudre avec la matière pulvérulente protectrice augmenterait dans une notable proportion les frais d'embarillage. En outre, pour ce qui est du salpêtre, l'hygrométricité de ce sel présenterait un obstacle grave à son emploi comme préservateur. On sait en effet qu'à moins de le conserver dans un lieu absolument sec, le salpêtre en poudre se transforme rapidement en mottes d'une grande dureté. Dans les magasins à poudre et surtout dans les poudrières à l'abri de la bombe, qui sont toujours plus ou moins humides, cet effet se produirait certainement, et la séparation ultérieure nécessaire pour rendre à la poudre ses propriétés balistiques présenterait sans doute des difficultés sérieuses.

A la suite de la publication de M. Piobert, M. Fadeieff, professeur de chimie à l'École d'artillerie de Saint-Pétersbourg, a fait de nombreuses expériences en grand pour déterminer la matière la plus convenable à mêler avec la poudre. Dans une note adressée à l'Académie des sciences, dans la séance du 17 juin 1844, M. Fadeieff établit qu'un mélange d'égales parties de charbon de bois et de charbon minéral (graphite), réparti dans les interstices d'un poids double de grains de poudre, remplissait parfaitement le but de conservation inoffensive cherché par M. Piobert. Cette matière ne se sépare pas de la poudre dans les transports, s'en sépare facilement par le tamisage, et la présence de l'humidité n'altère en rien ses propriétés. D'autre part, le mélange une fois fait s'enflamme très-difficilement, même avec une lance à feu; la flamme peut être éteinte et la combustion complétement arrêtée au moyen de pompes à incendie: les barils n'éclatent pas, lors même que les gaz ne peuvent sortir que par le trou servant à mettre le feu. En un mot, la poudre, par le moyen du mélange proposé, devient absolument inexplosive.

Malgré l'efficacité du procédé de M. Fadeieff, ce mode de conservation n'a pu passer dans la pratique. Outre le surcroit très-notable de frais de conservation, tenant à l'accroissement de volume, la nécessité de tamiser la poudre au moment d'en faire usage présente en effet de nombreux inconvénients. Il en résulte forcément qu'on ne peut appliquer la préservation qu'aux poudres conservées en magasin. Mais dans ce cas même, il y aurait à l'époque de l'entrée en campagne une manutention considérable qui, faite nécessairement avec une grande précipitation, présenterait des dangers plus graves même que ceux à éviter.

Dans le courant de 1862, des expériences nombreuses furent faites en Angleterre au tir de Wimbledon, devant Son Altesse royale le duc de Cambridge, par M. Gale, sur un procédé dont il était l'inventeur, et qui permettait d'enlever et de rendre à volonté à la poudre ses propriétés explosives.

Tout d'abord, M. Gale montra la poudre protectrice qui avait l'apparence d'une fine poussière blanche.

En mêlant par parties égales la poudre protectrice et la poudre à canon, on enlevait à cette dernière sa force de projection; elle fusait lentement sans détoner. En augmentant la quantité de poudre protectrice jusqu'au rapport de 4 à 1, la poudre devenait complétement incombustible. On pouvait la remuer dans des barils avec des lances à feu à la chaleur rouge, ou y faire éclater des fusées, le tout impunément.

Un paquet de mélange étant projeté dans le feu, le papier était immédiatement consumé sans qu'il y eut explosion; le feu était presque éteint par le poids du mélange. Un baril de mélange étant placé de même sur le feu, le baril se consumait lentement. En variant de mille manières le contact du feu et du mélange, il n'y avait jamais explosion.

D'ailleurs, dans chaque expérience on prenait une certaine quantité de mélange, on le tamisait avec soin pour séparer la poudre protectrice, et l'on constatait que le résidu possédait intégralement les propriétés explosives de la poudre. Donc la possibilité de rendre à volonté la poudre à canon inexplosible était absolument démontrée.

M. Gale ayant fait breveter son procédé, on sait que la poudre protectrice est formée de verre pulvérisé aussi fin que possible. Le principe de son procédé n'est donc pas nouveau; il rentre dans les faits déjà exposés par M. Piobert.

L'emploi du verre pilé présente quelques avantages sur les mélanges proposés par M. Piobert, et même par M. Fadeieff; n'étant aucunement hygrométrique, il ne peut altérer en rien les qualités de la poudre. Toutefois, dans les transports, il pourrait se faire qu'en raison de la très-grande différence de densité entre le verre pilé et la poudre, les deux poudres ne se séparent complétement, ce qui enlèverait au procédé toute son efficacité.

Quoi qu'il en soit, ce que nous avons dit au sujet des travaux de M. Piobert et de M. Fadeieff, des inconvénients de l'accroissement de volume pour la conservation dans les magasins et des inconvénients du tamisage au moment de l'entrée en campagne, subsiste pour le procédé de M. Gale. On comprend dès lors comment les expériences faites à Wimbledon, après avoir fait un grand bruit, ont été si rapidement oubliées.

En résumé, le procédé de M. Gale, quoique d'une efficacité incontestable, ne présente pas dans la pratique d'avantages marqués. L'idée de rendre la poudre inexplosible dans toutes les circonstances, autres que celles de son emploi normal, a cependant son importance et nous y reviendrons bientôt.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lors de la publication en France du procédé Gale, surgit une réclamation de priorité de M. Pascalis, pharmacien à Bar-sur-Seine, en faveur d'un de ses compatriotes nommé Boyer. Il paraîtrait que le sieur Boyer avait imaginé, pour rendre la poudre incombustible, de la noyer en quelque sorte dans une atmosphère de gaz acide carbonique. La simple agitation de la poudre dans l'air, au moment de l'emploi, suffisait pour lui rendre ses propriétés explosives. Ce procédé, expérimenté devant une commission militaire, aurait donné de très-bons résultats.

Ce que nous avons dit plus haut des travaux faits par M. Piobert et par M. Fadeieff dans la même voie, écarte tout d'abord cette réclamation de priorité. Quant à la valeur pratique de l'idée de M. Boyer, il est certain d'une part que la suppression du tamisage au moment de l'emploi est fort avantageux, mais il nous semble bien difficile, d'autre part, que les barils renfermant la poudre soient suffisamment étanches, surtout après quelques mois de séjour dans les magasins, pour que le gaz acide carbonique y séjourne sans pertes considérables. Il n'y a donc pas lieu de s'y arrêter.

En résumé, tout ce qui a été fait jusqu'ici pour rendre la poudre incombustible par des mélanges convenables, quoique fort intéressant, et même fort efficace, ne peut soutenir l'épreuve de la pratique.

II. — Modifications chimiques de la poudre.

Si l'on voulait entrer dans le détail de toutes les modifications proposées dans la composition chimique de la poudre, il faudrait compulser toute la collection des brevets expirés. Il n'est pas, en effet, une seule matière chimique douée de propriétés explosives, qui n'ait attiré l'attention des inventeurs, et conduit à une nouvelle formule de poudre. Seulement beaucoup de ces formules, établies sans connaissance préalable de la question et sans expériences précises, n'ont aucune valeur pratique. Nous nous arrêterons seulement : 1° sur les pyroxyles ; 2° sur les poudres au nitrate de soude ; 3° sur les poudres au chlorate de potasse ; 4° sur les poudres au picrate de potasse ; 5° sur les poudres inexplosibles.

Pyroxyles. — L'importance des pyroxyles, au point de vue chimique, ainsi que les nombreuses expériences faites en vue de leur application aux arts techniques et militaires, nous ont conduit à en faire une étude spéciale (voir art. *Pyroxyles*). Nous n'avons pas à y revenir ici. Nous signalerons toutefois les différences d'effet que présentent dans les applications les poudres formées de diverses substances que nous appellerons *composées* et les poudres formées d'un seul corps défini que nous appellerons *élémentaires*. Les pyroxyles rentrent dans cette dernière catégorie.

Toutes choses égales d'ailleurs, les poudres *élémentaires* sont toujours plus brisantes que les poudres *composées*, et cela se conçoit facilement. En effet, les poudres *élémentaires*, pyroxyles, argent fulminant, fulminate de mercure..., se résolvent, au moment de l'inflammation ou du choc qui déterminent leur explosion, en un certain nombre de corps gazeux ou solides, préexistant à l'avance dans leur composition. Pour les poudres composées, il se produit au contraire, au moment de l'explosion, une série de combinaisons diverses, et non préexistantes entre les divers éléments constituants. Par suite, le temps pendant lequel durent les divers phénomènes physiques et chimiques qui constituent l'explosion est forcément plus court dans le premier cas que dans le second. De là résulte forcément une plus grande action sur les parois de l'arme ou de l'enveloppe, quelle qu'elle soit, avec les poudres élémentaires qu'avec les poudres composées.

Poudres au nitrate de soude. — Pendant longtemps, le nitrate de soude était d'un prix très-inférieur au salpêtre, puisqu'on le trouvait tout formé au Pérou et au Chili, tandis que le salpêtre ne s'obtenait qu'en traitant le même nitrate de soude avec des sels de potasse d'origines diverses mais d'une production très-restreinte. Le mélange de nitrate de soude, soufre et charbon, produisant des effets très-analogues à ceux de la poudre ordinaire, on a cherché à substituer complétement le nitrate de soude au salpêtre. MM. Bottée et Riffault, dans le *Traité de l'art de fabriquer la poudre à canon*, qui porte la date de 1811, donnent déjà le résultat d'expériences faites dans ce sens.

A différentes époques, cette question a été reprise dans les poudreries de l'État, mais l'hygrométricité du nitrate de soude, qui s'oppose à la conservation de la poudre, a paru un obstacle invincible. Pour ne citer qu'un exemple, un échantillon de poudre de mine au nitrate de soude, fabriqué au Bouchet, qui avait immédiatement après sa fabrication une portée de 156 mètres au mortier éprouvette, ne donnait plus deux mois après que 52 mètres.

M. Mayer, actuellement ingénieur en chef des manufactures de l'État, a cherché à mélanger par parties égales les nitrates de soude et de potasse; en lissant fortement les grains et les recouvrant d'une couche de vernis destinée à les soustraire à l'action de l'humidité, il a obtenu une poudre susceptible de se conserver. Malgré cela, la substitution du nitrate de soude au nitrate de potasse n'a pas paru admissible pour la poudre fabriquée par l'État. En raison du monopole exercé par lui dans cette fabrication qui l'oblige de se mettre à l'abri de tout reproche, et de la nécessité où il peut se trouver de conserver des poudres dans des magasins plus ou moins humides pendant de longues années, l'État ne pouvait diminuer la puissance de conservation de la poudre, même en vue d'un bénéfice réel.

Dans l'industrie, la question d'économie l'emporte sur toute autre; en outre, dans un certain nombre de cas, on peut employer la poudre aussitôt qu'elle est fabriquée, ce qui supprime les inconvénients de l'hygrométricité du nitrate de soude. Nous citerons, par exemple, les travaux du port Saïd, dans le percement de l'isthme de Suez, où l'on n'a jamais fait usage que de poudre au nitrate de soude fabriquée sur place.

En France, pour se soustraire à l'impôt qui résulte du monopole que s'est réservé l'État, on a fait avec des matières diverses de peu de valeur, telles que le tan, la houille, la sciure de bois, etc., jointes au soufre et au nitrate de soude, des poudres qui ont donné des résultats suffisants dans les mines. Telles sont les poudres Murtineddu et Dussaud et le lithofracteur.

Nous citerons seulement avec quelques détails le pyronome composé par M. Reynaud en 1861, à cause de la simplicité de sa fabrication.

Le pyronome se compose de nitrate de soude 52,5 parties; résidu de tan (écorce ayant servi au tannage des peaux), 27,5 parties; soufre pilé, 20 parties. Sa préparation comprend les opérations suivantes : 1° faire dissoudre à chaud le nitrate de soude dans une quantité d'eau suffisante; 2° mêler le tan dans cette dissolution de manière que toutes les parties en soient imprégnées; 3° mêler de la même manière le soufre pulvérisé; 4° retirer le produit du feu et faire sécher d'une manière complète.

L'avantage du pyronome c'est de pouvoir être mouillé et séché à nouveau sans rien perdre de ses qualités premières. Il est particulièrement avantageux dans l'exploitation des carrières à pierre. Mais il ne peut être conservé pendant un certain temps à cause de l'hygrométricité du nitrate de soude. Pour donner une idée de cette tendance à absorber l'humidité, je citerai des échantillons qui, mis le 22 avril 1861 dans le bas d'une armoire du laboratoire du dépôt central, contenaient, le 26 mars 1864, 28,2 p. 100 d'humidité en moyenne. La poudre de mine ordinaire conservée dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les mêmes conditions ne contenait que 1,1 p. 100 d'humidité.

Mais il ne faut pas oublier que la fabrication de toute matière propre à remplacer la poudre constitue un délit. C'est ainsi qu'un procès intenté dans le courant de 1856, par l'Administration des contributions indirectes, contre des entrepreneurs de Marseille (précisément MM. Martineddu et Dussaud), qui fabriquaient la poudre sur leurs chantiers, a été terminé par un arrêt de la Cour de cassation, en date du 2 janvier 1858, qui statue définitivement dans le sens du monopole.

D'après ce jugement, le privilége exclusif, attribué au gouvernement par la loi du 13 fructidor an V, pour la fabrication et la vente des poudres, s'étend à toute agrégation de matières susceptibles d'explosion par l'action du feu et produisant des effets identiques ou analogues à ceux de la poudre ordinaire, quels que soient d'ailleurs les éléments dont elle est formée.

Si donc un industriel trouvait un intérêt véritable à employer une poudre d'une composition donnée et à la fabriquer, il faudrait qu'il obtint l'autorisation préalable de l'Administration, et avant tout qu'il acquittât d'une manière directe l'impôt indirect perçu sur la consommation en poudre. Dans ces conditions, il est douteux que la poudre fabriquée par lui puisse être plus avantageuse que la poudre de l'État.

En résumé, le nitrate de soude ne peut être employé par l'État pour sa poudre de mine à cause de son hygrométricité. Du reste, un abaissement très-notable s'est produit dans le prix du nitrate de potasse, en raison des résidus de potasse obtenus en si grandes quantités dans les fabriques de sucre et d'alcool de betteraves, et surtout par la découverte du chlorure de potassium natif dans les mines de sel gemme. Dès lors, la substitution du nitrate de soude au salpêtre devient sans intérêt.

POUDRES AU CHLORATE DE POTASSE. — Les premiers essais sur l'emploi du chlorate de potasse remontent à l'année 1788 et sont dus à Berthollet.

En étudiant les composés oxygènes du chlore, Berthollet avait reconnu que le chlorate de potasse était un oxydant énergique. Il eut l'idée de le mélanger avec le soufre et le charbon, et obtint de cette manière un mélange qui détonait au feu et par la percussion, avec des effets éminemment plus énergiques que ceux de la poudre ordinaire au salpêtre. Il crut devoir appeler sur ces faits l'attention de la Régie des poudres et salpêtres.

Au commencement de la Révolution, l'Assemblée nationale, craignant que le salpêtre nécessaire pour l'approvisionnement des armées ne vînt à manquer, chargea, par arrêt du 8 juin 1792, le Ministre des contributions publiques de faire répéter les expériences nécessaires relativement à l'emploi du chlorate de potasse au lieu de salpêtre dans la fabrication de la poudre.

Ces expériences furent faites par la Régie des poudres et salpêtres à la poudrerie d'Essonne, sous la direction de Berthollet, mais elles furent interrompues par un terrible accident. La trituration se faisait comme d'ordinaire dans des mortiers en bois avec pilons en bois en présence d'une grande quantité d'eau. M. Letort, directeur de la poudrerie, étant entré dans une usine avec sa fille et Berthollet, toucha malheureusement avec le bout de sa canne une petite motte de poudre séchée sur les bords. Une explosion formidable se produisit, dans laquelle M. Letort, sa fille et quatre ouvriers trouvèrent la mort. Berthollet seul fut sauvé comme par miracle.

Quatre ans plus tard, on reprit ces expériences dans le laboratoire de la raffinerie de salpêtre à Paris, sous la direction de Lavoisier et de Berthollet. A peine avait-on obtenu de quoi remplir deux bocaux, qu'une explosion se produisit par le seul frottement du tourteau dans le tamis à grener.

Vers 1800, de nouveaux essais furent faits par M. de Cossigny, à l'Ile-de-France. En broyant le chlorate de potasse à part dans un mortier de marbre en présence d'une suffisante quantité d'eau, et mélangeant ensuite avec le charbon et le soufre préalablement réduits en poussière fine, il parvint à écarter tout danger. Il put même, en faisant varier les divers éléments, déterminer, comme la plus avantageuse, la proportion de 3/4 chlorate de potasse, 1/8 soufre et 1/8 charbon. Mais on dut reconnaître que la poudre au chlorate de potasse présenterait de grands dangers dans les transports, et qu'elle était en outre éminemment brisante. D'ailleurs, elle oxyde très-rapidement les armes à cause du chlore mis en liberté au moment de l'explosion, en sorte qu'elle ne présente aucun avantage pour les usages de la guerre et de la chasse. Dans les mines, elle est inférieure à la poudre de mine ordinaire; d'abord, à cause de sa trop grande rapidité d'action, ensuite, à cause de son prix plus élevé.

Malgré l'expérience résultant de ces faits nombreux, il surgit à chaque instant des inventeurs qui font entrer le chlorate de potasse dans la composition de nouvelles poudres. Nous citerons seulement celles qui ont le plus attiré l'attention.

M. Augendre, essayeur à la monnaie de Constantinople, a présenté à l'Académie des sciences (séance du 18 février 1850) une poudre formée de :

Chlorate de potasse.	2 parties.
Sucre blanc.	1 partie.
Prussiate jaune de potasse. . .	1 partie.

Suivant M. Augendre, sa poudre a l'avantage : 1° d'être d'une fabrication rapide; 2° d'être inaltérable par l'air et l'humidité. Quant aux inconvénients, M. Augendre avoue que cette poudre détériore rapidement les armes et qu'elle peut détoner par le choc, surtout en présence des moindres parcelles de soufre ou de charbon. Ajoutons qu'elle est notablement plus chère que la poudre ordinaire.

M. Pohl a donné une autre formule :

Prussiate de potasse.	28
Sucre de canne.	23
Chlorate de potasse.	49

Mais cette poudre ne présente pas un avantage marqué sur la précédente.

En 1860, un fabricant de produits chimiques allemand, M. Hochstadster a proposé une nouvelle poudre blanche qui ne fait pas explosion par le choc. Sur du papier non collé il étend une couche d'une pâte formée de chlorate de potasse et de charbon en poudre avec une petite quantité de sulfure d'antimoine et d'amidon ou de gomme. Ce papier séché à l'air et mis en rouleaux peut être employé dans les armes à feu. Mais il ne présente bien entendu aucune régularité d'action.

Nous le répétons, tous ces mélanges ne peuvent remplacer avec avantage la poudre ordinaire, parce qu'ils sont d'une fabrication dangereuse et qu'ils sont facilement enflammés par le choc, ce qui en empêche le transport. Nous signalerons toutefois, pour l'emploi dans les mines, un mélange de chlorate de potasse, de soufre et de tan, fabriqué à Plymouth, en Angleterre.

On trempe d'abord les morceaux de tan dans une dissolution chaude de chlorate de potasse, puis on les recouvre d'une couche de soufre en poudre. La poudre ainsi formée ne brûle que lentement à l'air, mais, dans le trou de mine, elle agit avec une énergie assez grande. Outre l'avantage de l'économie, elle rentre dans la catégorie des poudres inexplosibles, sur lesquelles nous insisterons à cause de la sécurité que présenteraient leur fabrication et leur emploi.

POUDRES AU PICRATE DE POTASSE. — Les picrates ou carbazotates sont des sels cristallisés, qui fusent et brûlent avec un vif éclat lorsqu'on les chauffe brusquement, et peuvent même détoner par le choc. Cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

propriété a été utilisée pour la formation de mélanges divers pouvant remplacer la poudre.

L'acide picrique (de πικρος, amer), ou acide carbazotique, est connu depuis longtemps; il a été obtenu, en 1788, par un manufacturier de Colmar, Jean-Michel Haussmann, en traitant l'indigo par l'acide azotique d'où lui est venu son nom d'amer d'indigo. En 1795, Welter l'a obtenu en faisant agir l'acide azotique sur la soie, et lui a donné le nom d'amer de Welter qui lui est resté. On l'obtient aussi par l'action de l'acide azotique sur la fibrine, la salicine, la coumarine et sur un grand nombre de produits pyrogénés. Laurent est le premier qui ait démontré que l'acide picrique dérive de l'acide phénique, et qu'on peut le considérer comme de l'acide phénique dans lequel trois équivalents d'hydrogène sont remplacés par trois équivalents d'acide hypoazotique.

L'idée de faire servir l'acide picrique à la composition d'une poudre était venue, dès 1795, à Welter. Mais le prix élevé de l'indigo et de la soie, et, par suite, de l'acide picrique, rendaient cette application impossible. Depuis les recherches récentes sur les résidus obtenus dans la fabrication du gaz, cette idée a pu être reprise avec avantage.

En effet, on peut retirer très-facilement l'acide phénique des huiles de goudron de houille. On recueille la partie de ces huiles qui distille entre 150° et 200°, et on la mêle avec une dissolution de potasse très-concentrée, il se forme une masse cristalline que l'on traite par l'eau; le phénate de potasse se dissout seul. Cette dissolution, traitée par l'acide chlorhydrique, donne l'acide phénique sous forme de cristaux blancs peu solubles dans l'eau et solubles en toutes proportions dans l'alcool et l'éther.

Traité par l'acide azotique, l'acide phénique se change, suivant la réaction indiquée par Laurent, en acide picrique :

$$C^{12}H^6O^2 + 3AzO^5 = C^{12}H^3(AzO^4)^3O^2 + 3HO.$$

Ainsi l'acide picrique ou carbazotique rentre dans la catégorie des pyroxyles, et il y a lieu de s'attendre à ce qu'il présente des propriétés brisantes.

En 1859, M. Bobeuf avait fait expérimenter au Dépôt central des poudres à Paris, sous le nom de poudre sans soufre, un composé d'acide picrique, de potasse et d'oxyde de plomb. La formule véritable de la poudre sans soufre n'a pas été donnée par lui, mais il y a lieu de croire que c'était un mélange de picrate de plomb et de picrate de potasse. Dans les essais au fusil-pendule, on reconnut que cette poudre était éminemment brisante, le canon de fusil creva au premier coup.

Mais ce fait pouvait tenir surtout à la présence du picrate de plomb qui détone par le choc seul, et la question méritait d'être reprise. Elle le fut, vers 1867, par un chimiste d'Auxerre, M. Désignolles, qui se borna à l'emploi du picrate de potasse.

M. Désignolles a recherché tout d'abord les phénomènes qui accompagnent la déflagration du picrate de potasse dans diverses conditions. Suivant lui, dans la déflagration à l'air libre, il se forme de la vapeur d'eau, de l'azote, du bioxyde d'azote et de l'acide cyanhydrique avec un résidu de charbon et de carbonate de potasse. La réaction est indiquée par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Picrate de potasse}}{C^{12}H^2(AzO^4)^3O, KO} = \underset{\text{Produits gazeux}}{= Az + AzO^2 + 4CO^2 + H, C^2Az + HO +} \underset{\text{Résidus solides.}}{+ KO, CO^2 + 5C}$$

Au contraire, dans la déflagration en vases clos ou dans un espace limité tel que l'âme d'une bouche à feu, le bioxyde d'azote, l'acide cyanhydrique et la vapeur d'eau disparaissent. La réaction est indiquée par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Picrate de potasse}}{C^{12}H^2(AzO^4)^3O, KO} = 3Az + 5CO^2 + 2H + O + \underset{\text{Produits gazeux}}{} \underset{\text{Résidus solides.}}{+ KO, CO^2 + 6C}$$

C'est là un fait important, car l'acide cyanhydrique, dont on reconnaît facilement la formation, à son odeur caractéristique, dans la déflagration à l'air, serait un obstacle presque insurmontable pour les applications dans l'industrie et dans l'artillerie.

M. Désignolles a recherché ensuite les différents corps à mélanger avec le picrate de potasse pour obtenir des poudres de qualités diverses. Avec le salpêtre seul, il forme des poudres éminemment brisantes, pouvant être utilisées avec avantage dans le tir des projectiles creux ou de torpilles sous-marines. Avec le charbon et le salpêtre, en proportions diverses, il forme des poudres à canon ou à mousquet, et, en général, par tâtonnements il espère obtenir des poudres propres à être employées dans les armes et bouches à feu de calibres divers.

Dans le courant de 1867, il a fait expérimenter au dépôt central des poudres quatre échantillons présentant la composition suivante :

	A.	B.	C.	D.
Picrate de potasse.	47	38	29	23
Salpêtre.	53	58	65	69
Charbon.	»	4	6	8

Les deux premiers échantillons sont des poudres éminemment brisantes, qui mettent rapidement les armes hors de service. Les deux derniers, que l'on peut regarder comme de la poudre noire dans laquelle le soufre aurait été remplacé par le picrate de potasse, donnent des résultats satisfaisants, bien qu'ils exercent encore une vive action sur les armes. Ainsi les poudres C et D offrent sensiblement la même force balistique que la poudre de chasse superfine.

Depuis, M. Désignolles a obtenu du Ministre de la guerre l'autorisation de faire fabriquer à la poudrerie militaire du Bouchet des quantités considérables de ses nouvelles poudres.

Les divers échantillons mis en expérience comprennent trois espèces de poudres : 1° poudres brisantes pour torpilles; 2° poudres à canon; 3° poudres à mousquet, dont le tableau ci-dessous indique les dosages qui ne doivent pas d'ailleurs être regardés comme définitifs.

	POUDRE pour torpilles.		POUDRE A CANON ordinaire.		POUDRE A CANON gros calibre.	POUDRE à mousquet.	
	A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.
Carbazotate de potasse.	55	50	16.4	9.6	9	28.6	22.9
Charbon.	»	»	9.2	10.7	11	6.4	7.7
Salpêtre.	45	50	74.4	79.7	80	65.0	69.4
	100	100	100.0	100.0	100	100.0	100.0

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fabrication a été réglée de manière à employer les appareils ordinaires.

Les matières pesées sont mélangées et touillées à la main comme d'ordinaire avec une proportion d'eau variable de 6 à 14 p. 100 suivant la nature du mélange. Elles sont ensuite portées sous les pilons, où elles subissent un battage de 3 heures pour les poudres pour torpilles, de 9 heures pour les poudres à canon, de 6 heures pour les poudres à mousquet. Les rechanges se font toutes les demi-heures.

Après le battage, les matières sont essorées pendant quelques jours, puis mises en galette à la presse hydraulique. La pression varie de 30,000 kilogrammes à 120,000 kilogrammes, suivant que l'on veut des poudres à combustion vive ou à combustion lente.

Les galettes sont essorées, puis concassées et, enfin, grenées au grenoir mécanique en grains de grosseurs variables, suivant les effets à obtenir.

Le lissage, le séchage et l'époussetage se font par les procédés ordinaires.

Les poudres pour torpilles ont été essayées à Brest et à Toulon et ont donné de bons résultats. Les poudres à mousquet et à canon ont donné à charge égale au fusil-pendule et au pendule à canon des portées supérieures à celles de la poudre noire ordinaire, sans que l'on ait observé d'effets brisants bien marqués. D'ailleurs, le picrate de potasse paraît à l'abri des décompositions spontanées que présentent d'ordinaire les pyroxyles, en sorte que les poudres qui en sont formées sont d'une conservation aussi sûre que la poudre ordinaire.

En somme, les principaux avantages des poudres Désignolles tiennent à la suppression du soufre. Il n'y a plus dans les produits de la déflagration ni hydrogène sulfuré, ni sulfures de potassium, ce qui supprime d'une part les inconvénients que présente le tir de la poudre ordinaire dans les espaces imparfaitement aérés, tels que les batteries basses des navires et les casemates ainsi que les mines en galeries couvertes. D'autre part, cela ralentit beaucoup la détérioration des armes et des bouches à feu. Mais, en regard de ces avantages, il faut signaler que ces poudres sont d'une fabrication moins simple que la poudre ordinaire, et aussi plus dangereuse, à cause des propriétés explosives particulièrement énergiques du carbazotate de potasse. En outre, le prix de ces poudres est forcément plus élevé que celui de la poudre noire, ce qui en restreint les applications à quelques cas particuliers, comme le tir des projectiles creux, des torpilles, ou des mines de guerre. Quant aux mines et aux carrières, la poudre ordinaire devra toujours y être préférée.

A côté des poudres de M. Désignolles, il faut ranger la poudre pour torpilles de M. Fontaine, laquelle est formée de picrate de potasse et de chlorate de potasse. Un tel mélange possède certainement des propriétés explosives tout à fait extraordinaires, mais sa manipulation présente par cela même des dangers très-grands.

Un épouvantable accident, survenu le 16 mars 1869 dans le laboratoire même de M. Fontaine, place de la Sorbonne, à Paris, est une preuve malheureusement trop certaine de ces dangers. Vingt-sept kilogrammes de picrate de potasse, destinés à la confection des torpilles, ont fait explosion subitement, sans cause connue. Cinq personnes, parmi lesquelles se trouvait le fils de M. Fontaine, ont été tuées ou plutôt hachées en morceaux, car les membres épars des victimes ont été projetés au loin. Un grand nombre de personnes ont été blessées, soit dans les rues, soit dans les maisons environnantes, et les dégâts matériels causés par l'explosion et par l'incendie qui en a été la suite, ont été considérables.

On ne peut attribuer cette catastrophe au picrate de potasse seul, car ce corps ne détone que très-difficilement par le choc. D'autre part, M. Fontaine affirme que le mélange avec le chlorate de potasse ne se faisait qu'à Toulon même au moment du chargement des torpilles. Sans doute, il a été commis quelque imprudence ou quelque maladresse, mais la véritable cause de l'explosion est et demeurera très-probablement toujours inconnue. Le seul enseignement à en tirer, est que les matières comme le chlorate de potasse et le picrate de potasse ne peuvent être traitées qu'avec un soin et des précautions minutieuses, pour lesquels le maniement même le plus habituel des produits chimiques ne constitue pas une expérience suffisante.

Pour résumer ce qui précède, on voit que, sans méconnaître l'intérêt que présentent les poudres au picrate de potasse, on peut affirmer qu'elles ne peuvent remplacer avantageusement, dans les usages techniques et militaires, la poudre aux trois éléments : salpêtre, soufre et charbon.

POUDRES INEXPLOSIBLES. — Nous avons déjà parlé d'expériences faites pour rendre les poudres inexplosibles à l'air, en les mélangeant avec diverses substances. Il s'agit ici de travaux faits dans le même but, mais par des modifications dans la composition normale de la poudre. Pour éviter les accidents qui peuvent résulter dans la fabrication, les transports ou le bourrage des mines des propriétés explosives de la poudre ordinaire, le problème à résoudre, c'est de faire une poudre fusant à l'air sans explosion et retrouvant toute son énergie dans la mine.

La plupart des poudres au nitrate de soude jouissent de cette propriété; ainsi la poudre faite à Marseille par M. Murtineddu avec le nitrate de soude et la sciure de bois était parfaitement inexplosible. Elle brûlait à l'air sans explosion et donnait dans les trous de mine des effets très-comparables à ceux de la poudre ordinaire.

Dans le courant de 1864, MM. Schaeffer et Budenberg envoyèrent de Magdebourg au Dépôt central deux échantillons de poudres inexplosibles présentant les compositions suivantes :

	A.	B.
Nitrate de potasse	30	38
Nitrate de soude	40	40
Soufre	12	8
Charbon de bois	8	7
Charbon de terre	4	3
Tartrate de potasse et de soude	6	4

Dans une notice jointe à leurs échantillons, MM. Schaeffer et Budenberg exposaient ainsi leurs avantages :

D'abord, leur poudre brûle sans explosion à l'air libre, ce qui supprime les dangers de la fabrication et aussi ceux des transports, d'où résultent de grandes facilités. De plus, elle n'a pas besoin d'être granulée. Enfin, comme il n'y a pas de fumée après le tir, on peut diminuer l'intervalle entre les coups de mine sans danger pour les mineurs. D'ailleurs, dans le trou de mine, sa force est égale à celle de la poudre de mine.

Les expériences faites au Dépôt central vérifièrent l'exactitude de ces assertions, surtout pour l'échantillon B. Seulement, on reconnut que la présence du nitrate de soude rendait ces poudres très-hygrométriques, ce qui excluait la possibilité de leur adoption par l'État. En outre, bien que MM. Schaeffer et Budenberg signalent leur poudre comme moins chère que la poudre ordinaire, à cause de la simplicité de la fabrication, le prix élevé de quelques-uns des composants et, en particulier, du tartrate de potasse et de soude, en augmentaient le prix de telle sorte qu'elle ne pouvait être adoptée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

M. Fehleisen, de Munich, fit breveter en France, à la date du 29 septembre 1866, un mélange dit haloxyline, présenté comme absolument inexplosif. La composition donnée au brevet était :

Charbon de bois.	3	parties.
Cellulose.	9	—
Nitrate de potasse.	45	—
Ferrocyanure de potassium. . . .	1	—

Dans un certificat d'addition au brevet primitif, M. Fehleisen a supprimé le ferrocyanure de potassium, et l'a remplacé par une partie de nitrate de potasse. Dès lors la composition de l'haloxyline était en centièmes :

Charbon de bois.	5.2
Cellulose.	15.5
Nitrate de potasse.	79.3
	100.0

M. Fehleisen fabrique à Munich environ 400,000 kilogrammes d'haloxyline par an. Il prend la sciure de bois provenant des menuisiers, la tamise et la mêle avec le salpêtre et le charbon pulvérisés séparément. Il triture d'abord les trois matières dans des tonnes et ensuite sous les pilons. L'avantage de l'haloxyline est, suivant M. Fehleisen, de ne produire d'effet que lorsqu'elle est bien bourrée dans la mine; à l'air libre, elle ne peut brûler complétement. En outre, elle ne peut faire explosion ni par le choc, ni par le frottement, ce qui écarte tout danger dans la fabrication et les transports. Enfin, comme elle ne contient pas de soufre, elle ne donne ni fumée ni résidus dangereux dans sa déflagration.

Dans le courant de 1867, M. Fehleisen demandait que des expériences fussent faites au Dépôt central des poudres pour contrôler l'exactitude de ces diverses assertions. En raison des essais analogues faits à diverses reprises, il n'y avait nul doute que l'haloxyline ne fût une bonne poudre de mine. Mais si l'on considère qu'elle contient près de 80 p. 100 de salpêtre, on reconnaît que son prix de revient est, malgré la simplicité de la fabrication, très-supérieur à celui de la poudre ordinaire. Dès lors, l'adoption de l'haloxyline par l'État devenait impossible, et il était sans intérêt de la soumettre à des expériences spéciales.

Il nous reste à parler de la poudre Newmeyer qui a fait un moment beaucoup de bruit.

Dans le courant de 1866, M. le Dr Klein, de Munich, vint en France pour propager une poudre inexplosible de l'invention de M. Newmeyer. Grâce aux appuis puissants dont il disposait, M. le Dr Klein obtint de faire des expériences sur les chantiers de terrassement alors ouverts au Trocadéro, en présence de MM. Beuret, général de division d'artillerie, Puymori, lieutenant-colonel d'artillerie, délégués du Ministère de la guerre, et de M. Roux, directeur du Dépôt central des poudres, délégué du Ministère des finances. Ces expériences furent faites en une seule séance, le 19 septembre 1866, sur les poudres de mine de chasse et à canon composées par M. Newmeyer. Elles eurent pour but de démontrer que, tant qu'elle se trouve au contact de l'air, la poudre Newmeyer brûle sans explosion, et que dans les trous de mine ou dans les armes, quand le bourrage est suffisant, elle donne des effets comparables à ceux des poudres françaises.

L'expérience la plus frappante est celle de la maisonnette. On avait fait une petite hutte, ayant 1 mètre cube environ de capacité avec des moellons superposés, elle était couverte d'une toiture légère, dans laquelle restait ouverte une cheminée carrée de 0m,10 à 0m,15 d'ouverture. On y mit trois barillets ouverts contenant: 1° de la poudre à canon, 2° de la poudre à mousquet, 3° de la poudre de chasse. Il n'y avait pas de poudre de mine, parce qu'on la réservait pour les essais dans les trous de mine. Ces diverses poudres étaient d'aspect jaunâtre, assez bien granulées et ne paraissaient différer que par la grosseur du grain. Le chargement total était de 12 à 15 kilogrammes.

Le feu ayant été mis aux tonneaux à l'aide d'une mine, la poudre a fusé lentement par l'ouverture de la cheminée, il s'est fait seulement vers la fin une légère explosion qui a soulevé la toiture et projeté quelques tuiles.

Pour comparer avec les poudres françaises, on a rétabli la maisonnette, et on y a mis 1 kilogramme de poudre de mine ronde et 100 grammes environ de poudre de chasse. La toiture a volé en éclats et les murs ont été en partie détruits.

Malgré ce résultat, les expériences du Trocadéro ne parurent pas suffisamment concluantes, parce qu'il fut constamment impossible de procéder scientifiquement, par comparaison rigoureuse, des effets des poudres présentées en air libre et en espace fermé.

Au Dépôt central des poudres, on reconnut que la poudre de mine contenait 72 à 73 p. 100 de salpêtre avec du soufre et du charbon. Toute la différence avec les poudres françaises consistait en ce que les matières étaient grossièrement pulvérisées, et que l'ensemble était peu homogène. Le défaut de ténuité explique la lenteur de la combustion; en pulvérisant plus finement, la combustion devient identique à celle de nos poudres de mine.

Les poudres de chasse et à canon contenaient 75 p. 100 de salpêtre, et le charbon était remplacé par une matière organique qui paraissait être la sciure d'un bois résineux. Quant au tir au fusil-pendule, à la charge de 5 grammes, on n'obtenait aucune vitesse. Toutefois, en accumulant les bourres et enveloppant la balle, on arrivait à des résultats plus satisfaisants, quoique toujours inférieurs aux portées des poudres de chasse françaises. Ces poudres font constamment long feu, les amorces ratent fréquemment et l'encrassement est toujours considérable.

En résumé, les poudres Newmeyer pour la chasse et le fusil étaient mauvaises sous tous les rapports. Quant aux poudres de mine, l'incertitude des résultats obtenus au Trocadéro et les variations singulières observées dans les communications de MM. Klein et Newmeyer ne permettaient pas de donner suite à l'offre qu'ils avaient faite de faire cession de leurs procédés au gouvernement français.

Le 3 juillet 1867, MM. Klein et Newmeyer prirent un brevet en France pour la poudre de mine seulement. La composition indiquée par eux, était :

Salpêtre.	72
Charbon.	18
Soufre en fleurs.	10
	100

Les matières sont mélangées en présence de 40 p. 100 d'eau et incorporées dans un cylindre mis en mouvement par un axe central muni de bras pour agiter avec force. Après 15 minutes de trituration, on enlève et on étend les matières que l'on sèche sans les grener, en remuant seulement de manière à ce qu'elles ne fassent pas masse pendant le séchage. On tamise ensuite à divers degrés de finesse, suivant l'effet à produire.

Suivant les inventeurs, cette poudre est inoffensive en cas d'inflammation accidentelle, elle n'est pas enflammée par le choc ou la pression; lorsqu'elle brûle dans un espace libre, elle laisse un résidu considérable et, au contraire, dans un espace clos, elle donne moins de résidu que la poudre ordinaire. Enfin, elle est meilleur marché que la poudre noire; elle donne moins de vapeurs nuisibles au moment de la déflagration.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

MM. Klein et Newmeyer revinrent alors à la charge pour faire essayer leur poudre par l'administration. Mais les expériences déjà faites montraient que ces poudres devaient seulement à leur trituration très-imparfaite leurs propriétés spéciales, et qu'elles étaient en somme beaucoup moins bonnes et aussi plus chères que les poudres françaises.

Dans une communication faite au directeur du dépôt central, M. Klein a indiqué de la manière suivante la composition de la poudre Newmeyer :

Nitrate de potasse.	70
Soufre.	10
Charbon de bois.	12
Lignite.	8
	100

Les trois premières matières sont identiques à celles qui entrent dans la composition de la poudre ordinaire. Quant au lignite présenté par le docteur Klein, il était fibreux, lourd, sec et très-sonore, il ne donnait à l'analyse qu'un faible résidu siliceux. Dans le cas où l'on voudrait faire varier la proportion de salpêtre et diminuer jusqu'à 62 p. 100, il faudrait laisser la quantité de soufre constante et compléter avec les deux espèces de charbon, maintenues dans la même proportion relative.

Suivant M. Klein, c'est l'emploi du lignite et d'une forte proportion d'eau (8 p. 100) dans la fabrication qui donnent à la poudre sa spécialité.

Cette dernière assertion n'a pas encore été vérifiée, car les dires si variables de MM. Klein et Newmeyer ont fini par lasser l'Administration; elle mérite toutefois de l'être.

L'idée des poudres inexplosibles est, en effet, une idée éminemment féconde et qui doit attirer l'attention des inventeurs. Si l'on arrivait par des modifications dans la composition ou la granulation à les rendre complétement inoffensives dans toutes les circonstances autres que celles de leur emploi normal, ce serait un résultat extrêmement important. Il serait possible d'adopter une telle poudre dans le cas même où son prix serait plus élevé. En raison des simplifications qui résultent dans la fabrication, de la sécurité, ainsi que de la suppression des dégâts produits par les explosions, elle devrait être regardée comme moins chère que la poudre ordinaire, sans compter la question d'humanité dont l'importance ne peut échapper.

C'est donc, en somme, aux poudres inexplosibles que l'avenir appartient sans doute pour toutes les applications industrielles et militaires. Ajoutons toutefois que le problème n'est pas résolu même par la poudre Newmeyer.

RÉSUMÉ. — Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas la prétention d'avoir passé en revue toutes les inventions diverses qui ont surgi depuis le commencement de ce siècle et qui ont eu pour but le perfectionnement des qualités ou de la fabrication de la poudre. Il aurait fallu donner à cette étude une étendue bien plus considérable, car la liste des brevets expirés comprend un très-grand nombre de formules ou d'appareils divers imaginés dans ce but. Nous avons dû nous borner aux inventions auxquelles l'expérience a reconnu une certaine valeur pratique.

Il y a donc lieu de s'étonner qu'à part l'idée des poudres inexplosibles sur laquelle nous avons insisté, nos conclusions aient presque toujours été défavorables. Encore est-il nécessaire d'ajouter pour les poudres inexplosibles que, tout en vantant l'utilité du problème posé, nous n'admettons pas qu'il soit encore résolu. C'est là un fait important sur lequel nous devons revenir.

Le procès de la poudre noire aux trois éléments : salpêtre, soufre et charbon, a été fait bien souvent. Tous les inventeurs, pour exalter la valeur de leurs produits, font ressortir (souvent très-bruyamment) les inconvénients de cette poudre. Parmi les travaux de cet ordre, nous citerons seulement comme les plus importants : 1° la brochure de M. E. Schultze, intitulée *la Nouvelle poudre à canon et ses avantages sur la poudre à canon ordinaire et autres produits analogues* ; 2° *la Poudre à tirer et ses défauts*, par MM. Andreas Rützky et Otto von Grahl, traduction de M. Joulin, ingénieur des manufactures de l'État.

On trouve dans ces deux ouvrages bien des exagérations et même des inexactitudes; en particulier, une sorte d'obstination à qualifier d'explosions spontanées des accidents divers causés soit par l'imprudence, soit par diverses imperfections des machines. Néanmoins, il faut avouer que la poudre noire présente divers inconvénients qui peuvent être résumés sous les chefs suivants : 1° elle peut faire explosion par des causes diverses pendant la fabrication, en magasin ou dans les transports; 2° elle se détériore facilement sous l'action de l'humidité; 3° elle laisse dans les armes au moment de la combustion des résidus qui les encrassent; 4° elle dégage dans sa déflagration des quantités notables de gaz lourds, très-lents à se dissiper et qui sont d'ailleurs incommodants.

Mais, s'il est si facile de reconnaître les inconvénients de la poudre noire, il est plus difficile d'y remédier. Toutes les inventions faites dans ce but présentent des inconvénients au moins aussi graves et souvent même doivent être absolument repoussées par la pratique. On arrive ainsi à cette conclusion curieuse, mais inévitable, que l'ancienne poudre noire, découverte depuis si longtemps et dans des siècles si étrangers à la science, est encore supérieure à toutes les poudres de compositions diverses, à l'invention desquelles a conduit dans notre siècle le développement si admirable d'ailleurs de toutes les sciences appliquées.

Il ne faut pas toutefois décourager les efforts des chercheurs et se rappeler, au contraire, la lenteur avec laquelle la poudre noire s'est perfectionnée dans son emploi et sa fabrication. Si la poudre noire est encore sans rivales dans l'état actuel de la science, on ne peut affirmer qu'elle le sera toujours. Au contraire même, il faut croire et espérer qu'il se fera, dans le mode d'emploi et la fabrication de la poudre, quelque révolution semblable à celles que nous avons vu se produire depuis quelques années dans la plupart des industries physiques et chimiques. Pour cela, il importe surtout que les inventeurs ne rentrent pas dans l'ornière des expériences infructueuses déjà faites, et dont nous avons donné les résultats dans ce travail.

L. FAUCHER.

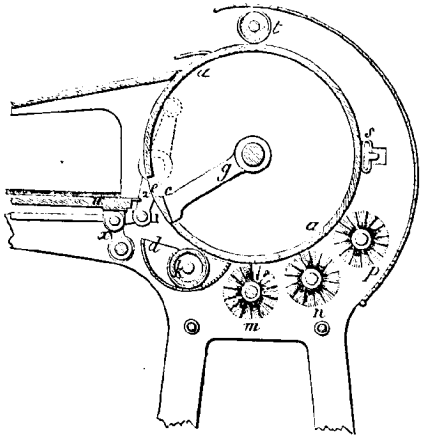
POUDREUSE ou BRONZEUSE MÉCANIQUE. — Lorsqu'on veut imprimer en or argent, etc., au moyen de la typographie ou de la lithographie, on opère ainsi qu'il suit. Les feuilles sont d'abord imprimées avec un vernis ou mordant convenable (fait avec de l'huile cuite, comme il a été dit à l'article ENCRE D'IMPRIMERIE), puis des ouvrières, à l'aide de tampons en coton ou en drap, étalent la poudre métallique (ou toute autre poudre de couleur) sur les parties imprimées, enfin frottent et époussetent la surface pour la rendre brillante et enlever la poudre en excès.

Cette opération est lente, et surtout insalubre à cause de la grande quantité de poudre métallique de cuivre qui se répand dans l'air, et forme une atmosphère vraiment dangereuse pour les organes respiratoires; aussi a-t-on plusieurs fois tenté de l'exécuter mécaniquement, d'autant plus que des travaux considérables, les étiquettes dorées pour le commerce réclament une production très-rapide des ateliers de lithographie.

Le problème a été parfaitement résolu par la réunion

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des tentatives de deux inventeurs, MM. Abadie et Poirier. La poudre venant adhérer à un rouleau garni de velours, est déposée par lui sur la feuille de papier imprimée au mordant, qui vient se placer sur un gros cylindre tournant, analogue à celui d'une presse mécanique. La



pression du rouleau sur le vernis de la feuille applique parfaitement la poudre, et il suffit de faire suivre son action de celle de brosses hélicoïdales, tournant à grande vitesse, pour épousseter la feuille. Au besoin, des frotteurs rectilignes ou cylindriques peuvent être disposés pour rendre la surface métallisée plus brillante.

Il va sans dire que ces divers organes sont enveloppés dans une boîte, de telle sorte qu'aucune parcelle de poudre ne se perd ni se répand dans l'atmosphère. Ce travail n'est donc plus en rien insalubre, et devient en même temps très-économique; avec une petite force motrice et une margeuse, il est facile de métalliser parfaitement 7 ou 800 feuilles à l'heure.

Par une ingénieuse disposition due à M. Poirier, la feuille est saisie par une pince-étau à recouvrement c, pendant que le cylindre continue son mouvement circulaire, par le rapprochement de la table *u* sur laquelle elle a été déposée par la margeuse.

POULIES (FABRICATION DES POULIES). Nous compléterons ce qui a été dit à l'article POULIES sur la fabrication des poulies qui a illustré le nom de Brunel.

Les machines de Brunel peuvent se diviser en quatre séries : 1° la scierie servant à débiter les grosses pièces de bois, que fournit le commerce, en blocs de dimensions convenables pour le travail ultérieur; 2° la machinerie propre à fabriquer la chape; 3° les machines servant à fabriquer les rouets; 4° les machines servant pour obtenir les axes.

A l'arsenal de Portsmouth, la machinerie servant à fabriquer en même temps trois genres de poulies de différentes grandeurs est mise en mouvement par deux machines à vapeur de 30 chevaux chacune. L'ordre du travail est celui-ci : les troncs d'orme sont d'abord débités et préparés pour les poulies de diverses grandeurs par deux puissantes scies, l'une à action alternative, l'autre circulaire. Ces plaques de bois sont amenées au carré, en raison des grandeurs à obtenir, par quatre scies circulaires montées sur des bancs glissants.

Nous donnerons d'abord, d'après Poncelet, quelques renseignements sur les progrès réalisés par Brunel, principal promoteur des scies circulaires, dans l'établissement des scieries à lames droites.

Scierie à action alternative. — Les scieries de Brunel, établies sous sa direction par l'habile Henri Maudslay, se distinguaient de celles de Bélidor par plusieurs points essentiels : 1° le rochet à déclic ou pied-de-biche recevait l'action d'une came ou onde adaptée au bras même de la manivelle au moyen d'un système de leviers articulés, qui faisaient avancer le chariot porte-pièce pendant la descente même du châssis de la scie, lequel avait de plus la faculté de se retirer légèrement en arrière, pour éviter l'accrochement des dents pendant la montée; 2° le châssis lui même était monté sur une courte bielle oscillante, à fourche droite ou inférieure, et ce châssis était muni latéralement de forts montants cylindriques en fer, évidés, remplis de bois élastique, et glissant dans des œillères vers leurs extrémités supérieures et inférieures; 3° les lames de scies, verticales et parallèles, étaient maintenues, haut et bas, à des distances respectivement égales, au moyen de calibres ou planchettes de bois posées sur des couples de boulons horizontaux parallèles, taraudés et ajustés aux montants, de manière à pouvoir, à l'aide d'écrous placés à l'un des bouts, serrer à la fois les calibres et les lames contre les épaulements fixés aux montants de l'autre bout, et, par suite, maintenir dans une position invariable et sans tâtonnement ces mêmes lames de scies, dont les étriers inférieurs ou supérieurs embrassaient, à l'ordinaire, les faces verticales des entretoises correspondantes du châssis; ceux du haut étant terminés en dessus par des crochets destinés à être saisis successivement, lors du montage des lames, par la branche la plus courte d'une forte bascule à contre-poids ou romaine locomobile, qui, au moyen de cales transversales glissées entre les étriers et la face supérieure de l'entretoise correspondante, permettait de tendre individuellement ces lames de quantités rigoureusement égales entre elles; 4° enfin, la pièce à débiter était elle-même fixée et retenue sur le chariot au moyen de procédés ingénieux, dont le plus important consistait dans deux forts étriers à montants articulés, et couronnés de chapeaux qui maintenaient cette pièce en dessus, en avant et en arrière, comme cela s'est vu depuis dans les scieries les plus perfectionnées.

Fabrication des chapes. — On perce d'abord les trous pour les axes à l'aide de la machine à percer (donnée fig. 2200), en raison du nombre de systèmes de rouets que doit porter la poulie, et en même temps des outils, placés à angle droit, percent des trous qui forment les extrémités des mortaises qui devront recevoir les rouets.

Les poulies sont alors placées sur la machine à mortaiser que nous allons décrire, assemblées sur un chariot mobile qui les amène sous le ciseau, se mouvant avec une très-grande rapidité (400 coups par minute, dit-on). Pour chaque coup de ciseau, il avance quelque peu, et l'opération continue ainsi jusqu'à ce que la mortaise soit achevée dans toute sa longueur. Les copeaux sont chassés de la mortaise par de petites pièces d'acier passant sous les ciseaux qui coupent le bois; elles sont placées à angle droit avec les ciseaux et renvoient dans le sens de la largeur le copeau fait à chaque coup, condition indispensable pour la perfection du travail. Les angles de la poulie sont alors enlevés à l'aide d'une scie circulaire (voir fig. 2202), puis elle est placée sur les circonférences de deux roues égales, fixées sur le même axe et écartées en raison des diverses grandeurs de poulies, chaque roue ayant dix rainures dans chacune desquelles peut se placer une poulie. Ces roues tournent avec une grande rapidité devant un tranchant placé sur un support à chariot, placé sous une inclinaison convenable, et guidé de manière à entailler, de la forme voulue, l'extérieur de la chape. Quand l'outil a parcouru toute la longueur de la poulie, les roues sont débrayées, et on fait faire aux poulies un quart de tour pour exposer une nouvelle surface à l'action de l'outil tranchant. Quand toutes les faces ont été

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi travaillées, les poulies sont enlevées et on effectue la dernière opération de la machine à entailler, qui est de pratiquer le trou qui doit traverser la tête de la chape. Les surfaces obtenues par ces opérations ne demandent plus qu'un petit poli donné à la main, et la chape est terminée.

Fabrication des rouets. — Les rouets sont faits en gaïac; ils sont débités dans des planches ayant leur épaisseur à l'aide d'une scie circulaire, puis placés sur une scie à couronne, qui perce le trou du centre en même temps qu'elle forme la circonférence (voir fig. 2204). Le rouet est placé dans une machine qui le retient pendant qu'on enfonce dans son milieu, l'axe tourné à ses extrémités. Le mécanisme à l'aide duquel cette opération s'effectue est très-ingénieux; un seul coup de marteau est nécessaire pour mettre l'axe en place. Un trou étant percé à travers l'axe et le bois, une goupille y est chassée et rend le tout solidaire.

Ces axes eux-mêmes sont faits, tournés et polis sur une machine spéciale; une fois placée, sauf les brides faites en fer ou avec des cordes (fig. 2198), la poulie est complète.

Il nous reste à donner la description et le dessin de la machine à mortaiser et de celle à travailler les chapes.

Machine à mortaiser, représentée fig. 3702. — Sur le bâti de la machine, glisse le chariot *e* portant la poulie dans laquelle on pratique la mortaise, assujettie sur le chariot à l'aide de la vis *e*; *d* est l'un des ciseaux, leur nombre dépendant de celui des rouets de la poulie; *g* le porte-outil se mouvant verticalement entre des guides placés sur deux montants; *j* partie ronde terminant le porte-outil et guidée dans un collier. Le porte-outil est mené par une manivelle, mise en mouvement par l'axe *m*, qui tourne par l'effet d'une courroie motrice qui passe sur le tambour *n*, et qui fait mouvoir le volant *o*. Le volant est rendu libre ou dépendant de la courroie, suivant l'action du cône de friction *p* qui pénètre dans l'intérieur du tambour *n*, et qui est mis en mouvement à l'aide du levier coudé *q*. *r* est une vis à double filet qui fait avancer le chariot; elle traverse un écrou, portant la roue à rochet *o* et la roue dentée *w*; *x* est un pignon agissant sur *w* et tourné à l'aide de la poignée *y*, système qui sert à amener la poulie en place, sous le couteau, au commencement de l'opération; après quoi le mouvement du chariot continue par le seul effet de la machine ainsi qu'il suit:

Sur l'axe *m* est placé un excentrique 1, qui agit sur un rouleau porté par un levier 2, dont l'extrémité inférieure est réunie à une barre horizontale 4, lequel a une dent agissant sur les dents de la roue à rochet; à chaque révolution de l'axe, l'excen-

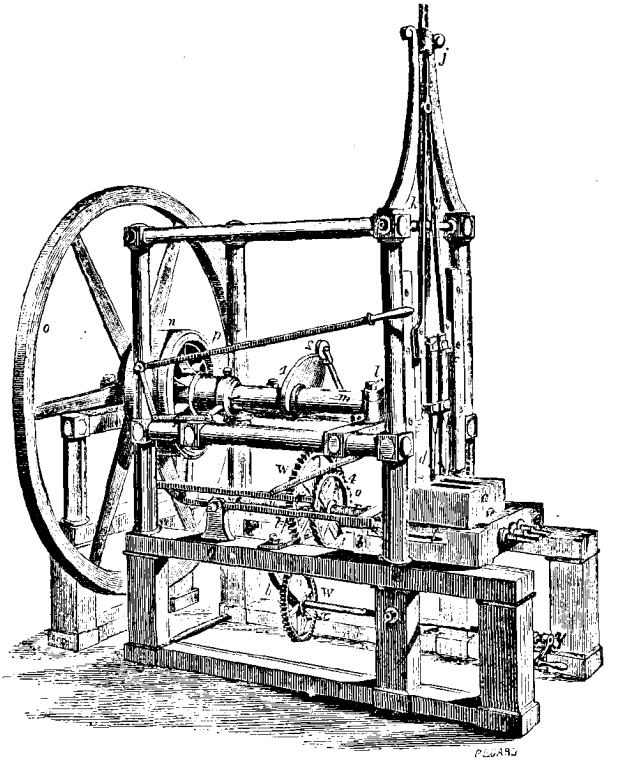


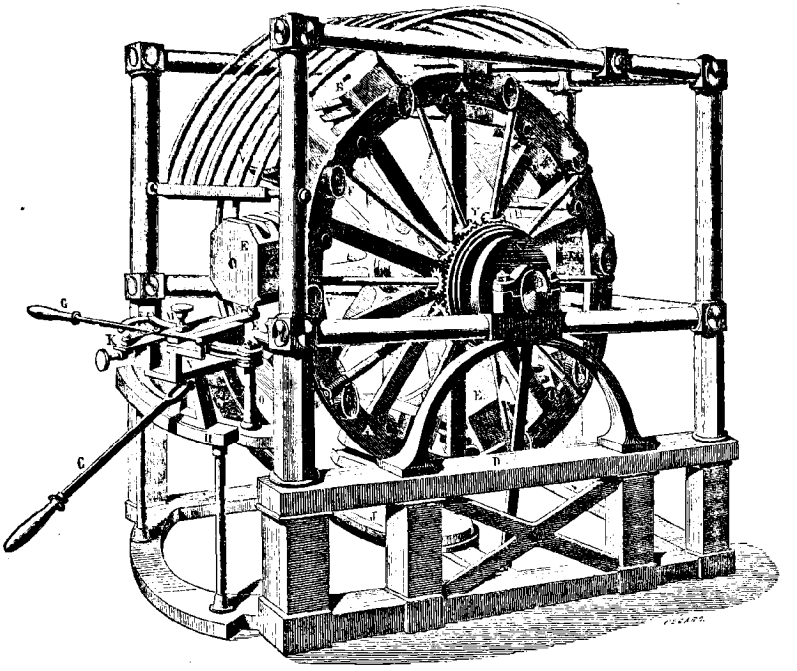
Fig. 3702.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trique, élevant l'extrémité supérieure du levier 3, fait mouvoir dans une direction opposée la roue à rochet v, laquelle au moyen de son écrou fait tourner la vis et avancer le chariot, et, par suite, une nouvelle partie de bois à enlever se présente sous le ciseau. Quand toute la longueur de la mortaise est coupée, le mouvement du chariot est arrêté par une série de leviers assemblés aux colonnes ; le chariot, arrivé au point indiqué comme fin de sa course, soulève un levier, et, par l'effet d'une communication, le levier 4 cesse d'agir sur les dents des roues à rochets.

Machines à faire les chapes (fig. 3703). — A est une grande couronne circulaire solidement assemblée sur l'axe B ; une seconde couronne C est disposée parallèlement à A. Cette dernière n'est pas fixée sur l'axe, mais elle peut glisser de manière à varier de distance avec A, en raison des diverses grandeurs des poulies ; des boulons, passant à travers des trous correspondants des deux couronnes et des cales d'épaisseur voulue, servent à fixer l'écartement et le parallélisme ; F F sont des disques dont l'axe traverse la roue A et porte d'un côté une petite croix ; la couronne C porte des vis opposées dont l'intérieur renferme un anneau circulaire d'acier, tournant à frottement doux. Chaque poulie, lors de l'opération de percer les trous avant de passer à la machine à mortaiser, a eu sa ligne d'axe déterminée par l'impression d'un double cercle d'acier sur une extrémité et d'un cercle sur l'autre. Les marques du double cercle fixent la position de la croix, et le cercle de la vis est avancé par celle-ci jusqu'à ce qu'il serre, en coïncidant avec le cercle tracé, l'autre face du bloc. N est le support à chariot porté sur le bâti H et attaché à la barre circulaire J ayant même centre que l'axe B ; K est le porte-ciseau, outil formé d'un petit cylindre horizontal, coupant parfaitement par ses bords et dans tous les sens ; M, double barre courbe qui sert à guider la course de l'outil à l'aide du levier G, des deux barres courbes, l'une déterminant la forme de l'une des faces des poulies, et la seconde celle de l'autre face. C'est un levier attaché au chariot, servant à le faire marcher sur le bâti H, à angle droit avec le mouvement de glissement de l'outil, en décrivant une portion de cercle autour du centre de rotation de cette barre.

Le travail de la machine s'effectue ainsi : les chapes



3703.

ayant été montées sur les couronnes, elles sont mises en mouvement à l'aide d'une courroie passant sur le tambour T, monté sur l'axe B. Le ciseau ayant été ajusté avec soin dans une position convenable, l'ouvrier, tenant le levier C dans sa main droite, fait glisser lentement le chariot le long de H, pendant que, tenant le levier G dans l'autre main, il maintient le contact avec les courbes M, et fait, par suite, que le ciseau engendre une forme semblable à celle de ces modèles.

Quand la première face est terminée, les machines sont arrêtées, et on fait faire aux poulies un quart de conversion, pour qu'elles viennent présenter au ciseau la face voisine de celle déjà formée. On y parvient par le moyen suivant : l'extrémité extérieure de chaque disque F porte une roue V qui engrène avec une vis sans fin W ; à l'extrémité de chaque axe, portant une semblable vis, est monté un pignon Y, engrenant avec une roue dentée, montée à frottement doux par l'axe central. Quand il faut faire tourner les poulies, cette roue est fixée au bâti à l'aide d'un verrou (qu'on ne voit pas sur la figure), et l'ouvrier fait tourner d'un

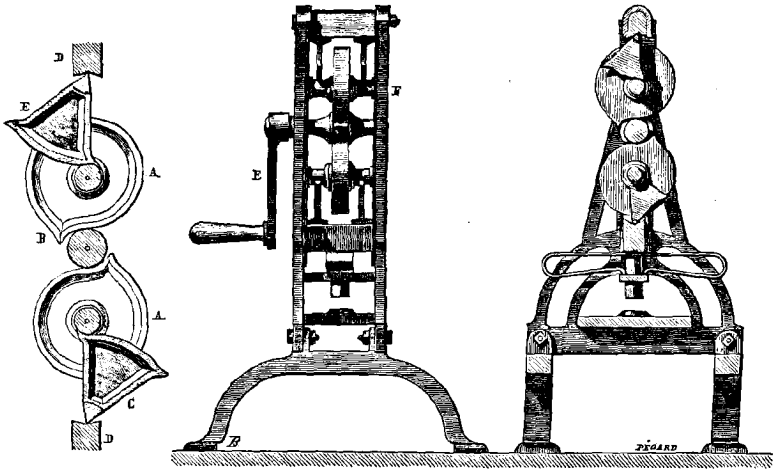
EFERUS - Recherche & Classification numérique

quart de révolution la couronne A ; les pignons font marcher la vis sans fin, et on a ainsi exactement un quart de tour, d'après les proportions adoptées. Les couronnes remises en mouvement et le chariot poussé à travers le bâti, la seconde face est bientôt ainsi faite, et l'opération répétée de la même manière pour les deux autres.

PRESSES ANTIFRICTION *de M. Dick de Philadelphie.*—La déperdition du travail est énorme, dit M. Poncelet, par la percussion et le frottement dans l'ancien balancier à vis employé pour frapper la monnaie, et bien que cette déperdition soit, en majeure partie, évitée dans la presse à genou, il s'en faut qu'elle le soit entièrement, eu égard au jeu, au glissement relatif, inévitable dans les articulations ou surfaces d'appui des rotules. A plus forte raison en est-il ainsi dans les machines à estamper, à découper, où l'on fait usage d'excentriques circulaires à frottement ou glissement étendu.

Dans le but d'éviter ces inconvénients, M. Dick se sert uniquement, pour transmettre la pression d'un bout à l'autre de sa machine d'une succession de disques, de galets, en fer et acier (fig. 3704, 3705, 3706), pleins, très-solides, tournant autour d'autant d'axes horizontaux, tantôt fixes, tantôt susceptibles de céder à la pression par le glissement de leurs porte-coussinets le long de coulisses verticales pratiquées aux montants des châssis-supports. Ces disques ou galets composés, les uns de cylindres à tourillons ou de secteurs à couteaux arrondis d'un profil circulaire, les autres de cames doubles et opposées, en S, ou d'excentriques tracées, dans une portion plus ou moins grande de leur contour extérieur, suivant la forme de la développante du cercle, ces pièces, dis-je, réagissent entre elles par leurs contours entièrement lisses, sans glissement relatif, à simple roulement et en s'entraînant, dans leur rotation, autour des axes correspondants, en vertu même de leur frottement tangentiel ; les pressions ou réactions normales étant d'ailleurs transmises d'axe en axe, depuis une extrémité jusqu'à l'autre de la machine, que terminent toujours des secteurs à oscillations d'amplitude limitée, et correspondant respectivement l'un à une pièce ou coussinet d'appui fixe, l'autre au coussinet mobile ou à la pièce qui doit transmettre directement l'effort vertical à l'objet qu'il s'agit de comprimer, percer, découper ou estamper.

Or, si l'on se rappelle que le tracé en développante de cercle a la propriété de répartir la pression d'un axe à un autre, suivant des directions invariables, en passant à des distances fixes et assez petites de ces axes, on comprendra sans peine que l'arbre horizontal auquel est directement appliqué le moteur, la manivelle, et qui correspond tantôt à un simple galet circulaire, tantôt à une double came interposée entre deux secteurs ou excentriques à développantes, entraînés par simple frottement, sans glissement relatif, etc., on comprendra, dis-je, sans peine, que cet arbre moteur essentiellement fixe, étant sollicité par une couple d'actions et de réactions normales, parallèles, symétriques et de sens contraire, il ne peut en résulter qu'un frottement insensible sur ses tourillons. Cette remarque, qui s'applique, *à fortiori*, aux tourillons des arbres, libres de céder aux résultantes de pressions normales, peut s'étendre également aux pivots ou couteaux des secteurs extrêmes, d'un rayon très-petit par rapport au leur propre.



3704. 3705. 3706.

Néanmoins, malgré tout ce que cette combinaison à galets et secteurs roulants, qui en rappelle d'autres déjà connues, offre d'ingénieux quant à la réduction des frottements, et ce qu'elle fournit de ressources précieuses dans une infinité de circonstances, il ne faut pas perdre de vue qu'elle a, comme la presse hydraulique, comme le cric ou la vis elle-même, simple ou combinée avec des rouages, l'inconvénient d'une manœuvre d'autant plus lente que la pression doit être plus énergique relativement à l'effort moteur, et cela, conformément au principe qui veut que les efforts exercés soient, pour chaque petit déplacement du système, *en raison inverse des chemins respectivement parcourus* dans le sens de leur direction propre. Il faudrait d'ailleurs de tout autres dispositions pour agrandir le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

champ de la machine ou l'étendue des excursions de l'outil autant que le réclament certains travaux; cette presse ne saurait donc remplacer les autres, notamment lorsqu'il s'agit de matières très-compressibles. C'est pour ce motif que M. Poncelet range l'invention originale de M. Dick dans la classe des machines devant proprement servir à estamper, emboutir, poinçonner, etc., les pièces métalliques d'une assez faible épaisseur, n'exigeant par suite qu'une faible amplitude de course et un temps relativement peu considérable.

PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LES COMBINAISONS CHIMIQUES. — L'analyse, l'explication du phénomène physique le plus capital qui puisse être l'objet des recherches des savants, de la production de la chaleur, s'est successivement transformée avec les progrès de la science, ou pour mieux dire, les théories proposées jusqu'ici se sont successivement détruites les unes les autres, sans en laisser debout aucune quelque peu satisfaisante. Il m'a paru, dès 1854 (époque à laquelle j'ai adressé à l'Académie des sciences un mémoire dont cet article est la reproduction peu modifiée), que des déductions nécessaires de la notion de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur permettaient d'établir d'une manière tout à fait satisfaisante la théorie de la production de la chaleur par les affinités chimiques, et par suite de poser les bases de la mécanique moléculaire, dont le chimiste étudie aujourd'hui les effets sans y introduire la notion scientifique de mesure; c'est en réalité une seule et même question. Plus d'un chimiste de nos jours serait étonné, en ouvrant le *Traité de Chimie* de Lavoisier, le principal promoteur du mouvement scientifique qui a amené la chimie à son état actuel, de voir que l'étude des phénomènes calorifiques y occupe la plus grande place; car cet homme de génie sentait bien que là seulement pouvaient se trouver la mesure et la loi des phénomènes.

Je commencerai par rappeler en quelques mots les systèmes successivement proposés pour rendre compte des faits.

Théorie du phlogistique. — Stahl essaya le premier d'établir un lien général entre les phénomènes du feu observés dans les combinaisons chimiques. Frappé des phénomènes d'échauffement lors de l'oxydation, et des effets inverses lors de la réduction des métaux, il regarda les corps combustibles comme dégageant, lors de leur combinaison, le principe inflammable qu'il nommait *phlogistique*, qui produisait le feu. Quelle était la nature propre du phlogistique? C'est ce qui ne fut jamais bien défini. On entendait bien que c'était une substance d'une nature particulière, mais cependant douée des attributs principaux des corps matériels. Ce système, bien qu'inspiré par un sentiment vrai de la réalité, parce que son auteur voyait que la chaleur se dégageait du corps lors de sa combinaison, cependant n'expliquait rien, et revenait à bien peu près au simple énoncé du phénomène lui-même. Il ne pouvait guère résister à l'objection fondamentale que lui fit Lavoisier après une analyse plus précise de la combustion.

Théorie du calorique. — Il était sous-entendu dans la théorie du phlogistique, puisqu'il se dégageait un élément lors de la combustion, dont la nature était plus ou moins assimilée à celle des corps matériels, qu'un corps combustible devait probablement perdre de son poids par la combustion, mais sûrement n'en pouvait gagner. Or, Lavoisier prouva que celle-ci consiste dans la combinaison du corps combustible avec le gaz oxygène, et constata que le poids final est celui du corps combustible augmenté du poids de l'oxygène. Il devenait difficile, par suite, de soutenir l'ancienne théorie, et il fallut chercher une nouvelle explication des faits.

Lavoisier, assimilant le calorique à un gaz parfaitement élastique, sans pesanteur, posa en principe qu'il se combine avec les corps, comme ceux-ci se combinent entre eux. C'est ainsi qu'il explique la production de l'état gazeux. Rien de plus simple, dit-il, que de concevoir qu'un corps devient élastique en se combinant avec un autre qui est lui-même doué de cette propriété au plus haut degré.

Quant à l'apparition du calorique lors de la combustion, elle devient, dans ce système, le résultat de réactions semblables à toutes les autres. Ainsi, après avoir décrit la combustion du phosphore dans l'oxygène, il ajoute : « Cette expérience prouve d'une manière évidente qu'à un certain degré de température l'oxygène a plus d'affinité avec le phosphore qu'avec le calorique; qu'en conséquence le phosphore décompose le *gaz oxygène*, qu'il s'empare de sa base, et qu'alors le calorique, qui devient libre, s'échappe et se dissipe en se répartissant dans les corps environnants. »

Malgré ses belles expériences de calorimétrie, dans lesquelles il sut le premier comparer les quantités de chaleur et non plus seulement les températures, Lavoisier ne put arriver à d'importants résultats. C'est qu'en effet, limitée à ce qui précède, la théorie du calorique n'est encore guère qu'un moyen d'énoncer les faits. Pour aller au delà, pour qu'on pût l'appliquer à des mesures d'effets, à la prévision des phénomènes, il fallait pénétrer plus profondément dans l'analyse des forces. C'est un travail que Lavoisier ne put compléter, mais il fut admis par ses collaborateurs que c'était la condensation qui était la cause du dégagement, de la séparation du calorique, comme la dilatation était la cause de sa combinaison, de son absorption, ainsi qu'on le voit dans la vaporisation des liquides et la condensation des gaz. C'était par la compression du métal, par exemple, que Berthollet, défendant la théorie triomphante du calorique contre celle des vibrations que reprenait Rumford, prétendait expliquer la chaleur que celui-ci produisait par le frottement de métal sur métal. Il était, en effet, naturel de penser d'après les propriétés de l'oxygène, le grand rôle qu'il joue dans la nature, la multiplicité de ses combinaisons très-fréquemment solides et liquides, après avoir établi les lois de la chaleur latente et reconnu que les gaz consomment, pour être produits, une grande quantité de chaleur, de conjecturer que la chaleur qui apparaît lors des combinaisons chimiques provenait de la condensation de l'oxygène.

Si, dans beaucoup de cas, appliquée à la combustion du phosphore, des métaux, etc., aux combinaisons dans lesquelles l'oxygène passe de l'état gazeux à l'état solide, cette théorie paraît conforme aux faits, il en est un grand nombre aussi qui démontrent qu'elle est tout à fait insuffisante. C'est ce qu'il est facile de mettre hors de doute, en citant l'exemple le plus saillant, les combustions et les explosions de corps solides, comme la poudre à canon, cas dans lesquels des corps solides produisant des volumes gazeux très-considérables devraient, si cette théorie était vraie, engendrer un très-grand froid en raison de la dilatation produite, ou encore celui de corps gazeux produisant un liquide en dégageant de la chaleur, comme le chlore et l'hydrogène; l'expérience faisant reconnaître qu'il se dégage alors de grandes quantités de chaleur condamne la théorie et prouve qu'elle ne peut donner l'explication des phénomènes.

On a voulu encore expliquer la production de la chaleur par les différences des chaleurs spécifiques du composé et des composants. Il suffit de poser des chiffres pour reconnaître que les faits ne s'accordent pas avec cette manière de mesurer les effets produits, et qu'on ne peut ainsi se rendre compte des grandes quantités de chaleur qui apparaissent dans certains cas. Nous verrons plus loin pour quelle part cet élément entre dans l'analyse complète de la combustion. Les objections à la théorie l'ont fait à peu près abandonner; mais au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lieu de chercher à la réformer, les chimistes, en présence des nombreuses découvertes que leur procurnient les travaux de chaque jour, ont laissé de côté toute question de théorie générale. Il est indigne de l'état avancé de cette science de ne pas accomplir un progrès qui fasse sortir sa méthode de celle des sciences naturelles; il est temps de constituer la mécanique chimique, de formuler les lois des forces en jeu dans les réactions chimiques. Les matériaux sont assez nombreux pour que, même avec la plus sage réserve, on puisse penser à la construction de l'édifice.

Théorie électro-chimique. — La décomposition des corps par l'électricité a conduit à expliquer, par l'intervention de cet agent, les combinaisons de la chimie. Formulée par Ampère, un des plus grands esprits qui se soient occupés de philosophie naturelle, elle a été développée par Berzélius et plusieurs autres éminents chimistes. Toutefois, les progrès de la chimie ont été contraires à son adoption pour l'explication universelle des phénomènes chimiques, et elle n'est plus guère aujourd'hui qu'une réserve pour le cas où on ne peut, sans elle, trouver une explication satisfaisante des faits.

Au point de vue de la production de la chaleur, nous rappellerons que la théorie électro-chimique consiste à considérer la chaleur comme engendrée par la neutralisation des électricités opposées des atomes qui se combinent. Il est facile de voir combien cette explication est insuffisante : 1° Elle suppose qu'il y a toujours neutralisation lors d'une combinaison chimique, tandis que l'expérience démontre qu'il y a, en général, au contraire, dégagement d'une grande quantité d'électricité rendue libre. C'est sur ce fait que repose la construction de la pile électrique, l'instrument par excellence pour la production de l'électricité. De même M. Becquerel a reconnu que dans la combustion du charbon il se développe beaucoup d'électricité, et rien n'indique la neutralisation d'une autre quantité. Cette neutralisation est une conception de l'esprit née du désir d'expliquer les faits, et qui n'est pas plus l'expression exacte de la réalité que l'hypothèse de deux fluides différents, qui est aujourd'hui généralement abandonnée.

2° Si l'électricité appartenait aux atomes des corps on ne verrait pas un changement perpétuel de rôle d'un même corps tantôt électro-négatif, tantôt électropositif, suivant le corps avec lequel il se combine.

En résumé, l'explication du phénomène de la production de la chaleur par la puissance mystérieuse de l'électricité n'est pas le résultat de la discussion des faits, n'a pas d'existence réelle, ne présente pas de vérifications nombreuses qui lui donnent de la valeur. Elle est un simple aperçu provoqué par le grand nombre d'expériences qui prouvent que les phénomènes calorifiques et électriques s'accompagnent les uns les autres ou qu'ils se provoquent mutuellement lors des combinaisons. Elle est abandonnée aujourd'hui de tous les chimistes, et bien loin qu'elle doive expliquer les faits de la chimie, la loi de la production de l'électricité se déduira plutôt de la connaissance plus approfondie des lois qui président aux combinaisons chimiques, que celles-ci de la première.

DE LA CHALEUR ET DE SON ÉQUIVALENCE AVEC LE TRAVAIL MÉCANIQUE.

L'équivalence de la chaleur et du travail mécanique, l'intervention certaine des actions moléculaires dans la métamorphose d'un phénomène en l'autre, comme nous l'avons vu en étudiant les frottements, les mouvements moléculaires (voy. ÉQUIVALENT MÉCANIQUE), offre aux sciences physiques des ressources bien précieuses. Toute réaction dans laquelle il y a production de chaleur pouvant s'interpréter en quantité de travail ou inversement, peut être analysée à l'aide de résultats qui jusqu'ici n'avaient aucun sens parce qu'ils paraissaient hétérogènes, de deux natures, qu'on ne voyait pas de rapport entre eux. Ils prennent, au contraire, une signification dont on comprendra l'importance extrême dans la question, si on remarque que les réactions qu'étudie la chimie sont produites par des forces d'affinité qui, réunissant les molécules du composé, produisent de la chaleur, et que cette chaleur représente une quantité de travail moléculaire d'après la théorie de l'équivalence, qu'elle vient par suite fournir la mesure du phénomène mécanique de combinaison.

C'est l'introduction dans l'analyse des phénomènes de la production de la chaleur, de cette correspondance entre éléments considérés jusqu'ici comme étrangers les uns aux autres, qui permet d'établir la théorie de cette production par le jeu des affinités chimiques. C'est ce qui existe déjà pour l'effet semblable du travail mécanique considéré ordinairement, car la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, dans l'état actuel de la science, doit être considérée comme la théorie de la production de la chaleur par travail mécanique ou inversement. En effet, en établissant la loi de correspondance entre les deux ordres de phénomènes, elle fournit le moyen de mesurer l'un quand l'autre est connu. Ainsi, connaissant dans une action mécanique la quantité de travail consommée en frottements, en chocs, qui ne se retrouve pas sous forme de travail mécanique, on aura, en calories, la quantité de chaleur produite, en divisant par 370 (en admettant notre détermination de l'équivalent), cette quantité de travail exprimée en kilogrammètres. Inversement la chaleur, le nombre de calories qui disparaît, dans d'autres cas, en produisant un travail mécanique, engendrera un nombre de kilogrammètres qui sera obtenu en multipliant par 370 ce nombre de calories.

Cet exemple nous montre la nécessité de considérer toujours des quantités de travail et des quantités de chaleur, c'est-à-dire des unités complètes, et non pas, comme on le fait souvent à tort en mécanique, seulement des forces ou des vitesses, ou en physique des degrés de thermomètre, comme on ne le fait aussi que trop souvent. La substitution dans la pratique des quantités de chaleur aux degrés, introduite par Laplace et Lavoisier dans leurs expériences de calorimétrie, est aussi nécessaire aux progrès de la physique que l'a été l'introduction de la quantité de travail dans la mécanique appliquée.

La correspondance entre la chaleur et la travail mécanique, en nous fournissant le moyen de réduire tous les effets en unités de même nature, va nous permettre, dans l'étude de la chaleur produite par les affinités chimiques, d'appliquer le principe de permanence du travail sous la double forme qu'il peut prendre.

Posant comme un axiome de toute évidence que la chaleur produite dans une réaction chimique ne peut pas plus être anéantie que la matière, qu'elle doit se retrouver sous forme de chaleur ou de travail aussi bien que celle qui appartient aux composants, nous devons pouvoir le vérifier en *pesant* en quelque sorte la chaleur comme Lavoisier pesait la matière, en posant l'équation du travail des forces en jeu et des sommes des forces vives initiales et finales, comme on en établit une entre les éléments des corps qu'on examine et ceux qu'on en retire par l'analyse. Une semblable vérification n'existe pas en fait, quand on s'en tient à la chaleur seule, mais nous savons que lorsque de la chaleur disparaît, il se produit une quantité de travail mécanique *équivalente* à cette quantité de chaleur, d'où l'on peut conclure qu'il y a à tenir compte d'une semblable transformation, lorsque nous constatons en même temps la production d'un travail.

Ainsi donc, en ayant soin d'évaluer simultanément la chaleur et le travail moléculaire, on pourra mesurer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

exactement toute la chaleur et tout le travail qui correspondront à une réaction chimique étudiée expérimentalement, et retrouver une équation qui relie les quantités qui appartiennent aux composants et celles qui reviennent au composé. Ce qui suit n'est que l'application de ce principe, au milieu des transformations de chaleur en travail et de travail en chaleur.

Je le répète, j'arrive ainsi, pour les forces en jeu, exactement au résultat obtenu par Lavoisier pour la matière pondérable. Je citerai ici les paroles de ce grand homme, qui s'appliquent également aux deux ordres de recherches : « Je puis considérer, dit-il, les matières mises en jeu et le résultat obtenu comme une équation algébrique; et *en supposant successivement chacun des éléments de cette équation inconnu, j'en puis tirer une valeur et rectifier ainsi l'expérience par le calcul et le calcul par l'expérience.* J'ai souvent profité de cette méthode pour corriger les premiers résultats de mes expériences et pour me guider dans les précautions à prendre pour les recommencer. »

De l'attraction et de l'affinité. — Dans cet essai destiné à faire rentrer dans le domaine de la mécanique les phénomènes physico-chimiques des combinaisons moléculaires, il nous faudrait, pour être tout à fait rigoureux, ne pas employer les mots d'attraction, d'affinité, qui répondent à des propriétés innées de la matière, qui ne sauraient appartenir à la matière essentiellement inerte. Aussi n'est-ce pas dans ce sens que nous les employons, mais dans celui admis par Newton, c'est-à-dire comme moyen de résumer des modes d'action dont les causes sont incomplétement analysées. Les observations astronomiques ont démontré manifestement que les lois de la gravitation réglaient les mouvements des corps célestes, que tout se *passait comme si tous les corps matériels s'attiraient en raison inverse du carré de la distance;* de même, dans les combinaisons tout se *passe comme si les molécules des divers corps avaient des affinités les unes pour les autres.*

Avec cette restriction, on peut employer les mots d'attraction et d'affinité pour représenter des effets d'une cause inconnue, étant bien certain d'ailleurs que cette cause n'est pas une vertu propre à la matière.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous entrevoyons nettement en quoi elle consiste, sans pouvoir l'établir avec assez de précision pour qu'il y ait avantage à abandonner des mots qui sont l'expression des faits. Nous dirons brièvement ce qu'on peut établir comme très-probable pour le moins.

Ce que nous appelons force, par une abstraction de l'esprit, n'existe pas dans la nature; c'est dans les cas de transmission du mouvement que nous sommes conduits à voir naturellement des causes de mouvement, lorsqu'il se produit des applications du principe général de la conservation des forces vives, de la permanence du travail dans la nature. Or, nous voyons apparaître des attractions dans des cas analogues aux mouvements atomiques et lorsqu'un mouvement général paraît infiniment probable. Ce cas, qui semble bien voisin de celui considéré dans les combinaisons chimiques, est celui des attractions électriques que l'on voit se produire entre des courants de cette nature, c'est-à-dire presque certainement de déplacements de l'éther intermoléculaire, éther qui remplit l'univers, comme le prouve la propagation de la lumière à travers les espaces interplanétaires comme à travers les corps transparents; on doit penser que les mouvements des atomes libres de la matière sont intimement liés à celui du milieu, vibrant avec une vitesse considérable et en raison de la température, dans lequel ils sont placés, milieu dont la diffraction, les interférences, etc., montrent la nature.

On comprend facilement comment des corps placés dans un milieu en mouvement modifient la nature de leurs mouvements propres, de manière à se rapprocher rester réunis ou se séparer, suivant les cas; ce sont des phénomènes, dont nous peuvent donner quelque idée ceux que nous voyons se produire dans les fluides en mouvement dans le sable qui recouvre une plaque vibrante. Tel est, sans doute, le genre de phénomènes qui se produit dans les combinaisons; mais, pour préciser davantage l'explication des phénomènes, il faudrait analyser, mieux que nous ne savons le faire encore, ces actions; il faut que la mécanique moléculaire fasse encore des progrès importants. En attendant, nous pouvons, sans inconvénient, continuer à nous servir des mots d'attraction ou d'affinité, sauf à les remplacer plus tard par ceux qui répondront aux causes qui font que les atomes se comportent comme s'ils possédaient des forces qui les produisent.

ÉLÉMENTS D'ORDRE PHYSIQUE. — Il est bien évident que, pour procéder à une semblable étude, il faut tenir compte de tous les phénomènes physiques de changement d'état, d'échauffement, etc., qui répondent à des quantités souvent très-importantes de travail moléculaire et sont exactement de même ordre que ceux dont il s'agit. On arrive là à un point de réunion des phénomènes classés dans deux sciences, qui ne sont en réalité que deux chapitres de la science de la nature, la physique et la chimie.

On trouve une démonstration surabondante de cette nécessité dans ce fait curieux que les seules lois générales établies en chimie sont des lois fondées sur des faits d'ordre physique; je veux parler des lois de Berthollet formulées en détail dans l'INTRODUCTION (voy. CHIMIE) et qui se rapportent aux différences de solubilité, de fusibilité, de volatilité, etc., des corps. Un professeur de chimie, M. E. Robin, a résumé la plupart des raisonnements à l'aide desquels on cherche à prévoir, par de semblables considérations, l'effet des réactions, par une loi qu'il appelle *loi de stabilité* et qu'il énonce ainsi : *Les composés qui prennent naissance dans les réactions chimiques sont ceux qui ne sont pas décomposables à la température et dans les conditions où l'on opère.* Cela revient à dire que la stabilité comprenant la cohésion, la non-volatilité, l'insolubilité dans les cas de dissolution, enfin, la difficile séparation des éléments, règlent toute réaction, et tous ces éléments, sauf le dernier, sont d'ordre physique. On est donc fondé à dire que les éléments physiques dominent bien souvent.

On pourrait multiplier à l'infini les exemples de vérification de cette loi, mais ce qui doit surtout être remarqué, et c'est sur cette base qu'elle repose, c'est le rôle tout à fait capital de la chaleur pour déterminer des combinaisons nouvelles, en détruisant celles préexistantes; les affinités ne pouvant, en général, triompher seules, sans l'aide de la chaleur, des forces qui s'opposent à une combinaison nouvelle, telles que celles qui causent la cohésion des solides. Tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, le rôle de la chaleur se borne à amener les corps à l'état liquide pour que les réactions puissent se produire. D'autres fois on utilise la facile volatilisation d'un élément par la chaleur, et celle-ci sert à intervertir l'ordre des affinités naturelles. Par exemple, tandis que le potassium décompose l'oxyde de fer en vertu des forces d'affinité, le fer décompose la potasse à une température élevée, à cause de sa fixité et de celle de son oxyde, enfin de la facile distillation du potassium. Or, puisque la chaleur intervient dans la presque totalité des réactions chimiques, on ne peut éviter de conclure que les effets d'affinité et de chaleur, ceux des forces chimiques et des forces physiques, sont homogènes, de même nature. Autrement elles ne sauraient agir en sens opposés, comme cela a lieu presque toujours.

Cette homogénéité est le point de départ des recherches qui vont suivre, le travail des forces de cohé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sion étant toujours considéré comme de signe contraire avec les forces vives calorifiques. L'étude des changements d'état (voy. CHALEURS LATENTES) nous a mis à même de calculer le travail qui se produit alors, d'en calculer l'équivalent en quantité de chaleur, comme celle des chaleurs spécifiques nous permet d'évaluer les variations de forces vives qui correspondent aux changements de température. La pénurie de déterminations physiques des éléments dont nous venons de parler s'oppose autant que celle d'éléments chimiques à la solution complète du problème posé ici.

ÉLÉMENTS D'ORDRE CHIMIQUE. — On a toujours expliqué les phénomènes chimiques, les combinaisons et décompositions indéfinies des corps par l'effet, le travail des forces d'affinité, et s'il n'est pas admissible que la matière inerte agisse par attraction, il est certain, comme nous l'avons déjà observé, que l'on peut dire ici, comme Newton pour la gravitation, que tout se passe comme si celle-ci existait. Quels sont les phénomènes qui constamment apparaissent lorsque se produit ou se détruit une combinaison? Constamment des effets calorifiques.

A priori, nous pouvons établir d'après ce que nous connaissons déjà, et avec toute certitude, quelques principes fondés sur l'expérience qui nous conduiront sans erreur possible, sans hypothèse contestable, à l'analyse de la production de chaleur.

1° Les combinaisons chimiques sont produites par de véritables forces tout à fait de la nature de l'attraction, exercée entre leurs premiers éléments dont les masses relatives sont mesurées par leurs équivalents, agissant dans les mêmes conditions, comme Newton l'a établi depuis longtemps, de même ordre que l'attraction des astronomes. On doit considérer les forces qui agissent sur la matière comme les mêmes pour les infiniment petits que pour les infiniment grands.

2° Les atomes composés sont formés d'atomes composants réunis par ces forces; ils ne peuvent, par suite, être séparés que par l'application d'un travail mécanique ou la consommation d'une quantité de chaleur équivalente.

3° Nous connaissons très-bien les effets calorifiques qui accompagnent l'apparition de la cohésion entre molécules semblables, qui au point de vue des phénomènes calorifiques et mécaniques ne peut différer de celle qui prend naissance entre les molécules de corps différents. Nous savons que la cohésion ne peut être rompue que par l'emploi d'une certaine quantité de travail mécanique, ou par la consommation d'une certaine quantité de chaleur équivalente dite *chaleur latente*, et que lorsque cette cohésion s'établit, lorsqu'un corps passe de l'état liquide à l'état solide, il dégage une quantité de chaleur égale à cette chaleur latente.

4° Ce qui est vrai pour les atomes semblables est évidemment vrai également pour les atomes différents. On vérifie à chaque instant le fait de la destruction de la cohésion d'un composé par une certaine quantité de chaleur qui est ainsi consommée à produire ce travail de séparation. Inversement le dégagement de cette chaleur, lors de la naissance de la cohésion chimique du composé, est un fait général qui est constaté lors de chaque combinaison; c'est ce qui constitue la source générale de toute la chaleur que nous savons faire naître pour l'utiliser, la combustion. On ne peut révoquer en doute l'un des deux phénomènes, car nécessairement le résultat est inverse quand la cause agit en sens opposé.

Par une simple extension parfaitement fondée et parfaitement logique de résultats d'expériences se rapportant aux cohésions entre molécules semblables, pour analyser les cohésions atomiques entre molécules différentes, c'est-à-dire le jeu des mêmes forces, on arrive donc à ce principe fondamental :

Les combinaisons formées entre éléments libres (pour ne pas tenir compte de leur constitution physique) *produisent le dégagement d'une quantité de chaleur équivalente au travail mécanique qui serait nécessaire pour rompre leur cohésion atomique; les décompositions consomment, au contraire, cette même quantité de chaleur.*

Ce principe, qui ne paraît pas discutable, qui n'est que l'application du principe de la conservation des forces vives, suffit pour l'analyse du phénomène de la production de la chaleur, pour le mesurer même, si on le combine avec la notion de permanence. On voit qu'il était impossible de le formuler nettement, de comprendre le fait de l'apparition de la chaleur dans les réactions chimiques autrement que ne le faisait Lavoisier, tant que la notion de la corrélation de la chaleur et du travail mécanique dans les actions moléculaires était inconnue, qu'on ignorait qu'une consommation de chaleur correspondait à une destruction de travail, que la catégorie d'idées qui devait naître de l'étude de la production du travail mécanique par la chaleur n'avait pas pris un grand développement, enfin que la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur manquait pour tirer parti des chiffres fournis par les expériences connues. C'est là le principe nouveau dont l'application doit changer la face de la science.

Nous examinerons successivement les combinaisons chimiques formées par des corps simples ou des corps dont les atomes sont indivisibles dans les combinaisons étudiées, puis celles qui se rapportent aux corps composés, qui empruntent leurs éléments à la décomposition préalable de semblables corps.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Il semble que l'on devrait disposer de résultats d'expériences en nombre infini, comme celui des réactions connues, ce qui permettrait de faire reposer, sur une base parfaitement solide, l'édifice de la mécanique moléculaire. Il n'en est rien. Bien que des phénomènes calorifiques apparaissent dans toutes les réactions chimiques, les chimistes négligent de mesurer la quantité de chaleur qui apparaît et qui renferme en quelque sorte toute la théorie de l'opération dont la pratique les préoccupe.

Nous ne disposons donc que d'une quantité de matériaux fort limitée, résultant d'études calorimétriques dues surtout à un petit nombre de savants qui en pressentaient la grande importance.

En premier lieu, on doit citer Lavoisier, le principal créateur de la chimie moderne, qui créa son calorimètre à glace surtout en vue de l'étude de la mesure de la quantité de chaleur que dégage la combustion de l'hydrogène, du carbone, du soufre, du phosphore, etc. On ne peut se défendre d'admirer ce grand génie qui pressentait si bien que c'était dans ces questions que se trouvait la clef de la science, ce qui n'a été rendu sensible pour tous que par la création de la théorie mécanique de la chaleur, qu'il consacre à ces questions la moitié du premier volume de sa Chimie, quand la plupart de nos traités modernes n'en parlent pas!

C'est à Dulong que revient l'honneur d'avoir repris ces recherches à la fin de ses beaux travaux expérimentaux sur la chaleur, et malheureusement à la fin de sa vie, avec le soin et la précision qu'il apportait à ses travaux.

Enfin, MM. Favre et Silbermann, dans une très-importante et excellente série d'expériences, ont repris ces recherches et publié, en 1852 et 1853, dans les *Annales de physique*, trois grands mémoires qui ont depuis fourni le point de départ de toutes les déductions théoriques qui ont pu être tentées.

On doit faire appel au zèle des physiciens-chimistes pour étendre ces séries de déterminations calorimétriques, qui conduiront à connaître pour chaque corps son

EFERUS - Recherche & Classification numérique

équivalent mécanique comme nous connaissons son équivalent chimique. Les deux nombres sont nécessaires pour le définir entièrement et calculer les quantités de chaleur que produiront les combinaisons.

Nous donnerons, dans le tableau ci-après, les résultats déjà obtenus, faisant remarquer que la chaleur mesurée dans ces expériences est celle de l'échauffement du corps composé, lorsqu'on le ramène à la température de 15° pour la série de Favre et Silbermann, à 0° pour celle de Dulong, dont les nombres pour une même réaction doivent être par suite un peu plus forts.

CORPS COMBINÉS.	PRODUITS.	CHALEUR DÉGAGÉE.		
		FAVRE et SILBERMANN.	DULONG.	
			pour un gramme du corps.	pour un gramme d'oxygène.
1 gr de charbon avec oxygène.	Acide carbonique	8,086	7,295	2,735
1 gr. diamant avec oxygène.	Idem	7,770	»	»
1 gr. charbon avec oxygène.	Oxyde de carbone	5,367	»	»
1 gr. hydrogène avec oxygène.	Eau	34,462	34,600	4,325
1 gr. hydrogène avec chlore.	Acide chlorhydrique	23,783	»	»
1 gr. hydrog. protocarboné C^2H^4 avec oxygène.	Eau et acide carbonique	13,063	13,350	3,337
1 gr. hydrogène bicarboné C^4H^4 avec oxygène.	Idem	11,857	12,203	3,560
1 gr. éther sulfurique (C^4H^5O) avec oxygène.	Idem	9,027	9,431	3,659
1 gr. éther formique $(C^2H^2)^3O^4$ avec oxygène.	Idem	»	»	5,278
1 gr. éther acétique $(C^2H^2)^4O^4$ avec oxygène.	Idem	»	»	6,292
1 gr. blanc de baleine $(C^2H^2)^{32}O^4$ avec oxygène.	Idem	»	10,342	»
1 gr. alcool $(C^2H^2)+H^2O$ avec oxygène.	Idem	7,183	6,962	3,386
1 gr. soufre avec oxygène.	Acide sulfureux	2,260	2,601	2,600
1 gr. phosphore avec oxygène.	Acide phosphorique (Lavoisier)	7,500	»	»
1 gr. sulfure de carbone avec oxygène.	Acides sulfureux et carbonique	3,400	»	»
1 gr. essence de térébenthine avec oxygène.		»	11,567	3,544
1 gr. cyanogène avec oxygène.		»	5,244	»
1 gr. huile d'olive avec oxygène.	Eau et acide carbonique	»	9,862	»
Fer	Oxydes	»	»	4,327
Étain		»	»	4,534
Protoxyde d'étain		»	»	4,509
Antimoine		»	»	3,818
Zinc		»	»	5,275
Cobalt		»	»	3,983
Nickel		»	»	3,706
Cuivre		»	»	2,594
Protoxyde de cuivre		»	»	2,479

I. — COMBINAISONS DES CORPS GAZEUX RESTANT GAZEUSES.

L'homogénéité des actions d'attraction moléculaire qui produisent les cohésions physiques entre molécules de même nature, et celles des forces d'affinité qui engendrent les combinaisons entre les atomes de corps différents, nécessite généralement la solution du problème physique avant qu'on puisse atteindre le problème chimique. C'est ce que nous verrons bientôt plus en détail, en étudiant le cas général, mais on n'a guère à étudier que la seconde partie dans le cas où il s'agit de corps gazeux produisant un composé gazeux, puisque l'intervention des forces d'attraction inter-moléculaire est alors négligeable. Cela est surtout vrai pour les gaz simples, les gaz parfaits, l'oxygène, l'hydrogène, etc., dont nous allons étudier les combinaisons. Au lieu de commencer par l'état liquide, comme nous l'avions fait dans un premier essai, il vaut donc mieux commencer par l'état gazeux, comme l'a fait depuis, dans un travail de thermochimie appliquée aux composés organiques, M. Berthelot. (Pour les calculs ci-après nous partirons de l'équivalent de l'hydrogène H = 1 gr.)

La valeur totale connue des forces vives des corps gazeux permet d'établir une équation fort simple dans laquelle entre le travail mécanique qui serait nécessaire pour séparer les atomes combinés. F étant la force vive totale d'un élément, F' celle du second élément, F'' celle du composé, E le travail de combinaison, Q la chaleur dégagée, l'équation de la combinaison est :

$F + F' + AE = Q + F'' + AP\Delta V$ (1) le dernier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

terme étant relatif au travail extérieur qui répond à la variation du volume. On voit que le volume relatif du composé par rapport à ceux des gaz composants est important, puisque, d'après la formule (voy. GAZ) qui donne la mesure de cette force vive $3pv = 1/2\ nmu^2$, il n'y a pas de variation pour les forces vives des gaz lorsque le volume final est la somme des volumes élémentaires; il y a diminution s'il est moindre, accroissement s'il est plus grand. Quand le volume ne varie pas, on a donc $F + F' = F''$, et comme ΔV est exprimé par la différence $F'' - F' - F$ divisée par une constante, la pression ne variant pas, l'équation (1) se réduit simplement à $AE = Q$.

1° *Combustion de l'oxyde de carbone dans l'oxygène.* — La combustion de 1 gramme d'oxyde de carbone, gaz très-stable, dans l'oxygène, produit, d'après Dulong, 2,634 calories, et, d'après Fabre et Silbermann, 2,403, admettons 2,450, ou pour un équivalent (ou 28 grammes en posant H = 1, C = 12, O = 16), 68,600. Ce chiffre correspond à la transformation suivante, opérée à 0° :

$$C^2O^2 + O^2 = C^2O^4.$$

S'il s'agissait du cas le plus simple, considéré ci-dessus, on pourrait poser, pour le travail nécessaire pour séparer les éléments d'un équivalent d'acide carbonique (44 gr.), ce que nous appellerons son équivalent mécanique :

$$\overline{C^2O^4} = 68,6 \times 370.$$

Mais cela suppose que l'acide carbonique est un gaz parfait comme l'oxyde de carbone et l'oxygène, dont les molécules n'exercent aucune action les unes sur les autres. On peut voir comment M. Berthelot cherche à évaluer cet effet, à l'aide des chaleurs spécifiques, ce qui le conduit au reste à une correction insignifiante.

D'ailleurs, nous venons d'établir que le principe de la conservation des forces vives conduisait à l'équation :

$$F + F' + \overline{C^2O^4} = 68,6 + F'' + AP\Delta V.$$

Pour des gaz parfaits sous la pression ordinaire, par litre, $3Apv$ ou $F = 0,0837$, on a donc :

$$\text{Pour } C^2O^2,\ F = \frac{0,0837}{1,243} \times 28^g = 1,80;$$

$$\text{Pour } O^2,\ F' = \frac{0,0837}{1,43} \times 16^g = 0,98;$$

$$\text{Pour } C^2O^4,\ F'' = \frac{0,0837}{1,98} \times 44^g = 1,86;$$

au lieu de 2,70 et $F'' - F - F' = -0,84$; c'est environ 1/3 de moins, et en effet la réduction de volume par la combinaison est de 1/3. On a donc :

$$AP\Delta V\ 1/3 \times 0,044 = \frac{1,0333}{370} \times \frac{44}{1,98} \times -0,33 = -0,207.$$

D'où $\overline{C^2O^4} = 68,60 - 0,84 - 0,20 = 67,60$ pour 44 grammes.

Et pour 1 gramme $\overline{C^2O^4} = 1^c,54$, et en kilogrammètres 569,80.

Et enfin pour 1 kilogramme $\overline{C^2O^4} = 1540$ calories et 569,800 kilogrammètres.

2° *Combustion de l'hydrogène. — Formation de l'eau.* — Les nombres trouvés pour l'oxygène et l'hydrogène doivent nous permettre d'obtenir immédiatement l'équation de l'eau, qui sûrement, à la température si élevée de sa formation, de la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène et même bien au-dessous, mais non à 100°, est à l'état de gaz parfait.

Nous connaissons la quantité de chaleur dégagée qui est, d'après Dulong, de $4^c,325$ par gramme d'oxygène, ou pour 16 grammes d'oxygène entrant dans un équivalent (18 gr. d'eau) 69 calories, mesurées sur l'eau produite ramenée à zéro, qui a par suite dégagé de la chaleur en passant de l'état gazeux à l'état liquide, par suite de son changement d'état. Il y a donc de ce fait une correction importante à faire relativement au changement d'état, genre de correction sur lequel nous reviendrons bientôt.

Nous savons que la chaleur totale dégagée par la vapeur d'eau à 100°, passant à l'état d'eau à zéro (voy. CHALEUR LATENTE), est donnée par la formule $(606,5 + 0,305\ t)$, ou

$$(606,5 + 0,305 \times 100) \times 0,048 = 11,46;$$

quantité de chaleur considérable engendrée par la pression atmosphérique et l'attraction moléculaire des éléments de l'eau liquide.

Cette quantité, retranchée de 69, nous donne 57,54.

Équivalent dynamique. — Nous pouvons maintenant chercher l'équivalent dynamique et écrire l'équation.

$$F + F' + AE = F'' + 57,54,$$

$$\text{Pour } H^2,\ F = \frac{0,0837}{0,088} \times 2 = 1,96;$$

$$\text{Pour } O^2,\ F' = \frac{0,0837}{1,433} \times 16 = 0,928.$$

Les trois volumes donnant deux volumes de vapeur d'eau, on a $F'' = 1,85$, et $F'' - F - F' = -0,96$,

$$AP\Delta V = \frac{10,333}{370} \times \frac{18}{0,81} \times -0,33 = -0,20.$$

L'équation (1) donne donc

$$\overline{H^2O^2} = 57,54 - 0,96 - 0,20 = 56,40,$$

et en kilogrammètres = 2208,68.

Pour 1 gramme :

$\overline{H^2O^2} = 3,13$, et en kilogrammètres 1158,10.

Et pour 1 kilogramme :

$\overline{H^2O^2} = 3130$ calories, et 1,158,100 kilogrammètres.

Quantité énorme, comme les forces vives de l'oxygène et de l'hydrogène, qui expliquent le grand rôle de ces corps *limites* dans la nature, par la quantité de forces vives qu'ils représentent.

3° *Combinaison du chlore et de l'hydrogène.* — MM. Favre et Silbermann ont trouvé pour la chaleur dégagée par la combustion de 1 gramme d'hydrogène avec 35,5 de chlore pour former l'acide chlorhydrique, une quantité de chaleur de $23^c,7833$.

Nous avons donc l'équation :

$$F + F' + \overline{HCh} = 23,7833 + F''.$$

$$\text{Pour H},\ F = \frac{0,0837}{0,088} \times 1 = 1;$$

$$\text{Pour Ch},\ F' = \frac{0,0837}{1,209} \times 35,5 = 0,71;$$

$$\text{Pour HCh},\ F'' = \frac{0,0837}{1,622} \times 36,6 = 1,88;$$

c'est-à-dire qu'il n'y a pas de changement de volume.

L'acide chlorhydrique ne peut être considéré comme un gaz parfait, mais il en est de même du chlore, et la différence qui résultera de ce fait est peu importante.

On a donc pour $\overline{HCh} = 36,5$ approximativement la valeur :

En chaleur $\overline{HCh} = 24$ calories, et en kilogrammètres, 8880 kilogrammètres;

Et pour 1 gramme, $\overline{HCh} = 0^c,605$, et en kilogrammètres, $223^{km},85$.

Dans les cas qui viennent d'être considérés, l'influence des éléments physiques est faible. Il n'en est plus de même quand un des corps considérés est liquide ou solide; la grandeur des nombres qui représentent les quantités de chaleur, qui répondent aux changements d'état, le fait aisément pressentir.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

II. — GAZ SIMPLES SE COMBINANT AVEC UN CORPS SIMPLE NON GAZEUX.

En raisonnant comme précédemment, et conformément à ce qui a été dit au commencement de ce travail, il faut, dans ce nouveau cas, faire entrer dans l'équation qui exprime l'application du principe de la conservation des forces vives aux phénomènes calorifiques et mécaniques de la réaction, dans laquelle figurent les forces vives avant et après la combinaison, le travail de séparation physique, la quantité de chaleur nécessaire pour transformer le solide ou le liquide en un gaz parfait, terme qui doit être affecté du signe —, répondant à de la chaleur consommée, la chaleur dégagée étant considérée comme positive.

1° Dans le cas d'un liquide, cette quantité de chaleur répond à la partie de la chaleur latente que nous avons représentée par AA', à l'équivalent de la quantité de chaleur nécessaire pour détruire le travail de la cohésion moléculaire par un accroissement de force vive calorifique des molécules liquides, consommée par la destruction de ce travail et reproduite, quand l'état liquide reparaît, par l'attraction moléculaire; plus à la chaleur nécessaire pour amener la vapeur formée à la température originelle du liquide, sous la pression à laquelle l'expérience a lieu, à l'état du gaz parfait. La connaissance de la densité théorique de la vapeur fournit un élément précieux; elle conduit à la détermination de la force vive totale de la vapeur amenée à l'état de gaz parfait.

2° Dans le cas d'un solide, il faut à la quantité précédente ajouter la chaleur nécessaire pour le liquéfier, une quantité de chaleur AA, qui peut quelquefois se déduire de combinaisons multiples d'une même série, comme nous allons le tenter pour le cas important de la combustion du carbone.

Combustion du carbone. — La combustion du carbone solide produisant de l'acide carbonique C^2O^4 peut être représentée par l'équation :

$$-A(A+A') + O^4 + C^2 + \overline{\overline{C^2O^4}} = AT + C^2O^4,$$

en représentant par O^4, C^2, C^2O^4 les forces vives totales des gaz parfaits, vapeur de carbone, oxygène, acide carbonique, et par $\overline{\overline{C^2O^4}}$ l'équivalent mécanique, le travail de la combustion estimée en chaleur.

D'après MM. Favre et Silbermann, la combustion d'un gramme de carbone dégage 7,800 calories, en partant du graphite et du diamant, de l'état cristallin, normal, du charbon; ce qui donne $T = 93,60\ (7,8 \times 12)$ calories.

Pour deux équivalents de carbone pesant 12 grammes, $O^2 = 16$ grammes.

$$O^4 = 16 \times 2 = \frac{0,0837}{1,413} \times 16 \times 2 = 1,85,$$

$$C^2 = 12^s = \frac{0,0837}{1,077} \times 12 = 0,924,$$

$$C^2O^4 = \frac{0,0837}{1,981} \times 44 = 1,86,$$

mais la réduction du volume est de 1/3, qui conduit à une diminution d'une calorie, et l'équation devient :

$$-A(A+A') + 1,85 + 0,924 + \overline{\overline{C^2O^4}} = 92,60 + 1,86,$$

ou, en réduisant :

$$-A(A+A') + \overline{\overline{C^2O^4}} = 91^c,85, \text{ pour } 44 \text{ grammes.}$$

On a trouvé pour la combustion de l'oxyde de carbone, pour le même poids :

$$\overline{C^2O^4} = 68.$$

De la différence entre ces deux nombres conduisant tous deux à la formation d'un même poids d'acide carbonique, par la combinaison des mêmes éléments, on en conclut habituellement que la différence de ces deux nombres répond à la chaleur de formation de l'oxyde de carbone, qui serait, on le voit, seulement de

$$91,85 - 68 = 23^c,85.$$

L'établissement complet des équations montre qu'il n'est pas rigoureusement exact de poser ainsi :

$$\overline{\overline{C^2O^4}} - \overline{C^2O^4} = 91,85 - 68 = 23,85,$$

$\overline{\overline{C^2O^4}}$ répondant à la décomposition de l'équivalent d'acide carbonique en carbone et oxygène, et $\overline{C^2O^4}$ à la décomposition en oxyde de carbone et oxygène, mais qu'on doit écrire :

$$-A(A+A') + \overline{\overline{C^2O^4}} - \overline{C^2O^4} = 23,85.$$

Si l'on considère la stabilité des deux composés, comment notamment l'acide carbonique se forme naturellement toutes les fois qu'on ne réalise pas les conditions particulières qui permettent de produire l'oxyde de carbone, il semblera naturel d'admettre, comme on le reconnaît dans divers cas, comme l'égalité de l'action et de la réaction tend à en faire un cas général, que la même chaleur se dégage par la fixation du premier comme du second atome d'oxygène avec le carbone. C'est-à-dire, puisque

$$\overline{C^2O^4} = 68, \text{ de poser } \overline{\overline{C^2O^4}} = 2 \times 68 = 136,$$

$$\text{et } -A(A+A') + 136 = 91,85, \text{ ou } A(A+A') = 44,15,$$

quantité bien considérable pour 12 grammes de carbone, car elle revient à $3^c,67$ par gramme ou 3670 par kilogramme.

L'infusibilité du carbone, qui paraît absolue pour nos moyens d'expérimentation, peut expliquer une chaleur de fusion et de volatilisation supérieure à ce que nous connaissons, d'autant plus qu'on ne peut l'assimiler aux corps que nous connaissons à l'état de vapeur qu'après l'avoir chauffé à une très-haute température, et qu'une quantité qui pourrait s'évaluer à l'aide de la chaleur spécifique, doit se joindre sur toute cette étendue à la chaleur latente proprement dite. Si on avait l'élasticité du diamant, ce qui s'obtiendrait facilement avec un diamant noir, il serait curieux d'appliquer au carbone la loi de Person pour calculer la chaleur de fusion; on voit par la dureté du diamant qu'elle est supérieure à celle de tout autre corps.

La belle théorie d'Ebelmen sur le froid produit dans les hauts fourneaux par la conversion de l'acide carbonique en oxyde de carbone, au contact du charbon solide, s'explique bien par la grande valeur de $A(A+A')$. La destruction de l'acide carbonique en oxyde de carbone et oxygène produit bien probablement un froid égal à la chaleur dégagée par la combustion du charbon en vapeur par l'oxygène, et la chaleur consommée, le refroidissement répond à la chaleur latente du carbone, à la quantité suffisante pour le faire passer de l'état solide à l'état de gaz parfait.

Combustion du soufre. — La combustion du soufre, c'est-à-dire d'un corps vaporisable à basse température et, par suite, dont on peut déterminer expérimentalement la chaleur totale de fusion et de vaporisation, nous offre un cas où la méthode est plus complétement applicable que le précédent. L'équation générale sera :

$$-A(A+A') + S + 2O + \overline{SO^2} = T + SO^2,$$

$T = 2^c,25$ pour 1 gramme de soufre produisant de l'acide sulfureux, l'équivalent du soufre est $S = 200$ pour $O = 100$ (2 gr. soufre, 1 gr. oxygène). La densité de l'acide sulfureux est $2^s,849$ par litre; la force vive F" pour 1 gr. de soufre est donc :

$$F'' = S\,O^2 = 0,0837\,\frac{2}{2,849} = 0,058,$$

$$F' = O = \frac{0,0837}{1,43} = 0,058.$$

La densité théorique du soufre en vapeur est 2,2 par

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapport à l'air, ou $2,2 \times 1,29 = 2,84$, par suite, $F = 0,029$ pour 1 gramme.

On a donc :

$$-A(A+A')+0,029+0,058+\overline{SO^2}=2^c,25+0,058$$

ou enfin :

$$\overline{SO^2}=2^c,22+A(A+A').$$

Les valeurs de $A+A'$ ne sont pas connues avec assez de certitude pour que nous puissions donner exactement la valeur de l'équivalent mécanique de l'acide sulfureux, mais ce n'est plus qu'une affaire d'expérimentation relativement facile.

Nous ne pouvons ici indiquer le plus souvent que la méthode; c'est aux chimistes et physiciens expérimentateurs qu'incombe le travail de déterminer les nombres propres à chaque corps, comme ils en ont déterminé jusqu'ici les équivalents, les densités, etc., les seuls nombres réclamés jusqu'à ce jour par l'état de la science.

Oxydation des métaux. — Dulong a trouvé pour la chaleur dégagée par 1 gr. d'oxygène, se combinant avec les métaux ci-après pour former des oxydes à l'état solide :

Zinc	$5^c,275$
Fer	4,327

Ce cas diffère du précédent, en ce que loin qu'un gaz soit produit, l'oxygène est absorbé, passe à l'état solide, par suite, en dégageant d'abord, du seul fait du changement de volume, la quantité APV, ou pour 1 gr. $\frac{40,333}{1,43}\frac{1}{370}=0,02$ et pour sa force vive $3Apv=0,06$.

Nous aurons une valeur approchée en considérant la réaction comme se passant à l'état liquide, et tenant compte de la seule chaleur de fusion L, en posant

$$\overline{ZnO}=AT-LZn-0,08$$

Zinc. — Pour $O=1^s$ $Zn=4,03$ $L=28,13$

$ZnO=5,275-28,13\times 0,004-0,08=4,643$

Et pour 1^s de zinc $1^c,153$ ou $426^{km},60$.

Fer. — Pour $O=1^s$ $Fe=3,39$ $L=64$ (par calcul)

$\overline{FeO}=4,327-64,8\times 0,00339-0,08=4,02$

Et pour 1^s de fer, $1^c,21$ ou $447^{km},70$.

III. — Cas général.

Réactions entre corps simples dont l'état physique est gazeux, liquide ou solide. — Les équations que nous venons de poser pour les cas les plus simples, et qui nous ont permis de calculer le travail qui serait nécessaire pour séparer les atomes des composés, *les équivalents mécaniques des corps*, peuvent s'écrire dans tous les cas, quel que soit l'état physique des corps simples et des corps composés formés par leur combinaison. Il suffit, pour qu'elles soient exactes, d'y faire entrer tous les éléments convenables pour qu'elles soient l'expression rigoureuse de la permanence du travail, d'y faire entrer chaque corps avec sa valeur dynamique. Ainsi un liquide ne sera pas représenté seulement par sa force vive calorifique $\Sigma\frac{L^2}{2}$, mais aussi par sa cohésion par A', par $-AA'+\Sigma\frac{mL^2}{2}$, sa valeur dynamique complète, dont le premier terme représente le travail moléculaire produit par l'attraction, lorsque le corps a pris l'état liquide.

D'une manière générale, A, B, étant les forces vives de deux corps composants, $-a$, $-b$, le travail des forces de cohésion atomique, celui qu'il faudrait dépenser pour séparer leurs atomes, C, $-c$, les mêmes quantités pour le corps composé formé par leur combinaison, E l'équivalent mécanique du corps exprimé en chaleur, T la chaleur dégagée, on aura, que les corps soient solides, liquides ou gazeux (les valeurs de a, b, c, variant en raison de cet état, étant nulles pour l'état gazeux), la température demeurant constante, on aura :

$$A-a+B-b+E=T+C-c,$$

ce qui n'est que l'expression de la permanence de travail; la somme de la puissance dynamique des éléments, plus le travail de la combinaison exprimé en chaleur comme les forces vives atomiques, égale la chaleur dégagée, plus la puissance dynamique du composé; appelant puissance dynamique d'un corps la somme des forces vives calorifiques qu'il possède, diminuée du travail qu'il serait nécessaire de consommer pour rompre ses cohésions moléculaires.

La valeur de E sera donc connue par la détermination de T, par une mesure calorimétrique, toutes les fois que les corps simples qui se combinent auront été complétement étudiés; que l'on connaîtra leur force vive A, et leur travail de cohésion a. Nous avons vu comment on pouvait y parvenir à l'article CHALEURS LATENTES; malheureusement, les méthodes indiquées ne s'appliquent pas aux corps fusibles et volatilisables à des températures très-élevées, mais on peut les obtenir pour un très-grand nombre de corps, travail qu'il serait important d'exécuter; de la connaissance de ceux-ci on passerait, par l'étude des relations variées conduisant à un même composé, en multipliant les équations, à une semblable détermination pour tous les corps.

Nous avons supposé que la réaction se passait à la température pour laquelle on a déterminé les éléments de l'équation ci-dessus. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, il faut, à l'aide des chaleurs spécifiques et de la loi de variation des chaleurs latentes, établir l'équation pour la température à laquelle se produit la réaction.

RÉACTIONS ENTRE CORPS LIQUIDES. — Nous examinerons d'abord le cas où les éléments et le composé restent liquides, par exemple lors du mélange de dissolutions des éléments, donnant une dissolution du composé.

Il semble qu'on est fondé, en présence d'une égale dilution des éléments et du composé, pour une même température, à considérer les forces vives des particules comme sensiblement les mêmes, lorsqu'elles sont isolées ou comprises dans une combinaison, également à l'état de dissolution; de telle sorte qu'on est fondé à écrire, au moins avec une assez grande approximation:

$A-a+B-b=C-c$, d'où $E=AT$ simplement.

Ce cas est intéressant, car à cause du libre mouvement des molécules et de leur rapprochement dans les liquides, l'état de liquidité est l'état par excellence pour obtenir les réactions chimiques. Des corps solides dont les atomes sont enchaînés par des forces de cohésion ne sauraient agir les uns sur les autres. *Corpora non agunt nisi soluta*, disait-on avec raison dans l'ancienne chimie. Les gaz mêmes, dont les molécules sont libres, mais à des distances relativement très-grandes les unes des autres, ne se combinent en général qu'autant que la chaleur, l'étincelle électrique ont produit en un point un choc, une action qui se propage de proche en proche en raison de la chaleur dégagée.

Appliquons cette équation à l'étude d'un cas simple, à la combinaison de bases puissantes, la potasse et la soude, par exemple. Le travail en jeu pour produire ces combinaisons étant bien moindre que celui capable de décomposer les composés binaires qui en font partie (c'est là l'explication de la loi de dualisme qui s'applique si souvent en chimie), on ne saurait douter que ces combinaisons ne soient binaires, ne soient formées par l'acide et la base, sans décomposition aucune, se comportant exactement comme des corps simples.

MM. Favre et Silbermann ont trouvé, pour la combinaison de 1 équivalent de potasse ou de soude avec

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PRODUCTION DE LA CHALEUR.

1 équivalent des acides ci-après, l'unité d'équivalent étant 1 ᵍʳ d'hydrogène, les quantités de chaleur suivantes :

ACIDES	sulfurique,	azotique,	chlorhydrique,	iodhydrique.
Potasse.	16,083	15,510	15,656	15,698
Soude..	15,810	15,283	15,128	15,097
ACIDES	**phosphorique,**	**acétique,**	**citrique,**	**oxalique.**
Potasse.	16,920	13,973	13,658	14,156
Soude..	15,655	13,600	13,178	»

Ces nombres doivent fournir une valeur des équivalents mécaniques assez approchée.

On aura une valeur approchée des équivalents mécaniques des différents sels en multipliant les nombres ci-dessus par 370, ce qui donnera, pour les sulfates de potasse et de soude 5949 ᵏᵐ et 5846 ᵏᵐ, et pour les acétates des mêmes bases 5170 ᵏᵐ et 5032 ᵏᵐ.

Ces chiffres sont bien conformes à ce qu'on sait : que la potasse est une base plus énergique que la soude, et l'acide sulfurique un acide plus énergique que l'acide acétique.

Par des observations analogues sur la formation de sels ayant pour base les divers oxydes métalliques, MM. Favre et Silbermann ont déterminé les quantités de chaleur dégagées dans la formation de sels solubles, sûrement formés sans décomposition de leurs éléments. Il n'est plus admissible de considérer ces quantités comme fournissant des valeurs exactes des équivalents mécaniques ; les différences entre ces chiffres et les chiffres réels sont toutefois probablement assez faibles pour qu'on puisse penser que les rapports de ces nombres sont semblables à ceux des équivalents mécaniques.

BASE A UN ÉQUIVALENT D'OXYGÈNE.	Équivalents de ces bases (H = 1 gr.)	Unités de chaleur dégagées avec l'équivalent d'acide sulfurique (40 gr.)
	gr.	
Potasse.....	47	16,083
Soude.....	31	15,810
Oxyde d'ammonium..	26	14,690
Magnésie.....	20	14,410
Oxyde de manganèse..	35	12,075
— de nickel.....	38	11,932
— de cobalt.....	38	11,780
— de fer.....	36	10,872
— de zinc.....	41	10,455
— de cadmium...	64	10,240
— de cuivre.....	40	7,720

Formation d'un précipité ou dégagement de gaz. — La relation approchée dont nous sommes partis dans le paragraphe précédent devient tout à fait inexacte, lorsque l'hypothèse de la permanence supposée de l'état physique ne se réalise pas. Si un précipité se forme, il faudra retrancher sa chaleur de fusion de la quantité de chaleur dégagée, pour avoir celle due à la seule réaction, puisqu'en se solidifiant le corps dégage une quantité de chaleur qui fait partie de la quantité observée. Si un gaz se dégage, il faudra ajouter au contraire la chaleur de formation de ce gaz, quantité qui a été soustraite de celle mesurée.

Pour obtenir des résultats rigoureux, il faut partir de l'équation des forces vives posée au début, et les quantités dont nous venons de parler se retrouvent dans celles que nous avons désignées par a, b, c, dans les éléments physiques de la réaction.

IV. — RÉACTIONS ENTRE CORPS COMPOSÉS.

Les réactions entre corps composés diffèrent de celles que nous venons d'étudier par la nature complexe des atomes des corps entre lesquels elles se produisent. L'effet de la cohésion qui constitue ceux-ci, par la réunion d'atomes simples qui forment autant de petits solides élémentaires, auxquels s'appliquent toutes les lois établies relativement à la rupture des cohésions moléculaires, est de faire que leur décomposition, qui précède la formation du nouveau composé, entraîne une consommation de chaleur correspondante à la quantité de travail mécanique nécessaire pour effectuer la désunion moléculaire.

C'est la conséquence forcée de l'analyse précédente de la combinaison des corps simples.

De même qu'il faut une certaine quantité de chaleur pour faire naître des combinaisons, en déterminant la rupture des cohésions moléculaires de corps solides, afin de permettre le libre mouvement des atomes qui doivent entrer en combinaison, de même il faut l'emploi d'une quantité de chaleur égale à celle dégagée lors de leur combinaison, pour rompre les cohésions entre atomes dissemblables, pour leur rendre leur mobilité. Autrement, le plus souvent, toute réaction est impossible.

En effet, si l'on doit dire que les composés prennent naissance dans une réaction chimique, en raison de la nature des éléments simples qui se trouvent en présence, il faut toutefois poser cette restriction : que ces éléments puissent se mouvoir librement, soient en état de produire le travail qui appartient à leur nature propre ; ce qui n'est pas possible, en général, sans addition de chaleur étrangère, à cause de la chaleur antérieurement dissipée, lorsque se sont effectuées les combinaisons qui ont produit les corps mis en présence.

Si donc on veut établir l'équation de la conservation des forces vives, il faudra pour deux corps dont les équivalents mécaniques sont A, B, faire entrer ces quantités avec le signe —, comme les quantités a, b, qui se rapportent aux cohésions moléculaires physiques, comprendre ces éléments dans la quantité de chaleur qu'il faut communiquer aux molécules, pour qu'elles soient libres. Au contraire, la chaleur dégagée par la formation du composé C sera positive. A', B', C', représentant les forces vives des corps, et T la chaleur dégagée, pour le phénomène total, on aura :

$$A' - A - a + B' - B - b + C = T + C' \pm c,$$

ce qui revient à dire que les forces vives des éléments, moins le travail consommé pour mettre en liberté les molécules et les atomes, plus la quantité de chaleur produite par la combinaison, égalent la chaleur dégagée, plus les forces vives du composé, plus ou moins encore la chaleur consommée ou dégagée par la constitution de l'état physique sous lequel il se trouve, gazeux, liquide ou solide.

Cette équation se rapporte à une réaction ayant lieu à une température déterminée, pour laquelle on connaît les valeurs des divers éléments qui en font partie; si on ne connaît quelques-uns d'entre eux qu'à d'autres températures, il faut les ramener, pour tous les corps considérés, à celle de la réaction, à l'aide des chaleurs spécifiques et des lois des chaleurs latentes.

Nous supposons, pour l'étude du phénomène chimique, la chaleur dégagée T connue par expérience; inversement, si les éléments du phénomène chimique étaient connus, c'est la quantité de chaleur qui serait donnée par l'équation qui répondrait à la question de fournir l'expression de la quantité de chaleur produite par une réaction chimique déterminée.

Mais, combien d'éléments sont à déterminer, en partant,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

comme nous l'avons montré en commençant, des combinaisons les plus simples, pour obtenir tous les nombres qui représentent les actions de mécanique moléculaire qui constituent les corps? Il y a là une série de travaux considérables à effectuer, qui ne présentent pas de difficultés, mais sans lesquels nous ne pouvons aller plus avant. C'est l'œuvre à laquelle nous avons déjà convié les chimistes et les physiciens auxquels nous serions heureux d'avoir montré la voie, sans pouvoir aller beaucoup au-delà. Nous nous contenterons d'examiner quelques cas en simplifiant les calculs.

1° *Réactions entre corps gazeux.*—Dans ce cas, s'il n'y a pas de changement de volume (et cette influence, facile à calculer, s'il y a lieu, n'est pas très-grande comme nous l'avons vu), les termes A', B', C' disparaissent comme a, b, c, et l'équation devient simplement

$$-A-B+C=T.$$

2° *Décomposition de corps gazeux par des réactions donnant des produits également gazeux.* — Ce mode d'opérer en partant d'une décomposition nous va permettre de trouver l'équivalent de quelques composés fort intéressants, à l'aide de quantités déjà connues; nous pourrons ainsi, à l'aide des résultats du tableau précédent, déterminer les équivalents des combinaisons gazeuses de l'hydrogène et du carbone, au moyen de la quantité de chaleur dégagée par leur combustion dans l'oxygène.

Hydrogène proto-carboné, C^2H^4 (Éq. 16ᵍ). — Le gramme de ce gaz donne d'après Dulong 13ᶜ,35, et suivant Favre 13,06, soit en moyenne pour 16ᵍ 210ᶜ. Pour se combiner avec l'oxygène, le carbone et l'hydrogène ont dû se séparer. On a donc

$$-\overline{C^2H^4}+C^2O^4+2H^2O^2=210.$$

Or l'équivalent de carbone produisant de l'acide carbonique dégage 136 calories, et celui d'hydrogène 69 pour donner de l'eau ; on a donc

$$-\overline{C^2H^4}+136+2\times56,4=-\overline{C^2H^4}+248=210.$$

D'où $C^2H^4=38$ calories avec le carbone en vapeur, et $64-44=-6$, c'est-à-dire est impossible avec le carbone.

Hydrogène bi-carboné, C^4H^4 (équivalent 28). — En raisonnant absolument comme dessus pour ce corps, dont la combustion donne exactement les mêmes produits, il vient

$$-\overline{C^4H^4}+2C^2O^4+2H^2O^2=332,08,$$

ou $-\overline{C^4H^4}+272+112,80=-\overline{C^4H^4}+384,8=332,08.$

D'où $\overline{C^4H^4}=52,4$, et 8ᶜ avec le carbone fixe.

3° *Combustion d'un liquide donnant des produits gazeux connus.* — Nous raisonnerons encore comme précédemment pour ce cas, et obtiendrons une approximation fondée sur l'hypothèse assez probable que la force vive du liquide diffère peu de celle de ses éléments qui deviennent gazeux.

Chaleur de combustion de l'alcool. — Nous prendrons pour exemple le calcul d'un liquide pour lequel nous connaissons à peu près tous les éléments du calcul. Je veux parler de l'alcool qui donne en brûlant de l'acide carbonique et de l'eau, et qui ne peut brûler qu'autant que le carbone et l'hydrogène constituants sont préalablement séparés, et aussi que la cohésion atomique mesurée par la plus grande partie de la chaleur latente est également détruite. On a l'équation

$$-\overline{C^4H^6O^2}-AA'+2C^2O^4+3H^2O^2+APV=390;$$

330 est le chiffre donné par Dulong.

APV répond au volume gazeux formé, mais en prenant pour AA' la chaleur latente (209) qui comprend le terme APV correspondant à la vaporisation de l'alcool, il y a compensation au moins approchée. L'équivalent pesant 46 grammes, il vient

$$-\overline{C^4H^6O^2}-209\times0,046+136\times2+56,4\times3=390.$$

D'où $\overline{C^4H^6O^2}=60$ calories; et pour 1 gr., 1ᶜ,30 et 481 kilogrammètres.

4° *Combustion de corps solides.* — On peut ainsi, par des hypothèses sûrement peu éloignées de la vérité, simplifier la formule dans bien des cas et obtenir des nombres approchés, peu éloignés du nombre vrai. Je donnerai pour dernier exemple la décomposition de l'eau par le potassium et le sodium, qui conduit à la détermination des équivalents mécaniques de la potasse et de la soude.

Les grands faits de cette réaction étant l'oxydation de ces corps, la décomposition de l'eau et le grand volume d'hydrogène qui se dégage malgré la pression atmosphérique, cause de consommation de chaleur, on peut écrire, pour obtenir une valeur approchée:

$$\overline{KaO}-AQ=T+APV(H).$$

Oxydation du potassium. — MM. Favre et Silbermann ont trouvé pour l'oxydation d'un gramme de potassium par décomposition de l'eau 1ᶜ,075, soit pour 1 équivalent (H = 1) égal à 39,2, 41ᶜ,98. L'équation devient:

$$\overline{KaO}=56,4+41,98+4,6=103^c,$$

et pour 1 gr. de potassium, 2ᶜ,6.

Oxydation du sodium. — Les mêmes expérimentateurs ont trouvé pour 1 gr. de sodium 1ᶜ,697, et pour 1 équivalent égal à 23, 39,031. L'équation donne

$$\overline{NaO}=56,4+39,031+2,76=98^c,20,$$

et pour 1 gr. de sodium, 4ᶜ,29.

V.—REMARQUES SUR LES ÉQUIVALENTS MÉCANIQUES.

Il n'est pas besoin d'un long examen pour comprendre l'utilité de la détermination des équivalents mécaniques des corps composés. Non-seulement elle conduit à la mesure exacte de la chaleur qui apparaît lors des combinaisons, mais encore il en résulte la constitution de la science des actions moléculaires, de la mécanique chimique, dont les progrès doivent singulièrement accélérer ceux de la chimie.

C'est ce que l'on saisira bien en cherchant à suivre dans le corps composé le rôle du corps simple, ce qui se réduit à un problème de mécanique d'une grande simplicité.

Considérons deux atomes m, M, de masse différente, qui vont entrer en combinaison, qui sont nécessairement mobiles et, par suite, à un autre état qu'à l'état solide; qui agissent l'un sur l'autre par des forces attractives f, F (quelle qu'en soit la cause ou la nature). La vitesse vibratoire de ces molécules augmente du fait de cette attraction, et cette accélération fournit la mesure de la force, c'est-à-dire que l'on a $f=\frac{dv}{dt}$, $F=\frac{dV}{dt}$ pour l'unité de masse, et pour chacun des atomes considérés, les forces attractives sont $m\frac{dv}{dt}$, $M\frac{dV}{dt}$.

Quel est l'effet produit par ces forces? Nécessairement de rapprocher les atomes qui entrent en combinaison si intime que la division, quelque loin qu'on vienne à la pousser, ne fait jamais rencontrer l'élément des corps composants, mais toujours des parcelles du composé nouveau. Si donc on appelle de, dE, les éléments du chemin parcouru par chacun des atomes, le travail élémentaire producteur de forces vives calorifiques sera en chaque instant $m\frac{dv}{dt}de$, $M\frac{dV}{dt}dE$. D'ailleurs, on a toujours $de=vdt$, $dE=Vdt$; si donc on appelle dT la quantité de chaleur dégagée par la combinaison de deux atomes, on aura

$$mfvdv+MfVdV=AdT.$$

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et par suite

$$\frac{1}{2} m (v_1^2 - v_0^2) + \frac{1}{2} M (V_1^2 - V_0^2) =$$

$$= AT = \frac{1}{2} (m + M) V_1^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} M V_0^2;$$

car les vitesses finales v_1, V_1 sont nécessairement égales, puisque c'est celle que prend la molécule composée.

Les variations de vitesse et de forces vives lors d'une combinaison dépendent de deux causes : 1° des masses et des forces vives des atomes des éléments; 2° de l'intensité des forces F, *f*, qui s'exercent entre eux, ce qui pourra permettre d'analyser l'étude des effets produits dans chaque cas, la détermination de la part qui revient à chaque élément dans la chaleur dégagée lors de la combinaison.

C'est dans cette voie qu'il y a à s'avancer aujourd'hui; nous avons déjà sur ce point la loi capitale de Dulong sur les chaleurs spécifiques, la constance du produit de l'équivalent des corps par leur chaleur spécifique. Nous avons aussi la loi de Faraday, que la quantité d'électricité qui met en liberté un équivalent d'hydrogène est celle qui est également consommée pour un équivalent d'un corps quelconque.

Équivalents de divers ordres. — La détermination des équivalents mécaniques au moyen des réactions entre molécules complexes qui ne se décomposent pas, qui agissent comme corps simples (la séparation d'un acide et d'une base formant un sel, par exemple), conduit à d'autres valeurs que celles obtenues en les considérant comme le résultat de la combinaison de leurs éléments simples. Il en résulte des équivalents de second ordre. Ainsi, l'équivalent mécanique de l'acide sulfurique $\overline{SO^3}$ considéré comme formé de soufre et d'oxygène sera différent de l'équivalent $\overline{\overline{SO^3}}$, représentant l'acide sulfurique d'un sel. Cela est parfaitement conforme aux faits, et il est certain que le travail des forces d'affinité, nécessaire pour constituer certains corps neutres, est très-différent, à une même température, de celui que ces corps peuvent produire en entrant dans d'autres combinaisons. M. Dumas cite dans sa philosophie chimique la différence des forces qu'il faut mettre en jeu pour décomposer des silicates ou pour isoler le silicium. Les exemples pourraient être multipliés à l'infini.

Ces divers ordres d'équivalents, loin d'obscurcir la science, procureront d'importantes lumières sur les phénomènes de combinaison. Les résultats calorifiques de leur étude indiqueront l'équivalent qui devra être employé, c'est-à-dire s'il y a ou non décomposition des éléments, et permettront de répondre à une des questions les plus ardues de la chimie.

VI. — COMPARAISON DES QUANTITÉS DE CHALEUR DÉGAGÉES LORS DE LA FORMATION DES CORPS.

D'une manière générale, lorsqu'on connaîtra les équivalents mécaniques des corps, on aura la mesure des quantités de chaleur qui se manifestent lors des combinaisons. Ces quantités, leur grandeur et leur sens positif ou négatif, viendront rendre raison, donner la mesure de phénomènes tout à fait mystérieux dans l'état actuel de la science. On pourra enfin analyser les questions de groupements atomiques, d'états de cohésion particuliers, d'isomérie, etc., et porter la lumière dans les parties les plus obscures, aujourd'hui, de la chimie.

Ces grands résultats, et tant d'autres que procurera la comparaison des *qualités* des corps avec les *quantités* de travail mécanique qui les expliquent, seront obtenus en mesurant les effets calorifiques que les chimistes négligent systématiquement aujourd'hui. Les plus éminents d'entre eux sentent bien que ces effets sont en rapport avec les forces en jeu et peuvent seuls conduire

à leur mesure; mais on ne savait pas établir ce rapport et l'inutilité des efforts tentés jusqu'ici avait fait renoncer à ce genre de recherches les savants peu nombreux qui avaient pu en entrevoir l'importance extrême.

On se rapprochera ainsi du but assigné à la chimi par Lavoisier, but trop oublié de nos jours, en complétant les moyens de mesure, c'est-à-dire ce qui peu constituer la science véritable, en permettant de prévoi et d'évaluer. Après avoir énuméré les forces qui inter viennent dans les combinaisons (et en premier lieu l chaleur), il ajoutait : « Connaître l'énergie de toutes ce forces, parvenir à leur donner une valeur numériqu les calculer, est le but que doit se proposer la chimie elle y marche à pas lents, mais il n'est pas impossibl qu'elle y parvienne. »

Malgré toutes les lacunes qui existent encore, d très-importants résultats, au point de vue théoriqu surtout, ont déjà été obtenus, et prouvent d'une ma nière irréfutable l'utilité de ce genre d'études. Nous don nerons ici les deux conséquences capitales auxquelle elle a déjà conduit.

Mode de formation de corps formant séries indiqué pa les quantités de chaleur dégagées. — Le mode de cohé sion, de formation interne d'un corps, peut se déduir de la détermination des quantités de chaleur dégagée dans certains cas.

En comparant les quantités de chaleur dégagées lor de la combustion d'un gramme par les carbures d'hy drogène dont la composition est de la forme $H^{2n} C^{2n}$ e dont les états physiques sont à peu près semblables MM. Favre et Silbermann ont trouvé les résultats sui vants :

Amylène	($C^{10}H^{10}$),	11,491.
Paramylène	($C^{20}H^{20}$),	11,303.
Carbure bouillant à 180°	($C^{28}H^{32}$),	11,262.
Cetène	($C^{32}H^{32}$),	11,055.
Métamylène	($C^{40}H^{40}$),	10,938.

Nombres qui conduisent à cette loi : chaque fois qu les éléments du carbure type (C^2H^2) entrent une foi de plus dans la constitution d'un nouveau carbure iso mère, la chaleur de combustion diminue de 0c,0378.

M. Berthelot, en rapportant les observations no plus au gramme mais aux équivalents des corps, a p fixer nettement le sens de cette loi et l'étendre à nom bre de composés de la chimie organique, les alcools, le éthers, les acides gras à équivalent considérable. L nombre (157) auquel il arrive, pour raison de la pro gression, est très-voisin de la quantité de chaleur qu les éléments ajoutés C^2+H^2 dégagent par leur combinai son (consomment par suite pour leur séparation). D'o l'on doit conclure que le composé C^2H^2 reste perma nent dans le corps considéré; ce ne sont pas ses élément qui s'ajoutent séparément au corps de formation moin complexe, mais le corps composé. Nul besoin de mon trer la gravité d'une semblable déduction au point d vue de la philosophie de la science.

Des corps qui dégagent de la chaleur en se décompo sant. — L'étude des quantités de chaleur produites pa la combustion de quelques corps a conduit à ce résul tat imprévu, que la quantité de chaleur dégagée étai supérieure à celle qu'eût produit la combustion de éléments des corps simples qui entrent dans leur com position. D'où il a fallu conclure que ces corps ont la propriété de *dégager* de la chaleur en se décomposant par suite qu'ils ont *absorbé* de la chaleur en se formant

Ces phénomènes paraissent, à première vue, la négation des principes établis jusqu'ici; mais il faut observer qu'il s'agit ici de corps qui ne sont pas formés par le seul effet des attractions moléculaires, qu'il intervient des causes secondaires qui masquent les effets de la loi générale. Ce sont notamment des groupements de molécules produits dans les végétaux, et c'est peut-être là le seul caractère essentiel des substances que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'on doit considérer comme spéciales aux corps vivants. Entrons un peu profondément dans l'étude de constitution des corps.

Et d'abord nous avons admis jusqu'ici que les atomes élémentaires d'une molécule chimique composée constituaient par leur réunion un petit corps solide, et il est bien clair qu'il doit en être presque toujours ainsi, puisque le composé ne prend ordinairement naissance que parce que les atomes, libres de se combiner, se trouvent en présence et sont susceptibles d'obéir aux forces d'attraction, d'où résulte la production d'une cohésion atomique.

Mais, de même que les molécules de même nature ne constituent pas seulement des corps solides, malgré l'existence des forces d'attraction; que par l'action de la chaleur les corps solides passent à l'état liquide, puis à l'état gazeux, les mêmes phénomènes doivent se produire nécessairement sur les atomes qui constituent la molécule chimique lorsqu'on élève suffisamment la température. On sait, en effet, que la chaleur est le moyen par excellence pour décomposer les molécules complexes, et au moment où la séparation des atomes élémentaires s'effectue, ils sont les uns par rapport aux autres exactement dans le même état que les molécules similaires d'un gaz entre elles. Auparavant elles ont dû passer par l'état liquide qui a une certaine stabilité. Cet état de dissociation, comme a proposé de le nommer M. Deville, qui est arrivé de son côté à formuler des idées analogues à celle-ci, lui paraît exister pour l'eau à partir de 1000°, et persister de 1000 à 2500°, point où se produit seulement la décomposition. L'action de la chaleur ou le non-dégagement de celle qui eût dû se manifester conduisent au même résultat.

Il n'y a donc aucune difficulté à admettre des corps composés dont les molécules, au moins à une certaine température, sont liquides, sont dans l'état des molécules du soufre mou ou liquide; peuvent par suite être désunies avec une extrême facilité. Mais il y a plus, cette liquidité peut répondre à une vitesse de mouvements orbitaires extrêmement considérable, comme nous l'avons vu pour l'état liquide dit sphéroïdal, et en rappportant les expériences de M. Dufour (voy. ÉBULLITION). Alors il correspond à une quantité de chaleur considérable; c'est, relativement au cas d'une combinaison atomique solide supposée exister, une véritable quantité de chaleur latente de fusion qui est emmagasinée, et qui fournit la raison et la mesure des phénomènes observés.

On ne saurait expliquer autrement les phénomènes d'explosion auxquels donnent lieu certains corps, non ceux pour lesquels une semblable conception ne paraît pas nécessaire *à priori*, qui, comme la poudre à canon, produisent des effets considérables en donnant naissance à des volumes considérables de composés gazeux à haute température, cause du travail produit (bien que ce soit probablement la cause première de la puissance dynamique de tout corps explosif), mais ceux qui, comme le chlorure d'azote, détonent par le moindre frottement, par la moindre secousse, et produisent une explosion formidable en se décomposant en leurs éléments simples. Il n'y a donc pas là de chaleur dégagée par suite de la formation d'un composé nouveau.

L'explosion ne s'explique pas par la seule instabilité de ce genre de corps, comme on le dit habituellement, il faut encore nécessairement que la décomposition soit accompagnée d'un dégagement de chaleur considérable; il est bien clair que si les gaz simples qui tendent à se former par la décomposition du corps avaient à emprunter aux corps voisins la chaleur latente qui leur est nécessaire pour passer à l'état gazeux, il n'y aurait pas d'explosion instantanée, mais décomposition produite en un temps notable.

Cherchons à nous rendre compte des conditions dans lesquelles peut se produire un semblable emmagasinement de forces vives par un exemple particulier.

Lorsque, dans la préparation du chlorure d'azote, le chlore naissant vient se combiner avec l'azote d'un sel ammoniacal dissous dans l'eau, pendant que se produit en même temps la combinaison normale dégageant une grande quantité de chaleur, du chlore et de l'hydrogène, le chlorure d'azote qui se forme simultanément avec difficulté, emmagasine une partie de cette chaleur sous forme de forces vives orbitaires, et ce corps, qui est liquide, peut renfermer la chaleur latente nécessaire pour, lors de l'explosion, produire la gazéifaction, parce qu'elle conserve partie de celle produite par la combinaison énergique du chlore et de l'hydrogène de l'ammoniaque qui s'est effectuée en même temps. Elle ne peut être incorporée à la molécule élémentaire que si celle-ci est dans un état analogue à celui des corps liquides animés d'une grande vitesse, possédant une force vive considérable.

On peut se proposer de déterminer l'excès de quantité de chaleur. Proposons-nous de le faire pour le protoxyde d'azote, gaz pour lequel MM. Favre et Silbermann ont reconnu que la décomposition entraînait un dégagement de chaleur, et qu'un combustible, brûlé dans le protoxyde d'azote, dégageait une quantité de chaleur plus grande que quand il est brûlé dans l'oxygène.

Voyons donc comment on pourrait déterminer la différence qui pourrait exister entre l'équivalent mécanique que donnerait le calcul en raisonnant comme précédemment, et celui résultant de la somme des équivalents mécaniques des éléments représentés par $\overline{OAz}$. La formation de ce composé normal serait représentée (pour deux volumes) par une équation semblable à celle donnée précédemment, conduisant à une certaine quantité de chaleur T, si $\overline{OAz}$ est déduit des valeur des effets connus de l'affinité chimique.

$$FO + 2F'Az + E = 2T \times 370 + F''2OAz.$$

En réalité, au lieu de $\overline{OAz}$, l'équivalent mécanique du protoxyde d'azote est $E = \overline{OAz} - T' \times 370$, T' devant, par rapport à une combinaison normale, être considéré comme une quantité de chaleur latente incorporée, et T — T' sera la chaleur observée, qui permettra de calculer T', si T est déterminé théoriquement par la première équation.

On raisonnerait de même pour l'eau oxygénée; et, dans ce cas, l'instabilité du composé, qui ne peut subsister qu'à basse température, la grandeur de la chaleur observée lors de la décomposition (1°,349 par gramme d'oxygène), et le dégagement d'un gaz aussi énergique dans ses combinaisons que l'oxygène, indiquent bien que de grands changements dans les états moléculaires peuvent seuls fournir l'explication de ce curieux phénomène.

C'est ainsi qu'autrefois, M. Persoz proposait, comme seul moyen de rendre compte des effets de l'eau oxygénée, de considérer le second équivalent de l'oxygène comme *calorifié* (combiné avec de la chaleur, c'est-à-dire, comme nous le comprenons aujourd'hui, possédant une force vive considérable). Ce corps, qui ne peut se préparer qu'à basse température, qui se décompose par l'action de tous les corps qui condensent l'oxygène, renferme certainement ce corps dans des conditions toutes particulières relativement à la plupart des oxydes; et ces particularités ne peuvent s'analyser que comme le pressentait M. Persoz.

C'est à une semblable conséquence que parvient l'ingénieux et savant M. Henri Deville, en parlant des composés renfermant de l'azote qui fait essentiellement partie de presque tous les composés explosifs. « L'azote, dit-il, n'est pas un corps comme les autres, il a trop de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chaleur emmagasinée, ses molécules sont écartées violemment par cette chaleur, et sa densité est trop faible de moitié. Un grand nombre de ses composés est détonant à cause de cette chaleur retenue, condensée, qui s'échappe souvent violemment et brise la molécule complexe qui la renferme.

« L'iodure d'azote de Gay-Lussac, le chlorure d'azote qui a procuré à Dulong l'occasion de montrer son courage indomptable, détonent sous le plus léger frottement, sous la plus faible élévation de température. Enfermez l'acide azotique anhydre dans un tube soudé à la lampe, placez ce tube dans une boîte remplie de sable, enterrez-le dans une cave : pas la moindre élévation de température ne viendra mettre ses molécules en mouvement. Cependant, ouvrez la boîte après trois semaines d'attente, et vous trouverez le tube en miettes, l'acide azotique a détoné. — Les fulminates de mercure et d'argent, qui éclatent sous le choc et servent aux armes à percussion, sont encore des substances azotées. L'azote est semblable à ces larmes de verre tombées incandescentes dans l'eau froide, et qui, figées subitement, ont conservé leur chaleur intérieure et se cassent en mille pièces quand on casse la fine pointe qui les termine. L'azote est un corps trempé. »

L'observation si bien exprimée de M. Deville se rapporte à nombre de composés organiques, et là se retrouve une différence curieuse entre les composés organiques et inorganiques, qui était peu prévue. Tandis que l'on est parvenu à produire des composés organiques par la synthèse, par de simples réactions chimiques, de manière à les assimiler à des composés minéraux, on arrive d'autre part à montrer que l'action solaire, agissant sur de délicats organismes végétaux, conduit à des composés qui jouissent de propriétés et de compositions spéciales, précisément pour s'être assimilé les forces vives infusées par cette action dans leurs atomes, comme dans les combinaisons indirectes au milieu d'une source de chaleur, comme dans la préparation de l'eau oxygénée. La détermination de cette quantité de chaleur est la donnée la plus importante qui puisse être obtenue pour acquérir la connaissance de la nature propre du corps.

On conçoit quel rôle important joue dans la nutrition des animaux, dans la production de la chaleur animale, équivalent du travail mécanique qu'ils engendrent, cette nature particulière des composés végétaux et animaux, qui ont emmagasiné des quantités considérables de chaleur que leur décomposition, leur fermentation met en liberté. Il est temps de nous arrêter dans cette excursion sur le terrain de la philosophie chimique, où nous agitons des questions d'un si haut intérêt, mais un peu éloignées de la production de la chaleur et du domaine technologique qui est le nôtre.

PRODUCTION DU FROID ou mieux SOUSTRACTION de la chaleur. — Puisque tout travail mécanique appliqué à produire des actions moléculaires a son équivalent en chaleur, tout travail mécanique négatif sera un moyen d'engendrer du froid. C'est de cette production spéciale d'effets, point de départ d'une industrie fort intéressante, que nous voulons traiter ici.

I. COMPRESSION D'UN GAZ. — La compression de l'air dégage de la chaleur; nous avons montré à AIR COMPRIMÉ comment on devait la calculer. Il suit de là que si on laisse refroidir cet air, on aura une source de froid lorsqu'on le laissera s'échapper du réservoir où il a été comprimé, et que restituant le travail dépensé, il empruntera aux corps environnants une quantité de chaleur équivalente à ce travail. Les grandes dimensions que doivent avoir des appareils fondés sur ce principe, la difficulté de rendre leur action continue, les rendent trop inférieurs aux autres systèmes pour qu'il y ait lieu de s'y arrêter, pour baser une fabrication sur leur emploi.

II. APPAREILS A CHALEUR LATENTE. — Un changement d'état, consommant une grande quantité de chaleur, fournit le point de départ des appareils les plus convenables pour la production du froid.

Nous avons parlé à l'article GLACIÈRE de l'emploi de la chaleur latente de fusion des solides pour obtenir de la glace dans des conditions peu économiques. Nous n'y reviendrons ici que pour dire que Siemens a essayé en 1855, de réaliser une fabrication continue de glace au moyen d'un mélange réfrigérant produit par un corps dissous, puis concentré d'une manière continue. Ainsi, par exemple, autour d'un congélateur se trouverait de l'eau dans laquelle on ferait tomber du nitrate d'ammoniaque; on obtiendrait de cette façon un abaissement de température pouvant aller à 10° au-dessous de zéro, dans des circonstances favorables. La dissolution une fois parfaite et l'effet de refroidissement une fois épuisé, on la ferait écouler en la remplaçant par de l'eau et du nitrate d'ammoniaque solide. Il est bien entendu que le nitrate d'ammoniaque nouveau est obtenu par l'évaporation à siccité de la solution qui s'est produite.

Dans la pratique, on n'est jamais arrivé à une disposition d'appareil satisfaisante, pour l'emploi de ce procédé qui a été abandonné.

La chaleur latente de volatilisation se prête bien mieux à l'établissement d'appareils continus. La célèbre expérience de Leslie est le point de départ des appareils de ce genre.

La production mécanique du vide par machine à vapeur est la base du premier appareil de M. Carré que nous allons décrire; dans le second, c'est la pression de la vapeur même qui produit du travail; enfin l'emploi de l'acide sulfurique pour absorber les vapeurs a été proposé par son frère Ferdinand Carré, et peut trouver d'heureuses applications dans certains cas, dans les distilleries, par exemple, où l'on emploie de l'acide dilué et où de la glace peut être très-utile pour arrêter les fermentations.

1er SYSTÈME DE M. CARRÉ. — *Production de la glace par travail mécanique.* — L'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR est consacré à l'étude des phénomènes de production de la chaleur par action mécanique. Nous n'y reviendrons ici que pour décrire une nouvelle application industrielle de théories d'une grande importance : je veux parler de la facile production du froid, de la glace, à l'aide d'un travail, procédé qui peut rencontrer une foule d'applications.

Si l'on réfléchit à la manière dont agit le piston d'une pompe qui comprime un gaz, on voit de suite que, s'il réduit le volume d'un côté, il l'augmente de l'autre; que toute compression, et par suite toute production de chaleur d'un côté, est accompagnée d'une dilatation et d'un refroidissement de l'autre côté. Ce second effet est parfaitement insensible si le piston est par sa seconde face en contact avec une masse de gaz indéfinie comme l'atmosphère; mais si c'est avec les vapeurs qui se dégagent d'un liquide facilement vaporisable, comme l'éther, le chloroforme, le refroidissement est aussitôt observé et ses effets peuvent être utilisés. C'est à la fois à l'aide de ces deux genres d'effet que fonctionne la machine que nous allons décrire, en reproduisant ici le rapport que nous avons fait à la Société d'encouragement, à la suite duquel elle a donné à son inventeur, M. Carré, une médaille d'or.

Tout le monde connaît la belle expérience de Leslie répétée aujourd'hui dans tous les cours de physique, qui consiste à congeler l'eau dans le récipient de la machine pneumatique, en enlevant les vapeurs qui se forment par l'action du mouvement des pistons de la machine au moyen d'acide sulfurique concentré placé près de l'eau.

La théorie de cette curieuse expérience est une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

application directe de celle de la chaleur latente. La conversion de l'eau en vapeur à la minime pression établie sous le récipient ne peut avoir lieu sans une consommation d'une quantité proportionnelle de chaleur de vaporisation, de chaleur latente, qui ne peut être empruntée qu'aux corps voisins et spécialement à l'eau. La température de celle-ci s'abaisse, et bientôt elle est convertie en glace.

Les résultats obtenus par l'appareil inventé par M. Carré, pour tirer industriellement parti de cette expérience, sont si remarquables et si intéressants au point de vue de la physique, qu'il nous a semblé nécessaire de procéder à la mesure de tous les éléments, mesure qui seule pouvait permettre de bien apprécier les phénomènes. Bien que l'expérimentation d'un appareil industriel soit bien éloignée de la précision d'expériences purement scientifiques, surtout dans les conditions d'installation provisoire dans lesquelles l'appareil était placé, toutefois l'échelle et la rapidité de la production devaient permettre d'atteindre quelques résultats intéressants.

L'appareil représenté fig. 3707, pour la production de la glace de M. Carré, se compose :

1° D'un cylindre A en tôle de 0m,65 de diamètre à la base et de 0m,65 de hauteur, que nous appellerons le *calorimètre*. Sa partie supérieure est formée d'une plaque de cuivre dans laquelle sont pratiqués dix-huit trous circulaires de 1 décimètre de diamètre, dont les bords sont redressés d'équerre par un emboutissage. Des cylindres en cuivre descendant près du fond du calorimètre sont réunis à ces amorces par une soudure à l'étain sur une longueur assez grande pour en obtenir un excellent assemblage. Le long de ces cylindres sont étagés de petits cônes, de telle sorte que l'éther qui revient au centre, à la partie supérieure, vient se déverser sur les rigoles qui garnissent ces cylindres, et fournit une surface très-grande d'évaporation que l'auteur évalue à 3 mètres carrés. Le calorimètre, pesant 125 kilogr. et renfermant 15 kilogr. d'éther, a reçu, dans l'expérience dont nous allons rapporter les résultats, dix-huit cylindres pleins d'eau glissant librement dans ceux dont nous venons de parler, avec interposition d'eau alcoolisée pour éviter les adhérences. Il plongeait par sa partie inférieure dans un baquet plein d'eau, et la partie cylindrique supérieure était enveloppée d'étoupe.

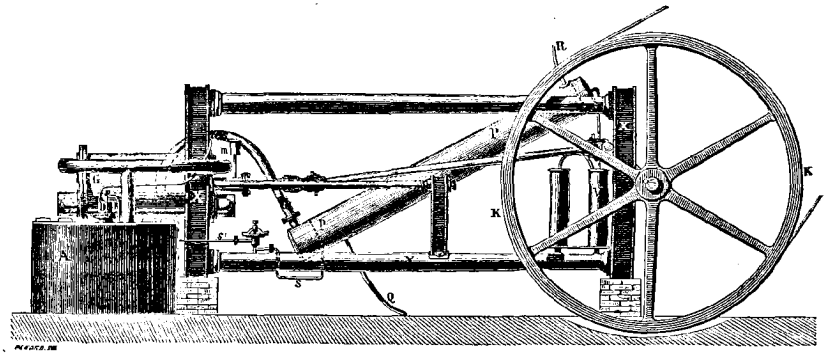
2° D'une pompe aspirante et foulante, à double effet G, mise en mouvement par une bielle mue par une manivelle dont l'axe porte un volant recevant une courroie qui passe sur celui d'une locomobile de 3 chevaux dans l'expérience dont nous voulons vous rendre compte, mais la machine pourrait recevoir aussi bien tout autre moteur.

Cette pompe, dont le piston a 32c,5 de diamètre (surface 804 cent. carrés) et 0,72 de course, est mise à l'abri des rentrées de l'air par un stuffing-box hydraulique recevant de l'huile (versée dans le godet ouvert *m* où l'on suit son niveau) entre deux garnitures; solution simple et excellente. Le volume décrit par la pompe est de 64 litres par coup de piston.

3° D'un condenseur à tubes inclinés P placé sur le côté du long bâti qui porte la pompe placée horizontalement, les guides de la tige du piston et l'axe de la manivelle. La vapeur d'éther, refoulée par la pompe dans les tubes, vient s'y condenser par l'effet de l'eau froide arrivant par le tuyau R qui entoure ces tubes et qui s'écoule d'une manière continue par le tuyau Q. La surface du condenseur est de 6 mètres carrés, et l'eau froide se meut en sens inverse de la vapeur chaude d'éther qui arrive par le tube O'. Lorsqu'on arrête la circulation de l'eau, l'échauffement du condenseur est rapide par suite de la chaleur dégagée par la compression des vapeurs. Alors la pression s'élevant, la fermeture hydraulique qui empêche la sortie de la vapeur, et qui n'est autre qu'un baromètre à cuvette V en communication par sa colonne avec le condenseur, laisse passer la vapeur d'éther. C'est ainsi que se fait la *purge*, qu'en peu de temps tout l'air est expulsé de l'appareil, condition essentielle d'une parfaite condensation.

4° Enfin, d'un tube S permettant le retour de l'éther liquide du condenseur au calorimètre par l'effet de la différence de la tension des vapeurs dans ces deux parties de l'appareil dont les températures sont très-différentes. Ce retour est réglé au moyen d'une valve qui, pour ne pas laisser rentrer d'air, est attachée au-dessous d'une plaque fixe formant paroi du conduit, valve que l'on abaisse ou que l'on relève au moyen d'une vis de pression dans les limites parfaitement suffisantes de l'élasticité de la plaque.

L'appareil étant décrit, indiquons les résultats de nos expériences. Une première fois, en une heure trente minutes, on a congelé les cylindres pleins d'eau; mais, le jour où nous avons pris des mesures, il a fallu une heure quarante minutes et purger plusieurs fois l'appareil de l'air qui rentrait par quelque fuite



3707.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

minimo, dont les effets devenaient sensibles après trente minutes de travail.

Dans ces conditions, les effets calorifiques produits ont été les suivants, que nous traduirons en calories.

Calorimètre, Glace dans les 18 cylindres.	67k
Glace enveloppant le bas du cylindre. .	33
	100

Soit à 79,55 par kil., 7955 calories.

Le réchauffement par la surface métallique supérieure est difficile à évaluer ; la comparaison des résultats obtenus par M. Péclet pour le chauffage à la vapeur n'est pas applicable ici, vu qu'il n'y a pas de condensation de vapeur sur une des faces, cause principale d'une rapide déperdition.

Nous serons donc peu éloignés de la vérité en admettant 8,000 calories pour mesure de la quantité totale absorbée.

L'éther, revenant du condenseur à + 14° au moins (voir plus loin) et passant à — 10,80 environ dans le calorimètre, est refroidi en consommant une chaleur pour 85 kilogr. d'éther qui ont circulé (chiffre déterminé plus loin) de 85 × 0,51 × 24 = 1040 calories, quantité importante dont l'effet sur le haut des cylindres de glace est très-sensible ; car leur centre ne peut s'y congeler à cause de l'action de cette quantité de chaleur.

Pendant ce travail, un indicateur du vide de Bourdon indiquait 61 ou 62 centimètres de mercure, soit 14 à 15 centimètres pour la pression de l'éther à — 10°.

En même temps que le froid se produit dans le calorimètre, de la chaleur, avons-nous dit, se produit par la compression de la vapeur, et peut se mesurer par l'échauffement de l'eau qui sort du condenseur, ce que nous n'avons pu faire qu'avec une précision assez médiocre, l'emplacement ne nous permettant pas de recueillir et jauger l'eau échauffée. Le volume de cette eau, dans notre expérience, a été trouvé par le jaugeage du réservoir à eau froide d'où elle provenait, de 2m.c.,750 (diamètre 2,72 du réservoir cylindrique, différence de niveau du commencement à la fin de l'expérience 0m,48), 2,750 kilogr. d'eau à 10° dans le réservoir sortaient à 12,80 du condenseur, emportant 2750 × 2.8 = 7700 calories. De cette quantité il faudrait déduire la chaleur d'une petite quantité d'eau chaude que l'on fait couler sur le cylindre de la machine pour empêcher l'éther de s'y liquéfier, et qui se réunit ensuite à l'eau du condenseur, et ajouter une quantité de chaleur assez notable qui se dégage par le conduit qui mène la vapeur d'éther comprimée par la pompe au condenseur, dans des conditions qui se rapprochent de celles des expériences de M. Péclet, car de l'éther condensé garnit sûrement alors la face interne de la paroi.

Admettant que ces deux effets, tous deux relativement assez faibles, se balancent à peu près, on voit que nous trouvons presque égalité entre la chaleur qui sort du condenseur et celle empruntée au calorimètre, sauf le dernier élément sur lequel nous aurons à revenir.

La chaleur qui sort du condenseur donnera la mesure de la quantité d'éther qu'elle a servi à condenser, et dont la chaleur latente est 91. Elle est donc de $\frac{7700}{91}$ = 85 kilogr., nombre un peu trop grand toutefois, car la compression dépasse toujours nécessairement le point précis où la condensation peut se produire, et le condenseur reçoit ainsi une certaine quantité de chaleur qui ne répond pas à une condensation, puisque celle-ci ne se produit avec quelque rapidité qu'en raison de l'excès de la température de la vapeur sur celle du condenseur.

Le vide du condenseur est mesuré théoriquement par 46 centimètres de mercure, d'après la loi approchée de Dalton, la pression de l'éther à + 14° au moins (supérieure nécessairement, comme nous venons de le voir, à celle de l'eau du condenseur) étant 0,76 — 0,46 = 30 centimètres de mercure. Dans l'appareil qui ne permet pas de prendre cette mesure exactement, la pression se rapproche plus ou moins de cette limite sans l'atteindre jamais ; le vide, en raison de l'état de l'appareil, se réduit à 25 quand il est imparfait.

Venons maintenant au travail moteur.

Ayant placé un frein sur le volant de la locomobile et obtenu la même vitesse que lorsqu'elle conduisait l'appareil, à une pression peu élevée de 4 1/4 à 4 1/2 atmosphères qui n'avait guère été dépassée, nous avons trouvé 2,3 chev. vap., sûrement moins de 2 1/2 chevaux.

Avec les chiffres précédents nous pouvons conclure déjà, au point de vue industriel, ce qu'on peut attendre de la machine actuelle. Avec une dépense de combustible nécessaire pour l'alimentation de 2,5 chevaux vapeur pendant 1h,66, c'est-à-dire avec de puissantes et bonnes machines brûlant 1,5 kilogr. par cheval et par heure, au moyen de 1,6 × 2,5 × 1,66 = 6k,25 de houille et de 2750 kilog. d'eau de condensation à un niveau convenable (avec un poids moindre, une condensation moins efficace, effectuée à une plus haute température, exigerait plus de travail) on a produit 100 kilog. de glace.

La dépense en argent, déjà très-faible, serait encore réduite si on employait pour moteur une chute d'eau, fournissant le travail moteur à meilleur marché que la machine à vapeur, et toujours l'eau de condensation à une hauteur suffisante sans aucune dépense pour son élévation.

Il faut remarquer, toutefois, que dans ces dépenses nous ne faisons nullement entrer les frais généraux, c'est-à-dire les dépenses de chauffeur, de mécanicien, du personnel nécessaire pour le travail, dépenses qui diminuent à mesure que la fabrication est plus importante, ni surtout les dépenses d'achat et d'entretien de la machine. Ce dernier article est impossible à prévoir, la durée d'un appareil que la moindre fuite force d'arrêter ne peut être qu'un résultat d'expérience ; mais le bon service de celui que nous avons expérimenté, et qui est le premier établi dans des proportions un peu grandes, permet de penser que les dépenses d'entretien ne seront pas très-considérables.

Le prix fût-il plusieurs fois supérieur à celui qu'espère l'inventeur, le succès de l'appareil de M. Carré, pourvu qu'il résiste à un service prolongé, ne nous paraît pas moins devoir récompenser les intelligents efforts de l'inventeur. Sans doute, on ne le placera pas en Norvége ou dans les pays septentrionaux où la glace est si abondante une grande partie de l'année, et où il est si facile d'en conserver ; mais à mesure qu'on s'approche du Midi, dans des pays comme la France, où l'hiver est souvent assez peu rigoureux pour ne pas permettre de remplir les glacières, l'appareil de M. Carré devient indispensable au moins comme puissant auxiliaire pour les entreprises de commerce de glace. Mais combien son utilité va en croissant, si on passe aux pays méridionaux, à ceux surtout comme la Havane, Calcutta, etc., dont les chaleurs, si dangereuses pour les Européens, font de la glace une nécessité absolue ! Avec quelle supériorité, par exemple, cet appareil pourra, dans l'Inde, lutter avec la glace amenée de Boston !

Ayons soin de bien faire remarquer, ce qui n'échappera à l'attention de personne, que la fabrication de la glace n'est ici qu'une application à une production

EFERUS - Recherche & Classification numérique

déterminée d'un moyen puissant de produire du froid, qui pourra trouver bien d'autres applications industrielles, ou plutôt qui s'appliquera naturellement toutes les fois qu'un refroidissement sera utile. Les brasseries, les exploitations de marais salants, qui, pour l'application de l'admirable procédé Balard, ont alternativement besoin du froid et du chaud, l'appliquent, sur une plus grande échelle, chaque jour.

Après avoir applaudi aux chances de succès de l'ingénieux inventeur dont nous avons rapporté les travaux, revenons sur le grand intérêt que présente son appareil au point de vue de la science, aux progrès de laquelle il peut, croyons-nous, prêter un utile concours.

Obtenir par une action mécanique un froid de 10 ou 12°, comme celui produit dans l'expérience décrite ci-dessus, est déjà un résultat important, et qui, industriellement, a un grand prix, puisqu'il répond à tous les cas nombreux où il faut employer des mélanges réfrigérants de glace et de sel assez coûteux. Mais l'effet possible n'est pas limité à cette température. Dans une expérience, nous avons fait marcher la pompe sans mettre de l'eau dans le calorimètre, et nous avons obtenu, en moins d'une heure de marche, un froid de — 35°. L'indicateur marquait 708, ce qui donnerait pour la tension de l'éther, à cette température, 50 millimètres environ. La loi de Dalton donne 30.

Outre la possibilité de vérifier la loi de la tension des vapeurs aux diverses températures, ce qui serait facile en employant un instrument précis au lieu du manomètre de Bourdon placé sur la machine, on voit comment, en faisant, au besoin, se succéder des liquides convenables, elle peut permettre de produire, d'une manière durable, des températures extrêmement basses, en opérant sur des masses considérables avec un appareil suffisamment puissant. Nous nous contenterons de rappeler les célèbres travaux de M. Faraday sur la liquéfaction du gaz, pour indiquer l'intérêt de la production facile de très-basses températures, en employant un mode d'action semblable.

Le second point de vue auquel nous voulons considérer l'appareil de M. Carré est celui des relations du travail mécanique et de la chaleur.

Nous avons vu que le calorimètre se refroidissait d'une quantité supérieure de $1040 + 300 = 1340$ calories à celle qui se trouve dans le condenseur. Cette quantité est celle qui correspond au travail mécanique de la pompe qui comprime les vapeurs d'éther dans le condenseur, et l'analyse de cet effet permet de bien comprendre la manière dont les phénomènes se passent dans la machine.

Dans le calorimètre, l'éther donne des vapeurs dont la température est — 10° et la pression de 15 centimètres de mercure. Cette vapeur, si elle était conduite dans un condenseur renfermant de l'eau à + 10°, ne pourrait que s'y surchauffer et nullement s'y condenser. Mais si, par l'effet d'une pompe et d'un travail mécanique, on la comprime de manière à augmenter sa densité et ainsi élever sa température à + 10°, elle deviendra susceptible de se liquéfier dans le condenseur, *mais non de perdre la chaleur sensible* produite par ce travail, puisqu'elle n'a pas une température supérieure à celle du condenseur. On peut ainsi faire deux parts de la chaleur : celle latente de vaporisation engendrant le refroidissement du calorimètre et le réchauffement de l'eau du condenseur, et la chaleur sensible qui réchauffe l'éther et se perd en partie par rayonnement. L'équilibre stable du système, l'égalité entre le refroidissement du calorimètre et le réchauffement du condenseur n'existe que si l'on tient compte du travail consommé par la pompe, car la quantité de chaleur sensible conservée par l'éther liquéfié qui repasse dans le calorimètre est celle produite directement par le travail mécanique de la pompe, et elle est assez considérable pour que son calcul puisse offrir de l'intérêt.

T étant le travail produit, $\frac{1}{A}$ l'équivalent mécanique de la chaleur, on doit avoir $AT = 1340$ calories, réchauffement des 85 kilog. d'éther produit par le travail mécanique, plus la différence trouvée en commençant, qui comprend surtout les pertes de chaleur pour les surfaces.

La quantité T peut se calculer assez facilement d'après le volume et la pression de la vapeur d'éther.

La densité de la vapeur d'éther est 2,54; celle de l'air étant 1 sous la pression 0,76 sera, pour 15 centimètres de mercure, 0,50 à température constante et à — 10°, 0,54, 1 mètre cube pèsera 0k,70, et 85 kilog. auront un volume de 121 mètres cubes. La pression passant de 15 à 30, comme $\frac{76}{15} = 5$, on a, pour le travail utile de la pompe, estimé en général à 0,60 du travail moteur :

$$T = \frac{10330}{5} \times 121 = 249286;$$

d'où

$$\frac{1}{A} \times 0{,}60 = 186, \text{ et enfin } \frac{1}{A} = 310.$$

Nous ne donnons cette première détermination que comme approximation grossière, et pour montrer comment la machine installée convenablement pourrait conduire à de bonnes valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur, les phénomènes qui s'y passent étant bien connus, ne pouvant donner de pertes difficilement appréciables, comme cela a lieu quand on emploie des frottements pour produire de la chaleur, et tous les éléments du calcul, et surtout les pressions, pouvant s'y mesurer avec précision.

Le volume décrit par la pompe de la machine de M. Carré étant de 0m,061, on aurait dû, en $\frac{121}{0{,}061} = 2015$ coups de piston, produire le résultat théorique. En réalité, il fallait plus de deux fois ce nombre, ce qui prouve que l'on peut améliorer l'appareil, bien que cela soit pratiquement difficile, éviter des compressions et dilatations alternatives de vapeur par suite du jeu imparfait des soupapes, des espaces nuisibles, etc.

En résumé, l'industrie possède désormais un appareil pouvant pratiquement fournir du froid dans une foule de cas, comme avec un fourneau on produit de la chaleur, conquête pour l'industrie d'un moyen d'action tout à fait capital.

2e SYSTÈME DE M. CARRÉ. — Après être arrivé au succès en luttant contre toutes les difficultés que présente l'application d'un travail mécanique agissant sur des vapeurs, malgré les multiplications des pertes d'effet utile les unes par les autres, M. Carré s'est proposé de produire directement le travail par des actions intérieures. Il s'est rapproché ainsi de la célèbre expérience de Faraday, qui l'a conduit à la liquéfaction de la plupart des gaz. On sait qu'elle consiste à employer un tube recourbé, fermé à la lampe et très-résistant : une des extrémités du tube a reçu un corps pouvant, sous l'influence de la chaleur, dégager en abondance les gaz à étudier; l'autre extrémité plonge dans un mélange réfrigérant. En employant du chlorure d'argent bien sec, ayant absorbé des quantités considérables de gaz ammoniac, on obtient du gaz ammoniac liquide.

Faraday remarqua qu'en abandonnant le tube à lui-même il se refroidissait lentement, et que, pendant le temps du refroidissement, le gaz ammoniac se volatilisait en venant se réabsorber dans le chlorure d'argent;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

il remarqua même que la volatilisation du gaz ammoniac produisait, en s'effectuant ainsi, un froid très-intense.

Telle est la manière d'agir de l'ammoniaque dans l'appareil Carré, car c'est ce gaz facilement liquéfiable qu'il a adopté; mais au lieu du chlorure d'argent, extrêmement coûteux, il emploie la solution concentrée de l'ammoniaque dans l'eau.

L'appareil intermittent (fig. 3708) est l'application directe de ces principes.

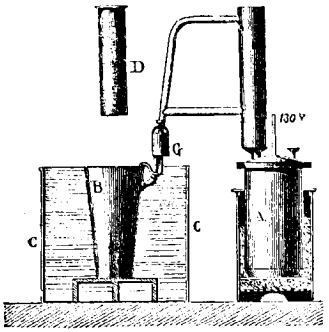


Fig. 3708.

Cet appareil était insuffisant pour de grandes applications industrielles pour lesquelles M. Carré a combiné son appareil continu, qui s'établit sur des dimensions considérables. Nous le décrirons plus loin, en suivant le rapport de Pouillet à l'Académie. Donnons d'abord l'appareil intermittent.

« L'appareil intermittent, dit l'inventeur, est d'une simplicité tout à fait rudimentaire. Que l'on se figure deux cornues suffisamment résistantes, d'une capacité respective de 1 à 4 volumes, et dont les deux cols un peu élevés et allongés seraient soudés par leurs extrémités; la plus grande, remplie aux trois quarts d'une solution ammoniacale concentrée, est placée sur le feu, tandis que la plus petite plonge dans l'eau froide. On chauffe la solution jusque vers 130 ou 140 degrés, point où presque tout le gaz s'est séparé de l'eau pour venir se liquéfier dans la seconde cornue; on constate facilement la température sur un thermomètre placé dans un tube fermé qui pénètre dans la solution. La séparation terminée, on met au contact de l'eau froide le récipient contenant l'eau épuisée; la réabsorption du gaz liquéfié commence immédiatement, et sa volatilisation détermine dans la petite cornue un froid qui peut facilement congeler l'eau dont on l'entoure. Ce froid est très-intense et peut descendre au-dessous de — 40 degrés. M. Balard, en faisant fonctionner l'appareil au Collége de France, a pu solidifier le mercure.

« Au lieu de cornues, j'emploie dans la pratique de simples récipients cylindriques reliés par un tube. Il est nécessaire que ces vases soient exactement clos et purgés d'air pour faciliter la liquéfaction et l'absorption; celle-ci se trouve en outre favorisée par la disposition en couches superposées du liquide dans le récipient où elle se produit. Cette même disposition intervient encore pour épurer le gaz de vapeur d'eau pendant son dégagement, qui a lieu progressivement de bas en haut, à travers des liquides de plus en plus riches, qui retiennent la plus forte partie de l'eau entraînée.

« Malgré le lavage du gaz pendant son dégagement, il entraîne toujours un peu de vapeur d'eau qui reste liquide dans le réfrigérant après chaque opération, et l'appareil se trouverait bientôt hors de service s'il n'était disposé pour restituer l'eau de l'un à l'autre r cipient après une série d'opérations. Cette restitutic s'opère d'elle-même en maintenant pendant quelqu secondes le réfrigérant au-dessus de la chaudière. C instrument intermittent, spécialement destiné a usages domestiques, produit un minimum de 5 kil grammes de glace par kilogramme de charbon brû dans un fourneau de cuisine. »

Passons à la description du grand appareil.

La dissolution ammoniacale y subit quatre chang ments d'état :

1° Elle est vaporisée par une chaudière;

2° Cette vapeur est condensée par un liquéfacteu dans ce nouvel état le liquide est reçu par un distrib teur qui l'introduit ou plutôt qui le distribue en jus mesure dans le réfrigérant;

3° Ici le liquide se vaporise de nouveau pour pr duire le froid;

4° Ces nouvelles vapeurs sont aspirées au moy d'un large tube et condensées par un réservoir abso bant où elles se trouvent en présence d'un liquide a pauvri, tiré de la chaudière elle-même; le liquide pa vre, devenu riche par l'absorption de la vape d'ammoniaque, est soumis au double effet d'une pom aspirante et foulante qui l'aspire au fond du réserv absorbant pour le refouler dans la chaudière d'où était sorti, partie à l'état de vapeur, partie à l'état quide.

Ainsi tout se réduit à une circulation complète liquide volatil, dont les deux éléments, l'eau et l'amm niaque, se trouvent tour à tour réunis ou séparés, s par la condensation, soit par l'évaporation, leur affini mutuelle jouant ici un rôle important qui doit êt remarqué.

Pour mieux faire comprendre comment cette circ lation s'opère indéfiniment, et toujours avec le mêr liquide primitif, nous la séparerons en deux parti savoir : *le trajet de la chaudière au réfrigérant*, et *trajet du réfrigérant à la chaudière*.

Trajet de la chaudière au réfrigérant. — Dans le m dèle de 2,500 calories à l'heure, dont nous avons observer le travail (fig. 3708 *bis*), la chaudière est cylindre vertical de 1m,20 de hauteur sur 0m,40 diamètre; dans sa capacité de 1 hectolitre et demi e se charge seulement de 80 à 90 litres d'une dissoluti ammoniacale très-concentrée.

Elle est maintenue à une température qui ne dépa pas 130°; alors la tension des vapeurs réunies d'eau d'ammoniaque se trouve être de 8 atmosphères.

La moitié supérieure de la chaudière est en dehc du fourneau et au contact de l'air; elle est garnie int rieurement d'une série de vases superposés, cons tuant une sorte de cascade de rectification, où la v peur d'ammoniaque se dépouille en grande partie vapeurs d'eau qu'elle contient. Cette vapeur déshyd tée s'échappe par un long tube de section convenal qui la conduit au chevet d'entrée du liquéfacteur.

Le liquéfacteur se compose de 4 serpentins plans parallèles, espacés à 5 centimètres l'un de l'autre; tube de chaque serpentin s'ouvre dans le chevet d'e trée qui est horizontal; ensuite il se prolonge en lig droite sur une longueur de 1m,50 avec la pente néc saire à l'écoulement du liquide; là il se courbe po revenir, toujours en descendant dans le même pl vertical, faire un deuxième pli, puis un troisième semblable au premier, à la fin duquel il s'ouvre dans chevet de sortie, qui est parallèle au chevet d'entr Ce système de serpentins en zigzag est plongé da une grande bâche d'eau froide B qui se renouvelle quantité suffisante pour que sa température n'arri pas à 30°, par l'effet des condensations de vapeur s'opèrent à l'intérieur des tubes.

Le chevet de sortie du liquéfacteur reçoit ainsi to

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le liquide qui a pu se former dans les serpentins, tant par l'effet du refroidissement que par l'effet de la pression des 8 atmosphères de la chaudière, pression qui se communique directement et sans aucune entrave jusqu'au point où nous sommes maintenant arrivés. Ici la transformation est accomplie dans le reste du trajet, et, jusqu'au réfrigérant, c'est du liquide qui circule, mais il n'en reste pas moins soumis à la pression de la chaudière tant qu'il n'y aura pas d'obstacle qui en modifie la libre transmission.

Ce liquide ne doit arriver au réfrigérant qu'en très-juste mesure et avec une parfaite régularité; il faut donc un distributeur qui en règle la dépense.

Le distributeur est un vase cylindrique D de 25 à 30 centimètres de hauteur, ayant une capacité de 4 ou

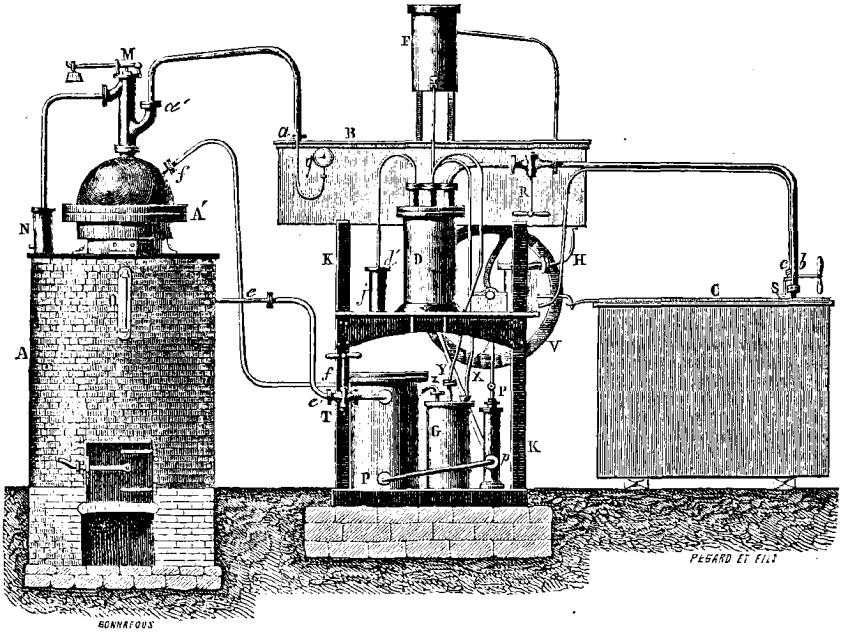


Fig. 3708 *bis.*

5 litres, et portant vers le haut une tubulure latérale pour l'entrée du liquide. Un tube part du fond de ce vase, se prolonge au-dessous et dans l'axe même du cylindre; il a 15 ou 20 centimètres de longueur et seulement 2 centimètres de diamètre intérieur, sauf en bas où il est rétréci de quelques millimètres, et rodé pour faire en quelque sorte un boisseau de robinet. Là il est fermé et porte latéralement vers le milieu de la hauteur de ce boisseau une petite ouverture pour la sortie du liquide. Un flotteur mince et léger, ouvert en haut, fermé en bas, à l'exception d'un trou qui correspond à celui du boisseau, peut se mouvoir librement dans le vase dont il a la forme, si ce n'est qu'il est plus étroit, et le touche seulement dans la hauteur du boisseau. Tout le mouvement du flotteur se réduit à une oscillation verticale qui ne dépasse pas 10 ou 12 millimètres, et qui s'accomplit toujours sans qu'il puisse tourner autour de son axe.

Voici comment s'accomplissent les fonctions de cet ingénieux distributeur. Un tube établit la libre communication entre le chevet de sortie et la capacité du distributeur; le premier liquide qui arrive tombe entre les parois du vase et celles du flotteur; bientôt celui-ci est soulevé et son ouverture cesse de correspondre à celle du boisseau. Le liquide continuant d'affluer, son niveau dépasse les bords du flotteur, qui, à partir de cet instant, se charge de plus en plus; quand il est à moitié plein ou à peu près, son poids l'emporte sur celui du liquide qu'il déplace; alors il descend, et au moment même où il prend sa position de repos, son ouverture correspond à celle du boisseau et le liquide s'échappe au dehors. Par là il s'allége de plus en plus, et, si le chevet de sortie du liquéfacteur ne compensait pas la perte qu'il fait, il ne tarderait pas à remonter et à suspendre ainsi la distribution qu'il est chargé de faire au réfrigérant. Mais, comme on le voit, cette suspension n'aurait lieu que quand elle devient nécessaire, c'est-à-dire quand le liquide en réserve est près de s'épuiser.

A l'ouverture de sortie du distributeur est adapté un tube de petit diamètre, arbitrairement long, arbitrairement sinueux, qui apporte enfin dans l'intérieur du réfrigérant le liquide producteur du froid et qui termine ainsi le premier trajet. Ce tube, avant de pénétrer dans le réfrigérant, est muni d'un robinet qui est le premier qui se présente à partir de la chaudière ou de l'origine même de la circulation. Pour faire sentir combien ce point d'arrêt est nécessaire, il suffit de remarquer que la tension de la vapeur dans le réfrigérant doit être d'environ 1 atmosphère ou peut-être un peu plus, comme nous le verrons tout à l'heure, tandis qu'elle est de 8 atmosphères dans la chaudière. Avec cet excès de 7 atmosphères, la vapeur de la chaudière ferait donc irruption dans le réfrigérant, si ce premier robinet n'était pas interposé; il est donc indispensable; c'est lui qui modère l'effet de cet excès de pression, qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'arrête au besoin, et qui le réduit à ce qu'il doit être pour que le liquide soit lancé dans le réfrigérant avec une impulsion convenable.

Il serait superflu de décrire ici le réfrigérant, parce que sa forme et ses dimensions dépendent de l'effet que l'on veut produire; elles sont très-différentes s'il s'agit de faire de la glace ou de refroidir des masses liquides qui se renouvellent avec ou plus ou moins de vitesse. Nous nous bornerons à dire que la forme du réfrigérant est loin d'être arbitraire et que, dans tous les cas, il y a deux conditions essentielles auxquelles elle reste assujettie, savoir : d'offrir à l'évaporation de grandes surfaces toujours mouillées par le liquide en même temps qu'une très-libre circulation à la vapeur; ensuite de rassembler dans un espace circonscrit les résidus de l'évaporation, qui deviennent de plus en plus hydratés, et dont il faut de temps à autre purger le réfrigérant par des moyens sûrs et faciles.

Trajet du réfrigérant à la chaudière. — La puissance de l'appareil est proportionnelle à la chaleur latente du liquide volatil et au nombre des kilogrammes de vapeurs qui se forment par heure dans le réfrigérant. Ce poids de vapeurs ne dépend lui-même que de deux choses : de la forme du réfrigérant, et de la différence qui existe entre la force élastique générale qui règne dans sa capacité libre et la force élastique maximum qui appartient à cette vapeur d'après la température du liquide qui mouille les surfaces. En effet, si la capacité libre était elle-même saturée de vapeurs, aucune nouvelle vapeur ne serait formée et aucun froid ne serait produit; si au contraire la capacité libre était maintenue sans vapeurs, c'est-à-dire à l'état de vide parfait, le poids de vapeurs formé par heure serait au maximum, et la production du froid atteindrait elle-même son maximum.

Il faut donc aspirer cette vapeur, qui n'est pas plutôt formée dans le refrigérant qu'elle y devient un obstacle; il faut en débarrasser cet espace libre qu'elle encombre, afin de le reconstituer sans cesse à l'état de vide parfait, ou du moins aussi près de cet état qu'il soit possible. Il y a pour cela divers moyens; mais le plus avantageux est incontestablement celui que l'on peut pratiquer ici, savoir de lui offrir un corps qui la condense rapidement par une affinité dissolvante, et qui puisse la dégager ensuite avec la même rapidité par un accroissement suffisant de température.

La chaudière est disposée de telle sorte que, dans sa partie inférieure, la dissolution ammoniacale est fort affaiblie; un tube *e*, muni d'un robinet, est placé là pour en faire sortir un certain volume qui se gradue par le degré d'ouverture que l'on donne au robinet. Ce tube de fer, étroit et de 20 ou 30 mètres de longueur, se replie deux fois à diverses distances pour composer deux serpentins hélicoïdes qui sont entourés de liquides rafraîchissants. Alors le liquide contenu dans le tube, sorti de la chaudière à 130°, ainsi refroidi à environ 20 ou 25°, arrive au sommet du réservoir absorbant, pour tomber en pluie dans son intérieur. C'est cette pluie continuelle de liquide appauvri, qui devient la puissance capable de maintenir et de renouveler sans cesse le vide dans la capacité libre du réfrigérant. A cet effet, un large tube, de quelques mètres de longueur, part du sommet du réfrigérant pour arriver aussi au sommet du réservoir absorbant. Aussitôt que l'on ouvre le robinet qui règle cette communication, les vapeurs ammoniacales du réfrigérant affluent au milieu de la pluie du liquide pauvre, s'y condensent par absorption et en reconstituent un liquide riche qui tombe au fond du réservoir; la chaleur qui se dégage ici est enlevée par les plis d'un serpentin où coule de l'eau froide; il ne reste plus qu'à reprendre ce liquide riche pour le réintroduire dans la chaudière, afin de compenser les pertes d'ammoniaque qu'elle fait à chaque instant, ou plutôt afin d'y réintégrer tout ce qui en était sorti, et de terminer ainsi cette longue circulation, où il n'y a que des changements de forme et des changements d'état sans gain ni perte de matière.

C'est une pompe aspirante et foulante, d'une construction toute particulière et bien appropriée à l'effet qu'il s'agit d'obtenir, qui est chargée d'accomplir ce dernier mouvement de la circulation. Elle vient aspirer au fond du réservoir absorbant le liquide enrichi à mesure qu'il s'y forme; elle le fait entrer dans une capacité spéciale destinée à le recevoir; ensuite, par le refoulement, elle l'oblige à parcourir un long tube où il se réchauffe, pour arriver enfin au sommet de la cascade dont nous avons parlé et qui constitue la partie supérieure de la chaudière. Ce liquide, quoique réchauffé dans son parcours est loin d'être à 130°; sa présence détermine donc une condensation dont l'effet ne peut être que favorable à la rectification des vapeurs hydratées d'ammoniaque qui se trouvent en ce point.

Essayons maintenant de faire comprendre à quelle tient la puissance économique de l'appareil, jusqu'où elle peut aller et où elle doit s'arrêter.

Cette discussion repose sur un petit nombre de données, savoir :

Sur la chaleur latente et la tension de vapeur de l'ammoniaque liquide et des dissolutions ammoniacales plus ou moins hydratées; sur les changements de densité qu'éprouvent les dissolutions ammoniacales, à raison du poids d'ammoniaque qu'elles contiennent.

Davy avait autrefois dressé une table de la teneur en ammoniaque des dissolutions plus ou moins denses; cette table, qui ne porte que sur deux expériences, est reproduite dans tous les traités de chimie; il serait à désirer qu'elle fût reprise et étendue à diverses températures. En attendant et en nous appuyant sur les observations pratiques de M. Carré, nous sommes portés à croire que, dans l'état actuel des choses, le kilogramme de dissolution pauvre qui arrive refroidi dans le réservoir absorbant, peut s'y charger de 50 grammes d'ammoniaque, pour devenir l'ammoniaque riche qui est réintroduite dans la chaudière.

M. Regnault, dans son grand travail sur les vapeurs, donne la table complète des tensions de l'ammoniaque liquide entre les températures de — 40° et + 100°; pour les basses températures que nous avons surtout à considérer ici, ces tensions se trouvent être :

Températures	— 20°,	— 30°,	— 40°,
Tensions en atmosphères.	1,84,	1,16,	0,70.

Pour appliquer ces nombres à l'ammoniaque un peu hydratée du réfrigérant, il faut apprécier la réduction qu'ils doivent subir; en l'estimant à 1/4 on arrivera aux résultats suivants :

Températures du réfrigérant.	— 20°,	— 30°,	— 40
Tensions en atmosphères . .	1,4,	0,9,	0,5,

qui se rapprochent beaucoup des opérations pratiques de M. Carré.

Enfin, d'après les recherches de MM. Favre et Silbermann, on peut évaluer à environ 500 calories la chaleur latente du gaz ammoniac absorbé par une masse d'eau assez grande pour former une dissolution étendue; nous admettrons comme probable que ce nombre peut s'appliquer à l'ammoniaque contenant très-peu d'eau.

Il résulte de ces données que, pour construire un appareil dont la puissance serait, par exemple, de 100,000 calories à l'heure, il faudrait par heure vaporiser 200 kilogrammes d'ammoniaque dans le réfrigérant; il faudra donc dans le même temps condenser les 200 kilogrammes dans le liquéfacteur et les absorber ou liquéfier une seconde fois dans le réservoir absorbant. Les 100,000 calories se retrouvent donc ou à très-peu près dans chacun de ces organes de l'appareil, où elles do

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vent être prises et emportées par les eaux destinées à les rafraîchir. En admettant que la température de ces eaux ne doive s'élever que de 10° dans cette opération, on voit que la dépense à en faire serait de 20,000 kilogrammes ou 20 mètres cubes à l'heure, savoir : 10 mètres cubes pour rafraîchir le liquéfacteur, et 10 autres mètres cubes pour rafraîchir le réservoir absorbant.

Nous ne parlons pas de la dépense de combustible à faire dans la chaudière ; en résultat efficace, elle doit être aussi de 100,000 calories à l'heure ; mais là il y a des pertes nécessaires qui sont très-variables.

En un mot, les quatre changements d'état, bien qu'ils s'opèrent dans des conditions différentes, doivent être accompagnés des mêmes phénomènes ou à peu près, en ce qui tient aux quantités de chaleur. La chaudière et le réfrigérant, procédant par évaporation, empruntent la même quantité de chaleur, l'un au foyer, l'autre au liquide qu'il refroidit ; le liquéfacteur et le réservoir absorbant, procédant par liquéfaction, doivent dégager la même quantité de chaleur, dont il faut les débarrasser par le renouvellement des masses liquides rafraîchissantes.

Le travail mécanique de la pompe aspirante et foulante peut aussi s'évaluer approximativement.

Puisqu'il se produit par heure 200 kilogrammes de vapeur dans le réfrigérant, il faudra 4000 kilogrammes de liquide pauvre pour les absorber ; car chaque kilogramme en absorbe seulement 50 grammes ou 1/20 de son poids : le résultat sera donc 4200 kilogrammes de liquide riche. L'effort nécessaire pour les réintroduire dans la chaudière, dont la pression pour cet objet peut être estimée à 10 atmosphères ou à 100 mètres de hauteur, sera par conséquent de 420,000 kilogrammètres ou environ 2 chevaux de vapeur, auxquels il faudrait ajouter environ 1/10 pour l'effort d'aspiration ; mais ceci suppose que dans le jeu de la pompe le dégagement des fluides élastiques n'occasionne aucune perte considérable de travail.

Quant au plus grand degré de froid que l'appareil puisse produire, il dépend presque exclusivement des phénomènes qui se passent dans le réservoir absorbant, parce que là se trouve en effet la cause déterminante de la formation rapide des vapeurs dans le réfrigérant. Si, d'une part, le liquide qui donne ces vapeurs était de l'ammoniaque pure et dépouillée d'eau ; si, d'une autre part, le liquide appauvri qui vient de la chaudière dans le réservoir absorbant était de l'eau pure et dépouillée de gaz ammoniac, on ne peut pas douter que le réfrigérant ne doive aisément descendre à 50 ou 60° au-dessous de zéro. Mais, en fait, le liquide du réfrigérant contient une certaine proportion d'eau ; le liquide appauvri qui arrive au réservoir absorbant contient une proportion très-notable d'ammoniaque ; ces deux causes sont concordantes pour ralentir l'absorption de la vapeur, et par conséquent pour empêcher le degré de froid de descendre aussi bas dans l'échelle thermométrique. Il y a là une étude à faire pour que la chaudière donne un liquide encore plus pauvre en ammoniaque et le liquéfacteur un liquide plus complétement dépouillé d'eau.

Toutefois cette dernière limite de la puissance économique de l'appareil dépend encore d'une autre circonstance : elle varie nécessairement avec la température de l'air, par conséquent avec les saisons et les climats. Supposons, en effet, que le réfrigérant *travaille à vide*, c'est-à-dire sans fabriquer de la glace, sans refroidir un liquide, en un mot sans produire d'*effet utile* : il n'en arriverait pas moins à une certaine limite de froid, qui serait sa limite extrême, par exemple 50° au-dessous de zéro. Admettons que, dans cette expérience, l'air ait une température de 10°, ce qui lui donne un excès de 60° sur le réfrigérant : une fois parvenu à cette limite, après un travail plus ou moins prolongé, durant lequel on a pu voir le réfrigérant gagnant progressivement du froid, d'abord très-vite pour les premiers degrés perdus, ensuite très-lentement pour les derniers, il faut se demander comment il est possible de maintenir cet état de choses. Peut-on éteindre le feu de la chaudière, arrêter la pompe, enfin mettre l'appareil au repos, sans que le réfrigérant se réchauffe ? Non assurément ; au contraire, il est indispensable qu'il continue à marcher et qu'il conserve toute son activité. Sa force entière est alors une force perdue en ce sens qu'elle est sans effet utile ; mais elle n'est pas sans effet, car elle est exclusivement employée à maintenir le réfrigérant en équilibre contre l'invasion de la chaleur du dehors. On peut arrêter le mouvement d'une machine, mais il ne nous est pas donné d'arrêter le mouvement de la chaleur ; quelques précautions qui aient été prises pour protéger le réfrigérant, la chaleur pénètre toujours jusqu'à lui, seulement sa vitesse a pu être plus ou moins ralentie. Le nombre des calories qui arrivent ainsi au réfrigérant dans un temps donné, toutes choses étant d'ailleurs égales, est à peu près proportionnel à l'étendue des surfaces qu'il présente à l'air d'une manière plus ou moins directe et à l'excès de la température de l'air sur celle du réfrigérant.

Par conséquent, si le même appareil est soumis à cette épreuve du fonctionnement à vide dans un air à 30° au lieu de 10°, il ne pourra jamais, malgré toute son activité, faire descendre le réfrigérant jusqu'à 50° au-dessous de zéro ; mais il le fera descendre seulement à environ 30° au-dessous de zéro, afin que l'excès de la température de l'air sur le réfrigérant soit encore de 60°, comme il était à la première épreuve.

Les considérations précédentes permettent aussi de conclure que le réfrigérant destiné à fabriquer de la glace sera beaucoup plus favorable pour descendre à de très-basses températures que le réfrigérant destiné à refroidir les liquides, parce que, en général, celui-ci devra offrir à l'invasion de la chaleur du dehors ses surfaces beaucoup plus grandes que le premier.

Telles sont les causes principales qui font varier la limite extrême du froid auquel le réfrigérant peut descendre, et qui font varier dans le même sens la puissance économique de l'appareil.

Il en résulte que le poids de vapeur qui se forme par heure dans le réfrigérant d'un appareil donné doit être considéré comme une somme à peu près constante, mais composée de deux parties qui s'appliquent à des services différents : la première est destinée à l'effet utile, la seconde est destinée à la force perdue. Celle-ci, sans être jamais nulle, reste très-petite quand le réfrigérant, pour produire l'effet qu'on lui demande, travaille à une température très-éloignée de sa limite extrême ; mais elle s'accroît assez vite, et toujours au détriment de l'effet utile, à mesure que le réfrigérant doit travailler à une température plus basse ; enfin elle absorberait la totalité ou la presque totalité de l'effet utile, si le réfrigérant devait travailler à une température très-voisine de sa limite extrême.

On arrive ainsi à produire, avec ces machines, 15 à 18 kilog. de glace par kilogramme de houille brûlée ; c'est un beau résultat, assez éloigné toutefois du résultat théorique que devrait donner le renversement de l'effet produit par les 7,000 calories du kilog. de houille.

Remarquons aussi qu'il faut, pour la pompe et surtout pour le mouvement de l'eau froide, consommer une quantité de travail notable qui se traduit encore en consommation de houille quand il faut, comme c'est le cas le plus ordinaire, employer une machine à vapeur pour produire ce travail.

PUITS DE MINES *par sondage*. — Un des grands prix de l'Exposition de 1867 a été décerné à MM. Kind et Chaudron, qui venaient de réussir, d'une manière si remarquable, le puits d'extraction de la houillère de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Saint-Avold, sur le prolongement des formations de Saarbruck, au milieu de couches aquifères, dans des conditions qui rendaient le travail ordinaire impossible (voyez MINES) en employant la sonde, c'est-à-dire en travaillant constamment dans l'eau. Ce grand progrès technique est un des plus grands progrès accomplis depuis longtemps dans l'art des mines, et doit permettre de tirer parti de bien des richesses qu'il n'était pas possible d'atteindre jusqu'ici. En effet les roches des terrains secondaires et tertiaires sont souvent perméables. Dans ce cas, les roches perméables ou fissurées renferment toujours des niveaux d'eau, véritables cours d'eau souterrains qui, dès que le mineur a suffisamment affaibli la roche imperméable superposée, soulèvent et rompent cette barrière opposée à leur force ascensionnelle et s'élèvent plus ou moins haut. De là le besoin d'épuiser les eaux et de dominer la *tenue des niveaux* par des pompes assez puissantes pour protéger le travail des mineurs. En employant les appareils de sondage, on évite les frais et les graves inconvénients de l'épuisement des eaux, qui rendent quelquefois le travail impossible, le mouvement des eaux délitant les roches peu cohérentes, déterminant des affouillements et des éboulements.

La disposition des trépans à course limitée, permettant de forer des puits d'un assez grand diamètre, il est évidemment possible à l'aide de trépans successifs d'obtenir des puits de dimensions très-considérables. Le poids des trépans employés par M. Kind pour les puits de Saint-Avold (Moselle), un de ses plus beaux succès, a varié de trois à huit tonnes, suivant le diamètre des trous et la dureté de la roche.

Dans la concession de Saint-Avold, le puits d'aérage a été foncé au diamètre de $2^m,56$ et le puits d'extraction au diamètre de $4^m,10$. Le forage des puits a été exécuté sur deux diamètres successifs pour le petit puits et sur trois diamètres pour le grand. On assure la verticalité de l'action des trépans élargisseurs en les garnissant de dents de différentes longueurs.

Les tiges employées consistaient dans de longues pièces de sapin de 15 à 20 mètres, avec des emmanchements n'ayant que 4 centimètres de diamètre; la tige ne participait pas au choc donné par l'outil, par suite de l'interposition de la coulisse entre la tige et le trépan.

Chaque puits de fonçage est muni d'un cylindre batteur et d'une machine-cabestan, mus par la vapeur.

Le batteur se compose d'un cylindre vertical muni de soupapes de Cornouailles, mues à la main, faisant osciller un grand balancier en bois formé de deux pièces de $0^m,75$ de hauteur sur $0^m,35$ de largeur.

La pièce supérieure est en sapin, et la pièce inférieure en hêtre; le sapin est mis à la partie supérieure à cause de sa plus grande élasticité.

La machine-cabestan est destinée à descendre et à remonter les outils.

Cette machine d'une force de 25 chevaux doit pouvoir exercer des efforts de 50,000 kilogrammes, équivalant au poids du câble, des tiges, des outils et des engagements d'outils dans le cas d'un accident.

Une tour en maçonnerie a été établie sur l'emplacement du grand puits. Un simple abri en bois et un bâti en charpente ont suffi pour le fonçage du puits d'aérage.

Un chemin de fer placé à 10 mètres au-dessus du sol, permettait d'éloigner les outils de l'orifice du puits aussitôt qu'ils en étaient sortis, pour être visités et réparés, et pour dégager le puits pendant qu'on faisait agir la cuiller à clapets. (Voy. SONDAGE.)

Les accidents qui sont survenus pendant le travail n'ont occasionné que des arrêts de courte durée. Trois ou quatre jours ont toujours suffi pour retirer les outils laissés dans le puits, par suite de rupture des emmanchements ou des outils eux-mêmes, dans les cas les plus compliqués.

Les outils de sauvetage que l'on a employés sont de trois espèces :

Le crochet de salut terminé en forme d'épicycloïde très-allongée, pour ramener les pièces dans l'axe du puits et pour saisir les tiges sous un épaulement;

La fauchère, composée de deux branches dentées tendant à se rapprocher l'une de l'autre et à être maintenues par l'effet d'une bague dans l'intérieur d'un manchon conique en fer et entre lesquelles on place un tampon de bois. Ce tampon tient les branches écartées jusqu'au moment où l'objet que l'on veut ramener se trouve saisi, et repousse le tampon pour prendre sa place;

Enfin, le grappin pour retirer les dents des trépans ou tout autre débris. Les matières triturées par les trépans se rassemblaient dans le puits central de 1,37 que l'on poussait toujours en avant et étaient ramenées à la surface par une cuiller à clapets, qu'on descend avec des tiges par l'intermédiaire de la machine-cabestan, et qu'on fait battre pendant dix minutes ou un quart d'heure à la façon des trépans.

Une fois le fonçage terminé, on a procédé à la descente du cuvelage. Le cuvelage est composé d'anneaux en fonte juxtaposés et à faces de joint parfaitement dressées. L'épaisseur de ces anneaux a été calculée au moyen de la formule arrêtée par M. Chaudron :

$$E = 0,2 + \frac{RP}{500}$$

dans laquelle R est le rayon du puits, P la pression et 500 kilogrammes la résistance de la fonte à l'écrasement.

Chaque anneau a été essayé isolément à la presse hydraulique, la pression s'exerçant du dehors en dedans.

Le poids du cuvelage complet a été de 640,000 kilogrammes pour le grand puits, et de 258,000 kilogrammes pour le puits d'aérage; l'épaisseur des anneaux a varié, pour le grand puits, de 60 à 28 millimètres; le poids d'un des anneaux inférieurs ayant 1,58 de hauteur était de 8,000 kilogrammes.

C'est ce poids énorme que l'on a pu descendre lentement dans le puits au moyen de la disposition suivante.

L'avant-dernier anneau est terminé par une calotte sphérique assemblée sur une nervure de l'anneau, et au centre de laquelle on monte une colonne de plus petit diamètre dite d'équilibre.

Ces anneaux assemblés successivement les uns aux autres, au jour, sont supportés par des tiges, au nombre de six, qui viennent se fixer à un collet à oreilles, portées par la troisième pièce au-dessus de la boîte à mousse par laquelle on débute.

Ces tiges sont manœuvrées à la partie supérieure par des vis mues par des engrenages coniques, et c'est en tournant en même temps les six pignons correspondants que l'on fait descendre le cuvelage verticalement.

Ce cuvelage flotte sur l'eau contenue dans le puits, et c'est en emplissant plus ou moins l'espace compris entre la colonne d'équilibre et les parois du cuvelage que l'on fait descendre le cuvelage.

Le joint se fait au contact de la roche par l'interposition de la boîte à mousse inventée par M. Chaudron.

Le premier anneau, qu'on appelle boîte à mousse, a un collet de $0^m,15$, extérieur, à la base, destinée à s'appuyer sur le fond du puits, et il reçoit la mousse maintenue, pendant la descente, au moyen d'un filet. L'anneau suivant possède deux collets en sens opposé. Celui du bas, extérieur comme le précédent, vient s'appuyer sur la mousse quand tout ce système est arrivé sur la roche. Celui du haut forme un joint composé de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même façon que tous les autres joints du cuvelage. — La boîte à mousse est suspendue, pendant la descente, au moyen de tirants à la première pièce, lesquels permettent la compression de la mousse.

La mousse, qui avait à l'origine 1m,80 de hauteur, n'a plus que 0m,25 d'épaisseur à la suite de la compression.

Tous les autres joints des anneaux se font avec une rondelle de plomb de 3 millimètres d'épaisseur, préparée d'avance, enduite ainsi que les faces du joint d'une peinture au minium et à la céruse.

Lorsque le cuvelage est descendu et assis sur la roche, on procède au bétonnage de toute la partie comprise entre le terrain et le cuvelage.

Le béton employé avait la composition suivante :

1/4 de ciment de Vassy ou de Ropps;
1 de chaux hydraulique;
1 de sable;
1 trass d'Andernacht.

Ce béton est descendu à l'aide d'une cuiller à soupape.

On a laissé durcir le béton pendant six semaines; puis on a enlevé l'eau du puits à l'aide du tonneau et de la machine-cabestan. Après avoir vidé le cuvelage, on a placé à 2 mètres au-dessous de la boîte à mousse, par mesure de précaution, deux trousses à picoter, en fonte, de 0m,20 de hauteur chacune; puis on a fermé l'espace compris entre le picotage et la boîte à mousse par un cuvelage en fonte composé de panneaux.

M. Lévy qui a dirigé ce beau travail, et auquel nous empruntons ces détails, donne le tableau détaillé des éléments servant à établir le prix de revient des deux puits foncés à l'Hôpital.

	Puits d'aérage.	Puits d'extraction.
Frais d'installation . . .	65,000 fr.	104,000 fr.
Forage des puits	93,008	142,000
Prix du cuvelage et frais de pose.	80,000	169,000
Bétonnages.	12,000	15,000
Picotage des trousses, et raccord de cuvelage. .	6,000	10,000
Divers	14,000	40,000
Totaux. . . .	270,000 fr.	480,000 fr.

Tels sont les résultats auxquels on est arrivé comme dépense pour foncer des puits à la profondeur de 160 mètres. On voit que la réunion des efforts de MM. Kind et Chaudron ont permis de réaliser des économies considérables sur l'ancien procédé, et que le succès est certain dans les conditions les plus difficiles.

Le grand puits a été terminé en 814 jours, y compris 80 jours de chômage. L'avancement moyen a été de 0m,63 avec le trépan de 1m,37, de 0m,38 avec le trépan intermédiaire de 2m,40 et de 0m,30 avec le trépan de 4m,10.

PYROSCOPES. — Nous compléterons, en prenant pour exemple d'application la cuisson des poteries, les documents que nous avons donnés à l'article THERMOMÈTRE. Il faut une très-grande expérience, un coup d'œil sûr pour apprécier exactement dans les diverses industries qui sont basées sur l'emploi des températures élevées la marche du feu, son accélération; il faut une habitude qui ne s'acquiert qu'après de longues années pour savoir reconnaître si la température s'élève également dans toutes les parties d'un four, et s'il convient, les objets ayant atteint leur degré de cuisson, d'arrêter le feu brusquement pour l'empêcher de dépasser le degré voulu.

Lorsqu'on cuit des poteries, on juge si le tirage est bon et égal d'après la flamme qui s'échappe des cheminées et des carneaux, c'est-à-dire d'après sa longueur, d'après sa couleur plus ou moins bleuâtre, plus ou moins fuligineuse.

Couleur du feu. — Lorsque les pièces qui sont dans le four commencent à rougir, on examine, par des ouvertures réservées à cet effet dans les différentes parties du four, la couleur du feu; l'état d'incandescence des pièces placées dans le four peut donner aux praticiens expérimentés le moyen de juger de la force et de la régularité du feu.

D'après M. Pouillet, les divers degrés d'incandescence correspondant à des températures que nous réunissons dans le tableau suivant, en plaçant en regard du nombre de degrés centigrades le point de fusion de quelques métaux, sont les suivants :

Rouge naissant. .	525 degrés.	
Rouge sombre. . .	700 —	
Cerise naissant. .	800 —	
Cerise.	900 —	
Cerise clair. . . .	1000 —	fusion de l'argent.
Orangé très-foncé.	1050 —	fusion de la fonte blanche.
Orangé foncé. . .	1100 —	fusion de la fonte grise.
Orangé clair. . . .	1200 —	fusion de l'or.
Blanc naissant. . .	1300 —	fusion de l'acier.
Blanc éclatant. . .	1400 —	
Blanc éblouissant.	1500 —	fusion du fer forgé; cuis-
Blanc éblouissant.	1600 —	son de la porcelaine dure.

Montres ou Pyroscopes. — Pour ne pas être exposé dans les fabriques aux erreurs auxquelles la vue seule pourrait donner lieu, on place, dans divers endroits du four, des pièces de même nature que les poteries à cuire; on les retire vers la fin de la cuisson pour les examiner avec attention : ces petites pièces prennent le nom de *montres* ou *pyroscopes*; elles diffèrent de forme avec les fabriques et les usages des pays.

A Sèvres, ce sont des fragments d'assiette percés d'un trou qui permet de les aller saisir dans le four au moyen d'un ringard en fer et placés sur un patin de terre à cazette. Pour que le four ne se refroidisse pas par le courant d'air qui pénétrerait dans le laboratoire, chaque fois qu'on veut juger de la couleur du feu, on empêche l'air froid d'avoir accès dans l'intérieur du four : on dispose à cet effet des visières qu'on enlève au moment de retirer les montres. Ces visières s'engagent par un talon carré dans un trou de même forme réservé dans la porte; elles se terminent par une partie conique portant sur la gorge antérieure, enchâssée dans une rainure, une petite plaque en verre à vitre qui bouche complétement l'ouverture. Lorsqu'on veut voir la couleur du four, on soulève une petite tôle qui glisse dans une seconde rainure.

Dans quelques fabriques les montres sont de petites tasses carrées ou légèrement coniques qu'on enlève, soit par un trou fait exprès, soit au moyen d'une anse.

L'état dans lequel sont ces pièces fait connaître assez exactement le degré de cuisson de la poterie qui remplit le four, car les changements physiques qu'elles éprouvent indiquent la manière dont la température s'élève. En comparant entre elles les montres d'une même fournée dans un même moment, on voit comment la chaleur s'est répartie dans les diverses parties du four; en comparant entre elles les montres de plusieurs fournées consécutives, on établit expérimentalement à quel degré de cuisson il faut les amener pour donner à chaque fournée le feu qui lui convient.

J'ai dit que les montres faisaient connaître assez exactement l'état de cuisson des pièces placées dans le four; il est évident qu'étant mises dans des étuis ouverts, recevant directement l'air froid quand on les retire, refroidies promptement, elles doivent être généralement un peu moins cuites, et peut-être aussi moins brillantes que les pièces contenues dans le four.

Plusieurs fabriques, comme celles de Creil et de Montereau, jugent expérimentalement et d'une manière rigoureuse l'état d'avancement du feu d'après la coloration d'un mélange de terres plus ou moins manganésiennes et ferrugineuses, ou par la retraite qu'elles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

prennent en cuisant. On façonne ces pyroscopes sous forme de *sphères* ou de *boules creuses* qui doivent, lorsque la pâte est cuite, passer par un trou déterminé; elles sont percées de part en part. Après la cuisson elles prennent une couleur qui varie du rouge pâle au rouge brun, en passant par le ton rougeâtre qui dénote une cuisson convenable.

Pour cuire le vernis, on a recouvert les pyroscopes rougeâtres d'un vernis plombifère très-fusible, qui prend une couleur déterminée sous l'influence d'une même température. La coloration de ces boules varie alors du rouge clair au brun rouge très-foncé, suivant la température qu'elless ont reçue.

Quoiqu'on admette aujourd'hui que ces méthodes de juger le feu soient les plus convenables, il serait erroné de penser qu'on n'ait jusqu'à ce jour fait aucune recherche pour doter les arts céramiques et les autres industries qui réclament l'emploi de la chaleur rouge de pyromètres exacts. Or, les conditions que ces instruments ont à remplir suffisent pour faire comprendre les difficultés du problème, augmentées encore par la haute température à laquelle il s'agit de monter.

L'exposé fait par M. Brongniart des conditions auxquelles un bon pyromètre doit satisfaire indique les obstacles à surmonter.

Il faut, en effet, et ces conditions sont d'impérieuse nécessité :

« 1° Qu'il soit d'un emploi facile, c'est la première de toutes les conditions auxquelles il doive satisfaire pour que son usage puisse s'introduire dans l'industrie;

« 2° Qu'il fasse connaître promptement la température du four dans lequel sont placées les pièces à cuire;

« 3° Qu'il indique sûrement la marche du feu dans le four;

« 4° Qu'il donne ces indications avec exactitude, d'une manière précise, absolue, transmissible dans tous les lieux et dans tous les temps. » (BRONGNIART.)

Le premier *pyromètre* employé fut celui de Wedgwood; il est fondé sur la propriété qu'ont les pâtes argileuses de diminuer de volume sous l'influence de la chaleur. Les indications de cet instrument, dont on ne se sert plus guère qu'en Angleterre, ne sont pas assez précises pour qu'on puisse recommander actuellement le pyromètre de Wedgwood; la nature de l'argile dont on a fait usage pour former les billes pyrométriques a des influences sur la retraite de la pâte pour une même température donnée : d'ailleurs, suivant qu'on élève la température plus ou moins rapidement, suivant que les cylindres ont été moulés ou tournés, les indications de l'instrument pour une même température et pour une même pâte argileuse sont très-variables.

Malgré ses imperfections, cet appareil est très-connu; nous allons néanmoins en donner ici la description exacte.

Sur une plaque métallique, ordinairement en cuivre, on soude deux règles dont l'une est divisée en deux cent quarante divisions égales. Ces règles forment entre elles un canal de 64 centimètres; l'extrémité la plus large donne une ouverture de 14 millimètres. On compte les degrés depuis l'ouverture large jusqu'à la plus étroite. Cette dernière correspond à 240, la première indiquant 0 degré; c'est sur cette extrémité que doit être ajustée la bille pyrométrique avant d'être mise en usage.

Wedgwood composait ses billes pyrométriques avec un mélange à parties égales d'argile de Cornouailles, et d'alumine calcinée provenant de la décomposition de l'alun par l'ammoniaque et lavant à l'eau bouillante. On mélange l'alumine et l'argile, on forme des cylindres par le moyen d'un moule, on les égalise pour la longueur, on les aplatit sur une face et on les fait rougir faiblement en les soumettant à la température du rouge naissant. On les ajuste alors pour les faire entrer dans le canal du pyromètre jusqu'à la division marquée 0 degré. Lorsqu'on veut employer un cylindre pour le pyromètre, on l'expose au feu dont on veut connaître l'intensité. On retire le cylindre au bout de quelque temps; quand il est froid, on l'introduit dans la rainure, on examine à quelle division il s'arrête. C'est la température qu'il a dû subir exprimée en degrés de Wedgwood.

Mais le retrait que prend l'argile étant variable avec la température, suivant une loi qui n'est pas encore connue, ces indications ne peuvent être comparables qu'entre elles; il n'est pas rigoureux de les rapprocher de celles que fournit le thermomètre centigrade. Il n'est pas possible même de calculer à combien de degrés correspond 1 degré de Wedgwood. Si l'on admettait 20 degrés pour la valeur moyenne du degré correspondant aux températures inférieures à la fusion de l'argent, en supposant que zéro corresponde à 525 degrés, on trouverait moins de 10 degrés pour la valeur moyenne du degré correspondant aux températures comprises entre la cuisson de la porcelaine et le zéro de l'échelle. Il est probable que la contraction est plus sensible vers les températures basses qu'à celles qui sont très-élevées, le coefficient de contraction n'étant pas le même pour toute la longueur de l'échelle.

Quoi qu'il en soit, on admet les indications suivantes comme exprimant d'une manière suffisamment exacte les différences de fusibilité des diverses poteries connues :

Cuisson de la porcelaine de Nankin. . .	160	degrés
Cuisson de la porcelaine chinoise commune.	140	—
Fusion de la fonte de fer.	135	—
Cuisson de la porcelaine anglaise de Chelsea.	105	—
Cuisson de la porcelaine anglaise de Worcester.	94	—
Cuisson des grès anglais.	86	—
Cuisson de la faïence commune.	57	—
Fusion de l'or fin.	32	—
Fusion de l'argent.	28	—

Alliages métalliques. — MM. Appelt, fabricants de produits chimiques, ont disposé, pour mesurer les chaleurs intenses qu'ils veulent régler, une série d'alliage de zinc et de cuivre composés et dosés exactement et dont le point de fusion est déterminé préalablement par des expériences spéciales et rapporté par comparaison aux degrés centigrades.

1	partie de zinc,	4	de cuivre fondant à	1050
—	—	5	—	1100
—	—	6	—	1130
—	—	8	—	1160
—	—	12	—	1230
—	—	20	—	1300

Ces indications paraissent donner au cuivre un point de fusion moins élevé que celui que l'on admet généralement. Pour employer ces alliages, on creuse sur une large barre de fer, à quelques centimètres de son extrémité, plusieurs cavités hémisphériques dans lesquelles on place une parcelle de chaque alliage. Ces parcelles sont environ de la grosseur d'un pois; on les choisit de telle sorte que leur degré de fusion ne soit pas éloigné de la température du fourneau. Un peu d'habitude permet bientôt de faire ce choix sans se tromper. On couvre les grains d'alliage avec une plaque de fer pour les garantir de l'oxydation, puis on place la barre dans le fourneau. Pour que l'expérience soit concluante, il faut qu'une partie seulement des alliages se fonde, et l'on apprécie la température en choisissant dans le tableau celle qui correspond à la moins fusible des parcelles qui sont liquéfiées. La tempéra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture indiquée par le point de fusion de certains alliages, très-convenable théoriquement, présente encore pratiquement des embarras tels que ce procédé n'a pas encore été mis en usage dans les industries céramiques.

On a fait à Sèvres l'essai du thermomètre à air; mais il se présente pour cuire la porcelaine la difficulté de trouver une enveloppe parfaitement imperméable pour conserver la même quantité d'air pendant toute la durée d'une même fournée, et pendant les fournées subséquentes. On conçoit qu'on doive rencontrer des obstacles sérieux dans la mesure des températures capables de faire fondre des alliages contenant 53 parties de platine pour 47 d'or. SALVÉTAT.

PYROXYLES. On donne le nom de pyroxyles (du grec πῦρ, feu, et ξύλον, bois) à des composés très-inflammables et détonants, produits par l'action de l'acide azotique concentré sur les matières cellulosiques, telles que le coton, le chanvre, le lin, le papier, le bois.... Le plus connu de ces produits est celui qui dérive du coton, et qui a reçu le nom de coton-poudre ou fulmi-coton; c'est à lui que se rapportent généralement les divers faits que nous allons détailler.

Dans les derniers mois de 1846, le bruit se répandit en France, par la voie des journaux politiques, qu'un chimiste de Bâle avait trouvé le moyen de transformer le coton en une substance explosive comme la poudre noire. On ajoutait que cette substance jouissait de propriétés merveilleuses : elle pouvait être plongée dans l'eau et y séjourner plus ou moins longtemps sans perdre sa force, qu'elle retrouvait intégralement en séchant; elle brûlait sans donner de fumée et sans encrasser les armes; enfin sa force était trois ou quatre fois supérieure à celle de la poudre.

L'annonce de cette découverte fut d'abord accueillie par une incrédulité générale, entretenue par les moqueries des journaux satiriques. Mais bientôt l'Académie des Sciences fut saisie elle-même de cette découverte, et, dans les séances des 21 et 26 septembre, des renseignements étaient donnés par MM. Arago, Dumas et Pelouze sur la transformation du coton en une matière fulminante. Dans la séance du 5 octobre 1846, M. Dumas donna lecture d'une lettre à lui adressée par M. Schœnbein, qui expliqua et précisa les propriétés de son coton explosif, sans donner toutefois aucun détail sur sa préparation.

Mais cette précaution était vaine, car tous les chimistes avaient deviné le secret de cette préparation. Dans cette même séance du 5 octobre, M. Morel avait présenté à l'Institut des échantillons de coton explosif, et, dans la séance suivante, il déposait un paquet cacheté contenant la description complète et détaillée de sa préparation.

On s'était rappelé, en effet, la xyloïdine découverte par Braconnot en 1833, et étudiée d'une manière très-complète, en 1838, par Pelouze. Dès l'origine, les chimistes étaient arrivés à cette conclusion : que les propriétés assignées à la poudre-coton de Schœnbein la rangeaient à côté de la xyloïdine.

En dissolvant à chaud l'amidon par plusieurs fois son poids d'acide azotique très-concentré, Braconnot avait reconnu que l'eau précipitait de cette dissolution une substance blanche pulvérulente, très-explosive, à laquelle il avait donné le nom de xyloïdine. En traitant de même, par l'acide azotique concentré, les matières cellulosiques, et précipitant par l'eau, Braconnot avait obtenu un produit qu'il jugeait identique à la xyloïdine. Dans l'étude complète qu'il avait faite de la xyloïdine, Pelouze avait montré que ce corps n'était autre qu'un nitrate d'amidon. En expérimentant de même les matières cellulosiques, Pelouze avait trouvé qu'il n'était pas nécessaire de les dissoudre, et qu'une rapide immersion dans l'acide azotique concentré, suivie de lavages répétés, suffisait pour donner à ces matières des propriétés explosives. Tout d'abord, Pelouze avait conçu la pensée que ces composés explosifs pouvaient avoir quelques applications dans l'artillerie. Il pria un capitaine d'artillerie de les expérimenter; mais ce dernier étant mort, les expériences furent interrompues, et Pelouze perdit de vue cette idée d'application, dont la trace fut cependant conservée dans le *Traité de chimie* de Dumas. (Tome VI, p. 12.)

Mais, à l'annonce de la découverte de M. Schœnbein, il était impossible à Pelouze et aux chimistes français d'oublier les produits découverts anciennement, en faisant agir l'acide azotique sur les matières cellulosiques. Aussi vit-on paraître de tous côtés des procédés de fabrication du coton explosif.

Sans vouloir citer tous les inventeurs qui s'adressèrent successivement à l'Institut, nous pouvons rappeler, toutefois, d'abord M. Morel et M. Meynier, de Marseille; puis M. Otto, de Brunswick; le docteur Knopp, de Leipzig; le docteur Bley, de Bernburg. Pendant ce temps, M. Schœnbein persistait à tenir son procédé secret, et même dans une lettre adressée au journal *le Times*, le 13 novembre 1846, il affirmait qu'il n'y avait aucune relation entre la xyloïdine et son fulmi-coton, s'appuyant surtout sur ce fait : que le premier corps était entièrement soluble dans l'acide azotique; et le second, au contraire, complétement insoluble dans cet acide.

Pour résumer cet exposé historique, il n'est pas douteux que M. Schœnbein ait employé le corps préparé par lui, et désigné par lui sous le nom de fulmi-coton, à diverses expériences d'artillerie, dès la fin de l'année 1845.

En mars 1846, M. Schœnbein avait envoyé des échantillons à MM. Faraday, Herschell et Grove pour faire des expériences de tir. En avril 1846, des expériences avaient été faites par lui dans le Wurtemberg, à l'arsenal de Ludwigsburg et à Stuttgard. En mai, juin et juillet, de nouvelles expériences avaient été faites par lui à Bâle avec des armes diverses : pistolets, carabines, mortiers et canons. Il avait même fait sauter des rochers à Istein, dans le grand-duché de Bade.

C'est une note insérée dans les annales de Poggendorf, par M. Schœnbein lui-même, et, plus tard, les renseignements donnés par M. Grove, à Southampton, devant l'Association britanique, sur le coton explosif, qui attirèrent sur ce produit l'attention de la France. Mais, cette priorité étant admise, il est évident que M. Schœnbein n'avait fait que retrouver un produit déjà découvert en France par Pelouze, puisque, malgré le secret qu'il a gardé sur son procédé, et d'après le seul souvenir des expériences antérieures de Pelouze, il surgit de tous côtés des modes de préparations de coton explosif.

D'ailleurs, lorsque la Diète germanique eut acheté à M. Schœnbein et à son associé, M. Bœttger de Francfort-sur-Mein, le secret de leur procédé, les révélations faites par M. Schœnbein n'ajoutèrent rien à ce que l'on savait déjà.

PRÉPARATION. — Nous l'avons déjà dit plus haut, le pyroxyle se forme toutes les fois que l'on trempe les matières cellulosiques (coton, lin, chanvre, papier, etc.) dans l'acide azotique très-concentré. Toutefois, on reconnut bientôt qu'à défaut d'acide azotique concentré, qui était alors très-rare, on obtenait le même résultat avec un mélange d'acide azotique ordinaire et d'acide sulfurique; ce dernier acide servant à concentrer l'acide azotique.

Nous allons, du reste, décrire le procédé de préparation du pyroxyle, tel qu'il était suivi à la Poudrerie du Bouchet, où l'on en eut de grande quantités à fabriquer de 1847 à 1849, pour répondre aux demandes des diverses Commissions d'expériences instituées durant cette période, ainsi que des industriels ou propriétaires mi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PYROXYLES.

niers qui furent autorisés à faire des essais de ce produit. Les détails qui vont suivre sont empruntés, presque textuellement, à un Mémoire présenté à l'Institut, dans la séance du 12 mars 1849, par M. Maurey, alors directeur de la Poudrerie du Bouchet.

PROCÉDÉ DU BOUCHET. — On opérait au Bouchet sur du coton cardé ordinaire, livré tel qu'il sort de la carde en gros, c'est-à-dire en ouates enroulées sur des cylindres de bois.

Mélanges. — Les mélanges d'acides étaient faits d'avance, la veille généralement. Les proportions les plus ordinaires : 1 d'acide azotique et 1 d'acide sulfurique, formant le mélange dit à volumes égaux; et 2 d'acide azotique à 40°, et 3 d'acide sulfurique à 68°, formant le mélange dit à volumes inégaux. Dans une suite d'expériences entreprises en vue de déterminer le dosage conduisant à la plus grande force balistique, on était arrivé à la proportion suivante : 3 volumes d'acide azotique et 7 volumes d'acide sulfurique, équivalant en poids à 1 d'acide azotique pour 2,86 d'acide sulfurique.

Supposons l'emploi du mélangé à volumes inégaux : on mesurait d'abord 4 litres d'acide azotique que l'on versait dans une tourie de grès, puis 6 litres d'acide sulfurique que l'on ajoutait peu à peu en agitant avec une baguette de verre, et attendant chaque fois que la masse fût suffisamment refroidie. On ajoutait ensuite 4 litres d'acide azotique et 6 litres d'acide sulfurique, et ainsi de suite, successivement, jusqu'à ce que l'on ait obtenu la quantité de mélange jugée nécessaire.

Trempage. — Le trempage s'effectuait de la manière suivante : dans un vase en grès d'environ $0^m,20$ de diamètre et $0^m,14$ de profondeur, muni d'un disque en verre servant de couvercle, on versait d'abord 1 litre de mélange, puis on plongeait rapidement, en quatre ou cinq fois, 100 grammes de coton pesés à l'avance, en l'enfonçant au moyen d'un tampon de verre.

Cette première portion est la plus difficile à imbiber. Il faut surveiller la masse, et, lorsqu'on reconnaît à leur couleur plus blanche des points non imprégnés, presser dessus avec le tampon de verre pour faire pénétrer la liqueur. Lorsque l'imbibition est mal conduite, il se produit en certains points un dégagement de vapeurs rutilantes, bientôt suivi d'une décomposition très-rapide de toute la masse, que l'on ne peut arrêter qu'en la noyant en quelque sorte dans les acides.

Cela fait, on ajoutait d'abord dans le même vase un deuxième litre de mélange, puis une deuxième portion de ouate pesant 100 grammes. Chaque vase contenait ainsi 200 grammes de coton et 2 litres d'acides; on les recouvrait avec le disque de verre pour arrêter les émanations gênantes de l'acide azotique, et aussi pour empêcher l'affaiblissement du mélange par l'humidité de l'air, et on laissait macérer le coton pendant au moins une heure.

Pressage. — Pour exprimer les acides en excès, on soumettait à la fois le contenu de vingt vases, soit 4 kilogrammes environ, à l'action de la presse à acides.

Cette presse comprenait une vis manœuvrée par un levier pouvant descendre dans une auge en grès, dont la paroi antérieure était remplacée par une planche mobile recouverte de plomb, et dont le fond était percé de trous pour le passage des acides.

Le coton était rangé par assises horizontales, puis recouvert d'un plateau en fonte sur lequel agissait la vis. La quantité d'acide exprimée avec la presse du Bouchet représentait environ 7 pour 100 du mélange employé au trempage. Le mélange, recueilli dans une tourie placée au-dessous de la presse, recevait le nom d'acides n° 2, pour le distinguer du mélange neuf, dit acides n° 1.

Le déchargement de la presse se faisait après l'enlèvement de la paroi mobile en bois, au moyen d'une fourche en fer.

Premier lavage à l'eau. — Le coton bien ouvert était placé dans des paniers en osier, que l'on trempait vivement dans le courant même de la rivière. On agitait le coton avec des bâtons, et on le laissait ainsi exposé à l'action de l'eau pendant une heure ou une heure et demie.

Au sortir de l'eau, le coton était pressé fortement dans une nouvelle presse, où on le débarrassait en partie des liquides qui l'imbibaient.

Deuxième lavage dans une lessive alcaline. — Pour neutraliser les dernières traces d'acides, on plongeait le coton pendant vingt-quatre heures dans des cuviers en bois pleins d'une lessive faite avec des cendres, et maintenue parfaitement alcaline.

Troisième lavage à l'eau. — Au sortir de la lessive alcaline, le coton était lavé de nouveau à la rivière dans des paniers. Puis on le soumettait à l'action de la presse à eau pour en extraire la majeure partie des liquides qui l'imbibaient.

Séchage. — Pour le séchage, il fut d'abord fait au moyen de la vapeur à la sécherie artificielle (voir l'article *Poudre*); mais un accident ayant démontré qu'il pouvait y avoir explosion à une température de 44° on renonça à l'emploi de toute chaleur artificielle.

Pendant longtemps ensuite, on exposait le coton à l'action du soleil sur les tables du séchoir à l'air; mais on renonça à ce procédé après avoir observé des échauffements allant jusqu'à 69°.

En résumé, le seul procédé qui soit à l'abri de toute crainte d'explosion consiste à sécher le coton-poudre à la sécherie artificielle au moyen d'un simple courant d'air à la température ordinaire. On n'arrive pas ainsi à enlever les dernières traces d'humidité (1 à 2 pour 100) mais l'expérience a démontré que cette quantité d'eau est sans influence sur les propriété balistiques du coton-poudre.

Triage et emballage. — Après le séchage, le coton était trié à la main par des femmes qui enlevaient avec soin toute portion ayant subi un commencement de décomposition. Il ne restait plus qu'à l'emballer, ce qui se faisait dans des barils ordinaires de 50 et 100 kil., employés pour la poudre noire.

Emploi des acides n° 2. — Nous avons vu plus haut que les acides n° 2, exprimés de la masse du coton dans la presse à acides, étaient recueillis avec soin. En effet ils étaient ravivés par l'addition d'acide sulfurique nouveau, dans la proportion de deux parties en volume d'acide sulfurique pour trois parties d'acides n° 2, et ils étaient employés de la même manière que les acides neufs; ils donnaient un produit presque égal à celui de ces derniers.

Quant aux acides n° 3, obtenus en exprimant le coton traité par les acides n° 2, ils ne pouvaient plus être ravivés. Ils étaient distillés pour recueillir l'acide azotique et l'acide sulfurique restant était concentré, en sorte qu'on les transformait en acides neufs qui rentraient en fabrication.

Rendement. — A l'origine, les décompositions étaient nombreuses : on obtenait en moyenne, avec 100 de coton sec, 154,40 seulement de pyroxyle. Mais, par la suite, lorsque la fabrication présentait une certaine régularité, on est arrivé à un rendement moyen de 165,25, qui peut être regardé comme sensiblement maximum pour une production en grand.

Prix de revient. — M. Maurey, que nous avons déjà cité, établit de la manière suivante, dans son Mémoire de 1847, le prix de revient du pyroxyle sur une fabrication de 599k,68, dans laquelle les acides n° 2 avaient été ravivés, et les acides n° 3 donnés aux fournisseurs en réduction sur le prix des acides neufs :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

1403ᵏ06 d'acide azotique, à 1 fr. 25. . . .	1753 fr.	83
3308ᵏ34 d'acide sulfurique, à 0 23. . . .	760	92
294ᵏ40 de coton, à 1 90. . . .	749	36
Frais de fabrication (sur pointages)	928	25
Total.	4492 fr.	36

Ce qui donne 6 fr. 99 ou environ 7 fr. le kilog. pour le prix de revient du pyroxyle.

Tel fut le procédé employé au Bouchet sur plus de 5,000 kilog. de pyroxyle fabriqués en 1847 et 1848; mais cette fabrication fut complétement interrompue à la suite de l'explosion du 17 juillet 1848.

PROCÉDÉ DU GÉNÉRAL LENK. — En Autriche, les essais sur le pyroxyle ont continué jusqu'à ce jour, grâce surtout à la persévérance du baron Lenk, de Wolfoberg. Le général Lenk faisait partie de la première commission de Mayence, en 1846; depuis il n'a pas cessé de s'occuper du pyroxyle, et il a imaginé un procédé de fabrication conduisant, suivant lui, à un produit toujours identique, et n'ayant aucun des inconvénients signalés tant de fois, et sur lesquels nous aurons à revenir plus tard.

Le point de départ du général Lenk, c'est qu'il faut se placer dans les conditions les plus favorables à l'azotisation, pour obtenir le pyroxyle ayant le plus de résistance à la décomposition. Voici en quoi consiste son procédé appliqué en grand à la fabrique de Hirtenberg, d'après les renseignements donnés par lui-même, et relatés dans le mémoire sur la poudre-coton, par MM. Pelouze et Maurey. (*Annales de physique et de chimie.* 4ᵉ série, tome III.)

Le mélange adopté par le général Lenk est de 1 d'acide azotique à 40° pour 3 d'acide sulfurique à 66°.

Il emploie pour opérer le trempage une auge rectangulaire, divisée dans sa longueur en trois compartiments, et maintenue à une température constante au moyen d'un courant d'eau qui circule entre de doubles parois. Le premier compartiment sert de réservoir pour les acides. On y fait arriver chaque acide séparément par un orifice de petite dimension, de manière à ce que le mélange s'y fasse sans élévation notable de la température.

Dans le deuxième compartiment on entretient constamment un bain de 30 kilog. d'acides, dans lequel on plonge le coton par masse de 100 grammes, c'est-à-dire que l'on trempe le coton dans 300 fois son poids d'acides. On agite légèrement le coton dans le bain, et lorsqu'il paraît complétement imbibé, ce qui n'exige qu'une minute environ, on le retire pour le mettre sur un égouttoir disposé au-dessus du bain, et on le soumet à une pression réglée, de manière à lui laisser toujours le même poids d'acides. Avec l'habitude, on arrive à obtenir un poids normal de 1ᵏ150 pour le poids du coton trempé, d'où il résulte que les 100 grammes de coton ont absorbé 1ᵏ050 d'acides.

Le coton pressé est mis dans le troisième compartiment.

On ajoute alors dans le deuxième compartiment 1ᵏ050 d'acides, et l'on fait un nouveau trempage de 100 gr. de coton. On continue de même indéfiniment dans le même bain, en remplaçant chaque fois par 1ᵏ050 de mélange neuf, ce qui a été enlevé par le coton. Le coton pressé est mis dans le troisième compartiment.

De là, le coton est placé dans des vases entourés d'eau, pour éviter toute élévation de température, et y séjourne 48 heures.

Puis on le place dans une essoreuse où il perd, en quelques minutes, les 3/4 des acides non combinés, lesquels sont rendus aux fournisseurs et ne rentrent pas en fabrication. Pour enlever le restant des acides, on lave le coton en l'agitant dans une eau courante, et en l'y laissant immergé pendant six semaines.

Au bout de ce temps, le coton est essoré de nouveau, puis lessivé dans une dissolution bouillante de carbonate de potasse à 2 degrés Beaumé. On le laisse ensuite dans l'eau pure, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus trace d'alcalinité.

Après un troisième et dernier essorage, le coton-poudre est séché à l'air ou dans une étuve maintenue à la température de 20°.

Enfin, le pyroxyle est entièrement enduit de verre soluble, dans le but de fermer les fibres du coton par la précipitation du silicate, de retarder le développement en gaz, et puis d'éliminer les traces de l'acide qui pourraient s'y trouver. Cette opération est faite dans une espèce d'essoreuse, où débouche un tuyau qui verse dessus de la dissolution de verre à 12° Beaumé. On sèche le pyroxyle imprégné de cette manière, et on l'abandonne à l'air pendant un laps de temps suffisant pour que l'acide carbonique de l'air se combine avec la soude du verre, ce qui détermine la formation d'un silicate insoluble.

Le carbonate de soude étant enlevé par des lavages, le silicate de potasse insoluble reste comme une sorte de gaine adhérente aux fibres du coton, auquel il ajoute environ 2 pour 100 du poids du pyroxyle.

FABRICATION ANGLAISE. — Depuis 1864, époque à laquelle le général Lenk a donné communication de ses procédés de fabrication à l'Angleterre comme à la France, de notables quantités de coton-poudre ont été préparées à l'arsenal de Woolwich. Mais, d'après les détails donnés par M. F. Abel dans une lecture faite par lui à la Société royale de Londres, il n'a été apporté aucune modification au procédé Lenk, si ce n'est en ce qui concerne la silicatisation, dont on paraît avoir reconnu l'inutilité.

COMPOSITION CHIMIQUE. — Dans le mémoire déjà cité de M. Maurey (1840), la réaction qui donne naissance au pyroxyle est ainsi établie :

$$\underset{\text{Cellulose.}}{2(C^{12}H^{10}O^{10})} + \underset{\text{Acide nitrique.}}{5(AzO^5HO)} =$$

$$= \underset{\text{Pyroxyle.}}{C^{24}H^{17}O^{17},5(AzO^5)} + \underset{\text{Eau.}}{8HO}$$

ce qui revient à dire que le pyroxyle est de la cellulose pentanitrique.

Cette composition a été confirmée pour les études faites par M. Béchamp (*Annales de physique et de chimie*, 3ᵉ série, t. XXXVII), qui établit l'existence des trois composés suivants :

Cellulose trinitrique. . . .	$C^{24}H^{17}O^{17}.3AzO^5$
— sétanitrique . . .	$C^{24}H^{16}O^{16}.4AzO^5$
— pentanitrique . .	$C^{24}H^{15}O^{15}.5AzO^5$

ce dernier étant précisément le pyroxyle.

En Allemagne, MM. Redtenbacher, Schrotter et Scheider, analysant le pyroxyle du général Lenk, ont été conduits à la formule

$$C^{12}H^7O^7.3\,Az\,O^5$$

qui correspond à un trinitrate.

Mais des analyses très-nombreuses faites sous les yeux de Pelouse, par MM. Faucher et Chapoteaux (voir *Mémoire sur la poudre-coton* de MM. Pelouze et Maurey, *Annales de physique et de chimie* 4ᵉ série, tome III), sur des pyroxyles donnés par M. Lenk lui-même, ont établi la formule

$$C^{24}H^{15}O^{15}.5\,(Az\,O^5) + 3\,HO.$$

En raison du soin avec lequel ont été faites ces analyses, qui porte surtout sur la détermination de l'azote, élément le plus différent dans les deux formules, il est permis de donner toute confiance à la formule française, et d'affirmer que le coton-poudre est un pentanitrate.

Toutefois, il est bon de remarquer (voir *Notes sur les pyroxyles*, par M. Melsens, *Bulletin* de l'Académie royale de Belgique, 2ᵉ série, tome XIX nº 2) que cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

composition est celle du véritable pyroxyle, du pyroxyle *balistique*, et que, d'après les analyses mêmes de M. Béchamp, il existe des celluloses nitriques à différents degrés d'azotisation.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES. — La transformation des matières cellulosiques en pyroxyle n'est accompagnée d'aucun changement dans leur forme et leur aspect. Toutefois, le coton-poudre est moins doux au toucher que le coton ordinaire, et ses fibres sont devenues cassantes.

Le coton-poudre est un des corps qui se chargent le plus facilement d'électricité. Au Bouchet, lorsque l'on séchait encore le coton-poudre à la sécherie à vapeur, on a reconnu souvent, qu'en promenant légèrement la main dessus, on en tirait des myriades de petites étincelles très-visibles pendant la nuit, et qui se révélaient le jour par une sorte de décrépitation.

Le pyroxyle est complétement insoluble dans l'eau, soit à chaud, soit à froid. Il est insoluble dans l'alcool et l'éther, et même dans le mélange d'alcool et d'éther. Nous insistons sur ce dernier point, qui donne un moyen sûr de distinguer un coton-poudre imparfait ou photographique, propre à être converti en collodion, de tout pyroxyle parfait ou balistique.

Le pyroxyle s'enflamme vers 140 ou 150°; mais lorsqu'il est maintenu pendant un certain temps à une température de 100°, et même entre 60 et 80°, il dégage des vapeurs rutilantes, s'altère plus ou moins profondément, et souvent même se décompose en détonant. Lorsqu'il est bien pur, il brûle sans donner de résidus, et se transforme complétement en azote et en vapeur d'eau.

Toutefois, sa combustion est presque toujours accompagnée d'un dégagement de vapeurs rutilantes, et même de gaz prussiques. Cette dernière observation, à laquelle on n'a pas donné une attention suffisante, est due à MM. Fordos et Gélis. (Comptes rendus de l'Institut, séance du 23 novembre 1846.)

A la température ordinaire, le pyroxyle n'est attaqué par l'acide azotique qu'avec une grande lenteur. A chaud, il se dissout facilement; l'eau et l'acide sulfurique précipitent de cette dissolution une matière très-analogue à la xyloïdine.

A une température de moins de 100°, le coton-poudre se dissout complétement dans l'acide sulfurique, en formant un liquide incolore. Cette réaction permet de reconnaître si le pyroxyle est pur et non mélangé de coton encore intact et non imprégné.

L'éther acétique, l'acétone, l'acétate de méthylène le dissolvent complétement.

Traité à chaud par le perchlorure de fer et en général par les corps réducteurs, le pyroxyle est régénéré en coton ordinaire. (Voir *Recherches sur la pyroxyline*, par M. A. Béchamp, *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome XXXVII.)

DÉCOMPOSITIONS SPONTANÉES DU PYROXYLE. — Le pyroxyle est un corps très-instable qui se décompose spontanément, d'une manière lente ou rapide, c'est-à-dire avec ou sans explosion. Plusieurs chimistes ont cité des cas de décomposition du pyroxyle à la température ordinaire; en général, ils ont signalé comme produits de cette décomposition, des vapeurs nitreuses, des corps très-oxydés, comme l'acide formique, l'acide oxalique et l'acide acétique, et comme résidus des matières gommeuses et sucrées.

Du reste, il importe de revenir sur ces décompositions spontanées du pyroxyle à la température ordinaire et sous l'action de températures même inférieures à 100°; car c'est là le point le plus grave à citer contre son emploi à la guerre ou dans l'industrie.

Dès les premiers temps de la découverte du pyroxyle, on signala des cas d'explosion à des températures très-inférieures à celles de l'inflammation.

Ainsi, M. Piobert cite une explosion dans une étuv maintenue entre 75 et 80°, et M. Payen en cite mêm survenues entre 50 et 60° seulement. (Comptes rendu de l'Institut, séance du 30 novembre 1846.) Bientôt de accidents graves vinrent affirmer la possibilité de ce décompositions.

Explosion à la sécherie du Bouchet. — Le 25 mai 1847, une explosion se produisit, à la sécherie du Bouchet, sur 23 kilog. de pyroxyle, quelques minutes après que le surveillant avait constaté au thermomètre, dan la masse même du pyroxyle, une température de 44 seulement. L'enquête faite à la suite de cette explosio assigne pour unique cause à cet accident une décompo sition spontanée.

Explosion de Vincennes. — Le 2 août 1847, une ex plosion se produisit à Vincennes sur 76 kil. 80 de py roxyle contenus dans 11 barils, dans un magasin ferm dans lequel personne n'était entré depuis deux jour L'explosion survenue à cinq heures du matin ne pu être expliquée encore que par une décomposition spon tanée.

Explosion dans le magasin du Bouchet. — Le 17 juil let 1848, une explosion se produisit dans le magasin d Bouchet, au moment où l'on embarillait le pyroxyle, su une quantité de 1,064 kil. 92. La température venai d'être observée à l'instant, elle était de 25° seulement et comme nulle cause d'explosion ne peut surgir dan l'embarillage, cet accident doit être attribué encore une décomposition spontanée.

Ce fut une épouvantable catastrophe, dont les effet doivent être signalés. (Voir Mémoire sur le pyroxyle *Mémorial de l'artillerie*, n° VII.)

Quatre élèves maîtres pondriers, jeunes gens plein d'avenir et de dévouement, furent tués; trois autre personnes ont été blessées. On n'a retrouvé que de débris littéralement hachés du cadavre de la seule vic time qui fût sans doute dans le magasin; un lambeau d la poche du gilet de ce malheureux, sans traces de brû lures, renfermait une lettre intacte.

Les désastres furent énormes.

Le bâtiment, dont les murs avaient 1 mètre e 50 centimètres d'épaisseur, a été détruit de fond e comble. A sa place, il s'est produit un large entonnoi d'environ 4 mètres de profondeur sur 16 mètres de dia mètre.

Toutes les doucles et les cercles des barils, où le py roxyle était renfermé, avaient disparu entièrement comme s'ils eussent été volatilisés; néanmoins, des pièce de bois, faisant partie de la construction, ont été trouvée brisées, et sans trace de carbonisation. Cent soixante quatre arbres à l'entour ont été ou complétement em portés ou coupés, les uns à ras-de-terre, les autres diverses hauteurs, dans le prolongement des direction de l'entonnoir formé. Les plus voisins de l'explosio étaient dépouillés de leur écorce, et clivés jusqu'au racines en filaments ressemblant à des chènevottes. De chevrons en fer de la toiture étaient enroulés en spirale autour des débris; d'autres, lancés au loin, étaient e morceaux ou tourmentés en tous sens. Dans le prolon gement du grand axe du bâtiment, jusqu'à 300 mètre environ, se trouvait une ligne de matériaux classés pa ordre de densités, les bois les plus près, puis les pierre et enfin les débris de fer plus loin.

Explosion de Dartford. — A l'étranger, des faits ana logues furent observés. Pour n'en citer qu'un, à la pou drerie de Dartfort, en Angleterre, où la fabrication d pyroxyle avait été installée par M. Schœnbein lui même, une explosion survenue sans cause connue, dan le courant de 1848, coûta la vie à 20 ou 24 personnes et détruisit tout l'ensemble des ateliers. On venait quelques instants avant, de constater que la tempéra ture n'était que de 40 et quelques degrés.

EXPLICATIONS PAR DE MAUVAIS LAVAGES. — On

EFERUS - Recherche & Classification numérique

crut d'abord expliquer les faits de décomposition spontanée du pyroxyle par de mauvais lavages ayant laissé des portions d'acides dans la masse du coton. Mais cette explication est inexacte : d'abord, parce que le lavage du coton est facile en eau courante; ensuite, parce que le séjour prolongé dans une lessive maintenue alcalinée devait saturer tout acide en excès.

Les faits observés dans les laboratoires venant s'ajouter à ceux déjà cités, il fallut reconnaître que le pyroxyle était exposé à des décompositions spontanées souvent accompagnées d'explosion. Dès lors, on interrompit en France comme en Angleterre toute fabrication en grand du pyroxyle.

TRAVAUX DU GÉNÉRAL LENK. — Comme nous l'avons déjà dit, en Autriche, on fit plus persévérant. La fabrication du pyroxyle fut continuée en grand sous la direction de M. Lenk, à Hirtenberg. Un matériel d'artillerie fut même construit pour le tir au coton-poudre.

Dès 1855, l'artillerie autrichienne possédait cinq batteries de pièces de 12 à fulmi-coton prêtes à entrer en campagne. Sans la paix de Villafranca, ces batteries auraient été mises en service en 1859, et opposées au canon de 4 rayé français, dont les effets meurtriers eurent tant d'influence sur l'issue de la campagne d'Italie.

Malgré l'inactivité de ces batteries spéciales, le mystère de la fabrication du pyroxyle autrichien piquait la curiosité des gouvernements étrangers. Aussi le général Lenk fut-il reçu avec empressement par la France et l'Angleterre quand il vint, dans le courant de 1864, offrir la communication de ses procédés. Nous avons indiqué en quoi ils consistent; on a pu voir qu'ils ne différaient de la fabrication du Bouchet que par l'emploi des essoreuses au lieu de presses, par la proportion des acides et le mode de trempage, par l'emploi du carbonate de soude, au lieu de lessive de cendres, enfin par l'addition du silicate de potasse.

Rien dans ces différences de préparation ne pouvait en modifier la composition chimique et les propriétés. Cependant M. S. Lenk affirmait que son pyroxyle était à l'abri de toute décomposition spontanée, soit à la température ordinaire, soit à toute température inférieure à 136°.

TRAVAUX FRANÇAIS SUR LE PYROXYLE LENK. — En France, les expériences furent faites, par ordre de l'Empereur, sur le pyroxyle Lenk, par MM. Maurey et Pelouze, assistés de MM. Faucher et Chapoteaux.

Le point important à vérifier, c'était la résistance du pyroxyle Lenk à toute température inférieure à 136°. Des expériences extrêmement nombreuses furent faites à cet effet (voir *Mémoire sur la poudre-coton*, par MM. Pelouze et Maurey, *Annales de physique et de chimie*, 4e série, tome III) avec des matras d'essai fermés ou non, que l'on plongeait dans un bain-marie d'eau bouillante ou dans une étuve de Gay-Lussac à huile.

Le résultat de ces expériences fut qu'aucun échantillon de pyroxyle ne peut résister à une température de 100° prolongée. Tous se décomposent dans un temps plus ou moins long, et, dans tous les cas, il suffit de quelques minutes pour constater un dégagement de vapeurs nitreuses. A 60° et même à 55°, le pyroxyle est encore décomposé avec le temps. On a même signalé un cas de détonation dans l'étuve de Gay-Lussac chauffée à 47° seulement.

Suivant les cas, la décomposition se produit de plusieurs manières différentes, que l'on ne peut reproduire à volonté. On peut signaler quatre modes divers de décomposition, caractérisés tous, dans les premiers instants, par un dégagement de vapeurs rutilantes.

1° Le pyroxyle détone violemment.

2° Il se décompose sans détonation, en laissant un résidu blanc, pulvérulent, acide, incomplétement soluble dans l'eau, et ne contenant plus d'azote, résidu qui forme environ la moitié du poids du pyroxyle.

3° Il laisse un résidu jaune, amorphe, inexplosible, parfaitement soluble dans l'eau, et réduisant, comme le glucose, le tartrate de cuivre et de potasse.

4° Il donne un faible résidu, 8 à 10 p. 100 seulement de son poids, d'une matière noire ayant l'apparence du charbon. Dans ce cas, le matras est entièrement tapissé d'une poudre jaune, qui semble être de l'ulmate d'ammoniaque.

A côté de ces cas de décompositions diverses à des températures variables, de 47 à 100°, il faut ranger les cas d'altération à la température ordinaire. Le pyroxyle Lenk, primitivement alcalin, exposé à l'action de la lumière même obscure pendant quelques semaines, dans un flacon de verre, c'est-à-dire en contact avec des parois à tendances alcalines, finit par donner des réactions acides.

Ainsi le pyroxyle Lenk n'est pas, plus que tout autre, à l'abri des décompositions spontanées, soit sous l'influence de la chaleur à moins de 100°, soit sous l'influence de la lumière seule, même obscure. De là aux explosions spontanées il n'y a qu'un pas.

L'altération du protoxyle, très-faible en commençant, peut quelquefois traverser des années sans grandir ni présenter d'inconvénients; mais tout d'un coup, et sans qu'on puisse en prévoir la cause, elle peut se développer et donner une élévation de température qui occasionne une détonation.

Du reste, le pyroxyle Lenk a aussi son contingent d'explosions. Sans nous arrêter sur le fait cité par un rapport autrichien d'un échantillon ayant fait explosion à la température de 69°, nous devons signaler une explosion survenue, dans le magasin n° 9 du Simmering, le 31 juillet 1862. Comme il y avait à la fois dans ce magasin du coton-poudre et de la poudre noire, le général Lenk ne manque pas d'attribuer l'explosion à une décomposition spontanée de cette dernière; mais ce fait serait tout à fait sans exemple, et l'explication est inadmissible.

Dans le courant de 1864, une explosion très-grave s'est produite de même à Hirtemberg, dans un atelier où l'on tressait le coton-poudre.

C'est donc avec raison que MM. Maurey et Pelouze ont déclaré le pyroxyle Lenk susceptible de décomposition spontanée, dans des conditions qui peuvent se rencontrer, soit dans son emmagasinage, soit dans ses usages techniques et militaires, et qu'ils ont repoussé son emploi dans l'artillerie.

OBSERVATIONS DE M. MELSENS. — Dans un travail que nous avons déjà cité (*Note sur les pyroxyles*, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, tome XIX, n° 2), M. Melsens attribue la divergence entre les résultats obtenus par MM. Pelouze et Maurey et ceux annoncés par M. Lenk à ce que les expériences ont porté sur des produits différents. Il insiste sur ce que, dans la fabrication de Paris, on a fait usage de presses à vis, tandis que dans celle d'Hirtenberg on employait des essoreuses; l'emploi des essoreuses lui paraît constituer *un tour de main industriel* qui modifie d'une manière complète les propriétés du pyroxyle.

M. Melsens croit pouvoir affirmer, sans du reste appuyer son affirmation sur des expériences positives, qu'il faut soumettre le pyroxyle après sa préparation à l'action prolongée d'un courant d'eau. L'air, l'eau, la chaleur, la lumière agissent sur les parties du pyroxyle susceptibles de se décomposer, lesquelles sont entraînées par le courant, et il reste alors un produit absolument stable, et à l'abri de toute décomposition spontanée.

Sans vouloir nous arrêter à la discussion de cette hypothèse, nous rappellerons seulement que les expé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

riences faites dans le laboratoire de Pelouze, dans lesquelles ont été signalées un si grand nombre de décompositions, portaient en très-grande partie sur des pyroxyles fournis par M. Lenk lui-même, comme provenant de la fabrication d'Hirtenberg. D'ailleurs il ne faut pas oublier non plus les explosions de Simmering et d'Hirtenberg causées par des décompositions spontanées de pyroxyles fabriqués sous la direction de M. Lenk.

TRAVAUX ANGLAIS SUR LE PYROXYLE LENK. — En Angleterre, depuis la communication faite en 1864 par M. S. Lenk de son procédé, les essais n'ont pas cessé à l'arsenal de Woolwich.

Dans une note lue dans le courant de 1868 à la Société royale de Londres, M. Abel donne comme résultant d'une expérience de quatre années, et en contradiction avec les dires de MM. Pelouze et Maurey, que le coton-poudre préparé par la méthode de Lenk avec du coton convenablement purifié, et emmagasiné à l'état de sécheresse ordinaire, ne subit plus aucune altération, sauf le développement peu après l'emballage d'une légère odeur et de faibles réactions acides.

D'après lui, ce coton-poudre peut être exposé à la lumière diffuse du jour, soit à l'air, soit dans des caisses fermées, sans subir la moindre altération. Aux rayons directs du soleil, il peut s'altérer, mais d'une manière très-lente. Enfin, aux diverses températures inférieures à 100°, l'altération ne serait jamais que très-faible.

M. Abel explique les faits observés en France par un défaut de purification du coton. Le coton contient toujours des matières organiques diverses, grasses ou sucrées, qui, sous l'action de l'acide azotique, donnent des produits très-instables dont la décomposition entraîne celle de toute la masse du coton-poudre. De là, la nécessité absolue pour avoir un pyroxyle parfait de traiter préalablement le coton par un mélange d'alcool et d'éther destiné à le purifier complétement. Dans tous les cas, M. Abel affirme que la présence du carbonate de soude (1 p. 100) suffit pour arrêter tout dégagement d'acide et par suite toute décomposition ultérieure.

Il nous serait facile de contredire cette assertion par ce seul fait, déjà rappelé au sujet du travail de M. Melsens, que la plus grande partie des expériences citées par MM. Pelouze et Maurey ont été faites sur des pyroxyles préparés à Paris sous la direction de M. Lenk lui-même, ou sur des pyroxyles donnés par lui comme provenant de la fabrication d'Hirtenberg, lesquels étaient carbonatés et silicatisés. Nous nous contenterons de repousser, comme n'étant pas suffisamment concluantes au sujet de la stabilité du coton-poudre, des expériences faites seulement dans le laboratoire

D'ailleurs, il faut remarquer que l'on a signalé en Angleterre même des explosions de coton-poudre, qui ne peuvent être expliquées que par une décomposition spontanée. Ainsi, le 1er octobre 1866, un magasin de Woolwich rempli de pyroxyle, empaqueté dans des boites, a été entièrement détruit par une explosion sans cause connue. Citons encore l'explosion survenue le 12 septembre 1867, dans une manufacture de poudre à Strow-Market (Angleterre); le pyroxyle a sauté dans un séchoir chauffé par de l'air chaud à une température de moins de 70°.

Ici nous insisterons sur la nécessité de bien distinguer les explosions qui ne sont dues qu'à des accidents de fabrication, tels qu'un choc, un gravier, une imprudence d'ouvrier, un dérangement de mécanismes, et celles qui se produisent postérieurement à la fabrication, par des réactions entre les éléments de la poudre. Quelque fortuites que soient quelquefois les premières explosions, elles ne doivent pas être dites spontanées. On conçoit d'ailleurs qu'à force de précautions, elles puissent être rendues de moins en moins fréquentes et même supprimées, tandis que les explosions tenan des réactions entre les éléments de la poudre ne p vent être supprimées qu'en modifiant ses propri mêmes, ce qui n'est pas toujours possible.

CONCLUSION. — La conclusion à tirer des différe travaux que nous venons d'analyser, c'est que le cot poudre est un corps éminemment instable (du mo dans l'état actuel de la science), exposé à des déco positions lentes sous l'influence de la lumière diffuse même obscure, et susceptible de détoner spontanéme

PROPRIÉTÉS BALISTIQUES. — Les propriétés bal tiques du pyroxyle attirèrent tout d'abord l'attent du public; mais les essais faits sans terme de com raison, tout en constatant jusqu'à un certain degré supériorité sur la poudre noire, ne pouvaient en don une mesure régulière.

Dès le 3 novembre 1846, la direction des poudres salpêtres institua une commission pour l'étude du p roxyle. Le 6 novembre 1846, à la suite des offres coton explosif faites par MM. Morel et Chodsko président du comité d'artillerie, une commission également instituée par son ordre pour l'étude du p roxyle. Pendant ce temps, le conseil de salubrité e minait, sur l'ordre du préfet de police, le parti q l'industrie privée pouvait tirer du pyroxyle. De s côté, également, le ministre des travaux publics fais exécuter des expériences dans les carrières d'Is par M. Combes, ingénieur en chef des mines, M. Ch. Flandin.

On reconnut dès lors la nécessité de réunir tou ces commissions en une seule, afin de donner aux cherches un caractère d'unité et d'ensemble indisp sable pour l'étendue et la précision des conclusions. 3 décembre 1846, le ministre de la guerre forma u commission unique et comprenant dans son sein représentants de tous les corps savants intéressés, prit le nom de commission du pyroxyle.

COMMISSION DU PYROXYLE. — Cette commissi après avoir pris connaissance des résultats obtenus les commissions particulières, organisa un vaste semble de recherches sur les effets balistiques du p roxyle.

Malheureusement, il y eut interruption dans les t vaux par suite de la révolution de 1848. Mais l'ensemble des documents recueillis, une commissi nouvelle formée en exécution d'un ordre du minis de la guerre, en date du 4 janvier 1849, put produ un travail très-complet qui fut inséré dans le n° 7 *Mémorial d'artillerie*, sous le titre de *Rapport sur le p roxyle à base de coton, et sur les autres matières explo sives analogues, comparées à la poudre.*

EFFETS DU PYROXYLE DANS LES ARMES DE GUERR — Les conclusions tirées d'un très-grand nombre d'e périences de tir, faites avec les armes portatives et l bouches à feu, sont les suivantes:

1° *Dans les armes portatives.* — Les charges de p roxyle et de poudre de guerre, qui produisent dans l fusils d'infanterie la même vitesse, sont entre elles da le rapport de 1 à 2,86. Les vitesses imprimées par pyroxyle aux balles de fusil d'infanterie suivent, ju qu'aux charges de 4 à 5 grammes, la loi de la raci carrée des charges; mais aux charges supérieures, l balles sont déformées et le tir devient de plus en pl irrégulier.

La plupart des canons de fusil d'infanterie éclaten dès les premiers coups, à la charge de 7 grammes pyroxyle, tandis qu'ils peuvent supporter des charg de 30 grammes de poudre de guerre.

Dans le tir prolongé des fusils d'infanterie, à la charg de 2gr,86 de pyroxyle, les canons éclatent après 50 coups environ, tandis qu'avec la poudre noire ces c nons peuvent ne pas être hors de service après 25,00 ou 30,000 coups tirés à la charge de 8 grammes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On peut donc, avec la poudre à canon, obtenir des vitesses plus grandes qu'avec le pyroxyle, et sans danger d'éclatement des armes.

2° *Dans les bouches à feu.* — Le pyroxyle employé dans les canons de bronze met la bouche à feu hors de service au bout de quelques coups, même à des charges moindres que celle qui équivaut à la charge de guerre en poudre ordinaire.

Un mortier en fonte a été brisé par le tir, avec le pyroxyle, à la charge donnant les portées d'épreuve.

Le tir des mortiers en bronze n'a pas été assez prolongé pour que l'on pût observer la marche des dégradations produites dans ces armes.

Les projectiles creux chargés de pyroxyle et de balles de plomb éclatent dans l'âme des bouches à feu.

En présence de ces différents résultats, la Commission n'hésite pas à déclarer que l'emploi du pyroxyle est inadmissible pour les armes et les projectiles creux de tous genres en service dans les armées.

EFFETS DU PYROXYLE DANS LES MINES. — Les premiers essais faits par MM. Combes et Flandin, dans les carrières d'Issy, avaient paru assigner une grande supériorité au pyroxyle sur la poudre ordinaire.

Après la formation de la Commission du pyroxyle, M. Combes reprit ces essais dans les carrières de calcaire de la Folie-Nanterre, et dans les carrières de pierres à plâtre, dites de l'Amérique, à Belleville. Les résultats obtenus montrèrent que le pyroxyle produit des effets équivalents, à peu près, à ceux d'un poids triple de poudre de guerre ou de chasse, et quadruple de poudre de mine.

Dans ces essais, on reconnut que le pyroxyle donne en brûlant des quantités considérables d'oxyde de carbone, qui, en s'échappant par les fissures, peut donner naissance à des accidents graves, et nécessiter en tous cas de longues interruptions dans le travail. M. Combes imagina alors de rendre la combustion du pyroxyle plus complète au moyen de sels oxydants.

En mélangeant le pyroxyle avec 10 pour 100 de salpêtre, il se transforme complétement dans la combustion en vapeur aqueuse, en acide carbonique et en azote. Ses effets deviennent tels qu'il agit comme environ sept fois son poids de poudre de mine, et cinq à six fois son poids de poudre de guerre.

Il y a lieu, toutefois, de rapprocher ces différents résultats du prix de revient des matières employées. A cet effet, nous rapporterons le tableau ci-après, donné dans le rapport sur le pyroxyle déjà cité.

MATIÈRES explosives EMPLOYÉES.	PYROXYLE.	SALPÊTRE et PYROXYLE.	POUDRE DE GUERRE.						POUDRE de chasse extrafine.
			Fusil.	Canon.	Mortier.	Projectiles creux.	MINES. Dans un calcaire tendre.	MINES. Dans du plâtre en galeries souterraines.	Fusil.
Quantités équivalentes pour un même effet produit.....	1k	1k 20	2k 86	2k 50	2k 10	3k 20	2k	3k	1k 728
Prix du kilogr.....	7f	4f 37	1f 463	1f 463	1f 463	1f 463	1f 463	1f 463	2f 392
Dépenses pour le même effet.....	7f	5f 24	4f 17	3f 66	3f 08	4f 68	2f 93	4f 39	4f 20

Il est vrai que le prix de 7 fr. par kilogramme pour le coton-poudre serait actuellement trop élevé par suite de l'abaissement des prix des acides, et qu'il serait possible de le fixer à 5 fr. ou 5 fr. 50 c. Quoi qu'il en soit, à effet produit égal, le pyroxyle est encore la plus chère de toutes les poudres.

La Commission du pyroxyle fut amenée à conclure que le coton-poudre ne pouvait avoir aucun emploi dans les mines, à cause de sa cherté et du danger que présente sa conservation en magasin.

Ces conclusions n'ont pas été modifiées par les travaux ultérieurs.

BATTERIES AUTRICHIENNES A FULMI-COTON (LENK). — Nous avons déjà dit que malgré les premiers insuccès de la Commission de Mayence, en 1846, le baron Lenk avait dû à sa persévérance la création de cinq batteries à fulmi-coton, qui étaient prêtes à entrer en campagne au moment de la guerre d'Italie, en 1859. Mais le peu de confiance accordé dans l'artillerie autrichienne à ce matériel spécial le condamna à l'immobilité.

Après la campagne, on reprit les études sur l'emploi du fulmi-coton. M. Lenk ayant imaginé un système de rayure d'une simplicité très-grande et d'une réelle efficacité, on construisit un grand nombre de canons de divers calibres sur ce modèle. Mais les Commissions autrichiennes se sont constamment opposées à leur adoption définitive.

On peut donc considérer l'emploi du pyroxyle Lenk comme abandonné en Autriche même.

OBSERVATIONS FRANÇAISES SUR LE PYROXYLE LENK. — Lors des études faites en 1864 par MM. Pelouze et Maurey, sur le pyroxyle Lenk, les propriétés balistiques n'ont pas été oubliées. La rupture d'un canon de fusil et d'un canon de bronze de 24 donnèrent la preuve que la préparation spéciale de ce pyroxyle ne lui avait aucunement enlevé ses propriétés brisantes. Quant aux divers moyens proposés par M. Lenk, pour empêcher le pyroxyle de développer ses propriétés brisantes, il fut reconnu qu'ils neutralisaient une partie de la force propulsive du pyroxyle. En sorte que le problème de l'application du pyroxyle aux armes de guerre ne pouvait être regardé comme résolu, même par M. Lenk.

Cette conclusion demeure entière, même après les travaux de M. Abel, qui n'a pas cru devoir employer le pyroxyle Lenk autrement que dans l'éclatement des projectiles creux.

RÉSUMÉ. — Il est donc permis d'affirmer que, dans l'état actuel de la science, le pyroxyle est sans application utile possible, soit dans l'artillerie, soit dans les mines. Toutefois, il faut insister sur le mot que nous venons d'employer, *dans l'état actuel de la science.* La poudre noire, dont l'introduction en Europe remonte au quatorzième siècle, n'est réellement conquise par la science appliquée que depuis un siècle à peine; on ne peut donc affirmer que le pyroxyle restera toujours, dans l'avenir, sans application possible.

Le pyroxyle est, et restera toujours certainement,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une poudre brisante par le fait même de sa composition. Si l'on réfléchit, en effet, à la manière dont agit la poudre noire, qui n'est qu'un mélange et qui forme, au moment de l'explosion, un très-grand nombre de combinaisons distinctes, les unes solides, les autres gazeuses (voir à l'article POUDRE du Dictionnaire: les produits indiqués par MM. Bunsen et Schischkoff), on comprend qu'elle n'agisse qu'avec une lenteur relative, ayant pour effet de ménager l'arme. Le pyroxyle, au contraire, est un composé, qui se résout en quelque sorte au moment de l'explosion en un certain nombre de produits, tous gazeux, ce qui implique une rapidité de décomposition entraînant presque forcément des détériorations dans l'arme.

Il n'est pas impossible, toutefois, de restreindre cette action brisante. Déjà le général Lenk a essayé, avec quelques succès, de tresser le coton-poudre, ou de le comprimer dans des cartouches de forme spéciale. MM. Prentice, de Stow-Market, ont fait également des charges de pulpe de coton-poudre compinée à la presse hydraulique. L'avenir nous réserve peut-être quelque solution inattendue de ce désideratum particulier du problème.

D'ailleurs, il pourrait y avoir avantage à créer un matériel spécial, dans lequel les propriétés brisantes du pyroxyle seraient rendues inoffensives, soit par la nature du métal employé, soit par les formes adoptées. En outre, dans certaines applications, pour l'exploitation des mines et carrières, notamment les propriétés brisantes du coton-poudre, loin d'être un inconvénient peuvent devenir très-avantageuses.

En tous cas, il restera toujours au pyroxyle cet avantage de pouvoir être fabriqué rapidement, sans l'emploi de machines spéciales, coûteuses et longues à établir. Si donc la chimie peut arriver à lui donner une stabilité suffisante et à le mettre à l'abri des décompositions spontanées si dangereuses, sur lesquelles nous avons insisté, les applications ne manqueront pas. Il y donc là une carrière importante pour le génie des inventeurs.

PROGRÈS DANS LA FABRICATION DU PYROXYLE. — Depuis que l'article précédent a été publié, la question de l'emploi du pyroxyle a fait, grâce aux travaux de M. Abel, des progrès considérables, lesquels ne permettent pas de maintenir la conclusion énoncée ci-dessus sur l'impossibilité de conserver cette substance explosive.

Nous avons vu que les perfectionnements apportés en Autriche par le général Lenk dans la préparation du pyroxyle étaient restés infructueux. Dès la fin de 1862, à la suite de l'explosion de Simmering, l'emploi du coton-poudre dans les bouches à feu avait été abandonné. Après une nouvelle explosion survenue en 1865 au Steinfeld, près Wiener-Neustadt, le déclassement du coton-poudre devint définitif, toutes expériences quelconques furent abandonnées, tout l'approvisionnement existant fut condamné et l'on suspendit toute fabrication nouvelle.

Nous avons vu également que les travaux de MM. Maurey et Pelouze (1864) avaient conduit le Gouvernement français à repousser l'emploi dans l'artillerie du pyroxyle Lenk.

Travaux de M. Abel. — En Angleterre on fut plus persévérant et plus heureux. M. Abel continuant à expliquer tous les accidents observés dans l'emploi du coton-poudre par une mauvaise préparation et surtout par de mauvais lavages, fit breveter, le 20 avril 1865, un procédé de préparation du coton-poudre qui parut remplir tous les désidérata de la question.

Ce procédé, appliqué dès lors en grand par les frères Prentice dans leur usine de Stow-Market, consiste en somme : 1° à prolonger l'action des acides sur le coton de manière à obtenir une complète transformation ; 2° à rendre les lavages essentiellement efficace réduisant le coton-poudre en pâte dans des pi papier; 3° à comprimer la pâte ainsi obtenue en masse compacte dont la conservation est dès garantie.

Procédé de Stow-Market. — Voici d'après le jou anglais le *Standard*, la description minutieuse du cédé employé à Stow-Market.

Préparation du coton. — Le coton employé est c parmi les rebuts de manufactures qui présentent belle couleur blanche (il coûte 80 fr. les 100 kil. re à l'usine).

Après l'ouverture des balles dans les hangar recette, le coton passe dans une première char de séchage où il est étendu sur un treillis et so à une haute température. Il passe ensuite dans chambre de séchage chauffée à la vapeur comm précédente.

Trempage du coton.—Lorsque la dessiccation du c est complète, il est pesé par paquets et il passe à tra une caisse formant entonnoir dans la chambre du tr page. Il y a là une longue file de réservoirs ay chacun 0m.35 de large et 0m.76 de long sur 0m.40 viron de profondeur. Ces réservoirs contiennent mélange acide qui est formé de trois parties en p d'acide sulfurique et une partie en poids d'acide trique. On plonge dans chaque réservoir un paquet coton pesé, on le remue pendant quelques minutes, le retire au moyen d'une petite fourche en fer, o dépose sur une grille derrière la cuve, et là, on prime l'acide en excès au moyen d'une presse pl manœuvrée avec un levier à main. La quan d'acide absorbée dans chaque opération est d'envi 10 ou 12 litres; on remplace ces acides après cha trempage.

Un ouvrier soigne quatre cuves, il met le coton paquets d'une livre successivement dans chaque cu et retire ces paquets successivement de la dernière.

Nitrification.—Les petits tas de coton, suffisamme comprimés pour ne plus laisser tomber de gouttes, s portés ensuite dans la chambre d'imbibition où on met séparément dans des vases en grès de 0m.17 de d mètre et de 0m.20 environ de profondeur. Ces po munis de couvercles, sont plongés dans l'eau jusqu'a trois quarts de leur hauteur.

Le coton y reste douze heures, cette opération a po but d'achever la nitrification des parties du coton q auraient pu échapper à cette transformation penda l'opération du trempage : c'est l'acide dont il est enco imbibé qui suffit pour continuer l'action chimique s les fibres intactes.

Il se développe quelquefois pendant cette opérati une chaleur considérable : on l'arrête, dans ce cas, p une légère addition d'acide.

Premier essorage.— Quand le coton est suffisamme macéré, on le retire des pots pour le porter dans les e soreuses à force centrifuge et on remet ceux-ci en pla après les avoir remplis de nouveau. Les essoreuses so disposées symétriquement par quatre dans un bâtimen attenant au précédent; elles sont formées de gran disques coniques entourés d'un grillage et placés hori zontalement sur un arbre vertical. Une transmissio convenable de mouvements leur imprime une vitess de 1,500 à 2,000 tours à la minute.

Dès qu'on a embrayé, le coton vient s'appliquer con tre le grillage et l'acide s'échappe à travers les maille On continue cette opération jusqu'à cessation de l'écou lement des acides, puis on arrête la machine.

Lavages. — On retire le contenu des essoreuses ave de petites fourches en fer, on le met dans des vases e fer et on le porte tout fumant de vapeurs dans la caiss à eau qui n'est autre chose qu'une cuve de bois cerclé de fer, de 1m.22 de diamètre sur 1m.06 de profondeur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laquelle est percée de trous dans le fond et échouée sur le bord de la rivière. Un tuyau y amène un courant d'eau continu. On met dans cette caisse à eau une seule charge d'essoreuse à la fois, c'est-à-dire le produit de la transformation en coton-poudre de six livres de coton ordinaire, et cette charge y reste précisément le temps nécessaire pour l'essorage de la charge suivante. Cette immersion a pour but d'arrêter l'action chimique et le développement de la chaleur en même temps que d'entraîner les acides.

De la caisse à eau, les charges sont transportées dans une grande cuve d'environ 1m.22 de profondeur sur 3m.04 de long et 1m.83 de large, qui est traversée par un courant d'eau entrant d'un côté par le haut et sortant par le fond de l'autre côté. Le coton y reste pendant une journée (de 12 à 24 heures), celui qui y est placé pendant un jour de travail étant retiré le lendemain pour subir les opérations suivantes :

Essorages suivis de lavages. — Dans cette nouvelle série d'opérations, le coton passe successivement par quatre essoreuses et les cuviers correspondants. Mis dans la première essoreuse jusqu'à ce que l'eau cesse de couler, il va au deuxième cuvier, de là à la deuxième essoreuse, puis, de cette dernière au troisième cuvier et ensuite à la troisième essoreuse, enfin au quatrième cuvier et à la quatrième essoreuse.

Déchiquetage et mise en pâte. — Lorsque ces opérations sont terminées, on porte à la main les lots de coton-poudre dans des piles raffineuses identiques aux piles à papier, où le coton est déchiré, déchiqueté et mis en pâte. Il est ensuite porté dans de grandes cuves analogues à celles des piles, mais beaucoup plus grandes, où le mouvement de l'eau est produit par une roue à palettes, et d'où il sort à l'état de bouillie très-aqueuse. Cette bouillie est portée dans des essoreuses où elle se transforme en une pâte ferme, se moulant sur les doigts, qui contient une quantité déterminée d'humidité.

Pressage et moulage. — Il ne reste plus qu'à verser la pâte dans des moules où elle se débarrasse d'abord de la plus grande partie de son eau. Soumise ensuite à l'aide d'une forte presse hydraulique, à une pression de 600 à 650 kilogrammes par centimètre carré, elle se moule alors en galettes de diverses dimensions, cylindres d'amorce, cartouches, feuilles minces pour former par enroulement des cartouches de fusil de chasse, etc.

Propriétés du coton-poudre comprimé.—Les propriétés physiques et chimiques du coton-poudre, ainsi préparé par le procédé de M. Abel, ne diffèrent pas de celles du coton-poudre en flocons déjà indiquées plus haut.

Il y a lieu de signaler seulement qu'il est insoluble dans un mélange d'alcool et d'éther, et que cette propriété peut même être adoptée pour en fixer les conditions de réception.

La température de combustion peut être fixée à 172° et ce chiffre est adopté encore comme condition de réception.

Quant à la stabilité du coton-poudre comprimé, la commission instituée officiellement par le gouvernement anglais, sous la direction du général Sabine, adopta pour conclusions que la trituration et la mise en pâte du coton-poudre augmentent très-fortement sa résistance à la décomposition. En sorte que le coton-poudre comprimé d'Abel fut dès lors considéré en Angleterre comme un produit stable dont la conservation ne peut présenter aucun danger.

Des expériences faites par la Commission des substances explosives avaient même semblé prouver que la combustion du coton-poudre comprimé, même en grandes masses, ne pouvait donner lieu à une explosion.

Propagation du coton-poudre comprimé d'Abel.—Finalement, encouragé par les affirmations unanimes des chimistes, par les expériences officielles et aussi par l'expérience de plusieurs années écoulées sans aucun accident, le public s'était accoutumé à regarder le coton-poudre comprimé d'Abel comme pouvant être manié avec une parfaite sécurité. La fabrique de Stow-Market, où les frères Prentice exploitaient le procédé de M. Abel, était arrivée à une production considérable, tant pour le compte du gouvernement que pour le compte des particuliers, lorsque survint la catastrophe du 11 août 1871, le plus désastreux des accidents produits jusqu'alors par le coton-poudre.

Catastrophe de Stow Market. — Le vendredi 11 août 1871, vers deux heures et demie, une épaisse fumée s'éleva tout à coup au-dessus de l'usine de Stow-Market; puis une commotion violente ébranla toute la ville et fut suivie du fracas des vitres brisées, des tuiles et des ardoises arrachées des toitures.

Au moment de l'explosion, MM. Prentice étaient absents des ateliers, mais on put prévenir tout de suite M. Edward Prentice, l'un des associés, et son neveu, M. William Prentice, qui se portèrent rapidement sur les lieux pour tâcher de limiter la catastrophe. Les ateliers de fabrication étaient déjà détruits par l'explosion, et les hangars de séchage et d'empaquetage étaient en flammes. C'est en cet instant que MM. Edward et William Prentice, suivis de quelques autres personnes, se précipitaient vers les hangars pour en retirer les boites contenant les galettes de coton-poudre sec qui fournissaient aux flammes un nouvel aliment. Vainement on leur fit des observations sur les dangers d'une pareille opération : M. Edward Prentice, confiant dans les expériences faites par la Commission des substances explosives répondit que l'inflammation du coton-poudre ne suffisait pas pour amener son explosion, et il continua à attirer à lui les boîtes de galette à l'aide d'un bâton, tandis que son neveu les déposait à l'abri des flammes.

Tout à coup une de ces boîtes produisit une seconde explosion d'une violence extraordinaire. Cette seconde explosion, qui mit en pièces les deux MM. Prentice, se produisit trois quarts d'heure environ après la première.

Le nombre total des personnes tuées dans les deux explosions s'éleva à vingt-quatre et celui des blessés dépassa cinquante.

La quantité de coton-poudre qui a fait explosion dans les magasins et ateliers était d'environ treize tonnes; celle qui a fait explosion dans les hangars d'empaquetage n'était probablement que de quelques centaines de kilogrammes.

Reprise de la fabrication du coton-poudre comprimé. — Cet accident souleva une grande émotion dans le public, et le gouvernement anglais dut faire une enquête sérieuse sur ces causes.

Cette enquête, ainsi qu'une contre-enquête faite immédiatement pour plus de sûreté, établit que l'explosion avait été causée par la malveillance. Une certaine quantité d'acide sulfurique avait été ajoutée dans les échantillons de coton-poudre ayant subi déjà toutes les épreuves de réception, et il s'était produit une décomposition spontanée sous l'influence d'un temps très-chaud.

Les auteurs de cette action criminelle restèrent inconnus, en sorte qu'il peut rester quelque doute sur la valeur de cette explication. Quoi qu'il en soit, tous les chimistes entendus pendant pendant l'enquête et la contre-enquête, le professeur Abel, le docteur Odling, professeur de chimie à l'Institut Royal; M. Keates; le docteur Dupré, chimiste-arbitre dans le service médical du Conseil privé; enfin, M. Prentice, le propriétaire survivant de l'usine affirmèrent d'une manière formelle que le coton-poudre pur était parfaitement stable.

Aussi la fabrication du coton-poudre comprimé ne

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tarda pas à être reprise et elle a été poursuivie jusqu'à ce jour sans accident nouveau. Il faut signaler même que des quantités considérables de ce produit explosif ont été expédiées dans l'Inde et l'Australie, dans le courant des dernières années et que dans ces climats exceptionnellement chauds, on n'a pas signalé de décomposition spontanée. Ce qui permet, en somme, d'admettre la stabilité chimique du coton-poudre bien pur et bien préparé d'après le procédé Abel comme démontrée.

Coton-poudre imprégné d'eau. — Les essais et recherches faits à la suite de l'explosion de Stow-Market, amenèrent d'ailleurs dans la fabrication du coton-poudre, ou, pour mieux dire, dans son mode de conservation un perfectionnement important.

M. Abel est arrivé, en effet, à établir que le coton-poudre imprégné de 20 p. 100 d'eau pouvait être conservé à la seule condition de ne pas être en même temps exposé à la lumière, sans subir aucune altération. Or, dans cet état d'imprégnation, le coton-poudre peut se trouver accidentellement au sein d'un incendie même considérable, sans détoner et même sans s'enflammer. Des expériences nombreuses faites par une commission spéciale, présidée par le colonel Younghersband, de l'artillerie anglaise, ne laissent aucun doute sur ce point.

De plus, et c'est un point sur lequel nous allons revenir, le coton-poudre imprégné d'eau peut être employé sans dessication préalable.

En sorte que, finalement, du coton-poudre de bonne fabrication, conservé à l'état d'imprégnation, dans des caisses légères, présente une sécurité complète, ce qui résout complétement le problème, au point de vue militaire.

Coton-poudre nitraté. — Au point de vue des applications industrielles, M. Abel a pu résoudre également ce problème au moyen d'un produit nouveau qu'il appelle le coton-poudre nitraté. Ce produit est formé de pâte de coton-poudre qui est fortement comprimée après avoir été saturée de salpêtre. A poids égal, il donne des effets semblables et à volume égal des effets supérieurs au coton-poudre comprimé. Or, il a l'avantage d'être d'un prix de revient beaucoup moindre, ce qui en fait un explosif éminemment propre à figurer dans la pratique industrielle.

Mode d'emploi. — De même que la dynamite le coton-poudre comprimé ne peut être mis en jeu qu'au moyen du fulminate de mercure employé dans des capsules en cuivre le plus souvent. Dans le cas où il est employé à l'état humide, il faut de plus se servir du coton-poudre sec. Le mieux, dans ce cas paraît être de charger avec du fulminate de mercure des petits cylindres de coton-poudre comprimé sec, lesquels fonctionnent lors comme des capsules.

Comparaison du coton-poudre et de la dynamite. — a vu à l'article DYNAMITE les coefficients représent de la puissance de la nitroglycérine et du coton-po donnés par M. Berthelot:

Nitroglycérine.	939,000
Coton-poudre.	472,000

Il semble au premier abord que la nitrogycéri une puissance très-supérieure au coton-poudre. Ma faut considérer que la nitroglycérine ne peut être ployée à l'état pur, mais seulement à l'état de dilu (si l'on peut employer cette expression) sous form dynamite. Les dynamites les plus riches ne renfern ordinairement pas plus de 75 pour 100 de nitrogl rine. De plus, l'inflammation de la dynamite prés des difficultés assez grandes, et telles que l'on obt rarement dans la pratique le maximum d'effet qu peut produire, ainsi que l'ont signalé MM. Rou Sarrau.

Finalement, le coton-poudre comprimé Abel trouvé, dans des expériences comparatives faites beaucoup de soin par l'École de pyrotechnie mari de Toulon, équivaloir comme puissance à la dyna 75 pour 100 de bonne fabrication.

Avantages du coton poudre. — Dès lors, le co poudre comprimé Abel doit être regardé comme s rieur dans la pratique à la dynamite.

En effet, il offre les avantages suivants:

1° Il peut être conservé dans les magasins à l' humide en toute sécurité;

2° Il est toujours prêt à l'emploi, tandis que la namite a l'inconvénient de rester gelée un long te dans nos climats et de ne pouvoir être mise alors œuvre sans une perte de force considérable ou une nipulation difficile et même dangereuse;

3° Il n'est pas vénéneux, ce qui est fort impor pour un produit à mettre dans la main des ouvrier

En Angleterre, l'emploi du coton poudre compr Abel a pris un très-grand développement à peine a un moment par la catastrophe de Stow-Market, laqu n'a été considérée que comme un de ces inconvéni impossibles à éviter dans la fabrication des expl puissants. En France, où l'attention s'est portée particulièrement sur la dynamite, il n'en est pa même. Cependant, il importe de signaler que la ma fait un grand usage du coton-poudre comprimé po chargement des torpilles, et que le génie, à la suite sais récents, le classe bien au-dessus de la dyna comme explosif de guerre.

L. FAUCHER

R

RASOIR. La fabrication d'un rasoir de qualité supérieure exige beaucoup d'habileté chez le fabricant. La bonté de la matière n'est point la clause essentielle, absolue : la manière d'ouvrer cette matière, et la forme surtout, sont des éléments de succès de première importance. La matière doit toujours être de première qualité ; mais, par là, nous n'entendons pas dire qu'il faut que l'acier soit de nature à acquérir le plus haut degré possible de dureté ; la qualité essentielle qu'il doit présenter, c'est d'avoir du corps, d'être liant. L'acier fondu peut, par un bon forgeage, devenir liant ; s'il n'est pas forgé, ses molécules ne sont pas assez refoulées ; c'est pourquoi nous n'accordons pas de confiance aux rasoirs coulés, souvent essayés ; l'acier prend du corps p martelage, et nous conseillerons toujours de le écrouir, si on veut produire de bonnes lames, en a soin de ne chauffer juste que ce qu'il faut pour l'acier ne devienne point pailleux et ne se fendille Quant à la forme, elle est tellement importante q meilleure matière ne produira jamais qu'un mau rasoir si cette forme n'est pas bien appropriée aux tions que doit remplir l'instrument. Il y a une cor dance à établir entre l'épaisseur du dos de la lame largeur de cette lame, hors de laquelle on n'obtie jamais de bons résultats, et c'est justement cette cordance qui, la plupart du temps, est abandonn

EFERUS - Recherche & Classification numérique

hasard, au coup d'œil. Un rasoir coupe de deux manières distinctes, ou par le moyen de l'évidement de la lame, ce qui est le moyen le moins sûr et le moins durable, ou, ce qui est préférable, au moyen d'un biseau formé de chaque côté de l'extrémité du tranchant par la pierre douce plate. Les rasoirs constamment repassés sur une meule de petit diamètre coupent par le premier de ces moyens ; mais alors leur entretien est difficile, parce qu'un changement notable dans le diamètre de la meule apportera de grandes différences dans leur manière de couper. On conçoit qu'avec un très-petite meule l'évidage sera plus profond et le tranchant plus fin qu'avec une meule de grand diamètre. Plus le rasoir sera dur, plus il faudra que le diamètre de la meule soit grand ; car, dans ces infiniment petits, il arrive que l'acier trempé dur s'égrène avec une facilité étonnante ; rien n'est visible à l'œil, dont la force ne s'étend pas aussi loin, mais avec une forte loupe le dommage devient appréciable. On est tout étonné de ce que le rasoir ne coupe pas, ou coupe *durement*, et cependant la cause est facile à concevoir : l'extrémité du taillant est brisée. Une petite meule, en rendant l'évidage plus profond, affaiblit le taillant. Il est donc difficile d'entretenir coupants les rasoirs qui ne coupent que par l'évidage, l'extrême fil en est festonné. Lorsqu'on le donne à repasser soit au même ouvrier, soit à d'autres, le diamètre de la meule est changé, et il en résulte sinon absolument, du moins rationnellement et presque certainement de graves inconvénients. Aussi les gens qui emploient beaucoup de rasoirs, les barbiers, repassent-ils eux-mêmes leurs rasoirs sur la pierre plate, qui produit la seconde manière de couper au moyen de deux biseaux, et ne portent leurs rasoirs aux couteliers que lorsque l'évidage commence à disparaître. Cette seconde manière est, à notre avis du moins, la meilleure : nous allons l'examiner.

La pierre employée ponr le repassage des rasoirs est d'un grain très-fin, assez souvent elle est mi-blanche, mi-couleur ardoise ; c'est toujours de la partie blanche dont on se sert, non qu'elle ait plus de mordant, mais parce que sa couleur permet de distinguer plus facilement les clous ou les dragons qui peuvent s'y rencontrer et qui doivent la faire rejeter, ces parties dures pouvant ébrécher profondément le rasoir, et aussi parce que les parties de morfil qui se détachent de la lame y deviennent plus visibles. Ces parties doivent être enlevées avec soin aussitôt qu'elles apparaissent. car elles font également des brèches dans le taillant. On doit toujours tenir cette pierre bien dressée et plutôt bombant dans le milieu que creuse. Quand elle se déforme, on la redresse en la frottant sur le côté d'une meule de grès. Si, lorsque la pierre est bien dressée, on pose dessus à plat la lame du rasoir, on s'apercevra, en regardant de côté, qu'elle ne porte que par deux points, l'arête du dos d'une part, l'extrémité du taillant de l'autre ; lorsqu'on promènera la lame sur la pierre humectée d'huile ou d'eau de savon, on verra son effet se manifester sur la lame aux deux points de contact, la vive-arête du dos sera enlevée, il se formera un biseau au taillant. Or, ce biseau sera plus ou moins allongé, selon que le dos de la lame sera plus ou moins épais relativement à sa largeur. Si la lame est étroite et le dos épais, le biseau sera très-court, 1/4 ou 1/2 millimètre environ ; si la lame est très-large et le dos mince, ce biseau pourra aller jusqu'à 2 millimètres. Or, dans le premier cas, le rasoir ne coupera pas, dans le second il coupera très-finement, mais il ne résistera pas ; il s'ébréchera dès les premiers coups, s'il est trempé sec ; il refoulera s'il est trempé mou, et le fil pliera et se rabattra. Il faut, pour que le taillant ne soit ni trop obtus ni trop fin, que le biseau ait 1 millimètre 1/4, 1 millimètre 1/2 au plus. On obtiendra cet effet sur une lame dont le dos aura 4 millimètres d'épaisseur sur 16 à 18 de largeur, dont l'évidage aura été fait sur une meule de moyen diamètre.

Si donc, comme cela a toujours lieu, la lame va en décroissant de largeur, il faudra que le dos aille également en décroissant d'épaisseur. Un coutelier de Paris, pour assurer la pente convenable de la lame sur la pierre et pour dispenser de l'évidage, a fait des lames sans dos saillants qui s'engagent dans un dos rapporté d'une épaisseur calculée sur la largeur des lames. Ce dos de rapport est rainé dans toute sa longueur. L'invention est ingénieuse : le dos rapporté doit s'user sur la pierre et perdre de son épaisseur à mesure que la lame perd de sa largeur. Ces rasoirs pouvant être donnés au modique prix de 1 fr. 25 c., parce qu'il entre moins d'acier dans la construction de la lame, qui est plate, mince et non évidée. Le dos rapprté est en zinc ou en étain.

Nos couteliers ont grand tort de croire qu'ils pourront compenser par la trempe la mauvaise qualité de leur matière première, en employant des céments et autres moyens ; ils ont contracté cette habitude lorsque l'acier était très-cher, et depuis, par imitation, par tradition, ils suivent cette mauvaise méthode. Les rasoirs de fabrique française sont en général trop durs ; cela vient et de la trempe, qui est trop forte et qu'ils n'osent point assez faire revenir de peur de rendre l'acier trop mou, et de ce qu'ils se servent de ces aciers à lime qui sont très-durs, mais qui ont peu de corps ; et puis, nous devons le dire, c'est bien aussi la faute des consommateurs, qui ne savent point entretenir leurs rasoirs ; ils rejettent souvent, comme ne valant rien, des instruments qui, placés entre de meilleures mains, deviendraient très-bons. On voit certaines personnes vanter outre mesure leurs rasoirs; elles estiment qu'ils sont supérieurs à tous les autres, quoique cependant assez souvent ils n'aient rien d'extraordinaire, mais elles en ont fait une étude sans y penser; elles connaissent par routine la pente des biseaux convenable à la nature de l'acier, convenable à sa trempe, et ces mêmes personnes attribuent à la qualité les avantages qu'elles retirent de l'habitude et du bon entretien.

Quant aux cuirs dont on se sert pour adoucir le fil des rasoirs, nous ne nions pas que certaines poudres peuvent avoir de l'influence, cependant nous croyons que le charlatanisme exploite en grande partie les recettes vendues au public confiant. Le rouge d'Angleterre, la pierre du Levant réduits en poudre impalpable et saupoudrés sur des cuirs imbibés d'huile peuvent bien adoucir un peu le tranchant; mais il ne faut pas perdre de vue que l'acier des rasoirs est fin et trempé dur, par suite l'usure est minime si même elle n'est point tout à fait nulle. L'effet principal du repassage sur le cuir est de redresser le fil, et aussi, lorsque le cuir a longtemps servi et qu'il est pour ainsi dire recouvert d'un détritus d'acier extrêmement divisé, de donner un poli, un brillant aux biseaux qui ne peut tenir lieu d'un repassage, mais qui peut rendre l'action de couper un peu plus douce.

PAULIN DESORMEAUX.

RELIURE. *Embottage anglais.* — *Toiles gaufrées.* Les Anglais ont renoncé aux livres brochés, et tous les ouvrages sortent de chez les éditeurs couverts en toile. Cet exemple tend à être imité partout, en observant les conditions du bon marché, d'ouverture facile du volume, du non rognage, qui rendent commode la lecture du livre neuf, et n'empêchent pas de le couvrir plus tard d'une plus riche reliure, si on le désire.

La couverture complète est préparée d'avance, c'est-à-dire les cartons réunis et recouverts de toile.

Avec une presse puissante on écrase d'un coup les parties qui doivent faire ornement, on dore d'un seul coup tout le titre gravé sur une pièce unique de cuivre.

D'autre part on coud les cahiers de l'ouvrage sur ruban, et on le presse au laminoir. Les bouts des rubans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ont été longtemps simplement collés sur les cartons et maintenus par les gardes collées par-dessus. Ce système insuffisant, a été complété par l'emploi d'un gros canevas maintenu sur le dos par un papier peu épais qui passe dans ses mailles, appliqué avec de la colle-forte, maintient parfaitement les cahiers des livres et les fils du canevas ; enfin celui-ci se colle sur les cartons en même temps que les rubans. Le dos est très-adhérent, le collage très-solide et le livre s'ouvre avec toute facilité. Les tranches sont enfin usées pour que le livre n'ait pas besoin d'être usé, et les feuilles par trop grandes raccourcies.

Quant il est bien exécuté cet emboitage, peu coûteux, est d'un bon usage.

REMORQUE. REMORQUAGE. — Se dit de la traction d'un bateau à l'aide d'un cordage. Elle s'opère de diverses manières que nous allons passer en revue.

Halage. — Le halage se dit de la traction exercée quelquefois par des hommes placés sur la rive et attelés au cordage. Sauf sur quelques canaux sans courant, on effectue en général ce travail pénible, à l'aide forts chevaux. Le cordage doit être long pour que l'obliquité de la traction, dont l'effet nuisible est annulé par l'action du gouvernail, soit la moindre possible. Jusqu'à la vulgarisation du bateau à vapeur, c'était par le halage avec des chevaux qui s'effectuait, à la remonte, toute la navigation commerciale sur les fleuves.

Point fixe. — Il semble naturel de fixer le cordage à terre à un point fixe, à un arbre, à un pieu, et de remorquer le bateau à l'aide d'un treuil fixé sur celui-ci. C'est ce qui s'est fait souvent pour des passages difficiles, dans des points où le courant à remonter était très-rapide, mais le procédé est fort lent et fort dispendieux, si on veut l'appliquer tout le long d'une remonte.

En 1732, *le maréchal de Saxe* présenta à l'Académie le modèle d'un remorqueur à manége dont le dessin fut inséré dans le *Recueil des machines et inventions* approuvées par l'Académie.

Remorqueurs. — On trouve dans l'ouvrage de Bernouilly la description d'un bateau remorqueur composé de quatre roues motrices calées sur l'axe de deux treuils. Deux chaînes s'enroulent sur ces treuils et s'amarrent au rivage. Les roues motrices à aubes planes, recevant l'impulsion de l'eau, entraînent dans leur mouvement de rotation les treuils et leurs chaînes. L'une s'enroule et l'autre se déroule ; la première étant appliquée à une de ses extrémités au convoi à remorquer, et transmettant la force d'impulsion par l'intermédiaire de la tension de la corde. Quand le convoi était arrivé à destination, le bateau remorqueur revenait à sa première position en changeant le point d'attache des cordes, et forçant l'une à s'enrouler quand l'autre se déroulait. La vitesse imprimée au bateau est, dans ce cas, proportionnelle à celle du courant, et toujours beaucoup moindre. On trouve par le calcul qu'il faut, pour le maximum, que la vitesse absolue du centre des aubes soit le tiers de celle du courant.

Bourdon a essayé d'appliquer à la navigation du Rhône des bateaux remorqueurs appelés *aqua-moteurs*, qui sont fondés sur les mêmes principes que les précédents. Il remplaçait les quatre roues motrices par une seule d'un plus grand diamètre, et dont les aubes présentaient à l'eau une plus grande surface. Cette roue était placée entre deux bateaux parallèles et très-allongés, reliés entre eux, et maintenus à une distance invariable par des arcs-boutants et des tirants transversaux. Ce système formait entonnoir, et maintenait dans cette espèce de coursier artificiel un changement dans le niveau de l'eau ; cette roue motrice communiquait le mouvement directement à un treuil dans le sens du courant, et par l'intermédiaire d'engrenages, elle transmettait un mouvement inverse à un autre treuil. Les deux chaînes, appliquées toutes deux à deux points fixes, s'enroulaient en dessous sur le premier treuil, et en dessus sur le second, en sorte que la première tendait à s'enrouler pour remonter le courant, tandis que l'autre se déroulait en s'appuyant sur des poulies de support. Ces bateaux remorqueurs étaient échelonnés de distance en distance sur le Rhône, et profitaient de sa vitesse, qui est quelquefois de 4 mètres, pour remonter les bateaux, chacun d'eux, après avoir remonté leurs charges, descendait le courant en attachant les chaînes en sens inverse pour aller chercher un autre convoi.

Les essais ont été loin d'offrir les résultats avantageux qu'on en attendait. Les principaux inconvénients que l'on ait reconnus sont : la dépense considérable qu'exigent les cordages et les hommes nécessaires à la manœuvre, l'extrême lenteur du mouvement, puis les difficultés provenant des variations que peut présenter la vitesse des courants qui entraînent de bien plus grandes variations dans les tensions de la corde et qui peuvent amener sa rupture ; en sorte qu'il faudrait trouver le moyen de faire varier la vitesse relative des aubes. Les courants variables peuvent même se trouver tellement rapprochés, que le convoi remorqué se rencontre dans des courants rapides pendant que la roue à aubes est encore dans un courant animé d'une faible vitesse ; il y a alors, par conséquent, augmentation de la résistance, et diminution de la puissance. On comprend alors qu'il peut arriver une limite où le système se trouve complétement arrêté.

En 1811, Thilorier présenta à la Société d'encouragement un appareil remorqueur qu'il appellait *radeau plongeur*. Il était fondé sur le même principe que les aqua-moteurs dont il vient d'être question ; seulement, l'auteur avait remplacé les aubes par une surface beaucoup plus grande, afin d'augmenter la puissance du courant. En 1817, une expérience fut faite sur la Seine, à Paris ; entre le radeau et le bateau à remorquer une poulie était placée à demi dans l'eau, une corde s'enroulait en dessus et en dessous du diamètre horizontal, et était attachée à l'une des extrémités au radeau, de l'autre au bateau. Cette corde doit avoir la longueur au moins de l'espace à parcourir. Dans l'expérience, elle avait 1,600 mètres. Ces radeaux placés de distance en distance, descendaient le courant et utilisaient sa vitesse à faire monter le bateau ; puis pour revenir au point de départ, on relevait l'un d'eux de sa position verticale pour diminuer sa résistance, et on l'amarrait au câble descendant pendant qu'un second radeau agissant sur tout le système faisait revenir le bateau, aussi bien que le radeau lui-même. La longueur du radeau était de 13 à 14 mètres sur $2^m,30$ de hauteur environ. Il était en sapin et allégé par deux futailles aux deux extrémités pour faciliter la flottaison. Il était fixé à une barque par quatre cordes telles qu'on pouvait, en les larguant ou en les raidissant, lui faire prendre toutes les positions par rapport à la verticale, et augmenter ou diminuer de cette manière sa résistance au courant de l'eau. Quand on voulait arrêter son action, on lui faisait décrire un quart de cercle pour le faire flotter et le conduire en allége à sa nouvelle destination.

Ce radeau plongeur, assez simple et peu dispendieux, présente une grande difficulté de manœuvre dans les quelques cas où le système est praticable.

Touage. — Depuis qu'on a su construire de puissants bateaux à vapeur, on s'en est servi pour la remorque. Dans les ports notamment, où l'entrée est souvent presqu'impossible aux navires à voiles par beaucoup de vents, ce sont des remorqueurs à vapeur qui vont chercher les navires en mer pour les conduire dans le port.

La remorque sur les fleuves s'exécute de la même manière, toutefois elle est assez coûteuse, l'utilisation de la puissance motrice par les roues ou l'hélice étant assez imparfaite, d'où des frais assez grands, surtout dans les parties où de faibles profondeurs d'eau ne per-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mettant que l'emploi d'appareils de puissance médiocre, la remorque ne peut être donnée qu'à un ou deux bateaux à la fois. Aussi quand le tonnage des transports effectués est considérable, et permet par suite des frais importants d'établissement, on augmente le rendement des machines motrices, en employant le système suivant, espèce de touage à point fixe sans déplacement du cordage.

Touage sur chaîne noyée. — Une chaîne placée au milieu du thalweg, suivant la direction de la ligne à parcourir, fait deux tours sur un treuil porté sur un bateau et actionné par une machine à vapeur. La chaîne supportée sur des poulies, parcourt le pont du bateau; les poulies extrêmes sont mobiles, de manière qu'en les dirigeant on modifie la direction du bateau.

La chaîne, reposant sur le fond du lit sur une longueur indéfinie, offre une résistance considérable, romprait évidemment bien avant de glisser. Aussi les trains remorqués prennent-ils des dimensions très-grandes, et pour une navigation active ce système est-il le plus économique de tous.

Le premier appareil pour le touage des bateaux, par une chaîne sans fin immergée dans la rivière et par un remorqueur à double gouvernail, a été installé à Paris, entre Passy et le pont des Arts, en juillet 1839, grâce à l'insistance éclairée de Latour-Dumoulin, inspecteur de la navigation de la Seine. En mai 1845, un appareil semblable fut autorisé entre le pont de la Tournelle et le Port-à-l'Anglais, et le halage par des chevaux dans la traversée de Paris fut supprimé à cette époque. En 1854, le service du toueur à vapeur à chaîne immergée fut concédé à M. Godeaux, depuis l'écluse de la Monnaie jusqu'à Pontoise. En 1856, il fut établi entre l'écluse de la Monnaie et le pont de Montereau. A partir de ce moment, cette industrie nouvelle était créée, et elle se répandit rapidement sur les canaux de Caen à la mer et de Saint-Quentin, le canal Saint-Martin à Paris, le canal de Bourgogne, etc., etc.

A l'étranger, son extension fut plus rapide encore. L'Allemagne se sert de ces appareils, sous un autre nom que celui de l'inventeur, sur l'Elbe, le Rhin, le Danube, l'Oder, le Mein, la Vistule, etc.

La Belgique en a fait une large application à ses principales lignes de navigation. En Russie, on commence à s'en occuper, mais, chose singulière, on y emploie encore et depuis longtemps, un toueur à manége tout à fait semblable à celui du maréchal de Saxe.

REVOLVER. Multiplier le nombre de coups, chargés à l'avance, qu'il est possible de tirer avec une même arme, c'est augmenter beaucoup sa puissance. Il est clair toutefois qu'on n'y peut songer lorsqu'on emploie des armes auxquelles on donne, dans leur plus grande simplicité, le maximum du poids admissible dans la pratique, pour avoir la plus grande portée possible. C'est donc naturellement pour les pistolets, dont le poids est assez limité, que l'on a pu reprendre des essais d'armes à nombre de coups multipliés que l'on rencontre dans les principaux musées d'artillerie et qui ont été assez nombreux lors de l'invention de la poudre à canon. Ce ne sont pas toutefois les besoins de la grande guerre, ni un développement de la tradition qui ont donné naissance aux armes dont nous voulons parler. C'est en Amérique, pour les besoins des pionniers, souvent en lutte avec les sauvages, que se sont multipliés des essais que l'Europe a surtout connus sous la forme perfectionnée que leur avait donnée leur principal promoteur le colonel Colt. Le gouvernement des États-Unis regardait aussi comme un problème très-important l'invention d'une arme à plusieurs coups, parce que le mode d'attaque habituel aux cavaliers indiens consistait à fondre en grand nombre sur de petits détachements de soldats, à essuyer leur feu et à les accabler pendant que la nécessité de recharger leurs armes les laissait presque sans défense.

La première disposition à laquelle il parvint consistait à unir un certain nombre de longs canons tournant autour d'une broche par l'effet du mouvement qui armait la platine, comme dans les revolvers actuels; mais l'arme ainsi disposée était si massive et si pesante, que Colt, qui ignorait les essais faits depuis longtemps en Europe, reconnut l'avantage d'employer un seul canon et une culasse tournante à plusieurs tonnerres. Il prit, en 1835, une patente pour cette disposition. Cependant les armes qu'il construisit d'abord se composaient d'un grand nombre d'organes mécaniques dont l'assemblage était compliqué, et l'on y reconnut bientôt plusieurs inconvénients pratiques. Ses premiers essais avaient tous été faits sur des armes réduites aux seules pièces nécessaires pour l'exécution des expériences. Dans cet état, il n'existait pas de causes pour la communication latérale du feu; mais lorsque l'on posa derrière le tambour tournant une masse métallique destinée à subir l'effort du recul, et devant les chambres une plaque dont l'objet était d'en couvrir les embouchures, le feu se trouvant concentré entre ces pièces et le tambour se communiqua d'une capsule aux capsules les plus proches, et quelquefois même la flamme, s'étendant sur les côtés devant le tambour, alla faire détoner les charges voisines.

Ces explosions intempestives ont donc obligé d'établir des cloisons entre les cheminées pour empêcher l'inflammation de s'étendre; mais cette addition n'a obtenu qu'un succès incomplet. On avait encore à redouter l'explosion provenant de l'extension de la flamme entre la base du canon et l'extrémité du tambour. Pour obvier à cet inconvénient, on a supprimé la plaque de métal qui était attachée au canon et qui formait un recouvrement sur les tonnerres. On a ainsi diminué le danger sans le supprimer absolument, jusqu'à ce qu'enfin l'auteur ait imaginé de ménager, à l'orifice de chaque chambre, à la paroi intérieure, un petit biseau destiné à porter au dehors, par réflexion, la flamme qui s'étendait latéralement devant les bouches des tonnerres, et qui, frappant maintenant obliquement la surface du biseau, se trouve projetée au dehors loin de la charge.

Le pistolet-revolver de Colt est représenté, fig. 3710. Il se compose essentiellement d'un canon A, ouvert par ses deux extrémités, et d'un tambour B, dans lequel on a foré six chambres *c*, *c*, destinées à contenir les charges. Ce tambour tourne autour de la broche en fer C, et porte six échancrures *a*, *a*, qui reçoivent les cheminées des chambres. Par conséquent, entre ces échancrures, il se trouve six renflements *b*, qui empêchent l'inflammation de se propager d'une capsule aux capsules voisines. Chacun de ces renflements porte une pointe, sur laquelle on abat le marteau du chien, lorsqu'on veut transporter le pistolet. Cette disposition rend l'arme plus sûre, puisque l'on n'a point à craindre qu'une chute ou un choc vienne déterminer l'explosion, ce qui pourrait avoir lieu si le marteau reposait sur la capsule.

Derrière le tambour se trouve le corps de platine, composé en partie d'un bloc hémisphérique dont la partie plane s'appuie presque contre la culasse du tambour B en ne laissant que le jeu nécessaire pour la facilité du mouvement. Ce bloc n'a pu être qu'indiqué en partie dans la figure par l'arc *b*, qui forme l'intérieur du chien.

Le chien D se meut librement dans une entaille pratiquée au milieu du bloc hémisphérique; on l'arme, comme à l'ordinaire, avec le pouce, et lorsqu'il s'abat, il vient frapper la capsule sur la cheminée de la chambre qui lui fait face et déterminer l'explosion.

Lorsqu'on le relève, le tambour exécute un douzième de révolution pendant que la gâchette parvient au cran

EFERUS - Recherche & Classification numérique

du repos, et un autre douzième tandis qu'elle passe de ce cran à celui du bandé, en sorte qu'il suffit d'armer le pistolet, après l'avoir déchargé, pour amener devant le marteau la chambre et la cheminée voisines de celles qui viennent de faire feu. Si on arrête l'arme au repos, on voit, au contraire, en face du chien, une des pointes dont nous avons parlé ; et, en dégageant le chien du cran d'arrêt, on peut l'abattre doucement sur cette pointe et fixer ainsi le tambour.

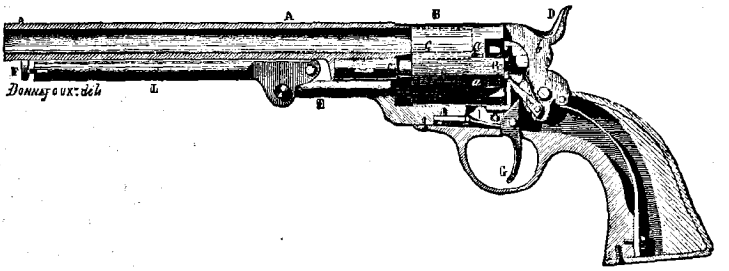


Fig. 3710.

Pour charger l'arme, on amène le chien au repos, et l'on peut alors faire tourner le tambour avec la main. On place donc successivement dans chacune des six chambres la poudre et la balle qui doit être assez grosse pour n'entrer que de force. Afin de chasser ainsi la balle dans le tonnerre, on dégage le levier-baguette L de l'arrêtoir à ressort F qui en retient l'extrémité, et on l'éloigne du canon, ce qui pousse en avant la broche articulée E. Cette broche vient s'appuyer sur la balle et la force de pénétrer dans la chambre du tambour.

Après avoir répété cette opération pour les six chambres, on relève le levier-baguette L et on le fixe de nouveau au moyen de l'arrêtoir F.

Quand aux capsules, on les place sur les cheminées par une échancrure ménagée dans le côté du bloc hémisphérique qui fait partie du corps de platine.

En examinant attentivement les pièces de la batterie, on peut s'expliquer facilement les divers effets que nous venons d'exposer.

On voit, en effet, que le chien D, terminé en bas par une noix, reçoit successivement dans ses deux crans l'extrémité de la détente-gâchette G, poussée constamment contre la noix par le ressort H. Or le profil de cette noix est tel, qu'à mesure qu'on relève le chien, la détente-gâchette tourne autour de son axe de rotation, assez pour permettre au ressort H de venir peser sur la goupille qui forme une saillie sur l'arrêtoir I. Cet effet n'est pas sensible lorsque le chien n'est encore parvenu qu'au repos, et l'on peut alors tourner le tambour avec la main ; mais, quand le chien est armé, la pression du ressort fait pénétrer l'extrémité de l'arrêtoir dans une des six entailles *a*, *a*, creusées sur la périphérie du tambour qui se trouve ainsi solidement fixé, jusqu'à ce que le coup soit parti.

Quant au mouvement de rotation du tambour, il est produit par le levier K que l'on voit fixé sur le côté de la noix du chien D. Lorsque l'on élève le chien, ce levier tourne autour de son axe, et par son autre extrémité engagée dans les dents d'un rochet R, taillé derrière le tambour, pousse ce tambour de gauche à droite, en le forçant d'exécuter successivement deux douzièmes de révolution, comme nous l'avons dit, pendant que la détente-gâchette parvient jusqu'au cran du bandé.

Une petite entaille pratiquée sur la tête du marteau sert, conjointement avec le guidon, à diriger la visée, lorsque le pistolet est armé.

En 1837 éclata la guerre de la Floride où les Indiens retirés dans leurs déserts bravèrent longtemps avec succès, quoiqu'en petit nombre, les troupes envoyées contre eux par les États-Unis. Ces sauvages se servaient de la carabine tout aussi habilement que leurs ennemis, qui ne faisaient pas de progrès. Dans cette situation fâcheuse, le gouvernement s'adressa à M. Colt qui se transporta sur le théâtre de la guerre avec une certaine quantité d'armes à plusieurs coups. Ces armes, malgré l'état d'imperfection où elles étaient encore, furent trouvées si efficaces, que le gouvernement en demanda d'autres qu'il mit entre les mains des éclaireurs commandés par le général Harney, et qui frappèrent de terreur les Peaux-Rouges. Ces sauvages, en effet, lorsqu'ils virent que leurs ennemis faisaient feu six fois de suite sans abaisser les armes pour les recharger, comprirent que leur tactique était inutile et mirent fin à la lutte en se soumettant.

Lorsque en 1847 commença la campagne contre le Mexique, le général Taylor, qui avait apprécié les revolvers dans la Floride, en fit demander d'autres à l'auteur, et un rapport constate que les chasseurs du Texas qui en furent munis marchèrent droit sur les villes et les hameaux des Mexicains, et surmontèrent toutes les résistances.

Colt employa bientôt des machines-outils pour les huit dixièmes de sa fabrication, et il obtint ainsi beaucoup plus d'économie, d'exactitude et d'uniformité. Le remplacement des pièces hors de service est également beaucoup plus facile.

Les appareils nécessaires pour cette fabrication, qui réclame un grand nombre de travaux distincts, paraissent d'abord compliqués, et ne se composent cependant que d'éléments fort simples qui répètent constamment les mêmes opérations.

Comme toutes les autres parties, le corps de platine est forgé dans des matrices qui le forment d'un seul coup. Les machines commencent par forer et fraiser le centre du bloc hémisphérique où l'on fixe solidement la broche C, préparée d'avance, dont on a fileté l'extrémité inférieure, et sur laquelle on a creusé une rainure héliçoïde destinée à recevoir de l'huile et à la retenir. Cette broche fournit une base pour toutes les autres opérations, et pour le montage de toutes les autres pièces. Le dressement et le forage du bloc hémisphérique, qui reçoit l'effort du recul, le creusement des cavités centrales, la taille des cannelures et des orifices, le plangage de toutes les parties plates, l'exécution des surfaces courbes, préparent le corps de platine à passer entre deux calibres d'acier trempé, à travers lesquels tous les trous sont percés, alésés et taraudés, en sorte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'après avoir subi vingt-deux opérations distinctes, le corps de platine est prêt pour l'achèvement manuel, travail qui consiste seulement dans l'enlèvement des ébarbures, l'adoucissement des arêtes, la trempe et le dernier poli.

Le tambour B est tiré d'une barre d'acier fondu massif; on le forge, on le tourne, on le creuse, on le taraude, on le polit et on le grave, puis on y fore les tonnerres sur une machine, ce qui assure la parfaite uniformité du travail.

Le canon est aussi pris dans une barre d'acier fondu; on le forge plein; puis, après l'avoir foré et calibré, on le soumet à différents appareils qui le dressent et y façonnent la saillie qui sert à le fixer au moyen d'une goupille; on le taraude ensuite et on le raye intérieurement au moyen d'une machine qui s'ajuste d'elle-même et qui y trace une hélice dont le pas se resserre de plus en plus à mesure que le filet s'éloigne de la culasse.

Revolver Adams. — Adams a fabriqué un autre revolver qu'il a fait breveter, et qui porte un caractère particulier et différent; car la pression du doigt sur la détente suffit pour armer d'abord le pistolet, puis pour faire partir le coup, tandis que le révolver Colt doit être armé six fois par un mouvement spécial pour que les six charges fassent explosion. Il y a donc là une simplicité et une rapidité de tir fort avantageuses.

Les partisans du système Colt ont répondu que cette disposition avait déjà été essayée et abandonnée en Amérique; qu'elle exige un ressort faible mû par le faible effet du doigt pour faire tourner le tonnerre et sujet à manquer promptement de puissance, si l'on veut que la détente ne soit pas très-dure; enfin qu'elle est défavorable à la justesse du tir, lorsque le ressort est assez fort. Ces inconvénients n'empêchent pas ce système d'être recherché pour les armes qui ne sont destinées qu'à la défense personnelle.

Revolver Devisme. — Devisme, arquebusier à Paris, a inventé un genre de pistolet revolver qui offre diverses dispositions particulières et heureusement combinées.

Le revolvers semblent *à priori* devoir être des armes très-défectueuses, au point de vue de la portée et au point de vue de la justesse du tir. Toutefois, si l'on ne peut espérer obtenir d'une arme, dont le canon est partagé en deux parties une justesse, absolument parfaite, il était assez naturel de penser qu'il était possible de la rendre assez satisfaisante en lui appliquant tous les perfectionnements apportés à la carabine par par MM. Delvigne, Tamisier, etc., etc., qui ont rendu cette dernière arme si précieuse. C'est cette idée parfaitement juste qui a guidé M. Devisme et lui a inspiré l'idée de placer une tige, formée dans chaque chambre par le prolongement de la cheminée, sur laquelle il force par percussion sa balle cylindro-conique.

Dans ces conditions, la balle, recevant une vitesse considérable de l'inflammation d'une quantité de poudre suffisante (plus grande que celle qu'on emploierait pour un pistolet ordinaire), vient traverser le canon rayé en hélice et conserve une vitesse considérable malgré son forcement, tout en prenant un mouvement de rotation autour de son axe qui assure la justesse du tir.

Dans des expériences comparatives que nous avons faites, la balle s'est rarement écartée de plus de 10 à 15 centimètres de la mouche (le tireur étant assez habile); elle a traversé à 25 pas trois planches de sapin de plus de deux centimètres d'épaisseur chacune, tandis que, avec les mêmes charges, les balles des revolvers Colt et Adams n'en ont traversé que deux. Il est juste de dire que nous avons employé pour le tir des revolvers du colonel Colt des balles sphériques, qu'on peut employer aussi avec cette arme des balles cylindro-coniques, mais jamais dans les conditions de la carabine à tige. En effet, il ne parvient à forcer la balle dans le canon, sans écraser la poudre, qu'en lui donnant une forme conique; mais, malgré l'ingénieuse combinaison de son levier pour bourrer, il ne peut écraser la balle (supposée fondue avec une précision mathématique), de manière à la faire adhérer très-fortement, de telle sorte que ce pistolet se décharge fréquemment quand on le place dans les fontes d'un cavalier, inconvénient grave dans un des cas où l'application de ces armes a le plus d'avenir.

Les diverses parties des revolvers Devisme sont combinées en raison de la nécessité de faire le chargement de la balle par percussion, et en vue de remédier à quelques inconvénients révélés par la pratique de ce genre d'armes.

Pour charger le pistolet, on le démonte en tournant une clef qui permet de retirer le canon, monté sur un axe central; puis on retire le tambour qui glisse sur le même axe. Rien de plus facile que de charger celui-ci, d'y déposer la poudre, y entrer les balles, les forcer en frappant avec la crosse du pistolet sur une petite étampe cylindrique portant en creux la forme de l'extrémité de la balle (et montée à vis sur la crosse pour qu'on l'ait toujours sous la main). On y place enfin les capsules; puis, faisant glisser les deux pièces sur l'axe et serrant la clef, le pistolet est prêt à faire feu.

On ne peut se dissimuler qu'il n'y ait quelque chose de fâcheux dans cette obligation de démonter le pistolet en trois pièces pour procéder au chargement, mais il y a des compensations à cet inconvénient, même en supposant qu'on puisse charger dans les conditions indiquées ci-dessus sans cette précaution; nous voulons parler de l'impossibilité pour les capsules d'abandonner les cheminées et de la grande rapidité du chargement. Toutefois ce dernier avantage n'est pas de très-grande importance, pas plus que l'inconvénient du démontage dont nous avons parlé n'est grave, parce qu'avec ses six coups, le revolver n'est pas une arme à recharger continuellement en présence de l'ennemi. Aussi on admettra facilement que la pratique puisse donner toute raison à un système comme celui dont nous parlons, s'il est bien établi dans ses détails. Sous ce rapport encore, le revolver de M. Devisme offre beaucoup d'intérêt.

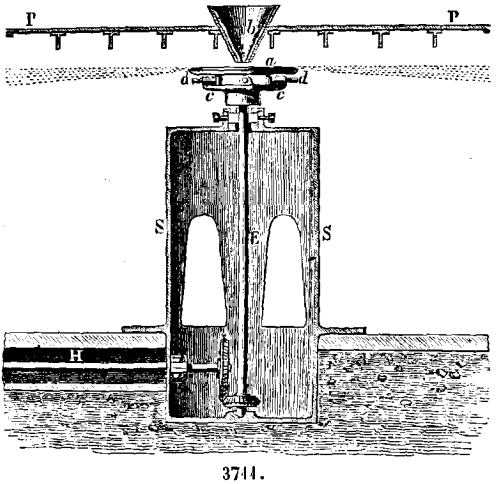
Revolver Lefaucheux. — Les inconvénients des soins nécessaires pour le chargement de ces armes et les perfectionnements apportés aux cartouches à culot, font généralement donner la préférence aujourd'hui aux revolvers qui emploient de semblables cartouches préparées à l'avance: tels sont ceux construits par M. Lefaucheux, dont la description a été donnée à l'article ARMES A FEU. La cartouche à broches, ou mieux encore la cartouche à percussion centrale, ont fait disparaître les ennuis du chargement et du déchargement, et rendu très-simple le forcement de la balle.

ROTATION. La granulation des métaux, leur réduction en poussière fine est souvent utile pour plusieurs opérations industrielles, notamment pour multiplier les surfaces, afin de faciliter leur oxydation, leur attaque par les acides. Pour les métaux facilement fusibles, l'étain notamment, on emploie quelquefois un procédé qui consiste à le verser dans une capacité métallique qu'on secoue vivement jusqu'à ce qu'il soit solide. Mais ce procédé, difficilement praticable sur une quantité un peu grande de matières, ne pourrait nullement être employé pour des substances difficilement fusibles. Au contraire, celui que nous allons décrire ici, et dont l'invention est due à M. de Rostaing, s'applique aussi facilement à la fonte de fer, à des mattes cuivreuses qu'à du zinc ou du plomb.

L'appareil qu'il a disposé est représenté fig. 3711, et consiste essentiellement en un axe vertical mis en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rotation rapide par une communication de mouvement recouverte par une espèce de boîte cylindrique en fonte



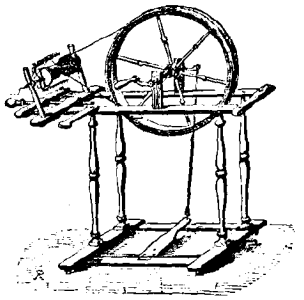
3711.

portée sur cet axe. La partie supérieure est recouverte d'une plaque de terre cuite.

On voit que cet appareil étant mis en mouvement, toute substance fondue, versée commodément en couche mince par un trou pratiqué dans un plancher supérieur, rencontrant une surface animée d'une grande vitesse, sera projetée en tous sens par la force centrifuge, et saisie à un grand état de division par l'air ou l'eau disposée autour de l'appareil, sera ainsi réduite en poussière, qu'on pourra à volonté séparer en divers degrés de finesse par décantation ou autres procédés.

Il est probable que ce moyen d'obtenir facilement et à peu de frais des poudres fines de substances très-dures trouvera d'heureuses applications dans diverses industries.

ROUET A FILER. Le rouet, d'origine relativement moderne (elle ne paraît pas remonter plus haut que les premières années du seizième siècle), qui est venu se substituer au simple travail de la main fait à l'aide de l'antique quenouille, est, comme le remarque avec



3712.

raison M. Poncelet, une admirable invention, digne d'une étude sérieuse et réfléchie (fig. 3712).

En effet, dans cette petite machine vraiment complète, outre le volant et le mécanisme de la bielle et de la pédale, qu'ont été lui emprunter les constructeurs de la machine à vapeur pour produire le mouvement circulaire continu à l'aide de mouvements alternatifs, on doit remarquer la disposition extrêmement ingénieuse du cordon sans fin, à deux branches inégales ou à mouvement différentiel, par laquelle des vitesses de 600 à 800 tours à la minute sont transmises simultanément à la broche et à la bobine, tout en maintenant entre ces vitesses absolues une différence ou vitesse relative aussi petite que le réclament et le tirage de la filasse hors de la quenouille et le très-lent enroulement autour de la bobine du fil qui en résulte. et dont la torsion continuelle est, à son tour, réglée par la vitesse rotative même de la broche *à ailettes et à épingliers* ou crochets servant à diriger ce même fil sur la bobine; d'autre part, le chariot à poupées verticales porte-broche, glissant horizontalement le long des jumelles supérieures de la petite machine, et que conduit parallèlement, à l'instar de ce qui a été pratiqué plus tard dans de grands tours, une vis centrale extrême, servant à régler la tension du cordon sans fin moteur, d'après l'état hygrométrique de l'atmosphère et le grossissement progressif de la bobine, grossissement qui tend à produire un surcroît correspondant du tirage du fil, en partie corrigé cependant par le glissement relatif de ces mêmes cordons sur leurs poulies motrices respectives.

Supposez que le pied de la fileuse soit remplacé par un moteur quelconque; que l'épinglier, l'ailette à crochets, le soit aussi par un mécanisme qui permette au fil de s'enrouler d'un mouvement de va-et-vient spontané sur la bobine devenue verticale ainsi que la broche, etc.; que le rapport de la vitesse de l'enroulement ou de l'étirage du fil à la torsion soit rendu indépendant du grossissement de la bobine; qu'enfin les doigts qui produisent et règlent l'étirage du fil dans la masse de la quenouille soient remplacés par une succession de mécanismes rangeant ces fibres les unes à côté des autres parallèlement, et les étirant de quantités proportionnelles convenablement allongées et tendues et l'on aura l'indication de toutes les conditions auxquelles ont à satisfaire les machines modernes qui produisent la filature automatiquement. Nous avons vu comment ces conditions étaient en partie satisfaites dans le rouet que l'on doit considérer comme un pas très-important fait vers la solution du problème.

ROULEAUX. — Le frottement exercé par les axes de rotation consomme dans les ateliers, sur les chemins de fer, une grande partie du travail mécanique du moteur et les travaux des ingénieurs et des inventeurs se sont multipliés dans ces derniers temps, surtout depuis le développement des chemins de fer, pour diminuer autant que possible le travail consommé sans profit par ces résistances passives.

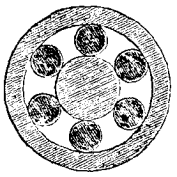
On peut dire que les seuls vrais perfectionnements réalisés dans la pratique consistent dans des moyens d'améliorer et de parfaitement distribuer les matières lubrifiantes, soit mécaniquement par des systèmes de graisseurs, soit physiquement par des compositions de graisses convenables pour chaque emploi. Des tentatives ont été faites pour supprimer autant que possible le frottement, et bien que n'ayant pas été couronnées d'un succès complet, elles ont spéculativement assez d'intérêt pour qu'il convienne de les examiner.

D'abord cela est-il théoriquement possible?

On ne peut s'empêcher de faire une réponse affir-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mative si l'on réfléchit que l'huile ou la graisse diminue le frottement précisément parce que leurs molécules roulent comme de véritables sphères entre les deux surfaces dont elles empêchent le contact intime. D'ailleurs, l'emploi de rouleaux pour réduire le travail de transport des fardeaux en terrain horizontal est bien connu, le fardeau se déplaçant deux fois plus vite que le rouleau. Si on imagine de semblables rouleaux répartis autour d'un axe de rotation (fig. 3713), le frottement de glissement se trouvera théoriquement supprimé, les rouleaux progressant tout en tournant également moins vite que la roue et par suite dans une excellente condition pour de très-grandes vitesses. Ils empêcheront toute friction comme les molécules d'huile, bien plus parfaitement même puisqu'ils ne peuvent être chassés par la pression.



3713.

Mais là commence la difficulté pratique qui jusqu'ici n'a pas été résolue d'une manière complète, et qui ne paraît soluble qu'en partie. Comment guider ces rouleaux ?

On ne peut songer à guider ces rouleaux par des axes, car on perdrait les avantages des rouleaux, le frottement de glissement reparaîtrait sur des axes faibles et bientôt faussés si de grandes puissances sont en jeu. Nous avons déjà vu à l'article *Coussinets* comment ces galets n'étaient admissibles que lorsqu'il s'agit d'appareils très-légers.

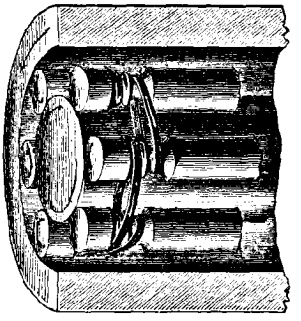
Restent les deux solutions tentées jusqu'ici : 1° garnir toute la circonférence de l'axe de rouleaux s'appuyant les uns sur les autres, ne pouvant par suite se déplacer, ou 2° n'employer qu'un certain nombre de rouleaux espacés en employant un moyen propre à assurer la constance de cet espacement. Nous allons les passer en revue.

Rouleaux serrés. — Si les rouleaux pressés les uns contre les autres n'étaient soumis qu'à l'action de l'axe tournant, la solution serait aussi parfaite que simple; mais leur contact mutuel tendant à faire tourner tout couple de rouleaux successifs en sens contraire l'un de l'autre, tandis que l'axe central tend à les faire mouvoir dans le même sens à l'encontre l'un de l'autre, il se produit un frottement de glissement et une usure qui rendent le système inacceptable.

MM. Mathieu Chauffour ont essayé de tourner cette difficulté par un mode de construction fort ingénieux. Ils forment la moitié de chaque rouleau d'un axe entouré d'un tube et les disposent successivement tête bêche. Ces tubes, peu comprimés sur leur axe, obéissent à l'action du rouleau voisin, et le rouleau se transporte sans frottement contre ceux qui sont dans son voisinage. L'exécution de ce système demande trop de précision pour éviter que les tubes ne compriment la partie du rouleau qui leur est intérieure pour avoir pu passer dans la pratique, et les inventeurs eux-mêmes paraissent avoir renoncé à l'établir.

Rouleaux régulièrement espacés. — Ce système a été proposé sous le nom de *circonvecteur* par M. A. Brussaut. Pour assurer la régularité de l'espacement, sans faire naître des résistances, des frottements considérables dans les brides qui maintiennent les rouleaux, il emploie simplement des brides en caoutchouc qui ont une élasticité parfaite. Elles sont disposées par couples alternatifs et passent dans des gorges pratiquées dans le corps même des rouleaux. C'est ce qu'on voit bien dans la figure 3714.

Les effets des brides élastiques sont ainsi expliqués à



3714.

l'inventeur. Supposez une irrégularité quelconque, par exemple que les rouleaux circonvecteurs ne soient pas de diamètre parfaitement régulier et par conséquent ne marchent pas tout à fait également sous la pression de l'arbre qu'ils supportent. Les brides élastiques cèdent sans inconvénient à ces légères variations, tandis que des liens inflexibles se déformeraient ou rompraient, en compromettant immédiatement le fonctionnement de l'appareil. Si, enfin, par suite de quelque secousse ou autre cause accidentelle, les rouleaux se sont un peu dérangés, ils reprennent, grâce à l'élasticité de leurs liens, leur équidistance et leur parallélisme (parallélisme qui ne peut guère varier grâce à la forme de la paroi concave) *dans la partie où ils roulent librement.*

C'est cette dernière condition qui limite singulièrement l'application du système. Il faut que les rouleaux soient libres dans une partie de la circonférence, et il faut être certain qu'ils rentreront sans difficulté et exactement au moment voulu dans la partie où ils ne sont pas libres. Il n'y a pas là une certitude suffisante pour les grandes applications, aux chemins de fer notamment, et le système ne nous semble applicable qu'à des appareils très-légers.

L'auteur a insisté avec raison sur l'utilité d'employer des rouleaux d'un assez fort diamètre pour éviter les effets d'écrasement qui se produisent avec de plus petits, M. Vicat ayant constaté par expérience que les résistances à la rupture des cylindres employés comme rouleaux sont proportionnelles aux produits de leurs longueurs par les diamètres.

S

SAC. Un ingénieux inventeur, M. Bréval, a construit pour la fabrication des sacs en papier une machine fort élégamment combinée et qui peut fonctionner assez rapidement pour lutter avantageusement avec le travail de la main, malgré le bas prix de semblables façons.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici le rapport fait par M. Duméry à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale sur cette machine.

Former un sac parfait, c'est-à-dire une espèce de tuyau carré fermé à l'une de ses extrémités et ouvert à l'autre, ce n'est pas autre chose que commencer un paquet, c'est-à-dire envelopper de papier un petit cube de la forme voulue, puis rabattre les quatre côtés sur un de ses fonds, et enfin coller le tout pour que, à l'encontre de l'enveloppe d'un paquet, il maintienne sa forme sans le secours d'une ligature extérieure de fil ou de ficelle.

Or, si l'on suppose que l'on ait construit une petite armoire, sans sol ni plafond, dont les dimensions extérieures soient exactement celles de l'intérieur du sac à confectionner, que cette armoire n'ait pas seulement ses deux portes à charnières, mais que les deux parois latérales, qui tiennent les portes, soient également articulées après le fond vertical de l'armoire, de manière à ce que les différents panneaux, qui ne sont, en réalité, que les diverses feuilles d'un même volet, étant complétement ouverts ou développés, puissent former, avec le fond vertical de l'armoire, qui seul est immobile, un seul et même plan.

Si l'on admet encore que, devant cet ensemble, on ait placé un petit cube de la dimension intérieure du sac, on aura une idée des principaux organes dont se compose le moule du sac qui forme le point de départ de la machine de M. Bréval.

Les choses étant dans l'état indiqué, c'est-à-dire les pans de l'armoire développés et formant un seul plan, si l'on introduit une feuille de papier entre ce plan et le cube placé au-devant; si les deux côtés latéraux de l'armoire viennent se ranger, se plaquer sur les deux surfaces latérales du petit cube, le papier sera ployé à angle droit et formera une espèce de gouttière triangulaire placée verticalement; si, le mouvement continuant, les deux portes de mouvement de l'armoire se ferment entièrement, le tuyau carré sera complété, et il n'y aura plus qu'à rabattre les quatre côtés du fond sur l'extrémité inférieure du cube, pour que le sac soit terminé.

Cette fermeture, cette clôture du fond se fait de la manière la plus simple : à la partie inférieure de chacun des quatre plans, c'est-à-dire dans le prolongement des panneaux de l'armoire, se trouvent appendus et articulés, par leur base, de petits triangles pouvant, en se repliant deux à deux, occuper la totalité du fond; et c'est effectivement ce qui a lieu dès que les quatre panneaux de l'armoire ont entouré le cube.

Dès que ces annexes ont accompli leur travail, elles sont abandonnées à elles-mêmes, redeviennent pendantes, les portes s'ouvrent, et le sac reste adhérent à son moule intérieur, duquel il faut le détacher.

Dans cette prévision, le petit cube ou moule intérieur a été construit contractable ou réductible de dimensions par l'effet d'un coin central. Ce coin, en plongeant de haut en bas sans entraîner les angles, laisse rapprocher ceux-ci dans le sens des diagonales pendant qu'il pèse intérieurement sur le fond du sac et le force à se détacher du moule pour tomber sur une toile sans fin qui le transporte hors de la machine.

Ici se termine l'opération relative au pliage mécanique du sac; mais il se présentait, pour arriver à la solution complète du problème, une difficulté dont M. Bréval a très-habilement triomphé. Nous voulons parler de l'application de la colle sur les diverses lèvres ou croisements de la feuille.

Appliquer la colle, dans un temps très-court, à la place qu'elle doit occuper, en quantité déterminée, et sans que les organes de la machine aient à souffrir de son voisinage, était une question capitale.

Reconnaissant que certaines colles de pâte sont composées de globules féculents et forment une réunion de petites vésicules gonflées ou remplies d'eau, que ces globules ainsi enflés peuvent rouler sur des surfaces métalliques sans les mouiller sensiblement, et surtout sans y adhérer comme le ferait de la gomme ou une matière plastique, M. Bréval, mettant à profit ces propriétés des colles féculentes, fait passer la feuille destinée à former le sac entre deux rouleaux métalliques; l'un de ces rouleaux est complétement lisse et ne sert uniquement que de pressoir; l'autre, également lisse dans la plus grande partie de sa surface, est gravé en creux seulement aux endroits où l'on veut déposer la colle, et tourne dans un bain de colle portant sur un de ses rebords une lame destinée à débarrasser les parties lisses du rouleau, de façon à ne laisser de colle que dans les parties creuses et striées.

Celles-ci la déposent sur la feuille comme le feraient les creux d'un rouleau d'impression sur étoffe, alors que la feuille avec laquelle on veut confectionner le sac lui est amenée par un système de cordons analogues à ceux des presses typographiques, et c'est au sortir de cette espèce de laminoir à encoller que la feuille descend, toujours conduite par des cordons, entre le plan développé des divers côtés de l'armoire dont nous avons parlé en commençant et le moule rectangulaire autour duquel doit se plier le sac.

Ces deux opérations d'encollage et de pliage constituent, en réalité, l'ensemble des fonctions de la machine; mais il n'est peut-être pas inutile d'indiquer l'ordre dans lequel elles se produisent en suivant la feuille de papier.

Placées sur une table inclinée, ces feuilles sont poussées l'une après l'autre devant une prise de cordons comme dans les machines typographiques; celle qui est saisie est conduite entre les rouleaux encolleurs. L'un d'eux la garde en contact pendant une portion de sa circonférence, de manière à lui faire opérer le mouvement de conversion nécessaire pour qu'elle descende verticalement entre le moule intérieur et le plan développé.

C'est là que commence le pliage.

Les parties latérales de l'armoire se reploient deux à deux contre le moule, et font de chaque côté un premier pli qui donne au papier l'aspect d'une gouttière rectangulaire; les deux portes de devant, continuant à envelopper le moule, achèvent le tuyau. Ce sont des bras mus par un arbre de rotation réglé par une came qui commandent ces mouvements. Enfin, les quatre triangles appendus à chacune des portes se reploient également deux à deux, relevés par des leviers posant sur des cames, et terminent le sac.

Les portes se rouvrent, le moule se contracte, le coin intérieur pousse les sacs un à un, lesquels tombent sur une toile sans fin, d'où ils ne sont enlevés, pour être placés sur des claies, qu'après avoir séjourné sur cette toile un temps suffisant pour que le collage ait commencé à prendre un peu de consistance.

Cette machine produit en moyenne vingt sacs à la minute, soit, en douze heures de travail, près de quinze mille sacs parfaitement confectionnés.

SANGSUES. Le prix des sangsues s'étant beaucoup augmenté dans ces dernières années par suite de leur destruction résultant d'une exploitation exagérée dans tous les pays qui en fournissaient autrefois de grandes quantités, on s'est occupé d'en élever dans les parties marécageuses de la Gironde et de la Charente, et on a obtenu les plus brillants succès.

Nous donnerons idée du mode d'exploitation adopté et des progrès qu'il y a encore à faire, en rapportant les observations consignées par M. Focillon dans le rapport du jury de 1855, après une enquête sur cette industrie.

« J'ai trouvé, dit-il, dans le département de la Gi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ronde, une étendue de 5,000 hectares environ occupée par des marais à sangsues. Les eaux couvrent ces terrains bourbeux depuis le mois de septembre jusqu'au milieu de juin. En hiver, les sangsues, enfoncées dans la terre, échappent à tous les yeux ; il n'y a rien à faire au marais ; mais dès les premiers beaux jours du printemps, elles reparaissent, pour la plupart, cherchant quelque proie. A ce moment on les *gorge*, c'est-à-dire que l'on pousse dans le marais des chevaux dont elles sucent le sang, en se fixant à leurs jambes. Ces chevaux, tous animaux de rebut, qui sont employés à ce dernier service, au lieu de passer par les mains de l'équarrisseur, succombent bientôt, et leur dépouille embarrasse le marais, d'où il faut la retirer, souvent avec beaucoup de peine. Quoi qu'il en soit, jusque vers le 15 juin, les chevaux se succèdent ainsi dans les marais ; puis on fait écouler les eaux ; le fond tourbeux, piétiné et défoncé par les chevaux, est mis à découvert pendant le temps où les sangsues pondent et déposent leurs œufs dans la terre, c'est-à-dire du 15 au 25 août environ. A peine les eaux sont-elles ramenées dans le marais qu'on se livre à pêche; et à mesure qu'elle a eu lieu dans un barrail, on y introduit de nouveau les chevaux, pour gorger les sangsues qui peuvent encore en avoir besoin. Aux premiers froids, on suspend tout et on attend le retour de la saison plus douce. Tel est, en quelques mots et dans son ensemble, l'industrie de l'élevage des sangsues. »

Voici les conclusions du rapport :

« 1° Dans le département de la Gironde, l'industrie de l'élevage des sangsues mérite, à tous les points de vue, d'attirer l'attention du pays et du gouvernement.

« 2° D'une part, elle a pour but la multiplication et la conservation d'une espèce utile, indispensable, que nous tirions en quantité insuffisante des pays lointains après avoir epuisé les ressources de nos propres marais. La valeur commerciale de cet animal si utile augmentait tous les jours, de manière que les riches seuls pouvaient se procurer des sangsues ; et un remède que rien ne remplace efficacement devenait de plus en plus un objet de luxe.

« 3° En même temps, cette industrie a pris un développement immense, et de grands intérêts y sont désormais engagés; ils doivent être pris en considération et sauvegardés le mieux possible.

« 4° Mais, d'une autre part, on est forcé de reprocher à l'industrie actuelle des sangsues deux choses également déplorables et qui compromettent son avenir : les *marais* et les *chevaux*.

« 5° Les marais offrent des inconvénients graves, au point de vue de l'élevage bien entendu des sangsues propres aux usages de la médecine ; ils inspirent les craintes les mieux fondées et les mieux justifiées pour la santé publique, ils entravent le progrès agricole et l'assainissement du pays, en empêchant, au moins sur les bords de la Garonne, l'opération si utile du colmatage.

« 6° L'emploi des chevaux est un procédé odieux, insalubre, et qui, chez la plupart des éleveurs, donne un gorgement inégal et sans mesure, capable de compromettre la santé des annélides, qu'il est destiné à faire croître.

« 7° Le progrès consisterait, pour la nouvelle industrie, à élever les sangsues médicinales dans des marais beaucoup moins étendus, sans desséchement temporaire, ou même à les élever sans avoir aucunement recours au marais.

« 8° Il consisterait aussi dans la découverte de procédés d'alimentation ou gorgement capables de remplacer plus ou moins complétement les chevaux.

« 9° Des tentatives ont été faites dans ces diverses directions, et elles nous permettent d'espérer que cette belle industrie s'affranchira de pratiques fâcheuses.

SERRURERIE. L'art du serrurier a été l'objet d'une remarquable étude d'ensemble, insérée dans le Dictionnaire et due à M. Curtel. Depuis cette publication, l'importance des diverses branches de la serrurerie s'est accrue considérablement. En ce qui concerne la petite serrurerie, la fortune des particuliers se trouvant aujourd'hui en grande partie sous la forme d'effets en papier au porteur qu'il est facile d'anéantir ou de voler, sans laisser au légitime détenteur aucun moyen de reconnaître sa propriété dans d'autres mains, il est devenu plus que jamais nécessaire de mettre à la disposition du public des moyens simples, sûrs et en même temps économiques, de protégér son bien contre l'adresse et l'audace des voleurs de profession. De ce point de vue, les progrès de cet art modeste, qu'on appelle la petite serrurerie ou la quincaillerie, acquièrent une véritable importance morale et sociale : décourager complétement par d'ingénieuses combinaisons les efforts pervers de ceux qui vivent du vol et de l'effraction, n'est-ce pas ruiner leur coupable industrie et les soustraire à la tentation d'y persévérer ? Ainsi s'est établie une lutte instructive et curieuse entre les serruriers et les voleurs, entre l'art d'attaquer le bien d'autrui et celui de le défendre. L'Exposition universelle de 1867 offrait à cette occasion les enseignements les plus intéressants.

« S'il est un objet qui indique le développement de la richesse publique et privée, dit M. Viollet-Leduc dans le rapport du jury de la 65e classe, c'est certainement le coffre-fort. L'Exposition de 1867 abonde en caisses de sûreté des plus ingénieusement combinées. L'Angleterre, les États-Unis, la France, la Belgique, la Prusse, l'Autriche, la Suisse ont envoyé au Champ-de-Mars une quantité prodigieuse de ces gardiens des trésors publics et particuliers. On peut même, en examinant les combinaisons diverses qu'ils adoptent, prendre une idée des habitudes des voleurs de chaque pays. Aux États-Unis, les coffres-forts se gardent contre l'explosion, c'est-à-dire contre les pétards que les voleurs cherchent à introduire dans les serrures pour les faire sauter, moyen expéditif et pratiqué, paraîtrait-il, avec beaucoup d'adresse. En Angleterre, c'est aux cornières, aux assemblages que les voleurs s'attaquent, en dédaignant les serrures; ainsi les coffres-forts anglais cherchent-ils à rendre leurs assemblages inattaquables et à si bien multiplier les pênes qu'on ne puisse espérer faire une pesée entre eux. En Prusse, en Autriche et en Suisse, c'est au contraire par les combinaisons de clefs et de serrures que l'on prétend se garantir contre les tentatives de vol. En France, il semblerait aussi que les voleurs emploient plutôt l'adresse que la force pour ouvrir ces caisses de sûreté, à voir les précautions infinies et les subtilités que les fabricants apportent dans la composition des moyens de fermeture. »

C'est au serrurier qu'il appartient, en y mettant la dernière main, de rendre possible et commode l'usage de la plupart des ouvrages du menuisier, de l'ébéniste, du gainier, du tabletier, etc., qui servent à chaque instant aux mille usages de la vie. On peut compter parmi les petites misères de l'existence les plus insupportables celles qui résultent de l'imperfection de ces ouvrages, tandis que leur bonne exécution, leur jeu facile, leur longue durée, caractérisent les produits de l'industrie des pays civilisés, où la vie matérielle est organisée sur les bases les plus rationnelles et les plus confortables.

Ces considérations justifient l'essai que nous tentons pour ajouter quelques indications supplémentaires sur la serrurerie à l'article du Dictionnaire.

FERRURES DES PORTES ET FENÊTRES.

On distingue parmi les ferrures : 1° celles qui sont destinées à consolider les assemblages de la menuiserie et de la charpente, T, équerres, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° Les attaches qui assurent le mouvement des parties mobiles, leur rotation autour d'un axe vertical ou horizontal, pentures, gonds, etc.

3° Les ferrures appelées à concourir avec les serrures à la fermeture de la porte, verrous, etc., mais offrant moins de sûreté.

4° Les serrures proprement dites.

1° FERRURES D'ASSEMBLAGE.

Les plus ordinairement employées sont des équerres placées au droit des assemblages à tenon et mortaise des traverses et pièces montantes des châssis. On peut placer dans la même catégorie les clous à tête saillante au moyen desquels on consolide les portes formées de cours de planches superposées; c'est un assez bon moyen de défense pour les portes exposées à être démolies à coups de hache; le tranchant de l'outil ne résiste pas au choc contre ces clous.

Les chevilles, boulons, goupilles, vis, clameaux, frettes, étriers, brides, etc., peuvent être considérés encore comme rentrant dans la même classe.

Les tirants diagonaux fixés à l'angle supérieur d'une porte sur le battant dormant d'une part, et d'autre part à l'angle inférieur sur le battant meneau, ne sont employés que dans les portes très-grandes comme celles des écluses pour les empêcher de donner du nez.

2° ATTACHES MOBILES.

Pentes et Pentures. Ce sont des bandes de fer arrêtées sur la porte par des clous et terminées par un œil dans lequel entre le gond qui est lui-même fixé dans la feuillure de la porte (fig. 1).

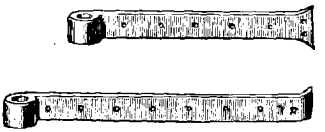
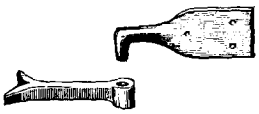


Fig. 1.

Les pentures peuvent acquérir beaucoup de développement et servir à la fois au mouvement, à la consolidation des portes et à leur décoration. L'art du moyen âge et de la renaissance en a tiré des motifs d'ornement extrêmement remarquables; on ne peut qu'en regretter l'abandon. Parmi les plus célèbres de ces ouvrages, on cite les pentures des portes de Notre-Dame de Paris. M. Viollet-Leduc a donné, dans son *Dictionnaire de l'architecture française*, leur description accompagnée de beaucoup d'exemples de travaux analogues et d'intéressants détails sur leur fabrication dont il a retrouvé les procédés oubliés.

Pentures à pivot. Elles se fixent dans une crapaudine

Fig. 2.



à scellement ou en pointe, suivant la nature du dormant (fig. 2).

Fig. 3.

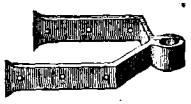


Pentures coudées (fig. 3).

Pentures à équerre, qui servent à la fois de penture et d'équerre d'assemblage.

Pentures flamandes, embrassant les deux côtés de la porte (fig. 4).

Fig. 4.



Pivots. Les grandes portes sont soutenues sur un pivot. Pour les ouvrages rustiques, écuries, granges, etc., le pivot n'est qu'un simple étrier composé de deux branches entre lesquelles se loge le chardonnet de la porte et d'un mamelon (fig. 5).

Dans les ouvrages plus soignés, ce pivot a la forme d'une équerre; il tourne sur une crapaudine scellée dans une pierre (fig. 6).

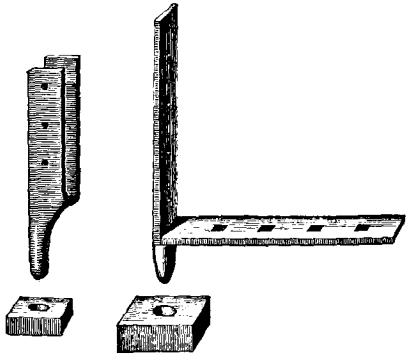
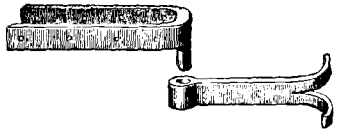


Fig. 5. Fig. 6.

Bourdonnière. C'est la ferrure du haut d'une grande porte qui sert à empêcher son déversement. Elle est formée d'une douille ou collier en fer scellé en haut du jambage, et dans laquelle entre un gond à deux branches fixé sur le haut du chardonnet (fig. 7).

Fig. 7.



Gonds. — On y distingue : le *mamelon* qui sert de pivot, le *corps* ou *nœud* sur lequel repose le mamelon, ordi-

Fig. 8.



Fig. 9.



Fig. 10.



EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

nairement soudé dans un œil, et la *tige* qui se termine de différentes façons ; on a ainsi les variétés suivantes :

Gond de scellement qui finit en queue de carpe pour les ouvrages scellés dans une feuillure en pierre (fig. 8).

Gond à pointe pour les ouvrages fixés sur un dormant en bois (fig. 9).

Gond à patte qui se fixe sur le bois au moyen de vis (fig. 10).

Gonds droits. — Gonds coudés.

Paumelles. — C'est un système de gonds qui s'emploie pour les fenêtres et portes légères à dormant en bois; elles présentent assez peu de largeur pour se loger dans l'épaisseur des feuillures, assez de hauteur pour donner les garanties de solidité nécessaires. Elles se fixent sur le bois au moyen de vis à tête fraisée (fig. 11 et 12).

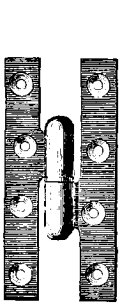


Fig. 11.

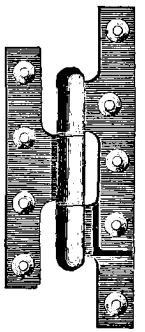


Fig. 12.

Dans celles que nous représentons ici, une rondelle en cuivre est interposée entre les deux pièces afin de rendre leur frottement plus doux.

La figure 12 représente une paumelle à trois branches qui permet de faire tourner sur le même axe fixe le vantail de la fenêtre et celui d'un volet intérieur.

Fiches. — Ces attaches diffèrent des précédentes en ce qu'on les fait pénétrer dans l'épaisseur du bois,

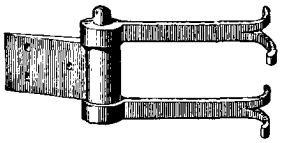


Fig. 13.

comme un tenon; on y distingue l'*aileron*, qui pénètre dans le bois où il est pris par des pointes, et la boîte sur l'axe de laquelle s'opère la rotation (fig. 13).

Fiches à gond (fig. 14).

Fiches à boule ou à vase, ainsi nommées de l'ornement qui les termine.

Fiches à nœud, dites fiches à chapelet quand elles

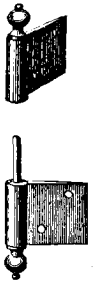


Fig. 14.

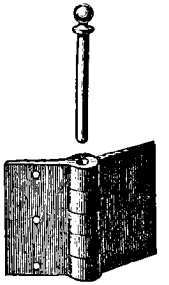


Fig. 15.

sont très-grosses. Ce sont de vraies charnières; au lieu de boîte, elles ont un nombre de nœuds plus ou moins grand : ils sont retenus ensemble par une broche qui les enfile tous (fig 15).

Les fiches sont aujourd'hui généralement remplacées par des paumelles dans les portes et fenêtres de dimension moyenne.

Couplets. — Petites charnières à trois nœuds, pour les ouvrages légers (fig. 16).

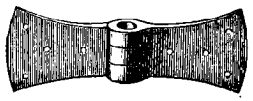


Fig. 16.



Fig. 17.

Briquets. — Couplets qui ne peuvent se fermer que d'un côté (fig. 17).

Charnières. — Système d'attache analogue aux précédents qui ne s'emploie que pour les ouvrages les plus légers.

La monture des volets, persiennes et contrevents n'offre pas de différence bien essentielle avec celle des portes et fenêtres; on y fait contribuer, suivant les cas, les paumelles avec gond à scellement ou à pointe, arrêts, battements, etc. Nous représentons ci-contre le moyen employé par MM. Cairol et Conseil pour fermer

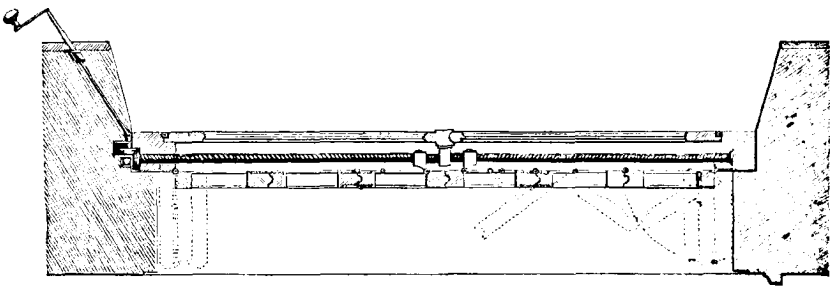


Fig. 18.

des volets brisés sans ouvrir la fenêtre (fig. 18).

Les stores, les bannes nous offrent d'autres mécanismes du ressort du serrurier en bâtiment, qui laissent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

souvent bien à désirer à cause du peu de précision apportée dans leur exécution et dans leur pose.

Le meilleur système de store est le plus simple et peut-être installé par le premier serrurier venu. Il consiste dans une pièce d'étoffe rectangulaire ; sur le côté inférieur est fixée une tringle en fer assez pesante pour entraîner le système : le côté supérieur est fixé sur un rouleau de bois, terminé par deux tourillons reposant sur des coussinets ; à l'un de ses bouts ce rouleau porte une poulie à large gorge : la corde de manœuvre y est attachée et disposée de manière à s'enrouler quand le store abandonné à lui-même est entraîné par le poids de sa tringle ; pour le relever, il faut donc dérouler cette corde, et pour le maintenir dans cette position il faut fixer l'extrémité de cette corde par l'un des nombreux moyens qu'il est facile d'imaginer.

FERMETURES AUTOMOBILES. — PORTES VA-ET-VIENT.

On recherche dans les lieux très-fréquentés, où l'on veut conserver une température égale, des portes qui se ferment automatiquement. Ce résultat peut être obtenu de diverses manières.

1° En faisant tourner la porte non plus autour d'un axe vertical, mais autour d'un axe légèrement incliné et placé au moyen d'un pivot coudé dans un plan différent du plan vertical où se trouve le centre de gravité de la porte quand elle est fermée; toutes les fois que la porte sera écartée de ses feuillures en s'ouvrant, son propre poids tendra à l'y ramener.

2° On s'est beaucoup servi de contre-poids avec cordes et poulies; ils ont l'inconvénient de faire grand bruit.

3° On peut encore ramener la porte à la position de fermeture au moyen de ressorts à boudin ou de ressorts en caoutchouc attachés à la porte d'une part et au dormant de l'autre.

4° Quelquefois on fixe au bas du battant dormant d'une part et au bas du battant de feuillure d'autre part un fil de fer de toute la hauteur de la porte; dans le mouvement de rotation, ce fil est tordu et son élasticité ramène la porte dans son bâti.

5° M. Beillard fixe le pivot dans un barillet contenant un ressort en spirale.

6° MM. Bricard et Gautier montent le pivot sur un galet qui peut rouler sur une surface hélicoïdale; la feuillure et la bourdonnière sont disposées de manière à laisser échapper la porte quand elle s'ouvre : ce système paraît très-satisfaisant et applicable aux plus grandes portes.

MENUISERIE DE FER.

Nous ne ferons que mentionner sous ce titre des ouvrages que jusqu'ici on n'avait produit que sur une échelle assez restreinte, mais dont l'emploi tend à se répandre de plus en plus avec le bon marché des métaux. Les anciens ont fait de la menuiserie métallique; les belles portes en bronze du Panthéon d'Agrippa nous en offrent un admirable témoignage. Les exemples de revêtements en bronze des vantaux des vieilles basiliques sont encore nombreux. De notre temps, on a fait des portes de bronze très-belles à la Madeleine, au Panthéon, etc. On emploie des portes en tôle de fer dans les magasins, docks, banques, etc., soit pour mieux protéger des trésors, soit pour empêcher la propagation de l'incendie. Leur construction est fort simple.

Les châssis vitrés métalliques sont aussi très-anciens; on en trouve en bronze à Pompéi. Dans les temps où le verre à vitres ne s'obtenait qu'en petits fragments, ils ont été d'autant plus recherchés qu'ils interceptent moins de lumière. Les vitraux du moyen âge ne pouvaient se monter que sur des châssis de métal; ils offrent des combinaisons d'assemblages ingénieuses. Aujourd'hui la fabrication des fers laminés tend à donner un vaste développement à ce système. Les gares de chemins de fer, les palais d'exposition, les cours couvertes d'innombrables édifices, les serres, etc., nous en offrent de belles applications.

On fait maintenant d'excellentes fenêtres en fer d'un aspect très-agréable pour les appartements ordinaires.

Les volets métalliques commencent aussi à se répandre. Indépendamment de la résistance supérieure qu'ils offrent à l'effraction, ils doivent à leur faible épaisseur l'avantage très-grand de se replier facilement dans le tableau des fenêtres où ils occupent très-peu de place.

Les devantures de boutique, si souvent forcées autrefois par les voleurs, ne se font plus autrement qu'en tôle de fer.

3° FERMETURES DIVERSES.

Verrous. — C'est la plus simple et probablement la plus ancienne de toutes les fermetures.

Verrou rural. — C'est un simple barreau de fer rond qui glisse dans deux crampons et se manœuvre au moyen d'une queue ou poignée rivée sur lui (fig. 19).

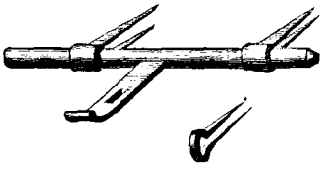


Fig. 19.

On peut y adapter un cadenas qui passerait dans l'œil d'un autre crampon fixé au-dessous sur la porte. On fait aussi de cette queue une *auberonnière* que l'on fixe avec une serrure : c'est elle alors qui porte un crampon ou *auberon* en dessous.

Verrou plat à bouton, ou à queue, à auberonnière.

Verrou intérieur à crochet à ressort qui empêche de faire glisser le verrou de l'intérieur à travers les fentes de la porte.

Targettes. — Elles se composent d'une gâche, d'une platine, de deux cramponnets servant de coulisse et du verrou proprement dit avec son bouton.

Verrous verticaux. — Ils servent ordinairement à fixer par le haut et par le bas le vantail dormant d'une baie à deux vantaux.

Les anciennes croisées étaient pourvues au milieu d'un montant dormant ou meneau et d'un imposte; la baie était ainsi divisée en quatre parties : les deux parties inférieures étaient seules garnies de vantaux mobiles; on fermait les petites avec des targettes et les grandes avec des verrous verticaux assez longs pour rester à portée de la main, malgré la hauteur de la croisée.

Verrous à chanfrein pour tenir compte du jeu des bois (fig. 20).



Fig. 21. Fig. 20.

Verrous à crochet pour fermer le haut en tirant d'en bas, ce qui est plus commode et empêche le verrou de tomber par ébranlement (fig. 21).

Les croisées modernes sont à recouvrement ou à noix, dans ce dernier système, il suffit de fermer un des vantaux pour que l'autre se trouve en même temps complétement assujetti. On a cherché à perfectionner leur fermeture par une seule manœuvre au lieu de deux qu'exigent les verrous verticaux du haut et du bas. C'est ce qu'on peut obtenir avec un seul verrou à cro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SERRURERIE.

chet ayant toute la hauteur de la baie; mais pour une ouverture de grande dimension, l'appareil est lourd et

Fig. 24.



Fig. 22.

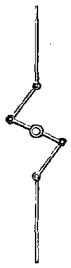


Fig. 23.



incommode. Les crémones et les espagnolettes offrent une meilleure solution.

Tous les mécanismes propres à transformer un mouvement circulaire alternatif en mouvement rectiligne alternatif sont applicables à la construction des crémones.

Les figures 22, 23 et 24 représentent les crémones à bascules et à pignon qui ne sont plus guère employées que pour les baies de très-grande dimension.

Les figures 25 et 26 représentent le système le plus généralement appliqué aux baies de dimensions ordinaires, avec une de ses gâches.

Espagnolettes. — Elles présentent l'avantage de permettre la fermeture de la croisée lors même que les bois se sont voilés, et de les ramener à leur position normale. Ces appareils sont trop connus pour nécessiter une description; il suffit d'énumérer leurs parties principales (fig. 27).

A Tige ou verge;
B Crochets ou agrafes;
C Gâches fixées sur le dormant;
D Pitons à vis qui fixent l'espagnolette sur le battant meneau à gueule de loup;
E Poignée de manœuvre;
F Pannetons pour tenir les volets fermés;
G, G' Garnitures des volets, dans lesquelles entrent les pannetons F, quand les volets sont fermés;
H Crochet de repos à charnière fixé sur le battant

Fig. 25.

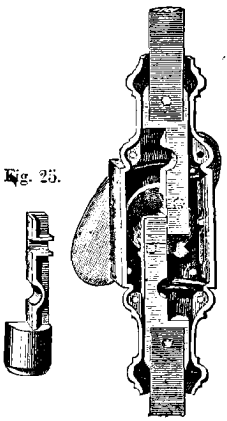


Fig. 26.



Fig. 27.

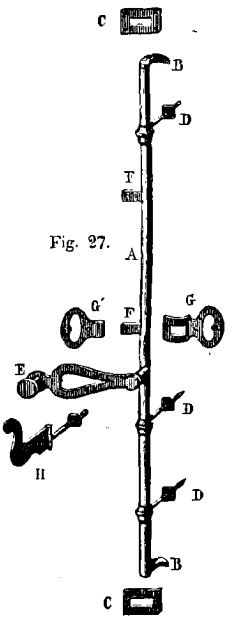
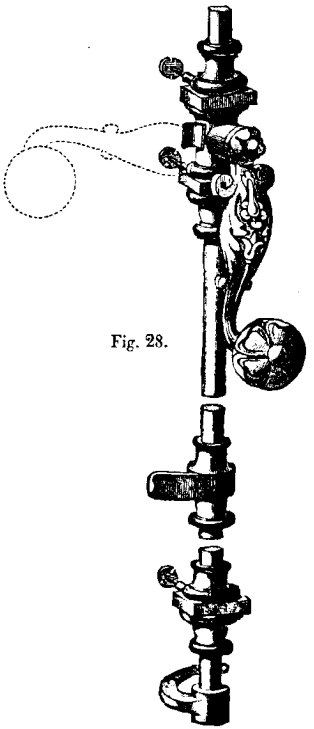


Fig. 28.



Crémones. — Elles sont formées de deux verrous qui se manœuvrent ensemble par une même poignée, grâce à un mécanisme très-simple.

meneau à noix pour recevoir la poignée de manœuvre quand la croisée est fermée.

Les espagnolettes sont moins employées aujourd'hui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que les crémones ; cependant on fait un assez fréquent usage de l'espagnolette à poignée verticale dont le mécanisme est moins encombrant et la forme plus élégante (fig. 28).

Fléau ou bascule. — Cette fermeture est applicable aux portes charretières, cochères, portes extérieures, notamment quand la porte n'est pas maintenue par le haut (fig. 29).

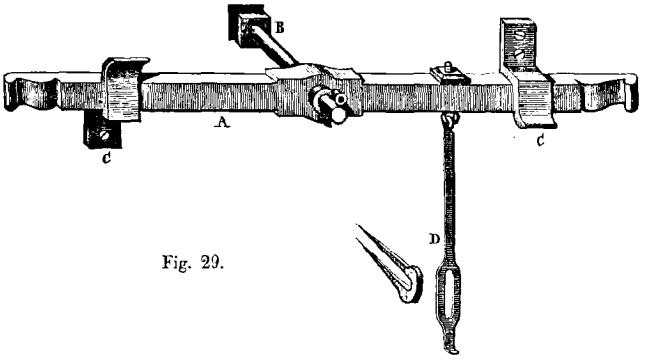


Fig. 29.

On y remarque :

A Le fléau basculant en son milieu sur un boulon fixé sur le montant de la porte ;

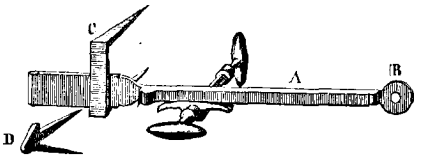


Fig. 30.

B Boulon d'axe, platine, rondelle, écrou ;

C Pannetons posés sur la porte en sens contraire, pour arrêter le fléau dans la position horizontale ;

férence une crémone ou espagnolette très-forte, qui est commandée par la serrure principale.

LOQUETS.

Loquet ordinaire (fig. 30).

A Battant ou cliche tournant autour de l'axe B ;

C Crampon qui limite la course de la tête du battant ;

D Mentonnet ou gâche du battant.

Pour élever le battant au-dessus du mentonnet on emploie différents moyens :

Le *poucier* (fig. 31).

Le *bouton* à olive ou à boucle (fig. 30).

Loquet à vielle (fig. 32). — Il s'ouvre avec une clef.

Loquet à la cordelière. — Il s'ouvre avec une clef qu'on ne tourne pas mais qu'on lève.

Loqueteaux à ressort (fig. 33). — Ils s'appliquent au haut des volets, des vasistas, dans les points élevés qu'on ne peut atteindre avec la main et se manœuvrent avec une ficelle. On leur substitue maintenant des loqueteaux ou verrous à ressort à boudin qui sont moins volumineux.

Becs-de-canne. — Ce sont de petites serrures qui remplacent avantageusement les loquets et se manœuvrent avec un bouton fixe, qui n'est autre chose qu'une clef dormante : le panneton est ordinairement remplacé

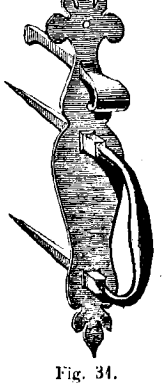


Fig. 31.

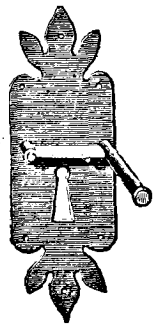


Fig. 32.

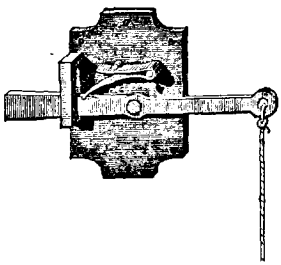


Fig. 33.

D Barre à auberon et son cramponnet que l'on ferme avec un cadenas.

Pour les portes cochères, à Paris, on emploie de préférence par un levier nommé foliot, qui permet d'agir sur le pêne en tournant le bouton à droite ou à gauche indifféremment. Le bout du pêne est habituellement taillé

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en chanfrein pour que la porte puisse se fermer d'elle-même en le poussant, d'où le nom de bec-de-canne.

4° SERRURES.

Il y a une innombrable quantité de types de serrures; ils se rapportent à trois classes principales :

1° Les anciennes serrures à gardes fixes, encore aujourd'hui les plus répandues, parce qu'elles sont les plus économiques et les plus simples, mais n'offrant aucune sûreté; rien de plus facile que de les forcer : une pareille serrure n'est guère que l'expression d'un désir du

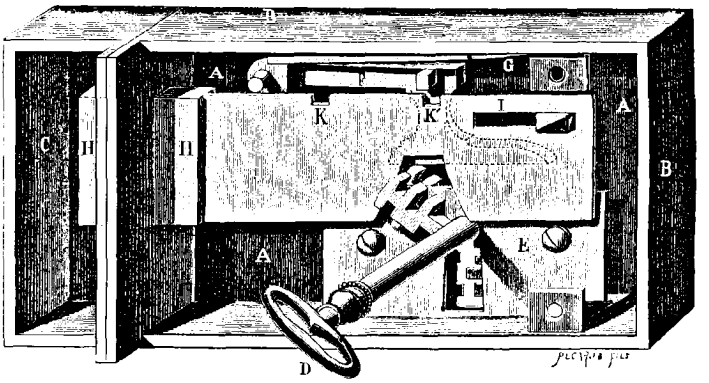


Fig. 34.

maître de laisser sa porte fermée, s'en rapportant du reste à la discrétion du public.

2° Les serrures à combinaisons ou à lettres, ou à secret, qui n'offrent souvent que des garanties illusoires et ne résistent pas aux adroits tâtonnements des voleurs expérimentés.

3° Les serrures dites à gardes, à gorges ou à garnitures mobiles, qui jusqu'ici ont donné des résultats plus satisfaisants; on peut les associer à des combinaisons diverses empruntées aux types précédents, et obtenir ainsi les meilleurs moyens de fermeture dont on dispose aujourd'hui.

1° *Serrures à gardes fixes.* — Voici la description d'une de ces serrures, dont la disposition est des plus simples. C'est la serrure à pêne dormant à un tour.

A Palâtre : boite en tôle dans laquelle est enfermé tout le mécanisme; il se fixe sur la boiserie au moyen de vis placées en dedans.

B Cloison : le côté dans lequel passe le pêne se nomme le rebord. Dans les serrures soignées, le rebord est accompagné d'un couvre-joint qui soustrait entièrement le pêne aux regards et aux atteintes des outils avec lesquels on pourrait tenter de la couper.

C Gâche fixée sur le battant dormant de la porte.

D La clef : elle se compose essentiellement d'un *anneau*, d'une *tige* et d'un *panneton :* on distingue dans celui-ci le *corps* attenant à la tige et le *museau* qui le termine; le panneton est ordinairement garni d'entailles qui lui permettent de passer à travers les gardes.

E *Garde* ou *garniture :* elle est ici composée d'une plaque de tôle parallèle au palâtre; elle s'oppose au mouvement de toute clef qui ne serait pas pourvue d'une entaille correspondante. La garde qui correspond comme ici au milieu de la clef s'appelle planche.

F Levier d'arrêt du pêne avec sa *gorge* représentée en contact avec le museau de la clef qui le soulève.

G Ressort de l'arrêt du pêne;

H Le *pêne*; pièce essentielle de la serrure dont la mobilité produit l'ouverture ou la fermeture; on y distingue la *tête* qui vient s'engager dans la gâche, la queue qui porte d'un côté des *barbes* saillantes ou une partie entaillée pour donner prise au panneton de la clef, et de l'autre des encoches K dans lesquelles peut passer l'ergot de l'arrêt du pêne pour le fixer ouvert ou fermé.

I Entaille-guide de la queue du pêne et *picolet;* les picolets reçoivent aussi la forme de crampons;

K K' Encoches d'arrêt du pêne.

Le tout est recouvert d'une plaque de tôle formant couverture et fixé à la boiserie au moyen de vis.

La serrure est représentée au moment où elle va être complétement fermée : pour cela, la clef, après avoir été introduite par son *entrée*, a commencé à opérer sa révolution à travers la garniture fixe; dans ce mouvement, le museau du panneton a rencontré la gorge du petit levier d'arrêt F, dont l'ergot était engagé et maintenu dans la première encoche K par la pression du ressort G; il a soulevé ce levier, fait sortir l'ergot de l'encoche K, et, continuant son mouvement de rotation, il a rencontré le pêne devenu libre et l'a poussé en avant jusqu'au point où il est représenté dans la figure; continuant encore à tourner, le panneton laissera retomber l'ergot de l'arrêt dans la seconde encoche K', et le pêne se trouvera fixé invariablement dans sa nouvelle position.

Pour ouvrir, on n'aura qu'à imprimer à la clef un mouvement de rotation dans le sens inverse; les mêmes effets se reproduiront dans un ordre opposé jusqu'à ce que le pêne soit revenu dans la position primitive où il est complétement rentré dans la serrure et n'offre plus aucun obstacle à l'ouverture de la porte.

Telles sont les dispositions générales qu'on a considérées comme suffisantes pendant bien longtemps; pour plus de sûreté et de commodité, on a apporté quelques modifications et additions, sur lesquelles nous devons appeler un instant l'attention.

On a cherché les principales garanties contre l'ouverture de la serrure dans la complication des entrées et des gardes; ces garanties sont complétement illusoires. Rien n'est plus facile que de prendre avec de la cire l'empreinte des entrées et des gardes et de fabriquer une fausse clef; il suffit même le plus souvent d'un simple crochet d'acier pour passer à travers les garnitures les plus compliquées et ouvrir les serrures de cette

EFERUS - Recherche & Classification numérique

classe les mieux fabriquées. D'ailleurs, le nombre des combinaisons des gardes est restreint; il arrive même qu'on livre des serrures pourvues de clefs présentant de nombreuses entailles qui ne correspondent à aucune garniture intérieure; des milliers de serrures sont mises

déterminée par la longueur de cette fente la broche, on engage ou on dégage l'ergot de la gâche mobile A, on ferme ou on ouvre le cadenas; il faut maintenant comprendre comment ce mouvement peut être arrêté par la combinaison à lettres;

Fig. 39.

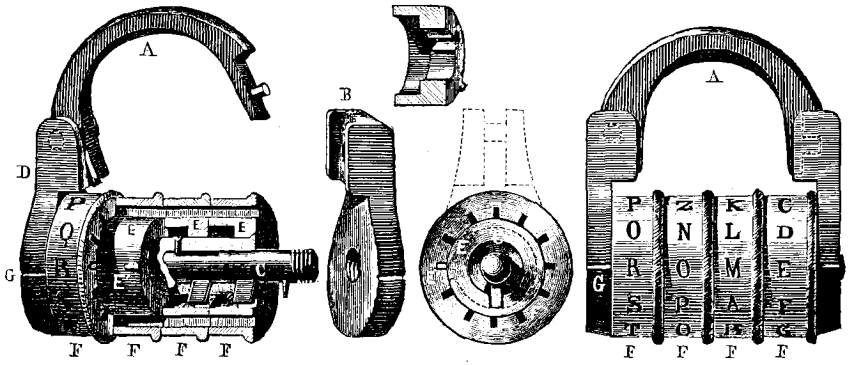


Fig. 35. Fig. 36. Fig. 37. Fig. 38.

en circulation avec des garnitures toutes pareilles et pouvant toutes s'ouvrir avec la même clef.

2° *Serrures à combinaisons ou à lettres*.—Le système de combinaison le plus connu est celui qui fut mis en vogue, vers le milieu du dix-septième siècle, par Regnier de Paris. Une disposition analogue se trouve décrite dans un ouvrage intitulé *Silvestri à Petrasancta symbola heroïca*, publié en 1682 à Amsterdam. Elle a été principalement appliquée aux cadenas, mais elle a aussi été employée sous forme de serrures à cadrans composés de zones concentriques, sur lesquelles sont gravées les lettres de l'alphabet; le principe est en tous cas le même que celui du cadenas que nous allons décrire.

Fig. 35. — Vue perspective du cadenas avec arrachement des bagues extérieures et intérieures, et du canon. Le pêne est démonté et séparé de la broche.

Fig. 36. — Vue du pêne.

Fig. 37. — Vue au bout du cadenas, le pêne enlevé.

Fig. 38. — Vue du cadenas fermé.

Fig. 39. — Vue perspective de la moitié de l'une des bagues intérieures.

A Gâche mobile à charnière;

B Pêne : il se compose d'une plaque circulaire portant vers le haut un renflement avec un trou dans lequel pénètre l'ergot du bout de droite de la gâche quand on pousse le pêne de droite à gauche pour fermer la serrure;

C Broche fixée à pas de vis dans le centre du pêne et portant quatre barbes également espacées, et une cinquième, la barbe extrême visible sur la figure, formant arrêt de la pièce circulaire qui constitue le pêne proprement dit;

D Pièce circulaire pareille à B, portant à sa partie supérieure la charnière de la gâche mobile, et à son centre un canon cylindrique entaillé parallèlement à ses génératrices. La broche C peut se déplacer parallèlement à la même direction dans l'intérieur de ce canon, guidée par ses barbes qui passent dans l'entaille; sa course est limitée par une goupille fixée sur le canon traversant une petite fente longitudinale pratiquée dans ce but; en faisant avancer ou reculer de la quantité

E E E E Bagues ou rondelles intérieures en laiton; chacune est pourvue intérieurement d'une entaille circulaire placée vers sa base à gauche, et d'une entaille rectiligne à droite. Quand le cadenas est fermé, la broche C est entièrement rentrée dans le canon; les saillies des barbes correspondent à l'entaille annulaire des bagues E; les bagues peuvent tourner librement, mais la broche ne peut prendre aucun mouvement. Pour qu'on puisse la déplacer, il faut que les quatre entailles rectilignes des bagues soient placées en prolongement les unes des autres et en regard de l'entaille du canon; c'est ce qui a lieu lorsque quatre petites marques saillantes en fer E' implantées dans la surface extérieure des quatre bagues, se trouvent sur une même arête cylindrique et en regard d'une marque G tracée sur le rebord le plus en vue des pièces D et B. Voici comment ce résultat s'obtient au moyen d'une combinaison de lettres convenue d'avance et facile à changer.

F F F F Bagues extérieures en laiton superposées aux précédentes E, par le moyen des marques E'; elles portent sur leur contour externe la série des lettres de l'alphabet; elles portent sur leur contour interne autant de rainures rectilignes correspondantes à chacune de ces lettres. Supposons que l'on veuille établir la fermeture du cadenas sur le mot CLEF : on commencera par ouvrir et par démonter le pêne; on fera sortir les quatre bagues extérieures; on mettra en regard de la marque G les quatre petites marques des bagues intérieures; ensuite on remettra en place la première des bagues F en ayant soin que la lettre C corresponde à la marque G; de même pour la lettre L de la seconde des bagues F, pour la lettre E de la troisième et pour la lettre F de la quatrième. Il en résultera que toutes les fois que le mot CLEF sera lu sur une ligne droite en face de la marque G, les entailles des bagues intérieures E, solidaires avec les baques F, se trouveront en regard des barbes de la broche et le cadenas pourra s'ouvrir; pour aucune autre combinaison des lettres tracée sur le contour des bagues extérieures il n'en sera de même, et le cadenas restera fermé.

Ces cadenas sont peu solides à cause des faibles di-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mensions des parties appelées à résister à leur ouverture.

Les anciens systèmes de fermeture à combinaisons offraient tous un inconvénient grave; il existait une relation trop directe entre les organes extérieurs et intérieurs du mécanisme: il est des gens doués d'un tact si exercé qu'ils parviennent à découvrir par tâtonnements et sans aucun indice apparent à l'extérieur les combinaisons les plus ingénieuses; leurs opérations sont d'autant moins difficiles que les diverses parties du mécanisme ont pris du jeu par l'usage, et que les combinaisons sont restées plus longtemps les mêmes. Un mécanicien nommé Robin, de Rochefort, ouvrit avec facilité toutes les serrures à combinaison présentées à l'Exposition des produits de l'industrie en 1834, à Paris, et démontra leur complète insuffisance. Il proposa en même temps un nouveau système de serrures à l'abri de cet inconvénient; le même problème fut abordé et heureusement résolu par M. Gringoir de Paris, par l'interposition d'une pièce nommée *va-et-vient* entre le mécanisme de la combinaison et le pêne; il obtint ainsi des garanties nouvelles et très-sérieuses. La serrure de Gringoir a été décrite par M. le baron Séguier dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, année 1835; elle est depuis longtemps tombée dans le domaine public, et elle a subi entre les mains de nombreux inventeurs des modifications qui n'en ont pas altéré le principe. Nous en décrivons une variante, telle qu'elle est fabriquée aujourd'hui par M. Delarue, successeur de Gringoir.

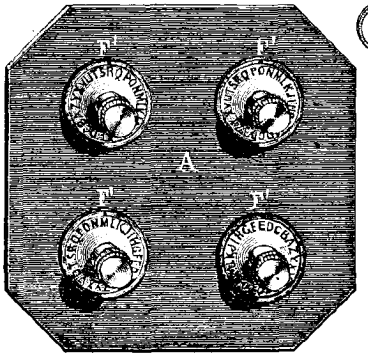


Fig. 40.

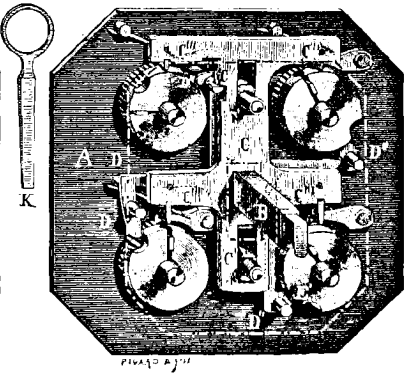


Fig. 41.

La serrure ci-contre offre les combinaisons de quatre lettres, c'est-à-dire $24^4 = 331{,}776$ combinaisons.

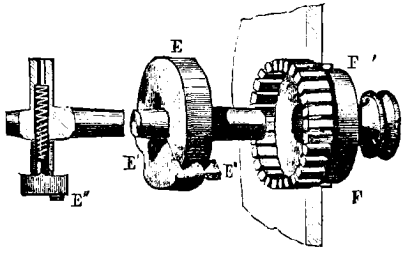


Fig. 42.

Fig. 40. — Serrure vue du dehors;

Fig. 41. — Serrure vue par derrière, — la planche de fond supposée enlevée;

Fig. 42. — Détails d'une rondelle;

A Palâtre;

A' Planche ou couverture; elle est supposée enlevée sur la figure 41 et représentée seulement par un trait pointillé qui en marque le contour;

B Pêne rivé sur le va-et-vient; ce peut être le pêne proprement dit, ou bien, comme dans les coffres-forts, un simple arrêt qui entre dans une encoche d'un pêne plus fort, et l'empêche d'obéir à la clef quand les rondelles ne sont pas sur la combinaison convenue;

C *Va-et-vient;* il a la forme de deux T superposés et peut prendre le mouvement rectiligne alternatif et vertical, d'où lui vient son nom, dans les limites indiquées par les deux guides C'; pour dégager le pêne, il faut qu'il puisse descendre; son propre poids suffirait pour obtenir ce résultat s'il n'était maintenu par un ergot C" engagé dans une encoche pratiquée sur la gauche de sa branche verticale.

D Levier en croix ou à quatre branches d'équerre; son axe est au centre du palâtre; la branche supérieure porte l'ergot C" qui empêche le va-et-vient de tomber. Pour obtenir ce résultat, il faudrait que le levier en croix se déplaçât de droite à gauche; il y est sollicité par le ressort D' qui agit en dessous sur la branche opposée à la précédente, mais il en est empêché par les retours d'équerre D" placés au bout des quatre branches qui appuient à la fois sur le contour des quatre rondelles; ce contour porte une encoche E'; le levier en croix ne peut tourner et dégager le va-et-vient que si les quatre encoches sont simultanément en regard des quatre crochets du levier: or cela n'a lieu que quand les quatre rondelles sont mises sur la combinaison convenue.

Les rondelles se composent de deux parties représentées à part dans la figure 42.

E Pièce extérieure composée d'un disque en laiton monté sur un axe; sur ce disque on remarque: 1° l'encoche E' dont l'objet vient d'être expliqué; 2° une entaille dirigée suivant un rayon dans laquelle se meut une petite plaque d'arrêt E" poussée au dehors par un petit ressort à boudin; son usage va être expliqué.

F Pièce intérieure de la rondelle; la partie en vue se compose d'un cadran sur lequel sont gravées les vingt-quatre lettres de l'alphabet; elles peuvent être amenées avec un bouton en regard d'un repère F' tracé au dehors sur le palâtre; la partie qui pénètre dans la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

serrure présente vingt-quatre encoches en regard des vingt-quatre lettres précédentes.

Ces deux pièces étant juxtaposées de manière que l'axe de la pièce E pénètre dans le vide ménagé pour elle dans la pièce F, la petite plaque E" s'engage dans une entaille correspondant à l'une des lettres du disque extérieur; la solidarité est établie entre les deux pièces, de manière que quand on tourne l'une avec le bouton de manœuvre extérieur, on entraîne l'autre.

Les quatre rondelles sont disposées d'une manière identique.

Pour mettre la serrure sur une combinaison déterminée, il faut procéder de la manière suivante. Soit encore le mot CLEF celui de la combinaison.

La serrure ayant été ouverte et placée sur la combinaison précédente, on calera le pêne (B) en dessus, avec la broche K, de manière à forcer le va-et-vient à s'abaisser au-dessous de son niveau ordinaire; dans cette position, les lames C"' placées aux quatre extrémités des branches horizontales de ce va-et-vient appuieront sur les plaques à ressort E" et dégageront les cadrans; ceux-ci pourront tourner librement. On mettra, pour le premier, la lettre C en regard du repère; pour le second, la lettre L; pour le troisième, la lettre E; pour le quatrième, la lettre F. On dégagera le pêne, le va-et-vient remontera, les plaques E" s'engageront dans les entailles correspondant respectivement aux quatre lettres du mot *clef*, et la combinaison nouvelle sera établie.

On a justement reproché à ce système de combinaison d'avoir trop de pièces apparentes au dehors, susceptibles de donner des indications ou d'offrir une prise aux attaques par la violence. Voici un autre système qui écarte cette objection; il est dû à M. Fichet. Il sera représenté ici par une petite serrure à trois rondelles qui se manœuvre sans clef: pour mieux dire, le bouton de manœuvre est une clef à poste fixe.

Fig. 43.— Vue perspective de la serrure par derrière.
Fig. 44. — Détails d'une rondelle.

A Palâtre;

B Pêne; B' ergot du pêne;

C Va-et-vient; il est fixé sur le pêne qui l'entraîne dans son mouvement. Pour permettre le déplacement du pêne, il faut qu'il puisse s'abaisser en pénétrant par ses trois branches dans les entailles E' des rondelles.

D Gorge mobile autour de l'axe D'; c'est une feuille de cuivre découpée intérieurement suivant un profil qui offre à l'ergot B' du pêne un point d'appui tel que celui-ci ne peut se mouvoir que quand la gorge mobile D est écartée par le panneton de la clef.

D" Ressort de la gorge mobile.

Les rondelles se composent encore de deux parties; mais aucune n'est visible du dehors.

E Disque en laiton monté sur un axe de rotation en fer rivé sur le cadran. Le disque porte une entaille E' dont l'usage va être indiqué. Dans sa gouge est logé un petit ressort à boudin qui pousse au dehors un petit arrêt E" dont l'usage va aussi être indiqué.

F Roue dentée mobile autour du même axe que le disque E: les dents ont deux fois l'épaisseur du corps; elles ont une face cylindrique et une autre plane. La roue F est liée au disque E par le petit arrêt E". En effet, ce petit arrêt a son extrémité taillée en biseau; elle vient s'introduire entre les prolongements des dents de la roue, et elle établit entre les pièces une solidarité telle que, dans l'état normal, l'une ne peut pas marcher sans l'autre.

G Arrêt à ressort à boudin dont la tête passe entre les dents de la roue et est taillée en biseau; de cette manière, quand celle-ci est poussée de gauche à droite, la surface cylindrique de la dent agissant sur la face en biseau de l'arrêt, la force à rentrer dans l'intérieur de son alvéole; quand, au contraire, on exerce un effort de gauche à droite, la face plane de la dent s'applique tout entière contre l'arrêt et y rencontre un obstacle invincible.

H Panneton de la clef, disposé d'une façon pareille à l'arrêt précédent; il en résulte que la clef ne peut agir sur les roues qu'en les faisant tourner de droite à gauche, et qu'elle peut tourner elle-même de gauche à

Fig. 44.

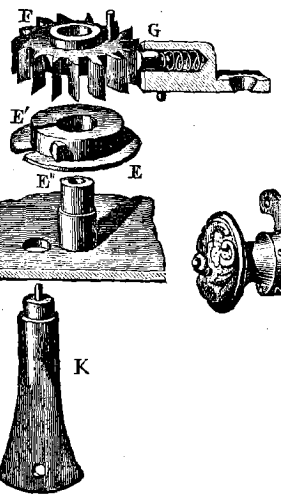


Fig. 45.

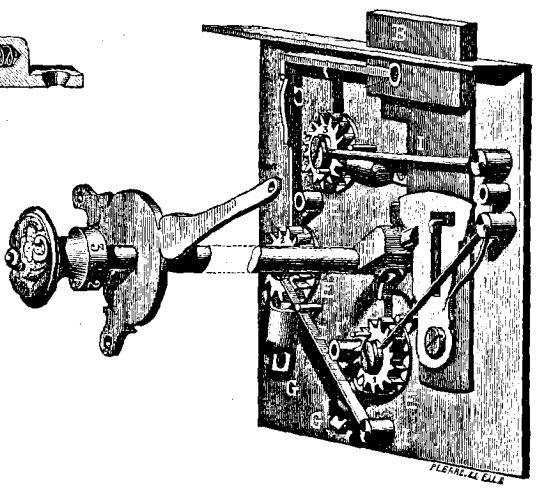


Fig. 43.

Fig. 45. Broche pour fixer les rondelles quand on change la combinaison.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

droite pour passer d'une rondelle à l'autre sans éprouver de résistance sensible.

I Ressort fixé sur l'étoquiau I' contenu vers le haut par l'étoquiau I", et susceptible de se déplacer dans le sens opposé quand il est rencontré par l'ergot K fixé sur la roue dentée. Celle-ci poursuivant son mouvement de rotation entraîne un instant l'extrémité de ce ressort, puis le lâche avec un bruit caractéristique dû au choc du ressort sur l'étoquiau I". Ce bruit marque le moment à partir duquel on doit compter les dents qui passent sur l'arrêt G.

En effet, dans ce système aucun mécanisme n'est visible; c'est seulement par le son qu'on peut déterminer la combinaison convenue. On peut prendre, soit des mots, soit des chiffres. Supposons, par exemple, qu'on ait choisi le mot anglais BAD; on mettra le panneton sur la rondelle n° 1, dans la position indiquée par un numéro gravé sur le bouton. On donnera au bouton un léger mouvement alternatif jusqu'au moment où l'on entendra le bruit caractéristique produit par le choc du ressort I; à partir de ce moment on comptera autant de chocs du petit ressort G qu'il y a d'unités dans le rang alphabétique de la lettre D; on dira A, B, ou 1, 2; on passera à la deuxième rondelle, et, après l'avertissement du ressort, on comptera A ou 1; on passera à la troisième et, après le même signal, on comptera A, B, C, D, ou 1, 2 3, 4; puis on tournera le bouton, le panneton écartera la gorge mobile, appuiera sur la barbe du pêne, et les branches du va-et-vient se trouvant en regard des trois entailles E' des rondelles, rien ne s'opposera plus au déplacement du pêne.

Pour changer la combinaison, il faut fixer le disque E de la rondelle, et déplacer la roue dentée de telle manière qu'entre la dent à laquelle correspond le signal du ressort et celle à laquelle correspond l'entaille E', où doit glisser la branche du va-et-vient, il y ait un nombre convenu d intervalles. Pour cela, il faut déplacer la roue dentée indépendamment de son support; on fixe celui-ci au moyen d'une petite cheville K (fig. 45) que l'on passe dans l'entaille E' par un petit trou percé exprès dans le palâtre; on pousse la roue dentée avec le panneton G jusqu'au signal; on compte le nombre de dents que l'on veut laisser passer pour former la nouvelle combinaison; puis on retire la cheville : la solidarité se trouve rétablie entre les deux pièces de la rondelle en vue de cette combinaison.

Au lieu de trois rondelles, on peut en avoir quatre ou même davantage, et obtenir, par le moyen qui vient d'être indiqué, des serrures de toute dimension qui présentent les plus sérieuses garanties de sécurité.

3° *Serrures à garnitures mobiles.* — Il en existe une infinité de modèles; elles reposent sur ce principe que la clef, avant de rencontrer le pêne pour le faire avancer ou reculer, doit écarter une série d'obstacles mobiles dont il est impossible d'apprécier du dehors la disposition.

La serrure égyptienne en bois, décrite par Denon dans le grand ouvrage sur l'Égypte, est le plus ancien exemple de ce genre de serrures, et remonte à une bien haute antiquité, puisqu'on en voit la représentation dans les bas-reliefs du temple de Karnak. Elle est encore en usage dans le pays. Il paraît qu'elle est aussi employée de temps immémorial en Cornouailles et dans les îles Fœroë, où elle aurait été apportée par les Phéniciens. Nous ne reviendrons pas sur la description qui en est donnée dans le Dictionnaire.

Nous y renverrons aussi le lecteur pour l'étude de la serrure de Bramah, qui jouit encore d'une si grande renommée. Nous nous arrêterons seulement à décrire un des types les plus répandus aujourd'hui de serrure à gardes mobiles, d'après la figure ci-jointe, qui représente une serrure à deux tours et demi, c'est-à-dire comprenant un pêne dormant à deux tours et un bec-de-canne.

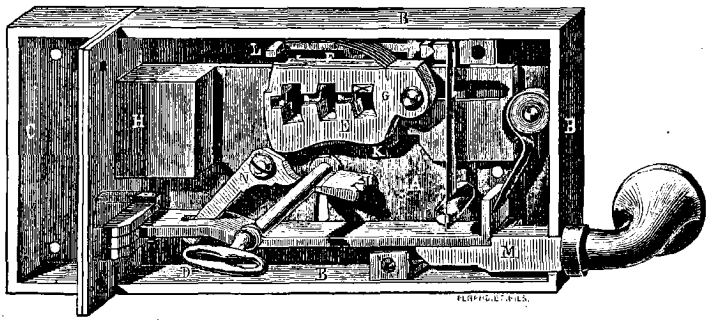


Fig. 46.

A Palâtre;

B Cloison;

C Gâche;

D Clef; le panneton est découpé par redans offrant sept degrés; c'est le dernier, le plus voisin de la cloison, qui agit sur les barbes du pêne.

E Garnitures mobiles; elles sont formées ici de six plaques de cuivre susceptibles de prendre un mouvement de rotation autour d'un axe commun, qui sert en même temps de guide à la queue du pêne. Ces plaques sont maintenues dans leur position normale, appuyées d'une part sur leur axe de rotation, de l'autre sur l'ergot du pêne, au moyen de six ressorts en acier F, fixés au côté supérieur de la cloison; elles sont découpées intérieurement et par-dessous suivant des profils divers.

F Ressorts des garnitures mobiles;

G Ergot rivé sur la queue du pêne;

H Pêne; il est évident que pour que le pêne puisse se mouvoir, il faut que l'ergot G cesse d'être arrêté par les saillies des découpures des gardes mobiles et glisse dans les intervalles étroits ménagés entre les trois échancrures principales de ces découpures. Celles-ci sont variées de forme; il faut donc que chacune des plaques soit soulevée à une hauteur différente pour que, au moment précis où le museau du panneton vient rencontrer la barbe du pêne, les six intervalles se trouvent en regard et livrent simultanément passage à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'ergot. Cet effet s'obtient en établissant une concordance parfaite entre la forme du profil inférieur des plaques mobiles et celle des redans de la clef. On voit d'après ces dispositions que la serrure à garniture mobile, fabriquée avec le soin convenable, est un instrument de précision. Il doit être très-difficile de fabriquer une fausse clef, même sur modèle; il est inutile de songer à prendre des empreintes intérieures.

L Délateur; cet ingénieux mécanisme ajoute une garantie de plus à la sûreté de la serrure. Il permet de reconnaître si l'on a fait quelque tentative pour la forcer, et, dans ce cas, il s'oppose à tout mouvement du pêne, tel que celui qu'on chercherait à obtenir par un instrument d'acier tranchant assez habilement fabriqué et manié pour couper et détruire du dehors les plaques de garniture. Le delateur se compose d'un petit levier dont l'axe de rotation est vers le milieu; il se termine d'un côté en crochet d'équerre, et de l'autre en ergot biseauté. Il est maintenu dans sa position habituelle par un petit ressort vertical, muni d'une plaque à rainure dans laquelle s'engage l'arête en biseau du levier.

Si l'on essaye d'ouvrir la serrure avec un autre instrument que la clef véritable, en soulevant les garnitures, on viendra rencontrer le crochet du délateur; on le dégagera ainsi de la pression du ressort vertical et il viendra tomber sur le pêne où il s'engagera par la barbe qu'il porte en dessous dans une encoche ménagée pour lui. Le pêne ne pourra plus, par suite de cet obstacle, recevoir aucun mouvement.

Quand on viendra ouvrir la serrure avec la véritable clef, on éprouvera une résistance qui avertira de la tentative criminelle dont elle a été l'objet. Pour faire revenir le délateur à sa position normale, il suffira de donner un tour de clef comme pour fermer la serrure.

M Bec-de-canne, avec son bouton de manœuvre, son ressort et tous ses accessoires.

N Levier fixé à mouvement de rotation sur le pêne qui permet de manœuvrer le bec-de-canne avec la clef.

Les premières de ces serrures, dont la sûreté est fondée sur l'emploi des gorges mobiles, sont dues à Baron, serrurier anglais, dont la patente date de 1774. Dans son système il n'y avait que deux plaques; les ergots étaient attachés sur elles et pénétraient dans des encoches du pêne, ou bien, ils étaient disposés à l'inverse, comme dans la serrure précédente.

En 1790, Bird eut l'idée du système des découpures intérieures des plaques, tel qu'il est appliqué aujourd'hui; il employait quatre garnitures.

Le délateur a été introduit par Mitchell et Lawton en 1815. Mais il n'a reçu sa forme définitive qu'en 1818 de M. Chubb, qui l'a fait servir à la fois pour l'avertissement du maître et pour l'arrêt définitif du pêne, comme nous l'avons expliqué. La maison Chubb est restée une des plus renommées de l'Angleterre pour l'excellence de ses produits.

Ces perfectionnements ont été introduits en France par M. Fichet, en 1829. Ce fabricant, en associant les serrures à gorge mobile au système de combinaisons invisibles dont nous avons essayé de donner précédemment une idée, et en introduisant dans les détails de la fabrication courante des serrures une précision inconnue en France jusque-là, est parvenu à livrer d'excellents produits à des prix abordables. Il a donné à cette intéressante industrie une impulsion qui mérite à son nom une place des plus honorables dans les annales de la serrurerie française.

Cependant les plus renommées de ces ingénieuses combinaisons ont eu leurs heures de revers. Pendant bien des années, on vit exposée à la devanture de la maison Bramah, à Piccadilly, une serrure accompagnée d'une affiche offrant 200 guinées à celui qui saurait la forcer. En 1851, M. Hobbs, mécanicien américain, accepta le défi et fut vainqueur. Il ouvrit aussi les serrures à gorge mobile de Chubb.

M. Hobbs était d'avis que, toutes les fois que les parties d'une serrure qui sont en contact avec la clef peuvent être affectées par une pression exercée sur le pêne, cette serrure peut être forcée dans un temps qui dépend de l'habileté et de l'expérience de l'opérateur. Il proposa divers perfectionnements qui étaient destinés à écarter cette cause de danger. Mais ces produits perfectionnés ne purent à leur tour résister à l'habileté de M. Gonter, agent de la maison Chubb. A la suite de ces défis réciproques eurent lieu d'intéressantes discussions sur l'art de la serrurerie à l'Institution des ingénieurs civils de Londres, et plusieurs ouvrages importants sur ce sujet furent publiés; c'est ce qu'on appela chez nos voisins *the lock controversy*, la controverse des serrures. Nous donnons plus loin la liste de ces documents pour ceux qui seraient curieux d'approfondir ce sujet.

COFFRES-FORTS.

Les moyens de fermeture et de défense que nous avons étudiés jusqu'ici, sont considérés comme insuffisants pour les chambres ou les meubles destinés à renfermer des objets précieux.

Les coffres-forts modernes sont composés d'une double enveloppe en tôle, dont l'intervalle est rempli de substances isolantes, terre cuite, ciment, etc. Des expériences souvent répétées ont suffisamment mis en évidence l'efficacité de ces enveloppes protectrices en cas d'incendie. Les assemblages des tôles sont l'objet d'une attention toute spéciale. Toutes les précautions sont prises pour éviter que la porte puisse être ouverte par le moyen de pesées agissant sur son pourtour. Enfin, les systèmes de serrures les plus sûrs et les plus ingénieux sont employés pour les fermer. Ces serrures commandent en général plusieurs pênes qui pénètrent dans les quatre feuillures de la porte. Plusieurs fabricants emploient des pênes circulaires et les combinent avec des pênes droits.

SIGNAUX, SONNETTES, etc.

L'ancien système de sonnettes est aujourd'hui remplacé dans la plupart des grands établissements par des arrangements beaucoup plus satisfaisants.

Les signaux électriques et les tubes acoustiques lui ont été presque partout substitués.

Les industries dont nous venons d'étudier les principaux produits, autrefois exercées par des ouvriers isolés, tendent depuis plusieurs années à se transformer par l'intervention des machines; le régime des manufactures s'est déjà imposé à plusieurs d'entre elles. Les machines ont permis de livrer certains objets à un bon marché inouï: toutefois il ne faut pas se dissimuler que souvent ce bon marché n'est que trop largement compensé par l'imperfection de ces produits. La ferronnerie (crémones, espagnolettes, paumelles, fiches, verrous, vis, boulons) a ses principales fabriques à Charleville (Ardennes), Laigle (Orne), Rugle (Eure), Saint-Étienne (Loire), Beaucourt (Haut-Rhin) et dans le département de la Somme. La serrurerie proprement dite (fermeture des bâtiments et des meubles) est principalement exercée dans les départements de la Somme (Feuquières, Bourg d'Ault, Escarbotin, Bettancourt), de l'Orne, du Jura, de la Loire (Saint-Étienne, Saint-Bonnet-le-Château), du Haut-Rhin et de la Haute-Saône. Les fabricants du faubourg Saint-Antoine, à Paris, sont renommés pour la serrurerie de meubles, et pour la fabrication de tous les objets délicats et d'ornement où l'intelligence et l'habilité de l'ouvrier ont à lutter avec l'élégance de la forme et la richesse de la décoration. Les produits de Saint-Étienne, d'un aspect plus grossier, se distinguent par leur solidité et par leur bon marché. La serrurerie de Picardie et de Franche-Comté a sa place entre ces deux extrêmes. Ce commerce a son prin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cipal entrepôt à Paris et donne lieu à une exportation considérable.

Bibliographie. — *De la fidelle ouverture de l'art du serrurier*, par Mathurin Jousse, 1627; *Nouveau livre de serrurerie*, par Louis Fordrin, 1724, in-fol.; Duhamel du Monceau, *Art du serrurier*, 1767; *Encyclopédie, recueil de planches*, 1771; Manuels Roret, *Manuel du serrurier*, 1866; *A Dissertation on the construction of locks*, by Joseph Bramah, London, 1815; *Minutes of proceedings of the institution of civil engineers*, Londres, 9e vol., 1849-1853; *On the construction of locks and keys*, by John Chubb; 13e vol., 1853-1854, *On the principles and construction of locks*, by Alfred-Charles Hobbs; *Journal of the Society of arts*, 1 vol.; *Aperçu historique de la serrurerie chez les anciens*, par le colonel Ch. Emy, Metz, 1851; *Treatise on the construction of locks*, by M. Hobbs, London, 1853 (Weale's rudimentary series); *Treatise on fire and thief proofs depositories and loks and keys*, by George Price, London, 1856; *Treatise on Gunpowder proof locks, gunpowder proof lock chambers, drill proof safes*, etc., by Price, 1860; *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1834, 1835, etc., Félibien; Viollet Leduc. *Dictionnaire de l'architecture française*, 1866; *Tomlinson cyclopædia of useful arts and manufactures*, London and New-York, 1853, 1866.

SILICIUM. M. Deville a donné le moyen d'obtenir le silicium en masse agglomérée.

La préparation se conduit de la manière suivante : on fait rougir un creuset de terre et on y verse un mélange fait avec soin de trois parties de fluosilicate de potasse, d'une partie de sodium coupé en petits fragments, et d'une partie de zinc en grenaille. Une réaction faible accompagne la réduction du silicium, et elle serait insuffisante à produire la fusion complète des matières mises en présence. Il faut donc chauffer le creuset au rouge et le maintenir pendant quelque temps à cette température jusqu'à ce que la scorie soit parfaitement fondue. A partir de ce moment on laisse la masse se refroidir lentement et on attend que la solidification soit complète pour casser le creuset. On trouve alors, comme produit de l'opération, un culot de zinc pénétré dans toute sa masse, et surtout à sa partie supérieure, de longues aiguilles de silicium. Ce sont des chapelets d'octaèdres réguliers emboités les uns dans les autres. Pour les extraire, il suffit de dissoudre par l'acide chlorhydrique le zinc qui sert de gangue et de faire bouillir le résidu avec l'acide nitrique.

Si l'on préfère chasser le zinc par distillation à haute température, le silicium reste dans le creuset, se réunit en culot et peut être coulé dans des moules; par ce moyen on obtient le silicium en lingots.

C'est ainsi que MM. Deville et Caron sont parvenus à se procurer en quantité notable une matière qui n'existait qu'en petits échantillons qu'on n'osait sacrifier en vue des applications, et ont pû consacrer le produit de leurs opérations à étudier les propriétés que le silicium communique aux métaux usuels en s'y unissant. C'est le cuivre qui a fourni les résultats les plus intéressants : 12 p. 100 de silicium rendent le cuivre cassant et blanc comme le bismuth. Mais à la dose de 4,8 p. 100, l'alliage possède une belle couleur bronze-clair; il est un peu moins dur que le fer, il se comporte à la lime, à la scie et au tour exactement comme le fer, tandis que le bronze ordinaire, beaucoup moins dur, graisse les outils. Sa ductilité est parfaite, il passe à la filière sans se rompre et il donne des fils d'une grande ténacité.

Les autres alliages deviennent d'autant plus durs que la quantité de silicium augmente, mais ils perdent en même temps leur ductilité. Ils sont tous également remarquables par cette particularité que le silicium est uniformément distribué dans toute la masse et ne donne pas lieu au phénomène de la liquation.

SILO. Parmi les divers moyens de conserver les grains, une coutume traditionnelle enseigne à certains peuples la pratique de greniers souterrains. C'est surtout dans les contrées chaudes du bassin méditerranéen que cette coutume se retrouve. On la trouve encore en vigueur dans certaines parties de l'Espagne (Estramadure, Andalousie), de la Sicile et de l'Italie (Toscane, Italie méridionale) et surtout en Algérie et dans plusieurs autres contrées occupées par les Arabes. En Espagne, on donne à ces greniers souterrains le nom de *silo* que nous avons adopté en France. Généralement les silos que l'on trouve en usage dans les pays qui viennent d'être cités sont très-anciens, et beaucoup d'entre eux ont été construits certainement par les Romains ou les Arabes. L'habitude d'y conserver les grains s'est perpétuée de génération en génération dans les localités où se trouvaient les meilleurs silos. Il y a donc là une expérience séculaire qu'il est de la plus haute importance de connaître à fond, avant d'imiter aujourd'hui cette antique méthode de conservation. C'est là ce que comprit parfaitement L. Doyère, lorsque, abordant cette question en 1852, il débuta par des voyages en Espagne et en Algérie pour examiner scrupuleusement les silos en usage et le blé conservé par ce moyen. C'est alors qu'il put discerner les vraies conditions de la conservation des grains en silos (qu'il nomma *ensilage*), expliquer les insuccès trop connus de Ternaux à Saint-Ouen, et établir définitivement les faits suivants : le blé se conserve bien dans les silos souterrains hermétiquement clos, sans vide préalable ni introduction d'aucun gaz, d'aucune vapeur; il n'y subit ni déchet, ni dépréciation; il n'exige, pendant tout le temps qu'il reste dans le silo, aucun soin, aucune dépense d'entretien. Pour se conserver pendant un temps indéterminé, dit M. Focillon, auquel nous empruntons ces lignes, le blé doit, au moment où on le met en silo, contenir 15 à 16 p. 100 de son poids d'humidité, être exempt de toute odeur ou saveur, et n'en avoir jamais eu depuis la moisson; le blé contenant plus de 15 à 16 p. 100 d'humidité ne se conserverait pas au delà de 6 années. Les silos doivent être souterrains, parce qu'une température basse comme celle des caves et des puits arrête la fermentation du grain et le développement des insectes et autres animalcules; du moment où le silo, hermétiquement clos, ne peut donner nul accès à l'air extérieur ni à l'humidité, la conservation du blé ne dépend en rien du climat ni de la nature du sol. Après une dizaine d'années d'expériences et d'études, L. Doyère est arrivé à proposer aux agriculteurs, pour la conservation absolue des grains, un procédé d'ensilage que l'on peut résumer ainsi : dans un terrain sain, creuser une excavation cylindrique dont les dimensions dépendent du volume de blé que le silo recevra, mais ne sauraient guère excéder 6 mètres en diamètre et 8 mètres de profondeur, et peuvent être notablement moindres; revêtir intérieurement cette excavation de ciment, de bitume ou d'une bonne maçonnerie imperméable, et placer dans ce revêtement un grand vase en tôle forte (0m,003 d'épaisseur), représentant assez bien une grosse bouteille qui préservera sûrement contre toute humidité et sur lequel sera moulé le revêtement indiqué précédemment. Un orifice de 0m,40 à 0m,60 vient se présenter à fleur du sol; on le ferme hermétiquement avec un opercule en tôle et on recouvre avec une légère couche de terre sèche.

Les récoltes de céréales ne sont pas seules susceptibles de se conserver dans les silos; ce moyen est même plus fréquemment employé pour les récoltes de carottes, betteraves, choux, pommes de terre. Un sol bien sain est encore la condition première à remplir, et on doit se placer à l'abri de l'arrivée et du séjour des eaux. Les conditions d'exécution varient suivant la nature de la récolte, dont, au reste, cette conservation ne comporte que quelques mois et n'excède pas une année.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. Parmi les institutions qui ont puissamment contribué aux progrès, à la création, on peut dire de l'industrie manufacturière en France, on doit, sans contredit, citer au premier rang la Société d'encouragement. Fondée au commencement du siècle, lorsqu'à la rage destructive des révolutionnaires ou à l'incapacité de leurs héritiers succédaient, aux applaudissements de toute la France laborieuse, les efforts énergiques de Bonaparte, premier consul, pour replacer la société sur ses bases, elle a glorieusement poursuivi son œuvre depuis cette époque, et depuis Jacquart, qu'elle a encouragé dès ses premiers essais, une grande partie des inventeurs qui ont honoré l'industrie française, Philippe de Girard, Guimet, par exemple, ont été ses lauréats, ont travaillé sur des questions mises par elle au concours.

Avant d'insister sur les services rendus par la Société, nous donnerons l'historique de sa fondation, en reproduisant une notice intéressante rédigée par Th. Olivier, à l'aide de renseignements puisés dans les archives de la Société.

I. En l'an IX, M. de Lasteyrie, qui revenait de Londres, se rendit chez M. Benjamin Delessert ; plusieurs hommes, amis de leur pays et éminents dans les sciences, l'industrie et l'administration, se trouvaient en ce moment dans les salons de la rue Coq-Héron.

M. de Lasteyrie parla de ce qu'il avait remarqué dans son voyage, et surtout de la Société fondée à Londres sous le titre : « Société pour l'encouragement des arts, des manufactures et du commerce. » Il fit ressortir tous les services qu'elle avait rendus à l'industrie anglaise. M. de Candolle, qui venait de fonder la Société philantropique, et qui avait vu venir à lui à cette occasion beaucoup d'inventeurs malheureux, proposa aussitôt d'imiter cette utile institution. Après avoir causé quelque temps sur ce sujet, on reconnut la nécessité de fonder à Paris une Société d'encouragement à l'instar de celle de Londres, et les premières bases de cette création furent immédiatement posées. On fit circuler une liste d'adhésion, et, le 12 vendémiaire an X, une réunion préparatoire eut lieu.

A cette réunion assistaient quatorze membres, ainsi que l'attestent leurs signatures. Ce furent les citoyens Allard, Tessier, Huzard, Bardel, Vitry, Montgolfier, Hennebert, Cels, de Gerando, Scipion Périer, Cadet de Vaux, Bertrand, Coulomb, L. Costaz aîné.

Dans cette première réunion, on vota des remercîments au troisième consul (Lebrun) et au ministre de l'intérieur (Chaptal) qui, voulant donner à l'institution naissante une preuve de l'intérêt qu'ils prenaient à ses succès, avaient souscrit, le premier pour trente souscriptions, et le second pour cinquante. On lit encore dans le procès-verbal de cette réunion ce qui suit :

Le zèle qu'ont manifesté un grand nombre de bons citoyens pour seconder les efforts des fondateurs leur ont fait penser qu'il était instant de désigner plusieurs commissaires soit pour recevoir les fonds, soit pour être députés près des principaux magistrats de la république, en leur portant l'invitation d'honorer de leur nom la liste des souscriptions, soit enfin pour préparer la première assemblée et la convoquer.

On choisit, pour recevoir le montant des souscriptions, les citoyens François Delessert (banquier), Scipion Périer (banquier et membre du conseil général d'agriculture, arts et commerce), Huzard (membre de l'Institut national et du conseil général d'agriculture).

On choisit ensuite pour commissaires, à l'effet de préparer et de convoquer la première assemblée, soit pour aller en députation auprès de ceux qu'ils croiraient convenables d'inviter d'une manière spéciale à souscrire, les citoyens Costaz (membre de l'Institut d'Égypte, du tribunal et du jury des arts), Bosc (tribun et membre du jury des arts), Bardel (membre du conseil général d'agriculture, arts et commerce), Silvestre (secrétaire de la Société d'agriculture de la Seine et membre du conseil général d'agriculture, arts et commerce), Lasteyrie (membre de la Société d'agriculture de la Seine), de Gerando (membre de l'Institut national).

Il est de toute évidence que les membres présents à cette réunion préparatoire, et que l'on peut désigner sous le nom de première réunion officielle, n'auraient point donné des délégations à des citoyens qui n'auraient point adopté leurs idées et pris part à la discussion de leurs projets.

Nous devons donc reconnaître que MM. Bosc, Silvestre, Lasteyrie, François Delessert étaient au nombre des fondateurs de la Société nouvelle.

Mais qui ne sera pas surpris en remarquant que le nom de l'homme chez qui les discussions avaient eu lieu, chez qui on avait élaboré le projet, ne se trouve ni parmi ceux des membres présents, ni parmi ceux des membres délégués? Qui pourrait cependant douter un seul instant que M. Benjamin Delessert ne soit un des fondateurs de notre Société?

Et de ce fait ne devons-nous pas en conclure que la liste des dix-huit membres que nous fournit cette première réunion officielle n'est pas complète, et que beaucoup furent empêchés, ainsi que cela arrive si souvent de nos jours?

Aussi, invoquant les souvenirs de M. François Delessert, plaçons-nous sur cette liste deux noms illustres dans les sciences, ceux de Monge et de Berthollet, noms inséparables dans la vie privée comme dans la vie publique, et deux autres noms illustres aussi dans nos fastes nationales, ceux de Mathieu Montmorency et de Regnaud de Saint-Jean-d'Angely.

Mais, en invoquant aussi les souvenirs des premiers fondateurs, que nous avons le bonheur de posséder encore parmi nous, plusieurs noms devraient être placés sur cette liste, ceux de MM. de Candolle, Chaptal, Périer (membre de l'Institut), Conté, Fourcroy, Molard aîné, etc., etc.

Et ces noms, nous les retrouvons sur la liste des membres composant le conseil d'administration qui fut institué dans la première assemblée, qui eût lieu le 25 brumaire an X, et qui fut complété dans la seconde qui eut lieu environ six mois après, le 9 messidor an X.

II. La publication du Bulletin de la Société commence à la première séance de vendémiaire an XI (un an après la séance préparatoire pour la fondation) ; les procès-verbaux des séances antérieures ne sont point imprimés.

La liste des deux cent soixante-dix-neuf premiers souscripteurs, liste arrêtée en séance générale le 9 nivôse an X, a été imprimée à part ; elle n'est point insérée dans le Bulletin de la Société, en sorte que, si l'on n'avait conservé avec soin dans nos archives les minutes de ces premières séances de la Société et un exemplaire de la liste des premiers souscripteurs de l'an IX et de l'an X, il aurait été impossible à vos commissaires d'établir d'une manière certaine et digne de confiance le tableau des soixante-cinq fondateurs et premiers administrateurs de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Ces premiers procès-verbaux, précieux pour l'histoire de notre Société, doivent donc être imprimés ; d'ailleurs, ils renferment des documents importants et utiles à l'industrie. Leur lecture conduit tout naturellement à des réflexions que je vais avoir l'honneur de vous soumettre.

En 1801, notre industrie était assez arriérée ; nous devions la perfectionner et l'activer pour espérer pouvoir un jour entrer en concurrence sur les marchés étrangers avec l'Angleterre et même avec l'Allemagne. Les efforts faits sous la Convention, pour la défense de l'indépendance du territoire, montraient de quelle énergie

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le peuple français était doué ; les problèmes scientifiques résolus alors pour créer des fabriques d'armes, et le salpêtre que nous ne pouvions plus recevoir de l'étranger, montraient de quel esprit d'invention étaient doués les savants français.

Les hommes éminents qui, en 1801, présidaient aux destinées futures de la France sous l'inspiration d'un chef jeune et dévoué à sa patrie, comprirent toutes les ressources qui résidaient en cette volonté nationale, en cet esprit scientifique, si on les dirigeait vers les applications des sciences aux arts industriels. Aussi, lorsque les premières ouvertures furent faites pour la création de la Société d'encouragement, vit-on la liste des souscriptions se couvrir des noms alors les plus considérables, et qui, depuis, ont grandi dans l'histoire nationale.

C'est Bonaparte, premier consul et membre de l'Institut, s'inscrivant pour cent souscriptions.

Cambacérès et Lebrun, deuxième et troisième consuls, s'inscrivant le premier par douze souscriptions et le second par trente.

Parmi les savants nous remarquerons :

Cabanis, — Laplace, — Gillet-Laumont, — Bigot-Préameneu, — Lebreton, — Hachette.

Parmi les hommes politiques nous remarquons:

Benjamin Constant, — Le général Lafayette. — Say, Boulay (de la Meurthe), — Sieyès, — Crétet, — Camille Jordan, — De Luynes (Albert).

Nous serions obligé de reproduire ici en entier cette liste vraiment remarquable, si nous voulions faire passer sous vos yeux les noms de tous les citoyens qui, à cette époque, étaient si utiles au pays soit pour sa gloire, soit pour sa prospérité.

On voit comment, lorsque l'on fut un peu remis de la tourmente révolutionnaire, on songea sérieusement à donner au pays une éducation vraiment utile, et les grands penseurs de cette époque la basèrent sur l'alliance de la théorie et de la pratique. Ce fut dans cette pensée que furent créées les écoles centrales ; aussi ne doit-on pas être surpris de voir les savants les plus illustres, les Monge, les Berthollet, les Fourcroy, les Laplace, les Chaptal, les Parmentier, etc., etc., les hommes politiques les plus éminents, les Bonaparte, les Cambacérès, les Say, les Benjamin Constant, etc., etc., s'empresser d'écrire leurs noms sur la liste des souscripteurs de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, car dans leur pensée cette Société devait être la véritable Académie des sciences appliquées.

III. Le caractère de l'œuvre que la Société d'encouragement s'efforce d'accomplir est bien celui caractérisé dans ces dernières lignes. Son conseil a toujours été composé d'hommes qui, comme ses illustres présidents, Chaptal, Thénard, et aujourd'hui M. Dumas, étaient en même temps savants et industriels, toujours préoccupés de la science utile, applicable, cherchant à déduire de spéculations abstraites les lois des procédés de la pratique, de manière à s'acheminer sans cesse vers la perfection de l'industrie scientifique.

Industrie scientifique signifie réunion intime des sciences et des arts ; les règles à suivre pour la pratique industrielle étant et ne pouvant être autre chose que les vérités dont la réunion constitue la science. C'est ainsi, pour préciser par quelques exemples, que les fourneaux, pour donner les températures voulues avec le minimum de dépenses, doivent être établis conformément aux principes de la physique ; que dans les usines de produits chimiques, les dosages des matières doivent être réglés d'après les équivalents déterminés en chimie ; que les dimensions des pièces des machines et des constructions doivent être calculées d'après les règles fixées par la mécanique, etc. C'est évidemment la voie de la perfection pour l'industrie, celle qui conduit aux plus grands progrès. (La question des rapports de la science et de l'industrie a été traitée avec trop de détails dans l'*Introduction* du présent ouvrage pour que nous insistions davantage sur ce point.)

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT.

La Société poursuit son œuvre par tous les moyens qui lui paraissent propres à lui faire atteindre le but de sa fondation. Passons-les en revue :

1° Son Bulletin, publication destinée à vulgariser les progrès accomplis, à faire connaître les tentatives d'améliorations faites dans toutes les directions, les découvertes scientifiques qui peuvent avoir des applications industrielles forme une revue mensuelle de science industrielle très-complète. Ce sont surtout les rapports des membres du conseil, lus et discutés dans ses séances, sur les inventions nouvelles qui lui sont soumises, qui donnent un grand prix à une publication où les efforts des inventeurs se trouvent appréciés par des juges très-compétents, dont l'approbation est de si grande valeur qu'elle détermine presque toujours un succès industriel immédiat.

2° Les prix pour des sujets mis au concours ont été, surtout à l'origine de la Société, lorsque l'industrie était moins avancée, son principal mode d'action. Définir une découverte possible, exciter aux recherches par l'importance du prix proposé, c'est ce qu'elle a fait souvent avec le plus grand succès. Ce fut ainsi, par exemple, qu'elle fit naître l'industrie de l'outremer artificiel.

On avait trouvé, à Saint-Gobain, en démolissant un four à soude, des morceaux de grès colorés en bleu, recouverts d'outremer. Gay-Lussac rédigea le programme d'un prix destiné à récompenser l'inventeur qui saurait retrouver les conditions dans lesquelles il s'était ainsi produit. Il fut remporté par Guimet, préparateur de chimie, et l'industrie fut dotée, au grand et juste profit de l'inventeur, d'une couleur bleue très-précieuse et dont le prix devint abordable pour une multitude d'applications. Bien déterminer les sujets des prix, c'est-à-dire rédiger le programme de progrès possibles, c'est une œuvre éminemment utile, et les savants membres du conseil de la Société sont ainsi souvent les collaborateurs désintéressés d'inventeurs ingénieux.

3° Les prix pour les grandes inventions, qui sont l'honneur de l'industrie française. — Grâce surtout à un généreux fondateur, le marquis d'Argenteuil, la Société décerne, à intervalles réguliers, un prix de 12,000 fr. aux grandes inventions de l'époque. Disons seulement qu'il a été décerné à Chevreul pour les bougies stéariques, à Vicat pour les mortiers hydrauliques, à Soul pour la galvanisation du fer, à Champonnois pour les distilleries agricoles.

4° Enfin grâce à diverses fondations, l'œuvre de la Société s'est encore étendue et développée.

Annuités de brevets. Pour favoriser l'inventeur peu fortuné et lui permettre de compléter ses recherches sans inquiétude sur les résultats qu'il en peut retirer, une annuité de première année de brevet est accordée à l'inventeur qui, ayant confié à un membre du conseil son invention, en apporte une attestation qu'elle n'est pas sans valeur. Ce mode d'encouragement est des plus recherchés et a besoin de se développer par un accroissement de ressources spéciales.

Médailles de contre-maîtres. Ces médailles, décernées aux vieux serviteurs de l'industrie, sont appréciées dans les ateliers comme la plus belle récompense d'une carrière de travailleur. Leur distribution est souvent la partie la plus émouvante des grandes séances que la Société tient dans son bel hôtel de la rue de Rennes, (place Saint-Germain-des-Prés),

Secours aux inventeurs malheureux, aux vieillards, aux veuves. Le legs Bapst, quelques fondations, quelques fonds spéciaux, permettent à la Société d'encouragement de soulager les souffrances, d'abriter de la misère bien des personnes méritantes. On ne connaît pas assez combien il reste de blessés sur le champ de bataille de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'industrie, bien plus souvent par suite d'inhabileté commerciale que par manque de génie industriel. En 1880 le legs si généreux du comte et de la comtesse de Jollivet augmentera assez les ressources de la Société pour qu'elle puisse agrandir beaucoup la sphère de son action bienfaisante, qui lui vaut déjà tant de bénédictions, quand même l'accroissement du nombre des membres de la Société ne le permettrait pas. Nous insisterons un peu sur ce point.

Ce qui précède, et les connaissances que chacun a pu acquérir de quelque mode d'action de la Société, suffit pour montrer toute son utilité; cependant elle ne compte pas un nombre de membres aussi grand qu'on devrait le supposer. Fondée sur le principe de l'association, elle peut faire d'autant plus de bien qu'elle repose sur une base plus large. D'après ce qui a été réalisé avec le concours de mille ou quinze cents membres, on peut prévoir ce qui serait possible si les cinq ou six mille personnes qui sont à la tête de l'industrie française ne négligeaient pas de se faire inscrire parmi ses membres. Ses ressources quadruplées ne permettrait pas seulement de multiplier ses publications, ses prix, ses encouragements de toute nature pour aider aux progrès industriels, mais encore les travaux de son conseil, réchauffés par une notoriété vivifiante, par des communications fréquentes avec toutes les sommités de l'industrie, se multiplieraient au grand profit de la science et de la pratique industrielle.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale est une magnifique institution qu'il appartient à chaque industriel de grandir et de rendre plus utile par son concours, comme souscripteur et comme correspondant.

IV. Extrait des statuts de la Société. — La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a pour but l'amélioration et le développement de toutes les branches de l'industrie française.

Elle a son siége à Paris.

Pour devenir membre de la Société, il faut être présenté par un membre et reçu par le conseil d'administration.

Chaque membre de la Société s'engage à payer une cotisation de *trente-six francs* par année.

Les souscriptions sont payables d'avance.

Les membres à vie sont ceux qui ont été autorisés, par une délibération du conseil, à verser un capital unique de 500 francs pour remplacer leur cotisation pendant leur vie entière.

Les membres perpétuels-donateurs sont les membres qui ont été autorisés, par une délibération spéciale du conseil, à verser une somme unique de 1.000 francs pour représenter leur cotisation à perpétuité et obtenir la faculté de transmettre leur droit de membre de la Société à ceux de leurs héritiers qui rempliraient les conditions nécessaires pour être éligibles, ou bien à un établissement d'intérêt public.

Les fonds provenant de la souscription sont employés:

A décerner les prix pour l'invention et le perfectionnement et l'exécution des machines ou procédés avantageux à l'agriculture, aux arts et manufactures.

A introduire en France les procédés établis avec avantage dans les manufactures étrangères.

A répandre l'instruction relative à l'agriculture, aux arts et manufactures, soit par la voie de l'impression et de la gravure, soit en faisant former des élèves dans branches d'industrie utiles à naturaliser ou à étendre en France.

A faire des expériences nécessaires pour juger le degré d'utilité qu'il est possible de retirer des nouvelles inventions annoncées au public.

Le conseil d'administration écrit et agit au nom de la *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*

Il autorise, sur le rapport des divers comités qui le composent, les dépenses nécessaires pour remplir l'objet de l'association.

Il admet les personnes qui demandent à faire partie de la Société, sur la présentation d'un membre.

Il élit, à la majorité absolue, les membres du conseil pour remplir les vacances survenues dans son sein.

Il choisit des correspondants en France et à l'étrangor sur la présentation des six comités.

Il est chargé, par l'assemblée générale, de prendre les mesures nécessaires pour remplir l'objet de la Société.

Il rend compte de sa gestion à l'assemblée générale.

Il est composé de cent membres, savoir :

Un comité de seize membres, qui s'occupe de l'amélioration des branches d'industrie qui dépendent des *arts mécaniques* ;

Un comité de seize membres, qui s'occupe de l'amélioration des branches d'industrie qui dépendent des *arts chimiques* ;

Un comité de seize membres, qui s'occupe de l'amélioration de l'*agriculture* ;

Un comité de seize membres, qui s'occupe des *arts économiques* et des applications de la *physique* ;

Un comité de seize membres, qui s'occupe de l'*art des constructions et des beaux-arts appliqués à l'industrie*;

Un comité de dix membres, qui s'occupe du *commerce* ;

Une commission *des fonds*, composée de dix membres.

L'assemblée générale nomme le bureau, à la majorité absolue, parmi les membres du conseil, savoir :

Un président ;

Quatre vice-présidents ;

Deux secrétaires ;

Un trésorier ;

Deux censeurs.

La nomination des membres du conseil qui ont été élus depuis la séance générale de l'année précédente est soumise à la ratification de l'assemblée générale.

Les comités se concertent sur la fixation du jour et de l'heure de leurs séances, de manière à ce que les séances ne coïncident point entre elles.

Le conseil s'assemble en séance ordinaire deux fois par mois.

Le bureau convoque extraordinairement le conseil, lorsque les circonstances l'exigent.

Les assemblées générales ont lieu au moins deux fois par an.

La première est consacrée :

A entendre le rapport des travaux du conseil d'administration ;

A entendre le rapport de la commission des fonds et celui des censeurs ;

A décerner les médailles d'encouragement et les prix mis au concours par la Société ;

A proposer les prix que la Société croit devoir mettre au concours pour l'encouragement de l'industrie ;

La deuxième assemblée générale est principalement consacrée :

A nommer le bureau de la Société ;

A ratifier la nomination des membres du conseil élus pendant l'année ;

A décider les questions réglementaires proposées par le conseil d'administration.

Le conseil d'administration fixe le jour, l'heure et le lieu des assemblées générales, et convoque les membres de la Société.

Lors de l'assemblée générale pour les élections, il est dressé des listes de candidats, sur des feuilles portant la désignation des membres du bureau à élire et celle des membres du conseil élus dans l'année, et dont l'assemblée est appelée à ratifier la nomination. Les membres présents y inscrivent leur vote.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOLIDES (CONSTITUTION DES CORPS).—On ne peut traiter de l'état des solides sans parler de suite de ce qui constitue leur caractère dominant, à savoir de la cohésion qui en réunit les molécules et qui est, dans quelques-uns d'entre eux, assez grande pour qu'il soit nécessaire d'exercer des effets extrêmement considérables pour rompre ces corps ou pour les déformer.

C'est en soumettant ces corps à l'action de forces qui en modifient les formes, que nous pouvons le mieux nous rendre compte de leur constitution; leur résistance prouvant bien clairement l'existence de forces intermoléculaires dont l'énergie est l'objet des nombreuses recherches des physiciens et des ingénieurs.

Nous savons que ces forces agissent à une certaine distance, que les molécules matérielles ne sont jamais en contact dans aucun corps solide, même dans ceux qui sont les plus durs. Cette porosité, cet écartement des molécules, se vérifie par un grand nombre de propriétés diverses : tantôt par le passage à travers le solide d'un liquide, d'un gaz; tantôt par la transparence qu'acquiert la substance réduite à une faible épaisseur. Mais c'est surtout la diminution de volume qui accompagne le refroidissement, qui démontre le constant écartement des molécules des corps solides.

Élasticité statique des solides. — La résistance que tout corps solide oppose à une action de traction démontre, comme nous venons de le dire, l'existence d'une force produisant la *cohésion*. La résistance à la compression indique de même l'existence d'une force agissant en sens contraire de la première.

Quand on soumet un prisme solide quelconque à un effort extérieur de traction ou de compression, et qu'on étudie les effets produits avec un appareil suffisamment délicat, on voit que les molécules dont il se compose s'écartent dans certaines directions, se rapprochent dans d'autres, et que le corps subit une déformation générale, qui dépend : d'une part, de la direction et de l'intensité de l'effort, de sa durée et du point auquel il est appliqué; d'autre part, de la figure extérieure de ce corps, du nombre, de la forme et de la disposition des points d'appui, etc. Les expériences que l'on possède à ce sujet, qui sont d'une précision assez grande pour pouvoir servir de base à des déductions théoriques, se rapportent surtout à quelques cas très-simples, tels que celui des corps cylindriques ou prismatiques, tirés ou refoulés dans le sens de leur axe. C'est ce que nous avons déjà vu à l'article RÉSISTANCE *des matériaux*.

Notions sur la raideur et la résistance élastique des prismes. — Nous avons défini, à l'article RÉSISTANCE, le coefficient d'élasticité, et avons vu qu'en appelant E ce coefficient, i l'allongement proportionnel par mètre et P la traction exercée, S étant la section du corps considéré, on avait : $P = ESi$ kilog., pour calculer la valeur de P capable de produire un allongement i par mètre, dans l'étendue pour laquelle cet allongement est proportionnel à la charge, ne produit pas de déformation permanente.

Pour en acquérir une notion plus précise, si l'on suppose l'aire S des sections transversales de la barre égale à l'unité superficielle, que l'on cherche le poids P' capable de faire $i = 1$, c'est-à-dire qui pourrait allonger la barre d'une quantité égale à sa propre longueur, si un pareil allongement était possible dans les conditions de proportionnalité admises ci-dessus, on aurait $P' = E$; c'est-à-dire *que le coefficient d'élasticité d'une substance homogène est le poids qui serait capable d'allonger une barre élastique de cette substance, ayant l'unité de surface pour section transversale, d'une quantité égale à sa longueur primitive.*

J'essayerai de compléter cette définition, qui, pour beaucoup d'esprits, semble une simple convention, et de bien faire comprendre la valeur physique de ce nombre, qui représente *la résultante de la totalité des forces de cohésion qui agissent dans la direction de l'action mécanique exercée sur le corps.*

En effet, la barre élastique de longueur 1, pouvant être considérée comme un ressort parfait (dans les limites de l'élasticité),

un poids K le comprimera de la quantité δ;
— 2K — — 2δ;
. . . . . .
— $\frac{1}{\delta}$K — — $\frac{1}{\delta}\delta$.

Or $\frac{1}{\delta}\delta$, c'est l'unité, $\frac{1}{\delta}$K, le rapport du poids à l'allongement qu'il produit, c'est E; donc ce coefficient est égal au poids produisant l'aplatissement complet du ressort à boudin de forme conique par lequel on peut remplacer pour un instant la barre élastique, et mesure bien la totalité du travail résistant, pour l'unité de longueur que peut produire la force élastique de ce ressort suivant son axe. Chaque élément de cette résistance étant la cohésion qui réunit deux molécules, sa totalité représente la résultante de l'action des forces de cohésion.

Nous rapporterons ici les coefficients d'élasticité pour les principaux métaux, déterminés par un physicien qui a apporté à ces expériences la plus admirable précision, Wertheim. Nous citons des corps fondus pour la plupart, et qui satisfont le moins imparfaitement aux conditions d'homogénéité. (Ces valeurs de E se rapportent à une section d'un millimètre, et résultent d'observations directes d'allongement.)

	Coefficient E.
Plomb	1775
Étain	4172
Or	5584
Argent	7140
Zinc	9021
Platine	15683
Cuivre	10519
Fer	20794
Acier fondu	19564

Du coefficient d'élasticité, de sa valeur virtuelle en quelque sorte, obtenue à l'état statique, il faut prendre garde de tirer des résultats erronés si on vient l'appliquer à l'état dynamique, puisqu'il y a alors à tenir compte d'un phénomène secondaire de contraction ou de dilatation qui se produit lorsque la charge s'établit. En effet, nous avons admis implicitement que le corps soumis à une traction était formé de fibres ou files de molécules parallèles et équidistantes. En réalité, il n'en est pas ainsi, et les réseaux ou losanges formés par les molécules, dont les côtés sont obliques par rapport à la direction générale de la traction, tendent à se resserrer dans un sens quand on les allonge de l'autre.

La longueur primitive L devenant L + l, ou L $(1 + i)$, si la section moyenne S diminue par suite de l'effet que je viens d'indiquer et devient égale à S$(1-\alpha)$, on voit que le volume du prisme, au lieu d'être LS, deviendra LS $(1 + i)$ $(1 - \alpha)$, ou, en négligeant un terme très-petit, LS $(1 + i - \alpha)$. On voit qu'à moins d'égalité entre i et α, le volume varie avec l'allongement.

Wertheim, en expérimentant sur du caoutchouc, a trouvé que l'allongement produit, pour cette substance, une augmentation du volume, et $i - \alpha$ était sensiblement égal au tiers de l'allongement i.

Observation. — Les expériences très-précises de Wertheim ont établi qu'une vraie limite d'élasticité n'existait pas, et que si l'on n'observe pas d'allongement permanent pour les premières charges, c'est qu'on ne les a pas laissées agir assez de temps, ou que la verge soumise à l'expérience est trop courte relativement au degré d'exactitude que peut donner l'instrument qui sert à mesurer. On doit en conclure que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

seule étude des corps solides, considérés comme formés de molécules en repos, est insuffisante pour l'analyse complète des phénomènes.

Corps durs. — Toutes les expériences sur l'élasticité des solides se rapportent essentiellement, comme nous l'avons dit, aux corps homogènes ; elles deviennent d'une grande difficulté lorsqu'il s'agit de corps non homogènes, dont les molécules sont groupées d'une manière non uniforme dans toutes les directions. Tels sont les corps cristallisés, dont l'élasticité n'est pas la même dans tous les sens.

La science est parvenue à atteindre indirectement les phénomènes d'élasticité dans ces corps, à l'aide de la théorie qui établit un rapport entre celle-ci et les vibrations sonores.

Peut-être pourrait-on directement obtenir une notion qui aurait beaucoup d'intérêt, je veux parler de la mesure approchée du travail correspondant à la rupture des cohésions moléculaires, de celui nécessaire pour réduire un solide en poudre impalpable, pour pratiquer le broyage si usité dans les arts.

On sait fort bien qu'il faut des quantités de travail très-différentes pour pulvériser des substances de nature diverse; mais l'approximation que l'on pourrait déduire de fabrications industrielles serait tout à fait sans valeur. Ce n'est pas seulement parce qu'elle est grossière, mais parce qu'elle néglige un élément essentiel de la question : je veux parler de la quantité de travail qui est consommée à ébranler les supports du mortier dans lequel s'effectue le broyage. Ainsi, s'il s'agit d'un corps vitreux, tandis qu'il sera brisé par le moindre choc s'il est en porte à faux, s'il est soutenu seulement par ses extrémités, il pourra, au contraire, supporter des chocs nombreux sans être brisé, s'il est placé bien à plat au fond du mortier, et, par suite, le travail apparent, auquel ils correspondront, sera employé à tout autre chose qu'à vaincre les cohésions moléculaires du corps.

Il y aurait de curieuses expériences à faire avec des instruments de broyage plus perfectionnés, en adoptant des dispositions permettant d'evaluer le travail mécanique réellement employé au broyage. La comparaison de cette quantité fournirait pour quelques corps durs et cristallins, le soufre par exemple, un chiffre intéressant ayant, pour l'analyse de leur constitution intime, une valeur analogue à celle des coefficients d'élasticité pour les corps malléables.

Du travail des forces qui produisent la solidification. — La constitution d'un corps solide, sa résistance à la désunion des molécules qui le composent, doit être représentée par une quantité de travail A qui répond à cette séparation. Le coefficient d'élasticité répond bien à la résultante des forces intermoléculaires qui produisent la cohésion, mais n'indique rien sur l'étendue du chemin que ces forces peuvent suivre avant que la séparation moléculaire se produise. Les différences sont sans doute assez limitées pour les corps qui paraissent doués de constitutions semblables, pour les corps malléables par exemple, qui parviennent à la rupture par des allongements peu différents, mais si on compare ceux-ci aux corps durs, les différences doivent être très-grandes, et toujours en raison du mode de groupement moléculaire.

Mais cette quantité de travail A ne représente pas, dans son application aux corps malléables aussi bien qu'aux corps durs, la constitution entière du corps; il faut y ajouter la force vive correspondant à la température du solide, à ses vibrations qui sont d'une nature spéciale; cherchons à les analyser.

DES VIBRATIONS DANS LES SOLIDES. — *Élasticité à l'état dynamique.* — Le caractère essentiel des solides, le résultat direct de leur formation par l'agrégation de molécules adhérentes, la conséquence de leur élasticité, est que tout ébranlement produit en un point d'un solide se communique de proche en proche aux molécules successives sous forme de vibrations; c'est ce qui se reconnaît aisément dans les applications des solides où cet effet est surtout recherché, par exemple dans l'emploi des cordes, des tables d'harmonie, etc., des instruments de musique.

En effet, une force ne peut agir un instant en un point d'un solide sans produire un allongement ou une compression qui engendre l'instant suivant une réaction en sens contraire; de telle sorte que l'action se propage de proche en proche dans le corps, c'est-à-dire que celui-ci entre en vibration et reste indéfiniment dans cet état si ses vibrations ne peuvent se communiquer aux corps voisins.

Une propriété essentielle des mouvements vibratoires, c'est que *l'état vibratoire d'un solide n'exige pas la consommation d'une quantité de travail considérable par cela seul que le nombre des vibrations pendant l'unité de temps est très-grand.* En effet, il ne faut pas confondre les nombres de vibrations, dont l'amplitude peut être extrêmement petite, avec des vitesses, puisque celles-ci sont égales au produit du nombre de vibrations dans l'unité de temps par leur amplitude. Pour une action minime, un ressort élastique ou une corde tendue, résistant et réagissant aussitôt, l'impulsion reçue par un élément étant aussitôt transmise à l'élément suivant qui adhère au premier, il se produit un grand nombre de vibrations par seconde, d'amplitude extrêmement petite, pour la consommation d'une très-petite quantité de travail.

C'est un résultat capital de l'étude des corps qui donnent des vibrations sonores, que d'avoir établi d'une manière certaine que la grandeur de la force qui agit sur un corps élastique n'est nullement proportionnelle au nombre des vibrations par seconde; que celui-ci est déterminé par la nature et la forme du corps vibrant. Tous les instruments à cordes fournissent la démonstration la plus complète de cette proposition. Je citerai aussi la théorie du spiral réglant des chronomètres, qui, ainsi que l'a démontré M. Philips, oscille comme le pendule, en un temps proportionnel à la racine carrée de sa longueur.

Vibrations transversales. — Ainsi lorsqu'une corde est mise en vibration par un archet mû par une force bien minime, elle vibre uniquement en raison de sa longueur; en la raccourcissant, on peut atteindre jusqu'à 73,000 vibrations par 1", perceptibles à l'oreille.

La formule générale est $n = \sqrt{\frac{g\,P}{l\,p}}$ (P le poids tenseur, l la longueur de la corde, p son poids, n le nombre des vibrations). — L'expérience a indiqué que l'accroissement de rigidité de la substance de la corde produisait le même effet qu'un accroissement de poids tenseur.

Je rappellerai ci-après un fait d'expérience fort curieux, qui montre que, même au point de vue des amplitudes du mouvement vibratoire, on risquerait de se tromper si, pour apprécier les effets dynamiques qui se passent dans l'intérieur des corps solides, on considérait la grandeur des forces qui les font naître comme égales à celles qui pourraient produire *statiquement* le même effet.

Vibrations longitudinales. — Savart ayant fixé dans un étau une verge de laiton de $1^m,4$ de longueur et 35 millim. de diamètre, plaça vis-à-vis de son extrémité un sphéromètre qu'elle ne touchait pas à l'état de repos, mais qu'elle venait frapper à chaque oscillation, lorsqu'on avait mis la barre en vibration par un frottement longitudinal. Ces chocs s'entendaient encore quand la distance du sphéromètre était égale à $0^{mm},6$ et par conséquent l'amplitude des oscillations était au moins

EFERUS - Recherche & Classification numérique

double de cette quantité. Il aurait fallu un poids de 1700 kil. pour produire cet allongement sans vitesse, tandis qu'il était engendré à l'état de vibration à l'aide d'une force tout à fait insignifiante.

Verges élastiques. — C'est surtout à des verges élastiques encastrées par une extrémité, que peuvent être assimilées les files de molécules d'un corps solide. La formule d'Euler, vérifiée par l'expérience, qui donne le nombre de vibrations, est $N = \frac{n^2 e}{l^2}\sqrt{\frac{g r}{\delta}}$. N est ce nombre, e l'épaisseur de la verge dans le sens du mouvement, l sa longueur, δ sa densité, r sa rigidité, n une variable qui dépend du mode d'encastrement de la verge.

On voit que N augmente en raison de la rigidité élastique de la substance. Comme, dans tous les cas, N ne dépend nullement de l'intensité de la force qui détermine la vibration, celle-ci détermine l'étendue, mais nullement le nombre des oscillations; nécessairement pour chacune le chemin parcouru est extrêmement petit, si le nombre est très-grand et la force motrice très-faible.

Chaleur spécifique des solides. — On voit aisément d'après cela que la chaleur dans les corps étant un mouvement vibratoire, l'accroissement du nombre de vibrations que tend à produire l'augmentation de rigidité rend compte du fait si obscur de la diminution de la chaleur spécifique des solides à mesure que leur dureté augmente : celle du charbon étant par exemple 0,241, celle du diamant est 0,147; et c'est par un effet semblable que la chaleur spécifique de l'eau étant 1, celle de la glace est 0,47.

Membranes, plaques. — L'étude expérimentale des corps solides conduit à établir, d'après les études des surfaces nodales formées sur des plaques des diverses substances, que tout corps solide peut vibrer à l'unisson d'un autre, et que ces vibrations peuvent être facilement transmises par celles d'un fluide élastique dans lequel ils sont plongés.

Toutefois, il y a de grandes différences d'un corps à un autre, au point de vue de la facile division des plaques en parties vibrantes.

CONSTITUTION DES SOLIDES. — Nous devons conclure que les corps solides, formés de molécules adhérentes, sont essentiellement des corps vibrants, que leurs molécules entrant facilement en vibration ne sauraient demeurer en repos au milieu de l'éther ambiant, en vibration en raison de la température.

La seule notion de la vibration moléculaire ne fournit pas une explication complète de la constitution des solides, car les vibrations en sens alternatifs des molécules, de nature pendulaire, qui produisent un écartement, ne rendent pas raison de l'existence de la disposition de ces molécules, des causes qui s'opposent à leur rapprochement, à leur contact absolu, comme on peut l'admettre pour les mouvements orbitaires des liquides chez lesquels les vitesses sont d'ailleurs plus grandes que dans les solides, qui ne vibrent qu'à des températures inférieures à celles des liquides qui leur donnent naissance en se solidifiant.

Le complément de cette analyse doit se trouver dans l'intervention de l'atmosphère éthérée de densité décroissante du centre à la circonférence qui entoure chaque molécule. Tandis que dans les gaz d'une si faible densité comparativement à celle des solides de même composition chimique, ces atmosphères sont écartées les unes des autres par des intervalles notables, que dans les liquides elles sont en contact, d'après les expériences de M. Jamin, on doit admettre que dans les solides elles empiètent les unes sur les autres.

La parfaite élasticité de l'éther engendrerait l'action répulsive qui s'oppose au contact des molécules des solides, comme c'est sans doute par son intervention qu'on arrivera à expliquer la cohésion à laquelle les molécules matérielles ne peuvent contribuer que par leur inertie. Nous ne cherchons au reste ici qu'à indiquer la voie qui conduira à l'analyse philosophique de la constitution des solides.

On trouve une confirmation de cette manière de comprendre l'état solide en l'étudiant dans les circonstances les plus propres pour l'analyse, lorsque les atomes encore libres obéissent uniquement aux forces normales qui agissent sur elles, au moment où le solide prend naissance.

Cristallisation des corps solides. — Les faits essentiellement propres à l'état solide et les plus capables de manifester le jeu des forces moléculaires qui les produisent sont évidemment ceux qui se rapportent à la cristallisation.

On sait que lorsqu'un corps fondu passe à l'état solide, dans des conditions convenables, qui consistent surtout à évaporer sa dissolution dans un liquide à l'abri de toute agitation perturbatrice; il prend une forme cristalline spéciale, caractéristique de sa nature.

Le fait de la cristallisation sous une forme polyédrique prouve, d'une manière générale, la présence d'une force qui donne naissance aux cohésions et d'une polarité propre aux premiers éléments des corps, l'action des forces moléculaires dominant, dans les conditions où apparaît la cristallisation, celle des forces extérieures pour produire un arrangement déterminé des molécules. La variété et la constance des formes cristallines, pour chaque corps, montrent que le phénomène se produit entre des éléments d'une forme particulière, sous l'influence des forces bien déterminées.

Ce n'est qu'au point de vue des formes géométriques des cristaux que ceux-ci ont été étudiés, et bien qu'on n'ait pas encore envisagé la question au point de vue des forces moléculaires qui les produisent, nul doute qu'on ne doive un jour déduire des formes des cristaux la nature et le mode d'action de forces, qui agissent dans chaque cas, sur les molécules qui leur obéissent librement.

De semblables recherches ne sont possibles que pour des cristallisations régulières, car les effet des forces moléculaires sont toujours plus ou moins cachés, dans la plupart des corps sur lesquels on peut opérer habituellement, par diverses causes, et surtout par des actions mécaniques, qui s'ajoutent aux causes perturbatrices qui ont empêché la disposition normale des molécules.

L'étude de l'élasticité dans les cristaux a été l'objet des derniers travaux de Savart, qui comprenait bien l'importance de l'étude des forces moléculaires. C'est ainsi qu'il a trouvé, par exemple, dans le cristal de roche, trois axes d'élasticité; qu'il a reconnu qu'il existait trois directions autour desquelles les élasticités sont symétriques, ce que lui montrait la régularité des lignes nodales tracées par du sable sur des plaques minces convenablement taillées dans le cristal, lorsqu'on les met en vibration.

Comment se fait le groupement moléculaire qui détermine la formation des cristaux sur lesquels l'élasticité, variable dans diverses directions, donne un renseignement qui vient s'ajouter à la connaissance des diverses formes cristallines? Comment en passant de l'état liquide à l'état solide, les molécules se disposent-elles? On sait peu de chose à ce sujet, et, dans l'impossibilité de suivre expérimentalement la production des phénomènes, il faut que des travaux quelque peu hypothétiques, comme ceux d'Ampère et de M. Gaudin, viennent fournir des systèmes dont la vérité sera démontrée, s'ils conduisent à des résultats conformes à l'ensemble des faits.

L'étude expérimentale des cristaux fait reconnaître l'existence de plans de clivage, c'est-à-dire la possibi-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lité de détacher de la surface des cristaux des lamelles diminuant les dimensions du cristal primitif, mais conduisant toujours à obtenir un corps entièrement semblable au premier. L'existence de ces plans de moindre résistance, la possibilité de continuer à l'infini de semblables séparations a fait admettre comme base certaine de la cristallographie, que la molécule cristalline élémentaire, le premier groupement d'atomes, a la même forme que le cristal définitif, que celui-ci est formé par le groupement de molécules semblables. Mais on n'était pas allé plus loin, et on ne s'était pas demandé pourquoi ces groupements d'atomes, effets d'actions mécaniques, laissaient ainsi subsister des parties de résistance moindre, d'où résultait leur mode de distribution dans le corps; quelles forces produisaient cet effet, agissaient sur les atomes eux-mêmes, en dehors de l'attraction qui ne peut guère expliquer que la cohésion en masse homogène.

Un fait quelquefois contesté, mais qui paraît avoir une part de vérité, pouvait indiquer la voie de l'explication probable. Une barre de fer fibreux, employée à fabriquer un essieu de voiture, présentera souvent, si elle vient à se rompre, une cassure cristalline, c'est-à-dire que la structure aura changé sous l'influence des ébranlements nombreux auxquels elle a été soumise, des vibrations qui s'y sont produites. (Le réchauffement et le refroidissement lent du fer laminé paraissent produire le même effet.) Savart a constaté que des lames minces qu'il faisait vibrer se modifiaient avec le temps et que leur structure changeait pendant des années. C'est, au reste, un fait bien connu, que des instruments de musique neufs s'améliorent, lorsqu'ils sont joués par d'habiles artistes, et qu'ils acquièrent des propriétés qu'ils ne possédaient pas auparavant.

L'influence des vibrations sur la structure des corps solides paraît donc certaine, et cependant il ne s'agit ici que des vibrations de masses de molécules maintenues par des forces de cohésion. Combien doit être plus grande l'influence des vibrations des premières molécules des corps, c'est-à-dire des forces vives calorifiques, au moment où le corps solide prend naissance, où s'opère le passage de l'état liquide à l'état solide? Il était réservé à un géomètre de notre époque, au savant M. Lamé, d'établir, par ses beaux travaux d'analyse, la théorie physique suivante de la formation des cristaux qui rend parfaitement compte de l'existence de surfaces de moindre résistance.

Il déduit de la forme périodique des formules de la propagation de la chaleur dans les cristaux l'indication : *que toute dissolution saline concentrée se partage en concamérations polyédriques par l'effet des vibrations.* Il résume comme il suit la théorie physique à laquelle il se trouve ainsi conduit :

« Les lois de la propagation de la chaleur et celles « des vibrations dans les cristaux solides peuvent être « étendues au liquide salin concentré, qui dépose ces « cristaux s'il se refroidit lentement, sans courant intérieur, et si les molécules ne se déplacent que pour « osciller autour de leurs positions d'équilibre. Dès « l'abord, ce liquide se partage en concamérations con- « cordantes, par des vibrations qui y naissent ou qui lui « sont communiquées. Il en résulte des volumes élé- « mentaires polyédriques qui se solidifient progressive- « ment, se refroidissent et finissent par se déposer sur « la masse cristallisée, à laquelle chacun donne une de « ses faces. »

Si l'on compare cette explication physique, ajoute le savant académicien avec une admirable force d'intuition, à toutes les idées qui ont été émises jusqu'ici sur le même sujet, on reconnaît d'abord qu'elle ne leur est pas inférieure comme moyen de coordination. Puis, en y réfléchissant, on trouve qu'elle est la seule qui puisse rendre compte, sans exception, de tous les phénomènes physiques observés sur les cristaux naturels. Mais il y a plus : « quand on admet la réalité de cette théorie, on « ne comprend pas que les volumes élémentaires qui « vibraient dans le liquide cristallin cessent de vibrer « quand ils font partie du cristal formé. Et l'on se « trouve sur une voie nouvelle, qui peut conduire au « véritable principe de la mécanique moléculaire. »

M. Lamé arrive donc, on le voit, exactement aux principes que nous tentons de formuler.

Comme confirmant cette théorie, je citerai les phénomènes de *dimorphisme*, c'est-à-dire de changement de forme cristalline d'un même corps lorsqu'il s'est solidifié à des températures différentes de celles qui ont donné une première forme. Comment l'intervention de la chaleur peut-elle produire un si grand changement que de modifier la forme du cristal en faisant varier les vitesses des vibrations des molécules, si celles-ci n'avaient pas une influence dominante sur ces formes? Est-il besoin de rappeler encore l'intervention, si étrange en apparence, d'un petit cristal qui, projeté dans une solution saturée, détermine la cristallisation de la masse, ce que produit parfois aussi un simple ébranlement, c'est-à-dire la grande influence de tous les moyens de faire naître les vibrations qui jouent évidemment dans toutes les circonstances un rôle capital dans les phénomènes de cristallisation?

Résumé. Nous trouvons, il nous semble, dans tout ceci une précieuse confirmation des principes que nous avons tenté de formuler, et nous définirons les corps solides : *des corps composés de molécules maintenues par des forces résistantes (pas plus nécessairement actives que celles du frottement) et vibrant en raison de leur température.*

En représentant par A le travail résistant qu'il serait nécessaire de consommer pour détruire les cohésions des molécules liquides, par AA ce travail en chaleur,

$$-A\Lambda + \Sigma \frac{mS^2}{2}$$

sera l'expression dynamique d'un solide.

SOLUBILITÉ DES GAZ. M. Bunsen, le savant chimiste d'Heidelberg, a inventé une méthode pour analyser les mélanges gazeux à l'aide de leur degré de solubilité dans l'eau. Il a repris à cet effet la détermination des solubilités des divers gaz, et a fixé les coefficients de la formule empirique qui permet de déterminer les volumes dissous aux diverses températures. Nous lui emprunterons les chiffres qui se rapportent à la température de 10° et à la pression 0,76, la solubilité étant directement proportionnelle à cette pression.

Gaz.	Solubilité en fraction du volume de l'eau.	Solubilité dans l'alcool (densité 0,792 à 20°).
Azote.	0,01607	0,12276
Hydrogène	0,01930	0,06786
Oxygène	0,03250	0,28397
Acide carbonique. . . .	1,1847	3,5140
Oxyde de carbone. . . .	0,2635	3,20443
Protoxyde d'azote . . .	0,9196	3,5408
Gaz des marais.	0,04372	0,49535
Gaz oléfiant.	0,1837	3,0859
Hydrogène sulfuré. . .	3,5858	11,922
Acide sulfureux	56,647	190,31
Ammoniaque.	812,8	»
Air atmosphérique. . .	0,01953	»

On voit que les gaz les plus facilement liquéfiables sont en général plus solubles que ceux qui le sont moins. Ils offrent moins de résistance à passer à l'état liquide; mais l'effet ne saurait être proportionnel à la facilité de liquéfaction, puisque le principal élément de la dissolution, leur affinité pour le liquide dissolvant, varie pour chacun d'eux.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SOLUBILITÉ DES SELS DANS L'EAU. Gay-Lussac a déterminé la solubilité des principaux sels dans l'eau aux diverses températures et a dressé le tableau que nous reproduisons ci-après. Le fait le plus remarquable qu'il ait constaté est celui qu'offre le sulfate de soude qui présente un maximum vers 33°. Mais on doit remarquer que ce sel offre alors une transformation, c'est-à-dire que le sel qui se précipite de la liqueur saturée au-dessous de 33° est du sulfate hydraté, et au-dessus de ce point du sulfate anhydre.

	Température.	Sel dissous par 100 parties d'eau.
Chlorure de potassium	0°	29,24
	49,35	34,53
	52.29	43,59
	79,58	50,93
	109,60	59,26
Chlorure de barium anhydre	15,64	34,86
	49,31	43,84
	74,89	50,94
	105,48	59,58
Chlorure de sodium	13,89	35,81
	16,90	35,88
	59,93	37,14
	109,73	40,38
Sulfate de potasse	12,72	10,57
	49,08	16,91
	63,90	19,29
	101,50	26,33
Sulfate de magnésie anhydre	14,58	32,75
	39,86	45,05
	49,08	49,18
	64,35	56,75
	97,03	72,30
Sulfate de soude anhydre	0,00	5,02
	11,67	10,12
	13,30	11,74
	17,94	16,73
	25,05	28,11
	28,76	37,05
	30,75	43,05
	31,84	47,37
	32,73	50,65
	33,88	50,04
	40,15	48,78
	45,04	47,81
	50,40	46,82
	59,79	45,42
	70,61	44,35
	84,42	42,96
	103,17	42,65
Azotate de baryte	0,00	5
	14,95	8,18
	17,62	8,54
	37,87	13,67
	49,22	17,07
	52,11	17,97
	73,75	25,01
	86,21	29,57
	101,65	35,18
Azotate de potasse	0,00	13,32
	5,01	16,72
	11,67	22,23
	17,91	29,31
	24,94	38,40
	35,13	54,82
	45,10	74,66
	54,72	97,05
	65,45	125,42
	79,72	169,27
	97,66	236,45
Chlorate de potasse	0,00	3,33
	13,32	5,60
	15,37	6,03
	24,43	8,44
	35,02	12,05
	49,08	18,96
	74,89	35,40
	104,78	60,24

En représentant ces résultats par des courbes tracées en prenant les températures pour abscisses et les solubilités pour ordonnées, on a des lignes qui indiquent à première vue les solubilités relatives des divers sels et la marche de l'accroissement de cette solubilité en raison des accroissements des températures.

SPHÉROIDAL (ÉTAT). Les travaux de M. Boutigny (d'Evreux) sur les phénomènes qu'on appelait autrefois de caléfaction, et qu'il rapporte à ce qu'il a nommé l'état sphéroïdal des corps, l'ont conduit à des résultats du plus haut intérêt qu'il a rapportés dans un volume qu'il a publié sous le titre d'*Etudes sur l'état sphéroïdal des corps*, et qui se tient aux nouvelles idées sur la construction des corps gazeux exposés à l'article GAZ.

Lorsque, après avoir chauffé au rouge une capsule métallique d'argent ou de platine, par exemple, l'on y verse quelques grammes d'eau, le liquide ne s'y étale plus et ne la mouille pas comme il le fait à la température ordinaire ; il prend la forme d'un globe aplati, ce que M. Boutigny exprime en disant qu'il passe à l'état sphéroïdal. A cet état l'eau prend un mouvement giratoire rapide et elle ne se vaporise plus que très-lentement, 50 fois moins vite que dans les cas ordinaires à 200°. Enfin si la capsule se refroidit, il arrive un moment où l'état sphéroïdal cesse ; l'eau mouille alors la capsule et une ébullition violente, une espèce d'explosion, se produit subitement.

Tous les liquides peuvent prendre l'état sphéroïdal, à des températures d'autant plus élevées que leur point d'ébullition est plus élevé. Pour l'eau la capsule doit être chauffée à 200° (et il se maintient jusqu'à 142°), pour l'alcool jusqu'à 134°.

Si l'on cherche à déterminer la température des sphéroïdes, on reconnaît qu'elle est inférieure à celle du point d'ébullition, quelle que soit d'ailleurs la température du corps qui les contient. Elle paraît d'ailleurs invariable et pour l'eau s'élève à 96°,5, pour l'alcool à 75,5, l'éther à 34°, environ 3 ou 4 degrés au-dessus du point d'ébullition. C'est cette propriété des liquides qui a conduit M. Boutigny à une bien curieuse expérience, que l'on ne peut jamais voir sans surprise, et qui consiste à changer de l'eau en glace dans une capsule chauffée au rouge blanc. Si l'on y verse de l'acide sulfureux liquide qui se vaporise vers — 10°, la température du sphéroïde qu'il forme sera inférieure à — 10°, et par suite une petite quantité d'eau versée dans celui-ci formera immédiatement un glaçon. L'expérience réussit encore dans le vide. On peut congeler de même le mercure avec l'acide carbonique.

Par une application directe des principes sur lesquels repose cette expérience, on peut :

1° Remuer dans l'eau, avec les mains, du verre incandescent qui constitue à l'état sphéroïdal l'eau qui l'approche.

2° Plonger le doigt dans le plomb fondu après l'avoir mouillé avec de l'éther, ce qui fait éprouver une sensation de froid.

3° De même couper avec la main un jet de fonte de fer sortant d'un haut fourneau.

Si l'on étudie expérimentalement ces curieux phénomènes, on reconnaît bientôt que le fait de la constitution de l'état sphéroïdal coïncide avec un écartement du li-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quide de la paroi échauffée ; ainsi M. Boutigny a pu très-nettement voir la flamme d'une bougie entre l'eau et une plaque rougie. Il est donc naturel de supposer que la vapeur dégagée au contact de la goutte d'eau, dont la température est en raison de celle de la capsule, soulève l'eau, et la soustrayant ainsi par sa formation continue à l'action de la pesanteur, à peu près comme dans l'expérience de M. Plateau rapportée à l'article CAPILLARITÉ, permet à l'attraction de faire naître la forme sphérique. Ceci posé, étudions avec soin les mouvements de rotation dont M. Boutigny ne nous paraît pas avoir tenu un compte suffisant dans l'explication des faits :

La chaleur communiquée aux liquides produisant des mouvements moléculaires orbitaires, dans le cas où la pesanteur gêne ces mouvements, ils ne peuvent être, pour la plus grande part au moins, qu'horizontaux. Mais lorsque cet effet se trouve détruit, les mouvements résultant de l'échauffement peuvent se produire dans tous les sens ; dans l'état de liberté engendré par cette cause, et de division de la masse en globules qui en résulte, ces mouvements orbitaires s'étendent et passent de l'état de mouvements moléculaires à la nature des mouvements de masse. Ceci seulement peut rendre compte de la puissance extrême des explosions produites, lorsque toute la chaleur de l'eau à l'état sphéroïdal, *plus la force vive emmagasinée à ce même état*, et repassant à l'état de forces vives atomiques, c'est-à-dire de chaleur, viennent à agir en même temps sur les parois du vase qui renferme l'eau. Sans cet élément de transformation de force vive en chaleur ou pression de vapeur, on ne peut se rendre compte de certaines explosions effrayantes, telle qu'une explosion de locomotive notamment brisant les rails et les enfonçant dans le sol par une pression énorme.

Les mouvements orbitaires sont manifestés, lorsqu'on projette une poussière fine sur les sphéroïdes, par des ellipses qui s'entre-croisent et se succèdent avec une grande rapidité, par des sons, variables en raison de la température, que rend la capsule dans laquelle est le sphéroïde.

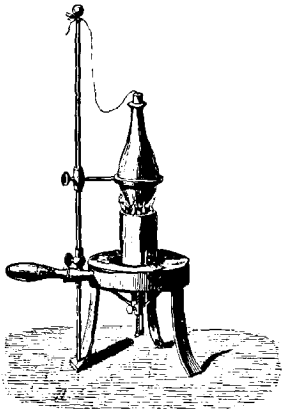
Cette explication fait comprendre comment l'effet d'évaporation à la surface peut abaisser la température du sphéroïde au-dessous de celle du point d'ébullition du liquide, la chaleur rayonnante produisant principalement une force vive au lieu d'un échauffement, se transformant ainsi sans que la conversion en gaz ait eu le temps de se faire, mode habituel de communication de cet excédant de forces vives.

Nous ne croyons pas absolument nécessaire d'admettre avec M. Boutigny que les sphéroïdes sont maintenus en l'air par l'action répulsive du calorique rayonnant, ni encore qu'ils réfléchissent toute cette chaleur. La chaleur rayonnante, émise par une source de chaleur à une haute température, les traverse facilement pendant qu'une partie produit, croyons-nous, des accélérations de mouvements orbitaires généraux comme nous venons de le dire. La répulsion naissant au contact du liquide et du métal incandescent, par l'action de ressort qu'exerce la vapeur instantanément formée, nous semble parfaitement suffire pour rendre compte du phénomène de la suspension du sphéroïde, même dans le cas où M. Boutigny fait naître l'état sphéroïdal entre les spires non serrées d'un fil de platine.

L'intérêt de cette étude pour analyser certains cas d'explosion de chaudières à vapeur, difficilement explicables, doit nous faire entrer dans quelques détails sur l'étude expérimentale de ces curieux phénomènes.

Nous rapporterons ici l'expérience fondamentale :

Une petite chaudière, dont le fond est chauffé jusqu'au rouge par une lampe, est fermée par un bouchon à travers lequel passe un tube terminé à l'extérieur par une ouverture de 1/2 millimètre de diamètre par lequel passe un petit jet de vapeur qui ne paraît pas avoir de tension tant elle est rare, tant que l'eau mise dans la chaudière est à l'état sphéroïdal (fig. 3717). Aus-



3717.

sitôt que la température est abaissée suffisamment, après qu'on en a retiré la lampe, pour que l'eau mouille la chaudière, un jet de vapeur d'une grande vitesse passe par le tube, et le bouchon est aussitôt jeté violemment en l'air malgré la présence de cette espèce de soupape de sûreté.

Une remarque très-importante est que la pression indiquée par le manomètre baisse brusquement lorsque l'eau passe de l'état ordinaire à l'état sphéroïdal. On comprend alors quel danger fait courir l'introduction d'une grande quantité d'eau froide ; la seule chance de salut est de supprimer l'alimentation, et, sans diminuer les feux, de vider la chaudière par tous les moyens dont on dispose.

M. Boutigny a conclu des dangers des explosions l'utilité de construire des chaudières sans eau. Il emploie à cet effet des cylindres portant à l'aide d'un axe central des diaphragmes percés de trous, dont la surface est alternativement convexe et concave. L'eau versée à la partie supérieure est vaporisée presque complétement avant d'arriver en bas ; malgré des surfaces de chauffe extérieure assez exiguës, ces chaudières ont donné des résultats assez satisfaisants. (Voy. *Guide du Chauffeur.*)

STÉRÉOSCOPE. L'idée première de cet instrume est due à M. Wheatstone ; il l'avait réalisée, dès 1838, sous une forme peu commode, il est vrai, mais suffisante pour faire ressortir le principe éminemment neuf qu'il avait introduit dans la théorie de la vision binoculaire. En effet, avant M. Wheatstone, les physiciens et les physiologistes ne s'étaient pas rendu compte, d'une façon suffisamment nette, de l'influence que la double impression reçue par l'organe visuel pouvait avoir sur l'appréciation de la forme que les objets présentent. On pensait bien que le mouvement plus ou moins grand de convergence, communiqué aux axes optiques des deux yeux pour les diriger en même temps sur un même objet, permettait de reconnaître la distance plus ou moins grande à laquelle il se trouve ; on savait aussi que les personnes privées d'un œil manquent de précision dans l'appréciation des distances et ne peuvent arriver à suppléer à la vision binoculaire que par le sentiment de la perspective

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aérienne et par l'appréciation des effets de parallaxe produits par de légers déplacements de l'œil ; mais on n'avait pas pensé que la dissemblance entre les apparences produites sur les deux yeux par la vision d'un objet unique pût faire naître dans notre esprit le sentiment du creux ou du relief, ou du moins aider puissamment aux notions déjà fournies par la perspective et par le jeu des ombres et des lumières.

M. Wheatstone mit le premier ce principe en évidence, au moyen d'une série d'expériences ingénieuses qui se réduisent toutes à la combinaison suivante : tracez sur une même feuille de papier, à une certaine distance l'un de l'autre, deux dessins en perspective d'un même objet, tels qu'ils doivent être pour produire sur chaque œil l'impression correspondant à la vision de l'objet direct, puis, ramenez, par un moyen quelconque, les images de ces dessins sur les points des deux rétines qui sont impressionnées simultanément dans la vision de l'objet lui-même, et alors cet objet apparaîtra comme s'il existait réellement dans l'espace avec ses trois dimensions. Pour déterminer cette superposition apparente de deux images, il suffit d'agir par la volonté sur les muscles des yeux de façon à produire un degré convenable de strabisme. Cette faculté ne peut s'acquérir qu'avec un certain exercice, et peu de personnes y parviennent sans difficulté ; aussi M. Wheatstone eut-il la pensée de substituer, à ce moyen fatigant pour la vue, l'emploi d'un appareil propre à produire le même effet, et il imagina le stéréoscope à réflexion. Cet instrument se compose de deux miroirs, inclinés à 90°, dont l'arête d'intersection est verticale. On place les yeux devant le système de ces deux miroirs, de façon que la direction commune de la vision soit parallèle au plan qui divise en deux parties égales l'angle des miroirs. Les deux dessins sont placés latéralement à égale distance, l'un à droite, l'autre à gauche ; leurs images apparaissent donc derrière les deux miroirs dans un plan perpendiculaire à la direction de la vision. Si elles sont placées à la même hauteur, il suffit d'un léger mouvement d'avant en arrière pour amener leur coïncidence apparente et, par suite, l'effet stéréoscopique.

Le stéréoscope de M. Wheatstone, malgré la simplicité de son principe, ne présentait pas une construction assez commode pour être utilisé autrement que comme appareil d'étude ; aussi, malgré tout l'intérêt que cette question devait présenter, ne fut-il construit en France que quelques-uns de ces appareils qui restèrent enfouis dans les cabinets de physique.

La disposition qui devait populariser le stéréoscope consistait à produire la superposition des images, non plus par réflexion, mais par réfraction ; en effet, avec cette disposition, le stéréoscope devenait un instrument portatif et commode.

Des essais furent faits dans cette direction par M. Wheatstone ; mais le but ne fut complétement atteint que par sir David Brewster. Cet éminent physicien imagina de couper en deux une lentille et de placer la moitié gauche devant l'œil droit, la moitié droite devant l'œil gauche, en laissant la ligne de section bien perpendiculaire au plan des deux yeux. De cette manière, les deux lentilles faisaient l'office de prismes, et tous les objets vus par l'œil droit étaient déviés vers la gauche, tous les objets vus par l'œil gauche étaient rejetés vers la droite. On pouvait donc, au moyen de deux dessins convenablement espacés et placés vis-à-vis des yeux, obtenir la superposition apparente des images et, par suite, l'effet stéréoscopique. Les lentilles avaient, en outre, l'avantage de rejeter les images à la distance de vision distincte en les grossissant, ce qui ajoutait à l'effet de l'instrument et permettait l'emploi de dessins plus petits et plus chargés de détails.

Quoique l'invention de M. Brewster datât de 1844, elle n'avait pas été appréciée en Angleterre, et ce fut en 1850 seulement que M. Brewster put trouver en France, chez MM. Soleil et Dubosq, le concours nécessaire pour exécuter cet instrument qui devait être plus tard si populaire.

Après avoir cherché, mais en vain, à obtenir des opticiens de Londres qu'ils construisissent le stéréoscope et qu'ils fissent exécuter, pour cet instrument, des épreuves binoculaires, M. Brewster apporta, à Paris, dans le printemps de 1850, un stéréoscope fait par M. London, opticien à Dundee, et un portrait photographique binoculaire du Dr Adamson de Saint-Andrews, obtenu par lui-même ; il montra l'instrument, le portrait et quelques épreuves stéréoscopiques à M. l'abbé Moigno, à M. Soleil et à son gendre M. Dubosq, opticiens éminents de Paris. Ces messieurs saisirent aussitôt la valeur du nouvel appareil ; ils comprirent qu'il n'était pas un simple amusement, mais un puissant auxiliaire des arts, de la sculpture et du portrait. M. J. Dubosq construisit immédiatement pour le commerce un très-grand nombre d'appareils ; il produisit en même temps une série de très-belles images photographiques binoculaires représentant des personnes vivantes, des statues, des bouquets de fleurs, des objets d'histoire naturelle, etc. : des milliers de personnes les virent et les admirèrent.

A la belle collection d'appareils d'optique qu'il présenta à la grande exposition de 1851, et pour laquelle il reçut une médaille de première classe, M. Dubosq avait ajouté un stéréoscope binoculaire construit sur les principes que M. Brewster avait posés. Le stéréoscope attira l'attention particulière de S. M. la Reine, et M. J. Dubosq exécuta pour elle un magnifique instrument que le physicien anglais lui présenta au nom de l'artiste français. Par suite de cette exhibition publique, M. J. Dubosq reçut beaucoup de commandes d'Angleterre, et un très-grand nombre de stéréoscopes lenticulaires furent ainsi importés dans cette contrée ; les demandes devinrent même si considérables, que les artistes anglais se livrèrent, à leur tour, à sa fabrication, et, en peu de temps, des milliers d'instruments furent vendus. Les détails qui précèdent sont extraits d'un article publié en mai 1852 par sir David Brewster dans une revue écossaise (*North british Review*).

Tel était, en mai 1852, le jugement de sir David Brewster sur la part que M. Dubosq avait eue dans le succès du stéréoscope, dit M. Lissajous, auquel nous empruntons cette intéressante étude. Méconnu d'abord en Angleterre, l'instrument de MM. Wheatstone et Brewster rentrait avec un éclatant succès dans son pays natal, grâce au concours habile et intelligent de cet artiste français.

A partir de ce moment, M. Dubosq s'occupa de perfectionner le stéréoscope, d'en étendre les applications, de faciliter les moyens d'exécution des dessins stéréoscopiques.

Le stéréoscope de M. Brewster convenait seulement à des dessins opaques, tels que lithographies, photographies sur papier ou plaques daguerriennes.

M. Dubosq eut l'idée heureuse d'enlever le fond du stéréoscope de façon à placer, dans l'instrument, des images translucides obtenues sur verre albuminé. Ces images, à raison de leur transparence presque complète, laissaient passer les rayons venus des objets extérieurs, ce qui troublait la vision ; M. Dubosq plaça derrière l'épreuve un verre dépoli afin de diffuser la lumière ; dès lors l'illumination de l'image devint irréprochable, la netteté complète, l'effet saisissant. Cette importante invention a doublé le charme du stéréoscope. Qui de nous ne s'est oublié, dans un profond sentiment d'admiration et d'enthousiasme, devant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces admirables vues des beaux sites de la Suisse, des grands monuments de l'Italie? Est-il un moyen qui puisse rendre plus complétement, dans un aussi petit cadre, les beautés de la nature ou les merveilles des arts ?

Les effets stéréoscopiques peuvent, on le sait, être obtenus à l'aide du strabisme. Le stéréoscope évite le déplacement des yeux en déviant les pinceaux qui arrivent des divers points des images; or cette déviation doit être telle que les images occupent la même position dans l'espace à la distance à laquelle elles se font.

Il résulte de là qu'un stéréoscope, réglé pour un myope, ne l'est pas pour un presbyte, et inversement. Quand l'effet est satisfaisant pour une vue moyenne, les autres vues s'en accommodent par une légère déviation des axes optiques, qui se fait instinctivement par suite de l'habitude que nous avons de la vision binoculaire. Néanmoins cette accommodation exige une tension des muscles d'autant plus forte que la distance à parcourir est plus considérable; de là ce tiraillement des yeux et cette fatigue continue que certaines personnes éprouvent en regardant dans le stéréoscope. Il arrive même que, pour certaines personnes, la superposition ne peut pas se faire, malgré l'effort instinctif de l'organe visuel.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Duboscq a séparé dans le stéréoscope la partie de l'appareil qui produit la déviation de celle qui rejette l'image à la distance de la vision distincte. Dans le stéréoscope de M. Brewster, ces deux fonctions étaient remplies par les demi-lentilles; dans le stéréoscope nouveau, elles sont séparées. La déviation est produite par des prismes fixes, le grossissement par des lentilles, que l'on peut avancer ou reculer à volonté. Telle est la disposition représentée fig. 3718, telle évidemment que les deux images placées en n, n' viennent se superposer en m.

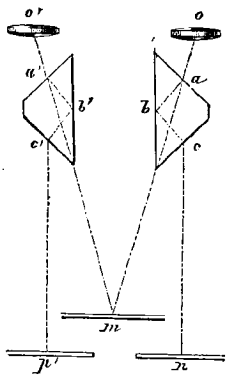


Fig. 3718.

On peut donc, en déplaçant les lentilles, rendre l'effet satisfaisant pour chaque vue. Quand on opère avec ce stéréoscope, le relief se produit sans que l'œil éprouve de fatigue, pourvu que les lentilles aient une position convenable; mais, dès que l'on déplace le système, les yeux éprouvent un tiraillement qui augmente jusqu'au moment où ils ne peuvent plus maintenir la coïncidence des images, ce qui confirme les principes sur lesquels l'appareil est fondé.

Cette séparation du prisme et de la lentille a, en outre, permis de corriger un défaut qui se présente quand on regarde des épreuves de grande dimension.

Par suite de l'effet prismatique, les lignes verticales et horizontales, comme, par exemple, les arêtes des monuments, paraissent courbées d'avant en arrière, comme si la partie moyenne avait reculé dans certaine quantité. Cet effet, qui exagère la proportion de certains dessins parce qu'il fait fuir la partie centrale de l'image, s'explique de la manière suivante. Quand on regarde à travers un prisme une ligne verticale, elle paraît courbe, et la partie centrale est moins déviée que les parties extrêmes; cette impression, se produisant en sens inverse sur les deux yeux par l'effet prismatique des deux lentilles, donne donc le sentiment d'un arc curviligne dont le centre n'est pas sur le même plan que les extrémités.

M. Dubosq corrige ce défaut en donnant aux lentilles une légère inclinaison, de façon que les parties contiguës des deux lentilles soient plus près de l'œil que les bords opposés. De cette manière, les lentilles produisent dans les lignes de l'image une incurvation inverse de celle produite par des prismes; ces deux effets déterminent donc une compensation plus ou moins complète, et, par suite, une rectification satisfaisante. On peut donc, avec le stéréoscope ainsi disposé, obtenir de bons effets, même avec de grandes épreuves.

Nous devons signaler, en terminant, un perfectionnement important apporté par MM. Knight et Dubosq aux lentilles du stéréoscope. Autrefois les lentilles employées étaient de petit diamètre, et montées sur des bonnettes susceptibles d'un mouvement transversal pour les amener à l'écartement des deux yeux. MM. Knight et Dubosq ont remplacé ces lentilles étroites par des lentilles à large surface qui viennent se toucher par leur bord : les bonnettes sont donc supprimées, et une cloison intermédiaire terminée à un double diaphragme permet d'écarter les images étrangères à la production de l'effet stéréoscopique.

STÉRÉOTOMIE. Jusqu'à la fin du siècle dernier les appareilleurs ne se servaient, pour l'application du trait sur les matériaux qu'ils employaient, que des méthodes isolées, particulières à chaque problème et se rattachant à quelques principes généraux et abstraits. Le Père Derand avait déjà bien donné, en 1643, l'art du trait appliqué à la coupe des pierres et à la charpente, lequel reposait sur la théorie des projections. Dezargues aussi avait bien montré l'analogie qui existait entre différents procédés pratiques. Frézier enfin, officier supérieur du génie, dans son excellent traité de stéréotomie, édité à Strasbourg en 1737, avait bien donné suite aux idées de généralisation de Desargues, et avait bien traité géométriquement diverses questions qui devaient se présenter dans plusieurs parties de la coupe des pierres et de la charpente.

Mais tous ces principes, qui résumaient une foule de questions pratiques, découlaient eux-mêmes d'autres principes plus simples qui leur sont communs. Ce sont ces règles élémentaires que le génie de Monge a aperçues dans les opérations de la stéréotomie, a créées et a réunies en une seule doctrine à laquelle il a donné le nom de géométrie descriptive.

C'est lorsqu'il n'était encore que chef des travaux graphiques à Metz que Monge fut conduit aux considérations générales qui sont la base de sa géométrie descriptive. Effectivement, parmi les travaux que cette fonction lui imposait, il avait à exécuter des épures de défilement, c'est-à-dire à déterminer les conditions que doivent remplir les différentes parties d'un front de fortification, pour que tous les points de la place fortifiée soient à l'abri des boulets que lancerait une batterie installée sur l'une ou l'autre des collines qui peuvent avoisiner cette place, à une distance inférieure ou égale à une portée de canon : il avait donc à chercher la hauteur à donner à chacune de ces parties pour que tous les plans menés par leurs arêtes supérieures res-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pectives, ou crêtes des parapets, tangentiellement à l'une ou à l'autre des collines, laissassent à 2m,50 (1) au moins, au-dessous d'eux, chacun des points du terrain formant l'intérieur de la place. C'est dans la construction de ces plans tangents que Monge entrevit des méthodes générales qu'il chercha à appliquer, non-seulement au cas particulier qui l'occupait, mais encore à la coupe des pierres et à la charpente; et ce sont ces méthodes qui, à leur tour, lui firent découvrir les principes simples qui forment le fond de sa doctrine.

Monge a donc considérablement simplifié l'étude des corps; et, grâce à lui, la coupe des pierres et la charpente, ainsi que toutes les applications de la géométrie descriptive, sont devenues à la portée de tous, puisque, pour les comprendre, il n'est guère nécessaire que de connaître les cinq premiers livres de la géométrie élémentaire.

Disons toutefois avec M. Chasles que la géométrie descriptive n'est qu'un instrument et non une science. L'ingénieur ou l'architecte ne s'en servent que pour traduire leur pensée et exécuter sur le papier les opérations que la géométrie générale leur indique. La géométrie descriptive exécute, mais elle ne crée pas.

De même que ses devanciers, Monge représenta les formes de l'étendue à trois dimensions au moyen de ses projections sur deux plans rectangulaires, dont on rabat l'un sur l'autre.

C'est aussi au moyen de deux projections orthogonales qu'un architecte donne les indications nécessaires pour l'intelligence du monument qu'il projette : il dessine d'abord les élévations ou projections verticales des différentes façades; ensuite il dresse les coupes, c'est-à-dire les sections faites dans le monument par des plans horizontaux ou verticaux, convenablement choisis.

Une fois les plans bien arrêtés, l'architecte les passe à l'appareilleur, pour ce qui concerne la maçonnerie, et au maître-charpentier, pour tout ce qui touche à la charpente. Le premier étudie la meilleure forme à donner aux pierres, afin que la construction offre dans son ensemble le plus de stabilité possible. Quant au second, il cherche comment il devra relier entre elles les différentes pièces de bois qui doivent entrer dans le monument, de façon qu'elles forment, tant avec la maçonnerie qu'entre elles, un seul tout parfaitement solide. Ce sont ces deux opérations qui sont l'objet de la STÉRÉOTOMIE et de l'étude qu'elle fait des meilleures méthodes à employer.

Nous diviserons donc notre article en deux parties : la première traitera de la coupe des pierres ou stéréotomie proprement dite; la seconde, des diverses questions relatives à la charpente.

Dans l'une comme dans l'autre de ces deux parties, nous nous placerons à un point de vue exclusivement géométrique, c'est-à-dire que nous n'étudierons que le côté relatif à l'application du trait sur la pierre ou sur le bois, indépendamment des questions de résistance et de poussée.

PREMIÈRE PARTIE.

COUPE DES PIERRES.

Nous admettrons toujours que la forme et les dimensions de la voûte projetée sont assignées dans leur ensemble, d'après les lois de la mécanique et les règles de l'architecture : en sorte que le problème de stéréotomie consistera dans les trois opérations suivantes :

1° Trouver le mode de division le plus avantageux pour partager cette voûte en *voussoirs*, c'est-à-dire en parties telles que, sous un volume relativement petit et réunies dans l'ordre convenable, elles se soutiennent mutuellement comme si elles ne faisaient qu'un seul tout. C'est ce qu'on appelle tracer l'*appareil* de la voûte.

1. Hauteur moyenne d'un homme à cheval.

2° Déterminer exactement les contours de toutes les faces de chacun des voussoirs qui devront composer la voûte.

3° Appliquer le trait sur la pierre, ou, autrement, donner aux matériaux que l'on emploie les formes que l'on a trouvées.

Le mode de division en voussoirs devant évidemment changer avec la forme de la voûte, nous indiquerons dans chaque cas quel système il est préférable d'adopter.

Pour effectuer la seconde opération, on choisit un mur bien plan sur lequel on applique une couche de plâtre parfaitement dressée. C'est sur ce mur que l'on trace les données de l'épure, dans des dimensions égales à celles que doit avoir la voûte. Ensuite on y détermine les contours de toutes les faces de chaque voussoir, d'abord en projection, puis en vraie grandeur au moyen de rabattements.

Quant à la troisième opération, c'est-à-dire l'application du trait sur la pierre, elle varie, ainsi que la première, suivant les cas. C'est pourquoi nous n'en dirons rien ici, nous réservant d'expliquer à la fin de chaque problème les procédés qu'il faut employer pour tailler les voussoirs.

Nous allons maintenant donner quelques définitions que nous croyons indispensables pour l'intelligence de ce qui doit suivre :

Ainsi que nous l'avons déjà dit, on donne le nom de *voussoirs* aux différentes pierres qui composent une voûte; les *joints de lit* sont les faces par lesquelles un voussoir est en contact avec celui de l'assise inférieure et avec celui de l'assise supérieure; tandis que les *joints d'assise* ou *joints montants* sont les faces de contact de deux voussoirs d'une même assise, lorsque celle-ci est trop longue pour être composée d'une seule pierre. On appelle *tête* du voussoir la face vue qui termine une assise en faisant *parement*.

On nomme *intrados*, ou *douelle* d'une voûte, la surface intérieure et visible de cette voûte; l'*extrados* est la surface extérieure, laquelle est réelle ou idéale, suivant que la voûte est isolée ou fait corps avec d'autres constructions. Enfin les *pieds-droits* sont les murs, piliers, pilastres ou colonnes qui, en montant jusqu'à la *naissance* de la voûte, supportent les premiers voussoirs.

Comme il existe deux règles générales auxquelles on doit toujours s'assujettir et dont il ne faut se départir que pour des motifs graves, nous les énoncerons dès à présent.

Attendu que, dans les carrières, les pierres se trouvent disposées par couches sensiblement parallèles, on les en extrait sous formes de prismes droits dont les bases sont précisément les *deux lits de carrière*; et, comme c'est dans le sens perpendiculaire à ces lits que la pierre offre la plus grande résistance à la compression, il faudra toujours avoir soin, dans un ouvrage quelconque, qu'elle soit placée de telle sorte que la charge qu'elle aura à supporter s'exerce suivant la verticale au sens des lits. Dans les chantiers, l'appareilleur a soin, pour guider le *poseur*, de marquer du signe (fig. 1) le lit de dessus et du signe (fig. 2) le lit de pose.



Fig. 1.



Fig. 2.

Tel est le premier principe. Quant au second, nous le formulerons ainsi : les joints doivent toujours être normaux à l'intrados. Car, si cette condition n'était pas remplie, de deux voussoirs contigus, l'un présenterait un angle obtus et l'autre un angle aigu; or, ce dernier n'étant pas susceptible d'une résistance aussi grande que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

le premier, il en résulterait que, la voûte une fois décintrée et abandonnée aux effets de son poids, les réactions mutuelles des voussoirs feraient éclater l'angle le plus faible, et pourraient occasionner des accidents graves, en compromettant la stabilité de cette voûte. Il est bien certain que si, en observant cette règle, on courait le risque de tomber dans un inconvénient plus grave, il faudrait alors chercher à concilier la règle avec les exigences de la construction.

Nous ajouterons que les lignes d'appareil, qui conviennent le mieux pour la construction d'une voûte, sont les lignes de plus grande et de plus petite courbure de la surface qui forme l'intrados : d'abord, parce que ces lignes se rencontrent toujours à angle droit, comme on le démontre en géométrie descriptive, et qu'elles partagent ainsi la douelle en rectangles; ensuite, parce que les joints normaux, qui ont ces courbes pour directrices, sont nécessairement développables, ce qui, nous le verrons plus tard, est très-important.

Ici doivent prendre place quelques remarques relatives à la pose des pierres.

Lorsqu'on élève une construction, on place d'abord dans toute la longueur d'une même assise les diverses pierres qui la composent, puis on vérifie avec la règle et le niveau si leurs lits de dessus sont bien tous dans un même plan horizontal; s'ils n'y sont pas, il faut que le tailleur de pierres *rase le tas*, c'est-à-dire vienne retoucher sur place. Ceci fait, on procède à la pose de l'assise suivante. Pour cela, on asseoit chaque pierre sur des *éclisses* ou cales de bois très-minces, choisies de telle sorte qu'elles maintiennent parfaitement le niveau; puis, en soulevant la pierre autour d'une de ses arêtes, on introduit au-dessous une couche de mortier clair et fin, telle qu'en laissant retomber la pierre sur les éclisses, elle fasse souffler le mortier tout autour du joint horizontal. Ensuite on abreuve les joints verticaux avec du mortier très-liquide.

Cet usage de poser sur cales est sans doute beaucoup plus commode pour les ouvriers, puisqu'il leur permet de compenser les défauts d'une mauvaise taille; mais il offre des inconvénients très-graves pour les parties des constructions qui sont appelées à supporter de fortes charges. En effet, la dessiccation faisant éprouver au mortier un retrait assez considérable, il en résulte que la pierre finit par ne plus reposer que sur les éclisses qui se trouvent aux quatre coins, et rompt sous les efforts de la charge.

Il existe une autre coutume non moins vicieuse dans ses résultats, c'est celle qui consiste à payer la taille des pierres au mètre carré de *parement vu*. Car l'ouvrier met tous ses soins à exécuter les parties qui dans la construction seront visibles, tandis qu'il se contente pour les joints de faire tout autour une bande bien dressée à la règle, laissant le milieu brut, sous prétexte de donner plus de prise au mortier. Il arrive même quelquefois qu'il dépasse le plan du joint pour former une partie concave. Il est facile de se rendre compte combien une telle manière de procéder est défectueuse, et combien elle peut occasionner d'accidents graves dans la suite d'une construction.

Rondelet, dans son *Art de bâtir*, raconte que c'est à un fait de ce genre que l'on doit attribuer la rupture et l'affaissement des colonnes qui dans le principe devaient soutenir le dôme du Panthéon. Il paraîtrait que l'appareilleur, dans le but de rendre insensibles à l'œil les joints de lit de ces colonnes, aurait fait tailler les tambours qui les composaient, de telle sorte que le lit de dessus fût un peu concave.

Nous voyons, au contraire, avec quel soin et quelle exactitude les Romains dressaient les joints des pierres de leurs constructions. Dans le pont du Gard, par exemple, les joints horizontaux sont tellement peu sensibles que plusieurs observateurs, parmi lesquels Rondelet, prétendent que, pour établir un contact aussi parfait, les pierres ont dû être frottées sur le tas.

Il résulte de ce que nous venons de dire que, dans les constructions importantes, on devrait proscrire l'emploi du mortier et surtout celui des éclisses. Les ouvriers, après avoir parfaitement soigné la taille de leurs pierres, les poseraient sur leurs joints à nu; puis, pour remplir les petits intervalles laissés par l'imperfection de la taille, ils couleraient un mortier très-fin et très-liquide au moyen de petites rigoles ménagées dans le haut du joint.

Disons actuellement le procédé usité pour dresser une face plane sur une pierre brute.

Sur l'une des faces, MNP par exemple (fig. 3), l'ou-

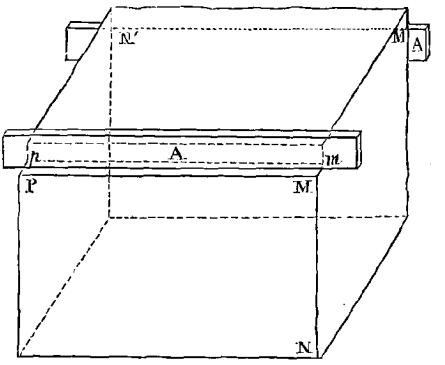


Fig. 3.

vrier trace une ligne noire MP; puis, au moyen d'un ciseau et d'un maillet, il taille une petite cisclure M*mp*P bien plane, ce qui est facile, vu son peu de largeur. Cela fait, il pose sur cette bande une règle A; ensuite il se transporte vers la face opposée de la pierre; il y applique une seconde règle A' en s'arrangeant de manière que son bord supérieur et le bord inférieur de la première soient bien dans un même plan, ce dont il est sûr, lorsque son rayon visuel rase simultanément ces deux bords. Alors il trace une seconde ligne M'P', qu'il réunit à la première MP par une troisième MM'. Il exécute, le long de ces deux nouvelles lignes, deux autres entailles qui forment avec la première les bords du plan demandé. Enfin il enlève la partie intérieure qui se trouve au-dessus de ces entailles, en ayant soin d'appliquer de temps en temps une règle sur son travail, pour s'assurer si tout en s'appuyant sur MP et sur M'P', cette règle coïncide avec la taille, et par suite si celle-ci est bien plane.

Les quelques principes que nous avons posés étant bien établis, nous passons à l'étude des différents appareils qui se présentent dans la construction. Et d'abord nous dirons quelques mots des murs.

MURS.

Un *mur droit* est celui qui se trouve compris entre deux plans verticaux parallèles. Pour édifier un tel mur, on emploie divers procédés dont nous allons indiquer les plus usités.

Un mur est dit construit en *parpaings*, lorsque toutes les pierres qui le composent en tiennent toute l'épaisseur dans le sens de la largeur (fig. 4). Si c'est la longueur de la pierre qui forme l'épaisseur du mur, comme B, B (fig. 5), elle s'appelle *boutisse*. Les parpaings ainsi que les boutisses, ont deux parements; mais il arrive quelquefois que la pierre n'en offre qu'un, elle s'appelle alors *carreau*, C, C (fig. 5). On donne le nom

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de *libages* aux pierres L, L qui servent à remplir les intervalles laissés par les carreaux. Il arrive souvent, qu'au lieu de se servir de libages pour combler l'espace

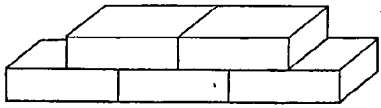


Fig. 4.

vide compris entre les carreaux, on emploie des moellons posés à bain de mortier, ou bien des *blocages* ou petites pierres que l'on met sans ordre avec du mortier.

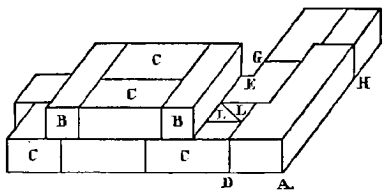


Fig. 5.

Quelle que soit la manière dont un mur est bâti, c'est-à-dire, que les pierres qui le composent soient des parpaings, des boutisses ou des carreaux, on doit toujours éviter avec le plus grand soin que les joints verticaux de deux assises consécutives se correspondent. De plus, lorsque le mur forme un coude, comme dans la figure 5, les pierres qui forment l'arête verticale A doivent être disposées de telle façon que la plus longue soit tantôt dans le sens AH et tantôt dans le sens AD; quant au point E, à l'angle intérieur, on doit également éviter qu'il s'y trouve un joint; c'est pourquoi l'on prend soin de tailler la pierre qui se trouve en cet endroit, en forme de coude, ainsi que l'indique notre figure.

Un mur est *biais*, lorsque les deux plans entre lesquels il est compris, bien que tous deux verticaux, ne sont pas parallèles.

Un mur est en *talus*, quand les deux parements sont, l'un vertical et l'autre incliné à l'horizon.

PLATES-BANDES.

Une *plate-bande* est une espèce de voûte dont l'intrados est plan et horizontal; elle sert ordinairement à former le *linteau*, c'est-à-dire le dessus d'une porte ou d'une fenêtre (fig. 6). La dernière assise de chaque piedroit s'appelle *sommier*. Les faces A'A", B'B" sont le *tableau* de la porte; la *feuillure* est l'espace rectangulaire N'N"Q'Q" où l'on place les *vantaux*. Enfin on nomme faces d'*ébrasement* les faces verticales N"M', Q"P', qui comprennent l'embrasure de la porte, et qui, ainsi qu'on le voit sur la figure, divergent un peu, afin de donner plus de course à chaque vantail de la porte. Les *claveaux* sont les divers voussoirs qui composent la plate-bande.

Pour diviser une plate-bande en claveaux, et afin de permettre à ceux-ci de se soutenir mutuellement, on fait converger habituellement les joints AE, ST..., vers un même point O, qui est le sommet d'un triangle équilatéral dont AB est la base. De plus, on a toujours soin que les directions de ces joints forment entre elles des angles égaux et que les claveaux soient en nombre impair. Il y aura ainsi un claveau placé au milieu : on lui donne le nom de *clef*. Si cette dernière condition n'était pas remplie, c'est-à-dire si le nombre des claveaux était pair, il y aurait un joint au milieu qui faciliterait le glissement ou la rotation de ceux-ci; et, par suite, la stabilité de la plate-bande serait compromise. L'expérience a

démontré, en effet, que lorsqu'une plate-bande vient à se rompre sous la charge qu'elle supporte, c'est par un effet de glissement et un autre de rotation, lesquels font ouvrir un joint en dedans vers la clef et un autre en dehors vers le sommier. Les effets combinés de ces deux écartements ont pour résultat de soulever le pied-droit en ouvrant un de ses joints en dedans : l'espace compris entre les deux pieds-droits se trouve donc agrandi et la plate-bande s'écroule. On a imaginé plusieurs moyens d'obvier à cet inconvénient : l'un d'eux consiste à donner aux deux claveaux d'angles une *crossette* CVU par la-

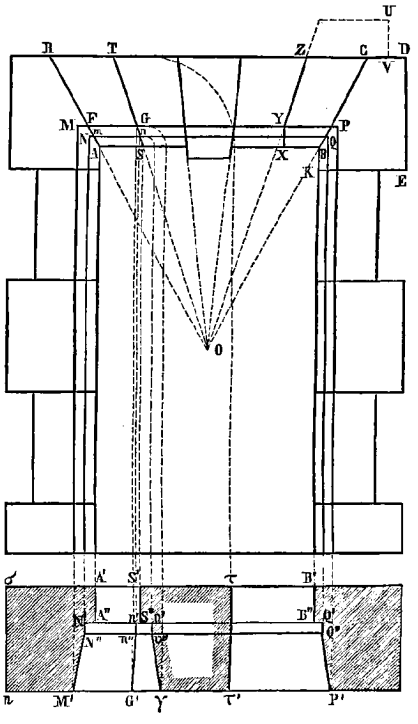


Fig. 6. — Plate-bande.

quelle ils s'appuient sur les deux sommiers. Quelquefois on ajoute une crossette à chaque claveau, afin qu'il puisse s'appuyer également sur le précédent.

Lorsque la plate-bande est longue, les joints voisins des deux sommiers forment avec l'intrados des angles assez aigus, ce qui est vicieux, ainsi que nous l'avons dit en commençant. Afin d'éviter cette acuité d'angles, on arrête le joint à quelques centimètres de l'intrados, et on le continue verticalement, ainsi que nous le voyons en XYZ. Pour la clef, on ne devra jamais employer ces joints brisés, pas plus que les crossettes, parce que pour la poser on l'abandonne à son propre poids, et on la laisse descendre jusqu'à ce qu'elle soit en parfait contact avec les deux *contre-clefs*, dont les joints doivent être également plans.

Quoi qu'il en soit, les crossettes sont d'un mauvais usage, et il est préférable, pour relier tous les claveaux avec les sommiers, de se servir d'un *tirant* en fer qui

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traverse le tout, et qui est fixé à chaque bout au moyen d'un écrou.

Nous allons actuellement indiquer la manière de tailler les claveaux, en prenant pour exemple celui qui est projeté verticalement en ASTR.

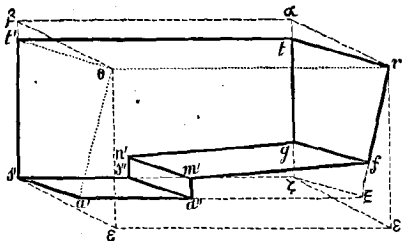


Fig. 7. — Claveau d'une plate-bande.

On prend un bloc rs' (fig. 7) capable du claveau. On commence par bien dresser l'un des lits de carrière $\alpha\beta s'\zeta$ que l'on destine, pour les raisons que nous avons exposées, à devenir l'un des joints de lit, celui AR par exemple. Ceci fait, on applique sur ce lit dressé un panneau en carton, en lattes de bois ou en tôle, découpé sur le rabattement du joint AR, rabattement que nous n'avons pas effectué pour éviter les confusions, et on trace le contour $tt's's''n'g$. Ensuite, d'équerre sur cette face, on exécute les deux plans parallèles $\alpha\zeta\delta r$ et $\beta s'\epsilon\theta$ qui sont destinés à former les deux têtes du voussoir; sur chacun de ces deux plans on trace, en se servant du même panneau découpé sur SART, les deux contours égaux $t's'a'\theta$ et $t\zeta\xi r$, après quoi on exécute le prisme $t's'\zeta tr\xi a'\theta$. Enfin, sur le plan $r\theta a'\xi$ on trace le contour $r\theta a'a''m'f'$, en se servant d'un panneau découpé sur le rabattement du joint ST, rabattement que l'on voit sur la fig. 6 en $S'S''v'v''\gamma\tau'\tau$; et, au moyen de ce dernier contour et du contour $tt's's''n'g$, tracé dès le début, on taille les trois faces $fgn'm'$, $m'n's''a''$ et $a''s''s'a'$ en se servant, respectivement pour chacune, des deux directrices gn' et fm', $n's''$ et $m'a''$, $s''s'$ et $a''a'$.

La méthode que nous venons d'exposer, pour la taille des claveaux, est dite *par dérobement*. Il en existe une seconde appelée méthode par *beuveaux*. Le beuveau est une fausse équerre formée par deux règles de bois assemblées à frottement. Cette seconde méthode diffère de la première en ce qu'au lieu d'employer des panneaux de développement, l'ouvrier, après avoir taillé l'une des faces de son voussoir, exécute toutes celles qui lui sont contiguës au moyen d'un beuveau auquel il a donné une ouverture égale à l'angle que fait la face qu'il considère avec celle déjà taillée.

On sent fort bien que ce procédé est très-défectueux, puisque le beuveau peut changer d'ouverture. Aussi, dans la suite de cet article, et dans chaque exemple que nous étudierons, ne parlerons-nous que de la méthode par dérobement, bien que dans les chantiers les ouvriers lui préfèrent assez généralement celle par beuveaux, à cause de l'économie de temps qu'elle leur procure.

VOUTES PLATES.

Lorsqu'on veut couvrir l'espace compris entre deux murs parallèles, on se sert d'un appareil dans lequel les voussoirs sont disposés exactement comme dans celui de la plate-bande, sauf que chaque assise, au lieu de ne se composer que d'un seul claveau, en comprend plusieurs. La voûte ainsi formée s'appelle *voûte plate*. Nous verrons plus loin que l'on peut employer une autre voûte nommée *berceau*.

La voûte plate, dans le cas où elle couvre l'espace résultant de la rencontre de deux galeries, s'appareille, comme nous le voyons dans la figure 8, qui est la projection horizontale de l'intrados. Pour mieux faire com-

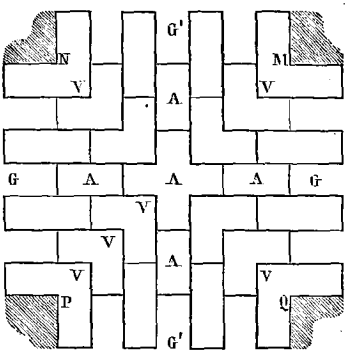


Fig. 8. — Voûte plate.

prendre la forme des voussoirs, nous en avons représenté un en perspective dans la figure 9. Il arrive quelquefois que, pour donner plus de solidité à la voûte, on munit les voussoirs de crossettes C. Il est préférable cependant de les éviter, pour les raisons que nous avons indiquées déjà précédemment. Toujours est-il, et quoiqu'il en soit, les clefs A ne doivent jamais avoir de crossettes.

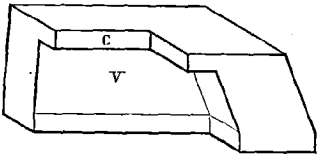


Fig. 9. — Voussoir d'une voûte plate.

L'application du trait sur la pierre n'offre aucune difficulté, à l'exception des voussoirs d'angle, pour l'exécution desquels le lecteur voudra bien se reporter aux voûtes d'arêtes qui sont étudiées plus loin.

Au lieu d'employer la voûte qui vient de nous occuper, on se sert plus souvent d'une autre voûte, également plate, dont les voussoirs sont disposés différem-

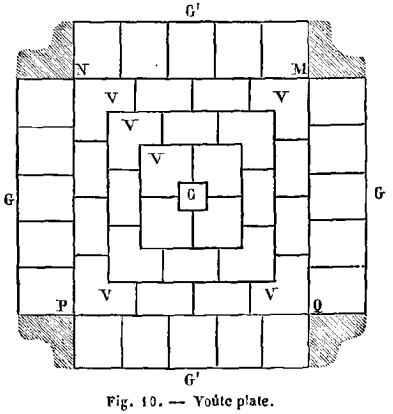


Fig. 10. — Voûte plate.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment. Nous donnons dans la figure 10 la projection horizontale de son intrados. Cette voûte offre sur la précédente l'avantage de permettre d'éclairer l'endroit qu'elle recouvre par la suppression non-seulement de la clef C, mais encore de plusieurs rangées de claveaux concentriques. Pour cela, on fait autour de chacune de ces rangées une crossette, de sorte que la voûte entière peut être considérée comme composée de châssis rectangulaires s'emboîtant les uns dans les autres.

Nous ferons remarquer que le plafond qui recouvre l'espace carré MNPQ, dans le cas de la figure 8, est formé de claveaux en retour d'équerre, dont chacun des côtés est respectivement le prolongement des assises qui forment les voûtes des galeries GG, G'G'; en sorte que, si les galeries étaient de largeurs différentes, elles devraient néanmoins avoir toutes deux leurs voûtes composées d'un même nombre d'assises. Au contraire, dans l'appareil représenté figure 10, il est indifférent que le nombre des assises des voûtes GG et G'G' soit le même, puisque ces dernières ont dû être arrêtées précisément aux côtés du carré MNPQ.

Nous ajouterons, pour terminer ce qui concerne les voûtes plates, que les deux galeries pourraient se rencontrer sous un angle autre qu'un angle droit. Dans ce cas, soit que l'on employât l'appareil figure 8, soit que l'on se servît de l'appareil figure 10, les choses se passeraient exactement de même que précédemment, sauf que les joints d'assises et les joints de lit, au lieu d'être perpendiculaires entre eux, formeraient un angle égal à celui que feraient les deux galeries en se coupant.

BERCEAUX.

On désigne sous le nom général de *berceau* toutes les voûtes à intrados cylindrique qui servent à recouvrir l'espace compris entre deux murs verticaux parallèles. On appelle *débouché* de la voûte l'intervalle des deux murs, et *plan de naissance* le plan horizontal passant par les deux droites suivant lesquelles le berceau se raccorde avec les murs. La *hauteur sous clef* est la distance comprise entre le plan de naissance et le point le plus élevé de la voûte.

Le berceau est dit en *plein cintre* lorsque l'intrados a pour section droite une demi-circonférence. Il est *surbaissé* quand la hauteur sous clef est moindre que la moitié du débouché, et *surhaussé* dans le cas contraire. Si le berceau est surbaissé, la section droite de son intrados est une demi-ellipse dont le grand axe est horizontal, ou bien une courbe à plusieurs centres à laquelle on a donné le nom d'*anse de panier*. Si, au contraire, le berceau est surhaussé, son intrados a pour section droite une demi-ellipse dont le grand axe est vertical, ou bien une *ogive*, cintre composé de deux arcs de cercles décrits des deux naissances comme centres.

Enfin, on appelle voûte en *arc de cercle* un berceau dont la section droite est un arc de cercle moindre qu'une demi-circonférence.

La théorie et l'expérience ont fait voir que lorsque l'intrados est circulaire, l'extrados doit avoir la forme d'une courbe AB, asymptotique du plan de naissance, ainsi qu'on le voit dans la figure 11. Comme dans la pratique il est impossible de réaliser une telle condition, on y supplée en donnant à l'extrados la forme d'un arc de cercle CD, dont le centre est au-dessous de la clef à une distance égale aux 2/3 ou aux 3/4 du débouché, et dont le rayon est égal à cette distance, plus l'épaisseur de la clef. Quant à cette épaisseur, elle est essentiellement variable, attendu qu'elle dépend, non-

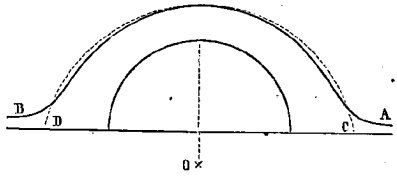


Fig. 11. — Courbe théorique de l'extrados d'une voûte.

seulement du débouché de la voûte et de la charge qu'elle doit supporter, mais encore du degré de résistance qu'offrent les matériaux que l'on emploie.

Lorsqu'un berceau a une longueur très-peu considérable, égale à l'épaisseur d'un mur, il prend le nom de *porte*.

Comme une porte fait généralement corps avec le mur dans lequel elle est pratiquée, on se contente dans le cas où l'on veut former un bandeau apparent, d'extradosser parallèlement à l'intrados, et l'on termine la tête de chaque voussoir par un arc de cercle concentrique avec l'intrados, ainsi que l'indique la figure 12, dans laquelle l'arc ponctué AB indique l'extrados d'une porte ainsi appareillée. Cependant on termine plus souvent chaque voussoir par une face horizontale CD et une verticale DE, de façon que ces joints se raccordent avec les assises du mur. Quelquefois on ajoute des crossettes aux voussoirs qui alors sont dits en *tas*

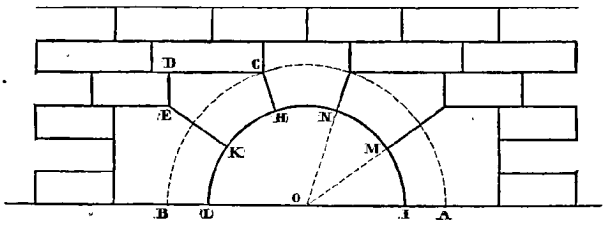


Fig. 12. — Voûte en plein cintre.

de charge; mais cette disposition est sujette à de graves inconvénients. En effet l'un quelconque des voussoirs présente à la partie inférieure un angle rentrant, tandis que celui qui se trouve immédiatement en dessous présente à sa partie supérieure un angle saillant. Or, il est très-rare que dans la pratique on parvienne à faire ces deux angles parfaitement égaux : il en résulte donc des *porte à faux*, et la voute une fois décintrée éprouve un tassement considérable qui fait que la charge, au lieu d'être également répartie sur toute l'étendue des joints, est portée seulement par les quelques points qui se trouvent en contact avec les cales dont le poseur s'est servi pour remédier à l'inégalité des angles.

Comme un berceau ne diffère d'une porte que parce qu'il est plus long, on l'appareille à peu près de la même manière. La seule différence qu'il y ait consiste en ce que dans la porte chaque assise n'est composée que d'un seul voussoir, tandis que dans un berceau on est obligé, vu sa plus grande longueur, de décomposer les assises en plusieurs voussoirs, en ayant soin toutefois de faire en sorte que les joints d'assises de deux assises consécutives ne soient pas en face les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

uns des autres. Nous nous contenterons donc d'étudier l'appareil des portes, et tout ce que nous en dirons s'appliquera aux berceaux.

Et d'abord nous allons commencer par une porte droite, qui est celle pratiquée dans un mur dont les deux parements sont perpendiculaires à son axe.

PORTE DROITE.

Pour former les joints, qui doivent être normaux à l'intrados, on mène des plans par l'axe O (fig. 12) de la porte, en nombre tel que les voussoirs soient en nombre impair; puis on termine ceux-ci par deux joints, l'un vertical ED, l'autre horizontal CD.

Quant à la question relative à l'application du trait sur la pierre, elle offre, dans ce cas-ci, une certaine difficulté : nous voulons parler de l'exécution de la douelle cylindrique. Aussi allons-nous donner le moyen de tailler l'un des voussoirs, HCDEK par exemple.

On prend un bloc de pierre capable du voussoir; on dresse parfaitement d'abord le lit de carrière qui est destiné à former le lit de pose KE; et, perpendiculairement à cette première face, on exécute les deux autres faces abK'c et eK"d (fig. 13), qui deviendront par la suite

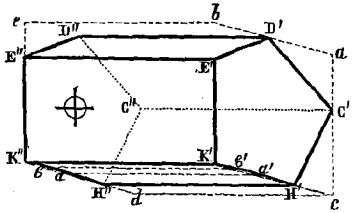


Fig. 13. — Voussoir d'une voûte en plein cintre.

les deux têtes du voussoir. Ceci fait, on trace sur beK"K' le rectangle E'E" K"K', dont K'K" doit être égal à l'épaisseur du mur, et E'K' = EK; puis, sur les deux faces abK'c, eK"d, on construit les pentagones

$$D'E'K'H'C' = D''E''K''H''C'' = DEKHC.$$

Il est alors facile de tailler toutes les autres faces du voussoir, puisque pour chacune d'elles on a deux directrices; à part cependant la face de douelle K'K" H"H', laquelle s'exécute en divisant les deux arcs H'K', H"K" en un même nombre de parties égales

$$H'\alpha' = \alpha'\mathcal{C}' = \mathcal{C}'K' = H''\alpha = \alpha\mathcal{C} = \mathcal{C}K'',$$

et en faisant appuyer une règle sur les repères ainsi obtenus. En un mot, on procède comme pour un plan; sauf que dans ce cas-ci les deux directrices sont des courbes, et que la règle, qui est la génératrice, doit toujours rester parallèle à elle-même, ce qui n'est pas absolument nécessaire lorsque l'on dresse une surface plane.

En général, dans toutes les questions de stéréotomie, lorsque l'on a à réaliser une surface, quelle qu'elle soit d'ailleurs, on tache d'employer un moyen pratique qui soit la traduction matérielle du mode de génération de cette surface. Nous avons vu, en effet, que pour le plan nous nous sommes servi d'une règle glissant sur deux droites parallèles, et que dans le problème de la porte droite, pour tailler la douelle cylindrique, nous avons eu recours au mode de génération du cylindre.

PORTE DROITE [1] RACHETANT UN BERCEAU EN MAÇONNERIE.

La porte est pratiquée dans un mur vertical et rachète un berceau dont nous supposons le plan de naissance à la même hauteur. Le problème n'est donc autre chose que la recherche de l'intersection de deux cylindres circulaires dont les axes sont dans un même plan et perpendiculaires entre eux. C'est ce plan des deux

1. Elle pourrait être biaise.

axes que nous prenons comme plan horizontal de projection.

Pour tracer l'appareil, on opère exactement comme s'il s'agissait d'une simple porte droite. Aussi ne nous occuperons-nous pas de ce tracé; nous allons seulement donner, pour l'un des voussoirs, le moyen de déterminer la tête qui fait parement sur l'intrados du berceau en maçonnerie.

Soit MNPQR ce voussoir (fig. 14). Il est bien évident

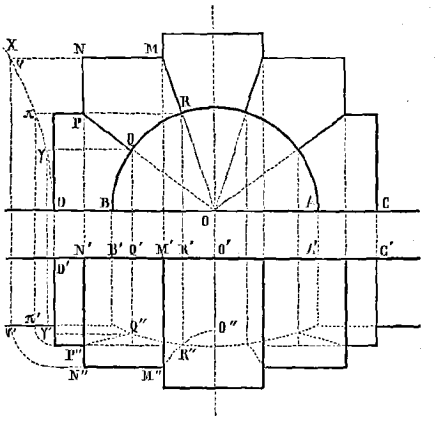


Fig. 14. — Porte droite rachetant un berceau en maçonnerie.

qu'en déterminant l'intersection que produit dans le berceau le prisme MNPQR, nous aurons la tête que nous cherchons. Or, la détermination de cette intersection se fera en menant des plans verticaux parallèles aux arêtes des voussoirs, lesquels donneront dans le prisme des droites, et dans le berceau des demi-circonférences : donc, si nous décrivons sur le plan vertical et sur la ligne de terre, comme diamètre, une demi-circonférence DX, puis que nous menions des parallèles Nν, Pπ... à la ligne de terre, correspondant aux différents plans sécants, et qu'ensuite nous ramenions dans leur véritable position les points ν, π, γ... ainsi obtenus, nous aurons les points N", P", Q"... où les droites déterminées dans le prisme par les plans sécants viennent percer le berceau; et, par suite, la tête du voussoir que nous cherchons sera parfaitement déterminée. Remarquons que les lignes de joint M"R", R"Q", étant le résultat de l'intersection du berceau par les plans MOO", POO", sont des portions d'ellipses passant par le point O" et tangentes en ce point à la droite π'O".

Il n'y aura plus alors qu'à exécuter sur la pierre ce que l'épure nous aura fourni. Mais, comme cette exécution présente une certaine difficulté, nous allons donner le moyen de tailler ce voussoir.

On dresse d'abord parfaitement l'un des lits de carrière de la pierre que l'on destine à former le joint de pose PQ. Perpendiculairement à cette première face on en dresse une autre, sur laquelle on vient poser un panneau découpé suivant MNPQR : on obtient ainsi le contour $m'n'p'q'r'$ (fig. 15). Ceci fait, suivant les droites $m'n'$, $n'p'$, $p'q'$, $r'm'$ de ce contour, on fait passer des plans perpendiculaires à la tête $m'n'p'q'r'$, au moyen de l'équerre; et, suivant la courbe $r'q'$, on exécute un cylindre également normal à la tête.

On a ainsi les cinq faces de joints et de douelle, que l'on détermine exactement, quant aux faces de joints, avec des panneaux obtenus sur l'épure par des rabattements, et, quant à la douelle, au moyen d'un morceau

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de carton dont le contour n'est autre chose que le développement de la portion de cylindre qui a pour projection verticale RQ, et pour projection horizontale R'Q'Q"R". Il ne reste plus alors à exécuter que la tête *mnpqr* dont nous avons les contours, grâce aux

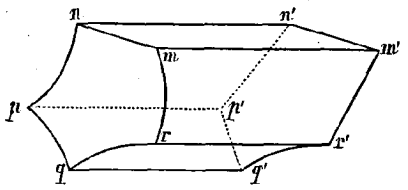


Fig. 15. — Voussoir d'une porte rachetant un berceau en maçonnerie.

opérations qui précèdent. Or, cette tête fait partie du berceau : donc elle doit être cylindrique; donc elle se taillera en se servant d'une règle que l'on appuiera sur le contour *mnpqr*, en la maintenant toujours parallèle à la droite *mn*, qui est une portion de génératrice du berceau. Le voussoir est maintenant complétement terminé.

BERCEAU TOURNANT.

C'est une voûte dont l'intrados est formé par une demi-circonférence tournant autour d'un axe vertical situé dans son plan.

On pourrait remplacer la demi-circonférence par une demi-ellipse. Dans ce cas le berceau tournant serait surbaissé ou surhaussé, selon que ce serait le grand ou le petit axe qui se trouverait horizontal.

Dans notre épure (fig. 16), nous avons supposé que le berceau est circulaire, et qu'il est vu par dessous, c'est-à-dire que nous donnons la projection de l'intrados.

Pour tracer l'appareil de cette voûte, on rabat une section méridienne sur le plan de naissance, et l'on opère sur ce rabattement comme s'il s'agissait d'un berceau cylindrique. Puis on imagine que les différentes droites MN, RQ... tournent autour de l'axe O: elles engendrent des surfaces coniques qui formeront les joints de lit, et dont les sommets seraient sur l'axe O de la tour ronde. Quant aux joints d'assise, on les obtiendra en menant des plans méridiens.

Pour tailler les voussoirs d'une telle voûte, on procède comme nous allons l'indiquer figure 17. Pour effec-

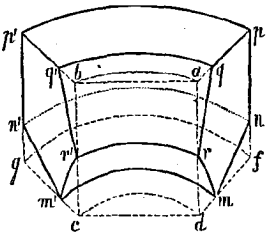


Fig. 17. — Voussoir d'une voûte en tour ronde.

tuer nos opérations, nous choisirons le voussoir qui a pour projection R'R"N"N'. On commence d'abord par tailler un prisme droit ayant pour base le trapèze curviligne R'R"N"N', et pour hauteur la différence des hauteurs des deux points M et Q. Sur les faces planes verticales on applique le panneau de tête MNPQR. Au moyen d'une règle flexible on trace les arcs *rr'* et *nn'*. Quant aux arcs *qq'* et *mm'*, on les trace avec des panneaux découpés sur N'N"Q"Q' et sur N'N"M"M'. Ensuite on taille les joints coniques au moyen d'une règle s'appuyant, pour le joint de lit supérieur, sur les arcs *qq'*, *rr'*, et pour le joint de lit inférieur, sur les arcs *nn'*, *mm'* : on a préalablement divisé ces arcs en un même nombre de parties égales, et on a soin que la règle pose sur les points de division correspondants. Il

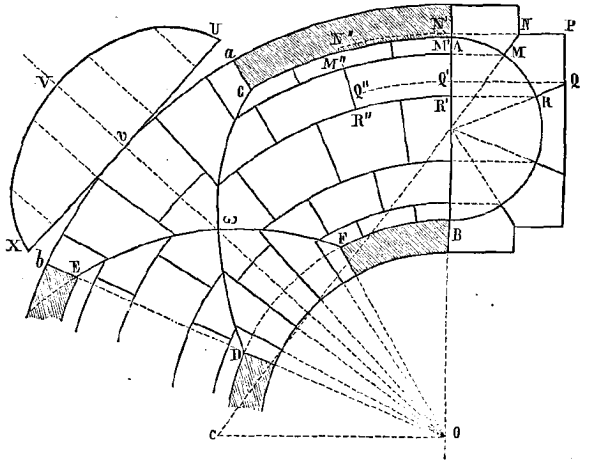


Fig. 16. — Voûte en tour ronde.

reste à tailler la douelle annulaire *rr'mm*. Pour cela on se sert d'une cerce[1] découpée sur la méridienne du berceau, en opérant comme pour les joints coniques;

1. La *cerce*, *cerche* ou *cherche*, est une planche de bois mince ou une simple latte, dont le bord est taillé suivant le contour convexe ou concave d'une courbe déterminée, et que l'on promène comme un patron mobile sur les diverses parties d'une face courbe qu'il s'agit d'exécuter.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire que les arcs rr' et mm', étant divisés en un même nombre de parties égales, on fait poser la cerce sur les points de division correspondants, en maintenant son plan toujours normal aux courbes rr' et mm'.

Tel est le moyen de tailler un voussoir. Il n'est applicable qu'aux assises inférieures, attendu que pour celles supérieures il entraînerait un trop grand déchet de pierre. Pour ces dernières, on emploie une autre méthode qui consiste à tailler d'abord un prisme ayant pour base la projection du voussoir sur le plan méridien qui le partage en deux parties égales.

Toutes les constructions qui, sur la figure 16, sont comprises dans le quadrilatère ECFD, sont relatives à une voûte que nous étudierons plus loin.

BIAIS PASSÉ.

On donne ce nom à la voûte dont les plans de têtes, bien que parallèles entre eux, ne sont pas perpendiculaires à l'axe du berceau.

On peut former l'intrados de cette voûte de deux manières :

1° Les deux arcs de tête étant des demi-circonférences, on suppose qu'une droite se meut en s'appuyant sur ces deux courbes, tout en restant constamment parallèle au plan de naissance, c'est-à-dire horizontale;

2° Les deux arcs de tête étant encore des demi-circonférences, l'intrados sera engendré par une droite qui s'appuiera encore sur les deux courbes, mais qui en outre sera assujettie à toucher la droite qui, perpendiculaire aux deux plans de tête, passe par le centre O' du parallélogramme formé par les deux diamètres des circonférences de tête et par les deux droites qui joignent deux à deux les extrémités de ces mêmes diamètres.

Dans le premier cas, la surface qui forme la voûte est un cylindre; dans le second, c'est une surface gauche à laquelle on donne le nom de *corne de vache*.

Occupons-nous d'abord du tracé de l'appareil du biais passé à douelle cylindrique.

Nous avons, dès le début, posé comme principe que les joints doivent toujours être normaux à l'intrados. Dans le cas que nous étudions, si cette condition de stabilité est remplie, un grave inconvénient se présente. En effet, les plans de joint étant perpendiculaires à la douelle du berceau, ne sauraient l'être en même temps aux faces de tête qui sont obliques au cylindre. Alors on voit que si l'on décompose le poids de chaque voussoir en deux forces, l'une sera perpendiculaire au joint et l'autre parallèle à ce même joint. Or cette dernière, par suite du biais, ne se trouvant pas parallèle aux faces de tête, produira une composante perpendiculaire à ces dernières, laquelle aura une tendance à *pousser au vide*, c'est-à-dire à faire glisser les voussoirs horizontalement. Lorsque la voûte a une certaine importance, on préfère cependant conduire les plans de joint normaux à l'intrados; si, au contraire, la voûte n'est pas destinée à supporter une forte charge, on rend les plans de joint perpendiculaires aux faces de tête, ce qui offre un avantage au point de vue de la taille, puisque l'on peut procéder avec l'équerre, sans avoir recours au développement des panneaux de douelle.

Si l'on désire que les joints soient normaux à l'intrados, on commence, pour appareiller, par construire une section droite du cylindre, laquelle est évidemment une ellipse; puis on mène à cette ellipse différentes normales équidistantes, par lesquelles on fait passer des plans qui en même temps doivent contenir les génératrices du cylindre correspondant aux normales : ce sont ces plans qui forment les joints de lit. Les joints d'assise seront formés par des plans perpendiculaires aux joints de lit.

Lorsque l'on veut que les plans de joint soient normaux aux faces de tête, il faut qu'ils soient menés par une perpendiculaire commune à ces faces; on choisit celle qui se trouve être la troisième directrice du biais passé, dit corne de vache. Dans ce cas, les arêtes de douelle ne sont plus des lignes droites; ce sont des ellipses allongées qu'il est facile de construire par points.

BIAIS PASSÉ, DIT CORNE DE VACHE. — Pour le tracé de l'appareil, on mène par la droite directrice OO' (fig. 18) une série de plans (ici nous en avons conduit

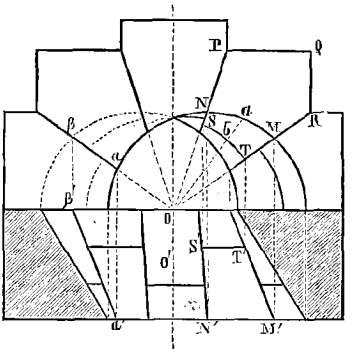


Fig. 18. — Biais passé, dit Corne de vache.

cinq) qui sont les joints de lit. Ces plans coupent la douelle suivant des droites qui sont des génératrices de la surface formant l'intrados. Il est facile de se procurer les projections horizontales de ces génératrices, arêtes de douelle; car il n'y a qu'à joindre par des droites les différents points α' et β', projections des points où les plans de joints coupent les courbes de tête. Quant aux joints d'assise, on n'a qu'à mener des parallèles aux faces de tête. Les voussoirs ainsi obtenus n'offrent aucune difficulté pour la taille, puisque tous les joints sont plans, et que la douelle peut s'exécuter d'une manière analogue à celle d'une douelle cylindrique, en se procurant sur les arcs de tête des points de repère et en faisant passer par ces points une règle. Ces points de repère se déterminent en conduisant par la droite OO' des plans tels que Oba, qui, en rencontrant les arcs MN, TS, fournissent, pour le voussoir projeté en RQPST, les points b et a.

Il est une autre corne de vache qui a été employée avec avantage, au pont de Neuilly, par le célèbre Perronet, pour raccorder les arches, qui sont en anse de panier, avec les avant-becs des piles, afin d'éviter que les eaux, lorsqu'elles sont hautes, ne viennent rencontrer un obstacle perpendiculaire à leurs cours, ce qui aurait occasionné des remous violents qui auraient pu être la source d'affouillements considérables sous les piles. Cette corne de vache a pour courbes directrices deux courbes dont les points culminants sont situés sur une droite perpendiculaire au plan de tête.

ARRIÈRE-VOUSSURES.

ARRIÈRE-VOUSSURE DE MARSEILLE. — On veut, dans un mur, pratiquer une porte dont la première partie soit voûtée en berceau suivant la demi-circonférence AB (fig. 19). Cette portion de la voûte est projetée horizontalement sur le rectangle A'B'B"A". Un petit berceau fait suite au premier en formant retrait : il est destiné à recevoir les vantaux de la porte. Ensuite les pieds-droits vont en divergeant, afin de donner plus de jeu aux vantaux. Mais, comme ces derniers sont terminés à leur partie supérieure par un quart de cercle, il est nécessaire d'exhausser l'intrados qui recouvre l'espace compris entre les faces d'*ébrasement*. C'est à cette dernière partie de la voûte que l'on donne spécialement le nom d'*arrière-voussure de Marseille*.

Pour en former la douelle, on commence par décrire

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STÉRÉOTOMIE.

sur le plan de tête E'F' (fig. 19), un arc de cercle, dont le centre soit sur O'X' prolongé, dont le point culminant X soit au-dessus de Y d'une quantité égale à la moitié environ de X'Y', et dont le rayon soit assez grand pour que les points E et F soient plus élevés que le sommet Y de la *feuillure;* puis on imagine une surface gauche engendrée par une droite mobile assujettie à s'appuyer constamment sur l'axe O, sur le cercle de feuillure CYD et sur l'arc EF. La surface ainsi engendrée ira couper les faces d'ébrasement suivant des courbes qui, en général, ne permettront pas aux vantaux de venir s'y appliquer librement : aussi a-t-on le soin d'ajouter à la directrice EXF deux autres branches EC et FD, tracées sur les faces d'ébrasement. A partir des points E et F ces deux courbes étant substituées, comme directrices, à l'arc EF, on est obligé de les construire de telle sorte que les portions de surfaces FGD et EHC se raccordent parfaitement avec la première surface, afin d'éviter que l'intrados ne présente en cet endroit une brisure choquante à la vue.

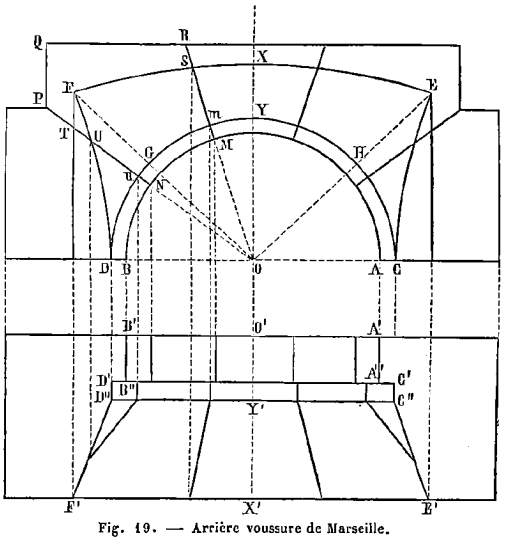


Fig. 19. — Arrière voussure de Marseille.

Pour tracer l'appareil, on mènera des plans par l'axe O, qui couperont la douelle gauche et les douelles cylindriques, chacune suivant des génératrices. La figure 20 représente en perspective la forme de l'un des

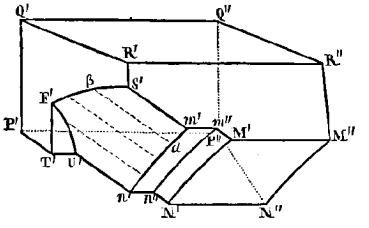


Fig. 20. — Voussoir d'une arrière-voussure de Marseille.

voussoirs d'une telle voûte, celui projeté suivant MNPQR. Les droites ponctuées telles que αβ sont des génératrices de la douelle gauche, suivant lesquelles le tailleur de pierre applique sa règle pour construire la portion $m'S'F'U'n'$.

ARRIÈRE-VOUSSURE DE MONTPELLIER.

Elle ne diffère de celle de Marseille que par une droite que l'on substitue à l'arc EF (fig. 19). On l'emploie ordinairement pour les embrasures des fenêtres qui sont cintrées par le haut, à moins cependant que celles-ci n'aient une imposte.

ARRIÈRE-VOUSSURE DE SAINT-ANTOINE.

On donne ce nom à une voûte qui existait à Paris, auprès de l'ancienne Bastille, à la porte qui servait de communication entre la ville et le faubourg Saint-Antoine. Nous ne donnerons pas le mode de génération de cette voûte, attendu qu'elle n'est jamais employée; et si nous l'avons citée, c'était simplement dans le but de faire voir combien les constructeurs anciens cherchaient à apporter de complications dans leurs ouvrages, puisque les vantaux de cette porte étant rectangulaires, il n'était pas du tout nécessaire de faire une voûte.

VOUTE SPHÉRIQUE.

C'est une voûte formée par une demi-sphère. L'appareil de cette voûte se détermine de la manière suivante : On commence par diviser la demi-circonférence ACB (fig. 18) en un nombre de parties égales, puis on suppose que les droites, telles que DE, tournent autour de l'axe OZ de la voûte, de manière à former un cône : ces cônes

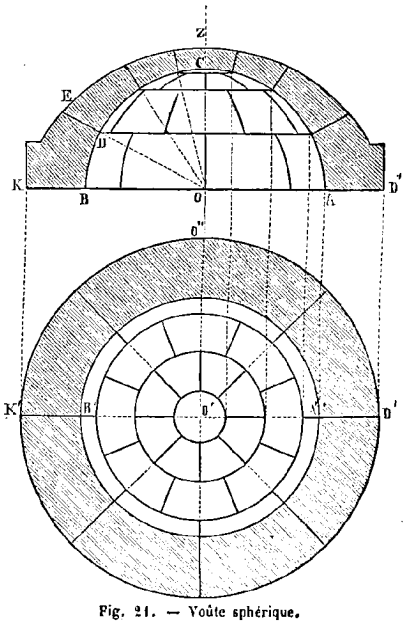


Fig. 21. — Voûte sphérique.

seront les joints de lit; quant aux joints d'assises, on les obtiendra en menant des plans méridiens de la surface. On voit que de cette manière tous les joints seront normaux à l'intrados.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous croyons bon de faire observer qu'une pareille voûte peut se maintenir en équilibre, sans que pour cela on l'élève jusqu'à la clef, pourvu toutefois que les assises inférieures soient achevées dans toute leur circonférence. En effet, les joints coniques décomposant les actions de la pesanteur sur les voussoirs en des forces dirigées vers le centre O, les voussoirs d'une même assise ne pourront céder à cette dernière tendance, puisque chacun d'eux a une surface d'extrados plus considérable que celle d'intrados. Aussi arrive-t-il souvent que, dans une voûte sphérique, on supprime plusieurs assises voisines de la clef, pour ménager une ouverture par où arrive la lumière, ou bien pour élever sur la dernière assise conservée, une petite lanterne ou tour cylindrique.

Les voussoirs peuvent se tailler de deux manières, qui sont précisément les mêmes que celles employées pour les voussoirs de la tour ronde. De même que pour cette dernière voûte, l'une des deux méthodes sert pour les voussoirs des assises inférieures, et l'autre pour les voussoirs des assises supérieures. Il existe encore une autre méthode, dite *par écuelle*, laquelle consiste à creuser d'abord dans la pierre une calotte sphérique égale à celle que détacherait de l'intrados le plan qui passerait par les quatre sommets de la douelle du voussoir.

NICHE SPHÉRIQUE.

C'est une cavité cylindrique ménagée dans un mur et surmontée d'un quart de sphère. Pour se représenter le mode d'appareillage de cette voûte, il n'y a qu'à supposer que la partie D'O"K' de la figure 18 est la projection verticale du quart de sphère, et que DZK est la projection horizontale.

VOUTES ELLIPTIQUES.

Ces voûtes, dont le grand axe est toujours horizontal, sont tantôt un ellipsoïde à trois axes, et tantôt un ellipsoïde de révolution autour du grand axe.

Comme ces voûtes se présentent très-rarement dans la construction, et que leur appareillage est d'ailleurs très-compliqué, nous nous contenterons de les avoir définies, renvoyant aux traités spéciaux le lecteur qui désirerait les étudier.

TROMPES.

On donne ce nom aux voûtes qui supportent les parties qui, dans une construction, sont en saillie sur le reste du monument : par exemple une tourelle qui commence seulement à partir d'une certaine hauteur, en faisant saillie sur le parement d'un mur droit, ou à la rencontre de deux murs. On l'emploie aussi pour supporter les étages supérieurs d'une maison placée au détour d'une rue, et dont on supprime le rez-de-chaussée par un pan coupé, afin d'agrandir la voie publique.

Dans les anciennes constructions, les architectes multipliaient les trompes de tous genres; dans le nombre on en remarque quelques-unes qui nous étonnent par leur hardiesse. Mais c'est bien avec juste raison que les architectes modernes ont banni l'usage de placer dans les bâtiments toutes ces parties en surplomb.

Cependant les trompes sont intéressantes à étudier au point de vue stéréotomique, et peuvent d'ailleurs encore être utiles lorsqu'il s'agit de tirer parti de constructions déjà existantes, pour les relier entre elles. Aussi allons-nous donner l'appareil d'une trompe. Nous avons choisi la trompe conique, parce qu'ainsi nous pourrons faire voir en même temps comment on trace l'épure d'une voûte conique.

Deux murs se rencontrent sous un angle ACB (fig. 22), qu'ici nous supposons droit pour plus de simplicité, mais qui pourrait être quelconque. Pour agrandir la voie publique, on veut supprimer la portion triangulaire ABC depuis le sol jusqu'à une certaine hauteur, tout en la conservant pour les étages supérieurs. Il faut donc établir une trompe, dont nous formerons l'intrados avec un cône ayant son sommet en S, et qui aura pour directrice une demi-circonférence projetée suivant AB et A'C"B'.

Nous établirons les joints au menant des plans par

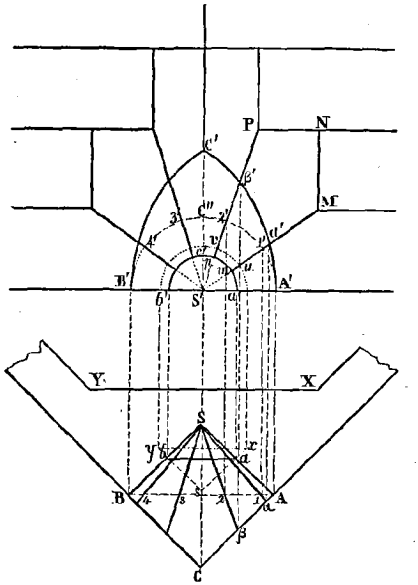


Fig. 22. — Trompe conique.

l'axe du cône. Ces plans couperont la surface suivante des droites que l'on fera passer par les points A'1'2'... qui, sur la demi-circonférence A'C"B', sont équidistants. Quant aux arcs de tête A'C' et C'B', ils seront formés par l'intersection du cône avec chacun des plans AC et CB : ce sont des portions de paraboles dont on se procurera les projections verticales A'C' et C'B' au moyen des lignes de rappel $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$...

Si l'on fait attention à la forme de cette voûte, on sent très-bien que l'on ne doit pas prolonger les joints jusqu'au sommet du cône, attendu qu'en ce point les voussoirs offriraient des parties trop aiguës. Aussi arrête-t-on les joints à une petite distance de S', et le reste de la voûte est formé d'une seule pierre à laquelle on a donné le nom de *trompillon*. Le joint du trompillon est un cylindre; seulement, vu l'inclinaison de la surface conique de la trompe, on ne prolonge pas ce joint cylindrique jusqu'à la douelle de la voûte; on le termine par une seconde surface conique ayant son sommet en S, et dont la directrice est la demi-circonférence $a'c'b'$. Il reste maintenant à se procurer en vraie grandeur les têtes des voussoirs et les panneaux de joint. Nous n'avons pas exécuté ces deux opérations, pensant que le lecteur pourrait facilement y suppléer par la pensée.

Pour tailler un voussoir, celui projeté verticalement en MNPpm, par exemple, on prendra un bloc, dans lequel on commencera par tailler un prisme ayant pour section droite MNPpm, et pour hauteur la distance qui, sur le plan horizontal, sépare les deux points qui sont, l'un le plus éloigné, et l'autre le plus rapproché du plan vertical. Sur les faces Pp et Mm, on appliquera les panneaux de joint correspondant à chacune d'elles; ce qui est facile, puisque pour cela on peut les guider sur la face postérieure du voussoir, qui se termine carrément au plan XY. La tête se taillera au moyen d'une règle qui devra toujours s'appuyer sur les droites Pβ' et Mα'. On tracera ensuite sur cette tête l'arc $a'\beta'$, et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sur la face cylindrique du prisme un arc mp, à une distance de sa face antérieure égale à $a\beta$: la douelle conique s'exécute alors simplement au moyen de points de repère choisis convenablement sur les courbes $\alpha'\beta'$ et mp ainsi tracées. Enfin, sur la face postérieure du prisme, on appliquera le panneau MNPvu et l'on taillera un cylindre uv dont la longueur devra être égale à la distance comprise entre XY et xy, et que l'on continuera par un petit cône normal à celui de la douelle.

Quant à la taille du trompillon, elle n'offre aucune difficulté.

PONTS BIAIS.

Il arrive souvent, dans le tracé d'un chemin de fer, que l'on est obligé de traverser obliquement des routes ou des canaux, dont quelquefois il est impossible de changer la direction. Les ponts que l'on construit dans ce cas ont reçu le nom de *ponts biais*.

Nous avons dit déjà que les lignes d'appareil qui conviennent le mieux pour la construction d'une voûte, sont les lignes de plus grande et de plus petite courbure.

Mais les avantages qu'offrent ces lignes, bien qu'énormes, ne compensent pas toujours les inconvénients qui peuvent résulter des conditions particulières auxquelles doit satisfaire la question proposée. Ainsi, par exemple, dans les voûtes cylindriques, les lignes de plus grande et de plus petite courbure sont évidemment les génératrices et les sections droites; cependant ces dernières courbes ne peuvent pas être employées dans la construction des ponts biais qui ont une grande obliquité, attendu que les joints d'assise rencontreraient les plans de tête suivant des angles très-aigus, ce que nous savons être mauvais. Cet inconvénient disparaîtrait, il est vrai, si l'on se servait, pour former ces joints, de plans parallèles aux plans de tête; mais nous tomberions alors dans un autre non moins grave. En effet, les voussoirs des assises supérieures, agissant comme des coins, et tendant par conséquent à écarter les pieds-droits, la résultante de toutes les pressions se décomposerait en deux forces latérales qui, exerçant leur action perpendiculairement aux faces des murs, tendraient à renverser les deux angles aigus A et B (fig. 23), c'est-à-dire exerceraient une *poussée au vide*.

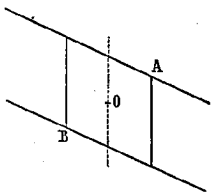


Fig. 23.

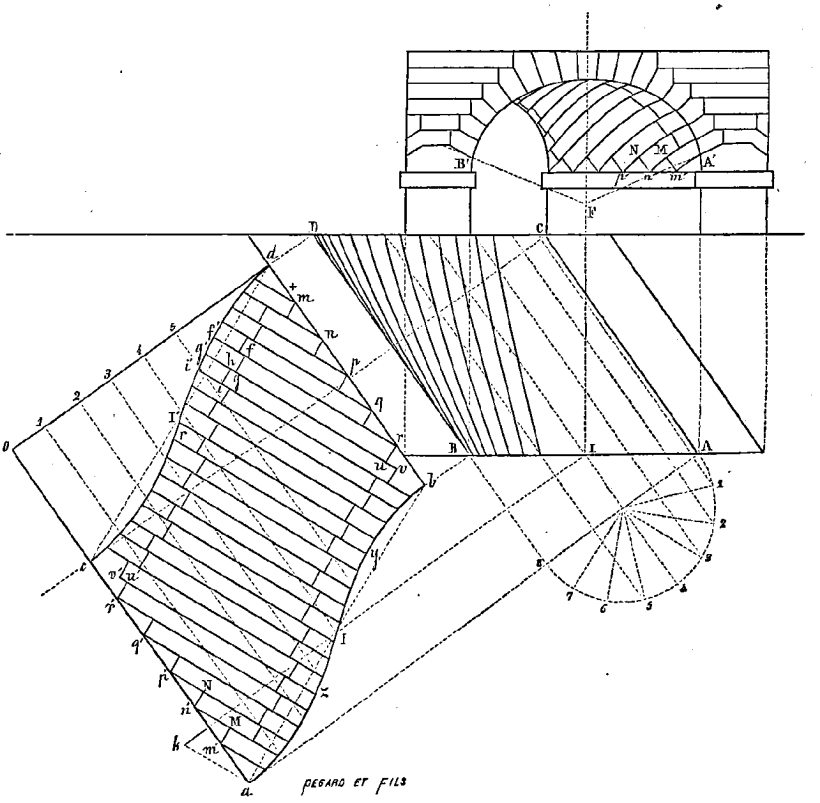


Fig. 24. — Pont biais à appareil hélicoïdal.

On a cherché à remédier aux inconvénients que nous venons de signaler de deux manières, dont l'une consiste

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à employer, comme surface de douelle, un biais passé cylindrique, et l'autre une corne de vache. Ces deux méthodes, il est vrai, détruisent bien la poussée au vide; cependant on ne s'en sert guère, parce que les joints de lit ne sont normaux à l'intrados que vers le centre, et les angles qu'ils forment avec lui, ainsi qu'avec les plans de tête, sont d'autant plus aigus près de la naissance de la voûte, que celle-ci est plus longue et plus inclinée. En outre, autre inconvénient, les matériaux de toute espèce ne peuvent convenir, à cause du non parallélisme des joints de lit.

Aujourd'hui, on construit les ponts biais en se servant de deux appareils : le premier porte le nom d'appareil hélicoïdal et le second celui d'appareil orthogonal. Nous allons les décrire tous les deux.

APPAREIL HÉLICOIDAL. — Le plan ou projection horizontale de la voûte à construire étant le parallélogramme A B C D (fig. 24), on se propose de le couvrir avec un berceau cylindrique et *circulaire*, dont la section droite est la demi-circonférence A 4 8.

On commence par développer l'intrados, ainsi qu'on le voit en *a b d c;* puis on divise *a b* et *c d* en un nombre impair de parties égales, et par le point *b* on élève une perpendiculaire sur *a b*. Si cette perpendiculaire ne passe pas par un des points de division de *c d*, on la fait passer par celui des deux points, entre lesquels elle tombe, pour lequel elle forme avec les génératrices du cylindre le plus petit angle : cet angle porte le nom d'*angle intrados-sal rectifié*. Cette première ligne menée, on trace des parallèles par tous les autres points de division. Ensuite, perpendiculairement à ce système de parallèles, on mène des droites, telles que *f g* et *h i*, qui doivent être à des distances des sinusoïdes *d* I' *c*, *b* I *a*, alternativement égales à *f f'* et à *i i'*; de même, par les points *m*, *n*, *p*... et *m' n' p'*... on conduit des parallèles à la direction *a b*. Ces différents tracés effectués, on cherche par points ce que deviennent toutes ces droites, lorsqu'on les ramène sur les projections : ce seront évidemment des hélices, dont les unes, telles que *r y*, serviront à former les joints de lit, et les autres, telles que *f g*, les joints d'assises. Tous ces joints, aussi bien ceux de lit que ceux d'assises, seront engendrés par une droite glissant le long de l'hélice correspondant à chacun d'eux, et restant constamment normale à l'intrados. Quant aux portions triangulaires M *m' n'*, N *n' p'*..., elles portent le nom de *coussinets* ou *redans*, et doivent faire partie de la dernière assise des pieds-droits.

Nous ferons remarquer que nous avons arrêté en *v* et en *v'* les droites partant de *g'* et de *x;* la raison en est que si nous les avions prolongées jusqu'en *b* et *c*, nous aurions eu en ces points des angles aigus. Nous ajouterons que le point F, appelé *foyer*, et qui est situé sur le petit axe de l'ellipse de tête, est le point vers lequel convergent les tangentes menées aux courbes résultant de l'intersection des joints de lit avec le plan de tête, et conduites par les points où ces courbes rencontrent l'ellipse de tête.

Pour effectuer la taille des voussoirs, on commence d'abord par se procurer leurs projections horizontales, ainsi que leurs projections verticales sur un plan de section droite. Ensuite on imagine un parallélipipède rectangle, qui verticalement comprend sous le plus petit espace possible le voussoir que l'on considère, et qui horizontalement est limité par deux plans verticaux parallèles au plan vertical de projection, et menés par le point le plus rapproché et le point le plus éloigné de ce dernier.

On doit donc tailler tout d'abord un parallélipipède A B C D E F G (fig. 25) égal à celui dont nous venons de parler ; puis on y exécute les surfaces cylindriques H I J K et N L M identiques à celles d'intrados et d'extrados du pont. Ensuite on abat la portion O P Q R S, ainsi que celle analogue, qui se trouve du côté du point I.

Il n'y a plus alors qu'à effectuer les surfaces hélicoïdales qui passent suivant S Q V et O T U, ce qui se

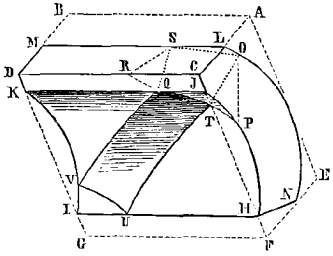


Fig. 25. — Procédé de taille de l'un des voussoirs d'un pont biais à appareil hélicoïdal.

fait, en se procurant sur l'épure des points de repère. Nous représentons dans la figure 26 la perspective

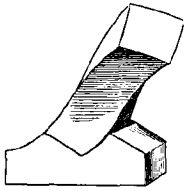


Fig. 26. — Voussoir de la fig. 25 supposé mis en place.

d'un voussoir situé immédiatement sur un coussinet; nous le supposons mis en place. Dans cette figure, ainsi que dans la précédente, nous avons exagéré la courbure des lignes, afin de rendre les formes plus sensibles à l'œil.

APPAREIL ORTHOGONAL. — Nous avons vu dans l'appareil hélicoïdal que les arêtes des joints d'assises étant perpendiculaires à celles des joints de lit sont à peu près parallèles à la corde de la sinusoïde. Par conséquent elles ne sont pas parallèles à l'arc de tête. Or, il peut arriver que, pour certains motifs que nous ne détaillerons pas, il soit nécessaire que cette condition soit remplie, et qu'en même temps les arêtes de joints se rencontrent partout à angle droit. Dans ce cas, on emploie un autre mode d'appareil qui porte le nom d'*appareil orthogonal* et qui se trace de la manière suivante :

Nous supposerons pour simplifier les constructions, que l'arc de tête est une demi-circonférence; en sorte que les lignes de joints d'assises seront aussi des demi-

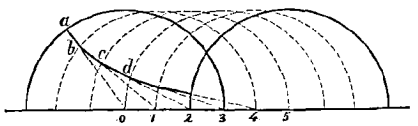


Fig. 27. — Tracé théorique des trajectoires d'un pont biais à appareil orthogonal parallèle.

circonférences, ainsi qu'on le voit sur la figure 27, sur laquelle les lignes pleines indiquent les deux têtes du pont, et les lignes ponctuées, les lignes de joints d'assises.

Cherchons maintenant à obtenir les lignes de joints de lit; et, pour indiquer le moyen d'y arriver, choisissons celle qui, par exemple, part du point *a*, ce point étant l'un des points de division de l'arc de tête. On trace d'abord le rayon *a* 0; puis, par le point *b* où ce rayon rencontre la première circonférence, on mène le rayon *b* 1 de cette circonférence, et ainsi de suite, en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ne conservant de tous ces rayons que les portions *ab*, *bc*, *cd*... On obtient de cette façon une ligne polygonale *abcd*..., qui est la ligne cherchée, et qui se rapprochera d'autant plus de la ligne vraie, que le nombre des circonférences comprises entre les deux têtes sera plus grand, et conséquemment les plans qui les contiennent plus rapprochés.

Il est bien entendu que la figure 27 est une projection verticale, et que, par suite, la ligne *abc*... est elle-même la projection verticale de l'un des joints de lit ou *trajectoires*.

Dans le tracé que nous venons d'effectuer, les lignes d'appareil sont normales entre elles, ainsi qu'on s'en rend compte aisément.

Le mode d'appareil orthogonal ne peut convenir qu'aux ponts dont la voûte est en maçonnerie, et dont la tête seule est en pierres de taille : encore y introduit-on deux modifications que nous étudierons tout à l'heure.

Lorsque la voûte est entièrement en pierres d'appareil, il est préférable de faire un berceau circulaire et d'employer l'appareil hélicoïdal, parce que, si l'on se servait de l'appareil orthogonal, il deviendrait nécessaire de construire une épure pour chaque pierre, vu la variation de courbure des lignes d'appareil, non-seulement d'un voussoir à l'autre, mais encore le long d'un même voussoir. Et alors, quelle difficulté n'éprouverait-on pas pour la taille et la pose des pierres!

La première modification que l'on apporte dans le tracé théorique que nous avons donné consiste à considérer les deux têtes comme deux petits berceaux indépendants l'un de l'autre, et à les appareiller à la façon d'un berceau ordinaire. Cette modification résulte de ce que les surfaces de joints diffèrent très-peu d'un plan auprès des têtes. Quant à la partie du pont qui est en maçonnerie, on la construit avec des moellons dont on règle la pose en traçant sur les couches du cintre toutes les trajectoires.

La seconde modification est usitée dans le cas où le berceau est d'une grande longueur. Elle consiste à partager la voûte ABCD en trois parties par les deux plans verticaux OX et O'Y (fig. 28). La partie du mi-

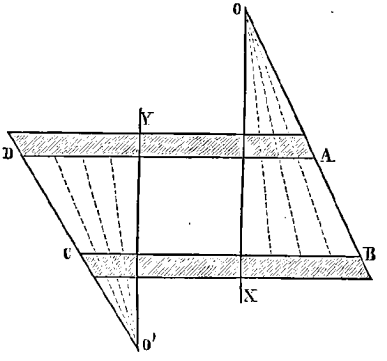


Fig. 28. — Pont biais à appareil orthogonal convergent.

lieu s'appareille comme un berceau ordinaire. Dans les autres parties on prend pour arête des joints d'assises les sections de la voûte par les plans verticaux dont les traces convergent en O et en O'. Les trajectoires, dans ce cas, seront un peu plus difficiles à obtenir.

Comme nous ne pouvons nous étendre plus longuement sur ce sujet, nous nous contenterons de dire que pour les tracer on n'aura qu'à faire mouvoir un plan, de manière qu'il coupe successivement à angle droit toutes les courbes produites dans la voûte par les plans émanant de O et de O'.

Ce dernier mode d'appareil porte le nom *d'appareil orthogonal convergent*. De même que l'*appareil orthogonal parallèle*, il est très-rarement employé, à cause de la complication, non-seulement des tracés, mais encore de l'exécution. On leur préfère l'appareil hélicoïdal, surtout si l'on remplace le demi-cylindre d'intrados par une voûte en arc de cercle.

VOUTE D'ARÊTE ET VOUTE EN ARC DE CLOITRE.

On appelle *voûte d'arête* la voûte formée par la rencontre de deux berceaux qui ont même plan de naissance et même montée. On voit que cette voûte est le résultat de l'intersection de deux cylindres ayant leurs axes dans un même plan horizontal et ayant en outre un plan tangent commun également horizontal. Or on sait que, lorsque deux cylindres se coupent dans ces conditions, la courbe d'intersection présente un nœud; de plus, comme les bases ou sections droites des deux berceaux sont toujours des courbes du second degré, il en résulte que cette courbe d'intersection se compose de deux branches situées respectivement dans les plans verticaux conduits par les diagonales du parallélogramme que forment les parements intérieurs des pieds-droits. Il est bien évident que l'angle des axes des deux cylindres peut cesser d'être droit, sans que pour cela les deux branches de l'intersection cessent d'être planes. La figure 29 (à droite) représente la projection horizontale de

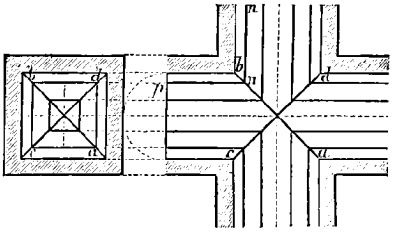


Fig. 29. — Voûtes d'arêtes et en arc de cloître.

l'intrados d'une telle voûte : *ab* et *cd* sont les courbes d'intersection des deux berceaux : on les nomme *arêtiers*. Les lignes, telles que *mn* et *np*, sont les génératrices qui, sur chaque cylindre, correspondent à un même point *n* de l'arêtier.

La *voûte en arc de cloître* diffère de celle d'arêtes en ce que les portions de génératrices, qui dans celle-ci se trouvent supprimées, sont précisément celles que l'on conserve, et *vice-versâ*. On peut se rendre compte de cette particularité sur la figure 29 (à gauche). La voûte en arc de cloître offre l'avantage de pouvoir subsister quand bien même on supprimerait la clef et même plusieurs rangées de voussoirs adjacents, tandis que dans la voûte d'arête cela ne peut avoir lieu.

Si l'on se reporte aux voûtes plates, que nous avons étudiées plus haut, on ne tardera pas à saisir l'analogie qui existe entre celle de la fig. 8 et la voûte d'arête, et entre celle de la fig. 10 et la voûte en arc de cloître. Le lecteur comprendra alors pourquoi nous l'avons prié d'attendre jusqu'ici l'explication relative au mode de taille des voussoirs d'angle des voûtes plates.

Dans la voûte d'arête, les courbes *ab* et *cd* sont saillantes; dans celle en arc de cloître, elles sont rentrantes.

Afin d'étudier simultanément ces deux voûtes, nous allons donner l'épure d'un berceau coudé, qui précisément réunit les deux cas.

Considérons donc deux galeries qui se rencontrent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sans se prolonger au delà, mais qui forment un retour d'équerre suivant les directions OO' et OO" (fig. 30).

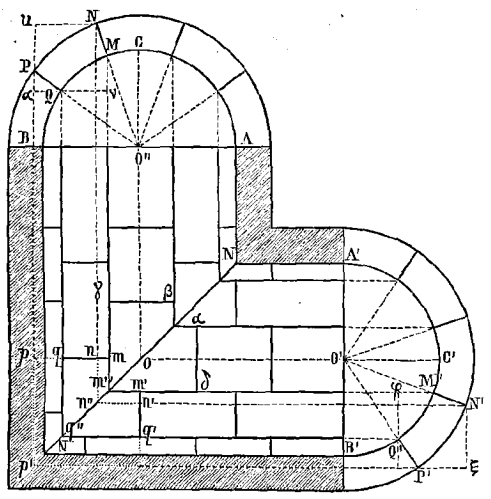


Fig. 30. — Berceau coudé.

Nous avons pris deux berceaux circulaires, mais ils pourraient être quelconques.

Pour former les joints de lit, on divise les deux arcs ACB et A'C'B' en un même nombre de parties égales, cinq par exemple; puis, par les points obtenus et les axes des cylindres, on mène des plans qui sur chaque douelle fournissent les arêtes correspondant à un même point de la courbe NN' d'intersection des deux berceaux. Nous ferons remarquer que cette courbe est entièrement située dans le plan vertical NN' et qu'elle peut être considérée comme composée de deux parties, dont la première NO fait saillie, et dont la seconde ON' forme une arête rentrante : de sorte que le berceau coudé se trouve être une voûte d'arête de N en O, et une voûte en arc de cloître de O en N'.

Les voussoirs du berceau coudé se taillent exactement comme ceux d'un berceau ordinaire, à part ceux qui sont à cheval sur la courbe NN'. Nous allons donc étudier, pour ces derniers, le moyen d'appliquer le trait sur la pierre; et, pour cela, nous choisirons le voussoir qui est projeté horizontalement suivant $m'm''mpp''p'$.

Après avoir pris un bloc de pierre d'une grandeur convenable, on commencera par le convertir en un prisme

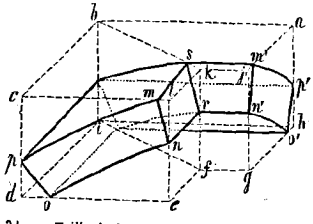


Fig. 31. — Taille de l'un des voussoirs faisant partie de l'arêtier d'un berceau coudé.

droit ayant pour section droite le polygone $m'm''mpp''p$, de la fig. 30, ainsi que nous le voyons dans la fig. 31.

Ensuite, sur la face $lcde$ de ce prisme, on marquera les points n, m, p et o, en prenant $en = \varphi M'$, $eo = \varphi Q'$, $cp = \xi P'$ et $cm = \xi N'$; puis on tracera les droites mn et po, ainsi que les arcs mp et no au moyen de cerces. Ceci fait, par les quatre points n, m, p, o, on mènera des droites parallèles à la direction cb, et on leur fera faire un retour d'équerre, ainsi qu'on le voit sur la figure : on se procurera ainsi les points m', n', o', p'. On joindra par des droites m' et n', p' et o', et par des arcs de cercle (avec des cerces) m' et p', n' et o'. Enfin, d'équerre sur la face $mnop$ et suivant mn, on exécutera un plan qu'il sera facile d'arrêter à la droite sr, puisqu'on a les points s et r; on taillera de même, d'équerre sur $m'n'o'p'$ et suivant $m'n'$, un autre plan que l'on arrêtera également à sr. On agira ainsi pour toutes les autres lignes no et $n'o'$, op et $o'p'$, pm et $p'm'$.

VOUTE D'ARÊTES EN TOUR RONDE.

Nous avons déjà défini la voûte en tour ronde.

Lorsque l'on veut pratiquer dans ce berceau une porte qui soit comprise entre deux plans verticaux convergeant vers l'axe de la tour, et qui de plus ait la même montée et le même plan de naissance, il en résulte une voûte d'arêtes dite *en tour ronde*. Cette voûte d'arêtes est formée par l'intersection du berceau tournant avec un conoïde engendré par une droite horizontale glissant sur l'axe de la tour et sur une certaine courbe que nous allons définir.

Rectifions, fig. 16, l'arc avb suivant la tangente UrX qui le touche en son milieu; puis, après avoir décrit sur UX, comme grand axe, une ellipse UVX dont le demi-axe vertical soit égal au rayon du berceau, imaginons que le plan vertical de cette ellipse soit roulé sur le cylindre extérieur qui a pour base le cercle avb : telle est la courbe qui sert de seconde directrice au conoïde.

Le conoïde et le berceau se coupent suivant deux courbes qui sont les arêtiers et qui se déterminent par points, en employant pour surfaces auxiliaires des plans horizontaux.

Pour appareiller le conoïde, on considère les génératrices situées à la même hauteur que les joints de lit du berceau; puis, par chacun des points de ces génératrices, on mène des normales au conoïde : l'ensemble de ces normales forme les joints de lit du conoïde. Quant aux joints d'assises, on les obtient au moyen de cônes ayant leurs sommets sur l'axe de la tour ronde, ainsi que nous avons fait pour les joints de lit du berceau.

Les voussoirs situés sur les arêtiers se taillent comme ceux des voûtes d'arêtes, sauf que certaines faces de ces derniers sont remplacées par des surfaces gauches. Mais comme les surfaces gauches ne sont pas plus difficiles à exécuter que d'autres, si l'on a soin de se procurer des points de repère en nombre suffisant, nous n'en dirons pas davantage sur les voûtes d'arêtes en tour ronde.

LUNETTES.

On donne le nom de *lunette* à la voûte formée par la rencontre de deux berceaux qui n'ont pas la même montée, bien qu'ils aient ordinairement le même plan de naissance.

Nous allons donner l'épure d'une lunette, et pour cela nous choisirons le cas le plus complexe, c'est-à-dire celui où la lunette est biaise.

Nous avons vu que l'arêtier de la voûte d'arêtes est une courbe plane; ici il n'en est plus de même; car l'arêtier se trouve être une courbe à double courbure. En outre, il n'est plus possible dans les lu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nettes de placer à la même hauteur les divisions des deux cintres principaux, parce que cela donnerait aux douelles du grand berceau des largeurs trop inégales entre elles : il y a alors lieu d'introduire quelques modifications dans le raccordement des arêtes de douelles des deux voûtes.

Soit $a'z'b'$ (fig. 32) le cintre de face du petit berceau dont l'axe horizontal oO est oblique à l'axe OO_2 du grand, et soit A"Z" la section orthogonale du grand berceau, laquelle est ici rabattue sur le plan vertical, mais qui devra toujours, dans la suite des raisonnements, être censée ramenée dans le plan vertical A_2O_2 perpendiculaire à l'axe OO_2.

On commencera par tracer l'appareil de cette dernière voûte, en divisant pour cela l'arc A"Z" en parties égales A"L", L"M"..., et en menant par les points L", M"..., ainsi obtenus des normales à l'intrados; ensuite on divisera le cintre du petit berceau, de telle sorte que le premier point de division l' se trouve moins élevé que L", ce qui est très-important. En effet, lorsque l' est plus bas que L", il en est de même pour m' et n' relativement à M" et N"; et alors ce sont les joints du petit berceau qui vont tous couper l'intrados du grand; tandis que si l' était plus haut que L", il arriverait bientôt qu'un des points suivants n' se trouverait plus bas que N", et conséquemment les traces des joints seraient apparentes tantôt sur le petit berceau et tantôt sur le grand, ce qui offrirait une irrégularité choquante pour l'œil. Le cintre du petit berceau étant divisé en un nombre impair de parties égales, on en construit les joints normaux et l'extrados comme à l'ordinaire.

Cela posé, on obtiendra la projection horizontale AlmnB de l'intersection des deux berceaux, en coupant ces deux cylindres par une série de plans ho-

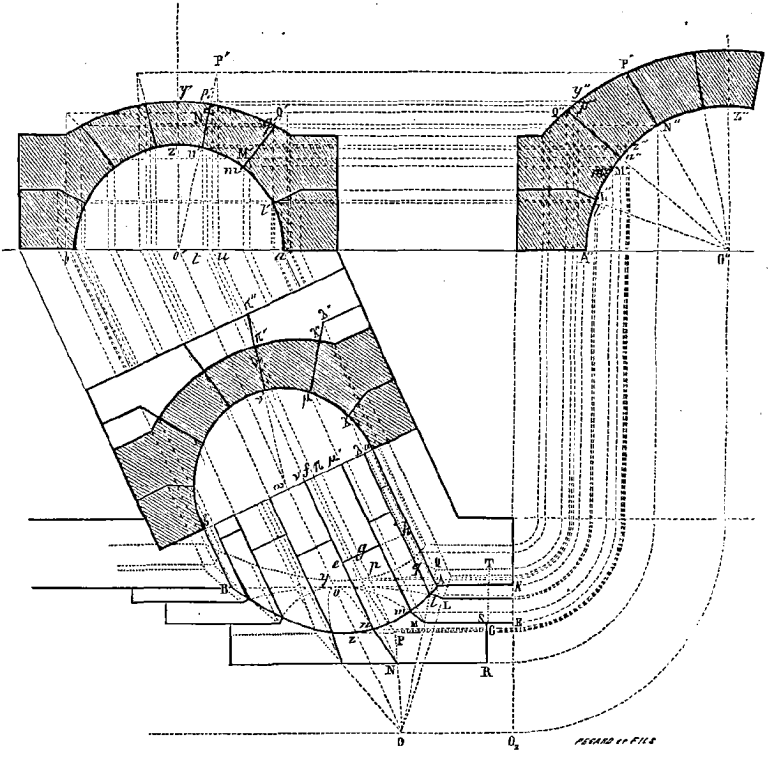


Fig. 32. — Lunette biaise dans un berceau.

rizontaux, tels que $l'l''$, $m'm''$, $n'n''$; car si nous considérons l'un de ces plans, $n'n''$ par exemple, nous voyons qu'il coupe le petit berceau suivant la génératrice (n', tn), et le grand berceau suivant une génératrice qui est projetée au point n'' sur le rabattement, mais qui doit être évidemment ramenée suivant En sur le plan horizontal; donc la rencontre des droites tn et En fournira un point n de la courbe demandée. Les autres s'obtiendront de la même façon.

Quant au plan de joint $p'n'o'o$, comme l'arête de douelle du petit berceau aboutissant en n' est située plus bas que l'arête du grand aboutissant en N", il coupera l'intrados du grand berceau suivant un arc d'ellipse nN qui s'étendra jusqu'à sa rencontre avec l'arête de douelle N". Ce point de rencontre N s'obtiendra en menant le plan horizontal N"N, lequel coupera le grand cylindre suivant la génératrice RN, et le plan de joint $p'o'o$ suivant fN.

On remarquera que l'ellipse, dont nN est une portion, doit passer par le point o et être tangente à AB.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

A partir du point N, le joint $p'n'$ coupe le joint N"P" du grand berceau suivant une droite NP dont le point P s'obtient encore au moyen d'un plan horizontal P"P'. D'ailleurs, cette droite NP prolongée doit passer par le point O où se coupent les axes des deux berceaux, attendu que ces axes sont les traces des plans de joint $p'o'o$, P"N"O", et que NP, étant l'intersection de ces deux plans, doit passer par le point d'intersection de leurs traces.

Le joint N"P" du grand berceau se terminera à l'horizontale PG suivant laquelle il rencontre l'extrados, et il sera ainsi projeté suivant NPGR. Ce même extrados sera coupé par le joint $n'p'$ P' suivant un arc d'ellipse Pp, dont chaque point p s'obtiendra en conduisant un plan horizontal tel que $p'p''$; quant à l'extrados du petit berceau, il est coupé par ce même joint $p'n'$ suivant la droite $p\pi$. Le joint p'n' a donc pour projection horizontale $\nu nNPp\pi$.

Après ce que nous venons de dire, on comprendra aisément comment se déterminent les autres joints; on verra en outre que la courbe ypq est la projection de l'intersection des deux extrados. Nous n'avons pas cru devoir détailler comment on obtient la section droite que l'on aperçoit sur la figure : le lecteur y suppléera par ses connaissances en géométrie descriptive. Disons toutefois que la courbe $\alpha\lambda'\mu'\beta$ est une demi-ellipse surhaussée.

Nous avons supposé dans notre épure que la voûte est vue par-dessous : en sorte que les lignes de joints des deux intrados, ainsi que l'arêtier, sont en plein, tandis que les lignes appartenant aux extrados sont en pointillé.

Pour faire voir comment on peut effectuer la taille des voussoirs d'une pareille voûte, nous allons considérer le voussoir qui a pour projection horizontale *hen*NRTQq. On commencera par équarrir un prisme droit (fig. 33) dont la base soit égale précisément à

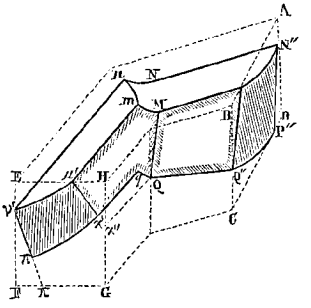


Fig. 33. — Taille de l'un des voussoirs d'une lunette biaise dans un berceau.

cette projection horizontale, et dont la hauteur égale la différence de niveau des points μ' et π'; puis, sur la face ABCD de ce prisme on applique un panneau découpé sur la tête M"N"P"Q", de telle façon qu'il y occupe exactement la même position que sur le plan vertical de l'épure relativement aux horizontales et aux verticales; on agira de même sur la face EFGH. Ensuite, comme pour les voûtes d'arête, on exécutera la douelle cylindrique $\mu'\nu'nm$ et les deux joints du petit berceau, et sur ces faces on appliquera les panneaux correspondants que l'on construira au moyen de l'épure, afin de déterminer les limites mn, mM, MQ, Qq.... Cela fait, on taillera la douelle et les joints du grand berceau, dont les contours seront alors entièrement connus. Quant aux extrados, on les taillerait aisément au moyen de cerces concaves; mais on a coutume de les laisser presque toujours bruts. Dans notre figure nous avons supposé le voussoir renversé sens dessus dessous, pour laisser voir les deux douelles.

VOUTES EN PENDENTIF.

On appelle ainsi une voûte hémisphérique qui est pénétrée par deux berceaux de même montée, circulaires, et ayant pour diamètres les côtés du carré inscrit dans le grand cercle de naissance de la voûte. Le plan de naissance doit être le même pour cette dernière et pour les berceaux. Il arrive donc que ce qui reste de l'hémisphère ainsi tronqué se compose : 1° de la calotte projetée horizontalement sur le cercle ABCD (fig. 34);

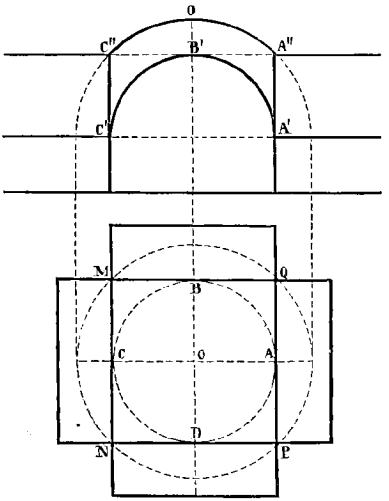


Fig. 34. — Voûte en pendentif.

2° de quatre triangles sphériques projetés aussi horizontalement, suivant ABQ, BCM, CDN et DAP. Ce sont ces quatre triangles auxquels on donne spécialement le nom de *pendentifs*.

La voûte en pendentif s'appareille comme la voûte hémisphérique, sauf que l'on doit raccorder ses voussoirs avec ceux des deux berceaux.

Il arrive quelquefois que les voûtes en pendentif sont avec *fermerets*. Dans ce cas, les demi-cercles verticaux tels que A'B'C', au lieu de former les intrados de berceaux se prolongeant au delà de la voûte en pendentif, sont comblés par des murs verticaux. On appelle fermerets les portions de mur comprises dans ces quatre demi-cercles.

Souvent, et afin d'éviter que les pendentifs se terminent en pointe aiguë, ainsi qu'on le voit en M, N, P, Q (fig. 34), on ajoute des *trumeaux*. Pour cela, on augmente le diamètre de la calotte sphérique, tout en conservant aux lunettes le même débouché : il en résulte que les pieds droits des berceaux, au lieu de se terminer carrément aux points M, N, P, Q, sont tronqués par un cylindre qui aurait pour diamètre précisément celui de la calotte spécifique. Ce sont ces parties tronquées que l'on appelle trumeaux.

Les voûtes en pendentif offrent sur les voûtes d'arête deux avantages. D'abord elles sont d'un aspect beaucoup plus grandiose qui convient mieux au recouvrement du point central d'un édifice; ensuite, elles permettent de tirer le jour par en haut, en supprimant les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dernières assises de la calotte sphérique, ce qu'il est impossible de faire dans une voûte d'arête.

ESCALIERS.

On donne aux escaliers des formes bien diverses; mais, dans tous, on doit observer certaines conditions établies sur nos besoins ou sur les convenances. Comme les différentes formes d'escaliers et les règles qui président à leur construction sont exposées ailleurs (voir ESCALIER), nous n'en parlerons pas ici.

Nous nous contenterons de donner l'appareil d'un escalier suspendu ou en *vis à jour*. Ensuite, nous expliquerons l'épure du limon d'un escalier également suspendu. De cette façon, nous aurons complétement épuisé la question relative à l'escalier suspendu qui, du reste, est celui dont l'étude présente le plus de difficultés. Pour les autres escaliers, le lecteur n'aura qu'à introduire certaines hypothèses dans l'exemple que nous avons choisi, hypothèses qui le conduiront facilement aux déductions qui concernent le cas particulier qu'il désirera approfondir.

ESCALIER SUSPENDU, dit VIS A JOUR. — Supposons que le polygone formé sur le plan horizontal par les murs verticaux de la cage soit quelconque. Nous ne figurons ici (fig. 35) qu'une partie de la cage et de l'escalier, vu le peu d'espace dont nous pouvons disposer.

On commence par prendre sur chacune des perpendiculaires, telles que OB, élevées sur le milieu des côtés du polygone, une longueur AB égale à l'*emmarchement* que l'on veut donner à l'escalier; on en retranche ensuite une distance A*a* égale à 48 centimètres; puis, par les différents points tels que *a* ainsi obtenus, on mène des parallèles aux côtés de la cage : on se procure ainsi un polygone équidistant de celui formé par la cage, dans lequel on inscrit une courbe *aceg*..... qui soit tangente à tous les côtés et qui sera la *ligne de foulée*. Le plus généralement, cette courbe est quelconque et se compose d'arcs se raccordant entre eux. On divise cette courbe en parties égales *ac* = *ce* = *eg*..., dont le nombre doit être tel, que leur grandeur ainsi que la différence de niveau existant entre chaque marche soient comprises entre les limites fixées par les règles de la construction (voir ESCALIER). Ces opérations effectuées, par tous ces points de division, ainsi que par les points milieux de leurs distances respectives, on mène des normales à la courbe *aceg*..., lesquelles en se coupant forment un polygone dont l'enveloppe est précisément la développée de la ligne de foulée[1]. Sur chacune de ces normales, on porte des longueurs *a*A, *c*C, *e*E..., égales à 48, et la courbe A C E G est la *courbe de jour*.

Imaginons maintenant un cylindre vertical *aceg*..... sur lequel on ait tracé une hélice dont les ordonnées aient avec les abscisses curvilignes un rapport constant égal à celui qui existe entre la différence de niveau de deux marches consécutives et la largeur de l'une d'elles, cette différence de niveau et cette largeur étant les mêmes pour toutes les marches et étant comptées sur la ligne de foulée. Si nous supposons que le point de départ de cette hélice soit l'arête de la première marche, et si nous supposons en outre qu'une droite horizontale se meuve en s'appuyant constamment sur l'hélice, tout en ne cessant pas d'être tangente au cylindre élevé sur la développée de la ligne de foulée, nous obtiendrons un hélicoïde gauche à plan directeur, qui sera la surface d'extrados de notre escalier, puisqu'elle contiendra les arêtes de toutes les marches.

Quant à l'intrados, c'est également un hélicoïde dont l'hélice directrice, tout en restant située sur le cylindre *aceg*..., s'est abaissée d'une certaine quantité qui dépend de l'épaisseur que l'on veut donner à la voûte. On voit facilement que l'intrados est une surface continue, contrairement à l'extrados dont quelques génératrices seules subsistent. Pour diviser l'intrados en douelles partielles, nous adopterons pour arêtes de douelles les normales M*m*, N*n*... menées par les milieux *m*, *n*..... des girons : l'une des marches s'étendra donc en plan depuis AB jusqu'à NN'. Ensuite, pour former le joint qui passe par NN' et pour qu'il soit normal à l'intrados tout le long de cette droite, il faudrait construire les normales de l'hélicoïde gauche relatives à chacun des points de cette génératrice, ce qui conduirait à un paraboloïde hyperbolique; mais, dans la pratique on se contente de prendre pour ce joint le plan passant par NN et par la normale de la surface gauche au point P milieu de cette droite. Or, cette normale s'obtient en déterminant le paraboloïde de raccordement de l'hélicoïde au point P, afin d'avoir le plan tangent de la douelle en ce point. Nous n'avons pas exécuté les constructions, dans le but de ne pas embrouiller la figure. On n'aura plus ensuite qu'à

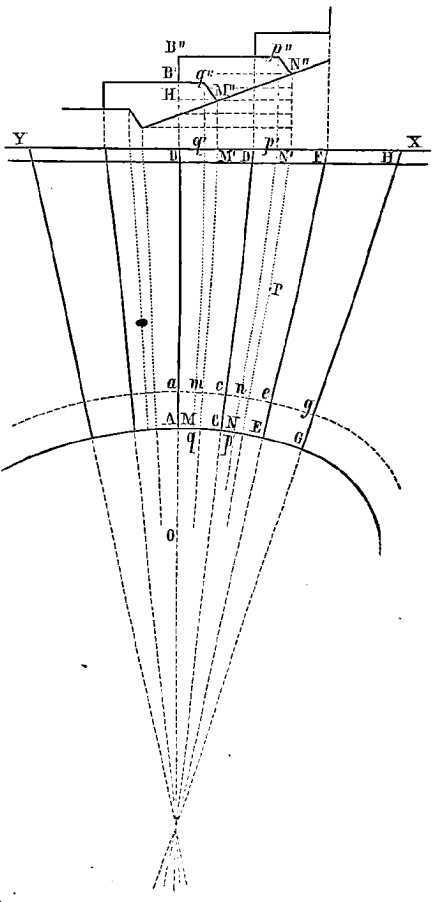


Fig. 35. — Escalier suspendu, dit vis à jour.

1. Il se trouve, dans notre épure, que toutes ces normales se rencontrent en un même point; mais habituellement il n'en est pas ainsi.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chercher l'intersection de ce plan de joint avec la marche, pour que le voussoir soit complétement déterminé, à part les deux têtes.

Pour obtenir la tête qui est engagée dans le mur, il n'y a qu'à chercher l'intersection du plan vertical XY avec les diverses horizontales qui composent la marche. Quant à l'autre tête située sur le cylindre de jour, on développera ce cylindre; puis, sur ce développement, on tracera les génératrices correspondantes des points où les horizontales de la marche percent le cylindre; ensuite, on portera sur ces génératrices, à partir de la base de développement, des longueurs respectivement égales aux distances qui séparent chacun de ces points du plan horizontal; enfin, on réunira deux à deux les extrémités de ces longueurs, au moyen de lignes qui seront droites ou courbes, selon qu'elles seront le résultat des intersections du cylindre avec les marche et contre-marche, ou bien avec les autres faces.

Pour tailler le voussoir, on choisit une pierre capable du prisme droit, qui aurait pour base NN'BA et pour hauteur HB". On dresse la face supérieure, sur laquelle on trace le contour AB$p'p$" puis, avec une équerre, on taille la contre-marche à laquelle on donne une hauteur égale à B'B", et la face BN' sur laquelle on applique le panneau N"p"B"B'q"M". On taille encore avec l'équerre la tête qui est du côté du jour, ce qui est possible, puisqu'elle est formée par un cylindre normal à la marche, et sur ce cylindre on applique le panneau de la deuxième tête. Le reste étant facile à prévoir, nous n'en parlerons pas.

Remarque. — Le plus souvent on laisse subsister à la tête de la marche située du côté du jour, une saillie appelée *collet*, ainsi qu'on le voit dans la figure 36.

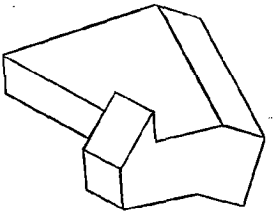


Fig. 36. — Marche avec collet d'un escalier dit vis à jour.

LIMON D'UN ESCALIER EN VIS A JOUR. — Soit ABC... (fig. 37) la courbe de jour (nous supposons que les marches sont parfaitement déterminées). Si l'on prend sur les normales AA', BB'... des distances AA', BB'... égales toutes à l'épaisseur que l'on veut donner au limon, ce dernier se trouvera compris tout entier entre les deux cylindres verticaux ABC... et A'B'C'... Quant à l'intrados et à l'extrados de ce limon, ce sont deux surfaces hélicoïdales identiques avec celles de l'escalier, mais dont les hélices directrices, toujours tracées sur le cylindre de foulée, sont telles, que le limon dépasse un peu, en dessus et en dessous, les têtes de marche.

Pour diviser ce limon en plusieurs parties, on forme des joints qui tous doivent être normaux à la *courbe moyenne*, c'est-à-dire à la courbe résultant de l'intersection du cylindre A"B"..., équidistant des deux cylindres AB... et A'B'..., avec la surface gauche qui serait comprise entre les faces supérieure et inférieure du limon à égales distances de l'une et de l'autre.

Soit donc P et R les projections horizontales des points de la courbe moyenne par lesquels on veut faire passer un joint. Comme la détermination exacte de ces joints nécessite l'emploi de considérations géométriques excessivement délicates; comme aussi les constructions relatives à cette détermination compliquent énormément la figure; comme enfin, dans la pratique, on se contente de tracés approximatifs, nous supposerons les joints obtenus, et nous allons simplement indiquer les moyens de se procurer toutes les données nécessaires à l'application du trait sur la pierre.

Pour cela, on projette d'abord le voussoir que l'on

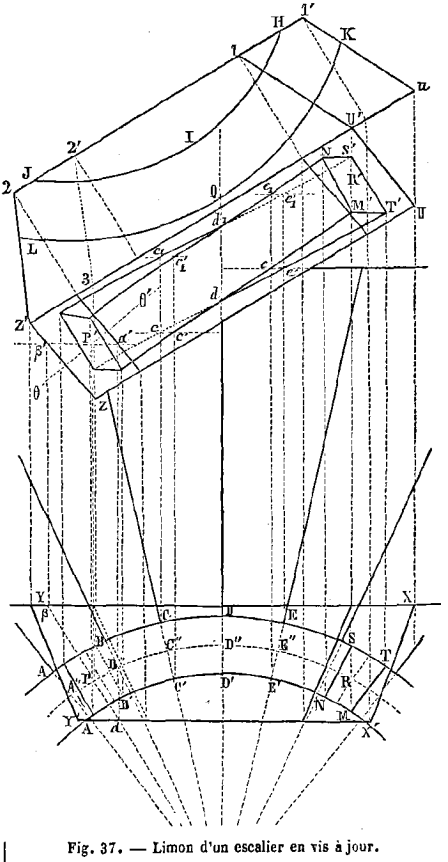


Fig. 37. — Limon d'un escalier en vis à jour.

considère sur un plan vertical, que l'on choisit tel, que ce voussoir soit compris sous le plus petit espace possible entre ce plan et un autre plan qu'on lui mène parallèle.

Soient XY et X'Y' ces deux plans verticaux, et supposons qu'on veuille projeter sur le premier. Pour obtenir cette projection, on détermine d'abord les projections des quatre hélices qui forment les quatre arêtes du voussoir; puis, au moyen de lignes de rappel telles que TT', NN'..., on fixe les projections verticales des points où les joints coupent les hélices.

Le voussoir ainsi connu par ses deux projections, on imagine deux autres plans UZ et U'Z', parallèles entre eux, qui soient perpendiculaires aux deux premiers XY et X'Y' et qui comprennent également le voussoir sous le plus petit espace possible. Ensuite, par le point P', on mène une horizontale $\alpha'\beta'$ qui est évidemment la projection verticale de la normale à l'hélice moyenne au point P'; on relève en α' et β' les points α et β où

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cette normale perce les plans XY et X'Y'; et, par ces points α' et β', on abaisse des perpendiculaires sur la droite 66' tangente en P' à l'hélice moyenne. On exécute les mêmes constructions pour le point R'. De cette façon, les panneaux de tête sont connus en projection; il n'y a plus qu'à les rabattre pour les avoir en vraie grandeur. Il résulte de là, que le solide capable du voussoir est ici un parallélipipède rectangle qui a été tronqué par deux plans obliques aux arêtes latérales.

Nous avons figuré en 1 2Z'U' et 1'2'3u les rabattements des faces supérieure et inférieure du solide capable : les courbes que l'on y voit représentent les intersections de ces deux faces avec les deux cylindres verticaux ABCD..., A'B'C'D'...

Pour tailler le voussoir, voici comment l'on opère : après avoir choisi une pierre capable de parallélipipède, on taillera les quatre faces latérales de ce corps, et on appliquera sur les faces supérieure et inférieure les deux panneaux 1 2Z'U', 1'2'3u; puis on exécutera les deux têtes qui sont deux plans passant chacun par deux droites, dès lors connues. Ensuite, on taillera les deux cylindres qui comprennent le voussoir au moyen des courbes HIJ et KQL, en se servant pour cela d'une règle qui devra toujours passer par des points de repère choisis sur ces deux courbes et se correspondant. Enfin, sur chacun de ces deux cylindres, on tracera, avec une règle pliante, les hélices qui forment les quatre arêtes du limon. Ces opérations préliminaires effectuées, il n'y aura plus qu'à tailler les deux surfaces gauches.

Fig. 40.

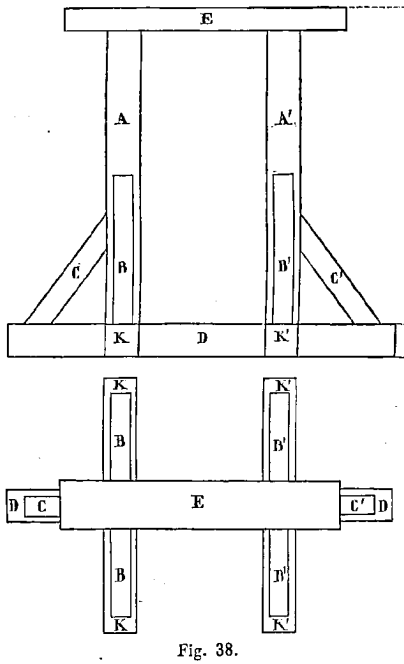


Fig. 39.

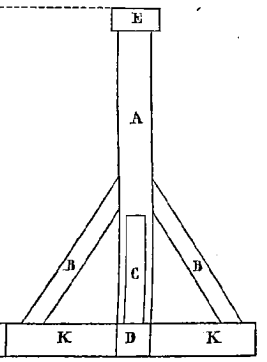


Fig. 38.

Nous ferons remarquer, en passant, que les voussoirs peuvent être taillés d'une manière analogue à celle que nous avons indiquée en étudiant les ponts biais à appareil hélicoïdal; seulement les déchets sont alors considérables.

DEUXIÈME PARTIE.

CHARPENTE.

Lorsque l'on a à établir une construction importante en charpente, et que l'on veut lui donner une solidité durable, il faut que toutes les pièces que l'on emploie soient équarries à vive arête, et que leurs faces soient bien dressées, afin que les assemblages puissent être tracés exactement et exécutés avec toute la précision nécessaire à la solidarité des pièces entre elles. Si l'on n'avait le soin de prendre cette précaution, il arriverait bientôt que le système prendrait du jeu, et qu'une dégradation continue ne tarderait pas à se produire.

L'exactitude des assemblages est donc la question importante qu'il s'agit d'étudier tout d'abord.

Comme les différents modes d'assemblages ont déjà été donnés dans l'article CHARPENTE, nous nous abstiendrons de les énumérer, nous contentant de dire que c'est ici qu'ils devraient prendre place.

Lorsque l'on fait le projet d'une construction en charpente, on commence par établir, dans des proportions réduites, un *avant-projet*, ou dessin, sur lequel on représente par de simples lignes les diverses pièces qui doivent entrer dans la composition du système. Ce premier dessin terminé, on indique par d'autres lignes, parallèles aux premières, les épaisseurs des pièces, lesquelles sont déterminées d'ailleurs d'après les fonctions que celles-ci seront appelées à remplir dans la construction. Dans cette indication des épaisseurs, on fait correspondre les axes des pièces aux lignes déjà tracées.

Ce travail préliminaire est fait par l'architecte lui-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même qui le passe au maître-charpentier, pour qu'il étudie le mode d'assemblage propre à chaque pièce, en raison du rôle qu'elle devra remplir dans l'ensemble du système. Cette étude nécessitant des dessins de proportions beaucoup plus grandes que ceux faits par l'architecte, le maître charpentier trace une épure sur laquelle il décrit d'une manière complète les assemblages, en même temps qu'il s'assure que les principes de l'art sont observés, et qu'il vérifie la possibilité d'exécution de la chose projetée.

Il s'agit, l'épure terminée, de passer à l'application des résultats qu'elle fournit. C'est alors que l'on procède au *piqué du bois*, opération au moyen de laquelle on marque sur les pièces les limites des joints et des assemblages. Pour procéder au piqué des bois d'un pan de charpente, on établit toutes les pièces qui le composent à plomb au-dessus des places qu'elles doivent occuper dans ce pan, ces places ayant été tracées d'avance sur le sol. On fait porter, pour cela, ces pièces les unes sur les autres de la quantité nécessaire à la coupe des assemblages, en les maintenant bien de *niveau* et de *dévers*, c'est-à-dire horizontales dans le sens de la longueur et celui de la largeur, au moyen de chantiers et de cales.

On appelle *ételon* l'ensemble des lignes qui sont tracées sur le sol. Il n'est autre chose que la reproduction, en grandeur d'exécution, de l'avant-projet de l'architecte. Quant à l'opération qui consiste à poser les pièces au-dessus de l'ételon, elle porte le nom d'*établissement des bois*.

Afin de mieux faire comprendre en quoi consistent le tracé de l'ételon, ainsi que l'établissement et le piqué des bois, nous allons les appliquer à une construction de charpente fort simple.

Soit donc la charpente représentée figures 38, 39, 40, la première étant une projection horizontale et les deux autres deux projections verticales perpendiculaires entre elles. Ainsi qu'on le voit, cette charpente contient quatre pans : le premier comprend les pièces E, A, A', D, C, C'; le second, les pièces D, K, K'; le troisième et le quatrième, qui sont semblables, comprennent, l'un les pièces A, K, B, B, l'autre les pièces A', K', B', B'.

Il s'agit, avant tout, de tracer l'ételon relatif à chaque pan. Mais comme il est certaines pièces qui font partie de deux pans, comme aussi ces pièces pourraient être lourdes et conséquemment difficiles à manier, comme enfin le plus souvent l'espace est insuffisant, on a coutume de dresser les ételons sur le même terrain préalablement bien dressé. Ainsi, les lignes ponctuées de la fig. 41 représententent les ételons de tous les pans de notre charpente. Comme dans cette figure nous avons désigné les lignes par les mêmes lettres que les pièces auxquelles elles correspondent, le lecteur séparera facilement par la pensée les ételons les uns des autres. Les lignes, telles que *a b*, indiquent la longueur que l'on doit donner aux pièces.

Les ételons tracés, on procède à l'établissement des bois. Le niveau et le dévers se vérifient avec un niveau à bulle d'air, et l'aplomb avec un fil à plomb. Lorsqu'une pièce est commune à plusieurs pans, on a soin de marquer sur l'ételon et sur cette pièce des repères, afin qu'en établissant sur ligne pour un pan, sa position soit d'accord, par rapport aux autres pièces, avec celle qu'elle doit avoir dans son établissement sur ligne, pour un autre pan. Ce signe, dont les charpentiers font usage, est appelé *trait ramèneret*.

Toutes les pièces d'un même pan sont mises sur ligne, en les faisant reposer les unes sur les autres par leurs extrémités, de manière qu'elles se croisent et soient maintenues de niveau, au moyen de chantiers convenables, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 41 qui représente la mise sur ligne de l'un des deux pans semblables. Cet ensemble forme ce qu'en terme du métier on appelle *le tas*.

Le tas établi, on *pique* les bois, on trace et l'on coupe les assemblages. Ces différentes opérations, exigeant

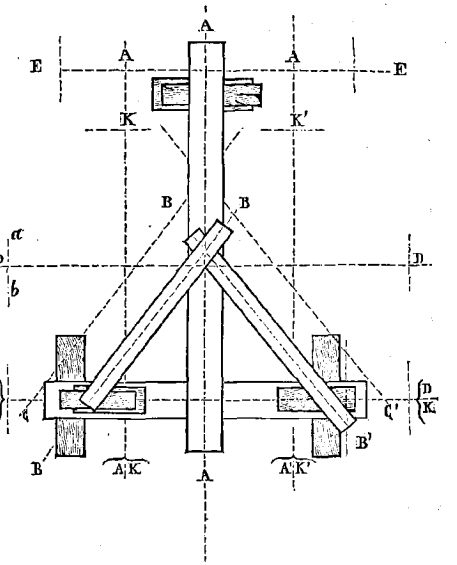


Fig. 41.

des détails longs et minutieux, nous donnerons le conseil au lecteur d'aller visiter un chantier de construction, où, en peu de temps, il en apprendra davantage que par une description qui pourrait lui paraître inintelligible.

Nous allons maintenant étudier les combles qui sont les parties d'un monument où l'on trouve le plus de variété dans la manière où les pièces de bois se présentent les unes aux autres; d'ailleurs, c'est le genre de construction que les charpentiers ont à exécuter le plus souvent. On sait qu'un *comble* est la partie du bâtiment sur laquelle on applique la couverture.

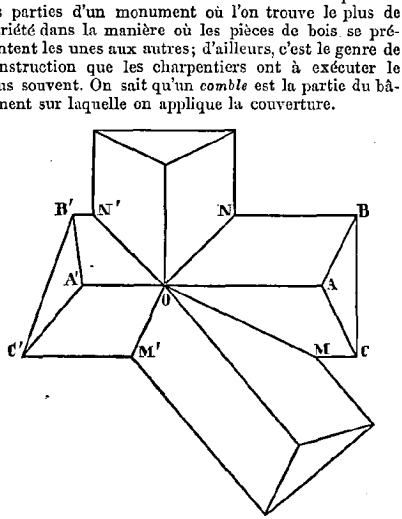


Fig. 42.

On appelle *croupe* les portions triangulaires telles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que ABC (fig. 42) : elle est *droite*, lorsque la base BC du triangle est perpendiculaire à la direction OA du toit; au contraire, elle est *biaise* quand cette base est oblique comme dans A'B'C'.

Les *noues* sont les arêtes suivant lesquelles deux toits se coupent en se pénétrant : elle est *droite*, lorsque les toits se rencontrent à angle droit; elle est *biaise* dans le cas contraire. Ainsi les noues ON, ON' sont droites, celles OM, OM' sont biaises.

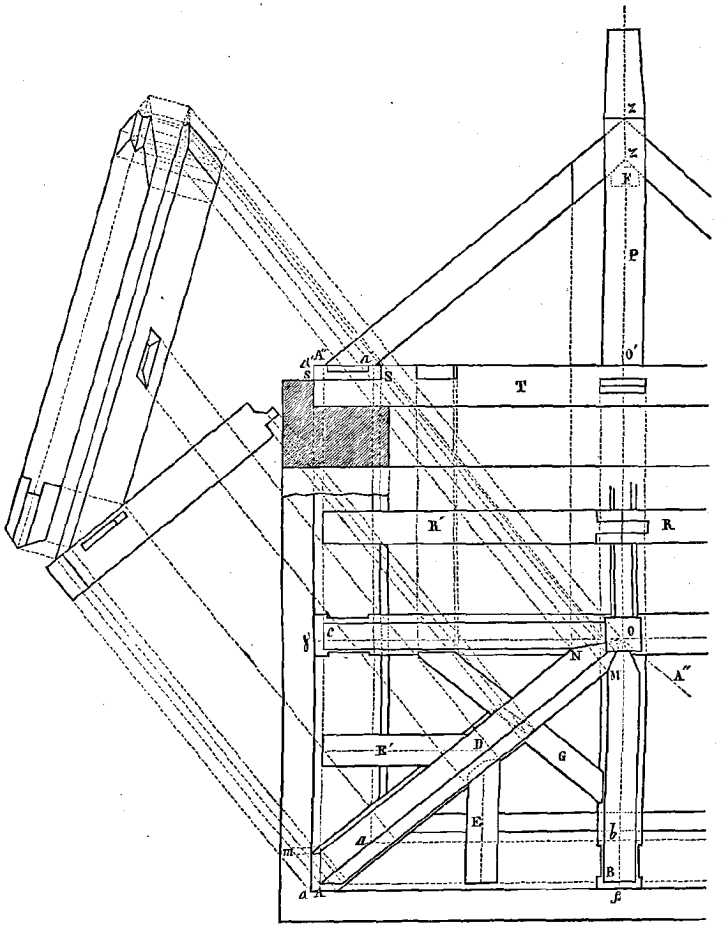


Fig. 43. — Croupe droite.

CROUPE DROITE.

Pour simplifier l'épure, nous supprimerons les arbalétriers et conséquemment aussi les pannes; nous ne conserverons que les chevrons qui, d'ailleurs, ont des fonctions et des assemblages tout à fait analogues à ceux des arbalétriers [1].

Nous commencerons par déterminer la projection verticale sur un plan perpendiculaire à la direction du toit, ainsi qu'on le voit dans la fig. 43. Le tirant T repose sur le mur, dans une entaille dont la profondeur est telle, qu'il dépasse le niveau supérieur de ce mur d'une quantité précisément égale à l'épaisseur que l'on veut donner à la sablière S; celle-ci doit affleurer le tirant et présenter la même saillie dans le sens horizontal sans jamais atteindre tout à fait le parement extérieur du mur. Ensuite, on place les abouts A' des chevrons qui doivent reposer par leurs autres extrémités sur le faîtage F, lequel se trouve à une hauteur déterminée par la question. Les droites A'Z, a'Z seront les traces verticales des *plans de lattis* supérieur et inférieur. Ces plans de lattis couperont le plan horizontal des sablières suivant deux droites projetées en A' et a' et que l'on appelle *ligne d'about* et *ligne de gorge*. La *ligne de couronnement* est celle qui résulte de l'intersection des deux plans de lattis supérieurs.

Procurons-nous maintenant la projection horizon-

1. Nous renvoyons encore le lecteur à l'article CHARPENTE pour l'explication des termes employés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tale. Nous commencerons par indiquer les traces des parements extérieur et intérieur du mur. Nous tracerons ensuite les lignes CA et AB, de manière qu'elles soient à la même distance des parements extérieurs des murs; puis, on marquera la position O que doit occuper le sommet de l'angle solide de la croupe; on joindra OA qui sera l'une des arêtes saillantes, et c'est à cette droite OA que l'on devra terminer la ligne de gorge *a'a* pour la diriger en retour d'équerre suivant *ab;* même remarque pour les bords extérieurs et intérieurs de la sablière, lesquels devront se couper aussi sur OA, ainsi qu'on le voit en α pour les bords extérieurs. Il résulte de ce tracé qu'il n'y a que le point A qui soit situé sur la diagonale qui joint l'angle intérieur du mur à l'angle extérieur, et que les chevrons de la croupe auront une épaisseur qui sera proportionnelle à l'inclinaison du toit de croupe. Cette remarque est importante, puisque sur un toit la charge s'exerce en raison inverse de l'inclinaison.

Ces opérations préliminaires effectuées, on place le poinçon P dont la section est un carré à dimensions fournies par la question. Un des côtés de ce carré doit être inscrit dans l'angle AOA" des deux arêtiers OA et OA" de la croupe; le carré est alors facile à achever. Nous ferons remarquer que le centre de figure du poinçon ne correspond pas avec le point O; aussi dit-on que le poinçon est *dévoyé*. On détermine ensuite la projection du tirant, en ayant soin de le dévoyer de la même manière que le poinçon, c'est-à-dire que son épaisseur devra être divisée par la droite OC en deux parties, dont le rapport soit égal à celui des deux parties suivant lesquelles le carré a été partagé lui-même par la droite OC. Quant à l'arêtier, on le dévoie en élevant en A une perpendiculaire *Am* à OA, égale à l'épaisseur que l'on veut donner à cet arêtier et en menant par *m* une parallèle à AB qui, en rencontrant la ligne d'about, déterminera un point par lequel il n'y a plus qu'à conduire une parallèle à *Am*. Par les extrémités de cette dernière parallèle, on trace deux autres lignes, parallèles à OA : la position de l'arêtier est ainsi complétement fixée. Il se trouve bien dévoyé, puisque OA ne divise plus sa largeur en deux parties égales.

Maintenant, comme cet arêtier doit présenter définitivement deux faces extérieures qui coïncident avec les lattis supérieures de croupe et de long pan, on le *délarde*, c'est-à-dire qu'on le coupe dans toute sa longueur par ces deux plans de lattis qui ont pour traces les lignes d'about AB et AC. Ensuite, pour le fixer, on engage son pied dans le coyer par embrèvement et tenon; quant à la tête, elle s'appuie simplement sur le poinçon, par deux faces verticales, dites faces d'engueulement, après avoir été toutefois *déjouté* par les plans verticaux OM et ON. Ce déjoutement résulte de ce que l'arêtier avant d'atteindre le poinçon rencontre les deux chevrons de ferme.

Entre l'arêtier et chacun des chevrons OB et OC on a coutume de placer un ou plusieurs *empanons* dont les axes doivent concourir deux à deux en un même point de OA, ainsi qu'on le voit en D pour les empanons E et E'. Ces empanons s'assemblent dans l'arêtier par un tenon et sur la sablière par un embrèvement. La sablière s'engage par un bout dans le coyer au moyen d'un tenon et dans le tirant par une entaille à mi-bois.

Les chevrons du courant, tels que R et R', s'appuient sur la sablière par un embrèvement, et dans le haut sont posés sur le faîtage en se liant deux à deux par un assemblage à enfourchement.

Quant au faîtage, c'est une pièce horizontale qui a pour section verticale l'hexagone F dont deux côtés coïncident avec les plans de lattis inférieurs, et qui s'assemble avec le poinçon au moyen d'un tenon à renforts.

Le *coyer* est la pièce qui part du point α; elle joue le même rôle que les tirants. Conséquemment, elle s'appuie d'un côté sur le mur, et de l'autre, sur le gousset G par un tenon avec renfort. Le gousset est relié aux deux tirants $o\gamma$ et $o\beta$ au moyen d'entailles. On dévoie le coyer de la même manière que l'arêtier.

Il ne reste plus, pour compléter les données nécessaires à la taille des différentes parties, qu'à se procurer des profils relatifs à chaque pièce, ainsi que nous l'avons fait pour le coyer et l'arêtier; de plus, on détermine les projections des pièces sur le plan de lattis supérieur. Pour cette dernière détermination, on développe sur un plan les trois faces de l'angle trièdre dont le sommet est en O. Ce développement porte le nom de *herse*.

CROUPE BIAISE.

La croupe biaise diffère, ainsi que nous l'avons dit, de la croupe droite, en ce que la ligne d'about AB de la croupe n'est pas perpendiculaire aux murs de long pan.

Le poinçon est dévoyé de la même manière que pour la croupe droite; seulement les deux côtés latéraux 1-4, 2-3 de sa base, rencontrant OA et OB en deux points 4 et 3, on les limite à ces points que l'on joint ensuite par une droite 4-3, qui est évidemment parallèle AB.

Quant aux chevrons C et C', on les divise suivant le rapport des deux parties de la ligne moyenne 5-6 du trapèze 1-2-3-4.

Le tirant, que nous n'avons pas figuré ici, serait dévoyé d'une manière analogue.

La position des arêtiers se détermine comme nous l'avons fait pour la croupe droite : nous n'y reviendrons donc pas. Les empanons seuls offrent un intérêt nouveau.

Ils peuvent être disposés de deux manières : soit comme celui E, avec ses faces latérales dans des plans verticaux parallèles à OD : dans ce cas, il porte le nom d'*empanon délardé*, attendu que, pour que ses faces supérieure et inférieure coïncident avec les deux lattis de croupe, on est obligé de le délarder; soit comme celui E', en le *déversant*, c'est-à-dire en dirigeant ses arêtes parallèlement à OD, tout en lui conservant sa forme de parallélipipède, et en appuyant sa face supérieure sur le lattis de croupe : dans ce second cas, il porte le nom d'*empanon déversé*.

L'empanon déversé offre sur le délardé l'avantage d'une économie de main-d'œuvre et de matière.

La détermination de la projection de l'empanon déversé présente une certaine difficulté. Aussi les charpentiers avaient-ils choisi ce problème comme exercice d'épreuve pour être reçus compagnon.

Cette projection peut s'obtenir en se servant de la herse; mais il existe un moyen direct de se la procurer, voici comment :

Soient AB et AB' (fig, 45) les lignes d'about de croupe et de long pan; *ad* et *a*α les deux lignes de gorge; soit O la projection horizontale de l'angle solide de comble: AO sera l'arête saillante de l'arêtier qui, disposé suivant les règles déjà énoncées, aura pour pas le pentagone BAB'$b'b$.

On construira d'abord le profil de croupe, c'est-à-dire la section que le plan vertical OD, perpendiculaire à la ligne d'about, tracerait dans les plans de lattis supérieur et inférieur, ainsi qu'on le voit en D'Z$d'z'$; enfin on se donnera la projection horizontale FE de la ligne *milieu* de l'empanon, laquelle doit être parallèle à la ligne d'about AB' de long pan, ainsi que la ligne milieu OE_2 du chevron de croupe.

Cela posé, comme les faces supérieure et inférieure de l'empanon doivent coïncider avec les plans de lattis, il arrivera nécessairement que les faces latérales, au lieu d'être verticales, se trouveront *déversées*. Il en résulte que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la projection horizontale de l'empanon ne peut pas être tracée immédiatement d'après la grandeur de son équarrissage; mais, si l'on projette cette pièce sur le lattis supérieur, elle y sera tout entière comprise entre deux droites parallèles que nous pourrons tracer directement, et c'est, nous le savons, cette dernière projection qui porte le nom de *herse*.

Pour tracer cette projection à la herse, rabattons d'abord le lattis supérieur sur le plan horizontal. Alors un point quelconque de la ligne milieu EF, celui qui, par exemple, se projette en G sur la ligne de gorge, et en G' sur le profil, ira se transporter en g; donc Eg est la ligne milieu de l'empanon rabattu sur le plan horizontal. Si on mène deux droites 2H, 3K parallèles à Eg, distantes de cette dernière d'une quantité égale au demi-équarrissage de la pièce, ces parallèles formeront les limites de l'empanon projeté à la herse. Si d'ailleurs on projette la ligne de gorge bd sur le lattis supérieur et qu'on la rabatte sur le plan horizontal, on obtiendra la droites $d_2 d_3$ pour projection à la herse de la ligne de gorge; en sorte que le parallélogramme HKlm sera le pas de l'empanon sur la herse.

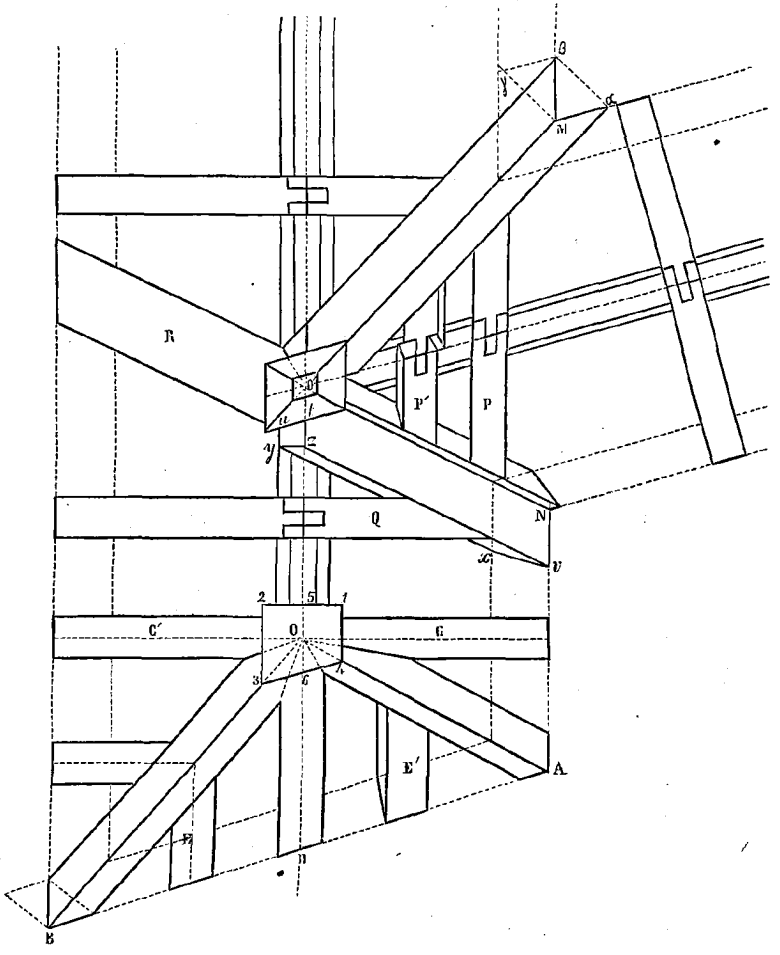


Fig. 44. — Comble avec croupe biaise, noue délardée et noue déversée.

Il sera à présent facile de transporter les résultats sur le plan horizontal. Car les points m, l, se ramèneront en M, L sur la ligne de gorge ad, au moyen de perpendiculaires mM et lL à la charnière AE, et HKLM sera le pas horizontal de l'empanon. Il n'y aura plus qu'à mener par les quatre points H, K, L, M des parallèles à EF que l'on terminera à la face verticale BC de l'arêtier, et ces parallèles seront les projections horizontales des arêtes latérales de l'empanon.

Construisons actuellement la projection verticale de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'arêtier. Pour cela, formons le triangle A'I'Z" dont la hauteur I'Z" soit égale à O'Z', puis par les points B' et *b'* menons des parallèles B'C' et *b'c'* à A'Z". Si alors nous projetons les quatre points V, U, N, P en V', U', N', P' nous obtiendrons le parallélogramme V'U'N'P' qui sera l'*occupation* ou la face de contact de l'empanon avec l'arêtier. Ce parallélogramme, étant partagé en cinq parties égales, offrira la partie moyenne comme entrée au tenon de l'empanon.

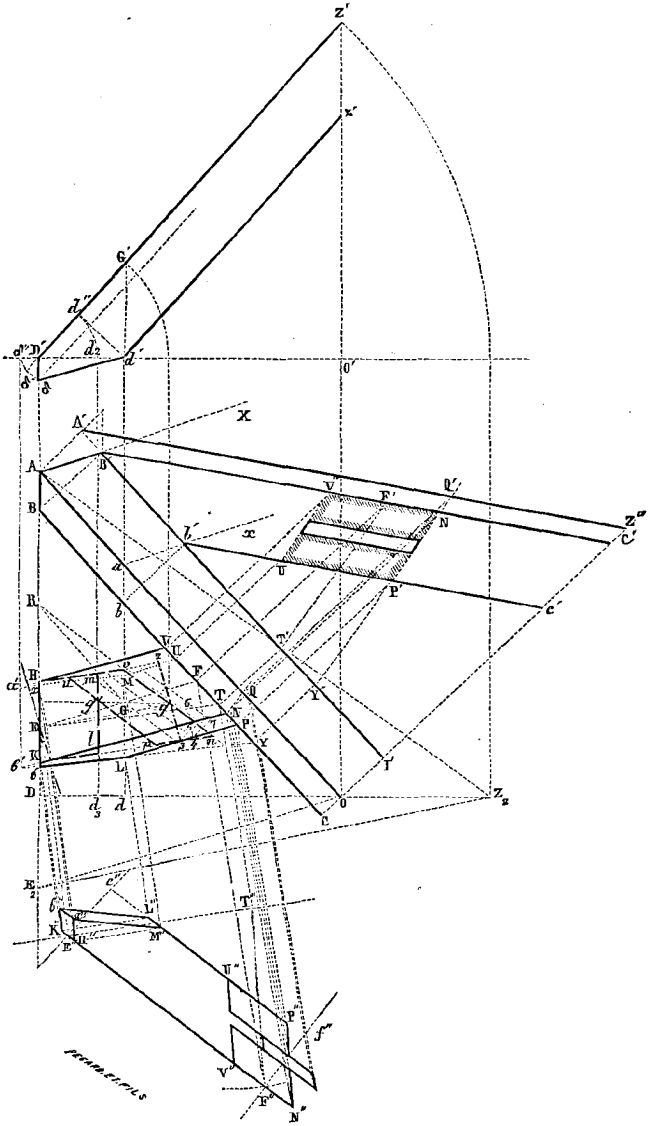


Fig. 45. — Empanon déversé d'une croupe biaise.

Quant au tenon de l'empanon, il est terminé d'un côté par le prolongement de la face déversée, ce qui produit deux arêtes parallèles à celles de la pièce; et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'autre, par un plan normal à la face verticale BC et conduit suivant la droite (NP, N'P') qui a pour trace horizontale le point Y. Ce plan normal a donc pour traces YY' et Y'P'N', et il coupera les deux joues du tenon suivant deux arêtes parallèles à la section NQ qu'il trace dans le lattis supérieur.

Mais c'est la projection à la herse qui doit servir à effectuer les opérations pratiques, attendu que cette projection est parallèle à l'une des faces de la pièce; il s'agit donc d'y rapporter le contour de la tête de l'empanon que nous avons déjà tracé sur l'arêtier. Seulement, afin d'éviter dans notre figure la confusion des lignes, et, puisque dans un prisme toutes les sections parallèles sont identiques, nous allons couper la pièce par un autre plan parallèle à BC, et mené par le point qui horizontalement est projeté en G et qui se rabat avec la herse en g. Ce plan sécant aura pour trace horizontale la droite GR parallèle à BC, et coupera la face supérieure de l'empanon suivant une droite dont le rabattement avec la herse est Rg. Ce même plan coupera la face inférieure de l'empanon suivant une autre droite qui, pour des raisons que l'on conçoit aisément, se rabattra avec la herse suivant $ug'p$ parallèle à Rg. Le parallélogramme $unpu$ sera dès lors la projection à la herse de la tête de l'empanon.

Si maintenant on remarque que toute droite parallèle à la ligne d'about ABD conserve la même grandeur en se projetant sur la herse, et qu'une ligne perpendiculaire à ABD se projette à la herse suivant une droite qui est encore perpendiculaire à cette ligne d'about, on comprendra facilement que les procédés que nous allons indiquer doivent nécessairement conduire à la projection à la herse du tenon de l'empanon.

On partagera d'abord le parallélogramme $uvnp$ en cinq parties égales, et l'on tirera l'horizontale 4-5-6, sur laquelle on prendra deux parties 4-6 et 4-5 respectivement égales aux distances analogues tracées sur la projection horizontale du tenon; puis, par le point 6, on mènera une parallèle à vn, et, par le point 5, une perpendiculaire 5-7 à 6-4. Cette perpendiculaire déterminera un point 7 qui, joint au point 4, fournira une des arêtes du tenon : dès lors le reste du tenon se tracera sans aucune difficulté.

Il s'agit enfin de projeter sur la herse l'embrèvement qui a la forme d'un prisme triangulaire dont la section droite est le triangle D'd' δ tracé à volonté sur le profil. Or, sur la herse, les deux arêtes de ce prisme correspondant aux angles D' et d' sont évidemment représentées par les droites HK et ml; quant à la troisième, on projette le point δ en δ' sur le lattis supérieur; puis, en rabattant ce plan, δ' vient en δ'', ce qui fournit la droite $\beta'\alpha'$ pour l'arête inférieure de l'embrèvement projetée à la herse (les points α' et β' sont les points où la droite $\alpha'\beta'$ rencontre les droites mH et lK prolongées). Ensuite on ramène les points α' et β' sur le plan horizontal en β et α; et les deux bases obliques du prisme d'embrèvement, qui sont en prolongement des faces déversées de l'empanon, se trouveront projetées horizontalement sur les triangles H M β et K l α.

Il reste encore à projeter l'empanon sur un plan parallèle aux deux faces déversées. Pour cela, par la ligne milieu dont EF est la projection horizontale, menons un plan parallèle à ces faces déversées. Ce plan coupera la face supérieure de l'empanon, la face verticale BC de l'arêtier et le plan horizontal, suivant trois droites qui, en se rencontrant, forment un triangle projeté sur EFT, lequel, transporté parallèlement vers le bas de la figure et rabattu autour de la la base E"T", deviendra le triangle E"T"F", qu'il est facile de construire, puisque l'on connaît E"T" égal et parallèle à ET, le second côté T"F" qui doit être égal à T'F', et la ligne FF" sur laquelle doit tomber le sommet.

Or, sur le plan de ce triangle perpendiculaire au lattis, la face supérieure de l'empanon est tout entière projetée suivant E"T"; la face inférieure y sera aussi projetée suivant une droite $e''f'$ dont la distance e''E" à la droite E"F" doit être égale à la distance $d'd''$ des deux lattis prise sur le profil.

Cela posé, on rapportera sur E"F" et $e''f'$ les points H, K, L, M par des perpendiculaires à la ligne de terre E"T"; on agira de même pour les points α, B de l'embrèvement, en les projetant sur $\alpha''\beta''$ parallèle à E"F", et distante d'elle d'une quantité égale à $\delta\delta'$ prise sur le profil (l'horizontale δ, sur laquelle sont les points α et B, étant parallèle à la face supérieure de l'empanon). Quant à la projection de la tête de l'empanon, elle se déduit facilement de la projection horizontale, ainsi qu'on peut s'en rendre compte sur la figure.

Nous avons cru devoir nous étendre sur la solution de l'empanon déversé, attendu que c'est peut-être le point le plus délicat de toute la charpente.

NOUES.

Nous avons défini les noues. Elles peuvent, ainsi que les croupes, être droites ou biaises. Les noues droites s'obtiennent en projection, exactement comme les arêtiers de la coupe droite. Nous allons donc passer immédiatement à l'étude des noues biaises.

Une noue biaise est dite délardé lorsque sa face supérieure d'équarrissage αB est parallèle à OM (fig. 44). Sa position se détermine alors en employant encore un parallélogramme M$\alpha\beta\gamma$, attendu qu'elle doit être dévoyée.

Elle est déversée quand on lui donne de chaque côté une face, telle que $vxyz$, normale au lattis correspondant.

A proprement parler, la locution de déversée n'est pas applicable à cette dernière noue, puisque par le fait elle n'est pas déversée. Seulement on la qualifie ainsi, attendu que deux de ses faces se trouvent normales aux lattis supérieurs qui correspondent à chacune; et si, dans la pratique, l'on a coutume de donner à une noue biaise des faces déversées, c'est dans le but exclusif de permettre aux chevrons-empanons, tels que P, P' et Q, de venir tomber perpendiculairement sur ces faces, et conséquemment de faciliter la taille des assemblages qui, dans le cas d'un non-déversement, seraient peu commodes à exécuter.

Nous ferons remarquer que les chevrons-empanons peuvent être simplement délardés, comme P, ou bien déversés comme P'. Ce second mode de disposition offre l'avantage, ainsi que nous l'avons dit pour les empanons de la croupe biaise, de permettre l'emploi de bois d'un moindre équarrissage.

Nous terminerons ce qui est relatif aux noues biaises en disant que leurs têtes viennent s'appuyer sur le poinçon par des faces d'engueulement, exactement comme les arêtiers d'une croupe. De plus, il est d'habitude de les prolonger au delà du faîtage, à la condition de les délarder par les plans de lattis, ainsi que nous le voyons en $tuzy$.

La pièce R est une *contre-noue* qui a pour but de contrebalancer la tendance qu'aurait le poinçon de fléchir sous les pressions additionnées des deux noues O'M et O'N.

ESCALIERS.

Nous avons donné, dans la coupe des pierres, l'épure d'un limon. Comme cette épure est parfaitement applicable à un limon en bois, nous nous abstiendrons de revenir sur cette question.

Nous dirons simplement que la seule différence qui existe entre un limon en pierres et un limon en bois consiste dans le mode de jonction de deux pièces consécutives. Dans la coupe des pierres on emploie des joints plans normaux à l'*hélice moyenne*; en charpente ce sont des assemblages par entures à mi-bois, égale-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment normaux à l'hélice moyenne, avec abouts carrés et tenons.

Bibliographie. — Voici la liste des ouvrages que le lecteur pourra consulter avec fruit s'il désire approfondir les diverses questions de stéréotomie :

Pour la coupe des pierres, le *Traité d'architecture* de Philibert Delorme écrit en 1576; les *Secrets de l'architecture* par Mathurin Jousse, ouvrage publié en 1642 et revu en 1702 par Lahire; l'*Architecture des voûtes* par le Père Durand (1643); l'ouvrage de Desargues; le *Traité de coupe des pierres* de Delarue (1728); le *Traité de la stéréotomie* de Frézier (1738); le *Traité de stéréotomie* de C.-F.-A. Leroy; la *Coupe des pierres* et le *Traité théorique et pratique des ponts biais* d'Adhémar; l'*Art de bâtir* de Rondelet; le *Traité d'architecture* de M. Léonce Reynaud; le Mémoire de M. Lefort sur les ponts biais inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées*, tome XVII; un Mémoire de M. E. Ormières sur les ponts biais à appareil hélicoïdal, inséré aux *Annales du Génie civil* (juillet 1867); enfin le *Manuel des ponts et chaussées*, par l'ingénieur Buck.

Pour la charpente : les *Secrets de l'Architecture* de Mathurin Jousse; le *Traité de la stéréotomie* de Frézier; l'*Art du trait* de Fourneau, maître-charpentier (1786); le *Traité de l'art de la charpenterie* du colonel Emy, œuvre classique qui est ce qu'il y a de plus complet sur la charpente; la *Charpente* d'Adhémar; le *Traité de stéréotomie* de C.-F.-A. Leroy.

Nous avons fait de nombreux emprunts à ces divers ouvrages. ÉM. LEJEUNE.

SULFURE DE CARBONE. — Le sulfure de carbone, dit M. Balard, rend aujourd'hui à l'industrie de nombreux services. Il est par sa nature susceptible de dissoudre les corps gras, et M. Deiss, en le préparant à bas prix et en l'appliquant à cet usage, a créé ainsi une industrie nouvelle dont l'importance ne peut que s'accroître.

C'est vers 1854 que M. Deiss a commencé à préparer ce produit, que MM. Gérard et Aubert fabriquèrent en grand à leur tour et utilisèrent plus tard pour ramollir le caoutchouc, et lui permettre d'être transformé en fils cylindriques par la même méthode qui sert à préparer le vermicelle. L'appareil qu'ils employaient consistait en une cornue de fonte placée verticalement dans un fourneau, et portant à la partie inférieure un tube incliné, par lequel on introduisait le soufre au bas de l'appareil plein de charbon de bois.

M. Deiss, s'appuyant sur ce principe que la production du sulfure de carbone, pour être abondante, exige des températures élevées qu'on ne pouvait facilement atteindre avec la fonte ou le fer si faciles à fondre ou à sulfurer, emploie au contraire un cylindre de terre réfractaire, qui porte, vers sa partie inférieure, un petit rebord intérieur sur lequel peut se placer une grille, de terre aussi. Ce cylindre porte à sa partie supérieure une tubulure latérale pour le dégagement des vapeurs. Il est muni d'un couvercle circulaire, traversé à son centre par un tube droit, aussi en terre réfractaire, qui traverse la grille par son centre, et pénètre dans l'espèce de chambre que forme l'intervalle compris entre cette grille et le fond du cylindre.

Concevons maintenant que le cylindre, ayant été rempli de grenaille de charbon de bois, on le chauffe à une température très-élevée, et qu'on introduise par le tube droit du soufre contenu dans des cartouches de papier susceptibles d'y glisser facilement, ce soufre tombera dans la chambre intérieure, ses vapeurs seront obligées de passer par les trous de la grille et de circuler autour du charbon, dont elles détermineront la combustion. Il se formera du sulfure de carbone que M. Deiss condense dans un condenseur particulier.

Ce condenseur se compose de cloches ouvertes par le bas et plongeant dans des caisses de plomb pleines d'eau. Le sulfure qui s'y rassemble peut, dans le cours de la fabrication, être enlevé avec un siphon, et conduit en lieu sûr dans une citerne contenant de l'eau, de manière à ce qu'on n'ait rien à craindre de son extrême inflammabilité. Le soufre qui a été distillé peut aussi être enlevé sans difficulté. L'opération peut durer huit jours consécutifs, au bout desquels il faut nettoyer les cornues pour en retirer les cendres.

On voit par cette description que tout est arrangé de manière à rendre cette opération très-économique. Aussi le sulfure de carbone ainsi obtenu, dont le prix de revient varie entre 40 et 50 francs les 100 kilog., selon les localités, peut être appliqué à une foule d'usages auxquels il n'est devenu propre que depuis qu'il a pu être obtenu à des prix aussi bas.

Ces usages consistent dans l'extraction des corps gras des matières les plus viles, qui avaient été rejetées jusqu'ici. Les noirs d'acidification pressés des fabriques, et généralement tous les résidus provenant de l'industrie de l'acide stéarique, les pains de creton de la fonte du suif, les chiffons gras des filatures, des chemins de fer, les tourteaux d'huile de graines et d'huile d'olive, fournissent, au moyen de ce dissolvant, des quantités considérables de corps gras qui auraient été complétement perdus.

Pour les extraire, on entasse ces corps dans une caisse en fer, où ils sont soumis à un lavage méthodique de bas en haut, au moyen du sulfure de carbone qui, s'écoulant dans un appareil distillatoire chauffé à la vapeur, reproduit du sulfure propre à un nouveau lavage, et un corps gras qu'on n'écoule au dehors que lorsqu'il a laissé échapper tout le sulfure qu'il retenait. On conçoit que si on chauffe aussi à la vapeur la matière lavée jusqu'à ce qu'elle ait été séchée de tout le sulfure de carbone qui l'imprégnait, cette matière peut être extraite sans perte de dissolvant.

L'usage de ce procédé d'extraction des corps gras se répand de plus en plus. Outre les usines que lui et ses associés possèdent à Paris, à Bruxelles et à Londres, M. Deiss en a construit à Séville, à Lisbonne et à Pise, qui fonctionnent d'après les mêmes procédés, principalement pour l'extraction des huiles retenues dans les tourteaux d'olives. Ces huiles, contenant plus d'acide margarique que celles qu'on obtient par expression, conviennent aussi davantage à la fabrication du savon. Il est inutile d'ajouter que les tourteaux ainsi privés de leur huile peuvent être utilement employés comme engrais, ainsi que le démontrent des essais faits par la Société impériale d'agriculture dans le but de combattre quelques préjugés qui existaient à ce sujet chez quelques cultivateurs.

On sait que les os de cuisine sont une source abondante de corps gras, mais l'ébullition dans l'eau ne peut en extraire que 5 1/2 p. 100 de suif. Le sulfure de carbone bouillant peut, au contraire, les dégraisser complétement, et en extraire une quantité de corps gras deux fois plus grande.

Dans les grandes villes manufacturières de l'Angleterre, le dégraissage des chiffons provenant des chemins de fer et des manufactures de coton peut fournir deux produits utiles, le corps gras d'une part, et de l'autre la matière dégraissée qui peut servir à la fabrication du papier.

Quand on songe aux quantités considérables de corps gras qui se perdent chaque jour sous des formes si diverses, on ne peut que constater avec un vif intérêt l'extension d'un procédé qui, permettant de les utiliser d'une manière complète, contribuera à alimenter de matières premières d'un prix peu élevé nos fabriques de bougies et de savons.

Insistons sur ces diverses applications. Les résidus actuellement soumis au *lavage* par le sulfure de carbone sont :

1° Les dépôts bruns dits glycérine goudronneuse pro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

venant de l'un des procédés encore en usage ou accidentellement produits dans la saponification sulfurique, préparatoire à la distillation des corps gras. Ces dépôts bruns, avant d'être soumis au traitement qui doit en extraire environ 18 à 20 centièmes d'acides gras, sont mélangés avec de la sciure de bois, afin de les rendre assez perméables pour faciliter la filtration du sulfure de carbone au travers de la masse.

2° Les *cambouis* ou résidus bruns des matières grasses employées au graissage des essieux de voitures et wagons, les graisses de cuisine, etc. Ces matières doivent également, et par les mêmes motifs, être mélangées avec de la sciure de bois avant qu'on les place dans l'extracteur, où s'effectue la filtration du sulfure de carbone (les cambouis des wagons sont préalablement traités à chaud par l'acide sulfurique, lavés et séchés pour décomposer l'émulsion savonneuse et mettre à nu la matière grasse).

3° Les étoupes et chiffons gras qui ont servi au nettoyage des parties frottantes des machines fixes et mobiles (des filatures, des divers ateliers et des chemins de fer) lubrifiées avec des graisses ou des huiles. Ces filaments et lambeaux de tissus sont assez facilement perméables pour être traités sans mélange préalable; un triple avantage peut résulter de l'extraction des matières grasses qu'ils contiennent : les soins que l'on doit prendre de les renfermer dans des vases clos pour les expédier ultérieurement évitent les graves dangers d'incendie occasionnés en maintes circonstances par l'accumulation en tas, dans les coins des ateliers, de ces tissus ou filaments graissés qui, absorbant et fixant l'oxygène de l'air, peuvent s'échauffer au point de s'enflammer spontanément; le deuxième avantage résulte de la valeur même de la matière grasse que l'on a extraite, et le troisième, de l'emploi ultérieur que l'on peut faire pour le même service des débris de filaments ou de tissus ainsi nettoyés.

4° Les résidus lavés et pressés de l'extraction directe de la cire; ce sont encore des résidus retenant une matière soluble dans le sulfure de carbone, habituellement perdue. A la vérité on les utilise comme engrais; ils se vendent pour cet usage 18 à 20 fr. les 100 kil., mais leur valeur réelle ne serait en rien diminuée si l'on en extrayait, par un dissolvant spécial, 20 p. 100 de cire dont on pourrait se servir pour frotter ou pour fabriquer des bougies brunes, économiques et donnant beaucoup de lumière. Ces résidus doivent donc être traités à part, puisque le produit que l'on en tire, ayant les propriétés spéciales des cires, s'applique à des usages différents de ceux des matières grasses qui sont économiquement saponifiables.

5° Les sciures de bois après qu'elles ont servi à la filtration des huiles épurées par l'acide sulfurique et subi une forte pression; ces tourteaux de sciure cèdent au sulfure de carbone 15 à 18 d'huile pour 100 de leur poids.

6° Les feces acides, dépôts boueux des huiles battues avec 2,5 pour 100 d'acide sulfurique; ces résidus contiennent 0,50 d'huile que le sulfure de carbone enlève après qu'on les a lavés à l'eau bouillante pour décomposer les acides sulfo gras, séchés puis mélangés avec de la sciure qui facilite la filtration.

7° Les os des animaux de boucherie, provenant de la consommation des viandes alimentaires; ces résidus ramassés dans les maisons ou dans les rues, constituent la matière première de la fabrication du noir animal, ou de la gélatine. On en récolte annuellement en France plus de 20 millions de kilogr., qui, après avoir fourni de la graisse, puis du charbon d'os appliqué à la décoloration des sirops, retournent à l'agriculture : celle-ci emploie très-avantageusement ce résidu comme engrais sous le nom de noir animal. Les os bruts, encore frais, dits *os gras*, après avoir été concassés, sont traités habituellement par ébullition dans l'eau. Ils ne donnent alors, en moyenne, que 6 à 7 centièmes de matière grasse, vendue sous le nom de petit suif ou suif d'os, et employée dans la savonnerie ou la fabrication des produits stéariques par distillation. On obtient jusqu'à 10 et 11 centièmes de leur poids de la même matière grasse, lorsqu'on les soumet, dans l'appareil de M. Deiss, à l'action dissolvante du sulfure de carbone, en prenant quelques précautions spéciales.

8° Les tourteaux des graines oléagineuses, colza, navette, sésame, cameline, lin, arachides, lorsqu'ils ne sont pas destinés à l'alimentation ou à l'engraissement des bestiaux, soit qu'ils se trouvent produits en excès pour cette consommation soit que leur qualité les y rende moins favorables ou qu'ils y soient devenus tout à fait impropres par suite de certaines altérations spontanées (fermentation, rancidité, moisissures, etc.) qu'ils ont pu subir. En tout cas, avant de soumettre à l'action du sulfure de carbone ces tourteaux, il faut les diviser; on y parvient à l'aide de cylindres cannelés qui les réduisent en fragments gros comme la moitié d'une noix : la surface qu'ils présententent en cet état est suffisante pour que leur épuisement soit complet.

SURCHAUFFE DE LA VAPEUR. L'idée d'employer la vapeur d'eau surchauffée, c'est-à-dire chauffée hors du contact de l'eau à un degré plus élevé que celui qui correspond à la saturation, est une de celles que les inventeurs reproduisent le plus fréquemment de nos jours. C'est assez dire que bien des conceptions qui ne sont pas fondées sur des lois physiques se produisent à ce propos; mais y a-t-il quelque emploi véritablement utile à faire de la valeur surchauffée? C'est là une question intéressante à se poser et qu'a fort bien étudiée expérimentalement un ingénieux observateur, M. Hirn de Logelbach, près Colmar, dont les travaux sur les frottements et les machines à vapeur sont si justement remarqués parmi ceux qui remplissent les bulletins de la savante Société industrielle de Mulhouse.

La première observation de M. Hirn, observation parfaitement juste, c'est que la plupart des inventeurs se trompent grossièrement en combinant des dispositions propres à séparer la vapeur à surchauffer de celle qui remplit la chaudière, de manière à en élever la pression en même temps que la température. En effet, comme il faut toujours que la vapeur soit à une pression plus élevée dans le récipient dont elle sort que dans celui dans lequel elle entre, on voit que la pression ne saurait être sensiblement plus élevée dans la capacité où elle est surchauffée sans qu'il y ait difficulté d'y faire rentrer de nouvelle vapeur, d'autant plus que l'on voudra la chauffer davantage, ce qui nécessitera l'accroissement de surface et, par suite, de volume de l'appareil. Il faudra pourtant que le volume de vapeur d'un cylindre suffise pour permettre la rentrée de la vapeur de la chaudière, c'est-à-dire que l'accroissement de pression soit peu de chose; autrement il faudra une alimentation consommant une grande quantité de travail, parce qu'elle répondra à un grand volume, enfin un jeu de tiroirs au milieu des parties fortement chauffées, c'est-à-dire où les huiles se décomposent et où il est impossible de les faire bien fonctionner.

Ainsi donc, on doit établir en principe que le surchauffage de la vapeur ne peut être raisonnablement tenté que pour la vapeur restant en communication avec la chaudière, avec la capacité qui reçoit l'eau d'alimentation.

Quel bénéfice peut-on retirer de ce mode d'opérer, qui, éloignant la vapeur de son point de saturation, lui communiquant en partie les propriétés de gaz permanents, augmente un peu la quantité de chaleur qu'elle renferme sous le même poids?

Au point de vue de la machine à vapeur théorique, c'est-à-dire de celle dans laquelle la détente serait poussée jusqu'à la liquéfaction de toute la vapeur,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'avantage serait nul, le travail étant toujours en raison de la chaleur employée. Ce n'est donc qu'au point de vue de la pratique que la surchauffe peut offrir quelques avantages qui proviennent de ce que la chaleur de surchauffe peut être complétement transformée en travail, qu'elle ne fait pas partie de celle qu'on ne peut utiliser à cause de la nécessité de limiter la détente.

Voici les avantages que M. Hirn a constatés dans ses expériences :

1° Vaporisation de l'eau entraînée par la vapeur à l'état vésiculaire et dont la chaleur est perdue; cette quantité n'est presque jamais inférieure à 5 pour 100 et est souvent bien plus considérable.

2° Réchauffement des parois du cylindre à vapeur refroidi par la détente et la communication avec le condenseur. Cette action, bien que répondant à une partie de l'effet de l'enveloppe, ne dispense nullement de celle-ci; elle ne peut la remplacer pour fournir de la chaleur à la vapeur qui continue à se détendre après que l'on est revenu au point de saturation de la vapeur.

3° Augmentation de volume de la vapeur pour une même pression, ce qui conduit (surtout avec un large emploi de l'enveloppe pleine de vapeur saturée, la seule qui dégage beaucoup de chaleur par son refroidissement qui produit une condensation) à une diminution de dépense de vapeur et aussi de combustible, dans le cas où il s'agit d'un système de machine à vapeur dans laquelle l'action directe produit la majeure partie du travail utile.

M. Hirn a constaté, dans toutes ses expériences, une économie produite par l'emploi de la vapeur surchauffée. Cette économie a varié de 5 pour 100 pour une machine de Wolf (enveloppe vide de vapeur), genre de machine qui n'éprouve pas de refroidissement dans le petit cylindre, où la vapeur agit par action directe et qui n'est jamais en communication avec le condenseur, à 22 pour 100 pour la même machine avec vapeur saturée dans l'enveloppe. Pour une machine de Watt sans enveloppe l'économie a dépassé 30 pour 100. Le plus grand intérêt de ces expériences est de bien montrer la très-grande influence des masses métalliques qui renferment la vapeur et de leur refroidissement qu'on est trop disposé à négliger, en considérant la machine à vapeur comme une machine abstraite. Nous citerons à ce sujet les observations de M. Hirn.

« Pendant que la vapeur afflue de la chaudière au cylindre, les parois et le piston se mettent au moins à la température qui correspond au point de saturation; car la vapeur ne peut cesser de s'y condenser que quand ce degré est atteint. (L'écart de 1/2 ou 3/4 d'atm. entre la chaudière et le cylindre, si fréquemment observé est dû à ce refroidissement à l'entrée.) Au moment où les communications sont coupées et où la détente commence, ses parois se trouvent en contact avec de la vapeur dont la température baisse; le calorique qui s'y était accumulé et celui qui produit le frottement du piston sont donc cédés en partie à la vapeur en détente. Il s'ensuit que dans aucune machine la vapeur ne se détend sans recevoir de calorique. »

Il suit de là que de la vapeur surchauffée renfermant sous un même volume une moindre quantité de chaleur, la température du cylindre (sans enveloppe) n'est pas nécessairement plus élevée que quand on emploie de la vapeur saturée, surtout si le mouvement du piston est rapide, ce qui explique plusieurs anomalies que présentent les expériences.

L'analyse de l'effet de la chaleur sur les masses en contact avec elles conduit M. Hirn à recommander une disposition déjà réalisée avec succès, et qui consiste à substituer quatre tiroirs (deux d'admission de vapeur et deux de sortie) au tiroir unique généralement employé aujourd'hui. On évitera ainsi des espaces perdus considérables et surtout de mettre de la vapeur à 120, 150, 200°, pour ainsi dire en contact avec de la vapeur à 60° au plus. C'est un contre-sens palpable et très-grave de faire passer la vapeur rejetée des cylindres par une boite métallique entourée de vapeur d'admission. C'est augmenter les pertes qui résultent nécessairement du refroidissement du cylindre et de sa mise en communication prolongée avec le condenseur.

Dans toutes ces expériences, la vapeur surchauffée n'a jamais dépassé 240°, et ce n'est qu'avec les plus grands soins que l'on peut même employer pratiquement la vapeur à cette température. C'est qu'en effet l'emploi de la vapeur surchauffée offre des inconvénients graves dans la pratique, qui y ont fait renoncer tous les constructeurs qui avaient cru reconnaître qu'elle pourrait produire des économies analogues à celles que M. Hirn a constatées. En effet :

1° La vapeur surchauffée emporte une quantité beaucoup plus considérable de *vapeur de graisse ou d'huile* que la vapeur saturée, inconvénient grave dans la pratique.

2° La vapeur saturée, outre qu'elle emporte toujours un peu d'eau en globules, se condense partiellement sur tous les corps dont la température est inférieure à la sienne. Pendant la marche d'une machine, l'eau ainsi amenée ou condensée s'interpose entre toutes les pièces frottantes en rapport avec la vapeur, les lubrifie et ferme absolument comme un enduit gras les passages peu considérables; elle rend ainsi hermétiques les fermetures des pistons, des tiroirs qui ne le seraient pas autrement; en gonflant les étoupes des garnitures des tiges, elle les rend beaucoup plus propres à joindre exactement. La vapeur surchauffée, au contraire, est un gaz essentiellement sec qui ne possède pas cet avantage; elle se fraye, et en grande quantité, une route là où la vapeur saturée ne peut pas passer. De plus, en raison de sa température, loin de mouiller les étoupes des garnitures, elle les sèche et les brûle promptement si l'on ne prend pas les précautions nécessaires pour éviter cet inconvénient.

M. Hirn a reconnu qu'avec des garnitures en étoupe bien faites (les garnitures métalliques ne peuvent être employées que difficilement pour de grands pistons), bien graissées, on peut, et c'est la limite supérieure, surchauffer la vapeur à 240°. Il l'amène à ce degré par une circulation dans des tuyaux plongés dans la fumée (et ne pouvant être atteints par la flamme qui les brûlerait).

Nous pensons que dans la pratique on doit toujours adopter une légère surchauffe, 30 ou 40° au-dessus du point de vaporisation, suivant son élévation; on arrive ainsi à faire disparaître la vapeur vésiculaire, et à réchauffer le cylindre dans lequel travaille la vapeur, avec un grand profit et sans aucun des inconvénients graves que présente dans la pratique l'emploi de la vapeur fortement surchauffée. C'est, ce nous semble, le résultat que l'on doit tirer des intéressantes expériences de M. Hirn; c'est ce qui est en partie obtenu avec des chaudières tubulaires à la partie supérieure quand le réservoir de vapeur est très-grand, genre de disposition tout à fait à recommander pour obtenir des avantages notables dans la pratique.

Chaudière à vapeur sphéroïdale de M. Testud de Beauregard. — Cet inventeur, sous l'influence des phénomènes étonnants présentés lors du passage des liquides à l'état sphéroïdal, avait combiné un système propre à utiliser la puissance en apparence illimitée qui apparaît lors des explosions attribuées à cet état. La pratique, comme une théorie plus avancée le fait bien concevoir, n'a pu conduire qu'à faire naître des quantités de travail proportionnelles aux quantités de chaleur communiquées au liquide, et a fait disparaître des espérances mal fondées d'effets sans rapport avec leur cause. Toutefois de nombreux essais de chauffage de chaudières ne renfer-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mant pas d'eau à des températures élevées, l'analyse des causes de destruction rapide ont conduit cet inventeur à l'établissement d'une chaudière extrêmement remarquable. Elle offre les avantages : 1° de ne pas renfermer d'eau à l'état liquide et par suite d'être à l'abri de toutes chances d'explosion; 2° de pouvoir fournir immédiatement une grande quantité de vapeur; 3° de fournir de la vapeur surchauffée, mais qui ne peut dépasser une limite de température déterminée. Enfin elle paraît être dans de bonnes conditions au point de vue de l'économie du combustible, vu la conductibilité des masses métalliques qui la constituent. Tous ces avantages font de cette chaudière un appareil très-précieux pour tous les cas où la vapeur doit agir seulement par action directe ou sans détente prolongée, et l'on sait que c'est, dans la pratique, le cas du plus grand nombre de machines. Je montrerai plus loin pourquoi il en est ainsi; quant aux avantages ci-dessus annoncés, ils résulteront manifestement de la seule description de l'appareil, étant admis toutefois, ce qui est vrai en partie, que l'emploi des garnitures métalliques permet, sans trop d'inconvénients, dans le cas de pistons de dimensions modérées mus avec une grande vitesse, l'emploi d'une vapeur sèche et chaude; surtout si, comme l'inventeur dit l'avoir observé, les grippements ne sont pas à craindre lorsque la température de la vapeur reste constante et que ce sont surtout les variations de température qui les font naître.

La chaudière dont il s'agit, formée d'un cylindre vertical à fond plat, porte à sa partie inférieure un bain d'étain fondu. Dans celle que nous avons vue et qui était destinée à une machine de 10 chevaux environ, il y avait 600 kilog. d'étain, c'est-à-dire, lorsqu'il est fondu $600 \times 14{,}25 = 8550$ calories emmagasinées par la chaleur latente de l'étain et qui sont au besoin communiquées instantanément à de l'eau à vaporiser, le point de fusion de l'étain étant à 235°. Le fond de la chaudière sur lequel repose cette masse métallique, et qui était rapidement détruit avant son addition, est préservé contre les altérations que peuvent produire des variations peu considérables de température par sa masse même, et pour des changements considérables, par un tube central, percé d'orifices bouchés par du plomb coulé, qui fond et laisse sortir la vapeur qui met en jeu le sifflet d'alarme si la température s'élève à 360, point de fusion du plomb. Disons que les fuites par les rivets qui assemblent le fond ont été évitées par l'emploi d'un cercle sertisseur mis à chaud sur des rivets à tête perdue.

L'eau n'est pas injectée directement sur l'étain, mais sur une plaque en tôle qui recouvre une partie du bain métallique et qui a la même température que celui-ci. L'eau se réduit donc instantanément en vapeur à une température voisine de celle de la fusion de l'étain, dont une couche se solidifie un instant près de la surface supérieure, et est bientôt liquéfiée de nouveau par suite du facile passage de la chaleur du foyer à travers la masse métallique. La vapeur saturée à cette température aurait une pression de 25 atmosph. environ. La chaudière n'étant disposée, ne recevant de l'eau que pour obtenir des pressions bien moindres, de 3 atmosph. par exemple, la vapeur formée est en réalité de la vapeur surchauffée, renfermant une quantité de chaleur qu'il sera facile de calculer en ajoutant à celle nécessaire pour vaporiser l'eau, sous la pression existant dans la chaudière, celle nécessaire pour l'amener à la température observée. On obtient ainsi un volume considérable, comme dans une machine à air chaud, sans perdre l'avantage d'une alimentation peu coûteuse, vu le faible volume d'eau.

La nature de la vapeur surchauffée rend compte des phénomènes. Pour l'action directe, elle agit comme la vapeur saturée, mais une fois la chaleur de surchauffe consommée par la détente, que reste-t-il dans le cylindre? De la vapeur saturée, mais déjà considérablement détendue, ayant 5 ou 6 fois le volume qu'elle aurait si on était parti d'une vapeur saturée, dont par suite la pression est minime. Cet effet se manifeste bien lorsqu'on laisse échapper cette vapeur à l'air; à une distance de moins d'un mètre on éprouve une véritable sensation de froid, comme avec un gaz comprimé.

Ceci montre l'impossibilité d'employer avantageusement la détente avec de la vapeur surchauffée, effet qui sera d'autant plus sensible qu'on aura plus mis à profit ce moyen d'accroître le volume. La théorie revient par cette conséquence à celle des machines à air, comme on eût pu le prévoir à *priori*.

Cette conséquence explique très-bien une propriété curieuse de la vapeur sphéroïdale que l'inventeur ne désigne guère de ce nom que parce qu'il la voit se comporter dans ce cas différemment de la vapeur ordinaire: je veux parler de sa facile condensation. La vapeur, dit-il, refroidie subitement, forme un vide presque absolu dans un condenseur, quoique l'eau réfrigérante y soit portée à la température de 90 à 95 degrés.

Il y a ici exagération; mais il résulte de ce qui précède que la vapeur surchauffée sortant de la machine et amenée dans la capacité du condenseur, s'y trouve à une pression peu élevée, est très-détendue; que, par suite, l'action d'un condenseur par contact paraît infiniment plus énergique avec cette vapeur qu'avec la vapeur saturée, sans qu'il y ait là un phénomène nouveau qui échappe à la théorie ordinaire. Il en résulte toutefois l'avantage, comparativement aux machines à faible détente, qu'il faut moins d'eau pour la condensation, pour un volume donné de vapeur, et que les pertes en eau chaude sont par suite moindres.

On voit que les chaudières que nous étudions offrent des résultats assez intéressants pour donner à penser que l'industrie pourra les employer avec avantage dans quelques circonstances particulières.

Disons que, pour injecter convenablement une petite quantité d'eau, l'alimentation se règle au moyen d'un robinet fermant plus ou moins le tuyau d'arrivée partant d'un réservoir cylindrique dans lequel elle est comprimée par un poids constant, que l'inventeur appelle pompe d'équation et qui reçoit directement l'eau de la pompe alimentaire, eau chaude qui provient de la vapeur condensée dans le condenseur à surface métallique.

Emploi de la vapeur d'eau surchauffée. — Nous avons déjà parlé à l'article NOIR ANIMAL de l'application que MM. Thomas et Laurens avaient faite de la vapeur d'eau surchauffée à la révivification du noir animal. Ils avaient également appliqué ce procédé à l'extraction des huiles de schiste; mais, quoique donnant de bons résultats, il avait été abandonné par suite des explosions auxquelles il donnait parfois lieu.

La cause de ces explosions tient à ce que la vapeur d'eau, en circulant dans les appareils en fer ou en fonte qui servent à la porter à la température de 200 ou 300 degrés, se décompose parfois au contact du métal lorsque ce dernier arrive accidentellement au rouge; il se produit alors de l'hydrogène qui, dans certains cas, peut former dans l'intérieur des appareils des mélanges explosifs. Il nous semble, cependant, qu'avec des appareils convenablement étudiés et un peu de soin dans la conduite de l'opération, il est possible, dans la plupart des applications de la vapeur d'eau surchauffée, de se garantir de ces explosions. Il nous semble qu'on y parviendra dans tous les cas en disposant les serpentins ou autres appareils à surchauffer la vapeur, de manière à éviter les coups de feu et toutes les causes qui, en les brûlant, facilitent la formation de l'hydrogène, et surtout en purgeant, préalablement à l'action de la vapeur surchauffée, aussi complétement que possible

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'air, la totalité des appareils par un courant de vapeur ordinaire, et en enlevant ainsi l'un des éléments des mélanges explosifs qui seraient susceptibles de se former. C'est un résultat auquel on est arrivé dans la pratique pour la distillation des corps gras.

M. Violette a fait ou indiqué de nombreuses applications de la vapeur d'eau surchauffée à la carbonisation des bois en vase clos, à la cuisson du pain, des pierres à plâtre et à chaux, la distillation du mercure, etc. Dans ces diverses applications, comme dans celles précédemment indiquées, la vapeur d'eau surchauffée agit comme mode de transport de la chaleur et comme corps très-avide d'eau; en outre, elle agit mécaniquement pour faciliter le dégagement de l'acide carbonique et autres corps susceptibles d'être séparés par la distillation. Nous décrirons une intéressante application qu'il a faite de ce moyen de chauffage à l'extraction de l'essence de térébenthine, substance que la chaleur altère aisément.

Son appareil pour opérer la fusion, la filtration et la distillation de la matière résineuse brute ou gomme, sans le contact direct du feu, par la seule action de la vapeur, a la forme d'un œuf et se compose de deux coupoles reliées par une partie cylindrique. Il est en cuivre et peut contenir 16 barriques ou 4000 kilog.; sa coupole inférieure est munie d'une coupole concentrique en fonte, faisant double fond; un trou d'homme permet d'introduire la matière, et le tuyau qui donne issue aux vapeurs communique avec un réfrigérant. Une tige en cuivre, se mouvant dans un écrou fixe, est garnie d'une bonde, qui ferme le trou de vidange. La vapeur arrive par le tube annulaire extérieur, pénètre dans l'intérieur de l'appareil par huit tubes injecteurs et provoque la distillation. La vapeur pénètre aussi par le tube dans un serpentin intérieur, puis dans le double-fond, et enfin sort à l'extérieur, soit par le robinet, soit dans le petit serpentin. La vapeur agit comme agent calorique; elle fond la matière par son passage dans le serpentin et empêche, par le double fond, la matière distillée de se concréter dans le tuyau de vidange.

Voici maintenant la manière d'opérer : on introduit par le trou d'homme 16 barriques, soit 4000 kilog. de gomme brute, et l'on ferme cette ouverture; on ouvre les robinets; la vapeur entre dans le serpentin, passe dans le double fond et s'échappe, avec l'eau condensée, par le robinet; à ce contact, la gomme fond peu à peu et sa fusion est complète après deux heures. A ce moment, on ouvre peu à peu les robinets des tubes injecteurs restés jusque-là fermés; la distillation commence et se manifeste par l'apparition du mélange d'eau et d'essence à la sortie du réfrigérant. Il faut bien ménager l'introduction de la vapeur, pour éviter l'entraînement de la matière. Pendant ce temps la vapeur ne cesse pas, d'autre part, de circuler dans le serpentin intérieur. Après huit heures, la distillation est terminée et l'alambic ne contient plus que des brais secs, gardant néanmoins encore un peu d'eau; on l'en dépouille complétement en continuant à faire passer la vapeur dans le serpentin, jusqu'à ce qu'il ne s'écoule plus d'eau par l'issue du réfrigérant.

T

TANNAGE. M. Knapp, qui a fait sur le tannage d'intéressantes recherches, pour arriver à formuler la théorie de cette opération si obscure jusqu'à ce jour, a mis hors de doute quelques principes fondamentaux que nous allons rapporter.

Le but qu'on se propose d'atteindre par l'opération du tannage est double. Il faut d'abord détruire autant que possible les tendances de la peau à se putréfier, puis faire que, lorsqu'elle se sèche, elle reste maniable, élastique.

C'est à tort que l'on veut considérer les opérations effectuées comme constituant seulement une véritable réaction chimique, que l'on veut voir dans la peau un corps s'unissant au tannin ou aux matières tannantes, et le comparer à la gélatine; on a été même jusqu'à dire que le cuir ordinaire est du tannate de gélatine, etc.

Il suffit de la simple discussion des faits connus pour démontrer combien cette manière de voir est éloignée de la vérité. D'abord, les os acidulés, qui donnent de la gélatine aussi bien que la peau, ne sont pas susceptibles de donner un produit qui, de près ou de loin, ressemble à du cuir, quelle que soit la quantité du tannin, quel que soit le temps du contact. Puis, les sels de fer et d'alumine qui tannent le cuir ne précipitent pas la gélatine; enfin, la graisse qui tanne parfaitement bien n'a aucun rapport avec le tannin.

Pour M. Knapp, la matière tannante a seulement pour fonction d'envelopper les fibres de la peau, de telle manière que leur adhérence devienne impossible, et que la peau conserve sa qualité maniable après la dessiccation, ou tout au moins puisse la retrouver par une action mécanique; ce qui est pour lui le vrai caractère du tannage. Pour démontrer sa proposition, il a institué une série d'expériences dans le but de tanner la peau sans l'emploi de substances tannantes.

En considérant que les filaments ne se collent que lorsqu'ils sont pénétrés par l'eau, il est arrivé à l'idée de mettre la peau détrempée en contact avec un liquide (l'alcool ou l'éther, par exemple) qui, chassant l'eau par endosmose, pût ôter par cela seul aux filaments cette propriété de se coller. Selon ses prévisions, il a obtenu par la seule action de l'alcool une peau mégissée bien blanche, d'une constitution telle, que tout praticien est forcé de la reconnaître comme peau mégissée. Or, c'est bien là le vrai cuir sans matières tannantes, qui dans l'eau redevient peau et par la cuisson se change en colle.

Cette dernière expérience prouve surabondamment que le tannage n'est pas une action chimique, que c'est une opération qui produit la conversion de la peau, que la dessiccation rendrait cornée, en une matière qui reste flexible, malgré la dessiccation. Quant aux autres qualités que le cuir peut prendre dans l'opération du tannage, telles que l'imputrescibilité, etc., on peut dire qu'elles ne sont pas absolument inhérentes à la nature du cuir; elles ne sont d'ailleurs que relatives, et on les obtient à des degrés variables, selon les produits employés et selon les épreuves que la peau doit subir.

On comprend qu'en outre du caractère de cuir, la peau reçoive de l'action des sels métalliques d'autres propriétés, qu'elle devienne, par exemple, relativement imputrescible; les sels d'alumine et de chrome étant des antiseptiques et formant d'ailleurs autour des filaments une enveloppe qui les préserve du contact de l'air et les rend moins hygrométriques. On comprend aussi qu'une peau soit plus ou moins bien tannée : ainsi, par exemple, il n'est pas plus difficile d'admettre qu'un cuir tanné *au tan* résiste mieux au carbonate de soude qu'un cuir préparé au tannin, que d'admettre qu'une matière tinctoriale (bon teint) tienne mieux à la matière qu'une autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(mauvais teint), sans que l'on veuille pour cela admettre deux modes d'action dans la teinture ou deux modes d'action des substances tannantes.

En dernière analyse : 1° le tannage n'est pas une opération chimique. Le cuir tanné n'est pas plus du tannate de gélatine que le cuir mégissé n'est une combinaison de gélatine avec le sous-sulfate d'alumine.

2° La preuve en est dans les faits suivants :

Certaines matières qui peuvent, comme la peau, se convertir en colle, ne donnent pas de cuir.

Les matières tannantes ne sont pas absorbées par la peau en proportions définies.

Les divers sels tannants ne s'unissent pas à la peau en raison de leur équivalent chimique.

Les sels tannants, le tannin lui-même, peuvent par des lavages être séparés du cuir, de manière que celui-ci redevienne peau.

Les corps gras qui n'ont aucun rapport avec les composés astringents tannent le cuir, et cela sous des poids minimes.

Les peaux peuvent acquérir les propriétés que donne le tannage sans l'emploi de composés tannants.

Enfin, des substances peuvent s'unir à la peau et la rendre imputrescible et non susceptible de former de la gélatine, sans pour cela lui donner les qualités du cuir.

Pour l'auteur, le cuir diffère de la peau sèche en ce que dans celle-ci les fibres sont adhérentes les unes aux autres, tandis que dans celui-là elles restent isolées les unes des autres; le rôle de la matière tannante est de produire et de maintenir cet isolement.

TÉLÉMÈTRES. A une époque où les armes à feu sont en quelque sorte les seules armes employées sur les champs de bataille, et où ces mêmes armes ont acquis une justesse de tir presque incroyable, le besoin s'est fait sentir de posséder des instruments qui permissent de déterminer la distance à un but, non-seulement rapidement, mais encore simplement et d'une façon suffisamment exacte.

Et d'ailleurs, un procédé de mesure rapide peut être utilisé avec avantage pour des études relatives à un avant-projet et serait assurément d'un grand secours pour les voyageurs qui ont à faire des levés chorographiques.

Ces différentes considérations, et surtout les deux dernières, nous ont décidé à donner un article sur les *télémètres* ou *télomètres*, c'est-à-dire sur les instruments servant à déterminer rapidement les distances.

Nous n'entreprendrons pas de décrire tous les télémètres imaginés jusqu'à ce jour : d'abord ce serait beaucoup trop long, vu leur nombre assez considérable; ensuite nous déclarons que beaucoup d'entre eux, bien qu'ingénieux, sont ou trop encombrants ou trop compliqués, pour que nous les portions à la connaissance de nos lecteurs; enfin il en est qui valent à peine une description.

Nous attirerons simplement l'attention sur deux télémètres, dont l'un a été inventé par le chef de bataillon du génie Goulier, et l'autre par le capitaine d'artillerie A. Gautier, inspecteur des études à l'École polytechnique.

L'instrument de M. Goulier s'appuie sur ce principe de trigonométrie : que dans tout triangle rectangle l'un des côtés de l'angle droit est égal à l'autre côté multiplié par la tangente de l'angle opposé ou par la cotangente de l'angle qu'il forme avec l'hypothénuse :

$$b = c \text{ tg. } B; \quad b = c \text{ cotg. } C.$$

Le *télomètre à prismes*, car tel est le nom que M. Goulier a donné à son appareil, repose sur l'emploi simultané de trois prismes en verre, dont deux agissent par réflexion et le troisième par réfraction.

TÉLÉMÈTRES.

Les deux prismes réflecteurs ont pour section celle qui est représentée fig. 1. L'angle A est de 90° et

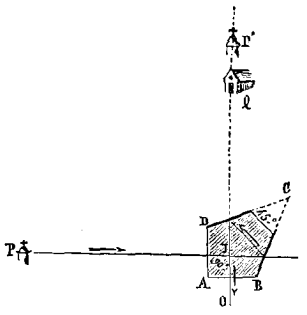


Fig. 1.

l'angle C de 45°. Les faces AB et AD sont transparentes, tandis que les deux faces CB et CD sont étamées. Il résulte de cette disposition que les rayons lumineux tels que PI, provenant d'un point P, prendront, après avoir été réfractés et réfléchis deux fois, une direction IO, qui formera avec PI un angle droit : en sorte que les rayons émergents IO sembleront émaner d'une image de P située en P", dans le plan qui serait mené par P, *normalement* aux génératrices du prisme. Si ce plan se trouve être précisément la base supérieure du prisme, l'œil placé en O, dans le plan de cette base, verra à la fois, à l'aide de rayons doublement réfléchis le point P en P", et directement le point Q. Et si ces deux points sont dans la même direction, c'est que l'instrument est au sommet d'un angle droit dont l'un des côtés passerait par le point P et l'autre par le point Q.

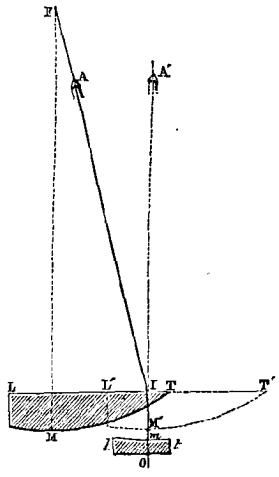


Fig. 2.

Le prisme réfracteur se compose de deux lentilles de même foyer (fig. 2) : l'une *l* plane concave, et l'autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

LT plane convexe. Elles ont leurs faces planes parallèles et perpendiculaires au rayon visuel O*m*. Celle LT est mobile dans une coulisse et composée d'une longue bande, large d'un centimètre, taillée dans une grande lentille.

Ces deux lentilles ayant le même foyer permettent à l'œil placé en O de voir les objets comme il les verrait à travers un verre à faces planes. En outre, la lentille LT étant mobile, les objets sont vus là où ils sont réellement, lorsque les centres optiques M' et *m* des lentilles se correspondent, c'est-à-dire lorsque les faces planes et les faces courbes sont en même temps parallèles deux à deux, tandis que pour toute autre position de la lentille LT, le faisceau émané d'un objet A éprouvant une déviation, l'œil voit cet objet dans la direction OA', quand en réalité il est situé vers la gauche.

Le système des deux lentilles agit donc comme un prisme variable à faces planes, et les déviations AIA', que ce système produit, sont sensiblement proportionnelles aux déplacements MM' de la lentille convexe que M. Goulier appelle *lentille déviatrice*. Cette proportionnalité se démontre aisément si l'on remarque que l'angle AIA' est toujours assez petit pour que le déplacement rectiligne MM' soit sensiblement égal à l'arc MI compris entre FM et FI, F étant le foyer de la lentille LT, FM son axe principal, et FI le rayon visuel enveloppé dans le cube C auquel est adapté un viseur V muni d'un œilleton O. Par cet œilleton, grâce à la double réflexion, on voit devant soi les objets que l'on a à *sa droite* et dont les rayons lumineux entrent dans le cube par la fenêtre F. Au cube C se trouve adaptée, au moyen d'une charnière G, une plaque de voyant Y pourvue d'une ligne de foi correspondant au rayon visuel qui entre par l'œilleton O. Cette plaque est percée, suivant sa ligne de foi, d'une fenêtre F' qui permet à l'observateur de voir directement, et tangentiellement à la base horizontale du prisme, les objets situés devant lui. A la poignée P est fixée une bobine B, dans laquelle est enroulé, par le secours d'une manivelle *m*, un fil *f* long de 40 mètres. Un verrou K, situé sur le côté de cette bobine, peut, en s'engageant dans une sorte de navette placée au milieu du fil, réduire de moitié la longueur de la base que ce fil détermine. Un ressort-verrou *r* sert à fixer dans la position perpendiculaire au viseur V la plaque de voyant Y, laquelle, pour le transport de l'instrument, peut, en pivotant sur la charnière G, être rendue parallèle à ce même viseur.

L'instrument B comprend, ainsi que l'instrument A, une poignée P, un prisme réflecteur renfermé dans le cube C et recevant par la fenêtre F les rayons émanant de l'objet, un viseur V pourvu d'un œilleton O et d'une plaque de voyant Y percée d'une fenêtre (invisible sur la figure). La fenêtre F, par laquelle entrent les rayons

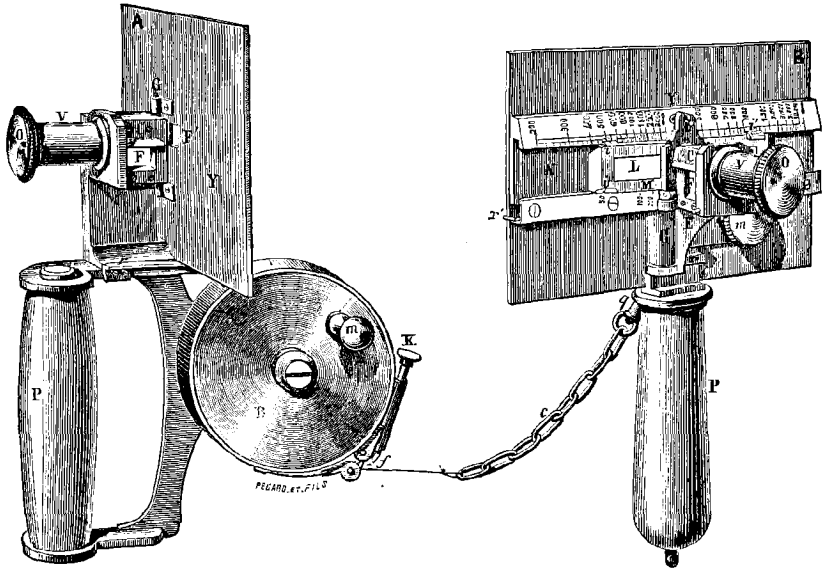


Fig. 3.

partant de l'œil O et aboutissant en F après avoir éprouvé une déviation à travers la lentille. On peut donc poser, sans erreur sensible,

$$\text{tg. déviation ou tg. F} = \frac{MM'}{FM}.$$

Décrivons maintenant le télomètre.

Il comprend deux instruments distincts A et B reliés par une chaîne *c* (fig. 3).

L'instrument A se compose d'un prisme réflecteur lumineux, font voir, en avant de l'observateur, les objets situés à *sa gauche*. Le viseur V et le cube C peuvent pivoter sur la charnière G et être rendus, comme dans l'instrument A, parallèles à la plaque de voyant Y, afin de faciliter le transport. Un ressort *r* maintient dans la position qui convient aux opérations l'équerre E ainsi que le cube C et le viseur V qu'elle supporte.

L'instrument B possède en outre un prisme variable dont la lentille plan concave est maintenue dans une pièce de cuivre fixe *l* et dont la lentille déviatrice L est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

adaptée dans un châssis M susceptible de se mouvoir latéralement dans une coulisse N. Le châssis M porte trois index *i*, *i'*, *i''* servant à faire les lectures sur trois échelles dont nous aurons occasion de parler tout à l'heure. Un ressort *r'* peut en s'abaissant permettre de retirer le châssis M de la coulisse N, lorsque cela est nécessaire pour le nettoyage. Un bouton molleté *m* sert à faire mouvoir le châssis dans la coulisse. Enfin, *q* est un porte-mousqueton auquel est adaptée la chaînette *c* qui retient le fil *f*.

Voyons maintenant comment on procède pour déterminer une distance A C (fig. 4).

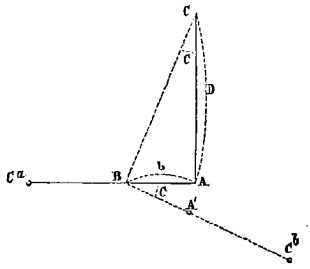


Fig. 4.

Deux observateurs A et B, portant chacun l'instrument de même nom que lui, concourent à l'opération. B s'éloigne d'abord de A, en suivant une direction A B sensiblement perpendiculaire à la distance à mesurer A C, puis il s'arrête en faisant face à A, à une distance réglée par la longueur du fil *f*. L'observateur A se déplace alors latéralement jusqu'à ce qu'il voie l'image doublement réfléchie C^a de C dans la direction de B, ce qui n'a lieu qu'au moment où l'angle C A B est droit. Dès qu'il est bien placé, il donne une légère secousse au fil *f* afin d'en avertir l'observateur B. En même temps celui-ci voit C^b, image doublement réfléchie de C, dans une direction perpendiculaire à C B, de sorte que l'on a

$$\text{angle A B C}^b = \text{angle C.}$$

Alors B déplace la lentille déviatrice jusqu'à ce que la ligne de foi du voyant A, qu'il aperçoit au travers d'elle, soit déviée en A' dans la direction BC^b, et il lit la distance qui convient à A C sur l'échelle convenable.

Les observateurs A et B peuvent, en répétant plusieurs fois de suite la même opération et en prenant une moyenne, obtenir un résultat plus exact.

Voici comment ont été tracées les trois échelles :

Voyons d'abord pour celles qui correspondent aux index *i* et *i'*. Or, nous savons que la déviation produite est égale à l'angle F (fig. 2). Soient *d* le déplacement donné à la lentille déviatrice pour produire une certaine déviation, *f* la distance focale principale de ladite lentille, D la distance à mesurer, et *b* la distance connue A B, laquelle peut être égale à 40^m ou 20^m selon la longueur de A C. On aura d'abord, comme nous l'avons vu,

$$\text{tg déviation} = \text{tg C} = \frac{d}{f};$$

mais le triangle A B C (fig. 4) donne

$$\text{tg C} = \frac{b}{D},$$

donc

$$\frac{d}{f} = \frac{b}{D} \qquad \text{et} \qquad d = \frac{bf}{D}.$$

Dans cette valeur de *d*, remplaçons *f* par la valeur $1^m,20$, et *b* par 40 ou 20, nous obtiendrons les deux formules

$$d = \frac{40^m \times 1^m,20}{D} = \frac{48^m}{D}, \text{ pour fil long,}$$

et $$d = \frac{20^m \times 1^m,20}{D} = \frac{24^m}{D}, \text{ pour fil court.}$$

C'est au moyen de ces deux formules, et opérant sur des distances D connues d'avance que l'on a pu graduer les deux échelles en question.

Quant à la troisième échelle, celle qui correspond à l'index *i''*, on a tracé quatre traits que l'on a marqués 20, 50, 100, 200, nombres correspondant aux cotangentes des déviations produites, lorsque l'on amène l'index *i''* en face d'eux.

C'est avec cette troisième échelle que l'on détermine les distances inférieures à 400 mètres, ces distances ne pouvant plus être mesurées au moyen des deux premières échelles. Cette impossibilité provient de ce que, la course maximum de la lentille déviatrice étant $0^m,06$, et la tangente de la déviation produite par ce déplacement maximum ayant conséquemment pour valeur $\frac{0,06}{1,20} = \frac{1}{20}$, la distance à mesurer ne peut pas évidemment être inférieure à 20 fois la petite base, ou 400 mètres.

Pour les distances moindres que 400 mètres, il devient donc nécessaire de diminuer la base. Voici alors comment on opère :

On place l'index *i''* en face de l'un des quatre traits, celui 50 par exemple, puis, sans changer la position de la lentille déviatrice, les deux observateurs se déplacent jusqu'à ce que chacun d'eux voie l'image doublement réfléchie du point C dans la direction du voyant de l'autre. L'angle C qui est égal à celui de déviation aura pour tangente $\frac{1}{50}$. La distance s'obtiendra donc en multipliant par 50 la distance qui sépare les deux instruments A et B, distance qui se mesure au moyen d'un ruban divisé dit *roulette*.

M. Goulier, après avoir fait différents essais sur les matières avec lesquelles on pouvait fabriquer le fil *f* qui relie les deux instruments, s'est arrêté au maillechort recuit. Le fil ayant alors $0^{mm},55$ de diamètre est suffisamment souple et résistant; en outre, il est inoxydable.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur le télomètre à prismes. Nous renvoyons le lecteur qui désirerait en connaître plus à fond la théorie et l'emploi, à un mémoire que M. Goulier a fait paraître dans le tome III de la 2e série du *Mémorial de l'officier du Génie*.

Passons à l'instrument de M. A. Gautier, qu'il appelle *télémètre de poche*, à cause de sa petitesse qui permet de le mettre effectivement dans la poche. Il repose sur le principe suivant :

Soit A C (fig. 5) une distance à mesurer; prenons une base quelconque A B et formons le triangle A B C. Soit M un point pris sur le prolongement de la base; le triangle sera déterminé si l'on connaît les deux angles M A C, M B C et la base A B.

La différence de ces angles est égale à l'angle au sommet C du triangle A B C; et si ce triangle est rectangle en B, on aura

$$\text{AC} = \frac{\text{AB}}{\sin \text{C}}.$$

Si l'angle B diffère peu d'un angle droit, l'expression $\frac{\text{AB}}{\sin \text{C}}$ est encore très-sensiblement égale à la valeur de A C, ainsi que nous allons le démontrer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Abaissons pour cela du point A une perpendiculaire AD sur BC; on a

$$AD = AB \cos BAD,$$

$$AC = \frac{AD}{\sin C} = \frac{AB}{\sin C} \cos BAD.$$

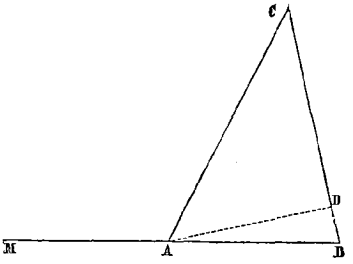


Fig. 5.

Cette dernière expression peut être mise sous la forme

$$AC = \frac{AB}{\sin C} - \frac{AB}{\sin C}(1 - \cos BAD).$$

Or, les tables des cosinus naturels donnent :

Cos 2° 30' = 0,999	1 — cos 2° 30' = 0,001
Cos 3 40 = 0,998	1 — cos 3 40 = 0,002
Cos 4 25 = 0,997	1 — cos 4 25 = 0,003
Cos 5 8 = 0,996	1 — cos 5 8 = 0,004
Cos 5 43 = 0,995	1 — cos 5 43 = 0,005
Cos 6 17 = 0,994	1 — cos 6 17 = 0,006
Cos 6 47 = 0,993	1 — cos 6 47 = 0,007
Cos 7 15 = 0,992	1 — cos 7 15 = 0,008
Cos 7 42 = 0,991	1 — cos 7 42 = 0,009
Cos 8 0 = 0,9903	1 — cos 8 0 < 0,01

Par ce tableau on voit que la direction de la base peut varier entre des limites assez étendues sans que l'expression $\frac{AB}{\sin C}$ diffère sensiblement de la valeur cherchée. D'ailleurs, l'instrument est construit de telle façon que l'angle BAD ne peut excéder 8 degrés.

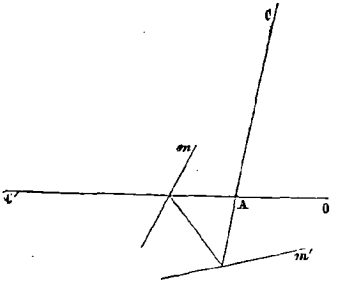


Fig. 6.

Soient maintenant deux miroirs m et m' (fig. 6) faisant un certain angle; l'œil d'un observateur placé en O verra dans la direction OC' l'image doublement réfléchie d'un point C, et si le plan de visée est perpendiculaire à l'intersection des miroirs, l'angle C'AC sera exactement double de l'angle des miroirs, ainsi que je l'ai déjà dit en parlant du sextant (voy. l'article INSTRUMENTS D'OPTIQUE, *Compl.*, auquel celui-ci peut faire suite).

Supposons ces miroirs disposés au point A (fig. 7), et

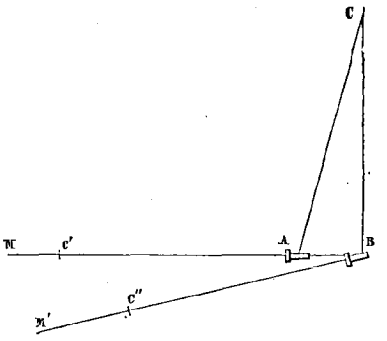


Fig. 7.

soit M un point fixe sur la direction AC'; transportons les miroirs sans changer leur angle en un point B de la direction MA prolongée, nous verrons actuellement l'image du point C en C'', de telle sorte que l'angle C''BC sera égal à l'angle C'AC et que l'angle C'BC'' sera égal à l'angle C du triangle ABC. Si maintenant par un procédé quelconque on amène l'image du point M, en la déviant, en M' sur la direction BC'', on pourra déterminer la valeur de $\frac{1}{\sin C}$.

Le télémètre de poche de M. Gautier se compose d'un petit tube cylindrique dans lequel sont disposés (fig. 8)

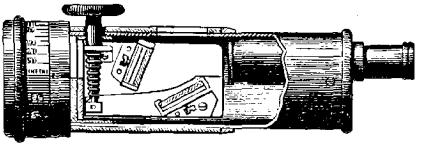


Fig. 8.

deux miroirs formant entre eux un angle d'environ 45 degrés, qu'on peut faire varier entre certaines limites, en agissant sur l'un d'eux par une vis dont la tête est placée extérieurement, afin de diriger l'image réfléchie d'un point C sur un point M. En arrière des miroirs, et dans un anneau qui peut tourner autour du tube, est fixé un prisme réfracteur dont le déplacement modifie la direction de l'image de l'objet M que l'on voit à travers. A la partie antérieure de l'instrument se trouve une petite lunette à l'aide de laquelle on voit en même temps les objets qui sont devant soi et ceux que l'on a à sa droite : les premiers à travers le prisme et par-dessus l'un des miroirs, les derniers par double réflexion.

L'anneau mobile peut faire tourner le prisme d'une demi-circonférence, ce qui correspond à un déplacement de l'image du point M, vers la gauche, d'environ 3 degrés. Cet anneau porte une graduation qui indique, en face d'un index fixe, les valeurs de $\frac{1}{\sin C}$ correspondant aux diverses grandeurs de la rotation effectuée; ces grandeurs sont inscrites à partir de la position ini-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tiale du prisme et dans l'ordre décroissant depuis l'infini jusqu'à 20.

La rotation de l'anneau mobile est toujours au moins quatre-vingts fois plus grande que celle du miroir mobile du sextant, pour une même variation de l'angle observé: c'est cette propriété qui permet de faire les lectures avec précision et facilité.

Pour opérer avec cet instrument, voici comment on procède :

On commence d'abord par tourner l'anneau mobile de façon à amener le prisme dans sa position initiale, et à placer le mot infini en face de l'index. On se pose alors en A (fig. 7); et, en faisant tourner le miroir mobile, on amène l'image du point C dans la direction du point M. Ensuite on se transporte en B sur la direction MA; l'image du point C ne sera plus sur la direction BM. On tourne alors le prisme jusqu'à ce que le point M paraissant se déplacer vienne sur la nouvelle direction BC" de l'image du point C. On lit sur l'anneau la valeur de $\frac{1}{\sin C}$ correspondant au mouvement qu'on lui a imprimé, et on la multiplie par la base AB pour avoir la longueur BC.

Il résulte des soixante-douze observations faites par une commission, que l'erreur que l'on commet avec cet instrument ne dépasse pas 0,033, c'est-à-dire 33 mètres par 1000 mètres. Cette erreur peut diminuer d'une manière assez notable si l'instrument est entre les mains d'une personne exercée.

Lorsque l'emplacement dont dispose l'opérateur ne permet pas de prendre une base supérieure au centième, une opération simple ne donnerait pas une approximation suffisante, mais on peut alors avoir recours à la méthode de la répétition, qui donne les résultats les plus satisfaisants.

L'opération consiste, dans ce cas, en une série de visées faites des deux extrémités de la base qui, pour plus de simplicité, doit être autant que possible exprimable par un nombre entier; à l'une des extrémités on ramène la coïncidence, à l'aide du bouton molleté, à l'autre en tournant l'anneau portant le prisme réfracteur.

Il est clair qu'au bout de deux n visées, on aura multiplié par n l'angle sous-tendu par la base, ou, ce qui revient au même, on se sera placé dans les conditions d'une base n fois plus grande.

Nous ne craignons pas de dire que le télémètre de poche est préférable au télomètre à prismes : d'abord un seul observateur suffit; il est plus maniable; il fournit *peut-être* des résultats plus exacts; enfin il permet d'opérer plus rapidement.

Ces deux instruments sont en ce moment soumis à l'examen d'une commission qui doit décider celui que l'on emploiera définitivement dans les corps spéciaux de l'armée.

ÉM. LEJEUNE.

THERMOMÈTRE. Le thermomètre est l'instrument qui a pu permettre d'arriver à la découverte de toutes les lois qui règlent les phénomènes calorifiques, c'est-à-dire à la série la plus importante des découvertes des temps modernes en introduisant, dans leur étude, la possibilité de *mesurer* et par suite d'établir des lois. Il doit être défini l'instrument qui sert à la mesure des températures; on ne peut donc, comme on le fait trop souvent, définir la température par le nombre de degrés de thermomètre, ce qui est un cercle vicieux; la mesure d'un phénomène n'en est pas la définition.

L'idée de température qui est implicitement contenue dans la première notion que notre esprit se forme quand nous percevons les phénomènes de la chaleur, est une idée première qui ne peut pas plus se définir que le temps en mécanique, mais nous pouvons définir l'égalité de température comme l'égalité de temps, ce qui doit nous conduire, dans un cas comme dans l'autre, à constituer l'unité, à obtenir la mesure.

Les premiers phénomènes que l'expérience nous montre comme intimement liés aux températures, sont la variation du volume des corps et l'échauffement d'un corps froid en contact avec un corps chaud. On doit donc établir :

1° Qu'un corps placé dans des conditions identiques de tout point, par rapport à sa distance d'un corps échauffé, à la pression, s'il s'agit d'un gaz, etc., a une même température.

2° Que la température des deux corps est la même, si, étant rapprochés l'un de l'autre, ils n'éprouvent aucun changement.

3° Que s'ils éprouvent des changements, l'un se refroidissant pendant que l'autre s'échauffe, ils arriveront à l'égalité de température.

Ces premières déductions parfaitement certaines des effets les plus généraux et les mieux constatés de la chaleur permettent d'établir un instrument servant à constater les *différences* de température des deux corps; pourra-t-il fournir leur *rapport*, leur *mesure*? En effet, le corps type, que l'on comparera à un autre corps, ayant un certain volume lorsqu'il est en contact avec lui, en raison de sa température, en indiquera une plus élevée lorsqu'il prendra un plus grand volume au contact d'un autre corps. On ne pourra conclure de la variation de volume du corps étalon qu'une différence, mais non un raport, à moins d'avoir constaté la proportionnalité des variations de volume et des variations de température.

Admettons cette condition remplie, elle ne permettra pas seule de passer à l'étude des phénomènes calorifiques; il faudra, comme dans la mécanique où la mesure des vitesses est tout à fait insuffisante et doit, pour arriver à la constitution de la science, être complétée par celle du travail, des forces vives, dépasser la notion de température, employer celle-ci à déterminer la quantité de chaleur contenue dans un corps à une température donnée, à l'aide de sa *chaleur spécifique*. C'est à l'aide de celle-ci que l'on obtient l'unité complète, dont la constitution était indispensable pour constituer la théorie de la chaleur sur des bases inébranlables.

L'établissement d'un thermomètre convenable nécessite la constitution d'une échelle de variation de volume, de degrés proportionnels aux échauffements et aux quantités de chaleur du corps type. Supposons, pour le moment, cette condition remplie pour les liquides par des degrés égaux représentant l'excédant de leur dilatation sur celle de l'enveloppe de verre qui les renferme, et décrivons la construction de cet appareil le plus simple et presque le seul qu'il soit nécessaire d'employer dans les applications.

Thermomètre à mercure. — Inventé, suivant les uns, par Galilée, selon d'autres par Drebbel, médecin hollandais, perfectionné par les académiciens de Florence et surtout par Newton qui l'améliora en montrant la nécessité d'introduire dans son échelle de graduation des points fixes, on voit que le thermomètre est né du concours des fondateurs de la physique moderne qui comprenaient la nécessité d'introduire un moyen de comparaison, de mesure, au milieu des phénomènes calorifiques, pour arriver à la découverte de leurs lois. Il consista d'abord en un simple tube cylindrique renfermant de l'esprit-de-vin ou du mercure. Mais cette forme n'étant pas susceptible de donner une grande sensibilité à l'instrument, on souda bientôt à l'extrémité du tube un réservoir dont les dimensions soient considérables relativement au diamètre du tube, ce qui rend les variations du liquide beaucoup plus sensibles. Telle est la forme adoptée.

1. *Construction du thermomètre à liquide.* — La construction du thermomètre se réduit à un petit nombre d'opérations. Il faut préparer le tube, intro-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

duire le liquide, régler la course de l'intrument, le fermer et le graduer.

Les tubes de thermomètres doivent avoir un diamètre intérieur très-petit, et qui soit partout le même, afin que des longueurs égales correspondent à des volumes égaux. Pour vérifier si cette dernière condition est remplie, on fait passer dans l'intérieur du tube que l'on veut employer une petite colonne de mercure de 1 ou 2 centimètres de longueur ; ensuite, par une inclinaison convenable, ou par une légère pression que l'on peut exercer à l'aide d'une poire de gomme élastique, on fait marcher cette colonne dans le tube jusqu'à ce qu'elle en ait parcouru toute l'étendue : si, dans chaque position, elle occupe la même longueur, on est sûr que le tube est partout d'un égal diamètre. On soude alors à l'une des extrémités du tube (voir SOUFFLER LE VERRE) un réservoir cylindrique ou sphérique, et à l'autre un réservoir ouvert.



3735.

Pour introduire le liquide dans la capacité inférieure, on le met d'abord dans le réservoir supérieur, puis on chauffe le réservoir inférieur afin d'en dilater l'air qui sort en bulles à travers le liquide; par le refroidissement, l'air intérieur diminue d'élasticité, et la pression atmosphérique pousse le liquide dans le réservoir; dès qu'il y en a quelques gouttes, on les chauffe jusqu'à l'ébullition; l'air est complétement chassé par les vapeurs qui remplissent bientôt toute la capacité de la boule et du tube, et en laissant refroidir, on est presque assuré de les remplir tous deux entièrement. Si cela n'avait pas lieu, on recommencerait l'opération. Le liquide introduit, on le fait bouillir à la fois dans le réservoir inférieur, dans le tube et dans le réservoir supérieur, afin de le purger entièrement d'air.

La thermomètre étant à une température suffisante pour remplir le tube, on en présente l'extrémité du tube au dard de la lampe d'émailleur, et on le ferme.

2. *Points fixes.* — Si l'on plonge un thermomètre construit comme on vient de le dire, et que nous supposerons fait avec du mercure, dans un vase plein de glace très-froide, placé dans une salle un peu chaude, on remarque qu'à mesure que la glace s'échauffe sans se fondre, l'instrument indique, par ses dilatations successives, ces accroissements de chaleur; mais dès que la glace commence à fondre, il devient stationnaire, et conserve son état tant que celle-ci n'est pas tout à fait fondue. Cependant l'air extérieur étant plus chaud que la glace et que l'eau résultant de la fusion, il est clair qu'il leur communique continuellement de la chaleur; et puisque le thermomètre ne l'indique point, c'est une preuve qu'elle ne lui parvient pas. Elle est donc employée tout entière à fondre la glace que l'eau contient; et sa disparition a lieu ainsi, jusqu'à ce que le mélange renfermé dans le vase soit entièrement liquide. Alors seulement la chaleur communiquée à l'eau se transmet au thermomètre.

Si l'on continue à chauffer, le thermomètre continue à monter jusqu'à ce que l'eau soit arrivée à l'ébullition. Quelque chaleur que l'on applique ensuite au vase, tant que toute l'eau n'est pas vaporisée, le thermomètre ne varie plus. Ici donc toute la chaleur introduite dans l'eau est employée à la vaporiser, de même que toute celle qu'on a introduite dans la glace fondante est employée à la fondre. Lorsque l'eau est convertie en vapeurs, si l'on bouche le vase qui la renferme et que l'on continue à le chauffer, le thermomètre indique des températures continuellement croissantes, et cela indéfiniment.

3. *Graduation du thermomètre centigrade.* — Ces deux températures, considérées dans l'eau, se nomment respectivement *température de la glace fondante* et *température de l'eau bouillante;* on les emploie à la graduation des thermomètres. A cet effet, on place l'instrument à graduer, successivement et en entier, dans de la glace fondante et dans de l'eau bouillante, et l'on marque sur le tube par un trait fin, fait à l'encre de Chine, ou plutôt avec la pointe d'un diamant, l'extrémité de la colonne mercurielle qui correspond à chacune de ces températures; on divise ensuite l'intervalle compris entre les points ainsi obtenus en 100 parties égales, et l'on a les *degrés*. On marque les degrés, soit sur le tube, soit sur une échelle particulière qui l'accompagne; on cote l'échelle en écrivant 0 au point qui correspond à la glace fondante et 100 à celui de l'eau bouillante; et l'on continue d'ailleurs à diviser et à numéroter, tant au-dessous de 0° qu'au-dessus de 100°, en profitant de l'étendue que présente le tube au delà de chacun de ces points.

Les températures de la glace fondante et de l'eau bouillante étant les bases de la graduation des thermomètres, il est très-important d'examiner si elles sont parfaitement constantes, ou si quelques causes accidentelles peuvent les faire varier.

Causes qui influent sur la température de la glace fondante. — D'abord, en commençant par la température de la glace fondante, il est nécessaire de remarquer qu'il ne faut pas la confondre avec celle de l'eau qui commence à se geler; l'eau, en effet, peut être refroidie jusqu'à 6° ou même jusqu'à 12° au-dessous de zéro sans cesser d'être liquide; par conséquent la température à laquelle elle se gèle ne peut pas être regardée comme fixe.

Il n'en est pas de même de la température à laquelle la glace et la neige se fondent : celle-ci est constamment la même, pourvu que l'eau qui a donné cette neige ou cette glace soit pure, car l'eau chargée de sels fond à des températures beaucoup plus basses.

Causes qui influent sur la température de l'eau bouillante. — Il y a beaucoup plus de variations dans le terme de l'ébullition de l'eau. D'abord il faut exclure l'eau chargée de sels; car elle bout à des températures qui varient avec la nature et la quantité des sels qu'elle contient[1]. Mais même en se servant d'eau pure, on n'obtient pas l'ébullition aux mêmes points du thermomètre, quand la hauteur de la colonne barométrique, c'est-à-dire la pression de l'air, n'est pas la même dans les divers essais : la température de l'ébullition augmente ou décroît avec la pression qui répond à la pression moyenne de l'atmosphère au niveau des mers. Lorsqu'on règle des thermomètres sous une pression différente de $0^m,76$, il est nécessaire de faire subir à la graduation une correction dépendante de cette différence de pression. On y parvient au moyen du résultat suivant, fondé sur l'observation que, dans le cas où la pression barométrique ne diffère pas beaucoup de $0^m,76$, une augmentation ou une diminution de $0^m,0254$ dans cette pression répond exactement à 1° de l'échelle centésimale dans la température de l'ébullition de l'eau; c'est-à dire, par exemple, que *si la* pression, au lieu d'être $0^m,76$, est de $0^m,7346$, le terme de l'ébullition, au lieu d'être à 100°, répond à 99°; de manière que si l'on veut régler un thermomètre dans cette circonstance, et qu'on ait marqué le point d'ébullition, ainsi que celui de la glace fondante, il fau-

[1] M. Rudberg a reconnu que si les sels influent sur le point d'ébullition de l'eau, ils ne modifient aucunement la température de la vapeur; par suite, le point 100 est parfaitement exact en faisant plonger le thermomètre dans une étuve pleine de vapeur à la pression atmosphérique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dra diviser l'intervalle correspondant en 99 parties, pour avoir des degrés centésimaux, ou pour que le thermomètre marque 100° dans l'eau bouillante, quand le baromètre sera à 0m,76. Le contraire arriverait si le baromètre était à 0m,7854; alors le terme de l'ébullition serait à 101 degrés; il faudrait donc diviser en 101 parties l'intervalle compris entre ce point et celui de la glace fondante.

4. *Thermomètre de Réaumur.* — La division centésimale du thermomètre n'est pas la seule qui soit employée. Quelques physiciens se servent d'une division en 80 parties, due à Réaumur, et qui porte son nom; mais puisque la graduation ne sert qu'à marquer des fractions de la dilatation totale, on conçoit que cette division, comme toute autre, ne saurait empêcher tous les thermomètres d'être comparables entre eux et avec les thermomètres centigrades.

Comme 80 degrés Réaumur valent 100 degrés centigrades, ce qui donne pour un degré Réaumur 10/8 du degré centigrade, il suffit, pour traduire un nombre de degrés de Réaumur en degrés centésimaux, de le multiplier par 10/8. Réciproquement, un nombre de degrés centésimaux étant donné, on le convertira en degrés Réaumur en le multipliant par le rapport 8/10.

5. *Thermomètre de Farenheit.* — On se sert en Angleterre d'une division imaginée par Farenheit, dans laquelle le terme de la glace fondante est marqué 32, et le terme de l'eau bouillante 212. L'intervalle de ces deux termes se trouve donc divisé en 180 parties égales. Ainsi, chaque degré Farenheit vaut 10/18 ou 5/9 du degré centésimal, et il vaut 8/18 ou 4/9 du degré de Réaumur. Ces données suffisent pour pouvoir comparer les températures exprimées suivant ces différents modes de division.

6. *Manière de calibrer les tubes des thermomètres.* — Nous avons supposé jusqu'ici les tubes des thermomètres parfaitement cylindriques; mais il n'en est point qui soient tels dans la réalité; il est même fort rare de trouver un tube qui soit cylindrique dans une étendue seulement de quelques centimètres. Il s'ensuit que tandis que dans un thermomètre dont le tube est supposé parfaitement cylindrique, les degrés, égaux en longueur, correspondent tous à des volumes égaux; dans un tube irrégulier, au contraire, une division en parties égales ne peut plus correspondre à des volumes égaux. Mais l'on conçoit que cet inconvénient disparaîtra, si l'on peut opérer la division du tube en degrés d'égal volume; or, voici comment on y parvient.

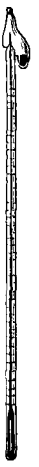
L'intérieur des tubes étant conique, par suite de leur fabrication même, on doit déterminer, en mesurant la place qu'occupe aux extrémités du tube une même colonne de mercure, la loi suivant laquelle on doit faire varier la longueur des divisions, ce que rend facile dans la pratique l'emploi moderne de machines à diviser dans lesquelles le traçoir est mû par une vis que fait tourner un système de roues, d'engrenages à denture très-fine.

7. *Altération que les thermomètres subissent avec le temps.* — La qualité du verre de l'enveloppe est encore une cause de variation très-importante, surtout si l'on a donné trop peu d'épaisseur à la boule du réservoir, en vue de rendre le thermomètre plus impressionable aux variations de température. L'élasticité, la résistance des réservoirs aux pressions croissantes ne reste plus la même et souvent n'est plus comparable pour deux instruments. C'est par le déplacement du zéro que ces phénomènes se manifestent.

On a observé, en effet, que le zéro des thermomètres à mercure surtout, qui sont ceux dont on fait un plus fréquent usage, s'élève avec le temps, comme si la boule devenait plus petite. Ce fait montre qu'il faut vérifier souvent la graduation de ces instruments.

8. *Thermomètre métastatique de M. Walferdin*, permettant de mesurer avec beaucoup d'exactitude de petites différences de température.

Il est souvent nécessaire de mesurer une température avec une très-grande exactitude, avec l'approximation d'un centième de degré, par exemple. Dans ce cas, l'usage du thermomètre ordinaire est très-incommode, si ce n'est impossible, les degrés devant être très-espacés. Il en résulterait pour l'instrument, surtout s'il devait contenir les deux points extrêmes 0 et 100, une longueur excessive. On peut bien remplacer l'échelle thermométrique par une série de plusieurs instruments; mais pour peu que les degrés aient un centimètre d'écartement, le nombre des thermomètres serait assez considérable pour qu'une telle collection devint très-coûteuse. M. Walferdin a proposé de mesurer, avec un seul instrument dont les degrés n'auraient pas moins de plusieurs centimètres, toutes les températures comprises entre la congélation et l'ébullition du mercure. Son thermomètre *métastatique* (fig. 3736) est un thermomètre à mercure ordinaire, dont la partie supérieure est terminée par une pointe effilée et ouverte qui pénètre dans un réservoir contenant du mercure.


3736.

Cette disposition permet de faire à volonté sortir du mercure de la tige ou de l'y faire rentrer, et, par suite, d'employer le même instrument pour toutes les températures.

La quantité de mercure, dont la dilatation est mesurée par le thermomètre métastatique, varie avec la température à laquelle on opère. La valeur de la division change donc à chacune de ces températures; c'est pourquoi ces instruments ne peuvent être gradués immédiatement en degrés thermométriques. Ils portent une échelle arbitraire dont on détermine la valeur à chaque expérience.

Ce thermomètre servira pour déterminer une température maximum lorsque, plongé dans un milieu chaud, partie du liquide se déversera dans le réservoir. Il suffira pour la déterminer de le replacer dans un liquide dont la température sera mesurée par un thermomètre ordinaire, et de l'échauffer jusqu'au point où le déversement commençait dans le thermomètre métastatique.

THERMOMÈTRE A AIR. — L'emploi de la dilatation des gaz pour mesurer les températures offre cet avantage pratique que cette dilatation étant très-grande, l'influence de la variation de l'enveloppe est comparativement nulle. De plus, la grande distance qui sépare les températures à mesurer du point de liquéfaction des gaz permanents rend infiniment probable la proportionnalité de leurs degrés, l'égalité des quantités de chaleur qui correspondent à des accroissements de volumes égaux.

M. Regnault qui, après Dulong et Petit, a repris l'intéressante question du thermomètre à air par voie expérimentale, ayant reconnu que la meilleure disposition du thermomètre à air, pour un chauffage égal, était celle qui consistait à lui conserver un volume constant, et par suite à augmenter la pression dans le manomètre à mercure dans lequel aboutit le tube très-fin qui part du réservoir d'air, il s'est posé cette question : Des thermomètres à air, chargés avec de l'air à des densités très-différentes, sont-ils comparables entre eux, et des thermomètres à gaz, chargés avec des gaz de nature différente, marchent-ils d'accord entre eux, lorsqu'ils sont réglés entre les points fixes de 0 à 100 degrés? Voici les conclusions auxquelles il arrive : 1° L'air atmosphérique suit la même loi de dilatation depuis 0 jusqu'à 350 degrés, lors même que sa force

EFERUS - Recherche & Classification numérique

élastique initiale à zéro varie depuis $0^m,4$ jusqu'à $1^m,3$.

2° L'air atmosphérique et le gaz hydrogène possèdent entre 0 et 350 degrés sensiblement la même loi de dilatation.

3° Les chaleurs spécifiques de ces gaz simples, pour une même dilatation, sont égales pour des volumes égaux.

On est donc fondé à admettre la proportionnalité des effets calorifiques avec le nombre des degrés mesurés avec le thermomètre à air et le considérer comme l'instrument essentiel pour des recherches très-précises. Son emploi étant bien moins commode que celui du thermomètre à mercure, il semble que l'on pourrait ramener la graduation de ce dernier à correspondre avec celle du thermomètre à air, au moyen d'une correction convenable. Malheureusement, les différences de nature et de dilatation des verres de compositions diverses ne permettent pas de fixer cette correction d'une manière générale. C'est ce que prouve la table suivante établie par M. Regnault; elle ne commence qu'à 100 degrés parce que, jusqu'à ce point, les deux genres d'instruments s'accordent ou ne diffèrent que de quantités trop petites pour pouvoir être mesurées.

TEMPÉRATURES du thermomèt. à air.	TEMPÉRATURES DU THERMOMÈTRE A MERCURE.		
	Cristal de Choisy-le-Roi.	Verre ordinaire.	Verre vert.
100°	100°	100°	100°
110	110,05	109,98	110,03
120	120,12	119,95	120,08
130	130,20	129,91	130,14
140	140,29	139,85	140,21
160	160,52	159,74	160,40
180	180,80	179,63	180,60
200	201,25	199,70	200,80
250	253,00	250,05	251,85
290	295,10	290,80	293,30
300	305,72	304,08	
350	360,50	354,00	

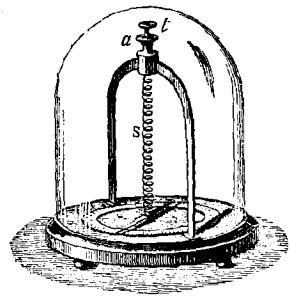
On voit que, si ce n'est lorsque l'on s'approche du point d'ébullition du mercure, les différences sont encore assez petites pour être négligeables dans la plupart des applications.

Au moyen de quelques points de fusion parfaitement certains et fixes, comme ceux fournis par la glace et la vapeur d'eau, par exemple, la fusion de l'étain, de la cire, l'ébullition de l'ammoniaque liquéfié, on pourrait établir une table de correction et faire de bonnes observations avec un thermomètre quelconque, gradué d'une manière arbitraire. Cette méthode d'observation analogue à plusieurs méthodes employées dans divers cas fournirait le moyen d'obtenir des nombres exacts avec des instruments médiocres, en se débarrassant de la difficulté d'exécuter et de conserver dans l'état initial des instruments parfaits.

THERMOMÈTRES A SOLIDES. — Les dilatations des solides étant minimes, et par suite les observations de leur allongement étant difficiles, ces corps ne sauraient être substitués dans la pratique pour constituer des thermomètres aux liquides dont l'effet se multiplie en raison du rapport de la capacité du réservoir et de l'échelle, et par suite il n'y a pas à s'occuper du plus ou du moins de régularité de leur dilatation aux diverses températures.

Un curieux système, d'une grande impressionnabilité, a été combiné par Breguet, sous le nom de thermomètre métallique. Il est fondé sur l'inégale dilatation des métaux à cet effet formé de trois lames superposées de platine, d'or et d'argent. Elles sont soudées ensemble

avant d'être passées au laminoir pour ne former qu'un ruban métallique très-mince qui a une grande surface et peu de masse; on le contourne en hélice pour multiplier la déviation angulaire qu'il peut produire, et qui est indiquée par une aiguille légère suspendue à une extrémité, tandis que l'autre est fixée à un support, comme le montre la figure 3737. L'argent, qui est le



3737.

plus dilatable des métaux employés, forme la face intérieure de l'hélice; le platine, qui est le moins dilatable, est à l'extérieur, et l'or est entre les deux; sa dilatation moyenne entre les deux autres empêche les ruptures. Lorsque la température s'élève, l'argent se dilatant plus que le platine et l'or, l'hélice se déroule. L'effet inverse a lieu lorsque la température baisse. Les degrés de cet appareil ne sont pas comparables entre eux; il doit être gradué à l'aide d'observations simultanées d'un thermomètre à mercure.

TIROIRS ÉQUILIBRÉS. Comme s'il ne devait laisser rien d'incomplet dans sa machine à vapeur, dit M. Tresca dans un excellent rapport à la Société d'encouragement que nous reproduisons ici, Watt s'était tout d'abord rendu compte des inconvénients qu'entraînait la pression de la vapeur sur les tiroirs, et il n'a jamais construit que des tiroirs équilibrés. La vapeur se rendait d'abord dans un coffre qui régnait sur toute la longueur du cylindre; elle s'introduisait par les lumières, et à sa sortie du cylindre elle était d'abord recueillie dans les extrémités des boîtes à tiroir, maintenues en communication constante entre elles et avec le condenseur.

Le conduit qui établissait la communication entre les deux extrémités se trouvait par conséquent plongé dans la vapeur d'admission, et rempli avec la vapeur d'échappement se rendant au condenseur. Les pressions déterminées dans tous les sens, pour chacune de ces deux vapeurs, se trouvaient respectivement équilibrées d'elles-mêmes, par cela seul que leur action s'exerçait dans tous les sens, à l'intérieur comme à l'extérieur, sur toute la surface latérale du conduit cylindrique. Les communications entre les trois chambres de la boîte à tiroir étaient interceptées au moyen de garnitures demi-cylindriques sur le côté opposé à l'admission, et du côté des orifices d'admission par les lèvres mêmes du tiroir.

Sans qu'il soit possible d'indiquer d'une manière certaine les motifs qui conduisirent plus tard les constructeurs à disposer leur échappement dans le milieu du cylindre et non plus vers les extrémités, on peut dire cependant que cette disposition a le mérite d'éviter un contact trop prolongé du conduit d'échappement avec le cylindre et, par conséquent, de diminuer les condensations résultant de ce contact.

L'admission ayant lieu désormais par les extrémités

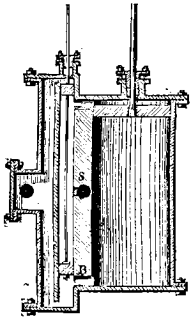
EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la boîte à tiroir, on a trouvé plus commode, pour les machines à pression moyenne, de couvrir les orifices par une coquille qui, dans toutes les machines actuelles, constitue le tiroir proprement dit, et de faire arriver librement la vapeur dans la boîte au-dessus de cette coquille.

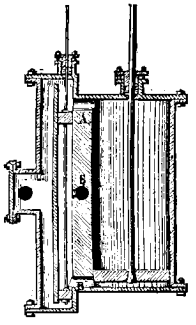
La boîte à vapeur de Watt se composait de trois chambres isolées par une garniture et disposées à la suite l'une de l'autre dans le sens de l'axe du cylindre et des mouvements du tiroir. La boîte à vapeur, généralement adoptée aujourd'hui, se compose de deux chambres dont la séparation n'est établie que par la surface frottante du tiroir.

Cette disposition très-simple, avantageuse sous le rapport du refroidissement qu'on évite à l'échappement, ne présentait aucun inconvénient sérieux, tant qu'elle s'appliquait à de petites machines fonctionnant à pression modérée, avec faible recouvrement des bandes du tiroir, et qui exigent par conséquent un faible déplacement de cet organe.

Tant que les machines puissantes étaient pour la plupart à basse pression, on s'est très-peu occupé, pour les autres, qui étaient généralement de puissance faible, de la dépense de travail que la pression exercée sur la coquille pouvait entraîner. Aussi les essais de tiroirs équilibrés furent-ils pendant longtemps peu nombreux, quoique l'on doive citer la distribution de la première machine de Taylor et Martineau, au moyen de pistons mobiles dans une boîte de tiroir cylindrique représentée fig. 3738 et 3739.



3738.



3739.

Dans les vingt dernières années, surtout depuis le développement des lignes de fer, la pression de la marche a successivement été portée de 2 à 8 atmosphères; la détente variable, pour être obtenue simplement par un seul tiroir, est venue exiger un élargissement notable dans les bandes des tiroirs, et par conséquent une course plus grande dans leurs mouvements. La pression sur la coquille devenant plus considérable en même temps que le chemin parcouru, la distribution a consommé des quantités notables de travail dans les machines puissantes, et la question des tiroirs équilibrés est devenue d'un grand intérêt. Aussi le nombre des dispositions proposées est-il chaque jour plus considérable, et parmi les derniers pouvons-nous citer les distributions à cylindres à garnitures métalliques, les plaques glissant entre deux plans parallèles, les tiroirs déchargés au moyen de la pression même de la vapeur par des pistons et bielles, etc.

Si nous cherchons à analyser les effets du frottement, nous trouvons que le travail consommé par le frottement du tiroir s'élève à 10 ou 12 chevaux-vapeur, pour une machine Crampton marchant à 180 tours par minute. En effet, sur un tiroir dont la coquille a une surface de $0{,}285 \times 0{,}360$ ou $1{,}026$ centimètres carrés, l'effort en kilogrammes pour une pression de 8 atmosphères doit être évalué à $1{,}026 \times 1{,}033 \times 8 = 8{,}478$ kilogrammes.

Ainsi chaque tiroir résiste comme s'il était chargé d'un poids de 8,500 kilog., et le déplacement simultané de deux tiroirs équivaut à celui d'une charge de 17,000 kilog.

Le rapport du frottement à la charge pour des surfaces onctueuses, fonte sur fonte, ne saurait être moindre que 0,15; l'effort à exercer pour déterminer le déplacement des tiroirs serait donc $0{,}15 \times 17{,}000 = 2{,}250$ kilog.

Il est vrai que par suite du découvrement des lumières, par suite des dispositions prises pour que dans la plupart des positions la vapeur pénètre sous une partie de la plaque du tiroir, par suite aussi de la contre-pression exercée sous la coquille, cet effort n'est pas constant, et en tenant compte de ces éléments on peut évaluer que sa valeur moyenne est réduite à 1,800 kilog.

Le chemin parcouru par cette résistance étant $0^m{,}08$ au minimun pour chaque course sera mesuré par $60 \times 0^m{,}08 = 0^m{,}48$ par seconde pour trois tours, et par conséquent le travail dépensé par seconde pour cette cause aura pour expression 1,800 kilogrammètres $\times\ 0^m{,}48 = 864$ kilogrammètres, c'est-à-dire 12 chevaux-vapeur environ.

Cette perte, relativement considérable, n'est cependant que le moindre des inconvénients de la pression exercée sur les tiroirs ordinaires, et c'est surtout aux manœuvres de changement de marche que son influence est grave.

On sait, en effet, que c'est en agissant sur le levier de mise en marche que le mécanicien, par l'intermédiaire de la coulisse, doit placer le tiroir de manière à marcher en sens contraire; cette manœuvre est surtout importante en cas de danger, et il faut qu'elle soit effectuée promptement.

Si nous consultons le *Guide du mécanicien conducteur de locomotives*, relativement à la distribution d'une machine Crampton, nous voyons que le changement de marche est obtenu par un déplacement de $1^m{,}50$ à l'extrémité du bras du levier.

La résistance moyenne étant de 1,800 kilog. et le chemin parcouru de $0^m{,}08$, on peut en conclure que l'effort moyen à l'extrémité du levier sera $\frac{1{,}800 \times 0{,}08}{1{,}50} = 96$ kilog. L'entier déplacement des tiroirs exigera un travail total de $1{,}800 \times 0{,}08 = 144$ kilogrammètres.

Ces chiffres indiquent assez combien la manœuvre est pénible, et pourquoi il est impossible qu'elle soit faite avec la promptitude que des circonstances graves peuvent exiger. Sans doute, en faisant, au préalable, fermer le régulateur ou peut décharger les tiroirs, mais il en résulte une perte de temps qui peut être d'une extrême gravité.

Tout ceci montre bien l'importance de l'emploi des tiroirs équilibrés dans les locomotives, tant au point de vue de la perte du travail en marche courante, qu'au point de vue des accidents à prévenir; il est inutile d'ajouter que des efforts aussi considérables ne peuvent manquer de hâter l'usure des pièces et d'amener une prompte destruction des organes intéressés au mouvement des tiroirs.

Le tiroir équilibré de M. Jobin ressemble beaucoup, quant aux principes, au tiroir de Watt, si ce n'est que l'admission de la vapeur a lieu par les extrémités, l'échappement par la partie moyenne. Les deux chambres extrêmes sont mises en communication par un canal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cylindrique percé dans la longueur du tiroir ; l'isolement des différentes chambres est obtenu par le frottement du tiroir lui-même contre les parois de la boîte.

Dans les machines de Watt, ce contact est assuré par deux garnitures en chanvre, épousant la forme demi-cylindrique du tiroir; dans la disposition actuelle, il résulte de la juxtaposition des parois fixes de la boîte et des parois mobiles des bandes du tiroir, dont la forme générale est celle d'un prisme triangulaire à section équilatérale.

La disposition représentée figure 3740 réalise donc ces deux conditions particulières:

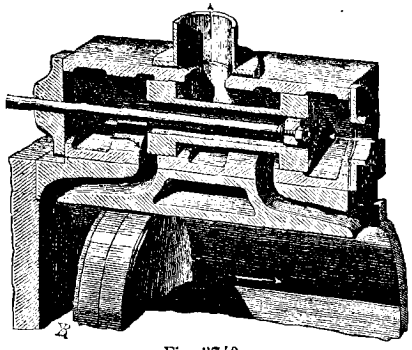


Fig. 3740.

1° Suppression de la garniture, et frottement direct des surfaces métalliques dans les machines à haute pression;

2° Section triangulaire de la pièce mobile des tiroirs.

En ce qui concerne la suppression de toute garniture, l'expérience a prouvé qu'elle était possible puisque ces nouveaux tiroirs se sont maintenus, au chemin de fer de l'Est, pendant cinq, six ou huit mois, dans un excellent état d'entretien, durée que les tiroirs ordinaires sont loin d'atteindre en service courant.

Quant à la forme de la section, le constructeur paraît y avoir été conduit par le désir de n'employer que des surfaces planes bien dressées, qui lui permettent de régler facilement le degré de serrage et, par conséquent, d'éviter l'usure qui serait la conséquence inévitable d'un ajustage trop serré.

Le tiroir de Watt, comme celui-ci, était équilibré par rapport aux pressions qui pouvaient s'exercer tout autour du tiroir, à l'intérieur et à l'extérieur; il ne l'était pas par rapport à la pression exercée à travers des lumières sur les bandes du tiroir, puisqu'aucune pression ne venait la contre-balancer; cette pression était supportée par les garnitures du dedans au dehors. M. Jobin l'a également éliminée d'une manière simple au moyen d'une rainure transversale, faite dans tout le pourtour intérieur de la boîte, en face des lumières d'introduction. Cette rainure est toujours en communication avec les lumières, parce que celles-ci dépassent légèrement les limites latérales des bandes du tiroir, et de cette disposition il résulte que la compensation a toujours lieu, même pendant la période de détente.

Quelques personnes ont pu craindre que les tiroirs, maintenus comme dans des glissières au contact du plan des lumières, n'amenassent, dans certaines circonstances, des ruptures: on comprend, en effet, que le soulèvement des tiroirs peut être nécessaire toutes les fois qu'on oublie de purger les cylindres, parce qu'alors l'eau condensée, ne pouvant s'échapper par les lumières, devra faire bélier contre les fonds des cylindres lorsque les pistons viendront en contact. L'expérience a prouvé qu'aucun accident de cette nature ne s'est produit; il est moins à craindre sur les locomotives que sur toute autre machine, par cela seul que la température est plus élevée et que l'on purge souvent. Mais, à supposer que, dans d'autres cas, cette prévision s'accomplit, on y échapperait certainement, comme le faisait Watt dans ses premières machines, en plaçant sur les cylindres eux-mêmes des soupapes de sûreté.

Ajoutons enfin que le déchargement des tiroirs permet au constructeur l'éloignement des lumières et, par suite, la diminution des espaces nuisibles, et une meilleure utilisation du travail de la vapeur.

MACHINES MARINES. Une disposition avantageuse pour les locomotives l'est à bien plus forte raison pour les machines marines de 2 à 3000 chevaux, et il faut nécessairement y avoir recours pour celles-ci.

On peut ranger les systèmes employés en deux groupes. Le premier, auquel appartient le tiroir Jobin décrit ci-dessus, comprend les tiroirs équilibrés par leur construction même. Tels sont les distributeurs qui se meuvent entre deux surfaces planes, les tiroirs qui se meuvent à l'air libre; enfin ceux à dos percé, où l'échappement se fait directement par le dos de la boîte à vapeur.

Le deuxième groupe renferme les tiroirs équilibrés au moyen d'appendices spéciaux.

On a d'abord commencé par soulager le tiroir par un piston, dit piston suceur, qui lui est rattaché par une bielle; la première idée de cette disposition paraît due à Bodmer, qui la décrit dans une patente de 1834; elle a été appliquée à plusieurs machines, type *Great Britain* et *Iron Duke* du Great Western. Il y a d'ailleurs une foule de modifications à ce système: ce sont les tiroirs Cochot, Walker, Paltrinieri, etc.; dans quelques-uns, le piston est remplacé par un diaphragme flexible, tel qu'une feuille mince de métal ou de caoutchouc.

Certains compensateurs consistent simplement en un piston annulaire, contenu dans le tiroir et frottant contre le couvercle. MM. Napier et Rankine ont fait des tiroirs de ce genre ainsi que M. Adams, qui en a appliqué un certain nombre à des machines locomotives, en Angleterre et en France, aux chemins de fer du Nord et de l'Ouest.

Dans certains cas le piston est remplacé par un diaphragme métallique, mince et flexible, dont la première idée paraît être dans un brevet français de 1846, au nom de Paltrinieri.

On peut enfin faire frotter le tiroir, non plus contre le couvercle lui-même, mais contre une surface dressée, soustraite à l'effet de la pression de la vapeur par divers artifices (pistons, plans inclinés, etc.), tiroirs Mazeline, Plainemaison, Krauss, Martin, Hemphill, etc.

Dans un autre ordre d'idées, on a cherché à diminuer, non plus la pression sur le tiroir, mais bien les conséquences de cette pression, soit en transformant le frottement de glissement en frottement de roulement, comme avec les tiroirs à galets ou rouleaux qui paraissent employés assez couramment en Amérique, soit en introduisant entre les surfaces frottantes un fluide sous pression.

On s'est enfin proposé d'atténuer, non plus la résistance du tiroir, mais le travail dû à cette résistance, en réduisant la course du tiroir; on a fait dans ce but des tiroirs à grille, à double et même triple orifice; les tiroirs à double orifice sont actuellement presque exclusivement employés dans les machines marines. A côté de leurs avantages incontestables, ils présentent l'inconvénient d'être lourds, compliqués, encombrants, de produire des étranglements et d'être plus sensibles aux perturbations; avec de bons systèmes de compensateurs, il serait préférable de conserver les tiroirs à simple orifice.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TOURS COMPOSÉS ET MACHINES A GRAVER ET A SCULPTER. Les questions relatives aux tours composés sont moins appréciées de nous qu'elles ne l'étaient de nos pères; les amateurs de tours intelligents et instruits étaient plus nombreux autrefois qu'ils ne le sont aujourd'hui. Quoi qu'il en soit, comme la théorie des tours composés repose sur les plus intéressantes considérations de cinématique, qu'elle conduit à l'intelligence de très-curieuses machines, nous essayerons, pour la première fois, de l'élucider aussi complétement qu'il nous sera possible. Pour l'histoire des inventions dont il s'agit, nous reproduirons dans ce travail les pages que l'illustre Poncelet, dans son admirable étude sur l'histoire des inventions industrielles depuis la fin du siècle dernier, a consacrées à la question des tours composés, qu'avaient obscurcie, comme à plaisir, quelques auteurs d'énormes volumes remplis d'une foule de choses, sauf de l'exposé des principes mêmes sur lesquels reposent ces appareils.

Rien de sérieux n'existait sur cette intéressante question dans les ouvrages modernes avant ce beau travail du maître, où abondent les considérations générales les plus précieuses, mais difficiles à bien apprécier sans le dessin et la description des appareils.

Nous ne reviendrons pas ici sur le TOUR simple, auquel un article spécial a été consacré; nous compléterons seulement, sur quelques points particuliers, ce qui a été dit à l'article TOUR.

TOURS SPÉCIAUX. Le tour ordinaire est essentiellement construit pour obtenir des cylindres, des surfaces de révolution autour de l'axe de rotation; au moyen de guides particuliers, commandant la marche du support à chariot ou déterminant celle de l'arbre du tour, on peut obtenir quelques résultats intéressants; telle est au moyen du premier système la combinaison du tour à fileter les vis qui a déjà été décrit. Nous allons passer en revue quelques-unes de ces dispositions.

Vis obtenues sur le tour par le déplacement de l'arbre. Les vis de peu de longueur s'obtiennent très-rapidement avec des pas déterminés, en garnissant l'arbre du tour, en arrière de la poulie motrice, de pas de vis de longueurs différentes, comme le montre la figure 1. En

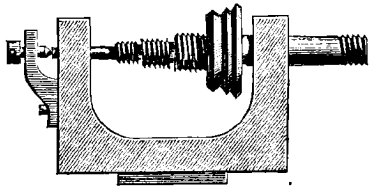


Fig. 1.

engrenant une de ces vis avec un arrêt, une pédale fixe formant écrou, l'arbre libre de glisser dans ses coussinets avance de la longueur du pas de la vis par chaque tour, et par suite un ciseau fixe à une ou plusieurs dents, dit alors *peigne*, entaille une vis de ce pas sur un cylindre placé sur le tour. Cette disposition est la base de toutes les machines à fabriquer les petites vis de tout genre, qui s'emploient en quantités immenses.

Support avec guide pour tourner une sphère. La figure 2 montre une disposition dont il s'agit: AB est le mandrin portant la pièce H à tourner en sphère, amenée d'abord à l'état de cylindre d'un diamètre égal à celui de la sphère à obtenir.

Sur sa longueur (égale à celle du guide, ainsi qu'il sera expliqué), on trace les cercles KK répondant aux extrémités, et le cercle du milieu LL, ayant le diamètre de la sphère, ce qui peut être fait à la main. Les coins

TOURS COMPOSÉS.

sont abattus à la gouge pour obtenir une forme approchée.

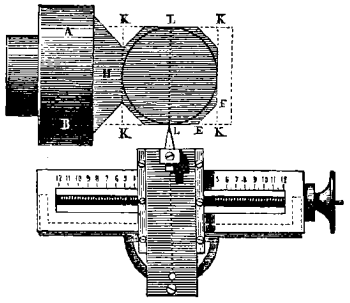


Fig. 2.

Le support que l'on emploie pour terminer porte en arrière un guide demi-circulaire sur lequel s'appuie une broche adaptée à la glissière du chariot. Le banc du support étant placé parallèlement au banc du tour, et l'outil se mouvant par l'action de la main droite qui fait tourner la vis du chariot, pendant que la main gauche appuie la glissière sur le guide, on pourra obtenir une sphère très-régulière.

Pour que l'outil coupe en même temps au milieu de la sphère et sur les hémisphères opposés, il faut lui donner une forme particulière, c'est-à-dire l'affûter des deux côtés et aussi à son extrémité, ce qui fait qu'il peut effectuer tout le travail.

Étoile dans une ou plusieurs sphères. En parlant de la sphère nous indiquerons comment on obtient une étoile au centre de sphères concentriques, genre de chefs-d'œuvre des tourneurs qui exige de l'habileté manuelle, mais n'a en réalité rien de bien merveilleux.

Pour faire une étoile de ce genre, on commence par tracer un cercle du diamètre voulu sur un morceau de papier. On divise ensuite l'intérieur au moyen de différents cercles qui déterminent l'épaisseur des boules, la distance qui doit exister entre chacune d'elles, et le diamètre de la base de l'étoile. Ces cercles, tracés sur le papier, servent encore à calculer la longueur et la courbure des crochets. On divise ensuite la boule elle-même en autant de centres qu'on veut donner de pointes à l'étoile, et on marque ces centres par des points; il est bon aussi de déterminer avec un compas, et au moyen d'un petit cercle, la grandeur qu'on veut donner à chaque lunette.

Cette division terminée, on met la boule dans le mandrin en ayant soin de placer un des points de division exactement au centre de rotation. On fait les pointes de l'étoile avec un outil assez fin.

Quand les pointes sont achevées, et qu'on est assuré

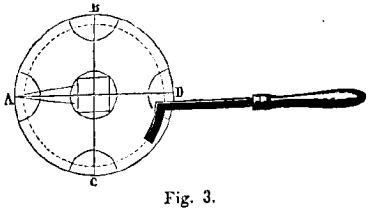


Fig. 3.

d'avoir laissé assez de bois pour les boules et les distances qu'on doit mettre entre elles, on continue le tra-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vail avec des crochets qui doivent avoir la courbure d'un cercle intérieur, figure 3, et on enlève tout le bois autour d'une pointe, figure 4. Quand on a enlevé tout le bois qui se trouve entre les pointes au-delà

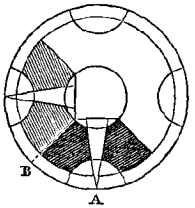


Fig. 4.

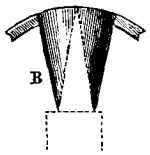


Fig. 5.

du petit cercle, on met à chaque lunette un bouchon fait avec soin, figure 5, qui emboîte la pointe, et remplit le trou de manière à ce qu'il n'y ait aucun ballottement quand on détache les boules. Il est évident que pour détacher les boules, on doit changer de grain-d'orge à épaulement, toutes les fois qu'on entame une nouvelle profondeur; c'est l'unique moyen de donner aux boules une égale épaisseur, et de rendre aussi les distances parfaitement égales.

Si l'étoile est renfermée dans trois boules, on a besoin de trois crochets. On doit unir les surfaces en les terminant; on se sert pour cela du crochet le plus long, qu'on introduit par la lunette qui se trouve la plus proche. Quand on a détaché par une lunette deux portions de boules, on met un bouchon dans cette lunette, ayant soin de se servir toujours du même pour chaque lunette.

TOURET. Les supports à chariot des grands tours d'atelier sont garnis de crochets, outils robustes capables d'enlever au besoin des épaisseurs notables de métal. Pour les tours plus petits, on se sert de burins, et pour l'ornementation de certaines pièces, comme pour quelques emplois spéciaux, on augmente les ressources que peut fournir l'outil, en lui communiquant un mouvement de rotation.

La disposition la plus convenable est celle représentée figure 6. A est un support susceptible de tourner

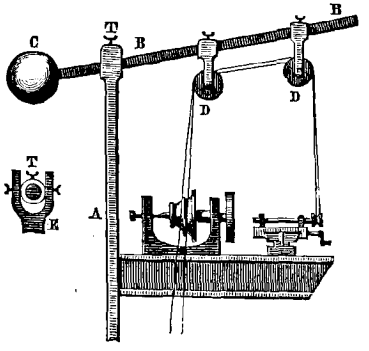


Fig. 6.

autour de son axe, portant dans une fourche à vis T un levier B maintenu par la boule C. Il supporte les deux poulies doubles DD sur lesquelles passe en allant et en revenant une corde enroulée sur une gorge de la roue motrice du tour, corde qui vient s'enrouler sur une petite poulie montée sur le touret placé sur le support à chariot. Le foret ou outil quelconque qui le termine agit donc en vertu de sa vitesse propre pour percer la pièce ajustée sur le nez du tour, et celui-ci n'agit que comme plateau d'une machine à diviser pour espacer régulièrement les trous pratiqués par le foret.

En donnant au touret des mouvements de déplacement circulaire, on refait, moins simplement, des tours composés analogues à ceux dont nous parlerons plus loin. Ces combinaisons n'offrent pas d'intérêt.

Molette. Pour décorer les surfaces cylindriques on emploie souvent le procédé de gravure à la molette d'acier qui a reçu tant d'extension pour la gravure des cylindres gravés servant pour l'impression des étoffes (Voy. GRAVURE).

TOURS A ÉQUIPAGES MOBILES.

Le tour usuel à pointes et poupées-supports fixes, le tour à mandrin et à collets ou lunettes d'appui, qui se réfèrent plus particulièrement à la rotation des corps autour d'un axe fixe ou changeant; les divers chariots mécaniques, les chariots à va-et-vient cheminant sur galets, rails ou coulisses, qui, d'autre part, se réfèrent plus spécialement au glissement, à la translation rectiligne ou curviligne; les tours et les chariots, dis-je, considérés isolément, soit comme porte-objets destinés à être façonnés diversement, soit comme porte-outils coupant, rabotant, rodant, sciant, etc.; les tours et les chariots enfin, tantôt simples, tantôt combinés entre eux ou avec eux-mêmes, constituent les instruments de travail par excellence, des outils pour ainsi dire universels. Ce sont surtout des instruments de précision pour dresser les surfaces planes ou cannelées, façonner les corps ronds et même les surfaces obliques ou rampantes autour d'un axe rectiligne. Ces dernières surfaces, en effet, bien que privées du caractère rigoureux de symétrie qu'on observe dans les corps de révolution, n'en sont pas moins susceptibles d'être exécutées avec régularité et promptitude au moyen des organes élémentaires dont il vient d'être parlé, aidés de dispositions plus ou moins savantes et délicates, qui se laissent apercevoir dans les machines à raboter, à mortaiser, perforer, polir ou dresser; dans les machines à scier, débiter les pierres ou les bois en dalles, en planches plus ou moins minces; mais plus particulièrement encore dans les tours à guillocher, graver et sculpter, nommés *tours à combinaisons, à portraits* ou *figurés*.

Ces derniers tours, munis de mandrins porte-objets, comme le *tour en l'air* proprement dit, s'en distinguent, on le sait, non-seulement parce que le mandrin n'y est point simplement fixé au bout ou *bec* de l'arbre tournant, comportant quelquefois une combinaison de pièces mobiles, mais en ce que l'arbre lui-même est susceptible de se mouvoir longitudinalement ou par glissement dans ses collets à poupées-supports fixes, ou transversalement et parallèlement, avec ces collets et leurs poupées, par glissement, translation directe ou rotation sur un châssis-support à charnières inférieures, elles-mêmes fixes. A cet effet, les tours dont il s'agit, et dont nous allons donner la description détaillée dans les pages suivantes, comportent extérieurement ou intermédiairement, tantôt à l'extrémité opposée de l'arbre, tantôt transversalement à sa direction, des repoussoirs formés jadis de contre-poids, aujourd'hui principalement de ressorts qui obligent cet arbre à s'appuyer sans cesse par une touche émoussée, soit contre des plans obliques ou des surfaces taillées en hélice, pour exécuter des surfaces rampantes, biaises, torses, etc., soit contre des gabarits à couronnes de champ, à rosettes ondulées latéralement ou extérieurement, et qui, montés transversalement sur l'arbre même du tour, obligent le mandrin à subir divers mouvements indépendants de celui de sa rotation propre, en face de l'outil tranchant dont

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TOURS COMPOSÉS.

les biseaux variés, à support intérieur ou latéral immobile, parcourent l'objet, le taillent suivant des contours ou des formes nommés proprement *guillochis*.

Mais ces différents tours, qui rentrent tous essentiellement dans la catégorie de ceux à combinaisons, ne sont pas uniquement employés pour l'exécution rigoureuse de formes mathématiquement définies; ils le sont encore pour le tracé, la copie et la réduction de figures artistiques, sur le plan ou le relief, au moyen de procédés qui constituent de véritables transformations géométriques de ces figures, et nécessitent, par là même, des transformations correspondantes de mouvement, rentrant plus spécialement dans le domaine de la Cinématique: transformations et combinaisons qui, à dater du quinzième siècle, ont aussi exercé le génie inventif du grand peintre Léonard de Vinci et des célèbres géomètres de Lahire, de Lacondamine et Clairaut. C'est que, en effet, ces tours et leurs analogues offrent un sujet intéressant d'études pour la richesse et l'élégance des solutions géométriques auxquelles ils donnent lieu, et qui se rattachent, comme on sait, à l'antique problème des épicycles, des courbes mécaniques et des mouvements relatifs sur le plan ou dans l'espace.

Le tour, envisagé dans son primitif état de simplicité, celui où une pièce déjà dégrossie ou arrondie, tournée par une impulsion plus ou moins directe, sur des appuis fixes horizontaux ou verticaux, en présence et sous l'action lente d'un outil que l'ouvrier transporte, promène successivement le long d'un support fixe, parallèle à l'axe de rotation; dans cet état de simplicité, dis-je, le tour a dû être connu dès la plus haute antiquité, et c'est ce qu'attesteraient, au besoin, divers passages de Vitruve, en tant qu'il s'agisse d'instruments à travailler les objets de petites dimensions. Mais s'en servait-on également pour arrondir le fût de certaines colonnes monolithes, les arbres de moulins ou enfin les vases précieux que nous ont légués les Grecs, les Romains, les Chinois mêmes des époques contemporaines? Cela est tout aussi probable, pourvu encore qu'il s'agisse d'outils, de procédés mécaniques analogues à ceux généralement employés aujourd'hui dans l'art du charpentier, du marbrier ou du potier; soit que d'ailleurs la pièce elle-même tourne sous l'impulsion directe de manivelles à bielle, ou de tiraudes à main, de roues, de volants à pédales, etc.; soit qu'au contraire cette pièce restant fixe, l'outil soit dirigé au moyen d'un châssis à gabarit, à profil tournant sur l'axe de symétrie de cette pièce.

Quant aux tours figurés et à combinaisons, nécessaires pour exécuter les surfaces rampantes, excentriques, ovales, à guillochis, etc., leur usage ne doit guère remonter au delà du quinzième siècle, où le célèbre Léonard de Vinci, suivi à un siècle de distance par le Lyonnais Jacques Besson et par Salomon de Caus, l'ingénieur français des princes palatins, y ajouta divers perfectionnements ou artifices auxquels le célèbre mathématicien et médecin Jérôme Cardan lui-même n'aurait point été étranger, d'après les auteurs italiens, et qui prouvent tout au moins qu'on avait senti dès le seizième siècle le besoin de découvrir quelque procédé mécanique pour exécuter sur le tour les objets d'une forme différente de celles des corps de révolution, notamment les surfaces rampantes et à sections elliptiques quelconques.

Au surplus, la plupart des tours à combinaisons, avec axes et mandrins diversement mobiles et tels qu'on en employait dans les deux derniers siècles, ces tours rentrent dans la classe de ceux qui étaient bien plutôt destinés à exercer la patience de nos ancêtres qu'à développer leur industrie manufacturière ou artistique, et, si l'on en juge par les modèles exposés au Conservatoire des arts et métiers, ainsi que par les planches des ouvrages de Plumier, de Bergeron et du tome X (1772) de la grande *Encyclopédie*, il est tout au moins douteux qu'ils aient appliqué le tour rampant à d'autres matières que l'ivoire, le buis, etc., dans des proportions naturellement très-petites; ce qui doit s'entendre également des tours à rosettes et à couronnes servant à guillocher, et où l'on employait exclusivement les supports à outils fixes. On peut voir dans ces ouvrages ce qu'étaient devenus, à la fin du dernier siècle ou au commencement de celui-ci, ces différents tours, et combien on était loin encore d'y faire marcher automatiquement l'outil, comme Besson l'avait anciennement tenté, au moyen d'une longue barre horizontale supérieure et parallèle à l'axe de rotation, portant une coulisse ondulée où l'outil pouvait occuper des positions diverses, tandis que la barre elle-même, susceptible de descendre et de monter alternativement dans d'autres coulisses verticales, y était animée d'un va-et-vient horizontal, déterminé par des guides ou platines de soutien tournantes, découpées en rosettes, en ovales, de dimensions et situations identiques, et dont les plans inclinés, parallèles, étaient fixés sur l'arbre même du tour, extérieurement et symétriquement, par rapport à ces poupées.

L'obscurité des termes et de la figure explique le dédain qu'en a fait Plumier dans la préface de son *Traité sur le tour*, dont la seconde édition contient d'ailleurs, sous forme d'appendice, les mémoires de Lacondamine, ainsi que la description du rabot servant à guillocher les manches de couteaux, attribué aux Anglais, et dont le porte-outil, conduit par une longue vis suivant l'angle de la pièce ou du manche monté sur un arbre à rayon et cadran diviseur, est dirigé dans ses excursions verticales par un gabarit qui offre quelque analogie avec le dispositif, un peu vague, adopté par Besson. On a bien plus lieu encore d'être surpris que Plumier et son imitateur Bergeron aient accordé si peu d'attention aux tours à outils mobiles véritablement automatiques et dont il existait pourtant à leur époque un remarquable exemple dans la machine à copier et réduire les médailles, d'origine très-ancienne, incontestablement allemande, mais qu'ils mentionnent à peine, et dont les planches 43 et suivantes de l'*Encyclopédie* de 1772 offrent un spécimen d'autant plus digne d'intérêt qu'elles appartiennent à une forte machine construite entièrement en fer, avec la perfection que comportaient les tours à plusieurs fins ou à combinaisons multiples dont on voit divers modèles au Conservatoire des arts et métiers de Paris: parmi ces modèles, on admire surtout le tour à guillocher de Merklein, construit en 1780 pour Louis XVI, et celui à portrait donné par le czar Pierre le Grand, sans autre indication d'origine, mais qui, remontant à une date de beaucoup antérieure, peut servir à constater le point où en était déjà arrivée la construction de ce genre d'outils en Allemagne. Avant d'aller plus loin, analysons en détail le tour à guillocher.

TOUR A GUILLOCHER. Le tour à guillocher fournit le moyen d'obtenir des décorations, des tracés de courbes entrelacées, à volutes symétriques, très-propres à l'ornement dans une foule de cas analogues à celui que représente la figure 7, exécutée avec ce tour, notamment pour la gravure peu profonde des boîtes de montre et autres pièces d'orfévrerie, d'horlogerie. C'est à l'aide de disques aux contours desquels on a donné des formes convenables, de *rosettes* qu'on y parvient.

Le tour à guillocher diffère du tour ordinaire en ce que le centre du cercle que décrit, en chaque instant, chaque point de la surface sur laquelle on opère, n'est plus un point fixe, mais éprouve un petit mouvement d'oscillation qui engendre des courbes d'autant plus différentes de la circonférence d'un cercle, que pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une même rotation, les oscillations sont plus fréquentes et ont plus d'amplitude par rapport à la distance au centre.

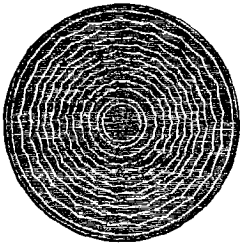


Fig. 7.

La pièce étant montée à l'aide d'un mandrin sur l'extrémité de l'arbre T (figure 8), il s'agit de donner

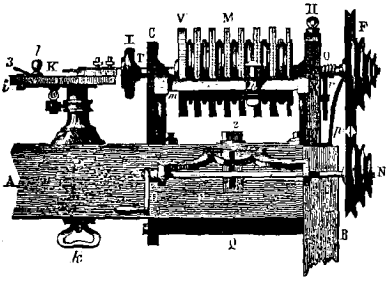


Fig. 8.

à cet arbre le mouvement voulu pour que l'outil coupant fixé sur le support à chariot K produise le contour cherché. A cet effet, les deux supports de l'axe C et H, au lieu d'être fixés directement au banc comme dans les autres tours, descendent entre les deux jumelles d'une part de banc en fonte, jusqu'au-dessous de l'établi A; ils sont réunis par l'axe P parallèle à celui du tour et qui est supporté sur des pivots vers ses extrémités, pivots portés par des pièces de fonte garnissant les jumelles et consolidés par la barre de fer Q qui les réunit. Les deux poupées C, H, ne forment plus ainsi qu'une seule pièce.

L'extrémité de l'axe portant donc la pièce à travailler, l'outil étant monté sur le support à chariot et amené à une distance de l'axe convenable pour la courbe à tracer, un mouvement d'oscillation est communiqué à l'axe par les rosettes de métal qui lui sont adaptées, comme on le voit dans la figure 9.

Ces rosettes sont poussées par un petit rouleau porté par l'extrémité de la touche *n* glissant dans une coulisse portée par une barre triangulaire *m* parallèle à l'axe et montée à l'extrémité d'un support courbe. Quand l'axe tourne, les saillies et les creux de la rosette en prise s'appliquant sur le rouleau dont l'axe ne peut se déplacer, c'est l'axe du tour et du bâti C H qui prend un mouvement d'oscillation. Cet effet est assuré par l'action d'un fort ressort *b*, *b*, caché dans l'intérieur de l'établi A, qui fait toujours presser la rosette sur la roue *n*. La touche peut glisser le long de la barre de manière à venir se mettre en contact avec une quelconque des rosettes différentes, au nombre de 15 ou 20 en général, montées sur le tour.

Dans quelques cas, lorsque les creux ont peu de largeur, on ne peut se servir du rouleau qui garnit une extrémité de la barre *n*; on se sert alors de l'autre

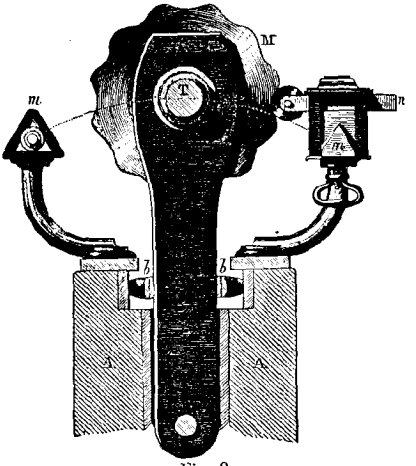


Fig. 9.

extrémité qui est arrondie et polie avec soin pour diminuer le frottement.

Un moyen de varier les dessins que l'on peut obtenir avec les mêmes rosettes consiste à les faire tourner un peu sur leur axe pendant le travail. La figure 7 est un exemple des résultats obtenus par ce mode d'opérer. C'est une rose à 24 saillies. Après avoir tracé la ligne extérieure, et le ciseau ayant été amené par le support à la position convenable pour tracer la seconde ligne, on a fait tourner la rosette autour de l'axe de 1/4 d'une saillie ou 1/96e de la circonférence du cercle; les extrémités des saillies de cette seconde ligne ne tombent plus alors sur les rayons correspondants de la première, mais sont un peu en avance. On a opéré de la même manière pour les lignes successives et on a eu des résultats semblables.

Les cercles concentriques sont tracés équidistants au moyen de divisions tracées sur le chariot K ou sur la tête de la vis qui fait mouvoir l'outil, et les rosettes sont fixées dans la position convenable à l'aide d'une plaque circulaire montée sur l'axe vers l'extrémité H. C'est une chose surprenante que la multitude d'effets différents qui peuvent être obtenus d'un certain nombre de rosettes en variant les positions. Par exemple, si, après avoir tracé une ligne ondulée, la rosette est avancée d'une demi-division, sans changer la position de l'outil, les deux lignes s'entrelacent et forment une chaîne, une série de boucles.

Pour orner la surface d'un cylindre, l'outil n'est plus placé comme sur la figure; on fait faire au support à chariot porte-outil un quart de tour: c'est ainsi que l'on grave beaucoup de rouleaux pour l'impression sur étoffes. C'est l'axe qui se meut suivant sa longueur sous l'action de rosettes qui portent des ondes sur leur plat, pendant qu'une rotation du cylindre, d'un arc déterminé, est produite. Par cette disposition, des lignes ondulées peuvent être gravées sur la surface d'un cylindre dans le sens de sa longueur.

Le guillochage en ligne droite est obtenu de même par rabotage, au moyen d'un double mouvement du ciseau, en raison de la barre-rosette qui lui sert de guide.

Les courbes qui résultent du mode d'action du tour à guillocher sont des conchoïdes de celles décrites

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par le point de contact de la touche et de la rosette, dont les rayons vecteurs (en les rapportant à un système de coordonnées polaires) sont augmentés ou diminués d'une quantité constante. En effet, l'outil étant fixé, pour une courbe donnée, à une distance d de l'axe de rotation, la touche n à une distance R du centre correspondant de ce même axe pour le creux de la courbe le plus rapproché du centre, enfin $l = \varphi(\omega)$, l'équation polaire de la courbe dont le rayon est l, $l - R = \varphi(\omega) - R$, sera le déplacement de l'axe et du mandrin produit en chaque instant par l'effet de la convexité de la courbe. On aura donc, ρ étant le rayon vecteur de la courbe de guillochage produite par le déplacement du mandrin égal à $l - R$:

$$\rho = d + l - R = \varphi(\omega) - (R - d) \text{ et } \rho + (R - d) = \varphi(\omega),$$

c'est-à-dire la même équation que la courbe de la rosette, sauf que les rayons vecteurs en sont diminués d'une quantité constante.

La détermination d'une rosette convenable pour une courbe déterminée s'obtient donc en général bien facilement: il suffit de diminuer ou d'augmenter tous les rayons de la courbe à produire d'une même quantité et de tracer la courbe passant par les points ainsi déterminés: c'est la rosette cherchée.

Mais ce mode d'opérer est en défaut quand la courbe est accidentée, est à nœuds, comme celle de la fig. 10, qu'il n'existe pas de point tel à l'intérieur qu'une droite passant par ce point ne rencontre jamais la courbe en plus de deux points.

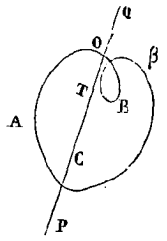


Fig. 10.

Mais si on incline la touche OT, si on la fait mouvoir non plus suivant PQ, droite passant par le centre de rotation C, mais suivant une direction faisant un angle constant avec le rayon vecteur, le point T peut alors décrire le nœud de la courbe.

En effet (fig. 11), quand PQ sera passé à la position P'Q', si le point O s'approchant du centre C vient

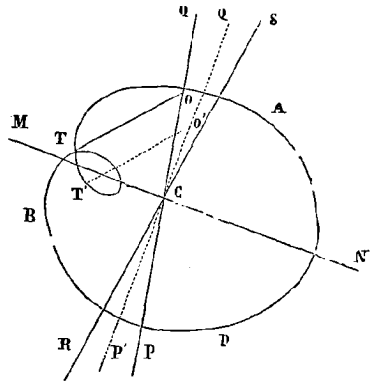


Fig. 11.

en O', le point T passera en T' et aura éprouvé un mouvement rétrograde relativement à celui de PQ: le tracé pourra donc avoir lieu en général.

On ne peut donner une méthode générale pour déterminer l'angle COT que doit faire la ligne OT avec le rayon vecteur, ni la longueur OT la plus convenable pour tracer une courbe donnée. Ce sera, dans chaque cas, par un tracé et avec quelques tâtonnements, qu'on parviendra à les déterminer. Disons comment on doit opérer pour trouver *une rosette convenable pour une courbe donnée*, en employant une touche inclinée, qui rend la rosette bien plus différente de la courbe qu'une touche droite.

Soit AB la courbe à reproduire (fig. 12), et CT,

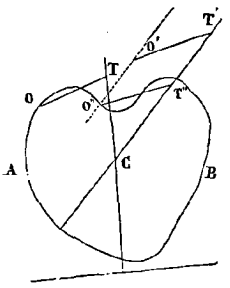


Fig. 12.

CT'... des rayons vecteurs. On connaît l'inclinaison CTO de la touche sur chaque rayon vecteur et la longueur OT. Prenant un point quelconque T' sur un de ces rayons, nous pourrons tracer T'O', menant par O' une parallèle à CT': le point O'' de la courbe sera le point qui devra être tracé par la touche, le point T' étant en T'', point de rencontre avec CT' de la ligne O''T'' parallèle à O'T'. La suite des points déterminés comme T'' donnera le tracé de la rosette.

La Condamine a proposé en 1730 un petit appareil pour tracer avec facilité une rosette correspondant à une courbe donnée, et permettre par une opération simple de déterminer les rosettes qui correspondent à divers points pris pour centres des rayons vecteurs, afin d'adopter le tracé qui fournit la rosette la moins anguleuse, celle qui convient le mieux, par suite, pour le travail du tour.

ABCD (fig. 13) est une règle percée d'une rainure

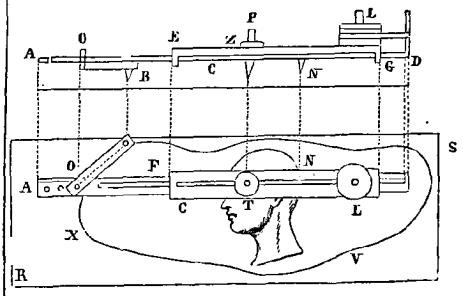


Fig. 13.

dans toute sa longueur; sur la partie AB s'assemble une pointe, si l'on veut obtenir seulement la conchoïde de la courbe cherchée, une barre OB dans le cas que nous traitons ici. La règle ABCD est embrassée par les tenons E et G d'une seconde règle, percée aussi d'une rainure, et pouvant glisser sur la première; un barillet L monté sur la règle EG et assemblé par un fil à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'extrémité de la première règle tend à produire cet effet. Une pointe N, faisant corps avec ABCD, tendra donc à se rapprocher du centre fixe P formé, par une troisième pointe assemblée avec la deuxième règle.

Soit T le contour d'une tête, par exemple, qu'on veut reproduire sur le tour, devenu ainsi une espèce de tour à portrait, pour lequel on cherche la rosette la plus convenable. Après avoir découpé ce profil sur une carte, on le colle sur une autre RS. Ensuite on prend à volonté un point P pour centre; on perce les deux cartes en ce point, et on les attache sur un plan en y enfonçant la pointe P; après quoi, on applique la pointe N sur le contour du relief de la tête découpée; on tourne ensuite à la main tout le système, en faisant toujours porter la pointe N sur le bord de la découpure; ou, mieux encore, on ne fait que tourner d'une main la carte sur son centre, en tenant de l'autre la machine fixe, et en faisant attention à ce que la pointe N ne quitte pas le bord de la carte découpée, action que facilite l'effet du ressort renfermé dans le barillet. La pointe B, extrémité de la touche oblique OB, tracera la rosette cherchée.

TOUR OVALE. Ce tour, dont l'invention est due, suivant les Anglais, à Abraham Sharp, malgré la fixité de son axe de rotation, agit néanmoins comme tour à guillocher, par suite de la mobilité d'une rosette spéciale, qui est un cercle excentré, d'où résulte la composition d'un mouvement rectiligne produit sur le mandrin en même temps que s'effectue le mouvement de rotation de celui-ci. La simplicité et la solidité du mécanisme ont fait de cet appareil un instrument indispensable des ateliers où il y a à produire des objets de forme elliptique.

Le *tour ovale* ou elliptique est constitué par une disposition particulière du mandrin porte-objet. Ce mandrin consiste en trois parties: le plateau, le chariot glissant, enfin l'excentrique. Le plateau est monté sur la pointe du tour (fig. 14 et 15). Sa face porte deux guides *i*, *i*, maintenant le chariot glissant *g*, portant en son centre la vis saillante *h* sur laquelle se monte la pièce à façonner. Le mouvement de glissement qui apparaît avec le mouvement de rotation est produit par le moyen

Fig. 16.

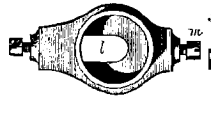
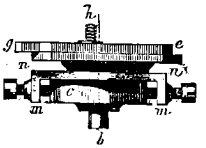


Fig. 15.



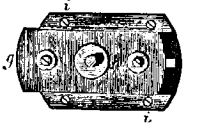


Fig. 14.

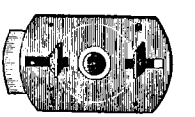


Fig. 17.

d'un cercle excentrique (fig. 16) en laiton attaché à la poupée du tour et à travers lequel passe librement la vis d'assemblage du plateau, par l'ouverture *l*; le châssis *m*, qui porte le cercle dont il vient d'être parlé, est fixé par deux vis placées en face l'une de l'autre, dont la pointe entre dans deux petits trous pratiqués sur la partie antérieure c de la poupée. Ces deux vis sont horizontales et leur direction commune rencontre l'axe. En faisant avancer une des vis et reculer l'autre, on peut obtenir des excentricités variables. Le plateau porte deux rainures parallèles à la longueur du chariot, destinées à laisser passer librement deux vis qui assemblent les deux pièces d'acier parallèles entre elles, et placées en dessous (fig. 17), dont l'écartement est égal au diamètre du cercle qu'elles pressent, forçant ainsi le chariot à suivre ses mouvements, à se déplacer en raison de son excentricité.

La grandeur d'excentricité, la différence entre le grand et le petit axe, résultent donc clairement de la position du châssis *mn*, qui agit comme une véritable excentrique circulaire, et c'est la combinaison de ce mouvement avec le mouvement circulaire qui engendre la forme ovale, fort utile pour les arts; ce qui rend ce tour très-précieux pour nombre d'industries qui en font grand usage.

La théorie du tour ovale a été donnée complétement, pour la première fois, par M. Dreyfus dans un intéressant Mémoire inséré dans le Bulletin de la Société d'Encouragement (juin 1873). Nous lui emprunterons ce qui suit.

Le tour ovale qui a servi de base à cette étude a une disposition un peu différente de celle décrite ci-dessus, mais qui est en réalité équivalente.

Un anneau AA est monté sur un tour. Soit O son centre qui se trouve sur l'axe du tour. La flèche α indique le sens de la rotation de cet anneau, qui se fait dans le sens habituel de la rotation dans un tour. Au même niveau que le point O se trouve le centre O' d'une circonférence BB excentrique par rapport à la première, qui ne peut avoir d'autre mouvement qu'un mouvement de rotation autour de O', ou plutôt autour d'un axe parallèle à l'axe du tour et passant par O'. Sur ce disque est pratiquée une coulisse dans laquelle peut se mouvoir un coulisseau CC (fig. 18), guidé

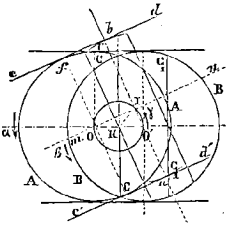


Fig. 18.

par BB; ses extrémités sont en saillie et constamment comprises entre les règles cd, $c'd'$, lesquelles sont tangentes et adhérentes à l'anneau AA. La ligne médiane de ce coulisseau passe toujours par le centre O'. Dans une de ses positions, C_1 C_1, le coulisseau remplit exactement la coulisse: sa longueur ab, comptée suivant son axe, est donc égale au diamètre du plateau AA. C'est sur le centre I du coulisseau qu'est fixée la pièce à tourner.

Le mouvement de rotation du tour détermine celui des règles cd, $c'd'$; celles-ci entraînent le coulisseau, comme le montre la figure. Le coulisseau à son tour force le disque B à tourner dans le sens de la flèche β, c'est-à-dire dans le même sens que l'arbre du tour, et avec la même vitesse. Dans ce mouvement, l'axe ab du coulisseau ne cesse pas de passer par le point O', mais son milieu I se déplace; comme d'ailleurs la parallèle menée par le point O aux deux règles passe toujours par ce milieu I, et que cette parallèle est perpendiculaire à ab, on voit que le point I se déplace en suivant la circonférence décrite sur OO' comme diamètre. L'axe de la pièce qu'on tourne se déplace donc en engendrant un cylindre droit à base circulaire, dont l'axe K est situé dans le plan des axes O et O', parallèle à ces deux axes, et à égale distance de chacun d'eux.

L'angle dont a tourné le tour étant représenté par $eOf = IOO'$, l'angle dont aura tourné l'axe I sera

EFERUS - Recherche & Classification numérique

$IKO' = 2IOO'$: le mouvement de rotation de l'axe I est donc uniforme comme celui du tour, mais sa vitesse angulaire est le double de celle du tour. Il résulte de là que, à chaque révolution de l'anneau A A ou du tour, l'axe I accomplira deux révolutions.

Ainsi, l'action sur le coulisseau produit, sur la pièce à tourner, le même effet qu'une rotation de cette pièce autour de son axe, dans le même sens que les rotations précédentes, avec une vitesse angulaire égale à celle du tour.

Ce qui précède permet de se faire une idée très-claire du mouvement de la pièce à tourner dans l'espace. Elle tourne d'un mouvement uniforme autour de son axe I, pendant que cet axe tourne lui-même d'un mouvement uniforme autour d'un axe fixe K qui lui est parallèle. Les deux rotations se font dans le même sens, mais avec des vitesses angulaires différentes: pendant que la pièce fait une révolution autour de son axe I, cet axe en fait deux autour de l'axe K.

Je vais chercher maintenant la courbe décrite par un point quelconque de la pièce à tourner. Pour cela, je considère une section droite de cette pièce. J'ai déjà montré que le point I décrit la circonférence ayant OO' pour diamètre. Il est facile de voir que tous les autres points décriront des conchoïdes de ce même cercle. Considérons, en effet, d'abord un point M (fig. 19) situé sur l'axe du coulisseau. La longueur MI est constante, la ligne MI passe toujours par le point O': le lieu des points M est donc une conchoïde du cercle OO'. L'axe de symétrie est le diamètre OO', le nœud est en O'. La courbe entière est décrite dans une révolution de l'arbre du tour; la partie extérieure et la partie intérieure correspondent chacune à l'une des deux révolutions que fait le point I pendant que l'arbre du tour en fait une. Lorsque le point M se confond avec le point I, la conchoïde se réduit au cercle OO' répété deux fois.

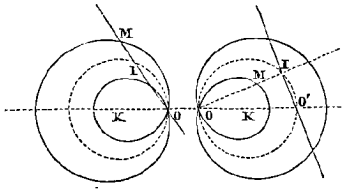


Fig. 19. Fig. 20.

Supposons maintenant le point sur la perpendiculaire menée par I à l'axe du coulisseau. On voit facilement (fig. 20) que la courbe décrite est encore une conchoïde du même cercle, mais disposée en sens inverse; le nœud est en O.

Soit, enfin, M un point quelconque, déterminé par l'angle θ et la distance MI (fig. 21). Le point P où la ligne MI rencontre le cercle OO' est un point fixe, car l'angle constant θ a pour mesure la moitié de l'arc O'P. Le lieu des points M est donc une conchoïde du cercle OO', dont le nœud est en P. On voit que le nœud est le même pour tous les points d'une même ligne droite passant par I; lorsque cette droite tourne autour du point I, le nœud se déplace sur le cercle OO' d'un angle double, car

$$O'KP = 2\theta.$$

Il résulte de ce qui précède que tous les points situés à une même distance du point I décrivent des courbes égales, mais diversement orientées; le lieu des nœuds de ces courbes est le cercle OO'; chacun de ces nœuds correspond à deux points symétriques par rapport au point I.

La normale au cercle décrit par le point I est le diamètre IR (fig. 22). Si on considère un point O" de l'axe du coulisseau, infiniment voisin du point O', ce point O" décrit l'élément O'O", c'est-à-dire qu'il se meut suivant l'axe du coulisseau, pendant un temps infiniment petit; la normale à cette trajectoire rectiligne est la ligne O'R, qui rencontre la première normale en R, sur le cercle OO'. Ce point R est le centre instantané

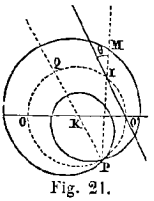


Fig. 21.

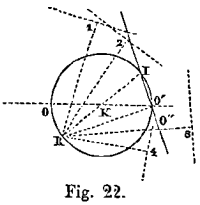


Fig. 22.

de rotation du mouvement du coulisseau. Les lignes R1, R2, R3, R4, etc., qui joignent le point R aux différents points du coulisseau (ou de la section droite de la pièce à tourner), sont les normales aux trajectoires de ces points. On voit que, dans le mouvement du coulisseau, le centre instantané de rotation décrit dans l'espace la circonférence OO', avec une vitesse égale à celle du point I, puisque $OKR = O'KI$, et en tournant dans le même sens.

La longueur IR étant constante et égale à OO', le centre instantané de rotation décrira sur le coulisseau (ou sur la section droite de la pièce) un cercle T T' (fig. 23) ayant pour centre le centre I de la section, et dont le rayon IR est égal au diamètre OO' du cercle OO'.

Ceci va nous permettre de définir d'une nouvelle manière le mouvement du coulisseau et de la pièce qu'il emporte. Étant donnée une figure plane qui se meut d'une manière quelconque dans son plan, si on détermine la trajectoire A du centre instantané de rotation sur la figure, et sa trajectoire B sur le plan, on sait que le mouvement de la figure pourra être obtenu en faisant rouler la courbe A, liée à la figure, sur la courbe fixe B. Dans le cas qui nous occupe, le cercle T T' représente la courbe A, et le cercle OO' la courbe B. Il suit de là que la pièce à tourner se meut comme si elle faisait partie d'un cylindre de même axe qu'elle, dont le rayon serait égal à la distance OO', et qui roulerait sur un cylindre intérieur de diamètre OO'.

Il suit de là aussi, et de ce qui précède, que lorsqu'un cercle T T' roule sur un cercle intérieur fixe OO', de rayon moitié moindre, chaque point lié au cercle mobile décrit une conchoïde du cercle fixe. Cette propriété se démontre, d'ailleurs, directement d'une manière très-simple. Les points intérieurs au cercle mobile décrivent des conchoïdes à deux boucles, l'une

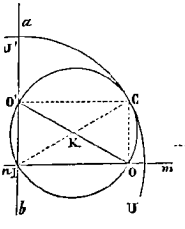


Fig. 24.

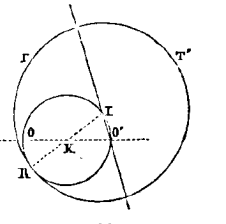


Fig. 23.

intérieure, l'autre extérieure. Les points du cercle mobile décrivent des conchoïdes à une boucle, ayant leur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

point anguleux sur le cercle fixe. Les points extérieurs au cercle mobile décrivent des conchoïdes à une boucle, ayant leur point anguleux en dehors du cercle fixe.

Les développements qui précèdent rendent compte de la nature des courbes décrites dans l'espace par les différents points de la pièce à tourner. Rien n'est plus facile, d'ailleurs, que d'observer pratiquement la forme de ces courbes : il suffit de fixer un crayon en un point quelconque du coulisseau, et de déterminer sa trace sur une feuille de papier fixe, placée perpendiculairement à l'axe du tour.

Jusqu'à présent, je n'ai considéré que le mouvement des points de la pièce à tourner. Je vais examiner maintenant la nature du profil déterminé par l'outil ; ce qui importe surtout dans son emploi, et qui, par suite du double mouvement du coulisseau, est autre que le mouvement d'un point de celui-ci.

Le tranchant de l'outil est un point fixe. Il s'agit donc, étant donnée une figure plane qui se meut dans son plan suivant la loi définie précédemment, de déterminer la courbe décrite sur cette figure mobile par un point fixe du plan. Pour cela, il faut chercher le mouvement relatif du plan par rapport à la figure, c'est-à-dire le mouvement du plan supposé mobile par rapport à la figure supposée fixe, et déterminer, dans ce mouvement, la trajectoire du point considéré dans le plan.

On peut y arriver de la manière suivante. La droite OO' (fig. 18) appartient au plan fixe, et le mouvement relatif de ce plan, par rapport au coulisseau, est complétement défini par le mouvement relatif de la droite OO'. Or le mouvement du coulisseau est défini par les axes rectangulaires ab, mn, lesquels se meuvent en passant constamment par les points fixes O et O'. Inversement, le mouvement relatif de la droite OO' s'obtiendra en faisant glisser ses extrémités sur les axes rectangulaires fixes ab et mn (fig. 24). Or on sait que tout point d'une pareille droite décrit une ellipse ayant Im et Ia pour axes, et que tout point M lié à cette droite décrit également une ellipse ayant I pour centre, mais d'autres axes.

On y parvient encore en complétant ce qui a été dit précédemment au sujet des deux courbes A et B, lieux des centres instantanés de rotation sur la figure mobile (courbe A) et sur le plan fixe (courbe B). On sait que le mouvement relatif du plan par rapport à la figure peut s'obtenir en faisant rouler la courbe B sur la courbe A supposée fixe. Dans le cas actuel, la courbe A est le cercle TT' (fig. 23), et la courbe B est le cercle OO'. Or, quand un cercle roule à l'intérieur d'un cercle fixe de rayon double, on sait que chaque point de la circonférence mobile décrit un diamètre du cercle fixe ; en outre, tout point lié au cercle mobile décrit une ellipse.

Le profil déterminé par l'outil, quelle que soit la position de l'outil, est donc une ellipse.

Ainsi, en résumé : la vitesse angulaire de la pièce montée sur le mandrin ovale est double de celle du tour, le mouvement du coulisseau produisant l'effet d'imprimer une seconde rotation.

La courbe décrite par un point de la pièce à tourner est une conchoïde du cercle qui a pour diamètre la distance OO' des axes de rotation du tour et de l'excentrique circulaire.

Le centre du coulisseau parcourt cette circonférence OO'.

La pièce à tourner se meut comme si elle faisait partie d'un cylindre de même axe qu'elle, dont le rayon serait égal à la distance OO', et qui roulerait sur un cylindre intérieur de diamètre OO'.

La courbe, tracée par un outil fixe sur la surface du mandrin, est une ellipse, et non pas une courbe ovale de forme analogue seulement.

Pour effectuer un bon travail, les directions de l'outil doivent varier en chaque instant, l'inclinaison et la vitesse de la pièce à travailler variant aussi. La détermination de ces derniers éléments peut permettre de construire un tour ovale self-acting, dans lequel le travail ne dépendrait pas de l'habileté de l'ouvrier, qui sait modifier en chaque instant la direction et la pression de l'outil. Nous renvoyons pour ce point au mémoire de l'auteur.

TOURS A ÉQUIPAGES DIFFÉRENTIELS. L'établissement d'une rosette spéciale pour toute courbe à obtenir, solution pratique du problème industriel lorsqu'il s'agit de reproduire des courbes déterminées, exige un travail préparatoire qui serait évité si des combinaisons de roues circulaires pouvaient suffire pour produire toutes les courbes : c'est le problème entrevu par la plupart des inventeurs, qui ont plus ou moins espéré produire avec leurs systèmes tous les tracés possibles, engendrer mécaniquement une foule de décorations artistiques, sans dépenses spéciales.

Nous ne reviendrons pas ici sur la question théorique du tracé des courbes à l'aide de la règle et du compas, c'est-à-dire de mouvements rectilignes et de mouvements circulaires, déjà étudiée à l'article CALCULER (Machines à) de ce volume.

Nous rappellerons seulement qu'un système de roues dentées à axe mobile, en nombre indéfini, peut servir à tracer un nombre infini de courbes, ayant un nombre indéfini de boucles ou de saillies, mais appartenant toujours à une seule famille, celle des *épicycloïdes circulaires*. Si leur variété fournit des ressources suffisantes pour obtenir un grand nombre de tracés décoratifs, des éléments de petite étendue à peu près quelconques, ces courbes, ne comportant qu'une seule allure, sont tout à fait insuffisantes au point de vue de l'art.

L'étude de ces systèmes, au point de vue cinématique, offre beaucoup d'intérêt : aussi nous croyons devoir la donner avec quelques détails, vu qu'elle est ignorée souvent même des habiles praticiens qui exécutent les œuvres les plus curieuses à l'aide du tour.

Les tours qui les utilisent comportent des roues dentées se mouvant d'un mouvement différentiel, dont les axes sont entraînés en même temps que tournent les roues qu'elles portent. Ils peuvent par suite servir, ainsi que nous venons de le dire, à tracer toutes les COURBES ÉPICYCLOÏDALES, dont nous avons fait une étude spéciale (voir ce mot au *Complément*), des courbes ayant un nombre de nœuds ou de points d'inflexion déterminés par les rapports des nombres de dents.

Mais revenons d'abord à l'intéressant historique de Poncelet. Il rapporte tenir de M. Séguier, aussi habile que savant dans toutes les questions de mécanique appliquée, que MM. Holtzappfel et Deyerlein, constructeurs de tours à Londres, avaient, en 1825, fait un excellent usage du support à chariot porte-foret des anciens tours, pour guillocher et sculpter, par des recoupements réguliers, variés à l'infini au gré de l'artiste, divers objets de tabletterie, au moyen d'outils trempés, de formes diverses, de *tourets* tournant avec vivacité sous l'action d'un cordonnet sans fin substitué à la manivelle motrice autrefois directement conduite à la main. Mais ce qui distingue particulièrement ce nouveau genre d'outils des anciens et puissants tours à guillocher, c'est que l'équipage à chariot y est dirigé, orienté d'une manière précise et géométrique, par une règle à coulisse graduée, une vis micrométrique et un cercle ou plateau diviseur, qui, sous la main d'un intelligent artiste, lui permettent d'occuper toutes les positions obliques ou symétriques par rapport à la matière qu'il s'agit d'attaquer, montée elle-même sur un tour ou porte-objet ordinaire, et par là découpée en creux ou en relief, d'après des combinaisons fort remarquables mais également géométriques.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

D'ailleurs, cet instrument, nommé, improprement peut-être, *tour anglais*, avait été précédé ou suivi de quelques autres appareils ou *mandrins excentriques* analogues, proposés par J. H. Ibbetson, en vue de graver, buriner légèrement, sur différentes matières, des figures en ovales, en conchoïdes, en épicycloïdes, etc., entrecoupées, recroisées de diverses manières, et qui rappellent celles obtenues autrefois sur le tour excentrique ou les instruments traceurs de Lacondamine, de Suardi (*plume géométrique*), etc., chariots, on doit le dire, entièrement dirigés à la main, et dont M. Ibbetson prétend avoir réalisé les combinaisons principales, de 1818 à 1820, pour s'opposer à la contrefaçon des billets de banque, mais qui, ayant été par lui communiqués en 1827 à MM. Holtzappfel et Cie, de Londres, auraient été ajoutés à leurs catalogues de tours d'amateurs.

Mandrin excentrique. Décrivons d'abord le mandrin excentrique simple.



Fig. 25.

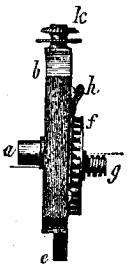


Fig. 26.

Sur un plateau de cuivre suffisamment épais sont fixées, au moyen de vis, deux bandes d'acier (fig. 25 et 26) guidant le mouvement de glissement d'un chariot portant une vis susceptible de prendre un mouvement de rotation, et conduit par un tenon que traverse une vis *k* dont l'écrou est monté dans le bord du plateau et qui détermine l'excentricité; *f* est une plaque circulaire sur la circonférence de laquelle sont taillées des dents, et qui pourrait tourner si elle n'était maintenue en place par un cliquet et le ressort *h*; en son centre est fixée la vis *g*, dont les filets servent à maintenir en place la pièce à travailler.

Le rayon du cercle que produit sur la pièce ainsi montée l'outil situé sur le support du tour est la distance de sa pointe au centre *a*, et la succession de semblables circonférences dépend du mouvement du mandrin, succession en ligne droite si on fait agir la vis *k*, circulaire si on fait tourner *f*.

Si donc on établit ce mandrin de manière à pouvoir mesurer le mouvement de progression de la vis, aussi bien que le nombre de degrés de rotation, on pourra tracer des cercles disposés, espacés à volonté, obtenir des figures variées par des successions, des intersections de cercles.

Les cercles étant d'un diamètre constant tant que l'outil porté sur le support à chariot reste fixe, on voit que cette disposition permettra de former des parties circulaires d'un même rayon, en une place quelconque d'une même pièce, amenée sous l'outil au moyen de la vis et du plateau à cliquet (l'inventeur a adopté 96 dents), ou mieux du plateau divisé, conduit par une vis sans fin, par lequel le cliquet est remplacé. Ces successions de cercles ont dans l'industrie des emplois assez fréquents. Pour les déterminer il suffit de fixer l'*excentricité* et le *rayon*; l'excentricité qui répond au nombre de tours de la vis du plateau excentrique, à partir du point où son centre correspond à l'axe du tour; le rayon déterminé par la vis qui fait avancer l'outil sur le support à coulisse monté sur le banc du tour, qu'on fait, en général, identique à la précédente, et également à partir de la position qui correspond à l'axe du tour.

Les aspects varient beaucoup avec les grandeurs de l'excentricité et du rayon, même quand leur rapport est constant. Donnons en quelques exemples.

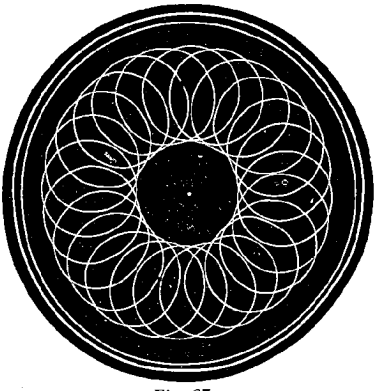

Fig. 27.

Fig. 27. Excentricité = 4 1/2. Rayon = 2. — 24 cercles. 4 divisions du plateau pour passer d'un cercle au suivant.

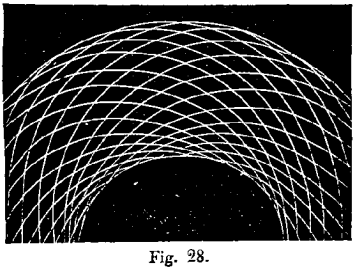

Fig. 28.

Fig. 28. Excentricité = 5 1/8. Rayon = 11 3/4. 24 cercles.

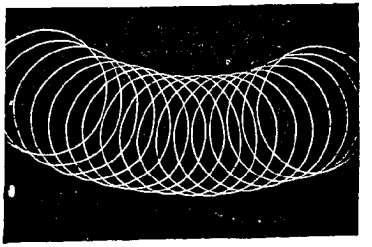

Fig. 29.

Fig. 29. Excentricité = 21 1/2. Rayon = 4 3/4. 96 cercles équidistants.

Le mouvement rectiligne n'est guère employé que pour faire mouvoir le coulisseau verticalement ou horizontalement, et produire l'effet représenté fig. 30.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En montant un plateau semblable sur le nez du tour

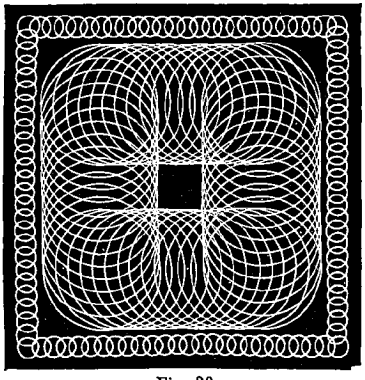


Fig. 30.

ovale, on obtiendrait de même des successions d'ellipses.

Pour multiplier les effets décoratifs, il faut rendre continus les mouvements du mandrin.

Ce procédé fournit, en effet, des ressources indéfinies pour la décoration, sans rosette spéciale, en permettant de disposer de toute la famille des courbes *épicycloïdales*. Telle est déjà la *plume de Suardi*, en réalité équivalente à un tour différentiel simple, le mouvement de rotation étant donné à la main dans cet appareil devenu une espèce de compas à tracer les épicycloïdes. Bien que nous en ayons déjà traité à l'article DIFFÉRENTIEL, nous l'analyserons directement ici pour rendre facilement compréhensible l'analyse des rotations qui s'effectuent dans les tours épicycloïdaux.

Plume de Suardi. Soit une roue fixe F de rayon R

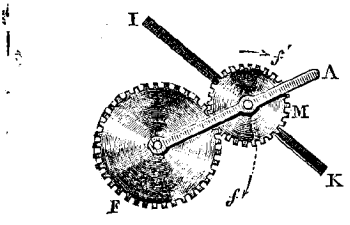


Fig. 31.

(fig. 31), engrenant avec une roue M de rayon *r*. L'axe de cette dernière est porté par un bras A que l'on peut faire tourner à la main autour de l'axe de la roue fixe F; à cette roue mobile est adaptée une barre IK, dans laquelle est pratiquée une rainure où l'on peut faire glisser un crayon ou un pinceau, dont on fixe la position à l'aide d'une vis de pression. Si l'on fait mouvoir le bras A autour de l'axe fixe, dans le sens de la flèche *f*, la roue M engrenant avec la roue fixe tourne autour de son axe dans le sens de la flèche *f'*; et le point I décrit une épicycloïde extérieure, qui sera allongée, simple ou raccourcie, suivant que la longueur de la barre à partir du centre de la roue M sera supérieure, égale ou inférieure au rayon *r* de la roue mobile. Le nombre des dents de chaque roue étant nécessairement entier, la courbe décrite sera toujours une courbe fermée. Soit N le nombre des dents de la roue fixe, et *n* celui des dents de la roue

mobile, le rapport de ces deux nombres, le même que celui des rayons des roues, réduit à sa plus simple expression, sera une fraction dont le numérateur exprimera le nombre de points de rebroussement de l'épicycloïde simple, de nœuds de l'épicycloïde allongée, de dépressions de l'épicycloïde raccourcie, tandis que le dénominateur indiquera le nombre de tours nécessaire pour revenir au point de départ. Ainsi, si le rapport est 3/5, l'épicycloïde aura trois points de rebroussement et il faudra 5 tours pour tracer la courbe entière. Cette question a été traitée complétement à l'article Courbes ÉPICYCLOÏDALES.

Au lieu de faire rouler la roue M extérieurement à une roue fixe F, on pourrait la faire rouler intérieurement, et l'on obtiendrait des épicycloïdes intérieures, allongées, simples ou raccourcies, suivant la position du traçoir sur la barre IK. Mais on peut obtenir le même résultat d'une autre manière, sans recourir à un engrenage intérieur. Il suffit d'interposer une roue auxiliaire entre les roues F et M de la figure précédente, ce qui retourne le mouvement du traçoir. Soit B (fig. 32) cette roue intermédiaire.

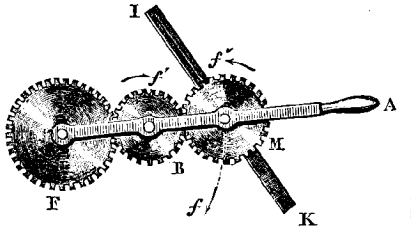


Fig. 32.

Il est aisé de voir que les choses se passent comme si le point I était lié à une roue mobile qui aurait le même centre que M, mais qui roulerait intérieurement dans une roue fixe. Remarquons, en effet, que si N est le nombre des dents de la roue F, *n* celui des dents de la roue M, ω la vitesse angulaire du bras OA, ω' celle de la roue M autour de son axe, on a:

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{N}{n} = \frac{L}{l}, \qquad (1)$$

L et *l* étant les longueurs des rayons des roues F et M, relation indépendante du nombre des dents de la roue intermédiaire. Cela posé, supposons que la roue M soit remplacée par une roue M' ayant le même axe, et un rayon *r*, assujettie à rouler dans l'intérieur d'une roue fixe F', ayant l'axe O et un rayon R. D'après la liaison des roues F' et M', on aurait, en appelant ω" la vitesse angulaire de la roue M' autour de l'axe C,

$$\frac{\omega''}{\omega} = \frac{R}{r}. \qquad (2)$$

La vitesse théorique ω" étant égale à ω', on doit poser:

$$\frac{R}{r} = \frac{L}{l} \qquad (3)$$

On doit avoir de plus:

$$R - r = d, \qquad (4)$$

en désignant par *d* la distance des deux axes de rotation.

Des relations (3) et (4), on tire:

$$R = d\frac{L}{L-l} \text{ et } r = d\frac{l}{L-l} \qquad (5)$$

Le mouvement du point décrivant I sera donc le

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même que si ce point était lié à une roue M', ayant le même axe que la roue mobile sur la barre, et qui roulerait dans une roue fixe F', ayant le même axe que la roue F, les rayons de ces deux roues ayant les valeurs indiquées par les relations (5). L'épicycloïde engendrée sera allongée, simple ou raccourcie, suivant que la longueur de la barre tournante sera supérieure, égale ou inférieure au rayon r de la roue M'.

Cette disposition fournit, on le voit, un compas à ellipse en faisant en sorte que $R = 2r$, ce qui nécessite, d'après les équations ci-dessus $L = 2l$.

Disposé sur le tour, ou plutôt un système équivalent étant disposé sur celui-ci, l'appareil qui vient d'être décrit pourra évidemment servir à tracer toutes les courbes épicycloïdales simples; et sa multiplication à engendrer des courbes très-complexes.

Mandrin géométrique. Nous décrirons comme exemple de disposition de ce genre (fig. 33) le tour très-complet construit par M. Plant, de Birmingham. M. Savory a publié un album des décorations qu'il obtient avec lui, dont nous reproduirons quelques exemples.

TOURS COMPOSÉS.

train de roues dentées; le tout formant un plateau de tour excentrique *self-acting*.

La grande roue de la première partie est mise en mouvement par une roue dentée montée sur une bande mobile saillante sur le plateau, et rendue solidaire avec celui-ci à l'aide d'une pointe qui entre dans un trou, absolument comme celle qui agit sur le plateau d'une machine à diviser; cette roue engrène avec une autre roue placée en arrière du plateau par le moyen d'une ou deux autres roues, et est attachée au pignon qui traverse le plateau porte-chariot; à l'autre extrémité de ce pignon est adaptée une autre roue dentée. Cette dernière roue peut être changée à volonté, et a le nombre de dents que l'on veut; elle est dite roue-pignon de la première partie et donne le mouvement au train de roues qui met en mouvement la grande roue de cette première partie, par l'effet d'une roue fixe, concentrique avec l'axe du tour.

Il est évident que quand on ne fait pas agir le système de roues, chaque rotation de l'axe du tour produit un cercle, dont le rayon est la distance de l'extré-

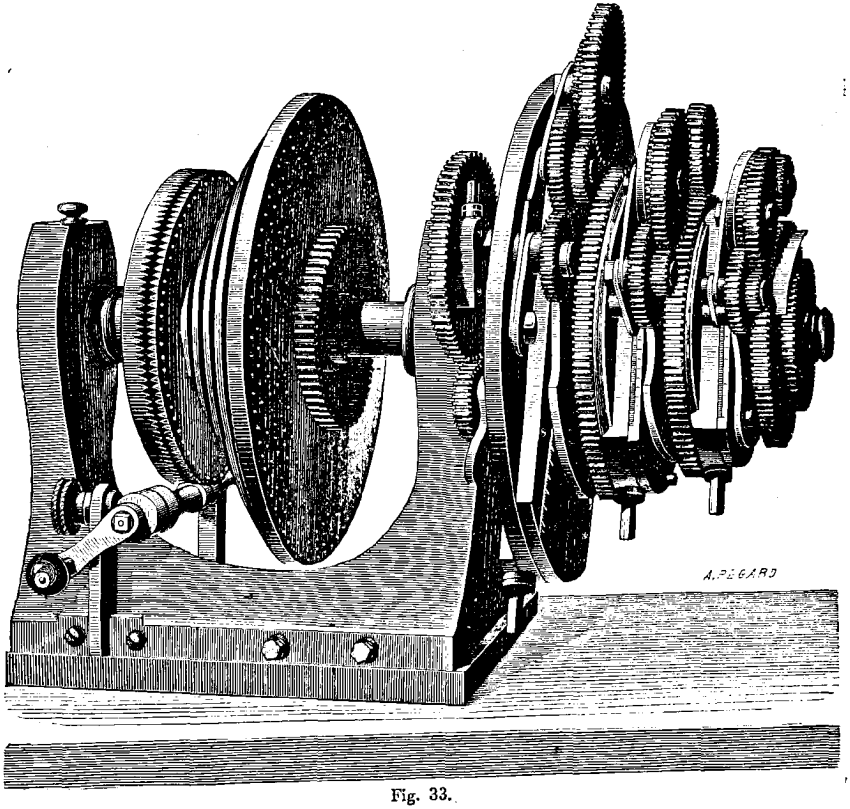


Fig. 33.

On voit que le mandrin géométrique est formé de une, deux ou trois parties; on n'en a pas employé plus, parce qu'il deviendrait trop lourd et trop embarrassant. Chaque partie consiste en un plateau à glissière semblable à celui du plateau du tour excentrique; elle porte en son centre une grande roue dentée mue par un

mité de l'outil au centre du tour, et la position en est déterminée par la quantité dont on a fait marcher, au moyen d'une vis saillante, le plateau mobile, c'est le mandrin excentrique simple; quand le système agit complétement, on obtient des épicycloïdes, parce que pendant que le tour a produit un mouvement circu-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

laire, le chariot tourne d'un mouvement propre et produit le nombre de boucles pour lequel il a été disposé.

Le second plateau, qui sert à produire des épicycloïdales doubles, est mis en mouvement de la même manière; c'est une roue intérieure montée sur le premier plateau, qu'on ne peut voir sur la figure, qui engrène avec la roue qui conduit le pignon de cette seconde partie. Le troisième est exactement semblable au second; chacun d'eux consistant en une pièce glissante et un mouvement planétaire différentiel.

Nous ne reviendrons pas sur le nombre de boucles et de points de rebroussement, qui dépendent des rapports des rayons des roues, comme il a été expliqué à l'article ÉPICYCLOÏDALES; nous dirons seulement qu'avec les roues toujours dans un rapport constant, les seules qu'emploie le constructeur, les courbes se fermeront toujours et par conséquent tout mouvement de rotation du tour donnera une courbe décorative, de nature variable avec les roues adoptées, et celles-ci étant constantes, avec le pignon primitif. Lorsque rien ne change que les excentricités, le rapport ϵ, dont nous avons parlé dans l'article précité, ne changeant pas, le nombre des boucles ou points de rebroussement ne changera pas, bien que du reste la courbe puisse se modifier considérablement dans son apparence, mais non dans sa nature.

Par suite de leur mode de formation, toutes les courbes formées sur le tour ont un centre, qui est le centre même du tour, et un axe de symétrie, ces courbes produites par des mouvements de révolution ne pouvant se former sans qu'une moitié soit symétrique et semblable à l'autre.

Les nombres de boucles des courbes sont déterminés par les rapports des rayons des roues, chacune d'elles ne pouvant être engendrée que par un tour complet du mandrin du tour; ainsi, si le premier plateau est monté pour produire une courbe à 72 boucles, son mandrin fera 72 tours pendant que la roue maîtresse en fera un; si le second plateau est arrangé pour 36 boucles, le nombre de tours sera de 36×72; s'il en est de même pour le troisième, on arrive à $36 \times 36 \times 72 = 93312$, combinaison qui n'a certes jamais été réalisée, qui exigerait beaucoup de temps et d'espace pour que les lignes d'une certaine épaisseur ne se confondissent pas.

Dans le tour représenté fig. 33, et qui a servi à produire les dessins reproduits ci-après, les vis du chariot et du support sont toutes de 20 pas dans un pouce anglais et portent un index divisé en dixièmes et 1/2 de dixièmes; les excentricités et les rayons s'expriment en unités semblables.

Le mandrin porte-objet est muni d'une roue à déclic, semblable à celle que l'on voit fig. 25 qui permet, quand une ligne est terminée, de la répéter en la faisant tourner de 1/4, 1/3, etc., de circonférence, de multiplier les répétitions de lignes circulairement, de les disposer autour du centre.

Les mouvements épicycloïdaux pouvant toujours se ramener, en chaque instant, au roulement d'une circonférence sur une autre immobile, ayant son centre sur l'axe de rotation du tour, les centres instantanés de rotation se trouvant toujours aux points de contact successifs des deux circonférences, le tracé obtenu répond au mouvement d'un point d'un cercle mobile traçant sur un plan fixe; il est le même que celui qu'un point fixe tracera sur le plan du tour, c'est-à-dire si le point traçant devenant fixe, le plan devenait mobile, prenait un mouvement angulaire inverse de celui du cercle roulant, n'ayant plus qu'un mouvement de rotation autour de son axe. On peut donc placer l'outil qui grave ou le crayon qui dessine les courbes, soit sur le support à coulisse, soit sur le chariot du tour; on emploie en effet les deux dispositions.

Nous devons donner quelques exemples des résultats que l'on peut obtenir, et qui feront apprécier les ressources que peut fournir ce mode d'opérer; nous n'entrerons pas toutefois dans les détails d'exécution pratique, mouvements de progression de l'outil, déplacements sur le mandrin, etc., qui offriraient peu d'intérêt. Il est évident que le nombre des révolutions dépend des nombres des rouages et l'allongement ou raccourcissement des courbes, de l'excentricité. Nous donnerons seulement les valeurs extrêmes ou moyennes du rayon et de l'excentricité qui interviennent ici comme il a été dit pour le tour excentrique; le fonctionnement des divers organes du tour se comprenant aisément.

Le cliquet du mandrin permet de faire succéder les mêmes lignes avec une rotation angulaire, les variations du rayon, au moyen du chariot du tour, de faire varier les grandeurs en partant du centre; les variations du chariot du mandrin et celles de l'excentricité permettent de modifier les rayons de courbure, le nombre des boucles; enfin, une roue supplémentaire peut transformer les convexités en concavités.

Premier plateau seul.

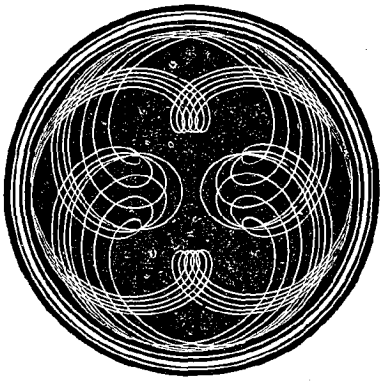


Fig. 34.

Fig. 34. 2 boucles. Exc. = 10. Rayon = 9. Quatre déplacements par le cliquet.

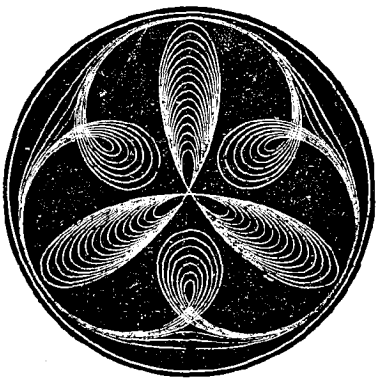


Fig. 35.

Fig. 35. 3 boucles. Extérieur : Exc. = 12. Rayon = 8. Intérieur : Excentricité = 10. Rayon = 10. Ce-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lui-ci diminue de 1/2 par tour pour chaque courbe.



Fig. 36.

Fig. 36. 3 boucles. Extérieur: Exc. = 2. Rayon = 1. Intérieur: Exc. = 1 2. Rayon = 5, allant en diminuant successivement, avec roue de renversement.

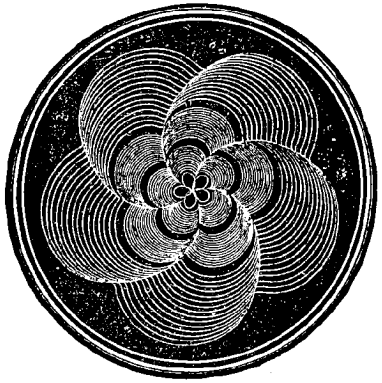


Fig. 37.

Fig. 37. 5 boucles. Excentricité = 18. Rayon = 2.

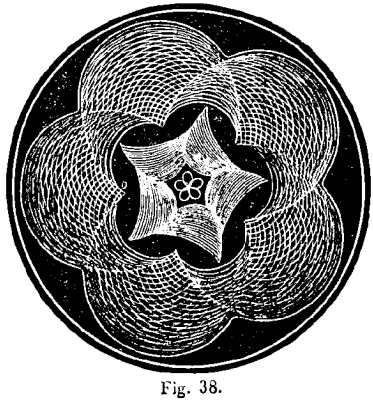


Fig. 38.

Fig. 38. 5 boucles. Extérieur: Exc. = 17. Rayon = 3.

Intérieur: Roue de renversement. Excentricité = 3 Rayon = 2. Diminution du rayon: 1/4 par tour.

Ces exemples suffisent pour montrer les richesses du système à un seul plateau, qui fournit toutes les épicycloïdes simples et permet de varier singulièrement les effets obtenus par des courbes du même ordre, comme le montrent les exemples reproduits ci-dessus.

Deux plateaux.

Avec deux plateaux, ce ne sont plus les épicycloïdes simples qui sont obtenues, comme avec la plume de Suardi, mais des courbes bien plus complexes engendrées par la superposition de doubles rotations.

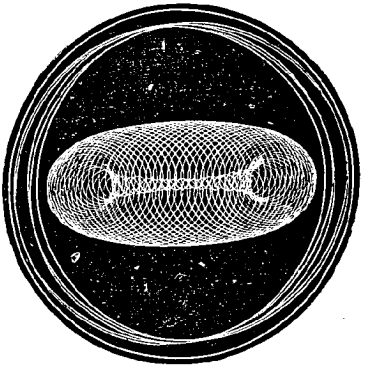


Fig. 39.

Fig. 39. Premier plateau: Exc. = 8. Second plateau: Exc. = 4 1/2. Rayon = 4 1/4.

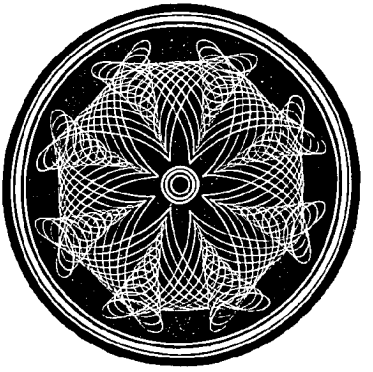


Fig. 40.

Fig. 40. Exc. 1 = 6. Exc. 2 = 12. Rayon = 3.

Il nous faudrait le tour lui-même pour graver ces courbes; avec son aide elles se produisent en quelque sorte d'elles-mêmes, tandis que leur reproduction à la main est difficile et eût été presque impossible même sans le secours de la photographie.

Nous renvoyons donc aux albums de courbes obtenues ainsi, les exemples ci-dessus faisant apprécier la nature et la richesse des entrelacements de lignes que l'on peut produire avec cette machine et appliquer à bas prix sur les surfaces à décorer.

Nous donnerons un seul exemple des courbes obte-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nues avec trois plateaux. Elles sont curieuses par la complexité des enroulements qui se produisent et qui nous paraît même trop grande pour qu'elles soient souvent utilisables pour la décoration industrielle.

Trois plateaux.

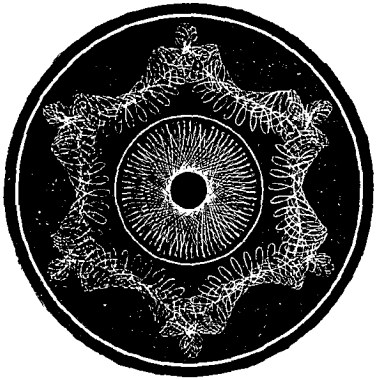


Fig. 41.

Fig. 41. Excentricité 1 = 2. Excentricité 2 = 3. Excentricité 3 = 20. Rayon = 2.

MACHINES A GRAVER.

La machine dont nous venons de parler est en réalité moins un tour qu'une machine à graver. En effet le caractère principal du tour est d'agir sur un corps auquel on imprime un mouvement de rotation, tandis qu'ici on est naturellement conduit à rendre celui-ci fixe sur le support, pour placer sur le système en mouvement l'outil traceur, ce qui est le caractère des machines à graver. On ne peut en effet que difficilement obtenir des tracés délicats avec des pièces d'un poids notable et de nombreux ajustements, des plateaux glissants. Au contraire, en redressant en quelque sorte le tour, en employant un axe vertical et des rouages légers de la nature de ceux de l'horlogerie, on pourra faire fonctionner rapidement l'outil traceur sur la surface horizontale placée sur un support, sur lequel elle peut être mue. C'est ainsi que le tour ovale donne des conchoïdes de cercle, ainsi qu'il a été expliqué.

Telle est l'élégante machine à graver, indiquée à l'article COURBES ÉPICYCLOÏDALES, due à M. Barrère, et dans laquelle le mouvement des roues produit des courbes épicycloïdales à boucles multiples, et la pierre lithographique mue à volonté, circulairement, elliptiquement, se déplace de manière à disposer ces lignes en raison des applications qu'on peut en faire dans le commerce. Comme il a été déjà dit, cette curieuse machine approche beaucoup des limites de ce qu'il est possible d'obtenir des machines à graver, sans *rosette spéciale*, c'est-à-dire, non pas remplacer le travail du dessinateur, mais mettre à sa disposition une espèce de kaléidoscope fournissant des fonds teintés, des enroulements de courbes à boucles, etc., toutes sortes de combinaisons susceptibles d'une foule d'applications industrielles, mais ne s'écartant jamais de la famille des *épicycloïdes circulaires*.

La petite et élégante machine à graver que ce constructeur a cherché à introduire dans les ateliers de lithographie, de gravure, etc., construite un peu différemment de la précédente, sert à volonté à graver sur pierre ou sur cuivre des lignes parallèles, droites ou ondulées, des figures de médailles, des bordures à entrecoupements microscopiques, etc.

Pour la caractériser en deux mots, il suffira de dire que le corps de cette machine, établi au-dessus du mandrin horizontal d'un tour, rendu à volonté fixe, ovale ou excentrique, comprend le plateau ordinaire à chariot, pouvant devenir porte-modèle ou bas-relief, le chariot porte-touche et outil, ainsi que leurs équipages accessoires ou moteurs, le tout monté sur des rails à coulisses transversales fixes, et accompagné latéralement d'un petit équipage à roues dentées de rechange, faisant mouvoir horizontalement, au sommet, un bouton d'excentrique qui, au moyen d'un système de tringles et de bascules de renvoi, transmet à l'équipage même du porte-outil le mouvement destiné à produire les vignettes, etc.

Il importe d'insister sur la disposition du plateau qui, en permettant de répéter les courbes en ligne droite, circulairement ou elliptiquement, fait naître des cadres convenables pour cartes, billets à ordre, dessins, etc.

Au dernier degré possible, la machine à graver, sans rosette spéciale, se ramène à la solution du problème des courbes qui peuvent être tracées avec la règle et le compas. Elles se trouvent avoir, par suite, une connexion directe avec les machines à calculer possibles *théoriquement*, à propos desquelles nous avons traité cette question. Il devait en être ainsi, puisque dans les deux cas il s'agit d'une courbe ou d'une fonction à deux inconnues, ce qui est la même chose, à représenter avec des rouages et des crémaillères.

Ce que nous avons établi sur la limite de la puissance de ces dernières est donc applicable aux machines à graver sans rosette et montre que l'on pourrait obtenir d'autres courbes. Les losanges Peaucellier, les ressources qu'offrent les systèmes articulés pour tracer les courbes, pourront permettre d'étendre leur domaine.

Revenons à l'historique de Poncelet et à l'étude des machines à graver, employant des rosettes spéciales, ce qui est le cas général.

L'Américain Perkins, à qui l'on doit, après Gingembre, les moyens de reproduction indéfinie des matrices ou clichés en acier des billets de banque, devait se servir de quelque procédé analogue au tour anglais pour y graver des figures en lignes continues et recroisées, telles qu'on peut en obtenir sur le tour au guillochis; mais le caractère essentiellement géométrique de ces lignes plus ou moins déliées et d'une certaine étendue n'ayant pas semblé offrir une garantie absolue ou suffisante contre le talent d'imitation ou de reproduction de quelques dessinateurs exceptionnels, dont la main et le coup d'œil acquièrent, à la longue, un sentiment instinctif de la continuité et de la courbure des lignes, c'est précisément ce qui a donné à M. Grimpé et à d'autres artistes habiles l'idée des figures étoilées polygonales, à angles vifs et d'une petitesse microscopique, pour la fabrication des papiers de sûreté, ce qui entraîne l'emploi de rosettes correspondantes à chaque figure demandée. Ce sont aussi ces figures, obtenues par des procédés et dans des degrés de précision divers, que le mécanicien Barrère, à Paris, depuis l'époque où s'ouvrait le concours relatif à cette fabrication, a tenté de produire d'une manière plus parfaite encore, sur la pierre lithographique et sur l'acier, à l'aide d'une charmante et délicate petite machine dont les produits ont figuré à l'Exposition française de 1849.

La machine de M. Barrère destinée à produire des fonds inimitables constitue un véritable tour automate, dont l'arbre vertical, à fourreaux ou manchons emboîtés les uns dans les autres à diverses fins, porte, vers le bas, une aiguille de centrage très-déliée, et, vers le milieu de sa hauteur, des roues d'angle motrices que conduit un mécanisme d'horlogerie, à roues d'échappement et mentonnets de rencontre, trop complexe pour en donner ici même une simple idée, mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont le but spécial est de mettre en action, par un renvoi de bascules et de tringles, les divers organes de la machine : tels sont, notamment, et les rosettes à fourreaux-enveloppes de l'arbre central, destinées à faire mouvoir extérieurement les touches, et les pantographes de réduction à ressorts-repoussoirs, qui font aller, à leur tour, les quatre aiguilles fixes à pointes diamantées et inclinées, traçant sur le vernis de la plaque d'acier ou cliché à graver autant d'étoiles microscopiques, groupées symétriquement autour de chacune des positions relatives et distinctes données à l'aiguille directrice ou centrale, je veux dire au mécanisme entier de l'équipage, susceptible de prendre automatiquement et successivement diverses positions parallèles aux côtés rectangulaires de cette même plaque immobile sur la plate-forme d'un tour ovale ou excentrique, mumie, en outre, de diviseurs universels fonctionnant d'une manière également automatique.

L'ensemble de cette délicate machine, aussi bien conçue qu'exécutée, et dont les multiples combinaisons constituent un véritable tour de force mécanique, est le fruit de dix années de persévérants efforts pour la production de figures étoilées, de bordures régulières vraiment identiques, mais, par cela même, d'une imitation pour ainsi dire impossible. C'est, si l'on veut encore, le dernier mot d'une série d'ingénieuses tentatives pour améliorer le système des machines destinées à la gravure des billets d'échange ou de commerce, et dont M. Barrère avait, avec une louable perfection, précédemment fabriqué des modèles pour les graveurs des banques du Brésil, de Constantinople, de Madrid, etc.

On doit remarquer, dit Poncelet, que le point de départ réel des anciennes machines à graver est dans l'appareil à châssis vertical rectangulaire, porte-plaque ou objet, doublement mobile dans des coulisses perpendiculaires entre elles, à orientations diverses autour de son centre, et dont les artistes tourneurs, Bergeron notamment, reportent la première idée aux académiciens de Lahire, de Lacondamine et Dufay, mais qu'ils nomment *machine carrée*, peut-être aussi parce que la plaque à buriner au guillochis, contenue par des vis de serrage dans un châssis en fer pareil à celui des formes d'imprimerie, est animé de ce double mouvement rectangulaire avec ce châssis ou coffre, dont le fond plat peut, comme dans le tour à ovales, prendre diverses inclinaisons autour de l'axe d'une roue dentée et graduée, remplissant la fonction de cercle diviseur. Cette roue, ce châssis, sont, pour cette fin, montés sur un plateau vertical en bois, véritable chariot ou traîneau à coulisses horizontales, montées sur un second plateau lui-même à coulisses verticales, le long desquelles il est élevé, au moyen d'une vis à manivelle, traversant un chapeau supérieur, tandis que le précédent est soumis, d'une part, à l'action horizontale d'un ressort-repoussoir, d'une autre, à celle d'une touche à pointe mousse, qui, en s'appuyant contre les ondulations d'une réglette verticale parallèle au côté correspondant du chariot porte-châssis ou objet, imprime à celui-ci, pendant son ascension, un mouvement horizontal oscillatoire en face de l'outil traceur ou burineur, monté sur un support à coulisse et vis de serrage, immobile au-dessus d'un établi solide servant aussi de point d'appui à la machine.

Ce lourd équipage, à double plateau vertical et glissant, d'ailleurs soulagé dans son ascension par un contre-poids à corde et poulie de renvoi, est, comme on voit, fondé sur le principe des anciens tours à mandrin mobile et outil fixe. Employé autrefois principalement à guillocher les faces planes des tabatières, des boîtes de montre et objets similaires, il ne tarda pas à l'être à la gravure en taille-douce des planches de cuivre pour l'impression des étoffes peintes: gravure

qui, née en France ou en Suisse, fut bientôt étendue, perfectionnée dans ses applications aux manufactures de l'Angleterre. Malheureusement la 2e édition du *Manuel* de Bergeron, publiée peu après l'époque où s'opérait une si utile transformation, ne contient sur ce sujet que des indications fort vagues, et tout à fait insignifiantes, dans les sections III et IV du chapitre VIII (p. 413 à 423), où, en donnant dans la planche 511 un spécimen de ce que, en 1816, l'on savait faire de mieux en ce genre au moyen du tour à guillochis et de la *machine carrée*, le texte nous apprend que l'auteur de cette planche, feu Collard, l'un des artistes guillocheurs les plus distingués d'alors, en avait obtenu des figures gravées directement sur le cuivre par des procédés divers, dont le plus remarquable était sans contredit celui de la figure 16, destinée à représenter deux têtes en bas-relief, au moyen de tailles, de traits également fins, ondulés suivant la forme et la saillie du modèle. Ce procédé, purement mécanique, est indiqué par Collard même en ces termes : « Le « profil, figure 16, se fait sur la machine carrée au « moyen d'une vis de rappel adaptée au porte-touche « et divisée comme la vis de rappel du support. En « faisant avancer la touche sur une médaille mise en « place de la règle et dans la même proportion que « l'outil qui coupe, on peut couper en taille-douce « toute sorte de sujets. Non-seulement ce moyen est « propre à figurer le plan des sujets qu'il représente, « mais il a l'avantage de figurer les bas-reliefs par « *l'illusion des effets de la lumière.* »

Il est évident qu'ici Collard entend parler d'une machine restée inédite, d'une constitution fort simple, dont l'outil et la touche marchaient automatiquement, et non pas de la machine carrée que Bergeron avait précédemment (1793 à 1796) décrite dans la première édition du *Manuel*. Cela, joint au peu d'encouragement commercial que ce genre de produits reçut avant ou après l'édition de 1816, explique comment la gravure en taille-douce d'après le relief, improprement nommée aujourd'hui *gravure numismatique*, est demeurée en oubli pendant plus de quinze années, au bout desquelles l'apathie du public et des artistes fut enfin stimulée chez nous par le succès des Américains et des Anglais dans ce nouvel art, qui, sauf le perfectionnement des outils et du mécanisme des machines, ne paraît pas avoir subi des modifications bien essentielles.

Quant à l'ancienne et soi-disant machine carrée, réduite au simple rôle de buriner des lignes droites ou ondulées sur des plaques de cuivre, elle ne pouvait être préférée par les graveurs en taille-douce à l'ingénieux et léger instrument imaginé en 1805 par Conté, réalisé par Gallet, pour l'exécution des planches du grand ouvrage sur l'Égypte, dont les ciels, les eaux, les faces de monuments, exigeaient le tracé d'une multitude de lignes droites ou ondulées équidistantes, à écartements et finesse gradués; instrument constitué d'une simple équerre en cuivre à deux branches dont l'une, dirigée par une vis à cadran et aiguille micrométrique, marche parallèlement à l'un des côtés de la table, tandis que l'autre chemine perpendiculairement, munie d'un chariot à coulisse portant, selon les cas, ou le diamant pour enlever légèrement le vernis à la surface de la planche exactement maintenue, ou la pointe sèche à ressort pousseur pour entamer le métal à la profondeur voulue, ou enfin la molette à lignes ondulées, bientôt remplacée à moins de frais par une réglette en cuivre servant à diriger le porte-outil du chariot; réglette aujourd'hui fabriquée expéditivement et avec beaucoup de précision au moyen d'une petite machine automatique, dont la fraise et le porte-outil tournant exécutent des révolutions très-rapides en face de plusieurs de ces lames superposées, serrées entre les mâchoires d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chariot à coulisse mené, horizontalement et transversalement à la fraise, par une longue vis, dont l'exécution a besoin d'être parfaite pour la succession régulière et identique des diverses branches sinusoïdes des lames, variables à l'infini de forme et de proportion, au moyen d'un compteur servant à régler les avancements du chariot, etc.

On rappellera ici le caractère de précision que M. Perreaux a su apporter à sa machine à graver de l'Imprimerie nationale, dont il a disposé le mécanisme de manière à pouvoir, au besoin, obtenir très-facilement, par le tracé de l'outil mobile, la représentation en plans, des bas-reliefs, que d'autres avaient depuis longtemps tentée avec succès d'après l'ingénieux système de Collard. Ce système, de même que l'instrument traceur de Conté et ses dérivés immédiats, ne constituaient pas en eux-mêmes des machines automatiques, et il faut remonter à l'époque de 1830 à 1832 pour les Etats-Unis d'Amérique ou l'Angleterre, et à celle de 1833 à 1834 pour la France, afin de retrouver la trace, si longtemps perdue, des anciens travaux de Collard; travaux que M. Collas a remis en honneur chez nous dans l'importante publication du *Trésor de numismatique*, ouvrage où les médailles sont imitées par la taille-douce avec une vérité d'expression, une dégradation de nuances et de tons généralement admirées des amateurs, qui, s'attachant exclusivement au résultat final et artistique, s'inquiètent assez peu de savoir si les figures tracées au diamant ont reçu, après coup, des retouches au burin, des applications d'ombres par l'approfondissement de certains traits à l'eau-forte, ni même si elles n'ont pas subi une légère déformation résultant du déplacement général des saillies du relief, de la droite vers la gauche, ou de la gauche vers la droite, etc., selon le sens même dans lequel s'effectue l'opération mécanique qui, en réalité, consiste en un rabattement de diverses tranches parallèles du relief ou profils perpendiculaires au fond plan de la médaille. Dans toutes les machines en usage, celle-ci, marchant parallèlement à elle-même et de quantités égales sous l'action intermittente d'une vis à pas micrométrique, est, en effet, parcourue à chaque fois, transversalement et rectilignement, par une touche à pointe mousse et ressort pousseur dont les alternatives d'abaissement ou d'élévation, le long du relief, mettent en jeu un système de tringles, de bascules à leviers coudés oscillant, tournant autour de leurs axes d'appui respectifs; alternatives elles-mêmes transmises dans le plan horizontal, au moyen de cordons, au porte-fourreau du burin, à pointe diamantée traçante, placé à l'autre bout de l'appareil, où il décrit une série correspondante de lignes ondulées sur la planche à graver, qui, à son tour, marche parallèlement, de quantités proportionnelles en longueur à la réduction, au moyen de deux crémaillères et d'un pignon intermédiaire convenable, tandis que le mouvement convenable pour chaque passe est déterminé par deux vis micrométriques à déclic et rochet, mises en harmonie à chaque va-et-vient du chariot porte-touche.

Dans le système anglais qu'indique l'ouvrage si connu de M. Babbage, la médaille et le cuivre à graver, mus toujours et respectivement de quantités égales et parallèles, étaient placés dans des plans différents, rectangulaires entre eux, et l'opticien John Bate, de Londres, s'était, à ce qu'il paraît, dès 1831, créé une méthode pour éviter les inconvénients résultant d'une trop grande saillie du relief. Mais, d'après le peu qu'en dit le savant professeur de l'université de Cambridge, rien ne prouve qu'il s'agit là d'autre chose que d'un procédé restreint de correction obtenue par un tâtonnement tel que l'expérience en suggère aux artistes habiles, et ressortant des moyens mêmes fournis par la marche de l'outil ou de la touche à inclinaison variable dans cette sorte de machine. Ce qui tendrait à le prouver, c'est, d'une part, que M. Freebairn a publié en 1840, c'est-à-dire huit ans après l'apparition de l'ouvrage ci-dessus, une grande carte topographique représentant le relief des Pyrénées, et qui, exécutée d'après les procédés de M. Bate, paraît offrir encore partiellement le caractère de déformation dont il vient d'être parlé; d'autre part, c'est que M. Babbage n'a pas cru superflu d'indiquer un moyen d'atténuer, dans un rapport variable, les trop grandes saillies du relief ou des tranches rabattues, tout en insistant sur d'autres modes de représentation, qui consistent, soit dans un système à pantographe où la largeur des traits, l'enfoncement du burin, varieraient proportionnellement aux saillies du modèle, soit dans la reproduction du relief, au moyen de tranches planes horizontales et équidistantes, d'après le principe des ingénieurs topographes.

Toutefois, il semble qu'on obtiendrait plus de chances encore de succès, si l'on substituait au système des tranches horizontales, dont il vient d'être parlé, la projection, sur le plan qui sert de base au relief, de tranches également équidistantes, mais inclinées toutes d'un même angle approprié à la saillie et à la nature des objets. Sauf, en effet, les difficultés d'exécution mécanique, les résultats d'une telle méthode, déjà anciennement soumise à des essais purement graphiques par un ingénieux et savant professeur de dessin aux Écoles de services publics, M. Bardin, de tels résultats seraient particulièrement aptes à représenter les ondulations du relief des corps, en évitant cette déformation, ce déplacement apparent de leur ensemble, qui, pour les médailles à saillies un peu prononcées, mais surtout pour les objets d'ornement à formes régulières ou mathématiques, devient intolérable dans le système ordinaire de la gravure dite numismatique, où le resserrement naturel des lignes du dessin dans la descente de la touche, et leur écartement dans son ascension sur les parties en relief, donnent lieu à une opposition naturelle d'ombre et de lumière d'un effet vraiment merveilleux, quand il s'agit de formes irrégulières dont les altérations sont peu sensibles, surtout hors de la vue du modèle.

Quant à la machine réalisée en 1833 par M. Collas (voir GRAVURE), elle se distingue des précédentes à plans rectangulaires en ce que le bas-relief et la planche à graver sont mobiles aussi parallèlement, de sens contraires, sur un plan horizontal formant le dessus d'une table solide surmontée de la barre à coulisse fixe, dont le chariot à va-et-vient entraîne parallèlement les équipages de la touche et du burin; ce qui amène, pour tous les cas, une très-grande simplification dans le jeu des divers organes mis en action, d'un côté par une manivelle, d'un autre par l'appareil à rochet et divisions conduit à la main. Cette machine comporte d'ailleurs des moyens non moins simples de soulever le poinçon aux retours du chariot, et de faire varier, entre certaines limites, et l'inclinaison du porte-touche ou des tranches planes du relief, et la proportion des saillies ou ordonnées de ces tranches par rapport à celles qui les représentent sur le dessin: un simple déplacement des porte-touche et burin sur le levier à bascule qui règle les excursions permet ainsi de changer à volonté le mode de représentation du relief par le rabattement, le transport parallèle de ses tranches.

D'un autre côté, M. Barrère adoptant le système ancien à deux plans rectangulaires conduits, parallèlement à leur intersection commune, par des vis à action intermittente, graduelle et solidaire, l'un, horizontal, portant la planche ou le marbre à graver, l'autre, vertical, portant la médaille ou sa copie, M. Barrère, dis-je, imitant en cela le système des petites planeuses de Whitworth à fourche oscillante que conduit un bouton

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de manivelle à curseur, imprime, au chariot à coulisses horizontales soutenant à la fois la touche et le burin, un retour accéléré qui produit une notable économie de temps et s'applique, de même, au va-et-vient parallèle du chariot à coulisse et porte-planche inférieur, par une seconde tringle ou bielle, dont l'articulation, fixée plus près ou plus loin du centre d'oscillations de la fourche, permet de faire varier, dans un rapport donné, l'étendue relative de la course de ces deux chariots, et par conséquent la grandeur même des réductions.

Ajoutons que le chariot porte-touche et outil est surmonté de deux volets à charnières et à ressorts-repoussoirs, dont les châssis mobiles, liés entre eux parallélogrammiquement, reçoivent séparément, à leurs traverses supérieures, la touche et le burin, également susceptibles de diverses inclinaisons pour le refouillement des creux, mais incapables, d'après la nature du système, d'apporter aucun changement appréciable dans le mode de représentation des tranches planes du relief. Néanmoins, ici encore la saillie de ces tranches peut être réduite sur le dessin, dans un rapport arbitraire, par le rapprochement du porte-touche à l'égard de la charnière de rotation; rapprochement indispensable dans la machine Barrère, quand il s'agit d'opérer la réduction même des médailles sur la planche à graver.

En se reportant à ce qui a été dit ci-dessus des avantages géométriques inhérents à la projection rectangulaire d'un système de sections obliques et équidistantes, qu'on obtiendrait sur le relief en inclinant, d'un angle invariable convenablement fixé pour chaque cas, soit le plan même de la médaille, s'il s'agit de la machine Barrère, soit la direction propre de l'axe du porte-touche, s'il s'agit de la tige conductrice à leviers coudés de la machine Collas, il est facile d'apercevoir comment le moyen de réduction dont il vient d'être parlé en dernier lieu pourrait faire obtenir, sur le plan même du dessin ou du cuivre à graver, non le rabattement, mais cette projection exacte des tranches obliques du modèle, dont on diminuerait les saillies ou ordonnées respectives dans la proportion constante de l'unité au cosinus de leur angle d'inclinaison sur le plan du bas-relief. Or on arriverait à ce résultat par des modifications très-simples apportées au jeu de l'une ou de l'autre des machines ci-dessus, sans que pour cela, évidemment, il soit nécessaire de rien changer au mode ni à l'égalité des avancements parallèles des deux plans sous l'action intermittente et simultanée de leurs vis, poulies ou chaînes conductrices, non plus qu'aux oscillations transversales du porte-outil et du porte-touche. Il y a plus, au lieu de recourir à la réduction des ordonnées, ou déplacements obliques de la touche d'après la proportion du cosinus, on pourrait terminer l'extrémité postérieure de l'équipage de cette touche par un talon ou retour rectiligne, dirigé perpendiculairement au plan du bas-relief, et qui imprimerait à une tige parallèle à ce même plan un mouvement ondulatoire, dont les excursions seraient répétées par l'outil au moyen d'un mécanisme approprié à la nature de la machine.

En terminant ce qui concerne ce sujet, dont l'importance, au point de vue géométrique et artistique, ne saurait être mise en doute, je ferai observer que, dans la machine Collas, l'inclinaison à 45° du porte-touche sur le plan horizontal du relief est aussi susceptible de donner une projection exacte des tranches correspondantes; ce qu'explique la nature particulière de l'appareil, dans lequel les excursions de la touche sont transmises au burin par une tringle munie de deux leviers égaux et coudés à angles droits. Pour toute autre inclinaison du porte-touche, la proportion de la saillie des tranches à celle des rabattements est altérée dans un rapport invariable, il est vrai, mais différent de celui de l'unité au cosinus de l'angle de cette inclinaison; et c'est ce qui avait lieu aussi, à ce qu'il paraît, dans la machine de Bate, où la transmission des déplacements de la touche au burin se faisait par des combinaisons fondées principalement sur un système de poulies et de cordons ou chaînettes de renvoi.

TOURS COMPOSÉS.

MACHINES A SCULPTER.

Les machines-outils servant à donner à la substance à travailler des formes déterminées, sont en réalité des machines à sculpter. Mais c'est surtout le tour qui doit être considéré à ce point de vue, puisqu'il permet d'obtenir facilement des cylindres, des cônes, des vis, etc.

Le tour simple est la machine à sculpter sans rosette spéciale; mais on ne considère en général comme machines à sculpter que celles qui servent à reproduire un modèle donné, modèle qui devient naturellement la rosette spéciale. C'est encore le tour qui a fourni la solution du problème, et la machine la plus utilement combinée à cet effet est le tour à portrait.

Tour à portrait. Le tour à portrait, à peine connu en France à l'époque de 1749, où parut la 2e édition de Plumier, était déjà mentionné en 1733 dans le second mémoire de Lacondamine; et ce fut, si je ne me trompe, seulement dans la traduction allemande de ces ouvrages, que fit paraître, en 1776, l'imprimeur Breitkopf à Leipsick (p. 45 à 49), que se trouve reproduite, d'une manière, à la vérité, imparfaite, la description d'un tour à médailles (*contrefait-werks*), extraite d'un autre livre publié en 1740, par Jean-Martin Teubers, de Ratisbonne, dont la famille s'était, depuis plus d'un siècle déjà, acquis une certaine célébrité dans l'art du tourneur au guillochis, art qui s'était singulièrement propagé à Nuremberg, la patrie des jouets mécaniques, etc. On y aperçoit, en effet (pl. 80), l'arbre à roue motrice, cordon sans fin, etc., parallèle à celui du mandrin, muni à ses extrémités de la médaille à copier et du disque à graver; les deux tambours, à diamètres inégaux d'après l'échelle de réduction, où s'enroulent les petites chaînes horizontales qui servent à faire mouvoir, avec la lenteur indispensable et du centre à la circonférence des médailles, la touche-repoussoir de l'arbre du mandrin, lui-même retenu par une lame de ressort horizontale, et l'outil à grain d'orge servant à entailler circulairement ou en spirale l'objet fixé au bout opposé; enfin les petits chariots ou traîneaux porte-touche et porte-outil, glissant de part et d'autre de l'arbre du tour dans des coulisses horizontales parallèles, et que sollicitent des contre-poids de recul remplacés par des bascules à ressort dans le tour moderne et plus parfait de l'*Encyclopédie*. Ce dernier tour comporte, en outre, comme je l'ai dit, des équipages de rosettes ou de couronnes multiples, le tout surmonté, vers le haut, d'une roue motrice verticale, à cordon sans fin croisé et vis de tension, avec volant régulateur et manivelle conduite par une tiraude qui sert à donner le mouvement automatique à l'ensemble muni d'ailleurs d'un équipage de roues dentées et de vis sans fin, enfermées dans une boîte, sur l'un des côtés de la machine, pour ralentir au besoin, et dans une proportion convenable, la vitesse relative des divers organes du tour à portraits: des combinaisons analogues, mais dans des conditions mécaniques moins parfaites, existent dans les tours de Martin Teubers et de Pierre le Grand, qui, sans nul doute, ont donné lieu aux tours à guillocher, à graver, à sculpter modernes, où, à l'inverse de ce qui se faisait auparavant, l'outil est conduit d'une manière purement automatique, tandis que l'arbre du mandrin, tournant sur lui-même, est maintenu immobile dans ses collets.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TOURS COMPOSÉS.

Au surplus, je ne dois pas laisser échapper l'occasion de faire remarquer, avec M. Willis, que les planches 37, 38, 84, 85 et 86 de l'*Encyclopédie* (t. X, 1772) comportent une collection de porte-outils tournant, glissant en différents sens et munis de coulisses, de manivelle, de vis de réglage, etc., qui montrent que ce n'est point aux artistes de l'Angleterre, aux célèbres Joseph Bramah et Henry Maudslay notamment, que nos ateliers sont redevables de ces ingénieux et utiles appareils, qui, susceptibles d'être adaptés à vis et écrou en un point quelconque de l'établi d'un tour, rendent à cet égard les plus grands services; mais ce qui paraît leur appartenir en propre, c'est, il faut bien le reconnaître, l'usage de ce même appareil comme support à chariot (*slide-rest*), glissant le long des tiges ou coulisses en fer dans les tours parallèles à travailler les métaux; encore doit-on ne pas perdre de vue qu'on s'est servi dans le dernier siècle, en France, de moyens analogues pour diriger spontanément la course du chariot porte-outil, moyens dont M. Willis fait remonter le premier exemple à l'année 1648, où le R. P. Magnan, minime de Toulouse, le même dont Plumier parle avec éloge dans la préface de l'*Art du tourneur* sans en citer les ouvrages, publia à Rome les dessins de deux tours fort curieux pour exécuter automatiquement les surfaces de miroirs métalliques, sphériques, hyperboliques ou plans. Or les Anglais ont eu l'incontestable mérite d'étendre les applications de ce genre d'outils à leurs grandes machines à aléser, tourner, fileter les fortes pièces de fonte ou de fer, machines dans lesquelles l'équipage à chariot est conduit parallèlement, d'une manière vraiment spontanée, par un système d'engrenages à roues fixes de rechange ou quadrature, à crémaillère ou à chaine sans fin; mais cela n'ôte rien au mérite des originales conceptions des Nicolas Focq, des Lelièvre, des Gédéon Duval, des Taillemard, des Ferdinand Berthoud et des Caillon, ni même à celui des combinaisons, en quelque sorte inverses, par lesquelles les Plumier, les Grandjean, les Frédéric Japy et autres ont imaginé de tailler de petites vis cylindriques ou coniques, en imprimant à l'arbre du tour un mouvement direct en hélice, au moyen de vis mères, de plans inclinés mobiles avec la roue motrice, etc.

Je ne reviendrai pas sur l'ancien tour à portraits de Lacondamine (voir plus haut), qui ne peut guère servir qu'à tracer isolément et linéairement des figures planes au moyen de platines, de rosettes cylindriques, biaises ou droites, si ce n'est pour faire remarquer que ce tour constitue véritablement par lui-même une machine à outil automate, qui, d'après la combinaison de ses rouages et la rotation distincte des deux figures dans un même plan, a pu conduire au tour moderne à réduire les médailles, le même que Hamelin-Bergeron attribue, on ne sait trop pourquoi, au fils du célèbre P.-C. Hulot qui laissa inachevé l'*Art du tourneur mécanicien*, dont la première partie seulement fut publiée en 1776 par l'Académie des sciences, tandis que le fils, attiré en Angleterre par Georges III, vers 1766, en aurait reçu la commande d'un tour à guillocher et d'un tour à portraits, dont, s'il avait vécu, Hulot père nous eût entretenus dans la seconde partie de son Traité. Ainsi c'est dans le *Manuel* de Bergeron encore qu'il faut aller puiser des notions un peu certaines sur cette dernière machine, où la médaille et sa copie étaient non plus simplement montées, comme dans celle de Martin Teubers, etc., aux bouts d'un arbre de tour à deux mandrins, mais bien disposées dans un même plan vertical, perpendiculairement aux extrémités de deux arbres horizontaux parallèles, conduits par un troisième arbre transversal à double engrenage sans fin et situés à la hauteur et en face d'une forte barre de fer qui, horizontale dans sa position moyenne, sert de guide, de soutien, à la touche et au burin. (La fig. 42 montre cette disposition.) Ceux-ci, montés horizontalement sur des poupées ou supports curseurs à vis de

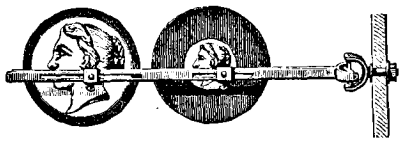


Fig. 42.

serrage et de centrage, sont fixés sur la barre mobile, comme les arbres mêmes du tour sur leurs traverses supérieures horizontales, dans des positions dépendantes de la grandeur des réductions à opérer, grandeur elle-même évidemment variable en raison des distances respectives de l'outil et de la touche par rapport à la charnière de rotation de la barre, articulée doublement, au moyen d'un genou à la Cardan, avec un arbre-support, parallèle à ceux des mandrins et situé à l'extrémité gauche de la machine. D'un autre côté, cette barre tournante, soumise à l'action d'un ressort d'acier qui tend à presser simultanément le burin et le porte-touche contre les reliefs respectifs des médailles animées d'un mouvement égal et uniforme de rotation, s'abaisse lentement et graduellement vers l'extrémité opposée à sa charnière, où elle est munie, parallèlement à sa direction, d'une couple de petits rouleaux d'acier entre lesquels passe une cheville horizontale qui leur sert de guide et de soutien pendant la descente de la barre seulement. Enfin, cette cheville elle-même est liée à un écrou, à coulisses latérales fixées au bâti, mobile le long d'une vis verticale dont l'arbre, de direction invariable, est conduit par un système de vis sans fin et d'engrenages extérieurs qui empruntent leur mouvement propre à l'arbre du mandrin porte-modèle, et, par suite, au système à volant, poulies et cordons sans fin, servant de moteur à toute la machine rendue ainsi parfaitement automatique.

Il n'est pas hors de propos de rappeler ici que l'admirable machine de Hulot fils, dont la date, au dire de Bergeron, serait antérieure à 1766, a été exécutée en fer, sans changement notable, mais sous de fortes proportions, pour le Conservatoire impérial des Arts-et-Métiers, qui, depuis l'apparition de la 2me édition du *Manuel du tourneur*, en 1816, en a commandé le modèle à l'habile M. Collas, auquel sont dues de nouvelles applications de la machine à la reproduction, amplifiée ou réduite, des bas-reliefs sur des matières tendres qui ont exigé des modifications essentielles dans le système de la barre porte-touche et outil, système par trop rigide pour des matières de cette espèce. D'ailleurs, si le tour à deux arbres de Hulot offre l'avantage de faire éviter le changement du creux en relief, ou réciproquement, il présente, en revanche, l'inconvénient que la touche et le taillant n'y marchent plus rectilignement, mais bien sur des arcs de cercle partant de chacun des centres de médailles, et dont la courbure, à la vérité peu appréciable pour de faibles diamètres, ne permet pas de renverser le sens de la rotation de l'un des mandrins, afin d'obtenir la contre-partie du profil de la médaille à copier, sans amener des altérations plus ou moins sensibles, dues au déplacement angulaire relatif des spirales tracées par la touche et le burin, sorte de distorsion qui croît avec leur éloignement des centres respectifs de rotation. D'un autre côté, les difficultés du centrage des médailles étaient restées les mêmes que dans l'ancien tour allemand; et si le mécanisme de la barre porte-outil permettait de régler à volonté la saillie proportionnelle du relief de la copie, au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moyen d'une petite tringle latérale à vis de réglage ajustée sur cette barre et conduisant la tête de l'outil dans une position telle que la ligne droite qui l'unit à celle de la touche eût l'inclinaison jugée nécessaire sur le plan vertical commun aux deux médailles, il n'en est pas moins vrai que, d'une part, l'égalité, l'invariabilité, à tous les instants, de la vitesse angulaire des arbres de mandrins, d'où résultaient des inégalités considérables dans la vitesse même de travail du burin aux diverses distances du centre ; d'une autre, la rapidité trop grande de la descente de la barre; enfin le prompt échauffement de l'outil en acier, travaillant pour ainsi dire à sec, et par conséquent susceptible de s'user, de se détremper promptement; ces différentes causes, dis-je, amenaient des difficultés, des défauts d'exécution très-fâcheux, et qu'on n'évitait que bien imparfaitement en recourant à des passes successives, à des affûtages et remontages répétés de l'outil : nouvelles sources de pertes de temps et de déformations qui ne permettaient pas aux artistes de considérer les résultats comme autre chose que des ébauches en elles-mêmes peu satisfaisantes, et impropres à servir de coins pour le frappage des monnaies ou des médailles.

Parmi les perfectionnements qu'ont subis les tours à portraits, il en est un surtout de la plus haute importance, et qui en a fait tripler, quadrupler les produits : c'est celui par lequel on a remplacé l'ancien burin à pointe d'acier fixe par une fraise à rotation rapide, dont quelques personnes attribuent la première application, en 1816, à un sieur Poterat, de Paris, comme aussi elles accordent à M. Contamin l'invention du procédé par lequel la mobilité de la touche et du burin le long de la barre directrice corrige les défauts qu'on observait dans l'ancien système lorsqu'on voulait obtenir, sans altération sensible, le retournement symétrique de la figure, de la gauche à la droite, ou son contre-profil, en faisant tourner les mandrins en sens opposé. Mais, quels que soient les avantages de ce dernier procédé, qui valut au tour à portraits de M. Contamin les honneurs de l'Exposition de 1839 et une utile application à la Monnaie de Munich, leur importance et leur mérite ne sauraient être comparés à ceux des perfectionnements divers que M. Collas, vers la même époque, et M. Barrère, postérieurement, ont introduits dans le mécanisme des machines à portraits. Malheureusement, ces perfectionnements ne se trouvant décrits nulle part, il règne, à leur sujet, une sorte de doute ou de mystère dont les estimables travaux de Gambey, de Grimpé et de plusieurs autres artistes ont offert des exemples d'autant plus fâcheux, que ces travaux, en leur supposant une supériorité mécanique incontestable, seront à peu près perdus pour l'avancement et le progrès industriel de notre pays.

A l'égard du tour Contamin en particulier, il faut se contenter de savoir, d'après M. Amédée Durant, que l'outil et la touche possédaient, sur la barre, des mouvements qui leur étaient propres, et dont les arcs respectifs avaient des *centres différents*, la touche étant d'ailleurs montée sur un manchon à poupée, glissant le long de la barre, de manière à décrire un arc de cercle opposé à celui que parcourt le porte-outil.

La modification la plus importante apportée par M. Collas à l'ancien tour à portraits de Hulot consiste, sans contredit, dans l'application, déjà mentionnée ci-dessus, qu'il en a faite à la réduction ou à l'amplification même des bas-reliefs ou médaillons de grandes dimensions, en matière plastique destinée à des moulages ultérieurs. Cette application, en effet, a conduit notre honorable et modeste artiste à allonger notablement la barre porte-touche et outil du tour Hulot, à la rejeter en dehors de l'établi, à une distance variable avec l'épaisseur du modèle et de la copie; ce qui permet d'abaisser à volonté le chiffre de la réduction, et doit s'entendre également du mécanisme à vis sans fin, etc., qui règle le mouvement de cette barre. D'un autre côté, l'arbre horizontal à manchons filetés qui mène les deux roues taraudées des mandrins verticaux se trouve ici placé au sommet de ces roues, de manière à retenir constamment l'huile qui sert à en lubrifier les dentures. Enfin M. Collas, dont les premiers travaux en ce genre remonteraient à 1835, a su appliquer au système de la touche et de l'outil un mécanisme en vertu duquel ils décrivent, non plus des arcs de cercle concentriques, mais bien des parallèles verticales, quand il s'agit de contre-profils d'une certaine dimension, et tout cela sans ôter à l'ensemble du tour son caractère automatique primitif, attendu que les modèles, reproduits au besoin en plâtre, etc., sont capables de résister à la pression douce et élastique de la touche qui détermine les déviations horizontales de l'outil. (Voy. PANTOGRAPHE.)

Quant à M. Barrère, il s'est plus particulièrement attaché à modifier le tour à portraits, de manière à le rendre apte, non plus simplement à ébaucher, mais à finir entièrement, et sans retouches subséquentes, les coins d'acier et les médaillons ou camées en pierres dures, telles que l'agathe et la cornaline, dont ce mécanicien a offert, à l'Exposition française de 1848, des échantillons fort admirés du public, lesquels lui ont valu les éloges mérités du jury et des nombreux artistes graveurs de timbres ou de médailles, qui n'ont pas cessé depuis de recourir à l'usage expéditif de ses machines, toutes les fois qu'il est devenu nécessaire d'obtenir des réductions d'une perfection suffisante, quoique sans retouches.

Non-seulement M. Barrère a substitué aux anciens burins fixes, en acier trempé, des burins en diamant, montés d'après le procédé qui lui est propre (centrés dans l'instrument, dans la masse du métal), la perfection du centrage de l'outil étant une condition essentielle et difficile à remplir, pour que sa pointe ne produise pas un petit cercle à chaque tour; non-seulement il a pu les faire tourner sur leur axe avec une vitesse qui s'élève de deux à trois mille tours par minute, en les maintenant, ainsi que leur boîte à pivot supérieur, constamment baignés dans un liquide rafraîchissant, sans lequel le diamant lui-même se briserait en éclats; mais de plus il a disposé les choses de manière que les vitesses angulaires des mandrins et de la barre porte-touche et outil décroissent en raison réciproque du rayon des diverses branches spirales, dont la finesse et le rapprochement offrent une continuité, un caractère microscopique qui expliquent la perfection des produits, en même temps que l'extrême vitesse rotatoire imprimée au diamant explique, malgré le ralentissement graduel de la vitesse des mandrins, l'accélération du travail dans une proportion au moins triple de ce qui avait lieu auparavant, en un mot, telle qu'il devient possible de terminer automatiquement, ou sans aide étranger, le coin d'une petite médaille dans un intervalle de quinze à vingt heures au plus. Agissant en quelque sorte, points par points, le diamant peut s'élever et s'abaisser, et par suite ne pas faire naître des talus sur la figure produite, qui n'existent pas sur le modèle, quand on décrit une spirale par un outil tranchant immobile, c'est-à-dire avec l'imperfection inhérente aux tours à portraits ordinaires, qui ne peuvent que fournir des ébauches au graveur.

La machine qui produit de tels résultats mériterait bien, à cause de l'originalité de ses combinaisons, d'être décrite avec le plus grand soin, et l'on peut, à juste raison, s'étonner que cela n'ait point eu lieu jusqu'ici. Il me suffira de dire que les arbres des mandrins, au lieu de la position horizontale, ordinairement adoptée pour le tour à portraits, sont disposés verticalement et mus par un équipage de roues et de vis sans fin inférieur,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui offre un moyen de débrayage ingénieux pour changer le sens de la rotation du modèle, lorsqu'il s'agit d'en obtenir le contre-profil ; que la vitesse angulaire des mêmes arbres de mandrins est rendue variable dans les conditions ci-dessus, au moyen d'une couple de cônes alternes ou différentiels à courroie sans fin, conduite par une griffe dont la position varie solidairement avec celle de la barre directrice de la touche et du burin; que cette barre est mobile dans un plan horizontal au-dessus du plan supérieur et parallèle de l'établi, affleuré par les mandrins des médailles; ce qui offre de grandes facilités pour le centrage, et la faculté de maintenir le mandrin à rebord de la pièce à buriner constamment recouvert d'huile; que cette même barre, articulée doublement à son pivot, l'est aussi, à l'extrémité opposée, avec deux petites pièces transversales agissant horizontalement de chacun des côtés de sa direction, de manière que l'une, à libre pivotement vers son bout extérieur, tend à la soulager d'une portion arbitraire de son poids par un ressort transversal inférieur fixe, tandis que l'autre, véritable arbre tournant, est conduit par un engrenage sans fin, à vis et écrou micrométriques, dont la rotation et la translation excessivement lentes, mises en rapport avec la rotation propre des mandrins ou des cônes alternes, sert à imprimer à la barre du guide supérieur le mouvement horizontal, circulaire et concentrique, qui écarte progressivement la touche et le burin des centres respectifs de leurs médailles, etc.

Serait-il vrai que la disposition horizontale des mandrins du tour à portraits, ici impérieusement exigée pour le rafraîchissement perpétuel de l'outil, eût déjà fort anciennement été mise en usage par feu Dupeyrat, graveur et guillocheur à Charenton près Paris, qui, vers 1830, inventa pour les billets de banque les timbres *coïncidents*, au sujet desquels il obtint les éloges de la Société d'encouragement? Cela paraît d'autant plus difficile à vérifier, que les procédés mécaniques de ce graveur ont été tenus secrets, comme ceux de tant d'autres artistes français éminents. Quant à l'usage que l'on a pu faire de cette même horizontalité des mandrins pour imprimer simultanément la rotation au modèle et à la copie en ronde bosse à sculpter, il n'a avec le tour de M. Barrère qu'un rapport fort indirect, et sur lequel il serait d'autant moins nécessaire d'insister, que les outils y remplissent un rôle tout différent, étant conduits par des systèmes de tringles à mouvements parallélogrammiques, dans le genre de ceux des machines à dessiner ou à graver.

M. Babbage nous apprend, dans le livre déjà cité (p. 132 et 133), que James Watt s'amusa, il y a fort longtemps, à construire une pareille machine, demeurée inédite, et que, antérieurement à l'année 1832, l'Anglais Hawkins en aurait inventé une autre qui, entre les mains d'un artiste de Londres, a servi à faire les copies en ivoire d'un grand nombre de bustes. De semblables moyens de reproduction ou de réduction ont été également tentés aux Etats-Unis d'Amérique et en France à une date postérieure. Je me contenterai de citer, comme étant des plus connus, ceux inventés et perfectionnés dans notre pays par M. Sauvage (mai 1836, 1840 et 1844), par M. Dutel (novembre 1836 et 1844), par M. Collas (mars 1837 et 1844), enfin par M. Alexandre Contzen, successeur de M. Dutel, en 1844, pour la copie, en ébauche, des grandes statues de marbre. Les moyens automatiques notamment employés par M. Collas pour opérer, sur le tour à portrait de Hulot, la réduction et l'amplification des médaillons et bas-reliefs ; ses procédés, d'un genre différent, pour réduire les bustes et les statues de ronde bosse destinés au moulage en bronze: ces moyens ou procédés en particulier ont obtenu, tant par les travaux de cet artiste que par l'intelligente et consciencieuse coopération de son associé M. Barbedienne, un assez grand succès commercial, pour qu'il ne soit pas superflu de le rappeler ici, en faisant observer toutefois que la forme de certains modèles se prête difficilement à l'application des procédés mécaniques sans démontage des parties, les bras, les jambes, etc. En outre, il ne faut pas oublier qu'il s'agit là d'un sculptage mécanique appliqué à des matières plastiques, telles que le plâtre, l'argile, le savon, la craie, servant ensuite de modèles pour le moulage du plâtre même, de la fonte de fer, du zinc et du bronze; modèles qui, en raison de leur perfectionnement et de leur bon marché relatifs, ont rendu des services réels aux arts, en mettant à la portée du grand nombre des copies de chefs-d'œuvre propres à répandre et développer le goût du beau, en se substituant, dans les objets d'ameublement, à de pâles et médiocres copies de l'antique.

Quant à l'art de sculpter la pierre et le bois en général, peut-être serait-ce une illusion de croire que l'on possède aujourd'hui même des procédés mécaniques vraiment satisfaisants, et propres à exécuter autre chose que des ornements d'architecture, quelques bas-reliefs très-simples, etc., etc. On a, il est vrai, des moyens expéditifs d'ébaucher, copier et réduire même les grandes statues de marbre, à l'aide de fraises ou forets à rotation rapide, dont l'enfoncement, les positions successives, sont réglés d'après les formes, les proportions du modèle, sur lequel la main de l'artiste ou le mécanisme même de la machine, comme l'a tenté en 1844 M. Contzen, promène délicatement une touche à pointe mousse, liée aux articulations d'une ingénieuse combinaison de pantographes articulés, mobiles dans les trois dimensions du relief, au moyen d'un genou à la Cardan, et qui servent à diriger, à l'autre extrémité de l'appareil, le porte-foret ou burin, non sans donner lieu, il est vrai, à de légères altérations de forme provenant de la vibration, du fléchissement des tiges du pantographe, et telles qu'on en observe pour le tracé des figures sur un plan parfaitement uni, notamment dans le cas de la ligne droite.

On se rappelle les tentatives, déjà anciennes et assez peu fructueuses, faites par divers ingénieurs ou artistes distingués, notamment par Philippe de Girard (1830), par M. Grimpé (1839) et par MM. Barros et Decoster (1848), pour sculpter, fabriquer des bois de fusil, des bas-reliefs ou autres objets similaires, au moyen de gouges, de fraises tournantes, conduites automatiquement par des gabarits, des patrons en fonte ou d'autres bas-reliefs découpés ou non à jour, et servant, comme dans les tours à guillocher ou à portraits, de repoussoirs à un équipage de porte-touches coniques, annulaires, etc., muni, ainsi que le porte-outil, de ressorts, de moyens d'avance convenables et également susceptibles, dans certains cas, d'être dirigés par des pantographes de réduction, analogues à ceux employés par MM. Sauvage, Collas, Dutel, etc. Il serait fort inutile de rechercher la cause du faible succès commercial de ce genre de machines ailleurs que dans la complication même des procédés ou la difficulté de surveiller, faire fonctionner rapidement et d'une manière durable un équipage multiple d'outils en acier, fût-ce dans le bois le plus tendre, sans les voir se détériorer promptement, et sans être obligé par conséquent à un entretien, à des pertes de temps très-onéreuses, si l'on ne veut pas se contenter de produits grossièrement ébauchés, tels qu'en donneront toujours des fraises tournantes coupant les fibres du bois dans tous les sens, et non sous l'inclinaison et la vitesse les plus favorables, qui se font remarquer dans les instruments à main ou certains outils automates. Ce mode de travail progresse avec le perfectionnement des outils tournants, à coupant hélicoïde notamment.

On doit applaudir aux efforts ingénieux tentés à cet égard par M. Decoster dans les machines publiées en son nom et en celui de l'ingénieur portugais M. de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Barros, machines qui forment comme le complément de celles de leurs nombreux prédécesseurs, et il est regrettable que l'on en soit encore réduit à de simples conjectures relativement aux procédés mécaniques de sculpture de Philippe de Girard et autres ingénieurs qui se sont occupés de cette question.

Nous avons donné à ARMES A FEU la solution adoptée dans les arsenaux pour la fabrication des bois de fusil par l'emploi d'outils rotatifs, résultat des essais antérieurs, pour laquelle on a décomposé la fabrication en plusieurs opérations successives. Ce système rappelle celui que nous allons décrire: le *tour pour tourner des formes irrégulières, par M. Blanchard* (de Boston) (fig. 43). Cette machine permet de tirer d'un bloc

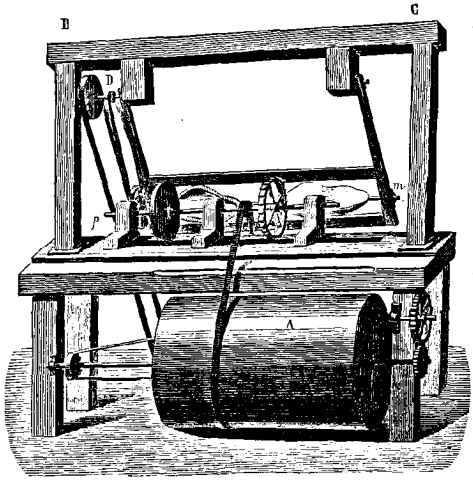


Fig. 43.

de bois une forme simple exactement semblable à celle d'un modèle donné. Le modèle et le bois sont montés sur un même axe mis en mouvement par une courroie (cachée en partie sur la figure). Sur le banc du tour sont montés trois supports portant les coussinets qui guident l'axe des roues servant à couper et à *frotter*. La roue coupante, qui a environ 30 centimètres de diamètre, porte à sa circonférence une succession de taillants en forme de gouge. Cette roue est appliquée sur le bloc dégrossi. La roue de friction, qui a le même diamètre que la roue coupante, appuie contre le modèle. A l'axe de ces roues est fixée une poulie mue par une courroie qui passe sur un gros tambour. C'est ce tambour qui reçoit l'action du moteur, et c'est au moyen de roues dentées et d'une vis que l'on donne à l'axe porte-roues un mouvement continu de progression.

Le modèle et le bloc s'approchent ou s'éloignent des roues, en raison des inégalités de la surface, grâce à la manière dont ils sont supportés dans un châssis tournant autour de deux pivots, et après un temps suffisant on obtient un solide tout à fait semblable au modèle donné.

C'est en perfectionnant cet appareil, en faisant mouvoir le modèle et le bloc sur des axes différents que M. Blanchard est parvenu à la machine qui a été admirée à l'Exposition de 1855, avec laquelle il exécutait avec une rapidité remarquable la réduction de bustes sur bois, sur ivoire et même sur marbre.

Les quelques machines à sculpter dans lesquelles on a abandonné le principe du tour, qui seul assure le bon travail de l'outil fixe sur le corps tournant, n'ont guère réussi à prendre place dans la pratique, même avec l'emploi de fraises tournant avec grande vitesse, qui travaillent d'une manière qui a quelque analogie avec le travail du tour. Nous compléterons ce qui a été dit sur les divers procédés qui ont été tentés à l'article SCULPTURE, par quelques détails sur le procédé Jordan, qui a été pratiqué sur une grande échelle en Angleterre, et a servi notamment à exécuter une partie des grands panneaux de boiserie des salles du Parlement à Westminster.

Le mode d'opérer se rapproche de celui de M. Amédée Durand, décrit à l'article précité: c'est par des fraises, des gouges tournantes que le bois est enlevé. Sur un plateau mobile à volonté sur deux séries de rails superposés, de direction rectangulaire, se place le modèle, et de chaque côté une pièce de bois à travailler, de dimension convenable. Un sommier approché ou relevé à volonté à l'aide d'une pédale porte trois outils tournants à l'aide d'une courroie sans fin, avec une vitesse de 3 à 4,000 tours par minute; ceux de droite et de gauche sont les gouges; celui du milieu, une tige à pointe mousse, destinée à s'appuyer sur le modèle et par suite à guider les mouvements verticaux du sommier.

L'ouvrier, le pied sur la pédale et les mains sur les manivelles, fait mouvoir le plateau transversalement, puis suivant la longueur d'une petite quantité, avant de répéter ce mouvement.

Il obtient ainsi le résultat voulu, et cela d'une manière assez satisfaisante pour des moulures très-simples. Des sculptures assez compliquées pourront être même obtenues sur des matières non fibreuses, comme l'ivoire, l'ébène, etc.; mais les bois tendres sont coupés trop imparfaitement pour ne pas exiger des retouches à la main, qui réduisent à rien les avantages qu'on recherche dans l'emploi d'une machine.

TRAMWAYS, ou chemins de fer sur les routes ordinaires, ou américains.

La locomotive, c'est-à-dire la substitution de la machine à vapeur aux chevaux, est l'élément capital de la grande valeur des chemins de fer. Il semble donc peu raisonnable de construire des chemins de fer pour y employer la traction par chevaux, bien plus dispendieuse en général que celle effectuée à l'aide de la combustion de la houille: aussi n'est-ce que dans des cas tout particuliers et pour de petits parcours que l'on doit penser à établir des tramways, en utilisant des routes déjà parcourues par les voitures ordinaires, et par suite en faisant en sorte que les rails du chemin de fer ne présentent pas de saillie qui générait pour la circulation générale.

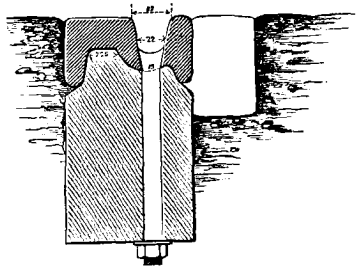


Fig. 3745.

La figure 3745 représente le système adopté après bien des essais, le seul qui résiste à la fatigue du service;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on y a supprimé les broches et les boulons à clavettes employés dans les premiers temps; on voit que le rail est attaché à la longuerine en bois qui le supporte par un boulon à écrou.

A l'origine, dit M. Goschler (Mémoires de la Société des Ingénieurs civils) dans un intéressant travail auquel nous empruntons la majeure partie de ce qui suit, des traverses assemblées à tenon avec les longuerines servaient d'entretoises. L'expérience a démontré d'une part l'inutilité de ces traverses pour la solidité de la voie parfaitement entretoisée par les matériaux de la chaussée, et d'autre part la gêne, le surcroît de dépense qu'elles occasionnent quand il faut relever la voie, changer les longuerines, les rails et leurs attaches, ou même tout simplement opérer le bourrage. Dans les remaniements de la ligne on a donc supprimé les traverses, et réalisé une économie importante et dans le prix d'établissement et dans les frais d'entretien.

Les longuerines se placent armées de leurs rails, la première file posée sur le sable bien damé, à l'alignement voulu, et garnie extérieurement soit du pavage, soit des cailloux qui composent le macadam de la route. On pose ensuite la deuxième file, maintenue à la distance voulue par deux morceaux de bois; le garnissage extérieur terminé, on fait le remplissage intérieur, et l'on enlève alors les entretoises, que l'on remplace par les matériaux constituant la chaussée.

Ces matériaux sont tantôt le macadam, tantôt le pavage à l'intérieur et à l'extérieur de la voie, tantôt le macadam avec bordures de pavés le long des rails. Sur les routes, le macadam bien arrosé convient très-bien en raison du bas prix. Les matériaux bien reliés contribuent à la conservation des longuerines. Dans les sections du chemin très-fréquentées, à la traversée des lieux habités, les pavés, sur toute la surface occupée par la voie ou simplement posés en bordure le long des rails, donnent une économie d'entretien très-notable: car les voitures du public, cherchant toujours à suivre la voie ferrée, fatiguent beaucoup la bordure des rails et détruisent le macadam. De là, nécessité d'un rechargement continuel sur $0^m,25$ de largeur de chaque côté des rails, opération extrêmement coûteuse et toujours fâcheuse par le surcroît de résistance que les détritus de cailloux opposent au roulement des voitures de la voie ferrée et par l'usure qu'ils occasionnent.

C'est donc une augmentation de dépenses d'établissement bien entendue que s'impose la Compagnie des omnibus, quand, sur la ligne qu'elle dessert de la place de la Concorde à Saint-Cloud, au fur et à mesure des remaniements de la voie, elle remplace le macadam par des bordures en pavé dans les sections de route à grande circulation étrangère, et par un pavage général dans l'intérieur de la ville.

Dans ces conditions, le prix du mètre courant de voie simple revient à 20 francs environ.

Les voitures circulant sur tramway se groupent en deux classes distinctes, selon qu'elles sont disposées pour pouvoir quitter les rails au besoin ou assujetties à s'y maintenir. La Compagnie des omnibus de Paris a préféré le premier type; les tramways de Vienne et de Constantinople ont adopté le second.

Dans ce dernier, les essieux sont maintenus parallèles par leurs attaches fixées à la caisse de la voiture. Ils ne peuvent jamais quitter la voie, quel que soit l'état de la route. Les chevaux y sont attelés à une flèche mobile, que le cocher enlève à chaque fin de course pour la transporter à l'extrémité opposée du véhicule. On avait d'abord projeté de tourner les voitures à chaque bout de ligne sur des plaques tournantes. Mais, des obstacles sur la ligne pouvant arrêter la circulation, il fallait faire reculer les véhicules, ce qui présentait de graves inconvénients. On est donc revenu au type de Vienne.

Les voitures de la Compagnie des omnibus sont montées sur un avant-train mobile à la volonté du cocher. Quand elles circulent sur rails, les roues de l'avant-train sont tenues au parallélisme avec celles d'arrière par une broche que le cocher retire de son encoche à l'aide d'un levier qu'il a sous la main quand il veut quitter les rails, et qu'il enclanche de nouveau quand la voiture reprend les rails.

A l'origine, les quatre roues avaient des bandages à boudin. Mais, comme ces voitures circulaient de la place de la Concorde au Palais-Royal ou au Louvre sur le pavé, on enlevait ces roues à la place de la Concorde, et on les remplaçait par des roues à bandages ordinaires. Pour simplifier la manœuvre, remarquant que deux boudins suffisaient pour guider la voiture sur rails, on laissa deux roues sans boudin. Cette suppression de deux boudins réduisit, comme nous le verrons plus loin, l'effort de traction et diminua de moitié la manœuvre du changement de roues. Enfin M. Delonchant, encouragé par ce résultat, supprima un troisième bandage à boudin, de sorte qu'aujourd'hui les voitures sont guidées par un seul boudin, et roulent avec autant de régularité et moitié moins de résistance qu'auparavant. Les voitures actuelles contiennent 24 places d'intérieur, 26 places d'impériale; elles peuvent porter 52 personnes, y compris le cocher et le conducteur, ce qui représente un poids total de 6472 kilog.

Suivant les expériences dynamométriques faites par M. Tresca, le rapport entre le tirage et la charge, pour une voiture complétement chargée circulant sur rails engagés dans le macadam, les quatre roues munies de boudins roulant dans les ornières de la voie et y éprouvant une sorte d'effort de coinçage, était de 0,010. Les expériences reprises ont porté sur une voiture munie de deux boudins seulement; elles ont fourni le résultat suivant:

Le coefficient de traction a été $\frac{1}{6\,147} = 0{,}006796$.

Ainsi la suppression de deux boudins sur quatre a fait descendre la résistance au roulement de 100 à 67 ou de 3 à 2.

Cet avantage si notable n'a pas fait abandonner sur la plupart des tramways la voiture à deux plates-formes décrite en premier. Il y a dans la simplicité du matériel, dans l'avantage d'une place plus grande où le voyageur reste debout, quelque supériorité au point de vue du service, vu les habitudes des personnes qui emploient ces voitures.

Ces coefficients de traction s'appliquent, avons-nous dit, aux voies posées horizontalement. Dans les mêmes conditions, l'effort de traction sur route ordinaire est de 27 kilogrammes par tonne. Donc, en palier, les coefficients de traction sont:

Route de terre.	27 kil.
Tramway (à quatre boudins). . . .	10
Tramway (à deux boudins).	6,8

Mais, si les chemins sont en rampe, les efforts respectifs ne conservent plus le même rapport. On sait, en effet, que la gravité fait croître le coefficient de 1 kilogramme pour chaque millimètre d'inclinaison. On a dès lors les efforts suivants:

Inclinaisons, en millimètres par 1 m. . .	0	5	10	20	30	40	50.
Coefficients sur la route de terre. . .	27k	32k	37k	47k	57k	67k	77k.
Coefficients sur le tramway (à deux boudins), .	6k,8	11k,8	16k,8	26k,8	36k,8	46k,8	56k,8.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ainsi, sur une rampe de 27 millimètres, l'effort à vaincre est doublé sur la route, tandis qu'il est quintuplé sur le tramway. Or un cheval, en modérant son allure, peut bien doubler momentanément son effort habituel, mais il ne peut pas le quintupler.

Voilà pourquoi le passage des rampes des ponts et du Point-du-Jour a contraint la Compagnie des omnibus à réduire à 50 le nombre de places des voitures de la voie ferrée, qui auraient pu en admettre 72 sans ces déclivités; en poids, 6000 au lieu de 9000 kilogrammes.

Ainsi, plus la route est accidentée, moins le tramway a d'utilité, d'autant plus que, pour un service d'omnibus, il vaut mieux multiplier les départs et avoir toujours des places disponibles; en augmentant la capacité des voitures, on est conduit à réduire le nombre des départs, ce qui est fâcheux pour les besoins du public.

Le tramway, avec les sujétions que nous venons d'indiquer, permet de réduire, dans le rapport de 2 à 1 en terrain horizontal, le nombre de chevaux nécessaires pour le service. Mais pourrait-on faire circuler sur rails les omnibus ordinaires traînés par un seul cheval? Nullement: car un cheval *seul* ne fait pas la moitié du travail de deux chevaux, parce qu'un seul cheval, toujours en traction, se fatigue plus vite que lorsqu'il peut se reposer de temps en temps sur son compagnon. On est donc conduit à établir des voitures d'une assez grande capacité, pour recevoir de 40 à 50 places au plus, traînées par deux chevaux sur voie horizontale.

Dès que la voie prend une inclinaison prononcée, surtout si elle est en courbe, la voiture traînée par deux chevaux ne doit pas contenir plus de 36 voyageurs assis ou debout. A Vienne, où la déclivité atteint 0,04, on attèle un cheval de renfort au pied des rampes. A Constantinople, où la déclivité s'élève jusqu'à 0,06 et où le rayon des courbes s'abaisse à 20 mètres, on ajoute deux chevaux de renfort.

En résumé, et en laissant de côté les questions de spéculation, on doit raisonner en admettant qu'au minimum la voie ferrée offre sur la voie ordinaire l'avantage de supprimer un cheval sur quatre, c'est-à-dire que, quatre chevaux traînant une voiture de 50 places sur route, trois chevaux feront le même travail sur rails. Dès lors, l'avantage sera du côté du tramway, si le nombre de départs est suffisant pour couvrir les frais d'établissement du tramway : quatre départs par heure sont suffisants dans ce dernier cas; deux départs n'y parviennent pas.

En matière de circulation de voyageurs, il faut faire entrer en considération la fréquence des départs. Ainsi, une route desservie par deux voitures omnibus ordinaires à 28 places, demandant quatre chevaux, donnera plus de produits que la même route desservie par une voiture à 50 places traînée par quatre chevaux, dont les départs seront espacés du double du temps qui sépare ceux des deux omnibus ordinaires.

Il est probable que les progrès de la construction de la machine à vapeur permettront un jour d'appliquer de petites locomotives aux tramways, au moins à ceux qui ont le moins de pentes à gravir, et qui donnent lieu à des circulations considérables.

TRANSMISSION DU TRAVAIL DES FORCES A DISTANCE. Les forces naturelles peuvent être regardées comme indéfinies, comme il est dit à l'article qui succède à celui-ci (Sources de TRAVAIL mécanique): la question de les obtenir à bas prix, là où on en a besoin, se ramène donc en réalité à une question de transmission. Cela se voit bien par l'utilisation des chutes du Rhin, du Rhône, grâce à la belle invention des courroies métalliques de M. Hirn, qui, comme l'emploi de l'air comprimé, sont des conquêtes importantes de l'industrie moderne pour transmettre à des distances limitées le travail mécanique. Ces systèmes peuvent

TRANSMISSION.

rendre de grands services dans le voisinage de l'endroit où se produit l'action des forces naturelles: ce n'est donc qu'une solution incomplète du problème. Une solution radicale serait obtenue par l'emploi de l'électricité; et, si elle n'a encore qu'une valeur théorique pour les grandes forces, elle est sans doute destinée à fournir d'admirables résultats dans l'avenir.

La transmission par les fils métalliques de l'électricité qui met en mouvement des moteurs électro-magnétiques a donné en effet la solution du problème capital de la transmission des forces à distance, de supprimer, pour ainsi dire, l'élément distance pour les petites forces. La télégraphie électrique est la plus admirable application de ces moteurs; mais elle est loin de devoir être la seule, et, toutes les fois qu'il s'agit de faire mouvoir une multitude de transmissions, comme dans les orgues, les machines à composer, les machines à lire et tant d'autres, théoriquement, sauf la difficulté de conservation des contacts métalliques, on peut remplacer par des fils et des contacts qu'établit la touche motrice tout appareil de transmission d'un effet plus ou moins incertain. Il semble donc que la conversion du travail mécanique en électricité, puis la transformation inverse, résolvent le problème de la suppression des distances. Mais il y a deux choses à considérer à ce sujet. La première, c'est que, dans l'état actuel de la science, on est arrêté par le faible rendement des machines électro-magnétiques; mais des progrès importants se font dans cette voie: la machine Gramme renversée doit être citée à ce point de vue. Secondement, il faut observer que la quantité d'électricité qu'il est possible d'envoyer à travers un fil, mais sans le chauffer notablement, condition de rigueur pour éviter des pertes considérables, est en raison de la section du fil. Pour transmettre de grandes quantités de travail, il faudrait des dimensions de fil qui ne paraissent pas admissibles. C'est un côté de la question à étudier avant d'aborder des applications industrielles.

Une série d'applications qui annonce également devoir être féconde en résultats, c'est l'emploi des transmissions électriques pour les appareils régulateurs et avertisseurs. La réduction à l'établissement d'un contact métallique, de la production d'un effet déterminé, est évidemment la simplification la plus merveilleuse que l'on pût espérer pour l'établissement d'appareils de cette nature.

Il est aisé de vérifier, dans chaque cas, comment, dans tout régulateur avertisseur, on détermine un contact par suite d'un mouvement de l'appareil à régulariser, colonne thermométrique ou barométrique par exemple, faisant monter un flotteur métallique qui, directement ou indirectement (en employant du fer aimanté), vient établir le contact, cloche mobile pour la pression d'un gaz, etc. Tel est encore le système de remise à l'heure de M. Breguet, décrit à l'article HORLOGERIE.

Au point de vue de ces intéressantes applications, on doit faire observer que la difficulté d'établir des machines puissantes, dans lesquelles les électro-aimants temporaires soient les principaux moyens d'action, il serait erroné de conclure qu'ils ne peuvent entrer que dans de petits mécanismes. On sait déjà leur trouver un emploi dans des machines très-puissantes, à la seule condition de les employer, comme M. Achard en a donné l'exemple dans son frein pour arrêter les trains des chemins de fer, non pas à produire la force qui doit jouer le rôle principal, mais seulement à mouvoir l'organe qui détermine le sens de l'action d'une force extérieure. Ainsi, dans l'appareil de M. Achard, c'est la locomotive elle-même qui produit le mouvement circulaire alternatif d'un axe muni de deux cliquets pouvant agir sur une couronne qui agit sur le frein. Indépendamment de l'action magnétique, les deux cliquets sont soulevés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par des ressorts et aucun effet n'existe. Pour un sens du courant le cliquet de serrage du frein est abattu, et le serrage a lieu avec toute l'énergie d'action que le mécanisme mû par la machine comporte; pour le sens opposé du courant, le frein est au contraire desserré.

En résumé, la transformation de travail en électricité est un problème qui paraît aujourd'hui résolu (voy. ÉQUIVALENT DE L'ÉLECTRICITÉ). Le passage instantané des courants d'une grande intensité, sans altération des fils conducteurs d'une section un peu notable, est un fait acquis; reste donc à attaquer le problème inverse par une autre voie que celles tentées jusqu'ici, à perfectionner les systèmes de transformation de l'électricité en travail, et on aura résolu un problème capital pour l'avenir de l'humanité.

TRAVAIL MECANIQUE (DES SOURCES DE) — DE L'ÉPUISEMENT DES MINES DE HOUILLE. On répète depuis quelque temps que la houille sera bientôt épuisée. C'est d'Angleterre que nous sont venues les déclarations d'ingénieurs anglais, cherchant à établir par des calculs que, dans deux siècles, les riches mines de la Grande-Bretagne seraient abandonnées. On comprend tout l'intérêt qui doit s'attacher à cette question, la houille étant devenue la base de tout l'édifice de l'industrie moderne, lui fournissant notamment le travail moteur en alimentant la machine à vapeur. Elle mérite donc d'être analysée avec quelque soin, et il ne suffit pas de dire qu'il n'y a pas à se préoccuper d'un événement qui ne doit arriver que dans deux siècles; nous ne sommes pas des êtres intelligents pour ne nous préoccuper que des besoins du moment présent, comme le ferait un sauvage, un individu étranger aux ressources et aux réserves de la civilisation.

Résumons d'abord l'argumentation des ingénieurs anglais. Sir W. Armstrong a cherché à indiquer ce qui devait arriver dans un avenir qui n'est pas très-éloigné, en se fondant sur des calculs dont il n'y a guère à discuter que le mode de leur établissement; les chiffres sur lesquels ils reposent ne peuvent être que de grossières approximations; au reste, il ne s'agit pas d'un terme à définir avec une précision bien rigoureuse.

La quantité de houille annuellement extraite est aujourd'hui en Angleterre de 600,000,000 de quintaux métriques environ, double de ce qu'elle était il y a trente ans. En admettant que cette progression continue (point contestable comme nous le dirons ci-après), l'extraction atteindra bientôt la fin des richesses minérales de la Grande-Bretagne; il a cru pouvoir fixer à deux siècles cette fatale échéance.

En admettant l'exactitude des chiffres principaux, la conclusion ci-dessus est erronée comme le principe de la régularité de la progression de l'extraction sur lequel elle repose. Les chemins de fer ont dans ces dernières années, tant pour leur création que pour leur exploitation, accru la consommation de la houille dans une proportion tout à fait anormale, qui ne permet pas de déduire de l'accroissement de consommation de ces dernières années la raison de la progression due au développement régulier de l'industrie. Il sera, sans aucun doute, beaucoup moins rapide, et ce n'est pas exagérer que de dire que l'on doit reporter à quatre ou cinq siècles la fâcheuse échéance qui avait été fixée à deux siècles.

Si pratiquement le danger déjà bien éloigné de nous se trouve considérablement reculé, cependant théoriquement la question demeure la même, et est toujours un intéressant sujet de recherches spéculatives sur lesquelles nous ne craindrons pas d'insister.

On n'a pas assez remarqué que les ingénieurs anglais ne parlaient que de l'Angleterre, et on a, par une étrange confusion, généralisé les conclusions que leur suggérait l'étude de leur pays. Il n'y a pas lieu, par exemple, de rien dire de semblable pour l'Amérique du Nord, dont le terrain houiller couvre une superficie au moins quintuple de celle de l'Angleterre, et dont on n'extrait encore que des quantités relativement faibles.

De telle sorte que, toutes choses étant égales d'ailleurs, si l'Angleterre en a encore de la houille pour cinq siècles, l'Amérique en a pour trente ou quarante siècles, et sera un jour, sans doute, la pourvoyeuse de l'Europe.

On voit que bien des générations d'hommes peuvent se succéder avant que la question ne se pose d'une manière impérieuse, et peut-être même peut-on aller plus loin et se demander si le travail des hommes, quelque développé qu'il soit, est de taille à lutter avec les grands faits constitutifs de notre globe, s'il n'est pas avec ceux-ci dans un rapport d'infiniment petit. Ainsi il est bien évident que si l'humanité se proposait d'épuiser la Méditerranée ou de raser les Alpes, elle se consommerait en efforts superflus en entreprenant une œuvre qui est au-dessus de sa sphère d'action. Il en serait de même s'il s'agissait d'épuiser une formation géologique, la pierre calcaire, par exemple, qui constitue le sol de tant de contrées.

Ce que nous disons d'une formation géologique doit s'appliquer, en grande partie au moins, aux formations houillères. C'est pendant des nombres de siècles dont nous n'avons nulle idée, presque impossibles à évaluer, car nous rencontrons des effets d'alluvion auprès desquels ceux constatés pendant les temps historiques sont insignifiants, que la végétation qui couvrait la terre s'est accumulée, en même temps que les dépôts des formations, dans les vastes étendues qui forment aujourd'hui les houillères exploitées et à exploiter.

Ce n'est sûrement pas en quelques centaines d'années que la houille déposée pendant bien des milliers d'années, résultant de la végétation qui a existé pendant ce temps sur la surface du globe terrestre, sera épuisée; peut-être devrait-on poser la question pour des centaines de siècles, au lieu de centaines d'années!

Ce serait, toutefois, tirer de ce que nous disons une conséquence exagérée que de considérer comme sans valeur les observations des ingénieurs anglais, qui, si elles sont peu applicables à la terre entière, ont une grande importance pour leur pays. En admettant qu'ils aient exagéré le danger quant à l'échéance, il est logique d'admettre que l'extraction si considérable et sans cesse croissante de la houille en Angleterre, s'exerçant sur des formations d'une étendue limitée, finira par les épuiser ou au moins arriver à des profondeurs où l'exploitation deviendra très-difficile et par suite très-coûteuse. Il semble donc qu'il arrivera un jour où toute l'industrie de ce pays, essentiellement fondée sur la houille, s'arrêtera comme frappée à mort. C'est, à notre avis, une conséquence fausse, comme toutes celles que l'on tire de faits purement matériels pour les appliquer aux hommes. On répète sans cesse que l'Angleterre doit sa fortune industrielle à ses mines de houille, et l'on a raison si l'on veut dire qu'elle a trouvé en elles un puissant moyen de succès; mais si l'on prend cette expression trop à la lettre, on commet une grossière erreur. On doit chercher la véritable cause de leur prospérité dans l'énergie laborieuse, l'esprit d'ordre et d'économie des Anglais, le génie de leurs chefs dans la paix et dans la guerre, de leurs savants et de leurs ingénieurs, qui les a conduits aux grands résultats qui en ont fait l'admiration du monde entier, qui s'est efforcé de les suivre dans la voie qu'ils avaient ouverte. Avant d'employer la houille, ils avaient su devenir les premiers marins du monde et créer une agriculture prospère, et, s'ils ne perdent pas les qualités qui les ont amenés à leur prospérité actuelle, ils sauront se passer de la production intégrale de la houille sur leur sol, et aller la chercher à l'étranger, comme nous les voyons y aller acheter aujourd'hui une partie importante des céréales qui leur sont nécessaires. Cet exemple nous paraît particulièrement intéressant, car, pour l'existence d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

atelier, les céréales nécessaires à la nourriture des ouvriers sont encore plus nécessaires que la houille qui sert à chauffer la chaudière de la machine à vapeur.

Sans doute, les fabrications qui reposent presque exclusivement sur la consommation de quantités de houille considérables, celle du fer, par exemple, grandiront toujours dans les pays où le charbon sera à bas prix, et s'amoindriront dans les contrées où le prix s'en élèvera; mais pour une industrie variée, abondamment fournie de machines de tout genre, où les capitaux sont considérables et l'habileté des producteurs très-grande, il se rencontrera sans cesse des fabrications qui progresseront, combleront les vides des premières, créeront des produits qui se vendront à des prix assez rémunérateurs pour permettre de payer le prix plus ou moins élevé de la houille importée par navires, ce qui se voit aujourd'hui pour tant de contrées qui reçoivent de l'étranger la houille qui alimente des industries prospères.

Si l'éventualité, dont nous avons cru devoir traiter, ne se présente à aucun titre comme conduisant dans un délai assez peu éloigné à un arrêt du travail industriel sur le globe, ce n'en est pas moins une intéressante question d'étude, de technologie, que de se demander comment l'humanité parvenue à un grand développement industriel pourrait faire face à un événement aussi désastreux que celui de l'épuisement des mines de houille, qui, finalement, avec l'accroissement incessant de l'industrie et la durée indéfinie de l'humanité, doit être considérée comme n'étant pas impossible. C'est surtout au point de vue de la création du travail moteur que l'on doit s'en occuper; car c'est principalement pour l'alimentation des machines à vapeur que la consommation de la houille, se produisant sur une échelle énorme, a trouvé un emploi tout nouveau, et on peut considérer le combustible végétal comme à peu près suffisant pour effectuer les réactions chimiques pour lesquelles l'intervention de la chaleur et du carbone est nécessaire. C'est donc d'un moyen d'engendrer du travail mécanique autrement que par la combustion de la houille qu'il s'agit.

Rappelons d'abord la célèbre observation de G. Stephenson, l'ouvrier mineur de génie, qui sut comprendre ce que deviendraient les chemins de fer des mines, lorsqu'on y opérerait la traction à l'aide d'une machine à vapeur portée sur un chariot, par une locomotive. Voyant circuler un train de wagons traîné par une locomotive, il disait que c'était du soleil que provenait la chaleur qui déterminait le mouvement du train. C'est bien le soleil en effet, qui, aux époques géologiques comme nous le voyons aujourd'hui, a permis aux végétaux de croître en s'assimilant le carbone de l'air, de décomposer les produits carbonés résultant de combustions antérieures. L'action réductive de décomposition, inverse de la combustion, de l'oxydation qui engendre de la chaleur et par suite du travail, est donc due au soleil, et c'est la puissance de celui-ci qui se trouve emmagasinée dans la houille, résidu des végétaux qui ont couvert la terre aux époques géologiques.

La synthèse de la transformation de la chaleur en travail, à laquelle la science est si heureusement arrivée, démontre d'un autre côté clairement que toutes les sources de travail que nous possédons, en dehors de la précédente, sont dues à la chaleur solaire actuelle. Ce sont en effet, en plus du combustible végétal : les vents, dus aux variations de température qui se produisent dans les diverses parties de l'atmosphère par l'effet de l'échauffement solaire; les cours d'eau, dus à la descente des eaux tombées à l'état de pluie ou de neige sur les parties élevées du sol, par la condensation des nuages aqueux formés sur les eaux, sur les Océans, par l'action du soleil qui vaporise l'eau; ce sont enfin les moteurs animés, dont le travail est l'équivalent de la chaleur dégagée par la combustion de la nourriture qu'ils prennent, c'est-à-dire finalement de végétaux qui ont servi à leur alimentation, c'est-à-dire encore à de la chaleur solaire.

En résumé donc, la question de se passer de la puissance motrice de la houille revient à employer seulement la chaleur actuelle du soleil et à se passer de la chaleur solaire des époques géologiques, qui nous a fourni une source de travail si commode, si facile à transporter, à appliquer partout. C'est vraiment à ce point que la question se réduit. Or, la chaleur solaire actuelle est parfaitement suffisante pour faire face à toutes les opérations industrielles dont l'humanité peut avoir besoin; il suffit, pour s'en convaincre, de considérer un instant les apparences sous lesquelles elle se manifeste. Sans parler de machines à air chauffé par le rayonnement direct du soleil, dont les premiers essais remontent aux Grecs et dont l'ingénieur Ericson a repris l'étude, aidé des ressources de l'industrie moderne, sans compter le vent qui, agissant sur toute la surface de la terre, permet de multiplier indéfiniment les appareils, malheureusement irréguliers, intermittents et peu commodes, à l'aide desquels on peut utiliser sa puissance, les cours d'eau offrent des ressources immenses dont une faible partie a été utilisée jusqu'ici. Les pays de montagnes conservent disponibles des quantités presque indéfinies de travail mécanique, par suite de la hauteur des chutes; il en est de même de l'utilisation des chutes des grands fleuves, obtenues à l'aide de barrages, à cause de leur grand volume d'eau. A Lowell, à Lawrence, aux États-Unis, on a obtenu ainsi des puissances de 3 à 4000 chevaux-vapeur, et on a calculé que les chutes du Niagara pourraient produire, dit-on, une quantité de travail égale à celle de la presque totalité des machines à vapeur fixes qui existent. Enfin le phénomène de la marée qui, sur toutes les côtes de l'Océan, abaisse et élève successivement de plusieurs mètres les eaux de la mer, met à la disposition de l'industrie des quantités de travail indéfinies, pouvant être en raison des travaux propres à l'utiliser.

Pour la production du travail mécanique, on peut donc résoudre le problème par des constructions convenables, mais pour le transport du travail mécanique en des lieux convenables, la science industrielle n'offre pas actuellement des ressources suffisantes, et il faut de nouvelles inventions pour que le problème reçoive une solution complète. Nous pouvons déjà indiquer quelques solutions partielles qui ne laissent pas de doute sur une solution définitive dans l'avenir, lorsqu'on disposera de nouveaux moyens d'action et de transmission des forces, puisque le problème se réduit surtout à une question de TRANSMISSION; nous avons vu que les courants électriques en faisaient entrevoir une solution radicale.

Nous ne reviendrons pas ici sur une question traitée dans d'autres articles; nous dirons seulement que les courroies métalliques de M. Hirn, les liquides incompressibles, et surtout l'air comprimé, fournissent des solutions du plus haut intérêt. La restitution du travail moteur, qui offre déjà quelques difficultés avec l'air comprimé, en offre de bien plus grandes avec les gaz coërcibles, les gaz se liquéfiant par la pression qui ont été souvent proposés comme réservoirs de travail mécanique; en effet, la quantité de travail emmagasinée sous un faible volume paraît être très-considérable pour les gaz qui exigent une pression élevée pour leur LIQUÉFACTION (voir ce mot). Mais en réalité on a laissé dégager sous forme de chaleur la majeure partie de ce travail, de telle sorte que l'emploi de ces gaz offre l'inconvénient de produire un froid considérable par leur détente, qui exige la dépense de mouvements d'eau, par exemple, propres à empêcher l'abaissement de température qui annulerait la pression (voy. l'article GAZ LIQUÉFIÉS).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous en resterons là de ces spéculations; il n'y a pas à insister sur une question qui ne trouvera son application intégrale que dans bien des siècles, lorsque la science aura sûrement donné le moyen de résoudre le problème sûrement soluble auquel elle se réduit, de transmettre facilement des forces à des distances quelconques, bien probablement à l'aide de l'électricité (voy. TRANSMISSION DES FORCES); jusque-là un morceau de houille sera un réservoir de travail tellement économique, que toute recherche de ce genre est à peu près inutile pratiquement, si ce n'est pour des circonstances particulières.

TULLE. Le haut prix de la dentelle, résultant de la lenteur du travail qu'exige sa fabrication pour former chaque boucle en entourant à l'aide de fils enroulés sur de petites bobines, l'épingle fichée dans un coussin qui indique la place de cette boucle, devait faire rechercher à la fabriquer à l'aide de machines.

La première tentative pour y parvenir paraît avoir été faite vers l'année 1768 par un fabricant de bas de Nottingham, nommé Hamond. L'idée lui vint, étant inoccupé, en regardant la dentelle du bonnet de sa femme, qu'un semblable article pourrait être fait au moyen des métiers à bas. Il paraît qu'il réussit à produire une machine, qu'on appela *machine à épingles*, produisant un réseau simple imitant la fabrication de Bruxelles. Cette machine ne fut pas longtemps employée en Angleterre, mais elle fut appliquée en France. Le succès d'Hamond engagea d'autres inventeurs à chercher à faire de la dentelle avec le métier à bas, et à tenter de nouvelles combinaisons pour produire une maille ayant la forme de l'hexagone régulier, ce qui n'avait pas encore été fait. Le *métier à chaine* pour produire de la *dentelle* fut créé en 1782, et de 1799 date le premier essai pour fabriquer le *tulle* par moyens entièrement mécaniques. A l'aide de ces premières inventions, les ouvriers en bas produisirent une espèce inférieure de dentelle avec une grande facilité et à bas prix; la demande s'en accrut et Nottingham devint le centre d'un nouveau et fructueux commerce.

Relativement à cette époque, le rapport du jury (classe XIX) de l'exposition de Londres fait remarquer avec raison : que « c'est un sujet d'étonnement de voir avec quelle rapidité un inventeur a succédé à un autre, et en simplifiant ou modifiant ces machines, a rendu inutiles celles de son prédécesseur. » On peut établir qu'aucune fabrication de tissu n'a employé autant de combinaisons mécaniques pour atteindre le but que celle de la fabrication de la *dentelle*, commençant par le métier à bas auquel s'ajouta la machine de Tickler; puis vint la machine à point de filet, celle à chaîne, la machine pour la maline et beaucoup d'autres. Toutes (sauf celle à chaîne) disparurent quand la machine à tulle actuelle fut introduite, en présence des ressources qu'elle offre pour fabriquer le tulle uni et brodé. Cette machine est dite en anglais *bobbine-net machine* (*machine à filet au moyen de bobines*), parce que les fils qui forment le réseau sont fournis partie par des bobines et partie par la chaîne.

Il n'existe pas d'essai suivi de succès pour produire mécaniquement le tulle avant 1809, quant M. Heatcoat fit breveter un métier dont l'idée première lui fut suggérée par un ouvrier qui avait travaillé à des machines propres à fabriquer les filets de pêche; il vit la possibilité de fabriquer de la dentelle au moyen de fils de chaîne et de trame, en disposant ceux de chaîne en lignes parallèles et ceux de trame qui doivent prendre une direction diagonale sur de petites bobines séparées, arrangées pour passer autour des fils tendus de la chaîne. Cette machine eut assez de succès et inquiéta tellement les ouvriers en dentelles qu'ils formèrent une coalition connue sous le nom de *luddites*, dans le but de détruire son invention. M. Heatcoat transporta en Devonshire la construction de ses machines. En 1823 la patente étant expirée, la fabrication reprit à Nottingham dont la dentelle au métier rivalisa, et bientôt fut supérieure aux vraies dentelles de France et des Pays-Bas. La machine reçut encore diverses améliorations, et enfin en l'année 1816 elle put être mue à la vapeur. La dentelle unie ou tulle devint un article de grande consommation; ce qui avait été payé 6 guinées le yard fut acheté pour 1 sh. 6 pc. Au lieu d'importer de ce produit de France en Angleterre, on l'exporta d'Angleterre en France, jusqu'à ce que les fabricants du continent eussent appelé à leur secours les mêmes machines.

Une pièce de tulle sur le métier est représentée fig. 3751 : elle consiste dans une série de fils de chaîne parallèles entre eux; la trame tourne une fois autour de chaque fil de chaîne et deux fois près des bords; c'est ainsi que la lisière est formée. Une série de fils de trame

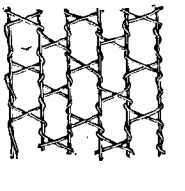


Fig. 3751.

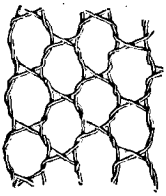


Fig. 3752.

marchant dans un sens, et l'autre dans une direction opposée, symétrique avec la première, l'enroulement et l'enlacement des fils autour de la chaîne forment des mailles régulières de six côtés, comme le montre la figure 3752 qui représente le produit obtenu par les trois séries de fils, lorsque la chaîne cesse d'être tendue sur le métier; une série de fils de trame tire les fils de chaîne à droite et l'autre série à gauche.

Les fils employés sur le métier à tulle sont enroulés sur des cylindres pour la chaîne, et sur de petites bobines extrêmement plates pour la trame. Celles-ci sont formées de deux disques de laiton percés d'un trou au milieu, rivés ensemble, de manière à former une rainure circulaire pour recevoir le fil (fig. 3753 et 3754). Le trou du centre est carré, pour recevoir une tringle qui empêche la bobine de tourner quand on enroule le fil lors de l'ourdissage qui se fait à la fois pour 100 ou 200 bobines semblables embrochées sur une même barre et le fil provenant de grosses bobines passant à travers les fentes d'une règle de laiton. Quand on fait tourner l'axe qui porte les bobines plates, les autres tournent et les fils se déroulent; la surface de la table sur laquelle passent ces fils est peinte en noir, ce qui permet de voir aussitôt un fil cassé.

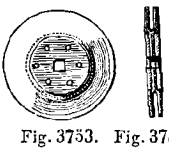


Fig. 3753.

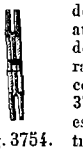


Fig. 3754.

Il faut plus de 1200 bobines pour une machine, et chacune d'elles porte environ 100 mètres; un cadran indique quand cette longueur est enroulée.

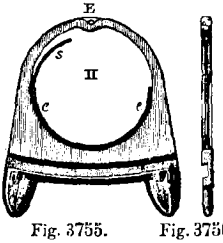


Fig. 3755. Fig. 3756.

Chaque bobine est insérée dans un cadre en fer. Les figures 3755 et 3756 en sont une élévation et une coupe. Le trou H est destiné à recevoir la bobine, les bords *ee* sont dressés et un ressort empêche la bobine de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tomber, mais lui permet de tourner et de fournir du fil quand celui-ci est doucement tiré. Le fil passe par un œil percé au haut de ce chariot.

Les parties capitales d'un métier à tulle sont vues en coupe verticale (fig. 3757). D est le cylindre ensouple

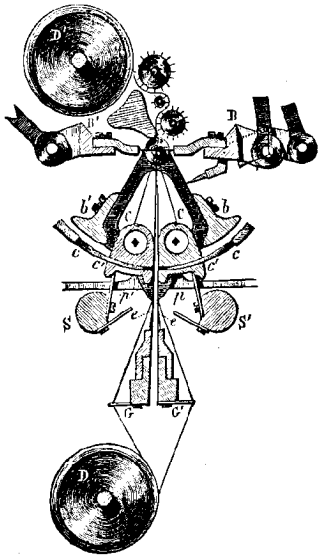


Fig. 3757.

portant la chaine; le haut du bâti porte un cylindre semblable autour duquel s'enroule le tulle fabriqué. Les fils de chaine sont tendus verticalement entre ces deux rouleaux. G G sont des barres-guides s'étendant sur toute la longueur de la machine, et divisant en deux séries les fils de chaine.

Le nombre des bobines, avec leurs chariots, est égal à celui des fils de trame, et comme elles doivent passer par les petits intervalles qui séparent les fils de chaine, ils sont disposés sur deux rangs parallèles comme C et C', de chaque côté de la chaine.

Les bobines sont portées par des espèces de peignes c, c' dont on voit une partie séparément, fig. 3758. Les

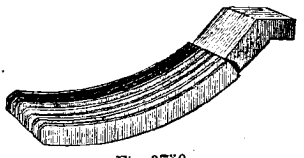


Fig. 3758.

chariots de bobines portent tous une rainure *g g* pour embrasser une dent du peigne. Ces peignes sont placés de chaque côté de la chaine, et leurs extrémités sont rapprochées de manière à ne laisser entre eux que l'espace nécessaire pour les mouvements de la chaine; de sorte que les chariots porte-bobines passent facilement sur l'un en quittant l'autre. Ceux-ci sont poussés, pour effectuer ce mouvement, par les deux barres *b*, *b'*, et quand une des lignes de chariots est passée à travers les intervalles de la chaine, la saillie inférieure du châssis porte-bobine est entraînée par des barrettes mues par les axes S, S', lesquels tournent. La barre à laquelle le peigne est attaché se déplace latéralement, un peu à droite ou un peu à gauche; par ce mouvement, la position relative des deux peignes opposés change d'un intervalle de dent, c'est-à-dire que les chariots passent sur la dent voisine. Par ces moyens, toute la série des chariots fait une succession de mouvements latéraux, à droite pour un peigne, à gauche pour l'autre; forme une espèce de contre-marche pendant laquelle les fils se croisant tournent autour des fils verticaux de la chaine et forment des mailles de filet. Après que les bobines ont tourné autour des fils de chaine et les ont entourés de leurs fils, deux barres B, B', portant chacune une rangée d'aiguilles pointues qui entrent dans les mailles, entraînent le tulle et l'élèvent d'une hauteur de maille, pour permettre de former une nouvelle ligne. Elle reste en repos, jusqu'à ce que celle-ci ait été exécutée. Tout le travail de la machine est une répétition de mouvements semblables. Le tulle fabriqué est enroulé sur le cylindre D'.

On est arrivé dans ces dernières années à appliquer la Jacquard au métier à tulle, de manière à obtenir au moins pour des dessins assez simples, pouvant s'effectuer avec un nombre limité de fils supplémentaires, un tulle brodé qui vient faire concurrence à la dentelle. Appliqué à nombre de produits légers, ce métier tient aujourd'hui une place importante dans l'industrie, avec cette condition que sa complication n'en permet l'emploi que par des populations ouvrières très-habiles.

TUYAUX DE PLOMB. La presse hydraulique est appliquée aujourd'hui avec grand succès à la fabrication de tuyaux de plomb de longueur indéfinie. La fig. 3759 montre la disposition employée. Une tige so-

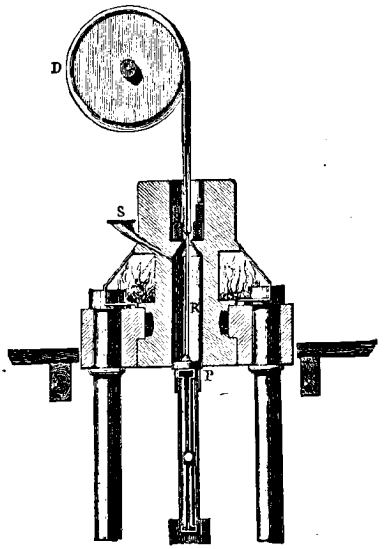


Fig. 3759.

lidaire avec le piston d'une puissante presse hydraulique peut pénétrer dans un réservoir R dans lequel on verse du plomb fondu. La chaleur est entretenue à l'aide d'un foyer dont la fumée est enlevée par un tuyau.

A l'extrémité du réservoir R est fixée une filière en acier, du diamètre que doit avoir l'extérieur du tuyau,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dont le centre est formé par un mandrin du diamètre voulu. Le réservoir R est rempli à l'aide d'un entonnoir S qui est enlevé à volonté, et le conduit est fermé par une broche de fer.

Tout étant préparé, si l'on fait mouvoir la presse hydraulique, le piston P chasse le métal et le force à passer entre la filière et le mandrin, en formant un tuyau continu que l'on fait enrouler sur le cylindre D.

En répétant cette opération, on peut obtenir des tuyaux d'une longueur illimitée.

L'emploi de la presse hydraulique que nous venons de décrire est une application curieuse des propriétés de plasticité qui appartiennent aux corps malléables et qui donnent la raison des curieux phénomènes d'écoulement, sous pressions convenables, dont il a été parlé à RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

La fabrication des tuyaux de plomb n'est pas la seule qui puisse reposer sur ce mode de fabrication ; il doit pouvoir s'appliquer à quelques autres cas où l'objet fabriqué a une section constante, celle de la filière, de l'orifice de sortie, et bien des fabrications d'objets en cuivre, et même en fer, par emboutissage, peuvent être rapprochées de celle-ci. Il importe de remarquer que ce mode de fabrication, et aussi la chaleur qui résulte de la compression de la matière refoulée, produisent nécessairement des objets très-malléables, mous, ce qui, dans quelques cas, est un inconvénient.

Tubes en étain. — Une application, plus directe encore que les précédentes des principes de l'écoulement des corps plastiques est la fabrication des petits tubes en étain dans lesquels on renferme les couleurs pour la peinture à l'huile ; tubes qui remplacent avec avantage les vessies autrefois employées, et qui, à la longue, devenaient cassantes. Il faut, pour cet emploi, que les parois du tube soient très-flexibles pour pouvoir fermer l'orifice par la seule pression des doigts ; l'étain, sur une faible épaisseur, satisfait à toutes les conditions.

C'est le balancier que l'on emploie pour cette fabrication. La rondelle de métal placée au fond d'une matrice, frappée par un poinçon bien concentrique, fournit d'un coup de balancier un tube de 30 centimètres, qui vient envelopper le poinçon.

Cette fabrication, aussi simple qu'élégante, montre bien le métal se comportant exactement comme un liquide, renvoyant la matière dans une direction opposée à celle du mouvement initial pour remplir l'espace vide, par l'effet de la pression qui naît dans le corps comprimé.

V

VASES CLOS (MÉTHODE DES). — La méthode des vases clos ou scellés à la lampe a pour objet essentiel d'effectuer les réactions chimiques dans un milieu artificiel, complétement isolé et assujetti à des conditions spéciales. Elle a donné lieu, depuis vingt ans, aux applications les plus nombreuses et les plus intéressantes, spécialement en chimie organique, et dans les expériences de synthèse ; elle commence à prendre, dans l'industrie même, une certaine importance.

Entrons d'abord dans quelques détails historiques.

Dès les temps les plus reculés de l'alchimie, on rencontre la mention des vases scellés du sceau d'Hermès : le mot même de clôture *hermétique* est resté dans la langue. Alors, comme aujourd'hui, il s'agissait d'ordinaire de vases de verre fermés à la lampe, par la fusion de leur orifice. On ne saurait douter, en lisant les vieux auteurs, qu'ils n'aient employé plus d'une fois de tels vases pour produire des effets analogues à ceux que nous réalisons aujourd'hui par la méthode des vases clos. Les expériences de Spallanzani, au XVIII^e^ siècle, sur la génération spontanée et sur l'obstacle qu'elle éprouve par le fait de l'échauffement de l'eau ; celles de M. de Sénarmont, sur la reproduction artificielle des minéraux, en vertu de réactions effectuées dans des bouteilles, par les chaleurs perdues des fourneaux de certaines usines, ont montré tout l'intérêt qui s'attache à cette catégorie d'essais.

Cependant les tentatives des alchimistes étaient dirigées au hasard, parce que les principes qui président à la méthode des vases clos demeuraient ignorés au moyen âge : ces principes, en effet, sont la conséquence des lois de l'ébullition des liquides et de la tension des gaz et des vapeurs, lesquelles ne commencèrent à être connues que vers la fin du XVII^e^ siècle.

Papin, le premier, s'appuya sur la connaissance de ces lois pour construire la marmite qui porte son nom : l'eau s'y trouve maintenue liquide jusqu'à une température supérieure à son point d'ébullition normal, température déterminée par la pression nécessaire pour soulever une soupape chargée d'un certain poids. Dans cette marmite Papin effectuait la coction rapide de la viande, la dissolution de la gélatine des os, etc. La marmite de Papin et d'autres appareils équivalents ont été usités jusqu'à nos jours.

Toutefois ce genre d'appareils a dû être abandonné successivement dans les laboratoires et dans l'industrie, en raison des incommodités et des dangers mêmes que son emploi présente. En effet, la marmite de Papin n'est pas un appareil à température constante, c'est seulement un appareil dans lequel la température ne peut pas dépasser une certaine limite. Quand cette limite est atteinte, le vase s'ouvre et laisse échapper brusquement une partie de son contenu : la température ne pourrait donc être maintenue constante qu'à la condition d'une déperdition continue. Non-seulement cette perte est fâcheuse quand il s'agit de liquides plus précieux que l'eau ; mais la plupart des liquides organiques étant inflammables, la projection de leurs vapeurs en dehors de la marmite expose aux risques les plus graves d'accidents et d'incendie. Avec les liqueurs acides, les accidents se compliquent encore parce que les parois métalliques de la marmite se trouvent attaquées.

C'est pourquoi l'on a dû recourir à des appareils fondés sur des principes différents. Il a fallu d'abord séparer les vases qui renferment les corps mis en réaction de ceux qui règlent la température. D'une part, on a produit une température constante à l'aide des bains d'eau, d'huile, d'alliage métallique, de plomb fondu, etc., voire même à l'aide d'un simple bain d'air. D'autre part, les corps mis en réaction ont été renfermés dans des vases spéciaux : dans les laboratoires, on emploie des tubes de verre scellés à la lampe ; dans l'industrie, des vases de fer ou de cuivre forgé. On observe, en outre, diverses précautions qui seront signalées tout à l'heure avec plus de détail.

Les dispositions générales de ces appareils ont été surtout étudiées depuis une vingtaine d'années. Pour donner une idée des applications fécondes qui en ont été tirées, il suffira de citer, dans l'ordre scientifique, les travaux de M. Berthelot sur la synthèse des corps gras neutres et d'une multitude de substances organiques ; la découverte du zinc-éthyle, par M. Frankland ; celle des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

alcalis éthyliques, par M. Hoffmann; les expériences de M. Daubrée et de M. H. Sainte-Claire Deville sur la reproduction artificielle des minéraux, etc. Presque tous les chimistes contemporains ont continuellement recours à la méthode des vases clos, qui était demeurée jusqu'à présent à l'état de procédé négligé et exceptionnel.

La pratique industrielle a dû se préoccuper de cette méthode et, par suite, s'approprier, en les modifiant à son usage, les procédés de la science pure. C'est ainsi que l'on a proposé de saponifier les corps gras par l'eau pure à une température voisine de 200°. Si la pression énorme qui se produit dans ces circonstances a fait renoncer à la réaction de l'eau sur les corps gras employée dans toute sa simplicité, cependant on a réussi à faire concourir cette réaction à la saponification des corps gras neutres, en employant en même temps que l'eau une petite quantité de chaux, laquelle permet d'opérer à une température plus basse et sous une pression moindre, mais toujours avec le concours des vases clos.

MM. Poirrier et Chappat ont été plus hardis, lorsqu'ils ont appliqué la méthode des vases clos à la préparation de la méthylaniline, par la réaction de l'alcool méthylique sur le chlorhydrate d'aniline, et conformément à un procédé scientifique signalé par M. Berthelot pour la production des alcalis organiques.

Ces premières tentatives peuvent être regardées comme le prélude des découvertes qui attendent l'industrie dans une voie nouvelle et féconde. Dans l'intention de servir de guide à ces essais, nous croyons utile de signaler les principes scientifiques qui président à l'emploi de la méthode des vases clos, et de décrire quelques-uns des appareils auxquels elle a donné lieu dans les laboratoires :

Exposons d'abord les conditions auxquelles les appareils doivent satisfaire. Elles sont au nombre de quatre :

1° Condition de température. — On doit chauffer les corps à une température déterminée.

2° Condition de temps. — On doit prolonger l'expérience pendant un temps plus ou moins long.

3° Condition de volatilité. — Il faut se mettre en garde contre les inconvénients divers que peut entraîner la volatilisation des substances mises en présence.

4° Condition de tension gazeuse. — Certaines vapeurs et certains gaz permanents étant produits pendant les réactions, on cherche à se mettre à l'abri des accidents qu'ils pourraient occasionner par leur pression; en même temps on se place dans les conditions les plus favorables pour l'étude ultérieure de ces substances.

Nous allons discuter successivement ces quatre conditions générales et nous chercherons comment elles peuvent être satisfaites.

1° *Condition de température.* — C'est un fait général : la plupart des corps de la chimie organique n'exercent point leurs affinités à la température ordinaire, si ce n'est en ce qui concerne les oxydations ou les réductions; il est donc nécessaire d'opérer à une température élevée.

Il ne faut pas cependant que cette élévation de température soit trop considérable; elle ne doit presque jamais dépasser 400°, les substances organiques étant détruites pour la plupart sous l'influence d'une chaleur aussi intense. Parfois même on ne peut dépasser 100 ou 150 degrés sans décomposer certains produits, les principes de l'organisme animal et les sucres, par exemple. Mais, en général, les matières organiques, surtout celles qui sont volatiles sans décomposition, telles que les carbures, les alcools, les acides, les éthers, etc., peuvent être chauffées sans inconvénient entre 200 et 300°. Ces températures activent leurs affinités au plus haut degré, sans amener des destructions profondes.

2° *Condition de temps.* — La température élevée doit être maintenue pendant un certain temps, pour que la réaction s'opère complétement. En effet, les réactions organiques, en général, ne s'effectuent que peu à peu et presque jamais instantanément. Par exemple, les acides gras et la glycérine mis en présence, reproduisent les corps gras neutres; mais la combinaison, même à 200°, exige quinze à vingt heures pour devenir complète.

Ce rôle du temps dans les réactions de la chimie organique est tout à fait analogue au rôle que le temps exerce dans les formations qui ont lieu au sein des êtres vivants eux-mêmes. Les substances douées de réactions brusques ne seraient guère compatibles avec la vie.

La nécessité de remplir les deux conditions de temps et de température, telles qu'elles viennent d'être définies, conduit à l'usage de milieux artificiels dont on puisse élever et maintenir la température à un degré voulu. Ces milieux sont en général des bains d'huile.

Voici les dispositions imaginées par M. Berthelot, il y a dix-huit ans, et qui commencent à être adoptées dans la plupart des laboratoires, soit en France, soit à l'étranger. — M. Wiessnegg, fabricant d'instruments pour les laboratoires, les établit avec succès.

On emploie une marmite de fonte très-profonde, entourée d'un massif de briques qui la protége contre un refroidissement rapide : elle est à demi remplie d'huile et recouverte d'une plaque de tôle solidement assujettie au massif. La marmite peut être chauffée à sa partie inférieure, à l'aide d'une lampe à gaz, à becs multiples et proportionnés au volume du vase. Un thermomètre, renfermé dans un long tube de cuivre fermé à son extrémité inférieure et qui traverse la plaque de tôle supérieure, permet de connaître à chaque instant la température du bain. Pour maintenir cette température constante, il faut employer certains artifices. En effet, le robinet des appareils à gaz convenablement ouvert ne suffit pas pour régler la dépense du gaz et par suite la quantité de chaleur produite lors de sa combustion; malgré la constance de son ouverture, il se produit dans la dépense des variations dues principalement à ce que la pression dans les gazomètres des usines à gaz varie pendant le cours de la journée. Pour maintenir cette pression constante, le moyen le plus assuré consisterait à se servir d'un gazomètre établi dans le laboratoire et dont on réglerait à son gré la pression. Mais dans les villes, et notamment à Paris, ces gazomètres particuliers sont interdits. Il est alors nécessaire de recourir à divers appareils régulateurs.

Un très-bon instrument de ce genre a été construit par M. Cavallié-Coll. C'est un petit soufflet d'orgue fabriqué avec de la baudruche, afin que ses mouvements soient plus faciles et que sa sensibilité soit plus grande. Le gaz traverse ce soufflet et peut en soulever la plaque mobile. Celle-ci est chargée d'un poids dont les positions, variables à volonté, déterminent la pression du gaz à son arrivée dans la lampe.

Quoi qu'il en soit, que l'on fasse usage de cet appareil ou de tout autre, il est utile de vérifier, à l'aide d'un petit manomètre à eau, si la pression se maintient réellement constante. Cet instrument accessoire offre encore un autre avantage. Il permet d'étudier à l'avance, pour un même bain d'huile et pour une lampe déterminée, les températures fixes qui correspondent aux différentes pressions du gaz employé comme combustible. En résumé, on constitue un milieu artificiel, et ce milieu satisfait aux deux premières conditions posées précédemment : condition de temps, condition de température. Voyons maintenant comment nous pourrons remplir les deux autres.

3° *Condition de volatilité.* — Il est nécessaire de maintenir réunis des corps inégalement volatils, et cela à une température souvent supérieure à celle de leur point d'ébullition. De là la nécessité d'appareils spéciaux.

Dans les laboratoires, ces appareils sont des tubes en verre vert très-résistants et que l'on ferme à la lampe après y avoir introduit les réactifs. Dans l'industrie, on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

a commencé à employer, pour les mêmes usages, des vases de fer forgé capables de résister à des pressions de 20, 30 atmosphères et même davantage. Dans ces vases, le contact permanent des corps est forcé, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux; mais de là naît une nouvelle condition dont il est nécessaire de tenir compte.

4° *Condition de tensions gazeuses.* — Il se forme souvent des gaz permanents dans les réactions; d'ailleurs, les liquides employés, s'ils sont chauffés à des températures supérieures à leur point d'ébullition, peuvent exercer des pressions plus ou moins considérables.

Il en résulte deux difficultés, ou plus exactement deux dangers : l'un existe pendant que les appareils sont soumis à l'action de la chaleur; l'autre au moment où l'on examine les produits de la réaction.

Pendant l'expérience, la pression exercée par les vapeurs, pression qui s'accroît sous l'influence de toute élévation de température, peut briser les appareils et occasionner de graves accidents, tels que la projection des débris des vases et des substances qu'ils renferment, la dispersion de l'huile bouillante, parfois même l'inflammation de ce liquide, etc.

Trois précautions permettent d'éviter ces inconvénients.

Il convient d'abord de régler la quantité des substances introduites dans les tubes d'après la résistance-limite des vases et le volume des gaz qui pourront s'y produire, ce volume étant calculé à l'avance de façon à rendre impossibles les explosions. On reviendra tout à l'heure sur la limite qu'il est opportun de ne pas dépasser.

Une seconde précaution, usitée dans les laboratoires, consiste à enfermer les tubes de verre scellés dans des tubes de fer forgé, très-résistants, fermés au marteau à l'une de leurs extrémités, et à l'autre par un écrou. Ces tubes de fer sont eux-mêmes introduits verticalement dans le bain d'huile. En raison de la dernière disposition, on est forcé de donner aux marmites de fonte une grande profondeur.

Une dernière précaution est dirigée contre la rupture des tubes de fer et l'inflammation de l'huile : elle consiste à recouvrir la marmite avec une plaque de tôle maintenue à quelque distance de l'orifice supérieur de la marmite et fixée sur le massif de briques qui la renferme au moyen d'une barre de fer et d'une agrafe. Cette plaque est d'ailleurs percée d'un trou par lequel on peut introduire un long tube de laiton renfermant le thermomètre et plongeant jusqu'au fond de la marmite. L'emploi de la plaque offre un autre avantage qui n'est pas à dédaigner; car elle permet, à l'aide d'un tirage convenablement disposé, d'entraîner dans la cheminée, sans aucune diffusion dans le laboratoire, les vapeurs que fournit l'huile et lesquelles sont fort abondantes, lorsque la température est élevée. A l'aide de cet ensemble de dispositions, on se trouve à l'abri des accidents qui peuvent arriver dans la première partie de l'opération.

Il reste à éviter ceux qui peuvent survenir après que les tubes de verre ont été retirés de l'appareil. En effet, ces tubes font aisément explosion, sous l'influence des chocs, pour peu qu'ils renferment des gaz permanents à la température qu'ils possèdent au moment où ils sont retirés du bain d'huile ou même après complet refroidissement. Cette faculté explosive se manifeste dans les tubes, encore qu'ils aient résisté durant l'échauffement à des pressions bien plus considérables. Il est des tubes qui peuvent supporter une pression de 200 atmosphères sans se briser, pourvu que cette pression soit graduellement produite, mais qui font explosion au moindre choc, sous des pressions quatre ou cinq fois plus faibles. Toutes les fois que l'on vient à casser la pointe d'un tube de verre qui supporte une pression actuelle supérieure à 40 atmosphères, il se réduit en miettes, à la façon d'une larme batavique. Les accidents que peut causer ce genre d'explosions sont d'autant plus graves que l'opérateur se trouve au voisinage immédiat des débris de verre et des substances projetées.

Mais il est facile d'éviter ces accidents. Il suffit de calculer au préalable le volume des gaz que pourront produire, en toute hypothèse, les substances mises en expérience. On a soin, d'ailleurs, de faire le vide dans le tube avant de le fermer, ce qui diminue d'une atmosphère la pression finale. On s'arrange en général pour limiter cette pression finale, telle qu'elle subsistera après refroidissement, à 12 ou 15 atmosphères tout au plus. Pour y réussir, on peut peser à l'avance les substances que l'on veut introduire dans les tubes. Les liquides volatils, en particulier, seront placés dans de petites ampoules, afin d'éviter qu'ils ne disparaissent par l'action du vide; ces ampoules une fois placées dans le tube, le vide fait et le tube scellé, il faudra les briser par des secousses ménagées. On chauffe alors. Quand l'expérience est terminée, on peut recueillir les gaz produits, en brisant la pointe des tubes contre le dôme d'une éprouvette, placée sur la cuve et remplie de mercure.

Telles sont les principales précautions à l'aide desquelles on peut mettre en œuvre, sans danger et d'une manière générale, la méthode des vases clos en chimie.

M. Berthelot.

VÉLOCIPÈDE. On a souvent inventé sous ce nom, ou sous des noms différents, des appareils propres à transporter une personne seule ou chargée d'un fardeau peu considérable, au moyen des efforts musculaires qu'elle développe en faisant tourner les roues d'une petite voiture dans laquelle elle est placée. En simplifiant ce genre d'appareils, en le réduisant à deux roues d'un assez grand diamètre, dont les essieux sont portés par une ferrure à laquelle est assemblée une lame de ressort, dans le milieu de laquelle est un petit siége, on a fait un vélocipède très-léger et qui permet à des gens adroits (pour ne pas perdre l'équilibre), et énergiques, de faire des trajets assez remarquables. La figure 3760 montre ce petit appareil bien connu, mais

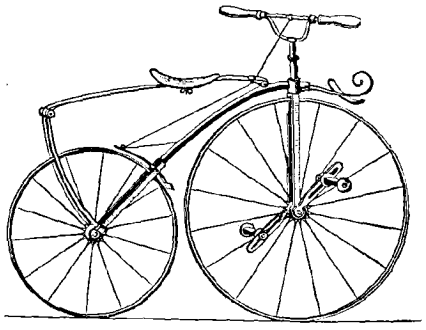


Fig. 3760.

qui est loin d'être le seul employé. Des colporteurs ont souvent construit de petits chariots mus à bras, et sur les chemins de fer on les a adoptés avec succès. Bon nombre de semblables dispositions sont illusoires; mais dans quelles limites, dans quelles conditions peut-on espérer des résultats favorables? C'est un point parfaitement traité dans un excellent rapport fait par M. Callon à la Société d'encouragement, et nous ne saurions mieux faire que de le reproduire ici.

Lorsqu'un homme chemine sur un plan horizontal, il n'y a point de travail mécanique apparent, en ce sens que le centre de gravité de l'homme se retrouve à la fin de la marche à la même hauteur qu'au commencement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VÉLOCIPÈDE.

Néanmoins on conçoit qu'à chaque pas, le centre de gravité s'élève d'une petite quantité. Le travail résistant qui en résulte n'est point compensé par le travail moteur développé lorsque le centre de gravité redescend, et, au moment où le pied porté en avant vient poser sur le sol, il se perd, par une destruction brusque de la vitesse acquise, malgré l'élasticité des membres inférieurs, une certaine quantité de force vive. On peut donc penser que le système de locomotion dont la nature nous a doués, quelque admirablement qu'il soit disposé pour s'adapter à des circonstances variées de nature de terrain, de pente, etc., puisse être remplacé avec avantage, sur un sol convenablement nivelé et approprié, par un moyen mécanique dans lequel la force de l'homme sera employée en évitant l'inconvénient qui vient d'être signalé, surtout s'il s'agit de vitesses supérieures à celles de la marche ordinaire, de celles qui ne sauraient être longtemps soutenues sans fatiguer les organes respiratoires.

Cette considération peut être soumise au calcul d'une manière très-simple. Nous ne nous occuperons d'abord que des transports en terrain horizontal.

Soit T la quantité d'action journalière qu'un homme pourra produire en agissant sur le récepteur dont le véhicule sera muni;

t la durée de cette action;

P le poids de l'homme;

P' la charge qu'il transporte avec lui;

Q le poids du véhicule ou poids mort;

f le rapport de l'effort de traction ou du *tirage* à la charge transportée, rapport essentiellement dépendant de la nature et de l'état d'entretien de la voie parcourue;

l l'espace journalier parcouru;

V la vitesse de translation obtenue.

On a évidemment :

$$l = \mathrm{V} \times t$$

$$\mathrm{T} = f(\mathrm{P} + \mathrm{P}' + \mathrm{Q})\, l = f(\mathrm{P} + \mathrm{P}' + \mathrm{Q})\, \mathrm{V}\, t.$$

Supposons qu'on emploie le travail de l'homme le plus avantageusement possible, c'est-à-dire en faisant travailler les muscles des jambes à peu près de la même manière que lorsqu'un homme monte un escalier, en agissant sur une roue à marches ou à chevilles; résultat qui peut être obtenu au moyen d'un double système de pédale ou de quelqu'autre mécanisme équivalent; alors le travail journalier s'élève, sans fatigue exagérée, à 280,000 kilogrammètres environ, qui seront produits en 8 heures ou en 28,800".

La valeur de f, qui est l'élément essentiel à considérer, peut être évaluée comme suit :

Sur un chemin de fer à grande section avec une voie et un matériel bien entretenus.	0,005
Sur un chemin de fer analogue aux chemins de mines ordinaires.	0,01
Sur une chaussée empierrée entretenue. . .	0,02
Idem en état ordinaire d'entretien.	0,03
Idem en médiocre état d'entretien.	0,07
Sur une chaussée empierrée nouvellement chargée.	0,12

Le poids de l'homme peut être évalué à 65 kilog.; celui du véhicule pourra être difficilement inférieur à 100 ou 150 kilog., s'il s'agit de transporter quelques fardeaux, ou plus d'une personne, s'il a quatre roues; le vélocipède à deux roues, indiqué plus haut, ne pèse que 30 kilog.

Au moyen de ces données, en supposant que l'homme n'ait d'abord à transporter que son propre poids, puis, qu'il ait à transporter avec lui des charges de 40 et 100 kilog., on formera les trois tableaux ci-contre : le premier se rapportant au vélocipède d'amateur, et n'indiquant que des résultats normaux, répondant au travail qui pourrait être répété tous les jours et non à celui qui peut être produit extraordinairement, qui est un tour de force.

RAPPORT DU TIRAGE au poids total transporté. Valeur de f.	ESPACE PARCOURU dans la journée.	VITESSE du transport V.	TRANSPORT utile effectué $\mathrm{P}' \times l$.
I. Soit P' = 0, Q = 30 kil.			
	m.	m.	
0,02	147,308	5,12	0
0,03	97,561	3,38	0
0,07	57,732	2,00	0
0,12	26,923	0,93	0
II. Soit P' = 40 kil. Q = 150 kil.			
0,005	203,922	7,08	8156880
0,01	101,861	3,54	4078440
0,02	50,930	1,77	2039220
0,03	33,987	1,18	1359280
0,07	14,566	0,51	582640
0,12	8,496	0,29	339880
III. Soit P' = 100 kil. Q = 150 kil.			
0,005	165,079	5,70	16507900
0,01	82,540	2,85	8254000
0,02	41,270	1,43	4127000
0,03	27,513	0,96	2751000
0,07	11,791	0,41	1179100
0,12	6,896	0,24	689600

D'un autre côté, on peut admettre qu'un homme cheminant sans charge, sur une route bonne ou passable, peut faire dans une journée de marche environ 40 à 50 kilomètres, et qu'avec un fardeau de 40 kilogrammes, charge ordinaire des porte-balles, il peut faire environ 20 kilomètres. La charge de 40 kilog. peut, d'ailleurs, être difficilement dépassée quand il s'agit d'une distance un peu grande. C'est le double de la charge du soldat en marche.

De l'ensemble des chiffres ci-dessus résultent immédiatement les conséquences suivantes :

1° Malgré l'influence du poids mort du véhicule, le système dont nous nous occupons présente un avantage énorme pour le transport d'un homme sans charge sur un chemin de fer (cela peut se déduire aisément du tableau II), et l'expérience est d'accord sur ce point avec la théorie. De petits appareils mus avec des manivelles sont employés avec succès sur plusieurs chemins de fer pour le transport d'une ou deux personnes. Cet avantage est encore très-notable sur une route très-bien entretenue, abstraction faite, toutefois, de la question des pentes que présente souvent la circulation sur des routes ordinaires. Il se réduit à peu de chose sur une route en état médiocre d'entretien. Enfin, il est nul et même *négatif* sur une chaussée nouvellement rechargée.

2° Les mêmes circonstances à peu près se reproduisent lorsque l'homme doit transporter avec lui une charge d'une quarantaine de kilogrammes.

3° Enfin le système dont il s'agit permet le transport d'une charge notablement supérieure à 40 kilog., nombre qui est à peu près la limite lorsqu'il s'agit de transport à dos à une distance notable.

Tout ce qui précède se rapporte au mouvement en terrain horizontal.

Si nous nous occupons maintenant des pentes, nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

reconnaîtrons facilement que les systèmes dont nous parlons, fort avantageux pour les descentes puisqu'ils permettent d'utiliser, sans fatigue, de grandes vitesses, sont au contraire si inférieurs, pour les montées, à l'appareil de la marche, qu'ils deviennent le plus souvent inapplicables. Nous le prouverons en faisant le calcul pour une pente déterminée, calcul qu'il serait facile de répéter pour toutes les pentes qui peuvent se présenter, puisqu'il se réduit à calculer la composante P sin. a de la gravité parallèle au plan incliné de l'angle a, qu'il s'agit de gravir.

Soit une pente de 0,01 (un centimètre par mètre), ou 5° 42', adoptée sur quelques chemins de fer, et très-inférieure à celles qui se rencontrent sur toutes les routes. Il faudra ajouter à la résistance du tirage, calculée comme il a été dit ci-dessus, pour les diverses voies, la valeur de P sin. a, la résistance opposée par la gravité surmontée.

Pour 5° 42', sin. $a = 0{,}09$ à très-peu près; par suite, au lieu d'être P 0,02, par exemple, la résistance serait P 0,11, c'est-à-dire que, dans les cas les plus avantageux, les premiers nombres des tableaux doivent être remplacés par les derniers, qui répondent aux cas où les vélocipèdes ne sont d'aucune utilité, sont nuisibles. Dès avant ce point, et à plus forte raison pour des pentes plus fortes, ils constituent des fardeaux à traîner, et ils ne peuvent plus rendre aucun service. Ils doivent nécessairement être abandonnés lorsque de semblables conditions répondent à une partie quelque peu importante du trajet.

VENT. Nous extrayons le résumé de l'état actuel des connaissances sur cette question de l'excellent *Guide du marin*, où elle a été traitée par le savant marin M. de Kerhalet.

Une expérience très-simple, due à Franklin, démontre que deux masses fluides de densités diverses, en contact l'une avec l'autre, ne peuvent pas rester en équilibre quand la surface de séparation n'est pas horizontale. Si dans un appartement on chauffe très-différemment deux pièces séparées par une porte, qu'on place à la partie supérieure et à la partie inférieure de cette porte une bougie allumée, et qu'on ouvre ensuite la porte, on voit par la direction que prend la flamme de chacune des bougies un courant d'air chaud passer à la partie supérieure, dirigée de la pièce chaude dans la pièce froide, et un courant d'air froid dirigé en sens opposé passer à la partie inférieure de l'ouverture.

De ce principe explicatif des mouvements qui se produisent dans une masse d'air, dès que la température varie en un de ses points, on tire l'explication des vents généraux, périodiques ou variables, et la théorie suivante du mouvement général des molécules d'air d'un pôle à l'autre.

La température diminuant à mesure que la latitude augmente, et décroissant surtout rapidement vers les parallèles de 40°, les masses d'air situées entre les tropiques sont plus échauffées que celles des hautes latitudes. De là il résulte à la surface du globe un afflux constant d'air froid du pôle vers l'équateur, et dans les régions élevées de l'atmosphère des courants d'air chaud dirigés en sens inverse qui ramènent celui-ci de l'équateur vers les pôles.

Si la terre était immobile, dans une certaine étendue au N. et au S. de l'équateur, on ne ressentirait par conséquent que des vents de N. et des vents de S. Mais il n'en est pas ainsi, et le mouvement de rotation de la terre sur son axe fait subir à ces directions des modifications dont nous allons parler.

L'atmosphère participe au mouvement diurne de la terre; ses différentes parties sont donc animées suivant leur position de vitesses très-inégales. Celles qui sont situées sur l'équateur parcourent ce grand cercle dans le même temps que celles qui sont près du pôle décrivent un cercle très-petit. Aussi lorsque, par suite de l'inégal échauffement de la surface du globe, les molécules d'air sont entraînées des pôles vers l'équateur et qu'elles pénètrent dans une zone dont les molécules ont une vitesse de rotation plus grande que celle dont elles sont animées, elles paraissent se mouvoir en sens inverse du mouvement de rotation de la terre, et il se produit alors le même effet que s'il existait un courant d'air dirigé de l'E. vers l'O. Comme ces molécules ont déjà une certaine vitesse dans le sens des méridiens, elles suivent la résultante des deux vitesses; on reçoit donc au N. de l'équateur l'impression d'un courant constant inférieur dirigé du N.-E. au S.-O., et au S. de l'équateur d'un courant constant inférieur dirigé du S.-E. vers le N.-O., tous deux allant vers l'équateur. Là où ces deux courants se rencontrent, il se produit un vent de l'E. à l'O., et l'air commence à prendre un mouvement ascensionnel. Ce sont ces courants qui prennent le nom de vents alizés.

Toutefois il faut remarquer que ces effets ne sont bien tranchés que loin des continents et en pleine mer; car, près des continents, des actions locales peuvent donner lieu à des courants d'air précisément dirigés en sens inverse de ceux que nous venons d'indiquer. En outre, sous l'équateur comme sous les tropiques, il existe de larges bandes de calmes; elles séparent les vents alizés entre eux, jusqu'à une certaine distance à l'O. des grands continents, comme elles séparent ces mêmes vents des vents variables des zones tempérées. Ces bandes de calmes sont en quelque sorte des barrières interposées entre ces vents, et nous verrons plus loin quel est leur rôle probable dans le système général de la circulation aérienne.

Les colonnes d'air qui ont été aspirées vers l'équateur, après qu'elles ont été enlevées dans la zone tropicale, passent au-dessus des vents alizés ou généraux dont nous venons d'expliquer l'origine; puis elles retombent à la surface de la terre dans les latitudes élevées, vers les parallèles de 40°. Elles ont, en quittant l'équateur, un excès de vitesse de rotation de l'E. à l'O., produit par leur séjour près de ce grand cercle, d'où il résulte dans ces régions une tendance des vents à souffler de l'O. vers l'E.; et comme dans les régions supérieures de l'atmosphère, l'air est porté de l'équateur vers les pôles, la résultante de ces deux actions produit un vent de S.-O. supérieur dans l'hémisphère nord, et de N.-O. dans l'hémisphère sud, lequel descend à la surface du globe dans les zones tempérées, à peu près vers les parallèles de 40° de latitude.

Hypothèse de Maury sur la circulation atmosphérique. — C'est d'après les considérations qui précèdent que Maury, en utilisant les travaux de ses devanciers, a pu formuler une hypothèse complète relativement à la circulation générale dans l'atmosphère. Nous donnons ici cette hypothèse, et nous dirons comme lui, que des irrégularités dans les vents, observées à la surface de la terre, ne doivent pas conduire à infirmer la loi des grands courants atmosphériques, ni causer dans les esprits une impression hostile au système d'ensemble qui présente le plus de chances probables d'être la vérité.

Admettons que dans l'atmosphère qui nous entoure une molécule devienne visible, et qu'il soit permis de la suivre à l'œil pendant qu'elle se trouve entraînée dans le courant général : si on l'observe au moment où elle est au pôle N. P (fig. 3761), prenant sa course vers l'équateur, on la verra se diriger en A vers le S.-O. dans la partie supérieure de l'atmosphère; lorsqu'elle arrive près du tropique du Cancer, où règnent toujours des calmes, elle rencontre un courant contraire, est arrêtée par ce courant et descend vers la surface de la terre pour se mêler en B aux vents alizés du N.-E. C'est la rencontre de ces deux courants contraires qui produit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les calmes tropicaux. Dans le voisinage de l'équateur, la molécule que nous suivons trouve une nouvelle zone de calmes, et là elle s'élève de nouveau dans la région supérieure. Sa course s'infléchit alors vers le S.-O., et elle franchit les vents alizés du S.-E. en passant au-dessus d'eux en C. Au tropique du Capricorne, mêmes phénomènes, même évolution qui ramène la molécule à la surface de la terre, près de laquelle elle fait route en D jusqu'à la région polaire antarctique. Aux approches de cette région, sa marche s'incline de plus en plus vers l'E. Enfin, aux environs du pôle S. P', la molécule est entraînée dans une sorte de tourbillon dont le sens giratoire est celui des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire de gauche à droite, et au centre duquel règne le calme. La notre molécule regagne les zones supérieures de l'atmosphère, renverse sa course et se dirige du pôle S. à l'équateur vers le N.-O., en suivant les routes E, F, G, H, c'est-à-dire en accomplissant aux mêmes endroits des évolutions analogues à celles que nous venons d'indiquer pour sa marche du N. au S. Au pôle N. elle trouve un tourbillon semblable à celui du pôle S., mais ayant un sens giratoire inverse, c'est-à-dire de droite à gauche.

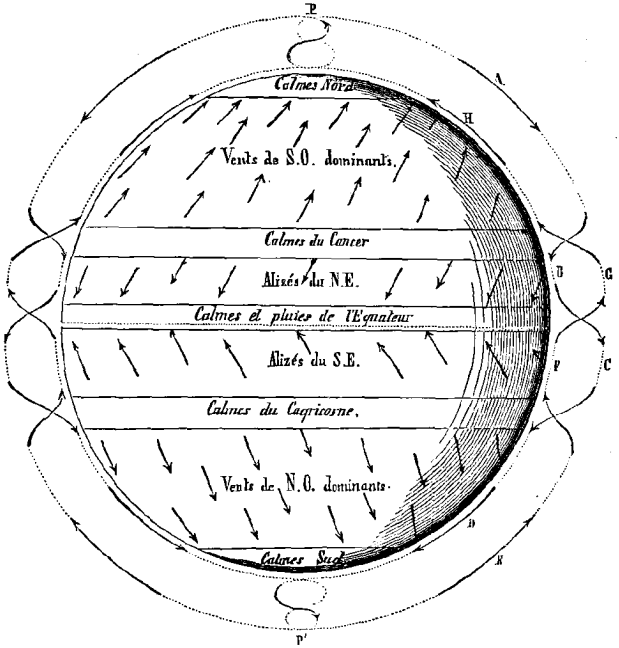


Fig. 3761.

Tel est le système de circulation générale de l'atmosphère donné par Maury. Il faut admettre, d'après ce système, que les molécules d'air voyagent continuellement d'un pôle à l'autre en faisant le tour de la terre. Cette idée, qui plaît au premier abord pour son originalité et sa simplicité, peut cependant donner lieu à quelques critiques. On se demande, par exemple, pourquoi les molécules qui arrivent vers l'équateur dans des sens différents se pénètrent pour passer d'un hémisphère dans l'autre à travers la région des calmes équatoriaux; cette hypothèse n'est pas nécessaire pour expliquer la circulation atmosphérique. Quelle que soit la valeur de cette objection, l'ingénieux système de Maury a le mérite de coordonner les faits et de les présenter sous un aspect saisissant. C'est un pas dans la voie de la constitution d'une théorie qui peut permettre de classer avec quelques chances de résultats la masse, si effrayante et croissante chaque jour, des observations météorologiques.

Le principe posé par Halley permet également d'expliquer très-facilement les moussons (nom tiré d'un mot arabe qui signifie saison) et les vents périodiques. En effet, lorsqu'un grand continent s'échauffe, il peut donner lieu sur une moindre échelle à des effets semblables à ceux qui ont lieu pour la zone équatoriale. Telle est la cause probable des moussons de l'océan Indien, de ceux qui règnent dans le grand Océan, dans la mer de Chine, le golfe du Mexique, une partie de la Méditerranée, etc., etc. Ces vents réguliers sont produits par des masses d'air qui s'élèvent par suite de l'échauffement de l'Indostan, du nord de l'Inde, de la Chine, des terres du golfe du Mexique, de l'Amérique centrale, de l'Afrique, etc. Ces masses d'air donnent naissance sur la surface de la terre à des vents dirigés vers les parties les plus échauffées.

Ainsi, par exemple, dans l'océan Indien, lorsque, pendant l'été (ou plutôt d'avril en octobre), le soleil est dans l'hémisphère N., la température des continents de l'Inde est plus élevée que celle de la mer. L'air équatorial à rotation rapide est donc attiré vers les parties échauffées, et il produit un vent constant de S.-O. Lorsque le soleil passe dans l'hémisphère S., d'octobre en avril, les parties les plus échauffées sont celles de la mer des Indes, et alors la mousson N. E. prend naissance. Pendant les équinoxes, la température de la mer et de la terre tendent à s'équilibrer, il n'y a plus de vents constants, mais bien des vents variables alternant avec des calmes et avec des tempêtes.

De même encore, l'action du soleil sur les grands déserts de l'Afrique du N. amène, pendant les mois d'été et d'automne, une perturbation à peu près générale dans la zone voisine des vents alizés de l'Atlantique, celle qui s'étend de l'équateur au parallèle de 13° de latitude N. Entre ce parallèle et l'équateur, les vents de N.-E., pendant les saisons que nous venons d'indiquer, sont arrêtés dans leur marche par l'effet de l'échauffement des sables dans l'intérieur de l'Afrique, et au lieu de continuer à faire route vers l'équateur, ils

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'élèvent au-dessus de ce sol brûlant. Alors les vents de S.-E. ne trouvant plus, au moment où ils arrivent sur l'équateur, les courants opposés qui les forcent d'ordinaire à gagner les couches supérieures de l'atmosphère, poursuivent leur route dans la couche où ils se trouvent, et arrivent aux déserts sous le nom de mousson de S.-O. Là se produit l'évolution des courants qui avait lieu précédemment dans la zone équatoriale. De nombreuses observations prouvent que, pendant les mois d'avril à octobre, les vents de S.-E. de l'Atlantique tournent vers le S. de plus en plus, à mesure qu'ils s'approchent de l'équateur.

DES VENTS GÉNÉRAUX ET PÉRIODIQUES. — Nous venons de donner quelques considérations sur l'origine des mouvements généraux de l'atmosphère; nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur les diverses espèces de vents qui règnent à la surface du globe.

Vents alizés. — Entre les parallèles de 30° de latitude N. et de 30° de latitude S., on trouve autour de la terre, sauf quelques perturbations locales ou particelles, deux zones distinctes où règnent constamment, sous le nom d'alizés du N.-E. et du S.-E., des vents réguliers et constants soufflant toujours dans la même direction moyenne. Toutefois ces vents sont influencés par les continents et peuvent se faire sentir même en sens inverse de la direction signalée ci-dessus; ils ne se régularisent qu'à une certaine distance des côtes.

Les vents alizés des deux hémisphères sont séparés par une zone de calmes qui forme entre eux, dans le voisinage de l'équateur, une espèce de barrière, ainsi que nous l'avons déjà indiqué; ils sont également, dans chaque hémisphère, séparés des vents variables par une zone de calme. Il y a toutefois une grande différence entre les zones de calme des tropiques et celle de l'équateur sous le rapport des pluies et des chaleurs. La zone équatoriale est bien plus redoutable que les zones tropicales de calme; le baromètre y est beaucoup plus bas que dans les vents alizés, tandis qu'au contraire dans les calmes tropicaux il est plus haut que dans les régions voisines, où se font sentir soit les vents de l'équateur, soit les vents polaires.

Il est reconnu que les vents alizés de S.-E. s'étendent sur une surface plus grande que les vents alizés de N.-E. Ce fait est surtout remarquable dans l'Atlantique. Dans l'Atlantique, comme dans le grand Océan, les vents alizés de S.-E. atteignent et dépassent l'équateur, tandis que ceux de N.-E. n'arrivent à la zone de calmes qu'aux environs du parallèle de 90° de latitude N.

De plus, les alizés de S.-E. sont presque toujours plus forts que les alizés de N.-E., et leur direction moyenne est le S. 56° E., tandis que celle des vents alizés de N.-E. est le S. 68° E. La prépondérance des vents de S.-E. est donc un fait positivement reconnu, principalement pour l'océan Atlantique et l'océan Pacifique. M. de Humboldt attribue cette prépondérance à la configuration du bassin de ces deux grandes mers.

Les vents alizés sont les vents d'évaporation par excellence; au contraire, les vents allant de l'équateur vers les pôles, vents qu'on nomme tropicaux, sont les agents de la précipitation. En effet, les premiers s'avancent des régions froides vers les régions chaudes; leur capacité pour la vapeur d'eau va sans cesse en s'accroissant, et ils absorbent de plus en plus l'humidité en s'approchant de l'équateur. Les seconds, au contraire, passent du chaud au froid, et par suite de la diminution progressive de la température les masses d'air en mouvement abandonnent sous forme de nuages et de pluie la vapeur d'eau qu'elles contiennent.

Calmes équatoriaux. — La largeur de la bande des calmes équatoriaux est en moyenne de 6° environ. Cette bande se déplace et suit les mouvements des zones où règnent les vents alizés, zones qui se portent tantôt au N., tantôt au S., suivant que le soleil est dans l'hémisphère N. ou dans l'hémisphère S.; elle occupe l'espace compris entre 5° de latitude S. et 15° de latitude N. Quand les vents alizés arrivent à cette bande de calme ils sont saturés de vapeur d'eau, et la plus légère cause amène la précipitation. On rencontre, en effet, dans la bande des calmes équatoriaux, des pluies violentes, prolongées; l'on y ressent des vents variables, des orages, parfois des coups de vent, et en général de fort mauvais temps. Il faut donc, autant que possible, éviter de la traverser dans sa partie la plus large, qui est celle située à l'O. des grands continents et dans leur voisinage.

Lorsque les courants d'air chaud qui forment les alizés arrivent saturés d'humidité dans la région des calmes équatoriaux, ils prennent, comme nous l'avons dit, un mouvement ascensionnel et trouvent en montant une température de moins en moins élevée. La vapeur d'eau qu'ils renferment se précipite alors sous forme de nuages, qui, pendant le jour, interceptent dans ces régions les rayons d'un soleil brûlant, et qui, en arrêtant pendant la nuit le rayonnement nocturne des parties de la terre sur lesquelles ils s'étendent, les empêchent de se refroidir. Aussi le climat de ces contrées est-il à peu près également chaud et humide en tout temps. Ces nuages, qui dans la zone des calmes deviennent en quelque sorte des parasols, sont en partie volatilisés par l'action du soleil et entraînés dans les courants supérieurs de l'atmosphère jusqu'à ce qu'ils se forment de nouveau pour se résoudre en pluie. La zone occupée par les nuages près de l'équateur est toutefois plus large que la zone des calmes, ce qui est constaté par les observations des marins, et la hauteur de ces nuages varie entre 900 et 1,400 mètres.

Dans les vents alizés, on remarque peu de nuages, et ceux particuliers à ces vents paraissent être le résultat d'un travail qui se produit entre les deux courants d'air superposés. Les vapeurs condensées dans le courant humide supérieur sont absorbées probablement aussitôt qu'elles sont en contact avec le courant d'air sec inférieur. Il en résulte que les pluies sont rares; elles n'ont lieu qu'accidentellement et sous forme de grains.

Calmes tropicaux. — Les zones ou bandes des calmes tropicaux ont une largeur moyenne de 10° à 12°; leur parallèle central oscille avec les saisons aux environs du parallèle de 30° dans chaque hémisphère, c'est-à-dire suivant que le soleil est dans l'hémisphère N. ou dans l'hémisphère S. Ces zones sont moins dangereuses que celle des calmes équatoriaux. Toutefois, nous poserons comme un principe de navigation générale, qu'il est toujours important de les traverser le plus rapidement possible.

Nous croyons devoir nous borner, pour les vents alizés, aux caractères généraux que nous venons d'indiquer, et nous renverrons pour une étude plus complète aux ouvrages spéciaux.

Moussons. — Lorsque les moussons s'établissent, elles ne se font pas sentir partout au même moment. Ainsi, dans l'océan Indien, où ce phénomène est surtout remarquable, on observe que la mousson se propage de la côte vers l'équateur, c'est-à-dire dans le S., comme les ondulations s'étendent sur l'eau en formant des cercles successifs autour d'un point central troublé. Maury, d'après 11,800 observations faites entre les zones qui s'étendent de la côte jusque sur le parallèle de 5° de latitude N., évalue pour cet océan à 15 ou 20 milles par jour la vitesse de propagation de la mousson S.-O. vers le S. Voici comment elle s'établit entre les méridiens de 85° et de 90° de longitude E. depuis Calcutta jusqu'à l'équateur, espace que nous diviserons en bandes de 5° en 5° du N. au S., comme l'a fait Maury.

Dans la première bande, celle située le plus au N.,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

c'est-à-dire entre la côte et le parallèle de 20°, les vents de N.-E. commencent à rencontrer les vents de S.-O. vers la fin de janvier. En février, la lutte est fortement établie, et vers le commencement de mars la mousson S.-O. domine et règne pendant un peu plus de six mois. En septembre, les vents de N.-E. recommencent la lutte jusqu'à la dernière moitié de novembre, et alors la mousson N.-E. s'établit régulièrement pendant un espace de temps qui dure un peu plus de deux mois.

Dans la seconde bande, entre 15° et 20°, la mousson N.-E. est troublée en février, la lutte commence et dure jusqu'au milieu de mars, moment où la mousson S.-O. s'établit pour durer jusqu'à la fin de septembre. En octobre, nouveau combat après lequel règne la mousson N.-E.

Dans la troisième bande, entre 10° et 15°, la mousson S.-O. commence plus tôt et finit plus tard que dans les bandes précédentes. Elle est en lutte avec la mousson N.-E. à la fin de mars, et elle s'établit en mai. Elle dure jusqu'au mois d'octobre, c'est-à-dire cinq mois environ, et après une nouvelle lutte de peu de durée elle cède la place à la mousson N.-E., qui règne sans interruption de la fin d'octobre à la fin de mars ou au commencement d'avril.

Dans la quatrième bande, entre 5° et 10°, la mousson N.-E. cesse en avril, et la mousson S.-O. commence presque aussitôt. En octobre, la lutte s'engage faiblement d'abord, puis elle devient plus tranchée en novembre; mais toutefois la mousson N.-E. ne l'emporte décidément qu'à la fin de décembre. Dans la bande dont nous parlons, on commence à ressentir les vents de S.-E. qui se produisent tantôt avec une des moussons, tantôt avec l'autre, et qui prolongent la lutte.

Dans la cinquième et dernière bande, entre 0° et 5°, la mousson S.-O. n'est bien marquée que pendant un court intervalle de temps, entre la première lutte qui finit en mai et la seconde qui commence en août. La mousson N.-E. n'est véritablement établie que de janvier à mars; ainsi, dans cette dernière bande, chaque mousson ne règne en réalité que durant trois mois, et les luttes durent pendant les six autres mois.

Dans l'archipel Indien et dans la mer de Java, dès que le soleil entre dans l'hémisphère N., les vents de N.-O. sont remplacés par les alizés du S.-E. On donne aux premiers le nom de mousson O., et aux derniers le nom de mousson E. Ces moussons, les seules qui existent dans l'hémisphère S. de cet océan, s'établissent à contre de celles qui règnent dans l'hémisphère N. La mousson O., dans l'archipel Indien et dans la mer de Java, correspond à la mousson N.-E. de la mer de Chine et de l'océan Indien; la mousson E. à la mousson S.-O.

Les moussons des mers de Chine ont avec celles de la mer des Indes quelques différences; elles présentent trois périodes :

1° Mousson N.-E. En octobre, novembre, décembre et janvier; changement en février;

2° Mousson E. En mars et avril; changement en mai;

3° Mousson S.-O. En juin, juillet et août; changement en septembre.

Les mers de Chine sont célèbres par les tempêtes à type rotatoire, nommés typhons (grand vent en chinois), qu'on y rencontre fréquemment pendant le changement des moussons.

Dans les régions où règnent les moussons, on distingue en général deux saisons bien tranchées, la saison sèche et la saison pluvieuse; la première correspond à la mousson qui souffle des continents vers la mer, et la seconde à celle qui souffle de la mer vers les continents.

Nous nous bornerons pour les moussons à ces explications générales, suffisantes toutefois pour donner une idée de ces vents.

Vents étésiens. — Nous ne dirons qu'un mot des vents étésiens; ce sont les vents périodiques ou les moussons de la Méditerranée. Ils soufflent de la partie du N. et sont dans toute leur force en été; alors ils se font sentir sur toute l'étendue de cette mer.

En principe général, on peut établir que les moussons ou vents qui changent avec les saisons sont dirigés vers les continents échauffés dans l'été et en sens inverse dans l'hiver.

Brises de mer et brises de terre. — Les moussons ne sont pas les seuls vents alternatifs; dans le voisinage des côtes, il en existe encore qui sont désignés sous le nom de brises de terre et brises de mer; la périodicité de ces vents est déterminée par le mouvement diurne, et ils se manifestent ainsi qu'il suit. Lorsque l'air est calme auprès d'une côte, vers 8, 9 ou 10 heures du matin, suivant les parages, on voit s'élever un vent soufflant de la mer vers la côte, c'est la brise de mer ou du large. Son intensité augmente jusque vers 2 ou 3 heures de l'après-midi, moment où il atteint son maximum de force; il diminue ensuite pour cesser vers le coucher du soleil, ou un peu après cet instant. Il y a alors un intervalle de calme, et quelques heures après le coucher du soleil le vent souffle de la terre jusqu'au jour, moment où il y a un nouvel intervalle de calme, auquel succède la brise du large, comme précédemment. S'il ne fait pas calme près de la côte et qu'il règne un vent d'une direction quelconque, alors les brises de terre et de mer se combinent avec ce vent, et la direction devient celle de la résultante des deux courants d'air.

Les brises de terre et de mer, qui sont des vents de beau temps, ne s'étendent qu'à une faible distance des côtes. C'est avec l'aide des brises du large que les navires à voile entrent dans certains ports et ils profitent, pour en sortir, des brises de terre ou de la nuit.

Les brises alternatives dont nous venons de parler ont avec les moussons une origine commune; elles sont comme elles dirigées vers les terres pendant le jour, et dans le sens opposé durant la nuit. Dans nos climats ces brises varient suivant le cours des saisons, car leur durée dépend de la longueur des jours et des nuits; elles sont plus régulières dans les régions intertropicales.

Vents périodiques des montagnes. — Il existe également des courants d'air alternatifs dans les contrées de montagnes; les uns descendants des montagnes vers les vallées pendant la nuit, les autres ascendants pendant le jour. Ces courants d'air sont extrêmement variables, et dépendent de la forme ainsi que de l'orientation des montagnes. Ils sont connus dans certaines localités sous les noms de Thalwind, Pontias, Vesine, Solore, Vauderon, Ribas, vent du mont Blanc, Aloup de vent; ils se manifestent principalement avec intensité dans les profondeurs des vallées, mais sans pour cela leur être propres; en effet, ils se font sentir le long de toutes les rampes, et le courant des vallées n'est que la résultante des cascades latérales et partielles. Ces courants d'air sont violents dans les gorges étroites, aboutissant par un court trajet à de hauts sommets; ils sont plus lents à se faire sentir dans les bassins généraux, où le vent ascendant ne commence qu'à 10 heures du matin, et le vent descendant que vers 9 heures du soir. Les saisons et des circonstances météorologiques accidentelles font varier les heures où s'établissent ces courants d'air. La configuration supérieure des vallées exerce encore une grande influence sur ces vents, qui sont tantôt plus tranchés le jour que la nuit, comme le vent de Maurienne, tantôt plus prononcés la nuit que le jour, comme le Pontias, l'Aloup de vent de Chessy. Quelquefois, c'est l'hiver et les neiges qui sont le plus favorables à la formation des vents nocturnes (Maurienne, Pontias); d'autres fois, c'est l'été pour les vents de jour (vent de Maurienne). Souvent les variations de température produites par ces vents sont très-brusques :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi dans la vallée de Joux elles ont atteint jusqu'à 20° centigrades.

Les vents généraux supérieurs peuvent, dans certains cas, altérer, compliquer et même anéantir les vents périodiques des montagnes; et, par suite, les pronostics du temps, déduits de la régularité ou de la marche des brises, sont souvent contredits par l'expérience. (Fournet, *Annales de physique*, t. LXXIV.)

Action mécanique du vent. Nous avons indiqué, à l'article RÉSISTANCE DE L'AIR, les principes qui permettent de calculer approximativement le travail de propulsion du vent agissant sur les voiles des navires. Nous compléterons ces renseignements en donnant les vitesses approchées des vents dont nous distinguons assez bien les divers degrés par les sensations qu'ils nous font éprouver.

DÉSIGNATION.	VITESSE par seconde en mètres.	VITESSE par heure en kilomètres.	PRESSION exercée sur 1 mètre carré.
			kil.
Vent seulement sensible..	1	3,60	0,20
Vent modéré (légère brise).	2	7,2	0,54
Vent frais ou brise (tend bien les voiles).....	6	21,6	4,87
Vent le plus convenable aux moulins (jolie brise)...	7	25,2	6,64
Bon frais, très-bon pour la marche en mer.....	9	32,4	10,91
Grand frais, fait serrer les hautes voiles.....	12	43,2	19,50
Vent très-fort.....	15	54,0	30,47
Vent impétueux.....	20	72,0	54,16
Tempête.....	27	97,0	98,17
Ouragan.....	36	129,6	176,96
Ouragan qui renverse les édifices.....	45	163,0	277,87

VENTILATEUR. Les machines soufflantes puisent l'air dans l'atmosphère pour le refouler dans un ou plusieurs tuyaux qui le conduisent à des foyers de combustion, ou dans des espaces, tels que les galeries des mines, que l'on veut rendre habitables et salubres par le renouvellement des gaz respirables. Lorsqu'on veut obtenir une grande puissance de souffle, comme il est nécessaire pour les foyers des grandes usines métallurgiques et des fonderies, ou faire parvenir un courant d'air à de grandes distances, on doit employer les machines soufflantes à piston. Dans tous les cas où la destination spéciale de la machine n'exige, au contraire, qu'une faible pression motrice à l'origine des conduites, il y a lieu de préférer les *ventilateurs*, en raison de la simplicité du mécanisme et de l'économie d'établissement et d'entretien de ces appareils. On a inventé et employé divers genres de ventilateurs, et plusieurs constructeurs se sont attachés à leur faire acquérir une puissance analogue à celle des machines à piston; mais il en est résulté des complications sans que ce but soit entièrement atteint. Les ventilateurs ne nous paraissent devoir être employés que lorsqu'on peut leur conserver la grande simplicité qui en constitue le seul avantage véritable, avantage qui les rend précieux pour l'alimentation des feux de forge des ateliers de fabrication, des foyers de petite fonderie, etc., ou pour l'aérage des édifices. En conséquence, nous nous occuperons surtout des ventilateurs simples et économiques à force centrifuge, et nous donnerons des règles pratiques au moyen desquelles ils peuvent être très-facilement établis dans les conditions du maximum d'effet utile, d'après les leçons sur les ventilateurs faites par M. Boileau, qui s'est appuyé sur des résultats d'expérience dus à divers auteurs, ainsi que sur ses propres recherches.

La partie essentielle de toute machine de la classe qui va nous occuper est un système d'ailettes reliées à un arbre central auquel on communique un mouvement de rotation rapide. Ces ailettes se trouvent renfermées, avec un faible jeu, dans une caisse fixe limitée latéralement par deux joues généralement planes et dont le pourtour est un cylindre, soit circulaire, soit à base en spirale, ayant pour génératrices des lignes droites parallèles à l'axe de rotation : chacune des deux joues est percée d'un *orifice d'aspiration a c b c'* (fig. 1), dans lequel

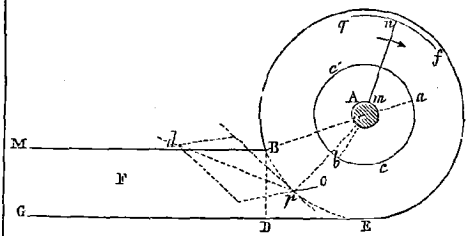


Fig. 1.

passe l'arbre précité A, et la surface cylindrique s'interrompt pour former un *orifice d'expulsion* rectangulaire B D, suivi d'un *tuyau porte-vent* F, également rectangulaire et de même largeur.

Par suite du mouvement très-rapide qui est communiqué aux ailettes, l'air contenu entre elles est refoulé par l'action de la force centrifuge vers la circonférence, ce qui produit une dilatation vers le centre; alors, la pression atmosphérique devenant prépondérante sur celle de ces parties centrales, l'air extérieur s'y précipite par les orifices d'aspiration, pour être refoulé à son tour vers les extrémités des ailettes et lancé de là, lorsque le secteur compris entre deux de ces organes passe devant l'orifice d'expulsion, dans le tuyau porte-vent, qui est assemblé avec une série de tuyaux aboutissant aux foyers alimentés par le ventilateur, ou aux espaces qu'il doit aérer.

On voit que dans ces machines il se produit un véritable tourbillonnement, dans lequel les molécules d'air, entrant suivant une direction parallèle à l'axe de rotation, subissent un changement de direction à angle droit, puis prennent un mouvement composé : 1° du déplacement angulaire qui leur est commun avec les ailettes; 2° de leur glissement sur la surface de celles-ci. En outre, il se produit dans la masse fluide des dilatations et des compressions successives, dans lesquelles les ressorts élastiques de l'air jouent un rôle important. Enfin, l'air comprimé du tuyau porte-vent se trouvant en communication constante avec l'air dilaté des orifices d'aspiration, tend à revenir vers ces ouvertures, ce qui produit des remous.

On conçoit qu'une aussi grande complication de phénomènes soit fort difficile à représenter par des formules exactes : aussi n'existe-t-il point de théorie complète de ces effets, et c'est principalement sur l'expérience que l'on doit baser les règles pratiques propres à servir de guides aux constructeurs.

M. Boileau a fait, sur un ventilateur fonctionnant dans un de nos meilleurs ateliers de construction, les observations suivantes :

1° En présentant une petite sphère en bois suspendue à un fil vis-à-vis des divers points de la circonférence d'un des orifices d'aspiration, il a reconnu que l'air extérieur ne s'introduisait au dedans de la caisse que sur un arc *a c b* égal aux 2/3 environ de cette circonférence et situé à l'opposé de l'orifice d'expulsion B D,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de telle façon que le premier point b de cet arc oscillait du milieu au tiers de l'arc compris entre les rayons menés aux points B et E, ce dernier point étant le plus bas du contour de la caisse. Sur la seconde portion $ac'b$ ou les 3/5 environ de la circonférence de l'orifice, l'air sortait au lieu d'être aspiré. A une faible distance de cette circonférence, en allant vers l'arbre A des palettes, il y avait aspiration en tous les points de l'orifice, mais seulement dans son plan et jusqu'à une faible distance en avant : car les molécules d'air chassées au dehors de la caisse et partant de l'arc $ac'b$ formaient une nappe qui, jaillissant parallèlement au plan de l'orifice, repoussait énergiquement les corps légers qu'elle rencontrait. Dans un ventilateur mal construit ou mû avec une vitesse insuffisante, ces remous pourraient prendre des proportions telles, que l'air aspiré ressortit presque totalement de la caisse après avoir tourbillonné dans l'intérieur.

2° Le ventilateur dont il s'agit alimentait huit feux de forge maréchaux, groupés par quatre, à une faible distance de sa caisse, et auxquels l'air arrivait par de gros tuyaux en fonte; une vanne placée à la base de chacune des tuyères permettait d'interrompre à volonté le vent. Ayant placé un manomètre à eau en amont d'une de ces vannes qui est restée fermée, on a fait successivement ouvrir les orifices des sept autres feux. La pression d'air dans les tuyaux, ou plutôt l'excès de cette pression sur celle de l'atmosphère est resté sensiblement constant, quel que fût le nombre des orifices d'écoulement ouverts; ce qui prouve que la portion d'air qui se perdait par les ouvertures d'aspiration du ventilateur croissait dans le rapport inverse du nombre de ces orifices. La pression d'air motrice était mesurée par une colonne d'eau de $0^m,103$ de hauteur : lorsque toutes les tuyères ont été fermées à la fois, de manière que le volume d'air aspiré dût s'échapper tout entier, sauf quelques fuites, par les ouvertures d'aspiration, cette pression ne s'est pas élevée à plus de $0^m,118$.

On voit par ces observations :

1° Qu'un ventilateur à force centrifuge peut alimenter un nombre de foyers très-inférieur à celui pour lequel il a été proportionné, sans que la vitesse du vent et par conséquent le volume fluide fourni à chaque foyer s'en trouvent sensiblement modifiés;

2° Que la pression manométrique, et par suite la vitesse du vent que produisent ces machines soufflantes, a d'étroites limites, qu'il est impossible de dépasser.

La plus grande pression motrice que l'on puisse obtenir à l'extrémité d'un système de conduites paraît être de $0^m,12$, en colonne d'eau, à laquelle correspond une vitesse d'écoulement de $42^m,50$.

Règles pratiques pour la construction de ventilateurs à force centrifuge. Nous nous occuperons successivement des divers éléments essentiels de la construction et du travail de ces machines.

Orifices d'aspiration. L'air se précipite à travers ces orifices en vertu de l'excès de la pression extérieure sur celle qui a lieu dans la partie centrale de la caisse. Si l'on désigne par :

O la somme de leurs aires;

m un coefficient de correction;

d le poids du mètre cube du fluide;

Q le volume introduit dans chaque seconde du temps;

$g = 9,809$ la vitesse acquise sous la seule action de la pesanteur dans le même temps:

on a, en supposant que les pressions soient uniformes sur toute l'étendue des surfaces O, ou plutôt en remplaçant ces pressions par des valeurs moyennes équivalentes p et p':

$$Q = m O \sqrt{2g \frac{p - p'}{d}}$$

Or, après que l'air a été dilaté de la pression p à la pression p' pour l'introduire dans la machine, il doit être comprimé jusqu'à une pression supérieure à p pour l'en faire sortir; chacun de ces changements de pression exige une dépense de travail moteur, et celle qui est employée pour ramener le fluide de la pression p' à la pression p constitue évidemment ici une perte d'effet utile. On doit donc avoir pour principe, dans l'établissement des ventilateurs soufflants, d'introduire le volume déterminé Q en dilatant le fluide aussi peu que possible, c'est-à-dire en augmentant l'aire O et le coefficient m, autant que les autres conditions le permettent.

Relativement à l'accroissement des dimensions des ouvertures d'aspiration, on est limité par la considération de l'action de la force centrifuge : en effet, cette action a pour mesure de son travail dynamique sur l'unité de masse

$$\frac{1}{2} A^2 (R^2 - r^2)$$

si l'on désigne par

A la vitesse angulaire des ailettes;

R et r les distances respectives à l'axe de rotation, de l'extrémité et de l'origine de ces ailettes.

Dans la plupart des ventilateurs en usage, cette origine est à la circonférence des orifices d'aspiration, dont le rayon est par conséquent r; et si, comme nous le verrons plus loin, on prolonge un peu plus les ailettes vers l'axe, le travail de la force centrifuge n'en a pas moins lieu que sur une longueur égale à la différence $R - r$ des rayons, pour les molécules fluides qui partent du bord des ouvertures. D'un autre côté, en augmentant R, on augmente, pour une vitesse donnée, le volume déplacé Q, de sorte que c'est, non point la valeur absolue des rayons qu'il faut considérer ici, mais celle de leur rapport. Or, l'accroissement de ce rapport ayant deux conséquences inverses, il y a nécessairement une valeur du même rapport qui est plus avantageuse que toutes les autres, et qui ne peut être fournie que par l'expérience. La grandeur des orifices d'aspiration étant déterminée par cette valeur, on voit qu'il serait désavantageux de n'adopter qu'un seul orifice au lieu de deux, comme l'ont fait plusieurs constructeurs: car on diminuerait de moitié l'aire O, qu'il est au contraire utile d'augmenter.

Les nombreuses expériences effectuées par M. E. Dollfus sur toutes les parties de la construction des ventilateurs ont montré, en ce qui concerne les orifices d'aspiration, que la différence de pression $p - p'$ va en croissant depuis les points les plus éloignés jusqu'aux plus voisins de l'orifice d'expulsion BD. Pour profiter complétement de cette circonstance, il faudrait, d'après les observations de cet ingénieur, donner aux ouvertures d'aspiration la figure d'une ellipse dont le grand axe serait dirigé de la projection A de l'axe de rotation au point p de la hauteur BD, où a lieu la plus grande vitesse du courant expulsé, et dont le centre serait situé du côté de BD à une distance de l'axe A égale au dixième du rayon AB du ventilateur, que nous continuerons à désigner par R dans la suite de cet article. On peut néanmoins, sans diminution notable d'effet, substituer à l'ellipse un cercle dont le rayon serait égal aux 2/3 de R. Quant à la position relative du centre de ce cercle, il faudrait, pour la fixer d'après ce qui précède, connaître celle du point p, qui est nécessairement variable et difficile à déterminer: de sorte que, considérant en même temps la faible valeur de la distance des deux centres, nous placerons celui des orifices sur l'axe de rotation.

Il faut, en second lieu, comme on vient de le voir, adopter des dispositions extérieures propres à faire augmenter le coefficient m, c'est-à-dire à diminuer la contraction de la veine fluide. On a proposé, dans ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

but, d'armer les ouvertures d'aspiration de tuyaux cylindriques extérieurs; mais il faut remarquer que la contraction serait reportée à l'entrée de ces tuyaux, qui devraient, en conséquence, pour produire complétement l'effet voulu, avoir une longueur au moins triple du diamètre des orifices, et seraient encombrants. Le moyen le plus simple et le plus efficace, indiqué par M. Boileau, consiste à appliquer contre les joues de la caisse des garnitures en bois *g*, *g* (fig. 2), de $0^m,10$ à $0^m,15$ de saillie, s'arrêtant à la circonférence des orifices d'aspiration et à section en demi-cercle. Quant à la valeur du coefficient dont il s'agit, on ne possède point de résultats d'expérience concernant l'écoulement de l'air par les grands orifices; et, d'ailleurs, les observations précitées de M. Dollfus montrent que la distribution des vitesses, dans ceux qui nous occupent, est tout à fait différente, par suite de l'influence du mouvement des ailettes, de celle qui a lieu dans le cas d'un écoulement ordinaire; mais on ne saurait évaluer le coefficient *m* à plus de 0,50, lorsque la contraction subsiste complétement, et à moins de 0,75, si l'on adopte l'embouchure arrondie *g g*.

Caisse enveloppe. La largeur intérieure de la caisse est une partie importante de la construction : dans les ventilateurs où elle est trop faible, il en résulte que les deux courants jaillissant par les orifices d'aspiration se rencontrent, circonstance qui donne lieu à des mouvements intérieurs irréguliers auxquels correspond une perte de force vive; d'un autre côté, si la caisse était trop large, ces deux courants, après s'être coudés pour cheminer sur les palettes du centre à la circonférence, laisseraient entre eux un espace stagnant dans lequel rentrerait l'air à plus forte pression du tuyau porte-vent. Dans les expériences de M. Dollfus, la largeur qui a donné les meilleurs résultats était égale à 3/2 R; mais cette valeur n'a point été adoptée par les constructeurs, et nous la réduirons à celle de R, qui est la plus grande que l'on rencontre dans les ventilateurs en usage.

Les enveloppes plus étroites sont nécessairement défectueuses, et c'est une erreur que de croire qu'on en corrige l'imperfection en séparant leur capacité en deux parties égales par un disque ou diaphragme circulaire de chaque côté duquel sont fixées les demi-ailettes: car les deux courants fluides, venant rencontrer presque normalement ces diaphragmes, s'y épanouissent dans tous les sens, ce qui donne lieu à des mouvements de remous.

Dans les anciens ventilateurs, le cylindre enveloppe était circulaire et concentrique à l'axe de rotation A; mais il est facile de voir que ce tracé est défectueux. En effet, les nappes d'air lancées par les ailettes cheminant du centre à la circonférence en tournant autour de l'axe, décrivent dans l'espace des trajectoires en spirale, et la surface intérieure du pourtour de la caisse doit être l'enveloppe de ces trajectoires, c'est-à-dire avoir pour directrice une spirale dont la détermination exacte résulterait de celle de la projection des trajectoires précitées, sur le plan des joues latérales, détermination que les notions acquises ne fournissent point encore et qui serait d'ailleurs fort compliquée. On adoptera donc le tracé suivant.

L'*excentricité* de l'enveloppe est la distance CE (fig. 3), de la circonférence ayant pour rayon AB ou R, au plan DE du fond du tuyau porte-vent, plan qui est perpendiculaire à celui du mouvement de rotation. Cette excentricité doit augmenter avec la vitesse de l'extrémité des ailettes : les résultats des expériences de M. Dollfus conduisent à la proportion moyenne des 2/3 du rayon R pour des vitesses de 700 à 1 000 tours par minute.

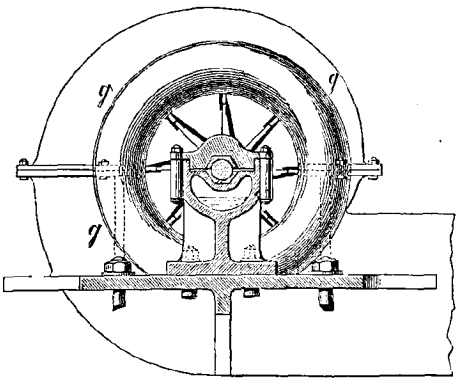


Fig. 2.

On partagera CE et l'arc BFC de la circonférence du rayon R en un même nombre de parties égales; puis, par les points correspondants de chacune de ces divisions, on fera passer, d'une part, des arcs de cercle concentriques à l'axe A, de l'autre, des rayons dont les intersections respectives avec ces arcs seront autant de points de la courbe spirale, qui doit être raccordée tangentiellement avec le plan EDC.

Orifice d'expulsion. Considérons une ailette au moment où elle passe devant cet orifice, et soit *o p* (fig. 1) l'élément extrême de cette ailette, plane ou courbe : les molécules d'air, en quittant *o p*, sont lancées dans une direction qui est celle de la résultante de deux vitesses, savoir, celle qu'elles possèdent sur les ailettes à

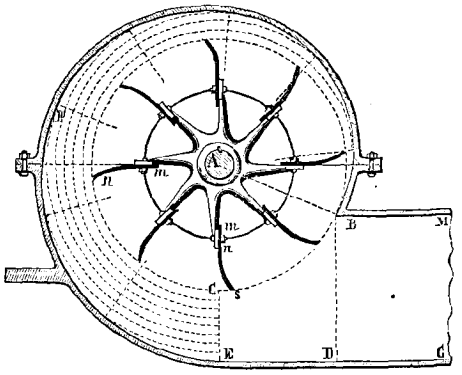


Fig. 3.

leur extrémité *p*, dans la direction de celles-ci, et celle du mouvement de rotation de la même extrémité, composante qui est tangentielle à la circonférence et beaucoup plus grande que la première. Il en résulte que le fluide projeté par chaque palette *p*, lorsqu'elle commence à passer devant l'orifice BD, arrive à cet orifice dans une direction oblique à son plan : cette obliquité diminue à mesure que la palette considérée s'élève, et devient nulle pour une certaine position de cette ailette, au delà de laquelle l'obliquité recommence en sens contraire. Il résulte de ceci que la vitesse du fluide

EFERUS - Recherche & Classification numérique

entrant dans l'orifice d'expulsion n'est perpendiculaire à cet orifice qu'en un point de sa hauteur. Dans tous les autres points, la force vive communiquée au fluide se décompose en deux : l'une normale au plan de l'orifice, qui est la force vive utilisée pour l'écoulement; l'autre parallèle à ce plan, qui est non-seulement perdue, mais encore nuisible, puisqu'elle tend à faire rentrer l'air dans la caisse. Le seul obstacle que l'on puisse opposer à cette rentrée est l'acuité de l'angle B, qui doit rester à arête vive et non arrondie, comme le font quelques constructeurs.

La largeur de l'orifice d'expulsion doit être celle de la caisse, afin d'éviter les contractions latérales; quant à sa hauteur BD, il résulte des expériences de M. Dollfus que la valeur la plus favorable est égale à 3,5 R augmenté de l'excentricité de la caisse.

Tuyau porte-vent. On établit quelquefois la paroi supérieure BM de ce tuyau dans une direction convergente avec le fond EDG, tandis que, d'après ce qui vient d'être dit sur l'obliquité des filets fluides, ce serait plutôt le contraire qui conviendrait. Cette paroi doit être parallèle au fond : on prolongera l'une et l'autre jusqu'à un mètre environ de l'orifice BD, puis on placera, entre son extrémité et les tuyaux conducteurs de l'air, une buse de raccordement très-allongée.

Rayon du ventilateur. En considérant successivement les dimensions à donner aux différentes parties essentielles de la construction, nous n'avons jusqu'à présent donné que le rapport de ces dimensions au plus petit rayon R de la caisse enveloppe, et il faut maintenant déterminer la grandeur de ce rayon correspondante à l'effet que l'on veut obtenir, détermination pour laquelle nous serons obligés de nous contenter d'une solution approximative, en l'absence de documents expérimentaux suffisamment nombreux et exacts, solution qui consistera à exprimer le volume fluide déplacé en fonction de R.

A cet effet, on désignera par :

S l'aire de l'orifice d'expulsion;

L sa largeur égale à celle de la caisse;

P la pression moyenne qui a lieu sur l'unité de surface dans cet orifice;

p la pression atmosphérique;

Q le volume du fluide déplacé dans chaque seconde du temps, exprimé en mètres cubes;

d le poids de l'unité de volume de ce fluide;

h la hauteur de la colonne manométrique qui mesure l'excès de la pression P sur celle de l'atmosphère;

D le poids de l'unité de volume du liquide qui compose cette colonne;

r le rayon des orifices d'aspiration, ou celui de la circonférence que décrit l'origine des ailettes, dans le cas où il est plus petit que le premier.

L'intensité de la force centrifuge varie d'un point à l'autre du rayon qu'elle fait parcourir aux molécules, et sa quantité de travail sur la longueur $R - r$ de ce rayon a pour mesure, comme on sait, $1/2\,MA^2(R^2-r^2)$, si la masse déplacée est M, ou $1/2\,A^2(R^2-r^2)$, pour l'unité de masse : par conséquent, on peut aussi remplacer cette force vive par une colonne d'air dont la hauteur serait

$$A^2\left(\frac{R^2-r^2}{2g}\right)=z$$

et comme r est proportionnel à R, la quantité z est proportionnelle à A^2R^2.

D'un autre côté, la masse fluide comprise entre le réservoir extérieur ou l'atmosphère et l'orifice d'expulsion, est soumise, d'une part, à la pression p, qui agit comme force motrice, et de l'autre à la pression P, qui fait obstacle à son mouvement : la résultante de ces deux actions est une force retardatrice dont l'intensité est capable de soutenir à une hauteur h le liquide du manomètre, et, par conséquent, à une hauteur $h\frac{D}{d}$ le fluide déplacé.

La charge qui produit l'écoulement à travers les sections extrêmes des canaux formés par deux ailettes consécutives est, approximativement,

$$z-h\frac{D}{d}$$

et la vitesse dans ces sections transversales

$$u=\sqrt{2g\left(z-h\frac{D}{d}\right)}$$

Nous devons faire remarquer que cette vitesse est seulement celle du mouvement relatif sur l'extrémité des ailettes, et non celle de l'écoulement par l'orifice d'expulsion. Cela posé, soit po (fig. 1) le dernier élément d'une ailette, faisant avec la circonférence un angle aigu i, la vitesse absolue, ou dans l'espace, V, des molécules fluides au moment où elles s'en échappent, sera la résultante des vitesses u et AR, dirigée suivant la diagonale pd du parallélogramme qui a pour côtés ces dernières, et l'on aura, en vertu d'un théorème connu de trigonométrie :

$$V^2=u^2+A^2R^2-2uAR\cos i.$$

C'est animées de cette vitesse résultante que les molécules fluides se précipiteront vers l'orifice d'expulsion, dans des directions relatives variables avec la position de la palette qui passe devant cet orifice : de sorte que, si nous désignons par m un coefficient expérimental, on aura

$$Q=mSV.$$

M. Dollfus, ayant mesuré la pression produite par le courant d'air expulsé sur un écran maintenu en équilibre, a trouvé que cette force croissait dans une proportion sensiblement constante avec le carré de la vitesse AR de l'extrémité des ailettes : or on admet généralement que l'impulsion due au choc d'un courant fluide isolé est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne U de ce courant; comme, d'ailleurs, dans ces expériences, l'écoulement avait lieu à l'air libre, U^2 était égale à $2gh\frac{D}{d}$, nous pouvons admettre que cette dernière quantité est proportionnelle à A^2R^2, dans un rapport connu et constant avec R. La hauteur z étant également proportionnelle au carré de la vitesse des palettes à leur extrémité, nous pouvons poser :

$$u^2=B^2A^2R^2$$

B^2 étant un coefficient numérique, et il en résulte

$$V^2=A^2R^2(B^2+1-2B\cos i)$$

ou

$$V=AR\sqrt{B^2+1-2B\cos i}$$

comme d'ailleurs, N étant le nombre de tours par minute,

$$A=2\pi\frac{N}{60}=0{,}105\,N$$

nous avons en définitive

$$Q=cSNR \qquad (a)$$

c étant un coefficient fonction de l'inclinaison i des ailettes sur la circonférence.

Ces considérations expliquent pourquoi des expérimentateurs ont trouvé que le volume fluide déplacé croissait, toutes choses étant égales d'ailleurs, proportionnellement à la vitesse de rotation.

Cherchons maintenant la valeur de c d'après l'examen des constructions existantes.

1° Le ventilateur à palettes planes dirigées suivant le rayon sur lequel ont été faites les observations

EFERUS - Recherche & Classification numérique

rapportées plus haut, avait les dimensions suivantes:

$R = 0^m,32$ $\quad r = 0^m,135$

$L = 0^m,259$ $\quad S = 0,257 \times 0,250 = 0^{mc},0642$

dimension des ailettes dans le sens du rayon $= 0^m,15$.

Le nombre de tours était d'environ 1 200 par minute. Le diamètre de l'orifice de sortie des tuyères était en moyenne de $0^m,024$; la pression manométrique moyenne observée à l'orifice de ces tuyères étant de $0^m,103$ en colonne d'eau, la vitesse d'écoulement était de 40 mètres par seconde et le volume écoulé de 0,047 mètre cube pour chaque foyer. D'après les renseignements donnés dans l'usine, ce ventilateur avait été construit pour alimenter 30 feux, et, par conséquent, le volume $Q = 0^{mc},54$. Il en résulte

$$c = \frac{0,54}{0,0642 \times 1200 \times 0,32} = 0,0207.$$

2° Il a été fait, à l'École régimentaire du génie, des expériences sur un modèle de ventilateur construit suivant les règles que nous exposons. On a adapté au tuyau porte-vent un conduit rectangulaire en bois de $11^m,27$ de longueur, à l'extrémité duquel l'aire de la section transversale était, en mètre carré, de $0^m,04$, et, dans cette section, l'on a placé l'anémomètre de M. Combes. Cet instrument (voy. VENTILATION) fournit la vitesse U des filets du courant fluide correspondants à la position de son axe de rotation; et, comme il était placé au milieu de la largeur $0^m,232$ de la section, nous pensons qu'il convient de multiplier par le coefficient 0,85 le produit de cette section par la vitesse U, pour obtenir une valeur approximative du volume Q, qui la traversait dans chaque seconde. En conséquence, nous aurons

$$Q = 0,85 \times 0,04 U = 0,034 V$$

et, pour le module d'efficacité,

$$c = \frac{0,034\,U}{SNA} = \frac{0,0036}{SR} \cdot \frac{U}{A}.$$

Les proportions de ce ventilateur perfectionné étaient:

$R = 0^m,30$ $\quad L = 0^m,30$ $\quad S = 0^m,30 \times 0^m,20 = 0^{mc},06$

demi-axes des orifices d'aspiration elliptiques, $0^m,19$ et $0^m,21$, longueur de la projection des ailettes sur le rayon $0^m,165$.

Le nombre de tours des ailettes a varié de 450 à 600, et, par conséquent, leur vitesse angulaire A, de $47^m,10$ à $62^m,83$.

Dans les 15 expériences qui ont été faites entre ces limites, le rapport $\frac{U}{A}$ de la vitesse du fluide à cette vitesse angulaire est demeuré sensiblement constant: résultat qui, joint aux précédents, justifie les considérations par lesquelles M. Boileau est arrivé à la formule (*a*). La moyenne générale des valeurs de $\frac{U}{A}$ est 0,2587,

d'où: $\quad c = 0,0517.$

Cela posé, la détermination du rayon R devant précéder celle de l'aire S, il faudra préalablement établir les rapports déterminés entre ce rayon et les deux dimensions de l'orifice d'expulsion, rapports que nous avons d'ailleurs fournis précédemment. Si l'on fait, par exemple, $L = nR$ et la hauteur de cet orifice égale à $n'R$, on aura, pour calculer le rayon, la formule

$$R = \sqrt[3]{\frac{Q}{c n n' N}}$$

En se conformant aux règles ci-dessus énoncées, on aurait:

$$n = 1,00 \qquad n' = \frac{3}{5} + \frac{2}{3} = 1,26$$

d'où:

$$R = \sqrt[3]{\frac{Q}{0,065\,N}}$$

Mais, considérant que l'évaluation précédente du volume Q n'est pas entièrement certaine, et qu'il faut d'ailleurs prévoir le cas où le travail industriel exigerait une plus grande quantité d'air par suite de l'augmentation du nombre des foyers ou de l'agrandissement du diamètre des tuyères, nous augmenterons sensiblement la valeur du rayon qui résulternait de ce calcul et nous adopterons, en définitive, avec l'auteur précité, la formule

$$R = 3\sqrt[3]{\frac{Q}{N}}$$

Comparaison entre le volume fluide obtenu et le volume engendré par la révolution des ailettes. Il peut être utile d'établir un rapport entre ces deux volumes, afin de multiplier les moyens d'évaluer la quantité d'air fourni par un ventilateur et les termes de comparaison entre ces machines.

Or, en désignant par

R' la distance du centre des ailettes à l'axe de rotation;

b leur longueur projetée, s'il y a lieu, sur la direction du rayon;

l leur largeur,

on a, pour le volume engendré dans chaque seconde du temps,

$$2\pi R' b l \frac{N}{60} = W$$

et le rapport

$$\frac{Q}{W} = K$$

sera un second module d'efficacité des machines qui nous occupent, considérées sous un nouveau point de vue. Pour obtenir un aperçu des valeurs du rapport K, M. Boileau a eu recours aux données relatives aux exemples précédents, et l'on peut conclure des résultats du calcul que, en moyenne:

1° Pour les anciens ventilateurs à ailettes planes prolongées jusqu'à l'arbre de rotation, le volume d'air obtenu est environ 1/3 de celui qui est engendré par la révolution de ces ailettes;

2° Pour les ventilateurs à ailettes planes commençant seulement à la circonférence des orifices d'aspiration et avec enveloppe circulaire, le rapport de ces volumes est moyennement 1/2;

3° Pour les ventilateurs à ailettes concaves, à enveloppe excentrique en spirale et bien proportionnée, ce rapport s'élève à 4/5.

Forme, longueur et nombre des ailettes. On a employé ou proposé des formes et des dispositions variées, dont les principales ont été comprises dans les expériences de M. Dollfus.

Parmi ces divers systèmes d'ailettes, la forme demi-plane, demi-concave, à faible courbure, a été reconnue comme la plus avantageuse. Les ailettes planes portées par des bras et de longueur convenable occupent le second rang.

Tracé des ailettes. Adoptant le dispositif de M. Dollfus, qui a donné de bons résultats, on dirigera la portion plane *mn* (fig. 3), suivant le rayon A*mn*C, et l'on portera sur ce rayon, à partir du point *c* de la circonférence, une longueur $cm = 0,55\,R$; la partie plane *mn* occupera la moitié de cette longueur, et l'on tracera la partie concave *ns* suivant un arc de cercle dont le centre, placé sur la perpendiculaire à *mn*, en *n*, sera déterminé par tâtonnement, de sorte que la flèche de courbure au milieu de cet arc soit égale à 0,10 R.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le jeu latéral des ailettes dans la caisse doit être réduit autant que possible, ce qui exige que les joues soient bien dressées à l'intérieur et que l'arbre de rotation ne puisse prendre aucun mouvement parallèle à l'axe.

Les bras qui supportent ces organes doivent être aussi minces que possible dans le sens perpendiculaire au mouvement de rotation, à section elliptique, et situés au milieu de la largeur de la caisse; ils s'allongeront jusqu'à la portion courbe *ns* et s'élargiront sur l'ailette qui sera fixée sur le rélargissement par quatre petits boulons.

Nombre des ailettes. Cet élément de la construction des ventilateurs est important : en effet, les palettes doivent se succéder assez rapidement devant l'orifice d'expulsion pour y projeter un courant d'air sensiblement continu; et, d'un autre côté, si le temps écoulé entre deux passages successifs par un rayon fixé dans l'espace était trop restreint, l'excès de la pression extérieure sur la pression intérieure ne suffirait plus pour renouveler l'air dans le secteur compris entre deux ailettes. Pour la vitesse de 800 à 900 tours, qui paraît la plus convenable, on pourra adopter, d'après M. Boileau, les nombres suivants :

Diamètres 2R	0m,30	0m,50	0m,80	1m,0
Nombre des ailettes	4	6	8	10

Plusieurs auteurs se sont préoccupés de disposer les ailettes de façon que l'air entre sans choc dans la machine, et M. Hirn, auteur d'un mémoire sur la théorie des ventilateurs, propose, dans ce but, l'emploi de surfaces héliçoïdales qui, dirigeant l'air sur ces ailettes, rempliraient un office analogue à celui des cloisons directrices fixes de certaines turbines hydrauliques; mais la solution d'une semblable question serait très-compliquée.

Considérations relatives à la vitesse de rotation. La force centrifuge étant l'agent principal dans les machines qui nous occupent, une grande vitesse angulaire est indispensable pour engendrer les différences de pression en vertu desquelles le fluide peut se mouvoir à travers les conduites, souvent très-étendues, qui précèdent ou suivent le ventilateur, selon qu'il est aspirant ou soufflant. En outre, le raisonnement et l'expérience prouvent, comme on vient de le voir, que le volume fluide déplacé est sensiblement proportionnel à la vitesse angulaire des ailettes. Il semble donc que l'accroissement de cette vitesse n'ait pas d'autre limite que celle qui serait relative à la conservation de l'appareil et à la complication des transmissions de mouvement; mais il faut, dans toute espèce de machine, joindre à la considération des effets obtenus celle du travail moteur dépensé. Or les pertes de force vive intérieures dues aux frottements du fluide et aux remous croissent rapidement avec les vitesses relatives de ce fluide, et il en est de même des pertes de travail dues à la dilatation que produit la force centrifuge.

Il doit donc exister, pour chaque ventilateur, un volume fluide déplacé, et une vitesse de rotation qu'il est désavantageux de dépasser dans les circonstances ordinaires de l'emploi de cette machine, et auxquels correspond son maximum de rendement dynamique.

Quoique M. E. Dollfus ait mesuré les effets produits, non point par le volume écoulé, mais par l'impulsion statique exercée sur un plan tenu en équilibre devant l'orifice d'expulsion, on peut conclure de ses expériences, que la meilleure vitesse à imprimer aux ailettes est celle de 800 à 900 tours par minute, que nous avons admise précédemment.

Nous passons maintenant à l'évaluation des éléments dynamiques du travail des ventilateurs.

Effet utile et rendement. L'objet d'une machine soufflante quelconque étant de puiser dans l'espace une certaine masse M de fluide au repos, pour lui communiquer en définitive la vitesse moyenne V que cette masse possède lorsqu'elle en sort, l'effet utile dynamique de cette machine a pour mesure la moitié de la force vive imprimée, ou $1/2\,MV^2$.

Pour exprimer cet effet en fonction du volume fluide obtenu et de la pression manométrique de l'expulsion, il suffit de remarquer que, d'après la théorie de l'écoulement des fluides, on a, dans le cas pratique où les pressions d'entrée et de sortie diffèrent peu entre elles :

$$V = \sqrt{2gh\frac{D}{d}}$$

et d'y joindre l'égalité

$$M = \frac{Qd}{g}.$$

On voit ainsi que

$$1/2\,MV^2 = DQ.h$$

c'est-à-dire que l'évaluation de l'effet utile des machines soufflantes se trouve ramenée au travail de l'élévation du poids DQ à la hauteur h.

Si nous désignons par T_m le travail moteur total dépensé par seconde pour le jeu d'une machine soufflante, le rendement dynamique de cette machine sera

$$\frac{DQh}{T_m}$$

Dans le cas des ventilateurs soufflants à force centrifuge, la valeur de ce rendement ne saurait dépasser 0,50 pour les meilleurs appareils, et serait même difficilement atteinte. Ainsi M. Leblanc indique 4 chevaux pour la force motrice appliquée au ventilateur des fourneaux à la Wilkinson précités : or, en mettant les choses au mieux et évaluant à 0me,40 le volume soufflé dans chaque foyer, ainsi qu'à 0m,12 la pression manométrique h, l'effet utile

$$QDh = 800^k \times 0,12 = 96^k = 1^{chev},28$$

ce qui donnerait un rendement de 0,32.

Les ventilateurs à ailettes courbes bien proportionnées et marchant à la vitesse de 800 à 900 tours doivent fournir un rendement plus avantageux; en outre, il est essentiel de remarquer que les appareils précédents à ailettes planes étaient suivis d'un système de conduites plus ou moins étendu, dont les résistances absorbaient une portion notable du travail moteur. En définitive, on peut évaluer, dans un projet, à 0,40, au maximum, le rendement d'un ventilateur soufflant dans les circonstances les plus favorables et abstraction faite de l'influence des conduites.

La force motrice transmise par la machine motrice à l'arbre des ailettes sera d'environ 3 chevaux par mètre cube d'air envoyé dans le tuyau porte-vent.

VERMICELLE. Les blés qui servent pour la fabrication du vermicelle sont passés au moulin de manière à donner beaucoup de gruau, à produire la semoule, base de toutes les pâtes.

On met ordinairement 6 litres d'eau pour 25 kilogrammes de semoule; il vaut mieux être obligé de remettre de la semoule en pétrissant, que de l'eau, parce que c'est une bonne qualité de ces pâtes de sécher promptement.

Il faut convertir la semoule en pâte, pour en composer ensuite, soit des vermicelles, soit des macaronis, soit des lazagnes, etc. Il n'est point nécessaire de mettre du levain dans la composition des pâtes, car il accélère leur altération. On les pétrit à l'eau chaude avec force et vitesse, afin de leur conserver la chaleur. Lorsque la pâte est pétrie, on la ramasse sur le devant du pétrin; on la couvre d'un linge propre, sur lequel on en met un second; ensuite on monte dessus pour piler la pâte en la foulant fortement avec les pieds pendant deux ou trois minutes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ensuite l'ouvrier brie la pâte, pendant deux heures consécutives. La *brie* est un morceau de bois de dix à douze pieds de longueur, plus gros d'un bout que de l'autre; elle a un côté tranchant à l'extrémité par laquelle elle est attachée au pétrin. L'ouvrier est à moitié assis sur l'autre extrémité de la brie, c'est-à-dire qu'il a la cuisse droite sur cette extrémité, qu'il tient aussi de la main droite, tandis qu'il frappe prestement du pied gauche contre terre pour s'élever avec la brie et lui donner le mouvement, ayant le bras gauche en l'air. On continue ainsi jusqu'à ce que la pâte soit suffisamment écrasée et briée.

Quand on a fait la pâte, il suffit de la réduire en filets minces, en tuyaux, en lanières, pour en former les vermicelles, les macaronis, les lazagnes. Cette opération se fait par le moyen d'une forte presse verticale; le patin que porte l'extrémité de la vis entre juste dans un vase cylindrique en cuivre, ou mieux en fonte de fer, que l'on nomme *cloche;* on met dans le fond une espèce de crible parsemé de petits trous de la grosseur que doit avoir le vermicelle. La cloche est enveloppée d'un réchaud dans lequel on tient de la braise. On remplit la cloche de pâte; elle s'y échauffe par la braise, et devient liquide; l'action de la presse la fait sortir en filets, que l'on refroidit aussitôt, et que l'on sèche par un ventilateur, au fur et à mesure qu'elle sort. Lorsque les filets ont acquis une longueur d'un pied, on les prend avec la main, et on les casse par une secousse près du crible; et, en les déposant sur un papier ou sur un carton, on les entortille, comme on le voit dans le commerce.

Aujourd'hui, dans les usines bien installées, on remplace la brie par l'action d'une meule qui se meut circulairement dans une auge où est placée la pâte.

Quand la pâte est pétrie, on lui donne la forme de filaments en l'introduisant toute chaude dans un cylindre de bronze dont le fond est percé de trous d'un diamètre égal à celui que doivent avoir les brins de vermicelle. La partie inférieure du cylindre est chauffée par une double enveloppe dans laquelle circule de l'eau chaude ou de la vapeur. On fait descendre dans ce cylindre un piston qui, poussé par de l'eau communiquant au réservoir d'une presse hydraulique, comprime la pâte et la force à passer à travers les trous du fond.

La pâte sort à l'état de fils, qui sont refroidis à leur sortie par un ventilateur ou par une palette flexible de cuir, avec laquelle le vermicellier les évente; puis il coupe les fils de pâte à la longueur de 75 centimètres à 1 mètre, les contourne et les porte à l'atelier d'étendage, où des femmes dévident ces gros écheveaux en petits nouets, qu'elles répartissent sur des claies couvertes de papier, pour les faire sécher dans une étuve à courant d'air.

Le macaroni se fabrique d'une manière analogue: il suffit d'adapter au cylindre un autre fond dont les trous sont d'un plus grand diamètre; ils sont garnis de filières analogues à celles qui servent à la fabrication des tuyaux de drainage.

Pour préparer des pâtes en formes de lentilles, d'étoiles, d'ellipses plates, etc., on se sert d'une presse horizontale: le fond du cylindre est percé de trous lenticulaires, étoilés ou elliptiques, et la pâte, à mesure qu'elle sort, est découpée en plaques d'épaisseur convenable par un couteau circulaire, qui tourne rapidement à une certaine distance du fond.

VERRES BOMBÉS. Nous emprunterons à l'excellent *Guide du verrier* de M. Bontemps l'exposition complète de cette intéressante fabrication.

C'est dans les fours où l'on fait les verres à vitre en *manchons* ou cylindres, que l'on fabrique les *globes* destinés à préserver de la poussière les vases, bronzes, fleurs artificielles, objets d'histoire naturelle, etc., et auxquels on a donné le nom de *cylindres*, parce qu'en effet on ne fit d'abord que des globes cylindriques; ces globes cylindriques ou *cylindres* n'étaient simplement que des *manchons non ouverts* à l'extrémité, et dont on coupait le *bonnet* comme pour les manchons destinés à être fendus. Pendant longtemps, jusque dans le commencement de ce siècle, on n'employait que ces *cylindres* dont le bord entrait dans une rainure pratiquée à l'entour du socle. Quand il s'agissait de couvrir des objets de forme allongée, tels que pendules, on employait des *cages* qui étaient fabriquées à Paris par des *bombeurs de verre*. Ces *cages*, qui avaient d'abord été faites par les vitriers de cinq carreaux de verre à vitre, dont quatre pour les quatre faces et un pour les couvrir, — le tout assemblé avec un mastic siccatif que l'on dorait généralement, — furent ensuite composées de trois pièces seulement, dont une *bombée* formait la face antérieure et les deux côtés; une deuxième pièce, la face postérieure, et une troisième légèrement bombée formait le dessus, s'assemblant avec les deux autres avec le même mastic. Les vitriers qui se livrèrent à ce travail spécial prirent le nom de *bombeurs de verre* : c'étaient eux qui tenaient en magasins les *globes* ronds dits *cylindres*.

Ces bombeurs de verre avaient des fours pour bomber les devantures et les dessus de cages; ils faisaient aussi dans ces fours des *carreaux bombés* pour des devantures de boutique; il y avait alors un assez grand nombre de boutiques dont la devanture, pour la *montre*, formait saillie et était vitrée en carreaux plats sur toute la face et en carreaux bombés aux deux extrémités.

Le four à bomber était divisé en deux parties, dont une destinée au travail du bombage, l'autre à la recuisson. Le four de travail était chauffé avec des billettes en dessous de l'aire ayant plusieurs ouvertures correspondant avec le foyer. La forme était donnée au verre au moyen de moules ou formes en tôle préparés à l'avance et ayant exactement la courbure qu'on voulait donner au verre. On posait la feuille de verre coupée de la dimension calculée et préalablement légèrement chauffée sur la forme en tôle, que l'on avait frottée avec de la chaux en poudre; et, au bout de peu d'instants, la feuille plate avait pris exactement la forme de la tôle. On enlevait alors la tôle et la feuille bombée, et on la posait dans le four à refroidir. La devanture des deux fours était composée de plusieurs portes en tôle glissant dans des coulisses.

Les bombeurs de verre fabriquaient aussi des verres à *lunettes* ou à *cadran*: on appelle ainsi les petits verres posés devant les cadrans de pendules. A cet effet, ils coupaient à la *tournette* des *ronds* de verre à vitre de la dimension convenable, et auxquels on faisait prendre la forme dans des calottes concaves de tôle. Ce sont à présent les fabricants de verres de montre qui font généralement ces verres à cadran; on en fait aussi beaucoup en glace biseautée.

La tournette dont nous venons de parler est un petit outil composé d'un diamant monté sur une tige verticale qui glisse sur une règle horizontale mobile autour d'une autre tige verticale qui vient s'appuyer sur le verre; on place la tige du diamant à la distance voulue du centre, et appuyant le diamant sur le verre, on fait faire à la règle une révolution autour de son centre, et le rond se trouve coupé.

Jusque vers les premières années de ce siècle, les *cages* faites par les bombeurs de verre et les globes ronds ou cylindres soufflés dans les verreries étaient donc seuls en usage pour couvrir les divers objets et les garantir de la poussière ; on eut alors l'idée, après avoir soufflé un *cylindre*, de l'aplatir, pour lui donner une forme à peu près ovale: à cet effet, ce cylindre, non encore détaché de la canne, était réchauffé dans l'ouvreau, puis le verrier le posait sur un plateau de bois blanc uni, et un autre ouvrier ou gamin l'aplatissait en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRES BOMBÉS.

appuyant parallèlement au plateau une palette en bois, pendant que l'ouvrier donnait quelques petits coups de souffle pour maintenir la forme intérieure. Ce moyen était assez grossier: on ne pouvait ainsi arriver qu'à des dimensions approximatives; mais on ne tarda pas à donner de la régularité à ce travail, en remplaçant la palette par un autre plateau semblable au premier et maintenu à une distance déterminée, égale à l'épaisseur que l'on voulait donner au *globe*; et, comme les globes cylindriques étaient connus sous le nom de cylindres, on appela *cylindres ovales* (deux mots qui ne vont guère ensemble) les cylindres aplatis entre deux plateaux; plus tard, au lieu de deux plateaux, on en assembla quatre, entre lesquels on souffla le *cylindre*, et on obtint ainsi ce qu'on appelle *cylindres carrés*.

Telles sont les bases générales du travail des *cylindres* ronds, ovales et carrés; nous allons, en outre, donner quelques indications plus détaillées relatives à leur fabrication.

Les *cylindres ronds* doivent être d'une égale épaisseur dans toutes leurs parties, plutôt plus minces que plus épais à la tête ou calotte; cette tête doit être arrondie pour avoir une forme gracieuse. Quand le manchon a été allongé par le soufflage joint au mouvement de *moulinet*, sa tête est en pointe, comme l'indique la figure 1, A; l'ouvrier doit alors chauffer de nouveau la tête du cylindre, puis, le retirant de l'ouvreau, le placer dans une situation verticale, tourner la canne sur elle-même: la tête prend alors la forme *abc* (fig. 1, B),

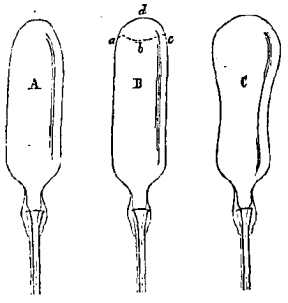


Fig. 1.

parce que, le centre étant la partie la plus chaude, fléchit et devient concave. L'ouvrier souffle alors très-légèrement, et lui fait prendre la forme *adc* (fig. 1, B); s'il ne trouve pas cette tête encore suffisamment aplatie, il chauffe de nouveau et lui fait subir la même opération; il doit surtout faire attention à ne pas entrer son cylindre trop avant dans le four, pour que le sursoufflage de la tête n'amène pas l'extension du diamètre, ce qui donnerait une forme très-disgracieuse (fig. 1, C).

Les *cylindres ovales* sont soufflés dans des moules, du moins on appelle ainsi les deux plateaux fixés à une distance égale au petit diamètre que l'on veut donner au cylindre; ces plateaux sont des madriers de bois de peuplier de 10 à 12 centimètres d'épaisseur. On choisit ce bois comme étant le moins fibreux, le plus homogène dans sa substance, n'ayant pas de nœuds et se carbonisant sans laisser des côtes saillantes qui feraient impression sur les faces du cylindre; le peuplier blanc de Hollande est généralement le plus convenable. On recherche pour cet usage les arbres du plus grand diamètre, afin de n'avoir qu'un seul madrier pour chaque face du moule, et on les scie d'un mètre de longueur en moyenne, quelques-uns plus longs quand on veut faire des cylindres ovales d'une grande hauteur. Ces madriers sont tenus dans une grande citerne pleine d'eau, où on les remet après le travail. Chaque jour, le menuisier prépare ses moules quelques heures avant le commencement du travail des verriers. A cet effet, il a des calibres de centimètre en centimètre. Il place les deux madriers d'un moule dans une position parallèle et les rapproche jusqu'à ce qu'ils pressent le calibre indiquant l'intervalle à laisser entre eux; il y a pour chaque dimension deux calibres: celui du bas est d'environ 5 millimètres plus petit que celui du haut, pour que le cylindre que l'on souffle entre les deux plateaux en sorte sans difficulté. Quand les deux madriers sont ainsi rapprochés à la distance voulue, on les fixe au moyen d'une petite planchette et de deux ou trois pointes dans le haut et une autre dans le bas; puis, retournant le moule sur le côté qui vient d'être fixé, on fait la même opération du côté opposé. Le bord supérieur de chaque plateau est évasé pour faciliter l'entrée du verre dans le moule. Dans la disposition du moule telle que nous venons de la décrire et telle qu'elle a été généralement pratiquée, il fallait naturellement que l'ouvrier eût autant de moules qu'il y avait de cylindres d'une épaisseur différente à fabriquer; on a depuis obvié à cette nécessité en fixant les plateaux aux diverses distances voulues au moyen de vis de rappel.

Disons de suite que, pour les *cylindres carrés*, le moule est composé de quatre madriers. Les deux madriers de côté forment calibre. Ils doivent être un peu plus étroits du bas que du haut, par la raison que nous avons donnée pour la sortie du verre du moule; quelquefois même cette différence est assez grande, de plusieurs centimètres par exemple, quand on a besoin que le cylindre aille en fuyant vers la tête. Avant de fixer les madriers dans leur position, le menuisier doit les raboter pour les aplanir et enlever la partie carbonisée dans le travail précédent.

Nous allons à présent donner quelques indications relatives au travail du verrier. Le moule est placé dans la fosse où s'allongent les manchons, mais assez près du four pour permettre au verrier d'allonger le cylindre après avoir soufflé la boule; le côté large du moule est placé parallèlement à la *place* (on désigne ainsi le *plat-bord* sur lequel se tient le souffleur). L'ouvrier doit savoir calculer le diamètre qu'il doit donner à sa *boule* pour arriver aux dimensions déterminées pour le cylindre ovale. Si, par exemple, on lui commande un cylindre de 48 centimètres du grand diamètre sur 20 du petit diamètre, il sait que cet ovale a le même contour environ qu'un cercle qui aurait une circonférence de deux fois le grand diamètre plus le petit, soit + 20 ou 116, et il sait qu'une circonférence de 116 a un diamètre de 37 centimètres: c'est donc là le diamètre qu'il

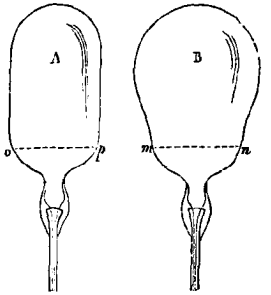


Fig. 2.

donnera à sa boule. On n'a pas appris à l'ouvrier le rapport 7 à 22 du diamètre à la circonférence, mais il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRES BOMBÉS.

sait que c'est un peu moins du tiers, et son coup d'œil est tel que, sans compas, il souffle sa boule dans la dimension exacte qui doit produire le cylindre ovale qui lui est demandé. Quand, après avoir soufflé sa boule et l'avoir réchauffée, il souffle et allonge son verre en faisant le moulinet, il doit faire attention à ne pas lui donner une forme cylindrique: car, dans ce cas, la partie *a a b c c* (fig. 2, A), qui a pris, en réchauffant dans l'ouvreau, une température plus élevée que la partie du cylindre qui arrive à la canne, se prêtant plus à l'action du souffle, prendrait la forme disgracieuse de la figure 2, B, et ne serait pas dans les dimensions commandées. Après donc avoir réchauffé sa boule, il lui donne la forme de la figure 3, C. En conservant une

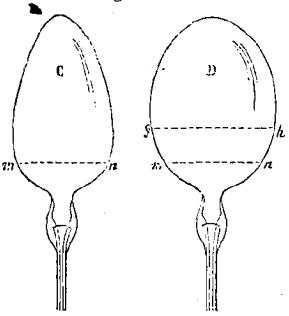


Fig. 3.

assez forte épaisseur à l'extrémité, cette forme de la figure C deviendra la forme de la figure D; le cylindre sera coupé au fil de verre suivant le plan *g h*. L'ouvrier, ayant donc donné à son verre la forme de la figure C, le réchauffe dans l'ouvreau le plus avant qu'il peut; puis il l'introduit dans le moule, souffle, ressort du moule, y rentre et souffle encore, et ainsi de même jusqu'à ce que son verre n'obéisse plus au souffle. On comprend pourquoi l'ouvrier ne maintient pas le verre dans le moule: c'est que les parois de ce moule, qui s'enflamment, repousseraient le verre; en retirant donc son verre, les gaz se dégagent, et il peut rentrer de nouveau quelques secondes sans que l'action de cette combustion contrebalance l'effet de son souffle. En sortant pour la dernière fois de son moule, l'ouvrier donne encore un léger coup de souffle pour être bien certain que les parties plates n'auront pas été repoussées, et qu'il y ait plutôt une légère courbure convexe que concave; puis le gamin va détacher le cylindre de la canne comme on le fait pour les manchons. Si on veut donner au cylindre ovale une forme en fuyant vers la tête, alors on donne au verre, après avoir soufflé la boule, une forme encore plus pointue que la figure C ne l'indique.

Le *cylindre* carré se fait de la même manière. Pour calculer le diamètre à donner à sa boule, l'ouvrier prend le double du grand côté plus le petit côté, et y ajoute une quantité proportionnée à la dimension du cylindre qu'il fabrique: soit, par exemple, un cylindre carré de 48 sur 30; il comptera sur une circonférence de deux fois 48, soit 96+30+6 centimètres, soit 132 centimètres, et conséquemment sur un diamètre de 42 centimètres.

La précision d'un ouvrier habitué à souffler des cylindres est telle, qu'il ne s'éloigne pas d'un demi-centimètre des mesures commandées et qu'il peut fabriquer des paquets de cylindres ronds, ovales et carrés entrant les uns dans les autres, dans des limites extrêmement rapprochées: il fabriquera, par exemple, quinze cylindres ronds, dont le plus petit aura 12 de haut sur 9 de diamètre et le plus grand 30 de haut sur 20 de diamètre, ne formant qu'un seul paquet; et pour les ovales, entre la dimension de 20 de haut sur 18 du grand diamètre et 9 du petit diamètre et la dimension de 45 de haut sur 36 du grand diamètre et 20 du petit diamètre, il fera entrer douze autres cylindres ovales.

Lorsqu'il s'agit de souffler des manchons pour faire des feuilles de verre, la dimension de ces feuilles de verre n'est limitée que par la force de l'homme nécessaire pour manœuvrer la quantité de verre voulue pour cette dimension, quantité qui ne peut guère aller au delà de 25 à 30 kilogrammes; et quant au soufflage, il n'y a pas grande fatigue pour les poumons du verrier. Quand sa boule est faite et réchauffée, il n'est pas nécessaire qu'il donne en une seule fois tout le développement nécessaire à sa pièce; il souffle en plusieurs fois, réchauffe son verre quand il ne se prête plus au soufflage, jusqu'à ce qu'il ait atteint les dimensions voulues. Il n'en est pas de même quand il s'agit de faire un *cylindre* de très-grande dimension: il faut, quand la boule est soufflée et réchauffée, introduire rapidement et en une seule fois une grande quantité d'air dans le verre: car, si le verre, qui doit être soufflé assez mince, se refroidit avant d'être arrivé à la dimension voulue, on ne peut plus manœuvrer une pièce d'un tel volume de manière à la réchauffer dans l'ouvreau, et la pièce se trouve manquée; or les poumons de l'homme ne peuvent suffire à l'insufflation rapide d'un tel volume. On essaya d'y suppléer en introduisant par la canne une petite quantité d'eau ou d'alcool, qui, se vaporisant dans le verre, produisait l'effet du souffle de l'homme; mais quelquefois l'effet était outre-passé: l'alcool soufflait trop rapidement, et une partie de la pièce, étant trop mince, se trouvait sursoufflée; si on avait projeté de l'eau en trop grande quantité, elle pouvait arriver à *glacer* le verre: en un mot, on n'était pas maître de l'effet qu'on voulait produire. Je pensai alors à employer un moyen mécanique dont je vais donner la description. Il s'agit d'insuffler par la canne un grand volume d'air, en réglant toutefois cette quantité et en conservant au verrier le libre maniement de sa canne pour la manœuvre de son verre: pour parvenir à ce résultat, je mets la canne de l'ouvrier en communication avec un vaste soufflet, au moyen d'un tuyau flexible fait à l'instar de ceux des machines pneumatiques. A 3 centimètres de l'extrémité de la canne par laquelle on souffle, est ajoutée une bague saillante destinée à retenir un ajutage en cuivre venant s'adapter à cette extrémité. Cet ajutage en cuivre est fixé au bout du tuyau flexible de 3 mètres à 3m,50 de long, dont l'autre extrémité est vissée sur la tuyère d'un soufflet pouvant contenir un quart à un tiers de mètre cube d'air; ce soufflet est posé derrière l'ouvrier et assez près pour qu'il puisse aisément manœuvrer sa canne; les extrémités du tuyau flexible sont ajustées dans des viroles en cuivre, de manière à pouvoir tourner sur leur axe sans que le tuyau éprouve de torsion; ce tuyau flexible est composé d'une spirale en fil de fer entouré de caoutchouc vulcanisé; son diamètre intérieur doit être plus grand que celui du trou de la canne, laquelle elle-même doit être percée d'un plus grand trou que les cannes ordinaires, attendu que l'air insufflé éprouve une assez grande résistance en raison de la longueur parcourue avant d'arriver dans la masse de verre. L'ajutage de ce tuyau flexible qui doit s'adapter sur la canne, est garni d'un crochet à ressort qui est retenu par la bague de la canne, de telle sorte que l'ouvrier, pressant la main sur le ressort, peut aisément dégager la canne de cet ajutage quand il ne lui est plus nécessaire. Sur la tuyère du soufflet se trouve un robinet pour empêcher la rentrée de l'air insufflé lorsqu'on a cessé de souffler la pièce de verre, ou pour empêcher l'aspiration pendant qu'on relève le levier du soufflet, si on est obligé de donner un second coup de soufflet.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRES BOMBÉS.

L'ouvrier, ayant donc soufflé sa boule, la chauffe dans l'ouvreau. C'est alors que le gamin entre l'extrémité du tuyau flexible sur le bout de la canne, où il reste retenu par le crochet à ressort, en sorte que, quand l'ouvrier trouve sa boule suffisamment chaude et sort de l'ouvreau, il ordonne de souffler et va poser sa canne sur le baquet ou sur un crochet vertical sur lequel il tourne sa canne pour que le verre ne coule pas. Aussitôt qu'il voit que le verre a atteint un développement suffisant, ce qui a lieu après quelques secondes, il presse sur le ressort, dégage sa canne et introduit son verre dans le moule; quelquefois, au lieu de dégager sa canne quand le verre a atteint le développement suffisant, il fait fermer le robinet de la tuyère, introduit son verre dans le moule, et, faisant rouvrir le robinet, il fait souffler à petits coups jusqu'à terminaison du cylindre.

On peut aussi, pour faciliter la manœuvre des grosses pièces de verre, suppléer à la force musculaire de l'ouvrier après avoir suppléé à celle de ses poumons. Pour cela, on ajuste sur le milieu de la canne un anneau mobile entre deux bagues fixes; cet anneau mobile tient à un anneau plus grand, que l'on peut entrer dans un crochet suspendu à l'extrémité d'une longue chaîne, en sorte que l'ouvrier peut balancer sa pièce de verre sans avoir à supporter le poids de la canne et du verre, et enfin, quand il veut réchauffer son verre, il pose sa canne horizontalement sur un crochet monté sur une forme roulante pouvant s'approcher et s'éloigner de l'ouvreau. Un semblable chariot sert aussi pour le cueillage du verre destiné à des pièces d'un très-grand volume. Quand il s'agit du dernier cueillage, l'opération est difficile et pénible: car une partie de la canne est dans le four et l'ouvrier ne peut plus agir qu'à l'extrémité d'un levier assez court; il est ensuite très-difficile d'enlever et la canne et le verre sans que ce dernier, qui est assez liquide, touche en sortant les parois de l'ouvreau, le cueilleur ayant à l'extrémité de sa canne de 25 à 30 kilogrammes de verre et ne pouvant approcher sa main gauche du verre de manière à alléger l'effort de la main droite. Cette opération est singulièrement facilitée lorsqu'on pose la canne sur le crochet de ce chariot, lequel crochet peut s'avancer très-près de l'ouvreau, de telle sorte que, quand le dernier verre est cueilli, l'ouvrier, appuyant sa canne sur le crochet, baisse la main de manière à enlever le verre, tourne la canne sur elle-même pendant qu'on éloigne le chariot de l'ouvreau. On peut alors rafraîchir la canne de manière que l'ouvrier puisse porter la main gauche très-près du verre pour placer son verre dans le bloc. Par ces divers appareils, on est parvenu à souffler des cylindres ronds de près de 2 mètres de haut sur 60 à 65 de diamètre, des ovales de $1^m,50$ à $1^m,60$ de haut sur 75 de grand diamètre et 40 de petit diamètre.

Les cylindres ronds d'un développement même assez grand n'ont pas besoin d'être recuits; il n'en est pas de même des cylindres ovales et carrés. On comprend que ces derniers, lorsqu'ils viennent d'être terminés, ne sont pas à une température uniforme dans toutes leurs parties, les parties plates s'étant trouvées en contact avec le moule; leur forme d'ailleurs n'est pas aussi favorable à un retrait régulier pendant le refroidissement que celle des cylindres ronds: aussi, quand on essaye de couper le bonnet au fil de verre chaud sans leur avoir fait subir une recuisson, la fissure qui s'ouvre sur le point où l'on glace, au lieu de suivre la ligne sur laquelle était posé le fil de verre, marche irrégulièrement et s'étend jusqu'à la tête du cylindre. Il arrive même que le cylindre éclate par le fait seul du premier contact du fil de verre. On est donc obligé de recuire les cylindres ovales et carrés comme les grands manchons en verre double, et pour cela on emploie une *arche à tirer* comme pour la recuisson du verre à vitre étendu; cette arche à tirer, longue de 8 à 10 mètres, est chauffée, à son entrée seulement, à une température assez élevée pour ramener le cylindre au rouge-brun, mais pas assez pour l'amollir et le déformer. La cheminée de l'arche est placée à l'extrémité opposée, et deux barres de fer ou *rails* sont fixés le long de l'aire, destinés à faciliter le glissement des *ferrasses* plates en tôle sur lesquelles on recuit les cylindres, et qui sont garnies à une extrémité d'un anneau et d'un crochet à l'autre extrémité. Ces ferrasses sont de 1 mètre de long, longueur qui permet de recuire des cylindres d'une assez grande dimension. On en a seulement quelques-unes plus longues encore, pour le cas où l'on fait des cylindres d'un plus grand volume. On détache le cylindre que l'on vient de fabriquer comme on le fait pour les manchons, en posant ce cylindre sur la *ferrasse* qui est à l'entrée de l'arche, et on glace le col avec le dos du pic, puis on ferme la porte de l'arche; quand le cylindre a séjourné quelques instants à l'entrée de l'arche, on pousse la ferrasse et on en accroche une autre, pour qu'elle s'échauffe et soit apte à recevoir le cylindre suivant. Quand on ne fabrique que de petits cylindres ovales ou carrés, on en peut mettre plusieurs à recuire sur la même ferrasse.

Il y a des verreries où, au lieu d'une arche à tirer, on emploie simplement un four carré pouvant contenir une demi-douzaine de ferrasses et chauffé à la température convenable; on détache le cylindre sur une ferrasse placée à l'entrée, puis on pousse la ferrasse vers le fond; quand on a rempli ainsi cinq autres ferrasses, on retire la première, que l'on pose pour quelques instants encore sur un tas de cendres à l'abri de tout courant d'air. Quand le travail est terminé et que les cylindres sont recuits, le verrier coupe tous les bonnets au fil de verre, et on porte les cylindres au magasin. Ils sont alors aptes à être expédiés aux marchands qui portent encore le nom de *bombeurs de verre*, quoique l'industrie qui leur a fait prendre ce nom soit presque entièrement éteinte. Ces cylindres ont encore besoin de subir une opération avant de pouvoir remplir le but de leur destination. Le bord coupé au fil de verre n'est pas très-régulier, et ne s'appliquerait pas dans tous ses points sur un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre: il faut donc le dresser au diamant. Cette opération est assez facile pour les cylindres ronds, et s'exécute au moyen d'une tige AB (fig. 4), terminée en B par un

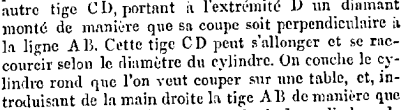


Fig. 4.

petit hémisphère en liége; sur cette tige glisse une autre tige CD, portant à l'extrémité D un diamant monté de manière que sa coupe soit perpendiculaire à la ligne AB. Cette tige CD peut s'allonger et se raccourcir selon le diamètre du cylindre. On couche le cylindre rond que l'on veut couper sur une table, et, introduisant de la main droite la tige AB de manière que la demi-sphère B s'appuie au fond du cylindre, la tige CD ayant été fixée à la longueur que doit avoir le cylindre, on roule avec la main gauche le cylindre sur la table, en suivant le mouvement avec la main droite de manière à faire porter le diamant au point où le cylindre touche à la table, et, après avoir fait une révolution, le cylindre se trouve coupé tout alentour.

Pendant très-longtemps, le dressage des cylindres ovales et carrés ne s'accomplissait que très-difficilement; il dépendait de l'adresse et du coup d'œil de l'ouvrier, qui, plaçant de même son cylindre couché sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

table, le tournait de la main gauche en suivant de la main droite, avec un diamant ordinaire de vitrier, la direction qu'il jugeait devoir dresser le mieux son cylindre; après avoir fait une première coupe, il posait le cylindre debout sur la table pour pouvoir juger du résultat: il se trouvait alors souvent que le cylindre penchait à droite ou à gauche, ou bien sur l'une des grandes faces; il faisait alors des corrections en couchant de nouveau le cylindre sur la table; quelquefois aussi il opérait quelques légères corrections au moyen de l'*égrugeoir* ou *grésoir*; mais on peut dire que ce n'était toujours qu'un travail de tâtonnement et d'à peu près. Ce fut en 1832 que M. A. Claudet inventa un appareil très-ingénieux qui, du dressage irrégulier existant alors, fit une opération d'une exactitude mathématique. Cet appareil consiste en une table disposée ainsi que nous allons le décrire et en un diamant monté à chariot, dont nous avons vu déjà l'usage pour rogner les manchons. Sur une base triangulaire en cuivre MN (fig. 5 et 6), montée sur trois petites roulettes à équerre, s'élève une colonne OP traversée par une tige GH portant deux petites roulettes A, B. Sur cette même colonne OP, est fixée une autre tige IK portant une autre tige SKL mobile, dont un ressort IL permet le rapprochement et l'éloignement de la partie supérieure SD, qui porte en D un diamant dont la coupe a lieu suivant un plan horizontal, c'est-à-dire parallèle à la base MN. D'autre part, on a une table *ab*, sur laquelle s'élèvent deux traverses perpendiculaires *cd*, *ef*, entre lesquelles se meut une barre transversale *gk* portant deux coussinets *o* et *p*. Le milieu de la table est traversé par une tige *mn* graduée en centimètres et garnie à son extrémité d'une demi-sphère en liége. On pose le cylindre sur la demi-boule en liége et on enlève la tige *mn*, de telle sorte que les bords du cylindre se trouvent à une hauteur un peu moindre que la hauteur du diamant du chariot. On fixe alors la tige *mn* au moyen d'une vis de pression; on fait ensuite attention que le cylindre repose sur la boule dans la position où l'on voudrait qu'il fût sur la pièce qu'il est destiné à couvrir. On est facilité dans cette opération par la traverse mobile *gh*, qu'on peut descendre un peu plus d'un côté ou de l'autre, de manière à faire appuyer davantage le coussinet *o* ou *p* et redresser ainsi le cylindre d'un côté ou de l'autre. Quand on juge que le cylindre est dans une position convenable, on fixe la traverse *gh* au moyen de vis; et alors, passant le chariot de manière à mettre le bord du cylindre entre les deux molettes A et B et le diamant L, on fait rouler la base MN autour du cylindre. Le diamant se trouve maintenu sur sa coupe dans tout son parcours, au moyen de la pression du ressort contre les deux molettes, et le cylindre se trouve mathématiquement coupé suivant un plan parallèle à la table *ab*. Il pourra donc reposer ensuite exactement dans le fond de la rainure du socle que l'on fait pour lui.

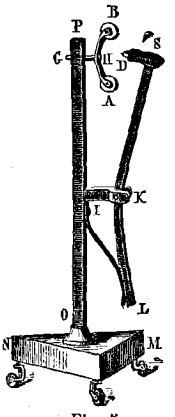


Fig. 5.

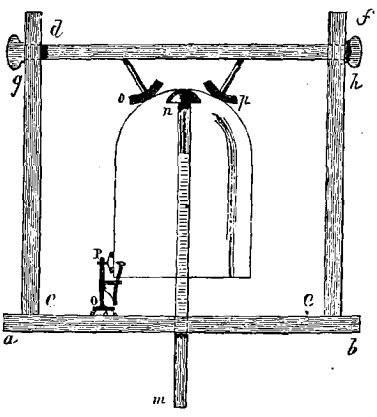


Fig. 6.

Ce dressage des cylindres à la mécanique a été un très-notable perfectionnement dans l'industrie et le commerce des cylindres.

On peut aussi se servir de cette machine pour couper les cylindres ronds; mais M. Claudet, voulant faciliter toutes les opérations relatives au coupage au diamant de tous les verres, a construit aussi un appareil particulier pour le dressage des cylindres ronds devenu indépendant de la main plus ou moins sûre de l'ouvrier. A cet effet, sur une table horizontale AB (fig. 7), s'élèvent un plateau vertical AC, et deux supports DEGF, DEFG, terminés par de petits galets. Ces supports

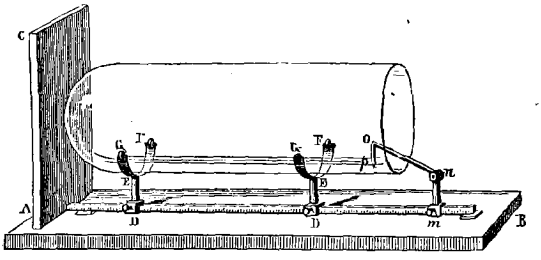


Fig. 7.

glissent sur une tringle horizontale graduée en centimètres, de manière à pouvoir s'éloigner et se rapprocher à volonté. Sur cette même tringle est montée une tige *mnop*, dont la partie *no* est mobile sur le point *n*, et dont la pointe *p* est munie d'un diamant disposé de manière à avoir sa coupe suivant un plan parallèle au plan AC. On pose le cylindre rond sur les galets, la tête appuyée contre le plan AC, et, mettant la tige *mn* dans la position où la pointe *p* correspondra à la hauteur que l'on veut donner au cylindre, on presse avec la main droite sur la partie *no*, pendant que la main gauche fait tourner le cylindre sur les galets; et, quand il a accompli une révolution, le cylindre se trouve coupé. Si on a un grand nombre de cylindres à couper de la même hauteur, on opère sans avoir à déplacer les supports et la tige du diamant; ce qui se fait donc très-rapidement.

VERRES MOULÉS. Ce procédé de fabrication, qui a pris un grand développement à cause de l'économie qu'il procure, avait été employé depuis longtemps pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRES MOULÉS.

obtenir des pièces carrées, des objets dont les sections transversales ne sont pas des cercles.

Il est à peine nécessaire d'indiquer comment se font les flacons carrés. Si on a un grand nombre de flacons carrés d'une même dimension à faire, il est bon d'avoir un moule carré en fer ou en laiton représentant l'extérieur du flacon; mais il est bon aussi d'avoir dans une verrerie un moule composé de quatre pièces à angles que l'on peut écarter et rapprocher à volonté (fig. 1),

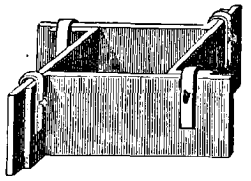


Fig. 1.

et avec lequel on peut, par conséquent, souffler une grande variété de dimensions de flacons, ou tout à fait carrés ou carrés longs. Ces pièces à angles sont maintenues ensemble au moyen de pinces recourbées, munies de vis de pression; quand on a soufflé le flacon dans ce moule, on le met au pontil et on fait le col par le procédé ordinaire.

Nous avons parlé des moules en bois, de leur usage pour les pièces de verre ou de cristal qui peuvent se faire sans moule, mais au moyen desquels on acquiert une grande rapidité d'exécution : cette rapidité est surtout très-marquée quand il s'agit de pièces d'une grande complication, et un seul exemple que nous allons illustrer pourra donner une idée de tout le parti que l'on peut tirer de ces moules en bois.

Supposons qu'il s'agisse de faire des vases à fleurs de la forme A (fig. 2). Nous avons vu précédemment

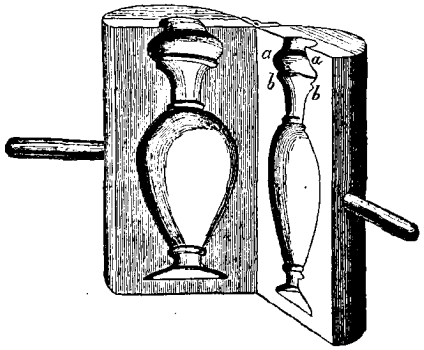


Fig. 2.

qu'il faut souffler une paraison, jeter un cordon sur le col, rajouter le pied en deux ou trois morceaux, prendre au pontil et faire le col. Si on veut faire usage d'un moule, on commencera par prendre un profil exact du vase: ce profil servira au tourneur pour tourner l'intérieur d'un moule en bois qui se fait en deux parties assemblées à charnières. On doit avoir soin de pratiquer dans les parois de ces moules un certain nombre de petits trous de vrille pour le dégagement de l'air et de la fumée provenant de la combustion du moule. Ces moules sont maintenus légèrement humides, de telle sorte qu'il ne se fait qu'une faible combustion et que le même moule peut servir pour un assez grand nombre de pièces de même grandeur. On peut ensuite l'utiliser pour une forme pareille et d'une grandeur au-dessus.

C'est dans ce moule, que nous figurons ci-contre, que l'ouvrier, après avoir allongé une paraison à la longueur à peu près que devra avoir le vase, et avoir étiré un col, entre cette paraison dans le moule qu'ouvre le gamin; puis aussitôt celui-ci referme fortement le moule au moyen des leviers, et l'ouvrier souffle fortement en tournant toujours sa canne. Quand il pense que le verre a pénétré dans toutes les cavités du moule, le gamin l'ouvre : le vase est terminé; on n'a pas même besoin de l'empontiller. Au moyen de la petite calotte *a a* réservée au-dessus du col, que l'on coupe au fer chaud quand le vase est recuit, on peut flatter le bord du vase en *b b*.

On le voit, cette méthode est très-expéditive; mais il ne faut pas s'attendre à avoir de cette manière des formes très-pures. Les angles sont toujours arrondis, les parties étroites sont comparativement plus épaisses que celles qui se sont développées davantage.

Pour terminer ce qui est relatif à ce moulage, nous dirons que, malgré l'humidité qu'on entretient dans ces moules, on doit concevoir qu'on ne peut pas y souffler un bien grand nombre de pièces sans que leurs dimensions soient sensiblement altérées par la combustion. On a donc cherché à les remplacer par des moules métalliques, tout en visant à conserver cet avantage du bois, de ne pas faire empreinte sur le verre. Dans ce but, on fait des moules en fonte douce ou en laiton, que l'on tourne de manière à ne pas présenter une surface unie, mais très-légèrement sillonnée. On graisse ce moule, et on le saupoudre de poussier de bois, qui remplit les inégalités du moule et opère ainsi comme le moule en bois lui-même; de temps en temps on nettoie le moule et on renouvelle l'enduit. On est parvenu aussi à faire des moules en matière composée de plâtre, de plombagine et de terre réfractaire, qui opèrent d'une manière assez efficace. Mais le moule en bois ordinaire



est toujours préférable quand on n'a pas un très-grand nombre de pièces à fabriquer, et que l'agrandissement du moule par la combustion n'est pas de grande importance.

Passons au moulage par soufflage des pièces sur lesquelles on veut imprimer un ornement. Les moules se font généralement en laiton; ils sont ou d'une seule pièce ou de plusieurs pièces ajustées à charnière. On ne peut, on le comprend, mouler du verre dans un moule d'une seule pièce, que si ce moule offre de la *dépouille*, c'est-à-dire s'il permet à la pièce moulée de sortir du moule : on a longtemps fait, par exemple, des gobelets, des carafes ayant au fond une étoile, et latéralement des côtes figurant une olive ou une côte plate taillée. On peut obtenir ces moulures avec un moule d'une seule pièce. La paraison ayant été amenée à peu près à sa dernière forme, on la chauffe fortement, on l'enfonce dans le moule, et c'est le cas ici de se servir du piston. Robinet, qui, agissant avec force et rapidité, imprime sur le verre les ciselures du moule, avec une puissance dont sont incapables les poumons de l'ouvrier; quand on sort la paraison du moule, on la chauffe à l'ouvreau assez pour rendre au verre une partie du poli que lui a ôté le moule, pas assez pour effacer l'impression, et on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

achève la pièce comme à l'ordinaire. C'est le piston Robinet qui a, en réalité, créé le moulage par soufflage, ou du moins lui a donné une extension qu'il n'aurait jamais eue, parce qu'il a permis, au moyen de la pression énergique qu'il opère, de produire des ornements que le souffle de l'homme n'eût obtenus que tout à

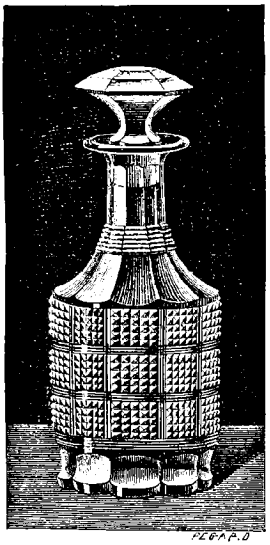


Fig. 3.

fait imparfaitement. Les figures 3 et 4 donnent une idée de ce que produit ce moulage. La carafe, après

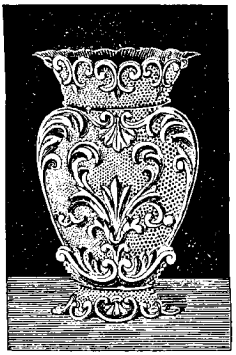


Fig. 4.

avoir été moulée, est prise au pontil pour faire le col; quant au vase, il est moulé avec une calotte au-dessus: on ne le met donc pas au pontil, on le détache de la canne, et, après la recuisson, on coupe la calotte au fer chaud, et le tailleur achève le bord du vase.

Nous n'insisterons pas davantage sur le moulage par le soufflage, qui était autrefois pratiqué pour un assez grand nombre de pièces et qui a été depuis presque entièrement abandonné.

On voit beaucoup de vases de verre antique, présentant une moulure en saillie semblable à celles qu'on opère sur les vases en marbre. Les Vénitiens ont aussi fait quelquefois des moulures semblables: le dessin ci-dessous (fig. 5, A) en offre un exemple. Pour obtenir ces

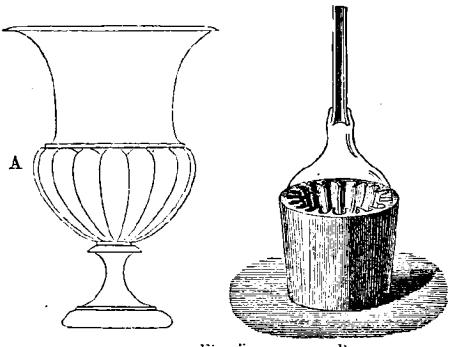


Fig. 5.

fortes saillies, on a un moule en cuivre (B), à entailles très-profondes, dans lequel on introduit le verre cueilli sur une poste qu'on laisse refroidir plus qu'à l'ordinaire, et l'on presse fortement en appuyant et soufflant un peu; le verre très-chaud du dernier cueillage pénètre dans les cavités de ce moule, où on le laisse séjourner quelques instants; puis, après cela, on souffle le verre à l'ordinaire. On a ainsi une paraison dont l'extérieur est fortement cannelé; et, quand on continue le travail du vase par les moyens ordinaires, cette cannelure, tout en diminuant un peu, reste très-saillante et acquiert le poli du verre soufflé, parce qu'elle est plusieurs fois réchauffée pour l'achèvement du vase.

La fabrication des cristaux moulés par *pression* a joué un bien grand rôle dans la fabrication et le commerce du verre et du cristal. Il y eut une époque où la fabrication des cristaux moulés formait une proportion très-importante de la production totale. Cette sorte de moulure ne peut naturellement s'appliquer aux pièces fermées, telles que carafes, etc., mais seulement aux pièces dont l'intérieur représente une forme pouvant sortir de la pièce moulée. On peut donc faire ainsi des gobelets, verres, coupes de toutes formes, boîtes carrées, ovales, sucriers, assiettes, etc. Dans la fabrication de ces pièces, l'industrie de l'ouvrier verrier souffleur disparaît; la matière première n'est plus pour ainsi dire du verre, mais un métal que l'on coule dans un moule: il faut s'adresser au ciseleur pour avoir des moules faits avec le plus de perfection possible, au mécanicien pour que les différentes pièces qui composent ce moule soient ajustées au mieux, et que la presse qui opère le moulage agisse avec énergie et promptitude. Toute l'adresse du verrier consiste à cueillir aussi exactement que possible la quantité de verre nécessaire pour la pièce qu'on doit mouler. Il y a des moules assez simples, d'autres d'une grande complication: ainsi, par exemple, un moule pour une assiette portant même extérieurement une ornementation très-compliquée peut n'être composé que d'une pièce représentant la partie extérieure de l'assiette, et d'une pièce formant le noyau intérieur. Cette seconde pièce du moule est aussi unie que possible, puisqu'elle doit représenter le soufflage. Cette pièce est vissée à son centre, soit sous une vis verticale, soit sous une tige verticale que l'on peut lever ou baisser verticalement au moyen d'un levier, c'est-à-dire qu'il y a des presses à vis et des presses à levier. Ordinairement la pièce inférieure du moule est fixée sur une espèce de tiroir pouvant se tirer en avant et se reculer à volonté jusqu'à la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

place qui correspond exactement avec le centre du noyau qui doit opérer la pression du verre. Ce tiroir a pour but de donner la facilité de retirer la pièce moulée sans être gêné par le noyau placé au-dessus. Le verrier, ayant cueilli son verre, l'apporte au milieu du

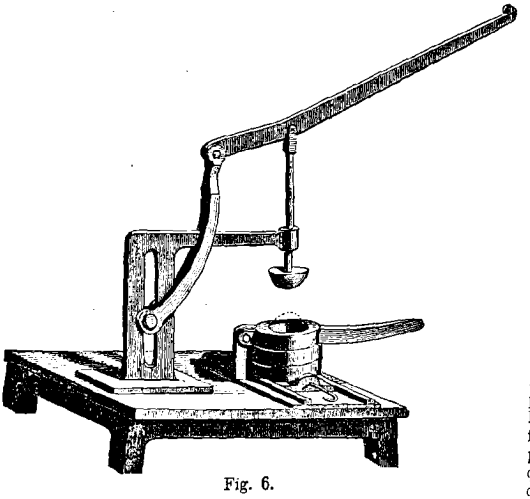


Fig. 6.

moule, coupe avec ses ciseaux, quand il juge la quantité coulée suffisante, et, le moule étant en rapport exact avec le noyau, on descend ce dernier soit avec la vis de pression, soit avec un levier (fig. 6). Il faut presser fortement, mais sans secousse, laisser le noyau quelques instants, pour que le verre ait le temps de reprendre de la consistance et que les moulures ne

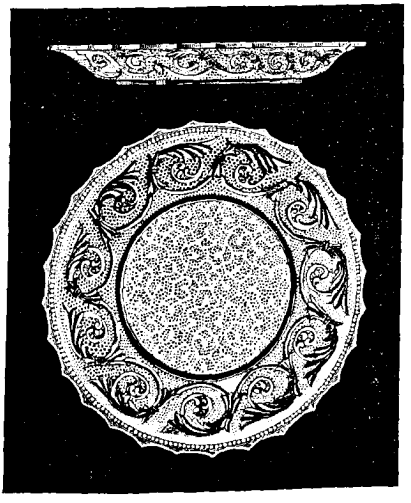


Fig. 7.

s'effacent pas; puis on enlève le noyau, on amène le tiroir en avant, on enlève la pièce moulée, et on procède au moulage de la pièce suivante. Il ne faut pas que le moule s'échauffe trop, car le verre s'y attacherait: on le rafraîchit un peu de temps en temps en le touchant avec de la cire. Le noyau s'ajustant exactement dans la partie inférieure, on conçoit que l'assiette est toujours moulée exactement; seulement le noyau descend plus ou moins, et l'assiette est plus ou moins épaisse, suivant la quantité de verre qu'on a coulée dans le moule. Quelquefois c'est la partie inférieure du moule qui représente l'intérieur de la pièce. Supposons, par exemple, que ce soit une assiette comme celle que nous venons de mentionner: alors, quand on a amené le tiroir en avant, l'ouvrier peut enlever la pièce avec un pontil et la réchauffer au four; ce qui améliore considérablement la surface en redonnant au verre une partie de son poli naturel altéré par l'impression du moule.

Ce que nous venons de dire s'applique à toutes les formes analogues à cette assiette, mais la plupart des pièces exigent des moules composés de plusieurs parties; les moules de gobelets même doivent être au moins de deux parties; ils sont même généralement de quatre: une pour le fond, trois pour les côtés, pour que les ornements sortent facilement des anfractuosités du moule. On moule aussi par pression des verres à pied, et l'on comprend qu'il faut pour cela un moule très-compliqué: il faut que la jambe puisse s'ouvrir, pour laisser passage au pied. Ces moulures sont donc composées au moins de six pièces, sans comprendre le noyau.

Les pièces moulées par la pression n'ont pas, nous l'avons dit, une surface comparable à celle du verre soufflé ou bien taillé; souvent on aperçoit des gerçures, s'il y a eu un trop grand refroidissement du moule; les joints du moule, quelque bien fait qu'il soit, sont toujours perceptibles. Quand l'ornementation se compose de très-petits motifs, on ne s'aperçoit pas trop du manque de poli du verre, mais les parties unies manquent toujours de brillant: on y remédie en partie en prenant les pièces au pontil et les chauffant à l'ouvreau; mais, d'autre part, on déforme ainsi une partie de l'ornementation; les angles, dont l'arête n'est jamais vive, s'arrondissent encore. Les verriers américains, pour obvier à cette imperfection des parties unies, imaginèrent de graver sur ce fond un petit pointillé ou sablé (fig. 7), qui fait effectivement ressortir mieux le dessin de l'ornementation; ce perfectionnement fut imité en Angleterre et en France, et redonna pour un temps une grande vogue à la moulure par pression. La moulure à fond sablé rend inutile la mise au pontil et le réchauffage des pièces moulées: le verrier n'est plus qu'un cueilleur de verre.

VERRE TAILLÉ AU SABLE. Un Américain, M. Tilghman, a inventé un curieux procédé de taille du verre par l'emploi d'un courant de sable projeté par un jet de vent ou de vapeur. L'appareil dont on se sert consiste dans une trémie contenant du sable, qui s'écoule d'une manière continue par un tube flexible dont on règle l'inclinaison de manière à graduer à volonté la chute du sable; cet écoulement se fait ensuite par un tube étroit qui traverse un manchon cylindrique formant une chambre annulaire dans laquelle débouche le vent de la machine soufflante. Le courant de sable débouchant par la même ouverture que le jet d'air ou de vapeur, mais en arrière de l'orifice, est entraîné violemment par ce jet et projeté avec force sur le corps qu'on veut soumettre à son action. Divers détails de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

construction permettent de faire varier à volonté la quantité du sable, le volume de l'air, le diamètre du jet actif, et de produire ainsi différents effets.

Dans les premières expériences de ce genre à New-York, en employant une pression fort élevée, on a percé, en vingt-cinq minutes, un trou de 32 millimètres de diamètre dans un bloc de corindon; avec une pression bien moindre, on a percé, en trois minutes, un trou de 32 millimètres de diamètre et de 8 millimètres de profondeur dans une lime de bon acier. Le poids d'un diamant a été sensiblement diminué en une minute, et une topaze a été détruite.

L'action est nulle, au contraire, sur un corps mou, comme le caoutchouc, la gélatine bichromatée employée en photographie, le papier, etc.

Pour le verre il faut peu de pression, le soufflet d'une lampe à émailleur suffit, et l'on peut ainsi, sans aucune difficulté, graver, dans tous les laboratoires, des divisions de flacons, d'éprouvettes, dépolir du verre, etc.; quelques minutes suffisent pour dépolir une plaque de verre de 2 décimètres carrés. Une foule d'objets sont dépolis ou gravés de cette manière, soit par des réserves faites sur un fond uni dépoli, soit par la préservation de la surface entière, moins la partie qui devait être gravée.

VERRE TREMPÉ. M. de la Bastie a inventé un procédé qui donne aux objets en verre une résistance à la rupture beaucoup plus grande que celle du verre ordinaire.

Ce procédé consiste en une trempe opérée à la température à laquelle le verre se ramollit, et qui est faite dans un bain d'huile portée à une température assez élevée. La composition et la chaleur à donner à ce bain varient avec la nature du verre.

La mise en pratique de cette idée a exigé des études longues et variées. La forme et la température du four, les appareils qui devaient s'opposer à la déformation du verre malgré son ramollissement, la nature, la composition du bain, les températures auxquelles il devait être porté suivant le cas, les obstacles à apporter à son inflammation lors de l'immersion des pièces de verre fortement chauffées, ont donné lieu à des tâtonnements et à des essais sans nombre, qui ont duré pendant plusieurs années.

Les résultats obtenus ont largement payé la persévérance de l'inventeur. Son représentant a fait une série d'expériences devant la Société d'encouragement qui les ont fait connaître. Une épaisse capsule de verre a été placée sur une lampe à alcool, et, sans aucun danger de rupture, a servi à faire bouillir de l'eau. Des plaques de verre de même grosseur, non trempées et trempées, ont été soumises au choc provenant de la chute d'un poids de 100 grammes : les premières se brisaient pour une hauteur de chute de 1 mètre, les secondes résistaient sans altération à une chute de 3 mètres et demi de hauteur. Des plaques ont été lancées avec violence au milieu de la salle et ont résisté à cette épreuve, tandis que celles en verre ordinaire se brisaient avec éclat; il en fut de même d'un grand nombre de bobèches, verres de montre et verres d'optique minces, qui ont été jetés au loin sans qu'aucun d'eux fût brisé.

Enfin l'on a terminé cette démonstration en brisant, à grand'peine, à coups de marteau, une des feuilles de verre trempé qui avaient résisté aux chocs précédents. Cette brisure n'a pas lieu comme pour le verre ordinaire: la feuille, qui n'avait été frappée qu'en un seul point, s'est séparée en une infinité de petits fragments, dont chacun a perdu la plus grande partie de sa transparence, et présente dans la cassure une texture cristalline grenue, peu cohérente. Il y a, dans ce phénomène, quelque chose qui rappelle ce qui se passe dans les larmes bataviques, qui résistent au choc de coups de marteau frappés sur leur partie principale et qui se résolvent en débris d'une texture cristalline particulière, dès qu'elles sont entamées par la rupture d'une de leurs parties.

L'élasticité longitudinale du verre, habituellement trempé à l'air en s'allongeant, est détruite par le ramollissement et par l'effet de la trempe à l'huile chaude; la résistance du verre s'effectue normalement à sa surface. La limite d'élasticité est par suite bien plus difficilement dépassée par un choc, et la résistance à la rupture, dans la pratique, singulièrement augmentée.

VIDANGES. Il est bien démontré qu'il est de la plus grande importance de restituer au sol, pour le féconder, les déjections humaines qui s'accumulent dans les villes, et en font des centres malsains, des milieux propres au développement des maladies contagieuses.

Dès qu'on est convaincu que la fécondité du sol n'est pas inépuisable, et qu'il est indispensable de lui restituer ce qui en a été enlevé par les récoltes exportées du domaine, pour ne pas faire ce que Liebig appelle avec grande raison de l'*agriculture-vampire*, qui conduit nécessairement à la stérilité, il est naturel d'en conclure que toute matière fertilisante qui sort des villes sous forme solide ou liquide, doit être restituée à la terre, puisque c'est là que se trouve tout ce qui a été enlevé à l'agriculture au profit des cités. Les eaux d'égouts, les immondices des rues, les vidanges, sont donc des matières dont les villes doivent compte à la terre, et qu'elles n'ont pas droit de laisser se perdre dans les airs et dans les eaux, ni pour l'hygiène publique, ni au point de vue de la reproduction agricole. C'est vers l'application la plus complète, par les moyens les plus simples, de ces principes, que doivent tendre tous les efforts.

Emploi des vidanges. — Si l'utilisation des vidanges est une ressource susceptible d'offrir, en tout temps, d'importants compléments aux ressources naturelles du sol, malheureusement cet emploi est subordonné à certaines conditions qui en restreignent la portée: les vidanges ne peuvent être appliquées indifféremment à tous les sols et à toutes les cultures, et surtout elles ne supportent pas de gros frais de transport.

Si l'emploi direct des vidanges dans la culture parvenait à se généraliser, il présenterait des ressources considérables à l'agriculture.

Si, dans tous les centres de population, les vidanges étaient recueillies avec le même soin qu'à Lille; si, dans chaque ville, chaque village même, des fosses spéciales ou communes étaient établies, comme le sont dans le Nord les fosses à purin, on obtiendrait ainsi une masse de substances fertilisantes qui suffirait pour féconder un million d'hectares de terres de labour ou de prairies. Paris seul fournirait la fumure de plus de 50,000 hectares, à raison de 20 mètres cubes par hectare.

Il serait désirable, en conséquence, que l'emploi des vidanges, déjà vulgarisé dans plusieurs de nos départements, le Nord, le Rhône, l'Isère, le Var, les Alpes-Maritimes surtout, et qui, depuis quelques années, ouvre à la Champagne une vie agricole nouvelle, se répandit dans toute la France; pour cela il faudrait aider au succès du transport dans des caisses en tôle bien fermées, comme les a établies M. Gargan. Ces matières permettraient de passer, dans bien des contrées, de la culture pauvre à la culture intensive, en fournissant le supplément qui manque aux fumiers de ferme. Ce serait un guano susceptible de reproduction, le plus souvent récolté et utilisé sur place. Son emploi universel réaliserait, pour chaque centre de population et à son profit, l'application de la loi qui, pour l'ensemble de la création et plus en grand, règle les rapports des végétaux et des animaux, et préside au merveilleux *circulus* qu'ils forment.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'importance de l'utilisation directe des vidanges, au double point de vue de leur emploi comme engrais et de la salubrité des villes, a été bien démontrée, non-seulement par la pratique de l'agriculture flamande (voy. AGRICULTURE et ENGRAIS), mais encore par des expériences dues à des hommes intelligents qui comprennent bien la gravité de la question. Parmi eux on doit citer au premier rang M. Moll, qui a courageusement fait fonctionner une exploitation agricole en employant directement les produits extraits des fosses et a obtenu quelques cultures remarquables au prix de bien des dégoûts.

Désinfection. — Il serait bien préférable que la science fît connaître un procédé de conservation, de désinfection et de concentration, qui ferait de ces matières répugnantes une marchandise comme toute autre, susceptible, sans plus d'inconvénient, de manipulation, de transport et d'emmagasinement. La science a accompli la moitié de sa tâche, en montrant par une analyse irréprochable comment la dispersion des produits laissés par les animaux se lie au maintien permanent de la force génératrice du sol. Il lui reste à exonérer la dignité humaine de tout rapport direct avec des restes pour lesquels l'homme éprouve une répugnance qu'il faut respecter.

La perfection ne consiste pas à recueillir ces restes infects et à les utiliser en surmontant le dégoût qu'ils inspirent, comme on le pratique en Chine. Non! elle consiste à les dénaturer, à les transformer et à en rendre les dérivés maniables, en leur conservant toute leur valeur, mais en leur enlevant tout ce qui provoque un légitime dégoût. Ce qui est surtout réclamé par l'agriculture dans les déjections des villes se réduit, en définitive, à quelques substances qui n'ont rien de plus repoussant que la craie ou le plâtre, à quelques sels incolores et inodores, les phosphates, les sels de potasse et les sels ammoniacaux; réunir ceux-ci et détruire les autres ingrédients, dangereux ou stériles, ce n'est pas un problème au-dessus des forces de la science.

L'administration de la ville de Paris a fait essayer, à ce point de vue, avec persévérance, tous les procédés qui ont été proposés. Nous parlerons plus loin des plus remarquables. Elle n'admet pas que les matières des déjections puissent être soustraites à l'agriculture, ni que l'industrie des vidanges doive renoncer, pour toujours, à une solution favorable et complète, dont chaque étude nouvelle nous rapproche.

Parmi ces procédés, on doit citer avec l'emploi des boues et argiles calcinées, tenté jadis avec un certain succès par M. Buran (voy. DÉSINFECTION), qui constituait un engrais bien précieux pour les terres calcaires, l'emploi d'un autre absorbant des liquides pour obtenir un admirable engrais pour les terres sablonneuses, le pralinage des vidanges avec de la chaux, créé par M. Moselmann, très-propre à faire disparaître tout ce que l'engrais humain a de repoussant. Mettant à profit la propriété de la chaux vive d'absorber une grande quantité d'eau pour s'éteindre, opération qui doit être faite avec de l'urine fraîche pour éviter le dégagement d'ammoniaque déjà formée dans l'urine putréfiée, il s'est servi de cette substance pour enrouler les matières solides, les amener à l'état sec, et par suite arrêter les fermentations du produit des vidanges, qui devient immédiatement transportable. Il forme ainsi un engrais composé de 1/4 chaux et 3/4 matières, qui ne coûte en réalité que le quart de son poids de chaux. Or, cette substance étant elle-même un élément utile de l'agriculture dans quelques pays, indispensable dans plusieurs, la Bretagne, la Sologne, par exemple, cette fabrication n'est donc grevée que de ce qu'a coûté la cuisson de la chaux.

Un troisième procédé a été proposé qui est fondé sur la réaction chimique la plus propre à précipiter l'ammoniaque, sur la conversion en phosphate ammoniaco-magnésien, de la partie utile des vidanges. Il résulte des expériences de M. Boussingault que ce sel est le plus efficace de tous les engrais connus, et sa préparation économique et abondante dans les fosses même paraît aujourd'hui facile à réaliser. En faisant intervenir dans la fosse l'acide phosphorique, la magnésie et l'oxyde de fer, on peut obtenir, ainsi que l'ont fait MM. Blanchard et Château, une désinfection durable. Après la dessiccation des produits à l'air libre, il reste pour résidu un engrais pulvérulent, sans odeur, qui a fixé toute la richesse de la vidange en lui ajoutant la sienne, et qui jouit, par conséquent, d'une grande valeur agricole. L'hygiène des villes et la prospérité des campagnes trouveraient donc un profit égal à l'adoption d'un procédé de ce genre.

On le voit, les progrès dans les modes d'opérer sont assez grands pour qu'on puisse songer à débarrasser les villes d'affreuses fabrications, telles que celle de la poudrette de Paris par l'évaporation à l'air libre, source d'infection qui n'aurait pas lieu à basse température, en employant l'appareil Carré, d'un emploi assez peu coûteux pour enlever l'eau, en consommant seulement la chaleur de fusion de la glace; et faire faire de grands progrès à la salubrité des grandes villes, qui, grâce au grand nombre de fosses, ont été justement assimilées à d'immenses tas de fumier en fermentation, fermentation qui prend, surtout en été, une intensité redoutable que l'on dissimule dans le lieu de production avec des tuyaux élevés, qui, tout au plus, rejettent à une grande hauteur les gaz qui n'en infectent pas moins la ville. Le vrai remède est dans une demande énergique des engrais plus ou moins transformés qui pourraient permettre de rendre, sans trop de frais pour les propriétaires, les enlèvements plus fréquents, et surtout d'effectuer une désinfection permanente; ce qui, combiné avec un puissant lavage, amènerait les grandes villes au degré de salubrité dont elles sont encore bien éloignées dans nos pays. Nul doute qu'avec quelques subventions pendant quelques années, des entreprises de désinfection ne se chargeassent de débarrasser les villes de causes permanentes d'insalubrité. Les sacrifices que la municipalité pourra faire pour faire prendre ces matières par des fabricants, pour établir peut-être d'abord une fabrication en régie, seraient bientôt compensés par la demande des agriculteurs qui y trouveraient une cause de richesses, pouvant donner à un sol pauvre les éléments qui lui manquent.

Ainsi, près de Paris, la Sologne, qui a besoin de marne et d'engrais, et pour laquelle la fabrication Moselmann s'appliquerait admirablement, la Champagne pouilleuse et plus loin les landes de Bretagne, manquent d'engrais. Que les chemins de fer d'Orléans, de l'Est et de l'Ouest, qui traversent ces contrées, versent toutes les nuits 150 ou 200 tonnes des vidanges (ce que des caisses en tôle bien établies, passant à volonté du chemin de fer sur un train de roues ordinaires, rendent facile quand même la désinfection serait nulle ou imparfaite) chez les divers dépositaires établis sur tout le parcours à travers ces pays infertiles, et bientôt la culture se développerait en raison de cette cause de fécondité, comme cela a eu lieu autour du camp de Châlons à cause des fumiers du camp.

Le chemin de fer du Nord transporte la houille à 0,03 la tonne par kilom. Une tonne d'engrais peut donc être transportée à 150 kilom. pour 4 fr. 50; mettons 6 fr., avec les chargements et les déchargements. Vendu 7 fr., l'engrais humain serait au prix de l'engrais de ferme, et nul doute cependant que sa valeur ne soit bien supérieure, et qu'il ne se vende bientôt 10 ou 15 fr.

En résumé, on peut aujourd'hui assurer la salubrité des villes, en faisant retourner à la terre, pour la fertiliser, des éléments qui lui ont été enlevés pour l'alimenta-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tion des habitants, et faire croître la production en même temps que la consommation, que la richesse.

Envoi à l'égout, emploi des eaux. — L'infection inhérente au système des fosses, rend évidemment bien supérieur, au point de vue de la salubrité et de la propreté, l'envoi immédiat des matières à l'égout, en les noyant dans des masses d'eau. C'est la seule solution digne de la civilisation moderne, de la luxueuse capitale d'une grande nation. Mais il faut encore trouver le moyen de reprendre à l'eau les matières fertilisantes que l'on ne saurait perdre sans dommage énorme pour le bien-être de tous.

L'agriculture fournit une admirable solution. C'est surtout en employant les déjections, noyées dans une grande quantité d'eau, à l'arrosement de prairies situées sur un sol sablonneux, ou fortement drainé, qu'on arrive pour de grandes villes, Édimbourg et Londres notamment, à leur utilisation. La solution paraît très-heureuse au point de vue hygiénique, en employant la terre comme filtre chimique pour épuiser les eaux, et la puissance d'assimilation de certaines plantes fourragères, comme le ray-grass, pour décomposer et assimiler les produits animaux. Toutefois au point de vue de l'utilisation agricole, le résultat n'est pas complet, puisque ce genre d'engrais ne profite qu'à des prairies qui seules peuvent être irriguées toute l'année, et non à des cultures industrielles auxquelles il s'appliquerait fort bien. Il est bien naturel que les administrations des grandes villes comme Paris et Londres, soient avant tout préoccupées de la salubrité de ces immenses agglomérations, et d'ailleurs, en retournant à la terre, le résultat agricole sera toujours obtenu, au moins pour la majeure partie, et la production du sol augmentera de toute la valeur de substances autrefois perdues.

M. Dumas, qui s'est associé aux divers essais tentés par les ingénieurs de la ville de Paris, a ainsi résumé à la Société d'Encouragement les résultats remarquables qu'on a obtenus pour la purification et le bon emploi des eaux des égouts de la ville de Paris.

Le problème à résoudre était de trouver un moyen pour débarrasser la ville des inconvénients qu'entraînent avec elles les eaux troubles et sales contenues dans les égouts. Le volume de ces eaux est, en ce moment, de 100,000 mètres cubes par jour. Il sera bientôt de 200,000 mètres cubes, et l'augmentation toujours croissante de l'étendue de la ville fait prévoir que, dans cinq ou six ans, il faudra compter sur 5 à 600,000 mètres cubes par jour. Sans doute ils recevront alors grande partie des déjections, car on cherchera à limiter, sinon à faire disparaître, les fosses, foyers permanents d'infection.

Il n'y a, pour ce problème, que trois solutions :

La première est de jeter les eaux des égouts dans la Seine, près d'Asnières. Si elle a peu d'inconvénients en hiver et au moment des fortes crues, cette solution est inadmissible pour l'été : les eaux sales des égouts vicient l'eau du fleuve, font périr le poisson et sont la cause d'incommodités graves pour les populations riveraines. Cet état de choses, légué par le passé, est absolument intolérable.

La deuxième solution consiste en un système de machines élévatoires et de canaux, par lesquels les eaux impures sont transportées sur les hauteurs et employées à l'irrigation des prairies. Quand elle peut être réalisée, comme à Edimbourg, elle procure au sol une fertilité extraordinaire. Elle a été adoptée au prix de grandes dépenses pour la ville de Londres, et de vastes canaux en construction sont destinés à aller sur le bord de la mer, à une grande distance, colmater et rendre fertiles des sables sans valeur, qui seront bientôt transformés, et à fournir, dans le parcours, des eaux d'irrigation aux cultures qui pourront en profiter. L'organisation de ce système près de Paris, pour envoyer les eaux sales à une distance assez grande pour éviter tout inconvénient dans la saison chaude offre d'assez grandes difficultés; la configuration du sol s'y prête assez mal.

On a fait des études pratiques très-précises pour une troisième solution, qui consiste dans la clarification chimique des eaux d'égouts. Ces eaux, reçues dans de vastes bassins, y sont mélangées avec une dose de sulfate d'alumine, dont la valeur est de 1 centime environ par mètre cube, 3 kilogrammes environ d'engrais solide. L'alumine, si abondante dans la nature et dont il est facile de produire les sels à bas prix, se trouve avoir une partie des propriétés de la colle de poisson pour clarifier les eaux troubles. On connaissait cette propriété de l'alun et on l'a appliqué dès l'antiquité aux eaux du Nil. (Voy. FILTRATION.)

L'eau décantée, dite *eau blonde*, est assez claire pour être jetée dans la Seine sans aucun inconvénient, mais il est bien préférable de l'employer à l'irrigation des terres, sur lesquelles elle a une action très-fertilisante. Elle contient, en effet, des quantités minimes de matières minérales en suspension, un peu de matières azotées et organiques, et la totalité des sels alcalins que renfermaient les eaux impures.

Le dépôt abondant de la clarification, qui est compacte, contient la totalité de l'acide phosphorique, les neuf dixièmes des matières azotées et organiques et les matières minérales dissoutes ou en suspension; il constitue un excellent engrais, très-fertilisant et facilement transportable.

Ce partage fournit donc une solution heureuse et très-profitable du grand problème de l'utilisation des eaux d'égouts. En combinant les divers moyens qu'on peut employer suivant les saisons, on arrivera ainsi à un assainissement complet de ces résidus impurs de la vie de nos cités. Les résultats en seront une brillante culture maraîchère employant des quantités considérables d'un engrais précieux perdu jusqu'ici, et l'arrosage abondant des campagnes voisines par une eau fertilisante et sans inconvénient au point de vue de l'hygiène publique. La valeur créée est si importante, qu'on pourra considérer des villes comme des fabriques productives d'engrais, en supposant, ce qui est très-admissible, que les *eaux blondes*, très-fertilisantes, soient vendues à un prix supérieur aux frais d'épuration et à l'intérêt des sommes dépensées pour la construction des canaux qui les amènent sur les lieux de consommation.

VOLANT. Un volant a pour but d'assurer une vitesse normale aux pièces d'une machine en emmagasinant une quantité de travail, lors des accélérations, pour la restituer quand le travail moteur est moindre que le travail résistant.

Un volant se compose d'une *jante* circulaire en fonte d'un poids déterminé, reliée par des bras à un moyeu fixé invariablement à un centre de rotation. Il convient, en général, de reporter le poids du volant sur la jante, afin qu'avec un poids modéré il accumule une grande quantité de puissance vive.

Ainsi, M étant la masse de la jante et V la vitesse, $\frac{MV^2}{2}$ représentera la puissance vive de la masse M. Or, dans le produit MV^2, on peut faire varier M ou V; l'on voit donc qu'il convient de faire V *le plus grand possible*, afin de diminuer la masse M, dont l'effet serait de charger les axes, d'user promptement les tourillons et d'augmenter les résistances passives.

Lors donc que l'on voudra établir un volant, on aura à calculer la vitesse d'un point de sa circonférence, de la jante, ou le nombre de révolutions du volant.

Le volant doit être placé sur l'arbre moteur ou sur un axe relié à l'arbre moteur par des engrenages; dans tous les cas il doit être le plus près possible du mécanisme dont il doit régulariser l'action.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

On comprend facilement qu'un volant ne peut anéantir toutes les causes d'irrégularité ; mais on peut toujours poser des limites aux variations de vitesse en dessus ou en dessous de la *vitesse moyenne* qui aurait lieu si le mouvement de la machine était uniforme.

Le poids et la vitesse d'un volant doivent être déterminés d'après l'effet à produire, et de manière à restreindre les variations de vitesse dans des limites convenables, déterminées à l'avance d'après la nature du travail à effectuer. Les principes de la mécanique appliqués aux divers cas qui se présentent dans la pratique donnent des formules qui servent à déterminer le poids à donner aux volants.

Volants de machines à vapeur. Nous avons vu précédemment que les machines à vapeur à simple ou à double effet avaient besoin d'un volant. Si la machine est à simple effet, le poids de la jante du volant est donné par la formule suivante : $P = 24{,}300 \frac{nN}{mW^2}$ dans laquelle P est le poids de la jante, *m* le nombre de tours de la manivelle par minute, N le nombre de chevaux, W la vitesse moyenne, *n* le dénominateur de la fraction $\frac{1}{n}$ indiquant que la différence entre la vitesse maximum et la vitesse minimum soit au plus $\frac{1}{n}$ de W, vitesse moyenne.

Si la machine est à double effet, le poids du volant sera donné par la formule suivante : $P = 4.645 \frac{nN}{mW^2}$ dans laquelle les mêmes lettres ont les mêmes significations.

Ces formules supposent que la machine n'est pas à détente, car dans ce cas l'*effort moteur est variable*; les poids que l'on obtiendrait par ces formules seraient trop faibles. Il faudrait alors déterminer le poids P en fonction de la pression moyenne qui a lieu dans la machine.

Si le travail à produire n'exige pas une grande régularité, comme dans les machines soufflantes et les machines d'épuisement, la valeur de *n* peut être prise entre 15 et 20. Pour conduire des machines-outils, on peut prendre *n* égal à 30. Enfin, pour les filatures et les tissages, on prend *n* égal à 40.

Volants de marteaux. Lorsqu'une machine à vapeur fait mouvoir un marteau, elle donne le mouvement à un arbre portant des cames qui doivent le soulever. Au moment où la came vient toucher le marteau il y a choc et, par suite, perte de puissance vive. A partir de l'instant du choc, les points de contact marchent avec la même vitesse ; de là encore perte de puissance vive, produite par la vitesse communiquée au marteau. Enfin le marteau, pour être élevé *à la hauteur de levée*, absorbe encore de la puissance vive. On voit donc que le volant doit récupérer toute cette puissance vive perdue dans le *temps* qui s'écoule entre *l'instant* où la came quitte le marteau et celui où une autre came vient le choquer.

Si le marteau est mis en mouvement par une roue hydraulique, on pourra ne pas mettre de volant, en construisant la roue de manière à ce qu'elle en remplisse les *fonctions*. Pour cela elle devrait être à grande vitesse et très-lourde à sa circonférence. Mais une roue ainsi construite utiliserait mal la force dépensée, et si l'on n'a pas la force en excès il faut revenir à l'emploi d'un volant.

Dans l'*Aide-mémoire* de M. Morin on trouve les formules suivantes, qui s'appliquent aux différents cas de la pratique :

1° *Marteaux frontaux.* — Les marteaux frontaux frappent de 70 à 80 tours par minute ; leur poids (y compris celui du manche) varie de 3,000 à 4,000 kil. Si R est le rayon de la jante et P son poids, on prend $P = \frac{20{,}000}{R^2}$, en supposant le poids du moteur compris entre 3,000 et 3,500 kil., et $P = \frac{30{,}000}{R^2}$ si le poids du marteau est compris entre 4,000 et 4,500 kilog.

2° *Marteaux mus par un engrenage.* — Ils pèsent de 600 à 800 kil., toujours y compris le manche. Ils frappent de 100 à 110 coups par minute. On a $P = \frac{15{,}000}{R^2}$, P étant le poids de la jante et R son rayon.

3° *Martinets.* — Les martinets frappent de 150 à 200 tours par minute. Si le marteau pèse 500 kil., on a $P = \frac{5{,}000}{R^2}$; s'il pèse 360 kil., on a $P = \frac{6{,}000}{R^2}$.

Lorsque les marteaux doivent être mis en mouvement par une roue hydraulique, il est convenable de la calculer sans tenir compte de l'effet du volant, afin de pouvoir marcher dès le commencement sans être forcé de lever le marteau pour la mise en train ; quitte ensuite *à réduire la force motrice à ce qui est utile pour la marche du marteau.*

Volants de laminoirs. — Quand une machine à vapeur fait marcher des laminoirs, on a encore besoin d'un volant. En effet, la vitesse est au maximum au moment où l'on va introduire le métal entre les cylindres, et elle va en diminuant jusqu'à ce que le métal soit complétement dégagé ; il en sera de même pour la puissance motrice, qui au commencement sera à son maximum et à la fin à son minimum.

La puissance vive absorbée sera donc égale à la différence qui existe entre la puissance vive initiale et la puissance vive finale. Si donc on connaissait le temps pendant lequel cette absorption a eu lieu, il serait facile de déterminer le poids à donner au volant. Mais il n'en est pas ainsi : jusqu'à ce jour on n'a aucune expérience qui donne la puissance vive absorbée pour le laminage des métaux à différentes températures. On ne peut donc trouver rigoureusement le poids à donner au volant ; on ne peut y arriver que par des essais successifs.

Dans son *Aide-mémoire*, M. Morin donne la formule suivante pour trouver le poids à donner aux volants des laminoirs :

$$P = \frac{130000\,NK}{m\,V^2}$$

dans laquelle N représente la force transmise, V la vitesse du volant, *m* le nombre de tours des cylindres par 1', K un coefficient numérique ayant différentes valeurs suivant le travail à effectuer. On prend :

K = 20 pour des machines d'une force de 80 à 100 chevaux, menant de 6 à 8 équipages pour le laminage de la tôle ;

K = 25 pour des machines de 60 chevaux, conduisant de 4 à 6 équipages de cylindres étirant le fer ;

K = 80 pour des machines de 30 à 40 chevaux, conduisant un seul équipage.

VOLUME. VOLUMÉNOMÈTRE. Lorsque les corps ont des formes qui peuvent se décomposer en prismes, pyramides, sphères, ellipsoïdes, etc., dont on peut mesurer les dimensions, rien n'est plus facile que de déterminer leur volume. On ramène à ce cas tous les cubages des constructions, avec une approximation bien suffisante pour la pratique, en substituant aux surfaces courbes une série de surfaces planes ou de surfaces sphériques, convenablement déterminées.

Lorsqu'il s'agit de trouver le volume exact d'un corps homogène et de faibles dimensions, quelle que soit l'irrégularité de sa forme, il suffit de le peser dans l'air

EFERUS - Recherche & Classification numérique

et sous l'eau; la différence des poids en kilogrammes donne le nombre de décimètres cubes d'eau qu'il déplace, et par conséquent son volume. Si l'on veut une plus grande exactitude, il faut tenir compte du volume d'air déplacé et de la température, corrections peu importantes et que le lecteur fera aisément dans chaque cas à l'aide des données indiquées aux articles AIR, DENSITÉ et EAU.

Comme certains corps sont poreux ou solubles dans l'eau, la poudre de guerre par exemple, ce qui oblige à recourir à un autre intermédiaire, on a proposé de déterminer le volume des corps par une méthode semblable, en mesurant le volume d'air qu'ils déplacent, au moyen d'instruments qui ont reçu le nom de *voluménomètres*.

Le procédé a été imaginé par M. Say; son appareil a été disposé d'une manière plus commode par M. Regnault. C'est celle que nous représentons fig. 3772.

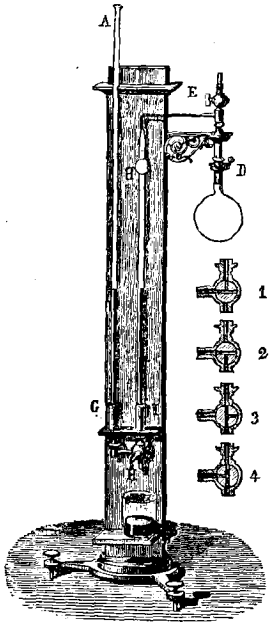


Fig. 3772.

Deux tubes manométriques, contenant du mercure, sont mastiqués dans une pièce en fonte FG, qui les réunit par l'intermédiaire d'un robinet à trois voies H. Suivant que l'on tourne celui-ci dans une des positions 1, 2, 3, 4, on peut: 1° établir la communication entre ces tubes; 2° laisser écouler le mercure de A et de B; 3° de B seulement; 4° de A seulement. Le premier tube A est ouvert par le haut; le second tube B porte un renflement, et l'on a marqué deux traits B et K au-dessus et au-dessous de ce renflement. Si l'on amène d'abord le mercure en B, qu'on le laisse écouler ensuite jusqu'à ce que son niveau arrive en K, et qu'on pèse la quantité sortie, on aura le volume V, compris entre B et K.

Le tube B se continue par un autre tube plus fin, qui se recourbe horizontalement et vient se mettre en rapport avec un ballon que l'on peut enlever à volonté ou joindre à l'appareil par un collier à gorge D. Il faut d'abord trouver le volume V de ce ballon et du tube jusqu'en B. A cet effet, on remplit les tubes de mercure sous la pression atmosphérique jusqu'en K, puis on ferme le robinet E et l'on ajoute du mercure en A jusqu'au moment où le niveau arrive en B; la pression augmente d'une quantité h que l'on mesure, et le volume de l'air, qui était $V + v$, se réduit à V. On a dès lors:

$$(V + v)H = V(H + h) : \text{d'où l'on tire } V = v\frac{H}{h}.$$

L'appareil est alors gradué, puisque l'on connaît V et v. Si l'on veut s'en servir pour mesurer le volume x d'un corps (qui n'absorbe pas sensiblement de gaz), on place celui-ci dans le ballon, ce qui diminue la capacité totale de ce ballon du volume x introduit; alors on répète l'opération ci-dessus décrite, on trouve deux pressions H et $H + h'$ correspondantes aux volumes $V + v - x$ et $V - x$, et l'on a:

$$(V + v - x)H = (V - x)(H + h'), \text{ et enfin } x = \frac{Vh' - vH}{h'}.$$

A cause de l'inconvénient de l'absorption du gaz par les corps pulvérulents, le colonel Mallet a établi, avec le concours du constructeur Bianchi, un voluménomètre un peu différent du précédent, un densimètre, qui a été adopté pour mesurer les densités de la poudre de guerre.

Cet appareil se compose d'un vase ovoïde en cristal et d'un tube barométrique, divisé en millimètres; le vase porte deux robinets en fer: l'un supérieur, pour intercepter la communication entre ce vase et le tube; l'autre inférieur et muni d'un tube effilé qui plonge dans une cuvette pleine de mercure; enfin, l'extrémité supérieure du tube barométrique peut être mise en communication avec une machine pneumatique. On comprend facilement qu'à l'aide de cet appareil on détermine le volume d'un corps solide, ou d'une poudre, avec beaucoup de précision: on fait le vide, puis on ouvre le robinet inférieur, et le mercure, après avoir rempli le petit ballon, monte dans le tube jusqu'à une hauteur sensiblement égale à la hauteur barométrique; ensuite on ferme le robinet inférieur et on laisse rentrer l'air par le sommet du tube. Deux pesées du ballon faites, l'une après une opération à blanc, et l'autre après que le corps a été placé dans le ballon, jointes aux éléments connus, qui sont la densité du mercure et le poids du corps, suffisent pour la détermination du volume, et par conséquent aussi du poids spécifique de ce corps. Il est inutile de dire, sans doute, qu'une toile métallique serrée, placée à la partie supérieure du ballon, empêche les poudres de monter jusqu'à la surface libre du mercure, et elles reposent à la partie inférieure sur une peau de chamois que le mercure traverse. L'avantage de ce procédé consiste en ce que le corps solide, débarrassé de la plus grande partie de l'air adhérent, est réellement *mouillé* par le mercure, et l'appareil a été adopté par l'État pour toutes les épreuves réglementaires de la poudre; mais, pour certains corps très-compressibles, il faudra tenir compte de la diminution de volume qu'ils peuvent avoir éprouvée sous cette pression de deux atmosphères.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ART INDUSTRIEL

DE L'ART INDUSTRIEL — SON IMPORTANCE
SA CLASSIFICATION — DU BEAU — SON ÉTUDE HISTORIQUE

I. — ARCHITECTURE

STYLES SUCCESSIFS : ÉGYPTIEN, GREC, ROMAIN, BYZANTIN, OGIVAL
RENAISSANCE, LOUIS XIV — INDOU, MAURESQUE — ÉPOQUE ACTUELLE
ANNEXES DE L'ARCHITECTURE : CÉRAMIQUE — VERRERIE — MOBILIER

II. — SCULPTURE

STATUAIRE — BRONZES — ARTS VESTIAIRES — ORFÉVRERIE — BIJOUTERIE
STYLES SUCCESSIFS — ÉPOQUE MODERNE

III. — PEINTURE

1. DESSIN : GRAVURE — TYPOGRAPHIE — LITHOGRAPHIE
2. COLORATION : EMPLOI DES COULEURS DANS L'ARCHITECTURE, LA CÉRAMIQUE ET LE MOBILIER — PAPIERS PEINTS — TOILES PEINTES
3. RÉUNION D'ÉLÉMENTS COLORÉS : VITRAUX — TISSUS — CACHEMIRES

EFERUS - Recherche & Classification numérique

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ART INDUSTRIEL

On s'est généralement accordé, depuis quelques années, à désigner sous le nom d'art industriel les diverses manifestations de l'art dans l'industrie, les applications des beaux-arts aux œuvres industrielles, et inversement la multiplication des œuvres d'art par les procédés industriels.

Nous réunirons ici, dans un seul travail, tout ce qui se rapporte à une question dont la grande importance est aujourd'hui pleinement démontrée, et qui autrefois était, bien à tort, complétement négligée dans les études industrielles, était notamment toujours oubliée dans les ouvrages relatifs à l'industrie.

DÉFINITION DE L'ART INDUSTRIEL — IMPORTANCE — CLASSIFICATION

La vue de tout produit créé par le travail industriel éveille nécessairement en nous deux idées, l'idée d'utilité et celle de beauté.

L'utilité se rapporte aux besoins qu'un produit peut satisfaire, aux propriétés naturelles des matières premières employées, aux qualités que le travail leur a fait acquérir. Cette dernière considération nous conduit à l'étude des procédés de la fabrication qui, indépendamment de ses applications, offre tant d'intérêt dès qu'on vient à reconnaître que les transformations opérées par l'industrie résultent de l'emploi bien entendu des lois naturelles. L'intelligence de celles-ci fait naître tous les grands progrès, fournit les merveilleux moyens d'action sur la nature, qui sont la gloire de notre siècle; en un mot, le travail industriel est l'utilisation des connaissances scientifiques.

La beauté n'éveille pas en nous la même curiosité quant aux procédés d'exécution; nous admirons dans un produit l'élégance de la forme, la beauté des décorations, sans trop penser aux difficultés que sa création a pu rencontrer. Or, ces questions d'élégance de forme, d'harmonie des proportions et des couleurs, ne sont autres que celles qui appartiennent au domaine des beaux-arts, qui ont pour objet de créer des œuvres par lesquelles on se propose, en général, d'atteindre non l'utilité, non la satisfaction d'un besoin matériel, mais exclusivement la beauté, source d'une jouissance tout intellectuelle. C'est donc dans l'art pur que l'industrie doit aller chercher ses modèles, ses principes

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de beauté, là où tout est subordonné à charmer l'œil, absolument comme c'est dans la science pure que se trouve le point de départ des procédés techniques, de l'action de l'homme sur la nature.

Tels sont les deux pôles de toute production industrielle : « la science et l'art ; » en tout produit se réalise leur liaison intime; il faut emprunter à l'un et à l'autre ce qui est nécessaire pour qu'un produit remplisse les conditions d'utilité et de beauté auxquelles il doit satisfaire en même temps.

L'art entre donc pour une grande part dans la production industrielle, et c'est souvent la plus importante. En général, c'est en cherchant à satisfaire aux besoins de chaque jour, que l'industrie se propose de créer des objets non-seulement utiles, mais encore pour lesquels la forme, l'harmonie des proportions et des couleurs sont éminemment précieuses, et qu'elle rencontre l'art. Tandis que la question de convenance domine surtout pour nombre de productions placées à certaine distance de la consommation directe, comme dans l'agriculture, l'extraction des métaux, la construction des machines, etc., celle-ci est subordonnée à l'art et disparaît presque, bien qu'elle ne doive jamais être oubliée, sous le besoin d'élégance, quand il s'agit de la multitude d'objets qui servent à la satisfaction de nos besoins journaliers, avec lesquels nous vivons en quelque sorte, et dans lesquels se manifeste le goût de chacun de nous, comme les habitations, les vases, les vêtements, les meubles, etc.

Pour ces produits, créés par une industrie prospère, dans un état de civilisation avancée, la bonté de la fabrication ne suffit pas; il faut y joindre l'élégance, le charme, surtout pour ceux qui s'adressent aux classes riches, dont le prix de revient peut être élevé. C'est une condition essentielle de succès pour les nations qui cherchent à exporter certains produits de leur industrie, qui prétendent leur donner une supériorité sur ceux des autres nations, et il leur faut pour cela utiliser tous les éléments que l'étude des arts peut fournir. La science qui préside aux métamorphoses de la matière, qui pèse et mesure, donne des méthodes infaillibles, rapides et économiques pour transformer les produits bruts et les rendre immédiatement utilisables, mais est incapable de donner à ces produits la forme agréable, l'éclat qu'une civilisation avancée exige de tout ce qu'elle emploie. L'art doit ici intervenir, l'œuvre appartient à l'artiste[1].

Mais peut-on trouver par des études sur les arts des notions qui s'appliquent directement à l'industrie pour guider le producteur?

Pour bien répondre à cette question, il faut se reporter à l'autre base de l'industrie,

1. L'artiste peut se rencontrer partout, dit M. E. Trélat, dans son remarquable discours d'inauguration de l'École d'architecture; il n'est nécessairement nulle part. Bien que certaines professions semblent ne comporter que des artistes, ceux-ci sont souvent aussi rares en elles qu'ailleurs.

Voulez-vous une preuve de cette diffusion de l'artiste dans la société ? Voyez ce qu'il en est de ses œuvres. On les rencontre à tout instant là où on ne les eût pas intentionnellement été chercher, et c'est ce qui explique la bonne fortune de ces heureux créateurs de collections, si pleines d'intérêt pour les amateurs et qui sont des trésors pour l'art. Allez à un de ces musées rétrospectifs que les cabinets privés constituent de temps en temps; ne le voyez-vous pas? ces collections, ingénieusement conçues, chaque jour grandissent, se développent, se ramifient en tous sens; et si, partant de nos beaux musées publics, où sont réunis les types dominants de nos œuvres d'art, nous descendons vers la mince étagère longuement garnie par les passionnés chercheurs d'armes, de meubles, d'étoffes, de poteries, de verrerie, de coutellerie, etc.; nous heurtons la preuve palpable de l'universalité de l'œuvre d'art incessamment produite en tout.

Mais, après avoir considéré l'œuvre, envisageons l'ouvrier. Souvent on tend à définir la nature d'un homme par cette simple appellation : *C'est un artiste !* Je ne prends pas ce mot dans le sens professionnel; je l'entends appliquer à l'individu, et il peut être aussi bien question ici de l'homme qui dresse une semelle de soulier que de celui qui tient habituellement une palette et des brosses en ses mains. *C'est un artiste*, dit-on. Qu'est-ce que cela veut dire vulgairement? Cela veut dire que celui de nos semblables que nous

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aux sciences pures. Les mathématiques, la mécanique rationnelle, etc., sciences n'ayant que le vrai pour but, déductions logiques d'éléments purement intellectuels, seuls ou mélangés avec quelques données fondamentales fournies par l'expérience, ne peuvent s'appliquer directement à la pratique; elles servent à créer, à cet effet, des sciences intermédiaires, des sciences appliquées. Nous citerons comme exemple, parmi celles-ci, la mécanique physique, qui procède de la mécanique rationnelle, mais dans laquelle on tient compte des propriétés physiques des corps, considérés non plus comme nous les concevons abstraitement, mais analysés d'après les résultats d'expériences nombreuses.

La théorie des arts industriels, qui peut être directement utilisée, doit se concevoir de la même manière que celle des sciences appliquées. Elle procède de celle des beaux-arts qui ont pour objet le beau en lui-même, où l'on en cherche la manifestation dans des œuvres qui le rendent nettement perceptible, sans se proposer aucun autre but; mais ceux-ci ne se confondent pas avec l'art industriel, qui ne fait en général qu'une application partielle des résultats des travaux des maîtres qui ouvrent des voies nouvelles, dans des limites spéciales à chaque cas particulier, en raison de la convenance à laquelle le produit industriel doit satisfaire. Sans beauté dans les objets communs, le produit du travail industriel devient souvent un véritable objet d'art, dans la partie supérieure de l'échelle que l'on peut construire pour chaque genre d'utilités. Le costume à bon marché de l'ouvrier, bien que pouvant être fait avec plus ou moins de goût, occupera difficilement sa place dans le monde de l'art, mais la toilette d'une reine de beauté, sa coiffure, sa robe, ses bijoux, etc., peuvent être des chefs-d'œuvre, avoir une véritable valeur artistique.

Il résulte de ceci que les arts industriels différeront d'autant plus des beaux-arts proprement dits, que par leur nature les œuvres que produisent ces derniers seront moins susceptibles d'un emploi utile, pourront moins servir à la satisfaction de nos besoins. C'est pour cela que la musique ne peut en faire partie; que la peinture n'y occupe qu'une place peu en rapport avec celle si considérable qu'elle tient dans les beaux-arts, parce que la condition d'utilité fait disparaître la recherche de l'idéal, les aspirations d'un ordre supérieur. Jamais en déposant quelques couleurs sur une étoffe on ne pourra se proposer de faire un véritable tableau, mais Raphaël, en traçant les cartons de tapisserie d'Hampton-Court, dont le dessin est d'une élégance, d'une pureté incomparables, a fourni la véritable route, et montré comment les grands artistes peuvent dominer l'industrie. Pour la sculpture, au contraire, le produit industriel viendra souvent se confondre avec celui de l'art pur : ainsi, par exemple la pièce d'orfévrerie sur laquelle on fera naître des formes qui devront plaire à l'œil pourra bientôt devenir une véritable œuvre d'art; il n'y a de différence essentielle (en laissant de côté les conditions commerciales de prix de revient) que dans la nécessité d'employer certains éléments commandés par l'utilité, ou des proportions trop réduites, ce qui trace souvent une ligne de démarcation entre le produit industriel et celui purement artistique. Enfin, l'architecture traitant essentiellement d'une utilité, d'une construction, est, par sa nature intime, un art industriel.

dénommons ainsi ne fait pas nécessairement comme tout le monde; que, toutes fois qu'il entreprend une chose, il ne se dit pas : *Comment fait mon voisin ?* mais bien : *Comment se doit faire cette chose pour être vraiment faite ?* — Cela veut dire que le monde pour lui est incessamment peuplé de questions toujours vierges et qu'il est toujours naïvement prêt à les aborder dans leur virginité. — Cela veut dire que, s'il construit une maison ou confectionne un habit, il projette l'une ou taille l'autre en vue de l'habitant ou de l'habillé, et non pour utiliser une fois de plus le patron d'une forme consacrée par la convention.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est l'accord du beau et de l'utile, de l'art et de la convenance, qui forme la base de tout l'édifice de l'art industriel. Embellir les demeures, spiritualiser en quelque sorte les besoins les plus naturels de la vie, par la recherche et l'application du beau, est son but; l'ornementation, la décoration, son genre de manifestation le plus fréquent.

Il est facile d'apprécier la haute portée intellectuelle des questions que nous avons à étudier dans ce travail; mais ne fût-elle pas comprise, que, dans l'ordre des faits, traduction toujours fidèle des phénomènes de l'esprit humain, la vaste étendue du champ de l'art industriel, des applications des beaux-arts à l'industrie, qui comprend presque tous les produits qui nous entourent, suffirait pour faire apprécier à quel degré il est nécessaire de s'y arrêter. Cet élément de succès pour les nations comme pour les individus est le plus souvent négligé dans les meilleurs ouvrages sur la production, où le côté technique, celui du tour de main ou tout au plus de l'application des sciences à l'industrie est en général surtout mis en lumière; et cependant si, se plaçant, par exemple, au point de vue de la France, on peut dire que la diffusion des sciences dans leurs applications à l'industrie est une base fondamentale de notre prospérité, on doit affirmer, comme également capitale tout au moins, l'étude des beaux-arts; car les plus grands succès des produits de notre industrie sont évidemment dus à la diffusion du goût dans la nation, au talent de nos artistes, si bien secondés par l'habileté de nos fabricants et de nos ouvriers.

Les expositions universelles ont démontré à plusieurs reprises le mérite principal de plusieurs de nos industries, à savoir un cachet tout particulier de bon goût qui donne souvent aux produits les moins importants une véritable valeur artistique. Qui ne sait que presque toujours Paris crée la mode, c'est-à-dire invente et juge souverainement en fait d'articles de goût employés pour les vêtements, l'ameublement, etc.? Si l'on remontait à l'origine de la création de bien des objets élégants de cette industrie française si estimée dans le monde entier, l'on verrait que leur valeur est souvent due à l'imagination d'une simple ouvrière, qui a eu le goût assez pur pour créer heureusement une forme nouvelle.

L'étude des beaux-arts, qui est, dans ses manifestations les plus élevées, le grand moyen de vulgariser le bon goût, de faire naître des artistes éminents, capables de former des écoles, de donner une heureuse impulsion, est donc d'une extrême importance pour la France, afin de ne pas la voir déchoir de sa position et s'amoindrir en présence des efforts intelligents des nations rivales, qui ne négligent rien pour améliorer le goût de leurs producteurs, par le développement de l'enseignement du dessin et l'exposition publique des chefs-d'œuvre des arts. Cette étude doit d'autant plus être encouragée que ce qui nous fait le plus défaut aujourd'hui, malgré tous nos progrès techniques, c'est la tradition du beau qui se transmettait jadis de génération en génération, dans des ateliers passant des pères aux fils, le sentiment de l'harmonie et de la perfection qui est l'âme de nombre d'objets conçus et fabriqués par nos aïeux, et qui possèdent un cachet inimitable de noblesse et d'élégance. Si l'on cherchait la cause de notre infériorité en ce point, on la trouverait, sans aucun doute, dans la scission violente et systématique avec le passé qui date de la Révolution.

L'Angleterre, avec son éminent bon sens, ayant vu clairement à l'Exposition de Londres de 1851 tout ce qu'elle avait à faire dans cette voie, a fondé aussitôt les musées de Sydenham, de South-Kensington, ainsi qu'un très-grand nombre d'écoles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de dessin. Elle a parfaitement compris que c'était là une condition vitale de succès pour sa puissante industrie, si admirable au point de vue technique, mais qui était dépassée par des nations rivales au point de vue du goût. Elle a senti que l'avenir de son immense commerce d'exportation dépendait des progrès artistiques de ses producteurs. Aussi a-t-elle été récompensée de ses efforts par des progrès considérables accomplis en peu d'années.

La précieuse qualité qu'on nomme le bon goût, qui distingue les produits similaires des nations parvenues à un haut degré d'avancement dans l'art industriel, est sans contredit l'élément qui s'assimile le plus difficilement. Copier une machine inventée dans un pays voisin est chose facile dans l'état actuel de la mécanique; donner du goût aux ouvriers qui manient les diverses pièces d'un bijou pour qu'ils les assemblent avec un sentiment net du résultat à obtenir, c'est à peine si l'étude et la culture permettront d'y arriver après plusieurs générations. L'imitation des produits dus à une population d'artistes est difficile, vu son immense variété; elle constitue une supériorité presque inattaquable chez une nation qui, la possédant, ne s'abandonne pas elle-même. C'est ce qui explique la permanence de supériorité, sur d'intelligents rivaux, de quelques-unes de nos industries, telles que la fabrique de soieries de Lyon, celle des articles de Paris dans la capitale, etc. On peut, croyons-nous, établir que c'est par l'étude des objets mobiliers les plus usuels, de ceux surtout qui, par leur destination, sont d'un usage journalier et servent aux fonctions les plus communes, que l'on arrive à apprécier le plus sûrement la valeur des productions artistiques d'un peuple; quand, loin de considérer l'art comme un passe-temps, il le fait entrer dans ses mœurs, qu'il devient pour lui un véritable besoin, on est forcé de lui reconnaître les aptitudes supérieures qui font les peuples véritablement artistes [1].

La première chose que nous ayons à faire, avant d'entrer dans l'étude que nous nous proposons, c'est de délimiter nettement l'étendue du champ que nous avons à parcourir. On peut classer les travaux de l'art industriel au point de vue des emplois des objets auxquels il s'applique, c'est-à-dire des vêtements, des ustensiles d'économie domestique, de l'ameublement, de la décoration des maisons, etc. Mais comme c'est au point de vue de l'application des beaux-arts que nous devons ici considérer les travaux de l'industrie, notre but étant d'analyser, dans les étroites limites où cela est possible,

1. L'ART EST UN; il est la source de tous les progrès. (Extrait de l'ouvrage de M. De Laborde sur l'application des beaux-arts à l'industrie.)

L'étude, en vue d'une spécialité, dessèche et atrophie le talent; l'art dans ses données supérieures rend apte à toutes les spécialités. Qui dit spécialité dans l'art ne dit pas un art différent, et si l'on peut distinguer des genres distincts, suivant des aptitudes particulières, comme l'histoire et le paysage dans la peinture, comme l'art monumental et l'art appliqué à l'industrie, cela ne constitue pas des divisions dans l'art. Je sais que, suivant l'opinion vulgaire, le grand mur de la Cline élevé entre l'art et l'industrie est l'utilité, l'emploi, la destination pratique des œuvres. Ce qui n'est d'aucun usage, ce qui n'a aucune application possible, en peu de mots, ce qu'on range dans les inutilités, est de l'art, et comme tel devrait prendre le premier rang dans l'estime publique; tout au contraire, ce qui a sa destination, son but, son emploi, sa raison d'être, est de l'industrie et, à ce compte, placé vis-à-vis de l'art à un rang inférieur: ainsi la cime des monts, qui plane dans le pur azur du ciel, domine le fond bourbeux de la vallée où s'agitent nos misères. C'est là une erreur, un contre-sens, qu'il faut combattre et détruire à tout prix.

Cette distinction de l'art et de l'industrie n'a de force et d'autorité que parce qu'elle est maintenue par les artistes supérieurs, parce qu'elle a pour appui les hommes de lettres. Ils ont dit : vous n'avez d'autre préoccupation que de gagner de l'argent, vous n'êtes pas des nôtres. Nous sommes des hommes d'imagination, vous êtes des gens d'affaires; nous sommes des artistes, vous êtes des marchands. Ce désintéressement est-il bien vrai? N'ai-je pas entendu parler d'une loi de la propriété intellectuelle qui tarife les opéras: tant pour siffler un de vos airs; qui taxe les produits de l'imagination: tant pour reproduire une page de votre prose et vos vers au bas d'un journal; qui défend vos tableaux: tant pour les copier et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les éléments de leur beauté et nullement de traiter de leur utilité ou des procédés techniques, nous sommes conduit à rapprocher des beaux-arts les arts industriels qui en procèdent. Par suite, nous établirons les meilleures divisions en distinguant ce qui se rapporte au dessin, à la forme, à la construction; en partant des divisions admises des beaux-arts, ce qui nous permettra de tracer le tableau ci-après, qui renferme l'indication des principales industries artistiques, et de leurs relations avec les beaux-arts.

Dans ce tableau nous faisons passer l'architecture avant la sculpture et la peinture, par la nécessité, que nous ferons apprécier plus loin, d'établir d'abord les types les plus complets de l'art aux diverses époques, à l'aide de l'architecture, c'est-à-dire des œuvres complexes qui le résument le plus complétement.

1. ARTS DE CONSTRUCTION A L'AIDE DE CORPS AMENÉS A DES FORMES GÉOMÉTRIQUES.

ARCHITECTURE...
- I. Architecture proprement dite. *Grandes constructions.*
- II. Céramique. } *Petites constructions annexes de l'Architecture.*
- III. Meubles. }

2. ARTS DE LA FORME, EMPLOYANT EN OUTRE L'IMITATION DES CORPS VIVANTS.

SCULPTURE..... IV. Statuaire. — Arts vestiaires. — Orfévrerie. — Bijouterie.

3. ARTS DU DESSIN ET DE LA COULEUR, REPRODUISANT LES APPARENCES DES OBJETS NATURELS.

PEINTURE.....
- V. *Par tracé de lignes.* — Dessin.
- VI. *Par application de couleurs.* — Impressions sur papier et sur étoffes.
- VII. *Par juxtaposition d'éléments colorés.* — Mosaïques. — Tissus divers.

Nous allons entrer dans quelques détails sur les subdivisions établies ci-dessus, avant de chercher à démontrer l'utilité des principes qu'il est possible de formuler pour guider dans les travaux qui relèvent de l'art.

graver? Vous tenez boutique d'œuvres de génie, et vous dédaignez Fourdinois, parce qu'il vend son dressoir; Morel, parce qu'il vend ses bijoux. Ah! j'admets, jusqu'à un certain point, la fierté de l'artiste de l'antiquité et du moyen âge qui, pauvre et désintéressé, portait la tête haute en voyant les métiers exploiter ses compositions, s'enrichir de ses idées. Il se disait avec un juste orgueil: Ce qui me distingue de cette foule, ce n'est pas l'art, nous sommes tous artistes, moi en tableaux et en statues, eux en bahuts sculptés et en orfévrerie ciselée; ce qui me distingue, c'est le désintéressement, c'est la préoccupation unique de ma création et, quand elle est parfaite, son abandon à la grâce de Dieu et au profit de tous sans réserve de droits et arrière-pensée de lucre.

Reléguons donc ces classifications puériles dans l'antre des vieux préjugés; mais il est une distinction qui subsistera toujours, en dépit de la vulgarisation générale de la science et des arts que je prêche, en dépit de ces lois fiscales de la propriété artistique et littéraire que je réprouve, la distinction du génie et du talent élevé.

En résumé: 1° L'art a sa vie propre en dehors de la nécessité de ses applications; mais en s'appliquant à l'industrie humaine, loin de rabaisser sa mission, il l'agrandit. La théorie du beau, que Platon a développée dans son *Hippias*, paraît convenir mieux à l'industrie qu'à l'art, et cela seul prouverait combien l'un et l'autre se confondaient dans l'antiquité. Platon définissait le beau: *la complète convenance des moyens relativement à leur fin.* La fin, le but, devraient donc rester toujours présents à l'esprit de l'artiste, comme nous le conseillons à l'industriel, afin qu'une parfaite harmonie se voie, se sente même, entre les matières qu'il a employées, la forme qu'il a donnée, le genre de travail qu'il a adopté, et l'usage auquel il destine son œuvre. 2° L'objet d'art n'ayant pas de destination, sa mission étant d'éveiller des sentiments; c'est l'art dans sa pureté, et non pas l'art appliqué, qu'un gouvernement sage doit enseigner et encourager, parce que c'est à la source qu'une bonne ménagère va chercher l'eau dans toute sa limpidité. 3° Il n'y a que deux modèles: la nature et l'art grec; l'un et l'autre se prêtant à l'interprétation de tous les sentiments, l'un et l'autre se pliant à toutes les conditions de nos besoins: la nature, image de la perfection; les œuvres grecques, interprètes inappréciables de la nature, modèles à suivre pour l'imiter.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉLÉMENTS DE L'ART INDUSTRIEL

Précisons l'indication des principaux éléments matériels des productions de l'industrie, admise dans le tableau ci-contre de la division de l'art industriel.

I. — FORMES GÉOMÉTRIQUES

Les éléments de l'art industriel, au point de vue des formes qu'on doit distinguer lorsqu'on cherche à établir (pour faciliter l'étude) des divisions entre des éléments qui sont le plus souvent réunis, sont d'abord les formes régulières que nous appellerons géométriques, c'est-à-dire celles dont la géométrie se propose l'étude. Nous distinguerons :

1° Les formes rectilignes de l'architecture qui, par suite de la nécessité de remplir les conditions de stabilité, donne toujours aux monuments, dans le sens vertical, des formes rectilignes, et emploie nombre d'accessoires de la forme de cubes, prismes, etc.

2° Les formes cylindriques, coniques, etc., qui rencontrent plusieurs applications dans l'architecture, dans les colonnes notamment, et constituent essentiellement les produits de la Céramique obtenus de tout temps à l'aide du tour du potier (le tour étant essentiellement propre à former des surfaces de révolution); enfin la combinaison des formes rectilignes et de celles obtenues par le tour dans le travail du bois pour la fabrication des Meubles.

3° La forme sphérique qui se rencontre dans les dômes de l'architecture, et qui, dans un art usuel, est obtenue pour ainsi dire naturellement, dans la fabrication des ustensiles en verre, par insufflation, et qui, plus ou moins altérée, constitue toutes les formes qu'ils conservent.

C'est par les proportions harmonieuses de ces formes purement géométriques multipliées à l'infini, souvent sur une échelle colossale dans les grands édifices, que s'obtient le charme des constructions qui n'emploient pas, ou plutôt n'emploient que comme accessoires les autres formes dont nous allons parler.

En dehors des formes principales que je viens de rappeler, dont l'œil saisit facilement la régularité, sont les formes irrégulières que le goût peut engendrer, toutes les variations à l'infini de surfaces courbes. Après les voûtes, le plus souvent de forme sphérique ou cylindrique, quelquefois ogivales, on doit citer l'emploi dans la décoration des petits éléments multipliés, tels que les rosaces, les oves, etc., les entrelacements de lignes en relief peu saillantes. Ces accessoires se rapportent aux arts de la forme, à la sculpture qui crée les lignes, les reliefs dont la multiplication ou le groupement rappelle presque

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forcément quelque objet pris dans la nature dont elles semblent bientôt la caricature, si elles n'en sont pas l'imitation. Là est en effet la seconde et importante série d'éléments à considérer.

II. — IMITATION DES FORMES DES CORPS VIVANTS.

L'imitation des formes les plus gracieuses que nous présente la nature, des proportions divines des plus belles créations, fournit à la décoration ses éléments les plus nombreux; source bien féconde, variée à l'infini, dont l'emploi charme les yeux à coup sûr. C'est dans la Sculpture proprement dite, que les ressources qui dérivent de l'imitation des formes naturelles sont pleinement utilisées. Dans les applications industrielles les plus générales qui s'y rattachent, les conditions d'emploi, comme les ressources qui dérivent des moyens d'exécution, et permettent quelquefois la multiplication des œuvres d'art, souvent ne conduisent pas à une imitation complète; rarement elles suffisent pour faire autre chose que de rappeler des motifs gracieux. Bien souvent même l'imitation n'est que partielle; l'ornement dérive d'une imitation, mais n'emprunte à la nature que l'harmonie générale. On peut poser en principe que, dans le plus grand nombre de cas, l'art industriel doit limiter à une imitation de la nature, à la reproduction, la sphère qui lui est propre, et abandonner aux beaux-arts proprement dits (qui se manifestent cependant assez souvent sous le manteau de l'industrie) l'emploi de l'imitation complète pour révéler un idéal, faire comprendre les sentiments et les pensées des personnages.

C'est dans l'étude des plantes, des fleurs, des animaux, des jeunes enfants, du corps humain, que se rencontrent une foule d'éléments que le goût créateur de l'artiste combine à l'infini; ce sont ces éléments, exemples les plus parfaits de rapports harmonieux, dont l'imitation plaît toujours à nos yeux, qui satisfont le sens moral et éveillent en nous les idées de grâce. Dans la plupart des applications des beaux-arts à l'industrie, ils doivent être considérés comme étant la base fondamentale de presque toutes les formes gracieuses, de la plupart des harmonies qui produisent la décoration, de l'ornementation.

Ainsi nous distinguerons parmi les objets qui fournissent les principaux sujets d'imitation :

1° Les plantes, feuilles (où se distinguent, suivant M. Owen Jones, dans les meilleures écoles, la proportionnalité des aires, la tangence des rayons à la tige centrale), boutons, fleurs, entrelacements divers, guirlandes, bouquets, etc.;

2° Les animaux de tout genre, oiseaux, chiens, chevaux, reptiles, etc.;

3° La figure humaine, enfants, femmes, hommes.

III. — DESSIN ET COLORATION

La décoration des surfaces, tant par des dessins produits par des tracés de lignes qu'à l'aide de la coloration, atteint sa plus haute expression dans la peinture, qui reproduit les apparences des corps, et à l'aide de leur imitation vient peindre aux yeux les sentiments de la vie elle-même.

Les ressources que la peinture fournit à l'art industriel forment une importante partie de celui-ci; mais sans qu'elle se confonde, à beaucoup près, avec lui. L'industrie et les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

beaux-arts se rapprochent beaucoup quand il s'agit de formes, mais jamais l'emploi fait par le travail industriel des lignes et des couleurs n'atteindra l'art qui traduit le mieux les sentiments à l'aide de l'imitation, si ce n'est dans les cas où l'œuvre d'art vient s'appliquer sur un produit. industriel, juxtaposition qui n'infirme pas notre observation. Aussi n'avons-nous pas à traiter de l'art de la peinture ; nous rappellerons toutefois que c'est cet art, que ce sont les travaux des artistes qui inspirent les producteurs, qui fournissent les principes de dessin et de décoration qui doivent guider les fabricants, et que, d'un autre côté, les modèles que l'industrie se propose d'imiter, dus aux artistes industriels, méritent souvent d'occuper une place honorable, sinon parmi les produits d'art de premier ordre, au moins après eux.

Les moyens d'ornementation industrielle s'offrent donc à nous sous deux aspects différents, analogues à ceux que nous avons rencontrés déjà en traitant de la forme :

1° La première division se rapporte au point de vue du dessin, à l'emploi de lignes, dont l'enlacement ne rappelle aucun objet déterminé, qui ont par leurs formes une grâce propre. Les Orientaux, qui n'acceptent pas la représentation de la figure humaine, ont surtout multiplié ce genre de décoration. Au point de vue de la coloration, cette division comprend la polychromie, c'est-à-dire l'emploi d'un nombre limité de couleurs appliquées en teintes plates et offrant à la vue des tons, des couleurs dont l'aspect, la proportion la réjouit. Nous ferons rentrer dans cette division la coloration des frises des temples par les anciens, au moyen âge la décoration des voûtes des cathédrales.

2° La seconde division se rapporte à des imitations de la nature, à la représentation d'objets gracieux, et, relativement aux couleurs, à l'emploi de teintes diverses, rarement dégradées, afin de reproduire l'aspect des objets colorés, sans que les conditions techniques permettent le plus souvent (quand on n'a pas recours à la peinture proprement dite pour rehausser le produit industriel) de les montrer tels qu'ils sont dans la nature et que la peinture les reproduit, c'est-à-dire éclairés par une lumière qui fait sentir leurs reliefs, portant des ombres qui indiquent leurs positions relatives. Dans la décoration industrielle on n'emploie en général que des couleurs franches, juxtaposées ou superposées, et on parvient, par les procédés de décoration, à imiter, à rappeler des objets gracieux, mais bien rarement à éveiller des sentiments comme dans la peinture proprement dite. Les procédés vont, sans doute, en s'améliorant chaque jour, mais la perfection du travail est nécessairement limitée par les conditions économiques de la production et la valeur du travail du producteur habile qui l'exécute, quelque procédé qu'il emploie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DU BEAU

Nous devons dire, en commençant, quelques mots du but de ce travail, du beau, dont nous allons étudier les manifestations dans l'industrie, en suivant les principes reconnus dans la pratique des beaux-arts.

Et d'abord, qu'est-ce que le beau? C'est là une de ces questions auxquelles il n'est pas possible de faire une réponse satisfaisante ; le beau étant une idée première, essentielle, de l'esprit humain, n'est pas susceptible de définition mathématique. Pour faire apprécier le beau, que chacun sent s'il ne peut le définir, pour développer un sentiment dont le germe existe en nous, il n'est guère possible, comme toutes les fois qu'il s'agit d'idées fondamentales, que de répéter sous des formes, équivalentes au fond, l'énoncé de sentiments propres à notre nature. Ce qui est possible toutefois, c'est de faire sentir, en analysant ses éléments, ce que nous appelons le beau; de déterminer les conditions principales auxquelles satisfont les productions acclamées par tous comme des types évidents de beauté.

La première observation que l'on doive faire relativement au beau sensible, c'est qu'il consiste dans une harmonie qui n'est pas une propriété de la matière dont se composent les éléments à l'aide desquels il se matérialise en quelque sorte. Voilà bien des siècles que Socrate établissait, avec sa méthode si pleine de bon sens, cette vérité. Il démontrait aux différents artistes, à l'armurier Pistias comme au peintre Parrhasius, comme au philosophe Aristippe, que la beauté d'une femme accomplie, la beauté d'une coupe, la beauté d'un casque, étaient une même chose, et que les formes de ces différents objets étaient assujetties aux mêmes lois générales.

Le beau, suivant Platon, est « la splendeur du vrai. » Belle formule, qui s'applique admirablement au beau intellectuel et moral plutôt qu'à celui révélé par des formes matérielles, ou au moins ne s'y applique que si l'on se place à un point de vue très-élevé, si l'on sent que le beau dans l'art est la perfection idéale, divine, des formes, réalisée par une admirable imitation des objets naturels. Raphaël disait : « Le peintre est dans l'obligation de faire les choses, non comme les fait la nature, mais comme elle devrait les faire, » et il a appuyé ce grand précepte d'admirables exemples. C'est la même notion de la traduction de l'idéal à l'aide de réalités matérielles qui a été parfaitement sentie dans les beaux travaux sur l'Esthétique des philosophes allemands, et répond à leur définition de l'art : l'accord de l'idéal et du réel, du fini et de l'infini.

Le beau ne saurait être compris par le raisonnement, qui n'en saisit jamais qu'un côté; celui-ci reste dans le fini, l'exclusif; l'autre est de sa nature infini.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La matière devient belle pour nous, dit excellemment Channing, quand elle semble perdre son apparence matérielle, son inertie, ses limites et sa grossièreté; quand, par la légèreté éthérée de ses formes et de ses mouvements, elle semble se « spiritualiser. » D'où il tire d'admirables conséquences morales sur l'importance de la culture de l'individu pour le rendre capable de voir et sentir le beau, qui sont d'une profonde vérité[1].

Par l'industrie, quelque merveilleuse qu'elle soit, l'homme ne fait que diriger les forces de la nature, une vie qui n'est pas en lui; mais l'art est l'expression de sa propre vie, ou mieux encore, sa vie elle-même se réalisant, se communiquant aux autres hommes, et faisant effort pour s'éterniser.

Aucune œuvre d'art ne saurait donc être créée par les seules forces mécaniques.

Pour rester dans des considérations d'un ordre moins élevé, plus voisines des applications, demandons-nous quelles sont ces lois dont parlait Socrate, en quoi consiste cette complète convenance des moyens relativement à leur fin, qu'indique Platon, et recherchons quelles sont les conditions principales auxquelles satisfont les types du beau.

Dans chaque ordre de production on peut énoncer des règles spéciales; mais il est une règle principale qui domine toutes les autres et qui s'applique aux produits de l'esprit

1. *De la théorie de l'art ou de l'esthétique.* — Pour qu'une étude raisonnée sur les applications des beaux-arts soit possible, il faut qu'il existe une science du beau, une philosophie des beaux-arts, formée des principes supérieurs dont découlent les règles secondaires que peut faire reconnaître l'étude expérimentale. Cette partie de la philosophie, à laquelle on a donné le nom d'*esthétique*, a été l'objet des travaux de la plupart des grands philosophes, mais c'est l'œuvre des grands penseurs allemands de l'avoir constituée en corps de doctrine philosophique, en l'étudiant surtout dans l'esprit humain, étude d'où ne peuvent sortir des règles pour les applications.

Nous ne saurions entrer dans des études de cet ordre, mais nous croyons qu'on nous saura gré d'une indication de la nature de ces puissantes conceptions. Nous l'empruntons à l'excellent article *Esthétique*, du Dictionnaire des sciences philosophiques :

« L'esthétique ne prit son véritable essor, et l'art la conscience de lui-même, qu'avec Schelling et la révolution qu'il opéra dans le monde philosophique.

« Voici comment ce philosophe est arrivé à la conception de l'art. La base de son système, c'est l'identité des deux points de vue séparés par Kant et ses successeurs, le sujet et l'objet. Ici l'idéal et le réel, le fini et l'infini, rentrent dans une unité supérieure au sein de laquelle les différences s'effacent et l'harmonie s'établit. Quoique cette unité fondamentale soit partout dans l'univers physique et moral, elle n'est pas cependant manifeste dans la nature, qui est le monde du réel, du fini, le règne du destin. Dans le monde moral, ce qui apparaît, c'est l'idéal, l'esprit, la liberté. Or cette opposition de l'idéal et du réel, de la fatalité et de la liberté, disparaît dans l'art qui opère leur conciliation et leur fusion. Le beau, c'est l'accord, l'unité du fini et de l'infini, de l'existence fatale et de l'activité libre, de la vie et de la matière, de la nature et de l'esprit, et l'art dans ses œuvres nous fait contempler cette harmonieuse unité. Elle existe déjà dans l'artiste; car le génie, c'est le résultat de la combinaison de ces deux principes. Dans l'enthousiasme et l'inspiration, il y a deux éléments : l'un qui appartient à la nature, l'autre à la liberté; l'un instinctif, spontané, *inconscient*, l'autre qui a conscience de lui-même. Ainsi se trouvent réunis dans l'art les deux termes de l'existence : leur unité constitue la vérité, la beauté, l'absolu, le divin; l'art qui la manifeste et la révèle est donc essentiellement religieux. Il y a plus, il est *l'organe* de la religion, qui lui emprunte ses symboles et ses emblèmes. En un mot, l'art est la plus haute manifestation de l'esprit.

« C'est à la philosophie de Schelling que l'on doit tous les travaux qui ont eu pour but, en Allemagne, la connaissance de l'art sous toutes ses formes et dans tous ses grands mouvements, et en particulier la réhabilitation de l'art chrétien. Mais l'écueil n'était pas loin; savoir : la confusion des sphères différentes de la pensée, l'identification de la philosophie, de l'art, de la religion et des formes qui leur sont propres. La religion est devenue une espèce de poésie; de ce moment date la dévotion à l'art. Le sentimentalisme, le mysticisme et le symbolisme ont fait irruption partout dans la science et dans l'histoire. Nous ne sommes pas restés en France étrangers à cette influence.

« Après Schelling est venu Hegel, qui, adoptant la conception de Schelling, la rectifie et la développe. D'abord il fixe à l'art sa véritable place parmi les formes fondamentales de la pensée humaine; il lui conserve, comme manifestation de la vérité, son rang élevé à côté de la religion et de la philosophie; mais il le place au-dessous de l'une et de l'autre comme représentant le vrai sous une forme sensible, et ne s'adressant à l'esprit que par l'intermédiaire des sens et de l'imagination. En même temps, il maintient leurs limites respectives et leur rôle propre. D'un autre côté,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aussi bien qu'à la plupart de ceux des arts, condition qui a été définie « l'unité dans la variété, l'unité de l'ensemble et la convenance des parties. » Nous empruntons à saint Augustin un passage, célèbre à bien juste titre, où il formule admirablement ce grand principe.

« Si je demande à un architecte, dit-il, pourquoi, ayant construit une arcade à l'une des ailes de son édifice, il en fait autant à l'autre, il me répondra sans doute que c'est afin que les membres de son architecture symétrisent bien ensemble. Mais pourquoi cette symétrie vous paraît-elle nécessaire? Par la raison que cela plaît? Mais qui êtes-vous, pour vous ériger en arbitre de ce qui doit plaire ou ne doit pas plaire aux hommes? et d'où savez-vous que la symétrie nous plaît? J'en suis sûr, parce que les choses ainsi disposées ont de la décence, de la justesse, de la grâce; en un mot, parce que cela est beau. Fort bien. Mais, dites-moi, cela est-il beau parce qu'il plaît, ou cela plaît-il parce qu'il est beau? Sans difficulté, cela plaît parce qu'il est beau. Je le crois comme vous. Mais je vous demande encore : pourquoi cela est-il beau? et si ma question vous embarrasse, parce qu'en effet les maîtres de votre art ne vont guère jusque-là, vous conviendrez du moins sans peine que la similitude, l'égalité, la convenance des parties de votre bâtiment réduit tout à une espèce d'unité qui contente la raison? C'est ce que je voulais dire. Oui; mais prenez-y garde. Il n'y a point de vraie unité dans les corps, puisqu'ils sont tous composés d'un nombre innombrable de parties, dont chacune est

il s'empare de la pensée de Schelling, la développe et l'applique; de ce germe il fait éclore un vaste système enchaîné dans toutes ses parties avec un art admirable. Il embrasse la science dans son ensemble et toutes ses divisions; après avoir étudié l'idée du beau en elle-même, dans la nature et dans l'art, il s'attache à suivre son développement dans ses formes fondamentales à travers les époques de l'histoire; enfin il donne une classification et une théorie des arts particuliers, de l'architecture, de la sculpture, de la peinture, de la musique et de la poésie, caractérisant chacun d'eux, déterminant ses principes, ses formes essentielles et ses règles générales. Hegel est le premier qui ait conçu l'esthétique dans son ensemble et ait tenté de réaliser ce vaste plan. Son ouvrage est le premier monument complet élevé à la philosophie des beaux-arts, et il a déployé dans l'exécution les caractères de son génie, la profondeur et la puissance systématiques, jointes à une finesse d'analyse qui poursuit les principes jusque dans leurs dernières applications. Il a semé dans son livre une foule de vues originales et vraies, de critiques pleines de sens et de justesse. Il a même révélé dans cette partie de son système des qualités que l'on n'attendait guère d'un métaphysicien et d'un esprit aussi sévère : non-seulement il fait preuve de connaissances positives en ce qui concerne les principaux monuments de l'art et de la poésie; mais il déploie dans son style une véritable richesse d'imagination, malgré les défauts qui tiennent à sa manière et à sa terminologie. Sans doute l'œuvre est imparfaite, elle laisse de grandes lacunes et des irrégularités; mais c'est un monument plein de grandeur, digne de son objet et de celui qui l'a élevé; il n'a pas été dépassé. Tout ce qui s'est écrit depuis en Allemagne, sur le beau et l'art, a été inspiré par Schelling ou Hegel. »

M. Pictet, dans un intéressant ouvrage sur le beau, a résumé et précisé la science allemande. Il a bien établi que le beau n'existait pas seulement dans l'imagination de celui qui le perçoit, qu'il ne saurait dépendre des variations et des inconséquences du goût individuel. Néanmoins, il est certain qu'on ne saurait faire du beau l'objet d'une démonstration mathématique. Le beau est au nombre des vérités d'intuition qui ne sont pas explicables par le raisonnement. Suivant M. Pictet, l'intuition est *une vue à la fois matérielle et intellectuelle* par laquelle nous pénétrons dans le monde des existences réelles, et entrons en communication avec la nature. Relativement au beau, l'intuition est une opération unique et complexe par laquelle nous saisissons l'objet beau à la fois dans son apparence et dans son essence, dans la forme et dans l'idée. Il faut que chez le spectateur, *l'intuition de la réalité et la perception de l'idée se confondent dans un acte commun.* « L'œil, dit Plotin, ne verrait pas le soleil s'il n'était d'une nature analogue à la lumière solaire. De même *si l'âme* ne se fait belle, elle n'aperçoit pas la beauté. » Il y a donc une double opération dont l'analogie établit entre le beau extérieur et son correspondant psychologique la mystérieuse relation dont on s'étonne. « Ce ne sont pas, dit M. Pictet, des éléments ennemis, et s'excluant mutuellement, qui se rencontrent dans le phénomène intuitif du beau. C'est l'esprit qui parle à l'esprit, c'est l'idée à l'intérieur qui saisit l'idée à l'extérieur, c'est l'élément divin en nous qui reconnaît l'élément divin hors de nous. Dans cette opération, tout est accord, tout est harmonie. L'identification complète de l'idée et de la forme à l'extérieur entraîne nécessairement la fusion non moins intime de notre nature intellectuelle et de notre nature sensible dans un même acte d'intuition.

Ainsi le *jugement* du beau ne se distingue pas du *sentiment* du beau; mais, pour employer une expression de Cousin : ils sont *enveloppés l'un dans l'autre.*

EFERUS - Recherche & Classification numérique

encore composée d'une infinité d'autres. Où est-ce donc que vous la voyez cette unité qui vous dirige dans la construction de votre dessin, cette unité que vous regardez dans votre art comme une loi inviolable, cette unité que votre édifice doit imiter pour être beau, mais que rien sur la terre ne peut imiter parfaitement, puisque rien sur la terre ne peut être parfaitement un? Or, de là, que s'ensuit-il? Ne faut-il pas reconnaître qu'il y a donc au-dessus de nos esprits une certaine unité originale, souveraine, éternelle, parfaite, qui est la règle essentielle du beau que vous cherchez dans la pratique de votre art? »

La nette perception de l'unité dans toute œuvre est une loi fondamentale; mais si elle domine toutes les autres, elle est loin d'être la seule, ou plutôt, comme nous le verrons bientôt, ces lois ne sauraient être absolument générales, ou plutôt jamais complétement formulées de manière à en rendre l'application certaine. Mais au moins peut-on encore en indiquer quelques-unes des plus importantes, en faire entrevoir l'existence.

Nous avons dit que le beau est une harmonie, un rhythme (c'est la définition d'Aristote, l'ordre et l'harmonie des parties), prenant ainsi notre définition ou plutôt cherchant à nous faire comprendre par un exemple pris dans la musique, celui des beaux-arts où cette observation est la plus facile à faire.

Quels sont les éléments de la musique? Des notes formées par des vibrations dont les nombres sont entre eux dans un rapport mathématique simple et tellement déterminé, que tout son intermédiaire, toute fausse note produit sur une oreille exercée une impression désagréable. Ce résultat certain fait bien comprendre, ce qui paraît bien moins évident à priori, comment les rapports de hauteur et de largeur d'une colonne, les espacements des colonnes, etc., tous les faits de ce genre admis par les architectes, incompris par les personnes étrangères à l'art, peuvent se trouver rigoureusement déterminés, et comment l'œil qui transmet l'harmonie, comme l'oreille dans le cas précédent, doit se trouver choqué, si l'on s'écarte de la loi mathématique que l'on trouve appliquée par les artistes les plus éminents.

Suivons notre comparaison :

On sait que dans la musique l'oreille est favorablement impressionnée par certaines successions de notes, dites accords, tandis que d'autres forment des dissonances désagréables à l'oreille. De même, certains groupements d'objets plairont à l'œil, tandis que d'autres lui seront désagréables. Dans quelques cas de l'architecture et de la céramique notamment, la loi de répétition et de symétrie répond surtout à cette condition. Comme une tierce est agréable à l'oreille, une division par trois de certains éléments, dans une construction par exemple, peut être préférable à toute autre et devenir une règle avantageuse à observer.

Enfin, dans la musique comme dans les autres arts, les éléments ne constituent pas le beau, bien qu'ils soient nécessaires pour le produire; le groupement dû au goût de l'artiste en est le principe essentiel. La musique fait encore bien comprendre par la variété de ses compositions tantôt graves, tantôt légères, comment on peut produire un nombre infini de combinaisons distinctes avec un nombre limité d'éléments, et combien est erroné le système des gens, peu nombreux aujourd'hui, qui croient que la simple reproduction des belles œuvres est la seule voie ouverte au génie des modernes, que le beau a été incarné dans des types dont il est impossible de s'écarter; sans comprendre que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'imitation absolue est impossible à des générations qui n'ont plus foi dans les idées auxquelles l'art a fourni jadis une certaine forme extérieure. Bien que cette croyance tende de jour en jour à perdre de son crédit, elle sera difficilement abandonnée par certains esprits médiocres qui s'obstineront toujours à copier, n'étant pas capables de produire par leurs propres forces.

Entrons dans les détails qui permettront d'apprécier les œuvres d'art, pour le plus grand profit de tous, et surtout de l'artiste lui-même, dont la plus grande récompense est de voir son travail compris; malheureusement, comme le fait observer Diderot, combien de compositions où il est contraint d'employer plus de rapports que le plus grand nombre n'en peut saisir!

C'est le bon emploi de ces rapports dont parle Diderot, de ces éléments multiples qui produit la beauté d'une œuvre quelconque. Ce sont eux surtout qui permettent de traduire, d'une manière compréhensible pour tous, la pensée créatrice de l'artiste rendue, dans les circonstances les plus diverses, à l'aide de formes qui lui donnent une expression matérielle.

C'est parce que la compréhension de beau se réduit à celle de rapports qu'elle est saisissable pour tous les esprits. En effet, l'exercice immédiat de nos facultés nous donne des idées d'ordre, d'arrangement, d'harmonie, qui se rencontrent dans ce qui est beau. Sans doute ces idées acquièrent une plus grande netteté quand on fixe sur elles son attention, quand on considère les cas les plus saillants de leurs applications, comme nous venons de tenter de le faire avec des comparaisons tirées d'un cas dans lequel les appréciations sont le plus faciles. Mais si ces idées n'acquièrent toute leur précision que dans les esprits cultivés, elles ne peuvent être absolument étrangères à aucun; elles se confondent en effet avec les notions de nombre, de grandeur, et autres, qui s'éveillent les premières dans l'intelligence humaine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONDITIONS FONDAMENTALES DU BEAU

Les conditions du beau dans les œuvres de l'industrie forment l'objet de tout ce travail; nous allons bientôt dire comment c'est par l'étude des œuvres les plus célèbres, que l'on parvient à sentir quelques-unes des règles que suit l'imagination de l'artiste. Auparavant, essayons de compléter, autant qu'on peut le faire, à priori, les lois fondamentales que nous avons déjà tenté plus haut d'indiquer, de formuler les principes, de définir les rapports dont nous avons fait sentir l'existence. Malheureusement il nous faudra bientôt reconnaître qu'il est difficile d'aller bien loin dans cette voie.

DE LA CONVENANCE.

La première condition à laquelle doit satisfaire un produit est celle de la convenance : un bâtiment inhabitable, un vase qui ne saurait contenir de liquide, révoltent le bon sens du spectateur et le laissent froid devant les décorations les plus multipliées. Nul besoin d'insister à cet égard, quand il s'agit de produits industriels dont le caractère d'utilité doit dominer, souvent d'une manière absolue, tous les autres caractères.

Négligée quelquefois par les architectes du commencement de ce siècle, préoccupés avant tout de l'imitation des monuments grecs, la convenance était devenue, par réaction, le caractère fondamental, essentiel, qu'un célèbre professeur (M. Durand) assignait à l'architecture. Les élèves de ses cours à l'École polytechnique, officiers du génie ou d'artillerie, ont élevé des magasins, des halles d'une belle simplicité, qui, dans bien des endroits, écrasent, par leur bel aspect, de mauvaises églises ou mairies de villages affublées de colonnes mal à propos employées. Cependant si la convenance détermine les grandes lignes d'un ensemble, on doit avouer que, dans le cas général, il est des parties facultatives; ce sont celles-là qui peuvent être déterminées en vue de la décoration, mais sans jamais empiéter sur la convenance.

UNITÉ.

Nous pouvons considérer comme établie, par le beau passage de saint Augustin que nous avons rapporté, la nécessité de l'unité si évidente par elle-même, c'est-à-dire du concours de toutes les parties pour produire un effet déterminé et ne pas amoindrir l'effet de l'ensemble par des parties de l'œuvre qui détournent l'attention. Toutefois, si, dans le domaine de la pratique, le principe s'applique directement à l'architecture, il

EFERUS - Recherche & Classification numérique

est loin d'en être aussi clairement de même dans d'autres manifestations de l'art, où l'unité peut être sentie mais non démontrée[1].

DES PROPORTIONS.

La condition fondamentale, qui comprend en quelque sorte toutes les autres, consiste à donner aux diverses parties, tant lignes que formes, des proportions constituant l'harmonie; proportions, rapports, que découvre quelquefois le sentiment de l'artiste, que l'on recueille souvent par des observations faites sur la nature animée.

Nous suivrons M. Ziégler (ÉTUDES CÉRAMIQUES) pour l'indication de cette loi fondamentale, à laquelle on donne le nom d'EURHYTHMIE.

« Vitruve nous a transmis cette expression (qu'il définit comme synonyme de proportions), par laquelle les Grecs désignaient une des conditions du beau en architecture.

« L'Eurhythmie ne s'applique qu'à la partie pittoresque de l'édifice, qu'aux reliefs de tout genre susceptibles d'accord, de répétition. Ainsi, d'un certain point de vue général et lointain, la colonnade représente un vaste ornement; c'est une série cadencée, rhythmique, qui s'accorde avec d'autres séries.

« Si j'examine l'ordre dorique grec, qui est le beau simple par excellence, je vois que le rhythme contribue puissamment à la beauté.

« Au-dessus de notes graves, sonores, gigantesques de la colonnade, je suis frappé des divisions rhythmiques de l'entablement, où les triglyphes se succèdent comme les mesures d'une mélodie. J'admire la belle ordonnance des métopes consécutives, la régularité de leurs mouvements périodiques, la proportion des intervalles, la justesse des temps, le parfait accord des parties concertantes, je dis concertantes, car l'Eurhythmie a pour objet « de lier en un concert général les membres et les ornements variés de l'édifice..... »

« De tels effets ne sont pas dus au caprice de l'imagination; ils procèdent d'une science, d'une loi, qui est l'Eurhythmie. Ils expliquent pourquoi la musique entrait dans l'éducation d'un architecte athénien, possesseur des secrètes formules de Pythagore. »

La détermination de ces proportions harmonieuses dans la colonne grecque, dans le groupement de ses éléments, constitue l'ordre dont nous parlerons bientôt.

1. Je comprends, dit Topfer (dans son charmant ouvrage *Réflexions et menus propos d'un peintre Genevois*), que dans un poëme, dans une peinture d'histoire, dans un groupe de statuaire, dans un bas-relief, partout, en un mot, où il y a une action ou une sorte d'action, l'unité puisse se saisir partiellement sous une forme purement rationnelle; mais dans une simple statue, dans l'Antinoüs, par exemple, ou dans la Vénus de Médicis, si l'on préfère, mais dans un simple paysage de Karl du Jardin ou de Potter, mais surtout dans toute composition musicale de Haydn, de Mozart ou de Beethoven, il n'y a nul moyen d'y saisir rationnellement quoi que ce soit qui puisse en expliquer l'unité.

Affirmera-t-on pour cela que, dans ces ouvrages, il n'y a pas et il ne peut pas y avoir d'unité? Ce serait nier la lumière; ce serait plus encore, car ce serait admettre que de débris incohérents il peut naître un ensemble, que de fragments assemblés au hasard il peut résulter une expression, que de pensées sans lien, sans analogie, sans unité en un mot, il peut éclore un poëme!. Si donc l'unité éclate dans une composition de Beethoven aussi bien que dans un poëme épique de Virgile ou du Tasse, et que cette unité n'y soit pas pour une obole rationnelle, qu'est-ce à dire, sinon que c'est ailleurs que dans quoi que ce soit de rationnel qu'on doit la chercher, et que c'est dans le moi seulement qu'on peut en trouver le principe? Le moi seul a pu, indépendamment du raisonnement et par voie d'expansion, en s'infusant dans l'œuvre tout entière, lui imprimer sa propre individualité, c'est-à-dire un mode d'ordre et de relation trop éclatant pour ne pas frapper d'emblée, mais en même temps trop intime et trop mystérieux pour pouvoir être aperçu par l'analyse rationnelle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONDITIONS FONDAMENTALES DU BEAU.

DE LA RÉPÉTITION ET DE LA SYMÉTRIE.

Un fait capital, d'une application de chaque instant dans la pratique de l'Architecture, est la répétition, que l'on peut ériger, à juste titre, en principe d'ornementation. Un objet indifférent, comme un petit cube, étant répété et formant une série, produit un effet agréable dans une moulure : tels sont les denticules. Une cannelure, une feuille, une perle étant répétées, deviennent pour l'architecte des ornements qui tirent toute leur valeur de la répétition.

La répétition est alterne lorsque les parties répétées varient en volume et en étendue, aussi bien par la forme que par le dessin.

Le sentiment, dit M. Garnier, ne peut se manifester librement (pleinement) que lorsqu'il est sollicité par la loi de la répétition. Rien de plus aisé que de trouver de nombreux exemples de la généralité de cette loi. Ainsi, au théâtre, la répétition d'un mot, précisément parce qu'il est attendu, qu'il ne saisit pas à l'improviste le spectateur, le conduit à l'apogée de la gaieté ou de la terreur. Un effet analogue est produit par la vue d'objets matériels.

La loi de symétrie rentre dans la répétition, presque toujours nécessairement symétrique des éléments, qui seule satisfait à l'unité. C'est ainsi que la répétition de deux ailes semblables aux deux extrémités d'un édifice, en attirant également l'œil de l'observateur, le force à embrasser l'ensemble de la construction qui ne lui paraît en équilibre que terminée par deux parties symétriques.

Bien que s'appliquant plus spécialement à l'architecture par leurs indications, ces lois sont vraies pour toute espèce de décoration industrielle, pour les tracés, les lignes de tout genre, aussi bien que pour les formes, et sont les plus importantes parmi les nombreuses lois que l'artiste doit respecter. L'artiste dont nous avons cité plus haut les observations sur les rapports des grandeurs, a voulu indiquer également quelques principes fondamentaux relatifs à l'emploi des couleurs; nous allons encore le suivre sur ce terrain.

LOIS DE LA COLORATION

LOIS DE PROPORTION

Nous avons dit que « les belles proportions, quant aux formes architecturales et céramiques, résultent d'un ensemble où toutes les parties, étant symétriques, doivent en quantités diverses dépendre d'une masse à laquelle elles se rattachent et qui les domine par son volume et son importance. » Il n'y a rien à modifier à ce principe dans son application à la coloration. Les proportions relatives entre les différentes étendues colorées seront d'autant plus nécessaires à observer, que le ton sera plus pur et plus voisin du maximum d'éclat de la couleur. Citant un exemple, il fait observer que la vigueur des tons, des couleurs, y est en raison inverse de l'étendue qu'elles occupent.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« Examinons, dit-il, les productions si variées de l'industrie des étoffes et des papiers peints : nous voyons d'abord un fond dominant; puis, sans considérer aucunement le mérite du dessin, ni la perfection de l'exécution, nous pouvons remarquer qu'il existe des proportions relatives entre les couleurs qui ornent les fonds; qu'elles sont réparties en quantités subordonnées, que l'aspect de ces œuvres plaît d'autant plus que les règles précitées ont été mieux observées. »

LOI D'ASSIMILATION.

La loi d'assimilation est une loi qui permet, indépendamment du dessin et des proportions, de produire un effet harmonieux avec diverses couleurs.

« Un vase, je suppose, doit recevoir des ornements bleus : que le fond en soit d'un gris fin et bleuâtre, que les rouges soient mêlés de bleu comme dans la fleur du glaïeul, que les blancs eux-mêmes, quoique vifs, soient faiblement azurés; la teinte dominante assimilatrice qui est le bleu, pénétrant le fond et les tons superposés, il en résultera la variété, l'unité, l'harmonie. »

LOI DE JUXTAPOSITION.

« L'harmonie peut encore résulter de l'ordre dans lequel les couleurs sont juxtaposées. Il existe donc un ordre naturel, une loi suivant laquelle un certain nombre de pièces colorées, de teintes plates même à leur maximum d'éclat, peuvent produire un accord harmonieux sans recours ni à la hiérarchie des proportions, ni à l'influence d'une couleur assimilatrice, par le seul ordre dans lequel les couleurs seront juxtaposées.

« Cet ordre se révèle dans l'arc-en-ciel, les spectres lumineux qui charment la vue par la disposition des couleurs mixtes; car dans ces deux exemples le jaune est mêlé au vert, le rouge à l'orangé, et le bleu au violet. »

Nous traiterons plus loin, en parlant des applications de la peinture, des effets de contraste et d'éclat des couleurs dont M. Chevreul a formulé les lois dans un travail justement célèbre. Nous dirons seulement qu'un filet noir, placé entre les couleurs, offre un moyen, souvent employé, d'atténuer les effets de la juxtaposition.

DES RAPPORTS EN GÉNÉRAL

Les principes que je viens d'énoncer, pouvant se résumer sous forme de rapports simples, trouvent leur application dans une foule de cas, et on a cherché à les réunir dans des formules comme le faisait Pythagore. Un curieux dessin de Michel-Ange nous initie aux recherches de cet illustre artiste essayant de déterminer les RAPPORTS de longueur existant entre les diverses parties du corps humain : la simplicité de ces rapports est remarquable. Léonard de Vinci a fait un travail analogue; seulement, au

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lieu d'exprimer les longueurs par des nombres abstraits, il les exprimait par des LONGUEURS DE TÊTE. Dans le type de beauté qu'il avait adopté, l'homme a une hauteur égale à huit fois celle de la tête et se subdivise ainsi : du sol au genou, deux têtes; — du genou à la partie inférieure du tronc, deux têtes; — du bas du tronc aux bouts des seins, deux têtes; — des bouts des seins au sommet de la tête, deux têtes.

Des rapports numériques de même ordre existent dans les produits types de toutes les branches des beaux-arts.

Puisqu'on reconnaît dans toutes les BELLES CHOSES l'existence de RAPPORTS SIMPLES, il est logique de se demander si, au moyen d'une formule générale, on pourrait représenter tous les cas possibles de manifestation du beau.

Cette question, M. Lagout se l'est posée, et l'étude des chefs-d'œuvre l'a conduit à ce théorème d'esthétique : DANS LES BEAUX-ARTS (MUSIQUE COMPRISE), LES RAPPORTS LES PLUS SIMPLES PRODUISENT LES SENSATIONS LES PLUS AGRÉABLES.

« L'oreille et l'œil, dit-il, tomberaient en confusion sous l'influence d'une série de notes ou de longueurs qui n'auraient entre elles que des rapports compliqués et dès lors insaisissables par le moyen de nos sens. »

Il n'est pas besoin d'une longue étude pour voir que les facteurs 2, 3 et 5, qui expriment des rapports très-simples, sont ceux que l'on rencontre le plus fréquemment.

Il a tenté par suite de représenter ce résultat par une formule qui comprend ces rapports simples; elle résumerait à peu près tout ce qu'on peut établir dans une voie analogue à celle des sciences, ce qui ne peut évidemment conduire bien loin. C'est, sous un appareil scientifique exagéré, l'énoncé de principes bien simples, que l'homme de goût a toujours présents à l'esprit, qu'il applique, pour ainsi dire, instinctivement.

Un mot sur l'expression des créations artistiques en langage vulgaire, qu'exigerait l'établissement de ces formules. Serait-il rien de plus incompréhensible, de plus fastidieux, de plus inutile? Nous voyons des tentatives de ce genre dans les écrits des critiques, mais ont-ils jamais donné une idée nette d'une œuvre d'art? Cela est impossible. Essayez une analyse en langage ordinaire de l'ouverture de Guillaume Tell et demandez-vous si le lecteur aura la moindre notion de ce chef-d'œuvre? Le lecteur le plus perspicace en saura moins que le plus ignorant qui l'aura entendu et même le plus mauvais musicien qui aura jeté un coup d'œil sur la partition. En un mot la vue de l'œuvre d'art, ou, à son défaut, de sa représentation, est la condition expresse de la possibilité d'une analyse et celle-ci est bien peu de chose en face de cette vue, n'est que la constatation le plus souvent de ce qui saute aux yeux. Ceci était nécessaire à établir pour montrer une des faces de l'utilité du présent travail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉTUDE HISTORIQUE DES ARTS

DES STYLES

D'après la marche que nous venons de suivre, si toutes les lois du beau pouvaient être définies, nous n'aurions plus qu'à étudier l'application de ces lois mathématiques, de ces formules, de ces proportions dans chaque branche particulière de l'art; en un mot, il serait possible de constituer une science positive de l'art dont les limites seraient faciles à déterminer d'une manière absolue. Mais il n'en est nullement ainsi, comme on peut le prévoir d'après le petit nombre de lois générales que nous sommes parvenu à indiquer et qui ne peuvent d'ailleurs, comme on le sent facilement, avoir aucune influence sur le développement des facultés artistiques, de l'esprit inventif, ce qui doit être l'objet principal de l'étude que nous entreprenons ici. Comme il vient d'être dit, la définition des harmonies d'une œuvre d'art ne pourrait être que son insupportable description en langage vulgaire; sa vue, son étude, en apprend bien plus sur son essence propre.

Si l'on remarque que les œuvres qui éveillent en nous le sentiment de ce que nous appelons le beau, étant des créations de notre esprit, ont une relation directe avec la civilisation, les idées qui agitent l'esprit humain à chaque époque, on voit qu'il y a à faire une étude longue et profitable pour comprendre les élégances particulières, les harmonies diverses, mais toutes remarquables, mises en lumière par les maîtres appréciés en chaque siècle. En un mot, il y a une succession historique qui doit être étudiée, qui nous révèle une foule d'harmonies découvertes avant nous; moyen puissant de développer le goût par des comparaisons et des études convenables, qui permet d'arriver à la production d'harmonies nouvelles, quand on a compris et senti d'abord celles si nombreuses et si variées qui ont été découvertes dans la succession des travaux des hommes de génie de toutes les époques et de tous les pays. Ce n'est pas à l'imitation littérale du passé que l'on parvient ainsi, mais à l'intelligence des harmonies que les artistes ont su trouver.

La production du beau étant due surtout à l'initiative, au sentiment de l'art de chaque grand artiste, écho de son époque sans cesser d'être lui-même, sa conception se transforme avec les générations; elle n'est pas progressive, et l'on ne peut, comme dans les sciences, profiter de tous les progrès en ne conservant que les théorèmes nouveaux découverts par nos prédécesseurs. Tandis que les succès de nos études scientifiques, qui augmentent les éléments dont on dispose, nous font pénétrer chaque jour davantage dans la connaissance plus complète des lois de la nature, que chaque recherche

EFERUS - Recherche & Classification numérique

forme un échelon solide qui permet à tous les travailleurs de s'élever plus haut, et que, plus ou moins rapide, la marche en avant est néanmoins certaine, les arts ont au contraire des allures tout à fait irrégulières, les travaux ne s'ajoutent plus les uns aux autres, les décadences sont fréquentes; une période féconde en talents est parfois suivie d'une autre complétement stérile.

En un mot, il s'agit ici de connaissances de l'ordre des sciences morales, et l'étude historique, en attirant notre attention sur des œuvres que nous apprécions avec ce que nous appelons le sentiment du beau, doit donner des résultats aussi nets que ceux que, dans d'autres voies, l'histoire par exemple, nous étudions à l'aide du sentiment du juste.

Insistons un peu sur ce point de vue d'une grande importance et qui donne la vraie raison d'être d'un travail de la nature de celui-ci.

On sait que l'école historique, si justement célèbre en Allemagne, qui a rendu illustres les noms de Savigny, de Niebuhr, etc., et révolutionné les études juridiques, a prouvé surabondamment que l'étude abstraite du droit, en employant une méthode de déduction semblable à celle de la géométrie, ne mène qu'à des résultats de peu de valeur; que chaque cerveau, prenant une vue incomplète du juste pour le juste absolu, arrive bientôt, par des déductions parfaitement logiques, à l'absurde le moins contestable.

Au contraire (et les travaux de l'école historique l'ont également démontré), l'étude historique des institutions, en permettant de comparer, d'étudier les effets des lois les plus diverses chez tous les peuples et dans tous les temps, en forçant de tenir compte de tous les éléments qu'il est impossible de comprendre entièrement dans une analyse, en étudiant des réalités au lieu de suivre des conceptions formées à priori, permet d'entrevoir une image bien plus complète, bien plus nette, de ce juste absolu, divin, que l'intelligence humaine ne saurait jamais parfaitement définir.

C'est de la même manière que les monuments, les œuvres remarquables des diverses époques, forment la véritable école du beau, et que leur étude attentive peut seule permettre d'entrevoir, de développer le sentiment de ce beau divin, qui ne peut se formuler en quelques phrases, résulter de quelques déductions plus ou moins logiques. C'est l'étude intelligente des chefs-d'œuvre, l'analyse raisonnée de chacun, qui devient le but de tout bon ouvrage sur les arts, et nous venons de prouver que c'est la seule méthode qui puisse le rendre utile.

Le résultat principal de l'étude historique des arts, c'est de nous faire concevoir nettement ce qu'on appelle les styles, c'est-à-dire les éléments, les proportions employées à chaque période de civilisation, les harmonies qui ont un rapport intime avec les idées régnantes à chaque époque, exprimées avec les éléments dont on dispose, et dont les variations peu sensibles quand on ne regarde que les transformations successives qui s'opèrent lentement, deviennent très-saillantes dans des œuvres produites à des époques très-éloignées. C'est ce qui va devenir clair par les développements qui vont suivre, et surtout par la vue des dessins des chefs-d'œuvre justement célèbres. C'est ainsi, pour nous borner à deux exemples bien tranchés, qu'on retrouvera facilement dans le Parthénon et la colonne corinthienne quelques relations avec la grâce, l'élégance de la philosophie et du paganisme grec; et dans la cathédrale gothique, l'aspiration vers le ciel, le grandiose du catholicisme du moyen âge.

Pour suivre un semblable développement historique, pour rappeler en quelques mots les grandes époques de l'histoire où la civilisation jetant un grand éclat a dû laisser des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

œuvres considérables, c'est toujours de la Grèce qu'il faut partir ; c'est là que nous trouvons les origines de nos arts, de nos sciences : de la géométrie comme du sentiment de l'harmonie des lignes. C'est en Grèce que les applications industrielles des beaux-arts ont pris naissance en même temps que ceux-ci. L'imagination des Grecs avait ennobli jusqu'aux ustensiles les moins précieux; Athènes fut, pour les fabrications de tout genre comme pour les arts, la maîtresse et la reine du goût. Il suffit de penser un instant au degré si élevé de perfection qu'atteignirent la poésie, l'éloquence, la philosophie aux beaux jours de la Grèce, pour apprécier, quand les chefs-d'œuvre ne seraient pas sous nos yeux, qu'il a dû se produire, à une époque de civilisation si brillante, un admirable développement de l'art. Les produits en durent varier à l'infini dans une société libre, où l'action des citoyens pouvait prendre tout son essor. Ce sont les travaux de tout un peuple d'artistes qui ont engendré les chefs-d'œuvre si variés de l'art grec. On comprend comment la petite ville d'Athènes joua un rôle que son importance semblait lui refuser, lorsque, possédant les plus grands artistes, elle devint par suite la première ville manufacturière de la Grèce.

Il faut observer, toutefois, que, puisque c'est en Égypte que les Grecs avaient puisé la plupart des éléments de leurs arts, l'étude de l'art égyptien doit précéder celle de l'art grec.

Les Égyptiens nous ont laissé des monuments dont les proportions colossales manifestent clairement une étonnante et bien ancienne civilisation, et qui, grâce à leur solidité, nous ont révélé une foule de renseignements sur l'état des arts à cette époque si reculée. A l'opposé de l'art grec, où l'imitation de la nature tint une si grande place, le caractère dominant du style égyptien lui fut imprimé par une théocratie toute-puissante qui rendit immobile cet art grandiose, en assujettissant tout à des règles fixes, immuables.

Après la splendeur de la Grèce vint celle des Romains, qui ne cultivèrent les beaux-arts que lorsqu'ils eurent conquis la Grèce; nation guerrière, ils furent transformés par l'art grec, qui poursuivit son œuvre en initiant ses vainqueurs au goût des arts. Enrichie des dépouilles du monde entier, Rome penchait déjà vers sa ruine, qu'Athènes, Argos, Thèbes, Corinthe, pillées, saccagées, mais toujours peuplées d'artistes, acquéraient, par leurs manufactures, une nouvelle célébrité. Il est juste de dire que si les Romains ont emprunté aux Grecs les principes de l'art et souvent les artistes eux-mêmes, cependant leurs œuvres ont quelquefois un grandiose que n'avaient pas les productions grecques, et qui semblent refléter quelque chose de l'immensité de l'empire romain.

Rome, souveraine du monde, vit concentrer entre les mains de sa puissante aristocratie les richesses du monde entier. Les manifestations les plus éclatantes de l'esprit et de l'art, l'éloquence, la poésie, vinrent s'y donner rendez-vous, comme les beaux-arts cultivés plus souvent par l'esclave grec que par le citoyen romain, et, après avoir jeté un éclat qui fera toujours de cette époque une des plus célèbres dans les fastes de l'humanité, déchurent sous les empereurs par les excès d'une civilisation raffinée, s'épuisant elle-même.

Le déplacement de la capitale de l'empire, la fondation de Byzance, fut le signal

EFERUS - Recherche & Classification numérique

d'une transformation des arts; le goût s'altéra en même temps que le luxe des décorations brillantes, propres à l'Orient, se propagea. Sous Constantin ceint du diadème, vêtu de la robe éclatante des souverains de l'Asie, ce fut l'élément oriental, asiatique, qui triompha de l'élément romain, et créa une industrie dont le rôle fut très-considérable, au milieu de l'effondrement universel. Ainsi l'industrie fut anéantie à tel point en Occident par l'invasion des barbares, que les Mérovingiens, et après eux les princes de la race Carlovingienne, durent longtemps recevoir de l'Orient les meubles précieux, les étoffes et tous les objets de luxe. On allait aussi en Égypte chercher les soieries de l'Asie, qui furent longtemps apportées par les marchands arabes trafiquant avec la Perse, l'Inde et même la Chine.

Le mouvement de transport des arts d'Orient en Occident se prononce d'une manière bien évidente sous le règne de Charlemagne. Ce prince fait venir d'Orient des manuscrits, des objets de toute nature, des armes, des étoffes, et ce n'est véritablement qu'à partir de son règne que l'on voit percer les premiers germes des arts industriels de l'Occident.

Bientôt, sous l'influence de la tradition propre à chaque peuple, combinée avec celle du christianisme, cause de la plus grande révolution morale que la terre ait jamais vue, tandis que se développait le style byzantin à l'Orient, celui-ci, en Occident, devint le style roman. Ce fut par les produits de ce style que les nations qui avaient envahi et détruit l'empire romain commencèrent à faire sentir, sous la tutelle de l'Église, leur tendance à sortir de la barbarie.

Plus tard ces nations abandonnent complétement les traditions de l'antiquité; les grandes cathédrales gothiques sortent de terre et les arts tendent à renaître pour décorer ces gigantesques constructions. On a classé ces productions dans un style qu'on a appelé ogival, du nom de l'ogive, élément spécial à son architecture. A cette époque, où la féodalité était subordonnée à la papauté, pendant la durée de cette puissante théocratie, il devait s'accomplir de grandes œuvres dans cette Europe animée d'une même foi religieuse symbolisée dans de gigantesques constructions, chez ces grandes nations occidentales qui s'éveillaient à une vie nationale ou au moins provinciale.

Lorsqu'au XV^e^ siècle les nations chrétiennes, et surtout les républiques d'Italie, arrivant à un haut degré de richesse, cherchèrent à faire refleurir les arts, elles retrouvèrent la tradition de l'antiquité. Lorsque les Croisés s'étaient précipités sur l'Orient et avaient détruit les restes de l'empire grec, ils avaient rapporté dans leur pays le goût des arts qui s'y étaient maintenus. Les barons normands, qui avaient fondé le royaume de Sicile, prirent à la Grèce l'industrie de la soie qui s'y était conservée, en enlevant des ouvriers et installant de force une colonie en Sicile. Enfin, les Vénitiens, devenus plus tard maîtres d'une partie de l'Archipel, transplantèrent dans leur patrie ce qui existait encore d'art et d'industrie chez les Grecs, éléments qui ont donné à Venise son caractère oriental. C'est avec ces éléments, arrachés à la Grèce, que l'Italie prépara cette grande époque de la Renaissance qui remit tous les arts en honneur.

Les méthodes des artistes grecs se répandirent dans toute l'Italie; ce fut le point de départ de ces écoles illustres qui se formèrent successivement. Vers le milieu du XV^e^ siècle, en 1453, un événement important, la prise de Constantinople par Mahomet II,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donna une nouvelle impulsion aux arts renaissants, en forçant les derniers artistes byzantins à s'expatrier. Grâce à tous ces éléments, grâce à l'enrichissement de la société moderne, le progrès se fit sentir en Italie d'abord, où Venise, Florence surtout, la véritable Athènes des temps modernes, Gênes, etc., étaient arrivées à un degré inconnu jusque-là de richesse et de liberté, puis bientôt dans le reste de l'Europe. La noble protection, le goût éclairé des Médicis, des Sforce, des d'Est, des Maximilien, de Charles-Quint, véritables souverains de leur siècle, et dignes de comprendre les merveilles de l'art, firent bientôt surgir les Masaccio, les Buonarotti, les Raphaël, les Vinci, les Titien, les Benvenuto Cellini.

On sait comment, grâce aux encouragements de François Ier, les arts passèrent de l'Italie en France avec Léonard de Vinci, le Primatice, Benvenuto Cellini, etc., et retrouvant des éléments importants d'une école nationale, dans un pays affolé à son tour par la Renaissance, s'y élevèrent à une grande hauteur; combien fut brillante cette époque pour tous les arts.

Après le xve siècle, il nous faut arriver jusqu'à Louis XIV pour trouver un mouvement, une ère comparable de splendeur dans toute l'Europe, et surtout chez la nation française, qui se sentit appelée à accomplir des œuvres considérables. Les créations de ce règne, héritier de toutes les grandes conceptions de Richelieu, où les hommes éminents semblaient se multiplier, ont un cachet de grandeur qui les fait reconnaître et qui ont donné un type à l'art. On sait toutes les grandes choses qui furent alors créées en France, et comment la profusion des œuvres d'art, la recherche de l'élégance, le raffinement dans la décoration arriva enfin, au siècle de Louis XV, à créer un style, maniéré quelquefois, mais empreint de richesse et d'originalité, qui s'est appliqué heureusement à une foule de produits industriels.

Depuis cette époque, l'Empire, en France, livré à une imitation médiocrement entendue de l'art grec, adopté par une société qui, au sortir d'une longue révolution, ne savait plus où retrouver de traditions, n'a rien laissé de notable dans le champ de l'art; la Restauration elle-même, pendant laquelle le gothique a été surtout glorifié par l'école romantique, n'engendra guère de productions originales que dans le champ de la fantaisie, dans des œuvres secondaires.

Nous arrivons ainsi à l'époque actuelle, à ces cinquante dernières années. Des éléments nouveaux, les progrès de la richesse générale, la multiplication du nombre des propriétaires, la diffusion des lumières, en un mot des besoins nouveaux et des idées nouvelles, ont conduit et conduisent chaque jour à des créations de types inconnus jusqu'ici, qui doivent couronner dignement le riche développement industriel qui caractérise notre siècle, correspondre à la puissance inouïe et nouvelle de nos moyens d'action sur la matière, fournir satisfaction aux besoins d'élégance de millions de familles parvenues à la richesse, qui jadis bornaient leurs efforts à subvenir à leur existence. Il y a pour la France à reproduire, à son profit, le siècle de Périclès, si elle veut se livrer au travail et se placer en tête des aspirations de la civilisation moderne.

Dans cette énumération rapide des époques pendant lesquelles l'art a jeté le plus vif éclat, nous n'avons suivi que les évolutions de la civilisation gréco-romaine dont nous procédons directement. Certes, c'est dans les œuvres produites par cette civilisation que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se rencontrent les principaux types des harmonies qui plaisent le plus à notre goût; mais ce ne sont pas les seules. Les autres civilisations, dans leur plus grand éclat, ont créé aussi d'élégants modèles que l'art industriel s'est empressé d'adopter.

Ainsi nous citerons l'Inde, qui précède peut-être comme antiquité cette Égypte, dont la tradition remonte au delà des plus anciens temps bibliques, et qui a fourni tant de ressources à l'industrie de la Grèce; nous ne devons pas oublier les œuvres de la race arabe, qui, un moment, a menacé d'envahir l'Europe et s'est étendue sur une grande partie du monde, pour y constituer de puissants empires. Les éléments orientaux, qu'elle s'est assimilés, avaient déjà pris une place importante dans l'art de l'empire byzantin; elles les a développés tandis que l'Europe les repoussait. Enfin nous aurons à parler de la Chine, pays si étendu, couvert d'une population compacte, possédant bien longtemps avant nous de puissants éléments de civilisation, l'imprimerie notamment, et qui a cultivé d'une manière bien remarquable certains arts industriels.

Nous aurons donc à étudier, pour chacune des divisions établies plus haut :

L'ART ÉGYPTIEN,
L'ART GREC,
L'ART ROMAIN,
L'ART BYZANTIN, — ROMAN,
L'ART GOTHIQUE,
L'ART DE LA RENAISSANCE,
L'ART SOUS LOUIS XIV ET SOUS LOUIS XV.

Et les manifestations des civilisations orientales et asiatiques, savoir :

L'ART INDOU,
L'ART ARABE, PERSAN, MAURESQUE,
L'ART CHINOIS.

Nous terminerons enfin dans chaque cas par l'ART MODERNE.

Chaque époque de civilisation s'incarne en certains types; c'est ce que nous fera bien sentir l'étude des produits les plus complets de chacune d'elles : nous voulons parler des grands monuments, des créations de l'architecture. Nous y trouverons la traduction des aspirations de chaque siècle, l'indication des éléments adoptés par l'art industriel à chaque époque dans ses diverses manifestations, les mêmes besoins engendrant toujours des manifestations analogues, enfin les caractères particuliers qui constituent ce que nous appelons les styles. C'est ce que nous ferons apprécier dans le chapitre suivant, consacré à l'architecture, à la première des divisions établies plus haut dans l'art industriel; toutefois, dans quelques cas, l'intelligence des styles s'obtiendra plus facilement par la vue d'œuvres moins importantes, où le caractère de l'art à une époque est exagéré. Remarquons que, dans tous les temps, et surtout lorsqu'il s'agit d'ornementation industrielle, presque toujours les artistes croient obéir aux règles de l'art pur, se livrer à l'imitation de la nature, et non obéir à des conventions qui nous paraissent le cachet particulier de chaque style; c'est en général l'avis des contemporains qui voient avec les mêmes yeux que les artistes de leur époque. Ce n'est que plus tard que le style se

EFERUS - Recherche & Classification numérique

révèle : c'est lorsque les artistes se sont mis à suivre des idées différentes de celles qui guidaient leurs prédécesseurs, que le système auquel obéissaient ceux-ci, sans en avoir conscience, devient sensible.

En nous bornant à l'étude sommaire des styles, nous ne prétendons pas qu'elle seule suffise à l'étude historique du beau, et que d'autres recherches soient inutiles. Pour rendre cette étude complète, indépendamment du récit des événements et des idées régnantes en chaque siècle et en chaque contrée, il faudrait définir les idées dominantes dans les diverses écoles, c'est-à-dire chez les groupes d'artistes qui ont préféré certaines formes à d'autres, telles ou telles combinaisons de lignes et de couleurs, telles ou telles manières de faire, aussi bien que décrire l'œuvre individuelle des artistes éminents qui, inspirés par leur époque, ont eu une grande influence personnelle sur les œuvres, le goût de leur siècle, et dont l'histoire se confond presque avec celle du développement de l'art. En effet, c'est l'artiste éminent qui découvre le beau et le fait admirer; il ne dit pas ce que tout le monde sait, mais ce que tout le monde est susceptible de comprendre à l'époque où il vit; ce que chacun croyait savoir déjà une fois qu'il l'a dit[1]. Or cette œuvre complète, encyclopédique, nous paraît immense et à peu près irréalisable : son extrême étendue ferait d'ailleurs perdre de vue l'ensemble et les rapports des diverses parties; aussi l'esquisse seule nous paraît abordable, et c'est à elle que nous bornons nos efforts, supposant connu du lecteur ce que nous serons obligés d'emprunter à l'histoire de chaque époque et de chaque artiste éminent.

1. Dans son rapport sur les applications de l'art à l'industrie (classe 8, Exposition de 1867), M. E. Taigny a fort bien traité la question de l'influence des artistes sur l'industrie, dans un passage que nous rapporterons ici :

« A toutes les époques, l'industrie a été tributaire de l'art, mais l'influence des artistes a été plus ou moins directe selon les temps et la constitution civile des sociétés. On peut dire qu'autrefois la ligne de démarcation entre l'art et l'industrie était plus fictive que réelle, en ce sens que les artistes qui, par goût ou par nécessité, se livraient à l'étude de l'ornementation et des arts du mobilier, ne formaient pas, comme aujourd'hui, une classe absolument distincte et ne se plaçaient pas, dans la composition de leurs œuvres, au point de vue de la reproduction industrielle. On pourrait cependant suivre, pendant toute la période du moyen âge, la trace des corporations qui gardèrent des traditions précieuses et furent de véritables écoles d'art industriel.

« Il ne faut pas oublier aussi que les plus grands peintres et sculpteurs de la Renaissance ne dédaignaient pas de mettre leur talent au service de l'industrie ; mais, outre qu'ils exécutaient la plupart du temps leurs modèles eux-mêmes (tant étaient complètes et variées les ressources de leur génie), leurs œuvres ne s'adressaient qu'à un public d'élite. Il est incontestable également que l'influence des maîtres tels que Raphaël, Michel-Ange, Léonard de Vinci, Benvenuto, Albert Durer et tant d'autres, a régné d'une manière heureuse sur les imitations sorties des mains des praticiens d'un ordre secondaire.

« Sous les Valois et leurs successeurs, l'art français marqua une tendance plus prononcée à se dédoubler, et c'est alors qu'on vit naître quelques écoles qui eurent en vue spécialement l'application du dessin aux arts du mobilier et de la décoration. Ces écoles, qui se succédèrent jusqu'à la fin du règne de Louis XIV, furent l'honneur de nos industries; elles leur donnèrent ces formes variées qui les font reconnaître et imiter. Ducerceau, Marot, Lepautre, Bérain, Gillot, Germain ; puis, plus tard, Blondel, Meissonnier, Roubo, Salembier, de la Fosse, Riesner, Gouttières, ont imprimé à leurs œuvres un admirable cachet de grandeur et d'élégance, qui laisse à leurs successeurs peu de chance d'être originaux.

« Aussi cet héritage est-il lourd à porter. Nos yeux, accoutumés à se fixer sur les modèles d'une civilisation de luxe où la grande délicatesse de la main s'alliait à l'emploi judicieux de la matière, sont devenus difficiles à contenter. Il n'est pas étonnant que les artistes eux-mêmes, charmés par des œuvres qui laissent peu de prise à la critique, aient cherché à se renfermer dans l'imitation du passé plutôt que d'innover. Mais cette imitation peut-elle suffire à l'industrie moderne qui a d'autres besoins à satisfaire que ceux d'une société aristocratique? Les longs loisirs, la certitude d'une vie modeste mais assurée, à l'ombre de quelque protection royale, ne sont plus possibles; le temps presse, il faut produire beaucoup et vite, donner un caractère artistique à des objets souvent grossiers par la matière employée, d'une faible valeur intrinsèque, s'étendant à des besoins sans cesse renaissants, et dont la condition première est d'assurer, par la production, une rémunération suffisante au fabricant ; de là la nécessité et l'accroissement d'une classe spéciale d'artistes, se rattachant à l'art par les principes et les règles de la composition, mais ayant fait une étude spéciale des conditions d'application exigées par la fabrication moderne. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous terminerons chaque division par une revue détaillée des œuvres de l'époque moderne. Les Expositions universelles, en mettant à notre disposition une quantité suffisante de matériaux, nous fourniront le moyen de donner une grande utilité pratique à cet ouvrage, et nous permettront d'indiquer la voie véritable de l'avenir, celle dans laquelle les efforts doivent être dirigés.

Dans l'étude détaillée des produits de l'industrie des diverses nations on doit tenir grand compte des efforts des artistes placés dans des milieux différents, ce qui influe sur les modifications d'un style lorsqu'il se transforme à une époque, parallèlement chez les divers peuples, avec un cachet particulier chez chacun. C'est ce qu'on voit facilement quand on considère les produits si nombreux des grandes industries de puissantes nations, comme celles qui rivalisent avec nous, dont le développement industriel et artistique est considérable. Sous ce rapport, l'Allemagne, où les arts ont pris un grand développement, mérite un place importante, et l'école allemande, le style allemand doit être étudié avec soin. Nous n'avons pas besoin de parler de l'Angleterre, si longtemps en avance sur nous dans la voie industrielle, que la gloire de la France est d'atteindre et de dépasser quelquefois, et qui, dans nombre de produits, a su élever à la hauteur de l'art cette convenance élégante pour laquelle elle a inventé le mot de « confortable; » ni enfin les produits d'autres pays, de l'Italie, notamment, de la terre classique de l'art. Citons encore les pays orientaux, dont certains produits nous surprennent par leur supériorité incontestable, et qui nous offriront dans certaines industries des indications très-précieuses. Tous ces éléments nous permettront d'établir bien nettement l'intéressant tableau de l'état actuel de l'art industriel chez les nations qui excellent dans l'exécution d'un produit quelconque, qui sont supérieures en un point aux autres nations.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION I

ARCHITECTURE

Nous avons dit que l'étude de l'Architecture est particulièrement convenable pour faire apprécier, pour bien définir l'esprit des conceptions de chaque époque, le style qui se révèle clairement à la vue des productions du plus grandiose de tous les arts, de celui qui, en raison de l'importance de ses créations, du grand nombre d'éléments qu'elles nécessitent, réagit le plus sur tous les autres et les transforme sous l'influence de l'inspiration régnante. On le comprend facilement, si l'on réfléchit que le système d'Architecture d'une époque, qui donne la physionomie des édifices destinés à répondre aux aspirations d'une nation, se modifie avec les progrès de la science, les ressources qu'elle offre aux constructeurs, les coutumes régnantes, avec le goût enfin, le sentiment du beau de chaque génération. S'adressant en quelque sorte à toutes les facultés de l'homme, à tous les désirs de la société, pour laquelle il a été construit, le monument traduit fidèlement ses idées, ses aspirations.

L'Architecture est l'expression matérielle des besoins, des facultés et des sentiments du temps où elle est créée. Le style est la forme particulière que prend cette expression sous l'influence du climat, des mœurs et des matériaux dont elle dispose, comme de la science qu'elle peut consacrer à sa traduction en monuments.

Pour montrer quelle netteté les divisions fondamentales par styles acquièrent dans l'Architecture, nous reprendrons notre citation de deux éléments essentiels, bien caractérisés, de deux styles différents, la colonne grecque et l'ogive du moyen âge. Certes, personne ne pourra voir ces deux éléments accolés sans se sentir, grâce à un sentiment instinctif, blessé par une semblable réunion. Or c'est l'intelligence nette des styles difficiles à définir et qu'on est réduit souvent à faire apprécier par le dessin plus que par des analyses, qui peut être le résultat le plus certain de l'étude des monuments de l'art; et ce n'est pas un minime résultat que de les faire apprécier dans une appli-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cation importante, même par les personnes qui, par la nature de leurs travaux, la trouveraient un peu éloignée des cas spéciaux de décoration industrielle qui les intéressent plus particulièrement. Cette étude suffira pour empêcher des réunions d'éléments de styles différents qui, parfois, déshonorent certains produits dont la création a coûté beaucoup de travail. C'est donc en traitant de l'Architecture que nous essayerons de faire sentir, d'indiquer les principes généraux des divers styles, de manière à n'avoir pas à y revenir longuement en parlant des autres produits de l'art industriel.

Les lois de la pesanteur et de la stabilité rendent indispensable en Architecture l'emploi de lignes verticales et horizontales; l'ordonnance des divisions intérieures, comme le travail à l'aide de la règle, exige généralement des surfaces planes, réglées (sur lesquelles s'appliquent des lignes droites), et qui se coupent à angles droits. Des conditions toutes spéciales de la construction résulte le caractère spécial et le plus saillant de l'art architectural, qui, nous l'avons dit, n'est nullement un art d'imitation de formes naturelles, mais un art dont le caractère dominant est géométrique, et qui tire son charme de l'harmonie, des proportions des éléments qui lui sont propres. Sous ce rapport, elle ne donnerait peut-être pas une idée des styles aussi complète que nous l'avons annoncé, si nous ne comprenions ici, sous la même division, la sculpture décorative, annexe si importante de l'Architecture, qui arrive à une imitation, particulière et le plus souvent incomplète, de modèles pris dans la nature vivante.

Si nous avions à traiter ici spécialement de l'Architecture, et non pas plus particulièrement de l'aspect des édifices, nous aurions à tenir compte, dans chaque cas, des éléments qui entrent dans les constructions, de la nature des matériaux qui se trouvaient à la portée des divers peuples et qui ont une relation directe avec les formes qu'il leur fut possible de donner à leurs temples : le granit en Égypte, les marbres en Grèce, etc. Il y aurait aussi à étudier les progrès de la science, des procédés de construction, tels que l'invention de l'arcade, des ciments chez les Romains, l'emploi du fer de nos jours; progrès qui se traduisent par un rapport croissant du vide au plein dans les édifices. Mais tout ceci se rapporte surtout à l'art des constructions, et nous n'avons nulle prétention de faire ici un traité d'Architecture, ni de traiter des questions de convenance dans les divers cas qui doivent tout primer dans cet art industriel.

D'ailleurs, il ne faut pas confondre les aspirations de l'art avec les moyens matériels qui en ont rendu la traduction complète plus ou moins possible. Ces aspirations ont leur cause dans les idées, les désirs de chaque époque, de chaque civilisation, qui agitent l'humanité et inspirent les artistes dont le génie a pû être le plus grand aux époques où l'exécution était la moins facile. Ce serait, en effet, une grave erreur d'appliquer aux œuvres d'art les idées modernes, si souvent exagérées, sur le progrès de l'humanité; c'est seulement dans la puissance de traduire, de matérialiser les idées par des moyens de travail, à l'aide des richesses accumulées, et surtout grâce aux progrès essentiellement continus des sciences mathématiques et physiques, que les nations modernes ont une supériorité incontestable sur celles qui les ont précédées.

Au delà de ce qui préoccupe le génie du constructeur, et sous peine de se destituer, l'Architecture, dit M. Trélat, conduit les formes déduites des lois de la stabilité jusqu'à l'expression harmonique, qui rend accessibles à tous le sens et la valeur propre de ses œuvres. Pour cela, elle fait appel à des ressources ignorées ou négligées de l'ingénieur : les rapports accentués des parties des ouvrages; les relations mesurées des masses, des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pleins, des vides; les jeux de la lumière sur les surfaces; les valeurs de tons; les couleurs; la peinture; la sculpture; puis mille ressources complémentaires qu'elle crée selon les clartés d'expression auxquelles elle veut aboutir. Par un procédé qui lui est commun avec tous les arts, mais qui la distingue essentiellement des sciences appliquées, par un long et persistant tâtonnement de ces moyens, elle cherche, elle trouve, elle fixe les valeurs des parties de son œuvre, valeurs qu'elle compense, pondère, accuse, fait dominer ou éteint, selon le sentiment juste qu'elle veut exciter ou faire prévaloir. La difficile habitude de manier librement ce procédé et ces ressources, la pensée incessante d'en tirer parti pour constituer l'édifice architectural, voilà la condition de l'artiste qui prend le nom d'architecte.

Nous préciserons encore le rôle de l'architecture en donnant un instant la parole, sur cette question, à une voix autorisée, au savant M. L. Reynaud.

« L'architecture, dit-il, est un art sur lequel la science et l'industrie exercent immédiatement une grande influence, puisqu'il leur doit ses moyens d'existence et une partie de son expression; et c'est précisément dans cette dépendance de la matière et des lois qui la régissent, dans cette triple empreinte d'art, de science et d'industrie, qu'elle puise son caractère particulier; et c'est pour cela que ses productions ont eu, à différentes époques, une prédominance réelle sur celles de tous les autres arts. Il existe, en effet, une certaine relation entre les usages, les connaissances et les sentiments de l'humanité aux diverses périodes de son développement. Cette relation constitue une sublime et mystérieuse harmonie, qui est marquée sur tous les travaux de la main de l'homme; mais bien que nous en ayons conscience, nous ne pouvons la lire sur chacun d'eux, tandis que l'architecture a le pouvoir de la résumer et de l'exposer nettement. Les sentiments, les connaissances et les usages se traduisent dans nos édifices par la décoration et les proportions, par la nature et l'emploi des matériaux, par le nombre et la distribution des pièces; la richesse et la grandeur des monuments représentent d'ailleurs la puissance et l'industrie de la nation qui les a élevés. Ainsi, que la distribution soit conforme aux exigences des coutumes, que les procédés de construction soient tels qu'ils sont indiqués par la science, que les proportions et le mode de décoration découlent naturellement des sentiments et du goût de l'époque, et le système d'architecture qui en résultera aura le privilége et la puissance de représenter la société sous toutes ses faces. Il s'adressera à toutes les facultés de l'homme; ce sera, en quelque sorte, une admirable encyclopédie; ce sera l'harmonieux résumé de toute une synthèse.

« Mais il est évident que les hommes ne peuvent ainsi créer la représentation d'une grande synthèse, qu'autant qu'ils ont eux-mêmes conscience de cette synthèse; en un mot, qu'une science générale est nécessaire pour l'établissement d'un système complet d'architecture. Aussi l'architecture n'a-t-elle eu son grand caractère de vérité et d'harmonie générale que dans les époques religieuses. A chaque système religieux on a constamment vu correspondre un système d'architecture qui en a été le symbole et la réalisation matérielle; et l'on a vu constamment aussi ces systèmes se développer ensemble, et périr ensemble; les ruines de l'un semblent ne subsister que pour attester la puissance passée et la chute irrévocable de l'autre. A de pareilles époques c'est dans les monuments religieux que l'architecture atteint son plus haut degré de perfection, c'est pour eux qu'elle semble avoir été créée, et c'est d'eux qu'elle descend aux autres édifices. Alors, en effet, toute science et toute poésie viennent d'un Dieu connu, et tendent à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

remonter vers lui; et les nations consacrent avec bonheur les richesses et les forces dont elles peuvent disposer, pour honorer un principe ou vulgariser une idée morale dans lesquels elles ont foi et amour. Les monuments consacrés à la Divinité sont d'éclatantes expressions des sentiments des peuples; ils répondent à des besoins impérieux, ils sont indispensables; car si on ne peut concevoir de religion sociale sans culte, on n'en peut concevoir non plus sans architecture. Sans doute, des préceptes de morale peuvent être formulés et répandus par la poésie parlée; la peinture et la sculpture peuvent présenter le bien sous des formes séduisantes, se plaire à retracer les actions conformes aux nécessités de l'association. Mais il est nécessaire de bien montrer que toutes ces manifestations de sentiments tendent vers un but unique; il faut un lieu de réunion pour tous ces hommes convoqués à la même pensée; il faut un vaisseau dans lequel retentira la voix de l'orateur ou du poëte, et dans lequel viendront s'encadrer harmonieusement les œuvres du peintre et du sculpteur. C'est à l'architecture qu'il appartient de créer cet édifice; et cette création est tellement grande alors, qu'elle comprend implicitement toutes les autres, qu'elle les inspire et les dirige toutes. Il s'ensuit que l'architecture d'une nation peut atteindre à une très-grande perfection, alors que la peinture et la sculpture de cette nation sont encore dans l'enfance. Ainsi dans l'Inde et l'Égypte antique, ainsi chez les Arabes, au moyen âge. Mais en revanche on peut citer telle époque, où les tableaux et les statues sont des œuvres d'art, tandis que les monuments ne sont plus que des amas de pierres, ne parlent plus à l'imagination des hommes, et ne peuvent plus satisfaire qu'à des besoins matériels. Ce n'est pas que l'architecture, par le développement qu'elle requiert, étouffe ou comprime l'essor des autres arts et les empêche de se produire, ainsi qu'on l'a prétendu. En Grèce, par exemple, tous les arts ont marché parallèlement, et tous sont arrivés en même temps à leur plus haut degré de perfection. Mais c'est que les peintres, les poëtes, les sculpteurs peuvent se révéler et se faire comprendre en tout temps, tandis qu'il faut une ardente croyance pour qu'un architecte puisse manifester la puissance de son art. Les œuvres des premiers se prêtent à des expressions plus diverses et plus spéciales, elles sont plus individuelles; celles du second ne peuvent rendre que des idées ou des sentiments généraux, et appartiennent plus à son époque qu'à lui-même; celles-ci sont en grande partie déterminées par les procédés employés pour les mettre en lumière, celles-là sont complétement indépendantes de ces procédés; en d'autres termes, les unes appartiennent exclusivement à l'art, les autres relèvent à la fois de l'art et de la science. »

Nous compléterons plus loin ce qui se rapporte à la décoration des édifices. La sculpture et la coloration fournissent en effet de grandes ressources pour orner les monuments, à la condition d'être employées convenablement. Nous dirons seulement ici que la grande loi de la décoration, dans l'Architecture, est qu'elle soit en rapport parfait de proportions, d'esprit, avec l'édifice qu'elle doit compléter.

La silhouette, le contour, dit M. Garnier, doit primer les autres qualités du sculpteur dans la décoration sculpturale.

La coloration, la tonalité, la tache doit primer les autres qualités du peintre dans la décoration picturale.

Passons à l'étude des divers styles; nous y trouverons l'application de ces principes, et nous reconnaîtrons l'utilité des divisions que nous avons établies ci-dessus pour l'étude des monuments les plus célèbres, remplissant les conditions de convenance,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

possédant des harmonies spéciales de proportions que nous avons indiquées comme conditions fondamentales du beau.

Nous ne pouvons nous flatter d'indiquer dans chaque cas les rapports d'où résultent les harmonies des diverses parties des édifices; c'est dans les ouvrages spéciaux d'architecture qu'ils peuvent se trouver définis, et encore est-il bien rare que l'analyse en soit complète. C'est surtout par la vue des édifices, c'est en montrant les éléments eux-mêmes qu'on procède le plus souvent; et c'est ce que nous ferons dans le plus grand nombre de cas possibles.

A plus forte raison, comme nous l'avons déjà dit, nous éviterons de développer, dans des digressions historiques, les considérations relatives à chaque monument; nous ne donnerons pas dans ce travail l'histoire de la nation et de l'époque qui les a vus s'élever, de l'artiste qui leur a consacré son talent. Nous n'avons pas cru devoir nous livrer à cette étude curieuse et importante sans doute, mais qui, par ses grands développements, eût rendu difficiles les comparaisons qui doivent faire l'utilité de ce travail.

STYLE ÉGYPTIEN

Les colossales constructions de l'Égypte ont précédé celles de la Grèce et ont eu sur l'architecture grecque une influence incontestable. Elles ont de plus une relation plus ou moins directe avec celles de l'antique Orient qui remontent aux premiers âges de l'humanité. Nous devons donc les examiner en premier lieu, d'autant plus que la solidité incroyable de ces constructions édifiées à l'aide de blocs de granit, souvent d'un volume énorme, leur a permis de résister à l'œuvre des siècles, suffisamment au moins pour nous permettre d'apprécier les conditions auxquelles se conformaient les architectes.

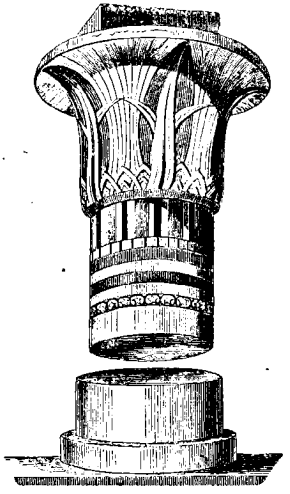
« L'art égyptien, dit Raoul-Rochette, essentiellement symbolique dans le fond comme dans la forme des images qu'il employa, ne fut jamais figuratif qu'autant qu'il eut besoin de représenter des corps pour exprimer des idées. » Dans l'architecture, comme dans la statuaire, des formules consacrées, des principes conventionnels, faisant partie de la religion même, empêchaient l'essor des architectes, auxquels toute espèce d'innovation était interdite, et qui devaient se borner à l'imitation des chefs-d'œuvre les plus remarquables de leurs prédécesseurs. Chose bien inouïe, dans cette civilisation si ancienne, ce sont les œuvres de l'antiquité la plus reculée qui sont les plus colossales, qui exigeaient pour l'exécution le plus de savoir chez les architectes, des moyens plus puissants d'exécution chez les constructeurs.

Le caractère dominant de l'architecture égyptienne, le moyen qu'elle emploie pour satisfaire le sentiment de l'éternelle immobilité, du gigantesque (que l'on sent si bien dans les pyramides), qu'inspirent naturellement les grandes lignes du désert de l'Égypte, consiste dans le placement horizontal de grosses pièces de granit, d'immenses monolithes, sur des supports verticaux. De là résultèrent la plate-bande et bientôt la

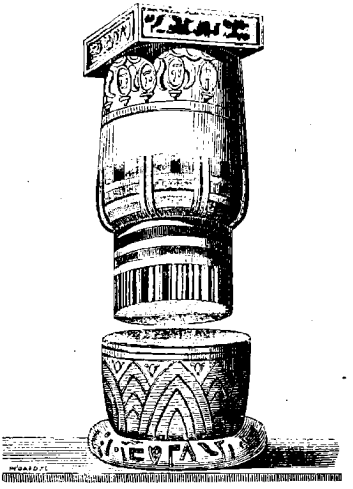
EFERUS - Recherche & Classification numérique

colonne, quelquefois voisine de la colonne dorique grecque, souvent couverte d'une décoration qui ne manque pas d'élégance.

Nous donnons ici deux de ces colonnes qui sont fort remarquables par l'ornementation des chapiteaux et même par leurs proportions, bien qu'un peu lourdes peut-être par comparaison avec les colonnes grecques. La colonne étant par essence l'unité du rhythme, c'est en partant de son diamètre comme unité servant à évaluer les autres parties d'un édifice, qu'habituellement on cherche à calculer les proportions, à reconnaître l'harmonie mathématiquement. On peut trouver dans les planches du grand ouvrage de l'expédition d'Égypte les dessins complets des principaux temples, à l'aide



1. Chapiteau égyptien.



2. Chapiteau égyptien.

desquels pourraient s'obtenir les éléments de semblables rapports. Nous allons voir bientôt, en traitant du style grec, comment ces éléments sont liés entre eux dans les constructions grecques; ce qui explique l'importance attachée habituellement à la colonne dans les études d'architecture[1].

Pour donner idée de l'aspect extérieur des temples[2] (les colonnes ne figurant en général que dans les intérieurs), nous donnons la vue du temple de Karnac, une des

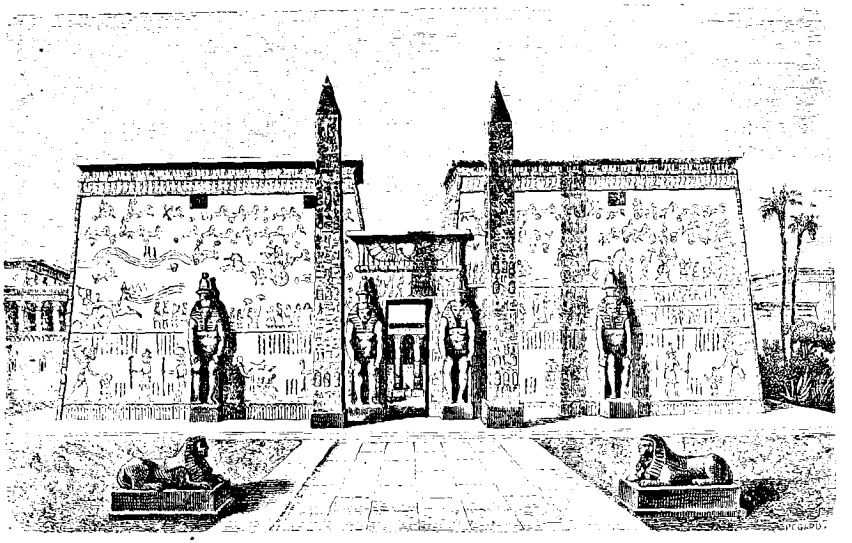
1. En architecture, dit Donaldson, on doit entendre par ordre, non pas tant la colonne et l'entablement qu'elle porte, qu'un principe reconnu de décoration, un arrangement systématique, une certaine proportion caractéristique qui embrasse non-seulement la colonne et l'entablement, mais aussi tous les autres accessoires d'un édifice et tous les moindres détails de chaque partie.

L'architecte anglais se place à un point de vue qui nous semble être le véritable; c'est par suite de la grande part donnée à l'art grec dans l'enseignement de l'architecture, que la colonne qui y tient une grande place, étant devenue le type de l'ordre, s'est même à tort confondue avec lui.

2. Les monuments les plus remarquables qui subsistent encore en partie, dans l'ancienne Égypte, sont les Pyramides; — le Sphinx gigantesque; — le Temple de Karnac; — le Rhamnesséum, tombeau de la dynastie de Rhamsès; — Ipsamboul, en Nubie, taillé dans le granit; — Medinet-Habou; — le Temple de Philæ (de l'époque des Ptolémées), dont on a vu une reproduction à l'Exposition de 1867, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

merveilles de l'Égypte, qui, avec les divers exemples du produit de l'art industriel que



3. Temple de Karnac.

nous rencontrerons plus loin, pourra donner une idée assez nette du style caractéristique de l'art dans cette antique et curieuse civilisation.

STYLE GREC

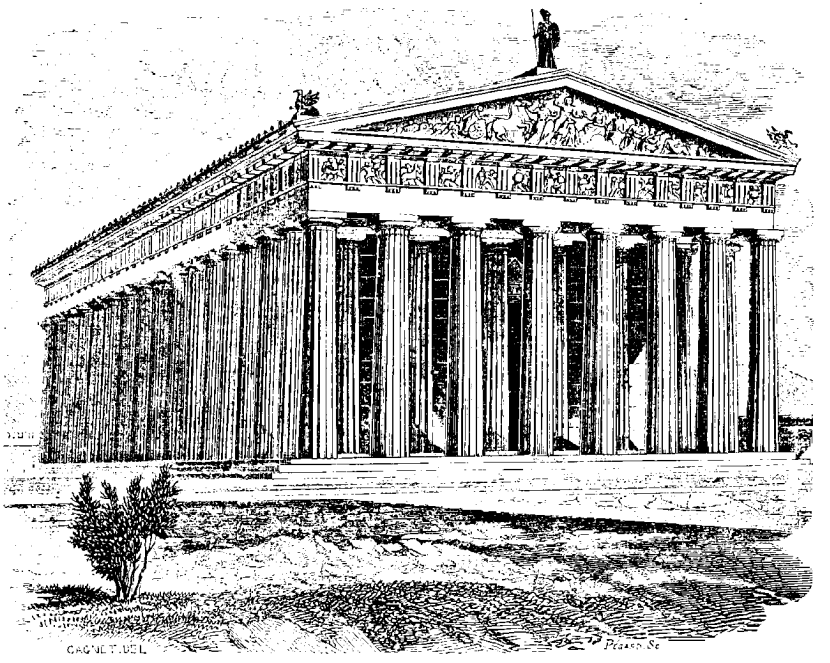
Les Grecs furent les premiers architectes de l'antiquité. Bien que ne disposant que des ressources des Égyptiens, c'est-à-dire ne sachant construire qu'avec des pierres horizontales placées sur des supports verticaux (en employant toutefois de plus, dans les intérieurs, des pièces de bois qui, par leur longueur, leur ont permis d'obtenir des résultats tout différents), ils couvrirent leur pays de chefs-d'œuvre qui sont restés des types immortels du beau, qui ont conservé la même supériorité que les chefs-d'œuvre de leur sculpture et de leur poésie; et plus tard ce furent des architectes grecs qui construisirent la majeure partie des monuments de Rome.

Ce qui fit la supériorité de l'art grec dans les édifices construits pour un polythéisme qui était la déification de toutes les nobles aspirations, ce fut un sentiment admirable des proportions les plus heureuses des divers éléments de l'architecture, la juste appréciation de l'harmonie des grandes lignes de constructions, qui formaient une base d'une grande élégance pour supporter les sculptures, les bas-reliefs qui venaient les décorer.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La couverture des édifices grecs a une inclinaison modérée, les détails sont fins et nettement accusés, les oppositions nombreuses. Jamais on n'a mieux compris la loi et l'harmonie des contrastes. En un mot, l'élégance d'éléments de dimensions assez restreintes, en rapport avec la grandeur des végétaux de la Grèce les lentisques et les orangers, une décoration d'un goût et d'une exécution admirable tels sont les principaux caractères de cette belle architecture.

Nous donnons ici le chef-d'œuvre de l'art grec, le Parthénon[1], ce temple de Minerve,



4. Parthénon.

construit sous Périclès, dont les débris mutilés excitent encore l'enthousiasme des voyageurs. C'est le plus beau type qui puisse être offert de l'architecture qui nous rappelle la plus brillante civilisation, ce siècle de Périclès, de Socrate, de Phidias, d'Alcibiade, etc., qui, à la fois, dans l'art et l'industrie, l'éloquence, la philosophie, a pu être égalé, mais jamais surpassé.

Les colonnes de ce temple appartiennent à l'ordre dorique, qui a un caractère spécial de noblesse et de sévérité. Ces colonnes sont dépourvues de base, leur fût est orné de cannelures larges et peu profondes, le chapiteau est composé d'une grande moulure en forme de coupe, reposant sur deux ou trois petits filets, et surmontée d'un tailloir en

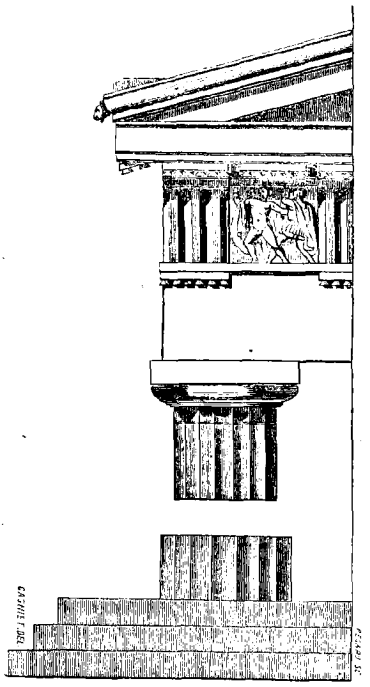
1. Les monuments les plus précieux des beaux temps de la Grèce dont il nous soit parvenu des débris un peu considérables, sont: le Parthénon, dont Ictinus et Callicrates furent les architectes; les Propylées; — le Monument choragique; — le Temple d'Égine.

Le Temple de Pæstum dans la grande Grèce, dont les ruines sont si belles, est tout à fait d'architecture grecque.

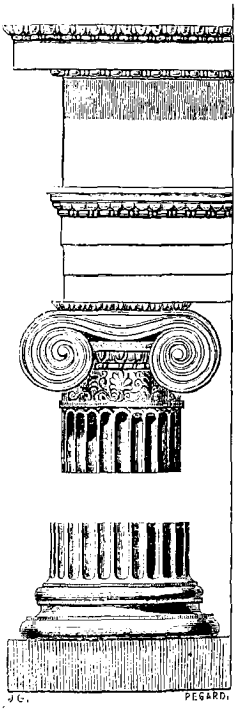
EFERUS - Recherche & Classification numérique

forme de table carrée. Les triglyphes, ornements cannelés simulant des extrémités de solives, que l'on voit dans la frise de l'entablement, appartiennent exclusivement à cet ordre. Nous donnons ici le détail de la colonne et de l'entablement de l'ordre dorique, sur une échelle assez grande, pour en faire bien apprécier les détails.

L'importance des proportions de la colonne, des dimensions de ses diverses parties calculées en fractions de son diamètre, calcul à l'aide duquel on a cherché à surprendre la science des architectes grecs, en déterminant par le même procédé toutes les parties avoisinantes, et par suite de proche en proche, presque toutes les proportions des édifices, a fait donner le nom d'ordre aux colonnes. Nous donnons ci-dessous un exemple



5. Colonne dorique.



6. Colonne ionique.

de ce mode de détermination. Mais nous pensons qu'il vaut mieux s'en tenir à la définition de l'ordre que nous avons donnée plus haut; c'est la seule applicable à tous les cas. Quoi qu'il en soit, il importe de parler ici des deux autres genres de colonnes des temples grecs, des deux autres ordres qui ont été si souvent imités.

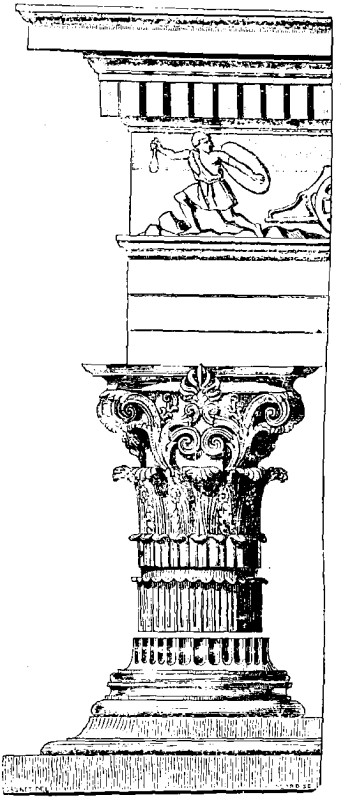
L'un est l'ordre ionique, différent du dorique par ses proportions plus légères, par des détails plus fins, par l'emploi des bases, par la forme de son chapiteau, qui est beaucoup plus allongé et orné à ses angles de grandes volutes; dans la frise de cet ordre commencent à paraître les sujets continus qu'on ne rencontre que par exception dans l'ordre précédent.

Enfin le corinthien, dû, dit-on, à Callimaque, forme le troisième ordre. La colonne

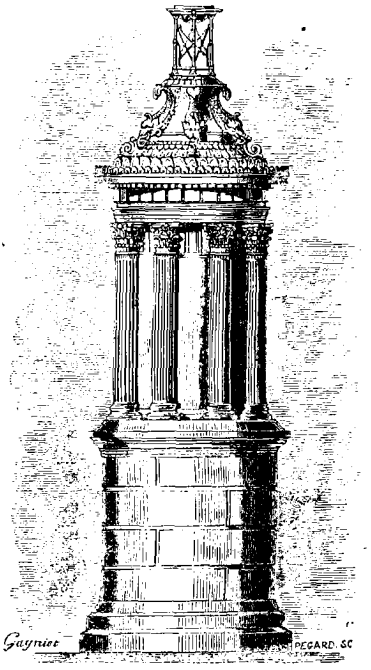
EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'allonge davantage, le chapiteau est plus élévé que dans l'ordre ionique et s'épanouit en forme de corbeille; la végétation la plus riche et la plus légère vient se mêler aux formes de ce dernier pour les décorer par des courbes gracieuses. Le tailloir du chapiteau cesse d'être carré pour prendre une forme curviligne, la frise est ordinairement ornée de feuillages enroulés et les ornements se multiplient[1].

Pour faire apprécier comment les Grecs savaient employer à propos cette colonne,



7. Colonne corinthienne.



8. Monument de Lysicrate.

nous reproduisons ici le monument choragique (du chef des chœurs) de Lysicrate que l'on voit encore à Athènes, et dont l'élégance et la légèreté sont vraiment admirables.

1. Une jeune fille de Corinthe, dit Vitruve, étant morte au moment où elle allait se marier, sa nourrice recueillit dans une corbeille plusieurs petits objets auxquels elle avait été attachée pendant sa vie. Pour les mettre à l'abri des injures du temps et les conserver, cette femme couvrit la corbeille d'une tuile et la posa ainsi sur le tombeau. Dans ce lieu se trouvait, par hasard, la racine d'une plante d'Acanthe; au printemps, elle poussa des feuilles et des tiges qui entourèrent la corbeille. La rencontre des coins de la tuile força leurs extrémités à se recourber, ce qui forma le commencement des volutes. Le sculpteur Callimaque, passant près de ce tombeau, vit le panier, et remarqua la grâce avec laquelle ces fleurs naissantes le couronnaient. Cette forme nouvelle lui plut; il l'imita dans les colonnes qu'il fit par la suite à Corinthe, et il établit, d'après ce modèle, les proportions et les règles de l'ordre corinthien.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Sa hauteur est de deux diamètres, prise sous la cymaise de la corniche; la hauteur de la base est de trois demi-diamètres.

Il nous resterait à donner les nombres qui fixent les rapports de la hauteur et du diamètre des colonnes des divers ordres. Bien que reproduits imperturbablement dans tous les traités d'architecture, les rapports donnés par Vignole entre le diamètre de la base et les diverses parties de la colonne sont contestés aujourd'hui, comme ayant été obtenus en arrondissant les chiffres. Ziégler, après Vignole, pense avoir trouvé dans le diamètre moyen (moyenne entre le diamètre du haut et celui du bas de la colonne, toujours de forme plus ou moins conique) la véritable unité. Ainsi, sur une colonne dorique, il a trouvé, en divisant en douze parties ce diamètre moyen :

Diamètre supérieur, 10. — Diamètre moyen, 12. — Diamètre inférieur, 14 — Et pour les autres dimensions qui s'en déduisent : Hauteur du fronton, 28 douzièmes. — Entre-colonnes, 16 douzièmes. — Frise, 12 douzièmes. — Architrave, 8 douzièmes. — Larmier, 3 douzièmes. — Cymaise, 3 douzièmes. — Chapiteau, 6 douzièmes.

Nous ne parlerons pas ici des imitations si nombreuses du style grec qui ont été tentées dans les temps modernes et dans divers pays. Nous dirons seulement qu'en général, le plus grand défaut de ces imitations est d'avoir exagéré les proportions des monuments, de telle sorte que les effets se sont trouvés tout différents, et que, par exemple, l'église de la Madeleine, à Paris, peut être à peu près semblable au Parthénon, mais tellement grossi qu'il est devenu méconnaissable.

Nous compléterons, à ce propos, nos observations sur la question de l'imitation des styles qui n'est pas toujours à repousser comme on le pourrait conclure de ce que nous avons dit précédemment.

L'époque à laquelle chaque monument d'un style déterminé a été construit permet, en général, de déterminer facilement les idées qu'il était destiné à traduire, et, par suite, les circonstances où les études de ce style peuvent trouver une application convenable. Lors donc qu'une œuvre est à réaliser sous l'inspiration d'idées qui ont eu toute leur glorification à des époques antérieures à la nôtre, l'imitation bien comprise peut devenir parfaitement convenable; c'est ainsi, pour prendre le premier exemple qui se présente à notre esprit, qu'en orfévrerie il serait absurde de faire un reliquaire autrement qu'en style gothique, rappelant ceux qui, pendant tout le moyen âge, pendant la plus grande splendeur du catholicisme, ont orné les cathédrales.

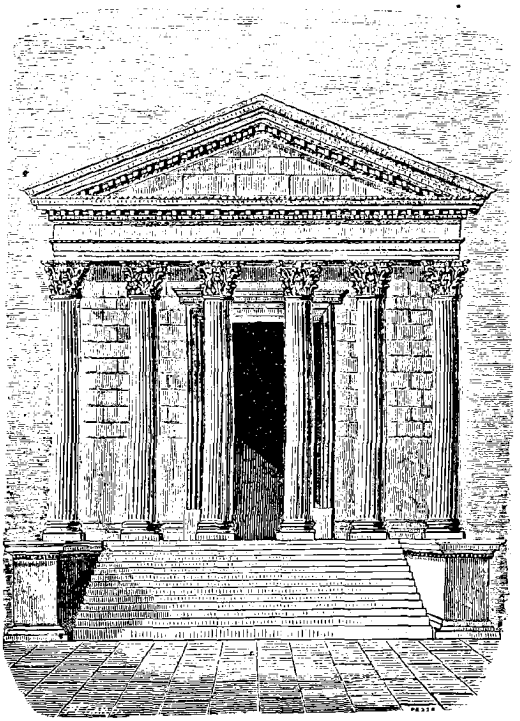
Pour le style grec, outre que fondé sur les principes géométriques de la construction, il forme naturellement une grande partie de la plupart des styles des époques postérieures, on pourrait de même trouver des exemples où sa reproduction absolue serait convenable pour un monument destiné à rappeler l'élégance, le goût des arts de la Grèce. Nous citerons comme excellente application la Glyptothèque de Munich, charmant monument grec destiné à contenir les chefs-d'œuvre de la statuaire, et où se trouve l'admirable bas-relief qui décorait le fronton du temple d'Égine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE ROMAIN

Rome reçut des Étrusques, qui étaient eux-mêmes, tout porte à le croire, une colonie grecque, les premiers principes de l'art; toutefois la voûte qui apparaît dans les édifices est l'élément d'un art arrivé, sans secours étranger, à un assez haut degré de perfection. La voûte, en permettant d'espacer les points d'appui et d'employer de petits matériaux, a été un très-grand perfectionnement technique qui a été apporté à l'art des constructions, et c'est dans l'architecture romaine qu'elle fut employée pour la première fois pour de grands édifices.

Dès le temps de Sylla, les Romains commencèrent à imiter les Grecs, à se parer des



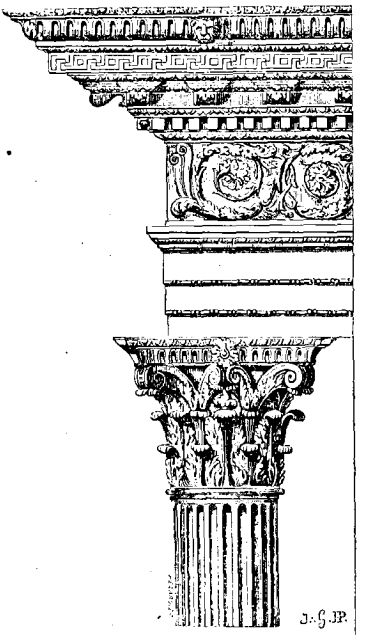
9. Maison Carrée de Nimes.

dépouilles de la Grèce; ce fut aux architectes grecs que Rome eut recours pour élever des monuments qui eurent, par-dessus tout, le cachet de cette origine. Toutefois, il faut observer que les constructions tendirent à grandir; les monuments perdirent un peu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la finesse et de l'élégance de ceux de la Grèce qui les avaient inspirés, comme les traditions de ce pays avaient complété, embelli la religion des Romains ; mais, comme dans la plupart des emprunts faits par le peuple conquérant, les édifices, en prenant de plus grandes proportions, eurent chez les Romains un caractère plus grandiose.

Nous donnons ici le dessin d'un monument romain vraiment éclairé d'un reflet de l'art grec, la Maison Carrée de Nîmes, un des édifices les plus élégants construits par les Romains dans les Gaules, et qui, par ses dimensions, rappelle tout à fait un temple de la Grèce. Les détails des ornements du chapiteau et de la frise sont bien peu différents du corinthien grec. Nous les représentons dans la figure ci-jointe, qui montre ces



10. Colonne et chapiteau de la Maison Carrée.

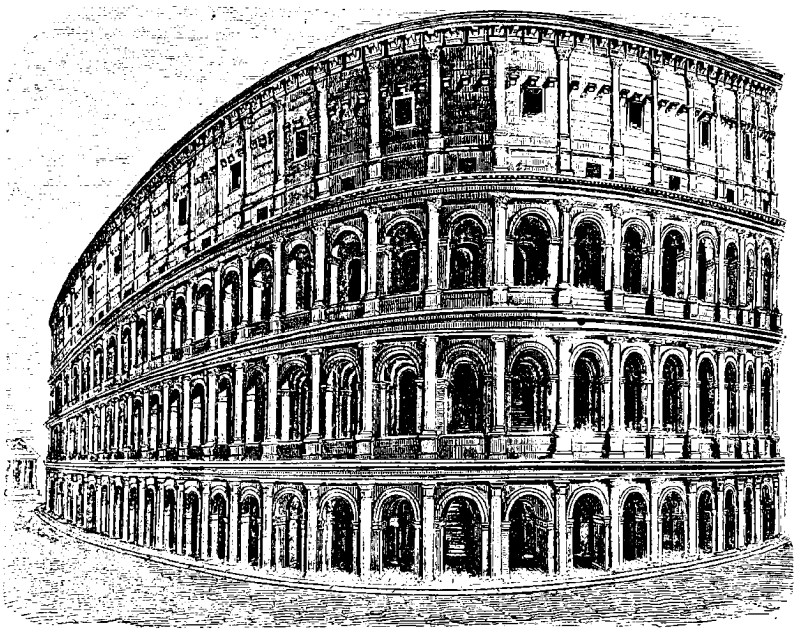
différences et aussi la fermeté, la pureté de la sculpture décorative de ce charmant reste de l'antiquité.

Nous ne dirons rien de l'ordre composite attribué aux Romains, qui n'était qu'une modification du corinthien, ni du toscan, si lourd et si écrasé. Au point de vue de la décoration, l'art romain ne se sépare guère de l'art grec que par l'emploi fréquent de feuillages enroulés.

Les moyens de construction des Romains ne furent pas limités à ceux que possédaient les Grecs : comme nous l'avons déjà dit, les Étrusques leurs fournirent un nouvel élément, la voûte, qui leur permit d'exécuter des travaux admirables au point de vue de l'ingénieur, des ponts complétant ces admirables voies romaines qui étaient leur grand moyen de domination du monde entier, des aqueducs pour amener de l'eau dans les villes. Au point de vue de l'aspect des constructions, ce nouvel élément fournit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des effets très-heureux, surtout au point de vue de la grandeur, effets qui se retrouvent dans la plupart des édifices postérieurs où l'on a utilisé ce progrès de la science. On trouve à Rome plusieurs monuments qui empruntent à cet élément un caractère tout particulier. Nous citerons le Colisée, immense amphithéâtre pouvant contenir



11. Colisée.

cent mille spectateurs; les piliers des arcades y sont accompagnés de colonnes des trois ordres grecs, employés en raison de la hauteur de chaque partie de l'édifice. Ce genre de décoration rappelle bien l'empire romain, c'est-à-dire une époque de richesse où l'on savait réunir les moyens d'ornementation déjà trouvés, mais où l'esprit créateur faisait défaut.

Les admirables débris qui subsistent encore de nos jours de grandes constructions des Romains[1] montrent les progrès qu'ils avaient faits dans la découverte de ciments d'une admirable solidité, et qui leur permettaient de réussir dans des travaux dont la grandeur excite une juste admiration. Le plus extraordinaire sans contredit, sous ce rapport, est le Panthéon d'Agrippa, recouvert d'une coupole qui, grâce à l'excellence de ces matériaux, ne forme qu'un seul bloc qui a résisté aux ravages du temps. Bien probablement cette coupole, dernier degré de la science de la construction des voûtes, a été le modèle

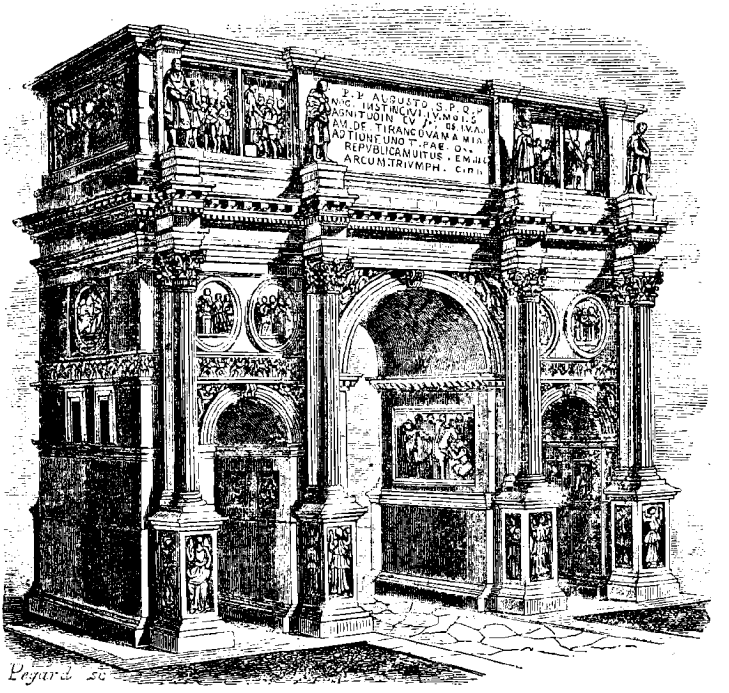
1. Les monuments remarquables qui nous restent des Romains sont nombreux Outre les exemples ci-dessus, nous citerons :

La Cloaca Maxima, ou grand égout formé de trois étages de voûtes et construit par Tarquin l'Ancien; — le Panthéon d'Agrippa; — la Colonne Trajane; — le Colisée; — le Tombeau d'Adrien, aujourd'hui château Saint-Ange; — les arcs de Constantin, de Titus, de Sévère.

En France. — A Nimes : Maison-Carrée; — Arènes; — Pont du Gard. — Les arcs de Triomphe d'Orange. Arles, Nimes, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

originel des dômes qui, comme nous allons le voir, ont joué un grand rôle dans les belles constructions inspirées par le catholicisme, lorsque les architectes voulurent ne pas s'éloigner de la tradition classique.



12. Arc de Triomphe de Constantin.

L'arc de triomphe de Constantin, un des mieux conservés, nous montrera encore une des heureuses applications des constructions voûtées à des monuments d'une grande élégance.

STYLE BYZANTIN, ROMAN

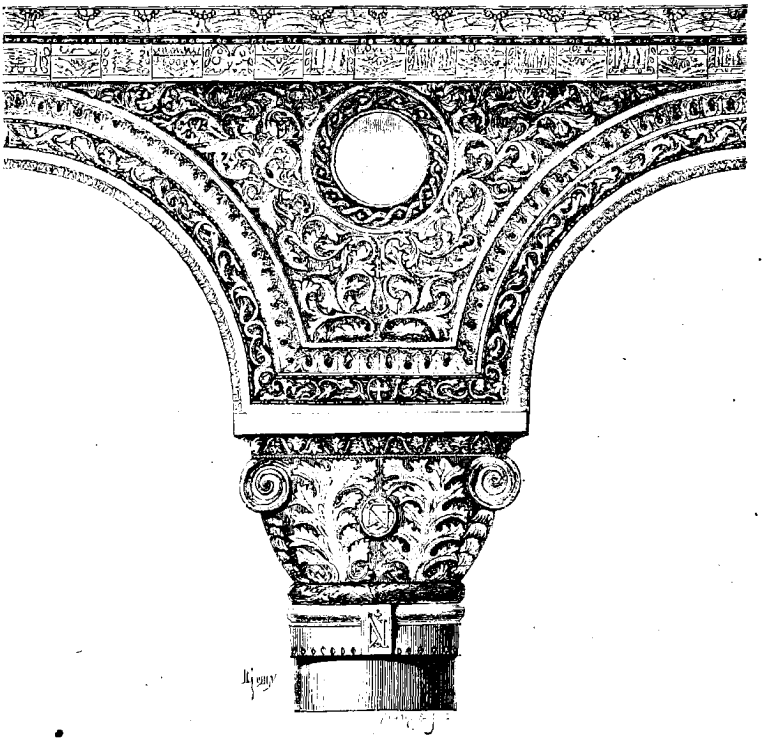
L'altération du style romain, lorsqu'il fallut construire les églises que réclamait le culte chrétien, satisfaire à ses tendances mystiques, conduisit à deux styles d'architecture, par l'effet de deux influences réagissant l'une sur l'autre, celle de l'empire d'Orient, celle des nations du Nord.

L'abandon presque absolu de l'architrave, l'emploi constant de l'arc reposant sur des colonnes, celui du dôme placé au centre des édifices religieux, sont, avec la profusion

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la dorure, de la mosaïque, des peintures sur fond d'or, les caractères distinctifs du style byzantin, où se rencontrent bien des éléments orientaux que l'on retrouve dans le style arabe. C'est au style byzantin oriental que se rattachent les monuments qui donnent à Venise un cachet si extraordinaire de richesse et de splendeur.

« L'arcade, dit Vaudoyer, qui était devenue l'élément dominant de l'architecture romaine, était cependant restée assujettie aux proportions des ordres grecs, dont l'entablement lui servait d'accompagnement obligé, et de ce mélange d'ornements si divers était né le style mixte, qui caractérise l'architecture gréco-romaine. Or les chrétiens en dégageant l'arcade, en abandonnant l'emploi des ordres antiques et en faisant de la colonne le support réel de l'arc, ont posé les bases d'un nouveau style, qui conduisit à l'emploi exclusif des arcs et des voûtes dans les monuments chrétiens. C'est l'église de Sainte-Sophie, à Constantinople, bâtie par Justinien, au milieu du sixième siècle, qui



13. Sainte-Sophie.

nous offre le plus ancien exemple de ce système de construction en arcs et en voûtes, dans une église de grande proportion. »

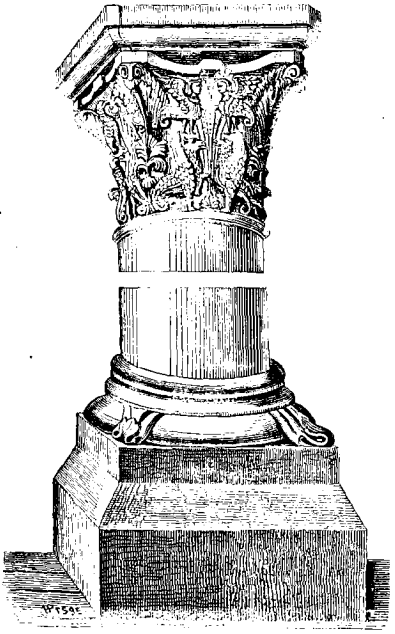
Le tympan de Sainte-Sophie, représenté figure 13, peut donner une idée du genre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

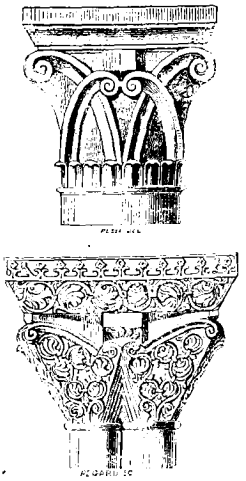
de colonnes et de la riche décoration de ce monument, qui est sans contredit le chef-d'œuvre du style byzantin.

L'élément asiatique qui s'introduisit complétement dans les constructions de Byzance tendait déjà à se faire place sous l'empire romain. « Ce n'est pas d'aujourd'hui, disait Quintilien, qu'existe la distinction entre le style « asiatique » et le style « attique : » celui-ci serré, pur et sain, celui-là enflé et vide; l'un n'admettant rien de superflu, l'autre manquant surtout de goût et de mesure. »

A l'Occident, ce fut dans le style latin adopté par l'Église latine, et qui ne consistait guère qu'en une application imparfaite de la tradition romaine, que vers le dixième siècle, et sous l'influence de l'admiration des raffinements de l'empire d'Orient, les nations occidentales tendirent à manifester quelque peu leur individualité par l'architecture. Elles y réussirent, autant que le permit l'Église, par la constitution du style roman, qui a toujours conservé l'arc en plein cintre et a produit plusieurs édifices remarquables, qui se sont en général bien conservés, grâce en grande partie à l'excès de solidité des murs et au diamètre généralement exagéré des colonnes.



14. Colonne romane

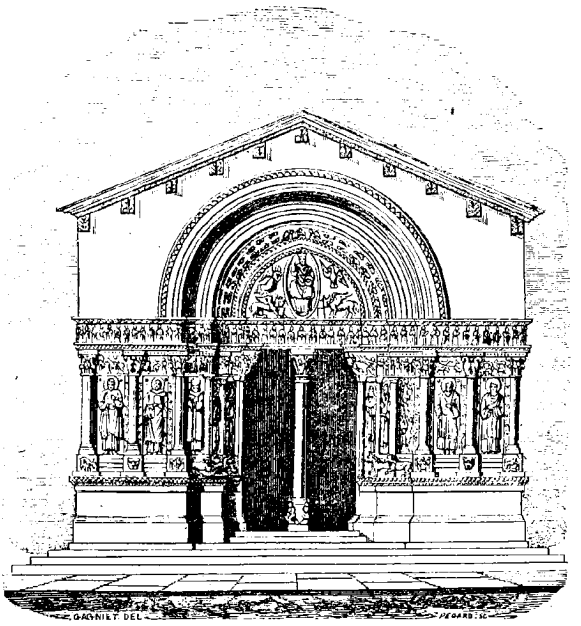


15. Chapiteaux romans. 16.

Ces colonnes, en général massives, reçurent des ornements variés, en zigzag, en forme de câbles, de torsades, de pointes de diamant, d'étoiles, et prirent un caractère spécial par la variété des combinaisons géométriques, la répétition multiple des petits ornements. Des animaux, des feuillages vinrent quelquefois figurer dans les chapiteaux. Les figures de celles que nous reproduisons ici donneront une idée de leur décoration.

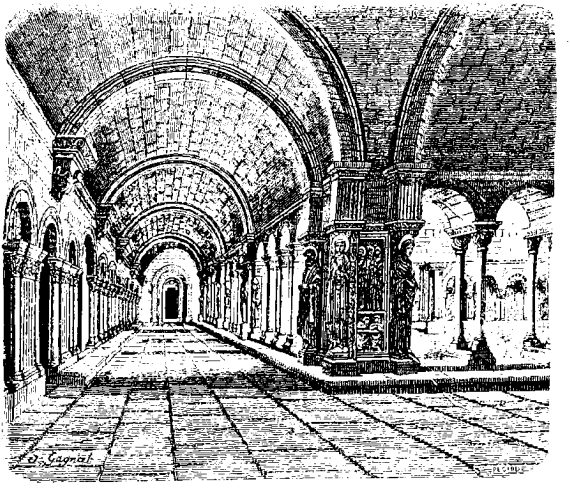
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme type du genre roman, dans son alliance avec la tradition, c'est-à-dire à bien



17. Façade de Saint-Trophime.

peu près byzantin, nous avons représenté une construction du midi de la France, où

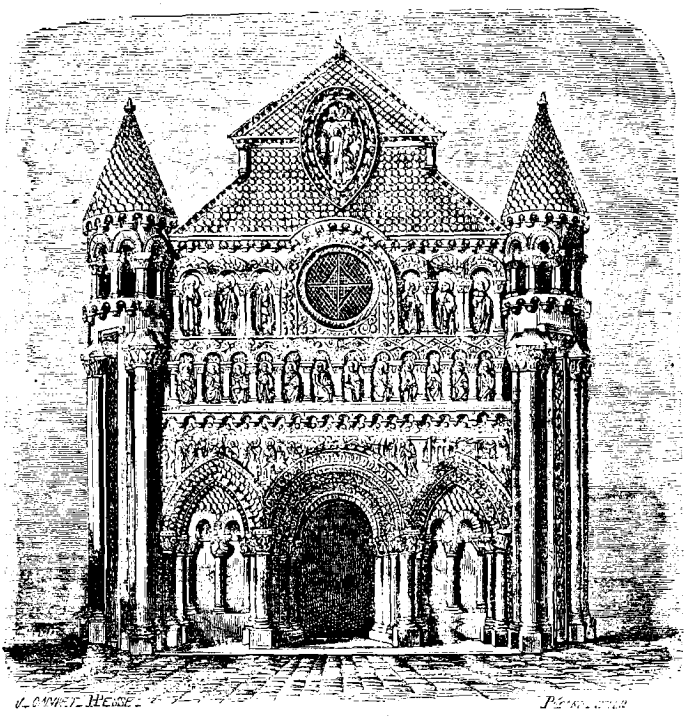


18. Intérieur du cloître de Saint-Trophime

les traditions de l'art gréco-romain ont toujours subsisté : le cloître de Saint-Trophime, d'Arles, dont la première figure représente la porte, et la seconde la cour intérieure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Comme s'éloignant bien davantage de la tradition gréco-romaine, nous donnerons la façade de Notre-Dame de Poitiers, célèbre à bien juste titre. C'est assurément le monu-



19. Notre-Dame de Poitiers.

ment de notre pays qui convient le mieux à tous égards comme modèle, car il comprend tous les éléments de décoration des façades romanes du douzième siècle : une porte en plein cintre reposant sur de fortes colonnes, une rosace centrale avec des meneaux figurant les raies d'une roue; des arcatures formées par la rencontre de deux arcades non percées; une façade décorée de petites arcades en plein cintre ornées de statues de saints.

Les travaux du style roman furent soumis aux autorités et aux traditions de l'Église, et, par suite, s'ils s'exécutèrent d'une manière d'abord très-remarquable pour l'époque, ils progressèrent lentement; les artistes ne purent donner aucun essor à leur génie. L'intervention de l'Église se fit jour, par l'action des couvents et de la franc-maçonnerie, qui, partant de la Lombardie et de Rome, devait naturellement faire construire des édifices qui se rattachaient à la tradition romaine, dont le style était le style romain altéré.

L'art chrétien, combiné avec les tendances des races germaniques, se fit cependant place dans ce style, surtout en cherchant à intéresser le sens moral bien plus qu'à flatter le sens physique. La grandeur, l'élévation qu'on donna aux églises pour diriger les idées vers le Ciel (tendance que l'état de la science des constructions ne permettait pas

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de contenter à l'époque des constructions romanes, et qui a engendré le gothique ogival dont nous parlons ci-après), la reproduction des légendes des propagateurs de la foi, les images de pieux solitaires exténués par le jeûne et les macérations, couronnés de saintes auréoles; tels sont les points de départ, les éléments traduits par les architectes à cette époque. Le symbolisme s'introduisit de toutes parts dans la décoration et y occupa une place considérable. Dans l'ornementation de ce style, il faut tenir compte de la peinture qui couvrait les voûtes, des mosaïques, des vitraux de couleur prescrits par Charlemagne pour les églises de son vaste empire.

D'après ce qui précède, on voit que, sous le nom de byzantin roman, nous comprenons plusieurs styles voisins qui ont inspiré les architectes pendant plusieurs siècles :

1° Le byzantin[1];

2° Le latin, très-voisin du style romain de la fin de l'Empire;

3° Le roman[2];

4° Le roman de transition, qui tend au style ogival.

STYLE GOTHIQUE OGIVAL

Le style ogival fut définitivement constitué sous saint Louis, à cette époque de splendeur de l'Église catholique; dès lors toute tradition de l'antiquité fut oubliée, et un nouveau style d'architecture fut créé, qui se caractérisa par l'abandon du plein cintre et l'adoption de l'ogive comme élément essentiel; ogive qui, comme les flèches nombreuses dont on orna les parties supérieures des édifices, paraît provenir de l'Orient, du Sarrasin.

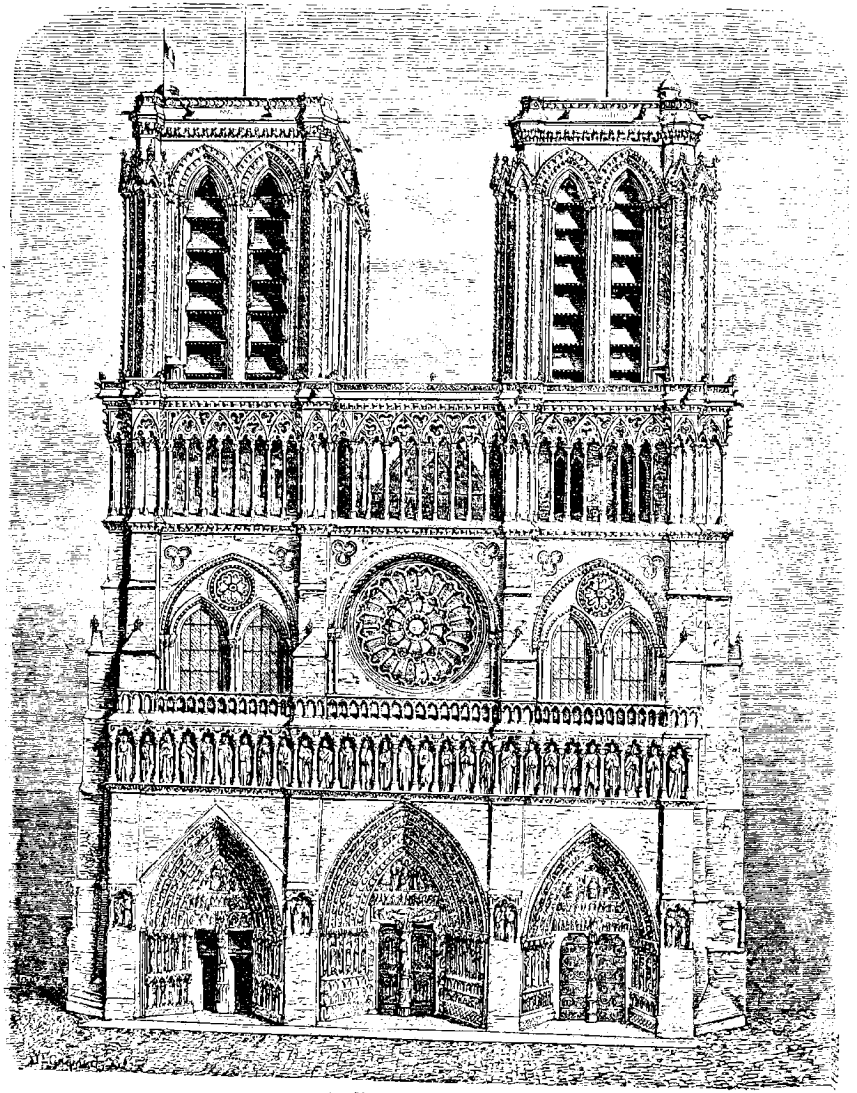
L'aspiration vers le grandiose, le désir de donner aux monuments une élévation extraordinaire, aux voûtes une hauteur qui excitât l'étonnement, l'admiration universelle, élévation où quelques personnes veulent retrouver un sentiment inspiré par les grandes forêts du Nord; le soin de munir les clochers élevés de ces flèches élancées qui se perdent dans la nue; de faire contraster leur élévation avec la légèreté des découpures qui les décorent : tel est l'esprit dominant du gothique. Nos belles cathédrales sont comme des symboles complets de la religion, le résumé des croyances, de la foi vive, des aspirations mystiques de l'époque, c'est le temple du fidèle qui, aspirant à la vie future, se trouve exilé ici-bas; l'aspiration du croyant aux splendeurs du ciel. On sacrifia tout au désir de produire une profonde impression religieuse en rapport avec les idées régnantes, même les conditions architecturales; et on reproche avec raison, à ce point de vue, aux églises gothiques les nombreux contre-forts nécessaires à leur solidité.

1. Nous citerons comme types du byzantin : Sainte-Sophie, construite à Constantinople sous Justinien ; Isidore et Anthemius, architectes. On y employa le dôme, pour la première fois, dans les grandes églises; — Saint-Marc, à Venise, et sa place.

2. Parmi les principaux monuments romans, nous citerons : Notre-Dame-du-Puy; — Saint-Germain-des-Prés; — Saint-Zeno, à Vérone; — Notre-Dame de Poitiers; — Saint-Loup, à Bayeux; — Saint-Front, à Périgueux; — Jumiéges, près Rouen; — Notre-Dame-du-Port, à Clermont; — Saint-Menoux, près Moulins; — le Dôme d'Aix-la-Chapelle; — Saint-Gédéon, à Cologne, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le style ogival prêtait beaucoup à la réalisation des plans les plus audacieux des architectes laïques qui se substituèrent peu à peu aux moines, et à la traduction de l'influence des nations occidentales, vivant d'une vie propre, qui n'était plus la barbarie



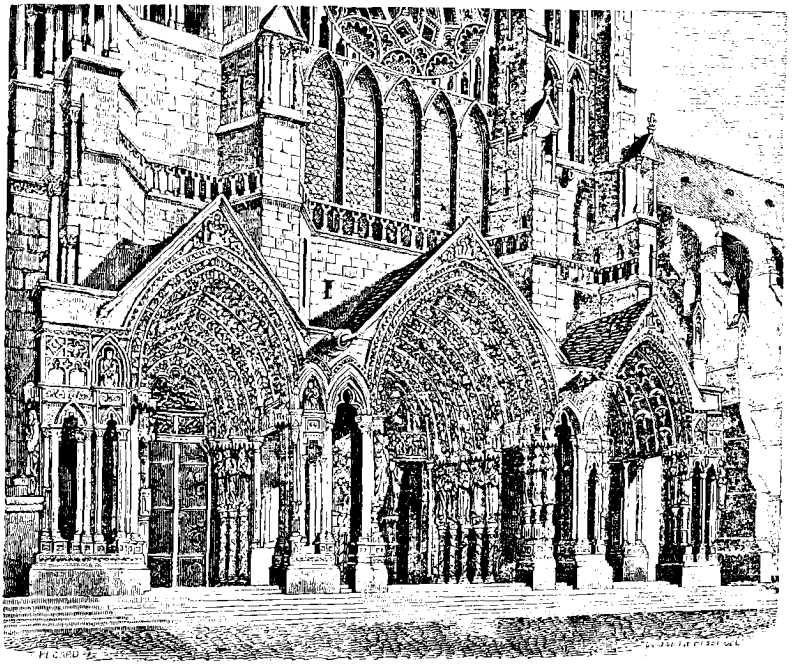
20. Notre-Dame de Paris.

de l'époque précédente, et qui n'attendaient plus de Rome l'inspiration en fait de goût. Aussi bientôt ce style devint national : il est français, anglais, teutonique; et surtout dans sa dernière période, lorsqu'il s'achemine vers la Renaissance, il cesse d'être exo-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tique et sacerdotal, comme l'avait été celui de l'Égypte; de sortir des règles et du dogme, non du sol et des mœurs; d'être enfin assujetti aux canons de l'Église.

Les ornements naturels à nos pays, propres à symboliser la foi religieuse du moyen âge, furent variés à l'infini par de véritables inventeurs qui ne copiaient pas, et dont l'œuvre est originale si elle n'est toujours d'un goût parfait. La peinture, la dorure étaient prodiguées à l'intérieur; les voûtes étaient couvertes d'azur parsemé d'étoiles d'or et d'argent. Les feuilles de la vigne vierge, du lierre, la rose, la pomme de pin se rencontrent souvent dans la sculpture décorative; comme aussi la croix, l'auréole, le serpent, le trèfle représentant la Trinité; le trèfle à quatre feuilles figurant les quatre Évangélistes, aussi rappelés par l'ange, le lion, le bœuf, l'aigle; la vigne enfin, qui rappelle le vin de l'Eucharistie.



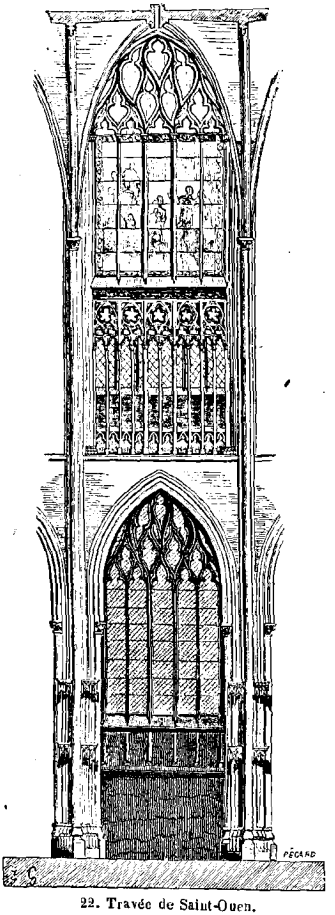
21. Cathédrale de Chartres.

Un caractère de l'architecture ogivale qu'il importe de noter, c'est que les voûtes à nervures des églises reposaient, comme des voûtes d'arête, sur des piliers très-élevés qu'il fallut soutenir par des contre-forts extérieurs. Ce système de construction se prêta fort heureusement à l'emploi d'un admirable élément de décoration qui fut fourni à l'église gothique par la peinture sur verre : les fenêtres, auxquelles ce mode de construction permit de donner de très-grandes dimensions, et qui, comme les roses de la façade, furent garnies de vitraux de couleur tamisant la lumière et lui donnant un éclat admirable. Rien de semblable n'avait été obtenu dans les styles antérieurs, sauf dans le style roman, où ce genre de décoration ne pouvait avoir le même éclat par suite

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des dimensions bien moindres des fenêtres; on n'avait pas pensé plus tôt à combiner les effets vraiment magiques de mosaïques transparentes, que l'industrie n'était pas au reste en mesure de fabriquer avant cette époque.

Le soin pris de dissimuler les grands diamètres des colonnes, de leur donner de la légèreté en leur donnant la forme de piliers fasciculés, est le dernier terme du désir du gothique d'élever les esprits vers le ciel par l'audace des lignes verticales non interrompues, rejoignant des voûtes d'une grande élévation.



22. Travée de Saint-Ouen.

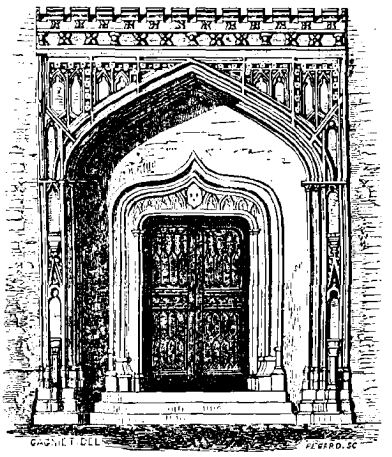
Nous donnons comme type du style ogival la façade de Notre-Dame de Paris, un des plus admirables monuments du moyen âge. Nous ne chercherons pas ici à en faire valoir toutes les harmonies; nous renverrons aux pages de Victor Hugo. Là, au milieu des exagérations du romancier, se révèlent les sentiments qu'éveillaient dans les âmes de nos pères ces édifices merveilleux sous tous les rapports. Ils y trouvaient leurs aspirations traduites par des œuvres bien peu nombreuses, avant que la découverte de l'imprimerie permît de le faire plus facilement, tant par la majesté de l'ensemble que par la richesse des détails, la multiplicité des bas-reliefs où venaient se retracer toutes les légendes qui constituaient leur foi, mélange de naïveté et d'aspirations mystiques.

Comme modèle des décorations souvent placées en avant des portes, nous donnons ici l'élégant portail latéral de la cathédrale de Chartres, ajouté au monument après sa construction, et qui est un exemple curieux de l'emploi de la sculpture décorative. Enfin, comme type de la dernière période du gothique, à l'époque où la Renaissance se faisait sentir, nous représentons (fig. 22) une travée de Saint-Ouen de Rouen qui réalise la tendance à allonger les lignes verticales.

L'arc ogival, élément caractéristique de cette architecture, a eu plusieurs formes; l'une des plus employées fut l'ogive équilatérale, qui a ses centres placés à ses deux extrémités inférieures, de façon que les arcs forment un triangle équilatéral par leur intersection. Les Anglais, qui ont gardé le mieux la tradition du style gothique, tout à fait national chez eux, ont employé, depuis le quinzième siècle, l'arc Tudor, ou gothique surbaissé, dans lequel les arcs deviennent presque horizontaux, et dont le point d'intersection est à peine apparent; il se rapproche beaucoup de l'anse de panier de la Renaissance.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En Angleterre, au reste, la Renaissance n'a pas cessé d'être gothique, et a constitué ce que les Anglais appellent le style Élisabeth.



23. Arc Tudor.

C'est à l'Allemagne ancienne que M. Th. Hope (HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE) attribue l'invention du style ogival. Ce qui est certain, c'est qu'elle l'adopta avec une ardeur toute particulière qu'explique assez bien l'absence des traditions romaines dans ce pays comparé à l'Italie, au midi de la France, etc. L'Allemagne, dès le moment où le style ogival apparut dans l'architecture, l'employa également dans les autres productions des beaux-arts, dans la sculpture, la ciselure, la peinture, l'écriture même; elle prodigua partout de longues lignes perpendiculaires, des angles aigus, des ornements de toutes sortes analogues à ceux des édifices gothiques; ce qui montre amplement que ce style n'était pas une mode importée de l'étranger, mais que dans tous les arts il procédait de la même source, c'est-à-dire du goût national des artistes allemands.

On voit, par ce qui précède, comment on peut établir plusieurs subdivisions dans le style ogival [1], et distinguer :

1° Le style ogival primaire ou à lancettes, voisin du roman : douzième et treizième siècles;

2° Le style ogival secondaire ou rayonnant, ainsi nommé de la forme rayonnante des roses, des quatre-feuilles qui ornent les fenêtres : ce style règne aux treizième et quatorzième siècles.

Enfin 3° le gothique tertiaire ou flamboyant, aux quatorzième et quinzième siècles, employant des décorations en forme de flammes ou de langues, variant à l'infini des

1. Les plus célèbres constructions du style gothique ogival sont:

En France : La Sainte-Chapelle, par Pierre de Montereau, sous saint Louis; — Notre-Dame de Paris (XII[e] et XIII[e] siècles); — les cathédrales de Reims, Bourges, Évreux, Laon, Amiens, Noyon, Strasbourg, (par Jehan de Steinbach), Soissons (XIII[e] et XIV[e] siècles); — Saint-Ouen, Saint-Maclou, les églises de Tours, Brest (XIV[e] et XV[e] siècles).

En Allemagne : la cathédrale de Cologne

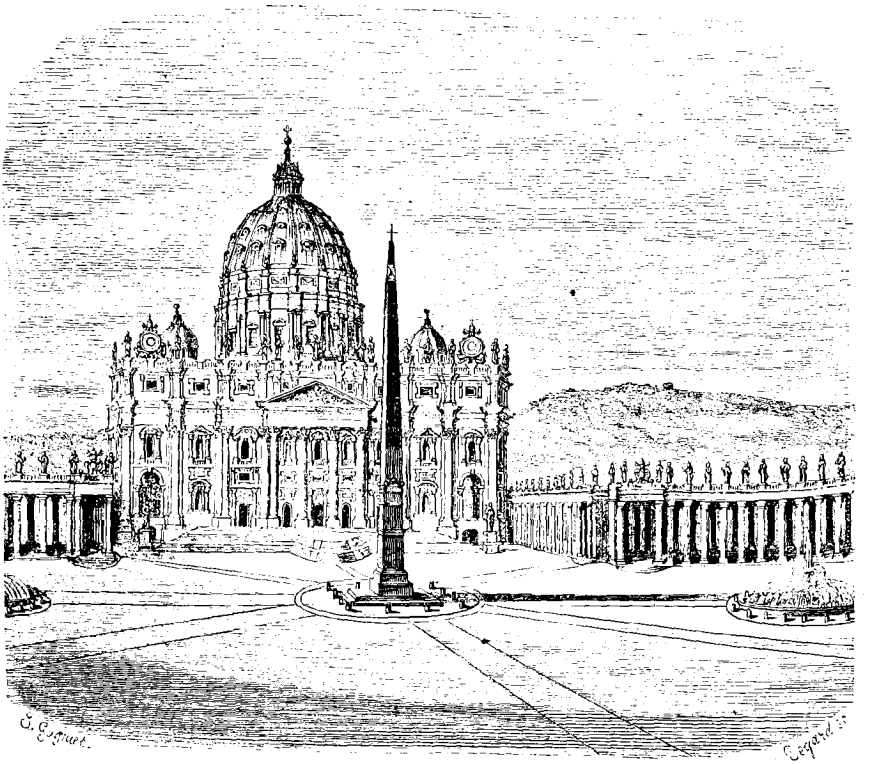
En Angleterre : Westminster, la cathédrale de Salisbury.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ornements qui, par leur perfection, annoncent la Renaissance, et qui a produit des œuvres charmantes qui peuvent être classées également dans ces styles voisins, tel est par exemple l'hôtel Bourgtheroulde (que nous donnons plus loin).

STYLE RENAISSANCE

L'Italie, couverte des monuments de l'antiquité, n'avait jamais voulu adopter le style ogival. Elle donna le signal du retour aux traditions de l'antiquité, lorsque la richesse des nations modernes rendit possible un état nouveau de la société, lorsque la découverte de l'imprimerie vint rendre irrésistible l'impulsion due aux idées nouvelles.



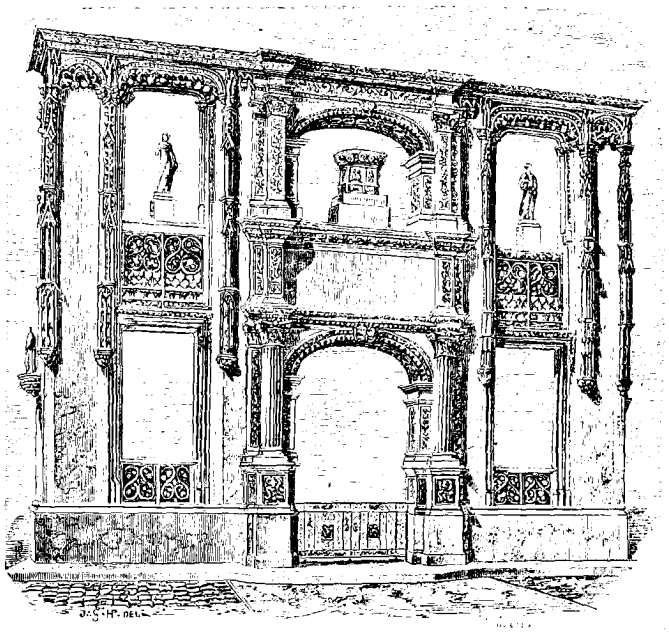
24. Saint-Pierre de Rome.

Bien que le retour au classique, à l'antiquité, fût le drapeau des artistes qui se sont immortalisés à cette belle époque de la Renaissance, leur génie propre, consacré à la splendeur du culte catholique qui adoptait tous les arts pour atteindre le maximum d'éclat, vint donner à leurs œuvres un caractère nouveau correspondant aux éléments

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des temps modernes, et surtout aux idées chrétiennes, si différentes des idées païennes. C'est dans la peinture que l'on peut surtout le reconnaître, et Raphaël doit être cité comme le type immortel de cette alliance de l'art chrétien avec l'art grec. Pour ne pas sortir de notre sujet, de l'architecture, nous dirons qu'elle brilla par le sentiment de la pureté des lignes et des proportions; on vit reparaître, en quelque sorte, les lignes horizontales; les arcs surbaissés presque rectilignes, reposant sur des colonnes, remplacèrent les voûtes ogivales de forme aiguë.

Pour passer en revue les principaux types de construction de la Renaissance, les œuvres des architectes devenus des artistes libres et indépendants et non plus les ouvriers du clergé, nous devons d'abord citer des églises. La plus colossale de toutes est Saint-Pierre, formée de la coupole du Panthéon d'Agrippa « suspendue dans les airs, » grande conception du génie universel de Michel-Ange, qui sut imprimer à cette œuvre le sentiment de la domination universelle de la papauté en employant les éléments fournis surtout par la tradition romaine classique, mais agrandis dans des proportions jusque-là inconnues. Nous donnons ici la vue de l'extérieur de ce temple, digne d'être le premier temple du monde chrétien, par son immensité et la splendeur de ses décorations, malheureusement exagérées au dix-septième siècle par le Bernin qui y fit des additions qui ne sont pas toutes heureuses.



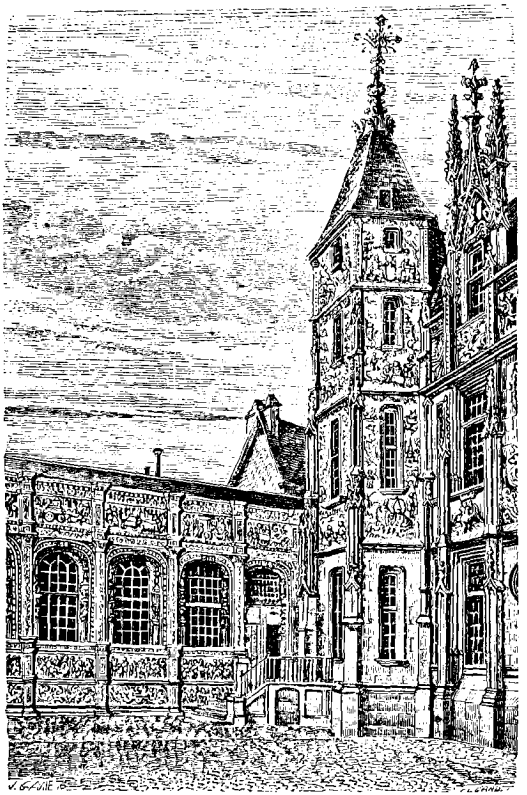
25. Façade du château de Gaillon.

Toutefois, sauf dans le cas qui précède et dans un petit nombre d'autres, ce n'est pas par l'immensité des édifices, c'est plutôt par la modération de la grandeur de l'élément architectural que la Renaissance se distingue, revenant ainsi plutôt à l'art grec qu'à l'art romain, avec un admirable sentiment du caractère élégant du premier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce qui y a beaucoup contribué, c'est que l'architecture de la Renaissance ne fut plus seulement religieuse comme celle du moyen âge; elle fut pour le moins autant laïque. Les châteaux, les belles maisons se multipliant avec l'accroissement des richesses, réclamèrent tous les ornements de l'architecture et de la statuaire, et fournirent un vaste champ aux œuvres qu'engendrait l'imagination d'une multitude d'artistes créateurs.

On ne saurait trop remarquer, dans les créations de l'architecture de la Renaissance, avec quelle confiance les artistes se livraient à leur imagination, pour combiner les détails de l'architecture sans se traîner dans des voies déjà tracées; avec quel sentiment net des proportions les plus harmonieuses, avec quelle fécondité, quelle grâce, à l'aide



26. Hôtel Bourgtheroulde, à Rouen.

de quel large emploi de la sculpture décorative ils savaient remplir les conditions d'élégance qui caractérisent les créations de cette époque, où les arts ont joué un si grand rôle. Nous allons en donner quelques exemples célèbres.

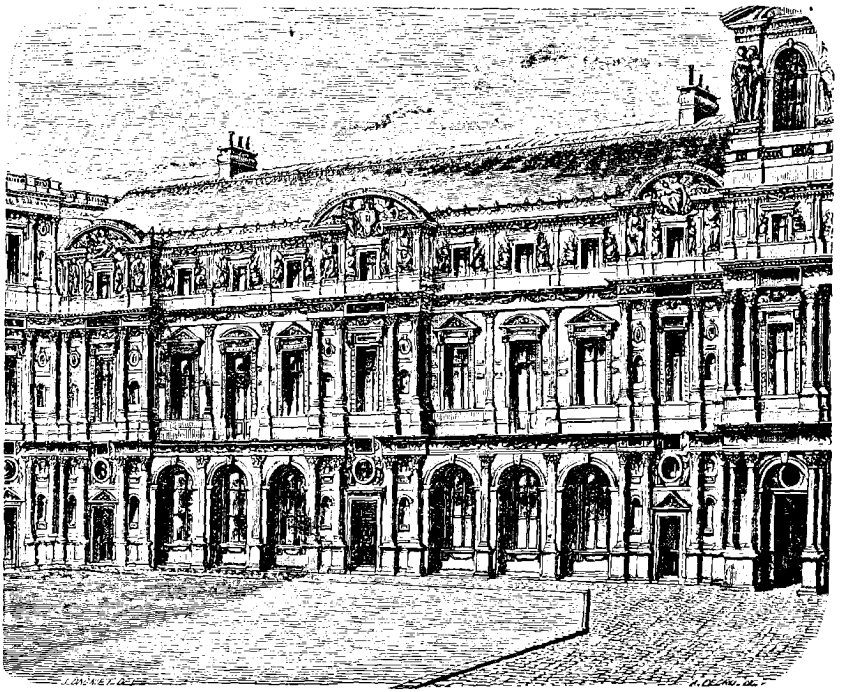
Le château de Gaillon, construit par le cardinal d'Amboise, et dont nous reproduisons l'élégante façade, telle qu'on la voit aujourd'hui dans la cour du palais des Beaux-Arts, conserve encore quelques traces du gothique; mais on y trouve une élégance, une pureté de lignes qui rappelle heureusement l'art grec. Les colonnes, de peu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de hauteur, comme dans la plupart des constructions de la Renaissance, se trouvent de dimensions convenables pour l'encadrement des fenêtres, des portes formées d'arcs surbaissés, et ne paraissent jamais des hors-d'œuvre.

A côté de cette élégante construction, due surtout au goût italien, nous citerons l'hôtel Bourgtheroulde, de Rouen, qui nous fournit un exemple de charmante habitation privée, et montre combien les architectes de cette époque savaient, comme ils l'ont fait dans cette construction moitié gothique, moitié renaissance, modifier le gothique pour en conserver des parties élégantes, les aigrettes, les dentelles de pierre, etc., et les mélanger avec les arcs surbaissés et les bas-reliefs multipliés du nouveau style.

Enfin, nous terminerons par le chef-d'œuvre des constructions de la Renaissance en France, le Louvre, élevé par Pierre Lescot, architecte français. On ne saurait trop



27. Cour du Louvre.

admirer les heureuses dispositions de cette construction, la symétrie des avant-corps, l'élégance des colonnes, la richesse, l'habile profusion des décorations sculptées. Dans ce monument, dit M. Vaudoyer, aucune influence étrangère ne se fait sentir; c'est une production vraiment nationale qui l'emporte de beaucoup sur ce qui l'a précédée, et qui n'a pas été surpassée depuis [1].

1. Parmi les chefs-d'œuvre de la Renaissance nous citerons:
En Italie : Saint-Pierre à Rome, la Basilique de Vicence, San Pietro in Montorio; — à Florence : la Cathédrale, le palais Pitti, le palais Médicis; — à Pise: le Campo-Santo.

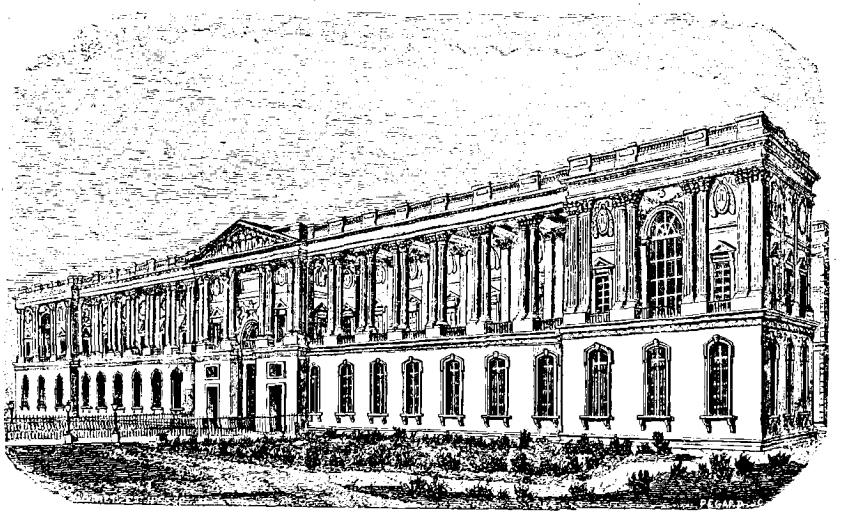
EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'époque de Henri IV et celle du commencement du règne de Louis XIII ont produit quelques jolies constructions d'un genre particulier, dans lesquelles la brique rouge alterne avec la pierre de taille et qui se signalent par l'élévation de leurs toits pointus. Le livre L'ARCHITECTURE par le maître strasbourgeois Ditterlin, publié à Nuremberg, en 1598, est le résumé de tout ce qui a été produit en ce genre, dans les divers arts.

STYLES LOUIS XIV ET LOUIS XV

Sous le règne de Louis XIV, on chercha en tout le grandiose. Pour l'architecture, tout en reprenant les traditions de l'antiquité romaine, lors d'un retour à la puissante administration de l'époque des Césars, on accrut les dimensions des édifices sans rien garder des souvenirs de la Renaissance, dont les œuvres n'étaient plus jugées assez imposantes. Les détails de ce style sont robustes; les moulures lourdes, mais fermes et accentuées.

Si la plupart des édifices construits alors peuvent être considérés comme des imitations de l'art romain auquel ils se rattachent plus directement qu'à l'art grec, quelques-uns cependant, franchement inspirés par les idées de l'époque et dus à des artistes distingués, ont un caractère de grandeur, de largeur, qui leur est tout à fait



28. Colonnade du Louvre.

propre, et sont restés à une belle place dans l'opinion publique. Nous citerons dans le nombre, et au premier rang, la colonnade du Louvre, œuvre de Perrault.

En France, appartiennent à la Renaissance: Fontainebleau, la maison de Moret, le palais du cardinal d'Amboise, le Louvre, le château d'Anet, les Tuileries.

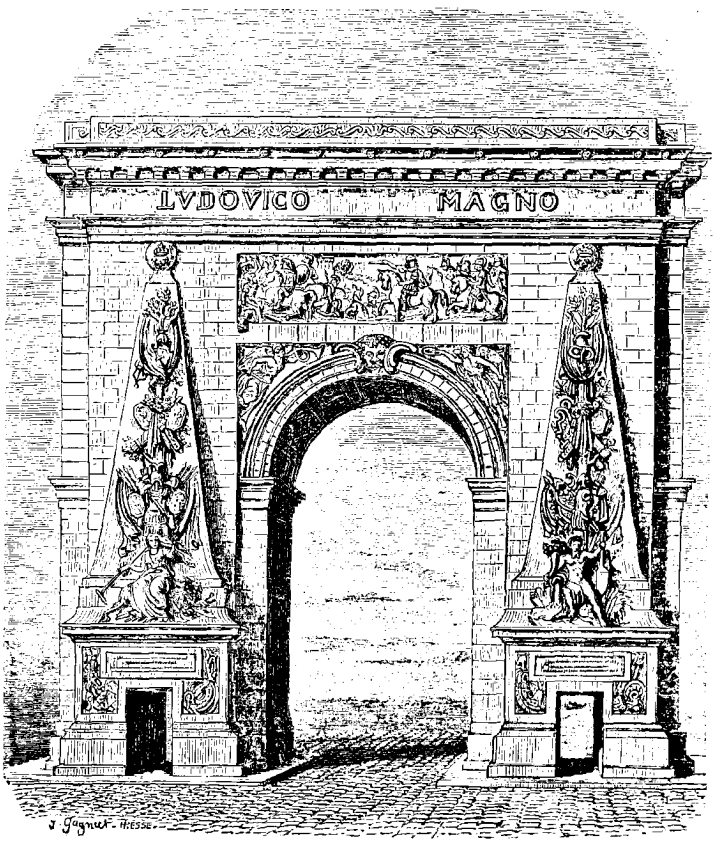
Les plus grands architectes de cette époque furent: Brunelleschi, Michel-Ange Buonarotti, le Bramante, Raphaël, Palladio, Pierre Lescot, Philibert Delorme.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce monument, dans lequel on doit remarquer un premier emploi de colonnes accolées, excita l'admiration des contemporains, et causa un enthousiasme dû surtout au mérite de la nouveauté de cette disposition.

L'amour du grandiose, appliqué mal à propos aux édifices privés, donna dans ce cas des résultats mauvais ; des pilastres ou des colonnes gigantesques encadrant plusieurs étages dans leurs lignes monotones donnent l'idée d'un édifice trop grand pour notre usage, qu'il faut gâter en quelque sorte pour y loger de simples humains. Comme exemple de construction à laquelle s'applique cette observation, et comme type des constructions du règne de Louis XIV, nous citerons le château de Versailles, construit sur les plans de Mansard. Dans cet édifice, un rez-de-chaussée sévère avec arcades supporte des colonnes de la hauteur de deux étages que surmonte un architrave.

Nous ne parlons ici que des monuments du siècle de Louis XIV qui se distinguent



29. Porte Saint-Denis.

d'une imitation de l'antiquité ou des constructions élevées en Italie. Nous donnerons maintenant, comme interprétation du style romain dans le goût de l'époque, la porte

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Saint-Denis (construite par Blondel), inspirée par l'arc de triomphe romain, mais singulièrement agrandi, et qui possède un caractère propre de grandeur.

On peut dire de l'époque du règne de Louis XV qu'elle n'a eu qu'une médiocre importance pour l'architecture proprement dite, malgré quelques belles œuvres, telles que les bâtiments de la place Louis XV, construits par Gabriel, qui sont une imitation excellente de Perrault.

Le goût italien des Bernin, des Borromini, qui commença à réussir sous la vieillesse de Louis XIV, vint exagérer la multiplication déjà admise de trophées et ornements analogues, et mettre à la mode une profusion d'ornementations qui méritent surtout de fixer l'attention, car elles ont constitué le style Louis XV, qui occupe une grande place dans la décoration industrielle, comme nous le reconnaîtrons bientôt en étudiant ses applications nombreuses dans le mobilier, l'orfévrerie, etc. Là, il est fin et élégant; la ligne droite y fait place aux lignes courbes, brisées. Ce style est désigné sous le nom de style italien chez la plupart des auteurs étrangers.

On ne peut guère citer d'exemples plus complets du style Louis XV que les hôtels du faubourg Saint-Germain. Leur inspection montre bientôt que les architectes de l'époque étaient bien plus préoccupés de l'intérieur que de l'extérieur. Ces constructions consistent en général en grandes masses rectangulaires, offrant un vaste espace pour des pièces de grande dimension; l'ensemble n'est en général remarquable qu'au point de vue des bonnes dispositions intérieures, et, comme nous le disons plus haut, de la décoration. Un genre purement propre à ce style doit être cité : nous voulons parler de la volute qui accompagne à l'étage le plus élevé les parties latérales des fenêtres, dont la partie supérieure est courbe.

Avant de passer à l'époque actuelle, nous passerons en revue les produits des civilisations orientales et asiatiques, dont l'étude est assez peu importante au point de vue de l'Architecture. Les Orientaux n'ont eu d'influence que sur le style byzantin adopté pour un petit nombre de monuments d'Europe, Saint-Marc de Venise notamment.

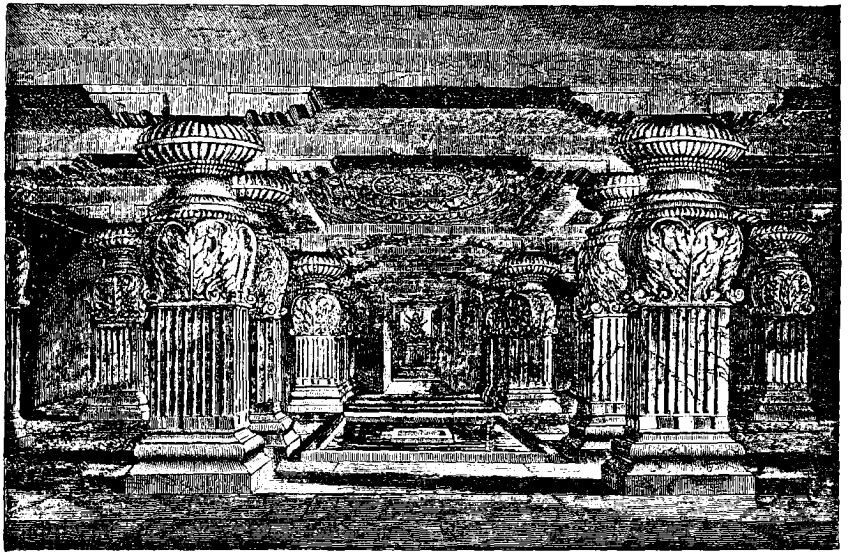
CIVILISATIONS ASIATIQUES ET ORIENTALES

STYLE INDOU

Les anciens temples de l'Inde, aussi bien que les ruines assyriennes de Ninive, rappellent les monuments religieux, les nécropoles de l'ancienne Égypte. L'étude de ces monuments, de ces styles, les plus anciens que nous connaissions, mériterait qu'on s'y arrêtât longuement, car c'est dans les types anciens qu'il faut surtout étudier les éléments qui se répètent en se transformant à l'infini dans les divers styles; ce qui est vrai pour les éléments de la décoration industrielle comme pour les monuments. Malheureusement les documents sont rares, les restes peu nombreux. Parmi les œuvres de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'Inde les plus remarquables, nous citerons un de ces temples taillés dans le roc et qui sont d'une étendue immense, le temple d'Ellora, dont nous donnons ici le dessin. On y remarque des colonnes basses, dont le fût est orné de sculptures, et dont le chapiteau



30. Temple d'Ellora.

est de forme renflée d'une façon toute particulière; on la retrouve dans nombre de décorations de produits de l'Inde.

« Les religions de l'Inde, dit Lamennais, renferment toutes une idée panthéistique, unie à un sentiment profond des énergies de la nature. Le temple dut porter l'empreinte de cette idée et de ce sentiment. Or, le panthéisme est à la fois quelque chose d'immense et de vague. Que le temple s'agrandisse indéfiniment, qu'au lieu d'offrir un tout régulier, saisissable à l'œil, il force, par ce qu'il a d'inachevé, l'imagination à l'étendre encore, à l'étendre toujours, sans qu'elle arrive jamais à se le représenter tout ensemble comme un et comme circonscrit en des limites déterminées, l'idée panthéistique aura son expression. Mais pour que le sentiment relatif à la nature ait aussi la sienne, il faudra que ce même temple naisse en quelque manière dans son sein, s'y développe, qu'elle en soit la mère, pour ainsi parler. C'est là, dans ses ténébreuses entrailles, que l'artiste descendra, qu'il accomplira son œuvre, qu'il fera circuler la vie, une vie qui commence à peine à s'individualiser en des productions à l'état de simple ébauche : symbole d'un monde en germe, d'un monde qu'anime et qu'organise, dans la masse homogène de la substance primordiale, le souffle puissant de l'être universel. »

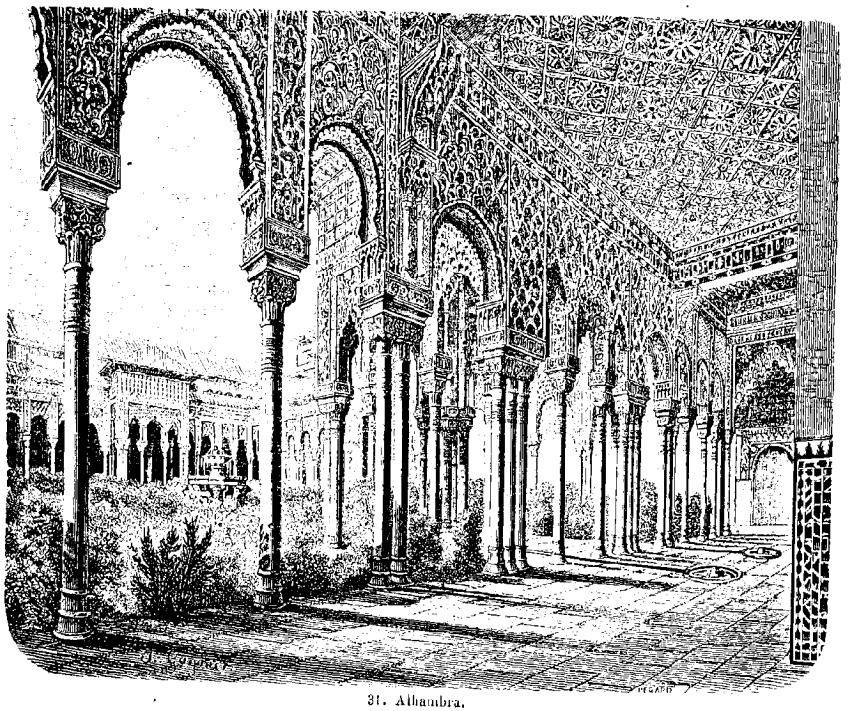
D'autres temples célèbres de l'Inde sont de construction moderne; au style indien sont venus se mélanger le dôme et les coupoles, parce qu'ils sont dus aux conquérants mahométans. Ils rentrent dans la division suivante, tout en ayant en partie conservé un caractère spécial.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE ARABE, MAURESQUE

La civilisation arabe qui a jeté tant d'éclat en Égypte, à Bagdad, nous est révélée par des monuments qui reflètent admirablement la richesse d'imagination des Orientaux, aussi bien que leur goût pour les couleurs éclatantes.

Les formes de ces édifices procèdent directement de l'art byzantin, qui avait déjà donné satisfaction aux tendances de l'Orient, et qui a eu sur l'art arabe une influence incontestable; celui-ci a conservé les éléments que les nations occidentales ont abandonnés, et a exagéré les différences qui séparent le byzantin du romain. Ainsi, les arcs toujours reposant sur colonnes ont un type particulier; ils sont rentrants à la base, et comprennent plus d'une demi-circonférence. Cette architecture emploie aussi souvent des pendentifs d'une extrême légèreté qui rappellent les stalactites, et le dôme s'enfle tellement qu'on le voit fréquemment prendre la forme d'un bulbe.



31. Alhambra.

La Perse a exercé sur l'art arabe une grande influence, qui augmenta encore lorsque les deux pays eurent embrassé la foi de Mahomet. La Perse avait des traditions propres, comme l'ont montré les ruines de Persépolis.

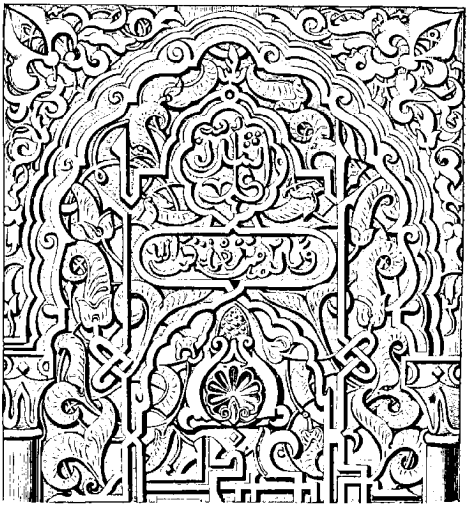
C'est naturellement en Orient, à Constantinople, au Caire, à Bagdad, que doivent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se rencontrer les principaux exemples des constructions de style arabe. On en trouve aussi en Europe; les relations intimes de Venise et de la Russie avec Constantinople ont fait imiter l'architecture des Orientaux dans ces deux pays.

Mais c'est en Espagne surtout, dans le beau pays de Grenade et de Cordoue, que l'art mauresque, la branche la plus brillante de l'art arabe, a créé ses chefs-d'œuvre; l'arc en fer à cheval constitue la forme favorite et caractéristique de ces constructions. L'Alhambra, dont nous donnons ici la cour intérieure ornée d'une fontaine, luxe si précieux dans les pays chauds, a toujours excité l'enthousiasme des voyageurs. Il est de proportions très-petites, comparé à nos grandes constructions.

Les décorations mauresques dont ce ravissant palais offre un si bel exemple sont restées le type d'un genre d'ornementation d'une grande élégance, qui a trouvé une multitude d'applications industrielles. La loi musulmane interdisant la représentation d'êtres animés; c'est vers la combinaison des lignes, des couleurs éclatantes, du bleu, du rouge, de l'or, que se porta le goût des artistes. Ces treillis formés de courbes s'entrelaçant à l'infini, qui seront mieux définis par les exemples que nous multiplions plus loin, et auxquels on a donné le nom d'arabesques, forment les principaux éléments de décoration de ces édifices, dont l'éclat se comprend mieux quand on sait que ces décorations étaient produites sur les murailles à l'aide de moulages colorés [1]. Leur netteté comme leur éclat est incomparable et tout à fait en rapport avec la richesse des rêveries orientales.



32. Porte de la mosquée de Cordoue.

Nous donnons encore la porte de la mosquée de Cordoue, qui permettra d'apprécier ce genre de décoration, reproduit dans cette figure sur une plus grande échelle que celle du dessin qui représente la cour de l'Alhambra.

1. Principaux monuments des Maures d'Espagne : la Tour de la Giralda, l'Alcazar, à Séville ; — l'Alhambra, à Grenade ; — la Mosquée de Cordoue.

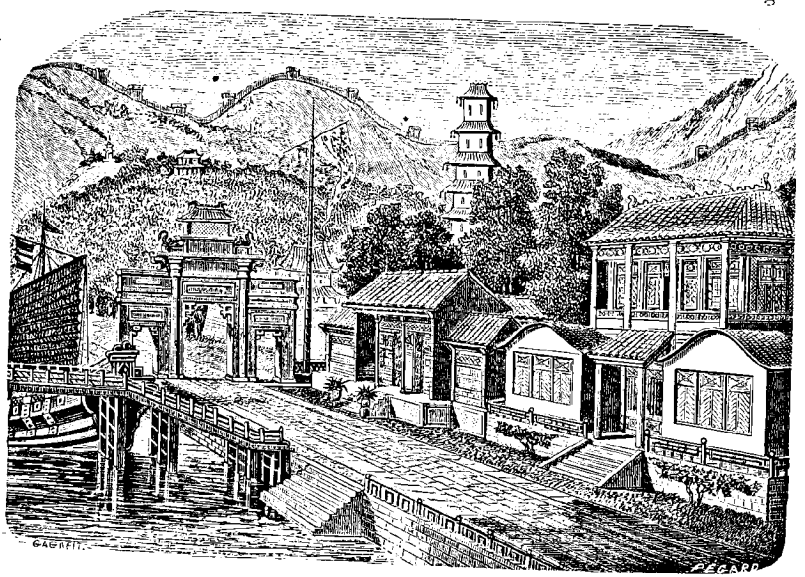
EFERUS - Recherche & Classification numérique

On voit par ce qui précède que le style dont nous traitons comprend trois subdivisions principales :

Le style sarrasin ou arabe pur; — le style mauresque; — le style persan.

STYLE CHINOIS

Les Chinois, si industrieux dans les petites choses, dans les détails de l'industrie, ne paraissent pas s'être élevés jusqu'à la conception et l'organisation des grands travaux de construction. Aussi ne connaît-on de ce pays aucun édifice comparable à nos grands



33. Ville chinoise.

monuments. Au reste, les règles immuables qui, dans cette société, règlent la construction de tout édifice en raison de l'importance du personnage qui doit l'habiter, rendent tout progrès bien difficile.

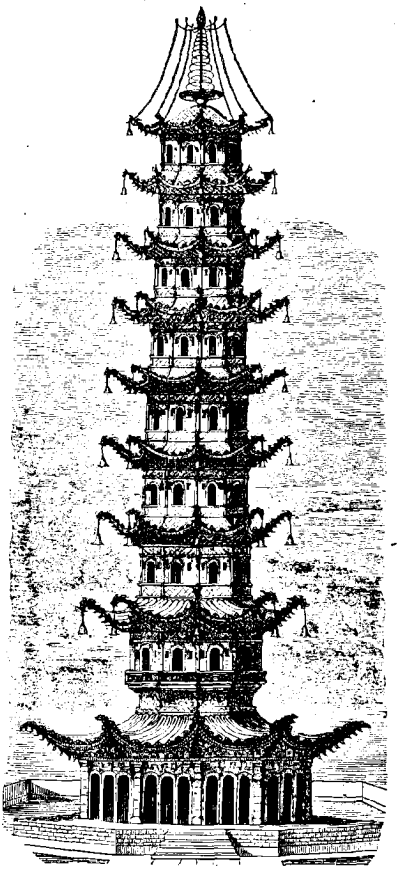
Comme caractères principaux de cette architecture, on doit signaler l'apparence de tentes qu'offrent les maisons, l'emploi de piliers de bois très-élevés pour former des galeries, les toits retroussés à leurs extrémités ornées de pendentifs, qui donnent aux constructions un aspect tout particulier. Nous avons cherché à reproduire dans la figure ci-contre l'effet des divers éléments de cette architecture.

Il est curieux de retrouver aussi nettement dans l'Architecture les traditions d'une race; de voir les conquérants tartares de la Chine, dont les ancêtres ont toujours vécu

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sous la tente, conserver le même type d'habitation au milieu d'une population industrieuse.

L'emploi de la porcelaine, produite si abondamment en Chine, est assez fréquent dans les légers édifices de ce pays. Nous représentons ici un monument de ce genre



34. Tour de porcelaine.

bien connu, dit la Tour de porcelaine, parce qu'elle est entièrement incrustée en cette substance. Commencée en 1303, elle fut achevée en 1432.

Depuis que les Européens ont pu pénétrer plus facilement en Chine, la vérité des observations précédentes a été pleinement confirmée, et on a été bien étonné de ne rencontrer, dans une immense capitale comme Pékin, aucune construction satisfaisant aux conditions de stabilité, de durée, que nous sommes habitués à rencontrer dans les grands édifices.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE ACTUEL

Les agitations de l'Europe pendant la République, le Consulat et l'Empire, laissèrent trop peu de calme aux esprits, à cette époque, pour traduire les aspirations du siècle à l'aide de nombreuses créations d'architecture, d'autant plus que l'admiration exagérée de l'art antique conduisait les architectes à copier servilement, de toutes pièces, les monuments de l'antiquité, et leur faisait élever des édifices souvent défectueux, surtout parce qu'ils ne sentaient pas assez que le charme disparaît le plus souvent quand on modifie l'échelle d'une construction. Ce système donna cependant quelquefois de beaux résultats : la colonne de la place Vendôme fut une heureuse imitation de la colonne Trajane, et l'arc de triomphe de l'Étoile est plus grandiose que l'arc de triomphe romain, dont il est une imitation. Toutefois, l'originalité manque, et, sauf quelques exceptions peu nombreuses et insuffisantes pour constituer un style, l'on doit considérer cette époque comme n'occupant que bien peu de place parmi celles qui ont vu les arts constituer un type nouveau.

Sous la Restauration et après 1830, l'étude des monuments gothiques, le retour aux anciennes traditions inspiré par l'école romantique, après avoir passionné un moment les esprits, n'a surtout conduit qu'à des restaurations et à des reproductions, ce qui a eu lieu également en Angleterre et en Allemagne. Ce n'est guère que dans une application voisine de l'Architecture que le Romantisme a triomphé, je veux parler de l'art de tracer des jardins.

Sous Louis XIV, Le Nôtre avait su, par l'emploi des grandes allées droites, des longues perspectives, admirablement encadrer les grandes constructions de palais splendides; Versailles est resté le type d'un genre d'une grandeur incomparable.

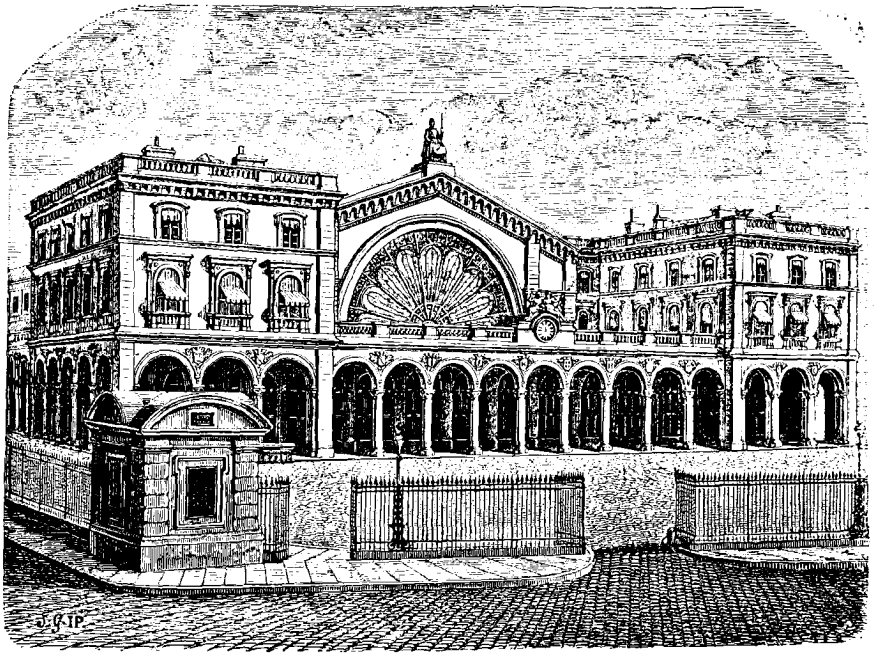
Ce genre a cédé la place aux jardins anglais, d'où les allées droites, les arbres taillés ont été exclus, où les effets admirés dans la nature, les valonnements, les pelouses verdoyantes, les roches, etc., sont imités. Il se prête mieux à l'exiguïté de la plupart des propriétés de campagne qui sont créées de nos jours, et paraît être en rapport avec le goût actuel.

Définir le caractère de l'architecture d'une époque, un style qui n'est compris le plus souvent qu'après avoir duré un ou deux siècles, est une œuvre presque impossible pour des contemporains; toutefois, on peut dire que les travaux de nombre d'artistes de talent ont avancé l'œuvre qui consiste à préciser la formule de l'art du dix-neuvième siècle. S'il n'est pas constitué, quelques éléments se dégagent chaque jour au milieu d'un admirable progrès dans les moyens de production, d'une rapidité incroyable d'exécution, progrès qui se rapporte au métier plus qu'à l'art dont nous nous occupons ici. Le confortable et l'élégance de nombreuses habitations, aussi belles que des palais, sont incontestables; peut-on y reconnaître le style actuel?

On peut dire que l'Architecture est remarquable, de nos jours, par la facilité et la perfection avec laquelle on crée aujourd'hui des imitations des styles des diverses époques, et qu'on préfère le plus souvent reprendre des traditions de la Renaissance,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

avec un emploi de la sculpture décorative semblable à celui qui en fut fait alors, c'est-à-dire que, par sa délicatesse, elle se confond tout à fait avec la statuaire. L'écueil trop souvent rencontré est que cette sculpture cesse d'être seulement décorative, devient individuelle, cesse d'être un accessoire de la construction qu'elle doit compléter. Sui-



35. Gare du chemin de fer de l'Est, à Paris.

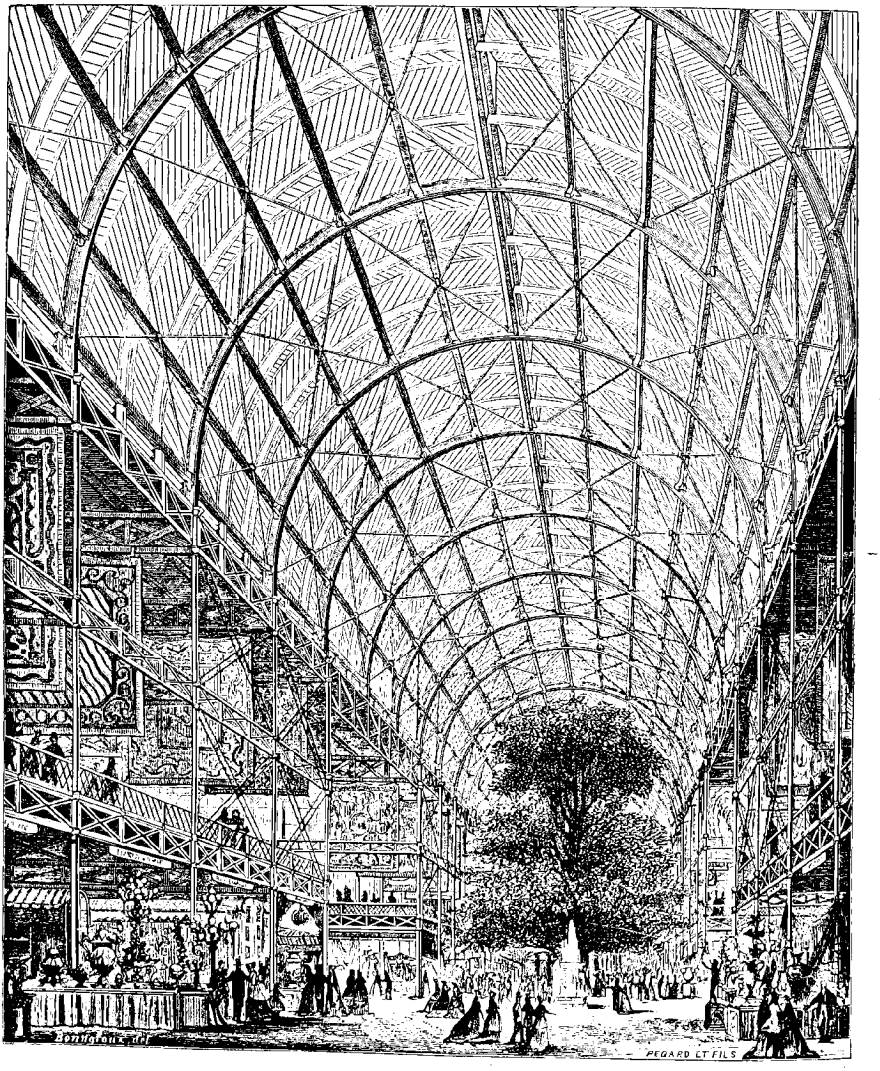
vant M. Garnier, un des maîtres les plus autorisés, le style actuel se caractérise par une grande tendance à la vérité. Les extérieurs des édifices sont en harmonie parfaite avec les intérieurs, et la raison, ainsi que l'aspect, y trouvent leur compte. Les détails d'ornementation procèdent directement du grec de la plus belle époque, mais ils gardent néanmoins le caractère individuel de l'artiste, en même temps que le caractère de notre temps.

Ajoutons que, dans quelques cas, on est arrivé à des effets nouveaux et qui surprennent l'admiration, à l'aide des ressources offertes par les progrès de l'art de la construction.

Le plus éminent progrès de cet ordre réside dans l'emploi du fer dans les édifices, qui permet d'obtenir des portées horizontales autrefois impossibles, et, par suite, de réaliser des constructions spécialement convenables pour notre société démocratique; il doit faire disparaître les bâtiments étroits, les petites voûtes à de grandes hauteurs, mais il paraissait d'une extrême difficulté d'en tirer un effet heureux. On y est parvenu dans quelques cas. Nous citerons en premier lieu la gare du chemin de fer de l'Est, à Paris, due à M. Duquesnay, architecte, qui a su manier également le fer et la pierre, profiter de l'étendue de la toiture pour placer sur la façade une rosace digne du moyen

EFERUS - Recherche & Classification numérique

âge, harmonieusement encadrée. C'est là une belle œuvre, non imitée, bien de son époque, remplissant toutes les conditions de convenance, d'unité, d'élégance ; une de ces œuvres qui méritent de tout point d'être signalées.

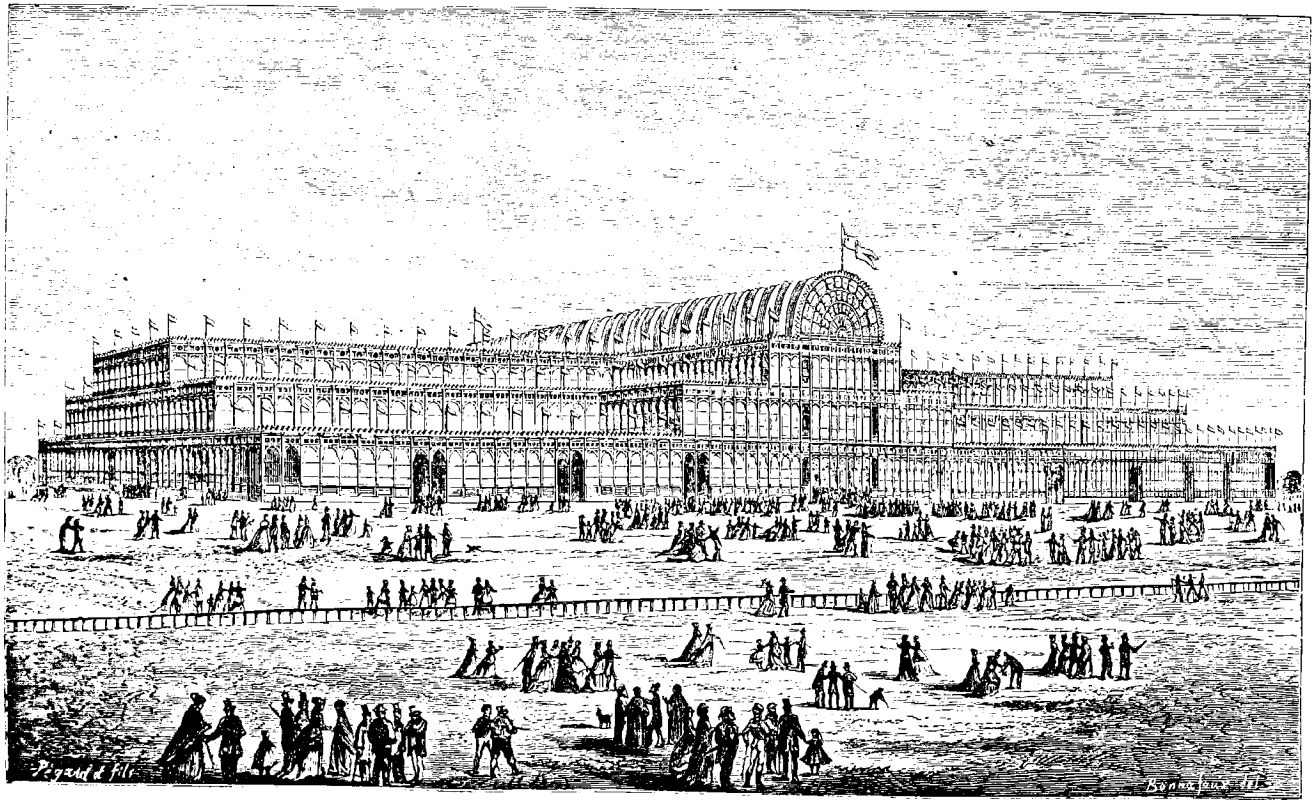


36. Transept du Palais de Cristal.

Les Halles de Paris, entièrement en fer, sont justement appréciées comme un type parfait de constructions en fer ; elles sont bien supérieures aux marchés qu'on avait construits jusque-là en pierre et en bois.

Le Palais de Cristal, construit à Londres pour l'Exposition Universelle de 1851,

EFERUS - Recherche & Classification numérique



37. Exposition universelle de Londres, en 1851. — Perspective du Cristal-Palace.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

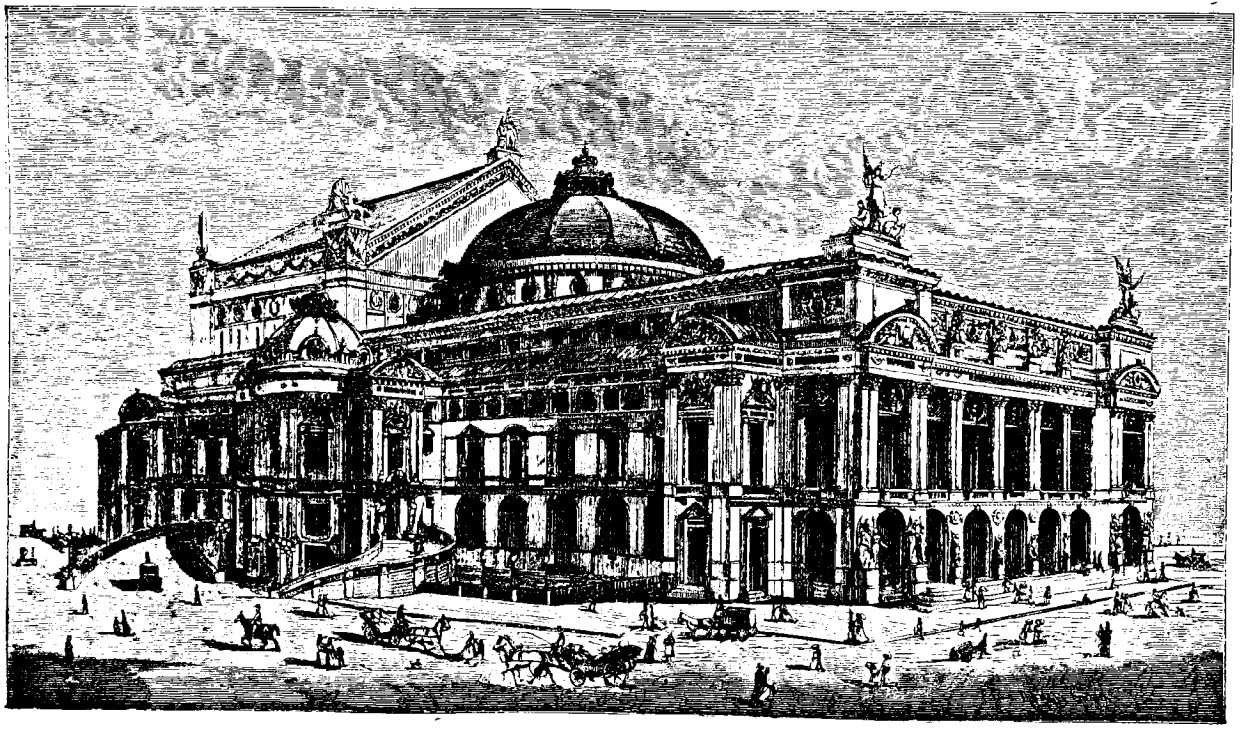
était certainement une des plus belles choses que l'on ait vues : abondance de lumière si convenable pour faire briller les œuvres exposées, ampleur du vaisseau recouvrant un arbre superbe de Hyde-Park, tout saisissait vivement le spectateur qui venait visiter le grand spectacle de l'Exposition universelle de 1851. C'était la première et la plus grandiose application du fer à la construction, l'œuvre la plus remarquable et la plus nouvelle qui eût été exécutée jusqu'alors. Elle a donné le type le plus convenable incontestablement pour les constructions de serres, de bâtiments d'expositions, etc. C'est à juste titre qu'elle a illustré Sir J. Paxton, qui l'a conçue. Sauvé de la destruction par son succès, le Cristal-Palace a été transporté à Sydenham pour y abriter un nouveau genre de Musée qui manque encore à la France. (Voir l'article MUSÉE D'ART INDUSTRIEL.) Nous donnons ici la perspective du vaste édifice (figure 37) et la vue du transept (figure 36) qui était vraiment féerique. L'insuccès du bâtiment à lignes courbes, qui a été élevé pour l'Exposition de 1867, comme de tous ceux édifiés depuis 1851 pour des expositions, a pleinement démontré la supériorité de la construction de 1851.

Nous ne parlons pas des autres grandes constructions de Londres, parce que la plupart sont des imitations d'œuvres anciennes. Certes, le nouveau palais du Parlement à Westminster est une belle œuvre qui rappelle bien le caractère traditionnel de la civilisation anglaise; mais ce n'est pas une œuvre nouvelle, c'est une étude de gothique anglais.

Dans ces dernières années, les Allemands, et surtout la brillante école de Munich, ont produit, avec bien des imitations d'édifices des temps antérieurs, qui font ressembler notamment cette dernière ville à un véritable musée de monuments, de belles œuvres d'un caractère particulier. Elles se distinguent par l'emploi de la coloration; en effet, non-seulement les peintures murales y sont fréquentes, mais encore la brique et la pierre blanche y sont souvent mêlées et donnent à ces monuments un caractère quelque peu oriental.

Nous terminerons cette analyse sommaire des grandes œuvres de l'architecture actuelle par la représentation d'un grand édifice qui, mieux peut-être que tout autre, peut donner idée des aspirations de nos architectes les plus distingués, interprètes des aspirations de notre société. Nous voulons parler de l'Opéra de Paris, orné de nombreuses sculptures, de colonnes de marbre de couleur, qui rappelle les œuvres les plus riches de la Renaissance; dans lequel, au moyen de charpentes en fer, est résolu le problème de recouvrir, sans points d'appui intermédiaires, de très-grands espaces. L'emploi du métal dans la façade a été critiqué avec quelque raison, croyons-nous, malgré la liberté que permettait l'usage spécial de l'édifice qui n'exigeait pas trop de gravité et appelait une décoration éclatante. Avec ses imperfections, ce monument restera un des plus riches et des plus caractéristiques de notre société française actuelle, de ses qualités comme de ses défauts.

EFERUS - Recherche & Classification numérique



38. Opéra de Paris.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION II

CÉRAMIQUE

L'art céramique, dont le nom provient de κεραμις, nom grec de la poterie, ou, suivant quelques auteurs, d'un quartier d'Athènes où travaillaient les potiers devenus de véritables artistes, est peut-être celui où les styles se sont révélés le plus nettement. Toutes les nations, dès leur origine, ont eu des vases de terre; et la moindre tendance à l'élégance a dû se révéler dans ces ustensiles vulgaires. Les Égyptiens, les Grecs, les Arabes, ont excellé également dans l'architecture et la céramique, deux arts primitifs dont la liaison est intime, et dont les produits tirent leur charme non de l'imitation d'objets naturels, mais de l'harmonie de leurs proportions géométriques[1].

Il importe de remarquer, avant tout, que les moyens de fabrication des poteries ayant une valeur artistique n'ont pas toujours permis facilement, aux diverses époques, de

1. Un de nos plus spirituels écrivains, Théophile Gautier, qui était excellent juge en matière d'art, fit sur une exposition quelques feuilletons où l'appréciation des caractères propres à chaque création industrielle était parfaite, tout en étant présentée sous une forme légère; où était bien sentie la relation intime entre les mœurs, les idées d'une nation et les produits de son industrie, idée que cet ouvrage a surtout pour but de faire bien comprendre. Nous leur empruntons quelques lignes relatives aux poteries.

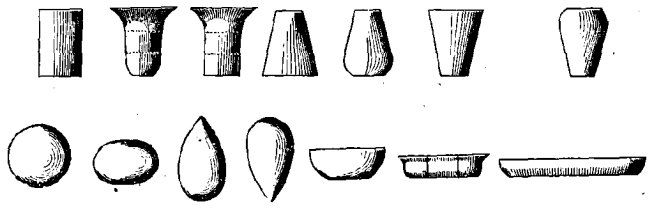
« Les potiches chinoises, dit-il, n'ont-elles pas l'air d'honnêtes mandarins bénignement pansus. . . , le Céleste Empire n'est-il pas tout entier dans une théière? L'Égypte, avec ses Anubis à tête de chien, ses éperviers sacrés, ses scarabées mystiques, ses pylônes, se résume tout entière dans une urne. Ce pot au goulot court, aux épaules embarrassées, aux bras pris dans les flancs, ne vous rappelle-t-il pas un sphinx de Karnac engagé dans son piédestal, une momie emmaillottée dans ses bandelettes? Ces patères étrusques aux contours harmonieux et sveltes, aux peintures sur fond rouge ou fond noir, ne font-elles pas penser, par la beauté et la jeunesse de leurs formes, aux dieux de l'Olympe, aux athlètes frottés d'huile et luttant dans le cirque? L'Espagne ne trahit-elle pas l'invasion moresque par ses tinajas, ses cantaros, ses jarras et ses alcarazzas en terre poreuse où se trouve inscrit le trèfle arabe? N'y a-t-il pas tout le désordre spirituel, tout le papillotage amusant et facile du dix-huitième siècle, dans les lignes tourmentées et pourtant coulantes de ces porcelaines contemporaines de Voltaire et de Mme Pompadour? »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traduire leurs aspirations par des œuvres dignes d'attirer l'attention publique; qu'on n'a pas toujours disposé comme aujourd'hui de belles glaçures, de riches colorations, de brillantes dorures. Les progrès techniques ont eu, dans la céramique, une grande influence sur l'éclat, la richesse des pièces, comme on le reconnaît facilement par la beauté, en tant que fabrication, des productions modernes.

Fabriqués à l'aide du tour, qui assure leur symétrie par rapport à un axe central, condition de stabilité, les produits de la céramique ont toujours (sauf les cas peu nombreux de fabrication spéciale ou d'empiétements de la céramique sur la statuaire) la forme plaisante à l'œil de solides de révolution, de cylindres, de cônes à génératrice rectiligne ou curviligne. Quant aux proportions les plus agréables, Ziégler, dans ses ÉTUDES SUR LES ARTS CÉRAMIQUES, pose plusieurs principes, que nous rapporterons d'après lui.

Il décrit les formes de la céramique, qui, par la nature de leur fabrication, sont, comme je viens de le dire, des surfaces de révolution, des dérivations de la forme cylindrique; celle-ci, dans sa pureté, ou dans ses combinaisons avec des parties circulaires, donne les formes de la ligne supérieure de la figure 39. Les formes ayant deux



39.

ordres de génératrices circulaires, sont avec la sphère, qui n appartient pas à la céramique, mais à une industrie bien voisine, à la verrerie, les formes de tore, d'œuf, les formes cratéroïdes, discoïdes, représentées sur la seconde ligne de la figure.

Quant aux proportions de ces diverses formes, il établit: que pour un vase cylindrique, conique, etc., la hauteur doit être au moins trois fois le rayon, et six fois au plus pour ceux dont la hauteur excède la largeur. Si, au contraire, la largeur excède la hauteur, comme dans les cratéroïdes et les discoïdes, cette largeur doit être de deux fois au moins et de cinq fois au plus la hauteur; enfin, un vase en forme de cône renversé ne doit pas avoir en hauteur plus de deux fois son diamètre moyen.

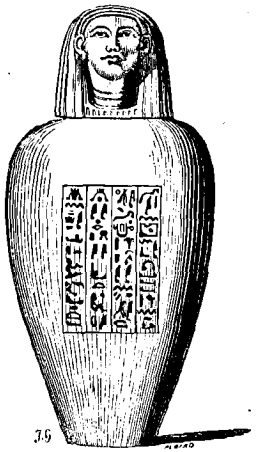
La forme ovoïde, formée par un cône de révolution à génératrice curviligne, est une des formes purement céramiques les plus gracieuses. Elle a donné l'idée de l'ove, ornement d'architecture souvent employé dans les entablements.

La forme sphéroïde aplatie, la forme cratéroïde et les formes ovoïdes sont, après les formes cylindriques, celles que l'on rencontre le plus souvent. Nous allons le voir en étudiant les produits des arts céramiques chez les nations dont les créations ont mérité de prendre place dans l'histoire de l'art, ce qui n'est arrivé qu'à quelques-unes, bien que toutes aient nécessairement, dès leur origine, créé en abondance des vases de terre, vases d'une nécessité presque absolue.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE ÉGYPTIEN

Les poteries des anciens Égyptiens étaient formées d'une pâte grisâtre ou jaunâtre; elles étaient recouvertes d'une glaçure bleue ou verte et décorées d'ornements noirs, généralement disposés en zigzag. La forme générale de ces vases est celle dite canopienne, nom provenant de Canope, ville d'Égypte, où des vases de ce genre étaient employés à filtrer l'eau du Nil. Leur forme dérive du conoïde renversé; des têtes venaient souvent former la partie supérieure du vase, comme dans celui représenté sur la figure ci-contre (figure 40).



40. Vase égyptien.

Les vases égyptiens sont généralement d'aspect sévère, et en rapport avec la sculpture de granit de cette nation. Ce n'était pas chez ce peuple que l'élégance des formes céramiques, des décorations variées à l'infini, devait prendre naissance. Il faut remarquer toutefois certaines pièces, comme exécution et comme caractère spécial, résultant de formes qui appartiennent exclusivement au style des contemporains de Sésostris.

STYLE GREC

Les affinités de la céramique et de l'architecture, au point de vue de l'esthétique, font bien comprendre que les Grecs ont dû y exceller. Ziégler admet comme incontestable que c'est la céramique qui a fait progresser l'architecture en Grèce par ses essais de chaque jour; quoi qu'il en soit, l'influence réciproque de ces deux arts également prospères ne saurait être douteuse, et, par suite, le développement de l'art céramique n'aura sûrement pas été inutile à celui de l'architecture.



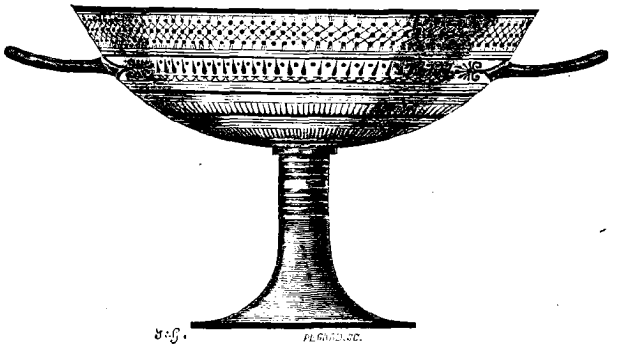
41. Lecythus athénien.

La poterie des Grecs est rougeâtre ou d'un brun jaunâtre, les formes en sont simples, les contours purs et les ornements formés de palmettes et de méandres : les figures en général sont roides, mais d'un dessin ayant de la noblesse.

Les petits vases cylindroïdes du genre de celui représenté par la figure ci-contre, dont le nom était LECYTHUS, viennent principalement d'Athènes; la partie cylindrique du corps du vase est blanche. Cette couleur est caractéristique des vases qui viennent de la Grèce proprement dite.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons ici (fig. 42 et 43) un beau modèle de la fabrication grecque, un de ces vases qu'on donnait en prix aux vainqueurs dans les fêtes publiques ; à savoir la coupe d'Arcésilas, que les antiquaires rapportent au temps de Pindare (500 ans avant



42. Coupe d'Arcésilas.

J.-C.)[1]. Elle est décorée avec du noir et du rouge de brique fait avec du peroxyde de fer étendu d'argile, et du blanc, par application d'une terre blanche. L'élégance de la forme et de la décoration de cette coupe frappe les yeux les moins exercés. Le sujet dessiné à l'intérieur représente un payement des tributs, et, bien que le dessin ait une



43. Coupe intérieure d'Arcésilas

certaine roideur conventionnelle, cependant les formes n'ont rien d'irrégulier. Tout révèle chez le peuple qui produisait de semblables vases un beau sentiment de la forme, la popularité du dessin et de la plastique.

1. Cette coupe, trouvée à Vulci, est à la Bibliothèque nationale de Paris. Le dessin dont elle est ornée représente Arcésilas, roi de Cyrène, assis sur le pont d'un vaisseau dont l'équipage est occupé à peser des corbeilles d'assa-fœtida et à les déposer dans la cale.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est surtout dans la Campanie, dans la Grande-Grèce, que l'on a trouvé le plus grand nombre de poteries de fabrication grecque. Sur un fond rougeâtre est placée la couleur noire caractéristique des vases campaniens, poterie faite par les peuples de la Grande-Grèce, et dont nous allons parler plus loin sous le nom d'Étrusques, par lequel ils sont vulgairement désignés.

STYLE DE L'ÉPOQUE ROMAINE, VASES ÉTRUSQUES

La description que nous avons donnée plus haut d'une coupe grecque et sa décoration rappellent les poteries étrusques. C'est qu'en effet la similitude des deux fabri-



44. Vase étrusque de la collection du Louvre.

cations est assez grande pour qu'il soit incontestable que les Étrusques (presque sûrement issus d'une colonie grecque) ont reçu leurs modèles, leurs traditions de la Grèce.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Cependant certaines poteries étrusques, d'une pâte noire enfumée, paraissent être antérieures à celles trouvées surtout dans la Grande-Grèce, et qui seules sont célèbres par des décorations qui appartiennent à l'art grec, secondé par les ressources que le climat avait mises à la disposition des artistes de cette contrée, c'est-à-dire par des vernis, probablement d'origine volcanique, que le sol leur présenta tout formés. Nous ne nous étendrons pas sur cette question, et nous passerons aussi sous silence les véritables poteries romaines à pâte rouge avec des ornements en relief, très-différentes des poteries grecques, et qui appartiennent à une fabrication bien moins avancée que celle des poteries campaniennes. Cette poterie à pâte rouge, dont on découvre assez souvent des fragments, était la poterie commune; c'était aux potiers grecs et aux étrusques que les Romains demandaient les vases d'art.

Le musée Campana, en nous faisant connaître une collection de vases antiques d'une incroyable richesse, a permis d'établir le caractère propre des divers centres de fabrication. Les vases noirs de Vulci et de Velletri, destinés à la consommation, sont loin d'être sans mérite, surtout au point de vue de l'élégance des formes. Les vases à ornements noirs, légers, sur fond rouge, montrent l'habileté des dessinateurs, qui relevaient les silhouettes des personnages en continuant les lignes d'attache des membres des figures représentées, par des entailles d'une grande fermeté, indiquant un profond sentiment de la forme, et donnant aux figures une élégance remarquable.

Mais les produits les plus intéressants, qui arrivent vraiment à l'art, sont les grands vases auxquels on a donné plus spécialement le nom de vases étrusques. Nous donnons (fig. 44) le dessin du plus beau de la collection du Louvre, justement célèbre : la pureté du dessin qui le recouvre permet, comme dans toutes les œuvres de cette belle fabrication, de bien apprécier la valeur artistique de ces admirables produits qui peuvent rivaliser avec ce qu'on a fait de plus beau dans les temps modernes. C'est pour orner nos collections de ces beaux vases, qu'on fouille encore aujourd'hui avec succès les tombeaux anciens. On sait que dans ces tombeaux on déposait, à côté des corps, des lampadaires, des urnes funéraires, des bijoux non moins remarquables que les vases, etc.

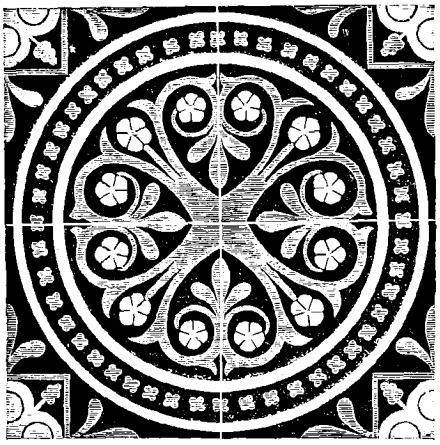
Les produits de la céramique, par suite de leur inaltérabilité, qui est leur caractère essentiel, le plus remarquable peut-être, nous sont parvenus en nombre considérable, et dans un état de conservation qui permet d'en orner nos musées.

ARTS CÉRAMIQUES PENDANT LE MOYEN AGE

La céramique était peu en honneur au moyen âge, et il ne paraît pas qu'il ait été fait beaucoup de tentatives pour en élever les produits à la hauteur de l'art, pour sortir de la fabrication la plus commune. On avait même perdu les procédés employés par les Grecs, les Étrusques et les Romains pour décorer les poteries. C'était en orfévrerie qu'on fabriquait les aiguières, les plats, la vaisselle, en employant ainsi des matériaux précieux pour rehausser le travail de l'artiste. Nous n'avons pas d'exemple saillant de la fabrication de cette époque à rapporter ici, ni à en faire valoir de caractères importants au point de vue de l'art. Ce n'est guère qu'à l'état de carreaux décorés, et pour lutter avec la mosaïque byzantine, qu'il reste des œuvres assez remarquables. On connaît des laves peintes qui remontent au douzième siècle.

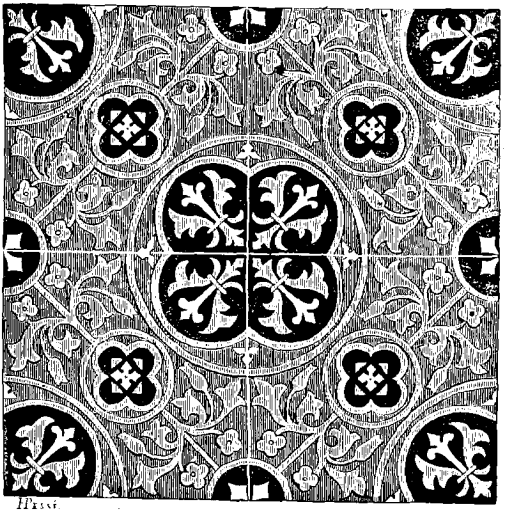
EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons ici un carrelage encaustique du treizième siècle (fig. 45) et un modèle du même genre, composé dans le goût des carreaux de l'époque, par Pugin,



45. Carreaux encaustiques.

architecte anglais, justement célèbre par ses études sur le moyen âge. Cette intéressante application de la céramique a été restaurée dans ces dernières années par l'éminent fabricant anglais, H. Minton, en incrustant, les unes dans les autres, des terres

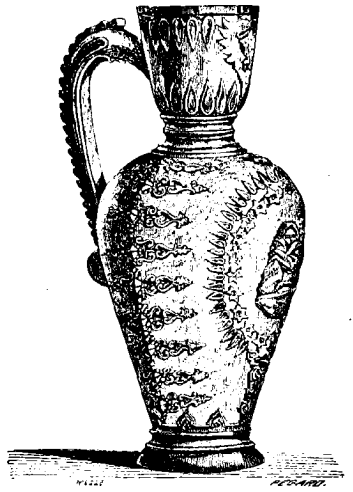


46. Carreaux émaillés.

de diverses couleurs, ce qui permet l'usure du carreau sans que le dessin disparaisse, et produit des décorations variées sans recourir au poli de l'émail, évidemment peu convenable pour un carrelage. On a décrit en détail, à l'article POTERIE, cette intéressante fabrication.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est vers la fin de cette période que la faïence commença à paraître (nous verrons que sa fabrication existait depuis longtemps chez les Arabes) ; mais, comme c'est à la Renaissance que cette fabrication jeta tout son éclat, nous allons en traiter sous cette division.



47. Grès flamand.

Citons toutefois ici les grès-cérames de Flandre, de Hollande et d'Allemagne, qui eurent de bonne heure un cachet artistique assez remarquable, mais qui n'arrivèrent que plus tard à la perfection qui les rendit célèbres au dix-septième siècle. Nous en donnons pour exemple une étude faite d'après leurs formes traditionnelles par Ziégler, qui avait relevé à Voisinlieu, près de Beauvais, une fabrique qui avait eu quelque célébrité au quinzième siècle.

STYLE RENAISSANCE

Vers le commencement du quinzième siècle, on vit apparaître une poterie toute différente de celles qui avaient été faites jusque-là, et à laquelle on donna le nom de MAJOLICA, qui dérive, suivant Scaliger, de MAJORICA, Mayorque, transformé par coquetterie de langage. Les procédés de sa fabrication, inconnus aux époques antérieures, ont pu parvenir par cette voie en Italie, de l'Espagne, où les Arabes les avaient apportés, comme nous le dirons bientôt. Cette faïence, dont le nom vient de celui de la ville de Faenza, tirait surtout son éclat d'un émail blanc opaque dont elle était recouverte, et qui cachait la couleur plus ou moins sale de la pâte. Lucca della Robbia, sculpteur de Florence, élève de Ghiberti, s'illustra surtout dans ce genre de production, donna de la solidité à ses figures et à ses bas-reliefs d'argile en les cuisant, puis les recouvrant de colorations brillantes qu'il sut varier, et qui comprenaient surtout le blanc, le jaune, le bleu et le vert.

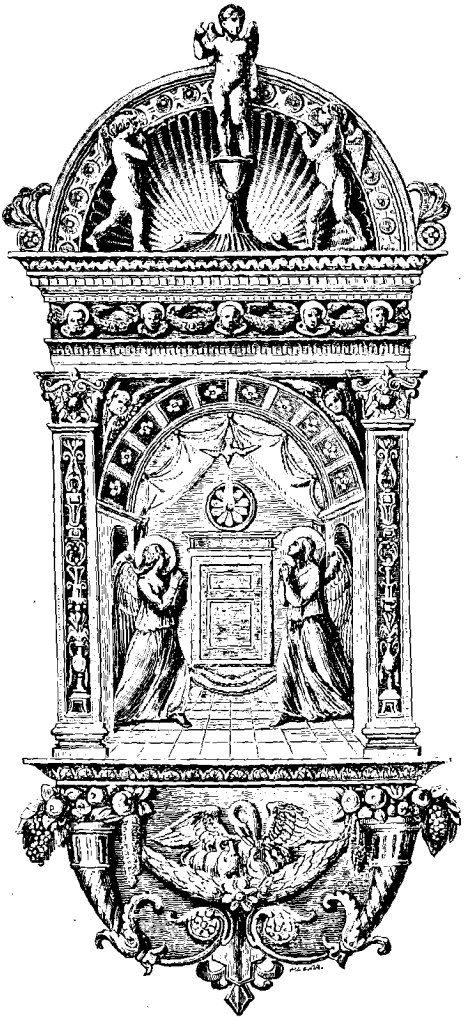
Cette nouvelle statuaire, révélée par des émaux de diverses couleurs, fut très-admirée, et sembla devoir donner naissance à une nouvelle branche de l'art, à cette époque où les beaux-arts se créaient et se développaient à l'envi les uns des autres.

Les Italiens s'efforcèrent d'imprimer aux productions de leurs ateliers un cachet d'art assez élevé, en confiant à des artistes le soin de décorer leurs poteries, ou tout au moins en empruntant aux maîtres de la peinture les sujets dont ils ornaient la terraille. Ainsi Timoteo della Vite, peintre distingué d'Urbino, Battista Franco, Raphaël dal Colle, Zucchero et beaucoup d'autres peintres célèbres, parmi lesquels on peut citer Raphaël lui-même, fournirent de nombreux cartons aux fabriques de faïence. Les gravures de Marc-Antoine, les œuvres des petits maîtres furent aussi répandues dans les ateliers, et servirent fréquemment de modèle pour la décoration des majoliques. A cette école se formèrent bientôt quelques bons peintres céramistes, dont les noms sont parvenus jusqu'à nous. Giorgio Andreoli, souvent désigné sous le nom de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

maëstro Giorgio, qu'il prenait lui-même en signant ses œuvres; F. Xanto Rovigiese, Orazzio et Flaminio Fontana d'Urbino, Guido Salvaggio, Girolamo Lanfranco, etc., élevèrent la peinture des majoliques à un haut point de perfection durant tout le cours du seizième siècle.

Nous donnons une idée de ce genre de travail par un dessin qui représente une pièce de l'œuvre de Lucca della Robbia ou plutôt peut-être de Giovanni della Robbia (fig. 48), un sujet de piété composé par cet artiste, et rendu inattaquable et brillant



48. Faïence de Lucca della Robbia.

par la cuisson et l'émaillage. Elle fait partie de la collection Sauvageot; le fond est bleu d'azur, les figures sont blanches, le calice des fruits est jaune d'or, et les guirlandes vertes. L'épaisseur de la faïence est d'un pouce et demi.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'effet de l'émail blanc, qui caractérise surtout ces productions, est bien rendu dans la figure 49, qui représente une faïence aujourd'hui à Londres, datant de 1500, probablement des fils ou élèves de Lucca della Robbia. Les figures se détachent en blanc sur fond bleu, les feuilles du lis sont vertes. Le sujet a 0m,66 de hauteur sur 0m,46 de largeur.

Si l'avenir n'a pas réalisé les espérances qu'on avait pu concevoir, s'il n'est pas resté de ces tentatives un procédé propre à rivaliser avec la statuaire, à produire un moulage coloré qui soit devenu un genre adopté par l'art, il n'en est pas moins vrai qu'en rendant certaines poteries des objets précieux, ce progrès fit reprendre à la céramique le rang élevé qu'elle avait en Grèce [1].

Ce fut principalement à Casteldurante, sous la conduite d'Orazzio Fontana d'Urbin, et à Florence, sous celle de son frère Flaminio, qu'on fit de grandes plaques de faïence, sur lesquelles ils peignirent des sujets historiques, cette industrie faisant ainsi des excursions dans le domaine de la peinture aussi bien que dans celui de la plastique, excursions peu heureuses, et secondées par une fabrication assez imparfaite.



49.

Les progrès accomplis en Italie ne se firent sentir que plus tard en France. Girolamo della Robbia, petit-neveu de Lucca, vint en France décorer par ses procédés, pour François Ier, le château de Madrid, près Paris.

Les procédés de Lucca della Robbia et de ses successeurs immédiats dans l'art de fabriquer les majoliques furent peu connus en dehors de l'Italie. Toutefois un mouvement artistique analogue à celui de ce pays se développa en Allemagne et en Hollande. A Nuremberg [2], et surtout à Delft, on produisit, dès le commencement du seizième siècle, des pièces en faïence qui rivalisent aujourd'hui dans les collections des amateurs avec les majoliques d'Italie.

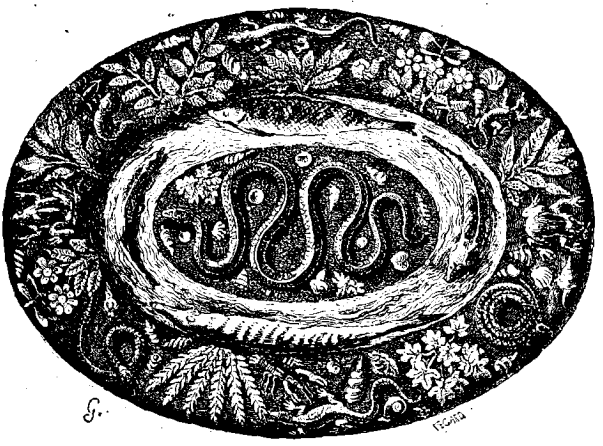
En laissant de côté quelques objets d'une date contestable, sortant de la fabrique de Rouen, qui fit de remarquables produits en faïence surtout à partir du milieu du seizième siècle, rien n'indique que les contrées qui forment la France d'aujourd'hui se

1. Lucca della Robbia fut protégé par cette grande famille des Médicis, qui fit tant pour la splendeur des arts à l'époque de la Renaissance. Ses travaux n'eurent pas une influence directe sur l'industrie proprement dite; la production de ce genre de fabrication disparut quand cessa l'encouragement des souverains.

2. Quelques antiquaires rapportent à la fabrication de Nuremberg la coupe dont il est parlé ci-après, qui servit de modèle à Bernard de Palissy.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

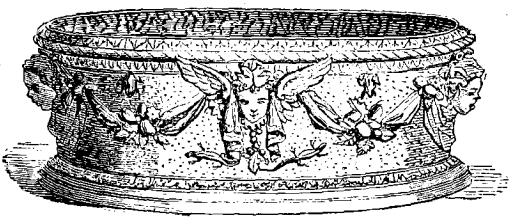
soient associées dès l'origine aux progrès accomplis en Italie. Les essais opiniâtres de Bernard de Palissy, le grand artiste dont nous rencontrons ici les travaux, eurent pour but d'imiter une coupe émaillée, d'origine italienne, qu'il vit en 1530. Tous ses essais, tous ses travaux pour retrouver les émaux blancs et colorés le conduisirent à devenir maître de ses effets; les musées renferment les pièces curieuses de tout genre qu'il exécuta, et surtout des plats destinés aux dressoirs renfermant des poissons, coquilles, etc. Nous en reproduisons (fig. 50) un des plus remarquables que l'on voit au musée de



50. Plat de Palissy.

Cluny. Certes, il y a dans ce genre de production un mérite réel; cependant, malgré toute l'admiration due à la science et au talent nécessaire pour surmonter les difficultés d'exécution, nous n'attachons pas une très-grande importance à ces œuvres.

L'art céramique nous paraît faire fausse route quand il entre dans ces voies d'imi-



51.

tation et qu'il se propose de reproduire des fleurs, des animaux, etc. La faïence (et à plus forte raison la porcelaine et les poteries modernes faites avec des substances modérément plastiques, donnant en général des contours plus durs) a son véritable emploi dans la confection d'objets de formes géométriques bien proportionnées, rehaussés par des colorations brillantes, des émaux qui réfléchissent la lumière comme des pierres précieuses, et se marient parfaitement avec le blanc glacé du fond. Au moins est-il que l'espèce de sculpture colorée et brillante que nous rappelons n'a pas eu un succès

EFERUS - Recherche & Classification numérique

durable dans les temps modernes; l'industrie se borne en général dans ce genre à des imitations des œuvres de Palissy.

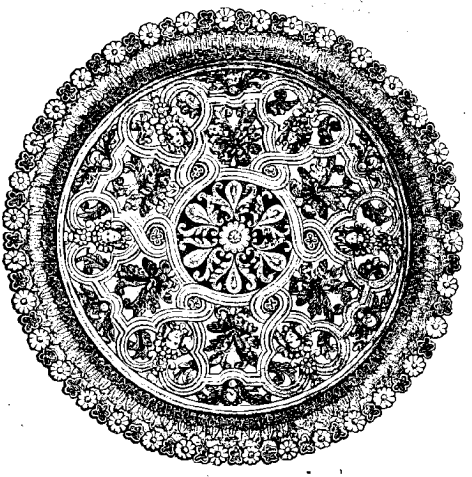
Un mérite plus réel, à nos yeux, de Bernard de Palissy, c'est que, par ses productions variées, il peut, à juste titre, être regardé comme l'inventeur des faïences à glaçures plombifères qui se répandirent sous le nom de terre de pipe, et qui, dans notre siècle, ont été si brillamment améliorées par Wedgwood, le célèbre potier anglais.

Nous donnons comme échantillon des œuvres de Palissy, dans la voie d'une orne-



52. Coupe de Palissy.

mentation plus en rapport avec la nature et la destination de la poterie, une belle coupe dont le dessin nous est fourni par Brongniart. La forme des enroulements vermicellés



53. Coupe de Palissy. Intérieur.

qui en constituent la décoration est tout à fait heureuse et fait valoir l'éclat de l'émail par la multiplicité des points brillants [1].

La figure 51 représente un très-grand vase de Palissy (78 centimètres sur 43, hauteur 34 centimètres); les figures sont blanches, le fond vert, marron et bleu, les franges jaunes.

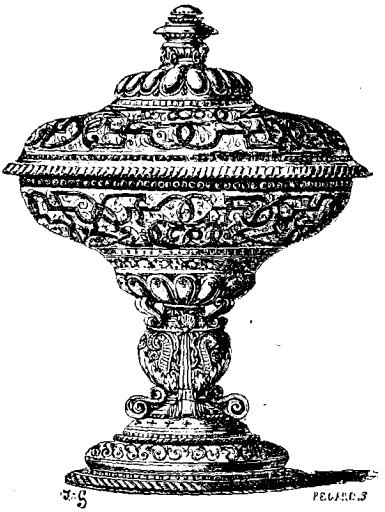
A partir de l'époque de Palissy, on peut dire que les procédés techniques, au point

1. Bernard de Palissy est resté le héros des potiers et un grand exemple de ce que peuvent produire un travail opiniâtre et une énergique volonté. Sa devise, qui indique bien les efforts qu'il dut faire, était: « Povreté empêche les bons esprits de parvenir. » Il créa, comme nous l'avons dit, par ses efforts et son génie, une industrie complète dont les produits sont recherchés pour être l'ornement des collections publiques. Les travaux des habiles émailleurs de Limoges lui furent certainement très-utiles, mais ce furent surtout sa persévérance et son génie qui lui firent atteindre le but qu'il s'était fixé.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de vue des colorations, eurent atteint le degré de perfection qui rend l'art facilement abordable, point important à considérer dans toute fabrication. Nous voulons parler du moment où les ressources sont suffisantes, les résultats assez assurés, pour que l'industrie puisse devenir artistique, pour que la personnalité, l'imagination du producteur puisse se traduire aisément en œuvres d'art, sans être sans cesse trahie par la pauvreté des moyens d'exécution.

A une époque très-peu postérieure à celle des travaux de Bernard de Palissy, il a été produit en France des œuvres en faïence fine extrêmement remarquables et peu nombreuses. Nous ne connaissons rien de plus élégant que la coupe en faïence émaillée dite coupe de Henri II, dont nous reproduisons le dessin, et qui peut être considérée comme un des plus charmants produits de la Renaissance. La forme en est d'une rare élégance,



54. Coupe de Henri II.



55. Biberon.

aussi bien que les ornements qui la décorent; remarquable au point de vue du goût, elle peut passer encore aujourd'hui comme un chef-d'œuvre en tant que difficulté de fabrication [1].

Le biberon (fig. 55) est encore un échantillon célèbre de cette belle poterie.

1. M. Benjamin Fillon est parvenu de nos jours à éclaircir le mystère de cette céramique, le lieu où ces pièces avaient été fabriquées; mis sur la voie par la vue du calendrier d'un livre d'heures exécuté pour Claude Gouffier, grand écuyer de France, ami personnel de Henri II, portant des ornements qui rappelaient ceux des vases dits de Henri II. Nous empruntons l'analyse de sa découverte à M. Barty. (*Chefs-d'œuvre des arts industriels.*)

Guillaume Gouffier reçut en 1450, par la protection d'Agnès Sorel, divers domaines, entre autres celui d'Oiron. Un de ses fils Artus, fut emmené en Italie par Louis XII, et fut nommé par lui gouverneur de ce jeune duc de Valois qui devait être bientôt François Ier. C'était un homme de goût et de lecture. Sa femme, Hélène de Hangest, était aussi une femme remarquablement intelligente. Elle devint veuve en 1519, et cette année même François Ier lui confia l'éducation du second de ses fils, qui fut Henri II. A partir de 1524, Hélène résida souvent dans son château d'Oiron qu'elle avait réédifié avec le concours de l'aîné de ses enfants, Claude Gouffier. Elle mourut en l'année 1567.

C'est dans ce château qu'Hélène, pour distraire ses

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est à Nevers que se conserva ensuite la fabrication de la faïence émaillée, introduite par les encouragements des ducs de Nivernais; on y créa quelques produits remarquables qui entrèrent dans les ameublements riches de l'époque, la vaisselle de terre venant y remplacer en partie l'orfévrerie.

STYLE LOUIS XV

La fabrication caractéristique de cette époque, qui eut un grand éclat sous le règne de Louis XV, fut celle de la porcelaine tendre, exclusivement fabriquée à Sèvres de 1753 à 1761, espèce de verre opaque très-différent de la porcelaine dure telle que celle fabriquée en Chine, bien qu'obtenue en cherchant à imiter la porcelaine chinoise. Elle prit une place importante dans le style qui a gardé le nom de cette époque, et qu'on appelle quelquefois rocaille, Pompadour, régence, etc. L'ameublement alors à la mode se maria très-bien avec les vases décorés en bleu tendre, harmonieux, du vieux sèvres, vases ornés en général de peintures. Des figurines, des moulages de formes diverses, des médaillons couverts de peintures représentant toujours des bergers, des Amours, etc., vinrent même se placer merveilleusement dans diverses pièces de l'élégant mobilier de cette époque.

Nous en donnons ici pour exemple une pièce de ce genre (fig. 56), fort bien imitée, remarquée avec raison à l'Exposition de 1855, c'est-à-dire qui, par le goût de la peinture, l'agrément du fond bleu, possède le cachet traditionnel[1].

dix-huit années de veuvage, avait dirigé ou présidé les travaux de céramique « de son potyer François « Cherpentier et de son segrettaire et gardyen de li- « brairie Jehan Bernart. »

On peut aujourd'hui diviser en trois groupes la série des cinquante-quatre pièces connues de la faïencerie d'Oiron, qui eut peut-être pour premier objectif l'imitation d'une coupe de porcelaine orientale. Dans la première période, les ornements incrustés sont d'une seule couleur ou tout au plus incrustés en brun noir, en brun plus clair, en rouge d'œillet. Les pièces sont aux armes des seigneurs de Bressuire, de Gilles de Laval, des la Trémouille. Elles avaient été très-évidemment faites en vue de cadeaux et non d'une fabrication courante, et c'est encore là un argument en faveur de leur rareté. « Bernart y mit son talent « d'ornementiste, Cherpentier son habileté à façonner « la terre; Hélène, son goût très-fin mais un peu mi- « nutieux et chargé de tristesse. »

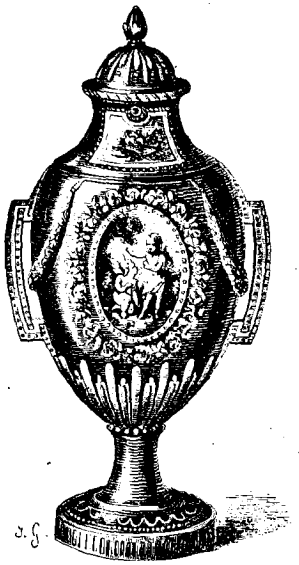
Puis la mort vient rompre l'association de l'ouvrier, du lettré et de la noble femme, et chaque fois que l'un deux tomba, il y eut amoindrissement dans la valeur des produits. Dans la seconde période, celle qui s'étend de 1537 à 1550, et où Bernart ne figure plus dans les états de la maison, on regrette « l'inter- « vention d'un homme aimant les livres, les minia- « tures, et connaissant bien les pratiques de leur exé- « cution matérielle. »

Une fabrication aussi exceptionnelle, ayant pour but unique de meubler les dressoirs ou les pharmacies des membres d'une famille ou de ses amis, ne pouvait se maintenir dans les conditions ordinaires de l'industrie. Les événements vinrent lui porter le dernier coup. Le grand écuyer fut obligé d'abandonner son château menacé par les protestants, au moment de la prise d'armes de 1562, et dévasté en 1568. C'est dans cet intervalle que M. Fillon place la fabrication des dernières pièces qui n'ont point été jusqu'à présent catalogués et sont naturellement d'un prix beaucoup moindre que les autres. Elles ont probablement été faites par quelques industriels à qui on aura abandonné le matériel de la fabrique, puisqu'on y voit des estampages tirés des anciens moules...

1. Plusieurs couleurs, mais surtout le bleu, acquièrent sur la porcelaine tendre un glacé, une demi-transparence, qui font, avec raison, rechercher le vieux sèvres. Les effets sont beaucoup moins agréables sur la porcelaine dure chinoise.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le vase de Sèvres (fig. 57) bleu de roi est encore une élégante imitation des beaux produits de cette époque.

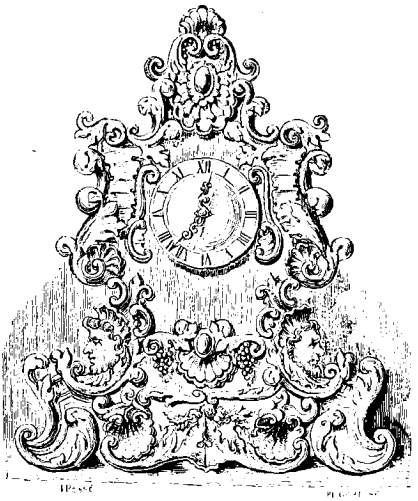


56. Vase Louis XV (vieux Sèvres).



57.

Nous retrouverons les motifs de décoration qui y figurent, lorsque nous étudierons plus loin les lignes des ornements de ce style en elles-mêmes, en dehors des applications.



58. Pendule Louis XV de M. Jacob Petit.

Nous représenterons encore ici une pendule rocaille en style Louis XV, qui pourra

EFERUS - Recherche & Classification numérique

donner quelque idée de ce style tel qu'on l'interprète de nos jours pour le genre de produits qui nous occupe, mais en général il ne s'applique qu'à la décoration d'autres objets, à celle des meubles, par exemple.

La fabrication de la porcelaine chinoise fut pour la première fois réussie en Allemagne, et notamment en Saxe, à Meissen, dont la fabrication de porcelaine dure jeta un grand éclat, après que Bœttger y eut créé cette industrie et découvert que le kaolin était la matière première de la porcelaine dure[1]; mais cette fabrication ne prit, comme industrie, un très-grand développement que dans la seconde moitié du dix-huitième siècle. Nous revenons plus loin sur les produits de cette fabrique.

Sous Louis XVI, le mélange du bronze doré et de la porcelaine fut à la mode, et se retrouve dans quelques pièces assez caractéristiques du style qu'on nomme Louis XVI, qui s'imite encore quelquefois dans l'ornementation, et qui fut une réaction sur le style Louis XV, dont il était loin d'avoir la richesse.

FABRICATION DES PAYS ORIENTAUX

STYLE MAURESQUE

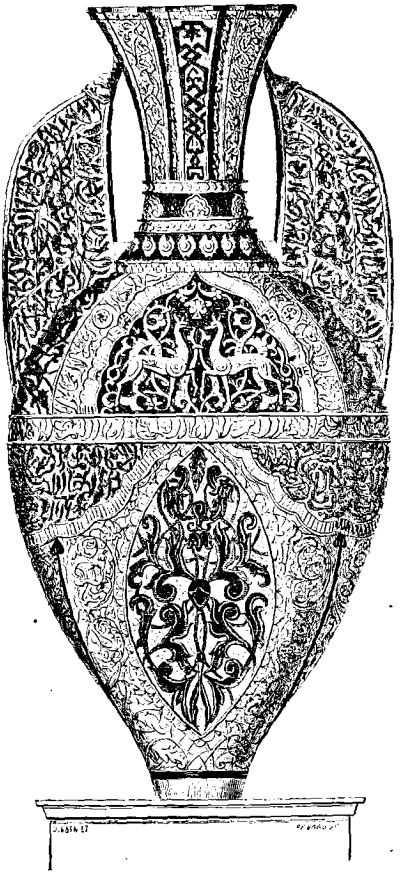
La pâte des poteries mauresques, qui constituent une véritable faïence recouverte d'un émail stannifère, à lustre chatoyant, est grise ou jaune sale; c'est la même faïence que la majolica et la faïence à vernis plombeux, qui nous est très-probablement venue des Arabes. Cette similitude est complète, par exemple, pour les carreaux dits AZULEJOS, obtenus par moulage, dont sont couverts les murs de l'Alhambra, et dans lesquels la netteté des contours, l'éclat des couleurs sont incomparables. Leur fabrication remonte à l'année 1280, et montre combien était avancée à cette époque l'industrie arabe, aussi bien que la civilisation de cette nation, dont le savoir brillait dans les célèbres écoles de Cordoue et de Grenade.

1. La découverte du kaolin, matière première de la porcelaine chinoise, est assez curieuse pour que nous devions la raconter ici, et montrer comment Bœttger, qui était passé de ses recherches d'alchimie à la fabrication d'une poterie rouge, dite porcelaine rouge, soi-disant très-utile pour la préparation de la « teinture d'or, » à cause de sa résistance à de hautes températures, fut amené à l'importante fabrication de la porcelaine dure identique avec celle fabriquée en Chine.

« En 1731, dit M. Klemm, Jean Schnow, un des plus riches maîtres de forges de l'Erzgebirge, passant à cheval près d'Aue, remarqua que les pieds de son cheval s'enfonçaient dans une terre blanche et molle dont il avait peine à se tirer. L'usage général de la poudre à poudrer en faisait alors un objet de commerce considérable. Schnow, négociant calculateur, vit dans cette terre un moyen de remplacer la farine de froment pour cet emploi : il en emporta donc un échantillon à Carlsfeld et en fit préparer de la poudre à poudrer qu'il vendit en grande quantité à Dresde, à Leipzig, Zittau, etc. Bœttger, en ayant, comme les autres, fait poudrer sa perruque, remarqua que cette poussière blanche avait un poids inaccoutumé ; il interrogea son valet de chambre sur l'origine de sa poudre; ayant appris qu'elle était terreuse, il l'essaya, et à sa grande joie il s'aperçut qu'il avait enfin trouvé la matière longtemps cherchée qui sert de base à la porcelaine blanche. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les formes des vases mauresques, tant des parties principales que des accessoires, sont simples ; elles proviennent du cylindre et du cône ; quelques parties concaves à l'extérieur sont caractéristiques. Les ornements sont toujours des espèces de rubans



59. Vase de l'Alhambra.

enlacés, le plus souvent en relief, de la nature de ceux dont nous avons déjà parlé, et qui ont le nom caractéristique d'ARABESQUES. La forme des anses plates et larges est d'un genre tout particulier. On en jugera par le dessin du célèbre vase de l'Alhambra, extrêmement remarquable par son originalité, et que nous reproduisons (fig. 59). La glaçure du fond est assez blanche; les ornements qui la recouvrent sont en bleu de deux tons, l'un plus foncé que l'autre, et d'une sorte d'or ou plutôt de ce lustre d'or souvent employé en Espagne et en Italie, et qui paraît venir des Arabes.

C'est chez les Persans que l'on peut retrouver l'héritage de cette belle fabrication, surtout au point de vue de l'emploi des couleurs franches, en teintes plates, dont les Orientaux comprennent si bien l'harmonie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE CHINOIS

C'est des Chinois que nous viennent la porcelaine dure et les grès, c'est leur admirable fabrication qui a fourni à l'Europe ses plus précieux modèles. Les formes des vases chinois sont ovoïdes, allongées, étranglées. Les ornements dessinent des méandres, des réseaux, des fleurs et des animaux fantastiques. Les couleurs sont très-variées. Jamais on ne trouve de perspective, presque jamais de teintes dégradées dans toutes les



60. Grand vase chinois.



61. Vase japonais.

peintures décoratives des Chinois; ce sont leurs caractères distinctifs; la décoration est toujours produite par des teintes plates et des silhouettes auxquelles se marient avec éclat des couleurs brillantes, épaisses et formant relief, employées de manière à produire le maximum d'éclat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La fabrication si parfaite de la porcelaine est très-ancienne en Chine; elle y existe depuis plusieurs centaines d'années avant Jésus-Christ. Elle occupe aujourd'hui près d'un million d'ouvriers et de peintres, et cependant sa splendeur est bien déchue; les Chinois eux-mêmes collectionnent avec ardeur le vieux chine. On trouve, surtout en pièces anciennes, des modèles admirables par la grandeur des vases, tels que celui que nous représentons ici, pour lesquels les difficultés de cuisson, de moulage, etc., sont habilement surmontées[1]. Nous donnerons encore ici un vase ayant une de ces formes PANSUES qu'affectionnent les Japonais, qui ont emprunté aux Chinois leurs procédés, et dont la porcelaine, introduite en Europe avec quelque abondance par les Hollandais, a toujours été justement estimée. Il est curieux de remarquer que le plus souvent les formes de cette fabrication, tendantes au sphéroïdal, se rapprochent de celles que la fabrication du verre produit avec une grande facilité. C'est même sur cette propriété qu'est fondé un amusement moderne par lequel on parvient à imiter très-passablement

1. M. Beulé a fait une lumineuse comparaison entre l'art céramique en Grèce et en Chine, dans laquelle il montre bien comment on peut sûrement remonter d'un produit industriel à l'esprit de la nation chez laquelle il a été créé. Nous reproduisons le début de cet intéressant travail.

Les Grecs ont fabriqué des vases peints avant les Chinois; ils en ont fabriqué pour tous les usages; leur commerce les portait jusque dans les colonies les plus reculées. Déposés dans les tombeaux, ces vases se retrouvent aujourd'hui par milliers; les musées de l'Europe en sont remplis; les particuliers se les disputent au poids de l'or. Cependant ils n'offrent ni la belle pâte, ni les couleurs éclatantes, ni l'émail transparent de la porcelaine chinoise: un peu d'argile rougie par la cuisson, quelques lignes pour tracer les figures et les ornements, un vernis noir sur les fonds, rien de plus simple que les procédés de l'industrie hellénique. Seulement cette industrie se rattachait à l'art par ses compositions et son style; elle était exercée quelquefois par de véritables artistes, qui signaient leurs œuvres. Les figures sont belles, savamment dessinées, d'une proportion noble. Les dieux, les prêtres, les vieillards appuyés sur leur bâton, les guerriers mourants, les jeunes gens dans le gymnase, les vierges à la fontaine, les enfants poussant leur balle ou leur cerceau, les personnages des scènes familières aussi bien que ceux des tableaux héroïques, — tous révèlent, malgré la rapidité du pinceau, je ne sais quel instinct de l'idéal ou quelle science des modèles déjà créés, qui, reproduit, sur les vases les plus simples, des types admirables, de sorte que, si les antiques des musées venaient à périr, si Pompéi et ses dépouilles recueillies à Naples étaient ensevelies de nouveau par le Vésuve, si nos petits-fils retournaient à la barbarie, ces vases suffiraient pour assurer à la nation grecque l'honneur immortel de sa beauté. . . . . .

Quelles que soient la fécondité et la souplesse de l'esprit chinois, il manque d'élévation; il ne ressemble en rien à l'intelligence supérieure qui anime les sociétés fondées par la race indo-européenne. Un peuple qui ignore les inspirations fières du spiritualisme, le sentiment de l'infini, l'amour de la beauté qui se poursuit toujours, ne saurait atteindre à une grandeur véritable ni dans les lettres, ni dans les arts. Uniquement appliqués à la pratique de la vie, les Chinois ne sortent point du cercle étroit de l'expérience: leur âme n'a pour horizon que l'utile, les jouissances matérielles, les caprices stériles de la fantaisie, de même que le maintien du passé fait toute leur sagesse, et le culte des ancêtres toute leur religion. Aussi l'art n'est-il pour eux qu'un enchaînement d'inventions techniques et de routine: son but est de satisfaire les besoins, d'ajouter le luxe au bien-être, de contribuer aux splendeurs du commerce; mais la recherche désintéressée des principes, l'étude dans le secret de l'atelier, les douceurs généreuses du génie, le feu sacré que le Prométhée des Grecs dérobait au ciel, il n'y a point de cases pour ces instincts sublimes dans le cerveau d'une peau jaune.

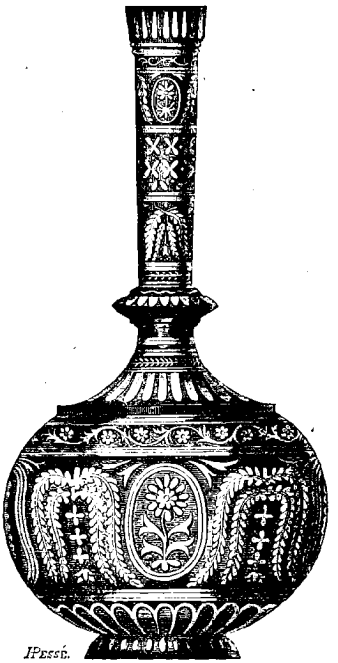
Il n'y a en Chine, à proprement parler, que des industries, c'est-à-dire des applications professionnelles de l'art; seulement ces industries brillent d'un éclat très-vif, parce que l'art, qu'elles ont absorbé, leur communique à leur insu la délicatesse, l'élégance, le goût de la richesse, et surtout de la décoration. On a remarqué chez les Grecs l'irrésistible rayonnement des arts, qui s'est étendu jusqu'aux fabrications les plus viles. Tous les meubles de Pompéi dénotent un sentiment exquis de la proportion, de la ligne, de la forme; les détails d'ornementation sont empruntés directement aux plus beaux motifs de l'architecture ou de la sculpture. Les ustensiles de ménage participent à ce noble caractère. Les Chinois peuvent être comparés aux Grecs par ce côté, bien que les deux effets aient eu dans les deux pays des causes opposées. Tout ce qu'ils fabriquent porte un cachet d'art, superficiel, mais incontestable; leurs métiers les illustrent, et les œuvres de leurs artisans ressemblent parfois à des œuvres d'artiste. Aussi la porcelaine, leur titre principal à notre admiration, donne-t-elle la mesure la plus juste de leur talent naturel pour la peinture. Dans les petites choses, il faut un peu d'instinct et beaucoup de routine: leur habileté à décorer la pâte de kaolin durcie au feu n'a jamais été surpassée par les fabriques célèbres que leur exemple a suscitées sur notre continent. C'est pourquoi je ne crois point faire un honneur trop grand aux Chinois, ni un affront aux Grecs en rapprochant les produits céramiques de l'un et de l'autre peuple, produits qui demeurent inimitables.....

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ces vases de porcelaine, avec des vases de verre dans l'intérieur desquels on colle du papier convenablement colorié.

STYLE INDOU

Les Indous ont une fabrication en pâte noire, avec des dessins clairs, des ornements et des palmes d'un genre tout particulier, relevés quelquefois par un pastillage blanc,



62. Vase indou.

fort élégant. Leurs poteries ont un lustre qui leur donne l'apparence de pièces métalliques. Nous donnons un spécimen de ce style curieux, qui emploie fréquemment les formes dérivées de la forme sphérique. On y voit un emploi, dans la décoration, de rameaux retombants qui se retrouvent souvent dans les objets d'art de l'Inde.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉPOQUE MODERNE

Depuis un siècle, les progrès des arts céramiques ont été merveilleux, tant par le développement de la fabrication de la porcelaine blanche, la plus parfaite de toutes les poteries, que par suite des travaux des potiers anglais, de Wedgwood[1] notamment, le plus célèbre d'entre eux.

Les Anglais ont su les premiers varier, en raison du but à atteindre, les éléments constitutifs des pâtes céramiques, ce qui leur a permis de faire les grès-cérames, les faïences de dureté diverse, les imitations étrusques, etc., en un mot, d'employer la pâte la plus convenable pour chaque nature de produits. De plus, Wedgwood, en prenant ses modèles dans les vases grecs apportés de Naples en Angleterre, et secondé par le célèbre sculpteur Flaxmann, donna, dès l'origine du grand développement de cette industrie, à la majeure partie des poteries usuelles d'Angleterre, une grande élégance empruntée à l'art antique et surtout à l'art grec. Aussi s'efforça-t-on longtemps sur le continent d'imiter ses modèles, et doit-on reconnaître son influence sur les progrès accomplis dans les arts céramiques depuis le commencement du siècle.

La fabrication de la porcelaine dure, à l'imitation de l'admirable industrie qui existait en Chine depuis si longtemps, et dont la matière première a été si heureusement découverte en France dans divers endroits et surtout à Saint-Yrieix, dans le Limousin, a été un immense progrès. Son éclat, sa résistance aux acides, au frottement, aux rayures, en font la première de toutes les poteries, et le développement de sa production, surtout en France, ne saurait trop être rappelé. Toutefois, si l'éclat de son émail, d'une admirable blancheur, est incomparable, on sent dans les formes obtenues par les procédés habituellement employés, que la pâte n'a pas la plasticité de celle qui sert pour la faïence ; elle se prête mal à la confection de pièces devant avoir quelque moelleux, quand on s'écarte d'un style un peu sévère, de la correction géométrique. Il faut souvent employer tous les artifices de la fabrication, abandonner fréquemment l'outil principal de la céramique, le tour, pour recourir au moulage. Également dans son mode de recevoir des couleurs, elle est quelquefois imparfaite, inférieure notamment au composé improprement appelé porcelaine à pâte tendre de Sèvres, pour les bleus.

Au reste, l'art des fabricants n'est plus arrêté aujourd'hui par la difficulté des procédés techniques, pas plus dans l'exécution des formes les plus compliquées que dans la composition, pour tous les cas possibles, de pâtes particulières qui jouissent des propriétés cherchées, en modifiant avec de grands frais, il est vrai le plus souvent, leurs procédés de fabrication.

Il suffit, pour le prouver, de voir quelques pièces hors ligne : ainsi nous rappellerons quelques-uns des grands vases ayant les formes les plus élégantes de la statuaire, et

1. Wedgwood, né en 1730 à Burslem, a donné une immense impulsion à la fabrication des poteries en Angleterre, et son nom est, à juste titre, associé à celui des grands hommes qui, à la fin du siècle dernier, ont tant contribué à la prospérité de ce grand pays : Watt, Arkwright, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

décorés de tout l'éclat des couleurs par des émaux (qui font la raison pour ces pièces d'être en procelaine plutôt qu'en marbre) que fabrique la manufacture de Sèvres[1].

Nous reviendrons sur les formes des vases en traitant plus loin de la sculpture. Mais nous dirons tout de suite que nous ne croyons pas en principe qu'une matière qui ne



63. Vase en terre cuite de M. Follet.

peut pas se ciseler, qui se déforme toujours quelque peu au feu, puisse être considérée comme comparable pour la statuaire au marbre et au bronze ; aussi ne sommes-nous pas partisans des pièces qui, par leurs formes et leur ressemblance avec les produits de la sculpture, n'ont pour mérite principal que la difficulté vaincue. Il en est de même pour les tableaux sur porcelaine qui veulent lutter avec la peinture à l'huile. Faire de l'art

1. Sèvres, dont nous rencontrons le nom, a singulièrement contribué à maintenir, presque au rang des beaux-arts, la céramique, en permettant, sous l'influence de ses savants directeurs, Brongniart, Ebelmen et Regnault, la fabrication de produits qui n'eût pu être tentée au point de vue de l'exploitation commerciale ; les tableaux sur porcelaine notamment, exécutés avec une perfection comparable à celle de la peinture à l'huile, ont fait la réputation de l'établissement et des artistes, MM. Jacotot et Ducluzeau, MM. Jacobbet, Schitt, J.-T. Robert, Froment. La fabrication de la poterie de luxe est trop complexe, exige des moyens de fabrication trop coûteux pour qu'un artiste isolé puisse se livrer, à l'aide de ses propres ressources, à la production d'un objet d'art. C'est là la véritable utilité de la fabrique de Sèvres, qui doit être considérée surtout comme l'atelier par excellence des artistes en art céramique.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en employant des procédés qui multiplient les difficultés et rendent des effets artistiques nécessairement incomplets, c'est faire des tours de force souvent dignes d'admiration, mais qui ne doivent pas être multipliés.

Revenons maintenant à l'indication des types les plus heureux admirés aux Expositions de Londres et de Paris.

1° Les terres cuites sans émail sont devenues, surtout entre les mains de M. Follet de Paris, de charmantes productions, notamment pour contenir des fleurs, pour les suspendre dans les appartements, les serres. La figure 63 offre un échantillon de ces élégants lustres à fleurs.

Un emploi curieux de la terre cuite, depuis longtemps apprécié dans les pays méridionaux, où la gelée ne vient pas l'hiver exercer son action destructive, est celui qui est fait notamment par MM. Virebent de Toulouse pour remplacer dans les bâtiments la sculpture décorative par des terres cuites. La cathédrale d'Alby a été réparée par ce procédé avec une économie très-grande et d'une manière très-satisfaisante. Ces messieurs ont exposé en 1855 une façade d'entrée, en terre cuite, d'une chapelle style roman (si propre aux constructions de dimensions restreintes, telles que chapelles funéraires, etc.), ornée d'un grand nombre de statues, d'une excellente exécution.

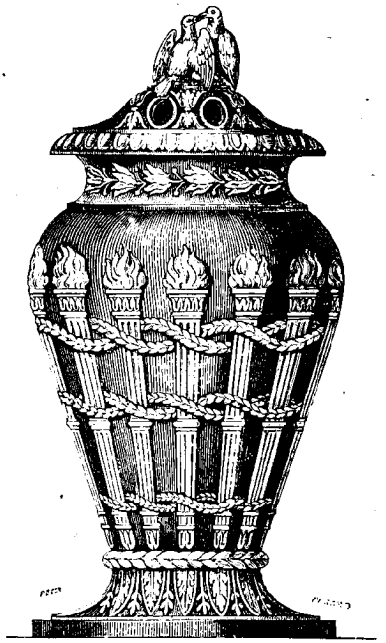
2° Faïence. — La réhabilitation de la faïence, longtemps considérée comme un produit d'ordre inférieur, en présence de la porcelaine dure, est peut-être le fait le plus notable qui se soit produit de nos jours dans les arts céramiques. La facilité d'obéir au goût de l'artiste, d'une matière éminemment plastique, la beauté toute particulière que prennent certaines couleurs, concourent à donner aux œuvres de quelques artistes un charme, une valeur artistique plus grande que celle de bien des pièces en porcelaine très-soignées, mais souvent dures et roides. Minton en Angleterre, MM. Deck et Collinot en France, ont notamment créé, dans ces dernières années, des ouvrages en faïence tout à fait remarquables, qui ont un emploi tout spécial dans la décoration des édifices et l'ameublement. Nous parlerons plus loin de cet emploi de la coloration.

A l'Exposition de 1862, on comprenait en voyant les belles pièces de MM. Wedgwood, les dignes successeurs du grand potier anglais, combien la faïence se prête mieux que la porcelaine à la reproduction de certains maîtres. Sans doute la pureté de Raphaël ou des maîtres primitifs peut s'accommoder de la netteté de la porcelaine; le style simple, le faire serré de ces artistes pourra y être rendu, peut-être, avec un peu de sécheresse, mais avec la précision nécessaire. Il n'en sera plus de même toutefois pour les peintures plus fougueuses du Titien, pour la richesse de Véronèse, pour l'abondance de Rubens ou la profondeur de Rembrandt; avec les couleurs toujours un peu sèches, un peu dures de la porcelaine, il faut renoncer à les reproduire. La faïence, au contraire, a quelque chose de plus gras dans les contours, de plus puissant dans le ton; elle semble pouvoir être empâtée comme une toile de Rembrandt, la peinture fait corps avec elle; bien traitée, elle est certainement supérieure à la porcelaine. Les succès des compositions de nos artistes sont incontestables. En outre, la faïence est redevenue un objet de décoration inaltérable; l'imitation des décorations persanes surtout a été faite avec un grand succès.

3° Grès-cérames. — Les grès ont formé une des bases de la magnifique fabrication de Wedgwood. Rien de plus élégant que les formes qu'il sut leur donner, et qui leur ont valu une renommée parfaitement méritée. Aussi a-t-on cherché à les imiter dans toute l'Europe.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons (fig. 64), comme exemple de cette fabrication, une pièce avec orne-



64. Grès de M. Wedgwood.



67. Grès de Voisinlieu de Ziégler.

ments en terre blanche sur fond bleu, qui, comme les vases jaspés (fig. 65), est un type des productions remarquables de ce grand potier.



65.



66.

Nous donnerons encore comme échantillon une des œuvres de Wedgwood, un camée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

(fig. 66), pâte bleue grisâtre, ornements blancs, dessiné par Flaxmann, qui appartient à une série charmante dont on a su tirer un excellent parti en Angleterre pour une foule de décorations du mobilier.

M. Ziégler a essayé en France une fabrication artistique des grès bruns qui a joui un instant d'une certaine célébrité, grâce aux formes élégantes qu'il a su leur donner. Nous représentons (fig. 67) un de ces produits inspiré évidemment par le style mauresque heureusement employé.

4° PARIAN. — Nous avons dit que les applications de la céramique à la statuaire ne nous paraissaient pas, en général, très-désirables. C'est surtout la dureté résultant des matières peu plastiques qui nous cause cette impression, qui ne saurait s'appliquer aux compositions en terre cuite de quelques artistes, et surtout de Clodion, qui a fait au siècle dernier de charmantes créations en ce genre, très-appréciées des amateurs, et qui, moulées en bronze, ont aujourd'hui un grand succès à cause du sentiment exquis avec lequel cet artiste savait faire valoir des sujets de petite dimension.

Bien que tous les sculpteurs exécutent en argile leurs premiers modèles, bien peu les finissent avec soin, y attachent assez d'importance pour en assurer la durée à l'aide de la cuisson. Ce qui existe surtout de remarquable dans ce genre, ce sont les œuvres en biscuit, c'est-à-dire en porcelaine sans couverte, qui, malgré le mérite de plusieurs de ces productions, et leur popularité sous Louis XV et Louis XVI, nous paraissent avoir les inconvénients que nous avons signalés.

Les fabricants anglais, et surtout MM. Copeland et Minton, ont remédié à l'aspect un peu dur du biscuit blanc de porcelaine en composant une pâte phosphatique dite Parian ou de Paros, qui convient admirablement pour les statuettes. Cette pâte, dans laquelle entre du phosphate de chaux, base principale des os, a quelque chose du reflet jaune, de l'aspect gras de l'ivoire, de l'os. Elle est plus artistique que le biscuit de porcelaine, dont le reflet blanc et dur sent la pierre, et ne convient pas si bien pour représenter le corps humain.

5° FLEURS EN PORCELAINE ET FIGURINES COLORÉES. — Les figurines colorées ont fait longtemps la réputation de la fabrique de Meissen en Saxe, la première qui ait fait de la porcelaine dure, grâce aux travaux de Tchirnaüs et de Bœttger, qui en furent les fondateurs. Nous donnerons à ce sujet le passage que Brongniart a consacré à ces produits dans son TRAITÉ DES ARTS CÉRAMIQUES, note curieuse qui montre la conscience que ce savant apportait dans ses jugements en matière d'art, et est l'expression naïve de la difficulté qui se rencontre à ne pas se tromper sur ces questions.

« Il me paraît difficile, dit-il, pour ne pas dire impossible, d'établir maintenant ce qui est de bon ou de mauvais goût, car j'ai vu appliquer, suivant les temps, chacune de ces épithètes au même objet, par la majorité non-seulement des personnes dont l'opinion sur ces matières mérite une grande considération, mais aussi par des artistes reconnus pour des hommes de talent; je suis donc réduit à ne pouvoir apprécier les productions des arts d'ornement, qu'en émettant ma propre opinion ou l'opinion dominante d'une époque, c'est-à-dire celle de la mode. Or, suivant mon opinion, les figures isolées ou groupées de la manufacture de Saxe sont d'un mauvais goût, d'un mauvais style..., etc. »

Brongniart ne parle ici que de Meissen, mais il est clair que tous les produits du même genre étaient peu goûtés par lui. Le biscuit blanc de Sèvres était le seul qu'il admît pour les figurines. Comme lui, nous estimons peu ces colorations, ces imitations

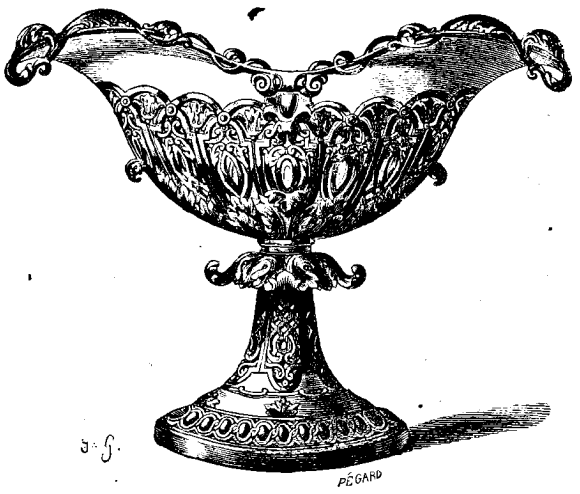
EFERUS - Recherche & Classification numérique

toujours imparfaites, sans nier toutefois l'élégance de quelques pièces de vieux saxe dont le modelage est de la plus grande finesse.

6° PIÈCES EN PORCELAINE. — Il nous reste à traiter la question la plus importante : quelles formes tend-on à donner aux pièces les plus dignes d'être remarquées que produit la céramique à notre époque? (Nous reviendrons plus tard spécialement sur les questions de coloration.)

Nous laisserons de côté toutes les imitations des styles anciens ou étrangers que les progrès techniques permettent d'obtenir; les imitations des pièces étrusques, mauresques, chinoises surtout, dont la fabrication forme une industrie importante, à cause du mérite justement apprécié des productions du Céleste Empire; c'est le cachet propre de la puissance de l'industrie moderne que de reproduire tous les styles antérieurs. Nous ne parlerons pas non plus des produits curieux dus directement aux progrès des procédés de fabrication : telles sont les tasses d'une extrême légèreté obtenues grâce au procédé de moulage à l'aide du plâtre. Les pièces dites coquilles d'œuf, qu'il est possible d'obtenir ainsi, n'ont qu'une épaisseur tellement minime, qu'il serait complétement impossible de les fabriquer sur le tour.

Les genres les plus appréciés des pièces modernes peuvent se ramener à deux principaux.



68. Porcelaine de M. Honoré.

Le premier se rattache plutôt au mauresque qu'à tout autre style; ses caractères essentiels consistent dans l'emploi des couleurs à tons francs, des dorures, des enlacements découpés à jour. Les couleurs à grand feu, telles que celles justement célèbres de M. Disery et Talmours, constituent un progrès important accompli dans cette voie quant à la décoration. Nous donnons ici la pièce du milieu d'un beau service de table mis à l'Exposition de 1849 par M. Honoré, qui nous paraît bien indiquer le genre dont nous parlons.

Les formes employées par les Allemands dans la céramique, et surtout dans la verrerie, procèdent également du style oriental, plus encore que celles adoptées par les Français et les Anglais.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le second est celui que nous appellerons de Sèvres, parce qu'il rappelle les plus belles pièces sorties de cet établissement. Les formes sont le plus souvent ovoïdes, les couleurs sont quelquefois des couleurs au grand feu rehaussées d'émaux; mais le plus souvent le fond reste blanc éclatant pour être couvert de couleurs dégradées, de peintures fines d'une grande délicatesse représentant des fleurs, des oiseaux, etc., plus voisines de la nature, plus sévères que les décorations du vieux sèvres. Ces produits sont reconnus par tous comme les plus riches, les plus élégants, et l'exagération de ce système, qui fait de chaque assiette de Sèvres un objet d'art de valeur, en empêche la propagation, mais n'en amoindrit pas le mérite.

Parmi les pièces remarquables que la fabrique de Sèvres a mises aux Expositions de Londres et de Paris, nous citerons :

Un élégant vase de la fabrique de Sèvres (fig. 69), de forme ovoïde allongée, garni d'anses en bronze (mélange qui conduit à des pièces d'un grand éclat) et recouvert de peintures délicates d'un grand charme.

Une potiche forme chinoise (fig. 70), heureusement modifiée, rendue plus légère par l'allongement de la partie supérieure.



69. Vase de Sèvres.



70. Potiche de Sèvres.

La coupe du travail, composition de Diéterle, sculpture de Jean Feuchère (hauteur $0^m,87$, diamètre $1^m,14$) (fig. 71).

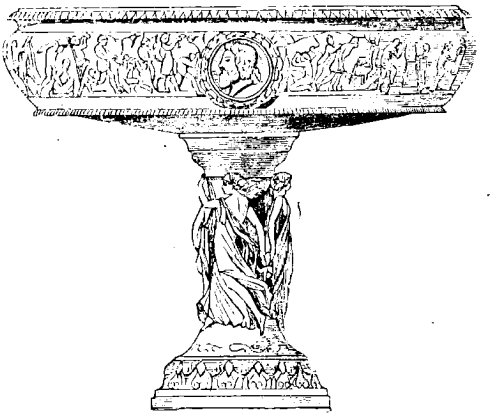
Des fonts baptismaux, style byzantin, pièce remarquable par ses dimensions et la variété de ses décorations (fig. 72).

Un nouveau genre, dont on tire aujourd'hui à Sèvres d'excellents résultats, est celui qui consiste dans l'emploi de pâtes colorées au moyen d'oxydes métalliques, en teintes claires, vertes, grises, etc., décorées à l'aide de pâtes blanches, en relief plus ou moins saillant.

Nous donnerons quelques détails sur l'exécution de ces élégants produits. Sur une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pièce colorée soit au pinceau, soit par le trempage, on pose les pâtes blanches au pinceau par couches successives, en ébauchant une forme que l'on parfait avec des outils tran-



71. Coupe du travail.

chants ou une petite râpe lorsque l'épaisseur voulue est atteinte. Ce bas-relief terminé, il subit une première cuisson appelée le dégourdi, ce qui lui donne assez de consistance



72. Fonts baptismaux, style byzantin.

pour pouvoir être trempé dans une eau tenant de l'émail pulvérisé en suspension. Enfin, vient la dernière cuisson. Les parties épaisses conservent un relief qui modèle la forme; au contraire, les parties les plus minces laissent apparaître le fond, donnent quelque chose d'indécis à la réunion du bas-relief et du fond.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRERIE

Dû aux Phéniciens, suivant la tradition rapportée par Pline, l'art de fabriquer le verre fut cultivé avec succès dans l'ancienne Égypte. Les poteries qu'on a retrouvées montrent, autant que les verres, que les Égyptiens avaient porté assez loin la science des émaux, de la vitrification.

On voit dans le Musée de Londres une belle coupe retirée par le capitaine Layard des fouilles faites sur l'emplacement de Ninive. Un nom est gravé sur ce verre ; d'après les caractères employés et la localité où il a été trouvé, on doit penser que sa fabrication ne remonte pas à moins de sept siècles avant l'ère chrétienne.

Les Romains ne connurent guère l'art de la verrerie que lors de leurs conquêtes en Asie, peu avant l'Empire. Le développement du luxe prit alors un tel essor, que la production des verreries égyptiennes fut activée pour satisfaire les goûts raffinés des maîtres du monde. Elles produisirent de véritables chefs-d'œuvre, sans doute, car Pline, en parlant des vases de verre, dit : « On prend maintenant si grand plaisir à boire dans de beaux verres, qu'ils se sont substitués dans les buffets à l'or et à l'argent. » On comprend, dès lors, combien les verriers d'Alexandrie furent attirés à Rome (sous le règne d'Auguste), ainsi qu'une foule d'ouvriers de tout genre d'industries; ils affluèrent à Rome, venant les uns d'Égypte, les autres de la Grèce ; ils apportèrent avec eux les secrets des arts de luxe, peu connus des Romains de la République. Dès ce moment on sut, à Rome, dorer, ciseler, colorer le verre. Néron encouragea beaucoup cet art, et paya de sommes considérables de belles coupes de verre.

Pline (l'an 70 de l'ère chrétienne) donne de curieux détails sur les verreries de son temps :

« ... Les fourneaux de verre, dit-il, sont à bois comme ceux où on fond le bronze. La « première fonte est tirant sur le noir. On la recuit encore une autre fois en un autre « fourneau, et on lui donne telle couleur que l'on veut. Les verriers de Sidon, ville d'où « l'on apportait jadis toute la belle verrerie que nous avons, faisaient leurs verres en « soufflant, ou bien ils les polissaient au tour et y faisaient des ouvrages de plat et de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« relief comme on ferait sur des vases d'or et d'argent. Même l'invention d'en faire « des miroirs y fut trouvée. Maintenant, on fait le verre, en Italie, d'un certain sable « blanc qu'on trouve au bord du fleuve Volturno; on en use quasi partout ainsi, et « notamment en Gaule et en Espagne. »

Je reproduirai ici les figures des deux plus curieuses pièces de verre de l'antiquité que l'on connaisse.



73.



74.

La première a été trouvée, en 1839, dans un sépulcre de Pompéia. Connue sous le nom de VASE DE NAPLES (fig. 73), elle est exposée dans le Musée de cette ville. Sa hauteur est de 30 centimètres. Les figures en relief, en émail blanc, d'un dessin et d'un fini très-remarquables, paraissent avoir été ciselées dans une couche de verre blanc qui recouvrait la masse, qui est transparente, et d'une couleur bleu foncé. Le pied de ce vase a été cassé. Quelques auteurs pensent que ce vase a été fait pour être monté sur un socle en métal. On fait remonter sa fabrication au règne de Trajan.

L'autre vase (fig. 74) a été pendant plus de deux siècles le principal ornement du palais des princes Barberini à Rome; il est maintenant connu sous le nom de VASE DE PORTLAND, ayant été adjugé, dans une vente, à la duchesse de Portland pour le prix de 1800 guinées (46,800 fr.). Déposé au Musée de Londres, il y a été brisé en mille morceaux par la canne d'un fou; mais il a été rétabli avec une incroyable habileté.

Ce vase a été trouvé, vers le milieu du seizième siècle, aux environs de Rome, dans un sarcophage en marbre. Il est orné, comme le vase de Naples, de figures blanches opaques, en relief, qui se détachent sur un fond bleu foncé. Le dessous du pied de ce vase est également gravé.

L'art de la verrerie fleurit de bonne heure dans l'Italie moderne et paraît s'être fixé à Venise, dont les anciens ouvrages en verre ont beaucoup d'analogie avec ce qui a été retrouvé des produits des verreries antiques. On connaît la célébrité des glaces de Venise, ainsi que des verres d'apparence diverse qui y étaient fabriqués. Murano était le lieu de cette fabrication, qui fournissait à Venise de précieux moyens d'échange pour son commerce avec l'Asie, source de ses richesses. Aussi, jaloux de conserver le monopole de cette industrie, le gouvernement de la République soumit-il les verriers à des règles sévères, mais en même temps il leur donna de nombreux priviléges pour encourager leur profession.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Lorsqu'après plusieurs siècles de prospérité, Venise vit décroître son commerce par suite des nouvelles routes ouvertes vers la Chine et l'Inde par le cap de Bonne-Espérance, et que l'esprit de commerce pénétra les nations rivales, les procédés de l'art de la verrerie passèrent de l'Italie dans le reste de l'Europe et surtout en Bohême, où il s'est en quelque sorte nationalisé, et où les progrès se sont succédé sans interruption. Assez longtemps ce pays sut, grâce à l'habileté de ses ouvriers, reconstituer en quelque sorte à son bénéfice le monopole dont avait joui Venise.

La fabrication des glaces, introduite en France grâce aux efforts de Colbert et à l'aide d'ouvriers vénitiens, y a réalisé un grand progrès qui a transformé les décorations intérieures des habitations. Nous voulons parler des glaces coulées par le procédé dû à Abraham Thévart, et qui, obtenues en très-grandes dimensions, ont pu jouer un tout autre rôle dans la décoration des appartements, pour multiplier les lumières, que les petits miroirs de Venise.

Fabriqué à l'aide de l'insufflation, le verre prend naturellement la forme sphérique; c'est par des artifices de fabrication, des déformations par allongements cylindriques de cette forme sphérique, que s'obtiennent les figures variées des verres qui, à cause de la similitude de leur nature, doivent être étudiés en même temps que les produits céramiques.

La découverte du cristal, c'est-à-dire de la modification qu'éprouve le verre de Bohême, quand on fait entrer dans sa composition du minium pour en augmenter la fusibilité, fournit la base d'une fabrication d'abord prospère en Angleterre, puis introduite avec succès en France, où la verrerie avait toujours été considérée comme un art, où les gentilshommes verriers avaient toujours joui de grands priviléges; les procédés particuliers employés pour travailler le cristal, le moulage et la taille à l'aide des meules de grès, ont permis d'obtenir des produits de la plus grande richesse, des formes élégantes auxquelles les jeux de lumière donnent un éclat admirable. C'est la transparence si brillante du cristal, qui est la cause principale de sa recherche si générale dans la décoration, dans les services de table notamment. Ajoutons qu'un nouveau progrès, à savoir l'emploi de la gravure par l'acide fluorhydrique, est venu augmenter le charme des objets en cristal, en permettant de produire des dessins complexes, à peu de frais, qu'on ne pourrait produire à l'aide du tour.

La coloration des cristaux accroît encore le nombre des effets qu'il est possible d'obtenir. Ainsi, au moyen de verres convenablement colorés par des oxydes métalliques de cobalt, de manganèse, l'or divisé, etc., on a pu obtenir non-seulement des pièces d'un aspect agréable, mais reproduire, en en imitant aussi les formes, des fac-simile de poteries égyptiennes et étrusques, imiter parfaitement la malachite, l'agate et les terres antiques. Si, au lieu de colorer le verre tout entier, on enduit le cristal blanc de verre coloré, on obtiendra par la taille, qui enlèvera par places cet autre verre de peu d'épaisseur, des effets curieux. C'est un procédé fréquemment employé aujourd'hui.

Les cristaux opaques ou opalins jouent un grand rôle dans la fabrication artistique. Ils s'obtiennent, en France, par l'addition de phosphate de chaux; en Bohême, en ajoutant à la masse fondue du verre pulvérisé et travaillant le mélange à basse température. Le verre opalin coloré en vert a été fort à la mode il y a quelques années; on lui avait donné le nom de chrysoprase.

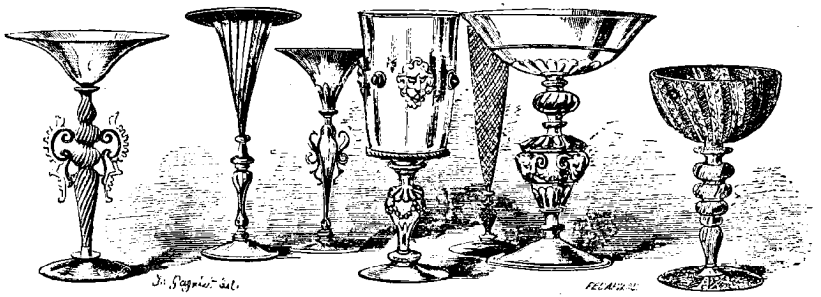
EFERUS - Recherche & Classification numérique

VERRERIE.

Parmi les produits anciens, dont on imite la plupart de nos jours, on doit citer parmi les plus intéressants :

Les verres de Venise; nous représenterons ici (fig. 75) les plus beaux de la riche collection du Musée de Cluny.

Les pièces en cristal de roche taillé et incrusté produites surtout par les Indous, et qui sont d'une grande élégance. La fabrication européenne les reproduirait à bien moins de frais en cristal, qui seul est travaillé dans nos ateliers, à l'exclusion du cristal de roche plus dur, et complétement abandonné aujourd'hui.



75. Verres de Venise.

Nous traiterons plus loin, en parlant des colorations, de l'emploi des verres colorés pour vitraux, qui ont formé un élément de décoration si important des cathédrales, au moyen âge.

Quant aux produits modernes, nous distinguerons :

1° La verrerie, la gobeletterie de luxe, remarquable par sa légèreté, par ses formes capricieuses, l'élégance des formes obtenues par le moulage et la taille, et qui résulte en général d'oppositions entre les parties larges qui contiennent les liquides et les supports minces; ce genre de produits a évidemment sa tradition dans les verres de Venise. Les verres mousseline d'une extrême légèreté, trop délicats pour être taillés à facettes, gravés à l'acide et ornés seulement de dessins mats, sont de charmants produits.

2° Les cristaux colorés en couleurs que la transparence rend éclatantes, souvent rehaussés d'or, et qui ont par suite une tendance au style oriental, qui affectionne les couleurs franches.

Nous donnerons ici un verre à fleurs, coloré en rouge, de forme orientale, fabrication de Bohême[1] (fig. 76) et un magnifique hanap (fig. 77) en verre jaune, recouvert d'ar-

1. Nous dirons ici un mot de cette industrie de la Bohême, que nous ne saurions mieux comparer qu'à notre industrie lyonnaise de la soie. Là, comme à Lyon, une nombreuse population est livrée exclusivement à une seule industrie; tout le monde s'en occupe, coopère à des progrès qui se répandent avec la rapidité de l'éclair. La division du travail y est poussée très-loin, et chaque ouvrier y trouve la spécialité qui convient à son intelligence. Aussi, si la valeur artistique des produits ne s'élève peut-être pas très-haut, le nombre des pièces curieuses est infini, et certaines fabrications, la lustrerie, par exemple, s'y font à un bon marché incroyable, auquel les grandes fabriques ne peuvent atteindre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

moiries, imitation parfaite d'un chef-d'œuvre de l'ancienne fabrication. Les verreries de Bohême ont encore su créer un genre curieux; je veux parler des verres craquelés, arrêtés en quelque sorte dans leur cristallisation.

Nous citerons pour mémoire les colorations à la moufle sur verre, analogues à la peinture sur porcelaine, dont l'exécution offre beaucoup de difficultés et qui donnent, avec la transparence particulière au verre, des effets analogues à ceux qu'on obtient sur les poteries. Les déchets de fabrication sont assez considérables et les difficultés trop grandes pour que ce procédé prenne un bien grand développement.



76. Verre de Bohême.



77. Hanap.

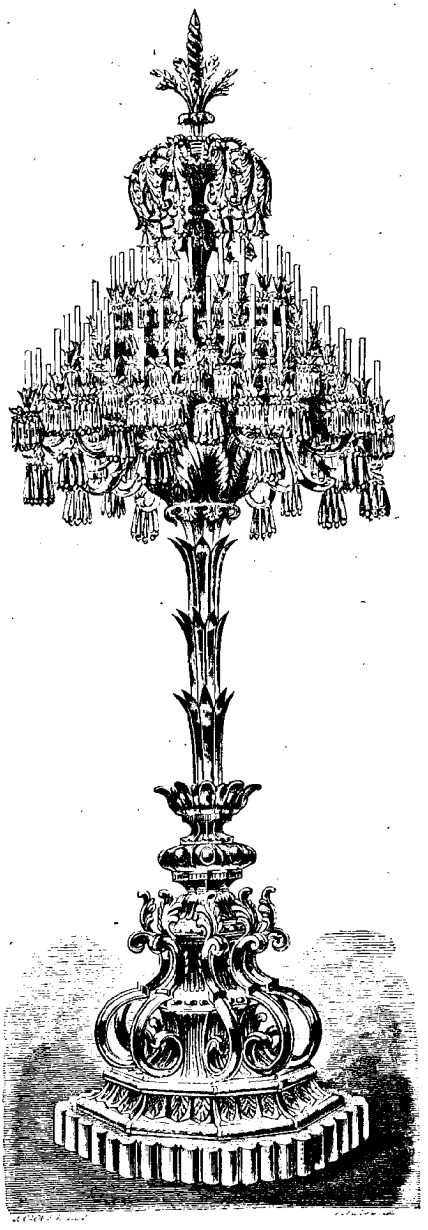
3° Enfin la fabrication en cristal blanc, dont l'éclat est si grand aux lumières, ne se borne pas aux petites pièces dont nous avons parlé plus haut. Toutefois ce beau produit de l'industrie moderne se prête mal aux décorations par imitation de formes naturelles. Les figures humaines deviennent inadmissibles en devenant transparentes; les Amours, à travers lesquels on voit le jour, semblent des glaçons prêts à se fondre.

Il doit toute sa valeur à l'harmonie des lignes, à la proportion, à l'élégance des courbes, et surtout aux jeux de la lumière au milieu de mille facettes. C'est surtout par là que le cristal blanc brille; les POINTES DE DIAMANT multipliées ont créé le genre longtemps à la mode. Une décoration à côtes brillantes, dérivation du précédent, est plus appréciée aujourd'hui, et se marie bien avec les formes élancées qui remplacent les formes sphériques plus anciennes.

On produit avec le cristal des effets artistiques d'un ordre élevé et tout particulier; car, comme les pierres précieuses, il offre la condition spéciale de décomposer et de multiplier la lumière au lieu de la réfléchir simplement. Les lustres en bronze et petits cristaux, dont les facettes multiplient la lumière à l'infini, constituent le mode d'éclairage le plus riche et le plus brillant que l'on ait pu inventer. Nous donnons ici un beau spécimen de ce genre d'application, le candélabre de Baccarat, de 5^{m},25 de hauteur, qui, comme goût, nous semble une des plus heureuses œuvres exécutées en cette belle substance, et être même supérieur aux très-grands lustres exécutés depuis dans les mêmes conditions. Dans ce candélabre, le cristal qui reflète et décompose la lumière

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'élève et s'épanouit avec une richesse et une élégance incomparables. Cette pièce restera, croyons-nous, comme une des plus remarquables qui soient sorties de cette célèbre fabrique.



78. Candélabre de Baccarat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION III

MEUBLES, ÉBÉNISTERIE

L'étude des meubles, du mobilier, doit suivre immédiatement celle de l'architecture, non-seulement parce que les divers objets qui le composent sont destinés à prendre place dans les salles que produit l'architecture, et par suite doivent nécessairement être en rapport avec la forme, la disposition des édifices, des pièces pour lesquelles ils sont créés; mais encore parce que les meubles sont de véritables constructions obtenues à l'aide d'assemblages qui donnent à leur charpente une forme rectangulaire; que leur élégance, le charme de leurs lignes est surtout le résultat d'harmonies de même nature que celles qui charment dans les monuments. Il existe entre ces deux genres de construction une harmonie intime que l'histoire démontre avec une netteté parfaite. Les formes des meubles sont inspirées par le même goût qui, à une époque déterminée, fait construire les édifices; ils naissent dans chaque style sous l'influence des mêmes mœurs; la convenance à laquelle ils doivent satisfaire est de même ordre. Servant immédiatement à notre usage, ils sont en contact avec nous et portent l'empreinte de notre personnalité; l'ornementation y est à l'aise et trouve à s'appliquer largement.

Le bois est, par excellence, la matière convenable pour la fabrication des meubles, et les métaux, souvent employés pour des meubles de peu de prix, ne peuvent le remplacer; le froid du métal contraste désagréablement avec le toucher agréable du bois poli.

Indépendamment de la beauté des teintes et des veinures des bois employés par l'ébénisterie, de l'éclat qu'ils acquièrent étant polis, et dont l'industrie vulgarise l'usage en en abaissant les prix de revient par le placage, le grand mérite du bois pour la fabrication des meubles résulte de la facilité avec laquelle on peut le travailler, de l'élégance des formes qu'on peut lui donner par un travail modéré.

Les différentes manières de façonner le bois suivant des formes voulues, les moyens de production ont nécessairement une relation intime avec les formes décoratives qui sont le plus employées. Nous distinguerons :

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le travail à l'aide de la scie et du rabot, qui permet d'obtenir toutes les surfaces à génératrices rectilignes, toutes les moulures analogues à celles de l'architecture;

Le tour, qui sert à obtenir toutes les formes cylindriques, coniques, ovoïdes;

Enfin le ciseau qui, dans les mains du sculpteur, crée toutes les formes inspirées par la fantaisie de l'artiste, vient ajouter souvent, pour les meubles de luxe, les ressources de la sculpture décorative, de l'imitation des formes de la nature animée, à celles déjà obtenues naturellement en quelque sorte, en satisfaisant aux conditions générales de la construction.

Les ressources de la sculpture sur bois sont trop grandes pour qu'on puisse appliquer à la fabrication des meubles les observations que nous avons faites à propos de la céramique, sur le peu de convenance des imitations de sujets animés; et, sous ce rapport, l'étude que nous poursuivons ici devra trouver son complément dans le chapitre suivant, consacré à la sculpture qui tient une si grande place dans l'ébénisterie.

Nous établirons tout de suite le principe de l'emploi de la sculpture, c'est-à-dire de l'application d'une des branches des beaux-arts à la fabrication des meubles. Nous dirons donc que, quelque convenable que soit la sculpture appliquée à la décoration des meubles, elle ne doit pas être prodiguée mal à propos, c'est-à-dire placée de manière à faire disparaître les lignes gracieuses d'un meuble, le profil harmonieux qui doit former le caractère principal, essentiel, de ces petites constructions. Surtout la sculpture ne doit jamais gêner la convenance, qui exige que le meuble se prête facilement à l'usage auquel il doit servir.

Ce que nous disons de la sculpture est également vrai du mélange du bois avec le bronze, la porcelaine, la mosaïque, etc., et en général de tous les moyens de décoration étrangers à la construction du meuble proprement dit.

Ces principes vont trouver leur application dans l'étude des produits des diverses époques que nous allons esquisser. Malheureusement, les produits de cet art, plus périssables que ceux des sections précédentes, nous sont parvenus des époques reculées en bien moindre nombre, outre qu'ils étaient bien peu variés avant le seizième siècle, ce qui diminue l'intérêt de l'étude des temps anciens. Ce n'est, en général, pour les siècles passés, que par les bas-reliefs, les sculptures, que nous pouvons reconnaître les formes des meubles employés dans les civilisations antiques.

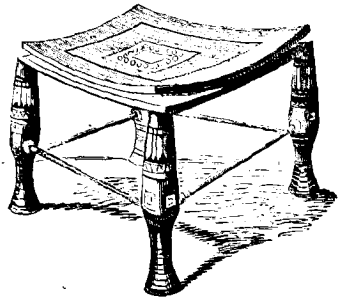
STYLE ÉGYPTIEN

Les monuments égyptiens portent gravés sur les murailles une foule de scènes, et, par suite, différentes formes de meubles. Des enveloppes de momies, diverses boîtes parvenues jusqu'à nous nous montrent que les œuvres en bois de l'ancienne Égypte méritent un intérêt réel.

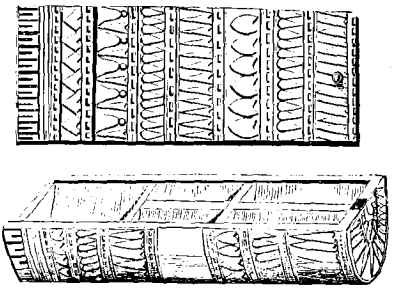
La figure 79 montre un tabouret dont la décoration est de bon goût; la figure 81 reproduit le fauteuil de Rhamsès.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Enfin la figure 80 montre la décoration vraiment très-élégante d'une boîte à compar-

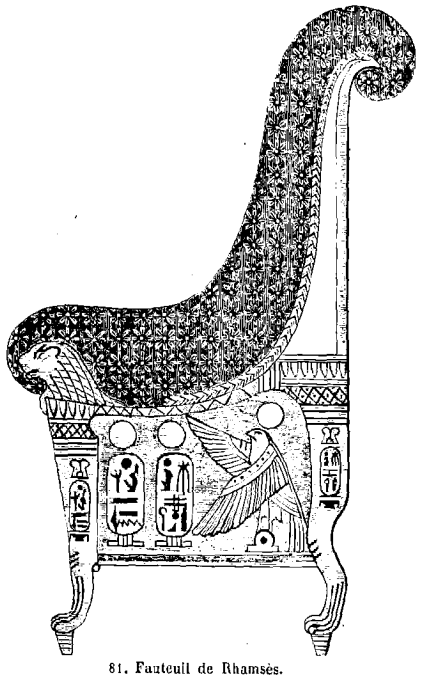


79. Tabouret égyptien.



80. Boîte égyptienne.

timents dont le dessin est, comme les précédents, emprunté à l'ouvrage de Wilknson sur



81. Fauteuil de Rhamsès.

les antiquités de l'Égypte. Elle rappelle assez le style grec pour qu'on puisse supposer, avec toute apparence de raison, qu'elle provient de l'époque des Ptolémées.

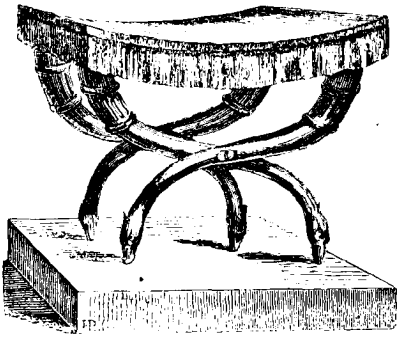
STYLE GREC, ROMAIN

Les anciens ne connaissaient qu'un petit nombre de meubles, et les bas-reliefs nous fournissent seulement des indications de formes d'objets qui se rapportent plus souvent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

aux représentations publiques qu'à la vie privée. Les Grecs avaient reçu quelques traditions de l'Asie, et les transmirent aux Romains après leur avoir sûrement imprimé ce cachet d'élégance qui appartenait à toutes leurs productions.

Nous donnons ici un dessin du siége du préteur (en bronze), qui se retrouve dans

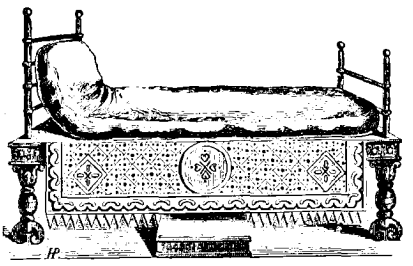


82. Siége de préteur romain.

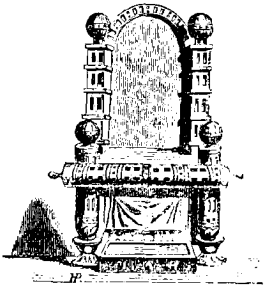
beaucoup de sculptures romaines. Il appartient bien plus à la Rome ancienne que le lit, évidemment d'origine asiatique, qu'adoptèrent les Romains de la décadence dans leurs fêtes et leurs orgies.

STYLE BYZANTIN ET ROMAN

Nous avons quelques pièces de mobilier, ou plutôt quelques dessins de l'époque où se construisaient les églises de style roman. Les meubles se sentent du goût dominant, et du peu de luxe qui régnait à l'intérieur des habitations.



83. Lit roman.



84. Trône byzantin.

Nous donnerons un dessin de lit tiré d'un manuscrit intitulé HORTUS DELICIARUM, de Herrade de Lansberg, abbesse de Sainte-Odile, qui était conservé à Strasbourg, et a été détruit dans l'incendie de sa bibliothèque lors du bombardement de cette ville par les Prussiens, et l'autre imité d'une miniature d'un manuscrit du dixième siècle (dû à un moine de l'abbaye de Saint-Martial à Limoges), le trône byzantin de Théodose le Grand représenté présidant un synode à Constantinople.

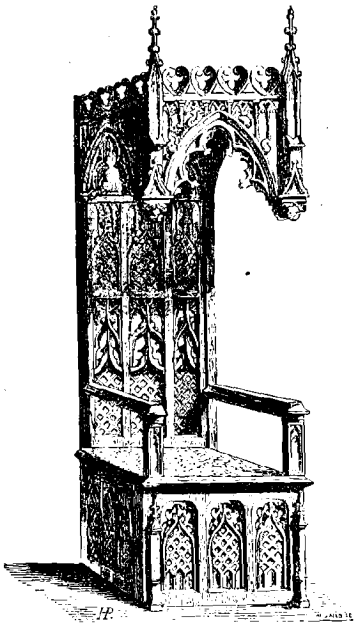
Les vignettes des manuscrits des dixième et onzième siècles nous représentent des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trônes entourés de draperies formant fond derrière les siéges, ou bien appendues à des sortes de coupoles qui les surmontent en guise de dais; ces accessoires dominent le tout, car l'industrie, à Byzance, avait absorbé l'art. Ce sont tantôt des pliants en métal ou en bois, tantôt de larges chaires à dossier comme le siége de Dagobert qui rappelle le siége romain. Les bois de ces trônes étaient ornés d'incrustations de métal, d'ivoire et de pierres dures; dans la période gothique qui suivit, la sculpture l'emporta sur la marqueterie.

STYLE GOTHIQUE OGIVAL

Lorsque la sculpture sur pierre prit l'essor que nous manifestent les travaux si variés des cathédrales, elle entraîna, dans son mouvement de progrès, la sculpture sur bois chargée de la décoration des intérieurs, de l'exécution des stalles des chœurs, etc. Il est resté, dans nombre d'anciennes églises, des sculptures, des chaires à prêcher qui



85. Chaire gothique.

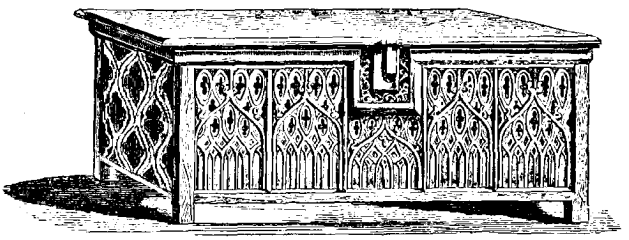
sont admirables; car, comme la sculpture sur pierre, la sculpture sur bois ne produisait guère que pour l'ornement des églises, ne se détachait pas plus qu'elle de l'architecture. Nous aurons à étudier cette question en traitant plus spécialement de la sculpture dans la section suivante. Nous nous contenterons de dire, dès à présent, que les créations de la sculpture sur bois, à cette époque, ne sont en général que des réductions de constructions de l'architecture; elles rappellent presque toujours les clochers, les flèches des églises, et par la profusion, la répétition de ces éléments, se sont traduites en des œuvres d'une grande légèreté et d'une grande richesse.

Le même empressement se fit bientôt sentir dans toutes les directions du travail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Jusque vers le milieu du douzième siècle, dit M. Viollet Leduc, l'ornementation sculptée ou peinte est toute conventionnelle; on reconnaît parfaitement qu'elle subit une influence dont elle ne se rend pas compte. Elle ne consiste même souvent qu'en un travail mécanique dans lequel la main, guidée par les traditions, suit certaines lois importées; tandis qu'à dater de la fin du douzième siècle, dans l'architecture comme dans les meubles, la décoration peinte ou sculptée commence à rechercher l'imitation des végétaux de la contrée. Alors les dernières traces des arts byzantins sont complétement effacées, et si, dans l'ornementation, l'imitation des végétaux et animaux se fait sentir, dans la composition des meubles les traditions font place à l'observation des besoins auxquels il faut satisfaire et des propriétés particulières à la matière employée.

Aux treizième, quatorzième et quinzième siècles, la « hucherie » était tenue en grand honneur. Les corporations des huchiers étaient nombreuses, et d'importants travaux leur étaient confiés. Les imitations de ces anciennes œuvres forment l'objet de travaux assez importants de nos jours, quelquefois pour des mobiliers de particuliers, mais surtout pour garnir les églises gothiques, pour les chaires à prêcher, etc..



85. Bahut gothique.

Nous donnons ici comme exemples un fauteuil à dais fréquemment usité, dit chaire, et un bahut, empruntés tous deux au musée de Cluny.

STYLE RENAISSANCE

C'est à l'époque de la Renaissance, lorsque l'architecture cessa d'être exclusivement religieuse, lorsque l'art vint s'épanouir dans toutes les directions, que la construction des meubles devint vraiment œuvre de goût. Avant cette époque, il y avait peu de meubles d'appartement proprement dits. Des boiseries, des stalles, des bancs, des lits, des armoires et des tabourets, c'était à peu près tout le mobilier. Lors de la Renaissance, au contraire, toute la fantaisie de l'artiste vint se concentrer sur de gracieuses combinaisons dans lesquelles bien des éléments de l'architecture de l'époque trouvèrent souvent à s'appliquer, mais variés à l'infini avec un sentiment parfait de la différence qui existe entre le travail du bois et celui de la pierre. C'est ce qu'on voit dans quelques curieux recueils de modèles de figures décoratives, d'ornements, dus à de véritables artistes de cette époque, Ducerceau, Philibert Delorme, Albert Durer, Holbein, etc., recueils qui sont utilisés souvent par les artistes de nos jours, où, par exemple, les motifs des colonnes employées par l'ébénisterie sont indiqués comme des variations de celles de l'architecture, variations exécutées avec une fécondité d'imagination vraiment admirable.

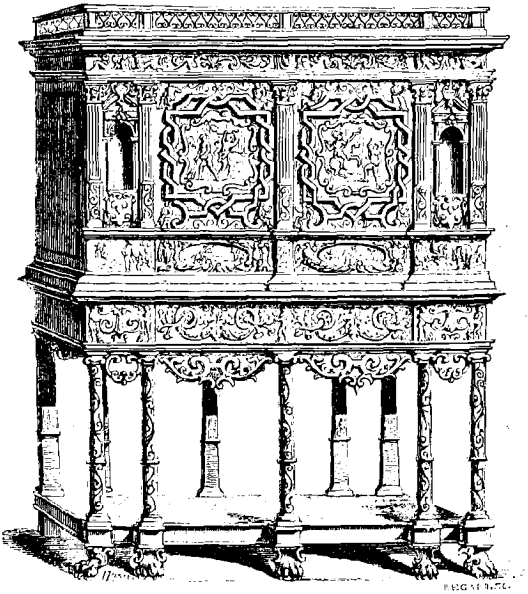
La sculpture sur bois appliquée aux meubles se tint au niveau de la sculpture sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pierre et, comme l'orfévrerie, le bronze, fit partie des beaux-arts; la division entre ceux-ci et l'industrie n'existait pas pour les artistes qui créaient pour l'usage journalier les chefs-d'œuvre qui ornent nos musées; aussi trouve-t-on souvent dans les meubles de cette époque des statuettes, véritables œuvres d'art qui démontrent l'intervention d'artistes distingués. C'est dans de semblables conditions que Jean Goujon créa le meuble français pour Diane de Poitiers. La Renaissance montra bien, dans le mobilier comme dans toutes autres productions, comment l'art peut se fondre avec l'industrie aux époques de grands accroissements de richesse; effet sensible surtout lorsqu'une population artiste très-nombreuse se livre à un genre de production qu'un travail intelligent peut créer rapidement, tel que la sculpture sur bois. Nous verrons qu'heureusement il tend à en être ainsi en France à notre époque.

Nous dirons, au sujet de la sculpture sur bois, dont l'emploi forme le caractère essentiel des produits de la Renaissance, que, pouvant être prise dans les éléments mêmes du meuble, elle a quelque chose de plus logique que les émaux incrustés, les pièces rapportées, en bronze par exemple, que nous trouverons employés plus fréquemment dans les styles suivants, et qui ne se rattachent pas aussi directement au meuble. Remarquons toutefois que les fonds de la sculpture ne pouvant être polis comme les parties plates des meubles, étant toujours mats, les pièces trop garnies de sculptures n'ont jamais un très-grand éclat.

L'ébène était le bois préféré pour les plus belles pièces de la Renaissance; le chêne, moins coûteux, se rencontre le plus souvent. On donnait avec raison, pour le genre de décoration adopté, la préférence à un bois uni sur celui figurant des dessins, des nœuds qui distraient du sentiment des lignes.



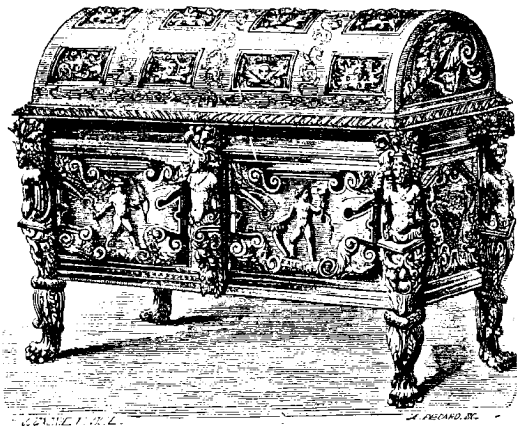
87. Cabinet de Henri III.

Nous prendrons pour exemples, parmi tant d'œuvres du style Renaissance qui pour-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

raient être utilement reproduites ici, le meuble dit cabinet, du temps de Henri II, qui se voit au Louvre, magnifique ouvrage en ébène, et un charmant meuble, dit coffret de mariage, du musée de Cluny.

Si l'on cherche à analyser les principaux caractères des éléments que permet de préciser la vue des beaux meubles de la Renaissance, et d'autres de l'époque actuelle



83. Coffret de mariage.

que nous reproduisons plus loin et qui sont évidemment inspirés par les œuvres de cette époque, on distinguera : l'emploi fréquent de colonnes torses, cannelées, sculptées ou seulement gravées de manière à représenter d'élégants ornements. Dans les lignes générales, souvent chargées de parties tourmentées qui n'en détruisent pas l'harmonie, on sent l'influence de l'architecture de ce siècle, notamment dans les frontons arrondis et coupés, placés fréquemment à la partie supérieure des meubles; enfin celle de la sculpture, si avancée alors, se trouve dans la profusion des statuettes de formes gracieuses dont l'exécution n'effrayait pas les artistes. L'ornementation capricieuse, abondante et tout individuelle, n'appartient plus à un goût qui se transmet, mais on sent qu'elle procède d'une interprétation de la nature et de la tradition antique, transformées librement par le sentiment de l'artiste.

Le mélange d'émaux brillants, de lapis, employés pour la décoration, se rencontre dans des meubles d'un goût un peu particulier, faits à Venise et qui sont dits de style vénitien, dont nous donnerons plus loin une reproduction moderne. Dans l'orfévrerie il seproduisit une division du même genre, due surtout aux éléments orientaux qui se sont infiltrés dans toutes les créations de son industrie, résultat de son commerce actif avec l'Orient.

STYLE LOUIS XIV

Sous Louis XIV, le mobilier s'éleva à un haut degré de perfection et de richesse. La pompe et le faste affichés partout durent apparaître dans l'ameublement. Les siéges, vastes et recouverts de riches tapisseries, se placèrent dans les salles dont les murailles étaient garnies de meubles à surfaces enrichies d'incrustations en cuivre jaune ou en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

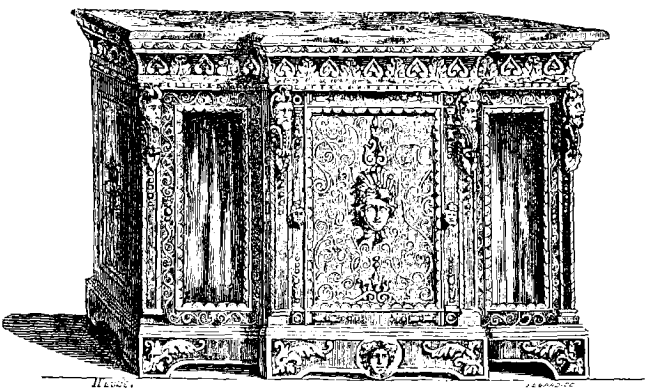
ivoire, qui appartiennent tout particulièrement à ce style et sont d'une richesse de dessin admirable. Celui-ci rappelle les arabesques les plus variées, multiplie les combinaisons de lignes les plus diverses.

Le créateur de ce genre de meubles en rapport avec le luxe du grand roi fut un grand maître, Boule [1], qui était logé au Louvre et avait les titres suivants : directeur des meubles à la manufacture des Gobelins, architecte, peintre et sculpteur en mosaïque, graveur, ciseleur, marqueteur ordinaire du roi et premier ébéniste de sa maison.

Le premier, et nul ne l'a surpassé, il sut réunir, par un mariage grandiose, la richesse du bois orné et la splendeur du métal sculpté, car la ciselure, alors, était une véritable sculpture.

En outre de ce qu'il avait reçu de son temps et qu'il a si admirablement transformé, Boule nous a laissé le raffinement imaginé par lui, d'un placage ou d'une marqueterie d'écaille de tortue, en feuilles jointes ensemble au moyen de la soudure ou autrement, dans lequel se promène un dessin ou motif en cuivre incrusté et gravé. Tel est le boule proprement dit. Le plaçage, au lieu d'être en écaille, peut être en corne, en nacre, en ivoire ou en bois ; le motif, au lieu d'être en cuivre, peut être en étain, en argent ou en or : ce sera toujours le travail de Boule. Des encadrements et des ornements en métal fortifient et enrichissent cette construction brillante, autour de laquelle se groupent de nos jours, pour ce genre de travail, douze corps d'état : l'ébéniste, le dessinateur, le préparateur d'écaille, le lamineur de cuivre, le découpeur, le fondeur en bronze, le monteur, le tourneur, le ciseleur, le doreur, le graveur et le marbrier.

Les pièces de ce maître et celles de son successeur Berain sont des modèles précieux pour le mobilier de grande richesse. Ses œuvres ont fait, pendant un siècle, l'ornement du palais de Versailles et des habitations des premiers personnages de l'Europe.



89. Meuble de Boule.

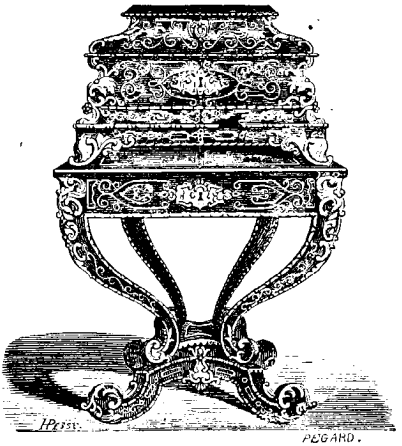
1. Boule fut l'ébéniste par excellence de cette époque. Les Gobelins furent consacrés par Louis XIV à l'exécution complète des mobiliers, tant ébénisterie que tapisserie, et mis sous la haute direction du célèbre peintre Lebrun, dont les tableaux indiquent bien le genre d'impulsion qu'il dut donner à ces produits, ses idées de grandeur fastueuse. Les meubles des palais furent exécutés de toutes pièces dans cette manufacture royale, qui remplissait le rôle que Sèvres remplit aujourd'hui pour la céramique. Les chefs-d'œuvre mis aux expositions par l'ébénisterie française montrent qu'elle n'a plus nul besoin, pour aider à ses progrès, d'une semblable concurrence, si peu conforme aux idées de notre siècle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans ce style toutes les fantaisies, toutes les arabesques les plus capricieuses, furent reproduites avec éclat au moyen des brillantes incrustations dont il vient d'être parlé. On peut trouver que la forme de ces meubles est peut-être un peu lourde quelquefois, mais on ne peut contester qu'ils ont beaucoup d'ampleur et sont d'une grande richesse.

La marqueterie en bois, bois clair sur bois foncé, était surtout usitée avant Louis XIV, et a fourni quelques belles œuvres.

Nous donnons ici un meuble de Boule recouvert d'incrustations et orné de bronzes



90. Coffret imitation de Boule.

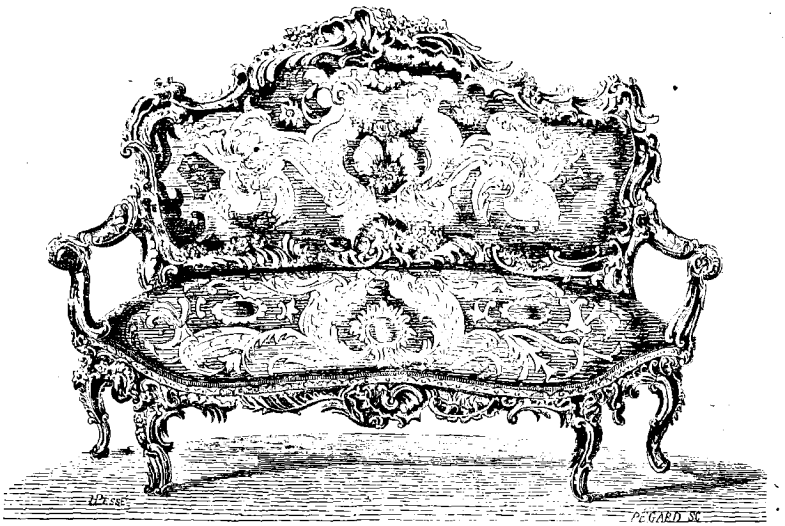
dorés, les deux caractères principaux de ce style, et aussi un coffret qui n'est qu'une imitation de Boule, mis par M. Vervelle de Paris à une exposition, et qui nous paraît avoir été exécuté avec un sentiment parfait du genre.

STYLES LOUIS XV ET LOUIS XVI

Riche, mais un peu froid, sous Louis XIV, le mobilier prit sous Louis XV des formes en harmonie avec l'élégance des toilettes des femmes, et à la recherche de la majesté et de l'apparat succéda celle de la grâce et de la commodité personnelles. Les créations de cette époque ont atteint, dans l'ameublement, un degré d'élégance qu'il importe de noter; les enroulements prodigués à l'infini se prêtant à toutes les combinaisons de la fantaisie, les feuilles, les fleurs sculptées, les coquilles vinrent en accroître les ressources. Elles constituent une des plus heureuses applications de ce style Louis XV, ou Pompadour, genre d'une coquetterie charmante, d'une grâce de formes toute féminine, et qui convient parfaitement pour des meubles destinés à trouver place dans le boudoir de la femme à la mode.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons ici un canapé qui nous paraît un excellent modèle de ce genre d'ameublement si riche. Les pieds tourmentés, les moulures sculptées, les formes arrondies, la richesse du damas de soie à ramages, tout concourt à l'éclat de ces meubles, en rapport parfait de goût avec les toilettes, les fêtes de nuit de la cour, etc.



91. Canapé Louis XV.

Les petits meubles, tels que coffrets, secrétaires, etc., devinrent encore plus recherchés, d'un travail plus délicat que les grands meubles, par l'emploi des bois de couleurs variées, des incrustations nombreuses, et le mélange de la porcelaine peinte avec des couleurs tendres, agréables à l'œil, éléments heureux qui accroissent beaucoup l'étendue des combinaisons possibles, et qui, réunis, charment l'œil et satisfont à tous les caprices de la fantaisie[1].

En fait d'ameublement, on admet généralement un style Louis XVI, que nous avons déjà indiqué en parlant de la porcelaine, et qui prend ici un caractère assez déterminé. L'emploi du bois de rose, des plaques de porcelaine, des médaillons, des galeries et

1. Ce fut au commencement du siècle dernier que commença la fabrication des meubles d'acajou, devenue depuis si commune, par les ébénistes, dont le nom rappelle l'emploi, autrefois fréquent, de l'ébène dans les meubles de luxe.

« En 1720, dit M. Wolowski dans son intéressant rapport sur l'ébénisterie de l'Exposition de 1851, un médecin célèbre de Londres, nommé Gibsons, reçut de son frère, capitaine de vaisseau, plusieurs billes d'acajou qu'il avait rapportées des Indes orientales. Il voulut les employer dans une construction qu'il faisait élever dans King-Street, Covent-Garden; mais les charpentiers se plaignirent que le bois était trop dur, et il fut laissé de côté. Peu de temps après, Gibsons fit appeler son ébéniste, Wollaston, et lui demanda d'utiliser ces matériaux qui gisaient dans le jardin. La réponse fut la même : la matière était trop dure pour l'employer; mais le docteur ne se tint pas pour battu : il dit qu'on pouvait se servir d'instruments plus puissants, et après quelques essais sur de petits objets, Wollaston réussit à fabriquer un bureau qui émerveilla tellement le docteur Gibsons par la couleur, le poli et l'aspect général, qu'il invita ses amis à venir voir ce meuble, unique en ce moment. Dans le nombre était la duchesse de Buckingham, qui demanda un bureau pareil. Wollaston fut encore chargé de le fabriquer, et sa réputation grandit à mesure que l'usage de l'acajou se multiplia. Bientôt il fut à la mode comme objet de luxe, et plus tard le placage en rendit l'usage à peu près universel. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

trophées en bronze doré, est fréquent dans ces meubles; on y rencontre souvent aussi des colonnes cannelées. Il se distingue du style Louis XV par une plus grande modération dans les enroulements, par l'emploi de formes moins tourmentées. Nous offrons plus loin des œuvres modernes conçues dans ce style qui en donnent une idée assez précise.

Cette époque eut un grand artiste, Riesener, surnommé l'ébéniste de Marie-Antoinette, en qui tous les habiles ouvriers de son temps se sont absorbés. Louis XVI ou Riesener sont devenus synonymes quand on parle de meubles.

Riesener refit droits les pieds des meubles que la rocaille et le pompadour avaient faits tordus. Il leur rendit l'aplomb, la grâce. Il poussa aux limites extrêmes l'art de la marqueterie en bois : lignes, arabesques, oiseaux, emblèmes. Il emprunta au métal ciselé des ornements adorables, fouillés par des burins habiles, comme celui de Gouthières, pour réaliser ses charmantes créations.

STYLES ÉTRANGERS

Orientaux. — Les Orientaux n'ont pas de meubles; toujours étendus sur des tapis, des coussins, ils n'ont pas l'emploi de cette multitude de tables, de chaises, etc., qui forment la majeure partie du travail courant de l'ébénisterie.

Le style mauresque, oriental, est essayé assez fréquemment aujourd'hui pour la décoration du mobilier. On en retrouve des éléments dans le style vénitien, qui possède un cachet oriental dû, comme nous l'avons déjà dit, aux relations de Venise avec l'Orient. Dans ce style, qui mérite d'être cité, l'emploi du lapis, des émaux est fréquent; il donne des œuvres d'une richesse toute particulière, dont on verra plus loin un exemple.

Chinois. — Les Chinois et surtout les Japonais nous ont fourni le type d'un genre de meubles qu'ils excellent à fabriquer; nous voulons parler des meubles en laque, dans lesquels des ornements dorés sur fond noir et brillant ont un grand éclat. Ce genre a eu un grand succès à une certaine époque, et fournit des effets encore fort estimés aujourd'hui dans nombre de cas. Birmingham a monté en papier mâché (voir ce mot) une très-curieuse et prospère fabrication de meubles en laque avec incrustations de nacre, qui est une imitation assez imparfaite de la fabrication chinoise et japonaise. En France on est parvenu à fabriquer avec assez de succès ce genre de meubles.

Indous. — La fabrication de l'Inde a été représentée aux Expositions par quelques pièces assez curieuses, remarquables par un mode de sculpture particulier. Nous voulons parler de découpures à jour, d'ornements vermicellés de formes variées, de palmes analogues à celles figurées sur le vase que nous avons donné à l'article Céramique. Ce genre ne manque pas d'élégance, et porte ce cachet d'originalité d'une nation que nous imitons souvent, mais qui ne nous imite jamais. Parmi nombre de meubles mis à l'Exposition de 1855 par la Compagnie des Indes, on remarquait d'admirables pièces

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en ivoire, un échiquier notamment, dont le pied était formé par des palmes d'une grande richesse.



92. Boîtes indoues.

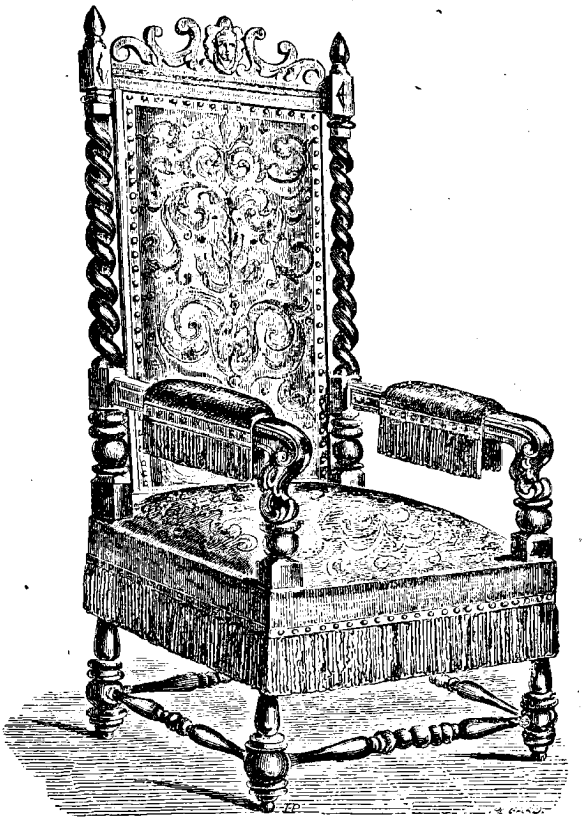
La figure 92 montre des boîtes incrustées qui, avec des vases en jade émaillé, brillaient parmi les produits mis à l'Exposition de Londres en 1862.

ÉPOQUE MODERNE

Au commencement du siècle, les artistes et à leur tête le peintre David, sous l'influence des idées révolutionnaires, voulaient tout faire rétrograder vers l'antiquité; aussi le style grec fut-il proclamé le type du beau et s'efforça-t-on de faire des meubles dans ce style, que la découverte de Pompéi contribua encore à mettre à la mode. Paris fut tout à coup poussé vers le plus antique de l'antique, le dorique sans base. On l'appliqua partout, à des corps de garde, à des boutiques, à des commodes. Le savant architecte Percier essaya de déterminer les formes de meubles soumises aux lois de l'art grec, et Jacob fut l'habile metteur en œuvre de ces idées. En dépit de tout le talent de Percier et de Fontaine, de leurs vastes connaissances, le succès de leurs créations fut de courte durée. Ils n'obtinrent, en cherchant, en quelque sorte, les meubles qu'eussent voulu construire les Grecs vivant de notre vie, que des formes roides, des espèces de petits monuments ornés de petites colonnes surmontées de petits chapiteaux dorés, qui, tout à fait en désaccord avec nos mœurs, ne sont plus goûtés de nos jours, et n'ont pas laissé de traces sérieuses dans les progrès de l'art.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La Restauration sortit timidement de cette voie, sans créer un type bien défini. Toutefois, sous l'influence des idées qui régnèrent à cette époque, Chenavard, peu après 1830, voulant réagir contre les formes grecques adoptées depuis trente ans, et ramener les belles formes de la Renaissance, en cherchant à reproduire industriellement de beaux modèles, essaya de produire en fabrication courante ce qui était un produit d'art à l'époque de la Renaissance. Il fit des meubles très-élégants en noyer ou autre bois teint en noir, ornés en général de colonnes torses, recouverts de tapisseries, d'étoffes, dont les dessins correspondaient parfaitement au style qu'il voulait imiter. Nous donnons ici un fauteuil (fig. 93) appartenant au mobilier qu'il chercha ainsi à créer.



93. Fauteuil de Chenavard

Cette tentative, sans réussir complétement, eut une très-heureuse influence sur les progrès de notre industrie; elle vint exciter les dessinateurs en meubles à chercher leurs modèles dans les productions de la Renaissance, et fit entrer dans la pratique un grand nombre d'éléments de décoration nouveaux. Les bois indigènes vinrent de nouveau faire partie des ressources du constructeur de meubles, et s'ajouter à l'acajou, à l'ébène, et surtout au palissandre qui est venu le dernier occuper une grande place dans l'ébénisterie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Si l'acheminement du mobilier vers les formes et surtout les décorations de la Renaissance tendait à se manifester pour les meubles usuels, le désir de faire des objets élégants pour nécessaires, corbeilles de mariage, etc., etc., tous ces objets de goût auxquels on donne, dans le commerce, le nom de petits meubles, ramena de son côté au mélange du bronze doré, des porcelaines, des émaux, etc., avec le bois, et par suite aux styles de Louis XV et Louis XVI. On peut dire que le style Louis XIV nous est revenu par le désir de les couvrir d'incrustations, ce qui a formé des ouvriers capables d'attaquer l'exécution des mobiliers les plus complets, des plus grandes pièces, des marqueteries de bois les plus compliquées. Les incrustations, réduites souvent à quelques filets seulement, ont été fréquemment adoptées pour la décoration de meubles assez simples. Ces divers styles ont produit des formes, des décorations de mobilier toutes spéciales, qui ne sont plus, comme nous l'avons vu pour des époques reculées, des imitations en bois des créations de l'architecture.

Si nous parlons maintenant de l'ébénisterie d'art, ce qui comprend indirectement les meubles du commerce, qui sont toujours un reflet des œuvres les plus soignées, en laissant également de côté l'étude de tous les styles employés dans des cas particuliers pour des ameublements spéciaux, nous dirons qu'en général, depuis plusieurs années, c'est entre l'imitation du style Louis XIV et celui de la Renaissance que le goût oscille. La perfection avec laquelle nos ouvriers exécutent le travail d'incrustation permet d'établir d'admirables imitations de Boule, de vulgariser ces meubles si riches. Cependant, en ce moment, on peut dire que ce sont les œuvres inspirées par les traditions de la Renaissance qui occupent le premier rang ; le public est entraîné par le talent de nombreux ouvriers et artistes et surtout des sculpteurs, dont les produits sont de véritables œuvres d'art, et auxquels ils donnent un cachet propre à notre temps, qui semble se dégager du milieu d'une imitation partielle du passé, sans qu'il soit facile de le formuler d'une manière bien nette.

Avant de passer à la description des œuvres les plus remarquables de notre industrie, disons quelques mots de celles des nations rivales de la France.

Tant que l'ébénisterie anglaise se bornait au confortable, source d'un style bien en rapport avec les mœurs anglaises, mais assez éloigné des données artistiques, elle a fort bien rempli les conditions de durée et de solidité, sans manquer d'élégance : aussi il y a vingt ans elle nous fournissait souvent des modèles ; mais dès qu'elle visait au grand luxe et à l'imitation des formes de la nature, elle cessait d'être satisfaisante.

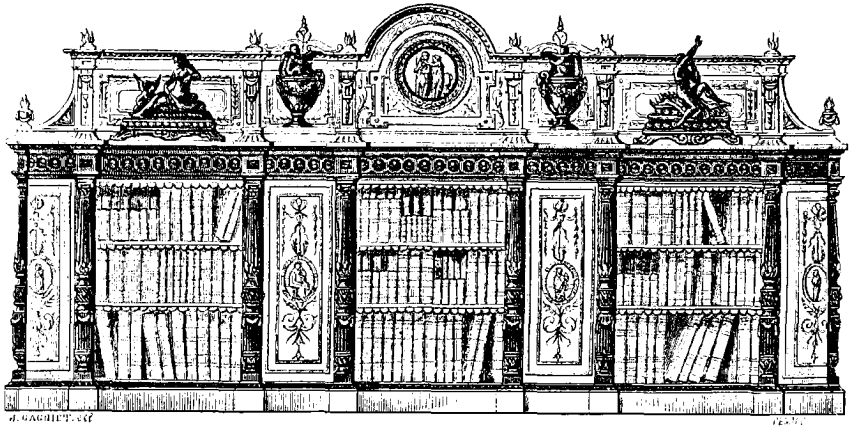
Les progrès accomplis dans ces dernières années par l'Angleterre dans la fabrication de la belle ébénisterie sont tout à fait remarquables, et nous avons aujourd'hui en elle une rivale digne de nous. Nous le montrerons par la description de quelques-unes des œuvres les plus remarquables des Expositions.

MM. Wright et Mansfield avaient exposé en 1862 une bibliothèque basse, à hauteur d'appui, dessinée dans le style qui florissait au dix-huitième siècle en Angleterre; elle était d'un bon aspect, les cuivres de bon goût, une série de médaillons encastrés dans l'attique donnaient à l'ensemble un nouvel intérêt. Ce meuble, heureusement combiné, surmonté d'œuvres d'art d'une véritable valeur garnirait fort heureusement les murailles du cabinet d'un riche amateur. C'est une œuvre élégante, d'un caractère original et vrai (fig. 94).

MM. Wright et Mansfield exposaient encore une console dorée, ornée de médaillons de Wedgwood, à figures blanches sur fond bleu clair, le tout d'un effet nouveau et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

harmonieux. Ces fabricants nous paraissent mériter d'autant plus d'être placés au premier rang, que leurs œuvres ont, nous le répétons, un caractère propre, qu'elles ne sont pas l'imitation de ce qui est conventionnellement reçu comme beau aujourd'hui.



94. Bibliothèque de Wright et Mansfield.

L'œuvre la plus remarquée de l'Exposition anglaise de 1862 était un buffet de chêne destiné à une salle à manger de château, dû à MM. Jackson et Graham. Ce meuble est un de ceux qui devaient plaire davantage à un Français, car la main d'artistes français y était évidente.

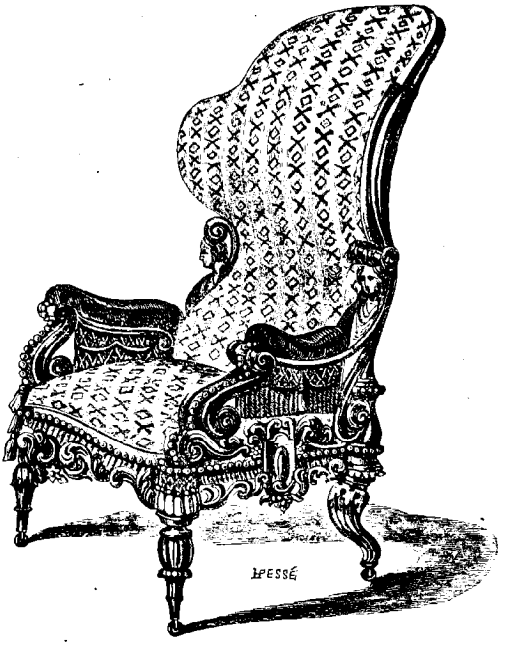
Deux cariatides, la chasse et la pêche, sont placées de chaque côté de la glace du milieu; ce sont deux statues en bois de demi-grandeur, qui, fort bien traitées, ont exigé l'intervention d'un véritable artiste sculpteur. La chasse est peut-être d'un mouvement plus heureux, plus indépendant que sa sœur. Les panneaux du bas, très-ornés, portent au centre des ovales renfermant des amours : l'un symbolise la moisson, et l'autre, cueillant des grappes à un cep, rappelle cette fête inconnue à l'Angleterre, mais si chère à la France, la joyeuse vendange. L'ensemble, toutefois, serait un peu triste s'il n'était réveillé par trois grandes glaces dans lesquelles se refléteront les lumières du festin ou les gerbes de fleurs qu'on aime à accumuler dans les riches résidences d'été.

La marqueterie des meubles anglais est en général très-bien réussie; la grande armoire en ébène avec incrustations en ivoire, mise par MM. Jackson et Graham à l'Exposition de 1867, était une œuvre splendide.

En Allemagne, l'ébénisterie de Vienne jouit d'une grande réputation. Plus lourde que celle de Paris, elle a cependant un véritable mérite. On reconnaît dans ses produits, avec une malheureuse propension à la lourdeur, une excellente exécution de formes compliquées, résultat de cette vulgarisation de la science du dessin qui est une base si importante des progrès de l'industrie allemande. Nous en donnons pour exemple un fauteuil de Leisler, de Vienne, dessiné par l'architecte Bernardo de Bernardis, qui possède un caractère incontestable de richesse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les Italiens, chez lesquels la sculpture est demeurée un art national, extrêmement répandu et apprécié par tous, doivent, par le progrès de leur développement industriel, exceller quelque jour dans l'exécution des meubles d'art.



95. Fauteuil de Leisler.

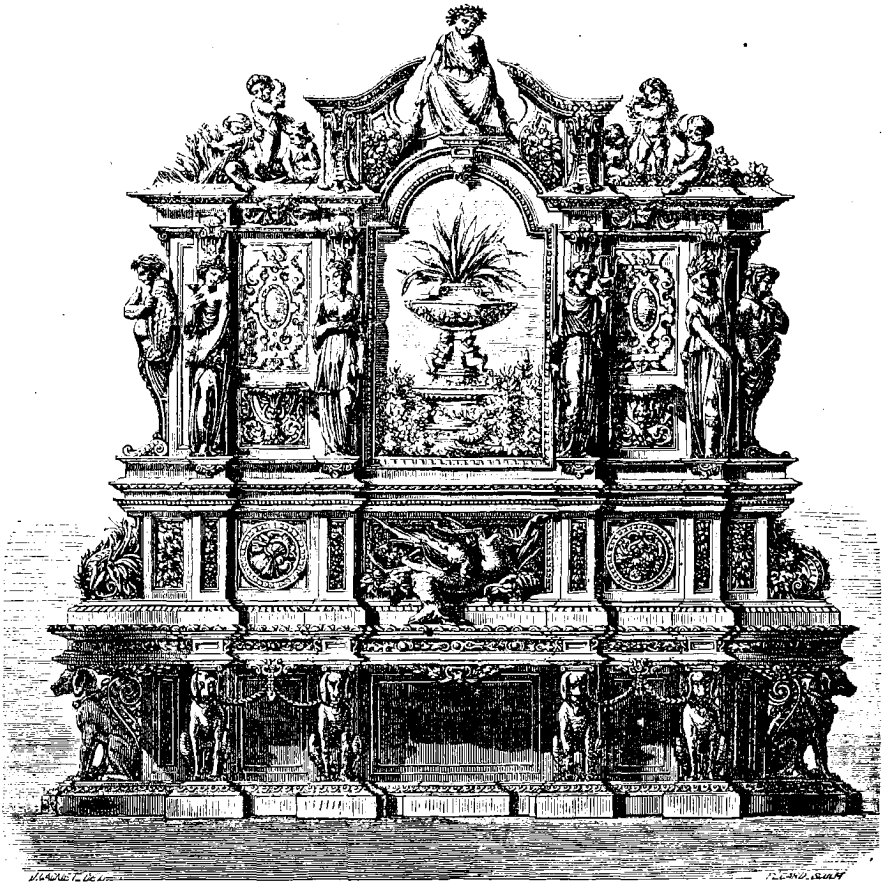
L'imagination incontestable des architectes, des sculpteurs, des peintres, des artistes italiens, en général, se révèle aussi chez les fabricants de meubles ornés souvent de sculptures sur bois excellentes, qui ne sont pas de perpétuelles copies de ce que nous connaissons déjà. L'exagération de l'ornementation est l'écueil qu'ils rencontrent trop souvent.

Arrivons aux œuvres de la fabrication française.

A l'Exposition de Londres de 1851, l'ébénisterie française brilla d'un grand éclat, et nous ne saurions mieux faire pour permettre d'apprécier le style des belles pièces françaises, que de donner le buffet sculpté par Liénard (fig. 96), mis à cette Exposition par M. Fourdinois de Paris, que l'opinion publique a justement sacré comme un chef-d'œuvre. Les chiens qui le supportent, les produits de la chasse, les animaux morts qui le décorent sont sculptés avec une fidélité, une délicatesse d'exécution toute moderne. Les statues qui représentent les quatre parties du monde sont : l'Europe qui a le vin, l'Asie le thé, l'Afrique le café, l'Amérique la canne à sucre. A la partie supérieure, les enfants qui représentent les Vendanges et la Moisson ; au milieu, l'Abondance; enfin, la Chasse et la Pêche qui ornent les deux côtés mieux encore que le fronton brisé, rappellent avantageusement les plus belles œuvres de la Renaissance.

ÉFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est là une de ces œuvres qui, par leur perfection, le parfait rapport des ornements avec la destination de l'objet, la beauté des sculptures sur bois, doivent être classées comme de véritables œuvres d'art dont un pays se glorifie à juste titre.



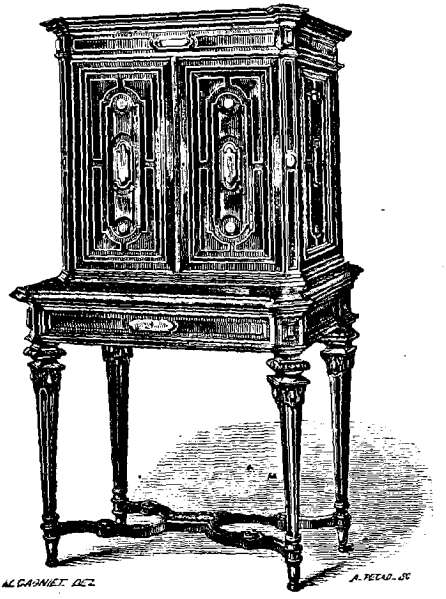
96. Buffet de Fourdinois.

Un des caractères les plus saillants de la fabrication française, et qui a été le plus incontestablement reconnu à l'Exposition universelle de Londres, c'est la fécondité de ressources, l'habileté de nos fabricants à disposer les pièces et les ornements, à grouper gracieusement les détails en raison de l'usage auquel les meubles sont destinés. Mais si la fertilité d'invention de nos fabricants artistes brille surtout dans cette industrie, empressons-nous d'ajouter que, nulle part, les conceptions ne sont mieux senties par l'ouvrier qui exécute. C'est sur la diffusion des capacités artistiques, sur l'habileté proverbiale de toute notre population du faubourg Saint-Antoine, où le travail de la fabri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cation du meuble se divise à l'infini, que repose la supériorité de cette belle industrie de la France[1].

Au reste, afin de n'être pas soupçonné de prévention dans l'opinion favorable que nous émettons sur l'exposition des meubles de la France et pour préciser le style qui prévaut aujourd'hui, nous reproduirons l'appréciation générale d'un juge compétent et impartial, M. Œchelæuser, le rapporteur de l'Association douanière, qui s'exprime ainsi dans le travail officiel publié au nom de la commission du ZOLLVEREIN :



97. Meuble style vénitien de MM. Grohé.

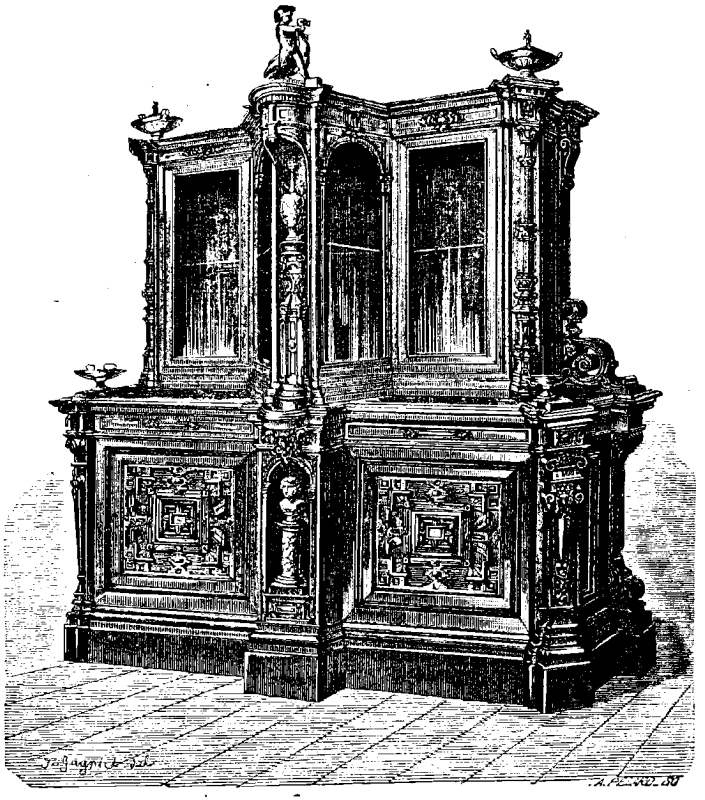
« Si l'on ne saurait soutenir que dans tous les genres de meubles, sans exception, « la France a fourni ce qu'il y avait de plus remarquable à l'Exposition du Palais de « Cristal, l'avis de tous les connaisseurs n'en a pas moins été unanime et formel pour « reconnaître que, dans ce concours, la victoire appartient aux Français. La pureté « du style, l'harmonie de la construction et de l'ornementation, le choix des maté- « riaux qui répondaient toujours aux exigences du dessin, de la couleur et des qualités « particulières du meuble aussi bien qu'aux convenances du style adopté et de la desti- « nation, une habileté incomparable dans le travail de menuiserie et de sculpture, une

1. On ne travaille nulle part le bois sur une aussi grande échelle qu'au faubourg Saint-Antoine, à Paris. Ce quartier constitue un de ces grands centres industriels d'une immense puissance productive, où toute une population rivalise et excelle dans un genre de création. La division du travail y est poussée, avec un grand avantage, jusqu'aux dernières limites. Il existe, au faubourg Saint-Antoine, des usines où l'on se borne à scier le bois de placage ; d'autres qui débitent les bois de couleur en petites lanières pour les filets et l'incrustation. Il y a des ouvriers qui travaillent le bois comme la dentelle; des ouvriers qui posent des basanes, des vernisseurs, des colleurs, des sculpteurs de fauteuils, des mouleurs, etc., etc., qui tous « ne font qu'un article, » pour employer le terme consacré, et en vivent très-honorablement. Cette division extrême, en concentrant l'habileté des ouvriers sur un seul objet constamment demandé, les a conduits à une finesse d'exécution incomparable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« heureuse distribution des ornements, qui empêche de surcharger même les disposi-
« tions les plus riches; toutes ces qualités réunies faisaient de la division des meubles
« français une des plus belles parties de l'Exposition universelle. Il faut leur reconnaître
« le mérite de l'inspiration originale, car on doit envisager les produits français comme
« les véritables modèles dans cette branche de l'industrie; beaucoup de meubles d'autres
« pays n'étaient qu'une imitation.

« Le style nouveau adopté en France obéit à une direction qui s'éloigne des nom-
« breuses déviations du goût qui déparaient les siècles de Louis XIV, Louis XV et
« Louis XVI, et des prétentieuses recherches du « rococo. » Les produits mis au jour
« à Londres relèvent du style de la Renaissance dans toute sa pureté, et encore a-t-il
« été affranchi des éléments qui ne répondent plus au sentiment du beau dont s'inspire
« l'époque actuelle. Nous signalerons, par exemple, la substitution de la figure vivante
« aux cariatides, et surtout la tendance à emprunter à la nature elle-même les sujets
« de l'ornementation. »



98. Bibliothèque Renaissance de MM. Grohé.

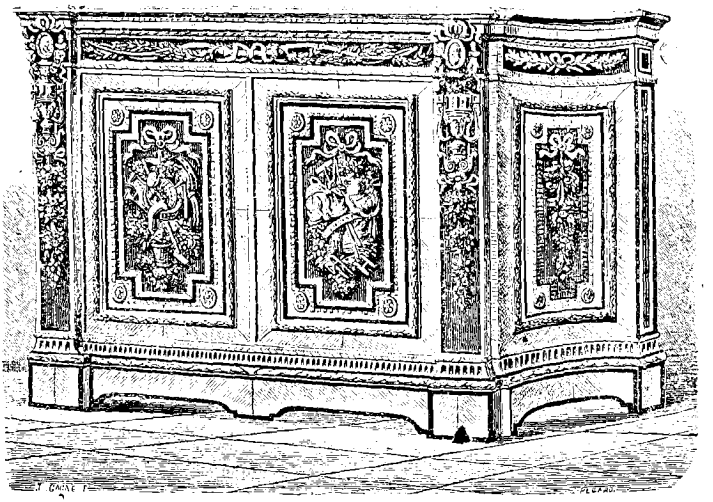
On voit que le succès de la France est ici complet, et qu'à cette industrie encore s'applique bien le mot de Necker : « Le goût est, pour la France, le plus adroit de tous les commerces. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'Exposition de 1855 nous offrait peut-être un trop grand nombre de pièces inspirées par le beau meuble de M. Fourdinois; aussi leur multiplicité faisait-elle désirer des meubles dont l'harmonie résultât de lignes gracieuses qui, on l'oublie trop souvent ont une importance plus grande encore que les sculptures et doivent dominer tous les ornements. MM. Grohé ont eu sous ce rapport une admirable exposition, qui a été justement appréciée par tous les connaisseurs. Elle est surtout bien précieuse au point de vue de notre travail en ce qu'elle offre des pièces bien étudiées de style anciens.

Nous avons reproduit ci-dessus : 1° leur meuble vénitien (fig. 97), appartenant à ce style dont nous avons parlé plus haut, charmant petit meuble de dame, qui avec ses pierres en saillie a un éclat très-grand, sans les tons criards que donne l'emploi de poteries, bien souvent tenté sans succès. En second lieu, nous donnons leur armoire Renaissance (fin de cette époque, seizième siècle) (fig. 98), meuble en ébène dont les lignes sont d'une pureté parfaite, où les rencontres de parties circulaires et rectilignes se combinent harmonieusement. Le bronze que, de nos jours, l'on cherche trop, croyons-nous, à mélanger au bois pour en faire partie intégrante du meuble, trouve, comme accessoire, une excellente application dans cette bibliothèque destinée à renfermer des objets d'art.

Enfin nous reproduisons leur armoire Louis XVI (fig. 99), qui est une excellente



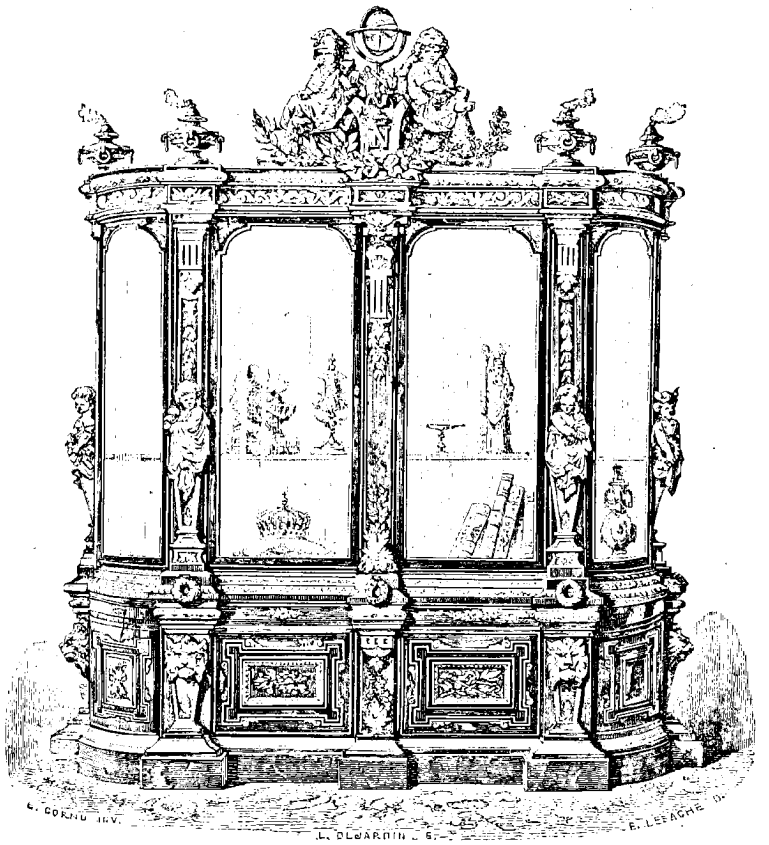
99. Armoire Louis XVI.

étude de ce style et montre tout l'effet que l'on peut retirer de l'emploi du bois de rose rehaussé par des ornements en bronze doré.

M. Tahan avait exposé une bibliothèque étagère du même style (fig. 100), qui est un beau et sérieux travail. Il est important de dire qu'elle a été établie dans des conditions un peu spéciales, à savoir de manière à s'allier passablement avec les meubles style empire qui se trouvaient dans la pièce où elle devait être placée. Nous reproduisons aussi la volière du même exposant (fig. 101), ornée de sculptures, de feuilles et de fleurs en relief, genre d'ornement qui a été fort goûté du public pour des meubles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de petite dimension. Cette pièce fait honneur à M. Cornu, l'habile dessinateur qui l'a conçue, et elle a été une des œuvres populaires de l'Exposition de 1855; néanmoins pour les grands meubles, et en dehors d'une application heureuse telle que celle de cette volière, nous sommes peu partisan des feuilles et des fleurs en bois. Ce genre d'ornements a peu d'éclat et fait penser à la couleur absente.



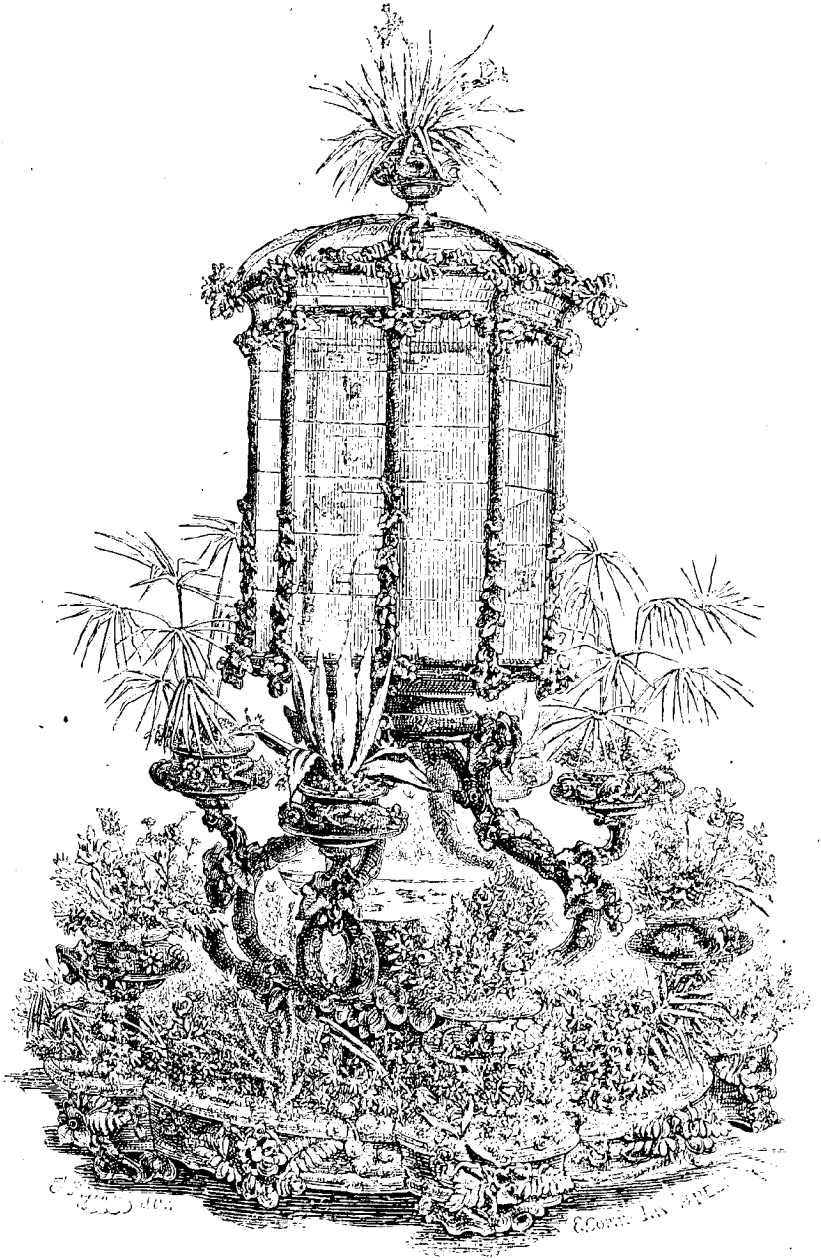
100. Bibliothèque-étagère Louis XVI.

La décoration des meubles en fer, à l'aide de plaques de fonte fournissant des bas-reliefs, tentée sur une grande échelle, ne nous paraît admissible, « artistiquement parlant, » que dans des cas très-limités. Le fer donne toujours des formes maigres, ne peut fournir des surfaces agréables à l'œil.

Il en est de même des meubles entièrement couverts d'étoffes, dans lesquels il n'y a pas de bois apparent; ces meubles ont un mérite réel de confortable, mais, malgré l'emploi du velours, des franges, etc., ils n'ont jamais grand caractère artistique et même en général ils ont peu de charme. Nous devons toutefois faire exception pour

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quelques cas où l'emploi en est fait avec goût et où ils viennent se combiner avec de

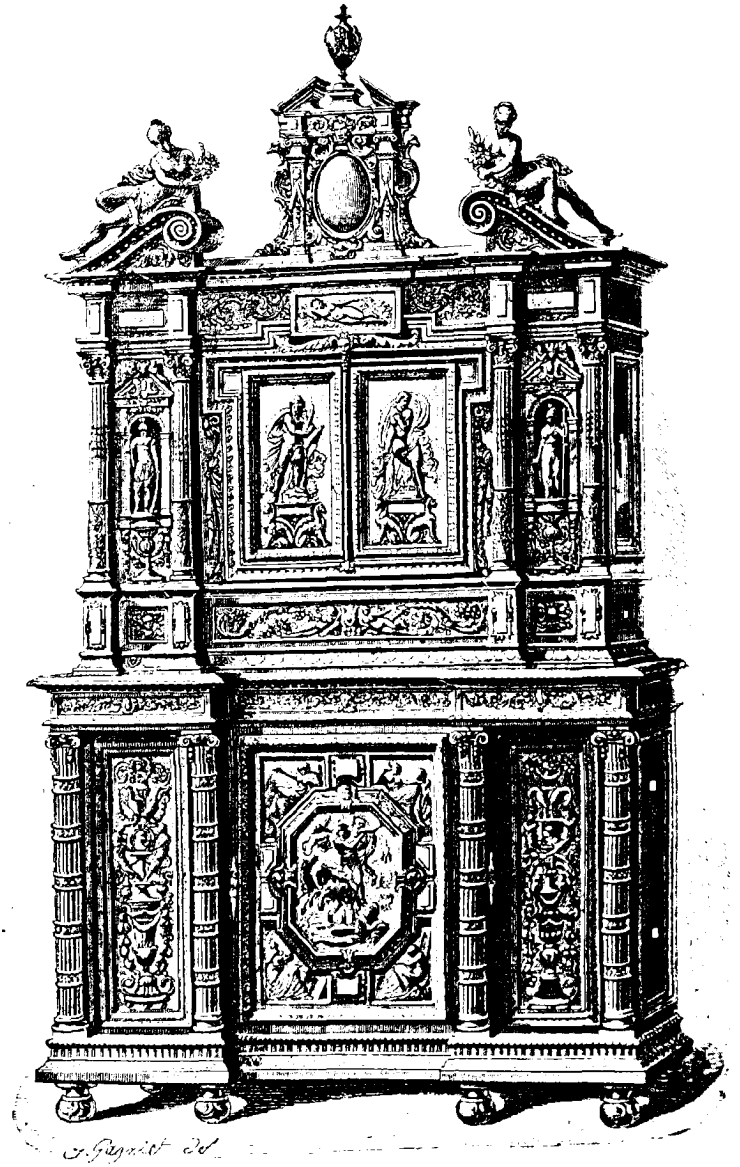


101. Volière de M. Tahan.

riches tentures. Leur fabrication est tout naturellement dévolue au tapissier et sort du domaine de l'ébéniste.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Tout le monde a été d'accord pour considérer le cabinet de M. Fourdinois fils comme le plus beau meuble de l'Exposition de 1862.



102. Cabinet de H. Fourdinois.

Il est en ébène, à deux corps; le bas est d'ordre ionique. Les colonnes un peu fluettes, comme on les aimait sous la Renaissance, sont cannelées; entre elles se trouve un panneau finement sculpté représentant l'enlèvement de Proserpine. Le corps supérieur est d'ordre corinthien et très-délicatement incrusté de lapis-lazuli et de jaspe sanguin; sur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les panneaux de la porte du milieu sont figurés Diane et Apollon, d'après Jean Goujon; les panneaux latéraux s'ouvrent pour laisser voir des tiroirs fort joliment incrustés d'ivoire.

Tout cela est d'un goût sobre, sévère, d'un sentiment parfait. C'est une imitation faite avec tant de soin, tous les détails sont si parfaitement traités, qu'il est douteux qu'on ait jamais fait mieux. Trois jours après l'ouverture de l'Exposition, ce meuble était vendu à un orfévre de Londres au prix de 30,000 francs.

Nous donnons ici (fig. 102) le dessin de ce véritable chef-d'œuvre, début d'un artiste qui aurait pu aspirer à la grande sculpture, si la réputation justement acquise par son père dans l'ébénisterie d'art ne l'avait retenu sur un théâtre plus modeste, où les victoires cependant ne sont pas sans gloire.

Il a cherché et réussi à faire aussi bien en 1867; son grand meuble était une œuvre magistrale, mais qui nous paraît avoir moins de charme que la précédente. Achetée par les Anglais, elle figure comme un modèle, aujourd'hui, au musée de Kensington; elle paraît être une réminiscence italienne. Elle emprunte son éclat au mariage des bois de teintes différentes, de sculptures logées avec une extrême précision dans les montants de couleur plus foncée.

La carrosserie est une industrie que nous devons au moins indiquer ici, car il s'y fait, au point de vue du goût, de magnifiques choses. Les carrosses pompeux de Louis XIV, les voitures de gala couvertes de sculptures sont rarement demandés; mais la légèreté et l'élégance ont atteint des limites extraordinaires. Les lourdes maisons mobiles d'autrefois ont fait place à des voitures fines, légères, propres à de grandes vitesses sur de bons chemins.

Nous ne saurions mieux terminer cette étude sur notre belle industrie de l'ébénisterie qu'en empruntant à l'intéressant rapport de M. Wolowski, sur l'Exposition de 1851, des considérations élevées sur les causes d'une supériorité dont notre pays peut être fier à juste titre, sur les relations nécessaires entre le développement de la vie morale, intellectuelle des peuples, et leur supériorité dans les œuvres d'art industriel. Ce passage de son rapport mérite à tous égards d'être médité. « Le sceptre du goût, dit-il, appartient incontestablement à la France : nous devons cette prééminence non-seulement à l'intelligente application des leçons puisées dans le spectacle des œuvres d'art, car les chefs-d'œuvre de toute nature abondent ailleurs; non-seulement à d'excellentes écoles de dessin, on en a fondé beaucoup en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, etc.; non-seulement à l'habileté du « tour de main, » car nous comptons nombre d'excellents ouvriers qui nous viennent de l'autre côté du Rhin; mais au sentiment du beau et du vrai, de l'unité et de l'harmonie, qui laisse son empreinte sur les productions de l'esprit français. C'est le fruit de ce sens à la fois pratique et exquis que donne une culture supérieure (aux acheteurs comme aux producteurs) et que l'habileté mécanique ne saurait remplacer. Il n'importe pas moins pour l'avancement matériel que pour le progrès moral des peuples d'élever l'âme, d'orner l'intelligence, d'étendre l'horizon de la pensée et de fortifier notre esprit. »

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION IV

SCULPTURE

ARTS QUI RELÈVENT DE LA SCULPTURE : STATUAIRE, ARTS VESTIAIRES, ORFÉVRERIE, BIJOUTERIE.

Les modifications de style, que nous avons étudiées dans l'architecture, se distinguent avec une grande netteté dans la sculpture, qui ne cesse d'être autre chose qu'un moyen de décoration de l'architecture et ne se détache de celle-ci qu'aux époques où le goût des arts se développe. Tant qu'elle reste un annexe de l'architecture, elle ne s'élève généralement pas jusqu'à l'imitation complète des modèles fournis par la nature.

Nous avons à l'étudier ici non-seulement en elle-même, par rapport aux styles qui se manifestent dans les œuvres d'art pur, mais aussi dans les produits des arts que nous allons considérer, qui sont de véritables sculptures obtenues par des procédés ou avec des matériaux particuliers. De plus, ce sont les artistes qui indiquent les types et les formes suivis de loin par l'industrie; souvent même ils créent les types que les fabricants se bornent à surmouler et à réduire. Les sculpteurs éminents posent les règles, forment le goût, et bien souvent exécutent les modèles les plus parfaits; ils remplissent tout à fait, par rapport à l'art industriel, le rôle des savants relativement à la technique de l'industrie[1].

1. Nous empruntons au rapport de l'Exposition de 1867 la désignation des artistes industriels qui ont figuré dans la classe qui leur était consacrée, ce qui montrera la variété des professions qui ont pour but les applications de l'art à l'industrie. On verra combien se sont spécialisés de nos jours les travaux des personnes que l'on gratifie du nom d'artistes industriels, dont les œuvres relèvent de la sculpture et de la peinture proprement dites. Nous citerons, parmi beaucoup d'autres, Liénard, Klagmann, Diéterle, Carrier-Belleuze, comme des artistes ayant atteint, dans cette voie, une belle réputation.

4° Dessinateurs pour tapis, tapisseries, impressions, étoffes d'ameublement, ornements d'église, châles

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous diviserons en quatre parties les arts industriels qui entrent dans cette division :

1° La sculpture proprement dite, comprenant, outre la statuaire, les œuvres d'art employées comme moyen d'ornement, la sculpture décorative sur bois et sur pierre, et aussi les moulages et réductions en plâtre, en carton-pierre, etc., les bronzes, la reproduction de la statuaire en métal par la voie de la fonte ou de la galvanoplastie;

2° Les arts vestiaires, comprenant l'ornementation des vêtements, de la toilette, qui relèvent évidemment de la même conception que la statuaire, ayant comme elle pour point de départ l'intelligence des formes humaines ;

3° L'orfévrerie, employant, outre la fonte et la galvanoplastie, le procédé spécial du repoussé;

4° La bijouterie, employant surtout pour les ornements servant à la toilette des femmes, bagues, bracelets, chaînes, etc., les métaux précieux; et la joaillerie, qui réunit à ces métaux les diamants et les pierres précieuses.

Avant de parler des styles, des variations du goût dans ces divers cas, disons quelques mots des procédés des industries qui correspondent à ces diverses divisions.

1° STATUAIRE

D'après la nature de cette étude, nous ne pouvons traiter qu'accidentellement de l'art pur, dont l'étude approfondie exige la vie entière du plus grand artiste, et seulement parce que c'est son développement qui domine tous les arts de la forme, les modifications du goût dans les œuvres d'art ayant toujours une traduction directe dans les applications industrielles qui relèvent de l'art. Nous ne donnerons, dans ce qui va suivre, que l'énoncé des variations du goût généralement admises; nous prendrons notre point de départ dans les résultats incontestés de l'étude des œuvres célèbres.

Dans la reproduction des statues, en général réduites à de petites dimensions pour faire l'objet de l'industrie, pour cesser d'appartenir aux beaux-arts proprement dits qui ont pour objet la production originale, tandis que l'industrie n'a pour but le plus souvent que leur multiplication (on voit, d'après cela, le secours qu'elle reçoit de l'art, combien elle se mêle fréquemment avec lui), on ne se propose, en général, que de conserver les poses gracieuses, l'aspect agréable du modèle; presque toujours on perd de vue l'idéal; le sentiment élevé de la sculpture est méconnu. Cela résulte presque forcé-

dentelles, papier peint, bijoux, décorations d'appartement.

2° Dessinateurs, graveurs et peintres sur verre, porcelaine (décorateurs), tôle, etc.

3° Graveurs pour armoiries, cachets, médailles, coins de monnaies, poinçons de typographie.

4° Graveurs en taille-douce, à l'eau-forte, damasquin.

5° Dessinateurs et graveurs de machines, voitures.

6° Graveurs sur bois.

7° Graveurs en pierres fines, camées, coquilles.

8° Dessinateurs et graveurs sur métaux, ivoire, nacre; reliefs obtenus par les procédés chimiques, la galvanoplastie, etc.

9° Lithographes, calligraphes, chromo-lithographes.

10° Objets de plastique, bois sculptés, cuirs, reproduction par le moulage, terres cuites, carton-pierre objet en cire.

11° Modèles pour bronze, émaux.

12° Briques émaillées, application de la céramique à la décoration.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment de l'exiguïté des dimensions qui amoindrit l'effet des statues, suite nécessaire de leur emploi tant comme décorations isolées que comme ornements de produits industriels. Cette reproduction constitue en elle-même une spécialité qui tient une place importante dans les arts d'imitation.

Quant aux procédés multiplicateurs, ils consistent essentiellement dans le moulage appliqué à des matières plastiques, au plâtre, au carton-pierre, au stuc, etc. Comme dans le cas étudié ci-après, c'est par les procédés qui rendent le moule composé du moins grand nombre possible de pièces, et diminuent par suite les chances d'altération des formes, que se trouvent les moyens les plus certains de conserver les qualités artistiques du modèle.

Le moulage en plâtre, moyen le plus facile et le plus exact de reproduction, fut mis à la mode à l'époque de la Renaissance par Verrochio, peintre et sculpteur habile, et ce procédé devint d'un grand secours pour la vulgarisation des œuvres de l'antiquité.

Nous ne devons pas passer sous silence les divers procédés mécaniques, et surtout le procédé Collas, procédé tout moderne, employé avec succès pour la réduction des statues, et qui a contribué puissamment, dans ces dernières années, à vulgariser les réductions des chefs-d'œuvre de la statuaire. Son grand mérite est de conserver parfaitement les grandes lignes artistiques, les lignes de grande courbure du modèle, parce que son mode d'opérer repose sur la reproduction de celles-ci. Nous montrerons plus loin les avantages inhérents à ce mode d'opérer, en parlant de la représentation des objets à l'aide du dessin.

En même temps que de la statuaire, nous aurons à parler de la sculpture décorative, qui absorbe tout l'art aux époques où l'architecture seule jette un grand éclat, et n'en est que plus brillante aux époques de splendeur où ces deux arts existent séparément. Nous aurons aussi à dire quelques mots de la sculpture la plus industrielle de toutes, à cause de la rapidité de sa production, de la sculpture sur bois, dont nous avons été contraints de parler déjà dans son emploi pour l'ornementation des meubles.

BRONZES

Nous avons laissé de côté, dans ce qui précède, la reproduction en métal et surtout en bronze, parce qu'elle constitue une industrie spéciale d'une grande importance. La belle couleur du bronze, la facilité avec laquelle il peut être moulé avec une grande pureté, et toute imperfection être corrigée par la ciselure, en ont toujours fait la matière par excellence pour la reproduction des œuvres de la sculpture.

L'art du fondeur en bronze s'est élevé, chez les anciens, à la hauteur de la sculpture. La quantité immense de statues et de vases de bronze qu'ils ont produits dépasse toutes les limites qu'on peut imaginer. Ce fut par milliers que les Romains enlevèrent à la Grèce ses œuvres d'art de tout genre, tous ces objets auxquels la perfection du travail donnait tant de prix. La masse de ces richesses semblerait vraiment fabuleuse, si la découverte de Pompéi n'était venue confirmer l'authenticité des récits du passé. L'âge de la barbarie vit disparaître l'art du fondeur en bronze; mais, à l'époque de la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Renaissance, il se releva en Italie, comme nous le verrons bientôt, pour s'amoindrir encore une fois et enfin renaître en France sous Louis XIV avec un grand éclat.

De nos jours, les objets que comprend cette industrie, comme les besoins du luxe auquel elle doit satisfaire, sont extrêmement nombreux. Indépendamment des bronzes proprement dits, d'objets d'art destinés à la décoration de nos demeures, nous citerons, après l'importante fabrication des pendules, les bronzes dorés, les mélanges de ceux-ci avec la porcelaine, le marbre, etc., celle des candélabres, lustres, et toute cette série d'appareils servant à l'éclairage, notamment à l'aide du gaz.

Sous le rapport technique, le grand progrès dans la fabrication des bronzes repose sur les procédés de fonte à bon creux (voir l'article BRONZE), c'est-à-dire en obtenant, à l'aide de la cire, un moule qui, vidé par l'effet de la chaleur, permet d'obtenir la pièce bien fondue d'un coup, et non couturée par ces jonctions de moules partiels, trop souvent employés, qui défigurent le plus souvent la pensée de l'artiste. C'est pour achever l'œuvre qu'intervient le ciseleur, véritable sculpteur sur bronze, dont le travail est lent, cher, et exige une extrême habileté. On emploie encore la galvanoplastie, qui permet de faire déposer le cuivre par voie humide dans un creux obtenu à l'aide d'une substance rendue conductrice; elle est adoptée fréquemment aujourd'hui pour diminuer le travail de réparation de ciselure, surtout pour les petites pièces, les bas-reliefs de peu d'épaisseur, dont l'orfévrerie, l'ébénisterie tirent très-bon parti, après qu'on a rendu le métal résistant en en augmentant l'épaisseur à l'aide de soudure forte coulée dans son intérieur.

FONTE DE FER, ZINC

La fonte de fer, si importante pour l'industrie en général, n'a pu remplacer le bronze dans la production artistique. L'extrême dureté de la croûte extérieure des pièces fondues en fonte de fer empêche le travail de la ciselure, qui, avec le bronze, permet de réparer les imperfections du moulage, de faire disparaître les coutures des moules, etc.

Ce n'est que dans la décoration monumentale, comme pour les fontaines qui ornent les places publiques et d'autres monuments analogues, que la fonte de fer a été adoptée à cause de son bon marché, et les grands progrès du moulage ont permis d'obtenir ainsi des produits d'une véritable valeur artistique. Toutefois leur pureté ne saurait être comparée à celle du bronze, et, au point de vue du bas prix, aujourd'hui elle cède souvent le pas au zinc, plus léger que la fonte et qui se moule convenablement entre les mains d'habiles fondeurs. On a exécuté, avec succès, en Allemagne, plusieurs frontons en zinc pour de grands édifices, celui du théâtre de Hambourg par exemple.

Le bas prix du zinc, la possibilité de le couler dans des moules métalliques, c'est-à-dire pouvant servir indéfiniment, à cause du peu d'élévation de son point de fusion et du peu de chaleur communiquée au modèle dans le procédé dit « au renversé » (voyez FONDERIE EN ZINC), en permettant de réduire considérablement les prix, font adopter ce métal pour une foule d'objets imparfaits, mais à bas prix, auxquels la galvanoplastie permet de donner l'apparence du bronze par le dépôt d'une couche très-mince de cuivre.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

2° ARTS VESTIAIRES

Le goût des personnes qui exercent les professions qui ont pour objet la confection des vêtements doit se rapprocher, au sommet de la série, de celui du sculpteur. Il s'agit dans les deux cas d'orner le corps humain, par la belle disposition des cheveux, de la coiffure, les formes des vêtements et leurs transformations successives, qui sont la préoccupation constante de tant de personnes, des femmes surtout, et offrent peut-être la traduction la plus complète des aspirations du goût dominant à chaque époque. La mode qui se formule dans les grandes capitales, et surtout à Paris, est le point de départ, le moyen capital de succès des plus grandes industries. Les éléments employés qui sont l'objet du travail des plus importantes manufactures seront étudiés ailleurs; il ne s'agit ici que de leur mise en œuvre, de leur adaptation au corps humain. Les procédés de fabrication par découpage et assemblage sont très-simples, mais la forme des vêtements, leur adaptation, exigent, dans certains cas, beaucoup d'habileté et de goût

3° ORFÉVRERIE

L'orfévrerie, c'est-à-dire, d'après l'étymologie, le travail de l'or, est un des arts les plus anciens. On le trouve florissant aux époques de splendeur des différents peuples. Les beaux-arts, dit le duc de Luynes, exercent une influence constante sur l'orfévrerie parce que, malgré les usages domestiques auxquels cette industrie est le plus souvent affectée, les matières précieuses sur lesquelles elle s'exerce lui ont toujours imposé une recherche de formes particulière; aussi la voyons-nous toujours s'élever ou déchoir avec la peinture et la sculpture. Cette industrie essentiellement de luxe et toute décorative est, en réalité, dans ses œuvres capitales, un art véritable (elle était considérée ainsi par les anciens), employant le plus souvent un procédé tout particulier de fabrication, la retreinte, le repoussé au marteau, qui permet d'utiliser la grande malléabilité de l'or et de l'argent pour créer une œuvre unique, originale, en un mot une œuvre d'art. Le repoussé exige un talent réel et une grande connaissance du modelé. L'œuvre originale exécutée par ces procédés se distingue, à la simple vue, d'un morceau fondu et ciselé, et porte toujours une empreinte de vie et d'originalité qui lui donne une grande valeur.

Ce n'est que pour des produits dont la consommation est étendue, qu'on arrive à la multiplication économique des pièces par l'estampage, par le repoussé obtenu au moyen de creux et de reliefs de la forme même qu'il s'agit d'obtenir. Les ornements estampés, soudés ou vissés sur la pièce principale, servent, comme des ornements fondus ou obtenus aujourd'hui par la galvanoplastie, à décorer des pièces qui tirent leur charme de formes géométriques, dont les surfaces sont continues et brillantes. Mais il n'y a pas à tenir compte ici des modes de travail, des procédés différents employés pour obtenir des produits de même nature, de même qu'on doit, au point de vue de l'art, étudier à la fois les pièces qui tirent leur harmonie de la proportion des lignes, qui ne rappellent aucune production naturelle, et celles remarquables par l'imitation des êtres animés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ces circonstances viennent se présenter souvent en même temps dans les pièces d'orfévrerie.

L'application industrielle de l'estampage a engendré plusieurs fabrications économiques : telle est celle des cuivres estampés, pour laquelle on n'a besoin que de creux fondus, dans lesquels la feuille mince du métal est repoussée par des blocs en plomb.

A propos de l'estampage, nous devons rappeler la plus ancienne et la plus importante fabrication de ce genre, le monnayage qui fixe les dates de l'histoire, par la fabrication des monnaies, médailles, etc.

Plus facilement peut-être que la statuaire, l'orfévrerie permet, tant par son éclat que par le peu de grandeur des personnages, par les colorations diverses dont elle dispose, etc., d'atteindre des effets que la statuaire se propose rarement d'obtenir. Elles sortent d'ailleurs de la sphère qui lui est propre, de la représentation du sentiment individuel. Disons, comme le prouve l'exemple des plus grands orfévres, que la figure humaine convient bien moins à l'orfévrerie que la production des formes géométriques, les enroulements de fantaisie qui réjouissent les yeux, sans appeler la critique sur des œuvres que les moyens d'exécution rendent, pour ainsi dire, impossibles à obtenir avec le degré élevé de perfection auquel la statuaire nous a habitués.

On ne doit pas oublier que l'orfévrerie n'arrive à l'art qu'en cherchant des moyens de décoration, et ce serait une erreur que de juger les plus belles pièces d'orfévrerie comme œuvres d'art pur. Le but à atteindre est de charmer l'œil par un ensemble, de communiquer le sentiment de la richesse par l'éclat, mais jamais les plus parfaites de ces œuvres n'atteindront à la valeur artistique d'une belle statue grecque; c'est assez de dire que, comme industrie, l'orfévrerie, par la valeur de la matière première, la splendeur de ses œuvres et le haut prix qui y a été toujours attaché, a tenu de tout temps la première place, et qu'on retrouve dans les pièces justement célèbres de nombreuses et brillantes manifestations des grandes époques de l'art.

4° BIJOUTERIE, JOAILLERIE

La bijouterie procède de l'orfévrerie, à laquelle elle emprunte la majeure partie de ses procédés; c'est la division de cette industrie qui s'applique à la fabrication de parures destinées surtout à la toilette des femmes. Elle emprunte à la joaillerie ses ornements les plus riches, les pierres fines, qui n'entrent dans la bijouterie que comme accessoires. S'il est un champ ouvert pour la fantaisie, c'est sûrement celui de la bijouterie, et l'extrême variété des créations modernes le prouve surabondamment; toutefois, les œuvres les plus remarquables sont celles où l'on parvient à donner une signification à l'œuvre créée, sans toutefois considérer l'imitation, toujours imparfaite des formes de la nature, comme une condition nécessaire.

C'est essentiellement avec l'or que se fait la bijouterie; toutefois les formes des bijoux d'or s'exploitent souvent en fausse bijouterie, c'est-à-dire en cuivre doré. A certaines époques, le bijou d'argent, celui même exécuté en acier, sont adoptés par la mode et sont fabriqués en grande quantité; mais en tout temps il s'en fait quelques-uns de fort convenables en ces diverses matières, pour des genres particuliers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Dans la joaillerie, les pierres fines et les perles jouent le rôle principal; dans la bijouterie, les métaux précieux travaillés, gravés, guillochés, incrustés, les émaux, les nielles, les filigranes, les camées, le corail, les pierres dures, les coraux, les mosaïques sont employés sous toutes les formes inspirées pour les caprices de la fantaisie. Il ne faut pas, malgré leurs nombreuses affinités, confondre la bijouterie et la joaillerie, c'est-à-dire l'industrie qui emploie surtout l'or et l'argent pour les décorations et la toilette, avec celle qui a pour objet le sertissage et le montage des pierres précieuses et des diamants.

Revenons maintenant à l'étude de ces diverses industries, de leur histoire et de leurs progrès.

STYLES SUCCESSIFS DANS LES ARTS RELEVANT DE LA SCULPTURE

STYLE ÉGYPTIEN

La statuaire égyptienne représente un point du développement de l'art, auquel une nation s'est volontairement arrêtée; elle est caractérisée par l'emploi de formes conventionnelles préférées à celles qu'eût pu fournir l'imitation fidèle de la nature. En effet, les colonnes des temples égyptiens déjà données, les sphinx, les statues colossales



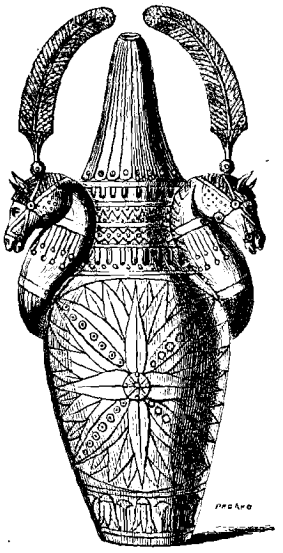
103. Sphinx égyptien.

taillés dans le granit ne sont pas des œuvres barbares, mais des œuvres exécutées à l'aide de puissants moyens d'action, pour obtenir une forme traditionnelle. Le siècle de Sésostris paraît avoir été l'époque la plus brillante de la statuaire égyptienne. On connaît une admirable statue de ce roi taillée dans le granit noir.

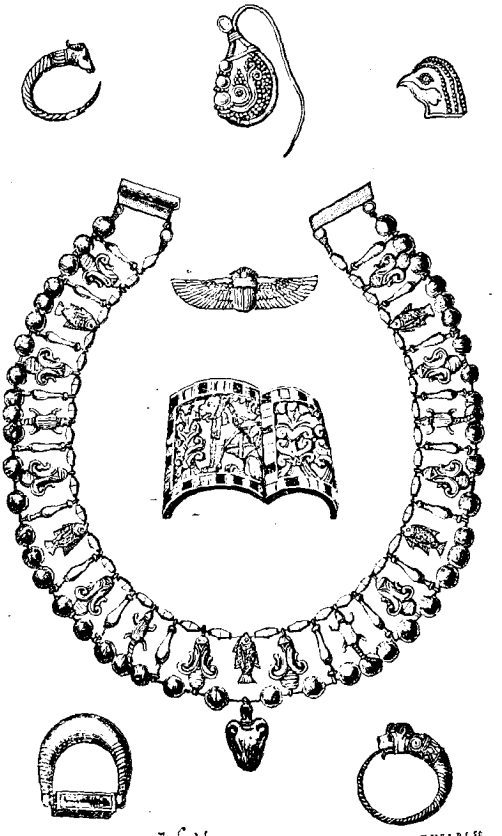
Pour ce qui est de l'orfévrerie, les recueils d'antiquités égyptiennes nous décrivent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des vases de métal, dont quelques-uns rappellent les formes et les décorations de la Grèce. Nous en donnons ici un, d'un genre tout particulier, qui nous paraît curieux. La splendide exposition des antiquités égyptiennes que l'on a admirée à Paris, en 1867, contenait des pièces bien précieuses, notamment une petite nacelle en or repoussé, qui prouvait que les procédés du travail de l'orfévrerie étaient connus des Égyptiens plusieurs milliers d'années avant J.-C.



104. Vase égyptien.



105. Bijoux égyptiens.

Enfin, les bijoux trouvés dans les tombeaux sont loin d'être sans charme. Nous donnons pour preuve un collier, un bracelet, des bagues, une boucle d'oreille en or, objets dessinés au Louvre, d'après les belles collections du musée de Charles X.

STYLE GREC, STYLE ROMAIN

Sans vouloir nous étendre sur l'histoire des beaux-arts, nous devons nous arrêter sur la statuaire grecque. Passionnés pour la beauté physique, les Grecs en ont reproduit

EFERUS - Recherche & Classification numérique

par la sculpture d'inimitables modèles; et, tout en employant admirablement la sculpture décorative comme annexe de l'architecture, pour l'ornementation des colonnes, la décoration des façades, ils ont su créer en outre un art complet qui réussit parfaitement à représenter tous les types de la beauté.

Voici avec quel enthousiasme parle de la sculpture grecque un écrivain distingué, M. Taine : « Regardez la statuaire grecque. Toute la science, toute la philosophie de ce petit peuple, un des mieux organisés qui fût jamais, y est décrite en caractères ineffaçables. Vous pouvez y lire, aussi clairement que dans ses poëmes, ses histoires et ses tragédies, la conception qu'il avait du monde et de lui-même. Les idées qu'il glorifiait et par lesquelles il affirmait son autonomie en face des barbares sont là devant vous condensées et exprimées dans une forme qui les rend accessibles à toutes les intelligences. Les orateurs parlent, les gladiateurs luttent, les dieux veillent. On dirait une société de marbre, image qui survit, blanche et immaculée, à une société de chair depuis longtemps dissoute. Il n'est point de force dans la nature ou dans la vie qui n'ait alors trouvé son enveloppe charnelle pour se fixer dans les yeux en même temps qu'elle se fixait dans les esprits. La toute-puissance, c'est Jupiter; la toute-sagesse, c'est Minerve; la toute-beauté, c'est Vénus. Et à l'entour de ces généralisations incarnées rendues visibles et palpables, c'est la jeunesse, c'est le courage, c'est le génie, c'est la gloire, c'est le plaisir, c'est l'amour, c'est l'éloquence; ce sont toutes les énergies et toutes les vertus d'un peuple héroïque et fort qui sont debout et font cortége. »



106. Vénus de Milo.

Il nous faudrait reproduire ici le musée des Antiques, si nous voulions faire apprécier le mérite de la statuaire grecque; il y aurait à entrer dans une longue suite de considérations pour faire comprendre la pensée recouverte par chaque forme, l'idéal révélé par chaque chef-d'œuvre. Dans l'impossibilité de le faire, nous nous bornerons à reproduire un des chefs-d'œuvre le plus récemment découverts et des plus admirables, la VÉNUS DE MILO; une de ces œuvres qui réfléchissent la beauté même, c'est-à-dire bien plus que le gracieux, le joli, sentiments de second ordre qui se transforment avec chaque époque[1].

La sculpture en ivoire, la toreutique, fut très-goûtée des Grecs. Déjà elle avait été en honneur chez les Égyptiens, les Assyriens et les Perses, dès les premiers âges de la civilisation. Cette matière si brillante, unie à l'or, fut surtout employée pour les statues des dieux. Dans son fameux Jupiter d'Olympie, Phidias exécuta tous les nus en ivoire; il employa également cette belle matière pour l'exécution de la MINERVE du Parthénon, que le duc de Luynes a fait si curieusement reproduire par un sculpteur de talent, M. Simart.

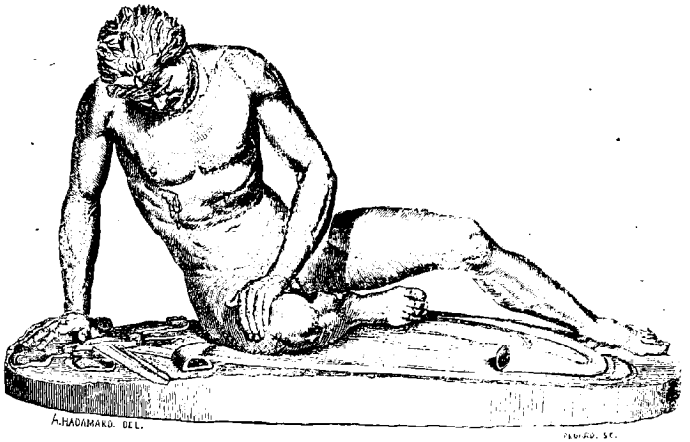
Depuis les grands progrès de la peinture, c'est-à-dire de l'art qui permet d'exprimer

1. Grands sculpteurs grecs. — Première époque. Phidias, auteur des célèbres statues de Pallas et du Jupiter Olympien, en or et en ivoire, — Polyclète, Scopas, etc.
Œuvres : Bas-reliefs du Parthénon. — Le canon, statue modèle des plus belles formes de l'homme, — Jupiter, — Vénus, — Cupidon, — Faunes, etc., etc.
Deuxième époque, après Périclès. — Praxitèle, — Lysippe, sculpteur d'Alexandre, etc.
Œuvres : La Niobé, — Laocoon, — Le Gladiateur, — l'Apollon du Belvédère, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les sentiments les plus variés, on a quelquefois reproché à la sculpture grecque d'être souvent trop froide, de reproduire rarement des sentiments. Aujourd'hui, malgré, et nous dirons presque à cause des admirables travaux de tant d'artistes modernes, on admet que la statuaire ne convient pas pour des scènes mouvementées et que son domaine est vraiment celui que les Grecs lui avaient reconnu.

Il n'y a pas de statuaire romaine; c'était le talent des artistes grecs qui, à Rome, décorée des dépouilles de la Grèce, produisait presque toujours les plus belles statues. Toutefois, elles tendaient à exprimer des sentiments plus forts, à posséder peut-être une expression moins idéale que celles de la Grèce. Nous donnerons pour type le GLADIA-



107. Le Gladiateur mourant.

TEUR MOURANT. Byron a décrit dans des vers célèbres tout ce qu'inspire la vue de cette statue, cette mort du Gladiateur, de l'esclave slave mourant loin de sa patrie, pour servir de jouet aux Romains. C'est sous Adrien que le style que l'on peut considérer comme propre aux Romains se montra le plus élevé et le plus pur. Nous citerons l'ANTINOÜS comme le plus beau produit de cette espèce de renaissance. Comme exemple de sculpture décorative, nous reproduisons un vase en marbre qui se trouve au musée Capitolin de Rome.

Les Romains firent grand cas des travaux en ivoire; ils les appliquèrent à la sculpture décorative plus qu'à la grande sculpture. Ils exécutèrent en ivoire non-seulement des statuettes et des bas-reliefs, mais aussi des siéges, des lits, des meubles de toute espèce. La matière première était devenue moins rare et les richesses des particuliers bien plus grandes qu'en Grèce.

Une des applications les plus fréquentes de la sculpture en ivoire dans l'antiquité romaine et dans les premiers temps du moyen âge fut la décoration des diptyques. On sait que dans l'origine les diptyques étaient formés de deux petites tablettes de bois ou d'ivoire se repliant l'une sur l'autre, comme nos portefeuilles modernes. L'intérieur sur lequel on écrivait était enduit de cire qui conservait la trace du stylet. Ces tablettes, qui d'abord ne servaient qu'à écrire et à envoyer des missives secrètes, reçurent bientôt une autre destination. Sous l'empire, les consuls et les principaux magistrats envoyaient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

à leurs amis, pour consacrer le souvenir de leur élévation, des diptyques d'ivoire dont les parties extérieures étaient sculptées en bas-reliefs.

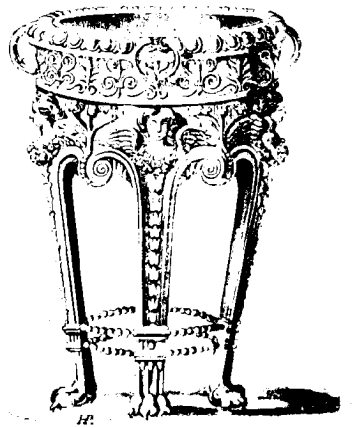


108. Vase romain.

Bronzes gréco-romains. — La reproduction en bronze des statues fut extrêmement multipliée en Grèce. C'est par milliers que les Romains enlevèrent les statues en bronze aux villes grecques, à Corinthe notamment. Nous donnerons ici, comme échantillons de bronzes romains, la louve qui, avec l'aigle, était portée en tête des armées, et comme objet d'ameublement un trépied trouvé à Herculanum, dans cette ville où, comme à Pompéi, tout respire l'art grec.



109. Louve romaine.



110. Trépied d'Herculanum.

Arts vestiaires. — Les statues nous montrent les costumes de l'antiquité; la toge, le manteau, drapé et non collé au corps, était la partie principale du costume d'apparat des Grecs, pour lesquels le nu offrait la vraie beauté, et n'éveillait pas les idées d'indé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cence que le christianisme a fait passer dans nos mœurs en les rendant plus pures. Bien entendu qu'il s'agit des peuples méridionaux; les Barbares du Nord étaient couverts de peaux de bêtes.

Orfévrerie. — Il nous est parvenu de l'antiquité un assez grand nombre de vases d'argent et d'or, de formes très-belles. Chacun connaît la description du bouclier d'Achille tracée par Homère; c'est à peine si les œuvres de repoussé des plus habiles artistes de nos jours peuvent donner idée de quelque chose d'analogue.

Rome, maîtresse du monde, fut la ville de l'orfévrerie par excellence. On retrouve dans l'orfévrerie romaine la simplicité de composition, les lignes pures de la sculpture antique. Cet art industriel resta presque entièrement grec; nous en montrons un échantillon dans un vase en argent au sixième de sa grandeur naturelle, emprunté au célèbre trésor d'orfévrerie romaine, trouvé près de Hildesheim en Allemagne.



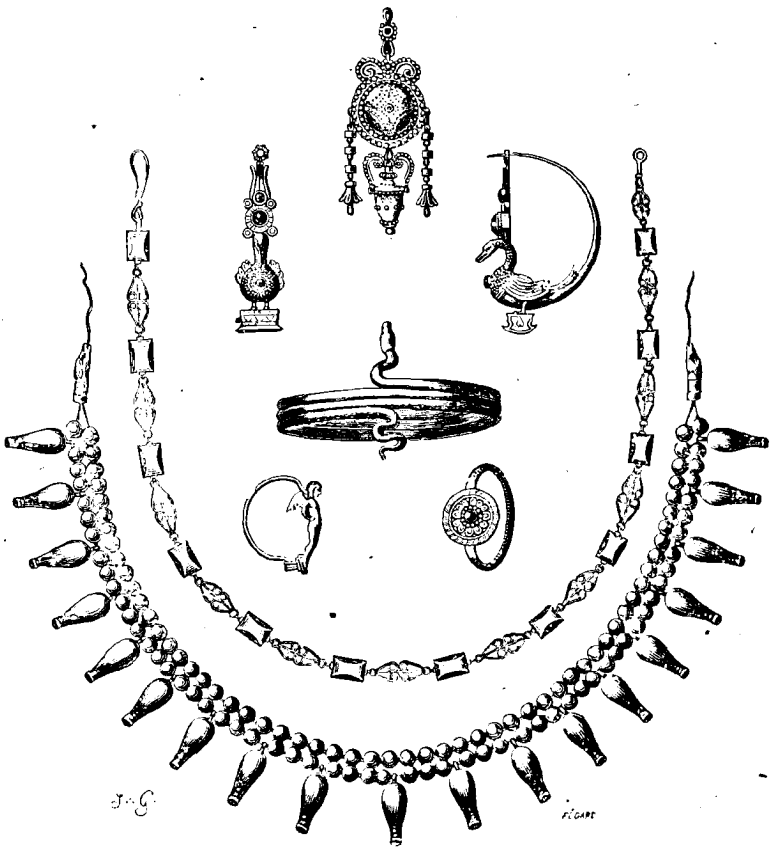
111. Vase en argent, grec romain.

Bijouterie. — Nous donnons ici un collier grec et des ornements de toilette déposés dans nos musées, qui sont fort élégants. Les dames romaines avaient de nombreux bijoux, comme l'ont montré les fouilles de Pompéi; leur luxe encourageait les travaux des artistes venus de Grèce, et qui savaient, depuis Phidias, graver les pierres dures. Les camées antiques et les anneaux abondent dans les collections publiques.

Les bijoux étrusques de la collection Campana sont venus passionner vivement les véritables amateurs, en leur faisant connaître une admirable série de créations inconnues, que M. Castellani de Rome s'est attaché avec succès à reproduire, en leur conser-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vant cette physionomie artistique qu'ils possèdent à un haut degré, à laquelle ne nuisent



112. Bijoux antiques.

pas de légères imperfections qui montrent que le travail de la main n'a pas fait place au procédé mécanique, comme dans bien des bijoux modernes.

STYLE BYZANTIN ET ROMAN

Du sixième au treizième siècle, les arts de la forme jetèrent peu d'éclat : la plastique eut quelque chose de barbare, et ne se sépara pas de l'architecture; dans les œuvres de cette époque, la beauté naturelle ne fut pas mêlée à l'esprit, à l'aspiration de l'artiste dans une proportion suffisante. L'asservissement de l'art à des règles invariables ôtait aux productions tout mouvement et toute variété.

Au onzième siècle, dit M. Bourquelot, la statuaire se présente sous deux formes bien distinctes : l'une courte et ronde, sans noblesse et sans grâce, grossier souvenir de l'art

EFERUS - Recherche & Classification numérique

dégénéré; la seconde, plus raffinée, apportée de Constantinople et dont les caractères sont: l'allongement des figures, le parallélisme des plis dans les draperies, l'absence de perspective dans les pieds et les genoux, la courbure des sourcils, la disposition des yeux saillants, fendus et relevés aux extrémités. Ces deux formes se maintinrent presque simultanément jusqu'au treizième siècle qui fut; pour la statuaire comme pour les autres arts, une époque de renaissance.

Émeric David fait observer avec raison que les artistes du temps de Constantin (et à plus forte raison les sculpteurs de l'Occident) crurent pouvoir se dispenser d'étudier l'antique et l'homme nu, par la raison que dans des images, la plupart religieuses, ils n'avaient à représenter que des toges. Aussi bientôt ne surent-ils plus poser une figure d'aplomb sur ses pieds, et ils arrivèrent enfin à ne dessiner que des pygmées presque dénués de toute forme humaine.

Remarquons que la statuaire pouvait difficilement ne pas dégénérer lorsque le christianisme vint faire disparaître le paganisme, et qu'avant d'avoir conçu la pensée de constituer un art propre à leurs croyances, les premiers chrétiens considéraient les chefs-d'œuvre de l'art païen comme propres essentiellement à une religion méprisée; aussi, par haine de l'idolâtrie, proscrivirent-ils les arts et les artistes.

Durant les persécutions des empereurs iconoclastes, dit M. J. Labarthe, les artistes grecs produisirent un grand nombre de sculptures portatives; ils multiplièrent dans les diptyques et dans les tableaux à volets de petite proportion toutes les représentations odieuses à Constantinople, qui pouvaient ainsi échapper à la proscription. Lorsque la persécution cessa, l'usage en était universel; il se perpétua dans les siècles suivants. Le croisé, le voyageur, le pèlerin le plus pauvre enferma dans des diptyques et des triptyques de bois ou d'ivoire les saintes images qu'il transportait dévotement avec lui, et devant lesquelles il s'agenouillait plusieurs fois par jour, pour offrir sa prière à Dieu. On en faisait aussi d'une plus grande proportion, qu'on plaçait au-dessus du prie-Dieu dans l'intérieur des appartements, qui étaient ornés de bas-reliefs représentant des scènes tirées de l'Évangile.

Ces grands diptyques amenèrent plus tard l'usage des retables portatifs qui, à partir du quatorzième siècle, furent posés sur l'autel pendant la messe.

Nous ne parlerons pas ici de la sculpture décorative du style roman ; nous compléterons plus loin les exemples que nous avons donnés des zigzags, des pointes de diamant et autres ornements propres à ce style.

Bronzes. — On connaît, de cette époque, des bas-reliefs en bronze obtenus presque entièrement à l'aide de la ciselure. C'était une sculpture en métal, évidemment inspirée par la vue des œuvres nombreuses d'orfévrerie dont nous allons parler, et par le désir de produire des œuvres plus durables, plus résistantes que celles en pierre.

Arts vestiaires. — Le luxe asiatique vint envahir la civilisation occidentale lors du transport du siége de l'Empire à Byzance. Les étoffes d'or et d'argent des robes des empereurs étaient d'une grande richesse, que du reste nous connaissons bien, car les costumes des cérémonies de l'Église catholique sont à peu près la reproduction de ceux des empereurs et des grands dignitaires de cette époque. Le manteau de Charlemagne est la chasuble des évêques.

Orfévrerie. — L'orfévrerie, dit M. Petit dans une analyse du bel ouvrage de M. La-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

barthe, est l'art qui a été le plus goûté depuis l'empire romain jusqu'à la Renaissance. Aussi l'histoire de l'orfévrerie est-elle la mieux connue, malgré toutes les causes de destruction qui semblaient devoir faire disparaître les précieux monuments de cet art.

Très-cultivé dans l'antiquité, l'art de travailler les métaux précieux dut au triomphe de la religion chrétienne de recevoir un nouvel essor. Constantin, avant de transporter en Orient le siége de l'empire romain, fit aux églises de Rome des présents magnifiques. Croix, couronnes, patènes, calices, burettes, lampes, lustres, fonts baptismaux, autels, encensoirs, pièces de toute espèce exécutées en or et en argent, souvent rehaussées de pierres fines, s'entassèrent dans les églises, où s'accumulèrent ainsi de magnifiques monuments de l'art des orfévres au quatrième siècle. Pour n'en citer qu'un exemple, il suffit de rappeler les libéralités dont fut l'objet, de la part de Constantin, la basilique constantinienne (qui, reconstruite, porte aujourd'hui le nom de Saint-Jean de Latran). « L'abside en forme de demi-coupole, dit M. Labarthe, était entièrement recouverte de minces lames d'or. Comme dans toutes les basiliques primitives, un CIBORIUM, sorte de dôme porté par des colonnes, s'élevait au-dessus de l'autel; il était d'argent, et ne pesait pas moins de 2,025 livres. Dans le fronton principal, tourné du côté de la porte du temple, on avait placé la figure du Christ assis sur un trône, et celles des douze apôtres. Ces figures étaient exécutées en feuilles d'argent repoussées au marteau, et pesaient, celle du Christ 120 livres, et celle de chacun des apôtres 90 livres. Dans le fronton opposé, qui regardait le fond de l'abside, on voyait le Sauveur accompagné de quatre anges portant des lampes surmontées de croix. Ces figures, également de 5 pieds de hauteur, pesaient, celle du Christ 160 livres, et celles des anges chacune 105 livres. Les yeux des anges étaient en pierres fines. Un lampadaire de l'or le plus pur et quatre couronnes, également d'or, pendaient sous le dôme du CIBORIUM, attachés à des chaînes de même métal. Devant l'autel était placée une lampe d'or qui supportait une coupe dans laquelle brûlait de l'huile parfumée; elle était enrichie de 80 figures de dauphins. » Qu'il y a loin de ces magnificences aux mesquins ornements de nos cathédrales! Il y avait bien dans ces temples de quoi tenter la cupidité des barbares, qui lancèrent bientôt sur l'Italie leurs hordes innombrables. Chose étrange! ils épargnèrent en partie les églises. D'après le récit d'Orose, les vases sacrés de la basilique de Saint-Pierre, trouvés par les soldats d'Alaric dans la maison d'une femme à qui on les avait confiés, furent remis en place par les barbares eux-mêmes.

Tandis que les barbares exploitaient Rome et bouleversaient l'Occident, les empereurs d'Orient continuaient à Constantinople les traditions de luxe de l'empereur Constantin. La peinture, la sculpture et surtout l'orfévrerie y étaient en grand honneur, et les reproductions de l'art ornèrent bientôt les palais des grands autant que les églises. « Toute notre admiration est maintenant réservée pour les tisserands et les orfévres, » s'écriait alors, du haut de la chaire de Constantinople, saint Jean Chrysostome, auquel ces censures intempestives coûtèrent la vie. Malgré le blâme du saint, les arts de luxe prospérèrent durant de longues années dans l'empire d'Orient. Depuis Constantin jusqu'à la chute de l'empire grec, au quinzième siècle, l'art byzantin traversa successivement toutes les phases du progrès, puis de la décadence, jusqu'au jour où les derniers artistes de Constantinople s'enfuirent en Occident devant l'invasion des Turcs.

L'histoire de l'art byzantin, durant cette période qui s'étend depuis le milieu du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

quatrième siècle jusqu'au milieu du quinzième, offre un grand intérêt, car c'est de l'Orient que les arts du moyen âge, en Occident, reçurent quelque impulsion. L'obscurité qui si longtemps a enveloppé ces curieuses relations commence à se dissiper.

Pendant les cinquième, sixième et septième siècles, l'Italie fut si fortement agitée par les guerres des Théodoric, de Bélisaire et de Narsès, et par les invasions des Francs, des Alamans et des Lombards, que les arts ne furent guère cultivés. Au milieu de ces désordres, la décadence artistique suivit bientôt la décadence politique. Cependant, lorsque les Lombards, las de piller et de bouleverser l'Italie, eurent pris le parti d'établir sur tout le pays une domination plus pacifique, l'art vit luire encore quelques beaux jours. C'est durant cette période de calme relatif au sixième et au septième siècle, que Théodelinde, reine des Lombards, après avoir fait élever une cathédrale à Monza, près de Milan, enrichit le trésor de cette église d'une foule de dons, précieux monuments d'orfévrerie, dont une partie est parvenue jusqu'à nous.

Au court intervalle de paix qui signala en Italie le règne de Théodelinde, et durant lequel les arts se relevèrent un peu, succéda une anarchie complète. Ce fut la cause d'une nouvelle décadence.

Un siècle plus tard, un événement qui se passa dans l'empire d'Orient vint changer les destinées de l'art en Occident. Un grand nombre d'artistes grecs, chassés de l'Orient par les édits de l'empereur Léon III l'Iconoclaste, qui interdisaient la fabrication des images saintes, émigrèrent en Italie. Lorsque, cinquante ans après, la grande figure historique de Charlemagne apparaît en Italie, les Lombards disparaissent de Rome, l'ordre se rétablit un peu dans la capitale du monde chrétien. C'est, au huitième siècle, le signal d'une véritable renaissance de l'art, renaissance préparée déjà depuis quelques années par la présence des artistes grecs qui avaient apporté d'Orient leurs traditions, leur style et leurs procédés.

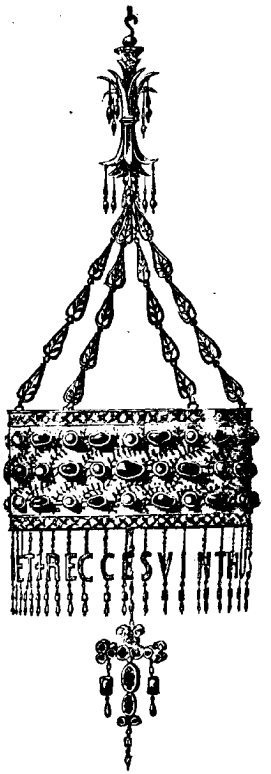
Ce réveil du goût des arts, qui se manifesta au huitième siècle en Italie, fut sensible aussi de l'autre côté des Alpes. A l'époque romaine, la sculpture et l'orfévrerie avaient été fort goûtées dans les Gaules. Les invasions du cinquième siècle portèrent là comme en Italie un coup funeste aux arts de luxe; mais les mœurs des barbares s'adoucirent peu à peu sous l'influence chaque jour plus puissante du christianisme.

A l'orfévrerie franque du septième siècle se rattache le nom du grand saint Éloi, le patron des orfévres, qui fut tout à la fois l'ami, le ministre et l'orfévre du bon roi Dagobert. Non-seulement saint Éloi s'adonna lui-même aux arts, mais il encouragea l'orfévrerie à Paris, à Limoges, à Metz, etc., et il fonda dans le Limousin, son pays, un monastère où les moines formèrent une école d'orfévrerie. A Paris, il édifia, sur l'emplacement où s'élève aujourd'hui le Palais de Justice, un couvent de femmes où, dit-on, les religieuses brodaient avec du fil d'or les étoffes destinées au service du culte. Il ne nous est rien resté des œuvres du saint orfévre. Les pièces d'orfévrerie travaillées par saint Éloi étaient cependant regardées comme des chefs-d'œuvre par les artistes des époques postérieures, si l'on en croit certain chroniqueur du neuvième siècle. « Et même les artistes de notre temps ont coutume d'assurer que c'est à peine si maintenant on pourrait trouver quelque ouvrier, si adroit qu'il fût dans toute sorte d'ouvrage, qu'on pût égaler ou même comparer à Éloi pour cette délicatesse du travail de lapidaire et d'enchâsseur de pierres précieuses. C'est en vain que l'on cherchera

EFERUS - Recherche & Classification numérique

pendant un grand nombre d'années un tel artiste, et l'expérience le démontre clairement, car on ne connaît plus cet art et l'on ne s'en sert plus parce qu'il est perdu. » (GESTA DAGOBERTI, chronique anonyme du milieu du neuvième siècle.) Saint Éloi est resté longtemps populaire parmi les orfévres, qui célébraient sa fête avec grande pompe, le 1er octobre. A cette cérémonie on chantait, dans de belles hymnes en vers latins rimés, la louange du saint artisan. Ce sont ces hymnes qui, travesties une première fois au seizième siècle par le poëte burlesque Sébastien Rouillard, ont inspiré la chanson populaire que tout le monde connaît.

De la Gaule le goût des arts s'étendit promptement au delà des Pyrénées, dans la Péninsule où les Visigoths avaient fondé un empire. L'orfévrerie y était en honneur au septième siècle, et la découverte récente du trésor de la Fuente de Guarrazar atteste bien que les artistes de ce pays s'inspiraient des productions de l'art byzantin. Nous représentons ici l'une des pièces les plus curieuses de ce trésor (fig. 113): c'est une



113. Couronne des rois Wisigoths.

couronne d'or rehaussée de perles et de saphirs. Au cercle de la couronne sont fixées vingt-quatre chaînettes d'or qui garnissent tout le tour; à chaque chainette est suspendue une lettre également en or. L'ensemble de ces lettres donne l'inscription suivante: RECCESVINTHUS REX OFFERET.

Mais il est temps maintenant de quitter les Gaules pour jeter un regard sur l'Italie,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

que nous avons laissée au huitième siècle, au moment où, l'ordre une fois rétabli par Charlemagne, les artistes grecs s'efforçaient de relever l'art tombé si bas pendant la période des guerres et des invasions.

Lorsque, débarrassée des Lombards grâce à l'intervention de Charlemagne, Rome put jouir enfin d'un peu de repos et de paix, le premier soin des papes fut d'élever de nouveaux édifices religieux, et ils consacrèrent des sommes immenses tant à leur construction qu'à leur ornementation intérieure. Léon III (796-816), entre autres, sous lequel la basilique de Saint-Pierre fut achevée, se montra d'une grande munificence dans les dons d'orfévrerie qu'il fit aux églises. D'après le relevé du LIBER PONTIFICALIS, la valeur pondérable de ces dons ne s'éleva pas à moins de 1,470 livres d'or et 24,843 livres d'argent. La basilique de Saint-Pierre, construite et décorée avec un luxe inouï, absorba à elle seule une grande partie de ces richesses. Portes, ciborium, colonnes, autels, instruments du culte, etc., tout y était en métaux précieux, merveilleusement travaillés par les meilleurs artistes du temps.

Les successeurs de Léon III ne se montrèrent pas moins généreux pour les églises. D'autre part, les évêques et les abbés suivirent l'exemple de Rome. Dans les temples et dans les monastères, les arts étaient donc en grand honneur. Ce fut vers cette époque (835) que fut exécuté à Milan, par l'ordre de l'archevêque Angilbert, le magnifique autel d'or ou paliotto de la basilique de Saint-Ambroise. Ce précieux monument a pu traverser les siècles malgré sa valeur; on l'admire encore à Milan.

L'invasion des Sarrasins, en 847, interrompit à peine cette brillante période. « Au neuvième siècle, dit M. Labarthe, l'orfévrerie domina tous les autres arts. » Ce fut en effet à cette époque que l'art des orfévres atteignit son apogée: « Les meilleurs artistes se faisaient orfévres, afin d'assimiler leur talent au goût de l'époque; » aucun procédé de fabrication et d'ornementation ne leur était étranger; l'émaillerie, la ciselure, la fonte, la niellure, étaient employées avec une égale habileté et concouraient à la décoration des pièces dont malheureusement un trop petit nombre est parvenu jusqu'à nous.

Charlemagne et ses successeurs donnèrent aux arts en France une vigoureuse impulsion. Sous Louis le Débonnaire, les artistes, et surtout les orfévres français, faisaient concurrence aux artistes de l'Orient. L'abbaye de Saint-Denis possédait alors une école d'orfévrerie dont la réputation devint bientôt universelle, et d'où il sortit plusieurs artistes d'un grand mérite.

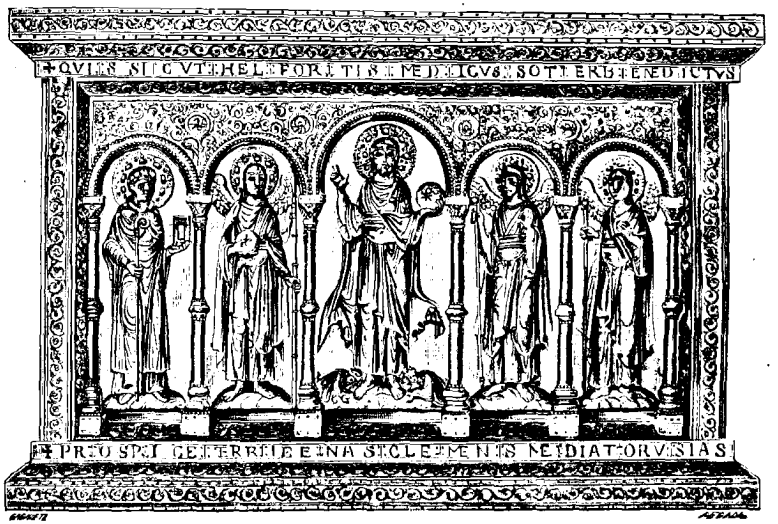
L'Allemagne suivit le mouvement général, et l'orfévrerie y devint bientôt florissante. Les moines des abbayes de Saint-Gall, de Fulde, de Richenaw, se faisaient eux-mêmes ouvriers et artistes pour décorer leurs monastères et leurs églises.

C'est, comme nous l'avons dit, dans les Trésors des cathédrales que vinrent se réunir les plus beaux travaux. Les châsses, les tabernacles, les reliquaires reproduisent le plus souvent les formes des églises, et suivent, par conséquent, les évolutions de l'art type, l'architecture. Jusqu'au milieu du douzième siècle, et quelquefois plus tard encore, les arcatures et les baies sont en plein cintre, les figures sont très-allongées, avec peu de hanches; les plis des draperies sont verticaux, roides, parallèles et serrés; les poils et les cheveux finement indiqués; les costumes ornés d'une étonnante profusion de bijoux.

Nous donnerons pour type de cette orfévrerie (fig. 114) le morceau bien curieux dont s'est, il y a quelques années, enrichi le musée de Cluny. Nous voulons parler du

EFERUS - Recherche & Classification numérique

retable en or donné par Henri II, empereur d'Allemagne, à la cathédrale de Bâle, et qui est un spécimen bien complet de l'art roman au onzième siècle. L'inscription du « Quis sicut Het medicus soter » (qui pourrait être médecin sauveur comme le



114. Retable de la cathédrale de Bâle.

Très-Haut [Het]), dit par saint Benoît, indique que cette pièce était donnée par l'empereur après sa guérison d'une maladie. On le voit prosterné avec sa femme aux pieds du Seigneur. On retrouve dans cette œuvre le plein cintre du style roman, et tout y respire le sentiment religieux de l'artiste. C'est un exemple curieux de bas-relief exécuté en métal au marteau, par le procédé du repoussé. Comme dans les œuvres importantes de cette époque, le symbolisme respire dans chacun des éléments de cette composition: Raphaël représente la force, un autre ange la grâce. La croix grecque et la croix latine se trouvent réunies dans ce morceau contemporain de la séparation des églises grecque et latine.

Bijouterie-Joaillerie. — L'orfévrerie ne se sépare pas à cette époque de la joaillerie, ou plutôt toutes deux sont consacrées à la décoration des églises, au luxe du culte catholique[1].

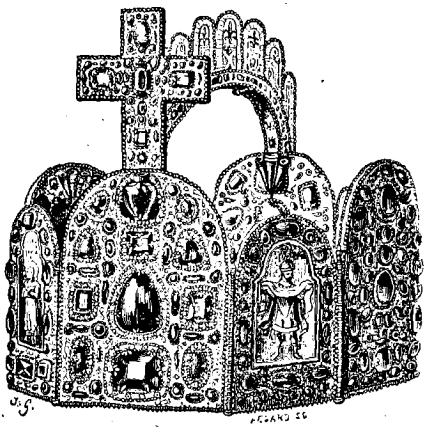
Saint Éloi[2] fit grand nombre de châsses; celle de saint Grégoire de Tours fut la plus célèbre.

1. Un ouvrage bien curieux (*Diversarum artium scedula*), écrit au onzième siècle par le moine Théophile, qui était à la fois enlumineur de manuscrits, peintre-verrier et orfévre-émailleur, renferme la description de tous les procédés employés dans les différents arts qu'il pratiquait. On y trouve l'état des connaissances techniques alors mises à la disposition des artistes, et surtout les instructions les plus détaillées pour la confection des pièces d'orfévrerie religieuse qui s'exécutaient le plus fréquemment, étant nécessaires au service divin dans chaque église, à savoir : le grand et le petit calice, la burette, l'encensoir.

2. Saint Éloi, né vers 588 à Catalac en Limousin, fit son apprentissage à Limoges, où existait une tradition de travaux d'orfévrerie qui remontait au temps de la domination romaine. Devenu le favori de Dagobert, il fonda plusieurs couvents, notamment celui de Solignac en Limousin, dont les moines durent se consacrer à des travaux d'orfévrerie religieuse.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons encore la couronne de Charlemagne (fig. 115), qui a des ornements émaillés, comme curieux échantillon de joaillerie. Les émaux jouaient un si grand rôle



115. Couronne de Charlemagne.

dans la bijouterie de cette époque, qu'on en couvre aujourd'hui les pièces que l'on fait en imitation de ce style, pris souvent comme rappelant le mieux la tradition catholique, tels que les vases d'église, les autels, etc., etc.

STYLE GOTHIQUE

La sculpture joua un grand rôle au treizième siècle comme annexe de l'architecture qui jetait tant d'éclat par la construction des cathédrales; ses progrès procédèrent de la même foi religieuse qui élevait ces monuments. Elle prit une plus grande importance qu'à l'époque précédente: elle eut à couvrir de statues ces admirables cathédrales, et par une suite naturelle du développement de l'art, l'œuvre du sculpteur se détacha quelque peu du monument et devint souvent une œuvre remarquable par le sentiment qui y respire. Les figures du « style gothique, » au treizième siècle, ont des draperies très-amples, des plis peu nombreux, mais affectant toujours le mouvement vertical. Toutefois elles sont bien plus voisines des proportions humaines que celles du style byzantin, et l'exécution en est bien plus large.

C'est de cette statuaire qu'un savant archéologue a pu dire avec raison: « La statuaire grecque produit en nous un sentiment très-pur: le sentiment du beau, mais du beau physique; la statuaire chrétienne développe le sentiment du beau physique et du beau moral, et plutôt le dernier que le premier. » Dans quelques cas, en effet, le sculpteur s'éleva à une grande puissance d'expression, en créant ces sveltes figures d'une tournure si chaste et si ample, telles que celles de la cathédrale de Strasbourg, dues au ciseau des Steinbach.

Évidemment, pour produire de telles œuvres, il fallut que l'étude de la nature reprît

EFERUS - Recherche & Classification numérique

sa place dans l'art, que l'initiative de l'artiste devînt plus grande. Nous reproduisons ici une Vierge du quatorzième siècle (fig. 116), qui a bien le cachet religieux et chaste de l'art de cette époque.



116. Vierge, sculpture du XIVe siècle.

Vers le quatorzième siècle, par suite des progrès de l'art, la sculpture tendit à se matérialiser. A mesure que s'effaçait le goût des compositions symboliques, héritage du style roman, le grotesque commença à s'introduire dans la décoration.

La sculpture sur bois prit aussi une grande place dans l'art et produisit des œuvres admirables destinées surtout à orner les chœurs des églises; les parties principales de ces œuvres rappellent en général les décorations et surtout les flèches des façades des édifices.

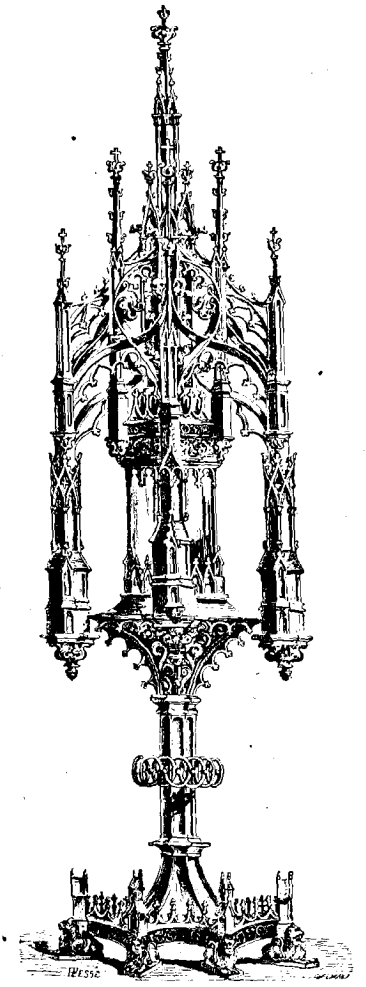
Orfévrerie. — Avant le treizième siècle, l'orfévrerie était rarement sortie des monastères; cependant la corporation des orfévres existait déjà sous saint Louis.

A l'époque du style ogival, l'orfévrerie suivit les transformations de l'architecture, et, abandonnant le plein cintre, elle adopta l'ogive, les flèches, les colonnettes, toutes les merveilles d'ornementation empruntées à l'art sarrasin. Ainsi dans les châsses, dans les petites constructions dont nous parlions ci-dessus, l'ogive remplace le plein cintre comme dans l'architecture; elles sont presque toujours des imitations, sur une petite échelle, de la Sainte-Chapelle de saint Louis.

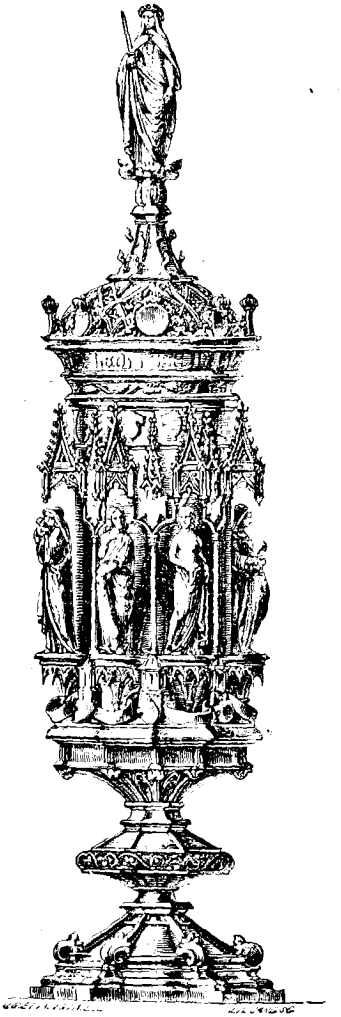
Dans les derniers temps de la période dont nous parlons, les aiguières, les vases à boire se répandirent dans tous les châteaux; la diffusion de l'art commençait.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La gravure en taille-douce, dont l'invention découla de la niellure, et qui est due à Maso Finiguerra, orfévre de Florence, qui la fit en 1440, permit de multiplier les dessins, et l'œuvre des graveurs vint offrir une foule de motifs à l'étude. Elle reproduisait naturellement les œuvres de l'époque précédente, qui étaient encore sous les yeux de tous les artistes.



117. Ostensoir d'Israël de Mecken.



118. Coupe style gothique allemand.

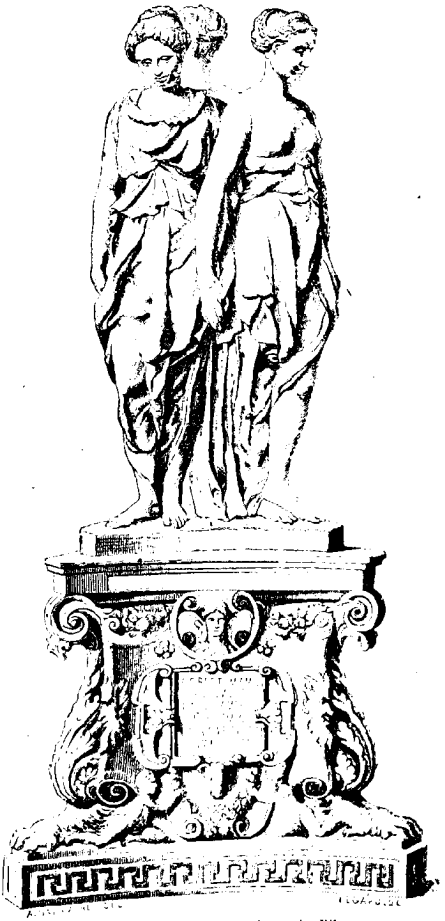
On doit citer, parmi ceux qui ont laissé de ces riches études d'orfévrerie, Israël de Mecken. Nous donnons ici la reproduction, d'après un de ses dessins, d'un ostensoir de style flamboyant bien caractérisé (fig. 117). Nous y joignons une coupe de style gothique allemand, qui est une excellente étude faite par un artiste allemand, M. Halbig de Munich (Exposition de Londres, 1851) (fig. 118).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE RENAISSANCE

La Renaissance fut une brillante époque pour la sculpture. Son éclat fut incomparable en Italie ; en France, une élégance toute particulière s'attacha aux œuvres de Jean Goujon, de Germain Pilon, des artistes qui obéissaient à l'impulsion donnée par les grands artistes de l'Italie, et notamment par le plus éminent des sculpteurs, Michel-Ange.

A l'imitation de l'antiquité, à la réhabilitation de la beauté physique, à la recherche des formes plastiques, à l'étude des forces musculaires, pour laquelle il rivalisait avec



119. Les Trois Grâces de Germain Pilon.

l'antiquité, l'art nouveau joignit des tendances méditatives propres à la civilisation chrétienne, et souvent aussi, il faut le dire, la satisfaction d'idées sensuelles. La beauté, qui était un culte pour l'antiquité, prit trop souvent à la Renaissance l'apparence de la volupté.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous donnons ici les Trois Grâces de Germain Pilon (fig. 119), une des plus charmantes œuvres de la statuaire moderne, qui, bien que rappelant l'antique, s'en sépare néanmoins par une recherche quelque peu sensuelle particulière à la Renaissance.

Les vues de quelques monuments de cette époque nous ont déjà montré la profusion de sculptures décoratives, et notamment de bas-reliefs qu'employait l'architecture. Exécutés par les grands artistes, le plus souvent, ces travaux ont toute la grâce, toute l'élégance de leur statuaire.

La sculpture sur bois fut utilisée de la même manière pour les décorations intérieures. Les lambris de la salle Henri II, au Louvre, sont justement célèbres et souvent cités, avec raison, comme des modèles de sculpture décorative.



120. Persée de Benvenuto Cellini.

Le caractère spécial de ce style réside dans la surabondance de compositions ayant une véritable valeur artistique, appliquées à de véritables œuvres d'art faisant partie d'objets ouvrés que nous traitons aujourd'hui comme des produits purement industriels.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les artistes de la Renaissance reproduisirent à l'infini, et avec une profusion caractéristique de ce style, non-seulement les rameaux, les feuillages, mais encore les formes du corps humain, les enroulements de création fantastique, de sirènes, et cela avec autant de facilité que de pureté, car ils étaient excellents statuaires.

Bronze. — L'art du fondeur en bronze, à la Renaissance, se releva en Italie avec le plus grand éclat, surtout à Florence. Il suffirait, pour le prouver, de rappeler les noms de quelques-uns de ses plus grands artistes en ce genre, notamment de Benvenuto Cellini, dont les belles coupes ciselées sont si recherchées, et celui de Lorenzo Ghiberti, l'auteur de ces admirables portes du baptistère de Florence, que Michel-Ange déclarait dignes de former les portes du paradis, et qui, figurant des scènes encadrées dans des contours géométriques, sont restées le modèle de l'emploi du bronze dans ce genre de décoration.

Doué d'une grande facilité, mais possédé par une vanité telle que le moindre objet sorti de ses mains lui paraissait devoir attirer l'admiration de tous, Benvenuto Cellini fond enfin, en 1548, une statue, son Persée (fig. 120). C'est l'œuvre à laquelle il appliqua tous ses soins, toute son énergie.

Ce Persée, dit un critique, n'est pas une œuvre de force; il tomberait en avant si le



121. Vase florentin de Cluny.

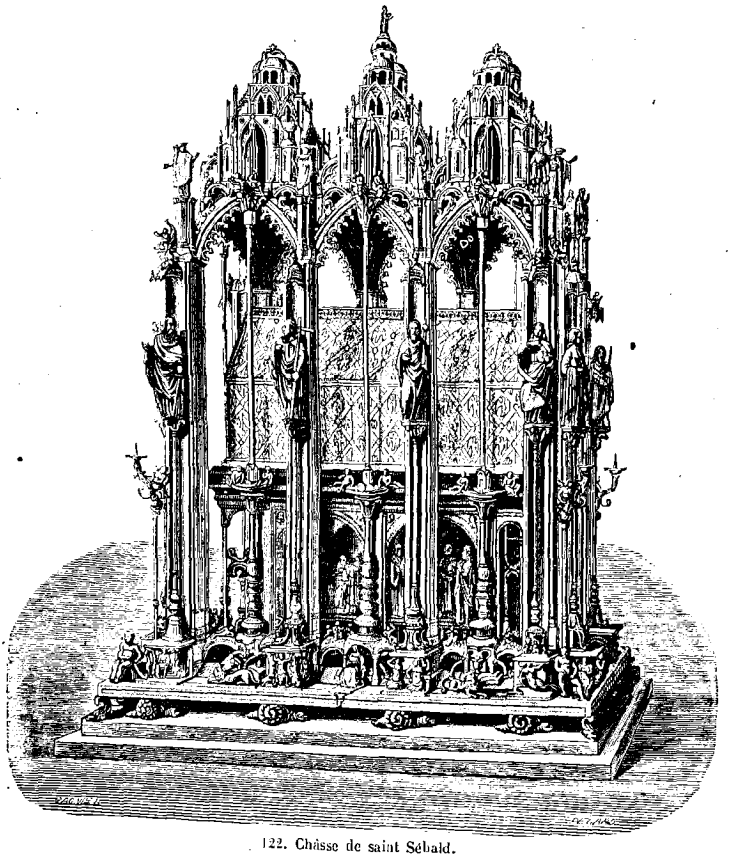
bronze se changeait en chair et en os; ses jambes sont communes et ses mains mal dessinées; les membres de la Méduse sont pliés en quatre d'une manière disgracieuse. Mais

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'ensemble est svelte, la silhouette imprévue, le mouvement fier et modeste: c'est le geste d'un jeune garçon, nerveux et courageux, qui vient d'accomplir un exploit extraordinaire; son front plissé, ses narines frémissantes, sa main qui serre la poignée du glaive en le maintenant menaçant, tout cela est bien trouvé, bien exprimé. Quant aux détails, au casque surtout et aux statuettes qui forment les angles du piédestal, c'est là que l'orfévre habile se révèle tout entier.

Nous donnons encore ici un vase florentin en bronze, du musée de Cluny (fig. 121), qui nous paraît excellent de forme et de proportions, où l'on reconnaît la richesse de composition, la facilité de production de petites statues, qui caractérise les artistes de cette brillante période de l'art.

L'Allemagne a possédé, à la même époque, de grands artistes dans les œuvres desquels on sent le sérieux de l'art allemand. La châsse de saint Sébald de Pierre Fischer, de Nuremberg, que nous reproduisons (fig. 122), est un chef-d'œuvre de goût d'une



122. Châsse de saint Sébald.

rare perfection. On y sent le mélange de la foi du moyen âge et de l'ardeur artistique de la Renaissance. Les Apôtres qui entourent la châsse ont toute la perfection des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

meilleures statuettes de nos jours; les animaux qui la supportent, les feuillages sont étudiés sur la nature, moulés, ciselés avec un soin incroyable.

Arts vestiaires. — Le vêtement prit, à la Renaissance, une élégance qui reflète bien l'état florissant des arts à cette époque. Les fraises et dentelles, les pourpoints à parties bouffantes, les chapeaux à plumes, constituaient peut-être le plus élégant costume que jamais l'on eût porté. Celui des femmes prit une ampleur inconnue auparavant, pendant que, par l'emploi des plumes, des bijoux, les coiffures devenaient d'une grande élégance, comme les corsages enrichis de dentelles.

Orfévrerie. — Les artistes de l'Italie et de la Flandre avaient déjà créé, avant cette époque, des œuvres bien remarquables: les premiers pour les riches seigneurs d'Italie; les seconds, tant pour les puissants ducs de Bourgogne que pour garnir les dressoirs des riches marchands des Flandres. Les grands artistes de la Renaissance, en Italie, furent aussi bien orfévres que sculpteurs. Ghiberti était orfévre. Ghirlandajo, le maître de Michel-Ange, un des plus féconds et des plus grands maîtres de l'Italie, dut son surnom à une parure en forme de guirlande dont il était l'inventeur. La France, ruinée par les guerres, resta longtemps en retard; ce n'est que bien plus tard qu'elle entra dans une voie où ses artistes devaient exceller.



123. Aiguière de Briot.

Le caractère spécial du style de la Renaissance, dans l'orfévrerie comme dans les bronzes d'art, consiste en une surabondance de compositions, de créations qui donnent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une singulière valeur à des objets qui, comme nous l'avons dit, étaient alors du domaine de l'art plutôt que de celui de l'industrie.

Nous emprunterons encore au musée de Cluny une œuvre excellente de cette époque: c'est l'aiguière de Briot, orfévre français, qui peut être citée comme un modèle de



124. Aiguière de Briot (plateau).

décoration, par le grand nombre de personnages, le bel agencement des détails, et une certaine retenue que ne possède pas l'école florentine.

Après Benvenuto Cellini, la décadence de l'art, déjà sensible en Italie, envahit l'orfévrerie. Après le goût si élevé de l'école de Raphaël, l'amour des fioritures, du flamboyant, se répandit partout, depuis le Rosso jusqu'au chevalier de Bernin, qui peut être considéré comme le précurseur du style Louis XV [1].

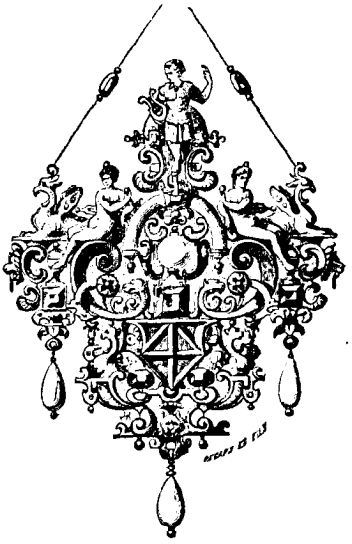
L'art qui s'en allait de Florence et de Rome, dit M. Dufresne, s'était réfugié à Venise, où les rapports fréquents avec l'Orient firent naître un goût particulier très-reconnaissable dans la vieille orfévrerie: ce sont des entrelacements, des ornements

1. Sculpteurs et orfévres célèbres en Italie: — Michel-Ange. — Benvenuto Cellini. — Ghiberti. En France: — Jean Goujon. — Germain Pilon. — Pierre Bontemps. — Jean Cousin. — Jean de Bologne. — Ducereeau. — Léonard, dit le Limousin, l'émailleur le plus célèbre du règne de François Ier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

solides qui courent sur des fonds vermiculés; les formes d'aiguières, de bracelets, de bagues, de chaînes, les damasquinages, les filigranes de toutes sortes, les formes des coffrets même sont empruntées aux infidèles. C'est par Venise que sont venus les éléments arabes qui se sont mêlés à ceux de la Renaissance dans l'art industriel. Les relations de Venise avec l'Allemagne, au temps d'Hammeling, d'Albert Durer, d'Aldegrave et de tous les graveurs germaniques qui multipliaient les modèles d'œuvres excellentes, firent aussi faire de grands progrès à ses artistes.

Bijouterie-Joaillerie. — Le seizième siècle nous a laissé une multitude de travaux de bijouterie, vases en cristal, coupes en sardoine, en lapis, en jaspe, accompagnés de figures admirablement ciselées et émaillées; de camées richement montés sur des vases, etc., etc., œuvres d'une telle beauté, d'un travail si difficile, qu'on ne peut comprendre comment l'habileté humaine a suffi pour les créer. Il faut lire les mémoires de Benvenuto Cellini [1], si l'on veut juger des passions qui étaient souvent en jeu à l'occasion d'un bijou qui devait sortir des mains d'un artiste célèbre. Les têtes couronnées se préoccupaient des formes; les rapières et le poignard étaient en jeu pour vider les querelles engendrées par des rivalités d'artistes. On connaît l'histoire caractéristique de la duchesse d'Étampes, qui allait tous les jours à l'hôtel de Nesle, chez Cellini, pour voir travailler à loisir le bel Ascanio, à un lis en diamant resté célèbre dans les fastes de la bijouterie. On comprend facilement tous les efforts qui furent faits pour créer des œuvres remarquables dans une société où les œuvres d'art étaient si appréciées, où les artistes occupaient une si grande place.



125. Pendeloque d'après Benvenuto.

Nous reproduisons ici une pendeloque d'après Cellini, du Musée des Antiques.

1. « Cellini, citoyen florentin, aujourd'hui sculpteur, dit Vasari, son contemporain, n'eut point d'égal dans l'orfévrerie, quand il s'y appliqua dans sa jeunesse, et fut peut-être maintes années sans en avoir, de même

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE LOUIS XIV

L'œuvre de la sculpture sous Louis XIV fut considérable: Puget[1], Coysevoix, Coustou, furent, entre autres artistes, des hommes d'un talent supérieur. La fertilité des sculpteurs est bien prouvée par le grand nombre d'œuvres produites à cette époque; on sait l'immense quantité de statues, de groupes et de vases qu'exigea, par exemple, la décoration de Versailles, l'élégance, la richesse de ces créations si multipliées.

Le style de ces artistes n'a pas un cachet différent de celui de l'architecture de cette époque; plus de recherches du grandiose que de souplesse, si ce n'est chez quelques artistes qui paraissent pressentir la recherche du gracieux qui caractérise l'époque suivante.

La statuaire décorative employa à profusion les trophées, comme on peut le voir aux Invalides. La sculpture sur bois les prodigua dans les intérieurs, au milieu de moulures variées; on peut en voir un bel exemple dans la célèbre galerie d'Apollon au Louvre.

La sculpture sur ivoire fut en honneur, surtout en Italie, dans les Flandres et en Allemagne, pendant le cours du dix-septième et du dix-huitième siècle. L'ivoirier le plus habile du dix-septième siècle fut François Flamand. L'étude de l'antiquité, la fréquentation et les conseils de Nicolas Poussin, ont donné au talent de ce sculpteur un rare cachet de pureté et d'élévation. Il s'adonna presque exclusivement à l'étude des enfants. On a de lui quelques œuvres de grandes proportions qui montrent à quel point de perfection il arriva dans ce genre. A Rome, par exemple, dans l'église Santa-Maria dell' Anima, et à Naples dans l'église des Saints-Apôtres, il existe de lui des sculptures à sujets d'enfants, qui sont traitées avec une légèreté de ciseau incroyable et une merveilleuse élégance de formes et d'expression.

Bronze. — La reproduction en bronze de l'œuvre des statuaires ne fut à aucune époque plus remarquable qu'à celle dont nous parlons. Cet art fut restauré et amené à un point d'éclat incomparable par les frères Keller, qui surent suffire à la production la plus considérable sans que leurs œuvres eussent jamais rien de défectueux; aussi sont-elles restées des modèles de l'art du fondeur.

que pour exécuter les petites figures en ronde-bosse et en bas-relief et tous les ouvrages de cette profession. Il monta si bien les pierres fines, et les orna de chatons si merveilleux, de figurines si parfaites, et quelquefois si originales et d'un goût si capricieux, que l'on ne saurait imaginer rien de mieux; on ne peut assez louer les médailles d'or et d'argent qu'il grava, étant jeune, avec un soin incroyable. Il fit à Rome, pour le pape Clément VII, un bouton de chape, dans lequel il représenta un Père Éternel, d'un travail admirable. Il y monta un diamant taillé en pointe, entouré de plusieurs petits enfants ciselés en or, avec un rare talent. Clément VII lui ayant commandé un calice d'or dont la coupe devait être supportée par les Vertus théologales, Benvenuto exécuta cet ouvrage, qui est vraiment surprenant...

« Après la mort de Clément VII, Benvenuto retourna à Florence, où il grava la tête du duc Alexandre sur les coins de la monnaie, qui sont d'une telle beauté que l'on en conserve aujourd'hui plusieurs empreintes comme de précieuses médailles antiques, et c'est à bon droit, car Benvenuto s'y surpassa lui-même.

« Enfin il s'adonna à la sculpture et à l'art de fondre les statues. Il exécuta, en France, où il fut au service du roi François Ier, quantité d'ouvrages en bronze, en argent et en or. De retour dans sa patrie, il travailla pour le duc Cosme, qui lui commanda d'abord plusieurs pièces d'orfévrerie et ensuite quelques sculptures. »

1. Puget, l'un des plus grands sculpteurs des temps modernes, doit être placé immédiatement après Michel-Ange, pour l'ampleur de ses figures et l'énergique entente de ses beaux groupes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le bronze doré fut employé par Boule pour rehausser l'éclat de ses beaux meubles.

Arts vestiaires. — Le costume prit, sous Louis XIV, un degré d'ampleur, de richesse théâtrale, qui est resté célèbre. La perruque adoptée pour donner de la noblesse à la tête, le frac à boutons brillants, les jabots et manchettes de dentelles, étaient les principaux éléments du costume d'une nation de grands seigneurs.

Les femmes, grâce aux paniers, à l'emploi de magnifiques étoffes de soie, de riches dentelles, arrivaient à mettre leur toilette en rapport avec celle des hommes.

Orfévrerie. — L'orfévrerie suivit le mouvement général; les mêmes influences amenèrent les mêmes résultats que dans les autres arts, tout fut sacrifié à la poursuite du faste et de la grandeur; ce fut le but constant des efforts des principaux artistes. Ainsi un chef-d'œuvre d'orfévrerie qui se voit au Louvre, le coffret d'Anne d'Autriche, fut dû aux talents de Lebrun et de Puget, alliés à celui d'habiles ciseleurs.

Le style Louis XIV ne se trouve nulle part mieux caractérisé que dans les nombreux dessins que nous possédons des artistes chargés de fournir des modèles aux orfévres. Nous donnons ici le dessin d'un vase d'après J. Lepautre (fig. 126), qui respire au plus haut degré cet air de splendeur opulente qui semble appartenir spécialement aux créations artistiques de cette célèbre époque. Lepautre avait vu l'Italie lorsque l'école de Raphaël avait cessé de régner dans la décoration, lorsque le Bernin régnait à Rome, et surtout que venait de briller avec grand éclat l'école que les Carrache avaient fondée à Bologne. C'est d'elle surtout qu'il reçut ses inspirations.

Nous avons le témoignage des contemporains sur la beauté des œuvres de Claude Ballin[1] exécutées en métaux précieux, ce qui les fit malheureusement porter à la Monnaie dans les jours de détresse de la fin du règne de Louis XIV. « Il y avait, dit Perrault, des tables d'une sculpture et d'une ciselure si admirables, que la matière, toute d'argent et toute pesante qu'elle estoit, faisait à peine la dixième partie de leur valeur. C'estoient des torchères ou de grands guéridons de 8 à 9 pieds de hauteur pour porter des flambeaux et des girandoles; de grands vases pour mettre des orangers; des cuvettes, des chandeliers, des miroirs, tous ouvrages dont la magnificence, l'élégance et le bon goust étaient peut-être une des choses du royaume qui donnaient une plus juste idée de la grandeur du prince qui les avait fait faire. »

C'était Le Brun qui donnait aux orfévres les dessins de toutes ces grandes pièces.

Joaillerie. — Ce ne fut guère que sous Louis XIV que la joaillerie acquit une grande perfection dans l'exécution d'œuvres analogues à celles qu'elle crée de nos jours. Il n'y avait pas très-longtemps que les pierres et notamment les diamants (dont la taille fut perfectionnée vers 1745) entraient dans la toilette des femmes, qu'on faisait d'autres

1. Claude Ballin fut le grand orfévre du règne de Louis XIV; orfévre et sculpteur, il s'inspira de l'étude de Poussin, et les vases de bronze de la terrasse de Versailles montrent quelle heureuse application il sut en faire. Pierre Germain, également célèbre, reçut directement l'impulsion de Lebrun. J. Lepautre, dont nous donnons un vase, fut le plus habile dessinateur d'ornements de l'époque.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

œuvres que des bagues d'évêques, ou des objets servant au culte. Le célèbre et déjà



126. Vase de J. Lepautre.

légendaire Cardillac, notamment, produisit de très-beaux ouvrages, dont les portraits et les peintures de l'époque peuvent nous donner une idée.

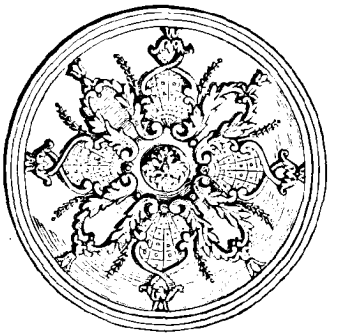
STYLE LOUIS XV

La sculpture, sous Louis XV, recherchant avant tout l'élégance, tomba dans la mignardise et l'afféterie; ce furent surtout les œuvres les plus propres à orner les boudoirs qui furent recherchées et préférées de beaucoup à des œuvres d'un caractère plus élevé, mais moins séduisantes. On ne peut toutefois contester aux artistes de ce temps une souplesse extraordinaire de main, une grande habileté d'exécution, une grâce singulière dans l'entente du sujet.

La sculpture décorative employa surtout les enroulements, les rocailles spéciales à ce

EFERUS - Recherche & Classification numérique

style. Nous en donnons ici quelques exemples (fig. 127 à 131), qui en rappellent quelques types choisis parmi des variétés nombreuses.



127.

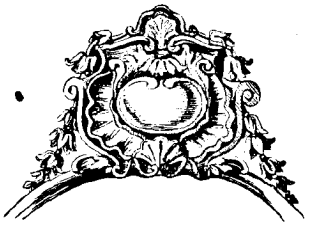


128.



129.

En parlant des décorations peintes, nous rappellerons l'emploi fréquent des tableaux



130.



131.

de Bouché notamment, qui étaient encadrés dans les moulures des panneaux de la boiserie des appartements.

Bronze. Le bronze doré vint sous Louis XV occuper une bien plus grande place dans l'ameublement que le bronze statuaire, dont l'aspect paraissait trop sévère. Aux pendules en marqueterie succédèrent les groupes en figures dorées, accompagnant le cadran, et les foyers se décorèrent de chenets, de garnitures très-riches.

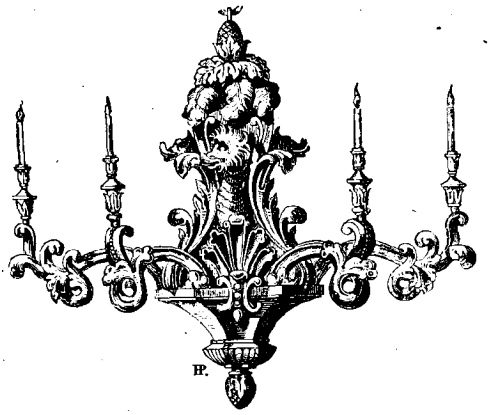
Nous donnons ici un lustre d'après Oppenord (fig. 132), le grand décorateur de l'époque.

Les architectes Oppenord et Meissonnier furent les principaux initiateurs du style Louis XV, enchérissant encore sur les surcharges d'enrichissement dont on était déjà épris sous Louis XIV, et influencés par le succès des conceptions de Francesco Borromini, architecte et sculpteur, qui travailla à Saint-Pierre sous la direction du Bernin, et mourut en 1667 après avoir excité une vive admiration par les lignes rompues de ses œuvres, exécutées avec une puissance d'invention des plus remarquables.

Arts vestiaires. — La toilette des femmes acquit à cette époque un degré d'éclat

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qui n'a jamais été dépassé, et c'est toujours le genre Pompadour, Watteau, etc., qui inspire le mieux les merveilleuses de notre époque. Les progrès modernes du luxe, l'éclat des fêtes de nuit splendidement éclairées, ont trouvé, on peut dire, leur véri-



132. Lustre d'Oppenord.

table complément dans les toilettes que nous reproduisent les tableaux de Watteau, Chardin, etc. Les accessoires, les éventails, par exemple, sont toujours très-recherchés et sont des modèles de goût et d'élégance féminine.

ORFÉVRERIE. — L'orfévrerie a montré durant cette époque les ressources multipliées que pouvaient offrir ses moyens d'exécution, en se prêtant à tous les caprices de la fantaisie; le style riche, grandiose, mais peut-être un peu froid, en honneur sous Louis XIV, disparut, et la tradition des travaux de Ballin fut oubliée. Le genre adopté puisait ses inspirations dans les constructions en rocailles qui avaient commencé à figurer dans quelques jardins du seizième siècle. L'Allemagne comme la France, Augsbourg et Nuremberg comme Paris, voulurent du rocaille, recherchèrent en tout la capricieuse ornementation de ce style. Rien de régulier; des lignes ou des surfaces ondulées, contournées, insaisissables, indescriptibles.

Ce fut surtout l'influence exercée par l'école de Borromini qui imprima aux arts cette fâcheuse impulsion, qui fit rechercher avec exagération les courbes prétentieuses qui caractérisent le genre ROCAILLE, le BORROMINESCO, comme disent les Italiens. Les formes perdirent leur pureté, sinon leur harmonie. On rechercha les effets heurtés, les complications de toute sorte dans le contour, les enchevêtrements capricieux, les enroulements bizarres. Bientôt, par excès d'élégance, le genre Louis XV devint mignard et tomba dans une afféterie de mauvais aloi, en rapport du reste avec les mœurs efféminées et corrompues de l'époque. Toutefois ce style de boudoirs eut cela de bon qu'il laissa le champ libre à l'imagination des artistes. Cette liberté, ce mépris des traditions amena sans doute de fâcheux écarts de goût et des excentricités choquantes, mais il engendra aussi de brillantes fantaisies, d'ingénieuses créations et une véritable originalité dans les idées et les compositions. Certaines pièces du temps de Louis XV sont ravissantes de fantaisie et de caprice. En outre, ce que l'orfévrerie perdit en style,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle le gagna en exécution. Les productions de Germain, de Meissonnier, de Jacques Rœttiers, etc., furent travaillées avec un soin et un fini inconnus jusqu'alors.

Nous donnons ici un vase de ce style (fig. 133).



133. Vase Louis XV.

Bijouterie, Joaillerie. — Ce fut surtout la bijouterie qui créa des merveilles à l'époque dont nous parlons; elle fit d'admirables progrès pour seconder le luxe des toilettes des femmes. Originalité, délicatesse, variété, tels sont les mérites de ces produits. A la fin du règne de Louis XV les orfévres étaient avant tout des bijoutiers et, sous le nom de « metteurs en œuvre », jouirent de certains priviléges accordés spécialement aux artistes.

Thomas Germain, dit le duc de Luynes, fut le chef d'une école dont les ouvrages délicats, étudiés et d'un grand mérite d'ajustement, ressuscitèrent la bijouterie, en flattant avec grâce le goût frivole d'un temps de plaisir et de luxe. On vit alors des bijoux d'une extrême richesse, composés dans le seul style qui fût admis alors, avec toutes ses bizarreries, il est vrai, mais avec toute sa nouveauté et sa hardiesse: les montres, les châtelaines, les tabatières étaient couvertes de sculptures repoussées, émaillées, brillantes de pierreries; ce n'étaient que guirlandes, amours, coquilles et rocailles contournées, ciselées en relief ou gravées, ouvrages peu classiques assurément, mais d'une composition aussi animée qu'elle fut diverse, et parfaitement combinée pour déployer toutes les ressources du talent d'artistes maintenant inimitables. Le piqué sur écaille, formé de petits clous d'or réunis en dessins, fut emprunté à la Chine, dont l'art européen ne dépassa jamais les prodiges d'adresse et de patience.

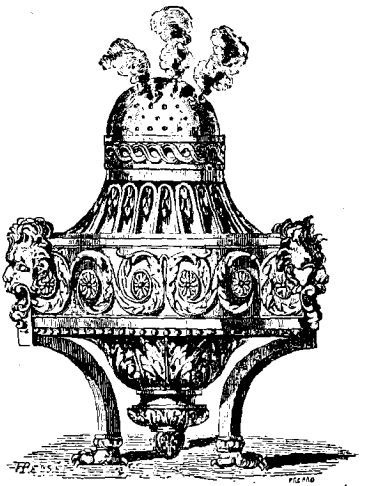
Jamais société ne rencontra une semblable réunion d'artistes de goût, de praticiens habiles pour donner satisfaction aux désirs des membres d'une noblesse aussi élégante.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE LOUIS XVI

Sous Louis XVI, on revint à des formes moins contournées, plus simples, tout en conservant une certaine richesse d'ornementation. La découverte d'Herculanum, faite en 1706, tendait à ramener au classique, et occupait les esprits avant que la réaction ne se manifestât, ce qui n'eut guère lieu que vers 1750, sous l'influence de l'architecte Servandoni et de son élève de Vailly. Les arts industriels, et particulièrement la ciselure des bronzes, l'orfévrerie, la joaillerie, adoptèrent un style nouveau. On peut s'en faire une idée par les bronzes dont il nous est parvenu des spécimens si fort recherchés aujourd'hui.

Comme indication du style Louis XVI, nous représentons un brûle-parfums (fig. 134)



134. Brûle parfums Louis XVI.

qui indique assez bien les formes préférées de ce style. Le célèbre fondeur Gouttières produisit alors des œuvres justement célèbres; ce fut l'inspirateur et le guide de la sculpture d'ornement sous Louis XVI, avant l'époque révolutionnaire, quand on revint, par une transition brusque, dans les mœurs comme dans les arts, à une simplicité qui dut paraître étrange quand elle détrôna les principes de l'école précédente.

En ce qui touche l'orfévrerie, le creuset travailla si bien durant la Révolution, qu'il nous reste peu de chose des belles pièces qui furent exécutées pendant les dernières années de la monarchie. Prieur, Delarche, Hauré, et enfin Gouttières élevèrent très-haut l'art de la ciselure.

Enfin, la bijouterie, moins productive, devint froide et avare d'ornements. Comme dans les autres arts, l'exagération que l'on répudiait fut abandonnée pour suivre une voie tout opposée. Les plus beaux bijoux étaient ornés d'émaux unis et transparents,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

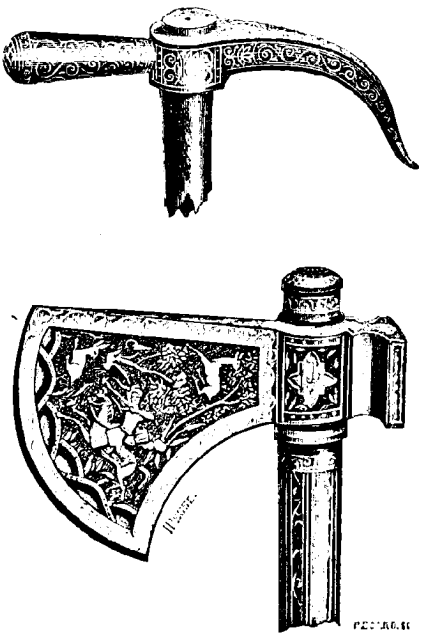
bleus, gris de fer, opalins; les boîtes en écaille noire, doublées d'or, étaient ornées de portraits ou de miniatures sur vélin. La bijouterie courante se composait de médaillons en losange avec des gouaches sous verre, entourés de perles, ou bien de colliers à plaques réunies par des chaînons polis.

STYLES ÉTRANGERS

Les Orientaux ne représentant jamais en relief le corps humain, les animaux, car cela leur est interdit par la religion de Mahomet, n'ont pas de statuaire; mais ils recherchent avec passion le luxe de l'orfévrerie et des pierres précieuses, qui semble tout à fait convenir à l'éclat des décorations de l'Orient.

C'est sous la forme de bijoux, d'aigrettes, etc., que s'affirme surtout le luxe personnel du souverain de l'Orient; c'est là que la pierre précieuse excite surtout l'admiration, représente la forme incontestée de la richesse.

Parmi les produits remarquables de ce genre, nous citerons l'ornementation des armes, luxe principal de ces nations belliqueuses au temps de leur splendeur. Nous en



135. Armes de Mamelucks.

donnons un exemple curieux dans la représentation d'armes des Mamelucks, ces souverains de l'Égypte. Nous reviendrons plus loin sur cette question en parlant

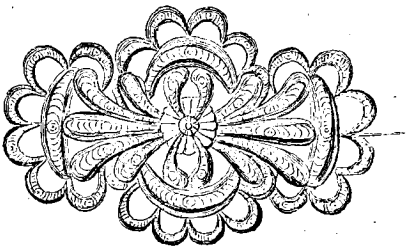
EFERUS - Recherche & Classification numérique

des procédés employés pour damasquiner les armes qui nous viennent de l'Orient et de l'Inde.

La statuaire paraît peu développée chez les Chinois et les Indous; nous ne connaissons leur art que par d'affreuses pagodes, ou des figures de faible valeur; les Japonais ont toutefois poussé assez loin l'exécution en bronze d'animaux vrais ou symboliques. On doit citer l'orfévrerie des Indous; l'Exposition de 1855 nous en présenta des échantillons remarquables; ils prouvaient que s'ils ne possèdent que des moyens d'exécution assez imparfaits, leur goût d'ornementation est extrêmement remarquable.

On doit surtout remarquer les filigranes, genre de bijouterie exécuté avec des fils d'or ou d'argent, qui est né dans l'Inde et s'est propagé dans l'Orient. Ainsi on a vu aux expositions des boîtes, des paniers, des bijoux en filigrane, couverts d'étoiles, de rosaces, d'ornements de tout genre. C'est le bijou fabriqué à profusion par les industrieux ouvriers chinois, qui savent le fabriquer depuis bien des siècles avec une rare perfection. Le travail matériel ne laisse rien à désirer; les soudures sont parfaites, et ce n'est pas un petit mérite, car le bijou en filigrane présente beaucoup de difficultés sous ce rapport; la légèreté de ces produits est si extraordinaire que c'est à peine si de nos jours on peut en approcher. Malheureusement tous les bijoux chinois pèchent essentiellement par la forme, par l'ornementation, par le goût. Les Génois exécutent aussi depuis longtemps d'une manière remarquable, sous le rapport du travail matériel, les bijoux en filigrane, mais on doit leur adresser le même reproche qu'aux Chinois: ils manquent de goût et de variété.

Le filigrane proprement dit est un bijou dont l'ornementation est exécutée au moyen de deux fils d'argent ou d'or, très-fins, tordus ensemble de manière à imiter une corde d'une grande ténuité. A quelque distance, cette corde semble être un fil gravé. On contourne le fil à l'aide de tenailles de diverses formes, et de différents autres outils que l'ouvrier invente à chaque instant, et l'on parvient à former ce travail merveilleux par sa délicatesse, dont nous plaçons un dessin sous les yeux de nos lecteurs.



136. Bijoux en filigrane.

En France, au lieu de laisser le « filigrane » proprement dit faire tous les frais de l'ornementation, aussi bien que de la charpente du bijou, les artistes français ont appelé à leur aide les ornements brunis, les émaux, les ors de couleur, le guilloché, la gravure, les dessins de toute nature; aussi ils sont arrivés à embellir, à varier de tant de manières ce bijou, que partout on le préfère maintenant à tous autres, quoiqu'il soit encore un peu moins léger que celui des Génois et des Chinois.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉPOQUE ACTUELLE

SCULPTURE

L'époque actuelle s'est reprise pour la sculpture d'une passion justifiée par les œuvres remarquables qu'elle a vues naître. Thorswaldsen en Danemark, Schwantaler, Rauch en Allemagne, Canova, Pradier en France, ont, entre autres artistes, produit depuis le commencement du siècle des œuvres d'un grand mérite, et ont, à bon droit, passionné leurs concitoyens[1].

Nous ne pouvons nous arrêter à une étude de l'art de la sculpture, qui offrirait un bien grand intérêt, mais qui sort du cadre de ce travail et qui, relevant de l'esthétique, serait, dans les limites où elle est possible, une œuvre immense. Ce serait déjà un travail considérable que d'énumérer seulement les œuvres les plus remarquables des



137. Sapho de Pradier.

sculpteurs modernes, soit celles qui se distinguent par un beau sentiment de calme et de grandeur, comme la MADELEINE de Canova, ou le LION DE LUCERNE de Thorswaldsen, cette image de la dignité dans la mort; soit celles qui représentent la joie ou

1. Pour ce qui va suivre, nous ferons de nombreux emprunts au beau rapport du duc de Luynes sur l'Exposition de 1851. Aussi bon juge qu'amateur éclairé et savant, le duc de Luynes a renfermé dans ce travail toute l'histoire de l'orfévrerie, de la bijouterie, des bronzes dorés depuis le commencement de ce siècle. Il a paru d'une manière brillante à l'Exposition de 1855, comme promoteur et collaborateur de plusieurs des plus belles œuvres que ces industries aient produites: l'épée ciselée par les frères Fannière, la *Minerve* en ivoire et or de M. Simart; à celle de 1867, on a admiré le bouclier en fer repoussé inspiré par lui à M. Fannière.

Une industrie serait heureuse et fière d'avoir toujours des juges de cette distinction: et l'orfévrerie se rappellera longtemps ce juge éminent, si ardent promoteur du progrès.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la force: telles que le DANSEUR NAPOLITAIN de Duret, ou le TUEUR D'AIGLES de Bell, que nous montra l'Exposition de 1855. Il nous est impossible d'aborder cette grande œuvre, qui appartient à l'étude des Beaux-Arts; nous donnerons ici seulement un bel échantillon de sculpture moderne, la SAPHO, la dernière œuvre justement célèbre de Pradier (fig. 137).

Si nous passons maintenant à la sculpture décorative, nous dirons qu'à l'époque actuelle on en est revenu à l'emploi presque exclusif des moulures, bandeaux, genre en rapport avec le mobilier. Ce n'est que dans des cas rares que la sculpture est appelée à orner les murailles à l'aide de sculptures, et encore est-ce le plus souvent à l'aide de dressoirs ou meubles plaqués sur celles-ci. Toutefois le carton-pierre vient quelquefois favoriser l'emploi de hauts-reliefs pour l'ornementation de grand luxe et réussit merveilleusement à reproduire les riches décorations des divers styles.

En général aujourd'hui, c'est le luxe des glaces, des tentures, des tapis qui brille dans les intérieurs, genre de décoration qui répond au grand nombre de fortunes de second ordre, et au petit nombre de fortunes princières de notre société; au reste, cette question de décoration rentre en grande partie dans l'emploi des couleurs dont nous parlerons plus loin.

Enfin nous devons parler ici des imitations d'objets naturels, des fruits, par exemple, à l'aide de la cire et du carton-pierre, mais surtout des fleurs à l'aide des étoffes et du papier. La fabrication des fleurs artificielles, qui fournit un élément si gracieux de la toilette des dames, est une importante industrie parisienne[1].

BRONZES[2]

L'industrie du bronze a pris en France une très-grande extension, qui s'explique par le développement de l'art statuaire, le goût de nos ouvriers pour ajuster les diverses parties fondues séparément, pour ciseler et réparer les imperfections de la fonte. Tous les chefs-d'œuvre de la statuaire ont été réduits pour fournir des ornements d'un goût pur; une foule de sujets de petite dimension ont été modelés par nos artistes. Dans ce genre de créations le gracieux, le motif agréable est surtout recherché, avec juste raison; la statuaire de si petite dimension ne peut guère, comme nous l'avons dit, se proposer un but plus élevé.

C'est dans ce siècle, et surtout à partir de 1840, grâce aux travaux antérieurs qui ont valu une juste réputation à Ravrio, Thomire, Denière, que s'améliora surtout la fabrication des petits bronzes. Les artistes, devenus beaucoup plus nombreux, trou-

1. C'est de l'Italie que vinrent les premières fleurs artificielles employées à la toilette des dames et à la décoration des appartements. Il y a environ un siècle, s'établit à Paris, Seguin, natif de Mende en Gévaudan, véritable artiste qui avait étudié la botanique et qui s'appliqua le premier à copier scrupuleusement la nature dans l'imitation des fleurs. Ce fut vraiment lui qui dota Paris d'une industrie qui a pris tant de développement.

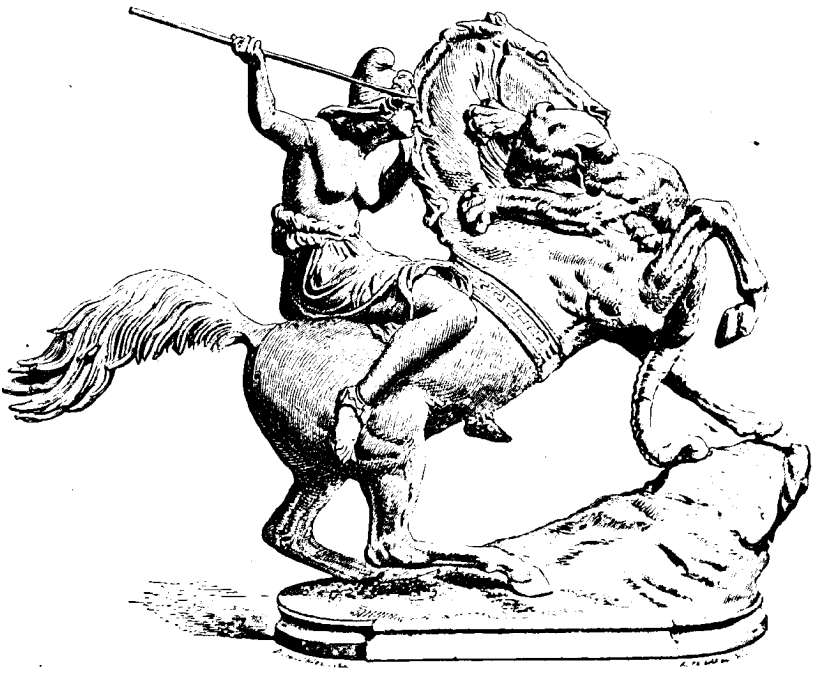
2. Destinée à satisfaire les velléités de luxe de bien des modestes fortunes (la division des fortunes est le caractère principal de notre société, celui qui réagit le plus puissamment sur l'art industriel à notre époque), l'industrie des bronzes, se ramifiant dans une infinité de petits ateliers, produit souvent des pièces d'un goût douteux. Le véritable progrès, celui qui, au reste, se réalise chaque jour, grâce à l'épuration incessante du goût, consiste à faire entrer de plus en plus l'art dans la fabrication, sans trop renchérir les produits.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vèrent dans leur imagination et leur talent les ressources nécessaires pour tenir en éveil la curiosité et l'intérêt des acheteurs. Une foule de petites pièces de décoration et d'ameublement furent mises par leur bon marché à la portée des fortunes moyennes.

L'invention du procédé Collas a fait faire un grand pas à la fabrication des bronzes, en faisant intervenir les antiques, avec tout leur charme, dans les décorations de petite dimension, et en faisant l'éducation du public et des fabricants. Quand on fut devenu capable de comprendre l'art antique, qu'on eut abandonné l'odalisque, et le troubadour de l'empire, types curieux de mauvais goût, les vaillants promoteurs de l'art industriel élargirent la donnée du beau en nous rendant et nous appropriant par le même procédé Michel-Ange, Jean Goujon, Germain Pilon et aussi Puget, Coustou, Clodion, Canova, etc. Bientôt de jeunes artistes se sont élevés, dont les productions ont pu aller avec ces types admirables. MM. Constant Sévin, Piat, Carrier-Beleuze sont en tête aujourd'hui. M. Barbedienne a été le promoteur, l'organisateur au point de vue commercial de ce beau mouvement qui a été un magnifique progrès.

Une autre influence, très-grande aussi, dans un genre spécial, a été celle de Barye, qui, par une étude exquise de la nature, a fait faire un pas immense à la reproduction des animaux. A l'Exposition de 1862, la palme échut de droit à la collection de ses œuvres. Personne n'avait compris comme cet artiste la sauvage beauté, l'élégance des animaux. Quelques-uns de ses combats sont terribles; le lion qui déchire un crocodile



134. Amazone de Kiss.

est admirable : c'est le calme de la force impassible devant les tortures du vaincu ; personne n'a su comme lui aplatir le crâne d'un tigre, allonger son torse maigre pen-

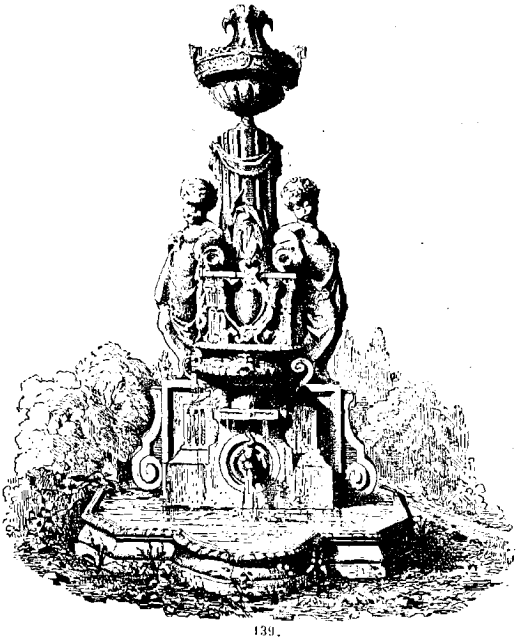
EFERUS - Recherche & Classification numérique

dant qu'il se glisse, les membres rassemblés et prêt à bondir. M. Barye n'est pas seulement un sculpteur d'animaux, il est digne à tous égards de traiter des sujets antiques: quelle puissance dans le COMBAT DU CENTAURE ET DU LAPITHE! Celui-ci serre de ses jambes nerveuses la croupe de son adversaire; sa main, crispée sur l'épaule du Centaure, amène la tête effarée sous sa massue brandie, prête à frapper. Si audacieux que soit le mouvement, il n'en reste pas moins un modèle de style.

Dans ce qui précède nous parlons surtout du bronze d'art qui conserve la couleur du métal; disons quelques mots du bronze doré, dont la fabrication moins artistique est, et surtout était plus spécialement il y a encore peu de temps l'objet de l'industrie des bronzes.

Parmi les fabricants qui ont créé de belles œuvres dans ce genre, on doit citer M. V. Paillard qui a exposé avec éclat une grande pendule avec candelabres dorés, style de la fin du règne de Louis XIV, et des flambeaux Louis XV à fût tordu et pied orné d'écussons.

On peut dire qu'aujourd'hui le bronze doré cède la place au bronze d'art placé sur un socle qui semble dissimuler le cadran de la pendule. C'est un résultat que les dernières Expositions ont démontré clairement. Tandis qu'elles offraient quantité de magnifiques bronzes, il y avait peu d'œuvres vraiment remarquables en bronze doré pour les garnitures de cheminée; il y avait au contraire de beaux produits de ce genre pour



139.

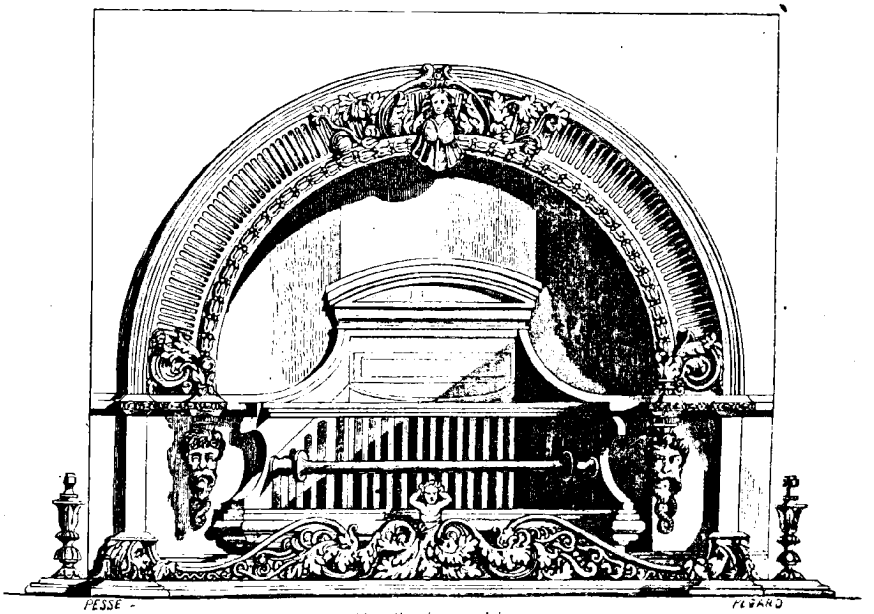
décorer des meubles style Louis XVI, pour orner des cheminées du même style, pour décorer de riches coupes ou de beaux vases de porcelaine; enfin il sert à établir de magnifiques lustres de grandes dimensions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'industrie des bronzes est toute française et toute parisienne: rien de comparable ne se fait à l'étranger comme importance industrielle et comme goût; aussi la fonderie de bronze est devenue une des plus belles industries de la France; elle n'a pris dans aucun autre pays un développement comparable, et aux Expositions universelles on a pu compter vingt fabricants français pour un fabricant étranger.

FONTE ET ZINC. — La fonte de fer, le zinc sont venus récemment prendre place dans la décoration. De magnifiques fontaines en fonte de fer ornent aujourd'hui nos places publiques de produits qui ont toujours quelque chose de la lourdeur de la fonte, ce que rend assez bien le dessin ci-contre (fig. 139) d'une fontaine en fonte de M. Durenne gravé par le procédé Dulos. A titre de spécimen d'un travail digne d'être considéré comme un des beaux produits de la statuaire allemande, nous représentons l'AMAZONE de Kiss, fondue en zinc par Geis, de Berlin, et justement admirée à Londres en 1851 (fig. 138).

Nous citerons encore un genre de produit très-estimé chez les Anglais: ce sont leurs belles cheminées de Sheffield, en fonte et acier poli (fig. 140), destinées à recevoir de



140. Cheminée anglaise.

grands feux de charbon de terre, et auxquelles ils donnent des formes souvent très-heureuses.

La restauration de l'industrie des repousseurs en fer, qui était oubliée, a permis d'orner, par des procédés de retreinte semblables à ceux de l'orfévrerie, des grilles d'une grande richesse, analogues à celles faites sous Louis XV, que les produits plus lourds en fer fondu n'avaient pu faire oublier.

ARTS VESTIAIRES. — Le costume des hommes depuis la Révolution, qui avait anéanti

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les industries de luxe, est resté sévère; l'habit noir a toujours été le vêtement de cérémonie. Sans doute, une certaine élégance, une adaptation parfaite d'un vêtement est l'objet des efforts de la grande industrie de la confection des vêtements, la plus importante après celle de l'alimentation; mais elle s'interdit les caprices de formes très-variées, l'emploi des étoffes éclatantes.

C'est sur la toilette des femmes que se concentrent tous les efforts de l'art. La mode transforme d'année en année presque tous les éléments des costumes, et, dans ses caprices variés, qui en apparence ne sont soumis à aucune règle, traduit toutes les fantaisies, tous les désirs d'une société qui va en se transformant elle-même chaque jour. Rien peut-être ne donne mieux un aperçu de la différence des idées à deux époques, que la comparaison des modes qui étaient adoptées dans chacune d'elles; mais la mobilité même de ces transformations rend peu utile la définition des éléments du goût dominant à un moment donné. C'est toujours à faire valoir l'élégance de la taille, la beauté de la chevelure, etc., que s'appliquent les artistes spéciaux; mais les moyens d'atteindre le but varient singulièrement dans les détails. On peut dire, seulement, que ce sont les traditions de l'époque de Louis XV qui occupent la plus grande place dans les combinaisons modernes.

ORFÉVRERIE

La Révolution fit disparaître les belles œuvres d'orfévrerie; elles retournèrent à la Monnaie dans un temps où personne ne pouvait ni n'osait afficher de luxe, lorsque toutes les grandes familles étaient proscrites. Aussi, lorsque sous l'Empire on voulut de grandes pièces d'orfévrerie, la France avait oublié ses propres traditions, et si elle parut en retrouver quelques débris, c'est parce qu'elle avait inspiré autrefois les modèles des produits demeurés à la mode en Angleterre. Nos orfévres eurent aussi à imiter les procédés perfectionnés d'estampage que leur entente de la mécanique et la prospérité de leur fabrication avaient fait adopter à nos voisins. A leur exemple, la fabrication française consista surtout dans l'application d'ornements estampés sur des pièces à contours gracieux.

Au commencement de l'Empire, Auguste, l'ancien orfévre de Louis XVI, Odiot, Biennais, furent les orfévres en réputation. Odiot surtout, nommé orfévre de l'empereur, fut chargé de travaux considérables. Nous citerons comme exemple de ses compositions le berceau du roi de Rome, pour lequel il fut aidé par Thomire, et dont les dessins furent fournis par Prudhon. Une élégante Victoire, à demi agenouillée sur un globe, dominait l'arcade du berceau et soutenait sur la tête de l'enfant impérial une couronne d'étoiles, d'où partait la draperie de dentelles qui servait de rideaux. Les génies de la Force et de la Justice étaient debout devant les pieds antérieurs et postérieurs du berceau, formés par des cornes d'abondance croisées.

Cette description permet d'apprécier le style de l'Empire dans les œuvres d'art; on cherchait l'imitation de l'antique avec quelque chose de l'inexpérience d'une génération qui avait conservé peu de traditions de procédés techniques; dans laquelle les artistes spéciaux, les ouvriers très-habiles, étaient peu nombreux.

Sous la Restauration, la transformation qui tendait à se produire dans tous les arts

EFERUS - Recherche & Classification numérique

se fit sentir immédiatement dans l'orfévrerie. On ne faisait plus des imitations de l'antique, mais on conservait toujours les souvenirs classiques en cherchant plus de liberté et d'originalité. Fauconnier se distingua surtout à cette époque; non-seulement il produisit quelques belles œuvres dans le style classique, mais encore ce fut lui qui tenta les premières pièces d'orfévrerie dans le style de la Renaissance. Ce fut dans son atelier que M. Barye fit ses premières études d'animaux, genre auquel il a su faire une si grande place ; il forma ses neveux, MM. Fannière, dont nous allons rencontrer les beaux travaux de ciselure.

Dans ces dernières années, les orfévres français les plus célèbres furent d'abord: M. Odiot fils, fidèle en général au goût anglais, à la riche orfévrerie ; M. Lebrun, qui se distingua par un grand talent de ciseleur; M. Durand, et enfin Wagner qui vint, en 1830, remettre en honneur le repoussé, le procédé par excellence de l'orfévrerie d'art, celui qui lui est tout spécial, et qui avait cédé la place aux procédés plus industriels de la fonte et de l'estampage. Au lieu de se borner à l'exécution de pièces utiles, Wagner accusa franchement la tendance des orfévres de premier ordre à constituer un art complet, à créer des pièces ayant seulement une valeur artistique. Disons tout de suite que cette voie est périlleuse et que les orfévres ne doivent jamais oublier les conditions toutes spéciales qui font de l'orfévrerie un art industriel, ce qui ne veut pas dire qu'ils ne puissent produire des chefs-d'œuvre, mais seulement que ceux-ci sont d'une nature particulière, d'un autre ordre que ceux de la statuaire.

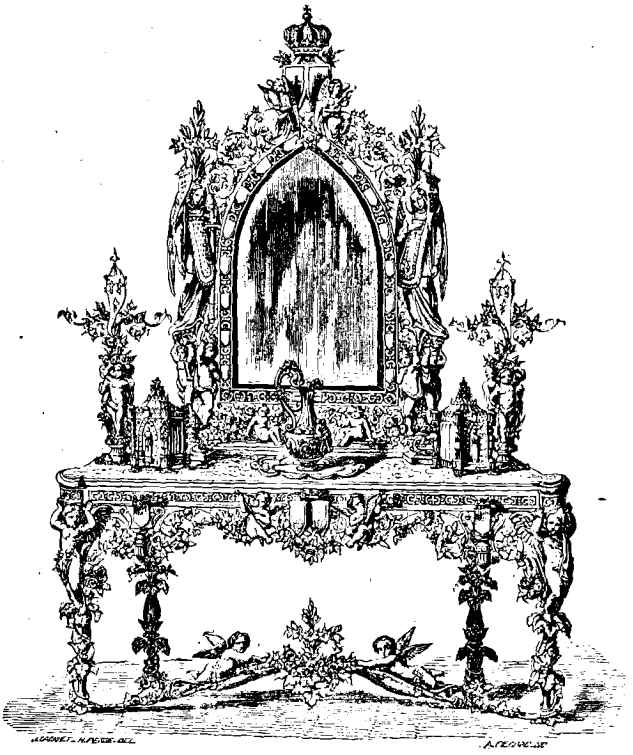


141. Vase de Froment-Meurice

En 1839, parut pour la première fois à l'Exposition un artiste distingué, Froment-Meurice. A une grande valeur personnelle, à un goût sûr qui le portait à trouver autre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

chose que l'imitation des siècles passés, c'est-à-dire à l'originalité et à un caractère propre à notre temps, il joignait les qualités organisatrices qui permettent la production rapide et excellente exigée aujourd'hui, et qui ne peut s'obtenir que par la réunion des efforts des collaborateurs les plus distingués. En effet, aujourd'hui, pour les œuvres de premier ordre, le concours des premiers artistes ciseleurs, émailleurs, est réclamé par les divers fabricants. Nous donnons ici un vase mis par lui à l'Exposition de 1844, offert par la ville de Paris à un célèbre ingénieur (fig. 141), et son chef-d'œuvre, l'admirable toilette de la duchesse de Parme qui recueillit tous les suffrages à l'Exposition de 1851 (fig. 142), et lui valut la grande médaille.



142. Toilette de la duchesse de Parme.

Ce morceau capital consiste en une table à pieds d'argent richement décorés; la surface de la table est en argent niellé de fleurs de lis, encadrée d'une bordure en acier gravé. Le miroir richement garni d'argent est flanqué de deux candélabres en forme de lis, soutenus par des anges portant les armoiries de la princesse. Des coffrets de forme gothique ornés de figures émaillées et polies, une aiguière et un plateau complètent ce bel ensemble, où les lis, les formes gothiques rappellent avec la plus exquise délicatesse à la fille de nos rois les vieilles traditions françaises, et où la brillante décoration des émaux des décorations de tout genre brille d'un éclat moderne.

Nous compléterons nos emprunts au duc de Luynes, en citant parmi les artistes les plus éminents de notre époque, comme un maître complétement digne d'être mis en

EFERUS - Recherche & Classification numérique

parallèle avec les maîtres de la Renaissance, Vechte qui exposa en 1847 au Louvre un admirable vase, exécuté au repoussé (procédé qu'il a amélioré par l'emploi de creux en bronze, obtenus par la fonte, au moyen du moulage du modèle à exécuter, pour préparer et avancer le travail), dont l'ornement représentait le combat des Dieux contre les Géants. Au sommet de cette amphore, et sur le couvercle, Jupiter, assis sur son aigle et tenant les foudres, va frapper ses adversaires; les Géants, armés de troncs d'arbres et de rochers, escaladent l'Olympe, se groupent en bas-reliefs sur la panse du vase, en ronde-bosse sous les anses; au pied, les passions, la Haine et la Discorde se débattent, déjà renversées et frappées par les traits de Jupiter. Ce vase admirable a figuré à Londres en 1851, dans la vitrine de MM. Hunt et Roskell.

Ce qui précède montre assez clairement, ce nous semble, que l'orfévrerie française tend, dans ses œuvres d'art, à se rapprocher de la Renaissance par la richesse des compositions, tout en leur donnant un cachet propre à notre époque. Dans la décoration pure de l'orfévrerie de table, le style Louis XV tient cependant encore une assez grande place. Nous allons compléter cette revue en disant quelques mots des œuvres de nos orfévres que nous offrent les dernières Expositions, après un rapide examen des œuvres principales de l'orfévrerie étrangère.

Angleterre. — L'Exposition de Londres, en 1851, a bien montré ce que nous avons déjà nommé le « goût anglais. » Son ornementation parut en général mal conçue, confuse et peu raisonnée, mais la forme même des pièces de vaisselle de table était commode pour l'usage, bien appropriée aux différents besoins du service; elle possédait cette perfection de forme des articles usuels, pour laquelle les Anglais, qui ont presque inventé la chose, ont inventé le mot « confortable. »

Les grandes compositions, dues à MM. Hunt et Roskell, les successeurs de Mortimer, qui possèdent la plus importante fabrique d'orfévrerie et bijouterie du monde entier, offraient à Londres, au dire de l'excellent juge que nous continuons à suivre, avec de nombreux défauts de compositions trop chargées, l'indication d'efforts évidents pour sortir d'une mauvaise voie; comme chez plusieurs de leurs rivaux, l'épuration du style se faisait sentir et devait mener à une régénération assez prochaine du goût qui était l'aspiration de toute l'industrie anglaise. Ils tendaient à transformer ces grandes pièces d'orfévrerie avec force personnages en argent mat, qui sont tout à fait antipathiques aux ressources et à l'esprit de la bonne orfévrerie, et qui sont cependant très-goûtées des Anglais pour leurs « testimonials. » Il faut dire que ces figures, ces arbres, ces végétaux et animaux distribués sans pondération, sans beauté dans leur symétrie, sans grâce dans leur irrégularité, avaient souvent plutôt l'aspect de jouets d'enfants que d'objets d'art.

Si on remarque avec le duc de Luynes que, dans tous les pays et dans tous les temps, l'orfévrerie et la fabrication des vases en terre cuite et en porcelaine suivent une marche à peu près identique et adoptent les mêmes formes avec une décoration du même genre, les beaux produits de céramique du Straffordshire, notamment ceux de Minton, si remarqués en 1855, étaient d'un heureux présage pour l'industrie anglaise.

En effet, l'Exposition à Paris des produits de l'orfévrerie anglaise en 1855 confirmait ces prévisions, et elle montrait, en dehors de malheureuses représentations de chasses, paysages, etc., plusieurs créations de bon goût.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En 1862, les critiques anglais ont donné eux-mêmes la palme de l'orfévrerie à notre compatriote A. Vechte, qui avait exposé chez MM. Hunt et Roskell deux forts beaux vases; un troisième, extrêmement remarquable également, était placé dans le compartiment français de l'Exposition des beaux-arts.

Les œuvres de Vechte ont de très-grandes qualités; elles sont bien composées, leur silhouette est très-agréable. De loin on est saisi par l'heureuse disposition, de près on jouit mieux de l'imagination, de la verve de l'auteur. Peut-être pourra-t-on lui reprocher les défauts de ses qualités, quelques contours un peu heurtés, un modelé un peu exagéré, mais il faut songer que les pièces d'orfévrerie sont souvent vues à quelque distance et qu'elles doivent être dès lors traitées un peu à l'effet, en outrant même les contours.

La vitrine de M. Phillips renfermait un fort joli vase, l'anse était surtout très-ingénieusement travaillée. Une bacchante toute pâmée se cambre, se renverse; ses cheveux, ses bras rejetés en arrière vont rejoindre la partie supérieure du vase. Ici encore se trouve une réduction de la statue de la touchante Godiva, qui parcourt à cheval, voilée seulement de ses longs cheveux, la ville qu'elle exempte, par sa charitable effronterie, d'un impôt écrasant.

L'Exposition de M. Elkington, distribuée avec un goût tout parisien, renfermait plusieurs pièces dignes d'attention, un joli vase en argent oxydé d'une forme un peu écrasée et un excellent pot à bière, en ivoire et en argent. Quatre Muses délicatement ciselées occupent le centre de quatre médaillons d'ivoire distribués sur le corps du vase; ces figures antiques rappellent un peu le faire séduisant de Prudhon. On trouvait encore, chez M. Elkington, une table en argent damasquiné, bien composée; les figures en haut-relief qui s'accoudent au pied sont très-bien modelées.

Ces exemples suffisent pour faire comprendre quelle importante révolution s'est faite dans le goût anglais, sans qu'il nous soit nécessaire de passer en revue d'autres pièces moins importantes que celles rassemblées dans le compartiment anglais à Kensington. Les jolies fontaines à thé, cafetières, théières, tasses, couverts, etc., en argent ou en imitation, montraient que le désir d'améliorer les modèles était descendu des objets de luxe à ceux qui sont d'un usage journalier; ceux-ci ont, au reste, souvent ce caractère de solidité qui distingue les objets anglais et qui dans certains cas les font rechercher à l'étranger.

ALLEMAGNE. — En Allemagne, après Dinglinger, mort en 1731, l'orfévrerie d'art cessa d'exister; le goût public s'attacha seulement à des ouvrages brillants, lustrés, très-finis dans leurs détails. Toutefois, la fabrication devint beaucoup plus considérable vers la fin du dix-huitième siècle, lorsque l'introduction de l'estampage rendit accessibles et à bon marché les produits de l'orfévrerie.

L'imitation des procédés anglais fit adopter les formes anglaises, et encore aujourd'hui la mode s'attache en Allemagne à ce qu'on appelle le « genre baroque anglais. » Toutefois, de grands artistes dominent maintenant le goût public en produisant des œuvres qui ont un cachet artistique qui leur est propre et qui sont dignes du rang si élevé que la statuaire et la peinture allemandes occupent dans le monde des arts. On a beaucoup admiré à Londres, en 1851, une grande création de cet ordre due à M. Albert Wagner, qui formait la pièce principale d'un surtout de table.

Nous ne suivrons pas plus loin notre étude par pays. Nous dirons seulement que la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Russie, où l'industrie des tissus d'or a été introduite par les Byzantins en même temps que le christianisme, l'Italie, l'Espagne avaient exposé quelques pièces remarquables aux Expositions universelles. Ces grands spectacles, ces éclatantes manifestations du mouvement qui tend à la fusion des nations, ont montré chez la plupart d'entre elles d'assez belles œuvres, pour prouver que les grands artistes ne sont le privilége d'aucun pays.

ORFÉVRERIE FRANÇAISE. — Nous parlerons d'abord de l'orfévrerie d'église, exécutée ordinairement à bas prix, mais avec une perfection médiocre. L'Exposition de 1855, entre plusieurs pièces remarquables de cette fabrication, en offrait une tout à fait hors ligne : à savoir, l'autel de style gothique exécuté par M. Bachelet sur les dessins de M. Viollet-le-Duc, le savant architecte de Notre-Dame. Il était impossible de voir une étude plus satisfaisante du style de cette époque, de mieux faire valoir la richesse des fonds métalliques de grande étendue, parsemés d'émaux de couleur, d'où se détachent si bien des personnages exécutés en bas-relief. Il n'est pas d'ornement plus satisfaisant pour une cathédrale gothique, rappelant mieux la splendeur du catholicisme au moyen âge.

Comme chef-d'œuvre de ciselure, tout le monde admira la tasse de M. Lebrun. Cette tasse en argent épais, fondu et ciselé, avait la forme d'un tronc de cône dont la petite section formait la base : sur la panse étaient les armoiries du propriétaire, M. le baron de Mecklembourg, accompagnées de deux figures d'une charmante exécution et d'un travail exquis.

Comme œuvre d'orfévrerie remarquable et bien étudiée, nous représenterons un thé



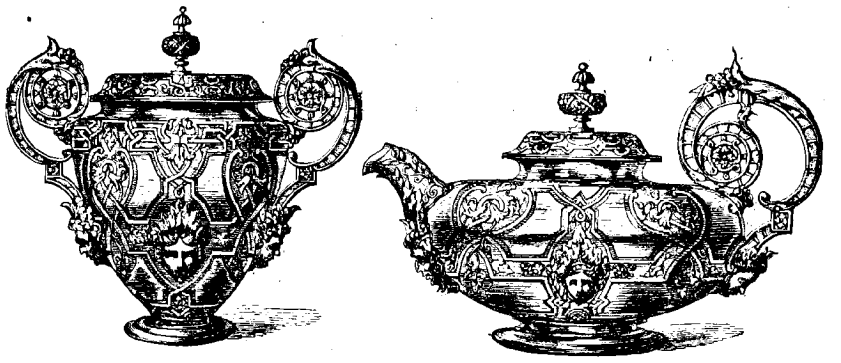
143. Thé de M. Lecointe.

dit (tête-à-tête) en argent poli incrusté d'or, dessiné et exécuté par M. Lecointe. Nous profiterons de ce qu'il nous a été donné de le dessiner en détail pour le reproduire intégralement et faire apprécier tout le travail, tout le goût nécessaire pour mener à bien un travail sérieux d'orfévrerie.

Parmi les plus grandes œuvres d'orfévrerie moderne, on doit citer le grand travail

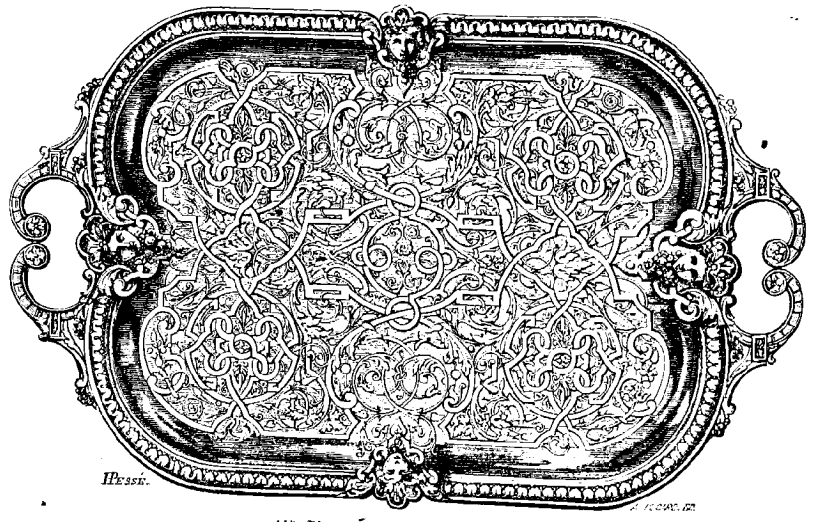
EFERUS - Recherche & Classification numérique

de M. Cristofle, le beau surtout de la ville de Paris, qui est, sans contredit, une des plus



144. Théière, sucrier.

grandes pièces d'orfévrerie qu'on ait jusqu'à ce jour exécutées ; la composition en est due à M. Baltard.



145. Plateau du thé de M. Lecointe.

Sur un esquif qui rappelle les armoiries de Paris, quatre figures délicatement ciselées : la Science, l'Art, l'Industrie et le Commerce, soutiennent sur le pavois la ville de Paris, symbolisée par une belle jeune femme, le front couronné d'un diadème de tours. A la proue de la nacelle, le Génie du Progrès éclaire la marche en agitant son flambeau ; la Prudence siége sur l'arrière, et tient le gouvernail. Les deux extrémités de la glace, qui simule l'eau sur laquelle vogue le bâtiment, sont occupées par des chars que traînent quatre chevaux piaffant au milieu de l'écume qu'ils soulèvent autour d'eux ; enfin, sur la galerie extérieure s'espacent de riches flambeaux dont les chaudes lumières,

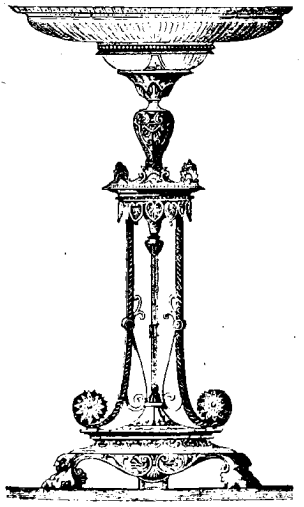
EFERUS - Recherche & Classification numérique

éclairant le groupe central, donneront la nuit, à cette pièce importante, un éclat encore plus vif qu'à la blanche lumière du jour.

Une aussi grosse masse de métal brillant eût sans doute présenté un peu de monotonie si les artistes n'en eussent nuancé le métal de quelques tons jaunâtres, très-clairs, mais suffisants pour rompre un blanc trop uniforme.

Les détails de cette composition sont bien traités, on les examine les uns après les autres avec plaisir, et cependant l'ensemble est peu émouvant. Ces grands sujets mythologiques ont peut-être besoin d'être traités avec plus d'entrain que n'en a dépensé M. Baltard; on y voudrait sans doute plus de fantaisie, plus d'ardeur, un peu de cette verve intarissable avec laquelle Rubens sait grouper ses Naïades, ses Tritons, les êtres fantastiques empruntés au ciel ou à la terre, qu'il répand avec une prodigalité toute royale dans ses œuvres allégoriques. Le surtout de M. Baltard est une œuvre agréable, ce n'est pas une œuvre puissante.

Parmi la multitude d'œuvres intéressantes que M. Cristofle et Cie exposaient en 1867 autour de ce grand travail, nous citerons les objets style Pompéi, dessinés par M. Rossigneux, dont nous reproduisons un surtout très-élégant (fig. 146).



146. Surtout Pompéien.

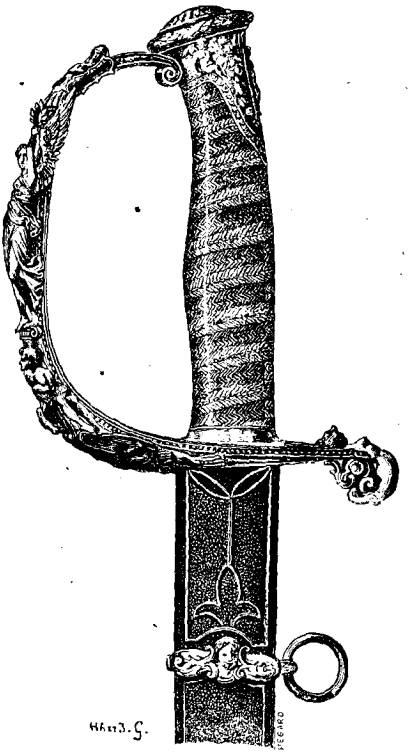


147.

Le bouclier de Fannière aîné, la CHUTE DES ANGES, était la pièce capitale de son exposition (1867). Il est en acier repoussé; c'est une œuvre de ciselure bien audacieuse, qui, à cause de ses hauts-reliefs extraordinaires, renferme bien des difficultés vaincues, et est peut-être le plus beau morceau qui soit jamais sorti de la main d'un ciseleur. Nous donnerons encore ici (fig. 147) un charmant ouvrage dû à cet artiste, un verre en argent d'une grande élégance.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous offrirons enfin le dessin d'une œuvre remarquable due à la collaboration d'artistes d'un grand talent, le sabre du duc de Luynes (fig. 148), dont la composition est



148. Sabre du duc de Luynes.

due à cet appréciateur si éminent de l'art ; les figures, notamment la Victoire élancée placée sur la garde, ont été modelées par Klagmann, un des artistes qui ont le plus contribué à donner aux produits de notre industrie un caractère particulier d'élégance; enfin le travail d'orfévrerie est de MM. Fannière, artistes distingués, qui ont travaillé à un grand nombre des pièces principales d'orfévrerie d'art, admirées dans ces dernières années.

BIJOUTERIE

La bijouterie, disparue à l'époque de la Révolution, se ranima lentement sous l'Empire: on voulut d'abord imiter l'antique qu'on connaissait mal, on visait à une simplicité

EFERUS - Recherche & Classification numérique

qu'on croyait classique. Des anneaux, des colliers de corail, des serpents, des scarabées, des camées constituaient les principaux bijoux.

A la fin de l'Empire, vers 1815, on commença à orner les bijoux en or mat de petits grains d'or soudés les uns à côté des autres, qu'on appelait le GRAINTI. Sous la Restauration, les gros cachets, les chaînes à grosses mailles, les breloques, les chaînes de montre pour les hommes; pour les femmes des bandeaux, des coiffures, des colliers, etc., en or estampé, furent l'objet du travail des bijoutiers.

Ch. Wagner vint, en 1830, faire sortir la bijouterie française de la voie uniquement commerciale, pour lui donner une direction plus artistique. Il importa en France les nielles qui, accompagnées de ciselures, de dorures et d'émaux, donnèrent des effets extrêmement heureux. Il fit aussi des sculptures et gravures sur pierres dures très-remarquables, et ramena le goût public vers ces beaux et difficiles travaux.

Froment-Meurice vint, après Wagner, prendre dans la bijouterie une aussi belle place que celle qu'il occupa dans l'orfévrerie. Parmi nombre d'œuvres remarquables nous citerons le calice d'or du pape, qui figurait à l'Exposition de 1851. La coupe était soutenue par des lis, des épis émaillés et des grappes de raisin en perles noires; sur le fût, l'ECCE HOMO; saint Joseph et la sainte Vierge Marie en relief, séparés par des émaux représentant la Naissance de Jésus-Christ, la Présentation au temple et le Crucifiement; au pied, les trois Vertus théologales, ciselées en argent et en ronde bosse, Abraham et Isaac, la manne et la Pâque.

MM. Marel, M. Morel, M. Rudolphi, élève de Wagner, ont fait admirer des œuvres remarquables aux dernières Expositions. Nous parlerons de quelques-unes de ces œuvres, qui montreront combien peut obtenir de beaux résultats l'artiste de goût capable d'aborder ces riches créations, qui suit l'exemple de prédécesseurs qui ont obtenu de beaux succès en réalisant les fantaisies qui conviennent tout spécialement à la bijouterie.

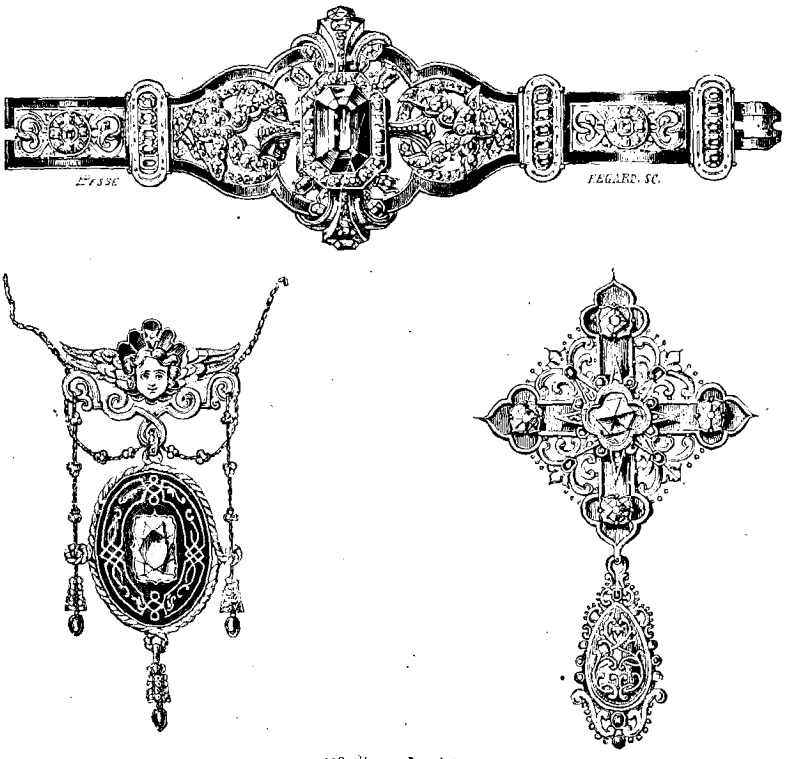
M. Morel, qui s'est beaucoup distingué dans la bijouterie d'art, dans ces dernières années, avait mis à l'Exposition de 1851 une riche série de coupes et de calices en matières précieuses ornées d'émaux. On remarqua notamment une coupe en agate orientale, dont la garniture en or se composait d'ornements émaillés et d'oiseaux de paradis; le balustre était orné de Chimères émaillées en relief, entourant l'écusson. Le même artiste a mis à l'Exposition de Paris une magnifique coupe en jaspe, portant des figures émaillées, PERSÉE délivrant ANDROMÈDE.

On comprend aisément toutes les difficultés d'une œuvre semblable et surtout de l'exécution des personnages en émail, qui rappellent Benvenuto Cellini. Mais, malgré le mérite de bien grandes difficultés vaincues, nous croyons qu'un semblable travail dépasse bien souvent le but lorsqu'il se propose l'exécution des personnages, tandis qu'il donne des effets ravissants quand il vient mélanger l'éclat des émaux colorés à celui de l'or, et que ceux-ci viennent se ramifier suivant tous les caprices de la fantaisie. Nous en prendrons pour exemple deux pièces émaillées que nous emprunterons à l'exposition de M. Lecointe, l'un de nos plus habiles bijoutiers de Paris, savoir : une broche renaissance et une pendeloque qui rappelle le moyen âge, qui a quelque chose du style roman.

Nous donnerons encore un bracelet émail et pierres (fig. 149) mis également à l'Exposition de 1855, par M. Lecointe, et qui représente l'heureux mélange, très-goûté de nos jours, des ressources de la bijouterie et de celles de la joaillerie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La tendance remarquée à l'Exposition de 1867, disent très-bien les rapporteurs, MM. Fossin et Beaugrand, est une disposition générale à l'étude des bonnes époques de l'art, sans éclectisme. La société, en effet, à force de voir, ne se laisse plus autant



149. Bijoux Lecointe.

tyranniser par la mode; le goût s'individualise. Les uns osent aimer le style grec, romain, l'antique en un mot; d'autres le byzantin; d'autres le roman et le gothique; un grand nombre admirent la Renaissance; le dix-huitième siècle a ses fanatiques; en somme, partout on étudie, les idées s'étendent, s'élargissent, l'éducation se fait et le niveau du goût ne peut manquer de s'élever, bien que, dans la période de transition où nous nous trouvons, cette diversité semble produire un peu de confusion.

On peut prouver combien cette observation est fondée, en rappelant combien la reproduction, par Castellani de Rome, des plus beaux bijoux étrusques de la collection Campana, a eu de succès.

JOAILLERIE

L'industrie qui a pour objet le montage et le sertissage des pierres précieuses a aujourd'hui un grand nombre d'éléments à sa disposition, parmi lesquels on doit distinguer, après les diamants : les corindons jaunes, verts ou blancs, les rubis, saphirs,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

émeraudes, bérils ou aigues-marines et topazes, enfin les améthystes, les opales et les perles fines.

Depuis la moitié du quinzième siècle, les pierres précieuses ont été employées avec beaucoup de profusion. Les parures de diamants se transmettaient jadis dans les familles riches, et furent comme un apanage de la noblesse sous Louis XV et Louis XVI.

Après la Révolution, la joaillerie reprit un rôle important dans l'industrie; toutefois le goût des ornements laissait à désirer; toutes les montures étaient plates, c'est-à-dire sans pièces rapportées ou superposées. Sous l'Empire, ce n'étaient que losanges, zigzags peu gracieux, grecques, etc. Ce n'est qu'à partir du temps de la Restauration que, les fortunes privées commençant à se reconstituer, on profita de nouvelles relations commerciales pour se procurer des cargaisons de topazes naturelles ou brûlées, d'améthystes et d'aigues-marines; toutes ces pierres de peu de prix furent montées en grandes parures, dont le travail surpassait beaucoup la valeur.

Ce fut après 1830 que l'on adopta l'imitation des fleurs en diamants, et que les sertisseurs, employant beaucoup plus d'argent autour des diamants, en augmentèrent ainsi l'effet et la grosseur. La joaillerie gagna, sous le rapport de l'art et de la composition, une légèreté et une grâce qu'elle ne semblait pas devoir atteindre. La légèreté des montures dépassa toutes les limites et exigea chez les artistes une habileté de main incroyable. Les pierres étant souvent montées à l'extrémité de tiges métalliques, de parties mobiles toujours agitées, ces parures acquirent une extrême légèreté.



150. Parure Lemonnier.

A l'Exposition de 1851, M. Morel a fait admirer un bouquet composé de rubis et de diamants, et représentant une rose, une tulipe et un volubilis, dont les fleurs avaient

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une forme naturelle et élégante. Mais ce qui excita surtout l'admiration, ce fut l'exposition de M. Lemonnier, formée des parures de la reine d'Espagne. Le mélange de diamants, d'émeraudes et de perles pour représenter des fleurs et des feuilles étaient parfaitement entendu, et l'éclat de ces parures excitait l'admiration de la foule. Nous donnons ici la gravure d'une des pièces, composée de brillants à cœur de saphir, ornée de pendeloques, qui permettra de se représenter la légèreté et l'élégance de ce beau travail.

L'Exposition de Paris, en 1855, a montré que c'était dans la même voie que s'exécutaient les plus beaux travaux. Ainsi une rose exécutée en diamants par M. Froment-Meurice a été jugée une des plus belles œuvres que l'on pût admirer.

Si les joailliers français savent parfaitement atteindre le but que l'on doit se proposer dans l'exécution d'une parure, plaire ou frapper les yeux et l'imagination, on ne doit pas passer sous silence les œuvres, également très-brillantes, des fabricants étrangers.

Au premier rang, il faut citer les joailliers allemands et anglais, et parmi ces derniers, MM. Hunt et Roskell, qui avaient mis à l'Exposition de Londres des pièces d'un éclat et d'une richesse extraordinaires. Un bouquet de diamants représentant une rose, une anémone et un œillet, était d'un éclat admirable. A Paris, ils ont exposé une parure en diamants et corail rose qui a enlevé tous les suffrages.

En 1862, l'Angleterre avait une fort riche exposition; la reine n'avait pas cependant montré toutes ses richesses, comme nous avions fait en 1855, où les bijoux de la couronne étaient réunis dans le Panorama. Cependant Sa Majesté Britannique avait autorisé MM. Garrard et Cie à placer dans leur brillante vitrine plusieurs de ses joyaux les plus précieux, notamment le fameux diamant appelé KOH-I-NOOR, qui, plus lourd que notre RÉGENT, n'a pas cependant sa pureté de forme; et trois admirables rubis provenant du trésor de Lahore, montés sur or émaillé et formant avec les pendeloques de diamant qui y sont ajustées, un merveilleux ensemble.

L'ÉTOILE DU SUD, de MM. Halphen, était exposée par la Hollande. Cette belle pierre, que nous avons vue isolée en 1855, forme actuellement le centre d'une admirable étoile dont les cinq branches sont couvertes de diamants plus petits, satellites de cette pierre merveilleuse, la plus belle qu'ait encore produite le Brésil.

Dans l'exposition de M. Harry, on remarquait une belle coupe en or émaillé, tout enrichie de pierreries : si charmante qu'elle fût, on ne pouvait cependant la comparer à une coupe attribuée à Benvenuto Cellini, que nous avons pu voir au muséum de Kensington et qui ne dément pas son origine, tant elle est admirable de grâce, de hardiesse, tant elle est parfaite d'exécution.

Nos joailliers avaient une exposition assez brillante pour attirer les regards de la foule. MM. Marret et Beaugrand avaient exposé une admirable collection de perles : un collier surtout représentant une valeur de 18,500 livres, tout près de 500,000 francs. Les belles perles sont rares, en effet ; mais elles ont tant de charme, leur doux éclat se marie si bien à celui d'une peau blanche et fine, qu'il semble que ce soit le bijou par excellence. Il n'a ni l'éclat éblouissant, ni la dureté du diamant, mais un charme plus tendre et plus pénétrant.

L'Exposition de 1867 a fait admirer un grand nombre de pièces, valant surtout par la légèreté de la monture, la simplicité apparente de celle-ci faisant bien valoir la richesse des pierreries.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ANNEXES DES INDUSTRIES PRÉCÉDENTES

RELIEFS PEU SAILLANTS. — Nous mentionnerons ici, comme étant du même ordre que les industries qui précèdent, et comme soumises aux mêmes lois, les sculptures peu saillantes, les gravures employées comme moyen de décoration; par exemple, le travail des camées, sculptures de petites dimensions faites sur coquilles; les cachets, médailles, pierres gravées, etc., les gaufrages et les estampages des cuirs pour reliure.

Nous dirons d'abord quelques mots de cette dernière application, objet d'un véritable culte chez de nombreux amateurs.

RELIURE. — Aussitôt, dit le bibliophile Jacob, que les anciens eurent fait des livres carrés, plus commodes à lire que les rouleaux, la reliure, c'est-à-dire l'art de réunir les feuillets entre deux planches de bois, d'ivoire, de métal ou de cuir, fut inventée. On ne tarda pas à couvrir les enveloppes de précieux manuscrits, d'ornements en rapport avec le luxe de la civilisation grecque et romaine.

Dès le cinquième siècle, les orfévres et les lapidaires ornaient richement les reliures; on peut en juger par celle que porte encore l'Évangéliaire grec, donné à la basilique de Monza par Théodolinde, reine des Lombards, vers l'an 600.

La plupart des riches évangéliaires dont l'histoire fait mention remontent à l'époque de Charlemagne, et, parmi ceux-ci, il faut citer surtout l'Évangéliaire donné par le grand empereur à l'abbaye de Saint-Riquier, « couvert de plaques d'argent, et orné d'or et de gemmes. » On doit aussi signaler, au nombre des plus belles reliures des onzième et douzième siècles, des couvertures de livres en cuivre émaillé.

Mais ce n'étaient là que des travaux d'émailleurs, d'orfévres, d'imagiers et de fermailleurs. Les relieurs proprement dits (LIEURS DE LIVRES) liaient ensemble les feuillets des livres et les endossaient entre deux planches, qu'ils revêtaient ensuite de cuir, de peau, d'étoffe ou de parchemin. On y ajoutait tantôt des courroies, tantôt des FERMAUX de métal, tantôt des agrafes pour tenir le volume hermétiquement clos, et presque toujours des clous dont la tête saillante et arrondie préservait du frottement le plat de la reliure.

Ce système de lourde reliure ne pouvait persister après l'invention de l'imprimerie, qui, tout en multipliant les livres, réduisit leur format et diminua tant leur valeur vénale. On remplaça les ais de bois par du carton battu; on supprima peu à peu les clous et les fermoirs; on abandonna les étoffes, et l'on n'employa plus que la peau, le cuir et le parchemin.

Dès la fin du quinzième siècle, certains amateurs exigeaient pour leurs livres des dehors riches. L'Italie nous donna l'exemple de belles reliures en maroquin gaufré et doré, imitées, d'ailleurs, de celles du KORAN et autres manuscrits arabes, que les navigateurs vénitiens rapportaient fréquemment d'Orient. L'expédition de Charles VIII et les guerres de Louis XII firent venir en France non-seulement des reliures italiennes, mais encore des relieurs italiens avec lesquels nos relieurs rivalisèrent bientôt.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Jean Grollier, de Lyon, trésorier des guerres et intendant du Milanais avant la bataille de Pavie, avait, pendant son séjour à Milan, commencé la création d'une bibliothèque qu'il transporta en France, et ne cessa d'accroître et d'enrichir jusqu'à sa mort, en 1565. Ses livres étaient reliés en maroquin du Levant, avec un soin et un goût tels que, sous l'inspiration de cet amateur délicat, la reliure semble avoir atteint déjà toute sa perfection. Une incroyable variété de dessins dans les gaufrures, une entente supérieure de l'agencement des mosaïques en cuir de couleur, un fini d'ensemble admirable, font de chacune de ces reliures autant de petites merveilles.

Les princes, les dames de la cour, firent profession d'aimer, de rechercher les livres, créèrent des bibliothèques et encouragèrent les travaux et INVENTIONS des bons relieurs, qui accomplirent des chefs-d'œuvre de patience et d'habileté en décorant les couvertures des livres, soit en émaux peints, soit en mosaïques faites de pièces rapportées, soit en dorures pleines à petits fers. Il serait impossible d'énumérer les reliures d'apparat en tout genre que nous a laissées le seizième siècle français, et qui n'ont pas été dépassées depuis.

Les plus beaux effets de la reliure sont obtenus par deux procédés qui ne sont que des moyens mécaniques d'obtenir des gravures : les gaufrages par grandes plaques gravées formant de grands cadres, et les dorures par petits fers, résultat de la composition de petites vignettes, analogues à celles dont nous parlerons en traitant de l'imprimerie typographique. C'est rarement par estampage produisant un relief que les relieurs procèdent, c'est en général par une simple impression en or qu'ils agissent; cette question rentre donc dans l'étude des procédés de cette nature dont il sera traité plus loin.

CAMÉES. — « Les anciens, dit Héricart de Thury, dont les chefs-d'œuvre en tous genres prouvent avec quelle perfection ils exerçaient et cultivaient la statuaire et la sculpture, nous ont laissé en agates, sardoines, onyx, jaspes, et autres pierres précieuses, des témoignages irrécusables de la haute supériorité à laquelle, dès les temps les plus reculés, était parvenue la lithoglyptique, l'art de graver les pierres dures en creux ou en relief, pour en faire ces précieux camées dans lesquels l'habileté des artistes savait profiter des accidents et des couleurs des pierres, pour produire les délicieux et charmants effets qui donnent une si haute valeur aux sujets, têtes, figures ou groupes représentés sur ces pierres, dont on voit de riches collections dans les musées de Rome, de Naples, de Paris, de Vienne, etc.

« Le prix élevé des camées, la rareté des agates onyx ou rubannées, leur dureté, la difficulté de répondre aux demandes des amateurs et des joailliers-bijoutiers, ont fait chercher, il y a déjà longtemps, les moyens d'imiter artificiellement les camées, et, après bien des tentatives, on a reconnu que la coquille marine, « le grand casque des Indes orientales, » dont le test présente des couleurs blanches, roses, jaunes, brunes, etc., était la matière la plus favorable pour la confection des camées artificiels, cette belle substance étant par sa nature assez dure pour résister au frottement.

« Cette industrie a longtemps été exploitée avec succès à Rome, qui en fournissait les collections d'amateurs et tous les bijoutiers de France, d'Angleterre et d'Allemagne.

« D'après le succès des camées de Rome, quelques essais ont été tentés en France. Les plus remarquables furent ceux présentés aux concours ouverts par l'Académie des beaux-arts de l'Institut, sous l'Empire; mais bientôt les essais de nos artistes furent

EFERUS - Recherche & Classification numérique

abandonnés, et les ateliers de Rome, de Florence, de Venise et de Naples continuèrent seuls à prospérer et à répandre partout les camées. Dans ces dernières années cependant, à la demande de quelques-uns de nos premiers bijoutiers, plusieurs jeunes graveurs ont tenté de nouveaux essais, en prenant pour modèles les plus beaux camées antiques, et les succès de quelques-uns d'entre eux ayant outre-passé leurs espérances, ils ont formé des ateliers de lithoglyptique. Ainsi, grâce aux efforts de MM. Michellini, Weiss-Muller, Lalondre, Salmsonn, Morel, etc., nous voyons l'art de la gravure en pierres fines et en pierres dures se relever parmi nous.

« Quant à la gravure des camées de coquilles, elle est aujourd'hui exercée en France avec le plus grand succès, et nous dirons même avec autant de talent et de perfection qu'en Italie. Ainsi les camées de MM. Albite-Titus, Reynaud, Lamant, Blanchet, de Grégory, Bertoux de Marseille, etc., soutiennent la comparaison avec ceux des plus habiles caméistes de Rome. »

Les camées français ont, du reste, dès ce moment, un avantage marqué sur les camées romains; ils sont sensiblement moins chers. Cette modicité de prix tient à l'introduction du tour à portrait dans cette fabrication; il permet de pousser rapidement, et à peu de frais, les ébauches jusqu'à un point extrêmement avancé; l'artiste n'a plus que le dernier fini à donner.

Monnaies et médailles. — La gravure des monnaies et médailles, comme celle des coins et poinçons qui servent à obtenir par estampage des ornements en métal destinés à la décoration des pièces d'orfévrerie, consiste en une véritable sculpture sur métal, qui ne diffère de la sculpture ordinaire que par les procédés techniques, dont nous n'avons pas à parler ici. Il faut tout le talent d'artistes fort distingués pour donner du charme à de petites compositions (modelées de grandes dimensions, puis mises sur acier à l'aide du tour à portrait) n'ayant qu'un faible relief, et qui sont d'une extrême importance, tant parce qu'elles sont destinées à rappeler à la postérité de grands événements sous forme de médailles, qu'à assurer, sous forme de monnaies, la loyauté dans les transactions. Le modelage sur grandes dimensions et l'emploi d'un moulage en bronze ciselé avec soin permettent aujourd'hui, grâce au tour à portrait, d'opérer avec plus de facilité qu'autrefois et d'obtenir des résultats bien plus complets.

Gravures en creux et en relief. — Nous devons dire ici quelques mots des moyens de décoration qui se rapportent à l'orfévrerie et à la bijouterie, et se rapprochent des procédés sur lesquels nous aurons à revenir plus loin.

La gravure est le moyen de décoration le plus général pour les métaux et les matières qui se travaillent avec les outils tranchants. Le guillochage et la gravure pour les métaux précieux, les incrustations pour les métaux comme pour le bois, c'est-à-dire l'insertion dans des entailles convenables d'une substance différente de celle qui forme le fond, sont les moyens de décoration les plus importants obtenus par des procédés qui consistent essentiellement en des gravures creusées dans la surface à décorer, en raison des dessins à obtenir. La question d'art, celle des lignes formées par ces gravures diverses, rentre dans la question de dessin dont nous allons bientôt traiter en détail ; nous ne nous y arrêterons donc pas ici. Il en est de même de la plupart des moyens de décoration dont il nous reste à parler.

Les nielles, formées par une incrustation de matière noire qui remplit une gravure

EFERUS - Recherche & Classification numérique

en creux, donnant par suite des dessins noirs bien apparents, produisent des effets très-heureux sur l'argent. Comme elles ont autant de charme comme moyen de coloration que comme gravure, nous en traiterons en parlant des colorations et des émaux, qui jouent un si grand rôle dans la bijouterie.

Décoration des armes. — Les hommes de tous les pays et de tous les temps, dit le duc de Luynes, ont aimé les armes richement ornées; ce goût a été poussé plus loin en Orient que partout ailleurs. Les garnitures d'or et d'argent, les émaux, les pierres précieuses et de second ordre, les nielles et les filigranes, le repoussé, la ciselure, la dorure et l'argenture en feuilles, ont été prodigués sur les armes de luxe, et dans cette belle industrie, les Indiens, les Birmans, les Malais, les Persans, les Japonais, les Chinois, même les Géorgiens et les habitants de la Boukharie, héritiers du faste de l'antiquité asiatique, ont été et sont restés nos maîtres.

Plusieurs de ces moyens de décoration qui emploient d'une manière particulière la gravure et la ciselure comme procédés, sont restés spéciaux à la décoration des armes; ce sont: la damasquine, l'incrustation rasée et l'incrustation en relief. Nous parlerons ici des effets obtenus par ces mélanges de l'or et de l'acier.

Damasquine. — Le métal à damasquiner est haché finement dans les parties à décorer, et l'or refoulé sur ces parties chauffées y adhère très-fortement. C'est de Damas et surtout de l'Inde que nous viennent les pièces les plus remarquables. Cet art a été importé en Europe vers le XVI^e^ siècle

Incrustation rasée. — L'incrustation rasée est analogue à celle pratiquée dans l'ébénisterie. Le dessin profondément gravé en creux est rempli d'un fil d'or, qu'on y comprime fortement, puis la surface est polie. L'incrustation des métaux précieux était, dans l'antiquité, une industrie appliquée non-seulement aux armes, mais encore à la statuaire et à l'ameublement. On peut voir au musée du Louvre de petites statues égyptiennes en bronze incrustées d'or; au musée de Naples, des statues et un candélabre en bronze incrustés d'argent; au musée d'Artillerie de Paris, un glaive de bronze avec des filets incrustés de même métal. Ce genre de travail est fort bien exécuté par les Indous, et, à leur exemple, par les meilleurs armuriers français. Il donne en général aux armes un caractère oriental.

La fonderie royale de Berlin a tenté un curieux essai de rénovation de cet art antique; elle a montré des candélabres de fer à filets d'argent, puis une statue ainsi décorée, qui possédaient un cachet tout particulier qui rappelait les productions de l'antiquité.

Incrustation en relief. — L'incrustation en relief est une variété de celle qui précède. Au lieu d'araser l'or avec la surface, on le laisse en relief pour le modeler et le ciseler ensuite. Cet art est admirablement appliqué aux armes et à la bijouterie par les Japonais; il fleurit en Europe vers le temps de Henri IV. Après avoir été abandonné, il est porté aujourd'hui aussi loin que possible, et les dernières Expositions ont montré de curieux produits de ce genre dus à nos artistes armuriers.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PEINTURE

ARTS INDUSTRIELS QUI RELÈVENT DE LA PEINTURE

DE LA PEINTURE

Après avoir parlé de l'Architecture et de la Sculpture, il nous reste à traiter de l'application à l'industrie de la partie des beaux-arts qui utilise le dessin et la couleur; de celle qui, dans sa plus complète expression, éveille en nous des sentiments variés, et nous conduit jusqu'à l'idéal à l'aide de l'imitation; en un mot de la peinture.

Nous avons déjà dit qu'il y avait, comparativement à l'autre art d'imitation, à la sculpture, une observation importante à faire. Tandis que l'industrie emploie, dans le cas des applications de la sculpture, toutes les ressources de l'art, que la liaison de l'industrie avec celle-ci est intime, puisque le moulage, en multipliant toutes ses productions, en fait des objets de commerce; que les besoins des arts industriels, de l'orfévrerie par exemple, exigent fréquemment des créations nouvelles et tout à fait artistiques; dans la peinture, au contraire, il existe une profonde séparation entre l'art et l'industrie. Sans doute, la peinture elle-même est employée avec toutes ses ressources pour la décoration, comme lorsqu'un appartement est orné des tableaux des grands maîtres, lorsque sur un vase de porcelaine un peintre habile peint une scène; mais il y a là emploi direct de la peinture, encadrement d'un produit artistique par un objet utile; il n'y a pas là d'industrie proprement dite. C'est lorsqu'on imprime du papier, des étoffes, suivant certains dessins et en certaines couleurs, avec un nombre de teintes limité, qu'il existe vraiment une industrie employant directement les ressources élémentaires de la peinture, pouvant atteindre l'agréable, mais sans s'élever jusqu'au sublime. Sans doute, il n'y aurait nul inconvénient à étudier en même temps les beaux-arts et les arts industriels; il serait même, sans contredit, fort utile d'enseigner d'abord la science complète du peintre pour en prendre ce qui serait applicable à l'art indus-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

triel; mais, outre l'insuffisance de nos connaissances qui ne nous permettait pas de l'entreprendre, ce serait sortir de notre cadre. Nous croyons inutile de partir de l'étude complète des procédés de l'art pour apprécier ceux de l'industrie.

Insistons un peu sur une considération que nous croyons importante, et demandons-nous sur quoi repose la séparation dont nous venons de parler.

La peinture se fait, comme chacun sait, à l'aide de couleurs que le peintre mélange sur sa palette et qu'il dépose sur la toile avec son pinceau. Le résultat de toutes ces teintes combinées, de leurs superpositions et juxtapositions qui en changent l'effet, constitue le coloris qui donne des résultats, si justement admirés, sous la main des grands maîtres. Il résulte de la multitude d'éléments qui concourent à une œuvre si complexe, si difficile à analyser, qu'elle n'est évidemment imitable (même imparfaitement) que par un très-habile artiste, qui appréciera tout le travail du maître, sentira tous les contrastes des couleurs, et pourra, par un travail opiniâtre et seulement en employant les mêmes procédés, tenter de repasser par le même chemin. Mais un semblable résultat peut-il être obtenu industriellement? Peut-il exister pour la peinture un procédé qui, comme le moulage, l'estampage pour la sculpture, permette de reproduire et de multiplier l'œuvre de l'artiste? On peut répondre non, à coup sûr. Il est évident qu'il y a, dans chaque coup de pinceau, dans l'effet résultant de la superposition des couleurs, quelque chose d'inimitable, que les procédés industriels ne peuvent donner, si parfaits, si ingénieux, si compliqués qu'on les suppose, et qu'il est impossible d'admettre qu'ils atteignent à la combinaison indéfinie de teintes que le peintre emploie. Bien des essais tentés dans cette voie ont fait apprécier combien la solution complète du problème est impossible, comment on ne peut dépasser une imitation assez grossière, dès qu'on cherche à atteindre des résultats pour lesquels un certain nombre de teintes plates est insuffisant. En effet, c'est essentiellement par superpositions de teintes uniformes, successives, qu'opère l'industrie, même pour obtenir des dégradations; ce n'est qu'en opérant ainsi que le travail d'application de la couleur peut cesser d'être artistique pour devenir mécanique; mais alors ce n'est qu'avec bien des efforts et par la répétition à l'infini des opérations, que l'on parvient à des résultats quelque peu comparables avec ceux de la peinture proprement dite. Ce n'est pas pour décourager les inventeurs que nous faisons ces observations; nous voudrions plutôt qu'on vît le mérite qu'il y a à créer des décorations variées et splendides et à surmonter, même incomplétement, les grandes difficultés qui s'opposent à la reproduction industrielle des œuvres d'art.

Cette condition, qui fait du produit de la peinture dans ses sphères élevées une œuvre unique, non susceptible de reproduction par un procédé du domaine de l'industrie, ne permet pas de considérer l'œuvre du peintre comme rentrant dans l'art industriel; c'est un produit des beaux-arts, et il n'y a pas à en traiter ici autrement que comme d'un objet d'étude, comme d'un modèle placé dans une sphère plus haute que le produit d'art industriel d'un genre analogue, comme fournissant les lois fondamentales des harmonies des lignes et des couleurs qui ne doivent pas moins guider la main du plus obscur ouvrier que celle du grand artiste, du maître le plus éminent qui se livre à des travaux d'un ordre plus élevé, d'une difficulté plus grande.

Ceci montre comment la direction des maîtres est très-désirable pour créer de belles œuvres, précisément parce qu'ils peuvent enseigner à exécuter des œuvres remarquables à l'aide de procédés techniques déterminés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'association des grands artistes à un travail industriel n'a jamais été mieux comprise qu'au seizième siècle, dit Mérimée (Rapport de l'Exposition de 1862), et les admirables cartons de Hampton-Court en offrent aujourd'hui l'exemple le plus intéressant à étudier. Lorsque Raphaël dessina pour les tapissiers des Flandres, il se borna à arrêter sa composition par des lignes fermes et magistrales, à indiquer par quelques tons l'harmonie générale du coloris. Il ne croyait pas que des étoffes destinées à couvrir les parois d'un appartement dussent recevoir un travail aussi fin que des tableaux à l'huile ou même que des fresques. Ses dessins, qui devaient être reproduits sur des faïences, n'étaient que des croquis que le peintre fabricant devait interpréter avec les ressources de son industrie. De même, les peintres grecs qui dessinaient sur des vases de terre ces compositions simples et savantes, si admirées aujourd'hui, ne prétendaient pas obtenir avec deux tons des effets qui auraient exigé toutes les ressources de la plus riche palette. A ces grandes époques de l'art, le discernement le plus fin variait le travail selon l'importance et la destination des objets. A un objet usuel, vulgaire, on n'eût pas consacré le temps et les soins dus à une œuvre d'art. Aujourd'hui cette distinction n'est que trop fréquemment méconnue; on apporte plus de soins à l'exécution qu'à la composition, et souvent on prodigue un talent réel pour le seul mérite de la difficulté vaincue.

C'est surtout comme ornementation, comme décoration, que le peintre intervient dans l'industrie. « L'ornement, rappelons-le, d'après M. Guillaume, directeur de l'École des beaux-arts, ne doit pas déformer les surfaces qu'il décore : il est sur ces surfaces, il fait corps avec elles ou s'y trouve appliqué; il ne doit pas paraître soit y pénétrer, soit pouvoir en être aisément détaché... Bien plus encore que le peintre et le sculpteur de figures, l'ornemaniste conçoit l'art du dessin comme devant servir à la représentation non d'êtres réels, mais d'un organisme à la fois supérieur et dépendant. »

On doit distinguer, dans les ressources utilisées par l'art industriel, d'abord l'emploi de toute la première partie de l'art du peintre, du tracé, du dessin en tout genre; en second lieu, l'emploi des couleurs multiples, et, pour cet emploi, utiliser les connaissances acquises par l'étude, les recherches faites par les maîtres de l'art dans les conditions les plus complexes, relativement à l'harmonie des couleurs, aux proportions en raison des teintes.

Nous distinguerons deux catégories, en raison de la différence essentielle des moyens de fabrication, dans les produits dont nous aurons à traiter au point de vue de l'emploi des colorations, produits dont l'importance industrielle est considérable :

1° Ceux qui sont obtenus par l'application de matières colorantes, au moyen de procédés de même nature que ceux qu'emploie la peinture, c'est-à-dire en déposant des couleurs sur des surfaces convenablement préparées ;

2° Ceux qui sont dus à l'assemblage d'éléments de couleurs et de formes diverses, de telle sorte que leur ensemble constitue un tableau composé d'un plus ou moins grand nombre d'éléments différemment colorés. Ce procédé est tout spécial à l'art industriel et fournit le moyen de décoration des étoffes, tissus brochés, tapis, etc. Il fournit dans quelques cas les produits d'une valeur artistique incontestable, qu'*a priori* on ne croirait pas possible d'atteindre par de semblables moyens.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION V

DESSIN

Les procédés du dessin, de la représentation des objets à l'aide d'une seule couleur, se divisent en deux genres bien distincts, que nous retrouverons dans les divers procédés de gravure, qui ne sont que des manières spéciales de dessiner, offrant l'avantage de fournir des moyens de reproduction à l'aide de l'impression.

Le premier consiste à représenter les corps par la seule imitation des effets de la lumière qui éclaire ces corps et nous les rend perceptibles à la vue. Le dessin à l'estompe, le lavis sont les types de ce genre de dessin qui s'attache à une production de teintes dégradées, à rendre les oppositions de parties brillantes et de parties obscures; en un mot, à reproduire l'apparence du corps éclairé par la lumière qui permet de le voir.

Le second procédé doit être considéré comme supérieur au précédent. Au lieu de représenter simplement, par une quantité convenable de noir déposé d'une manière continue, le ton de la lumière qui éclaire la surface d'un corps, on cherche à figurer par le tracé des lignes les plus propres à donner, en même temps que l'effet de la lumière sur le corps, l'idée la plus exacte de la forme, le sentiment des lignes de courbure auxquels les artistes attachent avec raison tant de valeur. C'est ainsi que s'emploient les hachures dans les gravures au burin.

Monge, dans son TRAITÉ DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, explique l'intérêt de ses belles recherches sur les lignes de courbure des surfaces, par l'utilité de leur emploi pour le dessin. Il a prouvé que les lignes de plus grande courbure, passant par un point d'une surface, étaient toujours au nombre de deux et à angle droit entre elles. Par conséquent, pour chaque objet, et pour chaque partie de la surface d'un objet, il y a des contours de lignes, de hachures (formées sur la surface du dessin par la projection d'un système de lignes de grande courbure) plus propres que toutes les autres à donner

EFERUS - Recherche & Classification numérique

une idée de la courbure de la surface, et ces lignes tracées plus ou moins larges, plus ou moins rapprochées, produisent en même temps les teintes voulues pour représenter les effets de lumière. Les dessinateurs emploient ces deux systèmes de lignes, préférables à toutes les autres, lorsque, pour forcer plus facilement leurs teintes, ils croisent les hachures.

Après avoir établi les principes des modes de représentation des objets par le dessin, et avant d'arriver à leurs applications dans les industries qui ont pour but la multiplication de ces représentations, nous allons étudier les lignes, les contours destinés à l'ornementation et qui offrent un grand intérêt au point de vue de cet ouvrage.

L'histoire du dessin en général, des enlacements des lignes, est impossible à présenter sous une forme systématique satisfaisante. Rien n'est plus capricieux, plus facile à varier que le tracé de quelques lignes; toutefois il ne peut être douteux qu'aux diverses époques de l'art, les dessins qui plaisaient le plus aux yeux étaient d'un genre déterminé. C'est surtout pour l'ornementation qu'il en est ainsi; les éléments en varient moins, en effet, que la manière de représenter les objets et le mode de leur groupement; c'est là ce que nous allons chercher à indiquer en étudiant les contours de quelques motifs d'ornementation en eux-mêmes, c'est-à-dire tels que les reproduit l'industrie par l'impression en noir.

Nous passerons successivement en revue :

1° Les tracés et combinaisons de lignes droites, essentiellement immuables dans leurs éléments constitutifs, dont l'emploi ou l'exclusion peut seulement varier dans les divers styles.

2° Les dessins qui, sans être formés géométriquement et sans rappeler cependant directement les formes des objets naturels, sont créés par les artistes et par suite varient suivant les styles. On les rencontre employés pour la décoration des produits industriels, notamment des édifices, aux diverses époques de l'art. On en a vu un grand nombre dans les exemples donnés surtout en traitant de l'architecture, dont quelques parties sont reproduites à une échelle suffisante pour qu'on puisse apprécier les détails de l'ornementation. Ces tracés sont soumis entièrement aux principes que nous avons indiqués en parlant du cas plus complexe des formes : c'est l'harmonie de leurs proportions qui en fait le charme. Bien que souvent créés par le caprice, plus souvent encore ils proviennent d'imitations altérées de formes naturelles dont on n'a gardé que l'esprit du contour, les harmonies linéaires. Ils ne représentent plus les objets, mais ils en ont conservé les proportions et le caractère : souvent, d'ailleurs, ils viennent se mélanger avec ces imitations dont il nous reste à parler.

3° Les dessins d'imitation d'objets pris dans la nature, de feuilles, de fleurs, etc., différemment groupés par la fantaisie, rentrent dans l'art de la peinture; tout au plus peut-on les en séparer dans quelques cas où ils sont décoratifs plutôt que destinés à éveiller des sentiments. Cette partie est presque inséparable des couleurs; nous en traiterons brièvement ici pour y revenir en parlant des applications des couleurs.

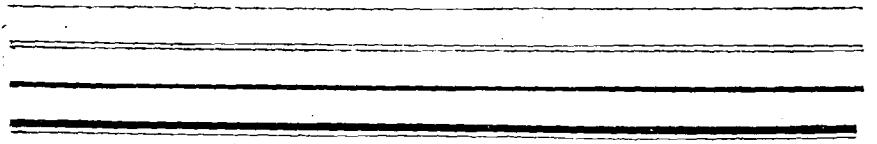
Ce qui distingue essentiellement les deux premières divisions de la troisième, c'est que les éléments qui y sont compris sont nécessairement soumis à la répétition; de simples entrelacements de lignes qui ne tendent pas à l'imitation ne peuvent être remarqués qu'en se répétant; ne peuvent conduire à l'harmonie ou permettre d'éviter la confusion qu'en satisfaisant à cette condition.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

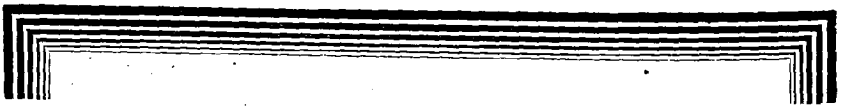
1° LIGNES GÉOMÉTRIQUES.

Nous avons à traiter ici des figures obtenues par des lignes droites et des combinaisons diverses de lignes droites. On doit y joindre les lignes circulaires, le cercle, courbe régulière par excellence, devant, comme nous l'avons vu en parlant de l'architecture, être considéré comme ayant la même régularité absolue que la ligne droite.

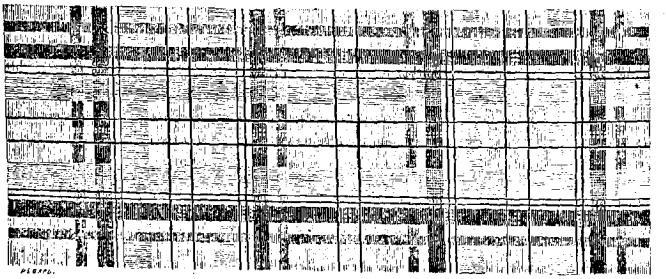
Les lignes droites de largeur plus ou moins grande constituent un élément souvent employé isolément. Des réunions de lignes droites parallèles, d'écart régulier ou variable, de même largeur ou de largeur différente, se rencontrent fréquemment dans l'application. Des coins circulaires viennent souvent compléter ce genre de décoration simple, mais presque toujours les lignes se replient en équerre; quelquefois de petits entrelacements rectangulaires viennent en faire partie, comme on en voit de nombreux exemples dans les produits de la typographie.



Une des dispositions le plus fréquemment employées est celle de lignes de largeur progressive allant successivement en se dégradant, comme dans la figure ci-contre.



Lorsque les lignes forment deux systèmes de lignes parallèles entre elles, elles for-



151.

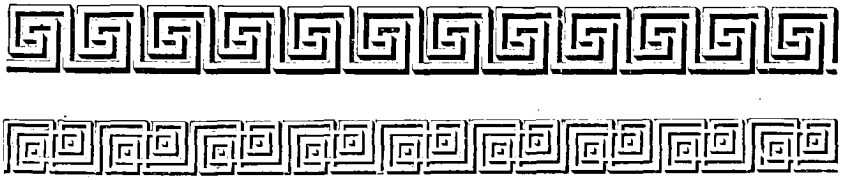
ment deux ou plusieurs systèmes de losanges, de rectangles d'étendue variable. La figure représente une des dispositions les plus employées, un genre d'ornementation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

formée par des lignes de largeur et écartement variable se coupant à angle droit et qui, en couleurs brillantes sur étoffe, porte le nom d'écossais.

Lorsque les lignes ne sont pas réductibles à des systèmes de lignes droites parallèles, elles n'engendrent plus qu'un assemblage confus, si on les prodigue indéfiniment. Si on les suppose limitées à des polygones, la répétition d'éléments semblables, de petits carrés ou polygones divers, cercles, etc., forme un genre de décoration fréquemment employé en architecture, et qui entre pour une part importante dans le genre de dessins que nous allons étudier ci-après; nous reviendrons aussi plus loin sur cette question, en étudiant, à propos du parquet et de la mosaïque, les moyens de couvrir une surface donnée avec des éléments répétés.

Lorsque les éléments ne sont pas nécessairement semblables, les formes irrégulières peuvent être variées à l'infini; mais les zigzags ont peu de charme, et ce n'est guère qu'en lignes courbes qu'on les applique à l'ornementation. Toutefois les décorations



par parties de lignes droites réussissent parfaitement dans la grecque, dont le nom indique assez l'origine, et qui est formée par des parties se joignant à angle droit. Ce système de décoration se marie très-heureusement avec les lignes rectangulaires de l'architecture grecque.

2° DESSINS VARIANT PAR STYLES

La seconde série de lignes est celle qui, tantôt issue de la famille des lignes droites et circulaires, le plus souvent comprenant l'infinie variété des lignes courbes, en modifie l'emploi, les proportions en raison de tous les caprices de la fantaisie, ne reproduit pas les objets naturels qui les inspirent presque toujours, et se borne à emprunter seulement quelquefois à ceux-ci des contours généraux pour y puiser, en la faisant valoir, l'harmonie qui leur est propre.

C'est surtout dans l'architecture que nous trouverons un grand nombre de modèles de ce genre, qu'une foule de rosaces, de palmettes, d'ovales, fournissent des décorations nombreuses. Ces diverses combinaisons, ces éléments variés dont nous avons déjà produit bien des exemples dans les figures qui précèdent, se transforment et s'associent de différentes façons suivant les époques et les styles. Au reste, ayant à les étudier en eux-mêmes, nous n'avons rien de mieux à faire que de les suivre dans un cas où elles sont reproduites à l'infini comme ornements; nous voulons parler de l'imprimerie et surtout de l'imprimerie typographique, qui, par la nature des procédés employés, produit avec facilité la multiplication identique des mêmes éléments et leur combinaison indéfinie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

VIGNETTES

La typographie, en fixant d'une manière en quelque sorte indestructible chaque vignette une fois gravée, en en rendant la reproduction indéfinie, la vulgarisation certaine, grâce aux procédés de la fonderie, permet de les comparer, de les classer. Comme on a prouvé que les fables d'Ésope, et par suite celles de Phèdre et de La Fontaine, découlaient de fables indiennes, de telle sorte que ce qui paraissait inventé nouvellement n'était bien souvent qu'un écho d'inventions qui dataient pour ainsi dire des premiers jours du monde; de même on peut prouver que mille sujets de décoration qui semblent naître chaque jour sous les doigts de nos artistes et se répètent dans une multitude d'industries différentes, ne sont que des variations de types très-anciens, et que bien souvent les mêmes motifs diversement interprétés se retrouvent dans les diverses décorations. C'est pour cela que l'enseignement du dessin donne de si grands résultats, au point de vue de son application à l'ornementation; il grave dans la tête de l'élève des éléments qui lui permettent, même avec des dispositions médiocres, de produire, par une sage interprétation, des compositions assez convenables dans un style déterminé.

Il y aurait là une série de recherches fort intéressantes à faire sur les éléments primitifs de l'ornementation; on éviterait ainsi bien des mélanges hétérogènes qui déplaisent à l'œil exercé sans qu'on puisse s'en rendre compte. C'est que souvent deux vignettes qui viennent se placer à côté l'une de l'autre ont leurs types dans des styles tout différents, par exemple l'une dans l'art grec, l'autre dans l'art arabe.

Dans l'impossibilité de suivre tous les motifs d'ornements, d'entrelacements dans les diverses applications où ils se répètent : dans les colonnes, les moulures de l'architecture, de l'ébénisterie, sur les vases de la céramique, dans les ciselures de l'orfévrerie et de la bijouterie, nous les étudierons mieux dans quelques échantillons empruntés à l'application spéciale, où le dessin seul est en jeu, qui en est faite dans la typographie. Nous en formerons une collection où l'on pourrait venir puiser, si elle était suffisamment complète, des motifs pour tous les cas et toutes les applications particulières.

Nous n'avons pas besoin d'insister pour faire apprécier toute l'importance, pour l'ornementation de tout genre de produits de l'industrie, de l'œuvre consistant à créer une importante collection de vignettes par styles et par époques, à l'aide des procédés définitifs en quelque sorte de la gravure en relief sur acier, de la fonderie en caractères et de l'imprimerie, dans laquelle on pourrait toujours trouver les éléments de décoration les plus convenables pour un style déterminé. Il faut d'ailleurs remarquer que c'est surtout à la typographie que peut s'appliquer le plus complétement l'observation que nous avons faite en commençant, sur l'utilité, fréquente dans l'industrie, de l'imitation des modèles fournis par les anciens styles, pour des œuvres relatives à des idées qui ont passionné les siècles passés. La typographie, reproduisant souvent les chefs-d'œuvre des anciens, ne peut employer pour les décorer convenablement que des ornements appartenant à l'époque de leur production, afin que les ornements soient toujours en rapport avec le texte de l'ouvrage.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il est douteux que l'opération consistant à graver sur acier ce vaste ensemble ait des résultats avantageux au point de vue du profit, et que ce soit une œuvre qui puisse se faire rapidement avec les ressources de la seule exploitation commerciale; mais son intérêt n'en est pas moins considérable, tant parce qu'elle fournit la seule base logique de la belle ornementation de la typographie, que parce qu'elle permet surtout de vulgariser à l'infini les éléments essentiels de tout genre d'ornementation propres à être utilisés également dans toutes les branches du travail industriel. Ce serait là une entreprise digne de tenter un véritable artiste.

Nous rencontrons dans ces dessins, caractérisant d'une manière toute spéciale les principaux styles, les éléments principaux de la décoration, qui, soit par la sculpture, soit à l'aide du dessin et de la coloration, vient s'appliquer sur les surfaces de tous les objets dont les formes donnent déjà satisfaction aux aspirations d'élégance et de beauté. Elles sont en nombre infini puisqu'elles varient avec chaque artiste, mais se rapprochent à chaque époque d'un nombre limité de types, dont la connaissance est infiniment précieuse, tant pour la reproduction de pièces d'anciens styles, que pour en déduire des principes précieux pour réaliser des combinaisons nouvelles, utiliser des résultats acquis pour obtenir à coup sûr des effets plaisants à la vue.

Un habile architecte anglais, Owen Jones, après avoir présidé à la si curieuse création de Sydenham et notamment à la si belle reproduction de l'Alhambra, a publié, depuis la première édition du présent ouvrage, un magnifique livre imprimé splendidement en chromo-lithographie, dans lequel il a développé les idées indiquées ci-dessus. Dans sa GRAMMAR OF ORNAMENT, il a cherché à contribuer puissamment, par l'étude de ce genre de décoration, à la vulgarisation de l'art industriel; nous lui avons fait quelques emprunts intéressants pour le style indou, dont les plus beaux produits sont naturellement bien connus en Angleterre.

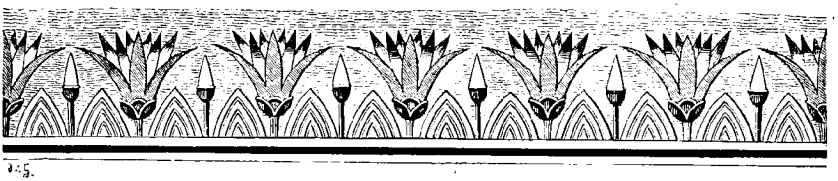
Il s'agit surtout ici, comme nous l'avons déjà dit, des vignettes ne rappelant pas, en général, d'objet déterminé, dont l'élégance est facilement sentie grâce à la répétition, condition presque constante de l'ornementation industrielle, et rarement de quelques motifs fournis par des imitations de formes naturelles très-simples, qui, dans certains styles, constituent toute l'ornementation. Ainsi, dans la décoration du style ogival, la sculpture reproduit les végétaux de nos pays, et surtout le lierre, la vigne vierge; de nos jours, l'emploi des rameaux, des fougères, des fleurs et des fruits a été souvent multiplié comme se prêtant à de gracieux motifs. Au point de vue spécial de la typographie, pour les encadrements, aussi bien que pour l'architecture, ils conviennent en général moins bien que ceux formés par des lignes combinées avec des éléments, moins concrets en quelque sorte, qui tirent leur charme de l'harmonie de leurs proportions. Dans toutes les grandes périodes de l'art, les représentations sont conventionnelles; l'artiste rend l'harmonie des formes des objets naturels, s'en empare sans les copier servilement. C'est le contraire qui a lieu aux époques de naissance de l'art.

Pour ce qui est des sources où l'on peut trouver des types suffisamment authentiques, c'est surtout dans les œuvres des graveurs que l'on doit les chercher, lorsqu'il s'agit d'époques qui ne sont pas très-éloignées de nous. Pour les époques antérieures, c'est dans les décorations de l'architecture, dans les produits d'art du temps qu'il faut les chercher, comme dans les vases étrusques pour le style grec, dans les ornements peints des enveloppes des momies égyptiennes, pour le style égyptien.

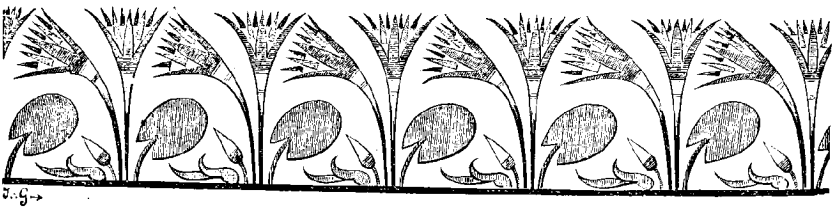
EFERUS - Recherche & Classification numérique

STYLE ÉGYPTIEN

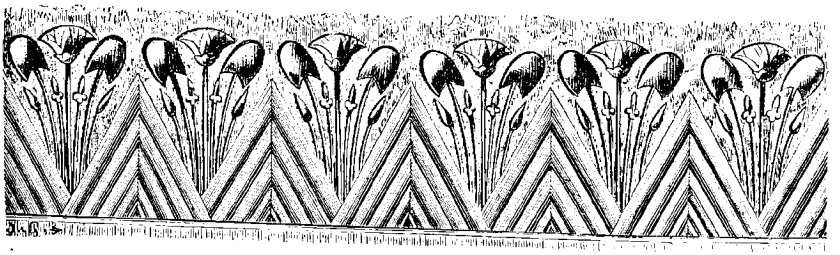
Nous avons donné déjà les ornements des colonnes les plus riches que ce style ait



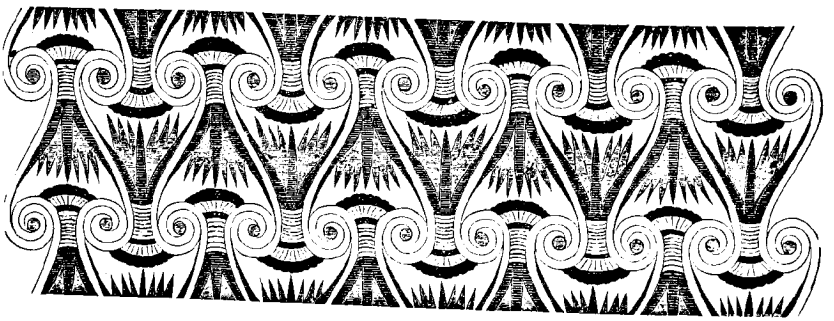
152.



153.



154.

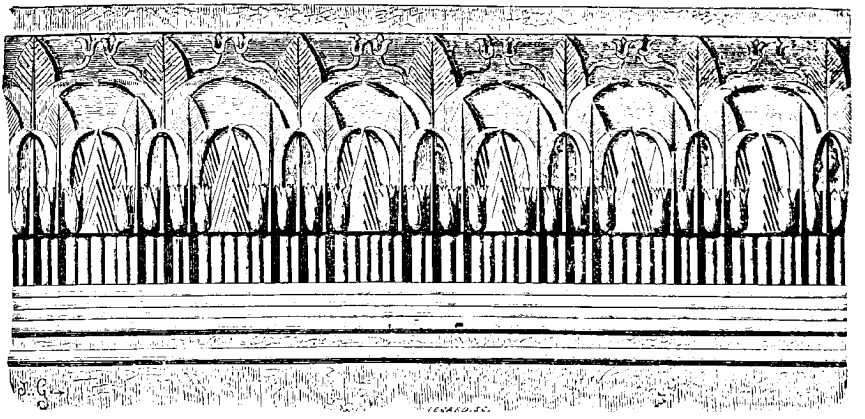


155.

produits. Nous ajoutons ici des exemples de répétitions de palmes, de feuilles et de fleurs de lotus, de triangles, qui étaient les principaux ornements artistiques de ce style.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous rappellerons ici que toutes les façades des temples égyptiens étaient couvertes d'hiéroglyphes qui parlaient à l'esprit plutôt qu'aux yeux.



155.

Avec le lotus et le papyrus qui croissent aux bords du Nil, c'étaient le rameau du palmier et la colonne imitant sa tige, qui constituaient encore les types peu nombreux qui forment la base de la décoration des Égyptiens, des monuments et des objets de tout genre servant aux usages journaliers.

Jamais l'imitation n'est servile, la représentation est toujours conventionnelle.

STYLE GREC, ROMAIN, ÉTRUSQUE

Les ornements de l'architecture grecque sont surtout les oves, les palmes, les



157.



158.

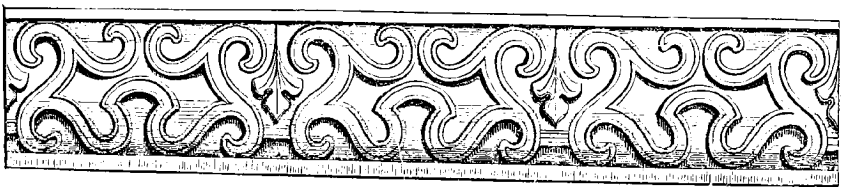
feuilles d'acanthe qui, depuis Callimaque, ont été reproduites dans le monde entier.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

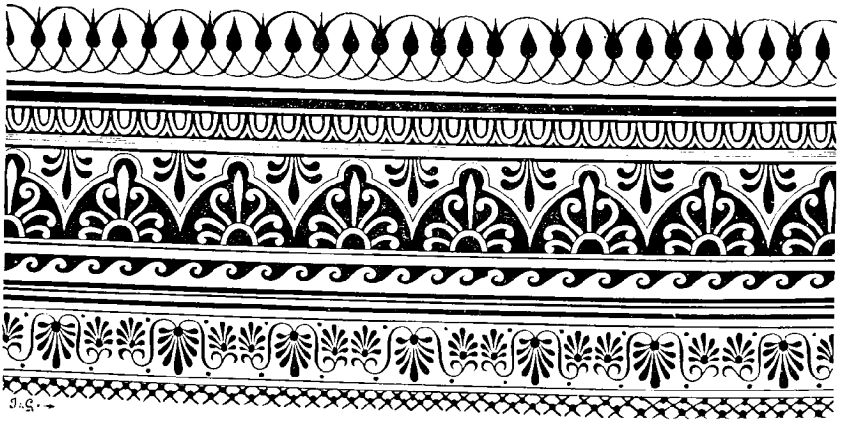
La palme du troisième ornement est empruntée à Herculanum comme la quatrième vignette; cette dernière se rapproche de l'arabesque.



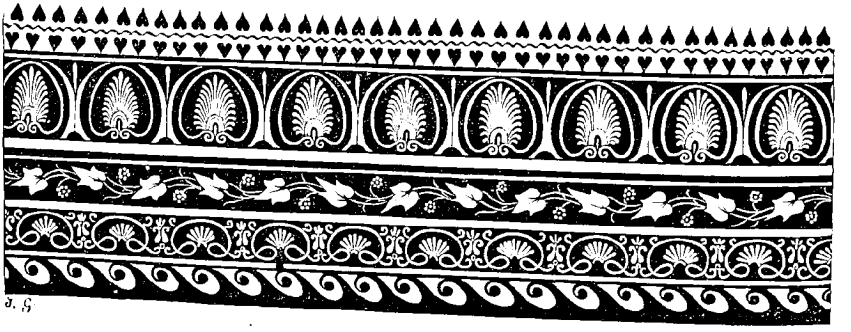
159.



160.



161.

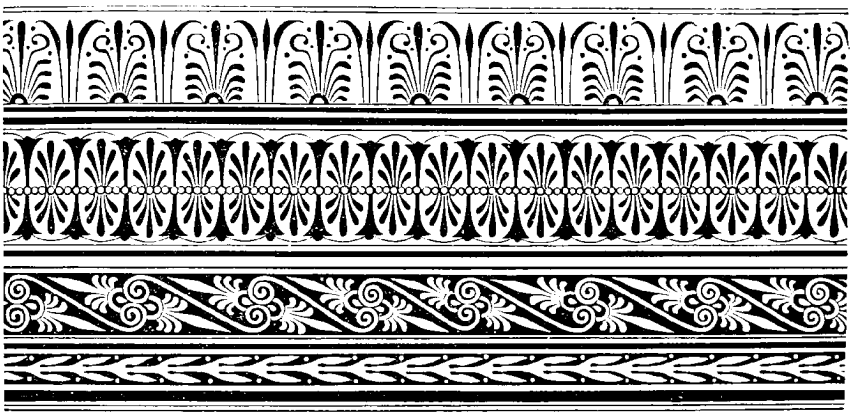


162.

Il est une source plus féconde encore que l'architecture pour fournir à profusion des ornements grecs : ce sont les vases étrusques, campaniens, qu'appréciaient tant les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Romains. Ils y trouvaient le genre d'ornements se détachant sur fond coloré, qu'ils préféraient à tout autre et qu'ils employaient fréquemment, notamment dans les mo-



163.

saïques. Les quelques exemples que nous rapportons ici montrent avec quelle profusion les artistes décorateurs employaient (aidés sans doute par des procédés de poncif) des méandres, des oves, des palmes, des feuilles, etc., etc.



164.

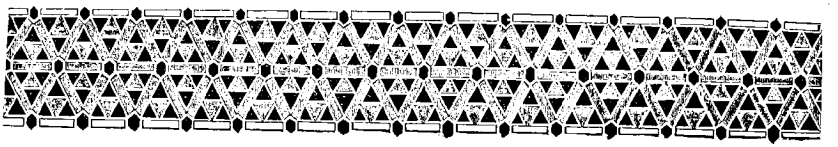
La dernière vignette est un exemple du genre de décoration que l'on rencontre dans les édifices de l'époque la plus brillante de l'empire romain.

STYLE ROMAN ET BYZANTIN

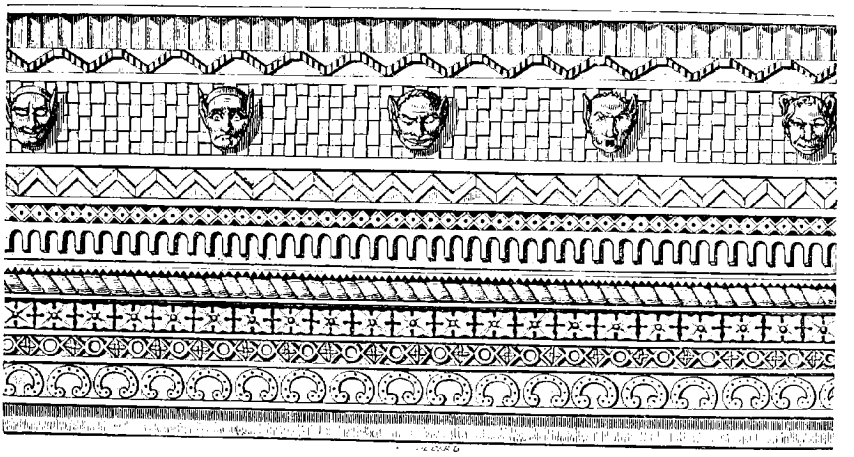
L'ornementation du style byzantin-roman a pour cachet spécial la profusion de menus ornements tels que petits carrés, pointes de diamant, besans, étoiles, zigzags entrelacés. Cette décoration prend un éclat très-grand dans certains cas : tels que la mosaïque, les vitraux, dont nous parlerons plus loin, lorsque tous ces éléments multiples

EFERUS - Recherche & Classification numérique

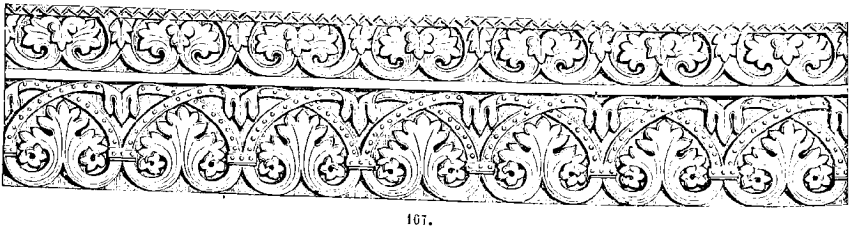
prennent des couleurs éclatantes. La première vignette appartient à Sainte-Sophie, et



165.



166.



167.



168.

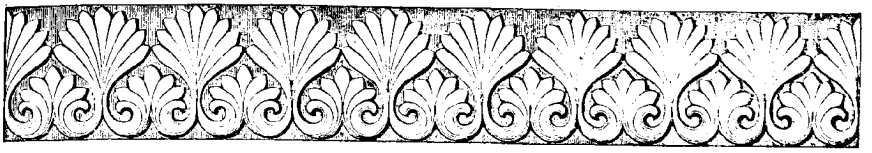


169.

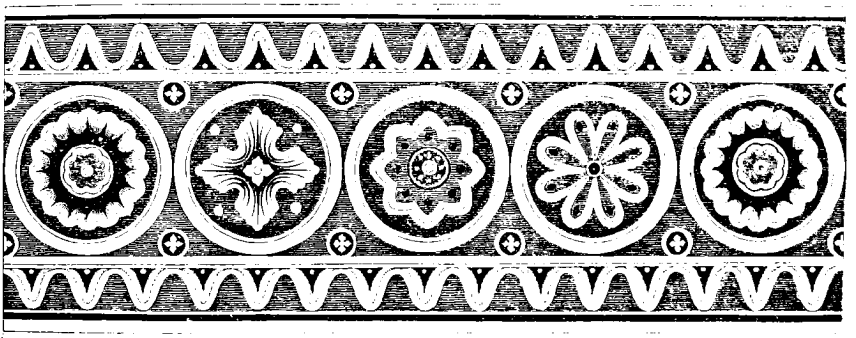
comme la troisième est purement byzantine; la seconde comprend la plupart des éléments du style roman. Toutefois, ce serait une erreur de considérer le style roman

EFERUS - Recherche & Classification numérique

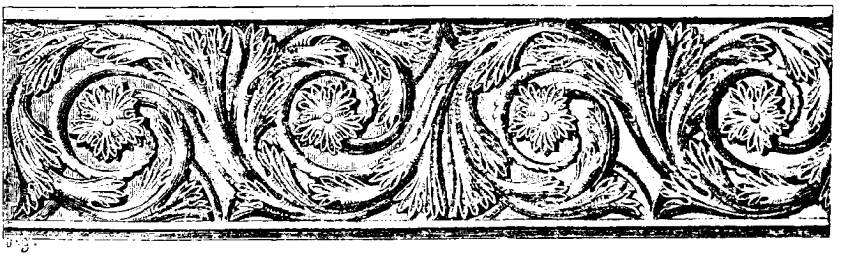
comme borné à ce genre presque entièrement géométrique. Bien souvent les orne-



170.



171.



172.

ments tendant à représenter des feuillages, des rubans, etc., prennent un autre caractère ; les dernières vignettes en donnent une idée.

STYLE GOTHIQUE

Nous avons déjà dit quelques mots, à propos de l'architecture gothique, des orne-

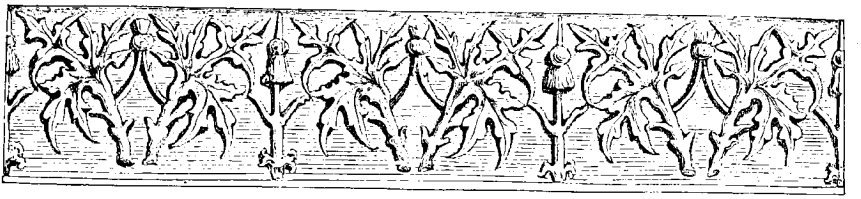


173.

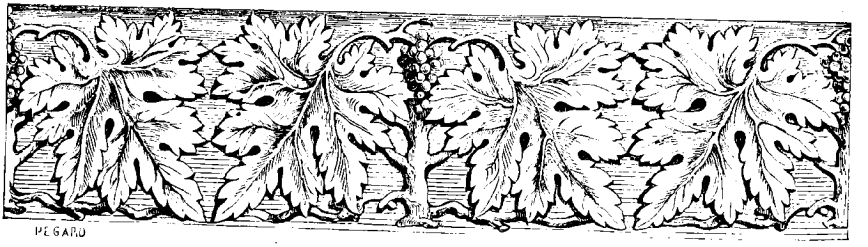
ments propres à ce style. La vigne vierge, le trèfle, le chardon, sont souvent employés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

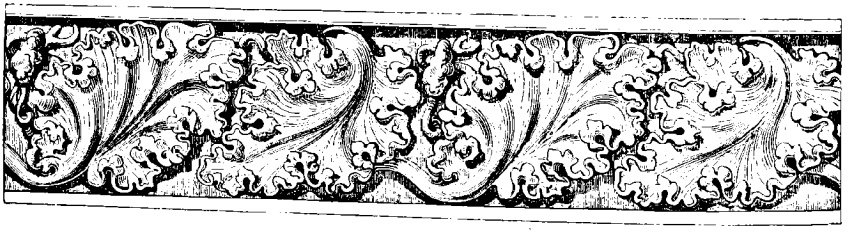
comme décoration, par une simple imitation de la nature, sans que l'art décoratif inter-



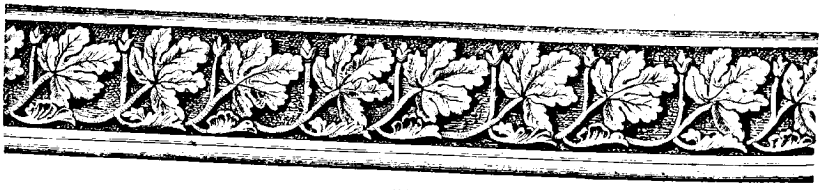
174.



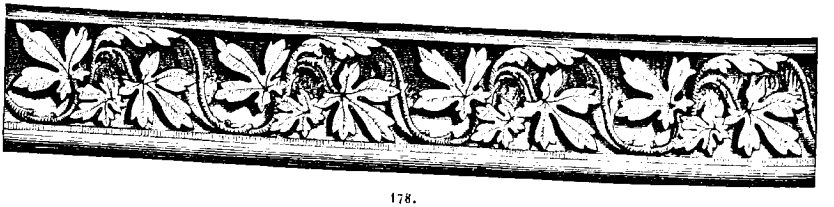
175.



176.



177.

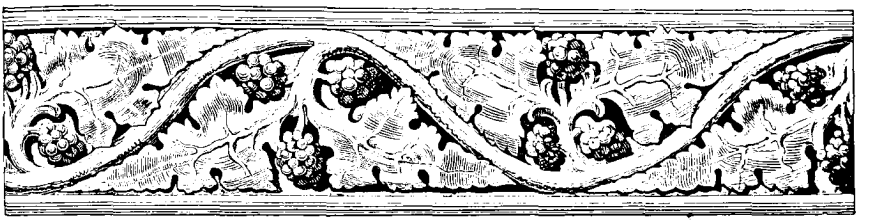


178.

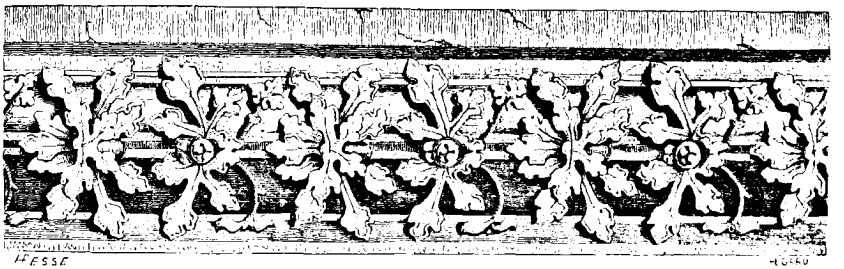
vienne ; ils se mélangent aux roses, aux flèches élancées, aux découpures semblables à

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de la dentelle, qui se répètent dans les moindres produits comme dans les grandes constructions de ce style.



179.



180.

STYLE RENAISSANCE

Les ornements de cette époque sont extrêmement variés, comme tous les produits de l'art dans cette brillante période de création artistique d'une admirable fécondité. On



181.

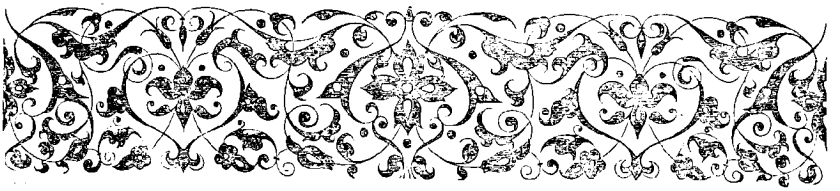


182.

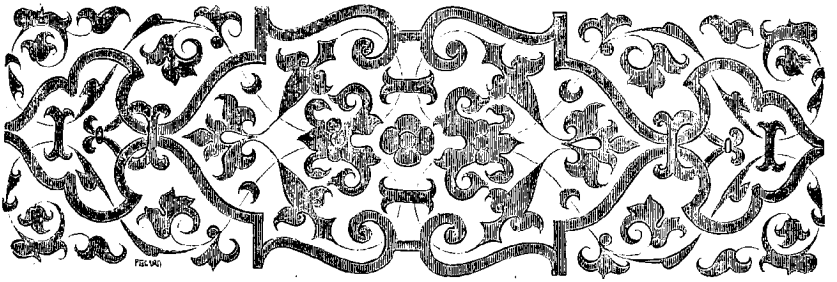
en trouve à profusion dans les œuvres des graveurs du temps. On doit remarquer spécialement des enroulements de tout genre, des ornements gris, ou blancs sur fond noir,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

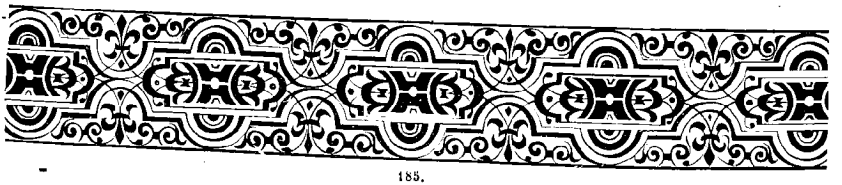
qui ont surtout été fréquemment répétés dans l'École allemande ; des formes rappelant les enroulements des branches, du serpent ; d'autres rappelant les panneaux, les fron-



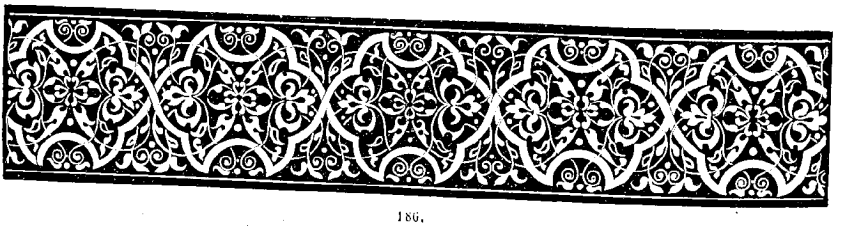
133.



134.



135.



136.

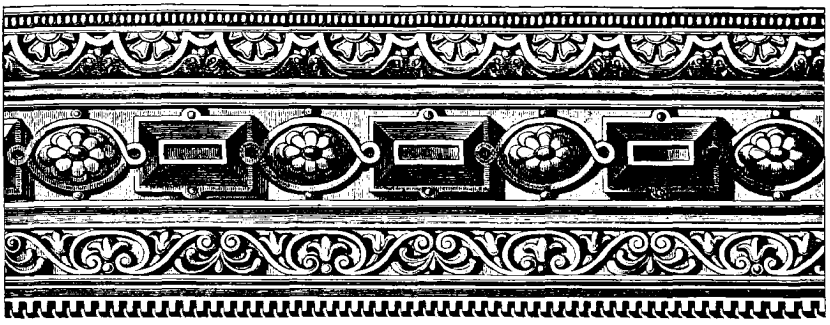


137.

tons coupés des constructions de l'époque. Les types sont ici variés à tel point qu'ils défient l'analyse, même en laissant de côté l'imitation des objets animés, qui ont été

EFERUS - Recherche & Classification numérique

admirablement employés à cette époque comme moyen de décoration. Aussi les collections des graveurs de la Renaissance sont-elles aujourd'hui les plus précieuses que



188.

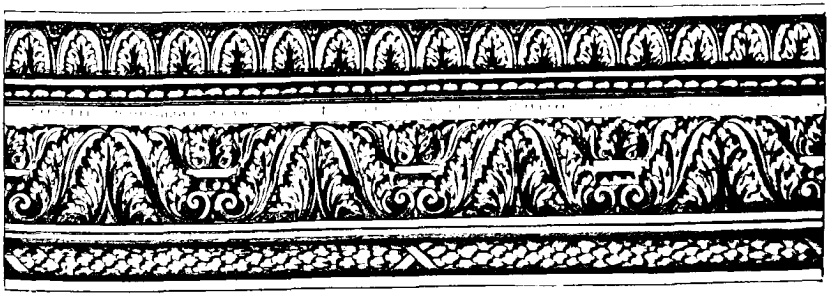
l'artiste industriel puisse consulter. Grâce à l'invention de la gravure en taille-douce, au quinzième siècle, elles sont heureusement en nombre considérable.

STYLE LOUIS XIV

Les ornements du style Louis XIV consistent surtout en grands enroulements, en



189.

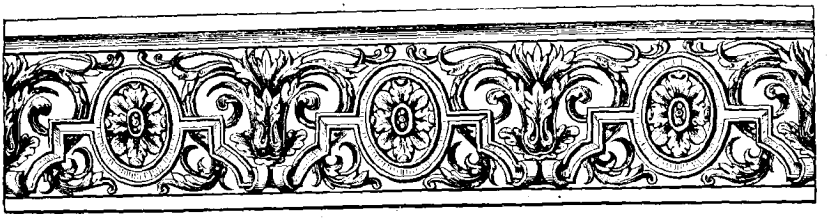


190.

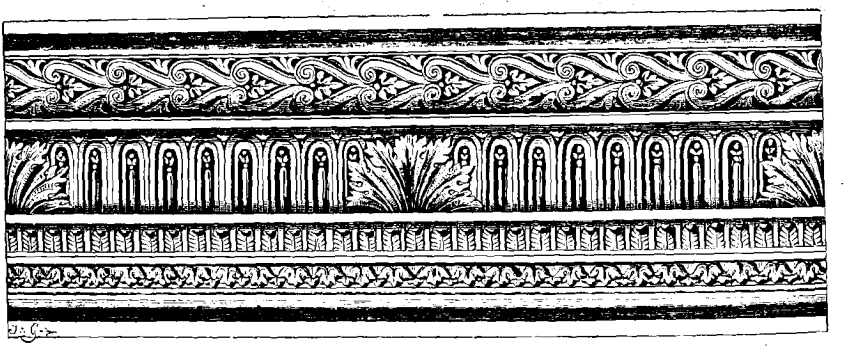
palmes d'un grand développement, seules ou mélangées avec des éléments d'ordre

EFERUS - Recherche & Classification numérique

architectural, des médaillons, des trophées, etc. Nulle part plus que dans la décoration



191



192.



193.

variée de ce style, on ne retrouve la pompe, le grandiose de cette époque. Nous en rencontrerons plus loin encore plusieurs exemples.

STYLE LOUIS XV

Nous avons déjà donné nombre d'exemples de la décoration de ce style. On peut établir comme son cachet caractéristique l'emploi tout nouveau des coquilles. Ainsi fréquemment, dans les rinceaux, les extrémités des feuillages contournés à l'extrême

EFERUS - Recherche & Classification numérique

vers la fin de Louis XIV y furent réunies par des coquilles ou des rocailles, et autres lignes inspirées par des contours de même genre.



194.

STYLES ORIENTAUX — MAURESQUE — ARABE

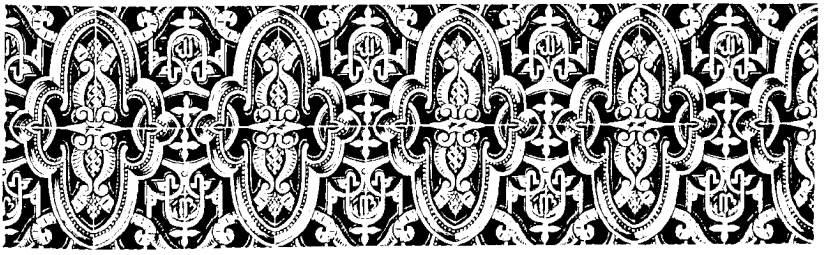
Les Orientaux, qui repoussent par religion la représentation de la figure humaine, ont multiplié les entrelacements de lignes dites arabesques, dont nous avons déjà donné



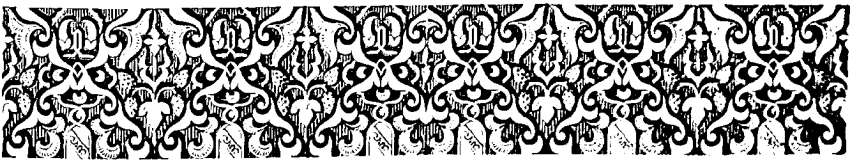
195.



196.



197.



198.

des exemples très-brillants. Ces arabesques sont formées de lignes irrégulières qui s'enlacent sans autre loi que la fantaisie, en produisant des harmonies toutes spéciales d'une

EFERUS - Recherche & Classification numérique

variété infinie. A ces lignes, produit direct du caprice et du goût de l'artiste, se mêlent des fleurs de l'Orient, imitées plutôt des tissus que de la nature même, et enfin des inscriptions arabes en caractères qui, ayant des formes de même nature, s'y marient parfaitement.

Les arabesques furent apportées d'Égypte et introduites à Rome dès le temps d'Auguste et de Mécène, comme nous l'apprennent Vitruve, Apulée et Claudien. Vitruve s'éleva vivement, mais infructueusement, contre ce genre nouveau qui lui paraissait contraire aux principes de l'art, autant qu'au but moral qu'il doit se proposer, les arabesques offrant des dessins de fantaisie, et non des imitations de créations de la nature.

PERSAN

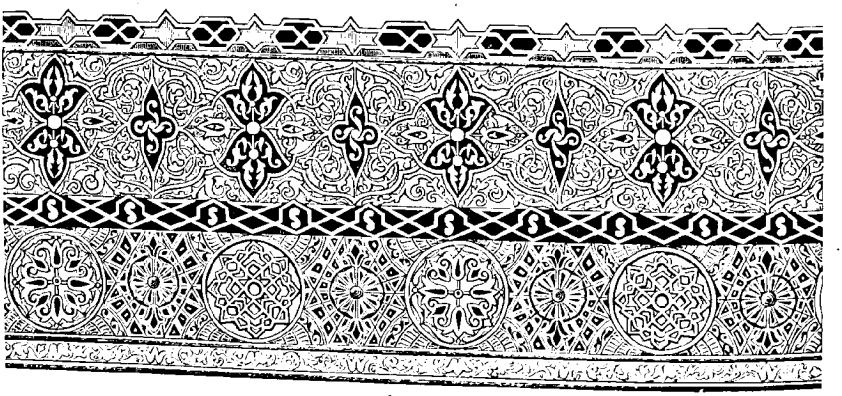
Les Persans occupent une très-grande place dans l'ornementation orientale, soit à cause de leurs traditions propres, soit à cause de leurs relations avec l'Inde. Les



199.



200.



201.

vignettes que nous donnons ici sont empruntées à des modèles originaires de la Perse et nous paraissent bien montrer la richesse de ce style.

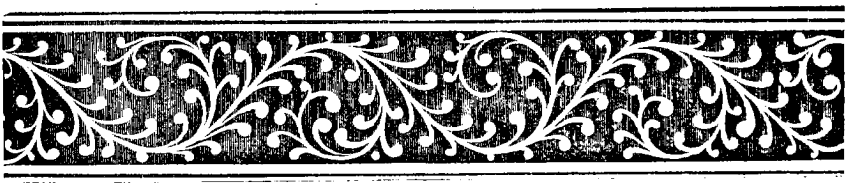
EFERUS - Recherche & Classification numérique

INDOU

Les Indous ont plusieurs genres d'ornement qui leur sont propres et sont tout à fait remarquables. Le premier, qui se voit surtout sur leurs cachemires, se rapporte à une excellente interprétation de la fleur, dont toutes les nervures tangentes à un axe cen-



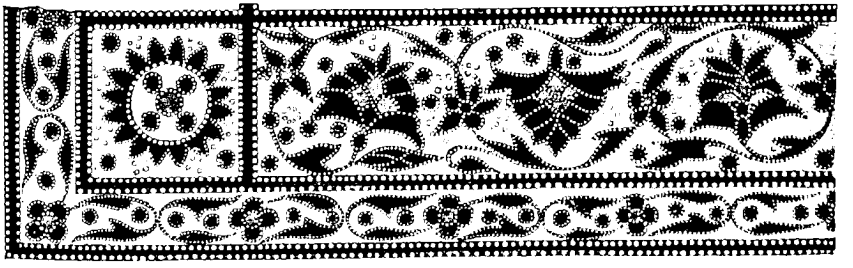
202.



203



204.



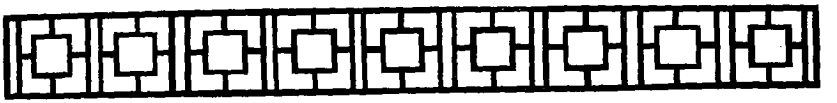
205

tral s'élancent en gerbes harmonieuses. Le second se rapporte à des mouvements serpentants particuliers. Enfin, sans parler ici des couleurs, nous dirons qu'ils emploient admirablement les points brillants, comme on le voit par la figure 205, empruntée à une selle brodée en rouge et or, fort admirée, à juste titre, à l'Exposition de 1851.

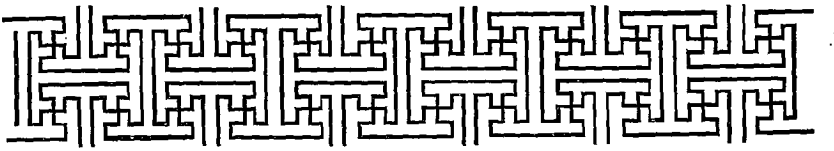
EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHINOIS

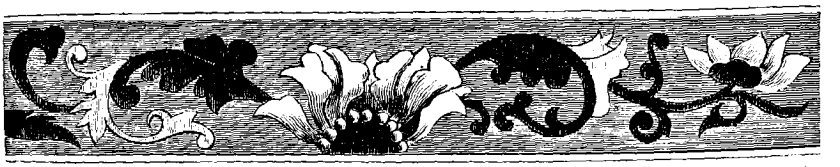
Sauf quelques combinaisons auxquelles les conduit l'emploi du bambou dans l'ornementation des accessoires extérieurs des habitations, les Chinois ne possèdent guère de



206.



207.

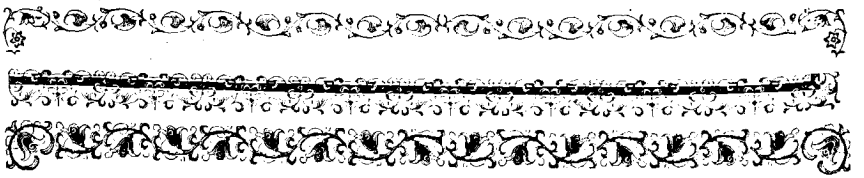


208.

formes purement ornementales ou conventionnelles. Ils emploient presque constamment les représentations littérales des fleurs.

ÉPOQUE MODERNE

La décoration de l'époque moderne puise ses éléments dans tous les styles antérieurs, comme l'industrie y cherche ses modèles pour les diverses fabrications. Il serait



209.

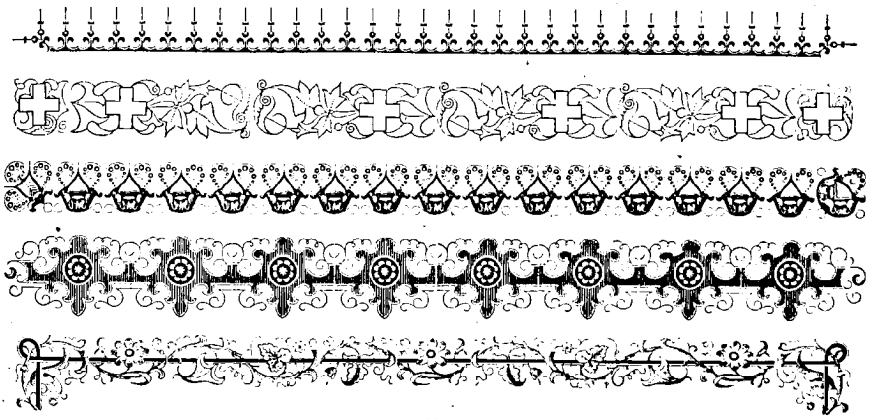
difficile de préciser les voies que suit la fantaisie par quelques échantillons peu nombreux ; toutefois, on peut dire que le souvenir de bien des décorations de la Renais-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

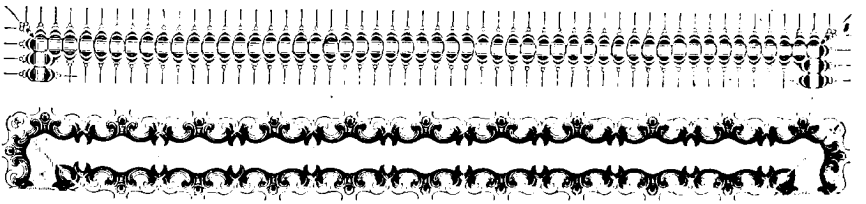
sance se retrouve fréquemment dans l'ornementation moderne, mais avec une interprétation différente. On peut faire rentrer dans cette division assez bon nombre des esemples qui suivent.



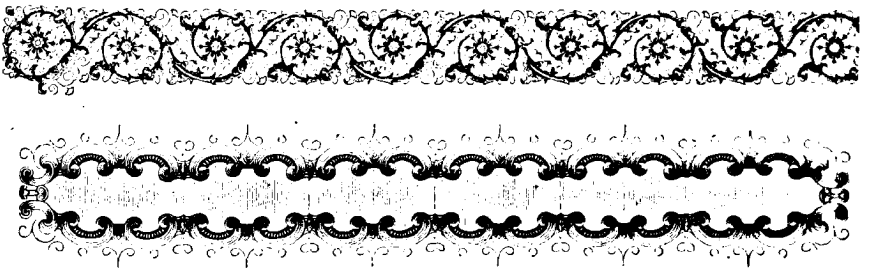
210.



211.



212.



213.



214.

Nous empruntons à l'habile artiste qui a conquis à la France une véritable supé-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

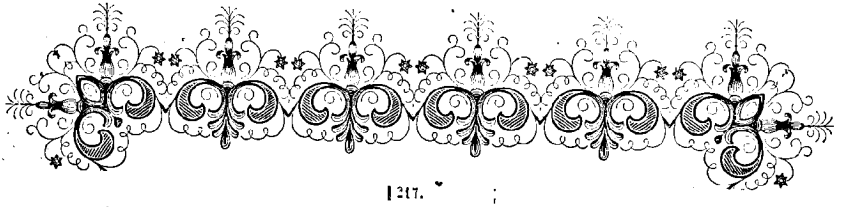
riorité pour la vignette typographique, à M. Derriey, le plus grand nombre des



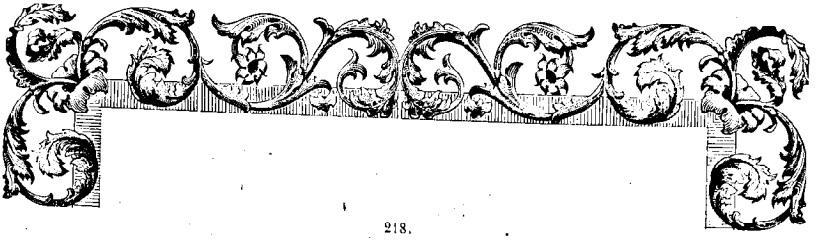
215.



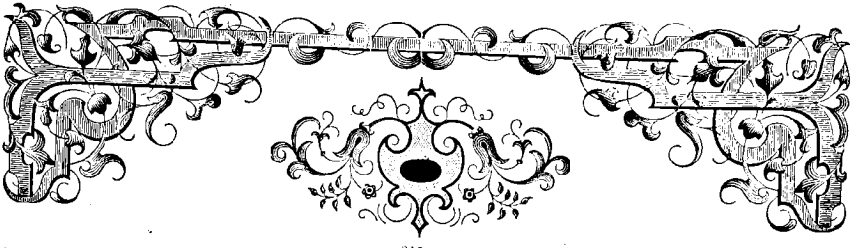
216.



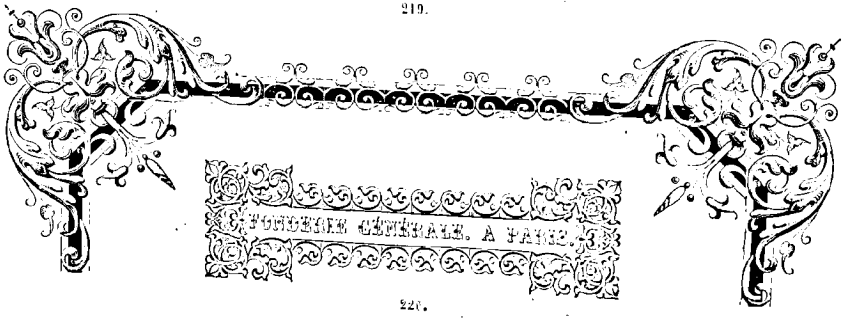
217.



218.



219.



220.

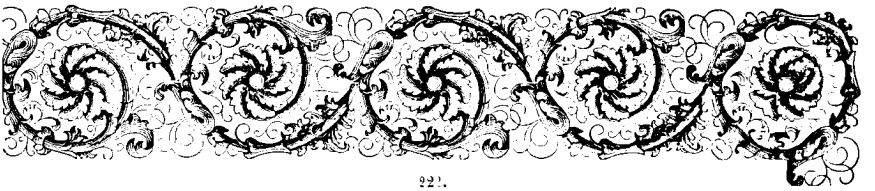
exemples ci-joints propres à faire apprécier l'état actuel de l'art dans cette direction.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

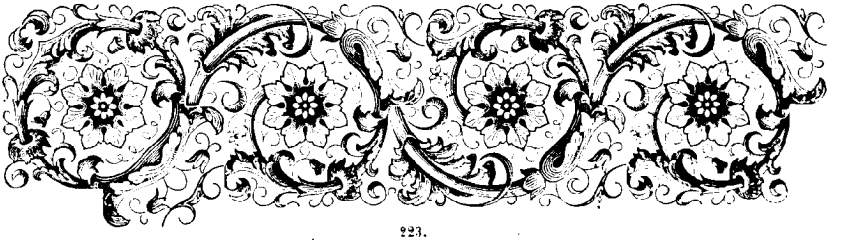
On comprendra en les voyant combien étaient complètes les victoires qu'il a remportées aux dernières Expositions. Rien d'approchant de son œuvre ne pouvait être mis en regard d'elle par aucun artiste d'aucun pays, dans cette spécialité.



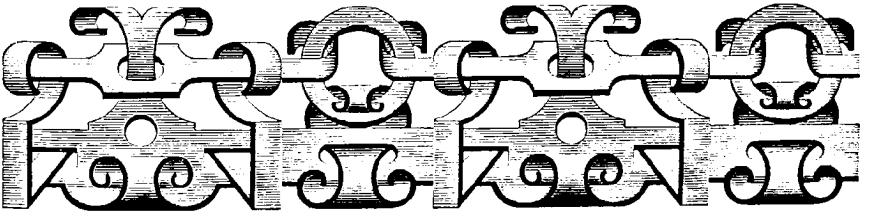
221



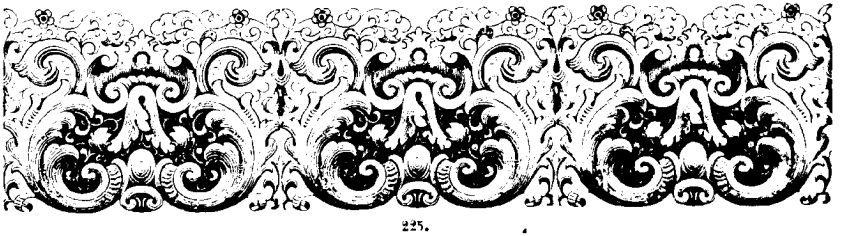
222.



223.



224.



225.

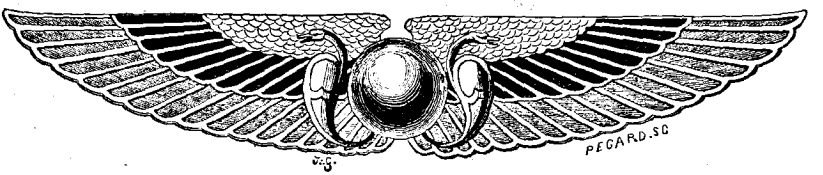
On doit aussi noter l'imitation des fleurs, rameaux, etc., dont nous donnons ci-dessus plusieurs exemples, genre qui, comme nous l'avons déjà dit, convient moins au cas plus particulièrement considéré ici, à la typographie, que de riches combinaisons de lignes, imaginées par la seule fantaisie de l'artiste.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

3° CARTOUCHES, FLEURONS.

Les dessins formant un tout plus complet, ayant une significaton plus précise que les vignettes précédentes, qui ne se multiplient pas par des juxtapositions, au moins le plus souvent, portent bien le cachet d'un style et d'une époque, en ce sens que la manière d'employer les éléments de décoration obéit à une loi déterminée ; mais ces travaux varient complétement en raison du goût de l'artiste et des objets à représenter. Nous n'avons pas à nous y arrêter longuement, car nous arrivons aux limites que nous avons dû nous poser, et la question, dans toute sa généralité, rentre dans l'histoire de la peinture, dont toutes les ressources sont souvent employées pour produire l'ornementation.

Cependant, à plusieurs époques, de petites compositions souvent répétées méritent une mention spéciale, car elles occupent une part importante dans la décoraton. Ainsi



226. Scarabée égyptien.

le Scarabée sacré, figure emblématique des Égyptiens, se retrouve constamment sur les enveloppes des momies, comme il fait partie de la décoration des temples.

Les Grecs et les Romains nous offrent une foule de sujets analogues à l'espèce de trophée de vendanges que nous donnons ici.



227.

A l'époque byzantine, des saints, les têtes de saints garnies d'auréoles, se rencontrent fréquemment.

A la Renaissance, les sirènes, les animaux fantastiques de tout genre, les nymphes, les naïades forment la base de décorations élégantes dont nous donnons un exemple.

C'est principalement dans l'œuvre de décoration si magnifique et si célèbre à juste

EFERUS - Recherche & Classification numérique

titre des accessoires dits arabesques du Vatican (nous en donnerons plus loin un échantillon), que le génie de Raphaël, inspiré avec tant de bonheur par les riches



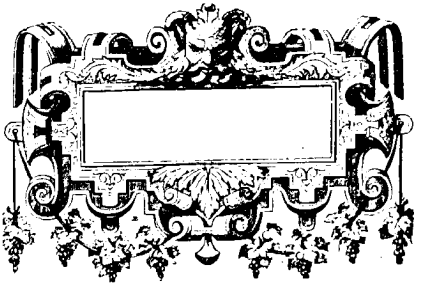
228. Saint-Pierre.

matériaux, les débris de fresques antiques trouvés dans les fouilles de Rome, réussit à réaliser tout un système de combinaisons aussi audacieuses qu'élégantes.



229. Chimère.

Ce curieux assemblage de figures, d'animaux chimériques, d'enroulements; ce dévergondage raisonné de l'imagination produit, grâce à un harmonieux enchaînement, des effets tellement bien cadencés, que l'œil ne peut se lasser de les étudier, l'artiste d'y puiser d'excellents modèles. C'est l'exemple du développement le plus complet de la fantaisie. Nous donnerons, comme rappelant quelques ornementations de cette époque,

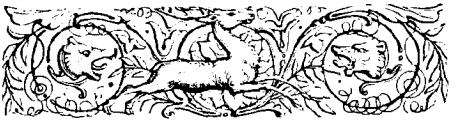


230. Cadre Renaissance.

deux dessins : l'un qui représente un cartouche, l'autre une frise, qui rappelle les décorations du Primatice.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

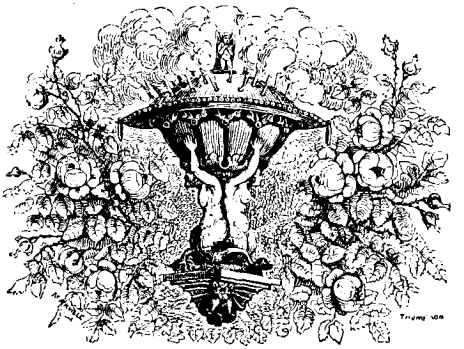
Les premiers cartouches du seizième siècle ont l'apparence de copeaux de bois enroulés. Dans la seconde manière, les combinaisons sont plus étendues; l'enroulement et l'enchevêtrement de deux plans superposés en sont le caractère dominant.



231. Frise Renaissance.

Dans le style de Louis XIV, les trophées de tout genre se répètent à l'infini, trophées d'armes en général, qui, sous Louis XV, deviennent des trophées de houlettes, de tambourins, etc.

Quant à l'époque actuelle, il est impossible, au milieu de la multitude indéfinie de décorations qui sont engendrées par nos artistes, de tous les croquis auxquels leurs crayons donnent naissance, d'indiquer le genre des petites créations que le goût moderne sait multiplier. La profusion de fleurs est un des caractères les plus communs, et nous donnons ici un brûle-parfums sur fond de fleurs qui représente bien ce genre élégant d'ornementation moderne.



232. Brûle-parfums.

En dehors de ces petits sujets, les représentations de scènes animées, les ensembles plus complets, l'éveil des sentiments à l'aide de l'imitation, objet du travail de nombreux décorateurs, appartiennent au domaine de la peinture, de l'art; ce n'est plus de l'industrie.

C'est surtout combinées avec des couleurs, que l'industrie emploie fréquemment les ressources de l'art, les créations pour la décoration; nous y reviendrons en traitant des colorations. Toutefois il est une application fort intéressante pour laquelle l'industrie atteint à une reproduction parfaite : c'est quand on se propose seulement la reproduction du dessin par plusieurs procédés que nous allons passer en revue, en commençant par nous placer au point de vue de ce qu'on est convenu d'appeler l'illustration. Cette question doit intéresser le lecteur, à qui ce livre offre un exemple de toutes les ressources que fournit la gravure en relief pour multiplier à l'infini le nombre des épreuves d'un dessin.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

GRAVURE EN RELIEF

Dans la gravure en relief, on creuse, par un moyen quelconque, toutes les parties qui ne sont pas recouvertes par un dessin tracé sur une substance convenable. Cette substance est l'acier pour la typographie, le bois pour les illustrations, le cuivre dans quelques cas où une finesse et une résistance intermédiaire entre celle du bois et celle de l'acier est convenable, et enfin le zinc, la pierre, etc., pour quelques procédés dans lesquels on a cherché à remplacer, plus ou moins imparfaitement, le travail du graveur par l'action des acides, pour produire des reliefs.

Le rôle de chacune des gravures en relief est bien distinct : la gravure sur acier, plus lente et permettant des retouches multipliées, convient bien pour la gravure des lettres, des vignettes, des traits d'écriture ayant des parties d'une très-grande finesse, quand même l'obligation de frapper des matrices en cuivre ne ferait pas une nécessité de la gravure sur acier. En effet, la résistance de la matière sur laquelle on grave fixe la limite de la ténuité des fins ; et il est bien évident qu'on pourra amener les traits d'une partie saillante d'acier à un degré de finesse auquel on ne pourrait amener un bois sans risquer de l'égrener. De son côté, la gravure sur bois, bien plus hardie, bien plus rapide, a permis de faire entrer dans l'impression des ouvrages de luxe des figures qui, tirées en même temps que le texte, en facilitent singulièrement l'intelligence, sans en augmenter démesurément la valeur. Le présent ouvrage en est un exemple.

La gravure sur bois fut inventée ou introduite en Europe vers le commencement du quinzième siècle (1390-1430) : il y eut à son apparition un grand cri de douleur et de scandale parmi les amis exclusifs de l'art. On était arrivé, à cette époque, au plus haut degré de perfection dans la miniature et dans l'écriture. Les Bibles étaient ornées de petites peintures fines, où resplendissaient les plus riches couleurs; les lettres, les mots, les lignes élégamment dessinés, sur la chair délicate du parchemin, semblaient vraiment vivre et parler aux yeux. Les cartes inventées près d'un siècle avant, sous le règne de Charles-VI, n'étaient pas moins admirables ; mais les livres de dévotion et les cartes étaient rares, hors de prix, et seulement à l'usage des communautés religieuses, des châteaux, et de quelques riches habitants des villes. Tout à coup on vit se répandre avec profusion, dans la bourgeoisie et parmi le peuple, de grossières images de saints rudement esquissées, aux figures contournées et barbares; des rois, des reines de cartes grotesquement croqués et dépouillés de leurs éclatantes robes; c'était la gravure sur bois qui faisait descendre l'art à la portée du plus grand nombre.

La plus ancienne épreuve connue d'une planche gravée sur bois, avec date, paraît être un SAINT CHRISTOPHE, sans marque et sans nom d'auteur, portant une inscription latine et le millésime de 1423. Cette pièce est si grossièrement gravée, elle est d'un dessin si défectueux, qu'il est naturel de penser qu'elle est un des premiers essais de

EFERUS - Recherche & Classification numérique

la gravure sur bois. Une feuille de cartes à jouer qui figure à la Bibliothèque, à Paris, semble remonter à la même époque.

Bientôt des légendes imprimées à l'aide de lettres taillées en relief, comme les figures sur les blocs de bois, accompagnèrent les gravures pour les expliquer, et de là le besoin de la lecture, se propageant peu à peu, mena insensiblement à l'invention des caractères mobiles, et, enfin, à l'imprimerie perfectionnée, qui commença, pour la popularité de la science, la révolution que la gravure sur bois avait commencée pour la popularité de l'art.

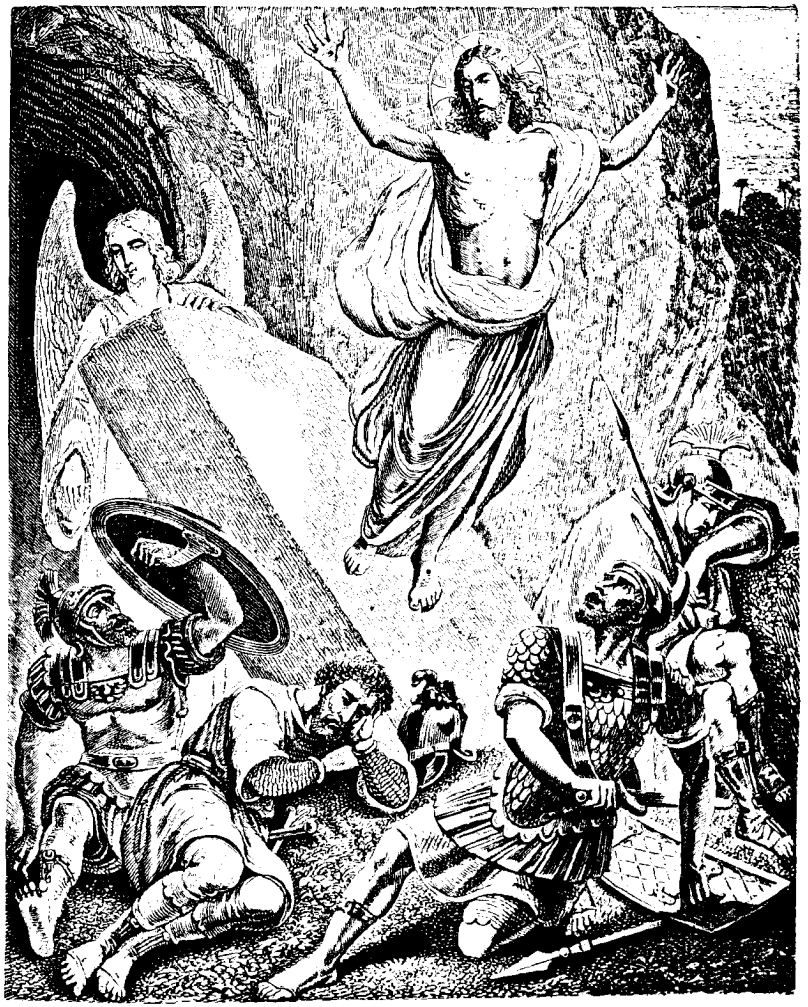


233. Vierge (gravure en fac-simile).

La gravure sur bois, consacrée jusqu'alors à des représentations grossières, devint cependant un art sous l'influence d'Albert Durer, né en 1471 à Nuremberg. Ce grand artiste, ami de Raphaël, dessina des planches d'une admirable beauté : son estampe de la « Mélancolie, » ses « Vierges » font toujours l'admiration des artistes.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La France a possédé quelques artistes distingués qui se sont livrés avec succès à ce genre de gravure ; tels furent Joliet le Suisse, l'Allemand Businck, Boutemont, les Lesueur, et en dernier lieu les deux Papillon. Depuis 1760, époque à laquelle vivait le dernier de ces artistes, la gravure sur bois, pratiquée par des artistes de peu de mérite, fut peu estimée. Elle se faisait sur bois de fil, à l'aide de pointes tranchantes, procédé



211. Résurrection (gravure classique).

qui se prêtait mal à l'exécution de gravures très-fines, comme doivent être celles à intercaler dans les livres pour les éditions illustrées. Son emploi diminuait chaque jour, lorsque Thompson introduisit en France, vers 1815, la nouvelle gravure sur bois inventée par Bervick en Angleterre, et montra tout le parti qu'on pouvait tirer de son emploi pour obtenir les sujets les plus délicats. Ce procédé consistait à graver le bois

EFERUS - Recherche & Classification numérique

non plus parallèlement aux fibres, avec des canifs, des lames coupantes, mais à creuser avec le burin le bois en coupant les fibres, en l'employant debout, par des procédés tout à fait analogues à ceux de la gravure en taille-douce sur cuivre, en profitant de la résistance des fibres dans le sens de leur longueur pour obtenir des traits fins, résistants [1].

Deux procédés de gravure sur bois correspondent aux deux genres de dessin dont nous avons parlé plus haut.

Le premier consiste à imiter le dessin exactement en enlevant, à l'aide de burins, les parties blanches. Ce travail, dit « fac-simile, » s'appliquant le plus souvent à des dessins très-chargés, rentre dans la première classe, c'est-à-dire que le burin produit surtout des teintes, que les lignes sont souvent confuses.

Le second, dit « classique, » dans lequel le graveur a souvent à interpréter des parties lavées ou estompées, se fait avec des outils à faces presque parallèles et en déterminant des lignes de courbure continues, de largeur variable (on n'emploie en général qu'une seule série de lignes de courbure, la plus caractéristique) pour les surfaces convexes; des teintes formées par des lignes parallèles, pour les surfaces plates, les ciels, etc.

Nous donnons, figure 233 et figure 234, deux exemples de cette gravure employée pour des représentations de personnages, afin de montrer toute l'étendue du procédé; le présent ouvrage étant d'ailleurs un spécimen, qui, nous l'espérons, sera jugé satisfaisant de tout point, du second genre de travail appliqué à la représentation des œuvres d'art.

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE

Nous allons compléter maintenant ce qui a rapport au plus important procédé de reproduction du dessin, à l'imprimerie typographique, dont nous avons étudié en partie les productions dans ce qui précède.

L'imprimerie typographique n'a, dans le cas général, à sa disposition qu'une couleur, le noir; mais elle offre l'avantage, au point de vue artistique, de pouvoir, par la nature de l'encre qu'elle emploie, rendre des gravures extrêmement délicates et fines, et en même temps de donner des tons noirs et vigoureux. De plus, les ressources de la fonderie permettent de multiplier, et le principe de la mobilité des types dû au génie de Guttemberg conduit naturellement à juxtaposer, à varier à l'infini les combinaisons des vignettes et éléments divers dont l'imprimerie dispose. Cet avantage n'existe qu'à un moindre degré dans l'impression des étoffes et des papiers peints, où le dessin élémentaire, le cachet, n'est reproduit que par des moyens trop imparfaits pour que sa grande multiplication n'engendre pas de nombreux défauts, ce qui force à le faire d'une certaine grandeur, en rapport avec la largeur de l'étoffe ou du papier.

1. On doit citer, parmi les graveurs sur bois les plus estimés de nos jours, Thompson, Jackson, Orren Smith, Godard, Quartley, Hébert, Brevière, Pisan, Charlet, Laplante, Pégard, etc.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'étude artistique des caractères typographiques, comme celle déjà indiquée ci-dessus des vignettes que peut employer la typographie, est très-intéressante, et n'a jamais, malgré cela, que nous sachions, été essayée.

DES CARACTÈRES TYPOGRAPHIQUES

Nous nous garderons d'entrer ici dans des développements relatifs à la découverte de l'imprimerie, et, nous bornant à ce qui rentre dans notre cadre, nous dirons seulement quelques mots sur les modifications successives qui ont été apportées à la forme des caractères, afin de mieux faire comprendre l'évolution historique qui s'est produite dans tous les éléments d'une industrie que l'on est peu habitué à considérer au point de vue de l'art.

Nous venons de dire comment la gravure sur bois, l'imprimerie tabellaire appliquée aux cartes, aux légendes, a conduit de la reproduction des textes gravés joints aux figures à l'idée de rendre les caractères mobiles, découverte immense par ses résultats, que sut réaliser le génie de Guttemberg.

Au moment de la découverte de l'imprimerie, le type fut fixé d'une manière définitive, ou au moins les modifications devinrent plus lentes, plus difficiles qu'aux époques où les manuscrits régnaient sans partage, où l'action d'un artiste écrivain, pour modifier le goût régnant, pouvait être très-grande. Malgré cela, si on passe en revue quelques monuments des diverses époques célèbres, après comme avant la découverte de l'imprimerie, on voit reparaître d'une manière très-tranchée, bien que non remarquée jusqu'ici, les modifications du goût, les divers styles, qui, en effet, doivent être aussi sensibles dans l'écriture que dans toutes les autres manifestations de l'activité laborieuse.

La moindre inspection fait reconnaître qu'au point de vue de l'art le caractère des inscriptions grecques, tout géométrique, composé seulement de parties rectilignes et de parties circulaires, répond au style grec; celui des manuscrits romans, d'abord altération simple des inscriptions grecques, prend bientôt un aspect tout particulier correspondant non-seulement au moyen spécial de production, à la calligraphie, mais encore au goût régnant; on sent quelque chose au plein-cintre de l'architecture de l'époque. Plus tard on voit l'écriture se transformer et, suivant les changements du goût, prendre les formes du caractère gothique, genre d'écriture adopté généralement au moment de la découverte de l'imprimerie, rappelant évidemment, par la recherche des pointes, les flèches des constructions adoptées partout, et qui répond tout à fait au style gothique, si naturel à l'Allemagne qui a conservé ce genre de types.

Montrons par quelques exemples la vérité palpable de ces propositions :

ΧΡΗΤΗΙ ΑΔΕΛΦΗΣ ΕΜΝΗCΘΗ ΟΝΗCΙΜΑ

Inscription grecque.



Écriture capitale au IVe siècle.

Ce dernier type provient évidemment de l'altération des caractères des inscriptions.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

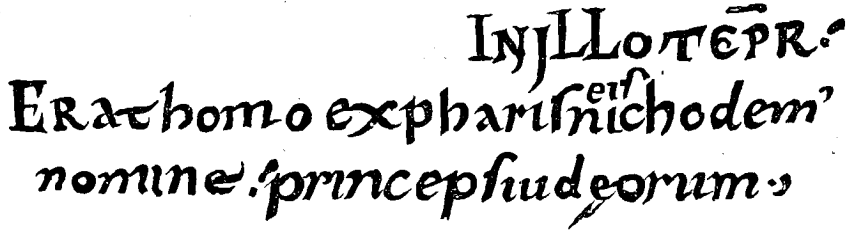
Dans l'exemple ci-après, la forme des lettres s'arrondit dans le goût dominant dans le style roman.



Psautier de Saint-Germain des Prés (VIe siècle).

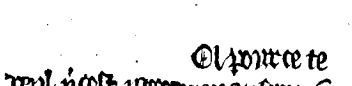


Écriture minuscule de 819.

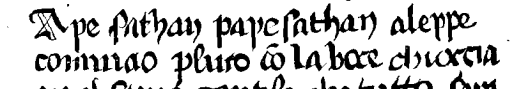


Bible latine du IXe siècle.

La calligraphie modifie de plus en plus les formes et donne naissance aux lettres dites BAS DE CASSE, entièrement différentes des capitales. (Voir plus loin CALLIGRAPHIE.)

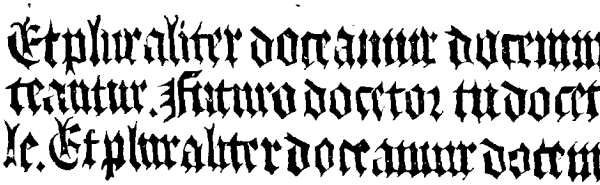


Écriture en minuscules de 1373.



Écriture italienne du XIVe siècle.

Les formes aiguës sont recherchées pour donner de l'élégance aux lettres sous l'influence du style gothique. Nous touchons au moment de l'apparition de l'imprimerie.



Grammaire latine de Donat (édition xylographique attribuée à Faust et Gutemberg).

Les lignes ci-dessus sont une copie du type gothique le plus estimé de l'époque qui vit la découverte de l'imprimerie, et que l'on chercha à reproduire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Enfin nous donnerons un exemple de la forme la plus élégante du type gothique, conservée par les premiers graveurs sur acier.

Les Publicains et les pecheurs vindrent a Jesus affin quilz oyssent sa parole et sa preõication/

Gothique du XVIe siècle en typographie.

Le caractère gothique, naturellement adopté pour les premiers monuments de la typographie, subit bientôt une radicale transformation pour donner nos types actuels, à l'époque de la Renaissance : ce fut l'œuvre de Jenson, graveur de la Monnaie de France, envoyé en 1462 à Mayence, par Louis XI, pour apprendre les secrets de l'imprimerie, et qui, retiré à Venise, grava les beaux types de caractères romains que Garamond prit ensuite pour modèles au siècle de François Ier. Il y réintroduisit les éléments classiques des inscriptions romaines, et cette réforme, cette renaissance est bien de même ordre que toutes les transformations qui ont été alors produites dans toutes les directions de l'art aussi bien que dans l'écriture. Le type romain fut créé à l'aide de la réunion, dans un même alphabet, des minuscules des manuscrits et des capitales romaines, en modifiant en outre quelques formes traditionnelles pour obtenir une facile lecture, une grande régularité, débarrasser les lettres d'accessoires inutiles et les réduire à la combinaison la plus simple possible de parties droites et de parties circulaires. Ce fut Alde Manuce, imprimeur de Venise, qui, bientôt après, grava le caractère italique dit quelquefois « lettres aldines, » complétant ainsi le mouvement de la Renaissance.

Au seizième siècle, Garamond perfectionna la gravure et donna aux lettres des formes qui font encore l'admiration des amateurs de vieux livres, à tel point qu'aujourd'hui ils en arrivent à nier, à tort suivant nous, tous progrès accomplis depuis cette époque. Il est certain, toutefois, qu'on s'est éloigné d'une manière fâcheuse de plusieurs des règles qu'il avait posées, comme nous allons le montrer.

Passons maintenant à l'étude des types des époques plus rapprochées de la nôtre, aux conditions de leur perfection pour notre goût.

Pour beaucoup de personnes, tous les caractères typographiques de même grandeur se ressemblent; ce sont toujours, dit-on, des *a*, des *b*, etc. Si toutefois on met sous les yeux de ces personnes un volume sortant des presses d'Elzévir, ou de quelque autre imprimeur justement célèbre, elles sont frappées de la netteté, de l'élégance des types, à ce point que beaucoup en font collection, non pour les lire, mais comme d'estampes, d'objets d'art. Il y a donc un certain charme, une certaine harmonie dans l'ensemble d'un caractère, dans une page, indépendamment même de l'élégance qui peut appartenir à chaque lettre, car c'est l'ensemble de la page qui paraît admirable aux amateurs. C'est la considération plus spéciale de chacun de ces éléments qui a fait la réputation des deux principales écoles qui ont acquis une juste célébrité en typographie : celle des Elzévirs, dont les types ont été imités en grande partie dans les caractères anglais les mieux réussis dans ces dernières années; celle des Didot et de Bodoni, dernier terme des progrès accomplis en typographie à la fin du dernier siècle, et qui a été célèbre au commencement de celui-ci; aussi ces types ont-ils d'abord servi de guides à la majorité des graveurs français modernes.

Le principe des caractères Didot était de faire les fins des lettres, comme les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

traits horizontaux qu'elles portent pour la plupart, extrêmement minces, ce que permet la gravure sur acier; de rendre continu le passage des fins aux pleins, en en arrondissant les formes, en donnant ainsi à la lettre typographique, autant que possible, l'élégance de l'écriture.

Les Elzévirs, qui employaient les types de Garamond, et à leur imitation les Anglais, notamment Baskerville qui, au siècle dernier, améliora les types et indiqua la voie qui a été suivie depuis avec succès, ont sacrifié la forme de la lettre, quand il était nécessaire, à la netteté de la ligne, tenant surtout très-fortes les parties horizontales des lettres, soutenant les empâtements qui donnent le sentiment net de leur alignement.

Nous prions le lecteur de se reporter à quelque belle édition des Didot pour juger le premier système; le caractère de ces pages, fourni par Caslon (de Londres), lui permet d'apprécier le second.

Le problème à résoudre aujourd'hui consiste à donner les avantages de ces deux systèmes aux nouveaux caractères, en faisant dominer toutefois tout ce qui peut contribuer à la netteté de la typographie, à l'éclat de l'impression, car cette condition doit passer avant toute autre. C'est ce qui a été tenté dans les caractères les mieux réussis en Angleterre et en France, trop incomplétement à notre avis dans notre pays, où cependant les types Didot sont abandonnés, et le mérite des anciens types bien apprécié aujourd'hui.

C'est ainsi qu'on a vu à l'Exposition de 1862 M. Claye, imprimeur distingué, qui, voulant donner à ses impressions un cachet de supériorité au point de vue de la composition semblable à celui qu'il avait su leur donner comme tirage, a exposé de vieux types pareils à ceux du dix-septième siècle. Un imprimeur de Lyon, L. Perrin, a fait encore plus radicalement la même révolution et avec un égal succès. Il a fait graver une série très-complète de ces vieux caractères. Voici ce que nous écrivions à ce sujet comme rapporteur du Jury :

« On a pu différer d'opinion sur le mérite de cette tentative, mais ce qu'il faut constater, c'est qu'elle a été couronnée de succès, et que nombre de publications importantes ont été dirigées sur Lyon, pour y être exécutées avec les types de M. Perrin.

« Si nous cherchons à apprécier l'importance de ce mouvement, en apparence rétrograde, nous remarquerons d'abord que, dans tous les cas où il s'agit de réimpressions d'ouvrages anciens, de publications archéologiques, les vieux caractères s'harmonisent évidemment mieux avec les vieux textes que nos types modernes; que Rabelais, par exemple, sera certainement très-convenablement reproduit avec des caractères anciens, un peu rustiques, comme cet auteur.

« Pour les impressions de livres modernes, nous ne saurions admettre que la gravure des anciens caractères ait atteint la perfection absolue de l'art, et nous pourrions signaler bien des imperfections évidentes. Nous pensons cependant que l'on doit applaudir à une tentative de retour vers la fermeté typographique que nous admirons dans les éditions des Elzévirs, que les Anglais ont su conserver dans leurs meilleurs types, et dont nous nous sommes à tort écartés, surtout depuis le commencement du siècle, pour poursuivre l'élégance de chaque lettre en en exagérant la finesse. Cette voie peut conduire à de bons résultats lorsqu'il s'agit d'écriture à la plume, mais non en typographie.

« On voit d'après cela que ce n'est nullement par une prévention favorable aux produits étrangers que nous avons dit que nous avions d'utiles emprunts à faire aux types

EFERUS - Recherche & Classification numérique

anglais; c'est uniquement parce qu'ils représentent les types anciens améliorés, parce qu'ils ne sont pas sortis de la tradition consacrée par de nombreux chefs-d'œuvre.

« La confirmation que nous avons trouvée pour la thèse que nous soutenons ici, dans le succès des vieux types imités avec tous leurs défauts, n'est pas la seule; il en est une autre que manifestaient d'une manière incontestable les expositions des premiers éditeurs de l'Allemagne. Leurs publications faites il y a quelques années avec des types français, fondus au moyen de matrices que nos graveurs vendent à bon marché, étaient en général assez médiocres. Un progrès très-notable s'est accompli dans ces dernières années, et la fabrication allemande est devenue, en général, très-satisfaisante. Mais, chose bien remarquable, le point de départ de ce progrès a été l'abandon complet des types français et leur remplacement par des types du genre anglais. On trouverait difficilement aujourd'hui en Allemagne un ouvrage, nouvellement imprimé avec quelque luxe, qui le soit avec d'autres caractères.

« Le jugement de l'Allemagne, parfaitement désintéressée dans la question, ne cherchant que la netteté, la beauté typographique, nous paraît sans appel, et nous semble indiquer la voie du véritable progrès, que l'habitude peut seule nous empêcher de reconnaître.

« Il prouve que, pour les gens non prévenus, la lettre anglaise, taillée, pour ainsi dire, à la hache, ayant des fins de peu de longueur, des empâtements forts et soutenus, donne plus facilement de bonnes impressions que nos types dans lesquels nous cherchons à prolonger le passage des fins aux pleins; elle procure plus sûrement cet éclat de la page imprimée, qui se compose à première vue de lignes plutôt que de lettres, cette netteté enfin que l'on recherche avec grande raison. »

Les questions dont nous venons de parler ne sont pas les seules qu'on puisse traiter au point de vue de la gravure des caractères, mais ce sont les plus importantes. Nous dirons seulement quelques mots des autres déjà indiquées à l'article GRAVURE.

La fabrication des journaux, des éditions à bon marché, a fait naître, en France, les caractères compactes, c'est-à-dire dans lesquels les courtes *m*, *o*, etc., ont grandi relativement aux longues *b*, *d*, etc. Après avoir exagéré ce résultat, qui permettait d'employer pour une page un caractère plus gros à l'œil sans changer le nombre de lignes, on s'est arrêté à un accroissement réel des lettres courtes, à la limite qu'on ne peut dépasser sans amener la confusion, lorsque le blanc devient insuffisant entre les lignes.

La nécessité de faire tenir des vers dans une ligne avait fait créer depuis longtemps des caractères dits poétiques, dans lesquels l'*o* et les rondeurs étaient allongées, contrairement au principe paraissant inviolable autrefois, par on ne sait trop quelle prétention à une détermination mathématique des formes des lettres, que l'*o* d'un caractère devait être un cercle parfait. L'œil s'est habitué à cette forme, plus gracieuse que la circulaire, et on a pu ainsi obtenir des formes inscrites dans un rectangle sûrement plus élégantes.

Enfin, l'adoption des poétiques compactes eût rendu la page trop noire, si on n'eût en même temps amaigri toutes les lettres des caractères.

Nous ne parlons pas ici des caractères allemands. Par amour de la tradition, le type de style gothique a été conservé jusqu'à ce jour en Allemagne; nous croyons que c'est un tort; c'est, par un patriotisme exagéré, nier le progrès accompli depuis le quin-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

zième siècle dans tous les arts, et nous faisons des vœux pour que les essais tentés par divers savants, et notamment par les frères Grimm, pour faire adopter à l'Allemagne les types du reste de l'Europe, soient couronnés de succès.

Quant aux Orientaux, qui possèdent d'admirables manuscrits, la forme de leurs caractères, toute différente de celle des nôtres, ne nous permet pas de les apprécier sûrement; toutefois on sent en eux le style oriental, la similitude avec l'arabesque et l'ornementation orientale avec laquelle ils se mélangent si bien.

Ce résumé montre combien de questions d'art et de goût se rattachent à la gravure des caractères; c'est ainsi que, dans cette industrie comme dans toutes les autres, dans une de celles qui doit paraître la plus simple aux personnes qui y sont étrangères, le goût de chaque époque vient se faire sentir, et qu'il y a toujours de nouveaux progrès à effectuer.

INITIALES ET LETTRES DE FANTAISIE

Pour compléter ce qui est relatif à la typographie, nous devons dire quelques mots des initiales qui servent pour les titres, et quelquefois sont placées au commencement des chapitres, comme les majuscules qui ornaient les manuscrits. Ces initiales, provenant directement de la tradition des inscriptions romaines, ont été variées à l'infini quant aux proportions de graisse, de largeur relative des lettres, pour disposer les titres suivant des formes convenables, car ils plaisent en raison de l'espacement, de la grandeur relative des caractères, de la longueur des lignes, etc. Nous donnons ici deux des types les plus justement appréciés.

MONTAUBAN

BOURGUIGNONS

Les types ci-dessus appartiennent à la pure tradition classique, c'est-à-dire qu'on n'a pas sacrifié, dans leur gravure, à la fantaisie qui règne pour la création des lettres employées pour des œuvres de goût, des actions, des factures, etc. On a, pour ces cas divers, créé nombre de types, qui ne sont pas tous de bon goût, il s'en faut, mais qui, lorsqu'on sait les employer, donnent une grande variété et un grand charme aux produits de la typographie.

Ne relevant que de la fantaisie, les créations de ce genre ne peuvent pas être considérées comme assujetties à des règles quelconques. Pourtant il est une série assez notable qui peut être classée à part, à savoir celle des caractères dont on rend l'épaisseur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

des pleins très-grande, pour les employer à faire des lignes de titre extrêmement saillantes à l'œil. Telles sont les Normandes (dont nous donnons ici deux lignes), où

Normandes.

Les monuments égyptiens portent gravés sur les murailles une foule de scènes, et, par suite, différentes formes de meubles.

l'épaisseur des pleins est grandement augmentée, les Égyptiennes, dans lesquelles les parties habituellement fines sont également rendues épaisses. Inversement, des lettres

Égyptiennes.

Les magnifiques soubassements des monuments de la capitale

AVENTURIERS DE L'ESTRAMADURE

très-maigres tranchent sur les caractères ordinaires, telles sont les Capillaires, dont ci-joint un échantillon.

Capillaires.

La Belgique est une partie de l'ancienne Gaule. Les Belges, Germains pour la plupart, étaient fiers, accoutumés à braver les fatigues et les périls; ils furent les derniers qui purent être soumis à leurs vainqueurs

Parmi les lettres de fantaisie proprement dites, nous donnerons un certain nombre

Lettres blanches.

HISTOIRE DE LA FRANCE MARITIME MILITAIRE ET COMMERCIALE

DISCOURS SUR LE CHRISTIANISME

HISTOIRE DU NOUVEAU MONDE. LA JÉRUSALEM

Antiques ornées.

EMBARCADÈRE DU CHEMIN DE FER DE ROUEN

Antiques larges.

PARIS, ROME, FLORENCE

Allongées ornées.

REVUE MUSICALE ET ARTISTIQUE

d'exemples pour faire apprécier, par un choix suffisant, les variétés nombreuses que

EFERUS - Recherche & Classification numérique

nos graveurs ont créées. Nous montrons des lettres blanches, ombrées, antiques ornées, etc., etc.

Ottomanes.

LES MONARCHIES

LE CHEMIN DE

Prismatiques.

HONORABLE

Le champ de ces créations est celui de la fantaisie, c'est-à-dire évidemment indéfini.

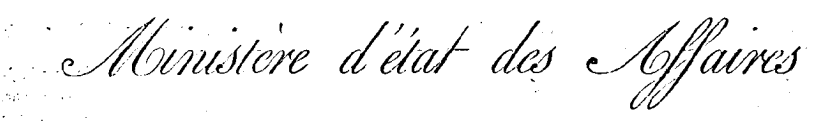
CALLIGRAPHIE

L'écriture est de la nature du dessin, et constitue un produit artistique qui a subi des transformations multiples bien plus nombreuses qu'on ne peut l'imaginer, telles enfin que les connaissances nécessaires pour la lecture des chartes et anciens manuscrits constituent une science spéciale dite « paléographie [1]. »

1. Toutes nos écritures européennes dérivent de celles des Romains, dit M. Merlin dans son savant rapport sur l'Exposition de 1855 (qui nous paraît un travail très-remarquable, dont nous reproduisons ici les considérations générales), qui avaient reçu eux-mêmes leurs lettres des Grecs, lorsque ceux-ci étaient déjà arrivés à un haut degré de civilisation. Il ne nous est parvenu aucun vestige de l'écriture cursive des Romains, antérieurement à la chute de la République; mais la pierre et l'airain, la brique et l'argile, nous ont conservé sur les monuments, sur les médailles, sur les armes et sur divers ustensiles de la vie privée, la forme des lettres tracées à main posée. Ce n'est guère que du troisième au quatrième siècle de l'ère chrétienne, que le temps a épargné quelques livres manuscrits et quelques rescrits impériaux, qui nous permettent de juger de l'écriture latine; on y reconnaît que les Romains avaient quatre sortes d'écritures: celle des monuments, celle des livres, celle des actes émanés de l'autorité et celle de la vie privée. Les caractères qu'on trouve sur les monuments sont généralement des capitales; les livres étaient écrits soit en lettres capitales,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Il serait oiseux de nous étendre beaucoup sur les œuvres de nos calligraphes modernes; il faudrait étudier bien des fantaisies calligraphiques prétentieuses qui n'ont aucune valeur artistique. Nous ne nous occuperons ici que de l'écriture courante, que depuis les derniers progrès on appelle « anglaise » dans notre pays. C'est dans la régularité de la pente, dans le passage graduel du plein au fin, que s'obtient la grâce de cette écriture. Nous en donnerons un exemple par une ligne d'anglaise Firmin Didot,



chef-d'œuvre de la typographie moderne, tant par l'élégance de sa gravure que par l'heureux système de sa composition.

Depuis quelques années on a essayé quelques caractères plus droits ou plus penchés



qui ne manquent pas de grâce. Nous donnerons ici un exemple d'un des plus élégants.

soit en lettres onciales, qui ne différaient, en réalité, des premières que par des formes plus arrondies et par de légers changements destinés à en rendre le tracé plus facile et moins lent. Quant aux écritures des rescrits et autres actes publics, les caractères en étaient tellement liés et entrelacés, ils présentaient des formes si différentes de celles des lettres employées dans les livres, qu'ils semblent, au premier coup d'œil, ne point appartenir à l'alphabet latin. Pour l'écriture de la vie privée, nous manquons de monuments, mais il est vraisemblable qu'elle était celle des livres, sauf les altérations que pouvait y produire la rapidité et l'inapplication habituelles dans les écritures cursives. Cette opinion semble d'autant plus probable, que Quintilien conseille, pour l'enseignement de l'écriture aux enfants, l'usage de tablettes de cuivre où des lettres modèles étaient gravées en creux, pour que la main des enfants en suivant, avec la pointe du style, les contours de ces lettres, prît l'habitude de bien former les caractères.

La forme des capitales et des onciales, telle qu'elle était au quatrième siècle, époque de: plus anciens manuscrits latins qui soient parvenus jusqu'à nous, se maintint assez pure jusqu'au septième; c'est d'elle que dériva la minuscule latine. Quant aux diplômes, ils avaient fini par devenir tellement indéchiffrables, que Charlemagne crut devoir ordonner, pour toutes les écritures, le retour aux formes pures des types romains. C'est cette réforme qui donna lieu à l'écriture désignée en diplomatique sous le nom de *caroline*.

Nous ne suivrons pas la forme des lettres latines dans les altérations successives introduites par le goût des différents peuples qui ont adopté cet alphabet depuis le démembrement de l'empire romain; nous ne parlerons pas des écritures mérovingiennes, anglo-saxonnes, lombardes, carolines et capétiennes, dont les noms rappellent les époques où elles furent en usage; mais nous donnerons un moment d'attention aux écritures improprement nommées gothiques, dont la mode semble reprendre aujourd'hui avec le goût du moyen âge.

Lorsque, au milieu du seizième siècle, parurent les premières productions de l'admirable invention de Guttemberg, toute l'Europe occidentale faisait usage, déjà depuis longtemps, pour les monuments et pour les livres, de cette forme de caractères allongés, dont les jambages, terminés à leurs extrémités par des brisures angulaires, ne se liaient entre eux que par les pointes de ces angles. Cette écriture, qui, bien exécutée, ne manque pas de grâce, n'était pas née tout d'un coup; ses caractères distinctifs, la brisure et les angles, avaient des précédents, et l'écriture lombarde brisée du dixième siècle en offrait des exemples. La gothique, en les adoptant, en avait régularisé les formes et les proportions. C'était surtout en Allemagne et dans le nord de l'Europe que la longueur des jambages et la forme anguleuse des brisures étaient plus exagérées, comme on le voit par les inscriptions tombales et par les impressions de Guttemberg, qui furent la copie fidèle des manuscrits que cet inventeur voulait reproduire.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TRAITS D'ÉCRITURE. — Les calligraphes, en prenant l'habitude de créer des lignes agréables à l'œil, ont tenté de les encadrer de petites compositions à la plume, dites traits d'écriture. La typographie, qui a fixé les premiers types en les soumettant à des procédés de reproduction indéfinie, a rendu le même service aux traits d'écriture, en surmontant de grandes difficultés de fabrication toutes spéciales, pour permettre le mélange des caractères et des traits. Il y a là quelque intérêt à voir ainsi fixer des com-

Mais, dans le Midi, les caractères étaient moins longs, plus carrés et les angles plus adoucis. Une troisième gothique, principalement usitée en France, était issue de cette deuxième; moins large qu'elle, mais moins aiguë et moins longue que la première, elle n'avait pas la lettre a à double panse que nous avons adoptée; cette lettre y avait à peu près la forme de notre a italique; le *f* et le *s* descendaient au-dessous de la ligne, et l'ensemble de l'écriture se rapprochait beaucoup de l'ancienne minuscule romaine. Les jolies Heures du seizième siècle, écrites en Italie et en France, sont généralement de ce caractère.

Il importe donc aux calligraphes qui veulent employer dans leurs ouvrages les écritures gothiques de se rendre compte de ces différences, pour ne pas commettre de ces mélanges monstrueux dont les imitateurs vulgaires des anciennes écritures ne se rendent que trop souvent coupables, et qui n'offensent pas moins le bon sens que le bon goût.

Les trois espèces de gothique dont nous venons de parler n'étaient que des écritures à main posée, des caractères pour les monuments ou les livres, mais la cursive, qui a besoin de rapidité, ne leur ressemblait en nulle façon. En France c'était une écriture vermiculaire, une espèce de réseau de ligatures, rendues encore plus difficiles à déchiffrer par des abréviations fréquentes et souvent arbitraires. On peut en avoir quelque idée par les anciens caractères dits *de civilité*, ainsi que la cursive actuelle des Allemands. La ronde du dix-septième siècle, qui en dérive, présentait encore dans les ligatures de nombreuses traces de son origine.

A la même époque, l'Italie, qui s'était préservée des brisures anguleuses de la gothique septentrionale, avait plusieurs cursives d'un tout autre goût que les nôtres, et qu'on peut distinguer en deux classes principales, les écritures de chancellerie et les écritures de commerce.

Les caractères de chancellerie avaient des formes assez allongées, les liaisons généralement un peu aiguës, et les queues supérieures ou hastes des lettres *b*, *d*, *f*, *h*, *l*, très-longues et courbées vers le haut comme une palme, avec un renflement qui les terminait. Quant aux écritures de commerce (*lettera merchantile*), le principe en était tout contraire. Les lettres en étaient aussi larges que longues, les formes arrondies, les hastes courtes et bouclées, et le corps de l'écriture vertical et sans pente, à peu près comme notre ronde d'aujourd'hui. Ces dispositions les rendaient plus rapides à tracer. Palatino donne un assez grand nombre de spécimens de ces écritures commerciales, la *romaine*, la *milanaise*, la *vénitienne*, la *florentine*, la *siennoise*, la *génoise*, la *bergamasque*, l'*antique*; mais les différences entre elles sont légères; le caractère distinctif en est toujours l'absence de pente, la rondeur des formes et la liaison par des boucles.

Les formes des écritures de chancellerie se réduisent à quatre principales: la *chancelleresque commune*, l'*écriture des brefs* (lettera di brevi), la *chancelleresque bâtarde* et la *chancelleresque de forme* (cancellaresca formata). La chancelleresque commune est celle dont nous avons décrit plus haut les caractères distinctifs; l'écriture des brefs n'en différait guère que par moins de longueur dans les hastes; elle était aussi moins anguleuse; la chancelleresque bâtarde avait les hastes courtes comme l'écriture des brefs, mais sans courbure supérieure, et le renflement arrondi du haut des hastes était remplacé par un léger trait initial à gauche; enfin la *cancellaresca formata* ressemblait à la *cancellaresca bastarda*, mais le haut des hastes n'avait pas de trait, les pleins commençaient à plume pleine et les liaisons étaient très-arrondies.

La beauté de ces diverses écritures, que l'absence presque totale de ligatures abréviatives, ainsi que la forme très-distincte des lettres, rendraient faciles à lire, les fit bientôt adopter par toutes les nations, qui, après la chute du gothique, revinrent à l'alphabet latin; mais chaque pays les accommoda à son goût. Ce furent d'abord les Français et les Espagnols qui les imitèrent et les Anglais n'y revinrent que très-longtemps après. Quant aux Allemands, ils restèrent, pour les livres, fidèles aux formes gothiques en les modifiant aussi à leur fantaisie, et ils firent adopter ce gothique nouveau aux Danois, aux Suédois, aux Bohêmes, et à quelques autres peuples, leurs voisins. Pour leur cursive, ils ont continué jusqu'à ce jour à se servir de l'écriture courte et bizarre qui ressemble à notre caractère de civilité.

C'est la *cancellaresca bastarda* qu'Alde Manuce semble avoir prise comme modèle pour sa jolie italique gravée par François de Bologne et qui fit sa première apparition dans le monde typographique par le Virgile in-8° de 1501. La chancelleresque de forme (*cancellaresca formata*) est évidemment l'écriture que les Français ont imitée pour créer cette belle bâtarde du dix-septième siècle, devenue, depuis, notre deuxième écriture nationale, et que le célèbre Barbedor, dans les beaux modèles qu'il en donne, nomme *italienne bâtarde*.

Nous devons donc à l'Italie notre bâtarde, mais elle ne paraît point avoir figuré parmi les écritures françaises avant le dix-septième siècle, car le Gangneur ne la mentionne pas dans son Traité de l'écriture française (*Technographie*, 1599), et l'exemple qu'il en donne se trouve à la page 28 de ses Éléments de l'écriture italienne (*Rizographie*, 1599). Selon lui les Italiens appelaient cette lettre *formata*, et il ajoute: *On s'en sert fort rarement si ce n'est à écrire livres.* Avant

EFERUS - Recherche & Classification numérique

positions passagères, dont il est juste de dire, toutefois, que la gravure en taille-douce a beaucoup multiplié les modèles. Nous en donnons un exemple emprunté aux travaux d'un artiste mort bien jeune, E. Pradelle, groupés autour des initiales d'un type célèbre connu sous le nom de GOTHIQUE ORNÉE, gravé par Firmin Didot.

lui Palatino avait dit: *Questa lettera tondetta non serve se non per scrivere qualche librettino.*

La calligraphie française ne fut pas cependant complétement soustraite au joug gothique; l'écriture vermiculaire des siècles précédents avait servi surtout dans les actes publics, dans les contrats et dans les mémoires de justice. L'usage en resta encore dans tout le dix-septième siècle. Aussi, comme la lecture en était nécessaire à presque toutes les conditions de la société, l'enseignement de cette lecture entrait dans l'éducation des enfants, et, jusqu'au commencement du dix-neuvième siècle, on la leur montrait en les faisant lire dans un volume intitulé *Civilité puérile et honnête*, dont la première édition, imprimée en 1556 avec ce même caractère d'écriture gravé par le célèbre Granjon, se réimprimait chaque année dans les mêmes types. Chacun apprenait ainsi, dès l'enfance, ses devoirs envers ses parents et envers la société, et en même temps la lecture d'un caractère difficile qu'il avait encore besoin de connaître.

Cette ancienne cursive fut l'origine d'une autre écriture nommée, au dix-septième siècle, *française* et *financière*, et que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de *ronde*. La ronde a pris de la cursive gothique ses liaisons qu'elle a arrondies davantage, une partie de ses ligatures, sa direction verticale et la forme de presque toutes ses lettres. Les maîtres français lui ont donné des pleins proportionnés avec une longueur égale à sa hauteur, et l'ont soumise à une régularité géométrique. Non moins belle que la bâtarde, bien que d'un aspect tout différent, cette écriture, véritablement nationale par son origine, est d'un brillant effet, surtout dans la composition d'un titre. Elle fut fixée, dans ses proportions et dans ses formes, par arrêt du parlement en date du 26 février 1633, d'après les modèles écrits par Barbedor, comme la bâtarde le fut également, par le même arrêt, sur les modèles tracés par Le Bé.

Si la bâtarde française est née de l'écriture italienne, l'anglaise d'aujourd'hui en descend également. Ce fut, dans l'origine, notre bâtarde écrite avec une plume très-fine et très-fendue qui donnait à la main le moyen d'obtenir, par une simple pression, sans mouvement des doigts, des déliés très-délicats et des pleins très-nourris, d'où résultait une vive opposition, semblable à celle qui, dans le domaine de la gravure, a fait la vogue des vignettes anglaises. Brillante quand elle est posément tracée par une main habile, l'anglaise devient maigre et disgracieuse lorsque la plume court rapidement sur le papier; sa pente et ses liaisons lui permettent, il est vrai, une exécution rapide, mais elles lui donnent aussi une extrême facilité à se déformer.

La pente de l'anglaise et la finesse de ses déliés ont séduit les Allemands eux-mêmes; tout en conservant la forme primitive de leurs lettres cursives, ils leur donnent aujourd'hui une pente contraire à celle qu'elles avaient autrefois, et l'extrême ténuité des déliés ajoute encore à la difficulté de la lecture.

Il n'y a pas jusqu'à l'écriture nationale des Russes qui ne se soit laissé envahir par cette anglomanie. Verticale et carrée sous son réformateur Pierre le Grand, elle a, plus tard, adopté la pente et les angles arrondis de notre bâtarde, avec laquelle elle a, en effet, de grands rapports; et aujourd'hui elle perd son caractère grave et sa grâce sévère, en imitant la coquetterie des déliés de l'anglaise.

L'exagération dans la finesse des déliés a gagné aussi les caractères typographiques, au grand regret des vues faibles et au détriment des imprimeurs, dont les fontes seront plus rapidement hors de service. Cette affectation d'élégance a été portée à un tel excès, que les hommes de l'art eux-mêmes s'en sont alarmés. Depuis plusieurs années ils demandent le retour à des types plus graves et plus en harmonie avec le bon goût et avec la véritable destination des livres qui, avant tout, sont faits pour être lus et pour être lus sans fatigue.

Tous les perfectionnements, changements ou altérations de l'écriture, depuis le quinzième siècle, ne sont pas dus à la main seule des calligraphes. Trois inventions célèbres, qui datent de ce même siècle, y ont également une grande part; ce sont la gravure en bois, l'impression en taille-douce et la typographie. En multipliant les bons modèles et les répandant partout, la gravure en bois d'abord, et la taille-douce plus tard, ont donné le goût et facilité l'étude des belles écritures. Quant à l'imprimerie, fille de la calligraphie, qui lui prêta d'abord les plus belles formes, elle ne tarda pas à payer envers sa mère la dette de la reconnaissance en contribuant à ses progrès ultérieurs, et, si la calligraphie moderne aime à inscrire, à côté des noms de ses grands maîtres, ceux des graveurs dont l'échoppe ou le burin ont reproduit, sur le bois ou le cuivre, les beaux modèles de ses plus habiles mains, elle ne pourrait sans ingratitude méconnaître ce qu'elle doit aux artistes qui perfectionnèrent le type d'imprimerie, depuis Guttemberg jusqu'à nos jours. Ce n'est pas seulement, en effet, par les beaux caractères d'écriture que gravèrent successivement Granjon, Senault, Moreau, Le Bé, Fournier et les Didot, que la typographie a bien mérité de la calligraphie, c'est surtout en la dégageant du mauvais goût gothique et des ornements superflus qui la défiguraient, et dont les procédés de la fonderie n'admettaient pas, du reste, l'exécution. Reconnaissons aussi que ces obligations furent réciproques, car souvent les meilleurs graveurs de poinçons furent eux-mêmes d'habiles écrivains, à commencer par Schœffer, qui exerçait à Paris, en 1449, l'art de la calligraphie.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les difficultés de l'entrelacement des traits et des types de forme rectangulaire



ont été, on le voit, habilement levées grâce aux derniers progrès de la fonderie typographique.

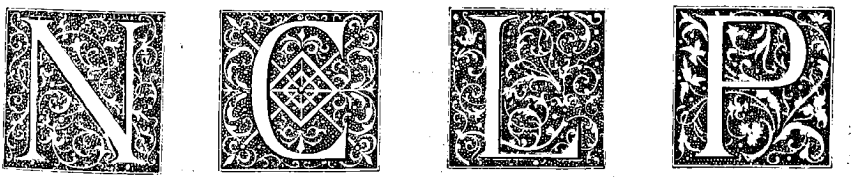
EFERUS - Recherche & Classification numérique

INITIALES D'ANCIENS MANUSCRITS

Les manuscrits anciens et même les premiers livres imprimés étaient illustrés à l'aide d'initiales dessinées en général sur un fond bleu ou un fond d'or, quelquefois avec des compositions formant de petits tableaux, des miniatures dont nous parlerons plus loin, en traitant de la peinture aux diverses époques, car ces compositions très-étudiées étaient les véritables tableaux du moyen âge.



235.



236.



237.



238.



239.



240.

Nous ne reproduisons ici que quelques lettres choisies parmi les plus simples qui ornent des têtes de chapitres, tant des manuscrits que des premiers livres où l'on

EFERUS - Recherche & Classification numérique

essaya de remplacer les miniatures par des gravures. Elles ont tellement varié aux diverses époques qu'on pourrait classer les manuscrits par les types principaux des initiales placées en tête des chapitres. Sans doute les artistes calligraphes dans ces créations obéissaient à leur fantaisie, mais toujours sous l'influence du goût, du style de l'époque où ils vivaient.

De nos jours on emploie rarement des initiales ainsi ornées ; ce n'est que pour quelques ouvrages illustrés qu'on en voit quelquefois. Elles se détachent alors en général sur un petit dessin qui est une véritable composition ayant plus ou moins de rapports



241.

avec le texte de l'ouvrage. Quelquefois elles empruntent leurs ornements soit à des fleurs, soit à des personnages de fantaisie, comme dans les exemples ci-dessus.

GRAVURE EN TAILLE-DOUCE

ET LITHOGRAPHIE

Nous parlerons bientôt, en traitant des nielles employées dans la décoration de la bijouterie, comment elles ont conduit à l'invention de la gravure en taille-douce ; laissant de côté la question historique de l'invention, nous dirons que le travail des planches de cuivre ou d'acier, pour y creuser les lignes d'un dessin, comprend deux procédés correspondant aux deux genres de dessin dont nous avons parlé.

Le premier est la gravure à l'eau-forte, dans lequel on fait creuser le métal par la morsure d'un acide qui attaque les parties du métal, préalablement découvertes à l'aide d'une pointe qui a tracé le dessin sur une planche recouverte d'un vernis adhérent. Cette action de l'acide, toujours quelque peu irrégulière, formant un trait de largeur constante, n'est évidemment pas convenable pour créer des lignes nettes et fortement accusées par des largeurs variables.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Le second constitue la gravure au burin conduit directement par la main de l'artiste : c'est ainsi qu'ont été produites les œuvres des maîtres; c'est dans leurs travaux que peut se reconnaître l'avantage de l'emploi bien entendu des lignes de grande courbure pour reproduire de la manière la plus satisfaisante des corps de toute forme, par un mode de représentation mieux saisissable que tout autre et qui assurera toujours la supériorité des grandes œuvres sur les plus admirables résultats de la photographie et autres procédés qui ne peuvent fournir que des teintes[1].

Les moyens d'obtenir des gravures rentrant dans l'une ou l'autre des séries ci-dessus indiquées sont nombreux; nous n'avons pas à nous y arrêter longuement. Nous citerons dans la première catégorie la gravure à la manière noire, et dans la seconde la gravure numismatique, qui offre de si curieux résultats par la projection des lignes courbes successives de la surface à représenter, coupée par des plans parallèles, mode de représentation moins parfait que celui que peut donner l'emploi des lignes de grande courbure, mais cependant bien remarquable. (Voy. GRAVURE.)

La lithographie fournit un moyen simple et facile de multiplication des dessins, en offrant cet avantage que c'est l'original même, le travail de l'artiste qui est déposé sur la pierre, et que l'impression rend directement, sans passer par l'intermédiaire d'un traducteur souvent peu fidèle.

Disons toutefois que la lithographie, dont les dessins ne peuvent être tracés sur pierre qu'avec un crayon gras et mou, dont les noirs sont d'une apparence grenue, ne convient pas pour les travaux qui demandent une grande netteté, une grande précision, et ne peut présenter que des effets de la nature de l'estompe. La gravure en creux sur pierre est venue, sous ce rapport, au secours de la lithographie.

On peut dire que l'extrême facilité de la reproduction du dessin sur pierre a fait remplacer par celle-ci, pour les travaux courants, la gravure au burin réservée aujourd'hui aux œuvres d'art, pour lesquelles on recherche la pureté des lignes. La lithographie est devenue un moyen puissant de vulgarisation des œuvres d'art sur une échelle très-étendue et doit avoir une bien heureuse influence sur l'éducation générale du public en fait d'art. Malheureusement cette action ne peut être qu'élémentaire, ne peut dépasser des sphères assez peu élevées, à cause de la difficulté d'exécution, par les procédés de la lithographie, d'œuvres artistiques d'une grande valeur.

La lithographie à deux teintes appliquée à des sujets de genre, à des études de fantaisie, produit des effets séduisants, en rehaussant singulièrement l'éclat de la lumière. Nous verrons bientôt ces effets considérablement accrus par l'emploi des couleurs, et le grand rôle que la lithographie est appelée à jouer dans une voie qui lui est propre.

1. A la Renaissance, Albert Durer, Lucas Kilian, en Allemagne, publièrent des gravures admirables. L'Italie offre l'œuvre de Marc-Antoine Raimondi, qui, guidé par Raphaël, produisit des chefs-d'œuvre. Van Dyck, Claude Lorrain, Rembrandt furent presque aussi remarquables comme graveurs que comme peintres. Si la France entra plus tard dans la lice, elle produisit beaucoup de célèbres graveurs en taille-douce: Callot, Audran, Bervic, qui, par la grandeur de ses lignes, rappelle bien le siècle de Louis XIV auquel il appartient; Nanteuil, Cochin, Duret, etc., et, de nos jours, Desnoyers, Forster, Calamatta, Henriquel Dupont, etc. En Angleterre, Finden et Lekeux ont dans ces dernières années brillé par l'exécution de vignettes d'une grande finesse, caractère principal et justement estimé de la gravure anglaise.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

PHOTOGRAPHIE

Un merveilleux procédé, la photographie, fournit aujourd'hui le moyen de représenter des objets de tout genre, par la seule action de la lumière, sans nécessiter en rien l'intervention de l'artiste et constitue un véritable progrès de la civilisation en vulgarisant, sur une échelle inconnue, les dessins, œuvres d'art de tout genre; en conservant des portraits aisément obtenus. Tout le monde connaît le principe de cette admirable découverte, qui repose sur les changements de composition de certains corps exposés à la lumière et par suite de réactions différentes en divers endroits d'une surface sur lesquels les parties obscures ou les parties éclairées d'une image de la chambre noire sont venues se produire.

Les images photographiques dues à l'action de la lumière ne peuvent donner la représentation des objets que par des teintes, ne sauraient indiquer des lignes de courbure; elles rentrent donc dans la première classe de dessins, la moins parfaite au point de vue artistique. Mais la facilité de leur production, l'avantage de pouvoir les créer après un court apprentissage, ce qui permet aux voyageurs de rapporter des vues d'une exactitude incontestable des monuments des pays étrangers, font que cette belle découverte est un progrès immense pour la vulgarisation des éléments indispensables aux progrès des arts et de l'industrie. Mettre à la portée de tout le monde la représentation de tout objet intéressant, sans crainte de fausse interprétation sous l'influence d'idées préconçues, obtenir de suite, sous forme de dessin, le résultat d'un groupement de sujets, c'est un bien important résultat. Disons qu'il importe surtout d'éviter les déformations qui se produisent fréquemment, bien souvent à cause de l'imperfection des lentilles et des appareils.

Nous devions d'autant plus citer ici la photographie que sa pratique n'est pas purement technique. En effet, l'expérience a démontré que la pratique industrielle est insuffisante pour obtenir de bons résultats dans tous les cas, et des personnes initiées aux beaux-arts ont pu seules se faire une belle réputation par l'exécution d'œuvres difficiles. C'est que la disposition des objets, le choix du point de vue, le sentiment de l'intensité des teintes, etc., tout cela est de l'art, et tout cela est indispensable pour créer des œuvres remarquables en photographie.

Nous devons citer, parmi les compléments d'une découverte qui fait si grand honneur à notre siècle, la phototypie, qui permet la multiplication à bon marché des épreuves photographiques (voy. PHOTOGRAPHIE), et la gravure directe des images photographiques, qui peut, dans beaucoup de cas, servir de point de départ pour le travail de l'artiste.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION VI

APPLICATION DES COULEURS

DES COULEURS.

On sait que les couleurs fondamentales, indépendamment du noir et du blanc, qui correspondent à l'absence de lumière et à la lumière complète, sont au nombre de trois, le JAUNE, le ROUGE et le BLEU. Avec ces trois couleurs, en y ajoutant du noir et du blanc, les peintres reproduisent tous les contrastes de tons et d'effets lumineux, toutes les teintes possibles, toutes les NOTES enfin des GAMMES que l'on peut former avec des couleurs.

On doit remarquer que parmi ces couleurs, à égalité de teintes, en les prenant dans un même spectre solaire, le jaune est le plus lumineux (après le blanc, bien entendu), puis vient le rouge, et enfin le bleu, qui est en partie sombre comme le noir ; ainsi en allant de la lumière à l'obscurité, on suit l'ordre : blanc—jaune—rouge—bleu—noir. C'est en raison de cette loi fondamentale, fidèlement observée par les grands peintres, que les parties qui dans leurs travaux retiennent l'œil sont : en première ligne celles où le jaune prédomine, ensuite les rouges appliqués d'ordinaire aux draperies, enfin les bleus et le gris qui déterminent les dégradations de la perspective aérienne. Les noirs servent de repoussoirs; les blancs sont toujours rompus de jaune et parfois, dans les dessous, de préparations rougeâtres qui en soutiennent l'effet. (Voir les Titien, les Rembrandt, les Corrége, etc.) C'est ce qu'explique, dans son style brillant, Stendahl, dans son Histoire de la peinture en Italie :

« Le jaune et le vert, dit-il, sont des couleurs gaies, le bleu est triste; le rouge fait « venir les objets en avant, le jaune attire et retient les rayons de la lumière; l'azur

EFERUS - Recherche & Classification numérique

« est sombre et va bien pour faire les grands obscurs. — Toutes les « gloires » des « grands peintres, et entre autres du Corrége, sont jaunes. »

En résumé, les couleurs à vibrations rapides font paraître saillantes les surfaces qui les portent, par rapport à celles décorées avec les autres couleurs. Les couleurs saillantes sont: le rouge, l'orangé et le jaune; les couleurs rentrantes appartiennent aux diverses catégories du bleu; le vert est saillant par rapport au bleu, et notamment au bleu d'outre-mer; il est rentrant par rapport au rouge, à l'orangé et au jaune. Ainsi si l'on donne au relief la couleur saillante et au fond la couleur rentrante, on augmente l'effet d'illusion; dans le cas contraire, on le diminue.

Nous reviendrons plus loin sur ce point, en traitant de l'emploi des couleurs dans la décoration.

Avant de parler des applications des couleurs, il importe de passer en revue les principes qui président à leur emploi; à cet effet, nous dirons quelques mots des gammes des couleurs, des moyens de les définir, puis nous indiquerons une belle théorie due au savant M. Chevreul; elle offre un beau modèle d'analyse scientifique appliquée aux phénomènes les plus insaisissables en apparence pour les méthodes scientifiques.

DES GAMMES DES COULEURS

C'est à M. Chevreul que l'on doit la détermination la plus satisfaisante des gammes des couleurs, c'est-à-dire l'indication de méthodes pratiques permettant d'obtenir les teintes de couleurs équidistantes, soit franches, soit rabattues par des proportions égales de noir, de manière à pouvoir définir nettement les éléments à l'aide desquels on peut établir les harmonies des couleurs comme on calcule les harmonies des sons dans la musique.

« Supposons, dit-il, 72 couleurs simples ou binaires disposées circulairement sur une table ronde, de manière qu'il y ait 23 couleurs entre le rouge et le jaune, 23 entre le jaune et le bleu, 23 entre le bleu et le rouge; supposons en outre que chaque couleur soit à égale distance de ses deux voisines, vous aurez 72 types. Si vous supposez la couleur de chaque type allant du blanc, qui occupe le centre du cercle, au noir qui occupe la circonférence, par gradation équidistante, vous formerez 20 tons, je suppose, d'une même couleur, dont l'ensemble est ce que je nomme la gamme de cette couleur, dont des points correspondront à des points déterminés du spectre solaire, et par suite n'auront rien d'arbitraire.

« Supposons maintenant que l'on intercale entre chaque type du premier cercle et le gris normal, c'est-à-dire le gris du noir qui représente une ombre dépourvue de couleur, 9 types formés par la couleur de ce type terni par $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, ... $\frac{9}{10}$ de noir; qu'on réunisse ensuite, dans un même cercle, toutes les couleurs ternies par la même fraction de noir de manière à avoir :

Un second cercle dont les gammes sont ternies par $\frac{1}{10}$ de noir;
Un troisième — — $\frac{2}{10}$ —
. . . . . .
Un dixième — — $\frac{9}{10}$ —

on obtiendra ainsi 720 types, lesquels, divisés chacun en 20 tons, donneront 14,400 tons.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En y ajoutant 20 tons de gris normaux, nous aurons 14,420 tons pour l'ensemble de la construction chromatique hémisphérique.

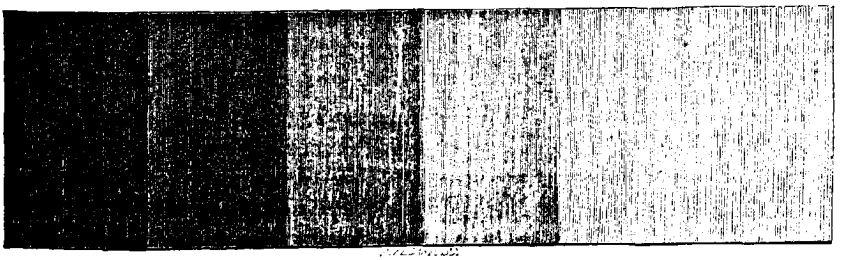
« Au moyen de ces 10 cercles, on peut se représenter toutes les couleurs, car on définit la gamme, le ton ou l'intensité, et le noir qui peut ternir la couleur. Ainsi l'expression 3 rouge 12 $\frac{3}{10}$ signifie la couleur correspondant à la gamme 3 rouge, 12 ton, terni par $\frac{3}{10}$ de noir, c'est la couleur garance des uniformes français.

CONTRASTE SIMULTANÉ DES COULEURS

Les effets, savamment analysés par M. Chevreul, et qui résultent de ce qu'il appelle le contraste simultané des couleurs, se résument surtout en ceci :

Le contraste simultané des couleurs est un phénomène qui se manifeste en nous toutes les fois que nous regardons en même temps deux objets différemment colorés placés à côté l'un de l'autre. La différence de ton et de couleur qui peut exister entre les deux objets est augmentée de telle sorte :

1° Que si l'un des objets est au point de jonction plus foncé que l'autre, celui-ci nous paraît plus clair, et le premier plus foncé qu'ils ne le sont réellement; c'est ce que rend sensible une juxtaposition de teintes plates, comme la représente l'exemple ci-joint, et prouve bien l'impossibilité d'obtenir des successions parfaites de tons, sans



142.

un très-grand nombre de tons intermédiaires; comment l'emploi de teintes plates successives en nombre très-limité, ce qui est le procédé employé par l'industrie, ne peut jamais qu'approcher du but. C'est ce qui se sent bien en regardant la figure formée de teintes parfaitement régulières;

2° Que les couleurs de deux objets juxtaposés sont elles-mêmes modifiées, pour l'œil de l'observateur, dans leur nature optique, chacune d'elles éveillant pour les parties voisines de celles colorées, le sentiment de la couleur complémentaire, celle qui, dans le spectre solaire, résulterait de la réunion des rayons autres que ceux qui produisent la couleur considérée, et qui, dans les cercles de M. Chevreul, se trouvent à l'extrémité opposée du diamètre passant par la couleur considérée. C'est ainsi qu'une tache verte sur un papier blanc, par une vive lumière, éveille un sentiment de rose sur son contour. Ainsi encore, si on place une feuille de papier bleu à côté d'une feuille de papier

EFERUS - Recherche & Classification numérique

jaune, ces deux feuilles, loin de nous paraître tirer sur le vert, comme on pourrait le présumer d'après ce qu'on sait de la reproduction du vert par le mélange du bleu et du jaune, semblent prendre du rouge, de telle sorte que le bleu paraît violet et le jaune orangé.

Des caractères noirs imprimés sur papier rose, paraissent verts, et, au contraire, roses sur fond vert.

Nous avons donné nombre d'exemples d'applications de cette théorie à l'article CONTRASTE; nous n'y reviendrons pas ici. Nous ajouterons seulement une observation qui résulte de la nature des couleurs complémentaires : c'est que le mélange de celles-ci forme du gris, qu'en ajoutant à une couleur sa complémentaire, on la noircit, on la « rabat. »

Comme application vraiment curieuse de la loi du contraste des couleurs, je citerai l'emploi du manganèse dans la cristallerie. Le manganèse communique au cristal une teinte violette qui est complémentaire de sa couleur verte; celui-ci se décolore, ou plutôt il conserve une teinte blanche, très-légèrement rosée, qui est très-belle.

Des lignes de séparation en noir ou couleur foncée fournissent le moyen usité d'annuler les effets de contraste au contact des couleurs, quand ils sont nuisibles.

M. Chevreul a également analysé les variations d'éclat des couleurs selon la manière dont sont placées, relativement à l'œil de l'observateur et à la direction des rayons lumineux, des parties convexes colorées. Nous donnerons une idée de ses travaux en parlant des étoffes, objet spécial de ses recherches, mais nous noterons seulement ici que, dans tous les cas de la pratique, on doit tenir compte, en même temps que de la couleur, de l'éclat et de la forme de la partie sur laquelle elle est appliquée; qu'il faut avoir soin de considérer, par exemple, si elle est déposée sur une partie rentrante et obscure, ou sur des surfaces planes ou convexes, où se trouvent des points brillants plus ou moins multipliés, suivant la forme et la position de ces surfaces [1].

1. Un auteur anglais, M. Field, a essayé, en utilisant les propositions précédentes, de formuler les principes de l'emploi simultané des couleurs. Nous les rapporterons ici pour attirer l'attention des artistes, dont les yeux ont acquis la sensibilité qui fait défaut au grand nombre, qui peuvent se rendre compte pourquoi une couleur plaît ou ne plaît pas, comme un musicien reconnaît une note juste ou une note fausse.

I. — Les couleurs primaires (jaune, rouge ou bleu du prisme) s'harmoniseront ou se neutraliseront l'une l'autre, dans les proportions de 3 de jaune, 5 de rouge et 8 de bleu (en tout 16).

II. — Les couleurs secondaires (composées de deux primaires) dans les proportions de 8 d'orangé, 13 de pourpre et 11 de vert (en tout 32).

Les tertiaires dans les proportions de citrin (composé d'orangé et de vert), 19; de brun roussâtre (orangé et pourpre), 21; d'olivâtre (vert et pourpre), 24 (en tout 64).

III. — Il s'en suit que :

Chaque couleur secondaire, étant composée de deux primaires, se trouve neutralisée par la primaire qui forme son complément, d'après ces mêmes proportions; ainsi 8 d'orangé (rouge et jaune) seront neutralisées par 8 de bleu (complément de l'orangé); 11 de vert par 5 de rouge, 13 de pourpre par 3 de jaune.

Chaque couleur tertiaire étant un composé binaire de deux secondaires, est neutralisée par la secondaire qui reste : comme 24 d'olivâtre par 8 d'orangé, 21 de brun roussâtre par 11 de vert, 19 de citrin par 13 de pourpre.

Dans les vérifications pratiques que l'on peut faire de ces lois, il faut tenir compte des observations faites à l'article CONTRASTE DES COULEURS sur la quantité variable de noir que renferme chaque substance naturelle qui nous fournit la couleur.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DE LA PEINTURE

Avant de passer en revue l'emploi multiple des colorations dans l'industrie par application des couleurs sur des surfaces, il nous faut dire quelques mots de la peinture, de l'art qui emploie toutes les ressources du dessin et de la couleur, bien qu'en tant qu'art pur il ne rentre pas dans notre cadre. Ce sont surtout les tableaux dans lesquels la beauté morale, l'expression des sentiments vient tracer une ligne de démarcation entre l'art pur et l'art industriel qui n'a pas à aborder ce domaine, qui ont été, à juste titre, l'objet de nombreux et savants ouvrages; nous n'avons pas à les résumer ici, néanmoins il n'est pas sans intérêt de rappeler que, dans les lignes générales de son histoire, la peinture, qui domine de haut toutes les applications industrielles qui en relèvent, se prête parfaitement aux divisions que nous avons établies d'après les manifestations des idées régnantes dans chaque siècle, à l'aide des produits industriels et de leur décoration; qu'elle a subi les mêmes influences; que les époques de splendeur et de décadence sont les mêmes, par une solidarité nécessaire entre les Beaux-Arts et l'Art industriel. C'est ce qu'il nous sera facile d'établir brièvement et sans trop nous écarter du cadre de cet ouvrage.

Grecs. — Il ne nous est rien resté de la peinture des Grecs (exécutée, pense-t-on, à la cire); mais le caractère de cette peinture ne saurait être douteux d'après les décorations céramiques que nous possédons et surtout d'après le goût de cette nation. Le peuple qui admirait avec tant d'enthousiasme la sculpture grecque n'aurait pu accepter des peintures chargées, confuses. Zeuxis, Apelles ne devaient pas se borner à des œuvres décoratives; les récits des auteurs contemporains nous rappellent l'admiration qu'excitait leur reproduction excellente d'objets animés. Nous ne saurions nous représenter la peinture grecque comme très-différente de celle des Byzantins dont nous allons parler, peinture qui conservait les traditions grecques, mais non le sentiment si parfait de la beauté.

Romains. — Leurs peintures à la cire nous sont connues par des restes trouvés à Pompéi et à Herculanum, qui, d'après la tradition, se rapprochent des peintures grecques. Toutefois l'art chez les Romains avait perdu cette finesse, cette élégance de l'art grec; il était devenu, comme la religion, plus grossier. Gênés dans la reproduction des effets de lumière, les artistes se bornaient à représenter des personnages isolés, d'un ton mat et égal. Leurs œuvres se rapprochaient de la décoration des vases campaniens. C'est surtout aux mosaïques que les Romains demandaient des représentations qui leur paraissaient parfaitement suffisantes (remarquons que la perspective est toute moderne) et les séduisaient par leur éclat.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Byzantin-roman. — Le christianisme, en créant un mouvement d'exaltation religieuse qui vint se mêler aux traditions affaiblies de l'art grec, inspira, après que la fureur des iconoclastes qui associèrent l'art grec et le paganisme fut passée, les peintures byzantines. Des fonds d'or, de couleurs franches, parsemés d'étoiles; des profils très-purs, des auréoles d'or, peu d'étude de la nature, un assemblage de disproportions monstrueuses entre les figures du Christ et celles des saints personnages, mais avec cela une heureuse alliance de tons : tels sont les caractères principaux de ce style.

Des catacombes de Rome sortit un art chrétien qui, empruntant beaucoup au byzantin, chercha à rendre l'idée, l'aspiration chrétienne. Celle-ci devait, quelques siècles plus tard, trouver dans le bienheureux Fra Angelico de Fiesole son dernier et plus pur interprète, au seuil de la renaissance païenne.

A l'Occident, les décorations des églises, bien qu'inspirées par les préceptes de l'Église d'Orient, ne produisirent pas d'œuvres remarquables; elles se bornaient le plus souvent à des fonds avec semis et ornements à contours spéciaux. C'est moins là qu'il faut aller chercher les monuments de la peinture au moyen âge que dans les miniatures qui ornent les manuscrits. En effet, presque toujours ceux-ci étaient illustrés à l'aide d'initiales dessinées sur un fond bleu ou un fond d'or; bien souvent des compositions formant de petits tableaux exécutés avec des couleurs à l'eau en général, et fixées sur le parchemin du volume à l'aide de recettes assez compliquées, acquéraient sur la peau un éclat fort apprécié. Ces miniatures ou enluminures étaient souvent le produit du travail de véritables artistes, de moines qui étaient les gens les plus instruits de leur époque, et qui, usant leur vie à de semblables ouvrages, eussent mérité parfois une véritable célébrité, si la postérité se fût intéressée à ce genre de travaux comme elle s'est passionnée pour la peinture à l'huile. On possède des Heures de Charlemagne qui renferment des dessins remarquables. Dans la maigreur des plis, dans l'emploi du vermillon et du bleu non rompu, dans les hachures d'or des draperies, on ne peut méconnaître l'influence byzantine sur ces œuvres de l'Occident. Il faut aussi citer comme très-remarquables deux Bibles de Charles le Chauve, où se trouvent des compositions d'un grand intérêt, dues à un artiste nommé Ingobert. Ces compositions, étudiées avec le plus grand soin, sont les œuvres d'art, les tableaux d'histoire de l'époque. Le goût s'en maintint jusqu'à la découverte de l'imprimerie.

En général, les enluminures du huitième, du neuvième et du dixième siècle, sont, pour le dessin, inférieures à celles des siècles précédents, mais elles les surpassent pour la vivacité des couleurs et l'originalité de la composition. Les fonds bleu et or sont prodigués et les détails exécutés avec une fidélité minutieuse.

Il suffit d'examiner des manuscrits précieux de diverses époques pour reconnaître l'influence des styles qui sont manifestes pour tous les yeux dans les grandes modifications de la peinture et de la sculpture.

Gothique. — On peut suivre bien facilement dans les manuscrits la transformation du roman en gothique. Le genre de ce premier style n'est plus du tout celui de Jean Fouquet (de Tours), qui vécut sous Louis XI et laissa de véritables chefs-d'œuvre.

La perspective va poindre; elle se rencontre dans les œuvres de Fouquet avec un emploi du clair-obscur inconnu jusqu'à lui. Les Antiphonaires de la Libreria (sacristie) de Sienne forment une série de volumes in-folio remplis de lettres initiales d'une rare beauté d'exécution. Le plus célèbre miniaturiste de l'époque était le chanoine don

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Giulio Clovio, qui vivait au quinzième siècle; ses petits ouvrages ornés de fleurons élégants sont de véritables tableaux.

En France, l'art italien vint sous Louis XII lutter contre les anciennes traditions gothiques. Ce progrès semble avoir atteint son apogée dans l'exécution d'un manuscrit célèbre connu sous le nom d'Heures d'Anne de Bretagne. Parmi les nombreux tableaux qui décorent ce livre de prières, plusieurs ne seraient pas indignes du pinceau de Raphaël.

Ce chef-d'œuvre marque en quelque sorte le terme glorieux d'un art qui allait se perdre, alors que l'invention de l'imprimerie allait faire disparaître la classe nombreuse des scribes et des enlumineurs.

A partir de ce moment, en effet, par cette cause et aussi bientôt après par suite de la découverte de la peinture à l'huile, les enluminures sur peau vélin devinrent plus rares, et les artistes se livrèrent surtout à la peinture des portraits à l'aide des nouveaux procédés.

Renaissance. — Nous nous garderons bien de vouloir esquisser l'histoire de la peinture à cette époque de merveilles. Nous rappellerons seulement que Cimabué reçut ses leçons des mosaïstes byzantins; que l'école du Pérugin, d'où sortit Raphaël, procédait directement de la tradition byzantine modifiée et singulièrement agrandie par Giotto et ses nombreux élèves, dans les belles fresques dont ils couvraient les murailles et les voûtes des églises, et que Lucas Cranach en Allemagne, qui le premier s'illustra dans la peinture à l'huile, tout nouvellement découverte, s'inspirait évidemment du style gothique, que la renaissance allemande et Albert Durer allaient transformer.

La peinture à l'huile, trouvée de 1420 à 1430, par Jean Van Eyck, dit Jean de Bruges, en facilitant les procédés matériels de l'art, vint aider aux progrès qui tendaient à se faire jour de toute part. Jusqu'à Masaccio, on n'employa, en Italie, que les procédés de la peinture byzantine. On sait quelle place la fresque occupa dans l'art de la Renaissance, combien les fresques de Raphaël notamment rappellent, avec une grande supériorité toutefois, les peintures d'Herculanum; et que c'est en visitant les Thermes de Titus qu'on venait de découvrir, qu'il conçut la décoration des loges du Vatican.

Toute l'œuvre de Raphaël personnifia avec éclat la restauration des lignes de l'art grec dans leur pureté, en même temps qu'il y mêla cette grâce merveilleuse qui lui a valu le nom de divin. Michel-Ange fut le représentant le plus hardi des tendances nouvelles des artistes de la Renaissance; il résuma dans ses puissantes fresques toutes les données modernes. Titien, le Vinci, le Corrége, trois beaux génies encore, concoururent avec le Véronèse et André del Sarto à développer avec une glorieuse activité les progrès rapides de l'art de la peinture, qu'à leur suite et plus tard le Dominiquin, les Carraches, Guido Reni, etc., eurent la tâche de continuer.

Il serait inutile de compléter l'énumération de la pléiade d'artistes éminents qui ont fait, à cette époque, de la peinture le premier des beaux-arts; contentons-nous de citer ici, après les illustres maîtres, un artiste que François Ier ramena d'Italie, et qui peut être pris pour type de l'emploi de la peinture dans la décoration industrielle; nous voulons parler du Primatice. Les fresques de Fontainebleau, dues à la main facile de ce fécond artiste, ainsi que ses peintures à l'huile que possèdent le Louvre et le musée

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de Cluny, montrent bien le style élégant de cette époque, mieux que les tableaux des grands maîtres préoccupés d'exprimer des sentiments profonds plutôt que de produire des images gracieuses et séduisantes.

ÉCOLE FLAMANDE. — Avant de parler de la peinture sous Louis XIV, nous ne pouvons nous dispenser de faire une exception à toutes nos omissions de noms d'artistes, en faveur de Rubens et de l'école flamande; ce qui nous fournit une vérification du fait déjà signalé par nous, de la relation intime qui existe entre l'art et l'industrie, et fait toujours concorder leurs grands développements à cause de la grande influence qu'ils exercent l'un sur l'autre. Les germes d'art qui existaient nécessairement dans un pays que l'on a vu exceller si longtemps dans les tapisseries, l'orfévrerie, la sculpture sur bois, etc., devaient produire une école de peinture puissante : ce fut l'école flamande.

LOUIS XIV. — Chacun sait que Lebrun fut le peintre de Louis XIV; tout le monde a vu ses batailles d'Alexandre, sous les traits duquel il s'attachait sans cesse à représenter le grand roi. Chef suprême de la direction artistique, superintendant des manufactures royales, Lebrun ne pouvait donner aux travaux d'industrie que nous avons étudiés d'autre caractère que celui que l'on reconnaît dans ses tableaux, qui sont la véritable expression du style Louis XIV en peinture. Grandeur théâtrale, noblesse un peu guindée, couleurs éclatantes, etc. : telles sont les tendances de toutes ses œuvres, qui étaient bien plus estimées à la cour que celles du Poussin, ayant une bien autre portée philosophique, mais sévères de style et de ton; d'ailleurs Poussin vécut presque constamment à Rome. Les autres peintres, leurs contemporains, sans même en excepter Lesueur, ne paraissent pas avoir eu d'influence sérieuse sur le mouvement industriel de l'époque.

LOUIS XV. — Sous Louis XV, la peinture change tout à fait de caractère et se modifie aussi profondément que les mœurs. Vanloo, Boucher, Watteau, etc., avec leurs petites scènes familières ou imaginaires et leurs bergeries, furent les complices d'une époque qui ne connaissait plus ni l'idéal, ni le grandiose, mais concevait seulement la grâce et la volupté. L'industrie par l'élégance de ses produits s'associa à ce mouvement dans toutes les directions. Un peu plus tard se fit jour un commencement de réaction favorable au côté moral de la peinture. Chardin et Greuze préparèrent le développement du genre intime dans sa plus saine acception.

XIX^e^ SIÈCLE. — Au commencement du siècle, David, avec une grande force de volonté et un talent supérieur, mit à néant les restes de la tradition de l'époque de Louis XV et Louis XVI, et remit en honneur la pureté classique en soumettant la peinture aux exigences de formes et de style de la plastique antique. Il est constant aujourd'hui qu'il outra un mouvement heureux en soi. Dominé exclusivement par l'absolutisme de ses principes révolutionnaires (qu'il avait conservés seulement en peinture), laissant de côté toute tradition nationale, il exagéra l'étude du nu jusqu'à vouloir faire de la sculpture avec le pinceau, sans laisser une part suffisante au charme du coloris.

Enfin, parmi les grands peintres vivants ou dont le souvenir est encore trop présent à toutes les mémoires, après les célébrités de la génération précédente, Prudhon,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Géricault, Gros, etc., on doit citer parmi les maîtres disparus depuis peu, dont l'influence se fait encore puissamment sentir, et parmi ceux encore vivants :

En France : — MM. Ingres, le maître illustre qui rappelle dans ses œuvres la beauté, la précision raphaélesques ; — Ary Scheffer, le peintre de l'idée, de l'aspiration rêveuse et doucement mélancolique ; — Vernet, Delaroche, etc., dont les œuvres sont appréciées par le public à des titres bien différents : le premier pour sa verve et l'élan de son pinceau, le second pour un goût exquis d'arrangement ; — Delacroix, coloriste puissant, qui semble négliger systématiquement le dessin ; — Decamps, dont la palette est si étonnante d'accent et de vigueur ; — H. Flandrin, l'artiste religieux.

Rappelons ici les noms de Meissonnier, l'intelligent traducteur de la peinture hollandaise, Duval, Baudry, Gérôme, Hamon, etc., parmi nombre d'artistes d'un grand talent dont nous admirons les créations de chaque jour.

En Allemagne : — Overbeck, le restaurateur de la peinture catholique, qui rappelle les pieux archaïstes de la Renaissance par la pureté naïve des contours et la pensée religieuse à laquelle tout est sacrifié dans ses mystiques compositions ; l'école de Munich, et celle de Dusseldorf, représentées par MM. Cornélius et Kaulbach, etc., écoles qui ne sacrifient pas autant à l'effet des couleurs que les maîtres italiens, et peut-être pas assez, en ce qu'elles semblent mettre trop de recherche de pensée dans leurs œuvres.

En Angleterre : — Depuis Reynolds et Lawrence, deux admirables peintres de portraits qui rappelaient Van Dyck et son éclatant coloris, les œuvres les plus remarquables chez cette nation sont celles des peintres réalistes, qui, donnant une place très-grande aux représentations des détails de la nature, n'ont pas créé une puissante école dans le pays de l'individualisme ; on doit surtout citer Landseer comme un artiste d'un grand mérite. En fait, il y a en Angleterre, sinon une école, au moins assez de talents incontestables pour guider les productions peintes de l'industrie anglaise vers un haut degré de perfection.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DE L'EMPLOI DES COULEURS

Passons en revue les diverses natures de produits du travail humain pour apprécier l'importance des colorations dans chacun d'eux. Nous y retrouverons le rôle rempli par les Orientaux, nuls dans l'art proprement dit, mais puissants dans l'art industriel.

Les peuples de l'Orient, dit un juge bien compétent, n'ont point une perception complète du beau telle qu'elle a été donnée à la haute intelligence des Grecs et de certains peuples de l'Europe. Ce qui les distingue, c'est un sens exquis de la coloration, un point de départ sensé dans toutes les applications de la forme à la matière et à l'usage; c'est la tradition suivie avec une sorte d'innocence qui, sous beaucoup de rapports, les rend encore nos maîtres actuellement, dans la coloration des tapis notamment.

ARCHITECTURE

COULEURS EMPLOYÉES A L'EXTÉRIEUR DES MONUMENTS

Dans l'architecture moderne, on n'emploie ordinairement les matériaux de construction qu'avec leurs couleurs naturelles; il n'en a pas toujours été ainsi. On sait que les Grecs appliquaient des couleurs vives en teintes plates sur leurs monuments, principalement sur les fonds pour faire valoir la saillie des moulures. C'était sous l'influence des mêmes idées, qu'ils essayèrent de colorer leurs statues.

Comme les législateurs de la Grèce, en fait de politique aussi bien qu'en fait d'art, dit Ziégler, avaient coutume de visiter l'Égypte, la vue des monuments colorés de Thèbes et de Memphis ne pouvait manquer d'exercer une influence sérieuse sur l'art grec. Les peintures de l'enveloppe sculptée des momies préparaient la vue aux cheveux d'or et aux chairs de cinabre dont les chefs-d'œuvre de la statuaire grecque furent rehaussés. D'autre part, les murailles entaillées d'hiéroglyphes peints inspiraient le sentiment de la couleur dans l'architecture religieuse; sur les murailles grises, les teintes « rouge, jaune, bleue et verte » indiquaient les chairs et les draperies.

Nous ne donnerons pas ici de détails sur l'emploi de la couleur dans l'architecture grecque, question sur laquelle il reste un certain doute à cause du petit nombre d'éléments qui sont parvenus jusqu'à nous. Comme accessoire tout au moins, la coloration de certains fonds ornés de vignettes a produit un effet excellent dans quelques monuments, notamment dans plusieurs de ceux dont le roi Louis de Bavière a décoré la ville de Munich.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

DÉCORATION DES INTÉRIEURS.

Sous Arcadius et Honorius, on commença dans l'empire d'Orient à revêtir les églises de fresques, de mosaïques, de dorures.

Charlemagne fit, par une loi, une obligation de revêtir de peintures les murs des églises. Cet usage dura jusqu'à la fin du dixième siècle. Mais ceci rentre dans la décoration des intérieurs, dont nous allons traiter ci-après.

On doit faire rentrer dans cette section l'emploi de colonnes en porphyre rouge et en marbre qui décorent plusieurs basiliques célèbres, et dont la belle couleur et le poli font surtout le prix.

La décoration architecturale par coloration la plus remarquable est sans contredit celle des monuments mauresques, telle que celle de l'Alhambra, obtenue à l'aide de poteries colorées et qui avait été imitée à la Renaissance, notamment au château de Madrid. Ceci rentre dans la coloration des poteries dont nous allons parler, mais nous devions rappeler ici l'éclat, la durée de ces colorations vitrifiées, formant des surfaces brillantes et réfléchissant la lumière. L'emploi des couleurs vives dans la décoration rappelle toujours le style oriental qui seul les a conservées, car, à l'Occident, les décorations peintes le sont toujours en couleurs peu éclatantes.

En dehors de ces cas, et presque exclusivement depuis l'époque romaine, c'est pour décorer l'intérieur des appartements que la peinture a été employée. Toutefois elle le fut assez souvent à l'extérieur par les Romains; et l'usage s'en est conservé sous le beau ciel de l'Italie. L'emploi de la faïence semble sur le point de fournir les plus heureux résultats en architecture, et est indiqué par l'éclat et l'inaltérabilité de ce genre de produit.

DÉCORATION DES INTÉRIEURS

Les décorations des intérieurs ont une relation intime avec l'architecture et varient nécessairement avec les divers styles. Elles se produisaient :

1° Chez les Romains : par l'emploi de stucs, de marbres de tout genre, de mosaïques, de fresques, de peintures à la cire.



243.

Nous donnerons quelque idée de ce genre de décorations chez les Romains par les



244.

gravures ci-jointes : le dessin était en général clair sur fond noir ou coloré. Les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

mosaïques, destinées tant aux planchers qu'à orner les murs des appartements, seront étudiées dans la section suivante, dans laquelle nous traitons des juxtapositions d'éléments colorés.

2° Dans le style byzantin-roman la répétition des petits ornements de couleurs diverses était, avec les fonds bleu d'azur et d'or et les carreaux émaillés, le grand moyen de décoration. La peinture à la fresque y tenait aussi une place importante.

Le goût d'un autre genre de décoration se mêla, au huitième siècle, à celui de la peinture qui, jusque-là, couvrait les voûtes. Entre les années 628 et 638, Dagobert, ayant ordonné la reconstruction de l'église de Saint-Denis, s'abstint de faire peindre l'intérieur de cet édifice; on couvrit les murailles et même les colonnes de draperies tissées d'or et brodées de perles, et ce genre de décoration devint de plus en plus commun dans les églises de France, au grand préjudice de la peinture.

3° Le style gothique ogival avait gardé, du style roman, la coloration d'azur des voûtes des églises et y ajouta les richesses des vitraux, en même temps que le sculpteur sur bois décorait les chœurs.

4° A la Renaissance, la peinture à la fresque vint se multiplier sur les murs des églises, et tous les grands noms de cette brillante époque ont produit des chefs-d'œuvre plus directement liés à la décoration des édifices que ne peut l'être la peinture à l'huile, de dimensions généralement restreintes. Il nous suffira, pour le rappeler, de citer le Jugement dernier peint par Michel-Ange dans la chapelle Sixtine.

Dans un ordre plus voisin de la tendance laïque de l'art moderne, nous rappellerons les célèbres décorations du Vatican citées plus haut, dues à Raphaël, qui sont restées le type harmonieux du genre de décorations toujours usité dans les habitations riches de l'Italie. Cette ornementation fut inspirée par celle des anciens dont le modèle venait d'être donné par la découverte des Thermes de Titus, que devait confirmer plus tard l'exhumation de Pompéi et d'Herculanum, pressentie en quelque sorte par le génie de Raphaël.

L'étude de l'application directe du travail d'un artiste plus ou moins éminent excéderait les limites de notre cadre: nous dirons seulement qu'à l'exemple du maître, la décoration doit le plus souvent se borner à de simples arabesques. Dans les décorations de grand luxe, ce sont des sujets gracieux, tracés légèrement, rehaussés de peu de couleur, qui doivent en former la base. Nous donnons un panneau du Vatican, modèle de ce genre raphaélesque.

5° Sous Louis XIV, on fit un fréquent emploi des trophées, des marbres plaqués sur les murailles, encadrés par des moulures: toutefois les peintures et les dorures jouent un grand rôle dans les riches décorations intérieures. Nous en donnons pour exemple un panneau de la célèbre galerie d'Apollon au Louvre.

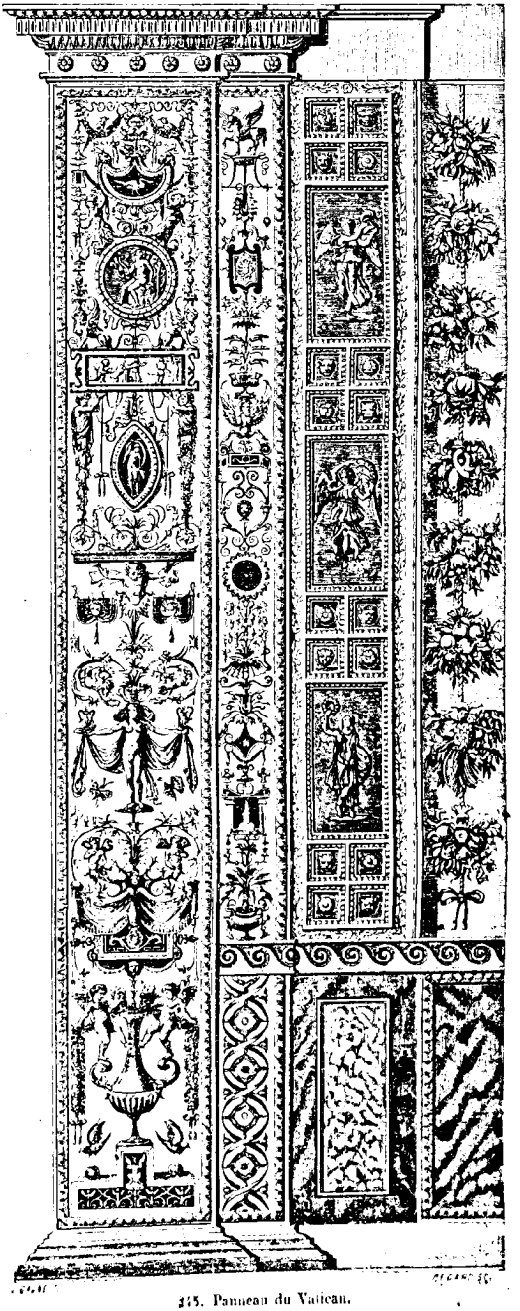
Les moulures prirent sous Louis XV plus de relief et un caractère spécial dont nous avons déjà dit quelques mots à propos de la sculpture.

6° De nos jours, le plus souvent, ce sont des moulures rappelant celles de l'architecture, des boiseries plus ou moins sculptées encadrant des tableaux, et dans les habitations des particuliers, des panneaux de bois, le tout peint en couleurs unies souvent rehaussées par des filets d'or, qui sont la base de la décoration de la plupart des habitations élégantes.

Citons les glaces étamées comme moyen de décoration, grâce à l'éclat et à la lumière qu'elles répandent dans les appartements, genre de luxe si apprécié à notre époque.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Ce n'est guère que dans les palais, les musées qué se voient dans nos pays (bien plus

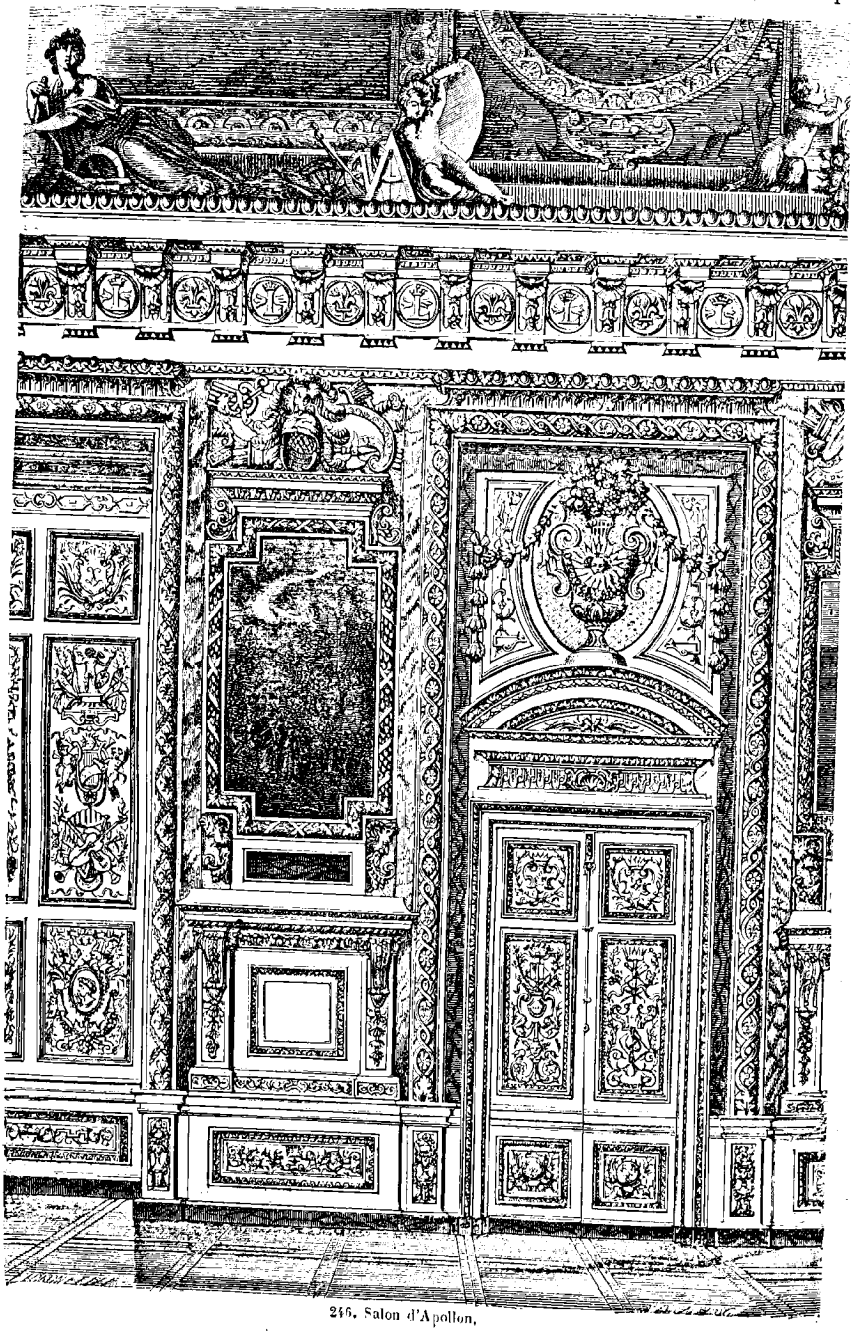


345. Panneau du Vatican.

fréquemment en Italie, où la décoration par fresques est restée en grand honneur)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

les riches décorations peintes. On emploie alors en général des arabesques, des repré-



246. Salon d'Apollon.

sentations de plantes et de fleurs qui encadrent des médaillons portant la représentation

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de sujets ayant quelque rapport avec la destination des salles à orner, devenues aujourd'hui l'œuvre spéciale d'artistes d'un vrai talent.

Les étoffes drapées fournissant une décoration en rapport avec le CONFORTABLE seront étudiées en traitant de la décoration des tissus, sauf l'emploi de l'art du tapissier pour les disposer d'une manière plaisant à la vue, pour faire jouer la lumière dans les plis harmonieusement distribués. Les tapisseries richement tissées sont, pour cet usage, employées avec succès dans les palais; les étoffes de soie chez les particuliers riches; enfin, dans la masse des habitations de nos contrées, c'est un genre de produits dont nous allons parler bientôt qui est devenu le moyen essentiel de la décoration. Nous voulons parler de ceux fournis par l'industrie des papiers peints, presque née de nos jours, et qui est venue offrir un procédé de décoration économique, pouvant devenir riche et élégant.

COULEURS DANS LA CÉRAMIQUE

Les vases grecs, dit Ziégler, se divisent en trois classes, selon les époques de leur fabrication. La couleur rouge pâle, avec figures noires et blanches, indique ceux de la première époque; ils remontent à 700 ans avant l'ère chrétienne. Les vases moins anciens sont de deux couleurs seulement, figures jaunes et fond noir; la perfection des peintures et leur extrême légèreté les distinguent particulièrement.

On voit que les décorations étaient déjà bien connues dans l'antiquité; toutefois ce n'est en général que par des superpositions de deux terres que les couleurs étaient produites. Ce n'est que depuis la Renaissance, depuis la découverte de la faïence, que la palette du peintre en poteries a été créée, et qu'on a pu produire tous ces tableaux émaillés extrêmement remarquables, malgré toutes les difficultés que présente leur exécution. On peut juger des ressources dont on disposait par la richesse des couleurs des majoliques italiennes et celle des plats de Palissy. Toutefois ce n'est que depuis les grands progrès de la chimie que la palette du peintre en porcelaine a acquis une richesse suffisante pour rivaliser avec celle de la peinture à l'huile et que les représentations élégantes de fleurs, d'oiseaux, etc., ont pu être multipliées à l'infini.

Nous répéterons ce que nous avons déjà dit pour les compositions complexes : sauf pour les médaillons, ornant des pièces de grande distinction, analogues à celles en porcelaine tendre style Louis XV faites pour orner les boudoirs, et décorées de scènes de bergeries ou autres de même genre, les tableaux ne nous semblent pas en général le mode de décoration propre aux poteries, au moins quand on n'emploie pas seulement celles-ci à porter de véritables tableaux, comme c'était autrefois le cachet de la fabrication de Sèvres. C'est l'effet de la coloration vue à distance qui importe surtout, comme les Chinois l'ont bien compris, pour la décoration des vases notamment, dont les lignes convexes, déformant toute composition déterminée, détruiraient la perspective.

C'est ce qui se voit encore dans le genre oriental dans lequel sont employés en proportions convenables, avec la couleur du fond, les couleurs des décorations et l'or, qui, placé sur des parties saillantes, acquiert beaucoup d'éclat. Nous avons été contraint à traiter ces questions au chapitre III (Céramique); nous n'y reviendrons ici que brièvement.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous dirons d'abord que l'étude séparée des décorations et des formes est tellement naturelle, qu'elle correspond à une division fréquente dans l'industrie. Ainsi, il existe à Paris un nombre considérable d'ateliers de décoration pour lesquels on achète les pièces de forme convenable en porcelaine blanche et où on les revêt de brillantes décorations. Il y a là une division du travail parfaitement naturelle et très-favorable à sa perfection, vu la différence profonde qui existe entre ces deux natures de travaux et l'indépendance naturelle à l'artiste qui perd l'esprit d'initiative quand il est enrégimenté. Toutefois il ne faut pas que le consommateur néglige de faire la différence de valeur et de solidité qui existe entre les couleurs au grand feu cuites avec la porcelaine et les couleurs de moufles, formées avec des émaux quelquefois trop fusibles et pas assez résistants. Nous donnerons, pour preuve de l'excellence de cette division, celle semblable pour la taille des cristaux à Londres, pays des grands ateliers.

Les Expositions universelles ont fait apprécier l'élégance du style de Sèvres dont nous avons parlé en traitant de la Céramique, dont les artistes, par une réaction sur les anciennes méthodes, ne décorent plus sa belle porcelaine blanche que d'ornements légers, peu serrés, ne détruisant pas l'éclat du fond.

Un genre de décoration qui n'est pas entièrement nouveau a été employé avec un grand succès par M. Copeland, habile fabricant anglais, célèbre à juste titre par la beauté de ses statuettes en parian; nous voulons parler de la décoration de la porcelaine par des pastilles, des perles en émail qui ont beaucoup d'éclat. Ses buires de

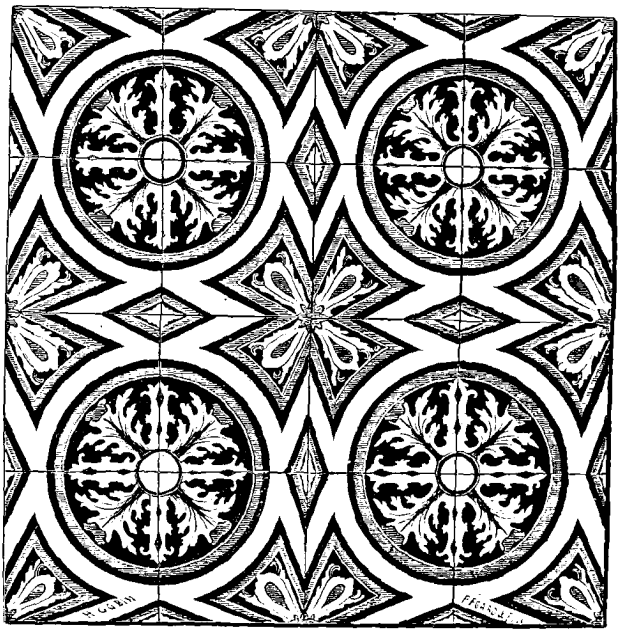


247.

forme et décoration style indou ont été admirées aux Expositions par tous les connaisseurs. Une pièce semblable fond bleu et parsemée de pastilles blanches est ravissante, et fait comprendre, par son éclat, le nom de porcelaine-bijou qu'on a donné à ces produits.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

L'Exposition de 1855 a aussi fait connaître quelques teintes grand feu, à tons rouges et verts, obtenues à Sèvres, en faisant naître à volonté une atmosphère réductrice ou oxydante.



248.

Enfin, nous rappellerons l'emploi de fonds vermicellés, pointillés, formés par une dorure très-fine, qui donnent sur porcelaine et surtout sur cristal des effets très-heureux.

La faïence, dont le développement répond au plus grand progrès récent des arts céramiques, en permettant de faciles décorations par de véritables coloristes, a ouvert une voie toute nouvelle; le charme de couleurs mieux fondues que celles sur porcelaine les fait aujourd'hui rechercher, et toute une série d'applications architecturales, comme l'emploi des vases dans la décoration des façades des maisons de campagne, paraît devoir se propager. Les figures 247 et 248, faisant partie d'une série de carreaux émaillés habilement agencés, montrent tout le parti que savent tirer de cette matière nos artistes modernes, pour décorer de grandes surfaces.

COULEURS EMPLOYÉES DANS LES MEUBLES

Les couleurs qui servent à la décoration des meubles sont principalement celles mêmes des bois employés dans leur construction. Le poli du bois fait ressortir ces couleurs et donne aux œuvres de l'ébénisterie leur plus grand charme.

Le chêne était le bois exclusivement usité jadis pour la confection des meubles; et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

on sait que le chêne ciré est encore fort estimé aujourd'hui pour les antichambres, les salles à manger, etc. Son ton frais l'a remis à la mode et le fait préférer au noyer, qui, malgré la richesse de ses veinures, n'est guère admis aujourd'hui que pour les mobiliers des personnes peu fortunées, si ce n'est toutefois pour de grandes pièces sculptées.

L'ébène, qui prend un si beau poli, était le bois de luxe par excellence de nos pères. Sa couleur noire fait ressortir admirablement l'éclat des pièces riches déposées dans des armoires construites avec ce bois. On peut admirer, au Louvre, de superbes armoires de ce genre qui renferment les émaux, les faïences précieuses. Construites par M. Fourdinois, elles ne portent que des moulures en bois et les glaces sont encadrées dans un simple filet d'acier. La rareté de l'ébène la fait souvent remplacer par le poirier noirci qui se travaille plus facilement.

Nous avons rapporté plus haut comment l'introduction de l'acajou était venue transformer le mobilier et fournir des ressources bien précieuses à l'ébénisterie. Le procédé du placage a permis de donner aux meubles de prix très-modéré les belles teintes rouges de l'acajou ; d'utiliser, pour une production immense, les belles variétés de dessin formé par diverses espèces, telles que l'acajou moucheté, les loupes, etc.

Sous Louis XV et Louis XVI, les beaux laques de la Chine décorés d'or, et les meubles en bois de rose de couleur claire, furent fort à la mode. Ces deux genres ne s'emploient guère aujourd'hui que pour articles de fantaisie ; le dernier surtout est apprécié pour d'élégantes tables à ouvrage pour dames et de petits meubles.

Depuis trente ans, un nouveau bois est venu fournir de précieuses ressources à l'ébénisterie; nous voulons parler du palissandre, que l'on peut considérer comme intermédiaire entre l'acajou et l'ébène : plus foncé que le premier et de ton rouge-noir, il est moins foncé que le second.

Enfin, l'Exposition de 1855 nous a révélé une ressource fournie à l'ébénisterie par l'Algérie, le bois de thuya, connu des Romains, dont les loupes sont d'une vigueur de ton admirable, et qui est d'une grande richesse.

Nous avons déjà parlé de la plupart des substances qui se mélangent souvent au bois pour rehausser l'éclat des meubles; nous ne ferons guère que rappeler ici, en parlant de la décoration des meubles au point de vue de la couleur, après avoir cité d'abord l'emploi des glaces, des marbres, etc., nécessaires pour beaucoup de meubles :

1° L'incrustation en cuivre, élément de décoration essentiel du genre Boule, du style Louis XIV, mélangé avec des figures en bronze doré qui, conservées seules dans le style Louis XVI, viennent s'appliquer sur les faces des meubles.

2° Le bronze, avec sa couleur propre, mélangé avec l'ébène et le chêne. Les essais de M. Barbedienne, pour employer ses plus beaux bronzes, en les encadrant dans des panneaux de meubles remarquables par la beauté des lignes, n'ont pas eu tout le succès qu'on eût pu espérer. Le chêne sculpté formant le corps des meubles a paru terne et sans éclat à côté du bronze.

3° Les émaux, les surfaces métalliques gravées, les pierres, la porcelaine peinte incrustée dans le bois, doivent être employés avec une grande modération et en évitant avec soin des tons criards, ce qui est difficile, impossible même pour la porcelaine à fond blanc brillant.

4° Enfin, nous devons citer les peintures, qui ne sont pas, à proprement parler, des

EFERUS - Recherche & Classification numérique

décorations de meubles, mais des réunions de tableaux avec ceux-ci, qui, en général, ne sont pas heureuses, la peinture à l'huile n'ayant pas assez de brillant pour bien se mélanger avec le poli du bois. Les fonds d'or, pour des ornements de style byzantin, ont été employés dans quelques œuvres d'art, mais rarement avec succès.

COULEURS EMPLOYÉES DANS LA DÉCORATION DES PIÈCES D'ORFÉVRERIE ET LA BIJOUTERIE.

ARGENTURE. — DORURE.

L'art de couvrir d'or ou d'argent les surfaces de cuivre, de laiton, etc., est une des grandes ressources des industries que nous avons étudiées section IV, pour donner à ces substances l'apparence et l'éclat de l'or et de l'argent.

On distingue deux dorures, l'une mate et l'autre brillante; la seconde, réfléchissant la lumière, possède un éclat que n'a pas la première.

Le bronzage ou procédé pour donner au laiton fondu l'apparence de bronze antique, ou celle du bronze florentin d'une riche teinte rougeâtre, est un procédé analogue.

ÉMAUX.

Les émaux sont de véritables verres colorés, formés par la fusion de plusieurs oxydes colorants, mêlés en général avec l'oxyde d'étain, qui rend cette vitrification opaque. Ils sont de couleurs diverses en raison de la nature des oxydes employés; ils adhèrent au métal relativement infusible sur lequel ils sont appliqués, et forment une des ressources les plus utiles de la décoration de la bijouterie; l'éclat de ces vitrifications, se mariant parfaitement avec celui de l'or et de l'argent, est seul assez brillant pour fournir des colorations convenables.

Nous donnerons, d'après M. A. Petit, quelques détails sur l'histoire et les procédés de l'émaillerie.

Le plus ancien document écrit qui fasse allusion à l'art des émailleurs établit que cet art était cultivé dans les Gaules alors que les Romains et les Grecs en ignoraient encore les secrets; c'est un passage de Philostrate, rhéteur grec qui vivait à la cour de l'impératrice Julie, femme de Septime Sévère, au commencement du troisième siècle de notre ère. Après avoir parlé de différents objets enrichis de métaux précieux, de pierres fines et rehaussées de peintures, Philostrate ajoute : « On dit que les barbares qui habitent près de l'Océan étendent ces couleurs sur l'airain ardent, qu'elles y adhèrent, deviennent aussi dures que la pierre, et que le dessin qu'elles représentent se conserve. » Durant les guerres qui bouleversèrent l'Occident du quatrième au onzième siècle, l'émaillerie fut presque complétement abandonnée dans les Gaules; mais, pendant la même période, cet art prit un grand développement en Italie, et surtout à Constantinople, où les Byzantins l'avaient appris des peuples de l'Asie, qui de temps immémorial exécutaient avec une grande perfection des travaux en émail.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Au onzième siècle, l'émaillerie revint en faveur en Allemagne, et au douzième siècle cet art s'était répandu en Aquitaine. Limoges, ancienne colonie romaine, qui déjà depuis des siècles avait acquis une grande réputation par les travaux d'orfévrerie qu'on y exécutait, devint le principal centre de fabrication.

Les différentes pièces de cette époque sont exécutées sur cuivre par le procédé du CHAMPLEVÉ. Ce terme nous amène à dire quelques mots sur la technique de l'émaillerie.

D'après les différentes manières dont l'émail est appliqué sur le métal, les émaux peuvent se diviser en trois classes distinctes : les émaux incrustés, les émaux translucides sur relief, et les émaux peints.

Jusqu'à la fin du treizième siècle, on fabriqua seulement des émaux incrustés; ils étaient exécutés soit par le moyen du cloisonnage, soit par le procédé du champlevé. Les émaux cloisonnés, fort en honneur jusqu'au quatorzième siècle, et fabriqués surtout en Orient, étaient d'une exécution difficile et coûteuse, puisqu'elle nécessitait presque toujours l'emploi de l'or. Le moine Théophile, qui écrivait au douzième siècle, donne sur la technique des émaux cloisonnés des détails minutieux dans sa DIVERSARUM ARTIUM SCHEDULA. Sur la plaque de métal destinée à servir de fond, l'artiste disposait de petites lames d'or très-minces qui, posées sur champ et diversement contournées, devaient former les traits du dessin en affleurant à la surface de l'émail. Ces petits morceaux de métal étaient fixés sur la plaque de fond; puis les différents émaux, réduits en poudre impalpable, étaient introduits dans les interstices que les lames laissaient entre elles. La pièce à émailler était alors portée au feu jusqu'à la complète fusion des matières vitrifiables. Il ne restait plus ensuite qu'à égaliser et à polir la surface en la frottant. L'émaillerie cloisonnée fut surtout employée en Orient; le goût s'en répandit pourtant en Italie vers le dixième siècle. Indépendamment des émaux cloisonnés fabriqués en Italie même, un grand nombre de pièces émaillées furent apportées de Constantinople en Occident, et quelques monuments importants d'émaillerie cloisonnée furent commandés aux artistes grecs par les princes et les grands seigneurs de l'Occident. C'est ainsi qu'à la fin du dixième siècle, le doge de Venise, Orseolo I^er^, fit exécuter par des émailleurs grecs le splendide parement d'autel qui forme la pièce principale de la PALA D'ORO à l'église Saint-Marc. Cette œuvre considérable est le plus beau monument connu de l'émaillerie byzantine.

En France, les procédés du cloisonnage furent peu pratiqués. La plupart des pièces émaillées sorties des ateliers de Limoges jusqu'au quatorzième siècle sont traitées, à de rares exceptions près, par le procédé du champlevé. Dans les émaux champlevés, comme dans les émaux cloisonnés, les contours et les linéaments du dessin sont exprimés par un trait de métal; souvent même les personnages, en tout ou en partie, sont rendus par le métal : mais ce métal, au lieu d'être rapporté sur la plaque du fond, comme dans le cloisonnage mobile, est pris dans cette plaque même. L'émail est déposé, non pas dans des interstices ménagés entre les bandelettes posées sur champ, mais dans des intailles que l'artiste creuse sur la plaque servant d'excipient, et qui, souvent aujourd'hui dans l'industrie, est obtenue par la fonte en bronze.

Ce procédé n'était pas en usage seulement à Limoges. Ainsi que nous le disions plus haut, les Allemands l'employèrent avec beaucoup de succès dans le onzième siècle, avant même la fondation de l'école limousine. Et en effet on trouve dans les provinces du Rhin un grand nombre de châsses, de crosses, de calices et d'instruments divers

EFERUS - Recherche & Classification numérique

consacrés au culte, exécutés en cuivre rehaussé d'émaux champlevés et qui révèlent un sentiment de l'art très-développé.

Au treizième siècle, la vogue des ŒUVRES DE LIMOGES était à son comble. Les ateliers limousins produisirent alors une multitude de pièces de toutes sortes, qui furent répandues non-seulement en France, mais en Allemagne, en Italie, en Angleterre, dans tous les pays où le goût des arts s'était développé ou maintenu. Encore aujourd'hui, dans les anciennes provinces du Poitou, du Limousin et de la Marche, dans la Vienne, la Haute-Vienne, la Corrèze et la Creuse, il est peu d'églises un tant soit peu importantes qui ne possèdent quelque châsse ou quelque reliquaire remontant à l'émaillerie limousine des douzième et treizième siècles.

Vers la fin du quatorzième siècle, les émaux champlevés subirent le sort commun à la plupart des productions de l'industrie artistique de toutes les époques; ils passèrent de mode. La fabrication s'arrêta alors, les traditions se perdirent peu à peu; on finit par oublier l'existence des anciens ateliers de Limoges, si bien qu'au commencement de ce siècle on attribuait généralement aux artistes de Constantinople les nombreuses pièces émaillées qui avaient été fabriquées à Limoges, du onzième au quatorzième siècle. Cette opinion, réduite au néant depuis que des recherches sérieuses ont été faites sur l'histoire et la technique de l'émaillerie, avait en apparence quelque raison d'être. En effet, le style adopté à une certaine époque par les émailleurs de Limoges se rapprocha un peu du style byzantin; mais cette analogie (fort exagérée par quelques archéologues) peut s'expliquer historiquement d'une façon fort naturelle. A la fin du dixième siècle, un grand nombre de Vénitiens vinrent se fixer à Limoges, où ils bâtirent même tout un quartier nouveau. Il y avait autrefois à Limoges une rue nommée Vénitienne, et cette rue et son faubourg étaient habités par des marchands vénitiens, dès l'an 979. Ce qui engagea les Vénitiens à bâtir ce faubourg et à se loger à Limoges fut le commerce des épiceries et étoffes du Levant qu'ils faisaient venir sur leurs navires par voie d'Égypte à Marseille et de là par voiture à Limoges, où ils avaient établi de grands magasins d'où une bonne partie du royaume tirait ce qui lui faisait besoin. Le doge Orseolo lui-même vint finir ses jours dans un couvent de camaldules à Limoges. Or, au dixième siècle, Venise était en rapports suivis avec Constantinople; des artistes grecs étaient venus s'établir sur les bords de l'Adriatique, chassés de l'Orient par les persécutions des empereurs iconoclastes; en un mot, l'art grec s'était implanté à Venise. Il doit donc paraître parfaitement naturel que les Vénitiens en aient introduit à Limoges le style et les traditions. Cela ne semble-t-il pas expliquer suffisamment le cachet byzantin dont se ressentent quelques-unes des productions de l'émaillerie limousine du moyen âge?

Ainsi que nous le disions tout à l'heure, les émaux champlevés passèrent de mode au quatorzième siècle; ils furent détrônés par les émaux translucides sur reliefs (ou émaux de basse taille), qui dans le principe furent surtout exécutés en Italie, mais dont le goût se répandit promptement en France et dans les Flandres. Ces émaux étaient fabriqués par des procédés fort simples en apparence, qui demandaient néanmoins le concours d'artistes très-habiles. Sur une plaque de métal plus ou moins épaisse on creusait une intaille occupant toute la partie à émailler. Ensuite, avec des outils très-fins, on gravait dans l'intaille primitive le sujet qu'on voulait reproduire, en donnant un léger relief aux parties les plus saillantes des carnations et des vêtements. Enfin un émail translucide était introduit dans le creux qu'il devait remplir entière-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ment et la pièce était mise au feu, fondue et polie. Benvenuto Cellini, dans son traité d'orfévrerie, donne des détails très-complets sur la technique de ce genre d'émaillerie, dont les procédés subirent plusieurs modifications et que Vasari définissait fort bien en l'appelant une sorte de sculpture alliée à la peinture : E SPECIE DI PITTURA MESCOLATA CON LA SCULTURA. Beaucoup d'artistes célèbres employèrent ce procédé. Jean de Pise, Ghiberti, Pallajuolo, Francesco Francia, y excellèrent, si l'on en croit Vasari, et Benvenuto lui-même émailla un grand nombre de pièces d'orfévrerie de cette façon.

Au commencement du quinzième siècle, les émaux de basse taille furent abandonnés à leur tour. Les émailleurs limousins, longtemps délaissés, relevèrent alors la fabrication française en inventant un nouveau moyen d'employer l'émail pour reproduire des sujets de toute espèce. Ils découvrirent la véritable peinture en émail, art nouveau que devait bientôt féconder le génie des maîtres de la Renaissance, et dont les procédés permettaient à l'artiste émailleur d'employer toutes les ressources dont dispose la peinture ordinaire.

En trouvant la peinture en émail, les Limousins ouvrirent des voies nouvelles à l'émaillerie et l'amenèrent presque à rivaliser avec la peinture à l'huile, découverte, elle aussi, depuis peu de temps. L'émailleur ne se servit plus de métal pour exprimer les contours et les traits du dessin, et il fut affranchi du travail de ciselure nécessité par l'emploi des émaux incrustés. L'émail, manié au pinceau, rendit tout à la fois le trait et le coloris, et le métal resta seulement la matière subjective de l'émail, comme la toile ou le bois sont celles des couleurs à l'huile, dans la peinture.

Au seizième siècle, les émaux peints étaient arrivés au plus haut point de perfection. Après de longs tâtonnements, après de nombreux essais, les émailleurs avaient adopté un procédé que chaque artiste modifiait plus ou moins dans la pratique, mais dont la base était toujours la même. La plaque de fond était recouverte d'une couche épaisse d'émail noir ou de teinte sombre. Sur ce fond, le dessin était exécuté avec un émail blanc opaque, de façon à produire une grisaille dont on obtenait les ombres, soit en ménageant plus ou moins l'émail noir, soit en le faisant reparaître par le grattage de l'émail blanc avant la cuisson. Si l'émailleur voulait colorer sa pièce, diverses couleurs d'émail translucides étaient appliquées sur la grisaille.

L'œuvre des Pénicaud, Jean l'aîné, Jean Pénicaud junior et Pierre Pénicaud, tient la plus grande place à cette époque, mais leur œuvre s'efface devant celle de Léonard Limousin, le maître entre tous de la peinture sur émail.

Depuis 1530 jusqu'en 1574, Léonard Limousin ne cessa pas de travailler, et, durant ces quarante-quatre années de labeur, il peignit une incroyable quantité d'émaux. François Ier le prit en affection et lui donna, à ce que l'on prétend, le surnom de Limousin ou Limosin, pour le distinguer de Léonard de Vinci. Ce fait est fort contestable ; mais ce qui est certain, c'est que Léonard Limousin dut à la faveur de François Ier d'être nommé valet de chambre du roi et directeur de la manufacture royale des émaux de Limoges. Si Léonard Limousin n'inventa pas la peinture en émail, on peut dire qu'il lui a donné une impulsion vivifiante et un caractère tout nouveau, en un mot qu'il l'a élevée à la hauteur d'un art véritable.

Le grand nombre d'émaux signés et datés que l'on possède de Léonard Limousin permet de suivre en quelque sorte sans interruption les différentes phases de progrès et de décadence que subit le talent de cet artiste. Durant sa longue carrière, Léonard

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Limousin changea plusieurs fois de manière et modifia souvent ses procédés. Dans ses premières œuvres, il s'inspira des maîtres allemands, qu'il copia souvent. Son dessin était lourd et parfois peu correct, son coloris manquait d'éclat et de vigueur. Plus tard, Léonard Limousin subit, comme les artistes de son temps, l'influence exercée à la cour de France par les maîtres italiens qu'avait attirés François Ier. Alors il délaissa l'école allemande, vieillie et passée de mode, pour adopter franchement le style italien. Il copia Raphaël, Jules Romain, le Rosso. Il parvint à identifier son talent avec celui de ces grands artistes ; peintre lui-même, il comprenait leurs beautés, et il savait merveilleusement s'approprier leurs brillantes qualités. Son dessin devint alors plus correct et plus expressif, les sujets de ses compositions furent mieux choisis, le ton de ses émaux acquit une énergie et une puissance nouvelles ; il apprit à nuancer ses couleurs avec une harmonie charmante ; ses peintures prirent un cachet d'inspiration poétique dont il trouva le secret en copiant les dessins de Raphaël.

Léonard Limousin arriva à l'apogée de son talent entre 1550 et 1560. Ce fut en 1553 qu'il exécuta pour Henri II les deux admirables tableaux votifs de la Sainte-Chapelle actuellement conservés au musée du Louvre. Au dire des juges les plus savants, cette œuvre « réunit tous ses mérites et tous les progrès que lui doit l'émaillerie. » Sur la fin de sa vie, Léonard Limousin perdit beaucoup de ses brillantes qualités. Ses dernières œuvres ne sont plus à la hauteur de son talent.

Un juge excellent, M. Léon de Laborde, a ainsi caractérisé la manière de Léonard Limousin, à l'apogée de son talent, vers 1550. « L'effet général est éclatant, clair, harmonieux ; il est égayé par des bleus de ciel vifs, par des bleus turquoise, chatoyant sur paillons (feuilles minces d'or placées sous l'émail). Un ton jaune serin employé dans les cheveux lui est particulier, et des carnations rosées, limpides, ajoutent à la surprise séduisante causée par ces émaux qui ont quelque chose du brillant d'un satin changeant. Nul n'a su comme lui se servir de rehauts d'or pour agrémenter ses médaillons ou ses ornements sur fond noir. »

Léonard Limousin s'efforça d'ouvrir des voies nouvelles à la peinture d'émail, en l'appliquant à la décoration des meubles de la vie privée, tels que coupes, aiguières, bassins, vaisselle de toute espèce. Ces applications industrielles eurent le résultat de répandre en Europe l'émaillerie de Limoges. Les grandes familles françaises, anglaises, allemandes, hollandaises, voulurent toutes orner les dressoirs de leurs châteaux et de leurs hôtels avec la vaisselle émaillée de Limoges. Mais l'extension de la peinture d'émail à la décoration des objets industriels entraîna, au bout de quelque temps, une certaine dégénérescence dans cet art qui se faisait industrie. Déjà dans certaines productions de Pierre Raymond, célèbre émailleur contemporain de Léonard, on peut constater les fâcheux écarts de goût et de style qu'amena, dans les ateliers de Limoges, la nécessité de produire vite et beaucoup pour répondre aux besoins de l'industrie.

Pierre Raymond excellait à peindre, sur le revers de ses plats et de ses bassins, des arabesques fantastiques et légères. Il savait à merveille faire courir en frises élégantes de gracieux rinceaux, des enroulements capricieux de feuillages et de fleurs, des animaux chimériques bizarrement profilés. Il rendait mieux que tout autre ces fantaisies si fort goûtées au temps de la Renaissance, et dans lesquelles l'esprit et l'imagination prennent souvent une part plus grande que le talent du peintre.

Dans les émaux de Jean Court, dit Vigier, et des Courtois, on trouve un singulier mélange d'art et d'industrie, de peintures de premier ordre et d'émaux de pacotille.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

La collection Rothschild possède entre autres un médaillon d'émaux colorés, signé J. Curtius (Jean Courtois), qui est une œuvre vraiment belle et bien digne d'un des meilleurs artistes de Limoges[1].

Peu à peu cependant le côté artistique s'amoindrit, et insensiblement l'école limousine arriva à la décadence. Jean Limousin, qui passe pour le fils de Léonard, et qui ouvre la liste des émailleurs du dix-septième siècle, n'est plus pour ainsi dire qu'un habile ouvrier. On peut en dire autant des Poncet, des Noualhier, des Landin, et de la plupart des émailleurs du dix-septième siècle.

Au commencement du dix-huitième siècle, la vieille réputation des ateliers de Limoges était perdue, oubliée. Les nouveaux procédés de peinture sur émail, découverts ou plutôt remis en usage par Toutin, firent complétement abandonner l'émaillerie limousine. Avec les couleurs opaques employées par Toutin, l'émailleur peignait sur fond d'émail, comme un miniaturiste peint sur vélin ou sur ivoire, sans qu'il fût besoin de recourir à l'enduit d'émail noir pour obtenir les ombres. Un siècle auparavant, Léonard Limousin avait découvert ce procédé, mais il l'avait abandonné après quelques essais, en voyant qu'il ne pouvait suffire aux exigences de la grande peinture d'émail. Une nouvelle école se forma; mais les artistes qui se groupèrent autour de Jean Toutin furent des ornemanistes ou des MINIATURISTES plutôt que de véritables émailleurs. Si cette nouvelle école fut illustrée par le nom célèbre de Petitot, elle ne fournit pas une longue carrière. Vers le milieu du dernier siècle, la peinture sur émail était presque abandonnée.

Petitot fut un artiste d'un admirable talent, qui fit d'excellents portraits sur émail. Nous donnerons idée de son habileté en rappelant que quelques-uns des portraits peints par Petitot ne sont guère plus grands qu'une pièce d'argent de cinquante centimes. Et cependant la science du dessin et la précision de la touche sont telles, la physionomie du modèle est si bien conservée, que ni l'œil ni l'esprit ne sont blessés de cette extrême réduction. On oublie le tour de force pour ne chercher que le caractère intime du personnage et son tempérament. C'est la miniature élevée à la hauteur de la peinture d'histoire. Le Louvre en possède une série intéressante.

C'est la légèreté de la feuille de métal sur laquelle s'appliquent les émaux, la facilité de lui donner des formes élancées qu'il serait presque impossible d'obtenir avec d'autres substances, qui, avec l'éclat des émaux rappelant celui des pierres précieuses, rendent les ouvrages en émail extrêmement séduisants et font des émaux un accompagnement excellent de l'orfévrerie. C'est surtout au point de vue des formes qu'ils diffèrent des poteries émaillées qui ont fait la gloire de Lucca della Robbia et de Bernard de Palissy. Nous en donnerons pour échantillon une élégante buire faite à Sèvres sur les dessins de M. Diéterle (fig. 249).

1. Noms de quelques émailleurs principaux de Limoges, d'après M. de Laborde et l'abbé Texier:

Abbo, orfévre, maître de saint Éloi, vivant aux sixième et septième siècles.
Saint Éloi — septième siècle.
Wilhelmus (frère Guillaume), vivant de 940 à 960.
Vitalis, orfévre à Limoges — 1087.
Chatard — 1209.
Vital Pierre de Julien, Ayamba — 1389.
Penicaud — 1503.
Léonard Limousin — 1530 à 1575.
Pierre Courteys — 1545 à 1568.
Poncet — 1552 à 1625.
Jean Limousin — 1597 à 1625.
Martial Raymond — 1590 à 1608.
Bernard Limousin — seizième et dix-septième siècles.
Landin, Noualhier, etc., dix-septième siècle.
Toutin, Petitot, etc., dix-huitième siècle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les émaux cloisonnés sont restés une des gloires de l'industrie chinoise qui exécute ainsi des vases de grande dimension, d'une richesse incomparable.



249. Buire émaillée de M. Diéterle.

L'emploi des émaux est la ressource la plus précieuse de la bijouterie, celle qui permet, par le mélange de couleurs aussi éclatantes que l'or qui les entoure, de produire une multitude d'effets charmants. C'est surtout pour former des feuilles avec des émaux verts que cette ressource est utilisée dans les produits les plus ordinaires.

Pour montrer leur talent et lutter avec les plus grandes difficultés, les artistes les plus distingués font quelquefois des « chefs-d'œuvre » représentant des personnages colorés par des émaux, des scènes exécutées en émail ; ils exigent beaucoup de travail et sont d'un prix élevé, mais aussi ils font la joie des amateurs. Nous doutons toutefois qu'on les appréciât autant, si la difficulté d'exécution, plutôt qu'une véritable beauté, n'en faisait pas le principal mérite.

Nielles. — L'art de nieller, dit Vitet, fort en usage durant le moyen âge, consiste à étendre, dans les tailles d'une gravure exécutée sur l'or et sur l'argent, une composition métallique, espèce d'émail noirâtre (un sulfure métallique), appelé en latin, à cause de sa couleur, « nigellum, » et en italien « niello ; » cet émail, qu'on fixait en le mettant en fusion, était ensuite poli avec le reste du métal. L'argent et l'or devenaient brillants dans toutes les parties que le burin n'avait pas entamées ; partout, au contraire, où il avait tracé le moindre sillon, la nielle en remplissait le creux, et par sa couleur noire faisait ressortir vivement le dessin de la gravure.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Inventée par les Égyptiens, dit le duc de Luynes, peut-être avant l'ère chrétienne, la nielle devint un art de prédilection dans l'Orient; elle paraît avoir été importée par les Byzantins en Russie, à l'époque où les Barbares qui habitaient ce pays se convertirent au christianisme, et il est probable que ce fut aussi de Byzance que les artistes occidentaux du moyen âge reçurent les premières leçons sur l'art de nieller l'argent.

L'usage des nielles, continué en Europe depuis le septième siècle jusqu'au douzième, fut ensuite négligé pendant un long espace de temps; il fut repris dans le quinzième siècle et presque complétement abandonné de nouveau. Ce procédé, que Wagner rapporta en 1825 de la Russie, a été souvent appliqué de nos jours à de menus objets de bijouterie courante, plutôt qu'à des œuvres d'un ordre très-élevé.

C'est la nielle qui a mené directement à l'impression en taille-douce; il n'y avait qu'à tirer des épreuves des gravures faites pour nieller, après en avoir rempli les tailles de noir, et presser sur un papier pour créer ce mode d'impression; or c'est ce qui a été fait souvent pour tirer épreuve de la nielle et en juger le travail. C'est une épreuve de nielle considérée comme une estampe, et dont on a retrouvé la gravure sur une pièce d'orfévrerie existant à Florence, qui a servi à établir exactement la date de la découverte de l'imprimerie en taille-douce, en 1452, par Tomaso Finiguera, orfévre de cette ville.

Passons maintenant aux colorations considérées en quelque sorte comme but, c'est-à-dire aux industries dans lesquelles les couleurs ne sont pas employées, comme dans les cas précédents, pour décorer des objets déterminés, mais dont les produits ne sont que des moyens de supporter et d'utiliser les colorations. Tels sont les papiers et les étoffes.

COLORATION DES PAPIERS ET ÉTOFFES

CHROMO-TYPOGRAPHIE. — CHROMO-LITHOGRAPHIE.

CHROMO-TYPOGRAPHIE. — Au lieu d'encre noire, on peut employer pour l'impression typographique des encres de couleur, préparées également avec de l'huile cuite, dans laquelle on incorpore des poudres colorées, du vermillon, de l'outremer, etc., au lieu de noir de fumée. En imprimant sur la même feuille, et faisant en sorte que les contours obtenus par plusieurs gravures diverses soient disposés de façon à se juxtaposer, ce que les pointures de la presse permettent d'obtenir avec une grande précision, on a tous les effets qui peuvent être obtenus à l'aide de teintes plates. Le plus souvent on se limite à des impressions en couleur de vignettes, de teintes de fond, pour rehausser l'impression des types en noir, mais on peut obtenir des productions plus complètes, à grands frais malheureusement, chaque couleur exigeant la gravure très-précise d'un bois pour l'imprimer. C'est cette condition coûteuse qui a fait l'infériorité de la chromo-typographie relativement à la chromo-lithographie, dont les développements sont si remarquables de nos jours.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CHROMO-LITHOGRAPHIE. — La facilité avec laquelle on dessine sur diverses pierres les parties qui doivent donner des couleurs différentes (après avoir reporté les principaux contours de l'ensemble de la composition tracé sur une première pierre) a rendu l'emploi de la lithographie bien plus fréquent que celui de tous les autres procédés, pour obtenir des impressions en couleur. La rapide et peu coûteuse exécution des dessins sur pierre nécessaires pour obtenir un dessin colorié en 10, 20 couleurs différentes, a fait tenter en lithographie des œuvres remarquables, à des prix assez modérés pour les grands tirages, grâce à l'emploi de la presse mécanique lithographique, et fait naître de nombreuses tentatives d'imitation des œuvres d'art. Nous avons fait apprécier au commencement de ce chapitre pourquoi de semblables tentatives ne pouvaient réussir complétement; mais la chromo-lithographie permet d'approcher du but et a un rôle très-important à remplir dans l'industrie en vulgarisant des œuvres où l'emploi des couleurs habitue l'œil à en sentir l'harmonie; c'est un procédé à ressources bien moindres que celles de la peinture à l'huile, mais qui, entre les mains d'un artiste, peut produire de très-heureux effets.

Des imitations de décoration orientale, des reproductions de vitraux, etc., ont été surtout multipliées par nos artistes. La reproduction des miniatures qui décoraient les anciens manuscrits est une des plus précieuses applications de cet art. La multiplicité des planches et des teintes, et surtout l'emploi du pointillé, fournit des ressources presque égales à celles dont disposaient les peintres sur vélin et permet de reproduire leurs œuvres avec succès.

En Angleterre les travaux de chromo-lithographie ont suivi une direction autre qu'en France; la popularité de l'aquarelle dans ce pays a fait le succès des imitations que l'on a pu en produire. L'aquarelle exécutée par les procédés de la chromo-lithographie y est très-goûtée. Nous ne devons pas négliger cette voie sous le prétexte, que j'ai entendu répéter, que les aquarelles n'étaient pas très-recherchées en France, et que les travaux qui se rapprochent de l'enluminure des manuscrits se vendaient seuls. C'est à nos artistes à faire comprendre un genre trop peu apprécié, et à faire l'éducation du public; ce qui a lieu, de plus en plus, chaque jour.

En Allemagne, ce ne sont pas les aquarelles que l'on s'est proposé d'imiter, mais bien de véritables tableaux, et ce genre, secondé par le goût généralement répandu à Munich et à Berlin pour tout ce qui rappelle les œuvres d'art, a pris des développements très-intéressants; toutefois il exige une très-grande quantité de planches, une dépense très-considérable pour conduire à des résultats incomplets.

La chromo-lithographie produit à bas prix une foule de petits sujets fort élégants, traités avec esprit et simplicité, qui peuvent procurer des jouissances artistiques aux classes peu fortunées, où il est à souhaiter que le goût des arts se développe davantage chaque jour.

Nous préférons cette voie de l'utilisation intelligente du procédé spécial de la chromo-lithographie, de sa palette particulière, à sa rivalité avec la peinture à l'huile, car c'est même en imprimant directement sur une toile préparée à peu près comme pour la peinture à l'huile, employée au lieu de papier, que s'obtiennent les paysages de Hartinger, de Vienne, qui, vernis, rappellent assez passablement les modèles, et sont comme eux résistants à l'air, par suite assurés d'une grande durée, les couleurs étant préparées au vernis gras. C'est vouloir sortir de la sphère propre du procédé et ressembler un peu à la grenouille de la fable.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

TAILLE-DOUCE. — Dans ces derniers temps on est parvenu à obtenir, à l'aide de l'impression en taille-douce, des impressions en couleurs légères, de petits tableaux très-agréables à l'œil, infiniment supérieurs à ce qui avait été tenté antérieurement. La gravure en creux qui permet de varier les épaisseurs des couleurs et qui a sous ce rapport une supériorité réelle sur les deux procédés ci-dessus, qui ne peuvent employer dans tous les cas qu'une même épaisseur de couleur, paraît tout à fait propre aux effets de modification des couleurs par épaisseur ou transparence des couleurs, par superposition des teintes, comme aussi pour permettre l'imitation du grain du papier, de la toile, dans des imitations curieuses de peinture à l'huile, par une dernière impression d'une surface grenue.

Le procédé dû à M. Desjardins, perfectionnement de tous les essais analogues tentés à l'aide de la taille-douce, repose sur une donnée logique et extrêmement remarquable. Il n'obtient pas ses impressions à l'aide d'un nombre infini de planches, ce qui ferait de la difficulté vaincue une œuvre de patience seulement; il n'emploie en général que quatre planches pour déposer les couleurs primitives et former les couleurs composées par transparence, c'est-à-dire dans l'ordre suivant:

1° Le jaune pour toutes les parties qui doivent rester jaunes, et celles composées de jaune et d'une autre couleur, les verts, les orangés;

2° Le bleu qui donne les bleus, les verts par superposition sur le jaune, et cela dans des tons variables en raison de l'épaisseur du bleu;

3° Le brun qui donne les ombres, les contours;

4° Enfin, le rouge qui donne les rouges, les violets, et par lequel on finit, parce que cette couleur possède l'éclat qui donne une apparence artistique à une œuvre.

Ces couleurs sont en général suffisantes pour lutter avec la belle enluminure à la main, et on arrive avec six planches seulement (deux rouges et deux bruns par exemple), ou tout au plus avec sept ou huit, à des effets très-remarquables. Toutefois il faut bien dire que, pour atteindre ces résultats, l'intervention d'un graveur et d'un imprimeur habile, dont le travail ait quelque chose d'artistique, bien distinct de l'exécution mécanique, est indispensable. Toutefois les principes posés relativement à l'emploi des couleurs sont excellents et fort utilisés pour la chromo-lithographie qui, grâce au bon marché et à la facilité de la production des types et des moyens de tirage, envahit et agrandit chaque jour le domaine de la fabrication des dessins colorés.

IMPRESSION DES PAPIERS PEINTS

L'industrie du papier peint, qui nous vient de Chine, d'où nous recevons encore des produits peints à la main qui paraissent toujours curieux, se propose la décoration des habitations, et y parvient en se substituant, soit aux tentures d'étoffes qu'elle a souvent pour objet d'imiter, soit aux peintures. Rarement elle se propose des reproductions d'objets d'art, ou bien ce n'est que comme tour de force, pour ainsi dire, pour montrer l'étendue possible des ressources du procédé technique (toujours celui de la juxtaposition des couleurs, comme en lithographie, mais ici les couleurs sont à l'eau, et par suite les contours sans finesse), plutôt que comme fabrication d'un produit commercial.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Quelques œuvres bien remarquables de ce genre ont paru aux Expositions; toutefois nous ne citerons que les paysages sur papier peint. Leur impression rapide sur papier humide, permettant d'adoucir les contours à l'aide de la brosse ronde, amène par un travail modéré à un effet excellent. Le paysage supporte mieux que tout autre genre la lutte avec les produits d'art, par les moyens à la portée de l'exécution industrielle; une petite variation de position d'une planche n'a pas la même gravité sur un détail de paysage que sur la figure humaine.

Les couleurs étant déposées sur le papier préparé, à l'aide de planches de bois gravées, on voit que, théoriquement, toutes les reproductions de dessins sont possibles. Cela est vrai notamment pour les ressources que peut offrir l'architecture, qui fournit beaucoup de motifs, la décoration des appartements ayant de sa nature quelque chose de monumental.

Tous les styles se traduisent dans les papiers peints et se matérialisent par l'exécution facile des planches propres à reproduire le dessin-modèle de l'artiste. La facilité du travail donne l'audace de tenter des effets souvent heureux, mais est aussi la cause de bien des produits de mauvais goût, dans lesquels tous les genres sont confondus, ce qui, plus encore que chez nous, a lieu dans les pays étrangers qui ont essayé de lutter avec la France pour cette fabrication, et qui n'ont pas une école d'artistes-peintres aussi distinguée que la nôtre pour donner l'impulsion au goût[1].

Dans les derniers progrès de la fabrication, il faut citer les superpositions de couleurs qui font varier la dernière posée en raison de celle déposée la première. C'est le bon emploi de cette ressource qui a donné à nos papiers peints un aspect plus artistique dans ces dernières années. Elle est venue s'ajouter heureusement au procédé employé dès l'origine de cette industrie pour obtenir les dégradations de teintes, et qui consiste à superposer partiellement la même teinte un certain nombre de fois.

Nous avons parlé du contraste et de l'harmonie des couleurs qui fait le charme des papiers peints; nous voudrions en pouvoir donner quelques exemples, ce que les progrès de la chromo-lithographie rendent possible. On peut déjà consulter quelques belles publications de ce genre, ce qui est très-utile, comme l'étude des collections de produits fabriqués, après, bien entendu, la première de toutes les études, celle des chefs-d'œuvre de la peinture.

Revenons à la nature des dessins qui se répètent le plus souvent dans ce genre d'industrie.

La fabrication des papiers peints ayant pour objet de mettre en manufacture l'ornementation des appartements, au lieu de la créer sur place, de l'appliquer par un simple collage, il va sans dire que la plupart des grandes décorations se font par une série de panneaux qui forment un ensemble.

1. La fabrication du papier peint est fixée, à Paris, au faubourg Saint-Antoine, et y occupe une nombreuse population qui enfante avec une rapidité merveilleuse de nouveaux modèles, de telle sorte que la production par procédés mécaniques, pour lesquels les moyens de fabrication sont longs à créer, est rapidement dépassée par des créations nouvelles; toutefois le bon marché donne chaque jour plus d'avantage à la première, pour les produits de grande consommation. Il se fait en papiers peints bien des produits de faible valeur artistique parmi ceux créés à bas prix et pour satisfaire tous les goûts, mais il se fait également des œuvres remarquables, qui dépassent en quelque sorte la sphère où doit se tenir l'industrie du papier peint. Nous citerons M. Delicourt et M. Desfossé, le successeur de l'ancienne maison Mader, comme chefs des principales maisons où se fabriquent ces produits hors ligne. La maison Zuber, de Mulhouse, a aussi su se maintenir au premier rang, mais sans pouvoir, vu son éloignement de la capitale, attaquer aussi facilement tous les genres à la mode, que les fabricants du faubourg Saint-Antoine.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

En fabrique, au point de vue des dessins et en laissant de côté les procédés de fabrication qui donnent les trois classes de papier, ordinaires, satinés et veloutés, les deux derniers produisant des effets d'éclat et de richesse tout particuliers, les veloutés notamment rappelant les velours, la sculpture par leur relief, on distingue:

Les papiers à raies, écossais, coutils, dont la décoration résulte de combinaisons de lignes droites;

Les papiers à ornements classiques, grandes lignes de cadres, panneaux à sujets, genre antique, retraçant les harmonies architecturales;

Les papiers à arabesques, à enroulements de fantaisie, qui ne rappellent que vaguement des sujets déterminés, genre dont le papier représenté dans la figure ci-contre



250. Papier à arabesques.



251. Papier à fleurs.

peut donner une idée: c'est, avec les papiers rayés, la fabrication la plus courante, celle qui s'obtient en général par des gris de plusieurs tons, sans arriver aux couleurs;

Les papiers imitant les bois, les marbres, etc.;

Les papiers à fleurs et bouquets, les uns tels que celui représenté dans la figure 251, employant le rose et le vert principalement, l'association de couleurs qui plaît le plus à l'œil; les autres absolument semblables aux étoffes perses dont nous donnons plus loin un dessin et qui s'impriment avec les mêmes planches: ce genre est le plus brillant par l'harmonie des couleurs;

Les papiers dorés satinés, qui réfléchissent la lumière; les papiers gaufrés reproduisant les anciens cuirs de Cordoue;

Les papiers genre régence, dont les ornements sont formés de lignes ondulées rappelant le style Louis XV.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

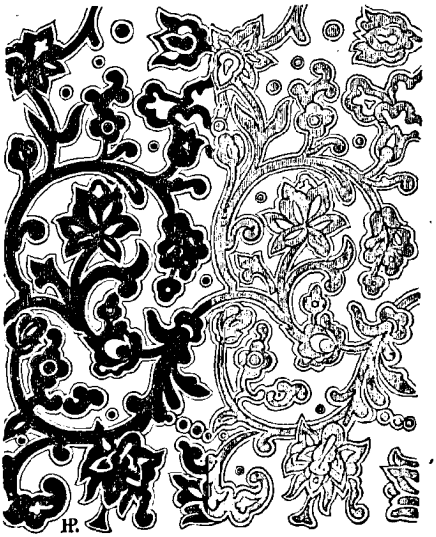
TOILES PEINTES.

Parmi les progrès les plus remarquables de ces dernières années, après la superposition des couleurs dont nous avons parlé plus haut et dans un autre ordre d'idées, nous devons citer les riches bordures ou galeries découpées qui sont d'un excellent effet.

IMPRESSION SUR ÉTOFFES

Le tissage, comme nous allons bientôt le dire, produit des étoffes dont la surface est ornée de dessins colorés variés à l'infini, du moins quand on emploie toutes les ressources qu'offrent les méthodes les plus perfectionnées. Ces dessins sont, par la nature de leur exécution, parfaitement distincts du fond et des dessins voisins, et se trouvent en saillie rendue bien sensible par la courbure du fil qui s'infléchit sur leurs contours, et qui vient en ces points s'insérer dans les fils de la chaîne.

Le défaut des étoffes obtenues par tissage est d'être d'un prix élevé, leur fabrication exigeant nécessairement un travail considérable. Il n'en est plus de même de celles ornées de dessins colorés par simple impression, c'est-à-dire par application de couleurs à l'aide de surfaces gravées, qui, si elles n'ont pas les qualités des étoffes tissées que nous venons de rappeler, peuvent posséder la même richesse de coloration, et causer quelquefois une illusion complète, être une imitation très-satisfaisante de produits chers par des produits à bon marché, ce qui explique le développement à l'époque actuelle de la belle industrie de l'impression sur étoffes. Elle est même parvenue, dans



252.

quelques cas, à obtenir des résultats que ne fournirait pas le tissage, notamment l'impression de fleurs très-légères sur étoffes très-fines, transparentes; des teintes fondues, dégradées, etc., faisant remarquer que l'effet de l'impression, pour une même gravure, est en raison de la finesse de l'étoffe, du nombre et de la force des fils contenus dans l'unité de surface. C'est ce que la figure 252 fera facilement comprendre;

EFERUS - Recherche & Classification numérique

elle permet aussi d'apprécier la légèreté ainsi obtenue sur les étoffes à fils peu serrés, transparentes.

La peinture des étoffes paraît très-ancienne dans l'Inde; elle l'enseigna sans doute à l'Égypte, qui, sous les Ptolémées, posséda de grandes manufactures de toiles peintes et fournit Rome sous l'empire, comme on le voit dans Pline. Au siècle dernier, les indiennes provenant de l'Inde tenaient encore une grande place dans la consommation.



253.

Elles ont disparu entièrement aujourd'hui devant les admirables progrès mécaniques et chimiques accomplis dans cette belle industrie de l'impression sur étoffes que l'on doit considérer, dans son état actuel d'avancement, comme entièrement moderne [1].

Ainsi qu'il a été expliqué en traitant des procédés techniques, une petite gravure en relief, dite CACHET, forme en général le point de départ de toute impression; multipliée et disposée en rectangles, pentagones, elle forme la planche ou (et



254. Impression genre Cachemire



255. Toile perse.

alors elle est exécutée d'abord en relief sur une petite molette d'acier afin de produire et de répéter à l'infini un dessin en creux) le rouleau cylindrique en métal servant à

1. Ce sont les progrès modernes de la chimie qui ont surtout permis le développement des manufactures d'étoffes imprimées, en améliorant les procédés, en multipliant les couleurs et en lui fournissant les matériaux, les produits chimiques à bon marché. Mulhouse est le centre de la fabrication la plus avancée; Rouen, Glascow, Manchester, les lieux de fabrication les plus considérables. Grâce aux machines, la puissance de production de ces centres est, pour ainsi dire, illimitée.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

l'impression de chaque couleur. Nous ne reviendrons pas ici sur ce qui a été dit dans le travail si complet consacré dans le présent ouvrage à l'impression sur étoffes, auquel nous renverrons le lecteur curieux d'étudier une magnifique industrie. Quant à l'article sur la GRAVURE des rouleaux, véritable industrie d'art, née et développée par suite des progrès de l'impression, on ne saurait la séparer du présent travail. Nous rappellerons seulement, parmi les procédés de répétition qui sont employés dans ce travail, l'emploi du tour à guillocher, qui donne des résultats curieux, surtout pour fond en une première couleur, et dont la figure 253 peut donner une idée. Le pantographe à branches multiples, pour préparer les dessins pour la morsure à l'eau-forte, n'offre pas moins d'intérêt que la machine à graver à la molette, mais nous n'avons pas à en parler longuement ici, le lecteur ayant entre les mains l'article précité.

On parvient par impression à reproduire la plupart des effets obtenus par tissage; toutefois, ce genre de fabrication ne cherche pas en général à lutter contre les produits riches. Nous pouvons établir comme divisions principales dans les objets de cette fabrication :

1° Les petits dessins au rouleau, tant fleurs que pointillés de tout genre pour étoffes légères, peu chargés en couleur.

2° Les impressions communes réclamant de grandes masses de couleurs et exécutées fréquemment soit avec la perrotine, soit avec le métier à surface. La première gravure ci-contre (fig. 254) se rapporte à ce genre, qui imite souvent aujourd'hui les fleurs si brillantes du cachemire de l'Inde. Le fond est en général obtenu par teinture, les rentrures étant faites dans des places où la teinture n'arrive pas, l'étoffe étant protégée par des réserves.

3° Les perses, dessins à fleurs et feuillages, étoffes qu'on recouvre d'un apprêt extrêmement brillant; très-convenables pour tentures et meubles d'été. Nous en donnons un échantillon dans la figure 255.

4° Les fondus, obtenus soit par des gravures où les traits sont d'épaisseur décroissante, soit par procédé mécanique servant à étaler la couleur;

5° Enfin les imitations des brochés et des étoffes tissées en général, les écossais, les châles imprimés, etc.

La question d'art est ici la même que pour les papiers peints, sauf la différence d'emploi des produits destinés à l'habillement, et non à la tenture des appartements.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

SECTION VII

ÉLÉMENTS COLORÉS

Les procédés dont nous venons de parler dans la division précédente, et qui permettent de colorer les diverses matières par l'application de substances colorantes, par des moyens semblables à ceux de la peinture, ne sont pas les seuls employés dans l'industrie. Il est une série très-nombreuse de fabrications qui tirent leur charme de la réunion, soit d'éléments ornés de leurs couleurs naturelles, soit d'éléments préalablement teints complétement en couleurs diverses. On va voir combien de procédés industriels, résultant de la nature du travail à effectuer pour obtenir un produit utile, permettent, à l'aide des ressources dont nous parlons ici, d'obtenir des produits ayant une élégance qui lui donne quelquefois une véritable valeur artistique.

Avant tout, nous étudierons en elles-mêmes les combinaisons auxquelles peuvent donner naissance les réunions d'éléments colorés employés pour les décorations.

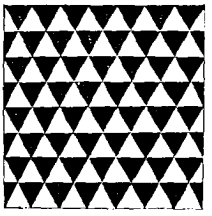
COMBINAISONS

Toutes les figures encadrées entre des séries de lignes parallèles équidistantes peuvent servir à couvrir une surface déterminée, avec un seul élément ou avec des éléments de forme semblable, mais diversement colorés ; ce qui peut fournir des décorations très-variées, comme nous allons le voir bientôt.

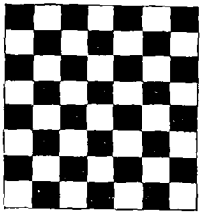
Les figures 1 et 2 représentent les tracés obtenus par des lignes parallèles équidistantes, ce qui donne soit une réunion de carrés (fig. 2), soit des triangles équilatéraux, qu'on peut supposer alternativement blancs et colorés, ou réunis deux à deux par une même face, ce qui donne des losanges (fig. 3).

EFERUS - Recherche & Classification numérique

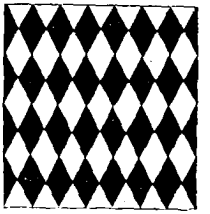
Les figures formées par deux séries de lignes parallèles, équidistantes pour chaque série seulement, sont encore souvent employées dans l'industrie du parquet pour couvrir une surface avec un seul ou un petit nombre d'éléments. (Voir la figure 4, et plus loin PARQUET.)



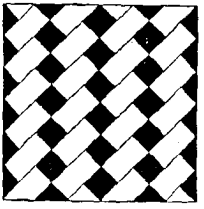
1.



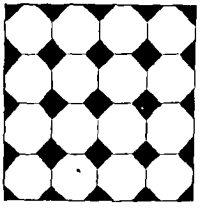
2.



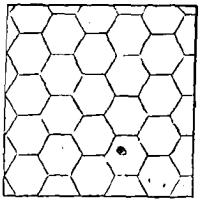
3.



4.



5.



6.

Si au lieu de deux séries de lignes parallèles on en emploie trois, on rencontre une solution du problème de couvrir une surface avec un seul élément; c'est l'hexagone régulier (fig. 6). On peut, avec deux pièces différentes, employer de même un octogone mêlé avec un carré (fig. 5) de même longueur de côté.

Ce n'est que par des figures régulières ayant les formes dont nous venons de parler qu'on peut couvrir une surface avec un ou deux éléments seulement, ce qui est fort à considérer pour plusieurs industries, notamment celle du parquet. Il n'en est plus ainsi des autres figures simples, des pentagones, par exemple, entre lesquels subsisteraient des vides.

La forme rectiligne des côtés n'est évidemment pas indispensable; des triangles équilatéraux à courbes symétriques autour du contour rectiligne comme axe, des arcs de cercle, par exemple, peuvent permettre de couvrir une surface avec des pièces d'une seule forme et de couleurs différentes.

La condition de couvrir toute la surface sans vides, essentielle pour le parquetage, le carrelage, n'est plus à considérer lorsque les éléments employés s'appliquent sur un fond général; ils peuvent prendre alors des formes variables, les formes des incrustations étant déterminées par les vides que les premières laissent entre elles.

La coloration partielle d'éléments de même forme qui servent à couvrir une surface peut donner des combinaisons assez curieuses. Nous choisirons celle très-remarquable de carrés, ombrés, colorés dans une moitié divisée par une diagonale; les combinaisons peuvent être très-nombreuses, plusieurs même sont assez agréables. Elles ont fait l'objet d'un traité publié par le P. Dorat, en 1772, et leur étude montre bien tout le parti que l'on peut tirer d'éléments analogues couverts de dessins, de la combinaison des vignettes,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

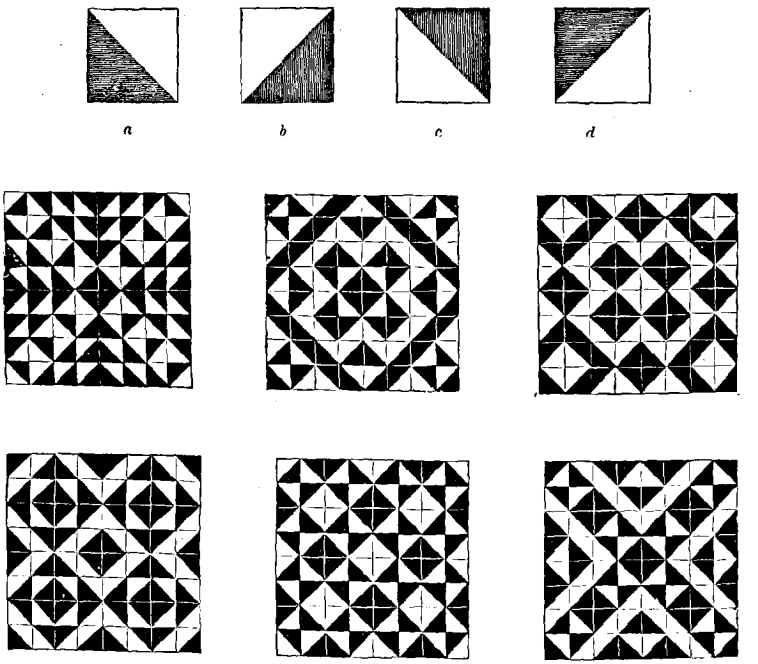
qui constitue une des ressources importantes de la décoration industrielle, surtout pour obtenir des produits dont le prix de revient soit modéré.

On voit d'abord (fig. *a, b, c, d*) que, suivant la situation qu'il peut prendre, un seul carreau forme quatre dessins différents.

De la combinaison de ces quatre figures deux à deux, il résultera soixante-quatre arrangements différents; car, sur chacun des quatre côtés des carreaux représentés dans les fig. *a, b, c, d,* on peut placer un autre carreau dans quatre positions; on a donc en tout $4 \times 4 \times 4$ ou 64 arrangements.

Mais de ces 64 il y a une moitié qui ne fait que répéter l'autre dans le même sens, ce qui les réduit à 32; on les réduirait à 10 si on n'avait pas égard à la situation.

On pourrait semblablement combiner 3, 4, 5 carreaux les uns avec les autres; on trouverait que 3 carreaux peuvent former entre eux 128 dessins, que quatre en forment 156, etc.



256.

Nous donnons ici quelques-unes des figures les plus remarquables qui naissent des combinaisons possibles d'un seul élément. Dès qu'ils sont un peu nombreux, la grande multiplicité des combinaisons possibles fait bien comprendre comment on peut songer à exécuter une foule de dessins géométriques par la réunion d'un nombre assez restreint d'éléments colorés semblables.

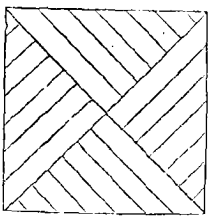
EFERUS - Recherche & Classification numérique

SURFACES PLATES FORMÉES D'ÉLÉMENTS JUXTAPOSÉS

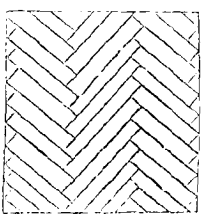
CARRELAGE. — Le carrelage formé d'éléments nécessairement égaux dans la pratique commune (en général on n'en emploie qu'un seul, l'hexagone) utilise pour la décoration les diverses combinaisons dont nous avons parlé plus haut. Les formes en sont donc peu nombreuses; ce qui varie à l'infini, bien que l'emploi en soit rare, c'est la décoration, la nature des dessins appliqués sur les carreaux peints ou autres substances employées, de telle sorte que toute la surface soit couverte de dessins répétés dont les contours deviennent plus apparents que les lignes géométriques formées par les joints. Il en est ainsi des carreaux colorés employés dans les monuments romans, dont nous avons donné plus haut un échantillon, et aussi dans l'architecture arabe; on sait qu'ils constituent l'élément essentiel des décorations de l'Alhambra et qu'ils se retrouvent dans tous les monuments arabes.

Minton, en Angleterre, en créant la fabrication des carreaux incrustés en céramique, a obtenu les plus précieux résultats pour dallage des monuments, d'églises, décorations de murailles, jardinières, etc. Rien de plus gracieux et de plus frais que ces brillantes et élégantes décorations. Elles rappellent, avec bien moins de frais, les mosaïques.

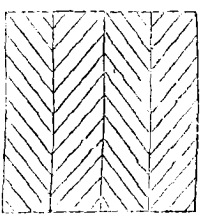
PARQUET. — Le parquet est composé en général de pièces plus longues que larges, et forme par suite, le plus souvent, deux séries de lignes parallèles, comme dans les figures 1 et 2. Dans la pratique ordinaire on se borne aux systèmes dont nous venons



1



2



3

de parler; quelquefois on emploie quelques décompositions de carrés qui constituent un élément nouveau formé à l'aide de pièces diverses telles que celles représentées figure 3, ou ci-dessus en traitant des combinaisons. Ce n'est que pour des parquets très-riches qu'on y ajoute les ressources de quelques dispositions simples de filets, par exemple de grecques pour bordures, obtenues en bois de diverses couleurs.

Le procédé artistique par excellence, au point de vue architectural, c'est la mosaïque, qui n'est plus limitée par la forme des éléments, celle-ci variant au contraire en raison du dessin à exécuter. Elle peut être exécutée en bois pour quelques cas d'ornementation de meubles; ce fut l'imitation de la mosaïque qui, à la Renaissance, fit naître la marqueterie en bois, qui jeta tant d'éclat à Florence et à Venise.

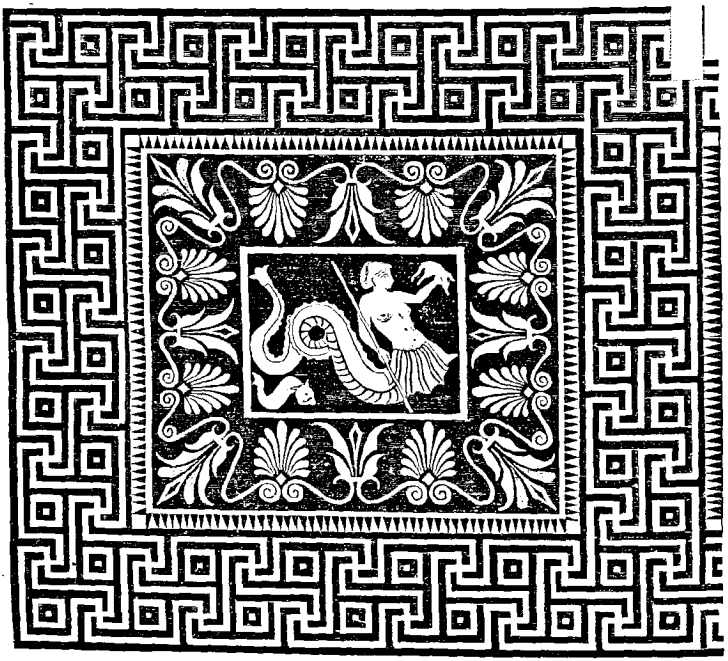
L'incrustation en cuivre, si fréquemment employée en ébénisterie de nos jours à l'imitation des beaux produits de l'époque de Louis XIV, et qui donne de si beaux

EFERUS - Recherche & Classification numérique

résultats, rentre tout à fait dans le cas qui nous occupe. Nous aurions à étudier les styles des dessins formés par ce travail, s'ils ne rentraient pas naturellement dans le cas considéré ci-dessus des vignettes et compositions variant par styles; ce n'est qu'un mode particulier d'obtenir des dessins avec des filets de métal, d'ivoire, etc.

MOSAIQUE

La mosaïque antique s'obtenait par la juxtaposition de petits cubes de pierres naturelles ou de compositions de diverses couleurs, fixées dans un ciment et polies pour en faire valoir les nuances et les teintes. Les Romains en faisaient un emploi très-considérable; c'était une décoration qui s'alliait parfaitement avec leur architecture et que faisait rechercher la chaleur de leur climat. Son éclat incomparable la faisait multiplier. Elle constituait chez eux un mode usuel de représentation des objets à l'aide d'éléments colorés. La figure 257 d'une mosaïque pompéienne (marbre blanc et noir) représente bien cette belle décoration.

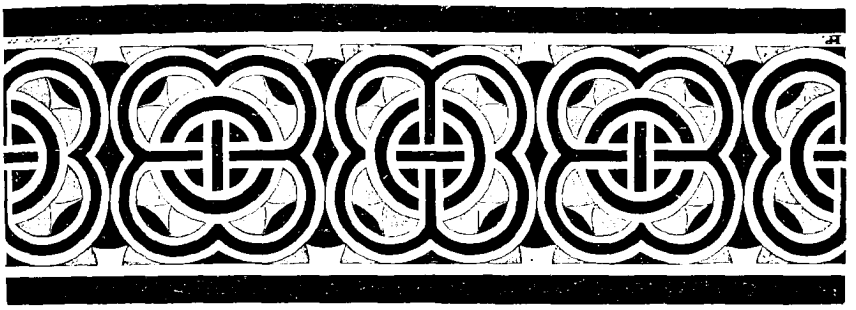


257.

La mosaïque fut acceptée par l'Église, au moyen âge, comme moyen de décoration par excellence. Non-seulement on l'employa pour les carrelages, les dallages, et, dans ce cas simple, on employa surtout des combinaisons de formes géométriques qui acquéraient souvent une grande élégance, comme dans le pavé de la cathédrale de Palerme que nous reproduisons (fig. 258), mais encore pour la représentation de sujets de sainteté. Les travaux des mosaïstes byzantins eurent une grande influence sur la

EFERUS - Recherche & Classification numérique

peinture à l'époque de la Renaissance, et l'on ne saurait faire un plus grand éloge de la perfection des résultats obtenus que de dire que des artistes éminents acceptaient comme de véritables peintures ces compositions obtenues par la juxtaposition de petits



258.

éléments colorés, de teintes plates, de petites dimensions. Ghirlandajo proclamait la mosaïque la véritable peinture pour l'éternité.

C'est Rome qui est aujourd'hui la patrie des plus beaux travaux en ce genre ; non-seulement on y prépare de très-belles collections de petites baguettes d'émaux colorés qui fournissent les éléments de la mosaïque, et ont beaucoup accru la richesse de la palette de l'artiste, mais on y accomplit des travaux qui exigent un travail et une habileté incroyables. On a pu voir à l'Exposition de 1855 un admirable travail de M. Galland, représentant le Forum romain, dont les dimensions atteignent 1^{m},50 sur 75 centimètres.

La Russie a fait admirer de splendides mosaïques religieuses, des images de saints recouverts d'habits sacerdotaux, sur fond d'or le plus souvent, qui constituent les plus splendides peintures murales qu'il soit possible d'imaginer. Son saint Nicolas était admirable pour parer le fond d'une basilique.

Les mosaïques florentines des quinzième et seizième siècles se composent de plaques ou panneaux de marbre blanc, noir, vert, etc., ou de pierres dures de diverses couleurs découpées suivant les dessins qu'on veut produire.

Enfin, nous devons citer la mosaïque de bijouterie, qui est composée avec des pierres précieuses et des pierres dures, les agates, le malachite, le lapis-lazuli, l'aventurine, etc. Ce genre particulièr de mosaïque a été longtemps exploité avec succès à Rome et à Florence, d'où l'on nous apportait tous ces charmants sujets d'épingles, de plaques, de colliers, de broches, de boîtes, de tabatières, etc. Elle est aujourd'hui très-bien réussie en France.

VITRAUX PEINTS

Les verres colorés paraissent avoir été employés dès le quatrième siècle dans les basiliques chrétiennes, surtout dans l'empire d'Orient; mais alors seulement à l'état de coloration d'une seule teinte, formant de simples mosaïques dont les éléments étaient réunis par des plombs. L'emploi de quelques hachures en émail noir, pour indiquer des contours et des ombres, donna lieu, vers le dixième siècle, à un progrès qui con-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

duisit aux riches vitraux qui décorent les beaux édifices religieux que nos ancêtres nous ont laissés.

C'est vers la fin du douzième siècle que la peinture sur verre atteignit peut-être son plus haut degré de perfection. L'effet général, l'harmonie des couleurs lumineuses qui leur donnent tant d'éclat, y sont admirables. Le vitrail était alors combiné par l'architecte, qui savait mettre cette éclatante décoration en rapport avec le monument, qui déterminait les lignes principales des plombs qui réunissaient les pièces de verre, et traçait les dessins géométriques du genre byzantin qui les entouraient.

Au quatorzième et surtout au quinzième siècle, l'architecte n'est plus l'auteur des vitraux; la roideur des figures disparaît, le genre des ornements change; l'artiste cherche des ombres, une perspective inconnue à ses prédécesseurs, opère par application de couleurs diverses sur le verre coloré; mais, malgré ses qualités de détail, malgré le mérite du travail, son œuvre est presque toujours sans effet à distance, et perd le caractère monumental qui doit être le mérite principal des vitraux colorés.

Le moyen principal de la fabrication plus perfectionnée dans ses procédés était l'emploi du verre double, c'est-à-dire coloré seulement d'un côté et sur une épaisseur minime. L'enlevage de la petite couche de verre coloré, combiné avec l'application des couleurs d'émail, permit de faire des pièces merveilleuses quant à la beauté des détails, mais qui n'avaient plus l'harmonie, l'éclat des anciens vitraux.

On doit donc distinguer trois époques:

1° La première (âge byzantin) commence vers 1150 et finit vers le commencement du quatorzième siècle. Les fonds byzantins à petits ornements y tiennent une grande place.

2° La deuxième (âge ogival de l'art) s'étend depuis le commencement du quatorzième jusqu'au seizième siècle.

3° La troisième (âge de transition) comprend le seizième siècle, la Renaissance.

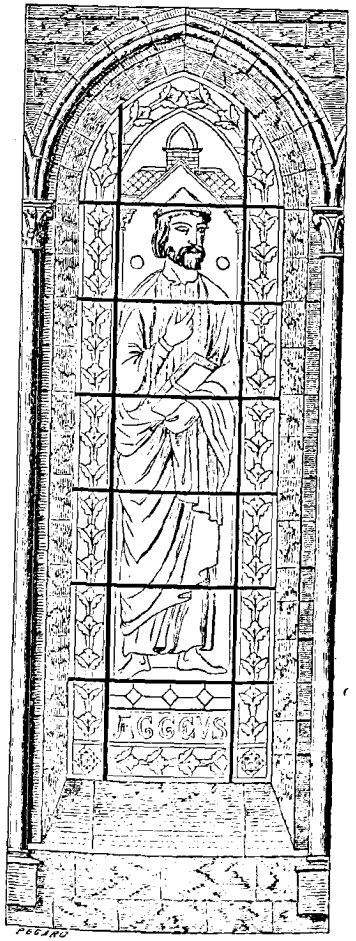
Dans les vitraux du treizième siècle, les champs des mosaïques sont formés de petits morceaux de verre teints dans la pâte et assemblés par des plombs multipliés. C'est une imitation des mosaïques orientales de cette époque. Ces ornements sont caractéristiques de ces premiers et magnifiques produits de la peinture sur verre. Les vitraux du quatorzième siècle se reconnaissent par l'emploi du jaune, obtenu avec l'argent.

MM. Bœswilwad et Bontemps résument ainsi qu'il suit (rapport de 1867) les conditions spéciales à l'art de la peinture sur verre. Ces conditions tiennent à la nature du verre, dont la qualité essentielle est la translucidité. Un vitrail ne doit pas être confondu avec un tableau sur toile. Dans ce dernier, l'artiste laisse généralement dans l'ombre une partie de sa toile pour porter la lumière sur le sujet principal; il y a nécessairement dans un tableau sur toile de grandes parties, telles que des ciels, des figures, dans lesquelles la traversée d'épaisses lignes noires ferait un bien mauvais effet. Le seul moyen de faire un tableau sur verre serait de le peindre sur une grande glace. C'est ce qu'avait fait M. Dihl, au commencement de ce siècle; mais on ne pouvait obtenir ainsi, que difficilement et d'une manière coûteuse, un très-mauvais vitrail. On dut revenir à la peinture sur verre dont nos pères nous ont laissé de si précieux modèles, et refaire des vitraux comme aux treizième et quatorzième siècles, ou comme aux quinzième et seizième siècles.

On crut d'abord que pour les vitraux des premiers siècles il ne s'agissait que de faire des figures ou des médaillons grossièrement dessinés, mais entourés de bordures écla-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

tantes, et que, pour imiter les Jean Cousin, les Pinaigrier, il ne s'agissait que d'avoir des cartons dessinés par des Ingres, des Paul Delaroche : on se trompa étrangement dans l'un et l'autre cas. La peinture sur verre, sorte de mosaïque ou plutôt d'émail cloisonné, est un art décoratif assujetti à des règles spéciales résultant de la position qu'occupent les vitraux, des qualités essentielles du verre et de la nécessité du raccordement des fragments. Il faut sans doute amortir partiellement la transparence du verre, mais toutefois sans l'obscurcir. Il ne faudrait pas, en effet, qu'on pût voir les objets au travers du vitrail; mais la lumière doit être, pour ainsi dire, tamisée sur toute sa surface, et atténuée seulement par des ombres relatives. On ne doit employer que des fragments de verre de petite dimension, car autrement le vitrail est trop fragile; il faut d'ailleurs couper les couleurs de manière à ne pas avoir un trop grand espace occupé par une seule nuance, parce que, à une certaine distance, cette couleur ferait un placard, et il ne faut pas perdre de vue que le but principal à atteindre consiste dans une harmonie d'ensemble qui doit plaire à l'œil avant même qu'on ait étudié le détail de l'œuvre.



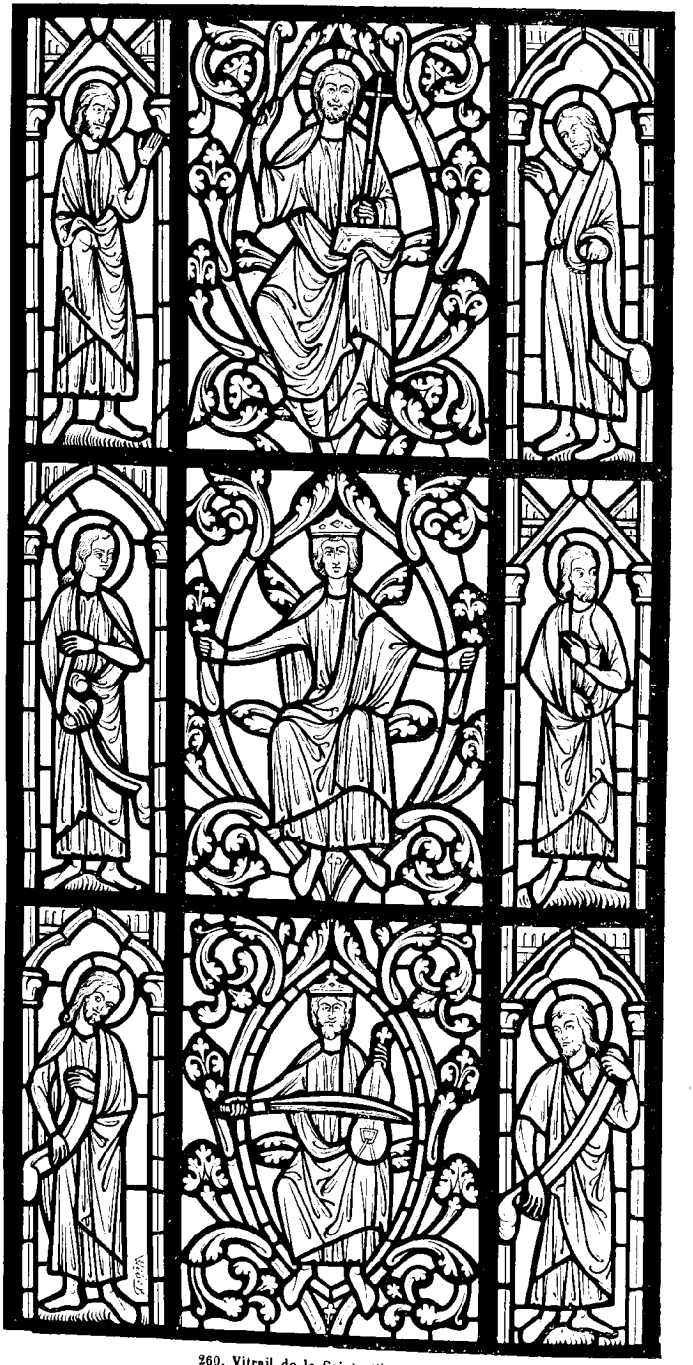
259.

Enfin un vitrail, tout en représentant un sujet ou simplement un personnage, est destiné à éclairer un édifice; il doit être conçu et étudié de manière à atteindre ce but auquel vous ne pouvez parvenir si vous vous renfermez dans les conditions d'un tableau, car alors vous devez éteindre tellement la transparence de vos verres, que vous ne pourrez plus placer ce vitrail que dans une espèce de chambre obscure, n'ayant d'autre destination que de faire voir et valoir ce vitrail, et dont l'éclairage par de tels vitraux serait tout à fait insuffisant. Posez d'ailleurs de tels vitraux à une assez grande distance, et ils perdront la plus grande partie de leurs qualités.

La figure 259 représente un vitrail dont M. Bontemps décrit, dans son excellent GUIDE DU VERRIER, tous les détails d'exécution; notamment la mise en plomb, la manière dont les verres des diverses couleurs sont réunis entre eux, puis le tout relié aux barres de fer horizontales et verticales qui lui donnent une solidité suffisante.

Les vitraux de couleur des anciens styles ont été imités avec assez de succès dans ces dernières années. Les procédés techniques ont été facilement retrouvés; on a appris à monter en plomb les formes irrégulières dont l'ensemble forme la surface à décorer, et on a pu réparer heureusement les produits d'un art né aux douzième et treizième siècles pour la décoration des églises et dont les œuvres ont conservé les tendances naïves, la forme symbolique de l'architec-

EFERUS - Recherche & Classification numérique



260. Vitrail de la Sainte-Chapelle

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ture du moyen âge. Toutefois les effets des vitraux modernes ont longtemps été inférieurs à ceux des anciens; des teintes bien dégradées, une trop grande propension à imiter la peinture à l'huile, n'ont donné que des résultats très-peu satisfaisants. Un singulier obstacle fut quelque temps le manque d'imperfection du verre moderne, qu'on n'avait pas sû remplacer par un travail convenable. « Tous les vitraux exposés, disait en 1844 M. Lassus, l'architecte de Notre-Dame, pèchent par un défaut commun. La coloration de tous ces vitraux manque de puissance et d'éclat; ils sont incapables d'opposer la moindre résistance à l'action des rayons lumineux, qui les traversent d'outre en outre sans éprouver le moindre obstacle... Dans les anciens vitraux, au contraire, la lumière ne peut pas traverser directement les surfaces courbes, inégales des verres; elle est forcée de se briser, de se réfracter... De là cet effet chatoyant des vitraux, cet éclat et ce scintillement si remarquables des couleurs. »

Par une étude plus approfondie des conditions à remplir, les artistes sont arrivés à satisfaire aux conditions que M. Lassus signalait dans le passage précédent, et cela en faisant des stries sur les carreaux qui, remplaçant les irrégulières imperfections du verre, permettent de produire à volonté les jeux de lumière.

On peut poser comme principe fondamental qu'il faut, dans les verrières, dont tous les éléments doivent concourir à rappeler un style déterminé, choisir des tons éclatants, tracer des contours fermes, bien nettement encadrés par les plombs; toujours se rappeler qu'à distance les détails disparaissent, deviennent aisément confus. Les têtes des personnages doivent toujours être lumineuses pour être distinguées de loin. Il y a pour l'artiste une étude toute particulière à faire, celle de l'emploi de couleurs qui doivent être vues par transparence, tandis que dans tous les autres cas on ne les voit que par réflexion.

Les couleurs ternes ne sont pas admissibles; on doit employer, en fait de couleurs, l'azur, le vert, le rouge, le jaune et le violet poussés à la puissance du saphir, de l'émeraude, du rubis, de la topaze. Un vitrail ne doit jamais perdre entièrement son caractère primitif, celui d'une mosaïque transparente et doit être avant tout monumental.

Nous donnons ici comme spécimen un vitrail célèbre de la Sainte-Chapelle de Paris, représentant Jésus et les apôtres, où respire bien la foi des artistes du moyen âge; il a quelque chose de l'inspiration qui faisait élever l'élégant monument resté un des plus beaux types de l'art gothique.

TISSUS

La grande industrie qui a pour objet la fabrication des tissus de tout genre, la plus considérable de toutes les industries manufacturières, doit aussi être appréciée au point de vue de l'art. Sans doute une grande partie de l'immense production qu'elle comprend ne se rapporte qu'à des tissus simples qui ne valent que par leur utilité, comme les toiles, les calicots, les draps communs, etc.; mais l'art apparaît brillamment dans une partie importante qui comprend les étoffes brochées, les broderies, les dentelles, les impressions en tout genre, les châles, etc. C'est par le goût, l'élégance du dessin, l'harmonie des couleurs, que valent surtout ces produits, et chacun sait quelles ressources nos fabri-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

cants trouvent dans l'ardeur et l'imagination de nos nombreux dessinateurs, de Paris principalement, toujours empressés à multiplier et à varier leurs créations. Ils entrent pour une bonne part dans la constitution de cette royauté que l'on appelle la mode qui fait rechercher à Paris, tous les ans, la disposition nouvelle des toilettes des dames, qui s'exécute ensuite dans le monde entier.

Au point de vue industriel, cet élément est d'une importance majeure, et il est bien difficile à des fabricants placés en dehors du centre parisien de créer des nouveautés que la mode doive presque sûrement adopter; c'est le plus souvent en venant chercher des modèles chez nos dessinateurs de Paris qu'ils y parviennent. Il importe donc beaucoup à nos industries que le goût ne faiblisse pas chez nos artistes, que leurs travaux soient dignement appréciés, comme ceux de leurs collaborateurs si nombreux qui concourent dans tant de directions diverses à ce qui fait l'élégance des toilettes; et il faut espérer qu'il en sera toujours ainsi, car la capitale de la France est, pour ainsi dire nécessairement, un centre puissant de mouvement intellectuel et d'activité artistique.

Au point de vue des combinaisons, les éléments étant assemblés rectangulairement par suite de la nature même des procédés de tissage, il semble d'abord qu'il ne s'agit que d'un cas simple, que la finesse et le rapprochement variable des fils fournissent seulement quelques ressources pour obtenir des effets peu variés. Mais l'emploi convenable des entrelacements d'un nombre variable à l'infini de fils, ayant des aspects différents, de toutes les couleurs possibles, apparaissant sur la surface en des points variables à volonté, ce qui produit le même effet de dessin que si on pouvait diriger le fil coloré suivant toutes les directions possibles, fournit des moyens d'ornementation infinis, bien autrement nombreux que ceux qui semblent, à première vue, pouvoir résulter d'entrelacements à angle droit.

Ce qui est tout particulier à la fabrication de tissus ornementés du fait du tissage, au point de vue artistique, c'est l'éclat de certaines étoffes, le brillant qui résulte du recourbement des fils vers les contours du dessin, effet qui ne saurait être obtenu par l'impression sur un tissu. Il en est de même de la résistance, de la roideur des étoffes, en raison de la nature des fils et des modes de tissage, qui leur donne la propriété de draper, de former des plis soutenus, propriété que les dames savent apprécier au point de vue de la richesse, de l'élégance de la toilette, de leur emploi pour les formes changeantes des vêtements.

Il est juste, en effet, de rapporter aux dames une part importante qui leur revient dans l'application des arts à l'industrie dont nous traitons. Les dessinateurs ne doivent pas oublier, qu'à leur insu, les femmes seules forment leur goût; elles constituent le public de ces artistes, leur critique et leur conseil; ils n'ont d'autre souci que de pressentir leur fantaisie.

EFFETS OPTIQUES DES ÉTOFFES.

Le savant M. Chevreul s'est proposé d'analyser les causes de l'éclat de certaines étoffes de soie, et avec sa perspicacité habituelle il y est parfaitement parvenu. Remarquant que les étoffes sont formées à leur surface de petits fils cylindriques, soit très-courts dans un tissu semblable à la toile, où le fil de la trame recouvrant un seul fil de la chaîne vient passer ensuite sous les deux fils contigus de celle-ci, soit assez longs et

EFERUS - Recherche & Classification numérique

recouvrant plusieurs fils contigus de la chaîne, comme dans l'étoffe connue sous le nom de satin, la plus brillante de toutes, il en a conclu que, dans ce second cas, la lumière se réfléchit comme sur une série de petits cylindres parallèles et polis, et dans le premier sur des cylindres sur lesquels on aurait produit un grand nombre de rayures, de cannelures transversales répétées, correspondant aux courbures répétées du fil. Or les résultats des expériences fondamentales qu'il a faites avec de semblables cylindres métalliques prouvent que, dans les mêmes positions, les effets d'éclats sont complétement inverses dans les deux cas, ce qui explique les effets optiques d'une foule d'étoffes[1]. Ainsi les cylindres étant placés parallèlement à la direction de la lumière, le spectateur placé après les cylindres et faisant face à la lumière voit bien moins de lumière réfléchie avec les cylindres cannelés qu'avec les cylindres unis.

DESSINS PRODUITS SUR LES ÉTOFFES PAR LE TISSAGE

Entrons maintenant dans l'étude de ce qui est du domaine de l'art dans la fabrication des étoffes, des modes d'ornementation des éléments du vêtement, des tentures, etc.

La décoration des étoffes, résultat des dessins produits à leur surface, colorés le plus souvent, s'obtient par deux procédés différents : l'un consiste dans l'impression dont nous avons déjà parlé ; l'autre dans le tissage de fils, en général colorés avant l'opération du tissage (l'impression sur chaîne est une espèce de réunion des deux procédés pour fabriquer à bon marché). Le dessin toujours mieux délimité dans ce second cas par la courbure du fil qui le produit, en s'enfonçant à travers l'étoffe, fournit des effets de lumière qui le détachent nettement du fond du tissu ; ceci fait bien comprendre les ressources des procédés à l'aide desquels on fabrique les étoffes très-riches.

1. Nous rapporterons ici les résultats des expériences de M. Chevreul, parce qu'ils peuvent servir fréquemment dans la pratique pour analyser des phénomènes très-délicats.

Première position des cylindres unis. — Ils reposent sur un plan horizontal, et leur axe est compris dans le plan de la lumière incidente.

1re *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres très-éclairés, parce qu'il reçoit beaucoup de lumière réfléchie régulièrement.

2e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres obscurs, parce qu'il ne lui arrive que peu de lumière encore réfléchie irrégulièrement.

Deuxième position des cylindres unis. — Leur axe est perpendiculaire au plan de la lumière incidente.

3e *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres moins éclairés que dans la première circonstance, parce qu'il n'y a que la lumière réfléchie par une zone étroite de la partie la plus élevée de chaque cylindre qui lui parvienne.

4e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres extrêmement éclairés, parce que chacun d'eux lui apparaît avec une large zone réfléchissant spéculairement la lumière.

Passons à la réflexion de la lumière par des cylindres à cannelures transversales.

Première position des cylindres cannelés. — Ils reposent sur un plan horizontal, et leur axe est compris dans le plan de la lumière incidente.

1re *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit moins de lumière réfléchie qu'avec les cylindres unis, puisqu'il y a eu, par l'effet des cannelures, diminution de l'étendue de la surface qui, dans les cylindres unis, lui envoyait de la lumière spéculaire.

2e *circonstance.* Pour le spectateur tournant le dos au jour, la réflexion de la lumière est très-forte, parce que ses yeux sont en rapport avec la face de chaque cannelure sur laquelle tombe la lumière. Ce résultat est inverse de celui des cylindres unis.

Deuxième position des cylindres cannelés. — Leur plan est perpendiculaire au plan de la lumière incidente.

3e *circonstance.* Le spectateur, placé en face du jour, voit les cylindres plus brillants que dans la première circonstance ; le résultat est donc encore inverse de celui des cylindres unis.

4e *circonstance.* Le spectateur, tournant le dos au jour, voit les cylindres moins brillants que dans la deuxième circonstance, et bien moins brillants encore que ne le seraient des cylindres unis.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ÉTOFFES D'ASPECT DIFFÉRENT EN RAISON DES ARMURES.

1° Fils d'une seule couleur. — Nous avons rapporté les observations dues à M. Chevreul, qui permettent de préciser nettement les effets bien connus de l'éclat des fils des étoffes, en raison du mode d'entrelacement de ces fils. C'est sur ces propriétés que reposent toutes les fabrications d'étoffes en fils d'une même couleur pour en varier l'apparence, aussi bien que leur souplesse et leurs autres propriétés physiques.

On a donné, à l'article Tissage, la description des divers modes d'entrelacement, des armures, dites armure toile, croisée, satin, etc. L'armure toile est celle qui produit toujours le passage alternatif de chaque fil de la trame dessus et dessous chaque fil de la chaîne. L'armure serge ou croisée fait paraître comme des rayures suivant la diagonale des rectangles formés par les fils. L'armure satin est celle qui permet de faire passer le fil de la trame sur plusieurs fils de la chaîne; c'est le moyen de réaliser l'effet brillant obtenu par des cylindres parallèles. Dans les étoffes de lin et de chanvre, la disposition décorative la plus fréquemment employée, obtenue par un mélange d'armure satin et d'armure croisée, est celle du linge dit damassé, dont la surface est formée de carreaux de dimension un peu grande, dans lesquels le grain et l'éclat du tissu varient.

On comprend combien de semblables combinaisons peuvent varier l'apparence des étoffes sur lesquelles elles font apparaître des lignes à angle droit, des lignes obliques, des côtes cannelées, des surfaces veloutées, etc.

L'industrie du tissage dispose encore de bien d'autres ressources. Non-seulement les modes d'entrelacement des fils font varier l'aspect des étoffes, leur manière de draper, de faire des plis plus ou moins riches; mais encore le mélange des diverses natures de fils permet d'obtenir des étoffes d'un aspect particulier et jouissant de toutes les propriétés désirables, comme éclat, élasticité, etc. Ainsi la laine peignée servant à faire des mérinos, des damas de laine, etc.; la soie des taffetas, des satins; le mélange de fils de ces deux substances sert à obtenir des orléans, des damas, etc. C'est dans ces mélanges de substances, comme dans les modes variés de les employer, que réside la science des fabricants si habiles qui s'appliquent à la grande industrie du tissage, dont les produits s'élèvent parfois à un degré inouï de délicatesse, dont il devient bien difficile de donner une idée.

Au premier rang des plus belles étoffes, nous devons citer les velours, les peluches, étoffes à poils dans lesquelles la lumière se joue de manière à donner des effets d'une grande richesse.

2° Fils de plusieurs couleurs. — Passons maintenant au cas où l'on emploie concurremment des fils de plusieurs couleurs, tant pour la chaîne que pour la trame. Il résultera évidemment, de leur entrecroisement, des combinaisons rectangulaires multipliées, des séries de carreaux, d'éléments espacés suivant diverses lois, et de couleurs variables en raison de celles des fils.

Ce genre de fabrication fournit un mode de décoration simple que l'on emploie souvent pour rendre agréables à l'œil des étoffes qui doivent avant tout être produites à bon marché. Un des types les plus brillants de ce genre de fabrication est le tartan écossais, bien connu pour la richesse et la vivacité des couleurs, et produit par le croisement à angle droit de lignes de fils de couleurs différentes. L'inspection d'un

EFERUS - Recherche & Classification numérique

semblable tissu fait reconnaître comment se succèdent les fils colorés de la chaîne et de la trame, pour obtenir l'éclat qui résulte surtout de la rencontre de fils de même couleur.

Il est impossible d'indiquer le nombre de variations de fils de diverses couleurs, de combinaisons de toutes natures qu'on rencontre dans les tissus, dispositions dont les effets sont encore modifiés par le foulage, les apprêts spéciaux à chaque substance. Ces combinaisons, n'accroissant pas très-sensiblement le prix des étoffes, sont par suite variées à l'infini par les fabricants. Après les rayures, les étoffes à carreaux de tout genre, nous citerons les chinés, qui par des armures convenables donnent des éléments qui, se succédant par intervalles, cessent d'avoir une apparence rectangulaire; les étoffes transparentes, celles à côtes, l'article dit nouveauté, etc., etc.

Toutes les combinaisons que nous avons énumérées sommairement en parlant des fils d'une seule couleur, notamment le mélange de fils de natures différentes, s'appliquent, à plus forte raison, au cas où l'on emploie des fils de diverses couleurs pour accroître le charme des tissus.

Les effets résultant de la juxtaposition des couleurs exigent, pour être prévus par le fabricant, une très-grande habileté. Une des fabrications les plus curieuses à ce point de vue est celle des étoffes de soie dites changeantes, en ce que la couleur en est différente suivant la position des plis qui reçoivent la lumière. Nous donnerons l'analyse des effets d'une étoffe glacée de cette nature, d'après le savant M. Chevreul :

« Une étoffe de gros de Naples dont la chaîne est bleue et la trame rouge, vue par un spectateur dont la face est tournée au jour, paraît violette; seulement, si la chaîne est comprise dans le plan de la lumière, le violet est plus rouge que dans le cas ordinaire : ceci est conforme aux principes de la réflexion de la lumière par des cylindres métalliques, et au principe du mélange des couleurs. La même étoffe, vue par un spectateur dont le dos est tourné à la lumière, paraît rouge si la chaîne bleue est dans le plan de la lumière incidente, et bleue si la chaîne est perpendiculaire à ce plan, conformément aux principes de la réflexion par un système de cylindres métalliques. »

BROCHÉS

Lorsqu'on veut obtenir sur étoffes des dessins plus compliqués que ceux dont nous venons de parler, fournissant des figures, des dessins déterminés, il faut entrer dans une fabrication toute spéciale partant de l'imitation d'un dessin déterminé, de l'œuvre d'un artiste; il devient nécessaire alors d'employer le procédé de fabrication, au perfectionnement duquel Vaucanson et Jacquard ont si remarquablement contribué, en rendant tout mécanique un travail qui ne pouvait jusque-là être produit que par l'imitation directe, et fil à fil, d'un dessin modèle.

Le passage du dessin primitif à la fabrication mécanique se fait à l'aide de l'opération intermédiaire dite « mise en carte. » La mise en carte[1] est étudiée par des

1. La mise en carte remonte à 1770; elle est attribuée à Revel, peintre d'histoire assez médiocre, qui eut le premier l'idée de reproduire des fleurs sur les étoffes, et qui, après quelques essais, arriva aux moyens pratiqués aujourd'hui, quant au dessin. L'idée de colorier la mise en carte se présenta bientôt. On en fit usage dès 1774, et on la doit à Philippe de la Salle.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

artistes qui, en se livrant à l'étude des étoffes au point de vue du goût, ont fait singulièrement avancer la fabrication en parvenant à réaliser, à des prix modérés par suite de la facilité de la multiplication, des étoffes de grande valeur artistique.

Nous n'avons pas à parler ici du procédé technique, mais seulement de la reproduction de dessins plus ou moins compliqués à l'aide des ressources qu'offrent les procédés d'exécution les plus parfaits, et qui s'accroissent chaque jour. Dans leur degré le plus avancé, elles permettent au besoin de contourner, autour de chaque point de la chaîne, un fil de la trame d'une nuance déterminée. Elles offrent donc le moyen de réaliser un dessin quelconque, et l'on n'est limité dans ces travaux que par l'élévation du prix de revient, lorsque la complication des nuances dépasse toutes limites.

Les étoffes de soie, les plus brillantes par leur nature même, et celles par suite sur lesquelles se concentrent principalement les efforts du tissage, sont fréquemment ornées d'imitations de fleurs naturelles qui, par leur éclat, charment les yeux. Lorsqu'on n'emploie qu'une seule couleur, c'est à l'aide de modes d'entrelacements variés en divers points qu'on obtient des contrastes d'éclat qui différencient parfaitement les divers contours et forment ces magnifiques damas de soie, produits si beaux et si juste-



261. Étoffe de soie noire.

ment appréciés. Nous avons offert ci-dessus pour exemple une belle étoffe de soie noire dont la surface est ornée d'un dessin figurant des plumes (fig. 261).

Nous reproduirons encore un autre exemple d'étoffe moderne, brochée en couleur sur fond blanc (fig. 262), qui donne idée du style et des moyens de production les plus perfectionnés.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

C'est surtout pour les étoffes de soie qu'il existe une tradition historique; on les recevait d'Orient pendant le moyen âge, et c'est en grande partie le commerce des



262. Étoffe brochée.

beaux produits fabriqués dans l'Inde et la Chine, et que nous admirons encore, qui a fait alors la richesse de Venise. C'est par suite, jusqu'à une époque assez récente, le goût oriental qui a dominé dans la fabrication des soieries ; il y tient encore, avec raison, une grande place. Pour quelques cas spéciaux, tels que les étoffes pour ornements d'église, on rencontre beaucoup de décorations qui rappellent l'art byzantin.

La fabrication européenne a une origine assez ancienne; on sait que, dès le quatrième siècle, sous Justinien, deux moines rapportèrent le ver à soie et le mûrier, et que l'industrie de la soie commença en Orient, mais sans pénétrer en Occident. Nous avons déjà dit que c'étaient les Normands qui, au douzième siècle, avaient introduit en Sicile et ravi à la Grèce l'industrie de la soie, qui s'y était conservée depuis l'introduction du ver à soie. Cette industrie se répandit en Italie, et fut introduite dans le midi de la France vers 1260, par des familles guelfes chassées de Florence par les Gibelins. Toutefois cette industrie ne fit que peu de progrès.

Louis XI établit des manufactures à Tours et fit venir des ouvriers de Grèce et d'Italie; mais les principaux fondateurs de cette fabrication en France furent Charles VIII, et principalement François Ier, qui avaient admiré l'industrie de la soie durant les guerres d'Italie. Enfin c'est le grand Colbert qui, au milieu des triomphes des beaux-arts du siècle de Louis XIV, l'achemina vers le degré de splendeur et d'étendue où nous la voyons. Toutefois, c'est à l'industrieuse activité des maîtres-

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ouvriers de Lyon qu'on doit faire remonter, avant tout, l'honneur du développement immense de cette belle industrie, aux travaux de Vaucanson et de ses émules, enfin à la grande invention de Jacquart, grâce à laquelle la production et la vulgarisation des beaux tissus de soie ont atteint des limites extrêmement reculées[1].

CHALES CACHEMIRES

Le châle de l'Inde appartient essentiellement au « style oriental » par sa nature même, par l'imitation des fleurs de l'Inde étalées à plat comme dans un herbier, sans essai de perspective, de dégradation de teintes. C'est l'éclat de ces couleurs juxtaposées pour produire un maximum d'effet, avec une entente traditionnelle, vraiment parfaite, du contraste des couleurs, plutôt que la bizarrerie des formes, qui, avec la finesse du tissu, a fait le succès du châle de l'Inde.

Oven Jones établit les règles suivantes d'après l'étude des tissus de l'Inde; elles doivent se rapprocher des traditions suivies par les habiles ouvriers qui les produisent.

1° Quand on fait usage d'un ornement d'or sur fond coloré, le fond doit être d'autant plus foncé que l'on emploiera l'or en plus grandes quantités.

2° Quand les ornements d'une seule couleur sont placés sur un fond d'une couleur contrastante, on doit détacher les ornements du fond par des contours d'une couleur plus claire.

3° Quand les ornements d'une couleur claire sont placés sur un fond d'or, on doit détacher les ornements du fond d'or par des contours d'une couleur plus foncée, pour empêcher que l'effet des ornements ne soit affaibli.

4° Lorsqu'on fait usage de plusieurs couleurs sur un fond coloré, des contours d'or ou d'argent, ou bien de soie blanche ou jaune, doivent détacher les ornements du fond. Dans les tapis et les combinaisons de couleurs de tons foncés, on emploie des fils de couleur noire pour ces contours.

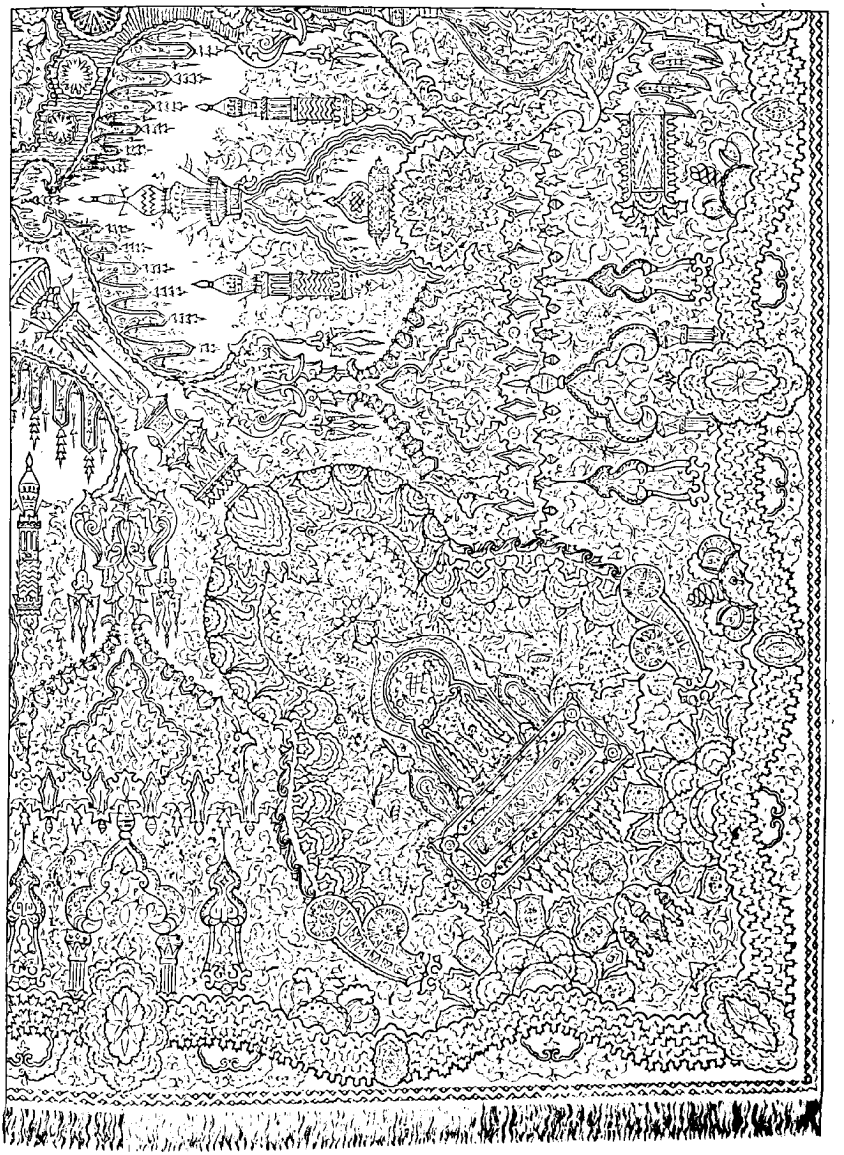
Ces principes sont les mêmes que ceux qui règlent la décoration des surfaces dans tous les ouvrages des Orientaux.

Longtemps les artistes français se sont exclusivement proposés de copier plus ou moins fidèlement le châle de l'Inde. La nécessité de varier les dessins pour plaire au goût des consommateurs a fait tenter d'en modifier le dessin; le genre Renaissance a d'abord été tenté avec quelque succès. Il consistait dans un mélange de l'ornement et de la fleur de fantaisie, le tout modifié dans le style châle, c'est-à-dire oriental, à teintes plates et à couleurs vives.

1. C'est à Lyon que se sont accomplis presque tous les grands progrès dans l'industrie du tissage des soies, et ils ont été nombreux et importants depuis un siècle. Elle est aujourd'hui la métropole de cette magnifique industrie, qui n'est pas une source de richesse seulement, mais encore d'honneur pour notre pays. Elle l'était déjà lorsque les fabricants protestants, chassés par la révocation de l'Édit de Nantes, créèrent les centres, rivaux aujourd'hui, de Crefeld, Spitalfields, etc. Grâce aux perfectionnements de chaque jour, la fabrication des étoffes de soie brochées exécute des chefs-d'œuvre, qui sont peut-être l'expression la plus élevée de la partie des arts industriels qui procèdent de la peinture. On ne saurait croire à quelle sûreté de goût parviennent les habiles fabricants et contre-maîtres de Lyon qui font le succès de cette belle industrie. Nous ne les citons pas ici, parce qu'ils forment une trop nombreuse phalange, mais nous devions faire remarquer la puissance de ce grand centre de production.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Nous en donnons pour exemple (fig. 263) un magnifique châle dit « Ispahan, » dessiné par Couder, un des plus habiles dessinateurs industriels qui se soient livrés à ce genre de créations.



263.

Le genre Renaissance usé, le goût français, enhardi par cet essai, dans lequel on avait introduit des vues de bâtiments, des essais de perspective, erreur que le goût public avait bientôt reconnue, n'a pas craint de modifier le type primitif sous le triple point de vue de la hardiesse des lignes, de la richesse et de la multiplicité des détails; peut-être

EFERUS - Recherche & Classification numérique

même il est d'abord allé jusqu'à l'excès sous ce dernier rapport; aussi a-t-il été ramené à se rapprocher beaucoup du style de l'Inde.

Les fabricants de châles de Paris, créateurs d'une industrie qui, en utilisant les ressources les plus perfectionnées du tissage, a pris un admirable développement, sont vraiment, au point de vue de l'art, à la tête d'une école de dessin industriel appliqué à toute espèce d'étoffes, dessin d'un genre spécial ayant de très-heureuses applications.

On peut difficilement se rendre compte de l'immense travail de composition, tant sous le rapport du dessin que de la coloration, qu'exige l'œuvre du dessinateur en châles. C'est sûrement un des plus grands ouvrages qui puisse être l'objet des efforts d'un artiste industriel doué d'une imagination fertile.

Ce que nous avons dit de l'éclat des couleurs fait bien comprendre la brillante apparence des châles tissés avec des fils teints en couleurs vives, dont les extrémités viennent s'engager dans le tissu; des points brillants se multiplient ainsi à l'infini. L'impression ne saurait donner des étoffes ayant un éclat comparable à celui des étoffes brochées, surtout quand, comme dans celles dont nous parlons ici, on n'emploie pour les dessins que des couleurs franches qui ont le plus d'éclat, le rouge, le jaune, le bleu brillant, et jamais les teintes obscures, telles que le brun[1].

TAPIS

La fabrication des tapis emploie souvent, comme celles des produits précédents, toutes les ressources du tissage; aussi a-t-on pu, avec nos belles tapisseries de haute lisse des Gobelins, reproduire avec une fidélité admirable les tableaux les plus importants de nos artistes, en dépassant, il est vrai, le but qu'on doit se proposer d'atteindre avec ce genre de produit.

« La tapisserie, dit M. de Chevreul, ne pouvant triompher de la peinture, ne doit pas lutter avec elle en cherchant à reproduire des détails et des effets pour lesquels elle n'est pas faite.

« Rappelons que sa structure cannelée, que la forme filamenteuse de ses couleurs s'y oppose; rappelons que ses ombres ne peuvent avoir la vigueur des ombres d'une peinture à l'huile, ni ses clairs l'éclat des blancs de celle-ci. Les extrêmes de contraste de ton se trouvent donc plus éloignés dans la peinture à l'huile que dans la tapisserie. »

Ajoutons que les couleurs ne sauraient, même dans la tapisserie au plus petit point, être dégradées, fondues avec la continuité que la peinture permet d'obtenir.

1. Un procédé curieux, imaginé dans ces dernières années, consiste à mélanger des fils pour diminuer le nombre des couleurs employées et simplifier le travail. Donnons un exemple de cette fabrication, qui repose sur le principe du mélange des couleurs.

Supposons que l'on veuille obtenir un ton vert clair et que l'on n'ait que des fils vert foncé et des blancs. Au lieu de se servir d'une navette, on en emploiera deux qu'on chassera successivement, de façon à ce que les deux trames, la verte et la blanche, n'en forment qu'une juxtaposée, qui ne sera ni verte ni blanche, mais, vue à quelque distance, d'un vert clair. On peut faire ces applications pour toutes les nuances par des trames doubles ou triples agissant comme une seule; il faut seulement que la finesse de chacune d'elles augmente dans la même proportion. Ce stratagème, résultant de la combinaison de la science et de l'art, donne la clef de la richesse extraordinaire et du fondu parfait qu'offrent la plupart des châles sortis des mains de nos premiers fabricants.

A l'Exposition de 1867, les efforts tentés pour arriver à la solution complète de la fabrication mécanique des châles de l'Inde ont paru couronnés de succès. MM. Hébert et Voisin, et M. Fabart notamment, par le perfectionnement du battant-brocheur, sont parvenus à une fabrication très-remarquable, qui permet difficilement de reconnaître le modèle de l'Inde du châle reproduit mécaniquement et fabriqué en France.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Fabriqués au moyen du passage, fil à fil autour de la chaîne, d'un nombre infini de fils parfaitement nuancés et assortis, les tapis de haute lisse ne peuvent fournir, par chaque fil paraissant à leur surface, que la couleur renfermée dans un petit carré du modèle colorié et divisé en petits carrés élémentaires.

En laissant de côté les traditions obscures relatives aux frères Gobelins, on doit dire que les Gobelins et Beauvais remontent à Colbert, en même temps que la réorganisation des vieilles fabriques sarrasinoises d'Aubusson et de Felletin. Ce fut lui qui fit venir d'Oudenarde (des Flandres) le grand maître Janssens, dont nous avons fait Jans, avec une colonie de vrais tapissiers, aimant leur art et y croyant, nourris des admirables modèles de Lucas de Leyde et d'Albert Durer. En effet, la belle tapisserie à personnages est flamande, et quand aujourd'hui nous copions, à s'y méprendre, les Louis XIV de Rigaud et les madones du Titien, nous sommes encore loin des batailles de Scipion d'après Jules Romain, achetées par François Ier vingt-deux mille écus aux tapissiers de la Flandre. On demandait alors, à ces grands artistes, des cartons pour faire de la tapisserie; on n'avait pas la prétention de reproduire leurs tableaux.

Quand on cherche à reproduire avec de la laine un tableau du Titien, on peut faire un travail très-remarquable sans doute, mais d'un prix excessif et toujours inférieur à l'œuvre primitive; mais quand la tapisserie renonçant à lutter avec la peinture reprend son véritable rôle de tissu destiné à l'ornementation, elle arrive à créer d'admirables produits.

Ainsi, les natures mortes, les bouquets de fleurs des tapis fabriqués par les manufactures de l'État, sont des chefs-d'œuvre d'ornementation. La peinture même n'aura jamais cette douceur, ce moelleux d'aspect qu'offre la tapisserie, et, si nous descendons un peu encore, qui égalera jamais, pour couvrir un fauteuil ou un canapé, ces délicieuses fleurs fabriquées par Beauvais et par Aubusson? Quoi de plus gracieux que ces fonds vert clair sur lesquels se détachent des guirlandes de fleurs d'une fraîcheur adorable? Notre ébénisterie est admirablement secondée par les merveilles de nos tapisseries ou de nos soieries de Lyon. Les meubles dorés couverts de tapisseries sortant d'Aubusson et de Neuilly, sont des merveilles. Jamais le luxe n'a rien inventé de plus riche et en même temps de plus beau.

L'emploi des tapis est, dans les pays froids, le grand moyen d'orner le parquet des appartements; ils servent plus rarement à décorer les édifices publics comme on le fit à des époques reculées, car, dès le septième siècle, on employa les tapisseries à la décoration des églises. La fabrication des tapis fut importée d'Orient par les croisés; elle fut exercée d'abord par des prisonniers ou des ouvriers « sarrasins », ou plutôt « sarrasinois », comme les appellent les vieilles légendes.

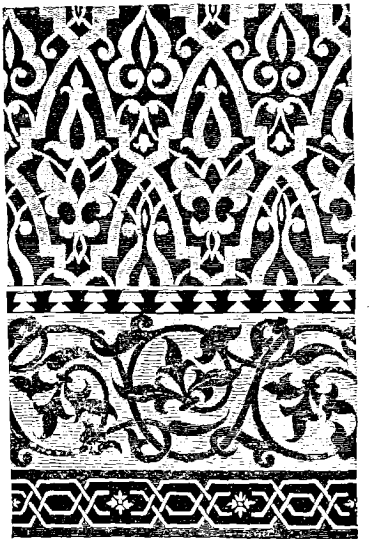
Les moquettes, obtenues à l'aide des métiers à la Jacquart, sont ornées en général de fleurs, d'imitations d'objets naturels. Les tapis d'Aubusson et des Gobelins, fabriqués sur de grandes dimensions, représentent le plus souvent des fleurs. Nous devons citer comme d'une grande richesse un des produits les plus recherchés de l'Orient, le tapis turc à longs poils, les tapis veloutés, les tapis de Smyrne aux brillantes couleurs. Enfin les tapis anglais tissés avec une chaîne imprimée, fabriqués à un prix modéré, sont souvent d'un bel effet.

Les procédés de fabrication des tapis permettent d'exécuter la plupart des genres de décoration, variables en raison de l'usage lui-même multiple des produits; c'est

EFERUS - Recherche & Classification numérique

ainsi qu'on les emploie pour portières, pour meubles aussi bien que pour tapis de pied.

Nous donnons ci-dessus le dessin d'un tapis (fig. 264) reproduisant un motif de



264. Tapis style mauresque.

décoration de l'Alhambra; le genre mauresque avec ses riches couleurs est éminemment propre à fournir des sujets d'ornementation pour ce genre de produits. En France, cependant, la représentation des fleurs et des fruits vient disputer le terrain aux arabesques et aux contours variés qui, ne représentant aucun objet déterminé, semblent mieux convenir à cette industrie qui se propose la décoration des intérieurs.

TISSUS A MAILLES — DENTELLES — TULLES

Les étoffes à mailles constituent, grâce à leur transparence, un des accessoires les plus élégants de la toilette. Transparentes, elles font jouer la coloration, l'éclat de l'étoffe de dessous, découverte en partie. La plus remarquable, sans contredit, est la dentelle formée d'un tissu à jour obtenu par des entrelacements polygonaux de fils plus ou moins rapprochés en certaines parties, de manière à donner des dessins opaques en quelques endroits, ce qui permet d'obtenir des variétés nombreuses de dessins. Ceux-ci rappellent en général aujourd'hui des rameaux, des fleurs, des arabesques. Ces dessins ont varié aux diverses époques, comme les dessins des divers styles : c'est ainsi que sous l'Empire on ne connaissait que de grands dessins peu gracieux. La fig. 265 représente un volant de la dentelle noire qui produit un si bel effet sur les

EFERUS - Recherche & Classification numérique

étoffes de soie brillantes. La figure 266 représente le quart d'un mouchoir en dentelle de fil de lin, en valencienne, la plus solide des dentelles.



265. Dentelle noire.

A toutes les époques de richesse et de prospérité, la délicatesse et la transparence du



266.

tissu, qui donne des effets très-gracieux par la superposition (partielle le plus souvent)

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de ce réseau si léger sur d'autres étoffes, ont assuré le succès des dentelles pour la toilette des dames, bien que la valeur des dessins qu'elles reproduisent ait été assez minime, au moins jusqu'en ces dernières années. Il y a là des études curieuses à faire, en ayant soin toutefois de ne pas oublier que la légèreté, la délicatesse doivent être le caractère essentiel de ces petites compositions.

Les tulles, les blondes de soie sont des variantes de ce genre de tissus; les gazes et autres étoffes transparentes donnent des effets de même ordre, mais moins complets.

On donne le nom de guipures à des dentelles fort usitées sous Louis XIV, dont le fond disparaît presque entièrement pour ne laisser que les ornements mats réunis par un petit nombre de fils. Le point de Venise, imitation des dentelles que nous voyons sur les beaux tableaux des maîtres de l'école vénitienne, est fort estimé.

La fabrication du tulle à la mécanique, en réduisant à un prix minime le réseau même de la dentelle, a vulgarisé l'emploi d'une décoration charmante, l'application de Bruxelles, obtenue avec des ornements tissés à l'aiguille, d'une grande délicatesse, appliqués sur le tulle. La fabrication française n'est pas sortie de la véritable dentelle, mais elle en a varié à l'infini les éléments, les dessins et les matériaux, la soie blanche et noire, le fil de lin, etc.

TISSUS AVEC RELIEFS — BRODERIES

Dans plusieurs procédés de fabrication, on donne au dessin blanc ou coloré, destiné à orner un tissu, un relief qui a toujours un éclat supérieur à celui d'un ornement qui ne s'élève pas au-dessus de sa surface. Nous citerons notamment les velours sur étoffes de soie.

Quel que soit le procédé de fabrication, l'effet se rapproche en général tout à fait de celui qui est créé par le procédé le plus ancien et qui donne encore la plus grande quantité de produits de cette nature, celui de la broderie.

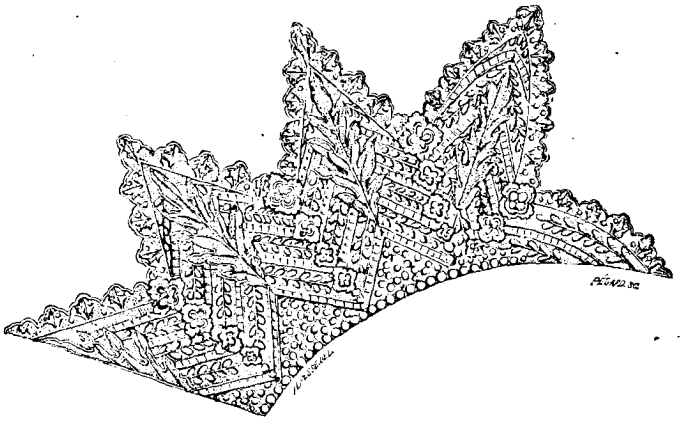
La broderie s'obtient par le passage de fils, guidés par une aiguille, en des points d'un tissu peu serré. La répétition et la juxtaposition des fils, la différence de longueur entre les points d'entrée et de sortie du fil sur la surface de l'étoffe permettent d'obtenir des dessins en relief de tout genre. L'opposition de parties mates et de parties découpées à jour, l'élévation plus ou moins grande de parties saillantes sur la surface de l'étoffe, fournissent encore des ressources de la broderie.

La broderie est très-ancienne; ses procédés ont été appliqués de tout temps et en tous lieux. On en parle dans la Bible, dans Homère; on ne trouve pas une peuplade sauvage qui ne produise quelques broderies avec les éléments qu'elle a à sa disposition. Nous citerons au premier rang les mousselines brodées de l'Inde, qui ont fourni de tout temps des modèles d'une grande élégance.

Quant au goût du dessin, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit à propos de la dentelle, en faisant remarquer toutefois qu'il existe de grandes différences dans les effets des fils dans les deux cas, dans la transparence et le relief du tissu.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Chez les nations européennes, le goût de chacune se reconnaît dans leurs broderies; le style allemand est tout entier dans certaines broderies suisses, comme le style français dans quelques-unes de nos broderies.



207. Col brodé.

La broderie ne se fait pas seulement en variant les points, mais encore en employant les fils de couleur, les perles, les fils d'or pour la passementerie militaire, en introduisant des grains d'acier ou toute autre substance dans chaque fil; mais tous ces emplois sont de faible valeur artistique et sont d'une importance commerciale moindre que celle de la broderie blanche en Europe. Les Chinois varient à l'infini la broderie en couleur sur soie, et la Compagnie des Indes nous a montré aux Expositions des broderies en fil d'or, des selles décorées en passementerie, d'un éclat extraordinaire. Enfin la broderie en or trouve une grande application dans les pays catholiques, dans la fabrication des ornements d'église, des chasubles.

Le relief, en détachant les couleurs, donne en général de la dureté au dessin qu'il figure; c'est pour cela que, sauf un petit nombre de cas, il est de la couleur du fond, ou d'un ton peu différent, la modification dans l'aspect étant produite par la disposition des fils, différente sur la broderie et sur le tissu.

Les tapisseries sur canevas et certaines tapisseries anciennes rentrent dans cette section : c'étaient de véritables broderies. Elles ont été l'objet de travaux très-considérables, parmi lesquels nous citerons la tapisserie de Bayeux, due à la reine Mathilde et représentant la conquête de l'Angleterre. Ce genre de tapisserie était l'œuvre d'art par excellence des femmes des vaillants barons, le travail des Pénélopes du moyen âge.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

CONCLUSION

De l'examen attentif de tous les objets d'art réunis à Kensington, disait fort justement M. Dehérain, dans une belle étude sur les industries d'art écrite à propos de l'Exposition de Londres, il ressort nettement que si plusieurs pays différents ont exposé des œuvres dignes d'attention, la lutte sérieuse n'existe qu'entre l'Angleterre et la France. Sans doute l'Orient est sans rival dans quelques productions; ses tapis, ses vases émaillés, ses coffrets d'ivoire sont admirables, et les nations plus avancées de l'Occident pourraient souvent les prendre pour modèles; mais la production est organisée dans ces contrées lointaines dans des conditions tellement différentes des nôtres, qu'il est difficile de tirer des chefs-d'œuvre chinois autre chose que des motifs à reproduire. Sans doute encore, l'Allemagne fabrique de fort belles porcelaines, bien qu'elles n'approchent plus de celles qui ont fait autrefois à la Saxe une si haute réputation; l'Autriche expose toujours avec un légitime orgueil ses verres de Bohême, l'Italie avec ses mosaïques et les travaux de ses nombreux artistes montre que tout sentiment d'art industriel n'est pas éteint chez elle; mais la France et l'Angleterre sont surtout à considérer quand on étudie l'ensemble de l'industrie où l'art est souverain.

Pour que l'art progresse dans une contrée, il faut, en effet, que le peuple soit riche, qu'il ait des loisirs qui lui permettent au delà des premières nécessités matérielles de la vie, que de grandes fortunes sollicitent à des productions hors ligne. S'il est misérable, si tous ses efforts se portent sur son existence matérielle, ou si une mauvaise constitution politique cause un malaise incessant, l'art est délaissé. Or la riche Angleterre peut, mieux que toute autre nation aujourd'hui, accorder à l'art une sérieuse attention. Les richesses créées par l'industrie, fécondées par le commerce, permettent en même temps une rémunération assez considérable pour attirer vers cette carrière, devenue lucrative, une fraction importante de la population.

Il importe, pour la prospérité de notre pays, que nous restions les maîtres dans ces travaux, il importe que nous ne laissions pas l'Angleterre, qui nous devance habituellement pour tous les objets de grande fabrication, nous primer encore pour ce qui touche au luxe, et l'Exposition de 1862 peut être pour nous un enseignement très-fécond, si nous savons y voir ce qu'elle renferme; c'est donc surtout de la France et de l'Angleterre que nous allons nous occuper, en cherchant à résumer notre impression et à en tirer des indications sur la voie dans laquelle doit marcher notre pays pour conserver la suprématie qu'il possède depuis plusieurs années.

Si, comme il est certain, l'Allemagne arrive bientôt aussi au premier rang dans quelques industries artistiques, tout ce que nous dirons ici trouvera doublement son application.

EFERUS - Recherche & Classification numérique

Les orfévres et les bijoutiers anglais sont bien supérieurs à ce qu'ils étaient autrefois; le goût de nos voisins s'est heureusement modifié. Les meubles anglais ont également beaucoup gagné: la tendance à l'imitation française est évidente; sans avoir la perfection de l'ébénisterie française, les meubles anglais, fabriqués avec grand soin, sont même conçus souvent sur de bons types, et s'ils ne s'étaient pas trouvés à côté de leurs puissants rivaux, on aurait peut-être eu grand'peine à découvrir les petites fautes de détail qui les empêchent de prendre le premier rang. Bien que dans cette industrie les Anglais marchent à notre suite, la distance qui autrefois les séparait de nous est tellement diminuée, qu'il y a lieu encore de se préoccuper de leurs progrès.

Les produits céramiques de Minton et Copeland sont restés dignes du rang élevé où les avait placés l'opinion publique en 1855.

La France conserve sa supériorité incontestée dans les tapisseries, dans les soieries très-riches, dans les bronzes d'art; mais, en somme, dans beaucoup d'industries d'art le combat a pris les proportions les plus sérieuses.

Risquons-nous d'être complétement vaincus?

La réponse pour nous se trouve dans les galeries de peinture de Kensington.

Il nous paraît impossible, en effet, de ne pas considérer l'art industriel comme une manifestation particulière de l'art proprement dit; il en dérive, il en naît; si à certaines époques l'un progresse, l'autre avance en même temps; dans d'autres périodes, au contraire, la même décadence les entraîne, l'histoire le démontre. Si l'antiquité nous fournit des modèles de grâce, si les vases grecs sont toujours d'un galbe pur, si la silhouette des coupes, la ciselure des bijoux antiques est délicate, si l'ensemble que nous a offert la collection Campana est d'un travail exquis, n'est-ce pas que les auteurs inconnus de ces œuvres d'élite s'étaient inspirés à l'école des maîtres de l'art, qu'ils étaient les élèves des plus grands statuaires du monde, de Phidias, de Lysippe, de Polyclète, etc.?

Si, dix-huit cents ans plus tard, les meubles, les bijoux, les vases de la Renaissance sont si remarquables, si nous revenons avec tant de constance à leur imitation, si nous les considérons comme des modèles de grâce et de goût, n'est-ce pas encore que l'art proprement dit brillait alors de l'éclat le plus vif, que Léonard de Vinci, Raphaël, Michel-Ange, le Titien, le Véronèse, le Corrége, jetaient un éclat qui n'a jamais été surpassé, et que l'art, s'éveillant en France sous leur souffle puissant, nous donnait ce maître dans l'ornementation, Jean Goujon, qu'on recopie si souvent aujourd'hui?

Ces deux exemples ne font-ils pas foi que l'art industriel dérive de l'art proprement dit, et que si une nation veut conquérir le monopole lucratif des œuvres de goût, elle ne doit pas s'efforcer de faire naître ces œuvres directement, mais cultiver d'abord les arts, pour en obtenir, comme d'une semence féconde, les résultats qu'elle recherche spécialement? Vouloir qu'une nation inhabile à manier le pinceau ou l'ébauchoir puisse faire de la céramique, de l'ébénisterie, de l'orfévrerie, c'est vouloir élever le couronnement d'un édifice dont les étages inférieurs n'existent pas, c'est bâtir dans le vide.

C'est au même et important résultat qu'est arrivé Mérimée, rapporteur de la classe XXX du jury international à l'Exposition de 1862:

« Il ne peut être douteux, pour quiconque a étudié l'histoire des beaux-arts, qu'à toutes les époques où de grands maîtres ont fleuri et fondé des écoles illustres, l'industrie n'ait pris en même temps un essor nouveau et considérable. L'influence la plus heureuse

EFERUS - Recherche & Classification numérique

s'est étendue à tous les produits manufacturés susceptibles de recevoir une ornementation. En Grèce, la fabrication des vases, des meubles et des tissus a été portée au plus haut point de perfection, précisément à l'époque où l'architecture, la peinture et la sculpture brillaient du plus vif éclat. Au moyen âge, du treizième au quatorzième siècle, la céramique, la serrurerie, l'ébénisterie ont été traitées avec le plus grand succès, en même temps que s'élevaient nos splendides cathédrales gothiques. Le même phénomène s'est renouvelé à l'époque de la Renaissance: les faïences de Gubbio et de Faenza, les meubles sculptés ou incrustés, les armures damasquinées, les reliures gaufrées ou dorées, tant de choses belles et ingénieuses qu'on admire et qu'on prend aujourd'hui pour modèles, se sont produites alors que Léonard de Vinci, Raphaël et tant de maîtres illustres faisaient fleurir les branches les plus élevées de l'art.

« En rapprochant ces trois exemples, tirés d'époques si différentes, à ne considérer que l'état des mœurs et la constitution de la société, on en déduira cette loi générale: QU'IL EXISTE UNE RELATION INTIME ENTRE TOUTES LES PARTIES DE L'ART, ET QUE PARTOUT OU SURGIT UN GRAND ARTISTE SE FORMENT DES OUVRIERS HABILES ET INTELLIGENTS. Là, en effet, où coule un grand fleuve il est facile de creuser des canaux d'irrigation, et le courant majestueux qui porte à la mer les vaisseaux de haut bord alimente sans peine une infinité de rigoles répandant partout la fécondité. De Raphaël et de Michel-Ange procède Benvenuto Cellini: le grand peintre, le grand sculpteur ont produit le grand orfévre. Le génie qui peignit les loges du Vatican se reflète dans les arabesques tracées sur les plats de Faenza ou les reliures de Florence et de Venise. »

L'art n'est pas démocratique, ce sont les artistes éminents, issus de bonnes races, qui ouvrent les avenirs féconds, fondent les écoles longtemps incomprises des races peu douées sous le rapport du sentiment de l'art.

Pour reconnaître donc si, dans la lutte qu'elle entreprend contre nous, l'Angleterre peut nous surpasser, il faut se transporter aux galeries de peinture, et les passer rapidement en revue.

Les plus nombreuses sont les collections des aquarellistes anglais; on sait combien nos voisins d'outre-mer affectionnent ce procédé, non pas pour en tirer des indications rapides, pour rehausser un croquis enlevé, mais pour en faire des œuvres complètes et terminées. Les aquarellistes anglais arrivent certainement à faire preuve d'une grande habileté manuelle; ils font des peintures roses et blanches, dignes des keepsakes ou des albums, mais n'atteignent presque jamais à de puissants résultats. Ils ont eu, en ce genre cependant, Bonington; mais ses œuvres forment au milieu de toutes celles qui sont exposées un tel effet, qu'elles semblent bien prouver que leur auteur n'est qu'une brillante exception.

Les jeunes miss aiment beaucoup à s'essayer à la peinture, les aquarelles que nous avons vues exposées semblent être précisément destinées à leur servir de modèles. C'est à peine si on peut citer, au milieu de ces teintes d'une fraîcheur exagérée, quelques dessins un peu vigoureux, mais si nous comparons à ces peintures décolorées les vigueurs de Decamps, l'élégance de M. Eugène Lami, ou le sentiment si profond que M. Bida apporte dans ses œuvres orientales, nous ne pouvons avoir l'idée de méconnaître notre supériorité.

Sans doute, dans la peinture à l'huile, les Anglais prennent une sorte de revanche, du moins ils amènent en ligne des lutteurs avec lesquels le combat est possible; mais dans

EFERUS - Recherche & Classification numérique

combien de siècles sont-ils distribués? Hogarth et Wilkie, comme peintres de genres; Reynolds, Gainsborough et Lawrence comme portraitistes, ont une valeur incontestable. Mais quand aujourd'hui on a cité M. Landseer, on est fort empêché pour trouver un nom à ajouter à ceux que nous venons de prononcer.

Si enfin, au lieu de s'en tenir à ces sommités, on considère la masse des peintres anglais, on reconnaît facilement que leurs œuvres sont extraordinairement faibles, et s'il n'est pas douteux que l'Angleterre a donné le jour à des peintres de grand mérite, il paraît certain également qu'il n'y a pas d'école britannique. Reynolds, Gainsborough, Lawrence ont laissé des œuvres, ils n'ont pas fait d'élèves.

Il n'en est pas ainsi chez nous. Decamps, Delaroche, Scheffer, Marilhat, Ingres, Delacroix, Flandrin, etc., représentés par des œuvres très-récentes, dénotent une supériorité incontestable sur l'école anglaise actuelle. En dehors même de ces maîtres, on trouverait très-facilement dans les jeunes artistes, MM. Gérôme, Pils, Bouguereau, Baudry, des peintres extrêmement distingués. Il est impossible de ne pas reconnaître que l'ensemble de la peinture française est infiniment supérieur à ce qu'ont exposé les peintres anglais. Les Belges seuls, héritiers des Flamands, pourraient lutter; on rend justice à la peinture d'un grand style due à M. Gallait et à M. Leys; à la peinture très-agréable signée de M. Willems et de M. Stevens.

Si nous continuons notre comparaison entre la France et l'Angleterre, nous avons donc lieu d'être rassurés. La Grande-Bretagne, étant très-inférieure à la France dans l'art proprement dit, ne saurait la dépasser dans l'art industriel. Il est impossible que des artistes faibles en moyenne puissent conduire des industriels là où eux-mêmes ne sauraient aller. Non-seulement enfin nous possédons plus d'artistes éminents que l'Angleterre, mais nous en avons un bien plus grand nombre d'un talent moindre, dont le concours est de la plus grande valeur pour l'industrie, qui profite le plus souvent de leurs travaux quand il leur faut renoncer à cultiver les beaux-arts.

Ce que nous venons de dire de la peinture est également vrai de la sculpture qui a des applications plus multipliées, plus directes à l'industrie. On compte en Angleterre des sculpteurs distingués, Gibson notamment; mais sans doute par le défaut de l'esprit d'individualisme qui, en politique, a fait la grandeur de l'Angleterre, ce ne sont pas des chefs d'école, et on ne pourrait citer de nos jours un sculpteur qui ait eu sur l'industrie anglaise l'heureuse action que nous avons vu Pradier exercer en France sur l'industrie des bronzes. Il faudrait remonter jusqu'à Flaxmann, qui inspira à Wedgwood les formes des vases de tout genre, qui ont valu cent ans de célébrité aux poteries anglaises.

Actuellement réduite à ses propres forces, l'Angleterre serait impuissante pour accomplir en peu de temps la transformation artistique de son industrie dont elle apprécie fort bien l'utilité; elle l'a bien senti, et c'est en attirant chez elle des artistes étrangers, notamment des artistes français, qu'elle arrive au point où nous la voyons. Si elle continuait cette méthode, elle se condamnerait évidemment, toujours, à une infériorité relative; car, en admettant même qu'elle sache parfaitement choisir, elle ne pourra jamais transporter en Angleterre le nombre considérable d'hommes spéciaux nécessaire pour conduire à bonne fin toutes les œuvres qu'elle voudra exécuter.

Ce ne sont pas seulement quelques sculpteurs sur bois qui peuvent amener l'ébénisterie anglaise au point où elle se trouve chez nous, il lui faut encore le concours d'une série d'artistes éminents pour les diriger : des architectes pour dessiner le meuble,

EFERUS - Recherche & Classification numérique

lui donner un caractère précis, harmoniser toutes ses parties, choisir les étoffes qui le doivent couvrir; il faut encore le concours des manufacturiers habiles qui tissent, teignent les étoffes, qui brodent les admirables tapisseries françaises. De même il faudra non-seulement des ciseleurs habiles pour faire de belle orfévrerie, il faut encore que leur œuvre soit inspirée par des maîtres; le souffle premier appartient encore à l'art proprement dit. Les riches industriels anglais pourront bien à prix d'or embaucher les soldats ou même les sous-officiers de l'art industriel, mais les généraux nous resteront.

Il n'est pas certain, au reste, que les expatriés conservent tout le talent qu'ils ont dans leur pays; les Français ont une nature essentiellement impressionnable, ils sont éminemment sociaux et n'aiment point l'isolement, ils ne prennent toute leur valeur qu'excités, soutenus par un milieu sympathique; transportés au milieu d'une nation étrangère, abandonnés, n'ayant plus ces conversations favorables au progrès, au feu desquelles les hommes de la même profession échauffent leur génie, le goût local qu'ils sont venus pour combattre finit par réagir sur eux, ils déclinent et ne conservent plus la supériorité qui les avait fait rechercher d'abord.

Tant que nous reconnaîtrons à l'Angleterre une infériorité manifeste dans l'art proprement dit, nous n'aurons pas lieu d'être très-inquiets; si elle veut aller plus loin, il faut qu'elle ait une école de peinture et de sculpture britanniques. En fournissant à ses jeunes artistes des maîtres étrangers, dignes de les conduire, elle pourra hâter ce résultat, car on connaît de nombreux exemples de l'heureuse influence d'un homme de génie séjournant au milieu d'un pays encore en arrière dans l'étude des arts. On peut en citer en Angleterre même, car ce n'est qu'après que Holbein et Van Dyck, avant tout admirables portraitistes, eurent passé une partie du seizième et du dix-septième siècle à Londres, que les portraitistes Reynolds et Gainsborough trouvèrent leur véritable vocation. Jusqu'à présent, l'Angleterre néglige cette puissante source de progrès; au lieu de gagner des maîtres de premier ordre, elle s'est contentée de séduire quelques praticiens; mais, à cette exception près, elle ne néglige rien pour organiser l'enseignement artistique et développer le goût de la nation.

Son palais de Sydenham est, sans doute, la tentative la plus gigantesque en ce genre qu'ait jamais faite une nation. En quelques années, construire un vaisseau énorme et y accumuler avec une profusion extraordinaire tous les modèles d'architecture et de sculpture les plus remarquables qui existent au monde, dépenser des sommes énormes pour mettre ainsi sous les yeux de tous ce qui a été produit de plus remarquable dans l'art de la construction, c'est là une preuve évidente de l'intérêt qu'on apporte à l'instruction générale. Sans doute, on n'a pas montré un discernement suffisant dans le choix des œuvres exposées; ce n'est pas une collection faite avec intérêt, avec amour, elle se ressent un peu de la précipitation qu'on a mise à la rassembler. Mais s'il est aisé de critiquer les copies et les reproductions de Sydenham, il faut reconnaître que le British Museum renferme des chefs-d'œuvre, notamment les marbres mutilés du Parthénon, et l'admirable cariatide qui trône dans son isolement, la perle du British Museum, comme la Vénus de Milo est l'œuvre capitale de notre Louvre. La National Gallery, malgré l'accumulation exagérée des œuvres si discutables de Turner, Hampton-Court enfin et ses admirables Raphaël, constituent une série de modèles suffisante pour exciter les artistes à s'élever jusqu'aux sommets les plus élevés

EFERUS - Recherche & Classification numérique

de l'art, si le goût général les soutient, à réagir même heureusement sur lui, à l'épurer, à l'élever par l'influence toute-puissante des chefs-d'œuvre.

L'Angleterre semble vouloir, et on sait qu'elle veut avec persévérance, trouver chez elle des peintres, des sculpteurs, des architectes; elle suit là la seule marche logique, la seule qui puisse un jour, peut-être, lui permettre d'arriver à une supériorité réelle dans les arts industriels, si toutefois le génie de la race anglo-saxonne est susceptible d'arriver, dans la culture des arts, au point où nous la voyons dans tant d'autres entreprises qu'elle a menées à bonne fin.

Le grand moyen d'action que l'esprit pratique des Anglais leur ait suggéré pour donner aux produits de leur industrie, au point de vue du goût, les qualités qui lui manquaient, a été d'organiser sur une échelle immense l'enseignement du dessin. Aujourd'hui 80,000 enfants suivent des cours dont la haute direction est confiée aux habiles promoteurs de cette grande mesure. Il n'est pas possible de douter qu'en quelques années le goût général de la nation ne soit heureusement modifié par de pareilles mesures, résultat qu'on peut déjà considérer comme obtenu par le seul fait d'avoir passionné la nation pour ces questions, d'avoir éveillé son attention sur ce sujet. Mais de plus, un enseignement aussi étendu doit nécessairement faire naître des vocations, révéler des natures privilégiées, dont les facultés fussent sans cela restées ensevelies dans des travaux d'un ordre inférieur. C'est ainsi qu'en France, dans un pays célèbre par ses facultés peu musicales, on a fait apparaître des artistes distingués avec un Conservatoire de musique. C'est avec des fondations comme celle de Sydenham et surtout du musée de Kensington, que l'on espère développer complétement les artistes industriels qui pourraient ainsi se révéler.

Si la France, comparée aux autres nations, peut se considérer comme la première pour l'ensemble des industries dans lesquelles l'art intervient pour une grande part, il n'en est pas moins vrai qu'on découvre bien facilement dans son industrie des parties faibles. L'invention y paraît insuffisante. Or, nous nous sommes placés à la tête des arts décoratifs de l'Europe, grâce aux œuvres des Lepaute, des Berain et des Boulle, et nous ne pourrons nous y maintenir qu'en créant des rivaux à ces maîtres, et non pas seulement des imitateurs. Qu'est-ce qu'un art indéfiniment reproducteur, si ce n'est le honteux aveu de l'impuissance, le dernier effort d'une fécondité qui s'épuise? Cela soit dit sans partager le découragement auquel tendent les personnes qui comparent trop les accumulations des œuvres d'art d'un siècle avec les travaux journaliers de notre époque, et se trompent par une illusion de perspective.

Quelles sont les mesures propres à nous perfectionner? Avant tout de nous garder d'une confiance exagérée dans une soi-disant supériorité naturelle qui n'existait sûrement pas à l'époque où nous allions chercher des maîtres en Italie, et qui est évidemment le résultat de travaux, d'efforts bien dirigés pour l'éducation de la nation, qui en réclame de nouveaux aujourd'hui.

Après le développement des écoles de dessin, dont l'utilité est admise par tout le monde, nous recommanderons un commerce plus assidu de nos fabricants avec les chefs-d'œuvre des siècles passés. Si notre école de peinture est aujourd'hui la première du monde, le musée du Louvre n'y a pas peu contribué; ses immenses richesses ouvertes à tout venant, ses sculptures, ses tableaux s'offrant sans difficultés à tous ceux qui veulent étudier, s'inspirer par la vue des chefs-d'œuvre ou simplement passer

EFERUS - Recherche & Classification numérique

utilement un jour de repos, ont eu la plus heureuse influence sur le goût public.

Il serait bien à désirer que nos ouvriers pussent voir de même les œuvres d'art les plus remarquables que nous possédons en ébénisterie, joaillerie, orfévrerie, etc. (voy. MUSÉE D'ART INDUSTRIEL). Nous avons bien déjà des ébauches de collections : la galerie d'Apollon au Louvre, a été consacrée à l'exposition de bijoux précieux; le musée de Cluny renferme des chefs-d'œuvre. Tout cela est cependant encore insuffisant, et il serait à désirer qu'une grande collection d'objets d'art industriel fût créée, qui pût servir aux études de nos ouvriers, comme la grande Galerie de tableaux du Louvre, ou le Musée des antiques, inspirent nos artistes.

C'est précisément à une création analogue à celle dont nous rappelons l'utilité, qu'ont abouti les principaux efforts faits en Angleterre pour faire progresser l'art industriel. Les résultats obtenus démontrent qu'il serait important de la reproduire chez nous. Je veux parler de l'Exposition de Kensington, où se trouvent réunis des objets d'art de la plus haute valeur appartenant soit à l'État, soit à des particuliers, qui veulent bien s'en priver pendant quelque temps pour en faire jouir le public; sans nul doute on pourrait, en France, arriver à des résultats semblables.

En vulgarisant l'art de manière à élever le sentiment de l'art par en bas, en multipliant les adeptes et les vocations, en contribuant à la fois à l'éducation du public et à celle des artistes, on aiderait puissamment le progrès. Le public, éclairé sur la valeur des chefs-d'œuvre de tous les temps, refuserait les objets de mauvais goût qu'on lui offre, tandis que les fabricants et les ouvriers, frappés des ressources qu'on peut trouver dans les œuvres anciennes, rivaliseraient avec elles.

En résumé, les grands peuples d'Europe deviennent des rivaux redoutables. Faut-il nous plaindre? Non pas, mais retrouver dans cette lutte une nouvelle vigueur pour aller plus avant. Il nous faut comprendre que notre marche ne peut se ralentir sans grand danger, et sans entrer dans le domaine politique qui n'est pas de notre ressort, en disant seulement qu'il faut avant tout guérir le désordre intellectuel qui est la conséquence de l'instabilité politique, il nous faut redoubler d'ardeur sous peine de ne plus occuper, dans les industries d'art, le premier rang qu'il importe tant de garder, pour la prospérité et la grandeur de la France.

On voit que l'étude des grandes expositions amène les bons esprits à reconnaître à posteriori la vérité que nous avons établie à priori au début de ce travail, que de l'éclat des beaux-arts dans un pays dépendait celui de l'art industriel, le succès des industries qui doivent leur prospérité à son développement; et pour résumer en peu de mots les principes qui nous ont guidé pour écrire l'ouvrage que nous achevons : QUE LA SCIENCE ET L'ART SONT LES DEUX BASES DE L'INDUSTRIE.

FIN

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS. 6.

EFERUS - Recherche & Classification numérique